

201100010B

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

労働災害の発生抑制を目指した、経済学（ゲーム理論）に基づくヒューマンエラー発生
確率の定量化手法の開発とそのリスクアセスメントへの導入

(H22-労働-若手-007)

平成22年度～23年度 総合研究報告書

研究代表者 牧野 良次

平成24（2012）年 5月

目次

I. 総合研究報告

労働災害の発生抑制を目指した、経済学（ゲーム理論）に基づくヒューマンエラー発生
確率の定量化手法の開発とそのリスクアセスメントへの導入

牧野良次1

II. 研究成果の刊行に関する一覧表95

III. 研究成果の刊行物・別刷り

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

総合研究報告書

労働災害の発生抑制を目指した，経済学（ゲーム理論）に基づくヒューマンエラー発生確率の定量化手法の開発とそのリスクアセスメントへの導入

（H22—労働—若手—007）

研究代表者

牧野良次：産業技術総合研究所 安全科学研究部門

研究分担者

和田有司：産業技術総合研究所 安全科学研究部門

和田祐典：産業技術総合研究所 安全科学研究部門

熊崎美枝子：横浜国立大学大学院 環境情報研究院

研究要旨

本研究の目的は，労働災害に関する危険性・有害性等の調査（リスク評価）における災害発生確率の評価精度向上と労働災害による死傷者数の減少に貢献するため，経済学（経済学的思考法の必要性は後述する）における最重要概念である「インセンティブ（誘因）」の考え方を理論的基礎として，ヒューマンエラー発生確率の定量化手法を開発することである．本研究では，「研究項目①新しい観点からの労働災害事例分析」として事故事例データベースからヒューマンエラーに関連する 498 件の事故事例を抽出し人的要因・組織要因に着目した事故分類を行った．「研究項目②ヒューマンエラー発生メカニズムの経済学的分析」では，ヒューマンエラー発生メカニズム分析の一例として，「Are Flexible Workers Truly More Accident-prone? New evidence from Japan」と題した研究を行い，労働災害において「インセンティブ」という考え方を適用することの有効性を示すことができた．「研究項目③国内外の政策動向の情報整理」では諸外国の労働安全衛生関連法規等を分析した．

A 研究目的

日本における労働災害死亡者数は，厚生労働省による「平成 22 年における死亡災害・重大災害発生状況等について」等の資料が示すように，明らかに減少傾向にある．災害の減少には機械安全の進展が大きく貢献していると考えられている．しかしながら，いまだ年間およそ 1,200 人の労働者が労働災害で亡くなり続けているのが現状である．機械安全の向上に努力し続ける一方で，労働災害死亡者数のさらなる減少を達成するには，事故原因としての「人的要因」や「組織要因」について検討し，それらに対処する必要があるという認識が産業界や学界で共有されつつある．

各種の事故分析手法やツールでは、人的要因や組織要因を事故原因として抽出するという作業が既に行われている。例えば、一般によく知られている「なぜなぜ分析」や、産業技術総合研究所安全科学研究部門が提唱している「事故分析手法 PFA (Progress Flow Analysis : 事故進展フローを用いた事故分析)」では、事故の根本的な原因を検討した結果しばしば人的要因や組織要因の存在が浮き彫りになる。

しかしながら、たとえ人的要因や組織的要因の存在を認識するに至ったとしても、その改善策を実行しようとする際に解決すべき問題が待ち構えている。それは「インセンティブ (誘因)」の問題である。インセンティブは経済学における基本概念であり「人々の意思決定や行動を変化させるような要因」のことをいう。

経済学では基本的に「ある人がある行動をとった背景には、その行動をとるインセンティブがあった」と考える。労働災害の文脈でいうと、労働者が被災リスクの高い行動をとったならば、その背景にはそうするインセンティブが働いていたと考える (当事者は自分がインセンティブに反応していることに自覚的である場合もあれば、無自覚である場合もある)。事故を分析する際に、単に「...という行動に問題があった」と指摘するだけでなく、もう一步踏み込んで「その行動をとったのは、労働者にどのようなインセンティブがあったからなのか」という視点を持たない限り、真の事故原因は見えてこない。

既に発生した事故の原因を考察する場合だけでなく、これから起こる (潜在的な) 事故の予防策を講じるためにもインセンティブの考え方は必須である。例えば「なぜなぜ分析」等で潜在的な事故原因として人的要因や組織的要因を抽出し、事故予防のために実施されるべき対策が明らかになったとする。しかしながら、その対策が何者かによって実行に移されると期待できる根拠は必ずしもない。言い換えると、その対策を実行に移すインセンティブを誰かが持つという保証は必ずしもない (そもそも、適切な対策の立案に努力するインセンティブすら、誰も持っていないかもしれない)。その場合「アメやムチ (=インセンティブ)」を利用して対策を実行させる工夫が必要になるのであり (アメやムチは必ずしも金銭や物品等に限らない。「名誉」といったものもインセンティブになり得る)、その工夫がない限り対策は絵に描いた餅に終わる可能性がある。

実際に労働災害削減対策を立案する人であり、その対策を実行に移すのも人である。本研究は「人はインセンティブに反応する」という考え方を軸として人的要因・組織的要因に注目した労働災害発生メカニズムを考察し、ヒューマンエラー発生確率の評価方法を開発することを目的とする。経済学ではインセンティブに関する分析についての知見が蓄積されており、我々はそれが労働災害分析にも利用できる、また利用すべきであると考えて

いる。これが従来研究にはなかった我々独特の視点である。

そこで本研究では、労働災害に関する危険性・有害性等の調査（リスク評価）における災害発生確率の評価精度向上と労働災害による死傷者数の減少に貢献するため、経済学（経済学的思考法の必要性は後述する）における最重要概念である「インセンティブ（誘因）」の考え方を理論的基礎として、ヒューマンエラー発生確率の定量化手法を開発する。

