

## 機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発

### 研究代表者

齋藤剛 独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

### 分担研究者

濱島京子, 芳司俊郎, 清水尚憲, 池田博康, 梅崎重夫(労働安全衛生総合研究所)  
木村哲也(長岡技術科学大学)

### 研究要旨

本研究では、機械設備の設計段階及び使用段階におけるリスクアセスメント（：Risk assessment. 以下、「RA」という。）について、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設計技術者・生産技術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や実証試験などの結果を通じて、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”と設定して検討する。初年度（令和 2 年度）及び第 2 年度（令和 3 年度）を総合して、各項目でこれまでに得られた結果及び考察の要点は次のとおりである。

#### 項目 1：設計段階 RA 支援システムの開発

- 1) 設計段階 RA の各手順で実行すべき必須事項を ISO 規格や「機械の包括的な安全基準に関する指針」などに示される RA の原則に遡って検討した。RA のいずれの手順においても、要点を欠いた実施では最終的な目標である“適切なリスク低減”の達成は確認できない。しかし、①設計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) RA 実施の結果として、設計技術者が“適切なリスク低減の達成”を自ら判断することは容易ではない。このため、その際に有益な指標となる設計段階でメーカーが最低限達成すべきリスク低減水準について検討した。すでに RA 実施を法制化し、工学的方策を中心とする機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州連合（EU）の考え方に着目し、結果として、各々の機械に制定された個別製品安全規格（C 規格）が規定する安全要求事項が最低限達成すべきリスク低減水準を示したものと言え、これらに適合することで“適切なリスク低減の達成”を根拠立てて判断・主張できることを明らかにした。ただし、上記の目的に沿う C 規格を現行の ISO/IEC/JIS から一覧とした資料はないことから、本研究で作成を行った。一方で、C 規格が制定されていない機械に関しては、すべての機械に共通して適用される A/B 規格の安全要求事項への適合が適切なリスク低減の達成”の根拠となると考え、これらから最低限同定すべき危険源及び危険区域を抽出して提示することを、設計段階 RA の有効な支援として提案した。

- 3) 国内、欧州、北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し、デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し、さらに、内容が充実していると考えられる 3 種を選定し、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。
- 4) 以上の検討から、項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは“危険源の同定”の支援に焦点を当てることと定め、その核となる具体的なアプローチとして、①すべての機械に共通して適用される A/B 規格の安全要求事項から規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し、確実に同定すべき範囲と定めて提示すること、②特定の機械に対し、国内で報告された災害事例の情報から当該機械の C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、危険源同定のガイドとして提示すること、③公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する ISO 12100 及び C 規格類の安全要求事項とをリンクさせ、設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から多角的に関連情報を収集できるようにすること、の 3 つを考案した。さらに、これらとは異なる側面からの支援として、危険源にアクセスする可能性を設計技術者が客観的に評価できるよう基準となる機械の形状や空間寸法を明示することを提案した。
- 5) これらを統合する形で、項目 1 で開発する支援ツールの最終的なコンセプトを、現在までに対応 JIS として制定されている A/B 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域をリスト化し、具体的な判断基準を参考情報を付して分かり易く提示するとともに、さらに、アクセス可能性の評価に対する支援を加味することで、設計技術者が危険源をその原因（Origin）の物理的性質という側面と人のアクセスの可能性を整理して、自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく検討できるものとするを定めた。そして、これに従い、開発する設計段階危険源同定支援ツールの基本機能を明確化し、プロトタイプモデルの要求仕様を策定した。現在、その制作を進めている。  
機械に起こり得るすべての災害シナリオを網羅するのが危険源同定の理想である。しかし、本研究で上述のコンセプトとした理由は、知識や経験の限られた設計技術者が RA を実施する上で達成すべき要件を考えれば、検討範囲の広さを確保するよりも重大な見落しを防ぐことがより重要であると考えたからである。さらに、このような支援に基づく危険源同定は A/B 規格への適合にもつながることから、特に C 規格が制定されていない機械を設計対象とする場合に“適切なリスク低減の達成”を根拠立てて判断することにも大きく貢献することが期待される。

## 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労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」（以下、既実施研究という。）で提案したイラスト等を用いた選択式簡易リスクアセスメント手法について、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、できるだけ簡易で、紙や文字を可能な限り排する方向で再検討した。その結果、対象として選択した機械の危険シナリオをイラストで提示するとともに、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険箇所を指定していく方式とした。
- 2) 厚生労働省が公開している機械災害データベース等から、丸ノコ盤、旋盤、ボール盤、フライス盤、プレス機械について災害事例を抽出し、これより危険イラストを作成していく方法を考案した。危険イラストは、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ないよう配慮する必要がある。
- 3) 作成した危険シナリオに基づいた選択式 RA 支援システムの要求仕様を策定し、プロトタ

イプモデルとしてタブレット PC で動作するアプリケーションソフトウェアを試作した。そして、これを用いて、理工系大学の学生、職員及び労働安全コンサルタントを対象に、実装した支援機能を検証した。その結果、機械災害の発生過程（災害シナリオ）をイラストで提示するという本簡易 RA 手法自体は評価されたが、RA に不慣れな者を対象とする上では更に改善すべき点もあることが分かった。

### 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。本研究の項目 3 では、対象となる機械の機種数を拡充するために、典型災害事例及びチェックリストなど必要な情報を作成した。
- 2) 上記の手法をタブレット端末に実装し、12 種類の機械設備を扱える 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。さらに、タブレット端末の利用によれば、現場の写真・動画・作業手順・機械安全専門家のコメント等を容易に伝達できる。この点に着目し、専門家から遠隔で RA 結果の妥当性確認やアドバイスを受けられる仕組み（遠隔安全診断）を新たに考案し、具体的な支援機能として実装した。
- 3) 本システムを機械安全及び労働安全に長年の経験を有する専門家に試行してもらい、実装した機能等の評価を行った。その結果、中小企業にとって、理解しやすく、納得して効果の高いリスク低減対策を実施できるようにするツールとして有効性が期待できる画期的なシステムとの評価を得た。さらに、遠隔安全診断についても、RA に対する知識や関心を向上させる上で適切なシステムであるとされた。ただし、提案した簡易 RA 手法が包括指針や ISO 45001 が求める一般的な手法と異なる点については、利用者に十分に周知を図る必要があるとの指摘を受けた。その他、タブレット端末上での操作性の改善や操作説明書の記載内容の拡充なども挙げられ、検討すべき課題が残されていることが分かった。

## 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」<sup>注）</sup>という。）を防止するには、設計段階及び使用段階においてリスクアセスメント（: Risk assessment. 以下、「RA」という。）が適切に実施される必要がある。しかし、平成 29 年労働安全衛生調査（実態調査）<sup>1)</sup>では、約半数の事業所が実施していないと報告されており、特に労働者 50 人未満の事業所では、約 1/4 が“十分な知識をもった人材がいない”、“実施方法が判らない”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 実施の普及を促すことを目的に、機械の設計段階・使用段階において RA を実施する設計技術者・生産技術管理者等を支援するシステムをそれぞれ検討する。

設計段階での RA については、その原則と手順が ISO 12100<sup>2)</sup>によって国際的に標準化されており、その作業負荷を軽減するツールやソフトウェアが既にいくつか市販されている。しかし、予備的調査の結果、市販のツール等は多くが文書化作業の省力化に焦点を当てたものであり、例えば、RA の手順の中で最も重要とされる“危険源同定”などの各手順に対して、知識や経験の少ない設計技術者が RA を実施できるよう支援する機能を備えたものは見当たらなかった。そこで、本研究では、RA の各手順において設計技術者に必要であると考えられる支援の内容を明確にするとともに、市販の支援ツール等を調査して不足する機能等を整理する。そして、この結

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及び休業 4 日以上の災害」を指す。

果に基づき、特に“危険源同定”の支援に焦点を当てた支援システムの要求仕様を策定し、RA 支援システムのプロトタイプを開発する。

一方、使用段階での RA について、研究代表者らは、2016～2018 年度に厚労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」<sup>3)</sup>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 3 年間の計画で実施し、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もった RA 支援システムが新たに開発されていくものと想定されるが、その際、これらに広く共通に参考とされる“基本仕様”が確立していれば、常に一貫した考え方の下でシステムが適切に開発・構築されるようになると考えられる。

## 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、2019 年の死傷者数は 26,154 人、2020 年では 25,170 人と、依然として全災害の約 1/5 を占めている<sup>4) 6)</sup>。機械に起因する労働災害を防止するには、機械の設計段階及び使用段階（労働災害発生時のほか、機械の導入又は変更時、作業方法又は作業手順の変更時、その他定期的な間隔での実施を含む）で RA が適切に実施される必要がある。

このため、厚生労働省においては、2006 年に「危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づく措置」が事業者の努力義務と規定されたことを受け、2007 年に「機械の包括的な安全基準に関する指針」（以下、「包括指針」という。）<sup>5)</sup>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 で明確に示して、国内での機械安全対策の基本コンセプトとして周知してきた。さらに、2012 年には事業場での機械に係る RA の実施に貢献するこ

とを目的にメーカ等に対して機械の残留リスク情報の通知を努力義務化<sup>6)</sup>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<sup>7)</sup>など、RA の普及と定着を図ってきた。リスク低減のために講じる方策について、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<sup>8)</sup>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、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<sup>3)</sup>。典型災害事例を利用する手法については、これをタブレット端末に実装し、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いない」、20.4%が「実施方法が判らない」との回答であった。RA を実施するには、機械安全に関する一定の知識及び機械を使用する作業の経験ばかりでなく、RA に対する習熟も要求される。2006 年以降、厚生労働省のホームページでは RA に関連する様々な資料や教材が提供されてきてはいるが、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<sup>3)</sup>は、小規模事業場で RA が浸透しない背景の一つに“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、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、メーカ及びインテグレータについて表2に、ユーザについて表3に示す。メーカ及びインテグレータでは、“どのように実施すれば良いか分からない”が32.8%と、“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の実施が普及しない根底には、これが労働安全衛生規則において努力義務規定に留まっているという現行法制度のあり方と言うよりも“RAの難しさ”が大きな障壁となっていることを示した結果と言える。

他方、RAを実施していると回答した事業場において、RAで用いている手法を調査した結果を表4に示す。メーカ及びインテグレータでは、ISO 12100（国内ではJIS B 9700<sup>9)</sup>）又は包括指針ではなく、設計段階でのRAの原則が必ずしも考慮されていない「危険性又は有害性等の調査等に関する指針<sup>10)</sup>」（以下、「RA指針」という。）のみに基づくと回答した事業場が24.7%あり、RAを実施してはいるものの、その内容や結果の妥当性が懸念される。また、ユーザにあっては、機械に関する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指針だけに基くと回答した場合が61.8%を占めており、メーカとの連携に基づく機械のリスク低減・管理に係る適切な対応がまだ十分には周知されていない現状が示唆されている。

## 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、機械の設計段階と使用段階でのRA

に対し、これを実施する機械安全に関する知識や経験が限られた設計技術者ならびに生産技術管理者等を支援するシステム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) 設計段階RA支援システムの開発

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

既実施研究で提案した簡易RA手法を見直し、対象として選択した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共に、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を考案した。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<sup>44,45,60</sup>等から、丸ノコ盤、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、これに基づき危険シナリオを作成して、本システムで対象となる機械を拡充する。第2年度では、作成した危険シナリオに基づく選択式使用段階 RA 支援システムの要求仕様を策定し、そのプロトタイプとしてタブレット PC で動作するアプリケーションソフトウェアを試作する。第3年度では、以上の試行結果を踏まえ、危険イラストの提示方法の改良など必要な見直しを図るとともに、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抽出し、危険イラストを追加して扱える機械の種類を拡充することで、“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完成させる。

### 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や小規模ユーザ等から意見をいただき、その有効性などを評価し、必要に応じて見直しを図っていく。

### 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. 設計段階 RA 支援システムの開発

### 3.1 設計段階での 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)<sup>11)</sup> 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 の第 1 部、第 2 部及び改正された ISO 14121<sup>12)</sup> を一つに統合する形で再編集されることとなった。このような経緯を経て、すべての機械・設備に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、リスク低減方策の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 ISO 12100 である。

ISO 12100 が規定する国際的に標準化された機械の設計段階でのリスク低減プロセスは図 3 のように表され、大きく次の 6 つの手順で構成される。

- 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。

産業規格に安全の側面を導入する際にそれが統一的な考え方に基づいて行われるようにするための要求事項及び推奨事項を規定した ISO/

IEC Guide 51<sup>13)</sup> 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ている。しかし、我が国では、労働安全衛生法第 28 条の 2（事業者の行うべき調査等）において、事業者には、危険性又は有害性等の調査に加えて、その結果に応じて法又は規則などに基づく措置、ならびに、労働者の危険又は健康障害を防止するために必要な措置を講ずることが求められており、これに従って各種通達等も発出されていることから、図 3 に示したリスク低減プロセス全体を“リスクアセスメント”と解釈している場合が多い。実際にも、中央労働災害防止協会が 2020 年度に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で、「RA は実施しているが、その結果を受けてリスク低減措置は実施していない」と回答した企業は約 2.0%に留まることが報告されており、リスクアセスメントとリスク低減を一体のものとして捉えるのが一般的となっていることが示唆されている。このため、本研究では、図 3 に示すリスク低減プロセス全体を“設計段階での RA”と定め、特に中小メーカの技術者を対象に RA の実施を支援するシステムを検討することとする。

なお、図 3 に示した一連の手順は、設計開発の進展に並行して反復的に実行する必要がある。最も典型的な例として、図 3 では、手順⑤：リスク低減から手順①：制限事項の指定に戻る場合を示しているが、場合によっては、手順②：危険源の同定に戻ることも考えられる。

反復的に RA を実施するタイミングについては、ISO 12100 では詳細まで規定していないが、中央労働災害防止協会が 2010 年に発行した“機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用<sup>14)</sup>”では、表 5 に示すタイミングを具体的な例として挙げている。これは、3 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が、現実にはこれほど頻繁に RA を実施できるとは限らない。このため、本研究では、量産製造などに係る品質管理は別途配慮されるものとした上で、最低限必要な 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。

- － 詳細設計（又は量産設計）完了時：製作／組立開始するにあたり設計を最終承認する段階。リスク低減方策を含めたすべての設計の詳細が決定する状態。
- － 実機試作・品質確認時：実機（試作機又は製品）での評価が可能な段階。図面など書類上では認識されなかったリスクの発見，測定計測による検証（EMC，騒音，振動），基本機能試験の確認などを行う状態。

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

### 3.2 本年度の検討事項

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、第 1 年度では主に次の 2 つの観点から研究を行った。

まず、RA の実施内容の原則や基本となる手順及び枠組みは ISO 12100 で規定されているが、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、上述した各手順について、その細部まで詳細には定められていない。また、RA を扱った解説書やガイダンスが既に数多く発行されているが、書籍ごとに内容に差異があり、必ずしも統一された認識が持たれているとは言えない。そこで、RA の各手順を改めて整理し、実施されるべき必須の要点及び必要となる支援の内容を明確にした。次に、国内、欧州、北米を対象に設計段階の RA の作業負荷軽減を目的とする市販のツールやソフトウェアの実態を調査し、デモ

版やマニュアル等から可能な範囲で実装されている具体的機能や内包されている資料、支援対象として想定されている設計技術者に求められるレベル等を把握した。

以上の検討の結果、RA の手順の中でも“危険源の同定”が最も重要であり、かつ、設計技術者に対する支援が最も必要であると結論し、第 1 項目で開発する設計段階 RA 支援システムは、危険源同定に焦点を当てたシステムとする開発方針を定めた。

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

以下、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、各手順で実施されるべき必須の要点及び必要となる支援の内容を明確にする。次に、第 3.4 節では、設計段階及び使用段階で行われる RA の結果に基づき、それぞれにおいて達成が求められる最低限のリスク低減水準を検討し、具体的な指標を取りまとめる。そして、第 3.5 節では、既存の支援ツール等の現状を報告するとともに、実装されている機能や内包されている資料、支援対象として想定されている設計者に求められるレベルなどの観点からこれらを比較する。以上の検討を踏まえ、第 3.6 節において、危険源同定支援の方法として機械安全に関わる ISO, IEC, JIS 等の産業規格の活用を基礎とした 3 つのアプローチを提案する。最後に、これらを統合する形で策定した設計段階危険源同定支援システムの要求仕様について第 3.7 節で述べる。

なお、以上を論じる上で必要な事項として、機械安全に係る産業規格の体系について触れておく。ISO 及びこれに整合した JIS の機械安全規格は、A, B, C という 3 つのタイプに分類され、図 4 に示す体系で整理されていることに留意されたい。ここでタイプ A 規格（基本安全規格。以下、「A 規格」という。）はすべての機械を対象にした安全の基本原則を定めた規格であり、現

在は ISO 12100 のみが該当する。タイプ B 規格（グループ安全規格。以下、「B 規格」という。）は多くの機械・設備に共通して適用される技術基準や安全装置の規格、また、タイプ C 規格（個別機械安全規格。以下、「C 規格」という。）は旋盤や動力プレスといった個別の機械の詳細な安全要求事項を規定している規格である。この階層化された体系は、それぞれの機械安全規格がおのおの独自に作成されるのではなく、共通の安全の認識に基づいて制定されることを担保する仕組みとして、機械安全規格の作成指針 ISO/IEC Guide 51 及び CEN Guide 414<sup>15)</sup> に定められたものである。

### 3.3 RA各手順の必須実施事項と望まれる支援

#### 3.3.1 情報の準備

図 3 には手順として示していないが、ISO 12100 では、RA を開始するにあたって準備しておくべき情報として、設計図面や以前に設計された類似機械の情報、関連する法規制・技術仕様などが挙げられている。ISO 12100 の規定及び特定の機械を具体的に例示しつつ ISO 12100 に従った RA の実施過程を説明した標準報告書である ISO/TR 14121-2<sup>16)</sup> 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表 6 に示す。

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

また、表 6 において 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できるが、新規に機械を開発する場合には準備に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、RA を難しくしている要因の一つになっているとも考えられる。

#### 3.3.2 手順①:制限事項の指定

設計する機械において、使用される間に発生する災害発生のシナリオを現実に機械が使用される前に想定し、その原因となる危険な状態、危険性・有害性をもつ物質、騒音などの現象を特定し、予め対策を講じることで災害を未然に防ぐことが RA の目標と言える。ただし、機械の用途、使用される環境、期間及び機械を使用する者な

どに制限を設けず、無条件に範囲を広げて災害シナリオを想定することは、RA の実務としての負荷を大きく増加させ、真に重要なリスクを見落とすことにつながりかねない。

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

制限を設定する事項としては、一般的に以下のことが知られている。

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

特定の機械を想定した具体的な制限事項を明文化した例として、ISO/TR 14121-2 に木材成型機を対象としたものが知られており、また、JIS でも標準報告書 TR B 0035<sup>17)</sup> (ISO/TR 17529) では放電加工機を対象に、TR B 0036<sup>18)</sup> 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。

ただし、制限事項として指定する項目は、RA の前提となる条件ではあるが、その一方で、機械を企画・構想する上では必然的に定めなければならない事項であるとも言え、実際には多くが第 3.3.1 項で掲げた準備すべき情報の中に既に含まれているものと推察される。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、機械の価値を高めることを意図し、用途をより汎用的に、使用者も幅広く設定する傾向にあり、RA を行う観点からは可能限り明確に制限を設けるのが望ましく、仕様策定の際に慎重な検討が求められることを周知する必要はある。また、第 3.3.5 項で述べるように実施した RA の適切さを立証する上では、機械の使用状況がすべて網羅され、リスクが漏れなく検討されていることが要求されており、明確に制限していない側面

があれば、検討の網羅性を示すことは困難になる。特に、用途や使用（作業）方法に関しては、設計開発に携わる者だけでは想定に限界があることが考えられ、例えば、ISO/TR 14121-2 では、機械の運転員や保守員とできる限り情報交換することが推奨されている。

一方、上述した制限事項に関して重要な点として、ISO 12100 では、設計技術者が意図していない使用方法であるが、人の行動として比較的容易に予測可能である又は実際に高い頻度で行われることが知られている使用形態を“合理的に予見可能な誤使用（以下、予見可能な誤使用という。）”と定義し、“使用上の制限”の一部として明確化が求められていることがある。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、考慮すべき側面として以下が掲げられている。

- － 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）。

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

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

そこで、本研究では、表 7 に示す文献 14) にチェックリストとして示されている内容に着目した。このチェックリストは、各々の事項が後に続く RA の各手順とどのように関係するのかも明確にされており、現時点で最も参考になる資料として評価できる。本研究では、各事項に具体的な例を追記することや、表 6 に“情報”として示した内容を併せて示すことでさらに拡充し、手順①で指定すべき事項を理解し易い形で提示するものとして、今後検討する“基礎学習用教材等”に含める予定でいる。

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

### 3.3.3 手順②：危険源の同定

ISO 12100 では、手順②の目的を、ここまでの手順で収集又は明確化した情報に基づき、人と機械とのかかわりにおいて、機械のライフサイクル全局面を通じて起こり得る合理的に予見可能な危険源、危険状態、危険事象を系統的に同定することと定義している。これを、手順②で具体的に実施する内容を前後の手順①と③との関係から整理すれば、図 5 のように表せる。すなわち、手順③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<sup>19)</sup>もある。設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで、初めてこれらを除去する設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討されることになるからである。このため手順②では、確実に機械の危険源を見出し、少なくとも、重篤な危害に至る又は頻繁に災害が発生するといった重要な災害シナリオは見落とさないことが必要である。

ただし、その出発点と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<sup>20)</sup>を利用する場合もあるが、設計段階の 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 の初版に掲載されていたリストに基づく。ただし、これは危険源、危険状態、危険事象の分別が必ずしも明快であるとは言えないものであったため、2007 年の第 2 版発行の際に改訂され、以下のように整理された。

- － 危険源：より詳細な情報を提供する目的で、危険源の根源 (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<sup>21)</sup>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<sup>16)</sup>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<sup>22~25)</sup>。

- － 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<sup>3, 26)</sup>
- － 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<sup>27)</sup>

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

一方、手順①において“予見可能な誤使用”については手順②で扱うとしたが、このことについて説明する。まず、RAにおいて予見可能な誤使用が影響する側面は、大別すれば、次の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、設計技術者が意図する使用方法から逸脱した人のアクセス。
- b) 人の誤操作、誤認などによる設計技術者が意図する使用方法から逸脱した機械の起動や可動部の作動。
- c) 機能不良や故障が起きた時の人の反射的挙動。

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

まず、a) は、危険源へのアクセスの要因として考慮が求められている事項である。このため、危険源から危険状態を同定する過程において、アクセスの可能性を、（誤使用を含めた）作業条件などから想定するのではなく、危険源と人との間に人が接近、侵入又は滞在可能な物理的空間があるか、すなわち、機械の開口部や人が立ち入る領域の形状や寸法といった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ることから“予見可能な誤使用”に含まれていると考えられる。このため、見落としを防ぐ方策として、例えば、機能不良や故障が起きた場合に重大な結果に至る可能性が既に広く知られている典型的な機器や要素、特定の使用条件などを予め危険源としてリスト等に整理しておくことで、間接的に考慮すること

が可能になる。

以上は、あくまでも知識や経験が限られた設計技術者に対するRA実施支援の視点から、“予見可能な誤使用”を想定する際の負担を軽減するという前提での提案である。“予見可能な誤使用”を手順①で指定しておくことは、手順⑤：リスクの低減において“使用上の情報”（特に、警告表示又は取扱説明書）を適用する際及びユーザに通知する危険情報<sup>53)</sup>を作成する際に関係してくる。このような点を踏まえ、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特定していく必要があるが、これはRAを実施する設計技術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危険源・危険区域は以降の手順で取り扱われることはなく、いかに網羅的な同定を行えるかがRAの成否を左右する。危険源を同定する手法として様々なものが示されているが、現時点では、危険源の同定について、一定の手法や手順に従えば誰にでも行えて同様の結果が得られるという方法論は確立されていない。

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

そこで、本研究では、後の第3.6節で詳述するように、以下の3つのアプローチで危険源同定の支援を検討する。

- 案1) すべての機械に共通して適用されるA及びB規格（例えば、ISO 12100や油圧、空気圧、電気、制御の各技術分野で設計原則を扱うISO 4413<sup>28)</sup>、ISO 4414<sup>29)</sup>、IEC 60204-1<sup>30)</sup>、ISO 13849シリーズ<sup>31, 32)</sup>等）を取り

上げ、これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し、確実に同定すべき範囲と定めて提示する。

- 案 2) 特定の機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源や危険区域を抽出し、当該機械の C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、危険源同定の有効なガイドとして提示する。
- 案 3) 公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する ISO 12100 や C 規格の安全要求事項とをリンクさせ、設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から、災害が発生した機械部分や危険区域、アクセスが行われた事由、発生時の作業工程など多角的に関連情報を収集できるようにする。

### 3.3.4 手順③: リスクの見積もり

図 3 に示した 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、参照する機能安全規格(例えば、ISO 13849, IEC 62061<sup>33)</sup>) が推奨する手法で別途リスクを見積もり直す必要が生じることもあるが、RA の一貫性を保つために“初期リスクの見積もり”と“リスク低減後の再見積もり”は同じ見積もり手法を用いて行うのが望ましい。

具体的な見積もり手法としては、様々なものが知られている。代表的な手法の概要と比較を表 9 に示す。Chinniah らは、2000 年後半を中心に産業界で用いられていた又は文献等で提案されていた 108 種のリスク見積もり手法を調査し、そのうち、マトリックス法が 53.7% を占め、数値採点法 (14.8%) やリスクグラフ (10.2%) よりも広く使われていることを報告している<sup>34)</sup>。例えば、経済産業省が消費生活用製品向けに紹介している R-Map<sup>35)</sup> 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きており、また、厚生労働省のリスクアセスメント等関連資料の web サイト<sup>36)</sup>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<sup>37)</sup>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(安全防護)として採用した場合、衝突の発生確率は低下できるが、仮に衝突が起こった場合、“可動部のもつエネルギー”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、安全防護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技術者には注意が必要と考えられる。

**支援の内容：**リスクの過小評価を避ける支援としては、前述したように、各種見積もり手法に関して既に規格・ガイドライン等で説明や例示が十分にあることを利用し、これらを整理して適切に提示することが考えられる。これにより、一般的に指向されているリスクレベルの設定及び対象とする危害のひどさや発生確率に対する割り当てを参考にして、設計技術者が適切に検討できるようになる。前項で述べた“予見可能な誤使用”の側面のうち、アクセス頻度を過小に見積もる可能性についても、これらの説明や例示の中に含めることで低下させることが可能である。ただし、講じたリスク低減方策の種類と低減されるリスク要素との関係は、例えば、協働ロボットの制御による力の制限<sup>38)</sup>といった比較的新しい技術に基づく方策を含め、明確に整理を示しておくことが必要であり、今後検討する“基礎学習用教材等”で考慮する予定でいる。

### 3.3.5 手順④：リスク評価

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

ISO 12100 では、適切なリスク低減の達成を推定する方法として、手順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ことが必要であるとしている。設問のうち、特に手順③に関連するものは次の 3 問である。

– すべての運転条件及びすべての介入手順を考慮しているか

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

労働安全分野においては、3 番目の問いは“専門／工業分野の使用のために設計された機械”を“有資格者／熟練者を想定して設計された機械”と読み替えるべきと言えるが、総じて、これらは危険源及び災害シナリオの同定の網羅性を問う設問と解釈できる。本研究で、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理由には、これらに肯定的な回答を示し易くなると考えたからでもある。

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

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

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

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

### 3.3.6 手順⑤: リスク低減

ISO 12100 により、設計段階で講じるリスク低減方策は次の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<sup>39)</sup>。また、Step 2 で保護装置及びこれに関連する制御機能をリスク低減に適用する場合、機能安全の知識が求められるが、“機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針”を踏まえ、2019年には“設計技術者に対する機械安全教育実施要領”の中に ISO 13849-1 など機能安全規格の内容が盛り込まれた<sup>40)</sup>。これらの情報に基づいて、設計技術者が 3 step method に従い、対象とする機械に適したリスク低減方策を立案・発想できる環境が整いつつある。

手順⑤は手順②と密接に関連している。まず、Step 1 では、どのような設計上の工夫で危険源を除去できるか問題となる可能性があるが、この場合には、危険源として同定した物質や物理状態を無くす又は判断の基準としたレベルにまで低減する（例えば、運動エネルギ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にする支援を検討することが、手順⑤を実行する上での支援にもつながる。

**必須実施事項:** 危険源を除去する又はリスクを決定付ける危害のひどさ若しくは発生確率を、3

step method に準拠して低減する。これには、参考となる資料などが利用可能であり、また、手順②の実施を支援することが、手順⑤の適切な実施にもつながる。ただし、“適切なリスク低減を達成した”とするためには、関連する規格の要求事項などを踏まえた上で、設計する機械の使用性に影響を与えない適用方法を発想する必要がある。

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

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

### 3.3.7 手順⑥: 文書化

手順⑥では、機械の設計の正当性の根拠とするために、事前に収集した情報、手順①で指定した情報、ならびに、手順②～⑤で実施した内容と達成した結果をまとめ、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、その実行に係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)<sup>31)</sup> 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<sup>37)</sup>。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<sup>21)</sup>。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<sup>53)</sup>”では、危険情報は機械の設計段階で実施した RA の内容に基づいて作成されるとし、RA の結果が表16の様式でまとめられるという前提で、危険情報作成に必要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
- － 初期リスクの見積もり結果のうち、危害のひどさの評価
- － 残留リスク
- － リスク低減方策のうち、使用上の情報及びユーザに実施させる方策

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

**支援の内容**：RA 結果に関わる文書情報は一般的にはユーザ等に公開される前提で作成されるものでない<sup>2, 16)</sup> 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、この点については、第 3.5 節で詳述するように、既存の RA 支援ツールにおいて十分に検討されており、様々な機能が実現されている。

### 3.3.8 本節のまとめ

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

－ 手順②は、設計技術者が機械の使用中に起こり得る危険源・危険状態・危険事象を適切に発想し認識することで、初めてこれらを除く設計上の工夫やリスク低減方策の実施が検討される。

－ 手順②では、遂行されるタスク、オペレータ及び関連する人の特性、加工対象や使用環境など種々の条件を考慮しつつ、機械のライフサイクルの全局面で起こり得る恒久的なものばかりでなく予期せず出現するものも含めた危険源、ならびに、それらが影響する区域への人のアクセスの可能性（意図しない合理的に予見可能なものを含む）を体系的に検討し、災害シナリオを網羅的に発想することが設計技術者に要求され、個人の知識と経験に最も依存する場面と言える。

