

機械安全規制における世界戦略へ対応するための 法規制等基盤整備に関する調査研究

研究代表者 梅崎重夫 独立行政法人労働安全衛生総合研究所
分担研究者 齋藤剛、清水尚憲、濱島京子、山際謙太
岡部康平、富田一、池田博康（労働安全衛生総合研究所）
福田隆文、平尾裕司、木村哲也、阿部雅二郎、藤野俊和
三上喜貴、岡本満喜子、門脇敏、大塚雄市（長岡技術科学大学）

研究要旨

既に平成 25 年度の報告書でも述べたように、欧州の機械安全に関する法規制及び社会制度の基本的枠組みは、1985 年のニュー・アプローチ政策によって確立したと考えられる。この政策では、安全上の必須要求事項である欧州指令とこれを補完する体系的な技術仕様書である EN 規格、モジュール方式による適合性評価と欧州域内での相互承認、自己責任に基づき製品の必須要求事項への適合を自ら宣言する CE マーキングなどが、日本の労働災害防止対策でも大変参考になると考えられる。このため、本研究では、欧州の機械安全に関する法規制及び社会制度の内容と実態を調査・分析するとともに、現段階で想定できる日本での法規制及び社会制度を仮説として複数設定し、各仮説を対象に労働災害防止効果や実現可能性及び問題点などの検証を行っている。このうち、平成 26 年度に得られた主な結果は次のとおりである。

- 1) 日本の強みは、現場の優秀な作業員や管理・監督者及び生産技術者が質の高い安全管理と生産技術に基づく改善を実施していることにある。したがって、この“現場力”を基盤に置いた上で、技術に基づく安全の先進国と言われる欧州の機械安全技術や社会制度を適切に活用すれば、現在多発している機械災害の激減を図るとともに、日本の現場力と欧州の機械安全技術を高次の次元で融合させた新しい枠組みの安全技術と社会制度を構築できる可能性がある。
そこで、平成 25 年度に実施した欧州の機械安全技術の調査に加えて、日本の現場力の源泉としての安全管理と生産技術に関する調査及び分析を行い、日本の特徴である安全管理の集合知の体系（関係者間の協力と連携によって現場で発生する問題を組織的に解決するための実践的な知識体系）、特に安全性と生産性の両立を目指した技術体系について考察した。このとき、安全はコストでなく新たな価値創造のための投資として位置づけることが可能となる。
- 2) 平成 25 年度の研究では、主に定置式の機械に対する法規制の仮説として、完全整合化案、実質同一案、及び現時点の規制を強化する案を提示し、この中から実質同一案を選択した。この案では、ISO12100 に定めるリスク低減戦略、モジュール方式による適合性評価と適合宣言に関する情報伝達を目的としたマーキング、マーキングの情報に基づく機械の使用段階での妥当性確認、機械の設計・製造段階への災害情報のフィードバックが特に重要であった。
しかし、中小零細企業の実態を考慮したとき、実質同一案の場合でも対応が困難な企業が多いと考えられる。そこで、当面の措置として、例えば労働安全衛生規則の第二編第一章第一節の一般基準に可動部に対する“覆い・囲い等”（保護装置も含む）の規定を設け、この対策の徹底によって機械に起因する労働災害を大幅に減少させる方策も併せて提案した。これにより、定置式の機械では死亡労働災害の 6 割近くを防止できる可能性があると推察される。
- 3) 上記 2) の方策の徹底にあたっては、現場段階での妥当性確認やリスクアセスメント、及び事業者に対するコンサルティングなどが不可欠である。また、中小零細企業でのリスク概念の普及を目的とした簡易なリスクアセスメント手法の開発、マーキングを利用した簡易な妥当性確認手法の開発、及び“覆い・囲い等”の好事例の収集なども重要な課題と考えられる。これらの業務には、独立行政法人労働安全衛生総合研究所の活用なども考慮すべきである。
- 4) 一方、平成 22～25 年度に日本で発生した機械に起因する労働災害（死亡約 5,000 件及び休業 4 日以上約 50 万件）を分析した結果、移動式の機械である建設用機械、移動式クレーン、及びフォークリフトに起因する死亡労働災害が全機械災害の 50% を占めていた。これらの移動式の機械に対しては、人の注意力に依存して作業員の安全を確保せざるを得ないと考えられている。しかし、人の

行動は誤りを伴うものであり、万全ではない。このため、本課題の研究者らは、人の行動を監視して警告等を行う支援的保護システムの検討を進めている。この具体例に、建設機械やフォークリフトへの接近警報システムがある。また、本課題の研究者らは、移動式クレーンのワイヤーロープの切断や構造体の破損などの災害を防止するために、材料工学的観点も含めた新素材や高強度材料、及び限界状態設計法などの信頼性・安全性評価手法の検討も含めた総合的な研究を進めている。

- 5) 平成 25 年度の研究では、機械安全に関する社会制度としてイギリス、ドイツ及びフランスで実施している機械の使用段階での妥当性確認制度を調査し、特に日本で参考にできる制度としてイギリスの制度に着目した。平成 26 年度は、これにスイスでの調査を加えるとともに、平成 25 年度に引き続きイギリスの HSE (英国安全衛生庁) の調査を行い、実際の製造業や建設業の現場で妥当性確認をどのように進めているかの知見を深めた。
- 6) 上記 5) と平行して、機械安全に関する社会制度のあり方を理論的に検討した。この検討で論点となったのは、イギリスのローベンス報告で指摘された自主対応型、及び日本の三柴文典が指摘している対話型の安全衛生政策を日本の機械安全の現場で実現するための具体的な理論と戦略を構築することであった。特に、自主対応と対話を基盤とするこれらの方策では、対策を実施するにあたっての根拠 (エビデンス) とプロセス (戦略) の明確化が不可欠と考えられる。そこで、この点を考慮し、研究代表者らが提案している根拠に基づく安全理論 (EBS: theory of Evidence-Based Safety) の更なる検討を進めた。なお、根拠とプロセスに基づく方策は欧州の鉄道分野における機能安全やアメリカの System Safety Society でも重要な課題となっている。
- 7) 実際の現場では、自主対応と対話だけですべての問題が解決できるわけではなく、多発する労働災害を防止するために労働基準監督機関が行う法規準拠及び監督取締型の施策も依然として重要である。したがって、今後は自主と強制の連携によって、自主対応及び対話型と法規準拠及び監督取締型のバランスの取れた施策を日本国内で総合的に行える体制の構築が重要と考えられる。このときの自主対応及び対話型の施策を対象とした支援機関には、独立行政法人労働安全衛生総合研究所や現在法案を審議中の独立行政法人労働者健康安全機構などの活用も考慮すべきである。
- 8) 以上の社会制度では全体最適の視点も重要である。そこで、全体最適に対する具体例として、企業と働く人の両方を考慮した総合的リスクマネジメント戦略の構築を併せて進めている。また、全体最適の観点から、機械安全と労働安全の両分野において望ましい安全性を達成するための理論的考察として、ISO/IEC ガイド 51 を基礎とする個別最適理論である機械安全と、ガイド 73 を基礎とする全体最適理論である労働安全におけるリスク低減戦略の違いも考慮した新たな最適設計理論の検討を進めている。

1 研究目的

日本では、現場の優秀な作業員や管理・監督者の技能と注意力に依存して労働災害防止対策を進めてきた。しかし、人の注意力に依存した対策には明らかに限界がある。

これに対し、欧州では「人は誤り機械は故障やトラブルを起こす」ことを前提に設備対策を実施してきた。また、この対策を体系的な欧州安全規格 (EN 規格) としてまとめ上げ、広く普及可能とした。さらに、この対策を基礎として第三者認証制度や CE マーキングなどの仕組みを構築し、社会制度化に成功した。

この基本的枠組みが 1985 年に確立した欧州のニュー・アプローチ政策である。この政策の要点は次のようにまとめることができる^{1)~4)}。

1) 安全上の必須要求事項である欧州指令と、これを補完する体系的な技術仕様書である欧州規格 (European Norms。以下、頭文字を取って「EN

規格」と呼ぶ)

2) モジュール方式による製品の必須要求事項への適合性評価と、製品の欧州域内での相互承認

3) 自己責任原則に基づき、製品の必須要求事項への適合を自ら宣言する CE マーキング

以上の制度は、機械の設計・製造段階で安全性を本質的に確保しようとする方策であり、日本の労働災害防止対策でも大変参考になると考えられる。このため、本研究では、上記 1)~3) の法規制や社会制度を日本の労働安全分野でも活用することによって、機械に起因する労働災害の大幅な減少が図れるかの検証を試みた。

このような検証を実施する場合、日本と欧州の社会的・文化的背景を考慮して比較検討を行う必要がある。例えば、欧州で設備対策を中心とした保護方策が普及した背景には、人や物の自由な移動が不可欠な欧州域内で母国語や文化も異なる多様な労働者を雇用する場合、ガード

や保護装置などの設備対策の充実が最も効果的な安全確保の方法であったためと考えられる。

これに対し、日本では、現場の優秀な作業者や管理・監督者の技能と注意力に依存して質の高い安全管理や生産技術を達成している事業場も多いと考えられる。これは、最近の雇用の流動化や就業形態の多様化などに起因して後退が著しいが、依然として鉄鋼、自動車、化学、電機などの分野では健全な企業も認められる。

したがって、日本の強みである“現場力”の源泉としての質の高い安全管理と生産技術を基盤に置いた上で、技術に基づく安全の先進国と言われている欧州の機械安全技術や社会制度を適切に活用すれば、現在多発している機械災害の激減を図るとともに、日本の現場力と欧州の機械安全技術を高次の次元で融合させた新しい枠組みの安全技術と社会制度を構築することも可能と考えられる。

また、この成果を基に、日本の現場力に基づく新しい枠組みの安全技術を海外に向けて広く発信できる可能性がある。これは、働く人の安全（労働者保護）という観点だけでなく、日本の国際競争力の強化という観点からも意義がある。この場合、欧州機械安全の基盤技術である本質的安全設計方策では、日本で培われた生産技術が大変有効と考えられる。

本研究では、以上の目的を達成するために、日本の強みである“現場力”及び欧州の機械安全に関する法規制や社会制度の内容と実態を調査・分析する。この結果を基に、現段階で想定できる機械安全に関する日本での法規制及び社会制度を仮説として複数設定し、各仮説を対象に災害防止効果や実現可能性及び問題点などの検証を科学的根拠に基づいて行う。

なお、“現場力”を安全管理に活用する場合は、事業者と労働者の間で“自分たちの職場からは絶対に重大な労働災害を発生させない”とする価値観の共有が不可欠である。また、“現場力”を過信して設備対策が可能なものにまで無理に人の注意力に依存するような対策は、そのような対策自体が労働災害の直接原因となることもある。したがって、“現場力”の活用にあたっては、人の誤りや機械の故障やトラブルが発生した場合でも事故や災害に至らない設備対策をあらかじめ講じておくことが、安全な職場を実現する際の前提条件となる。

2 研究の背景と期待される成果

2.1 研究の背景

独立行政法人労働安全衛生総合研究所（旧労働省産業安全研究所）では、1996年に「機械安

全に関する欧州規格の現状と国内法規との対応に関する調査」³⁾を公表して以降、欧州の機械安全技術を基盤とする保護装置や制御システムの開発など様々な調査研究を実施してきた。

また、これらの技術を基盤として労働安全衛生行政と連携し、欧州規格 EN292 と実質同一の「機械の包括的な安全基準に関する指針」の策定、欧州のリスク低減戦略を考慮した労働安全衛生法の改正（第28条の2の「危険性又は有害性等の調査等」の追加）、及び欧州で開発された保護装置の適用を考慮した動力プレス機械関係の労働安全衛生規則や構造規格の改正に参画してきた。

さらに、食品加工用機械などの災害多発機械を対象に、欧州の機械安全技術の要であるガード（覆い・囲い等）を基本とする保護方策の提案を進めてきた。この成果は、労働安全衛生規則第130条の2～9及び第107条の制改定作業にも反映されている。

しかし、近年、安全技術の国際化が急速に進捗したために、一部の有識者や国際競争の場で活躍している企業の担当者などからは“機械安全に関する規制を日本と欧州で完全に整合化すべき”、“日本でもISO/IEC規格をそのまま強制法規として採用すべき”との意見もある。一方で、特に日本国内の中小零細企業からは“過度の国際整合化はコストアップに繋がるだけで、技術力の点からも対応に不安がある”との意見も根強い。

このため、本研究では、欧州の機械安全技術に関する知見が豊富な国立大学法人長岡技術科学大学システム安全系と共同し、現段階で想定できる機械安全に関する日本での法規制案と社会制度案を仮説として複数設定し、各仮説を対象に、災害防止効果の有効性や、実現可能性及び問題点などの検証を行う。この仮説には、平成25年度の報告書では、完全整合化案、実質同一案、及び従来規制を徹底する案を設定していたが、今年度の報告書では後述する管理区分方式のリスク低減戦略を提案するに至っている。なお、以上の検証作業では、国際的評価が高い日本の生産技術及び安全管理の有効活用や作業性、生産性、費用対効果（コスト）などにも配慮する。

以上の検討では、“科学的根拠”に基づいて検証作業を実施する必要がある。このため、研究代表者らは科学的根拠に基づく労働災害防止対策として、研究代表者らが提唱している科学的根拠に基づく安全理論（EBS：theory of Evidence-Based Safety）と呼ぶ方策を提唱している。

この方策では、欧州の機械安全に関する制度

や研究代表者らが提案しているリスクの定量的評価手法などに関する成果を応用して、科学的根拠に基づく災害防止対策の確立を目的とする。このため、本研究では、以上のような観点からの機械安全に関する検証手法も併せて提案して行く予定でいる。なお、科学的根拠に基づく方策の確立は、厚生労働省が策定した第12次労働災害防止計画（平成25～29年度）でも重要な課題となっている。

2.2 期待される成果

本研究の実施によって次のような成果が期待できる。

- 1) 成果を労働安全衛生法の改正などに反映させることで、日本の労働者が欧州の労働者と比較して遜色のない安全水準を享受できるようになり、労働者保護の観点から重要な意義がある。
- 2) 労働災害による損失を防止できるため、長期的に見た場合、企業の競争力が高まる。
- 3) 新しい産業（安全産業）を創出でき、雇用政策上や産業政策上も意義がある。
- 4) 海外との相互承認制度の確立によって、検査・検定、認証や適合性評価、妥当性確認のコストを大幅に削減できる。
- 5) 製造物責任（PL）対策や労働契約法に定められた安全配慮義務の対策としても効果的である。

3 欧州の機械安全に関する法規制と社会制度の概要

本章では、本調査の前提条件を明確にするために、文献3)、4)の記載を一部引用して、欧州の機械安全に関する法規制と社会制度の核心である EU指令とEN規格、モジュール方式による適合性評価、適合宣言とCEマーキング、及び機械のリスク低減戦略の概要を述べる^{3)、4)}。

これらの情報は本研究の担当者にとっては既知であるが、前提条件の明確化と多くの方々に関連情報を知ってもらうために参考として記載した。なお、本報で使用する略語や用語の意味は表1及び表2を参照されたい。

3.1 EU指令の発令とEN規格の制定

1957年に設立されたEECは、EEC内での製品の自由な流通が安全規制という障壁によって阻害されるのを防ぐために、CEN/CENEC（欧州の規格制定機関）が中心となって加盟国相互の規格の統合化を推進してきた。この政策は“オールド・アプローチ”と呼ばれる。

しかし、元々EECはイギリス、ドイツ、フランスのように膨大な工業規格を持つ国々の共同体であり、これらの規格の数は総計すると数万に

も及ぶことから、この統合化は遅々として進まなかった。

1985年に、ECは上記のような状況を改善するために、従来の“オールド・アプローチ”に代わるものとして“ニュー・アプローチ”という新しい政策を発表した。この特徴は、従来の各国の国内規格に代わるものとして、欧州閣僚理事会がEC指令と称する安全に関する指令を発令し、この指令に定める必須要求事項を製品が満足している限り、欧州連合（EU）内での製品の自由な流通を認めるものである。このうち、機械安全に関する代表的なEU指令として機械指令、EMC指令、低電圧指令がある（表3参照）。

EU指令は製品が絶対に達成しなければならない必須要求事項を示したものであり、詳細な技術上の要件を含んでいない。そこで、EUでは指令とは別に詳細な技術上の要件を示した仕様書を作成し、指令を補完することにした。これが欧州規格（EN規格）である。

図1に、機械指令に関連するEN規格の体系図を示す。この規格は、図1に示すようにタイプA（基本安全規格）、タイプB（グループ安全規格）、タイプC（個別安全規格）という体系的な構成となっている。なお、EN規格への適合は強制ではないが、EN規格に適合していればEU指令の必須要求事項に適合しているとみなされるため、実際にはEN規格に適合するように製品を作らざるを得ないのが現状である。

3.2 モジュール方式による適合性評価

製品がEU指令に適合していることを評価するために、モジュール方式という手法を採用する。

モジュールは、図2に示すようにAからHまでの8種類が用意されている。このうち、モジュールAは危険性の低い製品を対象としたもので、欧州で流通している製品の8割程度を目安としている。モジュールAでは、製造者は製品がEU指令に適合していることを自ら評価し、宣言する（適合宣言という）。ただし、実際には製造者自らが安全性を評価するのは困難なときがある。そこで、第三者認証機関などのEU公認機関の力を借りて安全性を評価する。これが、図2のAaというモジュールである。ただし、モジュールAaでEU公認機関の力を借りても、製品に起因して災害が発生した場合、その責任は製造者にあるとされている。

これに対し、残り2割の危険性の高い製品は設計・試作の段階でEU公認機関による型式認定を取得する必要がある。これが図2に示すモジュールBで、その型式認定を基に製品を製造する際の適合性評価の方法としてモジュールCからFまでが用意されている。例えば、機械指令

ではプレス機械、成形機、丸のこ、帯のこなどの機械や人体検知用の安全装置などが該当する。これらのモジュールでは、設計上の適合性評価をEU公認機関が実施する。このとき、EU公認機関にも責任が生じる。

3.3 自己責任に基づく適合宣言とCEマーキング
適合性が評価された製品に対しては、自己責任に基づいて適合宣言書を作成するとともに「CE」のマークを貼付する。これをCEマーキングという。

CEマーキングは製品がEU指令を満足していることを製造者自らが評価し適合宣言するもので、既存のマーク類のような検査機関の固有表示とは明確に異なる。この点にEU固有の自己責任原則が貫かれている。なお、EUでは「マーク」を検査機関などの固有表示、「マーキング」を自己責任原則に基づく適合宣言を意味するものとして、両者を区別している。

なお、モジュールによっては安全性の評価にEU公認機関が関与することもある。しかし、このときの適合宣言も最終的には製造者の責任で行われる。したがって、自己責任の原則を排除するものではないと考えられている。

3.4 機械のリスク低減戦略と基本的な安全技術
次に、以上の法規制及び社会制度の下で実施される機械のリスク低減戦略を概説する。このときの基本となる規格に、機械の安全性に関する一般原則を示した EN292 がある。

現在、EN292 は機械安全国際規格 ISO12100(機械類の安全性 - 設計の一般原則 - リスクアセスメント及びリスク低減) として標準化されている。本節では、この規格に定められたリスク低減の進め方の概略を述べる (図3 参照)。

具体的には、次の手順にしたがってリスク低減策を実施する。

- (a) 機械の意図する使用及び各種制限を明確にする。
- (b) 機械を使用する作業等における種々の危険源 (傷害または健康障害を引き起こす潜在的根源) および関連する危険状態 (人が少なくとも 1 つの危険源に暴露される状況) を同定する。
- (c) 同定されたそれぞれの危険源、および危険状態に対してリスクを見積もる。
- (d) リスクを評価し、リスク低減の必要性を判断する。
- (e) 本質的安全設計方策 (図4 参照) によって危険源を除去またはリスクを低減する。これは、図3のステップ1が該当する。
- (f) ステップ1ではリスク低減が十分に達成で

きない場合、安全防護および付加保護方策によってリスクを低減させる。この方策は、図3のステップ2が該当する。ここで、安全防護には固定式ガードやインターロック付きの可動式ガードなどのガード、光線式安全装置や両手操作式制御装置などの保護装置 (安全装置) の設置などが含まれる (表4 参照)。また、付加保護方策には非常停止ボタンの設置などが含まれる。

- (g) ステップ1と2でリスクを十分に低減できない場合、警報装置や標識などによって危険を警告することや、取扱説明書で機械の正しい使用法や保護具の使用を指示することで、使用者側に機械の使用段階でのリスク低減を委ねる。これは、図3のステップ3が該当する。
- (h) 機械の使用者は、ステップ3を受けて、安全管理体制の構築、作業標準の作成、保護具の使用、教育・訓練などを行う。
- (i) 最終的に適切なリスク低減を達成できたと判断したときに、リスク低減プロセスを終了する。

なお、以上のようにステップ1、2、3の各段階を経てリスク低減を図る手法を3ステップメソッドと呼んでいる。

4 調査の対象と方法

4.1 調査対象

次に、以上の知見を前提とした上で、欧州における法規制及び社会制度の実態を調査する。このときの“欧州”には、欧州連合 (EU) に加盟するイギリス、ドイツ、フランス、イタリアなど 28 か国と、EU に加盟していないスイス及びノルウェーを含むことにした。

ただし、機械安全に関する法規制、社会制度、及び具体的な機械安全技術などはイギリス、ドイツ、フランスが中心となって発展してきた経緯がある。また、スイスは EU には加盟していないが、機械安全に関しては EU と同等の法規制及び社会制度を有しており、日本が EU の制度を活用する際に参考になると考えられる。

このため、本研究では、イギリス、ドイツ、フランス、スイスの4か国を主たる対象として調査研究を行うことにした。なお、実際の調査では米国の制度も対象とすることがある。このときは“欧州等”と記載して区別した。

図5に、本研究で当初想定した研究全体の流れ図を示す。このうち、平成25~26年度は原則としてこの流れ図にしたがって研究を進めた。

ただし、本研究では、日本の“現場力”の活用や研究代表者らが提唱している根拠に基づく

安全理論（EBS：theory of Evidence-Based Safety）の観点からの検討も必要である。そこで、当初の研究計画に対して若干の見直しを行い、次のような項目を対象に調査を行うことにした。

- 1) 欧州機械安全の基本理念と災害防止原則の抽出
- 2) 労働安全衛生法等に反映できる可能性がある欧州の機械安全規格、法規制及び安全技術の調査と分析
- 3) 日本の制度に反映できる可能性がある欧州の適合性評価制度とマーキング制度の調査と分析
- 4) 欧州及び日本での労働災害発生状況に関するデータの調査と、当該データに基づく機械指令等の有効性評価
- 5) 機械の設計・製造段階及び使用段階における妥当性確認の有効性検証
- 6) 日本の“現場力”の源泉である安全管理及び生産技術などの調査
- 7) 研究代表者らが提唱している科学的根拠に基づく安全理論（EBS）の活用方策
- 8) その他、必要に応じて日本の法規制や社会制度に反映できる機能安全・電気安全・材料安全・システム安全などに関する技術や制度の調査

なお、欧州では域内で統一した労災保険制度が運用されていないなどの理由で、上記4)に関する必要な情報が十分に得られない可能性がある。また、仮に機械災害や労働災害に関する情報が得られても、国ごとの社会制度の違いから、数値に含まれる不確かさを考慮した考察が必要と考えられる。このため、4)に関する結果は十分な吟味を経た上で公表するものとし、不確かな情報は本報告書には記載しないことにした。

4.2 調査方法

以上の項目を対象に、各研究者のネットワークを最大限利用して国内外の関連情報の収集と分析を実施した。しかし、膨大な情報を何の戦略もないままに収集し分析するのは得策でない。

このため、本研究では、欧州の機械安全に関する法規制及び社会制度の骨子と考えられる災害防止戦略として図6を設定し、この戦略に重点を置いて関連情報の収集と分析を実施した。これは、第5.9節で詳述するEBS理論でのタイプA災害に対する災害防止戦略である。

この戦略で特に理解しておくべき点に、“適合性評価”と“妥当性確認”の違いがある（この点は第6.1節の考察で改めて詳述する）。このうち、“適合性評価”とは主に機械の設計・

製造者が、製品が所定の“規格”に適合しているか否かを判定する行為をいうものと考えられる。ここで規格が“申し合わせ”であることを考慮すれば、規格に適合しているからと言って必ずしも安全であることを保証するものではない。

これに対し、“妥当性確認”とは主に機械の使用者が現場で使用する機械で労働災害が発生する可能性がないかを個別具体的に確認する行為をいうものと考えられる。この行為では個別の機械が安全であるか否かの確認が何よりも重要となる。

欧州の機械安全に関する制度の特徴は、この“適合性評価”と“妥当性確認”が適切な連携の下に行われている点にある。このうち、機械の設計・製造段階で行う“適合性評価”は一般社団法人日本機械工業連合会の調査報告書を始めとして多くの知見が得られている。

これに対し、機械の使用段階で行う“妥当性確認”については日本ではほとんど情報が得られていない。一方で、妥当性確認は災害が多発している日本の中小零細企業が有する旧式の機械の労働災害防止対策として特に有効と考えられる。

このため、本研究では、図6の項目に重点を置いて機械安全や労働災害防止に関する関連情報を収集し分析するとともに、主に機械の使用段階で行う“妥当性確認”の内容と実態を対象に、欧州での現地調査、及び欧州を本社とする企業に対するヒアリング調査を実施した。

