厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

総括研究報告書

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（労働安全衛生総合研究所）

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などを一般化して，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，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。第 3 年度（令和 4 年度）において，各項目で得られた結果及び考察の要点は次のとおりである。

<u>項目 1：設計段階 RA 支援システムの開発</u>

1）昨年度までの検討において，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。

2）上記①～④を総合的に検討し，これらを統合する形で，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。

3）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。

4）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）考案した危険源同定手法を事業場で実行できる具体的手段の例として，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試作し，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。これを受けて，本年度では，機械を用いて生産活動を行う中小規模事業場を対象に，安全担当者にアンケートを行う形で評価を実施した。

3）その結果，試作した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）昨年度までに，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 手法で扱える機械を 15 種に拡充し，整備した情報を実装して，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。その際，タブレット PC の長所を活用した支援機能として，安全の専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組み「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。

2）本支援システムを用いて，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。

3） 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，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。

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。

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。

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。初年度では，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。

3.2 本年度の検討事項

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，初年度では，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。さらに，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た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。

次に，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 Origin（原因）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，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。

第 3 年度にあたる本年度では，策定した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 3.3 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 3.4 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 3.5 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 試作した危険源同定支援ツール

3.3.1 C 規格の適用に着眼した開発コンセプト

前年度までに，異なる三つの危険源同定支援のアプローチを考案し，さらに，アクセス可能性の評価に対する支援も検討した。そして，最終的にはこれらを統合する形で，項目 1 で開発する危険源同定支援ツールのコンセプトを定めた [24]。改めてその要旨をまとめると以下のようになる。

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 マーキングという制度が確立しており，メーカ又は輸入者は適用される欧州指令の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が義務付けられている。産業用機械については，少なくとも機械指令 [19] が必ず適用され，附属書 I の EHSRs を満足する必要がある。EHSRs では，設計段階で対処すべき種々の危険と共に，対象機械に該当する条項を決定するため及び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包括的な RA の実施が規定されている。この要求に関し，欧州委員会がメーカに向けて発行した機械指令適用ガイド [25] では，「対象の機械に 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，その適用によって RA のプロセスが簡易化される」と説明されている。これは，前述した機械安全規格の作成指針にある C 規格の策定ルールに基づく。すなわち，C 規格の策定過程では，次の二つが定められており，C 規格を参照しながら設計対象とする機械を検討することによって設計段階 RA が容易に進められるのである：

① 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を規格作成に携わる者らが自身の知識と経験に照らして重要危険源として同定すること。

② 同定した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規定すること。

上記①で同定した結果は C 規格で一般に「重要危険源リスト」として一覧化されるが，これは，設計対象機械において最低限認識しなければならない危険源の範囲を明確に示したものと見做せる。ただし，単純にリストの参照が危険源同定

（ひいてはRA全体）の実施を容易にする訳ではない。例として，旋盤のC規格ISO 23125[26]の重要危険源リストから機械的危険源の一部を抜粋したものを表6と表7に示す。ここで表6は，規格に記載どおりにリストを再掲したものである。旋盤での状態の説明が一部に付加されてはいるが，ISO 12100の危険源リストと同様，危険源自体は一般化された表現の列記に留まり，同定すべき危険源が明示されているとは必ずしも言えない。これに対し，表7は関連する要求事項を併記したリストで，このようにして初めて，例えば，「加速／減速」については少なくとも「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，また，「重力」については「垂直軸又は傾斜軸の予期しない動き」を同定（検討）すべきであることが読み取れる。また，動力プレスのC規格ISO 16092-1[27]の重要危険源リストから機械的危険源の一部を抜粋し，関連する要求事項を併記したものを表8に示す。旋盤と同様，要求事項を併記することで，例えば可動要素／回転要素では，スライドが作動する金型領域以外にも，ノックアウト装置や送り装置，電源の異常による金型の落下，33 mm/s以上で送られるコイル端などが同定すべき対象となっていることが読み取れる。

このように，機械指令適用ガイドで「C規格の適用によってRAが簡易化される」が指す意味は，「適用範囲とする機械に一般的に見られる又は重篤な危害に至るとして同定された危険源に対して規定された要求事項を参照することで危険源の認識が容易になる」ことと解せる。これより基本となる着想を得て，本研究では，次に述べる二つの側面からの危険源同定の支援を考案するに至った。

1）「危険源のOrigin」の認識の支援

C規格の重要危険源リストと要求事項を参照することで，知識や経験の限られた設計者でも検討すべき危険源を比較的容易に把握できるようになると考えられる。しかし，C規格が制定されていない機械又は適用範囲から除外されている機械に，このアプローチは適用できない。さらに，C規格が制定されていても，設計対象とする機械の機能や特性によっては規格が扱っていない危険源が潜在している場合もあり得る。

そこで本研究では，すべての機械に共通して適用されるA／B規格の要求事項に着目することとした。これらの規格で，要求事項として規定された機械の部位，動作範囲，機能，状態などは，すべての機械に共通する一般に広く認識された危険源のOrigin又は危険区域と見做せ，危険源同定において最低限検討すべき必須の対象として設計者を支援する情報になると考えたためである。具体的には，以下の①～③をJISとして制定されている現行のA及びB規格に対して行い，危険源の原因／危険区域の判断基準／定義のリストを作成して提示することを提案する：

① まず，特定のA又はB規格の各要求事項から対象となっている機械の部位や要素，動作範囲などを最低限認識すべき危険源のOrigin又は危険区域として抽出する。

② 次いで，抽出した危険源のOrigin／危険区域に関連する他の規格や技術文書などを参照して補足情報を加える。

③ 最終的に，設計者が機械安全の知識に関わらずに技術的視点から客観的に設計対象機械に該当するか判断できるように，危険源のOrigin／危険区域を判断基準／定義の形式で記述する。

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／定義リストを表9に示す。各々の判断基準／定義に記した具体的な数値は，「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。一方，「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，リストでは（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。

このようなリストをA／B規格すべてを対象に作成すれば，設計者は，提示される項目に従い，順に，設計対象機械に該当する部位や形状，機構部分などの有無を判定していく手順で，最低限認識すべき危険源の原因を網羅した危険源同定を実施できると考える。なお，このように危険源の原因を出発点とする危険源同定の実施方法はボトムアップアプローチ[28]（図5参照）と呼ばれるもので，現行のA／B規格の要求事項を一つ一つ読み込み，自らの知見に基づいて又は関連規格などを参考にして，その適合を判断していくことと実施的に等価である。これが独自に行える設計者に対しては大きな支援効果は期待で

きないが，起こり得る危害を出発点に検討する場合と比較して，RA を実施する者に創造的思考を求めずに，網羅的な結果を得ることができる（一方で作業量はより多くなる）とされている。

2)「アクセスの可能性」の評価の支援

一方，危険源同定では，単に危険源の原因を認識するだけでなく，それらに人がアクセスする可能性を評価する必要がある[24]。本研究では，これに対する支援としても機械安全規格の要求事項の活用を提案する。すなわち，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，「アクセス可能である」と見做すこととする。その上で，そのような物理的空間の有無を客観的に判断できるように，複数の機械安全規格から，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抽出して一つに統合し，包括的な指標として危険源同定の際に判断基準／定義と併せて提示する。これにより，設計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客観的にアクセスの可能性の有無を評価することが可能になり，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，ユーザの合理的に予見可能な誤使用などを踏まえて，RA 実施者がアクセスを想定／発想する必要性は大きく減らせると考えられる。

この方針で作成した評価指標の一部を図 6 に示す。ここで，1）は ISO 13857[29] 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[30] 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 の値を適用して作成している。また，C 規格の中にも独自の基準を設けたものがあり，例えば，動力プレスの C 規格 ISO 16092-1 では，加工領域内に全身では侵入／滞在できない基準として，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 以下を定めていることから一部で参考とした。

3.3.2 試作した危険源同定支援ツールの概要

C 規格の適用が RA の実施を容易にするという EU の考え方に着想を得て，A／B 規格の要求事項を活用して，危険源同定に含まれる二つの側面から，設計技術者が，機械安全の知識に関わらずに技術的視点から客観的に最低限認識すべき危険源を同定できるよう支援する方法を提案した。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，本研究では上述のコンセプトを採用することとした。

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の対象としている場合に，「適切なリスク低減の達成」[24] を根拠立てて判断する上で大きく貢献すると期待できる。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。

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。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。

なお，前年度までの検討から，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[31] 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，本支援ツールを利用するタイミングとしては，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。

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 7 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」（表 9 参照）と「アクセス可能性の評価指標」（図 6 参照）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が本研究の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 8 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 9 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

表 9 に示した，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，形状規定などである。

なお，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[32]，JIS B 8370[33]，JIS B 9960-1[34] 及び JIS B 9705-2[35] の 5 規格を抽出対象と定め，表 10 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 3.3.1 項の 2）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。その上で，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 6 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 9 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 10 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 [17] 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，初年度に調査した市販 RA 支援ツールの一つ [36] 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 11 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。

3.4 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

3.4.1 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。

3.4.2 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。

3.4.3 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 13 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 [8,9]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 14 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，労働安全コンサルタントからの指摘（第 3.4.1 節 5)）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 3.4.1 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 15 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，一部に差異はあったが何らかの修正が必要であると分かった。

3.4.4 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などをまとめた，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。

3.5 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，初年度に行った既存の市販 RA 支援ツールに関する調査の結果[24]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。

初年度に検討した「RA 各手順での必須実施事項」[24]検討結果に基づき，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）にあるチェックリストを引用して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」として扱うこととし，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）RA 手順で危険源同定に続く「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る。そこで，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。

3.6 本章のまとめ

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 [37, 38)]。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 [37)]。

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16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[39]。

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 [15]，労働災害（死傷）データベース [16] 及び機械災害データベース [17] 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 17 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 18 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 18 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 18 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 [40]。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 19 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 11 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 20 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 12 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 13 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 11 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 [41] 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 [42] 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（以下，「簡易 RA 支援システム」という。）を昨年度までに構築した [24]。

これを用いて，本年度では，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（労働者数：13～104 人）の安全管理担当者等を対象に，簡易 RA 手法及び構築した支援システムの有効性を評価した。その結果，すべての回答者から概ね肯定的な評価を受け，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 の支援として所要の目的を一定程度達成したものと判断できた。以下に，簡易 RA 支援システムの概要として，RA の具体的手順，基本機能，機器構成，操作手順などを概説した後，本調査の概要と結果に対する考察を述べる。

5.2 簡易 RA 支援システムの特徴

前述した典型災害事例を利用して行う簡易 RA は，一般に行われている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，図 21 参照）ではなく，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，図 22 参照）である点に特徴がある。このようなシステムでは，簡易 RA による効果を災害発生率の減少という科学的根拠に基づき定量的に推定できるという点に特徴がある。そこで，最近の ICT も活用し，簡易 RA 結果の保存，保護方策に必要な情報の提供，及び専門家の支援による妥当性確認などを適切に行うことが可能な簡易 RA 支援システムを構築した。

以上は未だ開発途上にあるが，現段階での要点をまとめると次のようになる。

(1) 災害が多発している機種への重点化

平成 22～25 年に発生した全労働災害の中から，機械に起因する労働災害を選び，労働災害が多発している機種の抽出を試みた。このうち，休業 4 日以上の死傷災害は 76,075 件，死亡災害は 870 件であった。

分析の結果，機械に起因する死傷災害の 75%は，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，機械による死亡災害の 83%は，建設用機械，クレーン及び移動式クレーン，フォークリフトなどの 16 機種（上記の 16 機種とは別）で多発していた。

そこで，災害の 8 割近くを占める上記の 20 機種（死亡災害と死傷災害での重複を考慮した機種）に重点化を図り，簡易 RA を実施できるシステムを構築した。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。

(2) 災害多発機種を対象に典型災害事例の抽出

重点化した20機種を対象に典型災害事例を抽出した。しかし，人によって典型災害事例の表現方法が異なると，災害情報を適切に伝達できなくなる。そこで，典型災害事例の表現方法を標準化するために，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種類の項目で典型災害事例を表現する。

(3) 簡易RA用チェックリストの作成

以上の典型災害事例に関する情報を基に，小規模事業場の担当者でも簡単に実施できる簡易RA用チェックリストを作成する。このチェックリストには，典型災害事例ごとの方策の例と参考となる技術情報（技術的方策，人的方策，管理的方策）を添付する。また，必要に応じて，タブレットPC上から災害防止に役立つ情報（当該機種の機能やRA結果に関する動画，静止画，文字情報なども含む）も参照できるようにする。なお，事業場によっては典型災害事例以外にもチェックが必要な事例が考えられる。また，作業によっては，技術的方策だけでなく人的方策や管理的方策でチェックが必要な項目も考えられる。このため，チェックリストにはこれらの項目を追記する欄も設けている。

(4) 現場での簡易RAの実施

担当者は，チェックリストを順番にチェックし，該当する典型災害事例があるときは別途提供される情報に基づいて必要な方策を講じる。また，上記で述べた(3)に追記した項目もチェックし，必要な方策を講じる。

