厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

総合研究報告書

機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発

研究代表者

齋藤剛　独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

分担研究者

濱島京子，芳司俊郎，清水尚憲，池田博康，梅崎重夫(労働安全衛生総合研究所)

木村哲也(長岡技術科学大学)

研究要旨

本研究では，機械設備の設計段階及び使用段階におけるリスクアセスメント(: Risk assessment. 以下,「RA」という。）について，中小規模事業場での普及を促すことを目的に，機械安全に関する知識や RA の経験が限られた設計技術者及び生産技術管理者を支援する際の要点を検討するとともに，これらを満たす具体的な支援システムの例を開発し，その過程で得られる知見や有効性評価の結果を一般化して，情報通信技術を活用した様々な RA 支援システムが新たに開発・構築される際に広く共通に参照されるべき「基本要求仕様」を確立する。

この目的に対し，本研究では，設計段階 RA 支援システムの開発を「項目 1」とし，また，使用段階 RA 支援システム 2 種の開発・検証を各々「項目 2」及び「項目 3」と設定して検討を進める。そして，これらを通じて得た知見や有効性評価の結果から，最終的な成果として，RA 支援を目的にしたシステムに対する「基本要求仕様」を確立する。全 3 年間の研究を総合して，各項目で得られた結果と考察の要点を以下に述べる。

項目 1：設計段階 RA 支援システムの開発

1） 設計段階 RA の各手順で実行すべき必須事項を ISO 規格や「機械の包括的な安全基準に関する指針」などに示される RA の原則に遡って検討した。RA のいずれの手順においても，要点を欠いた実施では最終的な目標である「適切なリスク低減」の達成は確認できない。しかし，①設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで，初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討される，ならびに，②遂行されるタスク，オペレータ及び関連する人の特性，加工対象や使用環境など種々の条件を考慮しつつ，機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなく予期せず出現するものも含めた危険源を，それらが影響する区域への人のアクセスの可能性（意図しない合理的に予見可能なものを含む）と併せて体系的に検討し，災害シナリオを網羅的に発想することが要求されるため，実施する者の知識と経験に最も依存するなどの理由から，「危険源の同定」が RA において最も重要で，かつ，最も支援が必要な場面であることを明らかした。

2） RA 実施の結果として，設計技術者が「適切なリスク低減の達成」を自ら判断することは容易ではない。このため，その際に有益な指標となる設計段階でメーカが最低限達成すべきリスク低減水準について検討した。結果として，機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州連合 (EU) の考え方に着目し，各々の機械に制定された個別製品安全規格 (C 規格) が規定する安全要求事項が最低限達成すべきリスク低減水準を示したものと言え，これらに適合することで「適切なリスク低減の達成」を根拠立てて判断・主張できることを明らかにした。ただし，上記の目的に沿う C 規格を現行の ISO／IEC／JIS から一覧とした資料はないことから，本研究で作成を行った。一方で，C 規格が制定されていない機械に関しては，すべての機械に共通して適用される A／B 規格の安全要求事項への適合が「適切なリスク低減の達成」の根拠となると考え，これらの安全要求事項から最低限同定すべき危険源及び危険区域を抽出して提示することを設計段階 RA の有効な支援として提案した。

3） 国内，欧州，北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し，デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し，さらに，内容が充実していると考えられる 3 種を選定して，具体的な機能や内蔵されている資料を詳細に調査した。その結果，「文書化」作業に対しては既に十分検討されており，様々な支援機能が実現されていた。さらに，ISO 規格など関連する技術情報の参照機能など，設計段階 RA を効率的に実施する上で有効と考えられる機能や工夫が確認できた。しかし，いずれのツールにおいても，適切に利用するには一定の機械安全の知識と RA 実施の経験が求められると考えられた。特に，「危険源の同定」については，共通して，その出発点として用意されているものが ISO 12100 の危険源リストの提示であり，対象とする機械で起こり得る危害を設計技術者が適切に想定（発想）できるように支援する機能を有したツールは見当たらなかった。

4） 以上の検討をまとめ，項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは「危険源の同定」の支援に焦点を当てることを定め，その核となる具体的なアプローチとして，①すべての機械に共通して適用される A／B 規格の安全要求事項から危険源･危険区域を抽出し，確実に同定すべき範囲と定めて提示すること，②特定の機械に対し，国内で報告された災害事例の情報から当該機械の C 規格にある危険源リストの項目を明確化又は拡充することで，危険源同定のガイドとすること，③公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する規格類の安全要求事項とをリンクさせ，多角的に関連情報を収集できるようにすることの 3 方針を検討した。さらに，これらとは異なる側面からの支援として，④人が危険源にアクセスする可能性を客観的に評価できるように指標となる機械の形状や空間寸法を明示することを考案した。

5） 最終的に，上記①～④を統合する形で，項目 1 で開発する支援システムのコンセプトを，現在までに対応 JIS として制定されている A／B 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域をリスト化し，具体的な判断基準を技術情報（寸法，推力，速度など）の形で分かり易く提示するとともに，アクセス可能性の評価に対する支援を加味することで，設計技術者が危険源を自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく，危険源の原因（Origin）の物理的性質とアクセス可能性とを整理して技術的視点から客観的に検討できるよう支援するものと定めた。機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想である。しかし，知識や経験の限られた設計技術者が RA を実施する上で達成すべき要件を考えれば，検討範囲の広さよりも重大な見落しを防ぐことが重要であると考え，この開発コンセプトを定めた。

6） 危険源同定の支援に焦点を当てた設計段階 RA 支援システムの基本機能及び要求仕様を明確化し，これを実現した例として，JIS B 9700 及び液圧／空気圧／電気／制御の各分野で設計原則を扱う B 規格の安全要求事項から計 187 項目の危険源細目を抽出して一覧化した上で，デスクトップ PC 上で利用する危険源同定支援ツールを試作した。これを用いて，労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者を対象に，提案する支援のアプローチ，実装した支援機能及び提示情報の有効性を評価した。

7） 結果として，機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能とすることで危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する支援として，設計技術者ならびに同定結果を検証・承認する立場の者にとって有効であるとの評価を得た。ただし，様々な点で本ツールだけを提供しても設計者支援として限界のあることが指摘され，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを使用する上での留意点をまとめた資料を別途提供する必要があることが明らかになった。そのため，取扱説明書とは別の副読本「設計段階 RA ガイドブック」を，これまで設計段階で実施すべき RA 及びリスク低減全般に対して行ってきた考察を反映して作成した。

項目 2：選択式使用段階 RA 支援システムの開発

1） 平成 28～30 年度に研究代表者らが実施した厚労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」（以下，既実施研究という。）で提案したイラスト等を用いた簡易 RA 手法について，文字情報を可能な限り排し，できるだけ容易に理解できるようにする方向で再検討するとともに，「危険源の同定」に焦点を当てた支援を提供できるよう見直した。その結果，RA の対象とする機械に係る災害発生の経緯（危険シナ

リオ）をイラスト化して提示し，実際の機械や作業場面を撮影した画像上で該当する危険個所を指定していく方式の危険源同定手法を新たに考案した。

2）厚生労働省が公開している機械災害データベース等から，丸ノコ盤，旋盤，ボール盤，フライス盤，プレス機械，ロール機の 6 種について，これらに起因した労働災害事例を収集し，これより災害の発生過程（危険シナリオ）を抽出する方法を考案するとともに，それぞれのシナリオをイラスト化する際の統一的な考え方を整理した。危険シナリオは，対象として選択した機械の危険源を可能な限り網羅して同定できるもので，少なくとも，死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とさないよう配慮するとした。

3）作成した危険シナリオ及び危険イラストを用いて，本手法による危険源同定を事業場で実行できる具体的手段の例として，使用段階 RA 支援システムの要求仕様を策定した。そして，プロトタイプモデルとしてタブレット PC 上で動作するアプリケーションソフトウェアを制作した。

4）制作したアプリを用いて，第 2 年度では理工系大学の学生と職員及び労働安全コンサルタントを対象に，第 3 年度では機械を用いて生産活動を行う中小規模事業場を対象に，提案する同定支援及び実装した支援機能の有効性を評価した。その結果，本アプリが提案する同定支援の効果を確認することを主眼に試作したものであることからユーザビリティの観点で以下のような課題が示されたものの，機械の災害発生の経緯（災害シナリオ）をイラストで提示するという危険源同定手法は概ね評価され，中小規模の事業場が RA に着手するための有効な支援になり得ると判断できた。

- 非定常作業を想定した危険イラストをできるだけ多く用意するとともに，各事業場の機械に応じた危険源同定を容易にするため，事業場自らイラストを作画して追加できるようにする。
- 写真表示に拡大機能を付加し，機械の全体と危険箇所の細部を表示できるようにする。
- 支援アプリの操作方法を説明したマニュアルを動画資料とするなど充実させるとともに，危険源同定及び RA の基礎的事項に関する説明を併せて提供するようにする。

項目 3：典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

1）既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易 RA 手法は，簡単で再現性があり，かつ，重大な危害を見逃すことが少ないという利点をもち，RA の実施に伴う不確定性を合理的に可能な限り少なくすることが可能である。本研究の項目 3 では，この簡易 RA 手法で扱える機械の機種数を拡充するために，15 種の機械・設備に対する典型災害事例シート及び保護方策チェックリストなど必要な情報を整備した。

2）整備した情報を実装し，タブレット PC 上で動作する簡易使用段階 RA 支援システムを構築した。これは，IT が苦手な人でも操作が容易である上，RA の記録を確実に保存でき，類似の機械への応用や結果の統計処理も容易になるなどの利点をもつ。さらに，タブレット PC の長所を活用して，現場の写真・動画・作業手順・機械安全専門家のコメント等を容易に伝達できる。この点に着目し，専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組みである「遠隔安全診断」を新たに考案し，具体的な支援機能としてシステムに実装した。

3）本支援システムを機械安全及び労働安全に長年の経験を有する専門家に試行してもらい，基礎とした簡易 RA 手法及びシステムに実装した支援機能等について確認を行った。その結果，中小規模事業場にとって，理解し易く，納得して効果の高いリスク低減対策を実施できるようにする手段として期待できる画期的なシステムであるとの評価を受けた。さらに，考案した「遠隔安全診断」についても，RA に対する知識や関心を向上させる上で適切な機能であるとされた。ただし，その一方で，提案した簡易 RA 手法が機械安全包括指針や ISO 45001 が求める一般的な RA と異なる点について利用者に十分に周知を図る必要があるとの指摘を受けた。また，タブレット PC 上での操作性の改善や操作説明書の内容拡充など，検討すべき課題が残されていることが分かった。

4）次に，機械設備に対する RA にまだ十分には取り組んでいない中小規模事業場 3 社（労働

者数：13～104 人）の安全管理担当者等を対象に調査を行い，簡易 RA 手法及び構築したシステムの有効性を評価した。結果として，本システムを用いた簡易 RA 手法について「専門知識が無くとも RA を実施できると感じたか」という観点で質問したところ，全社から概ね肯定的な回答が得られ，労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた事業場に対する使用段階 RA 支援として所要の目的を一定程度達成したことが確認できた。ただし，いくつかの点で，タブレット PC 自体を含めた本システムの操作に習熟する必要がある点に懸念が示された。操作説明書の記載内容の拡充や何らかのガイダンス資料を用意するなどの措置を検討する必要があること，加えて，タブレット PC の活用については，RA 支援が適用される業種における動向を踏まえた検討が必要であると考えられた。

RA 支援システムの基本要求仕様の確立

以上の項目 1～3 を通じて得られた知見や有効性評価の結果などを一般化し，RA 支援を目的に開発されるすべてのシステムに共通に適用される「基本要求仕様」として検討した。システムの要求仕様が ISO/IEC/ IEEE 29148 に示されたソフトウェア要求仕様のアウトライン例に基づいて作成されるとした上で，各項目で RA 支援を目的とする場合に特に記載すべき要件や制約，留意事項などを明らかにした。特に重要な点をまとめると以下のとおりである：

1） 利用者の判断の誤誘導に対する措置：開発する RA 支援システムが危険源同定又はリスクの見積り・評価を支援する場合，提示する指標などのために利用者が網羅性を欠いた同定を行ってしまうことや，リスクレベルの不適切な割り当てのために楽観的な判断を下してしまうおそれがある。このような利用者の判断の誤誘導を防止する措置として，例えば，独立した資格のある者（認証団体や労働安全コンサルなど）による動作確認や提示情報の評価といった検証・承認プロセスを設定しておくことが不可欠であり，RA 支援システムの要求仕様では「検証」の一部に明確に記述しておく必要がある。

2） 提示する情報の典拠･更新：RA 支援システムが提示する評価指標や参考情報，情報提示順序の割り当てなどが，法規制，機械安全規格又は労働災害データに基づいて策定されている場合，その典拠が明確に示されている上で，元となる情報ソースが改定又は更新された際に可能な限り速やかに反映される措置が必要である。これは，利用者の判断誤りを意図せずに誘導してしまう危険性を低減する意味でも重要である。このため，RA 支援システムの要求仕様では，策定者が考案した措置を「完全性（インテグリティ）制約」や「保守性」の項目に仕様化しておく必要がある。

3） 準拠する RA 手法：設計段階 RA 支援システムで実施される RA は，ISO 12100 が規定するリスク低減プロセスに準拠している必要がある。簡易化を目的に異なる方法を採用する又は手順を一部変更する場合は，標準的手順から逸脱する部分及び得られる結果の整合性について要求仕様に明示し，その上で，外部の有資格者等によってその正当性が事前に十分検証される仕組みを導入しておく必要がある。一方，使用段階 RA 支援システムでは，機械包括安全指針及び ISO 450017 等のマネージメント規格が求める RA に応えることを期待した利用者を考慮しておく必要がある。特殊な手法を採用する場合には，生じる差違を明確にしておくとともに，必要に応じて，製品が公表又は流通される際には利用者に適切に警告されることをソフトウェア作成者に要求しておくことが重要である。

4） 想定する利用者の教育・経験レベル：RA 支援システムにおいて，支援対象となる設計技術者・生産技術管理者の機械安全に関する知識や RA の経験，技能的専門性を指定しておくことは不可欠であり，「利用者特性」の項目に可能な限り詳細に定義する。その際，厚生労働省が公表している資料や機械安全教育カリキュラムの項目など一般に周知されている情報を指標に用いて指定することが望ましい。

本研究では，機械の設計段階と使用段階で実施される RA を支援する上での必須要件を明らかにし，システムとして実現する例を具体的に示した。そして，得られた知見を一般化して基本要求仕様を策定した。これを規範に，今後，様々な機能・特色をもった支援システムが適切に開発され「RA の難しさ」が克服されれば，中小のメーカとユーザ双方における機械設備の RA の推進・定着に大きく貢献するものと期待される。

1. 研究目的

機械・設備（以下,「機械」という。）に起因する労働災害（以下,「機械災害」[注)] という。）を防止するには，設計段階及び使用段階においてリスクアセスメント（: Risk assessment. 以下,「RA」という。）が適切に実施される必要がある。しかし，平成 29 年労働安全衛生調査（実態調査）[1] では，約半数の事業所が実施していないと報告されており，特に労働者 50 人未満の事業所では，約 1/4 が「十分な知識をもった人材がいない」，「実施方法が分からない」を理由に挙げている。これまで厚生労働省から，通達や指針，ホームページでの情報提供といった様々な形態で RA に関連する資料や教材が提供されているが，依然として「RA の難しさ」が普及を妨げる大きな障壁の一つになっている。

そこで，本研究では，特に中小規模の事業場において機械に係る RA 実施の普及を促すことを目的に，機械の設計段階・使用段階において RA を実施する設計技術者・生産技術管理者等を支援するシステムをそれぞれ検討する。

設計段階での RA については，その原則と手順が ISO 12100[2] によって国際的に標準化されており，その作業負荷を軽減するツールやソフトウェアが既にいくつか市販されている。しかし，予備的調査の結果，市販のツール等は多くが文書化作業の省力化に焦点を当てたものであり，例えば，RA の手順の中で最も重要なステップとされる「危険源の同定」などに対して，知識や経験の少ない設計技術者が RA を実施できるよう支援する機能を備えたものは見当たらなかった。そこで，本研究では，RA の各手順において設計技術者に必要であると考えられる支援の内容を明確にするとともに，市販の支援ツール等を調査して不足する機能等を整理する。そして，この結果に基づき，特に「危険源同定」の支援に焦点を当てた支援システムの要求仕様を策定し，RA 支援システムのプロトタイプを開発する。

一方，使用段階での RA について研究代表者らは，2016～2018 年度に厚労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」[3] を実施し，小規模事業場においても実施可能な簡易 RA 手法として①イラスト等を用いた選択式手法と②典型災害事例を応用した手法の二つを提案し，これらの有効性を確認する目的で扱える機械を限定した RA 支援システムを試作した。本研究では，その成果を活用して，対象となる機械や作業の種類をさらに拡充し，機械全般を対象にできる RA 支援システムのプロトタイプとして構築する。

以上の検討を 3 年間の計画で実施し，最終的な成果として，RA 支援を目的にしたすべてのシステムが備えるべき機能や資料・情報等の要件をまとめた「基本要求仕様」を確立する。情報通信技術（ICT）は今後より進展するものと考えられ，それに応じて様々な機能・特色をもった RA 支援システムが新たに開発されていくことが想定されるが，その際，これらに共通に適用される「基本要求仕様」が確立していれば，常に一貫した考え方の下で RA 支援システムが適切に構築されることが可能となる。

2. 研究の背景及び期待される効果

2.1 研究の背景

機械災害の発生状況は，ここ 10 年間は概ね一定の減少傾向を示してはいるものの，2019 年の死傷者数は 26,154 人，2020 年では 25,170 人，2021 年では 25,661 人と依然として全災害の約 1/5 を占めている [4]。機械に起因する労働災害を防止するには，機械の設計段階及び使用段階（労働災害発生時のほか，機械の導入又は変更時，作業方法又は作業手順の変更時，その他定期的な間隔での実施を含む）で RA が適切に実施される必要がある。

このため，厚生労働省においては，2006 年に「危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づく措置」が事業者の努力義務と規定されたことを受け，2007 年に「機械の包括的な安全基準に関する指針」[5]（以下,「包括指針」という。）を全面的に改正し，機械の安全化における機械製造業者（以下,「メーカ」という。）と機械使用事業場（以下,「ユーザ」という。）の役割と実施事項，両者が実施する RA の関係を図 1 のように明確に示して，国内での機械安全対策の基本コンセプトとして周知してきた。さらに，2012 年には事業場での機械に係る RA の実施に貢献することを目的にメーカ等に対して機械の残留リスク情報の通知を努力義務化 [6] し，また，メーカにおいてその作成を担う設計技術者及びユーザにおいて残留リスク情報に基づき RA 等を実践していく生産技術管理者の育成に関わる教育カリキュラムと実施要領を 2014 年に通達する [7] など，RA の普及と定着を図ってきた。リスク低減のために講じる方策に関しては，労働安全衛

注：本研究報告において,「機械災害」とは，特に断らない限り,「起因物が原動機，動力伝導機構，木材加工用機械，建設機械等，金属加工用機械，一般動力機械，車両系木材伐出機械等，動力クレーン等，動力運搬機に該当するとされた死亡及び休業 4 日以上の災害」を指す。

生法に基づく各種構造規格や指針ばかりでなく，ISO／IEC など国内外の機械安全に関する規格類の情報をまとめ，これらを活用して災害防止を進めるためのリーフレット[8] やガイドブック[9] も公表している。

また，梅崎らは，機械の使用段階での RA に関し，特に小規模事業場がその実施を困難としている阻害要因，ならびに，国内外で提唱されている簡易な RA 手法等を調査し，その結果として，ユーザが熟知している危害を出発点として帰納的に RA を進めていく典型災害事例を応用した手法，5 ステップ法及び職場の安全サイトを効果的に活用する手法などを小規模事業場に向けた簡易 RA 手法として開発した[3]。典型災害事例を応用した手法については，これをタブレット PC に実装し，簡易 RA 支援システムのプロトタイプの構築も試みられている。

しかし，特に中小規模の事業場を中心に RA が必ずしも浸透してはいないのが現状である。平成 29 年労働安全衛生調査（実態調査）では，作業に用いる機械に対し RA を実施していると回答した企業の割合は 28.7%に留まり，特に規模が 30～49 人の場合は 26.7%，10～29 人の場合は 26.1%に減少することが報告されている。また，本調査では，RA を実施していない事業所にその理由について複数回答で調べており，27.4%が「十分な知識を持った人材がいない」，20.4%が「実施方法が判らない」との回答であった。RA を実施するには，機械安全に関する一定の知識及び機械を使用する作業の経験ばかりでなく，RA に対する習熟も要求される。2006 年以降，厚生労働省のホームページでは RA に関連する様々な資料や教材が提供されてはいるが，依然として「RA の難しさ」が普及の障害になっていることを示唆した結果と言える。なお，RA を実施していない理由として本調査で最も多く回答された事由は「危険な機械や有害な化学物質等を使用していない」で 63.3%であった。ただし，この点に関連し，梅崎らは，小規模事業場で RA が浸透しない背景の一つとして「無災害の継続を“安全の証”と誤った認識をし，RA に要する負担も踏まえ，本来であれば危険な機械を“安全”と見做してしまっている」可能性があることを指摘している[3]。このことは，機械災害を経験したことがない，又は極めて稀にしか発生したことがない事業場全般に対して広く言えると推察され，報告された 63.3%という結果を真に危険な機械を使用していない割合と考えることはできない。

一方， 2020 年度，メーカ，インテグレータ及びユーザを対象に製造している機械又は使用している機械の RA 及び安全対策に関する詳細なアンケート調査が，中央労働災害防止協会にて実施された。その結果[10,11,12]の一部を表 1～4 に示す。表 1 は，企業規模別のアンケート回答数及び RA を実施していると回答した割合であり，本アンケートに回答した事業場の範囲では，メーカ及びユーザの 8 割以上，インテグレータでも約 7 割が機械の RA を実施していると回答したが，企業規模が小さくなるにつれて実施率が低下する傾向にあることが，ここでも示された。

RA を実施していない理由を，メーカ及びインテグレータについて表 2 に，ユーザについて表 3 に示す。メーカ及びインテグレータでは，「どのように実施すれば良いか分からない」が 32.8%となり，「使用者（同一企業の統合システムの構築を行う部門とは別に当該システムを使用する部門がある場合にはその部門）からの要望がない」，「構造規格や業界規格に準拠している」を上回る結果となった。また，「実施できる人材（外部人材を含む）がいない」と回答した事業場も 29.7%あった。ユーザにおいてはこの傾向はより顕著に示されており，これらのことから，RA の実施が普及しない根底には，RA が労働安全衛生規則において努力義務規定に留まっているという現行法制度のあり方と言うよりも「RA の難しさ」が大きな障壁となっていることを示した結果と言える。

他方，RA を実施していると回答した事業場において，用いている手法を調査した結果を表 4 に示す。メーカ及びインテグレータでは，ISO 12100（国内では JIS B 9700[13]）又は包括指針ではなく，設計段階での RA の原則が必ずしも考慮されていない「危険性又は有害性等の調査等に関する指針[14]」（以下，「RA 指針」という。）のみに基づくと回答した事業場が 24.7%あり，RA を実施してはいるものの，その内容や結果の妥当性が懸念される。また，ユーザにあっては，機械設備に対する RA は包括指針に従って実施すべきとされているにもかかわらず，RA 指針だけに基づくと回答した場合が 61.8%を占めており，メーカとの連携に基づく機械のリスク低減･管理に係る適切な対応がまだ十分には周知されていない現状が示唆された。

2.2 全体計画と実施事項

以上に鑑み，本研究では，中小規模のメーカ及びユーザにおいて機械に係る RA 実施の普及･定着を促すための効果的な方策として，機械の設計段階と使用段階での RA に対し，その実施を担当する機械安全に関する知識や RA の経験が限られた設計技術者ならびに生産技術管理者等を支援するシステムについて検討する。本研究の全体計画を図 2 に示す。上記の目的に対し，本研

究では，設計段階 RA 支援システムの開発を「項目 1」とし，また，使用段階 RA 支援システム 2 種の開発・検証を各々「項目 2」及び「項目 3」と設定して検討を進める。そして，これらを通じて得た知見や有効性評価の結果から，最終的な成果として，RA 支援を目的に開発されるシステムを対象とした「基本要求仕様」を確立する。各項目の概要を以下に述べる。

項目 1）設計段階 RA 支援システムの開発

設計段階での RA については，その原則と基本となる手順が ISO 12100 によって国際的に標準化されており，その作業負荷を軽減するツールやソフトウェアが既にいくつか市販されている。しかし，予備的検討の結果，市販のツール等は多くが文書化作業の省力化に焦点を当てており，特に，RA の中でも最も重要とされる「危険源の同定」について，知識や経験の限られた設計技術者が確実に危険源を認識（発見）できるように支援するものは見当たらなかった。そこで，項目 1 では，第 1～2 年度に，設計段階での RA を①機械の制限事項の指定，②危険源の同定，③リスクの見積もり，④リスク低減方策の立案，⑤活動内容の文書化という手順に分け，機械包括安全指針や ISO 規格などが規定する RA の原則に基づいて，各手順で実施されるべき必須事項及びそこで必要となる支援の内容を明確にする。また，これと並行して，市販の支援ツール等を改めて調査し，その機能や内包されている資料，支援対象として想定されている技術者に求められるレベルなどの観点から比較する。さらに，第 2 年度では，設計段階及び使用段階で行われる RA の結果に基づき，それぞれにおいて達成が求められる最低限のリスク低減水準を明確にして，具体的な指標を取りまとめる。リスク低減水準をあらゆる機械に対し，一律に，また定量的に示すことは困難であるが，達成の目標を示すことは RA の難しさの軽減に大きく寄与すると考える。

以上の基礎的検討に基づき，危険源の同定の支援に焦点を当てた設計段階 RA 支援システムの要求仕様を策定し，第 2 年度後半から第 3 年度において，利用者が操作等する基本ソフトウェア部分と利用者に提示する資料や事例をまとめたデータベース部分を構築して，設計段階 RA 支援システムの例として開発する。そして，労働安全コンサルタントや中小メーカの設計者を対象に，その有効性などを評価し，必要に応じて見直しを図る。また，これと並行して第 3 年度では，支援システムの取扱い説明を兼ねた設計段階 RA の基礎を習得するための教材等についても検討する。

項目 2）選択式使用段階 RA 支援システムの開発

本項目では，平成 28～30 年度に実施した厚労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」[3]（以下，既実施研究という。）で提案したイラスト等を用いた簡易 RA 手法を見直し，RA の対象となる機械について，災害発生の経緯（危険シナリオ）をイラストで提示するとともに，実際に使用している機械を撮影した画像上で該当する危険区域等を指定していく方式の危険源同定手法を新たに提案する。第 1 年度では，厚生労働省が公表している労働災害（死傷）データベース等 [15, 16, 17] から，丸ノコ盤，旋盤，ボール盤，フライス盤，プレス機械を起因物とする災害事例を分析し，提案する危険源同定手法で扱えるよう，これを危険シナリオにまとめイラスト化していく方法を検討する。第 2 年度では，本手法で対象となる機械としてロール機械を拡充する。その上で，提案する手法による危険源同定を事業場で実行できる具体的手段の例として，選択式使用段階 RA 支援システムの要求仕様を策定し，タブレット PC 上で動作するアプリケーションソフトウェアとして開発する。第 3 年度では，開発したアプリケーションソフトウェアを労働安全コンサルタントや中小ユーザの安全担当者に試行してもらい，危険シナリオ及び危険イラストを用いた危険源同定手法の有効性などを評価し，必要に応じて見直しを図る。

項目 3）典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易 RA 手法については，核となる災害データの解析は完了していたものの，タブレット PC を用いた支援システムとしてはフォークリフトを起因物とする災害を対象とした試作に留まっていた。そこで，第 1～2 年度において，解析した結果に基づき災害が多発している機械・設備 15 種を扱えるよう，必要な典型災害事例シート及び保護方策チェックリストなどの情報を整備し，既存の支援システムに実装する。第 2～3 年度では，本システムの試行等を通じて，労働安全コンサルタントや中小ユーザの安全担当者等から意見をいただき，その有効性などを評価し，必要に応じて見直しを図る。

RA 支援システムの基本要求仕様の確立

以上の項目でそれぞれ開発・構築したRA支援システムの検討を通じて得られた知見等を一般化し，最終的な成果として，機械の設計段階及び使用段階でのRAの支援を目的に開発されるすべてのシステムを対象に，それらが備えるべき機能や資料・情報等の要件をまとめた「基本要求仕

様」を確立する。ここでは，システムの要求仕様がISO/IEC/ IEEE 29148 [18] が示すソフトウェア要求仕様のアウトライン例に基づいて作成されると想定した上で，各項目に対してRA支援を目的とする場合に特に記載すべき要件や制約，留意事項などを検討する。

2.3 期待される効果

情報通信技術（ICT）は今後より進展するものと考えられ，それに応じて様々な機能・特色をもった RA 支援システムが新たに開発されていくことが想定される。その際，本研究によって，これらに共通に適用される「基本要求仕様」が確立していれば，常に一貫した考え方の下で重要な機能や情報を具備したシステムが適切に構築されることが可能となる。

さらに，本研究の実施により次のような効果も期待される。

1）本研究で示す「基本要求仕様」に従った設計段階 RA 支援システムが利用されていくことで，中小メーカにおいても設計段階での RA 実施が浸透すると考えられる。その結果，ユーザに引き渡す段階で既にリスク低減が図られた産業機械が一般的となり，機械災害防止に大きく貢献するものと期待される。

2）「基本要求仕様」に従った使用段階 RA 支援システムが利用されていくことで，中小ユーザにおいても機械に対する RA が定着し，残留リスク管理の充実が進むと考えられ，機械災害防止に大きく貢献するものと期待される。

3）未だ国際的に標準化されていない「機械の使用段階での RA 手法」に関し，中小ユーザにおいても実施可能な手法を具体的な支援システム例とともに提示することで，海外にも広く発信でき，国際標準化の契機となる可能性がある。

4）本研究の成果は，事業場における自主的な安全管理活動への ICT 活用の好事例になると期待され，得られた知見は，今後，機械以外の分野にも ICT を活用した安全管理を展開しようとする際，基本方針の立案や公表資料の検討などを行う上で重要な参考となる可能性がある。

3. 設計段階 RA 支援システムの開発

3.1 設計段階で実施するRAの手順と原則

以前の我が国の機械安全に対する考え方は，技術的対策よりも人による対策を中心としたものであった。すなわち，仮に機械災害が発生すると，機械を扱っていた作業者の未熟さと不注意にその原因を求め，再発の防止は作業者の教育・訓練や監視・管理の強化を軸とした活動に委ねていた。しかし，機械のリスクを最も効果的に低減できるのは，それを設計する技術者である。この認識のもと，現在「機械のリスク低減」は国際的に統一された概念で論じられており，それを定めた国際産業規格が ISO 12100 である。技術的内容の一致した対応規格として，国内では 2013 年に JIS B 9700 が発行されている。

ISO 12100 は，EU の機械指令（: Machinery directive）[19] の整合規格であった EN 292-1 及び 2 を基に，主な内容が標準報告書（TR）の形で 1992 年に先行流布され，その後 10 年以上の国際審議を経て 2003 年に初版である ISO 12100-1 と 2 が発行された。ただし，当時，RA に関しては，より詳細にその原則と基本的手順などを定めた規格（初版の ISO 14121）が別にあった。その後，機械指令が 2006 年に，ISO 14121 が 2007 年にそれぞれ改正されたことを契機に見直しの機運が高まり，審議の結果，ISO 12100 の第 1 部，第 2 部及び改正された ISO 14121 第 2 版 [20] を一つに統合する形で再編集されることとなった。このような経緯を経て，すべての機械設備に適用されるリスクアセスメント及びリスク低減の方法論，基本的手順，ならびに，リスク低減方策の技術的原則を定めた新しい規格として 2010 年に発行されたのが現行の ISO 12100 である。

ISO 12100 が規定する国際的に標準化された機械の設計段階でのリスク低減プロセスは図 3 のように表され，大きく次の六つの手順から成る。

① **制限事項の指定**：対象とする機械の仕様，制約事項，意図する使用目的（作業）における前提条件などを明確にする。

② **危険源の同定**：ライフサイクルの全局面で起こり得る機械の危険源，危険状態，危険事象を特定する。

③ **リスクの見積り**：各々の危険源に対し，生じ得る危害を想定し，その酷さと発生確率からリスクを見積もる。

④ **リスク評価**：見積もられたリスクの結果から，危険源に対してリスク低減の必要性（リスク低減方策を講じるか否か）を判断する。機械のリスクを意図したレベルにまで低減できたと判断すれば，リスク低減プロセスの終了となる。

⑤ **リスク低減**：リスクを低減するための具体的方策を立案・実施する。その際，実施可能な方策を検討する際の優先順には「3 step method」と呼ばれる原則が定められている。なお，第 3.3.3 項で詳述するように，リスク低

減の後には，手順③と同じ方法でリスクを再度見積もり，手順④と同様に評価する必要があるが，このことを図 3 では「再評価」と表現している。

⑥ **文書化**：検討した結果や判断の根拠については，実際には，リスク評価で肯定的な結果となった場合以外にも適時文書化して記録し，設計開発の進展に応じて更新していくが，典型的な場面として ISO 12100 では最終の手順として表現されており，本研究もこれに従う。

なお，産業規格に安全の側面を導入する際にそれが統一的な考え方に基づいて行われるようにするための要求事項及び推奨事項を規定した ISO/ IEC Guide 51 [21] において「リスクアセスメント」(：Risk assessment. 以下，「RA」という。) という用語は，手順①～④と⑥を指すものとして「リスクの分析及び評価を含むすべてのプロセス」と定義されており，⑤リスク低減とは分けて扱われている。しかし，我が国では，労働安全衛生法第 28 条の 2（事業者の行うべき調査等）において，事業者には，危険性又は有害性等の調査に加えて，その結果に応じて法又は規則などに基づく措置，ならびに，労働者の危険又は健康障害を防止するために必要な措置を講ずることが求められており，これに従って各種通達等も発出されていることから，図 3 に示したリスク低減プロセス全体を「RA」と解釈している場合が多い。実際にも，中央労働災害防止協会が 2020 年度にメーカ及びインテグレータを対象に実施した機械の安全対策に関するアンケート調査で，「RA は実施しているが，その結果を受けてリスク低減措置は実施していない」と回答した企業は約 2.0%に留まることが報告されており，RA とリスク低減を一体のものとして捉えるのが一般的となっていることが示唆されている。このため，本研究では，図 3 に示すリスク低減プロセス全体を「設計段階での RA」と定め，特に中小メーカの技術者を対象にその実施を支援するシステムを検討することとする。

また，図 3 に示した一連の手順は，設計開発の進展に並行して反復的に実行する必要がある。最も典型的な例として，図 3 では，手順⑤：リスク低減から手順①：制限事項の指定に戻る場合を示しているが，場合によっては，手順②：危険源の同定に戻ることも考えられる。RA を反復するタイミングについて，ISO 12100 では詳細まで規定していないが，中央労働災害防止協会が 2010 年に発行した「機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用」[22] では，表 5 に示すタイミングを具体的な例として挙げている。これは，3 step method に従ったリスク低減方策の実施や実機の試作／量産といった製造過程の進展を踏まえた設定となっており，最も推奨される RA 実施のタイミングと言えるが，現実にはこれほど頻繁に RA を実施できるとは限らない。このため，本研究では，量産製造などに係る品質管理は別途配慮されるものとした上で，最低限必要な実施タイミングとして以下の三つを想定して議論を進める。

- 構想設計・機能設計時：機能設計レビューが可能な程度まで設計が進んだ段階。形状・寸法，可動範囲，重量（重心位置），速度，印加電圧，印加圧力などが概ね推定できる状態。
- 詳細設計（又は量産設計）完了時：製作／組立開始するにあたり設計を最終承認する段階。リスク低減方策を含めたすべての設計の詳細が決定する状態。
- 実機試作・品質確認時：実機（試作機又は製品）での評価が可能な段階。図面など書類上では認識されなかったリスクの発見，測定計測による検証（EMC，騒音，振動），基本機能試験の確認などを行う状態。

一方，機械には，一部に工具や付属品を必要とするものの，製品として一定の機械機能・用途を果たすことが可能な状態で上市できるように製造されたもの(これを完成品という。)以外に，それ単独では特定の機能・用途を果たせず，他の機械や装置に組み込まれる又は組み合わされることを目的とした部分的に完成した機械(これは半完成品 [11] と呼ばれる。) がある。例えば，サーボドライブシステムや産業用ロボットが例に挙げられるが，これらは他の機械に組み込まれたり，周辺装置と統合して生産システムの一部となったりすることで初めて用途や機能が確定することから，設計段階では想定が困難な危険源や危険状態が必然的に生じる。しかし，RA 各手順において検討すべき内容は，半完成品であっても「合理的に可能な範囲で従える限り完成品と同様に RA を実施する」のが原則になるのは明らかであり，完成品との差異を明確にして RA での異なる扱いを考える必要は特にないと本研究では考える。具体的な例として，産業用ロボットを対象とした危険源同定支援に関する考察を第 3.5.3.2 目で述べる。

3.2 本項目の主な研究経緯

本研究の項目 1 では，図 3 に示したリスク低減プロセス全体を「設計段階 RA」と定め，その実施を支援するシステムを検討するにあたり，第 1 年度は主に次の二つの観点から研究を行った。

まず，RA の実施内容の原則や基本となる手順及び枠組みは ISO 12100 で規定されてはいるが，後述するように，リスクを見積もる方法や結果

をまとめる表の形式に様々なものが知られているように，各手順について細部まで詳細には定められていない。また，RA を扱った解説書やガイダンスが既に数多く発行されてはいるが，書籍ごとに内容に差異があり，必ずしも統一された認識が持たれているとは言えない。そこで，RA の各手順を改めて整理し，実施されるべき必須の要点及び必要となる支援の内容を明確にした。次に，国内，欧州，北米を対象に設計段階の RA の作業負荷軽減を目的とする市販のツールやソフトウェアの実態を調査し，デモ版やマニュアル等から可能な範囲で実装されている具体的機能や内包されている資料，支援対象として想定されている設計技術者に求められるレベル等を把握した。

以上の検討の結果，RA の手順の中でも「危険源の同定」が最も重要なステップであり，かつ，設計技術者に対する支援が最も必要な場面であると結論し，開発する設計段階 RA 支援システムは危険源同定に焦点を当てたシステムとする開発方針を定めた。

第 2 年度では，前年度の検討をより深めるとともに，危険源同定を支援するアプローチを複数考案した上で，開発する設計段階 RA 支援システムの具体的な要求仕様を策定した。一方，前年度の検討から，設計技術者が RA を「難しい」と考える要因の一つに，RA の達成目標たる「適切なリスク低減の達成」を判断する上で指標となる水準が必ずしも明確に示されていない点があった。あらゆる機械に対してリスク低減の水準を一律かつ定量的に示すことは困難であると考えられるが，達成目標を示すことは RA の難しさの軽減に大きく寄与する。そこで，既に RA 実施が法制化されている欧州連合（EU）の考え方を参考にして，具体的な指標を取りまとめることとした。

以上の検討について，本章では，まず第 3.3 節で，RA の各手順を ISO 規格や包括指針などに規定されている原則に照らして改めて整理し，各手順で実施されるべき必須の要点及び必要となる支援の内容を明確にする。次に，第 3.4 節では，設計段階及び使用段階で行われる RA の結果に基づき，それぞれにおいて達成が求められる最低限のリスク低減水準を検討し，具体的な指標を取りまとめる。そして，第 3.5 節では，既存の支援ツール等の現状を報告するとともに，実装されている機能や内包されている資料，支援対象として想定されている設計技術者に求められるレベルなどの観点からこれらを比較する。以上の検討を踏まえ，第 3.6 節において，危険源同定支援の方法として機械安全に関わる ISO, IEC, JIS 等の産業規格の活用を基礎とした複数のアプローチを提案する。最終的に，これらのアプローチを統合する形で，本研究で開発する危険源同定の支援に焦点を当てた設計段階 RA 支援システムの開発コンセプトと要求仕様を策定した。

第 3 年度では，策定した開発コンセプトに従い，要求仕様を満たす設計段階 RA 支援システムの例として，JIS B 9700 及び液圧／空気圧／電気／制御の各分野で設計原則を扱う B 規格の安全要求事項から計 187 項目の危険源細目を抽出して一覧化した上で，デスクトップ PC 上で利用する危険源同定支援ツールを試作した。支援ツール及びコンテンツデータの詳細を第 3.7 節に示す。そして，労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者を対象に，提案する支援アプローチ，実装した支援機能や提示情報の有効性を評価した。その結果，機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能とすることで危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する支援として，設計技術者ならびに同定結果を検証・承認する立場の者にとって有効であるとの評価が得られた。本調査の結果と考察を第 3.8 節で述べる。ただし，様々な点で，ツールのみ提供しても設計者支援として限界のあることが指摘され，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを使用する上での留意点をまとめた資料を別途提供する必要があることが明らかになった。そのために，これまで設計段階 RA 全般に対して行ってきた考察を反映して作成した副読本「設計段階 RA ガイドブック」を第 3.9 節で示す。

なお，以上を論じる上で必要な事項として，機械安全に係る産業規格の体系について触れておく。ISO 及びこれに整合した JIS の機械安全規格は，A，B，C という三つのタイプに分類され，図 4 に示す体系で整理されていることに留意されたい。ここで タイプ A 規格（基本安全規格。以下，「A 規格」という。）はすべての機械を対象にした安全の基本原則を定めた規格であり，現在は ISO 12100 のみが該当する。タイプ B 規格（グループ安全規格。以下，「B 規格」という。）は多くの機械・設備に共通して適用される技術基準や安全装置の規格，また，タイプ C 規格（個別機械安全規格。以下，「C 規格」という。）は旋盤や動力プレスといった個別の機械の詳細な安全要求事項を規定している規格である。この階層化された体系は，それぞれの機械安全規格がおのおの独自に作成されるのではなく，共通の安全の認識に基づいて制定されることを担保する仕組みとして，機械安全規格の作成指針 ISO/IEC Guide 51 及び CEN Guide 414 [23] に定められたものである。

3.3 RA 各手順の必須実施事項と望まれる支援

3.3.1 情報の準備

図 3 には手順として示していないが，ISO 12100 では，RA を開始するにあたって準備しておくべき情報として，設計図面や以前に設計された類似機械の情報，関連する法規制・技術仕様などが挙げられている。ISO 12100 の規定及び特定の機械を具体的に例示しつつ ISO 12100 に従った RA の実施過程を説明した標準報告書である ISO/TR 14121-2[24] 及び文献 22）などの書籍類を参考に，本研究でメーカが実際に RA を実施する際に用いる資料等の関係情報を調査した結果を表 6 に示す。

RA を開始するタイミングは設計開発に並行して早いほど望ましいが，第 3.1 節で述べたように，本研究では最初の RA 実施のタイミングを「構想設計・機能設計時」とした。これは，表 6 に示す情報が概ね定まった状況でなければ，現実には RA を開始することは困難であると考えたためである。

3.3.2 手順①：制限事項の指定

設計する機械において，使用される間に発生する災害発生のシナリオを現実に機械が使用される前に想定し，その原因となる危険な状態，危険性・有害性をもつ物質，騒音などの現象を特定し，予め対策を講じることで災害を未然に防ぐことが RA の目標と言える。ただし，機械の用途，使用される環境，期間及び機械を使用する者などに制限を設けず，無条件に範囲を広げて災害シナリオを想定することは，RA の実務としての負荷を大きく増加させ，真に重要なリスクを見落とすことにつながりかねない。

RA の最初の手順である「機械の制限事項の決定」の本質は，災害シナリオを想定する上で前提となる種々の条件を明確化することと位置付けられる。

制限を設定する事項としては，一般的に以下のことが知られている。

- 使用上の制限：仕様として設計技術者が意図する機械本来の機能，用途，使用（作業）方法，機械を使用している間に必要となる介入の手順や運転モード。これには，使用者に求める運転資格や使用経験，想定する年齢層，体型，利き手や身体能力の限界が含まれる。
- 空間上の制限：動作範囲，設置スペース，操作盤／制御盤の配置，予定外停止の解消や保全時のアクセス領域。
- 時間上の制限：機械の耐用年数，構成要素・消耗品の寿命，検査・交換の周期。
- 使用環境：屋内／屋外，温湿度条件，直射日光下，ほこり，爆発危険性などの条件。
- 機械で扱うことを意図する加工対象物や搬送物などの特性。
- 動力源（ユーティリティ），冷却機など付帯設備の条件。

特定の機械を想定した具体的な制限事項を明文化した例として，ISO/TR 14121-2 に木材成型機を対象としたものが知られており，また，JIS でも標準報告書 TR B 0035[25]（ISO/TR 17529）では放電加工機を対象に，TR B 0036[26] では据付け型研削盤を対象に各々記述例が示されている。

ただし，制限事項として指定する項目は，RA の前提となる条件ではあるが，その一方で，機械を企画・構想する上では必然的に定めなければならない事項であるとも言え，実際には多くが第 3.3.1 項で掲げた準備すべき情報の中に既に含まれているものと推察される。

なお，機械を新規に設計・開発する際の仕様策定においては，機械の価値を高めることを意図し，用途をより汎用的に，使用者も幅広く設定する場合が見られるが，RA を行う観点からは可能限り明確に制限を設けるのが望ましく，仕様策定の際に慎重な検討が求められることを周知する必要がある。

また，第 3.3.5 項で述べるように実施した RA の適切さを立証する上では，機械の使用状況がすべて網羅され，リスクが漏れなく検討されていることが要求されており，手順①で明確に制限していない側面があれば，検討の網羅性を示すことは困難になる。特に，用途や使用（作業）方法に関しては，設計開発に携わる者だけでは想定に限界があることが考えられ，例えば，ISO/TR 14121-2 では，機械の運転員や保守員とできる限り情報交換することが推奨されている。

一方，上述した制限事項に関して重要な点として，ISO 12100 では，設計技術者が意図していない使用方法であるが，人の行動として比較的容易に予測可能である又は実際に高い頻度で行われることが知られている使用形態を「合理的に予見可能な誤使用（以下，「予見可能な誤使用」という。）」と定義し，「使用上の制限」の一部として明確化が求められている点がある。予見可能な誤使用は，例えば，金属切削加工用とされた手持ち電動工具の回転軸を使ってワイヤを巻き取るといった正しくない方法での使用にあたるが，このような端的な例に留まらず，考慮すべき側面として以下が例示されている。

- 使用者による機械の制御不能（手持ち機械又は移動機械）。

- 機械を使用中に,機能不良や故障が生じたときの人の反射的挙動。
- 集中力の欠如又は不注意から生じる人の誤操作，誤認などの挙動。
- 作業遂行中に負担を軽減するために故意又は無意識にとられる省略行動,リスク低減方策の無効化又は迂回などの挙動。
- 機械の稼働を続けるというプレッシャーから生じる人の挙動。
- 特定の人の挙動（例えば,子供,障がい者)。

ただし，これらは完全なリストではなく，あくまでも一部の例であるとの注記が添えられている。ガイドライン等でも「予見可能な誤使用」を説明するために，その考え方や具体的な例の紹介に多くの紙面が割かれてはいるが，知識や経験の少ない設計技術者にとって,「予見可能な誤使用」を網羅的に発想し適切に指定することは容易なことではないと考えられる。そこで本研究では，予見可能な誤使用の検討を支援する方策として，これを「手順②:危険源の同定」の中で扱うことを提案する。詳細については次の第3.3.3 項で改めて述べる。

以上より，手順①において実施されるべき必須事項と必要となる支援の内容をまとめると以下のようになる。

必須実施事項:機械の用途，使用される環境，期間及び機械を使用する者等の条件を定めず（あるいは，与えられず）に RA を進めていくことは不可能である。逆に，人の介入やメンテナンスの方法，資格や熟練度を制限することで，後に同定する危険源や危険状態を大幅に減らせる場合もある。前述したように，機械の仕様として可能な限り多くの事項に対して明確に制限を設けるのが理想である。

支援の内容:しかし，実務としての観点から見れば，際限のなく想定に時間を費やすことは現実的ではなく，特に，機械安全の知識や RA の経験が少ない設計技術者を支援する上では，制限を設ける必要のある必須項目を選定し，重大な指定の漏れだけは防ぐことがより重要であると考えられる。

そこで，本研究では，表 7 に示す文献 22）にチェックリストとして掲げられている内容に着目し,後述する設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明などをまとめた提供資料(設計段階 RA ガイドブック,第 3.9 節参照)に含めることとした。このリストは,各々の事項が後に続く RA の各手順とどのように関係するのかも明確にされており，手順①で指定すべき事項を理解し易い形で提示した現時点で最も参考になる資料として評価できる。

一方，予見可能な誤使用については，次の第3.3.3 項で詳述するように，手順②に含めて扱うことを提案する。

3.3.3 手順②：危険源の同定

ISO 12100 では，手順②の目的を，ここまでの手順で収集又は明確化した情報に基づき，人と機械とのかかわりにおいて，機械のライフサイクル全局面を通じて起こり得る合理的に予見可能な危険源,危険状態,危険事象を系統的に同定することと定義している。これを，手順②で具体的に実施する内容を前後の手順①と③との関係から整理すれば，図 5 のように表せる。すなわち,手順③:リスクの見積もり(詳細は第 3.3.4 項で述べる）において危害のひどさ及びその発生確率を推定する際に必要となる種々の「要素」を出力として明らかにするために，機械の使用中に起こり得るあらゆる人と機械がかかわる場面について，いつどのように災害という結果に至るのか,災害発生のシナリオを収集･指定した情報,ならびに,対象とする機械に関する知識と経験などに基づいて可能な限り導出（発想）することと解せる。手順③で危害のひどさ及びその発生確率を推量する際に必要となる要素をまとめたものを表 8 に示す。これら要素のすべてを定量的に見積もることが可能になるほど災害シナリオを精緻に定めておく必要はない。しかし，可能な限り多くの要素を詳細に定めておくことで,以降の手順が実施し易くなるのは明らかである。

一方,手順②は,ISO 12100 で RA において「必須のステップ」とされ,ISO／TR 14121-2 でも「最も重要なステップ」と位置付けられている。RA の他の手順の有効性を左右する最もクリティカルな要素であるとする解説[27]もある。設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態･危険事象を適切に発想し認識することで,初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討されることになるからである。このため手順②では,確実に機械の危険源を見出し,少なくとも,重篤な危害に至る又は頻繁に災害が発生するといった重要な災害シナリオは見落とさないことが必要である。

ただし，その出発点となる同定の手掛かりには，事業場が機械設備に対して行う使用段階での RA においては災害が起こる典型的な危険個所をチェックリストの形式で一覧にしたもの[28]を利用する場合もあるが,設計段階 RA においては「危険源リスト」とも呼ばれる ISO 12100 附属書 B に記載された情報を用いるのが一般的となっている。RA を扱ったガイドラインや書籍な

どでも，ISO 12100の危険源リストに則った形で，特定の機械を対象にした例示や参考となるイラストを加えた一覧を示している場合が多い。その一例を図 6 に示す。

ISO 12100 の危険源リストは，1999 年に発行された ISO 14121 の初版に掲載されていたリストに基づく。ただし，これは危険源，危険状態，危険事象の分別が必ずしも明快であるとは言えないものであったため，2007 年の第 2 版発行の際に改訂され，以下のように整理された。

- 危険源：より詳細な情報を提供する目的で，危険源の原因（Origin）と潜在的結果（Potential consequence）とを組み合わせた記述に改訂された。例として，
  ・作動部分による押しつぶし
  ・機械の安定性の欠如による押しつぶし
  ・故障時に充電される電気部品による感電
  ・高温になった材料との接触による火傷
  などが挙げられている。
- 危険状態：定義では「人が危険源に暴露された状況」とされるが，2007 年の改訂の際，危険区域内に侵入する又は危険源に接近した状況で実施される作業（又はその内容）として記述することが明確にされた。
- 危険事象：危害の発生そのものを危険事象としている例もあるが，図 7 に示す危険源が危害に至る過程 [21] において，危険事象と危害の発生との間には“危害の回避又は制限の可能性”が考慮されることに注意が必要である。すなわち，危険事象とはいわゆるヒヤリハットに相当するもので，ISO 12100 表 B.4 には以下のような例が掲げられている。
  ・機械の可動部と接触した
  ・物体が転倒した
  ・制御系の故障によって意図せずに始動した
  ・保護装置の無効化のために機械が作動した
  なお，有害物質，騒音，振動等に長期間暴露された結果として起る健康障害については，骨折等の危害と異なり，累積的暴露が特定のレベルを超過したことを危険事象とする場合がある。

ISO 12100 の危険源リストは，汎用的に利用可能なリストであると認識されている [24] が，その内容は一般化された抽象的表現の記載に留まる。また，危険源として，機械の使用中に恒久的に存在する危険源に加え，予期せず出現する確率的な危険源も同定することが求められている。

この他にも，危険源の同定手法として，例えば以下の手法が知られている [30~34]。

- Hzard and Operability Studies（HAZOP）
- Failure Modes and Effects Analysis（FMEA）
- Fault Tree Analysis（FTA）
- Event Tree Analysis（ETA）
- ハザード・マトリックス
- 典型的な傷害シナリオ
- 典型災害事例からの抽出 [3]
- 関連する安全規格の要求事項からの抽出
- ユーティリティ追跡法

各々の手法にそれぞれ特徴があり，次の手順③においても活用される手法もあるが，大別すると，危険源から危害に至る過程を同定していくボトムアップアプローチとこれと逆のトップダウンアプローチの二つに分けられる（図 8）[24]。トップダウンアプローチでは，危害（ISO 12100 の危険源リストで言えば，潜在的結果）をまとめたリスト等を出発点として利用するが，それ故，検討対象の機械であまり経験されていない災害を見落とし易く，RA を実施する設計技術者に創造的思考がより要求される。一方，ボトムアップアプローチは，該当する危険源から危害の可能性をすべて検討するもので，トップダウンアプローチよりも網羅的な結果が得られるが，その分，作業にかかる負担は大きくなるとされる [24]。どちらにおいても発想できるシナリオの範囲は設計技術者個人がもつ知識と経験に大きく依存するが，本研究では，より網羅的な結果が得られる可能性のあるボトムアップアプローチを指向し，支援方法について検討することとする。

一方，手順①において「予見可能な誤使用」については手順②で扱うとしたが，このことについて説明する。まず，RA において予見可能な誤使用が影響する側面は，大別すれば，次の三つにまとめられる。

a）省略行動やリスク低減方策の迂回などによる，設計技術者が意図する使用方法から逸脱した人のアクセス。

b）人の誤操作，誤認などによる設計技術者が意図する使用方法から逸脱した機械の起動や可動部の作動。

c）機能不良や故障が起きた時の人の反射的挙動。

以上について，RA 実施支援の視点から，危険源同定をボトムアップアプローチで行うとして，予見可能な誤使用を想定（発想）する際の負担を軽減する支援が，手順②に含めて考えられることを述べる。

まず，a）は，危険源へのアクセスの要因として考慮が求められている事項である。このため，危険源から危険状態を同定する過程において，

アクセスの可能性を，（誤使用を含めた）作業条件などから想定するのではなく，危険源と人との間に人が接近，侵入又は滞在可能な物理的空間があるか，すなわち，機械の開口部や人が立ち入る領域の形状や寸法といった技術的視点から発想できるようにすれば，省略行動やリスク低減方策の迂回を発想する必要性は低下すると考えられる。なお，a）は次の手順③で危険源へのアクセス頻度を見積もる際にも影響する。ただし，手順②でアクセスの可能性が発想されてさえいれば，アクセス頻度を過小に見積もることを避けるよう促すことは可能と考える。

次いで，b）については，これに対する技術的方策が，操作位置からの視認性の確保及び操作制御器や手持ちコントローラの形状，配置，識別に対する設計原則の適用であることに着目する。すなわち，手順②において死角や設計原則に従っていない操作制御器等を同定するようにすることで b) を間接的に考慮することが可能になると考える。

最後に，c）については，機器や要素の機能不良や故障自体は危険事象として手順②で同定する内容であるが，その結果として危害に至る可能性を見落とす問題があることから「予見可能な誤使用」に含まれていると考えられる。このため，見落としを防ぐ方策として，例えば，機能不良や故障が起きた場合に重大な結果に至る可能性が既に広く知られている典型的な機器や要素，特定の使用条件などを予め危険源としてリスト等に整理しておくことで，間接的に考慮することが可能になる。

以上は，あくまでも知識や経験が限られた設計技術者に対する RA 実施支援の視点から，予見可能な誤使用を想定する際の負担を軽減するという前提での提案である。予見可能な誤使用を手順①で指定しておくことは，手順⑤：リスクの低減において「使用上の情報」（特に，警告表示又は取扱説明書）を適用する際及びユーザに通知する危険情報[6, 35]を作成する際に関係する。

必須実施事項：前述したように，手順②の本質とは，手順③で必要となる情報を出力するために，機械の使用中に起こり得るあらゆる危険状態に対して各々がいつどのように危害という結果に至るのか，災害発生のシナリオを可能な限り認識（導出・発想）することと位置付けられる。このために，何らかの危険源・危険状態・危険事象に関する既に整理されたリストやキーワード等をガイド（ヒント）として参照し，機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなくものも含めた危険源，ならびに，それらが影響する区域への人のアクセスの可能性を体系的に特定していく必要があるが，これは RA を実施する者の知識と経験に大きく依存する。

手順②で認識されなかった危険源・危険区域は以降の手順で取り扱われることはなく，いかに網羅的な同定を行えるかが RA の成否を左右する。危険源を同定する手法として様々なものが示されてはいるが，現時点では，危険源の同定について，一定の手法や手順に従えば誰にでも行えて同様の結果が得られるという方法論は確立されていない。

支援の内容：国際的に標準化されたものとして，本研究では，手順②の出発点として同定の手掛かりは ISO 12100 の危険源リストに基づくべきと考える。しかし，ISO 12100 の危険源リストは一般化された抽象的表現の記載に留まり，これをガイドに災害シナリオを網羅的に発見・認識することは，知識や経験の少ない設計技術者には明らかに困難と言える。

そこで，本研究では，後の第 3.6 節で詳述するように，以下の三つのアプローチで危険源同定の支援を検討する。

案 1）すべての機械に共通して適用される A 及び B 規格（例えば，ISO 12100 や油圧，空気圧，電気，制御の各技術分野で設計原則を扱う ISO 4413[36]，ISO 4414[37]，IEC 60204-1[38]，ISO 13849 シリーズ[39, 40]等）を取り上げ，これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し，確実に同定すべき範囲と定めて提示する。

案 2）特定の機械に対し，国内で報告された災害事例から危険源や危険区域を抽出し，当該機械の C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで，危険源同定の有効なガイドとして提示する。

案 3）公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する ISO 12100 や C 規格の安全要求事項とをリンクさせ，設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から，災害が発生した機械部分や危険区域，アクセスが行われた事由，発生時の作業工程など多角的に関連情報を収集できるようにする。

3.3.4 手順③：リスクの見積もり

図 3 に示した一連の手順は，設計開発の進展に並行して反復的に実行されるが，これに関して手順③：リスクの見積もりには，同定した災害シナリオに対し，表 8 に示した要素を考慮して危害のひどさとその可能性（発生確率）を初めて見積もる「初期リスクの見積もり」と，手順⑤の

後に行う「リスク低減後の再見積もり」の二つがある。リスク低減方策を特定の制御機能で達成する場合，参照する機能安全規格（例えば，ISO 13849，IEC 62061[41]）が推奨する手法で別途リスクを見積もり直す必要が生じることもあるが，RA の一貫性を保つために「初期リスクの見積もり」と「リスク低減後の再見積もり」は同じ見積もり手法を用いて行うのが望ましい。

具体的な見積もり手法としては，様々なものが知られている。代表的な手法の概要と比較を表 9 に示す。Chinniah らは，2000 年後半を中心に産業界で用いられていた又は文献等で提案されていた 108 種のリスク見積もり手法を調査し，そのうち，マトリックス法が 53.7%を占め，数値採点法（14.8%）やリスクグラフ（10.2%）よりも広く使われていることを報告している [42]。例えば，経済産業省が消費生活用製品向けに紹介している R-Map [43] は 2 次元マトリクス法である。ただし，表 9 に示すように，各手法には各々一長一短があり，それを補うようハイブリッド法もあり，現時点で特定の手法が標準として確立されてはいない。表 8 に示す考慮すべき要素が ISO 12100 で「原則」として記されているのみである。

危害のひどさは，その基準として，傷害／健康障害の程度を計る基準として，労働基準法施行規則や自動車損害賠償保障法施行令で定められた後遺障害等級を利用する場合もあるが，ISO/TR 14121-2 で例示されているリスクグラフ法のように「重篤」と「軽症」の二つに分別する場合もある。また，手順②で必ずしも一つの危険源に一つの危害を対応させず，ひどさの異なる危険事象の結果を複数想定しておき，最も高いレベルのリスクが見積もられる場合を危険源に割り当てるのが望ましいとされる。これは，重篤な危害（例えば，死亡や永久傷害）が想定される災害シナリオは往々にして発生確率が低く，これに対し，軽症であっても発生確率の高い方が高いリスクレベルとなる場合があるためであるが，一般的には，危害の発生確率よりもひどさが重視される傾向にある。

一方，危害の発生確率は，可能な限り過去の災害統計や不具合情報，FMEA の結果等を利用して定量的に定めるのが望ましいとされるが，表 8 の要素を勘案して，定性的かつ主観的に査定される場合もある。

用いる手法によらず，手順③で問題となるのは，危害のひどさや発生確率を過小評価することである。ただし，RA の普及が始まった当時と異なり，近年では ISO/TR 14121-2 や機能安全を扱う B 規格，個別機械の C 規格での例示も増えてきており，また，厚生労働省のリスクアセスメント等関連資料の web サイト [36] にあるマニュアルや事例集などを参考にすることもできる。例として，機械系と制御系どちらのリスク見積もりにも利用できるよう工夫された手法のリスク評価基準 [37] を表 10 に示す。これらの情報に基づき，一般的に指向されているリスクレベルの設定，ならびに，対象とする危害のひどさや発生確率に対する割り当てを知ることが可能になっている。

一方で，「リスク低減後の再見積もり」に関して，講じたリスク低減方策の種類と低減されるリスク要素との関係を知らずに RA を実施すると，低減後のリスクの見積もりに妥当性を欠く結果となるおそれがあり注意が必要である。例えば，「可動部との衝突」において被る危害のひどさは危険源である「可動部のもつエネルギ」に依存する。このため，可動部の作動範囲に人が進入したことを検出して可動部を衝突する前に停止させる制御機能をリスク低減方策（安全防護）として採用した場合，衝突の発生確率は低下できるが，仮に衝突が起こった場合，可動部のもつエネルギを低下してはいないので，被る危害のひどさの低減は必ずしも見込めない。このような検討なしに，方策の効果を過大に評価して低減後のリスクレベルを低く見積もれば，リスク低減が不足する結果となりかねない。

必須実施事項：手順③で用いられる手法は様々なものがあるが，いずれの手法においても，表 8 に示した考慮すべき要素がすべて見積もりに反映されている必要がある。これには，手順②で危険源・危険状態・危険事象を適切に認識し，各要素の内容が明確になるようにしておくことが重要である。そして，これらの要素から危害のひどさや発生確率を一貫した手法で見積もるが，その際，リスクの過小評価及びリスク低減方策の過大評価は避けられなければならない。これは，用いた見積もり手法や設定した評価基準にかかわらず起こり得ることで，知識や経験の少ない設計技術者には注意が必要と考えられる。

支援の内容：リスクの過小評価を避ける支援としては，前述したように，各種見積もり手法に関して既に規格・ガイドライン等で説明や例示が十分にあることを利用し，これらを整理して適切に提示することが考えられる。これにより，一般的に指向されているリスクレベルの設定及び対象とする危害のひどさや発生確率に対する割り当てを参考にして，設計技術者が適切に検討できるようになる。前項で述べた「予見可能な誤使用」の側面のうち，アクセス頻度を過小に見積もる可能性についても，これらの説明や例示の中に含めることで低下させることが可能である。

ただし，講じたリスク低減方策の種類と低減

されるリスク要素との関係は，例えば，協働ロボットの制御による力の制限[46]といった比較的新しい技術に基づく方策を含め，明確に整理を示しておくことが必要であると考えられる。この点については，後述する設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明などをまとめた提供資料（設計段階 RA ガイドブック，第 3.9 節参照）で考慮する。

3.3.5 手順④：リスク評価

手順③までの結果に基づき，リスク低減方策実施の必要性（不足）を判断するのが手順④である。ここでも，初回の評価よりむしろ，リスク低減を図った後の評価が重要であり，採用する方策が新たな危険源を生じていないこと，ならびに，他のリスクを増大させていないことを確認し，これらを踏まえて残留リスクの許容可否を判断する。例えば，表 10 に示したリスク評価基準の例では，リスクインデックスが 2 以上となる場合には何らかの措置が必要と定めている[37]。

ISO 12100 では，適切なリスク低減の達成を推定する方法として，手順②及び手順⑤の内容の適切さに関する設問（ISO 12100 の 5.6.2）及び可能であれば同種の機械とのリスク比較（同 5.6.3）に対して肯定的な回答が得られることが必要であるとしている。設問のうち，特に手順②に関連するものは次の 3 問である。

- すべての運転条件及びすべての介入手順を考慮しているか
- リスク低減方策によってもたらされる新たな危険源に対応しているか
- 専門／工業分野の使用のために設計された機械が非専門／非工業分野で使用されるとき，それから生じる結果について十分に配慮しているか

労働安全分野においては，3 番目の問いは「専門／工業分野の使用のために設計された機械」を「有資格者／熟練者を想定して設計された機械」と読み替えるべきと言えるが，総じて，これらは危険源及び災害シナリオの同定の網羅性を問う設問と解釈できる。本研究が，手順②で網羅的な結果が得られるとされるボトムアップアプローチを指向した理由には，これらに肯定的な回答を示し易くなると考えたからでもある。

一方，手順⑤に関連する設問として「危険源の除去又は実行可能な最も低いレベルまでのリスク低減を行っているか」がある。しかし，技術的仕様や使用条件が類似した他の機械類とリスク比較ができない場合には，選定・適用したリスク低減方策が合理的に実施可能な範囲で十分なものであるのか，知識や経験の限られた設計技術者が判断することは必ずしも容易ではないと言える。

必須実施事項：手順④では，手順⑤で選定・適用するリスク低減方策が関連規格や技術基準に適合していること，これによって目標と設定したレベルまでリスクが低減されたか確認することはもとより，RA の範囲として検討した危険源や災害シナリオの網羅性も評価する必要がある。ISO 12100 の危険源リストは，全ての危険源を網羅したものではなく，あくまでも例示に過ぎないとの注意喚起が明記されており，設計技術者が手順②で危険源を同定する際の有力なガイドではあるが，その網羅性を担保する指標にはなり得ない。

支援の内容：知識や経験の限られた設計技術者が「危険源同定の網羅性」及び「適切なリスク低減の達成」を自ら判断することは容易ではなく，明らかに何らかの支援が必要である。

そこで，本研究では，既に RA 実施が法制化されている EU での考え方等を参考に，機械安全規格の活用に着目する。具体的には，「危険源同定の網羅性」については本項目 1 で開発する設計段階 RA 支援システムの開発方針の一部として第 3.6 節で述べ，また，「適切なリスク低減の達成」については手順⑤の支援の内容と併せて第 3.4 節で詳述する。

3.3.6 手順⑤：リスク低減

ISO 12100 により，設計段階で講じるリスク低減方策は次の三つに大別され，Step 1 → 3 の優先順で適用を検討することが規定されている。

Step 1 “本質的安全設計方策”：機械自体又は人との相互作用（使用方法）に関する機械の設計を工夫すること，適切な技術を選択することで危険源を除去又はそのリスクを低減する。

Step 2 “安全防護”：Step1 で除去又は低減できないリスクに対し，ガード又は保護装置を用いてリスクを低減する。リスク低減が不足する場合には付加保護方策を追加する。

Step 3 “使用上の情報”：機械の制限事項等を見直すなど，さらなるリスクの低減を検討した上で，Step1 及び 2 の適用の限界を残留リスクとして使用者に通知し，警告する。

この順序は 3 step method と呼ばれ，図 7 に示した危険源から危害に至る過程に基づいてその正当性が説明できる。

各 Step に該当する方策の内容，設計原則や留意すべき事項，ならびに，適用の基本的な考え方などについては，ISO 12100 に要求事項として規定されている他，これらを詳述したガイドや解

説書なども多く公表・発行されている[47]。また，Step 2 で保護装置及びこれに関連する制御機能をリスク低減に適用する場合，機能安全の知識が求められるが，「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針」を踏まえ，2019 年には「設計技術者に対する機械安全教育実施要領」の中に ISO 13849-1 など機能安全規格の内容が盛り込まれた[48]。これらの情報に基づいて，設計技術者が 3 step method に従い，対象とする機械に適したリスク低減方策を立案・発想できる環境が整いつつある。

手順⑤は手順②と密接に関連している。まず，Step 1 では，どのような設計上の工夫で危険源を除去できるか問題となる可能性があるが，この場合には，危険源として同定した物質や物理状態を無くす又は判断の基準としたレベルにまで低減する（例えば，運動エネルギや温度上昇の低減）ことで達成される。また，Step 2 でガードを適用する場合では，手順②でアクセスの可能性を機械の開口部や領域の形状や寸法といった技術的視点から判断するようにしていれば，これに基づいて適切な隔離方法を検討できる。このように，手順②で危険源を適切に同定できるようにする支援を検討することが，手順⑤を実行する上での支援にもつながる。

必須実施事項：危険源を除去する又はリスクを決定付ける危害のひどさ若しくは発生確率を，3 step method に準拠して低減する。これには，参考となる資料などが利用可能であり，また，手順②の実施を支援することが，手順⑤の適切な実施にもつながる。ただし，「適切なリスク低減を達成した」とするためには，関連する規格の要求事項などを踏まえた上で，設計する機械の使用性に影響を与えない適用方法を発想する必要がある。

支援の内容：ISO 12100 では，特定の危険源に対して，一律に，適用すべき方策を定めてはおらず，また，「適切なリスク低減の達成」を判断する基準も明確に示されてはいない。あくまでもリスク低減方策の妥当性は，設計する機械の意図する使用や動作特性に照らし，機械の使用性との関連で評価される。

そこで本研究では，既に RA 実施が法制化されている EU での対処を考察し，これより「適切なリスク低減の達成」を判断する際に指標となる水準を取りまめることとした。詳細については第 3.4 節で述べる。

3.3.7 手順⑥：文書化

手順⑥では，機械の設計の正当性の根拠とするために，事前に収集した情報，手順①で指定した情報，ならびに，手順②～⑤で実施した内容と達成した結果をまとめて文書化する。

手順①～⑤の結果を示す様式としては，2007 年に発行された ISO/TR 14121-2 第一版の付属書 B に掲載された例が広く知られるようになり，以降，個別機械の標準報告書（TR），工業会や技術団体のガイドラインなどで様々な形式のものが示されている。放電加工機を対象にした JIS TR B 0035 を例に，想定される作業者及び予見可能な誤使用を含む RA で対象としたライフサイクルとタスクの一覧を表 11 に，手順②～手順⑤の結果をまとめた例を表 12 にそれぞれ示す。表 12 では，危険源に対する初期リスクの見積もり結果に対し，講じたリスク低減方策がどう作用したか，低減後のリスクの見積もり結果に加えて備考に説明を記載するようになっている。また，採用したリスク低減方策が制御機能である場合，その実行に関係する制御システム部分のカテゴリ（Cat.）及びパフォーマンスレベル（PL）[39] が併記される。なお，この例では，危険区域，危険源，危険状態，危険事象が個別に記載されている点は ISO/TR 14121-2 の例に倣ったもので，これらを特に区別せず災害シナリオを文章で記述する様式もある[37]。また，介護ロボット分野では，ロボットの種類ごとに RA 表のひな形が公表されており，開発メーカが利用できる。例として，パワーアシストスーツを対象としたひな形を表 13～15 に示す[29]。危険源の同定結果と初期リスクの見積もり結果を記載する様式と達成されるリスク低減方策を記載する様式とが別になって点は ISO/TR 14121-2 の例に倣ったもので，開発設計の進展に合わせて行われる変更を反映し易くする配慮と推察される。

