

平成 17 年度
新製造技術に関する調査研究報告書
－機械工業の安全化技術－

平成 18 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 製造科学技術センター

序

我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

しかしながら世界的なメガコンペティションの進展に伴い、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上、さらにはロシア、インドなどBRICs諸国の追い上げが目覚ましい中で、我が国機械工業は生産拠点の海外移転による空洞化問題が進み、技術・ものづくり立国を標榜する我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸問題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この問題の解決に向けて、従来にも増してますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくためにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要があります。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして財団法人製造科学技術センターに「新製造技術に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成18年3月

社団法人 日本機械工業連合会
会 長 金 井 務

はじめに

グローバル化が進展するなか、市場ニーズは生産効率の向上による納期の短縮化、生産コストの低減等への要請が一層高まり、製造業は国境を越えた厳しい国際競争時代に直面しています。

こうしたなか、企業の製造現場においては、ニーズへの迅速な対応が優先され、安全への配慮が十分になされず機械や生産システムが突然にトラブルを起こし、時には人身事故につながる事態を招いています。

我が国においては、危険が予測される機械等に関しては、労働安全衛生法で遵守すべき安全構造基準を定め、また、それらの機械等を使用する事業者に対しては、安全確保のために遵守すべき事項について指導が行われています。また、機械によってはJIS（日本工業規格）において安全規格が制定され、さらにメーカ業界団体によっては、使用者の事故防止を目的として、自主的に安全基準或いは指針を作成し普及に努めています。しかしながら、厚生労働省の労働災害統計では改善は見られるものの痛ましい事故は少なくなく、事故防止に向けた効果的な安全技術への取り組みが求められています。工場における生産設備の多くはライン化、システム化しており、局所的なトラブルであってもライン全体の停止につながるケースもあり、それによって被る損失も大きなものとなっています。

安心・安全が国の重要課題として位置付けられた今日、事故災害は企業イメージの低下や信用問題に直接影響を及ぼしかねない状況になっていると云えます。

このような社会情勢の下で、ISO14121、同12100等の国際安全規格の整備が進み、わが国においてもそれらの規格に準拠した内容でJISB9702、同9700-1・同9700-2等が制定され、さらに労働安全衛生法が40年振りに改正され（第四章第二八条に第二項として「事業者の行うべき調査等」が追加規定された。）、平成18年4月から施行される。このような状況の下で企業においても安全に対する重要性の認識と関心が高まるなか、機械メーカでは、ユーザからリスクアセスメントの適用を要求される例が増加しており、リスクアセスメント実施上の技術的判断、付加されるコストの負担が新たな課題になっています。

このような背景を踏まえ、当財団では、社団法人日本機械工業連合会から「新製造技術に関する調査研究」として委託を受け、本年度は、機械工業における生産システムの安全化に向けた改正労働安全衛生法の概要、リスク低減のコスト対効果、メーカにおけるリスクアセスメント実施事例、民生設備に対する専門家による工学的視点からのリスク分析等について調査研究を実施し、本報告書にまとめたものであります。この成果が、機械工業における安全確保への取り組みの一助となることを願っています。

本事業の実施にあたり、ご支援いただきました経済産業省ならびに社団法人日本機械工業連合会にお礼を申し上げますとともに協力いただきました委員の皆様方に対し深く感謝を申し上げます。

平成18年3月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

目 次

	頁
序	
はじめに	
目 次	
第Ⅰ章 調査研究の概要	1
1. 1 背景と目的	1
1. 2 調査研究体制	4
1. 3 調査研究項目・スケジュール	5
第Ⅱ章 改正労働安全衛生法の製造業への影響	6
2. 1 労働安全衛生法の一部改正までの経緯	6
2. 2 改正労働安全衛生法の概要	7
2. 2. 1 危険性・有害性等の調査及び必要な措置の実施	8
2. 2. 2 認定事業者に対する計画届の免除	10
2. 2. 3 安全衛生管理体制の強化	12
2. 3 製造者への改正労働安全衛生法の波及	13
2. 4 今後の展望	14
第Ⅲ章 労働安全におけるリスク低減のコスト対効果 （現況の制度下でのコストと国際安全規格に準拠した場合のコストとの比較）	15
3. 1 はじめに	15
3. 2 リスク低減とコストの関係の定性的説明	18
3. 2. 1 日本における安全性の評価	18
3. 2. 2 ISO12100 に則った場合のリスクとコスト	19
3. 2. 3 医療用ロボットのリスクとコスト	20
3. 2. 4 非定常作業時を考慮した既設機械のリスクとコスト	21
3. 3 リスクとコストの定量化	22
3. 3. 1 安全方策の費用対効果	22
3. 3. 2 現況の労働安全システムにおけるリスクとコスト	25
3. 4 結 論	31
第Ⅳ章 生産システムのリスクアセスメント	43
4. 1 リスクアセスメントの運用とリスク変動管理	43
4. 1. 1 リスクアセスメントの円滑な導入と安全対策コスト	43

4. 1. 2	リスクアセスメントの第三の導入局面	45
4. 1. 3	組織の「透明性」	53
4. 1. 4	リスクアセスメントへの誤解	54
4. 1. 5	今後の日本企業の安全管理への提言	55
4. 2	機械の安全確保を目的としたリスクアセスメント実施事例	43
4. 2. 1	A社の事例	56
4. 2. 2	B社の事例	62
4. 2. 3	C社の事例	75
第V章	民生設備のリスク分析	85
5. 1	リスク分析の目的	85
5. 2	リスク分析の手法	85
5. 3	設備の構成	85
5. 4	設備の運転モード	86
5. 5	国際標準に基づく設備の危険源分析結果の例	92
5. 6	設備の運転制御に関する危険源分析例	96
5. 7	分析結果に対する考察	100
5. 8	むすび	101
第VI章	まとめ	107
6. 1	機械安全に関するEUの動向	107
6. 2	米国のPL法及び日本の裁判	109
6. 3	日本の労働安全の問題点	111

第 I 章 調査研究の概要

1. 1 背景と目的

(1) はじめに

グローバル化の進展による国境を越えた国際競争の激化とともに市場ニーズの多様化が進んでいる。こうしたなか、製造業においては生産効率の向上による納期の短縮、コスト低減への対応が重要不可欠となっている。しかし、これらへの対応と同時に機械や生産システムの安全対策を欠かすことはできません。わが国においては、工場や作業現場等における労働災害を防止のために労働安全衛生法が施行され、稼働によって危険が予測される機械等に対しては、遵守すべき安全構造規格が定められ、JIS によって安全規格を規定している機械もある。また、機械のメーカー団体が自主的に安全基準を定めてその普及・周知に努めている例も少なくない。しかしながら、痛ましい労働災害や一般市民が巻き込まれる事故が社会問題になっている。

機械の安全性を確保するためには、まず、機械が安全に設計・製造されること、稼働時の安全管理が適正に行われることが前提となるが、さらに重要な点は、機械メーカーとユーザが、互いに安全を保つために必要な情報を確認し、共有することが不可欠である。しかし、わが国では長い間の商慣行や技術を守るために、これまで必ずしもこのことが行われてきていないのが実情である。

製造技術において機械は、最も重要な役割を果たすものであるが、反面、それが企業にとって機密上の制約を受けることになって、お互いの情報の共有を難しくしていると云える。

機械や生産システムを安全に稼働していくための機械固有の情報の確認行為は、本来のリスクアセスメントの検証でもあり、このことは、欧米では常識的な安全思想として広く普及している。

一方、国際化の進展によって、わが国においても国際安全規格の動向に関心が高まり、国際安全規格をベースとした JIS の整備が進むなか、企業においても機械の設計時にリスクアセスメント手法を導入する動きがでてきており、ユーザからリスクアセスメントを実施した製品の納入を求められる事例も出てきている。しかし、安全対策を講じるために必要なコストをどう負担するかが新たな問題となっている。自由競争の下ではコストの上乗せは極めて難しいことであり、リスクアセスメントの普及を図り、また、公正な安全対策を講じるための手段として、第三者機関による強制的な義務づけや機械毎の安全基準の提示が期待されている。

(2) 改正労働安全衛生法の製造業への影響

我が国における産業安全を目的とした唯一の法律である同法が制定以来 40 年振りに改正された。この改正は、第二十八条に第二項として、‘事業者が行うべき調査等’の規定が新たに追加されたもので、施行は、平成 18 年 4 月 1 日からとなっている。

事業者は、厚生労働省令で定めるところにより、建築物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による、又は作業行動その他業務に起因する危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、……労働者の危険又は健康傷害を防止するため必要な措置を講ずるよう努めなければならない。……。厚生労働大臣は、2. 指針を公表する。3. 事業者・ 団体に対し、必要な指導、援助等を行うことができる。

また、この規定の追加によって、平成18年1月に厚生労働大臣名で、「危険性又は有害性の調査等に関する指針」が告示された。

本調査研究では、同法の改正までの経緯、改正内容の概要、同法改正による製造者への波及ならびに今後の展望についてまとめている。

一方、指針では生産工程の多様化・複雑化の進展によって、労働災害の原因が多様化し、その把握が難しくなっているため、関係法令に規定する危害防止基準を遵守するだけでなく、企業が自主的に個々の事業場の……設備……、又は作業行動……に起因する危険性……を調査し、その結果に基づいて労働災害防止のために適切な措置を講ずる手法の導入が求められており、事業者は、手法を導入するようのに努めなければならない、としている。イ) 実施内容については、①労働者の就業に係る危険性……の特定、②特定された危険性……によって生ずる恐れのある労働災害の重篤度及び可能性の度合いの見積もり、③見積もりに基づくリスク低減のための優先度の設定及び内容の検討、④優先度に対応したリスク低減措置の実施、となっている。ロ) 実施体制については、①総括安全衛生管理者等、事業の実施を統括管理する者に調査の実施を統括管理させること、②事業場の安全管理者、衛生管理者等に調査の実施を管理させること、③安全衛生委員会の活用等を通じ、労働者を参加させること、④調査の実施に当たっては、作業内容を詳しく把握している職長等に作業の洗い出し、危険性……の特定、リスクの見積もり、リスク低減措置の検討を行わせるように努めること、⑤機械設備等に係る調査の実施に当たっては、当該機械設備等に専門的な知識を有する者を参加させるように努めること、⑥事業者は、調査実施関係者に対し、調査を実施するために必要な教育を実施するものとする、となっている。ハ) リスク低減措置の必要性の判断については、①リスク低減に要する費用等がリスク低減による労働災害防止効果と比較して大幅に大きく、両者に著しい不均衡が発生する場合を除き、適切なリスク低減のための措置を実施する必要があること、②死亡、後遺障害又は重篤な疾病をもたらす恐れのあるリスクに対しては必ず何らかのリスク低減措置を実施する必要があること、になっている。ニ) リスク低減措置の検討については、つぎの優先順位で措置内容を検討すること、①危険な作業の廃止・変更等、設計の段階から労働者の就業に係る危険性……を除去又は低減する措置、②インターロック……等設置等の工学的対策、③マニュアルの整備等の管理的対策、④個人用保護具の使用、が記されている。

(3) 労働安全におけるリスク低減のコスト効果

機械メーカーには安全な機械を設計製作する義務がある。欧州における機械指令は、法令と同じ効力をもっているが安全要求事項を列記した性能規定であり、これを実行化してい

るのが、EN規格であり、CEマーキング制度である。その責任はとなると、メーカ自身、又は、第三者認証機関が負うことになっている。一方、わが国の場合は、基本的に事後責任制をとっている。

日本の企業が暗黙の内に抱いてきた労働安全の概念を図示し、リスクとは反対の概念で安全を考えてきた実態を分析している。また、中央労働災害防止協会の調査資料を基にリスク低減の具体的な推定を行い、今後、定常化が見込まれるリスクアセスメントの適用における一つの考え方としての有効性は大きい。

(4) 生産システムのリスクアセスメント

労働安全衛生法の改正の動き、国際安全規格をベースとしたJISの普及が進むなかで、機械のユーザからメーカに対し、設計時にリスクアセスメントの実施を求めるケースが増えてきている実情を踏まえて、イ) リスクアセスメントの運用と変動管理、ロ) リスクアセスメントの実施事例を取り上げた。

リスクアセスメントの運用と変動管理では、リスクアセスメントの円滑な導入と安全対策コストとして、①既存設備のリスク低減対策のためのリスク評価、②既存設備のリスク低減対策が持つハンディとして、・費用対効果が不十分、・リスク低減対策の技術的な困難さ、・リスクアセスメントの精度と妥当性の不足を上げ、③導入は設計時のリスクアセスメントから結んでいる。リスクアセスメントの第三の導入局面として、①大事故に繋がった事例、②変更管理局面でのリスク変動のアセスメント、③組織のリスクコミュニケーションの重要性（変更管理の対象であるという認識の欠落、変更管理を体系的に行う手法の欠落、ライフサイクルを通じての変更情報の最新版管理の欠落を指摘）、④リスクコミュニケーションを成立させる情報システムの要件（リスクに関係する人々が情報を共有する、リスクの内容を論理的に理解する、リスクに対する対応選択肢を共に考える、双方向のコミュニケーションとする、リスク情報に透明性がある、ことを協調）、加えて、組織の透明性、リスクアセスメントに対する正しい理解、今後の安全管理への提言で結んでいる。

機械安全を目的としたリスクアセスメント実施事例では、3社の事例を取り上げている。具体的機種としては、1社は、半導体製造装置に組み込まれる超純水用帯電防止装置への適用例、他の2社は、万博において展示したサービスロボットへの適用例の一部についての内容を示している。

(5) 民生設備のリスク分析

宇宙体験カプセルの事故を受けて、国際基準に従うことで、機械安全に関するリスクアセスメントISO14121の付属書Aを引用してその手順に沿って①リスク分析の目的、②リスク分析の手法、③せつびの構成、④設備の運転モード、⑤国際標準に基づく設備の危険源分析結果の例、⑥設備の運転制御に関する危険源分析例、⑦分析結果に対する考察、と細かなリスク分析を実施している。

総括的には、本民生設備の最大の事故原因は、適切なリスクアセスメントと設備完成後の妥当性確認がなされていなかったことによる、と結論付けている。

(6) まとめ

機械安全に関する EU の動向に関して、・柵無し安全での人とロボットの協調、・サービス用ロボットの安全、・安全装置の無効化による危険状態育成、・米国の PL 法及び日本の裁判、日本の労働安全の問題点を上げてその社会・民族性・価値観等の視点で細かな分析を行っている。

また、本調査研究事業においては、機械メーカー、ユーザにおける安全対策への取り組みの現状とそこにある問題点・課題を中心に実態を明らかにするとともに、機械のメーカーとユーザが互いに安全に必要な情報を共有することが事故防止に重要であるかを提言としている。

1. 2 調査研究体制

財団法人製造科学技術センター内に生産システム安全化技術調査研究委員会を設置した。

構成メンバーは、「機械」システムの安全技術の専門学識者および企業において安全に携わっている専門技術者の方々によって構成した。

生産システム安全化技術調査研究委員会名簿

[委員長]

田中 紘一 長岡技術科学大学 名誉教授

[委員]

相川 孝治 旭硝子株式会社 エンジニアリングセンター

池田 博康 独立行政法人 産業安全研究所 機械システム安全研究グループ 主任研究官

井上 洋一 IDEC 株式会社 ソリューション営業推進部 ソリューション営業グループ

岩田 一明 大阪大学 名誉教授

梶岡 圭一 大日本インキ化学工業株式会社 レスポンシブルケア部 安全管理担当部長

須藤 雅子 ファナック株式会社 R&D FA 部門 技師長

杉本 穎俊 H&S オフィース 代表

鈴木 正俊 安全技術応用研究会 事務局長

関口 浩一郎 株式会社 日立製作所 モノづくり技術事業部 生産プロジェクト推進センター センタ長

福田 英二 株式会社 ジェイテック グラインディングマシン標準機部 開発設計室 GL

蓬原 弘一 長岡技術科学大学 機械系安全工学 教授

松前 嘉昭 石川島播磨重工業株式会社 技術開発本部 生産技術センター 生産システム部 品質保証推進グループ 部長

水野 恒夫 株式会社 ブリヂストン 安全衛生管理部 主任部員

[事務局]

瀬戸屋 英雄 財団法人 製造科学技術センター 専務理事

黒田 武夫 財団法人 製造科学技術センター 総務部長兼調査研究部長

豊吉 隆憲 財団法人 製造科学技術センター FA オープン推進室 主席研究員

1. 3 調査研究項目・スケジュール

(1) 調査研究項目

イ) 改正労働安全衛生法の製造業への影響

- ① 労働安全衛生法の一部改正までの経緯
- ② 改正労働安全衛生法の概要
- ③ 製造者への改正労働安全衛生法の波及
- ④ 今後の展望

ロ) 労働安全におけるリスク低減のコスト対効果

- ① リスク低減とコストの関係の定性的説明
- ② リスクとコストの定量化

ハ) 生産システムのリスクアセスメント

- ① リスクアセスメントの運用とリスク変動管理（機械ユーザの立場から）
- ② 機械の安全確保を目的としたリスクアセスメント実施事例

ニ) 民生設備のリスク分析

- ① リスク分析の目的
- ② 対象設備の構成
- ③ 設備の運転モード
- ④ 国際規格に基づく施設の危険源分析結果の例
- ⑤ 設備の運転制御に関する危険源分析例
- ⑥ 分析結果に対する考察

ホ) まとめ

- ① 機械安全に関する EU の動向
- ② 米国の PL 法及び日本の裁判
- ③ 日本の労働安全の問題点

(2) スケジュール

(本調査研究事業は、以下のとおりの委員会を開催して実施した。)

第1回委員会開催 平成17年 9月29日(木)(財) 製造科学技術センター

第2回委員会開催 平成17年11月17日(木)(財) 製造科学技術センター

第3回委員会開催 平成18年 1月26日(木)(財) 製造科学技術センター

第Ⅱ章 改正労働安全衛生法の製造業への影響

2. 1 労働安全衛生法の一部改正までの経緯

労働災害の防止のため、昭和47年に「労働安全衛生法」が制定、施行されて以来、労働災害は着実に減少を続けてきており、平成16年度の労働災害による死亡者数は1620人とこれまでの最少となった。一方、重大災害（一時に3人以上の労働者が業務上死傷又はり病した災害）は昭和60年以降増大傾向にあり、特に、近年、製造業においては大幅に増加している。そのため、厚生労働省では、これら重大災害の一層の減少を図るため、労働災害防止対策の一環として、大規模製造業の経営トップ等に対する安全管理の徹底指導、中規模製造業を対象とした安全管理に係る自主点検の実施、労働安全衛生マネジメントシステムの普及を推進している。

以上の労働災害防止対策の推進のためには、労働安全衛生関連法令に規定されている最低基準としての危害防止基準を遵守するだけでは不十分であり、国内外の様々な規格、指針等が参照されてきた。特に、労働災害の未然の防止のために、事業場における自主的活動の促進の措置については、リスクアセスメントやリスクマネジメントが重要視され、労働衛生安全評価シリーズ（OHSAS 18001）やILOガイドラインの制定の流れを受けて、厚生労働省発の指針として「労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針」や「機械の包括的な安全基準に関する指針」が相次いで策定された（図2. - 1）。特に、後者の指針では、関連機械安全規格（ISO12100,14121）の内容に沿った形で、機械設備の製造者側へリスクアセスメントの実施とその結果に基づく安全方策の実施を求めており、欧州機械指令の日本版としての役割が期待されてきた。これまでの労働安全衛生関連法令則体系（「労働安全衛生法」、「労働安全衛生法施行令」、「労働安全衛生規則」）では、労働者の安全と健康を確保するため、必要最低限の最大公約数的な措置を規定していたが、これらの指針は事業場内の機械設備の使用段階における労働災害の未然防止のために、事業者の

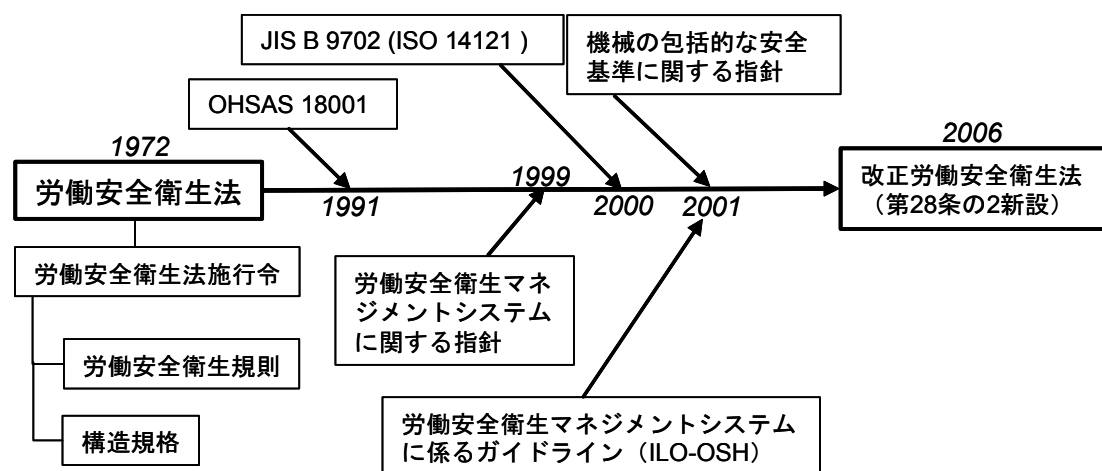


図2. - 1 2006年労働安全衛生法の一部改正までの背景（リスクアセスメント関連）

表 2. - 1 2006 年改正労働安全衛生法のポイント

項目	内 容
1	長時間労働者への医師による面接指導の実施
2	特殊健康診断結果の労働者への通知
3	危険性・有害性等の調査及び必要な措置の実施
4	認定事業者に対する計画届けの免除
5	安全管理者の資格要件の見直し
6	安全衛生管理体制の強化
7	製造業の元方事業者による作業間の連絡調整の実施
8	化学設備の清掃等の作業の注文者による文書等の交付
9	化学物質等の表示・文書交付制度の改善
10	有害物暴露作業報告の創設
11	免許・技能講習制度の見直し

積極的なリスクの把握とその対策を要求し、なおかつ、対象機械設備の製造段階からリスク低減の相乗効果を求めたものである。しかし、これら厚生労働省発の指針は、上記法令則体系とは異なり強制力がないため、その実効性については現在まで期待通りとは言い難い面がある。

そこで、厚生労働省では、今後の労働安全衛生対策の在り方に係る検討会（平成 16 年～）などで、これらの指針の実効性を高めるための仕組みを議論して、関係法令の見直しによる関係者の自主的な取り組みの促進を図るための「職場における危険・有害要因の調査等の推進」を提言した。この提言に基づく事業者の措置の充実を中心として、労働安全衛生法の一部改正が審議され、平成 18 年 4 月 1 日より施行されることになった。なお、今回の一部改正には、長時間労働時間や安全管理者に関する内容も含まれている。

2. 2 改正労働安全衛生法の概要

今回の労働安全衛生法の改正は、表 2. - 1 に示すように 11 の項目について新設や見直しが行われている。特に、製造業については、項目 3、4、6、7 が大いに関連する事項であり、これらは、重大災害が事業者の自主的な安全衛生活動の不足に起因するという認識の下、危険性・有害性の低減に向けた事業者の措置の充実を求めるものである。これらの内、項目 7 は、製造業における業務請負の増加に対応するため、元方事業者が関係請負人との間や関係請負人相互間の連絡調整を行ったり、運転合図や標識灯の統一を実施することであり、従来、建設業や造船業の元方事業者が講じるべき措置が製造業まで拡大されたもの

である。残りの3つの項目は、事業者のリスクアセスメントとその低減措置に関連するものであり、危険性・有害性の調査（リスクアセスメント）対象の拡大とその低減措置を拡充し（項目3、6）、このような措置を適切に行っていると認められる事業者には機械等の事前の届け出義務を免除する（項目4）ことを規定している。以降、これら3つの項目の内容について説明する。

2. 2. 1 危険性・有害性等の調査及び必要な措置の実施

労働安全衛生法第28条の2（表2. - 2）として新設された条項であり、事業場における設備や原材料、作業講堂等に起因する危険性・有害性等の調査の実施と、その結果に基づいた必要措置の実施を求めているが、同表の下線部の表現にあるように、この要件は努力義務となっている。労働安全衛生法では、「しなければならぬ」という強制的な実施義務の表現が一般的であるが、この条項については強制力の弱い表現となっている。なお、条文内では「リスクアセスメント」という用語は見あらず、「危険性・有害性等の調査」という用語が同義として用いられている。

改正前の労働安全衛生法第58条では、全ての事業者が化学物質等の有害性調査とその措置を努力義務として規定していたが、今回の改正ではそれに加えて、製造業等対象業種を対象に調査対象を建設物、機械設備、作業行動等の危険性にまで拡大している（第28条の2の斜体字部分）ことが特徴である。なお、この対象業種とは、労働安全衛生規則第24条の11第2項（表2. - 3）により、労働安全衛生法施行令第2条で定めた業種と指定されており、結局、安全管理者を選任しなければならない19業種として、労働安全衛生法施行令第3条に規定の常時50人以上の労働者を使用する事業場（表2. - 4）が対象となっていることが分かる。ただし、この法第28条の2では事業場規模を問わないため、これらの50人未満の事業場にも適用されることに留意が必要である。

表2. - 2 改正労働安全衛生法における第28条の2新設（事業者の行うべき調査等）

第二十八条の二 事業者は、厚生労働省令で定めるところにより、建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による、又は作業行動その他業務に起因する危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、この法律又はこれに基づく命令の規定による措置を講ずるほか、労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるように努めなければならない。ただし、当該調査のうち、化学物質、化学物質を含有する製剤その他の物で労働者の危険又は健康障害を生ずるおそれのあるものに係るもの以外のものについては、製造業その他厚生労働省令で定める業種に属する事業者に限る。

2 厚生労働大臣は、前条第一項及び第三項に定めるもののほか、前項の措置に関して、その適切かつ有効な実施を図るため必要な指針を公表するものとする。

3 厚生労働大臣は、前項の指針に従い、事業者又その団体に対し、必要な指導、援助等を行うことができる。

表 2. - 3 改正労働安全衛生法に伴う労働安全衛生規則第 24 条の 11 新設
(危険性又は有害性等の調査)

<p>第二十四条の十一 法第二十八条の二第一項の危険性又は有害性等の調査は、次に掲げる時期に行うものとする。</p> <p>一 建設物を設置し、移転し、変更し、又は解体するとき。</p> <p>二 設備、原材料等を新規に採用し、又は変更するとき。</p> <p>三 作業方法又は作業手順を新規に採用し、又は変更するとき。</p> <p>四 前三号に掲げるもののほか、建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による、又は作業行動その他業務に起因する危険性又は有害性等について変化が生じ、又は生ずるおそれがあるとき。</p> <p>2 法第二十八条の二第一項ただし書の厚生労働省令で定める業種は、令第二条第一号に掲げる業種及び同条第二号に掲げる業種(製造業を除く。)とする。</p>
--

表 2. - 4 安全管理者を選任すべき事業場 (労働安全衛生法施行令第 3 条)

<p>安全管理者を選任しなければならない業種 (50人以上の労働者を使用)</p>
<p>林業、鉱業、建設業、運送業、清掃業、製造業(物の加工業を含む)、電気業、ガス業、熱供給業、水道業、通信業、各種商品卸売業、家具・建具・什器等卸売業、各種商品小売業、家具・建具・什器等小売業、燃料小売業、旅館業、ゴルフ場業、自動車整備業及び機械修理業</p>

リスクアセスメントの実施は、労働安全衛生規則第 24 条の 11 第 2 項(表 2. - 3)に規定している通り、機械設備に関するものは設置(新規採用)や配置換え(変更)の際に行うべきとされ、それらの計画策定時にもリスクアセスメントを実施することが望ましい。さらに、前回の実施から一定期間が経過して、機械設備の経年劣化や知識経験の変化、あるいは新たな知見の集積等があった場合にも、再度のリスクアセスメントの実施が求められる。そして、リスクアセスメントを実施した結果、見積もられたリスクに基づくリスク低減の優先度を設定して、その優先度に対応したリスク低減措置の実施が求められる。つまり、従来の「機械の包括的な安全基準に関する指針」で要請されていたリスクアセスメントとリスク低減方策の手順が、努力義務ではあるが、事業者が実施すべき事項として法体系の中で明確に位置付けられたことになる。ただし、今回の改正以前の既設機械設備にはこの条項は遡及されない。

また、法第 28 条の 2 第 2 項の規定に基づいて、リスクアセスメントとリスク低減措置の基本的な考え方と実施事項が、「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」として発行さ

れた（平成 18 年 3 月 10 日付）。それによると、事業者は事業場の安全管理者にリスクアセスメントの実施を管理させて、機械設備の専門家を参画させるよう努めることが要請される。その他の事業者のための主要な要件としては、次の通りである。

- ・ リスクアセスメントの実施に当たり、必要な情報を入手、活用する。
- ・ 作業標準等に基づいて必要な単位で作業を洗い出した上で、リスクの分類に則してリスクを特定する。
- ・ 負傷又は疾病の重篤度及びそれらの発生の可能性の度合いを勘案してリスクを見積もり、リスク低減の優先度を定める。
- ・ リスク低減措置は、設計・計画段階でのリスク除去又は低減、インターロック等の工学的対策、マニュアル整備等の管理的対策、個人保護具の使用、の順で内容を検討する。

以上は、基本的に「労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針」の特定の具体的実施事項として位置付けられるものであり、また、「機械の包括的な安全基準に関する指針」で定めている事項が含まれる。

2. 2. 2 認定事業者に対する計画届の免除

労働安全衛生法第 88 条第 1 項及び第 2 項では、計画の届出を行う事業場及び危険な機械等が規定されているが、労働安全衛生マネジメントシステムを適切に実施している事業場は、その届出が免除されるよう改正された。労働安全衛生マネジメントシステムとは、事業場が安全衛生水準を向上させるために以下の活動を自主的に行うことであり、労働安全衛生規則第 24 条の 2 の規定に基づいて「労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針」により、以下の活動が指定されている。

- (1) 安全衛生に関する方針の表明(労働者への周知)
- (2) 危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づき講ずる措置（法第 28 条の 2）
- (3) 安全衛生に関する目標の設定（方針に基づく）
- (4) 安全衛生に関する計画の作成、実施、評価及び改善（労働安全衛生関係法令や事業場安全衛生規程等に基づき実施すべき事項、及び(2)の実施すべき事項を含む）

つまり、(2)によりリスクアセスメントとリスク低減措置を実施することが、計画届免除の条件となっており、事業場への努力義務である法第 28 条の 2 の実効性を高めるためのインセンティブとして位置付けられる。

法第 88 条第 1 項及び第 2 項で規定される計画の届出の内容は、表 2. - 5 に示すように、該当業種の事業者が建設物や機械等を設置、移転、変更する際、もしくは該当機械等（業種は不問）の設置、移転、変更の際、その計画を当該工事の開始日の 30 日前までに労働基準監督署へ届け出ることを義務付けている。届出に必要な書類は、計画の概要や取扱物、従事者数、電気使用設備容量等を記載した届出書に加えて、

- ・ 事業所状況図面、
- ・ 敷地内建設物・主要機械配置図、

- ・ 材料・製品の取扱いや製造等の作業方法概要書、
 - ・ 建築物各階平面・断面図とその内部の主要機械配置図と概要書、
- を準備しなければならない。多くの機械設備を抱える事業場にとっては、一度、労働安全衛生マネジメントシステムの体制を整えて文書化しておけば、以上の膨大な書類作成の負担がかなり軽減されることになる。

表 2. - 5 計画届出の必要な業種及び機械等（労働安全衛生法施行令第 24 条、労働安全衛生規則第 88 条）

計画届出の必要な業種	計画届出の必要な機械等
製造業（食料品、繊維、紙加工、印刷関係は除く） 電気業 ガス業 自動車整備業 機械修理業 （いずれの業種も電気使用設備の定格容量合計300kw以上が該当）	動力プレス（機械・液圧） ボイラー（小型の場合は設置報告のみ） 第1種圧力容器 クレーン等（移動式、デリック、エレベータ、リフト、ゴンドラ等、能力に応じて設置報告のみ、あるいは不要となる） 金属溶解炉（容量1t以上） 化学設備（引火点と量の制限あり） 乾燥設備 溶接装置（アセチレン、ガス） （その他、機械集材装置、軌道装置、足場、換気装置、放射線装置等）

表 2. - 6 安全衛生管理体制の強化のための追加事項

追加となる事項	総括安全衛生管理者が総括管理する業務	安全委員会の調査審議事項	衛生委員会の調査審議事項
安全衛生に関する方針の表明	○	—	—
危険性・有害性等の調査及びその結果に基づき講ずる措置	○	○ (安全部分)	○ (衛生部分)
安全衛生に関する計画の作成、実施、評価及び改善	○	○ (安全部分)	○ (衛生部分)
長時間労働による労働者の健康障害の防止対策の樹立	—	—	○
労働者の精神的健康の保持増進対策の樹立	—	—	○

ただし、この計画届の免除は、労働基準監督署長が、

- (1) 労働安全衛生マネジメントシステムを適切に実施している、
 - (2) 労働災害発生率が業種平均を下回っている、
 - (3) 申請日前1年間に死亡災害等の重大な労働災害が発生していない、
- ことを認定した場合という条件があり、また、認定の有効期間は3年間となっている。なお、特定機械等の落成検査、変更検査等（ボイラー、圧力容器、クレーンなどが該当）は免除されない。

2. 2. 3 安全衛生管理体制の強化

労働安全衛生法第28条の2によるリスクアセスメントとその低減措置の実施は努力義務であるが、労働安全衛生法規則第21条には新たにこれらの実施並びに安全に関する計画の作成、実施、評価及び改善の項目が追加された（表2. - 6）。この第21条は、労働安全衛生法第17条の3に規定される「労働者の危険防止に関する重要事項」の内容を示したものであり、事業者が設けた安全委員会で調査審議すべき事項である。したがって、安全委員会の設置義務のある事業場（表2. - 7）では実質的にリスクアセスメントとその低減措置を実施せざるを得ないことになる。

換言すれば、表2. - 4で示した19業種においては、リスクアセスメントとその低減措置の実施が、労働者数が表2. - 7の通り50あるいは100人以上の事業場では必須となり、労働者数がそれらの数未満の事業場では望ましいが強制ではない、と解釈される。この規則第21条で、限定的ではあるが事実上法第28条の2の義務化を求めており、リスクアセスメントとその低減措置の強力な促進普及を狙っていることがうかがえる。

表2. - 7 安全委員会を設置すべき事業場（労働安全衛生法施行令第8条）

50人以上の労働者を使用	100人以上の労働者を使用
林業、鉱業、建設業、木材・木製品製造業、化学工業、鉄鋼業、金属製品及び輸送用機械器具製造業、道路貨物及び港湾運送業、自動車整備業、機械修理業、清掃業	製造業、電気業、ガス業、熱供給業、運送業、水道業、通信業、各種商品卸売業、家具・建具・什器等卸売業、各種商品小売業、家具・建具・什器等小売業、燃料小売業、旅館業、ゴルフ場業

衛生に関しても同様に、同規則第22条には衛生に関する部分の追加事項が規定され、労働者の健康障害の防止と健康の保持増進のためにリスクアセスメントとその低減措置の実施が義務化されていると解釈される。なお、総括安全衛生管理者の選任は、表2. - 7の業種でより労働者が多い場合に義務付けられる。