一方で、本研究では、日本企業の“現場力”の源泉である安全管理と生産技術の調査も重要である。そこで、以上の項目を対象に調査を実施することにした。

以下、各調査の具体的方法を述べる。

1) 国内外の関連情報の抽出と分析

規格、基準、ガイドライン、調査報告書、書籍等の出版物やインターネット上に公開されている情報などを対象に、本研究に関連する機械安全及び労働安全の関連情報を抽出し分析した。

ただし、インターネットで得られる情報は膨大である割には真に重要な情報が得られないという欠点がある。このため、インターネットから得られた情報に関しては“どのような情報が一般に公開されているか”という傾向を知る程度の分析に留めた。

2) 欧州での現地調査

平成25年度は、機械の使用段階での妥当性確認に関する表5の質問項目を対象に、ドイツの

安全技術専門家、フランスの労働行政担当者、及びイギリスの研究機関を対象に現地調査を実施した。

このうち、ドイツでは、元ダルムシュタット工科大学教授である Alfred Neudörfer 氏と面会し、ヒアリングを行った。

また、フランスでは、フランス労働省パリ本部で、EN 規格の妥当性を行政として監視する職にあるフランス労働省規格基準部の Laure Ginesty 氏、及び動力プレスの EN/ISO 規格を策定している ISO/TC39/SC10/WG1 の委員長であるコンサルタントの Günther Müller-Welt 氏と面会し、ヒアリングを行った。

さらに、イギリスでは、HSL (国立安全衛生研究所) にて労働安全衛生マネジメントシステムの専門グループの方々の他、HSE (英国安全衛生庁) の建設部門の担当者である Russell Adfield 氏、Laurence Cusco 氏 (両名は労働基準監督官であり、また監督官を教育する立場の方) と面会し、イギリスの労働災害防止に関する法律や監督制度の実情について説明を受けた。

現場調査では、イギリス大手建設コンサルタント会社の MEC 社を訪問し、イギリスにおける建設業の労働災害防止対策 (建設用機械による作業など) に関する取り組みについて調査を行った。また、同社がコンサルタント業務を請け負っているビル建設中の現場を見学し、建設機械及び保護具の使用状況や安全管理体制について情報を得ることが出来た。

以上のように、平成 25 年度では、機械安全に関する社会制度の仮説としてイギリス、ドイツ及びフランスで実施されている機械の使用段階での妥当性確認制度を調査し、日本を対象とした妥当な制度としてイギリスの HSE (英国安全衛生庁) が実施している制度を抽出した。

この結果を受け、平成 26 年度では、引き続きイギリスの HSE に対して調査を行った。この調査では、HSE の安全衛生監督官 (Inspector of Health and Safety) である Roger Upfold 氏、セーフティーチームリーダーである Peter Lennon 氏、アソシエーションディレクターである Dr. Laurence Cusco 氏と面会し、実際の製造業や建設業の現場で妥当性確認をどのように進めているかについてヒアリングを行い、知見を深めた。

また、スイスの状況について、認証団体であり、かつ、労働災害保険の運営も行っている Suva (スイス事故保険機関) の技術基準部の担当官である Mauritius Bollier 氏と市場監査部の担当官である Peter Haas 氏から、書面ではあるが回答を得ることができたので併せて報告する。

3) 欧州に本社を置く企業に対するヒアリング調査

同様に、表 5 の質問項目を対象に、欧州に本社を置く企業の日本支社 4 社を対象にヒアリング調査を実施した。また、平成 26 年度には実地調査を併せて実施した。事案の性質上、会社名は非公開とした。

4) 日本企業に対するヒアリング調査

日本国内の企業及び専門家を対象に、表 5 の質問項目についてヒアリング調査を実施した。また、日本の“現場力”を活かした安全管理のあり方などについて意見交換等を行った。

5 調査結果

5.1 国内外の関連情報の抽出結果

別添 1 に、国内外の機械安全及び労働安全に関する関連情報の抽出結果を示す。これらの情報の多くは本研究の担当者にとっては既知であるが、多くの方々に関連情報を知ってもらうために、参考として記載した。

以下、機械安全と労働安全に関する情報を対象に抽出結果を述べる。なお、これらの分野の基本理念を検討する場合、ILO 関連の情報も参考になる。そこで、ILO に関しても関連する情報を抽出した。

1) 機械安全関係

欧州のオールド・アプローチ政策の時期に制定された機械安全に関する規格で最も重要なものが、欧州機械安全技術の原点を示す BS5304:1988 (Code of practice for safety of machinery) である。この規格はガードや保護装置を中心とした保護方策によって、労働災害の未然防止を図ることを目的としている。

この BS5304 が図 1 に示す体系的な EN 規格の基盤となった。この体系的な EN 規格は、本研究で提案する完全整合化案に利用できる。しかし、膨大な規格を労働安全衛生法の中に取り込むのは現実的でない。そこで、機械安全に関する要求事項の中で、労働災害の未然防止のために特に重要な要求事項が記載されている規格の抽出を試みた。この具体例に、ISO12100:2010 (機械類の安全性 - 設計の一般原則 - リスクアセスメント及びリスク低減) に定められた本質的安全設計方策と安全防護 (ガードまたは保護装置) がある。また、日本の関係者が特に苦手意識を持っている制御システムの安全関連部に関する規格として ISO13849-1:2006 (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)がある。この規格では、制御システムの安全関連部のリスク低減を達成する機能の性能を規定する上で、第1版(1999年版)では制御システムの構造に関する評価指標である「カテゴリ」が利用されていたのに対し、第2版(2006年版)では信頼性と安全に関する構造の両方を考慮した評価指標であるパフォーマンスレベル(PL、Performance Level)を利用している。

さらに、イギリスの機械安全関係の規則として1992年に制定されたPUWER(The Provision and Use of Work Equipment Regulations)、ILOが2011年に主に途上国向けに機械安全に関する要求事項をまとめた「Code of Practice on Safety and Health in the Use of Machinery」(本研究の分担研究者である齋藤剛も策定に参画)、ILO第118号勧告(機械の防護に関する勧告)なども本研究で参考となる。

公表されている報告書類では、一般社団法人日本機械工業連合会が公表している調査報告書が参考になる。この具体例に、やや古い2006年に公表された「海外における機械安全に関連する法体系と運用の実態に関する調査報告書」などがある。この調査には分担研究者である木村哲也も参画している。

この調査の主たる対象は欧州である。このうち、93~134ページはドイツでのヒアリング調査の結果であり、この内容が本研究で大変参考になる。特に、121~129ページは今回、本研究でもヒアリングを実施したA.ノイドルファ氏との面接調査であり信頼性が高い。

具体的な保護方策としては、前述したA.ノイドルファ氏が執筆した「国際規格対応 安全な機械の設計」、NPO安全工学研究所(2002)などがある。この一冊に、具体的な保護方策はほとんど網羅されている。

2) 労働安全関係

やや古い2002年、中央労働災害防止協会から「最新・安全衛生世界の動き」中災防新書(2002)が公表されている。この書籍の中では、特にイギリスのローベンス報告(小木和孝ほか、労働における安全と保健 - 英国の産業安全保険制度改革 -、労働科学研究所出版部。絶版)を高く評価している。

また、欧州での労働安全衛生関係法令に関する詳しい内容を国際安全衛生センター(JICOSH)が公表している。この組織は中央労働災害防止協会が運営していたが、大変貴重な海外情報を提供していた機関であるにも係わらず、2008年3月に廃止された。その後のホームページの運用

は独立行政法人労働安全衛生総合研究所が以下のアドレスを用いて実施している。

<http://www.jniosh.go.jp/icpro/jicosh-old/>

さらに、労働災害統計を含んだ特に有益な情報がイギリスのHSE、フランスのINRS、及びドイツのBGIA・BGで得られることがある。

なお、やや古い資料であるが、2004年12月号のセーフティ・サイエンス誌の933-960ページにイギリスのBirmingham大学のCeleste Jacinto氏とリスボン大学のElaine Aspinwall氏が欧州での労働災害情報と労働災害統計に関するデータベースの各国ごとの特徴などを一覧表にして示している。この一覧表を別添2に示す。

3) ILO条約関係

機械安全や労働安全衛生に関する基本理念を検討する場合、ILOが公表した歴史的文書が参考になる。この代表例に、ILOが1945年に公表したフィラデルフィア宣言がある⁵⁾。

この宣言は、正式には「国際労働機関の目的に関する宣言」と呼ばれているもので、“労働は単なる商品ではない”という有名な記述や、雇用・労働に関する基本的権利のほかに、“すべての職業における労働者の生命及び健康の十分な保護”など、労働安全衛生に関する記述も含まれている。

以上の点からも明らかなように、ILOでは職場における労働安全衛生対策を適切に実施するには、雇用・労働に関する権利や条件の整備が不可欠と考えているようである。この点に関して、分担研究者である三上喜貴は、労働基本権および労働安全衛生に関するILOの諸条約が国際社会からコミットメントを得ている状況について考察を試みている。この詳細を別添3に示す。

5.2 欧州での現地調査の結果

1) ドイツ及びフランス

表6(フランスの場合)及び表7(ドイツの場合)に、機械の使用段階での妥当性確認に対するドイツ及びフランスでの調査結果を示す。

表からも明らかなように、ドイツとフランスでは、その制度には一部違いはあるものの、少なくとも機械の使用段階での妥当性確認が適切に実施されており、これが機械災害の未然防止に大変役立っていることが推察された。

以下、調査結果の要点を述べる。

(a) 妥当性確認の仕組み

妥当性確認は、後述する第5.3節の記載にもあるように、事業者の機械の使用段階の自主的な安全管理活動の一環として、多くの場合、適切に実施されている。また、ドイツとフランスで

は、妥当性確認の実効性を高めるために、国の側でも様々な仕組みを導入している。

例えば、フランスではリスクアセスメントを法令で義務化し、かつ、機械・電気・化学・人間工学などの専門的能力を備えた労働監督官による現場の監視・監督によって、現場における妥当性確認の実効性を高めているとのことである（表6の質問事項 が該当）。

この労働監督の頻度は、労働者数が50名以上の企業は少なくとも1年に1回、それ未満の小さい企業でも3年に1回は労働監督官が監督を行うとのことである（表6の質問事項 ）。

また、機械や化学などの個別の工学分野に対しては、その分野ごとの専門家が労働監督機関に配置されており、監督官の技術的相談や事業場の指導などにあたっているとのことである（表6の質問事項 が該当）。

これに対し、ドイツでは ドイツ各州の労働省の監督官、 製品安全と製品の流通に対して監視・監督権限を持つ行政流通監視評議会（GAA）の検査官、及び ドイツで労災保険を運営するBGの検査員などの連携によって、機械の使用段階における妥当性確認を実施しているとのことである（表7の質問事項 が該当）。

要するに、フランスでは国が主体となって妥当性確認を担っているのに対して、ドイツでは国、州及び保険会社であるBGの連携の下に妥当性確認を担っているという特徴がある。

(b) 妥当性確認の内容

実際の妥当性確認は、多くの場合、目視で確認できる明確な欠陥（例えば、ガードの不備など）のチェックに限られるようである（表7の質問事項 が該当）。したがって、設計上の詳細な適切さについては機械の設計・製造段階における適合性評価に委ねられていると言える。

この点がCEマーキング制度を必要とする理由であり、機械の設計・製造段階で適合性評価が適切に行われていることをCEマーキングの貼付で確認することが、妥当性確認の実務でも重要な作業となっているようである。この意味で、CEマーキングは“ 機械の設計・製造が適切であることの見える化 ”を意図した制度と理解することもできる。

(c) 妥当でないと判断される場合

妥当性確認の結果、妥当でないと判断された場合は（危険性の程度にもよるが）機械の使用が禁止されることもある（表6の質問事項 が該当）。

特に、法違反が明らかな場合や災害の発生時は、直ちに必要なすべての措置が実施されるとのことである。また、検査で不具合が発見され

た場合は、是正が勧告されることがある。

(d) 妥当性確認を実施せずに災害が発生した場合

フランスでは危険な機械を使用して災害が発生したときは、労災保険料が最大で4倍まで増大することである（表6の質問事項 が該当）。また、ドイツでは刑事処分及び行政処分の状況によってはBGが労災補償の償還請求をする場合もあるとのことである（表7の質問事項 が該当）。

2) イギリスの場合

イギリスの労働監督制度の中で特に注目すべき点は、労働監督官自身が相当に高いレベルの知識と現場の経験を持って、現場の様々なニーズに的確に対応している点であった。また彼らはHSL（イギリスの国立安全衛生研究所）の研究者とも常に連携を取りながら、最新の技術的データに基づいた現場の安全指導を実施しており、HSLの研究者もまた、事故や災害の再発防止という具体的目的にあわせた研究テーマについて、集中した研究ができる環境を国が保障していることも監督行政を支える環境として大きく貢献しているとのことであった。

日本でのリスクアセスメントの取り組みについては、イギリスの労働監督官及び HSL の研究者ともに熟知しているようであった。その上での意見として、“ 日本でのリスクアセスメントの手法はイギリスより緻密である。しかし、リスクの概念はイギリスの方が現場での普及が進んでいる。日本はリスクアセスメントを非常に大事にしているが、イギリスではリスクアセスメントは中小零細企業がリスクの概念を習得してもらう際の教材に過ぎないと考えている。この点が日本とイギリスで大きく異なっている。”との指摘を受けた。この点は、今後、日本でリスクアセスメントを普及促進して行く上で大変重要な指摘と考えられる。

また、イギリスの特徴はローベンス報告に記載された“ 自主対応 ”（この意義は第6.3節参照）にあるが、その自主対応に対して労働監督官が具体的にアドバイスを行ったり、不備があればその部分を改善指導したりしているとのことであった。さらに、万一、労働監督官が実施した指導が原因となって労働災害が発生した場合は、国家賠償として国が責任を負う場合もあるとのことであった。

さらに、リスクアセスメントに関する考え方の基本として、リスクアセスメントは労働災害を事前に予測して回避するために実施するものであること、そのためには単に最低限の安全基

準だけでは労働者の安全は確保できず、特に危険性の高い危険源や危険状態を野放しにしないことが重要であるという点が徹底されていた。この点は、研究代表者らが提案している再発防止から未然防止、件数重視から重篤度重視という戦略転換の重要性を示唆するものと考えられる。

なお、実際の現場では労働者が保護具の適切な装着や不安全行動の根絶に対して高い意識を持って安全活動を担っていた。結果的に労働災害の発生件数が日本と比較して圧倒的に少ないのは、労働者の安全に関する意識の高さが関連していると考えられる。結果的に災害発生件数が日本に比べて圧倒的に少ないのは、労働者の安全に関する意識の高さと、技術に裏付けられた国の監督行政が大きく関与していると考えられる。

3) スイスの場合

表8（スイスの場合）に、表5の質問項目に対するスイスの回答を示す。

スイスでは、製品安全法と災害防止法の下に設立された機関が、事業場で使用される機械設備及び機器の妥当性確認を実施しており、今回回答を得た Suva はその一つである（表8の質問事項 が該当）。

妥当性確認の内容は、明確な欠陥をチェックするもので、内部文章として一般には非公開のチェックリストに基づいた確認を実施しているとのことである（表8の質問事項 及び が該当）。例えば、複数の機械がコンベヤーやリフトなどによって接続された一連の生産システム（統合生産システム）に対しては、はじめに個々の機械単体での適合を、次に全体での適合を調べるとともに、場合によっては、機械同士の接合（インターフェース）部分について事業場でリスク解析を行っているか証明を求めるとのことであった（表8の質問事項 が該当）。また、検査対象はランダムに選ばれ、原則、製造年によらずに全ての機械が対象（一般的には新規の機械を中心に検査しているとのことであるが）としている点が興味深い（表8の質問事項 及び が該当）。

妥当でないと判断された場合には、その重大さ次第では機械の使用が直ちに禁止され、場合によっては、罰金が科されることもあるとのことであった（表8の質問事項 及び が該当）。

5.3 欧州に本社を置く企業のヒアリング調査の結果

同様に、表5の質問項目を対象に、欧州に本

社を置く企業のヒアリング調査を実施した。表9に調査結果を示す。ただし、今回実施した調査は4社に過ぎない予備調査的なものであり、この結果を持って一般化は困難である。この更なる展開は、平成27年度に別途実施するアンケート調査で行う予定でいる。

表9の記載からも明らかなように、欧州では機械の使用段階での妥当性確認は常識となっていた。また、仮に妥当性確認を担える人材が事業場内にいない場合は、第三者認証機関や安全機器メーカーによるコンサルティング業務や代行業務を利用することもあるとのことであった。ただし、このような場合でも、機械の妥当性確認を行う責任は最終的には機械の使用者（ユーザー）側にあるとのことであった（表9の質問事項 参照）。

また、機械の使用者側で妥当性確認を行う場合の大前提として、機械の設計・製造者側で安全な機械を設計・製造していることの確認が必要である。このために行われるのが機械の設計・製造段階での適合性評価であり、実務上はCEマーキングの貼付によって確認しているとのことであった。以上の点からも明らかなように、日本で適合性評価と妥当性確認の適切な連携を図るためには、CEマーキングに類似した制度によって機械の設計・製造段階での適合性評価の可視化を図ることが不可欠と考えられる。

以下、項目ごとに調査結果の要点を述べる。

(a) 妥当性確認を行う人

一般的には、妥当性確認を行うにあたって特別な資格は必要なく、能力のある人であれば誰でも実施できる。ただし、妥当性確認に際して特定の技術やノウハウを必要とする場合は、当然にそれらを理解できる技術的背景を持つ人である必要がある（表9の質問事項 参照）。

(b) 妥当性確認の時期

機械を最初に設置して試運転を行ったときだけでなく、機械本体や使用方法に何らかの変更があった場合には、再度、妥当性確認を行っている。なお、機械のメンテナンス間隔が労働安全関係の法令に規定されている場合もある（表9の質問事項 参照）。

(c) 妥当でないと判断されたとき

妥当性確認を実施した結果、妥当でないと判断されたときは、原則として直ちに機械の使用を停止しなければならない。そして、安全が確認できるまで使用を再開してはならない。仮に、機械を使い続けるという決定がされたときは、それを正当化する理由を明確化するとともに、文書化が必要とのことであった（表9の質問事項 参照）。

(d) 妥当性確認で確認する内容

機械の使用段階における妥当性確認は、原則としてCEマーキングが貼付されているかの確認が基本とのものであった。また、専門的な観点からはTCF（テクニカル・コンストラクション・ファイル）の確認を行うこともあるとのものであった。なお、定期的な妥当性確認では、機械の重要な部分に摩耗がないことと、保護装置の機能をチェックするとのことであった。

(e) 妥当性確認のためのチェックリスト等

第三者認証機関などの公認機関が妥当性確認を目的としたチェックリストを作成することがあるとのものであった。ただし、このようなチェックリストを使用する場合でも、基本となるのは規格そのものであり、このようなチェックリストは解釈の一例であることに注意しなければならないとのものであった（表9の質問事項参照）。

特に、規格を最小限の内容に要約すると、その過程で何らかの詳細な要求事項に関する内容が失われることが多いので注意すべきであるとのことであった。なお、関係者が規格を理解できなかったり、必要なテストを行う能力がない場合、第三者認証機関や安全機器メーカーによるサービスを利用することがあるとのことであった。

5.4 欧州の機械安全に関する基本理念と災害防止原則の抽出結果

次に、欧州の機械安全に関する基本理念と労働災害防止原則を文献4)と6)の記載を基に抽出する。表10は、研究代表者らが日本と欧州での機械安全に関する基本理念と災害防止原則を比較検討したものである。以下、特に重要な抽出結果を概説する。

1) 機械の設計、製造段階での対策を重視する

日本では、労働災害防止対策は現場の優秀な作業者の技能や注意力に依存して行なう管理的対策が中心であった。これに対し、欧州では、機械の設計・製造者が中心となって設備対策を実施することで、適切なリスク低減を目指している。これは、機械の本当の危険性を知っているのは設計・製造者であり、この段階での対策が最も効果的で、対策費用も安価になるという考え方に基づいている。

2) ヒューマン・エラーの背後に潜在する根本原因を重視する

日本では、労働災害の原因を単なる人の誤り（ヒューマン・エラー）として捉え、教育・訓練を強化するという対策が一般的であった。しかし、ヒューマン・エラーが原因と思われるも

のでも、その背後には人の誤りを誘発する設備対策の不具合などが潜在していると考えられる。したがって、ヒューマン・エラーの背後に潜在する根本原因を重視した対策が必要である。

3) 人は誤り、機械は故障やトラブルを起こすことを前提に対策を実施する

日本では、機械の信頼性の向上や作業者に対する教育・訓練の強化によって労働災害を減少させるのが一般的であった（たとえば、KYTやゼロ災運動など）。しかし、本来、人は誤り、機械は故障やトラブルを起こすものであり、これらの発生を前提にした対策が重要である。このときに必要なのがフルプルーフ（人の誤りが対象）やフェールセーフ（安全装置の故障などが対象）などの安全技術である。これらの技術の詳細は文献4)を参照されたい。

4) 安全か危険か分からないものはすべて危険とみなす

労働災害防止対策の過程で、時として安全か危険か分からないものに遭遇することがある。このようなときは、安全か危険か分からないものを必ず危険とみなして問題を処理すべきである。このことを「疑わしきは罰す」と表現することもある。

同様の考え方として、環境分野における予防原則などがある。また、品質の分野でも「良品か不良品か分からないものは不良品とみなす」という考えが成り立つ。以上のような考え方は、品質・安全・環境の各分野を横断する普遍的な考え方といえる。

5) 絶対安全は困難でリスクは必ず残留することを考慮する

日本では、「労働災害は本来あってはならない」という観点から、ゼロ災の理念の下に絶対安全が追求されてきた。これに対し、欧州では、絶対安全の実現は困難であるという観点からリスクの概念が発展してきたといわれている。

むしろ、研究代表者らは、「リスクゼロ」という形式的なゼロ災宣言をするよりは、残留リスクの明確化を図って使用者に対して適切な情報の提供を行うこと、及び残留リスクに対する管理的対策（安全管理体制の構築、作業手順の決定、教育や訓練の実施、保護具の使用など）の内容を明確にしておく方が重要と考える。

6) 災害防止対策と安全確認の手続きは公平、透明かつ客観的なものとする

日本では、安全性の判断は「専門家である彼が言うのだから・・・」という属人的で、時として不透明な判断に委ねられてきたように考えられる。これに対し、欧州では、安全と判断するには標準化された手続きと客観的な証拠を必要

とする。このうち、手続き上の問題では 公平性、情報の公開性、手続きの透明性、実施者の中立性などが特に重要である。

欧米諸国の特徴はこれら ~ の要件を満足できる適合性評価の制度として、第三者認証が社会制度として整備されている点にある。この制度の要点は次のようにまとめることができる。

- (a) 技術者倫理を備えた専門家が、一般公衆の安全を確保するために、機械を所定の安全規格にしたがって適切に設計・製造する。
- (b) 安全規格は、適切なリスク低減を図るために現段階で到達できる技術水準 (State of the art) を考慮して関係者のコンセンサスと全面的な承認の下に作成し、認知された機関によって承認されて決定する。
- (c) 第三者である技術専門家は、機械がこの規格に適合していることを公正・中立の立場から適合性評価を行う。

近年、国際競争力の強化の観点から第三者認証制度を早急に整備すべきとする意見があるが、労働災害防止の観点からも第三者認証制度の活用が望まれる。

5.5 欧州の機械安全に関する規格、法規制及び技術の調査及び分析結果

1) 欧州の機械安全技術の日本への影響

これまでの日本では、現場の優秀な作業者の技能と注意力に依存して労働災害を防止するという手法が一般的であった。しかし、人の技能と注意力に依存した対策には明らかに限界がある。

これに対し、欧州では「人は誤り、機械は故障やトラブルを起こす」ことを前提に機械安全技術を作り上げてきた。また、これらの技術を体系的な EN 規格としてまとめ上げ、広く普及可能なものとした。

さらに、これらの技術の背後にある設計思想を西欧市民社会の倫理観 (技術者倫理の基礎となる社会常識) と融合させ、社会制度化することに成功した。この具体例に、前述した CE マーキングや第三者認証制度などがある。実際、リスクの概念や公平性、公開性、透明性、中立性などの考え方は、西欧市民社会の根底にある倫理観を習得しなければ、その本質が理解できないと考えられる。いずれにしても、これらの財産を総動員して安全を確固たる社会制度として構築したところに、安全の先進国である欧州の特徴がある。

また、欧州は、これらの取り組みと並行して、グローバル経済の中で安全技術の先進国としての地位を維持するために、非常に有効な知的財

産戦略を作り上げた。これは、EN 規格の内容を ISO や IEC に反映させ、両者の内容を事実上同一にするという戦略である (この統合化は ISO/IEC の側からも要請のあったものである)。このようにすれば、EN 規格には欧州の企業が開発した知的財産 (特許やノウハウなど) が詰まっているから、域内産業の競争力強化を図ることができる。

この目的のために締結されたのが、ウィーン協定とドレスデン協定である。前者は、1991 年に欧州の規格制定機関である CEN (EN 規格のうち電気・電子分野以外の分野を担当) と ISO との間で締結されたもので、CEN は原則として ISO 規格を採用するが、EN 規格を ISO 規格の原案にすることも認め両者の相互協力による規格開発を主眼とした協定である。また、後者は、1996 年に欧州の規格制定機関である CENELEC (EN 規格の電気・電子分野を担当) と IEC との間で締結された同様の協定である。このような背景から、また EU 指令に技術基準として援用されているということからも、EU 各国の国際規格策定参画に対する意欲は非常に高く、安全規格の策定においても EU 諸国が主導的な立場を築いている。