－ 手順④で評価される同定した危険源や災害シナリオの網羅性は、手順②で担保できるよう支援するのが適切である。

－ 手順②で危険源を的確に同定できるよう支援を検討することが、手順⑤でリスク低減方策を立案する際の支援ともなる。

以上のことから、本研究の項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは、“危険源の同定”の支援に焦点を当てることとする。この方針の下で具体的な危険源同定支援のアプローチを第 3.6 節で提案し、これらを統合する形で策定した支援システムの要求仕様を第 3.7 節に示す。

### 3.4 達成すべきリスク低減水準の指標の検討

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

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

このため、RA の結果から導いた判断や講じた方策が、実施担当者の主観に大きく依存し、その妥当性については必ずしも担保されない問題が指摘される。これに関し、既に筆者らは、RA を実質的に法制化し、工学的方策を中心とする機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州

4カ国（UK、ドイツ、フランス、スイス）を対象にヒアリング等による調査を行った<sup>70)</sup>。そして、得られた知見の1つとして、各種個別機械の安全性を扱った産業規格がRA及びリスク低減の妥当性を評価する際の拠り所として重要な役割を担っていることを報告している。

欧州連合（EU）では、域内での製品の自由な流通を実現する法的枠組みとしてCEマーキングという社会制度が確立しており、製造業者又は輸入者は適用される欧州指令（Directive）の関連要求事項に製品が適合していることを自らの責任で担保・確認し、所定のマーク（CEマーク）の貼付をもってこれを表明すること（CEマーキング）が義務付けられている。その中で、産業用機械設備については、少なくとも機械指令が必ず適用され、その附属書Iに定められている「機械の設計と製造に係る必須健康安全要求事項（: Essential health and safety requirements. 以下、EHSRsという。）」に適合していなければならない。附属書Iでは、設計段階で対処すべき各種の危険性を要求事項として示すととともに、該当する要求事項を決定するために、また、最終的に指令への適合を評価するプロセスの一環として、製品に関連するすべての危険源を考慮した包括的なRAを実施することも規定しており、製品の設計・製造段階でリスクを許容可能なレベルに低減することを実質的に義務付けている<sup>50)</sup>。

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

C規格の活用によって機械指令への適合評価が容易になる理由は、ISO/IEC Guide 51及びCEN Guide 414にあるC規格策定に関するルールにある。すなわち、C規格は、その策定の過程において、適用範囲とする機械に一般的に見られる典型的な危険源や重篤な危害に至る事が認識されている危険源などを、各国から任命された規格作成者らが、自身の知識と経験に照らして、リスクを低減するために所定の行動を必要とする重要な危険源（以下、重要危険源という。）として同定すること、そして、それら重要危険源に対する規格策定時の時点で合理的に実施可能な技術

的方策を要求事項としてまとめることの2つが規定されているのである。規格作成者には、対象機械の工業会やメーカーなどに加え、各国で労働基準監督に携わる組織からも代表者が任命されている場合が多く、また、国内でJISが制定される際には、これらに加え、当該機械のユーザも審議に参画する。

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

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

そこで、本研究では、危険源を的確に同定できるようにする支援の検討が適切なリスク低減方策を立案する際の支援にもつながることに基づき、開発する危険源同定支援システムの中で、特にC規格が制定されていない機械設備を対象とする場合に、“適切なリスク低減の達成”を判断する上で最も有効な情報として、A/B規格の安全要求事項に着目する。そして、これらから抽出される危険源及び危険区域の情報を設計技術者に提示することを提案する。具体的な方法については、第3.6及び3.7節に詳述する。

一方、機械の使用段階で実施する RA において、“適切なリスク低減の達成”を判断・主張する指標としては、設計段階と同様に、C 規格に規定された安全要求事項がまず挙げられる。さらに、これに加えて、厚生労働省など関係省庁及び各種機械の工業会などが既に公表している機械設備の使用・管理・検査に係るガイドライン等が大いに参考にできる。これらの情報を具体的に活用する方策として、項目 3 で開発する使用段階 RA 支援システムでは、第 5.3 節に述べるように、選択した機械機種ごとに設備対策と管理的対策を適切に案内し、利用者が確認できるようにする機能を備えた。例として、フォークリフトに対する設備対策と管理的対策をそれぞれ表 28, 29 に示す。典型的な災害に関してここで示すような措置が各種機械設備に講じられるのであれば、使用段階 RA の結果としては必要最低限の水準には到達していると思われ、機械使用事業所での“適切なリスク低減の達成”を判断・主張する十分な根拠とできると考えられる。

### 3.5 既存RA支援ツールの調査

#### 3.5.1 調査の方法と対象

2016 年、労働安全衛生法が改正され、SDS 交付義務の対象となる薬品・物質類に対して事業場におけるリスクアセスメントが義務付けられることとなった<sup>41)</sup>。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<sup>42)</sup>。

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

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

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

#### 3.5.2 “安全革命”

本ツールは、“知の拠点あいち重点研究プロジェクト(II 期)「次世代ロボット社会形成技術開発プロジェクト」<sup>43)</sup>”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る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 の標準的手順のうち、“制限事項の指定”を除いた部分にあたる。その順に従い、特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

- 1) 本ツールでは、はじめに、RA の対象とする機械・設備から危険と思われる区域や作業を特定し、該当する構成要素を図 9(a)に示すように登録する。次いで、各構成要素に関連すると考えられる危険源を、ISO 12100 の表 B.1 の危険源 (Origin) が列記された一覧から設定し、図 9(b)に示すマトリクス表を作成する。ただし、登録・設定される構成要素、危険区域や作業はすべて利用者に委ねられる。操作ガイドに構成要素を適切に登録できるようにするための助言はあるものの、RA の経験が限られた利用者にとって必ずしも容易とは言えない。
- 2) 危険源を登録する際、リスク見積もりの要/不要及び人が関わるライフサイクルの局面を併せて指定する。これらにより、危険源・構成要素とライフサイクルの局面が組み合わせら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も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<sup>44)</sup>及び労働災害（死亡・休業 4 日以上）データ

ベース<sup>45)</sup>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技術者に向けたものと言える。特に、初めに行う構成要素や危険区域の登録設定については、自社に過去に行ったRAのデータがある場合は一部利用可能ではあるが、利用者のスキルに依るところが大きいと考えられる。本ツールで危険源同定に採用されているマトリクス表を用いた手法は、厚生労働省から公開されている機能安全活用実践マニュアル「ロボットシステム編」<sup>46)</sup>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。

### 3.5.3 “Safexpert 8.6”

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

- 1) 本ツールで行うRAでは、まず、対象とする機械に関連するISO/IEC/EN規格(A規格、B規格及び制定されていればC規格)を登録する。登録した規格から一つを選択すると、規定されている要求事項が箇条順に表示されるとともに、それに該当するISO 12100の表B.1及び表B.4にある危険源(Potential consequences)及び危険事象がリストアップされて一覧が生成される。本ツールを使用する設計技術者は、表示された項目をガイドに該当する危険源・危険事象を同定していくことになる。その際、選択した規格以外の関連規格に同定した危険源等に該当する規定がある場合には、参考情報(Cross referance)として提示される。ただし、具体的な箇条番号など詳細な情報が提示される場合は機械指令やISO 12100など一部に限られており、設計技術者が危険源等を容易にイメージできるようにする支援機能とまでは必ずしも言えない。
- 2) 次に、同定した危険源等に対し、危険区域及びライフサイクルの局面を指定していく。これらは、一度入力すれば登録され、以降はプルダウンリストから選択できるようになり、文書化作業の効率化が図られている。
- 3) 危険区域及びライフサイクルの局面を指定した危険源等に対し、個別に詳細な説明とリスク低減方策を記入していく。一度入力した記載内容はテンプレートとして登録でき、他の危険源に対しても繰り返し使用できるが、

災害事例に基づいた例文などは用意されていない。

- 4) リスク低減方策に対しては、その実施や妥当性確認などのタスクを割り当て、担当者を指定することが可能である。
- 5) また、方策に関連する規格を参照先として入力しておく、製造元が所有する規格の制改定データベースとリンクし、当該規格の改正や廃止（これに伴う見直しの必要性）が起動時に表示される。
- 6) リスク低減方策を立案するのに合わせ、初期リスクと方策実施後のリスクを見積もる。ISO 12100 の手順とは異なるが、存在を認識した危険源について何らかの方策を講じることが自明であるので、RA の合理的な簡略化と解せる。見積もりの手法は、危害のひどさ（4段階）、暴露の頻度（2段階）、回避又は制限の可能性（2段階）を要素とするリスクグラフに、危険事象の発生確率（3段階）をマトリクスとして組み合わせるハイブリッド法となっている。
- 7) リスク低減方策を安全機能とした場合には、要求される安全性能（安全性能基準は PL, SIL, Category から選択）を定めるためのリスク評価の実施や関連するコンポーネントの記載が要求され、別途、そのための作業枠が表示される。また、警告表示とした場合には、ISO 7010<sup>47)</sup> が規定する安全標識のリストが内包されており、引用することができる。
- 8) 方策実施後のリスクが意図するレベルにあれば、危険源に対するリスク評価を完了する。最終的な確認段階では、評価完了の処理が済んでいない危険源が自動判別され、一覧として表示される。また、評価完了としたものについて改めて修正を加える際には、注意を促す警告表示が現れ、無用な編集が防止されるよう配慮されている。
- 9) RA 結果全体を一覧する際、危険源の順に表示する以外に、危険区域ごと又はライフサイクルの局面ごとに各項目を並べ替えて表示させることも可能である。また、初めに選択した規格（Cross referance）を変更すると、その規格に該当する危険源のみが抜粋される機能もある。

以上のように、本ツールでは、機械に関連する EN 規格を手掛かりに危険源同定を行う点に特徴があり、対象とする機械の個別安全規格が制定されている場合には、その危険源リストや規定された要求事項を参照しながら RA を実施し

ていくことになるため、設計技術者の負担が大きく軽減されると推察される。しかし、個別安全規格が制定されていない機械に対しては、結局、ISO 12100 の危険源リストに基づいて同定を行うこととなり、知識や経験の少ない設計技術者が網羅的な同定を達成できるとは必ずしも言えない。また、規格を参照しながら RA を進めてはいけるが、各項目に記入していく際に文章例などガイドとなる情報は提示されず、ここでも一定の RA のスキルが要求されると言える。なお、本ツールの使用に際しては、製造者による講習セミナーやトレーニングコースが用意されている。

### 3.5.4 “Designsafe 8”

本ツールは、単体の機械製品又は複数の構成要素から成る梱包システムや統合生産システムに対する設計段階での RA の負荷軽減を目的としたツールである。行われる RA は基本的に ISO 12100 の標準的手順に従ったものであるが、“危険源の同定”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技術者のスキルに左右されると考えられる。また、Origin は、Cause/Failure mode とされている欄に危険事象とともに災害シナリオの一部として記載することとなっているが、災害事例に基づいた例文などは用意されていない。
- 3) リスク見積り手法は、リスクグラフ法やマトリクス法など、ANSI, MIL, SEMI といった各種規格にある 18 種類の手法が用意されている。RA の対象としている機械にした手法、例えば、特定の業界で一般的に使用される手法があれば大変有効である。しかし、一定の

手法が知られていない場合には、むしろ選択に迷うことも考えられ、また、割り当てられたリスクスコアなどを独自に変更することも可能であるが、適切に利用するには一定の RA の知識と経験が必要と言える。

- 4) また、リスク見積もりに必要な要素として、暴露の頻度は作業 (Task) から、危険源の Origin 及び危険事象の発生確率は Cause/Failure mode に記入した災害シナリオからそれぞれ読み取ることになる。このため、一定の判断基準での一貫した見積もりが行われるかは使用する設計技術者に依ると考えられる。
- 5) リスク低減方策として安全機能を適用する場合、代表的な安全機能の一覧がガイドとして提示され、安全要求仕様の指定において機能の説明を記述する際に利用できる。また、要求安全性能を決定するリスク見積もりには、ISO 13849-1 のリスクグラフを含む 3 種類が用意されており選択可能である。
- 6) 以上で作成した RA 結果は、危険源ごとやタスクごとなど任意の項目を基に容易に並べ替えられる。また、RA 結果の出力形式も、すべてを一覧で示した形式の他、危険源のみを抽出したもの、作業ハザード分析 (Job Hazard Analysis<sup>48)</sup>) の様式に基づいたものなど 18 種類から選択することができる。
- 7) 欧州指令、RA を解説した書籍の抜粋などが予め内包されており適宜参考にできるが、規格については概要の説明があるのみで、本ツール上から本文を参照できる機能は特に備えられていない。
- 8) 予め、産業用ロボットシステムや自動梱包システムなどを例に RA 結果を示した 5 種類のサンプルが内包されており、利用を開始する際に大きな助けとなっている。また、各種操作を説明するヘルプ機能は、文章で備えられているのに加え、動画での説明も備えられており、各欄に記入する際の留意点や文書化作業を効率化するコツなどが視覚的に理解できるよう工夫がされている。

以上のように、本ツールでは、文書化作業の負担軽減に加え、各種機械ごとに関連する人、作業、危険源の項目が用意されているなど、RA を行う設計技術者のガイドとなるような配慮が一部になされており、また、危険源の同定については Task-based approach が採用されている。しかし、提示される危険源の項目は ISO 12100 の危険源リストに基づくもので、Origin についてプルダウンリストなども用意されておらず、本ツールの

利用者としては、一定程度 RA の知識を有する者が想定されていると推察される。なお、本ツールの使用に際しては、製造者による RA に関する講習が用意されている。

### 3.5.5 厚生労働省“リスクアセスメント実施支援システム”

本ツールは、ユーザが自社で使用する機械に対して実施する RA を支援する目的で厚生労働省が公表している<sup>49)</sup>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 の各段階を追って検討結果を用意された表の各欄に入力していく方式で RA を進め、最終的に RA 実施一覧表が作成される。成形作業を対象にした一覧表の作成手順のうち、“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”と“すでに実施している災害防止対策とリスクの見積もり”の欄への入力を、操作方法説明資料から抜粋して図 10 に示す。これをもとに、本ツールの特徴的な機能を列記すると以下のとおりである。

- 1) 表の各欄に検討結果を入力する際(図 10(a)では“危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の入力)に、入力する必要がある事項の例が表示されるので、該当する場合にはそれを選択することで、また、独自の内容を入力する場合には例を参考にすることで表作成が容易に行えるよう配慮されている。ただし、例示の数は少数に限られており、このため、危険源と危険状態の洗い出しが網羅的に実施できるは利用者のスキルに左右されると考えられる。
- 2) 図 10 に示した例ではリスクの見積もりにマトリクス法が用いられているが、鋳物製造業や食品加工作業などの一部の作業については数値化法を用いる場合にも対応している。
- 3) 図 10(b)に示す“実施している災害防止対策”の欄において、例示されている措置(図ではアイボルトのねじ込み深さはネジ径の 1.5 倍以上にする。)を選択した場合、それらに対して(危害の)重篤度、可能性及び(リスク低減実施の)優先度が自動的に決定されるようになっており、その評価基準(×や△)の意味も解説として表示される。同様に“追加のリスク低減措置案”の欄も、例示を選べば評価が自動的に決定されるようになっており、RA の経験の少ない生産技術管理者にとって参考になると考えられる。

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

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

### 3.5.6 既存 RA 支援ツールの課題

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

その結果、RA の標準的手順のうち、“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 の経験に限られた設計技術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技術者が適切に想定（発想）できるよう支援する機能を有するものは見当たらなかった。

## 3.6 危険源同定支援のアプローチ

### 3.6.1 C規格の適用による危険源同定の簡易化

RA には様々な場面に How to では表せない側

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

以上のことから、本研究では“危険源の同定”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。そして、具体的に“危険源同定”を支援する方法論として、“適切なリスク低減の達成”を示す水準を検討した際と同様に、機械安全規格の活用に着目する。

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

前節で述べたように、C 規格は、その策定の過程において、適用範囲とする機械に一般的に見られる典型的な危険源や重篤な危害に至る事が認識されている危険源などを規格作成者が重要危険源として同定し、その結果を“危険源リスト”という形で一覧にする。

設計段階 RA では、この危険源リスト及び各危険源に対する安全要求事項の内容から、比較的容易に、検討対象となる機械の部位、動作範囲、部品、あるいは、人が関与する状況などを具体的に把握することが可能である。例として、旋盤の C 規格 ISO 23125<sup>52)</sup>の重要危険源リストから抜粋した機械的危険源と対応する安全要求事項を表 20 に示す。ISO 12100 にも付属書 B で危険源リストが示されているが、その内容は一般化された抽象的表現の記載に留まる。これに対して、例えば、ISO 12100 で“加速/減速”とされている項目について、ISO 23125 の要求事項の内容から、少なくとも“主軸回転の加減速の影響によるチャックの把持力の喪失”を検討すべきであることが分かる。同様に、“飛散又は放出”では“切屑、液体、加工部品”が、“重力”では“垂直軸又は傾斜軸の予期しない動き”が危険源/危険事象に該当することが読み取れる。また、表 21 は動力プレス of C 規格 ISO 16092-1<sup>53)</sup>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対象となることが分かる。

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

以上のことから、本研究では、C規格の適用によって危険源同定が容易になることを参考に、具体的な危険源同定支援として次の3つのアプローチを提案する：

- 案1) すべての機械に共通して適用されるA及びB規格を取り上げ、これらの安全要求事項から遡って規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し、確実に同定すべき範囲と定めて提示する。
- 案2) 特定の機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源や危険区域を抽出し、当該機械のC規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、危険源同定の有効なガイドとして提示する。
- 案3) 公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連するISO 12100及びC規格類の安全要求事項とをリンクさせ、設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から、災害が発生した機械部分や危険区域、アクセスが行われた事由、発生時の作業工程など多角的に関連情報を収集できるようにする。

以下に、各々の詳細を述べる。

### 3.6.2 設計原則を扱う国際機械安全規格の活用

案1)で掲げた機械の安全設計原則を扱う基本的な規格において、安全要求事項が規定されている事項(機械の部位、動作範囲、部品、あるいは人が関与する状況)は、これまでの機械安全の歴史に照らして、機械設備一般に典型的な危険源として国際的にも広く認識されたものと見做せる。このことを図11と対比する形で図12に

示す。ここでは例として前述した5規格(ISO 12100, 4413, 4414, 13949及びIEC 60204-1)を示しているが、これらA/B規格の安全要求事項からの抽出では、ISO 12100の附属書Bに掲げられた危険源のすべてを網羅はできない。しかし、抽象的表現の記載であった危険源を、技術的に明確な情報として設計技術者に提示することが可能になる。

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

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

### 3.6.3 災害事例から抽出した危険源による拡充

設計対象とする機械にC規格が制定されていたとしても、危険源リストの参照が設計技術者に対して有効な支援になるとは限らない場合もある。例えば、産業用ロボットは、既に述べたように半完成品であり、エンドエフェクタや外界センサ等を装備し、他の産業機械類と連携又は生産システムの中に組み込まれることではじめて用途や機能が確定する特徴がある。このため、他の機械設備と異なり、同定すべき危険源の種類や数もアプリケーションの特性、規模、複雑さに応じて様々で具体的に特定することに限界があることから、表23に示すように、産業用ロボットシステムのC規格(ISO 10218-1<sup>55)</sup>及び10218-2<sup>38)</sup>)の危険源リストは一般化された表現の記載に留まったものとなっており、これをガイドとして活用しても必ずしもRAは容易にならず、危険源を網羅的に洗い出すには設計技術者に一定の知識と経験が要求される。案2)は、このような機械に対し、国内で報告された災害事例から危険源や危険事象を抽出し、既にある危険源リストをより明確化又は項目を拡充することで、

確実に同定すべき範囲と定めて提示するものである。以下では、具体的な例として産業用ロボットシステムを取り上げて説明する。

まず、産業用ロボットシステムに係る労働災害の発生状況を把握するために、厚生労働省が公開している死亡災害データベース<sup>44)</sup>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<sup>45)</sup>から2006～2017年の間に報告された負傷災害（休業4日以上）のうち各年約1/4を無作為抽出したものを対象に、産業用ロボットを起因物とする災害事例を抽出し分析した。重複しているものなどを除き、検討対象となった死亡災害事例と負傷災害事例の件数を表24に示す。死亡災害の事故の型は“はさまれ・巻き込まれ”，“激突され”のいずれかであった。また、死亡災害、負傷災害ともに、回転軸などに巻き込まれたとする報告はなかった。なお、表24には、参考として、現行のISO 10218-1及び2の対応JIS規格（JIS B 8433-1及び2）が発行された2015年以降の件数も併せて示す。負傷災害の事故の型の一部に事例が報告されていない場合があったが、災害発生状況全体の傾向にJIS規格発行前と後で特に大きな違いは見られない。このため、以下では、抽出したすべての死亡災害39件と負傷災害85件を対象に議論を進める。

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

- ① “はさまれ”の事例について、危険源リストで該当する項目としては“ロボットアーム又はエンドエフェクタとすべての固定物（柵、梁など）との間”があるが、抽出した事例では、他に、支柱、フレーム、安全柵、ロボットのベース、制御盤、ワーク保持台、治具、連携する工作機械が報告されていた。
- ② “はさまれ”の事例では、供給されるワークや部品、搬出される製品、コンベアなど搬送設備の可動部、搬送トレイ・パレット類といった固定されていない物との間で被災した事例があった。危険源リストに基づけば、“ハンドリング中の部品及び連携している設備上の鋭利な工具の移動又は回転”等から連想される可能性もあるが、必ずしも容易とは言えない。
- ③ “はさまれ”及び“激突され”の事例計104件について、ロボットが動作中であった又は動作を開始した理由を大別した結果を表25に示す。“自動運転中などロボットが停止していない（させていない）状況で、ガードの隙間

又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させて被災した”場合が45件と最も多く、リスク低減方策実施の不備／不足が指摘されるが、危険源リストでは必ずしも明確には記載されていない。

- ④ 表25の理由c“誤ってセンサ等を作動させた”については、例えば、ISO 10218-2の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、設計技術者の発想を促し、危険源同定の負荷を軽減する情報となり、かつ、少なくとも重大な見落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 20218-1, 2<sup>56, 57)</sup>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26に示す。拡充した内容は以下のとおりである（表では該当部分に下線を付して示す）。

- － 押し潰しの危険区域として、災害事例にあった加害物の名称を固定物の例示に加えるとともに、安全防護空間内の移動物も押し潰しの危険源となることを明示する。
- － ガードの隙間や保護装置の非検知空間から運転空間内に侵入することが検討の範囲に含まれるよう、“危険源の組み合わせ”に項目を追加する。ISO/TR 20218-2の基準を判断の参考となる具体的な寸法として引用する。
- － 計画外停止の原因となったトラブルを解消したこと、誤ってセンサ等を作動させたことに起因するロボットシステム可動部の意図しない起動については、ISO 12100で本質安全設計方策“設定（段取りなど）、ティーチング、工程の切替え、不具合（障害）の発見、清掃又は保全の各作業に対する制御モード”の中に規定されているが、これが確実に達成され

るように危険源の項目として明示する。

- エンドエフェクタの危険源や危険事象に関しては、ISO/TR 20218-1 で扱われており、その危険源リストから、前述した事例に該当する項目を含め、必ず検討すべきと考えられるものを追記する。
- 操作位置からの危険区域への視認性の確保は、ISO 12100 で本質安全設計方策“幾何学的要因”で規定されているが、これが確実に達成されるよう“機械的危険源”及び“危険源の組み合わせ”の項目としてリストに明示する。

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

### 3.6.4 安全要求事項と労働災害事例の相互参照

厚生労働省から公開されている死亡災害データベース及び労働災害（死亡・休業 4 日以上）データベースを用いれば、設計対象機械に該当する事例から、危険区域のアクセスが行われた事由や作業工程などの情報を得ることが可能である。ただし、収録されている事例の内容は、労働基準監督署の災害調査報告だけでなく、各事業所から提出された死傷病報告の記載に基づいたものも多く、機械部位の呼称や作業内容の表現の違いなどから、該当する事例を十分に抽出できるか、内容を適切に読み取って設計している機械の RA に反映できるかは RA を実施する設計技術者の能力に大きく依存する。そこで、各々の労働災害事例に対し、その防止に関連するであろう ISO 12100 や C 規格の安全要求事項を相互参照できるようにリンクさせ、これをインデックスの代わりに使うことで、目的に沿う労働災害事例を容易に抽出・参照できるようにする支援アプローチを考案した<sup>71)</sup>。案 3) として、提案する相互参照リンクのコンセプトを図 13 に示す。この案 3) では、抽出・参照が容易になるばかりでなく、労働災害事例を安全要求事項の内容を踏まえて参照すれば、事例に含まれる情報をより広い視点から多角的に読み取れるようになることも併せて期待できる。

例として、産業用ロボットシステムを対象にした相互参照リンクの例を図 14 に示す。まず、前述の死亡災害データベース及び労働災害（死傷）データベースから産業用ロボットを起因物とする「はさまれ、巻き込まれ」及び「激突され」の事例 96 件を抽出し、ロボットの運転空間内（エンドエフェクタ及びワークが届く空間を含む）

に人が侵入／滞在している状態でマニピュレータなどの可動部が動作／始動した原因で分類した。その結果、自動運転中などロボットが停止していない（させていない）状態においては、安全防護物を迂回して侵入し被災した 42 件に次いで、ロボットが計画外停止する原因となったトラブルを解消した後に動作を開始し被災したケースが 15 件あった。そのうちの 3 件を以下に示す。

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

これらの防止に関連する産業用ロボットシステムの C 規格の安全要求事項としては、図 25 に示すように、ISO 10218-2 の箇条 5.6.3.3（自動運転の始動）、5.9.1（他の設備による危険源）、5.10.5.2（身体の一部が安全防護空間に残る場合の追加方策）が挙げられる。これら 3 件の事例は、産業用ロボットを起因物とする事例 96 件を筆者らが分類した結果から導いたもので、公開されているデータベースから、例えば、災害発生状況の記載を特定のワードで検索するといった方法で機械的に抽出するのは困難である。

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

いる。

以上のように、図 24 に示したコンセプトは、データベースにある災害事例を関連する安全要求事項でタグ付けし、RA で参照する際に同種の事例として設計技術者の能力に依存せずに抽出できるようにするものである。さらに、1 件の事例を入りに、同じく安全要求事項が関連する事例へと参照の範囲を広げていけば、知識や経験の限られた設計者も危険区域のアクセスの機会をより多く想定・発想することも期待される。

### 3.6.5 アクセス可能性の評価に対する支援

標準化された RA のプロセスにおいて「危険区域へのアクセス」が関係する部分としては、まず、手順③: リスクの見積もりにおいて、危害の発生確率を見積もる上で考慮する要素の一つとなっている点がある。意図する使用中、人が各々の危険源に接近する必要性とその頻度、ならびに、危険区域に滞在する時間の長さは、危害の発生確率の評価に大きく影響する。また、手順⑤: リスク低減において、安全機能の適用をリスク低減方策として採用した場合には、要求安全性能を定める上でアクセス頻度は重要なパラメータになる。

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

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

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

物理的障害物（例えば、機械本体や固定ガード）の高さや開口寸法に応じた上肢及び下肢の到達距離の基準としては ISO 13857<sup>72)</sup> があり、多くの C 規格で引用されている。全身での侵入を妨げる寸法上の限界についても規定されており、幅 180 mm 超の長方開口部、直径 240 mm 超の円形開口部については、追加のリスク低減方策がない限り、人の侵入を想定することとされている。産業用ロボットシステムの ISO/TR 20218-2 には、ISO 13857 の基準に基づいた周囲安全防護のあり方に関する具体的な解説もある（図 16 参照）。一方、これ以外にも、他の C 規格では、独自に基準を設けている場合も見られる。例えば、動力プレスの ISO 16092-1 では、制御式ガード及び始動制御機能付き光電保護装置の適用に係る安全要求事項の中で、危険区域（金型領域）内に人が全身で侵入し滞在できない寸法として、スライドのストローク長 0.6 m 以下、ボルスタの奥行き 1.0 m 以下の条件を規定している。射出成形機の ISO 20430<sup>73)</sup> では、安全防護物と金型取付け盤間との間で上半身が入り込める空間の寸法を図 17 に示すように規定している。電気・電子回路の充電部に対しては接触の可能性を評価するテストフィンガーの形状及び寸法を定めた IEC 60529<sup>74)</sup> もある。

これらの基準値を統合し、全身で侵入可能な開口部や滞在可能な領域を寸法基準として分かり易く提示すれば、アクセスの可能性は機械の設計仕様やレイアウトから合理的に判断できるようになると考えられる。危険源へのアクセス可能性を評価する際に提示する参考基準の具体的な例を図 18 に示す。これを参照しながら検討を進めれば、自身がもつ知識や経験に基づき、予見可能な誤使用を含むあらゆる作業条件を考慮しながら主観的にアクセスの可能性を想定する負担は大きく減らせる。

### 3.7 危険源同定支援ツールの機能と要求仕様

#### 3.7.1 開発する支援ツールの概要

前項で提案した3つの危険源同定支援のアプローチ、ならびに、アクセス可能性の評価に対する支援を吟味し、これらを統合する形で、項目1で開発する支援ツールのコンセプトをまとめた。具体的には、設計技術者（特に、C規格がまだ制定されていない機械を設計対象とする場合）が最低限検討すべき重要な危険源・危険区域を容易かつ確実に同定できるよう支援するという目標に最も則していると考え、第3.6.2項で述べた案1)をベースとし、現在までに対応JISとして制定されているA/B規格の安全要求事項から遡って危険源・危険区域を抽出し、これらをリスト化して具体的な判断基準を参考情報を付して分かり易く提示することで、設計する機械に潜在する危険源・危険区域を、自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく合理的に認識・発想できるよう支援するものである。さらに、このコンセプトでは、危険源・危険区域の判断基準及び参考情報に案2)及び3)での考察から労働災害事例の情報も活用することとし、また、第3.6.5項で述べたアクセス可能性の評価に対する支援も加味することで、設計技術者が危険源をその原因(Origin)の物理的性質という側面と合理的に予見可能な誤使用を含めた人のアクセスの可能性を整理して検討できるようにすることも踏まえる。