必須実施事項：機械に関する危険性等の通知（労働安全衛生規則第24条の13）に対するメーカの対応方法を解説した“機械ユーザへの機械危険情報の提供に関するガイドライン[35]”では，危険情報は機械の設計段階で実施した RA の内容に基づいて作成されるとし，RA の結果が表16の様式でまとめられるという前提で，危険情報作成に必要となる情報として次に関わるものを掲げている。

- 機械を使用する目的と用途，ライフサイクル，作業内容。
- 危険箇所，（危害の種類として）危険源又は災害シナリオ，危害の対象者。
- 初期リスクの見積もり結果のうち，危害のひどさの評価。
- 残留リスク。
- リスク低減方策のうち，使用上の情報及び

ユーザに実施させる方策。

手順⑥においては，少なくとも以上の項目が明確に示されるよう，RA 各手順での検討内容を明文化しておくことが必須実施事項と言える。

支援の内容：RA 結果に関わる文書情報は一般的にはユーザに公開される前提で作成されるものでない[2, 24]が，実施した RA 及び機械の設計の正当性の根拠として，可能な限りすべての内容が詳細に明文化されるのが望ましい。また，開発設計の進展に応じて表 5 に示したタイミングで反復的に行われる RA に合わせた変更管理も必要である。ただし，メーカにとって大きな負担になると考えられる「文章化」であるが，この点については，第 3.5 節で詳述するように，既存の RA 支援ツールにおいて十分に検討されており，すでに様々な機能が実現されている。

3.3.8 本節のまとめ

本節では，国際的に標準化された RA の手順に従い，各手順で実施されるべき必須の要点と必要と考えられる支援の内容を検討した。RA のいずれの手順においても，要点を欠いた実施では最終的な目標である「適切なリスク低減の達成」は確認できない。しかし，本節での考察をまとめると，以下の理由から，手順②：危険源の同定が，RA において最も重要，かつ，最も支援が必要と考えられる手順であると言える。

- 手順②は，設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで，初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討される。
- 手順②では，遂行されるタスク，オペレータ及び関連する人の特性，加工対象や使用環境など種々の条件を考慮しつつ，機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなく予期せず出現するものも含めた危険源，ならびに，それらが影響する区域への人のアクセスの可能性（意図しない合理的に予見可能なものを含む）を体系的に検討し，災害シナリオを網羅的に発想することが設計技術者に要求され，個人の知識と経験に最も依存する場面と言える。
- 手順④で評価される同定した危険源や災害シナリオの網羅性は，手順②で担保できるよう支援するのが適切である。
- 手順②で危険源を的確に同定できるよう支援を検討することが，手順⑤でリスク低減方策を立案する際の支援ともなる。

以上のことから，本研究の項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは，「危険源の同定」の支援に焦点を当てることとする。この方針の下で具体的な危険源同定支援のアプローチを第 3.6 節で提案し，これらを統合する形で策定した支援システムの開発コンセプトを第 3.7.1 項で述べる。

3.4 達成すべきリスク低減水準の指標の検討

第 3.3.5 項で，知識や経験の限られた設計技術者が「危険源同定の網羅性」及び「適切なリスク低減の達成」を自ら判断することは容易ではなく，何らかの支援が必要であると述べた。このうち後者について本節で検討する。

ISO 12100 では，特定の危険源に対して適用すべき方策を規定してはおらず，また，「適切なリスク低減の達成」を判断する基準も明確に示してはいない。あくまでもリスク低減方策の妥当性は，設計する機械の意図する使用や動作特性に照らし，機械の使用性との関連で評価することとされている。現実にも，あらゆる機械に対して，一律に，また定量的にリスク低減水準を示すことは困難である。

このため，RA の結果から導いた判断や講じた方策が，実施担当者の主観に大きく依存し，その妥当性については必ずしも担保されない問題が指摘される。これに関し，既に研究代表者らは，RA を実質的に法制化し，工学的方策を中心とする機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州 4 ヵ国（UK，ドイツ，フランス，スイス）を対象にヒアリング等による調査を行った[49]。そして，得られた知見の一つとして，各種個別機械の安全性を扱った産業規格が RA 及びリスク低減の妥当性を評価する際の拠り所として重要な役割を担っていることを報告した。

欧州連合（EU）では，域内での製品の自由な流通を実現する法的枠組みとして CE マーキングという社会制度が確立しており，製造業者又は輸入者は適用される欧州指令（Directive）の関連要求事項に製品が適合していることを自らの責任で担保･確認し，所定のマーク（CE マーク）の貼付をもってこれを表明すること（CE マーキング）が義務付けられている。その中で，産業用機械設備については，少なくとも機械指令が必ず適用され，その附属書 I に定められている「機械の設計と製造に係る必須健康安全要求事項」（：Essential health and safety requirements. 以下，EHSRs という。）に適合していければならない。附属書 I では，設計段階で対処すべき各種の危険性を要求事項として示すとともに，該当する要求事項を決定するために，また，最終的に指令への適合を評価するプロセスの一環として，製品に関連するすべての危険源を考慮した RA を

実施することも規定しており，製品の設計・製造段階でリスクを許容可能なレベルに低減することを実質的に義務付けている[50]。

この機械指令に関し，欧州委員会はメーカに向けた適用ガイド[51]を発行しており，その中で，対象の機械設備に対して詳細な安全要求事項を規定した C 規格が機械指令整合規格として策定されている場合には，C 規格の活用によって機械指令への適合評価が容易になる（後述するように，これには適切な RA の実施も含まれる。）と述べている。EU のメーカには，製品の機械指令の要求事項への適合を自社で検討するのではなく，認定された通知機関（:Notified Body）など第三者機関を関与させる場合も多いが，その場合でも基本的に C 規格の安全要求事項を基準に審査が行われる。

C 規格の活用によって機械指令への適合評価が容易になる理由は，ISO/IEC Guide 51 及び CEN Guide 414 にある C 規格策定に関するルールにある。すなわち，C 規格は，その策定の過程において，適用範囲とする機械に一般的に見られる典型的な危険源や重篤な危害に至る事が認識されている危険源などを，各国から任命された規格作成者らが，自身の知識と経験に照らして，リスクを低減するために所定の行動を必要とする重要な危険源（以下，重要危険源という。）として同定すること，そして，それら重要危険源に対する規格策定時の時点で合理的に実施可能な技術的方策を要求事項としてまとめることの二つが規定されているのである。規格作成者には，対象機械の工業会やメーカなどに加え，各国で労働基準監督に携わる組織からも代表者が任命されている場合が多く，また，国内で JIS が制定される際には，これらに加え，当該機械のユーザも審議に参画する。

以上のことから，C 規格に規定された安全要求事項に適合することが，RA 実施の結果としてメーカが達成すべきリスク低減の水準を示していると言える。ただし，現在発行されている ISO／IEC／JIS 規格から上記の目的に沿う C 規格を一覧にした資料はない。そこで，本研究では，ISO や IEC の国際標準化に参画している工業会等の活動などを参考に，上記の目的に沿う C 規格を抽出することとした。得られた結果として，JIS と ISO より抽出した C 規格をそれぞれ表 17，18 に示す。規格の適用範囲に示された機械類においては，設計段階で実施する RA の結果として，該当する C 規格の安全要求事項に適合することで，「適切なリスク低減の達成」を判断・主張する十分な根拠とできる。

しかし，抽出された規格は総数で約 200 件に留まっている。すなわち，実際に使用されている機械・設備の多くは，C 規格が制定されていない。このため，設計技術者は，RA の手順⑤：リスク低減において，独自に方策を検討し，上位の A／B 規格[8]，広く一般に周知されている安全に係る基準，独自に取得した工学データなどに基づいて，その妥当性を検証し，「適切なリスク低減の達成」を自ら判断する必要がある。例えば，Step 2：安全防護で，保護装置の適用を選択した場合，これがリスク低減に適切に寄与するには，保護装置の設置位置や停止機能作動後のリセット操作などの側面に関し，関連する B 規格の要求事項を踏まえた上で，設計する機械の使用性に影響を与えない適用方法を考案（発想）する必要がある。第 3.3.6 項で述べたように，現在，参考となる資料が多数公開されている状況にはあるが，設計技術者のもつ知識と経験に大きく依存する場面と言える。

そこで，本研究では，危険源を的確に同定できるようにする支援の検討が適切なリスク低減方策を立案する際の支援にもつながることに基づき，開発する危険源同定支援システムの中で，特に C 規格が制定されていない機械設備を対象とする場合に，「適切なリスク低減の達成」を判断する上で最も有効な情報として，A／B 規格の安全要求事項に着目する。そして，これらから抽出される危険源及び危険区域の情報を設計技術者に提示することを提案する。具体的な方法については，第 3.6 節及び第 3.7.1 項に詳述する。

一方，機械の使用段階で実施する RA において，「適切なリスク低減の達成」を判断・主張する指標としては，設計段階と同様に，C 規格に規定された安全要求事項がまず挙げられる。さらに，これに加えて，厚生労働省など関係省庁及び各種機械の工業会などが既に公表している機械設備の使用・管理・検査に係るガイドライン等が大いに参考にできる。これらの情報を具体的に活用する方策として，項目 3 で開発する使用段階 RA 支援システムでは，第 5.3 節に述べるように，選択した機械機種ごとに技術的及び管理的保護方策を適切に案内し，利用者が確認できるようにする機能を備えた。例として，フォークリフトを対象にした技術的方策と管理的方策のリストを表 32, 33 に，移動式クレーンに対する方策を表 35, 36 にそれぞれ示す。典型的な災害に関してこれらの措置が各種機械設備に講じられていれば，使用段階 RA の結果としては必要な水準には到達していると見做せ，ユーザ事業場での「適切なリスク低減の達成」を判断・主張する上で十分な根拠にできると言える。

3.5 既存 RA 支援ツールの調査

3.5.1 調査の方法と対象

2016 年，労働安全衛生法が改正され，SDS 交付義務の対象となる薬品・物質類に対して事業場におけるリスクアセスメントが義務付けられることとなった[52]。その実施（主としてリスクの見積もり）を支援するため，厚生労働省では支援ツールを作成し，国内外の研究機関等が開発したツール等と併せて公表している[53]。

設計段階の RA に関しても，その作業負荷を軽減することを目的としたツールやソフトウェアが国内外で既に公表・市販されている。そこで，本研究では，国内，欧州，北米を対象に既存の RA 支援ツールの実態を調査し，デモ版やマニュアル等から可能な範囲で実装されている機能などを把握することとした。

調査対象とした RA 支援ツールの概要及び参照先を表 19 に示す。これらについて，デモ版やマニュアルなど公開されている範囲で予備的調査を行った結果，特に内容が充実していると考えられる RA 支援ツールとして，① 安全革命，④ Safexpert 8.6，⑨ Designsafe 8 の 3 製品を詳細調査の対象と選定し，主に，実装されている機能，内包されている技術資料等の情報，支援対象として想定されている設計技術者（以下，利用者という）に求められるレベルの 3 点に着目して，その内容を調べた。

以下では，その結果を順に示した後，得られた知見から既存 RA 支援ツール全般の課題について考察する。

3.5.2 “安全革命”

本ツールは，「知の拠点あいち重点研究プロジェクト（II 期） “次世代ロボット社会形成技術開発プロジェクト”[54]」において開発された製品で，主に機械を新規に設計する段階や複数の構成要素を組み合わせて統合生産システムとして構築する段階での RA の効率化・省力化を目的としたツールである。動作中の画面の例として，図 9(a)に危険源同定の場合を，同(b)にリスク分析の場合をそれぞれ示す。本ツールで行われる RA は，ISO 12100 の標準的手順のうち，“制限事項の指定”を除いた部分にあたる。その順に従い，特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

1） 本ツールでは，はじめに，RA の対象とする機械・設備から危険と思われる区域や作業を特定し，該当する構成要素を図 9(a)に示すように登録する。次いで，各構成要素に関連すると考えられる危険源を，ISO 12100 の表 B.1 の危険源（Origin）が列記された一覧から設定し，図 9(b)に示すマトリクス表を作成する。ただし，登録・設定される構成要素，危険区域や作業はすべて利用者に委ねられる。操作ガイドに構成要素を適切に登録できるようにするための助言はあるものの，RA の経験が限られた利用者にとって必ずしも容易とは言えない。

2） 危険源を登録する際，リスク見積もりの要／不要及び人が関わるライフサイクルの局面を併せて指定する。これらにより，危険源・構成要素とライフサイクルの局面が組み合わされて分析評価表が自動で作成される。RA の検討漏れを防止するために有効な機能と言える。また，過去の RA のデータがあれば，これまでリスク見積りが必要と判断した頻度の高い組み合わせを自動的に指摘する機能も有しており，自社の判断の経験を反映させることが可能である。

3） 分析評価表において，対象者，危害を被る人体部位，想定される危害を入力するが，その際，準備されたプルダウンリストから該当するものを選択する方法で入力することも可能である。リストにない内容は直接入力するが，自動的にプルダウンリストに登録され，以降は選択肢となるよう配慮されている。

4） 以上で登録した「危険源」，「構成要素」，「ライフサイクル」，「想定危害」の内容を基にして，災害シナリオの案となる文章を自動作成する機能を有しており，文書化作業の負担軽減に大きく貢献している。

5） また，厚生労働省の死亡災害データベース[15]及び労働災害（死亡・休業 4 日以上）データベース[16]から抽出された災害事例の文章データが装備されており，これを用いて，災害シナリオ及び考案したリスク低減方策を記入する際，特定の単語をキーワードに検索すれば，キーワードを含んだ文章の一覧が表示される。

6） 日本産業標準調査会のホームページにある JIS 規格に使用されている単語から JIS を検索機能[55]と連動させることが可能で，特定の単語から JIS 規格の検索，閲覧がツールを動作させながら実行できる。インターネット環境が許せば，ツールを実行している PC 上で任意のブラウザを起動させて規格を参照することは可能であるが，これに慣れていない利用者にとって規格参照を促す効果が期待される。

7） リスクは，危害のひどさ（3 段階），暴露頻度（2 段階），危険事象の発生確率（3 段階），回避／制限の可能性（2 段階）の 4 要素の値を基に自動的に見積もられる。4 要素の統合には独自の見積もり方法が採用されている。ま

た，各要素の段階の基準は，必要に応じて利用者が変更可能であるが，標準で ISO/TR 14121-2 の内容が引用されており，参考にできる。

8）リスク低減方策のうち，安全防護物については一覧が用意されている。ただし，基本的に JIS 規格に基づいた用語（例えば，ライトカーテン タイプ 4）が用いられており，利用者には一定の機械安全の知識が要求されると考えられる。

9）方策実施後のリスク再見積もりが行われていない又は残留レベルが 3 以上を示した危険源について，一覧で表示する機能を有する。分析評価表の自動作成機能とあわせ，検討漏れの防止に利用できる。

以上のように，本ツールは，特に文書化作業の負担を軽減する機能が多く実装されているが，総じて，RA に対して一定の知識や経験をもった設計技術者に向けたものと言える。特に，初めに行う構成要素や危険区域の登録設定については，自社に過去に行った RA のデータがある場合は一部利用可能ではあるが，利用者のスキルに依るところが大きいと考えられる。本ツールで危険源同定に採用されているマトリクス表を用いた手法は，厚生労働省から公開されている機能安全活用実践マニュアル －ロボットシステム編－[56] で紹介されている手法と同様のものである。このため，本ツールの利用者としては，少なくとも「設計技術者に対する機械安全教育カリキュラム」及び「機能安全教育カリキュラム」に準拠した教育を履修している者が想定されているものと推察される。

3.5.3 “Safexpert 8.6”

本ツールは，機械や電気装置の設計段階での RA，ならびに，欧州機械指令や低電圧指令等に対する適合性評価・CE マーキングの支援を目的とした製品で，その品質が第三者認証機関の認証を受けたツールである。CE マーキングに必要とされる技術文書（Technical construction file）の編纂や管理，自己宣言書の作成といった作業までカバーされており，これらに関連する多様な支援機能が実装されている。ただし，すべての機能を利用するには，ツール本体に加え，主要な ISO 規格をまとめたモジュールなど付随ソフトウェアを用意する必要がある。このため，本研究の範囲では，製品シリーズの中で最も標準的とされる “Safexpert 8.6 Machinery Directive COMPACT”について，それ単体を対象として特に RA に関連する機能を中心に調査した。本ツールの特徴をまとめると以下のとおりである。

1）本ツールで行う RA では，まず，対象とする機械に関連する ISO／IEC／EN 規格（A 規格，B 規格及び制定されていれば C 規格）を登録する。登録した規格から一つを選択すると，規定されている要求事項が箇条順に表示されるとともに，それに該当する ISO 12100 の表 B.1 及び表 B.4 にある危険源（Potential consequences）及び危険事象がリストアップされて一覧が生成される。本ツールを使用する設計技術者は，表示された項目をガイドに該当する危険源・危険事象を同定していくことになる。その際，選択した規格以外の関連規格に同定した危険源等に該当する規定がある場合には，参考情報（Cross reference）として提示される。ただし，具体的な箇条番号など詳細な情報が提示される場合は機械指令や ISO 12100 など一部に限られており，設計技術者が危険源等を容易にイメージできるようにする支援機能とまでは必ずしも言えない。

2）次に，同定した危険源等に対し，危険区域及びライフサイクルの局面を指定していく。これらは，一度入力すれば登録され，以降はプルダウンリストから選択できるようになり，文書化作業の効率化が図られている。

3）危険区域及びライフサイクルの局面を指定した危険源等に対し，個別に詳細な説明とリスク低減方策を記入していく。一度入力した記載内容はテンプレートとして登録でき，他の危険源に対しても繰り返し使用できるが，災害事例に基づいた例文などは用意されていない。

4）リスク低減方策に対しては，その実施や妥当性確認などのタスクを割り当て，担当者を指定することが可能である。

5）また，方策に関連する規格を参照先として入力しておくと，製造元が所有する規格の制改定データベースとリンクし，当該規格の改正や廃止（これに伴う見直しの必要性）が起動時に表示される。

6）リスク低減方策を立案するのに合わせ，初期リスクと方策実施後のリスクを見積もる。ISO 12100 の手順とは異なるが，存在を認識した危険源について何らかの方策を講じることは自明であるので，RA の合理的な簡略化と解せる。見積もりの手法は，危害のひどさ（4 段階），暴露の頻度（2 段階），回避又は制限の可能性（2 段階）を要素とするリスクグラフに，危険事象の発生確率（3 段階）をマトリクスとして組み合わせるハイブリッ

ド法となっている。

7）リスク低減方策を安全機能とした場合には，要求される安全性能（安全性能基準は PL，SIL，Category から選択）を定めるためのリスク評価の実施や関連するコンポーネントの記載が要求され，別途，そのための作業枠が表示される。また，警告表示とした場合には，ISO 7010 [57] が規定する安全標識のリストが内包されており，引用することができる。

8）方策実施後のリスクが意図するレベルにあれば，危険源に対するリスク評価を完了する。最終的な確認段階では，評価完了の処理が済んでいない危険源が自動判別され，一覧として表示される。また，評価完了としたものについて改めて修正を加える際には，注意を促す警告表示が現れ，無用な編集が防止されるよう配慮されている。

9）RA 結果全体を一覧する際，危険源の順に表示する以外に，危険区域ごと又はライフサイクルの局面ごとに各項目を並べ替えて表示させることも可能である。また，初めに選択した規格（Cross referance）を変更すると，その規格に該当する危険源のみが抜粋される機能もある。

以上のように，本ツールでは，機械に関連する EN 規格を手掛かりに危険源同定を行う点に特徴があり，対象とする機械の個別安全規格が制定されている場合には，その危険源リストや規定された要求事項を参照しながら RA を実施していくことになるため，設計技術者の負担が大きく軽減されると推察される。しかし，個別安全規格が制定されていない機械に対しては，結局，ISO 12100 の危険源リストに基づいて同定を行うこととなり，知識や経験の少ない設計技術者が網羅的な同定を達成できるとは必ずしも言えない。また，規格を参照しながら RA を進めてはいけるが，各項目に記入していく際に文章例などガイドとなる情報は提示されず，ここでも一定の RA のスキルが要求されると言える。なお，本ツールの使用に際しては，製造者による講習セミナやトレーニングコースが用意されている。

3.5.4 “Designsafe 8”

本ツールは，単体の機械製品又は複数の構成要素から成る梱包システムや統合生産システムに対する設計段階での RA の負荷軽減を目的としたツールである。行われる RA は基本的に ISO 12100 の標準的手順に従ったものであるが，「危険源の同定」，「リスクの見積り」及び「リスク低減」に焦点が当てられている。特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

1）「危険源の同定」では，その手法として，まず，機械に係る人の属性（例えば，オペレータ，保全員）とそれぞれが行う作業を選択し，次いで，各人が行う作業の中で危険源を想定していく Task-based approach が用意されており，その使用が推奨されている。個々の人・作業ごとに起こり得る危険を想定することで，網羅的な同定が可能になるとされている。

2）また，このときに選択肢として提示される人，作業，危険源の項目について，各種機械（例えば，産業用ロボット，梱包機械，半導体製造装置）に応じて人や作業の名称などがカスタマイズされたセットを指摘でき，利用者に対し適切なガイドとなるよう配慮されている。ただし，提示される危険源の項目は，基本的に ISO 12100 の表 B.1 の危険源（Potential consequences）に基づくもので，網羅的な同定が行えるかは本ツールを使用する設計技術者のスキルに左右されると考えられる。また，Origin は，Cause／Failure mode とされている欄に危険事象とともに災害シナリオの一部として記載することとなっているが，災害事例に基づいた例文などは用意されていない。

3）リスク見積り手法は，リスクグラフ法やマトリクス法など，ANSI，MIL，SEMI といった各種規格にある 18 種類の手法が用意されている。RA の対象としている機械にした手法，例えば，特定の業界で一般的に使用される手法があれば大変有効である。しかし，一定の手法が知られていない場合には，むしろ選択に迷うことも考えられ，また，割り当てられたリスクスコアなどを独自に変更することも可能であるが，適切に利用するには一定の RA の知識と経験が必要と言える。

4）また，リスク見積もりに必要な要素として，暴露の頻度は作業（Task）から，危険源の Origin 及び危険事象の発生確率は Cause／Failure mode に記入した災害シナリオからそれぞれ読み取ることになる。このため，一定の判断基準での一貫した見積もりが行われるかは使用する設計技術者に依ると考えられる。

5）リスク低減方策として安全機能を適用する場合，代表的な安全機能の一覧がガイドとして提示され，安全要求仕様の指定において機能の説明を記述する際に利用できる。また，要求安全性能を決定するリスク見積もりには，ISO 13849-1 のリスクグラフを含む 3 種類が用意されており選択可能である。

6）以上で作成したRA結果は，危険源ごとやタスクごとなど任意の項目を基に容易に並べ替えられる。また，RA 結果の出力形式も，すべてを一覧で示した形式の他，危険源のみを抽出したもの，作業ハザード分析（Job Hazard Analysis [58]）の様式に基づいたものなど18種類から選択することができる。

7）欧州指令，RA を解説した書籍の抜粋などが予め内包されており適宜参考にできるが，規格については概要の説明があるのみで，本ツール上から本文を参照できる機能は特に備えられていない。

8）予め，産業用ロボットシステムや自動梱包システムなどを例にRA結果を示した5種類のサンプルが内包されており，利用を開始する際に大きな助けとなっている。また，各種操作を説明するヘルプ機能は，文章で備えられているのに加え，動画での説明も備えられており，各欄に記入する際の留意点や文書化作業を効率化するコツなどが視覚的に理解できるよう工夫がされている。

以上のように，本ツールでは，文書化作業の負担軽減に加え，各種機械ごとに関連する人，作業，危険源の項目が用意されているなど，RA を行う設計技術者のガイドとなるような配慮が一部になされており，また，危険源の同定については Task-based approach が採用されている。しかし，提示される危険源の項目は ISO 12100 の危険源リストに基づくもので，Origin についてプルダウンリストなども用意されておらず，本ツールの利用者としては，一定程度 RA の知識を有する者が想定されていると推察される。なお，本ツールの使用に際しては，製造者による RA に関する講習が用意されている。

3.5.5 厚生労働省“リスクアセスメント実施支援システム”

本ツールは，ユーザが自社で使用する機械に対して実施する RA を支援する目的で厚生労働省が公表 [59] しているものであるが，比較のために取り上げる。製品組み立て作業，食品加工作業，鋳物製造業，自動車整備業など30種類の業種・作業ごとに，「危険性又は有害性と発生のおそれのある災害」の特定から「残留リスクと対応事例」までを扱ったもので，RA の各段階を追って検討結果を用意された表の各欄に入力していく方式で RA を進め，最終的に RA 実施一覧表が作成される。成形作業を対象にした一覧表の作成手順のうち，「危険性又は有害性と発生のおそれのある災害」と「すでに実施している災害防止対策とリスクの見積もり」の欄への入力を，操作方法説明資料から抜粋して図10に示す。これをもとに，本ツールの特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

1）表の各欄に検討結果を入力する際（図10(a)では「危険性又は有害性と発生のおそれのある災害」の入力）に，入力する必要がある事項の例が表示されるので，該当する場合にはそれを選択することで，また，独自の内容を入力する場合には例を参考にすることで表の作成が容易に行えるよう配慮されている。ただし，例示の数は少数に限られており，このため，危険源と危険状態の洗い出しが網羅的に実施できるは利用者のスキルに左右されると考えられる。

2）図 10 に示した例ではリスクの見積もりにマトリクス法が用いられているが，鋳物製造業や食品加工作業などの一部の作業については数値化法を用いる場合にも対応している。

3）図10(b)に示す「実施している災害防止対策」の欄において，例示されている措置（図ではアイボルトのねじ込み深さはネジ径の1.5倍以上にする。）を選択した場合，それらに対して（危害の）重篤度，可能性及び（リスク低減実施の）優先度が自動的に決定されるようになっており，その評価基準（×や△）の意味も解説として表示される。同様に「追加のリスク低減措置案」の欄も，例示を選べば評価が自動的に決定されるようになっており，RA の経験の少ない生産技術管理者にとって参考になると考えられる。

4）ただし，「追加のリスク低減措置案」の欄では，例示の少なさに加え，工学的方策と管理的方策との優先順が明確でなく，両者のリスク低減効果が同等に扱われている。解説の一部に方策の優先順に関する説明はあるものの，対象がユーザであることを踏まえても，リスク低減効果が高いのは工学的方策であり，極めて重要な事項であることから，管理的方策しか例示が挙げられない場合については注釈を加える工夫をするなど，明確な差別化が図られるようにすべきと言える。

以上のように，本ツールでは，知識や経験が限られた者でも利用できるよう例示などに工夫が施されており，操作方法説明資料の記載にも配慮が見られる。しかし，初めに行う選択された作業における「発生のおそれのある災害」の記入については，網羅的な洗い出しが行われるかは利用者のスキルに大きく左右されると考えられる。

3.5.6 既存 RA 支援ツールの課題

国内，欧州，北米で市販・公表されている既存

の RA 支援ツール計 10 種に対し，デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し，さらに，特に内容が充実していると考えられる 3 種を選定し，具体的な機能や内蔵されている資料を詳細に調査した。

その結果，RA の標準的手順のうち，「手順⑥：文書化」に対しては既に十分検討されており，様々な支援機能が実現されていることが分かった。RA 実施の負荷が主に文書化にあると考えられていることを示唆した結果と言える。一方，機械安全の知識や RA の経験が限られた設計技術者を支援するという観点からは，1）ISO 規格など関連する技術情報の参照機能，2）労働災害事例のキーワード検索機能，3）Task- based approach の採用，4）リスク見積もり基準の例示などの機能や工夫が確認できた。

しかし，いずれのツールにおいても，適切に使用するには一定の機械安全の知識と RA 実施の経験が求められると考えられ，実際，製造元によるトレーニングや講習が用意されている場合が多かった。特に，「手順②：危険源の同定」については，その出発点として用意されているものは，共通して，ISO 12100 の危険源リストの提示であり，対象とする機械で起こり得る危害を設計技術者が適切に想定（発想）できるよう支援する機能を有するものは見当たらなかった。

3.6 危険源同定支援のアプローチ

3.6.1 C 規格の適用による危険源同定の簡易化

RA には様々な場面に How to では表せない側面が含まれており，一定の手法や手順に従えば誰にでも行えて同様の結果が得られるというものではなく，実施者には機械安全に関する一定の知識，経験と習熟が求められる。ただし，第 3.5 節での考察の結果，「手順②：危険源の同定」が最も支援を必要する手順であることが分かった。これに対し，既存の市販 RA 支援ツールの多くは，前節で述べたように文書化作業の省力化に焦点を当てたものであり，真に「危険源の同定」が実施できるように設計技術者を支援する機能を有するものは見当たらなかった。

以上のことから，本研究では危険源同定に焦点を当てた RA 支援システムの開発を目指すこととする。そして，支援方法の基礎として，「適切なリスク低減の達成」を示す水準を検討した際と同様に，機械安全規格の活用に着目する。

前述した機械指令の適用ガイド[51]では，C 規格の活用によって機械指令への適合評価が容易になることに加え，「ISO 12100 が規定する機械の安全設計原則に従うことが EHSRs の要求に応じた RA の実施を保証する」とも述べており，設計段階 RA での C 規格の活用を推奨している。

前節で述べたように，C 規格は，その策定の過程において，適用範囲とする機械に一般的に見られる典型的な危険源や重篤な危害に至る事が認識されている危険源などを規格作成者が重要危険源として同定し，その結果を「危険源リスト」として一覧にする。

設計段階 RA では，この危険源リスト及び各危険源に対する安全要求事項の内容から，比較的容易に，検討対象となる機械の部位，動作範囲，部品，あるいは，人が関与する状況などを具体的に把握することが可能である。例として，旋盤の C 規格 ISO 23125 [60]の重要危険源リストから抜粋した機械的危険源と対応する安全要求事項を表 20 に示す。ISO 12100 にも付属書 B で危険源リストが示されているが，その内容は一般化された抽象的表現の記載に留まる。これに対して，例えば，ISO 12100 で「加速／減速」とされている項目について，ISO 23125 の要求事項の内容から，少なくとも「主軸回転の加減速の影響によるチャックの把持力の喪失」を検討すべきであることが分かる。同様に，「飛散又は放出」では「切屑，液体，加工部品」が，「重力」では「垂直軸又は傾斜軸の予期しない動き」が危険源／危険事象に該当することが読み取れる。また，表 21 は，動力プレスの C 規格 ISO 16092-1 [61]の重要危険源リスト抜粋した機械的危険源と対応する要求事項である。ここでは運動エネルギを可動要素とまとめているが，プレスのスライドが動く金型領域以外にも，電源の異常による金型の落下，高速な場合の送り装置のコイル端などが同定すべき対象となることが分かる。

ISO 12100 の危険源リストに記載された危険源と各 C 規格が扱う重要危険源については，図 11 に示す関係にあることが CEN Guide 414 で説明されている。RA で検討すべき危険源は ISO 12100 の附属書 B に（完全ではないが）十分網羅されており，これに基づいて実際の機械に関連する危険源を同定することが設計技術者への要求である。しかし，C 規格が策定されている機械においては，規格策定の過程において，適用範囲とする機械において一般的に見られる典型的な危険源や重篤な災害に至ることが認識されている危険源を規格の作成者が既に同定している。すなわち，C 規格の危険源リストは，メーカが「危険源の同定」で最低限検討しなければならない範囲を明確に示したものと言え，このため，その活用によって RA の負荷が軽減されるのである。

以上のことから，本研究では，C 規格の適用によって危険源同定が容易になることを参考に，具体的な危険源同定の支援方法として次の三つのアプローチを提案する：

案 1）すべての機械に共通して適用される A 及び B 規格を取り上げ，これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し，確実に同定すべき範囲と定めて提示する。

案 2）特定の機械に対し，国内で報告された災害事例から危険源や危険区域を抽出し，当該機械の C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで，危険源同定の有効なガイドとして提示する。

案 3）公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する ISO 12100 及び C 規格類の安全要求事項とをリンクさせ，設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から，災害が発生した機械部分や危険区域，アクセスが行われた事由，発生時の作業工程など多角的に関連情報を収集できるようにする。

以下に，各々の詳細を述べる。

3.6.2 設計原則を扱う国際機械安全規格の活用

案 1）で掲げた機械の安全設計原則を扱う基本的な規格において，安全要求事項が規定されている事項（機械の部位，動作範囲，部品，あるいは人が関与する状況）は，これまでの機械安全の歴史に照らして，機械設備一般に典型的な危険源として国際的にも広く認識されたものと見做せる。このことを図 11 と対比する形で図 12 に示す[62]。ここでは例として前述した 5 規格（ISO 12100，4413，4414，13949 及び IEC 60204-1）を示しているが，これら A／B 規格の安全要求事項からの抽出では，ISO 12100 の付属書 B に掲げられた危険源のすべてを網羅はできない。しかし，抽象的表現の記載であった危険源を，技術的に明確な情報として設計技術者に提示することが可能になる。

表 22 は，ISO 12100 の安全要求事項から遡って抽出した危険源／危険区域である。操作位置からの死角を防ぐ要求から，持ち上げられた荷の可動区域や，人を昇降するための搬送機械の可動区域，明るさが十分でない保全のために進入する区域などが，検討すべき危険な区域と認識できるものとした。この視認性及び手動制御器は，第 3.3.3 項で述べた「予見可能な誤使用」のうち，誤操作に関わる項目でもある。また，はさまれについては，まず，寸法的な観点から，そして，力の大きさの観点から検討すべきことを示している。なお，これらについては，更に詳細な数値基準を示した参考資料の情報を加えることも考えられ，該当する項目に記載している。

なお，すでに C 規格が制定されている機械設備については，規格の重要危険源リスト及び安全要求事項を優先的に参照すべきであることは変わらない。本研究で提案する A／B 規格の安全要求事項から抽出し明確化した危険源のリストは，これを代替するものではなく，補完する位置付けとなる。

3.6.3 災害事例から抽出した危険源による拡充

設計対象とする機械に C 規格が制定されていたとしても，危険源リストの参照が設計技術者に対して有効な支援になるとは限らない場合もある。例えば，産業用ロボットは，既に述べたように半完成品であり，エンドエフェクタや外界センサ等を装備し，他の産業機械類と連携又は生産システムの中に組み込まれることではじめて用途や機能が確定する特徴がある。このため，他の機械設備と異なり，同定すべき危険源の種類や数もアプリケーションの特性，規模，複雑さに応じて様々で具体的に特定することに限界があることから，表 23 に示すように，産業用ロボットシステムの C 規格（ISO 10218-1[63] 及び 10218-2[46]）の危険源リストは一般化された表現の記載に留まったものとなっており，これをガイドとして活用しても必ずしも RA は容易にならず，危険源を網羅的に洗い出すには設計技術者に一定の知識と経験が要求される。案 2）は，このような機械に対し，国内で報告された災害事例から危険源や危険事象を抽出し，既にある危険源リストをより明確化又は項目を拡充することで，確実に同定すべき範囲と定めて提示するものである。以下では，具体的な例として産業用ロボットシステムを取り上げて説明する。

まず，産業用ロボットシステムに係る労働災害の発生状況を把握するために，厚生労働省が公開している死亡災害データベース[44]から 1999～2018 の間に報告された全死亡災害，ならびに，労働災害（死傷）データベース[45]から 2006～2017 年の間に報告された負傷災害（休業 4 日以上）のうち各年約 1/4 を無作為抽出したものを対象に，産業用ロボットを起因物とする災害事例を抽出し分析した。重複しているものなどを除き，検討対象となった死亡災害事例と負傷災害事例の件数を表 24 に示す。死亡災害の事故の型は「はさまれ・巻き込まれ」，「激突され」のいずれかであった。また，死亡災害，負傷災害ともに，回転軸などに巻き込まれたとする報告はなかった。なお，表 24 には，参考として，現行の ISO 10218-1 及び 2 の対応 JIS 規格（JIS B 8433- 1 及び 2）が発行された 2015 年以降の件数も併せて示す。負傷災害の事故の型の一部に事例が報告されていない場合があったが，災害発生状況全

体の傾向に JIS 規格発行前と後で特に大きな違いは見られない。このため，以下では，抽出したすべての死亡災害 39 件と負傷災害 85 件を対象に議論を進める。

次に，抽出した災害事例に関連する危険源や危険事象を，表 24 に示した C 規格の危険源リストに記載の項目から認識可能かという観点から考察した。結果をまとめると，以下のとおりとなる。

① 「はさまれ」の事例について，危険源リストで該当する項目としては「ロボットアーム又はエンドエフェクタとすべての固定物（柵，梁など）との間」があるが，抽出した事例では，他に，支柱，フレーム，安全柵，ロボットのベース，制御盤，ワーク保持台，治具，連携する工作機械が報告されていた。

② 「はさまれ」の事例では，供給されるワークや部品，搬出される製品，コンベアなど搬送設備の可動部，搬送トレイ･パレット類といった固定されていない物との間で被災した事例があった。危険源リストに基づけば，「ハンドリング中の部品及び連携している設備上の鋭利な工具の移動又は回転」等から連想される可能性もあるが，必ずしも容易とは言えない。

③ 「はさまれ」及び「激突され」の事例計 104 件について，ロボットが動作中であった又は動作を開始した理由を大別した結果を表 25 に示す。「自動運転中などロボットが停止していない（させていない）状況で，ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させて被災した」場合が 45 件と最も多く，リスク低減方策実施の不備／不足が指摘されるが，危険源リストでは必ずしも明確には記載されていない。

④ 表 25 の理由 c「誤ってセンサ等を作動させた」については，例えば，ISO 10218-2 の細分箇条 5.8.2（保全のための安全防護対策要求事項）から読み取る（発想する）必要があるが，実施する者の能力に依存すると考えられる。また，その他に分類した事例に「操作位置からの視認性の不足」に起因した例があるが，これも例えば細分箇条 5.6.3.4.3（起動／再起動及び予期しない起動）から読み取る必要がある。

⑤ 危険源リストにはエンドエフェクタに関する項目があるが，その他の中に「ハンドに残っていたエアの力でハンドが動作した」，「ハンドにあったワークが急に落下し，停止していたロボットが意図しない動作をした」事例があり，必ずしも該当していない。

そこで，本研究では，重要危険源リストが，設計技術者の発想を促し，危険源同定の負荷を軽減する情報となり，かつ，少なくとも重大な見落しは防ぐツールとなるよう，災害事例から導かれる危険源や危険事象について，産業用ロボットシステムに関連する ISO/TR 20218-1, 2[64, 65] の情報及び A 規格の安全要求事項を基にリストの内容を拡充することを提案する。具体的な例として，上述した五つの事項を反映して拡充した危険源リスト（機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋）を表 26 に示す。拡充した内容は以下のとおりである（表では該当部分に下線を付して示す）。

- 押し潰しの危険区域として，災害事例にあった加害物の名称を固定物の例示に加えるとともに，安全防護空間内の移動物も押し潰しの危険源となることを明示する。
- ガードの隙間や保護装置の非検知空間から運転空間内に侵入することが検討の範囲に含まれるよう，「危険源の組み合わせ」に項目を追加する。ISO/TR 20218-2 の基準を判断の参考となる具体的な寸法として引用する。
- 計画外停止の原因となったトラブルを解消したこと，誤ってセンサ等を作動させたことに起因するロボットシステム可動部の意図しない起動については，ISO 12100 で本質安全設計方策「設定（段取りなど），ティーチング，工程の切替え，不具合（障害）の発見，清掃又は保全の各作業に対する制御モード」の中に規定されているが，これが確実に達成されるように危険源の項目として明示する。
- エンドエフェクタの危険源や危険事象に関しては，ISO/TR 20218-1 で扱われており，その危険源リストから，前述した事例に該当する項目を含め，必ず検討すべきと考えられるものを追記する。
- 操作位置からの危険区域への視認性の確保は，ISO 12100 で本質安全設計方策「幾何学的要因」で規定されているが，これが確実に達成されるよう「機械的危険源」及び「危険源の組み合わせ」の項目としてリストに明示する。

このように，すでに報告されている災害事例から危険源や危険事象を抽出し，C 規格の既存の危険源リストを拡充して確実に検討すべき範囲として提示すれば，知識や経験が限られた設計技術者も比較的容易に，かつ，重大な見落しなく，危険源同定が行えるようになると考える。

3.6.4 安全要求事項と労働災害事例の相互参照

厚生労働省から公開されている死亡災害デー

タベース及び労働災害（死亡・休業 4 日以上）データベースを用いれば，設計対象機械に該当する事例から，危険区域のアクセスが行われた事由や作業工程などの情報を得ることが可能である。ただし，収録されている事例の内容は，労働基準監督署の災害調査報告だけでなく，事業者から提出された死傷病報告の記載に基づいたものも多く，機械部位の呼称や作業内容の表現の違いなどから，該当する事例を十分に抽出できるか，内容を適切に読み取って設計対象機械の RA に反映できるかは RA を実施する者の能力に大きく依存する。そこで，各々の労働災害事例に対し，その防止に関連するであろう ISO 12100 や C 規格の安全要求事項を相互参照できるようリンクさせ，これをインデックスの代わりに使うことで，目的に沿う労働災害事例を容易に抽出・参照できるようにする支援アプローチを考案した[66]。案 3）として，提案する相互参照リンクのコンセプトを図 13 に示す。この案 3）では，抽出・参照が容易になるばかりでなく，労働災害事例を安全要求事項の内容を踏まえて参照すれば，事例に含まれる情報をより広い視点から多角的に読み取れるようになることも併せて期待できる。

例として，産業用ロボットシステムを対象にした相互参照リンクの例を図 14 に示す。まず，前述の死亡災害データベース及び労働災害（死傷）データベースから産業用ロボットを起因物とする「はさまれ，巻き込まれ」及び「激突され」の事例 96 件を抽出し，ロボットの運転空間内（エンドエフェクタ及びワークが届く空間を含む）に人が侵入／滞在している状態でマニピュレータなどの可動部が動作／始動した原因で分類した。その結果，自動運転中などロボットが停止していない（させていない）状態においては，安全防護物を迂回して侵入し被災した 42 件に次いで，ロボットが計画外停止する原因となったトラブルを解消した後に動作を開始し被災したケースが 15 件あった。そのうちの 3 件を以下に示す。

- ロボットの可動領域内で，異常を示したマシニングセンタの調整をロボットに背を向けて行っていたところ，マシニングセンタ側のエラーが解除されたことによりロボットが再起動し，マニピュレータが被災者の背中に激突した。
- 引っ掛かった搬送品を除去するため，停止させたコンベアに上がった際，ロボットの電源も切れていると勘違いし，体の一部で光電センサを遮ったためにロボットのアームが降下し，ハンドとコンベアとの間に挟まれた。
- NC 機の加工チップが寿命に達しラインが自動停止した。ロボットの運転モードを手動に切り替えずに，チップ確認後に NC 機の設定を完了したところ，ロボットが動きだし頭部を押されて被災した。

これらの防止に関連する産業用ロボットシステムの C 規格の安全要求事項としては，図 14 に示すように，ISO 10218-2 の細分箇条 5.6.3.3（自動運転の始動），5.9.1（他の設備による危険源），5.10.5.2（身体の一部が安全防護空間に残る場合の追加方策）などが挙げられる。これら 3 件の事例は，産業用ロボットを起因物とする事例 96 件を本研究で分類した結果から導いたもので，公開されているデータベースから，例えば，災害発生状況の記載を特定のワードで検索するといった方法で機械的に抽出するのは困難である。

同様に，動力プレスを対象にした相互参照リンクの例を図 15 に示す。ここでは，まず，前述の死亡災害データベース及び労働災害（死傷）データベースから動力プレスを起因物とする死傷災害 209 件を分析し，最も多かった「はさまれ，巻き込まれ」の事例 165 件を主な原因ごとに分類した。図 15 はその結果を示したもので，さらに，ガードが設置されていなかったことや手指が侵入できる隙間があったこと，光線式安全装置の検出区域の設定が不適切であったことなど工学的リスク低減方策の不備不足が原因と思われる 14 件について，関連する安全要求事項として動力プレスの C 規格 ISO 16092-1 から細分箇条 5.3.2.7（可動ガード）及び 5.3.2.11 b)（光線式安全装置の検出区域）がリンク先になることを示している。

以上のように，図 13 に示したコンセプトは，データベースにある災害事例を関連する安全要求事項でタグ付けし，RA で参照する際に同種の事例として設計技術者の能力に依存せずに抽出できるようにするものである。さらに，1 件の事例を入り口に，同じく安全要求事項が関連する事例へと参照の範囲を広げていけば，知識や経験の限られた設計技術者も危険区域のアクセスの機会をより多く想定・発想することも期待される。

3.6.5 アクセス可能性の評価に対する支援

標準化された RA のプロセスにおいて危険区域へのアクセスが関係する部分としては，まず，「手順③:リスクの見積もり」において，危害の発生確率を見積もる上で考慮する要素の一つとなっている点がある。意図する使用中，人が各々の危険源に接近する必要性とその頻度，ならびに，危険区域に滞在する時間の長さは，危害の発生確率の評価に大きく影響する。また，手順⑤：

リスク低減において，安全機能の適用をリスク低減方策として採用した場合には，要求安全性能を定める上でアクセス頻度は重要なパラメータになる。

しかし，RA において実施者が「危険区域へのアクセス」の機会を網羅的に想定・発想する必要性は，むしろその前の「手順②：危険源の同定」にある。第 3.3.3 項で述べたように，危険源の同定では，ISO 12100 の危険源リストから，該当する機械部位や箇所を見出し，認識する手順とするのが一般的であるが，例えば，鋭利な角や可動部，充電部といった部位は機械に無数に存在し，このため現実の危険源同定では，これら該当部位の中から人がアクセスする可能性のあるもの（すなわち，接触又は影響が及ぶ範囲に接近する可能性があり，危険状態を生じるもの）を扱うことになる。ただし，ここでは，機械が使用される状況ばかりでなく，設置や保全，分解などを含めた機械のライフサイクルの全局面で作業条件などを踏まえてアクセスの可能性が想定されていなければならない。労働災害事例などを見ると，危険源や危険区域は認識されつつも，それらへのアクセスの可能性が作業条件などを踏まえて十分に想定されなかったがためにリスク低減方策が適切に講じられていなかったことが原因と推察されるケースは少なくない。機械のライフサイクルの全局面を考慮して人が危険区域にアクセスする機会を漏れなく想定するには，設計対象である機械や類似機械の扱われ方に対する一定の知識と経験が必要であり，このことが不十分な危険源の同定を招いている要因の一つとも考えられる。

さらに，第 3.3.3 項で述べたように，RA では「予見可能な誤使用」という側面からも，省略行動やリスク低減方策の迂回といった設計技術者が意図する使用方法から逸脱したアクセスも想定・発想する必要がある。ところが，ISO 12100 の例示は一般化された内容に留まり，C 規格でも予見可能な誤使用について具体的に言及しているものはほとんどなく，ここでも RA を実施する者の能力に大きく左右される。

そこで，上述の案 1）～3）とは異なる側面からの支援として，危険源と人との間に人が接近，侵入又は滞在可能な物理的空間が存在するか，機械の開口部や内部領域について基準となる形状や寸法を明確に示すことで，「危険源の同定」の中でアクセスの可能性を客観的に評価できるようにする支援を考案した[67]。

物理的障害物（例えば，機械本体や固定ガード）の高さや開口寸法に応じた上肢及び下肢の到達距離の基準としては ISO 13857[68] があり，多くの C 規格で引用されている。全身での侵入を妨げる寸法上の限界についても規定されており，幅 180 mm 超の長方開口部，直径 240 mm 超の円形開口部については，追加のリスク低減方策がない限り，人の侵入を想定することとされている。産業用ロボットシステムの ISO/TR 20218-2 には，ISO 13857 の基準に基づいた周囲安全防護のあり方に関する具体的な解説もある（図 16 参照）。一方，これ以外にも，他の C 規格では，独自に基準を設けている場合も見られる。例えば，動力プレスの ISO 16092-1 では，制御式ガード及び始動制御機能付き光電保護装置の適用に係る安全要求事項の中で，危険区域（金型領域）内に人が全身で侵入し滞在できない寸法として，スライドのストローク長 0.6 m 以下，ボルスタの奥行き 1.0 m 以下の条件を規定している。射出成形機の ISO 20430[69] では，安全防護物と金型取付け盤間との間で上半身が入り込める空間の寸法を図 17 に示すように規定している。電気・電子回路の充電部に対しては接触の可能性を評価するテストフィンガーの形状及び寸法を定めた IEC 60529[70] もある。

これらの基準値を統合し，全身で侵入可能な開口部や滞在可能な領域を寸法基準として分かり易く提示すれば，アクセスの可能性は機械の設計仕様やレイアウトから合理的に判断できるようになると考えられる。この考えに基づき作成した，危険源へのアクセス可能性を評価する際に提示する指標を抜粋して図 18 に示す。ここで，1）は ISO 13857 の基準値をそのまま引用したものであるが，2）は IEC 60364-4-41[71] の要求事項に上肢の長さをより長く見積もっている ISO 13857 の値を適用したもので，また，ISO 16092-1 の規定にある危険区域内に全身で侵入し滞在できない寸法も一部で参考にした。

図 18 のような指標を参照しながら検討を進めれば，自身がもつ知識や経験に基づき，予見可能な誤使用を含むあらゆる作業条件を考慮しながら主観的にアクセスの可能性を想定する負担は大きく減らせると考えられる。

3.7 試作した危険源同定支援ツール

3.7.1 開発コンセプト

前項で提案した三つの危険源同定支援のアプローチ，ならびに，アクセス可能性の評価に対する支援を吟味し，最終的に，これらを統合する形で，項目 1 で開発する支援ツールのコンセプトをまとめた。具体的には，設計技術者が（特に，C 規格がまだ制定されていない機械を設計対象とする場合に）最低限検討すべき重要な危険源・危険区域を容易かつ確実に同定できるよう支援するという目標に最も則していると考え，第 3.6.2 項で述べた案 1）を基本に置き，現在までに

対応 JIS として制定されている A／B 規格の安全要求事項から遡って危険源・危険区域を抽出し，これらをリスト化した上で，具体的な判断基準を参考情報を付して技術情報（寸法，推力，速度など）の形で分かり易く提示することで，設計する機械に潜在する危険源・危険区域を，自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく合理的に認識・発想できるよう支援するものである。さらに，このコンセプトでは，危険源・危険区域の判断基準及び参考情報に案 2）及び 3）での考察から労働災害事例の情報も活用することとし，また，第 3.6.5 項で述べたアクセス可能性の評価に対する支援も加味することで，設計技術者が危険源をその Origin の物理的性質という側面と合理的に予見可能な誤使用を含めた人のアクセスの可能性を整理して検討できるようにすることも踏まえる。

機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想である。しかし，知識や経験の限られた設計技術者が RA を実施する上で達成すべき要件を考えれば，検討範囲の広さを確保するよりも重大な見落しを防ぐことがより重要であると考える。このため，すべての機械に共通して適用される A／B 規格の安全要求事項から最低限同定すべき危険源の範囲を明示することが，最も有効かつ確実な支援と考え，上述のコンセプトとした。さらに，このような支援に基づく危険源同定は，A／B 規格への適合にもつながる。このことは，特に C 規格が制定されていない機械を設計対象とする場合に，「適切なリスク低減の達成」を根拠立てて判断する上で大きく貢献するものと期待できる。

なお，C 規格が制定されている機械については，その重要危険源リスト及び安全要求事項を参照することが，「適切なリスク低減の達成」を判断する上で優先されることは当然であり，本支援はこれを代替するものではなく，補完する位置付けとなる。

また，開発する支援ツールは，いかなる設計技術者でも事前に講習やトレーニングなどを受けずに利用できるよう構築する必要がある。ただし，支援ツールの利用を通じて，その機能や提示情報だけをもって，機械の RA に関する知識を一切もたない者が危険源同定を実施できるようにすることには明らかに限界がある。このため，本研究では，想定する利用者に，最低限の予備的知識として厚生労働省が公表している「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」の本編 [22] 及び同別冊 [45] を一読し，内容を把握していることを前提におくこととした。

また，支援ツールを利用するタイミングとしては，第 3.1 項で述べた三つのうち，機能設計レビューが可能な程度まで設計が進み，機械の寸法，可動範囲や速度，重量，電圧，圧力などが概ね推定できる「構想設計・機能設計」以降を想定している。設計の見直しに迫られる状況を回避するためには，より早い段階で危険源をすべて同定できるのが望ましい。しかし，設計技術者が主観的に判断する必要なく，危険源を合理的に認識できるよう支援するためには，本支援ツールで提示する危険源の判断基準は可能な限り詳細な技術情報とする必要があると考え，この想定とした。

3.7.2 危険源同定支援ツールの概要

以上の開発コンセプトに従い，Windows 10 搭載のデスクトップ PC 上で利用することを想定した危険源同定支援ツール（以下，「本支援ツール」という。）を試作した [92]。これは，設計対象機械の危険源及び危険区域のリストアップの支援を軸に，「アセスメント」(一般的にプロジェクトなどと呼ばれる同定結果などデータを格納したファイルで，本支援ツールでの実行記録の 1 単位）の管理，表計算ソフトへのデータ出力など一連の処理を 1 台の PC で全て実行できるようインストールされるアプリケーションソフトウェアである。

本支援ツールの基本ソフトウェア部分の処理の流れを図 19 に示す。初めに，処理①で新規アセスメントの作成又は既存アセスメントの選択を行う。次に，処理②で，提示される A／B 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の一覧から項目を一つ選択する。項目を選択すると，対応する「判断基準／定義」と「アクセス可能性の評価指標」が提示されるので，これらを参照しながら，該当する機械の部位，要素，動作範囲などの名称を入力していく（この処理③が本研究が提案する支援された危険源同定であり，標準化された RA で“危険源（Origin）のリストアップに相当する）。該当する部位，要素などの名称を入力したら，処理④で，それに想定される危害，被災者，危険状態が生じる局面／作業などを入力し，災害シナリオを作成する。作成後は再び処理②に戻り，他の危険源項目に移り処理②～④を繰り返す。すべての項目を検討したら，最終的に RA まとめ表の形式で一覧化されるので（処理⑤），必要に応じてデータを印刷又は表計算ソフト（本支援ツールでは Microsoft 社製 Excel とした）に出力する。利用者は，この表を利用して，危険源同定に続く，リスクの見積り，リスクの評価へとリスク分析の手順を進めて行くことが可能である。

以上の流れを本支援ツールでは次の三つの画面構成で実行することとした：

画面Ⅰ「アセスメントの管理」:処理①を行う
画面Ⅱ「危険源の同定」:処理②と③を行う
画面Ⅲ「災害シナリオの作成」:処理④と⑤を行う

各画面の機能等について以下に詳述する。

1）画面Ⅰ「アセスメントの管理」

画面Ⅰを図 20 に示す。本支援ツールの起動画面にあたる画面で，新規アセスメントの作成又は既存アセスメントの選択を行う。画面左欄には選択可能な処理が，右欄には選択した既存アセスメントの情報が表示される（この操作は他の画面でも実行できるが，左右の欄はタブに収納される)。一つのアセスメントには，危険源同定結果及び災害シナリオとともに，実施履歴を管理するために不可欠な情報として次の事項を記録できるようにした（e と f の「承認」については次節で述べる）:

a) 作成者名（必須入力項目）
b) 作成日時（作成時に自動記録）
c) 更新者名
d) 更新日時（更新保存時に自動記録）
e) 承認者名
f) 承認日時（承認操作時に自動記録）
g) 備考（アセスメントの補足や関連情報など）

なお, 本支援ツールは, あくまでも機械安全JIS規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の提示という危険源同定支援のアプローチの有効性を評価する目的で製作するもので，特に，後述する機械安全専門家及びメーカ等での試用評価に必要な機能のみを考慮した仕様としており, 簡略化のため, アセスメントの保存先は, 支援ツールのインストール先フォルダ内に予め指定されたフォルダに限定することとした（すなわち，フォルダの新規作成操作は行えない)。

2）画面Ⅱ「危険源の同定」

画面Ⅱを図 21 に示す。支援された危険源同定を実施する本支援ツールの核となる画面である。

危険源項目選択欄には，上段に JIS B 9700 の危険源リストに従った危険源の種類（機械的, 電気的など）が表示される。利用者が特定の項目を選択すると, 対応する危険源の細目（機械的危険源では，死角，押しつぶし，端部など）が一覧表示される。ここで, 危険源細目は最低限認識すべき危険源として本研究で抽出したものであり，RA 実施の際には常にすべての細目を 1 度は必ず検討すべきであることから，本支援ツールでは，危険源の種類分け及び同種の危険源の中での細目の項目及び表示順は固定されており，利用者側では変更することはできない仕様とした。

特定の細目が選択されると，それに応じて，次の情報が提示される：

a) 判断基準

細目として掲げられた危険源・危険区域が設計対象機械に該当するか否か，設計技術者自らがもつ知識や経験に依存することなく，合理的に判断・認識できるようにするための具体的な数値基準や寸法，形状規定で，表 22 に示した内容をより精査したものである。これらの情報は，当該危険源細目の出典となった機械安全規格の要求事項，ならびに,「引用元」欄に示した関連規格や技術文章に基づいて定めたが，その際，同様の数値基準や評価指標を規定した規格等が複数ある場合には最も保守的な値を採用した。本支援ツールに実装した情報の具体例として，JIS B 9700 の細分箇条 6.2（本質的安全設計方策）から抽出した危険源の原因／危険区域の判断基準／定義リストの抜粋を表 27 に示す。なお，ここで,「応力の考慮不足」では，該当する構造部分が破断や破損などした結果起こる危険事象として，機械本体や機械の可動部分，運搬物などが停止しないことや予期せず動作することと，それ自身の飛散／脱落が考えられる。このように同定した部位や要素などに想定される危険事象が複数考えられる場合（これは，構成要素や部品の破損防止，電源や圧力源の変動防止に関する要求事項から危険源の原因を抽出したときに該当することが多い), 設計技術者が異なる危険事象の結果として生じる危害とその被災者をより想定・発想し易くなるように，細目標題に(I)，(II)の番号を付す形で複数の項目に分けて記述することとした。

また，本来は JIS B 9700 の付属書 B に示されたすべてのカテゴリの危険源を扱えるよう, 現行の A／B 規格すべてを対象に抽出した危険部位／危険区域を登録すべきであるが，本支援ツールは提案する支援方法を実行する手段の例として，その有効性を評価する目的で試作したものであることから，JIS B 9700 及び液圧／空気圧／電気／制御の各分野で設計原則を扱う JIS B 8361[36]，JIS B 8370[37]，JIS B 9960-1[38] 及び JIS B 9705-2[40] の 5 規格を抽出対象と定め, 表 28 に示す計 187 項目を登録した。機械的危険源の項目が他に比べ圧倒的に多いが，これは今回選択した 5 規格が扱う技術分野が反映された結果である。

b) アクセス可能性の評価指標

第 3.6.5 項で述べたアクセス可能性の評価に対する支援にあたるもので，各々の細目に

応じて，例えば，角部やはさまれに対しては「危険源に人が接触又は侵入する可能性」について，衝撃や危険有害性物質に対しては「人が危険源の影響を受ける又は危険源に暴露される可能性」について，これらを評価する際の指標となる寸法基準や条件，状況が端的に文章で示される。

その際，より詳細な情報が必要な場合には，画面右上のコマンドボタンを操作することで，図 18 に示した評価指標が基本アプリケーションウィンドウの画面とは別のサブウィンドウで表示される。

c) 出典規格箇条

当該細目の出典となった規格及び箇条番号。

d) 参考情報

判断基準の根拠や出典となった文献等の情報。利用者が，より詳細に危険源・危険区域の有無を検討する際の重要な手掛かりとなる。

以上の情報はデータベース部分に HTML ファイル形式で格納されており，利用者はこれらを参照しながら，該当する機械の部位，要素，動作範囲などの名称を入力欄に記入していく。該当するものが無ければ，ボタン操作によって，その項目に対し「該当なし」と入力する。

また，画面 II では以下の点についても考慮した：

- 提示された危険源細目に対して入力した各々の部位などには，備考を付記でき，さらに CAD 図面や仕様表といった関連ファイルへのリンクを設けられるようにした（ただし，簡略化のため，リンク可能なファイルは本支援ツールをインストールした PC に既に保存されているファイルに限定した）。
- 本支援ツールでは，次の処理④の後に再び処理②に戻り，危険源同定を繰り返す。このため，実施状況（特に未検討の細目）を容易に確認できるように，細目ごとに同定した部位等の数が表示されるようにした（該当する部位等が無い場合は“該当なし”を入力する）。
- 例えば“高所”，“重量物”，“騒音”といった危険源細目については，アクセスの可能性を検討する重要性は低いため，「アクセス可能性の評価指標」は提示しないこととした。
- 図 21 には示していないが，すべての危険源細目を検討した後に右欄「アセスメント情報」タグを開くと，アセスメント結果を「承認」する操作ができるようになっている。あくまでも模擬的なものであるが，危険源細目一覧に「未実施」の項目があれば操作は行えず，その旨を知らせる警告が表示される。

3）**画面Ⅲ「災害シナリオの作成」**

画面 III を図 22 に示す。ここでは，各細目に対して同定した機械の部位等について次の四つの事項を文字列として入力し，これらに基づいて災害シナリオを作成する：

a）危害の対象者
b）危害が発生する工程／作業場面等
c）想定する危害の症状と程度
d）想定する危害の程度
e）想定する負傷部位，部位詳細

以上の項目は，標準化された RA 手順で手順②：“危険源の同定”に続く手順③：“リスクの見積もり”を実施する上で最低限必要な事項として選定したものである。また，各事項を入力する際は，文書化作業の負担低減と記述すべき内容を分かり易く例示することを意図して，自由記述と併せてプルダウンメニューの利用もできるようにしている。プルダウンメニューのデフォルトのメニュー項目には，厚生労働省が公開している機械災害データベース [26] などを参考にして語句を登録しているが，自由記述で直接入力された語句が順次自動的にメニューに追加されていく機能としている。

一方，災害シナリオの作成自体については，第 3.5.2 項で述べた市販 RA 支援ツール（安全革命）に実装されている機能を参考に，同定結果として入力した機械の部位及び上記 a）～e）を文章の構成要素にして次の定型フォームで自動的に生成されるようにしている：

【危害の対象者】が【工程／作業場面】の時に
【同定した危険部位等の名称】によって
【負傷部位（部位詳細）】を【症状（程度）】する。

この機能で作成される文章は，あくまで初期の文案程度のものである。しかし，この自動作成機能は，文書化作業の負担軽減ばかりでなく，記述すべき災害シナリオを具体的に分かり易く例示する機能として本支援ツールにとっては重要な機能の一つであると考えられる。

以上によって，同定したすべての危険源細目について災害シナリオを作成し終えたら，その結果は，必要に応じて予め記憶させた定型の RA まとめ表として表計算ソフト（Microsoft 社製 Excel）にデータ出力できる（図 23 参照）。ここの表の様式は，危険源同定に続く「リスク見積り」，「リスクの評価」，「保護方策によるリスク低減」へと機械のリスク低減戦略が進められて行くことを想定して作成した。

3.8 危険源同定支援ツールの有効性に関する調査結果と考察

3.8.1 予備的動作確認

試作した本支援ツールについて，中小メーカの設計技術者を対象に，本支援ツールを用いた危険源同定に対する主観的な意見（感想）を収集する調査を行い，その有効性を評価する。ただし，これに先立ち，機械安全に精通している労働安全コンサルタント 4 名に本支援ツールの支援機能や提示される情報を確認していただき，問題点や所感を述べてもらった。

まず，基本的な動作確認結果として，本支援ツールの三つの画面構成及びその動作には大きな問題は見当たらず，また，有効性評価の目的においては前述の 5 規格から抽出した計 187 の危険源細目で特に不足のないことが確認された。ただし，一部の機能について準備した取扱説明書だけでは操作の仕方が十分理解されなかったものがあったことから，説明内容を見直すこととした。修正した取扱説明書を付録 1 として巻末に添付する。

一方，本研究で設計段階 RA 支援システムを開発する上で危険源同定に焦点をあてた点については，すべてのコンサルタントから賛同を得られた。また，設計技術者を支援する方法として機械安全規格を活用して危険源を技術的視点から客観的に認識できるように情報を提示した点については，「設計者のみならず同定結果を検証・承認する立場の者にとっても有効な支援となり得る」と評価された上，「設計段階でどの規格を参照すれば良いか明確に示した資料にもなっている点で画期的」との意見もあった。災害シナリオの自動作成機能に関しても，「RA 初心者にとって事故の型のみでシナリオを終わらせずに正しい形の記載に導く上で大変重要である」とされた。

しかし，「機械的危険源だけで 110 項目もあり，事前のレクチャー無しに危険源を見つけていくのを期待するにはやや無理がある」との指摘もあり，本支援ツールだけでは，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明が不足していることが示唆された。この他にも受けた指摘のうち，特に重要と思われたものを以下に示す：

1）危険源同定では，機械自身だけでなく，それが使用中に扱う加工材料や製品などに関連する危険（例えば，溶融金属を運搬する設備において金属の飛散など）も検討範囲に含める必要があるが，本支援ツールでは扱われていないように感じる。
2）「災害シナリオの作成」において「工程・作業場面」を記述するが，これが危険源への暴露頻度や危害の発生確率の推定へと繋がることが読み取れない。
3）機械的危険源の「動力源の起動，動力供給の接続」に対し，該当する機械本体又は可動部分を同定する形になっている。これらは危険事象であって，その結果として意図せずに起動・動作する機械部位を同定させようとの意図と考えるが，説明が十分されていない。
4）「判断基準／定義」及び「アクセス可能性の評価指標」の文章がコピーできない仕様であるが，利用できるようにした方が良いと思う。
5）液圧及び空気圧の項目は，機械によってはすべてが関連しない場合があり，まとめて「該当なし」とできるようにカテゴライズするなどした方が良い。
6）災害シナリオを作成した後，再び危険源同定画面に戻ると，一律に機械的危険源を選択した状態になってしまう。それまで同定を行なっていた危険源種別に戻るようにした方が良い。

以上のうち，指摘 1）～3）は，冒頭に示した指摘の各論と言えるもので，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを利用する上での留意点をまとめた，取扱説明書とは別の副読本のような資料を作成する必要があることを示唆している。また，指摘 4）～6）は，本支援ツールの使用性に対して参考となる指摘であり，実際の設計技術者も同様に感じるか後に実施する調査で明らかにすることとした。

3.8.2 有効性評価の概要

本支援ツールの有効性に関する調査は，プレス機械，粉砕機，金属切断機，搬送システムなどを製造している労働者数（子会社・関連会社を除く）47～99 人のメーカ 3 社から設計部門に属する技術者 7 名，同じく労働者数 100～147 人のメーカ 2 社から技術者 5 名の参加を得て，各メーカを個別に訪問する形で 2023 年 1 月末から 3 月初めに実施したものであり，労働安全衛生総合研究所倫理審査委員会の承認（通知番号：R4-安 5-01）を得て行った。

調査では，各社とも 2～3 名のグループで対面にて対応いただいた。はじめに，目的や提案する支援方法の概要，ならびに，本支援ツールの構成や実装機能などを約 1 時間説明した。その際，予備的動作確認において労働安全コンサルタントから受けた「何らかのレクチャーが必要」との指摘を考慮し，設計段階 RA 及び危険源同定の基本的事項について簡単ではあるが併せて解説した。次いで，各社で製造している機械や設備を想定して本支援ツールを用いた危険源同定を模擬的に 2～2.5 時間行うことで，本支援ツールの全容を把握していただいた。具体的には，筆者らが指定した危険源細目に対して，提示される判断基準等に基づいて該当する危険部位等を挙げ，災害シナリオを作成した。その印象から，提案する

支援された危険源同定に対する主観的意見を，予め準備した質問に沿って回答いただいた。各設問の主旨は必要に応じて口頭で説明し，後日，記入された回答用紙を個別に回収した。

研究対象者（以下，「回答者」という。）計 12 名の RA の経験などに関する質問と回答を図 12 に示す。今回協力を得たメーカは，いずれも，自社製品に対する設計開発工程の中に RA の実施及びその結果の承認を組み込んでいたが，回答者には業務として RA を実施したことがない者 2 名と実施 1 回の者 3 名が含まれた。また，RA に関するセミナや講習会を受講したことがある者は 4 名であったが，危険源同定を行う際に機械安全規格を参照していると 7 名が回答し，規格の利用の重要性は広く認識されていた。ただし，ISO 12100（JIS B 9700）と「機械の包括的な安全基準に関する指針」は半数以上が知っていたが，RA の解説書として ISO が発行している TR 14121-2 を知っていると回答した者は 1 名に留まった。ISO 12100 と包括指針は機械の RA の原則を定めるもので，RA の具体的な実施内容や問題となる事項についてはほとんど述べられておらず，設計者が RA を「難しい」と感じる要因の一つに ISO/TR 14121-2 の不周知があることを示唆した結果と言えよう。

3.8.3 調査結果

1）支援ツール全般に対する評価

本支援ツールを用いた模擬的危険源同定では，業務において主に機械構造系を担当する回答者には機械的危険源を，電気制御系を担当する場合は電機的危険源を中心に評価いただいた。

これを踏まえた全般的な印象に関する質問と回答を図 25 に示す。

問（1）に対して全回答者から肯定的回答が得られ，「出典規格を参照し数値的根拠を知ることができて大変良い」，「社内教育や客先への説明資料にも使用できる」などの評価を受けた。ただし，提案する支援方法の核である「判断基準」と「評価指標」を参照しながら対象機械の該当する部分や要素をリストアップしていく方式に関する問（2）には，「判断基準と評価指標が分類されていて解り易い」との評価もされたが，3 名から否定的回答があり，中でも「全く規格を知らない人ができるとは思えない」との指摘を受けた。機械の安全設計に規格を利用することの重要性は，厚生労働省においても，設計者に対して実施すべき機械安全教育カリキュラムの範囲 [7]に掲げ，リーフレット [89]などを作成して周知を図っている。実際，第 2 章で述べたように，今回の回答者の間でも広く認識されている現状を見れば，この懸念は必ずしも当たらないとも考えられる。しかし，予備的動作確認において労働安全コンサルタントから受けた指摘を踏まえ，本研究では，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明などをまとめた資料を別途作成することとしており，本件についてはその中で考慮することとした。

以上の結果から，提案する支援方法が機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能にする支援としての有効性が示されたと考える。なお，問（3）には 1 名から否定的回答が示されたが，その理由は「金銭的難しさなどもあり，企業理念や業界での合意が必要」とのことで，目的とした危険源同定の難しさを軽減するという点に関しては，一定程度達成したと判断できる。また，RA で最も支援が必要なステップと考え「危険源同定」に焦点を絞って検討を進めた本研究の方針についても，問（4）で約 8 割の回答者から賛同が得られた。

2）画面Ⅱ「危険源の同定」に対する評価

画面Ⅱに関する主な質問と回答を図 26 に示す。「判断基準」と「評価指標」は平易な記述に努めたが，問（1）と（2）でいずれも「やや難解」との評価が数件あった。具体的に改善すべき事項として，特に，本支援ツールでは「判断基準」として複数の機械安全規格が同じ危険源に異なる数値基準を規定している場合，最も保守的な値を採用する方針としていたが，このことが表示欄や取扱説明書で十分説明できておらず，利用者を混乱させる可能性が指摘され，検討する必要があることが分った。ただし，細目の数に関する問（3）には，全回答者から肯定的回答が得られ，「すでに RA を行った機械に対しても漏れがないか改めて確認したい」との意見もあった。

一方，問（4）は第 3.8.1 節 5）に示した労働安全コンサルタントの指摘に関連する危険源細目についての事項である。前述したように，本支援ツールでは危険源の種類分け及び同種の危険源の中での細目の表示順は固定されており，利用者側で変更することはできない仕様としたが，問（4）の結果より，変更に対する要望が高いことが示された。また，問（5）も労働安全コンサルタントから指摘のあった事項（第 3.8.1 節 6））で，コピー機能の導入を検討する必要がある。

3）画面Ⅲ「災害シナリオの作成」に対する評価

画面Ⅲに関する主な質問と回答を図 27 に示す。3.7.2 項の 3）で述べた入力項目 a）～e）は，「危険源同定」の後に続く「リスク見積り」を行う上で最低限想定（設定）しておくべき必要事項と考えて選定したが，問（1）の結果より，その意図が十分受け入れられたことを確認できた。ただし，「リスク見積り」への進展も考慮した記入項