一方、日本では、WTO/TBT 協定 (表 1 参照) の批准によって経済産業省が旧通産省の時代から JIS と ISO/IEC との統合化を進めている。このため、EN 規格を基に策定された ISO 規格が JIS 規格としても採用され、EN ISO JIS という流れが事実上決定づけられた。また、任意規格である JIS の制定は強制法規である労働安全衛生関係法令にも影響を及ぼしつつある。この具体例に、労働安全衛生法第 28 条の 2 の制定 (危険性又は有害性等の調査等の実施に関する条項の追加) や、ISO12100 と実質同一である「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改訂などがある。

図 7 は、以上のプロセスをまとめたものである。これら一連のプロセスを経て、欧州で開発された機械安全技術が日本の労働安全分野にも確実に影響を及ぼすようになった。

以下、機械安全分野で特に重要と考えられる ISO12100、旧 ISO14121-1、及び ISO13849-1 を対象に、その改訂事項を中心に述べる。

- 2) 旧 ISO14121-1 の見直しと ISO12100 への統合
1999 年に発効した ISO14121 (機械類の安全性リスクアセスメント) は、2007 年に ISO14121-1 (第 1 部: 原則) と ISO/TR14121-2 (第 2 部: 実践の手引き及び方法の例) の 2 部構成として改訂された (注: 最新版の ISO/TR14121-2 は 2012 年

版となっている)。

このうち、2007年版のISO14121-1の主な改正点は、労働安全の観点からは次のように要約できる。

(a) 危険源の統合

旧版の付属書Aでは37種類あった危険源が、改定された版では以下の10種類のタイプ又はグループに統合された。

- 機械的
- 電氣的
- 熱的
- 騒音
- 振動
- 放射(赤外、紫外、マイクロ、電離放射線)
- 材料・物質
- 人間工学的原理
- 環境
- 危険源の組み合わせ

また、危険源の例として発生原因(origin)と潜在結果(Potential consequence)の関係を示した表が付属書Bに追加された。

(b) ライフサイクルの追加

機械の各ライフサイクルの局面におけるタスクの例が付属書Bに追加された。以下、ライフサイクルとして規定された局面を示す。

- ・輸送
- ・組み立て及び据付、コミッショニング(検収)
- ・設定、ティーチング/プログラミング及び/又は工程の切替
- ・運転
- ・清掃、保全
- ・不具合の発見/トラブルシューティング
- ・運転停止、分解

以上より、従来、危険源だけで整理されてきた付属書の一覧表は、発生原因、潜在結果、ライフサイクル、及びタスクなども考慮した総合的な一覧表へと変更された。この点は労働安全の観点からは、あるべき方向の改訂として評価できる。

一方で、新たな付属書では、従来、危険源の種類を37種類としていたときに記載されていた“人の滑り、つまずき及び落下”、“運転者/オペレータに対する指示が不十分”などが削除されている。これらは、機械安全には直接関係ないという理由から削除されたと思われるが、労働災害防止という観点からは残して欲しい事項であった。ちなみに、現在でも旧付属書の37種類の危険源一覧表を愛用している方もいるようである。

その後、ISO14121-1(機械類の安全性 リスクアセスメント：第1部：原則)は2010年にISO12100-1:2003(機械類の安全性 - 設計のための基本概念と一般原則)及びISO12100-2:2003(同)と統合し、新たにISO12100:2010(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)として2010年に再編成された。

これが現在のISO12100:2010であり、この規格に機械の労働災害防止に役立つリスクアセスメント及びリスク低減に関する重要事項が要約されている。なお、ISO12100:2010は、2013年にその内容を変更することなくJISB9700:2013として制定された。

3) ISO13849-1の改訂

(a) 改訂にあたっての留意点

ISO13849-1は、制御システムの安全関連部(Safety-Related Parts/Control System: SRP/CS)を対象にした設計原則に関する安全性要求事項や実現すべき安全機能の性能を規定している。以下、文献7)の記載を基に、ISO13849-1の改訂について述べる⁷⁾。

ISO13849-1の第1版は1999年に制定されたが、2006年に第2版に改訂された。この改訂の最大の変更点は、リスク低減を達成する安全機能の構造を第1版では「カテゴリ」として表現していたのに対して、第2版では「パフォーマンスレベル」(Performance Level: 以下、PLと呼ぶ)という新しい指標を導入したことである。

安全性能を規定するカテゴリとは、SRP/CSの障害に対する抵抗性(障害耐性)をSRP/CSに要求される挙動として記述した構造(アーキテクチャ)に関する指標であり、主にハードウェアの安全機能について定性的な分析を行うものである。

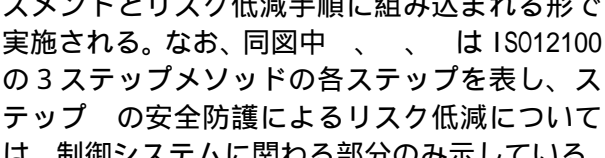
これに対して、PLはSRP/CSのコンポーネントの信頼性や障害検出能力、共通原因故障等のパラメータを考慮して定量的な見積もりを行い、加えてソフトウェア等の定性的側面まで含めて決定される。ただし、従来の「カテゴリ」はPL見積もりのためのパラメータの一つとして残っており、第2版におけるSRP/CSのリスク低減戦略が構造と信頼性の両面から指向されるようになったことが分かる。ちなみに、第2版でのPLは、表11に示すように時間当たりの危険側故障発生率の平均確率で定義され、5段階に分類される。

以上のような半定量的指標への移行には、SRP/CSが関連する他の電気安全規格であるIEC61508などの電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全規格が先に発行された

という背景があり、第2版でもこの規格が引用されている。

また、第2版では、この機能安全規格から派生した機械の機能安全規格で規定する指標「安全インテグリティレベル (safety integrity level : SIL)」にも言及しており、PLとの対応関係が示されている。

(b) SRP/CSの安全設計の目標

第2版のISO 13849-1:2006で記述されるSRP/CSの設計手順は、前述したISO12100の原則に則り、図8の点線部に示すようにリスクアセスメントとリスク低減手順に組み込まれる形で実施される。なお、同図中、はISO12100の3ステップメソッドの各ステップを表し、ステップの安全防護によるリスク低減については、制御システムに関わる部分のみ示している。

SRP/CSの設計手順の最終段階では、意図したリスク低減目標に達したかを分析あるいは試験により検証(妥当性確認)して、満足しない場合は手順を反復することが求められる。

第2版のSRP/CSの設計手順で対象となるSRP/CSの安全機能は、次の機能である。

- ・ 保護装置により始動する安全関連停止機能
- ・ 手動リセット機能
- ・ 起動/再起動機能
- ・ ローカル制御機能
- ・ ミューティング機能
- ・ 安全関連入力値のパラメータ監視
- ・ 応答時間
- ・ 安全関連パラメータ(速度、温度、圧力等)
- ・ 電源の変動、損失、復旧

これらの安全機能に対する安全設計目標は、図8の要求パフォーマンスレベルPL_rで与えられる。このPL_rは対象とする安全機能に課すリスク低減効果を見積った結果から導出され、第2版の附属書には図9に示すリスクグラフによる決定方法の例が示されている。同図における三つのリスク要素S、F、Pは、各々添え数字が大きいほどリスクが高く見積もられ、最終的に5段階のPL_r(eが高リスク対応)が決定される。

(c) SRP/CSの安全性能の確認

対象となる安全機能に関わるSRP/CSが、図8で求められたPL_rを満足するか評価するための基本的な手順としては、先ずSRP/CSを特定して図10に示すようなサブシステムに分離し、各々に該当するコンポーネントを割り当てることから始まる。ここで、もし、サブシステムのPLが

コンポーネントメーカー等により与えられている場合は、SRP/CS全体のPLを簡易的に求めることも可能である。

サブシステムのPLは、図8に示した四種類のパラメータを基本に評価されるが、関連するパラメータを改めて整理すると次のようになる。

カテゴリ

構造および故障状態下での安全機能の挙動によりカテゴリB、1~4の5段階をとる。

MTTF_d(平均危険側故障時間)

構成するコンポーネントの故障率から得ることができ、3~10年、10~30年、30~100年を各々低、中、高の3段階として分類する。

DC(診断範囲)

試験による故障検出能力の目安となり、60%未満、60~90%、90~99%、99%以上を各々0、低、中、高の4段階として分類する。

CCF(共通原因故障)

単一原因で相互関係のない異なった故障の発生防止のため、各防止方策の評価点を合計して評価し、65点未満では追加方策を求める。なお、CCFのファクタは2%以下が原則である。

その他の定量化できないパラメータ

システムティック故障、安全関連ソフトウェアについては考慮すべき方策が示される。また、想定される環境条件などの影響を考慮する必要がある。

以上のパラメータのうち、特に①~③から簡易的にPLを算出する手法として、図11に示す関係が示されている(注:より正確な数値的選択については附属書Kに記載されている)。図中のCatはカテゴリを表しており、同一カテゴリでも信頼性と故障検出能力によって安全性能が変化することが分かる。例えば、カテゴリ3の2チャンネルサブシステムについて、故障検出能力は低い(DC:低)が高品質コンポーネント(MTTF_d:高)を利用する場合と、高品質でないコンポーネント(MTTF_d:中)であるが故障検出能力は高い(DC:中)場合のいずれでもPL=dが達成できる可能性がある。

以上のような導出手順を経て、対象の安全機能に関わるSRP/CSのPLを決定することができ、これがPL_rを満足すれば図8の制御システムに関わる手順は終了する。

(d) PL計算の具体例

次に、文献8)での記載を基に、クレーンで使用されている過巻防止装置でPL=dが要求された場合の仮定の下で、PLを定める手順を説明する⁸⁾。

<カテゴリの選択>

ISO 13849-1 では、システムの基本構成は前述したカテゴリのいずれかに従っていなければならないが、また、選択可能なカテゴリには目標とする PL に応じて表 12 の制約がある。ここでは、PL=d の達成のためにカテゴリ 3 を採用するとし、図 12 に示すつり具が上昇して重錘を押し上げると操作レバーが矢印の方向にカム軸を回転させ、過巻を検知する直働式（重錘式）過巻防止装置の回路を考える。

この回路は、カテゴリ 3 の要求を満たすよう、単一障害が発生してもつり具が上限に達したら巻上げを停止できる 2 チャンネルの冗長系としたものである。このうち、第 1 のチャンネルでは、直接開路動作機能を有する常時閉接点のリミットスイッチ B1 がカムの凸部によって機械的に接点が開くように設置されている。また、その OFF 信号は安全リレーユニット KM を介して、モータへの巻上げ側電力を遮断する接触器 Q1 と Q2 に接続されている。

Q1、Q2 の主接点は、これと同時に閉路状態にならない常閉補助接点を使って、つり具が適正範囲に戻って KM がリセットされる毎に動作がチェックされる。KM には、カムの凹部で開く常時開接点のリミットスイッチ B2 も接続されており、第 2 チャンネルの入力部となっている。

PL を見積る上で、さらに以下を仮定する。

この回路はカテゴリ B の要求事項を満たし、かつ、その設計には ISO13849-2 に規定されている基本安全原則及び十分吟味された安全原則が適用されている。

KM は、メーカーによって PL=e 及びカテゴリ 4 への対応が謳われた製品である。また、製品仕様で危険側故障確率 $PFH_{0, KM} = 2.31 \times 10^{-9}$ (1/h) が示されている。

ISO13849-1 附属書 G に記載されている系統的故障を抑制/回避する各種方策（例えば、デザインレビューの実施、文書化等）が、回路の設計や開発プロセスの管理に適用されている。

< 各チャンネルの MTTFd の見積り >

次に、対象とする安全制御系の論理構造を“安全関連ブロックダイアグラム”として表す。これは、各チャンネルの MTTFd を簡易的に見積るために関連するコンポーネントの関係を抽象化した機能ブロックで表したもので、図 12 の回路の場合は図 13(a) となる。なお、ここでは KM を、PL=e 及びカテゴリ 4 に対応し、 PFH_0 が既知である製品とした。このように安全性能が明示されているコンポーネントの場合は、後で述べるように、その他のものと分けて評価するので、安全関連

ブロックダイアグラムを図 13(b) のように変形しておく。

図 13 を基に、各チャンネルの $MTTF_d$ は、使用するコンポーネントの $MTTF_d$ を積上げる形で求める。コンポーネントの $MTTF_d$ は製品の仕様書や取扱説明書等から得る。ただし、リミットスイッチや接触器といった電気機械要素では作動回数で寿命が示されるのが一般的であるため、ISO13849-1 では、附属書 C に、コンポーネントの 10% が危険側故障を起こすまでの平均動作回数 B_{10d} [回] から $MTTF_d$ [年] を簡易的に求める手法が示されている。

$$MTTF_d \cong \frac{B_{10d}}{0.1 \times n_{op}} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 n_{op} [回/年] はコンポーネントに想定される年間の平均動作回数である。例えば、Q1 について、 $B_{10d, Q1} = 8000$ 回の製品であったとし、また、過巻防止での作動のほか、日々の起動と停止で年平均 600 回の開閉が見込まれるとすれば、 $MTTF_{d, Q1} = 8000/60 = 133.3$ 年となる。

なお、作動回数で寿命が示された電気機械要素に対しては、その 10% に危険側故障が起こるまでの平均時間 T_{10d} [年] を B_{10d} と n_{op} から次式で求め、意図する使用期間又は交換周期との関係を確認しておく必要がある。

$$T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}} \quad \text{式(2)}$$

例えば、Q1 については $T_{10d, Q1} = 13.3$ 年となるが、これは、上記で仮定した使用条件の下では、使用期間が 13.3 年を超える前に Q1 は交換される必要があることを意味する。これにより、ISO13849-1 の簡略化手法で見積られた PL や PFH_0 は、この条件を満たす場合に限り有効な解析結果となる。

Q1 と同様に、B1、B2、Q2 について、 $MTTF_{d, B1} = 200$ 年、 $MTTF_{d, B2} = 250$ 年、 $MTTF_{d, Q2} = 133.3$ 年となったとする。これらの値から、図 13(b) のうち、B1-Q1 と B2-Q2 の各チャンネルの $MTTF_d$ を見積る。ここで、ISO13849-1 附属書 D の手法を用いると、各々、以下ようになる。

$$\frac{1}{MTTF_{d, C1}} = \frac{1}{MTTF_{d, B1}} + \frac{1}{MTTF_{d, Q1}} = \frac{1}{80.0} \quad \text{式(3)}$$

$$\frac{1}{MTTF_{d, C2}} = \frac{1}{MTTF_{d, B2}} + \frac{1}{MTTF_{d, Q2}} = \frac{1}{86.9} \quad \text{式(4)}$$

ISO13849-1 では、コンポーネントの信頼性のみに依存した安全性能の達成には限界があるとし、特別な場合を除いて、単一チャンネルの $MTTF_d$

に100年を超える値を認めていない。このため、仮に上記の計算の結果、チャンネルのMTTF_dが100年を超える場合は値を100年とする。

一方、カテゴリ3、4のシステムについては、冗長チャンネルのMTTF_dは共に同じ値(対称)であるとの前提でPFH₀との関係を定めている。このため、上記の例のように両チャンネルの値が異なる場合は、次式によってMTTF_dを対称化しておく。

$$\begin{aligned} \text{MTTF}_d &= \\ &= \frac{2}{3} \left[\text{MTTF}_{d,C1} + \text{MTTF}_{d,C2} - \frac{1}{\frac{1}{\text{MTTF}_{d,C1}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{d,C2}}} \right] \\ &= 83.5 \text{ 年} \end{aligned} \quad \text{式(5)}$$

<平均診断範囲DC_{avg}の見積り>

DCとは、すべての危険側故障のうち診断機能によって検出される危険側故障が占める割合のことである。これは、故障モード影響分析(FMEA)の結果や使用するコンポーネントの製品仕様等から得るか、適用した障害検出方策の内容に基づいてDCを簡易的に見積るISO 13849-1表E.1を使って定める。後者の例として、B1、B2、Q1、Q2のDCを表13のように仮定すると(KMはPL=e及びカテゴリ4に対応としたので検討には含めない)、図13(b)のうちKM以外のサブシステムのDC_{avg}が次式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{DC}_{\text{avg}} &= \frac{\frac{\text{DC}_{B1}}{\text{MTTF}_{d,B1}} + \frac{\text{DC}_{B2}}{\text{MTTF}_{d,B2}} + \frac{\text{DC}_{Q1}}{\text{MTTF}_{d,Q1}} + \frac{\text{DC}_{Q2}}{\text{MTTF}_{d,Q2}}}{\frac{1}{\text{MTTF}_{d,B1}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{d,B2}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{d,Q1}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{d,Q2}}} \\ &= 84.4\% \end{aligned} \quad \text{式(6)}$$

ISO 13849-1表6より、この値は“低”のレベルにあたる。

<CCF対策の評価>

カテゴリ2、3、4については、1つの事象で複数の要素が機能を喪失しないよう、CCFの考慮が要求される。その適切性を評価する手法として、実施した対策の内容を点数化して判定する手法が附属書Fに述べられている。図12の回路で、例えば、信号経路間の物理的な分離、過電圧、過電流に対する保護、適切な規格に従った電磁イミュニティに関するチェック、関連規格で規定された高温・振動・湿気等の環境要因への対策を講じたとすると、点数の合計は65点となり、CCFに関する要求を満足していると判定される。

<PLとPFH₀の見積り>

以上より、図13(b)のうちKM以外のサブシ

テムについて、カテゴリは3、チャンネルのMTTF_dは83.5年、DC_{avg}は84.4% (“低”)で、さらにCCFに対する要求を満たすとされた。

このサブシステムのPFH₀をISO13849-1表K.1でMTTF_dを82年と見なして読み取ると1.35×10⁻⁷[1/時間]となる。これにKMのPFH_{0,KM}を加えると、図13(b)全体ではPFH₀=1.37×10⁻⁷[1/時間]となり、目標のPL=dの範囲にあることが確認できた。

なお、ここでは、論理処理部にプログラマブルなコンポーネントの使用は考えなかったが、実際の安全制御システムの設計でソフトウェアが関与する場合は、目標とするPLに応じてISO13849-1箇条4.6のソフトウェア安全要求事項に従う必要がある。

5.6 欧州の適合性評価制度とマーキング制度の調査結果

1) 適合性評価に関する用語

本節では、主に文献調査により得られた事項を記述する。一般に「安全認証」と称されることがあるが、「認証」とは、第三者が行うもので、欧州連合の機械安全の根幹の一つである「CEマーキング」は、基本的にメーカー自身が行う規格への適合の表明であって、この場合には慣用的に使われている「自己認証」は、用語としては正しくなく、誤解を招く可能性すらある。この場合には、「自己宣言」というのが正しい。そこで先ず、本研究の理解に必須な事項を抽出し、まとめた。

基本的な用語をISO/IEC 17000 適合性評価 - 用語及び一般原則で確認した。

適合性評価 (conformity assessment)

製品(3.3)、プロセス、システム、要員又は機関に関する規定要求事項(3.1)が満たされていることの実証。

備考1. 適合性評価の分野には、この規格の他の項目において定義されている活動、例えば、試験(4.2)、検査(4.3)及び認証(5.5)、並びに適合性評価機関(2.5)の認定(5.6)が含まれる。

2. この規格における“適合性評価の対象”又は“対象”という表現は、適合性評価が適用される個別の材料、製品、据付け、プロセス、システム、要員又は機関の全体を包括するために使用される。なお、サービスは製品の定義に含まれている(3.3の備考1参照)。

第一者適合性評価活動 (first-party conformity assessment activity)

対象を提供する人又は組織によって実施される適合性評価活動。

備考 適合性評価活動を対象別に特徴付けるために用いる第一者、第二者及び第三者という言葉は、契約に関する当事者を法律上で識別する言葉と混同してはならない。

宣言 (declaration)

第一者証明(5.2)。

第三者適合性評価活動 (third-party conformity assessment activity)

対象を提供する人又は組織、及びその対象について使用者側の利害をもつ人又は組織の双方から独立した、人又は機関によって実施される適合性評価活動。

備考 1. 適合性評価機関及び認定機関の独立性に対する基準は、それらの活動に適用される日本工業規格、国際規格及びガイドに記載されている (参考文献参照)。2.2.2 の備考参照

認証 (certification)

製品、プロセス、システム又は要員に関する第三者証明(5.2)。

備考 1. マネジメントシステムの認証は、登録と呼ばれることもある。

2. 認証は、適合性評価機関(2.5)自身を除くすべての適合性評価の対象に適用できる。適合性評価機関(2.5)に対しては認定(5.6)が適用される。

証明 (attestation)

レビュー(5.1)に従った決定に基づき、規定要求事項(3.1)の充足が実証されたという表明の発行。

備考 1. 結果として行われる表明は、この規格の中で“適合の表明”と呼ばれるものであり、規定要求事項が満たされていることの保証を伝達する。そのような保証は、それ自体では、契約上の又は他の法的に有効な債務保証を与えるものではない。

2. 第一者証明及び第三者証明の活動は、～ の用語によって区別する。第二者証明については、特別な用語はない。

レビュー (review)

適合性評価の対象が、規定要求事項(3.1)を満たしていることに関する選択活動及び確定活動、並びにこれらの活動の結果の適切性、十分さ及び有効性の検証。

2) 適合性評価と第三者認証

前述した「適合性評価」の定義からもわかるように、適合性評価の対象は、機械などのハードウェアから組織やマネジメントシステムなど様々である。しかし、共通的事項を抽出してまとめることができるはずで、その観点で抽象化

して示したものが「適合性評価への機能的アプローチ」(図 14 参照)である。これは、CASCO (Committee on Conformity Assessment、適合性評価委員会)が示したもので、附属書 A に参考として示されている。

図 14 の形状 A、形状 B (英語では、Shape A、Shape B) の語の意味が理解できないが、形状 A のアウトプットが形状 B であり、それは次の形状 A のインプットとなり、鎖状に三段階につながっている。適合性評価において最初に行うことは、選択である。選択とは、適合性評価の対象のサンプルの準備である。例えば、

- ・ 構造物に関する適合性評価の中で、材料試験片を選定すること (個数と切り出す部位)
- ・ 量産品の特性の適合性評価において何%のサンプルを選ぶか決め取り出すこと
- ・ 要員の能力の適合性評価で、面接をするのか、実技試験をするのか決め、実施すること

等がある。この結果、選択された品目に関する情報として、“5 個の同じ溶解ロットから得られた試験片”等がアウトプットとして得られる。

今後は、これが確定のインプットとなる。確定とは、規定要求事項を充足に関する完結した情報を得るための活動で、試験、検査、監査等が実行される。その結果、規定要求事項の充足に関する情報として、“降伏点が 500MPa”がアウトプットされる。

これらの結果を総括するのがレビューで、サンプリングは適切であったか、試験方法は適切であったか、得られた値は規定要求事項に合致しているか、等を検証する。その結果、手順が適正で、結果は規定要求事項に適合していると、そのことが表明される。これが証明で、前述のように第一者、第三者が行うかで、宣言・認証あるいは認定の用語が使い分けられる。

なお、適合の表明の有効性を維持する基礎として適合性評価を系統的に反復するのがサーベイランスで、連続生産されている製品を年に一回取り出して検査する等を行う。その際には、初回の過程を全て、また量的にも同じだけ繰り返すとは限らず、簡略化することもある。マネジメントシステムの認証では、初回認証、それから 12 ヶ月以内、以降少なくとも年 1 回のサーベイランス審査、さらに 3 年の認証期間終了時に行う再認証が規定されている (ISO/IEC 17021)。

3) 適合性評価に関する規格

次に、適合性評価に関する規格のリストを示す。これらの規格で示される適合性評価に関連する各機関に共通的に要求されている事項として、独立性・公平性確保、審査に関わる能力の

担保で、少し詳しく見ると、次の各項が抽出される。

- ・ 公平性の担保：依頼者によって扱いが異なること(サービスを提供する/提供しない、審査の厳しさが異なる)は、許されない
- ・ 財政的基盤があること：適合性評価活動に必要な財務資源を有し、かつ債務を担保できる保険や準備金の措置が講じられている
- ・ マネジメントシステム：組織として、適合性評価を行う上で必要なマネジメントを有していなければならない
- ・ 品質システム：適合性評価機関にとっては、適合の表明は、証明という製品(ISO/IEC 17000、3.3 の備考 2)であり、その品質システムを有しなければならない。
- ・ 機関の要員の資質：適合性評価する対象に関して知識を有し、評価プロセスについて知識と経験を有する者が充足していること
その他に、法人格を有することの要求や債務に対する備えなどの要求もある。

適合性評価に関する規格は、ISO と IEC で共通化されており、以下に示す規格群で規定されている。

- ・ ISO/IEC 17000 JIS Q 17000: 適合性評価 - 用語及び一般原則
- ・ ISO/IEC 17065 JIS Q 17065: 製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項
- ・ ISO/IEC 17050-1 JIS Q 17050-1: 適合性評価 - 供給者適合宣言 - 第 1 部：一般要求事項 / ISO/IEC 17050-2 JIS Q 17050-2: 適合性評価 - 供給者適合宣言 - 第 2 部：支援文書
- ・ ISO/IEC 17011 JIS Q 17011: 適合性評価 - 適合性機関の認定を行う機関に対する一般要求事項
- ・ ISO/IEC 17020 JIS Q 17020: 検査を実施する各種機関の運営に関する一般要求事項
- ・ ISO/IEC 17021 JIS Q 17021: 適合性評価 - マネジメントシステムの審査及び認証を提供する機関に対する要求事項
- ・ ISO/IEC 17024 JIS Q 17024: 適合性評価 - 要員の認証を実施する機関に対する一般要求事項
- ・ ISO/IEC 17025 JIS Q 17025: 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項
- ・ ISO/IEC 17030 JIS Q 17030: 適合性評価 - 第三者適合マークに対する一般要求事項

