

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，池田博康，梅崎重夫（労働安全衛生総合研究所）

研究要旨

本研究では、機械設備の設計開発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、特に中小零細事業所での普及を促すことを目的に、機械安全に関する知識や経験が限られた技術者・設備管理者を支援する際の要点を明確化するとともに、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及び実証試験の結果を通じて、今後 ICT を活用した様々な RA 支援システムが新たに開発・構築される際に共通に参照される“基本仕様”を確立する。

この目的に対し、本研究では、設計開発段階 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”と設定して検討を進めた。各項目で令和 2 年度（初年度）に得られた結果と考察の要点は次のとおりである。

項目 1：設計開発段階 RA 支援システムの開発

- 1) 設計開発段階 RA の各手順で実行すべき必須事項を ISO 規格や包括指針などに示される RA の原則に遡って検討した。RA のいずれの手順においても、要点を欠いた実施では最終的な目標である“適切なリスク低減”の達成は確認できない。しかし、①設計者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで、初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討される、②遂行されるタスク、オペレータ及び関連する人の特性、加工対象や使用環境など種々の条件を考慮しつつ、機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなく予期せず出現するものも含めた危険源、ならびに、それらが影響する区域への人のアクセスの可能性（意図しない合理的に予見可能なものを含む）を体系的に検討し、災害シナリオを網羅的に発想することが要求され、個人の知識と経験に最も依存する場面と言えるなどの理由から、“危険源の同定”が RA において最も重要で、かつ、実施者の支援が最も必要な場面であることを明らかにした。
- 2) 国内、欧州、北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し、デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し、さらに、内容が充実していると考えられる 3 種を選定し、具体的な機能や内蔵されている資料を詳細に調査した。その結果、“文書化”に対しては既に十分検討されており、様々な支援機能が実現されていた。さらに、ISO 規格など関連する技術情報の参照機能など、設計者が RA を効率的に実施する上で有効と考えられる機能や工夫も確認できた。しかし、いずれのツールにおいても、適切に利用するためには一定の機械安全の知識と RA 実施の経験が求められると考えられた。特に、“危険源の同定”については、その出発点として用意されているものは、共通して、ISO 12100 の危険源リストの提示であり、対象とする機械で起こり得る危害を設計者が適切に想定（発想）できるよう支援する機能を有するものは見当たらなかった。
- 3) 以上に基づき、項目 1 で開発を目指す設計開発段階 RA 支援システムでは“危険源の同定”の支援に焦点を当てることと定め、その核となる支援のアプローチを RA 実施が法制化されている欧州連合（EU）の考え方に着目し検討した。その具体的なアプローチとして、①機械の安全設計原則を扱う規格の安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源を抽出しリスト化する、②災害事例から抽出した情報に基づき C 規格にある危険源リストの項

目を拡充・明確化する、という2つを現時点での提案として示した。これらは、いずれも“危険源の同定”で最低限検討しなければならない範囲を明確に提示することで、知識や経験の少ない設計者も比較的容易に、かつ、重大な見落としなく危険源が同定可能になると考えたもので、次年度に計画している要求仕様策定に向けてさらに検討を進めていく予定である。

項目2：選択式使用段階 RA 支援システムの開発

- 1) 平成 28～30 年度に研究代表者らが実施した厚生労働省「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選択式簡易 RA 手法について、既実施研究において試作したプロトタイプシステムの内容を見直し、対象とする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ともに、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険区域を指定していく方式のシステムとすることを考案し、開発する RA 支援システムのアプリケーションソフトウェアに対する要件について検討した。
- 2) 厚生労働省が公開している機械災害データベース等から、丸のこ盤、旋盤、ボール盤、フライス盤、プレス機械について災害事例を抽出し、これより災害シナリオを作成していく方法を考案した。災害シナリオは、対象として選択した機械の危険源を可能な限り網羅して同定できるもので、少なくとも、死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とされまいよう配慮する必要がある。今後は、研削盤、混合機、粉碎機など他の機械の災害事例を抽出し、災害シナリオの作成を進めていく。

項目3：典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

- 1) 既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易 RA 手法は、簡単で再現性があり、かつ重大な危害を見逃すことが少ないという利点があるため、RA の実施に伴う不確実性を合理的に可能な限り少なくすることが可能である。本年度は、対象となる機械機種数を 15 機種まで拡充するために、典型災害事例及びチェックリスト等必要な情報を作成した。
- 2) 上記の簡易 RA 手法をタブレット端末に実装した RA 支援システムを構築した。これは、タブレット端末を使用して操作を行うために IT が苦手な人でも操作が容易である上、RA の記録を確実に保存できるように類似の機械への応用や結果の統計処理も容易になるなどの利点がある。
- 3) さらに、タブレット端末を利用して現場の写真・動画・作業手順・機械安全専門家のコメント等を容易に伝達できる点に着目し、専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組み（遠隔安全診断）を考案し、具体的な支援機能として開発した。

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）を防止するには、設計開発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ない”、“実施方法が判らない”を理由に挙げ

ている。これまで厚生労働省から、通達や指針、ホームページでの情報提供といった様々な形態で RA に関連する資料や教材が提供されているが、依然として“RA の難しさ”が普及を妨げる大きな障壁の一つになっている。

そこで、本研究では、特に中小零細事業所において機械に係る RA 実施の普及を促すために、機械の設計開発段階と使用段階の両面から RA を実施する技術者を支援するシステムをそれぞれ検討する。

設計開発段階での RA については、その原則と手順が ISO 12100²⁾によって国際的に標準化され

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、中分類の原動機、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災害又は休業 4 日以上災害」を指す。

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、予備的に検討した結果、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とされる“危険源同定”などの各手順に対し、知識や経験の少ない技術者が RA を実施できるように支援するものは見当たらない。そこで、本研究では、RA の各手順で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、平成 28～30 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⁾を行い、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を提案し、提案した手法の有効性を確認するために対象とする機械を限定した 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、扱え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。

以上の検討を通じて、本研究では、最終的な成果として、RA 支援を目的と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“基本仕様”を確立する。情報通信技術は今後より進展すると考えられ、それに応じて様々な機能を有した 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、これらに広く共通に参照される“基本仕様”が確立していれば、常に一貫した考え方の下で適切にシステムが考案・構築されるようになると思われる。

2. 研究の背景及び期待される効果

2.1 研究の背景

機械に起因した休業 4 日以上労働災害は、ここ 10 年間は概ね一定の減少傾向を示しているものの、平成 31/令和元年での死傷者数は 26,154 人にのぼり、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、機械の設計開発段階及び使用段階（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」（以下、「包括指針」という。）⁵⁾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 で明確に示し、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工学的保護方策について、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ガイドブック⁸⁾も公表されている。

また、梅崎らは、機械の使用段階での RA に関して、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利用する手法、5 step 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⁾。典型災害事例を利用する手法については、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、中小零細企業を中心に 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きてはいるが、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、本調査でRAを実施していない理由として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、この点に関連して、梅崎ら³⁾は、小規模事業場でRAの実施が進まない背景の一つに“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。このことは、機械災害を経験していない（又は極めて稀にしか発生したことがない）企業全般に対しても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、メーカー、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。表1~4にその結果の一部を示す。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、メーカー及びユーザの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下が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、メーカー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。メーカー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、“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ており、“実施できる人材（外部人材を含む）がない”と回答した事業場も29.7%あった。さらに、ユーザにおいてはこの傾向はより顕著となっており、RAが普及しない根底には、労働安全衛生規則においてRAの実施が努力義務規定に留まっていることよりも“RAの難しさ”がより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、RAで用いている手法を調査した結果を表4に示す。メーカー及びインテグレータでは、ISO 12100（国内ではJIS B 9700⁹⁾）又は包括指針ではなく、設計開発段階での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」¹⁰⁾（以下、「RA指針」という。）

だけに基づく」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、その結果の有効性が懸念される。また、ユーザにあっては、機械に関する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、メーカー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周知されていない現状が示唆されている。

2.2 全体計画と実施事項

本研究では、特に中小零細事業所において機械に係るRA実施の普及を促すための効果的な方策として、機械の設計開発段階と使用段階の両面からRAを実施する技術者を支援するシステムをそれぞれ検討する。本研究の全体計画を図2に示す。本研究は、主に以下に示す3つの項目で構成される。

項目1) 設計開発段階RA支援システムの開発

設計開発段階での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、さらに第3.4節で後述するように、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おり、特にRAの手順の中で最も重要とされる“危険源同定”について知識や経験が限られた設計者でも実施できるように支援するものは見当たらない。そこで、本項目では、第1~2年度に、設計開発段階での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、各手順で最低限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、設計開発段階及び使用段階においてRAの結果に基づき達成が求められる最低限の安全水準に関し、詳細な定義を与えるとともに具体的な事例を取りまとめる。安全水準を一律に、また定量的に示すことは困難ではあるが、事例を示すことでその明確化に大きく寄与すると考える。これら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RA支援システムの要求仕様を策定、第2後半~3年度において、ユーザが操作する基本ソフトウェア部分と参照する資料や事例をまとめたデータ

ベース部分を構築, 設計開発段階 RA 支援システムのプロトタイプとして開発する。また, これと並行して第 3 年度では, 本システムの使用方法や RA の基礎を習得するための教材資料等とその提供方法を含めて検討する。

項目 2) 選択式使用段階 RA 支援システムの開発

既実施研究において提案したイラスト等を用いた選択式簡易 RA 手法については, 本手法の有効性を検証するために支援システムを試作したが, ボール盤を用いた板金作業のみを対象にしていた。第 1 年度では, 厚生労働省が公表している労働災害 (死傷) データベース等から災害シナリオをさらに抽出した。

これらに基づき, 第 2 年度前半に, 危険状態や危険事象を説明するイラスト等を拡充し, 機械設備全般が扱えるよう本手法を拡張, 第 2~3 年度でタブレット PC 等の ICT 機器への実装を検討し, 特に“危険源の同定”の支援に焦点を当てた使用段階 RA 支援システムのプロトタイプとして開発する。

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

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たものの, タブレット端末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 12 機種に対象機械を拡充し, 既存支援システムを検証する。第 2~3 年度では, 本システムを機械使用事業所において試験的に運用し, 必要に応じて見直しを図るなど完成度を高める。

以上の3項目で開発・構築する RA 支援システムのプロトタイプについては, それぞれ, 機械, 設備及び RA に関する見識に長けた有識者, RA を実務として行う中小機械メーカー等から意見をいただき, その有効性などを評価, 必要に応じて見直しを図っていく。

2.3 期待される効果

第 2.2 節に示した実施事項での検討を通じて, 本研究では, 最終的な成果として, 機械の設計開発段階及び使用段階での RA の支援を目的とした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「基本仕様」を確立する。情報通信技術 (ICT) は今後より進展すると考えられ, それに応じて様々な機能を有する 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, これらに広く共通に参照される「基本仕様」が確立していれば, 常に一貫した考え方の下で適切にシステムが構築されるようになることが期待される。

さらに, 本研究の実施によって次のような効果も期待される。

- 1) 本研究で最終的な成果として示す“基本仕様”に従った設計開発段階 RA 支援システムが利用されていくことで, 機械を製造する中小零細企業においても設計開発段階での 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, 機械の使用段階での RA の定着及び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, 本研究で, 中小零細企業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情報通信技術活用の好事例になると期待される。本研究で得られる知見は, 今後, 機械以外の分野にも情報通信技術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. 設計開発段階 RA 支援システムの開発

3.1 設計開発段階での 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, それを定めている産業規格が 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）¹¹⁾ 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 ISO 14121 が別にあつた。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 12100-1 と 2、ISO 14121 の第 2 版¹²⁾ 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、すべての機械に共通して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、技術的原則を定める新しい規格として 2010 年に発行されたのが現行の版である。

ISO 12100 が規定する国際的に標準化された機械の設計開発段階でのリスク低減プロセスは、要約すると図 3 のように表され、大きく次の 6 つの手順から構成される。

- 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 ステップメソッド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と同等の方法でリスクを再度見積もり、手順④と同じく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明文化して記録し、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。

各種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 51¹³⁾ において、“リスクアセスメント”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“リスクアセスメント”とする場合が多い。実際にも、中央労働災害防止協会が 2020 年度に機械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において、RA を実施していながら、その結果を受けてリスク低減措置を実施していないと回答した企業は約 2.0% に留まると報告されており、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“設計開発段階での RA”と定め、特に中小零細事業所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ことになる。最も典型的な反復の例として、⑤リスク低減から①制限事項の指定に戻る場合を図 3 では示しているが、②危険源の同定に戻る場合も考えられる。ただし、反復的に RA を実施するタイミングについて、詳細までは規定されていない。この点に関し、参考になると思われるものとして、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¹⁴⁾”では表 5 に示すタイミングが例として挙げられている。3 ステップメソッド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 の実施タイミングと言える。ただし、現実にはこれほど頻繁に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 RA 実施のタイミングとして以下の 3 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、印加圧力などが推定できる状態。

- 一 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。
- 一 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。

なお、機械には、一部に工具や付属品を必要とするものの、製品として一定の機械機能・用途を果たすことが可能な状態で上市できるように設計開発されたもの（これを完成品という。）以外に、それ単独では特定の機能・用途を果たせず、他の機械や装置に組み込まれる又は組み合わせられることを目的とした部分的に完成した機械（これを半完成品¹¹⁾という。）がある。例えば、サーボドライブシステムや産業用ロボットが半完成品の例であるが、これらについては、RA 各手順において必ずしも完成品と同じ内容が適用できず異なる扱いを検討しなければならない場合も考えられる。しかし、本年度の検討の範囲では、半完成品については合理的に可能な範囲で従える限り完成品と同様に RA を実施するという原則を設けておくに留め、第 3.5.3.2 目で提案する産業用ロボットを対象とした危険源同定支援の例以外では、完成品との差異を詳細に検討することは今後の課題とし、設計開発の対象となっている機械は、完成品として上市されることを意図しているとの前提で議論を進める。

3.2 本年度の検討事項

図 1 に示したリスク低減プロセス全体を“設計開発段階での 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、研究初年度にあたる本年度は、大きく次の 2 つの側面から研究を行うこととした。

まず、RA の実施内容の原則や基本となる手順、枠組みは ISO 12100 で規定されているが、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、上述した設計開発段階での RA の各手順について、その細部まで詳細に定められていない。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いるが、書籍ごとに内容に細かな差異があり、必ずしも統一された認識が持たれているとは言えない。このため、本研究では、第一に、RA の各手順を改めて整理し、設計

者が RA を実施する上で最低限行うべき要点を明確にする必要があると考えた。知識や経験の少ない設計者に求められる支援は、この要点に照らして導かれる。

第二に、設計開発段階の RA に関しては、その作業負荷を軽減するツールやソフトウェアが国内外で既にいくつか市販されていることが知られている。このため、本研究では、国内、欧州、北米を対象に支援ツールなどの市販の実態を調査し、デモ版やマニュアル等から可能な範囲で具体的な機能や内蔵されている資料などを把握することとした。

以下、本章では、まず第 3.3 節で、RA の各手順を ISO 規格や包括指針などに規定されている原則に照らして改めて整理し、そこで最低限実施されるべき必須の要点及び必要となる支援の内容を明確にする。次に、第 3.4 節では、既存の支援ツール等の現状を報告するとともに、実装されている機能や内包されている資料、支援対象として想定されている設計者に求められるレベルなどの観点からこれらと比較する。最後に、以上の基礎的検討より、本項目で開発を目指す設計開発段階 RA 支援システムの開発方針を第 3.5 節に示す。

なお、以上を論じる上で必要な事項として、機械安全に関わる ISO 規格の体系について触れておく。機械安全に関わる ISO 規格は、A、B、C という 3 つのレベルに分類され、図 4 に示す体系で整理されている。ここで A 規格（基本安全規格）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。B 規格（グループ安全規格）は多くの機械に共通して適用される技術基準や安全装置の規格であり、また、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のが C 規格（個別機械安全規格）である。この階層体系は、それぞれの機械の安全規格がおおの独自に作成されるのではなく、機械安全の共通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 414¹⁵⁾ で定められている。

3.3 RA 各手順の必須実施事項と望まれる支援

3.3.1 情報の準備

図 3 には手順として示していないが、ISO 12100 では、RA を開始するにあたり準備しておくべき情報として、設計図面や以前に設計された類似機械の情報、関連する法規制・技術仕様などが挙げられている。ISO 12100 の規定及び特定の機械を具体的に例示しつつ ISO 12100 に従った RA の実施過程を説明した標準報告書で

ある ISO/TR 14121-2¹⁶⁾ 及び文献 14) などの書籍類を参考に、本研究でメーカーが実際に RA を実施する際に用いる資料等の関係情報を調査した結果を一覧としたものを表 6 に示す。RA を開始するタイミングは設計開発に並行して早いほど望ましいが、第 3.1 節で述べたように、本研究では最初の実施のタイミングを“構想設計・機能設計時”とした。これは、表 6 に示す情報が概ね定まった状況でなければ、現実には RA を開始することは困難と考えたからである。

一方、表 6 の 12) については、既に類似の機械を扱った経験がある場合には、その際に検討した結果を流用して準備できるが、真に新規に機械を開発する場合には該当する法規制等に関する知識が必要になる。しかし、現状では、中小零細メーカーに対して容易に該当する法規制等の情報が得られる環境が整備されているとは必ずしも言えない。この点に関しては、本項目の中で引き続き検討していく必要があると考えられる。

3.3.2 制限事項の指定

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

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

制限を設定する事項として、一般的に以下のことが知られている。

- － 使用上の制限: 仕様として設計者が意図する機械本来の機能、用途、使用（作業）方法、機械を使用している間に必要となる介入の手順や運転モード。これには、使用者に求める運転資格や使用経験、想定する年齢層、体型、利き手や身体能力の限界が含まれる。
- － 空間上の制限: 動作範囲、設置スペース、操作盤／制御盤の配置、予定外停止の解消や保全時のアクセス領域。
- － 時間上の制限: 機械の耐用年数、構成要素・消耗品の寿命、検査・交換の周期。

- － 使用環境: 屋内／屋外、温湿度条件、直射日光下、ほこり、爆発危険性などの条件。
- － 機械で扱うことを意図する加工対象物や搬送物などの特性。
- － 動力源（ユーティリティ）、冷却機など付帯設備の条件。

特定の機械を想定した具体的な制限事項を明文化した例として、ISO/TR 14121-2 に木材成型機を対象としたものが知られており、JIS の標準報告書でも TR B 0035 (ISO/TR 17529)¹⁷⁾ では放電加工機を対象に、TR B 0036¹⁸⁾ では据付け型研削盤を対象にそれぞれ記述例が示されている。

制限事項として指定する項目は、RA の前提となる条件ではあるが、その一方で、機械を企画・構想する上では必然的に定めなければならない事項であるとも言え、現実には多くが第 3.3.1 項で掲げた準備すべき情報の中に既に含まれていると考えられる。ただし、機械を新規に設計開発する際の仕様策定においては、その価値を高めることを意図して、用途をより汎用的に、使用者も幅広く設定する場合も考えられるが、RA を行う観点からは可能限り明確に制限を設けるのが望ましく、仕様策定の際に慎重な検討が求められる。第 3.3.5 項で述べるように実施した RA の適切さを立証する上では、機械の使用状況がすべて網羅され、リスクが漏れなく検討されていることが要求されており、明確に制限していない側面があれば、検討の網羅性を示すことは困難になる。特に、用途や使用（作業）方法に関しては、設計開発に携わる者だけでは想定に限界があることが考えられ、例えば、ISO/TR 14121-2 では、機械の運転員や保守員とできる限り情報交換することが推奨されている。

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

- － 使用者による機械の制御不能（手持ち機械又は移動機械）。
- － 機械を使用中に、機能不良や故障が生じたときの人の反射的挙動。

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

しかし、これらはあくまでも一部の例とされており、このため、ガイドライン等では、予見可能な誤使用を説明するために、その考え方や具体的な例示の紹介に多くの紙面が割かれている。知識や経験の少ない設計者にとって、予見可能な誤使用を網羅的に発想し適切に指定することは困難であると考えられる。この点に関して、本研究では、“予見可能な誤使用”は手順②：危険源の同定の中で扱うことを提案する。その詳細については第 3.3.3 項で改めて述べる。

以上のことから、手順①：制限事項の指定において最低限実施されるべき必須事項と必要となる支援の内容をまとめると以下ようになる。

必須実施事項：機械の用途、使用される環境、期間及び機械を使用する者等の条件を定めず（あるいは、与えられず）に RA を進めていくことは不可能である。逆に、人の介入やメンテナンスの方法、資格や熟練度を制限することで、後に同定する危険源や危険状態を大幅に減らせる場合もある。前述したように、機械の仕様として可能な限り多くの事項に対して明確に制限を設けるのが理想である。しかし、RA の実務としての観点から見れば、制限を設けることが必要な最低限の項目を選定し、重大な指定の漏れを防ぐことのほうがより重要と考えられる。これに関し、現時点では、表 7 に示す文献 14) にチェックリストとして示されている内容が最も参考になると考えている。それぞれの事項が後に続く RA の各手順とどう関係するのか明確にされている点も評価できる。

支援の内容：表 7 を拡充し、各項目に具体的な例を追記することで、手順①での実施事項を理解し易い形で提示できると考えている。さらに、表 7 では各々の事項について RA 各手順との関係が示されているが、表 6 に“情報”として示した内容との関係も示すことで、各項目の位置付けがより明確になると考えられる。

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

3.3.3 危険源の同定

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

一方、手順②は、ISO 12100 で RA において“必須のステップ”とされ、ISO/TR 14121-2 では“最も重要なステップ”と位置付けられている。RA の他の手順の有効性を左右する最もクリティカルな要素であるとする解説¹⁹⁾もある。設計者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで、初めてこれらを除く設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討されることになるからである。このため手順②では、確実に機械の危険源を見出し、少なくとも、重篤な危害に至る又は頻繁に災害が発生するといった重要な災害シナリオは見落とさないことが必要である。

ただし、その出発点として同定の手掛かりには、事業場が機械設備に対して行う使用段階での RA においては災害が起こる典型的な危険箇所をチェックリストの形式で一覧にしたもの²⁰⁾を利用する場合もあるが、設計開発段階の RA においては“危険源リスト”とも呼ばれる ISO 12100 附属書 B に記載された情報を用いるのが一般的となっている。RA を扱ったガイドラインや書籍などでも、ISO 12100 の危険源リストに則った形で、特定の機械を対象にした例示や参考となるイラストを加えた一覧を示している場合が多い。その一例を図 6 に示す。ISO 12100 の危険源リストは、1999 年に発行された ISO 14121

の初版に掲載されたリストに基づく。ただし、これは危険源、危険状態、危険事象の分別が必ずしも明快であるとは言えないものであったが、その後、2007年の第二版発行の際に改訂され、以下のように整理された。

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

ISO 12100 の危険源リストは、汎用的に利用可能なリストであると認識されている¹⁶⁾が、その内容は一般化された抽象的表現の記載に留まる。また、危険源として、機械の使用中に恒久的に存在する危険源に加え、予期せず出現する確率的な危険源も同定することが求められている。

この他にも、危険源の同定手法として、例えば以下の手法が知られている^{22~25)}。

- － Hazard and Operability Studies (HAZOP)
- － Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)
- － Fault Tree Analysis (FTA)
- － Event Tree Analysis (ETA)
- － ハザード・マトリックス
- － 典型的な傷害シナリオ
- － 典型災害事例からの抽出^{3, 26)}

- － 関連する安全規格の要求事項からの抽出
- － ユーティリティ追跡法²⁷⁾

個々の手法各々に特徴があり、次の手順③においても活用される手法もあるが、大別すると、危険源から危害に至る過程を同定していくボトムアップアプローチとこれと逆のトップダウンアプローチの2つに分けられる(図8)¹⁶⁾。トップダウンアプローチでは、危害 (ISO 12100 の危険源リストで言えば、潜在的結果) をまとめたリスト等を出発点として利用するが、それ故、検討対象の機械であまり経験されていない災害を見落とし易く、RA を実施する設計者に創造的思考がより要求される。一方、ボトムアップアプローチは、該当する危険源から危害の可能性をすべて検討するもので、トップダウンアプローチよりも網羅的な結果が得られるが、その分、作業にかかる負担は大きくなるとされる¹⁶⁾。どちらにおいても発想できるシナリオの範囲は設計者個人のもつ知識と経験に大きく依存するものであるが、本研究では、より網羅的な結果が得られる可能性のあるボトムアップアプローチを指向し、支援方法について検討することとする。

一方、手順①において“予見可能な誤使用”については手順②で扱うとしたが、このことについて説明する。まず、RA において予見可能な誤使用が影響する側面は、大別すれば、次の3つにまとめられる。

- a) 省略行動やリスク低減方策の迂回などによる、設計者が意図する使用方法から逸脱した人のアクセス。
- b) 人の誤操作、誤認などによる設計者が意図する使用方法から逸脱した機械の起動や可動部の作動。
- c) 機能不良や故障が起きた時の人の反射的挙動。

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

まず、a) は、危険源へのアクセスの要因として考慮が求められている事項である。このため、危険源から危険状態を同定する過程において、アクセスの可能性を、(誤使用を含めた)作業条件などから想定するのではなく、危険源と人との間に人が接近・進入できる物理的空間があるか、すなわち、機械の開口部や人が立ち入る領域の形状や寸法といった物理的観点から発想するようにすれば、省略行動やリスク低減方策の迂回を発想する必要性は低下すると考えられる。なお、a) は次の手順③で危険源へのアクセス頻

度を見積もる際にも影響する。ただし、手順②でアクセスの可能性が発想されてさえいれば、アクセス頻度を過小に見積もることを避けるよう促すことは可能と考える。

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

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

以上は、あくまでも知識や経験が限られた設計者に対する RA 実施支援の視点から、“予見可能な誤使用”を想定する際の負担を軽減するという前提での提案である。“予見可能な誤使用”を手順①で指定しておくことは、手順⑤：リスクの低減において“使用上の情報”（特に、警告表示又は取扱説明書）を適用する際及びユーザに通知する危険情報⁵³⁾を作成する際に関係してくる。このような点も踏まえ、今後さらに検討していく。

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

手順②で認識されなかった災害シナリオは以降取り上げられず、いかに網羅的な検討を行えるかが RA の成否を左右する。危険源を同定する

手法として様々なものが示されているが、現時点では、危険源の同定について、一定の手法や手順に従えば誰にでも行えて同様の結果が得られるという方法論は確立されていない。

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

そこで、本研究では、後の第 3.5 節で詳述するように、次の 2 つのアプローチで危険源の同定の支援を検討する。

案 1) すべての機械設備に共通して適用される規格のうち、ISO 12100 及び油圧、空気圧、電気、制御の各技術分野で設計原則を扱う B 規格 ISO 4413²⁸⁾、ISO 4414²⁹⁾、IEC 60204-1³⁰⁾、ISO 13849 シリーズ^{31, 32)} を取り上げ、これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源を抽出し、確実に同定すべき危険源の範囲と定めて提示（リスト化）する。

案 2) 特定の機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源を抽出し、C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、確実に同定すべき危険源の範囲と定めて提示する。

3.3.4 リスクの見積もり

図 3 に示した RA の一連の手順は、設計開発の進展に並行して反復的に実行されるが、これに関して手順③：リスクの見積もりには、同定した災害シナリオに対し、表 8 に示した要素を考慮して危害のひどさとその可能性（発生確率）を初めて見積もる“初期リスクの見積もり”と、手順⑤の後に行う“リスク低減後の再見積もり”の 2 つがある。リスク低減方策を特定の制御機能で達成する場合に参照する機能安全規格（例えば、ISO 13849、IEC 62061³³⁾）が推奨する手法で別途リスクを見積もり直すこともあるが、RA の一貫性を保つために“初期リスクの見積もり”と“リスク低減後の再見積もり”は同じ見積もり手法を用いて行う必要がある。

具体的な見積もり手法としては、様々なものが知られている。代表的な手法の概要と比較を表 9 に示す。Chinniah らは、2000 年後半を中心に産業界で用いられていた又は文献等で提案されていた 108 種のリスク見積もり手法を調査し、

そのうち、マトリックス法が 53.7%を占め、数値採点法 (14.8%) やリスクグラフ (10.2%) よりも広く使われていることを報告している³⁴⁾。例えば、経済産業省が消費生活用製品向けに紹介している R-Map³⁵⁾ は 2次元マトリックス法である。ただし、表 9 に示すように、各手法には各々一長一短があり、それを補うようハイブリッド法もあり、現時点で特定の手法が標準として確立されてはいない。表 8 に示す考慮すべき要素が ISO 12100 で“原則”とされているのみである。

危害のひどさは、その基準として、傷害/健康障害の程度を計る基準として、労働基準法施行規則や自動車損害賠償保障法施行令で定められた後遺障害等級を利用する場合もあるが、ISO/TR 14121-2 で例示されているリスクグラフ法のように“重篤”と“軽症”の 2つに分別する場合もある。また、手順②で必ずしも 1つの危険源に 1つの危害を対応させず、ひどさの異なる危険事象の結果を複数想定しておき、最も高いレベルのリスクが見積もられる場合を危険源に割り当てるのが望ましいとされる。これは、重篤な危害 (例えば、死亡や永久傷害) が想定される災害シナリオは往々にして発生確率が低く、これに対し、軽症であっても発生確率の高い方が高いリスクレベルとなる場合があるためであるが、一般的には、危害の発生確率よりもひどさが重視される傾向にある。

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

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

一方で、“リスク低減後の再見積もり”に関して、講じたリスク低減方策の種類と低減されるリスク要素との関係を知らずに RA を実施すると、低減後のリスクの見積もりに妥当性を欠く結果となるおそれがあり注意が必要である。例

えば、“可動部との衝突”において被る危害のひどさは危険源である“可動部のもつエネルギー”に依存する。このため、可動部の作動範囲に人が進入したことを検出して可動部を衝突する前に停止させる制御機能をリスク低減方策 (安全防护) として採用した場合、衝突の発生確率は低下できるが、仮に衝突が起こった場合、“可動部のもつエネルギー”を低下してはいないので、被る危害のひどさの低減は必ずしも見込めない。このような検討なしに、安全防护の効果を過大に評価して低減後のリスクレベルを低く見積もれば、リスク低減方策が不足する結果となりかねない。

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

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

ただし、講じたリスク低減方策の種類と低減されるリスク要素との関係は、例えば、協働ロボットの制御による力の制限³⁸⁾といった比較的新しい技術に基づく方策を含め、明確に整理を示しておくことが必要と言える。

3.3.5 リスク評価

手順③までの結果に基づき、リスク低減方策実施の必要性 (不足) を判断するのが手順④である。多くの場合、適切なリスク低減方策を選定・適用した後の評価が重要であり、方策が新たな危険源を生じていないこと及び他のリスクを増大させていないことの確認を踏まえ、残留