平成 22 年度は第 B 節で詳述するように「新しい観点からの労働災害事例分析」、「ヒューマンエラー発生メカニズムの経済学的分析」、および「国内外の政策動向の情報整理」を実施した。

B 研究方法

B-1 概要

本研究では経済学的分析手法を用いてヒューマンエラー発生メカニズムを解析し、発生確率の定量化手法を解析する。ヒューマンエラー発生確率が「従業員や経営者といったステークホルダーの『駆け引き』の結果に依存して変化する」と理解し、モデル化する点が、先行研究とは異なる本研究の特色である。これはエラー発生メカニズムを理解するひとつの強力な方法と期待され、本研究が経済学的分析手法を導入する理由である。

経済学的分析手法の有用性を示す一例を以下に示す。今日、就業形態の多様化から非正規雇用者の割合が増加しているが、正規と非正規の雇用者では労働に関するインセンティブが異なる。例えば、労働経済学的には「非正規雇用者は、次期の再雇用確率を高めるために生産性を優先し、安全性に注意を払わない傾向がある」と予想されている。従業員や経営者等がもつインセンティブとヒューマンエラーとの関係を経済学（ゲーム理論）の手法でモデル化する試みは既存の労働災害研究にない独創的な視点であり、この研究により従来とは異なる安全対策のアイデアが生まれることが期待される。なお、本研究は錯視といった人間工学的な研究とは異なる。

B-2 各研究項目の詳細

本研究は全 3 年間で実施する予定であり（平成 22、23 年度については実施済み。当初 3 年間の計画であったが継続不可となったため本年度で事業終了）、次の 6 つの研究項目に分かれる。

- ① 新しい観点からの労働災害事例分析の実施（和田）
- ② インセンティブとヒューマンエラーの関係を経済学（ゲーム理論）の分析手法を用いてモデル化（牧野）

- ③ 統計分析，経済実験等によるモデルの検証（牧野）
- ④ 過去に起きた労働災害事例のケーススタディ（牧野，和田，熊崎）
- ⑤ ヒューマンエラー発生防止対策のマニュアル化（牧野，和田，熊崎）
- ⑥ ヒューマンエラー発生防止対策に関する国内外の制度の情報収集と比較（熊崎）

以下，各研究項目について具体的に説明する．平成23年度以降に実施予定である研究項目についても併せて説明した．

研究項目④ 新しい観点からの労働災害事例分析（和田）＜H22年度＞

「この事故が起きたのは，どのようなインセンティブが働いた結果なのか？」という新しい観点で労働災害事例を解析することにより，「インセンティブ」と「事故」との因果関係のパターンを収集することが第一段階として必須である（例：従業員が安全規定を順守していなかったならば，彼らがそうするに至ったインセンティブ，およびその行動が労災の発生に与えた影響を資料から明らかにする）．産業技術総合研究所では，和田を中心に「リレーショナル化学災害データベース」の運営に取り組んでおり，労働災害事例の検討や事故フロー進展図の作成の十分なノウハウを持ち，所蔵資料も豊富である．

研究項目⑤ ヒューマンエラー発生メカニズムの経済学的分析（牧野）＜H22～H23年度＞

「ゲームの解（ナッシュ均衡）」としてエラーが発生するように事故関係者間の関係をモデル化する．例えば「囚人のジレンマ」ゲームは「人がインセンティブに従って行動した結果，社会的には望ましくない事態（本研究での労働災害にあたる）が生じる」様子をモデル化している．以上のような既知の理論を労働災害に応用して，エラーの発生をモデル化する．ヒューマンエラー発生確率の低減対策を考えるには「安全文化の評価項目（例：上司と部下の間の風通しがよい）」が手掛かりになる．ただし，安全文化の議論では「風通しがよい状態を実現するための方法」の提案が不十分である．本研究でモデル化されるエラー発生メカニズムを応用すればエラー防止対策（エラーが少ない状態）の理論的な導出が可能となる．つまり，本研究を安全文化の議論を理論的に補完するものとして位置付けることもできる．

研究項目⑥ モデルの検証（牧野）＜H23年度＞

個別企業データ（東洋経済「CSR企業総覧」など）を使ったマイクロ計量経済分析によってモデルの検証およびヒューマンエラー発生確率の定量化を行う．不足するデータは企業へのアンケートや個別聞き取り調査で補う．また，経済理論を実証する最新の手法である「実験経済学」の手法を取り入れることも検討する．

研究項目④ ケーススタディ（牧野，和田，熊崎）＜H23～H24年度＞

本研究で開発した手法を用いて過去実際に発生した労働災害を再考し，その生起メカニズムの記述とエラー防止対策の導出を行う．いくつかのケーススタディを実施し，本研究の有効性を示す．

研究項目⑤ マニュアル化による普及（牧野，和田，熊崎）＜H24年度＞

研究の成果を，企業の安全担当者が簡便に利用できるような「ヒューマンエラー発生確率評価手法」「エラー防止対策」として整理し，普及を目指す．

研究項目⑥ 国内外の政策動向の情報整理（熊崎）＜H22年度＞

ヒューマンエラー発生防止対策に関する国内外の制度の情報収集と比較を行う．法制度の新設や修正を検討するための基礎情報とする．この研究項目実施のためには，海外での現地調査および関連文献の翻訳が必要となる．

C 研究結果

研究項目①，②および⑥について研究結果を以下に示す．研究成果として牧野（2010），Makino et al. (2011)，牧野ら（2011），牧野ら（2012），Makino (投稿中)があるため，それらも提示する．