(5) 妥当性の確認

簡易RAを実施した結果は，ICTなども活用し，必要に応じて専門家の支援を得られるようにする。具体的には，専門家に対して，タブレットPC上で実施した結果に現場作業の動画なども添付して送り，専門家が遠隔で結果の妥当性を確認するなどの方法が考えられる。

5.3 簡易RA手法の具体的手順

第5.2節で述べたように，労働災害の8割近くを占める典型災害事例に重点をおいて簡易RA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がある。そこで，次にこの点を検討した。図23は，提案する典型災害事例を用いた簡易RA手法の手順である。ここでは，次の順序にしたがって簡易RAを実施する[3, 38, 43]。

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という利点がある。これは，労働災害の経験が少ない小規模事業場にとって大変効果的な手法となる。例えば，図24はフォークリフトを対象とした典型災害事例で，フォークリフトで発生する可能性が高い危害（典型災害）が示されている[43]。

したがって，実際の現場でRAを実施する場合は，この典型災害事例のシートの上から順番にシートに記載された労働災害（典型災害事例）が発生する可能性があるか否かをRAの実施者が判定し，発生可能性がある労働災害に対して確実に方策を実施して行けばよい。

このようにすれば，例えばフォークリフトの典型災害事例のシートには全体の72.2 %を占める典型災害事例が記載されているから，少なくとも全体の7割近くの労働災害を未然防止できる可能性があると推察される。

2) ステップ2（リスク評価）

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。

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（表14参照，様式A）と管理的方策（表15参照，様式B）がある。そこで，技術的及び管理的方策の中から必要な保護方策を選んで評価結果の記録表（表16参照，様式C）に記録する。

表14～16はフォークリフトの様式A, B, Cの記載例である。実際の検討では，様式Aと様式Bに記載されていない保護方策が必要になることがある。また，様式Aと様式Bに記載された保護方策の内容が不十分であるときは，RAの実施者が追記を行うことも考えられる。そこで，この点を自由記入できるように様式を工夫した。この自由記入の欄を設けたことによって，現場の創意工夫を反映できると考えられる。

4) ステップ4（評価結果と残留リスクの記録）

前述した様式C（表16参照）を完成させて，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管理的方策も併せて記載することが重要である。

また，様式 C では小規模事業場の管理者への連絡事項（管理者に何をしてもらいたいか）と，機械のメーカへの連絡事項（メーカに何を希望するか）を記入する欄を設けた。この欄を記載することで，簡易 RA を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，小規模事業場の管理者や機械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。

5）ステップ５（妥当性確認，見直しと修正，及び記録の保存）

このステップでは，専門家がタブレット PC を利用して「遠隔安全診断」を行い，RA の実施者が行った RA の妥当性を確認し，必要な場合は見直しと修正を行う。

ここで「遠隔安全診断」とは，RA の実施者がタブレット 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メールで送り，RA の妥当性を専門家に判定してもらうことをいう。

この遠隔安全診断の採用によって，関係者は RA の記録を確実に保存できるために，類似の機械への応用や結果の統計処理も容易に行えるなどの利点がある。

5.4 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。ここでは，特に以下の点に留意した。

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 [24]。本研究で構築した簡易 RA 支援システムを図 25 に示す。

5.5 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。

5.6 簡易 RA 支援システムの有効性評価

構築した簡易 RA 支援システムを用いて，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 17 参照）の工場長や安全管理担当者を対象に，提案する簡易 RA 手法及び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 18 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。

5.7 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，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。

前年度では，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。これを受けて，本年度は，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）を収集する調査を行った。

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 26 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 26 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

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 [44)] 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。

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[45]，ドイツ法的災害保険の研究機関（IFA）が公開している SISTEMA[46]）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, 47] 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）[48] 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，特に重要な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。第 3 年度（令和 4 年度）において，各項目で得られた結果及び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) 昨年度までの検討において，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。

2) 上記①～④を総合的に検討し，これらを統合する形で，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。

3) 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。

4) 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) 既実施研究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）考案した危険源同定手法を事業場で実行できる具体的手段の例として，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試作し，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。これを受けて，本年度では，機械を用いて生産活動を行う中小規模事業場を対象に，安全担当者にアンケートを行う形で評価を実施した。

3）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）昨年度までに，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 手法で扱える機械を 15 種に拡充し，整備した情報を実装して，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。その際，タブレット PC の長所を活用した支援機能として，安全の専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組み「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。

2）本支援システムを用いて，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したことが確認できた。

3）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作成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。

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/anzen_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) 齋藤剛，濱島京子，芳司俊郎，清水尚憲，池田博康，梅崎重夫，木村哲也:“厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業「機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発」令和 3 年度総括研究報告書”（2022）