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

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

#### 3.7.2 各処理段階で要求される機能

本研究で開発する危険源同定支援ツール（以

下、本支援ツールという。）は、Windows 10搭載のデスクトップPC上で利用されることを想定したプログラムで、設計対象機械の危険源及び危険区域のリストアップの支援を軸に、“アセスメント”（一般的にプロジェクト、ファイルなどと呼ばれるもので、本支援ツールでの同定記録の1単位）の管理、表計算ソフトへのデータ出力など一連の処理を1台のPCで全て実行できるようインストールされるものである。その基本的な処理の流れを図19に示す。起動後、まず“アセスメントの管理”において、新規アセスメントの作成又は既存アセスメントの選択を行う。次に、“危険源の同定”において、提示されるA/B規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の項目について、判断基準と参考情報を参照しながら該当する機械の部位・個所・要素・作動範囲などを入力していく（これが支援された危険源同定であり、標準化されたRAで“危険源(Origin)のリストアップ”に相当するものである）。続いて“災害シナリオの作成”に移行し、同定した各細目に対して、想定される危害の対象者、危険状態が生じる局面/作業、危害の症状及び程度を入力し災害シナリオを作成する。以上の結果は、定型のRAまとめ表として他表計算ソフト（本支援ツールではExcelとした）に出力できる。利用者は、この表を利用して、危険源同定に続く、リスクの見積り、リスクの評価へとリスク分析の手順を進めて行くことが可能である。

なお、設計技術者が本支援ツールを利用するRA実施のタイミングとしては、第3.1項で述べた3つのうち、機能設計レビューが可能な程度まで設計が進み、機械の寸法、可動範囲や速度、重量、電圧、圧力などが概ね推定できる“構想設計・機能設計時”の段階を想定している。設計の見直しに迫られる状況を回避するためには、より早い段階で危険源をすべて同定できるのが望ましい。しかし、設計技術者が主観的に判断する必要なく、危険源を合理的に認識できるよう支援するためには、本支援ツールで提示する危険源の判断基準は可能な限り詳細な技術情報とする必要があると考え、この想定とした。

以上より、本研究では、機械安全JIS規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の提示という危険源同定支援のアプローチの有効性を検証する目的で製作する本支援ツールの試作プロトタイプ（以下、単にプロトタイプという。）の要求仕様を策定した。これに基づき、以下では、各処理段階で要求される機能について詳述する。

##### 1) 共通事項

プロトタイプのアプリケーションウィンドウの画面構成イメージを図20に示す。操作には、

マウスの左右クリック及びダブルクリックが利用できるようにし、Windows 標準のウィンドウ操作機能をベースに考えた。

画面構成の共通事項として、タイトルバーの下に“アセスメント情報表示欄”を設け、次に示す“アセスメントの管理”の処理で入力されるアセスメント名などの情報を表示することとし、また、その下に“ツール欄”を設け、後述する“危険源の同定”及び“災害シナリオの作成”の処理において指定する機能をもつコマンドボタンを表示することとした（“アセスメントの管理”ではツール欄に表示するコマンドボタンは設定されない）。

## 2) アセスメントの管理

本処理の画面構成イメージを図 21 に示す。本プロトタイプ起動画面にあたるもので、ここでは、新規アセスメントの作成又は既存アセスメントの選択を行う。なお、本プロトタイプは、あくまでも機械安全 JIS 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の提示という危険源同定支援のアプローチの有効性を検証する目的で製作するものであって、後の機械安全専門家及び小規模機械メーカ等での試用評価に必要な機能のみを考慮した仕様としており、簡略化のため、アセスメントの保存先は、本アプリケーションのインストール先フォルダ内に指定したフォルダに限定することとした（すなわち、フォルダの新規作成操作は行えない）。

各アセスメントには、危険源同定結果とともに、以下の情報を記録する：

- a) アセスメント名（必須入力項目）
- b) 備考
- c) 作成者（必須入力項目）
- d) 作成日時（作成時に自動記録）
- e) 更新者
- f) 更新日時（更新保存時に自動記録）
- g) 承認者
- h) 承認日時（承認操作時に自動記録）

上記のうち、a), b) (長文の場合はその冒頭部分)、e), f), g)及び h)が前述の“アセスメント情報表示欄”に表示される。

## 3) 危険源の同定

本処理の画面構成イメージを図 22 に示す。本研究の核となる処理であり、提示された判断基準と参考情報を参照しながら該当する機械の部位・個所・要素・作動範囲などを入力する。ここでは、まず、JIS B 9700 の危険源リストに従った危険源の大分類（例えば、機械的、電気的、熱的）がリストとして表示される。いずれかを利用者が選択すると、次に、それに応じて、本研究で機械安全規格の安全要求事項から抽出した危険源

の細目（例えば、機械的危険源では、死角、はさまれ、鋭利な角で、JIS B 9700 では危険源の Origin に相当する）が表示される。そのリストから利用者が特定の細目を選択すると、それに応じて、次の情報が提示される：

- a) 危険源細目の名称
- b) 判断基準  
細目として掲げられた危険源・危険区域が設計対象機械に該当するか否か、設計技術者自らがもつ知識や経験に依存することなく、合理的に判断・認識できるようにするための具体的な数値基準や寸法、形状規定である。これらの情報は、当該危険源細目の出典となった機械安全規格の要求事項から作成するが、関連する一般に公開された指針や地域標準に参考となる情報がある場合には、補足的に付記することとした。
- c) 出典規格箇条  
当該細目の出典となった規格及び箇条番号。
- d) 参考情報  
判断基準の根拠や出典となった文献等の情報。利用者が、より詳細に危険源・危険区域の有無を検討する際の重要な手掛かりとなる。
- e) 危険源へのアクセスの可能性  
第 3.6.5 項で述べたアクセス可能性の評価に対する支援にあたるもので、各々の細目に応じて、例えば、角部やはさまれに対しては“危険源に人が接触又は侵入する可能性”について、衝撃や危険有害性物質に対しては“人が危険源の影響を受ける又は危険源に暴露される可能性”について、これら进行评估する際の指針となる寸法基準や条件、状況が端的に示される。

以上の具体的な例として、JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目に対して提示する判断基準と参考情報の抜粋を表 27 に示す。“危険源の同定”で提示される危険源・危険区域の細目は、設計技術者が危険源同定で対象にすべき最低限の範囲を与えるものであり、利用者によって修正や加筆、項目の追加を行うことはできない仕様とした。ただし、前述したように、本来の危険源同定では ISO 12100 の付属書 B に示されたすべてのカテゴリの危険源を扱う必要がある。しかし、本プロトタイプは、あくまでも機械安全 JIS 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の提示という危険源同定支援のアプローチの有効性を検証する目的で製作するものである。このため、本プロトタイプでは、内蔵する危険源・危険区域の細目は JIS B

9700<sup>9)</sup>, JIS B 8361<sup>28)</sup>, JIS B 8370<sup>29)</sup>, JIS B 9960-1<sup>30)</sup>, JIS B 9705-1 及び 2<sup>31), 32)</sup> の安全要求事項から抽出した範囲に限ることとした。

また、“危険源の同定”では、次のような点についても考慮した：

- － 提示された危険源細目に対して入力した機械の該当部位等の名称には、それぞれ、備考(255文字以内のテキスト情報)を付帯できるようにし、さらに、関連ファイルへのリンクを記憶できるようにしている。ただし、簡略化のために、リンク可能なファイルは本プロトタイプをインストールした PC に既に保存されたファイルに限定した。
- － より詳細な情報が“危険源へのアクセスの可能性”で必要な場合のために、図 18 に示したような内容の表示を選択できるコマンドボタンを設けておき、利用者がクリックすると、基本アプリケーションウィンドウの画面とは別のサブウィンドウを新たに開いて表示するようにした。
- － 表 34 に示すように、例えば“高所”や“重量物”、“騒音”といった危険源細目については、アクセスの可能性を検討する重要性は低く、このため、これらについては“危険源へのアクセスの可能性”は提示しないこととした。
- － 利用者が同定結果を容易に再確認できるように、危険源の細目ごとに入力した同定結果の数が表示されるようにし、さらに、危険源の細目に対して設計対象機械に該当する部位等が無い場合には、登録が 0 件であることを“該当なし”として入力できるようにした。

#### 4) 災害シナリオの作成

本処理の画面構成イメージを図 23 に示す。各細目に対して既に入力された該当する機械部位等について、次の事項を文字列として入力し、これらに基づいて災害シナリオを作成する。

- a) 危害の対象者
- b) 工程、作業場面等
- c) 想定危害 - 傷害部位
- d) 想定危害 - 傷害部位詳細
- e) 想定危害 - 症状
- f) 想定危害 - 程度

以上は、標準化された RA 手順で、“危険源の同定”に続く手順③：リスクの見積もりを実施する上で不可欠な事項として選んだが、入力の際には、第 3.5 節で述べた既存支援ツールの機能を参考に、作業負担の低減を考慮して自由記述と併せてプルダウンメニューも利用できるように

することを考えている。プルダウンメニューの利用によれば、デフォルトのメニュー項目によって各事項で検討すべき内容を具体的に例示でき、さらに、自由記述で直接入力された語句が順次自動的にメニューに追加されていくようにすれば、災害シナリオ作成の一貫性を保つことが容易になると考えられ、設計者支援として期待できる。

災害シナリオの作成自体についても、既存支援ツールに実装されている機能を参考に、上述した a)～f) を構成要素として、まず初めに、定型文章で機械的に自動作成されることを考えている。これも、文書化作業の負担軽減ばかりでなく、作成すべき災害シナリオを分かり易く例示することを意図したものである。

すべての危険源細目について災害シナリオを作成し終わったら、RA まとめ表として利用できるフォーマットで Microsoft 社 Excel に 1 シートとして出力できることとした。その出力イメージを図 24 に示す。この表を利用し、危険源同定に続く、リスクの見積り、リスクの評価へとリスク分析の手順を進めて行くことが可能である。

#### 3.8 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、“適切なリスク低減の達成”を判断する際の指標が明確に示されていないという課題に対し、既に RA 実施が法制化されている EU での対処を参考に、個別機械の C 規格の活用が有用であることを導き、機械安全を扱った現行 JIS 規格から指標となる水準を取りまとめた。さらに、既存の市販 RA 支援ツールを調査し、実装されている機能や内包されている資料、支援対象として想定されている設計技術者に求められるレベルという 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、設計技術者に対する支援が最も必要な手順であると定め、項目 1 で開発する RA 支援システムは危険源同定に焦点を当てたものとする方針と結論した。

具体的な危険源同定の支援方法として 3 つのアプローチを提案した。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技術者でも比較的容易に、主観的な判断に基づくことなく、かつ、重大な見落としなく確実に危険源が同定可能になることを考えたものである。そして、これらを統合する形で、項目 1 で開発する設計段階危険源同定支援ツールのプロトタイプモデルの要求仕様を策定した。現在、その制作を進めている。

第3年度では、試作したプロトタイプを用いて、機械安全専門家や設計技術者等に試行してもらい、提案する危険源同定支援のアプローチを評価・検証する。さらに、これと並行して、RAの基礎や本システムの使用方法を習得するための“基礎学習用教材等”をその提供方法を含めて検討する。その際、これまでに明らかにしたRAの各手順で設計者支援として考慮すべき内容を踏まえ、特に次の点に考慮して検討を進めていく予定である。

- ① RAを開始するにあたって準備しておくべき情報として挙げた事項のうち、表6の12)に示した“関連する法規制、規格、技術指針”については、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十分整備されているとは言えないのが現状である。この点に関し、本研究では、一部については、開発する危険源同定支援システムに内包する技術情報の中に取り込んで利用者に提示することを提案したが、教材等の中にもさらに盛り込む必要がある。
- ② 本研究では、知識や経験の限られた設計技術者に対するRA実施支援の視点から“予見可能な誤使用”を想定する際の負担を軽減する目的で、危険源同定支援の中で“アクセスの可能性”を含めて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、ユーザへ通知する危険情報<sup>53)</sup>を作成する際に関係することから、この点を押さえておく必要がある。
- ③ 適切なリスクの見積もり及び残留シルクの判断のためには、協働ロボットの制御による力制限や作業個人を識別する高機能な運転モード切り替えなど新しい技術に基づいたリスク低減方策を含め、採用した方策の種類と低減されるリスク要素との関係を明確に整理しておく必要があり、教材等を含めることを検討する。
- ④ 本研究では、設計段階の危険源同定の最も有効かつ確実な支援として、A/B規格の安全要求事項から最低限同定すべき危険源の範囲を明示することを提案した。ただし、すでにC規格が制定されている機械を設計対象とする場合は、当該C規格の重要危険源リスト及び安全要求事項を参照することが“適切なリスク低減の達成”を判断する上で優先され、提案する危険源同定支援は、これを代替するのではなく、補完する位置付けになることを

教材等でも説明していく。

## 4. 選択式使用段階RA支援システムの開発

### 4.1 日本国内の労働災害と使用段階RAの現状

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2年には802人にまで減少した<sup>69)</sup>。一方、休業4日以上<sup>70)</sup>の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2年には131,156人となっている<sup>69)</sup>。また、事業場の規模別死傷年千人率をみると、小規模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約3.3倍の差が生じている<sup>69)</sup>。

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<sup>71)</sup>。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<sup>58)</sup>。以上のことから、小規模事業場の労働災害を減少させる上での重要な課題として、RAを普及する必要があると言える。

機械使用事業場（以下、「ユーザ」という。）では、購入する機械の詳細、例えば、内部の機構、制御回路、組み込みソフトウェアの内容などについてまでは十分に把握していないことが多いと考えられ、一般に、機械本体の危険源について同定することは困難であると言える。機械の危険源（リスクマップ等）とユーザで講ずべき措置については、労働安全衛生規則第24条の13に基づきメーカーからユーザに情報提供がなされ、ユーザ側ではこれに従って安全対策が策定される。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を、メーカーが設計の段階で同定するには明らかに限界がある。ユーザでRAを行わなければならない理由の1つがこのことにある。

第2章で表3に示したように、小規模事業場でRAが実施されていない大きな理由に「実施方法が分からない」、「実施できる人材がない」が挙げられており、“RAの難しさ”が大きな障壁となっている。特に、小規模事業場がRAを実施する場合、一般的に、専門的知見を有するスタッフを揃えることは難しく、本務との兼ね合いから長い時間をかけて行うことも困難である。

そこで、本研究の項目2では、このようなRAの担当職員をおけないような小規模事業場を想定し、ユーザとして機械のRAを行う際の支援を検討する。そして、これを具体化したシステム（使用段階RA支援システム）を開発する。

ただし、RAは、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,ひいては,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に行うものであって,その実施自体は直接の災害防止対策ではないことに注意が必要である。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,購入する機械は安全上問題ないか,生産ラインの安全対策は十分か,作業マニュアルは適切かなどが責任もって判断されなければならない。このとき,生産機械の導入の際のRA,作業マニュアル作成の際のRAなどを行うこととなる。RAは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って,その実施自体は直接の災害防止対策ではない。重要なのは,実施の結果として適切な保護方策が講じられることや適切な作業マニュアルが作成されることであり,RAはその説明資料となる。

## 4.2 開発の概要

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25のように示されており,国際的にも業種を問わず広く受け入れられている。この手順において,本研究では,リスク分析の1ステップである“危険源の同定”に焦点を当てる。

前述したように,RAの主題は,機械の安全対策や作業者の安全対策を適切に策定することにある。そのため,図1の手順で“リスク低減”又は“妥当性確認”の支援が重要であるように思えるかも知れない。しかし,第3章でも述べたように,“危険源の同定”は,機械に潜在する災害原因が危険源として同定されて初めてのその後のリスク評価やリスク低減につながることからRA全体の成功を左右する最も重要なステップであり,そこでの適切な同定が適切な安全対策の策定に直結する。さらに,“危険源の同定”は,How toでは表現できない側面を多く含んでおり,機械安全に関する知識やRAの経験が限られた者

にとってRAを難しいと考えさせ実施を躊躇させる大きな要因にもなっている。

このため,項目2では,RAが生産機械の導入の際や作業マニュアル作成の際のエビデンスを与えるものであることを念頭におきつつ,小規模事業場の必ずしも専門的な知識を有さない設備管理者などでも,提示された手順に基づいて機械の危険源が適切に同定できるようにする支援を考案し,これをシステムとして具体化する。

なお,本研究は最終目標をRA支援システムに共通に参照される“基本仕様”を確立することにおいており,項目2で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,ここでは,RAの対象を工場内で製品の製造加工に用いられる生産設備,中でも,既存の固定機械を主として開発を進めることとし,車両系建設機械など移動する機械や工場で用いられない機械については別途考慮したい。

## 4.3 選択式簡易RA

上記の目的に対し,本研究では,平成28~30年度に行った既実施研究において考案された“選択式簡易RA手法”に着目した。これは,小規模事業場において,会議室でのRAの実施を容易にすることを目的に提案されたもので,災害のイラストを主として用いるアプローチと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などが行われた。本研究では,この成果を参考に,災害発生の経緯(危険シナリオ)を説明したイラスト(危険イラスト)と実際の機械の写真とを照らし合わせて危険箇所を見出していく方式を提案する。

ISO/IEC Guide 51で,“危険源の同定”は,対象とする機械又はプロセスと危険源リストを照らし合わせて実施するとしている。そして,危険源リストとしては,ISO 12100の附属書Bに記載された一覧が機械全般を対象にしたリストとして一般に用いられており,機械によっては,個別安全規格の中に各々の機械に則した危険源リストが規定されている場合もある。ただし,これらの規格を読みこなし,附属書の危険源リストに当てはめて個々の機械の危険源を実際に同定していくことは,専門的な知識を有さない者には必ずしも容易ではない。

これに対して,本研究では,既実施研究で考案されたアプローチを再検討し,できるだけ簡易に,特別な用語や文章の読解を可能な限り排する方向でこれらを統合する形で,危険源同定が容易かつ確実に行えるようにするものとして,対象として選択した機械の危険シナリオをイラ

ストで提示し、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険箇所を指定させる方式を考えた<sup>59)</sup>。つまり、対象機械ごとにまとめられた危険イラストが、各々の機械の災害を分かり易く説明した危険源リストとなって、専門的な知識を有さない者でも比較的短時間で危険源同定が実施できるようにする。ただし、危険イラストはできるだけ網羅的であるのが望ましいが、過度に多くなるとイラストを一通り見るだけで作業量が増大し、かえって危険源同定が煩雑になることに留意する。

また、本研究で想定するRAを実施する者及び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、営業担当の労働者などが行う。このため、専門的な知識を必ずしも有しない、同じ時間・同じ場所に集まるとは限らないものとする。

#### ・RAを実施する場所など

参加者が対象機械での作業を直接見ながら行うことが適当であるが、対象機械の作業中にRA実施者が作業場に集まるとは限らない。困難な場合は、RA実施者全員が都合の良い日に会議室などで行う。これも困難な場合にはRA実施者が個別に実施しメール等で協議する。このため、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、これを見て危険源同定を行えるようにする。危険源同定を進める中で、写真が不足であれば追加できるようにする。

### 4.4 危険シナリオと危険イラストの作成

危険シナリオは、対象機械で発生する労働災害の要因を危険源・危険箇所として表すもので、対象機械に関連する災害をできる限り網羅して作成する必要がある。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しなければならない。その上で、災害事例などから危険シナリオを作成する方法を明確化しておけば、公表されているデータベースが更新された際に速やかに対応することや、各企業において独自にシナリオを作成することが可能になり、それらを支援システムに取り込むことで危険源の見落としの低減が期待できる。

本研究では、この危険シナリオの作成に厚生労働省が職場のあんぜんサイトで公表している死亡災害データベース<sup>44)</sup>、労働災害（死傷）データベース<sup>45)</sup>及び機械災害データベース<sup>60)</sup>を活用することとし、扱われている機械のうち、先行して、旋盤、丸ノコ盤、プレス機械、ボール盤、

フライス盤、ロール機の6種について、以下の方法で危険シナリオを作成した。

まず、上述のデータベースに収録された対象機械の災害事例の全てを、類似のものはまとめるよう整理し、シナリオの基礎とした。なお、災害事例の情報源として、業界団体などが策定した事例集又は企業が独自に収集した災害事例を用いれば、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。

次いで、個々の災害事例から以下の3項目を抽出した。

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し、以下に示す5つの作業に分類した。

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」：基本的にはデータベースに記載された事故の型を用いた。ただし、明らかに誤っていると考えられる場合には修正した。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。これらの項目も危険シナリオを作成する上で重要であることから、「危ないこと」又は「原因」として抽出した。

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た。

以上で抽出した項目に基づき、危険源から危害に至る過程を表した危険シナリオを作成した。その一部を以下に示す。

<旋盤の危険シナリオの例>

- ・加工作業中に、キリコに触れて指を切傷する。
- ・加工作業中に、ワークがチャックから外れて、身体に当たって打撲する。
- ・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、作業員に激突

して、顔を切傷する。

- 加工作業中（ペーパー掛け）に、手を巻き込まれて、腕を骨折する。

<丸ノコ盤の危険シナリオの例>

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

<プレス機械の危険シナリオの例>

- 準備作業中（金型取付）に、金型が落ちて、指を切傷する。
- 加工作業中に、降りる上型に手が触れて切傷する（光線式安全装置無効化）。
- 清掃作業中に、金型に触れて、指を切傷する。
- 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。）

<ボール盤の危険シナリオの例>

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

<フライス盤の危険シナリオの例>

- 加工作業中に、キリコで指を切傷する。
- 加工作業中に、焼けたキリコで指をやけどする。
- 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。

これらの危険シナリオから危険イラストを作成した。なお、産業現場で使われるすべての機械に対して危険イラストを作成することが望ましいが限界がある。また、産業用機械は、作り出す製品によってアタッチメントが異なるなど、事

業場ごとに特有の危険源を有する場合もある。これらに対処するには、機械ごとに基本的な危険源については予めイラストを準備するが、個別の機械に特有の危険源について事業場で後から追加できるようにする必要がある。

#### 4.5 アプリケーションソフトウェアの要件

以上の方式による危険源同定を RA 支援システムとして具体化すれば、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を同定していくものとなる。このシステムで支援された RA は、概ね次の順序で実施していくものと想定される。

ア RA の対象とする機械と、作業工程を決定する。工場長などの指示のもと、RA を行う対象の機械と、対象の作業工程を決める。

イ 参加メンバーを決め、対象機械の使い方などを共有する。RA を行うメンバーを決める。対象機械のオペレータだけでなく、職長などを含める。メンバーには、対象機械の使い方や、ヒヤリハット事例などを事前に伝えておく。

ウ 対象機械と作業状況を撮影する。加工作業だけでなく、機械のライフサイクルに沿って準備作業や保守作業のシーンも撮影する。

エ 支援システムを使って、撮影した写真と、危険イラストを照らし合わせ、“写真の中の事故が起こりそうな箇所（危険箇所）”と、“発生する可能性がある危険イラスト”を紐づける。写真を先に提示して、危険イラストを順次照らし合わせてもよいし、危険イラストを先に提示して写真を順次照らし合わせてもよい。どちらからでも実施できるようにする。

オ 組み合わせた危険箇所と危険イラストを表にし、この表に考えられる保護方策を記入する。保護方策は複数記入できるようにする。参加メンバーが会議室に集まって討議しながら行うことを基本とし、集まらないメンバーはオンラインで行ったり、各自で行った結果をメールで討議したりするなど工夫する。また、生産ラインの安全に責任を有している者（工場長など）を討議メンバーにすることで保護方策の実効性を確保する。

カ 作成した表には、保護方策の実施期限や実施担当者を記入するようにして安全衛生計画に反映する。また、事業場内で共有して、次年度の RA や他の機械の RA の参考にできるようにする。

このような RA 支援システムで用いるアプリケーションソフトウェアには、少なくとも以下の機能が要求されると考えられる。

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

次に、提示される危険イラストは網羅的である必要があるが、その数が過度に多くなると 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、イラストは重複がないよう厳選した上で、危害の重篤度が高いものを優先的に提示するように設定する。

最後に、1つの危険イラストに常に1つの危険箇所が同定されるとは限らず、逆に、1つの危険箇所や区域に複数の危険イラストが該当することも考えられる。このため、イラストと危険箇所との紐付けて管理する際、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、どちらを入力においても他方が問い合わせ可能であることが求められる。このとき、N枚及びN個の上限は、アプリケーションソフトウェアをインストールする機器のリソースに影響するものであるため、適切な値を設定する必要がある。

#### 4.6 試作したアプリケーションソフトウェア

以上の要求機能に従い、タブレット PC 上で実行するアプリケーション（以下、“本アプリケーション”という。）として試作した<sup>75)</sup>。代表的な動作中の画面（後述する“カ 危険源同定”の過程）を図 26 に示す。処理の流れは以下のとおりである。

##### ア プロジェクト情報登録

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

##### イ 起動

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

動入力される。

既存プロジェクトの呼び出しは、以前に途中まで行った RA の続きを行う場合や、過去の結果を参考にする場合に行う。小規模事業場で RA を行う際に、過去の情報は重要であり、容易に呼び出せるようにしておくべきである。

##### ウ 機種選択画面

RA で対象とする機械の機種を選択する。現時点では、旋盤、丸ノコ盤、プレス機械、ボール盤、フライス盤、ロール機の6種であるが、今後拡充していく予定である。また、それでも該当がない場合に対しては、事業所で独自に追加できるような別モードを検討することも考えられる。

##### エ 作業選択画面

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

##### オ 写真撮影画面

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

##### カ 危険源同定

撮影した写真から、危険箇所を指定する写真を選択する。選択した写真の上で危険箇所をタップして印をつける。

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

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

を追加する。

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

#### キ 対策記入画面

写真の危険箇所と、危険イラストのセットに対して、安全対策を記入する。安全対策は複数記入できるようにする。

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

### 4.7 試行による支援方法の検証

本アプリケーションの使用感、危険源同定のし易さなどを確認するため、まず初めに、長岡技術科学大学において、学生 3 名及び大学の工作センター職員 3 名を対象に本アプリケーションを用いた危険源同定を試行してもらい、アンケート形式で調査を行った。学生はいずれも RA に関する知識はなく、工作機械の扱いにも不慣れである。一方で、工作センター職員は工作機械の操作は熟知しており、その危険性も概ね理解している。ただし、RA は理解していなかった。

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

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

次いで、労働安全コンサルタント 3 人に本アプリケーションを試行してもらい、ヒアリングを実施した。3 人とも、製造業の小規模事業場のコンサルティングを行っており、工作機械に関しても詳しい。ヒアリングの結果得られた代表的な回答を以下に示す：

- － イラストで示すことで小規模事業場でも取り組みやすい
- － リスクアセスメントの最低限の知識は必要
- － 写真が小さいのでアプリに拡大機能をつけてほしい
- － イラストの数が多いい
- － イラストは類似のものを系統的に提示してはどうか
- － 保護方策に、記入例をつけてはどうか
- － アプリの説明動画があると分かりやすい
- － 小規模事業場はいつべんに安全対策をすることは難しい。重篤なものから順番に少しずつ解決していくことが重要であり、リスクアセスメントではそのような視点が必要
- － はじめアプリの操作に戸惑ったが、慣れれば大丈夫。スマホ世代には問題ないのではないか

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

### 4.8 本章のまとめと今後の予定

本章では、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。モノづくりを行う小規模事業場での RA の危険源同定の支援を目的に、できるだけ簡易で、文章の読解や紙媒体資料の使用を可能な限り排する方向で考案した。その結果、対象として選択した機械の危険シナリオをイラストで提示するとともに、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険箇所を指定していく方式を提案した。そして、これに基づき、災害シナリオの作成方法及びアプリケーションソフトウェアの要件について検討し、タブレット PC で動作するプロトタイプモデルを試作した。そして、これを用いて、理工系大学の学生、職員及び労働安全コンサルタントを対象に、実装した支援機能を検証した。その結果、機械の災害発生の経緯（災害シナリオ）をイラストで提示するという危険源同定手法自体は評価されたが、RA に不慣れな者を対象とする上では更に改善すべき点もあることが分かった。

限られたリソースを投じて小規模事業場が RA を実施する上では機械災害の防止に最も関わる部分に注力する必要があると考え、「危険源の同定」の支援に焦点を当てることとした。このため、本アプリケーションには、リスク評価の支援は含まれていない。ただし、労働災害では、被災労働者に治療費などが支払われるが（無過失責任）、死亡災害や重篤な障害が残る怪我の場合、保険給付で十分に責任を果たせるとは言い難いのではないかと。金銭賠償で済まない事故はリスク評価以前にその可能性を排除することが求められる。この観点からすれば、本アプリケーションは小規模事業場の RA に十分有用であると考えられる。

なお、本研究では、小規模事業場の生産設備に対する RA を対象として検討を進めたが、提案する支援の考え方やシステムの機能は、他の目的の RA にあっても適用可能であると考えている。

次年度では、以上の試行結果を踏まえ、危険イラストの提示方法の改良など必要な見直しを図るとともに、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さらに抽出して扱える機械の種類を拡充することで、“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完成させる。

## 5. 典型災害事例を応用した使用段階リスクアセスメント支援システムの検証

### 5.1 研究の背景

機械に起因する労働災害を防止するには、機械の設計段階及び使用段階で適切なリスクアセスメントを行う必要がある。このうち、機械の設計段階では、ISO 12100<sup>2)</sup> を始めとする機械安全規格に従って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、国際的にオーソライズされた方法は一般的に見当たらない。このため、各国が独自の方法を考案し、作業のリスクアセスメントを実施している（例えば、英国 HSE が提唱している 5 ステップ法<sup>61)</sup> や日本の厚生労働省が公表している「職場のあんぜんサイト」に記載されたリスクアセスメント実施支援システム<sup>49)</sup> など）。しかし、これらの手法が常に適用できるわけではなく、労働災害の経験が少ない小規模事業場の担当者が作業のリスクアセスメントを実施しようとする場合、一般には次のような困難が考えられる。

- 1) 機械の機能や危険性に関して十分な情報と適切な支援が得られない小規模事業場では、担当者が想定できるリスクには明らかに限界が

ある。このような状態で、適切なリスクアセスメントの実施は担当者にとって困難と考えられる。

- 2) 仮にリスクアセスメントが実施できた場合でも、専門家の関与がない状況の下では、実施したリスクアセスメントの妥当性の確認は困難と考えられる。
- 3) リスクアセスメントでは継続的な改善が要求される。しかし、リスクアセスメントの妥当性が確認できない状況の下で、形ばかりの継続的改善を進めるのは現場にとって相当な負担となる。

本稿では、以上のような問題を有する小規模事業場を対象に、簡単な手法で重大な危害を見逃す可能性が少ない作業のリスクアセスメント手法を検討した。この手法では、災害が多発している機種を対象に典型災害事例を作成し、この情報を担当者に確実に提供することによって、重大な災害（危害）の見逃しを防止する簡易リスクアセスメント支援システムを開発した。このうち、システムの概要、具体的手順、基本機能、機器構成、操作手順などは既に文献 3) 及び文献 76) で詳述したので、本報告書ではこれらの記載は簡単に留め、開発したリスクアセスメント支援システムの検証を中心に報告する。