C-1 新しい観点からの労働災害事例分析

C-1-1 目的

総括研究報告書の第 A 節で述べたように、本研究は労働災害に関する危険性・有害性等の調査（リスク評価）における災害発生確率の評価精度向上と労働災害による死傷者数の減少に貢献するため、経済学（経済学的思考法の必要性は後述する）における最重要概念である「インセンティブ（誘因）」の考え方を理論的基礎として、ヒューマンエラー発生確率の定量化手法を開発することを目的としている。左記研究目的の達成のために、本分担研究では、過去の事故事例について詳細な検討を行い、各事例において人的要因、組織要因、およびインセンティブについてどのように記述されているかを整理した。これは本研究全体のなかでは研究項目①に位置づけられる（各研究項目の詳細について総括研究報告書に記載がある）。数多くの事故について人的要因・組織要因の影響を調査し、整理分類することで、解析対象とすべき典型的な事故あるいは重大災害に発展しやすい注意すべき事故を同定できると期待される。

C-1-2 研究方法

C-1-2-1 事故事例の収集

以下に列挙する 3 つのデータベースに収録されている事故事例を、検討する事故事例の母集団とした。

- ① リレーショナル化学災害データベース（RISCAD）：（独）産業技術総合研究所，（独）科学技術振興機構
- ② 安全支援システム PEC-SAFER データベース：（財）石油産業活性化センター（平成 23 年 4 月以降は（財）石油エネルギー技術センターが運営）
- ③ 失敗知識データベース：（独）科学技術振興機構（平成 23 年 4 月以降は畑村創造工学研究所が運営）

それぞれのデータベースについて、「人的要因」「ヒューマンエラー」などをキーワードとして事故事例を検索したところ、①38 件、②154 件、③20 件（合計 212 件）が抽出された（各データベースが同じ事故事例を収録しているケースがある。212 件は重複を含んだ数字である）。なお、RISCAD に関しては、最新版 PFA（事象進展フロー）が添付されていることを抽出の条件とした。データベースの性質上、検討対象となったのは主として化学関係の事故である。化学関係以外の事故事例の検討については平成 23 年度以降の課題としたい。

C-1-2-2 事故事例の整理

整理分類するためには何らかの基準が必要である。事件事例における人的要因、組織要因の記述を系統立てて整理する方法として、試行的に以下に述べるアプローチをとった。

『原子力・航空・鉄道・化学・宇宙開発分野の事故・トラブル 98 事例から学ぶ 巨大システム事故・トラブル教訓集』（原子力安全基盤機構，2009）は、分野横断的に事故原因の体系化を図ることを目的として、Frank H. Hawkins による「SHELL モデル」をベースに、「装置・設備」、「人間」、および「組織」という 3 つの要素から巨大システムが構成されており、その外側に「社会」が存在するというモデルを提示している。本研究では、上記の 4 要素に「化学物質」を加えて作成された事故原因の概念モデル（Katoh, et al., 2010）に基づいて事故の分類整理を行うことを試みた（図 1）。例えば「親会社と子会社」あるいは「元請と下請」の間の情報伝達ミスが原因となって発生した事故は、「組織⇄組織」に分類するといった方法である。この分類作業を通じて頻繁に起きる事故パターンを整理し、平成 23 年度以降の研究課題である「事故を取り巻くインセンティブ構造の理解」に繋げる。

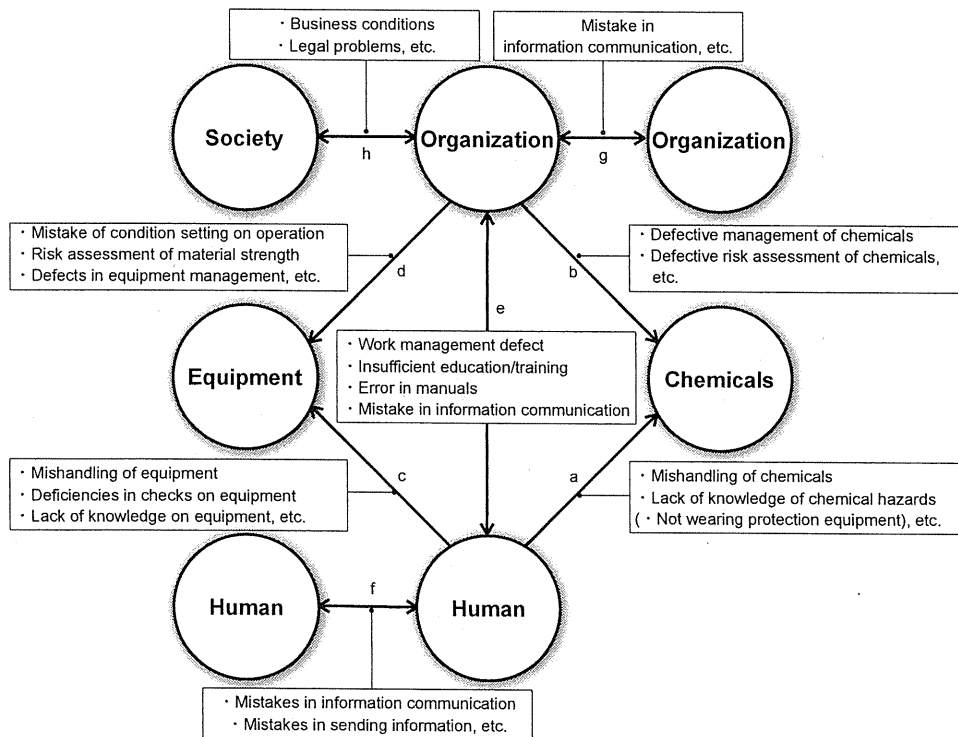


図 1 事故原因の概念モデル（Katoh, et al., 2010 より引用）

C-1-3 研究結果

分類結果を本分担研究報告書末尾の表に示した。調査対象とした事故 212 件のうち 155 件は、事例報告の文章から、純粋な「うっかりミス」あるいは「非常に偶然要素の強い事故」と判断し今回の分類対象からは除外した（ただし、純粋なうっかりミスの背後に何等かのインセンティブが働いていた可能性は否定できない。この 155 件について再検討する