25) 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）

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

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

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

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

30) 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”）

31) 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）

32) 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”）

33) 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”）

34) 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”）

35) 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”）

36) 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（2023 年 5 月 25 日確認）

37) 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）

38) 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）

39) 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）

40) 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）

41) 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）

42) 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）

43) 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）

44) 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）

45) 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）

46) 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）

47) 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）

48) 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”）

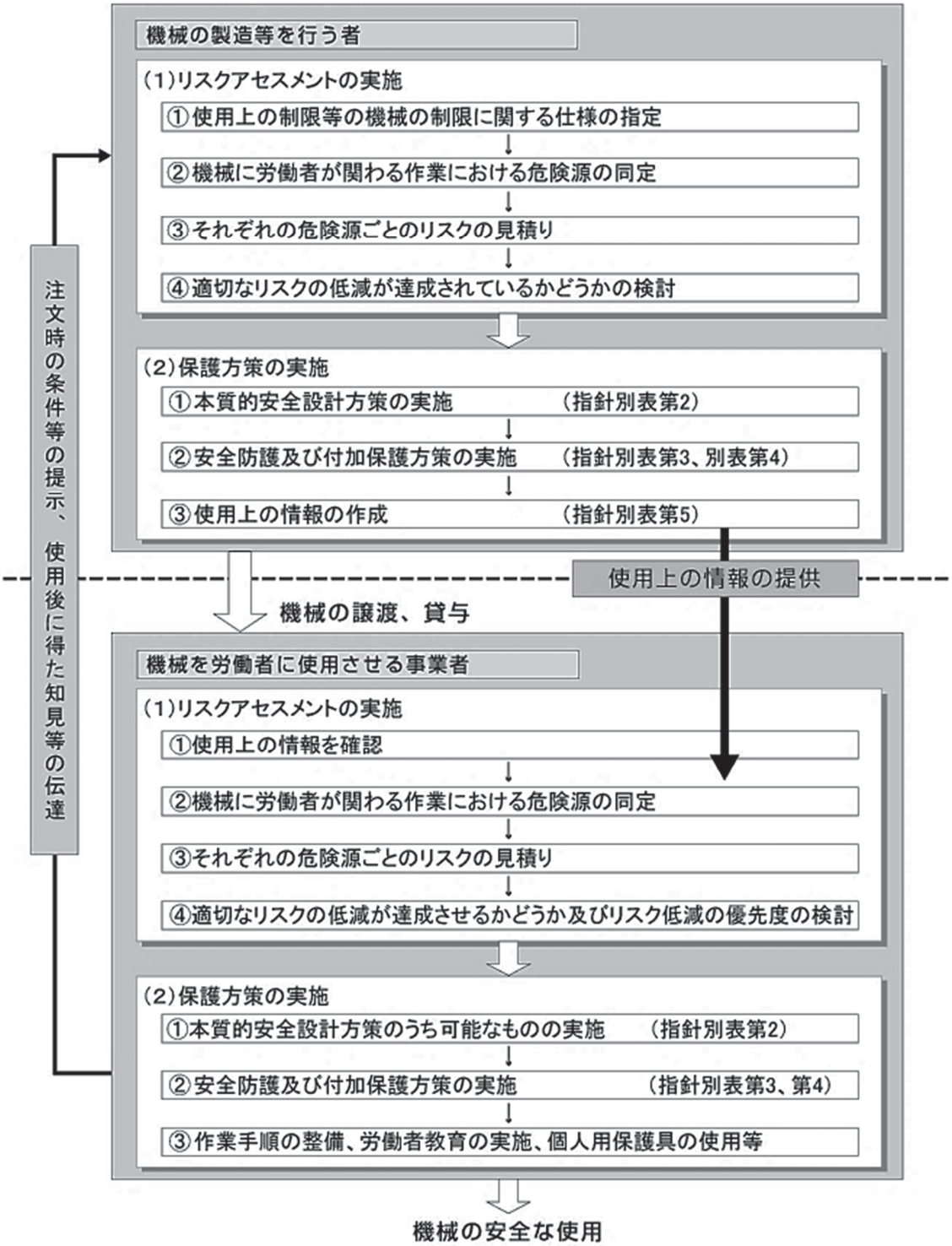


図１　機械の安全化の手順

（出典：厚生労働省「平成 19 年基発第 0731001 号」）

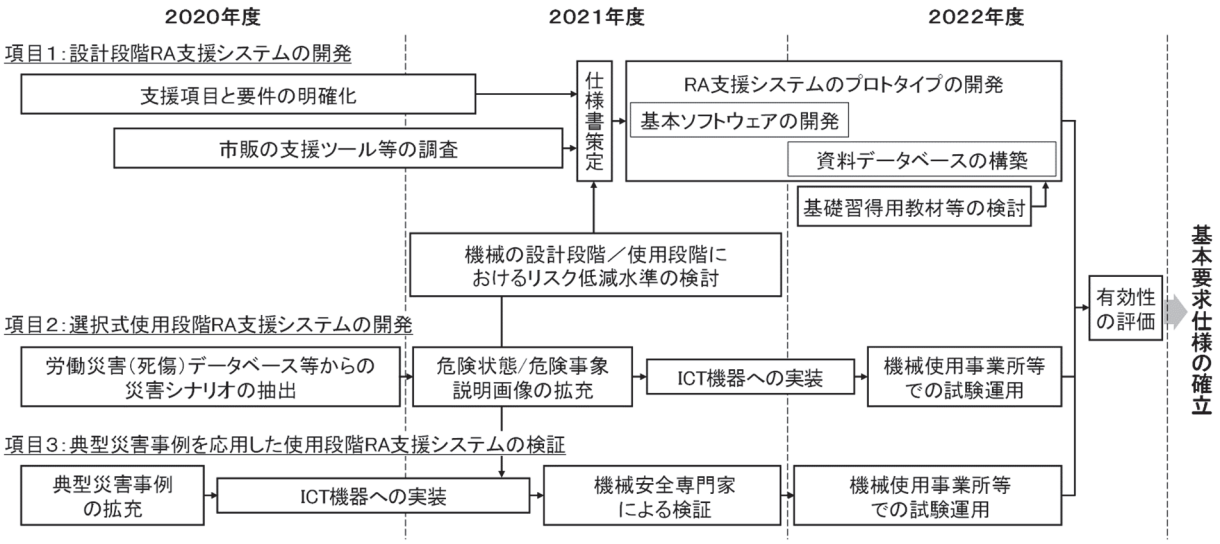


図２　本研究の全体計画と実施項目

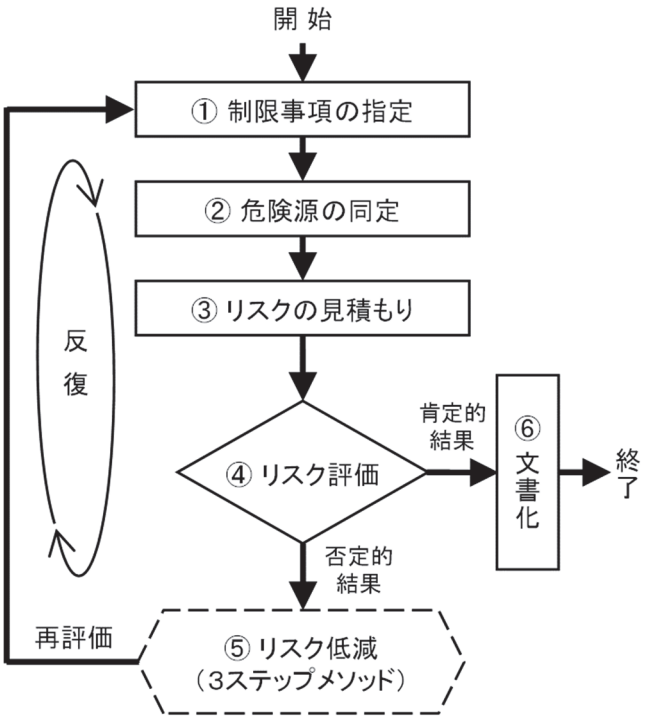


図３　標準化された設計段階のリスク低減プロセス

※ 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。

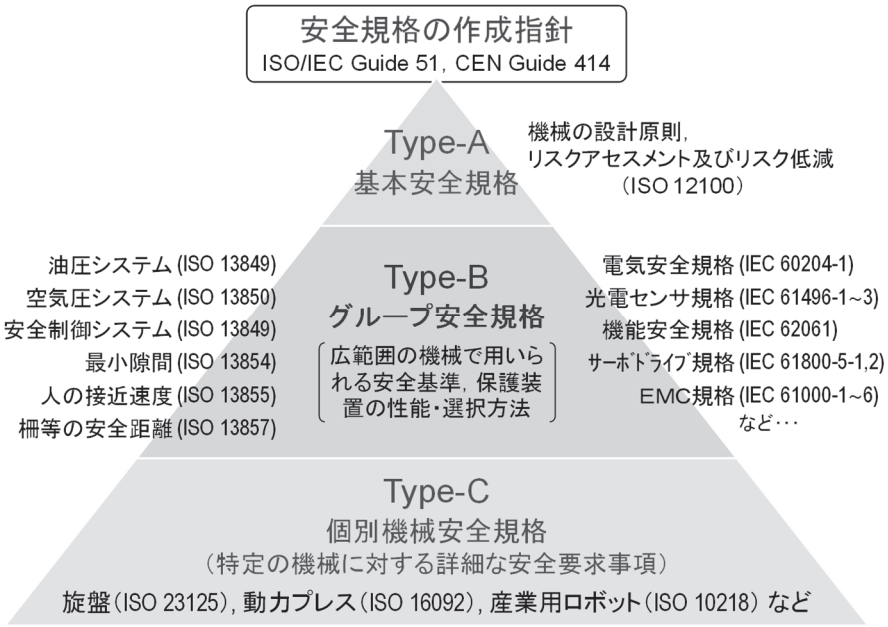


図 4　機械安全に関わる国際規格の体系

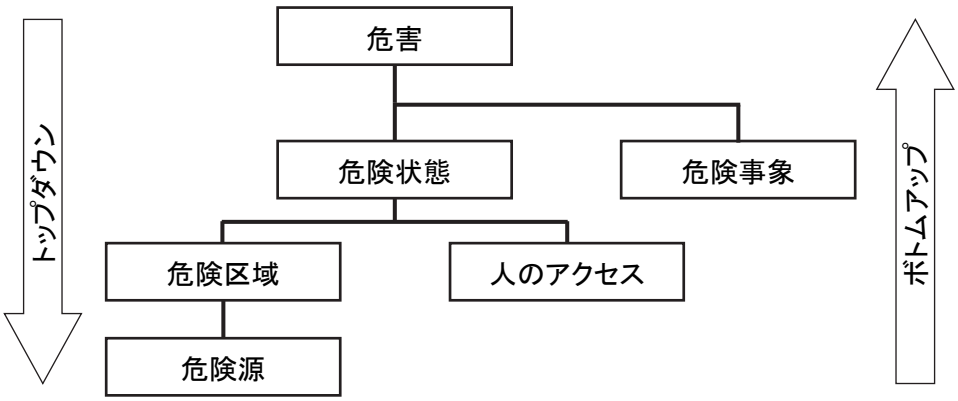


図 5　危険源同定の二つのアプローチ

(ISO/TR 14121-2:2012 図1[24]に基づき著者作成)

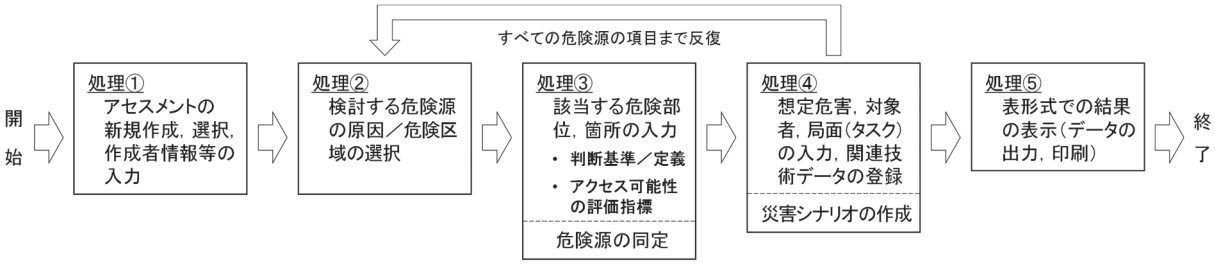


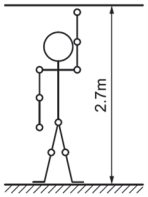
図 7　本支援ツールの処理の流れ

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**

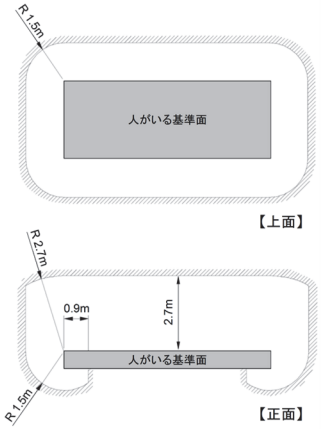


2）機械の運転中に人がいる基準面（例：床，踏み台，作業用プラットフォーム）の各端面から，右図にハッチングで示す領域の外まで危険源が離れていれば，素手では接触できないと考えてよい（手に持った工具などは接触する可能性がある）。

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**

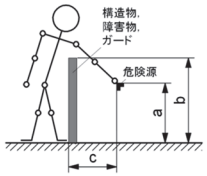
IEC 60364-4-41：2005/AMENDMENT 1：2017「低圧電気設備－ 第 4-41 部：安全保護－感電保護」，**付属書 B**



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，間隙又は長方形，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。

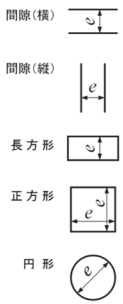
なお，開口寸法が 180 mm 以上の間隙又は長方形，ならびに，240 mm 以上の正方形又は円形開口については，次項の 4）を併せて検討する必要がある。

【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】



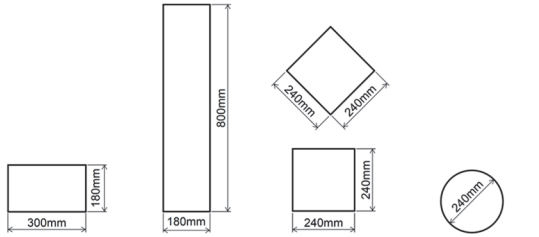
単位 mm

開口寸法	基準となる距離		
	間隙，長方形	正方形	円形
e≦4	≧2	≧2	≧2
4＜e≦6	≧10	≧5	≧5
6＜e≦8	≧20	≧15	≧5
8＜e≦10	≧80	≧25	≧20
10＜e≦12	≧100	≧80	≧80
12＜e≦20	≧120	≧120	≧120
20＜e≦30	≧850 a)	≧120	≧120
30＜e≦40	≧850	≧200	≧120
40＜e≦80	≧850	≧850	≧850
80＜e≦95	≧1 100	≧850	≧850
95＜e≦180	≧1 100	≧1 100	≧1 100
180＜e≦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６　危険源へのアクセス可能性を評価する参考基準（抜粋）