### 5.2 簡易リスクアセスメント支援システムの特徴

前述した典型災害事例を利用して行う簡易リスクアセスメントは、一般に行われている危険源を出発点とする決定論的な前向き推論（演繹的推論、図 27 参照）ではなく、災害情報（危害）を出発点とする確率統計的な後ろ向き推論（帰納的推論、図 28 参照）である点に特徴がある。このようなシステムでは、簡易リスクアセスメントによる効果を災害発生率の減少という科学的根拠に基づき定量的に推定できるという点に特徴がある。

そこで、最近の ICT も活用し、簡易リスクアセスメント結果の保存、保護方策に必要な情報の提供、及び専門家の支援による妥当性確認などを適切に行うことが可能な簡易リスクアセスメント支援システムの構築を目指した。これにより、簡単な手法で重大な危害を見逃す可能性が少ない作業のリスクアセスメント手法を考案できた。この手法は、簡易リスクアセスメント実施時の生産性向上にも貢献できると考える。

以上の手法は未だ開発途上にあるが、現段階での要点をまとめると次のようになる。

- (1) 災害が多発している機種への重点化  
平成 22～25 年に発生した全労働災害の中から、

機械に起因する労働災害を選び、労働災害が多発している機種種の抽出を試みた。このうち、休業4日以上、死傷災害は76,075件、死亡災害は870件であった。

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

そこで、災害の8割近くを占める上記の20機種(死亡災害と死傷災害での重複を考慮した機種)に重点化を図り、簡易リスクアセスメントを実施できるシステムを構築した。なお、ここでいう多発とは、平成22～25年に発生した全死傷災害又は全死亡災害の件数比で0.1%を超えていることをいう。

(2) 災害多発機種を対象に典型災害事例の抽出  
重点化した20機種を対象に典型災害事例を抽出した。しかし、人によって典型災害事例の表現方法が異なると、災害情報を適切に伝達できなくなる。そこで、典型災害事例の表現方法を標準化するために、I(業種: Industry), M(機械: Machine), T(事故の型: Type), O(作業その他の条件: Operation or Option), C(直接原因と対策: Cause and Countermeasure)という5種類の項目で典型災害事例を表現する。

(3) 簡易リスクアセスメント用チェックリストの作成

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

(4) 現場での簡易リスクアセスメントの実施

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

クし、必要な方策を講じる。

(5) 妥当性の確認

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

### 5.3 5 ステップ方式による簡易リスクアセスメント手法の具体的手順

第5.2節で述べたように、労働災害の8割近くを占める典型災害事例に重点を置いて簡易リスクアセスメントを実施すれば、労働災害の大幅な減少を達成できる可能性がある。そこで、次にこの点を検討した。

図29は、本稿で提案する典型災害事例を用いた簡易リスクアセスメント手法の手順である。ここでは、次の順序にしたがって簡易リスクアセスメントを実施する<sup>3, 62, 63, 76)</sup>。

#### 1) ステップ1 (危害の明確化)

典型災害事例には、過去の現場での労働災害の経験を基に、発生可能性が高い災害(危害)が示されている。したがって、リスクアセスメントの実施経験が少ない人でも重要な災害を漏れなく抽出できるという利点がある。これは、労働災害の経験が少ない小規模事業場にとって大変効果的な手法となる。

例えば、図30はフォークリフトを対象とした典型災害事例で、フォークリフトで発生する可能性が高い危害(典型災害)が示されている<sup>63)</sup>。

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

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

#### 2) ステップ2 (リスク評価)

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

しかも、この評価は実際の労働災害の経験に

基づく評価であるから、他の加算法、積算法、枝分かれ法、マトリックス法などのリスク評価手法と比較した場合でも、リスク評価によって得られる評価値は正確と考えられる。

### 3) ステップ3 (保護方策の実施)

典型的災害事例の保護方策には、技術的方策(表28参照、様式A)と管理的方策(表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。

表28～30にフォークリフトの様式A、B、Cの記載例を示す。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、リスクアセスメントの実施者が追記を行うことも考えられる。そこで、この点を自由記入できるように様式を工夫した。この自由記入の欄を設けたことによって、現場の創意工夫を反映できると考えられる。

### 4) ステップ4 (評価結果と残留リスクの記録)

前述した様式C(表3参照)を完成させて、評価結果と残留リスクを記録する。このステップでは、特に保護方策を実施した後の残留リスクにどのようなものがあるかを明記し、その残留リスクに対する管理的方策も併せて記載することが重要である。

また、様式Cでは小規模事業場の管理者への連絡事項(管理者に何をしてもらいたい)と、機械のメーカーへの連絡事項(メーカーに何を希望するか)を記入する欄を設けた。この欄を記載することで、簡易リスクアセスメント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、小規模事業場の管理者や機械メーカーの担当者など)も交えた質の高いリスクアセスメントを実施することが可能となる。

### 5) ステップ5 (妥当性確認、見直しと修正、及び記録の保存)

このステップでは、専門家がタブレット端末を利用して“遠隔安全診断”を行い、リスクアセスメントの実施者が行ったリスクアセスメントの妥当性を確認し、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、リスクアセスメント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、その他リスクアセスメントの実施結果や関連資料をメールで送り、リスクアセスメントの妥当性を専門家に判定してもらうことをいう。

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

## 5.4 タブレット端末を用いたリスクアセスメント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リスクアセスメント支援システムを試作した。この試作では、特に次の点に留意した<sup>3,76)</sup>。

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リスクアセスメントシート(様式A、B、Cなど)に対してタッチペン又は指による操作を行うだけで、必要な操作が容易に完了できること。

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

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

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

5) 本システムでは、企業機密に関する情報を扱うことも多い。このときの情報セキュリティを確保するために、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視機能などを備えていること。

6) 本システムの特徴は、専門家がリスクアセスメント結果の妥当性確認を行えることにある。この確認を容易に実施できるように、小規模事

業場の管理者（社長や工場長など）、リスクアセスメントの実施者、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、同様な機能を機械メーカーの担当者（機械の設計・製造者など）に対して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るため、現場の働き方改革を推進できること。このために、簡単な操作だけで現場の情報を集約し、現場の書類や帳票の作成を容易化し、業務の効率化を図れる様々なツールを備えていること。

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。

### 5.5 リスクアセスメント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<sup>3, 76)</sup>。

- 1) タブレット端末  
Apple ipad pro 12.9 インチ WiFi モデル 256GB 1 式（リスクアセスメント実施者用）
- 2) キーボード  
ipad pro 用 Smart Keyboard Folio 1 式
- 3) タッチペン  
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（リスクアセスメントの実施者、現場の管理者、機械メーカーの担当者、専門家用）
- 5) 手書き文字認識システム  
Genba Note for Business チームディスジョンクラウド版 mazec 1 式
- 6) リスクアセスメント実施者、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) 簡易リスクアセスメント支援システムのプロトタイプ  
簡易リスクアセスメント支援システム 1 式
- 8) 操作説明書 1 式

### 5.6 リスクアセスメント支援システムの操作手順

図 31 に本システムの写真を示す。操作手順は

次のとおりである<sup>3, 76)</sup>。

- 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、リスクアセスメントの実施者、小規模事業場の管理者、機械メーカーの担当者、専門家が直接写真や動画を撮影し、情報共有ができるようにする。
- 6) 上記 4) と 5) の操作を必要な典型災害事例に対して繰り返す。
- 7) 必要に応じて、典型災害事例のコメント欄に文字入力を行う。文字入力はキーボードによって直接行うか、又はスタイラスペンによって手書き文字をコメント欄に直接入力して行う。操作後、手書き文字はテキストに変換される。
- 8) タブレット端末上に様式 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) リスクアセスメントの結果を印刷する。
- 21) 専門家に、リスクアセスメントの結果を送信する。
- 22) 専門家からの指摘を受け、必要部分を修正する。
- 23) 必要に応じて、小規模事業場の管理者やメーカーの担当者に情報を提供する。
- 24) リスクアセスメントを終了する。

### 5.7 リスクアセスメント支援システムの検証

次に、本研究では、長年の経験を有する機械安全と労働安全の専門家に開発した簡易リスクアセスメント支援システムの評価を実施して頂いた。以下は、その評価結果である。

#### 1) 簡易リスクアセスメント支援システムの設計思想について

(1) 過去に発生した典型災害事例から直接的に危害を抽出する方法は、ケガの程度が死亡につながる重大リスクに着目するという点、および従来のリスクアセスメントの実施が難しい中小企業向けのリスクアセスメントの提供という観点において、現実的と考える。

労働安全衛生マネジメントシステムの規格である ISO 45001<sup>77)</sup>において、全ての人、全ての作業、全ての設備から危険源を抽出し、リスク評価を行うことを要求しているが、リスク評価の方法は規定されていない。マトリクス法、加算法、積算法、リスクグラフ法など多種多様なリスクアセスメント方法が実施されているが、中小企業にとっては、逆に多様性があるためにつ

きにくいというデメリットがあると考えられる。リスクの定義である「ケガのひどさとその発生確率」を意識せずに過去の災害発生確率から、リスク低減対策を提案する簡易リスクアセスメント支援システムは、中小企業にとって理解しやすく、納得して効果が高いリスク低減対策を実施できるツールとして有効性が期待できる。

(2) システムに設定されているリスク低減対策は、JIS や労働安全衛生法令に定められていることがほとんどであるが、JIS や労働安全衛生法令は、過去の重篤な災害の裏返しであるにもかかわらず、なぜこれらを順守しなければならないかという観点では記載されていない。簡易リスクアセスメント支援システムを使用することで、なぜその対策が必要かという Know why が理解できるという点において画期的なシステムといえる。

ただし、ISO/TR 14121-2<sup>16)</sup>の危険源から危害に至るリスクストーリーがリスクアセスメントの正統な方法と考えているリスクアセスメントの専門家の同意を得られるかは、フィールドテストを繰り返す中で評価が定まってくるように思う。

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

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

その上で、中災防が実施している各種リスクアセスメント研修の内、「職場リーダー用リスクアセスメント実務研修」などで紹介すれば、急速に普及していくことと思う。

(3) 本簡易リスクアセスメントの利点は、発生の可能性が高い重篤な労働災害に対して、確実に対策が実施できることにある。過去の労働災害の分析から対策が導き出されているため、発生の可能性が高い⇒リスクが高いという関係性が成り立っている。従って、従来のリスクアセスメントで、危険源の抽出⇒リスク見積り・評価⇒対策の立案⇒対策後のリスク見積り⇒妥当性の確

認というプロセスと比較して、大変分かりやすく、リスクアセスメントに関する知識経験が十分でなくても実施できる。

2) iPad を使用したシステムの現場での使用について

(1) 一般的に普及している iPad を使用しているのはよい。最近では、現場で保全に iPad を使用して、機械の振動音を iPad に聞かせることによって、故障の AI 分析を行ったり、保全箇所や周期を作業者に教えたりすることにより、保全性を高める予知保全が普及してきている。その流れでいけば、iPad を現場で使用することは受け入れられやすいと考えられる。

特に現場の写真を iPad で撮影し、そのままシステムに取り込めるのはよい。

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

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

このことから考えると、ISO 45001 認証を取得しようとする事業場では、別途規格が求めるリスクアセスメントを実施する必要があるのではないだろうか。この点がこのシステムの普及を阻害する要因になる可能性がある。ただし、ISO 45001 認証を取得するのは主として大企業であり、本簡易リスクアセスメントが対象とする中

小企業とは対象が異なっているかもしれない。

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

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

3) リスクアセスメント結果を専門家が検証することについて

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

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

(3) 現場の写真を入力できるようになっているが、現状の写真、対策後の写真を分離して入力で

きるようにすることにより、経過が明確になる。また、それぞれの項目について、専門家のコメントが追加される仕組みが必要である。

(4) 専門家の入力項目は、ステップ5で使用する様式(様式D)の「6.専門家に対する質問」に対応する項目であることは分かるが、ユーザが入力した各項目に対してコメントが追記できるようにすることが望ましい。リスクアセスメントの知識経験が十分でないユーザにとっては、各項目に対する疑問があると思うし、専門家の詳細なコメントがあると安心すると思われる。

#### 4) システム・操作性等の改善提案

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

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

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

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

(4) P.1 (リスクアセスメント支援システムのiPad上のページ数、以下同じ。)は、ISO/TR14121-2のケガに至るリスクストーリーを表示しているが、このシートが次ページからの入力にどのようにつながっているのか分からない。「危険状態」が一般に認識されている「リスク」という概念であるが、この簡易リスクアセスメントでは、危害の大きさ、特に死亡災害につながる危険源のみ取り上げていることを説明することが必要と思う。

(5) P.2では、簡易リスクアセスメント手法の説明がされていて、2重囲みの部分がこれから入力しようとしているシートであることが示されている。少しこのシステムを理解すれば、そのことが分かるがその説明がない。2重囲み部の上段にその説明がほしい。

また、ステップ2(リスク評価)に対する2重囲み部がないが、リスク評価はシステムが自動で行う、または簡易リスクアセスメントはケガの重篤度のみ、特に死亡災害にのみ着目していることを右空欄に記載するか、P.1に記載する。

(6) P.2の様式Eは、専門家によるフィードバックであって、ユーザの実施事項ではないので、もう少し右にずらすか、色を変えて、ユーザ実施範囲外であることを明記する。

(7) P.3からユーザ入力画面になるが、投げ縄マークを選択していないと入力できないので、最初は戸惑いが生じる。入力を促すのであれば、デフォルトで投げ縄マークを選択しておくべきと思う。もちろん操作説明書P.5/15に記載されているが、一般的には操作説明書を読まずに操作を始めるので、可能な限り戸惑いがないようにしてほしい。

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

(9) iPadを使用するのは、ユーザの直感的な操作に対応していることであり、iPad、iPhoneのシェアの高さ(50%超え)はこのことによっていると考えられている。しかし、P.8にはそれまでに記載した内容が自動的に集計されるようになっていくが、「更新」ボタンを押さないと更新されないのはよいとしても、投げ縄マークが選択されていないと「更新」ボタンを押しても更新されないのは、直感的に分かりにくい。

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

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

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

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

るのか。

(13) 「追加注意事項」等の欄に記入するのはよいが、記入した内容がリスクアセスメント結果にどう反映されるのかがわからないので、何を記入したらよいか分からない。

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

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

## 5.8 本章のまとめ

機械に起因する労働災害を防止するには、機械のメーカーが設計・製造段階で適切なリスクアセスメントとリスク低減を行うのが基本である。この点が徹底されていれば、機械のユーザは①残留リスク対策、②変更管理、及び③最小限の再発防止策に専念でき、メーカーとユーザの役割分担が明確になる。

しかし、現状では、ユーザが過度の負担を担っており、特に小規模事業場でリスク低減の実施に困難を生じている。そこで、小規模事業場を対象に、簡単に重大な危害を見逃す可能性が少ない簡易リスクアセスメント支援システムを構築し、その有効性を評価した。

評価は明確に分かれた。例えば、国際的な機械安全規格を重視する方々は、これらの規格に従いリスクアセスメントを実施するのが当然で、この方法には無理があるという意見が多かった。一方で、小規模事業場の労働災害防止を重視する方々は、本手法の活用によって小規模事業場のリスクアセスメントが顕著に進み、重篤な労働災害を未然防止できる可能性があり、大変有用な手法ではないかという意見も相当あった。今後は、両方の評価を考慮しつつ、小規模事業場にとって有用な支援システムの改良を目指したい。

## 6. 結言

機械災害を防止するには、設計段階及び使用段階において RA が適切に実施される必要がある。しかし、“十分な知識をもった人材がない”、“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。初年度及び第 2 年度を総合して、各項目でこれまでに得られた結果と考察の要点は以下のとおりである。

### 項目 1：設計段階 RA 支援システムの開発

- 1) 設計段階 RA の各手順で実行すべき必須事項を ISO 規格や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、初めてこれらを除く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、設計段階での RA において“危険源の同定”が最も重要で、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) RA 実施の結果として、設計技術者が“適切なリスク低減の達成”を自ら判断することは容易ではない。このため、その際に有益な指標となる設計段階でメーカーが最低限達成すべきリスク低減水準について検討した。すでに RA 実施を法制化し、工学的方策を中心とする機械安全を我が国に先行して推進してきた欧州連合 (EU) の考え方に着目し、結果として、各々の機械に制定された個別製品安全規格 (C 規格) が規定する安全要求事項が最低限達成すべきリスク低減水準を示したものと見え、これらに適合することで“適切なリスク低減の達成”を根拠立てて判断・主

張できることを明らかにした。ただし、上記の目的に沿う C 規格を現行の ISO/IEC/JIS から一覧とした資料はないことから、本研究で作成を行った。一方で、C 規格が制定されていない機械に関しては、A/B 規格の安全要求事項への適合が適切なリスク低減の達成”の根拠となると考え、これらから最低限同定すべき危険源及び危険区域を抽出して提示することを、設計段階 RA の有効な支援として提案した。

- 3) 国内、欧州、北米で市販・公表されている既存の RA 支援ツール計 10 種に対し、デモ版やマニュアル等から可能な範囲でその動作を確認し、さらに、内容が充実していると考えられる 3 種を選定し、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。
- 4) 以上の検討から、項目 1 で開発を目指す設計段階 RA 支援システムでは“危険源の同定”の支援に焦点を当てることと定め、その核となる具体的なアプローチとして、①A/B 規格の安全要求事項から規格が扱っている危険源・危険区域を抽出し、確実に同定すべき範囲と定めて提示すること、②特定の機械に対し、国内で報告された災害事例の情報から当該機械の C 規格にある危険源リストの項目をより明確化又は項目を拡充することで、危険源同定のガイドとして提示すること、③公表されている労働災害データベースの災害事例とその防止に関連する ISO 12100 及び C 規格類の安全要求事項とをリンクさせ、設計対象機械の安全要求事項又は災害事例から多角的に関連情報を収集できるようにすること、の 3 つを考案した。さらに、これらとは異なる側面からの支援として、危険源にアクセスする可能性を設計技術者が主観によらずに客観的に評価できるよう基準となる機械の形状や空間寸法を明示することを提案した。

- 5) これらを統合する形で、項目 1 で開発する支援ツールの最終的なコンセプトを、対応 JIS として制定されている A/B 規格の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域をリスト化し、具体的な判断基準を分かり易く提示するとともに、さらに、アクセス可能性の評価に対する支援を加味することで、設計技術者が危険源をその原因（Origin）の物理的性質という側面と人のアクセスの可能性を整理して、自身のもつ知識や経験から主観的に判断する必要なく検討できるものとするを定めた。そして、これに従い、開発する設計段階危険源同定支援ツールの機能を明確化し、プロトタイプモデルの要求仕様を策定した。現在、制作を進めている。

次年度は、試作したプロトタイプを用いて、機械安全専門家や設計技術者などに試行してもらい、提案する支援アプローチの有効性を検証するとともに、RA の基礎や本システムの使用方法を習得するための基礎学習用教材等とその提供方法を含めて検討する予定である。

## 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労科研費「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」（以下、既実施研究という。）で提案したイラスト等を用いた選択式簡易リスクアセスメント手法について、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、できるだけ簡易で、紙や文字を可能な限り排する方向で再検討した。その結果、対象として選択した機械の危険シナリオをイラストで提示するとともに、実際の機械を撮影した画像上で該当する危険箇所を指定していく方式とした。
- 2) 厚生労働省が公開している機械災害データベース等から、丸ノコ盤、旋盤、ボール盤、フライス盤、プレス機械について災害事例を抽出し、これより危険イラストを作成していく方法を考案した。危険イラストは、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ないよう配慮する必要がある。
- 3) 作成した危険シナリオに基づいた選択式 RA 支援システムの要求仕様を策定し、プロトタイプモデルとしてタブレット PC で動作するアプリケーションソフトウェアを試作した。そして、これを用いて、理工系大学の学生、職員及び労働安全コンサルタントを対象に、実装した支援機能を検証した。その結果、機

械災害の発生過程（災害シナリオ）をイラストで提示するという本簡易 RA 手法自体は評価されたが、RA に不慣れな者を対象とする上では更に改善すべき点もあることが分かった。

次年度は、以上の試行結果を踏まえ、危険イラストの提示方法の改良など必要な見直しを図るとともに、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、粉砕機などの災害シナリオをさらに抽出して扱える機械の種類を拡充することで、“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完成させる。

### 項目 3：典型災害事例を応用した使用段階 RA 支援システムの検証

- 1) 既実施研究において提案した典型災害事例を応用した簡易リスクアセスメント手法は、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から、リスクアセスメントの実施に伴う不確定性を合理的に可能な限り少なくできる。本項目では、対象となる機械の機種数を拡充するため、典型災害事例及びチェックリストなど必要な情報を作成した。
- 2) 上記の手法をタブレット端末に実装し、12種類の機械設備を扱えるリスクアセスメント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、リスクアセスメント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、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、専門家から遠隔でリスクアセスメント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実装した。
- 4) 本システムを機械安全及び労働安全に長年の経験を有する専門家に試行してもらい、実装した機能等の評価を行った。その結果、中小企業にとって、理解し易く、納得して効果の高いリスク低減対策を実施できるようにするツールとして有効性が期待できる画期的なシステムとの評価を得た。さらに、遠隔安全診断についても、リスクアセスメントに対する知識や関心を向上させる上で適切なシステムであるとされた。ただし、提案した簡易リスクアセスメント手法が包括指針や ISO 45001 が求める一般的な手法と異なる点については、利用者に十分に周知を図る必

要があるとの指摘を受けた。その他、タブレット端末上での操作性の改善や操作説明書の記載内容の拡充なども挙げられ、検討すべき課題が残されていることが分かった。

今後は、これらの点を踏まえた上で、現場で試験的に運用し、有用な支援システムとなるよう改良を目指していく。

### 謝辞

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

また、項目 2 “選択式使用段階 RA 支援システムの開発”において、災害事例からの危険シナリオの抽出、危険イラストの作成、ならびに、プロトタイプモデルの試作にあたっては、国立大学法人長岡技術科学大学大学院の入沢和氏より多大なる協力を得た。ここに記して心より感謝の意を表す。

### 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](https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/h29-46-50_kekka-gaiyo01.pdf)（2022年5月25日確認）
- 2) ISO 12100：2010 “Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction”
- 3) 梅崎重夫，清水尚憲，齋藤剛，濱島京子，島田行恭，吉川直孝，福田隆文，木村哲也，芳司俊郎，酒井一博，余村朋樹：“厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業「機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発に関する調査研究」平成28～30年度総合研究終了報告書”（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-Roudoukijunkyo/kikai\\_kikaku\\_2.pdf](https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyo/kikai_kikaku_2.pdf) (2022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-Roudoukijunkyokuanzeniseibu/0000077404.pdf> (2022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> (2022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/anzeneisei14/dl/100524-1.pdf> (2022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/> (2022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](http://robotcare.jp/data/etc/SG-3-2_risk_help.pdf) (2022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](https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf) (2022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](https://www.meti.go.jp/product_safety/recall/risk_assessment_practice.pdf) (2022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/anzeneisei14/dl/110506.pdf> (2022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実践ガイド”，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/anzenisei14/> (2022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/anzenisei14/dl/100524-2.pdf> (2022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> (2022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](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1) (2022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](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm#h2_1) (2022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> (2022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](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SIB_FND.aspx) (2022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/SHISYO\\_FND.aspx](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pgm/SHISYO_FND.aspx) (2022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 - ロボットシステム編 -”，<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyoanzeniseibu/0000197860.pdf> (2022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> (2022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](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html) (2022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> (2022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> (2022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> (2022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/kikaisagai.html> (2022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-leal-fet.pdf> (2022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ーロール機を対象とした5ステップ方式の簡易リスクアセスメントの提案ー”, 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, 20-M-7-3207\_1020, pp.13-14 (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> (2022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/r1kisoshiryu.html> (2022年5月25日確認)
- 68) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) “ICNIRP Guide lines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields”, Health Physics, Vol.96, No.4, pp. 504-514 (2009)
- 69) 中央労働災害防止協会: “安全の指標 令和3年度”, 中央労働災害防止協会, ISBN 978-4805919842 (2021)
- 70) 齋藤剛, 濱島京子, 芳司俊郎, 木村哲也, 清水尚憲: “機械のリスクアセスメント結果の妥当性確認に関する欧州実態調査の結果と日本国内での労働安全衛生活動に対する提言”, 労働安全衛生研究, Vol.9, No.2, pp.79-89 (2016)
- 71) 齋藤剛, 池田博康, 濱島京子: “機械設備の設計段階でのリスクアセスメント実施支援の提案”, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集, pp.1311-1314 (2021)
- 72) ISO 13857:2019 “Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs”
- 73) ISO 20430:2020 “Plastics and rubber machines - Injection moulding machines - Safety requirements”
- 74) IEC 60529:1989/amd.2:2013 “Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)”
- 75) 入沢和, 芳司俊郎: “中小企業の機械設備に係る簡易リスクアセスメント手法の開発”, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集, pp.1293-1297 (2021)
- 76) 齋藤剛, 濱島京子, 池田博康, 梅崎重夫, 芳司俊郎: “厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業「機械設備に係るリスクアセスメント支援システムの開発」令和2年度総括研究終了報告書” (2021)
- 77) ISO 45001:2018 “Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use” (対応JIS規格: JIS Q 45001:2018 “労働安全衛生マネジメントシステム - 要求事項及び利用の手引”)
- 78) JIS B 9702:2000 “機械類の安全性 - リスクアセスメントの原則”
- 79) 向殿政男 (監修): “安全の国際規格 安全設計の基本概念 - ISO/IEC Guide51 (JIS Z 8051), ISO 12100 (JIS B 9700)”, 日本規格協会, ISBN 978-4542404052 (2007)

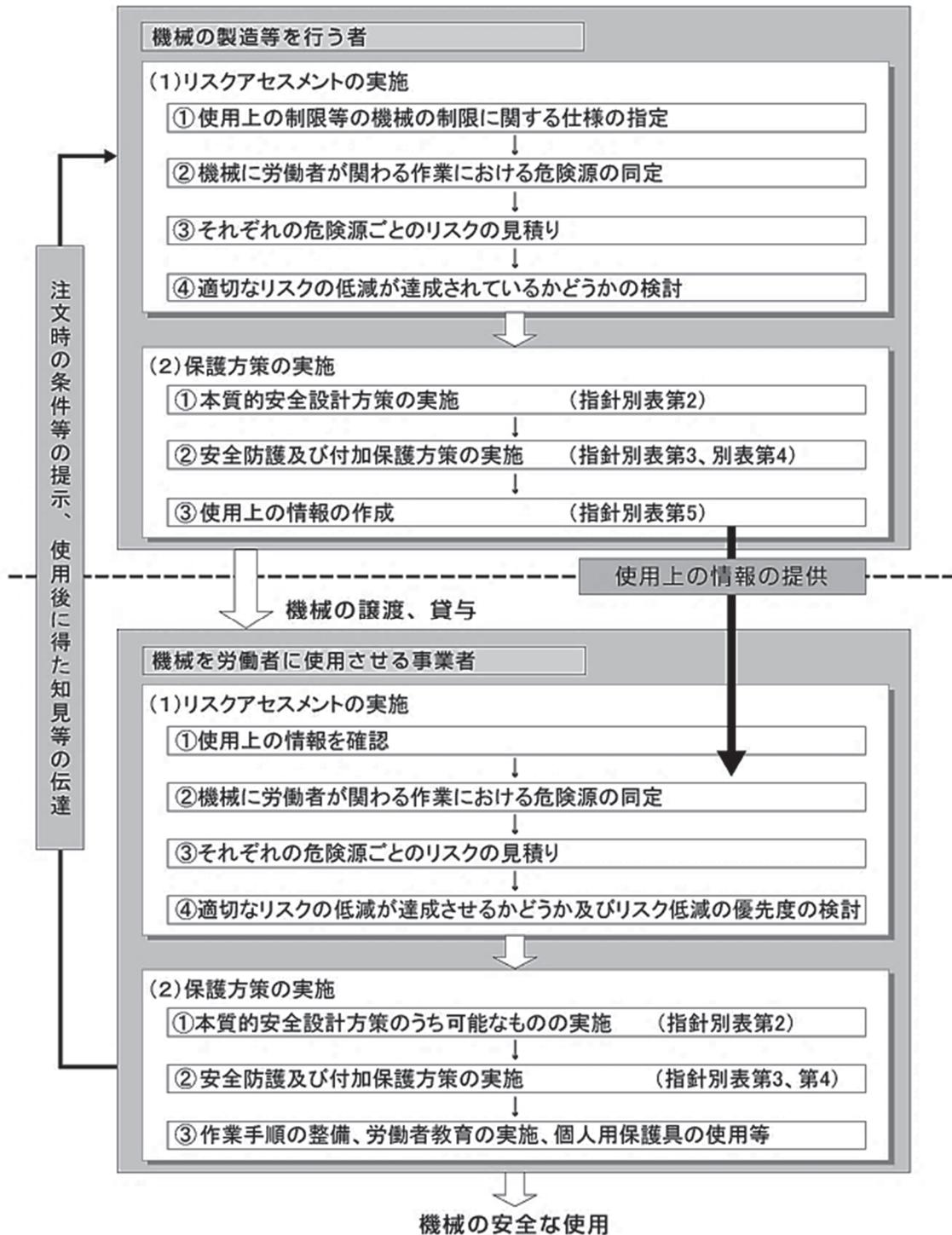


図1 機械の安全化の手順  
(出典:厚生労働省「平成19年基発第0731001号」)