ことは価値があることだと考えている)。しがたって、分類対象としたのは 57 件の事故である。

表 1 事故原因の概念モデルによる分類

インターフェース	件数
人間－人間	12
人間－組織	13
組織－組織	7
人間－装置・設備	14
人間－化学物質	8
社会－組織	3
合計	57

C-1-3-1 事故原因の概念モデルによる分類

人間－人間(付表 p.1-2)

個人と個人の間で何らかの問題が発生したことが原因と考えられる事故。概念上は「経営者と労働者」や「中間管理職と労働者」といった組み合わせも考えられるが、実際には、現場労働者間の情報伝達不足という形をとっていることがほとんどである。異なる企業あるいは部署に所属している労働者間での連絡不足は組織間の問題とも解釈し得る。また、現象としては労働者間で発生した問題であるとしても、社内規定違反、教育不足など他の問題も重層的に事故発生に影響している場合が多い。

人間－組織(付表 p.2)

企業（あるいは企業内の部署）とそこで働く個別労働者との間で何らかの問題が発生したことが原因であると考えられる事故。経験の浅い労働者に非定常作業を担当させるという人員配置上のミスが事故につながったと考えられる事例や、個別労働者が所属企業の社内規定に違反していたことが原因であると考えられる事故が見られた。後者については、現象としては作業マニュアルの違反として現れているが、関連要因として管理監督が十分でないこと、情報提供（教育）が不足していたこと等が考えられる。

組織－組織(付表 p.3)

企業と企業（親会社と子会社、協力会社など）あるいは同じ企業内での部署と部署との間で何らかの問題が発生したことが原因であると考えられる事故。協力会社との連携・情報共有の不足が原因と考えられる事例や、工事検査部門と製造部門の間の連絡ミス、配管部門と計装部門の間の連絡ミスが事故原因と考えられる事例。

人間－装置・設備(付表 p.3-5)

個別労働者が装置・設備を操作する際に生じた問題に起因する事故。今年度（平成 22 年度）は主として化学プラントの事故を調査対象としたため、バルブ、配管、タンクといった設備に関わる事故が多い。事故時に設備を操作していたという特徴はあるものの、社内規定の違反（人間－組織）や情報伝達不足（人間－人間あるいは組織－組織）など、他の問題系とも密接に関連している。また、事故リスクを低く見積もってしまう「慣れ」という問題が設備・装置の操作ミスと関連していた場合もあった。

人間－化学物質(付表 p.5-6)

個別労働者が化学物質を扱う際に生じた問題に起因する事故。「人間－装置・設備」と同様、社会規定の違反、情報伝達不足、マンネリ・慣れといった問題と関連している。

社会－組織(付表 p.7)

組織（この場合は主に企業）の行動が社会経済状況の影響を受け、それが事故に結びついていると考えられるもの。典型的には、他企業との競争が激しい場合や、好景気を背景とした増産時に、多忙を背景としたルール違反が発生する。

C-1-3-2 エラー内容による分類

「人間－人間」や「組織－組織」のように、誰と誰の間で生じた問題なのかではなく、どのような問題が生じたのかという観点で整理した。事件事例で多く指摘されていたものを表 2 に示した。以下では、指摘頻度の多かった 5 つ（教育不足・無知、情報伝達不足、慣れ、社内規定の不備、社内規定違反）についてそれぞれコメントする。

表 2 エラー内容による分類

項目	件数
情報伝達不足	21
慣れ	14
人員配置の不備	6
教育不足・無知	27
思い込みによる誤判断	7
社内規定違反	9
社内規定の不備	13
企業レベルの安全対策の不足	4
法令違反	2

同じ事故が複数の性質を持っている場合があるので合計は 57 にはならない。

教育不足・無知

「操作手順」などの、当然知っているべきであると期待されることがらを作業担当者が知らないことによって発生したと考えられている事故が多い。作業者が「知っているはずのことを知らない」ということを管理者の側から見て、管理者が「教育すべきことがらを教育していなかった」という解釈とセットになっている。「知らないこと」が問題なのであれば、その解決策は「教えること」であるという考え方は分かりやすい。しかし、問題はそれほど単純ではない。というのは、そもそも「知識を持っていること」自体は必ずしも事故防止に直結しないからである。自動車を運転する歳、一般道を100km/hで運転してはならないこと（ルールがあること、危険であること）は誰でも知っている。それでも様々な理由で100km/hで運転し、結果として事故リスクを高めてしまうことはある（自覚的にも、無自覚的にも）。

情報伝達不足

情報伝達不足は典型的にはいわゆる「引継ぎ」が十分に行われなかったという形で現れている。企業内の同一部署に所属する作業員の間だけでなく、同一企業の部署間あるいは企業間（典型的には協力会社との間）で情報が共有されていないことが事故原因となっている。情報共有がされなくなる理由を以下に3点例示する。①引継ぎに手間がかかるため省略してしまう。特に引継ぎ後自分は現場から離れる場合、（非自覚的に）油断が生じる場合があるかもしれない。②情報が共有されていると思い込んでいる。自分が知っていることは相手方も当然知っているはずであると（自覚的に、あるいは非自覚的に）考えてしまう。③情報共有が重要であるという考え方がそもそも身につけていない。したがって、情報が共有されているかどうか確認するという発想がない。

慣れ

客観的には事故リスクの高い行動（例えば近道行動、規則違反）をとっているにも関わらず連日その行動をとり、実際に無事故体験が日常化すると、「これまで無事故だったのだから、今後も事故は起きないだろう」という予測を生み、その結果リスクの高い行動を取り続けることが考えられる。化学物質を扱う場合、実際には危険で取扱いに十分な注意を要するものであるにも関わらず、それを日常的に扱うにつれて、あたかも何の危険もないようなものを感じ始めるということも想像される。