目としておくべきとの指摘も 2 名からあった。本支援ツールは特に RA の経験の少ない設計者に対する危険源同定支援を目的において試作したものであるが，今後，RA 全般をある程度理解している設計者も利用対象に含めるとした場合には考慮すべきと考える。

一方，入力項目の内容を構成要素とした定型の文章フォームで自動的に災害シナリオを作成する機能については，問（2）の回答から，作成される文章が初期の文案程度のものであることから全員ではなかったが，概ね本支援ツールにとっての重要性が認められた。

また，a）～e）の入力には，自由記述と併せて機械災害データベースなどを参考に語句を設定したプルダウンメニューも利用できるが，危害の程度（重度，中程度，軽度）について目安のない点や，症状及び負傷部位の語句が専門的で細か過ぎる点に指摘を受けた。他にも，「災害シナリオは同定した危険箇所ごとに表示順が固定されているが，危害の対象者別にソートできれば保護方策を検討する際に重点化できる」，「シナリオ作成中も規格を参照できると良い」といった示唆に富む意見をいただいた。

なお，事前の動作確認で，画面Ⅲに関し，一旦災害シナリオを作成した後に再び画面Ⅱ「危険源の同定」に戻ると，一律に危険源の種類・細目が機械的危険源の先頭項目を選択した状態になってしまう点が労働安全コンサルトから指摘を受けたが，問（3）の回答から，一部に差異はあるものの何らかの修正が必要であると分かった。

3.8.4 考察

機械安全の知識が限られた設計者でも最低限同定すべき危険源を認識できるように支援するには，「危害の原因となり得る性質をもつ物質やエネルギを技術的視点から判断できるようにすること」及び「危険源に人がアクセスする可能性を客観的に評価できるようにすること」が必要である。本研究では，機械安全規格の要求事項や規定基準を活用することで達成する方法を提案し，労働安全コンサルタント 4 名によって動作確認を行い，その後，試作した支援ツールを用いて中小メーカの設計者を対象に主観的な意見（感想）を収集した。得られた結果から，提案する危険源同定支援手法及び試作ツールの有効性を評価する。

まず，労働安全コンサルタントによる動作確認では，本支援ツールに大きな問題は確認されず，設計技術者及び同定結果を検証・承認する立場の者にとって有効な支援となり得るとの評価が得られた。ただし，様々な点でツールのみを提供しても設計者支援に限界のあることが指摘され，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを使用する上での留意点をまとめた，取扱説明書とは別の副読本のような資料が必要であることが明らかになった。

次に，中小メーカの設計技術者を対象に行った調査では，本支援ツールが機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能とすることで危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する支援として有効であると示された。さらに，RA で最も支援が必要なステップと考えて「危険源同定」に焦点を絞った本研究の方針についても 8 割の回答者から賛同が得られた。

ただし，調査に用いた本支援ツールは，あくまでも提案する支援方法の有効性評価に必要な最低限の仕様で試作したもので，その使用性までは必ずしも十分考慮できてはいないが，この点を踏まえてもなお反映すべき示唆に富む重要な指摘を複数受けた。これらを参考に改善を検討し，中小メーカの設計技術者を真に支援できるツールとして完成度をさらに高めていきたい。

3.9 設計段階 RA ガイドブックの作成

本支援ツールの開発にあたっては，既存の市販 RA 支援ツールに関する調査の結果（第 3.5 節参照）から，いかなる設計技術者でも事前に講習やトレーニングなどを受けずに利用できるよう配慮した。ただし，支援ツールだけをもって，機械の RA に関する知識を一切もたない者が危険源同定を実施できるようにすることには明らかに限界があり，労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者からも指摘を受けた。そこで，本研究では，取扱説明書とは別に，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを利用する上での留意点をまとめた資料「機械設計技術者向け 設計段階 RA ガイドブック」（以下，「本ガイドブック」という。）を作成することとした。

前節までの検討から，本ガイドブックで考慮すべき事項をまとめると以下のようになる：

1）機械の安全化プロセス全体において，メーカが設計段階で RA を実施する目的を示し，その中で，本支援ツールでは「危険源の同定」という一つの段階のみを対象にしていることを明示する必要がある。この点に関し，本研究では，メーカが設計段階 RA を実施する目的として，「より安全性の高い機械をユーザに提供すること」だけでなく，「ユーザが適切に使用段階 RA を行い，リスクが低減された機械の状態を維持管理していくのに必

要な情報を提供すること（すなわち，機械の残留リスク等の危険情報の提供）」に大きく関連していることを示すこととした。危険情報の提供は，機械災害防止をメーカとユーザが連携して推進していく上で必須の活動である

2）本支援ツールを用いて危険源同定を実施する前に，RA の最初の手順である「制限事項の指定」において，機械の用途，使用される環境，期間及び機械を使用する者等の条件を定めず（あるいは，与えられず）に設計段階 RA を進めていくことは不可能である。その旨を本ガイドブックで明示するとともに，「制限事項の指定」を行う際に現時点で最も参考になる資料として，文献 22）あるチェックリスト（表 7 参照）を紹介することとした。

3）「制限事項の指定」の一部として，ISO 12100 では「予見可能な誤使用」の明確化を求めているが，機械災害に関する経験や知識の限られた設計技術者がこれを行う負担を軽減する目的で，本研究では，「予見可能な誤使用」を危険源同定の中で「アクセス可能性の評価」として扱うこと（第 3.3.3 項参照）を提案し，本支援ツールに実装している。本ガイドブックでは，このことを設計段階 RA 全体の概要と併せて述べるとともに，「予見可能な誤使用」を指定しておくことの重要性（第3.3.2項参照）を，「使用上の情報（特に，警告表示又は取扱説明書）」や「ユーザへ通知する危険情報」の作成に関する部分で説明することとした。

4）本支援ツールを利用する上で，機械の安全設計における産業規格の重要性を認識していることは必須である。この点について，すでに厚生労働省が公表しているガイドやマニュアルなど参考資料を，その入手先を含めて本ガイドブックで紹介することとした。

5）本支援ツールでは，提示する「危険源の判断基準／定義」において，複数の機械安全規格に同種の危険源に異なる数値基準を規定している場合には，最も保守的な値を採用している。その旨を本ガイドブックに明示するとともに，RA での考え方（取り扱い方）について方針を説明することとした。さらに，本支援ツールでは，最低限同定すべき危険源の範囲として，A／B 規格の安全要求事項から抽出した危険源の細目を提示するが，すでに C 規格が制定されている機械については，当該規格の重要危険源リスト及び安全要求事項を参照することが「適切なリスク低減の達成」を判断する上で優先されることも明示する。

6）手順③：「リスクの見積り」については，既に各種の規格やガイドライン等で公表された説明や例示が十分にある。ただし，「リスク低減後の再見積もり」において，講じたリスク低減方策の種類と低減されるリスク要素との関係が必ずしも周知されておらず，低減後のリスクに妥当性を欠く評価を下すおそれがあり，適切な整理を示しておく必要があった（第 3.3.4 項参照）。本ガイドブックでは，この点を考慮し，採用するリスク低減方策の種類とそれにより低減されるリスク要素との関係が理解できるように記述を配慮することとした。

以上の点を踏まえて作成した「機械設計段階リスクアセスメントガイドブック」を付録 2 として巻末に示す。記載した内容については，本支援ツールと同様に，その有効性を改めて評価する必要があるが，支援ツールを提供する際に，これを副読本として添付することでツールの円滑な利用が図られ，設計段階 RA に対する理解が促進できれば，本支援ツールが危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する設計者支援として，真に有効な方策になり得ると期待される。

3.10 本章のまとめ

本研究の項目 1 では，機械の設計段階 RA について中小メーカでの普及・定着の促進を目的に，まず，機械安全の知識や RA の経験が限られた設計技術者を支援する際の要点を明確化し，標準的な RA 手順の中でも「危険源の同定」が RA において最も重要で，かつ，最も支援が必要な場面であることを明らかにした。そして，危険源同定の支援方法として，EU での C 規格の利用に着想を得て，A／B 規格を含む機械安全規格の要求事項を活用する方法を提案した。

そして，これに基づく支援された危険源同定を実行できる具体的なシステムの例として，現在までに対応 JIS として制定されている五つの A／B 規格の安全要求事項から危険源の原因（Origin）187 項目を抽出し，Origin の有無を「危険源の判断基準／定義」と「アクセス可能性の評価指標」を参照することで，設計技術者が自身の知識や経験から主観的に判断する必要なく，技術的視点から客観的に Origin の物理的性質とアクセス可能性を整理して検討できるように支援するツールを試作した。

本支援ツールを用いて，労働安全コンサルタ

ント及び中小メーカの設計技術者を対象に，提案する支援のアプローチ，実装した支援機能及び提示情報の有効性を評価した。その結果，機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能とすることで危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する支援として，設計技術者ならびに同定結果を検証・承認する立場の者にとって有効であるとの評価が得られた。ただし，様々な点で，ツールだけを提供しても設計者支援として限界のあることが指摘され，特に，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを使用する上での留意点をまとめた資料を別途作成する必要のあることが分った。

機械安全の知識が限られた設計者でも最低限同定すべき危険源を認識できるようにするためには，「危険源となり得る性質をもつ物質やエネルギを技術的視点か判断できるようにすること」及び「アクセスの可能性を客観的に評価できるようにすること」が必要であり，そのために必要な情報を提示する支援が最も有効である。このとき，機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想ではある。しかし，設計技術者には，RA の最終的な目標である「適切なリスク低減」を達成する上で，危険源及び災害シナリオの同定の網羅性を担保することが要求される。そこで本研究では，実施者に危険源情報を提示する上で，検討範囲の広さよりも重大な見落しを防ぐことがより重要であると考え，EU での C 規格の利用に着想を得て，A／B 規格を含む機械安全規格の要求事項を活用する支援方法を提案した。

労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者を対象に行った調査の結果，提案する「危険源同定」支援方法に関しては一定程度目的を達成したと結論できた。ただし，調査を通じて，特に使用性に関して，反映すべきと思われる示唆に富む重要な指摘を複数受けた。これらを参考に改善を検討し，中小メーカの設計技術者を真に支援できるツールとして完成度をさらに高めていきたい。

4. 選択式使用段階 RA 支援システムの開発

4.1 日本国内の労働災害と使用段階 RA の現状

国内の労働災害は 2009 年以降増加傾向にあり，労働災害防止対策の一層の推進，中でも，中小規模の事業場を対象にした対策が必要である [3]。2021 年の労働災害統計 [16] によれば，製造業では，労働者数 10～29 人の事業場での発生件数が 6638 件と業種全体の 23.2%を占め，統計区分の中では最も多い。また，製造業の労働者数 300 人以上の事業場の死傷年千人率が 1.19 なのに比べ 10～29 人の事業場では 3.96 と約 3.3 倍で，一般に事業場規模が小さくなるにつれ災害が起こり易い傾向にある。さらに，製造業での死傷災害の起因物を見ると，機械・設備による災害が 31.9%を占め，全業種での 17.1%に対して依然として高い。

このような災害発生状況の要因として，一つに，中小規模の事業場での機械・設備に対する RA の実施率の低さが指摘されている [72, 76]。企業の生産活動は，商品の生産に必要な機械を選定・購入して生産ラインにガードや安全装置等の保護方策を講じて設置し，この機械の運転に必要な操作や保守の技能を作業者に教育して開始される。これらの過程において，購入する機械に安全上の問題がないか，生産ラインの保護方策や作業手順書が適切か，安全教育は十分かなどが責任をもって判断されなければならない。RA は，それを実施すること自体は直接的な災害防止対策とならないまでも，上記の判断に根拠を与えるエビデンスであり，判断の説明責任を果たすための手段である。実際，RA を実施した事業場の 7 割以上が効果を実感していると報告されている [72]。

しかし，2015 年の調査では，同時に，労働者数 300～499 人の事業場においては 73.8%が RA を実施していると回答したのに対し，労働者数 10～29 人の事業場では「十分な知識を持った人材がいない」（21.1%，複数回答）ならびに「実施方法が分からない」（17.4%，複数回答）などの理由から 43.4%に留まった。さらに，RA 実施率は，労働者数 30～49 人の事業場では 51.3%，50～99 人の事業場では 60.6%と，事業場規模が小さくなるにつれ低下する傾向が示された。

以上のことから，本研究の項目 2 では，機械を使用する中小規模の製造業の事業場（以下，「ユーザ」という。）を主な対象として，使用する機械に対して実施する RA の普及・定着を目的に，事業場の活動を支援する効果的な方策を検討する。そして，これを具体化した選択式使用段階 RA 支援システムを開発する。

4.2 支援システム開発の概要

前述したように，RA が実施されていない大きな理由として「実施方法が分からない」，「実施できる人材がいない」が挙げられており，“RA の難しさ”が大きな障壁となっている。中小規模の事業場が RA を実施する場合，一般的に，専門的知見を有するスタッフを揃えることは難しく，本務との兼ね合いから十分な時間を割くことも困難であることは容易に想像できる。

そこで，このような事業場がユーザとして機械の RA を行う際の支援を検討するにあたり，本

研究の項目 2 では，まず支援すべきステップとして「危険源の同定」に焦点を当てることとする。RA は「リスク分析及びリスク評価を含む一連のプロセス」を指し，その手順は国際的に ISO/IEC Guide 51[21] において図 28 に示すように規定されている。いずれのステップも重要であり，どれか一つが不適切でも判断に根拠を与える有効な結果を得ることはできなくなるが，第 3 章でも述べたように，「危険源の同定」が，RA 全体の有効性を左右する最も重要なステップとされている。機械に潜在する災害原因が危険源として同定されて，初めて，その後のリスク評価やリスク低減に展開されるからである。特に，ユーザでは，購入する機械の詳細，例えば，内部の機構，制御回路，組み込みソフトウェアの内容などについてまでは十分に把握していないことが多いと考えられ，このような機械本体の危険源について同定することは一般に困難である。このため，機械の危険源（リスクマップ等）とユーザで講ずべき措置については，労働安全衛生規則第 24 条の 13 に基づきメーカからユーザに情報提供がなされ，ユーザはこれに従って安全対策を策定する。ただし，ユーザの生産ラインに機械が設置され，そこで使用されることで初めて生じる危険源については，メーカが設計段階で同定するのには明らかに限界がある。ユーザで RA を行わなければならない理由の一つがこのことにあり，「危険源の同定」の適切さを欠いては本意を失うことになる。さらに，「危険源の同定」は，How to では表現できない側面を多分に含んでおり，機械安全に関する知識や RA の経験が限られた者にとって RA を難しいと考えさせ実施を躊躇させる大きな要因となっていることも，本研究が「危険源の同定」に焦点を当てる理由である。

以上のことから，項目 2 では，RA が生産機械の導入の際や作業マニュアル作成の際のエビデンスを与えるものであることを念頭におきつつ，必ずしも専門的な知識を有さない設備管理者などでも，提示された手順に基づいて機械の危険源が適切に同定できるようにする支援方法を考案し，これを実行する具体的手段の例として，使用段階 RA 支援システムを提案する。ただし，事業場で実施される使用段階 RA には様々な方式や手順のものが考えられるが，本研究の範囲では，比較的一般的な機械設備に対する RA として以下の事項を前提におく：

- 中小規模の製造業の事業場で比較的良く用いられていることから，工作機械を主たる RA の対象として開発を進める。
- 危険源同定は，事業場内の機械すべてを一度に対象とするものではなく，機械ごとに一つ一つ実施する活動とする。
- 作業工程も，いくつかの作業段階に分割して対象にすることとする（考慮した作業段階の詳細については後述する）。

4.3 危険源同定の支援方法

危険源同定を支援する方法を検討する基礎として，本研究では，平成 28～30 年度に行った既実施研究[3] において考案された「選択式簡易 RA 手法」に着目した。これは，小規模事業場において，会議室での RA の実施特に，危険源同定を容易にすることを目的に提案されたもので，災害のイラストを主として用いるアプローチと対象とする機械の写真を主として用いるアプローチの二つの方式が提案され，ボール盤を用いた板金作業を対象に各々の長短所の比較などが行われた。

本研究では，この成果を参照し，既実施研究で考案した二つのアプローチを改めて検討し，結果として，文章の読解・記述を可能な限り排した上でこれらを統合，災害発生の経緯（危険シナリオ）を説明したイラスト（危険イラスト）と実際の機械を撮影した写真とを照らし合わせて危険源・危険箇所を見出していく方式の簡易な危険源同定手法（以下，「本同定手法」という。）を新たに提案することとした[73]。

ISO/IEC Guide 51 で，「危険源の同定」は，対象とする機械又はプロセスと危険源リストを照らし合わせて実施するとしている。そして，危険源リストとしては， ISO 12100 の附属書 B に記載された一覧が機械全般を対象にしたリストとして一般に用いられており，機械によっては，個別安全規格の中に各々の機械に則した危険源リストが規定されている場合もある。ただし，これらの規格を読みこなし，対象機械の使用中に起こり得る危険シナリオを具体的に認識（発想）していくには，

－ RA 全体の目的や流れを把握していること，
－ 危険源リストの記載を理解する基礎的な機械安全の知識があること，
－ 機械の使用中に起こる労働災害に関して知見を有すること，

などが要求され，必ずしも容易ではない。

例えば，危険源リストにおいて原因（Origin）に「回転部分」，結果に「巻込み」とあっても，対象機械で発生する巻込み災害の事例を知らなければ，危険な箇所を認識できるとは限らない。個別安全規格が発行されている場合でも，例えば，旋盤の個別安全規格の危険源リストには「回転要素：巻込み」の項目があるが，対応する細分箇条の内容から「チャック」，「歯車」，「主軸後部」を読み取る必要がある。また，機械を使用する事

業場の立場では，機械には，このような代表的な危険源に対して設計・製造段階で一定の安全防護が講じられている場合があり，単純には危険と認識できない。しかし，労働災害は，例えば，調整やメンテナンスのためにこれらの安全防護を外した又は無効化した場合や，通常の使用では人が立ち入らない場所からアクセスした場合に発生しており，これらを危険源リストの記載内容から的確に発想できるかは，危険源同定を実施する者の能力に大きく依存する。

以上のことから，本同定手法では，対象とする個別の機械ごとに過去に報告された労働災害事例から災害発生の経緯を「危険シナリオ」としてまとめて一覧化する。そして，これらをイラスト化して直接的に RA 実施者に提示できるようにする。提示される「危険イラスト」が，各々の機械の災害を分かり易く説明した危険源リストとなって，対象機械の設備管理者，機械を操作する作業者，そのラインの職長，営業担当の労働者など機械安全に関して専門的な知識をもたない者でも比較的短時間で危険源同定が実施できるようにする。

4.4 危険シナリオの一覧化

「危険シナリオ」は，対象機械で発生する労働災害の要因を危険源・危険箇所として表すもので，対象機械に関連する災害をできるだけ網羅したものであるのが望ましい。ただし，過度に多くなると一通り閲覧するだけで煩雑になり，危険源同定の作業量が増加することに留意する必要がある。そこで，少なくとも，必須要件として，死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とさず，確実に同定されるようにすることを考慮することとした。その上で，災害事例などから危険シナリオを作成する方法を明確化しておけば，公表されているデータベースが更新された際に速やかに対応することや，各企業において独自にシナリオを作成することが可能になり，それらを取り込むことで危険源の見落としの低減が期待できる。

危険シナリオの作成に，本研究では，厚生労働省が職場のあんぜんサイトで公表している死亡災害データベース [44]，労働災害（死傷）データベース [45] 及び機械災害データベース [60] を活用することとし，2017 年の災害データ計 882 件から，先行して，旋盤，丸ノコ盤，プレス機械，ボール盤，フライス盤，ロール機の 6 種について，以下の方法で危険シナリオを作成した。

まず，上述のデータベースに収録された対象機械の災害事例の全ての発生過程を複数のパターンに整理し，これに基づいて機械ごとに危険シナリオを作成した。その際，特に以下の項目が明確になるよう配慮した：

ア.「作業工程」: 作業者がどの工程で災害を起こしたのか判断し，次の五つに分類して抽出することとした。

加工作業	機械を使用する加工などの作業全般（機械が作動している中での清掃を含む）
準備作業	機械使用前に行われる，工具や金型の取り付け，位置決め作業など
後処理作業	機械使用後に行われる，工具や金型の取り外し，機械を停止させた状態での清掃作業など
保守作業	使用よりも低い頻度で，定期的に行わる点検，調整，メンテナンスなど
その他の非定常作業	突発的な事態に対する計画外停止やトラブル処理，調整作業など

イ.「事故の型」: 基本的にはデータベースに記載された事故の型を参照する。ただし，災害の状況や発生過程に記載の事故の型以外のものも関連すると考えられる場合（例えば，転倒の結果，機械の可動部分に接近してしまい挟まれた場合）には，他の事故の型にも重複して分類することとした。また，データベースの記載が明らかに誤りと考えられる場合は修正した。

ウ.「状況」: 事例の発生状況の内容から，災害の直接的な原因となった不安全行動や要因を抽出し，「○○しているとき」，「○○中」という表現でまとめた。

エ. 加害物 : 危険源同定の際に，機械の様々な部品，機構若しくは機能，加工対象物（ワーク），ならびに，機械を使用する環境の条件を考慮して同定できるよう配慮した。

また，単に報告された災害事例の分類から得られたものばかりでなく，対象機械に対してデータベースには収録されてはいないが，抽出した他の機械の災害発生パターンから容易に想定できるシナリオも創作することとした。

作成した危険シナリオの例として，一部を抜粋して以下に示す：

＜旋盤の危険シナリオの例＞
- 加工作業中に，キリコに触れて指を切傷する。
- 加工作業中に，ワークがチャックから外れて，身体に当って打撲する。

- 加工作業中に，上着のそでがワークに巻き込まれ，腕を骨折する。
- 保守作業中に，チャックを取り外そうとして，チャックを落とし，手を骨折する。
- 清掃作業中に，切りくずを取り除こうとして，手を切る。
- 加工作業中に，長尺物の材料（鉄の丸棒）が回転中にぶれて，頭部に当たって頭蓋骨陥没になる。
- 加工作業中に，バイトが折れて，作業者に激突して，顔を切傷する。
- 加工作業中（ペーパー掛け）に，手を巻き込まれて，腕を骨折する。

＜丸ノコ盤の危険シナリオの例＞
- 清掃作業中に，切りくずを取り除こうとして，刃に接触して切傷する。
- 加工作業中に，カバーを上げて固定していたために，惰性回転している刃に手が触れ切傷する。
- 加工作業中に，カバーに挟まった切りくずを取り除こうとして，刃に接触して切傷する。
- 加工作業中に，手袋が刃に巻き込まれ，手首を骨折する。
- 加工作業中に，材料（木材）が反発して，腹部に激突する（内臓破裂）。
- 加工作業中に，材料を持っていた手が滑って，刃に触れ切傷する。

＜プレス機械の危険シナリオの例＞
- 準備作業中（金型取付）に，金型が落ちて，指を切傷する。
- 加工作業中に，降りる上型に手が触れて切傷する（光線式安全装置無効化）。
- 清掃作業中に，金型に触れて，指を切傷する。
- （プレスブレーキ）加工作業中に，折り曲げられた材料の板に挟まれる。
- 保守作業中に，降りる上型に挟まれる（寸動モードで，他の作業者が押しボタンを押す）。

＜ボール盤の危険シナリオの例＞
- 加工作業中に，刃が折れて，飛んで顔に当たる。（速度設定誤り）
- 調整作業中に，回転数変更用のベルトに，指を挟んで切傷する。
- 加工作業中に，手袋が巻き込まれて，指を骨折する。
- 加工作業中に，材料を固定する万力が落ちて，足の指を骨折する。
- 清掃作業中に，キリコで指を切傷する。

＜フライス盤の危険シナリオの例＞
- 加工作業中に，キリコで指を切傷する。
- 加工作業中に，焼けたキリコで指を火傷する。
- 加工作業中に，材料が割れて飛散して顔をケガする。
- 清掃作業中に，刃に触れて指を切傷する。

なお，本研究で作成した「危険シナリオ」は，厚生労働省のデータベースにある対象機械を起因物とする災害事例を網羅している。このため，データベースの災害事例全てを参照して危険源同定を行うことに相当すると言え，危険源の重大な見落としは防止できると考える。ただし，工作機械に特殊なアタッチメントを取り付けて使用することによる危険や特殊なワークを用いることによる危険など事業場特有の危険源の存在が予め認識できている場合，災害事例の情報源として業界団体などが策定した事例集や小規模事業場が独自に収集した災害事例が活用できる場合には，別途，危険シナリオとして追加することも考えられる。

4.5 危険イラストの作成

機械ごとに危険シナリオを一覧化して提示すれば，危険源同定の実施者は，より的確に認識すべき危険源，危険状態，危険事象を把握できるようになる。しかし，危険シナリオを文章情報だけで示しても，全ての実施者が意図した内容の通りに解釈するとは限らない。また，一覧化された文章群を読んで検討することは時間を要する作業であり，中小規模の事業場の事情に必ずしもそぐわない。そこで，作成した危険シナリオを可視化・情報化することを考え，機械に関連する災害をよりイメージし易くイラスト化することを考えた。このイラストを「危険イラスト」と呼ぶことにする。

ボール盤を例に，危険シナリオに対応する危険イラストの作成方法について述べる。まず，前述のデータベースからボール盤を起因物とした災害事例を抽出し，作業工程や状況などに留意して危険シナリオを作成する。一例として「加工作業中に，切削屑（切粉）を取り除こうとして，回転中のドリルに手を出し，手袋が巻き込まれて，手を切る」という危険シナリオを作成したと仮定する。そして，これを説明するイラストを作るが，その際，一般に一つの災害発生過程には複数の要因が関係していることが多く，災害をイメージし易くするには，一つの危険シナリオから複数の危険イラストを作成する必要がある。1枚のイラストに複数の要因の描写を盛り込むことには限界があり，仮に行っても実施者が全ての情報を把握するのに時間を要する結果となるからである。前述の危険シナリオで言えば，「（ドリル回転中の）ワークに付いた切粉を払ったこと」，「回転中の機械に手を出したこと」，「手袋を

していたこと」が災害に関係している要因であり，これらは図 29 に示すように個別に三つのイラストで表すのが適切である。

以上のようにして，前述の 6 種の機械に対して災害事例を抽出し，これに基づき，最終的に表 29 に示す数の危険イラストを作成した。

4.6 危険イラストを用いた簡易危険源同定の手順

本同定手法の手順を図 30 に示す。作成した危険イラストを一覧にして危険源リストに換えて提示する。そして，対象とする機械を必要な枚数撮影し，得られた写真と危険イラストを照らし合わせて危険源を同定していく。写真とイラストを照らし合わせて組合せをつくることで，どこで，どのような災害が発生するかを明確にすることができ，危険源同定を簡易に実施することが可能になる。対象機械の写真（正面，側面，背面，可動部のほか危険と思われる箇所）上で危険箇所を見出していくことについては，実際の中小規模事業場での危険源同定実施において，関係者らが集合し協議する機会を設けることが必ずしも容易ではなく，メール等を活用して個別に検討した結果を情報共有する点に配慮する必要があるという既実施研究の考察を踏まえたものである。

以下に各手順を説明する：

ア）準備段階

① 工場長などの指示のもと，危険源同定の対象となる機械を決める。

② 危険源同定に参加するメンバーを定める。その際，対象機械のオペレータだけでなく，職長などの管理者も含める。メンバーは，対象機械の使用法や関連作業内容，ヒヤリハット事例などについて話し合い，事前に情報を共有しておく。

③ 工場長などの指示のもと，今回，危険源同定の対象とする作業工程を第4.4節のアで述べた工程から選択する。

④ 選択した各作業工程について，実際の作業状況を写真に撮影（画像データとして記録）する。後に，これらは危険源同定の具体的な検討資料となる。撮影する方向や箇所，枚数は，対象の機械全体が網羅されるよう当該作業に詳しい者を中心に話し合って定める。

イ）同定段階

① 準備した作業状況の写真のうち 1 枚と，対象機械に関連する複数の危険イラストを同時に参照する。そして，写真の作業中に発生する可能性のある災害を危険イラストから選択するとともに，当該災害が起こる機械の箇所や区域（以下「危険箇所」という）を写真上で指定していくことで，危険イラストと危険箇所の組み合せを作成していく。この組み合わせは，図 30 に示すように，先に危険箇所を写真上に指定し，対応する危険イラストを選択していくことでも作成できる。この「組み合わせの作成」が，本研究で提案する簡易化した危険源同定であり，従来の危険源リストの記載項目から危険源，危険状態及び危険事象を想定していく進め方よりも，比較的短時間で発生する可能性のある災害を具体的にイメージできるようになると考える。

② 「組み合わせの作成」は，危険個所と危険イラストのどちらからでも始められることから，図 30 で示すように，片方からでは災害をイメージしにくいときや組合せの判断がしにくいときには，もう片方の手順で再度行うことで，起こり得る災害に対する検討が自然と深まる効果も期待される。

③ 上記の「組み合わせの作成」を，全ての危険イラストが検討されるまで繰り返す。場合によっては，一つ危険箇所に複数の危険イラストが組み合わされることもある。また，危険イラストに対応する危険箇所が写った写真がない場合には追加する。

④ 1 枚の写真について，危険イラストを全て検討したら，次の写真に移行する。一つの作業工程に関する写真を全て検討したら，次の作業工程に移行する。

⑤ 作成した組み合わせを，最後に「同定した危険源」として一覧表の形式で記録する。

4.7 選択式使用段階 RA 支援システムの試作

本同定手法に従い，危険源同定の支援に焦点を当てた使用段階 RA 支援システム（選択式使用段階 RA 支援システム）として，撮影機能を有するタブレット PC 上で動作するアプリケーションソフトウェア（以下，「本アプリ」という。）を試作した [74]。その際，次のような事項を要求仕様として考慮した。

まず，本アプリでは，危険源同定の対象として選択した機械について，危険イラストにより提示される災害事例の発生を検討し，発生が想定される場合には実際の機械を撮影した写真画像上に該当する“危険箇所”を指定する点に特徴があり，何よりもこれを実現する機能が必要である。可能な限り複雑な操作は排し，例えば写真画像上を指で触れるといった直感的な方法で該当箇所や区域が指定・登録できることが望ましい。

次に，前述したように，提示される危険イラストは網羅的である必要があるが，その数が過度に多くなると危険源同定実施にかかる作業量が著しく増大するおそれがある。このため，イラス

トは重複がないよう厳選した上で，危害の重篤度が高いものを優先的に提示するように設定するのが望ましい。

最後に，一つの危険イラストに常に一つの危険箇所が同定されるとは限らず，逆に，一つの危険箇所や区域に複数の危険イラストが該当することも考えられる。このため，イラストと危険箇所との紐付けて管理する際，一つの危険区域にN枚のイラストが，一つのイラストにN箇所の危険区域が対応でき，どちらを入力においても他方が問い合わせ可能であることが求められる。このとき，N枚及びN個の上限は，本アプリを実装する機器のリソースに影響するものであるため，適切な値を設定する必要がある。

以上を考慮して試作した本アプリの代表的な動作中の画面（後述する“カ 危険源同定”の過程）を図31に示す。具体的な処理の流れは以下のとおりである：

ア　プロジェクト情報登録

新規作成するプロジェクト情報として，プロジェクト名，作成者，対象機械名を登録する。作成年月日は自動で登録される。

イ　起動

本アプリを起動すると，初期画面が現れる。新たな対象へのリスクアセスメント（新規プロジェクト）か，過去に行ったリスクアセスメント（既存プロジェクト）を選択する。新規プロジェクトの場合は，プロジェクト名，作成者名，機械名，機械の設置場所を入力する。作成年月日は自動入力される。

既存プロジェクトの呼び出しは，以前に途中まで行ったRAの続きを行う場合や，過去の結果を参考にする場合に行う。RA実施において，過去の情報は重要であり，容易に呼び出せるように配慮している。

ウ　機種選択画面

RAで対象とする機械の機種を選択する。現時点では，旋盤，丸ノコ盤，プレス機械，ボール盤，フライス盤，ロール機の6種に対して，表29に示した数の危険イラスト及び危険シナリオが本アプリに格納してあるが，今後拡充していく予定である。それでも該当がない機械に対しては，事業所で独自に追加できるような別モードを検討することも考えられる。

エ　作業選択画面

RAで対象とする作業の工程を設定する。これは「準備作業」，「加工作業」，「後処理作業」，「保守作業」，「その他非定常作業」の中から選ぶか又は追加で行う。作業別に行うのは，これら全ての作業工程のRAを行うには時間を要することから，分割して行えるようにするためである。また，RAを行う際，準備作業や保守作業などの非定常作業の危険が見落とされがちであることから，これらの作業を明示することにより，見落としを防ぐことができる。

オ　写真撮影画面

タブレットPCのカメラを用いて対象となる機械や作業の様子を撮影する。既存プロジェクトの際には，過去に撮影した写真を選択することができる。

カ　危険源同定

撮影した写真から，危険個所を指定する写真を選択する。本アプリでは，この写真と選択した機械に関連する複数の危険イラストが同一画面上に表示される。このとき，危険イラストは，死亡災害など危害が重篤な危険シナリオに対応するものが優先的に提示されるようにしている。

また，危険箇所の指定は，選択した写真の上で危険個所を画面タッチ又はクリックすることで印をつけて行い，組み合わせた危険イラストの情報と共に記録される。

次に，事故の型（切れ，落下，はさまれなど）を選択する。選択した事故の型に関連する危険イラストが提示されるので，該当する者をタップする。これにより，写真の危険個所と危険イラストとが結び付けられ，機械の「どの箇所で，どのような事故が起こるか」が同定されたことになる。

以上の手順で，対象とする機械のすべての危険イラストについて検討していき，危険箇所との組み合わせ（セット）をつくる。提示された危険イラストの中に該当するものがない場合は，危険シナリオを作成し，これを写真の危険個所と突合する。新たな危険シナリオについては，後に危険イラストを追加する。

なお，以上は，危険と思われる箇所を写真で指定してから危険イラストを選ぶ手順であるが，逆に，危険イラストを先に選択し，その後対応する災害が起きそうな箇所を指定することもできる。

キ　対策記入画面

記録された危険イラストと危険個所の組み合わせは，図32に示す様式の一覧表に整理される。ここで「シナリオ」，「事故の型」，「危ないこと」の欄は，選択した危険シナリオに紐付けられた情報であり，自動的に表示される。また，この一覧表には，各危険イ

ラストのセットに対するリスク低減方策も複数記入できるようにしている。

最終的に，危険個所，危険イラスト，安全対策の組合せは，表形式にまとめられ，表計算アプリケーション（本研究では Excel とした）のデータとして出力される。必要に応じて，リスク低減方策の担当者や期日などを入力するなどし，安全計画の作成に利用できる。

4.8 選択式使用段階RA支援システムの有効性評価

4.8.1 予備的動作確認

本アプリの有効性を典型的な機械を対象に危険源同定を試行する方法で，実際の中小規模製造業事業場 3 社の安全担当者の参加を得て評価する。

ただし，これに先立ち，長岡技術科学大学において，学生 3 名及び大学の工作センター職員 3 名を対象に本アプリを試行してもらい，基本的な動作の確認を行うと共に，その使用感や危険源同定のし易さなどについて所感を述べてもらった。学生はいずれも RA に関する知識はなく，工作機械の扱いにも不慣れである。一方で，工作センター職員は工作機械の操作は熟知しており，その危険性も概ね理解している。ただし，RA は理解していなかった。

本アプリを用いることで RA が容易に行えるか否かを聞いたところ，「とても簡単」が 3 名，「簡単」が 3 名であった。その理由として，「選択式であり入力が楽である」，「イラストがあることで機械の知識が無くても事故のイメージができる」ことが挙げられた。また，危険源同定の作業時間は約 30 分ほどであった。この程度の時間で危険源同定を実施できるのであれば，時間の限られた事業場でも RA を導入しやすくなると考えられる。

その一方で，「PC の操作が苦手な人では必ずしも容易ではない」という意見があった。今後，中小企業にあっても Digital Transformation が進展する中で，RA をタブレット等を用いて行うことは安全教育への活用などメリットが大きいとも考えられるが，デジタル機器に抵抗を感じる人を取り残さない工夫が必要であると考えられた。

次に，小規模事業場を対象に職場巡視や安全指導等の経験が豊富で，工作機械の扱い方や危険性にも詳しい労働安全コンサルタント 3 名に本アプリの動作等を確認いただき，併せて，問題点や所感をヒアリングした。3 名とも，製造業の小規模事業場のコンサルティングを行っており，工作機械に関しても詳しい。ヒアリングの結果得られた代表的な回答を以下に示す：

- イラストで示すことで労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた事業場でも取り組みやすい
- リスクアセスメントの最低限の知識は必要
- 写真が小さいのでアプリに拡大機能をつけてほしい
- イラストの数が多い
- イラストは類似のものを系統的に提示してはどうか
- 保護方策に，記入例をつけてはどうか
- アプリの説明動画があると分かりやすい
- 事業場によっては一度に安全対策をすることが難しい。重篤なものから順番に少しずつ解決していくことが重要であり，リスクアセスメントではそのような視点が必要
- はじめアプリの操作に戸惑ったが，慣れれば大丈夫。スマホ世代は問題ないのではないか

以上について，反映できる事項は今後の改善に活かしたい。ただし，本アプリを用いる範囲では，画面に示される手順に沿って危険源同定を実施できるようになっている。しかし，そもそも危険源同定とは，何のために，何をするのかを知らなければ，適切な実施は期待できない。また，対象とした機械の動作や操作を全く知らなければ，危険源を適切に同定することは難しい。これらについては，本アプリ自体で対応することは明らかに限界があり，危険源同定や RA の概要，機械の危険な動作などを学習するためのソフトウェアを作成するなど，別途，検討が必要である。

このため，調査を行う際，参加協力企業においては本支援ツールの操作方法に加え，RA ならびに危険源同定の概要について必要最小限の説明を行ってから調査を行うこととした。

4.8.2 有効性評価の結果と考察

機械を用いて生産活動を行う中小規模の事業場 3 社を対象に，本アプリを用いて危険源同定を試行してもらい，各社の安全管理の担当者にアンケートを行う方式で本アプリの有効性を評価した。参加協力いただいた事業場の概要を表 30 に示す。ただし，調査に先立ち，前述のとおり RA 及び危険源同定の概要について説明をした。3 社は，すでに機械設備に対する RA の実施に取り組んでいたが，自己評価では各社とも「十分ではない」と感じられていた。なお，本調査は労働安全衛生総合研究所倫理審査委員会の承認（通知番号 R4-安 5-01）を得て実施した。

調査結果として，得られたアンケート回答の要約を表 31 に示す。本アプリの有効性を「危険

源同定の簡易な実施」という観点で質問したところ，2 社が有効性を評価し，1 社が評価できないと回答した。ただし，この 1 社に理由を具体的にヒアリングしたところ，「本アプリは容易に使えたものの，リスク見積りの機能がないので，リスク評価を行うことが難しいであろうと感じ，RA を簡易に行えるとは言えないと評価した」とのことであった。このため，本アプリで焦点を当てた「危険源同定」の支援に関しては，一定程度達成したと判断できるが，否定的な回答がなされた理由としては，本アプリ自体が RA 全体の手順の中で「危険源同定」にフォーカスしたものであることの説明が不足していたためとも考えられ，操作方法を説明したマニュアルを改善するなどの措置が必要であることが分かった。

一方，その他の回答について，危険シナリオの分かり易さと本アプリの操作性は 3 社ともに評価いただいた。これは，本アプリで採用した危険イラストと危険個所の組み合わせを生成する手法が有効に機能した結果と言え，PC 画面に表示した写真に直接危険箇所を指定できるなど，直観的な操作が受け入れられたと考えられる。

しかし，危険イラストの数について，表 29 に示した数では十分ではなかったとの回答があった。今回は実際に発生した災害事例から危険イラストを作成したが，広くヒヤリハット事例までを想定する必要が示唆された。さらに，撮影した写真のサイズは固定としていたため，撮影時の画角によっては危険個所が見つけにくいことが懸念された。なお，所要時間は概ね意図した程度であったが，回答がバラついた原因としては，各社が試行の際に対象とした機械が異なり，このため格納済みの危険シナリオや危険イラストの多寡によるものと推察される。

この他，「はじめ PC の画面上で危険源同定を行うことに慣れなかったが，慣れれば容易に行うことができた」，「経験が少ない者でも行えると思う」などのコメントが得られた。調査に協力いただいた 3 社ともに RA の経験を有していたため，本アプリの習熟により有効に活用できることが期待される。アンケートに並行して行ったヒアリングでは他にも，「非定常作業についてのイラストが少ない」，「自らの機械に合うイラストを追加できるようにしてほしい」，「写真の拡大機能をつけて全体も細部も見えるようにしてほしい」との指摘があった。

本アプリは，提案する選択式簡易危険源同定支援の効果を確認することを主眼とした試作品であったため，ユーザビリティの向上という点では検討の余地はあったものの，中小規模の事業場でも有効に機能すると評価され，その活用が期待される。

4.9 本章のまとめ

モノづくりを行う事業場での RA について，危険源同定の支援を目的に，できるだけ簡易で，文章の読解や紙媒体資料の使用を可能な限り排する方向で，既実施研究で提案された簡易 RA 手法を見直した。そして，対象として選択した機械の危険シナリオをイラストで提示するとともに，実際の機械を撮影した画像上で該当する危険箇所を指定していく方式の簡易な危険源同定手法を考案し，これを事業場で実行できる選択式使用段階 RA 支援システムとして，タブレット PC で動作するアプリを試作した。

試作したアプリを用いて，理工系大学の学生と職員，労働安全コンサルタント，ならびに，中小規模ユーザを対象に，提案する手法の有効性を評価した。その結果，提案する同定支援の効果を確認することを主眼とした試作品であることから，ユーザビリティの観点での課題が示されたものの，機械の災害発生の経緯（危険シナリオ）をイラストで提示するという危険源同定手法は概ね評価され，中小規模事業場が RA に着手するための有効な支援になり得ると判断できた。

今後，「危険源の同定」の支援に焦点を当てた使用段階 RA 支援システムの研究をさらに進める上では，以下の点に留意する必要がある：

1）非定常作業を想定した危険イラストをできるだけ多く用意するとともに，各事業場の機械に応じた危険源同定を容易にするため，事業場自らイラストを作画し支援アプリに追加できるようにする。

2）写真表示に拡大機能を付加し，機械の全体と危険箇所の細部を表示できるようにする。

3）支援アプリの操作方法を説明したマニュアルを動画資料とするなど充実させるとともに，危険源同定及び RA の基礎的事項に関する説明を併せて提供するようにする。

本研究で提案した支援アプリは，危険源同定を実施する者がその手順を知らなくとも，画面の進行に従って危険イラストと写真から危険源同定が実施できるようになっていることや危害が大きい危険シナリオのイラストが優先的に提示されることから，RA に不慣れな中小規模の事業場が危険源同定に着手するための支援になると考える。また，限られたリソースを投じて事業場が RA を実施する上では機械災害の防止に最も関わる部分に注力する必要があると考え，「危険源の同定」の支援に焦点を当てることとし，「リスク評価」に対する支援は含めなかった。ただし，労働災害では，被災労働者に治療費などが支払われるが（無過失責任），死亡災害や重篤な

障害が残る怪我の場合，保険給付のみで十分に責任を果たせるとは言い難いと本研究では考えている。金銭賠償で済まされない事故はリスク評価以前にその可能性を排除することが求められる。この観点からすれば，提案する選択式使用段階 RA 支援システムは，中小規模事業場での RA の普及・定着に対して有益なサービスとなり得るであろう。

5. 典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

5.1 研究の背景

機械に起因する労働災害を防止するには，機械の設計段階及び使用段階で適切に RA を行う必要がある。このうち，機械の設計段階に対しては，ISO 12100 [2] を始めとする機械安全規格に従って機械（製品）の RA 及びリスク低減を図る方法が知られている。これに対し，機械の使用段階に対して，国際的にオーソライズされた方法は一般的に見当たらず，各国が独自の方法を考案し，作業の RA を実施している（例えば，英国 HSE が 提唱している 5 ステップ法 [75] や日本の厚生労働省が「職場のあんぜんサイト」で公表しているリスクアセスメント実施支援システム [59] など）。しかし，これらの手法が常に適用できるわけではなく，労働災害の経験が少ない事業場（特に，小規模事業場）が RA を実施しようとする場合，一般には次のような困難が考えられる。

1) 機械の機能や危険性に関して十分な情報と適切な支援が得られない事業場では，RA を担当する者が想定できるリスクには明らかに限界があり，このような状態で，適切な RA の実施は困難と考えられる。
2) 仮に RA が実施できたとしても，専門家の関与がない状況の下では，得られた結果の妥当性を確認することは困難と考えられる。
3) RA には継続的な改善が要求される。しかし，RA 結果の妥当性が確認できない状況の下で，形ばかりの継続的改善を進めるのは現場にとって相当な負担となる。

既実施研究 [3] において梅崎らは，以上のような問題を有する事業場を対象に，ユーザにとって理解が容易な危害から出発する簡単な手法で重大な危害を見逃す可能性が少ない「典型災害事例を応用した簡易 RA 手法」を提案した [3]。本研究の項目 3 では，この手法に基づき，災害が多発している機種を対象に典型災害事例を作成した上で，この情報を担当者に確実に提供することによって重大な災害（危害）の見逃しを防止する具体的な支援手段の例として，試作したタブレット PC を用いた使用段階 RA 支援システムについて述べる。

5.2 簡易 RA 手法の基礎的要件

英国では，特に小規模の事業場を対象とした RA 手法として，英国安全衛生庁（HSE）が提唱している 5 ステップ法を用いることがある。この手法は，図 33 に示すように，欧州安全規格（EN 規格）の下で機械の設計・製造者（以下，「メーカ」という。）が行っている「設備のリスクアセスメント」をユーザが行う「作業のリスクアセスメント」に応用したものである。そのため，簡易とは言うものの，「機械の危険性を本当に知っているのは機械の設計・製造者である」という観点に立っており，メーカが熟知している危険源を出発点として危険源→危険状態→危険事象→危害と演繹的に（前向きに）RA を行う方法が採用されている（図 34 参照）。

しかし，労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた事業場でこのような演繹的手法を採用する場合は，RA を実施する人の能力に「ばらつき」があるために，誰が RA を行っても同じような結果になるとは限らない。その結果，重大な危険源などを見逃し，必要な予防措置に漏れが生じる可能性ある。

このため，既実施研究において，以上のような問題が起こる可能性の少ない手法として，ユーザでも理解が容易な危害（災害）から出発する簡易 RA 手法を提案した。これは，過去に繰り返し発生している災害（後述するタイプ A 災害）を対象に典型災害事例を抽出し，事例に記載された災害情報（危害）を出発点として後ろ向きに推論（帰納的推論，図 35 参照）を行う方法であり，設計段階で一般に行われているメーカが熟知している危険源を出発点とする決定論的観点からの前向き推論（演繹的推論，図 36 参照）に基づいた RA とは根本的に異なるものである。

この手法の開発にあたっては，労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた担当者が実施することを前提に，次のような事項を基礎的要件として考慮した：

① 現場で比較的知られている危害（災害）から出発する後ろ向き推論（帰納的推論）であること。
② 簡単な手法であること。
③ 誰が RA を行っても同じような結果が得られること（再現性）。
④ 重大な危険源を見逃さないこと（危険を誤って安全と判定しないこと）。

以上の要件を満足できれば，簡単で再現性があり，かつ，危険を誤って安全と判定する可能性の少ない簡易 RA 手法の確立が可能となる。

5.3 典型災害事例の抽出

提案する後ろ向き推論を行う簡易 RA 手法で利用する典型災害事例について，以下に述べる。

労働災害の中には，過去に繰り返し発生している災害と，発生確率は低いが重篤度が著しく高いために社会的に影響の大きい災害がある。本稿では，前者をタイプ A 災害，後者をタイプ B 災害と呼ぶ（図 36 参照）。実際の現場で発生する労働災害の大部分は，タイプ A 災害である。

以前，梅崎らは，平成 22～25 年に発生した休業 4 日以上の死傷労働災害 474,088 件及び死亡労働災害 5,625 件の中から，機械に起因する労働災害（死傷災害 76,075 件及び死亡災害 870 件）を選び，災害が多発している機種の抽出を試みた。ただし，機械は，動力機械，動力クレーン，フォークリフト，コンベアに限定し，トラック，乗用車，バス，バイク，鉄道車両，その他の乗り物は除外した。分析の結果，機械に起因する死傷労働災害の 75%は図 37 に示す木材加工用機械，フォークリフト，食品加工用機械などの 16 機種で多発していた。また，死亡労働災害の 83%は，図 38 に示す 16 機種で多発しており，図 37 に示した結果とは機械の種類が大きく異なっていることが判明した。なお，ここでいう「多発」とは，平成 22～25 年に発生した全死傷災害又は全死亡災害の件数比で 0.1%を超えていることをいう。

以上の事実は，災害の 8 割近くを占める各々の 16 機種に重点を置いて労働災害防止対策を実施すれば，労働災害の大幅な減少を達成できる可能性を示唆している。そこで，これらを対象に典型災害事例を抽出することとした。

ただし，典型災害事例の表現方法を標準化しておかないと，抽出者によって同種の災害に対して同じような結果が得られるとは限らない。そこで，人による“ばらつき”をできる限り少なくするために，本研究では，典型災害事例を図 39 に示すように I（業種：Industry）＋M（機械：Machine）＋T（事故の型：Type）＋O（作業その他の条件：Operation or Option）＋C（直接原因と対策：Cause and Countermeasure）という 5 種類の項目で表現することとした。ここで，I は労働災害の発生した業種で，労働基準法別表第一に定められた業種分類にしたがって決定する。また，M と T は労働災害の発生した機械の名称と事故の型で，厚生労働省が発表している「事故の型及び起因物分類」に定められた起因物及び事故の型分類表を考慮して決定する。さらに，O は労働災害に関連した作業その他の条件，C は労働災害に関連する直接原因とその予防策である。

例として，図 40 にフォークリフトを対象として平成 26 年以前に発生した死亡労働災害のデータから抽出した典型災害事例を示す。他の機種の典型災害事例の案も既に作成しており，別途，原著論文などで公表を行う予定でいる。

5.4 簡易 RA 手法での典型災害事例の活用

5.4.1 典型災害事例シート

前述した典型災害事例は簡易に作業の RA を実施する上で，次のように活用できる。

まず，典型災害事例には，過去の現場での労働災害の経験を基に，発生可能性の高い災害（危害）が示されている。したがって，この情報を適切に参照することで RA の実施経験が少ない人でも重要な危害を漏れなく認識でき，労働災害の経験が少ない事業場にとって大変効果的な危険源同定の手法となると期待される。

図 40 に示したフォークリフトを対象とした典型災害事例を例とすれば，RA の担当者は，このシートの上から順番に記載された災害事例が事業場で発生する可能性があるか否かを判定し，可能性がある労働災害に対して確実に方策を実施していけばよい。このシートにはフォークリフトに起因する災害全体の 72.2%を占める典型災害事例が記載されており，これらの災害を認識して未然防止できる可能性がある。

また，典型災害事例には，実際の現場で発生した危害の件数と比率（%）も示されている。したがって，危害の比率が高い順番に優先順位をつけていけば，リスク評価と同等の結果が得られる。しかも，この評価は実際の労働災害の経験に基づく評価であるから，他の加算法，積算法，枝分かれ法，マトリックス法などのリスク評価手法と比較した場合でも，リスク評価によって得られる評価値は正確と考えられる。

以上の既実施研究での検討に基づき，本研究では，使用段階 RA 支援システムの例を構築するにあたり，死亡災害と死傷災害での重複を考慮して次の 15 種の機械に対する典型災害事例シートを整備した：

- フォークリフト
- ロール機
- 旋盤
- プレス機械
- ドラグショベル
- 丸のこ盤
- フライス盤
- 中ぐり盤
- 産業用ロボット
- コンベヤ
- エレベータ
- 天井走行クレーン
- 移動式クレーン
- ボール盤
- マシニングセンタ

ただし，ボール盤，フライス盤，マシニングセンタ，中ぐり盤の 4 種については一つのシートにまとめることとした。例として，図 41 は移動式クレーンを対象とした典型災害事例シートであり，移動式クレーンで発生する可能性の高い

災害がすべて示されている。実際の現場で RA を実施する場合は，このシートの上から順番に事例にあるような災害が発生する可能性があるか否かを判断し，可能性がある災害に対して確実に対策を実施していけばよい。

5.4.2 保護方策チェックリスト

典型災害事例の情報からは，講じるべき技術的方策と管理的方策も把握することができる。そこで，事業場に必要な方策の選択肢をそれぞれ一覧化して，簡易 RA 手法で参照可能な情報とした。例として，フォークリフトを対象にした技術的方策のリスト（これを様式 A という。）を表 32 に，管理的方策のリスト（これを様式 B という。）を表 33 に示す。さらに，簡易 RA 手法では，様式 A と様式 B の中から必要な保護方策を選択して評価結果の記録表（表 34 参照。これを様式 C という。）に記録することとした。ここでは，特に保護方策を実施した後の残留リスクにどのようなものがあるか明記し，それらに対する方策も併せて記載することが重要である。

なお，実際には，様式 A，B に記載されていない方策が必要になることもあり得る。また，記載された方策の内容を RA 担当者が不十分であると考えた場合には，追記を行うことも考えられる。このような現場の創意工夫を反映し労働災害防止に関する意識を促進できるよう，以上の様式には自由記入の欄を設ける工夫をした。

また，様式 C には事業者や工場長など管理者への連絡事項（管理者に何をしてもらいたいか）とメーカへの連絡事項（メーカに何を希望するか）を記入する欄がある。この欄を設けたことで，単に現場の作業者レベルに留まらない多くの関係者（例えば，現場の管理者やメーカの担当者など）も交えた質の高い RA を実施することが可能となる。従来，作業の RA では，機械の危険性や保護方策の不具合に関する情報はユーザだけで完結することが多かった。しかし，機械の危険性に対して本当に有効な対策が実施できるのは機械メーカの担当者（機械の設計・製造者など）や現場の管理者（事業場規模が小さい場合は社長や工場長など）である。これらの真に責任がある関係者も含めて機械の RA や保護方策を講じることが，実効性の高い対策を講じる上で不可欠と考える。

以上の既実施研究での検討に基づき，本研究では，使用段階 RA 支援システムの例を構築するにあたり，前述した 15 種の機械に対する様式一式を整備した。例として，移動式クレーンを対象にした様式 A，B を表 35, 36 にそれぞれ示す。

5.5 簡易 RA 手法の具体的手順

提案する典型災害事例を応用した簡易 RA 手法では，図 42 に示す手順で使用段階 RA が実施される[3,76,77]。各ステップの詳細を以下に述べる。

1）ステップ１（危害の明確化）

典型災害事例には，過去の現場での労働災害の経験を基に，発生可能性が高い災害（危害）が示されている。したがって，RA の実施経験が少ない人でも重要な災害を漏れなく抽出できる利点があり，労働災害の経験が少ない事業場にとって大変効果的な手法と考えられる。

また，前述したように，各機械に対して作成された典型災害事例シートには，それぞれの機械で発生する可能性が高い危害（典型災害）が順に示されている。このため，実際に現場で RA を実施する際は，典型災害事例シートの上から記載された典型災害が発生する可能性があるか否かを判定していけばよい。

2）ステップ２（リスク評価）

前述したように，典型災害事例には，実際の現場で発生した危害の件数と比率（%）も示されている。したがって，危害の比率が高い順番に優先順位をつけていけば，リスク評価と同等の結果が得られる。

3）ステップ３（保護方策の実施）

典型的災害事例の保護方策には，技術的方策と管理的方策があり，各々，様式 A（表 32, 35 参照）と様式 B（表 33, 36 参照）として一覧化してある。これらの中から必要な保護方策を選んで評価結果を様式 C（表 34 参照）に記録する。様式 A と様式 B には自由記入の欄も設けてあり，現場の創意工夫を反映できる。

4）ステップ４（評価結果と残留リスクの記録）

次に，様式 C に，評価結果と残留リスクを記録する。このステップでは，特に保護方策を実施した後の残留リスクにどのようなものがあるかを明記し，その残留リスクに対する方策も記載することが重要である。

併せて，様式 C には，管理者への連絡事項と機械のメーカへの連絡事項を記入する。この欄を記載することは，簡易 RA を単に現場の作業者レベルに留めず，多くの関係者を交えた質の高い活動とする上で重要である。

5）ステップ５（妥当性確認，見直しと修正，及び記録の保存）

従来の RA 手法で仮に使用段階 RA が実施できたとしても，労働災害の経験が少ない事業場が単独で実施した RA の妥当性を確認することは困難である。また，RA には継続的な改善が要求されるが，RA の妥当性が確認できない状況の下で形ばかりの継続的改善を進めるのは現場に

とって相当な負担となる。使用段階 RA の実施を普及・定着させていくには，何らかの形での専門家の関与が不可欠である。

そこで，本研究では，簡易 RA 手法の特徴を生かし，機械安全の専門家がタブレット PC を介して遠隔で RA 結果の妥当性を判定する「遠隔安全診断」を提案する。具体的には，RA を実施した担当者がタブレット PC を利用して専門家に対して現場の写真，動画，作業手順，典型災害事例のチェック結果，様式 A，B，C の記載結果，その他 RA の実施結果や関連資料をクラウドサービスや電子メールを用いて送り，RA の妥当性を専門家が確認して必要な場合には見直しと修正を施すものである。

この「遠隔安全診断」の採用によって，関係者は RA の記録を確実に標準化されたフォーマットで保存でき，これらの情報を集積することで，RA 結果の統計処理や類似機械への展開も容易に行えるようになるなどの利点がある。

5.6 タブレット PC を用いた簡易 RA 支援システムの基本機能と機器構成

簡易 RA 手法を実施する具体的な手段の例として，既実施研究 [3] において，フォークリフトを起因物とする災害を対象に，タブレット PC を利用した簡易 RA 支援システムを試作した。この試作では，特に次の点に留意した。

1）ICT の初心者やタブレット PC に不慣れな人でも容易に操作できるように，直感的な操作で業務を遂行できること。具体的には，タブレット PC 上に表示される典型災害事例やリスクアセスメントシート（様式 A，B，C など）に対してタッチペン又は指による操作を行うだけで，必要な操作が容易に完了できること。

2）タブレット PC 上に表示される典型災害事例やリスクアセスメントシート，及び様式 A，B, C などに対して，あたかも紙の上で行うような手書きができること。この場合，関係者がリスクアセスメントの実施中に気づいた点をタブレット PC に書き込み，チェックリストのチェックを行うことも可能であること。また，様々な人が手書き操作を容易に行えるように，タッチペンは手書き入力に適した構造であること。

3）現場で撮った写真や動画をリスクアセスメントの実施者が遠隔安全診断用のシステムに添付し，専門家を含む関係者間で情報共有できること。この場合，上記のリスクアセスメントシートや様式 A，B，C に複数人が同時に書き込んで情報を共有することも可能であること。

4）タブレット PC の画面を容易に確認できるように，タブレット PC 上に表示される典型災害事例やリスクアセスメントシート，及び様式 A, B, C などは指による操作によってシートの拡大などが簡単にできること。

5）使用段階 RA 支援システムでは，企業機密に関する情報を扱うことも多い。このときの情報セキュリティーを確保するために，クラウドの使用，端末制限やワイプ（端末に保存されているデータの削除）の使用，タブレット PC の利用状況を確認するログ監視機能などを備えていること。

6）本システムを介して機械安全の専門家等が RA 結果の妥当性確認を遠隔で行えるように，RA 実施者，現場の管理者及び専門家らの間で連絡調整と確認が迅速かつ確実に行うことができること。また，同様な機能をメーカの担当者（機械の設計・製造者など）に対しても適用できること。

7）本システムを利用すれば，現場事務所に戻ってからの無駄な作業を減少でき，現場の働き方改革を推進させることが期待できる。このために，簡単な操作だけで現場の情報を集約し，現場の書類や帳票の作成を容易化し，業務の効率化を図れる様々なツールを備えていること。

以上のような機能を実現するため，既実施研究では，株式会社 MetaMoJi が販売している Genba Note for Business を使用することとし，また，手書き入力に適した構造のタッチペンとしてはスタイラスペンを利用することとした。具体的な機器構成は，次のとおりである：

1）タブレット PC
Apple ipad pro 12.9 インチ WiFi モデル 256GB 1 式（リスクアセスメント実施者用）

2）キーボード
ipad pro 用　Smart Keyboard Folio　1 式

3）タッチペン
スタイラスペン　1 本

4）基本システム
Genba Note for Business チームテディションクラウド版　5 ライセンス（RA の実施者，現場の管理者，メーカの担当者，専門家用）

5）手書き文字認識システム
Genba Note for Business チームテディションクラウド版　mazec　1 式

6）関係者間の連携システム
Genba Note for Business チームテディション クラウド版　ミーティングオプション　1 ライセンス

7）操作説明書　1 式

この試作システムを基礎として，本研究では，扱える機械の種類を災害が多発している 15 種に拡充するよう必要な典型災害事例シート及び様式一式を実装するとともに，機械安全専門家による「遠隔安全診断」を具体的な支援機能として付加した。本研究で構築した簡易 RA 支援システムの外観を図 43 に示す。

5.7 簡易 RA 支援システムの操作手順

構築した簡易 RA 支援システムの操作手順は次のとおりである：

1） タブレット PC 上でアプリを起動する。
2） タブレット PC 上に典型災害事例のシートが表示される。
3） 典型災害事例を閲覧するために，指による操作によってシートの拡大，縮小，移動などを行う。
4） 発生可能性がある典型災害事例を選択する。この操作は，スタイラスペンによる操作でシートをマーキングすることによって行う。
5） 操作後，マーキングした典型災害事例の色が変化する。また，関連する写真や動画などの閲覧が可能となる。なお，この閲覧では，タブレット PC を使って，RA の実施者，現場の管理者，メーカの担当者，専門家が直接写真や動画を撮影し，情報共有ができるようにする。
6） 上記 4）と 5）の操作を必要な典型災害事例に対して繰り返す。
7） 必要に応じて，典型災害事例のコメント欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか，又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後，手書き文字はテキストに変換される。
8） タブレット PC 上に様式 A が表示される。
9） 様式 A を閲覧するために，指による操作によってシートの拡大，縮小，移動などを行う。
10）該当する技術的方策を選択する。この操作は，スタイラスペンによる操作でシートのチェックボックスを直接操作して行う。操作後，様式 A のチェック欄に“■”印が付けられる。
11）必要に応じて，様式 A の“自由記入”欄と“あなたの職場での注意事項の追加”欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか，又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後，手書き文字はテキストに変換される。
12）タブレット PC 上に様式 B が表示される。
13）様式 B を閲覧するために，指による操作によってシートの拡大，縮小，移動などを行う。
14）該当する管理的方策を選択する。この操作は，スタイラスペンによる操作でシートのチェックボックスを直接操作して行う。操作後，様式 B のチェック欄に“■”印が付けられる。
15）必要に応じて，様式 B の“自由記入”欄と“あなたの職場での注意事項の追加”欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか，又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後，手書き文字はテキストに変換される。
16）タブレット PC 上に様式 C（評価結果の記録表）のシートが表示される。
17）様式 C を閲覧するために，指による操作によってシートの拡大，縮小，移動などを行う。
18）様式 C の“評価結果の記録”欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか，又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後，手書き文字はテキストに変換される。
19）様式 C の“残留リスクの明確化”，“管理者への連絡事項”，“メーカへの連絡事項”欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか，又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後，手書き文字はテキストに変換される。
20）RA の結果を印刷する。
21）専門家に RA の結果を送信する。
22）専門家からの指摘を受け，必要部分を修正する。
23）必要に応じて，管理者やメーカの担当者に情報を提供する。
24）RA を終了する。

5.8 簡易 RA 支援システムの有効性評価

5.8.1 安全専門家による評価

構築した簡易 RA 支援システムについて，本研究では，まず，長年の経験を有する機械安全と労働安全の専門家に試行してもらい，実装した機能の有効性などの評価を実施して頂いた。以下は，その評価結果である。

1）本 RA 支援システムの設計思想について
(1) 過去に発生した典型災害事例から直接的に危害を抽出する方法は，ケガの程度が死亡につながる重大リスクに着目するという点，および従来の RA の実施が難しい中小企業向けの RA の提供という観点において，現実的と考える。

労働安全衛生マネジメントシステムの規格である ISO 45001[78] において，全ての人，全ての作業，全ての設備から危険源を抽出し，リスク評価を行うことを要求しているが，リスク評価の方法は規定されていない。マトリクス法，加算法，積算法，リスクグラフ法など多種多様な方法が実施されているが，中小企業にとっては，逆に多様性があるためにとっつきにくいというデメリットがあると考えられる。リスクの定義である「ケガのひどさとその発生確率」を意識せずに過去の災害発生確率から，リスク低減対策を提案する本システムは，中小企業にとって理解しやすく，納得して効果が高いリスク低減対策を実施できるツールとして有効性が期待できる。
(2) システムに設定されているリスク低減対策は，JIS や労働安全衛生法令に定められていることがほとんどであるが，JIS や労働安全衛生法令は，過去の重篤な災害の裏返しであるにもかかわらず，なぜこれらを順守しなければならないかという観点では記載されていない。本システムを使用することで，なぜその対策が必要かという Know why が理解できるという点において画期的なシステムといえる。

ただし，ISO/TR 14121-2 [24] の危険源から危害に至るリスクストーリーが RA の正統な方法と考えている専門家の同意を得られるかは，フィールドテストを繰り返す中で評価が定まってくるように思う。

また，リスクはケガの程度と被災の可能性の関数で定義されるが，簡易 RA では死亡災害につながる危険源のみ取り上げているので，一般的な RA とは異なるという点をユーザに理解させるとともに簡易 RA も労働安全衛生法第 28 条の 2 の「危険性または有害性等の調査等」に含まれるということを厚労省から周知することが必要である。

英国では，5 人以上の労働者を雇用する企業において RA が義務づけられているが，リスク見積りは，大，中，小といった簡単な見積りでよいということになっているそうである。本簡易 RA 手法の中で，リスク見積りが全く出てこないという点が世間一般に受け入れられるかどうかは，今後の広報にかかっていると考える。

その上で，中災防が実施している各種 RA 研修の内，「職場リーダー用リスクアセスメント実務研修」などで紹介すれば，急速に普及していくことと思う。
(3) 本簡易 RA 手法の利点は，発生の可能性が高い重篤な労働災害に対して，確実に対策が実施できることにある。過去の労働災害の分析から対策が導き出されているため，発生の可能性が高い⇒リスクが高いという関係性が成り立っている。従って，従来の RA で，危険源の抽出⇒リスク見積り・評価⇒対策の立案⇒対策後のリスク見積り⇒妥当性の確認というプロセスと比較して，大変分かり易く，RA に関する知識・経験が十分でなくても実施できる。

2）iPad を使用したシステムの現場での使用について
(1) 一般的に普及している iPad を使用しているのは良い。最近は，現場で保全に iPad を使用して，機械の振動音を iPad に聞かせることによって，故障の AI 分析を行ったり，保全箇所や周期を作業者に教えたりすることにより，保全性を高める予知保全が普及してきている。その流れでいけば，iPad を現場で使用することは受け入れられ易いと考えられる。

特に現場の写真を iPad で撮影し，そのままシステムに取り込めるのは良い。
(2) 従来の RA のように 4, 5 人の現場作業者が会議室に集まり，作業手順書，災害報告書，ヒヤリハット報告書等の事前準備資料を元に危険源を抽出し，リスク見積り，対策立案，対策後のリスク見積り等に時間をかけて実施している現状を簡略化するという意味において画期的なシステムである。ただし，現場作業者 4, 5 人が集まって危険源の抽出を行う理由は，RA の網羅性を高めるためであって，iPad で入力する方法では，1 人で実施する場合が多くなると考えられるので，検証者を決めて入力後に検証できるようにするなどの仕組みを構築しなければ，リスクの網羅性が満たされないと考えられる。

ISO 45001 の第 6.1.2.1 節（危険源の特定）では，労働安全衛生に関わるすべての危険源の特定が求められており，本システムでは，フォークリフト，クレーン，産業用ロボット，プレス機など個別の設備に対しては危険源が網羅されていると考えられるが，本簡易 RA 手法だけでは，ISO 45001 の第 6.1.2.1 節の要求事項を満足できるとは考えにくい。また，第 6.1.2.2 節では，労働安全衛生リスクおよび労働安全衛生マネジメントシステムに関するその他のリスクの評価が求められている。その結果として，第 8.1.2 節（危険源の除去及び労働安全衛生リスクの低減）では危険源の除去および労働安全衛生リスクの低減を管理策の階層化によって実現することを求めている。

このことから考えると，ISO 45001 認証を取得しようとする事業場では，別途規格が求める RA を実施する必要があるのではないだろうか。この点がこのシステムの普及を阻害する要因になる可能性がある。ただし，ISO 45001 認証を取得するのは主として大企業であり，本簡易 RA が対象とする中小企業とは対象が異なっているかもしれない。

(3) iPad を活用したシステムはある意味では使いやすいかもしれないが，RA は必ずしも現場で実施するものではなく，会議室などに少人数集まって実施することが多い現実を考えると PC 上のシステムとデータを共用できることが望ましい。

(4) RA の目的は，本来の目的である「リスクの除去・低減」だけではなく，「労働者への情報の提供」および「労働者への訓練の提供」にあるといわれている。日本の RA は現場主体で実施されているため，「労働者への情報の提供」および「労働者への訓練の提供」は，RA 実施段階で行われていると考えられるが，本簡易 RA を活用した際には，iPad を用いて，事務所の担当者が 1 人で RA を実施することが多いと考えられ，「労働者への情報の提供」および「労働者への訓練の提供」をどのように行うかを別途考える必要があるかもしれない。

3）RA 結果を専門家が検証することについて

(1) 本システムが，中小企業内で閉じたシステムではなく，機械安全や RA の専門家が結果を検証し，アドバイスを加えるという前提でのシステム設計は，中小企業の RA に対する知識や関心を向上させる上において，適切と考える。労働安全コンサルタントのように事業場を訪問してアドバイスをするやり方では，費用の問題もあり，コロナ禍での感染のリスクもあることから，訪問せずに RA 結果を検証することが望ましい。その場合，あらかじめシートをメールで送付し，ZOOM を用いて WEB 会議を開催する仕組みより，専門家は事務所の PC で RA を共有するクラウドシステムが望ましい。

(2) 実際に専門家が事業場を一度も訪問することなく RA のアドバイスを行うことが現実的か判断は難しいが，概要の打合せを行った後，定期的に実施する RA について，都度事業場を訪問することは，コスト，時間の観点から無駄が多いと考えられる。専門家は事務所にいて，多数の事業場を対象に RA 結果を検証しアドバイスを与えるという運用を考えると，専門家は PC 上で事業場のデータを共有できるシステムが望ましい。ただし，専門家のアドバイスを受ける費用処理など解決すべき課題も多い。

(3) 現場の写真を入力できるようになっているが，現状の写真，対策後の写真を分離して入力できるようにすることにより，経過が明確になる。また，それぞれの項目について，専門家のコメントが追加される仕組みが必要である。

(4) 専門家の入力項目は，ステップ５で使用する様式の「専門家に対する質問」に対応する項目であることは分かるが，ユーザが入力した各項目に対してコメントが追記できるようにすることが望ましい。RA の知識・経験が十分でないユーザにとっては，各項目に対する疑問があると思うし，専門家の詳細なコメントがあると安心すると思われる。

4）システム・操作性等の改善提案

(1) 使用段階 RA 支援システムとして，iPad 等のタブレット PC を活用することは大変よいと思うが，中小企業にとって記載されている内容を詳細に理解することが難しいように思う。各項目をタッチするとその項目の説明がポップアップするといった工夫があれば分かりやすいように思う。Excel のコメントのような機能であり，タブレット PC を活用する利点が活かせると思う。または，記入事例を収集して提示するなどもよいかもしれない。

(2) 操作説明書はあるが，入力方法についての説明書であり，各項目についてどのような意図で入力するかが分かりにくい。別途設計思想を反映した使用説明書が必要と思う。

