

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<sup>9)</sup>。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、平成 25 年度に調査した 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. アクセス性
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、平成 26 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、次の各項の事項を行う。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てみると、次のようになろう。

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ため能力である。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、カテゴリー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 耐水圧試験 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

以上、平成25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。

- ① 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）
- ② 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
- ③ 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）

- ④ 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）<sup>10)</sup>

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。図からも明らかなように、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。図からも明らかなように、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①固定式ガード、②インターロック式ガード、③保護装置、④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<sup>11)</sup>。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<sup>12)</sup>

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。

- ① 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
- ② 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

- ③ 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
- ④ 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—」、中災防新書がある<sup>13)</sup>。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<sup>14)</sup>。

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<sup>15)</sup>。

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」<sup>15)</sup>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”<sup>15)</sup>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<sup>16)</sup>。

### 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<sup>13)、17)</sup>(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<sup>18)</sup>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<sup>19)</sup>と安全な職場を構築しようとする共通の価値観<sup>15)</sup>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18<sup>15)</sup>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、①再発防止から未然防止への戦略転換、②件数重視から重篤度重視への戦略転換、③想定外の考慮などを提案している<sup>20)</sup>。

### 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<sup>15)</sup>。

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<sup>15)</sup>。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<sup>21)</sup>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 19<sup>15)</sup>及び図 20<sup>15)</sup>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”、“カ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<sup>13)、17)</sup>。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)<sup>22)</sup>。このうち、タイプ A 災害は比較的軽微度の低いタイプ 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) と、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<sup>24)~26)</sup>。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したときだけでなく、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、丸のこ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<sup>27)</sup>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<sup>28)</sup>。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＝確率論的なリスク管理目標”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“許容不可能なリスクがないこと”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リ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リ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リスク管理目標（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。図からも明らかなように、確率論的なリ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Ⅲ）とタイプ A L 災害の個人的安全目標（領域Ⅱの一部）に限られる。これに対し他の領域では、確率論的なリ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リ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リ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Ⅲと領域Ⅱ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<sup>29)</sup>。

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<sup>30)</sup>。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、①ISO12100 に定めるリスク低減戦略、②モジュール方式による適合性評価、③機械の使用者による妥当性確認、④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、①と②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、③及び④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<sup>29)</sup>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、

①現場力の活用、②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、③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、④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即し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求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<sup>34)</sup>

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：①爆発性雰囲気回避

②着火源回避

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<sup>35)</sup>

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）。

#### ① 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

#### ② 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 200Ω 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<sup>36)～40)</sup>

### (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きている。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、国境ごとで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、換算死亡者数/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<sup>28)</sup>。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。

- 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。

- (i) 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
- (ii) 安全への影響が大きい場合、本 Regulation を適用する
- (iii) 安全への影響が大きい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

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つのリスク許容原則の1つあるいは複数を適用する。

- (i) 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)
- (ii) 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)
- (iii) 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 i ~ iii 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、iii. 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 を中心的に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<sup>41)~44)</sup>

##### (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<sup>40)</sup>。

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マネジメントとの関係を含め、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マネジメント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<sup>41)</sup>。

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。
  - ① 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。
  - ② 安全への影響が大きい場合、本 Regulation を適用する。
  - ③ 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 つあるいは複数を選択する。
  - 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、①～③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<sup>4 2)</sup>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①～③は、次の 6 種類の評価項目を総合的に考慮して行われる。

- i. failure consequence: 最悪ケースでの障害
- ii. novelty used implementing the change: 技術、組織にける新規性
- iii. complexity of the change: 複雑性
- iv. monitoring: 診断 (観察) 可能性
- v. reversibility: 変更前への非可逆性
- vi. 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<sup>4 3)</sup>。しかし、セーフティ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<sup>43)</sup>。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。

- i) EN 13000:2010+A1:2014  
「Cranes—Mobile cranes—」
- ii) EN 13001-1:2015  
「Cranes — General design — General principles and requirements—」
- iii) EN 13001-2:2014  
「Crane safety—General design—Load actions—」
- iv) EN 13001-3-1:2012+A1:2013  
「Cranes — General Design — Limit States and proof competence of steel structure」
- v) EN 13001-3-2:2014  
「Cranes—General design—Limit states and proof of competence of wire ropes in reeving systems」
- vi) 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。

- vii) 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(i)～(vi)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<sup>45)～50)</sup>

### (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は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<sup>45)～47)</sup>。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<sup>48)</sup>、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たっては、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<sup>48)</sup>。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。

- i) 材料特性面 (高靱性・軽量化・短時間成形)
- ii) 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)
- iii) 設備面の検討 (成形方法・大きさと複雑さ・コスト)
- iv) 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。

#### ① 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。