2. 3 製造者への改正労働安全衛生法の波及

これまで説明した改正労働安全衛生法の対象者はあくまでも事業者であり、機械設備を導入、設置する段階から、事業者にもリスクの認識とそれに対する措置を求めるものである。機械設備の製造者としては、当然製品の製造現場には改正労働安全衛生法が適用されるが、特定機械を除いて製品自体の安全化には直接関与するものではない。法第3条の2では、機械設備の設計者、製造者、輸入者が、該当機械設備が使用されることによる労働災害の発生を防止するよう務めること（努力義務）と規定されているが、特定機械以外は前出「機械の包括的な安全基準に関する指針」でリスクアセスメントとリスク低減方策の手順（図2. - 2）が示された程度であった。

しかし、今回の改正により、事業者の大半が実質的にリスクアセスメントとリスク低減方策の実施をしなければならなくなったため、その実行に当たって、導入、設置する機械設備の（残留）リスクを把握することが必然的に要求される。前述したように、「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」で事業者による情報入手が規定されているが、留意事項として「新たな機械設備等を外部から導入しようとする場合には、当該機械設備等のメーカーに対し、当該設備等の設計・製造段階において調査等を実施することを求め、その結果を入手すること。」と掲げられている。すなわち、今回の改正労働安全衛生法の施行後は、これまで以上に製造者が事業者へ提供するリスクに関する情報（質、量ともに）が重要となるとともに、事業者からの情報提供の要請が厳しくなることが予想される。同時に、「機械の包括的な安全基準に関する指針」では示されなかった事業者から製造者へのフィードバック（図2. - 2における使用者入力、例えば環境条件や新たな危険源情報等）も期待される。

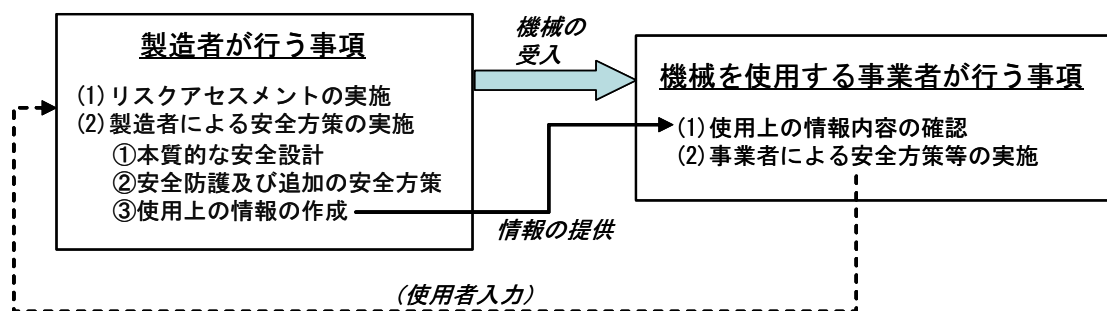


図2. - 2 機械の包括的な安全基準に関する指針における手順

また、製造者の提供する製品（機械設備）に関する情報が、事業場における労働災害防止のために大きく貢献することになる反面、仮に当該機械設備で災害が発生した場合には、法的責務はないとしても少なくとも製造物責任が問われることが予想される。したがって、製造者による製品のリスクアセスメントとそのリスク低減方策、及び残留リスクの措置等

について、偽りなく実施しなくてはならず、近い将来、事業者はその結果により製品購入の可否を判断することが特別ではなくなると思われる。

2. 4 今後の展望

一方、今回の改正労働安全衛生法の目的の一つが事業者による自主的な安全衛生活動の促進であるため、法第 88 条で労働安全衛生マネジメントシステムの適切な実施を求めているが、大企業はともかく、中小企業への浸透にはまだ時間がかかることが予想される。また、実施された労働安全衛生マネジメントシステムが妥当であるかの判断基準や方法が現時点では示されておらず、様々なリスクアセスメント手法が提案されている中で、認定者である労働基準監督署長が統一した判断が下せるかが懸念される。実施者である事業者側も、労働安全衛生マネジメントシステムの運用体制の整備や人材の育成等、実施に当たってはまだ十分とは言えない点も多い。

国内では欧州のような機械認証制度が未だ発足しておらず、製品安全と労働安全の融合が進展していない。しかし、グローバルな機械安全規格体系が整備されつつある中で、今回の改正労働安全衛生法の施行が製品安全へ波及して、製品安全と労働安全の相乗効果が期待できる。

今後、関連指針による具体的な手法の提示や情報の共有が促進されれば、製造者、事業者ともにリスクアセスメントに基づく安全化への取り組みが円滑になり、労働災害の減少が加速すると思われる。さらに、安全化の達成度合いに応じた労災保険掛け金の差別化等、より一層のインセンティブの推進が期待される。

第Ⅲ章 労働安全におけるリスク低減のコスト対効果

＜現況の制度下でのコストと国際安全規格に準拠した場合のコストとの比較＞

3. 1 はじめに

機械の国際安全規格 ISO12100 は機械製造者が安全適合した機械を設計製作するための全般的な枠組み及び指針を提供している＜1＞。04年11月にはこの規格は、JISB9702 として正式に発効されたが、これが日本で定着していくには長い時間がかかる可能性が高い。そもそも同規格は EU の機械指令に対応して、安全の事前責任制が前提となっている＜2＞。すなわち、機械メーカーに安全な機械を設計製作する義務がある。機械指令は法令と同等な効力を持つが、安全要求事項を列記した性能規定であり、それを実効化しているのが、EN 規格であり CE マーキング制度である。その際の安全責任はメーカー自身が負うか、民間の第三者認証機関が負う。したがって、機械に安全方策を施すためのコストや認証手続きのコストは機械の販売価格に上乗せすることになる。

これに反し、日本では基本的に事後責任制をとっている。労働安全衛生法(安衛法)＜3＞には、確かに「機械を設計し、製造する者は、これらの物が使用されることによる労働災害の発生の防止に資するように努めなければならない」と規定されている。そして、ボイラーやクレーンの様な一部の特定機械や、プレス機械や研削盤などの危険な作業を要する機械に対しては、構造規格が取締規定として制定されている。しかし、安衛法は事業者(機械の使用者)の責務を主に規定しており、「労働災害の防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化及び自主的活動の促進の措置を講ずる等その防止に関する総合的計画的な対策を推進すること」を目的としている。すなわち、事業者は事業所に安全衛生管理体制を構築し、国が実施する労働災害の防止に関する施策に協力する責務がある。この様に日本の労働安全は事業者または機械の使用者の安全責任を問う安衛法でもっぱら取り締まり、機械の安全設計に対しメーカーの責任を問うことは皆無に近かった。その結果、安全は労働者自らが危険箇所や危険状態を察知し(危険予知)、それを守ることになる。そこで最終的に問われるのは、危険に対する労働者の“感性”であり、危険を回避するスキルやテクニックである。そして、事業所の安全性の向上は労働者を訓練し、高い錬度を保つことによって達成することになる(精鋭主義)。それにも係わらず災害が起きたならば、当事者である労働者の錬度不足に基づくヒューマンエラーにその原因を帰し、実質的な責任は当事者に負わす。これは、まさにルース・ベネディクトが「菊と刀」の中で指摘する日本人の典型的な倫理思考にもとづく。曰く、「彼ら(日本人)の倫理によれば、人は自己の行為の結果として生ずるあらゆる事態の責任を取らねばならない。そしてある過誤の当然の結果によって、その行為の非を思い知らねばならない」＜4＞。

精鋭主義に基づく労働安全政策は日本では目覚ましい成果を挙げた。例えば労働災害死者数を見ても、安衛法制定(72年)に伴い急激に減少し、制定後10年経つと半減している＜5＞。03年度の就業者10万人当たりの死者数は2.8人であり、EUにおけるドイツや

フランスとほぼ同等な数値である。このような精鋭主義の成功は日本の製造業における品質管理運動（QCサークル運動）の成功と表裏一体になっていると推測される。すなわち、製造業の流れ作業についている労働者が、そこで起った事故や、機転で切り抜けて事故に至らなかったヒヤリハット体験などを持ち寄って、ラインの操作手順や動作性などの改善に役立てる、というようなことは、ごく当たり前に行われている<6>。

欧米での機械の安全方策評価はリスクアセスメントが根幹となっている。欧米のキリスト教文化は罪の意識に根差しており<4>、システムは“人間不信”とリスクの存在を前提に構築している。そもそも資本主義社会においてはリスクと利益は車の両輪であり、利益を求めるためには何らかのリスクを冒す必要がある。そして、利益は価格で表示されるようにリスクも客観性を持って定量化され価格評価される。とくに金融における投資や保険のリスクの定量的評価方法に関しては、今や非常に発達していることは周知の事実である<7>。また、米国のPL法(製造物責任法)訴訟を見てみると、機械安全や労働安全のリスクは金に換算されて争われており、リスクアセスメントは安全をコスト評価するための客観的な手段と云える。

日本の大多数の企業は現行の労働安全システムは“人間信頼”に基づく精鋭主義で実効が上がっているのので、国際安全規格に則ったシステム変える必要性をほとんど感じていない。しかし、今後も人を主体とする精鋭主義を貫き通せるかは疑問で、早晚技術を主体とした国際安全規格遵守体制に移行せざるを得ないであろう。それは次のような理由による。

- (1) リストラによる省力化、技術の高度化、システムの複雑化などが進むと個々の人間の力に頼る精鋭主義だけではリスクの低減は実行できなくなる。とくにIT技術に基づく、工場の遠隔操作は安全面でも技術に頼らざるをえない。
- (2) 企業活動や労働力のグローバル化により、労働安全も国内外でダブルスタンダード状態では、コスト面で不利を招く。
- (3) いわゆる団塊世代の退職により企業に精鋭がいなくなる（2007年問題）。
- (4) 現況では安全規則、安全に関する警告信号や配線の色彩の取り決めなどは企業間で異なっているばかりでなく、同一企業内ですら共通化されていない。このような安全に関する社内規則は国際安全規格のAならびにB規格に則って標準化でき、莫大なコスト削減が図れる。また、調達品の購入仕様書も共通化ができる。
- (5) リスクアセスメントの実施により労働安全の効率的なコスト管理が可能となる。

厚生労働省は01年にいわゆる「包括指針」で、機械の製造者と事業者に対し、包括的な安全基準すなわちISO12100の遵守を“期待している”旨の通達を出した<8>。05年10月には改正した安衛法が国会を通過し、06年4月より施行されることとなった。その28条の2では、「事業主は、厚生労働省令で定めるところにより、建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉塵等による、又は作業行動その他業務に起因する有害性等を調査し、この結果に基づいてこの法律又はこれに基づく命令の規定による措置を講ずるほか、労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるよう努めなければならない。（以

下省略)」となっている。ここで言う「———を調査し、———措置を講ずる」とは、リスクアセスメント及びリスク低減方策を実施せよと読み解くようで、一応それらを実施するよう「努めなければならない」ことになった。すなわち、リスクアセスメントの実施は努力目標となったが、罰則規定ではない。

いずれにしろ、現状に甘んじている企業が国際安全規格導入に踏み切るには、余程の動機付けが必要である。その中で最も重要なファクターはコストであり、国際安全規格導入はコスト面で有利となるかどうかは、企業の最も関心のあるところである。

本報では機械の使用者（事業主）が労働安全におけるリスクとコストの関係をどのように考えたらいいかを考察する。3.2項ではリスク低減とコストの関係を定性的に説明した。3.2.1項ではその導入として、日本の企業が暗黙の内に抱いてきた労働安全概念を模式図で示し、リスクとは反対の概念で安全を考えてきたことをのべる。3.2.2項ではISO12100-1に規定している3ステップメソッドによる安全方策とリスク低減及びコストの関係を模式図上で説明する<9>。そこで問題になるのは、リスク低減の目標となる許容可能（Tolerable）リスクの限度レベルの判定基準であるが、それに対する蓬原の理論的考察<10>を参考までに付録1にまとめた。なお、許容可能リスクはISO/IEC Guide51では「その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で受け入れられるリスク」と定義している<11>。このリスクの限度レベルは、一般的にALARP（As Low As Reasonably Practicable）原則の下にリスクと便益との兼ね合いによって決める<12>。しかし、ISO12100にはこのレベルの設定を明示的に定めている訳でなく、「適切なリスク低減を達成した」時にリスク低減プロセスが終了すると書かれているに過ぎない。そこで、この規格は基本的には確定論に則って制定されていることを考慮して、本報では一定のレベルを設定する消費者期待基準<13>を採用すると解釈した。3.2.3項では、リスク便益基準<14>を採用している医療機器のリスクマネジメント規格<15>を例にとり、ALARP原則とコストの関係の説明をする。3.2.4項では、現況の安衛法体制下における既設の機械のリスクとコストを示す。「包括基準」では既設の機械のリスクアセスメントを実施することを求めている<8>。しかし、安衛法に基づく限り、人の関与は排除できないので、確定論で律する訳にはいかない。しかも、この場合、リスク低減のために後付けで安全方策を施すために要するコストは機械新設の場合に比べると、数倍から10倍高くなると言われている。従って、既設の機械における作業、とくに非定常作業に対しては、経済性を考慮してALARP原則に基づく許容可能レベル設定を選択せざるを得ないであろう。

3.3項では、中央労働災害防止協会（中災防）の調査書<16>のデータを使い、具体的にリスク低減の推定を行う。その際、国際安全規格を導入した場合と現況の精鋭主義を貫いた場合の2つの状況を想定し、比較検討した。3.4項には本報で得た結果をまとめた。

3. 2 リスク低減とコストの關係の定性的説明

3. 2. 1 日本における安全性の評価

労働安全の経済性を考える前に、日本の企業が暗黙のうちに抱いてきた労働安全概念について述べる。それは図3. - 1のような模式図で表せる<9>。もともと罪の意識の希薄な日本人はリスクを低減することが安全性を増すという概念は理解し難い。人は修行（努力）によって神の境地に近づきうるといふ深層心理が働き、人を教育、訓練、管理して鍛えて精鋭とするならば、完璧な安全（絶対安全）を達しうると考える。人を信頼し、努力は常にポジティブな方向で報いられるので安全性（図の縦軸）は人の努力に比例して上がっていきと考へ、罪（リスク）を減らすとは絶対に考へない。その証拠に用語の使い方も、機械設備の新設に際して、その危険性を事前に定性的あるいは定量的な評価を行うことをセーフティアセスメントと言っている<5>。なお、安全性の定義は明確ではないが、その尺度として災害数の減少（図の右側縦軸）を使っている。そして絶対安全状態をゼロ災害状態と呼んでいる。

日本の場合、使用者（事業者）は機械を製造者より購入したら自分で安全方策を施さなければならない。安全保護装置、注意警告装置、ガードなどを設置するために費用（図の縦軸）が掛かる。その後、主として人の努力によって漸増的に安全性を上げる（災害数を減らす）。それに際し、人件費、活動費、教育訓練費など費用も掛かるが、結局、その成果は人の努力量に依存する（図の横軸）。人の努力量が大きくなれば、安全性が上がるが、無制限に上がることはなく、やがて頭打ちになるはずである。そのレベルを本報では理想レベルと呼ぶことにする。理想レベルには全ての作業者が精鋭となれば近づき、ある期間に亘るゼロ災害状態が達成できるかも知れない。しかし、それはあくまでも見かけ上のレベルであり、人は神にでもならない限り、いつかは、ミスを犯すことになる。さらに、機械に付随する偶発的危険源に対しては、技術的に克服する他に道はなく、人の力に頼るだけでは完全なゼロ災害状態（絶対安全）に到達することは不可能である。それにも係わらず、労政や事業者はこのレベルの追求している。勿論、現実には絶対安全はおろか、理想レベルよりも低いあるレベルに落ち着くことになる。その達成レベルは事業者（あるいは労政）が暗黙に定めた許容レベルよりは高いはずである。図3. - 1にこのような安全評価を模式的に示したが、次の様な問題がある。

- (1) 人の訓練によって達成できる安全レベルは客観性がなく、何を基準に定量化するかは、事業所や職場の主観で決まる。さらにそのレベルは労働者の質やその日のコンディションによって変動し、固定しない。
- (2) そこで結果論であるが、事業所の安全性は報告義務のある災害件数（休業4日以上）か、または度数率（100万延労働時間当りの労働災害による死傷者数）で評価するのが普通である。日本の場合、災害数を減らすことを重視するあまり、骨折のような怪我すら労働者を休業させないで、いわゆる無災害日数を稼ごうとする。現に日本の単位労働者当りの被災人数は欧米に比べて一桁少ない。

なお、災害数は定量化でき、安全性の指標として容認できる。しかし、最近になって中災防では“危険ゼロ”と言うスローガンを唱え出した。これはリスクアセスメントを実施して、リスクに対して予防措置を講じて、危険をなくするということらしいが、あまり意味が分からない。なぜなら、危険自体は定量化できないので、目標値としてはなりえない上に、機械の本質的リスク低減方策は製造者（設計者）が講じない限り原理的に実行不可能であるからである。そもそも、機械の使用者にとっては、残留リスクの存在が前提となっているのであるから、“危険ゼロ”とは自己矛盾を来たしている。ましてや、それがリスクゼロを意味するとすれば論外である。

3. 2. 2 ISO12100 に則った場合のリスクとコスト

ある 1 基の産業用機械に対して、安全方策を施した時、そのリスク低減プロセスは ISO12100-1 では、模式的に段階図（規格中で示された図 3. - 1）として表されている。この図を基に、リスクを勘案すると本稿の図 3. - 2 のようなリスクとコストとして表せる< 9 >。同図の縦軸はリスクの大きさ、横軸はコストを表す。同規格によるとまず製造者（メーカー）あるいは設計者の責任の下に 3 ステップメソッド、すなわち、本質的安全設計方策、安全保護及び付加保護方策、使用上の情報の順に用いてリスク低減を行う。第 3 ステップ目の使用上の情報とは機械に警告標識や信号、警報装置を取り付けたり、取り扱い説明書により提供される機械の使用上の情報を文書化する事をいう。製造者は使用上の情報を通じて、使用者（ユーザ）に設計方策を講じた後の残留リスクを伝える。したがって、適切な使用上の情報を提供することは、リスク低減に対する設計者の貢献の一部であるが、それ自体に低減効果があるわけではない。すなわち、関係する保護方策が使用者により実施されたときのみ効果がある。使用者は、使用上の情報を基に安全方策（管理組織、追加安全方策、保護具の使用、訓練）を施して、リスクを許容可能なレベル以下になるように低減する。この状態で残っているリスクが全ての保護方策を講じた後の残留リスクである。なお、ISO12100-1 では使用者により講じられる種々の保護方策に関しては規格の範囲外であると注記している。前述したごとく、リスクの許容可能レベルに関してとくに定義されていないが、適切なリスク低減を達成したレベルあるいは実現可能な最も低いレベル（同規格 5.5 項）と理解でき、本報ではそれは受容可能レベルと等しいと仮定した。すなわち、消費者期待基準に従っていると解釈した。ここで適切なリスク低減とは、現在の技術レベル（The current state of the arts）を考慮したうえで、少なくとも法的要求事項に従ったリスクの低減と定義されている（同規格 3.1 7 項）。また、「機械のライフサイクルのすべての局面における人との関わり」を配慮してリスク低減が必要であるので（同規格 5.3 項）、定常作業はもとより非定常作業時でも受容可能レベル以下でなければならない。

現実には、1 基の機械においても多数の異なる危険源が付随する。危険源は確定的危険源と偶発的危険源に分かれる。ISO12100 は確定論に基づいているので、同定したそれぞれの確定的危険源に対し、図 3. - 2 に示したような段階状のリスク低減プロセスが描ける。

危険源の数が十分大きく、対応するそれぞれのリスクとコストは独立に加算できると仮定すると、機械全体ではリスクとコストは平滑化され、図3. - 2の曲線のような傾向をもつと考えられる。すなわち、リスクが下がってくるに従ってコストをより多く掛けないと低減できなくなり、費用効果が下がってくる。したがって、曲線はリスクがゼロとなる絶対安全状態に漸近してくる。この様に安全は犠牲（費用）を払ってリスクを低減して初めて達成できるものだという考え方は、リスクを罪と置き換えれば、キリスト教的判断基準ではごく受け入れ易い考え方であろう。反対に日本人は努力して励めば達成できるのなら、何で金を掛ける必要があるのだと考えるのが普通である。しかも、国際安全規格では、事前責任制（事前予防制）が前提であるから、安全コストは機械購入時（設置時）に掛けるのが原則である。これは事（災害）が起ってから対処する事後責任制をとる日本の経営者にとって受け入れがたいことである。

損害保険ではリスクを金額に換算して評価する。すなわち、それを損害補償額（期待値）と対応させ、リスクが高くなるとその期待値も高くなる。労働災害でもリスクは損害保険の考え方で労働災害損失額の期待値として評価できると考え、図3. - 2の右側の縦軸上に記した。労働者災害補償保険法（労災保険法）に基づく休業保障、障害手当金、年金等の給付金、民間の損害保険の補償金などの期待値、さらに、災害が発生したための労働損失、機械を止めたために被るであろう損害費などもこれに当たる。また、PL法や不法行為に基づく民事訴訟を受けたら、予想される補償額は莫大となる。

3. 2. 3 医療用ロボットのリスクとコスト

一般に機械の残留リスクが許容可能リスクより高い場合には、その機械は使用できない。もし、無理にそれを使用することになると、残留リスクと許容可能リスクとの差が大きいほど危険性が高いことになる。そこで、本報では便宜上、両者の差をリスク度と呼ぶことにする。この考え方では、逆にリスク度が負に大きくなるほど安全性は高くなると解釈できる。

医療機器では、現状の技術では、その残留リスクが（想定された）許容可能レベルが達成されなくてもベネフィット（医学上の便益）がリスク度より大きいと判断されるならば、情報開示の上流通を認めている<15>。すなわち、リスク便益基準を採用しALARP原則（付録1参照）に基づき、リスクとベネフィットとの兼ね合いにより、許容可能レベルに幅を持たせている。ベネフィット（Benefit）というのは、本来は困っている人を支える職業（スチュワードシップ：Stewardship）を助ける効果を意味する<17>。本報ではベネフィットを「期待される利益」と拡大解釈し、負の補償額（期待値）と見做すと、医療機器（ロボット）のリスクとコストは図3. - 3のように表せる。この場合、医療機器メーカーと医師とでは対応が異なる。前者はその機器を使ったために事故が起きた時には、不特定多数の医者と患者の両者に対して責任があり、損害を補償しなければならない。そのため、メーカーはロボットを用いて患者の命が救える可能性が大きくなるという医学上の便益がメーカーの施した安全方策で残留リスクに対応するリスク度1よりも大きいと判断できて、初めて

商品化に踏み切れる。この判断の是非は第三者認証機関に委ねるのが最も妥当なやり方であろう。

一方、医者の場合は、特定の患者に対してのみ責任を負う。医者のリスクはロボットを使いこなすスキルに依存して、スキルが高くなればリスクは低減する。この場合、医者の負う残留リスク 2 又は対応するリスク度 2 は医療機器メーカーの負うリスク度 1 に比べて、小さくなる。そのため、患者のベネフィット（利益）が相対的に小さくなくても（命が救われる可能性が小さくなくても、すなわち、より難しい手術になっても）、医者はロボットを使用することになる。ただし、その使用に際し、ロボット技術の限界を公表（宣言）し、その結果、起る可能性のある事態について患者に説明し、その同意（インフォームド・コンセント＜18＞）を得ることが必要である＜19＞。日本にはこの様なスチュワードシップに基づく契約概念がないため、行政は新しい医療機器の認可に対して、絶対安全を求める。そのため、日本のメーカーは開発が世界に先んじて、製品を市場に出すことができないか、又は市場化のタイミングが大幅に遅れてしまう。

3. 2. 4 非定常作業時を考慮した既設機械のリスクとコスト

鉄鋼業のような大型装置産業では保全作業やトラブル処理作業のような非定常作業時に労働災害が発生する確率が高い。例えば、統計は少し古いが、鉄鋼業において、91年から96年までに発生した労災死亡者179人のうち、71人（40%）が生産設備に関する非定常作業によるものである＜20＞。すなわち、定常作業と非定常作業で同程度の死亡者が発生するということは、作業時間は後者の方が大幅に短いので、後者のリスクは前者に比べるとはるかに高いことを示唆する。非定常作業事故の型別（危険事象の基本タイプ）では「はさまれ・巻き込まれ」と「墜落・転落」の両方で全体の過半数（52%）を占める。これらの発生は確定的危険源に起因する。

鉄鋼業のように既設の機械を使う場合、非定常作業時におけるリスクとコストは図3. - 4のように模式化できる。機械は従来の労安法に基づく安全方策が採られていると仮定した。製造者は機械設計による直接的安全技術（本質的安全設計）を用いて何がしかの安全方策を施す。本来、製造者が施すべきガードや安全保護装置のような間接的安全技術をもちいた安全方策は、日本の場合、むしろ使用者のオプションによって施す場合が多い。安衛法の取り締まり規定（構造規格）はこの法律が制定された時代（1972年）における最低の技術レベルの安全方策を要求しているに過ぎないので、技術的なリスク低減は不十分なので、使用者は作業員の教育訓練によってリスクの相当分を低減することになる。定常作業時には、少なくとも残留リスクは現実的には受容可能レベル以下になっているはずである（図3. - 4中の残留リスク0レベル）。非定常作業は日常的な反復・継続して行われることは少なく、十分な時間的余裕なく実行される場合が多い＜20＞。しかも、作業員の行動に依存する割合が多いため、リスクは定常作業時に比べると上昇して、受容可能レベルを超えてしまう可能性が高い。それでも、定期修理のような準日常的な作業のリス

クは図3. - 3に示す「受容不可能領域」に達するほどは高くないと考えてよい。したがって、残留リスクは例えば図3. - 4におけるレベル1となる。これはALARP領域内の許容可能領域に存在すると理解できる。いま、残留リスクをレベル1から許容可能レベル以下のレベル1‘に低減するために要するコストを01’とする。このコストは既設の機械に対して後付けで安全方策を施すことになるので、新設機械に施すコストに比べると、一般的に5 - 10倍高いものとなる。したがって、これは残留リスクレベル1のリスク度に対応する労働災害損失額（期待値）10に比べると相当高くなってしまいう可能性が高い。

トラブル処理のような非日常的な作業において、作業者はとっさに危険な行動をとりかねない。それは、例えば次の行動がありうる。

- (1) 機械が稼動中に安全保護装置のインタロックを解除してラインの危険区域に入る。
- (2) 他の作業者が危険区域に入っているのを確認しないまま停止している機械を再起動する。
- (3) 作業効率をあげるために意図的に安全保護装置を無効化してしまう。

これらの場合、間接的安全方策や注意警告安全方策（使用上の情報）は全く有効に働かなくなってしまうので、リスクは図3. - 4に示したレベル2の状態まで跳ね上がってしまう。このリスクレベルは非常に高く、当然「許容不可能領域」に入るか、場合によってはALARP領域の外側の「受容不可能領域」に入ってしまうかも知れない。このレベルのリスク度に対応する災害損失額の期待値02はその対策費01’よりはるかに高いものになってしまう。

それならば、作業者はこのような危険区域にどうして立ち入るのであろうか。すなわち、リスク度2に見合うプロフィット（利益）は何であろうか。この場合、作業者は自らの生命を担保にするほどの利益は見当たらず、せいぜい、機械の停止によって事業者の逸失するであろう利益（事業者が被る損失）が見合いとなっている。鉄鋼業で発生した災害の被害者の行動要因最も多かったものは次の通りである<20>。

- (1) 「復旧時間に間に合わせるため」「作業が立ち込んでいるために」急いだ。
- (2) 「作業が簡単な内容のため」安全保護具の装着をつい面倒に思って怠った。
- (3) 「これまで何も起らなかったため」安全だと思い込んだ。

ここで見られるのは、作業者がリスクを過小評価していること、機械停止に伴う損失を過大評価していることである。次節ではこの様なリスクとコストの関係を具体的に数値評価することを試みる。

3. 3 リスクとコストの定量化

3. 3. 1 安全方策の費用対効果

中災防では、機械のユーザに対し安全対策の費用対効果を調査して、その結果を平成12年（00年）に調査報告書（以下調査書と略記する）として発表している<16>。調査は1,368事業所を対象として00年2月から3月にかけてアンケートによって行った。

そこで、139事業所より得た有効回答を集計し、分析した結果をまとめたものを付録2に示した。回答を得た事業所の平均常用労働者数は732人であり、調査した費用は98年度（98年4月から99年3月まで）の実績を基にしている。付録2に示した数値は1事業所当りの平均値である。調査結果は、I「安全に係わる費用」とII「安全対策に係わる効果」の2区分に大別し、それぞれを25,654万円と69,340万円と試算し、両者の比が1：2.7となることから、企業が安全に投じた費用は2.7倍程度の経済効果があると結論づけている。以下にその調査結果の詳細を述べる。

区分Iとして取り上げたのは、1)労働災害を防止するために講ずる安全対策に企業が直接的に投じた費用と2)安全対策を講じたにも係わらず、不幸にも発生した労災事故によって生ずる「労働災害の発生にともなう諸費用」である。これらの費用は企業が実際に負担した実績である。項目1)の内、(2)「機械・設備・個人用保護具に係わる費用」は1事業所当り平均9,402万円と非常に高額となり、総額の48.4%を占める。この内訳を見ると下記の通りである。

- {1} 安全装置等安全のための機械・設備の新設、更新に要する費用 2,345万円
- {2} 安全のための機械・設備の改良、修繕に要する費用 1,009万円
- {3} 機械・設備の点検、定期的検査等のメンテナンスに要する費用 5,109万円
- {4} 手すりの設置や段差の解消、照明の強化等その他の安全確保に要する費用（作業環境測定費用は除く） 374万円
- {5} 安全帽、安全靴、作業着等個人用保護具の購入、更新に要する費用 565万円

項目1)の内、細目(2)の他に高額になっているのは、(3)安全担当部門に係わる費用2,768万円と(8)人件費4,165万円である。前者は安全担当部門の人件費が大部分を占め、その他に「安全に関する各種法廷届出、申請に要する費用」「安全担当部門の一般管理費」など安全担当部門で直接要する費用である。後者は災害防止活動、例えば安全委員会、朝礼、安全パトロール、KYTなどの活動に参加した従業員の人件費の合計である。なお、災害防止活動自体に要する直接費用は細目(4)に示している。

項目2)は労働災害の発生に係わる諸費用であるが、これは大別すると労災保険料、損害保険料などの各種補償費と労働災害が発生したために機械が破損したり、労働者本人の休業に係わる損失などによる直接経費である。前者には細目(1)から(3)までが対応し、これらの費用の合計は5,382万円、後者には細目(4)から(9)までが対応し、これらの費用の合計は986万円となる。

区分IIの「安全対策に係わる効果」の費用算出は次のような調査の結果を使って行っている。

調査a；98年度の労働災害の発生状況の実績

- {1} 不慮災害、{2} 一時労働不能災害、{3} 永久一部労働不能災害、{4} 永久全部労働不能災害、{5} 死亡災害 に分けた災害程度別の発生件数

総労働災害件数3.78件（内休業災害0.75件）

調査b；「内在する危険（ヒヤリハット）」の件数のその実績とその影響

「内在する危険（ヒヤリハット）」の発生総件数 平均 631件

この「内在する危険（ヒヤリハット）」が災害につながったと仮定して、最悪どの程度の事故になったと想定したときの災害度別の発生件数（人数）

ハインリッヒ則に準えると 死亡災害 {5}：休業災害 {4} + {3} + {2}：

不休災害 {1} = 0.845人：70.77人：458.631人 = 1：84：542

調査c；「内在する危険（ヒヤリハット）」が災害につながったと仮定した時、上乘せされる保険費、補償費、機械の破損費などの想定値

調査d；仮に、区分Iの項目1)に示した安全対策の予算額（細目（8）の人件費を除く）

が100%増加したと仮定した時、想定される労働生産性増加率〔年間〕

平均17.6%

調査e；調査dと同様な仮定をした時、想定される製品不良率の低下割合

平均3.0%

調査f；労働安全対策の活発化などの環境改善に伴い、労働者のモラルの向上、企業イメージの向上の効果の金額評価、早退・遅刻・欠勤の減少に伴う労働損失日数減少分

平均1.87日

項目3)の内、細目（1）と（2）は調査bの結果を基に以下の様に求めている。

労働災害の回避による労働者の損失回避額

想定した労働損失日数（災害程度別想定件数x程度別1件当りの平均的な稼得能力等喪失統計日数の総計=17,493万円）x平均賃金日額（11,770円）= 20,590万円

労働災害の回避による事業所に生ずる損失回避額

想定した労働喪失日数x平均賃金日額x（1/労働分配率（0.749））= 27,490万円

細目（3）から（9）までの金額は調査cのアンケート回答の平均値を記載している。

項目4)の安全対策によって得る副次効果は以下の様に推定している。細目（1）の労働生産性効果は調査dの結果を基に下記により試算している。

付加価値生産性（98年度法人企業統計値765万円/年・人）x弾性率

（0.176x0.052）x平均労働者数（732人）=5,125万円 (1)

ここで、0.052という数値は、日本経営者団体連盟（日経連）調査による企業の巨視的な安全対策費の増加年率5.2%（87年から97年までの10年間の平均年率）に基づいている。細目（2）も同様に調査eの結果を基に下記により試算している。

付加価値生産性（765万円/年・人）x弾性率（0.03x0.052）x平均労働者数（732人）=873万円 (2)

細目（3）と（4）はアンケート回答値を採用し、細目（5）はアンケートより得た労働

損失減少分1.87日を基に下記により算出している。

労働者1人平均年間労働損失日数減少分 x 事業所平均労働者数 x 事業所平均賃金日額 = 1.87 (日/人) x 732人 x 11,770 (円/日) = 1,611万円

3.3.2 現況の労働安全システムにおけるリスクとコスト

現況の日本の労働安全システムにおける定性的な機械のリスクとコスト（図3.4）及び国際安全規格に準拠した場合の同図（図3.2）の半定量化を試み、両者の結果を比較検討する。そのために直接使える調査データはないので、中災防の調査結果<16>を再編して主に利用し、その他に国の労働災害や設備投資の統計データを援用した。なお、中災防の調査結果を基にしているため、見積もった数値は従業員732人の事業所の98年度の年間当りのコストである。

(1) リスクと労働災害損失額との関係

リスクRは災害の程度Dと災害の起る確率Pとの関数として表せる。本報では、それを最も簡単な次式で表す<21>。

$$R = D \times P \quad (3)$$

労働災害の場合、3.2.1項に述べたごとく災害の定義は、国によって異なるが、死亡災害だけは共通性を持ち、客観性がある。従って、本報では、リスクの金額評価する際、労働災害は全て死亡災害に還元して評価できると仮定する。すなわち、ハインリッヒの「1:29:300の法則」によると、死亡事故1件の背後には、多数の休業災害や不休災害が発生しているが、事業所の災害全体の程度を死亡事故の件数で代表することとする。そこで、Dを死亡災害1件（死亡者1名）の損失額をDoと置き、Pを年間当りの死亡災害発生確率で表すとすると、(3)式は次式となる。

$$R = Do \times P \quad (4)$$

さて、調査結果の項目3)は労働災害が回避されたために生ずる得べかりし利得額や節約された民事損害賠償額や訴訟費用である。これは逆に言うと最悪の労働災害が起った時に予測される損害額と見ることができる。ところが、調査bによると、災害の潜在発生件数(人数)の程度割合はハインリッヒ則に準えて

$$\begin{aligned} & \text{死亡災害} \{5\} : \text{休業災害} \{4\} + \{3\} + \{2\} : \text{不休災害} \{1\} \\ & = 0.845人 : 70.77人 : 458.631人 = 1 : 84 : 542 \quad (5) \end{aligned}$$