(3) フォークリフトやクレーン，プレス機などは，複数台所有している場合が多く，導入年が異なると安全対策のレベルも異なっている。資格者や定期自主点検に結びつけて管理することが適切であるため，号機，型式，能力，導入年月日などが入力でき，号機管理できることが望ましい。

特にフォークリフトでは，使用目的や運行エリアが分かれていたり，請負業者に貸し出すことが目的でリースしていたりすることも多い。定期的に定期自主検査の実施状況や資格の保有状況が確認できると良い。

(4) 本システムの最初の画面では，ISO/TR14121-2 のケガに至るリスクストーリーを表示しているが，このシートが次ページからの入力にどのようにつながっているのか分からない。「危険状態」が一般に認識されている「リスク」という概念であるが，この簡易リスクアセスメントでは，危害の大きさ，特に死亡災害につながる危険源のみ取り上げていることを説明することが必要と思う。

(5) 次の画面では，簡易 RA 手法の説明がされていて，2 重囲みの部分がこれから入力しようとしているシートであることが示されている。本シ

ステムを少し理解すればそのことが分かるが，その説明がない。2 重囲み部の上段にその説明がほしい。

また，ステップ 2（リスク評価）に対する 2 重囲み部がないが，リスク評価はシステムが自動で行う，又は，簡易リスクアセスメントはケガの重篤度のみ，特に死亡災害にのみ着目していることを右空欄などに記載する。

さらに，一部は，専門家によるフィードバックを示したものであって，ユーザの実施事項ではないので，もう少し右にずらすか，色を変えて，ユーザ実施範囲外であることを明記する。

(6) 第 3 画面からユーザが入力する画面になり，その操作方法は説明書に記載されてはいるが，一般的には説明書を読まずに操作を始めるので，可能な限り戸惑いがないようにしてほしい。

(7) 記入を進めていくと第 6 画面の様式 B を開いたときに，既にチェックが入っているが，このチェックがどこから来たのかが分かり難い。第 3 画面にチェックを入れると自動的に第 6 画面のチェックが入るのか，ユーザ企業が実施していることを自らチェックするのか。第 6 画面を修正できる仕様になっているが，どのような観点で修正するのかが分かりにくい。

(8) iPad を使用するのは，ユーザの直感的な操作に対応していることであり，iPad，iPhone のシェアの高さ（50%超え）はこのことによっていると考えられている。しかし，第 8 画面にそれまで記載した内容が自動的に集計されるようになっているが，特定のモードが選択されていないと「更新」ボタンを押しても更新されないのは，直感的に分かりにくい。

また，ユーザが入力した「追加注意事項」欄の右側が切れて見えなくなってしまっているのは要改善点である。さらにユーザが入力しようとした際，点線部分をタップしても記入欄にうまく収まらないことがある。なぜこういうことになるのかよく分からない。

(9) 様式 C で「更新」をタップすると下段の「技術的方策」,「管理的方策」には，これまで入力した内容が反映されるが，「質問に対する回答の詳細」の右欄が空欄で，何を入力したらよいのかがわからない。操作説明書にも説明がない。

(10) 入力文字数が多いと集計表から行がはみ出して見えなくなる。Excel と同じ現象だが，改善が必要である。

(11) 様式 A，B では，☑と「あなたの職場での注意事項の追加」と入力するが，どのようなことをどのような観点で記入するのかが分かりにくい。現状を記入するのか，必要と思う事項を記入するのか。

(12)「追加注意事項」等の欄に記入するのはよいが，記入した内容が RA 結果にどう反映されるのかがわからないので，何を記入したらよいかが分からない。

この点は，様式 B に「現状」の対策状況とこのシステムを活用した上での「対策後」の状況を分離して記入できるようにすると記入すべき内容が明確となる。

さらに「現状」と「対策後」で過去の重篤災害がどの程度（%）防止できるかが表示されると，これが従来型 RA の現状と対策後のリスク見積りとなり，ISO 45001 の第 6.1.2.2 節が求める「リスクの評価」に相当すると考えられる。

5.8.2 中小規模事業場の安全担当者による評価

次に，機械設備に対する RA にまだ十分には取り組んでいない中小規模事業場 3 社（労働者数：13～104 人，表 37 参照）の工場長や安全管理担当者を対象に，簡易 RA 支援システムの有効性を評価した。なお，本調査は，労働安全衛生総合研究所倫理審査委員会の承認（通知番号 R4-安 5-01）を得て，2023 年 2 月に実施した。

調査結果として，得られた回答の要約を表 38 に示す。まず，本システムを用いた簡易 RA 手法の有効性を「専門知識が無くとも RA を実施できると感じたか」という観点で質問したところ，概ね肯定的な回答が全社から得られ，所要の目的を一定程度達成できたことが示された。ただし，RA 実施の負担軽減に関する質問に対しては，2 社から否定的な回答があり，別途ヒアリングにより詳細な理由を聞いたところ，タブレット PC 自体を含めた本システムの操作に習熟する必要がある点に懸念が示された。建設現場ではタブレット PC の活用が一般化しつつあるが，機械設備の使用が中心となる製造業など，簡易 RA 手法が適用される業種の動向に応じて検討すべきであることが示された。

一方，個々の項目として，まず，典型災害事例リストに関しては，今回協力いただいた事業場は限られたものであり，より多くの事業場からの回答を得る必要があるが，本調査の範囲では，機械・設備の種類は適切であり，各機種に対して掲げた事例も十分であるとの評価を受けた。ただし，事例の提示方法に対して 1 社から「文章のみでなく図や写真を添えた方が分かり易い」との指摘あり，今後の改善の参考としたい。

次いで，保護方策チェックリストについては必ずしも評価されず，特に技術的方策リストに関しては 2 社から否定的な回答があった。その理由をヒアリングした結果を要約すれば，リストに掲げられた内容が不十分であるということではなく，むしろ「実際の現場に適用するという観点から見たときに現実的でないものも含まれ

ており，必ずしも参考にならない」とのことであった。前述したように，保護方策チェックリストは，労働災害の経験が少ない事業場に対して講じるべき対策の選択肢を示すこと，あるいは，対策を考案する際の起点を提示することを目的に盛り込んだものであるが，否定的な評価は，この意図が操作説明書などで十分説明できておらず誤解を与えた可能性を示唆するものであり，説明書を修正する又は何らかのガイダンス資料を別途用意するなどの措置が必要と考えられた。

最後に，提案した「遠隔安全診断」については，2 社から中小規模事業場に RA の普及・定着を推進する上で必要であると評価されたが，現時点でのシステムの仕様では，専門家が本システムを介して RA の進捗及び結果をいつでも閲覧できる状態になっており，利用者側で専門家のアクセスを選択（許可／拒否）できるようにはしておらず，この点に関して，「監視されているようで，アドバイスが欲しい時に接続できるようにした方が良い」との意見が 1 社よりあった。この仕様は，RA 実施者，現場の管理者及び専門家の間での連絡調整と確認を迅速に行うのに必要な最小構成とした結果によるもので，技術的に解消困難な課題ではなく改善を検討したい。

なお，自由記述で得た改善すべき点などとして，本システムがタブレット PC 上での運用を前提としたクラウドシステムである点に関して，スマートフォンでも結果が閲覧できるなど，より容易に情報共有できる工夫が必要であるとの指摘があった。前述したタブレット PC の活用に係る課題に含めて，検討していきたい。

5.9 本章のまとめ

機械に起因する労働災害を防止するには，メーカが設計段階で適切な RA とリスク低減を行うのが基本である。この点が徹底されていれば，ユーザは①残留リスク対策，②変更管理，及び③最小限の再発防止策に専念でき，メーカとユーザの役割分担が明確になる。しかし，現状では，ユーザが過度の負担を担っており，特に機械の機能や危険性に対して十分な情報が得られない事業場では RA の担当者が想定できるリスクには限界があり，適切なリスク低減の達成に困難を生じている。また，仮に RA 実施できても，専門家の関与が得られない状況の下では，その結果の妥当性を自らだけで確認することは困難である。

以上に鑑み提案した，ユーザでも理解が容易な危害（災害）から出発する簡易 RA 手法について，本研究の項目 3 では，災害が多発している 15 種の機械設備を対象にできるように典型災害事例を整備した上で，この情報を担当者に確実に提供することによって重大な災害（危害）の見逃しを防止する手段の例として，タブレット PC を用いた使用段階 RA 支援システムを構築した。

このシステムを，まず，機械安全及び労働安全に長年の経験を有する専門家に試行してもらい，実装した機能等を検証した。結果として，国際的な機械安全規格を重視する方々からは，これらの規格に従った RA を実施するのが当然で，この方法には無理があるという意見が多かった。一方で，中小規模事業場の労働災害防止を重視する方々からは，本手法の活用によって RA 実施が顕著に浸透し，重篤な労働災害を未然防止できる可能性があり，大変有用な手法ではないかという意見も相当あった。

次に，現状では機械設備に対する RA にまだ十分には取り組んでいない中小規模事業場 3 社を対象に，各社の工場長や安全管理担当者から主観的な意見（感想）を収集した。得られた結果から，労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた事業場に対する RA 支援として概ね肯定的回答が得られ，所要の目的を一定程度達成できたことが示された。ただし，いくつかの点で，タブレット PC 自体を含めた本システムの操作に習熟する必要がある点に懸念が示された。操作説明書の記載内容の拡充や何らかのガイダンス資料を用意するなどの措置を検討する必要があり，加えて，タブレット PC の活用については，RA 支援が適用される業種における動向を踏まえた検討が必要であると考えられた。

これら以外にも，本調査を通じて示唆に富む重要な指摘を多く得られた。これらを参考にして，機械安全の知識や労働災害の経験の限られた事業場にとって真に有用な使用段階 RA 支援システムとなるよう，完成度をさらに高めていきたい。

6. RA 支援システムの基本要求仕様の確立

6.1 基本要求仕様の情報項目

機械設備の設計段階及び使用段階で実施される RA について，経験や知識の限られた技術者を主な対象として，設計段階 RA 支援システムの開発を「項目 1」と，また，使用段階 RA 支援システム 2 種の開発・検証をそれぞれ「項目 2」及び「項目 3」と設定して検討し，それぞれに具体的な例となる支援ツールを示し，それらの有効性を評価した。

以上の過程で得られた知見や有効性評価の結果などから，本章では，RA 支援を目的に開発されるシステムが備えるべき支援機能や資料・情報などの要件・要求事項（以下，単に「要求事項」という。）[注)] をまとめた「基本要求仕様」の確立

について検討する。

情報通信技術（ICT）は今後より進展し，それに応じて様々な機能・特色をもったRA支援システムが新たに開発されていくものと想定される。その際，本研究で明らかにしてきたRA支援の要点を押さえた，すべてのシステムに共通に適用される「基本要求仕様」が策定されていれば，常に一貫した考え方の下で重要な支援や情報を適切に提供できるRA支援システムが構築されることとなり，中小規模事業場でのRAの普及・定着に大きく貢献するものと期待される。

この目的にかなう「基本要求仕様」を検討するにあたり，本研究では，すべてのシステムの要求事項項目が，ISO/IEC/IEEE 29148:2018（対応JIS規格：JIS X 0166:2021）[18]が示す「ソフトウェア要求仕様（SRS）のアウトライン例」に基づいて作成されるものと想定する。

ISO/IEC/IEEE 29148は，システム及びソフトウェア製品（サービスを含む）の要求事項を得るエンジニアリング活動としてライフサイクル全般にわたって実施することが必要なプロセスを規定した規格であり，ソフトウェア工学の文脈において特性及び属性を含む定式化されたテキストによるSRSの構成について詳述している。このアウトライン例に基づいて構成したRA支援システムの基本要求仕様の情報項目を図44に提案する。ここで，＊印を付した項目は，システムがRA支援を目的に開発される場合に必ず明示すべき要件や内容を記載する上で留意すべき事項を含んだ項目である。

6.2 各項目の概要と必須事項

図44に掲げた各項目に対し，以下では項目順に，一般的なソフトウェアの場合での標準的内容を概説するとともに，RA支援を目的に開発されるシステムの場合に必須となる記載事項，又は，当該項目を記載するにあたって留意すべき点などを述べる。なお，以降では，特に断らない限り，「ソフトウェア」は一般的な用途で開発・構築される通常のソフトウェア製品を指すとし，これに対し「システム」はRA支援を目的に開発されるシステム又はツールの意で用いる。

【第1章　序文】

【第1.1節　目的】

概要：本節は，対象とするソフトウェアを開発又は変更する目的を，例えば，開発・提供が必要な背景，現状の課題などを理由として挙げて，その課題を解決する手段であることの説明をもって定義する部分である。その際，ソフトウェアが新規に開発されるものか既存のものの改修にあたるか，また，必要に応じて，上位システムとの関係など対象ソフトウェアの位置付けについても説明する。

RA支援システムの必須事項，留意点：この項目では，開発するシステムが目的とするRA支援の内容を述べる前に，必ずRAの対象（設計段階用，使用段階用又はその両方）を明示すること。また，RAを実施する意義・必要性（例えば，項目1で検討した「危険源同定支援ツール」においては，メーカがRAを実施する必要性を示す根拠として「ユーザへの機械危険情報の提供」の達成を挙げた）又は現状の課題を示す情報（「危険源同定支援ツール」においては，危険源同定がRAの難しさの根底にあり，その結果，普及・定着が阻害されていることを示した）としては，RAに関する労働安全衛生法規や各種規格類の整備状況，あるいは，RA普及の実態や阻害要因などを把握した上で，開発の根拠を説明すること。

【第1.2節　適用範囲】

概要：開発するソフトウェアの適用範囲を，次の事項によって記述する部分である：

a）開発するソフトウェアを識別可能にするための名称。

b）利用者の業務要求（ニーズ）を満たすためにソフトウェアが何を行い達成するか，何を行わないか。必要に応じて，業務フロー，業務規模や時期なども示す。

c）関連する最上位レベルの便益，目的及びゴールをできるだけ正確に記述し，その中での開発するソフトウェアの適用を示す。上位レベルのソフトウェアのSRSがある場合には，それらとの整合を図る。

RA支援システムの必須事項，留意点：設計段階で実施するRAは，ISO 12100が規定する原則に基づいた標準化された手順で行われる必要がある。このため，設計段階用のシステムにおいては，支援されるRAがISO 12100に準拠していることを説明する。開発するシステムが，RAの全プロセスの中で特定の段階（例えば，「危険源の同定」）のみを扱う場合には，その旨を明示し，さらに，他の段階との関係（例えば，「危険源の同

注：本研究で「要求事項」とは，ISO/IEC/IEEE 29148[18]において「Requirement：ニーズとそれに付随する制約・条件とを変換した又は表現する文」と定義されるものである。国内では通常「要求」又は「要件」と記されるもので，「要求」を文書化，仕様化し，ステークホルダと合意したものを「要件」と厳密に区別した考え方[79]もあるが，一般的には「要求」と「要件」の標準的な定義は存在しないとされている。このため，本研究では，システムが具備すべきRequirementを「要求事項」と呼び，これらを纏めたものを「要求仕様」と記すこととした。

定」を実施する上で事前に実施しておくべき活動や準備する必要のある情報といった前提条件，あるいは，システムを用いて得られる結果を次の段階「リスクの見積り」にどのように反映・利用するかに関する情報）を説明すること。

一方，使用段階で実施する RA については，現時点で，標準化された手順・方法が国際的にオーソライズされているとは言えないが，国内においては機械包括安全指針に示された手順に準拠するのが望ましい。逆に，主に簡易化を目的として機械包括安全指針に示されたものとは異なる手順・方法を採用する場合は，両者の差違，得られる結果の整合性，システムが支援を提供できる範囲（又は，逸脱する部分）について必ず説明すること。その際，ISO 450017 等の各種マネージメント規格で求められている RA の実施内容についても考慮しておくことが望ましい。

【第 1.3 節　製品の概要】

【第 1.3.1 項　製品の概観】

概要：ここでは，開発するソフトウェアと他の関連システム／ソフトウェアとの関係を，各種インタフェースとの制約内での動作によって定義する。例えば：

a）ソフトウェア要求事項を達成するために必要な利用者インタフェースの特性（画面構成，ページレイアウト，メニューなどを含む）。

b）併用が要求される他のソフトウェア間や他のアプリケーション間のインタフェース（例えば，相互接続するソフトウェアの目的，情報交換の内容）

c）通信のインタフェース（例えば，ローカルネットワークプロトコル）。

d）開発するソフトウェアがより大きなシステムの一要素である場合には，全体システムとの間のインタフェースを識別し，ソフトウェアの機能性を全体システムの要求事項に関連付けておく。

e）ソフトウェアを利用，保守，支援する人との関係の最適化，運用の仕様（例えば，利用者による起動，対話型操作，データ処理支援機能，バックアップ，リカバリ）。

RA 支援システムの必須事項，留意点：開発する RA 支援システムにおいて，他のアプリケーションの機能（例えば，日本産業標準調査会のホームページにある JIS 検索機能[55]，ドイツ法的災害保険の研究機関（IFA）が公開している SISTEMA[80]）を利用することやアセスメント結果などのデータを他アプリケーションとやり取りすることを想定している場合には，ソフトウェア間のインタフェースやリンクを指定しておくこと。

【第 1.3.2 項　製品の機能】

概要：開発するソフトウェアが実行する主要な機能を要約して記載する部分である。例えば，会計プログラムの場合，製品の機能についての仕様記述を用いて「顧客勘定保守機能」，「顧客明細書機能」，「請求書準備機能」などを説明する。本項の範囲では，機能の詳細な要求事項については割愛し，その概略だけを記載する（SRS では要求事項の詳細は後の第 3 章「要求事項」に示す）が，明瞭性を確保する上で次の点には注意が必要とされる：

a）SRS を予備的知識のない人が読む場合でも，機能の一覧が理解できるように構成する。

b）他の機能及びその関係を示すために，必要に応じて図的手法を用いる。ただし，図は，製品の設計詳細を示す意図で作成するのではなく，例えば，変数間の論理的な関連を単純に示した程度のものとする。

RA 支援システムの必須事項，留意点：例として，本研究項目 1 で開発した危険源同定支援ツールを対象に，本項に記述する内容を掲げると以下のようになる：

・アセスメント管理機能：
　PC 画面上で実行するアセスメントの新規作成，既存アセスメントの選択（危険源同定の実施），複製，削除を行う。

・危険源の判断基準提示機能：
　機械安全 JIS 規格の安全要求事項から規格で扱われている危険源・危険区域を抽出し，それらに対して判断基準と参考情報を提示する。

・同定結果一覧表示機能：
　判断基準が提示される危険源の細目を一覧表示する。その際，現在までの実施状況が確認できるように入力した同定結果の個数を（未実施の場合と該当しなかった場合を明確に区別して）併せて表示する。

・災害シナリオ自動作成機能：
　危険源として入力された機械部位等に対して，想定する被災者，危害，作業場面に関する内容を入力すると，それらを構成要素にして災害シナリオの草案を作成する。

・表計算ソフト出力機能：
　危険源と災害シナリオの結果をまとめ，予め設定された表計算ソフトに所定の様式でデータを出力する。

【第 1.3.3 項　利用者特性】

概要：開発するソフトウェアで想定する利用者

の特性，特に，要求される教育レベル，経験，身体障害，技能的専門性といった使用性に影響し得る特性を定義する部分である。定義した利用者特性は SRS 全体を通して一貫している必要があるが，本項においては，詳細な要求事項として利用者特性を記述するのではなく，むしろ，後の第 3 章で詳細に記載する各要求事項の定義する理由となる事項を述べておく方が良いとされる。

RA 支援システムの必須事項，留意点：RA 支援システムの開発において，支援対象として想定する設計技術者又は生産技術管理者の機械安全に関する知識や RA の経験，技能的専門性といった特性を明確にしておくことは不可欠であり，可能な限り詳細に定義すること。事前に講習やトレーニングの受講を前提とすることなく利用できることが理想ではあるが，機械安全や RA に関する知識を一切もたない者に，支援ツールだけをもって RA を適切に実施することを期待するのは明らかに限界がある。このため，本研究項目 1 で検討した「危険源同定支援ツール」においては，利用者の条件に，予備的知識として厚生労働省が公表している「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」を一読し，内容を把握していることを前提においた。このように，支援対象とする利用者の特性を指定する際には，厚生労働省が公表している資料や通達 [7, 48] にある設計技術者，生産技術者に対する機械安全教育カリキュラムの項目など，一般に周知されている情報を指標に用いて指定するのが望ましい。

【第 1.3.4 項　制限】

概要：ソフトウェア開発に関してソフトウェアを作制する者（以下，「作製者」という。）の選択肢を制限する項目があれば，本項に記述する。例えば，次のものがある：

a）ソフトウェアに関連する法規制やルール（コーディング規約）

b）開発における言語（例えば，高水準プログラミング言語の使用）

c）信号ハンドシェークプロトコル（例えば，XON-XOFF，ACK-NACK）

d）データ処理，ファイル管理，プロセス管理などに係る制御機能の制約（プラットフォーム依存）

e）新旧ソフトウェアの並行運用又は同時稼働

f）アプリケーションの重大性（例えば，財政的損失，信用失墜，環境汚染などに至るリスク）

g）安全性及びセキュリティの配慮

h）身体的又は精神的負荷への対応（プライバシー保護など）

i）他アプリケーションとのインタフェース（やり取りする情報の構造やプロトコルなど）

RA 支援システムの必須事項，留意点：RA 支援システムでは，特に f）と g）に対して留意する必要がある。

まず，f）として，RA 支援システムの開発にあたっては，特に「危険源の同定」や「リスクの見積り」，「リスクの評価」を簡易的に行えるよう支援する場合，提示する指標等の情報やリスクレベルの割り当て，あるいは，支援の方法・内容によっては，網羅性を欠いた同定又はリスクに対する楽観的な判断を誘導するおそれがあることを考慮しておかなければならない。このようなシステムの重大性に対する措置を講じる上で，何らかの開発の選択肢を制限する必要がある場合には本項に記載しておくこと（具体的な措置については，SRS では後の第 3 章又は第 4 章「検証」に記述する）。

一方，g）として，設計段階 RA 支援システムでは開発対象機械の設計に係る機密情報が，また，使用段階 RA 支援システムでは生産プロセスや企業体制に関する機密情報が扱われることが容易に想定され，データの漏洩や改ざんに対する情報セキュリティの確保は極めて重要である。これを実現する上で，開発の選択肢を制限する必要があれば本項に記すこと。

【第 1.4 節　用語の定義】

概要：本節では，SRS 文書内で使用する用語の定義，説明を必要に応じて一覧化して示す。開発中の誤解を避けるために，全ての定義を全関係者が事前にレビューして合意していることが望ましいとされる。

RA 支援システムの必須事項，留意点：RA 支援システムの SRS では，機械安全及び RA に関連する専門用語が多用されると想定される。このとき，作製者らの誤解を避けるために，使用する用語は，ISO/IEC Guide 51（JIS Z 8051），ISO 12100（JIS B 9700）及びタイプ B 規格，ならびに，機械包括安全指針の定義に準拠して用いること。

【第 2 章　参考文献】

概要：SRS 文書で使用する用語の典拠や要求事項の根拠として引用する資料（適用範囲で掲げた法規則，規格，指針など）を明記する。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 3 章　要求事項】

【第 3.1 節　機能に関する要求事項】

概要：ここでは，開発するソフトウェア内で，入力を受け取って処理するとき及び出力を生成するときに実行する必要のある基本的な動作を定義する。例えば，次のものがある：

a）入力に対する正当性チェック

b）運用（オペレーション）の正確な順序

c）異常状態（オーバーフロー，通信障害など）への反応（例外応答），エラーハンドリング，リカバリ

d）入出力順序，入力から出力への変換式（パラメータの効果）

機能要求をサブ機能やサブプロセスに分けることが適切な場合もあるが，要求と同じ階層構成でサブ機能等に分解されるとは限らないこともあり，注意が必要とされる。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 3.2 節　性能に関する要求事項】

概要：開発するソフトウェア自体又はソフトウェアと人間の間の全般の相互作用に関する静的要求事項（例えば，可能端末数，同時利用者数，扱う情報の量や型）及び動的要求事項（例えば，ある時間間隔内で処理するトランザクション数，タスク数，データ量）を，ソフトウェアのサービスレベルを想定しつつ，定量的に測定可能なものとして許容範囲などを含めて定義する部分である。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 3.3 節　ユーザビリティ要求事項】

概要：本節では，特定の利用状況における測定可能な有効性，効率性，満足性などの基準を用いて，ソフトウェアの能力としてユーザビリティ（使用性）要求事項を定義する。ソフトウェア製品の品質を評価する際の基準を定めた規格 ISO/IEC 25010:2011（対応 JIS 規格：JIS X 25010:2013）[81] では，ユーザビリティを有効性，効率性，満足性から成る利用時の品質特性の測定量によって直接的に明示又は測定することも可能としているが，利用時の品質特性は，ソフトウェアの製品品質特性の影響を受けて決定されるものであることから，ユーザビリティは製品品質の副特性として以下のような指標を用いて評価するのが良いとされる。

a）適切度認識性：ソフトウェア及び／又は他の関係する文書の印象から，ソフトウェアが利用者のニーズに適切なものであると利用者が認識できるかの度合い。

b）習得性：明示された利用状況において，有効性，効率性，リスク回避性，満足性によって明示された目標を達成するために，利用者がソフトウェアを利用できるかの度合い。

c）運用操作性：ソフトウェアが運用操作しやすく，制御しやすいかの度合い。

d）アクセシビリティ：明示された目標を達成するため，幅広い範囲の心身の特性及び能力をもった人が利用できるかの度合い。

e）ユーザインタフェース快美性：ユーザインタフェースが利用者にとって楽しく，満足のいく対話ができるかの度合い。

f）ユーザエラー防止性：利用者が間違いを起こすことを防止できるかの度合い。

RA 支援システムの必須事項，留意点：RA 支援システムの SRS では，適切度認識性及び習得性が，想定する利用者の機械安全・RA に関する教育レベルに大きく依存することを考慮すること。また，PC やタブレット端末の操作に対する慣れや同種の支援システムの利用経験などが，ユーザエラー防止性に影響するため，利用中の操作ガイドの閲覧，入力情報の再確認と容易な修正などを考慮すること。例えば，支援システムのインストール先として想定する PC やタブレット端末に備えられた拡大機能やフリック／スワイプ機能などを活用し，必要に応じて，キーボード以外の入力方法の採用を検討する。これらの工夫はユーザインタフェース快美性の向上にも寄与する。

【第 3.4 節　インタフェース要求事項】

概要：ここでは，第 1.3.1 項のインタフェースの説明を補足するため，ソフトウェアの入出力を全て定義して具体的に説明する（第 1.3.1 項の情報を繰り返す必要はない）。定義する各々のインタフェースには，次の内容を含むことが望ましいとされる：

a）項目名と目的の記述
b）入力の発生源又は出力の行き先
c）正当な値の範囲，精度，許容度
d）タイミング
e）他の入出力との関連
f）画面様式又は画面構成
g）ウィンドウ様式またはウィンドウ構成
h）データ様式
i）コマンド様式

j） 終了メッセージ

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 3.5 節　論理データベース要求事項】

概要：本節には，データベースに置くあらゆる情報に対する，次のような要求事項を明記する：

a）各機能で使われる情報の型（種別）
b）利用頻度
c）アクセス能力
d）データエンティティ及びその関連
e）完全性（インテグリティ）制約
f） データ保存要求事項

データベースの設計においては，格納ファイルのアクセス形態やアクセス方法，アクセス頻度，物理レコードサイズ，セグメント階層などがパフォーマンスに影響を及ぼすため，以上の条件に配慮する必要があり，業務プロセスとデータフローを整理した上で主要データ（入出力情報やキー情報など）を記していくのが良いとされる。

RA 支援システムの必須事項，留意点：開発する RA 支援システムにおいて，外部データベースの情報を取得・活用する場合，例えば，ISO や JIS の要求事項に基づいた危険源の判断基準や保護方策の要件に関する情報の提供，労働災害の発生状況に応じた表示の優先順位付けやリスク推定レベルの割り付け，厚生労働省の通達や指針に基づいた安全対策に関する情報の提供などを意図している場合，上記の e）として，支援システムが提示又は使用する情報等の「正当性」,「正確性」が確保され，信頼性の高い状態を保つ（情報元の改定又は更新に追従する）必要がある。これを維持するためのプロセスやルールなどを組み込んでおくことが不可欠である。この観点で e）を検証し，必要な事項を制約として本項目に記述しておくこと。

【第 3.6 節　設計制約】

概要：準拠すべき標準や法規制又はプロジェクト制限によって影響を受ける設計上の制約を明記する項目である。例えば，安全関連アプリケーションの開発に当たって，機能安全規格が指定するレベルの開発手法のみが利用できるといった事項である。アプリケーションによっては，法律上の基準をソフトウェアが満たすことを確認するために，このような標準に関する準拠性を追跡することも重要とされる。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 3.7 節　ソフトウェアシステム属性】

概要：本節では，ソフトウェアに「非機能要求」として要求される次の属性を明記する：

a）信頼性：品質特性の副指標として，成熟性（対応が必要な故障低減機能の数），障害許容性，回復性を使って評価する。

b）可用性：システム全体の定義された可用性レベルを保証するために要求される要因を明示する。許可されたユーザが必要なときに情報にアクセスできることを確実にする。例えば，チェックポイント・リカバリー・リスタート機能。第 3.3 節「ユーザビリティ要求事項」と同じ評価指標が使われる。

c）セキュリティ：偶然又は悪意によるアクセス，使用，改変，破壊，暴露からの保護を定義する。この要求事項には暗号技法，特定のログ又は履歴データ一式の保持，さまざまなモジュールへの一定機能割り当て，プログラム領域間の通信制限，重大変数に対するデータインテグリティチェック，データプライバシーの保証などが採用される。

d）保守性：保守性に関連するソフトウェア属性（例えば，一定のモジュール性，インタフェース，複雑さの制限）を明示する。これらは，解析性，安定性，変更作業性，試験性などの副特性で評価できる。

e）移植性：他のホストやオペレーティングシステムへの移植しやすさを，ホスト依存コードを持つ要素の割合，ホスト依存コードであるコードの割合，移植性が証明された言語使用，コンパイラ又は言語仕様の特定のサブセット使用，特定のオペレーティングシステム使用などの属性により明示する。環境適用性，（移植）作業性，規格準拠性，置換性などの副特性で評価が可能。

これら非機能要求はソフトウェアの品質を確保するために定義されるもので，上記の 5 項目の他に以下を加える場合もある。

- 性能／スケーラビリティ／キャパシティ
- 拡張性
- 管理性
- 前提・制約条件

RA 支援システムの必須事項，留意点：上記のうち，RA 支援システムの SRS では次の事項を特に留意して仕様化すること。

c）セキュリティ：

前述したように，RA 支援システムでは，利用者の機械・設備，生産プロセス，あるいは，労働災害履歴などの機密情報を扱うことが想定され

ることから，本事項は極めて重要である。

d）保守性：

開発する RA 支援システムにおいて，規範とする規格や規則の改定，あるいは，労働災害情報の更新に対応する必要がある場合，特に重要である。

・管理性：

複数の利用者によるプロジェクトの編集を認める場合，更新履歴などを適切に管理･記録できるよう留意する必要がある。

【第 3.8 節　支援情報】

概要：一般に，SRS に次のような情報を加えることが，作成者らの理解を促す上で推奨されている：

a）入出力様式の例，コスト分析結果の記述，又は利用者調査の結果

b）SRS 読者を助け得る支援情報又は背景情報

c）ソフトウェアによって解決しようとする問題の記述

d）コード及び媒体がセキュリティ，移植，初期ロードなどの要求事項を満足するための特別なパッケージ化の指定

特に，これらの情報が要求事項の一部として見做される場合は，本節での記載が必須である（付録として扱われる場合は必ずしも記述する必要はないとされる）。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 4 章　検証】

概要：本章は，開発するソフトウェアの評価のために計画する必要がある検証方法及び手法を記載する部分である。図 41 では割愛したが，具体的な項目は，第 3 章「要求事項」に対応する形で構成することが推奨されている。

検証には，当初要求事項のソフトウェア設計･製造段階で行う妥当性評価や，性能目標実現の確認，目標品質の実現値の評価，定量効果把握，ソフトウェア運用が利用者に与える影響の把握などが想定される。要求事項が満たされたという客観的な証拠を得るために用いられる検証手法として，例えば，以下が知られている：

・インスペクション：要求事項への遵守度合いを確認するために該当する文書に違反項目がないかを試験する。

・分析：理論的に適合していることを示すために，定義された条件下で解析データ及びシミュレーションを使用する。

・デモンストレーション：機能的なパフォーマンスを定性的に見せることであり，観測を行い定義された反応と比較する。

・テスト：ある項目の運用性，支援可能性，又は性能を現実の又はシミュレーション制約条件下で定量的に検証する。

RA 支援システムの必須事項，留意点：RA 支援システムでは，第 1.3.4 項「制限」で述べた「重大性」として，誤った RA 結果への誘導が利用者の実施するリスク低減方策に大きく影響を及ぼすおそれがある。このため，利用者の判断の誤誘導を防止する措置，例えば，独立した資格のある者（認証団体や労働安全コンサルなど）による動作確認や提示情報の評価といった検証・承認プロセスを設定しておくことが不可欠であり，詳細を本章のいずれかの項目に明示しておくこと。

【第 5 章　付録】

【第 5.1 節　前提条件及び依存性】

概要：SRS で記載する要求事項に影響する要因を一覧化して示す部分である。これら要因の何らかの変化が要求事項に影響する場合の例として，開発するソフトウェアで指定したハードウェア上でのみ利用できる特定のオペレーティングシステムに備えられた機能を利用する場合（これは前提条件にあたる），開発するソフトウェアの機能や性能がハードウェアの仕様によって制約を受ける場合（これは依存性にあたる）などがある。設計制約として言及される場合もある。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

【第 5.2 節　頭字語及び略語】

概要：SRS 文書内で使用される頭字語や略語の正式名称を定義し，一覧化すること。

RA 支援システムの必須事項，留意点：標準的なソフトウェアに比して，RA 支援システムの SRS 項目として留意する点は特になし。

6.3 本章のまとめ

RA 支援を目的に開発されるすべてのシステムに共通に適用される「基本要求仕様」として，システムの仕様が ISO/IEC/IEEE 29148 が示すソフトウェア要求仕様のアウトライン例に基づいて作成されると想定し，その上で，各項目において RA 支援を目的とする場合に特に記載すべき要件や制約，留意事項などを述べた。

このうち，特に重要と思われる点をまとめると以下のとおりである：

・利用者の判断の誤誘導に対する措置

開発する RA 支援システムが危険源同定又はリスクの見積り・評価を支援する場合，提示する指標などのために利用者が網羅性を欠いた同定を行ってしまうことや，リスクレベルの不適切な割り当てのために楽観的な判断を下してしまうおそれがある。このため，利用者の判断の誤誘導を防止する措置として，例えば，独立した資格のある者（認証団体や労働安全コンサルなど）による動作確認や提示情報の評価といった検証・承認プロセスを設定しておくことが不可欠である。RA 支援システムの SRS では，その危険性を第 1.3.4 項「制限（重大性）」，また，防止のための措置等を第 4 章「検証」に明確に記述しておく必要がある。

・提示する情報の典拠・更新：

RA 支援システムが提示する評価指標や参考情報，情報提示順序の割り当てなどが，法規制，機械安全規格又は労働災害データに基づいて策定されている場合，その典拠が明確にされている上で，元となる情報ソースが改定又は更新された際に可能な限り速やかに反映される措置が必要である。これは，利用者の判断誤りを意図せずに誘導してしまう危険性を低減する意味でも重要である。このため，RA 支援システムの SRS では，策定者が考案した措置について，第 3.5 節 e）の“完全性（インテグリティ）制約”及び第 3.7 節 d）の“保守性”に仕様化しておく必要がある。

・準拠する RA 手法：

設計段階 RA 支援システムで実施される RA は，ISO 12100 が規定するリスク低減プロセスに準拠している必要がある。簡易化を目的に異なる方法を採用する又は手順を一部変更する場合は，標準的手順から逸脱する部分及び得られる結果の整合性について SRS に明示し，その上で，外部の有資格者等によってその正当性が事前に十分検証される仕組みを導入しておく必要がある。一方，使用段階 RA 支援システムでは，機械包括安全指針及び ISO 450017 等のマネージメント規格が求める RA に応えることを期待した利用者を考慮しておく必要がある。特殊な手法を採用する場合には，生じる差違を明確にしておくとともに，必要に応じて，製品が公表又は流通される際には利用者に適切に警告されることを作成者に要求しておく事が重要である。

・想定する利用者の教育・経験レベル：

RA 支援システムにおいて，支援対象となる設計技術者・生産技術管理者の機械安全に関する知識や RA の経験，技能的専門性を指定しておくことは不可欠であり，SRS では第 1.3.3 項「利用者特性」に可能な限り詳細に定義する。その際，厚生労働省が公表している資料や機械安全教育カリキュラムの項目など一般に周知されている情報を指標に用いて指定することを，本研究では提案する。

情報通信技術（ICT）は今後より進展し，それに応じて様々な機能・特色をもった RA 支援システムが新たに開発されていくものと想定される。その際，本研究が明らかにした RA 支援の要点を欠いたシステムが利用されれば，誤った形での RA が広まることは，機械災害の減少に寄与しないばかりでなく，不安全な機械の流通や使用を助長する結果をも招きかねない。ここで示した「基本要求仕様」は，一貫した考え方の下で重要な支援や情報を適切に提供する RA 支援システムの開発を可能にするものであり，適切な RA の推進・定着に大きく貢献するものと期待される。

7. 結言

機械災害を防止するには，設計段階及び使用段階において RA が適切に実施される必要がある。しかし，「十分な知識をもった人材がいない」，「実施方法が判らない」ことを主な理由として約半数の事業場が実施しておらず，特に中小規模の事業場で浸透していない現状がある。これまで様々な形態で RA に関連する資料・教材・ガイドなどの情報提供がなされてきたが，依然として「RA の難しさ」が普及・定着を妨げる最大の障壁の一つとなっている。

そこで，本研究では，特に中小規模の事業場において機械に係る RA の普及を促すことを目的に，具体的には，図 2 に示した全体計画に従い，設計段階 RA 支援システムの開発を「項目 1」として，また，使用段階 RA 支援システム 2 種の開発・検証を各々「項目 2」及び「項目 3」と設定して検討した。そして，これらを通じて得られた知見や有効性評価の結果などを一般化して，最終的な成果として，RA の支援を目的に今後開発されるすべてのシステムに対する「基本要求仕様」を確立した。全 3 年間の研究を総合して，各項目で得られた結果と考察の要点をまとめると以下のとおりである。

項目 1：設計段階 RA 支援システムの開発

1） 設計段階 RA の各手順で実行すべき必須事項を ISO 規格や「機械の包括的な安全基準に関する指針」などに示される RA の原則に遡って検討した。RA のいずれの手順においても，要点を欠いた実施では最終的な目標である「適切なリスク低減」の達成は確認できない。

しかし，①設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで，初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討される，②遂行されるタスク，オペレータ及び関連する人の特性，加工対象や使用環境など種々の条件を考慮しつつ，機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなく予期せず出現するものも含めた危険源を，それらが影響する区域への人のアクセスの可能性（意図しない合理的に予見可能なものを含む）と併せて体系的に検討し，災害シナリオを網羅的に発想することが要求され，実施する者の知識と経験に最も依存するなどの理由から，「危険源の同定」が RA において最も重要で，かつ，最も支援が必要な場面であることを明らかした。

2）RA 実施の結果として，設計技術者が「適切なリスク低減の達成」を自ら判断することは容易ではない。このため，その際に有益な指標となる設計段階でメーカが最低限達成すべきリスク低減水準について検討した。結果として，機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州連合（EU）の考え方に着目し，各々の機械に制定された個別製品安全規格（C 規格）が規定する安全要求事項が最低限達成すべきリスク低減水準を示したものと言え，これらに適合することで「適切なリスク低減の達成」を根拠立てて判断・主張できることを明らかにした。ただし，上記の目的に沿う C 規格を現行の ISO／IEC／JIS から一覧とした資料はないことから，本研究で作成を行った。一方で，C 規格が制定されていない機械に関しては，すべての機械に共通して適用される A／B 規格の安全要求事項への適合が「適切なリスク低減の達成」の根拠となると考え，これらの安全要求事項から最低限同定すべき危険源及び危険区域を抽出して提示することを設計段階 RA の有効な支援として提案した。

3）国内，欧州，北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し，デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し，さらに，内容が充実していると考えられる 3 種を選定して，具体的な機能や内蔵されている資料を詳細に調査した。その結果,「文書化」作業に対しては既に十分検討されており，様々な支援機能が実現されていた。さらに，ISO 規格など関連する技術情報の参照機能など，設計段階 RA を効率的に実施する上で有効と考えられる機能や工夫が確認できた。しかし，いずれのツールにおいても，適切に利用するには一定の機械安全の知識と RA 実施の経験が求められると考えられた。特に,「危険源の同定」については，共通して，その出発点として用意されているものが ISO 12100 の危険源リストの提示であり，対象とする機械で起こり得る危害を設計技術者が適切に想定（発想）できるように支援する機能を有したツールは見当たらなかった。

4）以上の検討をまとめ，項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは「危険源の同定」の支援に焦点を当てることを定め，その核となる具体的なアプローチとして，①すべての機械に共通して適用される A／B 規格の安全要求事項から危険源・危険区域を抽出し，確実に同定すべき範囲と定めて提示すること，②特定の機械に対し，国内で報告された災害事例の情報から当該機械の C 規格にある危険源リストの項目を明確化又は拡充することで，危険源同定のガイドとすること，③公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する規格類の安全要求事項とをリンクさせ，多角的に関連情報を収集できるようにすることの 3 方針を検討した。さらに，これらとは異なる側面からの支援として，④人が危険源にアクセスする可能性を客観的に評価できるように指標となる機械の形状や空間寸法を明示することを考案した。

5）最終的に，上記①～④を統合する形で，項目 1 で開発する支援システムのコンセプトを，現在までに対応 JIS として制定されている A／B 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域をリスト化し，具体的な判断基準を技術情報（寸法，推力，速度など）の形で分かり易く提示するとともに，アクセス可能性の評価に対する支援を加味することで，設計技術者が危険源を自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく，危険源の原因（Origin）の物理的性質とアクセス可能性とを整理して技術的視点から客観的に検討できるよう支援するものと定めた。機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想である。しかし，知識や経験の限られた設計技術者が RA を実施する上で達成すべき要件を考えれば，検討範囲の広さよりも重大な見落しを防ぐことが重要であると考え，この開発コンセプトを定めた。

6）危険源同定の支援に焦点を当てた設計段階

RA 支援システムの基本機能及び要求仕様を明確化し，これを実現した例として，JIS B 9700 及び液圧／空気圧／電気／制御の各分野で設計原則を扱う B 規格の安全要求事項から計 187 項目の危険源細目を抽出して一覧化した上で，デスクトップ PC 上で利用する危険源同定支援ツールを試作した。そして，労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者を対象に，提案する支援のアプローチ，実装した支援機能及び提示情報の有効性を評価した。

7）その結果，機械安全の知識に係わらず技術的視点から客観的に危険源を認識可能とすることで危険源同定の難しさを軽減し，RA 実施に着手する出発点を提供する支援として，設計技術者ならびに同定結果を検証・承認する立場の者にとって有効であるとの評価を得た。ただし，様々な点で本ツールだけを提供しても設計者支援として限界のあることが指摘され，設計段階 RA 全体に関する初歩的な説明や本支援ツールを使用する上での留意点をまとめた資料を別途提供する必要があることが明らかになった。そのため，取扱説明書とは別の副読本「設計段階 RA ガイドブック」を，これまで設計段階で実施すべき RA 及びリスク低減全般に対して行ってきた考察を反映して作成した。

機械安全の知識が限られた設計者でも最低限同定すべき危険源を認識できるようにするためには，「危険源となり得る性質をもつ物質やエネルギを技術的視点か判断できるようにすること」及び「アクセスの可能性を客観的に評価できるようにすること」が必要であり，そのために必要な情報を提示する支援が最も有効である。このとき，機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想ではある。しかし，設計技術者には，RA の最終的な目標である「適切なリスク低減」を達成する上で，危険源及び災害シナリオの同定の網羅性を担保することが要求される。そこで本研究では，実施者に危険源情報を提示する上で，検討範囲の広さよりも重大な見落しを防ぐことがより重要であると考え，EU での C 規格の利用に着想を得て，A／B 規格を含む機械安全規格の要求事項を活用する支援方法を提案した。労働安全コンサルタント及び中小メーカの設計技術者を対象に行った調査の結果，提案する「危険源同定」支援方法に関しては一定程度目的を達成したと結論できた。ただし，調査を通じて，特に使用性に関して，反映すべきと思われる示唆に富む重要な指摘を複数受けた。これらを参考に改善を検討し，中小メーカの設計技術者を真に支援できるツールとして完成度をさらに高めていきたい。

項目 2 : 選択式使用段階 RA 支援システムの開発

1）平成 28～30 年度に研究代表者らが実施した厚労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」（以下，既実施研究という。）で提案したイラスト等を用いた簡易 RA 手法について，文字情報を可能な限り排し，できるだけ容易に理解できるようにする方向で再検討するとともに，「危険源の同定」に焦点を当てた支援を提供できるよう見直した。その結果，RA の対象とする機械に係る災害発生の経緯（危険シナリオ）をイラスト化して提示し，実際の機械や作業場面を撮影した画像上で該当する危険個所を指定していく方式の危険源同定手法を新たに考案した。

2）厚生労働省が公開している機械災害データベース等から，丸ノコ盤，旋盤，ボール盤，フライス盤，プレス機械，ロール機の 6 種について，これらに起因した労働災害事例を収集し，これより災害の発生過程（危険シナリオ）を抽出する方法を考案するとともに，それぞれのシナリオをイラスト化する際の統一的な考え方を整理した。危険シナリオは，対象として選択した機械の危険源を可能な限り網羅して同定できるもので，少なくとも，死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とさないよう配慮するとした。

3）作成した危険シナリオ及び危険イラストを用いて，本手法による危険源同定を事業場で実行できる具体的手段の例として，使用段階 RA 支援システムの要求仕様を策定した。そして，プロトタイプモデルとしてタブレット PC 上で動作するアプリケーションソフトウェアを制作した。

4）制作したアプリを用いて，第 2 年度では理工系大学の学生と職員及び労働安全コンサルタントを対象に，さらに，第 3 年度では，機械を用いて生産活動を行う中小規模事業場を対象に，提案する同定支援及び実装した支援機能の有効性を評価した。その結果，本アプリが提案する同定支援の効果を確認することを主眼に試作したものであることから，ユーザビリティの観点で以下のような課題が示されたものの，機械の災害発生の経緯（災害シナリオ）をイラストで提示するという危険源同定手法は概ね評価され，中小規模の事業場が RA に着手するための有効な支援になり得ると判断できた。

- 非定常作業を想定した危険イラストをできるだけ多く用意するとともに，各事業場の機械に応じた危険源同定を容易にするため，事業場自らイラストを作画して追加できるようにする。
- 写真表示に拡大機能を付加し，機械の全体と危険箇所の細部を表示できるようにする。
- 支援アプリの操作方法を説明したマニュアルを動画資料とするなど充実させるとともに，危険源同定及び RA の基礎的事項に関する説明を併せて提供するようにする。

項目 3 : 典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

1）既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易 RA 手法は，簡単で再現性があり，かつ，重大な危害を見逃すことが少ないという利点をもち，RA の実施に伴う不確定性を合理的に可能な限り少なくすることが可能である。本研究の項目 3 では，この簡易 RA 手法で扱える機械の機種数を拡充するために，15 種の機械・設備に対する典型災害事例シート及び保護方策チェックリストなど必要な情報を整備した。

2）整備した情報を実装し，タブレット PC 上で動作する簡易使用段階 RA 支援システムを構築した。これは，IT が苦手な人でも操作が容易である上，RA の記録を確実に保存でき，類似の機械への応用や結果の統計処理も容易になるなどの利点をもつ。さらに，タブレット PC の長所を活用して，現場の写真・動画・作業手順・機械安全専門家のコメント等を容易に伝達できる。この点に着目し，専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組みである「遠隔安全診断」を新たに考案し，具体的な支援機能としてシステムに実装した。

3）本支援システムを機械安全及び労働安全に長年の経験を有する専門家に試行してもらい，基礎とした簡易 RA 手法及びシステムに実装した支援機能等について確認を行った。その結果，中小規模事業場にとって，理解し易く，納得して効果の高いリスク低減対策を実施できるようにする手段として期待できる画期的なシステムであるとの評価を受けた。さらに，考案した「遠隔安全診断」についても，RA に対する知識や関心を向上させる上で適切な機能であるとされた。しかし，その一方で，提案した簡易 RA 手法が機械安全包括指針や ISO 45001 が求める一般的な RA と異なる点について利用者に十分に周知を図る必要があるとの指摘を受けた。また，タブレット PC 上での操作性の改善や操作説明書の内容拡充など，検討すべき課題が残されていることが分かった。

4）次に，機械設備に対する RA にまだ十分には取り組んでいない中小規模事業場 3 社（労働者数：13～104 人）の安全管理担当者等を対象に簡易 RA 手法及び構築したシステムの有効性を評価した。結果として，本システムを用いた簡易 RA 手法について「専門知識が無くとも RA を実施できると感じたか」という観点で質問したところ，全社から概ね肯定的な回答が得られ，労働災害の経験や機械安全に関する知識の限られた事業場に対する使用段階 RA 支援として所要の目的を一定程度達成できたことが示された。ただし，いくつかの点で，タブレット PC 自体を含めた本システムの操作に習熟する必要がある点に懸念が示された。操作説明書の記載内容の拡充や何らかのガイダンス資料を用意するなどの措置を検討する必要があり，加えて，タブレット PC の活用については，RA 支援が適用される業種における動向を踏まえた検討が必要であると考えられた。

RA 支援システムの基本要求仕様の確立

以上の項目 1～3 を通じて得られた知見や有効性評価の結果などから，RA 支援を目的に開発されるすべてのシステムに共通に適用される「基本要求仕様」として，システムの要求仕様が ISO/IEC/IEEE 29148 に示されたソフトウェア要求仕様のアウトライン例に基づいて策定されると想定した上で，各項目において RA 支援を目的とする場合に特に記載すべき要件や制約，留意事項などを検討した。特に重要な点をまとめると以下のとおりである：

1）利用者の判断の誤誘導に対する措置：開発する RA 支援システムが危険源同定又はリスクの見積り・評価を支援する場合，提示する指標などのために利用者が網羅性を欠いた同定を行ってしまうことや，リスクレベルの不適切な割り当てのために楽観的な判断を下してしまうおそれがある。このような利用者の判断の誤誘導を防止する措置として，例えば，独立した資格のある者（認証団体や労働安全コンサルなど）による動作確認や提示情報の評価といった検証・承認プロセスを設定

しておくことが不可欠であり，RA 支援システムの要求仕様では「検証」の一部に明確に記述しておく必要がある。

2）提示する情報の典拠･更新：RA 支援システムが提示する評価指標や参考情報，情報提示順序の割り当てなどが，法規制，機械安全規格又は労働災害データに基づいて策定されている場合，その典拠が明確に示されている上で，情報元が改定又は更新された際に可能な限り速やかに反映される措置が必要である。これは，利用者の判断誤りを意図せずに誘導してしまう危険性を低減する意味でも重要である。このため，RA 支援システムの要求仕様では，策定者が考案した措置を「完全性（インテグリティ）制約」や「保守性」の項目に仕様化しておく必要がある。

3）準拠する RA 手法：設計段階 RA 支援システムで実施される RA は，ISO 12100 が規定するリスク低減プロセスに準拠している必要がある。簡易化を目的に異なる方法を採用する又は手順を一部変更する場合は，標準的手順から逸脱する部分及び得られる結果の整合性について要求仕様に明示し，その上で，外部の有資格者等によってその正当性が事前に十分検証される仕組みを導入しておく必要がある。一方，使用段階 RA 支援システムでは，機械包括安全指針及び ISO 450017 等のマネージメント規格が求める RA に応えることを期待した利用者を考慮しておく必要がある。特殊な手法を採用する場合には，生じる差違を明確にしておくとともに，必要に応じて，製品が公表又は流通される際には利用者に適切に警告されることをソフトウェア作成者に要求しておくことが重要である。

4）想定する利用者の教育･経験レベル：RA 支援システムにおいて，支援対象となる設計技術者・生産技術管理者の機械安全に関する知識や RA の経験，技能的専門性を指定しておくことは不可欠であり，「利用者特性」の項目に可能な限り詳細に定義する。その際，厚生労働省が公表している資料や機械安全教育カリキュラムの項目など一般に周知されている情報を指標に用いて指定することを，本研究では提案する。

本研究では，機械の設計段階と使用段階で実施される RA を支援する上での必須要件を明らかにし，システムとして実現する例を具体的に示した。そして，得られた知見を一般化して基本要求仕様を策定した。これを規範に，今後，様々な機能・特色をもった支援システムが適切に開発され「RA の難しさ」が克服されれば，中小のメーカとユーザ双方における機械設備の RA の推進・定着に大きく貢献するものと期待される。

謝辞

本報告は，厚生労働科学研究費補助金「機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発」（課題番号：20JA1003）の助成を受けて行った調査研究の成果をまとめたものである。本補助金の提供に関して御尽力頂いた関係各位に深い謝意を表する。

参考文献

1) 厚生労働省：“平成 29 年労働安全衛生調査（実態調査）結果の概要”，https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/h29-46-50_kekka-gaiyo01.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

2) ISO 12100 : 2010“Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction”

3) 梅崎重夫，清水尚憲，齋藤剛，濱島京子，島田行恭，吉川直孝，福田隆文，木村哲也，芳司俊郎，酒井一博，余村朋樹：“厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」平成 28～30 年度総合研究報告書”（2019）

4) 中央労働災害防止協会：“安全の指標 令和 4 年度”，中央労働災害防止協会，ISBN 978-4805920442（2022）

5) 厚生労働省：“「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正について”，平成 19 年基発第 0731001 号（2007）

6) 厚生労働省：“労働安全衛生規則の一部を改正する省令（機械に関する危険性等の通知）”，平成 24 年厚生労働省令第 9 号（2012）

7) 厚生労働省：“設計技術者，生産技術者に対する機械安全に係る教育について”，平成 26 年基安発 0415 第 3 号（2014）

8) 厚生労働省：“機械安全規格を活用して労働災害を防ぎましょう”，https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/150722-1.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

9) 中央労働災害防止協会：“機械安全規格を活用して災害防止を進めるためのガイドブック”，https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyoku/kikai_kikaku_2.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

10) 中央労働災害防止協会 機械の安全対策の強化に向けた検討委員会：“令和 2 年度第 3 回参考資料 1：製造者用アンケート報告書”（2021）

11) 中央労働災害防止協会 機械の安全対策の強化に向けた検討委員会：“令和 2 年度第 3 回参

考資料 2:使用者用アンケート報告書”(2021)

12) 中央労働災害防止協会 機械の安全対策の強化に向けた検討委員会:“令和 2 年度第 3 回参考資料 3：インテグレータ用アンケート報告書”(2021)

13) JIS B 9700:2013“機械類の安全性 － 設計のための一般原則 － リスクアセスメント及びリスク低減”

14) 厚生労働省:“危険性又は有害性等の調査等に関する指針”, https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/0000077404.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

15) 厚生労働省:“職場のあんぜんサイト死亡災害データベース”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/an-zen_pg/SIB_FND.html(2023 年 5 月 25 日確認)

16) 厚生労働省:“職場のあんぜんサイト 労働災害（死亡・休業 4 日以上）データベース”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/an-zen_pgm/SHISYO_FND.html（2023 年 5 月 25 日確認）

17) 厚生労働省:“職場のあんぜんサイト 機械災害データベース”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/sai/kikaisaigai.html（2023 年 5 月 25 日確認）

18) ISO/IEC/IEEE 29148:2018“Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering”(対応 JIS 規格：JIS X 0166:2021“システム及びソフトウェア技術 － ライフサイクルプロセス － 要求エンジニアリング”)

19) European Commission:“Directive 2006/ 42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC”, http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj（2023 年 5 月 25 日確認）

20) ISO 14121-1:2007“Safety of machinery - Risk assessment - Part 1: Principles”

21) ISO/IEC Guide 51:2014“Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards”(対応 JIS 規格 : JIS Z 8051:2015“安全側面 － 規格への導入指針”)

22) 中央労働災害防止協会:“機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用”, https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-1.pdf(2023 年 5 月 25 日確認)

23) CEN Guide 414:2017“Safety of machinery - Rules for the drafting and presentation of safety standards”

24) ISO/TR 14121-2:2012“Safety of machinery - Risk assessment - Part 2: Practical guidance and examples of methods”

25) TR B 0035:2019“工作機械 － 放電加工機のリスクアセスメントの実用的ガイダンス及び事例”(原規格：ISO/TR 17529:2014“Machine tools - Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge ma-chines”)

26) TR B 0036:2019“工作機械 － 据付け形研削盤のリスクアセスメントの実用的ガイダンス及び事例”

27) Bruce W. Main:“Risk Assessment: Challenges and Opportunities”, Design Safety Engineering Inc., ISBN 978-0974124827（2012）

28) 例えば, WorkSafe New Zealand:“Safe use of machinery”, pp.79-81. https://www.worksafe.govt.nz/topic-and-industry/manufacturing/safe-use-of-machinery/（2023 年 5 月 25 日確認）

29) 池田博康:“リスクアセスメントシート解説 –リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎–”, 介護ロボットポータルサイト, 日本医療研究開発機構, http://robot-care.jp/data/etc/SG-3-2_risk_help.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

30) Health and Safety Laboratory（HSL）:“Review of Hazard Identification Techniques”, Health and Safety Executive(HSE), HSL/2005/58(2005)

31) 中央労働災害防止協会:“機械包括安全指針に沿った機械設備安全化の進め方”, 中央労働災害防止協会, ISBN 978-4805916124(2015)

32) 経済産業省:“リスクアセスメント・ハンドブック【第一版】実務編”, https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

33) 経済産業省:“リスクアセスメント・ハンドブック－実務編－”, https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

34) 安全技術応用研究会 リスクアセスメント普及促進委員会編:“リスクアセスメントの実践技術の解説”, 安全技術応用研究会（2004）

35) 厚生労働省:“機械ユーザへの機械危険情報の提供に関するガイドライン”, https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/110506.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

36) ISO 4413:2010“Hydraulic fluid power - General rules and safety requirements for systems and their components”(対応 JIS 規格：JIS B 8361:2013“油圧 － システム及びその機器の一般規則及び安全要求事項”)

37) ISO 4414:2010“Pneumatic fluid power - General rules and safety requirements for systems and their components”(対応 JIS 規格：JIS B 8370:2013“空気圧 － システム及びその機器の一般規則及び安全要求事項”)

38) IEC 60204-1:2016“Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements”(対応 JIS 規格：JIS B 9960-1:2019“機械類の安全性 － 機械の電気装置 － 第 1 部：一般要求事項”)

39) ISO 13849-1:2015“Safety of machinery - Safety -related parts of control systems - Part 1: General

principles for design”（対応 JIS 規格：JIS B 9705-1：2019“機械類の安全性 － 制御システムの安全関連部 － 第 1 部：設計のための一般原則”）

40) ISO 13849-2:2012“Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 2: Validation”（対応 JIS 規格：JIS B 9705-2：2019“機械類の安全性 － 制御システムの安全関連部 － 第 2 部：妥当性確認”）

41) IEC 62061:2021“Safety of machinery - Functional safety of safety-related control systems”

42) Yuvin Chinniah, François Gauthie, Serge Lambert, Florence Moulet：“Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines”, Studies and Research Projects Report R-684, Institut de re-cherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail（IRSST）, ISBN: 978-2896315376（2011）

43) 日科技連 R-Map 研究会：“全ライフサイクルに対応した製品安全リスクマネジメント手法 R-Map 実践ガイダンス”, 日科技連出版, ISBN: 978-4817130464（2004）

44) 厚生労働省：“リスクアセスメント等関連資料・教材一覧”, https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/（2023 年 5 月 25 日確認）

45) 中央労働災害防止協会：“機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用別冊”, https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-2.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

46) ISO 10218-2：2011“Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration”（対応 JIS 規格：JIS B8433-2:2015“ロボット及びロボティックデバイス － 産業用ロボットのための安全要求事項 － 第 2 部：ロボットシステム及びインテグレーション”）

47) 例えば，日本機械工業連合会：“平成 28 年度中小製造者向け機械安全教育プログラムの開発に関する報告書”, http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1505/2.html（2023 年 5 月 25 日確認）

48) 厚生労働省：“設計技術者，生産技術管理者に対する機械安全・機能安全に係る教育について”, 平成 31 年基安発 0325 第 1 号（2019）

49) 齋藤剛，濱島京子，芳司俊郎，木村哲也，清水尚憲：“機械のリスクアセスメント結果の妥当性確認に関する欧州実態調査の結果と日本国内での労働安全衛生活動に対する提言”, 労働安全衛生研究，Vol.9，No.2，pp.79-89（2016）

50) European Commission：“EU general risk assessment methodology (Action 5 of Multi-Annual Action Plan for the surveillance of products in the EU (COM(2013)76)”, https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15134/attachments/1/translations/en/renditions/pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

51) European Commission：“Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC - Edition 2.2”, https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38022（2023 年 5 月 25 日確認）

52) 厚生労働省：“労働安全衛生法による化学物質のリスクアセスメントについて”, https://anzenin-fo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1（2023 年 5 月 25 日確認）

53) 厚生労働省：“リスクアセスメント支援ツール ”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1（2023 年 5 月 25 日確認）

54) 知の拠点あいち：“重点研究プロジェクト（II 期）研究成果 リスクアセスメント（RA）支援ツールの開発”, http://www.chinokyoten.pref.aichi.jp/project02-02/R7-2-1.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

55) 日本産業標準調査会：“データベース検索-JIS 検索”, https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJIS-Search.html（2023 年 5 月 25 日確認）

56) 中央労働災害防止協会：“機能安全活用実践マニュアル －ロボットシステム編－”, https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/0000197860.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

57) ISO 7010:2019“Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Registered safety signs”

58) Occupational Safety and Health Administration, “Job Hazard Analysis”, OSHA 3071（2002 Revised）, https://www.osha.gov/Publications/ osha 3071.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

59) 厚生労働省：“職場のあんぜんサイト リスクアセスメントの実施支援システム”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html（2023 年 5 月 25 日確認）

60) ISO 23125:2015“Machine tools - Safety – Turning machines”

61) ISO 16092-1:2017“Machine tools safety - Presses - Part 1: General safety requirements”

62) 齋藤剛，池田博康，濱島京子：“中小機械製造業者を対象とした設計開発段階での危険源同定の支援に関する考察”, 日本機械学会北陸信越支部第 58 期総会・講演会講演論文集, No.217-1，pp. B032（2021）

63) ISO 10218-1：2011“Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots”（対応 JIS 規格：JIS B 8433-1:2015“ロボット及びロボティックデバイス － 産業用ロボットのための安全要求事項 － 第 1 部：ロボット”）

64) ISO/TR 20218-1:2018“Robotics - Safety design for industrial robot systems - Part 1: End-effectors”

65) ISO/TR 20218-2:2017“Robotics - Safety design

for industrial robot systems - Part 2: Manual load/unload stations”

66) Saito T., Ikeda H., Hamajima K.:“Basic Consideration on Implementation Support of Risk Assessment for Machinery”, 10th Int. Conf. on Safety of Industrial Automated Systems（SIAS2021）, PO-T10

67) 齋藤剛，池田博康，濱島京子:“機械設備の設計段階でのリスクアセスメント実施支援の提案”, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集，pp.1311-1314（2021）

68) ISO 13857:2019“Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs”

69) ISO 20430:2020“Plastics and rubber machines - Injection moulding machines - Safety requirements”

70) IEC 60529:1989/amd.2:2013“Degrees of protec- tion provided by enclosures (IP Code)”

71) IEC 60364-4-41:2005+AMD1:2017“Low voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock”（対応 JIS 規格：JIS C 60364-4-41：2022“低圧電気設備 - 第 4-41 部 : 安全保護 - 感電保護”）

72) 厚生労働省:“平成 25 年労働安全衛生調査（実態調査）”，https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/h25-46-50.html（2023 年 5 月 25 日確認）

73) 入沢和，芳司俊郎:“中小企業の機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発”，日本機械学会北陸信越支部第 58 期総会・講演会講演論文集，No.217-1，pp. B034（2021）

74) 入沢和，芳司俊郎:“中小企業の機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発”，第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集，pp.1293-1297（2021）

75) Health and Safety Executive (HSE):“Five steps to risk assessment”, https://www.midsussex.gov.uk/media/1820/5-steps-to-risk-assessment-lealfet.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

76) 梅崎重夫，清水尚憲，濱島京子:“小規模事業場を対象とした簡易リスクアセスメント手法の開発 − ロール機を対象とした 5 ステップ方式の簡易リスクアセスメントの提案−”，電子情報通信学会安全性研究会，SSS 2018-14, pp.5-8（2018）

77) 梅崎重夫，清水尚憲，濱島京子,“フォークリフトを対象とした簡易リスクアセスメントの産業現場への応用”, 第 26 回職業能力開発研究発表講演会, 20-M-7-3207_1020, pp.13-14（2018）

78) ISO 45001:2018“Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use”（対応 JIS 規格：JIS Q 45001: 2018“労働安全衛生マネジメントシステム − 要求事項及び利用の手引”）

79) 独立行政法人情報処理推進機構（IPA）社会基盤センター:“ユーザのための要件定義ガイド 第 2 版 要件定義を成功に導く 128 の勘どころ”, 独立行政法人情報処理推進機構, ISBN 978-4905318729（2019）

80) Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung（IFA，DGUV）:“Software-Assistant SISTEMA：Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications”，https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/index.jsp?query=webcode+e34183（2023 年 5 月 25 日確認）

81) ISO/IEC 25010:2011“Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models”（対応 JIS 規格：JIS X 25010:2013“システム及びソフトウェア製品の品質要求及び評価（SQuaRE）− システム及びソフトウェア品質モデル”）

82) ISO 28881:2013“Machine tools - Safety - Electro-discharge machines”（対応 JIS 規格：JIS B 6032：2016“工作機械 − 安全性 − 放電加工機”）

83) CEN/CR 1030-1:1995“Hand-arm vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: engineering methods by design of machinery”

84) 厚生労働省:“職場のあんぜんサイト 労働安全衛生法施行令別表第 9 及び別表第 3 第 1 号に掲げるラベル表示・SDS 交付義務対象 674 物質の一覧”, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/ anzen/gmsds/gmsds640.html（2023 年 5 月 25 日確認）

85) 環境省:“放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料”, http://www.env.go.jp/chemi/rhm/r1kisoshiryo.html（2023 年 5 月 25 日確認）

86) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection（ICNIRP）“ICNIRP Guide lines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields”, Health Physics，Vol.96，No.4，pp. 504-514（2009）

87) JIS B 9702：2000“機械類の安全性 − リスクアセスメントの原則”

88) 向殿政男（監修）:“安全の国際規格 安全設計の基本概念 − ISO/IEC Guide51（JIS Z 8051）, ISO 12100（JIS B 9700）”, 日本規格協会, ISBN 978-4542404052（2007）

89) 株式会社タダノ:“移動式クレーン安全装置一覧”，https://www.tadano.co.jp/service/upload/docs/safety01.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

90) 室蘭労働基準監督署:“移動式クレーンの安全対策について”, https://jsite.mhlw.go.jp/ hokkaido-roudoukyoku/var/rev0/0130/3965/20161124182947.pdf（2023 年 5 月 25 日確認）