リスク許容を判断する。例えば、表 10 に示したリスク評価基準の例では、初回の評価でリスクインデックスが 2 以上となる場合には何らかの措置が必要としている³⁷⁾。

対象とする機械に C 規格が制定されている場合は、それら関連規格への適合を示すことで“適切なリスク低減”の達成を推定する十分な根拠とできる。これに対し、C 規格が制定されていない場合、あるいは、規格では扱われていない危険源については、手順③及び手順⑤の内容の適切さに関する設問 (ISO 12100 の 5.6.2) 及び可能であれば同種の機械とのリスク比較 (同 5.6.3) に対して肯定的な回答が得られる必要がある。そのうち、手順③に関連するものは以下の 3 問である。

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

労働安全分野においては、第 3 の問いは、“専門／工業分野の使用のために設計された機械”を“有資格者／熟練者を想定して設計された機械”と読み替えるべきと言えるが、総じて、これらは危険源及び災害シナリオの同定の網羅性を問う設問と解釈できる。本研究で、手順②で網羅的な結果が得られるとされるボトムアップアプローチを指向するとしたのは、手順④で肯定的な回答を示し易くなると考えられることも理由にある。

一方、手順⑤に関連する設問として“危険源の除去又は実行可能な最も低いレベルまでのリスク低減を行っているか”がある。ただし、C 規格に適合し、かつ、技術的仕様や使用条件が類似した他の機械類とリスク比較ができない場合には、選定・適用したリスク低減方策が合理的に実施可能な範囲で十分なものであるか、知識や経験の少ない設計者が判断することは必ずしも容易ではないと考えられる。

必須実施事項：手順④では、選定・適用したリスク低減方策が関連する規格や技術基準に適合していること、これによって目標と設定したレベルまでリスクが低減されたか確認することは元より、RA の範囲として検討した危険源や災害シナリオの網羅性を評価することが必須である。C 規格が制定されている機械においても、規格で扱われていない危険源は少なくない。検討され

ていない危険源の存在は、結果的に、残留するリスクを過小評価していることにつながる。

一方で、このような危険源又は C 規格がない機械に対しては、選定・適用したリスク低減方策が合理的に実施可能な範囲で十分なものであるか評価することが求められるが、必ずしも容易ではない。

支援の内容：C 規格が制定されていない機械、ならびに、C 規格が制定されていても規格で扱われていない危険源に対し、“適切なリスク低減”の達成を判断することについては、手順⑤の支援の内容と併せて次項で詳述する。

3.3.6 リスク低減

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

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

Step 2 “安全防護”：Step 1 で除去又は低減できないリスクに対し、ガード又は保護装置を用いてリスクを低減する。リスク低減が不足する場合には付加保護方策を追加する。

Step 3 “使用上の情報”：機械の制限事項等を見直すなど、さらなるリスクの低減を検討した上で、Step 1 及び 2 の適用の限界を残留リスクとして使用者に通知し、警告する。

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

各 Step に該当する方策の内容、設計原則や留意すべき事項、ならびに、適用の基本的な考え方などについては、ISO 12100 に要求事項として規定されている他、これらを詳述したガイドや解説書なども多く公表・発行されている³⁹⁾。また、Step 2 で保護装置及びこれに関連する制御機能をリスク低減に適用する場合、機能安全の知識が求められるが、“機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針”を踏まえ、2019 年には“設計技術者に対する機械安全教育実施要領”の中に ISO 13849 など機能安全規格の内容が盛り込まれた⁴⁰⁾。これらの情報に基づいて、設計者が 3 step method に従い、対象とする機械に適したリスク低減方策を立案・適用できる環境が整いつつある。

手順⑤は手順②と密接に関連している。まず、Step 1 では、どのような設計上工夫で危険源を除去できるか問題となる可能性があるが、この

場合には、危険源として同定した物質や物理状態を無くす又は判断の基準としたレベルにまで低減する（例えば、運動エネルギーや温度上昇の低減）ことで達成される。また、Step 2 でガードを適用する場合には、手順②でアクセスの可能性を機械の開口部や領域の形状や寸法といった物理的観点から判断するようにしていれば、これに基づいて適切な隔離方法を検討できる。このように、手順②で危険源を適切に同定できるよう支援を検討することが、手順⑤を実施する上での支援にもつながっている。

一方、C 規格が制定されていない機械、ならびに、C 規格が制定されていても規格で扱われていない危険源に対して Step 2 を講じる場合、これがリスク低減に適切に寄与するためには、保護装置の適切な設置位置や停止機能作動後のリセット操作などの側面に関して、関連する B 規格の要求事項⁸⁾などを踏まえた上で、設計する機械の使用性に影響を与えない適用方法を検討（発想）する必要がある。誤った利用の方法では手順④で“適切なリスク低減”の達成とは見做されない。前述したように参考となる資料は多数あるが、設計者個人のもつ知識と経験に大きく依存する場面と言える。

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

支援の内容：特定の危険源に対し、一律に、適用すべき方策が定まっておらず、また、“適切なリスク低減”を判断する基準が明確にされてもいない。あくまでもリスク低減方策の妥当性は、設計する機械の意図する使用や動作特性に照らし、機械の使用性との関連で評価される。それ故、特に C 規格が制定されていない機械、ならびに、C 規格が制定されていても規格で扱われていない危険源については、知識や経験が限られた設計者に対する支援が必要と考えられる。

そこで、本研究では、このような危険源に対し、国内メーカーが製造する機械を対象に、リスク低減方策やその基準の具体的な事例を第 2 年度で調査する計画とした。“適切なリスク低減”の判断の指標となる水準を、すべての機械に一律に、また定量的に示すことは困難ではあるが、

実例を示すことで設計者にとって大いに参考となり、その明確化に大きく寄与すると考える。

3.3.7 文書化

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

手順①～⑤の結果を示す様式としては、2007 年に発行された ISO/TR 14121-2 第一版の付属書 B に掲載された例が広く知られるようになり、以降、個別機械の標準報告書 (TR)、工業会や技術団体のガイドラインなどで様々なものが示されている。放電加工機を対象にした JIS TR B 0035 を例に、想定される作業員及び予見可能な誤使用を含む RA で対象としたライフサイクルとタスクの一覧を表 11 に、手順②～手順⑤の結果をまとめた様式を表 12 にそれぞれ示す。表 12 では、危険源に対する初期リスクの見積もり結果に対し、講じたリスク低減方策がどう作用したか、低減後のリスクの見積もり結果に加えて備考に説明を記載するようになっている。また、採用したリスク低減方策が制御機能である場合には、その実行に関係する制御システム部分のカテゴリ (Cat.) 及びパフォーマンスレベル (PL)³¹⁾が併記される。なお、この例では、危険区域、危険源、危険状態、危険事象が個別に記載されている点は ISO/TR 14121-2 の例に倣ったもので、これらを特に区別せず災害シナリオを文章で記述する様式もある³⁷⁾。また、介護ロボット分野では、ロボットの種類ごとに RA 表のひな形が公表されており、ロボット開発メーカーが利用できる。パワーアシストスーツを対象としたひな形を表 13～15 に示す²¹⁾。危険源の同定結果と初期リスクの見積もり結果を記載する様式と達成されるリスク低減方策を記載する様式とが別になって点は ISO/TR 14121-2 の例に倣ったもので、開発設計の進展に合わせて行われる変更を反映し易くする配慮と推察される。

必須実施事項：機械に関する危険性等の通知（労働安全衛生規則第 24 条の 13）に対するメーカーの対応方法を解説した“機械ユーザへの機械危険情報の提供に関するガイドライン”⁵³⁾では、危険情報は機械の設計開発段階で実施した RA の内容に基づいて作成されるとし、RA の結果が表 16 の様式でまとめられるという前提で、危険情報作成に必要な情報として次に関わるものを掲げている。

- － 機械を使用する目的と用途、ライフサイクル、作業内容
- － 危険箇所、（危害の種類として）危険源又は

災害シナリオ、危害の対象者

- ー 初期リスクの見積もり結果のうち、危害のひどさの評価
- ー 残留リスク
- ー リスク低減方策のうち、使用上の情報及びユーザに実施させる方策

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

支援の内容：RA 結果に関わる文書情報は一般的にはユーザ等に公開される前提で作成されるものでない^{2, 16)}が、実施した RA 及び機械の設計の正当性の根拠として、可能な限りすべての内容が詳細に明文化されるのが望ましい。また、開発設計の進展に応じて表 5 に示したタイミングで反復的に行われる RA に合わせた変更管理も必要である。ただし、メーカーにとって大きな負担になると考えられる“文章化”であるが、これについては、次の第 3.4 節で詳述するように、既存の RA 支援ツールにおいて十分に検討されており、様々な機能が実現されている。

3.3.8 本節のまとめ

第 3.3 節では、国際的に標準化された RA の手順に従い、各手順で最低限実施されるべき必須の要点と必要と考えられる支援の内容を検討した。RA のいずれの手順においても、要点を欠いた実施では最終的な目標である“適切なリスク低減”の達成は確認できない。しかし、本節の考察をまとめると、以下の理由から、手順②：危険源の同定が RA において最も重要、かつ、最も支援が必要と考えられる手順であると言える。

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

のが適切と考えられる。

- ー 手順②で危険源を適切に同定できるよう支援を検討することが、手順⑤でリスク低減方策を立案する際の支援にもつながると考えられる。

以上のことから、本研究の項目 1 で開発を目指す 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必要がある。この方針のもと、本年度は RA 支援システムの基本的な開発方針について検討したので、第 3.5 節に詳述する。

3.4 既存RA支援ツールの調査

3.4.1 調査の方法と対象

2016 年、労働安全衛生法が改正され、SDS 交付義務の対象となる薬品・物質類に対して事業場におけるリスクアセスメントが義務付けられることとなった⁴¹⁾。その実施（主としてリスクの見積もり）を支援するため、厚生労働省では支援ツールを作成し、国内外の研究機関等が開発したツール等と併せて公表している⁴²⁾。

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

調査対象とした RA 支援ツールの概要及び参照先を表 17 に示す。これらについて、デモ版やマニュアルなど公開されている範囲で予備的調査を行った結果、特に内容が充実していると考えられる RA 支援ツールとして、① 安全革命、④ Safexpert 8.6、⑨ Designsafe 8 の 3 製品を詳細調査の対象と選定し、主に、実装されている機能、内包されている技術資料等の情報、支援対象として想定されている設計者（以下、利用者という）に求められるレベルの 3 点に着目して、その内容を調べた。

以下では、その結果を順に示した後、得られた知見から既存の RA 支援ツールの課題を考察する。

3.4.2 “安全革命”

本ツールは、“知の拠点あいち重点研究プロジェクト(II期)「次世代ロボット社会形成技術開発プロジェクト」⁴³⁾”において開発された製品で、主に機械を新規に設計する段階や複数の構成要素を組み合わせて統合生産システムとして構築する段階での RA の効率化・省力化を目的としたツールである。動作中の画面の例として、構成

要素登録とマトリクス表作成の場合を図 9(a)と (b)にそれぞれ示す。本ツールで行われる RA は、ISO 12100 の標準の手順のうち、“制限事項の指定”を除いた部分にあたる。その順に従い、特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

- 1) 本ツールでは、はじめに、RA の対象とする機械・設備から危険と思われる区域や作業を特定し、該当する構成要素を図 9(a)に示すように登録する。次いで、各構成要素に関連すると考えられる危険源を、ISO 12100 の表 B.1 の危険源 (Origin) が列記された一覧から設定し、図 9(b)に示すマトリクス表を作成する。ただし、登録・設定される構成要素、危険区域や作業はすべて利用者に委ねられる。操作ガイドに構成要素を適切に登録できるようにするための助言はあるものの、RA の経験が限られた利用者にとって必ずしも容易とは言えない。
- 2) 危険源を登録する際、リスク見積りの要/不要及び人が関わるライフサイクルの局面を併せて指定する。これらにより、危険源・構成要素とライフサイクルの局面が組み合わされて分析評価表が自動で作成される。RA の検討漏れを防止するために有効な機能と言える。また、過去の RA のデータがあれば、これまでリスク見積りが必要と判断した頻度の高い組み合わせを自動的に指摘する機能も有しており、自社の判断の経験を反映させることが可能である。
- 3) 分析評価表において、対象者、危害を被る人体部位、想定される危害を入力するが、その際、準備されたプルダウンリストから該当するものを選択する方法で入力することも可能である。リストにない内容は直接入力するが、自動的にプルダウンリストに登録され、以降は選択肢となるよう配慮されている。
- 4) 以上で登録した“危険源”，“構成要素”，“ライフサイクル”，“想定危害”の内容を基にして、災害シナリオの案となる文章を自動作成する機能を有しており、文書化作業の負担軽減に大きく貢献している。
- 5) また、厚生労働省の死亡災害データベース⁴⁴⁾及び労働災害(死亡・休業4日以上)データベース⁴⁵⁾から抽出された災害事例の文章データが装備されており、これを用いて、災害シナリオ及び考案したリスク低減方策を記入する際、特定の単語をキーワードに検索すれば、キーワードを含んだ文章の一覧が表示される。
- 6) 日本産業標準調査会のホームページにある

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

- 7) リスクは、危害のひどさ (3 段階)、暴露頻度 (2 段階)、危険事象の発生確率 (3 段階)、回避/制限の可能性 (2 段階) の 4 要素の値を基に自動的に見積もられる。4 要素の統合には独自の見積もり方法が採用されている。また、各要素の段階の基準は、必要に応じて利用者が変更可能であるが、標準で ISO/TR 14121-2 の内容が引用されており、参考にできる。
- 8) リスク低減方策のうち、安全防護物については一覧が用意されている。ただし、基本的に JIS 規格に基づいた用語 (例えば、ライトカーテン タイプ 4) が用いられており、利用者には一定の機械安全の知識が要求されると考えられる。
- 9) 方策実施後のリスク再見積もりが行われていない又は残留レベルが 3 以上を示した危険源について、一覧で表示する機能を有する。分析評価表の自動作成機能とあわせ、検討漏れの防止に利用できる。

以上のように、本ツールは、特に文書化作業の負担を軽減する機能が多く実装されているが、総じて、RA に対して一定の知識や経験をもった設計者に向けたものと言える。特に、初めに行う構成要素や危険区域の登録設定については、自社に過去に行った RA のデータがある場合は一部利用可能ではあるが、利用者のスキルに依るところが大きいと考えられる。本ツールで危険源同定に採用されているマトリクス表を用いた手法は、厚生労働省から公開されている機能安全活用実践マニュアル ーロボットシステム編⁴⁶⁾で紹介されている手法と同様のものである。このため、本ツールの利用者としては、少なくとも“設計技術者に対する機械安全教育カリキュラム”及び“機能安全教育カリキュラム”に準拠した安全衛生教育を履修している者が想定されているものと推察される。

3.4.3 “Safexpert 8.6”

本ツールは、機械や電気装置の設計開発段階での RA、ならびに、欧州機械指令や低電圧指令等に対する適合性評価・CE マーキングの支援を

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

- 1) 本ツールで行う RA では、まず、対象とする機械に関連する ISO/IEC/EN 規格 (A 規格, B 規格及び制定されていれば C 規格) を登録する。登録した規格から一つを選択すると、規定されている要求事項が箇条順に表示されるとともに、それに該当する ISO 12100 の表 B.1 及び表 B.4 にある危険源 (Potential consequences) 及び危険事象がリストアップされて一覧が生成される。本ツールを使用する設計者は、表示された項目をガイドに該当する危険源・危険事象を同定していくことになる。その際、選択した規格以外の関連規格に同定した危険源等に該当する規定がある場合には、参考情報 (Cross reference) として提示される。ただし、具体的な箇条番号など詳細な情報が提示される場合は機械指令や ISO 12100 など一部に限られており、設計者が危険源等を容易にイメージできるようにする支援機能とまでは必ずしも言えない。
- 2) 次に、同定した危険源等に対し、危険区域及びライフサイクルの局面を指定していく。これらは、一度入力すれば登録され、以降はプルダウンリストから選択できるようになり、文書化作業の効率化が図られている。
- 3) 危険区域及びライフサイクルの局面を指定した危険源等に対し、個別に詳細な説明とリスク低減方策を記入していく。一度入力した記載内容はテンプレートとして登録でき、他の危険源に対しても繰り返し使用できるが、災害事例に基づいた例文などは用意されていない。
- 4) リスク低減方策に対しては、その実施や妥当性確認などのタスクを割り当て、担当者を指定することが可能である。
- 5) また、方策に関連する規格を参照先として入力しておく、製造元が所有する規格の制定データベースとリンクし、当該規格の改正や廃止 (これに伴う見直しの必要性) が起動時に表示される。
- 6) リスク低減方策を立案するのに合わせ、初期リスクと方策実施後のリスクを見積もる。ISO 12100 の手順とは異なるが、存在を認識した危険源について何らかの方策を講じることは自明であるので、RA の合理的な簡略化と解せる。見積もりの手法は、危害のひどさ (4 段階)、暴露の頻度 (2 段階)、回避又は制限の可能性 (2 段階) を要素とするリスクグラフに、危険事象の発生確率 (3 段階) をマトリクスとして組み合わせるハイブリッド法となっている。
- 7) リスク低減方策を安全機能とした場合には、要求される安全性能 (安全性能基準は PL, SIL, Category から選択) を定めるためのリスク評価の実施や関連するコンポーネントの記載が要求され、別途、そのための作業枠が表示される。また、警告表示とした場合には、ISO 7010⁴⁷⁾ が規定する安全標識のリストが内包されており、引用することができる。
- 8) 方策実施後のリスクが意図するレベルにあれば、危険源に対するリスク評価を完了する。最終的な確認段階では、評価完了の処理が済んでいない危険源が自動判別され、一覧として表示される。また、評価完了としたものについて改めて修正を加える際には、注意を促す警告表示が現れ、無用な編集が防止されるよう配慮されている。
- 9) RA 結果全体を一覧する際、危険源の順に表示する以外に、危険区域ごと又はライフサイクルの局面ごとに各項目を並べ替えて表示させることも可能である。また、初めに選択した規格 (Cross reference) を変更すると、その規格に該当する危険源のみが抜粋される機能もある。

以上のように、本ツールでは、機械に関連する EN 規格を手掛かりに危険源同定を行う点に特徴があり、対象とする機械の個別安全規格が制定されている場合には、その危険源リストや規定された要求事項を参照しながら RA を実施していくことになるため、設計者の負担が大きく軽減されると推察される。しかし、個別安全規格が制定されていない機械に対しては、結局、ISO 12100 の危険源リストに基づいて同定を行うこととなり、知識や経験の少ない設計者が網羅的な同定を達成できるとは必ずしも言えない。また、規格を参照しながら RA を進めてはいけるが、各項目に記入していく際に文章例などガイ

ドとなる情報は提示されず、ここでも一定の RA のスキルが要求されると言える。なお、本ツールの使用に際しては、製造者による講習セミナーやトレーニングコースが用意されている。

3.4.4 “Designsafe 8”

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

- 1) “危険源の同定”では、その手法として、まず、機械に係る人の属性（例えば、オペレータ、保全員）とそれぞれが行う作業を選択し、次いで、各人が行う作業の中で危険源を想定していく **Task-based approach** が用意されており、その使用が推奨されている。個々の人・作業ごとに起こり得る危険を想定することで、網羅的な同定が可能になるとされている。
- 2) また、このときに選択肢として提示される人、作業、危険源の項目について、各種機械（例えば、産業用ロボット、梱包機械、半導体製造装置）に応じて人や作業の名称などがカスタマイズされたセットを指摘でき、利用者に対し適切なガイドとなるよう配慮されている。ただし、提示される危険源の項目は、基本的に ISO 12100 の表 B.1 の危険源 (Potential consequences) に基づくもので、網羅的な同定が行えるかは本ツールを使用する設計者のスキルに左右されると考えられる。また、Origin は、Cause/Failure mode とされている欄に危険事象とともに災害シナリオの一部として記載することとなっているが、災害事例に基づいた例文などは用意されていない。
- 3) リスク見積り手法は、リスクグラフ法やマトリクス法など、ANSI, MIL, SEMI といった各種規格にある 18 種類の手法が用意されている。RA の対象としている機械にした手法、例えば、特定の業界で一般的に使用される手法があれば大変有効である。しかし、一定の手法が知られていない場合には、むしろ選択に迷うことも考えられ、また、割り当てられたリスクスコアなどを独自に変更することも可能であるが、適切に利用するには一定の RA の知識と経験が必要と言える。
- 4) また、リスク見積りに必要な要素として、暴露の頻度は作業 (Task) から、危険源の Origin 及び危険事象の発生確率は Cause/

Failure mode に記入した災害シナリオからそれぞれ読み取ることになる。このため、一定の判断基準での一貫した見積りが行われるかは使用する設計者に依ると考えられる。

- 5) リスク低減方策として安全機能を適用する場合、代表的な安全機能の一覧がガイドとして提示される。これは、要求仕様の指定において機能の説明を記述する際に利用できる。また、要求安全性能を決定するリスク見積りには、ISO 13849-1 のリスクグラフを含む 3 種類が用意されており選択可能である。
- 6) 以上で作成した RA 結果は、危険源ごとやタスクごとなど任意の項目を基に容易に並べ替えられる。また、RA 結果の出力形式も、すべてを一覧で示した形式の他、危険源のみを抽出したもの、作業ハザード分析 (Job Hazard Analysis⁴⁸⁾) の様式に基づいたものなど 18 種類から選択することができる。
- 7) 欧州指令、RA を解説した書籍の抜粋などが予め内包されており適宜参考にできるが、規格については概要の説明があるのみで、本ツール上から本文を参照できる機能は特に備えられていない。
- 8) 予め、産業用ロボットシステムや自動梱包システムなどを例に RA 結果を示した 5 種類のサンプルが内包されており、利用を開始する際に大きな助けとなっている。また、各種操作を説明するヘルプ機能は、文章で備えられているのに加え、動画での説明も備えられており、各欄に記入する際の留意点や文書化作業を効率化するコツなどが視覚的に理解できるよう工夫がされている。

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

3.4.5 厚生労働省“リスクアセスメント実施支援システム”

本ツールは、ユーザが自社で使用する機械に対して実施する RA を支援する目的で厚生労働

省が公表している⁴⁹⁾ものであるが、比較のため取り上げる。製品組み立て作業、食品加工作業、鋳物製造業、自動車整備業など30種類の業種・作業ごとに、“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の特定から“残留リスクと対応事例”までを扱ったもので、RAの各段階を迫って検討結果を用意された表の各欄に入力していく方式でRAを進め、最終的にRA実施一覧表が作成される。成形作業を対象にした一覧表の作成手順のうち、“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”と“すでに実施している災害防止対策とリスクの見積もり”の欄への入力を、操作方法説明資料から抜粋して図10に示す。これをもとに、本ツールの特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

- 1) 表の各欄に検討結果を入力する際(図10(a)では“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の入力)に、入力する必要がある事項の例が表示されるので、該当する場合にはそれを選択することで、また、独自の内容を入力する場合には例を参考にすることで表作成が容易に行えるよう配慮されている。ただし、例示の数は少数に限られており、このため、危険源と危険状態の洗い出しが網羅的に実施できるは利用者のスキルに左右されると考えられる。
- 2) 図10に示した例ではリスクの見積もりにマトリクス法が用いられているが、鋳物製造業や食品加工作業などの一部の作業については数値化法を用いる場合にも対応している。
- 3) 図10(b)に示す“実施している災害防止対策”の欄において、例示されている措置(図ではアイボルトのねじ込み深さはネジ径の1.5倍以上にする。)を選択した場合、それらに対して(危害の)重篤度、可能性及び(リスク低減実施の)優先度が自動的に決定されるようになっており、その評価基準(×や△)の意味も解説として表示される。同様に“追加のリスク低減措置案”の欄も、例示を選べば評価が自動的に決定される。RAの経験の少ない設備管理者にとって参考になると考えられる。
- 4) ただし、“追加のリスク低減措置案”の欄では、例示の少なさに加え、工学的方策と管理的方策との優先順が明確でなく、両者のリスク低減効果が同等に扱われている。解説の一部に方策の優先順に関する説明はあるものの、対象がユーザであることを踏まえても、リスク低減効果が高いのは工学的方策であり、極めて重要な事項であることから、管理的方策しか例示が挙げられない場合につい

ては注釈を加える工夫をするなど、明確な差別化が図られるようにすべきと言える。

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

3.4.6 既存 RA 支援ツールの課題

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

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

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

3.5 設計開発段階RA支援システムの開発方針

3.5.1 C規格の適用による危険源同定の簡易化

RAには様々な場面にHow toでは表せない側面が含まれており、一定の手法や手順に従えば誰にでも行えて同様の結果が得られるというのではなく、実施者には機械安全に関する一定の知識、経験と習熟が求められる。しかし、第3.4節での考察の結果、手順②:危険源の同定を最も支援が必要と考えられる手順とした。

また、前節で述べたように、既存のRA支援ツールの多くは文書化作業の省力化に焦点を当てたものであり、知識や経験が限られた設計者

を“危険源の同定”が実施できるよう支援する機能を有するものは見当たらなかった。

以上のことから、本研究では“危険源の同定”に焦点を当てた RA 支援システムの開発を目指すこととする。この方針のもと、具体的に“危険源の同定”を支援する方法として、本年度は、機械製品の流通に際して RA の実施が法制化されている欧州連合（EU）の考え方に着目した。

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 マーキング制度が確立しており、製造業者又は輸入者は適用される欧州指令（Directive）の関連要求事項に製品が適合していることを自らの責任で担保又は確認し、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。その中で、産業用機械設備については、少なくとも機械指令が必ず適用され、附属書 I に定められている「機械の設計と製造に係る必須健康安全要求事項（：Essencial health and safety requirements. 以下、EHSRs という。）」に適合していなければならない。特に、該当する要求事項を決定するため、また最終的に適合を評価するプロセスの一環としても、製品に関連するすべての危険源を考慮した包括的な RA を行うことが要求されており、製品の設計・製造段階でリスクを許容可能なレベルにまで低減する上で基礎となる必須の活動と位置付けられている⁵⁰⁾。

この要求に関し、欧州委員会が発行している機械指令の適用ガイド⁵¹⁾では、ISO 12100 の原則に従うことが EHSRs の要求に応じた RA の実施を保証するとしつつ、対象の機械設備に対して詳細な安全要求事項を規定した C 規格が機械指令整合規格として策定されている場合には、C 規格の活用によって RA が容易になるとしている。その理由は以下のように説明できる。

ISO/IEC Guide 51 及び CEN Guide 414 では、C 規格に関し、その策定の過程において、適用範囲とする機械に一般的に見られる典型的な危険源や重篤な危害に至る事が認識されている危険源などを規格作成者が知識と経験に照らして、そのリスクを低減するために所定の行動を必要とする重要な危険源（以下、重要危険源という。）として同定し、それらに対する合理的に実施可能な技術的方策を要求事項としてまとめることも規定している。これが、C 規格の活用によって RA が容易になる理由である。要求事項が規定されている重要危険源については、その内容から、比較的容易に、検討対象となる機械の部位、動作範囲、部品、あるいは、人が関与する状況などを具体的に把握できる。例として、旋盤の C 規格 ISO 23125⁵²⁾ の重要危険源リストから抜粋した機械的危険源と対応する安全要求事項を表

18 に示す。ISO 12100 の危険源リストで“加速／減速”とされている項目には、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”を検討すべきであることが要求事項の内容から分かる。同様に、“飛散又は放出”では“切屑、液体、加工部品”が、“重力”では“垂直軸又は傾斜軸の予期しない動き”が危険源／危険事象に該当することが読み取れる。また、表 19 は動力プレス of C 規格 ISO 16092-1⁵³⁾ の重要危険源リスト抜粋した機械的危険源と対応する要求事項である。ここでは運動エネルギーを可動要素とまとめているが、プレスのスライドが動く金型領域以外にも、電源の異常による金型の落下、高速な場合の送り装置のコイル端などが同定すべきことが分かる。

ISO 12100 の危険源リストに記載された危険源と各 C 規格が扱う重要危険源については、図 10 に示す関係にあることが CEN Guide 414 で説明されている。RA で検討すべき危険源は ISO 12100 の附属書 B に（完全ではないが）十分網羅されており、これに基づいて実際の機械に関連する危険源を同定することが設計者への要求である。しかし、C 規格が策定されている機械においては、規格策定の過程において、適用範囲とする機械において一般的に見られる典型的な危険源や重篤な災害に至ることが認識されている危険源を規格の作成者が既に同定している。すなわち、C 規格の危険源リストは、メーカーが手順②で最低限検討しなければならない範囲を明確に示したものであり、このため、その活用によって RA の負荷が軽減されると解せる。

3.5.3 危険源同定の支援のアプローチ

C 規格の適用によって危険源同定が容易になることを参考に、本研究では、具体的な支援として次の 2 つのアプローチを考案した。

案 1) C 規格が策定されていない場合を含むすべての機械設備に共通して適用される規格のうち、ISO 12100 及び油圧、空気圧、電気、制御の各技術分野で設計原則を扱う B 規格 ISO 4413, ISO 4414, IEC 60204-1, ISO 13849 シリーズを取り上げ、これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源を抽出し、確実に同定すべき危険源の範囲と定め提示（リスト化）する⁵⁴⁾。

案 2) 特定の機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源や危険事象を抽出し、これを反映することで C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、確実に同定すべき危険源の範囲と定め提示する。

以下に、各々の詳細を述べる。

3.5.3.1 設計原則を扱う国際機械安全規格の活用

案1で掲げた機械の安全設計原則を扱う基本的な規格において、要求事項が規定されている事項（機械の部位、動作範囲、部品、あるいは人が関与する状況）は、これまでの機械安全の歴史に照らし、機械設備一般に典型的な危険源として国際的にも広く認識されたものと見做せる。このことを図10と対比する形で図11に示す。上記5規格の要求事項からの抽出のみではISO 12100付属書Bにある項目のすべて網羅はしない。しかし、抽象的表現の記載であった危険源を技術的に明確な情報として提示することが可能になる。

表20は、ISO 12100の要求事項から遡って抽出した危険源／危険区域である。操作位置からの死角を防ぐ要求事項から、持ち上げられた荷の可動区域や、人を昇降するための搬送機械の可動区域、明るさが十分でない保全のために進入する区域などが、検討すべき危険な区域と認識できるものとした。この視認性及び手動制御器は、第3.3.3項で述べた“予見可能な誤使用”の誤操作に関わる項目でもある。また、はさまれについては、まず、寸法的な観点から、そして、力の大きさの観点から検討すべきことを示している。なお、これらについては、更に詳細な数値基準を示した参考資料の情報を加えることも考えられ、該当する項目に記載している。同様に、ISO 4413の要求事項から遡って抽出した危険源／危険区域を表21に示す。機能不良や故障を防止する要求事項から遡って、機能不良や故障の可能性をもつ機器や要素を具体的に検討（探索）できる項目が多い。このように、規格の安全要求事項から遡って危険源を抽出し、確実に検討すべき範囲として提示すれば、知識や経験が限られた設計者も比較的容易に危険源同定を行えるようになると思われる。