となっている。従って、項目3)で示された損害額58,067円は、0.845人死亡災害相当値である。よって、1人の死亡災害における損害額Doは

$$Do = 58,067万円 / 0.845人 = 68,718万円/人 \quad (6)$$

と求まる。

この値は潜在化しているヒヤリハット災害が顕在化したと想定して求めた値であるが、実際に発生した災害に付随するコストからもある程度裏づけられる。中災防では03-04年度において、実際に発生した49件の災害のコストを調査している<22>。その結

果によると、災害の程度を死亡（2件）、休業（37件）、不休（10件）に分けた時、それぞれに掛かった実際の1件当たりのコストの平均値は死亡 9,224万円、休業 554万円、不休 30万円となっている。ただし、この算出に際し、調査結果値から災害後施した安全対策の費用は除いた。また、死亡災害1件（事例2）〈参考文献22に関連〉及び休業災害1件（事例3）〈参考文献22に関連〉はコストの算出から外した。前者は64歳の労働者が被災しており、事例として特殊であること、後者は労災保険法に基づく障害手当金が他の事例に比べると異常に高いことを考慮した。なお、実際に発生した災害のコストの内訳は付録3に示した。これらのコストと（5）式のハインリッヒ則を用いて算出したDo値は次のようになる。

$$\begin{aligned} Do &= 9,224 \text{ (万円/人)} \times 1 + 554 \text{ (万円/人)} \times 84 + 30 \text{ (万円/人)} \times 542 \\ &= 72,020 \text{ 万円/人} \end{aligned} \quad (7)$$

この値は（6）式で求めた値と5%しか異なっていない。付録3で示したコストの内訳は付録2の項目4）の細目とは相当異なっているので、両者の値の一致は偶然かもしれないが、この結果は少なくとも（6）式のDo値の裏づけとなっている。

次に図3. - 4に示した各リスクレベル（付録1参照）；[a] 受容不可能リスクレベル（ALARP領域の上限）[b] 許容可能リスクレベル、[c] 受容可能リスクレベル（ALARP領域の下限）、に対応する災害損失額の期待値Rを求める。[a] 社会統計学データによると、一人の人間が1年間に遭遇する死亡事故発生率 10^{-3} となると誰もが許容できないと感じる〈14〉。ALARP領域上限のリスクはこのレベルに達していると仮定すると、従業員732人の事業所においては $P = 10^{-3}/\text{年} \times 732 \text{ 人} = 0.732 \text{ 人/年}$ となる。この値と（6）式を（4）式に代入してRを得る。

$$R = 68,718 \text{ (万円/人)} \times 0.732 \text{ (人/年)} = 50,301 \text{ 万円/年}$$

トラブルシュート時のリスク（レベル2）は受容可能かもしれないが、許容不可能リスク領域に入っていると考えられる。

[b] 死亡事故発生確率が 10^{-4} 以下であると社会的に許容可能となる〈11〉。許容可能レベルはこのレベルであると仮定すると、 $P = 10^{-4}/\text{年} \times 732 \text{ 人} = 0.0732 \text{ (人/年)}$ となるのでこれを（4）式に代入してRを得る。

$$R = 68,718 \text{ (万円/人)} \times 0.0732 \text{ (人/年)} = 5,030 \text{ 万円/年}$$

[c] 理想的には受容可能リスクレベルでの死亡事故発生確率は 10^{-6} とされている〈11〉。しかし、現実に日本の全産業における労働災害死亡者数は従業員1万人当り年間0.24人である（01年度）〈4〉。これ以下の発生確率であると現実的に受容可能と見做せるので、ALARP領域の下限の確率を $P = 0.28 \times 10^{-4}/\text{年} \times 732 \text{ 人} = 0.0205 \text{ (人/年)}$ と仮定すると（4）式よりRを得る。

$$R = 68,718 \text{ (万円/人)} \times 0.0205 \text{ (人/年)} = 1,409 \text{ 万円/年}$$

（2）現況の安全対策に係わる費用の再分類

付録2の区分Iに示した現況の安全対策に係わる費用は国際安全規格との関連で2つに分類できる。1つは仮に国際安全規格に則って安全方策を構築し直しても現況と変わらずに要する費用（A）である。もう1つは国際安全規格に則ると異なってくる費用である。後者はさらに機械や設備に係わる費用（B）と安全対策に直接関連する費用（C）に分けることができる。区分Iの費用をこの観点から分類し直した結果は表1にまとめた。以下にその算出方法の詳細を記す。

A	行政によって義務付けられている費用	6,757万円
	a) 安全担当部門に係わる費用	2,768万円
	項目1)の細目(5)に記した費用。安衛法で安全衛生管理体制の構築は義務付けられている。	
	b) 労働災害保険料	3,989万円
	項目2)の細目(1)に対応する費用。労災保険は国による半ば強制保険となっている。	
B	安全のための機械設備費	3,728万円
	項目1)の細目(2)の内、{1}{2}{4}に対応する費用	
C	安全対策に直接関連する費用	15,169万円
	a) 安全活動に要する人件費及び活動費	7,116万円
	項目1)の細目(1)(3)(4)(6)(7)(8)に対応する費用	
	b) 機械・設備のメンテナンス及び個人用保護具の費用	5,674万円
	項目1)の細目(2)の内、{3}{5}に対応する費用	
	c) 労働災害の発生に係わる諸費用	2,379万円
	項目2)の内、細目(1)(労災保険料)を除いた費用	

なお、この費用から損害保険料1,159万円を差し引いた額1,220万円は労働災害が起ったために要した直接経費と見做せる。この額は上記[c]で見積もったリスク、ALARP領域の下限の損失額期待値1,409万円とほぼ見合っている。

(3) 安全対策に係わる副次的効果

調査書<16>では副次的効果(項目4)として、ある程度数量化の可能な労働生産(細目(1))及び品質向上効果(細目(2))と数量化の不可能なその他の効果(細目(3)(4)(5))に分けている。後者については、安全対策を実施していない場合に比べて、積極的に実施することによって得られる効果をそれぞれ金額評価して貰い、その結果をアンケート調査している。前者の算出に際し、調査書では日経連の「福利厚生費調査結果」でデータとして示されている安全衛生費(安衛費:労働者1人の1月当たりの費用)を基に、製造業全体の巨視的な安衛費を推計している。そして、次の仮定の下に付加価値生産性を計算し、その値を使って細目(1)と(2)の費用を算出している。推計した巨視的な安衛費(実質マクロ安衛費)は98年直近10年間の年平均上昇率は5.2%であったが、それを安全対策費の年間上昇率と見做すと製造業の付加価値生産性もその割合で上昇すると仮定

する。そして、付加価値額が前年度に比べて幾ら増えたかを推計している。

さて、問題となるのは、この推計の仕方である。日本の場合、精鋭主義で、人の訓練やゼロ災運動を活発に行って災害を防ぐ。また、機械に対する技術的な安全対策はユーザが災害が発生してから後付けで実行することが多い。このような場合、安全対策コストはより多く掛けるほど災害防止により有効であり、結果的に副次的効果も上がる。これに反し、国際安全規格に則った場合、機械購入時にメーカーが設計によって安全方策を施し、ユーザはメーカーの情報に基づき追加方策を採ることになる。したがって、その際、ある程度のコスト上昇を招くかもしれないが、その後は、経年的な資金投下を要しない。副次的効果も機械の更新時に上がるが、その後は一定である。この様に、安全対策の副次的効果の現出の仕方は、現況の労働安全システムと国際安全規格に則った場合では異なってくる。そこで本報では両者の比較をするために、安全対策が全くなされていない場合（**図3. - 4**及び**図3. - 5**のリスクレベル2）を基準にして、実行した対策が生産性や品質をどの程度上昇させたかを推定することとした。しかし、現実稼働している機械に対してその様な基準の設定は不可能なので、代わりに安衛費の統計データを検討し、過去に遡った時点の適当な年度のデータを基準にした。すなわち、その年度から、98年度までに安衛費がどの位上昇したかを調べ、その上昇割合に比例して副次的効果も上昇すると仮定した。

以下にそのデータの検討の詳細を示す。なお、この仮定に基づく推定結果をサポートするために、調査書<16>の巨視的分析「労働災害の発生が労働生産性に及ぼす悪影響の計測」の結果を参照した。この分析では国の統計データを使い、製造業における付加価値労働生産性 y と労働災害の強度率 S_r との相関関係を求めている。ここで強度率とは1,000延実労働時間当りの延労働損失日数であり、次式で定義される。

$$S_r = \text{強度率} = (\text{延労働損失日数}) / (\text{延実労働時間数}) \times 1,000 \quad (8)$$

さて、安衛費の統計データであるが、調査書<16>では、日経連のデータを下に実質マクロ安衛費を推測し、その年間上昇率を求めて5.2%という値を算出している。しかし、そこには経済規模の影響が入っている。例えば97年度のマクロ安衛費は75年の値に比べると3.79倍になっており、増加の年率は約6%であるが、その間就業者数も倍になり、その増加率は約3%である。従って、正味の増加率（就業者1人当りの増加率）は、ほぼ3%となり、その割合で生産性に影響があるはずである。そこで本報では、日経連の生データから出発することとした。**図3. - 5**にそのデータの経年変化を示した。ここで安衛費は1月当りの1人に要する費用として表されているものを、98年度の値（1,008円/日・月）で基準化してプロットした。**図3. - 5**の結果は、ばらつきがあるものの、安衛費の増加傾向は年率3.5%の曲線と良く合っている。なお、安衛費の02年度以降のデータは日経連がデータ採取を止めたため、無くなっている。

次に、付加価値生産性 y と強度率 S_r との関係を考察する。調査書<16>では、 y と S_r との間に統計的に十分有意（相関係数=0.9543）な次式の関係を見出している。

$$y \propto S r^{-0.1140} \quad (9)$$

あるいは、強度率の逆数（1/Sr）をxと置くと

$$y \propto x^{0.1140} \quad (10)$$

と表せる。強度率は労働災害による損失日数を表しているから、安全対策費あるいは安衛費を増やせば、強度率は減ることが予想できる。すなわち、安衛費とSr値は反比例関係になるので、安衛費とx値は比例関係が成り立つはずである。そこで強度率の統計データ<4>より計算したx値を98年度の値（1/0.14）で基準化して図3. -5に示した。この結果はばらつきが多いものの経年変化の増加傾向は安衛費のものとはほぼ一致しており、特に86年から98年の間のデータは年率3.5%の曲線で表せる。

以上の安衛費と強度費のデータ分析を基に、本報では労働生産性と品質向上効果を以下のように算出した。前述した如く、この算出に際し、評価の基準とする年度を定めなければならない。本報では、これを85年度とし、ベースとなる数値を図3. -5の曲線上で85年に対応する数値、（安衛費/1,008）=（0.14/強度費）=0.64を採用した。85年度を基準としたのは、図3. -5によるとx値は85年以前は以降に比べると曲線より下方に大幅にずれている。すなわち、強度率が85年以前に大幅に上がっており、それまでは安全対策がそれほど有効に働いてなかったと推測できるからである。また、85年は中災防がアンケートによってデータを得た98年度から13年前になる。01年度における製造業の従業者1人当りの有形固定資産額を設備投資額で割った値は企業規模500-999人では、ほぼ1.4となる。したがって、13年では、設備の更新がほぼ一巡するので、評価の出発点として適当であると判断した。

（1）労働生産性向上効果

a) 安衛費に基づく算出

98年度は85年度を標準にすると、 $(1 - 0.64) = 0.36$ の割合で増加したことになるから、(1)式に示した弾性率 $0.176 \times 0.36 = 0.0634$ を得る。

すなわち、現況の安全対策を施すことにより、全く施していない場合に比べ労働生産性は6.34%向上したと試算できる。この値を(1)式に代入して

$$765 \text{ 万円/年} \cdot \text{人} \times 0.0634 \times 732 \text{ 人} = 35,502 \text{ 万円}$$

を得る。

b) 強度率に基づく算出

(10)式を用いると、98年度の付加価値生産性は85年度に対して、

$$1 - 0.64^{0.1140} = 0.0496 \text{ の割合の増加が算出できる。}$$

(1)式の弾性率にこの値を代入すると

$$765 \text{ 万円/年} \cdot \text{人} \times 0.0496 \times 732 \text{ 人} = 27,775 \text{ 万円}$$

と求まる。この値は上記の安衛費に基づいた推定値と30%程度しか変わらない。

(2) 品質向上効果

安衛費に基づいて、上記の労働生産性の場合と同様に(2)式に弾性率 $0.03 \times 0.36 = 0.0108$ を代入して次ぎの値を得る。

$$765 \text{ 万円/年} \cdot \text{人} \times 0.0108 \times 732 \text{ 人} = 6,048 \text{ 万円}$$

以上の副次的効果の算出結果は表3. - 2にまとめた。ここで項目4)の細目(3)(4)(5)は調査書<16>の結果をそのまま使い、細目(1)(2)は安衛費に基づき本報で計算した値を使った。また、図3. - 4のリスクコスト図に対し、表3. - 1及び表3. - 2の数値を入れて図3. - 6を作成した。

3. 3. 3 国際安全規格に準拠した場合のリスクとコストの関係

国際安全規格に準拠した場合につき、安全対策に係わる費用と副次効果を推定し、それらの結果を現況の場合と比較して、それぞれ表3. - 1及び表3. - 2に示した。また、半定量化したリスクコスト図を図3. - 7に示した。これの導出は、全くバックグラウンドデータがないので、下記の仮定に基づいて行った。従って、ここで得た結果は単なる憶測でしかないが、考え方の目安となるであろう。

(1) 死亡災害発生確率は英国並みの 0.1×10^{-4} のレベルまで低下すると仮定する。

したがって、 $P = 0.1 \times 10^{-4} \times 732 \text{ 人}$ となるから、この値と(6)式を(4)式へ代入して、現実的な受容可能リスクレベルは

$$R = 68,718 \text{ (万円/人)} \times 0.1 \times 10^{-4} \times 732 \text{ 人} = 503 \text{ 万円}$$

と推定できる。表3. - 1の項目A「行政によって義務付けられている費用」は現況とは変わらない。

(3) 国際安全規格に準拠して機械を設計すると5-10%コストアップするであろうと言われている。例えば、杉本は安全確認型システムを導入したK社の製造ラインでは導入前稼働率93%であったものが、導入直後約10%稼働率が低下したが、6ヶ月後には99.3%に上昇したことを報告している<23>。この時にシステム構築のための設備コストは6%であった。ある自動車会社が米国で工場を立ち上げた時、国際安全規格に則った安全設備によって、コストは電気関係で6.9%アップとなった。機械自体に対するコストアップは不明であるが、数%以内であると推測される。その他に、安全認証コストが5%掛かったが、この国際適合安全仕様によって、25%の生産性向上がなされた<24>。国内のM社の場合、国際安全規格適合仕様によってコストは電装品で20%、機械自体で2-3%アップになると見ている<24>。本報では、これらの数値を考慮し、安全認証の費用も入れて過大に見積もり、10%のコストアップを仮

定した。従って、その設備費は、経済産業省の「工業統計表」によると、製造業における設備投資（00年度）は1人当たり108万円であるので、

$$108 \text{ (万円/人)} \times 732 \text{ 人} \times 0.1 = 7,906 \text{ 万円}$$

となる（表3. - 1項目B）。

(4) 中災防が出した「包括指針」の説明用のCDによると、我が国で発生した機械災害の80%は国際規格に準拠した設備安全方策を採れば防げたと予測している。そこで、安全対策に直接関連する費用は、国際安全規格に準拠すると80%削減できると仮定した。

すなわち、表3. - 1の項目Cは

$$15,169 \text{ 万円} \times 0.2 = 3,034 \text{ 万円}$$

となる。

(5) 国際安全規格に準拠した安全適合設備はトラブル発生時には必ずラインを停止させるのが原則である。従って、事前にできるだけ止まる原因を作らないための設計対策が採られ、その結果、稼働率が上がり労働生産性が向上するのが、安全適合設備の最大のメリットである。上記のK社の事例では安全確認システム導入直後の稼働率に対して、定常状態では約16%の稼働率上昇があった。調査書<16>のアンケート調査によると安全対策費を現況の2倍にすると労働生産性は17.6%、品質は3%向上するという結果がでていいる。この事は安全対策費を現況の2倍にするとほぼ理想的な安全対策がとれると理解でき、安全適合設備も同等な効果を有すると仮定した。すなわち、労働生産性向上効果は(1)式の弾性率を $0.176 \times 0.8 = 0.141$ 、品質向上効果は(2)式に弾性率 $0.03 \times 0.8 = 0.024$ を代入して次のように求まる（表3. - 1の項目C）。

$$\text{労働生産性} \quad 765 \text{ (万円/年・人)} \times 0.141 \times 732 \text{ 人} = 78,957 \text{ 万円}$$

$$\text{品質} \quad 765 \text{ (万円/年・人)} \times 0.024 \times 732 \text{ 人} = 13,439 \text{ 万円}$$

(6) 労働生産性及び品質向上を除く他の副次的効果は現況と同じであると仮定した（表3. - 2の項目B）。

3. 4 結 論

機械安全国際規格12100は04年発効し、JISにも取り入れられた。本規格は設計者が機械の安全適合設計を行うために必要な全体的な枠組み及び指針を提供している。

日本では、機械メーカーの設計責任を問う土壌はなく、労働災害は専ら機械ユーザである事業所における人の訓練に頼る精鋭主義で防いできた。国際的には安全規格は確定論的アプローチを主体として組み立てており、安全は設計者が事前に既知の技術手法を演繹的に適用し、同定された危険源に対して予防措置を講ずることによって守る。これをコストの面から捉えると、メーカーが安全方策を施すために要するコストをユーザが機械購入時に被ることになる。しかし、機械稼働後は安全対策'改善'のための費用は殆んど要しない。安全技

術面から云うと、設計者は常にその時代の最高の技術（the state of the arts）を要求される。一方、日本の場合は事後責任が原則で、労働災害は自然災害と同様に確率的に発生すると捕らえ、事が起ってから処する帰納的手法で対処する。

安全対策に必要な設備の初期投資はなるべく少なくし、経年的に災害が起るたびに'改善'のための投資をしてゆく。技術的には安全性を信頼性と等価であると考え、確定論的アプローチに基づく安全技術はその時代の最低限のレベルが要求されるに過ぎない。また、精鋭主義は人の危険を察知し回避するスキル（技能）を発達させるが、世代間でのスキル伝承は難しい。

本報では、この様に手法の異なる安全対策に対する費用対効果の中災防の調査データ<16>を使って試算し比較検討した。その結果及び今後の調査課題を以下にまとめた。なお、試算した結果は従業員732人の事業所を標準にとっている。

- 1) 調査書によると日本の企業が現況の安全対策に要する年間費用は25,654万円となっている。一方、国際安全規格に準拠すると仮定すると、それは17,697万円と推定でき、現況と比較して約30%の節約となる。
- 2) 国際安全規格に準拠すると機械設備費は約2倍に増加するが、安全対策に直接関連する費用が約1/5に激減すると試算できる。
- 3) 安全対策を全く施さないと仮定した時、企業が被るであろう年間の労働災害損失費（リスクのコスト評価額）は50,301万円/年であると見積もれる。現況の安全対策を施すことによって、それは1,409万円/年に低減できたと推定できる。すなわち、25,654万円/年の費用を投じることによって、リスクのコスト評価額を48,892万円/年減らすことができたことになる。国際安全規格に準拠すると仮定すると、リスクのコスト評価額は503万円に低減できると試算できる。すなわち、17,697万円/年を投じることによってリスクを49,798万円/年減らすことができる。
- 4) 安全対策の生産性向上や品質向上などの副次的効果は、全く安全対策を施さなかったと仮定した時に比べて、現況の安全対策によって46,825万円/年、国際規格に準拠した場合には97,671万円/年の経済効果を生み出すと試算できる。すなわち、安全対策に要した費用に対して、前者で1.8倍、後者で5.5倍の経済波及効果がある。
- 5) 以上にまとめた国際安全規格に準拠した場合のコスト計算は大胆な仮定に基づいて行っているため種々の課題が残る。とくに、安全対策に直接関連する費用は80%節約できると推定しているが、日本の場合、安衛法に規定された安全管理体制で雁字搦めになっているので、この様に節約できない可能性もある。また、安全管理活動が改善やQC活動と同様なモラル高揚運動の一環として捕らえられていることも考慮しなければならない。それに、国際安全規格に準拠した体制の構築には規格に精通した人材やリスクアセスメントの専門家も新たに養成する必

要があるのでコストアップの要因となる。いずれも、今後調査し検討すべき課題である。さらに問題となるのは、副次的効果の試算で、例えば、生産性向上効果は14%生産性がアップすると見込んでいるが、これは数例の伝聞事例に基づく数値であり、確たる証拠があるわけではない。今後多数の事例を収集して確認する必要がある。

- 6) 一般的に日本の企業の社内規則、設計基準、調達品の購入仕様書などは事業所間ですら共通化されていない。国際安全規格導入の最も大きな利点はこれらの規則書の安全に関する事項は標準化が可能となり、それに伴ないコスト削減が大幅に図れると期待できる。しかし、このコスト評価に関する資料は全くなく、今後の調査課題である。
- 7) 現実の日本で最も大きな問題となるのは、現況の安全管理体制をどの様にして国際安全規格に準拠した体制に移行したらよいかということである。既設の機械に後付けで国際規格に準拠した安全方策を施すと、新設の機械に施す場合に比べて少なくとも3倍はコストアップになる。例えば、表3. - 1の結果で、国際安全規格に準拠した場合の機械設備費（B項）を単純に3倍すると、安全に係わる費用は1.9倍になってしまう。この様に体制の移行に伴い、コスト面だけでなく、問題は山積しており、とりあえず問題点を洗い出すことから始めるべきであろう。

[参考文献]

- < 1 > ISO12100 (JISB9700)、機械類の安全性——基本概念、設計のための一般原則、(2003)。
- < 2 > EU 機械指令、Council Directive of 93/44/ EEC of 14 June 1993 amending Directive 98/992/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery.
- < 3 > 労働安全衛生法、昭和47年6月8日公示、法律第57号、(1972)。
- < 4 > ルース・ベネダイクト、菊と刀、長谷川松治訳、社会思想社、(1972)。
- < 5 > 安全の指標、厚生労働省労働基準局編、中央労働災害防止協会、(2004)。
- < 6 > 村上陽一郎、安全と安心の科学、集英社新書、(2005)。
- < 7 > ピータ・バーンスタイン、リスク、日経ビジネス文庫、(2001)。
- < 8 > 機械の包括的な安全基準に関する指針、厚生労働省、労働基準局局長通達基発第501号、(2001)。
- < 9 > 田中紘一、染谷美枝、A. ノイドルファ著「安全な機械の設計」を翻訳して考えたこと、REAJ誌、25(2003)、537-552。
- < 10 > 蓬原弘一、国際安全規格における許容可能なリスク、安全技術応用研究会講習会資料、(2005)。
- < 11 > ISO/IEC Guide 51、Safety aspects——Guide-lines for the inclusion in standards,

- (1999)。
- <12>IEC61508 (JISC0508)、電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全、(1999)。
- <13>長瀬二三男、製造物責任法の解説、一橋出版、(2007)。
- <14>松本俊次、プラントのプロセス安全、日本プラントメンテナンス協会、(2004)。
- <15>ISO14971、医療機器——医療機器へのリスクマネジメントの適用、(2002)。
- <16>安全対策の費用対効果、中央労働災害防止協会、(2000)。
- <17>杉本旭、PLP(製造物責任予防)とロボットの新しい展開(第一回)——ダイジェールスタンダードと欧州の倫理的基盤、ロボット、No148(2002-9)、66-74。
- <18>水野肇、インフォームド・コンセント、中公新書、(1990)。
- <19>杉本旭、PLP(製造物責任予防)とロボットの新しい展開(第3回)——サービスロボットの第三者認証の可能性について、ロボット、No150(2003-1)、61-70。
- <20>非正常作業の安全(鉄鋼生産設備編)、労働省安全課編、中央労働災害防止協会発効、(1998)。
- <21>A. ノイドルファ、安全な機械の設計、田中紘一監訳、NPO安全工学研究所、(2002)。
- <22>災害コストの実際、安全対策の費用対効果に関する調査委員会報告書、中央労働災害防止協会、(2004)。
- <23>杉本旭、機械にまかせる安全確認型システム、中災防新書、(2003)。
- <24>私信。

付録1 許容可能リスクとALARP原則

ISO/IEC Guide51は規格へ安全の考え方を導入するためのガイドラインを示し、ISO12100を始めとする一連の安全規格の根幹を規定している<11>。そこでは、安全は「受容不可能(unacceptable)なリスクがないこと」(3.と定義し、それは「許容可能(tolerable)なレベルにまでリスクを低減することにより達成される」(5.2項)と規定している。そこで、許容可能リスクとは「その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で、受容されるリスク」(3.7項)と定義し、具体的には「理想とする絶対安全と、製品、プロセスまたはサービスが満たすべき要求、並びに、利用者の利益、目的の適切さ及び費用対効果という要素、並びに属する社会の慣習の間で、最適なバランスを追求することにより定まる。従って、許容可能なレベルは、(中途省略)、とくに技術上及び学問上の進展により、(中途省略)、経済的に妥当な改良策が得られる可能性があるのなら更新する必要がある」(5.2項)。すなわち、許容可能リスクレベルはALARP原則とstate of arts原則に従って定めることになる。

この様にリスクレベルを判定する基準に「受容可能リスク」と「許容可能リスク」が存在する。蓬原はリスクの論理構造及び存在形態を考察して、両者の相違を図3. - 8の模式図を使って説明した。図はIEC61508に倣い< 1 2 >、3辺ABCで示す三角形でリスクの大きさを表し、ABCの面積が小さくなるほどリスクが小さくなるものとする。受容可能なりスク（一般に広く受け入れられるリスク） R_a は許容可能なりスク R_t に比較してリスクは小さい。受容可能なりスク R_a と受容不可能なりスク $\neg R_a$ （ \neg の記号は否定を表す）は共通領域を持たず、必ず両者のいずれであるか否か判定のつかない不明の領域が存在する。従って、両者の間には図で示すような隙間を必ず必要とする。同様に許容可能なりスク R_t と許容不可能なりスク $\neg R_t$ の間にも必ず隙間を必要とする。当然のことながら、これらのそれぞれ大小関係は以下の通りである。

$$R_a < \neg R_a \quad (A1)$$

$$R_t < \neg R_t \quad (A2)$$

ISO/IEC Guide51によると、安全は「受容不可能なりスクがないこと」と定義される< 1 1 >。よって、許容不可能なりスクと受容不可能なりスクの大小関係は以下で示される。

$$\neg R_t \leq \neg R_a \quad (A3)$$

よって、(A1) (A2) (A3) 式から次ぎの大小関係を得るので、図3. - 8の様な説明図が描ける。

$$R_a \leq R_t < \neg R_t \leq \neg R_a \quad (A4)$$

国際的には安全の定義より小さいリスク、すなわち、受容不可能でないリスク領域または許容不可能でないリスク領域から許容可能なりスク R_t を求めて、要求事項を定めることになる。

ISO61508-5ではALARP領域を図3. - 8に示したように領域 $\neg R_a$ と R_a の隙間にとり、その許容可能条件を定める< 1 1 >。この領域に関しては、合理的に実施可能である程度に、すなわち、「合理的に実施可能な低さのレベルまで全てのリスクを低減させねばならない」(ALARP原則)。あるいは、「リスク低減が実施不可能である場合、または、費用が得られる利得に対して甚だしく不均衡である場合にのみ許容可能である」。なお、これらの領域の限界を決めるリスクの発生確率は社会統計学的視点から誰も受け入れることのできないレベルとして $\neg R_a = 10^{-3}$ /年、普通の人に関心を示さない程度に受容可能レベルとして $R_a = 10^{-6}$ /年という数値が常識的に用いられている< 1 4 >。

一方、医療機器のリスクマネジメント規格ISO14971では、ALARP領域は領域 $\neg R_t$ と領域 R_a の隙間にとっている< 1 5 >。

付録2 安全対策に係わる費用対効果調査結果総括

中災防が行った98年度における企業の安全対策費とその効果の分析結果を次にまとめた< 1 6 >。数値は事業所当りの平均値(万円)、回答事業所の労働者数の平均数は732人である。

I	安全対策に係わる費用	25,654
	1) 安全対策に直接的に投じた費用	19,286
	(1) 救護に係わる費用	48
	(2) 機械・設備・個人用保護具等に係わる費用	9,402
	(3) 安全教育訓練に係わる費用	476
	(4) 危険防止、災害再発防止活動に係わる費用	469
	(5) 安全担当部門に係わる費用	2,768
	(6) 各種リスク対応に係わる費用	981
	(7) その他の安全費用	977
	(8) 人件費	4,165
	2) 労働災害の発生に係わる諸費用	6,368
	(1) 労災保険料（上積保険料を含む）	3,989
	(2) 企業内上積補償額	234
	(3) 損害保険料	1,159
	(4) 訴訟費用	87
	(5) 民事損害賠償額	500
	(6) 機械、設備等の破損、破壊による損害額	90
	(7) 同僚、上司の労働損失日数に係わる損失額	75
	(8) 被災労働者本人に係わる損失額	100
	(9) 被災労働者が稼得能力を喪失したことに伴い 付加価値額でみた事業所の損失額	134
II	安全対策に係わる効果	69,340
	3) 災害防止・災害回避に係わる効果	58,067
	(内在する危険を含む労働災害の発生を防止・回避したことに係る効果)	
	(1) 労働災害が回避されたために労働者に生ずる損失回避額	20,590
	(2) 労働災害が回避されたために事業所に生ずる損失回避額	27,490
	(3) メリット労災保険料節約効果	464
	(4) 企業内上積補償額の節約効果	579
	(5) 民事損害賠償額の節約効果	3,814
	(6) 損害保険料の節約効果	322
	(7) 訴訟費用の節約効果	3,043
	(8) 機械・設備等の破損・破壊による損害の節約効果	952
	(9) 同僚、上司の労働損失日数に係わる損失の節約効果	813
	4) 安全対策に係わる副次的効果	11,273
	(1) 生産性向上効果	5,125
	(2) 品質向上効果	873

(3) 労働意欲などのモラルの向上、職場の上下関係及び仲間同士の間人間関係が良くなる効果	1,641
(4) 業界や地域社会における企業イメージや信用向上、社員採用への効果などの社会的評価が高まる効果	2,023
(5) 早退、遅刻、欠勤の減少、離退職率の減少、疾病罹病率の減少効果	1,611

付録3 災害コスト調査結果総括

中災防の調査報告著「災害コストの実際」は03-04年度に企業において発生した労働災害の個別事例49件に対して実際に要した費用を調査している<22>。この結果を基に災害の直接的な損失額を費用項目毎に次ぎの手続きによって算出した。

- (1) 調査報告書では費用を6項目に分けているが、その内、「その他のコスト」は金額が小さいので算出から省き、「安全対策費」は災害の直接損失額でないので省いた。
- (2) 災害事例をその程度によって、死亡(2件)、休業(37件)、不休(10件)に分け、各項目の費用に対し、それぞれの災害程度に分けて平均値(万円/人)を算出する。ただし、異常な費用を要した死亡災害(事例2)及び休業災害(事例3)の各1件は算出から除外した。
- (3) 各項目の費用は3つの災害程度毎の平均値(万円/人)に対し、(5)式で示したハインリッヒ則に従った重み付けをした上、足し合わせて算出する((7)式参照)。
- (4) 算出した費用に対し、0.845人を掛け、732人の事業所当りの費用を算出する((6)式参照)。

この様な手続きを経て算出した結果は以下の通りである。

実際の災害事例における直接的な損失額(万円)	60,856
1) 人的損害(被災者本人)	30,486
医療費、休業補償費、障害手当金、葬祭料、遺族補償費など	
2) 人的損害(被災者以外の者)	14,483
救援・連絡・介添等、調査・対策・記録等、整理・復旧等、見舞・付き添い等、葬儀執行・会葬等の時間に対する賃金ほか	
3) 物的損害及び復旧費	671
建物・付属設備等、機械器具類・付属品等、材料・仕掛け品・製品等、保護具類の損費、復旧費ほか	
4) 生産損失	15,216
災害による生産減少に伴う損失費、作業待ち、生産減回復の余分負担など	

表3. - 1 安全対策に係わる費用

(単位：万円)

費用項目	現況体制下 での場合	国際規格に 準拠した場合
A. 安全対策とは関係なしに要する費用	6,757	6,757
1) 安全担当部門に係わる費用	2,768	2,768
2) 労災保険料	3,989	3,989
B. 安全対策に必要な機械設備費	3,728	7,906
C. 安全対策に直接関連する費用	15,169	3,034
1) 機械設備の保守及び個人用保護具	5,674	1,135
2) 安全活動に要する人件費、活動費	7,116	1,423
3) 労働災害の発生に係わる費用	2,379	476
合 計	25,654	17,697

表3. - 2 安全対策に係わる副次的効果

(単位：万円)

費用項目	現況体制下 での場合	国際規格に 準拠した場合
A. 生産性向上及び品質向上効果	41,550	92,396
B. 意欲の向上、企業信用の向上効果	5,275	5,275
合 計	46,825	97,671