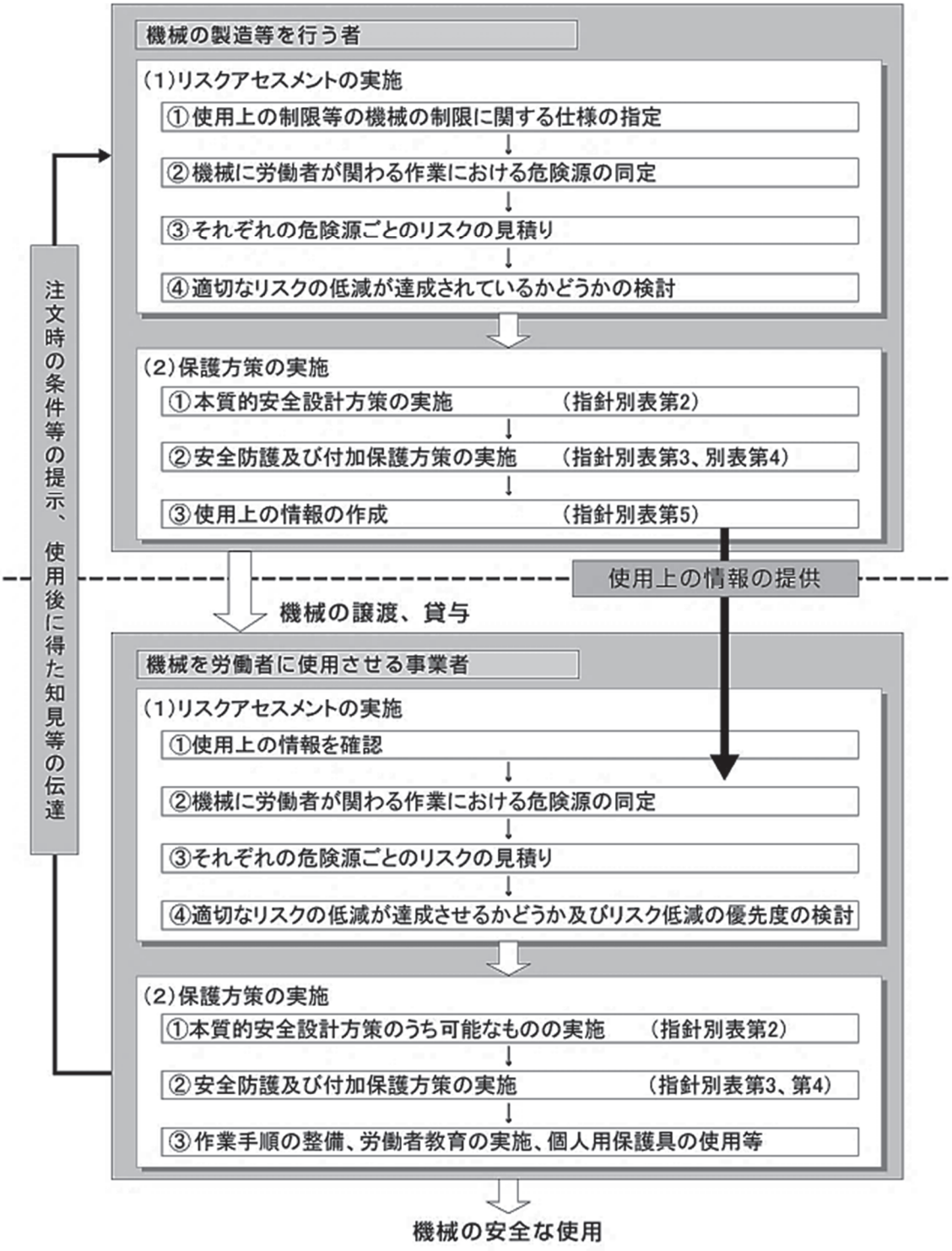


図１　機械の安全化の手順

（出典：厚生労働省「平成 19 年基発第 0731001 号」）

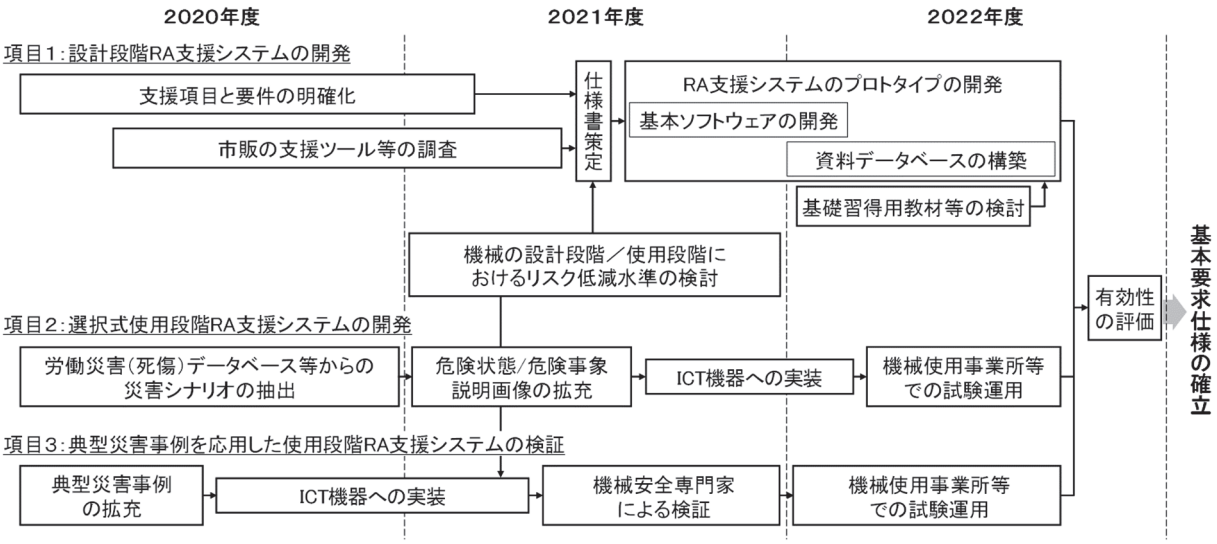


図２　本研究の全体計画と実施項目

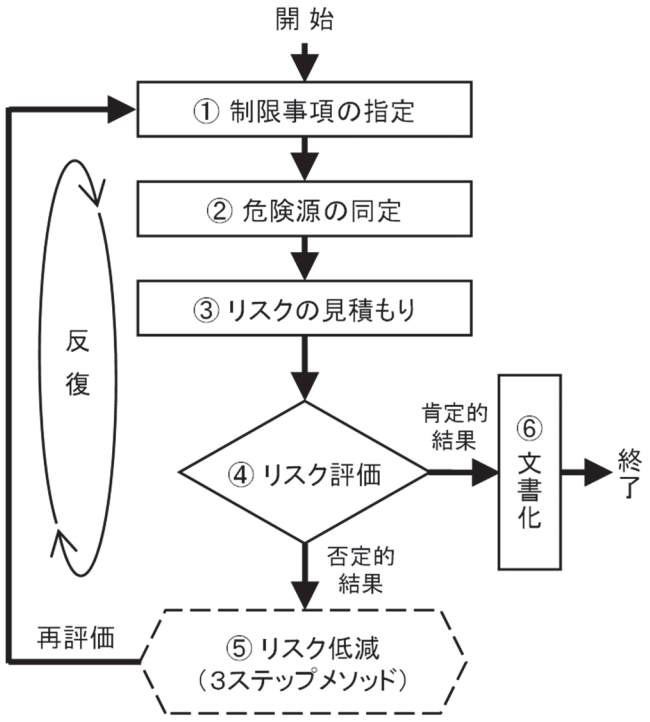


図３　標準化された設計段階のリスク低減プロセス

※ 本研究ではここに示すフロー全体を「設計段階のリスクアセスメント（RA）」と定義する。

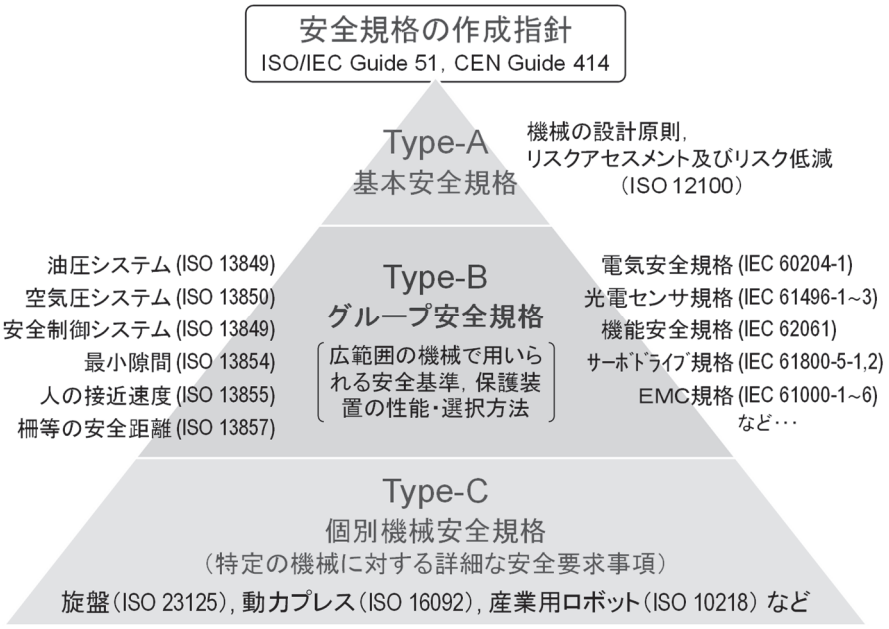


図４　機械安全に関わる国際規格の体系

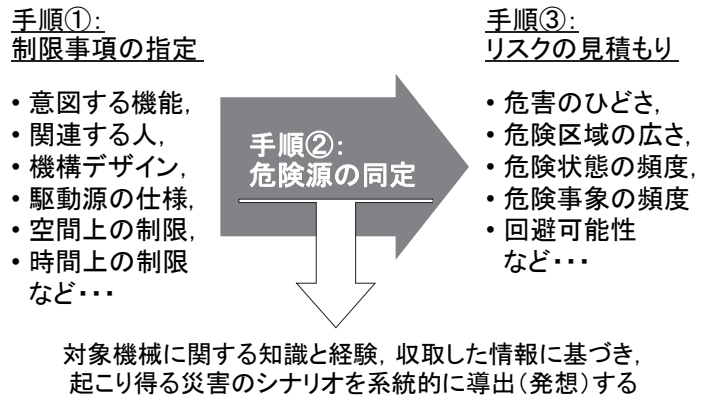


図５　手順②「危険源の同定」の位置付け

No.	タイプ又はグループ	危険源の例	
		原因	結果
1	機械的危険源	—加速度、減速度 —角張った部分 —固定部分への可動部要素の接近 —切断部分 —弾性要素 —落下物 —重力（蓄積エネルギー） —床面からの高さ —高圧 —不安定 —運動エネルギー —機械の可動性 —可動要素 —回転要素 —粗い表面、すべり易い表面 —鋭利な端部 —蓄積エネルギー —真空	—轢かれる —投げ出される —押しつぶし —切傷又は切断 —引き込み又は捕捉 —巻き込み —こすれ又はすりむき —衝撃 —噴出による人体への注入 —すべり、つまずきおよび転落 —突き刺し又は突き通し —窒息
2	電気的危険源	—アーク —電磁気現象 —静電現象 —充電部 —高圧充電部に対する隔離距離の不足 —過負荷 —不具合条件下で充電状態となる部分 —短絡 —熱放射	—やけど —化学的影響 —体内の医療機器への影響 —感電死 —墜落、投げ出され —火災 —融溶物の放出 —感電
3	熱的危険源	—爆発 —火炎 —極端な温度の物体又は材料 —熱源からの放射	—やけど —脱水 —不快感 —凍傷 —熱源からの放射による傷害
4	騒音による危険源	—キャビテーション —排気システム —高速でのガス漏れ —製造工程（打ち抜かれる、切断など） —可動部分 —表面のこすれ、ひっかき —バランスの悪い回転部品 —音の出る空圧装置 —部品の劣化・磨耗	—不快感 —認識力の喪失 —バランスの喪失 —永久的な聴覚喪失 —ストレス —耳鳴り —疲労 —口頭伝達又は聴覚信号の妨害の結果として起きるもの

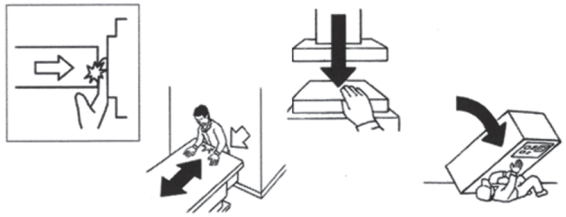
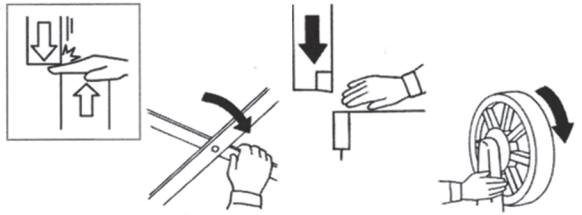
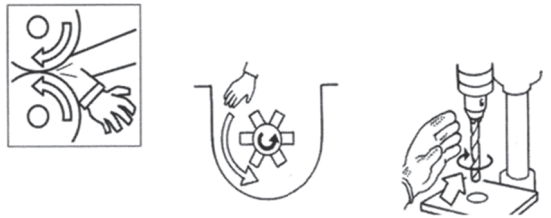
No.	危険源	具体例
1. 1	押しつぶしの危険源	
1. 2	せん断の危険源	
1. 3	切傷または切断の危険源	
1. 4	巻き込みの危険源	

図6　危険源リストの例

（出典：中央労働災害防止協会「機械包括安全指針に沿った機械設備安全化の進め方」[31]）

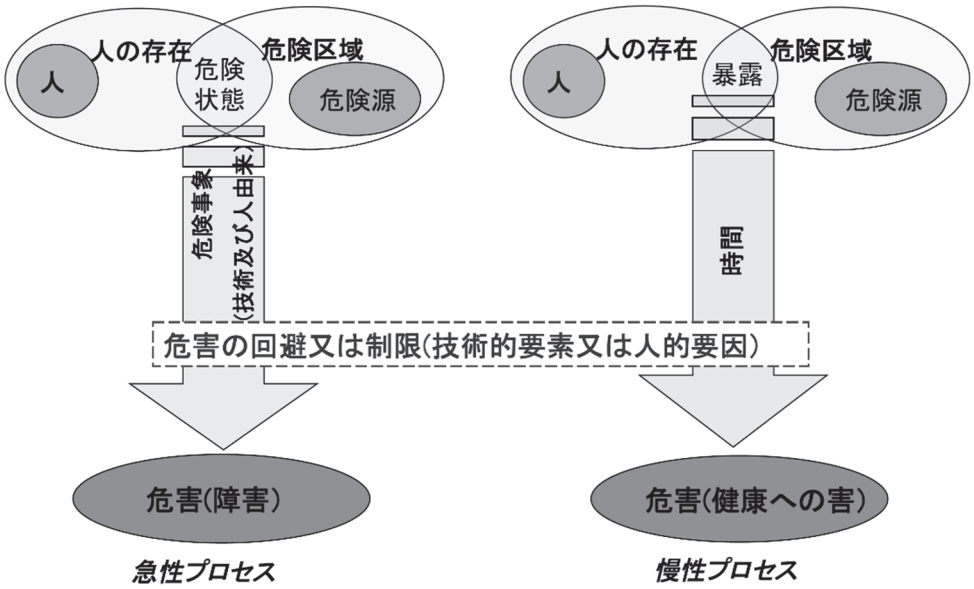


図 7　危険源から危害に至る過程

（出典：池田博康「リスクアセスメントシート解説」[29)]）

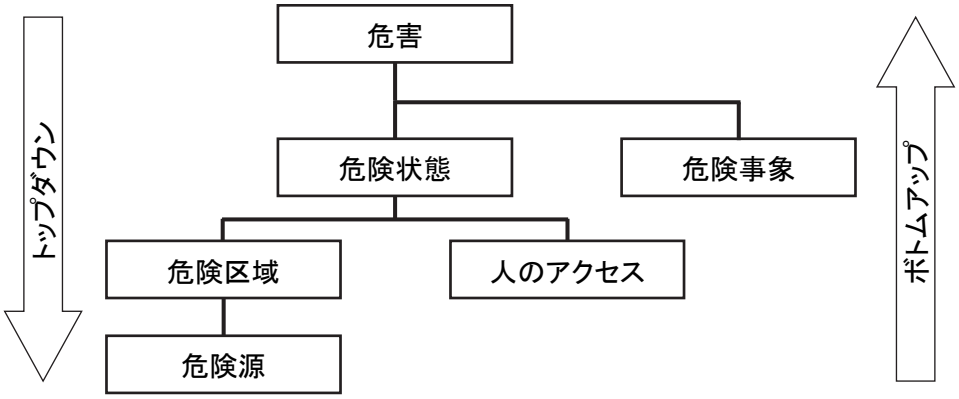
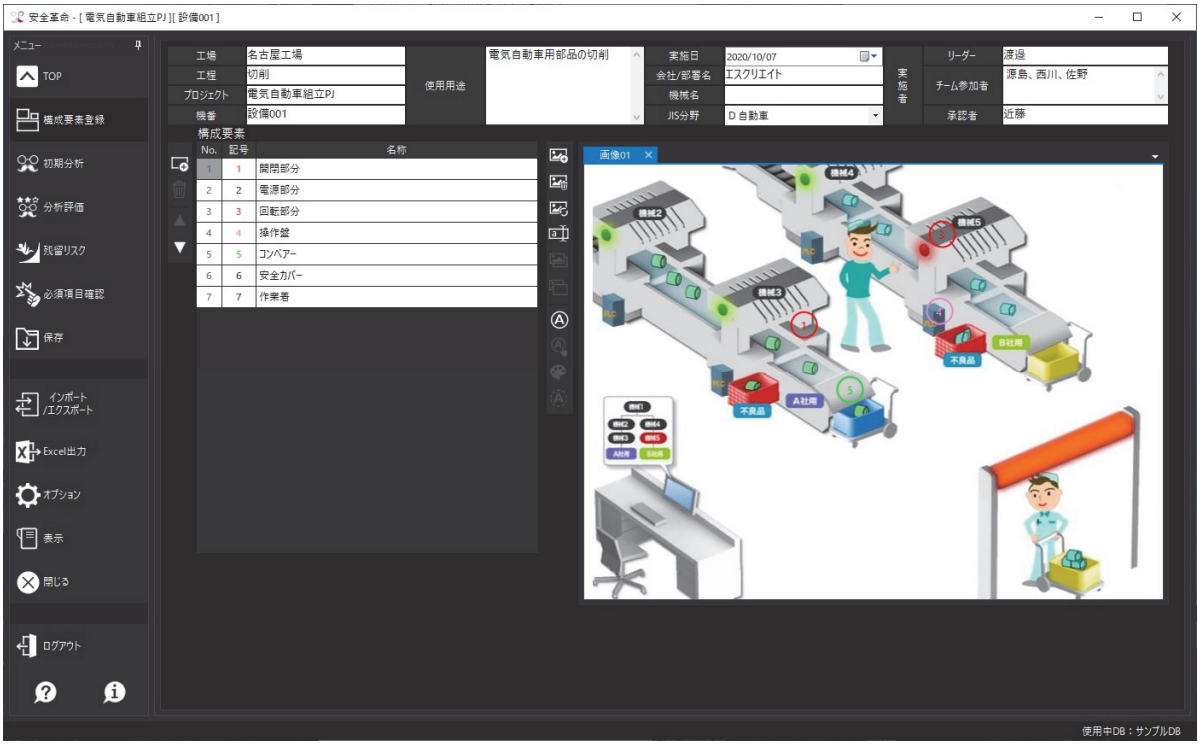
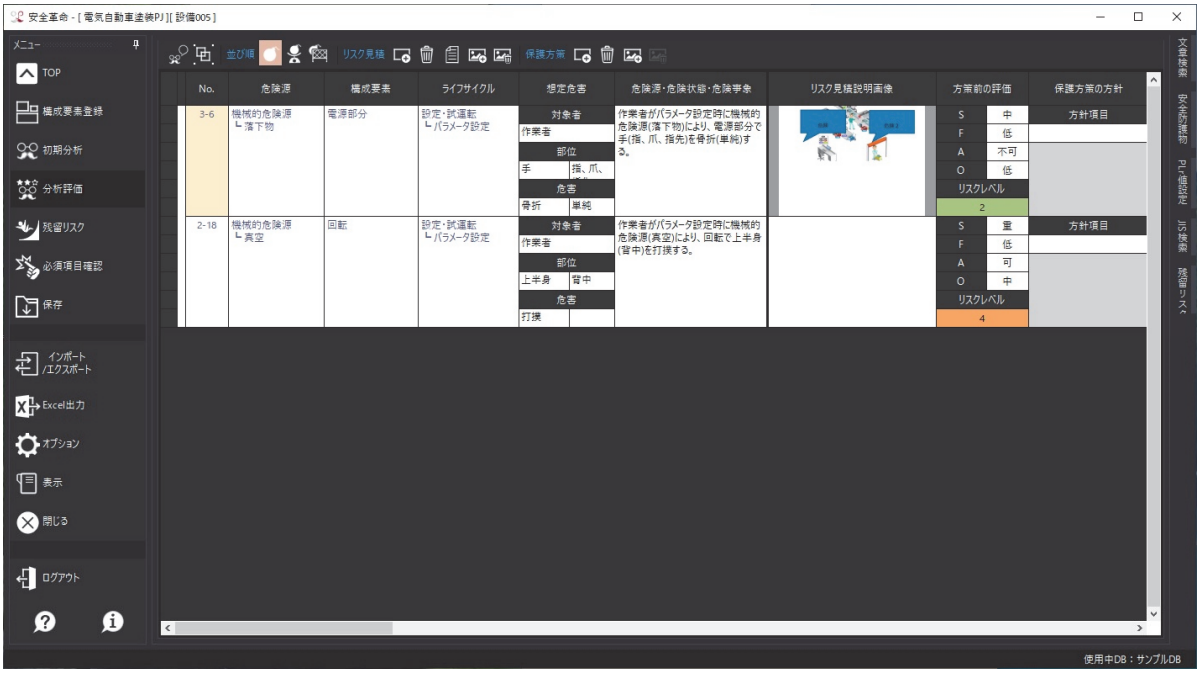


図 8　危険源同定の二つのアプローチ

（ISO/TR 14121-2：2012 図1[24)]に基づき著者作成）



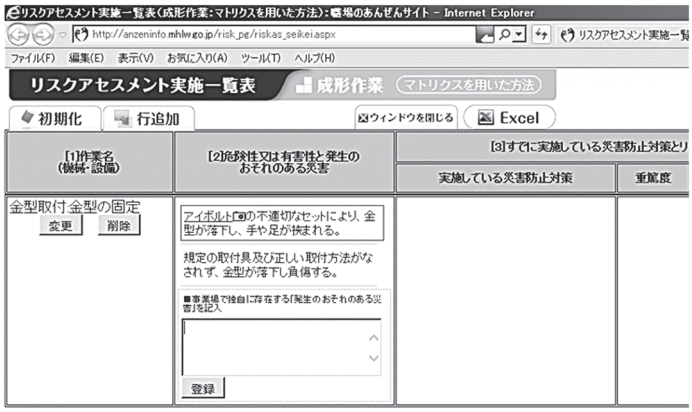
（a）危険源の同定（構成要素登録）



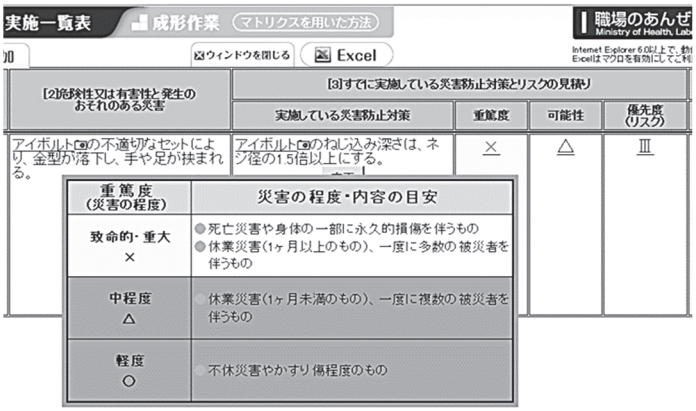
（b）リスク分析（リスクの見積，低減措置の検討，実施）

図 9　既存 RA 支援ツール“安全革命”の動作画面の例

（出典：株式会社エスクリエイト　「リスクアセスメント支援ツール 安全革命」，https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html）



(a) “危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の入力



(b) “すで実施している災害防止対策とリスクの見積もり”の入力

図 10 “リスクアセスメントの実施支援システム”の実施一覧表への入力例

（出典：厚生労働省 「リスクアセスメント実施支援システム操作方法説明資料」[59]）

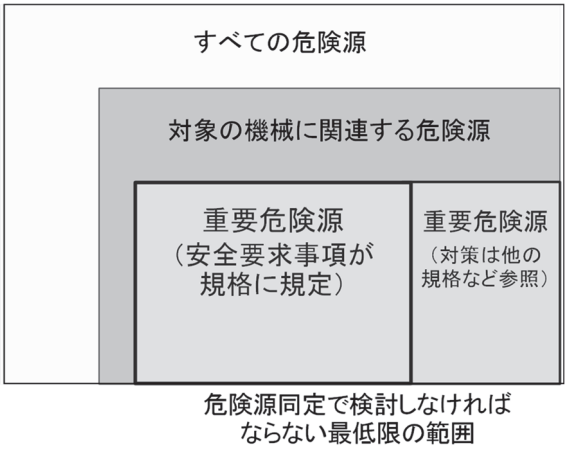


図 11 C 規格が扱う重要危険源の範囲

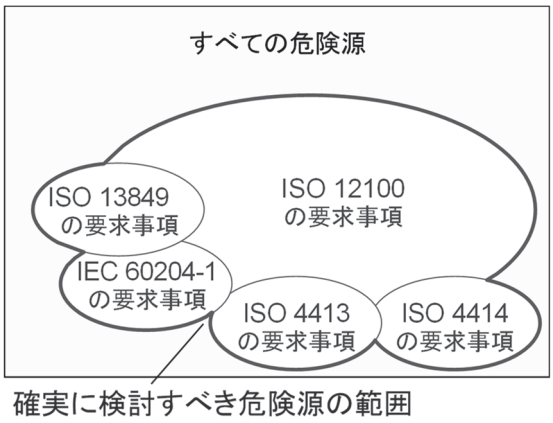


図 12 提案する危険源同定支援のコンセプト

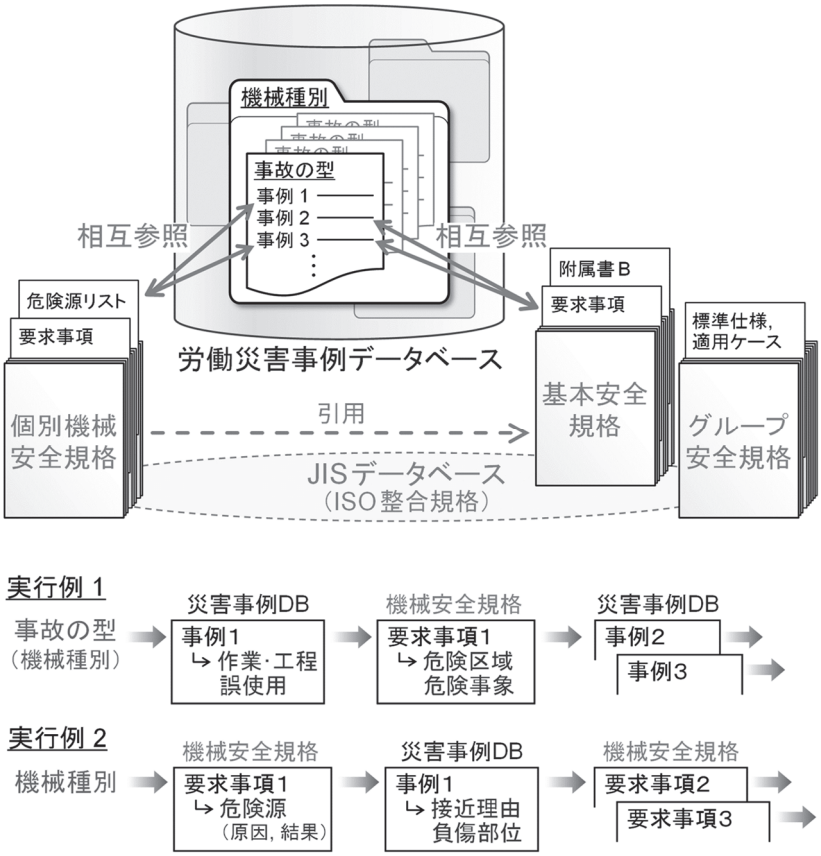


図 13　提案する相互参照リンクのコンセプト

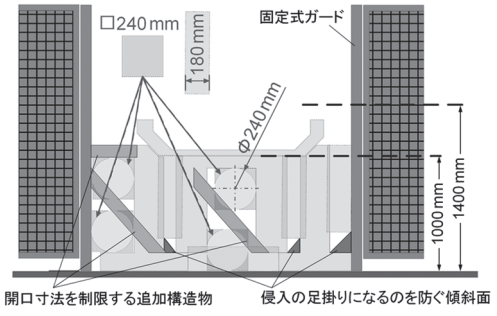


図 16　ISO/TR 20128-2:2017 図 A.1 [64)]

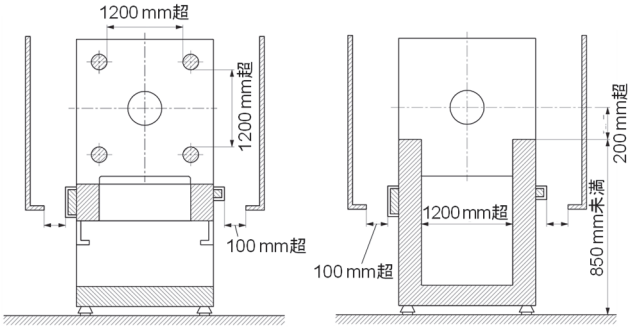


図 17　ISO 20430:2020 図 9,10 [69)]

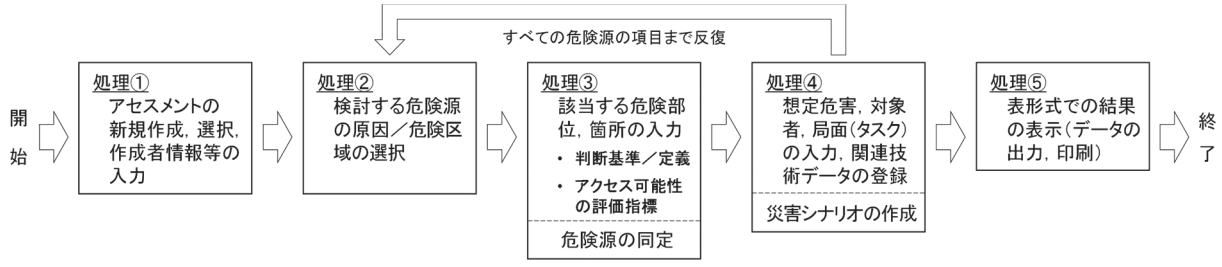


図 19　本支援ツールの処理の流れ

運転空間内に人が侵入/滞在している状態においてロボットが動作中又は動作を開始した理由	件数（割合）	関連する機械安全規格の要求事項			
		ISO 10218-1	ISO 10218-2	ISO 12100	その他のISO/IEC規格
自動運転中であった（ロボットを停止していない状態で，ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させた）.	42（43.8%）	4 c), 5.8.5	5.4.2, 5.5.1, 5.6.3.1, 5.6.3.3, 5.10.3, 5.10.5.2, 5.10.7	5.5.3.6, 6.3.2.5, 6.3.3.1, 6.3.3.2, 6.3.3.3	ISO 11161, 13849-1, 13854, 13855, 13856, 13857, 14119, 14120, 20607, TR 20218-1 IEC 61496, 62061, 62046
ロボットが計画外停止する原因となったトラブル（例えば，ワークの引っ掛かり，工具の摩耗，搬送装置/周辺装置の不具合）を解消した.	15（15.6%）	5.7.2	4.4.2, 5.6.3.1, 5.6.3.3, 5.6.3.4.2, 5.9.1, 5.9.7, 5.10.5, 5.10.11, 7.2.6	6.3.2.5, 6.4.5.1	
設定/調整/清掃/保全作業中，ロボットが動作を開始するセンサを誤って作動させた.	10（10.4%）		5.6.4.1, 5.10.6.2, 5.8.2, 7.2.6, 7.2.7	6.2.11.9 d), 6.2.15, 6.3.2.4	ISO 14118, 20607
設定/調整/清掃/保全作業中，手動制御装置（ボタン，スイッチ等）を誤操作した.	6（6.3%）	5.3.2, Table A.1(8)		6.2.8 f), 6.2.11.8	ISO 9355-3, 14118 IEC 60204-1, 60947-5-8
その他	4（4.2%）				
1: 修理を行い再起動のために安全扉を閉めたところ，安全防護空間内に他の作業者がまだ残っており，ロボットにはさまれた.			5.6.3.4.2, 5.10.5.2	3.27.4	ISO 14119
2: メンテナンス中，上部にいる作業者に気付かずに操作者が手動でロボットを作動させ，駆動部が接触した.			5.6.3.4, 5.10.5.2	6.2.2.1, 6.2.11.8	ISO 14120
3: パレタイザのハンド部分がローラーコンベアに引っ掛かり停止したのを復旧中，ハンドが外れた際に残圧で動き，腕がはさまれた.		5.2.3, 5.2.5	5.3.7	6.2.10, 6.3.5.4	ISO 4414, TR 20218-2
4: 予定外停止中，ハンドにあったワークが急に落下し，停止していたロボットが治具位置までワークを取りに動作した.			5.3.10		ISO/TR 20218-2
詳細の記載なし.	19（19.8%）				

関連するISO 10218-2:2011の要求事項の抜粋

5.6.3.3 自動運転は安全防護空間外から始動しなければならない．自動運転の始動は全ての関連する安全防護が有効であるときだけ可能でなければならない．

5.9.1 ロボットシステムに関連しているがロボット制御装置では直接制御していない機械，設備，装置はリスクアセスメントに含めなければならない．

5.10.5.2 操作者が安全防護空間に残る可能性がある場合，予期しない起動のような危険な状況の発生を防ぐために追加の方策を講じなければならない．

労働災害事例の具体例:

- ロボットの可動領域内で，異常を示したマシニングセンタの調整をロボットに背を向けて行っていたところ，マシニングセンタ側のエラーが解除されたことでロボットが再起動し，マニピュレータが被災者の背中に激突した.
- NC機の加工チップが寿命に達しラインが自動停止した．ロボットの運転モードを手動に切り替えず，チップ確認後NC機の設定を完了したところ，ロボットが動きだし頭部を押されて被災した.
- 溶接ロボットのマニプレーター先端の溶接チップが磨耗したため，チップを収納しているマガジンに向け移動していたロボットがマガジン内のチップ数が不足していたことにより停止した．チップを補充するため被災者がマガジンを開けたところ，開けたことにより停止信号が解除され，マニプレータが動き出してはさまれた.

図 14　産業用ロボットシステムを対象とした災害事例と安全要求事項の相互参照リンク

「はさまれ・巻き込まれ」の事例：165件の分析結果			件数（割合）	関連する機械安全規格の要求事項			
タスク	危険源	推定される主たる原因		ISO 16092-1	ISO 16092-2	ISO 12100	Other ISO/IEC standards
生産	スライド／ラム	安全防護物・保護装置の無効化，迂回	28（17.0 %）	5.3.2.7, 5.3.2.11, 5.3.2.12, Annex C, 7.4.2 k) to o)	5.4.2	5.5.3.6, 6.3.3.1, 6.3.3.3	ISO 13851, 13855, 13856, 13857, 14119, 14120, 20607, IEC 62046
		・足踏みペダル式	（8）	5.4.3.3, 5.4.5.1		6.3.2.5, 6.4.5.1 d)	IEC 60204-1
		・運転モードの切り替え忘れ	（2）	5.4.3.2, 5.4.3.7			
		・両手式操作操作装置の改造	（1）			5.5.3.6	
		ガードの開口部，隙間からの侵入，光線式安全装置の検出区域の不適切な設定最小距離の不足	14（8.5 %）	5.3.2.2, 5.3.2.4, 5.3.2.7, 5.3.2.11, 5.3.2.12 b), 5.3.2.13, 5.4.3.4, Annex D	Annex B	6.3.2.5, 6.3.3.1, 6.3.3.2, 6.3.3.3	ISO 13849-1,13855, 13856, 13857, 14119, 14120, IEC 61496, 62061, 62046
		意図しない起動（二度落ち）	2（1.2 %）	5.4.1	5.2.5, 5.2.8, 5.2.9	6.2.11	ISO 13849-1, IEC 62061
		両手式操作操作装置の故障	1（0.6 %）	5.3.2.12 a)	Table 1		ISO 13851
		詳細の記載なし.	52（31.5 %）				
	金型（人力による運搬／位置変え中）		2（1.2 %）	5.8.7.4, 7.4.2 n)		6.2.7, 6.3.5.5	ISO 11228-1, 20607
	ノックアウト装置（ハンド・イン・ダイ作業中）		1（0.6 %）	5.3.1, 5.4.2	Table 1		
金型設定，試し打ち，清掃，トラブル処理，メンテナンス	スライド／ラム	手動制御装置の誤操作	15（9.1 %）	5.4.5, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 5.8.7.2	5.5.1	6.2.8 f), 6.2.11.8, 6.3.2.4	ISO 9355-3, 14118 IEC 60204-1, 60947-5-8
		死角，視界不足	3（1.8 %）	5.5.5, 5.5.6		6.2.2.1, 6.2.11.8, 6.3.2.1	ISO 14120
		センサ，トリガへの誤接触	3（1.8 %）	5.3.6	5.5.2, 5.5.3	6.2.11.9 d)	
		詳細の記載なし.	5（3.0 %）				
	移送装置，ムービングボルスタ		7（4.2 %）	5.3.3.4, 5.5.4			
	金型（人力による運搬／位置変え中）		4（2.4 %）	5.8.7.4, 7.4.2 n)		6.2.7, 6.3.5.5	ISO 11228-1, 20607
	液圧シリンダ		1（0.6 %）	5.2.1.1		6.2.10	ISO 4413
詳細の記載なし.			27（16.4 %）				

関連するISO 16092-1:2017の要求事項の抜粋

5.3.2.7 インターロック付きガード，早期開放形インターロック付きガード及び制御式ガードは，固定ガードを併用して，あらゆる危険な可動部の動作の間，金型領域への接近を防止しなければならない。

5.3.2.11 b) 危険区域へのアクセスは，光線式安全装置の検出区域を通してだけ可能でなければならない。

労働災害事例の具体例:

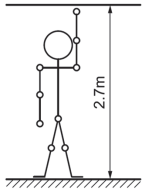
- 25t 動力プレスにて単発工程作業を，ボルスタ上に肘を付けたまま行っていたところ，肘が光線式安全器の下を通る形となって左手指を損傷した.最下点の光軸の高さは，ボルスタから90 mmであった.
- 動力プレスにて材料抜き作業中に，椅子を低くして作業していたため，光線式安全器の範囲を越えて右手を差し込み，誤って足踏み式ペダルスイッチを踏んでしまい，右手指を挟んだ.
- 400tのタンデムプレスにて鉄板加工中，被災者が安全センサー内部に入り込んでいるのに気付かず，操作者がスライドを起動したため，頭部を挟まれた.

図 15　動力プレスを対象とした災害事例と安全要求事項の相互参照リンク

1）機械の運転中に人が立つ基準面（例：床，踏み台，作業用プラットフォーム）から危険源までの高さが 2.7m 以上あれば，素手では接触できないと考えてよい（手に持った工具などは接触する可能性がある）。

ただし，人が飛び上がったり何かをよじ登ったりする可能性，椅子や梯子のような補助が利用される可能性をなくす対策が講じられている必要がある。

なお，危険源との接触で想定される危害が「こすれ」又は「すりむき」といった軽傷である場合に限り，2.7m を 2.5m としても良い。



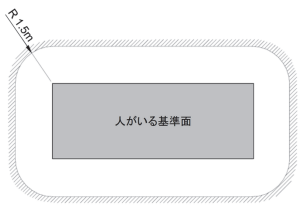
【出典】 **ISO 13857：2008**「機械類の安全性－危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」，**4.2.1.2** 及び **4.2.1.3**

2）機械の運転中に人がいる基準面（例：床，踏み台，作業用プラットフォーム）の各端面から，右図にハッチングで示す領域の外まで危険源が離れていれば，素手では接触できないと考えてよい（手に持った工具などは接触する可能性がある）。

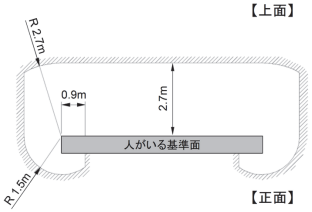
ただし，人が飛び上がったり何かをよじ登ったりする可能性，椅子や梯子のような補助が利用される可能性をなくす対策が講じられている必要がある。

【参考】 **ISO 13857：2008**「機械類の安全性－危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」，**4.2.1.2** 及び **4.2.1.3**

IEC 60364-4-41：2005/AMENDMENT 1：2017「低圧電気設備－ 第 4-41 部：安全保護－感電保護」，**付属書 B**



【上面】

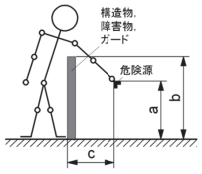


【正面】

3）下図のように，物理的な障壁（構造物，障害物，覆い，囲いなど）の上端を超えて手を伸ばすとき，危険源の高さ a と構造物等の上端の高さ b に応じて，構造物等の人に面する表面から危険源までの水平距離 c が，表に示す値以上である場合，素手では危険源に接触できないと考えてよい。

ただし，構造物等に隙間や穴等の開口部があるときは，次項の 4）を併せて検討する必要がある。

【参考】表にある値の中間値の取り扱い方については出典：ISO 13857：2008 を参照。



単位 mm

危険源の高さ a	構造物等の上端の高さ b							
	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	水平距離 c							
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	900	600	0	0	0	0	0	0
600	800	0	0	0	0	0	0	0
400	400	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0

4）危険源と人との間にある物理的な障壁（構造物，障害物，覆い，囲いなど）に，開口部又は長方形，正方形，円形の開口部分がある場合，開口部分の開口寸法 e に応じて，構造物等の人に面する表面から危険源までの距離が表に示す値以上である場合，14 歳以上の人が素手又は足先で危険源に接触することはできないと考えてよい。

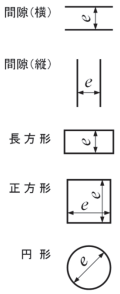
なお，開口寸法が 180 mm 以上の間隙又は長方形，ならびに，240 mm 以上の正方形又は円形開口については，次項の 4）を併せて検討する必要がある。

【参考】リスクアセスメントで考慮する機械に接近する人に 14 歳未満の者が含まれる場合には，参考 JIS 規格を参照。

【参考】開口部分の形状が長方形，正方形，円形以外の場合，ならびに，間隙又は長方形開口部の長辺が 65 mm 以下の場合については，参考 JIS 規格を参照。

【参考】上肢の接触だけ又は下肢の接触だけを対象にする場合については，参考 JIS 規格を参照。

【開口寸法】



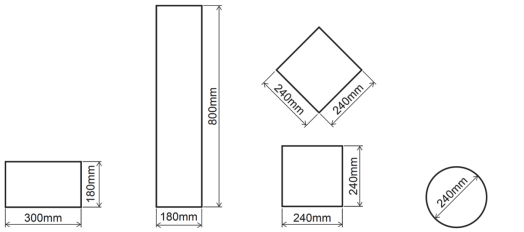
単位 mm

開口寸法	基準となる距離		
	間隙，長方形	正方形	円形
$e \leqq 4$	≧2	≧2	≧2
$4 < e \leqq 6$	≧10	≧5	≧5
$6 < e \leqq 8$	≧20	≧15	≧5
$8 < e \leqq 10$	≧80	≧25	≧20
$10 < e \leqq 12$	≧100	≧80	≧80
$12 < e \leqq 20$	≧120	≧120	≧120
$20 < e \leqq 30$	≧850 a)	≧120	≧120
$30 < e \leqq 40$	≧850	≧200	≧120
$40 < e \leqq 80$	≧850	≧850	≧850
$80 < e \leqq 95$	≧1 100	≧850	≧850
$95 < e \leqq 180$	≧1 100	≧1 100	≧1 100
$180 < e \leqq 240$	人が侵入できてしまう。5）参照。	≧1 100	≧1 100
$240 < e$	人が侵入できてしまう。5）参照。		

【参考】 **ISO 13857：2008**「機械類の安全性－危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」，**4.2.4.1** 及び **4.3**

5）危険源と人との間に物理的な障壁（構造物，障害物，覆い，囲いなど）があっても，大きな開口部分があると，人が内部に侵入し，危険源に接近できてしまう。

開口部分が右図に示す寸法以下であれば，人は全身で内部に侵入することはないと考えてよい。



高さ：180mm以下又は，幅：300mm以下の長方形　高さ：800mm以下又は，幅：180mm以下の長方形　辺：240mm以下の正方形　直径：240mm以下の円形

【出典】 **ISO/NP 12895：2022**「Safety of machinery－Identification of whole body access and prevention of derived risks」，**4.2.1**

6）機械の可動部分，破

危険源の影響が及ぶ
散範囲，落下物の落
で覆われ，人と隔離

- 4 mm 以上の隙
- 機械の可動部分
部分がない．
- 衝突する機械の
や工具の破片が

危険源の影響が及ぶ
散範囲，落下物の落
め，危険源との衝突

- 縦 300mm 以下
- 縦 1000mm 以

【参考】 **ISO 14**
めの一般

ISO/NP
preventi

厚生労働

7）有害物質，危険物質

負圧にした筐体で機
物質，ミスト，粉塵が

ただし，機械を囲う筐
る必要がある．

【参考】 **ISO 12**
ク低減」

8）電離放射線，非電離

減衰用スクリーン，
線，レーザー光，磁
てよい．

ただし，当該スクリー

【参考】 **ISO 12**
ク低減」

9）破損・腐食個所など

噴出箇所が，次の3
されている場合，噴

- 4 mm 以上の隙
- 機械の可動部分
部分がない．
- 衝突する機械の
や工具の破片が

図 18　危険源へのアクセス可能性を評価する参考基準（抜粋）

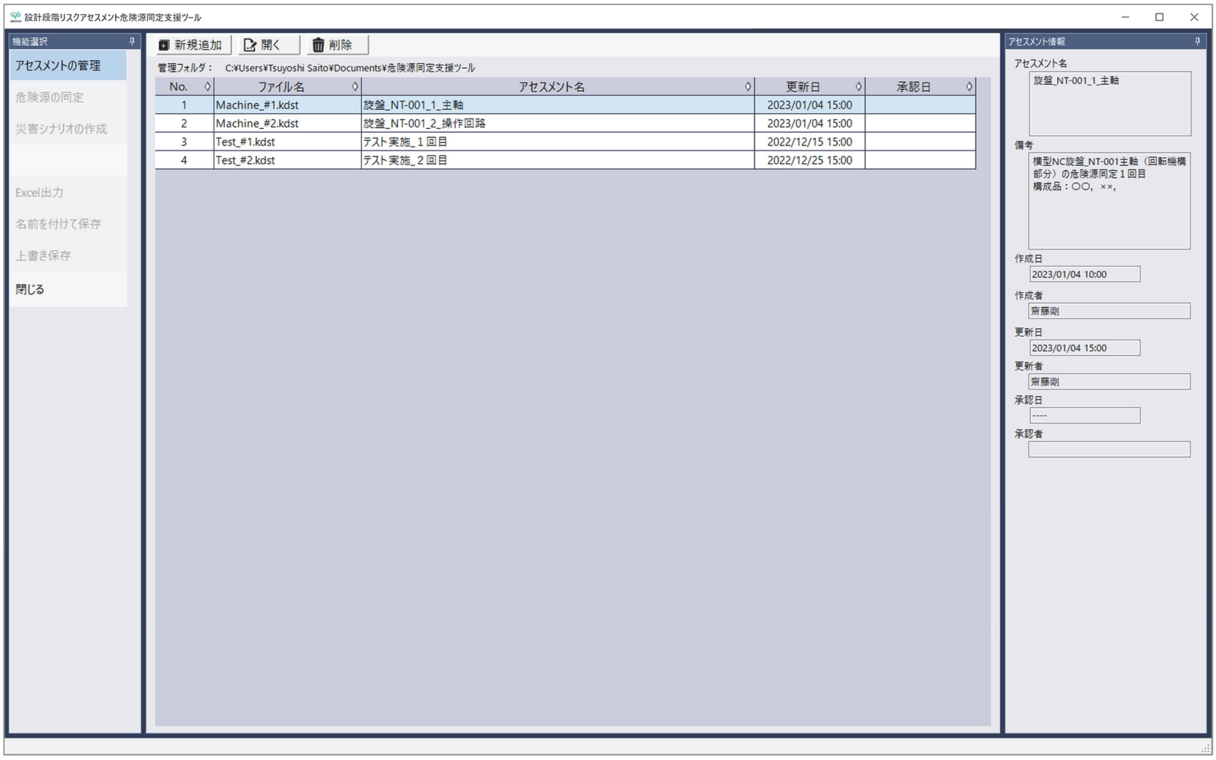


図 20　画面Ⅰ「アセスメントの管理」

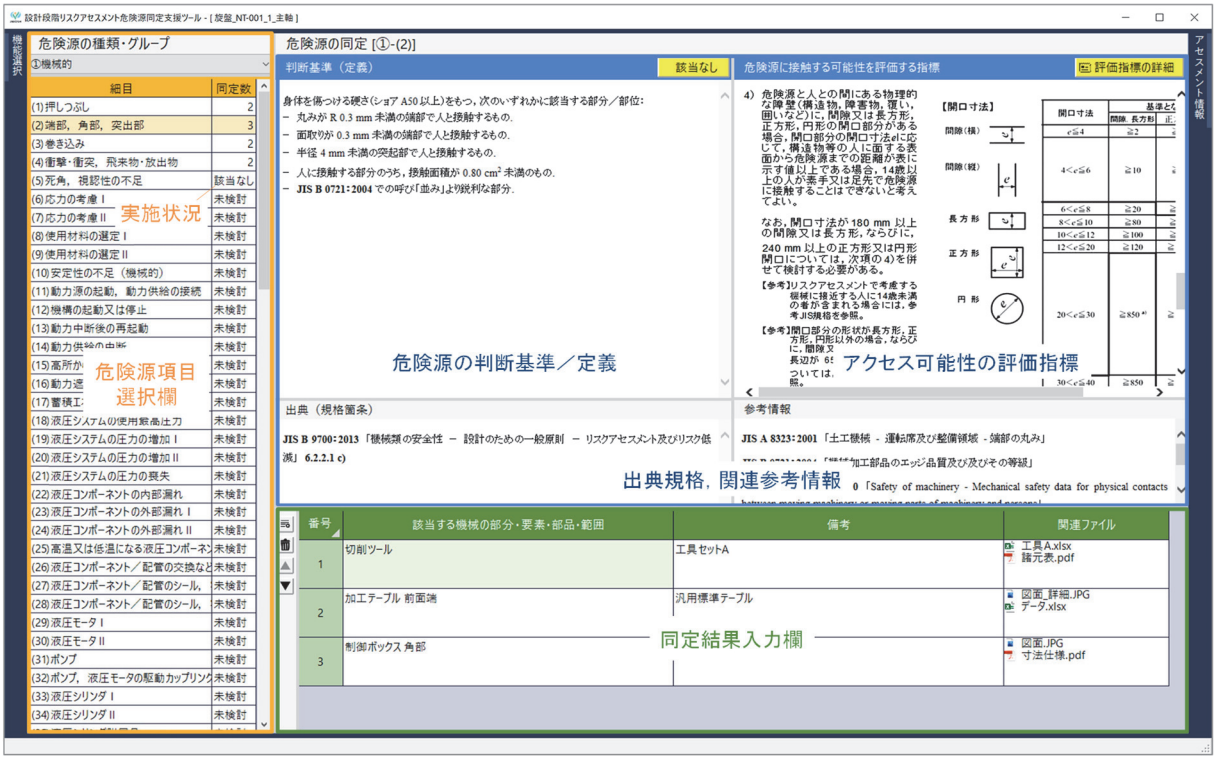


図 21　画面Ⅱ「危険源の同定」

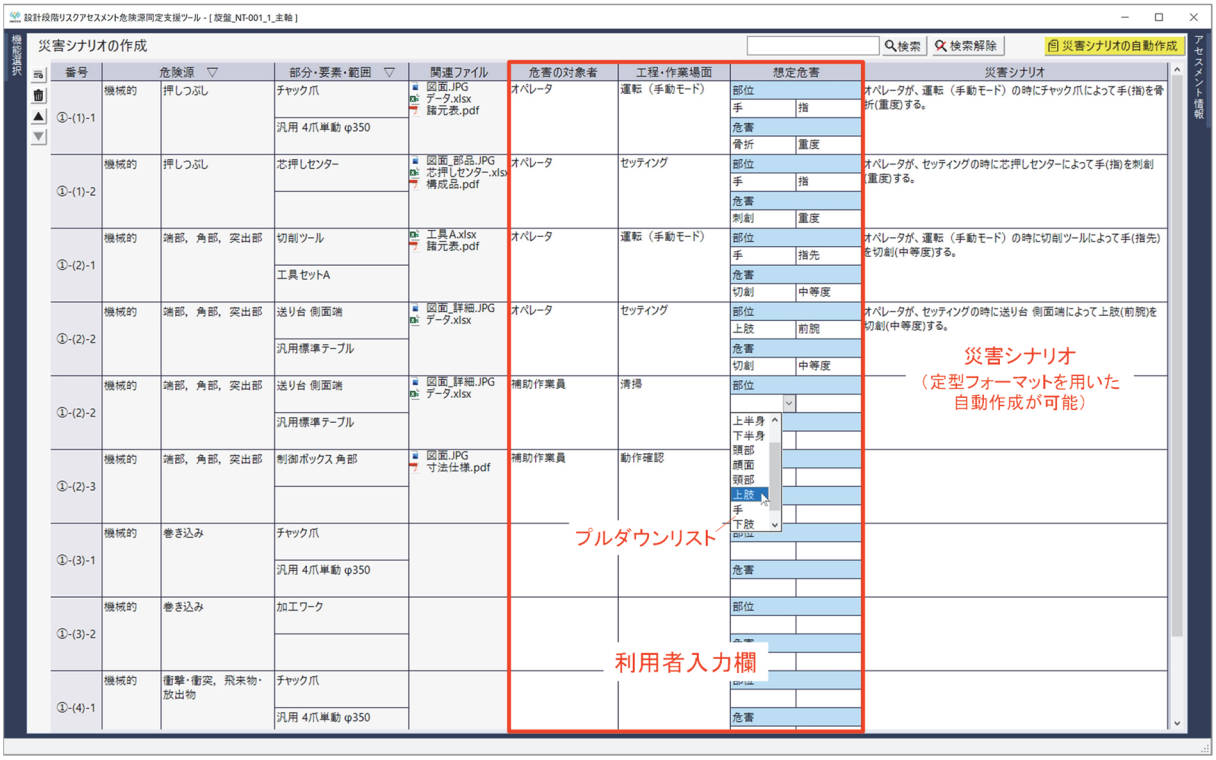


図 22　画面Ⅲ「災害シナリオの作成」

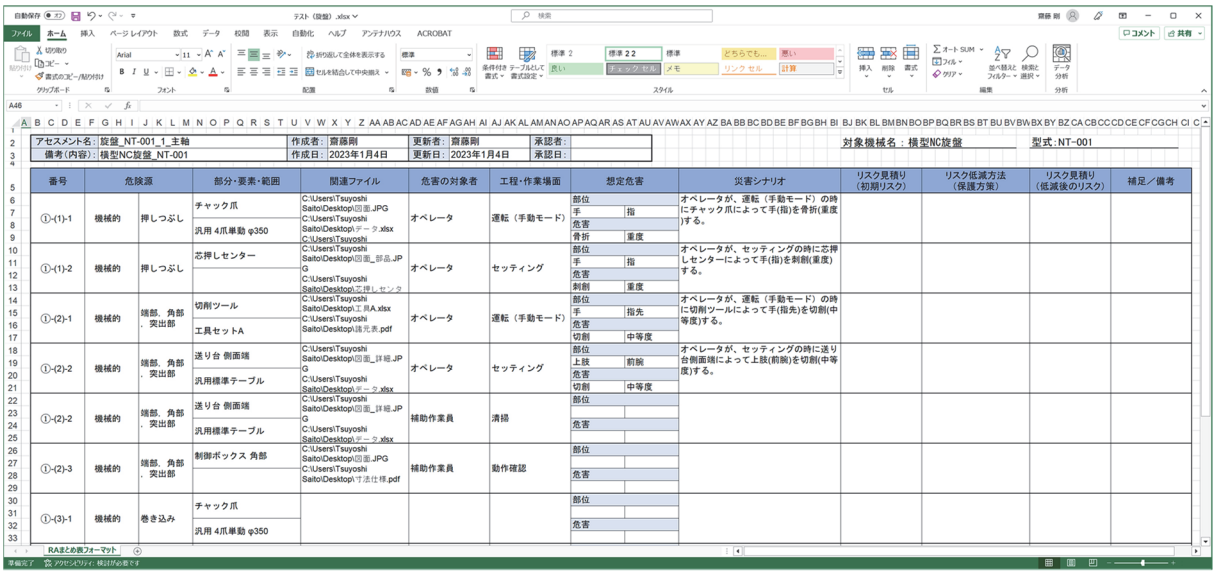
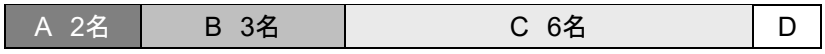


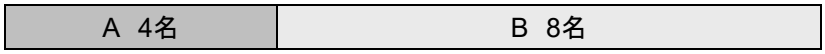
図 23　危険源同定結果の Excel シートへの出力例

問(1) RA実施の経験はあるか？



回答 A:ない, B:1回, C:3～5回, D:6回以上

問(2) セミナや講習会など受講したことがあるか？



回答 A:ある, B:ない

問(3) 危険源同定で機械安全規格類を参照しているか？



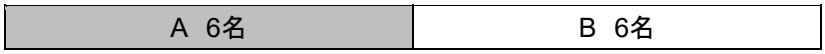
回答 A:している, B:していない, C:RAの経験なし

問(4) 次の規格・指針を知っているか？

ア) ISO 12100(JIS B 9700)



イ) 厚生労働省「機械の包括的な安全基準に関する指針」



ウ) ISO/TR 14121-2

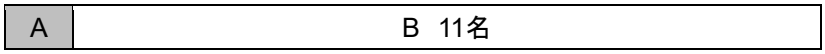
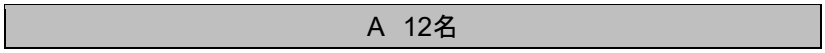


図 24　回答者の RA 実施経験などに関する質問と回答

問(1)「危険源同定」を簡易に実施できると感じたか？



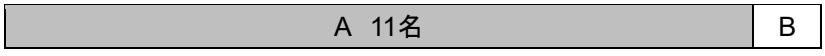
回答 A:はい

問(2)「判断基準」と「評価指標」を参照する方式で，技術的視点から客観的に危険源を同定できるか？



回答 A:できると思う
B:できるとは思わない
- 全く規格を知らない人ができるとは思えない
- 対象機械に細目の危険源が該当しないと判断するための例示が欲しい
- 企業で事前に取り決めのない細目については判断に悩む場合も考えられる

問(3) 本支援ツールが利用できれば，中小メーカでもRAに取り組めると思うか？



回答 A:そう思う, B:思わない

問(4)「危険源同定」よりも支援すべきステップはあるか？



回答 A:ない, Bある

図 25　提案する支援方法全般に関する質問と回答

問(1)「危険源の判断基準／定義」の内容は適切か？

A 9名	B 3名

回答 A:適切である, B:やや難解

考えられる改善点:
- 基準となる数値が厳しいので説明が必要
- 数値はあくまで目安として，詳細は規格を一読するなどの注記が必要ではないか
- 規格の改定等があった場合の更新を検討しておく必要がある
- 危険状態では周囲環境条件も影響すると思う

問(2)「アクセス可能性の評価指標」の内容は適切か？

A 11名	B

回答 A:適切である, B:やや難解

考えられる改善点:
- 社内規定に基づいた補足説明を追加できると良い

問(3) 危険源細目の項目数は適切か？

A 12名

回答 A:適切である

問(4) 危険源の種類分け，細目の表示順は変更できる方が良いか？

A 5名	B 3名	C 3名	D

回答 A:必要と思われる細目のみを抜き出してグループ化したい
B:全く関連しない細目は後にするなど，表示順を変更したい
C:類似機械には以前の結果をコピーして再利用すれば良いので，変更できる必要はない
D:新規にRAを行う際，すべての細目を1度は必ず検討すべきであり，変更できる必要はない

問(5)「判断基準」及び「評価指標」のテキスト情報はコピーして同定の結果入力などで利用できる方が良いか？

A 10名	B 2名

回答 A:利用できる方が良い, B:利用可能にする必要はない

図 26 画面Ⅱ「危険源の同定」に関する質問と回答

問(1) 記入項目は「危害の対象者」,「発生する作業場面」,「想定危害の症状(程度)」,「負傷部位」で十分か？

A 10名	B 2名

回答 A:十分である, B:十分ではない
- 危害の発生頻度, リスク見積りの結果も記入できたほうが良い

問(2) シナリオの自動作成機能は重要な機能と感じたか？

A 11名	B

回答 A:重要な機能である, B:特に必要と思わない

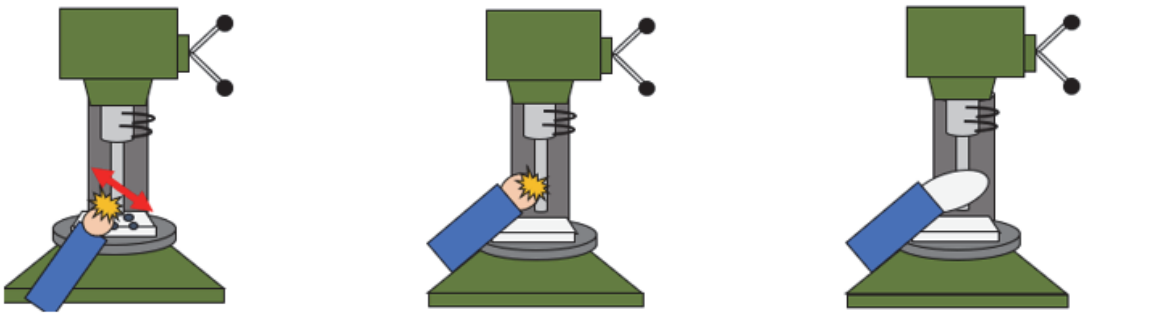
問(3) 画面“危険源の同定”に戻った際, 検討していた危険源の種類・細目に戻る方が良いか？

A 11名	B

回答 A:検討していた危険源の種類・細目に戻るのが良い
B:検討していた危険源の種類は変わらない方が良い

問(4) その他改善すべきと思う点はあるか？
- 危害の程度(重度, 中程度, 軽度)の目安を加えるか, 独自に付記できると良い
- 危害の症状と負傷部位のプルダウンメニューで表示される語句が専門的で細か過ぎる
- 危害の対象者別にソートする機能があると良い
- シナリオ作成中も規格を参照できると良い

図 27 画面Ⅲ「災害シナリオの作成」に関する質問と回答



a) ワークに付いた切粉を払う　b) 回転中のドリルに手を出す　c) 手袋をしてドリルに触れる

図 29 危険シナリオのイラスト化の例（ボール盤）

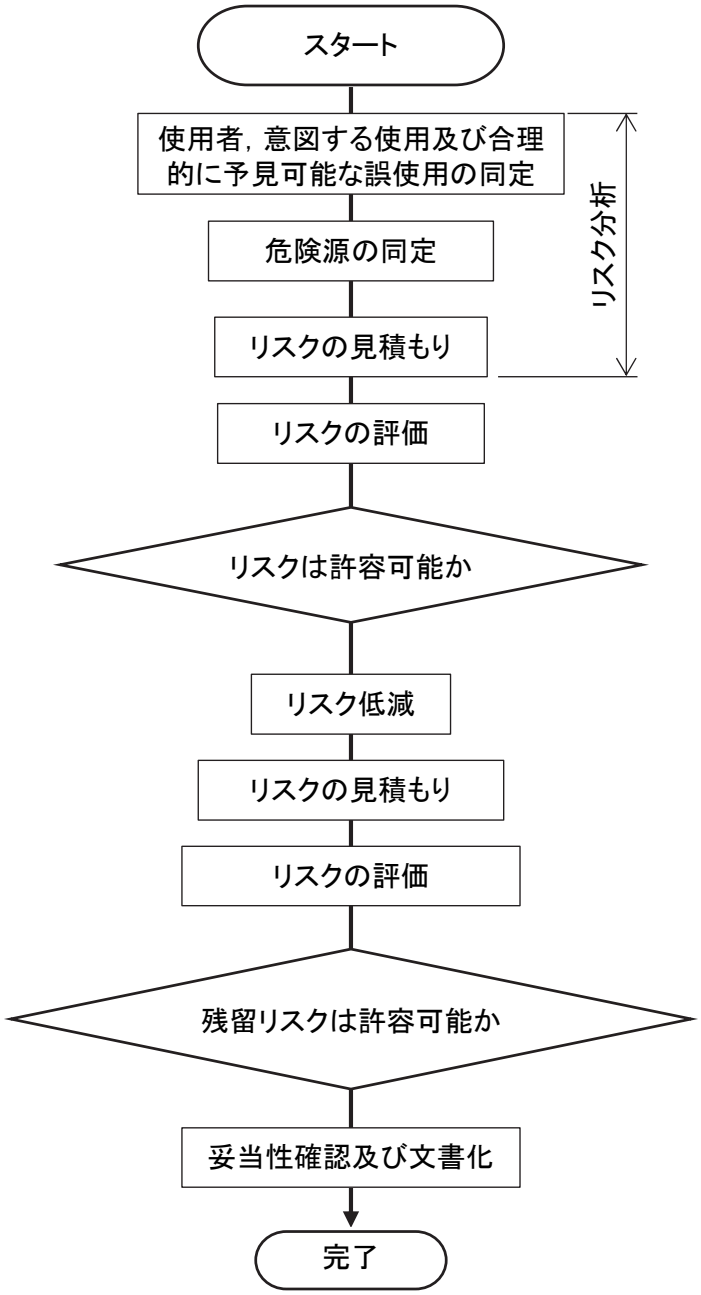


図 28　リスクアセスメント（RA）の手順 [21)]

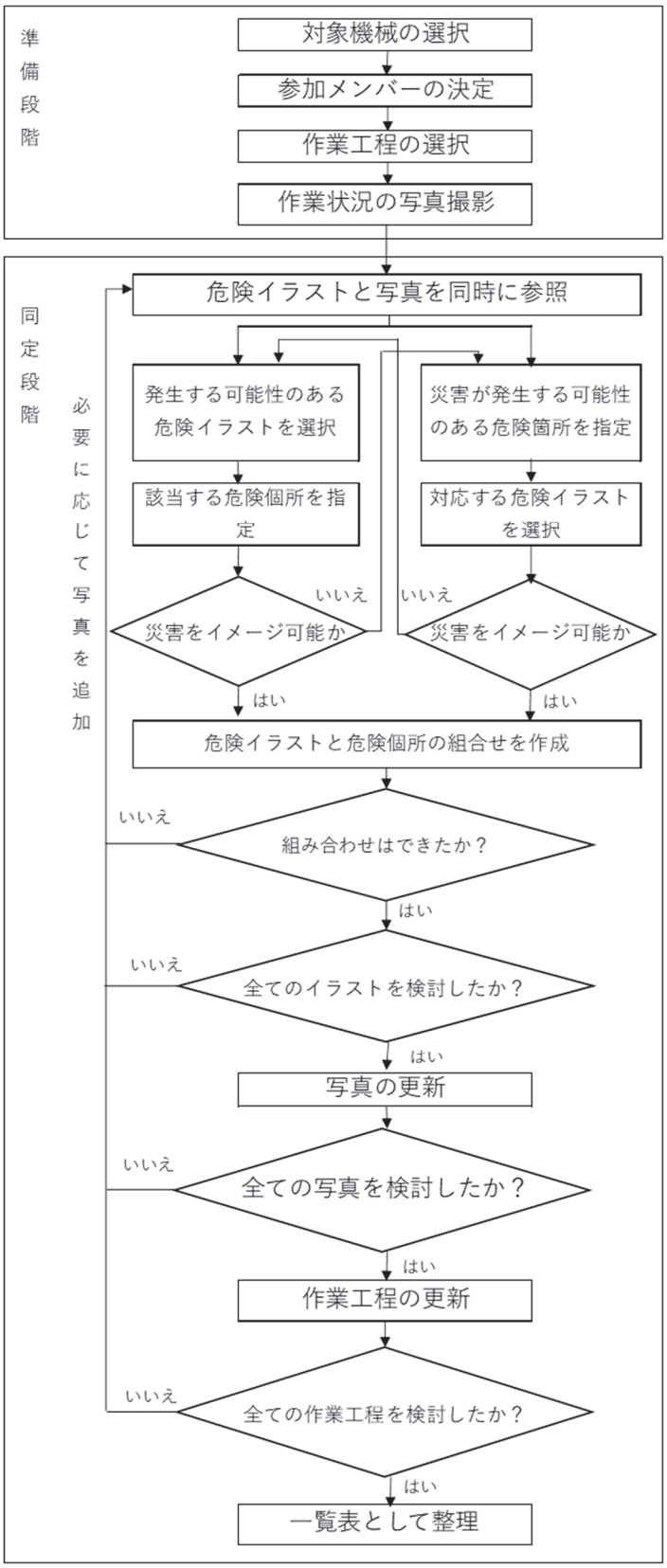
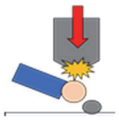


図 30　危険イラストを用いることで簡略化された危険源同定の手順（概要）



図 31　試作したアプリケーションによる危険源同定

No.1 	シナリオ	ガード後面の隙間から手を金型間にいれているときにプレススライドが起動される。
	事故の型	挟まれ・巻き込まれ
	危ないこと	体の一部が挟まれる
	対策	ガード後方に固定ガードを追加。
No.2 	シナリオ	飛散の可能性のある材料、金型パンチを使用した加工作業中に飛散材料・折れたパンチが飛んでくる
	事故の型	飛来・落下
	危ないこと	物が飛んでくる
	対策	プレス前面にインタロック式飛散防止ガード」またはスライド連動型の飛散防止ガードを設置
No. 3 	シナリオ	ごみを取り除くときに誤ってスイッチを押す
	事故の型	挟まれ・巻き込まれ
	危ないこと	体の一部が挟まれる
	対策	安全装置の無効化スイッチは管理者が保管する