なお、すでにC規格が策定されている機械設備については、規格の重要危険源リスト及び安全要求事項を優先的に参照すべきであることは変わらない。本研究で提案する5規格から明確化した危険源のリストは、これを代替するものではなく、補完する位置付けとなる。

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が、知識や経験の少ない設計者が危険源同定を実施する上で最低限達成される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としを防ぐことがより重要であると言える。このため、本研究では、機械の安全設計原則を扱う5規格を対象に、これらの安全要求事項から確実に同

定すべき危険源の範囲を明確化することを提案する。

3.5.3.2 災害事例から抽出した危険源による拡充

設計対象とする機械にC規格が制定されていたとしても、危険源リストの参照が設計者に対して有力な支援になるとは限らない場合もある。例えば、産業用ロボットは、既に述べたように半完成品であり、エンドエフェクタや外界センサ等を装備し、他の産業機械類と連携又は生産システムの中に組み込まれることではじめて用途や機能が確定する特徴がある。このため、他の機械設備と異なり、同定すべき危険源の種類や数もアプリケーションの特性、規模、複雑さに応じて様々で具体的に特定することに限界があることから、表22に示すように、産業用ロボットシステムのC規格(ISO 10218-1⁵⁵⁾及び10218-2³⁸⁾の危険源リストは一般化された表現の記載に留まったものとなっており、これをガイドとして活用しても必ずしもRAは容易にならず、危険源を網羅的に洗い出すには設計者に一定の知識と経験が要求される。案2は、このような機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源や危険事象を抽出し、既にある危険源リストをより明確化又は項目を拡充することで、確実に同定すべき危険源の範囲と定めて提示するものである。以下では、具体的な例として産業用ロボットシステムを取り上げて説明する。

まず、産業用ロボットシステムに係る労働災害の発生状況を把握するために、厚生労働省が公開している死亡災害データベース⁴⁴⁾から1999～2018の間に報告された全死亡災害、ならびに、労働災害(死傷)データベース⁴⁵⁾から2006～2017年の間に報告された負傷災害(休業4日以上)のうち各年約1/4を無作為抽出したものを対象に、産業用ロボットを起因物とする災害事例を抽出し分析した。重複しているものなどを除き、検討対象となった死亡災害事例と負傷災害事例の件数を表23に示す。死亡災害の事故の型は“はさまれ・巻き込まれ”、“激突され”のいずれかであった。また、死亡災害、負傷災害ともに、回転軸などに巻き込まれたとする報告はなかった。なお、表23には、参考として、現行のISO 10218-1及び2の対応JIS規格(JIS B 8433-1及び2)が発行された2015年以降の件数も併せて示す。負傷災害の事故の型の一部に事例が報告されていない場合があったが、災害発生状況全体の傾向にJIS規格発行前と後で特に大きな違いは見られない。このため、以下では、抽出したすべての死亡災害39件と負傷災害85件を対象に議論を進める。

次に、抽出した災害事例に関連する危険源や

危険事象を、表 22 に示した C 規格の危険源リストに記載の項目から認識可能かという観点から考察した。結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- ① “はさまれ”の事例について、危険源リストで該当する項目としては“ロボットアーム又はエンドエフェクタとすべての固定物（柵、梁など）との間”があるが、抽出した事例では、他に、支柱、フレーム、安全柵、ロボットのベース、制御盤、ワーク保持台、治具、連携する工作機械が報告されていた。
- ② “はさまれ”の事例では、供給されるワークや部品、搬出される製品、コンベアなど搬送設備の可動部、搬送トレイ・パレット類といった固定されていない物との間で被災した事例があった。危険源リストに基づけば、“ハンドリング中の部品及び連携している設備上の鋭利な工具の移動又は回転”等から連想される可能性もあるが、必ずしも容易とは言えない。
- ③ “はさまれ”及び“激突され”の事例計 104 件について、ロボットが動作中であった又は動作を開始した理由を大別した結果を表 24 に示す。“自動運転中などロボットが停止していない（させていない）状況で、ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させて被災した”場合が 45 件と最も多く、保護方策実施の不備／不足が指摘されるが、危険源リストでは必ずしも明確には記載されていない。
- ④ 表 24 の理由 c “誤ってセンサ等を作動させた”については、例えば、ISO 10218-2 の 5.8.2 “保全のための安全防護対策要求事項”から読み取る（発想する）必要があるが、実施する者の能力に依存すると考えられる。また、その他に分類した事例に“操作位置からの視認性の不足”に起因した例があるが、これも例えば 5.6.3.4.3 「起動／再起動及び予期しない起動」から読み取る必要がある。
- ⑤ 危険源リストにはエンドエフェクタに関する項目があるが、その他の中に“ハンドに残っていたエアの力でハンドが動作した”、“ハンドにあったワークが急に落下し、停止していたロボットが意図しない動作をした”事例があり、必ずしも該当していない。

そこで、本研究では、重要危険源リストが、設計者の発想を促し、危険源同定の負荷を軽減する情報となり、かつ、少なくとも重大な見落としは防ぐツールとなるよう、災害事例から導かれる危険源や危険事象について、産業用ロボットシステムに関連する ISO/TR^{56,57)}の情報及び A

規格の安全要求事項を基にリストの内容を拡充することを提案する。具体的な例として、上述した 5 つの事項を反映して拡充した危険源リスト（機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋）を表 25 に示す。拡充した内容は以下のとおりである（表では該当部分に下線を付して示す）。

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

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

3.6 今後の課題

本章では、RA の各手順を改めて整理し、各手順で実施されるべき必須事項と必要となる支援の内容を検討した。次に、既存の RA 支援ツールについて、実装されている機能や内包されている資料、支援対象として想定されている設計者に求められるレベルという 3 の観点からこれらを比較した。以上の結果から、“危険源の同定”が RA で最も重要であり、かつ、設計者に対する

支援が最も必要である手順とし、項目1で開発を目指すRA支援システムはこれに焦点を当てたものとするを定めた。さらに、RA支援システム開発の方針として、RAの実施が法制化されているEUの考え方に着目し、国際安全規格を活用した危険源同定の負荷軽減を提案した。具体的なアプローチとして2つの案を示した。これらは、いずれも“危険源の同定”で最低限検討しなければならない範囲を明確に提示することで、知識や経験が限られた設計者も比較的容易に、かつ、重大な見落としなく危険源が同定可能になると考えたものである。現時点ではどちらを選択すべきか判断する段階がなく、第2年度に計画している要求仕様策定に向けてさらに検討を進めていく予定である。

この他に、次年度以降、検討する必要のある課題を以下にまとめて記す。

- ① 表2の12)について、中小零細メーカーが新規に機械を開発する場合に該当する法規制等を容易に知る環境が整備されているとは必ずしも言えず、RA支援システムに内包する技術情報の一環に含めるなど、何らかの支援を検討する必要がある
- ② 機械の仕様として可能な限り多くの事項に明確に制限を設けるのが理想である。しかし、制限を定める必要がある最低限の事項を選定したものと、現時点では表7に示した内容を選定した。今後、この表を基に内容を拡充する方向で検討を進めていく予定である。
- ③ 本研究では、知識や経験の少ない設計者に対するRA実施支援の視点から“予見可能な誤使用”を想定する際の負担を軽減する目的で、これを手順②：危険源の同定の中で扱うことを提案した。ただし、予見可能な誤使用を手順①で指定しておくことは、手順⑤：リスクの低減において“使用上の情報”（特に、警告表示又は取扱説明書）を適用する際、ならびに、ユーザに通知する危険情報⁵³⁾を作成する際に関係しており、これらの点を踏まえ、その妥当性を検討する必要がある。
- ④ 規格からの危険源の抽出をさらに進め、表14～16に示したリストを拡充するとともに、同定した危険源から災害シナリオを網羅的に想定する過程での支援について検討する必要がある。特に、機械の開口部や領域の形状や寸法といった物理的観点からアクセスの可能性を体系的に検討できるようにする支援を考える必要がある。

- ⑤ 本章の範囲では、設計開発の対象となっている機械は完成品として上市されることを意図しているとの前提でRAについて議論を進めた。ただし、機械には半完成品とされるものもあり、これらについてはRA各手順において必ずしも完成品と同じ内容が適用できず、異なる扱いを検討しなければならない場合も考えられる。半完成品のRAは、合理的に可能な範囲で従える限り完成品と同様に実施していくことが原則になると推察はできるが、今後、完成品の場合との差異を明確にしておくことが必要である。

4. 選択式使用段階RA支援システムの開発

4.1 開発の概要

機械使用事業場（以下、「ユーザ」という。）は、一般に、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は把握していないことが多いと考えられる。このような機械本体の危険源について同定することは困難である。機械の危険源（リスクマップ等）とユーザで講ずべきについては、労働安全衛生規則第24条の13に基づきメーカーからユーザに情報提供がなされ、ユーザでこれに基づく安全方策が策定されるものと考えられる。一方、機械がユーザの生産ラインに設置され、そこで使用されることで生じる危険源については、メーカーで同定を行うことに限界があると考えられる。ユーザでRAを行う理由の1つがこのことにあると考えられる。

このようなことから、本研究の項目2では、ユーザとしてRAを行う際の支援システム（使用段階RA支援システム）を開発する。

ユーザは、会社によって組織名が異なるものの、おおよそ、経営管理部署、商品開発部署、機械の購入部署（購買部）、機械の設置・保守部門（生産技術部）、作業標準の作成・教育などを行う部署（労務管理部）、実際に作業を行う部署（製造部）、商品の販売を行う部署（営業部）などから構成される。小規模事業場では、これらの業務ごとに組織を設置できない。同様の業務を少ない組織と人数で行うこととなる。このような中、ユーザでは、商品の生産に必要な機械を選定・購入し、生産ラインに設置し、この機械の操作・運転に必要な技能を工場の作業者に教育してから生産が開始される。これらの過程において安全上の問題がないか、例えば、購入する機械が安全上の問題がないか、生産ラインの安全対策が適切か、作業マニュアルが適切かなどが責任をもって判断されなければならない。このため、例えば、必要な機能を満たしたうえ

でより安全な（受容可能な）機械を選定するための RA、生産ラインの安全対策を講じるための RA、必要な保護具等を決定し作業マニュアルを作成するための RA などである。これらの RA は必ずしも別々に行う必要はないが、各々の担当者が各々の視点で、その目的を果たせるように実施する。RA 手法が適切か否かは、目的に合っているか否か、例えば適切な作業マニュアルを作成するためのエビデンスができるか否かで判断される。RA 自体は災害防止対策ではない。判断のエビデンスであり、判断の説明責任を果たすための手段である。

ここでは、小規模事業場の生産設備（主に既存の生産機械）を対象に、機械の安全対策（ガードや安全装置等）や作業者の安全対策（保護具、作業マニュアル、安全教育など）を策定するための RA（つまり、生産技術者や労務管理者が、機械の危険源を工場の作業者に委ねることができるか否かを判断するための RA）を検討し、支援システムを提案するが、他の目的の RA にあっても同様の手法を用いることが可能である。

一般に、中小企業が RA を実施する場合、専門的知見を有するスタッフをそろえることは困難であり、本務との兼ね合いから長い時間をかけて行うことも難しい。また、危険源リストは、機械については ISO 12100 の附属書 B などが用いられるが、規格を読みこなし、附属書の危険源リストに当てはめて危険源同定を行うことは専門的な知識を有さない者には難しい。ここでは、機械ユーザの事業場の中でも特に、RA の担当職員を置けないような中小企業を対象とする。

4.2 日本国内の労働災害と使用段階RAの現状

日本国内で発生する死亡労働災害は、昭和 36 年の 6712 人をピークに減少し令和元年には 845 人にまで減少した⁴⁾。一方、休業 4 日以上之死傷者数は高度成長期から概ね減少を続けてきたが、平成 21 年以降、増加に転じ令和元年には 125,611 人となっている⁴⁾。また、事業場の規模別死傷年千人率をみると、規模が小さい事業場では死傷年千人率が高く、製造業では労働者数 10~29 人の事業場と労働者数 300 人以上の事業場では 4 倍程度の差が生じている⁴⁾。

ユーザで実施する使用段階の RA の実施率は、労働者数 300 人を超える事業場では 7 割を超えているものの、労働者数 10~29 人の事業場では 4 割に留まっている¹⁾。また、RA を実施した事業場の 7 割以上が効果を実感している⁵⁸⁾。これらのことから、中小企業の労働災害を減少させる上での重要な課題として、中小企業に RA を普及する必要があるとされる。中小企業において、RA を実施していない理由としては、実施方法が

わからないことや十分な知識を持った人材がいなかったことなどが挙げられている¹⁾。

4.3 選択式簡易RA

本研究の項目 2 で開発する使用段階 RA 支援システムは、平成 28~30 年度に実施した「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。）において考案された選択式簡易 RA 手法に基づくもので、対象機械の写真を撮影し、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としている。

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いう。その手順は、ISO/IEC Guide 51 において図 13 のように示されており、国際的にも、また、業種的にも広く用いられている。この規格作成指針において、安全とは“リスクが許容可能であること”とされており、RA の手順は国際規格との整合性がなければ、その結果が許容されないおそれがある。

選択式簡易 RA は、この手順のうち“危険源同定”の支援を行う。ISO/IEC Guide 51 における危険源同定では、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。危険源リストとして ISO 12100 の附属書 B が用いられるが、これは機械全般を対象としており、特定の機械の具体的な危険源の同定は容易ではない。機械によっては規格に、その機械に即した危険源リストが付されていることもある。しかし、これらの危険源リストでは専門家など十分な知識や経験をもつ者ではなければ危険源同定は難しい。

このため、想定している簡易 RA では、必ずしも専門的な知識を有さない設備管理者などが、会議室等で短時間かつ容易に行うことを念頭に、機械の写真と危険源リストの代わりとなる災害発生経緯（災害シナリオ）を説明したイラストを照らし合わせて危険源同定を行うこととする。このイラストは対象の機械の災害に特化したものを提示する。これにより、RA の負担を減らすとともに、専門的な知識を有さない者にも分かり易くなると考えられる。

このようなコンセプトの下、タブレット PC などで動作する選択式使用段階 RA 支援システムを開発する。イラスト等を用いた選択式簡易 RA 手法については、既実施研究において、本手法の有効性を検証するためにボール盤を用いた板金作業を対象にしたプロトタイプを試作している³⁾。そこでは、災害のイラストを主として用いるアプローチと RA の対象とする機械の写真を主として用いるアプローチの 2 つの方式が考案され、各々の長短所の比較が行われた。

本研究では、より平易に危険源同定を行うため、既実施研究の2つのアプローチを改めて検討し、その結果、文章の読解・記述を可能な限り排した上でこれらを統合、写真とイラストを照らし合わせる方式を考案した⁵⁹⁾。すなわち、RAの対象として実施者が選択した機械の災害事例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危険区域を指定できるものにする事とした。

なお、イラストを作成する災害シナリオは、できるだけ網羅的であるのが望ましいが、過度に多くなると作業量が増大し、RA実施が困難になることに留意する必要がある。

また、本研究で想定するRAを実施する者、場所のイメージは以下のとおりである。

・RA実施者

対象機械を操作する作業員、そのラインの職長、総務担当の労働者などが行う。専門的な知識を有しないものとする。

・RAを実施する場所など

会議室などで行う。既実施研究の結果を踏まえ、事前に、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）を撮影しておき、危険源同定の進展に応じて別途必要になれば改めて追加する。

イラストを用いた危険源リストは、機械の災害事例から災害シナリオを抽出し、これを基に作成する。このためのシナリオ抽出・作成方法については次の第4.4節で述べるが、その際、厚生労働省から公表されている機械災害に係るデータベース^{44,45,60)}で対象にされている機械のうち、先行して、丸のこ盤、旋盤、ボール盤、フライス盤、プレス機械の5種について災害シナリオを抽出する。

なお、すべての機械に対して本システムを適用して危険源同定を行えることが望ましいが、それには限界がある。また、本研究では、最終目標をRA支援を目的とするシステムに共通に参照される“基本仕様”を確立することとしており、開発する支援システムは基本仕様を満たす一具体例との位置付けである。このため、選択式簡易RA支援システムは、主に工場内で製品の製造加工に用いられる固定機械を対象として開発を進め、車両系建設機械など移動する機械や工場で用いない機械については対象としないこととした。

4.4 災害シナリオの作成

災害シナリオは、対象機械の危険源を表すもので、対象機械に関連する労働災害をできる限り網羅して作成しなければならない。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配慮する必要がある。

その上で、災害事例から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すぐに対応できるようになるとともに、各企業においても独自にイラストを作成できるようになり、それらを開発する支援システムに取り込むことでより危険源の見落とし防止が期待できる。

以下に、本研究で考案した抽出・作成方法をまとめる。

① 災害事例の抽出

本研究では、災害事例を、厚生労働省の職場のあんぜんサイトで公表されている“死亡災害データベース”、“労働災害（死傷）データベース”及び“機械災害データベース⁶⁰⁾”から抽出した。死亡災害や重篤な災害は類似のものをまとめ、これらデータベースに収録されている災害事例の全てをイラストにして、支援システムを構築する。なお、災害事例のソースとして中小企業が独自に収集した又は業界団体などが策定した事例集を活用することにより、例えば、特定の業界で用いる特殊な機械にも対応できるようになることも考えられる。システムの拡張性として今後検討する予定である。

② 災害シナリオの作成

収集した災害事例から以下の項目を抽出する。

ア. 「作業工程」：作業員がどの工程で災害を起こしたのか判断する。加工作業、準備作業、後処理作業、保守作業、非常作業の5つに分類分けする。それぞれの例は以下のとおりである。

加工作業：加工する作業全般及び機械が動作している中での清掃作業など

準備作業：刃の取り付け、位置決め作業など

後処理作業：刃の取り外し、清掃作業など

保守作業：定期メンテナンス作業など

その他の非常作業：トラブル処理など

イ. 「事故の型」：データベースに記載された事故の型を用いる。ただし、明らかに誤っていると考えられる場合には修正する。また、複数の事由や事故の型以外の直接原因が考えられるケースもある。これらの項目も災害シナリオを作成するために重要であることから、これらを「危ないこと」「原因」として抽出する。

ウ. 「状況」：事例の発生状況の内容から、災害

につながる要因を読み取り、「〇〇しているとき」、「〇〇中」という表現でまとめる。

これらの項目をもとに、災害シナリオを作成する。以下に作成したシナリオの一部を示す。

<旋盤の災害シナリオの例>

- 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、身体に当たって打撲する。
- 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。

<丸ノコ盤の災害シナリオの例>

- 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。

<プレス機の災害シナリオの例>

- 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。
- 加工作業中に、折り曲げられた材料の板に挟まれる。（プレスブレーキ）
- 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。）

<ボール盤の災害シナリオの例>

- 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。

<フライス盤の災害シナリオの例>

- 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やけどする。
- 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。

4.5 アプリケーションソフトウェアの要件

提案する選択式使用段階 RA 支援システムは第 4.3 節に示したように、対象の機械の写真が必要な枚数撮影し、この写真と危険源リストとなるイラストを照らし合わせて危険源同定を実施していく。このシステムで用いるアプリケーションソフトウェアに求められる機能について検討する。

まず、第 4.3 節で述べたように、本システムでは、RA の対象として実施者が選択した機械について、イラストで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／危険区域”を指定することをもって危険源同定としていることに特徴があり、これを実現する機能が必要であると考えられる。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危険箇所／危険区域が指定・登録できることが望ましい。

次に、イラストとして提示される災害シナリオ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 RA 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、イラストは厳選されたものである上に、その提示順序についても災害事例の報告件数や危害の重篤度などに基づいて配慮されている必要があると考えられる。

最後に、1 つの災害シナリオに常に 1 つの危険区域が対応しているとは限らず、逆に、1 つの危険区域に複数の災害シナリオが該当することも考えられる。このため、選んだイラストと登録した危険区域を紐付けて登録・管理する際、1 つの危険区域に N 枚のイラストが、1 つのイラストに N 箇所の危険区域が対応でき、どちらを入力に置いても問い合わせ可能であることが求め

られると考えられる。なお、以上において、N 枚及び N 個の上限は、タブレット PC など使用する機器のリソースにも影響してくるものであるため、適切な値を設定する必要がある。

今後、以上の要件に基づいて、アプリケーションソフトウェアの要求仕様・詳細仕様を策定していく。

4.6 今後の予定

本章では、項目 2 で開発する選択式使用段階 RA 支援システムについて、本年度検討した結果を述べた。モノづくりを行う中小企業の RA を支援することを目的に、できるだけ簡易で、紙や文字を可能な限り排する方向で既実施研究において考案した 2 つのアプローチを統合し、その結果、対象として選択した機械の災害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区域を指定していく方式とした。これに基づき、災害シナリオの作成方法、ならびに、アプリケーションソフトウェアの要件について検討した。

災害シナリオは、対象として選択した機械の危険源を可能な限り網羅して同定できるもので、少なくとも、死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とされず、確実に同定されるよう配慮されている必要がある。

次年度以降、以下の事項を実施することとしている。

① 対象機械の追加

厚生労働省が公開している機械災害に係るデータベースにある研削盤、混合機、粉碎機などの災害シナリオを作成し、RA 支援システムで扱える機械の種類を拡充する。なお、災害事例のソースとしては、中小企業が独自に収集した又は業界団体などが策定した事例集を活用することも考えられ、システムの拡張性として併せて検討する。

② 危険源リストに用いるイラストの制作

作成した災害シナリオに基づいてイラストを制作する。イラストは、従来の危険源リストの代わりとなるものであり、災害シナリオの重要要素が容易に読み取れるものである必要がある。また、中小企業が新たな災害事例集などに基づいて容易にイラストを自ら追加できるよう、丸や四角など単純な図形を用いて作画することを考えている。

③ RA 支援システムの試作

第 4.5 節で示したアプリケーションソフトウェアの要件に基づいて仕様を決定し、RA 支援システムを試作する。試作したシステムは、中

小企業や労働安全コンサルタントに試行してもらい、その結果をもとに必要に応じて改善を図る。労働安全コンサルタントは、RA に慣れた者を選定し、専門的な知識と技能を有する者の視点で評価してもらおう。一方、中小企業では RA に慣れていない者に試行してもらおうこととしている。慣れた者に比して、慣れていない者がどのくらい危険源を同定できるかによって、支援システムの評価を行う。

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・製造段階及び使用段階で適切なリスクアセスメントを実施する必要がある。このうち、機械の設計・製造段階では、ISO 12100 を始めとする機械安全規格に従って製品（機械）のリスクアセスメント及びリスク低減を図る方法が知られている。

これに対し、機械の使用段階では、機械の使用（以下、「ユーザ」という。）は、例えば英国 HSE が提唱する 5 ステップ法⁶¹⁾や厚生労働省が公表している職場のあんぜんサイトに公表された手法⁴⁹⁾を利用して、作業のリスクアセスメント（以下、「RA」という。）を行うなどの方法が考えられる。しかし、危険性を十分に熟知していない人が機械の使用段階で作業の RA を実施しようとする場合、一般的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する十分な情報と適切な支援が得られない状態で、RA の実施は困難と考えられる。
- 2) 仮に RA を実施しても、専門家の関与がない状況の下では、実施した RA の妥当性の確認は困難と考えられる。
- 3) RA では継続的な改善が要求される。しかし、RA の妥当性が検証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。

筆者らは、既実施研究において、労働者数が数名程度の小規模事業場で使用される機械を対象に、ユーザにとって理解が容易な危害から出発する簡易 RA 手法の開発を試みた。そして、手法の一つとして、後述する“典型災害事例を応用した簡易 RA 手法”を提案し、核となる災害データの解析を行った。本研究の項目 3 では、この簡易 RA 手法をタブレット端末に実装した RA 支援システムを開発する。本章では、本年度検討した結果について述べる。

なお、本章は、上述の既実施研究の総合報告書³⁾及び文献(62)、(63)に記載した事項を基に、その後の研究の進展も踏まえて書き直したものである。

5.2 簡易 RA 手法が必要とする基礎的要件の抽出

英国では、小規模事業場を対象とした簡易 RA 手法として、英国安全衛生庁 (HSE) が提唱している 5 ステップ法を使用することがある。この手法は、図 14 に示すように、欧州安全規格 (EN 規格) の下で機械の設計・製造者 (以下、「メーカー」という。) が行っている「設備のリスクアセスメント」をユーザが行う「作業のリスクアセスメント」に応用したものである。そのため、簡易とは言うものの、「機械の危険性を本当に知っているのは機械の設計・製造者である」という観点から、メーカーが熟知している危険源を出発点として危険源→危険状態→危険事象→危害と演繹的に (前向きに) RA を行う方法が採用されている (図 15 参照)。しかし、機械安全に関する知識と経験がほとんどないユーザ事業場 (例えば、本研究で対象とする労働者数が数名程度の小規模事業場など) でこのような演繹的手法を採用する場合は、RA を実施する人の能力に「ばらつき」があるために、誰が RA を行っても同じような結果になるとは限らない。その結果、重大な危険源などを見逃して、必要な予防措置に漏れが生じる可能性も考えられる。

このため、筆者らは既実施研究において、以上のような問題が発生する可能性が少ない手法として、ユーザにとって理解が容易な危害 (災害) から出発する簡易 RA 手法を提案した³⁾。この方法では、過去に繰り返し発生している災害 (後述するタイプ A 災害) を対象に典型災害事例を抽出し、この典型災害事例に記載された危害 (災害) を出発点として後ろ向き推論 (帰納的推論) を行う。これは、メーカーが熟知している危険源から出発する決定論的観点からの前向き推論 (演繹的推論) を行う従来の RA 手法とは根本的に異なるという特徴を備えている。

以上の点をまとめると、簡易 RA 手法の開発にあたっては、少なくとも次のような基礎的要件の検討が必要と考えられた。

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

て安全と判定しないこと)。

仮に、これらの要件を満足できる手法が確立できるならば、簡単で再現性があり、かつ危険を誤って安全と判定する可能性が少ない理想的な簡易 RA 手法の構築が可能となる。そこで、次に、これらの要件を満足できる具体的方法の検討を試みた。

5.3 典型災害事例の抽出

実際の後向き推論による RA では、従来の決定論的な前向き推論 (演繹的推論) でなく、確率統計的な後ろ向き推論を利用する。以下、その詳細を述べる。

労働災害の中には、過去に繰り返し発生している災害と、発生確率は低いが重篤度が著しく高いために社会的に影響の大きい災害がある。本稿では、前者をタイプ A 災害、後者をタイプ B 災害と呼ぶ (図 16 参照)。

実際の現場で発生する労働災害の大部分は、タイプ A 災害である。このため、著者らは、平成 22~25 年に発生した全労働災害 (休業 4 日以上の死傷労働災害 474,088 件、及び死亡労働災害 5,625 件) の中から、機械に起因する労働災害 (休業 4 日以上の死傷労働災害 76,075 件及び死亡労働災害 870 件) を選び、労働災害が多発している機種種の抽出を試みた。ただし、機械は動力機械、動力クレーン、フォークリフト、コンベアに限定し、トラック、乗用車、バス、バイク、鉄道車両、その他の乗り物は除外した。

調査の結果、機械に起因する死傷労働災害の 75% は、図 17 に示す 16 機種で多発していることが判明した。また、機械に起因する死亡労働災害の 83% は、図 18 に示す 16 機種で多発していることが判明した。ただし、ここでいう多発とは、平成 22~25 年に発生した全死傷労働災害又は全死亡労働災害の 0.1% を越えていることをいう。また、図 17 の 16 機種と図 18 の 16 機種では機械の種類がまったく異なっている点に注意が必要である。

以上の事実は、災害の 8 割近くを占める各々の 16 機種に重点を置いて労働災害防止対策を実施すれば、労働災害の大幅な減少を達成できる可能性を示唆する。そこで、各々の 16 機種を対象に典型災害事例の抽出を試みた。しかし、人の能力には「ばらつき」があるために、典型災害事例の表現方法を標準化しておかないと、典型災害事例の抽出時に同じような結果が得られるとは限らない。

このため、本研究では、人による「ばらつき」をできる限り少なくするために、典型災害事例を図 19 に示すように I (業種: Industry) + M (機

械：Machine) + T (事故の型：Type) + O (作業その他の条件：Operation or Option) + C (直接原因と対策：Cause and Countermeasure) という 5 種類の項目で表現し、典型災害事例の表現方法の標準化を試みた。ここで、I は労働災害の発生した業種で、労働基準法別表第一に定められた業種分類にしたがって決定する。また、M と T は労働災害の発生した機械の名称と事故の型で、厚生労働省が発表している「事故の型及び起因物分類」に定められた起因物及び事故の型分類表を考慮して決定する。さらに、O は労働災害に関連した作業その他の条件、C は労働災害に関連する直接原因とその予防策である。

図 20 に、死亡災害が多発している機械を対象に典型災害事例を抽出した結果を示す。なお、死亡災害が多発している機械は 16 機種あるが、ここでは製造現場で労働災害が多発しているフォークリフトを対象に例を示した。なお、他の機種 of 典型災害事例の案も既に作成しているが、これらは別途、原著論文などで公表を行う予定である。

以上の典型災害事例では、平成 26 年以前に発生した死亡災害のデータを利用して開発を行った。

5.4 5 ステップ方式による簡易 RA 手法の具体的手順

以上の事実は、労働災害の 8 割近くを占める典型災害事例を対象に根本原因の究明と保護方策の明確化を図れば、ユーザ段階での RA を簡易化できる可能性を示唆する。そこで、この点を検討した。

既実施研究で提案した典型災害事例を用いた簡易 RA 手法の手順を図 21 に示す。各手順の詳細は次のとおりである。

1) ステップ 1 (危害の明確化)

典型災害事例には、過去の現場での労働災害の経験を基に、発生可能性が高い危害がすべて示されている。したがって、経験が少ない人でも重要な危害を漏れなく抽出できるという利点がある。これは、経験者の少ない小規模事業場にとっては大変効果的な手法となる。