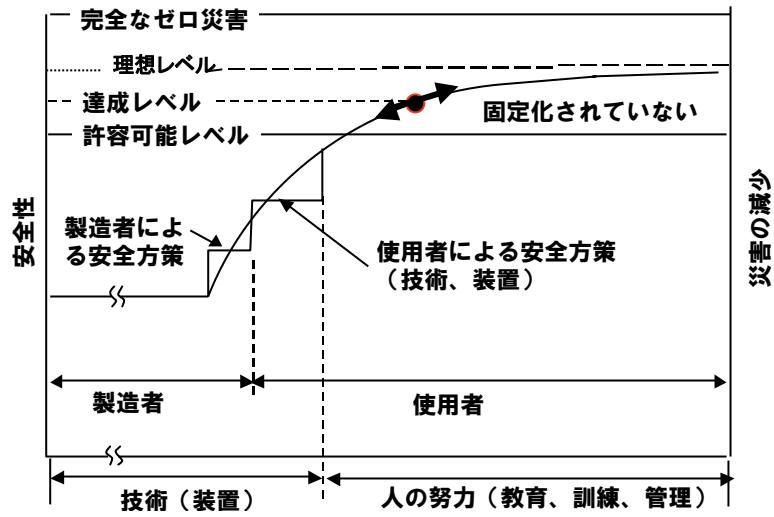


図3. - 1 日本の労働安全に対する考え方

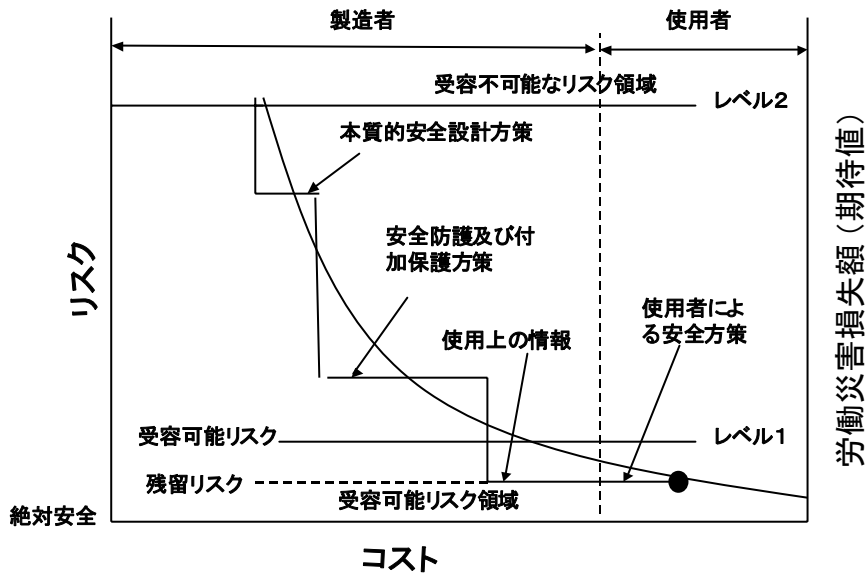


図3. - 2 国際規格に準拠した場合の定性的なリスクとコスト

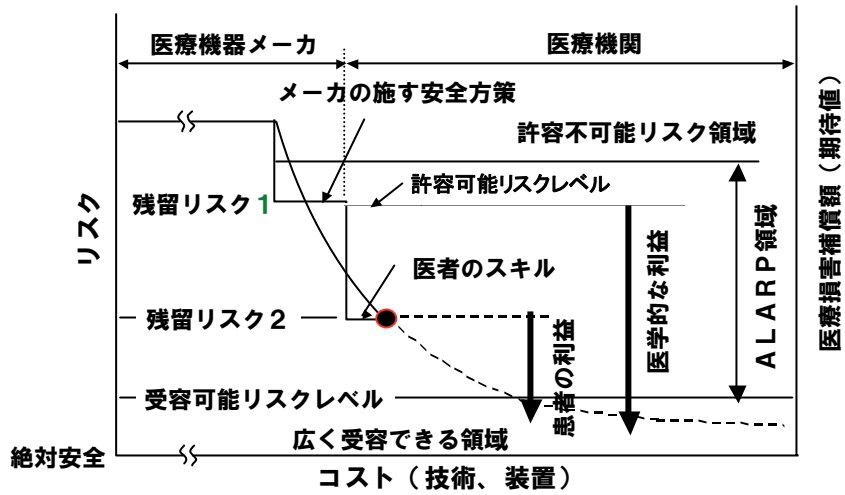


図3. - 3 医療機器の定性的なリスクとコスト

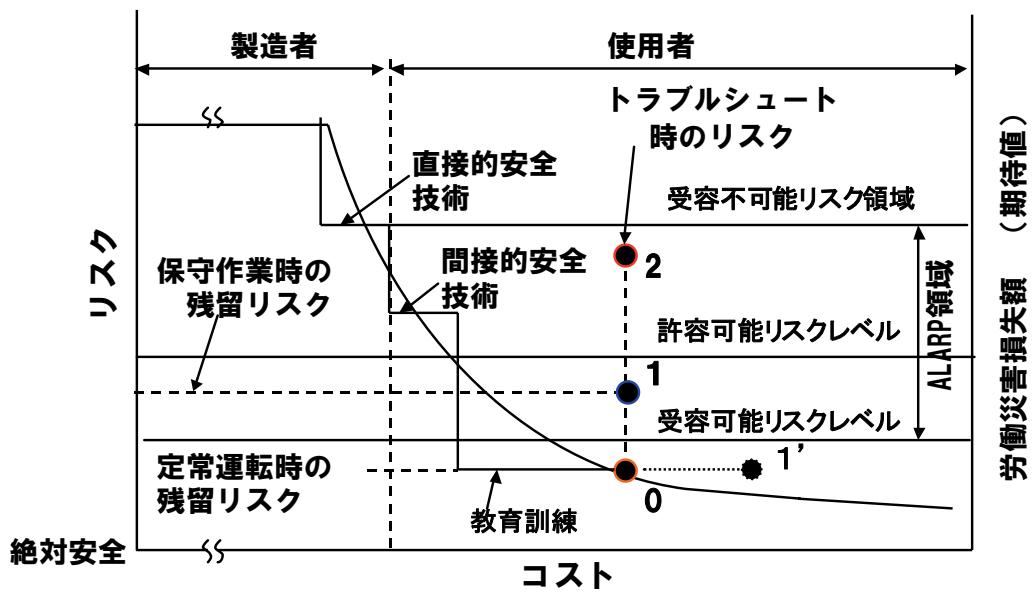


図3. - 4 現況の労働安全システムにおける定性的なリスクとコスト

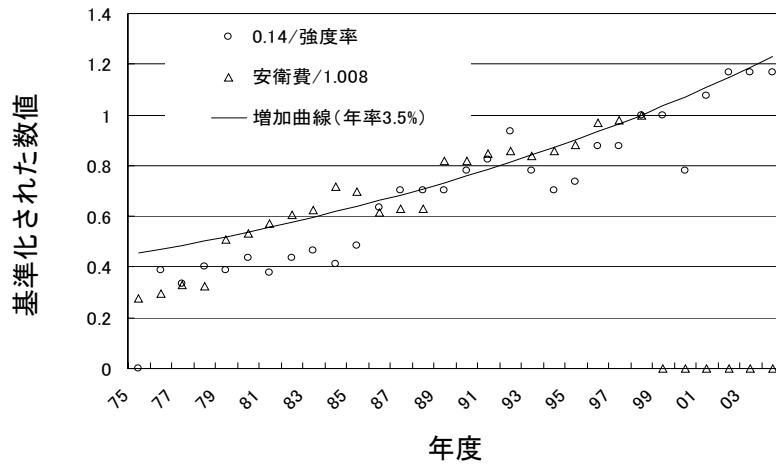


図3. - 5 安衛費および強度率の逆数の経年変化

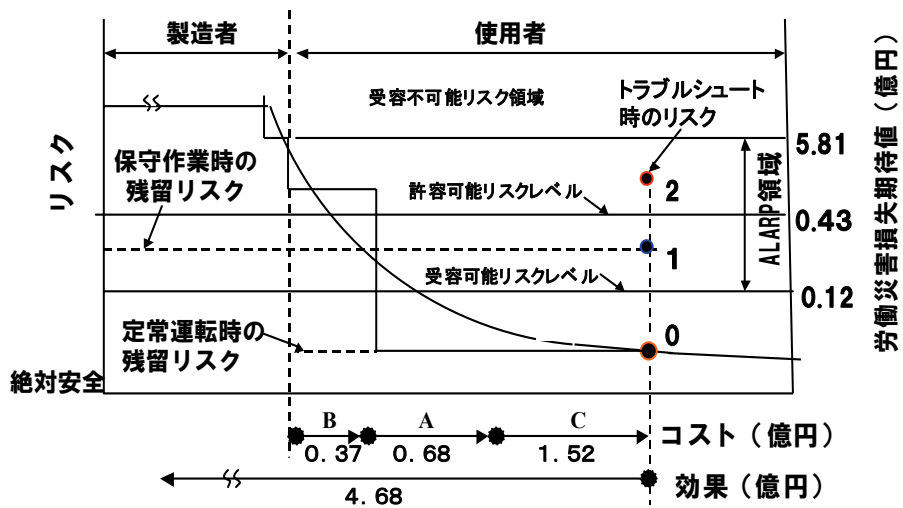


図3. - 6 現況の労働安全システムにおける半定量的なリスクとコスト

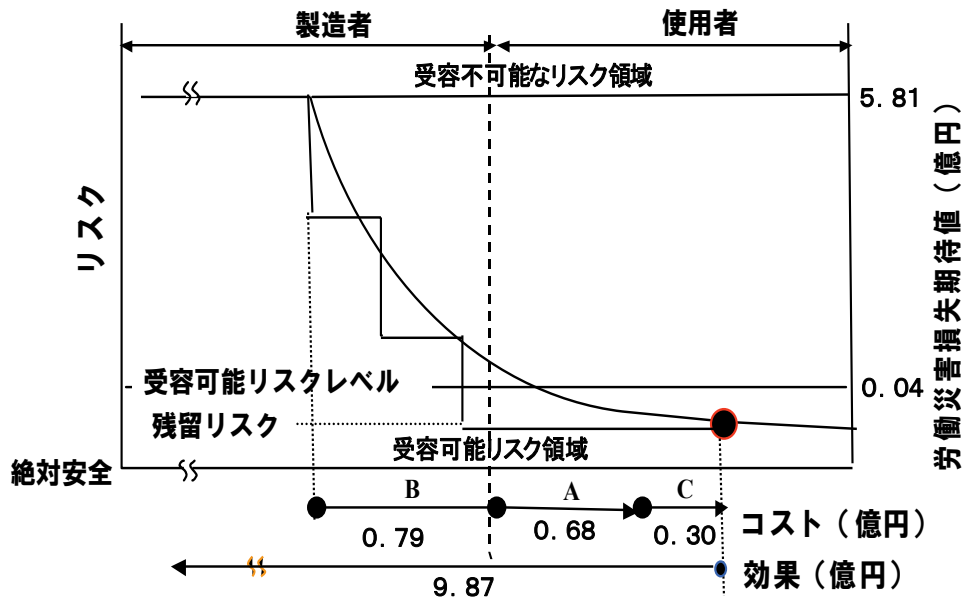


図3. - 7 国際規格に準拠した場合の半定量化リスクとコスト

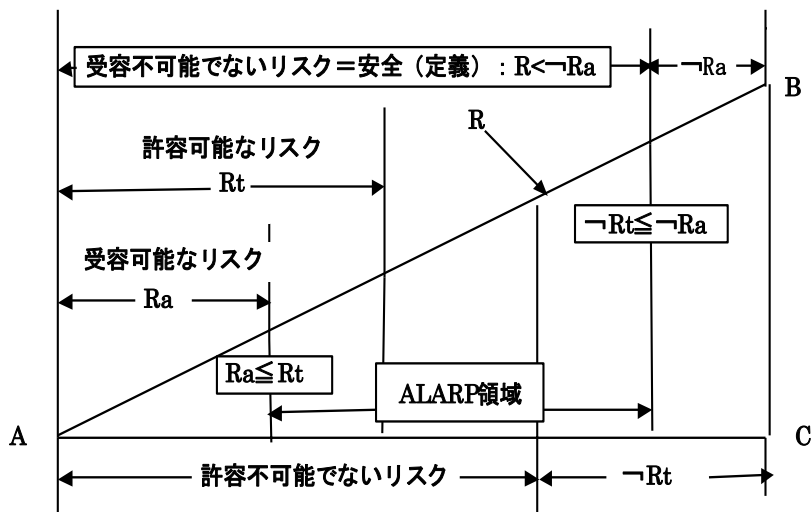


図3. - 8 安全の定義と許容可能なリスク < 10 >

第IV章 生産システムのリスクアセスメント

4.1 スクアセスメントの運用と変動管理

4.1.1 リスクアセスメントの円滑な導入と安全対策コスト

06年4月に施行が予定されている改正労働安全衛生法において、「危険/有害性の調査と対策」(リスクアセスメント)が、各事業者に対する努力規定の形態で盛り込まれることになった。

一般的に企業がリスクアセスメントを導入する場合、購入設備は別として、自社設計設備では設計時点のリスクの事前評価に適用する場合と既存設備のリスク低減対策のためのリスク評価に適用する場合の二つに大別される。リスクアセスメントの円滑な導入と機械の保護方策のコストパフォーマンスを考慮する上で、このふたつのリスクアセスメントにはいくつかの相違点がある。

(1) 既存設備のリスク低減対策のためのリスク評価

認証取得が前提の OSHMS (労働安全衛生マネジメントシステム) においては、既存設備のリスク低減対策のための初回のリスク評価が、初期レビューの時点で完了していることが求められる。製造等の直接部門が抱えるリスクのほか、間接部門の機械設備/作業のリスクも含まれるため、リスクの種類も ISO14121 付属書 A に定める危険源/危険事象のリスクのほか、業種/業態によっては長時間労働等の健康障害リスクまで含む場合もあり、事業活動に伴う網羅的で広範な範囲のリスクが取り扱われることになる。そのため、OSHMS 導入企業では初期レビューの時点で投入されるリスクアセスメントの労力は、ISO14001 (EMS-環境マネジメントシステム) における環境設備の「環境影響評価」に要する労力を遥かに上回るものがあり、取組みの初期においては、設計時点のリスクの事前評価システムまで検討が十分及ばないケースがまま見られる。このような場合、努力はもっぱら既存設備のリスク低減対策のためのリスク評価のみに傾注されることになるが、こうした既存設備中心のリスクアセスメントの導入形態には、以下に示すさまざまな障害を伴うことがある。

(2) 既存設備のリスク低減対策が持つハンディ

既存設備主体のリスクアセスメントおよびリスク低減対策に伴う障害は、大別して 3 つに分けられる。

① 費用対効果が不十分

既存設備に対してリスク評価を行ってリスク低減対策を講ずる場合、既存のシステムに対してもっぱら「後付け対策」を講ずることになるため、安全対策コストは元の設備に対してかなり大きな比率を占めるケースがある。設備を欧州の生産拠点に移設するため、CE マーキングに適合する設備として種々の安全防護方策を追加で講じた

結果、その対策コストが元の設備の総コストの10～15%以上(弊社例)にのぼった例がある。このような後付けによる安全防護方策は、設計時点で予め組み込まれる安全防護の対策コスト(5%程度の例がある)に比べると、著しく対費用効果が劣ることが経験的にもよく知られている。

② リスク低減対策の技術的な困難さ

また、既存の設備/機器のレイアウトの制約の中でリスク低減対策を行わざるを得ないため、必要とされる安全距離が確保できない安全ガードや光カーテンの設置で妥協せざるを得ないことがある。動力シャーに相当する弊社のゴム裁断設備に、光カーテンと安全関連部のコントロールユニットとして「安全リレーユニット」を適用したことがあったが、「安全リレーユニット」の動作時間の制約から、危険源と光軸間に必要な安全距離がレイアウト的に収まらず、「安全リレーユニット」の適用を見送った例がある。極端な場合、その効果から見て「無いよりはまし」といった安全防護対策にとどまることもあるため、それなりの対策コストをかけたにもかかわらず、不十分な災害防止効果しか期待できないことがある。

③ リスクアセスメントの精度、リスク低減対策の妥当性の不足

OSHMS の導入に際しての初期レビューでは、第三者機関による認証スケジュールの関係から3ヶ月程度の短期間の中で、既存の全設備を対象とするリスクアセスメントを行う必要があり、リスクアセスメントの実施者は、専門的なリスクアセスメント教育を受けた者ではなく、ライン管理者が一斉に動員されるケースが大半である。こうしたリスクアセスメントでは、危険源/危険事象の同定の単純な見落とし、電気的な制御に起因する特殊な危険源/危険事象への考察の不足、取られたリスク低減対策の技術的な妥当性が不足していることが多い。また危険源/危険事象の特性に応じて適用されるリスクアセスメント手法は異なるはずであるにもかかわらず、事業所に存在するすべての危険源/危険事象に単一のリスクアセスメント手法を適用しているため、リスクの評価精度が保たれておらず、初期レビューのリスクアセスメント全体の信頼性が確保できていないケースが目立つ。

このように既存設備をもっぱら対象とする極めて短期間でのリスクアセスメントでは、危険源の見落としや導かれた安全防護対策の不十分さから、リスクアセスメントを実施したはずの機械設備で災害を起こすなど、本来の目的に沿わない結果を生みがちである。こうしたハンディを負ったリスクアセスメントの導入に対する経営の受け止め方は、ともすれば「安全対策コストが高い」「OSHMS の災害防止効果が少ない」といった評価につながり易い。

(3) 導入は、設計時のリスクアセスメントから

既存設備のリスク評価に限定してリスクアセスメントを導入する方法は、進め方を誤れば、上記の問題を内包するため、余り賢い導入方法とは言い難い。機械の購入前のリ

リスク評価、設計段階でのリスク評価が取組みの埒外に置かれては、せっかくリスクを下げたはずの既存設備のラインに、リスクアセスメントが行われていない機械設備が新たに導入されることになり、ラインの管理者の不満にもつながり易い。リスクアセスメントの最初の導入局面は機械購入前もしくは、設計時のリスクアセスメントを先行して志向すべきである。機械購入前もしくは、設計時のリスクアセスメントのメリットは、費用対効果に優れる、リスク低減対策の選択の幅が広い、技術的に適正な安全防护対策を取り易い、リスクアセスメントに関わる関係者の範囲が限定でき、正確なリスク評価技術の浸透が図り易いといったことが挙げられる。従って前掲の既存設備のリスクアセスメントが陥りやすい陥穽の多くを避けることできる。特に費用対効果に優れる点は、経営にとって、リスクアセスメントの利点を実感し易く、リスクアセスメントの浸透を促進する素地が形成され易い。従って、この局面へのリスクアセスメントを定着させた後に、既存設備のリスク評価の局面に進むべきである。なぜならば、機械購入前もしくは、設計時のリスクアセスメントの取組み過程で得た推進のノウハウが生かせること、リスク評価技術や適正なリスク低減技術について十分な獲得の機会や学習を経て、既存設備のリスク評価の局面に臨めるからである。

4. 1. 2 リスクアセスメントの第三の導入局面

リスクアセスメントの導入の局面には、前掲のふたつの局面の他に第三の局面が存在する。

(1) 大事故の温床としての変更管理〔※MOC〕問題

一般に、機械やそれらの集合体としての生産システムのライフサイクルにおいて、据付けられてから寿命を迎えるまでに、種々のニーズによってシステム要素の機能改変、入れ替えなどが行われるのが通例である。具体的には機能維持のための定期補修にとどまらず、アクチュエータの出力のアップ、速度の向上、制御条件やプロセス条件の変更などがこれに相当する。こうした変更はシステム機能の強化や維持に不可欠な側面ではあるが、不適切な変更が加えられると、次に例示するような思いがけない災害要因を形成する場合がある。

※ MOC …… Management of Change

① 首都高速でのタンクローリーの爆発事故

硫酸銅溶液を搬送するタンクローリーを便宜的に過酸化水素水の搬送に転用をこころみたが、タンクの洗浄が不十分なままで過酸化水素水を充填したため、残留していた硫酸銅溶液と過酸化水素水が反応し、タンクローリーが首都高速を走行中に反応内圧でタンクが爆発し、タンクローリーが横転した。この時タンクローリーによって破壊された高速道路外壁と防音板が落下して、高架下の道路を走行中の車輛やビル、店

舗に被害を与えた

② ポリスチレンプラント触媒タンクの爆発事故

ポリスチレンプラントの液体溶媒が低温で固まることを防ぐ目的で触媒タンクと反応器を結ぶスチームトレースを冬場に強化したところ、1週間後に閉塞したため、バイパス配管に切り替えたところ、閉塞配管の触媒が過熱したため、爆発的な分解反応が生じ、触媒タンクが破壊した

③ タイヤ工場精練棟における発泡剤仕様変更に伴う事故

危険物規制を受けていた発泡剤の組成を変更し、危険物規制外となった発泡剤に切り替えて使用していたが、火災リスクがさして変わらない薬品であったにもかかわらず、それまで適用していた危険物規制を解除して使用したため、屋内に大量に集積されていた発泡剤に工事中の溶接火花が着火し、精練棟を焼失した

といった例が見られる。

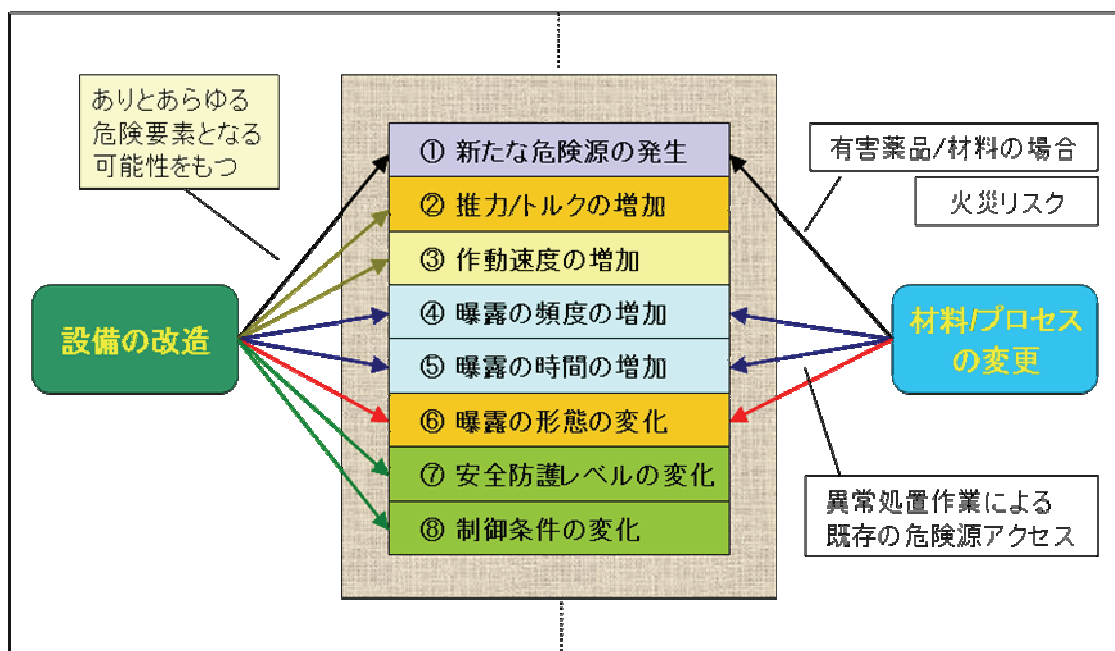


図4. -1 変更に伴うシステム要素の変化

図4. -1 「変更に伴うシステム要素の変化」に設備や原材料、製造プロセス条件が変更された時に、システム要素に生ずるリスクファクターの変化のタイプを列挙している。多くは、「新たな危険源が生ずる」ケースが一般的であるが、アクチュエータの改造などでは、推力/トルクの増大、作動速度の増加に加え、制御条件の変化など、複数のパターンの組み合わせの形で生ずることもある。また制御条件の変更などは、変更後に外観上の変化が現れないことが特徴的で、変更内容がオペレータやその他の関係者に知らされなければ、事故が起きるまで変更に気づかれないことも多い。

このような変化は、当然ながら新たなリスクの生成、それまでに存在したリスク因子の変動をもたらすことになる。

次の図4. - 2「工程の改造/変更によるリスクの変動」では、もたらされた変更が、どのようなリスク因子に変動を生じさせることになるかを示している。

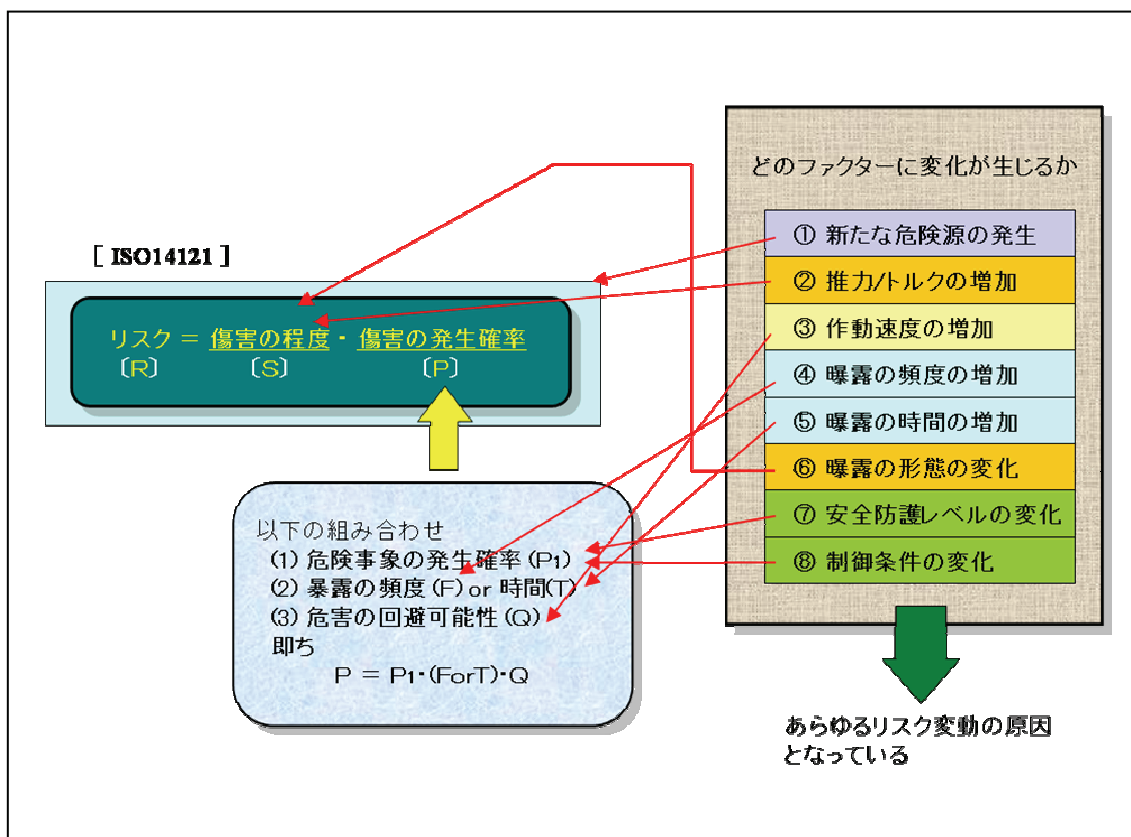


図4. - 2 工程の改造/変更によるリスクの変動

過去の大きな事故は、些細な変更管理の齟齬から端を発している場合が多い。変更そのものは操作や取扱いの効率や品質の改善を目指した操作手順、機器、材料の仕様変更であり、日頃から頻繁に試みられるものであるが、初期時点の安全設計仕様、前提条件の検討が不十分なままか、もしくは検討を行わないまま変更が加えられた結果、新たな危険源/危険事象を生むに至ったものである。

特に日本企業では、現場の改善意欲が強く、品質の向上、生産性の向上、環境改善、作業性の改善を目的として、ボトムアップで機械設備、操作方法、プロセス、原材料、補修方法が改変される例が広範に認められる。

1999年のJCOの臨界事故では、高速増殖実験炉「常陽」の燃料を加工する転換試験棟において、本来使用されるべき「貯塔」ではなく、臨界安全形状に設計されていない「沈殿槽」を、作業効率の面から転用し、臨界量以上のウランの硝酸溶液をバケツで注入したことにより、臨界事故を発生させたことは記憶に新しい。原子力安全委員会によ

って設置された「ウラン加工工場臨界事故調査委員会」－吉川弘之委員長（日本学術会議会長）の委員長所感では、「直接の原因は全て作業者の行為にあり、責められるべきは作業者の逸脱行為である」と言及されている。しかし転換試験棟は形状制限法による徹底した臨界量管理が行われた施設ではなかったにも関わらず、製造施設として転用されており、不測事態に対応した中性子線量の測定機器や中性子線の吸収を行うホウ酸水の注入装置などの安全防護装置も装備されていなかった。また作業方法の変更を行ったオペレータを含め、JCOの内部関係者に対しては、ウラン精製に関わる臨界についての教育が5年以上前から実施されていなかったことを考えると、この事故は組織の「変更管理」の失敗と位置づけるべき事故である。ボトムアップで機械設備、操作方法、プロセス、原材料、補修方法を改変、向上させることを一方で推奨しておきながら、不幸にして事故になると「作業者の逸脱行為」と断罪するだけでは、事故の未然予防の視点にはなりえない。むしろ、システム要素の改変のメリットに眼を奪われる余り、それによって生じるリスクもしくはリスク変動が、組織内で易々と見落とされてしまうことが問題とされなければならない。

（2） 変更管理局面でのリスク変動のアセスメント

「変更管理」とは「変更に伴うリスクを予め予測して対策を講じ、リスクが顕在化することを未然に予防する組織的な活動」と定義されているが、その中核となる概念は、変更によって生ずるリスクもしくはリスク変動を捉えるリスクアセスメントである。変更に際して、リスクアセスメントが事前に適用されていれば、事故の殆どは予見でき、変更に伴うリスクに適切な保護方策を講ずることができる。

ISO14121 および OSHA/PSM（Process Safety Management）29CFR1901.119 では、設計段階から調達、施工、試運転、負荷運転、保全、分解、解体処理、廃棄にいたる全ライフステージを想定した設計段階のハザード解析とリスク低減対策を要求しているが、ライフサイクル上の「変更管理」局面におけるリスクアセスメントは、上記の全てのライフサイクルについての設計段階のリスクアセスメントと同等以上の重みを有している。

（3） 組織のリスクコミュニケーションの重要性

変更管理の失敗について「安全管理から見た化学プラントの災害要因」（島田行恭・産業安全研究所 主任研究官）では、以下の要素が挙げられている

- ① 変更管理の対象であるという認識の欠落
- ② 変更管理を体系的に行う手法の欠落
- ③ ライフサイクルを通じての変更情報の最新版管理の欠落

変更局面における確実なリスクアセスメントの適用は、①②の領域の解決手法に属する。②③は変更に関する組織の構成員間でのリスク認識、リスク伝達の問題に相当する。

- ① 変更管理の対象であるという認識

変更管理の対象であるか否かは、変更がリスク変動を伴うものであるかどうかにかかってくる。

変更に際して、リスクアセスメントを漏れなく適用しなければ、リスク変動があっても、その存在を予め知ることはできない。従ってリスクアセスメントを実施することなしに事業活動の変更が行われれば、変更管理の対象として認識される機会は失われる。

② 変更管理を体系的に行う手法

そこで組織においては、事業活動の変更管理を体系的に行う手法が、ビジネスプロセスとして組織内に確立されている必要がある。機械設備、操作方法、プロセス、原材料、補修方法の変更が行われる場合に、それらの変更内容について、関連する組織の成員や機能に変更情報が確実に伝達され、伝達された変更内容について適切にリスク評価を行われなければならない。そして評価されたリスクに応じたリスク低減対策が立案され、変更の責任者がそれらの実行について決裁し、必要な予算措置を講ずる一連の仕組みが対応していなければならない。

③ ライフサイクルを通じての変更情報の最新版管理

事業活動の変更は、システムのライフサイクルのあらゆる時点で発生し、かつ累積的に行われる場合が多い。最新で正確な変更情報が関連する組織の成員や機能に共有化されている必要があるが、変更内容によっては、組織の成員や機能の一部に伝達漏れが生ずることがあり、それらのメンバーは変更前のシステム条件を前提として業務を続けるか、誤った変更情報に基づいてシステム運用を行うことになる。このこと自体が組織にとって新たなリスクを生むことは、容易に想像することができる。

前出のタイヤ工場精練棟における発泡剤仕様変更のケースでは、仕様変更があつて7年後、それまでの配合室での計量、パック詰め、ミキサー投入という形態から、ミキサー直近で発泡剤の計重搬送を行う開放構造のラインを設置してハンドリング形態の変更を追加しているが、計重ラインの設計者は、材料開発部門で認識されていた発泡剤の火災リスクの存在について通知されておらず、密閉状態でのハンドリング構造として設計しなかったために、計重ラインから漏出する発泡剤が作業場床面に大量に堆積する状態を生むに至った。そしてこの計重ラインからの漏出を抑制するために行われた溶接工事のアークが、床面に大量に堆積した発泡剤に着火し、近くに集積していた発泡剤のストックに延焼したことが大火災の発端になった。以前の配合室での計量、パック詰め、ミキサー投入では、作業場での発泡剤の飛散、堆積を生ずることはなかったことを考えると、ハンドリング効率を上げるための計量/搬送ラインの増設が、火災リスクを更に増大させていたことが分かる。発泡剤の火災リスクについての正しい情報が計重/搬送ラインの設計者や製造部門に伝達されていれば、このような開放構造のラインの設計はおこなわれなかったであろう。また、この「非危険物」の発泡剤が持つ火災リスクについて、溶接工事を行った作

業者に対して教育が行われていなかったことも、発泡剤の火災リスクについての正しい情報が製造部門に伝わっていなかったことに起因する。

また、以上のようなケースとは正反対のケースとして、製造ラインに新たに導入されたシステムに品質、生産性、安全性の面で不具合が生じ、製造部門でシステム要素の改善が行われたものの、改善情報がシステムの設計者にフィードバックされなかったために、設計図面の適切な変更が行われず、設計者は同じ問題を抱えた新たなシステムを別の場所に導入し、みすみす事故に至るケースなどがある。これらも変更情報の欠落がもたらす端的な例である。

リスクアセスメントはリスク評価局面で最も重要な要素であるが、組織の成員、機能間で変更情報が途絶すれば、適正なリスクアセスメントは発動しない。リスクアセスメントを成立させる重要な前提条件は、組織のリスクコミュニケーションを成立させる組織の情報システムにある。

(4) リスクコミュニケーションを成立させる情報システムの要件

リスクコミュニケーションは、リスク管理をベースとする個人、機関、集団間での情報や意見の相互作用の過程とされており、企業内にとどまらない広範な概念である、これらの促進に必要な要素として、前掲の島田主任研究官は

- ① リスクに関係する人々がリスク情報を共有すること
- ② リスクの内容を論理的に理解すること
- ③ リスクに対する対応選択肢を共に考えること
- ④ 双方向のコミュニケーションであること
- ⑤ リスク情報についての開かれた透明性があること

などの条件を提起している。

① リスクに関係する人々がリスクを共有する

リスクによって被害をこうむる可能性のある人々のみならず、リスクを効果的に低減させるために必要な組織の成員間でリスクの内容が共有されていなければ、リスクへの対処を適切に行うことは不可能である。

表4. - 1 組織内リスク情報のマクロ的な構図

部門	リスク対象	リスク評価の側面		組織の行動欠陥
上流側 材料設計部署	発泡剤の組成変更	リスクの見落とし	危険物規制の回避経緯	← 規制回避で対策レベル緩和を意図
		リスク評価の誤り(再評価の割愛) 90年	組成変更時(WD06⇒05)	→ 規制回避が自己目的化
製造技術部署	発泡剤計重システム変更	リスクの見落とし(火災リスクの拡散) 98年	パック詰め⇒機側計重(生産効率)	↓ リスク伝達情報の欠落 結果として 生産効率向上策でリスク増大
生産システム設備設計部署	発泡剤の計重機改造	リスクの見落とし⇒リスク増大 02年	開放型ハンドリング設備	
製造部門	発泡剤の保管形態/量の変更	リスクの見落とし⇒リスク増大 91~03年	・危険物倉庫での保管廃止 ・屋内大量保管	
	溶接の許可システム	リスク評価の誤り	改善担当者へのリスクの委任	
下流側				

表4. - 1「組織内リスク情報のマクロ的な構図」は、前出のタイヤ工場精練棟における発泡剤の火災リスクに関わる関係部署のリスク共有において、どのようなリスクコミュニケーションの欠陥が生じていたかを示している。関係部署において、変更後の発泡剤の火災リスクの再評価を行うことができた機会は、少なくとも3回以上あったことが、表4. - 1から見て取ることができる。しかしながら、組織内に適切なリスクコミュニケーションが成立していなかったために、それらの機会が累積していたにもかかわらず、有効なリスク評価とリスク認識の共有にはつながらなかったことが分かる。

② リスクの内容を論理的に理解する

リスクは明確に把握されなければならないが、事業活動にはさまざまなリスクが存在し、リスクを単にリスクとして把握しても、数あるリスクの中でのリスクの大きさ、リスクの相対順位を確定することができなければ、最優先されるべきリスクの所在を見定めることは不可能である。リスクアセスメントについては、ISO14121に要件は示されるものの、具体的な手法までは規定されていない。危険源/危険事象の性質によって最適なリスクアセスメント手法は異なる。ひとつのリスクアセスメント手法で事業活動のすべての危険源/危険事象の評価をまかなうことができると考えるのは、幻想である。

健康障害のリスク、爆発/火災のリスク、機械的な危険源などでの傷害リスクは、それぞれ別箇の手法が適用されなければならない。危害の種類によって、発生確率を構

成するリスク因子の内容、リスク因子の負荷量のありかたが異なるためである。国際規格でリスクアセスメントについて具体的な手法を規定していないのは、こうした背景による。事業活動のリスクを、その内容に応じて適切に表現できるアセスメント手法を採用することが、リスクの内容を論理的に理解する第一歩である。

