

宇宙航空開発におけるシステム安全活性化のための教育方法と  
その効果測定に関する研究

筑波大学審査学位論文(博士)

2009

関 田 隆 一

筑波大学大学院

ビジネス科学研究科 企業科学専攻

## 目次

第1章 緒言 .....	6
1.1 研究の背景.....	6
1.2 研究の意義.....	7
1.3 研究の目的.....	8
第2章 文献サーベイと本研究の視点.....	9
2.1 事故データ分析によるシステム安全の必要性.....	9
2.1.1 システム安全の定義.....	9
2.1.2 アメリカのNASA及び軍におけるシステム安全の現状.....	11
2.1.3 欧米の民生機器におけるシステム安全の現状.....	13
2.1.4 我が国におけるシステム安全の現状.....	16
2.1.5 事故データ分析によるシステム安全の必要性のまとめ.....	18
2.2 技術標準活用のための教育プログラム設定.....	19
2.2.1 NASAを中心としたアメリカにおける教育の変遷と現状.....	19
2.2.2 我が国の工学教育.....	22
2.2.3 プロジェクトマネジメントで使う標準とそれを活用するエンジニア教育.....	26
2.2.4 企業内人材育成.....	27
2.2.5 標準活用度分析とエンジニア教育構築のまとめ.....	29
2.3 エンジニア教育効果の定量的測定.....	30
2.3.1 教育効果測定理論について.....	30
2.3.2 我が国の教育効果測定研究について.....	31
2.3.3 エンジニア教育効果の定量的測定のまとめ.....	33

2. 4	文献サーベイのまとめと研究課題の設定	34
2. 4. 1	文献サーベイのまとめ	34
2. 4. 2	問題点の総括と研究課題	35
第3章	事故データ分析によるシステム安全の必要性	39
3. 1	目的	39
3. 2	分析対象とするデータ	39
3. 3	事故データ全体傾向の分析	40
3. 3. 1	事故件数の分析	40
3. 3. 2	事故原因	41
3. 3. 3	事故の再発防止対策	43
3. 4	システム安全の視点を取り入れた新たな分析	44
3. 4. 1	分析方法	45
3. 4. 2	分析結果	46
3. 5	システム安全の不十分さと事故の関連分析	48
3. 6	まとめ	52
第4章	技術標準活用のための教育プログラム設定	54
4. 1	目的	54
4. 2	技術標準活用に向けた質問紙調査	54
4. 2. 1	プロジェクト活動と技術標準の現状	54
4. 2. 2	質問紙設計	55
4. 3	質問紙調査結果	56
4. 3. 1	回答者の全体像	56

4. 3. 2	基礎統計	57
4. 3. 3	因子分析	60
4. 3. 4	共分散構造分析	61
4. 4	調査結果を反映した教育プログラムの設定	63
4. 4. 1	第1ステップ:NASA を手本にした教育の設定	64
4. 4. 2	第2ステップ:技術標準活用の分析結果を反映した教育の改善	67
4. 4. 3	設定したシステム安全の教育プログラム	68
4. 5	まとめ	71
第5章	エンジニア教育効果の定量的測定	73
5. 1	目的	73
5. 2	教育効果測定モデル	73
5. 2. 1	採用したモデル:4-レベルアプローチ	73
5. 2. 2	4-レベルアプローチの具体化の方針	74
5. 3	教育効果の定量的測定	75
5. 3. 1	対象とした教育の概要	75
5. 3. 2	測定結果全体について	76
5. 3. 3	レベル1(満足)の測定方法と結果	76
5. 3. 4	レベル2(理解)の測定方法と結果	77
5. 3. 5	レベル3(実務活用)の測定方法と結果	80
5. 3. 6	レベル4(業績)の測定方法と結果	85
5. 4	まとめ	91
第6章	結言	92

文献リスト	95
謝辞	109
添付資料1 技術標準活用に関する調査データ	集計結果..... 110
添付資料2 技術標準活用に関する調査データ	分析結果..... 115
添付資料3 教育効果レベル3 フォローアップアンケート	集計結果 ..... 122
添付資料4 教育効果レベル3 フォローアップアンケート	分析結果 ..... 131

# 第1章 緒言

## 1.1 研究の背景

2003年2月1日、アメリカのスペースシャトル・コロンビア号が宇宙からの帰還飛行中にテキサス州上空で空中分解するという衝撃的なニュースが世界を駆け巡った。とりわけ宇宙航空開発エンジニアは、1986年1月に打上げ後73秒で爆発したチャレンジャー号事故の反映により、技術面もマネジメント面も格段に安全が向上していると信じていただけに事故再発の衝撃は大きかった。また2005年4月25日、JR 西日本福知山線で107名もの尊い命が犠牲になる我が国の鉄道史上7番目の事故が発生し、日本中に衝撃が走ったのも記憶に新しい。「世界一安全で正確」を誇ってきた日本の鉄道の安全神話が崩れたと言われた重大事故である。筆者は、この2事故が発生した間の2004年から宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部で研究開発プロジェクトにおける事故と重大不具合の未然防止に取り組んでいる。複雑・巨大システムで発生した前述の2事故は、技術的原因は異なるがマネジメントではシステム安全(System Safety)不十分が共通要因と考えられ、その改善が事故防止策の一つになる。

システム安全は「システムの安全」と単純に解釈されがちであるが、システムの安全を確保するために工学とマネジメントを融合させてシステムティックに安全を確保する手法を指す。具体的には体系的に安全設計を行った上で設計者に任せるだけではなく、開発開始から運用まで独立部門でも安全を総合的にマネジメントし事故防止活動を実行することである。歴史的には1950年代後半、アメリカのミサイル発射システムで重大事故が18ヶ月間に4件も発生し、その原因が安全設計の単純欠陥で対策に莫大な費用がかかることから耐用10年のシステムを2年で廃棄したことが発端である。それまで設計者各人が行う活動だけで可能と考えられていた安全確保が、複雑・巨大システムでは対応できないという教訓を得た一件である。

我が国のシステム安全活動は、アメリカ空軍とアメリカ航空宇宙局の手法を手本にして1986年に宇宙開発事業団で技術要求文書を制定したのが始まりである。国際協力としてアメリカと共通の枠組みがある有人宇宙開発では、システム安全はプロジェクトマネジメントの一部として機能している。一方その共通の枠組みがない無人のロケット・衛星開発でシステム安全は各開発段階末の審査用資料の作成に終始することが多く、事故を設計で未然に防止する機能を十分に果たしている状態とは言えない。この状態は改善する必要がある。

## 1.2 研究の意義

歴史を振り返るとアメリカは、月を目指したアポロ計画当初から宇宙飛行士が犠牲になる事故を幾度も経験し、そのたびに技術を向上しシステム安全も発展させてきた。チャレンジャー号事故後も事故報告書で指摘された安全部門が真に機能しない状態の「**Silent Safety**:もの言わぬ安全」を払拭すべく改善努力を払ったがコロンビア号事故を再発した。チャレンジャー号事故もコロンビア号事故も技術的原因は既知の現象であったため、技術以外の背後要因を明らかにする学術研究が行われ、システム安全の形骸化や安全文化の未成熟などが多数指摘されているが、その状態を改善する手法とその結果まで詳細に議論した研究は少なくここに学術研究の意義がある。

JR 西日本の事故では「自主管理・改善」、運転士の技量、社全体のモラルなど企業の社会的責任として扱われる事項が安全の問題としてマスコミで議論になった。その議論とは別に安全・信頼性に携わるエンジニアや研究者の間では、この事故は設計時に予見できなかったのか、カーブ手前の制限速度 70km/h の根拠は何か、もし安全を考えているなら制限速度を超えたら減速を強制するインターロックを採用しないで運転士の技量に委ねたのはなぜかなどを議論していたが、事故調査だけでは明確な解を得るに至っていない。このようなことはシステム設計者だけが知り得ることで、システム安全活動の一環として設計・解析を行い、その結果を記録に残しておく責任がある。従って本事故の背後にシステム安全活動の不十分さがあると推定できる。しかし事故を起こした JR だけが特異な例とは言えないことから、我が国の企業全体にシステム安全活動が不十分であることまで推定できる。2006年に日本信頼性学会のシンポジウムで筆者は JR 西日本、JR 東日本、鉄道技術総合研究所のエンジニア達と議論し、設計へ反映するハザード解析を実行できないと認識しており、このシステム安全の課題を解決したいという意見を聴取した。本研究の成果が広く適用される可能性をここに見出している。

筆者が宇宙航空研究開発機構で有人宇宙開発を対象から除いてシステム安全を推進する業務に就き始めた2004年に、ハザード解析の成果であるハザードレポートについて一つ前のプロジェクトが作成したレポートの表題だけを変えて提出してきた事例があった。また過去のプロジェクトの教訓を生かして修正すべき安全要求と適合しない設計項目のいくつかは、検討されずにそのまま残っている事例もあった。このようなシステム安全活動が十分とは言えない状態に対して各プロジェクトのシステム設計者やプロジェクトマネージャの主な意見は以下であった。