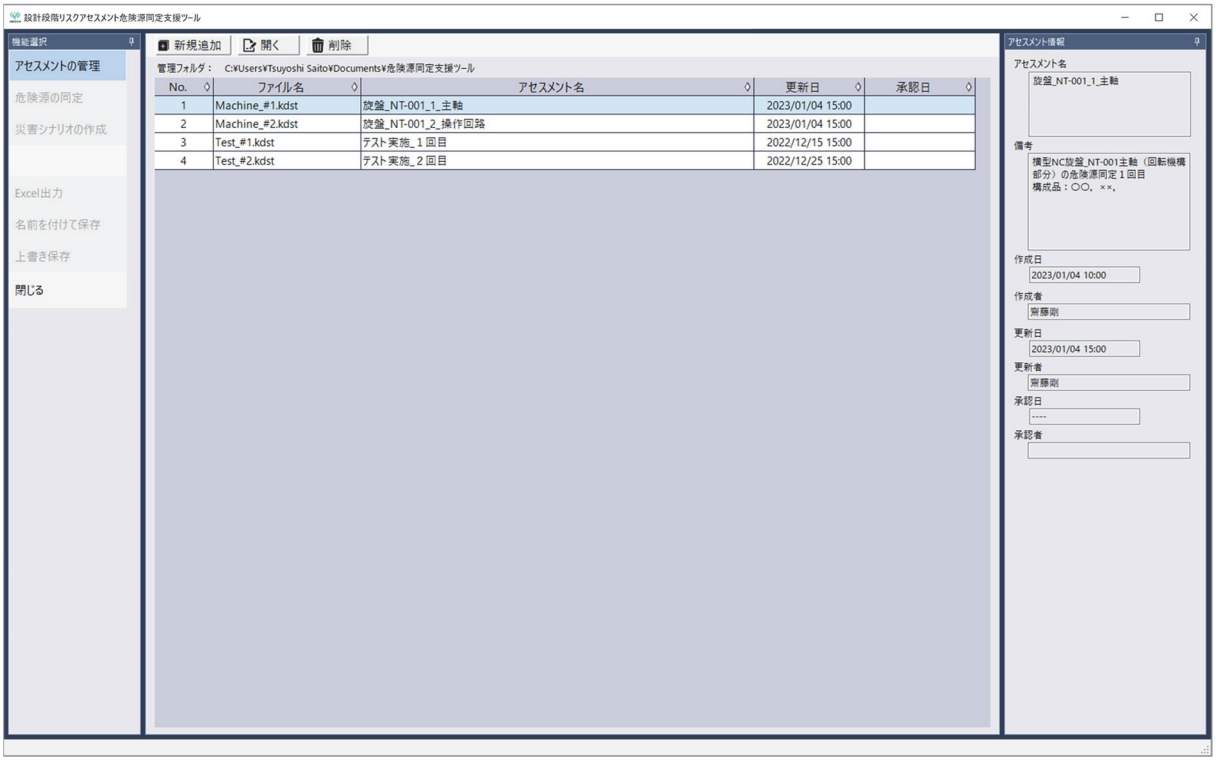


図８　画面Ⅰ「アセスメントの管理」

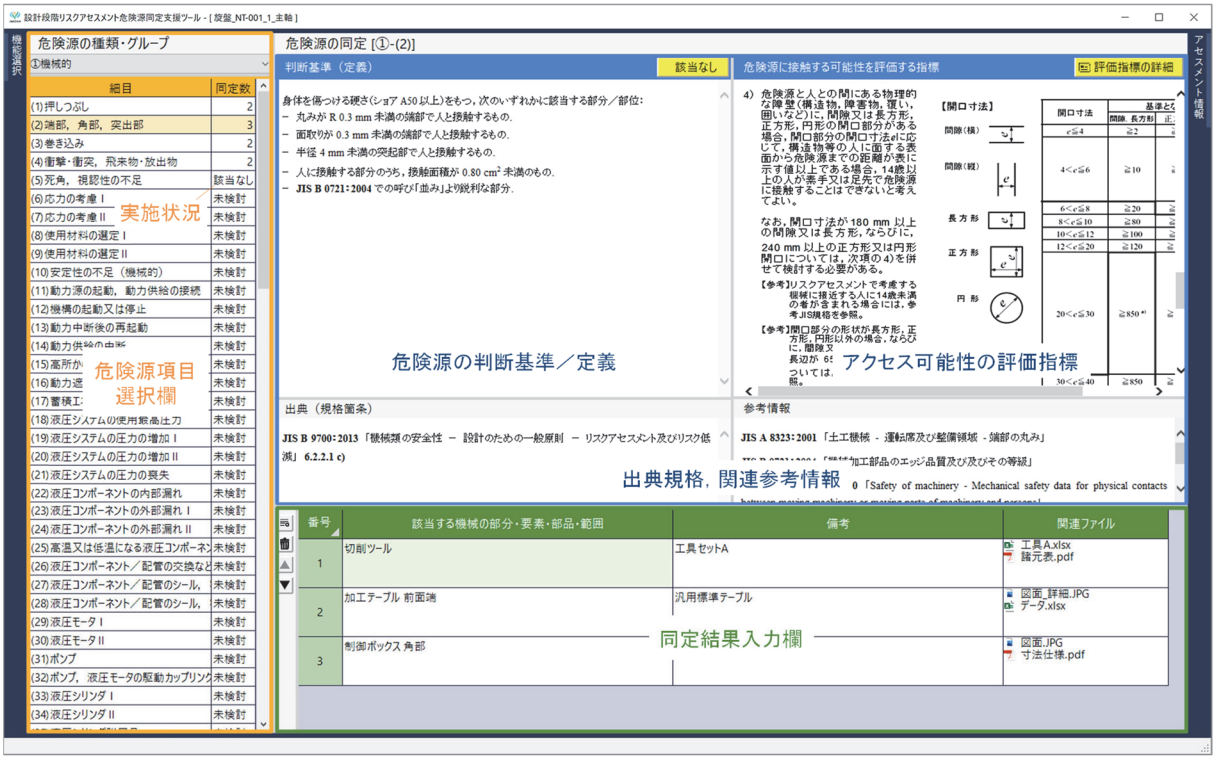


図９　画面Ⅱ「危険源の同定」

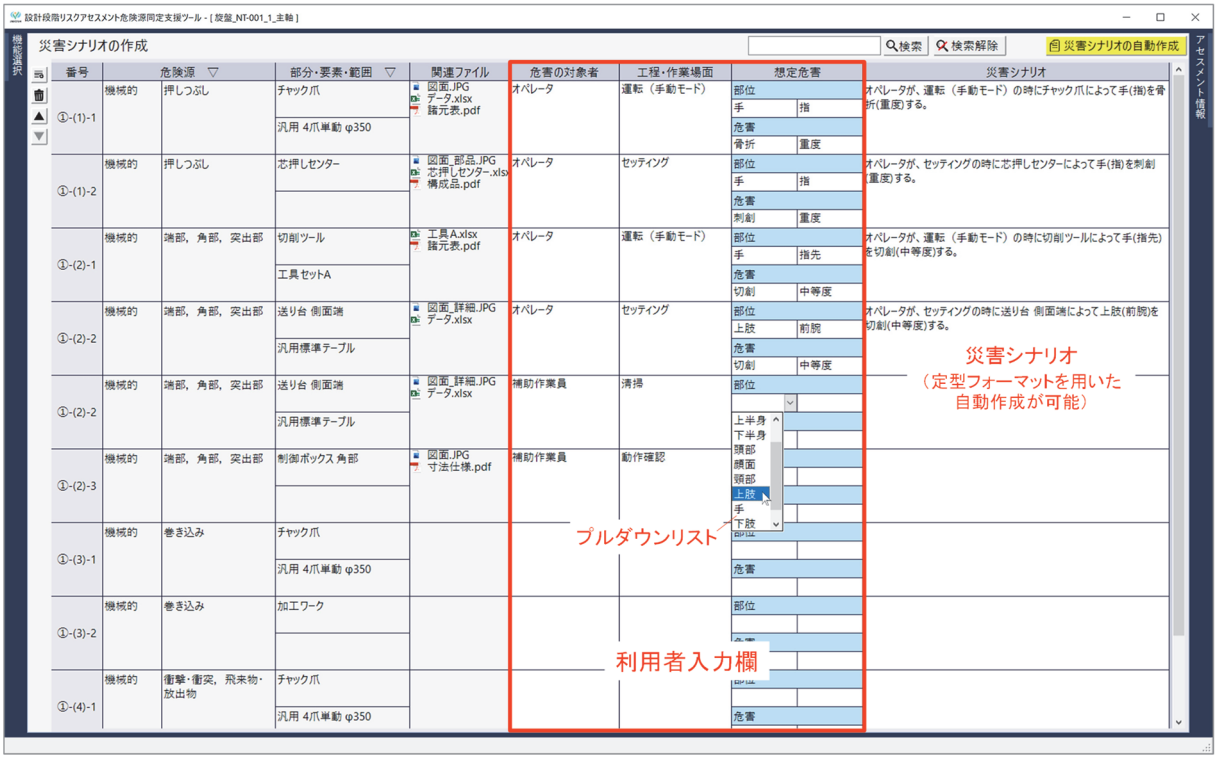


図 10　画面Ⅲ「災害シナリオの作成」

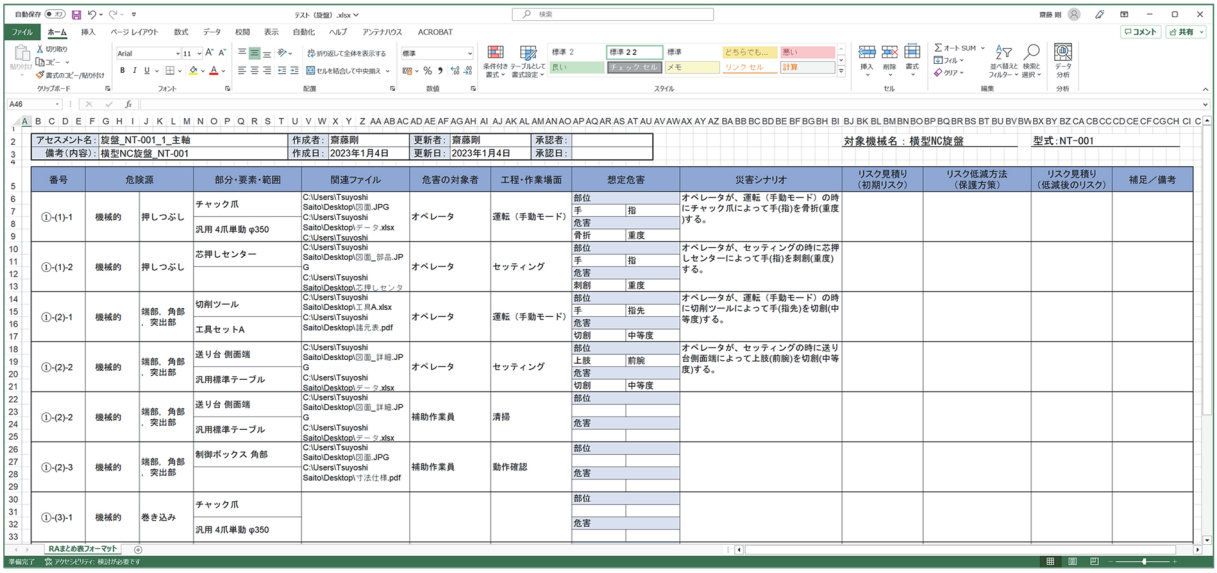


図 11　危険源同定結果の Excel シートへの出力例

問（1） RA実施の経験はあるか？

A 2名	B 3名	C 6名	D

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？

A 4名	B 8名

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？

A 7名	B 3名	C 2名

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）

A 8名	B 4名

イ） 厚生労働省「機械の包括的な安全基準に関する指針」

A 6名	B 6名

ウ） ISO/TR 14121-2

A	B 11名

図 12 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？

A 12名

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？

A 9名	B 3名

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？

A 11名	B

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？

A 10名	B 2名

回答 A:ない， Bある

図 13 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 14 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

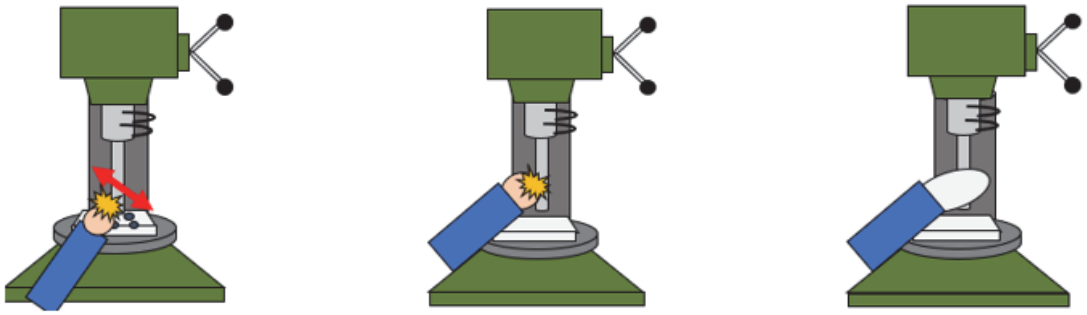
問(3) 画面“危険源の同定”に戻った際, 検討していた危険源の種類・細目に戻る方が良いか？

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 15 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 17 危険シナリオのイラスト化の例（ボール盤）

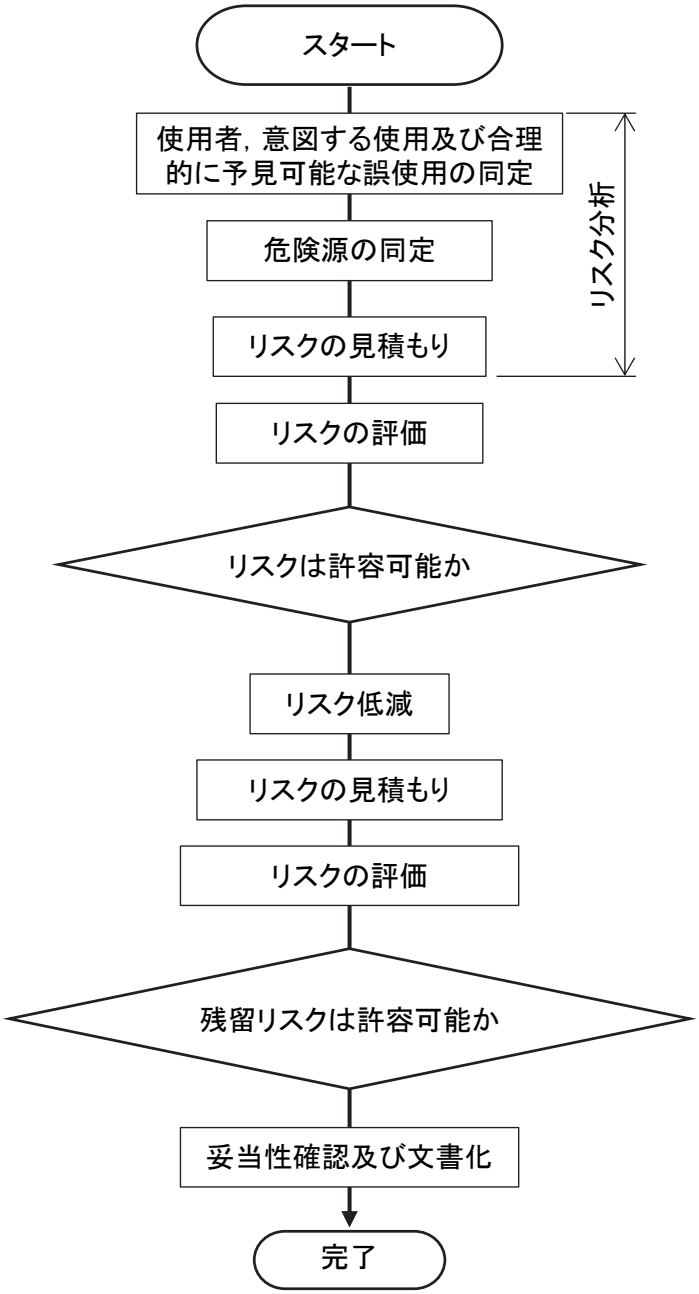


図 16　リスクアセスメント（RA）の手順 [21)]