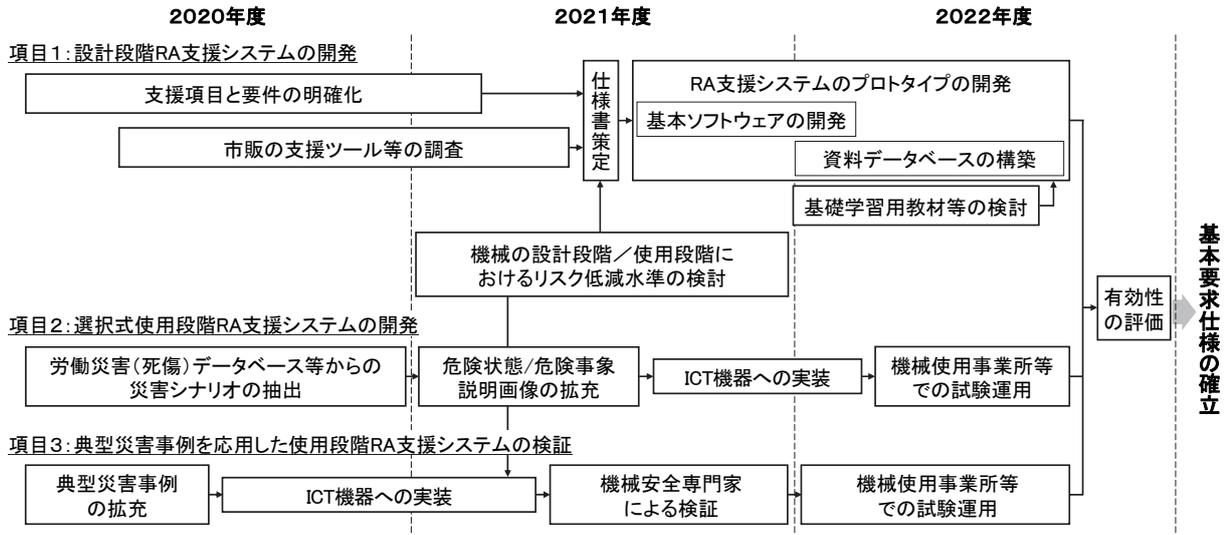


図2 本研究の全体計画と実施項目

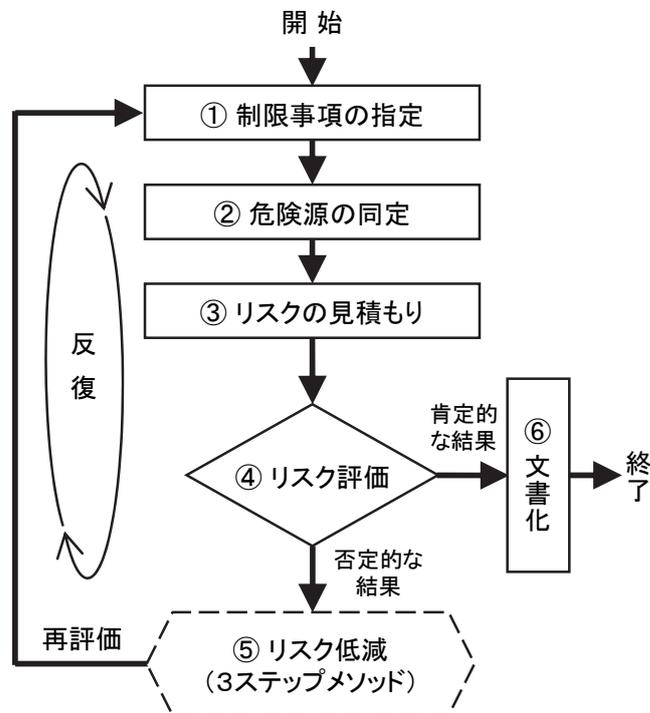


図3 標準化された設計段階のリスク低減プロセス

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

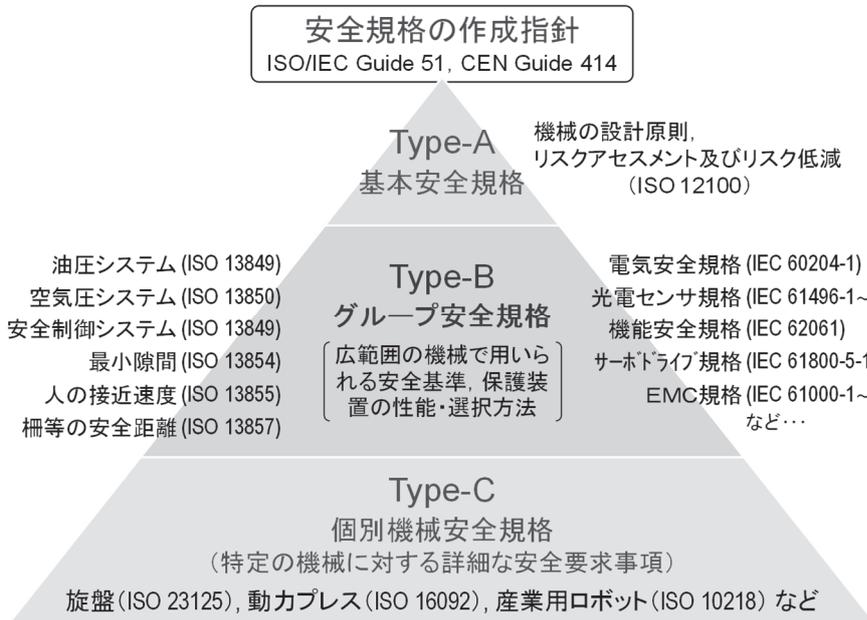


図4 機械安全に関わる国際規格の体系

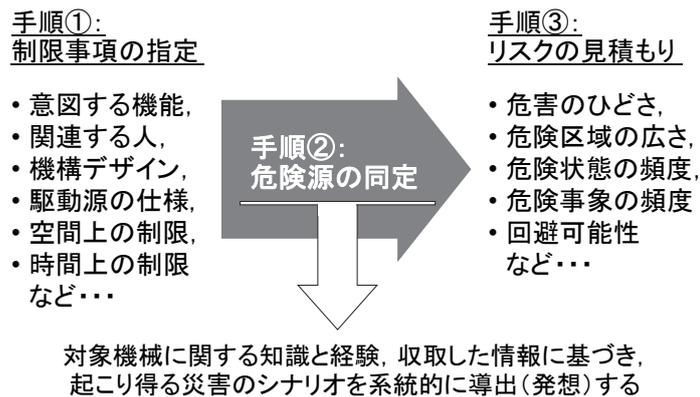


図5 手順②“危険源の同定”の位置付け

No.	タイプ又はグループ	危険源の例		No.	危険源	具体例	
		原因	結果				
1	機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>—加速度、減速度</li> <li>—角張った部分</li> <li>—固定部分への可動部要素の接近</li> <li>—切断部分</li> <li>—弾性要素</li> <li>—落下物</li> <li>—重力（蓄積エネルギー）</li> <li>—床面からの高さ</li> <li>—高圧</li> <li>—不安定</li> <li>—運動エネルギー</li> <li>—機械の可動性</li> <li>—可動要素</li> <li>—回転要素</li> <li>—粗い表面、すべり易い表面</li> <li>—鋭利な端部</li> <li>—蓄積エネルギー</li> <li>—真空</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—轢かれる</li> <li>—投げ出される</li> <li>—押しつぶし</li> <li>—切傷又は切断</li> <li>—引き込み又は捕捉</li> <li>—巻き込み</li> <li>—こすれ又はすりむき</li> <li>—衝撃</li> <li>—噴出による人体への注入</li> <li>—すべり、つまづきおよび転落</li> <li>—突き刺し又は突き通し</li> <li>—窒息</li> </ul>	1. 1	押しつぶしの危険源		
2	電氣的危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>—アーク</li> <li>—電磁気現象</li> <li>—静電現象</li> <li>—充電部</li> <li>—高圧充電部に対する隔離距離の不足</li> <li>—過負荷</li> <li>—不具合条件下で充電状態となる部分</li> <li>—短絡</li> <li>—熱放射</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—やけど</li> <li>—化学的影響</li> <li>—体内の医療機器への影響</li> <li>—感電死</li> <li>—墜落、投げ出され</li> <li>—火災</li> <li>—融溶物の放出</li> <li>—感電</li> </ul>	1. 2	せん断の危険源		
3	熱的危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>—爆発</li> <li>—火炎</li> <li>—極端な温度の物体又は材料</li> <li>—熱源からの放射</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—やけど</li> <li>—脱水</li> <li>—不快感</li> <li>—凍傷</li> <li>—熱源からの放射による傷害</li> </ul>	1. 3	切傷または切断の危険源		
4	騒音による危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>—キャビテーション</li> <li>—排気システム</li> <li>—高速でのガス漏れ</li> <li>—製造工程（打ち抜かれる、切断など）</li> <li>—可動部分</li> <li>—表面のこすれ、ひっかき</li> <li>—バランスの悪い回転部品</li> <li>—音の出る空圧装置</li> <li>—部品の劣化・磨耗</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—不快感</li> <li>—認識力の喪失</li> <li>—バランスの喪失</li> <li>—永久的な聴覚喪失</li> <li>—ストレス</li> <li>—耳鳴り</li> <li>—疲労</li> <li>—口頭伝達又は聴覚信号の妨害の結果として起きるもの</li> </ul>	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」<sup>23)</sup>)

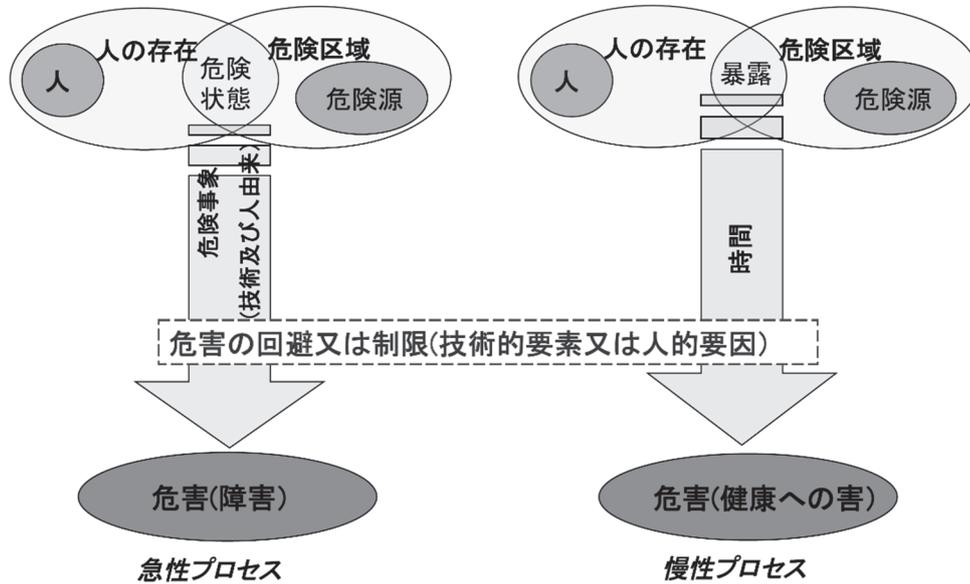


図7 危険源から危害に至る過程  
 (出典:池田博康「リスクアセスメントシート解説」<sup>21)</sup>)

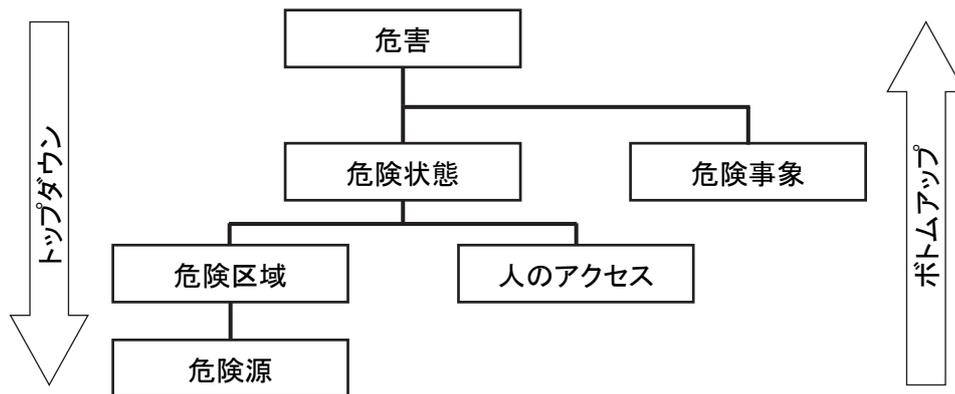
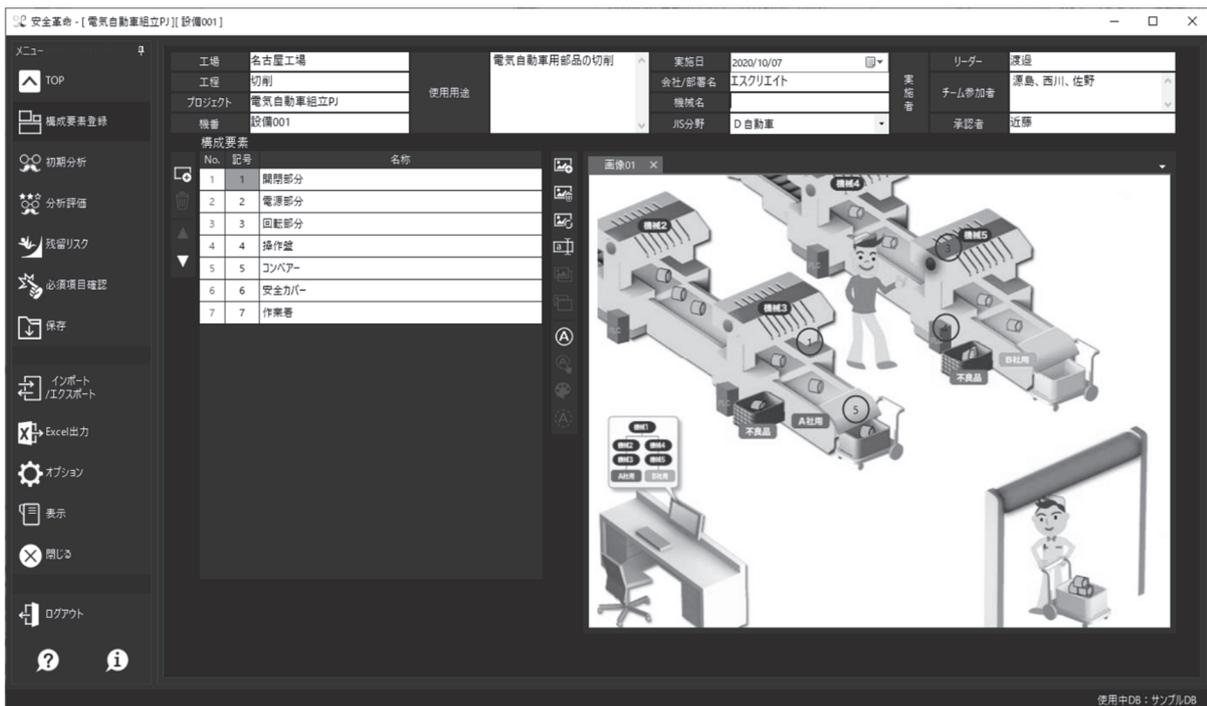
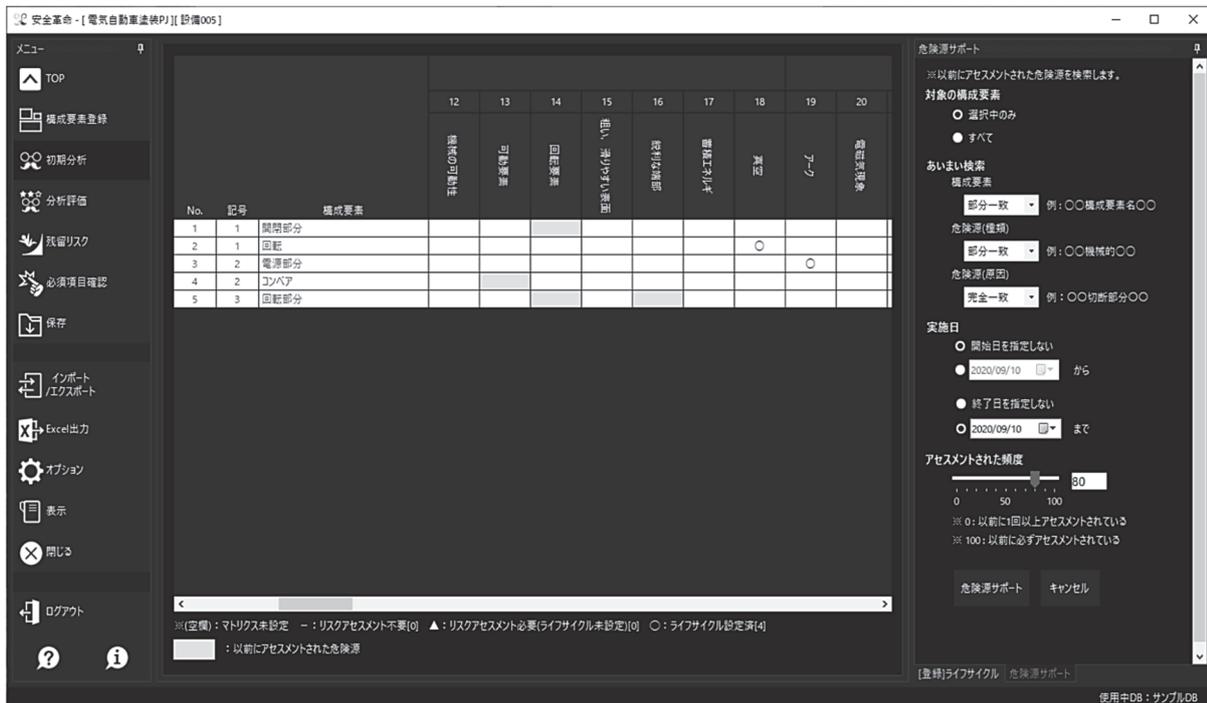


図8 危険源同定の2つのアプローチ  
 (ISO/TR 14121-2:2012 図1<sup>16)</sup>に基づき著者作成)



(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>)

リスクアセスメント実施一覧表(成形作業:マトリクスを用いた方法):職場のあんぜんサイト - Internet Explorer

http://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk\_pe/riskas\_seikei.aspx

リスクアセスメント実施一覧表 成形作業 (マトリクスを用いた方法)

初期化 行追加

[1]作業名 (検索・登録)	[2]危険性又は有害性と発生のおそれのある災害	[3]すでに実施している災害防止対策とリスクの見積り	
		実施している災害防止対策	重篤度
金型取付 金型の固定 変更 削除	アイボルトの不適切なセットにより、金型が落下し、手や足が挟まれる。 規定の取付具及び正しい取付方法がなされず、金型が落下し負傷する。 ■作業場で独自に存在する「発生のおそれのある災害」を記入 登録		

(a) “危険性又は有害性と発生のおそれのある災害”の入力

実施一覧表 成形作業 (マトリクスを用いた方法) 職場のあんぜんサイト

加

[2]危険性又は有害性と発生のおそれのある災害	[3]すでに実施している災害防止対策とリスクの見積り			
	実施している災害防止対策	重篤度	可能性	優先度(リスク)
アイボルトの不適切なセットにより、金型が落下し、手や足が挟まれる。	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。	×	△	Ⅲ

重篤度 (災害の程度)	災害の程度・内容の目安
致命的・重大 ×	●死亡災害や身体の一部に永久的損傷を伴うもの ●休業災害(1ヶ月以上のもの)、一度に多数の被災者を伴うもの
中程度 △	●休業災害(1ヶ月未満のもの)、一度に複数の被災者を伴うもの
軽度 ○	●不体災害ややすり傷程度のもの

(b) “すで実施している災害防止対策とリスクの見積り”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」<sup>49)</sup>)

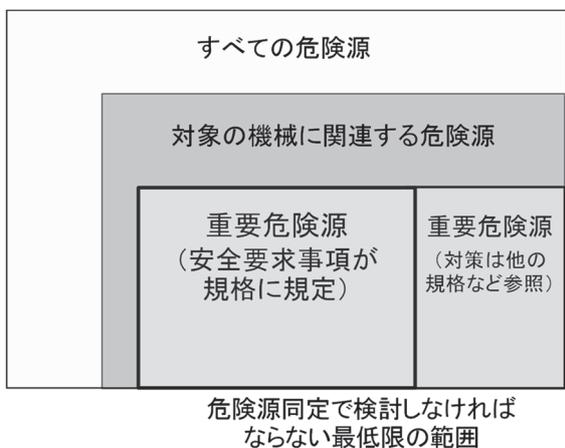


図11 C規格が扱う重要危険源の範囲

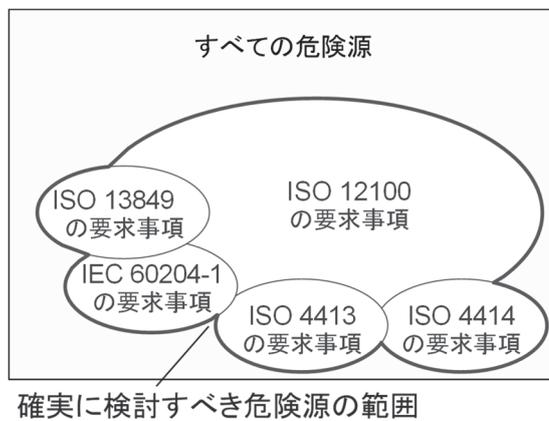


図12 提案する危険源同定支援のコンセプト

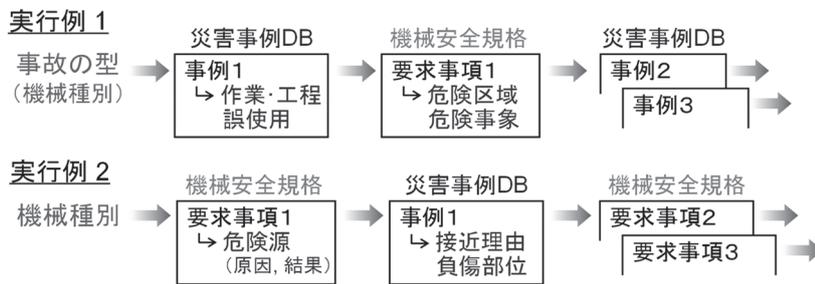
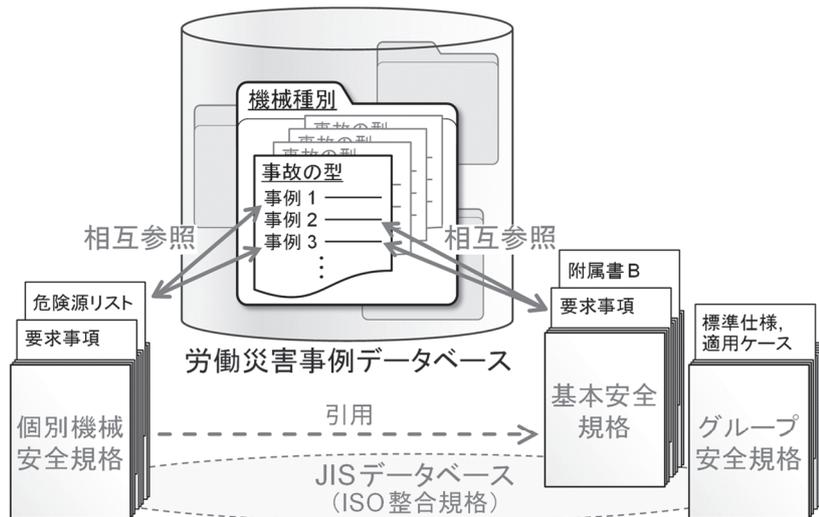


図13 提案する相互参照リンクのコンセプト

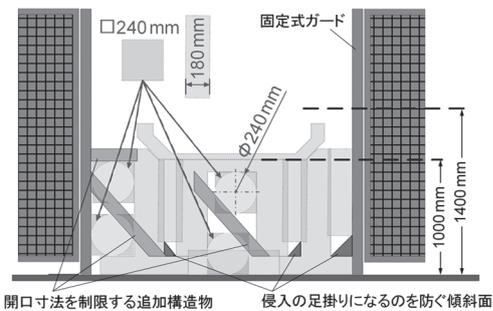


図16 ISO/TR 20128-2:2017 図A.1<sup>57)</sup>

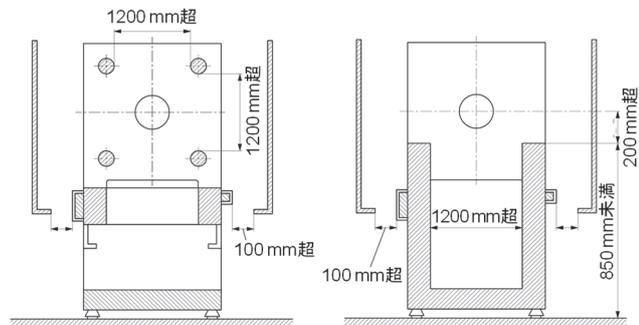


図17 ISO 20430:2020 図9,10<sup>73)</sup>

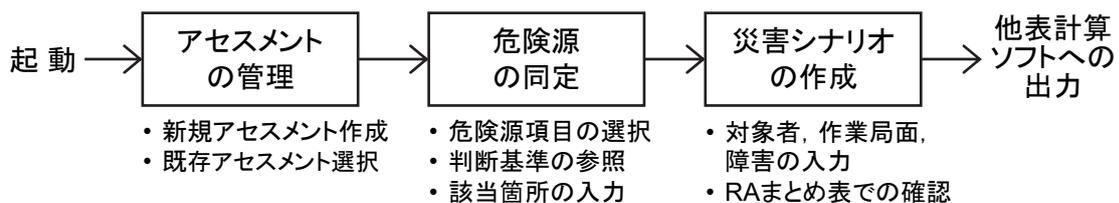


図19 本支援ツールの処理の流れ

運転空間内に人が侵入/滞在している状態においてロボットが動作中又は動作を開始した理由	件数(割合)	関連する機械安全規格の要求事項			
		ISO 10218-1	ISO 10218-2	ISO 12100	その他のISO/IEC規格
自動運転中であった(ロボットを停止していない状態で、ガードの隙間又は保護装置が検知しない所から侵入した又は手足を到達させた)。	42 (43.8%)	4 c), 5.8.5	5.4.2, 5.5.1, 5.6.3.1, 5.6.3.3, 5.10.3, 5.10.5.2, 5.10.7	5.5.3.6, 6.3.2.5, 6.3.3.1, 6.3.3.2, 6.3.3.3	ISO 11161, 13849-1, 13854, 13855, 13856, 13857, 14119, 14120, 20607, TR 20218-1
ロボットが計画外停止する原因となったトラブル(例えば、ワークの引っ掛かり、工具の摩耗、搬送装置/周辺装置の不具合)を解消した。	15 (15.6%)	5.7.2	4.4.2, 5.6.3.1, 5.6.3.3, 5.6.3.4.2, 5.9.1, 5.9.7, 5.10.5, 5.10.11, 7.2.6	6.3.2.5, 6.4.5.1	IEC 61496, 62061, 62046
設定/調整/清掃/保全作業中、ロボットが動作を開始するセンサを誤って作動させた。	10 (10.4%)		5.6.4.1, 5.10.6.2, 5.8.2, 7.2.6, 7.2.7	6.2.11.9 d), 6.2.15, 6.3.2.4	ISO 14118, 20607
設定/調整/清掃/保全作業中、手動制御装置(ボタン、スイッチ等)を誤操作した。	6 (6.3%)	5.3.2, Table A.1(8)		6.2.8 f), 6.2.11.8	ISO 9355-3, 14118, IEC 60204-1, 60947-5-8
その他	4 (4.2%)				
1: 修理を行い再起動のために安全扉を開めたところ、安全防護空間内に他の作業者がまだ残っており、ロボットにはさまれた。			5.6.3.4.2, 5.10.5.2	3.27.4	ISO 14119
2: メンテナンス中、上部にいる作業者に気付かず操作者が手動でロボットを作動させ、駆動部が接触した。			5.6.3.4, 5.10.5.2	6.2.2.1, 6.2.11.8	ISO 14120
3: パレタイザのハンド部分がローラーコンベアに引っ掛かり停止したのを復旧中、ハンドが外れた際に残圧で動き、腕がはさまれた。		5.2.3, 5.2.5	5.3.7	6.2.10, 6.3.5.4	ISO 4414, TR 20218-2
4: 予定外停止中、ハンドにあったワークが急に落下し、停止していたロボットが治具位置までワークを取りに動作した。			5.3.10		ISO/TR 20218-2
詳細の記載なし。	19 (19.8%)				
<b>関連するISO 10218-2:2011の要求事項の抜粋</b>					
<p><b>5.6.3.3</b> 自動運転は安全防護空間外から始動しなければならない。自動運転の始動は全ての関連する安全防護が有効であるときだけ可能でなければならない。</p> <p><b>5.9.1</b> ロボットシステムに関連しているがロボット制御装置では直接制御していない機械、設備、装置はリスクアセスメントに含めなければならない。</p> <p><b>5.10.5.2</b> 操作者が安全防護空間に残る可能性がある場合、予期しない起動のような危険な状況の発生を防ぐために追加の方策を講じなければならない。</p> <p><b>労働災害事例の具体例:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットの可動領域内で、異常を示したマシニングセンタの調整をロボットに背を向けて行っていたところ、マシニングセンタ側のエラーが解除されたことでロボットが再起動し、マニピュレータが被災者の背中に激突した。</li> <li>NC機の加工チップが寿命に達しラインが自動停止した。ロボットの運転モードを手動に切り替えず、チップ確認後NC機の設定を完了したところ、ロボットが動きだし頭部を押されて被災した。</li> <li>溶接ロボットのマニピュレーター先端の溶接チップが磨耗したため、チップを収納しているマガジンに向け移動していたロボットがマガジン内のチップ数が不足していたことにより停止した。チップを補充するため被災者がマガジンを開けたところ、開けたことにより停止信号が解除され、マニピュレータが動き出してはさまれた。</li> </ul>					

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

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

→ 関連する ISO 16092-1:2017 の要求事項の抜粋

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

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

**労働災害事例の具体例:**

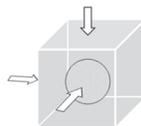
- 25t 動力プレスにて単発工程作業を, ボルスタ上に肘を付けたまま行っていたところ, 肘が光線式安全器の下を通る形となって左手指を損傷した。最下点の光軸の高さは, ボルスタから90mmであった。
- 動力プレスにて材料抜き作業中に, 椅子を低くして作業していたため, 光線式安全器の範囲を越えて右手を差し込み, 誤って足踏み式ペダルスイッチを踏んでしまい, 右手指を挟んだ。
- 400tのタンデムプレスにて鉄板加工中, 被災者が安全センサー内部に入り込んでいるのに気付かず, 操作者がスライドを起動したため, 頭部を挟まれた。

図15 動力プレスを対象とした災害事例と安全要求事項の相互参照リンク

### 危険源へのアクセス可能性(危険源との接触, 危険区域への侵入)

右図のように, すべての方向からの全身での接近又は手や足など人体部分の接近に対して, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない場合(一時的に取り除かれる状況を含む), 人が危険源に接触したり, 人体の一部が危険区域に侵入したりすることは避けられない。

危険源との接触や危険区域への侵入について, その可能性を考える上で, 人が危険源に接触しない又は人体の一部が危険区域に侵入しないと見做せる条件について, 参考となる基準を以下に示す。