「これまで事故にならなかったことがない。何が悪いかを知るために事故を疑似経験させてほしい。」

「システムの設計が安全設計要求と適合していてもミッション成功の実績がある。だから安全設計要求が不適切であり、そちらの改訂を検討すべきである。」

「実績ある機器を実績ある手順で運用するから、ハザードレポートは過去と変わらない。」

「ハザードレポート不備は設計の責任ではない。安全・信頼性担当者が試験開始までに善処すれば良いので、このままの状態プロジェクトを進行させて何も問題がない」

これらはシステム安全の基本理念を知るエンジニアや研究者からは出ることのない意見である。つまり本研究を開始した当時の宇宙航空開発エンジニアの多くはシステム安全の理念を知らない状態にあったと推定できるが、これはシステム安全に限ったことではなく安全・信頼性全般がその状態にある可能性もある。このことが宇宙航空開発プロジェクトでシステム安全が機能しない要因の一つになっている。この様にエンジニアが知らない状態は教育により知らせることが改善として有効であり、システム安全活性化の可能性をここに見出せる。

### 1.3 研究の目的

本研究の目的は、宇宙航空研究開発プロジェクトの事故と重大不具合を未然防止するためにシステム安全の必要性、システム安全を活性化するための教育プログラム及びその教育効果を各種データ分析により明確にすることである。それを本研究では以下の順に具体化していく。

- (1) 我が国のシステム安全の現状について、公開されている事故情報データから把握し、改善に向けた課題を導く。
- (2) 宇宙航空開発プロジェクトにおけるマネジメント要求などの技術標準の効果的活用をねらいとして、課題とそれに対する方策を質問紙調査データから導き、システム安全の体系的企業内教育プログラムを設定する。
- (3) システム安全の体系的企業内教育を実行しその中で取得した各種データから、教育効果によりシステム安全が活性化した状態を検証する。

教育を基にしてシステム安全を活性化する本研究は、宇宙航空開発エンジニアがシステム安全にかかるプロセスや技術要求を十分に認知していない状態を改善するだけでなく、我が国の企業全体でシステム安全が不備であると推定できる状態の改善にも寄与するものとなる。



## 第2章 文献サーベイと本研究の視点

### 2.1 事故データ分析によるシステム安全の必要性

システム安全(System Safety)は、第1章で示したとおりアメリカのミサイル基地での事故が発祥であることからアメリカ空軍及びアメリカ航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration : NASA)での研究開発で発展を遂げてきた流れと軍や生活用品から車、列車などの民生機器について CE マークを付けた製品がヨーロッパ各国を流通できる製品安全として発展を遂げてきた流れの2つに分けられる。一方我が国は、両者の流れに遅れを取っており、最近になって民生機器の製品安全でグローバルな流れに乗ろうとしている状況にある。従ってここでは、この3つの流れに分けて文献をサーベイした結果、浮き彫りになったシステム安全の現状・問題点を説明する。

#### 2.1.1 システム安全の定義

システム安全は、日本語では「システム」も「安全」も平易な言葉であるため、その組合せとして「システムの安全」と解釈されがちである。広辞苑第5版によると「安全」は「安らかで危険のないこと」と定義しており、すると「システムの安全」では、「あるシステムが危険のない状態にあること」と状態を表す言葉になり誤解である。一方、「安全管理」と同義であると思われることも多いが、平凡社世界大百科事典第2版によると「安全管理」は「事業活動にともなう災害の予防と処置のため、企業が実施する体系的方策をいう」と定義しており、対象が予防と処置の方策に限定されているので同義ではない。そこでまずシステム安全の定義を明確にしておく。

国際規格 ISO14620-1:2002 で、以下と定義している。

The application of engineering and management principles, criteria, and techniques to optimize all aspects of safety within the constraints of operational effectiveness, time, and cost through all phases of the system life cycle

(和訳文)

システムのライフサイクルにおける全フェーズを通じて、運用の効果、時間及び費用の制約

の下で、安全に関するすべての面を最適化するための、エンジニアリング及びマネジメントの原理、基準及び手法の応用

またシステム安全の発祥であるアメリカ軍の文書に立ち返ると、アメリカ国防省発行のアメリカ軍規格 MIL-STD-882D (Department of Defense U.S.A, 2000)で、以下と定義している。特に和訳は付けないが ISO の定義とほぼ同じであることが分かる。

**The application of engineering and management principles, criteria, and techniques to achieve acceptable mishap risk, within the constraints of operational effectiveness and suitability, time, and cost, throughout all phase of the system life cycle.**

一方、我が国では宇宙航空研究開発機構(以下 JAXA)で整備している研究開発業務に対するマネージメント要求文書の システム安全標準 JMR-001B(宇宙航空研究開発機構, 2008)で以下と定義している。

プロジェクト等の事業遂行に関する計画立案から整備、運用・実施、撤収に至るシステムのライフサイクルの全段階を通じて、運用効果、スケジュール、及びコストへの配慮の下に安全を最適化し、事故等のリスクを合理的に可能な限り小さくするため、工学及び管理の原理、基準、及び手法を用いること

上記3文書間でシステム安全の定義に大きな相違は無く、システム安全の核となるキーワードは次の3つと識別できる。

①システムのライフサイクル全段階

を通じて

②工学とマネージメントの手法

を用いて

③安全に係る事故等のリスクを小さくすること

従って、システム安全は、安全もしくは安全管理とは異なる概念であり、ここで明確にした定義を本研究での考え方の基礎とする。

## 2. 1. 2 アメリカの NASA 及び軍におけるシステム安全の現状

### (1) ソフトウェアが絡む複雑システムの事故分析

1990年代は、衛星の大型化とミッションの複雑化に伴って衛星の故障や事故が増えた時代である。その中でミッション中断となった NASA の太陽観測衛星 (Solar Heliospheric Observatory: SOHO) について、事故調査報告書を基に現象を追い、階層構造で事故モデルを詳細に明らかにした結果、最近の衛星で重要な制御を担当するソフトウェアに多くの故障や事故が起因していることを指摘した(K.A. Weiss, 2001)。システム安全で、衛星開発の初期段階からソフトウェアの影響やヒューマンファクタに起因する事故の可能性まで幅を広げて検討することが重要であると主張している。

上記と同時期に NASA Design for Safety program と NASA IV&V Facility からの経費でマサチューセッツ工科大学大学院生25名による航空宇宙事故レポートの詳細かつ体系的な分析研究がある(N.G. Leveson, 2001)。この論文では、アリアン5型ロケット1号機、スペースシャトル・チャレンジャー号、NASA の火星探査衛星および火星着陸衛星、タイタンロケット、名古屋空港での中華航空 A320 事故などの3つの航空機事故を対象に分析した結果、ソフトウェアが重要な役割を果たしているシステムの事故は、従来のイベントを時間軸でつなげるモデルでは分析が不可能であると指摘した。また宇宙の事故の要因として、安全文化が普及を越して氾濫して機能していないこと、安全について組織間のコミュニケーションが形骸化していること、不十分な安全解析があることを識別した。更にスペースシャトル事故の詳細分析結果では、打上げ成功が続いてスタッフが自信過剰になっていたこと、ソフトウェアの役割を過少評価していたこと、冗長系に頼りすぎたこと、安全マージンを少なくする設計変更を繰り返したこと、ヒヤリハット情報を無視したこと、総じてシステム安全が十分に機能していないことが要因になっていると指摘している。今後は事故の未然防止に向けて、科学的にソフトウェアがからむ複雑システムの事故メカニズムを表現できるモデルを構築しシステム安全とソフトウェア安全を発展させる必要があると結論付けた。

### (2) 新たな技法による組織要因まで含む複雑システムの解析

複雑システムの事故メカニズムを解析する手法として事故をモデル化しそのプロセスまで論理的に解析する手法 (Systems –Theoretic Accident Modeling and Process: STAMP) ベースの新しいハザード解析を提案し、実際に米国の航空機衝突防止システム (TCAS II) に適用しうまく適合しているという検証結果を示した(N.G. Leveson, 2002)。また2. 1. 3節で後述するカナダの水道汚

染事故にも適用し従来からの故障の木解析 (Fault Tree Analysis: FTA) よりも幅広く解析ができることを示している。今後の課題として情報をわかりやすく記録できるフォーマットや、システム設計の中のシミュレーションや解析ともリンクしてやり取りができるツール化を挙げている。この研究は複雑システムにも対応できる新しいハザード解析を提案し、そこから得られるモデルの適合性を定性的に検証していることがポイントである。