本研究では、死傷労働災害が多発している 16 機種と死亡労働災害が多発している 16 機種から、次の 15 機種について典型災害事例を作成した。

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

ただし、ボール盤、フライス盤、マシニングセンタ、中ぐり盤の 4 種については 1 つの典型災害事例としてまとめている。

例えば、図 20 はフォークリフトを対象とした典型災害事例、図 21 は移動式クレーンを対象とした典型災害事例で、それぞれフォークリフト、移動式クレーンで発生可能性が高い危害がすべて示されている。したがって、実際の現場で RA を実施する場合は、このシートの上から順番に同種の労働災害が発生する可能性があるか否かを RA の実施者が判断し、発生可能性がある労働災害に対して確実に対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シートには全体の 72.2% を占める典型災害事例が例示されているから、少なくとも全体の 7 割近くの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効果が得られる。しかも、この評価は実際の労働災害の経験に基づく値であるから、他の加算法、積算法、枝分かれ法、マトリックス法などとも比較しても、リスク評価の数値の確実性は高いと考えられる。

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、設備対策 (表 26, 27 参照, 様式 A) と管理的対策 (表 28, 29 参照, 様式 B) がある。そこで、様式 A と様式 B の中から必要な保護方策を選んで評価結果の記録表 (表 30 参照, 様式 C) に記録する。

ただし、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、追記を行うことも考えられる。そこで、これらを自由記入できるように様式を工夫した。このような自由記入の欄を設けることによって、現場の意欲と創造性が高まり、労働災害防止に関する意識を促進できると考えられる。

なお、ここでは、様式 A (表 26, 27) と様式 B (表 28, 29) にはそれぞれフォークリフトと移動式クレーンの場合を、様式 C (表 30) にはフォークリフトの場合を例として示した。他の機種の典型災害事例の案も既に作成しているが、これらは別途、原著論文などで公表を行う予定である。

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 を完成させ、評価結果と残留

リスクの記録を行う。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のかを明示し、その残留リスクに対する管理的対策も併せて記載することが重要である。

また、様式 C には現場の管理者への連絡事項（管理者に何をしてもらいたい）とメーカーへの連絡事項（メーカーに何を希望するか）を記入する欄がある。この欄を記載することで、簡易 RA を単に現場の作業レベルに留まらない多くの関係者（例えば、現場の管理者やメーカーの担当者など）も交えた質の高い RA を実施することが可能となる。

従来、作業の RA では、機械の危険性や保護方策の不具合に関する情報はユーザだけで完結することが多かった。しかし、機械の危険性に対して本当に有効な対策が実施できるのは機械のメーカーの担当者（機械の設計・製造者など）や現場の管理者（小規模事業場の場合は社長や工場長など）である。これらの真に責任がある関係者も含めて機械の RA や保護方策を講じることが、実効性の高い対策を講じる上で不可欠と考える。

5) ステップ 5 (妥当性確認, 見直しと訂正, 記録の保存)

このステップでは、専門家がタブレット端末を利用して“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端末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。

このような遠隔安全診断の利用によって、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などの利点がある。

5.5 タブレット端末を用いた RA 支援システムの基本機能

次に、前述した典型災害事例と様式 A, B, C を利用して、タブレット端末を利用した簡易 RA 支援システムを試作した。この試作では、次のような点に留意した。

1) ICT の初心者やタブレット端末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、タブレット端末上に表示される典型災害事例や RA シート(表 26~30 に示した様式 A, 様式 B,

様式 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) タブレット端末上に表示される典型災害事例や RA シート、及び表 26~30 に示した様式 A, 様式 B, 様式 C などに対して、あたかも紙の上で行うかのような自由自在な手書きができること。この場合、関係者が RA の実施中に気づいた点をタブレット端末に書き込んだり、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に適した構造としていること。
- 3) 現場で撮った写真や動画などを RA の実施者が遠隔安全診断用のシートに貼り付け、関係者間で情報共有できること。この場合、上記のシート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) 本システムは、小規模事業場に勤務する高齢者が頻繁に利用する。このような高齢者がタブレット端末の画面を容易に視認できるように、タブレット端末上に表示される典型災害事例や RA シート、及び表 26~30 に示した様式 A, 様式 B, 様式 C などは指による操作によってシートの拡大、縮小、移動などが簡単にできること。
- 5) 本システムでは、企業の機密に関する情報を扱うことも多い。このような情報のセキュリティを確保するために、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、タブレット端末の利用状況を確認するログ監査機能などを備えていること。
- 6) 本システムの特徴は、専門家が RA 結果の妥当性確認を行えることにある。この機能を容易に実行できるように、現場の管理者（小規模事業場の場合は社長や工場長など）、RA の実施者、及び専門家の間での連絡調整と確認を瞬時（迅速に）かつ確実に（高信頼で）行うことができること。また、同様の機能をメーカーの担当者（機械の設計・製造者など）でも行うことができること。
- 7) 本システムを利用することで、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できること。この実現のために、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するなど、業務の効率化を図れる様々なツールを備えていること。

本システムでは、以上のような機能を実現するために、株式会社 MetaMoJi が販売している Genba Note for Business を使用した。また、本システムでは、タブレット端末上での手書きを容易化するために、手書きに適した構造のタッチペンとしてスタイラスペンを使用した。

5.6 RA 支援システムの機器構成

本システムの機器構成は次のとおりである。

- 1) タブレット端末
Apple ipad pro 12.9 インチ WiFi モデル 256GB 1 式 (RA 実施者用)
- 2) キーボード
ipad pro 用 Smart Keyboard Folio 1 式
- 3) タッチペン
MetaMoJi 製 スタイラスペン 1 本
- 4) 作業支援システム
Genba Note for Business チームディスジョンクラウド版 5 ライセンス (RA 実施者用, 現場の管理・監督者用, 専門家用)
- 5) 手書き文字認識システム
Genba Note for Business チームディスジョンクラウド版 mazec 1 式
- 6) RA 実施者, 管理者, 専門家間の連携システム
Genba Note for Business チームディスジョンクラウド版 ミーティングオプション 1 ライセンス
- 7) 簡易 RA 支援システムのプロトタイプ
プロトタイプ・テンプレート 1 式
- 8) 操作説明書 1 式

5.7 RA 支援システムの操作手順

本システムの操作手順は次のとおりである。

- 1) タブレット端末上でアプリを起動する。
- 2) タブレット端末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、タブレット端末を使って、RA の実施者、管理・監督者、専門家が直接写真や動画を撮影し、貼り付け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) タブレット端末上に様式 A (設備対策) のシートが表示される。
- 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) 該当する設備対策を選択する。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) タブレット端末上に様式 B (管理的対策) のシートが表示される。
- 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) 該当する管理的対策を選択する。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) タブレット端末上に様式 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」、「メーカーへの連絡事項」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) RA の結果を RA の実施者と管理者に送信する。
- 24) 必要に応じて、RA の結果をメーカーに連絡する。
- 25) RA を終了する。

開発したシステムの写真を図 22 に示す。今後は本システムを現場で試験的運用し、その有効性を評価したい。

5.8 本章のまとめ

機械に起因する労働災害を防止するには、機械の使用段階で適切な RA を実施する必要がある。しかし、機械の機能や危険性に対して十分な情報が得られない小規模事業場では RA の担当者が想定できるリスクには限界がある。また、仮に RA を実施しても、専門家の関与が得られない状況の下では RA の妥当性の確認は困難と考えられる。そこで、労働者数が数名程度の小規模事業場で使用される機械を対象に、機械ユーザにとって理解が容易な危害から出発する簡易 RA 手法の開発を試みた。この手法は、簡単で、再現性があり、かつ重大な危害を見逃すことが少ないという利点があるため、RA の実施に伴う不確定性を合理的に可能な限り少なくすることが可能である。したがって、この手法は人の能力の“ばらつき”が大きい小規模事業場で特に有用と考えられる。

以上の考え方を基に開発したタブレット端末を用いたシステムは、①手書きをベースとしたシステムであるために IT が苦手な人でも操作が容易、②タブレット端末を利用して現場の写真・動画・作業手順・専門家のコメント等を容易に伝達できるために専門家による遠隔安全診断も可能、③RA の記録を確実に保存するために類似の機械への応用や結果の統計処理も容易などの利点がある。今後は本システムを現場で試験的運用し、その有効性を評価したい。

6. 結言

機械災害を防止するには、設計開発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所が実施しておらず、特に労働者 50 人未満の事業所では普及が進展していないのが現状である。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されてきたが、依然として“RA の難しさ”が普及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、特に中小零細事業所において機械に係る RA の普及を促すことを目的に、機械の設計開発段階と使用段階の両面から RA を実施する技術者・設備管理者を支援するシステムをそれぞれ検討した。具体的には、図 2 に示した全体計画に従い、設計開発段階 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”と設定して検討を進めた。各項目で令和 2 年度（初年度）に得られた結果と考察の要点は次のとおりである。

項目 1：設計開発段階 RA 支援システムの開発

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

2) 国内、欧州、北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し、デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し、さらに、内容が充実していると考えられる 3 種を選定し、具体的な機能や内蔵されている資料を詳細に調査した。その結果、“文書化”に対しては既に十分検討されており、様々な支援機能が実現されていた。さらに、ISO 規格など関連する技術情報の参照機能など、設計者が RA を効率

的に実施する上で有効と考えられる機能や工夫も確認できた。しかし、いずれのツールにおいても、適切に利用するためには一定の機械安全の知識と RA 実施の経験が求められると考えられた。特に、“危険源の同定”については、その出発点として用意されているものは、共通して、ISO 12100 の危険源リストの提示であり、対象とする機械で起こり得る危害を設計者が適切に想定（発想）できるように支援する機能を有するのは見当たらなかった。

3) 以上に基づき、項目 1 で開発を目指す設計開発段階 RA 支援システムでは“危険源の同定”の支援に焦点を当てることと定め、その核となる支援のアプローチを RA 実施が法制化されている EU の考え方に着目し検討した。その具体的なアプローチとして、①機械の安全設計原則を扱う規格の安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源を抽出しリスト化する、②災害事例から抽出した情報に基づき C 規格にある危険源リストの項目を拡充・明確化する、という 2 つを現時点での提案として示した。これらは、いずれも“危険源の同定”で最低限検討しなければならない範囲を明確に提示することで、知識や経験に限られた設計者も比較的容易に、かつ、重大な見落としなく危険源が同定可能になると考えたもので、次年度に計画している要求仕様策定向けてさらに検討を進めていく予定である。

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選択式簡易 RA 手法について、既実施研究において試作したプロトタイプシステムの内容を見直し、対象とする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ともに、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険区域を指定していく方式のシステムとすることを考案し、開発する RA 支援システムのアプリケーションソフトウェアに対する要件について検討した。

2) 厚生労働省が公開している機械災害データベース等から、丸のこ盤、旋盤、ボール盤、フライス盤、プレス機械について災害事例を抽出し、これより災害シナリオを作成していく方法を考案した。災害シナリオは、対象として選択した機械の危険源を可能な限り網羅して同定できるもので、少なくとも、死亡又は重症といった重大な危害に至る危険源は見落とされぬよう配慮する必要がある。今後は、研削盤、混合機、粉碎機など他の機械の災害事例を抽出し、災害シナリオの作成を進めていく。

項目 3: 典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

1) 既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易 RA 手法は、簡単で再現性があり、かつ重大な危害を見逃すことが少ないという利点があるため、RA の実施に伴う不確定性を合理的に可能な限り少なくすることが可能である。本年度は、対象となる機械機種数を 15 機種まで拡充するために、典型災害事例及びチェックリスト等必要な情報を作成した。

2) 上記の簡易 RA 手法をタブレット端末に実装した RA 支援システムを構築した。これは、タブレット端末を使用して操作を行うために IT が苦手な人でも操作が容易である上、RA の記録を確実に保存でき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なるなどの利点がある。

3) さらに、タブレット端末を利用して現場の写真・動画・作業手順・機械安全専門家のコメント等を容易に伝達できる点に着目し、専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組み（遠隔安全診断）を考案し、具体的な支援機能として開発した。

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。本補助金の提供に御尽力頂いた関係各位に深い謝意を表する。

なお、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”において、タブレット端末を利用した簡易 RA 支援システムの制作にあたっては、株式会社 MetaMoJi の代表取締役社長 浮川和宣氏、代表取締役専務 浮川初子氏、取締役 津田恭輔氏、杉森眞二氏、高藤淳氏の協力を得た。ここに記して各氏に感謝の意を表す。

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（2021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「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年度総括研究終了報告書”（2019）

- 4) 中央労働災害防止協会：“安全の指標 令和2年度”，中央労働災害防止協会，ISBN 978-4805919316 (2020)
- 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”，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) 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-Roudoukijunkyouku/kikai_kikaku_2.pdf (2021年5月25日確認)
- 9) 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”
- 10) 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-Roudoukijunkyouku/anzeniseibu/0000077404.pdf> (2021年5月25日確認)
- 11) 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> (2021年5月25日確認)
- 12) ISO 14121-1:2007 “Safety of machinery - Risk assessment - Part 1: Principles”
- 13) 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”)
- 14) 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/anzenisei14/dl/100524-1.pdf> (2021年5月25日確認)
- 15) CEN Guide 414:2017 “Safety of machinery - Rules for the drafting and presentation of safety standards”
- 16) ISO/TR 14121-2:2012 “Safety of machinery - Risk assessment - Part 2: Practical guidance and examples of methods”
- 17) TR B 0035:2019 “工作機械—放電加工機のリスクアセスメントの実用的ガイダンス及び事例” (原規格：ISO/TR 17529:2014 “Machine tools - Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge machines”)
- 18) TR B 0036:2019 “工作機械—据付け形研削盤のリスクアセスメントの実用的ガイダンス及び事例”
- 19) Bruce W. Main：“Risk Assessment: Challenges and Opportunities”，Design Safety Engineering Inc.，ISBN 978-0974124827 (2012)
- 20) 例えば，WorkSafe New Zealand：“Safe use of machinery”，pp.79-81. <https://www.worksafe.govt.nz/topic-and-industry/manufacturing/safe-use-of-machinery/> (2021年5月25日確認)
- 21) 池田博康：“リスクアセスメントシート解説—リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎—”，介護ロボットポータルサイト，日本医療研究開発機構，http://robotcare.jp/data/etc/SG-3-2_risk_help.pdf (2021年5月25日確認)
- 22) Health and Safety Laboratory (HSL)：“Review of Hazard Identification Techniques”，Health and Safety Executive (HSE)，HSL/2005/58 (2005)
- 23) 中央労働災害防止協会：“機械包括安全指針に沿った機械設備安全化の進め方”，中央労働災害防止協会，ISBN 978-4805916124 (2015)
- 24) 経済産業省：“リスクアセスメント・ハンドブック【第一版】実務編”，https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf (2021年5月25日確認)
- 25) 経済産業省：“リスクアセスメント・ハンドブック—実務編—”，https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf (2021年5月25日確認)
- 26) 安全技術応用研究会 リスクアセスメント普及促進委員会編：“リスクアセスメントの実践技術の解説”，安全技術応用研究会 (2004)
- 27) 厚生労働省：“機械ユーザへの機械危険情報の提供に関するガイドライン”，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzenisei14/dl/110506.pdf> (2021年5月25日確認)
- 28) 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”)
- 29) 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”)
- 30) 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”)
- 31) ISO 13849-1:2015 “Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design” (対応JIS規格：JIS B

- 9705-1 : 2019 “機械類の安全性 - 制御システムの安全関連部 - 第1部：設計のための一般原則”)
- 32) 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”)
- 33) IEC 62061:2021 “Safety of machinery - Functional safety of safety-related control systems”
- 34) Yuvin Chinniah, François Gauthie, Serge Lambert, Florence Moulet : “Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines”, Studies and Research Projects Report R-684, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), ISBN: 978-2896315376 (2011)
- 35) 日科技連R-Map研究会：“全ライフサイクルに対応した製品安全リスクマネジメント手法 R-Map実践ガイダンス”，日科技連出版，ISBN: 978-4817130464 (2004)
- 36) 厚生労働省：“リスクアセスメント等関連資料・教材一覧”，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/> (2021年5月25日確認)
- 37) 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> (2021年5月25日確認)
- 38) ISO 10218-2 : 2011 “Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration” (対応JIS規格：JIS B8433-2:2015 “ロボット及びロボティックデバイス - 産業用ロボットのための安全要求事項 - 第2部：ロボットシステム及びインテグレーション”)
- 39) 例えば，日本機械工業連合会：“平成28年度中小製造者向け機械安全教育プログラムの開発に関する報告書”，<http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1505/2.html> (2021年5月25日確認)
- 40) 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)
- 41) 厚生労働省：“労働安全衛生法による化学物質のリスクアセスメントについて”，https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1 (2021年5月25日確認)
- 42) 厚生労働省：“リスクアセスメント支援ツール”，https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1 (2021年5月25日確認)
- 43) 知の拠点あいち：“重点研究プロジェクト (II期) 研究成果 リスクアセスメント (RA) 支援ツールの開発”，<http://www.chinokyoten.pref.aichi.jp/project02-02/R7-2-1.pdf> (2021年5月25日確認)
- 44) 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/anzen_pg/SIB_FND.aspx (2021年5月25日確認)
- 45) 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/SHISO_FND.aspx (2021年5月25日確認)
- 46) 中央労働災害防止協会：“機能安全活用実践マニュアル ーロボットシステム編ー”，<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyoquanzeniseibu/0000197860.pdf> (2021年5月25日確認)
- 47) ISO 7010:2019 “Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Registered safety signs”
- 48) Occupational Safety and Health Administration, “Job Hazard Analysis”, OSHA 3071 (2002 Revised), <https://www.osha.gov/Publications/osh3071.pdf> (2021年5月25日確認)
- 49) 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 (2021年5月25日確認)
- 50) European Commission : “EU general risk assessment methodology (Action 5 of Multi-Annual Action Plan for the surveillance of products in the EU (COM(2013)76)”，<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15134/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> (2021年5月25日確認)
- 51) European Commission : “Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC - Edition 2.2”，<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38022> (2021年5月25日確認)
- 52) ISO 23125 : 2015 “Machine tools - Safety - Turning machines”
- 53) ISO 16092-1 : 2017 “Machine tools safety - Presses - Part 1: General safety requirements”
- 54) 齋藤剛，池田博康，濱島京子：“中小機械製造業者を対象とした設計開発段階での危険源同定の支援に関する考察”，日本機械学会北陸信越支部第58期総会・講演会講演論文集，No.217-1, pp. B032 (2021)
- 55) ISO 10218-1:2011 “Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots” (対応JIS規格：JIS B 8433-1:2015 “ロボット及びロボティックデバイス - 産業用ロボットのための安全要求事項 - 第1部：ロボット”)
- 56) ISO/TR 20218-1:2018 “Robotics - Safety design for industrial robot systems - Part 1: End-effectors”

- 57) ISO/TR 20218-2:2017 “Robotics - Safety design for industrial robot systems - Part 2: Manual load/unload stations”
- 58) 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> (2021年5月25日確認)
- 59) 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)
- 60) 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> (2021年5月25日確認)
- 61) Health and Safety Executive (HSE): “Five steps to risk assessment”, <https://www.midsussex.gov.uk/media/1820/5-steps-to-risk-assessment-lealfet.pdf> (2021年5月25日確認)
- 62) 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”, 電子情報通信学会安全性研究会, SSS2018-14, pp.5-8 (2018)
- 63) 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, pp.1-2 (2018)
- 64) ISO 28881:2013 “Machine tools - Safety - Electro-discharge machines” (対応JIS規格: JIS B 6032:2016 “工作機械 - 安全性 - 放電加工機”)
- 65) CEN/CR 1030-1:1995 “Hand-arm vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: engineering methods by design of machinery”
- 66) 厚生労働省: “職場のあんぜんサイト 労働安全衛生法施行令別表第9及び別表第3第1号に掲げるラベル表示・SDS交付義務対象674物質の一覧”, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/gmsds640.html> (2021年5月25日確認)
- 67) 環境省: “放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料”, <http://www.env.go.jp/chemi/rhm/r1kisoshiryo.html> (2021年5月25日確認)
- 68) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) “ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields”, Health Physics, Vol.96, No.4, pp. 504-514 (2009)
- 69) 株式会社タダノ: “移動式クレーン安全装置一覧”, <https://www.tadano.co.jp/service/upload/docs/safety01.pdf> (2021年5月25日確認)
- 70) 室蘭労働基準監督署: “移動式クレーンの安全対策について”, <https://jsite.mhlw.go.jp/hokkaido-roudoukyoku/var/rev0/0130/3965/20161124182947.pdf>
- 71) 中央労働災害防止協会: “機械の安全対策に関するアンケート調査” (2021)

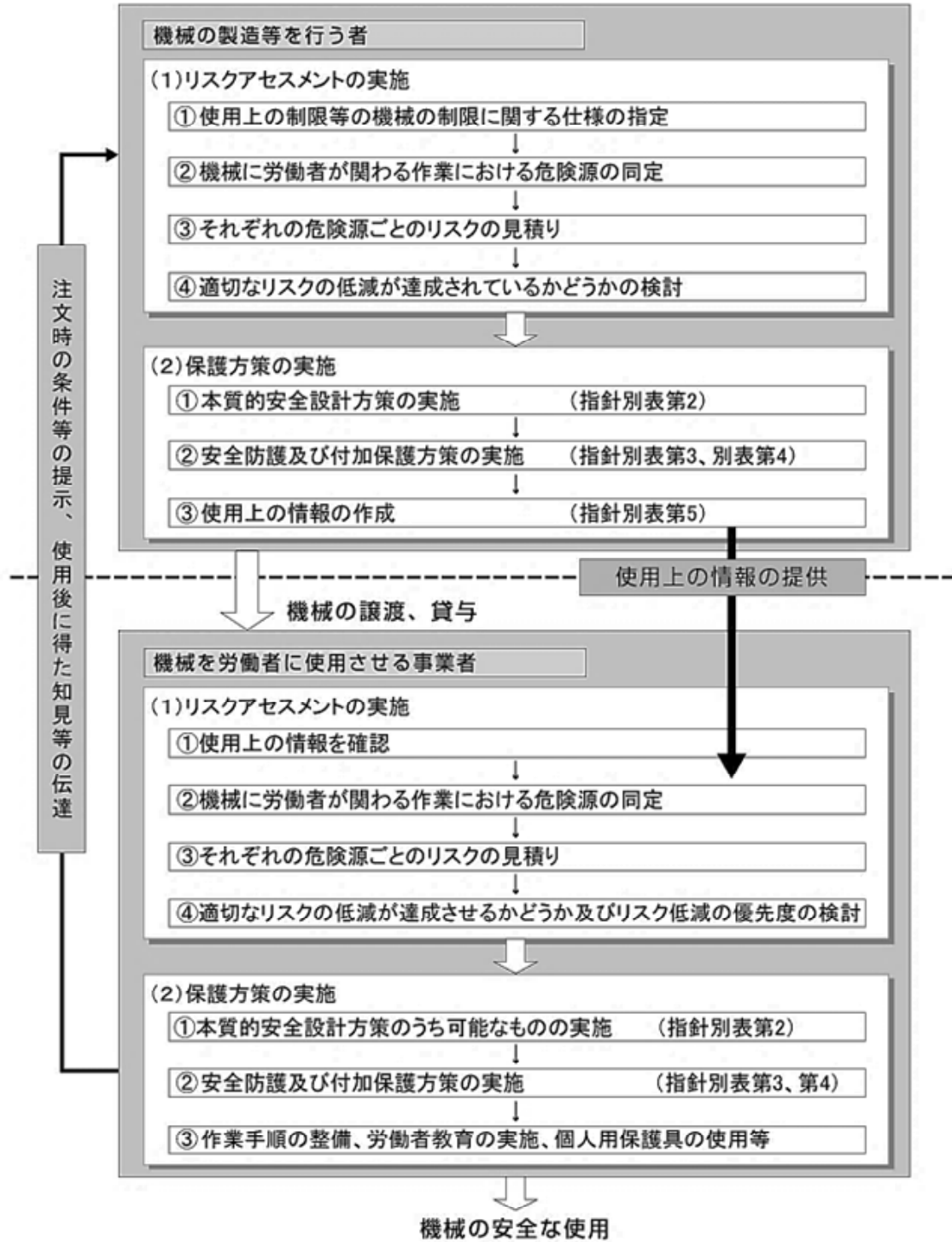


図1 機械の安全化の手順
(出典:厚生労働省「平成19年基発第0731001号」)

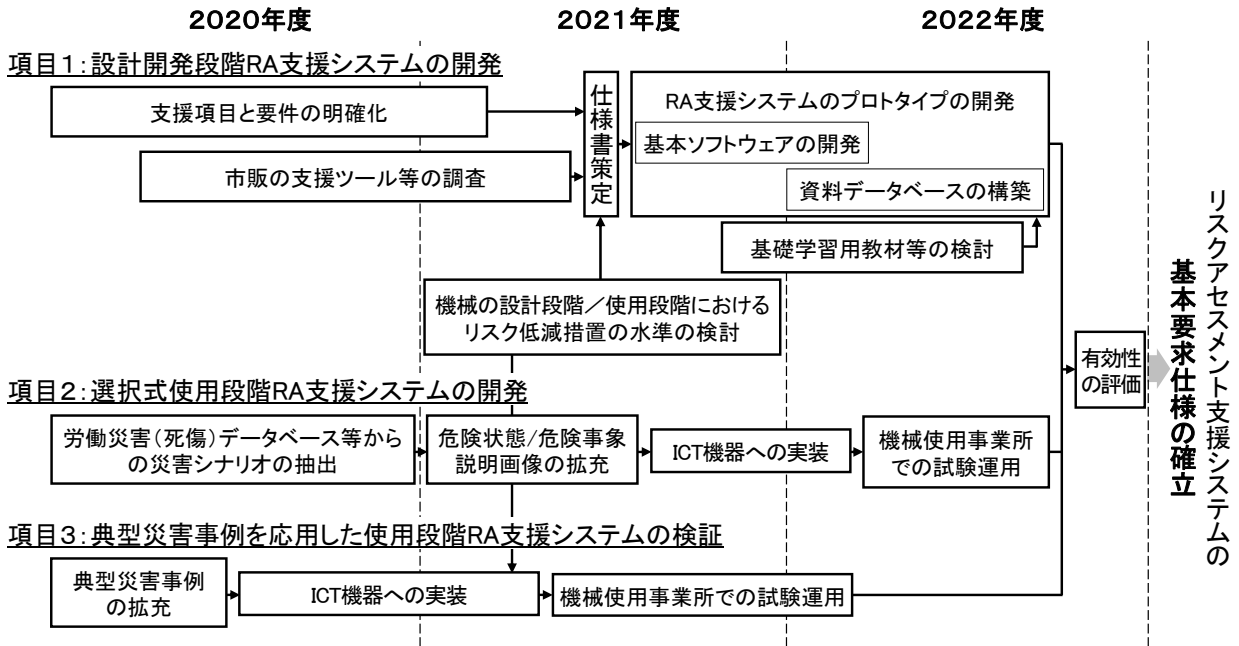


図2 本研究の全体計画と実施項目

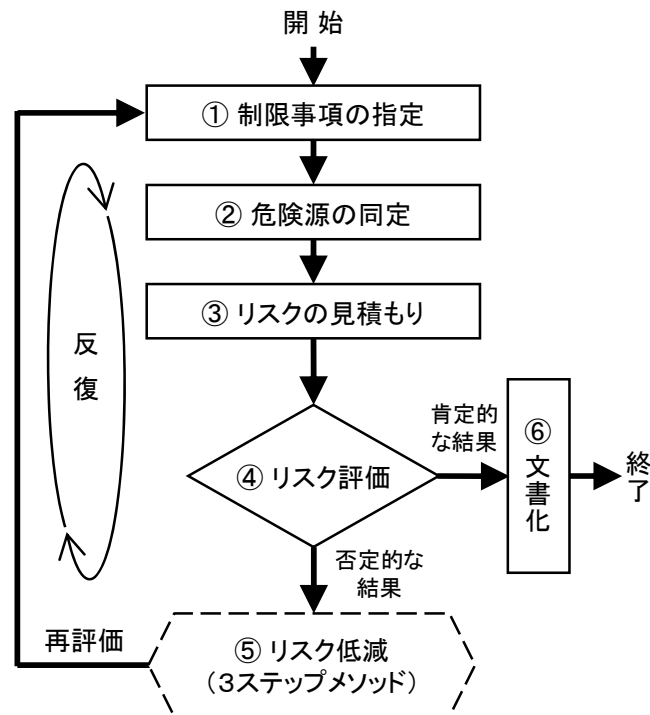


図3 標準化された設計開発段階のリスク低減プロセス

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

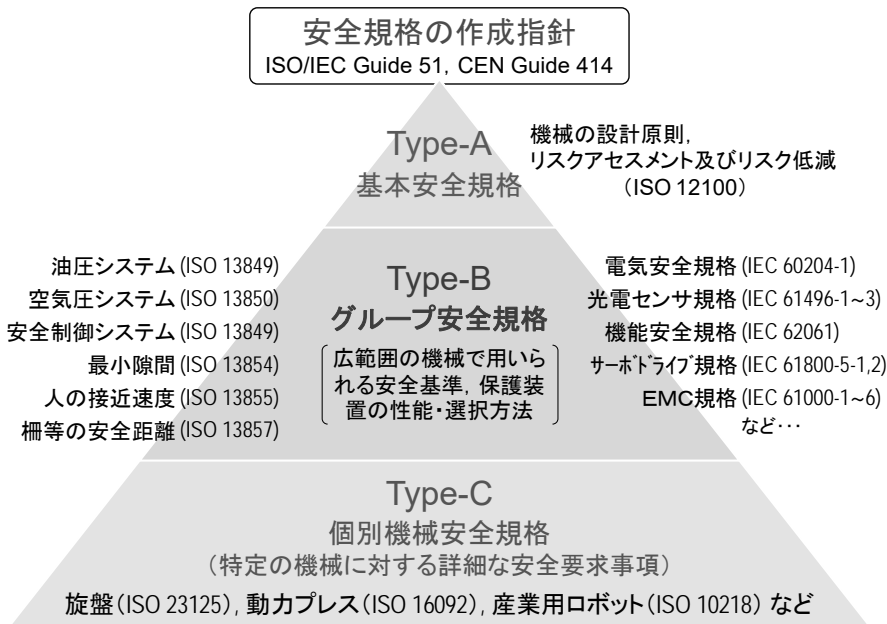


図4 機械安全に関わる国際規格の体系

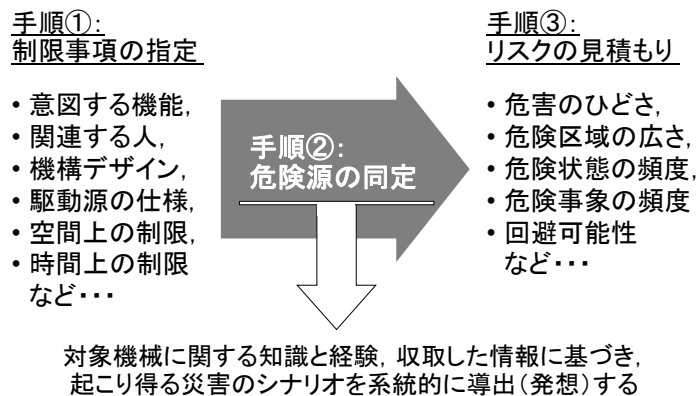


図5 手順②“危険源の同定”の位置付け

No.	タイプ又はグループ	原因	危険源の別	結果
1	機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> —加圧部、風圧部 —角張った部分 —固定部分への可動部要素の接近 —切刃部分 —押圧要素 —落下物 —重力（蓄積エネルギー） —床面からの高さ —高圧 —不安定 —送動エネルギー —機械的可動性 —可動要素 —強い表面、すべり易い表面 —傾斜を原因 —蓄積エネルギー —真空 	<ul style="list-style-type: none"> —押される —投げ出される —押しつぶし —切傷又は切断 —引き込み又は絡み —巻き込み —こすれ又はすりむき —振動 —噴出による人体への侵入 —すべり、つまずきによる転倒 —突き刺し又は突き通し —窒息 	
2	電気の危険源	<ul style="list-style-type: none"> —アーク —電線外露 —停電現象 —充電部 —高圧充電部に対する保護距離の不十分 —過負荷 —不具合条件下で充電状態となる —短絡 —熱発生 	<ul style="list-style-type: none"> —アーク —化学的燃焼 —体内の電気機器への影響 —感電死 —墮落、投げ出され —火災 —温度場の放出 —感電 	
3	熱的危険源	<ul style="list-style-type: none"> —燃焼 —火災 —燃焼を温度の物体又は材料 —熱源からの放射 	<ul style="list-style-type: none"> —やけど —服火 —不快感 —燃焼からの放射による傷害 	
4	騒音による危険源	<ul style="list-style-type: none"> —キャビテーション —排気システム —高速でのガス流れ —搬送工程（打ち抜かれる、切断など） —可動部分 —表面のこすれ、ひっかき —パワンスの強い回転部品 —音の出る部品 —振動 —製品の硬化・変質 	<ul style="list-style-type: none"> —不快感 —聴覚力の喪失 —パワンスの喪失 —永久音を聴覚喪失 —ストレス —耳鳴り —疲労 —口臭促進又は聴覚信号の被害の結果として起きるもの 	