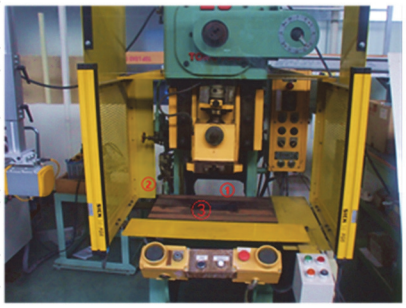


図 32　危険源同定実施一覧表（一部抜粋）

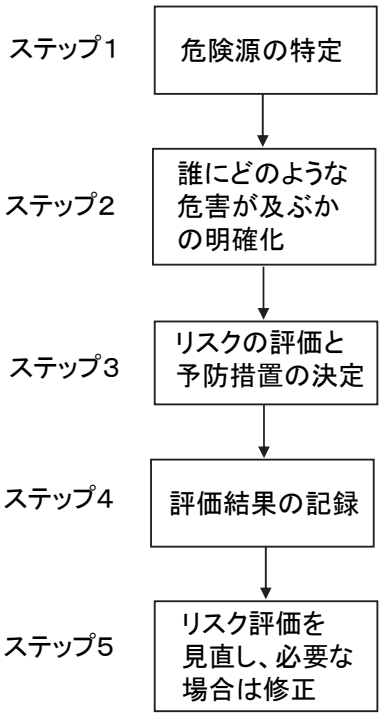


図 33　英国 HSE が提唱する５ステップリスクアセスメント

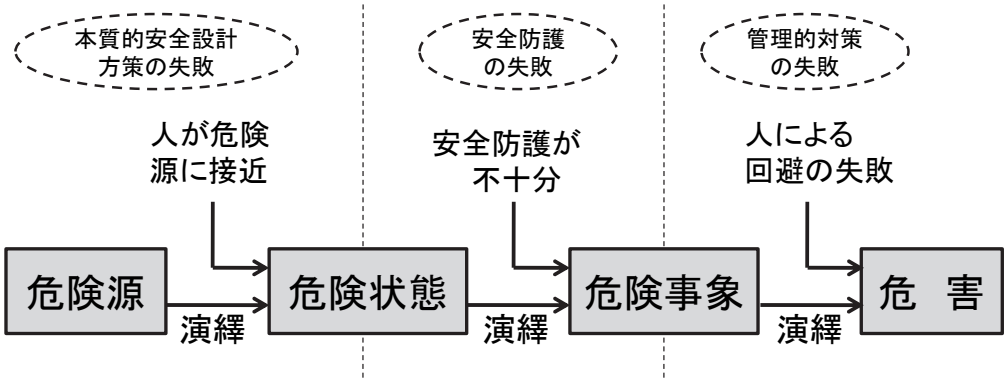


図 34　危険源を出発点とする決定論的な前向き推論（演繹的推論）

（出典：JIS B 9702：2000[87]の解説図 2，向殿政男（監修）「安全設計の基本概念」[88]などに記載された図に一部追記）

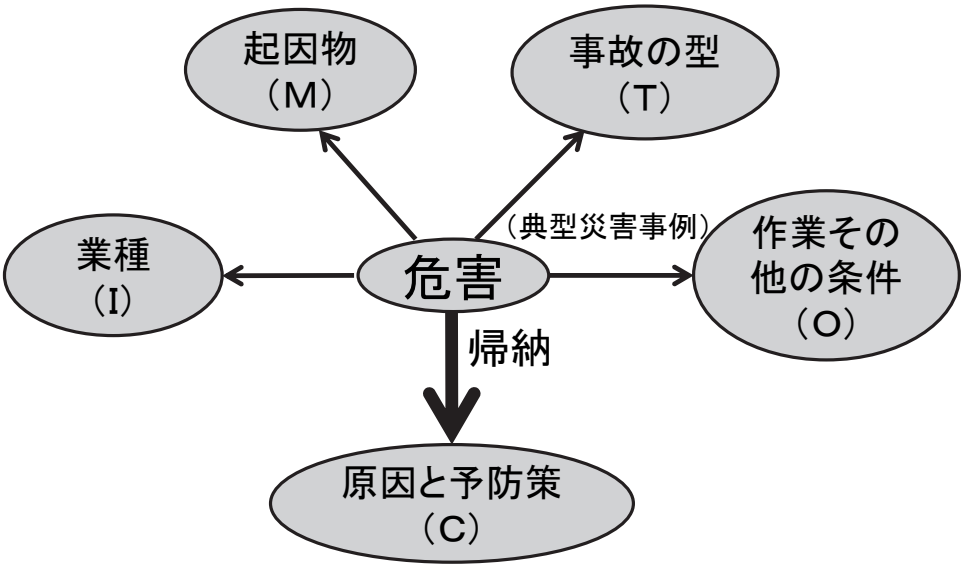


図 35　災害情報（危害）を出発点とする確率統計的な後ろ向き推論
（帰納的推論，原因と予防策の直接推論）

No	区分	危害のひどさ	危害の発生確率	分類
1	タイプA	小	大	災害多発機械
2		大	大	
3	タイプB	甚大	小	重篤災害

タイプAの災害
過去に繰り返し発生している災害をいう。

タイプBの災害
発生確率は低いが重篤度が著しく高いために社会的影響の大きい災害をいう。

図 36　タイプＡ災害とタイプＢ災害の区分

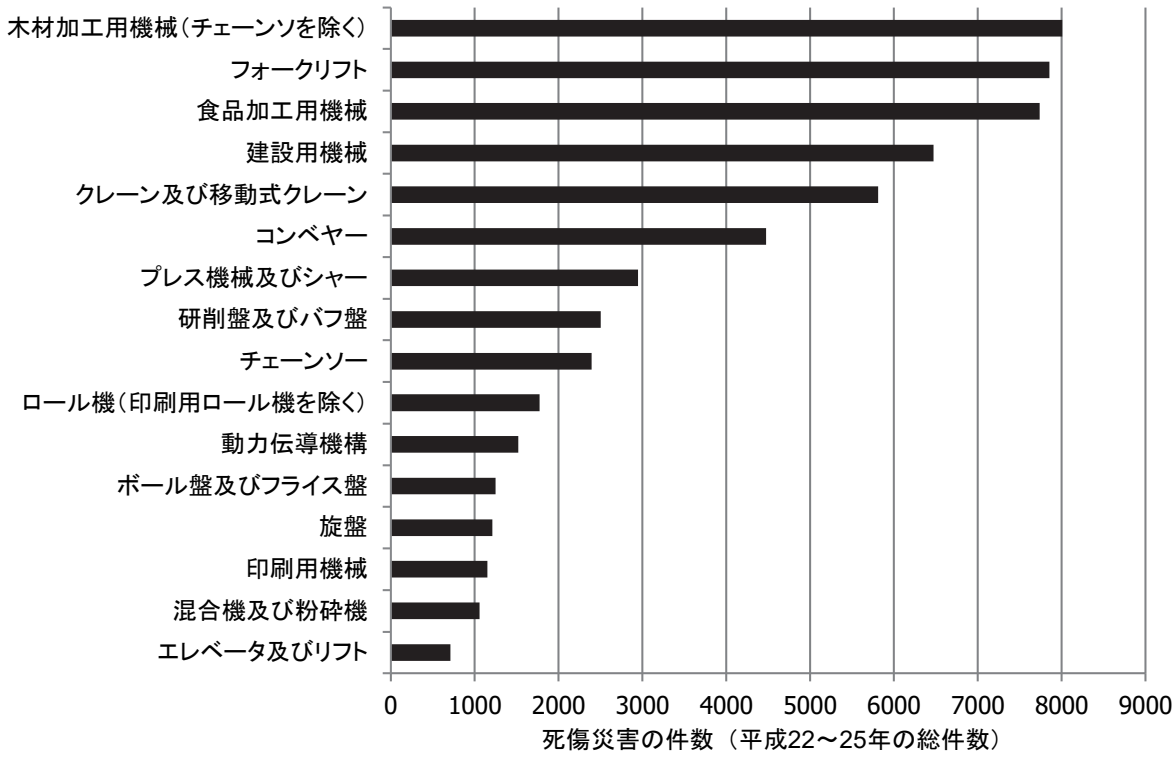


図 37　機械の種類ごとの死傷災害件数の比較

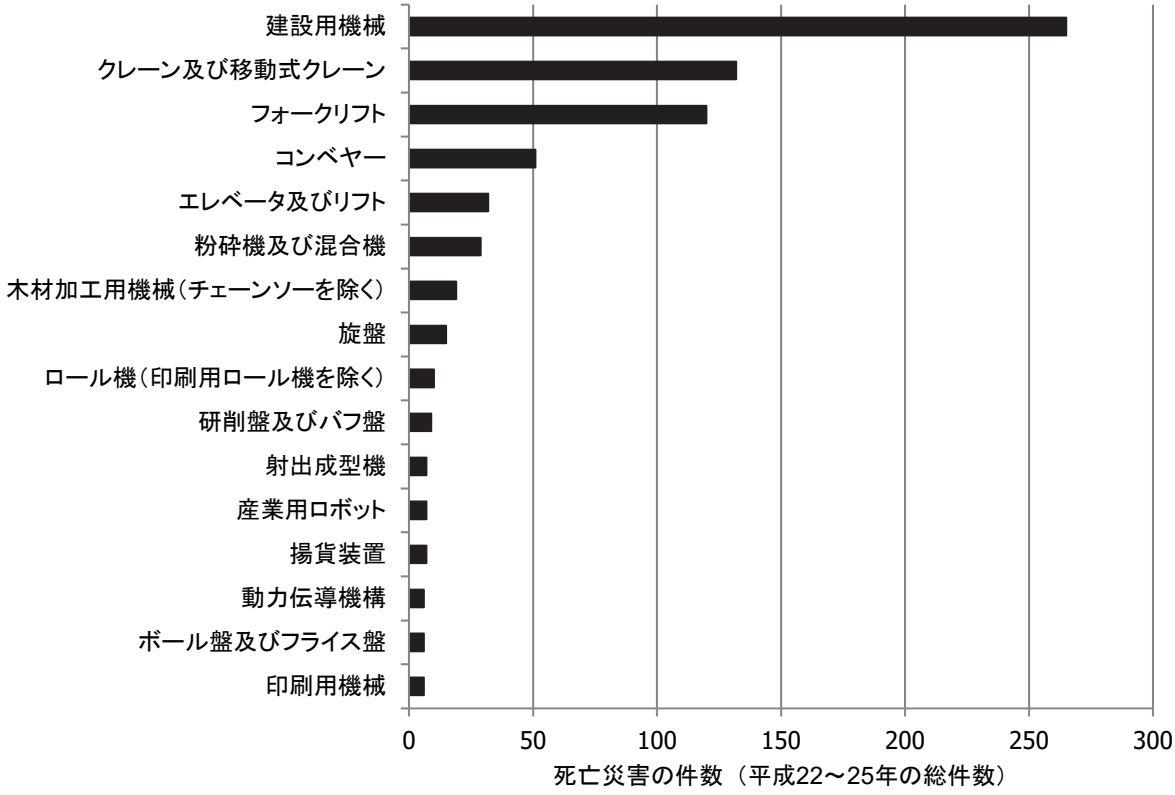


図 38　機械の種類ごとの死亡災害件数の比較

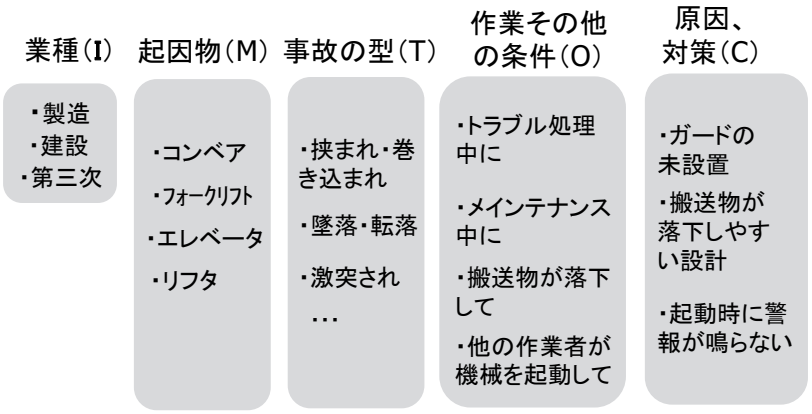


図 39　IMTOC 法によるデータ構造

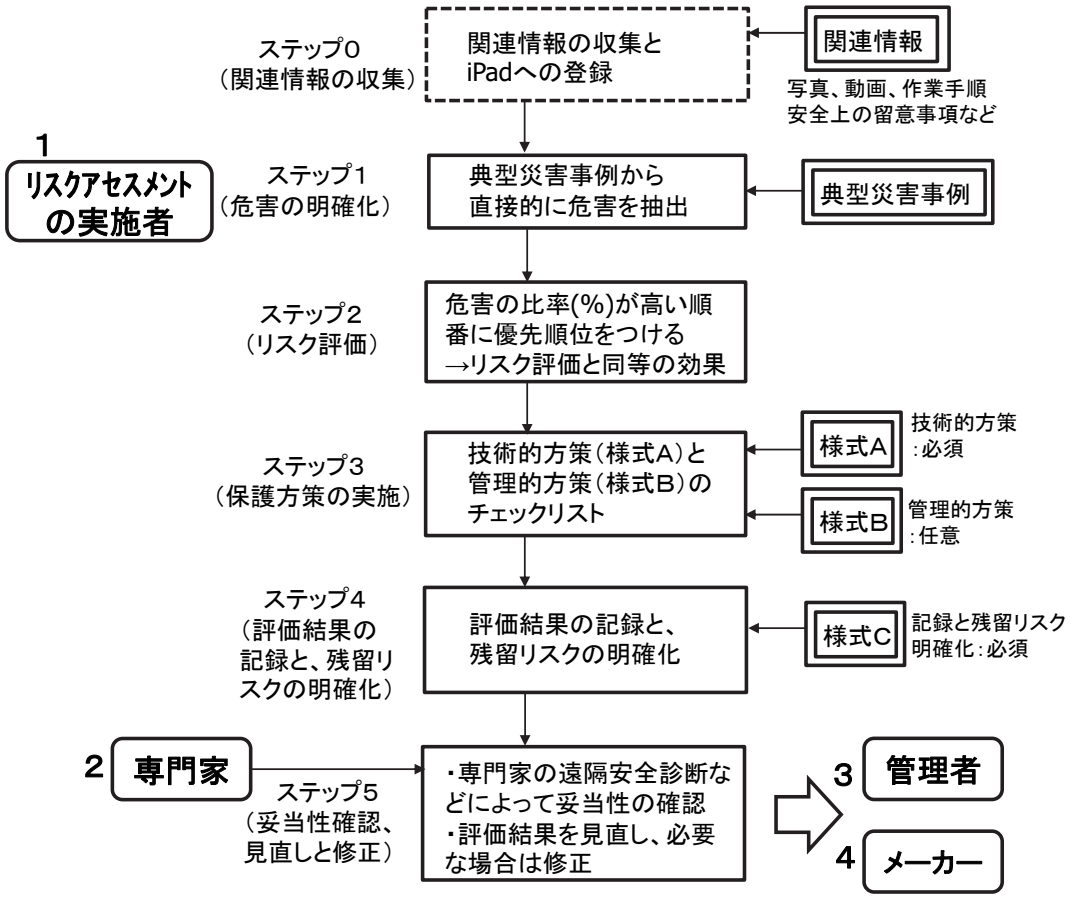


図 42　典型災害事例を応用した簡易リスクアセスメント手法



図40　フォークリフトの典型災害事例

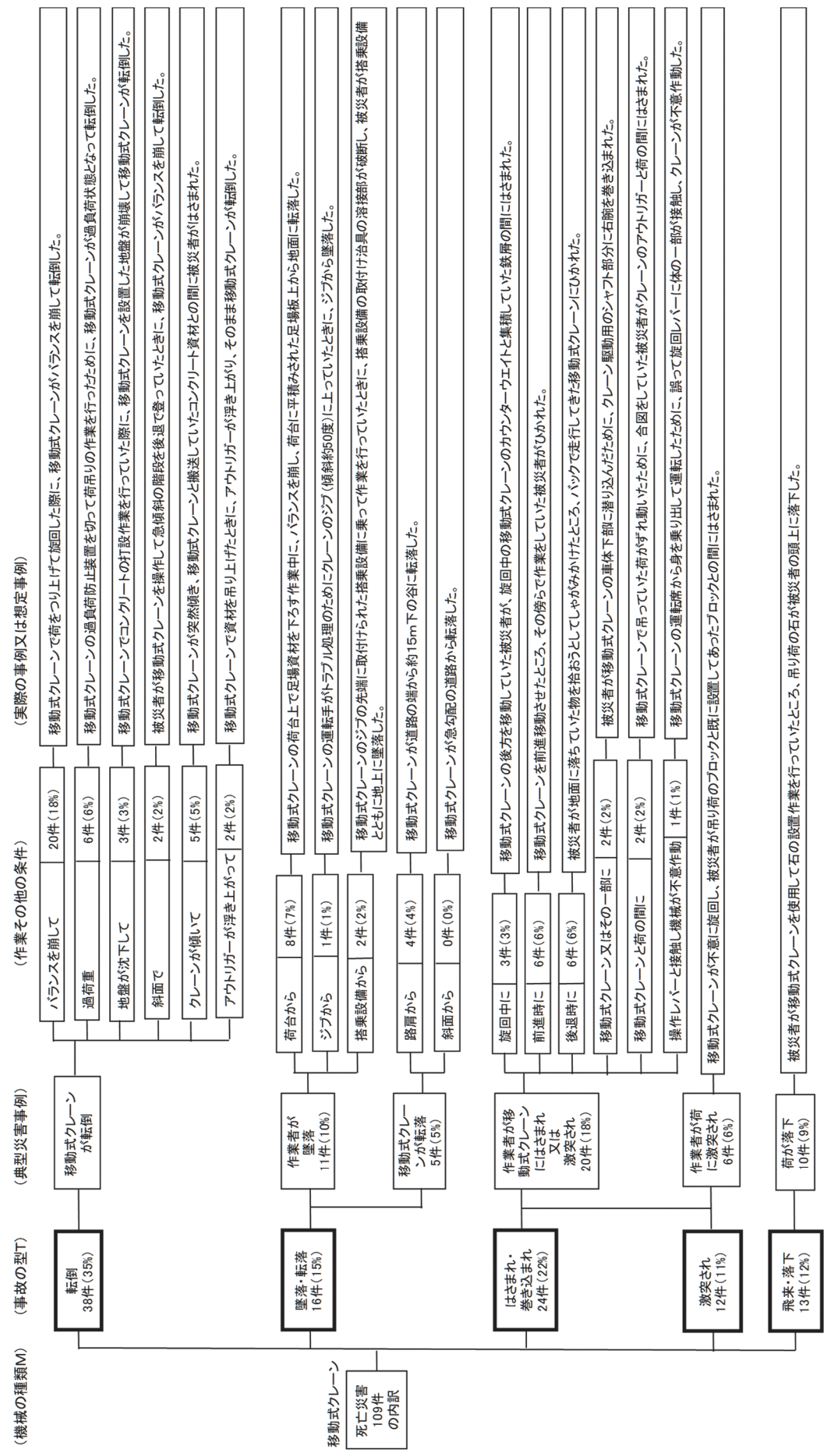


図41　移動式クレーンの典型災害事例



図 43　典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システム
（入力用のアクティブスタイラスペンを含む）

基本要求仕様

第 1 章　序文*

　第 1.1 節　目的*

　第 1.2 節　適用範囲*

　第 1.3 節　製品の概要

　　第 1.3.1 項　製品の概観*

　　第 1.3.2 項　製品の機能*

　　第 1.3.3 項　利用者特性*

　　第 1.3.4 項　制限*

　第 1.4 節　用語の定義*

第 2 章　参考文献

第 3 章　要求事項

　第 3.1 節　機能に関する要求事項

　第 3.2 節　性能に関する要求事項

　第 3.3 節　ユーザビリティ要求事項*

　第 3.4 節　インタフェース要求事項

　第 3.5 節　論理データベース要求事項*

　第 3.6 節　設計制約

　第 3.7 節　ソフトウェアシステム属性*

　第 3.8 節　支援情報

第 4 章　検証*
（本章の項目は第 3 章と対応する形で構成する）

第 5 章　付録

　第 5.1 節　前提条件及び依存性

　第 5.2 節　頭字語及び略語

図 44　RA 支援を目的としたシステム（ソフトウェア）の基本要求仕様

*：システムが RA 支援を目的に開発される場合に，必須となる記載事項や記載する際に留意すべき事項を含む項目

表 1　企業規模別回答数及び RA 実施割合[注)]

企業規模	アンケート回答数			RA を実施していると回答した割合		
	メーカ	インテグレータ	ユーザ	メーカ	インテグレータ	ユーザ
全　体	167	141	487	80.3 %	67.1 %	80.9 %
1000 人以上	60	48	142	91.7 %	85.4 %	92.3 %
500～999 人	30	20	76	90.0 %	75.0 %	93.4 %
300～499 人	15	11	56	73.3 %	63.6 %	89.3 %
100～299 人	23	23	117	78.3 %	59.1 %	76.1 %
50～99 人	15	13	51	53.3 %	46.2 %	56.9 %
49 人以下	24	26	45	62.5 %	46.2 %	53.3 %

注：文献 10)，11)，12)の調査結果に基づき著者作成。

表 2　メーカ及びインテグレータが RA を実施していない理由（複数回答）[注)]

RA を実施していない理由	メーカ，インテグレータ（64 事業場）	
	回答数	割合
どのように実施すれば良いか分からないから	21	32.8 %
実施できる人材（外部人材を含む）がいないから	19	29.7 %
実施したリスクアセスメントが適切か確認できないから	14	21.9 %
技術的に難しいから	2	3.1%
使用者（同一企業の統合システムの構築を行う部門とは別に当該システムを使用する部門がある場合にはその部門）からの要望がないから	20	31.3 %
構造規格や業界規格に準拠しているから	20	31.3 %
コスト又は納期との関係で実施できないから	16	25.0 %
販売促進に繋がらないから	8	12.5 %
実施してもしなくてもリスク低減措置の内容が変わらないから	6	9.4 %
その他	10	15.6 %

注：文献 10)，12)の調査結果に基づき著者作成。

表 3　ユーザが RA を実施していない理由（複数回答）[注)]

RA を実施していない理由	ユーザ（90 事業場）	
	回答数	割合
どのように実施すれば良いか分からないから	39	43.3 %
実施できる人材（外部人材を含む。）がいないから	27	30.0 %
実施したリスクアセスメントが適切か確認できないから	9	10.0 %
技術的に難しいから	8	8.9 %
実施してもしなくてもリスク低減措置の内容が変わらないから	11	12.2 %
努力義務だから	15	16.7 %
構造規格や業界規格に準拠しているから	14	15.6 %
その他	23	25.6 %

注：文献 11)の調査結果に基づき著者作成。

表 4　RA を実施している事業場で用いられている RA 手法（複数回答）注)

RA 手法	メーカ, インテグレータ（239 事業場）		ユーザ（395 事業場）	
	回答数	割合	回答数	割合
1. ISO 12100（JIS B 9700）又は「機械の包括的な安全基準に関する指針」に基づく手法	106	44.4%	85	21.5 %
2. 「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」に基づく手法	79	33.1%	272	68.9 %
2.のうち, 1.を回答していない場合	59	24.7%	244	61.8 %
3. 顧客等の指定する手法	57	23.8%	25	6.3 %
4. 自社基準など, 上記以外の手法	39	16.3%	46	11.6 %

注: 文献 81), 82), 83)の調査結果に基づき著者作成。

表 5　推奨される RA の実施タイミング（文献 14 に基づき著者作成）

受注段階	① 受注契約時	制限事項の明確化
設計開発段階	② 構想設計時	本質的安全設計の選定, 適用の検討
	③ 詳細設計時	安全防護方策の選定, 適用の検討
	④ 量産設計（工程設計）時	変更した設計要素に対する評価
実機による妥当性確認段階	⑤ 試作機段階	試作実機での評価
	⑥ 量産機段階	量産実機での評価
改造・設計変更段階	⑦ 事故・災害情報や新技術を得た段階	設計変更の場合の再実施

表 6　RA 実施に際して準備すべき情報

1)	一般仕様書，ユーザ要望書，使用者の条件，設置条件，耐用年数
2)	設計図面，機械構造図，全体図（外観三面図），レイアウト図
3)	機構部分図，ユニット図（アッシー図），個別組立図，部品図面
4)	動力（電力・油圧・空圧）計算書，強度計算書，重量計算書
5)	故障解析結果（FTA，FMEA など）
6)	電源系統図，電気回路図，接続図，部品表
7)	電気制御盤・動力盤の仕様，実体配線図
8)	操作盤図面，操作位置，操作の流れ
9)	制御システム構成図，機能系統図（ブロック図），シーケンス図
10)	液圧回路・空気圧回路の回路図，配管図，購入部品表，購入品の仕様書／取扱説明書
11)	以前に設計された類似機械の一般仕様書，設計図面，取扱説明書，作業手順書，過去の不具合報告
12)	関連する法規制，規格，技術指針

表 7　手順①「制限事項の指定」で最低限定めるべき事項　（文献 22 の表 6 に一部加筆）

分類	機械設備の使用状況	チェック内容	RA での活用
機械設備の仕様等	機械設備の能力等の仕様	機械設備の能力等の仕様を明確にする	リスクの見積り
	機械設備及びその構成部品の寿命上の条件	機械設備の寿命，構成部品の寿命と交換時期（頻度）・交換方法，廃棄部品の処理方法などを明確にする	リスクの見積り
	機械設備可動部の作動範囲や，機械設備の据え付けに伴うスペース上の条件	機械設備可動部の作動範囲を明確にし，据え付けに伴うスペース条件を明確にする	リスクの見積り
機械設備が使用される目的，用途	機械設備が使用される目的，用途	機械設備の仕様書等から目的，用途を明確にする	危険源の同定
	機械設備が使用される目的，用途で想定される作業等	機械設備の使用段階だけでなく，すべてのライフサイクルにおける作業等について明確にする	危険源の同定
	機械設備やソフトウェアの予見可能な機能不良に伴う人の行動	機械設備やソフトウェアで起こりうる機能不良に伴う人の行動を明確にする	危険源の同定
機械設備に関わりを持つことが想定される人	直接機械設備を操作する作業者だけでなく，保全作業者，その機械設備に関連する作業者，見学者等の合理的に予見可能な，機械設備に接近する可能性のある第三者	どのような人がどのような状況になったとき，機械設備に接近する可能性が出るかを明確にする	危険源の同定
	通常の機械作業者，その機械設備の取り扱いに関する訓練受講者等，機械設備を使用することが予想される人の熟練度，経験年数，作業能力等のレベル	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
	機械設備を使用する人間のさまざまな能力・特性（視覚又は聴覚などの五感の状態，体形，体力，年令，性別，利き手など）	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
機械設備の使用が想定される期間	機械設備のライフサイクル（機械設備が製造され廃棄されるまで）	機械設備のライフサイクルの具体的な各段階を明確にする	危険源の同定
使用を想定される場所	機械設備が使用される場所	使用される場所を明確にする〈温度，湿度，高さ等の条件も考慮する〉	リスクの見積り

表８　手順③「リスクの見積もり」で考慮すべき要素／要因

危害のひどさ		・ 傷害／健康障害の程度 ・ 被災する人数
危害の発生確率	暴露の頻度	・ アクセスの頻度 ・ 危険区域内に滞在する時間
	危険事象の発生確率	技術的側面 ・ 構成要素の故障, 破損 ・ 予期せぬ起動 ・ リスク低減方策の不備･不足 人的側面 ・ ヒューマンエラー, 注意力の欠如 ・ 使用経験の不足 ・ 作業遂行のプレッシャー ・ 省略行動 ・ リスク低減方策の無効化
	回避／制限の可能性	回避の失敗 ・ 危険事象発見の遅れ ・ 危険源の急な顕在化(急速な接近, 急激な伝播) ・ 回避に必要な空間の不足 制限の失敗 ・ 有害物質の滞留 ・ 個人用保護具の不備, 不装着

表９　リスク見積もり手法の概要と比較

手　法		概　要	特　徴
数値採点法	加算法	リスク要素毎に評価点を見積もり，それらの合計から評価点を導き，リスクレベルを決定する。	・ 国内では労働安全分野で採用事例が多い。 ・ リスク要素の拾捨選択が容易。 ・ 保護方策実施前後の比較がし難い。
	積算法	リスク要素毎に評価点を見積もり，それらを積算して評価点を導き，リスクレベルを決定する。	・ 国内の労働安全分野で採用事例が多い。 ・ リスク要素の拾捨選択が容易。 ・ 加算法よりは保護方策の低減効果を反映可能。
マトリックス法		危害のひどさとその発生確率を，多次元表（一般的には二次元表）を用いて組み合わせ，それらが交差したセルからリスクレベルを決定する。	・ 機能安全規格，MIL 規格等に記載。 ・ 保護方策実施前後の比較が容易。 ・ 二つ以上のファクタを扱う場合には工夫が必要になる。
リスクグラフ法		リスク要素をノードとするツリー図上を，判定結果に応じた経路をたどっていき，リスクレベルを決定する。	・ リスク要素に優先度を付加できる。 ・ 保護方策の比較及び妥当性確認が容易。 ・ ノードの枝数を増加すると著しく煩雑になる。
ハイブリッド法		上記手法を部分的に組み合わせて利用し，リスクレベルを決定する。	

表 10　リスク評価基準の解説例

（出典：中央労働災害防止協会 “機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊”[45]）

JIS B 9702:2000/JIS B 9705-1:2000 リスクパラメータ			危険事象の発生確率 O ＊RI（リスクインデックス）=1～6			対策を講じる優先順位	JIS B 9705-1 :2000	
危害の程度	暴露頻度	回避の可能性	O1	O2	O3		カテゴリー	
S1 軽度	F1 稀	A1 可	1	1	2	優先順位 3	1	リスク低
		A2 不可	1	1	2		1	
	F2 頻繁	A1 可	1	1	2		1	
		A2 不可	1	1	2		1	
S2 重度	F1 稀	A1 可	2	2	3	優先順位 2	1 又は 2	
		A2 不可	2	3	4		2又は3	
	F2 頻繁	A1 可	3	4	5	優先順位 1	3	
		A2 不可	4	5	6		4	リスク高

危害の程度 S	S1	軽微な障害（通常は回復可能）、例えば、こすり傷、裂傷、挫傷、応急処置を要する軽い傷
	S2	深刻な障害（通常は回復不可能。致命傷を含む）、例えば、肢の粉砕又は引き裂かれる若しくは押しつぶされる、骨折、縫合を必要とする深刻な障害、筋骨格障害(MST)、致命傷
暴露頻度 F	F1	作業シフトあたり 1 回以下又は 15 分以下の暴露
	F2	作業シフトあたり 2 回以上又は 15 分超の暴露
	＊暴露頻度については、主に「機械的危険源」を対象としている	
危険事象の発生確率 O	O1	安全分野で証明され、承認されている成熟した技術(ISO13849-2:2003 参照)
	O2	過去 2 年間で技術的故障が発見されている －－リスクに気づき、また作業場で6ヶ月以上の経験を持つ十分に訓練を受けた人による不適切な人の挙動
	O3	定期的に見られる技術的な故障 －－作業場で6ヶ月以下の経験を持つ十分に訓練を受けていない人による不適切な人の挙動 －－過去 10 年間に工場で見られた類似の事故
回避の可能性 A	A1	いくつかの条件下で可能 －－可動部分が 0.25m/s 以下の速度で動く場合、及び被暴露者がリスクに気づいており、また危険状態又は危険事象が迫っていることを認識している。 －－特定の条件による。（温度、騒音、人間工学等）
	A2	不可能

表 11　放電加工機のライフサイクル，タスク一覧の例（JIS TR B 0035[25] 表 2 より抜粋）

ライフサイクルの局面	想定する作業者及び合理的に予見可能な誤使用
1) 輸送（工場内輸送及び移動を含む）	タスク及び意図した使用： (1) クレーンの操作 (2) フォークリフトの操作 (3) 車両による輸送， (4) ころ引き (5) 固定具の取付け
	作業者： ― 輸送業者，専門家又は有資格者
	予見可能な誤使用： (1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス (2) 不適切な位置でのクレーン又はフォークリフトの操作 (3) 不適切な固定具の取付け (4) 不適切なつり具の使用 (5) 過積載車両での輸送
2) 組立て，据付け及び立上げ	タスク及び意図した使用： (1) クレーンの操作 (2) フォークリフトの操作 (3) ジグの取り外し (4) 組立て (5) 動力源への接続 (6) 空圧ホース及び機器の接続 (7) 空圧源への接続 (8) 排気システム，消火システム，空調システムなどの保護システムへの接続 (9) 立上げ，点検，動作確認 (10) 作動油，研削液，潤滑油の供給 (11) 潤滑油供給 (12) 加工液供給
	作業者： ― この種の機械の使用について知識及び経験をもち，訓練を受けた若しくは資格のある作業者，又はそのような人の監督下にある人
	予見可能な誤使用 (1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス (2) 不適切な箇所でのクレーン又はフォークリフトの操作 (3) 不適切なジグの取付け (4) 不適切なつり具の使用 (5) ジグの取外し忘れ (6) 不適切な電源仕様への接続 例えば，接地不良，不適切なケーブルサイズ及び不適切な電源（ブレーカなど） (7) 誤配線又は誤配管 (8) 保護方策の動作確認忘れ 例えば，非常停止機能，排気システム，火災警報システム，火災消火システム及び空調システム

表 12　放電加工機の RA 表の例（JIS TR B 0035 [25] 表 3 より抜粋）

タスク	危険区域	危険源	危険状態	危険事象	リスク見積り（初期リスク）					リスク低減方策	Cat./PL	リスク見積り（低減後）					更なるリスク低減	備考
					S	F	O	A	RI			S	F	O	A	RI		
加工 （自動モード）	加工領域	回転部 － 電極 － 工作物	危険区域への接近	回転部による巻込み	2	2	3	1	5	A1.1.2	- / -	2	1	3	1	3		※ インターロックがない可動式ガードもここで評価される。 初期リスク S2：回復できない傷害が見積もられる。 F2：危険動作中の接近を意図している。 O3：作業者が危険動作に接触したり，予期しない交換動作が開始する可能性がある。 A1：回転要素への接触は常に巻込みを発生させるわけではない。回避するには十分に遅い速度（50 min－1）である。 低減後のリスク F1：危険領域への接近は，固定ガードによって防止される。
				インタロックガード開放時の巻込み	2	1	3	1	3	A1.2.2	3 / c	2	1	1	1	2	終了	低減後のリスク O1：危険な回転要素が停止され，回転の開始は，保護方策によって防止された。 ※ ガードインタロック機能には，より高い安全カテゴリが必要であるとＣ規格で合意されたので，Cat.3 が選択されている。
										A1.2.3								
				予期しない起動による巻込み						A1.2.4	- / c							
										B6								
加工 （自動モード）	機械	ワイヤ 走行系	電圧変動又は停電		2	1	3	1	3	E1	- / -	2	1	1	1	2	終了	初期リスク S2：回復できない巻込み又は切傷が見積もられる。 F1：電圧変動又は停電は確率的に発生する。発生の可能性はパラメータ F ではなく O で見積もられる。したがって，F1 を選択した。 O3：電圧変動又は停電は高い確率で危険事象を発生させる可能性がある。 A1：回避するには十分に遅い速度である。 低減後のリスク O1：保護方策によって発生の可能性は低減された。

注 1）“リスク見積もり”は ISO/TR 14121-2 のリスクグラフ法による。各欄の意味は，各々，S：危害のひどさ（S1：軽傷，S2：重傷），F：暴露の頻度（F1：まれ～低頻度，F2：高頻度～連続），O：危険事象の発生確率（O1：低，O2：中，O3：高），A：回避又は制限の可能性（A1：特定の条件下で可能，A2：ほとんど不可能），RI：リスクインデックス（低 1～高 6）

注 2）“リスク低減方策”は，放電加工機の C 規格 である ISO 28881:2013 [82] の箇条番号で示されている。

表 13　ロボット介護機器（パワーアシストスーツ）の RA シートのひな形（制限事項の指定）

（出典：池田博康“リスクアセスメントシート解説 −リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎−”[29]）

対象ロボット名称	実施者	実施日
パワーアシストスーツ	（立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等）	初回： （改訂履歴）
ライフサイクル該当段階：装着（試用）、介助（通常使用）、保守（トラブル処理を含む）	分析方法（ツール）	積算法（一部加算法を適用）

使用上の制限

意図した使用

①要介護者（基本仕様で想定する）がベッド、車いす、便器間の移乗の際に、介助者が装着して使用する。
②ベッド上の体位や座位から立位状態の間、要介護者の体重を支える分のみアシストされ、歩行支援や腕で抱き上げるようなアシストはしない。
③アシスト量の設定、着脱装着は介助者自らが行う。
④バッテリ充電/交換・保守等は、介助者が習得して行う。
⑤試用時の移乗介助は有資格者による指導のもとに実施される。

合理的に予見できる誤使用

①装着不完全又は不適切な寸法のまま装着して介助を行う。
②介助者が誤ったアシスト量を設定して介助を行う。
③アシストがない状態であると思い込み、無理に動作を続ける。
④アシストが急に喪失した際にバランスを失う。
⑤介助者以外の第三者が装着して介助する。
⑥身長、体重等想定外の要介護者の介助を行う。
⑦介助手順に慣れて要介護者の状態確認を怠る。
⑧脱衣室で水がかかる。

意図した空間／時間制限

①病院、介護施設内の介護者のベッド回り、トイレ、脱衣室でのみ使用し、他所でしないように保管、管理される。
②使用場所には介護者以外の第三者が存在する可能性がある。
③1日あたりの使用は1時間を超えない。
④バッテリー充電は1日1回充電済みバッテリーと交換する。
⑤オーバーホールまでの使用期間は20,000時間とする。

リスクの見積/評価基準

リスク見積値：R ＝ S × (F + Ps + A)

晒される頻度又は時間：F	
連続的/常時	4
頻繁/長時間	3
時々/短時間	2
まれ/瞬間的	1

危険事象の発生確率：Ps	
高い	4
起こり得る	3
起こり難い	2
低い（まれ）	1

危害を回避又は制限できる可能性：A	
困難	3
可能	1

危害の酷さ：S ＼ 危害の発生確率：F+ Ps + A	3	4	5	6	7	8	9	10	11
回復に長期治療（1月以上）を要す 4	12	16	20	24	28	32	36	40	44
回復に医療措置を要す 3	9	12	15	18	21	24	27	30	33
応急手当で回復可能 2	6	8	10	12	14	16	18	20	22
対処不要（一時的な痛み等） 1	3	4	5	6	7	8	9	10	11

見積値 R	評　価	リスク低減の必要性
15以上	リスクは高く，受入れられない．	必須，技術的方策が不可欠
7～14	リスクの低減が必要．ただし，条件付（他に方策がない，低減が現実的でない）で許容可能．	必要，技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる ＊ALARPとして考慮もありえる
6以下	リスクは十分低い．	不要

表 14　ロボット介護機器（パワーアシストスーツ）の RA シートのひな形
（危険源の同定，初期リスクの見積もり）

（出典：池田博康“リスクアセスメントシート解説 −リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎−”[29]）

危険源同定						リスク見積						
段階	No.	危険源	危険状態/危険事象	想定危害	対象者	危害の酷さ S	危害の発生確率 Ph	頻度 F	確率 Ps	回避 A	リスク点数 R	備考
装着	1	不適切な長さで装着	人体寸法にフィットせずに装着して、動作確認中に関節に過負荷がかかる	膝のねん挫	介助者	3	7	2	2	3	21	
	2	アシスト量の誤入力	介助者がアシスト量を過大設定して、動作確認中に急に立ち上がり転倒して手を着く	手首の骨折	介助者	4	7	2	2	3	28	
	3											
	4											
	5											
介助	6	本体装着部のこすれ	立ち上がり繰り返し動作中に脚部固定具がずれて、大腿部にこすれる	大腿部の擦過傷	介助者	2	6	3	2	1	12	
	7	制御システムの故障（により過大アシスト）	制御装置の異常により、アシスト力が過大となり、要介護者を急に立たせて腰部に過負荷がかかる	急性腰痛	要介護者	3	8	3	2	3	24	要介護者の腰部疾患の程度によりSを考慮
	8	結露による制御システムの故障（アシスト不足）	結露で制御回路が短絡してアシスト力が不足し、バランスを崩して壁に肩をぶつける	肩の打撲	介助者	2	6	2	3	1	12	
	9	断線による制御システムの故障（アシスト喪失）	動力線が捻れて断線し、急にアシスト力を失って要介護者が落下する	腰部打撲	要介護者	3	7	2	2	3	21	要介護者の腰部疾患の程度によりSを考慮
	10											
	11											
保守	12	バッテリ充電部（への直接接触）	新品バッテリー交換時に濡れた手で充電端子間に触れて感電	手のしびれ	介助者	2	4	1	2	1	8	
	13	腰部固定具への挟まれ	腰部固定具を外して長さ調整中、指が固定具内に挟まれる	指の打撲	介助者	2	6	1	2	3	12	
	14											
	15											

装着と調整にかかる時間は通算30分以下（「短時間」）とした

1日に晒される通算時間が60分以下を「長時間」とした

表 15　ロボット介護機器（パワーアシストスーツ）の RA シートのひな形（低減後のリスクの再見積もり）

（出典：池田博康 “リスクアセスメントシート解説 −リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎−” [29]）

初期リスク分析結果				リスク低減		再リスク見積								
段階	No.	危険源	リスク点数 R	優先順位	保護方策（メーカによる工学的手段）	危害の酷さ S	危害の発生確率 Ph				リスク点数 R	保護方策組み合わせ時のR	残留リスク方策（ユーザに依存）	備考（参照規格類等）
								頻度 F	確率 Ps	回避 A				
装着	2	アシスト量の誤入力	21	3	IDコードによる適正値の読み取り	4	6	2	1	3	24	4	取説書（禁忌、手順、警告） 警告音・表示 介助者への教育	*安全帯の効果は介助者使用時にのみ評価可
				4	安全帯の併用	1*	5	2	2	1	5			
運転	6	本体装着部のこすれ	12	1	テンションベルトの使用	1	6	3	2	1	6	5	取説書（手順、警告）	過大なテンションに対する制限が必要
				3	適切な安全制御性能を持つ関節のトルク監視	2	5	3	1	1	10			トルク監視の安全性能は別途検討
保守	12	バッテリ充電部（への直接接触）	8	1	充電端子の内蔵化（スリットカバー）	1	4	1	2	1	4		取説書（手順、警告）	スリットカバーの仕様（例えばIPコード）を説明
						危険側故障率を1桁下げると、Psを1ランク下げるとした							方策が同時に（重複して）機能するとして、各リスク要素の最低値をとる	
					1は危険源除去又は酷さの低減、2は晒され排除又は頻度低減、3は事象発生確率低減、4は回避又は危害の制限を行う									

表 16　RA 表の記入例（出典：中央労働災害防止協会 “機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊” 45)）

	承認者：　山田	日時：2010.1.20
機械名：サンプル	作成者：　鈴木	日時：2010.1.15

No	ライフサイクル	タスク	危険源	イニシャルリスク評価						リスクの低減								新たな危険源の発生	低減後・リスク評価							さらなる低減の要・不要	残留リスクの有無	方策の採否	備考（採否理由等の記述）
				S	F	O	A	RI	カテゴリ	方策	保護方策の分類			低減対象のパラメータ					S	F	O	A	RI	カテゴリ				
	使用段階	使用者による保全作業	引き込み	S1	F1	O1 O2 O3	A1 A2				本質	安全防護	情報	S	F	O	A		S1 S2	F1 F2	O1 O2 O3	A1 A2						
No	危険箇所	作業内容	危害発生のシナリオ	S2	F2	O3	A2																						
1	駆動チェーン	駆動チェーンに給油する作業が、一週間に1回ある。	給油するときに、チェーンとスプロケットがむき出しなので、その間に指を引き込まれ切断する。	S2	F1	O3	A2	4	—	駆動チェーンへの給油作業を無くす為、無給油チェーンを採用する。	○	—	—												不要 （危険源の除去）	なし	不採用	無給油チェーンはコストが高く且つ寿命が短く、耐用年数10年間で2回の交換を要す。トータルコストは固定式カバーより高価になる。
2										指が巻き込まれても怪我をしない程度に、駆動力を小さくする。	○	—	—												不要 （危険源の除去）	なし	不採用	機能を満たすためには、駆動力を小さくできない。
3										手指の入らない固定式カバーを設け、カバーには危険源にとどかない給油口を設ける。 カバーを取り外すには工具を必要とする。	—	○	—	—	—	○	○	なし	S2	F1	01	A1	2	—	不要	有り	採用	残留リスク：修理の際、カバーを外すと危険源のチェーンとスプロケットがむき出しになる。 残留リスク対策1：固定式カバーには「チェーン・スプロケット内蔵カバーを外すな」のシールを貼る。 残留リスク対策2：残留リスクの情報として、「修理の際、カバーを外すと危険源のチェーンとスプロケットがむき出しになる。」ことを取扱説明書に記述する。
4										給油は機械を停止して行う。 注意銘板を貼る。	—	—	○												要	有り	不採用	人の行動に頼るため、止めずに作業又は、作業中に誤起動の恐れ。 他にリスク低減策あり。
5																													

表 17　JIS より抽出した各種機械の C 規格

	規格番号	規格名称	対応国際規格
1	JIS A 4307-1	ロープ式エレベータの安全要求事項－第1部:構造及び装置	ISO/DIS 8100-1
2	JIS A 4307-2	ロープ式エレベータの安全要求事項－第2部:検査及び試験	ISO/DIS 8100-2
3	JIS A 4722	歩行者用自動ドアセット－安全性	
4	JIS A 8202-1	トンネル工事機械－安全－第1部:シールド及び推進機の要求事項	
5	JIS A 8202-2	トンネル工事機械－安全－第2部:自由断面トンネル掘削機の要求事項	
6	JIS A 8202-3	トンネル工事機械－安全－第3部:全断面トンネル掘進機(TBM)の要求事項	
7	JIS A 8340-1	土工機械－安全－第1部:一般要求事項	ISO 20474-1
8	JIS A 8340-2	土工機械－安全－第2部:ブルドーザの要求事項	ISO 20474-2
9	JIS A 8340-3	土工機械－安全－第3部:ローダの要求事項	ISO 20474-3
10	JIS A 8340-4	土工機械－安全－第4部:油圧ショベルの要求事項	ISO 20474-5
11	JIS A 8340-5	土工機械－安全－第5部:ダンパ(重ダンプトラック及び不整地運搬車)の要求事項	ISO 20474-6
12	JIS A 8340-6	土工機械－安全－第6部:機械式ショベルの要求事項	
13	JIS A 8340-7	土工機械－安全－第7部:グレーダの要求事項	
14	JIS A 8508-1	道路工事機械－安全－第1部:一般要求事項	
15	JIS A 8508-2	道路工事機械－安全－第2部:路面切削機の要求事項	
16	JIS A 8508-3	道路工事機械－安全－第3部:ロードスタビライザの要求事項	
17	JIS A 8508-4	道路工事機械－安全－第4部:締固め機械の要求事項	
18	JIS A 8508-5	道路工事機械－安全－第5部:コンクリートカッタの要求事項	
19	JIS A 8508-6	道路工事機械－安全－第6部:アスファルトフィニッシャの要求事項	
20	JIS A 8508-7	道路工事機械－安全－第7部:アスファルトディストリビュータ及びアスファルトスプレーヤの要求事項	
21	JIS A 8509-1	基礎工事機械－安全－第1部:くい打機の要求事項	
22	JIS A 8509-2	基礎工事機械－安全－第2部:掘削機の要求事項	
23	JIS A 8510	路面清掃機械の安全要求事項	
24	JIS A 8511	除雪機械の安全要求事項	
25	JIS A 8612	コンクリート及びモルタルの圧送ポンプ，吹付機及びブーム装置－安全要求事項	
26	JIS A 8613	コンクリートミキサ及びコンクリートプラントの安全要求事項	
27	JIS A 8614	トラックミキサの安全要求事項	
28	JIS A 8705	アスファルトプラント類の安全要求事項	
29	JIS A 8706-1	履帯式建設リサイクル機械－安全－第1部:自走式クラッシャの要求事項	
30	JIS A 8706-2	履帯式建設リサイクル機械－安全－第2部:ドラム式カッタ搭載自走式木材破砕機の要求事項	
31	JIS A 8707	せん孔機械の安全要求事項	
32	JIS B 4142	ダイヤモンド／CBN工具－安全性要求事項	
33	JIS B 6031	工作機械－安全性－旋盤	ISO 23125
34	JIS B 6032	工作機械－安全性－放電加工機	ISO 28881
35	JIS B 6033	工作機械―安全性―据付け形研削盤	ISO 16089
36	JIS B 6034	工作機械－安全性－ボール盤	
37	JIS B 6410	プレス機械－サーボプレスの安全要求事項	
38	JIS B 6507	木材加工機械の安全通則	
39	JIS B 6600	リッパ及びギャングリッパの構造の安全基準	
40	JIS B 6601	自動一面かんな盤の構造の安全基準	
41	JIS B 6602	面取り盤の構造の安全基準	
42	JIS B 6603	ルータの構造の安全基準	
43	JIS B 6605	テーブル帯のこ盤の構造の安全基準	
44	JIS B 6606	自動ローラ帯のこ盤の構造の安全基準	
45	JIS B 6607	送材車付き帯のこ盤の構造の安全基準	
46	JIS B 6608	ベニヤレースの構造の安全基準	
47	JIS B 6609	ホットプレスの構造の安全基準	
48	JIS B 6711	プラスチック加工機械及びゴム加工機械－射出成形機－安全要求事項	ISO 20430
49	JIS B 8009-13	往復動内燃機関駆動式交流発電装置 - 第13部:安全性	ISO 8528-13

表 17　JIS より抽出した各種機械の C 規格（つづき）

	規格番号	規格名称	対応国際規格
50	JIS B 8433-1	ロボット及びロボティックデバイス－産業用ロボットのための安全要求事項－第1部:ロボット	ISO 10218-1
51	JIS B 8433-2	ロボット及びロボティックデバイス－産業用ロボットのための安全要求事項－第2部:ロボットシステム及びインテグレーション	ISO 10218-2
52	JIS B 8462	電子部品実装ロボット－安全性	
53	JIS B 8942	立体自動倉庫システム－システム設計通則	
54	JIS B 8943	立体自動倉庫システム－スタッカクレーン設計通則	
55	JIS B 8950	垂直コンベヤ	
56	JIS B 8951	パレタイザ及びデパレタイザ	
57	JIS B 9220	農業機械－安全通則	ISO 4254-1
58	JIS B 9631-1	印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項－第1部:一般要求事項	ISO 12643-1
59	JIS B 9631-2	印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項－第2部:印刷機械及びシステム	ISO 12643-2
60	JIS B 9650-1	食料品加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項通則－第1部:安全設計要求事項	
61	JIS B 9650-2	食料品加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項通則－第2部:衛生設計要求事項	
62	JIS B 9651	製パン機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
63	JIS B 9652	製菓機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
64	JIS B 9653	肉類加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
65	JIS B 9654	水産加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
66	JIS B 9655	製粉機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
67	JIS B 9656	製めん機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
68	JIS B 9657	飲料加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
69	JIS B 9658	精米麦機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
70	JIS B 9690	高所作業車－設計，計算，安全要求事項及び試験方法	ISO 16368
71	JIS B 9991	機械式駐車設備の安全要求事項	
72	JIS C 9029-1	可搬形電動工具の安全性－第1部:一般要求事項	IEC 61029-1
73	JIS C 9029-2-1	可搬形電動工具の安全性－第2－1部:丸ノコ盤の個別要求事項	IEC 61029-2-1
74	JIS C 9029-2-2	可搬形電動工具の安全性－第2－2部:ラジアルアームソーの個別要求事項	IEC 61029-2-2
75	JIS C 9029-2-3	可搬形電動工具の安全性－第2－3部:かんな盤及び一面かんな盤の個別要求事項	IEC 61029-2-3
76	JIS C 9029-2-4	可搬形電動工具の安全性－第2－4部:卓上グラインダの個別要求事項	IEC 61029-2-4
77	JIS C 9029-2-5	可搬形電動工具の安全性－第2－5部:帯のこ盤の個別要求事項	IEC 61029-2-5
78	JIS C 9029-2-6	可搬形電動工具の安全性－第2－6部:給水式ダイヤモンドドリルの個別要求事項	IEC 61029-2-6
79	JIS C 9029-2-7	可搬形電動工具の安全性－第2－7部:給水式ダイヤモンドソーの個別要求事項	IEC 61029-2-7
80	JIS C 9029-2-8	可搬形電動工具の安全性－第2－8部:単軸立面取り盤の個別要求事項	IEC 61029-2-8
81	JIS C 9029-2-9	可搬形電動工具の安全性－第2－9部:マイタソーの個別要求事項	IEC 61029-2-9
82	JIS C 9029-2-11	可搬形電動工具の安全性－第2－11部:マイタベンチソーの個別要求事項	IEC 61029-2-11
83	JIS C 9745-1	手持ち形電動工具－安全性－第1部:通則	IEC 60745-1
84	JIS C 9745-2-1	手持ち形電動工具－安全性－第2－1部:ドリル及び振動ドリルの個別要求事項	IEC 60745-2-1
85	JIS C 9745-2-3	手持ち形電動工具－安全性－第2－3部:グラインダ，ポリッシャ及びディスクサンダの個別要求事項	IEC 60745-2-3
86	JIS C 9745-2-6	手持ち形電動工具－安全性－第2－6部:ハンマの個別要求事項	IEC 60745-2-6
87	JIS C 9745-2-7	手持ち形電動工具の安全性－第2－7部:不燃性液体用スプレーガンの個別要求事項	IEC 60745-2-7
88	JIS C 9745-2-12	手持ち形電動工具－安全性－第2－12部:コンクリートバイブレータの個別要求事項	IEC 60745-2-12
89	JIS C 9745-2-13	手持ち形電動工具の安全性－第2－13部:チェーンソーの個別要求事項	IEC 60745-2-14

表 17　JIS より抽出した各種機械の C 規格（つづき）

	規格番号	規格名称	対応国際規格
90	JIS C 9745-2-15	手持ち形電動工具の安全性－第2－15部:ヘッジトリマ及びグラスシャーの個別要求事項	IEC 60745-2-15
91	JIS C 9745-2-16	手持ち形電動工具の安全性－第2－16部:タッカの個別要求事項	IEC 60745-2-16
92	JIS C 9745-2-17	手持ち形電動工具－安全性－第2－17部:ルータ及びトリマの個別要求事項	IEC 60745-2-17
93	JIS C 9745-2-18	手持ち形電動工具－安全性－第2－18部:バンド掛け機の個別要求事項	IEC 60745-2-18
94	JIS C 9745-2-19	手持ち形電動工具－安全性－第2－19部:ジョインタの個別要求事項	IEC 60745-2-19
95	JIS C 9745-2-20	手持ち形電動工具－安全性－第2－20部:帯のこの個別要求事項	IEC 60745-2-20
96	JIS C 9745-2-21	手持ち形電動工具－安全性－第2－21部:排水管洗浄機の個別要求事項	IEC 60745-2-21
97	JIS C 62841-1	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第1部:通則	IEC 62841-1
98	JIS C 62841-2-2	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性―第2－2部:手持形電気スクリュードライバ及びインパクトレンチの個別要求事項	IEC 62841-2-2
99	JIS C 62841-2-4	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性―第2－4部:ディスク形以外のサンダ及びポリッシャの個別要求事項	IEC 62841-2-4
100	JIS C 62841-2-5	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性―第2－5部:手持形丸ノコの個別要求事項	IEC 62841-2-5
101	JIS C 62841-2-8	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性―第2－8部:手持形シャー及びニブラの個別要求事項	IEC 62841-2-8
102	JIS C 62841-2-9	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性―第2－9部:手持形タッパ及びスレッダの個別要求事項	IEC 62841-2-9
103	JIS C 62841-2-11	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－11部:手持形往復動のこぎりの個別要求事項	IEC 62841-2-11
104	JIS C 62841-2-14	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－14部:手持形かんなの個別要求事項	IEC 62841-2-14
105	JIS C 62841-3-10	手持形電動工具，可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第3－10部:可搬形切断機の個別要求事項	IEC 62841-3-10
106	JIS D 6001-1	フォークリフトトラック－安全要求事項及び検証－第1部:フォークリフトトラック	ISO 3691-1
107	JIS D 6001-2	フォークリフトトラック－安全要求事項及び検証－第2部:運転者の位置が上昇するフォークリフトトラック及び荷を揚げたまま走行するよう設計されたフォークリフトトラックの追加要求事項	ISO/FDIS 3691-3
108	JIS D 6802	無人搬送車システム－安全通則	
109	JIS S 1049	棚・収納家具を搭載した移動ラック	
110	JIS W 0711	無人航空機システム設計管理基準	
111	JIS Z 0620	産業用ラック	

表 18　ISO より抽出した各種機械の C 規格

	規格番号	規格名称
1	ISO 3691-5	Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 5: Pedestrian-propelled trucks
2	ISO 3691-6	Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 6: Burden and personnel carriers
3	ISO 4254-5	Agricultural machinery - Safety - Part 5: Power-driven soil-working machines
4	ISO 4254-6	Agricultural machinery - Safety - Part 6: Sprayers and liquid fertilizer distributors
5	ISO 4254-7	Agricultural machinery - Safety - Part 7: Combine harvesters, forage harvesters, cotton harvesters and sugar cane harvesters
6	ISO 4254-8	Agricultural machinery - Safety - Part 8: Solid fertilizer distributors
7	ISO 4254-9	Agricultural machinery - Safety - Part 9: Seed drills
8	ISO 4254-10	Agricultural machinery - Safety - Part 10: Rotary tedders and rakes
9	ISO 4254-11	Agricultural machinery - Safety - Part 11: Pick-up balers
10	ISO 4254-12	Agricultural machinery - Safety - Part 12: Rotary disc and drum mowers and flail mowers
11	ISO 4254-14	Agricultural machinery - Safety - Part 14: Bale wrappers
12	ISO 5395-1	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 1: Terminology and common tests

表 18　ISO より抽出した各種機械の C 規格（つづき）

	規格番号	規格名称
13	ISO 5395-2	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 2: Pedestrian-controlled lawnmowers
14	ISO 5395-3	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 3: Ride-on lawnmowers with seated operator
15	ISO 8230-1	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 1: Common safety requirements
16	ISO 8230-2	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 2: Machines using perchloroethylene
17	ISO 8230-3	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 3: Machines using combustible solvents
18	ISO 10472-1	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 1: Common requirements
19	ISO 10472-2	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 2: Washing machines and washer-extractors
20	ISO 10472-3	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 3: Washing tunnel lines including component machines
21	ISO 10472-4	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 4: Air dryers
22	ISO 10472-5	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 5: Flatwork ironers, feeders and folders
23	ISO 10472-6	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 6: Ironing and fusing presses
24	ISO 10517	Powered hand-held hedge trimmers - Safety
25	ISO 10821	Industrial sewing machines - Safety requirements for sewing machines, units and systems
26	ISO 11102-1	Reciprocating internal combustion engines - Handle starting equipment - Part 1: Safety requirements and tests
27	ISO 11102-2	Reciprocating internal combustion engines - Handle starting equipment - Part 2: Method of testing the angle of disengagement
28	ISO 11111-1	Textile machinery - Safety requirements - Part 1: Common requirements
29	ISO 11111-2	Textile machinery - Safety requirements - Part 2: Spinning preparatory and spinning machines
30	ISO 11111-3	Textile machinery - Safety requirements - Part 3: Nonwoven machinery
31	ISO 11111-4	Textile machinery - Safety requirements - Part 4: Yarn processing, cordage and rope manufacturing machinery
32	ISO 11111-5	Textile machinery - Safety requirements - Part 5: Preparatory machinery to weaving and knitting
33	ISO 11111-6	Textile machinery - Safety requirements - Part 6: Fabric manufacturing machinery
34	ISO 11111-7	Textile machinery - Safety requirements - Part 7: Dyeing and finishing machinery
35	ISO 11148-1	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 1: Assembly power tools for non-threaded mechanical fasteners
36	ISO 11148-2	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 2: Cutting-off and crimping power tools
37	ISO 11148-3	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 3: Drills and tappers
38	ISO 11148-4	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 4: Non-rotary percussive power tools
39	ISO 11148-5	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 5: Rotary percussive drills
40	ISO 11148-6	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 6: Assembly power tools for threaded fasteners
41	ISO 11148-7	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 7: Grinders
42	ISO 11148-8	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 8: Sanders and polishers
43	ISO 11148-9	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 9: Die grinders
44	ISO 11148-10	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 10: Compression power tools
45	ISO 11148-11	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 11: Nibblers and shears
46	ISO 11148-12	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 12: Circular, oscillating and reciprocating saws
47	ISO 11148-13	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 13: Fastener driving tools
48	ISO 11252	Lasers and laser-related equipment - Laser device - Minimum requirements for documentation
49	ISO 11553-1	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 1: General safety requirements
50	ISO 11553-2	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 2: Safety requirements for hand-held laser processing devices
51	ISO 11553-3	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 3: Noise reduction and noise measurement methods for laser processing machines and hand-held processing devices and associated auxiliary equipment (accuracy grade 2)
52	ISO 11680-1	Machinery for forestry - Safety requirements and testing for pole-mounted powered pruners - Part 1: Machines fitted with an integral combustion engine
53	ISO 11680-2	Machinery for forestry - Safety requirements and testing for pole-mounted powered pruners - Part 2: Machines for use with back-pack power source
54	ISO 11681-1	Machinery for forestry - Portable chain-saw safety requirements and testing - Part 1: Chain-saws for forest service
55	ISO 11681-2	Machinery for forestry - Portable chain-saw safety requirements and testing - Part 2: Chain-saws for tree service
56	ISO 11806-1	Agricultural and forestry machinery - Safety requirements and testing for portable, hand-held, powered brush-cutters and grass-trimmers - Part 1: Machines fitted with an integral combustion engine

表 18　ISO より抽出した各種機械の C 規格（つづき）

	規格番号	規格名称
57	ISO 11806-2	Agricultural and forestry machinery - Safety requirements and testing for portable, hand-held, powered brush-cutters and grass-trimmers - Part 2: Machines for use with back-pack power unit
58	ISO 11850	Machinery for forestry - General safety requirements
59	ISO 14314	Reciprocal internal combustion engines - Recoil starting equipment - General safety requirements
60	ISO 16090-1	Machine tools - Safety - Machining centres, Milling machines, Transfer machines - Part 1: Safety requirements
61	ISO 16092-1	Machine tools - Safety -Presses - Part 1: General safety requirements
62	ISO 16092-2	Machine tools - Safety -Presses - Part 2: Safety requirement for mechanical presses
63	ISO 16092-3	Machine tools - Safety -Presses - Part 3: Safety requirements for hydraulic presses
64	ISO 16092-4	Machine tools - Safety -Presses - Part 4: Safety requirements for pneumatic presses
65	ISO 16093	Machine tools - Safety - Sawing machines for cold metal
66	ISO 16119-1	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 1: General
67	ISO 16119-2	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 2: Horizontal boom sprayers
68	ISO 16119-3	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 3: Sprayers for bush and tree crops
69	ISO 16119-4	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 4: Fixed and semi-mobile sprayers
70	ISO 16230-1	Agricultural machinery and tractors - Safety of higher voltage electrical and electronic components and systems - Part 1: General requirements
71	ISO 17916	Safety of thermal cutting machine
72	ISO 18217	Safety of woodworking machines - Edge-banding machines fed by chain(s)
73	ISO 19085-1	Woodworking machines - Safety - Part 1: Common requirements
74	ISO 19085-2	Woodworking machines - Safety - Part 2: Horizontal beam panel circular sawing machines
75	ISO 19085-3	Woodworking machines - Safety requirements - Part 3: Numerically controlled (NC) boring and routing machines
76	ISO 19085-4	Woodworking machines - Safety - Part 4: Vertical panel circular sawing machines
77	ISO 19085-5	Woodworking machines - Safety - Part 5: Dimension saws
78	ISO 19085-6	Woodworking machines - Safety - Part 6: Single spindle vertical moulding machines
79	ISO 19085-7	Woodworking machines - Safety - Part 7: Surface planing, thickness planing, combined surface/thickness planing machine
80	ISO 19085-8	Woodworking machines - Safety - Part 8: Belt sanding and calibrating machines for straight workpieces
81	ISO 19085-9	Woodworking machines - Safety - Part 9: Circular saw benches (with and without sliding table)
82	ISO 19085-10	Woodworking machines - Safety - Part 10: Building site saws (contractor saws)
83	ISO 19085-11	Woodworking machines - Safety - Part 11: Combined machines
84	ISO 19085-13	Woodworking machines - Safety - Part 13: Multi-blade rip sawing machines with manual loading and/or unloading
85	ISO 19225	Underground mining machines - Mobile extracting machines at the face - Safety requirements for shearer loaders and plough systems
86	ISO 19296	Mining - Mobile machines working underground - Machine safety
87	ISO 19432-1	Building construction machinery and equipment - Portable, hand-held, internal combustion engine-driven abrasive cutting machines - Part 1: Safety requirements for cut-off machines for centre-mounted rotating abrasive wheels
88	ISO 19932-1	Equipment for crop protection - Knapsack sprayers - Part 1: Safety and environmental requirements
89	ISO 28139	Agricultural and forestry machinery - Knapsack combustion-engine-driven mist blowers - Safety requirements
90	IEC 60745-2-22	Hand-held motor-operated electric tools - Safety - Part 2-22: Particular requirements for cut-off machines
91	IEC 60745-2-23	Hand-held motor-operated electric tools - Safety - Part 2-23: Particular requirements for die grinders and small rotary tools
92	IEC 61029-2-12	Safety of transportable motor-operated electric tools - Part 2-12: Particular requirements for threading machines
93	IEC 62841-2-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-1: Particular requirements for hand-held drills and impact drills
94	IEC 62841-2-10	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-10: Particular requirements for hand-held mixers
95	IEC 62841-2-17	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-17: Particular requirements for hand-held routers
96	IEC 62841-2-21	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-21: Particular requirements for hand-held drain cleaners
97	IEC 62841-3-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-1: Particular requirements for transportable table saws
98	IEC 62841-3-4	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-4: Particular requirements for transportable bench grinders

表 18　ISO より抽出した各種機械の C 規格（つづき）

	規格番号	規格名称
99	IEC 62841-3-6	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-6: Particular requirements for transportable diamond drills with liquid system
100	IEC 62841-3-9	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-9: Particular requirements for transportable mitre saws
101	IEC 62841-3-12	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-12: Particular requirements for transportable threading machines
102	IEC 62841-3-13	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-13: Particular requirements for transportable drills
103	IEC 62841-3-14	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-14: Particular requirements for transportable drain cleaners
104	IEC 62841-4-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 4-1: Particular requirements for chain saws
105	IEC 62841-4-2	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 4-2: Particular requirements for hedge trimmers

表 19　調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要

	名　称		概　要	参照先
国内	1）安全革命	株式会社 エスクリエイト	特徴: ・ 主に機械を新規に設計する段階や複数の構成要素を組み合わせて統合生産システムとして構築する段階での RA の効率化・省力化を目的としたツール ・ ISO 12100 の標準的手順のうち，“制限事項の指定”以降の RA を扱っている 詳細については第 3.5.2 項参照	https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html （2023 年 5 月 25 日確認）
	2）ADVANCE／リスクアセスメント	株式会社 日本ハイソフト	特徴: ・ 災害情報やヒヤリハット情報を共通の様式で一元管理 ・「ヒヤリカード」などの報告書類をイメージした登録画面が用意されている 主な機能: ・ 残留リスクなど次回以降のリスクアセスメント計画策定支援機能 ・ 特定リスクの入力・結果一覧・整理，抽出・評価・低減策・承認 ・ リスクアセスメント実施項目の特定，実施報告書の作成・承認 ・ リスクアセスメント実施項目の指示・実施報告・実施報告承認・実施報告一覧 ・ 回覧機能，スケジュール機能	https://www.jhsc.co.jp/package/risk/risk.html （2023 年 5 月 25 日確認）
	3）リスクアセスメント実施支援システム	厚生労働省	特徴: ・ ユーザが自社で使用する機械に対して実施する RA を支援する目的で厚生労働省が公表しているツール ・ 製品組み立て作業，食品加工作業，鋳物製造業，自動車整備業など 30 種類の業種・作業ごとに，“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害の特定”から“残留リスクと対応事例”までを扱っている 詳細については第 3.5.5 項参照	https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html （2023 年 5 月 25 日確認）

表 19　調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要（つづき）

	名　称		概　要	参照先
欧州	4）Safexpert 8.6 Machinery Directive COMPACT	IBF Solutions GmbH（オーストリア）	特徴: ・機械や電気装置の設計段階での RA，ならびに，欧州機械指令や低電圧指令等に対する CE マーキングプロセス（適合性評価）の支援を目的とした製品で，その品質が第三者認証機関の認証を受けたツール 詳細については第 3.4.3 項参照	https://www.ibf-solutions.com/en/ce-software-safexpert （2023 年 5 月 25 日確認）
	5）Compliance Risk Software	DD IT Solutions Ltd.（英国）	特徴: ・欧州機械指令の附属書 I（必須健康安全要求事項:EHSRs），低電圧指令，英国 PUW ER の条文を基にした質問文に回答する方式でスクリーニングを行い，該当するものに対し詳細な RA を行う ・該当する危険部分，危険区域を順に登録していく手順 ・リスク見積もりは，HSE のマトリクス法を用いる 主な機能: ・頻出する語句は Pool に保存し，適宜引用が可能で，文書化の作業負荷が軽減される ・リスク低減方策として安全機能を選択した場合には，別途，13849-1 のリスクグラフを用いて要求安全性能を検討する ・規格類の参照機能は特に装備されていない	https://www.compliancerisksoftware.co.uk/ （2023 年 5 月 25 日確認）
	6）CEM4	Certifico S.r.l.（イタリア）	特徴: ・機械指令の EHSRs の条文に対し，該当するものに危険部分，危険区域，保護方策などを順に登録していく手順で詳細な RA を行う方式 ・リスク見積もりは，ISO/TR 14121-2 のハイブリッド法を用いる 主な機能: ・同定した危険源ごとに，リスク見積もり結果を含めて，文章化出力される ・条文によっては，関連する A 及び B 規格の番号が提示されるが，要求事項を参照できる機能は装備されていない	https://www.cem4.eu/en/ （2023 年 5 月 25 日確認）
	7）WEKA Manager CE	CE ACADEMY（ドイツ）	特徴: ・機械指令，低電圧指令に対する RA 実施や適合宣言書作成のサポートを目的としたツール ・危険源リスト及びリスク見積もり手法として，ISO 12100 及び ISO/TR 14121-2 に基づくもの，CENELEC Guiude 32 に基づくものが内包 主な機能: ・リスク低減方策の立案では，選択した危険源に関連する整合規格の情報，ならびに，欧州委員会が発行している適用ガイドの技術情報が表示される	https://ce-akademie.eu/software/weka/produkte/weka_manager_ce.htm （2023 年 5 月 25 日確認）

表 19　調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要（つづき）

	名　称		概　要	参照先
欧州	8）RASWin – Risk Assessment Software	Solidsafe s.l.（スペイン）	特徴: ・機械の保護装置及び機能安全に関するドキュメント作成・管理に重点を置いたツール ・機能要求仕様策定，安全システム設計，検証・妥当性確認など安全ライフサイクルにおける各ステップの情報を整理 ・危険源同定は，アクセスポイントとして，機械設備の図面など画像上に危険個所を登録していく手順 主な機能: ・リスク低減方策検討の際，予め登録し，信頼性データなどを入力しておいた各種コンポーネントを選択することで安全関連部の構成仕様を決定でき，安全性能（PL）の評価も可能 ・保護方策によっては，関連する B 規格の要求事項（例えば，最小距離の導出公式）が提示される	https://raswin.eu/en/raswin-en/（2023 年 5 月 25 日確認）
米国	9）Designsafe 8	Design safety engineering inc.	特徴: ・単体の機械製品又は複数の構成要素から成る梱包システムや統合生産システムに対する設計段階での RA の負荷軽減を目的としたツール 詳細については第 3.5.4 項参照	https://www.designsafe.net/softwareabout（2023 年 5 月 25 日確認）
	10）Machine SafetyPro	Machine Safety Specialists	特徴: ・リスク低減方策のない初期，リスク低減後，さらなるリスク低減の 3 段階について RA を行う方式 ・リスクの見積もりは，危害の酷さ，暴露頻度，回避・制限の可能性の 3 要素から行う ・リスクアセスメントの結果は，詳細さの異なる 3 種類の出力様式（最も詳細な場合は ANSI/RIA 規格に準拠した様式）に基づいて文章化される 主な機能: ・OSHA 規則及び ANSI 規格（例えば， B11.0）の一覧が提示され，該当するものを選択可能（選択は実施者が行う必要がある） ・選択した規則・規格の条文を参照して危険源やリスク低減方策の文書化が可能 ・タブレット PC などモバイル機器に実装させることを前提に設計されており，実際の機械を前に文書や写真画像の入力が可能	https://www.machinesafetyspecialists.com/risk-assessment-tools/machine-safety-pro-app/（2023 年 5 月 25 日確認）

表 20　旋盤の危険源リスト（ISO 23125:2015[60] 表 3 より機械的危険源を抜粋）

機械的危険源	旋盤での状態	関連する安全要求事項の要約
加速，減速（運動エネルギ）	—	5.2.1.1 g) 主軸の最大加工回転速度の設定方法を操作マニュアルに記載しなければならない。加速度の低減，自動アンバランス検知に係る説明を含めてもよい。 5.2.3 a) 4) ii) 大形旋盤については，コレット以外の保持装置の工作物保持力の喪失に至るおそれのある加速／減速を防止する手段を備えていなければならない（例えば，ソフトスタート／ストップ）。
放出，飛散 高圧（液体）の注入 重力（蓄積エネルギ）	機械内部の蓄積エネルギ の散逸	5.2.2.4 a) 1) ガードは，飛散又は放出の可能性がある切くず，液体及び工作物を受け止め，及び／又は防止するように設計しなければならない。 5.2.4.3 a) 3) 切削液／クーラントの吐出は，作業領域へのアクセスのための可動式ガードが開いたときには自動的に遮断しなければならない。 5.8 e) 1) iv) 重力下での送り台の垂直軸又は傾斜軸の予期しない動作を防止しなければならない。 5.10 d) 動力供給の中断又は故障が重力下の垂直軸又は傾斜軸の危険な動作を引き起こしてはならない。
可動要素，回転要素（巻込み）	—	5.1.2 b) 駆動部のガードについては，機械の動力伝達装置（例えば，チェーン及びスプロケット，歯車，親ねじ，送りねじ，ボールねじ）へのアクセスは，位置的に安全でない限り，固定式ガード（テレスコープ式のガード含む）によって防護しなければならない。
安定性	安定性の喪失	5.14 予見可能な使用条件の下で，転倒，落下又は予期しない動作をしないように，機械が安定する設計としなければならない。転倒を避けるために基礎ボルトを使用する場合には，製造業者はボルト及び基礎の要件を指定しなければならない。

表 21　動力プレスの危険源リスト（ISO 16092-1:2017[61] 表 A.1 より機械的危険源を抜粋）

機械的危険源	プレスでの状態	関連する安全要求事項の要約
可動要素（運動エネルギ）	すべての操作	5.3.1 プレス機械の主要な危険区域は金型領域であり，金型領域及び関連するダイクッション，ノックアウト装置，搬送装置にどのように安全防護を講じるのかを箇条 5.3～5.5 に示す。 5.3.3.1 部品の単一障害又は電源の異常が発生しても金型がプレス機械に確実に締結なければならない。 5.3.3.4 プレス機械に統合された送り装置を有する自動プレスにおいて，コイル始端が自動的に誘導できない場合，33mm/s 未満の低速度を伴う 3 ポジション式ホールド・トゥ・ラン制御装置を備えた搬送装置を設けなければならない。 5.5.4 手動で調整可能な材料送り装置は，スライドが静止している状態でだけ設定できなくてはならない。 5.6.1 プレス機械の一部を構成する駆動機械機構，伝達機械機構，補助装置には次の安全防護を講じなければならない。
回転要素		
弾性要素	油圧，空気圧要素，可変速機構のメンテナンス	5.2.1.4 圧力の印加された透明の容器（ガラス製やプラスチック製）は，可視性を損なうことなく，破片の飛散による傷害を防止するよう保護しなければならない。 5.2.2.1 レシーバ又はサージタンクを含む空気圧システムは，空気圧源が停止したときに大気圧まで減圧し，かつ，蓄積されたエネルギが新たな行程を始動しないように設計及び製造しなければならない。
蓄積エネルギ		
重力	スライドの設定 点検，保全，修理	5.3.6 スライド／ラムの落下のリスクがある場合，クサビ，安全ブロック又はスライドロックなどの機械的拘束装置を備えなければならない。