宇宙におけるすべての事故には組織要因が関係するため、事故防止には組織要因の果たす役割の理解が必須である。それについて従来の研究で主流となっている、通常事故理論 (Normal Accident Theory: NAT) と高信頼性組織理論 (High Reliability Organization Theory: HRO) の長所・短所を分析しシステム安全の改善を提案した (K.Marais, 2004)。その結果では、高信頼性理論では信頼性文化を論じる視点でオペレータが高い信頼性で運用していれば事故はないと主張し、通常事故理論は事故には部品故障が必ずあると主張しているが、両意見共に誤りであると指摘した。その実証として、複雑なシステムでは、すべての部品が無故障で完璧に作動していても部品相互の影響から事故に至ることがあり、NASA の火星着陸衛星の搭載ソフトウェアに起因した事故がその例であると説明している。システム安全では、事故防止の安全要求設定が重要であるが、その安全要求を入れてシステムを設計する際には、不適切なコンポーネントの動きをどの様に防御して安全を確保するかが必要である。更に開発過程では組織内外からの要求で安全技術要求を変更することが多いが、その変更回数と安全リスク増減の関連について考察を加えない点が、現在のシステム安全の問題であると指摘した。

組織要因分析を更に深めて、2003年に発生したスペースシャトル・コロンビア号事故について事故究明委員会の勧告にある NASA 組織再構成に必要な要因について研究した (N.G.Leveson, 2004)。具体的には、組織構造、組織のサブシステム、意志疎通、リーダーシップ、情報システム、能力開発、動機付けの維持等に焦点をあてている。その結果、チャレンジャー事故からコロンビア事故の間にシステム安全は発展せず、むしろ形骸化が進んでいると結論付けた。その実例として重要な技術会議にシステム安全のエンジニアは出席していない他を挙げ、組織の問題であると断じた。能力開発面でも NASA のリーダー達は全員、システム安全の思想について講師になれるまで研鑽することが必須であり、更にはシステム安全の情報・データを組織知として活用すべきであると主張している。更に2010年までに主要メーカの20~30%のエンジニアが定年を迎えるという面からの人材育成にまで言及している。

最近の衛星、ロケットの事故に共通の要因として安全文化、マネージメント、組織、技術力不足

を識別できる。それらの要因を更に細分化すると、ソフトウェアリスクについての独断や軽視，責任分担の混同，コミュニケーション不足，ソフトウェア技術不足，システムティックな考え方の欠如，不十分な設計審査と安全審査，形骸化しているシステム安全等となる。具体的にアリアン5型1号機，NASAの火星探査衛星及び火星着陸衛星，タイタン・セントールロケット，NASAの太陽観測衛星の事故を題材として，安全文化，マネージメントと組織及びソフトウェア技術についても分析した結果，システム安全には，過去の事故から学んで修正すべきことがあり，同時にソフトウェア開発も変わるべき要因がある(N.G.Leveson, 2004)。

安全文化は，物理現象の様にモデル化して解析できるという仮説を立てられる。それを NASA に当てはめモデルを構築した。そのモデル構築に先述の STAMP ベースのハザード解析を使った結果，国の政策が変わると NASA の安全文化が持っているリスクはどう変化するかも表すことができ，更にそのリスクが許容できないほど大きくなった時にその根本原因まで識別が可能になった。その実例としてスペースシャトル打上げ確率に及ぼす要因をシステム安全のリソース，システム安全の現状，失敗事例からの教訓，技術的リスク，システム安全の努力と効果，シャトル機体の老朽化と保全，要員のシステム安全に関する知識と技量，高度なマネージメントに分類し因果関係までモデルで詳細に説明した(N. G.Leveson, 2005)。この研究の結論は，宇宙開発のリスクを減らすには，高い地位で高度な技量を持ち安全について決定できる人材，安全部門の権力と権威，問題を的確に分析してレポートできる能力などの要因を改善する必要がある，更にそれらの諸方策を偏りなく評価できる能力も必要としている。スペースシャトル打上げについて組織要因，システム安全まで含めた総合的に因果関係をモデルで説明できる STAMP ベースのハザード解析は有効であると結論付けている。

### 2.1.3 欧米の民生機器におけるシステム安全の現状

#### (1)システム安全の基本的役割について

一般民生機器でコンピュータ技術が急速に進歩を遂げた1990年代中盤頃からソフトウェアがハードウェア動作の重要部分を制御することでシステムの高度化・複雑化が進んだ。そこで発生した問題の一つがソフトウェア技術者とハードウェア技術者で使っている技術言語が異なることによる情報の誤伝達または不足であった。そのソフトウェア技術者とハードウェア技術者のインタフェース不整合がシステムの安全を制御するサブシステム内で発生すると事故につながるが，実際にその事例が1990年代になって増えてきた。それを解消するためにシステムズエンジニアリングと

いう技術領域が新たに生まれたが、そのシステムズエンジニアリングの中でシステム安全が大きな役割を担っていると明らかにした(C.M. Perry, 1995)。この論文では、システムや製品の開発ライフサイクルにおいてクローズドループでユーザを含む全員参加のハザード解析を中心としたシステム安全が重要であると分析している。

また欧米では、リスクという概念は事故に限らず金融を始めとした日常生活のあらゆる場面で我が国より早くから浸透しているが、毎日の生活、物の製造、技術開発等すべてのプロセスがリスクマネジメントプランで成り立っていることを、「子供を幼稚園へ迎えに行く」プロジェクトを設定して、その中で考えられる負のリスクをモンテカルロシミュレーションで発生させてリスクマネジメントを仮想体験させることで認識させることを提案した(J.Shoultz, 2001)。この論文は日常生活でもシステム安全が役に立つことをリスクマネージメントのシミュレーション体験で気付かせる可能性を示唆している。

## (2)プロジェクトマネジメントにおけるシステム安全の現状について

(A.G.Hessami, 2001)は、1990年代末から2000年初めに発生した大きな事故としてロンドンの鉄道事故とパリのコンコルド航空機事故を取り上げ、1990年代までのシステム安全の考え方は捉えきれないと分析した。この論文ではソフトウェアやヒューマンファクタが複雑に絡む大規模システムの事故を防止するためには、従来のハザード解析よりも更に新しいシステム安全のアプローチが重要であると主張し、2.1.2節で前述した STAMP ベースのハザード解析の提案につながっている。またこの論文は軍や宇宙の研究開発以外でも、組織で安全文化を構築すること、安全を科学的に進めること、意思決定の基準に安全を入れること、プロジェクトマネジメントの一部にシステム安全を取り込むことが不足していると主張した点がポイントである。

品質経営は20世紀末までに信頼、安全、保全まで含める統合型品質経営に発展してきたが、21世紀に入って環境も含めている。その流れを受けて、システム安全も環境を含めて考えるべきで、そうなると顧客要求も多岐に渡るようになり、それを満たしていくためにはプロジェクト開始の相当手前からシステム安全を始める必要がある。しかしこれまでのシステム安全では、計画設定、十分なコミュニケーションと柔軟性を持ったチーム活動が不足しているため顧客要求に十分に対応できないと定性的に分析した(J.M Gibbons, 2001)。

## (3)信頼性とシステム安全の関係について

信頼性と安全の範疇について、破局的事故は必ずしも部品の故障で起きる訳ではないことに

着目し、システムに係る故障やヒューマンエラーのすべてが事故に繋がるわけではないので、それらすべてをシステム安全では扱うことはないが、事故に至る故障やヒューマンエラーはすべて信頼性の範疇であると分析した。従って信頼性の枠組みを広げてマネジメントに重点を置いてシステム安全を充実化すべきと主張した(S.S. Alborzi, 2002)。

同時期にヒューマンエラーや保全不良による部品故障を原因とする事故が再発を続けるのは事故調査報告に問題があると指摘し、システム安全の中で事故再発防止に役立つ記録を残すための3原則として以下を提案した(Mark Galley, 2002)。

原則1: 事故の被害の大きさを正しく計る

原則2: 真の原因と影響をマッピングする

原則3: 上記1及び2に沿って再発を防止する対策を立案する

上記で示した2件の論文共に、事故事例の解析や事故再発防止策について問題を提起しているが具体策の提案よりも考え方に主眼を置いたものである。

ヒューマンエラー分析を一步進めてヒューマン信頼性解析(Human Reliability Analysis)という概念を新しく提案した(R. E. Fitzgerald, 2003)。この研究では、プラント、民間エアラインでオペレータが関与するシステムの事故を対象にモデルを構築し確率論的リスク評価に組み込むことで、システム安全との整合を取って活動できると提案している。システム安全の中でハザード解析と並んで重要なリスクアセスメントに定量的解析技法を取り入れる新しい提案である。

一方、最近ではヒューマンエラーが絡まないロボットなど無人機の製品開発が進んでいる。しかし無人機開発のエンジニアが、コントロールを失った時の当該無人機の安全状態を答えられない点がシステム安全の不十分さを表していると指摘し、無人機開発におけるシステム安全の10の掟として以下をまとめた(M. Emery, 2004)。

- ① 教訓 を活用して同じ失敗は繰り返さない。
- ② 安全要求チェックリストを活用する。
- ③ システム全体を理解する。
- ④ 安全上クリティカルな部品を認識する。
- ⑤ すべてのモードでのフェールセーフを認識する。
- ⑥ 単一故障点がないこと。
- ⑦ 運転の限界と運転時間制限を理解する。

- ⑧ 使用環境下での設計を実現させる.
- ⑨ マニュアルと手順を整備する.
- ⑩ 故障した時は人間が制御する関わりがあることも無視しない.