③ リスクに対する対応選択肢を共に考える

ISO12100 では、リスクは適切に低減された後でなければ、使用者(ユーザー)に安易に移転されてはならないと定めている。【ISO12100-1 5.5 (保護方策による危険源の除去またはリスクの低減)】

しかしながら、許容しがたいリスクであるにもかかわらず、適切な低減方策が講じられないまま、機械やシステムのオペレータにリスクが委ねられ、致命的な危害に至っているケースは前掲の JCO の事故のみならず、東武鉄道/竹ノ塚駅踏切事故(2005.3)、JR 福知山線 (2005.5) の事故など枚挙にいとまがない。しかしながら、それらの事故原因が「作業者の逸脱行為」というかたちで片付けられてしまいがちなのが日本の実情であり、こうした認識のもとでは、リスクへの対応がオペレータの教育、躰、強い倫理観の維持といった側面ばかりが強調され、それらが安全管理の支柱であるとする迷妄から、依然として日本企業は脱却していない。許容しがたいリスクであれば、リスクを形成している要因は組織やシステムの広範な範囲に分布しており(組織の構造的な要因)、単に「作業者の逸脱行為」にとどまるものではない。従って、これらの事故の未然防止が有効に機能するか否かは、ハードウェアを含むシステムマネジメント全体に関わる組織の成員すべてが、リスク情報をどのように共有化し、リスク低減のための対応をどのように考えるかにかかってくる。オペレータの教育、躰、強い倫理観を大前提として、もっぱらオペレータのみに機械やシステムのリスクが押しつけられている企業では、未然のリスク低減が、ハードウェアを含むシステムマネジメント全体に関わる組織の全員の共有課題として認識されることはありえない。

④ 双方向コミュニケーションであること

リスク情報は、組織の下流から上流にボトムアップで上げられるものがすべてではない。前出のタイヤ工場精練棟における発泡剤の火災リスク情報は組織の上流から下流に向けて流れなければならないものであったことは、表 4. - 1 に示すとおりである。従ってリスクコミュニケーションは組織内において双方向で交わされるものでなければならない。

「ボトムアップの安全がすべてである」とする日本企業の根本的な考え違いは「現場のリスクは現場が一番よく知っている」とする単純な誤解がそのベースにある。日本企業がこの偏った認識から抜け出せない限り、新聞紙上を賑わす大事故は明日も起きるであろう。JR 福知山線の事故教訓として、現場のヒヤリ事故情報の吸い上げや報告システムの充実が提起されているが、これは明らかに見当違いである。間違えば重大な事態を招くようなヒヤリ事故は、既にシステムに内在していた致命的なリスクが顕在

化したものであり、それらを拾い集めてリスク低減対策を講ずるという視点は、重大リスクがヒヤリ事故にとどまるか、致命的な事故に発展するかは運任せであると言っているようなものである。本来、重大なリスクに関わるシステム要素の安全性は、予め立証されなければならないものであって、システムの稼働後に報告されるヒヤリ事故情報によって、はじめて妥当性が検討されるような筋合いのものではない。

⑤リスク情報についての開かれた透明性がある

化学プラントの爆発/火災のようなリスク情報は、その環境リスクとともに損害規模、影響範囲の広がりから、そのリスク低減状況と併せて、システムコントロールが適切に行われていることが組織の内外に明らかにされる必要がある。化学業界におけるRC監査は、企業が組織の内外に開かれた「透明性」を背景として、それらを表明する試みである。

4. 1. 3 組織の「透明性」

しかしながら、組織内に影響範囲がとどまるリスク情報がほとんどである場合は、日本の企業では、組織内においてすらリスク情報の開示は不十分であるか、むしろ開示そのものを避ける傾向がある。また、リスクが不幸にして事故/災害として顕在化した場合、事故/災害の強度や規模が大きければ大きいほど、究明されたその事故の発生原因/経過事実についての情報は、関係部門の中で「囲い込み」がなされてしまうことがある。社内の第三者機能による事故の原因調査も、そうした「囲い込み」によって著しく阻害されることすらあり、こうした「透明性」の欠如した組織においては、事故の発生経過事実や被害程度まで社内で歪曲して報告される例が時にある。

(1)「透明性」が欠如した組織

これらは、事故の関係者への処罰、処遇への懸念や部門長などの利害意識によって生ずる歪みであるが、当然、こうした透明性を欠いた組織での事故/災害の再発リスクは、間違いなく累積されていくことになる。リスクの露見が重なれば重なるほど、リスク情報は囲い込みが行われ、ついには虚偽の報告、社内事故統計の改竄などが横行し、更にリスクを集積する「負の循環」に陥ってしまうのが通例である。こうした状況に立ち至っては、リスクや事故教訓の公正な評価、再発防止のための関係者の共有化努力も萎えてしまう。正しいリスク情報が組織内に流通しなくなれば、重大なリスクに対しての適正なリスク低減活動も行われることなく、最終的に破局的な事態を迎えるまで、坂を転げ落ちるように組織の「病理」が重篤化していく例は多い。ここに見られるような組織のメカニズムは、人身被害に関する事故/災害のみならず、企業内の大きな金銭事故、不正融資による金融トラブル、製品クレームの不正処理など一連の不祥事の発生経過にも同様に認められるものである。こうした組織の病理の背景には、部門間の過度な競争、成果主義の名目のもとに競われる個人業績の粉飾や自らの評価につながりそうにないビジ

ネスプロセスの軽視やスキップなどがある。これらは、成果のためには手段を選ばず、プロセスより結果がすべてとされる組織風土において必然的に生じてくる現象である。

極論すれば、社会学的に見て、企業組織のあらゆるリスクは組織の「透明性」の欠如によって生成、増幅、拡大される性質を持っているとって過言ではない。

(2) 経営層による組織の「透明性」の確保

適正なリスクアセスメントが成立する条件は、組織自体に「透明性」が備わっていることが必須要件である。組織構造が大きく、複雑であればあるほど、それだけで組織の透明度は低下することが避けられない。絶えず組織の「透明性」に対する経営層の強い希求が行われなければならないが、そのためには「透明性」に対して絶対的な価値を置くことを、経営層が内外に表明し続けることが大切である。そうした企業文化は経営層の努力によってしか保持し得ないものであり、併せて組織の評価制度についても、経営としてその健全性を絶えずチェックする必要があることは言うまでもない。組織内のリスクに関して「内部告発者」の存在を重視する主張がある。確かに「内部告発者」は保護されねばならない。しかしながら「内部告発者」は、企業の最悪の事態への最後のカウンターバランスとして有効ではあっても、組織内の価値概念としての「透明性」については、その創出者にはなり得ないものである。

4. 1. 4 リスクアセスメントへの誤解

最後にリスクアセスメントに対する大きな誤解のひとつに、ハードウェアの安全防護方策抽出のためのアセスメント手法と捉える認識をあげておきたい。リスクアセスメントは機械設備のほか、生産システム全体のソフトウェアを規定するアセスメント手法と捉えるべきである。たとえば、リスクアセスメントの手続きを踏まないで作成された「作業標準」、「プロセスチェックシート」や「管理監督者の観察ポイント」は、現実に対して、更には事故防止に関して無力である。事故や災害が起きるたびに、作業標準、運行規定、マニュアル、管理監督に関わる基準との対照が行われるが、たいていの場合、事故前の時点で、事故を防ぐための処方がそれらにおいて的確に表現されていたためしはない。オペレータに委ねざるを得ない危険源/危険事象を見極め、そのリスクの適切なコントロール方法を検討するリスクアセスメントの段階を踏まないで、事故を防ぐための処方やオペレーションの急所が作業標準、運行規定、マニュアルに盛り込めるはずがないのである。

残念ながら日本企業でのリスクアセスメントの理解は、単なる機械安全の一手法と見る、狭くて浅い認識から抜け出すことができず、作業や管理監督行動の標準化の局面でもリスクアセスメントを行おうとはしない。リスクアセスメントを総合的な安全管理の中核ツールとして捉える視点を獲得しなければ、今後、リスクアセスメントを広範な工程管理に有効に活かしていくことは難しいであろう。

4. 1. 5 今後の日本企業の安全管理への提言

これまで述べたように、リスクアセスメントの展開局面は、まず設計時の事前評価として位置づける必要がある。既存設備のリスクアセスメントは、その両局面で平行して推進できる力のある企業は別として、一般の企業においてはその次の段階で展開する局面として位置づける方が無難である。また、日々のリスク変動のコミュニケーションをベースとして、工程変動を重視したリスクアセスメントを行うべきである。リスクを静態的に捉えるリスク管理から、日々の組織のダイナミズムに対応した動的なリスク管理局面においてリスクアセスメントを適用すべきである。

そして、リスクアセスメントを成立させる重要な前提条件は、リスクコミュニケーションを成立させる組織の情報システムにある。この情報システムでは、リスクに関する組織の成員間での双方向のリスク情報の共有化、組織の透明性を確保する経営層の役割と健全な企業風土が不可欠である。また、生産システムのハードウェアに限定せず、ソフト領域の管理にもリスクアセスメントを適用し、リスクアセスメントの位置づけを総合的な安全管理の基底部分に据えることを併せて提言したい。

引用文献： 「安全管理から見た化学プラントの災害要因」

島田行恭・産業安全研究所

(社) 産業安全技術協会

「竹ノ塚踏切事故に関する安全対策の推進について」

平成 17 年 7 月 27 日

東武鉄道株式会社

「ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告」

平成 11 年 12 月 24 日

原子力安全委員会 ウラン加工工場臨界事故調査委員会

4. 2 機械安全を目的としたリスクアセスメント実施事例

4. 2. 1 A社の事例

当社は、素材や合成物を製造販売する総合化学メーカーとして事業展開を進めてきているが、独自に開発した中空糸気体透過膜を使用した超純水用帯電防止装置の製造販売も手がけている。

本装置は、超純水を用いて洗浄する必要がある半導体や液晶パネルなどの製造設備に組み込まれて使用される。

当社は過去においては、機械設計が必要となる製品を扱っていなかったことから、機械類の安全性確保に求められるリスクアセスメントを実践する社内組織や社内規程を持っていなかった。本装置の設計段階においても、構造上、動力駆動部分や高電圧回路が無く比較的安全性の高い装置でもあり、PL 対応レベルの安全対策に留まっていた。

最近になって、本装置を組み込む機械メーカーからリスクアセスメントを実践し、残留リスクを明確化するよう要求があり、実施した。

以下に、実施したリスクアセスメントの一例を述べる。

(1) 超純水用帯電防止装置の概要 (図4. - 3 ~ 図4. - 5)

イ) 装置の機能

本装置は、半導体製造工程の一部である洗浄工程で発生する静電気の帯電を防止する装置である。半導体での事例は以下のとおりである。

超純水を使用する洗浄工程では、超純水が帯電すると被洗浄物であるウェハーとの間で静電気による放電が発生してウェハーの性能を損ねる。超純水に導電性を持たすことができれば、静電気の帯電を防止することができる。そこで、中空糸膜の特徴を利用して、炭酸ガスを超純水に溶解・電離させて導電性を持たせている。

原理は次の通り。

中空糸膜の内側に超純水を流し、外側に所定の圧力に調整された炭酸ガスを注入して、超純水中に溶解させる。炭酸ガスが超純水中に溶解すると、即座に電離し超純水が電気を通すようになる。このことにより、静電気の帯電を防止することが出来る。

本装置では、炭酸ガスの溶解・電離度合いを管理するため、比抵抗計を設置してモニタリングしている。

ロ) 超純水用帯電防止装置の仕様

- ① 超純水が流れるラインの途中にバイパス配管を設け、バイパス側に中空糸膜モジュールを付けている。
- ② ポンペに付属している減圧弁にて炭酸ガスを0.2 MPa程度に減圧し、中空糸膜の前段の炭酸ガス調整弁にて圧力を0.1 MPa程度に調整した後、超純水に炭酸ガスを溶解させる。

- ③ 装置純水出口から2 m程度先に比抵抗センサーを取り付け、比抵抗値をモニタリングする。比抵抗計から、比抵抗値の上限及び下限アラーム信号を取り出し、無電圧接点信号を出力できるようにしてある。

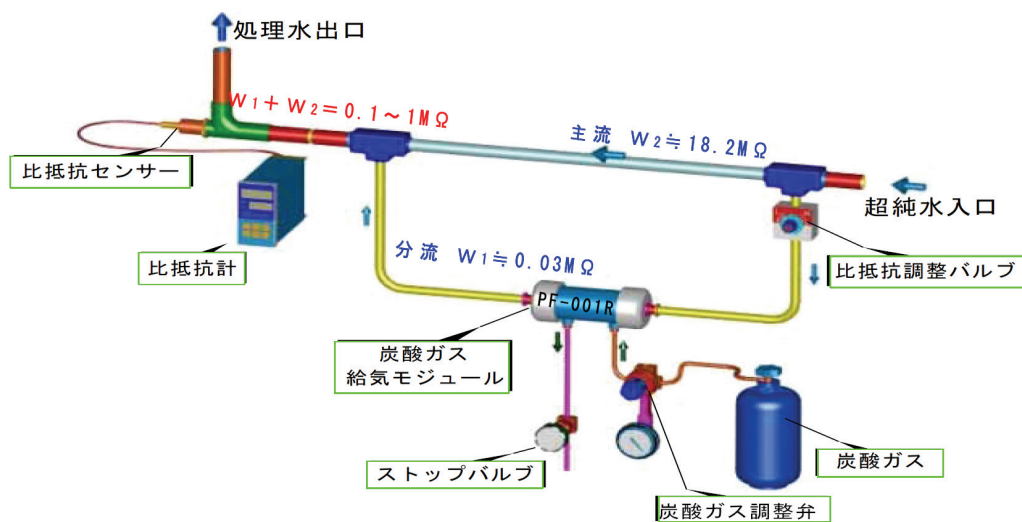


図4. - 3 装置の構成



図4. - 4 装置の外観

ハ) 本装置の組み込み概要

- ① 中空糸気体透過膜及びモジュールを製造。
- ② モジュールを組み込んだ超純水用帯電防止装置を製造し、販売。
- ③ 販売先が帯電防止装置を組み込んで、半導体生産設備を製造し、半導体メーカーに販売。

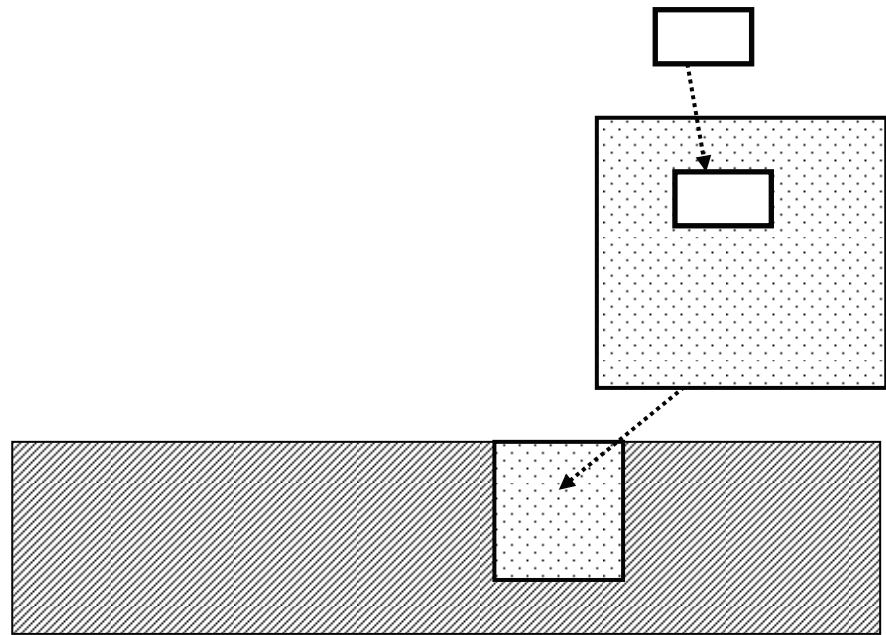


図4. - 5 装置の組み込み概要

(2) リスクアセスメントの実施例

イ) 本装置のリスクアセスメントの経緯

本装置を半導体生産設備に組み込んでいる機械メーカーでは、設備全体でCEマーキングを取得して販売している。そこで、当社に本装置のリスクアセスメントを実施するよう要求があった。ただし、本装置のCEマーキング取得、といった具体的な安全規格への適応は要求されていない。

そこで、機械設備のリスクアセスメントの理解を深めるため、安全技術応用研究会発行の「リスクアセスメント実践技術の解説」で学習を行い、JIS B9702-2000 と SEMI S10 に基づいて、リスクアセスメントを実施した。

① JIS B9702-2000 付属書A に基づいた危険源の特定

危険源項目	輸 送	設 置	使 用	保 守
●機械的危険源				
1) 押しつぶしの危険源	○			
2) こすれ擦りむきの危険源	○			
3) 切傷の危険源		○	○	○
4) 高圧ガスの漏れによる危険源		○	○	○
●有害な気体による危険源				
1) 炭酸ガスの漏れによる危険源		○	○	○
2) 特定ガス以外のガスを注入したことによる危険源		○	○	○
●電氣的危険源				
1) 充電部の露出による危険源		○	○	○
●人間工学的危険源				○
1) 体の不調			○	
●重力による危険源				○
1) 機械の転倒				○

② SEMI S10 に基づいたリスクの査定と評価基準

() 内は、SEMI S10 に基づいた定義である。

A. 危害の程度(重大度のグループ化)






危害の程度(重大度のグループ化)	人	装置/設備	所有物
1-致命的	死亡者1名以上	システムあるいは設備の損失	環境や人体の健康に重大な影響を与え、それが持続する化学物質の漏れ
2-重 度	身体障害をもたらすか、または疾病	重要なサブシステムの損失あるいは設備の損傷	環境や人体の健康に一時的に影響を与える化学物質の漏れ
3-中程度	治療を伴うか、作業行為が制限されるもの	重要でないサブシステムの損失あるいは設備の損傷	外部に報告する条件を引き起こす化学物質の漏れ
4-軽 度	応急処置のみ	重大でない装置または設備の損傷	報告なしに定期的な清掃を必要とするだけの化学物質の漏れ

B. 危険事象の発生確率(事故率のグループ化)

危険事象の発生確率(事故率のグループ)	発生の目安
A. 頻繁	年5回以上
B. ほぼ確実	年1回から5回の範囲
C. 可能性がある	5年間で1回以上、但し年1回以下
D. まれ	10年間で1回以上、但し5年間で1回以下
E. 可能性ほとんどなし	10年間で1回以下

C. リスク査定マトリックス

リスク査定マトリックス		危険事象の発生確率(事故率)				
		頻繁 A	ほぼ確実 B	可能性がある C	まれ D	可能性がほとんどない E
損(重 の大 程性 度)	致命傷(致命的) 1					
	重傷(重度) 2					
	中傷(中程度) 3					
	軽傷(軽度) 4					

				
致命的	高い	中程度	低い	ごく僅か

D. リスクアセスメントの実施対象とリスクアセスメント例

実施対象（場面：輸送時、設置中、使用中、保守中）

No.	場面	危険の種類	予想される危険	潜在する危険の内容	危険対象	重大度	事故率	レベル	安全方策	安全方策後		
										重大度	事故率	レベル
1	輸送中	機械的危険源	押しつぶし	輸送中制動が効かず機械に挟まれる	輸送業者	3	D	■	取説に注意を喚起	3	E	■
2	輸送中	機械的危険源	こすれ・擦りむき	輸送中に機械と接触する	輸送業者	4	D	■	取説に注意を喚起	4	E	■
3	輸送中	重力による危険源	機械の転倒	フォークリフトで搬送中機械が転倒する	輸送業者	3	D	■	パレットの幅を大きくする	3	E	■
4	輸送中	機械的危険源	押しつぶし	機械と床の間に挟まれる	設置業者	3	D	■	取説に注意を喚起	3	E	■
5	設置中	機械的危険源	機械の転倒	地震等で機械が転倒する	設置業者	3	D	■	転倒防止アングルを付ける	4	E	■
	使用者				3	D	■	4		D		
	保守者				3	D	■	4		E		
6	設置中	機械的危険源	切傷	部品のコーナーで切り傷をする	設置業者	4	D	■	部品に丸みを持たせ、角にはR又はCを付ける	4	E	■
	使用者				4	C	■	4		D		
	保守者				4	C	■	4		E		
7	設置中	機械的危険源	切傷	装置外部配管につまずき、転んで切り傷を負う	設置業者	4	D	■	施工方法及びスペース確保を取説にて喚起する	4	D	■
	使用者				4	C	■	4		D		
	保守者				4	C	■	4		C		
8	設置中	機械的危険源	切傷	ボンベ室扉についている窓にぶつかり、切り傷をする	設置業者	4	D	■	ボンベ窓に網入ガラスを使用する	4	D	■
	使用者				4	C	■	4		C		
	保守者				4	C	■	4		D		
9	設置中	機械的危険源	高圧ガスの漏れ	ボンベから漏れが起こり、ボンベ室扉が勢いよく開いてしまい、切り傷をする	設置業者	4	E	■	加圧にならない様にギャラリを付ける	4	E	■
	使用者				3	D	■	4		E		
	保守者				3	D	■	4		E		
10	設置中	機械的危険源	高圧ガスの漏れ	ボンベ減圧弁が壊れ、ガス配管が破裂したことにより、プロセス室のカバーが勢いよく外れてしまい、切り傷をする	設置業者	4	E	■	減圧弁に安全弁を取り付けている	4	E	■
	使用者				3	D	■	4		D		
	保守者				3	D	■	4		E		
11	設置中	有害な気体による危険源	炭酸ガスの漏れ	ボンベ室にガスが充満してしまい、扉を開けた時酸欠状態になる	設置業者	2	E	■	局所排気口とギャラリを取り付け、ボンベ室にガスが充満しない様にする	2	E	■
	使用者				2	C	■	2		D		
	保守者				2	C	■	2		D		
12	設置中	有害な気体による危険源	特定ガス以外のガスを注入	可燃性ガスや爆発の可能性があるガスを注入した場合、火災及び爆発を起こす恐れがある	設置業者	4	E	■	ボンベ口の形状が違う為、取り付かない	4	E	■
	使用者				1	D	■	1		E		
	保守者				1	D	■	1		E		
13	設置中	有害な気体による危険源	特定ガス以外のガスを注入	可燃性ガスや爆発の可能性があるガスを注入した場合、火災及び爆発を起こす恐れがある	設置業者	4	D	■	外部からガスを注入する場合は、ガス注入口に使用ガス名を明記する	4	D	■
	使用者				1	D	■	1		D		
	保守者				1	D	■	1		D		
14	設置中	電氣的危険源	充電部の露出	作業者が誤って充電部に接触する	設置業者	2	D	■	DC24V電源にする	4	E	■
	使用者				2	C	■	4		E		
	保守者				2	C	■	4		E		
15	使用中	人間工学的危険源	体の不調	操作機器類の高さによる無理な姿勢や、ボンベ交換時での転倒や腰痛	使用者	3	C	■	男性が立った状態で作業出来る高さにする	3	E	■
	保守中				保守者	3	C	■		3	E	

注)「事故率」は、危険事象の発生確率

リスクレベル



致命的
高い
中程度
低い
ごく僅か

以上、当社で実施しているリスクアセスメントの一例を紹介した。

ロ) 当社における機械類のリスクアセスメントの課題

冒頭で触れたように、機械設計が必要となる製品は当社が製造販売する製品群のなかで僅かな比率しか占めていない。このような事業形態の中で、ユーザーの要求に添えていく上で、自社のリスクアセスメント専門家をどのように育成していくか、社内体制をどのように整備していくか、が課題となっている。

その場合に本装置のような機械設計が必要となる製品を担当する部門で育成するか、全社のエンジニアリング部門で育成するか、或いは、外部の専門機関を活用してリスクアセスメントを実施していくか。

また、機械製品の設計に関するリスクアセスメントを確実に進めていくには全社規程や体制も整備していかなければならない。

販売する製品という切り口から課題を挙げたが、当社の生産部門が発注し設置する機械設備についても同様の課題がある。2006年4月から施行される改正労働安全衛生法で事業主の努力義務として規定される「危険／有害性の調査と対策」を推進していく上でも、専門家の育成、全社規程、体制の整備を進めていくことが必要と考えている。

4. 2. 2 B社の事例

(1) ロボットのリスクアセスメントの概要

(a) 概要

今回実施したロボットに関するリスクアセスメントは、研究開発途上のロボットのデモンストレーションにおける安全確保を対象にした。期間限定であるが、対象が一般のお客様、万博会場での実施という特殊な条件のもとに実施した。

(b) 対象とする装置 (ロボット)

研究開発途上のプロトタイプ機を対象とした (図4. - 6)。

- ・ 形状：W700×D400×H1150~1720
- ・ 重量：60kg
- ・ 走行最大速度：時速 2.5km/H

コンピュータ制御、無線による手動/自動操作のロボット

(c) リスクアセスメントの実施方法

リスクアセスメントは一般機械に準じて以下の項目について実施した。

- ①運搬作業 (搬入出)
- ②デモンストレーションにおける運用
- ③調整作業

運搬作業、調整作業については社内作業員の安全上の問題で検討することに結果的にはなつた。デモンストレーションに関しては、一般客とオペレーション側の二つの安全上確保について評価することになった。

(d) 装置の安全性

本ロボットは、コンピュータ制御による歩行動作などを機能として持っており、

以下の点で本質安全の確保ができないことが判明した。

- ・歩行動作時は、制御していない限り不安定で必ず倒れる状況となっている。
- ・無線の混線などによる誤った命令が入ると不安定状態に移行する可能性がある。

ただし、装置スペックから、重量が 60kg、走行速度 2.5km/H であることから、暴走に伴う危険性は、特殊な場合を除いて重大に至らないという点がある。

(e) リスクアセスメント後のリスクの回避（デモンストレーション）

一般客の安全確保を図る目的で以下の方策で回避した。

- ・安全柵による一般客とロボットの隔離
- ・ロボットの暴走対策としてに危険位置へ安全要員を配置する（人手による緊急停止）。

このようなロボットでは、本質的に安全が確保できないのでこのような方策のみとならざるを得なかった。

- ・運用上では、転倒時に観客側へ飛び出さない距離を確保することで対応した。
- ・部品飛散対策もカバー取り付け（カバー材質を割れないもので選定）などで対応した。

(f) 苦労した点

- ・デモ運用に関しては、安全要員頼みの方策に帰着せざるを得ないこと。
- ・調整・運搬といった作業については、試作品レベルの社内運用であるため一般的なアセスメントの意義が見つけにくかったこと。
- ・予期せぬ危険事象の発生に関する検討が装置運用前にせざるを得ないので、想定し切れなかった点。
- ・先進技術の適用であり、設計へのフィードバックがほとんどできなかったこと

(g) 得られた効果

- ・リスクアセスメントを実施することで、デモ時の人員配置、人員の訓練のレベル向上に役立った。
- ・調整から運転までのオペレーションマニュアル作りに役立った。

(h) 課題

- ・移動ロボットでは、本質的な安全設計ができない問題があるので、これらに対する方策の確立が必要となる（無線の問題、不安定姿勢の問題、コンピュータ暴走対策）。
- ・機能向上に伴う速度向上、重量の増加などに対する運動エネルギーの問題をどう取り扱うかが求められる。



図4. - 6 脚車輪型移動ロボット

(2) 安全確保のための手法と手順

安全は、許容可能なリスクとして定義されるレベルまで対象のリスクを低減することにより実現される。許容可能なリスクは、リスクアセスメントとリスク低減のプロセスを繰り返すことにより達成される（図4. - 7）。

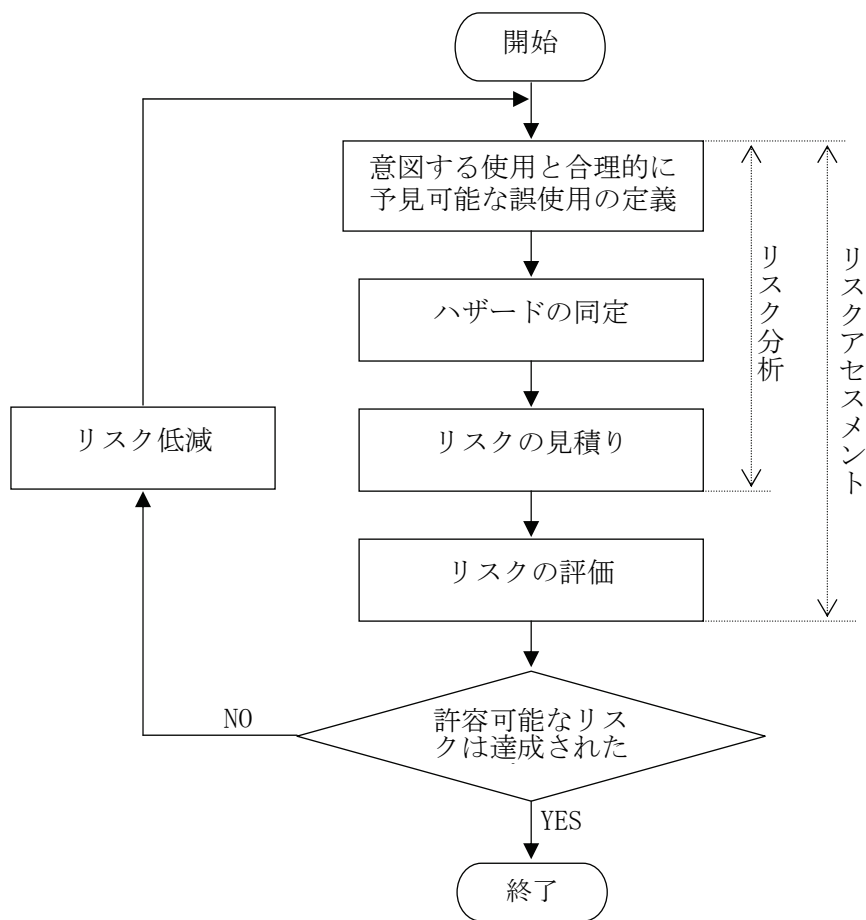


図4. - 7 リスクアセスメントとリスク低減の繰り返しプロセス

(3) 意図する使用と合理的に予見可能な誤使用の定義

以下に、本ロボットの主仕様と、プロトタイプロボット展での想定する展示運用状況を示す (表4. - 2及び表4. - 3)。

表4. - 2 ロボット主仕様

名称	IMR-Type1
サイズ [mm]	W 750×D 500×H 1,050 (Min) ~1,140 (Max)
重量 [kg]	約 60
自由度	13 自由度 (脚スライド×3 股関節×2 足首関節×4 車輪×4)
アクチュエータ	<ul style="list-style-type: none"> • DC サーボモータ×9 ケ • 電磁ブレーキ×4 ケ
可動範囲	<ul style="list-style-type: none"> • 脚スライド (上下) : 295 [mm] • 股関節 : ±70 [deg] • 足首関節 : ±45 [deg]
電源 (バッテリー)	<ul style="list-style-type: none"> • 動力用 : 48 [V] (4.5Ah) • 制御用 : 24 [V] (3.6Ah)
操作方法	<ul style="list-style-type: none"> • 無線 LAN を用いた遠隔操作 PC • 無線ハンディコントローラ
安全用センサ	<ul style="list-style-type: none"> • タッチスイッチ×4
非常停止ボタン	<ul style="list-style-type: none"> • 本体 (動力電源をハード的に強制 OFF) ×1 • 遠隔操作 PC (無線通信・ソフト介在) ×1 • ハンディコントローラ (無線通信・ソフト介在) ×1
製造	平成 17 年 3 月

表4. - 3 想定する展示運用状況

展示運用場所	愛知万博会場内「モリゾー・キッコロメッセ」に設置される、プロトタイプロボット展・「研究所」ブース
展示運用期間	<ul style="list-style-type: none"> • 6 月 7~8 日 : 搬入・設置・調整 • 6 月 9~19 日 : デモ実施 • 6 月 20 日 : 搬出
ロボット操作者	訓練された当社従業員 (指名された者に限定する)
危険の対象者	<ul style="list-style-type: none"> • 一般来場者 • 本ロボットの展示運用に関わるすべての関係者
安全設備	<ul style="list-style-type: none"> • ブースはロボットがエリア外に出ることを防止できるアンカーボルトで固定された安全柵 (主催者側設置タイプ B : H=900mm) で囲まれている • ステージ (H=325mm) に面した安全柵は 300mm かさ上げし、ロボットを止めることが担保されているとみなす

(4) 本ロボットの展示運用に関する基本的な「意図する使用」

- ① 特定の指名されたロボット操作者のみが操作を行う。
- ② 一般来場者は柵越しでの見学のみとし、近寄ったり接触させたりしない。
- ③ 関係者以外がロボット本体にアクセスしないように管理する。
- ④ ロボット本体には直接的な (制御装置の管理下でない) 非常停止ボタンを設け、危険が予想される場合には直ちに停止させる。
- ⑤ 運転前は必ず所定の始業点検を実施する。
- ⑥ 無線使用に関するルールを守る。

- ⑦ デモ実施時以外は、所定の架台に設置し電源を OFF にする。
- ⑧ 変更点の報告や連絡を適宜行い、スタッフ間の情報共有を図る。
- ⑨ 全スタッフは安全プログラムの内容を十分に理解し、危険な状況を発生させない。

(5) 作業分析

「作業フロー分析シート」を用いて展示運用に関わる一連の作業・動作などの手順を追い、「意図する使用」に対して「予見される誤使用、誤作動」について分析した。検討した結果の一部を表 4. - 4 及び表 4. - 5 に示す。

表 4. - 4 作業フロー分析

作業の区分：ロボットの <input type="checkbox"/> 搬入・搬出 <input type="checkbox"/> 設置 <input type="checkbox"/> 試運転 展示運用時の <input type="checkbox"/> 調整 <input type="checkbox"/> 運転 <input type="checkbox"/> 保全 <input type="checkbox"/> 不具合の発見・措置		
作業番号	作業の具体的内容	対象者
1 - 1	ロボット本体および調整機材のトラックからの荷下し／荷積み作業	運送業者、調整者、他出展者
1 - 2	車輪付架台を用いたロボット本体の運搬作業	同上
1 - 3	台車（車輪付充電器ラック）を用いた調整機材の運搬作業	同上
1 - 4	手持ちによる調整機材の運搬作業	同上

以下同様に各作業区分について実施。

表 4. - 5 予見される誤使用、誤作動

作業番号	予見される誤使用、誤作動の具体的内容	対象者
1 - 1	トラック荷台からロボット本体もしくは調整機材を誤って落下	運送業者、調整員、他出展者
	昇降機等の荷下し／荷積み装置の不良もしくは不正使用	同上
	部外者が誤って、もしくは故意にロボット本体へアクセス	同上

以下同様に各作業番号について実施

(6) ハザード（危険源）の同定

(3) で分析した「予見される誤使用、誤作動」に対して、ハザード（危険源）、危険状態及び危険事象を特定する。結果の一部を表4. - 6に示す。

表4. - 6 危険源、危険状態及び危険事象

危険源	危険源 有無	作業 番号	いつ、ど んな時	誰が	危険状態
1.1 (1)機械部品又は加工対象物が発生する 例えば、次の事項から起こるもの a)形状 b)相対位置 c)質量及び安定性（重力の影響を受けて 動く構成要素の位置エネルギー） d)質量及び速度（制御又は無制御運転時 の構成要素【の運動エネルギー】） e)不適切な機械強度 (2)例えば、次の項目から起こる機械内部 の蓄積エネルギー f)弾力性構成要素（【スプリング等】） g) 加圧下の液体及び気体 h) 真空効果【の影響】					
1.1 押しつぶしの危険源	○	1-1 1-2 2-1	搬入 搬出 設置	調整員 運送業 者	ロボット架台が 転倒
1.2 せん断の危険源	—				
1.3 切傷又は切断の危険源	○	2-1 2-2	設置	調整員	カッターの不正 使用、使用ミス
1.4 巻き込みの危険源	○	3-3 ～6	試運転	調整員	ロボット可動部 へ手を出す
1.5 引き込み又は捕捉の危険源	—				
1.7 突き刺し又は突き通しの危険源	—				
1.8 こすれ又は擦りむきの危険源	—				
1.9 高圧流体の注入又は噴出の危険源	—				
1.10 飛散による危険源	○	3-10 5-4, 3-13 5-9	試運転 運転 (歩行 動作)	観客 調整員	ロボットが転倒 しカバーが破損 破片が周囲に飛 散