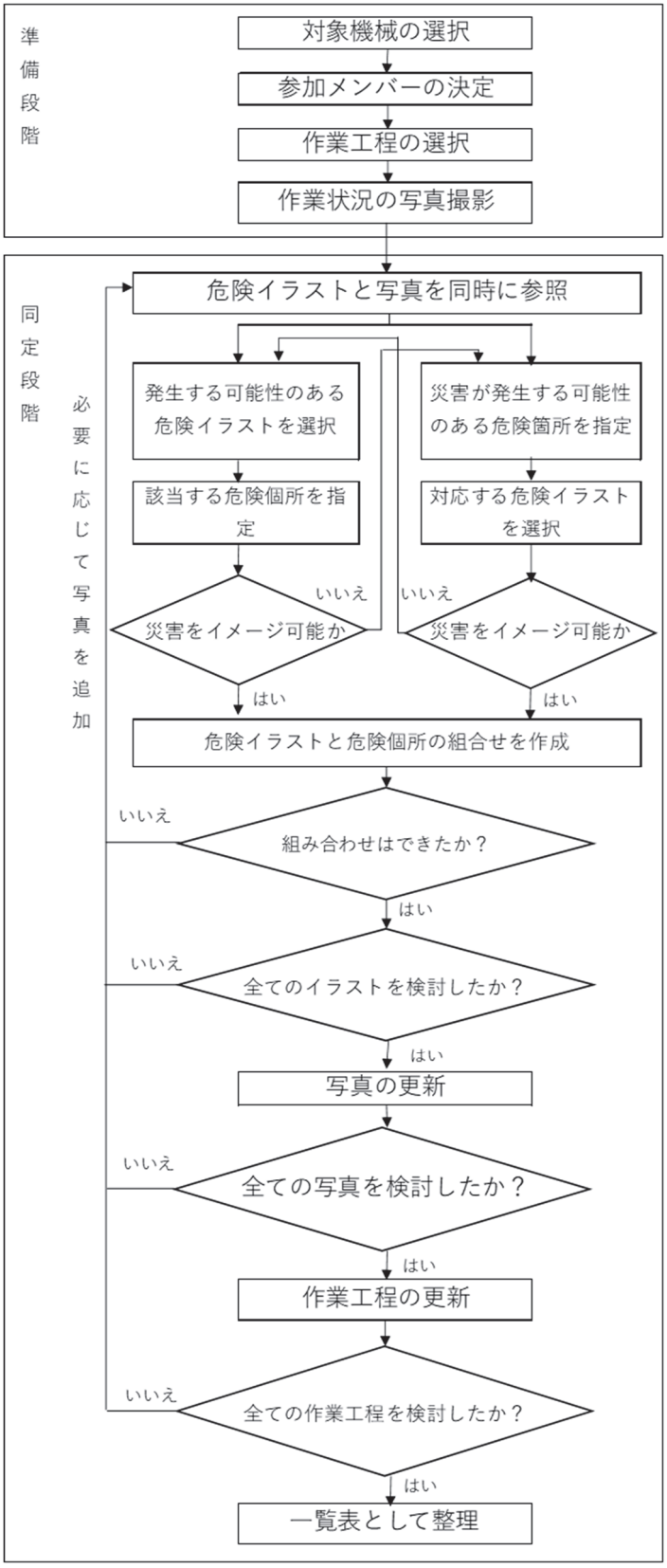


図 18　危険イラストを用いることで簡略化された危険源同定の手順（概要）

図 19　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

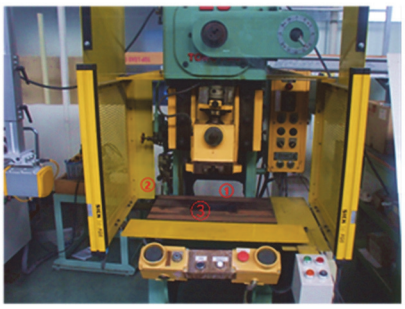


図 20　危険源同定実施一覧表（一部抜粋）

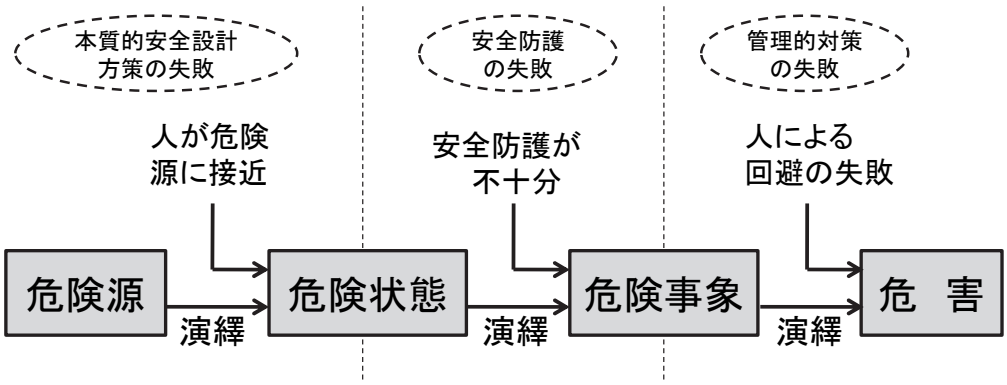


図 21　危険源を出発点とする決定論的な前向き推論（演繹的推論）

（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）

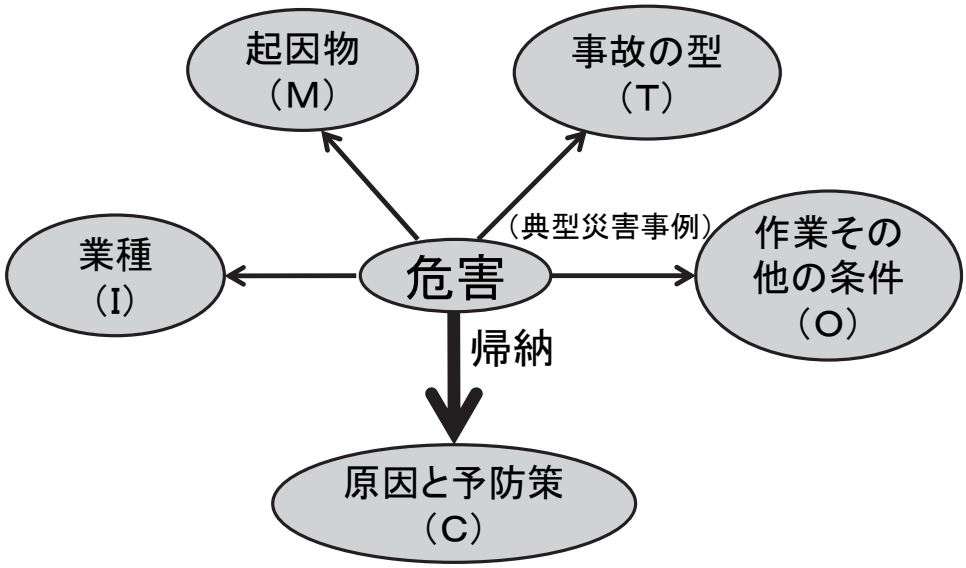


図 22　災害情報（危害）を出発点とする確率統計的な後ろ向き推論
（帰納的推論，原因と予防策の直接推論）

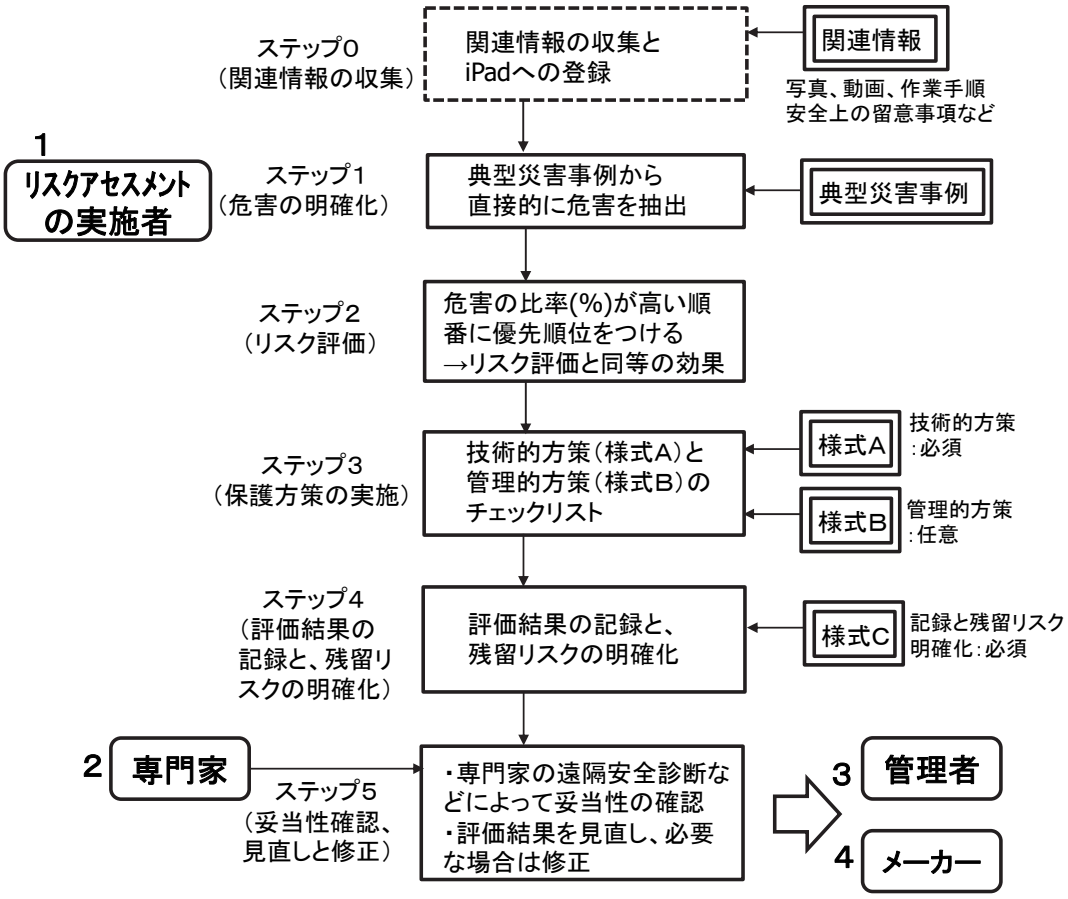


図 23　典型災害事例を応用した簡易リスクアセスメント手法

図 25　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）

図24　フォークリフトの典型災害事例

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 26　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　旋盤の C 規格 ISO 23125 の重要危険源リスト（一部）注)

No.	危険源，危険状態，危険事象	旋盤での状態	ISO 12100 の関連する箇条	関連するタイプ B 規格	この規格の関連する（細分）箇条
B.1	**1 機械的危険源**				
	加速，減速 （運動エネルギ）		6.2.2.1 6.2.2.2 6.2.3 a) 6.2.3 b) 6.2.6 6.2.10 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.5.2 6.3.5.4 6.3.5.5 6.3.5.6 6.4.1 6.4.3 6.4.4 6.4.5	ISO 6385 ISO 13851 ISO 13854 ISO 13855 ISO 13856-2 ISO 13856-3 ISO 13857 ISO 14118 ISO 14119 ISO 14120 ISO 14122-1 ISO 14122-2 ISO 14122-3 ISO 14122-4 ISO 16156 IEC 60204–1	5.2.1.1 g) 5.2.3 a) 4) ii)
	弾性要素（放出，飛散）， 高圧：液体の注入又は放出 吸引， 重力（蓄積エネルギ） 高圧 地面からの高さ	機械内部の蓄積エネルギの　散逸			5.2.4.5 b) 1) iii) 5.2.2.4 a) 1) 5.2.2.4 c) 6) 5.2.2.4 b) 5.2.4.3 a) 3) 5.2.4.4.1 c) 5.2.4.5 a) 3) 5.8 e) 1) iv) 5.8 h) 4) 5.10 d)
	可動要素（巻込み）				5.1.1 5.2
	回転要素（巻込み）				
	安定性	安定性の喪失			5.14

注：ISO 23125:2015，表 3 より機械的危険源の一部を抜粋して規格に記載のとおりに再掲

表 7　旋盤の危険源リスト（ISO 23125:2015[26] 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 8　動力プレスの危険源リスト（ISO 16092-1:2017[27] 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 9　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 9　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 10　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	
1	押しつぶし
2	端部，角部，突出部
3	巻き込み
4	衝撃・衝突，飛来物・放出物
5	死角，視認性の不足
6	応力の考慮I
7	応力の考慮II
8	使用材料の選定I
9	使用材料の選定II
10	安定性の不足（機械的）
11	動力源の起動，動力供給の接続
12	機構の起動又は停止
13	動力中断後の再起動
14	動力供給の中断
15	高所からの墜落
16	動力遮断
17	蓄積エネルギ
18	液圧システムの使用最高圧力
19	液圧システムの圧力の増加I
20	液圧システムの圧力の増加II
21	液圧システムの圧力の喪失
22	液圧コンポーネントの内部漏れ
23	液圧コンポーネントの外部漏れ I
24	液圧コンポーネントの外部漏れII
25	高温又は低温になる液圧コンポーネント
26	液圧コンポーネント／配管の交換など
27	液圧コンポーネント／配管のシール，密封装置I
28	液圧コンポーネント／配管のシール，密封装置II
29	液圧モータI
30	液圧モータII
31	ポンプ
32	ポンプ，液圧モータの駆動カップリング
33	液圧シリンダI
34	液圧シリンダII
35	液圧シリンダの附属品
36	液圧シリンダ及び附属品の取り付け用留め具
37	液圧シリンダのピストンロッド
38	液圧システムのアキュムレータI
39	液圧システムのアキュムレータII
40	液圧システムのアキュムレータの機器／管継手I
41	液圧システムのアキュムレータの機器／管継手II
42	液圧システムのアキュムレータの使用・支持
43	液圧バルブ
44	液圧バルブなどのマニホールド
45	液圧システムの作動油の清浄度
46	タンク
47	タンクの液面計及び液面センサ
48	作動油のろ過
49	作動油のフィルタ
50	液圧システムの液体式熱交換器（機械的）I
51	液圧システムの液体式熱交換器（機械的）II
52	他の装置／機器の支持に用いる液圧配管I
53	他の装置／機器の支持に用いる液圧配管II
54	液圧配管の管継手I
55	液圧配管の管継手II
56	鋼製チューブの肉厚I
57	鋼製チューブの肉厚II
58	チューブ支持具の間隔I
59	チューブ支持具の間隔II
60	液圧流路の異物
61	液圧／空気圧システムのホース
62	液圧システムのホース
63	液圧システムのホースの取付けI
64	液圧システムのホースの取付けII
65	液圧配管の急速継手I
66	液圧配管の急速継手II
67	空気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
69	空気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
71	空気圧システムのエネルギ供給
72	空気圧システムの圧力除去
73	空気圧システムの予期しない起動
74	制御されない空気圧アクチュエータ
75	空気圧機器の保護
76	エアモータ及び揺動形空気圧アクチュエータ
77	空気圧シリンダ
78	空気圧シリンダの附属品
79	空気圧バルブ
80	空気圧バルブなどのマニホールド
81	空気圧システムのリリーフ弁／流量制御弁
82	空気圧システムの 3 位置弁
83	空気調質機器
84	空気圧システムのろ過（機械的）
85	空気圧システムのフィルタ／セパレータ
86	空気圧機器の潤滑
87	空気圧システムの潤滑油の適合性
88	空気圧システムのルブリケータ
89	空気圧システムの空気乾燥
90	空気圧システムのフィルタなどの非金属ケース
91	空気圧システムの配管及び流路
92	空気圧配管の設置／支持
93	空気圧配管の異物
94	空気圧アセンブリ間の配管I
95	空気圧アセンブリ間の配管II
96	空気圧配管の急速継手I
97	空気圧配管の急速継手II
98	空気圧システムのホース（機械的）
99	空気圧アクチュエータの安全位置
100	サーボ弁／比例弁を使用する液圧／空気圧システム
101	空気圧システムの消音器の使用
102	空気圧システムのシール／シール装置
103	エアーレシーバータンク／サージタンクI
104	エアーレシーバータンク／サージタンクII
105	カム，フォロワ
106	チェーン
107	クラッチ
108	ブレーキ
109	シャフト，ベアリング
110	コイルばね
電気的	
1	直接接触による感電（基本保護）
2	間接接触による感電（故障保護）
3	絶縁被覆の破損
4	可撓ケーブルの損傷
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
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
7	エンクロージャ内の不適切な配線
8	エンクロージャ外の不適切な配線
9	ダクト，接続箱，その他の箱の不適切な使用
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）
11	不適切な等電位ボンディング（保護ボンディング）
12	不適切な等電位ボンディング（機能ボンディング）
13	入力電源導体の不適切な接続
14	電源断路器及び例外回路の機能不全
15	過電流保護の不備／適切でない機能（電気的）
16	保護機能の不備
17	適切でない制御回路電源
18	空気圧システムのホース（電気的）
熱的	
1	高温となる部分／機器／配管
2	低温となる部分／機器／配管
3	液圧システムの液体式熱交換器（熱的）I
4	液圧システムの液体式熱交換器（熱的）II
5	液圧システムの空気式熱交換器
6	液圧システムの作動油ヒータ
7	導体の高温化
8	ケーブルの高温化
9	エンクロージャ外の不適切なプラグ・ソケット対
10	過電流保護の不備／適切でない機能（熱的）
騒音	
1	騒音源
2	空気圧システムの騒音
振動	
1	振動源
放射	
1	電離放射線
2	非電離放射線
3	レーザ光
4	静磁界
5	電磁両立性の不足（エミッション過大）
材料／物質	
1	危険有害性物質
2	作動油
3	空気圧システムの危険有害性物質
4	空気圧システムのろ過（材料／物質）
人間工学的	
1	接近性
2	重量物
3	表示灯など
4	液圧バルブなどのマニホールドブロックの識別記号
5	液圧配管の取り付け識別
6	システムの運転パラメータの表示
7	液圧システムの圧力計
8	空気圧配管の識別
9	空気圧配管の配置
10	通路を横切る空気圧配管
11	収納箱，仕切，扉，カバー
12	配線の接続や経路の誤り
13	配線の導体識別誤り
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）
15	電源断路器・例外回路の不適切な設置
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
使用環境	
1	安定性の不足（使用環境）
2	滑りによる転倒
3	絶縁被覆の破損
4	電磁両立性の不足（イミュニティ不足）
制御	
1	ポジティブな機械的作用の適用
2	手動制御器
3	非定常作業に対する制御モード
4	制御モード切り替え装置
5	非常停止
6	液圧システムの電気式操作弁
7	調整可能な液圧／空気圧バルブ
8	空気圧機器の内部漏れ／外部漏れ
9	空気圧システムの電気式操作弁
10	空気圧システムの圧力制御弁／流量制御弁
11	両手操作制御装置
12	位置検出ベースのシーケンス制御
13	空気圧システムの圧力測定器
14	非常スイッチングオフ
15	動作監視手段の不備
16	不適切なイネーブル制御機能
17	不適切な感電保護インターロックの機能