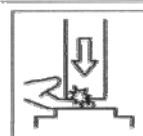
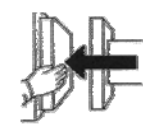

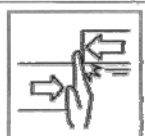
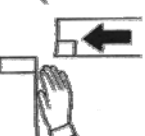






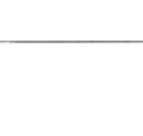
No.	危険源	具体例
1. 1	押しつぶしの危険源	  
1. 2	せん野の危険源	  
1. 3	切傷または切断の危険源	  
1. 4	巻き込みの危険源	  

図6 危険源リストの例

(出典：中央労働災害防止協会「機械包括安全指針に沿った機械設備安全化の進め方」²⁹⁾)

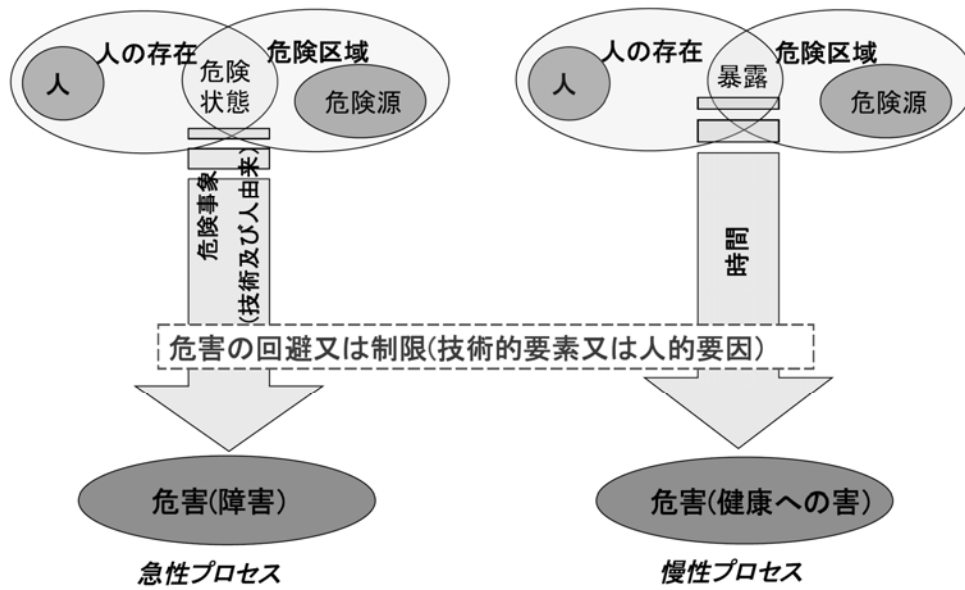


図7 危険源から危害に至る過程
 (出典:池田博康「スクアセスメントシート解説」²¹⁾)

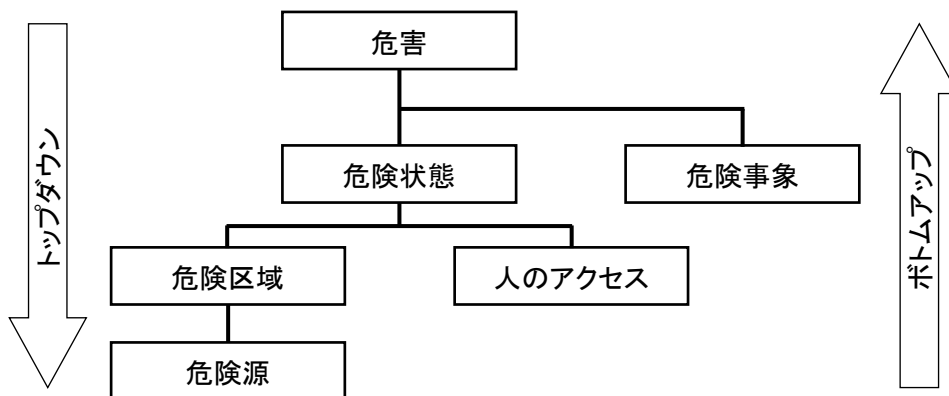
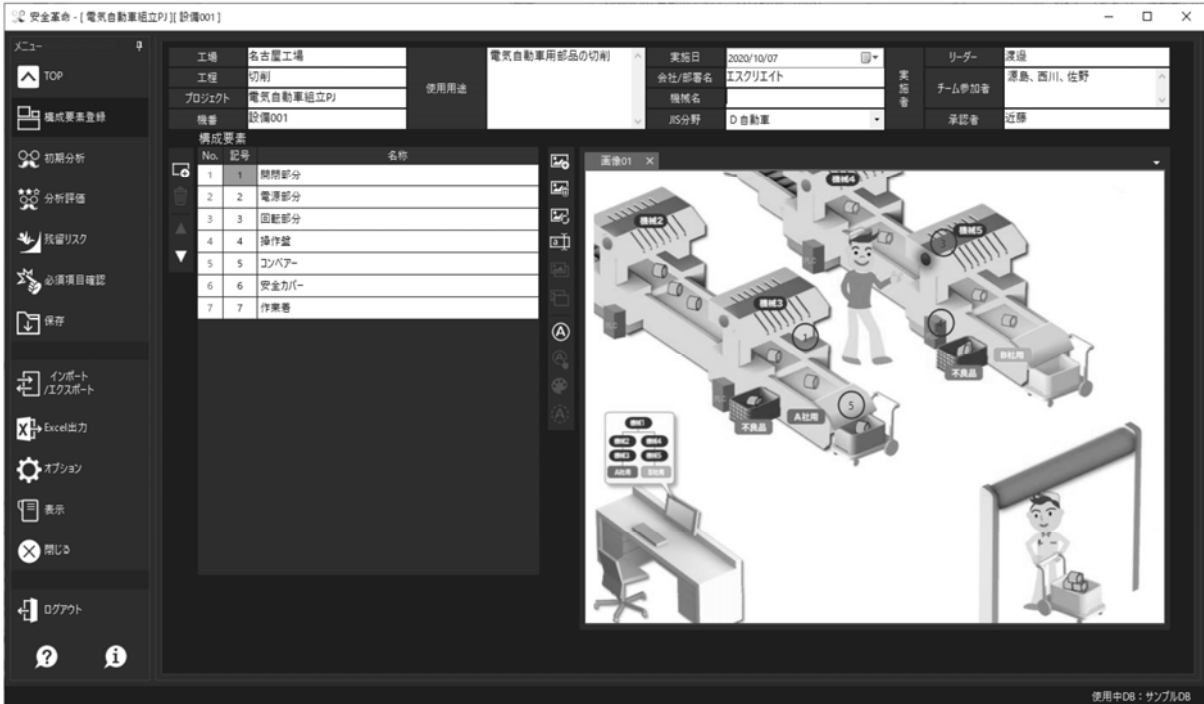
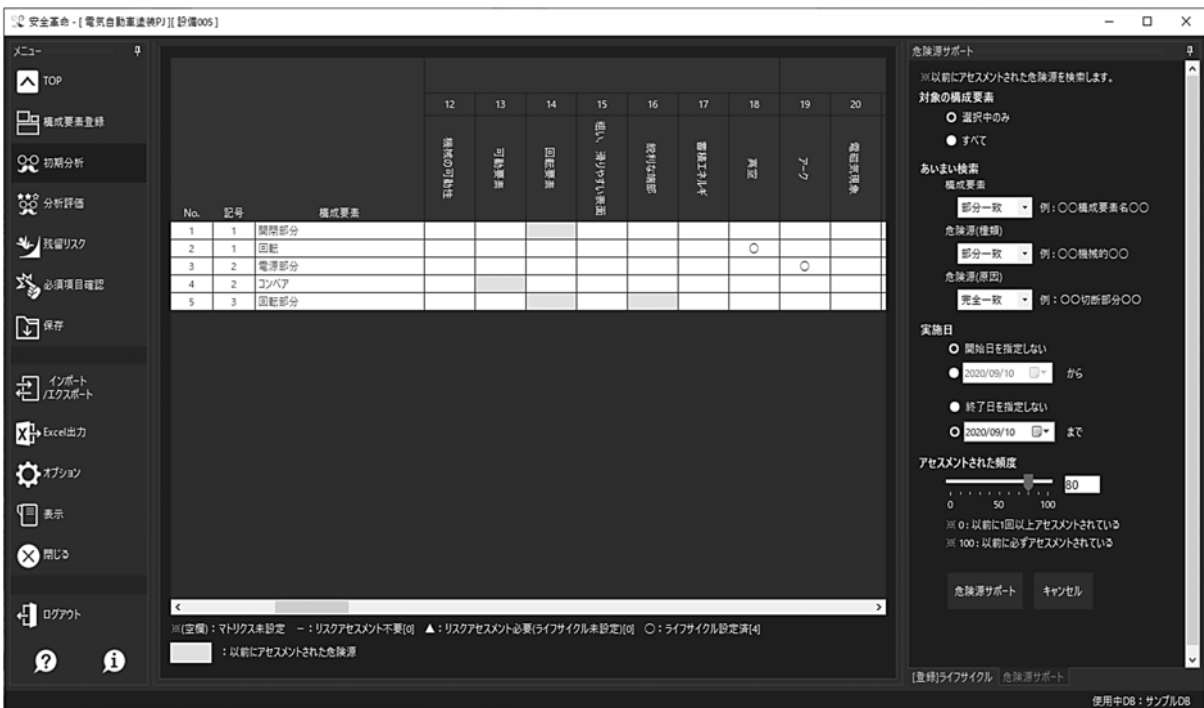


図8 危険源同定の2つのアプローチ
 (ISO/TR 14121-2:2012 図1¹⁶⁾に基づき著者作成)



(a) 構成要素の登録



(b) マトリクス表の作成

図9 既存RA支援ツール“安全革命”の動作画面の例
 (出典:株式会社エスクリエイト「リスクアセスメント支援ツール 安全革命」,
<https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html>)

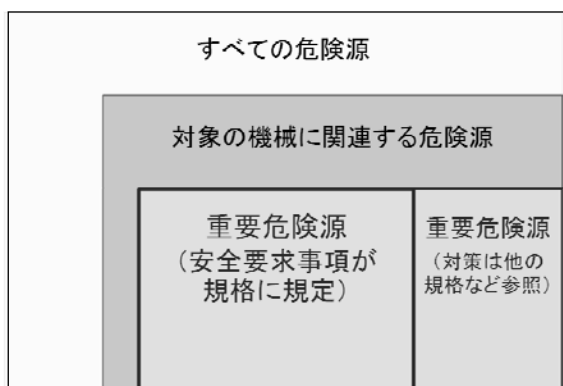


(a) “危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の入力



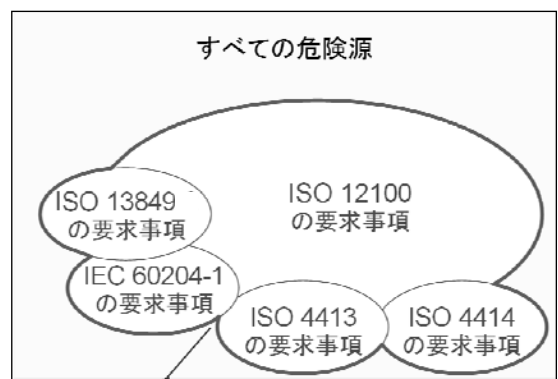
(b) “すで実施している災害防止対策とリスクの見積もり”の入力

図10 “リスクアセスメントの実施支援システム”の実施一覧表への入力例
(出典:厚生労働省“リスクアセスメント実施支援システム操作方法説明資料”⁴⁹⁾)