#### (4) 複雑システムの事故発生要因分析

世界で同じような事故はなぜ繰り返されるのか、システム安全が機能していないからではないかという問いに対して、事故発生要因を体系的に分析し、事故モデルを立てそれを検証して従来のシステム安全における事故分析法の問題点を指摘し、2.1.2 節で前述した新しいハザード解析を民生機器に広げた研究がある(N.G.Leveson, 2003). この研究では、従来からの伝統的な事故分析ではイベントのつながりを分析し根本原因を突き止められても、それではシステムの複雑化に伴って増え続ける要因とその因果関係について考察が必要な事故を扱えず、ソフトウェアが関与する事故も扱えないことを指摘した. そこで単純な事故原因はもちろん、事故に関連する要因がフィードバックして関連付いている場合や間接的に関与している場合まで考慮して、事故に至るイベントの発生した要因を詳細に分析できる STAMP ベースのハザード解析の基を提案している. 更にこの手法を具体的に展開して、カナダ・オンタリオの Walkerton で発生した水道汚染事故を分析して最終的にシステムズダイナミックモデルで事故要因を一般的なモデルとして示している.

### 2. 1. 4 我が国におけるシステム安全の現状

我が国の安全に関する議論は、従来、危険物、着火、爆発といった安全工学からのアプローチと作業者の危険を減らす産業安全からのアプローチが主流であった. 2000年頃から品質経営と信頼性が統合化される流れがあり、その中で製品安全、ハードウェア組込みソフトウェアを扱う機能安全について国際標準化の動きも出て、両方含むより大きな範囲を扱うシステム安全が信頼性の分野で議論が盛んになっている.

その中で21世紀に最も望まれる技術である信頼性、安全の視点で我が国の新しいものづくりの在り方について分析し、変革の今こそ、信頼性、安全性に最も高い価値観を置いて高度・知的製造業に特化していくことが我が国の今後の生きる道と提言した(向殿, 2003) . この論文は、我が国の工業界の将来という大きなテーマを扱っている.

品質経営、信頼性、安全が統合されていく中、信頼性と保全性及び安全が定義から混同され易い点が問題と指摘し、機能安全の視点からそれらを明確化した(佐藤, 2005) . 機能安全の分



野では、低複雑度システムは、安全関連系の故障が対象範囲の潜在危険群に対して全てが安全側または危険側のどちらか一方に同定できるシステムで、安全関連系の故障が潜在危険群によって安全側あるいは危険側となるシステムは複雑システムである。この低複雑度システムでは、フェールセーフシステム構成が可能である一方、複雑システムでは、危険側故障を起こさないための信頼性性能、危険側故障に対するフォールトトレランス性能が重要で確率論的取り扱いが必要になる。ランダムハードウェア故障域にあるシステムは、原理的に統計的推定が可能で当該故障に対する確率論的尺度を与えることが可能であるが、誤設計、試験不十分等の決定論的原因故障は、その存在が予見できないことからすべてのライフサイクルにわたるシステム安全の展開で対処するしかないと明確にこの論文で説明している。

最近、原子力、医療、食品、自動車などの様々な分野で組織における人間の不適切な行動、すなわちヒューマンエラーや標準不遵守が引き金となって事故が発生し大きな社会問題となっている。これらの事故防止が難しいのは、ヒューマンエラー系の個々の問題の発生率が低い反面、あらゆる人があらゆる作業で起こす可能性があり、結果として、無視し得ない数の事故が発生する点にあると分析した。このヒューマンエラー対策としてエラープルーフ化を進める場合、どのような作業の流れの中でエラーが発生するかに着目する必要があるが、そのためには作業方法を詳細に分析しエラーに起因するリスクが作業のどこにあるかを洗い出す故障モードとその影響解析 (Failure Mode and Efficiency Analysis: FMEA) が有効であることを論じた(中條, 2004)。FMEA は、システム安全プロセスの中で部品故障によるハザード識別の有効な方法として使われているが、ヒューマンエラー防止対策として作業に特化した FMEA に着目した視点は新しい。

これまでの日本の安全の考え方は、安全か、危険かすなわち白か黒論法で途中のグレーゾーンがなかった。それは安全と危険の間のグレーゾーンをリスクで考える世界的な安全の考えと反している。ここに着目し、「危険状態の発生から危害発生までのプロセスに関してリスクの査定行うことをリスクアセスメントと呼ぶ」と定義し、リスクアセスメントを実行する上での安全と信頼性のかかわりを分析した(蓬原, 2003)。この論文によると、安全方策が信頼性依存に基づく限り、人の介入なしには安全性の確保が難しい。一方安全方策が信頼性のみ依存する場合、信頼性データ自体の立証の難しさとデータの改ざんまで考慮しなければならない。またこの場合、正式に設計上のリスクアセスメント結果に基づいて製品のコストダウンを行うのではなく、製品のコストダウンの名を借りたリスクアセスメントを行わない安全の手抜きが現在のシステム安全上の問題であると指摘した。

またリスクアセスメントには、ISO, IECの世界標準規格が安全を目的として制定されると機械からICカードまで設計・製造時には必ずリスクアセスメントをしなければならないが現状の我が国

では対応できるかという問題を指摘し、更にリスクアセスメントには事故の未然防止と万一事故が発生した時の説明責任の二つの側面があることを説明した。更にリスクアセスメントが広まると共に安全技術を確立することで、人の安全が守られ、製品コストが下がり、使い勝手が良くなり、効率が良くなり、ひいては環境にも貢献できると主張しこれを実証することが最も重要と結論付けた(向殿, 2003)。これはリスクアセスメントを含むシステム安全が安全だけでなく信頼性、品質及び環境まで統合的に貢献できると明確に説明した書籍である。この結論にある統合的な質の向上を実証することが、後続研究への示唆と言える。

### 2.1.5 事故データ分析によるシステム安全の必要性のまとめ

システム安全の3つの流れについて、これまで、何を対象に、どういう分析をして現状と問題の要因と解決をどう指摘しているかとそこから得られる本研究の新たな視点を表2-1にまとめて示す。

表2-1 文献サーベイ結果まとめ(事故データ分析によるシステム安全の必要性)

分野	研究の視点
NASA 及び アメリカ軍	何を: 大規模システム, ソフトウェアが重要部分を制御する複雑システム NASA の組織と安全文化 NASA 及びアメリカ国防省の事故調査報告, NASA の内部調査
	分析: 従来のハザード解析では理解不可能 NASA のシステム安全の形骸化 STAMP ベースの新しいハザード解析提案, 定性的検証
欧米における 民生機器	何を: システム安全の基本, 航空機, 列車の大規模事故の調査報告, 無人機開発の現状
	分析: 事故再発防止や無人機の製品化でシステム安全の役割が重要 システム安全の発展を定性的に分析
我が国全般	何を: 民生機器の製品安全と機能安全, 繰り返される大規模事故
	分析: リスクアセスメント導入の必要性, 製品安全に必要な設計技術 大規模事故再発防止にシステム安全が重要と定性的に分析
本研究	何を: 身近に発生している事故の公開データ JAXA 衛星のシステム安全の現状
	新たな視点: ① 身近な事故データの統計解析により事故の要因とシステム安全の因果関係を定量的に明確化 ② STAMP ベースのハザード解析を JAXA 衛星打上げに適用しシステム安全に係る上記①との共通要因を明確化

## 2.2 技術標準活用のための教育プログラム設定

システム安全に関するエンジニア教育先進国のアメリカにおける変遷と現状を調査することで当該分野の教育が抱えている課題を明確にする。一方我が国で企業が抱える課題をエンジニア教育で解決している現状、その前段階の大学工学部教育のあり方について全体を見渡すことにより我が国のエンジニア教育の方向性を抽出する。更にシステム安全は技術標準に基づく活動であることから、企業のプロジェクト活動における技術標準活用に向けた活動を調査する。また企業でエンジニアを教育する手法も、講義と実習をすれば良いでは不十分で、教育に係る理論と学習モデルを適用すべきという企業内人材育成の研究を本研究の実施手法として調査する。

### 2.2.1 NASAを中心としたアメリカにおける教育の変遷と現状

#### (1) 資格認定制とエンジニア教育

アメリカでは、エンジニア教育全体としてプロフェッショナルエンジニア (Professional Engineer: PE) 制を初めとした資格認定制が根付いており、安全分野でも公認安全専門家 (Certified Safety Professional : CSP) 制が確立していることで大学教育を含めてエンジニア教育は発展している。事実これらに対応した教育が複数企業で競争状態にあるビジネスとして成立している。CSP については、現在全世界で約2万人のエンジニアが取得している中で、我が国は2, 3人に留まっているという状況である。