表 11　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 12　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 13　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 14　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 15　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 16　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 17　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 18　調査結果の要約

質問事項	回答（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。

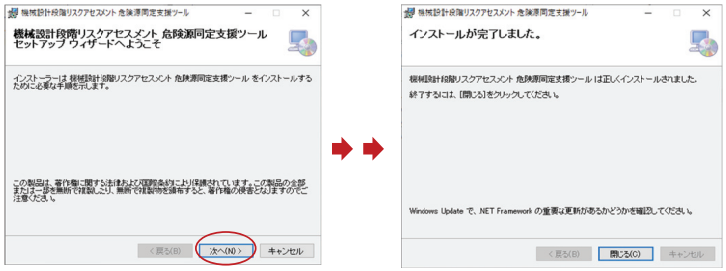
機械安全JIS規格の安全要求事項から抽出した「重要な危険源・危険区域」をリスト化し、具体的な判断基準や参考情報などを付して順に提示していくことで、設計者が対象機械に潜在している危険源・危険区域を、自身の持つ知識や経験に基づいて主観的に判断する必要なく、技術的視点から客観的に認識・発見できるよう支援します。

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。

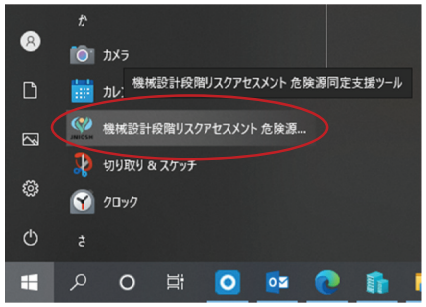


起動方法

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。

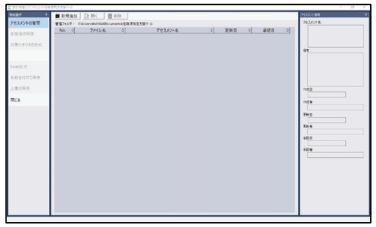


本支援ツールを利用した「危険源の同定」の流れ

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

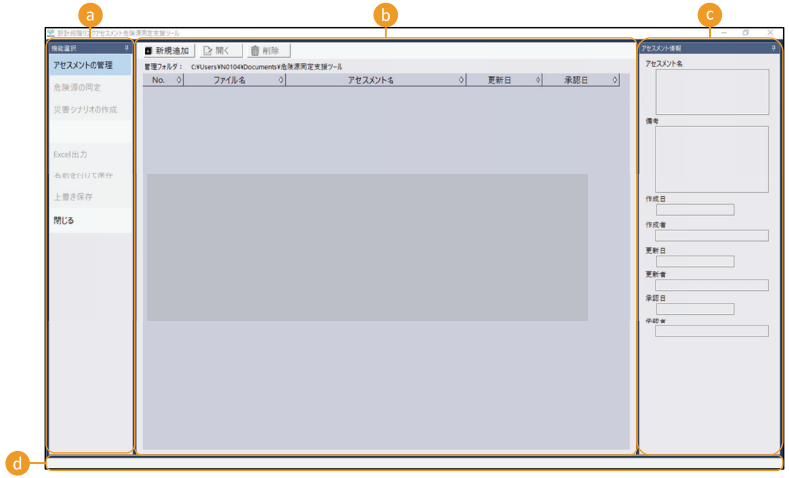
設計段階で実施すべきリスクアセスメントについては、本取り扱い説明書の最終ページに概要を記しています。また、厚生労働省が公開している「機械設備のリスクアセスメントマニュアル（機械設備製造者用）」にさらに詳しく説明されていますのでご参照ください。

⬇ 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

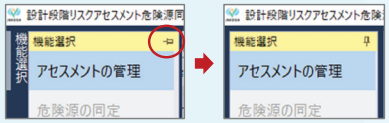
各種メッセージを表示します。

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）

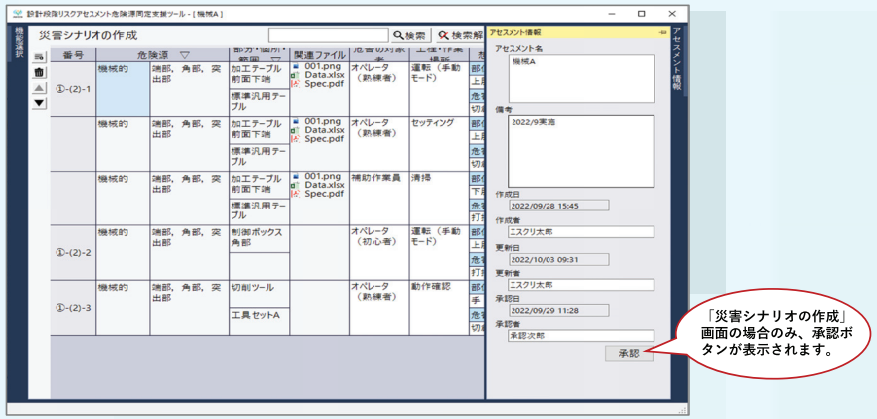
選択中・編集中のアセスメント情報の閲覧・編集・承認を行います。
メイン画面に表示されている機能により、編集可否と承認ボタンが表示有無が異なります。項目は以下の通りです。

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。

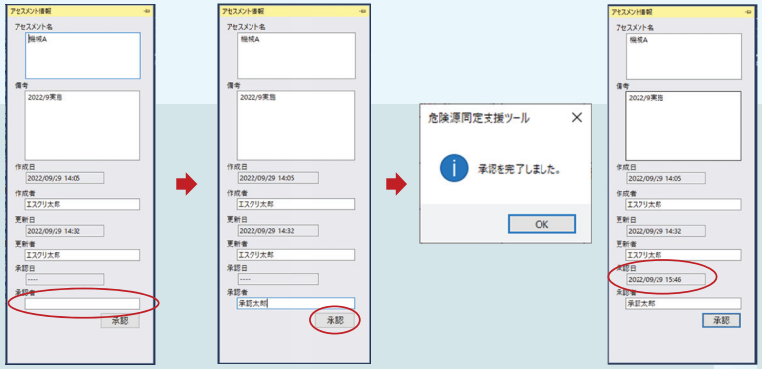
承認機能

「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。

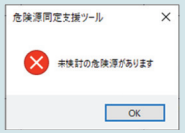


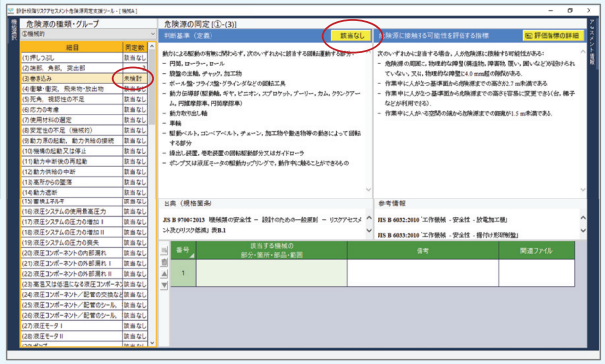
●承認者は記入済ですか？

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。

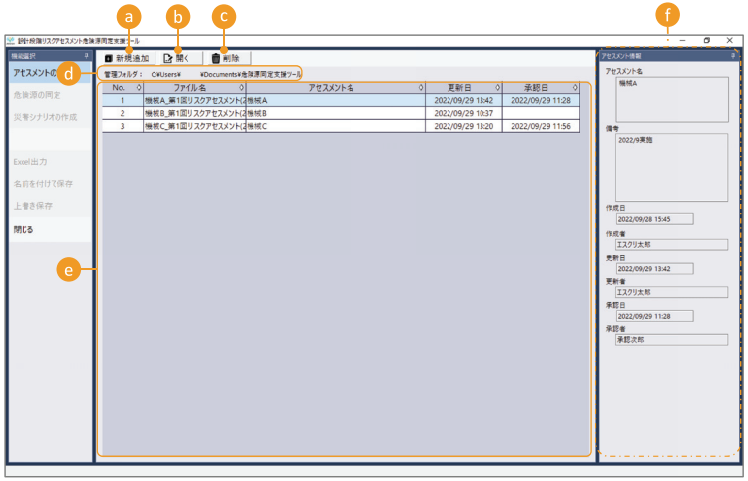




注意！ 保存をせずに終了すると承認は破棄されてしまいます。承認後は必ず保存をしてください。

「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

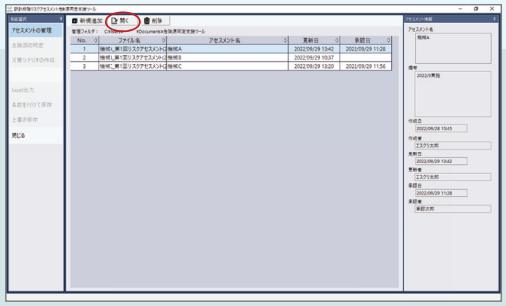
管理フォルダに保存されているアセスメントの一覧が表示されます。編集・削除するアセスメントを選択します。選択したアセスメントの情報は、f に表示されます。