社内規定の不備

作業内容や手順が明確に定められていなかったケース。これは「情報伝達不足」が指摘された事故において同時に指摘されることが多かった。情報共有のあり方（どんな情報を、誰と、いつ、どのような方法で共有するか）に関して事前のルールが定められていなかったことが問題であると捉えられている。事故が発生した後で「ルールに不備があった」と指摘することは簡単である。しかしながら、まだ事故が起きていない「事前」の状況にお

ヒューマンエラー 原因の体系化

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
人間-人間	1	RISCAD 7276 (1984/6/4)	精油所の重油タンク改 造工事中に火災	コミュニケーション 不足	①運転担当と保安担当者間の情報連 絡不足 ②火気使用作業の協議時に設備管理 者側の工事責任者の立会いなし * 火気使用工事の日常化/慣れ/危険 物管理に対する無関心	作業方法の選定ミス(事 前協議不足)		人間-組織	日本
	2	RISCAD 07272 (1997/11/11)	精油所の減圧蒸留装 置の高温ポンプが破 裂	コミュニケーション 不足(不確実な伝 達)	①基本的な操作での不明確な伝達・・・ 現地での正確な伝達 ②新人(現場経験1年間)へのOJT不 足 * 操作を教えると同時に理由を教える	誤操作防止対策と手順書 の不備		人間-装置	日本
	3	PEC-SAFER 00277 (2006/9/7)	PPS樹脂製造装置の 重合反応器温度制御 ミスによる火災	伝達ミス(温度制御 ミス)	①温度調節バルブの全開の伝達忘れ ②マニュアルのknow why 教育不足	①自動運転～手動運転 切替のマニュアル不明確 ②温度調整バルブ閉止が 想定外	①以前のトラブルの原因 究明不足 ②放出管経路の複雑	組織-装置	日本
	4	PEC-SAFER 00340 (1996/9/24)	アンモニアの漏洩によ り11名が中毒	バルブを誤って (確認なし)開放	・ラインのフランジを緩めていた時に、 別のオペレータがアンモニアタンクの バルブを開放(指示・伝達不足)	関連ライン工事の際に は、開禁止札・結束をする ルールなし(または不順 守)	スペース確保、安全保護 具の不備		フランス
	5	PEC-SAFER 00160 (1998/11/25)	ディレード・コーキング 装置再スタート時、 コークスドラム解放時 に火災	オペレータの提案 に管理者が誤判 断	・オペレータの水注入提案を管理者が 難色を示し、冷却出来ていると誤判断	手順書の不順守	底部フランジ近辺が冷え ていたため、内部も冷え ていると判断し、内部で 徐々に分解し、発火	人間-化学物質	アメリカ
	6	PEC-SAFER 00117 (1996/7/16)	メチルエチルケトン (MEK)脱ろ装置定期 修理中ろ過機室で火 災	ドレン抜き/火気 使用工事の連携 不足	・工事連絡不足(工事担当者への連絡 なし)/ 危険物取扱の軽視	火気使用工事の作業規 程不備		人間-組織	日本
	7	PEC-SAFER 00290 (1988/7/6)	パイパー・アルファ・ブ ラットホームの火災	予備ポンプの修理 を引継がれてない ので、使用したミス	・移送ポンプが故障したので予備ポン プ(修理中、安全弁取外し遮蔽板の仮 止め中)を使用したミス: 予備ポンプ使 用前安全確認の省略と連絡ミス	メンテナンスに関する引 継ぎ不備	第三機関の監査指摘事 項の未対応、モジュール 間の防火壁の耐爆設計	社会-組織 人間-組織	アメリカ
	8	PEC-SAFER 00113 (1994/7/23)	充填中のタンクロー リーでガソリン漏洩	2名作業の誤作動 と誤操作(判断)/ ガソリンの過充填	A: 計器室オペレータ: 異常警報システ ムの誤操作(誤判断) B: タンクローリーオペレータ: 誤操作と 思い込み、異常警報をリセット > 現場状況確認なし	操作手順の教育不足	自動停止したオーバーフ ロー防止弁のシステムの 要改善		日本

9	PEC-SAFER 00321 (2006/11/30)	出荷棧橋において、 パージ船へ出荷中荷 役外タンクのバルブ開 放	荷役外タンクバル ブ開放	A:荷役予定外の送油バルブを全開に したまま送油/B:送油前のバルブ確 認なし	作業前後の現地確認の 徹底不足			日本
10	PEC-SAFER 00024 (1987/7/8)	常圧蒸留装置定修中 における空気熱交換 器での火災	バルブの誤操作 (開放)と引継ぎ手 順、操作手順の不 遵守	・弁開閉のマニュアルの不遵守/交代 勤務間の連絡ミス(2名以上間の連絡 ミス)	引継ぎ手順、操作手順の 不徹底	プロセスラインに合流する ユーティリティーラインに は、逆止弁を設置	人間-装置	日本
11	PEC-SAFER 00212 (1993/9/30)	水素化精製装置往復 動圧圧縮機の分解中 に小爆発	クリアランスポケッ トバルブ部の水素 ガスのパージ不足 (確認不足、計画 不備)	・水素ガスの残留確認不足、メンテナ ンス計画不備(協力会社との連絡不 足?)	マニュアル類の不備、協 力会社への連絡?		人間-装置	日本
12	PEC-SAFER 00283 (2004/6/21)	配合用タンクからのシ ンナー漏洩	作業終了後全バル ブ閉止ミス	・2名作業で、Aのバルブ閉止ミスを、B も確認せずに、大丈夫と思い込み、バ ルブで確認ミス	根本的な安全教育不足		ルール不遵守	日本