またヨーロッパが中心となって、ハードウェア組込みソフトウェアを対象とした機能安全の規格として IEC61508 がグローバルスタンダードになりつつある。その専門技術審査員 (アセッサー) の育成としてエンジニア教育が発展している中、このアセッサーも我が国には極めて少数しかいない。

#### (2) アメリカにおけるエンジニア教育全般

アメリカにおけるエンジニア教育全般が10年前から、実務型教育で多様なニーズに対応する教育システムが出ていること、大学に社会人コースが多く再教育専門企業も出ていること、企業・大学および学会等の専門家集団の密接な連携で新たなシステム構築が始まっていることが(船水, 1997)により分析されている。

またアメリカのエンジニアがここ30年で急増して、大学卒業後に追加教育を受ける状況を(原田, 1999)が分析した。本研究の中で注目すべき分析結果は、エンジニアの技術的追加教育は、環

境関係エンジニア, 工業管理, コンピュータハードエンジニアは受ける傾向にあるが, 教職員, 航空宇宙, バイオ関係は受ける傾向が少ない. これは最高学位に修士が多い分野は専門性が既に高く博士の同僚より訓練を受けてしまう傾向にあるということである. また政府雇用エンジニアが産業界よりも追加教育を受けている傾向にも注目している.

この様にエンジニア教育がビジネスレベルで盛んなアメリカでは, エンジニア教育により解決すべき技術課題があっても埋もれて見えにくいことから, 研究論文として出てくるのが少ない.

その状況で, アメリカ機械学会でシステム安全をどれぐらい知っているか, 使っているかをアンケート調査し分析した(B. W. Main, 1993). この論文によるとハザード解析, 特に設計初期に実行する予備ハザード解析の重要性認識が薄いこと, 大学でシステム安全を教えていないし, 大学教授にも専門教育を受けた経験がないことに問題を見出している. 更に大学から特に機械工学でシステム安全を体系的に教える必要があるが, 教育が望めない現状では業務での経験が一番重要で, その経験を積んだシステム安全エンジニアは設計初期の予備ハザード解析から多く関与すべきと結論付けている.

また個別にシステム安全を教えてきた経験を元に, 内容をモジュール化し, システム安全の中枢を問い直して新たな教育プログラム開発を報告した(M. Alloco, 2002). この論文では, システム安全を教える専門家を育成し, 必要とされる時にシステム安全を教えられる体制が各企業で必要と主張している. またプログラムの具体的内容として, 教育対象を安全チーム, 検査, 組立, 設計, システム安全担当他関わるすべてとして, 40~80時間コースで, トレーニングの必要性から始め, 小グループ討議, テストを導入していると報告している.

民間エアラインでも最近になって, ハザード解析, リスクアセスメントといったシステム安全のアプローチが取り入れられ重要になっている. システム安全の教育がエアラインの信頼性に寄与する役割が大きいと見出し, 3日間コースを設定した. これまで8000人が修了しシステム安全の考え方を身に付けて効果を上げたと報告している(G. R. McIntyre, 2002).

民間エアラインに関連して, FAA で Web ベースのシステム安全のマネージメントツールを構築し, その中でエンジニア教育が重要との認識に立ち, プロセスツールだけでなくオンライン教育まで提供していると報告している(A. T. Burno, 2003).

また民間エアライン関連としてボーイング社で長い間安全に関する専門解析技術を教えてきた経験からシステム安全のエンジニア教育が未だ不十分であると報告している(S. Lainoff, 2006). この論文では, 航空機開発や事故調査で使っている FMEA と FTA について, システム安全の中で効果的に使えば, ハザード識別が確実化し, そこから引き起こされるシステムとコンポーネントの

不具合を未然防止できると具体的に説明した上で、ボーイング社のエンジニアは、FMEAとFTAについて全員名前は聞いたことがあり、ほとんどの人が何かしらの解析結果を見たことがあるが、両者の定義や特性の差を答えられる人が少ない点に教育不足が現れているとの結論である。

CSPが確立していると先述したが、更に踏み込んでシステム安全プロフェッショナル認定プログラムを作るべきという提案をCSP資格取得エンジニア100人のアンケート調査で分析している(M. H. Demmick, 2004)。この論文によると、CSPの90%が新たな資格を望んでおり、68%がシステム安全は各分野で適切に行われていないと感じている。また73%がこの認定プログラムはCSPが開発すべきと考えているが、その根拠の一つが、アメリカ全土の大学でシステム安全に関するコースがメリーランド大学、オーバーン大学、ジョージア工科大学、オクスフォード大学、グラスゴー大学にしかないため大学教育だけで十分ではないことを挙げている。CSPにより安全の専門家育成は進んでいるものの、システム安全の専門家育成は不十分であるという結論に至った点に、本研究では注目している。

### (3) NASAのエンジニア教育

宇宙航空分野では、コロンビア号事故以来、NASAでは技術を重んじた施策を重視してきた。その施策が、システム安全にどのような影響を及ぼしたかを論じている(C. H. Shivers, 2006)。この論文では、システム安全を担当するエンジニアについて、NASAとして、特にPEやCSPの資格を要求していないが、マーシャル宇宙飛行センターでは、システム安全を担当するエンジニアになるために必要なコースは、Webトレーニング、講義、大学での授業等を広く準備していると説明している。エンジニアには研修を受ける特権はあるが約束したものではなく、エンジニアには自分でプロフェッショナルになるためのロードマップを計画、実行させ経験を得てそれを実現させている。それを有効に働かせるためには、NASAでシステム安全エンジニアのポジションを確立し、各エンジニアの技術力向上が必須であると位置づけている。

この論文を裏付ける資料としてエンジニア育成のロードマップを示したNASA資料(NASA Marshall Space Flight Center, 2004)がある。この資料では、NASAでシステム安全のプロフェッショナルに育っていくための経験年数と必要なNASA内教育、NASA外の大学での短期コースが細かく指定してある。

またチャレンジャー号事故を発生するまでのNASAの安全部門にはプロジェクトを止める力がなく、そのため安全部門は懸念事項を見つけても指摘しない「Silent Safety:物言わぬ安全」がチャレンジャー号事故報告の中で問題としてクローズアップされた。しかしコロンビア号事故を再発し

たことから、その状態は未だに解決していないとシステム安全担当エンジニアへ警告を発している (R. Goodin, 2006). この問題の根には NASA の安全文化があるが、その中で NASA のシステム安全プログラムの元になったのは、アメリカ陸軍マテリアルコマンド (Army Material Command: AMC) の安全プログラムであると歴史的に振り返っている. それによると1969年、陸軍に AMC ができたのと同時にエンジニアリング教育センターができ、システム安全はその特別な4分野を成す教育として大学卒業レベルのものが構築された. その教育がそのまま NASA に入ってきて、当時安全プログラム全体と共に教育プログラムも陸軍マフィア (Army Mafia) と呼ばれるほどで NASA から一般産業まで広まっていく勢いがあった. 現在、NASA は安全と信頼性の高い運用を目指して独立した安全信頼性保証 (Safety & Mission Assurance) 組織での活動重視になってきたが、未だシステム安全の不十分さが問題として残っており、今一度初期の勢いのある教育の見直しも解決策の一つではないかとの問題提起である. システム安全の不十分さを NASA でも教育により解決することを最近になって再び模索している点に、本研究でシステム安全に関する教育を研究する拠り所ともなる.

## 2. 2. 2 我が国の工学教育

### (1) 企業内エンジニア教育

三菱電機では、全社教育システムとして要素技術を教える座学あるいは実験・実習を中心としたスキル教育を初級・中級・上級と分けて実施しているが、良い製品を作るためには要素技術だけではなく設計を教える教育が重要と考え、設計、実験、検証までのプロセスを一貫して体験できる機械制御講座を実現した(竹下, 岡田, 1998). 実際の設計では、失敗やフィードバックのプロセスがあることを教え、解は一つではなく自主的に判断させる狙いで、シミュレーションを活用できて設計検証のしやすいパラメータ設定のできる実験装置を教育に導入した. 具体的なテーマを設定し、各自に考えさせ、結果を競争させた. 設計に関する一貫性が身に付くこと、機械と制御のバランス感覚養成に良いこと、理論と実験による実習があり実業務への適用意欲がわくなど技術者の能力向上の効果があつたとの報告がある. エンジニア教育として工夫した点や実施内容が良くわかり、教育後のアンケートから得られた意見を紹介してそれを根拠に教育効果があつたと論じている. プロセスを一貫して体験させる教育の重要性に本研究で注目している.