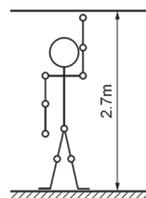


- 1) 機械の運転中に人が立つ基準面(例: 床, 踏み台, 作業用プラットフォーム)から危険源までの高さが 2.7m 以上あれば, 素手では接触できないと考えてよい(手に持った工具などは接触する可能性がある)。

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

危険源との接触で起こる危害が「こすれ」又は「すりむき」といった軽傷だけである場合に限り, 2.7m を 2.5m としても良い。

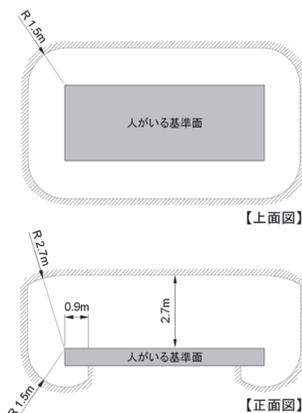
【出典】 JIS B 9718:2013 「機械類の安全性—危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」, 4.2.1.2 及び 4.2.1.3



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

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

【参考】 JIS C 60364-4-41:2022 「低圧電気設備—第 4-41 部:安全保護—感電保護」, 付属書 B



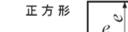
- 4) 危険源と人との間にある物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)に, 間隙又は長方形, 正方形, 円形の開口部分がある場合, 開口部分の開口寸法  $e$  に応じて, 構造物等の人に面する表面から危険源までの距離が表に示す値以上である場合, 14 歳以上の人が素手又は足先で危険源に接触することはできないと考えてよい。

【参考】 機械の使用者などリスクアセスメントで考慮する機械に接近する人が, 14 歳未満の場合には, 参考 JIS 規格を参照。

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

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

#### 【開口寸法】

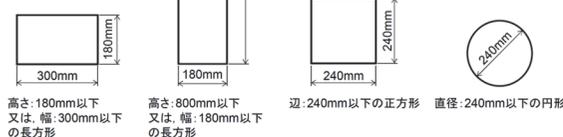


開口寸法	基準となる距離		
	間隙, 長方形	正方形	円形
$e \leq 4$	$\geq 2$	$\geq 2$	$\geq 2$
$4 < e \leq 6$	$\geq 10$	$\geq 5$	$\geq 5$
$6 < e \leq 8$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 5$
$8 < e \leq 10$	$\geq 80$	$\geq 25$	$\geq 20$
$10 < e \leq 12$	$\geq 100$	$\geq 80$	$\geq 80$
$12 < e \leq 20$	$\geq 120$	$\geq 120$	$\geq 120$
$20 < e \leq 30$	$\geq 850^{a)}$	$\geq 120$	$\geq 120$
$30 < e \leq 40$	$\geq 850$	$\geq 200$	$\geq 120$
$40 < e \leq 80$	$\geq 850$	$\geq 850$	$\geq 850$
$80 < e \leq 95$	$\geq 1100$	$\geq 850$	$\geq 850$
$95 < e \leq 180$	$\geq 1100$	$\geq 1100$	$\geq 1100$
$180 < e \leq 240$	$\geq 1100$	$\geq 1100$	$\geq 1100$
$240 < e$	人が侵入できてしまう。b)参照。		

【参考】 JIS B 9718:2013 「機械類の安全性—危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離」, 4.2.4.1 及び 4.3

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

開口部分の大きさが, 右図に示す寸法以下であれば, 人は侵入できないと考えてよい。



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

図18 危険源へのアクセス可能性を評価する参考基準(抜粋)

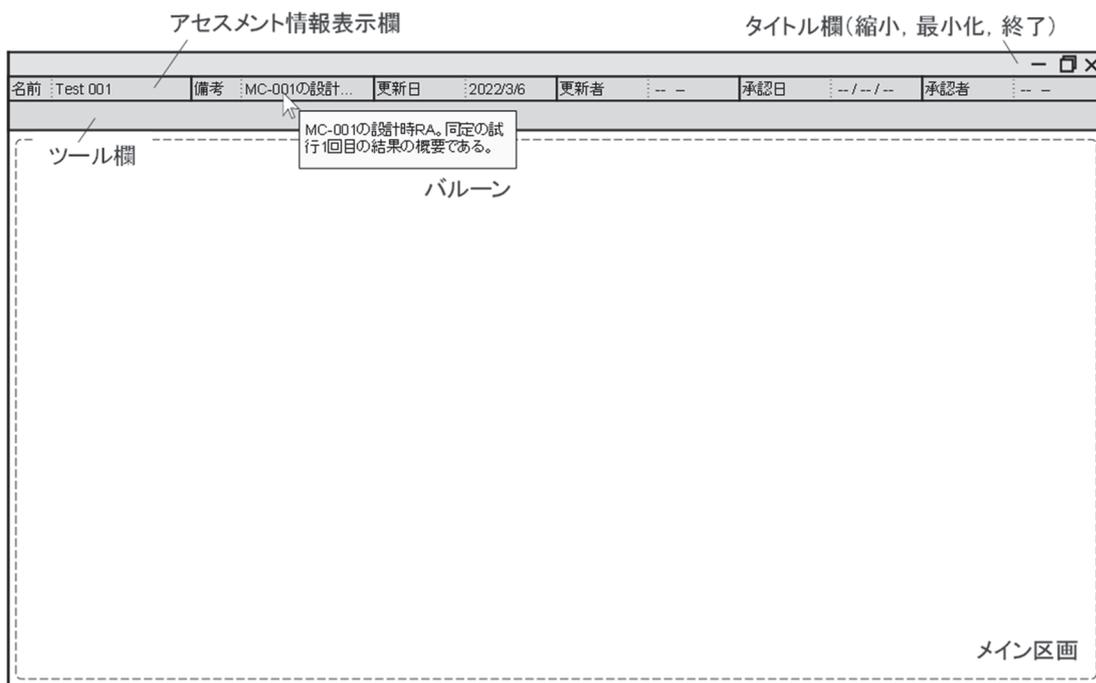


図20 本支援ツールのウィンドウ画面構成イメージ

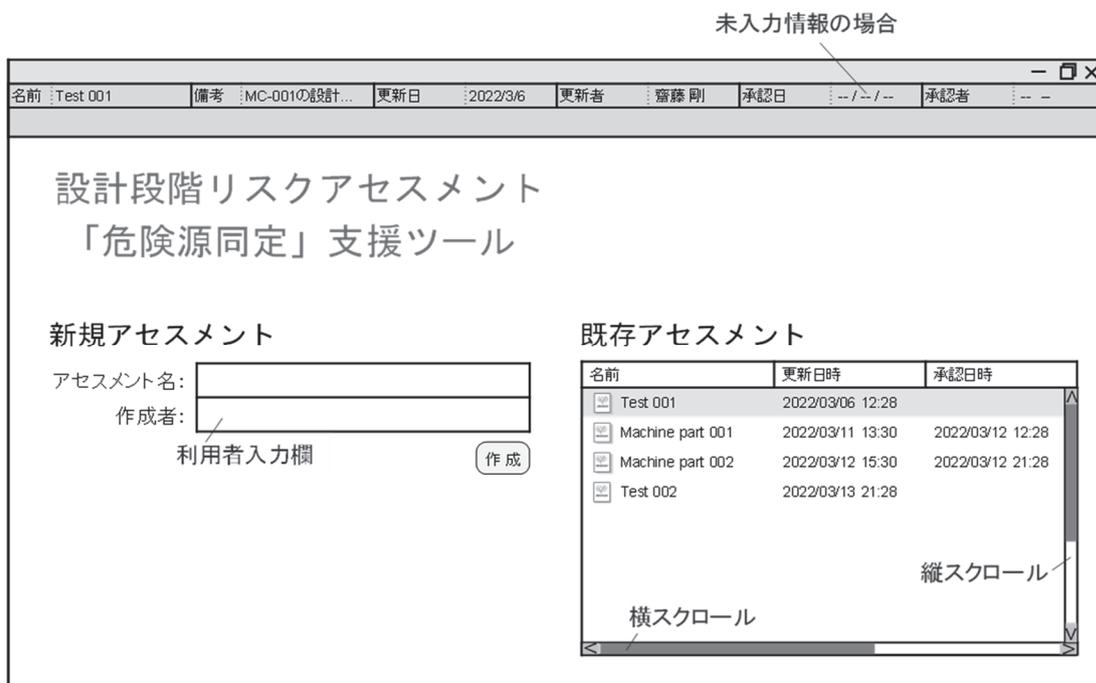


図21 「アセスメントの管理」画面構成イメージ

危険源(大分類) 危険源(細目) 判断基準等

危険源	機械的危険源	同定数	判断基準	出典
① 機械的危険源	① 死角, 視認性の不足	3	<b>端部, 角部, 突出部</b> 該当なし 判断基準 ・丸みがR 0.3 mm未満の端部で人と接触するもの ・面取りが0.3 mm未満の端部で人と接触するもの ・半径4 mm未満の突起部で人と接触するもの ・人に接触する部分で面積が 0.80 cm <sup>2</sup> 未満のもの ・JIS B 0721:2004での呼び記号「並み」より鋭利な部分 テキスト, 図, 表 接触する可能性を示す基準 ・物理的障害物(観, 丸, 凹)に 4 mm を超える隙間がある。 ・危険源から 1.2 m以内人が滞在できる空間(w:1.0 m超, d:1.0 m超, h:0.6 m超)がある。 ・基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である。 ・基準面から危険源までの高さを容易に変更できる テキスト, 図, 表 接触する可能性を示す基準の詳細	・JIS B 9700:2013 機械類の安全性 - 設計のための一般原則 - テキスト
② 電気的危険源	② はさまれ, せん断	15		
③ 熱的	③ 端部, 角部, 突出部	3		
④ 騒音	④ 衝撃	3		
⑤ 振動	⑤ 応力の考慮	該当なし		
⑥ 放射	⑥ 動力の起動	1		
⑦ 材料及び物質	⑦ 重量物	該当なし		
⑧ 人間工学原則の無視	⑧ 手動制御器類	2		
⑨ 環境関連	⑨ 指示器類	該当なし		
⑩ 制御システム関連	⑩ 動力供給の接続	該当なし		
	⑩ 機構の起動又は停止	該当なし		
	⑩ 動力中断後の再起動	該当なし		
	⑩ 動力供給の中断	該当なし		
	⑩ 制御モード切替装置	該当なし		
	⑩ 非常停止	該当なし		
	⑩ 高所からの墜落	該当なし		
	⑩ 滑り・段差による転倒	該当なし		
	⑩ ボンティアな機械的作用の適用	該当なし		
	⑩ 蓄積エネルギー	該当なし		

番号	該当する機械の部分・箇所・部品・範囲	備考	関連ファイル
1	切削工具	工具セットA	001.jpg Data.xls
2	加工テーブル下端	長文の場合, 行高を増やして, 折り返し	001.jpg Data.xls
3	制御ボックス角部		
4			

図22 「危険源の同定」画面構成イメージ

入力項目

危険源	部分・箇所・範囲	関連ファイル	危害の対象者	工程, 作業場面	想定危害	災害シナリオ
①-③-1 機械的	端部, 角部, 突出部 切削工具 工具セットA	001.jpg Data.xls	オペレータ	加工	部位 上肢 手 危害 切削 重症	オペレータが, 加工中に, 切削工具により, 上肢(手)を切削(重症)する。
①-③-1 機械的	端部, 角部, 突出部 切削工具 工具セットA	001.jpg Data.xls	オペレータ	ドライラン	部位 上肢 手 危害 切削 重症	オペレータが, ドライラン中に, 切削工具により, 上肢(手)を切削(重症)する。
①-③-1 機械的	端部, 角部, 突出部 切削工具 工具セットA	001.jpg Data.xls	オペレータ	金型交換	部位 上肢 手 危害 切削 重症	清掃員が, 清掃中に, 切削工具により, 上肢(手)を切削(重症)する。
①-③-1 機械的	端部, 角部, 突出部 切削工具 工具セットA	001.jpg Data.xls	清掃員	清掃	部位 上肢 手 危害 切削 重症	清掃員が, 清掃中に, 切削工具により, 上肢(手)を切削(重症)する。
①-③-2 機械的	端部, 角部, 突出部 加工テーブル下端				部位 上肢 手 危害 切削 重症	
①-③-3 機械的	端部, 角部, 突出部 制御ボックス角部				部位 上肢 手 危害 切削 重症	

図23 「災害シナリオの作成」画面構成イメージ





図26 試作したアプリケーションによる危険源同定

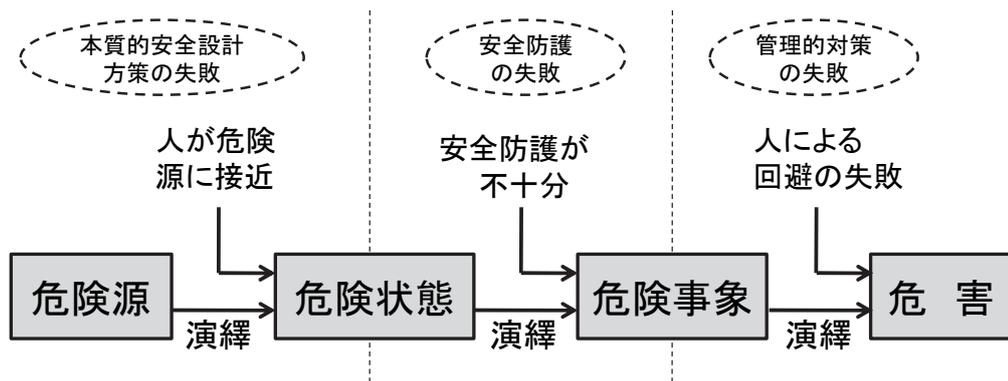


図27 危険源を出発点とする決定論的な前向き推論(演繹的推論)

(出典: JIS B 9702:2000<sup>78)</sup>の解説図2, 向殿政男(監修)「安全設計の基本概念」<sup>79)</sup>などに記載された図に一部追記)

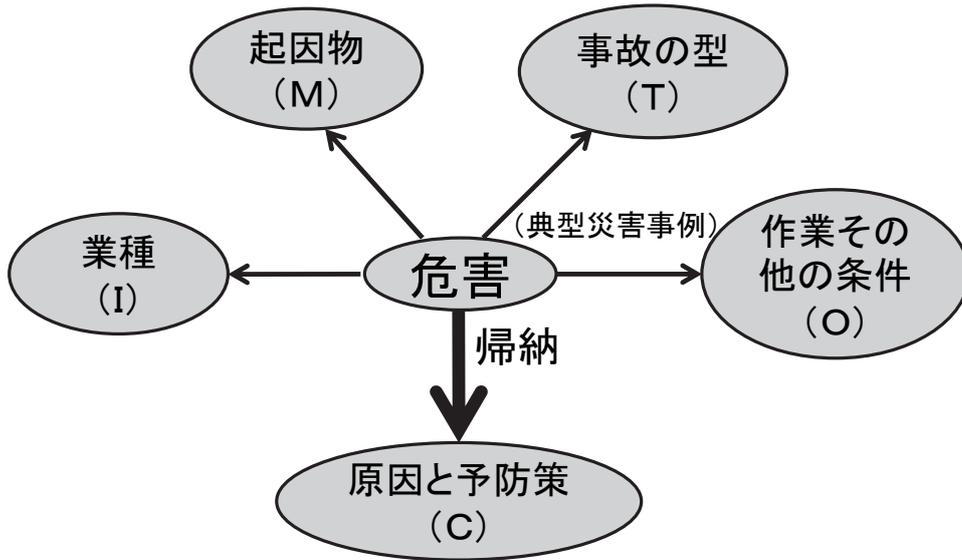


図28 災害情報(危害)を出発点とする確率統計的な後ろ向き推論(帰納的推論, 原因と予防策の直接推論)

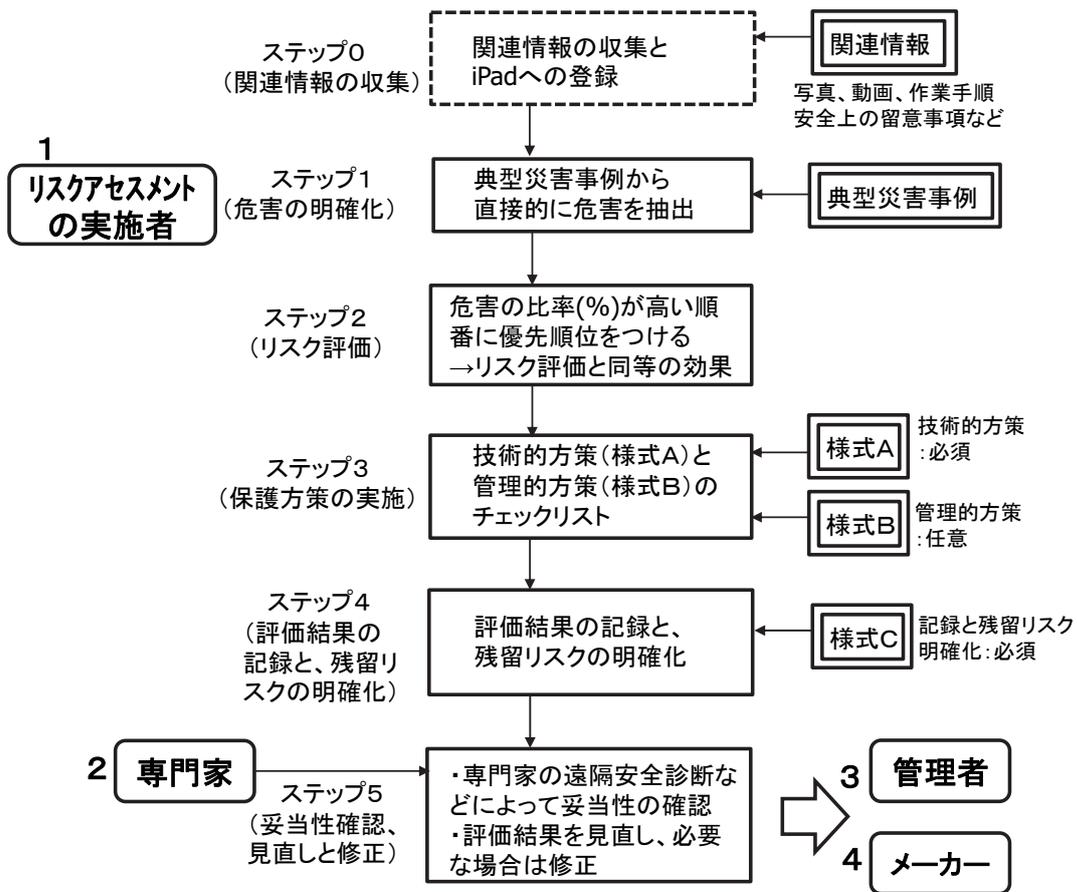


図29 典型災害事例を利用した簡易リスクアセスメント手法



図30 フォークリフトの典型災害事例

※ 簡易リスクアセスメントの実施時は、典型災害事例を上から順番にチェックする。



図31 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
	通常の機械作業者、その機械設備の取り扱いに関する訓練受講者等、機械設備を使用することが予想される人の熟練度、経験年数、作業能力等のレベル	基本的には仕事に携わる可能性のあるすべての人の能力を考慮する。	リスクの見積り
	機械設備を使用する人間のさまざまな能力・特性(視覚又は聴覚などの五感の状態、体形、体力、年齢、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"> <li>・ 傷害／健康障害の程度</li> <li>・ 被災する人数</li> </ul>
危害の発生確率	暴露の頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アクセスの頻度</li> <li>・ 危険区域内に滞在する時間</li> </ul>
	危険事象の発生確率	<p>技術的側面</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構成要素の故障, 破損</li> <li>・ 予期せぬ起動</li> <li>・ リスク低減方策の不備・不足</li> </ul> <p>人的側面</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ヒューマンエラー, 注意力の欠如</li> <li>・ 使用経験の不足</li> <li>・ 作業遂行のプレッシャー</li> <li>・ 省略行動</li> <li>・ リスク低減方策の無効化</li> </ul>
	回避／制限の可能性	<p>回避の失敗</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 危険事象発見の遅れ</li> <li>・ 危険源の急な顕在化(急速な接近, 急激な伝播)</li> <li>・ 回避に必要な空間の不足</li> </ul> <p>制限の失敗</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有害物質の滞留</li> <li>・ 個人用保護具の不備, 不装着</li> </ul>

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"> <li>・ 国内では労働安全分野で採用事例が多い。</li> <li>・ リスク要素の拾捨選択が容易。</li> <li>・ 保護方策実施前後の比較がし難い。</li> </ul>
	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"> <li>・ 国内の労働安全分野で採用事例が多い。</li> <li>・ リスク要素の拾捨選択が容易。</li> <li>・ 加算法よりは保護方策の低減効果を反映可能。</li> </ul>
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"> <li>・ 機能安全規格, MIL 規格等に記載。</li> <li>・ 保護方策実施前後の比較が容易。</li> <li>・ 2つ以上のファクタを扱う場合には工夫が必要になる。</li> </ul>
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く, リスクレベルを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ リスク要素に優先度を付加できる。</li> <li>・ 保護方策の比較及び妥当性確認が容易。</li> <li>・ ノードの枝数を増加すると著しく煩雑になる。</li> </ul>
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”<sup>37)</sup>)

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	リスク低 ↑ ↓ リスク高
危害の程度	暴露頻度	回避の 可能性	O1	O2	O3		カテゴリ	
S1 軽度	F1 稀	A1 可	1	1	2	優先順位 3	1	↑ ↓
		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 0035<sup>17)</sup>表 2 より抜粋)

ライフサイクルの局面	想定する作業員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"> <li>(1) クレーンの操作</li> <li>(2) フォークリフトの操作</li> <li>(3) 車両による輸送,</li> <li>(4) ころ引き</li> <li>(5) 固定具の取付け</li> </ul> <p>作業員:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 輸送業者, 専門家又は有資格者</li> </ul> <p>予見可能な誤使用:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス</li> <li>(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</li> <li>(3) 不適切な固定具の取付け</li> <li>(4) 不適切なつり具の使用</li> <li>(5) 過積載車両での輸送</li> </ul>
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"> <li>(1) クレーンの操作</li> <li>(2) フォークリフトの操作</li> <li>(3) ジグの取り外し</li> <li>(4) 組立て</li> <li>(5) 動力源への接続</li> <li>(6) 空圧ホース及び機器の接続</li> <li>(7) 空圧源への接続</li> <li>(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</li> <li>(9) 立上げ, 点検, 動作確認</li> <li>(10) 作動油, 研削液, 潤滑油の供給</li> <li>(11) 潤滑油供給</li> <li>(12) 加工液供給</li> </ul> <p>作業員:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 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員, 又はそのような人の監督下にある人</li> </ul> <p>予見可能な誤使用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) クレーン又はフォークリフト操作時のアンバランス</li> <li>(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</li> <li>(3) 不適切なジグの取付け</li> <li>(4) 不適切なつり具の使用</li> <li>(5) ジグの取外し忘れ</li> <li>(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)</li> <li>(7) 誤配線又は誤配管</li> <li>(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</li> </ul>

表 12 放電加工機の RA 表の例 (JIS TR B 0035<sup>17)</sup> 表 3 より抜粋)

タスク	危険区域	危険源	危険状態	危険事象	リスク見積り (初期リスク)					リスク低 減方策	Cat./ PL	リスク見積り (低減後)					更なるリスク 低減	備考
					S	F	O	A	RI			S	F	O	A	RI		
加工 (自動モード)	加工領域	回転部 － 電極 － 工作物	危険区域 への接近	回転部による巻込み	2	2	3	1	5	A1.1.2	- / -	2	1	3	1	3	※ インターロックがない可動式ガードもここで評価される。 初期リスク S2:回復できない傷害が見積もられる。 F2:危険動作中の接近を意図している。 O3:作業者が危険動作に接触したり、予期しない交換動作が開始する可能性がある。 A1:回転要素への接触は常に巻込みを発生させるわけではない。回避するには十分に遅い速度(50 min <sup>-1</sup> )である。 低減後のリスク F1:危険領域への接近は、固定ガードによって防止される。	
				インタロック ガード開放 時の巻込み	2	1	3	1	3	A1.2.2	3 / c	2	1	1	1	2		終了 低減後のリスク O1:危険な回転要素が停止され、回転の開始は、保護方策によって防止された。  ※ ガードインタロック機能には、より高い安全カテゴリが必要であるとC規格で合意されたので、Cat.3 が選択されている。
				予期しない 起動による 巻込み	A1.2.3													
					A1.2.4	- / c												
加工 (自動モード)	機械	ワイヤ 走行系	電圧変動 又は停電		2	1	3	1	3	E1	- / -	2	1	1	1	2	終了 初期リスク S2:回復できない巻込み又は切傷が見積もられる。 F1:電圧変動又は停電は確率的に発生する。発生の可能性はパラメータFではなくOで見積もられる。したがって、F1を選択した。 O3:電圧変動又は停電は高い確率で危険事象を発生させる可能性がある。 A1:回避するには十分に遅い速度である。 低減後のリスク O1:保護方策によって発生の可能性は低減された。	

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

注 2) “リスク低減方策”は、放電加工機の C 規格 である ISO 28881:2013<sup>64)</sup> の箇条番号で示されている。

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

対象ロボット名称		実施者		実施日																																																																		
パワーアシストスーツ		(立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等)		初回: (改訂履歴)																																																																		
ライフサイクル該当段階	装着(試用)、介助(通常使用)、保守(トラブル処理を含む)	分析方法(ツール)	積算法(一部加算法を適用)																																																																			
使用上の制限	意図した使用	①要介護者(基本仕様で想定する)がベッド、車いす、便器間の移乗の際に、介助者が装着して使用する。 ②ベッド上の体位や座位から立位状態の間、要介護者の体重を支えるのみアシストされ、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。																																																																				
	時間制された空間	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、他所ではないように保管、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 $R = S \times (F + P_s + A)$																																																																				
		<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<sub>s</sub></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>困難</td></tr> <tr><td>頻繁/長時間</td><td>起こり得る</td><td>可能</td></tr> <tr><td>時々/短時間</td><td>起こり難い</td><td></td></tr> <tr><td>まれ/瞬間的</td><td>低い(まれ)</td><td></td></tr> </table>	曝される頻度又は時間:F	危険事象の発生確率:P <sub>s</sub>	危害を回避又は制限できる可能性:A	連続的/常時	高い	困難	頻繁/長時間	起こり得る	可能	時々/短時間	起こり難い		まれ/瞬間的	低い(まれ)																																																						
曝される頻度又は時間:F	危険事象の発生確率:P <sub>s</sub>	危害を回避又は制限できる可能性:A																																																																				
連続的/常時	高い	困難																																																																				
頻繁/長時間	起こり得る	可能																																																																				
時々/短時間	起こり難い																																																																					
まれ/瞬間的	低い(まれ)																																																																					
		<table border="1"> <tr><th colspan="11">危害の発生確率:F + P<sub>s</sub> + A</th></tr> <tr><th>危害の酷さ:S</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th></th></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>			危害の発生確率:F + P <sub>s</sub> + A											危害の酷さ:S	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
危害の発生確率:F + P <sub>s</sub> + A																																																																						
危害の酷さ:S	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																													
回復に長期治療(1月以上)を要す	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44																																																												
回復に医療措置を要す	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33																																																												
応急手当で回復可能	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22																																																												
対処不要(一時的な痛み等)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																												
		見積値 R	評価	リスク低減の必要性																																																																		
		15以上	リスクは高く、受け入れられない。	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-”<sup>21)</sup>)

危険源同定				リスク見積					備考	
段階	No.	危険源	危険状態/危険事象	想定危害	対象者	危害の酷さ S	危害の発生確率 Ph 頻度 F 確率 P <sub>s</sub> 回避 A	リスク点数 R		
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(参照規格類等)				
							頻度 F	確率 P	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 *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は曝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”<sup>37)</sup>)

機械名: サンプル		承認者: 山田	日時: 2010.1.20																						
		作成者: 鈴木	日時: 2010.1.15																						
No	ライフサイクル	タスク	危険源	イニシャルリスク評価					カテゴリ	リスクの低減	新たな危険源の発生	低減後・リスク評価					さらなる低減の要・不要	残留リスクの有無	方策の採否	備考 (採否理由等の記述)					
				S	F	O	A	RI				保護方策の分類	低減対象のパラメータ								S	F	O	A	RI
No	危険箇所	作業内容	危害発生のシナリオ	S2	F2	O3	A2		本質	安全	情報	S	F	O	A	S2	F2	O3	A2						
1	駆動チェーン	駆動チェーンに給油する作業が、一週間に1回ある。	給油するときに、チェーンとスプロケットがむき出しなので、その間に指を引き込まれ切断する。	S2	F1	O3	A2	4	○	-	-													無給油チェーンはコストが高く且つ寿命が短く、耐用年数10年間で2回の交換を要す。トータルコストは固定式カバーより高価になる。	
2									○	-	-													機能を満たすためには、駆動力を小さくできない。	
3									-	○	-	-	-	○	○	なし	S2	F1	O1	A1	2	-	不要	有り	採用 残留リスク: 修理の際、カバーを外すと危険源のチェーンとスプロケットがむき出しになる。 残留リスク対策1: 固定式カバーには「チェーン・スプロケット内蔵カバーを外すな」のシールを貼る。 残留リスク対策2: 残留リスクの情報として、「修理の際、カバーを外すと危険源のチェーンとスプロケットがむき出しになる。」ことを取扱説明書に記述する。
4									-	-	○												要	有り	不採用 人の行動に頼るため、止めずに作業又は、作業中に誤起動の恐れ。他にリスク低減策あり。
5																									