危険源同定で検討しなければならない最低限の範囲

図11 C規格が扱う重要危険源の範囲



確実に検討すべき危険源の範囲

図12 提案する危険源同定支援のコンセプト

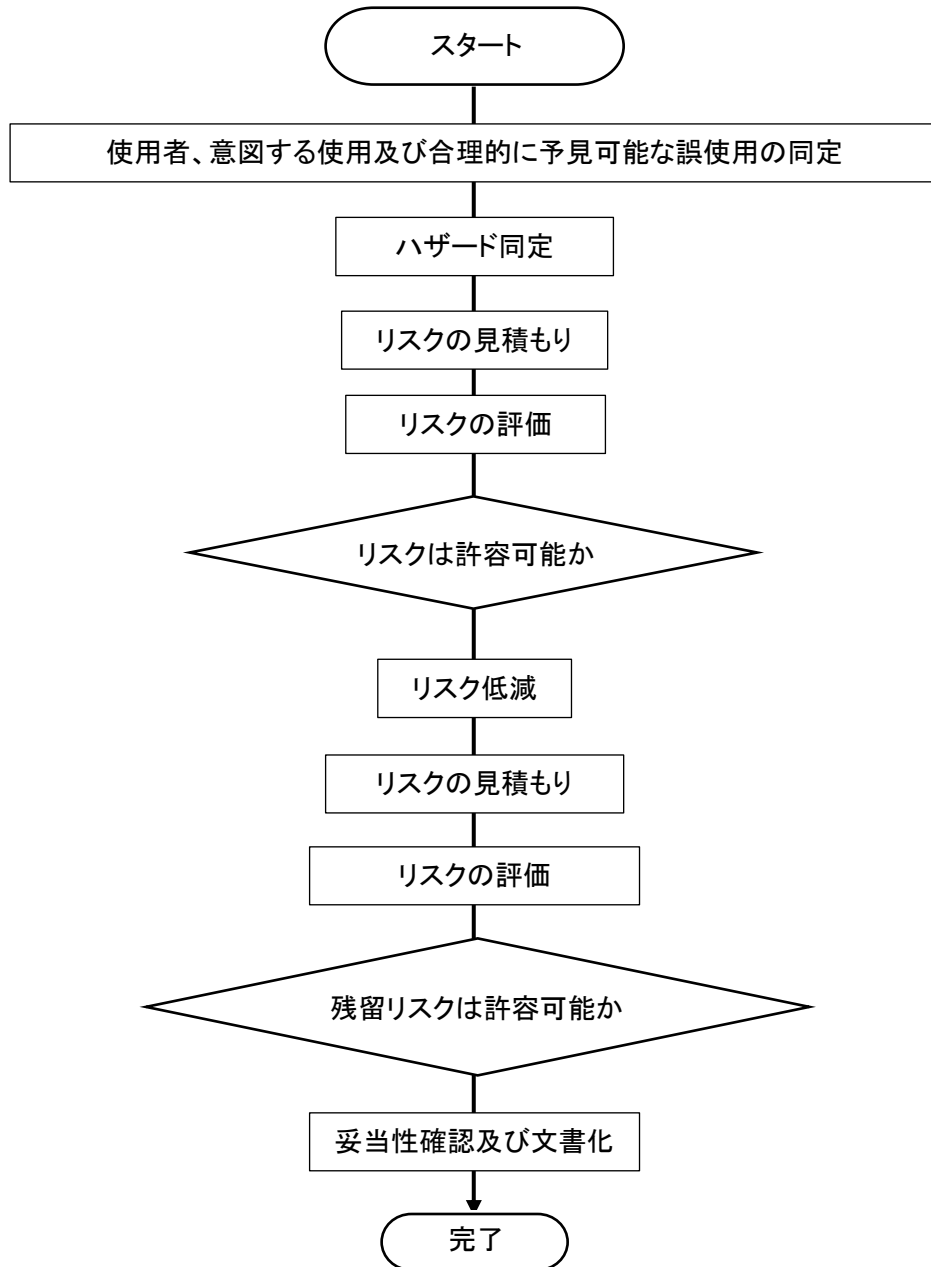


図13 リスクアセスメントの手順

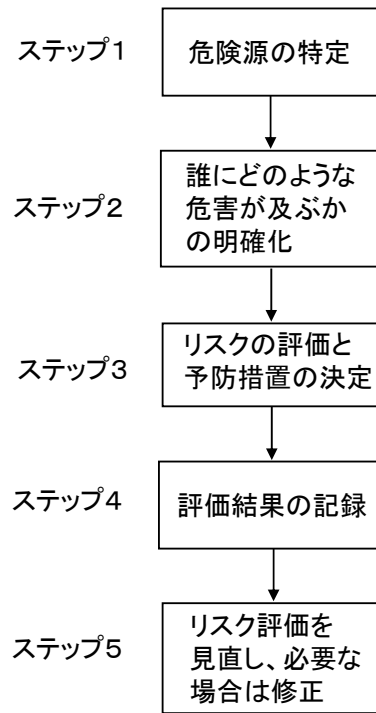


図14 英国HSEが提唱する5ステップリスクアセスメント

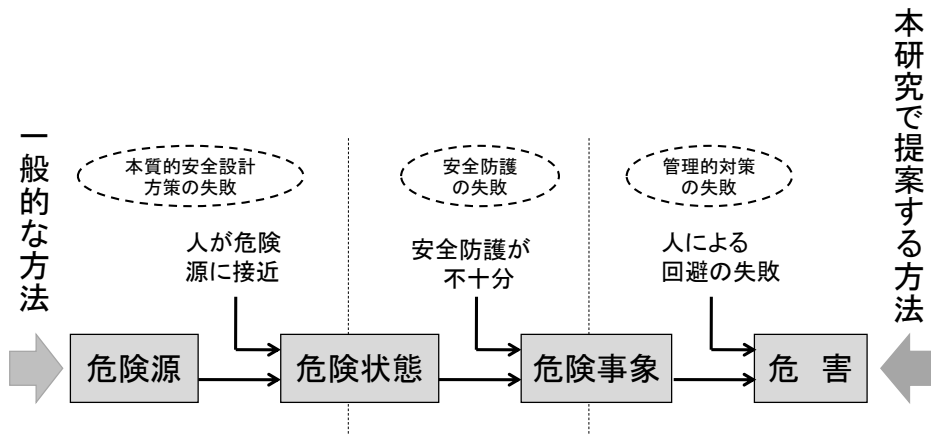


図15 労働災害の発生に至る過程

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

タイプAの災害
過去に繰り返し発生
している災害をいう。

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

図16 タイプA災害とタイプB災害の区分

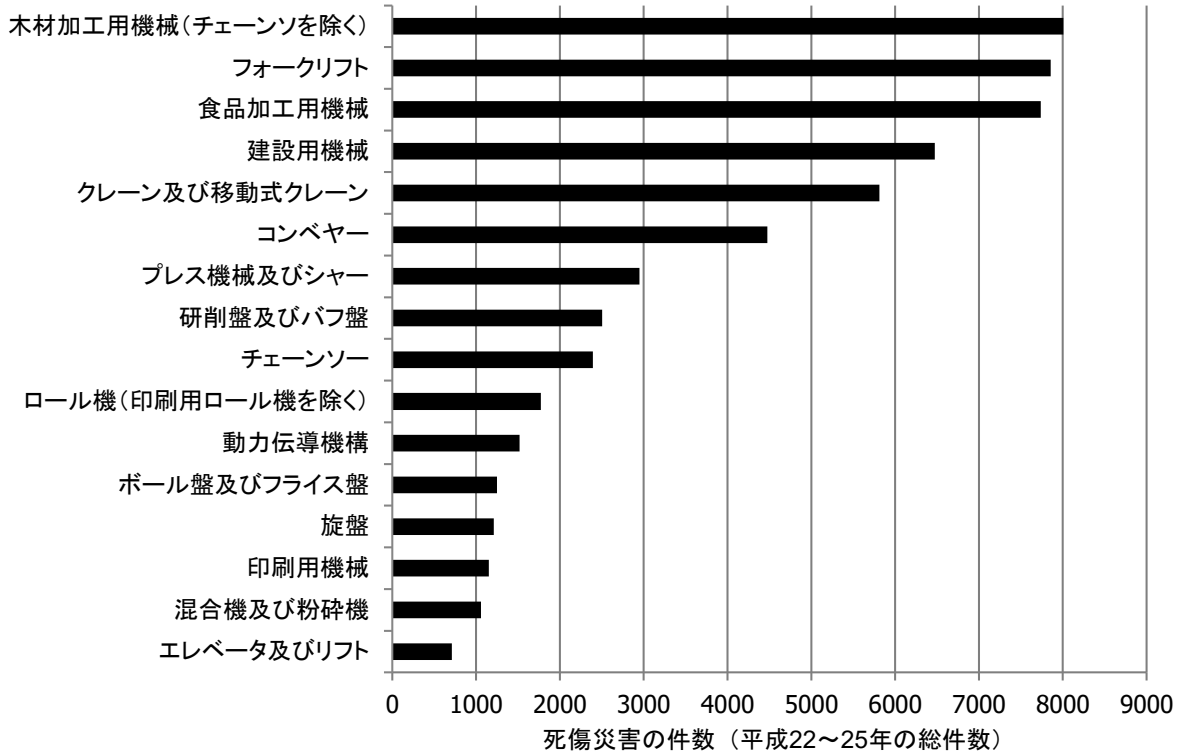


図17 機械の種類ごとの死傷災害件数の比較

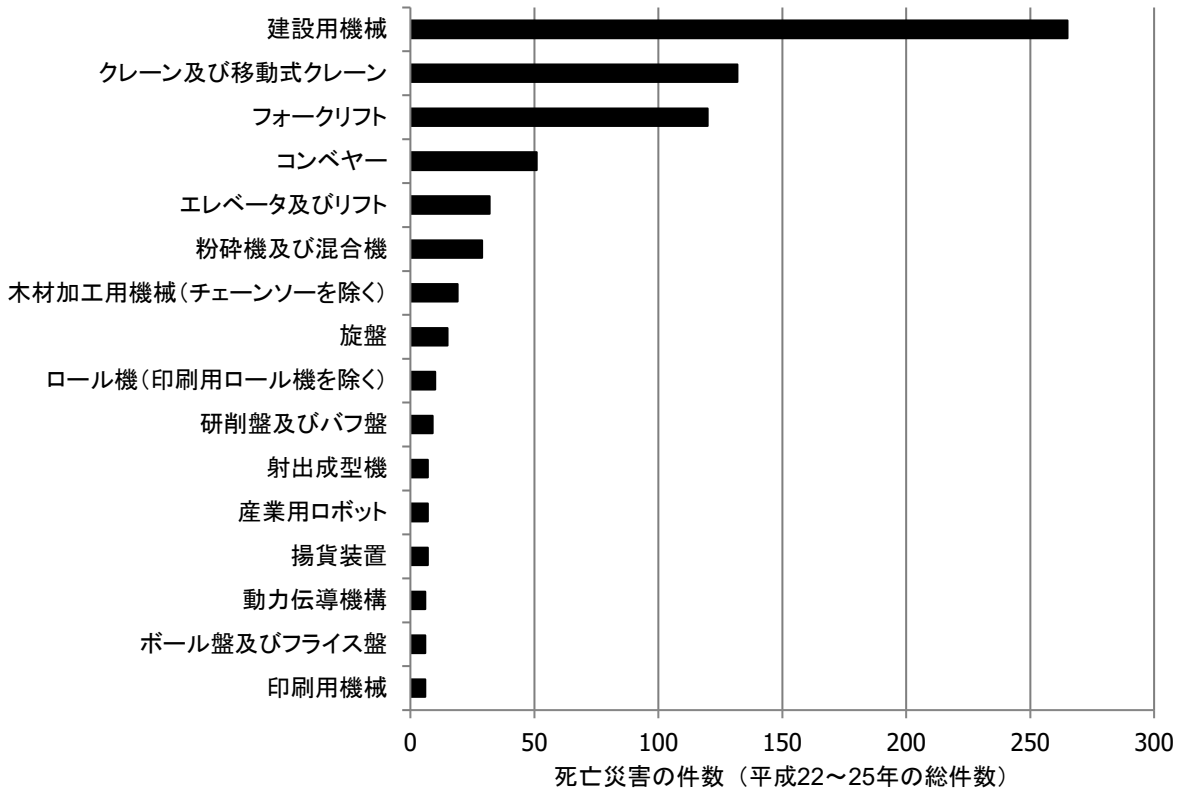


図18 機械の種類ごとの死亡災害件数の比較

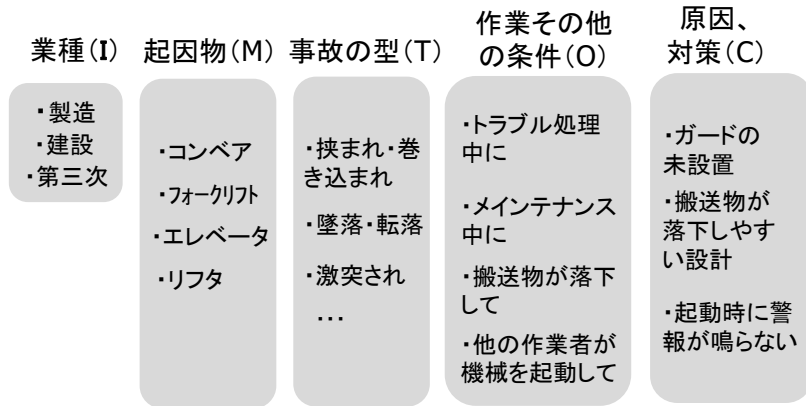


図19 IMTOC法によるデータ構造

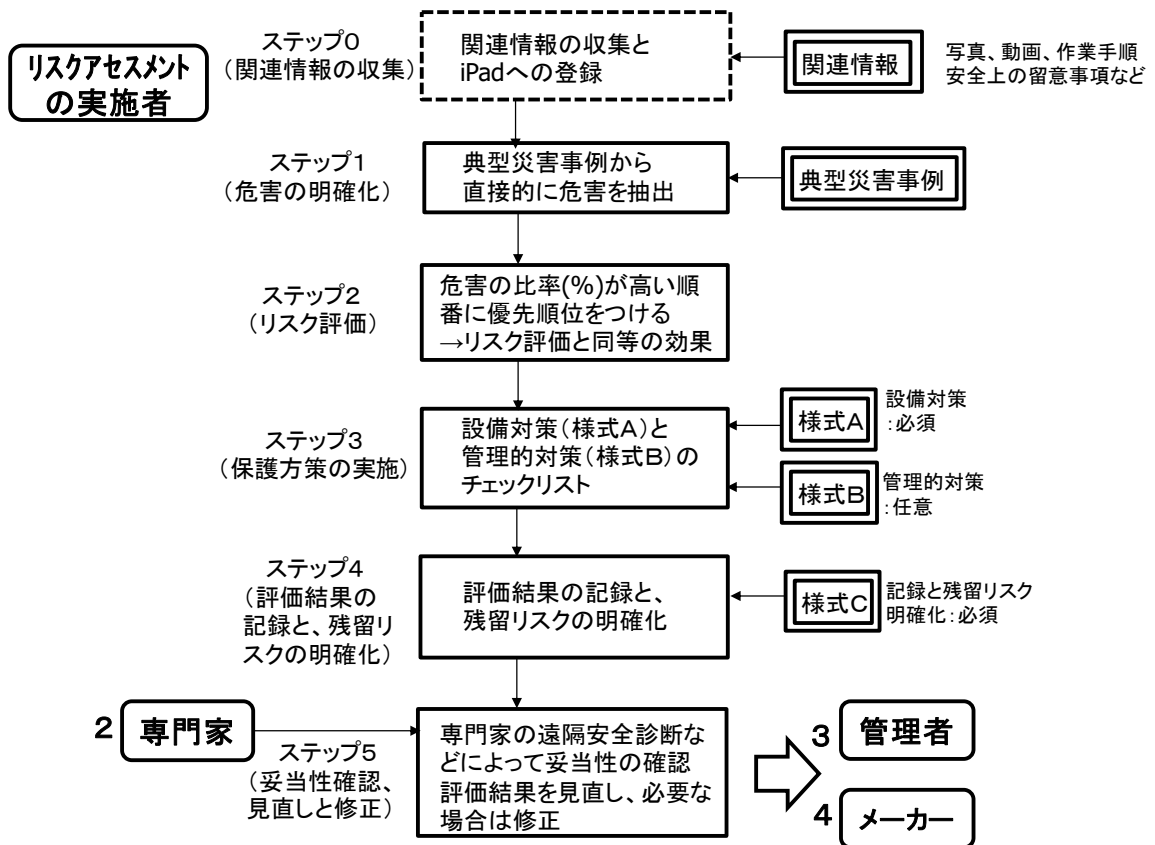


図21 典型災害事例を用いた簡易RA手法の手順

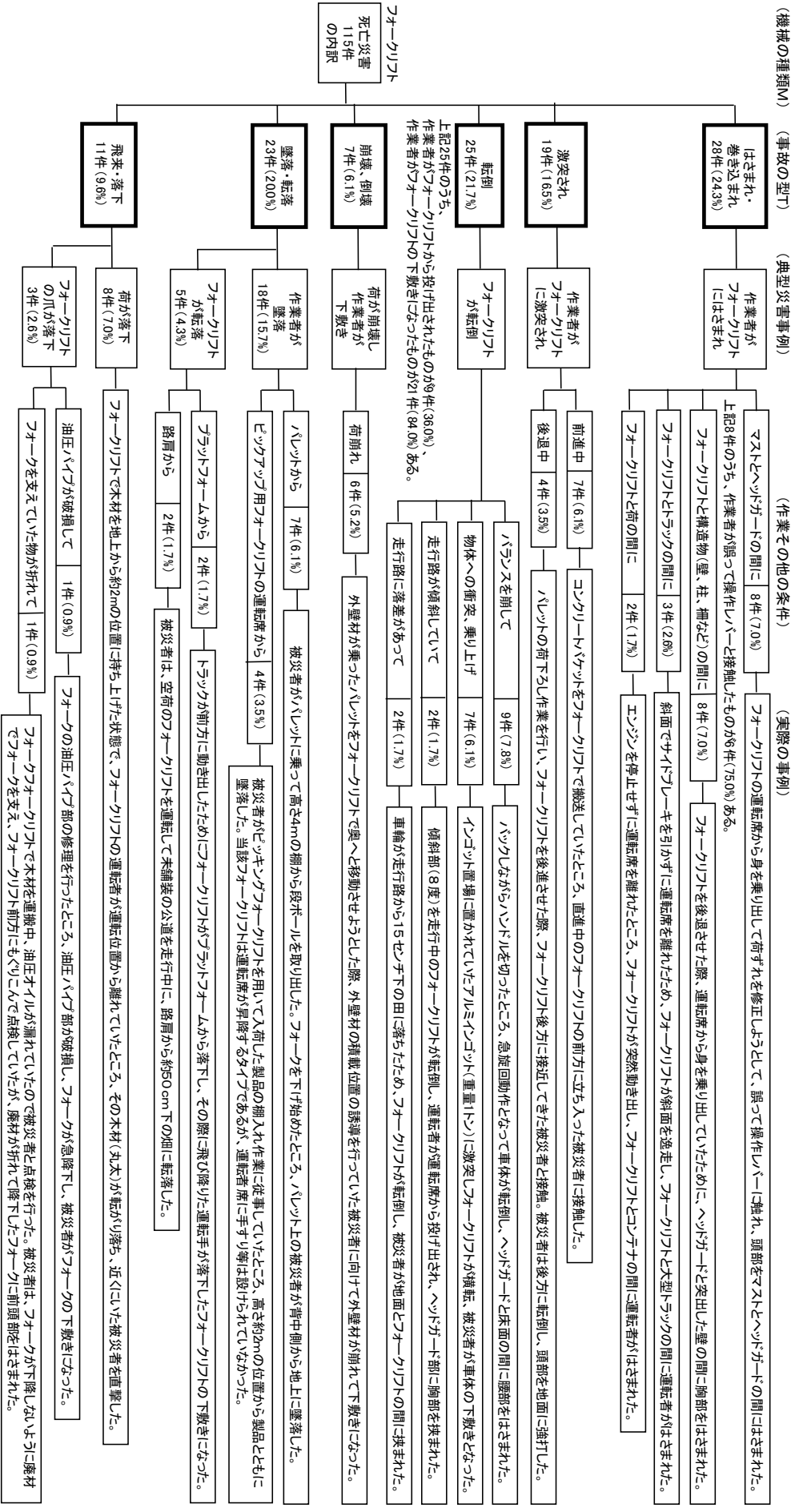


図20 フオークリフトの典型災害事例

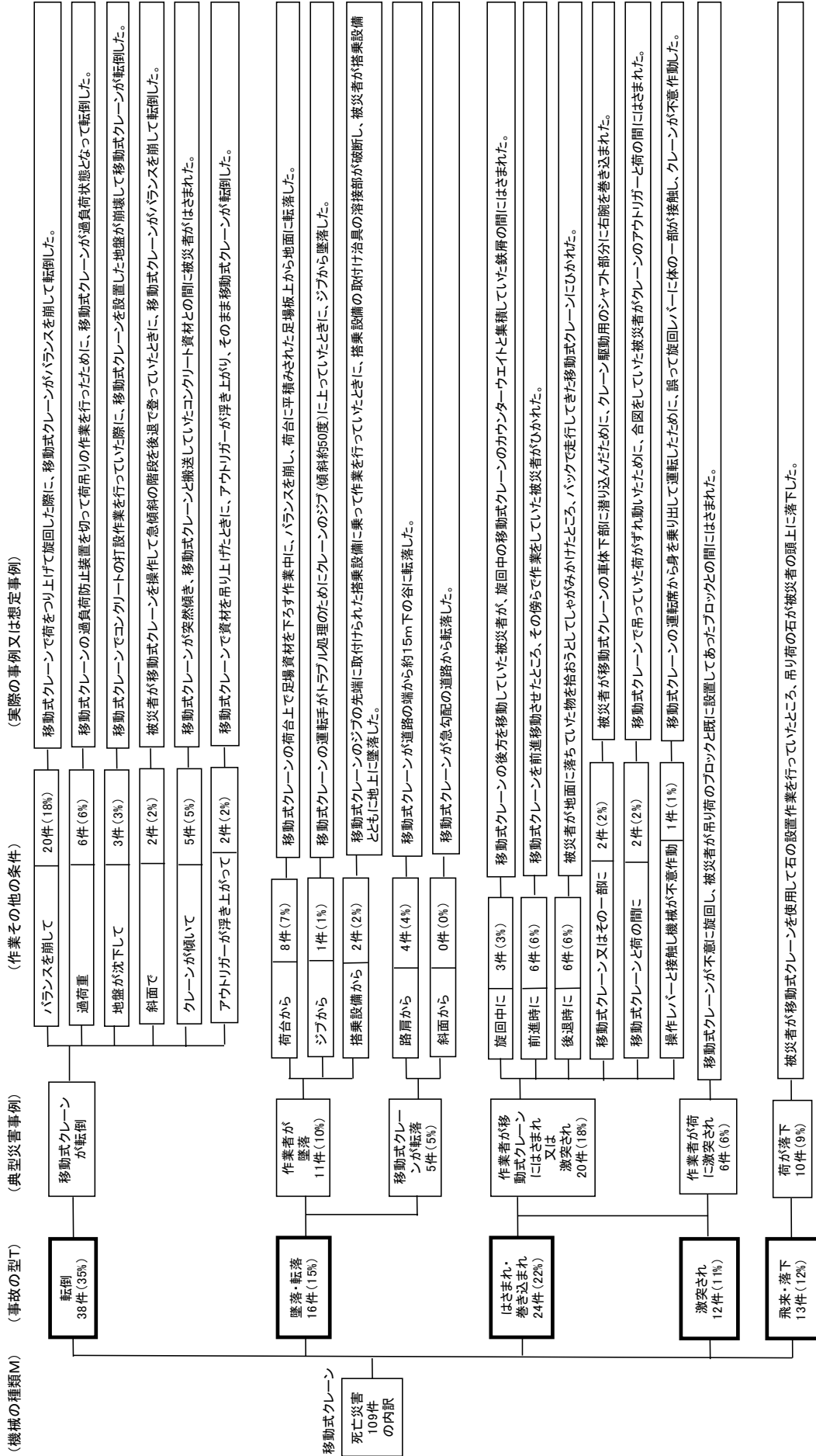


図 21 移動式クレーンの典型災害事例



図22 典型災害事例を応用した使用段階RA支援システムの外観
(入力用のアクティブスタイラスペンを含む)

表 1 企業規模別回答数及び RA 実施割合

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		
	メーカー	インテグレータ	ユーザ	メーカー	インテグレータ	ユーザ
全体	167	141	487	80.2 %	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 %

表 2 メーカー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)

RA を実施していない理由	メーカー, 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 %
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	12	18.8 %

表 3 ユーザが RA を実施していない理由(複数回答)

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 %

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)

RA 手法	メーカー, 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%

表 5 推奨される RA の実施タイミング(文献 14 に基づき著者作成)

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

表 6 RA 実施に際して準備すべき情報

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

表 7 手順①“制限事項の指定”で最低限定めるべき事項（文献 14 の表 6 に一部加筆）

分類	機械設備の使用状況	チェック内容	RA での活用
機械設備の仕様等	機械設備の能力等の仕様	機械設備の能力等の仕様を明確にする	リスクの見積り
	機械設備及びその構成部品の寿命上の条件	機械設備の寿命, 構成部品の寿命と交換時期(頻度)・交換方法, 廃棄部品の処理方法などを明確にする	リスクの見積り
	機械設備可動部の作動範囲や, 機械設備の据え付けに伴うスペース上の条件	機械設備可動部の作動範囲を明確にし, 据え付けに伴うスペース条件を明確にする	リスクの見積り
機械設備が使用される目的, 用途	機械設備が使用される目的, 用途	機械設備の仕様書等から目的, 用途を明確にする	危険源の同定
	機械設備が使用される目的, 用途で想定される作業等	機械設備の使用段階だけでなく, すべてのライフサイクルにおける作業等について明確にする	危険源の同定
	機械設備やソフトウェアの予見可能な機能不良に伴う人の行動	機械設備やソフトウェアで起こりうる機能不良に伴う人の行動を明確にする	危険源の同定
機械設備に関わりを持つことが想定される人	直接機械設備を操作する作業者だけでなく, 保全作業者, その機械設備に関連する作業者, 見学者等の合理的に予見可能な, 機械設備に接近する可能性のある第三者	どのような人がどのような状況になったとき, 機械設備に接近する可能性が出るかを明確にする	危険源の同定
	通常の機械作業, その機械設備の取り扱いに関する訓練受講者等, 機械設備を使用することが予想される人の熟練度, 経験年数, 作業能力等のレベル	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
	機械設備を使用する人間のさまざまな能力・特性(視覚又は聴覚などの五感の状態, 体形, 体力, 年齢, 性別, 利き手など)	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
機械設備の使用が想定される期間	機械設備のライフサイクル(機械設備が製造され廃棄されるまで:表1参照)	機械設備のライフサイクルの具体的な各段階を明確にする	危険源の同定
使用を想定される場所	機械設備が使用される場所	使用される場所を明確にする(温度, 湿度, 高さ等の条件も考慮する)	リスクの見積り

表 8 手順③“リスクの見積もり”で考慮すべき要素／要因

危害のひどさ		<ul style="list-style-type: none"> ・ 傷害／健康障害の程度 ・ 被災する人数
危害の発生確率	暴露の頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・ アクセスの頻度 ・ 危険区域内に滞在する時間
	危険事象の発生確率	<p>技術的側面</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構成要素の故障, 破損 ・ 予期せぬ起動 ・ リスク低減方策の不備・不足 <p>人的側面</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンエラー, 注意力の欠如 ・ 使用経験の不足 ・ 作業遂行のプレッシャー ・ 省略行動 ・ リスク低減方策の無効化
	回避／制限の可能性	<p>回避の失敗</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 危険事象発見の遅れ ・ 危険源の急な顕在化(急速な接近, 急激な伝播) ・ 回避に必要な空間の不足 <p>制限の失敗</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 有害物質の滞留 ・ 個人用保護具の不備, 不装着

表 9 リスク見積もり手法の概要と比較

手 法		概 要	特 徴
数値採点法	加算法	リスク要素毎に評価点を見積もり, それらの合計から評価点を導き, リスクレベルを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内では労働安全分野で採用事例が多い。 ・ リスク要素の拾捨選択が容易。 ・ 保護方策実施前後の比較がし難い。
	積算法	リスク要素毎に評価点を見積もり, それらを積算して評価点を導き, リスクレベルを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内の労働安全分野で採用事例が多い。 ・ リスク要素の拾捨選択が容易。 ・ 加算法よりは保護方策の低減効果を反映可能。
マトリックス法		危害のひどさとその発生確率を多次元表(一般的には二次元表)を用いて組み合わせ, それらが交差したセルからリスクレベルを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機能安全規格, MIL 規格等に記載。 ・ 保護方策実施前後の比較が容易。 ・ 2つ以上のファクタを扱う場合には工夫が必要になる。
リスクグラフ法		リスク要素をノードとするツリー図上を, 判定結果に応じた経路をたどっていき, リスクレベルを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ リスク要素に優先度を付加できる。 ・ 保護方策の比較及び妥当性確認が容易。 ・ ノードの枝数を増加すると著しく煩雑になる。
ハイブリッド法		上記手法を部分的に組み合わせて利用し, リスクレベルを決定する。	

表 10 リスク評価基準の解説例

(出典: 中央労働災害防止協会 “機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊”³⁷⁾)

JIS B 9702:2000/JIS B 9705-1:2000 リスクパラメータ			危険事象の発生確率 O * RI(リスクインデックス)=1~6			対策を 講じる 優先順位	JIS B 9705-1 :2000	
危害の程度	暴露頻度	回避の 可能性	O1	O2	O3		カテゴリー	
S1 軽度	F1 稀	A1 可	1	1	2	優先順位 3	1	リスク低 ↑ ↓ リスク高
		A2 不可	1	1	2		1	
	F2 頻繁	A1 可	1	1	2		1	
		A2 不可	1	1	2		1	
S2 重度	F1 稀	A1 可	2	2	3	優先順位	1 又は 2	
		A2 不可	2	3	4	2	2 又は 3	
	F2 頻繁	A1 可	3	4	5	優先順位	3	
		A2 不可	4	5	6	1	4	
危害の程度 S	S1	軽微な障害(通常は回復可能)、例えば、こすり傷、裂傷、挫傷、応急処置を要する軽い傷						
	S2	深刻な障害(通常は回復不可能。致命傷を含む)、例えば、肢の粉碎又は引き裂かれる若しくは押しつぶされる、骨折、縫合を必要とする深刻な障害、筋骨格障害(MST)、致命傷						
暴露頻度 F	F1	作業シフトあたり1回以下又は15分以下の暴露						
	F2	作業シフトあたり2回以上又は15分超の暴露						
		* 暴露頻度については、主に「機械的危険源」を対象としている						
危険事象の 発生確率 O	O1	安全分野で証明され、承認されている成熟した技術(ISO13849-2:2003 参照)						
	O2	過去2年間で技術的故障が発見されている ―― リスクに気づき、また作業場で6ヶ月以上の経験を持つ十分に訓練を受けた人による不適切な人の挙動						
	O3	定期的に見られる技術的な故障 ―― 作業場で6ヶ月以下の経験を持つ十分に訓練を受けていない人による不適切な人の挙動 ―― 過去10年間に工場で見られた類似の事故						
回避の可能性 A	A1	いくつかの条件下で可能 ―― 可動部分が0.25m/s以下の速度で動く場合、及び被暴露者がリスクに気づいており、また危険状態又は危険事象が迫っていることを認識している。 ―― 特定の条件による。(温度、騒音、人間工学等)						
	A2	不可能						

表 11 放電加工機のライフサイクル、タスク一覧の例(JIS TR B 0035¹⁷⁾表 2 より抜粋)

ライフサイクルの局面	想定する作業者及び合理的に予見可能な誤使用
1) 輸送(工場内輸送及び移動を含む)	<p>タスク及び意図した使用:</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) クレーンの操作 (2) フォークリフトの操作 (3) 車両による輸送, (4) ころ引き (5) 固定具の取付け <p>作業者: － 輸送業者, 専門家又は有資格者</p> <p>予見可能な誤使用: (1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス (2) 不適切な位置でのクレーン又はフォークリフトの操作 (3) 不適切な固定具の取付け (4) 不適切なつり具の使用 (5) 過積載車両での輸送</p>
2) 組立て, 据付け及び立上げ	<p>タスク及び意図した使用:</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) クレーンの操作 (2) フォークリフトの操作 (3) ジグの取り外し (4) 組立て (5) 動力源への接続 (6) 空圧ホース及び機器の接続 (7) 空圧源への接続 (8) 排気システム, 消火システム, 空調システムなどの保護システムへの接続 (9) 立上げ, 点検, 動作確認 (10) 作動油, 研削液, 潤滑油の供給 (11) 潤滑油供給 (12) 加工液供給 <p>作業者: － この種の機械の使用について知識及び経験をもち, 訓練を受けた若しくは資格のある作業者, 又はそのような人の監督下にある人</p> <p>予見可能な誤使用 (1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス (2) 不適切な箇所でのクレーン又はフォークリフトの操作 (3) 不適切なジグの取付け (4) 不適切なつり具の使用 (5) ジグの取外し忘れ (6) 不適切な電源仕様への接続 例えば, 接地不良, 不適切なケーブルサイズ及び不適切な電源(ブレーカなど) (7) 誤配線又は誤配管 (8) 保護方策の動作確認忘れ 例えば, 非常停止機能, 排気システム, 火災警報システム, 火災消火システム及び空調システム</p>

表 12 放電加工機の RA 表の例 (JIS TR B 0035¹⁷⁾ 表 3 より抜粋)

タスク	危険区域	危険源	危険状態	危険事象	リスク見積り (初期リスク)			リスク低減 減方針	Cat./ PL	リスク見積り (低減後)			更なるリスク 低減	備考				
					S	F	O			A	RI	S			F	O	A	RI
加工 (自動モード)	加工領域	回転部 — 電極 — 工作物	危険区域 への接近	回転部による 巻込み	S	2	2	3	1	5	A1.1.2	- / -	2	1	3	1	3	※ インターロックがない可動式ガードもここで評価される。 初期リスク S2:回復できない傷害が見積もられる。 F2:危険動作中の接近を意図している。 O3:作業者が危険動作に接触したり、予期しない交換動作が開始する可能性がある。 A1:回転要素への接触は常に巻込みを発生させるわけではない。回避するには十分に遅い速度 (50 min-1) である。 低減後のリスク F1:危険領域への接近は、固定ガードによって防止される。 低減後のリスク O1:危険な回転要素が停止され、回転の開始は、保護方針によって防止された。 ※ ガーミンタロック機能には、より高い安全カテゴリが必要であると C 規格で合意されたので、Cat.3 が選択されている。
					F	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	
加工 (自動モード)	機械	ワイヤ 走行系	電圧変動 又は停電	インタロック ガード開放 時の巻込み 予期しない 起動による 巻込み	S	2	1	3	1	3	A1.2.2 A1.2.3	3 / c	2	1	1	1	2	初期リスク S2:回復できない巻込み又は切傷が見積もられる。 F1:電圧変動又は停電は確率的に発生する。発生の可能性はパラメータ F でではなく O で見積もられる。したがって、F1 を選択した。 O3:電圧変動又は停電は高い確率で危険事象を発生させる可能性がある。 A1:回避するには十分に遅い速度である。 低減後のリスク O1:保護方針によって発生の可能性は低減された。
					F	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	

注 1) “リスク見積もり”は ISO/TR 14121-2 のリスクグラフ法による。各欄の意味は、各々、S:危害のひどさ(S1:軽傷, S2:重傷), F:暴露の頻度 (F1:まれ〜低頻度, F2:高頻度〜連続), O:危険事象の発生確率 (O1:低, O2:中, O3:高), A:回避又は制限の可能性 (A1:特定の条件下で可能, A2:ほとんど不可能), RI:リスクインデックス (低 1〜高 6)

注 2) “リスク低減方針”は、放電加工機の C 規格である ISO 28881:2013⁶⁴⁾ の簡条番号で示されている。

表 13 ロボット介護機器(パワーアシストスーツ)の RA シートのひな形(制限事項の指定)
(出典:池田博康 “リスクアセスメントシート解説 -リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎-” 21))

対象ロボット名称		実施者		実施日																																																																				
パワーアシストスーツ		(立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等)		初回: (改訂履歴)																																																																				
ライフサイクル該当段階	装着(試用)、介助(通常使用)、保守(トラブル処理を含む)	分析方法(ツール)	積算法(一部加算法を適用)																																																																					
使用上の制限	意図した使用	①要介護者(基本仕様で想定する)がベッド、車いす、便器間の移動の際に、介助者が装着して使用する。 ②ベッド上の体位や座位から立位状態の間、要介護者の体重を支えるのみアシストされ、歩行支援や腕で抱き上げるようなアシストはしない。 ③アシスト量の設定、着脱装着は介助者自らが行う。 ④バッテリー充電/交換・保守等は、介助者が習得して行う。 ⑤試用時の移乗介助は有資格者による指導のもとに実施される。																																																																						
	合理的に見て予見できる誤使用	①装着不完全又は不適切な寸法のまま装着して介助を行う。 ②介助者が誤ったアシスト量を設定して介助を行う。 ③アシストがない状態であると思い込み、無理に動作を続ける。 ④アシストが急に喪失した際にバランスを失う。 ⑤介助者以外の第三者が装着して介助する。 ⑥身長、体重等想定外の要介護者の介助を行う。 ⑦介助手順に慣れて要介護者の状態確認を怠る。 ⑧脱衣室で水がかかる。																																																																						
	時意図制し限空間	①病院、介護施設内の介護者のベッド回り、トイレ、脱衣室でのみ使用し、他所でないように保管、管理される。 ②使用場所には介護者以外の第三者が存在する可能性がある。 ③1日あたりの使用は1時間を超えない。 ④バッテリー充電は1日1回充電済みバッテリーと交換する。 ⑤オーバーホールまでの使用期間は20,000時間とする。																																																																						
		リスクの見積/評価基準 リスク見積値: $R = S \times (F + P_s + A)$																																																																						
		<table border="1"> <tr> <th>曝される頻度又は時間:F</th> <th>危険事象の発生確率:P_s</th> <th>危害を回避又は制限できる可能性:A</th> </tr> <tr> <td>連続的/常時</td> <td>高い</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>頻繁/長時間</td> <td>起こり得る</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>時々/短時間</td> <td>起こり難い</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>まれ/瞬間的</td> <td>低い(まれ)</td> <td>1</td> </tr> </table>	曝される頻度又は時間:F	危険事象の発生確率:P _s	危害を回避又は制限できる可能性:A	連続的/常時	高い	4	頻繁/長時間	起こり得る	3	時々/短時間	起こり難い	2	まれ/瞬間的	低い(まれ)	1																																																							
曝される頻度又は時間:F	危険事象の発生確率:P _s	危害を回避又は制限できる可能性:A																																																																						
連続的/常時	高い	4																																																																						
頻繁/長時間	起こり得る	3																																																																						
時々/短時間	起こり難い	2																																																																						
まれ/瞬間的	低い(まれ)	1																																																																						
		<table border="1"> <tr> <th colspan="2">危害の酷さ:S</th> <th colspan="10">危害の発生確率:F + P_s + A</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td> </tr> <tr> <td>回復に長期治療(1月以上)を要す</td> <td>4</td> <td>12</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td><td>28</td><td>32</td><td>36</td><td>40</td><td>44</td> </tr> <tr> <td>回復に医療措置を要す</td> <td>3</td> <td>9</td><td>12</td><td>15</td><td>18</td><td>21</td><td>24</td><td>27</td><td>30</td><td>33</td> </tr> <tr> <td>応急手当で回復可能</td> <td>2</td> <td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td> </tr> <tr> <td>対処不要(一時的な痛み等)</td> <td>1</td> <td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td> </tr> </table>				危害の酷さ:S		危害の発生確率:F + P _s + A												3	4	5	6	7	8	9	10	11	回復に長期治療(1月以上)を要す	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	回復に医療措置を要す	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	応急手当で回復可能	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	対処不要(一時的な痛み等)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
危害の酷さ:S		危害の発生確率:F + P _s + A																																																																						
		3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																														
回復に長期治療(1月以上)を要す	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44																																																														
回復に医療措置を要す	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33																																																														
応急手当で回復可能	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22																																																														
対処不要(一時的な痛み等)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																														
		<table border="1"> <tr> <th>見積値 R</th> <th>評価</th> <th>リスク低減の必要性</th> </tr> <tr> <td>15以上</td> <td>リスクは高く、受け入れられない。</td> <td>必須、技術的方策が不可欠</td> </tr> <tr> <td>7~14</td> <td>リスクの低減が必要。ただし、条件付(他に方策がない、低減が現実的でない)で許容可能。</td> <td>必要、技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる</td> </tr> <tr> <td>6以下</td> <td>リスクは十分低い。</td> <td>不要</td> </tr> </table>	見積値 R	評価	リスク低減の必要性	15以上	リスクは高く、受け入れられない。	必須、技術的方策が不可欠	7~14	リスクの低減が必要。ただし、条件付(他に方策がない、低減が現実的でない)で許容可能。	必要、技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる	6以下	リスクは十分低い。	不要																																																										
見積値 R	評価	リスク低減の必要性																																																																						
15以上	リスクは高く、受け入れられない。	必須、技術的方策が不可欠																																																																						
7~14	リスクの低減が必要。ただし、条件付(他に方策がない、低減が現実的でない)で許容可能。	必要、技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる																																																																						
6以下	リスクは十分低い。	不要																																																																						

表 14 ロボット介護機器(パワーアシストスーツ)の RA シートのひな形
(危険源の同定, 初期リスクの見積もり)
(出典:池田博康 “リスクアセスメントシート解説 -リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎-” 21))

段階	No.	危険源同定		リスク見積								
		危険源	危険状態/危険事象	想定危害	対象者	危害の酷さ S	頻度 F	発生確率 P _s	回避 A	リスク点数 R	備考	
装着	1	不適切な長さで装着	人体寸法にフィットせずに装着して、動作確認中に関節に過負荷がかかる	膝のねん挫	介助者	3	7	2	2	3	21	
	2	アシスト量の誤入力	介助者がアシスト量を過大設定して、動作確認中に急に立ち上がり転倒して手を着く	手首の骨折	介助者	4	7	2	2	3	28	
	3			装着と調整にかかる時間は通算30分以下(「短時間」とした)								
	4			1日に曝される通算時間が60分以下を「長時間」とした								
	5											
介助	6	本体装着部のこすれ	立ち上がり繰り返し動作中に脚部固定具がずれて、大腿部にこすれる	大腿部の擦過傷	介助者	2	6	3	2	1	12	
	7	制御システムの故障(により過大アシスト)	制御装置の異常により、アシスト力が過大となり、要介護者を急に立たせて腰部に過負荷がかかる	急性腰痛	要介護者	3	8	3	2	3	24	要介護者の腰部疾患の程度によりSを考慮
	8	結露による制御システムの故障(アシスト不足)	結露で制御回路が短絡してアシスト力が不足し、バランスを崩して壁に肩をぶつける	肩の打撲	介助者	2	6	2	3	1	12	
	9	断線による制御システムの故障(アシスト喪失)	動力線が捻れて断線し、急にアシスト力を失って要介護者が落下する	腰部打撲	要介護者	3	7	2	2	3	21	要介護者の腰部疾患の程度によりSを考慮
	10											
保守	12	バッテリー充電部(への直接接触)	新品バッテリー交換時に濡れた手で充電端子間に触れて感電	手のしびれ	介助者	2	4	1	2	1	8	
	13	腰部固定具への挟まれ	腰部固定具を外して長さ調整中、指が固定具内に挟まれる	指の打撲	介助者	2	6	1	2	3	12	
	14											
	15											
	15											

表 15 ロボット介護機器(パワーアシストスーツ)の RA シートのひな形
(低減後のリスクの再見積もり)

(出典:池田博康 “リスクアセスメントシート解説 -リスクアセスメントに基づく安全設計の基礎-” 21)

初期リスク分析結果				リスク低減				再リスク見積									
段階	No.	危険源	リスク点数 R	優先順位	保護方策(メーカーによる工学的手段)	危害の酷さ S	危害の発生確率 Ph			リスク点数 R	保護方策組み合わせ時のR	残留リスク方策(ユーザに依存)	備考(参照規格类等)				
							頻度 F	確率 Ps	回避 A								
装着	2	アシスト量の誤入力	21	3	IDコードによる適正値の読み取り	4	6	2	1	3	24	4	取説書(禁忌、手順、警告)警告音・表示 介助者への教育	*安全帯の効果は介助者使用時にのみ評価可			
				4	安全帯の併用	1*	5	2	2	1	5						
運転	6	本体装着部のこすれ	12	1	テンションベルトの使用	1	6	3	2	1	6	5	取説書(手順、警告)	過大なテンションに対する制限が必要 トルク監視の安全性能は別途検討			
				3	適切な安全制御性能を持つ関節のトルク監視	2	5	3	1	1	10						
保守	12	バッテリー充電部(への直接接触)	8	1	充電端子の内蔵化(スリットカバー)	1	4	1	2	1	4		取説書(手順、警告)	スリットカバーの仕様(例えばIPコード)を説明			
						危険側故障率を1桁下げると、Psを1ランク下げるとした						方策が同時に(重複して)機能するとして、各リスク要素の最低値をとる					
					1は危険源除去又は酷さの低減、2は晒され排除又は頻度低減、3は事象発生確率低減、4は回避又は危害の制限を行う												

表 16 RA 表の記入例 (出典: 中央労働災害防止協会 “機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊”37)

機械名: サンプル		承認者: 山田		日時: 2010.1.20																				
		作成者: 鈴木																						
No	ラフスケッチ	タスク	危険源	リスクの評価						さらなる低減の要/不要	残留リスクの有無	対策の採否	備考 (採否理由等の記述)											
				発生頻度	暴露	重大性	脆弱性	回避可能性	低減後のリスク評価															
使用段階		使用者による保全作業	引き込み	S1	F1	O1	A1	RI	カ タ コ リ	保護方針の分類	低減対象の パラメータ	新たな 危険 源の 発生	S2	F2	O2	A2	カ タ コ リ							
危険箇所		作業内容	発生頻度のシナリオ	S2	F2	O3	A2	RI	カ タ コ リ	本質 安全 防護	S	F	O	A	S2	F2	O3	A2	カ タ コ リ					
1	駆動チェーン	駆動チェーンに給油する作業が、一週間に一回ある。	給油するとき、チェーンとスプロケットが動き出し、その間に指を引き込まれ切断する。	S2	F1	O3	A2	4	カ タ コ リ	○	-	-	○	なし	S2	F1	O1	A1	2	-	不要 (危険源の除去)	なし	不採用	無給油チェーンはコストが安く且つ寿命が長く、耐用年数10年間で2回の交換を要す。トールコストは固定式カバより高価になる。
2										○	-	-	○	なし							不要 (危険源の除去)	なし	不採用	駆動チェーン・修理の際、カバを外すと危険源のチェーンとスプロケットが動き出しになる。10レベルを貼る。
3										-	-	-	○	なし	S2	F1	O1	A1	2	-	不要	有り	採用	残留リスク対策: 残留リスクの権限として、「修理の際、カバを外すと危険源のチェーンとスプロケットが動き出しになる。」ことを取扱説明書に記載する。
4										-	-	-	○	なし							要	有り	不採用	人の行動に類する作業は、止めず、作業中に誤起動の恐れ、他にリスク低減策あり。
5																								