4) ニュー・アプローチとグローバル・アプローチ

EU の施策では、(1)EU 市場統合に当たって、個々の仕様を統一しようとするオールド・アプ

ローチから、(2)安全に関する必須要求事項のみを規定するニュー・アプローチ、更に(3)試験場制度・品質管理マネジメントを組み込んだグローバル・アプローチへと進んだ。詳細な仕様基準を示さない代わりに、それぞれの機械について設計者が危険源を見つけ対処することとなり、その基礎としてリスクアセスメントが取り入れられた。

5) 欧州での適合性評価とマーキング制度

適合性評価全体を図 15 に示す⁹⁾。機械指令においては、モジュール A であり、メーカーに第三者認証による認証書取得を求めている。したがって、以下に示す CE マーキングも自己宣言で行うことが基本である。

また、EU 市場に機械を入れるには、(1)その機械を機械指令に適合させて設計・製造し、(2)機械に CE のマーキングを表示する。適合性の証明は、機械指令で特に規定された機械以外は自己宣言で行えばよい。ただし、CE マーキングを表示するには、その根拠を示した技術文書(TCF、テクニカル・コンストラクション・ファイル)を作成する必要がある。この文書は当局から指示があれば、速やかに提出しなければならない。

実際には、例えば EN ISO 12100 に適合させることで、機械指令に適合すると宣言できる。このような規格を整合規格と呼び、CEN、CENELEC で制定される。

6) 要員の認証

機械安全に関して、自己責任に基づき製品の必須要求事項への適合を自ら宣言する CE マーキング、更にマーキングの情報に基づく機械の使用段階での妥当性確認に結びつけるシステムを日本にあった形で構築することを検討している。

このとき、製品が適切な安全規格に適合していることを製造者が示すことが重要な点となるが、そのための基礎事項を、昨年度調査した ISO/IEC の規格群から抽出した。これは、日本にあったシステムを構築する際に基礎となり得る。

また、日本の制度に則った適合宣言が、輸出の際にもそのまま国際的に通用することは、製造者に類似の異なった対応を強いることを避けるためにも必須であろう。この点からも ISO/IEC に準じた形を抽出し、整理することは重要である。前述 3)の中で該当する規格を次に示す。

- ・ ISO/IEC 17050-1 JIS Q 17050-1: 適合性評価 - 供給者適合宣言 - 第 1 部：一般要求事項

本規格では、次の目次構成で、特にゴシック

体で示した部分が主な要求事項であり、何をすべきかが分かる。以下、重要事項を要約した。

目次
序文
1. 適用範囲
2. 引用規格
3. 定義
4. 適合宣言の目的
5. 一般要求事項
6. 適合宣言書の内容
7. 適合宣言書の様式
8. アクセシビリティ
9. 製品上へのマーク表示
10. 適合宣言の有効性の継続
附属書 A (参考) 供給者適合宣言書

適合宣言の目的は、識別された対象（型番等で特定された製品）が宣言書中の規定要求事項に適合しているという保証を与えること、並びにその適合及び宣言の責任者を明確にすることとしている。規定要求事項は、規格の番号・名称、社内規定の文書番号・名称等とその発行年で示される。

安全に関して置き換えて例示すれば、「ISO 23125:2010+Amd.1:2012 機械の安全性 工作機械 旋盤」、「ISO 13849-1:2006 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」となる。

一般要求事項として、適合宣言の発行者は、(1)適合宣言の発行、維持、拡大、縮小、一時停止又は取消し、及び対象の規定要求事項への適合に責任を持ち、(2)適合宣言は、第一者、第二者又は第三者の一つ以上が実施した適切な種類の適合性評価活動（例：試験、測定、監査、検査又は調査）の結果に基づかなければならないとされている。(2)は、そもそも宣言がレビューに基づき規定要求事項を満たしていることの証明の発行であり、レビューは、適切に対象からサンプル等を選択し、試験し、その結果から要求事項を満たしていることを実証することであるので、試験等は必須になる。

適合宣言書の内容は、適合宣言の受領者が次の事項を識別するのに十分な情報が確実に記載されていることが求められている。

- 適合宣言の発行者
- 宣言の対象
- 適合を宣言する根拠とした規格又は他の規定要求事項
- 適合宣言の発行者を代表する署名者又は代理署名者

このため、適合宣言書は少なくとも次の事項を含まなければならないと規定されている。

- a) 適合宣言の固有の識別
- b) 適合宣言の発行者の名称及び連絡先住所
- c) 適合宣言の対象の識別（例えば、製品の名称、型式、製造日又はモデル番号、及びプロセス、マネジメントシステム、人又は機関の説明、その他の関連する補足情報）
- d) 適合の表明
- e) 規格又は他の規定要求事項、及び要求事項に選択肢がある場合に採用した選択肢の完全、かつ明確な一覧表
- f) 適合宣言の発行日及び発行場所
- g) 発行者から権限を与えられた者の署名、氏名及び役職名
- h) 適合宣言の有効性に関する何らかの制限事項

これら以外の付加的な情報の記載も行って良い。

以上のことが満たされれば良いのであるが、そのためにどのような資質を有する要員が行うべきであるかについては、規定がない。試験設備等も同様であるが、今年度は要員に関して検討した。

そこで、製品を認証する機関に対する要求事項を規定している次の規格から、要員に関する要求事項を抽出した。

- ・ ISO/IEC 17065 JIS Q 17065: 製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項 6 資源に関する要求事項、6.1 認証機関の要員

要員に関しては、その組織のマネジメント等に従事する者もいるが、ここでは製品の認証に従事する者に関する記述を検討する。なお、この規格には、その要員の教育、守秘義務等の組織に対する要求も規定されている。

- (1) 要員は、**必要な専門的判断を行い、方針を定め、これを実行することを含め、自身が遂行する機能に関して力量をもたなければならない。**
- (2) 認証機関は、認証プロセスに関与する要員の力量のマネジメントに関して、次の各々の事項を行う。つまり、次の各要員は次の規準を満たす力量があり、訓練等を受けていることが求められている。
 - a) **認証プロセスの各機能についての、要員の力量の基準**を定める。
 - b) 教育・訓練の必要性を特定し、必要に

応じて、認証スキーム要求事項についての教育・訓練プログラムを提供する。

- c) 自身が果たす責務及び責任に必要な力量を要員がもつことを実証する。
- d) 認証プロセスの機能に対して、要員を正式に承認する。
- e) 要員のパフォーマンスを監視する。

この規格には一般的な規定を示すもので、具体的な記述はないが、(1)及び(2) a)の太字で示した能力が、技術的な資質の主な点である。この部分を、機械安全に当てはめると、次のようになる。

当該機械の適切な安全性を有することを示すために、参照すべき規格を選定し、その各要求事項への適合を証明するために行うべき試験等を計画し、結果を吟味する能力と、結果を総合的に判断して適合を宣言する可否を判断する能力である。例えば、規格の中で、あるインターロックにPLr(5.5,3)参照が規定されていれば、ISO 13849の規定の計算課程、カテゴリに対する要求事項等を理解していることが求められる。

なお、製造メーカーの設計技術者の場合には、単に適合を判断するだけでなく、よりよい設計を検討する能力も求められる。

本節の6)の後半で記したISO/IEC 17065は、認証を行う機関に対する要求事項であるが、機械を製造するメーカーにおいて自己宣言を適切に行う要員の資質、それを具備するために行う教育等を検討する際に参照できると考えられる。

7) 機械指令の求めているTCF(技術文書)と目次例

適切な安全性を有していることを宣言するには、どのような文書が必要か、機械指令を基に記述する。

このための文書が、機械指令附属書II, Aで規定されるTCF(Technical Construction File, 技術文書)で、次の事項の詳細な記述が要求されている。なお、この文書は使用者へ配布するものではない。

1. 製造者の名称、住所
2. 一般的な名称、機能、モデル、型式、製造番号等の機械の記述と識別
3. 関連する法令等
4. 関与があった場合、その認証機関名
5. 準拠した規格・技術仕様書
6. 宣言場所・宣言日
7. 宣言書作成者の署名

(EU特有の事項 輸入品の場合の代理人の記載等は省いてある。)

これを基にある油圧応用機械で作成したTCFの目次を、参考例として次に示す。

1	装置概要書
1.1	概要説明、装置仕様 概要説明 装置仕様
1.2	図面 全体組立図 装置構成図 基本ダイアグラム 動作フローチャート 動作フロー、運転方法
2	設計資料
2.1	機械関連資料
2.1.1	全体組立図
2.1.2	部品図面 本体 本体カバー 圧力容器 上蓋メンテナンス用分解構造図 プレスフレーム 上蓋開閉 増圧機 配管系統 基本ダイアグラム 動作フローチャート
2.1.3	機械部品リスト 本体 全体カバー 圧力容器 プレスフレーム 上蓋開閉 増圧機 配管系統
2.2	油圧関連資料
2.2.1	油圧図面 油圧回路図
2.2.2	油圧部品リスト
2.3	電気関連資料
2.3.1	電気図面 ハードウェア関連図面 ソフトウェア関連図面
2.3.2	電気部品リスト
3	必須要求事項への適合を示す資料 重量/重心位置計算書 蓋とフレーム摩擦の計算式 増圧機部最大圧縮空気圧力計算書 増圧機高圧シリンダロッド強度計算書 増圧機低圧シリンダロッド強度計算書

	増圧機高圧シリンダ強度計算書
	増圧機低圧シリンダ強度計算書
	増圧機高圧継手部強度計算書
	パフォーマンスレベル計算書
	非常停止時の安全確保
4	リスクアセスメント関係図書
4.1	リスクアセスメントシート
	リスクアセスメント実施結果
5	適用規格・技術基準
6	技術レポート、試験結果
	耐水压試験
	電気試験・安全機能試験
	表面温度測定
	騒音測定
	EMC試験
7	取扱説明書
7.1	本装置
7.2	機械部品
	破裂板(ラプチャーディスク)
	安全弁
	油圧ポンプ
	油圧切換弁
	ソレノイド付き安全スイッチ
	圧力計
	リリース弁
	油圧シリンダ
	近接センサー
	電動スライダ
7.3	電気部品
	安全コントローラ設定・モニタツール
	安全コントローラ
	デジタルメーターリレー
	コントローラ
	デジタルピークホルダ
	シーケンサ
	タッチパネル
	ソリッドステートリレー
	電子サーモ
	温度調節器
7.4	メンテナンスマニュアル
8	組込まれている半完成機械の組込宣言書・組立指示書
9	組込まれている製品の適合宣言書
	安全コントローラ
	デジタルピークホルダ
	ソリッドステートリレー
	破裂板(ラプチャーディスク)
	安全弁
	シーケンサ
	タッチパネル
10	適合宣言書

8) 厚生労働省通達による教育の効果と今後の課題

我が国で適合宣言(自己宣言)を行うようにするには、6)を参照し、宣言書を作成する要員の資質がある程度規定される必要がある。

一方、平成26年度始めに、安全衛生教育の推進の一貫として、「設計技術者」及び「生産技術管理者」に対する安全教育のカリキュラムが示された(表14)。これは、労働安全衛生規則第24条の13に基づく「機械譲渡者等が行う機械の危険性等の通知の促進に関する指針」において機械の危険性等の通知を作成する場合は、機械に関する危険性等の調査の手法等について十分な知識を有する者に作成させるべきことが示されているが、設計技術者、生産技術管理者が危険性等の調査等の実施に重要な役割を担うので、これらの者に行う安全衛生教育の教育カリキュラムとして示された。ここでは、製造者(メーカー)の設計技術者について検討する。

ここで示されたカリキュラムは、網羅的であり、基礎教育として適切と考えられる。特に、機械安全の全体を理解できる点で有効と思われる。特に、「機械の安全原則」の理解を促進することは、固有の技術だけに特化するだけではなく、安全構築の全体像を各技術者で共有できるので、安全設計を推進する上で相互協力の促進が期待でき、3ステップメソッドなど国際規格の則った安全性の向上に資すると考えられる。しかしながら、残留リスク情報の作成だけではなく、安全方策の根拠を示した一連のTCF作成には十分ではない可能性がある。

一方、7)で示したTCFを設計で分担して箇所に応じて作成すると考えられるので、当該技術に関しては十分な技量を有していると考えられる。

以上のことを考慮すると、我が国で安全性に寄与することと海外でも通用するTCFを作成する土台として、TCF事例を広く集め、技術者に提供することが、今後の課題の一つとして検討に値する。

なお、本研究では、自己責任に基づき製品の必須要求事項への適合を自ら宣言するCEマーキング、更にマーキングの情報に基づく機械の使用段階での妥当性確認に結びつけるシステムを我が国にあった形で構築することを検討している。この観点から、使用段階での妥当性確認に必要な十分な情報については、ISO 12100:2010 機械類の安全性 - 設計のための一般原則 - リスクアセスメント及びリスク低減の「6.4 使用上の情報」を基礎に検討することも今後の課題であ

る。

9) まとめと今後の予定

以上、昨年度の文献調査結果に加え、実際に我が国で適合宣言を行う場合にキーとなる項目を調査し、記述した。本節で記載した事項は、機械を含む製品を市場に供給するための要件である。本研究の主題に絞れば、機械を起因とする労働災害を防ぐために、「安全な機械」を供給するためにEUが確立した仕組みを基盤に検討している。

安全な労働環境の構築には、安全な機械の供給とともに、それを適切に設置し、運用することが対になる。運用段階での適切性の検証を、本研究では妥当性確認という後で示している。この中で、供給側で安全を保障するための手順を示し、考察を加えた。

5.7 欧州と日本の労働災害発生状況に関する調査結果と欧州の機械安全規制の有効性検証

1) 欧州の場合

本研究では、イギリス、フランス、ドイツを対象に、欧州のニュー・アプローチ政策及び機械指令の発令の前後で、機械災害及び労働災害の発生状況にどのような変化が認められたかの検証を試みた。具体的には、次のようなデータを利用して調査を進めている。

各国の労働安全衛生関係機関がインターネットで公表している労働災害統計（例えば、イギリスではHSE、フランスではINRSなど）上記の労働安全衛生関係機関の専門家に対する実地調査、ヒアリング調査または照会調査

ILOの国際労働経済統計年鑑（1955～2005年まで、概ね1年間に1回発行している。なお、2006年以降は休刊となっている）

別添2に示した労働災害統計に関するデータベース一覧表に記載された情報源に対する調査（2004年12月号のセーフティ・サイエンス誌の933-960ページにCeleste Jacinto氏とElaine Aspinwall氏が記載した一覧表）¹⁰⁾

以上の結果、労働災害全体の発生件数の推移に関してはいくつかの貴重なデータが得られたが、機械に起因する労働災害の発生件数の推移に関しては適切なデータを得るには至っていない。この点に関しては、平成27年度以降も引き続き調査を続ける予定でいる。

なお、前述したように、仮に機械災害や労働災害に関する情報が得られても、国ごとの社会制度の違いから、数値に含まれる不確かさを考慮した

考察が必要と考えられる。このため、本研究で得られた労働災害分析に関する結果は十分な吟味を経た上で公表するものとした。

2) 日本の場合

本研究では、平成22～25年に発生した死傷災害（休業4日以上）約50万件（正確には474,088件）及び死亡災害5,625件を対象に機械に起因する労働災害の抽出を行った。表15に分析結果を示す。

この分析では、全死傷災害または死亡災害の0.1%を超えて当該機種で災害が発生しているときに、災害が多発している”と判定した。なお、機械からはトラック、乗用車、バス、バイク、鉄道車両、その他の乗り物は除外した。

図16は、以上のデータを利用して、死傷災害が多発している機種を抽出した結果である。図からも明らかのように、機械に起因する死傷災害は木材加工用機械、フォークリフト、食品加工用機械などの16機種で多発（全死傷災害の0.1%を超える）していた。

図17は、同様の方法で、死亡災害が多発している機種を抽出した結果である。図からも明らかのように、機械に起因する死亡災害は建設用機械、クレーン・移動式クレーン、フォークリフト、コンベヤーなどの16機種で多発（全死亡災害の0.1%を超える）していた。このうち、建設用機械、クレーン及び移動式クレーン、フォークリフトの4機種を合計すると517件であり、これは機械に起因する死亡労働災害の総件数である927件の約半数（55.8%）に匹敵する。

以上の分析結果より、大変重要な事実が判明した。それは、機械災害の中には建設用機械、クレーン及び移動式クレーン、フォークリフトなどのようにISO12100に定めた本質的安全設計方策や安全防護（ガードまたは保護装置）などの設備対策だけでなく、人の注意力に依存した管理的対策を特に必要とする機械も多かったという事実である。この点は、死亡労働災害で特に顕著であった。

既に平成25年度の報告書では、機械に起因する死亡労働災害の約8割は固定式ガード、インターロック式ガード、保護装置、制御システムの安全関連部の不具合に起因して発生していると述べた¹¹⁾。しかし、この分析では建設用機械、移動式クレーン、及びフォークリフトを対象としていない。

したがって、機械に起因する労働災害に対する対策を実施する場合は、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ように主に人の注意力に依存して災害防止を達

成せざるを得ない機械と、主に ISO12100 に定められた本質的安全設計方策や安全防護（ガードまたは保護装置）などの設備対策を中心として災害を防止する機械に大別する必要がある。ただし、後者の設備対策を基本とする機械でも、危険点近接作業（作業者が機械を停止させないで、機械の危険な可動部に近接した状態で行う作業）や広大領域内での作業の存在する機械もある。

本研究では、以上のような問題を総合的に解決するためのリスク低減戦略として、既に研究代表者らが提案している管理区分方式のリスク低減戦略と実質同一案を融合させた新たな戦略の提案を試みた。この詳細は第 6.2 節で詳述する。

5.8 日本の“現場力”の源泉である安全管理技術及び生産技術の調査¹²⁾

本研究では、日本の強みである“現場力”の源泉としての質の高い安全管理と生産技術を基盤に置いた上で、技術に基づく安全の先進国と言われている欧州の機械安全技術や社会制度を適切に活用することによって、機械に起因する労働災害の激減を図ることを目的とする。

このような戦略を採用する場合、日本の“現場力”の源泉である安全管理と生産技術について、適切な調査を実施する必要がある。

具体的には、次のような項目について調査が必要と考えられる。

現場の安全管理を担ってきた方々が執筆した著書、文献類

上記の方々が実際に作り上げてきた職場の実地調査、及びこれらの方々に対するヒアリング調査

上記の方々の活動の基盤である業界団体や研究会が公表している安全管理に関する情報の調査

本質的安全設計方策として実際に活用できる生産技術の調査

以上に関連する文献で特に重要なものに、古澤登「元気の職場を作る実践的安全活動 - 安全スタッフ・管理監督者が組織を変える - 」、中災防新書がある¹³⁾。この書籍では、自動車製造業における安全活動の実践の中で、“人づくりが安全風土をつくり、企業を成長させる”、“あるべき姿の設定と見える化・共有化・具体化”、“的を絞った活動の大切さ”、“人がモノをつくるのだから、人をつくらねば仕事も始まらない”など、日常の安全活動に直ちに活用できる考え方が述べられている。

また、中村昌充「製造現場の事故を防ぐ安全

工学の考え方と実践」、オーム社では、化学分野を中心とした安全工学の観点から現場での実践に役立つ考え方が述べられている¹⁴⁾。

さらに、機械安全に関する文献ではないが、遠藤功著の「現場力の教科書」は現場力の定義と本質、及びその活用を理解するうえで大変重要なポイントが述べられている¹⁵⁾。

次に、以上の文献及び前述した知見を考慮したうえで、“現場力”の源泉である安全管理技術及び生産技術の調査を試みる。

1)現場力の定義

“現場力”という用語は、実務の場で頻繁に使用される用語であるが、多くの場合、定義を不明確としたまま使用されているのが現状である。このため、本研究では最初に“現場力”という用語の定義の明確化を試みた。

この検討を学術的観点から実施した唯一ともいえる例に、経営学の専門家である遠藤功が“現場力の教科書”¹⁵⁾の中で試みた規定がある。この著書で、遠藤は現場力を“経営戦略を現場に落とし込み、実行する組織能力”¹⁵⁾と規定している。このため、本研究では、この遠藤の規定を考慮した上で“現場力”を次のように定義した。

“経営者が定めた経営戦略を達成するために、作業員や管理・監督者及び生産技術者などが現場の実情に応じた適切な解決策を組織的に提案し実行する能力”

なお、ここでいう解決策の中では、安全・品質・環境の確保、生産性の改善、原価の低減、納期の遵守などが特に重要と考えられる¹⁶⁾。

2)安全管理に対するパラダイム転換

前述した現場力を利用して働く人の安全を確保する活動が、現場力に基づく安全管理である。このような安全管理は多くの場合、コスト要因と理解されている。しかし、現場力の高い企業が安全管理に適切に取り組むことによって生産性や保全性なども改善し、コスト削減に繋がった例もある^{13)、17)}(これらの具体例は後述する5)の事例を参照のこと)。

このように、安全性と生産性の両立など、通常では相反し両立が困難と考えられる課題を現場力の活用によって高次の次元で融合させ、解決に導けることがある。このとき、現場の安全管理を担う関係者にとって“安全はコストでなく、新たな価値を創造するための投資”と位置づけられる。なお、現場の安全管理を担う関係者とは図 18 に示す企業の経営者、機械の設計・製造者、現場の作業員や管理・監督者及び生産

技術者などが考えられる。また、ここで言う価値には働く人の安全は当然として、品質・環境の改善や生産性・作業性・保全性の改善によって得られる企業の競争力強化など¹⁸⁾も含まれる。

本研究で述べる現場力に基づく安全管理は、安全をコストでなく新たな価値創造のための投資として位置づけるというパラダイム転換を目指すものである。このパラダイム転換では、前述した現場の安全管理を担う関係者の意識や価値観の転換が特に重要なポイントとなる。この転換の推進力となるのが、現場における高い当事者意識¹⁹⁾と安全な職場を構築しようとする共通の価値観¹⁵⁾と考えられる。

現在、各企業では労働災害防止のために情報の共有が求められている。しかし、単にIT機器などを利用して膨大な情報の共有を図るだけでは不十分で、高い当事者意識と安全な職場を構築しようとする共通の価値観を関係者間で共有し実践する仕組みと戦略が、今後の安全管理では不可欠と考えられる。この点は今後の検討課題であるが、現段階で想定できる事項を3)及び4)に示した。

3)安全管理で望まれる経営戦略

現場力に基づく安全管理では、実際の現場を担う作業員や管理・監督者だけでなく、経営戦略を定める経営者、及び現場力改善のポイントとなる機械の設計・製造者や生産技術者の役割も大変重要である。これらの関係者が図18¹⁵⁾に示すように各々の役割を適切に果たすことによって、安全管理に関する現場力の強化が図られる。

この点で、経営者が安全管理に関する適切な経営戦略を策定することは、実効性のある安全管理活動を展開する上で重要な意義がある。しかし、企業の中には、経営者が安全管理に関する明確な経営戦略を示すことなく、現場力強化のためと称して多くの手法やツールを漫然と試みる企業も散見される。

このように漫然と多くの手法やツールを試みる姿勢は現場にとって過大な負担となるだけでなく、時として混乱を招くこともある。むしろ、筆者らは、数多くの手法やツールに取り組むよりは、少数の安全管理に関する経営戦略を厳選し、その徹底を図った方が高い災害防止効果が得られると考える。

なお、安全管理に関する経営戦略は、各企業の実情に応じて当然に異なったものとなる。一方で、戦略の策定にあたっては当然に留意すべき事項が存在する。筆者らは、この留意事項と

して、再発防止から未然防止への戦略転換、件数重視から重篤度重視への戦略転換、想定外の考慮などを提案している²⁰⁾。

4)安全管理に必要な集合知を構築し実践する仕組み

実際の安全管理では、関係者間の協力と連携によって、現場で発生する可能性がある問題をあらかじめ予測して組織的に解決するための実践的な知識体系が不可欠である。このような体系の構築にあたっては個人の努力も重要であるが、チームで取り組むことによってお互いが刺激し合い、アイデアの連鎖が生まれるとされている¹⁵⁾。

このようなプロセスを経て獲得された知識の体系を本稿では“集合知”と呼ぶことにする。この体系的な集合知の構築が、日本の現場における質の高い安全管理を可能にしていると考えられる。ただし、集合知の構築にあたっては、一部の人だけでなく現場のすべての関係者が独立した個人として知識体系の構築に積極的に取り組む必要がある¹⁵⁾。この点が保証されないと、現場力を基に新たな価値創造を図るのは大変困難となる。

表16に、現場力に基づく安全管理の集合知の体系を示す。この表の基本理念の作成にあたっては、筆者らの研究成果と古澤登の文献¹³⁾を参考にした。この文献では、自動車製造業における安全管理活動の実践の中で、“人づくりが安全風土をつくり、企業を成長させる”、“あるべき姿の設定と見える化・共有化・具体化”、“的を絞った活動の大切さ”、“人がモノをつくるのだから、人をつくらねば仕事も始まらない”など、現場力に基づく安全管理の基本理念が述べられている。

また、この表の具体的技術の作成にあたっては、遠藤功の文献¹⁵⁾、¹⁹⁾だけでなく、中村昌充の文献¹⁴⁾及び公益財団法人労働科学研究所が発行している「労働の科学」での“現場力を築く”という特集号²¹⁾なども参考にした。