1984年の大学の教育改革で学生が受講科目を選択する幅が広がり必須科目単位が減った. その影響からかデンソーでは風聞として「三角法も一角法もわからずにCAD操作だけやっている

新入社員がいるようだ」「製図の基礎能力にかける」「この忙しいのに、こんな基礎的な程度の低い事から教えなくてはならないとは大学で一体何を教えてもらってきたのか」と言われていた。そこで新入社員の読図能力を調査したところ、予想以上に低いと判明し、それを解決するための読図能力を付ける研修を新たに開発し実施により効果を上げた(桑門, 1999)。この研究では、技術者としての一般常識, 一般教養, 工学の基礎知識, 一般常識 を教育していない工学教育の改革を切望すると問題提起している。またこの論文は、読図能力がない技術者がCAD操作をしているという問題を製図基礎教育で解決したと言うストレートな議論が参考になる。

中部電力でのコストダウン推進, 業務効率化, 競争力強化の取組みで個人の知恵や能力を組織知として構築する「価値分析と創造の研修」「職場と一体化した意識・行動変革研修」が効果を上げた報告がある(駒田, 葦澤, 山田, 折山, 2003)。実際の職場を研修のフィールドとし, 実業務の課題を研修テーマにしている点に新規性がある技術者教育の研究であり, 本研究でも参考になる。

最近, 我が国の若者の理工離れという社会現象は, 科学技術成果の受容性は大きいですが科学技術活動への関心が低下していると要約されている。そういう状況で企業へ技術者として入ってくる若者の標準的な姿は, 1) 工学習得の範囲が拡がり広く浅い知識しかない, 2) 実際の現象に疎いコンピュータ坊や, 3) 興味ある事のみ執着する であるが, この平均像を持つ若者を受け入れて技術者へと育成してく企業内教育の変化を認識した研究がある。具体的には, 大学を補完する基礎講座追加について三菱重工業(株)内の課長100名にアンケートを行い, 設計力学基礎(89%), 安全設計, 環境設計(69%), 機構デザイン(68%), 設計者のためのパソコン計算基礎(57%), 化学基礎(54%)に不満があると認識し, 最近の基礎重視をうたっている大学教育の実情との乖離企業での実態から分析した(松本, 1999)。企業では製品トラブルの未然防止のため設計技術の規格・標準化, 計算機支援化が進んだことで, ゲームソフトを使う様に現象解析シミュレーションができてしまい力学知識が必要なくなり, ソフトを使えるがその内容を知らないし作れない社会の野蛮人状態が企業に存在している。採用した技術者の若年・早期戦力化も問題である。そこで大学と企業の連携一環教育により総合力の育成, 関連専門分野の産学の連携システム作りが工学教育の飛躍につながると提案している。

更に大学が目指す=企業が望む技術者教育を取り上げた研究がある。工学教育における産学連携は実績が少なく, 今後取り組む施策であるが大学教育を取り巻く環境が大きく変化しつつある今, 大学教育, 企業内教育およびその連携のみ取り上げて工学教育を論じるのは不十分で大学入学までの教育も合わせて考えるべきと議論している。さらに企業で従業員を終身雇用型で

囲い込みじっくり時間をかけて社内教育するという考えに疑問がある今、従業員一人一人がキャリアプランを描き、その目標に向かって着実にステップアップしていけるシステムティックなキャリアパスを提供できるかが企業にとって重要と結論付けた(原田, 2003).

企業内技術者育成の前段階としての大学教育の問題解決を提案した上記2つの論文共に、産学連携の必要性を主張しており、本研究でも参考になる方針である。

## (2) 大学における工学教育

大学における工学教育という視点では、最近の創世科目すなわち従来のような知識蓄積型の講義ではなく、問題発見、議論、解決、発展といったプロセスを重視する科目に着目した研究が多い。材料技術者のための有機合成という創世科目の効果の一例を発表した論文(武田, 土屋, 2002)によると創世科目の効果として「反応式を知らなくても、道筋で考えればある程度の解を得られる」と学生は感じる様になり、「なぜか?」という疑問も持つ大きな変化が現れるとのことである。更に「知らなければならないことは聞く」から「知らなければならないことは自ら発見する」に転換でき、「個々の知識を教えられたとおりに理解し覚える」と「自らあやふやな根拠で推定すること」が矛盾するとまで考えられるという報告である。つまり知識蓄積型の画一的な講義の工学教育は戦後復興から高度成長期まで大きな力を発揮したが、社会と産業の成熟転換によって有効性を失い、「問題発見、議論、解決、発展」という4プロセスを経て最終的に求めるものの中心は創造性にあると考え、欧米追従教育から自立教育へ転換する時期であるとの主張である。またこの論文では、本来は自らの知識と推論機構を使えば解ける問題を「それは自分のようなものをするべきことではない」と捕らえる特質すべき謙虚な態度や日本の風土・教育が問題であり、かつ「失敗して叱られた時の方がやらないで叱られる時より酷い目にあう」という経験も推論を躊躇する深層心理として働いていると分析している。

システム安全または安全の教育に着目すると、一般論として(向殿, 2002)で、個別技術として発展してきた各分野の安全技術には共通の考え方があり、これを一般化、原則化して全安全技術を適用範囲、抽象度に従って三層構造で構成する提案をしている。また真の安全を実現するには人文・社会科学を包括して学際的に考察する必要もあり、これらを実現するために安全に纏わるキーワードを網羅してリストアップし、分類、階層化する安全曼荼羅を提案している。

これを大学教育に特化して(向殿, 2004)で分析している。安全を工学的に扱う学部・学科を有している大学は我が国にほとんどないが、これまで個別分野に特有の技術としてきた縦割りの安全の考え方が、統一的共通の学問として扱えなかった理由と分析している。最近では、各種の異



分野間、階層間、機能間の境界で安全問題が発生しており、今の状態では問題があるため、統合的・統一的な観点で安全に関する各分野の”知”を連合させて”安全知”の体系化により安全に学問的な統一性を持たせる大学教育を提案している。

大学教育での安全を更に物作りに特化して(杉本, 2004)で分析を深めている。現代は「安全の責任」が要求される場面が多くそこでは、確認されたものだけを「安全」と認める。つまり工学が高信頼性を確保して行う事故防止は本質安全設計として設計者が最優先で取り組むべきリスク低減方策で、それが社会的受容レベルに達しない場合、安全確認システムを導入しなければならない。その根本理念が我が国で広まっていないことに問題があると指摘している。この論文によると、設計者がまず最善の安全レベルの機械を労働者に提供し、残る危険だけを労働者の事故回避に委ねることで最高の安全性と生産性が達成される様に革新を進めるべきで、その意味で若い時代に正しい「安全」を教える大学教育の大切さが明らかであると結論付けている。なおこの主張は、長岡技術科学大学大学院システム安全専門職コースとして実践に移っている。

また上記の流れと同様の安全学については、(柚原, 2004)が安全を理系と文系を融合させた学問、安全を包括的に扱う学問、危険性を予測・制御するための学問、安全化の技術・方法・方法論を扱う学問、人間行動学の学問として安全学の知識体系を別に論じている。この論文では、安全学自体が未だ新しい概念で様々な課題が残されているため実践的な方法を与えるに至っていないが、研究者が自ら実践に参加し安全学を展開させていくアクションリサーチ活動により統合的な体系を与えたいと主張しており、実際に日本大学で試行に移っている。

### (3) その他

安全学の提案(向殿, 2004)を受けて、我が国での安全対策の難しさの要因として①システムが複雑化、大規模化されたことにより従来の安全対策では対応しきれないこと、②安全技術の確実な継承ができなくなっていることを挙げ、これらを解決するためには、安全学としてのカリキュラムを作成し、機械安全工学の視点から人材育成にあたるのが最良と分析した上で、企業内技術者教育としての短期プログラムと安全学専門家を育成することを目的とする長期プログラムを作成している(榎三菱総合研究所, 2005)。この調査・研究は、大学教育を企業内教育として水平展開をしている点がポイントで本研究でも参考になる。

続いて上記調査研究での短期プログラムを公開講座形式で実施し、効果の把握と課題を洗い出した(榎三菱総合研究所, 2006)。更にこの調査研究では、現在実施している東京大学「安全・安心と科学技術」プロジェクト、横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター、筑波大学

情報工学研究科, 長岡技術科学大学, 東京農工大学リスクマネジメント, 千葉科学大学危機管理学部のプログラムや海外教育プログラムを調査し安全学の基礎を構成する要素を抽出し大学院修士過程カリキュラム試案も作成した. この試案は一部, 先述の長岡技術科学大学大学院システム安全専門職コースで実践されている. (㈱三菱総合研究所, 2006)は, 我が国で初めてエンジニアに限らず主婦も含む幅広い人材を対象に実行したシステム安全に関する専門講座として重要な位置付けにある.