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。

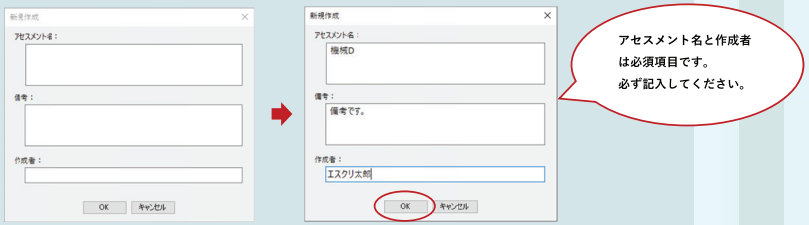
アセスメント新規作成の流れ

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。

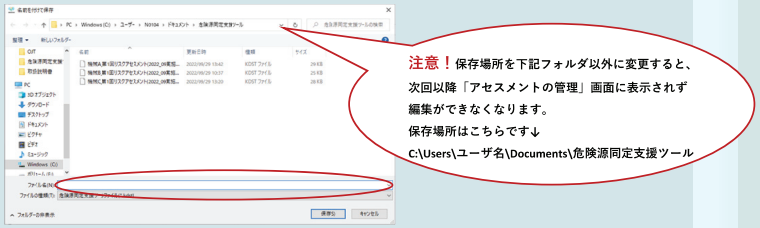
1 アセスメントの管理画面で新規追加ボタンをクリックします。



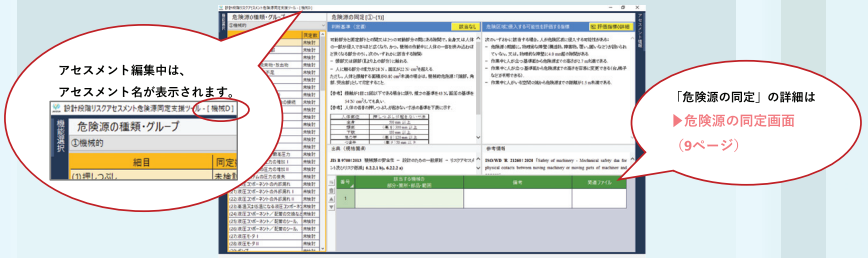
2 表示された新規作成画面で、アセスメント名・備考・作成者を入力してOKをクリックします。



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。

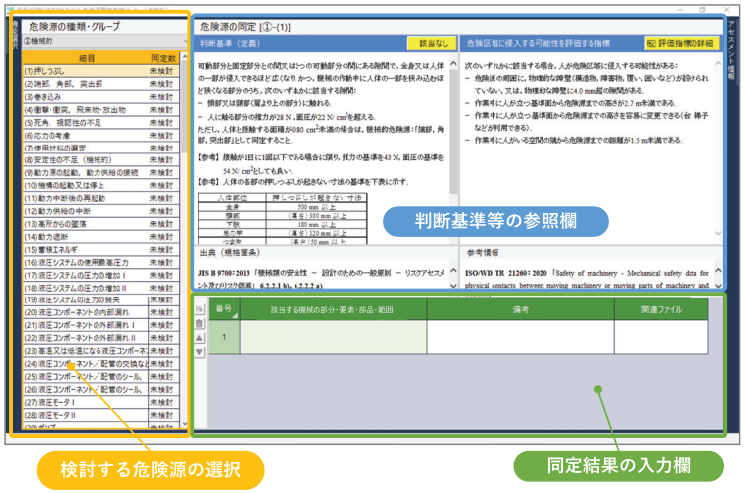


新規作成が成功すると、「危険源の同定」に画面が切り替わります。同定をはじめましょう。



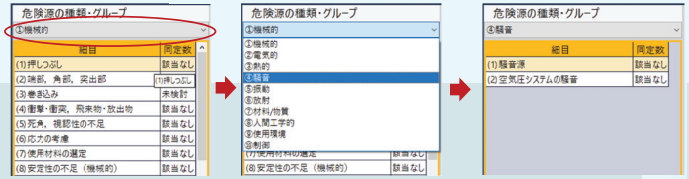
「危険源の同定」画面

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）

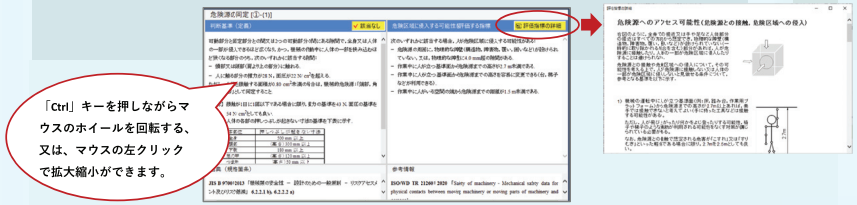


2 「判断基準」,「アクセス可能性の評価指標」などの内容を確認します。（青色エリア）

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。

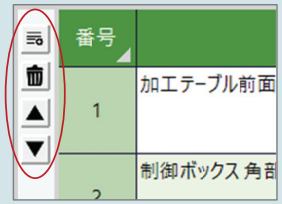
「危険区域に｛①侵入する②接触する③影響を受ける④晒される｝可能性を評価する指標」



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＞

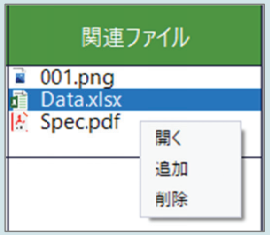


ボタン	操作内容
追加	選択行の下に新規行を追加します。
削除	選択行を削除します。
▲ 上へ	選択行を１つ上の行に移動します。
▼ 下へ	選択行を１つ下の行に移動します。

＜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。

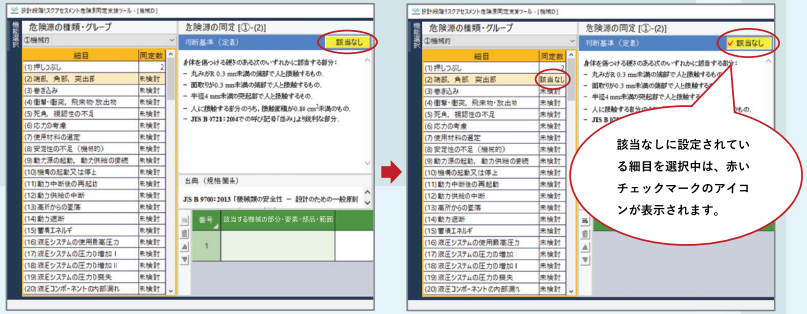
※ 関連ファイルは1行につき最大４つ登録できます。



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。

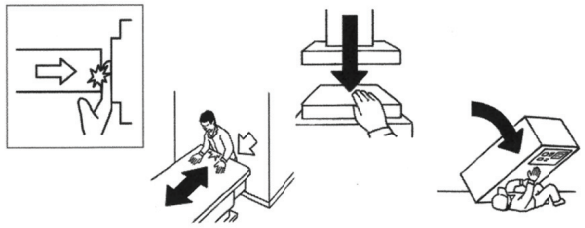
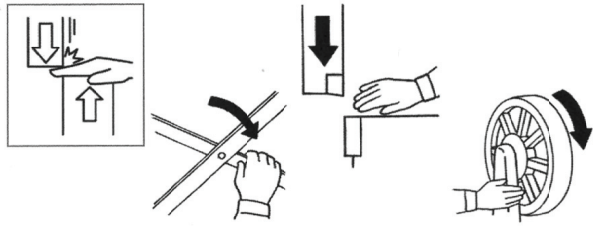
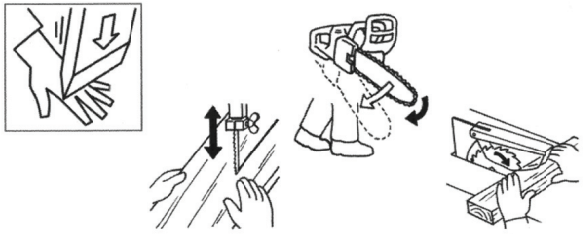
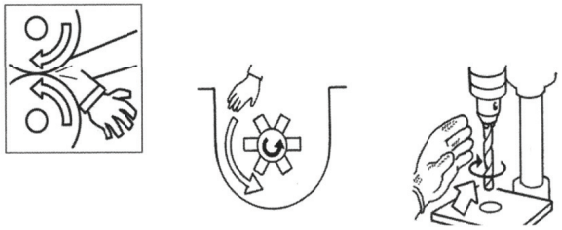
●該当する機械の部分等がない場合

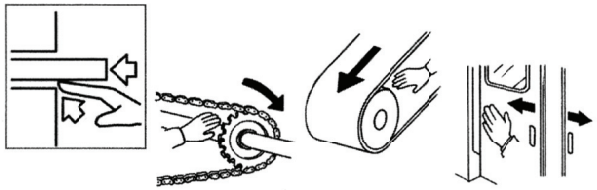
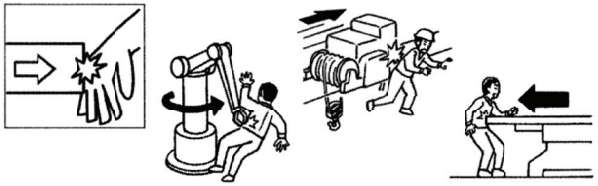
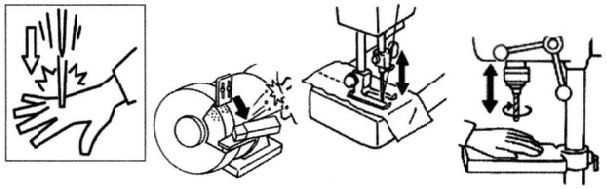
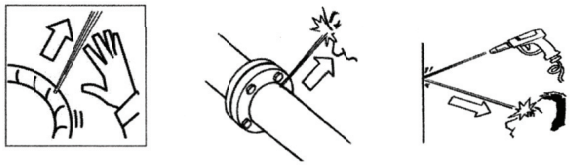
設計対象機械に該当する機械の部分・要素・部品・範囲がない場合は、「該当なしボタン」をクリックします。



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。

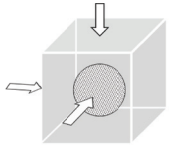
No.	危険源	具　体　例
1．1	押しつぶしの危険源	
1．2	せん断の危険源	
1．3	切傷または切断の危険源	
1．4	巻き込みの危険源	

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。

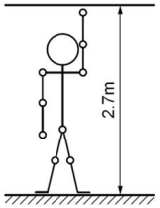
「**評価指標の詳細**」ボタンをクリックすると別ウインドウで表示される情報は、例えば、以下のようなものです。

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。

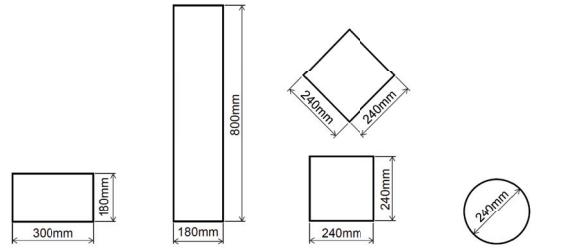


【出典】 **JIS B 9718：2013**「機械類の安全性－危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」，**4.2.1.2** 及び **4.2.1.3**

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。

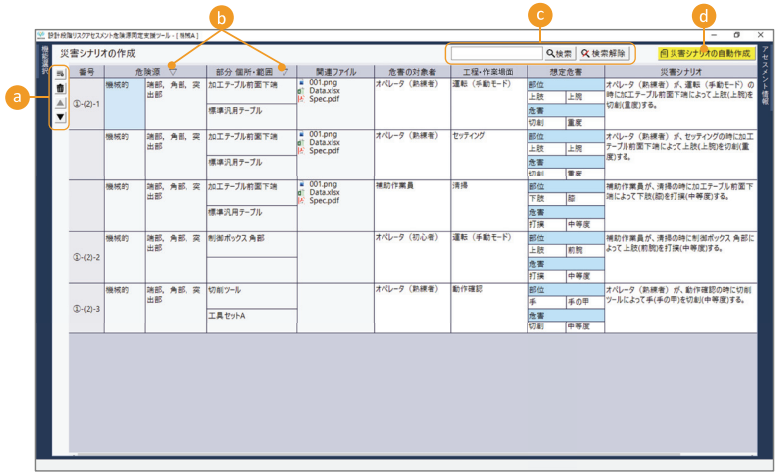


高さ：180mm以下又は，幅：300mm以下の長方形　高さ：800mm以下又は，幅：180mm以下の長方形　辺：240mm以下の正方形　直径：240mm以下の円形