ここで重要なのが、遠藤功が文献¹⁵⁾で現場力を生み出すために欠かせない要素として指摘している図19¹⁵⁾及び図20¹⁵⁾の関係図である。これらの図は、現場力の基盤となるのが共通の価値観=基本理念であることを示している。この点を理解しないで単に手法やツールに重点を置いて安全管理を進めると、安全管理の形骸化が進行し、現場力の成果である集合知に基づいて安全管理を継続的に実践するのは大変難しくなる。

5) 生産技術の活用による安全性と生産性の両立

次に、“現場力”のもう一つの基盤である生産技術の活用によって、安全性と生産性の両立を達成する方法を考察する。このときに活用できる生産技術が、第 3.3 節で述べた本質的安全設計方策（図 4 参照）である。

具体的には、“生産システムの抜本的見直しによる危険な設備や作業の根絶”、“力やエネルギーの制限による低推力化”、“機械の信頼度の改善によって人が危険区域に進入する頻度の減少”、“危険区域の外からの点検や保全の実施”などの本質的安全設計方策によって労働災害の発生を防止する方策が該当する。

また、安全性と生産性の両立にあたって注目すべき事例に、表 15 の項番 6 に示した設備改善活動がある^{13)、17)}。このうち、文献 13) の古澤らの活動では、ガードや保護装置（安全装置）が取り付けられている設備を対象に、敢えてガードや安全装置を取り払った状態を作り出して対策を検討している。このようにすれば、現場は保護装置を取り付けるという対策に代えて、生産技術に基づく本質的安全設計方策という観点から抜本的な保護方策を採用せざるを得ない。

これにより、ガードや保護装置が取り付けられていたときには潜在していた問題が顕在化するために、安全技術の高度化（図 3 のステップ 2 からステップ 1 への改善）とともに、生産ラインのシンプル化とスリム化が図れる。

この具体例として、古澤らは、文献 13) で部品加工用の自動ラインに適用された昇降リフターや搬送機の例を挙げている。当初、これらの設備に対してはガードや保護装置を取り付けていたが、設備の故障やトラブルに伴う機械の停止も多く、その処置時に災害も発生していた。そこで、ガードや保護装置（図 3 のステップ 2）に代えて危険源の除去を目的とした本質的安全設計方策（図 3 のステップ 1）を採用した。具体的には、リフターをなくすとともに、搬送機などの低推力化を進めた。結果として、ライン停止が少なくなり安全性が向上するとともに、けがをする機会も減少し、生産性もアップしたとのことである。

以上のように、本質的安全設計方策ではライン停止の影響を少なくできるために、安全性とともに生産性や安全性の改善を図ることができる。したがって、日本の強みである生産技術の活用によってステップ 1 の本質的安全設計方策を生産ラインに適切に活用していけば、安全性だけでなく生産性や安全性の改善も図ることができ、日本の国際競争力の強化に貢献できると考えられる。

5.9 研究代表者らが提唱している根拠に基づく安全理論（EBS）の活用

次に、研究代表者らが提唱している根拠に基づく安全理論（EBS）の概要を文献 20)、22)、23) の記載を基に述べる。

1) タイプ A 災害とタイプ B 災害

労働災害の中には過去に繰り返し発生しているタイプ A 災害と、発生確率は低いが重篤度は著しく高いために社会的影響の大きいタイプ B 災害がある（図 21 参照）²²⁾。このうち、タイプ A 災害は比較的軽篤度の低いタイプ A L 災害（例えば、軽微な災害の例として小刀を使っていて手指を切るなど）、死亡や障害を伴う重篤度の高いタイプ A H 災害（例えば、プレス機械、食品機械、コンベヤーへの挟まれ・巻き込まれによって死亡や障害に至るなど）に大別される。これに対し、タイプ B 災害の具体例としては、東日本大震災や化学プラントなどの爆発・火災災害などが考えられる。

現在、日本で実施されている労働災害防止対策の多くはタイプ A 災害を対象とする。この災害に対しては、“労働災害は本来あってはならない”という基本理念の下に、災害の発生件数を減少させる対策が講じられる。そして、軽微な災害も含めた発生件数の大小を評価指標とし、件数が減少したことを理由として安全成績が向上したと主張する（この延長線上に無災害表彰制度がある）。

しかし、実際には、労働災害の発生件数が大きく減少した職場で、ある日突然、死亡や障害を伴うタイプ A H 災害や、企業経営に甚大な影響を与える爆発・火災などの重篤なタイプ B 災害が発生することがある。筆者らは、この原因の一つとして、軽微なタイプ A L 災害に対する対策が、重篤度の高いタイプ A H 災害や社会的影響の大きいタイプ B 災害に対しては必ずしも有効でないためと推察している。

2) 件数重視から重篤度重視へ

労働災害防止対策のあり方に件数重視と重篤度重視がある。日本では、無災害表彰制度の例からも分かるように労働災害の発生件数を減少させるという件数を重視した対策が基本である。これに対し欧州では、丸のこ盤の労働災害防止対策で木材の反発による死亡災害を重視する例からも分かるように、重篤度を重視した対策が中心である。

では、件数と重篤度のどちらを重視すべきか。この問題の解明のために、筆者らは災害多発機械である食品機械、コンベヤー、粉碎・混合機

を対象に労働損失日数（補足1参照）の内訳を調査した^{24)~26)}。その結果、休業災害に相当する労働損失日数はいずれの機械でも1~2割程度であったのに対し、死亡や障害に相当する労働損失日数は8~9割程度と圧倒的であった（図22参照）。以上の結果からも明らかなように、実際の労働災害防止戦略では件数重視から重篤度重視への戦略転換の必要性が推察される。

3) 再発防止と未然防止

労働災害防止対策では、リスクアセスメントなどを利用した事前予測によって、労働災害を事前に回避する未然防止策が基本である。これに対し、過去の労働災害やヒヤリ・ハットなどの経験を基に同種の災害が再発しないように対策を行う再発防止策は、あくまでも次善の策として位置づけるべきと著者らは考える。

例えば、機械に起因する労働災害の防止対策では、設計・製造者（メーカー）が安全な機械を提供する未然防止策こそが、多発する労働災害を劇的に減少させるために最も効果的な対策と考えられる。また、このような対策が確実に実施されていれば、機械の使用者（ユーザー）は残留リスク対策と変更管理に重点を置いて安全管理を実施できるために、両者の役割分担も明確になる。

以上の点を考慮した場合、今後は再発防止から未然防止への戦略転換が必要と考えられる。

4) 想定外に対する対策

< 基本的戦略 >

次に、想定外に対する対策の明確化を試みる。安全管理では、労働災害を事前に予測して回避するプロセスが不可欠である。このため、実際の職場では、発生する可能性がある災害をあらかじめ想定して、それを回避する対策が実施される。このような対応は、単純な機械などを対象とした場合、適切な対策と考えられる。しかし、少しでも複雑な対象になると“想定外”という問題が表れる。

図23は、この問題を図式化したものである。図で、(a)は前述した考え方に基づいて対策を実施した場合である。この場合、確かに労働災害を想定した人が回避すべきとした問題（図の印）は確実に取り除かれている。しかし、この人が想定しなかった問題（図の点線の丸印）は残念ながら取り除かれずに潜在している。そして、何かの拍子にこの問題が顕在化したときに労働災害が発生する可能性がある。

このような説明に対しては、“想定者はプロだからそんな見落としはしない”との反論がある

かもしれない。しかし、実際の労働災害は、想定者がうっかり見落としただけでなく、問題の所在は確認していたが“まさかそのようなことは起きないだろう”（確率が低いと判断）“十分な対策をしたから大丈夫だろう”（過信）などと思っていたときにも発生する。特に後の2つは、想定者が許容可能なリスクや残留リスクと判断していたものが重篤な災害の原因になったということで、ここにリスク評価の難しさがある。

では、このようなときの対策の妙案はあるのか。この問題に対して普遍的な解答を示すのはたいへん難しい。しかし、少なくとも一旦発生したら社会的に影響の大きい災害に対しては、どんなに発生確率が低いと判断しても確実な対策を施すことが重要と考える。このとき、発生確率や件数が少ないことを持ってリスクが低いと判断してはならない点に特に留意する必要がある。

従来、日本では労働災害の発生件数を減らすことを重視してきた。しかし、前述したように、本当に減らさなければならぬのは重篤度が高い災害である。ちなみに、日本では、丸のご盤に対する対策を実施する場合、発生件数の多い指の切傷災害を重視する。これに対し、機械安全の先進国である欧州では、一旦発生したら死亡に至る可能性が高い木材の反発による災害を重視するといわれている（もちろん、指の切傷の中には切断などの障害を伴うものもあり、この対策は重要である）。また、最近、企業経営でコンプライアンスが重視されているが、安全に関しては比較的軽微な出来事が強調される一方で重大な問題が見逃されているように感じる。

いずれにしても、発生確率や発生件数の大小に惑わされず、“重篤度の高いものに対しては確実に手を打っておく”ことが重要である。このとき、“残留リスクや許容可能なリスクなどという言葉に惑わされず、残されたりリスクの確定と適切な対策の採用によって最後まで面倒をみるという安全側の割り切り”も併せて考慮すべきと考える。

< 安全確認形による対策 >

次に、想定外を考慮した対策の一つとして、安全確認形²⁷⁾という考え方を示す。これは、図23(b)に示すように、安全が確認できる条件の下でのみ機械の運転を許可する方法である。このようにすれば、そもそも安全が確認できない条件（この中には危険な条件や想定外の条件を含む）の下で機械を運転することはないから、想定外の問題が発生する可能性は理論的には根絶

できる(ちなみに、図 23(a)のように危険を検出したときだけ機械の運転を停止させるのを危険検出形と呼んでいる)。この方法は、想定者が危険をうっかり見落とししたときなどに特に効果を発揮する。

ただし、この方法では、安全が確認できなくなったときに、迅速かつ確実に機械を停止させる必要がある。したがって、この方法は、停止によって安全を確保できる鉄道や産業機械などに対しては適用できるが、停止によって安全を確保するのが困難な航空機などには適用が困難である。

なお、安全確認形では“安全か危険か判断がつかない不確定なものは、必ず危険とみなす”という考え方が重要である。これを杉本と蓬原は“安全の原理”と呼んでいる²⁸⁾。同様の考え方として、環境分野における予防原則がある。これは“科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、疑わしいものは規制する”という考え方である。また、品質の分野でも“良品か不良品か分からないものは不良品とみなす”という考え方が成り立つ。これらは、品質・安全・環境などの各分野を横断する普遍的な考え方であり、想定外を考慮した対策でも重要と考えられる。

5) 安全の定義と安全目標

次に、以上の検討を踏まえたうえで安全の定義に対する考察を試みる。ここでは、“安全目標 = 確率論的なりスク管理目標”と単純に捉えてよいかという問題提起を行う中で、安全の定義に対する考察を試みたい。

安全規格を作成する際の国際的なガイドラインである ISO/IEC ガイド 51 では、安全を“許容不可能なりスクがないこと”などと定義している。この定義に従えば、安全目標として確率論的なりスク管理目標を採用するのも理解できる。しかし、すべての災害に対して安全目標として確率論的なりスク管理目標を採用するのが適切かは疑問である。

例えば、過去に繰り返し発生しているタイプ A 災害に対しては、行政的な目標値として確率論的なりスク管理目標(例えば、英国の HSE が示した労働者一人あたりの死亡労働災害の発生確率を 10^{-6} 回/年未満とするという目標)の設定が必要かもしれない。

これに対しタイプ B 災害では、いかに発生確率が低いと言っても、万一災害が発生した場合には、社会的に取り返しのつかない事態に至る可能性が高い。このとき、“事故や災害は確率的に発生するのだからやむを得ない”という考え

は、實際上、受け入れ難い。

以上は社会的観点からの目標設定であるが、個人を対象とした場合の目標設定のあり方はやや異なる。例えば、労働者個人にとっては、軽微な労働災害(タイプ A L。例えば、ナイフで軽い切り傷を負うなど)であれば、“災害は確率的に発生するからやむを得ない”として、そのリスクを受け入れることが可能かもしれない。これに対し、発生した労働災害が過去に繰り返し発生しているタイプ A 災害であったとしても、死亡や障害を伴う重篤なタイプ A H 災害である場合は、被災者個人にとって到底受け入れは不可能である。

図 24 は、以上の点を考慮して安全目標のあり方をまとめたものである。図からも明らかのように、確率論的なりスク管理目標が採用可能なのは、タイプ A 災害の社会的な安全目標(領域)とタイプ A L 災害の個人的安全目標(領域 の一部)に限られる。これに対し他の領域では、確率論的なりスク管理目標の採用は困難で決定論的な安全目標を必要とする。

ここで決定論とは、事故や災害は起こり得ることを前提に“確実に”(決定論的に)予防策を講じることを目的とした技術をいう。この技術では、事故や災害の発生確率を“ゼロ”とすることを目標に安全方策が実施される。しかし、絶対安全は困難であり、決定論的方策を採用したからと言って事故や災害の発生確率を“ゼロ”にできるとは限らない。では、決定論的方策によって事故や災害はどの程度まで減少できるのか。この質問に対しては“分からない”というのが正しい答えであろう。

むしろ危険な機械に対する決定論的方策では、比較的危険性の低い機械に対して確率論的なりスク評価を実施したときよりも事故や災害の発生確率は高くなることもあり得る(一般に、危険な機械の方が事故や災害の発生確率が高くなるのは当然である)。そして“分からない”からこそ、事故や災害の発生を防止するための未然防止策だけでなく、万一事故や災害が発生したときの被害拡大防止策を確実に実施しておく必要がある。現在、未然防止策は通常時の安全管理、被害拡大防止策は異常時の危機管理に対応させられているが、これを技術的方策として一体化を図るとともに、被害拡大防止策においても決定論の考え方を採用することが、この分野における重要な課題になると考える。

図 24 は、安全目標を確率論的なりスク管理目標として捉えることが可能な部分が全領域の一部分(領域 と領域 の一部分)に過ぎないことを示している。このことは、安全をリスクに

依存しない新たな概念として再構築する必要があることを示唆する。このため、文献 3)では安全を“未然防止のための仕組みと戦略の構築”と定義した。このとき、安全目標は“未然防止の観点に立った活動か”、“災害防止のための手段とその仕組みは妥当か”、“戦略は適切で普遍的か”という観点からの設定が可能となると考えられる。

6) 根拠に基づく安全理論の提案

次に、以上の結果を踏まえた上で、根拠に基づく安全理論(EBS)の体系の提案を記す。図 25 に、EBS 体系の概略図を示す。

この体系では、前提条件となる安全管理上の留意点として、再発防止から未然防止、及び件数重視から重篤度重視への戦略転換が不可欠である。また、想定外に対する対策が不可欠である。

実際の EBS 体系では、安全目標を達成したか否かを立証する際の“根拠”を必要とする。これをエビデンス(Evidence)と呼ぶ。一般にエビデンスというと実験データを想定する。しかし、未知の要因や想定外事象などの不確定要因、あるいは設計段階での安全要求事項の見落としなどが影響する安全分野では、長い歴史と経験に裏付けられた“実績”や自然法則などの“理論”も、エビデンスとして重要と考えられる。

このように、EBS の体系では表 17 に示す情報(データを含む)実績、および理論というエビデンスを総合的かつ相互補完的に活用しながら科学的根拠を示していく点に特徴がある。しかし、単にエビデンスを示しただけでは科学的根拠としては十分でなく、エビデンスの活用にあたって適切な基本原則および標準化された手続きに従うことが、EBS 体系を構築する際の必要十分条件と考えられる。このため、これらの基本原則と手続き上の要件も併せて検討した。このうち、基本原則には機械安全分野の予防原則である“安全の原理”を始めとして表 18 に示すようなものが考えられる。また、手続き上の要件としては、表 19 に示す公平性、公開性、透明性、倫理性、専門性などが考えられる。

7) タイプ A の労働災害防止戦略

次に、タイプ A の労働災害防止戦略の提案の要点のみを概説する。この戦略には、演繹的方策と帰納的方策がある²⁹⁾。

帰納的方策とは、過去の災害の経験に基づいて行われる方策である。しかし、大規模で複雑なシステムでは、これまで経験しなかった未知の災害が発生する場合もあり、過去の経験に頼る

だけでは十分でないときも考えられる。このため、本研究では人間機械システムを一般的なモデルで表し、このモデルの解析によって災害防止対策を演繹的に導出する方式を提案している³⁰⁾。以後、この方式を演繹的方策と呼ぶ。

図 26 に、タイプ A を対象とした帰納的方策の要点を示す。この戦略は、既に平成 25 年度の報告書で述べた。この戦略では、ISO12100 に定めるリスク低減戦略、モジュール方式による適合性評価、機械の使用者による妥当性確認、機械の設計・製造段階での災害情報の活用が中心となる。このうち、と は主に機械の設計・製造段階で実施するもので、製品の自由な流通を目的とする欧州の機械安全制度の活用を図っている。これに対し、及び は、労働安全を確保するために特に重要と考えて本研究で提案した制度である。

これに対し、演繹的方策では、既に筆者らが提案している管理区分方式による労働災害防止戦略²⁹⁾の成果を活用した。これは、災害防止の基本式から人間機械システムの一般的なモデルを導出し、このモデルの解析によって労働災害防止対策を演繹的に導出する方式である。

表 20 に、この戦略における災害防止条件を示す。この戦略で特に重要なのが保護方策区分 3 である。これは、機械に起因する死亡労働災害の 3 分の 2 近くを占める機械停止が困難な危険点近接作業と、広大領域内で行う作業に関連する方策である。このような方策は欧州方式の機械安全技術ではあまり重視されていないが、安全管理の実務では重要な問題となっている。

図 27 に、帰納的方策と演繹的方策を連携させた新たな戦略の提案を試みる。この戦略では、現場力の活用、管理区分方式の演繹的方策を基本とする災害防止戦略の構築、機械の使用段階に実施する妥当性確認の前提条件の明確化、情報(悪い情報だけでなく良い情報も含めて)のフィードバックが特に重要と考えられる。

8) タイプ B の労働災害防止戦略

タイプ B 災害の労働災害防止戦略では、通常時の安全管理に対応する未然防止策だけでなく異常時の危機管理に対応する被害拡大防止策を独立防護層(IPL:Independent Protection Layers)として構築して行くことが重要と考えられる。

特に、一般に被害拡大防止策は人の注意力や設備の信頼性に依存せざるを得ない確率的な対策との思い込みがある。しかし、実は被害拡大防止策に決定論的な考え方を導入することによ

って、タイプB災害に伴って生じる被害を著しく低減することも可能と考えられる（この具体例に、杉本旭らが提唱しているクリティカル・インタロックがある）。したがって、今後は決定論的観点からの被害拡大防止策について引き続き検討を進める必要がある。なお、タイプBの労働災害防止戦略は現段階で十分なものでないので、引き続き検討して高度化を図っていく必要がある。

5.10 事故の人的要因とヒューマン・エラー 31) - 33)

1) 運転行動の階層モデルからみたヒューマン・エラー対策

今日、事故原因として無視できない影響を持つのが人的要因、いわゆるヒューマン・エラーである。ヒューマン・エラーには、個人が起こすものと集団・チームで起きるものがある。

個人が起こすエラーは、意図せずに行う狭義のヒューマン・エラーと、法律等に反することを知りつつ意図的に行う「不安全行動」がある。

狭義のヒューマン・エラーは、視力・記憶力等人間の能力の限界や、錯覚・勘違い等を起こす人間の性質が原因となっている。このため、努力や根性はエラーの根本的な解決法にはならないのである。一方、不安全行動は危険であることを知りつつ行われる。これは、「手間やコストをかけたくない」、あるいは周囲の人に「迷惑をかけたくない」「よい評価をされたい」心理から起こるとされる。

集団やチーム内で生じるエラーは、主に人間同士のコミュニケーションの場面において、伝えるべきことを伝えない、うまく伝えられない、情報共有がされないといった問題である。これは過度の信頼、過度の遠慮、無関心等によって生じるとされる。

このヒューマン・エラーによる事故防止に向け、人間の行動を構成する要素を4つの階層に分け、対策を検討することが提唱されている。

最下層のレベル1は、基本的な技能やルールの習得である。

次に、危険予知（KY）訓練などを通して危険を予測し、身につけた知識や技能を現実に応じて適切に用いることができるようにする段階がある（レベル2）。

しかし、これだけではヒューマン・エラー防止対策として十分ではない。技能の向上や危険予知だけでは事故防止対策として限界がある。

営利企業において利用者・顧客の要望に応え、営業収入を上げることは重要である。しかし、効率を重視するあまり無理な業務計画をたて、

安全確保がおろそかになると、いくら技能や危険予測能力を身につけても事故が起きる可能性が高くなる。このように、業務計画のたて方が、事故防止に大きな役割を果たす（レベル3）。

さらに、この安全軽視の業務計画の背後には、当事者の効率重視等の価値観や、「自分なら大丈夫」という誤った自己評価、あせりや疲労をうまくコントロールできない性質が潜んでいる（レベル4）。このような、いわば感情面のコントロール力が、最も支配力のある業務遂行上の技能とされる。

これら4つの要素が階層構造を持つということは、下層の能力を身につけても、上層で安全を軽視する価値観を持っていれば安全な行動は実現されない、いわば上層の要素が下層の要素を無効化するということである。

加えて、会社としての業務遂行の場合、レベル4（個人の価値観等）に影響を与えるのが、会社組織の風土・文化と考えられる。経営トップが売り上げ重視のあまり規則違反を黙認すれば、その価値観は組織中に広がり、現場のルール違反は増加の一方であろう。また、経営トップが現場から都合の悪い情報が上がってきたら叱責するという態度では、事故情報は隠蔽され、十分な原因の分析・対策策定がされないまま、同じような事故を繰り返すことになる。近年では事故や不祥事を起こした会社に対する社会の目は厳しさを増している。企業として存続していくためにも、組織の安全文化の構築は不可欠となっている。

2) 安全文化の構築

「安全文化」とは、「安全には、その重要性にふさわしい注意が最優先で払われなければならない。安全文化とは、そうした組織や個人の特性と姿勢の総体である。」と定義され、安全文化を構成する一般的な要素は、「第一に組織内に必要とされる枠組みと管理階層の責任、第二に組織内の枠組みに対応し、そこから利益を受けるすべての階層の従業員の姿勢である」とされた。

日本では2005年に公共交通機関でヒューマン・エラーを原因とする事故・トラブルが多発したことを受け、2006年10月、運輸事業者の組織内に「安全文化」の構築を目指す制度（運輸安全マネジメント制度）が策定されるなど「安全マネジメント」への注目が高まっている。

安全確保を目的とした制度という意味では、これまでも、会社法における内部統制システム（コンプライアンス体制、リスク管理体制の構築）による企業不祥事の防止や、労働安全衛生マネジメントによる労働災害の防止等の形で

事故防止が図られていた。上記の運輸安全マネジメント制度は、組織内の安全管理体制の構築を通じ、組織内への安全文化の浸透を究極の目的とする点で特徴がある。

3)安全マネジメント

2005年に多発した事故・トラブルの背景として、組織の中で安全最優先の意識および経営管理部門と現場との意思疎通の欠如が指摘されているが、この意識の浸透および組織内のコミュニケーションの確立には経営管理部門の率先垂範が不可欠である。

このため、安全マネジメントという観点からは、経営トップが自らリーダーシップを発揮し、安全管理体制の構築・運営を行う責務があることを明確にするとともに、経営層から安全確保の責任者を選出し、組織内に安全確保の重要性を意識づけ、安全担当者の地位向上を図ることが重要となる。

次に、安全管理体制構築のために必要とされる取り組み内容は、安全文化の重要な構成要素とされる「報告する文化」「正義の文化」「柔軟な文化」「学習する文化」の構築を具体化しているといえる。

「報告する文化」は、自分のエラーを積極的に報告しようとする組織の雰囲気を作り上げることである。安全管理体制の構築に当たっては、ヒヤリ・ハット報告に対する免責も含め報告へのインセンティブを持たせる必要があること、現場からの情報について一定期間内に管理部門からフィードバックするなど積極的に活用することで、報告しやすい社内文化構築を目指している。またこれに資する取り組みとして、コミュニケーションと情報共有（トップダウン、ボトムアップの情報の流れ、部署間での情報共有）の確保が重要となる。

報告する文化が効果的に機能するには、報告された情報について組織がどのように処罰または報償を与えるかが重要であり、組織として許容できる／できないを明確かつ的確に線引きすることを、「正義の文化」とよぶ。法令をはじめとするルール遵守に対する報酬の付与と違反行為に対する処罰のバランスをとりながら、ルール遵守へのインセンティブを維持・向上させる必要がある。

組織として危機に直面したときに、自らの組織構成を再構成し、臨機応変に対応できるようにするのが「柔軟な文化」である。安全管理体制の構築においては、会社の存立を揺るがすような重大な事故が起きた場合に備え、組織体制や対応方法をあらかじめ定め、有事の際は迅速

適切に組織的な対応をとれるように備えることとされ、さらに事故対応体制等を定期的に見直し改善を図る必要がある。

さらに、組織内の安全情報から正しい対策を導き出し、必要であれば大きな改革を実施できるのが「学習する文化」である。安全管理体制では、安全確保に向けた各種取り組みについて、定期的に進捗状況および有効性をチェックし、問題点を適時適切に解決するとともに、安全管理体制全体（全体の方針、年間の取り組み計画、安全に関わる組織構成、予算配分等）の見直しと改善を行うことが求められている。これらの取り組みはそれぞれ単独で存在するのではなく、それぞれが作用し合い、その組織の安全文化を構成するのである。