表 17 JIS より抽出した各種機械の C 規格

	規格番号	規格名称	対応国際規格
1	JIS A 4307-1	ロープ式エレベータの安全要求事項－第1部:構造及び装置	ISO/DIS 8100-1
2	JIS A 4307-2	ロープ式エレベータの安全要求事項－第2部:検査及び試験	ISO/DIS 8100-2
3	JIS A 4722	歩行者用自動ドアセット－安全性	
4	JIS A 8202-1	トンネル工事機械－安全－第1部:シールド及び推進機の要求事項	
5	JIS A 8202-2	トンネル工事機械－安全－第2部:自由断面トンネル掘削機の要求事項	
6	JIS A 8202-3	トンネル工事機械－安全－第3部:全断面トンネル掘進機(TBM)の要求事項	
7	JIS A 8340-1	土工機械－安全－第1部:一般要求事項	ISO 20474-1
8	JIS A 8340-2	土工機械－安全－第2部:ブルドーザの要求事項	ISO 20474-2
9	JIS A 8340-3	土工機械－安全－第3部:ローダの要求事項	ISO 20474-3
10	JIS A 8340-4	土工機械－安全－第4部:油圧ショベルの要求事項	ISO 20474-5
11	JIS A 8340-5	土工機械－安全－第5部:ダンパ(重ダンブトラック及び不整地運搬車)の要求事項	ISO 20474-6
12	JIS A 8340-6	土工機械－安全－第6部:機械式ショベルの要求事項	
13	JIS A 8340-7	土工機械－安全－第7部:グレーダの要求事項	
14	JIS A 8508-1	道路工事機械－安全－第1部:一般要求事項	
15	JIS A 8508-2	道路工事機械－安全－第2部:路面切削機の要求事項	
16	JIS A 8508-3	道路工事機械－安全－第3部:ロードスタビライザの要求事項	
17	JIS A 8508-4	道路工事機械－安全－第4部:締固め機械の要求事項	
18	JIS A 8508-5	道路工事機械－安全－第5部:コンクリートカッタの要求事項	
19	JIS A 8508-6	道路工事機械－安全－第6部:アスファルトフィニッシャの要求事項	
20	JIS A 8508-7	道路工事機械－安全－第7部:アスファルトディストリビュータ及びアスファルトスプレーヤの要求事項	
21	JIS A 8509-1	基礎工事機械－安全－第1部:くい打機の要求事項	
22	JIS A 8509-2	基礎工事機械－安全－第2部:掘削機の要求事項	
23	JIS A 8510	路面清掃機械の安全要求事項	
24	JIS A 8511	除雪機械の安全要求事項	
25	JIS A 8612	コンクリート及びモルタルの圧送ポンプ、吹付機及びブーム装置－安全要求事項	
26	JIS A 8613	コンクリートミキサ及びコンクリートプラントの安全要求事項	
27	JIS A 8614	トラックミキサの安全要求事項	
28	JIS A 8705	アスファルトプラント類の安全要求事項	
29	JIS A 8706-1	履帯式建設リサイクル機械－安全－第1部:自走式クラッシュヤの要求事項	
30	JIS A 8706-2	履帯式建設リサイクル機械－安全－第2部:ドラム式カッタ搭載自走式木材破砕機の要求事項	
31	JIS A 8707	せん孔機械の安全要求事項	
32	JIS B 4142	ダイヤモンド/CBN工具－安全性要求事項	
33	JIS B 6031	工作機械－安全性－旋盤	ISO 23125
34	JIS B 6032	工作機械－安全性－放電加工機	ISO 28881
35	JIS B 6033	工作機械－安全性－据付け形研削盤	ISO 16089
36	JIS B 6034	工作機械－安全性－ボール盤	
37	JIS B 6410	プレス機械－サーボプレスの安全要求事項	
38	JIS B 6507	木材加工機械の安全通則	
39	JIS B 6600	リッパ及びギヤングリッパの構造の安全基準	
40	JIS B 6601	自動一面かんな盤の構造の安全基準	
41	JIS B 6602	面取り盤の構造の安全基準	
42	JIS B 6603	ルータの構造の安全基準	
43	JIS B 6605	テーブル帯のこ盤の構造の安全基準	
44	JIS B 6606	自動ローラ帯のこ盤の構造の安全基準	
45	JIS B 6607	送材車付き帯のこ盤の構造の安全基準	
46	JIS B 6608	ベニヤレースの構造の安全基準	
47	JIS B 6609	ホットプレスの構造の安全基準	
48	JIS B 6711	プラスチック加工機械及びゴム加工機械－射出成形機－安全要求事項	ISO 20430
49	JIS B 8009-13	往復動内燃機関駆動式交流発電装置 - 第13部:安全性	ISO 8528-13

表 17 JIS より抽出した各種機械の C 規格(つづき)

	規格番号	規格名称	対応国際規格
50	JIS B 8433-1	ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第1部:ロボット	ISO 10218-1
51	JIS B 8433-2	ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第2部:ロボットシステム及びインテグレーション	ISO 10218-2
52	JIS B 8462	電子部品実装ロボット—安全性	
53	JIS B 8942	立体自動倉庫システム—システム設計通則	
54	JIS B 8943	立体自動倉庫システム—スタッククレーン設計通則	
55	JIS B 8950	垂直コンベヤ	
56	JIS B 8951	パレタイザ及びデパレタイザ	
57	JIS B 9220	農業機械—安全通則	ISO 4254-1
58	JIS B 9631-1	印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項—第1部:一般要求事項	ISO 12643-1
59	JIS B 9631-2	印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項—第2部:印刷機械及びシステム	ISO 12643-2
60	JIS B 9650-1	食料品加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項通則—第1部:安全設計要求事項	
61	JIS B 9650-2	食料品加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項通則—第2部:衛生設計要求事項	
62	JIS B 9651	製パン機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
63	JIS B 9652	製菓機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
64	JIS B 9653	肉類加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
65	JIS B 9654	水産加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
66	JIS B 9655	製粉機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
67	JIS B 9656	製めん機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
68	JIS B 9657	飲料加工機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
69	JIS B 9658	精米麦機械の安全及び衛生に関する設計要求事項	
70	JIS B 9690	高所作業車—設計, 計算, 安全要求事項及び試験方法	ISO 16368
71	JIS B 9991	機械式駐車設備の安全要求事項	
72	JIS C 9029-1	可搬形電動工具の安全性—第1部:一般要求事項	IEC 61029-1
73	JIS C 9029-2-1	可搬形電動工具の安全性—第2—1部:丸ノコ盤の個別要求事項	IEC 61029-2-1
74	JIS C 9029-2-2	可搬形電動工具の安全性—第2—2部:ラジアルアームソーの個別要求事項	IEC 61029-2-2
75	JIS C 9029-2-3	可搬形電動工具の安全性—第2—3部:かんな盤及び一面かんな盤の個別要求事項	IEC 61029-2-3
76	JIS C 9029-2-4	可搬形電動工具の安全性—第2—4部:卓上グラインダの個別要求事項	IEC 61029-2-4
77	JIS C 9029-2-5	可搬形電動工具の安全性—第2—5部:帯のご盤の個別要求事項	IEC 61029-2-5
78	JIS C 9029-2-6	可搬形電動工具の安全性—第2—6部:給水式ダイヤモンドドリルの個別要求事項	IEC 61029-2-6
79	JIS C 9029-2-7	可搬形電動工具の安全性—第2—7部:給水式ダイヤモンドソーの個別要求事項	IEC 61029-2-7
80	JIS C 9029-2-8	可搬形電動工具の安全性—第2—8部:単軸立面取り盤の個別要求事項	IEC 61029-2-8
81	JIS C 9029-2-9	可搬形電動工具の安全性—第2—9部:マイタソーの個別要求事項	IEC 61029-2-9
82	JIS C 9029-2-11	可搬形電動工具の安全性—第2—11部:マイタベンチソーの個別要求事項	IEC 61029-2-11
83	JIS C 9745-1	手持ち形電動工具—安全性—第1部:通則	IEC 60745-1
84	JIS C 9745-2-1	手持ち形電動工具—安全性—第2—1部:ドリル及び振動ドリルの個別要求事項	IEC 60745-2-1
85	JIS C 9745-2-3	手持ち形電動工具—安全性—第2—3部:グラインダ, ポリッシャ及びディスクサンダの個別要求事項	IEC 60745-2-3
86	JIS C 9745-2-6	手持ち形電動工具—安全性—第2—6部:ハンマの個別要求事項	IEC 60745-2-6
87	JIS C 9745-2-7	手持ち形電動工具の安全性—第2—7部:不燃性液体用スプレーガンの個別要求事項	IEC 60745-2-7
88	JIS C 9745-2-12	手持ち形電動工具—安全性—第2—12部:コンクリートパイプレータの個別要求事項	IEC 60745-2-12

表 17 JIS より抽出した各種機械の C 規格(つづき)

	規格番号	規格名称	対応国際規格
89	JIS C 9745-2-13	手持ち形電動工具の安全性－第2－13部:チェーンソーの個別要求事項	IEC 60745-2-14
90	JIS C 9745-2-15	手持ち形電動工具の安全性－第2－15部:ヘッジトリマ及びグラスシャアの個別要求事項	IEC 60745-2-15
91	JIS C 9745-2-16	手持ち形電動工具の安全性－第2－16部:タッカの個別要求事項	IEC 60745-2-16
92	JIS C 9745-2-17	手持ち形電動工具－安全性－第2－17部:ルータ及びトリマの個別要求事項	IEC 60745-2-17
93	JIS C 9745-2-18	手持ち形電動工具－安全性－第2－18部:バンド掛け機の個別要求事項	IEC 60745-2-18
94	JIS C 9745-2-19	手持ち形電動工具－安全性－第2－19部:ジョイントの個別要求事項	IEC 60745-2-19
95	JIS C 9745-2-20	手持ち形電動工具－安全性－第2－20部:帯のこの個別要求事項	IEC 60745-2-20
96	JIS C 9745-2-21	手持ち形電動工具－安全性－第2－21部:排水洗浄機の個別要求事項	IEC 60745-2-21
97	JIS C 62841-1	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第1部:通則	IEC 62841-1
98	JIS C 62841-2-2	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－2部:手持形電気スクレードライバ及びインパクトレンチの個別要求事項	IEC 62841-2-2
99	JIS C 62841-2-4	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－4部:ディスク形以外のサンダ及びポリリシャの個別要求事項	IEC 62841-2-4
100	JIS C 62841-2-5	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－5部:手持形丸ノコの個別要求事項	IEC 62841-2-5
101	JIS C 62841-2-8	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－8部:手持形シャア及びニブラの個別要求事項	IEC 62841-2-8
102	JIS C 62841-2-9	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－9部:手持形タッパ及びスレダの個別要求事項	IEC 62841-2-9
103	JIS C 62841-2-11	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－11部:手持形往復動のこぎりの個別要求事項	IEC 62841-2-11
104	JIS C 62841-2-14	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第2－14部:手持形かんなの個別要求事項	IEC 62841-2-14
105	JIS C 62841-3-10	手持形電動工具, 可搬形電動工具並びに芝生用及び庭園用電動機械の安全性－第3－10部:可搬形切断機の個別要求事項	IEC 62841-3-10
106	JIS D 6001-1	フォークリフトトラック－安全要求事項及び検証－第1部:フォークリフトトラック	ISO 3691-1
107	JIS D 6001-2	フォークリフトトラック－安全要求事項及び検証－第2部:運転者の位置が上昇するフォークリフトトラック及び荷を揚げたまま走行するよう設計されたフォークリフトトラックの追加要求事項	ISO/FDIS 3691-3
108	JIS D 6802	無人搬送車システム－安全通則	
109	JIS S 1049	棚・収納家具を搭載した移動ラック	
110	JIS W 0711	無人航空機システム設計管理基準	
111	JIS Z 0620	産業用ラック	

表 18 ISO より抽出した各種機械の C 規格

	規格番号	規格名称
1	ISO 3691-5	Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 5: Pedestrian-propelled trucks
2	ISO 3691-6	Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 6: Burden and personnel carriers
3	ISO 4254-5	Agricultural machinery - Safety - Part 5: Power-driven soil-working machines
4	ISO 4254-6	Agricultural machinery - Safety - Part 6: Sprayers and liquid fertilizer distributors
5	ISO 4254-7	Agricultural machinery - Safety - Part 7: Combine harvesters, forage harvesters, cotton harvesters and sugar cane harvesters
6	ISO 4254-8	Agricultural machinery - Safety - Part 8: Solid fertilizer distributors
7	ISO 4254-9	Agricultural machinery - Safety - Part 9: Seed drills
8	ISO 4254-10	Agricultural machinery - Safety - Part 10: Rotary tedders and rakes
9	ISO 4254-11	Agricultural machinery - Safety - Part 11: Pick-up balers

表 18 ISO より抽出した各種機械の C 規格(つづき)

	規格番号	規格名称
10	ISO 4254-12	Agricultural machinery - Safety - Part 12: Rotary disc and drum mowers and flail mowers
11	ISO 4254-14	Agricultural machinery - Safety - Part 14: Bale wrappers
12	ISO 5395-1	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 1: Terminology and common tests
13	ISO 5395-2	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 2: Pedestrian-controlled lawnmowers
14	ISO 5395-3	Garden equipment - Safety requirements for combustion-engine-powered lawnmowers - Part 3: Ride-on lawnmowers with seated operator
15	ISO 8230-1	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 1: Common safety requirements
16	ISO 8230-2	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 2: Machines using perchloroethylene
17	ISO 8230-3	Safety requirements for dry-cleaning machines - Part 3: Machines using combustible solvents
18	ISO 10472-1	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 1: Common requirements
19	ISO 10472-2	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 2: Washing machines and washer-extractors
20	ISO 10472-3	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 3: Washing tunnel lines including component machines
21	ISO 10472-4	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 4: Air dryers
22	ISO 10472-5	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 5: Flatwork ironers, feeders and folders
23	ISO 10472-6	Safety requirements for industrial laundry machinery - Part 6: Ironing and fusing presses
24	ISO 10517	Powered hand-held hedge trimmers - Safety
25	ISO 10821	Industrial sewing machines - Safety requirements for sewing machines, units and systems
26	ISO 11102-1	Reciprocating internal combustion engines - Handle starting equipment - Part 1: Safety requirements and tests
27	ISO 11102-2	Reciprocating internal combustion engines - Handle starting equipment - Part 2: Method of testing the angle of disengagement
28	ISO 11111-1	Textile machinery - Safety requirements - Part 1: Common requirements
29	ISO 11111-2	Textile machinery - Safety requirements - Part 2: Spinning preparatory and spinning machines
30	ISO 11111-3	Textile machinery - Safety requirements - Part 3: Nonwoven machinery
31	ISO 11111-4	Textile machinery - Safety requirements - Part 4: Yarn processing, cordage and rope manufacturing machinery
32	ISO 11111-5	Textile machinery - Safety requirements - Part 5: Preparatory machinery to weaving and knitting
33	ISO 11111-6	Textile machinery - Safety requirements - Part 6: Fabric manufacturing machinery
34	ISO 11111-7	Textile machinery - Safety requirements - Part 7: Dyeing and finishing machinery
35	ISO 11148-1	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 1: Assembly power tools for non-threaded mechanical fasteners
36	ISO 11148-2	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 2: Cutting-off and crimping power tools
37	ISO 11148-3	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 3: Drills and tappers
38	ISO 11148-4	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 4: Non-rotary percussive power tools
39	ISO 11148-5	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 5: Rotary percussive drills
40	ISO 11148-6	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 6: Assembly power tools for threaded fasteners
41	ISO 11148-7	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 7: Grinders
42	ISO 11148-8	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 8: Sanders and polishers
43	ISO 11148-9	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 9: Die grinders
44	ISO 11148-10	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 10: Compression power tools
45	ISO 11148-11	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 11: Nibblers and shears
46	ISO 11148-12	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 12: Circular, oscillating and reciprocating saws
47	ISO 11148-13	Hand-held non-electric power tools - Safety requirements - Part 13: Fastener driving tools
48	ISO 11252	Lasers and laser-related equipment - Laser device - Minimum requirements for documentation
49	ISO 11553-1	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 1: General safety requirements
50	ISO 11553-2	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 2: Safety requirements for hand-held laser processing devices
51	ISO 11553-3	Safety of machinery - Laser processing machines - Part 3: Noise reduction and noise measurement methods for laser processing machines and hand-held processing devices and associated auxiliary equipment (accuracy grade 2)
52	ISO 11680-1	Machinery for forestry - Safety requirements and testing for pole-mounted powered pruners - Part 1: Machines fitted with an integral combustion engine
53	ISO 11680-2	Machinery for forestry - Safety requirements and testing for pole-mounted powered pruners - Part 2: Machines for use with back-pack power source
54	ISO 11681-1	Machinery for forestry - Portable chain-saw safety requirements and testing - Part 1: Chain-saws for forest service

表 18 ISO より抽出した各種機械の C 規格(つづき)

	規格番号	規格名称
55	ISO 11681-2	Machinery for forestry - Portable chain-saw safety requirements and testing - Part 2: Chain-saws for tree service
56	ISO 11806-1	Agricultural and forestry machinery - Safety requirements and testing for portable, hand-held, powered brush-cutters and grass-trimmers - Part 1: Machines fitted with an integral combustion engine
57	ISO 11806-2	Agricultural and forestry machinery - Safety requirements and testing for portable, hand-held, powered brush-cutters and grass-trimmers - Part 2: Machines for use with back-pack power unit
58	ISO 11850	Machinery for forestry - General safety requirements
59	ISO 14314	Reciprocal internal combustion engines - Recoil starting equipment - General safety requirements
60	ISO 16090-1	Machine tools - Safety - Machining centres, Milling machines, Transfer machines - Part 1: Safety requirements
61	ISO 16092-1	Machine tools - Safety -Presses - Part 1: General safety requirements
62	ISO 16092-2	Machine tools - Safety -Presses - Part 2: Safety requirement for mechanical presses
63	ISO 16092-3	Machine tools - Safety -Presses - Part 3: Safety requirements for hydraulic presses
64	ISO 16092-4	Machine tools - Safety -Presses - Part 4: Safety requirements for pneumatic presses
65	ISO 16093	Machine tools - Safety - Sawing machines for cold metal
66	ISO 16119-1	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 1: General
67	ISO 16119-2	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 2: Horizontal boom sprayers
68	ISO 16119-3	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 3: Sprayers for bush and tree crops
69	ISO 16119-4	Agricultural and forestry machinery - Environmental requirements for sprayers - Part 4: Fixed and semi-mobile sprayers
70	ISO 16230-1	Agricultural machinery and tractors - Safety of higher voltage electrical and electronic components and systems - Part 1: General requirements
71	ISO 17916	Safety of thermal cutting machine
72	ISO 18217	Safety of woodworking machines - Edge-banding machines fed by chain(s)
73	ISO 19085-1	Woodworking machines - Safety - Part 1: Common requirements
74	ISO 19085-2	Woodworking machines - Safety - Part 2: Horizontal beam panel circular sawing machines
75	ISO 19085-3	Woodworking machines - Safety requirements - Part 3: Numerically controlled (NC) boring and routing machines
76	ISO 19085-4	Woodworking machines - Safety - Part 4: Vertical panel circular sawing machines
77	ISO 19085-5	Woodworking machines - Safety - Part 5: Dimension saws
78	ISO 19085-6	Woodworking machines - Safety - Part 6: Single spindle vertical moulding machines
79	ISO 19085-7	Woodworking machines - Safety - Part 7: Surface planing, thickness planing, combined surface/thickness planing machine
80	ISO 19085-8	Woodworking machines - Safety - Part 8: Belt sanding and calibrating machines for straight work-pieces
81	ISO 19085-9	Woodworking machines - Safety - Part 9: Circular saw benches (with and without sliding table)
82	ISO 19085-10	Woodworking machines - Safety - Part 10: Building site saws (contractor saws)
83	ISO 19085-11	Woodworking machines - Safety - Part 11: Combined machines
84	ISO 19085-13	Woodworking machines - Safety - Part 13: Multi-blade rip sawing machines with manual loading and/or unloading
85	ISO 19225	Underground mining machines - Mobile extracting machines at the face - Safety requirements for shearer loaders and plough systems
86	ISO 19296	Mining - Mobile machines working underground - Machine safety
87	ISO 19432-1	Building construction machinery and equipment - Portable, hand-held, internal combustion engine-driven abrasive cutting machines - Part 1: Safety requirements for cut-off machines for centre-mounted rotating abrasive wheels
88	ISO 19932-1	Equipment for crop protection - Knapsack sprayers - Part 1: Safety and environmental requirements
89	ISO 28139	Agricultural and forestry machinery - Knapsack combustion-engine-driven mist blowers - Safety requirements
90	IEC 60745-2-22	Hand-held motor-operated electric tools - Safety - Part 2-22: Particular requirements for cut-off machines
91	IEC 60745-2-23	Hand-held motor-operated electric tools - Safety - Part 2-23: Particular requirements for die grinders and small rotary tools
92	IEC 61029-2-12	Safety of transportable motor-operated electric tools - Part 2-12: Particular requirements for threading machines
93	IEC 62841-2-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-1: Particular requirements for hand-held drills and impact drills
94	IEC 62841-2-10	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-10: Particular requirements for hand-held mixers
95	IEC 62841-2-17	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-17: Particular requirements for hand-held routers

表 18 ISO より抽出した各種機械の C 規格(つづき)

	規格番号	規格名称
96	IEC 62841-2-21	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 2-21: Particular requirements for hand-held drain cleaners
97	IEC 62841-3-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-1: Particular requirements for transportable table saws
98	IEC 62841-3-4	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-4: Particular requirements for transportable bench grinders
99	IEC 62841-3-6	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-6: Particular requirements for transportable diamond drills with liquid system
100	IEC 62841-3-9	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-9: Particular requirements for transportable mitre saws
101	IEC 62841-3-12	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-12: Particular requirements for transportable threading machines
102	IEC 62841-3-13	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-13: Particular requirements for transportable drills
103	IEC 62841-3-14	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 3-14: Particular requirements for transportable drain cleaners
104	IEC 62841-4-1	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 4-1: Particular requirements for chain saws
105	IEC 62841-4-2	Electric motor-operated hand-held tools, transportable tools and lawn and garden machinery - Safety - Part 4-2: Particular requirements for hedge trimmers

表 19 調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要

	名称	概要	参照先	
国内	1) 安全革命	株式会社 エスクリエイト	特徴: ・ 主に機械を新規に設計する段階や複数の構成要素を組み合わせる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	<a href="https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html">https://www.screate-soft.co.jp/index.php/anzen-info-index.html</a> (2022 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	<a href="https://www.jhsc.co.jp/package/risk/risk.html">https://www.jhsc.co.jp/package/risk/risk.html</a> (2022 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	<a href="https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html">https://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/risk_index.html</a> (2022 年 5 月 25 日確認)

表 19 調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要(つづき)

	名 称		概 要	参照先
欧州	4)	Safexpert 8.6 Machinery Directive COMPACT IBF Solutions GmbH(オーストリア)	特徴: ・ 機械や電気装置の設計段階での RA, ならびに, 欧州機械指令や低電圧指令等に対する CE マーキングプロセス(適合性評価)の支援を目的とした製品で, その品質が第三者認証機関の認証を受けたツール  詳細については第 3.4.3 項参照	<a href="https://www.ibf-solutions.com/en/ce-software-safexpert">https://www.ibf-solutions.com/en/ce-software-safexpert</a> (2022 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	<a href="https://www.compliance-risksoftware.co.uk/">https://www.compliance-risksoftware.co.uk/</a> (2022 年 5 月 25 日確認)
	6)	CEM4 Certifico S.r.l.(イタリア)	特徴: ・ 機械指令の EHSRs の条文に対し, 該当するものに危険部分, 危険区域, 保護方策などを順に登録していく手順で詳細な RA を行う方式 ・ リスク見積もりは, ISO/TR 14121-2 のハイブリッド法を用いる  主な機能: ・ 同定した危険源ごとに, リスク見積もり結果を含めて, 文章化出力される ・ 条文によっては, 関連する A 及び B 規格の番号が提示されるが, 要求事項を参照できる機能は装備されていない	<a href="https://www.cem4.eu/en/">https://www.cem4.eu/en/</a> (2022 年 5 月 25 日確認)
	7)	WEKA Manager CE CE ACADEMY (ドイツ)	特徴: ・ 機械指令, 低電圧指令に対する RA 実施や適合宣言書作成のサポートを目的としたツール ・ 危険源リスト及びリスク見積もり手法として, ISO 12100 及び ISO/TR 14121-2 に基づくもの, CENELEC 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	<a href="https://ce-akademie.eu/software/weka/produkte/weka_manager_ce.htm">https://ce-akademie.eu/software/weka/produkte/weka_manager_ce.htm</a> (2022 年 5 月 25 日確認)

表 19 調査対象とした既存 RA 支援ツールの概要(つづき)

	名 称	概 要	参照先	
欧州	8) RASWin – Risk Assessment Software	Solidsafe s.l. (スペイン)	特徴: <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul> 主な機能: <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>	<a href="https://raswin.eu/en/raswin-en/">https://raswin.eu/en/raswin-en/</a> (2022 年 5 月 25 日確認)
米国	9) Designsafe 8	Design safety engineering inc.	特徴: <ul style="list-style-type: none"> <li>単体の機械製品又は複数の構成要素から成る梱包システムや統合生産システムに対する設計段階での RA の負荷軽減を目的としたツール</li> </ul> 詳細については第 3.4.4 項参照	<a href="https://www.designsafe.net/softwareabout">https://www.designsafe.net/softwareabout</a> (2022 年 5 月 25 日確認)
	10) Machine SafetyPro	Machine Safety Specialists	特徴: <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul> 主な機能: <ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>	<a href="https://www.machinesafety-specialists.com/risk-assessment-tools/machine-safety-pro-app/">https://www.machinesafety-specialists.com/risk-assessment-tools/machine-safety-pro-app/</a> (2022 年 5 月 25 日確認)

表 20 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 高圧(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のある切くず, 液体及び工作物を受け止め, 及び/又は防止するように設計しなければならない。 5.2.4.3 a) 3) 切削液/クーラントの吐出は, 作業領域へのアクセスのための可動式ガードが開いたときには自動的に遮断しなければならない。 5.8 e) 1) iv) 重力下での送り台の垂直軸又は傾斜軸の予期しない動作を防止しなければならない。 5.10 d) 動力供給の中断又は故障が重力下の垂直軸又は傾斜軸の危険な動作を引き起こしてはならない。
可動要素, 回転要素(巻込み)	—	5.1.2 b) 駆動部のガードについては, 機械の動力伝達装置(例えば, チェーン及びスプロケット, 歯車, 親ねじ, 送りねじ, ボールねじ)へのアクセスは, 位置的に安全でない限り, 固定式ガード(テレスコープ式のガード含む)によって防護しなければならない。
安定性	安定性の喪失	5.14 予見可能な使用条件の下で, 転倒, 落下又は予期しない動作をしないように, 機械が安定する設計としなければならない。転倒を避けるために基礎ボルトを使用する場合には, 製造業者はボルト及び基礎の要件を指定しなければならない。

表 21 動力プレスの危険源リスト(ISO 16092-1:2017 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だけで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 22 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域

ISO 12100 の箇条	抽出した危険源／危険区域	参考情報
機械的危険源		
死角, 視認性の不足	6.2.2.1 a) 6.2.11.8 d) 6.3.2.1 d)  6.2.8 e)	操作位置, 制御位置から直接視認できない <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 移動機械の走行及び作業区域,</li> <li>－ 持ち上げられた荷の可動区域,</li> <li>－ 人を昇降するための搬送機械類の可動区域, 又は,</li> <li>－ 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</li> </ul> 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。
	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: <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる</li> <li>－ 推力が 28 N (人と接触する面積が 1 cm<sup>2</sup> 未満では 28 N/cm<sup>2</sup>)を超える</li> </ul>
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。
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: <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる</li> <li>－ 運動エネルギーが 0.26 J (接触面積 1 cm<sup>2</sup> 未満では 0.26 J/cm<sup>2</sup>)を超える</li> </ul>
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: <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 腐食, 経年変化, 摩滅, 摩耗</li> <li>－ 硬さ, 延性, 脆性</li> <li>－ 不均質性</li> <li>－ 応力変動(特に, 繰り返し応力)による疲労</li> </ul>
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。
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: <ul style="list-style-type: none"> <li>－ アンカーボルト</li> <li>－ 固定装置</li> <li>－ 作動制限装置又は機械的なストップ</li> <li>－ 加減速制限装置</li> <li>－ 負荷制限装置</li> </ul> 不安定となる原因には次を含む: <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 基礎の形状寸法, 設置面の特性(傾斜, 強度)</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 外部からの振動, 風圧, 人力のような外力の影響</li> </ul>
		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  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  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 <sup>2</sup> 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 <sup>38)</sup> (C2 以上)を参照  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

表 22 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
重量物	6.2.7 6.3.5.5	設定、清掃、調整、点検等のために取り外す又は運搬する質量が 15 kg 以上の機器、組立品、配管などうち、つり上げ対策のないもの	運搬距離に応じた搬送物の推奨重量については EN 1005-2 を参照
手動制御器	6.2.8 f) 6.2.11.8	次のいずれかに該当する手動制御器： <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 危険区域内から届く位置に設けられている</li> <li>－ 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)</li> <li>－ 視認できない又は明瞭に識別できない</li> <li>－ 素早くは操作できない又は操作に曖昧さがある</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 作業者が、手袋や履物を身につけた制約の下で操作することを考慮していない</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> </ul>	手動制御器の配置及び操作に対する要求事項については IEC 61310-3 を参照
高圧液体	6.2.10	漏れ又はコンポーネントの故障によって噴出する 0.74 MPa を超える液体	出典:厚生労働省“水道施設の技術的基準を定める省令”
油圧システム	6.2.10	次のいずれかに該当する油圧システム： <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> </ul>	
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"> <li>－ 機械類の停止機能の喪失／低下、安定性の喪失／低下</li> <li>－ ロック装置／クランプ装置の機能の喪失／低下</li> <li>－ 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</li> <li>－ 冷却又は加熱装置の機能の喪失／低下</li> </ul>	

表 22 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
非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"> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ 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)</li> <li>－ 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</li> </ul>	
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"> <li>－ 各々の制御／運転モードの位置に固定(ロック)できない</li> <li>－ 1つの位置で複数の制御／運転モードが選択される</li> </ul>	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"> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> <li>－ リセット操作だけで再起動する機械又はその可動部</li> <li>－ ISO 13850 が規定する設計原則に適合していない</li> </ul>	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"> <li>－ 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</li> <li>－ “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)</li> <li>－ 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</li> </ul>	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"> <li>－ 滑りやすい材質で製作されている</li> <li>－ 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</li> </ul>	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°C 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°C 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"> <li>－ A 特性放射音圧レベルが 70 dB (A)を超える</li> <li>－ A 特性音圧レベルが 80 dB (A)を超える</li> <li>－ ピーク C 特性瞬時音圧が 63 Pa (20 <math>\mu</math> Pa に対して 130 dB)を超える</li> </ul>	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"> <li>・ 騒音を音源で低減する方策 (ISO/TR 11688-1 参照)</li> <li>・ 囲い (ISO 15667 参照)</li> <li>・ 機械に装着したスクリーン</li> <li>・ 消音装置 (ISO 14163 参照)</li> </ul>

表 22 ISO 12100 の要求事項から抽出した危険源／危険区域(つづき)