### 2. 2. 3 プロジェクトマネジメントで使う標準とそれを活用するエンジニア教育

宇宙航空開発は, 期限を決めて複雑システムを開発するプロジェクトである. プロジェクトマネジメントの視点では, プロジェクトを成功させる要因を様々な切り口から研究した論文発表が多い. 我が国のシステム安全は, 前述のとおり宇宙航空開発プロジェクトで技術標準を発行したことから始まっている. そこでプロジェクトマネジメントにおける標準の役割に着目する. プロジェクトマネジメントのプロセスを記述した PMBOK 第3版(PMI, 2004)では, 標準を次の様に定義している.

A document established by consensus and approved by a recognized body that provides, for common and repeated use, rules, guidelines or characteristics for activities or their results, aimed at the achievement of the optimum degree of order in a given context.

また同じ PMBOK 第3版(PMI, 2004)では, 標準を各プロセスにおける「ツールと技法」に位置付けてはいないが, プロジェクト実行の指揮・マネージメント項で実行する活動の一つとして「計画した方法と標準の実施」と規定している. また同じ項で明確な記述はないが, 「教訓の収集と文書化, 承認されたプロセス改善活動の実施」にも標準は関与する. 従ってあらゆる分野のプロジェクトで失敗や問題を未然に防止する活動の中で有効に使うべき文書が標準と言える.

その中でドイツとスイスの234人に質問紙調査を行って, 標準がプロジェクトマネジメントの中でそれほど活用されていないことを検証した(Ahleman, 2008). さらに標準を使う場合でも, そのまま使うことは稀で通常, プロジェクトが自らの状況に合わせて修正していることも明らかにした.

また別の質問紙調査データを分析して, 企業は要員の技量, や業務プロセスよりもプロジェクトを成功に導くプロジェクトマネジメントの標準化に強い興味があることを明確にした(Milosevic,

2005). 一方, 経済発展や組織能力向上にとって標準の存在は主要ポイントであると指摘した報告(Bledillet, 2003)もある. 更に標準の方向性を確保し活用拡大につながる標準の定義と活用法確立は, プロジェクト成功の源となり標準そのものの理解において重要である. 従ってプロジェクトのゴール設定, プロジェクトマネジメント論との適合性, 手順の標準化などは1セットのプロジェクト成功変動要因になる(Jang, 1998)と指摘している.

上記から標準はプロジェクトで重要な位置づけにあるが, それほど活用されていないのも実態であることがわかり, そのまま JAXA にもあてはまる可能性がある. しかし活用されていない標準をどう改善するかの研究は不足しており, エンジニア教育に結びつけて考える点に新たな研究の視点があると言える.

#### 2. 2. 4 企業内人材育成

企業内で人材を教育する分野は, 教育学, 学習科学, 心理学で研究対象になっていないため, 該当する学会での論文発表はない. また, 企業自身が, 人材開発上どこに課題を見出し, その解決策をどういうプロセスで検討し, 教育プログラムは何に基づいて開発してきたかを系統立てて研究した論文を発表することも, 企業の内情及び企業内人材育成のノウハウを明らかにしてしまうことが問題であるからか, ほとんどなく, 製造工程における問題解決としての研修や2007年問題に関係した技能伝承という視点の論文が品質管理学会や日本工学教育協会で見られる. . . 他には, 最近の情報技術等を導入して企業内教育を効率良く発展させるという視点で日本教育工学会に論文があるが, 視点が工学の教育への適用であり本研究では参考にしない.

その状況において(中原 編著, 2006) では, 教育学や心理学をベースにした本格的な企業教育研究を開始し, 研究成果を公開していくことで「企業の人材育成」に関するアカデミズムにおける新規研究領域を立ち上げると宣言し, 企業内教育に必要な理論を体系的かつ網羅的に紹介している. この書籍から本研究で研究すべき学習モデル, 動機付けの理論及びインストラクションデザインの理論の基礎を得た.

学習モデルとは, 人材育成活動において目指すべき方向性, そのための学習プロセス全体像, 学習を誘発するための効果的な支援のあり方等々について, 関係者全員が共通認識を持つためのツールである. 典型的な学習モデルとして「学習転移モデル」「経験学習モデル」「批判的学習モデル」「正統的周辺参加モデル」の4つを挙げた(中原 編著, 2006).

学習と教育が異なる概念であることを意識すべきであると研究した結果(ジーン・レイブ, エティ

エンヌ・ウエンガー著、佐伯訳、1993)を基本として、これまで普通に行われてきた基礎から応用へという学習プロセスの再検討をうながすのが学習転移モデルである。その中でも特に知識応用を習得する唯一の方法が「現場での経験」しか存在しないと明らかにした研究結果(ドナルド・ショーン著、佐藤、秋田訳、2005)を反映している点が重要ポイントである。

専門家は、「状況の分析」と「対応のための行為」の流れの中で同時かつ継続的に実行している、これを「行為のなかの省察」と呼んでいる(ドナルド・ショーン著、佐藤、秋田訳、2005)。すなわち専門家は、現場の実践の中で経験知を得ているが、そういう専門家になるためには何を学ぶべきかに答えるのが「学び方を学ぶ」経験学習モデルである。教育は、現場での経験から専門家としての自己理論を得るための支援をするという点が重要ポイントである。

考え方や行動を教育として与えるだけではなく、学習者自身があるべき姿を描くことも重要で、そこに踏み込んだ人材開発の方法として批判的思考に基づく様々な試みが行われている。批判的学習モデルでは、学習者自身の気づきを引き出すディスカッション・グループの役割が大きく、教育する側が自分の教育プログラムの考え方を批判することが重要である(中原 編著、2006)。

また「個人としての学習成果をいかに組織としての仕事に結び付けるか」という問題自体を否定し、「仕事のなかの学びこそ本来の学習の姿である」という主張(ジーン・レイブ、エティエンヌ・ウエンガー 著、佐伯訳、1993)が正統的周辺参加論である。これによる正統的周辺参加モデルでは、新しい研修プログラムやわかりやすい教材はどうあるべきかより、様々な部門からあらゆる年齢層を集めたクロスファンクショナルチーム活動、プロジェクト型活動で部門が抱えている問題解決を教育で提供することになる。

上記4モデルは基本となるが、JAXA内外に必要なエンジニア教育を系統立てると、システム安全に関するエンジニア教育としてシステム安全のプロセスを一通り体験しかつグループ討議で創造力を惹起させるといったモデルが不足している可能性がある。それを明確にした上で、エンジニア教育の中でそれをどう実践していくかが本研究の一つの視点となる。

動機付けの理論として(M.チクセントミハイ著、今村訳、2000)は、従来の外発的動機付けや内発的動機付け理論では仕事の楽しさや仕事自体へのコミットメントによる動機付けを説明できないことに着目し、「遊び」のように、やっていること自体に没頭し時間を忘れて取り組む状態があることを発見した。この楽しみによって動機付けられた自己目的的活動において「全人的に行為に没入しているときに人が感ずる包括的感觉」がフロー(M.チクセントミハイ著、今村訳、2000)であり、これにより学習者が企業内教育を受けるときに楽しみを見出して自己動機付けを行い意欲的に学習し、それを職場に返ってから継続できると効果があると仮説を立てている。

良い教育を提供するためには、一般に教材を「つくること」が重要と思われている、しかしそれは違う。作る前に、ニーズが何かを見極めること、ゴールを見極めることがもっとも重要と指摘した(中原 編著, 2006)。この考えを反映して教材を開発するための最も有名なプロセスが ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)でその詳細を教材設計マニュアルとして説明した書籍が発行されている(鈴木, 2002)。

教材作成のポリシーとしてこれらを取り込んで具体的にシステム安全に関するエンジニアのための教育教材を開発することも本研究の視点になる。

## 2.2.5 標準活用度分析とエンジニア教育構築のまとめ

システム安全に関するエンジニア教育について、これまで、何を対象に、どういう分析をして問題を抽出しているかとそこから得られる本研究の新たな視点を表2-2にまとめて示す。

表2-2 文献サーベイ結果まとめ(標準活用度分析とエンジニア教育構築)

分野	研究の視点
NASA を中心としたアメリカ	何を: システム安全の大学教育, エンジニアの資格認定制, NASA でのシステム安全に関するエンジニア教育
	分析: 大学でのシステム安全に関するエンジニア教育が不足している CSP の中に新たなシステム安全に関する資格追加が必要 NASA ではシステム安全に関する教育の見直しが必要
我が国の工学教育	何を: 企業内でエンジニアの課題を解決する教育, 大学での新しい工学教育体系立てた安全学
	分析: 設計プロセスを一貫して体験させる他, 企業での教育プログラム実施 創世学に対応して考えさせる能力を身に付ける教育のあり方 安全学の大学教育及び民間教育カリキュラム構築
標準とそれを活用する教育	何を: プロジェクトを成功に導く要因としての標準活用とそれに必要な教育
	分析: プロジェクト活動で標準類はそれほど活用されていない実態がある 標準類を活用してプロジェクトを成功させる要因は何か
企業内人材育成	何を: 企業でエンジニアに限らず人材を育成する教育全般
	分析: 教育プログラム構築には, 学習モデル, 動機付け, インストラクションデザインといった理論の裏づけが必要. 新たな研究分野を立ち上げる.
本研究	何を: JAXA の研究開発でシステム安全の不十分さとなっている要因を解消するために JAXA 内外のエンジニアを横断的に育成する教育
	新たな視点: ① NASA のシステム安全に関する教育プログラムの再レビュー ② JAXA 内外のエンジニアが安全・信頼性を始めとした各種標準類を活用してプロジェクトを成功させるために必要となる教育の考察 ③ 創世学に対応させて考える能力を持ったシステム安全のプロフェッショナルを育成する体系立てた教育プログラムの構築