以下同様に実施

(7) リスクの見積り・評価、低減対策

(a) リスクの見積り・評価の方法

リスクの見積り及びリスクの評価の方法として、ここでは MIL-STD-882 (米軍規格：System Safety Program Requirements) を用いる。

リスクをR、危険の大きさ (危害のひどさ) をS、危険 (危害) の発生確率をFとした場合、これらの関係は次式で表わされる。

$$R = S \cdot F$$

ここでのリスクは単純な乗算ではなく、SとFのマトリックス (リスク・アセスメント・マトリックス) により表されており、これをリスク・インデックスと呼ぶ。このリスク・インデックスの大きさに応じて、とるべき処置を規定する。

リスク・アセスメント・マトリックスおよびリスク評価基準等の表を表4. - 7 ~ 表4. - 10に示す。なお、MIL で規定される一般的な定義を参考に「危険の大きさ」及び「発生頻度」は本展示会用に設定した。また、観客 (一般来場者) の安全を第一に考え、観客に対する危険の大きさは特別に考慮、定義するものとする。

表4. - 7 危険の大きさ (危害のひどさ) 評価

危険の重大度	カテゴリー	定義	
		MIL (人的)	本展示会用に設定
致命	I	死亡	<ul style="list-style-type: none"> ・死亡 ・致命的な二次災害 ・観客が重傷害
重度	II	重傷害、重職業病 (後遺傷または休業 1 ヶ月以上)	<ul style="list-style-type: none"> ・重傷害 ・重大な二次災害 (火災等) ・観客への軽傷害
軽度	III	軽傷害、軽職業病 (後遺傷なし、休業 1 ヶ月未満)	<ul style="list-style-type: none"> ・軽傷害 ・ロボットの全損 ・観客との接触
軽微	IV	軽傷害、軽職業病よりも軽い傷害 (不休)	<ul style="list-style-type: none"> ・軽傷害 (すり傷程度) ・ロボットの一部損傷 ・観客が危険を感じる

表4. - 8 危険 (危害) の発生頻度

発生頻度	レベル	定義	
		MIL	本展示会用に設定
頻繁	A	頻繁に発生しやすい	展示運用期間中において頻繁に発生しやすい
可能性あり	B	製品の寿命内に数回発生する可能性がある	展示運用期間中において数回発生する可能性がある
稀	C	製品の寿命内に発生することがある	展示運用期間中において発生することがある
僅か	D	可能性が低い製品の寿命内に発生するかもしれない	展示運用期間中において発生するかもしれない
可能性なし	E	発生を経験することがないと推定できる程度に可能性が低い	展示運用期間中において発生しないと推定できる程度に可能性が低い

表 4. - 9 リスク・アセスメント・マトリクス

危険（危害）の 発生確率		危険の大きさ			
		致命	重度	軽度	軽微
		I	II	III	IV
頻繁	A	1	3	7	13
可能性あり	B	2	5	9	16
稀	C	4	6	11	18
僅か	D	8	10	14	19
可能性なし	E	12	15	17	20

表 4. - 10 リスク・インデックスととるべき処置基準

リスク・インデックス	とるべき処置
1～5	許容できない
6～9	望ましくない
10～17	許容可能（要検討）
18～20	許容可能

(b) リスク低減対策

(a) でのリスク見積り・評価の結果、「許容可能」でないリスクが残っている場合、リスク低減方策（保護方策、安全方策）を次の手順により実施する。

- ①リスクが許容できない危険源・危険状態について、まず、本質安全設計を行う。
- ②残ったリスクが許容できない場合、安全防护または追加保護方策によりリスク低減する。
- ③さらに残ったリスクが許容できない場合、残留リスクについて使用上の情報を作成する。

リスクアセスメントの結果のまとめ表及び関係者によるレビューシートの一部を表 4. - 11 及び表 4. - 12 に示す。

表4. - 1 1 リスク・アセスメントの結果（一部分）

NO.	作業の場面	危険の種類	予想される危険	潜在する危険の内容	危険対象	リスクの評価			保護方策（安全方策）				リスクの再評価			対策後評価	
						危険の大きさ	危険の発生頻度	リスクインデックス	本質安全設計	安全防護	人的対策	対策内容	危害のひどさ	危害の発生確率	リスクインデックス		
						S	F	R(S・F)					S	F	R(S・F)		
1	搬入・搬出	機械的危険	押しつぶしの危険	ロボットの架台が転倒挟まれ・押しつぶし	運送業者調整員	III	D	1 4	—	○	○	・積込／積降時は昇降台、クレーン等を必ず使用	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する	
2		留め具のエラー	架台設置用の金具の不良	ロボットの架台からの落下	運送業者調整員	IV	E	2 0	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
3		人の滑り、つまづき及び落下	機械へのつまづき	架台の基礎部へのつまづき、転倒	運送業者調整員	IV	D	1 9	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
4		吊上げによって付加される機械的危険状態	安全性の欠如	架台、ラック、荷物の落下	運送業者	III	D	1 4	—	○	○	・積込／積降時は昇降台、クレーン等を必ず使用	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する	
5			予期しない／意図しない荷の移動	架台の車輪ロック解除状態での積込／積降により架台が移動	運送業者	IV	D	1 9	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
6			不適切な掴み装置／附属装置	ロボットの架台からの落下	運送業者調整員	III	D	1 4	—	○	○	・積込／積降時は昇降台、クレーン等を必ず使用	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する	
7			人にかかる負荷の影響から起こる危険	人による過剰な重量物の運搬による傷害	運送業者調整員	IV	D	1 9	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」
8	設置	機械的危険	押しつぶしの危険	ロボットの架台が転倒し挟まれ・押しつぶされる	運送業者	III	D	1 4	—	○	○	・架台の移動時は複数名で安全を確認して実施	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する	
9		切傷又は切断の危険源	荷物開梱時にカッターの不正使用、使用ミスにより切傷・切断	調整員	IV	D	1 9	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」		
10	試運転	機械的危険	衝撃	ロボット動作範囲へ立ち入る	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
11			巻き込み	ロボットの可動部へ手を出し巻き込まれる	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
12			飛散	ロボットが転倒しカバーが破損、破片が周囲に飛散	調整員	III	D	1 4	○	—	○	・飛散しにくいカバーとする(内部にテープ等) ・調整員による転倒防止	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する	
13		電氣的危険	充電部に人が接触	機内基板の電源部に直接接触し感電	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
14			短絡・地絡	機内基板の露出部に工具等を接触させショートし火花、発火	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
15		熱的危険	充電部に人が接触	電源等の発熱部に直接接触し火傷	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
16		予期しない始動、予期しない超過走行／超過速度	制御システムの故障／混乱	ロボットの予期しない動作による危険	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」
17			電気設備に対する外部影響	無線LANの混信によるロボット暴走	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」
18			ソフトウェアのエラー	ロボット暴走	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」
19			オペレータによるエラー	誤操作によるロボットの予期せぬ動作	調整員	IV	C	1 8	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」
20	機械回転速度の変動	回転体の回転速度の変動	車輪回転速度の変動によるロボットの走行不安定	調整員	IV	D	1 9	—	—	—	—	—	—	—	—	現状で「許容可能」	
21	動力源の故障	機械稼働中の動力源の故障	ロボットが不安定な状態での動力源（バッテリー）故障	調整員	III	D	1 4	—	—	○	・調整員による安全確認 ・転倒防止	III	E	1 7	作業前の事前検討を実施「許容可能」と判断する		

表4. - 1 2 レビュー議事録 (一部分)

ロボット名：脚車輪型移動ロボット

型式：IMR-Type1

審査対象：リスクアセスメント結果

実施日：平成17年 4月 11日 実施場所：621会議室

出席者(審査側)：A氏, B氏, C氏, D氏, E氏, F氏 (6名)

(説明側)：責任者 G氏 説明者 H氏

(注) ○ (No Change) 設計変更なし

△ (Change) 設計変更が必要：変更内容と期限、担当者を記入

× (Pending) 引き続き検討：必要なアクションアイテムと期限、担当者を記入

No.	審査側指摘事項	被審査側説明	判定 (注)	変更内容 または アクションアイテム			フォロー・アップ状況	完了 確認者 年月日
				内容	期限	担当者		
1	ロボットがステージ上走行時に、操作ミス等でステージから落下する危険性について、RGB カラーセンサを用いて自動的に緑を検知して非常停止することはできないか。	RGB カラーセンサの感度や移動時の検知性能により使用できるか見極める必要がある。 また、通常のデモンストレーション実施時に頻繁に停止がかかるようだと非常用としては不適。	×	RGB センサ感度、性能を調査し、実際のデモンストレーションと合わせて安全センサとして使用できるか検討する。 その結果、必要に応じて安全プログラムを改訂する。	5/中	D氏		
2	ステージ下のデモスペースでは、安全柵から観客が手をだすとロボットに接触する。平地歩行時に観客に突かれると転倒の危険がある。	安全プログラムでもそのリスクは上げており、基本的には安全スタッフによる監視、注意で対策するものとしている。	○					
3	安全柵前にラインを引き、前は子供優先としてはどうか。	ステージ等と異なり通路のため、難しいと思われる。人の流れがどの程度か、入場制限の状況にもよるため予測できない。 現場の状況により臨機応変に対応したい。	○					
4	ブース前の観客の誘導も出展者の範疇なのか。主催者側の所掌では？	出展者要項によると、デモ時の観客の安全確保、誘導等は出展者の仕事となっている。ただし、メッセ全体での観客の誘導は主催者の所掌と考える。	○					
5	ロボット出入口から階段下付近までは操作者から死角となるのでは。	距離的に2m程度であり、プログラムによるシーケンス運転で問題ないとする。ただしスタート位置の位置決めは必要。	○					
6	無線 LAN なしデモ時にはラジコンロボは使用できるのか。	無線調査シートに同じ周波数が記載されていた他の出展者に確認したところ、同じ周波数帯であるがバンドが異なっているため混信しないことが分かったので使用可能。	○					

4. 2. 3 C社の事例

(1) ロボットの外観と仕様

2005年に開催された愛知万博展示ロボットに関する安全対策事例である。

今回愛知万博にて展示したロボットは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 開発機構）の委託事業「次世代ロボット実用化プロジェクト プロトタイプ開発支援事業」の一環として開発したものである（図4. - 8、表4. - 13）。



図4. - 8 ロボット外観

項目	内容
身長	約 130cm
体重	約 70kg
機敏性	最大加速度 4m/s ²
高速性	最大走行速度 6km/h
衝突回避	移動物体回避
対話	マイク無しで距離1m(顔認識併用) 360度の音源方向検知が可能
アーム	6自由度+ハンド1自由度

表4. - 13 ロボット仕様

(2) 対象ロボットの特徴

ア) 高速かつ機敏な動き人と同じ空間で、人の動きに合わせた速さで動けるように、コンパクトで速く移動できる倒立二輪移動機構を採用。内蔵したセンサで傾きを計測し、車輪を駆動させて安定した走行や停止と、ボディを左右に傾け重心の移動を行うことで機敏な方向転換が可能。

イ) 障害物を回避

活動中のものを含め周辺の障害物を検知すると、搭載されたセンサによってその障害物の位置とその動きを確認し、自らが衝突を回避するための経路を計算して、衝突しないようにそれを避ける機能を備えている。

ウ) 遠隔から音声認識が可能

人とロボットが離れた場所（1 m程度）からでも特別な道具を使わずに言葉でコミュニケーションできるように、複数の聴覚センサと、視覚センサを装備している。それぞれの聴覚センサで捉えた音の違いを分析し、音の方向（発信源）を見つけた上で、視覚センサにより人の顔を確認することで、離れた場所からでも音声を聞き分けることができる。また、高品位音声合成技術により、自然な声で応えことがで

きる。

エ) 人間に近い自然な動きのできる腕

人間の腕と同じ自然な動きができるように6つの自由度をもつ腕（アーム）を持ち、また、ものをつかみながら運ぶことのできる手（ハンド）を持ち、人間の動きをモーションキャプチャーで計測し、これを動作データとして活用することで、表現豊かなボディコミュニケーションを実現している。

4. 2. 3. 1 安全方策の背景

今回の開発に当たり、基本的な安全策はロボット本体に安全設計を付加することは当然ながら、展示という特殊環境でのリスクへの対応や屋外展示のため天候など日々の状況によるリスクなどに対応した安全対策が必要であった。

4. 2. 3. 2 安全方策の概要

ロボット本体への安全設計は使用する部品や配線、実装などへの安全規格遵守評価とリスクアセスメント評価を繰り返し実施して全体のリスクを出来るだけ低減する設計とした。NEDO展においてはロボット本体だけでなく、運用全般の安全確保として安全プログラムを作成してNEDOへ提示した。

また、パビリオン前展での会場は屋外のため風、気温、雨、路面状況などによりデモの安全性に大きく影響するため、デモの実施/中止を判断する基準をFTAにより分析した。以下、次の安全対策事例3項目の作成に関し概要を説明する

1. 設計段階からの安全方策
2. 安全プログラムの作成
3. 展示中のデモ実施判断基準の作成

4. 2. 3. 3 安全方策の具体事例

(1) 設計段階からの安全方策

設計段階において安全設計基準適合チェックリストによる部品、実装などの安全規格適合評価とリスクアセスメントワークシートによるISO 12100に沿ったリスクアセスメントをデザインレビューにより繰り返し実施した。

リスクアセスメントにおける危険源としては、17分類/116項目の危険源に対してのリスク見積りをリスクアセスメント表(危険事象発生確率:5レベル/リスク見積り:5レベル)を元にデザインレビューを重ねて審議した。

危険源の基準として「日機連15 環境安全-4 平成15年度 移動ロボットの安全基準策定に関する調査報告書」、(平成16年3月 社団法人日本機械工業連合会 /日本ロボット工業会)発行の報告書では、移動ロボットの各事例として想定される17項目を危険源として挙げており、本ロボットにおけるリスクアセスメントの危険源選定に適している、

上記報告を活用した。危険源の同定をするには、過去のデータや経験、資料を参考にして同一のものを探し出す一方、本ロボット固有の項目も盛り込み、上記報告書に追加または削除をし、本ロボットに対応したリスクアセスメント(危険源項目)116項目を設定した。

そしてリスクアセスメントシートによる評価の結果を4レベルに分割し、追加対策手段が必要なリスクには運用において対応を行うことにした(表4. - 13)。

(2) 安全プログラムの作成

NEDOより下記安全方策提示の要請があり安全プログラムを作成した。

ア) 安全確保の基本的な考え方

- ・柵等で観客を分離し、十分な離隔距離でもってロボットと観客との接触を防止する。
- ・安全確保のための監視員を常駐させ、観客がロボットに接近しないように監視する。
- ・非常停止ボタンを設け、緊急時には監視員がロボットを全停止させる。

とし、次の項目について安全プログラムを作成、提出した。

イ) 安全プログラムの項目

- ① 基本安全方針(セーフティー・ポリシー)
 - ・作動範囲、移動速度、安全センサ
 - ・関係法律及び規格基準の遵守
 - ・スタッフの役割明確化と非常時の体制確立
- ② 安全確保のための体制
 - ・安全管理責任者と役割分担
 - ・セーフティースタッフと役割分担
- ③ 安全確保のための手法と手順
 - ・ロボットの暴走対応
 - ・来場者の危険行動対応
- ④ コミッショニング・プラン
 - ・毎朝の点検項目
 - ・展示運用に先立つ試験・検査・調整・点検の項目
- ⑤ 変更管理プラン
 - ・展示期間前の変更が安全性に影響がある場合の対応
 - ・展示期間中の変更が安全性に影響がある場合の対応
- ⑥ 安全指導プラン
 - ・スタッフミーティング
 - ・新人スタッフの安全教育
- ⑦ パフォーマンス・レビュープラン
 - ・ソフトウェア、ハードウェアの変更時
 - ・デモ内容変更時

- ・レビュー方法
- ⑧ 運用保全プラン
 - ・運用プラン
(会場の点検～動作確認～デモ～清掃～ミーティング～主催者への報告)
 - ・保守点検プラン
(目視検査、非常停止機能点検、安全センサの動作確認等)
- ⑨ 緊急時対応プラン
 - ・事故等の緊急時の役割分担
(けが人の救護、会場救護班への連絡、来場者の整理等)
- ⑩ 防火防災プラン
 - ・火災予防プラン
 - ・火災発生時のアクションプラン
 - ・必要機材の準備
- ⑪ セキュリティ・プラン
 - ・監視体制及び発生時のアクションプラン
 - ・デモ実施時の暴漢、夜間の盗難対策
- ⑫ レコードマネジメント・プラン
 - ・クレームの記載と安全責任者への提出およびミーティング
 - ・事故の記録と報告

(3) 展示中のデモ中止判断基準の作成

天候などによりデモ中止/決行を決定する必要があり、そのための判断基準の作成をFTA分析により信頼性・安全性の面から行った。

あつてはならない現象として走って止まらない、転倒してOFF出来ない、ことを想定してデモ休止の条件と暴走やノイズへの影響など安全性と信頼性も含めて評価した。

ア) デモ休止の条件

強風により動作不能、高温により動作不能、雨滴により動作不能、荒れ路面・低摩擦路面状況による動作不能について分析評価を行った。

イ) 安全性と信頼性

非常停止ができない、衝突回避不能、緊急モードが動作しない、ノイズによる誤動作、暴走について分析評価を行った(表4.―14)。

4. 2. 3. 4 リスクアセスメント時の課題と対応

(1) リスクアセスメント準備段階での課題と対応

ロボットは多機能であり、システム構成における相互関連を分析したアセスメントリ

スト作成が課題であった。そのため相互関連明確化として、万博システムユースケースにおける介在者操作における関連を明確にし、運用項目はこれを基にリスクアセスメントシートを作成した。また、安全保護対象者は専門家から観客までと広範囲であり、上記項目を機械操作者/補助作業員/機械近接の第三者/保守サービス員のマトリックス構成でリストを作成した。

(2) リスクアセスメント作成時の課題と対応

リスクアセスメント手法は多くの種類が提案されていて、適切な手法選定が課題であった。その中から今回のロボットの構成、運用に見合った手法を選定した。

(3) リスクアセスメント実施時の課題と対応

安全規格(ISO・IEC)は、基本安全規格—グループ安全規格—基本安全規格の体系で構成されている。本ロボットの規格適用は広範囲であり、専門家の知識盛込みが課題であった。そのため社内有識者参加のデザインレビューを実施して精度を向上させた。

(4) リスクアセスメント結果の課題と対応

万博開催期間中の会場環境(騒音/温湿度/風速/電波環境)での判定が課題になった。そのため万博関連運用委員会のご指導と協業者のご協力を得て残留リスク処理を実施した。

以上の安全方策により、万博期間中来場をいただいた多数の方々にロボットへの興味と可能性を損なうことなく無事に展示を終了した。

4. 2. 3. 5 今後の課題

リスクアセスメントの課題としては、サービス用ロボットの実用化が近づいているが安全性の明確な基準が存在しないことで、今後は基準を整備し判定の精度を向上する取り組みが必要になると考える。

表4. - 14

□デモ休止基準/□信頼性・安全性のFTA				凡例			
<p>■あってはならない条件 ⇒ ■走って止まれない ⇒ ■FTA分析を実施</p> <p>■転倒してOFFできない ⇒ ■デモ休みの基準</p> <p>+風、気温、雨、路面状況など 現場の判断基準をもつ必要がある 無線環境、ほかの「失敗モード」の シーケンスを洗い出しスペック化</p>				<p>△-○ トップ事象、および基本事象などの組合せにより起こる個々の事象(中間事象) これ以上は展開されない基本的な事象または発生確率が単独に得られる最も低いレベルでの基本的な事象</p> <p>△-(OUT) 三角形の横から線の出ているものは、そこから移行していきを示す。</p> <p>-△IN FT図上の関連する部分への以降または関連を示す。三角形の頂上からの線の出ているものは、そこに移行してくることを示す。</p>			
■-デモ休止				設計基準値	環境	安全である。危険でない(作りこみ)	
異常環境	異常要因	異常要因		検証結果	仕様値	観客	演者
□- 強風により動作不能	□- 走行制御許容値を超える	○- ロボットの揺れ角度/速度が制御許容値を超える ○- 風音と音声ノイズのSN比が制御許容値を超える ○- カメラが揺れ画像が制御許容値を超える ○- ゴミ付着でSN比が許容値を超える	→				
□- 高温により動作不能	□- 電子部品許容温度を超える	○- 制御系電子部品の温度許容値を超える ○- 駆動系電子部品の温度許容値を超える ○- 電源系電子部品の温度許容値を超える ○- センサ系電子部品の温度許容値を超える	→				
□- 雨滴により動作不能	□- 雨水による電子部品短絡	○- 制御系電子部品の防水限度を超える ○- 駆動系電子部品の防水限度を超える ○- 電源系電子部品の防水限度を超える ○- センサ系電子部品の防水限度を超える ○- センサが雨滴で情報判断不能 △-(OUT) 荒れ路面・低摩擦路面状況により動作不能	→				
-△IN 荒れ路面・低摩擦路面状況により動作不能	□- 走行輪スリップによる位置制御不能	○- 走行輪スリップ量が位置検知可能許容値を超える ○- エンコーダ検知後の補正が間に合わない ○- マークでロボット絶対位置補正可	→				
■信頼性・安全性が不足				信頼度策・安全策	観客	演者	保守サービス員
異常環境	異常要因	異常要因					
□- 非常停止ができない	□- 走っていて止まれない	△-(OUT) 非常停止スイッチ部品・回路・制御の故障で非常停止スイッチが作動しない △-(OUT) 衝突回避不能/緊急モードが動作しない △-(OUT) ノイズによる誤動作で非常停止スイッチが作動しない △-(OUT) 暴走	→				
	□- 転倒して電源OFFできない	△-(OUT) 非常停止スイッチ部品・回路・制御の故障で非常停止スイッチが作動しない △-(OUT) 衝突回避不能/緊急モードが動作しない △-(OUT) ノイズによる誤動作で非常停止スイッチが作動しない △-(OUT) 暴走	→				
	□- 北陽センサ系の異常	○- レーザセンサの部品故障 ○- レーザセンサ回路の故障 ○- レーザセンサ制御の故障 ○- 外来光でSN比が許容値を超える ○- ゴミ付着でSN比が許容値を超える ○- レンズフィルタ傷でSN比が許容値を超える	→				
-△IN 衝突回避不能	□- SICKセンサ系の異常	○- SICKセンサの部品故障 ○- SICKセンサ回路の故障 ○- SICKセンサハード制御の故障 ○- SICKセンサソフト制御の故障 ○- 外来光でSN比が許容値を超える ○- ゴミ付着でSN比が許容値を超える ○- レンズフィルタ傷でSN比が許容値を超える	→				
	□- 走行部センサの異常	○- 走行部センサの部品故障 ○- 走行部センサ回路の故障 ○- 走行部センサハード制御の故障 ○- 走行部センサソフト制御の故障 ○- 外来光でSN比が許容値を超える ○- ゴミ付着でSN比が許容値を超える ○- レンズフィルタ傷でSN比が許容値を超える	→				
	□- センサ以外の異常	○- トルク制御回路/部品の故障 ○- 回転数制御回路/部品の故障 ○- シャイロ制御回路/部品の故障 ○- エンコーダ制御回路/部品の故障	→				
	□- マークでロボット絶対位置補正可	○- 絶対位置補正回路/部品の故障	→				
-△IN 緊急モードが動作しない	□- 緊急モード停止ができない 緊急シャットダウンが出来ない	○- 緊急停止抑圧下が有効にならない ○- フレーキのパワー不足 ○- バッテリーレベル不足 ○- フレーキモータ異常 ○- フレーキモータ配線異常 ○- 制御部ハード誤動作 ○- 機構の異常 ○- 路面が仕様範囲外 ○- 外力で移動 ○- センサ機能が無い、見逃し/制御 ○- センサが停止を検知しない	→				
	□- 緊急停止抑圧下が有効にならない	○- 緊急停止抑圧の異常 ○- 緊急停止抑圧配線の異常 ○- 制御部ハード誤動作 ○- 緊急停止部品/回路異常	→				
	□- 緊急停止抑圧下は有効だが走行/旋回動作停止ができない	○- 緊急停止ハード制御の異常 ○- 緊急停止ソフト制御の異常 ○- 制御部ハード誤動作 ○- 緊急停止部品/回路異常	→				
-△IN ノイズによる誤動作	□- ロボット内の無線が誤動作	○- 無線信号と外部無線ノイズがSN比許容値を超える ○- 無線信号と内部無線ノイズがSN比許容値を超える ○- 静電ノイズ耐力不足 ○- 制御部ハード誤動作 ○- 無線部品/回路異常	→				
	□- PC内の無線が誤動作	○- 無線信号と外部無線ノイズのSN比許容値を超える ○- 無線信号と内部無線ノイズのSN比許容値を超える ○- 静電ノイズ耐力不足 ○- 無線部品/回路異常	→				
-△IN 暴走	□- CPU誤動作 (制御プログラム誤動作)	○- プログラムバグ ○- 制御部ハード誤動作 ○- 温度変化でのタイミングズレ ○- 外力による誤動作 ○- 内部ノイズによる誤動作 ○- 制御部部品/回路異常	→				

第V章 民生設備のリスク分析

5. 1 リスク分析の目的

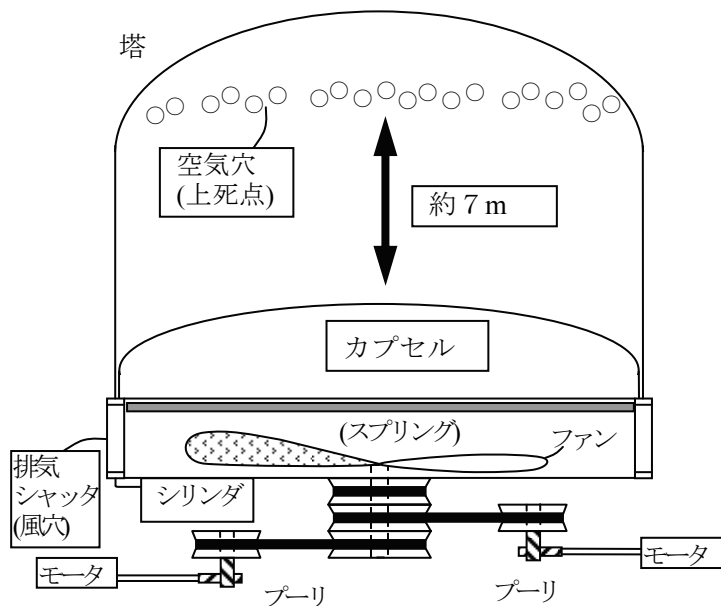
平成16年8月5日に発生した上越科学館宇宙体験カプセル落下事故に関連して、同システムの構成ならびに運転に関してリスク分析を行うことを目的とする。これにより、当該システムに対する安全性要求事項が明確になる。本来、当該システムは安全性要求事項仕様書が先に作成されて¹⁾、この要求事項仕様書に基づいてシステムの妥当性確認が行われていなければならない²⁾。しかし、10年前にはこのようなリスクアセスメントの方法または類似の習慣が不在であったこと、および技術に対する企業秘密を理由に詳細資料が不在であるために、制御システムを含めて安全性に関してその詳細構造は不明である。したがって、現状のカプセルの運転機構とその制御機能からシステム構成を想定してリスク分析を行うことにする。また、斯様な理由で現状の施設についてのリスクアセスメント³⁾は必ずしも完全ではない。なお、当該機械システムは主要部が米国製で、しかも製造業者は現在存在しない状況にある。

5. 2 リスク分析の手法

リスク分析は、近年安全性の評価基準がグローバル化してきている理由から、国際基準にしたがって実施することにし、とくに機械安全に関するリスクアセスメント ISO14121⁴⁾の附属書Aを引用して行うことにする。

5. 3 設備の構成

同施設は1994年開業の施設である。図5. - 1に同施設の外観とシステム構成の概略を示す。遊戯施設は、カプセル内に乗客を乗せて、排気シャッターに備えた窓を閉じた状態でファンを回転させてその風力でカプセルを上昇させ、カプセルが上死点に到達したら、排気シャッターの窓を開いて下降させる仕組みである。施設の利用は通常このカプセルの上下移動を6回行って7回目の上昇時で終了する。排気シャッターはカプセルの上昇時スプリングを挟んでカプセル下部と床下間の空間を密封状態にして保ち、下降時シャッターの一部を開いてカプセルを下降させるために備える。



モータ仕様：15H.P.、18AMP. 1000 r.p.m
 合計出力：33.75KW

(a) 設備の構成概略図



(b) 設備の全景

図5. - 1 設備の構成概略および概観図

5. 4 設備の運転モード

図5. - 2に設備の運転用ペンダントのボタン構成を、また図5. - 3にペンダントを含めて設備運転に伴うシステムの概略構成を示す。ペンダントは3個のファン駆動用モータをそれぞれ起動するための始動ボタン3個と、カプセルを所定回数上下させるためのライドサイクル開始ボタン1個と、ライドサイクルを停止させるためのライドサイクル停止ボタン1個と、マスタモータ停止ボタン1個の合計5個で構成される。

カプセルの運転モードは概ね次の2つからなる。

(1) カプセルのサイクル運転 (図5. - 4)

ファン起動後排気シャッターを閉じてカプセルを上昇させて、上死点通過後に自動的に排気シャッターが開いてカプセルは下降し、下死点近くなると排気シャッターは再び閉じてカプセルを上昇させる運転で、この運転は制御システムのプログラムにしたがって通常6回の上昇で終わる。図4でライドサイクル開始ボタンONはこのサイクル運転開始を意味し、オペレータの操作に基づく。

(2) カプセルの停止制御および非常停止 (図5. - 5)

カプセルが上昇後ライドサイクル停止ボタン(OFF)によって排気シャッタが開いてカプセルを下降させて、下死点付近でマスタモータ停止ボタンの操作でファンが停止する制御である。このとき排気シャッタは閉じておらず、開いたままでモータは停止する。

なお、図5. - 6 (a)から図5. - 6 (q)に現場設備の設置状況の一部を示す。



図5. - 2 カプセル操作用ペンダント

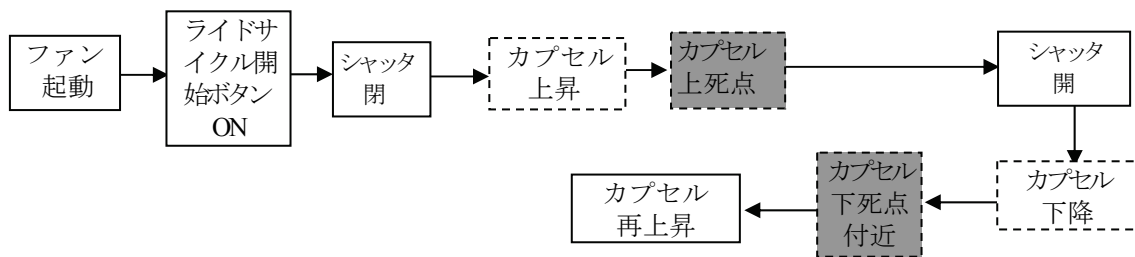


図4 カプセルの運転開始過程

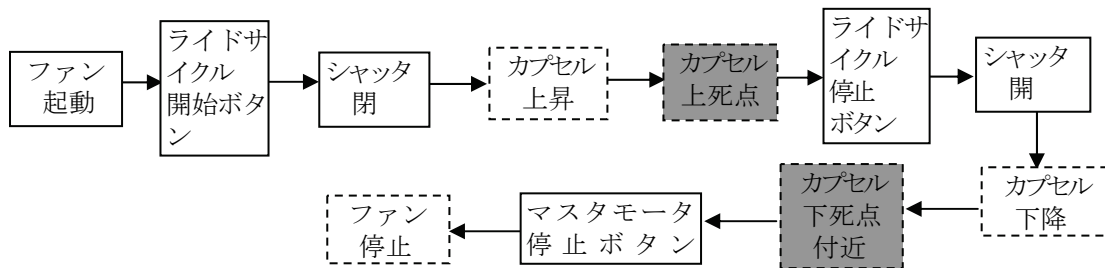


図5. - 5 カプセルの停止制御過程

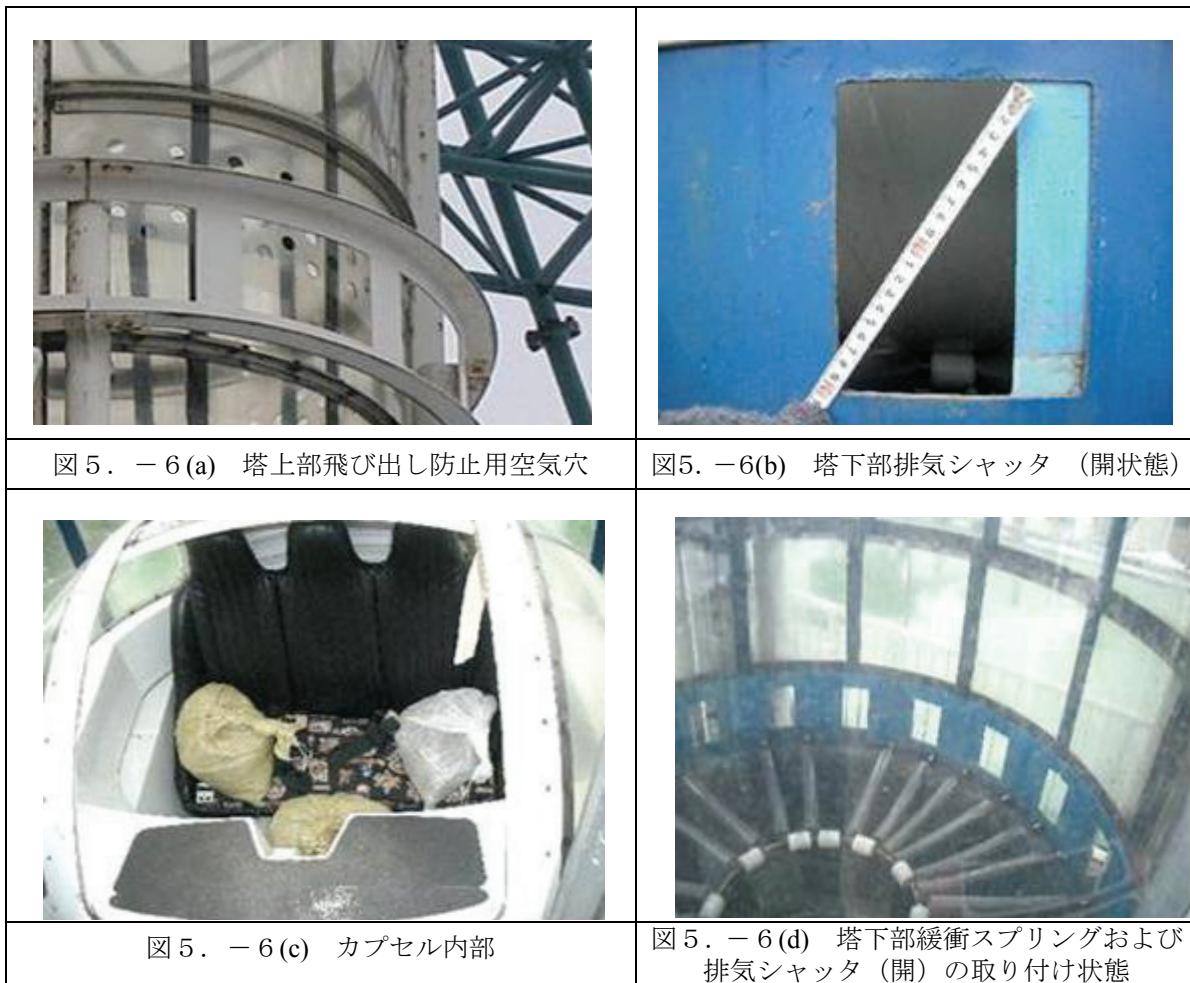




図5. - 6(e) 塔下部緩衝スプリング



図5. - 6(f) ソレノイドバルブ、シャッター開閉用シリンダカバー



図5. - 6(g) 塔内部の様様



図5. - 6(h) 塔内部の様様（フレームに錆びあり。ポリカーボネート板にヒビあり）



図5. - 6(i) 南京錠施錠用の鍵穴（ライトプログラム中に突然扉が開くのを防止するため）

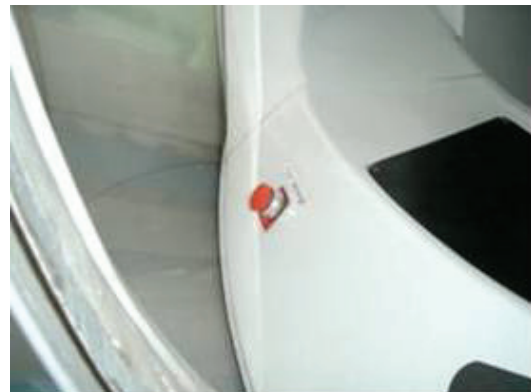


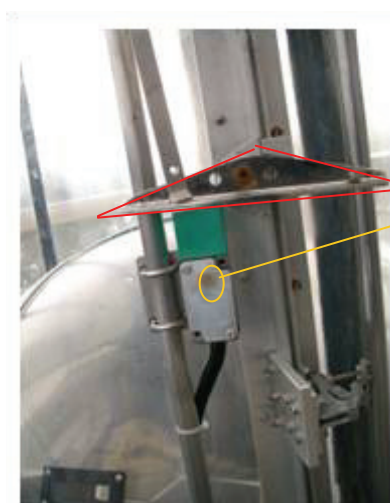
図5. - 6(j) カプセル内部の非常通報ボタン



図5. - 6(k) オペレータ待機位置にあるブザー及び回転灯



図5. - 6(m) 制御盤室（バックスペース410mm Min.）赤丸はロックアウトのための施錠用の開口部



扉ロック
確認状態
(赤色発光
ダイオード
点灯)
(赤色部の
金属帯を
検知)