ISO 12100 の箇条		抽出した危険源／危険区域	参考情報
振動	6.2.2.2 c)2)	次のいずれかに該当する機械の振動部分: - 手腕系にかかる振動の振動合成値が 2.5 m/s <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>67)</sup> 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” <sup>68)</sup>
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” <sup>69)</sup> 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” <sup>70)</sup>

表 23 産業用ロボットシステムの危険源リスト

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

	原因	潜在的結果	参照箇条	
			B 8433- 1	B 8433- 2
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>すべてのロボット軸の回転動作</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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)</li> <li>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</li> <li>エンドエフェクタの故障(分離)</li> <li>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</li> <li>だぶだぶの衣服、長い髪</li> <li>材料又は製品の落下又は放出</li> <li>ジグ又は把持具の意図しない移動</li> <li>ツールの予期しない開放</li> <li>取付具の間(落下):シャトルの間、ユーティリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>押し潰し</li> <li>せん断</li> <li>切傷又は切断</li> <li>巻き込み</li> <li>引込み又は捕捉</li> <li>衝撃</li> <li>突刺し又は突通し</li> <li>こすれ、擦り傷</li> <li>高圧流体/ガスの注入又は噴出</li> </ul>	5.2.1 5.2.3 5.5 5.6 5.7 5.8.4 5.9 5.10 5.11 5.12 5.13 5.14	5.2.1 5.2.2 5.2.3 5.3.2 5.3.6 5.3.7 5.3.8.2 5.3.9 5.3.10 5.5.1 5.5.2 5.5.3 5.5.4 5.6.4 5.8 5.9 5.10.2 5.10.3 5.10.6.1 5.10.6.2 5.10.6.3 5.10.7 5.11.4 5.11.5.4
危険源の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>連携する機械が故障し、期待どおりには機能しない状態</li> <li>特有用途からの危険源</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中断後のエネルギー供給源の復帰</li> <li>動力源の外部影響</li> <li>予想外の起動</li> <li>危険源と危険状態とのあらゆる組合せの結果</li> </ul>	5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.5 5.2.6 5.2.7 5.3.2 5.3.3 5.3.5 5.4 5.5 5.7 5.8 5.9 5.10	5.2 5.3.10 5.6.3.3 5.8 5.9 5.9.1

表 24 事故の型別、抽出した労働災害事例の件数

死亡災害			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 25 “はさまれ”及び“激突され”の事例でロボットが動作した理由

a	自動運転中であつた(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ったトラブルを解消した。	15 件
c	設定、調整、保全等の作業中、ロボットが動作を開始するセンサ類を誤って作動させた。	10 件
d	設定、調整、保全等の作業中、手動制御装置(ボタン、スイッチ等)を誤操作した。	6 件
e	その他 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 修理を行い再起動のために安全扉を開めたところ、搬送ロボットが動き出し作業者がはさまれた。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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をはさまれた。</li> <li>・ 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。</li> </ul>	6 件
	不明	22 件
		計 104 件

表 26 災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト  
(機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋、拡充部分を下線で示す)

	原因(Origin)	潜在的結果
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> <li>・ すべてのロボット軸の回転動作</li> <li>・ <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ったトラブルを解消したことで生じるロボットシステム可動部の意図しない移動</u></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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(セル用扉を使っての)ロボットセルからの脱出ができない状態</u></li> <li>・ <u>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</u></li> <li>・ <u>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)</u></li> <li>・ <u>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></u></li> <li>・ <u>エンドエフェクタの故障(分離)</u></li> <li>・ <u>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</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 押し潰し</li> <li>・ せん断</li> <li>・ 切傷又は切断</li> <li>・ 巻き込み</li> <li>・ 引込み又は捕捉</li> <li>・ 衝撃</li> <li>・ 突刺し又は突通し</li> <li>・ こすれ、擦り傷</li> <li>・ 高圧流体/ガスの注入又は噴出</li> </ul>

表 26 災害事例分析結果を反映して拡充した産業用ロボットシステムの危険源リスト(つづき)  
(機械的危険源及び危険源の組合せの抜粋, 拡充部分を下線で示す)

	原因(Origin)	潜在的結果
<p>機械的危険源</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>だぶだぶの衣服, 長い髪</u></li> <li>・ <u>材料又は製品の落下又は放出</u></li> <li>・ <u>ジグ又は把持具の意図しない移動</u></li> <li>・ <u>ツールの予期しない開放</u></li> <li>・ <u>取付具の間(落下):シャトルの間, ユーティリティ</u></li> <li>・ <u>ケーブル(例えば, 引っ掛かり, 破損, 鞭のように跳ねる)</u></li> </ul>	
<p>危険源の組み合わせ(抜粋)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>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</u></li> <li>・ <u>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</u></li> <li>・ <u>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</u></li> <li>・ <u>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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <u>エンドエフェクタ, 連携する機械が故障し, 期待どおりには機能しない状態(電源ケーブル又は圧力供給ホースの破損, センサの破損を含む)</u></li> <li>・ <u>特有用途からの危険源[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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> <li>・ <u>エンドエフェクタの不足した必要動力の見積もり</u></li> <li>・ <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></li> <li>・ <u>エンドエフェクタの摩耗</u></li> <li>・ <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></li> <li>・ <u>エンドエフェクタの誤ったシーケンス</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>中断後のエネルギー供給源の復帰</u></li> <li>・ <u>動力源の外部影響</u></li> <li>・ <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></li> <li>・</li> <li>・</li> <li>・ <u>危険源と危険状態とのあらゆる組合せの結果</u></li> <li>・</li> <li>・</li> <li>・ <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></li> <li>・ <u>ロボットシステムの部品又はワークの落下</u></li> <li>・ <u>ワークの意図しない又は予期しない開放</u></li> <li>・ <u>エンドエフェクタの蓄積エネルギーの危険な開放</u></li> <li>・ <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></li> <li>・ <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></li> </ul>

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等																		
	大分類	細目																						
1	機械的	端部, 角部, 突出部	<p>身体を傷つける硬さのある次のいずれかに該当する部分:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・丸みが R 0.3 mm 未満の端部で人と接触するもの.</li> <li>・面取りが 0.3 mm 未満の端部で人と接触するもの.</li> <li>・半径 4 mm 未満の突起部で人と接触するもの.</li> <li>・人に接触する部分のうち, 接触面積が 0.80 cm<sup>2</sup>未満のもの.</li> <li>・JIS B 0721:2004 での呼び記号「並み」より鋭利な部分.</li> </ul>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.1 c)</b></p>	<p>危険源に接触する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>・作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>・作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>・作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p><b>JIS B 0721:2004</b> 「機械加工部品のエッジ品質及びびそのなど級」</p> <p><b>JIS A 8323:2001</b> 「土工機械 – 運転席及び整備領域 – 端部の丸み」</p> <p><b>ISO/WD TR 21260:2020</b> 「Safety of machinery – Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」</p> <p>農業機械安全装備検査 – 2019 年基準 – Ver 2.1</p>																		
2	機械的	はさまれ	<p>可動部分と固定部分との間又は 2 つの可動部分の間にある隙間で, 全身又は人体の一部が侵入できるほど広くなり, かつ, 機械の作動中に人体の一部を挟み込むほど狭くなる部分のうち, 次のいずれかに該当する隙間:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる.</li> <li>・人に触る部分の推力が 28 N, 面圧が 22 N/cm<sup>2</sup>を超える.</li> </ul> <p>ただし, 人体と接触する面積が 0.80 cm<sup>2</sup> 未満の場合は「端部, 角部, 突出部」として同定すること.</p> <p><b>【参考】</b>接触が 1 日に 1 回以下である場合に限り, 推力の基準を 43 N, 面圧の基準を 54 N/cm<sup>2</sup>としても良い.</p> <p><b>【参考】</b>人体の各部の挟み込みが起きない寸法の基準を右表に示す.</p> <table border="1" data-bbox="846 1082 1167 1426"> <thead> <tr> <th>人体部位</th> <th>挟み込みが起きない広さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全身</td> <td>500mm 以上</td> </tr> <tr> <td>頭部</td> <td>300mm 以上</td> </tr> <tr> <td>下肢</td> <td>180mm 以上</td> </tr> <tr> <td>足の甲</td> <td>120mm 以上</td> </tr> <tr> <td>つま先</td> <td>50mm 以上</td> </tr> <tr> <td>上肢</td> <td>120mm 以上</td> </tr> <tr> <td>掌, 手首</td> <td>100mm 以上</td> </tr> <tr> <td>指</td> <td>25mm 以上</td> </tr> </tbody> </table>	人体部位	挟み込みが起きない広さ	全身	500mm 以上	頭部	300mm 以上	下肢	180mm 以上	足の甲	120mm 以上	つま先	50mm 以上	上肢	120mm 以上	掌, 手首	100mm 以上	指	25mm 以上	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.1 b), 6.2.2.2 a)</b></p>	<p>危険区域に侵入する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>・作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>・作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>・作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p><b>ISO/WD TR 21260:2020</b> 「Safety of machinery – Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」</p>
人体部位	挟み込みが起きない広さ																							
全身	500mm 以上																							
頭部	300mm 以上																							
下肢	180mm 以上																							
足の甲	120mm 以上																							
つま先	50mm 以上																							
上肢	120mm 以上																							
掌, 手首	100mm 以上																							
指	25mm 以上																							

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋, つづき)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等大分類
	大分類	細目				
3	機械的	巻き込まれ	<p>動力による駆動の有無に関わらず, 次のいずれかに該当する回転運動する部分:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 円筒, ローラ, ロール.</li> <li>・ 旋盤の主軸, チャック, 加工物.</li> <li>・ ボール盤・フライス盤・グラインダなどの回転工具.</li> <li>・ 動力伝達部(駆動軸, ギヤ, スプロケット, プーリー).</li> <li>・ 動力取り出し軸.</li> <li>・ 車輪.</li> <li>・ 駆動ベルト, コンベアベルト, 加工物や搬送物等の動きによって回転する部分.</li> <li>・ 繰出し装置, 巻取装置の回転駆動部分又はガイドローラ.</li> </ul>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.1 b)</b></p>	<p>危険源に接触する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>・ 作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>・ 作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>・ 作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p><b>JIS B 6032:2010</b>「工作機械 - 安全性 - 放電加工機」</p> <p><b>JIS B 6033:2010</b>「工作機械 - 安全性 - 据付け形研削盤」</p> <p><b>JIS B 6034:2010</b>「工作機械 - 安全性 - ボール盤」</p> <p><b>JIS B 9631-1:2010</b>「印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項—第1部:一般要求事項」</p> <p><b>JIS B 9631-2:2010</b>「印刷関連機器及びシステムに対する安全要求事項—第2部:印刷機械及びシステム」</p>
4	機械的	死角, 視認性の不足	<p>次のいずれかに該当する区域/範囲:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 移動機械の走行区域/作業区域で, 操作位置/制御位置から直接視認できない範囲.</li> <li>・ 持ち上げられた荷の可動区域で, 操作位置/制御位置から直接視認できない範囲.</li> <li>・ 人を昇降する搬送機械類の可動区域で, 操作位置/制御位置から直接視認できない区域.</li> <li>・ 手持ち機械/手案内機械の工具と作業対象材料とが接する所で, 操作位置/制御位置から直接視認できない範囲.</li> <li>・ 作業, 調整, 設定, 保全のために進入する区域で, 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範囲.</li> </ul>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.1 a), 6.2.11.8 d), 6.2.8 e)</b></p>	<p>危険区域に侵入する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>・ 作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>・ 作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>・ 作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p><b>JIS Z 9110:2011</b>「照明基準総則」</p>

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋, つづき)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等大分類																																																																																																																
	大分類	細目																																																																																																																				
5	機械的	衝撃	<p>移動する機械本体, 又は, 機械の動力で可動する部分及びそれに伴って動作する部分, 材料/加工物/運搬物, 排出(放出)される部材/破片のうち, 次のいずれかに該当する部分:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人に接触する面積が 0.80 cm<sup>2</sup> 未満である.</li> <li>・ 頭部又は頸部(肩より上の部分)に触れる.</li> <li>・ 運動エネルギーが 0.14 J を超える</li> <li>・ 人と接触する部分での単位面積当たりの運動エネルギーが 0.18 J/cm<sup>2</sup> を超える.</li> </ul> <p>【参考】接触が 1 日に 1 回以下である場合に限り, 運動エネルギーの基準を 5.0 J, 単位面積当たりの運動エネルギーを 1.0 J/cm<sup>2</sup> をとしても良い.</p> <p>【参考】JIS B 8433-2 に適合した産業用協働ロボットシステムで, 人に接触する面積が 2.0 cm<sup>2</sup> 以上であり, 準静的接触力(接触圧力)の大きさ又は過渡的接触力(接触圧力)の大きさが推定できる場合には, 下表の値を判断基準としても良い.</p> <table border="1" data-bbox="512 783 1178 1422"> <thead> <tr> <th rowspan="2">身体領域</th> <th rowspan="2">特定身体領域</th> <th colspan="2">準静的接触</th> <th colspan="2">過渡的接触</th> </tr> <tr> <th>最大容認圧力<sup>a</sup> p<sub>s</sub> N/cm<sup>2</sup></th> <th>最大容認力<sup>b</sup> F<sub>s</sub> N</th> <th>最大容認圧力の乗数<sup>c</sup> P<sub>T</sub></th> <th>最大容認力の乗数<sup>d</sup> F<sub>T</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">頭蓋骨及び顔<sup>d</sup></td> <td>1 額の中央</td> <td>130</td> <td rowspan="2">130</td> <td>NA</td> <td rowspan="2">NA</td> </tr> <tr> <td>2 こめかみ</td> <td>110</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">顔<sup>d</sup></td> <td>3 そしやく筋</td> <td>110</td> <td>65</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">首</td> <td>4 頸筋</td> <td>140</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>5 第七頸椎骨</td> <td>210</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">背及び肩</td> <td>6 肩関節</td> <td>160</td> <td rowspan="2">210</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>7 第五腰椎</td> <td>210</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">胸</td> <td>8 胸骨</td> <td>120</td> <td rowspan="2">140</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>9 胸筋</td> <td>170</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">腹部</td> <td>10 腹筋</td> <td>140</td> <td rowspan="2">110</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>11 骨盤骨</td> <td>210</td> <td>180</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">上腕及び肘関節</td> <td>12 三角筋</td> <td>190</td> <td rowspan="2">150</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>13 上腕骨</td> <td>220</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">前腕及び手首関節</td> <td>14 橈骨</td> <td>190</td> <td rowspan="2">160</td> <td>2</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>15 前腕筋</td> <td>180</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="11">手及び指</td> <td>16 腕神経</td> <td>180</td> <td rowspan="11">140</td> <td>2</td> <td rowspan="11">2</td> </tr> <tr> <td>17 人差し指腹 D</td> <td>300</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>18 人差し指腹 ND</td> <td>270</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>19 人差し指関節 D</td> <td>280</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>20 人差し指関節 ND</td> <td>220</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>21 母指球</td> <td>200</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>22 手のひら D</td> <td>260</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>23 手のひら ND</td> <td>260</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>24 手の裏側 D</td> <td>200</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>25 手の裏側 ND</td> <td>190</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	身体領域	特定身体領域	準静的接触		過渡的接触		最大容認圧力 <sup>a</sup> p <sub>s</sub> N/cm <sup>2</sup>	最大容認力 <sup>b</sup> F <sub>s</sub> N	最大容認圧力の乗数 <sup>c</sup> P <sub>T</sub>	最大容認力の乗数 <sup>d</sup> F <sub>T</sub>	頭蓋骨及び顔 <sup>d</sup>	1 額の中央	130	130	NA	NA	2 こめかみ	110	NA	顔 <sup>d</sup>	3 そしやく筋	110	65	NA	NA	首	4 頸筋	140	2	2	5 第七頸椎骨	210	2	背及び肩	6 肩関節	160	210	2	2	7 第五腰椎	210	2	胸	8 胸骨	120	140	2	2	9 胸筋	170	2	腹部	10 腹筋	140	110	2	2	11 骨盤骨	210	180	2	上腕及び肘関節	12 三角筋	190	150	2	2	13 上腕骨	220	2	前腕及び手首関節	14 橈骨	190	160	2	2	15 前腕筋	180	2	手及び指	16 腕神経	180	140	2	2	17 人差し指腹 D	300	2	18 人差し指腹 ND	270	2	19 人差し指関節 D	280	2	20 人差し指関節 ND	220	2	21 母指球	200	2	22 手のひら D	260	2	23 手のひら ND	260	2	24 手の裏側 D	200	2	25 手の裏側 ND	190	2	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.1 b)</b></p>	<p>危険源の影響を受ける可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源の影響を受け, 危害を被る可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が危険源の周囲に設けられていない.</li> <li>・ 物理的な障壁に, 人が侵入できる隙間や開口部分, 部品や破片が通過してしまう隙間や開口部分がある.</li> <li>・ 危険源の周辺(影響が及び得る範囲)に, 次のような人が滞在できる空間がある: 立位:縦 300 mm 超, 横 180 mm 超, 高さ 800 mm 超 平座位:縦 1000 mm 超, 横 1000 mm 超, 高さ 600 mm 超</li> </ul>	<p><b>ISO/WD TR 21260:2020</b> 「Safety of machinery — Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons」</p> <p><b>JIS B 8433-2:2015</b>「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」</p> <p><b>JIS TS B 0033:2017</b>「ロボット及びロボティックデバイス - 協働ロボット」</p>
身体領域	特定身体領域	準静的接触				過渡的接触																																																																																																																
		最大容認圧力 <sup>a</sup> p <sub>s</sub> N/cm <sup>2</sup>	最大容認力 <sup>b</sup> F <sub>s</sub> N	最大容認圧力の乗数 <sup>c</sup> P <sub>T</sub>	最大容認力の乗数 <sup>d</sup> F <sub>T</sub>																																																																																																																	
頭蓋骨及び顔 <sup>d</sup>	1 額の中央	130	130	NA	NA																																																																																																																	
	2 こめかみ	110		NA																																																																																																																		
顔 <sup>d</sup>	3 そしやく筋	110	65	NA	NA																																																																																																																	
	首	4 頸筋	140	2	2																																																																																																																	
5 第七頸椎骨		210	2																																																																																																																			
背及び肩	6 肩関節	160	210	2	2																																																																																																																	
	7 第五腰椎	210		2																																																																																																																		
胸	8 胸骨	120	140	2	2																																																																																																																	
	9 胸筋	170		2																																																																																																																		
腹部	10 腹筋	140	110	2	2																																																																																																																	
	11 骨盤骨	210		180		2																																																																																																																
上腕及び肘関節	12 三角筋	190	150	2	2																																																																																																																	
	13 上腕骨	220		2																																																																																																																		
前腕及び手首関節	14 橈骨	190	160	2	2																																																																																																																	
	15 前腕筋	180		2																																																																																																																		
手及び指	16 腕神経	180	140	2	2																																																																																																																	
	17 人差し指腹 D	300		2																																																																																																																		
	18 人差し指腹 ND	270		2																																																																																																																		
	19 人差し指関節 D	280		2																																																																																																																		
	20 人差し指関節 ND	220		2																																																																																																																		
	21 母指球	200		2																																																																																																																		
	22 手のひら D	260		2																																																																																																																		
	23 手のひら ND	260		2																																																																																																																		
	24 手の裏側 D	200		2																																																																																																																		
	25 手の裏側 ND	190		2																																																																																																																		

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋, つづき)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等大分類
	大分類	細目				
8	人間工学的	重量物	<ul style="list-style-type: none"> <li>設定, 清掃, 調整, 点検などのために取り外す又は運搬する機械の一部/機器/工具/加工材料などで, 質量が 15 kg 以上で, つり上げのための対策がないもの.</li> </ul> <p>【参考】 これらは災害性腰痛や捻挫, 筋挫傷(肉離れ)の原因, 落とすと怪我をする原因となる.</p>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.7, 6.3.5.5</b></p>	(なし)	<p><b>EN 1005-2:2003+A1:2008</b> 「Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery」</p>
13	機械的	機構の起動又は停止	<p>次のいずれかに該当する機械の可動部分:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>起動又は加速が, 電圧又は流体圧力の除去若しくは低下による可動部分.</li> <li>停止又は減速が, 電圧又は流体圧力の印加若しくは増加による可動部分.</li> </ul>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.11.3</b></p>	<p>危険源に接触する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	(なし)
17	制御	非常停止	<p>次のいずれかに該当する非常停止又はそのリセット:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>JIS B 9703 が規定する設計原則に適合していない回路/装置</li> <li>リセットするまで効果が継続しない回路/装置</li> <li>非常停止操作をした位置(場所)以外でもリセットできる回路/装置</li> <li>リセット操作だけで再起動する回路/装置</li> </ul> <p>【参考】 これらは機械の誤操作や意図しない動作を招く. ただし, 誤って動作する部分が, 機械的危険源:「はさまれ」, 「巻き込まれ」, 「衝撃」の危険源に該当しない場合は同定しなくとも良い.</p>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.3.5.2</b></p>	(なし)	<p><b>JIS B 9703:2019</b>「機械類の安全性 - 非常停止機能 - 設計原則」</p>

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋, つづき)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等大分類
	大分類	細目				
25	熱的	高温となる部分/機器/配管	<p>表面温度が 43℃ 超となる機械の部分, 構成機器又は配管</p> <p>【参考】 表面との接触が短時間である条件では許容温度を上げられる場合がある. 詳細については ISO 13732-1 を参照.</p>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」表 B.1</p> <p><b>JIS B 8361:2013</b> 「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」5.2.6.2</p> <p><b>JIS B 8370:2013</b> 「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」5.2.6.2</p>	<p>危険源に接触する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p><b>ISO 13732-1:2006</b> 「Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 1: Hot surfaces」</p>
28	振動	振動源	<p>次のいずれかに該当する機械の振動部分:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>手腕系にかかる振動の振動合成値が 2.5 m/s<sup>2</sup> を超える.</li> <li>全身に加わる補正加速度の最高実効値が 0.5 m/s<sup>2</sup> を超える.</li> <li>起動又は加速が, 電圧又は流体圧力の除去若しくは低下による可動部分.</li> <li>停止又は減速が, 電圧又は流体圧力の印加若しくは増加による可動部分.</li> </ul> <p>【参考】 例えば, 以下のものがある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>液圧配管のキャビテーション</li> </ul> <p>【参考】 キャビテーション又は乱流が発生する条件の目安として, 「配管/管継手/マニホールドを通る流体の速度が次の値を超える場合」が知られている:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>吸込みライン: 1.2 m/s</li> <li>高压ライン: 5 m/s</li> <li>戻りライン: 4 m/s</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>手持ち工具, 振動する装置</li> <li>調整不十分な可動部分</li> <li>表面のこすれ・ひっかき</li> <li>バランスの悪い回転部品</li> <li>劣化/摩耗した部品</li> </ul>	<p><b>JIS B 9700:2013</b> 「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」6.2.2.2 c) 2), 表 B.1</p> <p><b>JIS B 8361:2013</b> 「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」5.4.6.1.1</p>	<p>危険源に接触する可能性を示す基準</p> <p>次のいずれかに該当する場合, 人が危険源に接触する可能性がある:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>危険源の周囲に, 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が設けられていない, 又は, 物理的な障壁に 4.0 mm 超の隙間がある.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さが 2.7 m 未満である.</li> <li>作業中に人が立つ基準面から危険源までの高さを容易に変更できる(台, 梯子などが利用できる).</li> <li>作業中に人がいる空間の端から危険源までの距離が 1.5 m 未満である.</li> </ul>	<p>EU 機械指令 “Directive 2006/ 42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC”</p>

表 27 JIS B 9700 の安全要求事項から抽出した危険源・危険区域の細目(抜粋, つづき)

番号	危険源		判断基準(定義)	出典規格, 箇条	アクセスの可能性を評価する基準	参考文献等大分類
	大分類	細目				
30	放射	電離放射線	<ul style="list-style-type: none"> <li>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).</li> <li>電磁波(X線, γ線).</li> <li>機械に蓄積する放射性物質.</li> </ul>	<b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.2 c) 4)</b>	危険源に晒される可能性を示す基準  次のいずれかに該当する場合, 人が危険源の影響を受け, 危害を被る可能性がある: ・ 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が危険源の周囲に設けられていない. ・ 物理的な障壁に, 人が侵入できる隙間や開口部分, 部品や破片が通過してしまう隙間や開口部分がある. ・ 危険源の周辺(影響が及び得る範囲)に, 次のような人が滞在できる空間がある: 立位:縦 300 mm 超, 横 180 mm 超, 高さ 800 mm 超 平座位:縦 1000 mm 超, 横 1000 mm 超, 高さ 600 mm 超	厚生労働省「電離放射線障害防止規則」  環境省「放射線の基礎知識」, 「放射線による健康影響」
34	放射	磁界	磁束密度が 2 T を超える静磁界(1 Hz 未満).  【参考】 危害の対象者に「一般公衆」が想定される場合は, 0.4 T を超える静磁界は危険源となる.	<b>JIS B 9700:2013</b> 「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」 <b>6.2.2.2 c) 4)</b>	危険源に晒される可能性を示す基準  次のいずれかに該当する場合, 人が危険源の影響を受け, 危害を被る可能性がある: ・ 物理的な障壁(構造物, 障害物, 覆い, 囲いなど)が危険源の周囲に設けられていない. ・ 物理的な障壁に, 人が侵入できる隙間や開口部分, 部品や破片が通過してしまう隙間や開口部分がある. ・ 危険源の周辺(影響が及び得る範囲)に, 次のような人が滞在できる空間がある: 立位:縦 300 mm 超, 横 180 mm 超, 高さ 800 mm 超 平座位:縦 1000 mm 超, 横 1000 mm 超, 高さ 600 mm 超	<b>ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields, HEALTH PHYSICS</b> 96(4):504-514; 2009

表 28 フォークリフトを対象とした技術的方策のチェックリストの例

No	技術的方策(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)8	■	
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(マストの後方に荷が落下するおそれのないときは不要)。	■	
4	前照燈と後照燈を備えている(十分な照度が保持されているときは不要)。	■	
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(サイドブレーキなど)を設ける。	■	
8	左右に1個ずつ方向指示器を備える(最高速度が時速20km以上のときなど)。	■	
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)		

表 29 フォークリフトを対象とした管理的方策のチェックリストの例

No	管理的方策(安全管理)	チェック欄	あなたの職場での注意事項の追加	
1	一般的対策 (労働安全衛生規則、荷役作業の安全対策ガイドラインなど)	フォークリフトの運転は、最大荷重に合った資格を有している労働者に行わせる。		
2		フォークリフトの定期自主検査、特定自主検査を実施し、その結果を記録し、必要に応じて修理を行う。		
3		作業計画を作成し、関係労働者に周知し、当該作業計画により作業を行う。	■	
4		労働者が複数で作業を行うときは、作業指揮者を定め、その者に作業計画に基づき作業を行わせる。		
5		乗車席以外の場所に運転者を乗せない。用途外使用(人の昇降等)を行わない。		
6		荷崩れ防止装置を行う。		
7		シートベルトを装備しているときはシートベルトを着用する。		
8		停車時は、フォーク等を最低降下位置に置き、逸走防止措置(原動機を止め、停止状態を保持するためのブレーキを確実にかける等)を確実にを行う。		
9		万一、フォークリフトが動き出したときは、止めようとしたり、運転席に乗り込まない。		
10		マストとヘッドガードにはさまれる災害を防止するため、運転席から身を乗り出さない。		
11		運転席が昇降する方式では、安全帯の使用等の墜落防止措置を講じる。		
12		急停止、急旋回を行わない。		
13		制限速度を守る。		
14		バック走行時には後方(進行方向)確認を徹底する。		
15		フォークに荷を乗せての前進時には、前方(荷の死角)確認を徹底する。		
16		構内でのフォークリフト使用時のルール(制限速度、安全通路等)を定め、作業者の見やすい位置に掲示する。		
17		構内を走行するときは、トラックや他のフォークリフトとの接触を防止するため、安全通路を走行するとともに、荷の死角から飛び出さない。	■	
18		通路の死角部分にミラーを設置するとともに、関係者に周知する。		
19		フォークリフトの走行場所と歩行通路を区分し、関係者に周知する。		
20		フォークや荷の下に作業者を立ち入らせない。		
21	自由記入(その他、有効と思われる対策を挙げて下さい)			
22				
23				

表 30 評価結果の記録と残留リスクの明確化の例

No	区分	質問	質問に対する回答の詳細
1	評価結果の記録	設備対策の要点	様式Aの1～8、11、14参照。
2		人間工学的対策の要点	様式Bの3、17参照。
3	残留リスクの明確化	保護方策を実施した後の残留リスクとして、どのようなリスクが考えられるか。	特に、夜間作業、トラックなどとの共同区域で行う作業、倉庫などの狭隘作業を行うときに、トラックとフォークリフトが接触したり、フォークリフトと作業者が接触することがある。
4		残留リスクに対する管理的対策の要点	フォークリフトが人やトラックと接触しないように、両者の作業区域を分離しておく。この点を作業計画に定めて、関係者に周知徹底するなど。

## II. 研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	中小機械製造業者を対象 とした設計開発段階での危 険源同定の支援に関する 考察	日本機械学会北陸信 越支部第58期総会・ 講演会講演論文集	No.217-1	B032	2021
入沢和, 芳司俊郎	中小企業の機械設備に係 る簡易リスクアセスメント手 法の開発	日本機械学会北陸信 越支部第58期総会・ 講演会講演論文集	No.217-1	B034	2021
池田博康, 齋藤剛, 岡部康平	ロボット介護機器の運用時 のリスク低減効果を含めた 包括的リスクアセスメントの 考え方	日本機械学会ロボ ティクスメカトロニクス 講演会講演論文集	Vol.2021	1P1-C02 (1)-(2)	2021
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	産業用ロボットシステムの 設計段階での危険源同定 の支援に関する考察	日本機械学会ロボ ティクスメカトロニクス 講演会講演論文集	Vol.2021	1P1-C03 (1)-(3)	2021
Saito T., Ikeda H., Hamajima K.	Basic Consideration on Im- plementation Support of Risk Assessment for Ma- chinery	10th Int. Conf. on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS2021)	—	PO-T10	2021
齋藤剛, 池田博康, 濱島京子	機械設備の設計段階での リスクアセスメント実施支援 の提案	第22回計測自動制御 学会システムインテグ レーション部門講演 会講演論文集	—	1311-13 14	2021
入沢和, 芳司俊郎	中小企業の機械設備に係 る簡易リスクアセスメント手 法の開発	第22回計測自動制御 学会システムインテグ レーション部門講演 会講演論文集	—	1293-12 97	2021