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
人間-組織	13	RISCAD 07271 (1996/7/17)	アルキルアルミニウム 製造プラントで反応器 が破裂	コミュニケーション 不足	①ジャケット上部の付着物の確認の重 要情報連絡不足...クリティカルな情 報であるとの認識 ②マルチプラントに対する評価不 足...一見同様に見える反応でも危険 評価不足	①マルチプラントの併用 品目の不適合 ②変更管理の不備	マルチプラントの洗浄不 備	組織-装置 人間-化学物質	日本
	14	PEC-SAFERF 00151 (1966/1/4)	LPGタンク水抜き作業 中LPGガスが漏洩し 爆発火災	水抜きバルブ操作 ミス	・ダブルバルブ操作の意味(know why) を伝えていなかった	バルブ操作表示、教育不 足	設備の改良、散水冷却設 備などの不備		フランス
	15	PEC-SAFER 00302 (1988/1/23)	LPG回収装置のフラン ジからガスが漏洩火 災	配管フランジの組 立てミス	・工事(入口/出口)分岐点の担当者間 の連携不十分 ・補修作業体制(協力会社選定など) の不備	①設備維持管理基準の 不備 ②協力会社への教育			ドイツ
	16	PEC-SAFER 00188 (1992/12/15)	エチレン製造装置分 解炉のでコーキング準 備操作で漏洩火災	パージ終了と誤判 断	・経験の浅い作業員の非定常作業(作 業の意味を十分に伝える)確認ミス	作業方法の教育⇒操作 方法の潜在的危険性内 容の教育不足	①ドレンバルブの微開放 ②バルブタイプの不適合	人間-化学物質	日本
	17	PEC-SAFER 00070 (1994/8/18)	水素化脱硫装置配管 ベントノズルフランジ のガスケットご使用に よるガス等の漏洩	パッキンの誤使用 (仮パッキンの交 換ミス)	・パッキンの誤使用、思い込み(協力会 社間の保管に関する連絡不備)	協力会社間連絡不備、作 業指図書の不十分、工事 管理体制不十分			日本

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
組織－組織	18	PEC-SAFER 00218 (1996/11/1)	タンクの通気口を塞いで払い出しをしたため側板が変形	施工業者の未指示作業	・工事検査部門と製造部門の工事完了連絡ミス	施工業者との作業指示不足、連絡不足	タンク通気口密閉での払い出しによる側板変形		日本
	19	PEC-SAFER 00310 (1989/2/2)	マレイン酸製造装置設備タンクヤードのタンク爆発、火災	生産部門・保守部門の連絡	・貯蔵タンク保守作業終了未確認、伝達不足	保守手順・不備			フランス
	20	PEC-SAFER 00129 (1978/12/13)	常圧蒸留装置のドレン弁誤操作による原油噴出	誤判断によるドレン弁の開放	・圧抜きを窒素ガス送入弁を開放するところを、ドレン弁を開放したミス(下請け作業・事業所の保安担当者、下請けの監督、不在)	協力会社を含めた作業基準の未整備(作業指示、責任分担、立会い)、教育不足	運転ラインのドレン弁への表示		日本
	21	PEC-SAFER 00098 (1970/2/26)	常圧蒸留塔塔底油ポンプケーシングのフランジ部から熱油漏洩火災	入口バルブ閉止せずにポンプケーシングの開放ミス→高温油のため閉止不可	・補修工事開始前の工事内容確認未実施、思い込みでのバルブ確認未実施/工事に対する基本事項の不遵守、慣れ、(2部門間の連絡ミス)	協力会社との連携、確認不足	緊急時に操作出来るバルブの設置なし		日本
	22	PEC-SAFER 00250 (2006/4/21)	芳香族抽出装置の配管の熱電対取付け部から漏洩し火災	熱電対取付け部からの漏洩ミス	・取付け工事時の確認ミス(配管部門と計装部門との連絡不足)	配管取付け工事計画ミス(協力会社含む)	サーモウエルなしに熱電対が付けられる構造ミス	人間－装置	フランス
	23	PEC-SAFER 00124 (1994/10/9)	油槽所で配管工事中ガソリンが漏洩しタンク火災	タンク元バルブ開放でガソリン漏洩火災	・工事担当と運転間の連絡ミス(未接続配管フランジ部より漏洩)	工事に対する総合的な安全対策の不備		人間－人間	日本
	24	PEC-SAFER 00308 (1985/12/21)	石油製品の貯蔵所の大規模な爆発火災	タンク液面管理不履行、配置ミス	・2名の作業員荷卸しタンクからのオーバーフロー確認不足(大量の危険物取扱の認識不足、慣れ)	基本的な安全教育不備	タンクの過充填防止システム	人間－人間	イタリア

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
人間－装置	25	失敗知識DB (1998/12/11)	トリメチルインジウム <small>の</small> 小分け作業中の空気の混入による爆発	バルブ開閉のミス(空気接触の自然発火)	・物性に応じたバルブ開閉ミス、引継ぎ時の伝達ミス(装置を知っている思い込み)	引継書の不備	装置の不備:逆止弁の二重化など	人間－化学物質	日本