4)社会制度の観点からの安全マネジメント

法令は、遵守すべき基準や資格を定めることで事故の未然防止を図るものと、事故が発生した場合に民事、刑事、行政上の責任を負わせることで事後的に被害者の救済とともに事故の再発防止を図る形で安全の確保を目指しているといえる。

しかし、法令による技術基準や技術者資格の設定は、基準の硬直化と現実との乖離、ひいては国際規格、国際水準との不適合を生じるおそれもある。また、責任追及が重視されるあまり原因究明が十分行われず、将来の安全対策に必要な情報が得られないという問題も指摘されている。

そこで、安全性確保への取り組みを促進させる仕組みとして、保険制度の活用があげられる。保険は、被害者の個別的救済（リスクの社会的分散）を図りつつ、付保の条件として基準適合検査を行うことで安全基準を徹底し、安全性に応じた傾斜的保険料率とすることで安全性向上へのインセンティブ付与を図ることが可能となる。また、事業者にとっては事業への予測可能性を付与することで産業の活性化にも資するであろう。

以上のとおり、システム安全は、ハードウェア・ソフトウェアに加え、人間の特性、そして安全な組織の構築と社会のシステムという総合的な観点から安全確保を目指すものである。

5.11 日本の法規制や社会制度に反映できる関連技術の調査

1) 防火・防爆と安全規格³⁴⁾

爆発性雰囲気においては、何らかの着火源の存在により爆発が起こり、その結果として危害が生じる。爆発の予防と防護に関する規格とし

て、EN1127-1:2011「爆発性雰囲気-爆発の予防と防護-基本概念と方法論」がある。この規格は、欧州指令 94/9/EC (ATEX) 及び 2006/42/EC 付属書 I の 1.5.7 項の本質的要件に適合するように策定されたものである。そして、ISO12100 に準拠したタイプ A 規格である。

欧州規格 EN1127-1:2011 では、爆発を誘発する危険状態の識別及びアセスメントの方法並びに必要な安全性の確保のための適切な設計及び製造方法を定めており、これは以下の手順により達成される。

- ・危険の同定 (hazard identification)
- ・リスクアセスメント (risk assessment)
- ・リスク低減 (reduction of risk)
- ・使用上の情報 (information for use)

危険源の同定では、以下を考慮することとなる。

- ・燃焼特性 (combustion properties)
- ・着火要件 (ignition requirements)
- ・爆発挙動 (explosion behavior)

リスクアセスメントの要素として、以下が挙げられる。

- ・爆発性雰囲気生成の量と可能性の確定
- ・着火源存在の確定
- ・爆発の影響評価
- ・リスクの評価

欧州規格 EN1127-1:2011 では、リスクの低減において、はじめに予防 (prevention)、次に防護 (protection) を行い、そして最後に情報 (information) の提供を行うことが規定されている。この順序の考え方は、国際安全規格 ISO12100:2010「機械類の安全性-設計の一般原則-リスクアセスメント及びリスク低減」におけるリスク低減方策における 3 ステップメソッドと同一のものである。予防で低減できなかった場合にのみ防爆電気機械器具の方策に頼るべきである。はじめから防護や情報で安全を確保する遣り方は、国際安全規格の考えから逸脱するものである。

リスクの低減の基本原理は、

予防： 爆発性雰囲気の回避
着火源の回避

防護： 構造的な防護手段

となっており、第一に予防、第二に防護を行う。

基本的な爆発予防策は、可燃性物質を不燃性物質に代替すること、および可燃性物質の濃度を抑制することである。そして、危険区域の分類として、爆発性雰囲気の発生頻度や継続時間をもとにゾーンに分類される。

Zone 0：ガス、蒸気またはミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性

雰囲気が連続的に、長時間または頻繁に存在する区域

Zone 1：ガス、蒸気またはミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性雰囲気が通常運転中でもときどき生成する可能性がある区域

Zone 2：ガス、蒸気またはミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性雰囲気が通常運転中に生成する可能性がなく、生成しても短時間しか持続しない区域

防爆対策は、安全規格に基づいて行われる。

具体的には、危険源の同定 (燃焼特性、着火要件、爆発挙動)、リスクアセスメント (爆発性雰囲気生成の量と可能性の確定、着火源存在の確定、爆発の影響評価、リスクの評価)、並びにリスクの低減 (予防、防護、情報) である。これらの方策は、システム安全の考え方に通ずるものである。合理的にリスクを低減して安全を確保することが重要である。

日本では、防護による方策、例えば防爆電気機械器具 (IEC60079-0 等) 並びに使用上の情報に頼る傾向が強いが、本来は予防でリスクを低減できなかった場合にのみこれらの方策に頼るべきである。はじめから防護や情報で安全を確保するあり方は、国際的な安全規格の考えから逸脱するものであり、今後の改善が強く期待されるところである。

爆発性雰囲気での爆発の発生確率を定性的に示したゾーン分類と安全設計のためのカテゴリの概念があり、両者の関係が示されている。予防により防爆のための十分な対策を施すことにより、防護のための装置が必ずしも必要とはなくなる。安全確保の観点からのみならず、コストの観点からも今後検討する価値があると考えられる。

2) 感電防止と安全規格³⁵⁾

交流アーク溶接作業に伴う感電災害防止対策は、日本では交流アーク溶接機用自動電撃防止装置 (以下、電撃防止装置という) が使用されている。一方、国際的にはアーク溶接装置に関わる規格のアーク溶接電源 (IEC 60974-1 Ed3:2012) に基づいた危険低減装置などが使用されている。ここでは国際規格に基づく保護装置について調査を行った。

(a) 最高無負荷電圧の制限

国際規格では、アーク溶接機の最高無負荷電圧を厳しい電撃を伴うか否かによって次の 2 種類に区分している (表 21 参照)。

厳しい電撃の危険を伴う環境で使用
直流出力のピーク値が 113V

交流出力のピーク値が 68V 及び実効値が 48V

厳しい電撃の危険を伴う環境で使用

直流出力のピーク値が 113V

交流出力のピーク値が 113V 及び実効値が 80V

ここで、厳しい電撃の危険を伴う環境とは、アーク溶接作業に伴う電撃危険性が、通常のアーク溶接作業に比較して増大する環境であって、具体的には次のように例示されている。

a) 動きの自由が制限され、その結果作業者が導電性部品との物理的な接触を伴う窮屈な姿勢（ひざを突く、座る、横になるなど）で溶接することを強いられる場所。

b) 導電性部品によって全体的に、又は部分的に制約及び制限されており、作業者が避けられないか、若しくは偶然に接触してしまう危険性が高い場所。

c) 湿度又は発汗によって、人体の皮膚抵抗、及び附属品の絶縁抵抗値がかなり低下する、ぬれた、湿った、若しくは高温の場所。

なお、電撃の危険性が増大する環境の中には、作業者の近傍の導電性をもつ部分が絶縁されている場所は含まない。

(b) 危険低減装置の使用

危険低減装置とは、許容最高無負荷電圧を超えた無負荷電圧によって生じる感電危険性を低減するために定められた装置である。この装置では、外部出力回路の抵抗が 200 を超えたときに、自動的に最高無負荷電圧を表 22 に示す電圧値以下に低減する。そのときの動作時間は表 22 に示す値以下でなければならない。

例えば、最高無負荷電圧である交流出力の実効値が 48V を超え 80V 以下であれば、動作時間は 2 秒、交流実効値が 80V を超え 100V 以下であれば動作時間は 0.3 秒と規定されている。もし危険低減装置が正常動作をしなかった場合には、自動的に交流出力電圧の実効値を 48V 以下にしなければならない。

(c) 国際規格と日本の労働安全衛生関係法令との比較

表 23 に、日本の労働安全衛生関係法令である労働安全衛生規則第 332 条、及び交流アーク溶接機用自動電撃防止装置構造規格第 12 条、第 13 条、及び第 13 条の 2 との主な相違をまとめる。これらのどちらが安全側であるかは議論のあるところであるが、このような点も含めて、交流アーク溶接作業にともなう感電災害防止対策として、国際規格との整合化の検討が必要と考えられる。

3) 鉄道における安全規格³⁶⁾～40)

(a) 機能安全・システム安全と鉄道制御システム
コンピュータ制御の安全を対象とする機能安全は、ISO 13849-1:2006 (Safety of Machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design) などに見られるように機械安全の分野においても重要な位置を占めるようになっている。このような機能安全に関する安全管理については、高度な安全レベル (SIL 4) が要求される鉄道制御システムを対象とする EU 地域での鉄道システムの安全管理が先進的な取り組みとして参考となる点も多い。

EU 地域の鉄道制御システムに大きな影響を与えている EU 指令として、インタオペラビリティ指令と鉄道安全指令の 2 つある。前者は、EU 統合後の高速鉄道網構築を目的とするもので、国境ごとの機関車交換を必要としない EU 共通の列車制御システムを開発し、国際列車運転のスムーズな直通運転を実現する。具体的には、1996 年に高速鉄道を対象とした EU 指令が制定され、2001 年に在来線を対象とした指令が制定された（その後、これら 2 つの指令は 2004/50/EC で修正）。このようなことを背景に、EU における列車制御システムの開発のために機能安全に関する EN 50126 (RAMS)、EN50128 (ソフトウェア)、EN 50129 (セーフティケース)、EN 50151 (安全伝送) などの CENELEC 規格が 1990 年代の後半には制定された。その後、2000 年代の前半には、これら CENELEC 規格はそれぞれ IEC 62278、IEC 62279、IEC 62425、IEC 62280 となった。

後者の鉄道安全指令は、EU 域内の鉄道の安全向上と鉄道輸送サービス市場へのアクセス改善を目的とし、2004/49/EC (Railway Safety Directive) として 2004 年に制定された。これを受けて、その実施・管理組織としての ERA (European Railway Agency) がフランス Valenciennes に設置された。ERA の設置目的と使命は Regulation (EC) No.881/2004(Agency Regulation)で規定されている。

インタオペラビリティ指令と鉄道安全指令に関することは、ERA が中心となって制度構築が進められている。現在は、鉄道制御システムの認証等に関しては、認証機関、各国ごとの Safety Authority (許認可を行う国土交通省に相当) によって行われているが、将来的には ERA が中心となって行われる可能性がある。

(b) 欧州における鉄道制御システムの安全管理の現状

ERA では、SMSs (Safety Management

Systems)、CSMs(Common Safety Methods)やCSTs(Common Safety Targets)を検討している。SMSsは、上下分離方式となっているヨーロッパの鉄道事業者とインフラ管理者に対する各国の安全管理当局のための安全管理におけるプロセス・手続きを規定する。CSMsは、鉄道の輸送および設備に関するリスクアセスメント方法に関するものであり、前項のSMSsが組織的な管理に重点があるのに対して、より技術的で運転・設備を対象としているとみることができる。CSTsでは、鉄道の安全レベルを維持・向上するための共通安全目標値であり、換算死者数/旅客列車・kmなどのデータを扱う。

設備の更新や新システムの開発などにおいては、リスクアセスメントが必要であり、その意味でCSMsは重要なものである。2009年にCSMsに関するRegulationが制定されている²⁸⁾。このRegulationの特徴は、最初にハザードの同定および分類を行い、鉄道システムに対する変更や新規性の影響の大きさに応じて安全への影響評価のためのリスク受容原則を選択するというものである。

CSMsのリスクアセスメントの方法として、Regulationでは以下のような方法をとる。

鉄道事業者あるいはインフラ管理者のうちの当事者が、対象とする鉄道システムの変更(新技術の採用を含む)の安全への影響を考察する。鉄道システムの変更が安全への影響がないと判断された場合には、リスク管理プロセスの適用は必要とされない。

鉄道システムの変更が安全に影響すると判断された場合、専門家の判断によって次の3つのうちの1つの対応をとる。

- () 安全への影響が大きい場合、当事者が自分の安全手法を適用する
- () 安全への影響が大きい場合、本Regulationを適用する
- () 安全への影響が大きかつ特別に安全当局の関与が必要とされる場合、別に規定されている手順・手法を適用する

上記の本Regulationを適用したケースとして、安全への影響の評価には、次の3つのリスク許容原則の1つあるいは複数を用いる。

- () 実績のある技術・規格類によるリスクアセスメント(code of practice)
- () 参照システムとの比較によるリスクアセスメント(similar reference system)
- () 明示的なリスクアセスメント(explicit risk estimation)

安全への影響の評価のための ~ の原則の

適用には、変更の内容が関係する。変更の内容およびその安全への影響が大きい場合には、明示的なリスクアセスメントによる定量的な解析と評価(たとえば危険故障の発生確率 10^{-9} など)が必要とされる。

c) 鉄道制御システムの安全管理の今後の動向

現在、EU域内では、上記のインタオペラビリティ指令、鉄道安全指令などと関連づけながら鉄道制御システムの安全認証が行われている。しかし、鉄道列車制御システムの認証・使用許可においては、認証機関、安全管理当局、鉄道事業者、インフラ管理者が関与することもあって、鉄道制御システムの実際の運用開始には多くの時間を要しているのが実情である。このような状況において、EUでは上記の2つの指令とRegulationの改訂し、鉄道列車制御システムの認証・使用許可の手続きをERAを中心的としたより効率的なものにしようという動きがある。

4) 欧州等の鉄道システムにおける機能安全及びシステム安全に関する制度の調査と分析^{4 1)} ~

4 4)

(a) はじめに

既に平成26年度の報告書でも述べたように、EU域内では、国ごとに異なる列車制御システムを共通化し国境をスムーズに越える列車運転の実現と鉄道の統一化した安全管理システム(SMSs: Safety Management Systems)の構築が行われている。

このシステムは、機械安全分野の機械指令などと同様、EU指令(Directive)をよりどころとしているが、安全認証(適合性評価)機関を含め、列車運行組織、インフラストラクチャ管理組織、各国の安全管理当局のほか、EUの執行機関・議会など多くの組織が、高い安全レベルが要求される列車制御システムの安全確保のために関係していることに特徴がある。

このような鉄道の安全管理システムは先進的な側面を有しており、本研究で対象とする機械安全分野や労働安全分野を初めとして他の分野にも影響を与える可能性がある。そのようなことから、平成26年度は欧州等の機械安全・システム安全に関する制度の調査と分析として、SMSsにおける技術的側面をカバーする共通安全手法(CSMs: Common Safety Methods)の鉄道輸送・設備に関するリスクアセスメント方法を規定する規則(Regulation) Commission Regulation (EC) No 352/2009について取り上げ、検討した^{4 0)}。

しかしながら、各国の安全責任当局が関係し、

かつ安全認証も関係するRegulationを実際にどのように運用するかについては、不明な点もあった。このような状況のなか、Regulationが2013年に改訂され、その実施期限が迫った2015年3月にイギリスの鉄道の規制当局であるORR（鉄道規制庁、Office of Rail Regulation）からそのRegulationの運用ガイダンスが発行された。

このガイダンスでは、関連する組織や安全管理との関係を含め、より具体的に運用方法が説明されており、多くの組織が関連するヨーロッパにおける鉄道の安全管理の実態を把握するうえで有用である。

一方、安全立証文書であるセーフティケースは、列車制御システムでは重要な位置づけにあり、その基本的な構成はENおよびIEC規格で規定されている。このようなセーフティケースは、evidence-based approachとして最近重要性が議論されており、軍・宇宙・航空分野の安全規格にも今後影響を与えると考えられる。

本報告では、鉄道設備・輸送に関するリスクアセスメント方法を規定するCommission Regulation (EU) No 402/2013と運用ガイダンスについて述べ、その意義を考察する。また、セーフティケースに関するアメリカSystem Safety Societyでの検討結果について述べ、その意義を考察する。なお、以上の結果は第5.9節で述べる根拠に基づく安全理論（EBS: theory of Evidence-based Safety）の検討にも反映できると考えられる。

(b) 欧州における鉄道システムのリスクアセスメントRegulationとガイダンス

欧州における鉄道制御システムの設備の変更や新システムの開発などにおいては、リスクアセスメントが必要であり、上述したようにRegulationが制定されている⁴¹⁾。

このRegulationの特徴は、図28に示すように設備や運転・運用、組織の変更を行う責任を担う当事者（Proposer）が最初にハザードの同定および分類を行い、鉄道システムに対する変更や新規性の影響の大きさに応じて安全への影響評価のためのリスク受容原則を選択するというものである。

このときのリスクアセスメントの方法として、Regulationでは次のような方法を採用している。

(1) 鉄道事業者あるいはインフラ管理者のうちの当事者が、対象とする鉄道システムの変更（新技術の採用を含む）の安全への影響を考察する。鉄道システムの変更が安全への影響がないと判断された場合には、リスク管理プロセスの適用は必要とされない。

(2) 鉄道システムの変更が安全に影響すると判断された場合、専門家の判断によって次の3つのうちの1つの対応をとる。

安全への影響が大きい場合、当事者が自分の安全手法を適用する。

安全への影響が大きい場合、本Regulationを適用する。

安全への影響が大きくかつ特別に安全当局の関与が必要とされる場合、別に規定されている手順及び手法を適用する。

(3) 上記(2)の本Regulationを適用したケースとして、安全への影響の評価には、次の3種類のリスク受容原則の1つあるいは複数を適用する。

- a. 実績のある技術・規格類によるリスクアセスメント (code of practice)
- b. 参照システムとの比較によるリスクアセスメント (similar reference system)
- c. 明示的なリスクアセスメント (explicit risk estimation)

安全への影響の評価のためのa~cの原則の適用には、変更の内容が関係する。変更の内容およびその安全への影響が大きい場合には、c. 明示的なリスクアセスメントによる評価（たとえば危険故障の発生確率 10^{-9} など）が必要とされる。

なお、Regulationの2009年版と2013年版との主な違いは、リスクアセスメントを行う組織が追記されたこと、リスクの定義においてrateからfrequencyに変更され

‘risk’ means the frequency of occurrence of accidents and incidents resulting in harm (caused by a hazard) and the degree of severity of that harm;

となったことである。リスクの定義の変更は、危険を回避することを求めるドイツなどの法体系に今後影響を与えるとされている。

このようなRegulationでは、リスクアセスメントを行うProposerの権限や安全当局（NSA）との関係、～の評価基準、a.~c.の具体的な内容が不明であり、実際にRegulationを運用するには困難が予想された。このため、2015年3月にイギリスORRから発行されたガイダンス⁴²⁾では、Regulationとイギリス国内の鉄道の安全規定類や組織との関係、安全評価の基本的な考え方、関係書類について、EU域内の他国の安全当局との関連を含めて説明が行われている。

具体的には、技術、運行・運用、組織の3つの側面において、変更による安全への影響が大きいかどうかの判断～は、次の6種類の評価項目を総合的に考慮して行われる。

. failure consequence: 最悪ケースでの障害

.novelty used implementing the change: 技術、組織にける新規性

.complexity of the change: 複雑性

.monitoring: 診断（観察）可能性

.reversibility: 変更前への非可逆性

.additionality: 他の変更との関連

以上の 6 種類の評価項目も関連性を持っており、ガイダンスでは図 29 のような手順で評価を行うことが勧められている。この評価項目をどのように適用するか、また各評価項目の重み付けについては Regulation では規定されずに Proposer の判断によるとしている。

また、3 種類のリスク許容原則 a~c については、どれか一つあるいは複数を選択できるとしている。ただし、EU 内の他国との間で相互に進めていてその国に規制がある場合にはその要求原則のみを適用しなければならないとしている。

3 種類のリスク許容原則は次のように説明できる。

a. Code of Practice

・鉄道における既存の規格、ルール（EN 規格、インタオペラビリティ TSI、イギリス鉄道規格・ルールなど）を適用する。

・必要に応じて、他分野の規格を適用することも可能とする。

b. Reference systems

・次のようなシステムとの比較によって更新システムを評価する。ただし、Reference systems は、稼働履歴だけで判断すべきでなく技術的裏付けの確認を必要とする。

- 使用実績があるシステム
- EU 域内で受け入れられたシステム
- 同一の条件で使用されているシステム

c. Explicit risk estimation

・どのような安全性評価（定量的、半定量的、定性的）をするかは当事者の判断による。

・技術に関する更新については、危険側故障の発生確率 $10^{-9}/h$ が満足されたならば許容される。

・国の安全レベルが維持できるのならば緩いリスク許容基準を適用してもよい。

これら一連のリスクアセスメントのプロセスについては、ドキュメント（Hazard record）として記録、管理しなければならない。

以上のようなプロセスに対して独立なアセスメントが必要とされる。そのアセスメント実施組織（Assessment body）については、Proposer が指名できる。Assessment body から発行される Safety assessment report に指摘事項があった場合には、Proposer は対応をドキュメントに記録しなければならない。Assessment body と見解

が異なる場合には、Proposer は指摘事項を受け入れる必要はないが、見解根拠をドキュメントに記録しなければならない。

鉄道システムの更新、新設には、最終的に国内の鉄道安全責任当局である NSA の許可が必要であるが、NSA は Safety assessment report を参照して判断する。

以上のように、ヨーロッパにおける EU 指令に基づく鉄道制御システムの安全管理は、設備や組織などの変更に対してリスクアセスメントを行い Hazard record として記録し、その一連のプロセスに対してアセスメントを受けることを Regulation によって義務付けることによって行われる。しかしながら、安全管理に係る組織や規定類が多岐に渡ることから、Regulation で詳細まで厳密に規定するのではなくある程度の自由度をもって施行できるように配慮されている。このようなリスクに基づく現実的な対応による鉄道の安全管理は、本研究で対象とする機械安全分野や労働安全分野を初めとして他の分野にも影響を与える可能性がある。

(c) 軍・宇宙・航空分野の安全規格の動向とセーフティケース

セーフティケースとは安全立証文書を意味し、システムや装置の安全認証を認証機関から得るために必要とされる重要な文書である。

鉄道の分野では、列車制御システムを対象として図 30 に示すセーフティケースの基本的な構成が EN および IEC 規格で規定されている^{4 3)}。しかし、セーフケースの具体的な記載内容や記述方法については最近、学会等で議論されるようになったものの、明確な基準はない。

このようなセーフティケースについて、安全の先端分野である軍・航空宇宙分野では、2013 年の ISSC (International System Safety Conference) を契機として議論されている。具体的には、アメリカにおける代表的な安全規格である MIL-STD-882E (軍)、ANSI/GEIA-STD-0010 (軍以外)、SAE ARP 4761 (民間航空機)、NASA/SP-2010-580 (宇宙)と、イギリスにおける代表的な安全規格 DS 00-56 (軍)の安全確保のための取組みについて比較検討が行われた^{4 3)}。これらの規格の多くにはソフトウェアも含まれており、機能安全が深く関係している。

その結果、総じてアメリカにおいては規格の要求事項を実施しているかに重点を置く Process-based Approach をとっているのに対し、イギリスにおいては事前に明確にすべき事項を設定し一連の安全フェーズでその成立根拠を示す Evidence-based Safety Case Approach (図

31)に移行していることが明らかになった。さらに、Evidence-based Safety Case Approachでは安全に関する arguments(要求事項)を safety program の始めの段階から明確に定義する必要があり、このことが安全を確保するうえで有効であるとの共通認識に至っている。今後、アメリカにおける軍、宇宙、航空分野の安全規格においても Evidence-based Safety Case approach の動きが強まると予想される。

(d) おわりに

EU 域内の鉄道の安全管理のためのリスクアセスメントについて規定する Regulation とその運用ガイダンスについて調査、分析を行い、Regulation では詳細まで厳密に規定するのではなくある程度の自由度をもって実行できるように現実的な対応がとられていることを示した。

また、セーフティケースに関するアメリカ System Safety Society での検討結果について調査し、アメリカにおける軍、宇宙、航空分野の安全規格においても Evidence-based Safety Case approach の動きが今後強まることを示した。

労働安全及び機械安全の分野においては、これら鉄道や軍・航空など他分野における安全管理の新たな動きを把握し、有用な側面については適切に取り入れて展開していくことが重要である。

5) クレーンへの高強度材料の導入と欧州における関連する設計原則等に関する規格の動向

クレーンとして総称される定置式クレーンおよび移動式クレーンは、日本では労働安全衛生法によって特に危険な作業をする特定機械に指定されている。その安全性確保は労働安全において重要である。

このようなクレーンの安全性を確保するための必須要求事項に、その構造部分における安全性の確認がある。日本では関連する必須要求事項として、クレーン構造規格に強制法規としての規定がある。この規定では、構造部分に使用可能な材料として JIS 鋼材等が示されている。

近年、特に、移動式クレーンでは高い国際競争力を確保するためにも、高荷重つり上げ、省資源および省エネルギー性能がより一層求められている。その実現に高強度材料が導入され使用されている。具体的には降伏点が 1000MPa を超えるような鋼材も使用されている。

欧州ではクレーンの構造部分の安全性を確認するために以下の EN 規格群がある。

) EN 13000:2010+A1:2014

- 「Cranes - Mobile cranes - 」
-) EN 13001-1:2015
- 「Cranes - General design - General principles and requirements - 」
-) EN 13001-2:2014
- 「Crane safety - General design - Load actions - 」
-) EN 13001-3-1:2012+A1:2013
- 「Cranes - General Design - Limit States and proof competence of steel structure」
-) EN 13001-3-2:2014
- 「Cranes - General design - Limit states and proof of competence of wire ropes in reeving systems」
-) EN 13001-3-3:2014
- 「Cranes - General design - Limit states and proof of competence of wheel/rail contacts」

降伏点が高い鋼では脆性破壊や腐食による遅れ破壊の危険性を考慮して、材料のじん性確保が重要となる。そこで、例えば、使用温度、降伏点や鋼材の厚さ等に応じて、シャルピー衝撃試験において、試験温度に対する吸収エネルギーの要求が規定されている。