表 22　ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
機械的危険源			
死角，視認性の不足	6.2.2.1 a) 6.2.11.8 d) 6.3.2.1 d) 6.2.8 e)	操作位置，制御位置から直接視認できない － 移動機械の走行及び作業区域， － 持ち上げられた荷の可動区域， － 人を昇降するための搬送機械類の可動区域，又は， － 手持ち機械又は手案内機械の工具と作業対象材料との接触範囲 機械又はガードの形状寸法などの影響のために明るさが十分でない，作業又は調整／設定／保全のために進入する区域。	
はさまれ，せん断	6.2.2.1 b)	可動部分と固定部分との間又は二つの可動部分の間に，全身又は人体の一部が侵入できるほど広くかつ機械の作動中に人体の一部を挟むほど狭まる隙間。	全身又は人体の一部が侵入可能な隙間：ISO 13857 挟まれる隙間：ISO 13854
	6.2.2.2 a)	移動する機械本体，機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分のうち，次のいずれかに該当する部分： － 頭部又は頸部（肩より上の部分）に触れる － 推力が 28 N（人と接触する面積が 1 cm^2 未満では 28 N/ cm^2）を超える	出典：ISO/DTR 21260 産業用ロボットの協働作業における接触力については ISO/TS 15066 を参照
端部，角部，突出部	6.2.2.1 c)	身体を傷つける硬さのある鋭利な端部／鋭い角／突出部。金属板端面，金属部材端部などのバリも含む。	土工機械の運転席の端部の丸みについては ISO 12508 を参照 “鋭い”，“尖った”については，ISO/TR 21260（人に接触する面積が 0.5 cm2 未満），機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊 [38]（C2 以上）を参照
衝撃	6.2.2.2 b)	移動する機械本体，機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分，材料／加工物／運搬物，排出（放出）される部材／破片のうち，次のいずれかに該当する部分： － 頭部又は頸部（肩より上の部分）に触れる － 運動エネルギが 0.26 J（接触面積 1 cm^2 未満では 0.26 J/ cm^2）を超える	出典：ISO/DTR 21260 産業用ロボットの協働作業における接触力については ISO/TS 15066 を参照
応力の考慮	6.2.3 a）	ボルト締め組立又は溶接組立で組み立てられる部分で発生する応力を推定又は検討しない部分	
使用材料の選定	6.2.3 a），b）	機械に使用する材料のうち，以下の特性又は現象が検討されていないもの： － 腐食，経年変化，摩滅，摩耗 － 硬さ，延性，脆性 － 不均質性 － 応力変動（特に，繰り返し応力）による疲労	
ポジティブな機械的作用の適用	6.2.5	機械の可動部分に連動し動作する部分又はスイッチなどの連動に，ポジティブな機械的作用（機械的コンポーネントが直接接触して又は剛性要素を介して他の機械的コンポーネントの動作に必然的に依存して動作する）を利用していない部分。	低圧開閉装置のポジティブ開離操作：IEC 60947-5-1 インターロック 装置の設計及び選択：ISO 14119
安定性	6.2.6 6.3.2.6	次の方策が講じられていない，安定性を達成できない機械本体又は一部： － アンカーボルト － 固定装置 － 作動制限装置又は機械的なストッパ － 加減速制限装置 － 負荷制限装置 不安定となる原因には次を含む： － 基礎の形状寸法，設置面の特性（傾斜，強度） － 負荷を含めた重量分布，重心の変動，回転要素の静的及び動的バランス － 転倒モーメントを生じるような機械の部品，機械自体又は機械に取り付けられた要素の運動による動的な力 － 外部からの振動，風圧，人力のような外力の影響	各種産業車両の安定度及び安定度の検証方法については ISO 22915-1～22 を参照

表 22　ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域（つづき）

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
重量物	6.2.7 6.3.5.5	設定，清掃，調整，点検等のために取り外す又は運搬する質量が 15 kg 以上の機器，組立品，配管などうち，つり上げ対策のないもの	運搬距離に応じた搬送物の推奨重量については EN 1005-2 を参照
手動 制御器	6.2.8 f) 6.2.11.8	次のいずれかに該当する手動制御器: ― 危険区域内から届く位置に設けられている ― 意図的な操作を行わないのに作動する（作業者が別の動作を起こっているときに触れてしまう，落下物・飛来物の影響を受ける） ― 視認できない又は明瞭に識別できない ― 素早くは操作できない又は操作に曖昧さがある ― 類似の機械と操作パターンが異なり，誤操作する可能性がある ― 押しボタンの位置やレバーの動きと操作の結果生じる機械の動作が符合していない ― 近傍に停止操作のための制御器が配置されていない起動操作用の制御器 ― 複数の異なる動作が実行できるように設計されている（例えば，キーボード）が，実行される動作が明瞭に表示されない ― 作業者が，手袋や履物を身に着けた制約の下で操作することを考慮していない ― ケーブルレス制御器において，通信が不通になることを考慮していない ― 一つの機械又はその可動部が複数の制御器から起動・停止操作できる ― 作業者が制御器の操作位置に居ることをリスク低減方策とする場合において，指定した位置に作業者がいなくとも制御器を操作できる	手動制御器の配置及び操作に対する要求事項については IEC 61310-3 を参照
高圧液体	6.2.10	漏れ又はコンポーネントの故障によって噴出する 0.74 MPa を超える液体	出典:厚生労働省“水道施設の技術的基準を定める省令”
油圧 システム	6.2.10	次のいずれかに該当する油圧システム: ― 減圧する手段がなく，機械の動力供給を遮断した後も圧力を維持する油圧システムの機器／要素 ― 貯蔵器及び同様の容器（例えば，ガスが充填されたアキュムレータ）のうち，機械の動力供給を遮断したときに自動的に減圧しないもの ― 機械の動力供給を遮断した後でも圧力を維持する必要のある油圧システムの機器／要素 ― 漏れ又はコンポーネントの故障による（むちのような）突然の動きを生じるホース ― 有害な外的影響から保護されていないパイプ又はホース	
動力源の起動，動力供給の接続	6.2.11.2	内燃機関など内部動力源の始動のみで起動してしまう機械の作動部分， 主電力，圧力源など外部からの動力供給の接続のみで起動してしまう機械の作動部分	
機構の起動又は停止	6.2.11.3	電圧又は流体圧力の除去若しくは低減によって運動を開始又は加速する機構部分， 電圧又は流体圧力の加圧若しくは増加によって停止又は減速させる機構部分	
動力中断後の再起動	6.2.11.4	動力の中断後に再励起されると，特定の操作などを行わずとも自動的に再起動する機械又は再作動する作動部分	
動力供給の中断	6.2.11.5	動力供給の中断又は過度の変動に起因する次のような事象: ― 機械類の停止機能の喪失／低下，安定性の喪失／低下 ― ロック装置／クランプ装置の機能の喪失／低下 ― 重力による可動部分の降下，可動軸の回転，ワークピース／負荷の落下 ― 冷却又は加熱装置の機能の喪失／低下	

表 22　ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域（つづき）

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
非定常作業に対する制御モード	6.2.11.9	非定常作業（設定，段取り，ティーチング，工程の切替え，不具合（障害）の発見，清掃又は保全）のために，ガードを移動若しくは取り外す及び／又は保護装置を無効化する場合で，かつ，作業の目的から機械又は可動部を運転する必要がある場合，次のいずれかに該当する： － 非定常作業専用の制御／運転モード以外のモードが作動する － 機械の危険な要素の運転が，イネーブル装置，両手操作制御装置又はホールド・ツゥ・ラン制御装置の連続的な操作が無くても行える － 機械の危険な要素の運転が，自動運転時と同様に実行できる（例えば，減速，低減した動力又は力，段階的操作で制限されない） － 機械のセンサに対する故意又は無意識の行為で危険な機能が実行されることが防止されていない	
制御モード切替装置	6.2.11.10	次のいずれかに該当するモード切替装置： － 各々の制御／運転モードの位置に固定（ロック）できない － 一つの位置で複数の制御／運転モードが選択される	切替を行う手段には，アクセスコードが含まれる
非常停止	6.3.5.2	次のいずれかに該当する非常停止又はそのリセット： － 非常停止装置をリセットするまで効果が継続しないもの － 非常停止指令の出された位置（場所）以外でも実行可能なリセット － リセット操作だけで再起動する機械又はその可動部 － ISO 13850 が規定する設計原則に適合していない	非常停止装置については IEC 60204-1 を参照
蓄積エネルギ	6.3.5.4	次のいずれかに該当する動力遮断又は蓄積エネルギ： － 設置後又は運転開始後，動力供給を遮断できない機械又はその可動部 － “遮断”の位置に保持できない動力遮断装置（施錠できるのが望ましい） － 消散又は抑制する方策が講じられていない動力遮断後に残留する蓄積エネルギ及びこれによって予期せず作動する機械の可動部分	予期しない起動の防止の詳細については ISO 14118 を参照
高所からの墜落	6.3.5.6	作業者が立ち入り可能な広さをもち，かつ，床，地面又は作業台など基準面からの高さが 0.5 m を超える高さに取り付けられた，作業者の接近が必要な材料供給口／加工物搬出口，調整／交換／点検が必要な機器	出典：IISO14122-1 作業用プラットフォーム及び通路の設計基準については ISO14122-2 を，階段，段梯子及びこれらの柵，ガードレールの設計基準については ISO14122-3 を参照。
滑りによる転倒	6.3.5.6	次のいずれかに該当する作業者が歩行する通路・区域： － 滑りやすい材質で製作されている － こぼれた液体で濡れる，又は，泥や湿った雑草などで汚れる	床面，通路面の滑り止め方策及び耐滑性試験については ISO 14122-2 を参照
その他の危険源（抜粋）			
高温	－	温度又は表面温度が 43℃ を超える機械の部分，油空圧機器／配管，又は，機械で扱われる材料（加工物／運搬物），排出／放出される固形物／液体（ミスト）／気体（蒸気）	接触時間を考慮した温度基準については ISO 13732-1 を参照
低温	－	温度又は表面温度が 0℃ 未満となる機械の部分，油空圧機器／配管，又は，機械で扱われる材料（加工物／運搬物）	接触時間を考慮した温度基準については ISO 13732-3 を参照
騒音	6.2.2.2 c)1)	次のいずれかに該当する騒音の発生源： － A 特性放射音圧レベルが 70 dB (A)を超える － A 特性音圧レベルが 80 dB (A)を超える － ピーク C 特性瞬時音圧が 63 Pa（20 μ Pa に対して 130 dB）を超える	出典：欧州機械指令 騒音に対する保護方策には次のものがある： ・ 騒音を音源で低減する方策（ISO/TR 11688-1 参照） ・ 囲い（ISO 15667 参照） ・ 機械に装着したスクリーン ・ 消音装置（ISO 14163 参照）

表 22　ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域（つづき）

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
振動	6.2.2.2 c)2)	次のいずれかに該当する機械の振動部分: － 手腕系にかかる振動の振動合成値が 2.5 m/s^2 を超える － 全身に加わる補正加速度の最高実効値が 0.5 m/s^2 を超える	出典：欧州機械指令 手持ち及び手案内機械に対しては CEN／CR 1030-1[83] を参照 据付形工業機械類の振動遮断の方策については EN 1299 を参照
危険有害性物質	6.2.2.2 c)3)	ラベル表示・SDS 交付義務対象とされる危険有害性物質のうち, － 設計上, 機械に使用される又は蓄積するもの － 機械の使用中に生成, 排出される又は堆積するもの	出典:厚生労働省“ラベル表示・SDS 交付義務対象物質の一覧”[84]
電離放射線	6.2.2.2 c)4)	機械に使用される電離放射線（粒子線: α 線, β 線, 陽子線, 中性子線, 電子ビーム, イオンビーム, 又は, 電磁波:X 線, γ 線）又は機械に蓄積する放射性物質	厚生労働省“電離放射線障害防止規則”を参照 環境省“放射線の基礎知識”, “放射線による健康影響”[85] を参照
		波長が 180 nm 以上 1 mm 以下のレーザ光	放出レベル, 放出持続時間の基準については IEC 60825-1 を参照
		波長が 180 nm 未満又は 1 mm を超えるレーザ光	
		非電離放射線（電波, マイクロ波, 赤外線, 紫外線（周波数 300 GHz 以下）	
		磁束密度 2 T 以上の静磁界	出典：ICNIRP“Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields”[86]

表 23　産業用ロボットシステムの危険源リスト

（JIS B 8433- 1:2015 の表 A.1 及び B 8433- 2:2015 の表 A.1 より機械的危険源及び危険源の組み合わせを抜粋）

	原　因	潜在的結果	参照箇条	
			B 8433- 1	B 8433- 2
機械的危険源	・ ロボットセルにおけるロボットの（背面を含む）すべての部分の移動 ・ すべてのロボット軸の回転動作 ・ ロボット又はエンドエフェクタとすべての固定物（柵，梁など）との間 ・ 自動モード中に閉じ込められたオペレータのために準備されている（セル用扉を使っての）ロボットセルからの脱出ができない状態 ・ 蓄積された動力源からの潜在的エネルギの予期しない放出 ・ エンドエフェクタ，ロボットセル可動部又は関連設備の（通常又は予期しない）起動又は移動（ロボットで制御された外部軸，丸砥石などのプロセスに特有のものなど） ・ 外部軸（サービス位置でのエンドエフェクタ工具を含む）の（通常又は予期しない）移動 ・ エンドエフェクタの故障（分離） ・ エンドエフェクタ，外部軸，ハンドリング中の部品，連携している設備上の（鋭利な）工具の移動又は回転 ・ だぶだぶの衣服，長い髪 ・ 材料又は製品の落下又は放出 ・ ジグ又は把持具の意図しない移動 ・ ツールの予期しない開放 ・ 取付具の間（落下）：シャトルの間，ユーティリティ	・ 押し潰し ・ せん断 ・ 切傷又は切断 ・ 巻込み ・ 引込み又は捕捉 ・ 衝撃 ・ 突刺し又は突通し ・ こすれ，擦り傷 ・ 高圧流体／ガスの注入又は噴出	5.2.1 5.2.3 5.5 5.6 5.7 5.8.4 5.9 5.10 5.11 5.12 5.13 5.14	5.2.1 5.2.2 5.2.3 5.3.2 5.3.6 5.3.7 5.3.8.2 5.3.9 5.3.10 5.5.1 5.5.2 5.5.3 5.5.4 5.6.4 5.8 5.9 5.10.2 5.10.3 5.10.6.1 5.10.6.2 5.10.6.3 5.10.7 5.11.4 5.11.5.4
危険源の組合せ	・ ロボット，エンドエフェクタ，補助軸又は連携している設備の予期しない移動 ・ 電磁妨害又はエネルギ源からのサージによる機械制御装置の予測不可能な挙動 ・ ロボットシステム速度が調整可能で，その結果多様なタスクが種々の速度で実行される状態 ・ 制御装置の機能不全によってローディング用テーブル又はエンドエフェクタで保持装置が開放され，残留力（慣性，重力，ばね／エネルギ蓄積手段）によって飛び出す状態 ・ 連携する機械が故障し，期待どおりには機能しない状態 ・ 特有な用途からの危険源 ・ ロボットシステムの起動指令を一人の人が出したとき，このことがほかの人には予測できない状態 ・ 正しくない又は不要な行動をすることによって，重要な問題及び複雑な問題の識別が不可能となること	・ 中断後のエネルギ供給源の復帰 ・ 動力源の外部影響 ・ 予想外の起動 ・ 危険源と危険状態とのあらゆる組合せの結果	5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.5 5.2.6 5.2.7 5.3.2 5.3.3 5.3.5 5.4 5.5 5.7 5.8 5.9 5.10	5.2 5.3.10 5.6.3.3 5.8 5.9 5.9.1

表 24　事故の型別，抽出した労働災害事例の件数

死亡災害		
事故の型	1999～2018	2015～2018
はさまれ，巻き込まれ	35 件（89.7%）	6 件（85.7%）
激突され	4 件（10.3%）	1 件（14.3%）
計	39 件	7 件

負傷災害（休業 4 日以上）		
事故の型	2006～2017	2015～2017
はさまれ，巻き込まれ	45 件（52.9%）	15 件（55.6%）
激突され	20 件（23.5%）	6 件（22.2%）
激突	6 件（7.1%）	2 件（7.4%）
切れ，こすれ	4 件（4.7%）	－
高温・低温の物との接触	3 件（3.5%）	－
その他	7 件（8.2%）	4 件（14.8%）
計	85 件	27 件

表 25 「はさまれ」及び「激突され」の事例でロボットが動作した理由

a 自動運転中であった(ロボットが停止していない又はさせていない状態で，ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させた)。	45 件
b ロボットが計画外停止する原因となったトラブルを解消した。	15 件
c 設定，調整，保全等の作業中，ロボットが動作を開始するセンサ類を誤って作動させた。	10 件
d 設定，調整，保全等の作業中，手動制御装置(ボタン，スイッチ等)を誤操作した。	6 件
e その他 ・ 修理を行い再起動のために安全扉を閉めたところ，搬送ロボットが動き出し作業者がはさまれた。 ・ 引っ掛かりの原因と思われる箇所のボルトを緩めた途端に搬送部が動き出し，指をはさまれた。 ・ メンテナンス中，上部にいる被災者に気付かず，操作者が手動で搬送機を動かし駆動部が接触した。 ・ Z軸を傾ける専用治具の軸受が破損し，Z軸が倒れ支えとの間に両手をはさまれた。 ・ パレタイザのハンド部分がローラーコンベアに引っ掛かり停止したものを復旧作業中，ハンドが外れた時に残っていたエアの力でハンドとハンドの隙間に腕がはさまれた。 ・ 予定外停止中，ハンドにあったワークが急に落下し，停止していたロボットが治具位置にワークを取りに動作したため，逃げ切れず，ハンドと治具の間に足をはさまれて負傷した。	6 件
不明	22 件
計	104 件

表 26 災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト

(機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋，拡充部分を下線で示す)

原因(Origin)		潜在的結果
機械的危険源	・ ロボットセルにおけるロボットの(背面を含む)すべての部分の移動 ・ すべてのロボット軸の回転動作 ・ ロボットシステムが自動運転を継続した状態(例えば，自動運転モード)で，計画外停止の原因となったトラブルを解消したことで生じるロボットシステム可動部の意図しない移動 ・ 調整，保全(作業)又はサービスタスク中，センサ又はスイッチの意図しない作動又は無意識の行為で開始するロボットシステム可動部の移動 ・ ロボット又はエンドエフェクタとすべての固定物(柵，梁，ロボットのベース，制御盤，ワーク保持台など)との間 ・ ロボット又はエンドエフェクタと安全防護空間内の移動物(供給されるワークや部品，搬出される製品，コンベアなど搬送設備の可動部，搬送トレイ・パレット類など)との間 ・ 操作位置からの危険区域への視認性を妨げるロボット又は関連設備の位置，姿勢又は形状 ・ ロボット，エンドエフェクタ又は関連設備の駆動源(動力)又は圧力源の喪失 ・ 自動モード中に閉じ込められたオペレータのために準備されている(セル用扉を使っての)ロボットセルからの脱出ができない状態 ・ 蓄積された動力源からの潜在的エネルギの予期しない放出 ・ エンドエフェクタ，ロボットセル可動部又は関連設備の(通常又は予期しない)起動又は移動(ロボットで制御された外部軸，丸砥石などのプロセスに特有のものなど) ・ 外部軸(サービス位置でのエンドエフェクタ工具を含む)の(通常又は予期しない)移動，エンドエフェクタの蓄積エネルギの開放による移動(例えば，搬送物に引っかかって停止したエンドエフェクタが，外れた際に，残留していた空気圧の影響で移動する) ・ エンドエフェクタの故障(分離) ・ エンドエフェクタ，外部軸，ハンドリング中の部品，連携している設備上の(鋭利な)工具の移動又は回転 ・ だぶだぶの衣服，長い髪 ・ 材料又は製品の落下又は放出	・ 押し潰し ・ せん断 ・ 切傷又は切断 ・ 巻込み ・ 引込み又は捕捉 ・ 衝撃 ・ 突刺し又は突通し ・ こすれ，擦り傷 ・ 高圧流体／ガスの注入又は噴出

表 26　災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト（つづき）

（機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋，拡充部分を下線で示す）

	原因（Origin）	潜在的結果
機械的危険源	・ジグ又は把持具の意図しない移動 ・ツールの予期しない開放 ・取付具の間（落下）：シャトルの間，ユーティリティ ・ケーブル（例えば，引っ掛かり，破損，鞭のように跳ねる）	
危険源の組み合せ（抜粋）	・ロボット，エンドエフェクタ，補助軸又は連携している設備の予期しない移動 ・電磁妨害又はエネルギ源からのサージによる機械制御装置の予測不可能な挙動 ・ロボットシステム速度が調整可能で，その結果多様なタスクが種々の速度で実行される状態 ・制御装置の機能不全によってローディング用テーブル又はエンドエフェクタで保持装置が開放され，残留力（慣性，重力，ばね／エネルギ蓄積手段）によって飛び出す状態 ・ガードの隙間又は保護装置の非検知空間から安全防護空間内へ人が侵入した状態（侵入可能な隙間には，幅 180 mm 超の長方形開口部，直径 240 mm 超の円形開口部がある. ISO/TR 20218-2 参照.） ・エンドエフェクタ，連携する機械が故障し，期待どおりには機能しない状態（電源ケーブル又は圧力供給ホースの破損，センサの破損を含む） ・特有な用途からの危険源［例えば，エンドエフェクタのエネルギ源（レーザ，ウォータージェット，アーク放電），センサの眼に影響するレーザ光］ ・ロボットシステムの起動指令を一人の人が出したとき，このことがほかの人（例えば，操作位置が直接視認できない位置にいる人）には予測できない状態 ・正しくない又は不要な行動をすることによって，重要な問題及び複雑な問題の識別が不可能となること ・エンドエフェクタの把持の不具合（ワークを把持しない又は落とすとは異なる） ・エンドエフェクタの不足した必要動力の見積もり ・エンドエフェクタのフランジアダプタ又はエンドエフェクタ交換（ツールチェンジ）システムの故障 ・エンドエフェクタの摩耗 ・ワークの変動に適していないエンドエフェクタの設計，非常停止又は保護停止に適していないエンドエフェクタの設計及び使用 ・エンドエフェクタの誤ったシーケンス	・中断後のエネルギ供給源の復帰 ・動力源の外部影響 ・ロボット，エンドエフェクタ又は連携する機械などの予想外の起動（例えば，エンドエフェクタが把持するワークが落下し，その結果，停止していたロボットがワーク供給位置に移動） ・ ・ ・危険源と危険状態とのあらゆる組合せの結果 ・ ・ ・セル内のロボットアーム，ワーク，取付具又はその他の物体とエンドエフェクタの間での押し潰し ・ロボットシステムの部品又はワークの落下 ・ワークの意図しない又は予期しない開放 ・エンドエフェクタの蓄積エネルギの危険な開放 ・動作中又は停止中での把持の失敗によるワークの放出 ・エンドエフェクタ交換システムからのエンドエフェクタの意図しない又は予期しない放出

表 27　JIS B 9700, 6.2 から抽出した危険源／危険区域とその判断基準／定義の例

危険源の原因／危険区域	判断基準／定義	出典箇条
押しつぶし	可動部分と固定部分との間又は二つの可動部分の間にある，全身又は人体の一部が侵入できるほど広い隙間のうち，機械の作動中に人体の一部を押しつぶす（挟み込む）ほど狭くなり，かつ，次のいずれかに該当する隙間: − 頭部又は頸部（肩より上の部分）に触れる. − 人に触る部分の推力が 28 N を超える. − 人に触る部分の面圧が 22 N/ cm^2 を超える. ただし，人体と接触する面積が 0.80 cm^2 未満の場合は，「端部，角部，突出部」として同定すること. 【参考】接触が 1 日に 1 回以下である場合に限り，推力の基準を 43 N，面圧の基準を 54 N/ cm^2 としても良い. 【参考】人体の各部の押しつぶしが起きない寸法については ISO 13854:2017 の表 1 を参照.	6.2.2.1 b), 6.2.2.2 a)
	引用元:ISO/CD TR 21260:2021「Safety of machinery - Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」 ISO 13854:2017「機械類の安全性 - 人体部位が押しつぶされることを回避するための最小すきま」	
端部，角部，突出部	身体を傷つける硬さ（ショア A50 以上）の次のいずれかに該当する部分: − 丸みが R 0.3 mm 未満の端部で人と接触するもの. − 面取りが 0.3 mm 未満の端部で人と接触するもの. − 半径 4 mm 未満の突起部で人と接触するもの. − 人に接触する部分のうち，接触面積が 0.80 cm^2 未満のもの. − JIS B 0721 での呼び記号「並み」より鋭利な部分.	6.2.2.1 c)
	引用元:ISO 12508 : 1994 「土工機械 - 運転席及び整備領域 - 端部の丸み」 JIS B 0721:2004 「機械加工部品のエッジ品質及びその等級」 ISO/CD TR 21260:2021「Safety of machinery - Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」 国立研究開発法人農業／食品産業技術総合研究機構「農業機械安全装備検査 - 2019 年基準 - Ver 2.1」	
衝撃，衝突 飛来物，放出物	移動する機械本体，又は，機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分，材料／加工物／運搬物，排出（放出）される部材／破片のうち，次のいずれかに該当する部分: − 人に接触する面積が 0.80 cm^2 未満である. − 頭部又は頸部（肩より上の部分）に触れる. − 運動エネルギが 0.14 J を超える. − 人と接触する部分での単位面積当たりの運動エネルギが 0.18 J/cm^2 を超える. 【参考】接触が 1 日に 1 回以下である場合に限り，運動エネルギの基準を 5.0 J と，単位面積当たりの運動エネルギを 1.0 J/cm^2 としても良い. 【参考】ISO 10218-2 に適合した産業用協働ロボットシステムで，人に接触する面積が 2.0 cm^2 以上あり，準静的接触力／圧力の大きさ又は過渡的接触力／圧力の大きさが推定可能な場合には，ISO/TS 15066:2016 の表 A.2 を基準に判断して良い.	6.2.2.2 b)
	引用元:ISO/CD TR 21260:2021「Safety of machinery - Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」 ISO 10218-2:2011「ロボット及びロボティックデバイス - 産業用ロボットのための安全要求事項 - 第 2 部:ロボットシステム及びインテグレーション」 ISO/TS 15066:2016「ロボット及びロボティックデバイス - 協働ロボット」	

表 27　JIS B 9700, 6.2 から抽出した危険源／危険区域とその判断基準／定義の例（つづき）

死角，視認性の不足	次のいずれかに該当する区域／範囲: - 移動機械の走行区域／作業区域で，操作位置／制御位置から直接視認できない範囲. - 持ち上げられた荷の可動区域で，操作位置／制御位置から直接視認できない範囲. - 人を昇降する搬送機械類の可動区域で，操作位置／制御位置から直接視認できない区域. - 手持ち機械／手案内機械の工具と作業対象材料とが接する所で，操作位置／制御位置から直接視認できない範囲. - 通常運転のほか，調整，設定，保全のために侵入する区域で，機械の形状や寸法，ガードなどの影響のために明るさが十分でない範囲. 【参考】十分な明るさについては労働安全衛生規則第 604 条（照度）及び JIS Z 9110 を参照.	6.2.2.1 a), 6.2.11.8 d), 6.2.8 e)
	引用元:労働安全衛生規則第 604 条，JIS Z 9110:2011「照明基準総則」	
応力の考慮不足（I）	ボルト締め／溶接で組み立てる機械の構造部分で，加わる（発生する）応力を推定／検討していない部分. 【参考】このような部分は破断／破損／座屈する可能性があり，その結果として，移動する機械本体，又は，機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する材料／加工物／運搬物が，停止しないこと，予期せず動作すること，制限速度を超えること，出力や動作速度が低下することに至る. 【参考】使用するボルトが ISO 13849-2:2012 表 A.4 にある「障害の除外」に該当する場合は同定しなくとも良い.	6.2.3 a)
	引用元:ISO 13849-2:2012「機械類の安全性－制御システムの安全関連部－第 2 部:妥当性確認」	
応力の考慮不足（II）	ボルト締め／溶接で組み立てる機械の構造部分で，加わる（発生する）応力を推定／検討していない部分. 【参考】このような部分は破断／破損して飛散／脱落する可能性がある. ただし，飛散／脱落する部分が，機械的危険源の「飛来物，放出物」に該当しない場合は同定しなくとも良い. 【参考】使用するボルトが ISO 13849-2:2012 表 A.4 にある「障害の除外」に該当する場合は同定しなくとも良い.	6.2.3 a)
	引用元:ISO 13849-2:2012「機械類の安全性－制御システムの安全関連部－第 2 部:妥当性確認」	

表 28　危険源同定支援ツールに登録した危険源（種類と細目）

機械的		50	液圧システムの液体式熱交換器（機械的）I	100	サーボ弁／比例弁を使用する液圧／空気圧システム	4	静磁界
1	押しつぶし	51	液圧システムの液体式熱交換器（機械的）II	101	空気圧システムの消音器の使用	5	電磁両立性の不足（エミッション過大）
2	端部，角部，突出部	52	他の装置／機器の支持に用いる液圧配管I	102	空気圧システムのシール／シール装置	**材料／物質**	
3	巻き込み	53	他の装置／機器の支持に用いる液圧配管II	103	エアーレシーバータンク／サージタンクI	1	危険有害性物質
4	衝撃・衝突，飛来物・放出物	54	液圧配管の管継手I	104	エアーレシーバータンク／サージタンクII	2	作動油
5	死角，視認性の不足	55	液圧配管の管継手II	105	カム，フォロワ	3	空気圧システムの危険有害性物質
6	応力の考慮I	56	鋼製チューブの肉厚I	106	チェーン	4	空気圧システムのろ過（材料／物質）
7	応力の考慮II	57	鋼製チューブの肉厚II	107	クラッチ	人間工学的	
8	使用材料の選定I	58	チューブ支持具の間隔I	108	ブレーキ	1	接近性
9	使用材料の選定II	59	チューブ支持具の間隔II	109	シャフト，ベアリング	2	重量物
10	安定性の不足（機械的）	60	液圧流路の異物	110	コイルばね	3	表示灯など
11	動力源の起動，動力供給の接続	61	液圧／空気圧システムのホース	**電気的**		4	液圧バルブなどのマニホールドブロックの識別記号
12	機構の起動又は停止	62	液圧システムのホース	1	直接接触による感電（基本保護）	5	液圧配管の取り付け識別
13	動力中断後の再起動	63	液圧システムのホースの取付けI	2	間接接触による感電（故障保護）	6	システムの運転パラメータの表示
14	動力供給の中断	64	液圧システムのホースの取付けII	3	絶縁被覆の破損	7	液圧システムの圧力計
15	高所からの墜落	65	液圧配管の急速継手I	4	可撓ケーブルの損傷	8	空気圧配管の識別
16	動力遮断	66	液圧配管の急速継手II	5	導体ワイヤ，導体バー，スリップリング機構の保護不備による損傷	9	空気圧配管の配置
17	蓄積エネルギ	67	空気圧システムの使用最高圧力	6	導体ワイヤ，導体バー，スリップリング機構の誤った構造，配置	10	通路を横切る空気圧配管
18	液圧システムの使用最高圧力	68	空気圧システムの圧力の増加I	7	エンクロージャ内の不適切な配線	11	収納箱，仕切，扉，カバー
19	液圧システムの圧力の増加I	69	空気圧システムの圧力の増加II	8	エンクロージャ外の不適切な配線	12	配線の接続や経路の誤り
20	液圧システムの圧力の増加II	70	空気圧システムの圧力の低下	9	ダクト，接続箱，その他の箱の不適切な使用	13	配線の導体識別誤り
21	液圧システムの圧力の喪失	71	空気圧システムのエネルギ供給	10	コントロールギア・エンクロージャの不適切な取り付け（電気的）	14	コントロールギア・エンクロージャの不適切な取り付け（人間工学）
22	液圧コンポーネントの内部漏れ	72	空気圧システムの圧力除去	11	不適切な等電位ボンディング（保護ボンディング）	15	電源断路器・例外回路の不適切な設置
23	液圧コンポーネントの外部漏れI	73	空気圧システムの予期しない起動	12	不適切な等電位ボンディング（機能ボンディング）	16	オペレータインタフェース・操作機器の適切でない配置／選択
24	液圧コンポーネントの外部漏れII	74	制御されない空気圧アクチュエータ	13	入力電源導体の不適切な接続	**使用環境**	
25	高温又は低温になる液圧コンポーネント	75	空気圧機器の保護	14	電源断路器及び例外回路の機能不全	1	安定性の不足（使用環境）
26	液圧コンポーネント／配管の交換など	76	エアモータ及び揺動形空気圧アクチュエータ	15	過電流保護の不備／適切でない機能（電気的）	2	滑りによる転倒
27	液圧コンポーネント／配管のシール，密封装置I	77	空気圧シリンダ	16	保護機能の不備	3	絶縁被覆の破損
28	液圧コンポーネント／配管のシール，密封装置II	78	空気圧シリンダの附属品	17	適切でない制御回路電源	4	電磁両立性の不足（イミュニティ不足）
29	液圧モータI	79	空気圧バルブ	18	空気圧システムのホース（電気的）	**制御**	
30	液圧モータII	80	空気圧バルブなどのマニホールド	**熱的**		1	ポジティブな機械的作用の適用
31	ポンプ	81	空気圧システムのリリーフ弁／流量制御弁	1	高温となる部分／機器／配管	2	手動制御器
32	ポンプ，液圧モータの駆動カップリング	82	空気圧システムの 3 位置弁	2	低温となる部分／機器／配管	3	非定常作業に対する制御モード
33	液圧シリンダI	83	空気調質機器	3	液圧システムの液体式熱交換器（熱的）I	4	制御モード切り替え装置
34	液圧シリンダII	84	空気圧システムのろ過（機械的）	4	液圧システムの液体式熱交換器（熱的）II	5	非常停止
35	液圧シリンダの附属品	85	空気圧システムのフィルタ／セパレータ	5	液圧システムの空気式熱交換器	6	液圧システムの電気式操作弁
36	液圧シリンダ及び附属品の取り付け用留め具	86	空気圧機器の潤滑	6	液圧システムの作動油ヒータ	7	調整可能な液圧／空気圧バルブ
37	液圧シリンダのピストンロッド	87	空気圧システムの潤滑油の適合性	7	導体の高温化	8	空気圧機器の内部漏れ／外部漏れ
38	液圧システムのアキュムレータI	88	空気圧システムのルブリケータ	8	ケーブルの高温化	9	空気圧システムの電気式操作弁
39	液圧システムのアキュムレータII	89	空気圧システムの空気乾燥	9	エンクロージャ外の不適切なプラグ・ソケット対	10	空気圧システムの圧力制御弁／流量制御弁
40	液圧システムのアキュムレータの機器／管継手I	90	空気圧システムのフィルタなどの非金属ケース	10	過電流保護の不備／適切でない機能（熱的）	11	両手操作制御装置
41	液圧システムのアキュムレータの機器／管継手II	91	空気圧システムの配管及び流路	**騒音**		12	位置検出ベースのシーケンス制御
42	液圧システムのアキュムレータの使用・支持	92	空気圧配管の設置／支持	1	騒音源	13	空気圧システムの圧力測定器
43	液圧バルブ	93	空気圧配管の異物	2	空気圧システムの騒音	14	非常スイッチングオフ
44	液圧バルブなどのマニホールド	94	空気圧アセンブリ間の配管I	**振動**		15	動作監視手段の不備
45	液圧システムの作動油の清浄度	95	空気圧アセンブリ間の配管II	1	振動源	16	不適切なイネーブル制御機能
46	タンク	96	空気圧配管の急速継手I	**放射**		17	不適切な感電保護インターロックの機能
47	タンクの液面計及び液面センサ	97	空気圧配管の急速継手II	1	電離放射線		
48	作動油のろ過	98	空気圧システムのホース（機械的）	2	非電離放射線		
49	作動油のフィルタ	99	空気圧アクチュエータの安全位置	3	レーザ光		

表 29　抽出した災害事例，作成した危険シナリオ及び危険イラストの数

機械の種類	災害事例	危険シナリオ	危険イラスト
プレス機械	333	118	239
丸ノコ盤	219	63	120
ロール機械	93	49	121
フライス盤	55	37	92
ボール盤	85	36	108
旋盤	97	48	93

表 30　調査に参加した事業場の概要

	A 社	B 社	C 社
業 種	製造業	製造業	製造業
労働者数	104 人	226 人	130 人
機械設備の RA の実施	実施	実施	実施

表 31　調査結果（アンケート回答）の要約

質問事項	回答（事業場数）
簡易に RA（危険源同定）を行うことができたか	簡易に行えた（2 社） 簡易に行えない（1 社）
危険シナリオの分りやすさ	分かりやすい（3 社）
アプリの操作のしやすさ	良い（3 社）
危険イラストの量	やや少ない（3 社）
写真の大きさ	やや小さい（1 社） 適切（2 社）
所要時間（1 機種 1 工程あたり）	10 分程度（1 社） 30 分程度（2 社）

表 32　フォークリフトを対象とした技術的方策のチェックリストの例

No	設備対策（機械安全）		チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
1	法令上の要件（構造規格、労働安全衛生規則など）	ヘッドガード（荷の落下により運転者に危険を及ぼすおそれのないときは不要）：フォークリフトの最大荷重の2倍（4トンを超えるものは4トン）の等分布荷重に耐える。上部わくの各開口の幅と長さは16mm未満。運転者の座席からヘッドガードまでの高さは座って操作する方式では95cm以上、立って操作する方式では1.8m以上。	■	
2		バックレストを備えている（マストの後方に荷が落下するおそれのないときは不要）。	■	
3		前照燈と後照燈を備えている（十分な照度が保持されているときは不要）。	■	
4		パレット等：積載する荷の重量に応じた十分な強度を持つ。著しい損傷、変形、腐食がない。	■	
5		安定度：構造規格に定めた勾配の床面でも転倒しないように前後と左右の安定度を持つ。	■	
6		制動装置：走行を制御し、停止の状態を保持する制動装置（サイドブレーキなど）を設ける。	■	
7		左右に1個づつ方向指示器を備える（最高速度が時速20km以上のときなど）。	■	
8		警報装置を備えている。	■	
9		手すりなどの墜落防止設備を備えている（運転者が昇降する方式のフォークリフトに限る）。		
10		通路の死角部分にミラー等を設置する。		
11	望ましい構造上の要件	着座検知装置：作業者が運転席に着席していなければフォークリフトを運転させない着座検知装置を設置しているか。	■	
12		キャビン：運転席の全体を覆うキャビンを設けているか。		
13		運転支援装置：フォークリフトが他の作業者と接触したり、荷などの物体と激突することを防止するための運転支援装置を設けているか（人体検知装置、視界の確保、警告音やパトライトなどによる警報装置を含む）。		
14		シートベルト：運転者の身体を保持するためにシートベルトを設ける。	■	
15	自由記入（その他、有効と思われる対策を挙げて下さい）			
16				
17				

注）“チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

表 33　フォークリフトを対象とした管理的方策のチェックリストの例

No	管理的対策（安全管理）		チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
1	一般的対策（労働安全衛生規則、荷役作業の安全対策ガイドラインなど）	フォークリフトの運転は、最大荷重に合った資格を有している労働者に行わせる。		
2		フォークリフトの定期自主検査、特定自主検査を実施し、その結果を記録し、必要に応じて修理を行う。		
3		作業計画を作成し、関係労働者に周知し、当該作業計画により作業を行う。	■	
4		労働者が複数で作業を行うときは、作業指揮者を定め、その者に作業計画に基づき作業を行わせる。		
5		乗車席以外の場所に運転者を乗せない。用途外使用（人の昇降等）を行わない。		
6		荷崩れ防止装置を行う。		
7		シートベルトを装備しているときはシートベルトを着用する。		
8		停車時は、フォーク等を最低降下位置に置き、逸走防止措置（原動機を止め、停止状態を保持するためのブレーキを確実にかける等）を確実に行う。		
9		万一、フォークリフトが動き出したときは、止めようとしたり、運転席に乗り込まない。		
10		マストとヘッドガードにはさまれる災害を防止するため、運転席から身を乗り出さない。		
11		運転席が昇降する方式では、安全帯の使用等の墜落防止措置を講じる。		
12		急停止、急旋回を行わない。		
13		制限速度を守る。		
14		バック走行時には後方（進行方向）確認を徹底する。		
15		フォークに荷を乗せての前進時には、前方（荷の死角）確認を徹底する。		
16		構内でのフォークリフト使用時のルール（制限速度、安全通路等）を定め、作業者の見やすい位置に掲示する。		
17		構内を走行するときは、トラックや他のフォークリフトとの接触を防止するため、安全通路を走行するとともに、荷の死角から飛び出さない。	■	
18		通路の死角部分にミラーを設置するとともに、関係者に周知する。		
19		フォークリフトの走行場所と歩行通路を区分し、関係者に周知する。		
20		フォークや荷の下に作業者を立ち入らせない。		
21	自由記入（その他、有効と思われる対策を挙げて下さい）			
22				
23				

注）“チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

表 34　評価結果の記録と残留リスクの明確化の例

No	区分	質問	質問に対する回答の詳細
1	評価結果の記録	設備対策の要点	様式Aの1～8、11、14参照。
2		人間工学的対策の要点	様式Bの3、17参照。
3	残留リスクの明確化	保護方策を実施した後の残留リスクとして、どのようなリスクが考えられるか。	特に、夜間作業、トラックなどとの共同区域で行う作業、倉庫などの狭隘作業を行うときに、トラックとフォークリフトが接触したり、フォークリフトと作業者が接触することがある。
4		残留リスクに対する管理的対策の要点	フォークリフトが人やトラックと接触しないように、両者の作業区域を分離しておく。この点を作業計画に定めて、関係者に周知徹底するなど。

注）“質問に対する回答の詳細”の記載事項（下線部）はリスクアセスメント実施時に記入

表 35　移動式クレーンを対象とした技術的方策のチェックリストの例

No	設備対策（機械安全）				チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
1	法令上の要件（労働安全衛生規則、クレーン構造規格など）	1．移動式クレーン本体		移動式クレーンで荷をつりあげて旋回した際に、移動式クレーンがバランスを崩すことはないか。	■	
2				走行・旋回中の移動式クレーンが作業者に激突したり、作業者がはさまれたりする可能性のある箇所はないか。	■	
3				定格荷重の表示：運転者及び玉掛者が定格荷重を常時知ることができるように表示しているか。	■	
4		2．安全装置	巻過防止装置（または巻過警報装置）	フック等が上限の高さになると、自動的に巻き上げを停止する（または警報を発する）装置を備えているか。	■	
5			過負荷防止装置	つり上げ荷重が3トン以上の移動式クレーンには、つり荷の質量が定格荷重に近づいたときに警報を発し、定格荷重を超えようとするときに自動的にクレーンの運転を停止させる装置を備えているか。	■	
6			安全弁	水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧を動力として用いる吊り下げ装置、起伏装置及び伸縮装置は、水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧の過度の上昇を防止するための安全弁を備えているか。	■	
7			逆止め弁	上記の装置では、水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧の異常低下によるつり具の急激な降下を防止するための逆止め弁を備えているか。	■	
8			警報装置	移動式クレーンは警報を発する警報装置を備えているか。	■	
9			傾斜角表示装置	移動式クレーンでジブが起伏するものは、運転者の見やすい位置にジブの傾斜の度合いを示す装置を備えているか。	■	
10			外れ止め装置	玉掛け用ワイヤロープ等がフックから外れることを防止するための装置はあるか。	■	
11			前照燈等	移動式クレーンは、前照燈、尾燈、制動燈、後退燈、方向指示器、警音器、後写鏡、移動式クレーンの直前にある障害物を確認できる鏡、速度計を備えているか。	■	

表 35　移動式クレーンを対象とした技術的方策のチェックリストの例（つづき）

No	設備対策（機械安全）			チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
12	望ましい構造上の要件	旋回自動停止装置	現場が狭いためにやむを得ずアウトリガの張出幅を前後左右で異なる設置をしたときは、旋回位置によって安定度が大きく異なる。そこで、オーバーロードになる前に旋回を自動的に停止させる装置を備えているか。	■	
13		起伏緩停止装置	ブーム起伏機能の動作を停止させるときに、ブーム起伏速度を減速させることで荷振れを緩和させる装置を備えているか。	■	
14		アウトリガ張出幅検出装置	アウトリガー張出幅を検出する装置を備えているか。	■	
15		水準器	水準器を備えているか。	■	
16		AML外部表示灯	過負荷防止装置の動作状態を表示するAML外部表示灯は設置されているか。	■	
17	自由記入（その他、有効と思われる対策を挙げて下さい）				
18					
19					

注）“チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

参考文献

・株式会社タダノ:“移動式クレーン安全装置一覧”, https://www.tadano.co.jp/service/ upload/ docs/safety01.pdf
・室蘭労働基準監督署:“移動式クレーンの安全対策について”, https://jsite.mhlw.go.jp/hokkaido-roudoukyoku/var/rev0/0130/3965/20161124182947.pdf

表 36　移動式クレーンを対象とした管理的方策のチェックリストの例

No	管理的対策（安全管理）			チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
1	移動式クレーン作業の安全管理	作業計画	移動式クレーンの作業計画を定めているか。また、作業計画の内容を関係労働者に周知しているか。	■	
2		過負荷の制限	移動式クレーンは定格荷重の範囲内で使用しているか。	■	
3		安全装置の無効化	移動式クレーンの安全装置（過負荷防止装置など）を切って作業を行うことはないか。	■	
4		傾斜角の制限	移動式クレーンの明細書に記載されているジブの傾斜角の範囲内で使用しているか。	■	
5		軟弱地盤等での使用禁止	軟弱地盤等の移動式クレーンが転倒するおそれのある場所では、移動式クレーンの使用を禁止しているか。仮に軟弱地盤等で作業するときは、有効な敷板等を設けているか。	■	
6		巻過防止装置の動作確認	巻過防止装置が正常に作動することを事前に確認してから作業を行っているか。	■	
7		アウトリガーの張り出し	アウトリガーは両側とも張り出して使用しているか。	■	
8		アウトリガーの沈下防止	アウトリガーの沈下を防止するために敷鉄板などを使用しているか。	■	
9		つり荷の質量予測	つり荷の質量を正確に（または少し多めに）予測しているか。	■	
10		運転時の合図	運転時には一定の合図を定め、指名された者が合図を行っているか。	■	
11		運転位置からの離脱の禁止	荷をつったまま運転位置を離れることはないか。	■	
12		フックの位置決め	フックは、つり荷の重心の真上に位置決めを行っているか。	■	
13		不適切な荷つりの禁止	1本つりや斜めつりをしていないか。また、荷に衝撃を与えたり、荷振れをさせたまま運転させていないか。	■	
14		立入禁止	つり荷の下に作業者を立ち入らせていないか。	■	
15		搭乗の制限	クレーンによって作業者を運搬したり、作業者をつり上げて作業をすることはないか。	■	
16		専用の搭乗設備	やむを得ず上記の作業を行う場合jは、墜落防止措置を講じた専用の搭乗設備を設けているか。この設備は、動揺し、転位し、まあは脱落することがないような構造となっているか。	■	
17		強風時の作業中止	強風（10分間の平均風速が10m/sec以上）のためクレーン作業に危険が予測されるときは作業を中止しているか。	■	
18		暴風時の逸走防止	屋外の走行クレーンで、瞬間風速で30m/sec以上を超える風が吹くおそれのあるときは逸走防止措置を講じているか。	■	

表 36　移動式クレーンを対象とした管理的方策のチェックリストの例（つづき）

No	管理的対策（安全管理）			チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
19	移動式クレーン作業の安全管理（続く）	就業制限	.次の移動式クレーンjは以下に示す免許または技能講習を修了させた者に運転させているか。 1）つり上げ荷重が5トン以上の移動式クレーン 「移動式クレーン運転士免許」を受けた者 2）つり上げ荷重が1トン以上5トン未満の移動式クレーン 「小型移動式クレーン運転技能講習」を修了した者	■	
20		特別教育	つり上げ荷重が1トン未満の移動式クレーンでは、安全のための特別教育を修了した者に運転させているか。	■	
21		つり荷走行の禁止	荷をつったまま移動式クレーンを走行させていないか。	■	
22		定期自主検査の実施	定期自主検査（年次、月例）を確実に実施しているか。	■	
23		定期自主検査の記録の保存	定期自主検査の記録を3年以上保存しているか。	■	
24		作業開始前の点検	作業開始前に確実に点検を実施しているか。	■	
25		暴風後、地震発生後の点検	瞬間風速30m/sec以上の風が吹いた後、または中震以上（震度4以上）の地震の後に、クレーン各部の異常の有無を点検しているか。	■	
26		補修	定期自主検査または点検時に異常を認めたときは、直ちに補修を実施しているか。	■	
27		低速での旋回	旋回は低速で行っているか。	■	
28		つり荷走行の禁止	荷をつったまま移動式クレーンを走行させていないか。	■	
29	ワイヤロープ等の玉掛け用具と玉掛けの安全管理	技能講習	つり上げ荷重が1トン以上のクレーンでは、玉掛け技能講習を修了した者に玉掛け作業を行わせているか。	■	
30		特別教育	つり上げ荷重が1トン未満のクレーンでは、玉掛けに関する特別の教育を実施していか。	■	
31		玉掛け方法	荷の形状、寸法、質量等に応じた適切な玉掛け方法を採用しているか。	■	
32		地切り後の一旦停止	地切り後一旦停止し、玉掛用ワイヤロープの張りとつり荷の安定を確認しているか。	■	
33		玉掛け用ワイヤロープの安全係数	ワイヤロープの安全係数は6以上、つりチェーンの安全係数は5（一部4）以上としているか。	■	
34		玉掛け用フック等の安全係数	フックまたはシャックルの安全係数は5以上としているか。	■	
35		不適格なワイヤロープの使用禁止	次のようなワイヤロープの使用を禁止しているか。 1）ワイヤロープ1よりの間における素線の数の10%以上が切断しているもの 2）直径の減少が公称径の7%をこえるもの 3）キンクしたもの 4）著しい形くずれまたは腐食があるもの	■	

表 36　移動式クレーンを対象とした管理的方策のチェックリストの例（つづき）

No	管理的対策（安全管理）			チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
36	ワイヤロープ等の玉掛け用具と玉掛けの安全管理	不適格なつりチェーンの使用禁止	次のようなつりチェーンの使用を禁止しているか。 1）伸びが製造されたときの長さの5%をこえるもの 2）リンクの断面の直径の減少が10%をこえるもの	■	
37		不適格なフック、シャックル等の使用禁止	フック、シャックル、リング等の金具で、変形しているものまたはき裂のあるものの使用を禁止しているか。		
38		不適格な繊維ロープ等の使用禁止	次のような繊維ロープ等の使用を禁止しているか。 1）ストランドが切断しているもの 2）著しい損傷または腐食があるもの	■	
39		リングの具備等	エンドレスでないワイヤロープまたはつりチェーンでは、その両端にフック、シャックル、リングまたはアイを備えているか。	■	
40		作業開始前の点検	作業開始前に異常の有無について点検を実施しているか。	■	
41	自由記入（その他、有効と思われる対策を挙げて下さい）				
42					
43					

注）“チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

参考文献

・室蘭労働基準監督署：“移動式クレーンの安全対策について”，https://jsite.mhlw.go.jp/hokkaido-roudoukyoku/var/rev0/0130/3965/20161124182947.pdf

表 37　調査に参加した事業場の概要

	A 社	B 社	C 社
労働者数	13 人	33 人	104 人
業 種	器材整備業	製造業	器材整備業
回答者の職種	副工場長	工場長	安全統括管理者

表 38　調査結果の要約

質問事項	回答結果（事業場数）
全般について	
本システムを用いた簡易 RA 手法であれば，専門知識を持たずとも RA を実施できると感じたか？	感じた（2 社） まだ断定できないが，継続的に取り組んでいけると感じた（1 社）
この簡易 RA 手法であっても，RA 実施の負担は大きいと思うか？	思わない（1 社） どちらとも言えない（1 社） 負担は大きい（1 社） ・タブレットの操作にとまどう ・システム自体の操作を覚えるのが難しそう
典型災害事例シートについて	
抜けていると思った災害事例はあるか？	特にない（3 社）
機械設備の種類及び数は適切であるか？	適切である（3 社）
理解し難い記載（語句，表現）はあったか？	特にない（2 社） 一部あった（1 社） ・画像があると分かり易い
保護方策チェックリストについて	
技術的方策のリストは有用だと感じたか？	感じた（1 社） どちらとも言えない（2 社）
管理的方策のリストは有用だと感じたか？	感じた（2 社） どちらとも言えない（1 社）
遠隔安全診断について	
本システムを介して機械安全の専門家が遠隔で RA 結果の妥当性を判定する機能（仕組み）は，中小企業に RA の普及定着を推進する上で必要と思うか？	大変重要で，必要である（2 社） 必要だが，アドバイスが欲しい時に接続できればよい（1 社）
その他，改善すべき点（自由記述） ・結果がスマートフォンで見られるなど，タブレットに依らずに関係者が情報共有できる工夫が必要	

機械設計段階リスクアセスメント
危険源同定支援ツール

取扱説明書

Ver. 1.02（2022/11/30）

目次

はじめに 1

インストール手順と起動方法 1

本支援ツールを利用した「危険源の同定」の流れ 2

基本となる画面構成 3

　サブウインドウのピン止め機能 3

機能選択画面（サブウインドウ） 5

アセスメント情報画面（サブウインドウ） 5

　承認機能 5

「アセスメントの管理」画面 7

　アセスメント新規作成の流れ 8

「危険源の同定」画面 9

　危険源の同定 9

機械で想定される危害と危険源の例 11

アクセスの可能性の評価 13

「災害シナリオの作成」画面 14

　危険源、部位・個所・範囲のフィルター機能 15

　検索機能 16

　Excel出力機能 17

機械の設計段階でのリスクアセスメント 18

はじめに

機械設計段階リスクアセスメント「危険源同定支援ツール」は、リスクアセスメント（以下，単に“RA”と記します．）で最も重要な段階とされる「危険源の同定」に焦点を当て、機械のRAに慣れていない方々でも最低限検討すべき重要な危険源・危険区域を同定できるようにサポートするソフトウェアです。

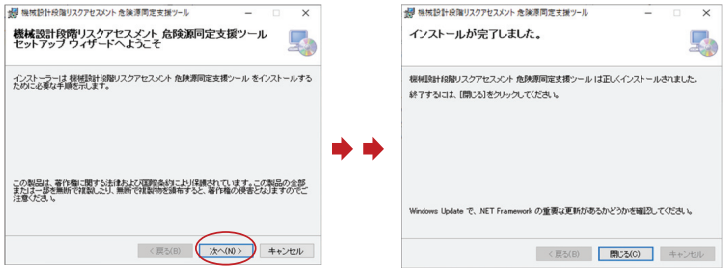
機械安全JIS規格の安全要求事項から抽出した「重要な危険源・危険区域」をリスト化し、具体的な判断基準や参考情報などを付して順に提示していくことで、設計者が対象機械に潜在している危険源・危険区域を、自身の持つ知識や経験に基づいて主観的に判断する必要なく、技術的視点から客観的に認識・発見できるよう支援します。

インストール手順と起動方法

インストール方法

1 **同梱のフォルダ内の「setup.exe」をダブルクリックしてインストーラを起動します。**
（「Setup1.msi」と間違えないでください。）

2 **画面が表示されたら、案内に従ってインストールをすすめてください。**
「インストールが完了しました。」と表示されれば成功です。

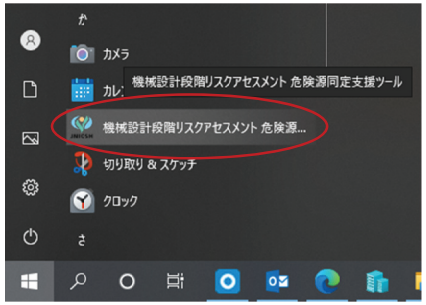


起動方法

インストールが完了したら、支援ツールを起動できます。

Windowsのスタートボタンをクリックして、スタートメニューを表示します。

アプリ一覧にある「機械設計段階リスクアセスメント 危険源同定支援ツール」を起動します。

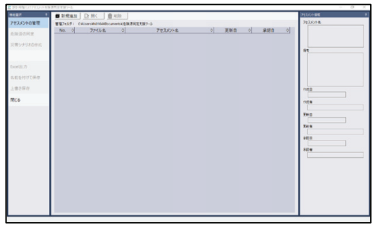


本支援ツールを利用した「危険源の同定」の流れ

この「危険源同定支援ツール」では、危険源の同定を大きく次の３つの段階に分けて進めていきます。

1 **アセスメントの管理**

アセスメントファイルの新規作成、編集の開始、既存ファイルの削除を行います。



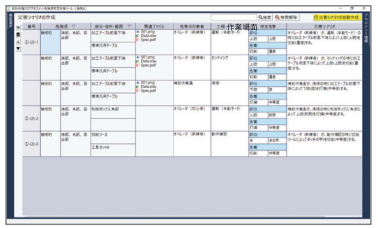
2 **危険源の同定**

提示される「判断基準」や「アクセス可能性の評価指標」などを参照しながら、該当する機械の危険な部位や動作範囲を危険源として同定（入力）していきます。



3 **災害シナリオの作成**

同定した危険源に、危害の対象者、工程・作業場面、想定危害を入力して、災害シナリオを作成します。



危険源の細目すべてを検討し終えるまで、②⇔③を繰り返し行います。

完成した一覧表は編集可能なExcelファイルに出力できます。

設計段階でのリスクアセスメントの実施

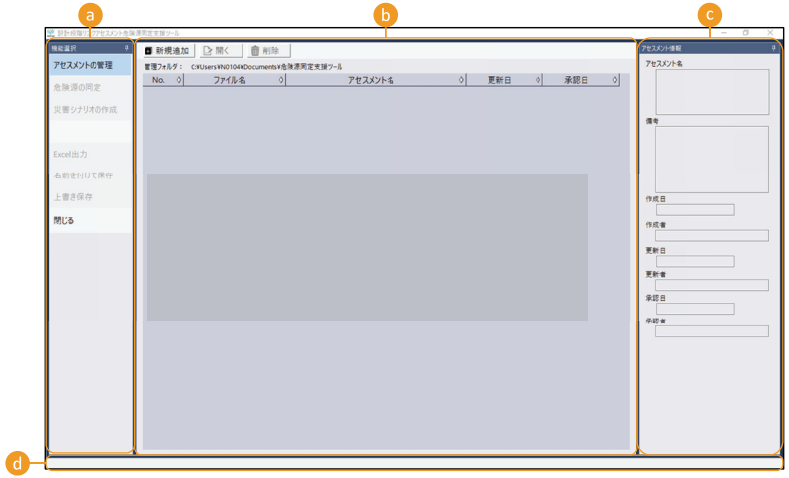
設計段階で実施すべきリスクアセスメントについては、本取り扱い説明書の最終ページに概要を記しています。また、厚生労働省が公開している「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」にさらに詳しく説明されていますのでご参照ください。

⬇下記URLからダウンロードできます⬇

本編：**https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-1.pdf**

別冊：**https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-2.pdf**

基本となる画面構成



a 機能選択画面（サブウインドウ）

メイン画面を選択するボタンとその他の操作のボタンが表示されています。

b 作業画面

機能選択画面のボタンをクリックすると、「アセスメントの管理」、「危険源の同定」、「災害シナリオの作成」を実施するための画面が表示されます。

c アセスメント情報画面（サブウインドウ）

編集中（選択中）のアセスメント情報を表示します。

d メッセージ表示欄

各種メッセージを表示します。

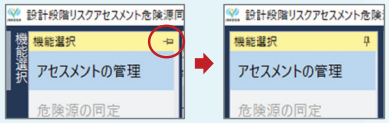
サブウインドウのピン止め機能

サブウインドウはピンを操作することで常に表示しておくようにもできます。

1 ピン止めされた状態（ピンが縦向きの状態）でピンをクリックすると、ピン止めが解除されます。



2 ピン止めが解除された状態（ピンが横向きの状態）でピンをクリックすると、ピン止めされます。



機能選択画面（サブウインドウ）



実施したい機能のボタンをクリックします。表示されるボタンとクリックしたときの操作内容は以下の通りです。

ボタン	操作内容
アセスメントの管理	アセスメントの管理画面を表示します。
危険源の同定	危険源の同定画面を表示します。 アセスメント編集中にクリックすることができます。
災害シナリオの作成	災害シナリオの作成画面を表示します。 アセスメント編集中にクリックすることができます。
Excel出力	Excel出力を実行します。 ▶Excel出力機能（17ページ） アセスメント編集中にクリックすることができます。
名前を付けて保存	編集中のアセスメント内容を名前を付けて新規保存します。 アセスメント編集中にクリックすることができます。
上書き保存	編集中のアセスメントのアセスメント内容を保存します。 アセスメント編集中かつ編集データがある場合にクリックすることができます。
閉じる	支援ツールを終了します。

文字の色・背景色によってボタン状態が異なります。

アセスメントの管理	ボタンをクリックすることができる状態です。
危険源の同定	作業画面に表示されている機能の状態です。
上書き保存	ボタンの機能が使用できない状態です。

機能選択画面は、「アセスメントの管理」画面の場合のみピン止めされた状態で表示されます。
「危険源の同定」画面、「災害シナリオの作成」画面では、ピン止めが解除されて非表示になっていますので、ツール画面左上端の「機能選択」をクリックして表示してご利用ください。

ピン止めについて ▶サブウインドウのピン止め機能（3ページ）

アセスメント情報画面（サブウインドウ）



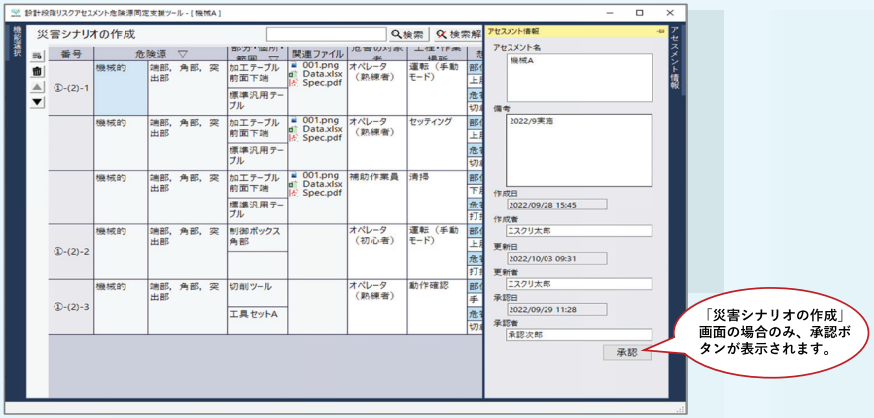
選択中・編集中のアセスメント情報の閲覧・編集・承認を行います。
メイン画面に表示されている機能により、編集可否と承認ボタンが表示有無が異なります。項目は以下の通りです。

項目名	項目内容
アセスメント名	新規作成時に記入した後、メイン画面が危険源の同定および災害シナリオの作成の場合に編集可能です。
備考	新規作成時に記入した後、メイン画面が危険源の同定および災害シナリオの作成の場合に編集可能です。
作成日	新規作成時の日時が自動で記録されます。
作成者	新規作成時に記入した後、メイン画面が危険源の同定および災害シナリオの作成の場合に編集可能です。
更新日	保存時の日時が自動で記録されます。
更新者	メイン画面が危険源の同定および災害シナリオの作成の場合に編集可能です。
承認日	承認時の日時が自動で記録されます。
承認者	メイン画面が災害シナリオの作成の場合に記入可能です。

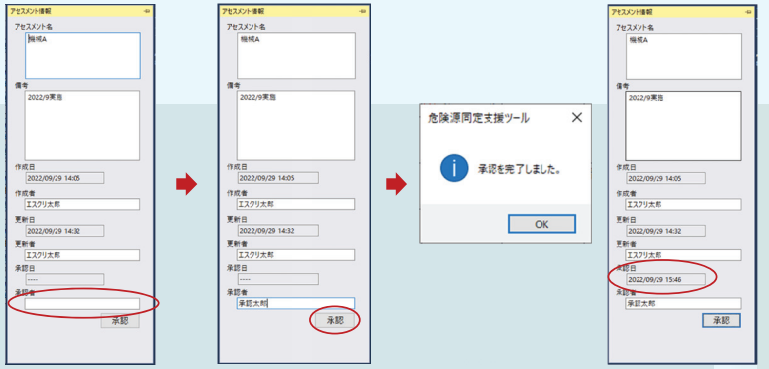
承認機能

「災害シナリオの作成」画面では、アセスメント結果の承認を行うことができます。

1 **「災害シナリオの作成」画面で、右のアセスメント情報サブウインドウを開きます。**



2 **承認者を記入して承認ボタンをクリックします。**
成功すると、「承認を完了しました。」というメッセージが表示され、承認日が記録されます。



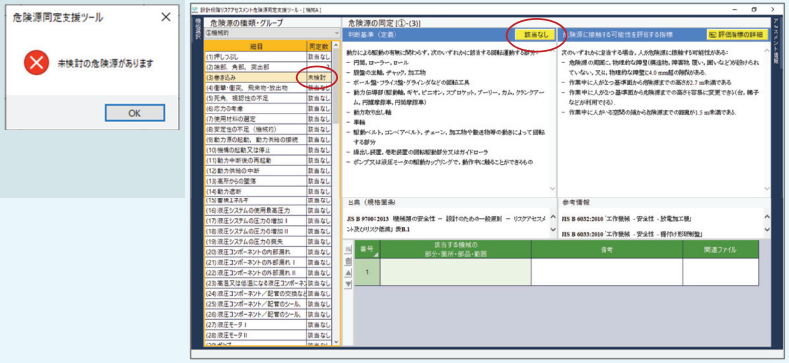
●承認者は記入済ですか？

承認者が未入力の状態では承認できません。必ず承認者を記入してください。



●危険源の同定は完了していますか？

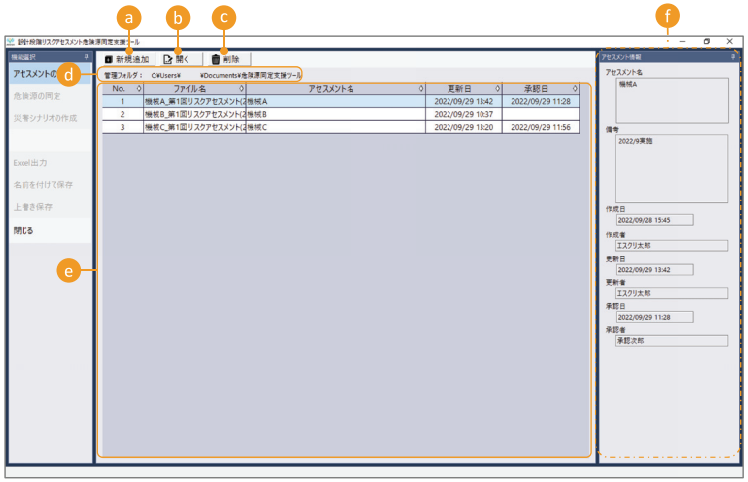
全185項目の細目に対して「未検討」の危険源がある状態では承認できません。
危険源の同定状況は、「危険源の同定」画面の細目欄（オレンジ色エリア）で確認できます。
該当する危険がない場合は「該当なし」に設定してください。



注意！ 保存をせずに終了すると承認は破棄されてしまいます。承認後は必ず保存をしてください。

「アセスメントの管理」画面

作成したアセスメントファイルの一覧が表示されます。アセスメントファイルの新規作成、編集の開始、既存ファイルの削除をすることができます。



a 新規追加

新規作成画面を表示します。

新規作成のやり方 ▶アセスメント 新規作成の流れ（8ページ）

b 開く

e で選択したアセスメントの編集を開始します。メイン画面が危険源の同定に切り替わります。

c 削除

e で選択したアセスメントを削除します。

d 管理フォルダ

記載されているフォルダにあるアセスメントを編集することができます。

e アセスメント一覧

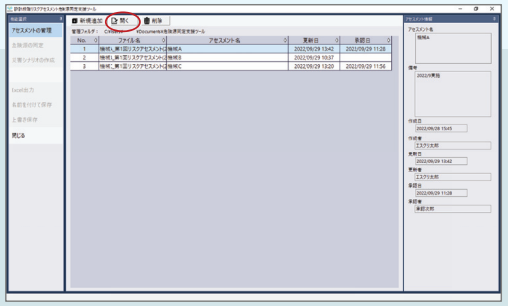
管理フォルダに保存されているアセスメントの一覧が表示されます。編集・削除するアセスメントを選択します。選択したアセスメントの情報は、f に表示されます。

行をダブルクリックしてもアセスメントを開くことができます。

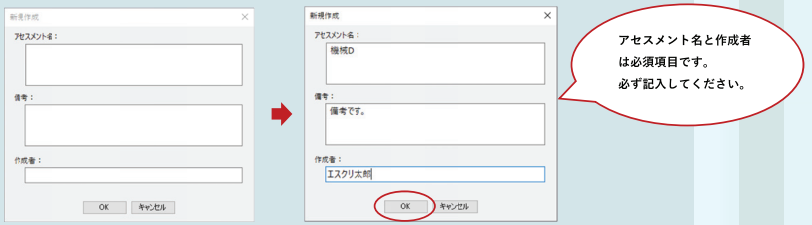
アセスメント新規作成の流れ

アセスメントファイルを新規作成して危険源同定を始めましょう。

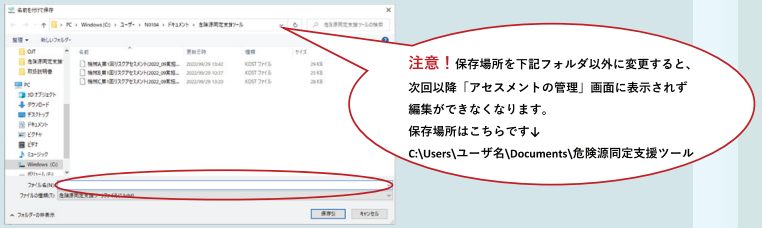
1 アセスメントの管理画面で新規追加ボタンをクリックします。



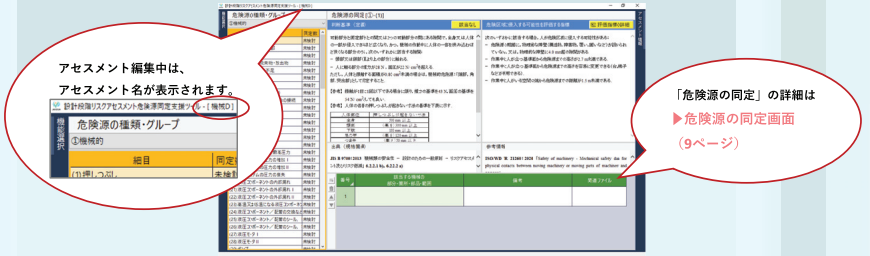
2 表示された新規作成画面で、アセスメント名・備考・作成者を入力してOKをクリックします。



3 新規作成するアセスメントファイルの名前を記入して、保存ボタンをクリックします。

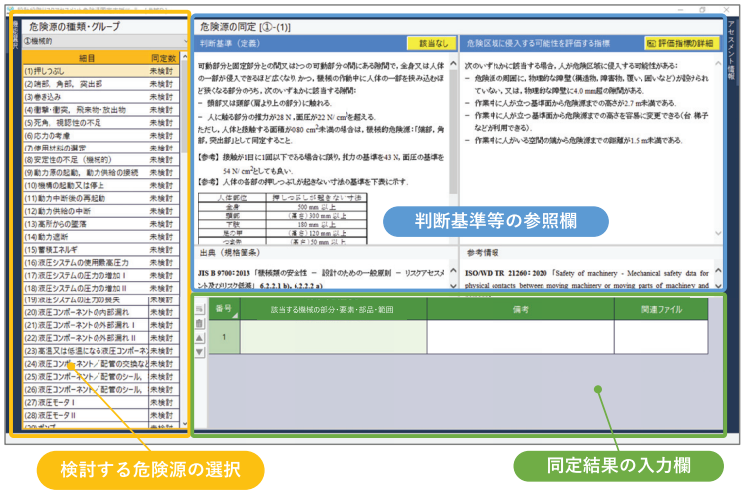


新規作成が成功すると、「危険源の同定」に画面が切り替わります。同定をはじめましょう。



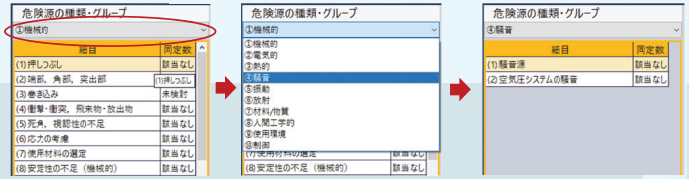
「危険源の同定」画面

オレンジ色のエリアで危険源の種類・グループと細目を選択し、青色のエリアに表示される**「判断基準」**と**「アクセス可能性の評価指標」**を参照しながら、該当する機械の部位などを緑色のエリアに記入します。