26	失敗知識DB (1998/3/6)	融解のため温蔵庫で加熱中のドラム缶に入ったアクリル酸の爆発	スチーム配管上にアクリル酸ドラム接触ミス	・加熱用のスチーム配管上にドラム接触/設備ミス+作業ミス(無知?軽視??)	安全教育の不徹底	物性を把握・軽視した設備ミス	人間-化学物質	日本
27	失敗知識DB (1985/1/1)	エポキシ樹脂製造におけるエピクロルヒドリンとジメチルスルホキシド共存系の爆発	化学物性把握不足/安全弁作業に関連したミス	・蒸留操作の化学物質の基本的事項の把握ミス	化学物質などの教育不足		人間-化学物質	日本
28	失敗知識DB (1977/4/19)	農薬中間体製造工程における不適切な温度管理によるDMTPの爆発	温度計管理ミス	・運転員のミス?(厳しいが、監視ミス)	温度管理の不備	温度計の設備ミス		日本
29	失敗知識DB (1970/4/14)	5-t-ブチルメタキシレンのニトロ化反応中の攪拌機の再起動による爆発	攪拌停止状態の滴下ミス	・反応中の攪拌確認は最低限のこくく作業マンネリ、慣れ、怠慢>	基本的な安全教育の不備、不徹底	緊急時対応設備配慮なし	人間-化学物質	日本
30	失敗知識DB (1965/12/3)	フェノール樹脂反応釜の異常反応による破裂	攪拌停止状態の加熱ミス	・反応中の攪拌確認は最低限のこくく作業マンネリ、慣れ、怠慢>	基本的な安全教育の不備、不徹底	緊急時対応設備配慮なし	人間-化学物質	日本
31	失敗知識DB (1956/1/27)	反応缶の加熱水蒸気を完全閉止できないで缶内圧力が上昇したことによる漏洩、爆発	バルブ不完全閉止ミス	・バルブ閉止ミス、確認不足ミス	反応操作教育不足	コンデンサーサイズ、防爆などの設備設計不足ミス		日本
32	PEC-SAFER 00238 (1990/11/29)	プラントからの緊急脱圧によるフレアラインの脱落	ドレンライン閉塞時の作業手順の不順守	・手順の順守は基本中の基本(省略行為なのか、教育不足なのか?)		フレアラインからの液体除去の設備の改善		イギリス
33	PEC-SAFER 00040 (1995/5/11)	重質油水添脱硫装置停止作業中の熱交換器と配管接続部からの重油漏洩火災	高温循環ライン>重油受入量増加>フランジ面から漏えい>操作基準のルール無視	・基本手順での停止操作不順守/思い込み、勘違い、作業短縮、省略	手順書類の不備			日本
34	PEC-SAFER 00316 (2007/8/22)	重油漏洩による火災	ポンプ切り替え時のキャビテーションによる送液停止	・キャビテーションを起こす様な操作ミス	操作訓練、教育の不備	キャビテーション予防のスロップライン変更		日本
35	PEC-SAFER 00051 (1997/8/11)	常圧蒸留装置の流量計を点検中残渣油が漏洩し火災	二重バルブの同時開放ミス	・洗浄手順の不遵守	安全教育の不徹底	プラグとダブルバルブの設計不備		日本

36	PEC-SAFER 00301 (1988/12/25)	蒸留残渣油を受入れ中にタンクの側板が破壊	過充填によるタンク側板破断、漏えい	・運転の監視ミス、タンク受入れ計画策定のミス	タンク事故履歴と使用計画策定の管理ミス	? 事故の屋根板は取り替えたが、側板の検証がおよび検討不足		フランス
37	PEC-SAFER 00406 (2002/8/19)	流動接触分解装置分離塔液面計ドレン抜き作業での可燃性物質の漏洩・火災	操作機器の間違えミス	・操作内容確認不足、コントロールルームとの情報伝達不十分	作業基準不十分、教育不十分		人間-人間	デンマーク
38	PEC-SAFER 00210 (1997/1/21)	水素化分解装置反応塔出口の配管破裂によるガス漏洩爆発	ホットスポットで制限温度超過しての対応未実施ミス	・作業管理の逸脱に日常化、	危険操作と言う教育不足、手順不備		ルール不遵守	アメリカ

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
人間-化学物質	39	失敗知識DB (1998/3/6)	融解のため温蔵庫で加熱中のドラム缶に入ったアクリル酸の爆発	スチーム配管上にアクリル酸ドラム接触ミス	・加熱用のスチーム配管上にドラム接触/設備ミス+作業ミス(無知? 軽視?)	安全教育の不徹底	物性を把握・軽視した設備ミス	人間-装置	日本
	40	失敗知識DB (1985/1/1)	エポキシ樹脂製造におけるエピクロルヒドリンとジメチルスルホキシド共存系の爆発	化学物性把握不足/安全弁作業に関連したミス	・蒸留操作の化学物質に対する基本的事項把握ミス	化学物質などの教育不足		人間-装置	日本
	41	失敗知識DB (1983/5/22)	クロロホルム製造装置の反応塔内における異常反応による塩化水素ガスの漏洩	緊急時、反応コントロールミス<塩素ガス>	・緊急時対応ミス(対応に気を取られたこと)のミス)交代引継ぎ不足?	緊急時対応訓練不十分	設備の不備		日本
	42	失敗知識DB (1970/8/30)	トルエンのスルホン化反応の攪拌再開で爆発	攪拌停止再開時の判断ミス	・反応状況の確認なし>攪拌停止⇒攪拌再開ミス	作業標準の教育不備	攪拌停止の警報等の設備対応不足	人間-装置	日本
	43	失敗知識DB (1970/4/14)	5-t-ブチルメタキシレンのニトロ化反応中の攪拌機の再起動による爆発	攪拌停止状態の滴下ミス	・反応中の攪拌確認は最低限のこと<作業マンネリ、慣れ、怠慢>	基本的な安全教育の不備、不徹底	緊急時対応設備配慮なし	人間-装置	日本
	44	失敗知識DB (1965/12/3)	フェノール樹脂反応釜の異常反応による破裂	攪拌停止状態の加熱ミス	・反応中の攪拌確認は最低限のこと<作業マンネリ、慣れ、怠慢>	基本的な安全教育の不備、不徹底	緊急時対応設備配慮なし	人間-装置	日本
	45	RISCAD 03060 (1981/2/24)	アクリル酸モノマー加熱中における重合反応による容器破壊事故	作業手順逸脱(変更)作業のなれ(指示無視)	①作業手順の逸脱:変更 ②慣れ⇒無	物性のリスク評価不足 利益優先	設備の検討不足		日本

46	RISCAD 06555 (2005/5/11)	誤判断 (温度管理不足)	①試薬(薬品)は “生もの(活性)”と 言う認識不足 ②現場監視はモニ ターだけではダメ	・促進剤追加の評価不足 (反応促進剤の経時劣化)	化学反応メカニズムの教 育不備		組織－化学物質	日本
----	-----------------------------	-----------------	--	-----------------------------	--------------------	--	---------	----