【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）

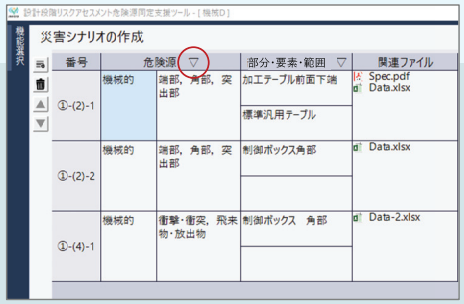
d 災害シナリオの自動作成

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。

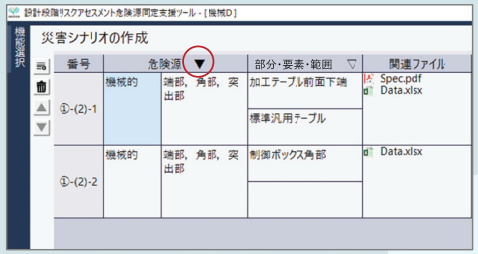
危険源、部位・個所・範囲のフィルター機能

1 危険源の▽をクリックします。

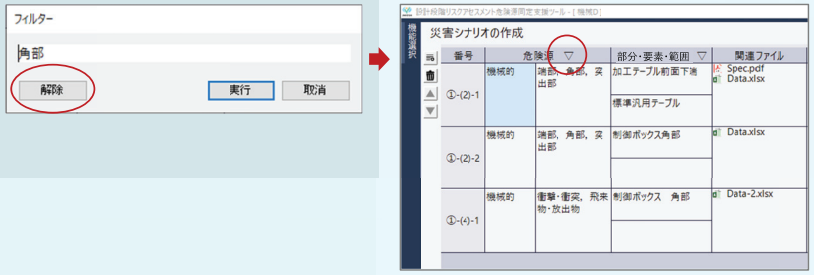


2 フィルター画面でフィルターをかけたいワードを入力して実行をクリックします。

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。

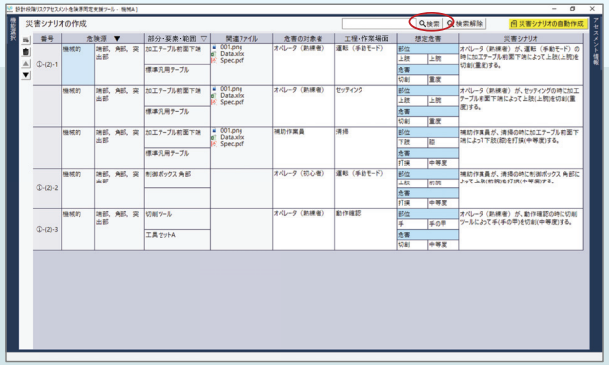


4 フィルター画面で解除をクリックします。入力欄には現在フィルター中のワードが表示されています。

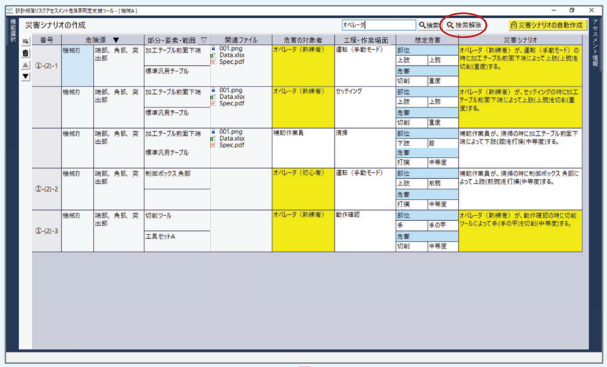


検索機能

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。



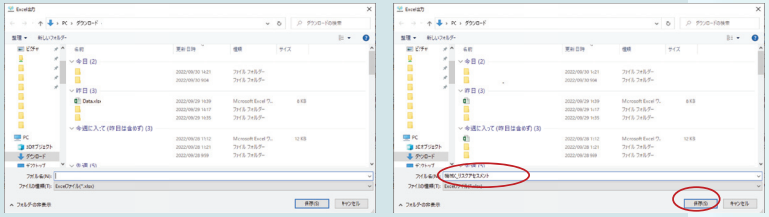
検索ワードがクリアされてセルが通常の色に戻ります。

Excel出力機能

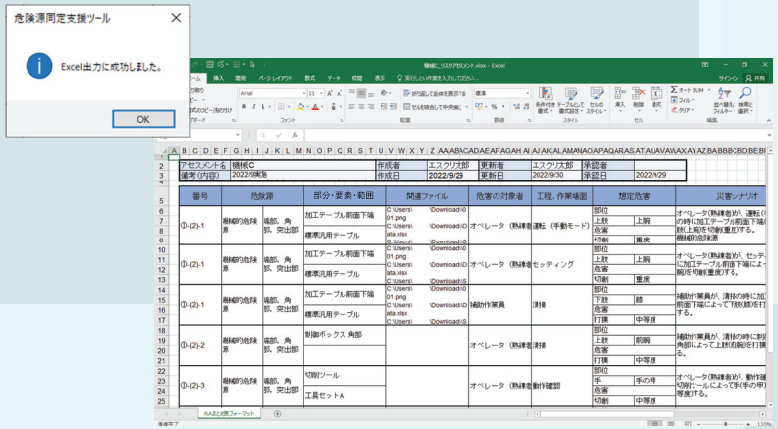
作成したアセスメント内容をExcelに出力することができます。

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。

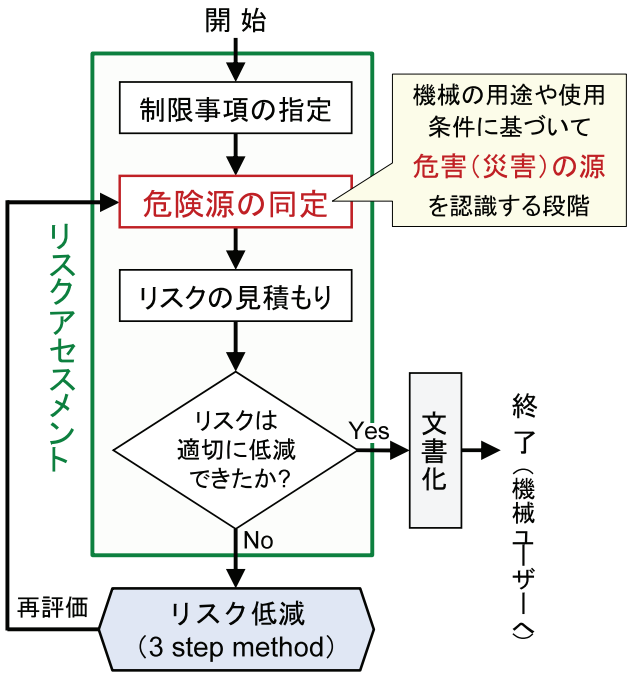


出力が完了すると、「Excel出力に成功しました。」というメッセージが表示されます。



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。

付録２

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

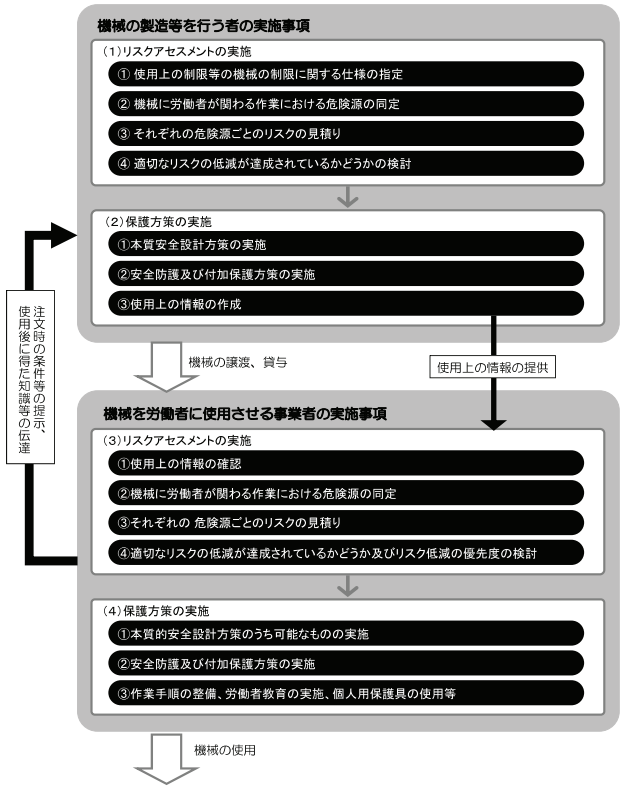


図 1 機械の安全化の手順（メーカーとユーザーの実施事項）

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

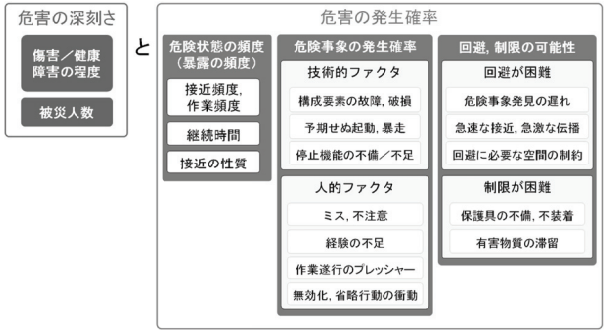


図 1 機械のリスクを決定する構成要素

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．

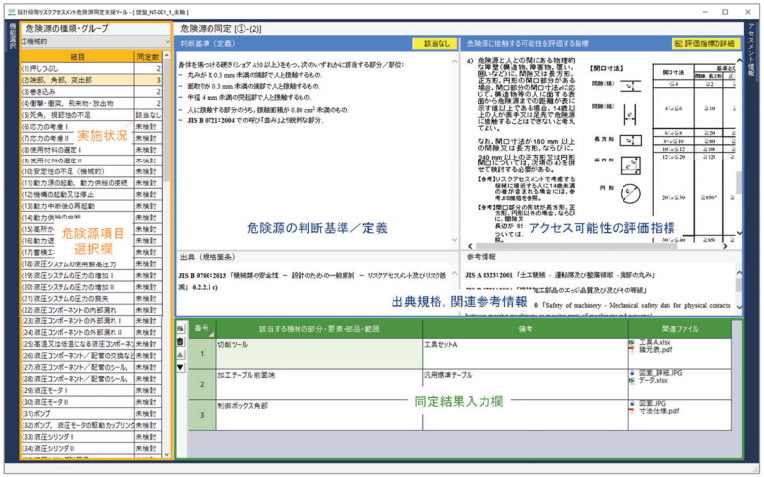


図２　本支援ツールを用いた「危険源の同定」

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．

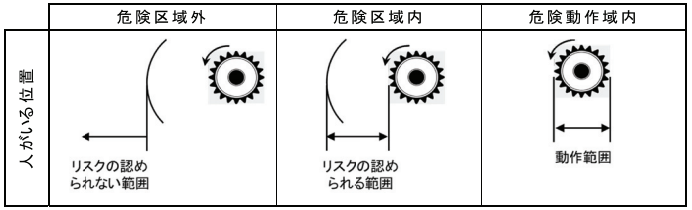
こととしました．これにより，危険源／危険区域を洗い出す際に，併せて対象機械の寸法仕様やレイアウトといった技術情報からアクセス可能性を客観的に評価することが可能となり，機械の実際の運転条件や作業内容，過去に経験された災害事例に関する知識に基づいてアクセスを想定・発想する必要性は大きく減ります．逆に，物理的にアクセスが可能であると判断された危険源については，それらに人が接触又は接近する状況を列挙し，合理的なものがあれば，それを「予見可能な誤使用」と見做して，後述する「災害シナリオ」や「使用上の情報」を検討する際に反映する必要があります．

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）．

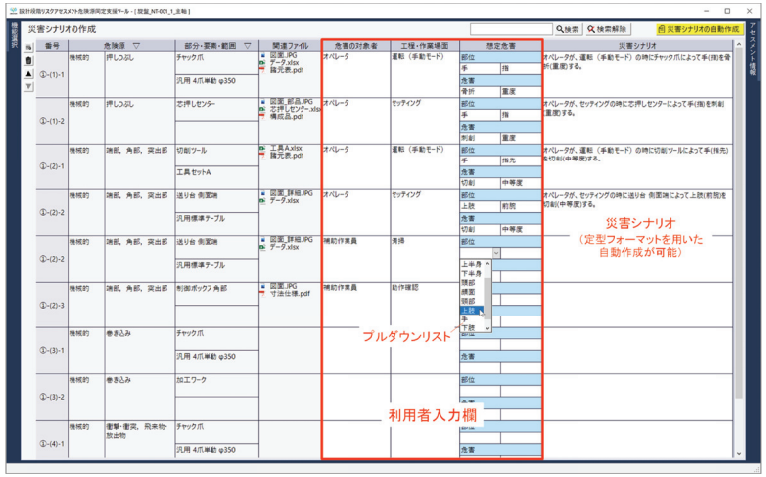


図３　本支援ツールを用いた「災害シナリオの作成」

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．

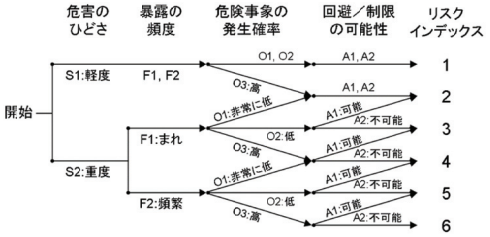
作成した災害シナリオは RA まとめ表として一覧化されますが，これは Excel シートの形式で出力できますので，以降の「リスクの見積り」，「リスク低減」で利用することが可能です．

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

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．

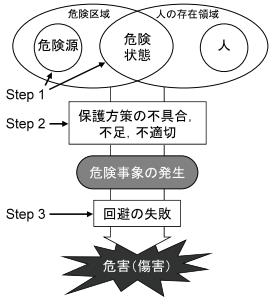


図５　危険源から危害に至る過程

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．

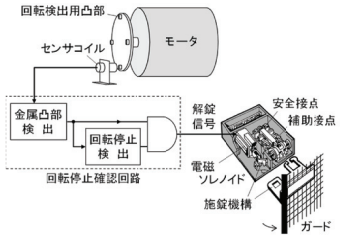


図６ 回転停止確認に基づく施錠式インターロック付きガードの構成例

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}	ー（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		