また、材料に関する詳細な規定では、高降伏点鋼について例えば次のものがある。

) EN 10149-1:2013

「Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming. General technical delivery conditions」

以上に示したクレーンに関する規格群が 2013 年～2015 年発行であることが示すように、クレーンへの高強度材料や新技術の導入は、その技術進歩の経緯も踏まえて着実な改訂が進められている。

また、前記()～()の規格群は、「安全は設計から」の原則のもとに開発されたクレーンの“設計”に関する“原則”を示した基盤となるものである。これら欧州の規格群の大きな特徴は、設計の原則が限界状態設計法の体系のもとに規定されていることである。日本と米国は許容応力設計法の体系の規格群を有しているが、国際的には、専門分野ごとの技術等の進展にも対応しやすい限界状態設計法による設計原則の体系化へと向かっている。ちなみに、欧州は EN 規格群の ISO 規格化も戦略的かつ着実に進めている。日本も国際競争力を維持しさらに高めるためには戦略的な対応が求められる。

なお、新たな高強度材料や技術の導入と安全性

の確保を両立させるためには、関連規格の迅速な見直し改訂が必要となる。しかし、日本のように強制規格でこれに対応するのは容易ではない。したがって、今後は強制規格の性能規定化により、高強度材料をはじめ、新たな技術開発の成果について安全性を確保しつつ有効活用できる体制の構築が求められる。

6) 米国及び欧州での材料安全分野における調査結果^{45) - 50)}

(a) 樹脂複合材料の重要性

産業機械では、主に金属材料が安全性を確保するために使用されている。例えば、配管、圧力容器、クレーンなど、応力により破損すると重大な労働災害を引き起こされる可能性の高い箇所のほとんどは金属材料が使用されている。そして、設計から維持管理にわたり多くの基準が設定されている。例えばクレーンであれば ISO/TC 96、ASME B30などの基準がある。

一方で、材料技術の進歩はめざましく、特に炭素繊維強化樹脂(CFRP)をはじめとした樹脂複合材料が軽量、高強度という点で注目されている。CFRPが人命に関わる点で利用されている製品で目にするのは航空機と自動車である。特に航空機については、部材の強度が安全性に直結していることから、多くの研究が実施され、例えばアメリカ連邦航空局(FAA:Federal Aviation Administration)の認証を経て、航空機などへ利用されている。そして、日本でも炭素繊維ロープ(CFCC:Carbon Fiber Composite Cable)が製造され、これをクレーンなどの産業機械へ応用しようという動きもでてきている^{45) - 47)}。このように樹脂複合材料は今後も多くの機械で利用されることが想定されるが⁴⁸⁾、仮に産業機械への利用が盛んとなってきた場合は、前述の通り破損すると重大な災害を引き起こす可能性があることから、確実な安全対策が必要である。

(b) 樹脂複合材料の利用にあたって考慮すべき事項

樹脂複合材料自体は様々な製品に既に活用されているが、その中でも特に航空機と乗用車への活用が着目されている。着目される理由は、これまでに構造の主要材料として利用されてきたアルミ合金や鋼などの金属材料とCFRPの損傷と破壊機構まで含めた材料特性が大きく異なっているためと考えられる。

樹脂複合材料を導入するにあたっては、想定される損傷に対して多くの実験が行われている。そして、産業機械に対して安全性を確保しながら導入するにあっても、樹脂複合材料を導入

するにあたっての過程を踏襲しつつ想定される損傷を考慮しながら導入していくことが重要と考えられる。実際に、航空機系はCFRPに代表される熱硬化性樹脂複合材料の導入を検討しており、さらにコストダウンやリサイクル可能性などの観点からマトリクス樹脂を熱可塑性樹脂への変更することが検討されている⁴⁸⁾。本研究では、以上の点を踏まえ、樹脂複合材料が航空機に利用される際に考慮すべき項目について検討する。

樹脂複合材料は、その強度特性が金属材料と大きく異なることから、材料の選定から加工方法、破壊試験の方法等が多岐にわたり決定されている。

また、材料を決定した後に構造を決定する前に、次のような検討が行われる。

-) 材料特性面 (高靱性・軽量化・短時間成形)
-) 繊維とマトリクス樹脂面からの検討 (耐熱性 (地上80、巡航高度-55)、弾性率、高靱性)
-) 設備面の検討 (成形方法・大きさと複雑さ・コスト)
-) 二次加工面からの検討 (穴あけなどによる発熱と強度低下)

こうした検討項目を強度と加工面から整理すると以下の項目となる。

検討されている材料強度

材料強度面では、引張強度・圧縮強度・有孔試験片・衝撃特性・耐熱性・耐水性・難燃性について検討が必要である。

特に、樹脂複合材料は金属と異なり応力が平均化しないことから、有孔試験片の孔周辺の応力状態は繰り返し荷重による損傷が問題となる。このため、後述する手法により強度を確認する必要がある。また、複数の孔によるリベット接続が一般的に使用されているが、公差の関係から特定の孔に応力が集中することが多いので、この点に対する配慮も必要である。

製造についての検討

製造面では、成形プロセス・加工 (ドリル・ルーター・ウォータージェット加工) について検討が必要である。特に穴あけなどによる発熱は強度を低下させるため、検討が必要である。

品質保証についての検討

製品が想定されている強度を満たしていない場合は、繊維と樹脂の含浸不良、繊維の乱れ、しわ、外部欠陥、積層板のポイド、接着不良、層間剥離、異物混入などが考えられる。

こうした項目は目視検査、もしくは超音波探傷などによる非破壊検査を行うことで確認できる。しかし、同一の形状であったとしても、成

形方法と樹脂によって、これらの損傷が発生する箇所は異なる。したがって、材料に応じた検査を行う必要がある

使用する材料の強度についての品質保証は、熱硬化性樹脂の場合は材料の購入時に受け入れ試験を実施するとともに、部品の製作段階では工程管理試験の実施によって行っている。なお、熱可塑性樹脂の場合は熱硬化性樹脂と異なる工程保証方法が必要であると言われている⁴⁸⁾。

(c) 樹脂複合材料の認定プロセスと認定試験

以上の検討を経て選択された材料を実機に使用する際は、材料と構造の両方について認定を受ける必要がある。

このうち、航空機に利用する複合材料の認定プロセスは米国の場合はFAAが発行しているDOT/FAA/AR-00/47⁴⁹⁾をガイドラインとしている。このガイドラインに基づいて認定を得るためには、製造者がガイドラインに基づいて複合材料の認定プロセスに関する作業を認定時に実施する必要がある。その上でFAAが認定をする。

材料の認定については、以下の試験項目を実施する必要がある。これらに必要な試験は米国機械学会規格(ASTM Standards) もしくはSACMA (Suppliers of Advanced Composite Materials Association, ただしASTMへ統一の動きもある) に記述されている。

）硬化前のプリプレグ特性

プリプレグとは、繊維シートにマトリクス樹脂を含ませた硬化前の中間的な材料をいう。表24に、プリプレグ特性調査試験の一覧表を示す⁴⁹⁾。

）複合材料パネルの物理特性

表25に、複合材料パネルの物理特性調査試験の一覧表を示す⁴⁹⁾。

）複合材料パネルの強度特性

表26及び表27に、複合材料パネルの強度特性調査試験の一覧表を示す。このうち、表26のReduced Samplingとは緩和抜取検査のことをいい、比較的品質の良い製品に対して緩和された検査を行う場合である。これに対し、表27のRobust Samplingとは外れ値の影響を少なくした抜取検査のことをいう。

なお、樹脂複合材料を航空機に使用するという観点からすると、試験条件として吸湿と温度を考慮する必要がある。このとき、試験条件の記号は次の意味である。

- ・低温無吸湿(CTD) -54、製造したまま
- ・室温無吸湿(RTD) 室温、製造したまま
- ・高温無吸湿(ETD) 82、製造したまま
- ・高温有吸湿(ETW) 82、85%相対湿度下で飽和

吸湿

）複合材料パネルの難燃性特性

表28に、複合材料パネルの難燃性特性調査試験の一覧表を示す⁴⁹⁾。

構造についての認定を得るためには図32に示すように材料強度のための素材の試験(クーポン試験)から、実構造物にしたうえでの構造強度試験までを行う必要がある。こうした考え方を“ビルディング・ブロック・アプローチ”⁴⁸⁻⁵⁰⁾と呼ぶ。また、クーポンからエレメントレベルであればデータベースとして共有されることで、コストダウンも図ることができる。これらの強度試験の結果はCHM-17(MIL-HDBK-17)にしたがって統計的に処理される。

試験項目(Reduced Sampling, Robust Sampling)にもよるが試験片の数は大量である。これらの手法は欧州でもほぼ同様である。こうした考え方は金属材料を主として利用していた時代から活用されており、コストはかかるが安全性を確保するという点からも現在においても活用されている。

材料と構造の認定については、金属材料も樹脂複合材料も同様のプロセスや試験を行うが、さらに樹脂複合材料については製造設備の認定を必要とする場合がある。これは、製品の質を安定的に確保するという目的のためと考えられる。例えば硬化用オートクレーブ、プリプレグ裁断機、非破壊検査装置などは製造設備の認定を必要とする場合がある。当然のことながら、これらの試験により問題点が発見された場合は、認定されず再試験となる。

航空機という一度構造が損傷すると被害の大きさは最悪墜落という大災害が発生する点を考慮すると、材料から構造の認定までに非常に多くの作業とコストを必要としている。しかし、欧米においてはデルフト工科大学の活動⁴⁸⁾に見られるように多額の予算を国と企業が出し合い、新しい材料と構造の開発に取り組んでいる。産業機械においても、こうした流れはやがて起こることを前提に安全かつ効率的な産業機械の開発を目指すことが望まれる。

第6章 日本での法規制及び社会制度のあり方に関する考察

本章では、今後、日本で望まれる機械に対する法規制及び社会制度のあり方について考察する。なお、本考察は現段階で検討中であり未公表のものも含まれるため、本章では現段階での概略を述べるに留める。

6.1 適合性評価と妥当性確認

1) 用語の意味

最初に、適合性評価と妥当性確認の用語の意味を考察する。国立大学法人長岡技術科学大学のシステム安全系の講義では、規格を「公に入手できる技術的な仕様書またはその他の文書であって、科学・技術及び経験から統合された結果に基づいて、影響を受けるすべての関係者の協力とコンセンサスあるいは全面的な承認の下に作成され、最適な社会的便益の促進を目指し、国内、地域的あるいは国際的なレベルで認知された機関によって承認されたもの」と定義している。このうち、人身などの安全を保証する仕様書を含む規格が安全規格である。

この定義からも分かるように、規格とは現時点での科学・技術及び経験に基づいて、関係者のコンセンサスと承認の下に作成される。この規格に適合しているか否かを判定する行為が“適合性評価”(conformity assessment)である。この用語がISO/IEC 17000(適合性評価 - 用語及び一般原則)で「製品、プロセス、システム、要員又は機関に関する規定要求事項が満たされていることの実証」と定義されていることは既に第5.6節で述べた。

また、妥当性確認(Validation)とはISO9000に「客観的証拠を提示することによって、特定の意図された用途又は適用に関する要求事項が満たされていることを確認すること」と定義されている。

これに類似した用語に検証(Verification)がある。これは「客観的証拠を提示することによって、規定要求事項が満たされていることを確認すること」をいう。ここで、本研究の目的が労働災害防止という特定の意図された用途又は適用に限定されることを考慮すれば、検証と妥当性確認では、妥当性確認という用語を使用した方が適切と考えられる。

2) 具体的内容とマーキングの重要性

次に、実際の安全管理活動に必要な適合性評価と妥当性確認の具体的内容を考察する。

実際の安全管理活動は、機械の設計・製造段階と機械の使用段階での活動に大別される。このうち、機械の設計・製造段階では、製品が特定の安全規格に適合しているか否かを判定する行為が特に重要と考えられる。これは前述した適合性評価に他ならない。これに対し、機械の使用段階では、機械の使用者が実際の機械を使用するにあたって労働災害が発生する可能性がないかを個別具体的に確認する行為が特に重要である。これは、労働災害防止という特定の意図又は用途を対象に、個別の機械が安全である

か否かの確認を個別具体的に行う行為であり、前述した妥当性確認に相当すると考えられる。

勿論、適合性評価と妥当性確認は一般には機械の設計・製造と使用の両方の段階で必要な行為である。しかし、本研究で対象とする機械の労働災害防止に対象を限定した場合には、“所定の規格に適合しているか否か”が問題となる機械の設計・製造段階と“現実に労働災害が発生する可能性があるか否か”が問題となる機械の使用段階では、両者の重要性は大きく異なる。このため、本研究では、図33に示すように“適合性評価”を主に機械の設計・製造段階に、“妥当性確認”を主に機械の使用段階に対応する行為として定めた。

この場合、機械の設計・製造段階の適合性評価と機械の使用段階の妥当性確認の適切な連携が必要となる。この連携に不可欠な制度がマーキングである。マーキングが適切に施されていれば、機械の設計・製造者の側で適合性評価が確実に実施されていることを機械の使用者側に伝達できる。この情報伝達があれば、機械の使用者は、残留リスク対策、変更管理、機械の製造後明らかとなった発生可能性のある災害に対する再発防止策に重点を置いて災害防止対策を実施できるので、機械の設計・製造者と使用者の間の役割分担が明確となる。

従来、労働安全分野ではマーキングの意義を十分議論することが少なかった。しかし、これまで労働安全分野では不明確であった機械の設計・製造者と使用者の役割分担の明確化と、その分担に基づく両者の適切な連携を図るためにも、マーキング制度の導入は日本でこそ重要と考えられる。

6.2 今後望まれる機械安全規制

本研究では、現段階で想定できる機械安全に関する日本での法規制案と社会制度案を仮説として複数設定し、各仮説を対象に、災害防止効果の有効性や実現可能性及び問題点などの検証を行う。この仮説には、例えば、完全整合化案、実質同一案、及び従来規制を徹底する案などが考えられた。

このため、平成25年度には、これらの案の現段階での概略と、検証を行う際に留意すべき事項や問題点について考察した。以下、その要点を述べる。

1) 完全整合化案

この案は、日本の機械安全に関する法規制及び社会制度を欧州の法規制や社会制度などと完全に整合させる案である。

具体的には、欧州機械指令に相当する「機械安全法」を強制法規として定めるとともに、強制法規に定めた要求事項を実現するために、体系的な機械安全規格（図1参照）、欧州方式の適合性評価制度、第三者認証制度及びマーキング制度を整備する案などが考えられる。

ここで、機械安全法の具体的内容としては、当初はドイツ機器・製品安全法(GPSG法)(2004年5月1日施行)とドイツ製品安全法(ProdSG法)(2011年12月1日施行)が参考になると考えた。しかし、具体的要求事項を考慮した場合は、むしろ欧州機械指令の付属書、イギリスの機械安全関係の規則であるPOWER(The Provision and Use of Work Equipment Regulations)ILOが2011年に主に途上国向けに機械安全に関する要求事項をまとめた「Code of Practice on Safety and Health in the Use of Machinery」、ILO第118号勧告(機械の防護に関する勧告)などが参考になると考えられる。

また、体系的な機械安全規格としてはISO/IECやENなどに定められた機械安全規格が参考になる。さらに、適合性評価とマーキングには欧州で実施されているモジュール方式の適合性評価(図2参照)やCEマーキング制度の採用などが考えられる。

この案の利点は、製品の自由な流通が経済効果を生むという点にあると言われている。しかし、働く人の安全(労働者保護)を対象とした本研究では、完全整合化された規格を実際の労働災害防止対策に活用した場合の有効性について定量的な検証を行うことが重要と考える。この検証作業は膨大な規格を対象とするために大変な作業となるが、具体的な作業は後述する2)に準拠した方法での実施を考えている。

なお、本案を実施する場合には、経済産業省の製品安全行政との連携が不可欠と考えられる。

2) 実質同一案

(a) 実質同一案の基本戦略

この案は、欧州の法規制や社会制度の中から特に労働災害防止効果が高いと考えられるエッセンスを抽出し、労働安全衛生法などに強制法規として反映させる案である。具体的には、機械の設計・製造者が行う方策としてISO12100のステップ1及び2に定める本質的安全設計方策や安全防護(ガードや安全装置)及び制御システムの安全関連部に対する方策(インターロック、フェールセーフ、タンパープルーフなど)を労働安全衛生規則の第二編第一章第一節の一般基準などに規定し、かつ適合性評価、第三者

認証及びマーキングなどの制度の内容を労働安全衛生法や機械等検定規則に規定する。

図33に、実質同一案における機械のリスク低減戦略の例を示す。この案では、ISO12100に定めるリスク低減戦略、モジュール方式による適合性評価(図2参照)と適合宣言に関する情報伝達を目的としたマーキング、機械の使用による妥当性確認、機械の設計・製造段階での災害情報の活用が基本要素となっている³³⁾。

このうち、と は製品の自由な流通を目的とする欧州の機械安全制度の中心となる機能である。これに対し、図33では、日本で望まれる機械安全に関する法規制及び社会制度として、労働者の安全を確保するために と の機能も併せて重視している。なお、ISO12100によるリスク低減プロセスをシステムとしてみた場合、災害情報を機械の設計・製造者に伝達するための適切なフィードバック構造が必要である。図33は、この問題を解決するための構造でもある。

(b) 実質同一案での有効性検証

この案では、ISO12100のステップ1及び2に定める本質的安全設計方策や安全防護(ガードや安全装置)及び制御システムの安全関連部に対する方策(インターロック、フェールセーフ、タンパープルーフなど)だけで十分な労働災害防止効果が得られるかという懸念がある。そこで、研究代表者らが約10年前に実施した機械に起因する労働災害の分析結果を利用して、このときの労働災害防止効果を推察した。ただし、約10年前と異なり、停止すると作業が不可能な危険点近接作業に対しては、現段階では有効な保護方策が存在しないと仮定して有効性の評価を実施した。

表29に、この分析結果をまとめた結果を示す。この分析では、首都圏で発生した機械に起因する“挟まれ・巻き込まれ”災害と“激突され”災害を事故の型とする死亡労働災害129件を対象とした⁵¹⁾。

分析の結果、少なくともステップ2の安全防護(ガードまたは保護装置)及び制御システムの安全関連部に対する対策(インターロック、フェールセーフなど)を実施すれば、機械に起因する労働災害の3分の2近く(67%)を防止できることが推察された。また、ガード(固定式及びインターロック式)を利用した対策だけでも、機械に起因する労働災害の5割を超えて(57%)防止できることが推察された。

(c) 移動式の機械に対する対策

以上の結果は死亡労働災害を対象としたもので、障害を伴う災害や休業災害に対してまで有効かは別途検証を行う必要がある。また、この分析を実施してから約10年近くが経過しているので、現在も上記の推察が有効かも別途検証する必要がある。

そこで、平成22～25年度に日本で発生した機械に起因する労働災害（死亡約5,000件及び休業4日以上約50万件）の分析を実施した。その結果は表15及び図16、図17に示したとおりである。

分析の結果、移動式の機械である建設用機械、移動式クレーン、及びフォークリフトに起因する死亡労働災害が全機械災害の50%を占めていた。これらの移動式の機械に対しては、人の注意力に依存して作業者の安全を確保せざるを得ないと考えられている。

しかし、人の行動は誤りを伴うものであり、万全ではない。このため、本課題の研究者らは、人の行動を監視して警告等を行う支援的保護システムの検討を進めている。この具体例に、建設機械やフォークリフトへの接近警報システムがある。また、本課題の研究者らは、移動式クレーンのワイヤーロープの切断や構造体の破損などの災害を防止するために、材料工学的観点も含めた新素材や高強度材料、及び限界状態設計法などの信頼性・安全性評価手法の検討も含めた総合的な研究を進めている。

(d) 定置式の機械に対する対策

これに対し、定置式の機械での労働災害は、作業者が機械の危険な可動部を停止させない状態で可動部に近接して行う危険点近接作業や、作業者が機械の可動範囲などの広大領域に進入したときに他の人が誤って可動部を起動させたり、運転中の可動部に接触したりして発生することが多かった。

表30～表32は、これらの災害の分析結果をまとめたものである。表からもあきらかなように、危険点近接作業に関連する災害は定置式の機械で発生する災害の44%、広大領域内作業に関連する災害は定置式の機械で発生する災害の36%、第三者による誤った起動に起因する災害は定置式の機械で発生する災害の12%を占めていた。

また、これらのいずれかに関連する災害は重複も含めて65%と定置式の機械で発生する災害の3分の2近くを占めていた。

現在、労働安全衛生総合研究所では危険点近接作業や広大領域内での作業を対象とした新しい安全技術の開発を進めている。ただし、この方策では、単純にISO12100に基づくリスク低減戦略に従うのではなく、既に研究代表者らが提案

している管理区分方式のリスク低減戦略と実質同一案を融合させた新たな戦略を必要とする。

図27に、この戦略を示す。これは、第5.9節で述べた帰納的方策と演繹的方策を連携させた戦略である。この戦略と、本質的安全設計方策や安全防護物（ガード、保護装置）の適用だけでなく、現在本研究の担当者が研究を進めている高機能型の光線式安全装置やレーザー式安全装置、及び無線通信を利用した遠隔非常停止装置などの支援的保護システムの適用などによって、労働災害の相当部分を防止できる可能性があり、この労働災害防止効果の検証が必要と考える。

なお、この案では欧州方式の適合性評価と実質同一とするための実施事項として、図34に示す事項を想定している。これらは、欧州機械指令の付属書を基に作成したもので適切と考えているが、念のために労働災害防止効果に関する検証が必要である。

(e) 中小零細企業対象の簡易な対策の効果

実際の中小零細企業の実態を考慮したとき、実質同一案の場合でも対応が困難な企業が多いと考えられる。そこで、当面の措置として、例えば労働安全衛生規則の第二編第一章第一節の一般基準に可動部に対する“覆い・囲い等”（ガードだけでなく保護装置を含む）の規定を設け、この対策の徹底によって機械に起因する労働災害を大幅に減少させる方策も併せて提案した。これにより、定置式の機械では表33に示すように死亡労働災害の6割近くを防止できる可能性があると考えられる。

ただし、この方策の徹底にあたっては、現場段階での妥当性確認やリスクアセスメント、及び事業者に対するコンサルティングや講習会の実施などが不可欠である。また、中小零細企業でのリスク概念の普及を目的とした簡易なリスクアセスメント手法の開発、マーキングを利用した簡易な妥当性確認手法の開発、及び“覆い・囲い等”の好事例の収集なども重要な課題と考えられる。これらの業務には、労働安全衛生総合研究所の活用なども考慮すべきである。

3) 現在の規制を強化する案

この案は、努力義務である労働安全衛生法第28条の2（危険性又は有害性に関する調査等）や、ISO12100と実質同一である「機械の包括的な安全基準に関する指針」を適切に運用することによって、機械による労働災害を防止しようとするものである。

この案の問題点は、前述した法令や通達に強

制力がない点にある。このため、安全活動に熱心な事業者が機械安全に熱心に取り組む一方で、災害発生率の高い事業者が強制でないという理由から熱心に取り組まないとという傾向が懸念される。

また、これらの規制では、事業者が自主的にリスクアセスメントに取り組むことが重要と考えられている。しかし、第5.2節(2)で述べたように、リスクアセスメントは主に中小零細企業がリスクの概念を習得してもらう際の教材に過ぎない。したがって、本案を採用する場合の労働災害防止対策では、本質的安全設計方策や安全防護（ガードまたは安全装置）などの設備対策を重点に置いた方策の展開が重要と考えられる。

4) 完全整合化案と実質同一案の融合

実際の場合では、働く人の安全（労働者保護）と企業の国際競争力の強化を両立させる方策も重要と考えられる。このために考えられるのが、完全整合化案と実質同一案の融合である。

この具体例としては、労働安全衛生規則の一般基準に、本質的安全設計方策や安全防護（ガードや安全装置）及び制御システムの安全関連部に対する方策（インターロック、フェールセーフ、タンパーブーフなど）を規定するとともに、ISO/IECなどの機械安全国際規格の要求事項を満足できる機械は、その要求事項を満足していると「みなす」または「推定する」規定を設けるなどの方法が考えられる。

今後は、このような方法の可能性も含めて検討を進めていく予定である。なお、この場合でも、設備対策が困難な残留リスクに対しては、人の注意力に依存した安全管理策によって適切なリスク低減を図るという規定が必要になると考えられる。

6.3 社会制度の検討

同様に、法規制と並ぶ重要な課題として、社会制度についても考察した。ただし、この課題は社会科学的知見なども必要とする大変困難な検討を必要とした。

このため、現段階では次のような知見を得るに留まっているが、平成27年度においては専門家が参集する委員会の場なども活用し、機械安全に関する社会制度のあり方について知見を深めたい。

以下、現段階までに得られた成果の概略を記述する。

1) 自主対応と法規準拠

(a) 自主対応と自主的活動の違い

独立行政法人労働安全衛生総合研究所の福澤義行理事は、研究所のメールマガジン⁵³⁾でイギリスにおける自主対応と日本の自主的活動を比較して次のように考察している。

「英国では、1972年のローベンス報告に基づき従来の最低基準の遵守を特徴とする法制から安全衛生法規は枠組みのみを定める事業者責任の強化現場での自主対応型の法制を特徴とする英国労働衛生安全法が1974年に施行された。

一方、日本では最低基準+自主的活動の促進（第1条）が謳われた労働安全衛生法が1972年に施行された。その後の実態を見ると英国の自主管理は経営トップが行う管理であり、日本の自主的活動というのは現場の労働者が行う活動というイメージが強い。