表 17 調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要

	名 称		概 要	参照先
国内	1) 安全革命	株式会社 エスクリエイト	特徴: ・主に機械を新規に設計する段階や複数の構成要素を組み合わせて統合生産システムとして構築する段階での RA の効率化・省力化を目的としたツール ・ISO 12100 の標準的手順のうち、“制限事項の指定”以降の RA を扱っている 詳細については第 3.4.2 項参照	https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html (2021 年 5 月 25 日確認)
	2) ADVANCE ／リスクアセスメント	株式会社 日本ハイソフト	特徴: ・災害情報やヒヤリハット情報を共通の様式で一元管理 ・「ヒヤリカード」などの報告書類をイメージした登録画面が用意されている 主な機能: ・残留リスクなど次回以降のリスクアセスメント計画策定支援機能 ・特定リスクの入力・結果一覧・整理、抽出・評価・低減策・承認 ・リスクアセスメント実施項目の特定、実施報告書の作成・承認 ・リスクアセスメント実施項目の指示・実施報告・実施報告承認・実施報告一覧 ・回覧機能、スケジュール機能	https://www.jhsc.co.jp/package/risk/risk.html (2021 年 5 月 25 日確認)
	3) リスクアセスメント実施支援システム	厚生労働省	特徴: ・ユーザが自社で使用する機械に対して実施する RA を支援する目的で厚生労働省が公表しているツール ・製品組み立て作業、食品加工作業、鋳物製造業、自動車整備業など 30 種類の業種・作業ごとに、“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害の特定”から“残留リスクと対応事例”までを扱っている 詳細については第 3.4.5 項参照	https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html (2021 年 5 月 25 日確認)
欧州	4) Safexpert 8.6 Machinery Directive COMPACT	IBF Solutions GmbH(オーストリア)	特徴: ・機械や電気装置の設計開発段階での RA, ならびに、欧州機械指令や低電圧指令等に対する CE マーキングプロセス(適合性評価)の支援を目的とした製品で、その品質が第三者認証機関の認証を受けたツール 詳細については第 3.4.3 項参照	https://www.ibf-solutions.com/en/ce-software-safexpert (2021 年 5 月 25 日確認)
	5) Compliance Risk Software	DD IT Solutions Ltd.(英国)	特徴: ・欧州機械指令の附属書 I(必須健康安全要求事項: EHSRs), 低電圧指令, 英国 PUWER の条文を基にした質問文に回答する方式でスクリーニングを行い、該当するものに対し詳細な RA を行う ・該当する危険部分、危険区域を順に登録していく手順 ・リスク見積もりは、HSE のマトリクス法を用いる 主な機能: ・頻出する語句は Pool に保存し、適宜引用が可能で、文書化の作業負荷が軽減される ・リスク低減方策として安全機能を選択した場合には、別途、13849-1 のリスクグラフを用いて要求安全性能を検討する ・規格類の参照機能は特に装備されていない	https://www.compliance-risksoftware.co.uk/ (2021 年 5 月 25 日確認)

表 17 調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要(つづき)

	名 称	概 要	参照先	
欧州	6) CEM4	Certifico S.r.l. (イタリア)	特徴: ・ 機械指令の EHSRs の条文に対し、該当するものに危険部分、危険区域、保護方策などを順に登録していく手順で詳細な RA を行う方式 ・ リスク見積もりは、ISO/TR 14121-2 のハイブリッド法を用いる 主な機能: ・ 同定した危険源ごとに、リスク見積もり結果を含めて、文章化出力される ・ 条文によっては、関連する A 及び B 規格の番号が提示されるが、要求事項を参照できる機能は装備されていない	https://www.cem4.eu/en/ (2021 年 5 月 25 日確認)
	7) WEKA Manager CE	CE ACADEMY (ドイツ)	特徴: ・ 機械指令、低電圧指令に対する RA 実施や適合宣言書作成のサポートを目的としたツール ・ 危険源リスト及びリスク見積もり手法として、ISO 12100 及び ISO/TR 14121-2 に基づくもの、CEN-ELEC Guide 32 に基づくものが内包 主な機能: ・ リスク低減方策の立案では、選択した危険源に関連する整合規格の情報、ならびに、欧州委員会が発行している適用ガイドの技術情報が表示される	https://ce-akademie.eu/software/weka/produkte/weka_manager_ce.htm (2021 年 5 月 25 日確認)
	8) RASWin – Risk Assessment Software	Solidsafe s.l. (スペイン)	特徴: ・ 機械の保護装置及び機能安全に関するドキュメント作成・管理に重点を置いたツール ・ 機能要求仕様策定、安全システム設計、検証・妥当性確認など安全ライフサイクルにおける各ステップの情報を整理 ・ 危険源同定は、アクセスポイントとして、機械設備の図面など画像上に危険箇所を登録していく手順 主な機能: ・ リスク低減方策検討の際、予め登録し、信頼性データなどを入力しておいた各種コンポーネントを選択することで安全関連部の構成仕様を決定でき、安全性能 (PL) の評価も可能 ・ 保護方策によっては、関連する B 規格の要求事項 (例えば、最小距離の導出公式) が提示される	https://raswin.eu/en/raswin-en/ (2021 年 5 月 25 日確認)
米国	9) Designsafe 8	Design safety engineering inc.	特徴: ・ 単体の機械製品又は複数の構成要素から成る梱包システムや統合生産システムに対する設計開発段階での RA の負荷軽減を目的としたツール 詳細については第 3.4.4 項参照	https://www.designsafe.net/softwareabout (2021 年 5 月 25 日確認)
	10) Machine SafetyPro	Machine Safety Specialists	特徴: ・ リスク低減方策のない初期、リスク低減後、さらなるリスク低減の 3 段階について RA を行う方式 ・ リスクの見積もりは、危害の酷さ、暴露頻度、回避・制限の可能性の 3 要素から行う ・ リスクアセスメントの結果は、詳細さの異なる 3 種類の出力様式 (最も詳細な場合は ANSI/RIA 規格に準拠した様式) に基づいて文章化される 主な機能: ・ OSHA 規則及び ANSI 規格 (例えば、B11.0) の一覧が提示され、該当するものを選択可能 (選択は実施者が行う必要がある) ・ 選択した規則・規格の条文を参照して危険源やリスク低減方策の文書化が可能 ・ タブレット PC などモバイル機器に実装させることを前提に設計されており、実際の機械を前に文書や写真画像の入力が可能	https://www.machinesafetyspecialists.com/risk-assessment-tools/machine-safety-pro-app/ (2021 年 5 月 25 日確認)

表 18 旋盤の危険源リスト(JIS B 6031:2014 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(運動エネルギー)	—	5.2.1.1 g) 主軸の最大加工回転速度の設定方法を操作説明書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(液体)の注入 重力(蓄積エネルギー)	機械内部の蓄積エネルギーの散逸	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 19 動力プレスの危険源リスト(ISO 16092-1:2017 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(運動エネルギー)	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しなければならない。 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ー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。
蓄積エネルギー		
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 20 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域

ISO 12100 の箇条	抽出した危険源／危険区域	参考情報	
機械的危険源			
死角, 視認性の不足	6.2.2.1 a) 6.2.11.8 d) 6.3.2.1 d) 6.2.8 e)	操作位置, 制御位置から直接視認できない — 移動機械の走行及び作業区域, — 持ち上げられた荷の可動区域, — 人を昇降するための搬送機械類の可動区域, 又は, — 手持ち機械又は手案内機械の工具と作業対象材料との接触範囲 機械又はガードの形状寸法などの影響のために明るさが十分でない, 作業又は調整／設定／保全のために進入する区域。	
はさまれ, せん断	6.2.2.1 b)	可動部分と固定部分との間又は二つの可動部分の間に, 全身又は人体の一部が侵入できるほど広くかつ機械の作動中に人体の一部を挟むほど狭まる隙間。	全身又は人体の一部が侵入可能な隙間: ISO 13857 挟まれる隙間: ISO 13854
	6.2.2.2 a)	移動する機械本体, 機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分のうち, 次のいずれかに該当する部分: — 頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる — 推力が 28 N (人と接触する面積が 1 cm ² 未満では 28 N/cm ²)を超える	出典: ISO/DTR 21260 産業用ロボットの協働作業における接触力については ISO/TS 15066 を参照
端部, 角部, 突出部	6.2.2.1 c)	身体を傷つける硬さのある鋭利な端部／鋭い角／突出部。金属板端面, 金属部材端部などのバリも含む。	土工機械の運転席の端部の丸みについては ISO 12508 を参照 “鋭い”, “尖った”については, ISO/TR 21260 (人に接触する面積が 0.5 cm ² 未満), 機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用 別冊 ³⁸⁾ (C2 以上)を参照
衝撃	6.2.2.2 b)	移動する機械本体, 機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分, 材料／加工物／運搬物, 排出(放出)される部材／破片のうち, 次のいずれかに該当する部分: — 頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる — 運動エネルギーが 0.26 J (接触面積 1 cm ² 未満では 0.26 J/cm ²)を超える	出典: ISO/DTR 21260 産業用ロボットの協働作業における接触力については ISO/TS 15066 を参照
応力の考慮	6.2.3 a)	ボルト締め組立又は溶接組立で組み立てられる部分で発生する応力を推定又は検討しない部分	
使用材料の選定	6.2.3 a), b)	機械に使用する材料のうち, 以下の特性又は現象が検討されていないもの: — 腐食, 経年変化, 摩滅, 摩耗 — 硬さ, 延性, 脆性 — 不均質性 — 応力変動(特に, 繰り返し応力)による疲労	
ポジティブな機械的作用の適用	6.2.5	機械の可動部分に連動し動作する部分又はスイッチなどの連動に, ポジティブな機械的作用(機械的コンポーネントが直接接触して又は剛性要素を介して他の機械的コンポーネントの動作に必然的に依存して動作する)を利用していない部分。	低圧開閉装置のポジティブ開離操作: IEC 60947-5-1 インターロック 装置の設計及び選択: ISO 14119
安定性	6.2.6 6.3.2.6	次の方策が講じられていない, 安定性を達成できない機械本体又は一部: — アンカーボルト — 固定装置 — 作動制限装置又は機械的なストップ — 加減速制限装置 — 負荷制限装置 不安定となる原因には次を含む: — 基礎の形状寸法, 設置面の特性(傾斜, 強度) — 負荷を含めた重量分布, 重心の変動, 回転要素の静的及び動的バランス — 転倒モーメントを生じるような機械の部品, 機械自体又は機械に取り付けられた要素の運動による動的な力 — 外部からの振動, 風圧, 人力のような外力の影響	各種産業車両の安定度及び安定度の検証方法については ISO 22915-1~22 を参照

表 20 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
重量物	6.2.7 6.3.5.5	設定、清掃、調整、点検等のために取り外す又は運搬する質量が 15 kg 以上の機器、組立品、配管などうち、つり上げ対策のないもの	運搬距離に応じた搬送物の推奨重量については EN 1005-2 を参照
手動制御器	6.2.8 f) 6.2.11.8	次のいずれかに該当する手動制御器: <ul style="list-style-type: none"> — 危険区域内から届く位置に設けられている — 意図的な操作を行わないのに作動する(作業者が別の動作を起こしているときに触れてしまう、落下物・飛来物の影響を受ける) — 視認できない又は明瞭に識別できない — 素早くは操作できない又は操作に曖昧さがある — 類似の機械と操作パターンが異なり、誤操作する可能性がある — 押しボタンの位置やレバーの動きと操作の結果生じる機械の動作が符合していない — 近傍に停止操作のための制御器が配置されていない起動操作用の制御器 — 複数の異なる動作が実行できるように設計されている(例えば、キーボード)が、実行される動作が明瞭に表示されない — 作業者が、手袋や履物を身に着けた制約の下で操作することを考慮していない — ケーブルレス制御器において、通信が不通になることを考慮していない — 1つの機械又はその可動部が複数の制御器から起動・停止操作できる — 作業者が制御器の操作位置に居ることをリスク低減方策とする場合において、指定した位置に作業者がいなくとも制御器を操作できる 	手動制御器の配置及び操作に対する要求事項については IEC 61310-3 を参照
指示器等	6.2.8 g)	指示器、ダイヤル及び視覚表示ユニットの選択、設計及び配置は、次による。 <ul style="list-style-type: none"> — それらは人間の知覚のパラメータ及び特性に適合する。 — 表示される情報は容易に気づくことができ、かつ、内容を識別して理解できる。すなわち、オペレータの要求及び意図する使用に応じて長く持続し、明瞭で、曖昧でなく、かつ、理解しやすい。 — オペレータは、操作位置でそれらを認知できる。 	
高圧液体	6.2.10	漏れ又はコンポーネントの故障によって噴出する 0.74 MPa を超える液体	出典:厚生労働省“水道施設の技術的基準を定める省令”
油圧システム	6.2.10	次のいずれかに該当する油圧システム: <ul style="list-style-type: none"> — 減圧する手段がなく、機械の動力供給を遮断した後も圧力を維持する油圧システムの機器／要素 — 貯蔵器及び同様の容器(例えば、ガスが充填されたアキュムレータ)のうち、機械の動力供給を遮断したときに自動的に減圧しないもの — 機械の動力供給を遮断した後も圧力を維持する必要がある油圧システムの機器／要素 — 漏れ又はコンポーネントの故障による(むちのような)突然の動きを生じるホース — 有害な外的影響から保護されていないパイプ又はホース 	
動力源の起動、動力供給の接続	6.2.11.2	内燃機関など内部動力源の始動のみで起動してしまう機械の作動部分、主電力、圧力源など外部からの動力供給の接続のみで起動してしまう機械の作動部分	
機構の起動又は停止	6.2.11.3	電圧又は流体圧力の除去若しくは低減によって運動を開始又は加速する機構部分、 電圧又は流体圧力の加圧若しくは増加によって停止又は減速させる機構部分	
動力中断後の再起動	6.2.11.4	動力の中断後に再起動されると、特定の操作などを行わずとも自動的に再起動する機械又は再作動する作動部分	
動力供給の中断	6.2.11.5	動力供給の中断又は過度の変動に起因する次のような事象: <ul style="list-style-type: none"> — 機械類の停止機能の喪失／低下、安定性の喪失／低下 — ロック装置／クランプ装置の機能の喪失／低下 — 重力による可動部分の降下、可動軸の回転、ワークピース／負荷の落下 — 冷却又は加熱装置の機能の喪失／低下 	

表 20 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
非正常作業に対する制御モード	6.2.11.9	非正常作業(設定, 段取り, ティーチング, 工程の切替え, 不具合(障害)の発見, 清掃又は保全)のために, ガードを移動若しくは取り外す及び／又は保護装置を無効化する場合で, かつ, 作業の目的から機械又は可動部を運転する必要がある場合, 次のいずれかに該当する: <ul style="list-style-type: none"> － 非正常作業専用の制御／運転モード以外のモードが作動する － 機械の危険な要素の運転が, イネーブル装置, 両手操作制御装置又はホールド・トゥ・ラン制御装置の連続的な操作が無くても行える － 機械の危険な要素の運転が, 自動運転時と同様に実行できる(例えば, 減速, 低減した動力又は力, 段階的操作で制限されない) － 機械のセンサに対する故意又は無意識の行為で危険な機能が実行されることが防止されていない 	
制御モード切替装置	6.2.11.10	次のいずれかに該当するモード切替装置: <ul style="list-style-type: none"> － 各々の制御／運転モードの位置に固定(ロック)できない － 1つの位置で複数の制御／運転モードが選択される 	切替を行う手段には, アクセスコードが含まれる
非常停止	6.3.5.2	次のいずれかに該当する非常停止又はそのリセット: <ul style="list-style-type: none"> － 非常停止装置をリセットするまで効果が継続しないもの － 非常停止指令の出された位置(場所)以外でも実行可能なリセット － リセット操作だけで再起動する機械又はその可動部 － ISO 13850 が規定する設計原則に適合していない 	非常停止装置については IEC 60204-1 を参照
蓄積エネルギー	6.3.5.4	次のいずれかに該当する動力遮断又は蓄積エネルギー: <ul style="list-style-type: none"> － 設置後又は運転開始後, 動力供給を遮断できない機械又はその可動部 － “遮断”の位置に保持できない動力遮断装置(施錠できるのが望ましい) － 消散又は抑制する方策が講じられていない動力遮断後に残留する蓄積エネルギー及びこれによって予期せず作動する機械の可動部分 	予期しない起動の防止の詳細については ISO 14118 を参照
高所からの墜落	6.3.5.6	作業者が立ち入り可能な広さを持ち, かつ, 床, 地面又は作業台など基準面からの高さが 0.5 m を超える高さに取り付けられた, 作業者の接近が必要な材料供給口／加工物搬出口, 調整／交換／点検が必要な機器	出典: IISO14122-1 作業用プラットフォーム及び通路の設計基準については ISO14122-2 を, 階段, 段梯子及びこれらの柵, ガードレールの設計基準については ISO14122-3 を参照。
滑りによる転倒	6.3.5.6	次のいずれかに該当する作業者が歩行する通路・区域: <ul style="list-style-type: none"> － 滑りやすい材質で製作されている － こぼれた液体で濡れる, 又は, 泥や湿った雑草などで汚れる 	床面, 通路面の滑り止め方策及び耐滑性試験については ISO 14122-2 を参照
その他の危険源(抜粋)			
高温	—	温度又は表面温度が 43℃ を超える機械の部分, 油空圧機器／配管, 又は, 機械で扱われる材料(加工物／運搬物), 排出／放出される固形物／液体(ミスト)／気体(蒸気)	接触時間を考慮した温度基準については ISO 13732-1 を参照
低温	—	温度又は表面温度が 0℃ 未満となる機械の部分, 油空圧機器／配管, 又は, 機械で扱われる材料(加工物／運搬物)	接触時間を考慮した温度基準については ISO 13732-3 を参照
騒音	6.2.2.2 c)1)	次のいずれかに該当する騒音の発生源: <ul style="list-style-type: none"> － A 特性放射音圧レベルが 70 dB (A)を超える － A 特性音圧レベルが 80 dB (A)を超える － ピーク C 特性瞬時音圧が 63 Pa(20 μPa に対して 130 dB)を超える 	出典: 欧州機械指令 騒音に対する保護方策には次のものがある: <ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音を音源で低減する方策(ISO/TR 11688-1 参照) ・ 囲い(ISO 15667 参照) ・ 機械に装着したスクリーン ・ 消音装置(ISO 14163 参照)

表 20 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条	抽出した危険源／危険区域	参考情報
振動	6.2.2.2 c)2) 次のいずれかに該当する機械の振動部分： － 手腕系にかかる振動の振動合成値が 2.5 m/s ² を超える － 全身に加わる補正加速度の最高実効値が 0.5 m/s ² を超える	出典：欧州機械指令 手持ち及び手案内機械に 対しては CEN/CR 1030-1 ⁶⁷⁾ を参照 据付形工業機械類の振動 遮断の方策については EN 1299 を参照
危険有害性 物質	6.2.2.2 c)3) ラベル表示・SDS 交付義務対象とされる危険有害性物質のうち、 － 設計上、機械に使用される又は蓄積するもの － 機械の使用中に生成、排出される又は堆積するもの	出典：厚生労働省 “ラベル 表示・SDS 交付義務対象 物質の一覧” ⁶⁸⁾
電離放射線	6.2.2.2 c)4) 機械に使用される電離放射線(粒子線：α線、β線、陽子線、中性子線、 電子ビーム、イオンビーム、又は、電磁波：X線、γ線)又は機械に蓄積す る放射性物質	厚生労働省 “電離放射線 障害防止規則” を参照 環境省 “放射線の基礎知 識”，“放射線による健康 影響” ⁶⁹⁾ を参照
	波長が 180 nm 以上 1 mm 以下のレーザー光	放出レベル、放出持続時 間の基準については IEC 60825-1 を参照
	波長が 180 nm 未満又は 1 mm を超えるレーザー光	
	非電離放射線(電波、マイクロ波、赤外線、紫外線(周波数 300 GHz 以下))	
	磁束密度 2 T 以上の静磁界	出典：ICNIRP “Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields” ⁷⁰⁾

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域

ISO 4413 の箇条	抽出した危険源／危険区域	参考情報
使用最高圧 力	5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.5 リーフ弁や圧力補償型ポンプ制御を用いるなどの方策がなく、外部負荷(アク チュエータにかかる場合を含む)又は流体温度の影響により、システムの運転圧 力が使用最高圧力を超える又はシステム各部の圧力が最大定格圧力(機器の 許容範囲)を超えるおそれある油圧システム/機器	
要素の選択	5.2.1.2 5.2.1.3 選定、適用方法、据え付けに関して、供給者の指示・推奨に準じていない又は 該当する ISO に従って設計・製作されていない油圧機器又は油圧配管	
圧力の増加	5.2.2.3 圧力サージ及び圧力変動があった場合に影響を受ける油圧機器	
圧力の低下	5.2.2.4 圧力又は真空度の喪失/低下があった場合に影響を受ける油圧機器	
騒音源	5.2.4 空気伝ば騒音、固体伝ば騒音及び液体伝ば騒音を検討していない油圧システ ム/機器	振動発生源につい ては ISO/TR 11688-1 参 照
内部漏れ	5.2.5 内部漏れが起きると、意図した油の制御(遮断)ができなくなる油圧機器	
外部漏れ	5.2.5 5.4.1.7 外部漏れが起きると、供給圧や制御圧を低下させる可能性のある油圧機器又は 配管の接続部(例えば、油圧ポンプ又は油圧モータでの管用テーパねじ又は シール剤を必要とする配管接続部)	
温度	5.2.6.1 機械の運転中、製品仕様に定められた範囲を超えた高温又は低温になる可能 性のある油圧機器	
交換	5.3.2.1 交換の際、次のいずれかに該当する油圧機器又は配管： － 作動液の過度の損失を招くもの － 油抜きを必要とする油タンク － 隣接する部品の取り外しを必要とするもの	
シール、密封 装置	5.3.2.6.2 次のいずれかに該当するシール又は密封装置： － 使用する作動液、隣接する材料、作動条件/環境に材質が適合していない － 点検や交換が容易に行えない	

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 4413 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
油圧ポンプ, 油圧モータ	5.4.1.1 5.4.1.2 5.4.1.3 5.4.1.5 5.4.1.6 5.4.1.7	次のいずれかに該当する油圧ポンプ、油圧モータ: <ul style="list-style-type: none"> － 回転速度が許容限度の範囲を外れる － 負荷サイクル、温度変動、質量負荷の影響で軸心ズレが生じる － アキシアル荷重又はラジアル荷重が定格範囲を外れる － 作動液を充填する際、ケーシング内に空気が閉じ込められる － 想定される最大トルクに取付金具が耐えられない － 管用テーパねじ又はシール剤を必要とする方法で接続される － 外部からの衝撃、荷重負荷、振動の影響に対する保護がない － 使用圧力範囲が技術資料に明記されていない 	
油圧ポンプ, 油圧モータ の駆動カップ リング	5.4.1.2	次のいずれかに該当する駆動カップリング: <ul style="list-style-type: none"> － 想定される最大トルクに耐えられない － 油圧ポンプ及び油圧モータの作動中に触ることができる 	
油圧シリンダ	5.4.2	次に該当する油圧シリンダ: <ul style="list-style-type: none"> － ストローク長、荷重及びシリンダの取付け方法を検討しておらず、ピストンロッドがある特定の位置にあると、ピストンロッドに曲がり又は座屈が生じるおそれのあるもの － 設計で最大負荷及び圧力ピークを検討していないもの － 負荷定格の検討に、取付形式(取付形状の力の伝達能力)を考慮に入っていないもの － 機械部材を停止させる用途で使用する油圧シリンダで、無理に停止させた際の最大負荷を基準に大きさ及び取付け方法を検討していないもの － ピストンの面積差によって定格圧力の制限を超える圧力が発生するおそれのあるもの(油圧システムで油圧シリンダの定格圧力を超える圧力の発生を防止する方策を講じていない) － シリンダの中心線に沿った方向に負荷の反力が生じるように取り付けられていないもの － 内部クッションを用いる油圧シリンダのうち、負荷が十分減速するよう考慮されていないもの － ピストンがピストンロッドに確実に固定されていないもの － 保守及び点検のための情報を備えておらず、かつ、自動的に空気が抜けるようには取り付けられていないもの － 保守及び点検のための情報を備えておらず、かつ、近づきやすい位置に空気抜きを設けられていないもの又は空気抜きポートが最上部になるように取り付けられていないもの － ストロークを外部又は内部のストップによって決める油圧シリンダで、調整部をロックする手段のないもの － 空気室をもつシリンダで、シリンダから安全に空気を排出できる通気口がないもの － 次の事項が必要最小限に留まるように取付けを検討していないもの <ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮荷重又は引張荷重によるシリンダの極端な変形 ・ 横荷重及び曲げ荷重の発生 ・ 連続して外部潤滑が必要なピボット取付けの回転速度 	
油圧シリンダ 附属品	5.4.2.5	油圧シリンダに取り付け又は接続した附属品のうち、使用中の衝撃、振動などによって緩むおそれのあるもの	
油圧シリンダ の取付け面	5.4.2.8	次に該当する油圧シリンダの取付け面 <ul style="list-style-type: none"> － ひずみを生じさせるおそれがある － 熱膨張に対する逃げが設けられていない 	
油圧シリンダ 及び附属品 の取付け用 留め具	5.4.2.9	次に該当する油圧シリンダ及び附属品の取付け用留め具: <ul style="list-style-type: none"> － 想定される負荷力を考慮して、設計・取り付けされていない － フート取付け形シリンダのシリンダ取付けボルトに過大なせん断力が作用する(せん断荷重を吸収する手段を考慮していない) － 想定される負荷モーメントに耐えられない 	

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 4413 の簡条	抽出した危険源／危険区域	参考情報
ピストンロッド	5.4.2.13 次に該当するピストンロッド： ー 打痕，傷，腐食等に対して保護していない(カバーがない等)又は材質及び表面処理に関して摩耗，腐食及び外部からの衝撃による損傷を検討していないもの ー 負荷を取り付けるためにロッド端にねじが切つてあるピストンロッドのうち，スパナ掛けのような反力を加える手段・機構を設けていないもの	ロッド径が小さすぎて設けられない場合は除く ISO 4395 参照
気体封入式アキュムレータ	5.4.3.2 次に該当する気体封入式アキュムレータ： ー 油圧システムの運転を止めたときに，液体圧力を自動的に排出できない ー 油圧システムから隔離できず，蓄積エネルギーによる危険に対する手段(例えば，クランプ装置)も講じていない ー 使用中に，圧力，温度又は環境条件が定格値の範囲を超えるおそれがある ー 気体側に供給者の指定を超える過度の圧力が加わる	
管継手など	5.4.3.3.1 アキュムレータを使用した油圧システムにおいて，外部からの衝撃・機械の振動等から保護していない機器及び管継手	
アキュムレータの支持	5.4.3.3.2 アキュムレータ及びそれと関連して加圧される機器のうち，供給者の取扱説明書に従って支持していないもの	
変更したアキュムレータ	5.4.3.3.3 本体を機械加工，溶接，その他の方法で供給者が認めていない変更をしたアキュムレータ	
アキュムレータの吐出流量	5.4.3.4 吐出流量が供給者が指定した値を超えるおそれのあるアキュムレータ	
油圧バルブ	5.4.4.1 5.4.4.2 次に該当する油圧バルブ： ー 設計で，正しい機能，漏れ防止，保守又は調整の要求事項を考慮せずに選定した又は想定される機械的及び環境上の影響を考慮せずに選定した ー 接続配管又は管継手で支持している ー 機械の動きによって損傷を受ける位置にある ー バルブに及ぶ重力，衝撃，振動の影響を考慮して取付けていない ー 空気が溜まるのに，空気抜きができる向きを考慮して取付けていない ー サブプレート弁又はカートリッジ弁以外のバルブ ー 供給者が許容していないのに，遮断弁の用途で使用している	
マニホールド	5.4.4.3.1 5.4.4.3.2 次に該当するマニホールド： ー バルブ取付け面の平面度及び表面粗さがバルブ供給者の推奨値に従っていない ー 仕様範囲内の圧力及び温度であっても，使用中に変形による機能不良を起こすおそれがある ー 内部通路の流路断面積が不足しており，無視できない圧力降下を引き起こすおそれがある ー スケール，バリ，切りくずなどの異物が存在するおそれのある内部通路(鋳抜き穴及びドリル穴を含む)がある	
マニホールドブロックの識別記号	5.4.4.3.5 標準化された識別記号が付されていないマニホールドブロック又はマニホールドブロック用機器	マニホールドブロック及びマニホールドブロック用機器の識別記号については ISO 16874 を参照
電気式操作弁	5.4.4.4.1 次に該当する電気式操作弁： ー 手動又は他のオーバライド装置を備えておらず，電源供給が不能となると操作できない ー オーバライド装置に権限のない者が不用意に操作することを防止する方策が講じられていない ー 使用中に想定される条件(例えば，作動頻度，温度定格，許容電圧範囲など)を考慮していない ー 電気接続部が機械の電気回路の設計原則又は供給者の基準や推奨に従っていない ー 電気接続部に電気機械器具の外郭による保護等級(IP コード)の設計がなされていない	機械の電気回路の設計原則については IEC 60204-1 を参照 IP コードについては IEC 60529 を参照