危険源の同定

1 **危険源の種類と細目を選択します。**（オレンジ色エリア）

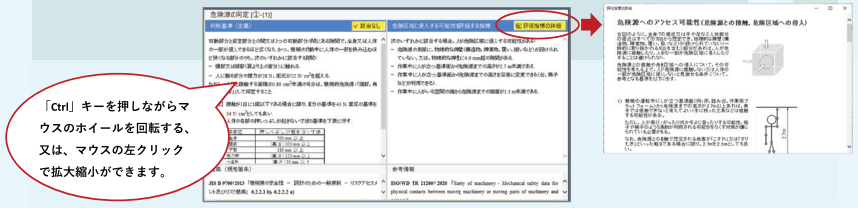


2 **「判断基準」,「アクセス可能性の評価指標」などの内容を確認します。**（青色エリア）

選択した危険源細目に対応にして、「判断基準」、「アクセスの可能性を評価する指標」、「参考情報」、「出典」が表示されています。「評価指標の詳細」ボタンをクリックすると、別ウインドウでさらに詳細な情報を参照できます。

※ アクセスの可能性を評価する指標欄には選択した危険源の細目に応じて、①～④のいずれかが表示されます。

「危険区域に｛①侵入する②接触する③影響を受ける④晒される｝可能性を評価する指標」

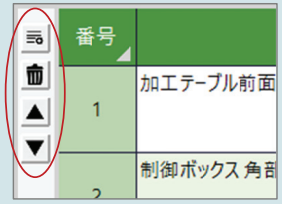


3 **危険源の細目に該当する危険源がある場合には「該当する機械の部分・要素・部品・範囲」にすべてを書き出します。必要に応じて、「備考」を入力したり「関連ファイル」を登録します。**（緑色エリア）

※ 未検討の場合は空行が表示されています。値を入力すると、登録行とみなし、追加ボタンと削除ボタンが使用できるようになります。



＜ボタン操作＞

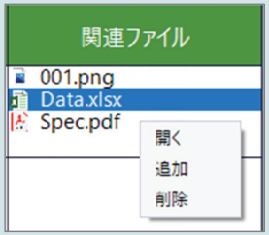


ボタン	操作内容
追加	選択行の下に新規行を追加します。
削除	選択行を削除します。
▲ 上へ	選択行を１つ上の行に移動します。
▼ 下へ	選択行を１つ下の行に移動します。

＜関連ファイルの操作＞

関連ファイルのセル上でクリックするとポップアップメニューが表示されます。

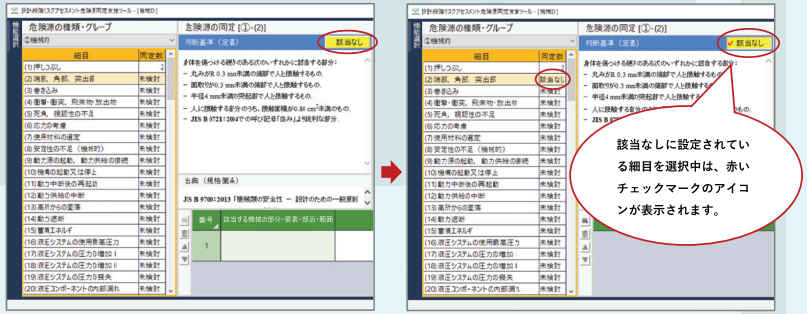
※ 関連ファイルは1行につき最大４つ登録できます。



項目	操作内容
開く	選択した関連ファイルを開きます。
追加	ファイルを追加します。表示されたエクスプローラで追加したいファイルを選択してください。 ※ドラッグ＆ドロップでも追加することができます。
削除	選択した関連ファイルを削除します。

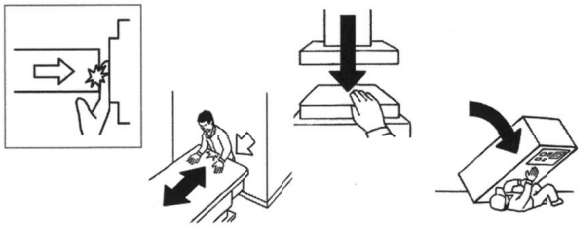
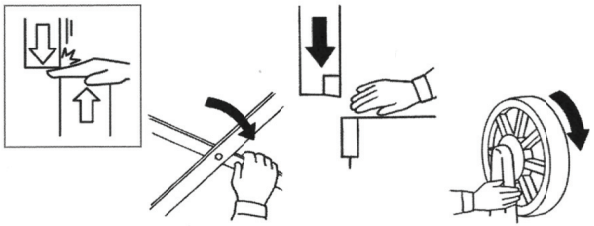
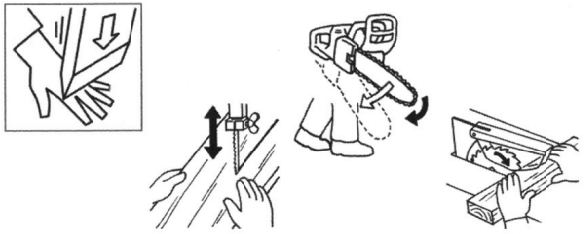
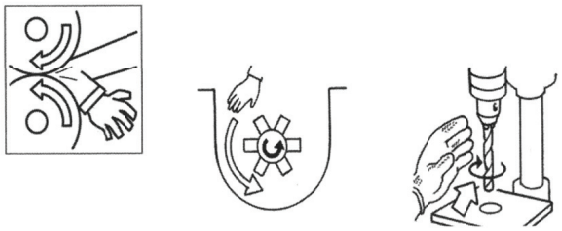
●該当する機械の部分等がない場合

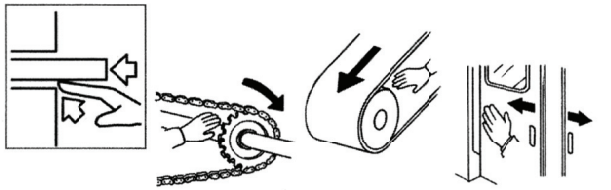
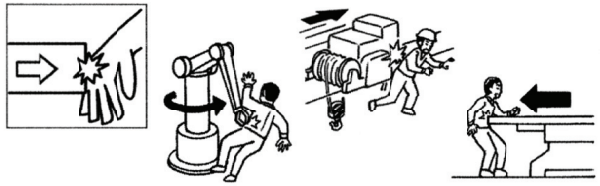
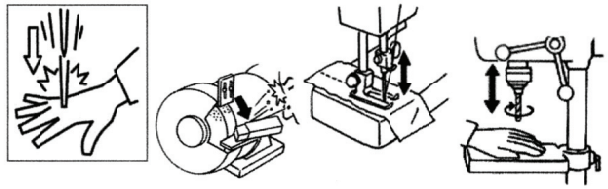
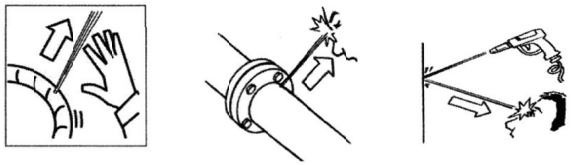
設計対象機械に該当する機械の部分・要素・部品・範囲がない場合は、「該当なしボタン」をクリックします。



機械で想定される危害と危険源の例

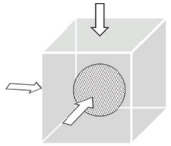
危険源の同定では、**青色エリア**に表示される「**判断基準**」の内容を参照して、該当する以下のような機械の部位や要素、動作範囲などを**緑色エリア**に記入していきます。

No.	危険源	具体例
1．1	押しつぶしの危険源	
1．2	せん断の危険源	
1．3	切傷または切断の危険源	
1．4	巻き込みの危険源	

No.	危険源	具体例
1．5	引き込みまたは捕捉の危険源	
1．6	衝撃の危険源	
1．7	突き刺しまたは突き通しの危険源	
1．8	こすれまたは擦りむきの危険源	
1．9	高速流体の注入又は噴出の危険源	

アクセスの可能性の評価

「判断基準」に該当するや機械の部位や要素、動作範囲などは数多く存在しますが、**「危険源の同定」**では、このうち、人が触るもの又は影響が及ぶ範囲にまで接近するもの（これらを人がアクセスするものと呼びます）を**緑色エリア**に記入していきます。



全身での接近又は手や足など人体部分の接近はすべての方向から想定でき、物理的な障壁（構造物，障害物，覆い，囲いなど）が設けられていない（一時的に取り除かれる場合を含む）部分があれば、人が接触したり、人体の一部が危険区域に侵入したりする可能性は避けられません。

そこで、**青色エリア**には**「判断基準」**と共に、危険源の細目に応じた**アクセスの可能性を評価する際に指標となる基準**が表示されます。また、**「評価指標の詳細」**ボタンをクリックすると、別ウインドウでさらに詳細な指標を参照できます。これは、人が危険源に接触しない、人体の一部が危険区域に侵入しない、人が影響を受けない又は暴露されていないと見なして良い条件です。このため、**「判断基準」**に該当する機械の部位や要素、動作範囲などであっても、評価指標の条件が当てはまるものについてはアクセスの可能性がないと見なして同定する（**緑色エリア**に記入する）必要はありません。

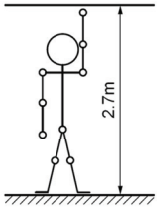
「評価指標の詳細」ボタンをクリックすると別ウインドウで表示される情報は、例えば、以下のようなものです。

例１

機械の運転中に人が立つ基準面（例：床，踏み台，作業用プラットフォーム）から危険源までの高さが 2.7m 以上あれば，素手では接触できないと考えてよい（手に持った工具などは接触する可能性がある）。

ただし，人が飛びﾆがったり何かをよじ登ったりする可能性，椅子や梯子のような補助が利用される可能性をなくす対策が講じられている必要がある。

なお，危険源との接触で想定される危害が「こすれ」又は「すりむき」といった軽傷である場合に限り，2.7m を 2.5m としても良い。

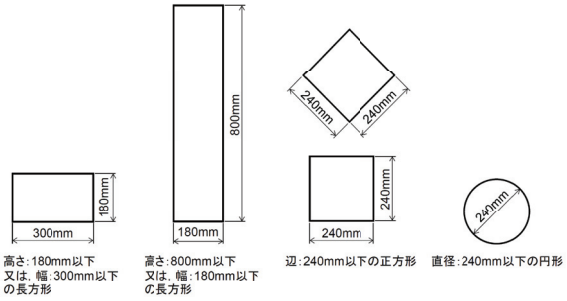


【出典】 **JIS B 9718:2013**「機械類の安全性－危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」，**4.2.1.2** 及び **4.2.1.3**

例２

危険源と人との間に物理的な障壁（構造物，障害物，覆い，囲いなど）があっても，大きな開口部分があると，人が内部に侵入し，危険源に接近できてしまう。

開口部分が右図に示す寸法以下であれば，人は全身で内部に侵入することはないと考えてよい。

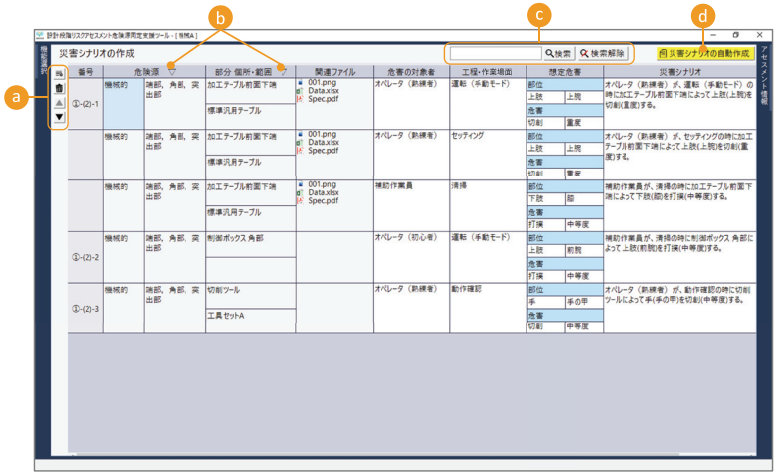


高さ：180mm以下又は，幅：300mm以下の長方形　高さ：800mm以下又は，幅：180mm以下の長方形　辺：240mm以下の正方形　直径：240mm以下の円形

【出典】 **ISO/NP 12895:2022**「Safety of machinery－Identification of whole body access and prevention of derived risks」，**4.2.1**

「災害シナリオの作成」画面

同定した危険源に、危害の対象者、工程・作業場面、想定危害を入力して災害シナリオを作成します。



a ボタン操作

ボタン	操作内容
複製	選択行の下に複製します。
削除	選択行を削除します。
▲ 上へ	選択行を１つ上の行に移動します。 ※同じ番号の範囲でのみ移動することができます。
▼ 下へ	選択行を１つ下の行に移動します。 ※同じ番号の範囲でのみ移動することができます。

b フィルター（危険源、部位・個所・範囲）

▽および▼をクリックすると、フィルター画面を表示します。▼はフィルタ実行中です。

フィルターの使い方　▶危険源、部位・個所・範囲のフィルター機能（15ページ）

c 検索

左から、検索ワード入力欄、検索ボタン、検索解除ボタンです。

検索方法　▶検索機能（16ページ）

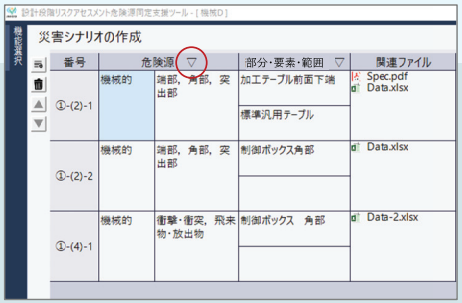
d 災害シナリオの自動作成

選択した行の部分・個所・範囲、危害の対象者、工程・作業場所、想定危害の情報から、災害シナリオを定型文章で自動作成します。空白欄は"*****"で表示します。

作成された災害シナリオは編集することもできます。

危険源、部位・個所・範囲のフィルター機能

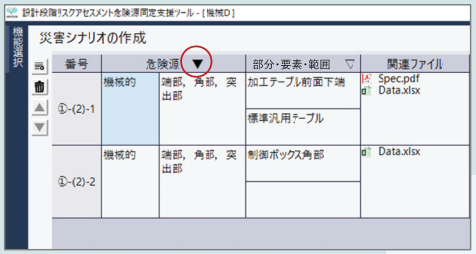
1 危険源の▽をクリックします。



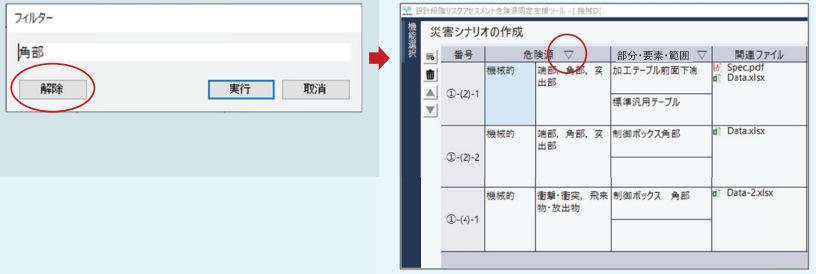
2 フィルター画面でフィルターをかけたいワードを入力して実行をクリックします。



3 マークが▼になり、表示データも絞り込まれます。解除する場合は▼をクリックします。

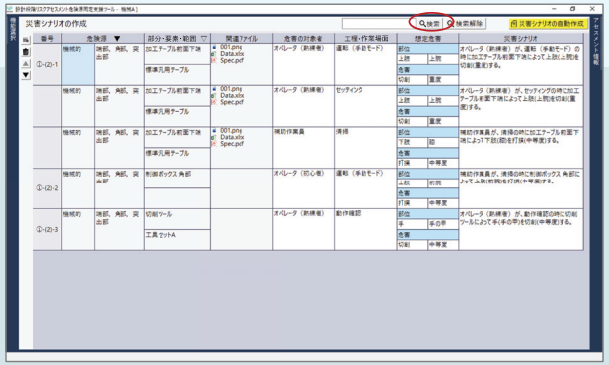


4 フィルター画面で解除をクリックします。入力欄には現在フィルター中のワードが表示されています。

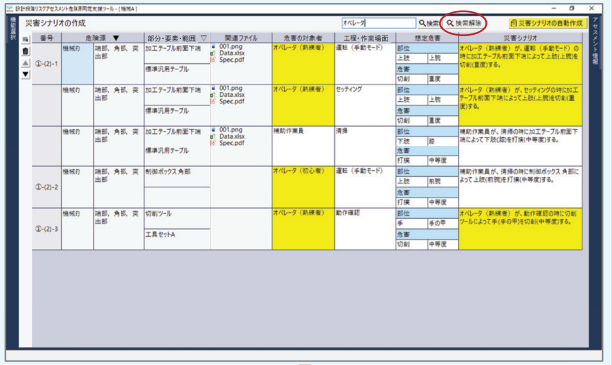


検索機能

1 検索したいワードを入力して検索をクリックします。



2 検索ワードが含まれるセルが黄色になります。解除する場合は検索解除をクリックします。



検索ワードがクリアされてセルが通常の色に戻ります。



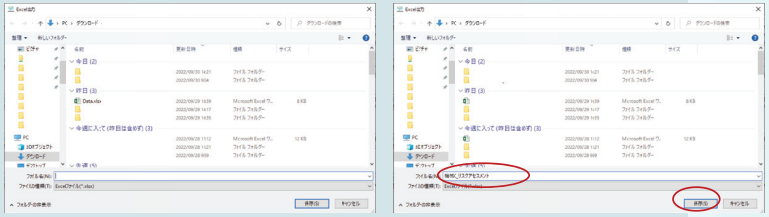
Excel出力機能

作成したアセスメント内容をExcelに出力することができます。

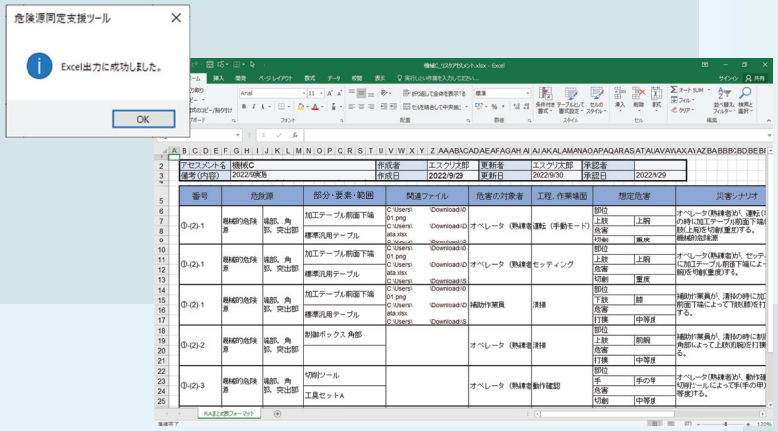
1 機能選択画面でExcel出力ボタンをクリックします。



2 出力先とファイル名を設定して保存をクリックします。

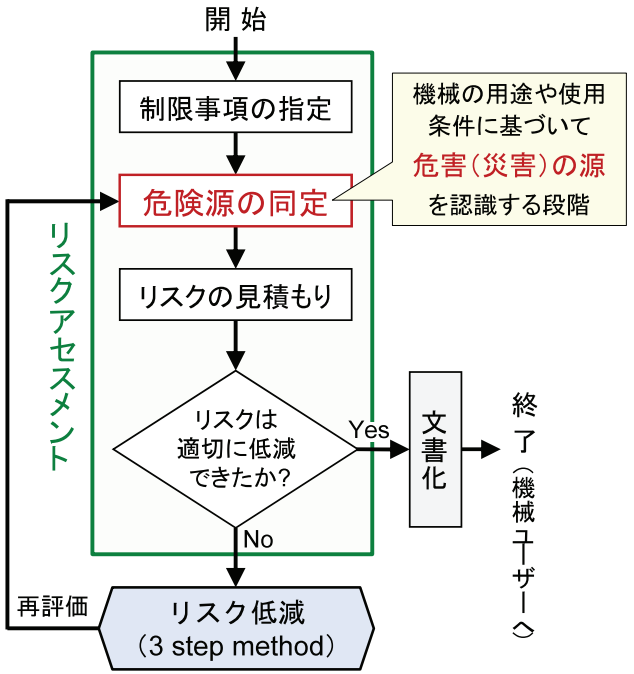


出力が完了すると、「Excel出力に成功しました。」というメッセージが表示されます。



機械の設計段階でのリスクアセスメント

機械の設計段階で行うリスクアセスメントの標準的手順は、国際規格 ISO 12100（国内では JIS B 9700）に下図に示すように定められています。この「危険源同定支援ツール」は、このうちの「危険源の同定」のみを対象にしたソフトウェアです。出力されたExcelシートを用いて、それ以降の「リスクの見積もり」や「リスクの低減」へ，設計段階でのリスクアセスメントを進めましょう。



標準化された機械のリスク低減プロセス（ISO 12100）

再評価の意味

危険源を除去するために、又は、ガードやインターロック装置などを設けるために設計変更を行った後は、この支援ツールを使って改めて「危険源の同定」を行い、新たな危険源が生じていないか、アクセスが可能になっていないか、必ず確認する必要があります。
すべての危険源を検討・評価して、はじめてリスクアセスメントを終了できます。

機械設計技術者向け

設計段階リスクアセスメント ガイドブック

目　次

はじめに ---------- 1

第１章　リスクアセスメントの目的と意義 ---------- 2
1.1　設計段階でのリスクアセスメントの目的
1.2　機械の包括的な安全基準に関する指針
1.3　機械に関する危険情報の通知
1.4　設計段階リスクアセスメントの意義

第２章　設計段階リスクアセスメントの基礎 ---------- 4
2.1　設計段階リスクアセスメントの手順
2.2　機械の制限に関する仕様の指定（指針第２の３）
2.3　危険源の同定（指針第２の４）
2.3.1　実施内容
2.3.2　本支援ツールを用いた危険源の同定
2.3.3　確定的危険源と偶発的危険源
2.3.4　本支援ツールを用いた災害シナリオの作成
2.4　リスクの見積りと評価（指針第２の５）

第３章　リスク低減の基礎 ---------- 12
3.1　機械のリスク低減の原則
3.2　安全機能の性能レベル

第４章　おわりに －適切なリスク低減の達成－ ---------- 15

参考文献 ---------- 16

はじめに

機械に関連する労働災害の一層の防止を図るには，機械の製造等を行う者（これには，機械を設計し、製造し、若しくは輸入し、それを販売する企業のほか，複数の機械を統合して生産ラインをインテグレートする企業，自社内で使用する機械を設計・製造する部門を含む．以下「メーカー」という．）が，機械を設計する段階で潜在するリスクを分析し，工学的方策を施して低減した上で，機械を労働者に使用させる事業者（以下「ユーザー」という．）に対して機械の使用段階で実施するリスクアセスメントが適切に実施できるように，必要な情報を提供することが重要です．

しかし，リスクアセスメントを行うには機械安全に対する一定の知識とある程度の習熟が求められ，特に企業規模が小さくなるにつれ，「どのように実施すれば良いか分からない」，「十分な知識をもった人材がいない」といった理由から，実施率が低下する傾向にあることが各種調査で明らかにされています．そこで，厚生労働省科学研究費課題「機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発」では，研究テーマの一つとして，機械安全に関する知識の限られた設計者を対象に，設計段階で実施するリスクアセスメントの支援方法を検討し，特に「危険源の同定」をサポートする支援ツールを試作しました．「危険源の同定」は，リスクアセスメントで最も重要な段階とされている反面，How to では表せない側面を多く含み，実施する設計者の能力に結果の質が左右される最も難しい場面とも言われています．試作した支援ツールは，機械安全の知識やリスクアセスメントの経験が限られた設計者でも，最低限同定すべき危険源を設計対象の機械から的確に認識（発見／発想）できるように支援するアプリケーションソフトです．

本書は，この支援ツールをより有効に利用できるように，危険源同定を含む機械の設計段階リスクアセスメント，ならびに，設計・製造段階で講ずる工学的方策によるリスク低減について，その基本事項や留意点などを，厚生労働省「機械の包括的な安全基準に関する指針」（平成 19 年 7 月 31 日付け基発第 0731001 号）及び「～メーカー向け～ ユーザーへの機械危険情報の提供に関するガイドライン」（厚生労働省，平成 23 年 3 月）に基づいて解説したガイドブックです．なお，多くの方々にできるだけ分かり易く読み進めていただけるように平易な文章での説明に努めましたが，正確を期すため，国際的に標準化された機械安全分野の用語を一部に用いています．これらは，すべて「機械の包括的な安全基準に関する指針」及び「JIS B 9700：2013 “機械類の安全性 −設計のための一般原則− リスクアセスメント及びリスク低減”（箇条 3：用語及び定義）」に定義されている用語です．巻末に参考文献として上記書籍等の参照先を記していますので，必要に応じて閲覧ください．

本書を一読した上で支援ツールを用いて危険源同定を実践することが，機械設計段階リスクアセスメントに取り組む良いきっかけを得る一助となれば幸いです．なお，本支援ツールは以下の想定で開発されたものです．

・対象となる機械設備

単体での利用を意図した機械から統合生産システムまでの全般．半完成品を含む．

・利用者のレベル

下記 URL にて厚生労働省が公表している「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」及び同別冊を一読し，内容を事前に把握していることが望ましい．

－本編　https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-1.pdf

－別冊　https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-2.pdf

・本支援ツールの利用時期

構想設計・機能設計の段階から利用可能であるが，主として，危険源の判断基準に示される技術情報を評価できる状態，すなわち，詳細設計又は量産設計がある程度進んだ段階が適切である．

第１章　リスクアセスメントの目的と意義

1.1　設計段階でのリスクアセスメントの目的

リスクアセスメントとは，「利用可能な情報を用いて危険源及び危険状態を特定し，当該危険源及び危険状態のリスクを　見積もり，かつ，その評価をすることによって，当該リスクが許容可能か否かを判断する」活動をいい，「関連するリスク分析及びその評価を系統的方法で実施可能にする一連の手順」とも定義されます．何が危険であり，その危険を避けるために何が必要かを考えるという，日常生活でも実践している合理的なアプローチですが，特に，設計段階で機械を対象に実施するリスクアセスメントは，最終的には機械の使用に係るリスクを許容可能なレベルにまで低減することを目的に実施するものです．具体的には，後に詳述するように，まず，機械の仕様や用途・使用環境条件などの制限事項の指定から始まり，その条件で，恒久的に存在する又は生じる恐れのある種々の危険源を認識し，それぞれの危険源にどの位のリスクがあるかを見積り，結果としてリスク低減を講じる必要があるかを決定し，決定までの検討過程を文書として記録する手順で実施します．リスクアセスメントの結果，危険源の除去又はリスクの低減が必要と判断した場合は「本質的安全設計方策」，「安全防護・付加保護方策」，「使用上の情報」の三つのステップに分類される工学的措置を講じることになります．

以上のプロセスは反復的に行います．すなわち，構想設計，機能設計，詳細設計と設計のステージの進捗に応じて，目的である適切なリスク低減が達成されるまで複数回繰り返し，その度に，新たな危険源がないか，他のリスクが増大していないかなどをチェックします．

1.2　機械の包括的な安全基準に関する指針

機械・器具その他の設備を設計し，製造し，若しくは輸入する者に対し，労働安全衛生法第３条２項では，機械が使用されることによる労働災害の発生の防止に資するよう努めなければならないと義務付けられています．ただし，事業場内において使用される機械は多岐にわたることなどから，厚生労働省では，すべての機械に適用できる包括的な安全確保の方策等に関する基準として「機械の包括的な安全基準に関する指針」（以下「包括安全指針」という）を公表しています．この指針では，機械の安全化の手順を図 1 のように定めており，メーカーとユーザー各々が求められる事項を実施し，両者の連携の下で機械の適切なリスク低減が成し得るとされています．

1.3　機械に関する危険情報の通知

図 1 の機械の安全化の手順では，メーカーとユーザーのどちらにおいても，先ずはリスクアセスメントの実施が求められています．ただし，ユーザーがリスクアセスメントを行うには，メーカーから機械に関する危険性等の情報（図 1 で使用上の情報と記す）を入手しておく必要があります．このため，厚生労働省では 2012 年 1 月に労働安全衛生規則を改正し，メーカーに対して，残留リスク等の危険情報をユーザーに通知することが努力義務化されました（第 24 条の 13）．

ここで，「機械の残留リスク等の危険情報」とは次の事項を指し，これらは機械の設計段階において実施したリスクアセスメントの結果に基づいて作成されるものです：

- メーカーが講じる工学的方策では除去又は低減できなかったリスク，
- ユーザーが実施すべき方策としてメーカーが想定した安全措置等の内容（措置が必要となる機械の運用段階，作業に必要な資格など）
- 取扱説明書の参照部分，ほか

これまでも，メーカーでは，機械の使用における禁止事項や留意すべき事項について，警告ラベルや取扱説明書等によって通知してきました．しかし，改正された労働安全衛生規則では，ユーザーが

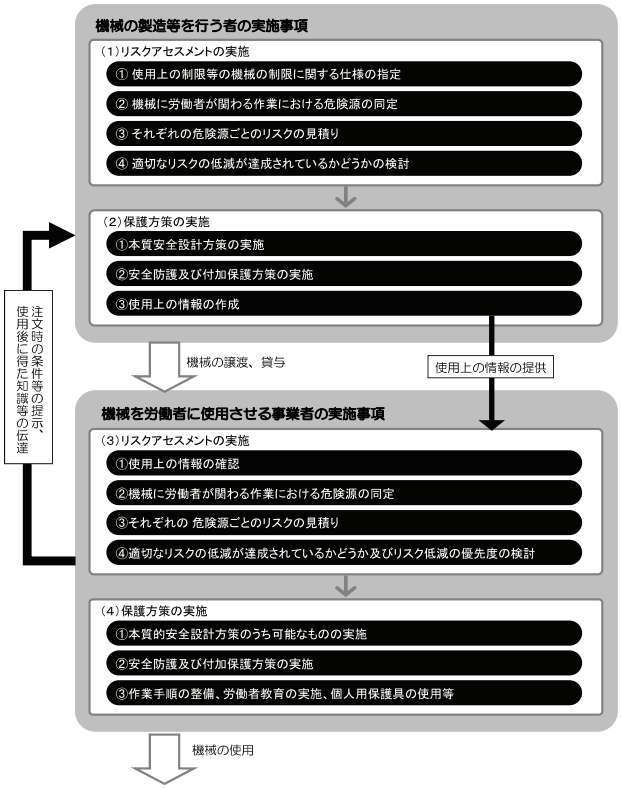


図 1 機械の安全化の手順（メーカーとユーザーの実施事項）

リスクアセスメントで活用できるよう，上記の危険情報を容易に理解・認識できる形式（具体例として，残留リスク一覧及び残留リスクマップ）で提供することが求められています．

なお，機械単独ではなく，複数の機械が一つの機械システムとして使用される場合には，システム統合を行うインテグレータが，個々の機械の危険情報を入手し，機械を組み合わせることで新たに生じるリスクを分析し，これを低減した上で，残留リスク情報等について通知する必要があります．

1.4 設計段階リスクアセスメントの意義

以上のように，設計段階でのリスクアセスメントの実施は，より安全性の高い機械をユーザーに提供するためばかりでなく，ユーザーが適切にリスクアセスメントを行い，リスクが低減された機械の状態を維持管理していくのに必要な情報を提供することにも大きく関連しており，機械災害防止をメーカーとユーザーの連携の下で推進していく上で必須の活動と位置付けられています．

設計段階でリスクアセスメントを含む論理的リスク低減プロセスを踏むことにより，設計者のリスク低減に関する思考過程，現実に講じた方策及び残留リスクが明確化でき，記録として残すことが可能になります．これは，企業内での円滑な情報共有を促すだけでなく，ユーザーに対して説明責任を果たす上でも極めて重要な取り組みと言えます．

第2章 設計段階リスクアセスメントの基礎

2.1 設計段階リスクアセスメントの手順

機械の設計段階で実施するリスクアセスメントについては，その原則と標準的手順が国際規格 ISO 12100（JIS B 9700）で定められており，包括安全指針もこれに従います．具体的には，以下の手順での実施が求められています．

手順 1） 使用上，空間上及び時間上の限度・範囲に関する機械の制限事項・仕様を定め【指針第 2 の 3】，

手順 2） 機械を使う者が関わる作業等における危険源を同定し【指針第 2 の 4】，

手順 3） 同定した危険源より生じる及びリスクの大きさを見積もり，その結果からリスク低減の要／不要を判定する【指針第 2 の 5】．

リスク低減が必要と判断すれば，工学的措置を検討し講じます（設計段階で講じるリスク低減については第3章に解説しています）．設計を変更する度に，又は構想設計，機能設計，詳細設計，実機による妥当性確認と設計ステージが進捗するのに応じて，，新たな危険源がないか，他のリスクが増大していないか，以上を繰り返し，最終目的である適切なリスク低減の達成を目指します．

2.2 機械の制限に関する仕様の指定（指針第 2 の 3）

設計段階リスクアセスメントでは，対象機械に合理的に想定される全ての使用状況を考慮しなければなりませんが，それには明らかに限界があり，このため，機械の用途，使用される環境，耐用期間，使用者の条件など想定範囲を明確に線引きしておく必要があります．これを「機械の制限に関する仕様の指定」といい，リスクアセスメントの前提条件として，例えば以下の事項を明確にします：

使用上の制限	設計仕様として意図する機械の機能／用途／使用（作業）方法．これには，使用者に求める運転資格や使用経験，想定する年齢層，体型，利き手や身体能力の限界などの条件を含む．
運転条件	機械の運転モード（自動，手動，段取り，教示など）での作業，調整，設定・段取り，清掃などの運転以外の機械への接近作業．
空間上の制約	動作範囲，設置スペース，操作盤／制御盤の配置，予定外停止の解消や保全時のアクセス領域等の条件．
時間上の制約	想定使用期間，構成要素の寿命あるいは検査・交換の周期，など．
使用環境	屋内／屋外，温湿度条件，直射日光下，ほこり，爆発危険性など．
加工物・搬送物	機械で扱うことを意図した加工対象物や搬送物などの特性．
動力源・付帯設備	動力源（ユーティリティ），冷却機など付帯設備の条件．

各々の事項の詳細を，後に続くリスクアセスメントの各手順とどう関連するのかも含めて，表 1 に示します．これらは仕様策定や構想設計の段階で必ず定める事項ではありますが，機械のリスク低減戦略においては，適切な条件を設定すること，例えば，危険源に接近する作業の頻度，メンテナンスの方法や頻度，作業を行う者の熟練度などを限定することで，危険源や危険状態を大幅に減らせる場合があります．

表１ “機械の制限に関する仕様の指定”で定めるべき事項

分類	機械の使用状況	チェック内容	活用場面
機械の仕様等	機械の能力等の仕様	機械の能力等の仕様を明確にする	リスクの見積り
	機械及びその構成部品の寿命上の条件	機械の寿命，構成部品の寿命と交換時期（頻度）・交換方法，廃棄部品の処理方法などを明確にする	リスクの見積り
	機械可動部の作動範囲や，機械の据え付けに伴うスペース上の条件	機械可動部の作動範囲を明確にし，据え付けに伴うスペース条件を明確にする	リスクの見積り
機械が使用される目的，用途	機械が使用される目的，用途	機械の仕様書等から目的，用途を明確にする	危険源の同定
	機械が使用される目的，用途で想定される作業等	機械の使用段階だけでなく，すべてのライフサイクルにおける作業等について明確にする	危険源の同定
	機械やソフトウェアの予見可能な機能不良に伴う人の行動	機械やソフトウェアで起こりうる機能不良に伴う人の行動を明確にする	危険源の同定
機械に関わりを持つことが想定される人	直接機械を操作する作業者だけでなく，保全作業者，その機械に関連する作業者，見学者等の合理的に予見可能な，機械に接近する可能性のある第三者	どのような人がどのような状況になったとき，機械に接近する可能性が出るかを明確にする	危険源の同定
	通常の機械作業者，その機械の取り扱いに関する訓練受講者等，機械を使用することが予想される人の熟練度，経験年数，作業能力等のレベル	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
	機械を使用する人間のさまざまな能力・特性（視覚又は聴覚などの五感の状態，体形，体力，年令，性別，利き手など）	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
機械の使用が想定される期間	機械のライフサイクル全般（機械が製造され廃棄されるまで）	機械のライフサイクルの具体的な各段階を明確にする	危険源の同定
使用を想定される場所	機械が使用される場所	使用される場所を明確にする〈温度，湿度，高さ等の条件も考慮する〉	リスクの見積り

※ 出典：中央労働災害防止協会「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」

なお，ここで明確する制限事項の中に，一般的には「合理的に予見可能な誤使用」（メーカーが意図していない使用方法であるが，人の行動として比較的容易に予測可能である又は実際に高い頻度で行われることが知られている使用形態）が含まれます．ただし，試作した支援ツールでは，これを用いて「危険源の同定」を行えば，機械に潜在する危害の原因となり得る性質をもった部位，要素，エネルギなどを洗い出す過程で，併せて，それらに人が接触又は影響の及ぶ範囲に接近する可能性を技術的視点から評価するよう配慮されており，その過程で「合理的に予見可能な誤使用」も扱えるようになっています．詳細については第 2.3.2 項 2）に改めて述べます．

2.3 危険源の同定（指針第２の４）

2.3.1 実施内容

「危険源」とは，人に身体的障害又は健康障害を負わせる潜在的根源を指す機械安全の用語であり，例えば，機械の危険な動作部，角部，エネルギ，振動源，レーザー発光源，有害物質などです．典型的な危険源の例を表２に示します．機械の通常運転中だけでなく，機械の製作，運搬，組立及び設置，コミッショニング，使用停止及び分解（安全上問題がある場合には廃棄処分）といった機械

表２ 危険源の典型的な例



※ 出典：JIS B 9700：2013 “機械類の安全性 － 設計のための一般原則 － リスクアセスメント及びリスク低減”

の寿命上のすべての局面を考慮して，対象機械に潜在する危険源をすべて認識する必要があります．また，機械自身だけでなく，これらの局面で扱われる加工材料や製品，搬送品などに関連する危険（例えば，溶融金属を運搬する機械において金属の飛散）も検討範囲に含める必要があります．

ただし．「危険源の同定」で実際に実施する内容は，単に危険源を洗い出すことだけでなく，これらが誰に何時どのような状況でどんな危害を及ぼすのか，労働災害が発生する過程（以下「災害シナリオ」という）を明確に想定し記述することであり，これが「危険源の同定」の本質です．災害シナリオが曖昧なままでは，リスクアセスメントの次の手順である「リスクの見積り」を円滑に進めることが難しくなります．機械安全の分野において「リスク」とは，「危害の深刻さ」と「危害が発生する確率」の組み合わせとして定義され，その大きさは図 1 に示す要因・パラメータで与えられるとされています．「危険源の

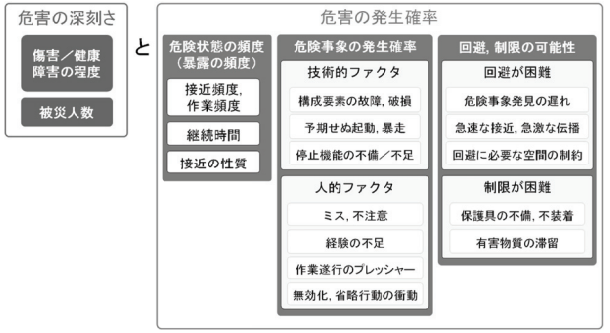


図 1 機械のリスクを決定する構成要素

同定」では，「リスクの見積り」でこれらの要因・パラメータが容易に検討できるように，認識した危険源がどのような状況で誰にどんな危害を負わせるのか，災害シナリオを明確にしておく必要があります．

2.3.2　本支援ツールを用いた危険源の同定

1）危険源の判断基準・定義

これまで「危険源の同定」は，表 2 に示した JIS B 9700 の危険源リストなどを手掛かりに，設計者が自らの知識と経験から危険源を洗い出すしか手立てがなく，広く一般的に適用できる手順や方法論はまだ確立していません．How to では表せない側面が多く含まれ，結果の質が実施者の能力に大きく依存する最も難しい場面とも言われています．

このため，本支援ツールでは，設計者が機械安全の知識に関わらずに危険源同定を行えるように，危険源や危険区域を技術的視点から客観的に判別できる基準・定義の形式でリスト化しました．リストに提示される基準・定義に従って対象機械に該当する部分／要素／区域などがあるか吟味すれば，検討すべき重要な危険源を確実に認識（発見／発想）できるように支援します．本支援ツールの「危険源の同定」画面を図 2 に示します．各欄の情報や操作の詳細については本支援ツールの取扱説明書を参照ください．

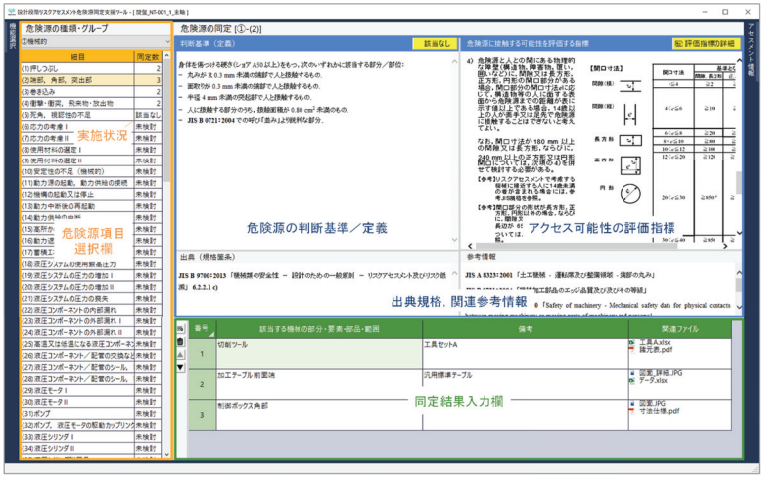


図2　本支援ツールを用いた「危険源の同定」

なお，ここで提示される基準・定義は，機械類の安全性を扱った国際規格や指針，技術情報等に基づき“検討すべき重要危険源”として最も保守的なレベル（厳しい値）を考慮した結果が示されています．該当する部分／要素／区域があった場合，必ずしも設計上の工夫で除去しなければならないものではありませんが，少なくとも，それらのリスクは推定し，次の「リスクの低減」が必要か否か判断する必要があります（このような判断の積み重ねが，最終的に「リスクアセスメントの結果」となります）．

また，対象機械に JIS など個別に安全性を扱った規格が発行されている場合は，当該規格の重要危険源リスト及び安全要求事項を優先的に適用する必要があります。ここで提示される基準・定義は，個別に発行された規格の規定を代替するものではなく，それらを補完する位置付けで活用ください．

2）アクセス可能性の評価指標

一方，「危険源の同定」では，単に危険な性質をもつ物質，エネルギ，現象を認識するだけでなく，それらに人が接触又は影響の及ぶ範囲に接近する可能性（以下「アクセス可能性」という）を考慮して，危険源として選別する必要があります．例えば，鋭利な角や狭圧部は機械に多数存在しますが，これらのうち，設計仕様で意図する運転状態に加え，設置や保全，分解といった関連作業，ならびに，合理的に予見可能な誤使用（例えば，省略行動や保護装置の迂回）を含めた機械のライフサイクルの全局面において人がアクセスする可能性があるものを「危険源」として同定します．アクセス可能性を適切に評価するには，対象機械について過去の災害事例や実際の使用状況に関する知識が必要になります．このため，本支援ツールでは：

1）　まず，人が危険源との間に接近，侵入又は滞在することが可能な物理的空間が危険源の原因周辺に存在すれば，「アクセス可能」と考えることにする．

2）　その上で，そのような物理的空間の有無を技術的視点から客観的に判断できるように，例えば，手が届く高さ，上肢や全身が侵入できる隙間寸法，人が滞在可能な空間の広さなどの規定値や条件を，包括的な指標として危険源の判断基準・定義の隣に提示する．

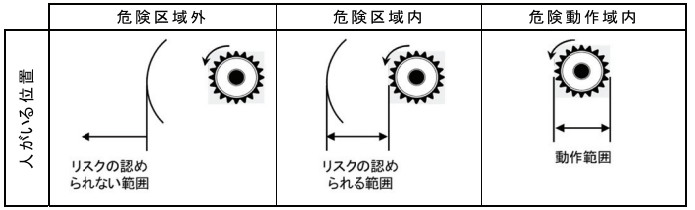
こととしました．これにより，危険源／危険区域を洗い出す際に，併せて対象機械の寸法仕様やレイアウトといった技術情報からアクセス可能性を客観的に評価することが可能となり，機械の実際の運転条件や作業内容，過去に経験された災害事例に関する知識に基づいてアクセスを想定・発想する必要性は大きく減ります．逆に，物理的にアクセスが可能であると判断された危険源については，それらに人が接触又は接近する状況を列挙し，合理的なものがあれば，それを「予見可能な誤使用」と見做して，後述する「災害シナリオ」や「使用上の情報」を検討する際に反映する必要があります．

なお，人が危険源にアクセスする状況は次の 3 つに大別して考えることができます：

危険区域外　　以下のような位置に人がいる場合：
- ガード等の物理的な障害で人と危険源が隔離されている．
- 1 度の挙動（例えば，1 回の手の振り下しや 1 歩の前進）では危険源に到達できないと見做せる．
- 機械又はその制御システムの単一の不具合によって誤作動が生じても，回避せずとも危害を被るおそれがないと考えられる．

危険区域内　　以下のような位置に人がいる場合：
- 1 度の挙動で危険源に到達できしてしまう（上肢・下肢の到達可能距離については JIS B 9718 参照）．
- 機械又はその制御システムの単一の不具合によって誤作動が生じると，回避に失敗すれば危害を被るおそれがある．

危険動作域内　　危険源に接触している位置，又は，極めて近接していて僅かな挙動で到達してしまう位置に人がいる場合．



以上を，駅のプラットホームに例えて言えば，「危険区域外」は黄色線の内側に相当するもので，

列車通過時にはこの位置まで下がるようアナウンスされます．これに対し，黄色線の外側（電車側）が「危険区域内」に当たる位置で，ここを歩行しているのをしばしば見かけますが，誤ってよろければ列車と接触しかねません．そして，「危険動作域内」はプラットホームのさらに外，すなわち線路上となります．なお，この危険区域の分別は，機械的危険源や電気的危険源など，危険源のもつエネルギが接触によって人体に伝達することで危害に至る場合については直感的に適用できますが，有害物質や粉塵などの場合については健康障害を被る可能性を考慮して吟味する必要があります．

3）確定的危険源と偶発的危険源

危険源には，機械の使用中に恒久的に顕在する確定的な危険源（例えば，可動要素の危険な動作，溶接工程中の電弧，鋭利な角，高温となる部分）だけでなく，機械の寿命の過程で故障や不具合の発生のために予期せずに現れ得る偶発的危険源（例えば，誤起動の結果としての押しつぶし，破損の結果としての放出や落下）があります．偶発的危険源を適切に認識するためには，一般に，FMEA 等を用いた要素／回路の故障解析，使用段階でのオペレータの操作誤りや保守整備不良といった好ましくない状況での機械挙動に関する考察，ならびに，類似機械の過去の災害事例など安全に関する知識が求められ，決して容易ではありません．

このため，本支援ツールを用いた危険源同定では，このような偶発的危険源や危害の原因となり得る事象も，技術的視点から客観的に検討できるように，「押しつぶし」や「鋭利な角」などの確定的危険源と同様に危険源の判断基準／定義リストの中に含められています．例として，機械的危険源の細目「液圧システムの圧力の増加（出典：JIS B 8361:2013，5.2.2.3）」にはⅠとⅡの 2 つがあり，それぞれの判断基準／定義が次のように記載されています．

機械的危険源細目	判断基準／定義
(19) 液圧システムの圧力の増加 I	圧力サージ及び圧力変動があった場合に破裂／破損する液圧機器又は配管． 【参考】 破損する液圧機器には，例えば，ポンプ，圧力容器，液圧アクチュエータ，バルブ，タンク，フィルタ，継手，圧力計がある．
(20) 液圧システムの圧力の増加 II	圧力サージ及び圧力変動があった場合に，障害を起こす液圧システムで駆動する機械の本体／可動部分，移動する搬送物又は保持（把持）する材料． 【参考】 このような障害には，例えば，液圧シリンダや液圧モータが停止しないこと，予期せず動作すること，制限速度を超えること，保持位置がドリフトすることがある．

「液圧システムの圧力の増加」は，圧力サージや圧力変動があった場合に生じる偶発的危険源であり，これを同定する際にはその結果として起こる好ましくない状況を踏まえて，該当する機械の部位や要素を挙げていかなければなりません．しかし，本支援ツールでは，判断基準／定義を参考情報と併せて検討することで，Ⅰではその結果として破裂又は破損する液圧機器又は配管が，また，Ⅱではその結果として意図しない動作をする可能性をもつ機械の本体や可動部分，搬送物，保持物が同定できるようになっています．

2.3.3　本支援ツールを用いた災害シナリオの作成

洗い出した危険源／危険区域について，「危険源の同定」では，各々の災害シナリオを明確に想定する必要があります．これに対して，本支援ツールでは，「想定される危害の対象者」，「危害が発生する工程／作業場面（タスク）」，「危害の症状」及び「危害の程度」の 4 項目を入力すれば，次のフォームで自動的に災害シナリオが生成されるようになっています：

【危害の対象者】が【工程／作業場面】の時に【入力した部分・要素・範囲の名称】によって【傷害部位（詳細）】を【症状（程度）】する．

上記の 4 項目は，次の「リスクの見積もり」を行う（ならびに，後述するリスク低減のために講じる制御機能の要求性能レベルを決定する）上で最低限決めておくべき事項として選定したものです．例えば，「工程／作業場面」は危険源への暴露頻度や危害の発生確率を推定する手がかりとなります（危害の発生確率は機械を使用する対象者の身体能力や技能の違いによっても異なる可能性があります）．

各項目の入力にはプルダウンメニューが利用でき，表示される語句一覧からそこで記述すべき内容が読み取れますので，必要に応じて実際に則した語句に修正します（新しい語句に修正するとメニューに自動的に登録されます）．同様に，自動生成される災害シナリオについても，必要があれば，さらに詳細な想定を加筆しましょう．本支援ツールの「災害シナリオの作成」画面を図 3 に示します（操作方法の詳細については本支援ツールの取扱説明書を参照ください）．

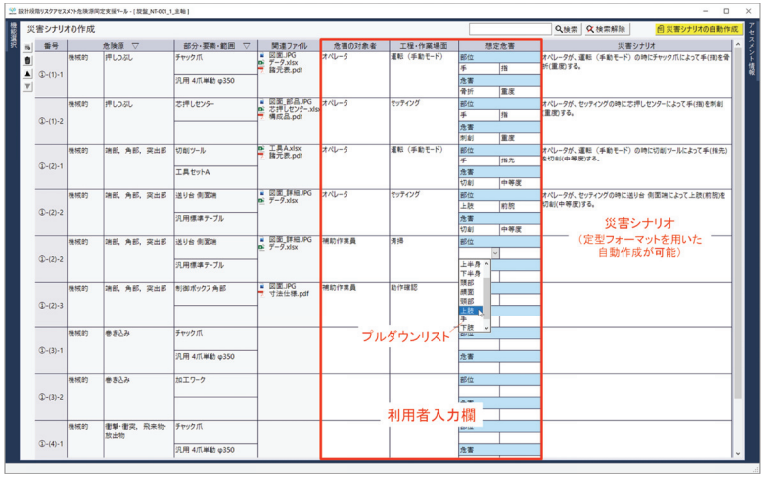


図３　本支援ツールを用いた「災害シナリオの作成」

危害の対象者や作業場面が異なれば，一つの危険源でも見積もられるリスクが増減し得ます．このため，まず初めの段階では，コピー機能を使って行を適宜複製し，すべての対象者や作業場面の場合に対する災害シナリオを作成しておくことが重要です．後の検討の結果，不要になったシナリオがあれば，行削除機能を使って整理できます．

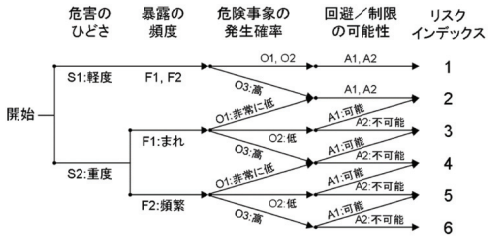
作成した災害シナリオは RA まとめ表として一覧化されますが，これは Excel シートの形式で出力できますので，以降の「リスクの見積り」，「リスク低減」で利用することが可能です．

2.4　リスクの見積りと評価（指針第 2 の 5）

「リスクの見積り」は，同定した危険源の各災害シナリオに対し，図 1 に示したリスクの構成要素を考慮して「危害の深刻さ」と「危害が発生する確率」を評価し，リスクを推定する手順です．その手法には様々なものがありますが，代表的な手法として表 3 に示すものが知られています．　また，図 4 は ISO/TR 14121-2 で紹介されているリスクグラフに一部加筆したものです．判定ノードの順序から，推定されるリスクのレベルは危害の深刻さに重点を置いた結果になるという特徴があります．

表３　代表的なリスク見積もり手法

手　法		概　要	特　徴
数値採点法	加算法	リスク要素毎に評価点を見積もり，それらの合計から評価点を導き，リスクレベルを決定する．	・リスク要素の拾捨選択が容易． ・保護方策実施の効果の比較がし難い． ・国内の労働安全分野では採用事例が多い．
	積算法	リスク要素毎に評価点を見積もり，それらを積算して評価点を導き，リスクレベルを決定する．	・リスク要素の拾捨選択が容易． ・加算法よりは保護方策の低減効果を反映可能． ・国内の労働安全分野では採用事例が多い．
マトリックス法		危害の深刻さと発生確率を多次元表（一般的には二次元表）で組み合せ，交差したセルからリスクレベルを決定する．	・機能安全規格，MIL 規格等に記載． ・保護方策実施前後の比較が行い易い． ・２つ以上のファクターを扱う場合，工夫が必要．
リスクグラフ法		リスク要素をノードとするツリー図を用いて，判定結果に応じた経路をたどることでリスクレベルを決定する．	・リスク要素に優先度を設けることができる． ・保護方策実施の効果の反映が比較的容易． ・ノードの枝数を増加すると著しく煩雑になる．



リスクインデックス	リスクレベル	リスク低減の実施
1 又は 2	I	可能な範囲で実施
3 又は 4	II	必要（優先度：低）
5 又は 6	III	必要（優先度：高）

各ノードの判定基準
危害の深刻さ（S）
S1：軽度の傷害（切傷，打ち身など）， S2：重度の傷害（回復困難，死亡）
アクセスの頻度／持続時間（F）
F1：15 分に 1 回未満かつ累積時間が全運転時間の 1/20 以下 F2：F1 以外
危険事象の発生確率（O）
O1：安全用途で実証，認知された成熟した技術 O2：十分に訓練を受けた実務経験 6 ヶ月以上の者による不適切な行動 O3：頻繁に故障がみられる（6 ヶ月以下毎），経験 6 ヶ月未満の者による不適切な行動，過去 10 年間に工場内で類似の災害があった
回避／制限の可能性（A）
A1：動作速度が 0.25m/s 以下であり，かつ，危害の対象者が危険事象発生の兆候に詳しい A2：A1 以外

図４　リスクグラフと判定指標の例

第3章　リスク低減の基礎

3.1　機械のリスク低減の原則

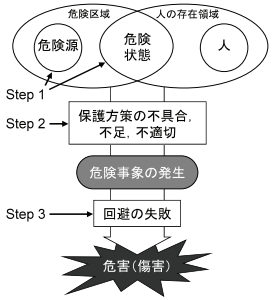


図５　危険源から危害に至る過程

リスクアセスメントの結果，リスクが許容できない場合にはリスク低減のための方策を講じます．ただし，その際の基本原則が ISO 12100 で定められており，包括安全指針もこれに従っています．

危険源が危害に至る過程は図 1 のように示せます．例として，機械プレスを用いた加工作業を考えれば，金型を備えたスライドが下降し閉じる動作は機械的危険源の 1 つで，手を挿入すれば指を押し潰されるおそれがあります．このため，加工材の供給／取出しを金型間に手を入れて行う必要がある場合，すなわち，危険状態が生じる場合では，プレスを作動させるときに可動式ガードをロックする又は光線式安全装置を設けて手の進入を検知したときに急停止させるなどの措置を講じる必要があります．ただし，これらに不備があって，危険限界内に手があるのにスライドが降下してきたら（又はスライドの降下中に手を挿入できたら），咄嗟に避けられれば危害に至らないが，通常，それは極めて困難です．

機械の設計段階で講じるリスク低減は，このような図 1 に示す災害シナリオの進展に依拠して，次の優先順に従って実施しなければならないと規定されています：

Step 1：本質的安全設計

「本質的安全設計」は，設計上の工夫や適切な機械の使用形態の設定によって危険源を除去又はリスクを低減する方策であり，最優先で検討する必要があります．意図的に無効化され得る「安全防護」，厳守されなければ意味をなさない「使用上の情報」よりも確実なリスク低減効果が期待できるためです．具体的には，図 1 に示したリスクの構成要素に照らして以下のような例が知られています．

危険源を排除する方策の例：
- 鋭利な角・突起・せん断部の除去．
- 挟圧箇所の間隔を広げる，又は，指などが挿入できないほど狭める
- 危険性/有害性のある材料・物質の代替え
- 有害な（不自然な）姿勢での操作，あるいは繰り返し動作の回避

危害の深刻さを低減する方策の例：
- エネルギの低減（駆動力や動作速度の減少）
- 爆発物質・粉塵・有害性排出物を除去する通気・排気システムの設置

危険状態が生じる必要性を無くす方策の例：
- 加工材の供給・取出しの自動化・機械化
- 作業方法や機器配置の変更．例えば，設定や保守を危険区域外で行えるようにする
- 設備の信頼性の向上による修復・修繕等の非定常作業の発生頻度の低減

前述のように，本支援ツールを用いた「危険源の同定」では，危険源や危険区域の技術的視点から見た特徴が「判断基準・定義」として，それらへのアクセス可能性を評価する「包括的な指標」と共に提示されます．このため，危険源として認識した部分／要素／区域が「判断基準」や「指標」に該当しなくなるように対象機械の設計を検討していくアプローチをとることで，適用できる本質的安全設計方策をより広い観点から考案（発想）することが可能になっています．

Step 2：安全防護

本質設計方策が適用できない又は不十分である場合，次のステップとしてガード又は保護装置を用いたリスク低減（これを「安全防護」という．）を検討します．安全防護はその原理により大きく次の 3 つに分けられます：

【方策 A】 人と危険源を物理的障害物で隔離する方策（図 1 では「暴露の頻度」を低減する）

【方策 B】 人の接近又は存在を検知して機械の危険な動作を停止させる方策（図 1 では「危険事象の発生確率」を低減する）

【方策 C】 危険区域外に人が退避したことに基づいて危険な動作を開始する方策（図 1 で「暴露の頻度」を低減する）

いずれを選択するかは，意図する使用の条件での危険源へのアクセスの必要性に応じて決まりますが．一般に A→C の順で検討するのが効果的です．ただし，無効化を防止するために，作業を妨げることを最小限に留めるよう配慮することが極めて重要です．

方策 A の例として，固定式ガード，施錠式インターロック付きガードがあります．これらは，リスクの構成要素のうち，危険源への暴露の機会を低減する効果があります．図 6 は，モータの回転停止確認に基づいてガードの開口部分が解錠される施錠式インターロック付きガードのシステム構成例で，危険源であるモータの回転動作が存在している間は，人はガードで隔離され，回転部付近（危険区域）にアクセスすることはできません．

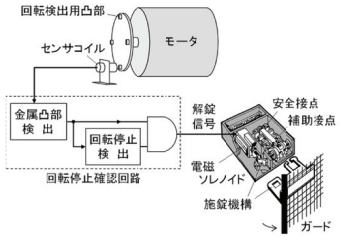


図6 回転停止確認に基づく施錠式インターロック付きガードの構成例

一方，方策 B の例としては，施錠なしインターロック付きガード，ならびに，光線式安全装置やマットスイッチといった検知保護設備（これらは保護停止機能と連係する）があり，方策 C に該当するものには，両手式操作スイッチやイネーブル装置（これらは起動操作機能と連係する）があります．また，方策 B 及び C は，主に危険事象の発生確率を低下させる効果がありますが，適用の際には以下の点に留意する必要があります．



図7 イネーブル装置の例

1) これらの方策が人の進入又は操作の中断を検出してから実際に機械の危険な動作が停止するまでの間には必ず遅れがあります．このため，イネーブル装置を除き，これらの方策は，その遅れの間に人が危険源に接触することを防止できるだけ危険区域から離れた位置に設置されなければなりません．詳細については，ISO 13855（JIS B 9715）参照．

2) また，これらの方策については，各々に詳細な技術基準を規定した ISO/JIS 規格が発行されているので，適用の際には考慮に入れる必要があります．

3) 機械安全の分野では，「非常停止装置」は安全防護とは異なる「付加保護方策」の一つに位置付けられており，上記の方策 A～C を代替えするものではありません．

4) 保護停止機能や起動操作機能といった制御機能と連係して作用する方策においては．それが担うリスク低減効果が高いほど，障害（故障）が発生したときの機能喪失によって増大するリスクも大きくなります．この点に関して次の 3.2 節で詳述します．

Step 3：使用上の情報

本質的安全設計及び安全防護を実施しても，なお残留するリスクについては「使用上の情報」として「視覚/聴覚信号による警報装置や警告標識」又は「取扱説明書等の付属文書」によって警告し，機械を使用する者による管理に委ねることになります．このうち，取扱説明書等の付属文書は，設計段階で実施したリスクアセスメントの前提条件，意図した正しい使用方法及び考慮した誤った使用などを伝達する手段としても重要です．これらに基づいて，保護方策を含む機械の正しい使用方法が遵守され，適切な個人用保護具の利用及び必要な教育訓練が使用段階で実施される条件であれば，「使用上の情報」には主に「危害を回避する可能性」（図 1 参照）を高める効果が期待できます．

なお，本支援ツールでは，「予見可能な誤使用」が危険源同定において「アクセスの可能性」を評価することで扱えるよう配慮してあります．予見可能な誤使用として判断した人が危険源にアクセスする状況は，必ず「使用上の情報」やユーザーに提供する「機械危険情報」を作成する際考慮しなければなりません。

3.2 安全機能の性能レベル

保護停止機能や起動操作機能など機械のリスク低減に関連した制御機能（以下「安全機能」という．）においては，それが担うリスク低減効果が高いより重要な安全機能ほど，その実行に関連する制御システムの部分（以下「安全関連部」という．）に障害（故障）が発生したことによる機能喪失のために起こるリスク増加の影響も大きくなります．このため，重要な安全機能に係わる制御システムの安全関連部には，障害が発生しても意図した機能を維持できる能力及び障害の発生を検出する能力の 2 つの観点で，より高い性能を有することが要求されます．

現在，安全関連部を設計する際の原則と割り当てられたリスク低減レベルに応じて達成すべき能力を定めた規格として，ISO 13849-1（JIS B 9705-1）と IEC 62061（JIS B 9961）の 2 つがあり，各々，表 4 に示す 5 段階のパフォーマンスレベル（PL a～e）と 3 段階の安全度水準（SIL 1～3）という性能指標が定義されています．

表4 パフォーマンスレベル（PL）と安全度水準（SIL）の関係

PL（ISO 13849-1）	単位時間当たりの危険側故障発生の平均確率 [1/h]	SIL※（IEC 62061）
a	10^{-4} 未満～10^{-5}	－（該当なし）
b	10^{-5} 未満～3×10^{-6}	1
c	3×10^{-6} 未満～10^{-6}	
d	10^{-6} 未満～10^{-7}	2
e	10^{-7} 未満～10^{-8}	3

※ 高／継続運転モード

要求される性能レベルを定める際のリスク見積り手法として，ISO 13849-1 ではリスクグラフ法を，IEC 62061 ではリスクマトリックス法を推奨しているなどの差異はあるものの，両規格が安全関連部を設計する上で重視している事項は多くの点で共通しています．特に，

- 両規格とも，単なる障害（要求された機能を果たせなくなること）の発生ではなく，機械を停止できなくなる状態を引き起こす故障（危険側故障）を問題としている．
- 危険側故障率を推定する要因には，構成部品の信頼性だけでなく，それ以上に，システムの構造（危険側故障に至るまでの障害の数）や故障検出機構の有無及び能力の高さが重視される．

・ ハードウェアの偶発故障の発生率だけでなく，仕様作成や概念設計，実装段階での人の過誤によって混入する故障要因（系統的故障）も評価の項目となっている．系統的故障を抑制・回避する方策には，例えば，関連する規格類の規定内容を設計に反映すること，開発プロセスの適切なマネジメント，デザインレビューや機能試験の適切な実施などがあり，これらの実施結果は文書化しておくことが要求されている．

ISO 13849-1 と IEC 62061 のいずれに従うかを問わず，安全関連部を設計・実現する際には以上の基本事項を押さえておく必要があります．なお，日本国内では，機械のリスク低減に直結する制御機能を構築する際の基本として，危険側故障を回避するための「安全確認形のシステム構成」，「安全情報のユネイトな伝達」，「ダイナミックなフェールセーフ信号処理」といったフェールセーフ技法がこれまで利用されてきました．これらに関しては，規格では直接的な言及はされていませんが，その内容を基礎知識として知っておくことは，危険側故障を問題にする両規格の要求事項を理解し，安全関連部を適切に設計・実装する上で極めて重要です．

3.3 リスク低減効果の評価

Step 1～3 の優先順に従って講じるリスク低減方策を考案する際，その効果は，第 2.4 節で述べた「リスクの見積りと評価」で用いたのと同様の推定手法で見積もり，さらなる低減が必要か判断します。各方策の効果は，リスク低減の不足を招かぬよう，図 1 に示したリスクの構成要素に及ぼす影響を考慮して合理的に評価することが重要です．

第4章 おわりに －適切なリスク低減の達成－

機械の設計段階で行うリスクアセスメントの標準的手順のうち，本支援ツールは，「危険源の同定」のみを対象にしたソフトウェアです．出力された Excel シートを用いて，それ以降の「リスクの見積もり」や「リスクの低減」へと進みましょう．その際，危険源を除去する又はガードや保護装置を設けるために設計を変更した後は，本支援ツールを使って改めて危険源同定を行い，新たな危険源がないか，アクセスが可能になっていないか，必ず確認します．すべての危険源を検討・評価して，目的である「適切なリスク低減」の達成を判断できれば，設計段階リスクアセスメントの終了を迎えることができます．そのためには，少なくとも，以下のすべてが満足されている必要があります．

・ リスクアセスメントでは，機械のすべての操作条件，介入手順，作業内容を考慮している．
・ 訓練を受けていない者や機械の知識のない者が使用する場合及び機械が非産業分野で使用される場合について考慮している．
・ 認識した危険源のすべてを削除した又は関連するリスクを合理的に最小と呼べるレベルまで低減している（同種の機械と比較して十分なリスク低減が図られている）．
・ 講じたリスク低減方策によって新たな危険源を生じていない．また，機械の利便性の低下あるいは使用者の作業条件の悪化を招いていない．
・ すべてのリスク低減方策は互いに干渉していない．
・ 残留リスクのすべてについて，使用者に警告・情報提供を行っている．

以上の事柄は，リスクがどの程度まで低減されたのかを評価するものではなく，リスク低減のために実施した活動内容の確認であることに注意が必要です．設計段階で可能な限りのリスク低減が行われていれば，災害は全く偶然で止むを得ない確率事象と認識され，機械の使用者は納得して残留したリスクの管理に取り組むことでしょう．すなわち，設計者が使用者に代わってリスク低減の適切さを判断するには，実施した活動の正当性と講じた技術の限界がユーザーに示されなければなりません．国際的に標準化された「機械の安全性」は，止むを得ない災害を明らかにするプロセスで得られるものだからです．

参考文献

本書を読む上で併せて参照すべき資料をその入手先と併せて以下に記します：

1） JIS B 9700：2013 “機械類の安全性 － 設計のための一般原則 － リスクアセスメント及びリスク低減”（日本産業標準調査会 JISC の下記 URL より閲覧可能）
https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html

2） 厚生労働省：機械の包括的な安全基準に関する指針．
https://www.jaish.gr.jp/horei/hor1-48/hor1-48-36-1-4.html

3） 厚生労働省：「機械の包括的な安全基準に関する指針」の解説等について．
https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-48/hor1-48-37-1-0.htm

4） 厚生労働省：機械譲渡者等が行う機械に関する危険性等の通知の促進に関する指針．
https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-2/hor1-2-228-1-0.htm

5） 厚生労働省：～メーカー向け～ユーザーへの機械危険情報の提供に関するガイドライン．
https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/110506.pdf

6） 東京海上日動リスクコンサルティング：メーカー等向け機械災害予防セミナー テキスト．
https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/120501_1.pdf

7） 中央労働災害防止協会：機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）．
https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-1.pdf

8） 中央労働災害防止協会：機械設備のリスクアセスメントマニュアル別冊（機械設備製造者用）
https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100524-2.pdf

9） 中央労働災害防止協会：機械安全規格を活用して災害防止を進めるためのガイドブック．
https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyoku/kikai_kikaku_2.pdf

また，機械の設計段階リスクアセスメントをより深く理解する上で参考になる資料を以下に記します：

10） 日本機械工業連合会：メーカーのための機械工業界リスクアセスメントガイドライン．
http://www.jmf.or.jp/japanese/standard/pdf/hyojun_guideline.pdf

11） 日本工作機械工業会：機械安全教育テキスト（工作機械設計・製造管理者向け）．
https://www.jmtba.or.jp/archives/8828

12） 安全技術応用研究会（編著）：安全システム構築総覧（増補改訂版）．日経 BP（2012）．
https://bookplus.nikkei.com/atcl/catalog/12/198080/

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	中小機械製造業者を対象とした設計開発段階での危険源同定の支援に関する考察	日本機械学会北陸信越支部第58期総会・講演会講演論文集	No.217-1	B032	2021
入沢和, 芳司俊郎	中小企業の機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発	日本機械学会北陸信越支部第58期総会・講演会講演論文集	No.217-1	B034	2021
池田博康, 齋藤剛, 岡部康平	ロボット介護機器の運用時のリスク低減効果を含めた包括的リスクアセスメントの考え方	日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会講演論文集	Vol.2021	1P1-C02 (1)-(2)	2021
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	産業用ロボットシステムの設計段階での危険源同定の支援に関する考察	日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会講演論文集	Vol.2021	1P1-C03 (1)-(3)	2021
Saito T., Ikeda H., Hamajima K.	Basic Consideration on Implementation Support of Risk Assessment for Machinery	10th Int. Conf. on Safety of Industrial Automated Systems（SIAS2021）	―	PO-T10	2021
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	機械設備の設計段階でのリスクアセスメント実施支援の提案	第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集	―	1311-1314	2021
入沢和, 芳司俊郎	中小企業の機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発	第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集	―	1293-1297	2021
芳司俊郎, 入沢和, 木村哲也, 齋藤剛, 池田博康	小規模事業場の労働災害防止のための簡易リスクアセスメントの提案	日本機械学会2022年度年次大会講演論文集	No.22-1	S172-02	2022
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	機械の設計段階における危険源同定支援ツールの開発 －支援方法の提案とプロトタイプの概要－	日本機械学会2022年度年次大会講演論文集	No.22-1	s172-05	2022
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子, 芳司俊郎	危険源同定に着目した機械設備のリスクアセスメント支援ツール	計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2022講演論文集	―	412-415	2022
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	機械の設計段階における危険源同定の支援方法と手段の提案	第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集	―	1846-1849	2022

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
齋藤剛, 濱島京子, 池田博康	機械の設計段階で実施する危険源同定の支援方法と手段の提案	労働安全衛生研究	JOSH-2022-0028-JI（J-STAGE 早期公開）	https://doi.org/10.2486/josh.JOSH-2022-0028-JI	2023
芳司俊郎, 入沢和, 木村哲也, 齋藤剛, 濱島京子, 池田博康	中小規模の事業場を対象とした機械の危険源同定支援アプリの提案	労働安全衛生研究	印刷中（2023年5月10日受理）		2023
齋藤剛, 畑幸男	機械設計技術者を対象にした危険源同定支援方法の有効性評価	労働安全衛生研究	投稿中		