極端に言えば、英国型では労働者は不安全行動をするという前提での「機械設備に頼る安全」、日本型では労働者は不安全行動をするので教育訓練していこうという「人に頼る安全」という側面が強かったように思える」とのことである。

この考察を考慮したとき、研究代表者らは、現在の日本で誤解されているのが「努力義務」の位置付けであると考えられる。すなわち、福澤が示唆したように「努力義務」を経営者の自主対応でなく労働者の自主的活動として捉えてしまった場合、事業者責任の強化という視点は希薄とならざるを得ない。この点に現在の労働安全分野において特に考慮すべき問題の根源があると考えられる。

(b) 自主対応で根拠に基づく安全が必要な理由

では、どのようにすれば、イギリスの自主対応の観点から事業者責任の強化を図ることができるのか。この点で大変重要な概念が前述した事業者が行う妥当性確認である。これは、機械の使用段階での“客観的証拠の提示”によって、事故や災害が発生する可能性がないかを事業者が個別具体的に確認する行為をいう。

現在、日本では現場の優秀な作業員や管理・監督者の勘と経験に基づいて安全管理を実施しているが、ここに事業者が行う“根拠(Evidence)に基づく”妥当性確認という考え方を導入できれば、より高い次元への安全管理へと発展できる可能性がある。これが、筆者らが根拠に基づく労働安全理論(EBS)を提唱する理由である。

また、現在、本研究と平行して厚生労働科研費での研究を実施している三柴文典⁵⁴⁾は、自主対応の発展形としての対話型の安全衛生政策を

提案している。

この提案を受けて筆者らの研究で論点となったのは、イギリスのローベンス報告で指摘された自主対応型、及び日本の三柴丈典が指摘している対話型の安全衛生政策⁵⁴⁾を日本の機械安全の現場で実現するための具体的な理論と戦略を構築することであった。特に、自主対応と対話を基盤とするこれらの方策では、対策を実施するにあたっての根拠（エビデンス）とプロセス（戦略）の明確化が重要と考えられる。そこで、この点を考慮し、研究代表者らが提案している根拠に基づく安全理論（EBS: theory of Evidence-Based Safety）の更なる検討を進めた。なお、根拠とプロセスに基づく方策は欧州の鉄道分野における機能安全やアメリカの System Safety Society でも重要な課題となっている。

(c) 自主対応と法規準拠の連携

実際の現場では、自主対応と対話だけですべての問題が解決できるわけではなく、多発する労働災害を防止するために労働基準監督機関が行う法規準拠及び監督取締型の施策も依然として重要である。したがって、今後は自主と強制の連携によって、自主対応及び対話型と法規準拠及び監督取締型のバランスの取れた施策を日本国内で総合的に進める体制の構築が重要と考えられる（図 35 参照）。

このときの自主対応及び対話型の施策を対象とした支援機関には、独立行政法人労働安全衛生総合研究所や現在法案を審議中の独立行政法人労働者健康安全機構などの活用も考慮すべきである。

2) 全体最適の視点

以上の社会制度では全体最適の視点も重要である。そこで、全体最適に対する具体例として、企業と働く人の両方を考慮した総合的リスクマネジメント戦略の構築を併せて進めている。表 34 に、この戦略の概要を示す。

また、全体最適の観点から、機械安全と労働安全の両分野において望ましい安全性を達成するための理論的考察として、ISO/IEC ガイド 51 を基礎とする個別最適理論である機械安全と、ガイド 73 を基礎とする全体最適理論である労働安全におけるリスク低減戦略の違いも考慮した新たな最適設計理論の検討を進めている。

表 35⁵⁵⁾は以上の観点から機械安全と労働安全の比較を行ったもので、以上の理論構築の必要性を示唆している。

6.4 社会基盤整備の必要性

以上は主に法規制や社会制度を対象とした考察である。しかし、実際の労働災害防止に関するシステムでは、図 36 に示すように 理論、技術、情報、知的財産、法規制、適合性評価、教育、支援に関する社会基盤を整備する必要がある。このため、労働安全衛生総合研究所では、以上の課題について別途研究を進めている。

この中で特に重要なのは、以下の項目と考えられる。

1) 法規制

現在、日本では、機械安全に関して事業者の自主的活動を中心とした施策が進められている。しかし、事業者に対して強制を伴う施策を進める場合は、特に中小零細企業を対象に労働基準監督機関による適切な技術支援活動が必要になる。この場合、イギリス、フランス、ドイツの例に相当するレベルでの労働基準監督機関内での技術専門家の充実が必要不可欠と考えられる。

2) 情報

機械の設計・製造者に対する技術支援活動では、本質的安全設計方策、安全防護（ガードや安全装置）、及び制御システムの安全関連部に対する方策（インターロック、フェールセーフ、タンパープルーフなど）に関する具体的情報を提供できる安全設計支援システムが必要と考えられる（図 37 参照）。

同様に、機械の使用者に対する技術支援活動では、災害情報の提供、リスクアセスメントとリスク定量化、根本原因究明、対投資効果推定などの機能を備えた支援システムが必要と考えられる（図 37 参照）。

現在、労働安全衛生総合研究所では、以上の点に配慮した総合的な支援システムの検討を進めている。

3) 教育

以上の法規制を踏まえた上で、各企業が法令に定める以上の安全性向上策を自主的に進めるためには、高度な知見と能力を備えた技術専門家による支援体制が不可欠である。

このために、国立大学法人長岡技術科学大学専門職大学院システム安全専攻の修了者、同大学が実施している「システム安全エンジニア」の資格取得者、一般社団法人日本電気制御機器工業会等が実施している「セーフティリードアセッサ」、「セーフティアセッサ」などの資格を有する者を活用すべきである。

また、厚生労働省の技能検定制度の中に、機械安全に関する専門的知識の検定を設けるべきとの意見もある。今後は、以上のような点も含

めて、機械安全の専門家に対する体系的な資格制度や教育・訓練制度のあり方の検討が重要と考えられる。

第7章 結論

欧州の機械安全に関する法規制及び社会制度の基本的枠組みは、1985年のニュー・アプローチ政策によって確立したと考えられる。この政策では、安全上の必須要求事項である欧州指令とこれを補完する体系的な技術仕様書であるEN規格、モジュール方式による適合性評価と欧州域内での相互承認、自己責任に基づき製品の必須要求事項への適合を自ら宣言するCEマーキングなどが、日本の労働災害防止対策でも大変参考になると考えられる。

このため、本研究では、上記～の法規制や社会制度を日本の機械安全分野でも活用することによって、機械による労働災害の大幅な減少が図れるかの検証を試みた。具体的には、欧州の機械安全に関する法規制や社会制度の内容と実態を調査・分析するとともに、現段階で想定できる日本での法規制及び社会制度を仮説として複数設定し、各仮説を対象に労働災害防止効果や実現可能性及び問題点などの検証を行っている。このうち、平成26年度に得られた主な結果は次のとおりである。

- 1) 日本の強みは、現場の優秀な作業員や管理・監督者及び生産技術者が質の高い安全管理と生産技術に基づく改善を実施していることにある。したがって、この“現場力”を基盤に置いた上で、技術に基づく安全の先進国と言われる欧州の機械安全技術や社会制度を適切に活用すれば、現在多発している機械災害の激減を図るとともに、日本の現場力と欧州の機械安全技術を高次の次元で融合させた新しい枠組みの安全技術と社会制度を構築できる可能性がある。

そこで、平成25年度に実施した欧州の機械安全技術の調査に加えて、日本の現場力の源泉としての安全管理と生産技術に関する調査及び分析を行い、日本の特徴である安全管理の集合知の体系(関係者間の協力と連携によって現場で発生する問題を組織的に解決するための実践的な知識体系)特に安全性と生産性の両立を目指した技術体系について考察した。このとき、安全はコストでなく新たな価値創造のための投資として位置づけることが可能となる。
- 2) 平成25年度の研究では、主に定置式の機械に対する法規制の仮説として、完全整合化案、実質同一案、及び現時点の規制を強化する案

を提示し、この中から実質同一案を選択した。この案では、ISO12100に定めるリスク低減戦略、モジュール方式による適合性評価と適合宣言に関する情報伝達を目的としたマーキング、マーキングの情報に基づく機械の使用段階での妥当性確認、機械の設計・製造段階への災害情報のフィードバックが特に重要であった。

しかし、中小零細企業の実態を考慮したとき、実質同一案の場合でも対応が困難な企業が多いと考えられる。そこで、当面の措置として、例えば労働安全衛生規則の第二編第一章第一節の一般基準に可動部に対する“覆い・囲い等”(保護装置を含む)の規定を設け、この対策の徹底によって機械に起因する労働災害を大幅に減少させる方策も併せて提案した。これにより、定置式の機械では死亡労働災害の6割近くを防止できる可能性があると推察される。

- 3) 上記2)の方策の徹底にあたっては、現場段階での妥当性確認やリスクアセスメント、及び事業者に対するコンサルティングの実施などが不可欠である。また、中小零細企業でのリスク概念の普及を目的とした簡易なリスクアセスメント手法の開発、マーキングを利用した簡易な妥当性確認手法の開発、及び“覆い・囲い等”の好事例の収集なども重要な課題と考えられる。これらの業務には、独立行政法人労働安全衛生総合研究所の活用なども考慮すべきである。
- 4) 一方、平成22～25年度に日本で発生した機械に起因する労働災害(死亡約5,000件及び休業4日以上約50万件)を分析した結果、移動式の機械である建設用機械、移動式クレーン、及びフォークリフトに起因する死亡労働災害が全機械災害の50%を占めていた。

これらの移動式の機械に対しては、人の注意力に依存して作業員の安全を確保せざるを得ないと考えられている。しかし、人の行動は誤りを伴うものであり、万全ではない。

このため、本課題の研究者らは、人の行動を監視して警告等を行う支援的保護システムの検討を進めている。この具体例に、建設機械やフォークリフトへの接近警報システムがある。また、本課題の研究者らは、移動式クレーンのワイヤーロープの切断や構造物の破損などの災害を防止するために、材料工学的観点も含めた新素材や高強度材料、及び限界状態設計法などの信頼性・安全性評価手法の検討も含めた総合的な研究を進めている。

- 5) 平成 25 年度の研究では、機械安全に関する社会制度としてイギリス、ドイツ及びフランスで実施している機械の使用段階での妥当性確認制度を調査し、特に日本で参考にできる制度としてイギリスの制度に着目した。

平成 26 年度は、これにスイスでの調査を加えるとともに、平成 25 年度に引き続きイギリスの HSE（英国安全衛生庁）の調査を行い、実際の製造業や建設業の現場で妥当性確認をどのように進めているかの知見を深めた。

- 6) 上記 5) と平行して、機械安全に関する社会制度のあり方を理論的に検討した。この検討で論点となったのは、イギリスのローベンス報告で指摘された自主対応型、及び日本の三柴丈典が指摘している対話型の安全衛生政策を日本の機械安全の現場で実現するための具体的な理論と戦略を構築することであった。

特に、自主対応と対話を基盤とするこれらの方策では、対策を実施するにあたっての根拠（エビデンス）とプロセス（戦略）の明確化が重要と考えられる。そこで、この点を考慮し、研究代表者らが提案している根拠に基づく安全理論（EBS: theory of Evidence-Based Safety）の更なる検討を進めた。なお、根拠とプロセスに基づく方策は欧州の鉄道分野における機能安全やアメリカの System Safety Society でも重要な課題となっている。

- 7) 上記の自主対応と対話型の観点から事業場に対して具体的な支援を行える機関としては、労働安全衛生総合研究所や現在法案を審議中の新たな独立行政法人である労働者健康安全機構などが考えられる。

一方で、多発する労働災害を防止するには、労働基準監督機関が行う法規準拠及び監督取締型の施策は依然として重要である。したがって、今後は労働基準監督機関と労働安全衛生総合研究所などの連携によって、自主対応及び対話型と法規準拠及び監督取締型のバランスの取れた施策を日本国内で総合的に行える体制の構築が重要と考えられる。

- 8) 以上の社会制度では全体最適の視点も重要である。そこで、全体最適に対する具体例として、企業と働く人の両方を考慮した総合的リスクマネジメント戦略の構築を併せて進めている。

また、全体最適の観点から、機械安全と労働安全の両分野において望ましい安全性を達成するための理論的考察として、ISO/IEC

ガイド 51 を基礎とする個別最適理論である機械安全と、ガイド 73 を基礎とする全体最適理論である労働安全におけるリスク低減戦略の違いも考慮した新たな最適設計理論の検討を進めている。

なお、実際の労働災害防止活動を適切に推進するにあたっては、職場で重大な労働災害を発生させないことは当然として、働く人が長期的に安定した労働条件や安心できる職場環境の下で、他の人と協調しながら自己の能力を存分に発揮できる状態の実現など、別添 3 に示した労働基本権も含めた職場環境の整備も重要と考える。

また、本研究では、働く人の安全（労働者保護）の確保は当然として、企業の国際競争力の強化、安全に関連する新産業の創出、海外との相互承認による適合性評価に要するコストの削減、製造物責任対策などの視点や機械作業に関連する生産性、作業性、費用対効果の改善という観点からも、欧州の機械安全に関する法規制や社会制度の有効性評価を進めていくべきと考える。

平成 27 年度は、以上のような観点も考慮した上で、実際の研究活動を進めたい。

参考文献

- 1) 日経メカニカル別冊、機械の CE マーキング、日経 BP 社（1994）
- 2) 丸山弘志・三平律雄、CE マーキング制度とは、工学研究社（1996）
- 3) 梅崎重夫・糸川壮一、機械安全に関する欧州規格の現状と国内法規との対応に関する調査、産業安全研究所安全資料、NIIS-SD-No. 14、（1996）pp. 1-14
- 4) 梅崎重夫・清水尚憲・濱島京子・平沼栄浩・高木元也・島田行泰・三平律雄、よくわかる！管理・監督者のための安全管理技術 - 管理と技術のココがポイント-（基礎編）、日科技連出版社（2011）
- 5) 中山和久、国際労働法、三省堂（1998）pp. 46-54
- 6) 梅崎重夫・濱島京子・清水尚憲、機械安全と安全管理における基本理念と災害防止原則の比較 - ベスト・プラクティスの観点から、労働科学、Vol. 86、No. 4（2010）pp. 179-187
- 7) 池田博康、機械の制御システムの安全設計原則 ISO13849-1 における安全機能の確認、安全工学、Vol. 48、No. 4（2009）pp. 375-378
- 8) 齋藤剛、最近の制御技術(5) - 制御システムの安全性能基準 - 、クレーン、Vol. 51、No. 8（2013）pp. 4-10

- 9) JISハンドブック、適合性評価、CEマーキング制度の主な指令と適用モジュール (2011) p.568
- 10) Celeste Jacinto、Elaine Aspinwall、A survey on occupational accidents' reporting and registration systems in the European Union、Safety Science、42 (2004) pp.933-960
- 11) 梅崎重夫・清水尚憲、産業機械の労働災害分析、産業安全研究所特別研究報告、NIIS-SRR-NO.33 (2005) pp.53-67
- 12) 梅崎重夫・福田隆文・齋藤剛・清水尚憲・木村哲也・濱島京子・芳司俊郎・池田博康・岡部康平・山際謙太・富田一・三上喜貴・平尾裕司・岡本満喜子・門脇敏・阿部雅二郎・大塚雄市、日本で望まれる機械安全に関する法規制及び社会制度の考察、労働安全衛生研究、Vol.8、No.1 (2015) pp.13-27
- 13) 古澤登、元気な職場を作る実践的安全活動 - 安全スタッフ・管理監督者が組織を変える -、中災防新書 (2012)
- 14) 中村昌充、製造現場の事故を防ぐ安全工学の考え方と実践、オーム社 (2013)
- 15) 遠藤功、現場力の教科書、光文社新書 (2012)
- 16) 若松義人、最強の現場を作り上げる！トヨタ式「改善」の進め方、PHP ビジネス新書 (2007) pp.122-126
- 17) 労働省安全課監修、これからの安全技術 - 工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドラインの解説 -、安全確認システムと生産性 (杉本旭と梅崎重夫で執筆) (2000) pp.190-193
- 18) 栗原史郎監修、向殿政男ほか、現場発ものづくり革新 - 安全は競争力 -、日刊工業新聞社 (2009)
- 19) 遠藤功、現場力復権、東洋経済新聞社 (2009)
- 20) 梅崎重夫・板垣晴彦・齋藤剛・伊藤和也・山際謙太・崔光石・高橋弘樹・濱島京子・清水尚憲・大幢勝利、よくわかる！管理・監督者のための職場における安全工学、日科技連出版社 (2013) pp.1-16
- 21) 朱宮徹、現場力の高い職場づくり、労働の科学、Vol.68、No.12 (2013) pp.10-14
- 22) 梅崎重夫・濱島京子・清水尚憲、根拠に基づく安全 (EBS) を考慮した安全目標と安全性評価指標の提案、安全工学シンポジウム 2013 講演予稿 (2013) pp.334-337
- 23) 梅崎重夫・濱島京子、第三次産業の労働災害防止対策に関する技術基準等の検討、労働安全衛生総合研究所特別研究報告、JNIOSH-SRR-NO.43 (2013) pp.101-108
- 24) 梅崎重夫・濱島京子・池田博康、食品機械を対象とした労働災害分析、労働安全衛生総合研究所安全資料、JNIOSH-SD-NO.27 (2010)
- 25) 梅崎重夫・濱島京子・清水尚憲・板垣晴彦、コンベヤーを対象とした労働災害分析 - 労働損失日数の活用によるリスクの定量的評価 -、労働安全衛生研究、Vol.5、No.1 (2012) pp.33-44
- 26) 濱島京子・梅崎重夫・板垣晴彦、粉碎機及び混合機を対象とした労働災害分析 - 労働損失日数の活用によるリスクの定量的評価と比較 -、労働安全衛生研究、Vol.5、No.2 (2012) pp.87-97
- 27) 杉本旭・桑川壮一・深谷潔・清水尚憲・梅崎重夫・池田博康・芳司俊郎・蓬原弘一、安全確認形安全の基本構造、日本機械学会論文集 C 編、Vol.54、No.505 (1988) pp.2284-2292
- 28) 杉本旭・蓬原弘一、安全の原理、日本機械学会論文集 C 編、Vol.55、No.530 (1990) pp.2601-2609
- 29) 梅崎重夫・清水尚憲・濱島京子・木下博文・平沼栄浩・宮崎浩一・石坂清、統合生産システム (IMS) におけるリスク低減プロセスの基礎的考察、労働安全衛生研究、Vol.1、No.3 (2008) pp.212-219
- 30) 梅崎重夫・濱島京子、日本の現場力と欧州の機械安全技術の連携による新たな社会制度の構築、電子情報通信学会安全性研究会、Vol.114、No.458 (2015) pp.13-16
- 31) Keskinen、E. : Why do young drivers have more accidents? Junge Fahrer und Fahrerinnen. Referate der Esten Interdisziplinären Fachkonferenz 12-14. Dezember 1994 in Köln richte der Bundesanstalt für Strassenwesen. Mensch und Sicherheit、Heft M 52 (1996)
- 32) IAEA Safety Series No.75-INSAG - 1 " Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident " Vienna (1986)
- 33) IAEA Safety Series No.75-INSAG - 4 " Safety Culture " Vienna (1991)
- 34) EN 1127-1:2011、Explosive atmospheres - Explosion prevention and protection - Part 1: Basic concepts and methodology
- 35) IEC 60974-1 ed4.0 : Arc welding equipment - Part 1: Welding power sources
- 36) EN 50126 : Railway applications - The

- specification and demonstration of Reliability、Availability、Maintainability and Safety (RAMS) (IEC 62278)
- 37) EN 50128 : Railway applications - Software for railway control and protection systems (IEC 62279)
- 38) EN 50129 : Railway Applications : Safety related electronic railway control and protection Systems (IEC 62425)
- 39) EN 50159-1、-2 : Railway applications - Communication、signalling and processing systems - Safety-related communications in closed (open) transmission systems (IEC 62280-1、-2)
- 40) Commission Regulation (EC) No 352/2009 of 24 April 2009 on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6(3)(2) of Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council
- 41) Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009
- 42) EN50129/IEC62425 Railway Applications - Safety related electronic railway control and control systems
- 43) ORR Common Safety Method for risk evaluation and assessment – Guidance on the application of Commission Regulation (EU) 402/213、March 2015
- 44) Journal of System Safety、Spring/Summer 2014、pp.31-38
- 45) 山際謙太、炭素繊維ケーブルを使用したペンダントロープとその繰り返し荷重特性、クレーン、Vol.51、No.589、pp.25-29
- 46) 山際謙太・大山裕太・佐々木哲也・本田尚・山口篤志・辻裕一、静索用炭素繊維複合材料ケーブルの繰り返し軸荷重試験、日本機械学会論文集(A編)、Vol.79、No.802 (2013) pp.745-748
- 47) 山際謙太・本田尚・山口篤志・佐々木哲也、従来材及び新素材クレーン用ワイヤーロープの経年損傷評価と廃棄基準の見直し、労働安全衛生総合研究所 特別研究報告、SRR-No.44 (2014) pp.19-24
- 48) 平成20年度 熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適用に関する調査報告書、社団法人 日本機械工業連合会
- 49) U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration、DOT/FAA/AR-00/47 “Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems ”
- 50) 戸井康弘・中村裕之、複合材料力学入門 第7章 航空機構造の設計の実例とその成形方法の特徴、日本複合材料学会誌、Vol.23、No.1 (1997) pp.31-38
- 51) 梅崎重夫・清水尚憲、産業機械の労働災害分析、産業安全研究所特別研究報告、NIIS-SRR-NO.33 (2005) pp.53-67
- 52) 濱島京子・梅崎重夫、労働安全及び機械安全分野における社会基盤の確立に関する考察 - 社会基盤の機能と構造 -、電子情報通信学会安全性研究会、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.113、No.154 (2013) pp.17-20
- 53) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所メールマガジン、第70号 (2014)
- 54) 三柴丈典、リスクアセスメントを核とした諸外国の労働安全衛生制度の背景・特徴・効果とわが国への適応可能性に関する調査研究、厚生労働科研費補助金総括研究報告書
- 55) 濱島京子・梅崎重夫、労働安全及び機械安全分野における社会基盤の確立に関する考察 - 社会制度と妥当性確認の前提条件の検討 -、安全性研究会、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.114、No.458 (2015) pp.17-20

図表の出典

- ・図1 文献2)のp.73
- ・図2 文献2)のp.33
- ・図3 JISB9700:2013 図2に具体的方策を追加
- ・図4 文献4)のp.56の表3.5に具体的方策を追加
- ・図6 文献33)のp.18の図2
- ・図7 文献4)のp.41の図3.1
- ・図8 JISB9705-1:2011 図1と図3を参考に作成
- ・図9 JISB9705-1:2011 図A.1
- ・図10 JISB9705-1:2011 図4を参考に作成
- ・図11 JISB9705-1:2011 図5
- ・図12 文献8)のp.6の図1
- ・図13 文献8)のp.6の図2
- ・図14 JISQ17000:2005 図A.1
- ・図15 文献9)のp.568

- ・ 図 18 文献 15)の p.112 の図を参考に作成
- ・ 図 19 文献 15)の p.206 の図を引用
- ・ 図 20 文献 15)の p.126 の図を引用
- ・ 図 28 文献 41)の図を引用
- ・ 図 29 文献 42) の図を引用
- ・ 図 30 文献 43) の図を引用
- ・ 図 31 文献 44) の図を引用
- ・ 図 32 文献 50)の p.44 の図を引用
- ・ 図 35 文献 54) 記載の考え方を参考にした
- ・ 表 1 文献 4)の pp.42-43 の表 3.1
- ・ 表 2 文献 4)の p.44 の表 3.2
- ・ 表 3 文献 4)の p.47 の表 3.3
- ・ 表 10 文献 6)の p.219
- ・ 表 11 JISB9705-1:2011 表 3
- ・ 表 12 文献 8)の p.6 の表 3
- ・ 表 13 文献 8)の p.7 の表 4
- ・ 表 15 文献 12)の p.19 の表 4
- ・ 表 24 文献 49)の Table1
- ・ 表 25 文献 49)の Table2
- ・ 表 26 文献 49)の Table3
- ・ 表 27 文献 49)の Table4
- ・ 表 28 文献 49)の Table6

.研究成果の刊行物・別刷
別添のとおり。

.研究成果の刊行に関する一覧表

- 1) 梅崎重夫・福田隆文・齋藤剛・清水尚憲・木村哲也・濱島京子・芳司俊郎・池田博康・岡部康平・山際謙太・富田一・三上喜貴・平尾裕司・岡本満喜子・門脇敏・阿部雅二郎・大塚雄市、日本で望まれる機械安全に関する法規制及び社会制度の考察、労働安全衛生研究、Vol.8、No.1 (2015) pp.13-27
- 2) 梅崎重夫・濱島京子・清水尚憲、労働安全分野における安全目標の考察、安全工学シンポジウム 2014 (2014) pp.164-167
- 3) 濱島京子・梅崎重夫、労働安全及び機械安全分野における社会基盤の確立に関する考察 - 社会システムとしての安全制御構造 -、安全性研究会、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.114、No.106 (2014) pp.1-4
- 4) 梅崎重夫・濱島京子・清水尚憲、日本で望まれる機械安全に関する法規制及び社会制度の考察 - 根拠に基づく安全理論(EBS)の観点から -、安全性研究会、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.114、No.458 (2015) pp.13-16
- 5) 濱島京子・梅崎重夫、労働安全及び機械安全分野における社会基盤の確立に関する考察 - 社会制度と妥当性確認の前提条件の検討 -、安全性研究会、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.114、No.458 (2015) pp.17-20