ペンダン
トコント
ロール格
納場所

オペレ
ータ
待機
場所

オペレー
タ
保護柵
(手前側は
開口部)

塔外
部の
構造
体

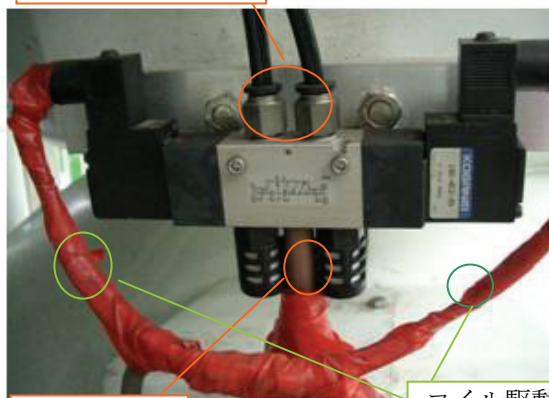
図5. -6(n) ドアロック監視用センサとその位置

図5. -6(O) オペレータ保護柵の据付状態



図5. -6 (p) モータ出力部分（プーリ部分）の現場

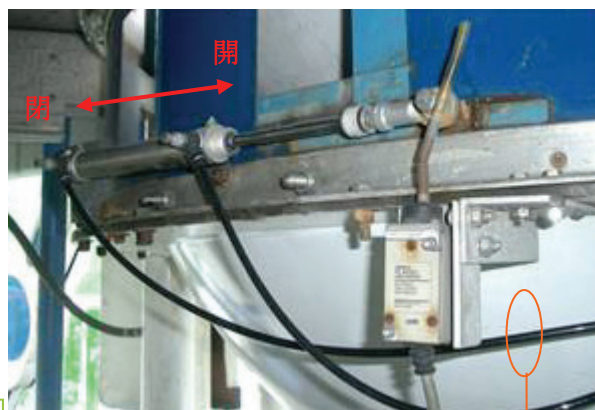
エア－出力
(シリンダ駆動用)



エア－供給

コイル駆動用
制御電源

図5. -6(q) ソレノイドバルブ設置現場



シリンダ駆動用エア－
(ソレノイドバルブから供給される)

図5. -6(r) シャッター開閉用シリンダの取り付け

5. 5 国際標準に基づく設備の危険源分析結果の例

機械類に関する危険源分析のもっとも一般的方法は国際安全規格 ISO14121 (EN1050 : JIS B 9702) に基づくべきとされる。表 5. -1 に当該施設に関する危険源分析結果の例を示す。同表の項目番号とその項目で示される危険源の名称は、上述の規格の附属書 A で確認すべき事項として示される。表 5. -1 にはこれらの一般的危険源(左欄)に対して同定される危険状態または危険事象の内容が記入してあり、ここで示される危険状態または危険事象は施設の設計時または改修時において考慮すべき事項となる。一般的危険源に対して当該施設で危険状態または危険事象を同定できない場合は、“適用外”としてある。

なお、危険源分析に関して“危険源”および“危険状態”、“危険事象”の用語おろびそのリスク分析との関連については附録 A を参照のこと。

表 5. -1 EN1050・ISO14121 (JISB9702) の附属書 A に基づくリスクの同定例

1	機械的危険源 (Mechanical hazards due to:)	
1.1	押しつぶし／裂断／切り傷又は切断／突き傷又は刺し傷 (Crushing hazard / Shearing hazard / Cutting or severing hazard / Stabbing or puncture hazard)	カプセルとの接触 シャープエッジや突起物との接触 シャッタ部での挟まれ 乗降中のカプセルの浮上
1.2	巻き込まれ／引き込まれ又は落ち込み (Entanglement hazard / Drawing-in or trapping hazard)	ベルトやプーリの回転部への接触 タワー内への落下や閉じこめ
1.3	衝撃 (Impact Hazard)	カプセル落下 搭乗者のカプセル内での衝突 (対構造物、対他の搭乗者) カプセルと搭乗者以外の接触
1.4	摩擦又は擦過傷 (Friction or abrasion hazard)	搭乗者のカプセル内部での摩擦や擦過傷
1.5	高圧液体の注入又は噴出 (High pressure fluid injection or ejection hazard)	適用外
2	電氣的危険源 (Electrical hazards due to:)	
2.1	電流が流れている部品への直接接触 (Contact of persons with live parts (direct contact))	直接接触防止のためのカバーが端子台には備えてあり、特にメインのブレーカの供給側には感電注意の警告ラベルも貼り付けてある。 (ただし文言は英語である)
2.2	故障状態で電流が流れている部品への間接触 (Contact of persons with parts which have become live under faulty conditions (indirect contact))	アースは確実に地中に落ち、アース線も確実に端子台や銅バーなどに繋がれている
2.3	高電圧電流の流れている部品に接近 (Approach to live parts under high voltage)	メインブレーカを OFF にしないと制御盤のカバーが開かない。また、一次側にはカバーが設置されており、警告ラベル(英語)がある。
2.4	静電気現象(Electrostatic phenomena)	塔の金属部は接地されている。

2.5	熱放射、又は溶融粒子の噴出。短絡や過負荷などから起こる化学物質の放出現象(Thermal radiation or other phenomena such as the projection of molten particles and chemical effects from short circuits, overloads, etc.)	絶縁体が高温にさらされることによる溶解の可能性
3	下記結果を招く熱的危険源 (Thermal hazards, resulting in:)	
3.1	極めて高いか又は低い温度の物体、又は材料と人の起こりうる接触によるか、火炎又は爆発、及び熱源からの放射による火傷、油傷御及びその他の障害 (Burns, scalds and other injuries by possible contact of persons with objects of materials with an extreme high or low temperature, by flames or explosions and also by the radiation of heat sources)	高温になるような場所へのアクセスはない。
3.2	高温又は低温作業環境を原因とする健康被害 (Damage to health by hot or cold working environment)	オペレータや搭乗者のさらされる気象条件
4	下記結果を招く騒音から起こる危険源 (Hazards generated by noise, resulting in:)	
4.1	聴取力喪失、その他の生理的不調 (情緒安定性及び認識力の喪失) (Hearing loss (deafness), other physiological disorders (e.g. loss of balance, loss of awareness))	カプセル運転中の騒音
4.2	会話連絡、音声信号、その他の妨害 (Interference with speech communication, acoustic signals, etc.)	ブザー (搭乗者がボタンを押したときになる) の鳴動を知覚出来ない
5	振動に起因する危険源 (Hazards generated by vibration:)	
5.1	各種の神経及び血管障害を起こす手持ち式機械の使用 (Use of hand-held machines resulting in a variety of neurological and vascular disorders)	適用外
5.2	特に劣悪な姿勢と組み合わされたときの全身振動 (Whole body vibration, particularly when combines with poor postures)	搭乗者及び周辺の人員にさらされる振動
6	放射から生ずる危険源 (Hazards generated by radiation:)	
6.1	低周波、高周波放射、マイクロ波 (Low frequency, radio frequency radiation, micro waves)	カプセル内のボタン信号発信に無線が使用されているが、出力は大きくない。
6.2	赤外線、可視光線及び紫外線 (Infrared, visible and ultraviolet light)	適用外
6.3	X線及び γ 線 (X and gamma rays)	適用外
6.4	α 線、 β 線、電子又はイオンビーム、中性子 (Alpha, beta rays, electron or ion beams, neutrons)	適用外
6.5	レーザー (Lasers)	適用外

7	機械によって処理又は使用された材料及び物質（並びにその成分）により生じる危険源 (Hazards generated by materials and substances (and their constituent elements) processed or use by the machinery:)	
7.1	有害な液体、気体、噴霧、煙霧、塵埃と接触又はそれらの吸入による危険源 (Hazards from contact with or inhalation of harmful fluids, gases, mists, fumes, and dusts)	ファンの起動により巻き上げられる塵 調査中、ポンプ（コンプレッサ）に使われている油の吸入は通常では考えられない。しかしながら MSDS（材料安全データシート）での確認を要する。
7.2	火災又は爆発の危険源 (Fire or explosion hazard)	電気に起因する火災の可能性
7.3	生物学的又は微生物学的危険源 (Biological or microbiological (Viral or bacterial))	適用外
8	例えば下記項目で生じる危険源のように機械設計時の人間工学原則無視に伴う危険源 (Hazards generated by neglecting ergonomic principles in machinery design as, e.g. hazards from:)	
8.1	不健康な姿勢または過度な労働 (Unhealthy postures or excessive effort)	通路部や制御盤の収容部屋のスペースが不十分で、長時間作業では作業者に無理を強いることになる。ベルト交換などは非常に困難を伴う。また、もし感電した場合に逃げ場がなく被災回避の可能性を著しく減じる。カプセル内の非常通報用のボタンが座席から遠く、シートベルトで拘束されている状態では、押下できない可能性がある。
8.2	手－腕 又は足－脚 についての 不適切な解剖学的考察 (Inadequate consideration of hand-arm or foot-leg anatomy)	8.1 に同じ
8.3	人員防護機器使用の無視 (Neglected use of personal protection equipment)	耳栓の使用によりブザーの音が聞こえなくなる。
8.4	不適切な局部照明 (Inadequate local lighting)	制御盤室は暗く照度が足りない
8.5	精神的な過負荷及び過小負荷 (Mental overload and underload, stress)	適用外
8.6	ヒューマンエラー、人間挙動 (Human error, human behavior)	ボタンの押し間違いやペンダントを落としてしまう。
8.7	手動制御装置の不適切な設計、配置又は識別 (Inadequate design or location of visual display units)	ペンダントを落下させてしまう可能性がある（マスタモータストップボタンを起動させてしまう可能性がある）マスタモータストップボタンは押しやすいマッシュルーム型であるが、現状では危険を増大させる可能性の方が大きい。
9	危険源の組合せ (Combination of hazards:)	制御系の複合的な誤り モータの停止とシャッタ開が同時に起こる
10	下記項目で生じる予期せぬ起動、予期せぬ超過走行／超過速度（又は何らかの類似誤動作） (Unexpected start-up, unexpected overrun/ overspeed (or any similar malfunction) from:)	
10.1	制御システムの故障／不調 (Failure/disorder of control system)	モータ及びシャッタの制御システムの故障
10.2	エネルギー供給源の中断後の回復 (Restoration of energy supply after an interruption)	停電後(瞬停も含む)後、電源復帰後のカプセル運転にはリスタート機能が必要。シャッタが残りのシーケンスを実行する可能性あり。
10.3	電気機器に対する外部的影響 (External influences on electrical equipment)	EMC 評価による確認要。気象条件によってはモータの絶縁低下でカプセルの揚力が下がること考慮する。

10.4	その他の外部的影響（重力、気温、風など）(Other external influences (gravity, wind, etc.))	気象条件によるカプセル挙動の変化
10.5	ソフトウェアの誤り (Errors in the software)	スイッチ等の信号処理はCPUを介しており、使用のソフトウェアもプロセッサも安全用途に適切なものとは考えられない。
10.6	運転員による誤り（人間の特性及び能力と機械間の不調和）(Errors made by operator (due to mismatch of machinery with human characteristics and abilities.))	ペンダント上のスイッチの押し間違いの可能性
11	機械を可能な最良停止状態にすることができない(Impossibility of stopping the machine in the best possible conditions)	ライドサイクルシーケンスの突然の停止によるカプセルの落下
12	工具回転速度の変動 (Variations in the rotational speed of tools)	モータの不適切な回転速度（極端な上昇あるいは落下を招く）
13	電源の故障 (Failure of power supply)	モータの回転停止。ソレノイドバルブは電源喪失状態での挙動は特定できない。シリンダも駆動用のエアの喪失時、その挙動を特定できない。
14	制御回路の故障 (Failure of control circuit)	モータとシャッタの制御部の故障（絶縁破壊や地絡により突然の挙動や制御不能となる可能性）
15	取付けの誤り (Errors of fitting)	ソレノイドバルブ配管の取り付け誤り（配管にはIDタグなどは取り付けられていない。また黒配管は双方とも付け替えが可能である。シリンダが逆の動きをする可能性がある）
16	運転中の破壊 (Break-up during operation)	ベルト、モータやプーリの回転部の構造体の一部あるいは全部が外れ飛ばされる。圧力回路のホース等の抜けや破断、シートベルトの破断や解放、カプセルの破壊、塔の構造体の破壊、搭乗用扉の運転中の開放、昇降中のカプセルハッチの開放
17	落下又は噴出する物体又は液体 (Falling or ejected objects or fluids)	塔の構造体の一部の落下 エアホース抜けや破断によるエアの噴出
18	機械の安定性の喪失／転覆 (Loss of stability/overturning of machinery)	塔の安定性喪失 カプセルの姿勢の安定性喪失 地震
19	人員の滑り、つまづき及び落下（機械に関連するもの） (Slip, trip and fall of persons (related to machinery))	搭乗用の階段での落下や滑り カプセル乗降の際の落下やつまづき
20	その他 (Others)	ドアロック信号の喪失（断線や検知対象の喪失、部品の不具合） 制御盤室はスペースが十分でないため、感電事故が起こった場合に作業者の逃げるスペースが不十分である。 シャッタの摺動部にはテフロンシートが貼付されているが、これは定期的な保守で張り替えられる。この保守が十分でない場合は、シャッタの動作不良を招きかねない。

5. 6 設備の運転制御に関する危険源分析例

設備の運転に伴う危険源または危険状態または危険事象は、5.5 項において複数の危険源分析で示された。例えば、運転操作の誤りに伴う危険状態または危険事象は 8.7、10.2、10.6、で示され、運転系の故障に伴う危険状態または危険事象は 11,12,13,14,15,16、で指摘され、周囲の環境条件の変化に係わる危険事象は 10.3,10.4 で考慮されている。

図 5. - 7 は、とくにカプセル運転の主要部を構成するファンと排気シャッタの駆動部を、その外観の構造と動作から想定したシステムの構成である。同図で(A)の部分はファン駆動用モータの制御論理である。(B)の部分は排気シャッタを制御する部分で、ライドサイクル制御機能を含む。また、(B)部分は排気シャッタを動かすシリンダ制御用の空気圧制御機能を他に備える。

図 5. - 7 の各種ボタン SW1 から SW6 は電氣的制御ユニット(仮称)から外部にペンダント上に並べた手動操作スイッチである。モータ始動ボタン SW1,SW2,SW3 はファン駆動用として備えた 3 個のモータ M1,M2,M3 を操作するスイッチである。モータ停止ボタン SW6 はカプセルが下死点付近に停止したときにモータを停止させるためのスイッチである。ドアロックは塔のドアに取り付けたドア閉確認のためのスイッチである。モータの始動はモータ停止ボタン SW6 のドアロック (ON) の確認に基づいて、始動ボタン SW1,SW2,SW3 の各操作で実行される。なお、カプセルを上昇させるための送風用ファンは、3 個のモータ M1,M2,M3 の機械的出力をプーリを介して 1 軸に変換して駆動される。加算記号+はこれを表す。

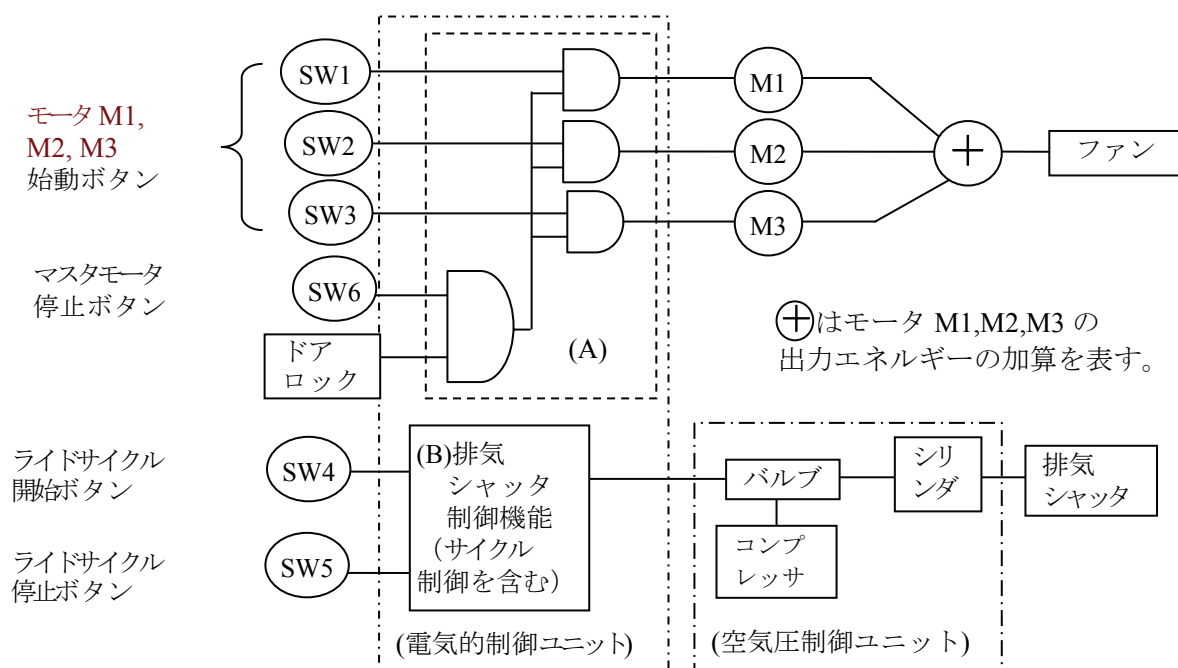


図 5. - 7 想定のカプセル運転制御システム

図5. - 8は3個のモータ M1,M2,M3 の機械的出力を合成する過程を示しており、図5. - 1から知れるように各々のモータ出力は滑車→ベルト→滑車→ファンのエネルギー伝達過程を持つ。ファンの出力を W、モータ M1,M2,M3 からファンに伝達される出力を W1,W2,W3 とし、図5. - 7および図5. - 8に示す各要素の動作状態⁵⁾を表5. - 2のように定めれば、ファンの出力 W は次式で表される。ただし、電気的制御ユニットは常に正常に動作するものとする。

$$W = \sum_{i=1}^3 W_i = \sum_{i=1}^3 (S_{w6} \cdot D_L \cdot V_s^*) (S_{wi} \cdot M_i^* \cdot K_i^* \cdot V_i^* \cdot K^* \cdot F^* \cdot f(M_i)) \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $f(M_i)$ はモータ M_i からファンにエネルギー W_i として伝達される出力(アナログ値)である。また、電源の供給/停止は重要であるので論理変数 V_s として特別に定める。さらに、 $S_{w6}, D_L, S_{wi}, M_i^*, K_i^*, V_i^*, K^*, F^*$ はスイッチが ON 状態であるか否か、または図5. - 8の構成要素が正常状態にあるか否かを表しており、論理変数 V_s とともにいずれも2値であって1または0の値をとる。現実には、ファンが回転するには、ファンに加えられるエネルギーがあるしきい値を超えなければならないから、そのしきい値を V_{th} と置くと、カプセル上昇のための出力 W_r は次式で表される(例えば、表5. - 1の10.4及び13に対するしきい値変動)。ただし、 $S_{w6} = D_L = V_s^* = S_{w1} = S_{w2} = S_{w3} = M_i^* = K_i^* = V_i^* = K^* = F^* = 1$ (正常動作状態)とする。

$$\begin{aligned} W_r = 1 & \quad W = \sum_{i=1}^3 W_i = \sum_{i=1}^3 f(M_i) \geq V_{th} & \text{----- (2)} \\ = 0 & \quad W = \sum_{i=1}^3 W_i = \sum_{i=1}^3 f(M_i) < V_{th} \end{aligned}$$

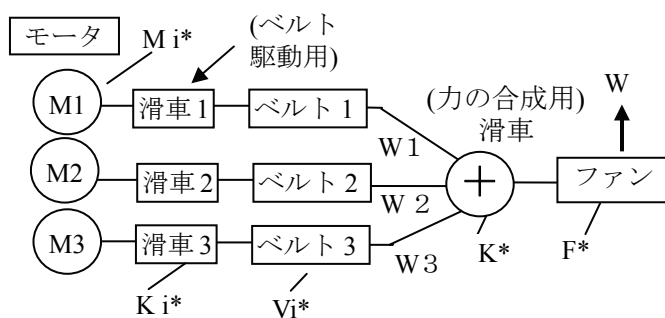


図5. - 8 ファン駆動構造の詳細(モータ→滑車→ベルト→滑車→ファンのエネルギー伝達)

表5. - 2 ファン駆動過程とその構成要素に対して定める論理変数と論理値の意味— 動作状態を表す論理変数(*印付き)は危険源の存在を表す —

論理変数	論理値	論理値の意味
Swi (i=1~3,6)	1	スイッチ SWi(i=1~3,6)が接点 ON 状態
	0	スイッチ SWi(i=1~3,6)が接点 OFF 状態
ドアロック 手段 DL	1	ドアはロック状態にある
	0	ドアはロック状態にない
Mi* (i=1~3)	1	モータは正常である
	0	モータは正常でない
Vs*	1	電源は正常に供給されている
	0	電源が供給されていない
Ki* (i=1~3)	1	ベルト駆動用滑車は正常状態にある
	0	ベルト駆動用滑車は正常状態にない
Vi* (i=1~3)	1	ベルトは正常である
	0	ベルトは正常でない
K*	1	合成用滑車は正常状態にある
	0	合成用滑車は正常状態にない
F*	1	ファンの取り付け状態は正常である
	0	ファンの取り付け状態は正常でない
W	1	ファン回転あり
	0	ファン回転なし

(注1)電氣的制御ユニットの複数の入力線間及び出力線間は各々独立しているものとして扱う。

(注2)現実に生じる機械的危険状態または故障状態の例は附録 B 参照

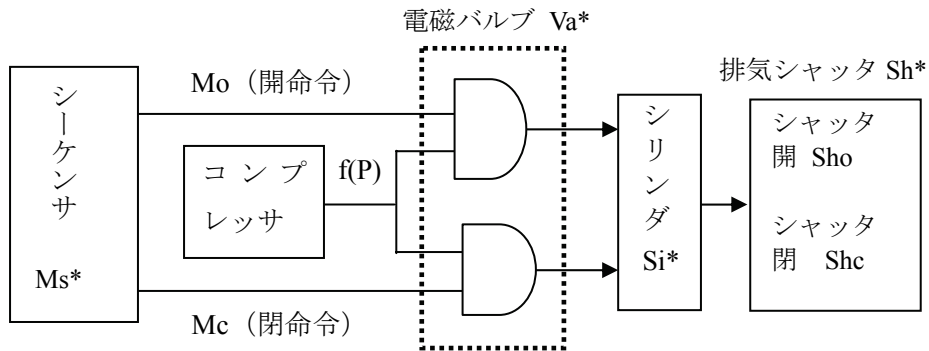


図5. - 9 空気圧制御の構成

表5. - 3 排気シャッタ駆動過程とその構成要素に対して定める論理変数、および論理値の意味—動作状態を表す論理変数(*印付き)は危険源の存在を表す—

論理変数	論理値	論理値の意味
Mo	1	シャッタ開の命令あり
	0	シャッタ開の命令なし
Sho	1	シャッタが開く
	0	シャッタが開かない
Shc	1	シャッタが閉じる
	0	シャッタが閉じない
Po*	1	コンプレッサが正常動作状態にある
	0	コンプレッサが正常動作状態にない
Ms*	1	シーケンサは正常動作状態にある
	0	シーケンサは正常動作状態にない
Va*	1	電磁バルブは正常動作状態にある
	0	電磁バルブは正常動作状態にない
Si*	1	シリンダは正常動作状態にある
	0	シリンダは正常動作状態にない
Sh*	1	排気シャッタは正常に動作する
	0	排気シャッタは正常に動作しない
Ab ₁	排気シャッタは開く(Sho = 1)または開かない(Sho = 0)のいずれかである	
Ab ₁	排気シャッタは開く(Shc = 1)または開かない(Shc = 0)のいずれかである	

(注1)電気的制御ユニットの複数の入力線間及び出力線間は各々独立しているものとして扱う。
 (注2) Ms*および Va*は動作状態に電気的入力 of 供給状態を含む。
 (注3) 現実に生じる機械的危険状態または故障状態の例は附録 B 参照。

サイクル開始ボタンとサイクル停止ボタンの機能については、すでに 5.4 項で述べた。

排気シャッタの制御は電磁バルブによる空気圧制御に基づく。図5. - 7で電磁バルブには乾燥機付コンプレッサより空気圧が送られ、電気的排気シャッタ制御機能により電磁バルブが制御されてシリンダが駆動され、シャッタの開閉操作が実施される。

図5. - 9は排気シャッタの開閉操作を行うためのバルブおよびシャッタのエネルギー伝達過程をモデル図で示す。シーケンサの出力命令により電磁バルブが操作され、シリンダが駆動される。

表5. - 3に、表5. - 2と同様に、排気シャッタの開閉に伴う力の伝達過程とその構成要素に定めた論理変数およびその論理値の意味を示す。

図5. - 9では、排気シャッタの開閉は正常動作状態のシーケンサから命令があつて、かつ同図を構成する各要素が正常状態にあるときにおいて確実に操作される。しかし、構成要素が正常動作状態にないとき、この確実な動作は実施されない場合が起こり得る。例えば、シーケンサが故障したり、電磁バルブの故障、シリンダやシャッタの固着、コンプレッサの空気漏れ、電源低下を考えることができる。このような事象が起こったとき排気シャッタは開くか否か、または閉じるか否か不明であるとして、これを2値の論理変数 Ab で表す。すなわち、論理変数 Ab は1または0であつて、しかし、いずれであるかは不明であるとする。

図5. - 9に関してシャッタの開動作 Sho および閉動作 Shc は次式で定まる。

$$\begin{aligned} \text{Sho} &= \text{Mo} \cdot \text{Ms}^* \cdot \text{Po}^* \cdot \text{Va}^* \cdot \text{Si}^* \cdot \text{Sh}^* \cdot f(\text{P}) \vee \text{Ab} \cdot \neg(\text{Ms}^* \cdot \text{Va}^* \cdot \text{Si}^* \cdot \text{Sh}^*) \\ &= \text{Mo} \cdot \text{Ms}^* \cdot \text{Po}^* \cdot \text{Va}^* \cdot \text{Si}^* \cdot \text{Sh}^* \cdot f(\text{P}) \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Ms}^* \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Va}^* \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Si}^* \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Sh}^* \quad \text{---- (3)} \end{aligned}$$

$$\text{Shc} = \text{Mc} \cdot \text{Ms}^* \cdot \text{Po}^* \cdot \text{Va}^* \cdot \text{Si}^* \cdot \text{Sh}^* \cdot f(\text{P}) \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Ms}^* \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Va}^* \vee \text{Ab} \cdot \neg \text{Sh}^* \quad \text{----- (4)}$$

ここで記号 \neg は否定を表し、変数 Ab は不明を表し、式の展開はド・モルガンの定理による。また、 $f(\text{P})$ はコンプレッサからシャッタへのエネルギー伝達過程(アナログ)を表す。例えば、(3)式の各項は排気シャッタの動作が以下の説明の(a)~(d)のいずれかあることを表す。

(a) $\text{Mo} \cdot \text{Ms}^* \cdot \text{Po}^* \cdot \text{Va}^* \cdot \text{Si}^* \cdot \text{Sh}^* \cdot f(\text{P})$: シーケンサが正常状態 ($\text{Ms}^*=1$) にあって、排気シャッタ開の命令 ($\text{Mo}=1$) があって、コンプレッサが正常状態 ($\text{Po}^*=1$) にあって、コンプレッサから排気シャッタに空気圧力 $f(\text{P})$ が供給されて、電磁バルブ、シリンダおよび排気シャッタが各々正常に動作する ($\text{Va}^* = \text{Si}^* = \text{Sh}^* = 1$) 場合、排気シャッタは開動作を行う ($\text{Sho} = 1$)。

(b) $\text{Ab} \cdot \neg \text{Ms}^*$: シーケンサが正常でない($\neg \text{Ms}^*=1$)場合、排気シャッタは開く ($\text{Ab} = \text{Sho} = 1$) か、または開かない($\text{Ab} = \text{Sho} = 0$)のいずれかである。

(c) $\text{Ab} \cdot \neg \text{Va}^*$: 電磁バルブが正常でない ($\neg \text{Va}^*=1$) 場合、排気シャッタは開く ($\text{Ab} = \text{Sho} = 1$) か、または開かない($\text{Ab} = \text{Sho} = 0$)のいずれかである。

(d) $\text{Ab} \cdot \neg \text{Si}^*$: シリンダが正常に動作しない($\neg \text{Si}^*=1$)場合、排気シャッタは開く ($\text{Ab} = \text{Sho} = 1$) か、または開かない($\text{Ab} = \text{Sho} = 0$)のいずれかである。

(e) $\text{Ab} \cdot \neg \text{Sh}^*$: 排気シャッタが正常に動作しない($\neg \text{Sh}^*=1$)場合、排気シャッタは開く ($\text{Ab} = \text{Sho} = 1$)か、または開かない ($\text{Ab} = \text{Sho} = 0$) のいずれかである。

5. 7 分析結果に対する考察

表 5. - 1 の分析結果について一部考察を以下に加える。

<機械的危険源>

表 5. - 1 で、1 の機械的危険源におけるシャッタ部での挟まれ(1.1)は、周囲をガードフェンスで囲ってあり、子供はフェンス内に入れない状況にある。ベルトやプーリの回転部への接触(1.2)も図 5. - 6 (p)で示すようにガーディングされている。カプセルの落下(1.3)はカプセルの運転状態で生じるので、項目の 9~16 と関連する。この事象は現実に起こってしまっている。直接的には制御系は(1)~(4)式で示される。もっとも影響を受けやすいのはファンの停止であるから、(1)式である。ベルトや滑車、モータファン取り付けおよび電源異常を除いたモータからファンに至るエネルギー伝達系には、カプセル落下後異常が現実に認められないので、この場合(1)式では $\text{Mi}^* = \text{Ki}^* = \text{Vi}^* = \text{K}^* = \text{F}^* = 1$ であって、 $f(\text{M1}) + f(\text{M2}) + f(\text{M3}) \geq \text{Vth}$ である場合、(2)式に対応して次式を得ることができる。

$$\text{Wr} = (\text{S}_{w6} \cdot \text{D}_L \cdot \text{Vs}^*) (\text{S}_{w1} + \text{S}_{w2} + \text{S}_{w3}) \quad \text{----- (5)}$$

(5)式は、マスター停止ボタンが押されて ($S_{w6}=0$) も、スイッチ SW1,SW2,SW3 のいずれかが OFF 状態になって($S_{w1}=S_{w2}=S_{w3}=0$)も、ドアロックが OFF 状態になって($D_L=0$)も、電源が停止して($V_{s^*}=0$)も、ファンは停止することを意味する。これらの障害は、表 5. 1 1 では項目 8.6、8.7、10.6 (ボタンの操作誤り、ペンダントの落下) や項目 10.2 (停電)、9 と 11 も項目の組み合わせ (制御系の複合的誤り)、項目 13 (電源故障) がこれに該当する。

<電気的危険源>

電気的設備は個別に見ると IEC60204-1⁶⁾ を概略満たす (項目 2.1~2.4 参照)。ただし、警告ラベルは日本語でない。メンテナンスのための作業スペースや照度の不足が生じている (日本の設備設置業者の知識不足によると考えられる) (項目 8.1、8.2、8.4 参照)。

<騒音>

騒音に対する安全性の配慮が必要である。国際的には 80 デシベル以下が必要である。また、カプセル内の非常スイッチ操作によるブザーが聞き取り難くなる(項目 4.1、4.2、8.3 参照)。

<制御系>

項目 9~16 は制御系に関連する。制御系の故障は直接カプセルの運転に影響する。制御系の具体的危険源は、当該施設について(1)~(4)式で示した。その場合の危険源には、(1)式には含めてないが電気的制御ユニット自体の障害が含まれる。また、(3)式および(4)式には排気シャッタの動作不明を表す変数 A_b が含まれ、コンポーネントの故障時その動作を保障することができないことを表す。これらの論理式による検討結果は、上の機械的危険源で述べた項目 9 および 11、13 の他に、10.1~10.6、14、15、16 などの項目に対して現状の施設では適切なソリューションを得ることができないことを示している。

5. 8 むすび

宇宙体験カプセル (新潟県上越科学館遊戯施設) の施設構成とカプセル運転に関して一部リスク分析を行った。なお、リスク分析は、本調査結果の他に、長岡技術科学大学矢鍋重夫教授による「上越科学館宇宙体験カプセル落下時衝撃力等の測定実験報告書」が提出されている。