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 4413 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
パラメータ調整を行うバルブ	5.4.4.5	次の手段を備えていないパラメータ調整を行うバルブ： － 調整を確実にする手段 － 調整が変更できないようにする場合、調整部をロックする手段 － 指定された又は許容される範囲を超えた調整を防止する手段	
作動油の清浄度	5.4.5.1.3	指定された清浄度を満たしていない作動油が使用されたために汚染物資の影響を受ける機器又は作動油の清浄度を指定しておらず、設計上意図した清浄度を満たしていない作動油が充填された場合に汚染物資の影響を受ける機器	
油タンク	5.4.5.2.1 5.4.5.2.2	次に該当する油タンク又は連結した油タンクの組合せ： － すべての開口部が有効にシールされていない － 正常な作動状態又は保守状態において、システムから油タンクに流入するすべての作動液が収容できない － すべての作動サイクル及びすべての姿勢において、液面が安全に使用できる高さを維持しない又は作動液の供給が行える十分な容量を蓄えていない － 油タンクからのこぼれ油を完全に回収できる十分な容量及び形状の油受け又はそれと同等なものが設置されていない － 作動液温度が自然放熱では不十分であるのに、熱交換器を設けていない － こぼれ油が直接油タンクに戻る構造 － 油タンクの上板が油タンク本体に確実に固定されていない － 油タンクの上板が取外しできる構造の場合、汚染物質の侵入を防止する設計がされていない － 汚染物質(外部から侵入するもの、作動油が劣化したもの及び製造工程で残ったもの)が集積、沈殿する － 設計で作動液の出入りに起因して発生する正又は負の圧力を受けることを考慮していない － 油タンクに入る空気をシステムが要求する清浄度に適合させる手段(例えば、エアブリーザ)の必要性を検討していない	
油タンクの吸込み管路	5.4.5.2.2.4	次に該当する油タンクの吸込み管路： － 液圧ポンプの吸込み特性を満たす寸法でない － 最低作動液面レベルにおいて、十分に作動液を吸い込むことができない又は空気の巻き込み若しくは渦の発生が起こる	
油タンクの戻り管路	5.4.5.2.2.4	次に該当する油タンクの戻り管路： － 戻り油を実用的な遅い流速で排出できず、タンク内作動液の好ましい循環を妨げる － 戻り油が空気を巻き込む	
油タンクの等電位ボンディング	5.4.5.2.2.8	作動油が可燃性である場合に、等電位ボンディング(例えば、構造体接地方式)を設けていない	等電位ボンディングについては IEC 60204-1 を参照
油タンクの液面表示	5.4.5.2.3.1	次に該当する油タンクの液面位置の表示： － システムの“高”及び“低”液面位置が恒久的な方法で表記されていない － 給油時に液面位置が明瞭に確認できない － 液面センサが実際の液面位置及び指定限界位置を表示できない	
水分離器	5.4.5.2.3.4	保守の必要な時期を知らせる指示器を備えていない水分離器	
油圧作動油のろ過	5.4.5.3.1	液圧作動油の必要な清浄度を維持するためのろ過機能が設けられていない油圧システム ※ オンラインフィルタシステム(例えば、高圧管路又は戻り管路フィルタ)が必要な清浄度を達成できない場合はオフラインフィルタシステムを使用する	油圧作動油の必要な清浄度の表示については ISO 4406 を参照
作動油のフィルタ	5.4.5.3.2.4 5.4.5.3.2.5	次に該当する作動油のフィルタ： － 予期する流量及び作動液の最大粘度のときに製造業者が推奨する初期差圧を超えてしまう(戻り管路フィルタを通過する最大流量は、シリンダの面積差及び作動液の圧抜きによって、液圧ポンプの最大吐出量を超える場合がある) － フィルタバイパス弁などを設けておらず、フィルタアセンブリのエレメントが、最大差圧に耐えられず損傷を受ける － 高圧管路フィルタから下流側(二次側)のバイパス流量の汚染物質が障害を引き起こすおそれのあるフィルタバイパス弁	

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

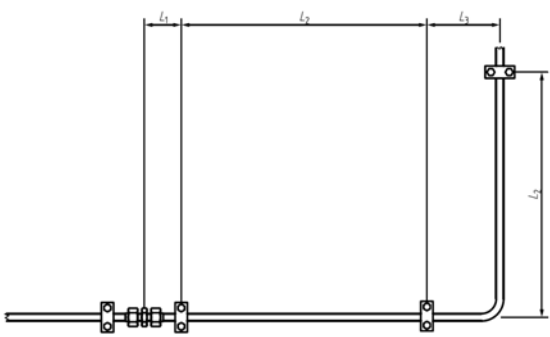
ISO 4413 の簡条	抽出した危険源／危険区域	参考情報																								
液体式熱交換器	5.4.5.4.2 次に該当する液体式熱交換器: - 作動液の循環方向及び流速が製造業者の推奨する仕様に合致していない - 望ましい液圧作動油の温度を維持し、冷却用流体の必要流量を最小にするよう熱交換器の冷却用流体が制御されていない - 保守のための冷却用流体の閉止弁が管路内に設けられていない(冷却用流体の制御弁は入口側管路に設けられるのが望ましい) - 冷却用流体によって腐食を起こす(適切な冷却用流体及びその特性が明確に指定されていない) - 作動液又は冷却用流体を排出できない																									
空気式熱交換器	5.4.5.4.3 次に該当する空気式熱交換器: - 作動液の流速が製造業者の推奨値内に納まらない - 清浄な空気を十分に供給できない - 空気の排出の危険性を検討していない																									
ヒータ	5.4.5.5.1 伝熱密度が作動液の製造業者の推奨値を超えており、作動液を温度によって劣化させるヒータ																									
空炊き	5.4.5.5.1 液面低下による空炊きを防止するためのインターロックを設けていないヒータ(ヒータが油圧作動油と直接接触しない場合を除く)																									
配管の寸法	5.4.6.1.1 導管、管継手及びマニホールドを通る作動流体の速度が次の値を超えるような寸法の配管 - 吸込みライン: 1.2 m/s - 高圧ライン : 5 m/s - 戻りライン : 4 m/s																									
他の機器の支持に用いる配管	5.4.6.1.3.3 他の機器の支持に使用され、過度の負荷が作用する配管	過度の負荷は、機器の質量、衝撃、振動及び圧力サージによって発生する																								
配管の取付け識別	5.4.6.1.4 識別又はその他の間違った接続を回避する方策が講じられていないチューブ又はホース																									
管継手	5.4.6.1.6 定格圧力が油圧システムの最高使用圧力以下である管継手																									
鋼製チューブの肉厚	5.4.6.2 次の Barlow の計算式に従っていない肉厚の鋼製チューブ $t = \frac{pD}{2f}$ ここで、 t はチューブの肉厚 (mm)、 p は使用圧力 (MPa)、 D はチューブの外径 (mm)、 f は許容応力 (N/mm ²) である。	使用条件によって材料の安全率を考慮しなければならない																								
チューブ支持具の間隔	5.4.6.3 次の表に示す推奨間隔に従っていないチューブ支持具 																									
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">チューブ支持具の推奨間隔</th> </tr> <tr> <th>チューブの外径 d (mm)</th> <th>管継手からの間隔 L_1</th> <th>直管部の支持具 間隔 L_2</th> <th>チューブの曲がり からの間隔 L_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$d \leq 10$</td> <td>50 mm</td> <td>600 mm</td> <td>100 mm</td> </tr> <tr> <td>$10 < d \leq 25$</td> <td>100 mm</td> <td>900 mm</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>$25 < d \leq 50$</td> <td>150 mm</td> <td>1200 mm</td> <td>300 mm</td> </tr> <tr> <td>$d > 50$</td> <td>200 mm</td> <td>1500 mm</td> <td>400 mm</td> </tr> </tbody> </table>			チューブ支持具の推奨間隔				チューブの外径 d (mm)	管継手からの間隔 L_1	直管部の支持具 間隔 L_2	チューブの曲がり からの間隔 L_3	$d \leq 10$	50 mm	600 mm	100 mm	$10 < d \leq 25$	100 mm	900 mm	200 mm	$25 < d \leq 50$	150 mm	1200 mm	300 mm	$d > 50$	200 mm	1500 mm	400 mm
チューブ支持具の推奨間隔																										
チューブの外径 d (mm)	管継手からの間隔 L_1	直管部の支持具 間隔 L_2	チューブの曲がり からの間隔 L_3																							
$d \leq 10$	50 mm	600 mm	100 mm																							
$10 < d \leq 25$	100 mm	900 mm	200 mm																							
$25 < d \leq 50$	150 mm	1200 mm	300 mm																							
$d > 50$	200 mm	1500 mm	400 mm																							

表 21 ISO 4413 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 4413 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
配管のシール面及び内面の異物	5.4.6.4	配管のシール面及び内面に、目に見える有害な異物(例えば、スケール、バリ、切りくず)がある	
ホースアセンブリ	5.4.6.5.1 5.4.6.5.3	次に該当するホースアセンブリ: <ul style="list-style-type: none"> － 破損したとき、むちのように飛びはねる危険が生じる － 破損したとき、作動液の噴出又は火災の危険が生じる － 他のホースアセンブリの一部として以前に使用されたことがあるもの － 液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホースのグレード、タイプが表示されていないもの － 製造業者が推奨する最高使用圧力以上の圧力で使用される － ホース内面ゴムの損傷などが生じないための衝撃、圧力サージ及びホース両端の流量制限を指定されていない 	呼び径が 5～102, 最高使用圧力が 3.5～56 MPa, 温度範囲が -40～120 °C の範囲で用いるホースのグレード、タイプについては ISO 18752 を参照 ホースアセンブリの取付け及び保護の指針については ISO/TR 17165-2 を参照
ホースアセンブリの取付け	5.4.6.5.2	次に該当する取付けのホースアセンブリ: <ul style="list-style-type: none"> － 推奨最小曲げ半径よりも小さな半径で曲げられる － 取付け時及び使用中のホースのねじれ変形が最小となるよう検討されていない又は自重で過度のひずみを生じるおそれがある(適切な支持を検討していない) － ホースの表面の摩耗が最小になるように配置又は保護を検討していない 	
急速継手	5.4.6.6	次に該当する取付けの急速継手: <ul style="list-style-type: none"> － 加圧状態での急速継手の接続又は離脱操作が避けられない場合に使用される急速継手で、加圧状態で接続又は離脱操作が可能ないように設計されていないもの又は操作員用の詳細説明書を備えていないもの － システムの加圧状態で非接続状態のときに、両端にシステム圧力に完全に耐えられる構造又は密封用キャップによって適切に塞さがれる機能を有していない 	
パラメータの表示	5.4.8.1	予防保守及び修理の際に油圧システムの運転パラメータが変化されると危険を引き起こすおそれのある箇所で、それらパラメータの識別、設定値又はその使用範囲が明示されていない箇所	
圧力計の指示	5.4.8.2	圧力測定に圧力ピーク及びダンピングを考慮していない不適切な圧力計が使用される	

表 22 産業用ロボットシステムの危険源リスト

(JIS B 8433- 1:2015 の表 A.1 及び B 8433- 2:2015 の表 A.1 より機械的危険源及び危険源の組み合わせを抜粋)

	原因	潜在的結果	参照箇条	
			B 8433- 1	B 8433- 2
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ロボットセルにおけるロボットの(背面を含む)すべての部分の移動 すべてのロボット軸の回転動作 ロボット又はエンドエフェクタとすべての固定物(柵, 梁など)との間 自動モード中に閉じ込められたオペレータのために準備されている(セル用扉を使つての)ロボットセルからの脱出ができない状態 蓄積された動力源からの潜在的エネルギーの予期しない放出 エンドエフェクタ, ロボットセル可動部又は関連設備の(通常又は予期しない)起動又は移動(ロボットで制御された外部軸, 丸砥石などのプロセスに特有のものなど) 外部軸(サービス位置でのエンドエフェクタ工具を含む)の(通常又は予期しない)移動 エンドエフェクタの故障(分離) エンドエフェクタ, 外部軸, ハンドリング中の部品, 連携している設備上の(鋭利な)工具の移動又は回転 だぶだぶの衣服, 長い髪 材料又は製品の落下又は放出 ジグ又は把持具の意図しない移動 ツールの予期しない開放 取付具の間(落下): シャトルの間, ユーティリティ 	<ul style="list-style-type: none"> 押し潰し せん断 切傷又は切断 巻き込み 引込み又は捕捉 衝撃 突刺し又は突通し こすれ, 擦り傷 高圧流体/ガスの注入又は噴出 	<ul style="list-style-type: none"> 5.2.1 5.2.3 5.5 5.6 5.7 5.8.4 5.9 5.10 5.11 5.12 5.13 5.14 	<ul style="list-style-type: none"> 5.2.1 5.2.2 5.2.3 5.3.2 5.3.6 5.3.7 5.3.8.2 5.3.9 5.3.10 5.5.1 5.5.2 5.5.3 5.5.4 5.6.4 5.8 5.9 5.10.2 5.10.3 5.10.6.1 5.10.6.2 5.10.6.3 5.10.7 5.11.4 5.11.5.4
危険源の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ロボット, エンドエフェクタ, 補助軸又は連携している設備の予期しない移動 電磁妨害又はエネルギー源からのサージによる機械制御装置の予測不可能な挙動 ロボットシステム速度が調整可能で, その結果多様なタスクが種々の速度で実行される状態 制御装置の機能不全によってローディング用テーブル又はエンドエフェクタで保持装置が開放され, 残留力(慣性, 重力, ばね/エネルギー蓄積手段)によって飛び出す状態 連携する機械が故障し, 期待どおりに機能しない状態 特有用途からの危険源 ロボットシステムの起動指令を一人の人が出したとき, このことがほかの人には予測できない状態 正しくない又は不要な行動をすることによって, 重要な問題及び複雑な問題の識別が不可能となること 	<ul style="list-style-type: none"> 中断後のエネルギー供給源の復帰 動力源の外部影響 予想外の起動 危険源と危険状態とのあらゆる組合せの結果 	<ul style="list-style-type: none"> 5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.5 5.2.6 5.2.7 5.3.2 5.3.3 5.3.5 5.4 5.5 5.7 5.8 5.9 5.10 	<ul style="list-style-type: none"> 5.2 5.3.10 5.6.3.3 5.8 5.9 5.9.1

表 23 事故の型別, 抽出した労働災害事例の件数

死亡災害			負傷災害(休業4日以上)		
事故の型	1999~2018	2015~2018	事故の型	2006~2017	2015~2017
はさまれ, 巻き込まれ	35 件(89.7%)	6 件(85.7%)	はさまれ, 巻き込まれ	45 件(52.9%)	15 件(55.6%)
激突され	4 件(10.3%)	1 件(14.3%)	激突され	20 件(23.5%)	6 件(22.2%)
			激突	6 件(7.1%)	2 件(7.4%)
			切れ, こすれ	4 件(4.7%)	—
			高温・低温の物との接触	3 件(3.5%)	—
			その他	7 件(8.2%)	4 件(14.8%)
計	39 件	7 件	計	85 件	27 件

表 24 “はさまれ”及び“激突され”の事例でロボットが動作した理由

a 自動運転中であつた(ロボットが停止していない又はさせていない状態で、ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させた)。	45 件
b ロボットが計画外停止する原因となつたトラブルを解消した。	15 件
c 設定、調整、保全等の作業中、ロボットが動作を開始するセンサ類を誤って作動させた。	10 件
d 設定、調整、保全等の作業中、手動制御装置(ボタン、スイッチ等)を誤操作した。	6 件
e その他 <ul style="list-style-type: none"> ・ 修理を行い再起動のために安全扉を閉めたところ、搬送ロボットが動き出し作業者がはさまれた。 ・ 引っ掛かりの原因と思われる箇所のボルトを緩めた途端に搬送部が動き出し、指をはさまれた。 ・ メンテナンス中、上部にいる被災者に気付かず、操作者が手動で搬送機を動かし駆動部が接触した。 ・ Z軸を傾ける専用治具の軸受が破損し、Z軸が倒れ支えとの間に両手をはさまれた。 ・ パレタイザのハンド部分がローラーコンベアに引っ掛かり停止したものを復旧作業中、ハンドが外れた時に残っていたエアの力でハンドとハンドの隙間に腕がはさまれた。 ・ 予定外停止中、ハンドにあつたワークが急に落下し、停止していたロボットが治具位置にワークを取りに動作したため、逃げ切れず、ハンドと治具の間に足をはさまれて負傷した。 	6 件
不明	22 件
計	104 件

表 25 災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト
(機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋、拡充部分を下線で示す)

	原因 (Origin)	潜在的結果
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボットセルにおけるロボットの(背面を含む)すべての部分の移動 ・ すべてのロボット軸の回転動作 ・ <u>ロボットシステムが自動運転を継続した状態(例えば、自動運転モード)で、計画外停止の原因となつたトラブルを解消したことで生じるロボットシステム可動部の意図しない移動</u> ・ <u>調整、保全(作業)又はサービスタスク中、センサ又はスイッチの意図しない作動又は無意識の行為で開始するロボットシステム可動部の移動</u> ・ <u>ロボット又はエンドエフェクタとすべての固定物(柵、梁、ロボットのベース、制御盤、ワーク保持台など)との間</u> ・ <u>ロボット又はエンドエフェクタと安全防護空間内の移動物(供給されるワークや部品、搬出される製品、コンベアなど搬送設備の可動部、搬送トレイ・パレット類など)との間</u> ・ <u>操作位置からの危険区域への視認性を妨げるロボット又は関連設備の位置、姿勢又は形状</u> ・ <u>ロボット、エンドエフェクタ又は関連設備の駆動源(動力)又は圧力源の喪失</u> ・ 自動モード中に閉じ込められたオペレータのために準備されている(セル用扉を使つての)ロボットセルからの脱出ができない状態 ・ 蓄積された動力源からの潜在的エネルギーの予期しない放出 ・ エンドエフェクタ、ロボットセル可動部又は関連設備の(通常又は予期しない)起動又は移動(ロボットで制御された外部軸、丸砥石などのプロセスに特有のものなど) ・ 外部軸(サービス位置でのエンドエフェクタ工具を含む)の(通常又は予期しない)移動、<u>エンドエフェクタの蓄積エネルギーの開放による移動(例えば、搬送物に引っかかって停止したエンドエフェクタが、外れた際に、残留していた空気圧の影響で移動する)</u> ・ エンドエフェクタの故障(分離) ・ エンドエフェクタ、外部軸、ハンドリング中の部品、連携している設備上の(鋭利な)工具の移動又は回転 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 押し潰し ・ せん断 ・ 切傷又は切断 ・ 巻き込み ・ 引込み又は捕捉 ・ 衝撃 ・ 突刺し又は突通し ・ こすれ、擦り傷 ・ 高圧流体/ガスの注入又は噴出

表 25 災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト(つづき)

	原因 (Origin)	潜在的結果
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・ だぶだぶの衣服, 長い髪 ・ 材料又は製品の落下又は放出 ・ ジグ又は把持具の意図しない移動 ・ ツールの予期しない開放 ・ 取付具の間 (落下): シャトルの間, ユーティリティ ・ ケーブル (例えば, 引っ掛かり, 破損, 鞭のように跳ねる) 	
危険源の組み合わせ (抜粋)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボット, エンドエフェクタ, 補助軸又は連携している設備の予期しない移動 ・ 電磁妨害又はエネルギー源からのサージによる機械制御装置の予測不可能な挙動 ・ ロボットシステム速度が調整可能で, その結果多様なタスクが種々の速度で実行される状態 ・ 制御装置の機能不全によってローディング用テーブル又はエンドエフェクタで保持装置が開放され, 残留力 (慣性, 重力, ばね/エネルギー蓄積手段) によって飛び出す状態 ・ <u>ガードの隙間又は保護装置の非検知空間から安全防護空間内へ人が侵入した状態 (侵入可能な隙間には, 幅 180 mm 超の長方形開口部, 直径 240 mm 超の円形開口部がある. ISO/TR 20218-2 参照.)</u> ・ <u>エンドエフェクタ, 連携する機械が故障し, 期待どおりに機能しない状態 (電源ケーブル又は圧力供給ホースの破損, センサの破損を含む)</u> ・ <u>特有な用途からの危険源 [例えば, エンドエフェクタのエネルギー源 (レーザー, ウォータージェット, アーク放電), センサの眼に影響するレーザー光]</u> ・ <u>ロボットシステムの起動指令を一人の人が出したとき, このことがほかの人 (例えば, 操作位置が直接視認できない位置にいる人) には予測できない状態</u> ・ <u>正しくない又は不要な行動をすることによって, 重要な問題及び複雑な問題の識別が不可能となること</u> ・ <u>エンドエフェクタの把持の不具合 (ワークを把持しない又は落とすとは異なる)</u> ・ <u>エンドエフェクタの不足した必要動力の見積もり</u> ・ <u>エンドエフェクタのフランジアダプタ又はエンドエフェクタ交換 (ツールチェンジ) システムの故障</u> ・ <u>エンドエフェクタの摩耗</u> ・ <u>ワークの変動に適していないエンドエフェクタの設計, 非常停止又は保護停止に適していないエンドエフェクタの設計及び使用</u> ・ <u>エンドエフェクタの誤ったシーケンス</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中断後のエネルギー供給源の復帰 ・ 動力源の外部影響 ・ <u>ロボット, エンドエフェクタ又は連携する機械などの予想外の起動 (例えば, エンドエフェクタが把持するワークが落下し, その結果, 停止していたロボットがワーク供給位置に移動)</u> ・ ・ ・ 危険源と危険状態とのあらゆる組み合わせの結果 ・ ・ ・ <u>セル内のロボットアーム, ワーク, 取付具又はその他の物体とエンドエフェクタの間での押し潰し</u> ・ <u>ロボットシステムの部品又はワークの落下</u> ・ <u>ワークの意図しない又は予期しない開放</u> ・ <u>エンドエフェクタの蓄積エネルギーの危険な開放</u> ・ <u>動作中又は停止中での把持の失敗によるワークの放出</u> ・ <u>エンドエフェクタ交換システムからのエンドエフェクタの意図しない又は予期しない放出</u>

表 26 様式 A の例 (フォークリフトを対象とした設備対策のチェックリスト)

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)	■	
2	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。	■	
3	バックレストを備えている (バスタの後方に荷が落下するおそれのないときは不要)。	■	
4	前照灯と後照灯を備えている (十分な照度が保持されているときは不要)。	■	
5	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。	■	
6	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。	■	
7	制動装置 : 走行を制御し、停止の状態を保持する制動装置 (サイパブレーキなど) を設ける。	■	
8	左右に1個づつ方向指示器を備える (最高速度が時速20km以上するときなど)。	■	
9	警報装置を備えている。	■	
10	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)。		
11	通路の死角部分にミラー等を設置する。		
12	望ましい構造上の要件	■	
13	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。		
14	キャビン : 運転席の全体を覆うキャビンを設けているか。		
15	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、警告音やバトライトなどによる警報装置を含む)。	■	
16	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。		
17	自由記入 (その他、有効と思われる対策を挙げて下さい)		

注) “チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

表 27 様式 A の例 (移動式クレーンを対象とした設備対策の子チェックリスト)

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	設備対策(機械安全) 1. 移動式クレーン本体 2. 安全装置 法令上の要件 (労働安全衛生規則、クレーン構造規格など)	移動式クレーンで荷をつりあげて旋回した際に、移動式クレーンがバランスを崩すことはないか。		
2		走行・旋回中の移動式クレーンが作業者に激突したり、作業者がはさまれたりする可能性のある箇所はないか。		
3		定格荷重の表示：運転者及び玉掛者が定格荷重を常時知ることができるように表示しているか。		
4		フック等が上限の高さになると、自動的に巻き上げを停止する(または警報を発する)装置を備えているか。		
5		過負荷防止装置	つり上げ荷重が3トン以上の移動式クレーンには、つり荷の質量が定格荷重に近づいたときに警報を発し、定格荷重を超えようとするときに自動的にクレーンの運転を停止させる装置を備えているか。	
6		安全弁	水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧を動力として用いる吊り下げ装置、起伏装置及び伸縮装置は、水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧の過度の上昇を防止するための安全弁を備えているか。	
7		逆止め弁	上記の装置では、水圧、油圧、空気圧又は蒸気圧の異常低下によるつり具の急激な降下を防止するための逆止め弁を備えているか。	
8		警報装置	移動式クレーンは警報を発する警報装置を備えているか。	
9		傾斜角表示装置	移動式クレーンでジブが起伏するものは、運転者の見やすい位置にジブの傾斜の度合いを示す装置を備えているか。	
10		外れ止め装置	玉掛け用ワイヤロープ等がフックから外れることを防止するための装置はあるか。	
11		前照灯等	移動式クレーンは、前照灯、尾灯、制動灯、後退灯、方向指示器、警音器、後写鏡、移動式クレーンの直前にある障害物を確認できる鏡、速度計を備えているか。	

表 27 様式 A の例 (移動式クレーンを対象とした設備対策のチェックリスト) (つづき)

No	設備対策 (機械安全)	チェック ク欄	あなたの職場での 注意事項の追加
12	望ましい構造上の 要件		
13	起伏緩停止装置	■	
14	アウトリガ張出幅検出装置	■	
15	水準器	■	
16	AML外部表示灯	■	
17	自由記入 (その他、有効と思われる対策を挙げて下さい)		
18			
19			

注) “チェック欄”の■はリスタクセスメント実施時に記入。

参考文献

- 株式会社タダノ：“移動式クレーン安全装置一覧”，<https://www.tadano.co.jp/service/upload/docs/safety01.pdf>
- 室蘭労働基準監督署：“移動式クレーンの安全対策について”，<https://site.mhlw.go.jp/hokkaido-roundoukyoku/var/rev/0130/3965/20161124182947.pdf>

表 28 様式 B の例 (フォークリフトを対象とした管理的対策のチェックリスト)

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)			
2		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。		
3		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。 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、止めようとして、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 29 様式 B の例(移動式クレーンを対象とした管理的対策のチェックリスト)

No	管理的対策(安全管理)		チェック欄	あなたの職場での 注意事項の追加
1	移動式クレーン 作業の安全管理	作業計画	移動式クレーンの作業計画を定めているか。また、作業計画の内容を関係労働者に周知しているか。	■
		過負荷の制限	移動式クレーンは定格荷重の範囲内で使用しているか。	■
2		安全装置の無効化	移動式クレーンの安全装置(過負荷防止装置など)を切って作業を行うことはないか。	■
3		傾斜角の制限	移動式クレーンの明細書に記載されているジブの傾斜角の範囲内で使用しているか。	■
4		軟弱地盤等での使用禁止	軟弱地盤等の移動式クレーンが転倒するおそれのある場所では、移動式クレーンの使用を禁止しているか。仮に軟弱地盤等で作業するときは、有効な敷板等を設けているか。	■
5		巻過防止装置の動作確認	巻過防止装置が正常に作動することを事前に確認してから作業を行っているか。	■
6		アウトリガーの張り出し	アウトリガーは両側とも張り出して使用しているか。	■
7		アウトリガーの沈下防止	アウトリガーの沈下を防止するために敷鉄板などを使用しているか。	■
8		つり荷の質量予測	つり荷の質量を正確に(または少し多めに)予測しているか。	■
9		運転時の合図	運転時には一定の合図を定め、指名された者が合図を行っているか。	■
10		運転位置からの離脱の禁止	荷をつつたまま運転位置を離れることはないか。	■
11		フックの位置決め	フックは、つり荷の重心の真上に位置決めを行っているか。	■
12		不適切な荷つりの禁止	1本つりや斜めつりをしていないか。また、荷に衝撃を与えたり、荷振れをさせたまま運転させていないか。	■
13		立入禁止	つり荷の下に作業者を立ち入らせていないか。	■
14		搭乘の制限	クレーンによって作業者を運搬したり、作業者をつり上げて作業をすることはないか。	■
15		専用の搭乘設備	やむを得ず上記の作業を行う場合は、墜落防止措置を講じた専用の搭乘設備を設けているか。この設備は、動揺し、転位し、または脱落することがないような構造となっているか。	■
16		強風時の作業中止	強風(10分間の平均風速が10m/sec以上)のためクレーン作業に危険が予測されるときは作業を中止しているか。	■
17		暴風時の逸走防止	屋外の走行クレーンで、瞬間風速で30m/sec以上を超える風が吹くおそれのあるときは逸走防止措置を講じているか。	■
18				

表 29 様式 B の例(移動式クレーンを対象とした管理的対策のチェックリスト)(つづき)

No	管理的対策(安全管理)	チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加
19	移動式クレーン作業の安全管理(続く)	■	
20	就業制限	■	次の移動式クレーンには以下に示す免許または技能講習を修了させた者に運転させているか。 1) つり上げ荷重が5トン以上の移動式クレーン 「移動式クレーン運転士免許」を受けた者 2) つり上げ荷重が1トン以上5トン未満の移動式クレーン 「小型移動式クレーン運転技能講習」を修了した者
21	特別教育	■	つり上げ荷重が1トン未満の移動式クレーンでは、安全のための特別教育を修了した者に運転させているか。
22	つり荷走行の禁止	■	荷をつつたまま移動式クレーンを走行させていないか。
23	定期自主検査の実施	■	定期自主検査(年次、月例)を確実に実施しているか。
24	定期自主検査の記録の保存	■	定期自主検査の記録を3年以上保存しているか。
25	作業開始前の点検	■	作業開始前に確実に点検を実施しているか。
26	暴風後、地震発生後の点検	■	瞬間風速30m/sec以上の風が吹いた後、または中震以上(震度4以上)の地震の後に、クレーン各部の異常の有無を点検しているか。
27	補修	■	定期自主検査または点検時に異常を認めるときは、直ちに補修を実施しているか。
28	低速での旋回	■	旋回は低速で行っているか。
29	つり荷走行の禁止	■	荷をつつたまま移動式クレーンを走行させていないか。
30	技能講習	■	つり上げ荷重が1トン以上のクレーンでは、玉掛け技能講習を修了した者に玉掛け作業を行わせているか。
31	特別教育	■	つり上げ荷重が1トン未満のクレーンでは、玉掛けに関する特別の教育を実施しているか。
32	玉掛け方法	■	荷の形状、寸法、質量等に応じた適切な玉掛け方法を採用しているか。
33	地切り後の一旦停止	■	地切り後一旦停止し、玉掛用ワイヤロープの張りとりつり荷の安定を確認しているか。
34	玉掛け用ワイヤロープの安全係数	■	ワイヤロープの安全係数は6以上、つりチェーンの安全係数は5(一部4)以上としているか。
35	玉掛け用フック等の安全係数	■	フックまたはシャックルの安全係数は5以上としているか。
36	不適格なワイヤロープの使用禁止	■	次のようなワイヤロープの使用を禁止しているか。 1) ワイヤロープ1よりの間における素線の数の10%以上が切断しているもの 2) 直径の減少が公称径の7%をこえるもの 3) キンクしたもの 4) 著しい形くずれまたは腐食があるもの

表 29 様式 B の例(移動式クレーンを対象とした管理的対策のチェックリスト)(つづき)

No	管理的対策(安全管理)	チェック欄	あなたの職場での 注意事項の追加
36	ワイヤロープ等の 玉掛け用具と玉 掛けの安全管理	<input type="checkbox"/>	
37	不適格なつりチェーンの使 用禁止 不適格なフック、シャックル 等の使用禁止	<input type="checkbox"/>	
38	不適格な繊維ロープ等の 使用禁止	<input type="checkbox"/>	
39	リングの具備等	<input type="checkbox"/>	
40	作業開始前の点検	<input checked="" type="checkbox"/>	
41	自由記入(その他、 有効と思われる対 策を挙げて下さい)		
42			
43			

注) “チェック欄”の■はリスクアセスメント実施時に記入。

参考文献

・ 室蘭労働基準監督署：“移動式クレーンの安全対策について”，<https://site.mhlw.go.jp/hokkaido-roundoukyoku/var/rev/0/0130/3965/20161124182947.pdf>

表 30 様式 C、評価結果の記録と残留リスクの明確化の例(フォークリフトの場合)

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、倉庫などの狭隙作業を行うときに、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