原因 体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
ルール不遵守	47	RISCAD 06165 (2003/4/11)	煙火製造工場の配合 所で火薬の調合中に 爆発	多忙→ルール無 視	・多忙⇒ルール無視(危険物を危険と 思わなくなる)	許可量超過(法令軽視)		社会－組織	日本
	48	RISCAD 07275 (1986/5/17)	LPガス充填所でガス 容器が過充填で破裂	作業監視不足	①事故の原因となった“過充填”は、離 場によるもの…危険物の充填という 重要な作業の認識不足 ②過充填後の対応で、液状LPガスの 放出(日常的な対応) ・危険物の取扱いの日常化/慣れ/危 険物管理に対する無知	①作業手順の不備(確認 不足) ②知識不足(マニュアル不 備)		人間－化学物質	日本
	49	PEC-SAFER 00382 (1992/11/7)	ベンゼンタンクサンプ リング作業でのバルブ 閉め忘れによるベンゼ ンの漏洩	運転手順の不順 守	・サンプリング箇所の勝手な変更	管理監督の不十分、安全 教育不足	サンプリング箇所の不都 合(運転員の意見?)		イギリス
	50	PEC-SAFER 00062 (1987/6/24)	ローリー出荷設備のマ イクロフィルターよりド レン切り中の火災	静電気安全対策 の未実施/無 知?無視?	・ドレン作業(週1回作業)で受けペ ール缶接地なしの感覚(2名作業)/静 電気安全・軽視	静電気対策マニュアルの 不備	受けペール缶のボンディ ング未実施		日本
	51	PEC-SAFER 00148 (1987/6/11)	原油タンク内部スラ ッジ清掃中喫煙により火 災	危険物取扱時の 喫煙	・危険物タンク内での喫煙/日常化、 慣れ(協力会社社員)	管理、監視の不徹底/協 力会社への教育不備	排気等の設備設置なし	人間－組織	イギリス
	52	PEC-SAFER 00140 (1992/9/13)	重油タンクの外側配管 サポート溶断工事中 にタンク内爆発・火災	グラインダー作業 ⇒溶断作業する無 神経	・作業時間短縮するためのルール(基 準)無視	スラッジ(可燃物)に対す る認識不足	火気使用時の危険物除 去、換気の不備		日本
	53	PEC-SAFER 00020 (1986/1/21)	接触改質装置加熱炉 スタート作業時の燃料 ガス漏れ込みによる 炉内爆発	作業基準不遵守	・安易な操作、ルーズな作業(マンネリ 化)	操作手順教育不足(何故 の教育不足)			日本

54	PEC-SAFER 00344 (1995/9/9)	装置のシャットダウン中、流動接触分解装置のガソリンMerex部門で火災が発生	洗浄用消火栓への逆流	・作業手順の不遵守	消火栓使用時の新たな手順不備		人間-装置	ベルギー
----	----------------------------------	--	------------	-----------	----------------	--	-------	------

原因体系	No	事例 IDNo	タイトル	ヒューマンエラー系	ヒューマンエラー 詳細	ソフト系	ハード系	2次的原因要因	国名
社会-組織	55	RISCAD 06165 (2003/4/11)	煙火製造工場の配合所で火薬の調合中に爆発	多忙→ルール無視	・多忙⇒ルール無視(危険物を危険と思わなくなる)	許可量超過(法令軽視)		ルール不遵守	日本
	56	RISCAD 07031 (1999/2/19)	米国・ヒドロキシアミン製造工場での爆発	①危険情報の収集/認識不足 ②増産時は非正常状態との認識の不足	①危険情報の収集/認識不足 事故情報の活用なし(前年・米国事故) ②増産時は非正常状態との認識の不足 * 増産体制+生産優先の社風・風潮? (利益優先)	・鉄イオンへの危険認識不足 ・増員:教育不備	プラント設計(デッドストック:Feイオン)ルーズ	組織-装置 人間-化学物質 人間-組織	アメリカ
	57	PEC-SAFER 00290 (1988/7/6)	パイパー・アルファ・プラントホームの火災	予備ポンプの修理を引継がれてないので、使用したミス	・移送ポンプが故障したので予備ポンプ(修理中、安全弁取外し遮蔽板の仮止め中)を使用したミス:予備ポンプ使用前安全確認の省略と連絡ミス	メンテナンスに関する引継ぎ不備	第三機関の監査指摘事項の未対応、モジュール間の防火壁の耐爆設計	人間-人間 人間-組織	アメリカ

* 事例の原因体系で、特に2次的原因要因の中で、重複度の高い事例について選択し、太文字表示した。

いて具体的にどのようなルールを定めればよいのかは必ずしも自明ではない。

社内規定違反

社内規定違反は「思い込みによる誤判断」と同時に指摘されているケースが多かった。「大丈夫だ」「安全である」「この操作で問題ないはず」といった思い込みがあるからこそ、規定に違反しても大丈夫だろうという考えが生まれるものと推察できる。規定違反が起こる別の論理として「順守にはコストがかかる」というものがある。この場合のコストは必ずしも金銭的なものではない。一般に規定を順守するには体力的、精神的、時間的負担をとる場合が多い。その負担すなわちコストを嫌って規定違反してしまうという考え方である（規定にのっとった行動を取ることがむしろ楽で快適であるならば、規定の存在とは無関係にその行動を取るだろう。その場合あえて規定を作らなくても作業者は進んでその行動を取ってくれるはずである）。

C-1-4 概念モデルを用いた事故原因の見取り図

ここでは、事故原因の概念モデルを用いた分析例を示す。とりあげた事故は日本におけるアルキルアルミニウム製造プラントでの反応器破裂事故（付表，No.13）である。ここでは事故そのものの解説（背景，経過，被害，教訓等）はせず，事故原因を俯瞰的に捉えることを目的とする。