当該設備は、例えカプセルが落下しても乗客に危害は生じないような目標で本来設計されたと考えられる。当該施設がこの目標を現状の技術で改めて再設計可能であれば、そのための処置をまず考慮すべきことになる。しかし、著者らの検討結果では適切な方策を提案することはできなかった (国際安全規格では「本質的安全設計による」と呼ばれる)。もし他により提案があれば、その代案について設計および実施上での安全性の検証と妥当性の確認を行えばよいことはいうまでもない。

本施設における安全性確保の方法として上述の本質的安全設計をできる限り考慮するとともに、制御上での安全性確保を加えるためにリスク分析を改めて実施した。カプセル落下に対する制御上での安全性確保とは、“システムになんらかの異常状態が生じたとき少な

くとも上昇したカプセルを落下させないように制御する”ということである。このような制御はカプセルをエレベータや“ゆりかもめ”のような移動体として扱って、できるならば上昇したカプセルを軟着陸させるような制御を目標とする。

本報告書ではカプセル運転制御システムとしてカプセルの上昇を扱うファンの駆動制御とカプセルの上昇／下降制御を扱う排気シャッタの制御についてモデルを用いてリスク分析を行った。この結果、当該施設のカプセル運転制御システムについて最小限必要とする安全性要求事項を本文の(1)式から(4)式に基づいて示すことができる。また、本報告書で表5.1-1のリスク分析とカプセル運転制御システムで示した危険源は、当該施設を再設計または改修する場合に少なくとも考慮すべき事項である。現実にそれを実行する場合、これらの考慮事項に対してどのような措置が施されているか、それを説明する必要がある、さらに、施設完成時にはできるならば適切な人または機関によって施設が安全上で使用目的に適切であることを確認してもらう必要がある。この手順は、事故が既に起こっている現実と近年の国際的安全性評価制度の仕組みから見て欠かせないものと考えられる。換言すると、施設の再開には施設の設計とその妥当性確認が不可欠であって、現状ではこのための時間をいま少し必要としており、急ぐ余り作業の手抜きは許されないものと考えられる。

なお、本調査結果として、カプセル落下事故原因と今後の処置について私見を敢えて改めて述べれば、以下のとおりである。

本施設における最大の事故原因は、本報告書の冒頭でも述べたように、適切なリスクアセスメントと設備完成後のそれに対する妥当性確認がなされていなかったことによると考えられる。直接の事故原因はカプセル落下に対する施設の耐性が確認できず、このために不幸な事態が生じたことになる。しかし、落下原因となるモータ停止の危険源は5.7項の(5)式の説明でも述べたように複数存在し、それは容易に推定できたと思われる。したがって、事業再開に当たっては改修結果に対するリスクアセスメントの実施とその妥当性の確認は不可欠で、この2つの作業は国際的観点からみても常識とされつつある。また、改修に当たっては、第一の方策として、改修結果に対して万一カプセル落下時その耐性検証を実施することである。この方策が必ずしも十分でない場合、第2の方策として、第1の方策に加えて制御上の保護方策を実施する。この保護方策では最小限モータ停止回避の設備設計を優先し、それに基づく制御システムとすることである。モータ停止回避の設計とは、例えばモータ駆動源を無停電化するような方策である。また、例えば、ドアロック解錠で直ちにモータ停止としたり、マスタモータ停止ボタンをいつでも押せるような制御としないようなシステム構成を考えることできる。ただし、この設計は、本文表5.1-1の危険源分析9から16の項目に適切かつ正当に返答可能なように、別途詳細な検討を要する。したがって、このための改修設計ならびに工事には相当の費用と時間が必要と考えられる。

(文 献)

- 1) JIS C 0508-1 : 電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能的安全性
- 2) JIS B 9705-1 : 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
- 3) JIS B 9700-1 : 機械類の安全性－基本概念、設計のための一般原則－第 1 部 : 基本用語、方法論
- 4) JIS B 9713 : 機械類の安全性－リスクアセスメントの原則
- 5) 白井稔人、蓬原弘一 : 「保護装置の構成方法を表すための演算子の提案とその適用」、日本信頼性学会誌、Vol.24, No.7, p611 (2002)
- 6) JIS B 9960-1 : 機械類の安全性－機械の電気装置－第 1 部 : 一般的要求事項

附録 A : 危険源分析とリスク分析

危険源とは「身体的傷害または健康障害(危害)を引き起こすような潜在的根源」と定義される³⁾。このような危険源に人が晒されるときを“危険状態”という³⁾。また、危険源がたとえ安全確保のために保護されていても、その保護が適切でないために上述の危害が想定される場合、その状況を“危険事象”の発生と呼ぶ⁴⁾。危険源分析は当該施設/設備ではどのような危険源が存在するか、それを示すことである。本文の表 5. - 1 (5.5 項)の左欄では機械類一般において 20 種の危険源が分類して示されており、また、同表の右欄には宇宙体験カプセルの施設で“可能性あり”として想定される危険状態または危険事象が示してある。右欄の危険状態または危険事象の被災対象者はカプセルの搭乗者またはカプセル運転のオペレータまたは施設の保守者である。当該施設では危険状態として生じ得ない危険源については“適用外”の用語が記入してある。

本報告書では危険源には上述の表 5. - 1 の他に、(1)～(4)式の中で制御システムを構成するためのコンポーネント例が、*印 (アスタリック) を付して示してある。カプセルの運転中にこれらの式の中で示されるコンポーネントに障害が生じ場合、危険事象が生じる可能性があることを示す。コンポーネントの障害例は附録 B に示してある。(1)～(4)式は現状設備の制御機能を表すとともに、危険源の組み合わせ状態を表現している。制御システムはこれらのコンポーネントで生じる障害が少なくとも安全側運転に作用するように設計しなければならない。

リスクは「危害の発生確率と危害のひどさの組み合わせ」と定義される³⁾。このリスクの定義に基づいて上述の危険源に対して、リスク分析では例えば危害のひどさと危険源への“アクセス頻度”と“危害回避の可能性”を考慮すべきとされる⁴⁾。この場合危険源へのアクセス頻度と危害回避の可能性がリスクの定義における危害の発生確率に該当する。

表 5. - 1 における危険状態または危険事象は被災対象者を想定しているが、そのアクセス頻度までは想定していない。すなわち、被災対象者は常に頻繁に施設にアクセスするとして扱って、この状態を“危険状態”としている。現実には保守者の場合アクセス頻度は小さいはずであるから、搭乗者およびオペレータのリスクに比較して保守者のリスクは小さくなるはずである。また、危害回避の可能性もそれがどの程度可能か、それを十分に考慮しているわけではなく、単に既存の規格値を満たしていないという程度であって、この状態を“危険事象”としている。また、制御システムによる安全確保のための論理式(1)～(4)式は、現状のシステムの構成を示しており、危険源の存在とその制御への影響を示す。本格的に制御システムを安全確保に適用する場合、通常これらの論理式は少し変化する。したがって、これらの論理式も当該施設に関して危険源の存在を示すに過ぎない。以上の理由で 5.5 項および 5.6 項は単に“危険源を想定できる”として危険源分析として示してある。

表 5. - 1 および(1)～(4)式で示した危険源を考慮して施設を再設計または改修した場合、その施設に関してリスク分析とその安全性評価 (リスク評価と呼ばれる³⁾) を改めて実施する必要がある。この作業は“リスクアセスメント”と呼ばれる³⁾。施設を事業として適用する場合、その運用の安全性を含めて、改めて妥当性の確認を行う必要がある。この確認は ISO9000 に基づく。

附録 B : 制御システムの構成要素に対する危険源例

5.5 項でファン駆動構造および空気圧制御構成における主要な構成要素（コンポーネント）の動作状態を論理変数として表 5. - 2 および表 5. - 3 で示した。これらの要素の異常な動作状態の例を各々以下の表 B-1 および表 B-2 に示す。

表 B-1 表 5. - 2 の状態変数で考慮すべき危険源例

論理変数	構成要素名	危険状態の例
Wi	スイッチ SW1 ~ SW3 および SW6 (図 2 参照)	接点間の非乖離(例えば溶着)故障、接点間の接触不良
D _L	ドアロック手段 (図 6(n)参照)	機械的スイッチ手段の場合：Wi に同じ センサ利用の場合：センサの故障、非検出物はずれ
Mi* (i=1~3)	モータ	モータ内部コイルの断線、モータ入力線のはずれ、モータ端子間の短絡、モータ出力部分の破壊
Ki* (i=1~3)	ベルト駆動用滑車	ベルト駆動用滑車のはずれ、歯車の汚れ、すべり
Vi* (i=1~3)	ベルト (図 6(p)参照)	ベルトの破断、磨耗、緩み、すべり*
K*	力合成用の滑車 (図 6(p)参照)	合成用滑車は破壊
F*	ファンの取り付け	ファンのはずれ、

図 5. - 7 の A 部分(電氣的制御ユニット)はリスクアセスメントに基づいてその安全性能(安全性確保の能力)を定めなければならない(ISO13849-1²⁾)。事故の現状からみてカテゴリー 4 以上が必要であるが、カプセル制御を移動体制御並みに考えて厳しく採る場合 IEC61508¹⁾ のセーフティ・インテグリティ・レベル (SIL) 4 が主張されることになる。

表 B-2 表 5. - 3 の状態変数で考慮すべき危険源例

論理変数	構成要素名	危険状態の例
Po*	コンプレッサ	コンプレッサの破損、空気の汚れ、空圧の低下
Ms*	シーケンサ	出力が発生しない、出力が連続的に発生する、出力が低下する、出力が変動する（発振を含む）、時間計測の誤り
Va*	電磁バルブ (図 5. - 6 (q))	電磁バルブ内のコイルの断線、バルブ内の目詰まり、配管のはずれ/破れ、バルブの固着
Si*	シリンダ (図 5. - 6 (r))	ピストンの固着、配管のはずれ/破れ、出力部の破壊
Sh*	排気シャッタ (図 5. - 6 (b))及び (図 5. - 6 (d))	排気シャッタの固着、調整不良

附録 C : 被災の構造と危険源の FTA 例、妥当性確認例

(説明資料)

(1) 被災の構造 (JIS B 9702 の解説図に基づく被災構造)

今回の事故は以下の危険事象によって生じている。搭乗者は 2 つの危険源との間に危険状態を持った。スプリングによる保護は、カプセル落下に対して保護機能の不足を来とし、搭乗者は被災に対して十分な回避手段(例えば、カプセル内に)を備えていなかった。

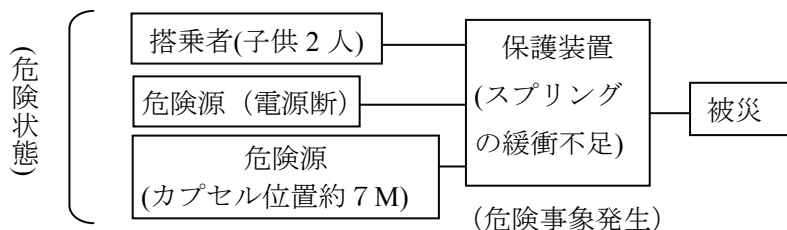


図 C-1 被災構造

(2) 主要な危険源の発生原因例 (FTA)

電源断の危険源には最小限以下の危険源の組み合わせを考慮することができる。瞬時停電による見かけ上の電源断効果は、電源復帰に対するファン再起動遅れが伴う場合に限る。

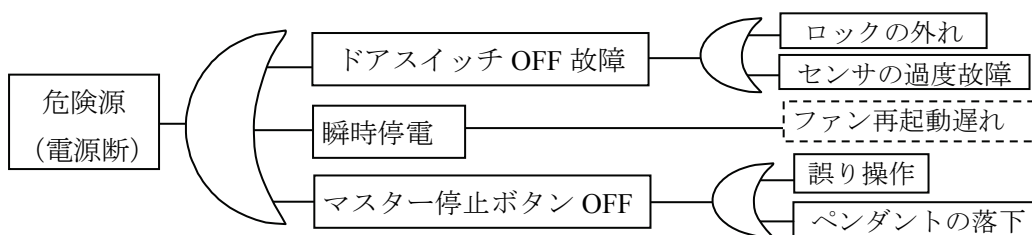
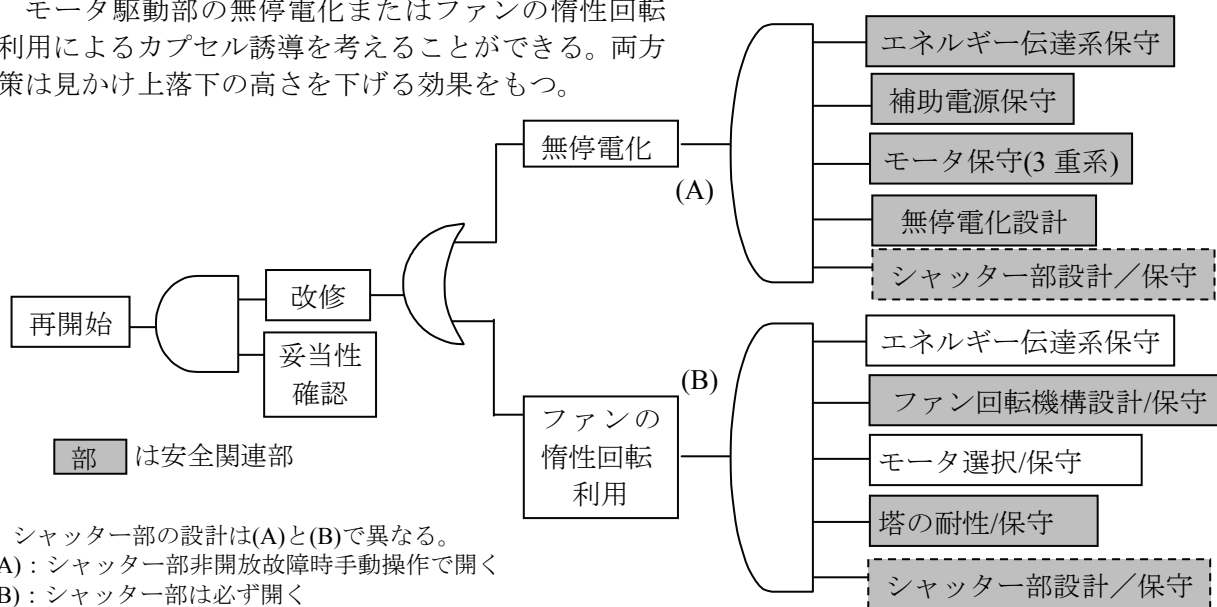


図 C-2 電電断の危険源を生じる危険源例

(3) システムの再開始 (妥当性確認)

モータ駆動部の無停電化またはファンの惰性回転利用によるカプセル誘導を考慮することができる。両方策は見かけ上落下の高さを下げる効果をもつ。



シャッター部の設計は(A)と(B)で異なる。
 (A) : シャッター部非開放故障時手動操作で開く
 (B) : シャッター部は必ず開く
 モータ停止の操作範囲を下死点付近に制限すべき

図 C-3 改修作業例

第VI章 まとめ

6. 1 機械安全に関する EU の動向

機械に起因する災害を失くするためには、機械を安全に設計し製造すること（機械安全）と機械を安全に操作保全すること（労働安全）が肝要である。前者は主として技術の問題であり、機械の設計製造者に安全責任がある。後者は人の問題であり、機械の使用者（事業者）に安全責任がある。すなわち、前者では安全が確認できなければ「機械が（自動的）に止まる」安全構築をするが、後者では労働者が危険を予知して「機械を（人の手で）止める」安全構築をする。従って、前者では安全技術の革新が求められ、後者では安全を訓練された人（精鋭）の育成が求められる。本来、機械安全と労働安全は車の両輪としてバランスをとって初めて機械の安全は守られる。

EU では機械安全は機械指令（89/392/EEC）で労働安全は労働安全法枠内指令（89/391/EEC）で法令上は均等に規制されてきた。そして1989年のニューアプローチ関連指令の発令とともに機械安全は災害の発生を事前に予測し、技術的に予防する（事前責任）という考えを基に、機械の設計製造時にリスクアセスメントをして製造者（設計者）が安全を保証するシステム（自己宣言または第三者認証による CE マーキング）を構築してきた。機械指令（法令）は安全要求事項を性能規定化しているが、それを具体的に順守していくために必要な技術的事項を EN 規格として定めた。その際、EU は戦略として EN 規格の国際規格化を押し進めたので WTO/TBT 協定により EN 規格は自動的に JIS 化することになる。

機械安全の規格体系は1990年前後から着々の整備されてきており、以下に示すような段階的発展をしてきた。

第一段階：1991年に機械の危険源の見積・評価（リスクアセスメント）及びリスク低減を定め、機械の本質的安全設計を主体とした一般設計原則 ISO12100 の基となる EN292 が成立した。実証済みのリスクアセスメントの方法論は ISO14121 (EN1050) により定められ、国際的に認知されるに至っている。この方法論は具体的には確定論に則り、A、B、C、と階層化された規格で規定化され現在では確立し終わったと云える。

なお、日本では1990年に確定論に基づく安全確認型の考え方を論理式化した「安全の原理」<1>が時を同じくして発表された。これは機械の危険源であるエネルギーは安全を確認した状態で始めて投入する、或いは危険な状態になった際にエネルギーを遮断するという「止まる安全」の考え方に基づく。

第二段階：急速な電子通信技術の進歩により、マイクロコンピュータを機械の安全制御や安全通信に使用することが必要となってきた。機能安全規格 IEC61508 は1998年に制定さ

れたが、電気・電子・プログラマブルコンピュータの定量的評価に確率的手法を取入れたアンブレラ規格として影響力を有している。これによりアクチュエータに関連するセンサ信号を安全バスシステムにより通信することが可能となった。さらに 1980 年代初頭に登場した AC サーボモータとそれに伴う機械分野での適用範囲の拡大により、1990 年代後半に安全ドライブシステム (IEC61800-5-2 ドラフト段階) が開発された。

これは従来の確定論的な考えから出発し、機能安全の概念を場合により適用して、安全な減速、停止、不意な起動防止などの安全機能を具備する。

これらは機械分野全てに横断的に係っており、安全技術だけでなく、制御技術の根本を支配しつつあるが、日本ではそれらに対する対応は大幅に遅れている。

第 3 段階：安全確認型を始め既存の安全技術を適用して現場での安全を確認しようとしても人が機械に介入せざるを得なかったり、生産効率を迫及するが為に無理な危険行為をするなどにより災害が発生する状況が未解決である。その様な危険源を加部は **undefined factor (UDF)** 不確定な要素と呼んでいる<2>。 UDF としては次のような事項を上げることができる。

(1) 柵無し安全での人とロボットの協調

従来の産業ロボットの安全は人をロボットから隔離することにより達成される。しかし安全ドライブシステムにより、バーチャル空間を設定することにより、従来柵の中でしか作業出来なかったロボットと人の協働作業が可能になってきている。しかし、EU では、現段階では特定認証的な運用をしている為、今後の法整備が必要である。

(2) サービス用ロボットの安全

危険源であるロボットは人が直接接触し、常に危険状態が自立的移動空間として育成されるので、従来と異なる安全の考え方並びに運用が必要とされている。特に膨大な機能安全規格をこれらの商品に適用してしまうと、費用対効果に問題があり、制御関係での安全関連信号を如何に処理するかが大きな問題である。さらに、サービス用の場合、対象が機械安全だけでなく消費者安全も係ってくる。EU ではサービス用ロボットはまだ商品化の段階でないので、安全認証はまだ運用していない。日本では 2005 年に開催された愛知万博に出品したサービス用ロボットに対して NEDO はリスクアセスメントを義務付けて、本質的安全設計による安全方策を求めた。本報・第 IV 章に示したリスクアセスメントの実施事例の内 A 社と B 社のものは、その際に実施したものである。両者とも柵を設けて観客とロボットを隔離し、それを監視員が監視する体制をとっている。これは柵の開閉にインタロック装置が付いていないだけで、産業ロボットの場合と安全概念は変わらない。

(3) 安全装置の無効化による危険状態育成

ドイツでは、機械安全を徹底すると、生産性を上げる或いは作業時間を短縮するために、安全装置を無効化するという現象が後をたたない。BG の調査研究によると 37%の機械が何らかの無効化がなされるという結果が出ている<3>。この無効化は一種の UDF であるが、これを防ぐためには、新たなセンサや危険源を低減する何らかの補助装置などの開発の必要性がある。さらには、非定常運転時のヒューマンエラーなどもこれに加わるので、人の動きに対する電子的な表示・警告なども追加方策として考えうる。場合によっては、人の訓練・教育に立ち返って防ぐ必要があるかも知れない。

6. 2 米国の PL 法及び日本の裁判

米国には EU のような直接的な製造者責任はないが、OSHA（労働安全衛生庁）規格が機械安全につき規則を定めてある。国際規格の A 規格に当たる概念は、1990 年に半導体業界で SEMI 2 規格、産業用ロボット分野では ANSI/RIA 15.06 として採用され、工作機械業界では 2000 年に ANSI/BIL.TR 3 としてリスクアセスメントとリスク低減がガイドラインとして採用された。これらの特定分野以外では未だ安全の実践が周知徹底していない分野が数多くある。但し、厳しい PL 訴訟に備え総体的に安全を実践し、リスクアセスメントの文書が要求されている。

米国の PL 法は不法行為法に代表されるコモンローと売買契約法に代表される制定法が混り合って形成された<4>。またその根底において公平と正義を追求する衡平法（Equity）の影響は無視できないと考える。英米法には判例法と制定法があり、前者は慣習法、コモンロー、衡平法に分かれる。現在は衡平法はコモンローとの融合が行なわれ、裁判所は一つに統合されている<5>。衡平の起源はローマ時代に遡り、ローマ市民と征服した民族との民事紛争の裁判に端を発している。中世時代には地主と農奴の間の紛争のように、国王裁判所が運用したコモンローでは救済が与えられないタイプの事件であっても、正義（justice）と公正（fairness）の見地から当然自分の救済が与えられて然るべきと考えた者は、正義の源泉である国王にその旨の請願を提出した<6>。

米国の PL 法の特徴を上げると以下の通りである。

(1) PL 法（不法行為法）では安全でない製品で損傷を受けた弱者だけに被害を負わすのは正義に反し、その製品の製造者に賠償責任を負わすべきであると考えられる。なぜなら、製造者はその賠償責任は価格に転化でき、責任を多くの購買者に公平に分散して負担させることが出来るからである。

(2) 製造者と消費者（又は労働者）で裁判で争えば、後者は圧倒的に弱い立場にある。しかし、PL 法では懲罰的損害賠償制度、証拠開示制度、集団訴訟制度を認め、消費者側をサポートしてバランスをとっている。

(3) 「State of the art」の原則でリスク低減方策の是非を判断する。その判断の際、法令はもとより安全規格、工業規定などを満たすのは必要条件であるが、十分条件ではない。

(4) リスクの許容レベルは「リスク便益基準」で判断する。

これに対し、日本の民事裁判における安全注意義務、不法行為、製造物責任などにおける裁断基準は米国の PL 法の裁判基準とは大幅に異なっている。例えば安全配慮義務は、どこまで手段を尽くしていれば債務を履行したことになるかという問題があるが、この点については「それぞれの時代における社会通念に照し相当と評価される措置を尽くす義務」とされている。これは明らかに、その時代の最高級の安全技術を求める「State of the art」の原則とは異なっており、実際の適用においても、安全規格が社会通念の基準となることはない。また、これらの裁判における安全責任の判断基準は消費者期待基準に準拠し、リスク概念は採用されない。

日本で講談や落語で語り継がれている「大岡裁き」における司法判断は「衡平法」的なものだったと云われている<8>。「大岡裁き」の中に「三方一両損」と云う有名な話がある。それは次のような話である。建具屋の長十郎が拾った金三両を落とし主の畳屋の三郎兵衛に返そうとしたが、畳屋がどうしても受け取ろうとしない。結局、受け取れ、受け取れないの問答からついに大喧嘩になってしまったのを大岡越前守が裁きをつけることになる。

「我も一両出して遣わしたり。長十郎は三両拾いて二両取るゆえ一両の損。三郎兵衛は三両落として二両取るゆえこれも一両の損。我も一両損。三人一両ずつの損なり」

現代の日本の民事裁判ではこうはいかないようである。こゝで有名な「箱ブランコ裁判」の例を取り上げる<9>。1997年10月、神奈川県藤沢市のみどりの広場で、9歳の女の子が友達と箱ブランコを両側から押して遊んでいて転び、ブランコのかご底と地面との間に足を挟まれ、右大腿部骨折の重傷を負った。女の子とその両親は藤沢市に国家賠償責任、製造者の上坂鉄工所に不法行為責任を求めて民事訴訟を起こした。実は、箱ブランコの重さは160kgにも達し、この時点までに全国の箱ブランコによる死亡事故は16件も起こっていた。また、藤沢市のみどりの広場では同様な死傷事故は4件起こっている。

裁判の結果、1審判決では原告の言い分を認め、藤沢市と製造者に連帯して賠償することを命じた。ところが、2審の判決(2002年8月)では原告の言い分を認めず、請求を棄却した。その判旨は以下の通りである。

(1)「もっとも肝心な点であるところの被控訴人が本件ブランコと衝突した瞬間及びその直前、直後の被控訴人の行動ないし動作あるいはこの間の事態の推移について具体的に述べる部分がない」。従って「被控訴人はその主張と異なる揺動方法(かごの背もたれの上部に乗っていわゆる立ちこぎ揺動など)に興じた際に誤って落下した等と推認するしかない」。

(2)「児童の遊具使用の態様には不可予測の面があるが、そうであるからと言ってあらゆる使用態様を想定して危険発生の防止を配慮して遊具を製造すべきである」という注意義務を指定するということは現行の不法行為法理の予定するところではない（中略）

100%安全なゆりかご型ブランコは揺動しないブランコ以外に存在せず、もはやブランコでなく児童の遊具にならない」。それ故、「健全な社会生活を営む上では遊具の利用に伴う危険の管理はその製造者や設置・管理者のみならずその利用者を含めた関係者が各自の立場において衡平に分担すべき責任がある」。

この判旨は日本の法令の典型的な安全思想を表わしている。日く、子供の遊具は所詮、あらゆる場合を想定して「絶対安全」には製造できないのであるから、遊具に利用に伴う危険の管理はその製造者、管理者、利用者の3者が各自の立場において衡平に（日本の司法はこの言葉を平等という意味に使っているようである）分担すべき責任がある。要は遊具と言えども危険のものだから子供はそれを承知で遊び、万一怪我をしたならば、自分で責任を取れと言っている。すなわち、弱者である子供を一方向的に犠牲にすることを強いている。これは「三方一両損」どころではない「一方三両損である」明らかに衡平性の概念とは異なり、公正でない。EN1176は遊具の規格であるが、あらゆる場合を想定して弱者である子供が怪我しないよう安全方策を施し、それでも取りきれないリスクは製造者、管理者、利用者の3者が公平に責任を持って管理することを要求している。要は強者である製造者と管理者がまず正義を実行して安全責任を取ることが衡平性の前提である。なお、EN1176-7には箱ブランコの底板と地面とのクリアランスを400mm以上とることを規定しているが、事故を起こした箱ブランコのクリアランスは230mmしかなかった。箱ブランコによる死傷事故は日本で100件近く起っているが、これらの殆んどはクリアランスを400mm以上にしたら防げたと推定される。

6.3 日本の労働安全の問題点

日本には機械安全に基づいて予防演繹的手法で製造者責任を全うするという考えは抜け落ちてしまっている。また、事故責任を追及するにしてもPL法の法整備が十分でなく、その機能を発揮するに至っていない。その様な中で2006年4月より改正した労働安全衛生法（安衛法）が施行される予定でリスクアセスメントの実施が努力義務となった。改正安衛法の詳細は第2章で解説した。そもそもリスクアセスメントは設計者の本来の責務であるがそれを棚上げしていきなり現場でリスクアセスメントを導入することになる。これは本末転倒であり、リスク低減されていない機械をアセスメントすることは意味がない。さらに驚くべきことに、アセスメント導入に際し、旗振り役を務める中央労働災害防止協会（中災防）のメインスローガンが「危険ゼロ」である。「危険ゼロ」という発想は、設計原則ISO12100と全く相応れないものであり、リスクアセスメントが全く理解できていないということになる。

なお、改正安衛法を実施するに当たり、厚生労働省が出した大臣告示「危険性又は有害性の調査等に関する指針」では「新たに機械設備等のメーカーに対し、当該設備の設計・製造段階において調査を実施することを求め、その結果を入手すること」となっている。ここで求められた製造者はどうしたら良いのであろうか。製造者はリスク開示は機械の機能情報開示と密接な関係があるが、その開示義務に対する法的根拠はない。また、何を基準にリスクアセスメントを実施したら良いのであろうか。EUではEN規格が技術基準となるが、日本では安衛法が取締規定として存在するだけである。もしかして、1999年に出された「包括基準」に準じろと云うのであろうか。「包括基準」はISO12100を倣っていると云われているが、ISO12100には50以上の規格が網羅されているのを忘れてはならない。

本報の3.1項には、改正安衛法が施行された時点で、事業所（ユーザ）がリスクアセスメントを現場で定着させるための問題点を論じている。リスクアセスメントはユーザが導入する場合は自社設計設備では設計時点のリスクの事前評価と既存設備のリスク低減対策のためのリスク評価に大別できる。既存設備に対するリスク低減対策には、①「後付け対策」を講ずるため費用対効果が不十分、②技術的に困難、③妥当性の不足などのハンディが生ずるので、まず、設計時のリスクアセスメントを徹底すべきである。また、リスクアセスメント導入に際し、忘れてはならないのは第三の局面と云うべき、変更管理（MOC：Management of change）の問題である。例えば、ブリヂストンのタイヤ工場精錬棟における火災は発泡剤仕様変更に際し、十分なリスク評価を行っていなかったのが原因である。変更管理局面でのリスク変動アセスメントは組織のリスクコミュニケーションが非常に重要である。その中でも特に、リスク情報の開示が重要で、組織の「透明性」がないと日々の組織のダイナミズムに対応した動的なリスク管理は不可能である。

日本において、「機械安全」が企業に定着しないのは、それを導入するとコストが掛かるからだと云われている。第IV章には企業の労働安全におけるリスク低減のコスト対効果について、現況の制度下のコストと国際規格（機械安全）に準拠した場合のコストを比較分析した結果を示した。この分析は中災防のアンケート結果のデータに基づいている<10>。安全対策に係わる費用としては、A) 安全担当部門に係わる費用、労災保険料のように法令で半ば義務付けられた費用、B) 安全対策に必要な機械設備費、C) 労働災害の発生に係わる費用、安全活動に要する人件費、機械設備の保守費などの安全対策に直接関連する費用がある。「機械安全」を実施した時、「現況」の場合に比べると費用A)は両者で変わらず、費用B)は「機械安全」の方が、費用C)では「現況」の方が高くなると推測される。これらの企業の安全活動に直接要する費用の他に、安全が企業にもたらす利得として、次の様な事項を上げることができる。D) 生産性向上及び品質向上効果、E) 労働意欲の向上、企業信用の向上効果。F) リスク低減を達成することによる得べかりし利得。この内、利得F)は日本の現況の労働安全体制は有効に機能しているので「機械安全」体制になって

もそれほど大きな変わりはない。問題は安全対策の副次的効果として生ずるD)とE)の利得である。これは、「機械安全」によって大幅に上昇すると予想できる。ただし、それは日本の得意な改善活動による「問題解決サイクル」<11>を働かす必要がある。すなわち、現況の労働安全システムでは、労働者が危険を察知して「機械を止める」ことによる危険予知型の安全確保である。しかし、「機械安全」は「機械が止まる」安全確認型の安全構築を要求している<12>。この「止まる機械」の考え方はトヨタ生産方式における「自働機械」の思想と一致している。トヨタでは「自働機械」とは「自動停止付の機械」という意味であり、以上があれば機械が止まるシステムになっている<13>。人が常に付いていて異常があれば機械に代わりをすることではいつまで経っても異常はなくなる。異常や危険状態が発生すれば機械が止まるということは、不具合の原因をその場で明らかにでき、不具合がはっきりすれば「問題解決サイクル」が働き、改善も進む。その結果、機械が止まらなくなれば、稼働率も上がり、人が手を掛ける必要がなくなるので生産スピードも上げることができる。ただし、問題解決サイクルが働かないとドイツで起こったように労働者は安全装置の無効果を目指すことになり、「機械安全」によって却って、生産性や労働意欲の低下を招くことを忘れてはならない。

第V章は公共施設のリスクアセスメント事例について述べた。2004年8月に新潟県上越市で宇宙体験カプセルが落下し、小学生が負傷した。上記の箱ブランコ事故(1997年10月)、六本木回転扉事故(2000年3月)、東京ジョイポリス遊戯施設事故(2005年)などの公共施設にも言えるのであるが、本来、当該システムの設計時にリスクアセスメントがなされていなければならない。また、それらのユーザは安全性要求事項仕様書を先に作成して、その仕様書に基づいてシステムの妥当性確認が行わなければならない。しかし、これらのリスクアセスメント実施に対する法的根拠はなく、日本では公共施設のリスク管理は野放し状態である。本章の事例は、公共施設だけでなく一般産業機械のリスク分析に対する参考資料となるはずである。

参考文献

- < 1 > 杉本 旭、蓬原 弘一、安全の原理、日本機械学会論文集
第 530 号 C 編、(1990)
- < 2 > 加部 隆史、私信、(2006)
- < 3 > 安全装置の無効化に関する報告書：Manipulation von Schutzrichtungen
an Maschine HVBG-2006 ISBN:3-88383-698-2
- < 4 > D.G.Owen.J.E.Montgomery and M.J.Davis Production Liability and Safety
Cases and Materials 4th.edition Foundation Press NewYork (2004)
- < 5 > P.Vinogradoff.Common. sense in law. 3rd. edition. Oxford University Press (1959)
- < 6 > 英米語辞典、編集代表 田中秀夫、東大出版会、(1991)
- < 7 > 長瀬二三男、製造物責任法の解説、新訂版、一橋出版 (2005)
- < 8 > 青木人志、「大岡裁き」の法意識、光文社新書 (2005)
- < 9 > 危ない箱ブランコは片付けて、箱ブランコを考える会編、現代書館、(2004)
- < 10 > 安全対策の費用対効果、中央労働災害防止協会 (2000)
- < 11 > 藤本隆宏、能力構築競争、中公新書 (2003)
- < 12 > 杉本 旭、機械にまかせる安全確認型システム、中災防新書 (2003)
- < 13 > 大野耐一、トヨタ生産方式、ダイヤモンド社 (1978)

参 考 文 献

1. J I S B 9 7 0 3 -2000 「機械類の安全性」 (財) 日本規格協会
 － 非常停止 設計原則 －
2. J I S B 9 7 0 5 -2000 「機械類の安全性」 (財) 日本規格協会
 － 制御システムの安全性 －
 第 1 部 設計のための一般原則
3. 安全関連基礎用語集 安全技術応用研究会
4. 機械安全制御入門 安全技術応用研究会
5. 2 1 世紀の安全技術 安全技術応用研究会
6. 制御システムの構築概説 安全技術応用研究会
7. 安全基礎工学 安全技術応用研究会
8. 国際安全規格と人間／機械安全操作システム 安全技術応用研究会
9. ガードの設計資料 安全技術応用研究会
10. 機械リスク低減方策技術 安全技術応用研究会
11. 電気安全方策技術 安全技術応用研究会
12. 制御安全技術 安全技術応用研究会
13. 安全コンポーネントの特性と正しい使い方 安全技術応用研究会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

非 売 品
禁無断転載

平成17年度
新製造技術に関する調査研究報告書
－ 機械工業の安全化技術 －

発 行 平成18年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目5番8号
電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター
〒105-0001
東京都港区虎ノ門三丁目11番15号
電 話 03-5472-2561