## 2.3 エンジニア教育効果の定量的測定

教育効果測定理論を明らかにすると共に、工学教育に限定しないで広い分野において教育効果を測定した研究から、本研究の視点を得る。

### 2.3.1 教育効果測定理論について

教育効果測定に関する代表するテキストである(J. J. Philips 著, 渡辺, 外島監訳,「教育研修効果測定ハンドブック」翻訳委員会訳, 2006)は、著者の25年にわたる人材開発マネジメントについての研究と実践での経験の集大成として世界で広く使われている。我が国に限らず様々な分野の研修・教育訓練そのものについては、多くのコンサルタント、研究者が提案し実践しているが、その効果として企業業績に及ぼす影響まで調査しそれを報告しているコンサルタント、研究者はほとんど存在しない。しかしこのテキストでは、体系的に教育効果測定の要件、評価のモデルと設計、データの収集と解析、実施段階での課題まで著者の豊富な経験から即実践できる方策を説明している。

本研究では、評価がなぜ必要か、どの様に教育効果を測定して評価するかといった方法論についてはこのテキストをそのまま実践する。その上で具体的な効果測定施策の設定について研究する。

教育効果測定において学術的に最も重要なポイントは、教育効果評価モデルである。この評価モデルの先駆は、4-レベルアプローチ(D.L.Kirkpatrick, 1975)とされており、(J.J. Philip 著, 渡辺, 外島裕監訳,「教育研修効果測定ハンドブック」翻訳委員会訳, 2006)でも評価モデルを5つ挙げている中で、最も早くに開発され広く使われているモデルとして説明している。

この4-レベルアプローチは以下である。

レベル1:反応(Reaction) 教育・研修に対して満足したか

レベル2:学習(Learning) 教育・研修で扱った内容を理解したか

レベル3:行動(Behavior) 教育・研修で扱った内容を実務において、活用できたか

レベル4:業績(Results) 教育・研修で扱った内容が業績に貢献したか

ここで最も重要なことは、それぞれのレベルで評価により知り得ることが違うために、適切な評価方法を自ら考えて実行しなければならないという点であり、そこに研究の視点がある。

この4-レベルアプローチは、各レベルの定義に不備がある等の欠点も指摘されており、それを

修正する研究が行われ、主要な結果が残り4つのモデルである。その中でも投下資本利益率 (ROI) 評価を加えた5-レベル ROI フレームワークが最近の経費説明責任として急激に承認を得てきていると推奨している(J.J. Philips 著, 渡辺, 外島監訳, 「教育研修効果測定ハンドブック」 翻訳委員会訳, 2006)。

宇宙航空研究開発でも経費効果を示すことが最近求められているが、製品またはサービスを提供して利益を発生させていないため、教育効果を利益と関連付けて評価するのは非常に困難である。従って本研究では、5-レベル ROI フレームワークを採用してその困難を克服することには意義がないので、教育効果評価モデルは、4-レベルアプローチを採用して評価方法を具体化することに特化する。

### 2.3.2 我が国の教育効果測定研究について

大学、企業での教育効果を実際に測定している論文を紹介する。

#### (1) 工学教育

日本工学教育協会で行ったいくつか教育効果を測定した論文が出ている。

学生の学力というようなあいまいな対象を測定するのに比例尺度による直線評価は精密過ぎる(森田, 岡, 渡邊, 1997)。あいまいな対象では順序尺度よりゆるい位相構造を持つ名義尺度を考えると、具体的に、勉学達成度を単に目に見える結果だけではなく、エンジニアとして重要な文献を根気良く調べる姿勢、仲間との協調性、独創性、勉学によって獲得した実用的な技術などを評価するとして主動線図(MPD)を提案している。これは考え方として参考になるが、MPD そのものがあまりに独創的過ぎて理解し研究に適用することが難しい。

大学教育では学生の活動を偏りなく評価し成績に結びつける必要があるが、評価値の決定方法などの具体的手法の研究がこれまでないことに着目して、期末手当査定票という形でチーム内の学生の相互評価と各人の客観的に観測できる個人活動の関係、チーム間での学生相互評価による活動調査で評価している(松本, 大澤, 前川, 久保, 1999)。具体的に教員のオフィスアワーに質問に来た回数、授業時間での発表回数、他チームからの質問への回答数、授業時間での他チームへの質問数、作業(予習・復習)時間で評価との相関を重回帰分析している。この論文は長い大学の授業学期単位での評価には有効であるが、教育期間が短期間の企業での教育に適用するには更なる工夫が必要となる。

大学授業の目標達成度という視点で「科目はプロジェクトであり、授業は教員と学生による共同作業である」を導入し、プロジェクトマネジメントの発想を取り入れて評価している(青木, 2002). そのポイントは以下の3項目である.

- ①学生, 教員が役割を分担し, 目標に向かって行動(学習)する
- ②学生, 教員が結ばれた学習のPDCAサイクルで行動(学習)する
- ③PDCAをできるだけ小さくし, そのサイクルを授業の各段階で繰り返すことでリスク(目標の未達)をミニマムにしつつ行動目標(学習目標)を達成する.

大学の授業をシラバスに基づいたテキスト授業, その日のポイントと宿題を示した授業資料, 宿題の解答としてのレター, 教員が研究室在室中のテキストの演習問題中心のオフィスアワー講座, 授業を担当していない教員による特定テーマ集中講座に分けて, それぞれで小さなPDCAで達成度を確認している. PDCAを回して達成の抜けを作らず評価する画期的な手法である.

近畿大学機械工学科で授業評価アンケートにより, 授業のレベル, 授業の雰囲気, 教員の熱意などを学生の立場からの評価を受け, 統計解析を行い, より良い授業システムを確立している(岩崎, 2003). 具体的には, 統計情報処理の授業の平成13年度と14年度のデータをもとに多変量解析を適用し学生が授業に対してどの様に評価をしているか, その本質を分析している. 教育結果を統計的に解析する手法とその考察として本研究でも参考にする.

一方で学生による授業評価アンケートはばらつきが大きく使いにくいのも事実であるが, それを授業に上手に活用していく方法を確立している(原村, 岩本, 穴田, 黒澤, 2004). この論文における統計分析結果は, 以下とまとめている. 本研究でも参考になる分析と言える.

- 1) 相関の弱い7個程度の質問のすべてに同一の評価を下した回答は不適格として抽出する.  
不適格な回答が一部存在するが, それを排除すれば学生に授業を評価する能力がある.
- 2) 評価の高い質問間で質問間の評価差や回帰曲線からのずれによって教員の改善点を抽出可能である.
- 3) 出席率と総合評価は正の相関を持っている.
- 4) 程度の差はあるが, クラス規模の増大によって評価は低下する傾向にある.
- 5) 時間外学習を求めても授業に対する評価は下がらない. 厳しい授業の方がむしろ評価が高くなる.

## (2) その他

広島県立教育センターから, 教員の10年経験者研修において3年に渡って体系的に教育効



果を計測して、統計分析を行い評価した論文として(広島県立教育センター, 2003) (広島県立教育センター, 2004) (広島県立教育センター, 2005)の3本がある。この一連の論文では、教育効果評価モデルとして本研究で採用している4-レベルアプローチを使い、教員としての職能力成長を「基礎的資質」「実践的指導力」「課題解決力」「経営能力(総合的力量)」の視点でとらえ、これを促進する要因として「同僚性」と「メンタリング」があるとの仮説を立て統計解析で検証した。本研究実施上でも参考になる実践的研究と言える。

他には、学校教育以外の分野では、システム安全に焦点を絞ったエンジニア教育、企業内のエンジニア教育での教育効果測定について議論した論文はなかった。企業内でのエンジニアの教育効果測定は、4-レベルアプローチを採用しても評価モデルの設定に研究要素があり、更に教育効果測定結果を明らかにすることが、企業の技術力、教育実施内容、それに費やした経費等の実情を公知にすることにつながるために学術的議論の遡上に乗せ難いのが現状である。

### 2.3.3 エンジニア教育効果の定量的測定のまとめ

システム安全に関するエンジニア教育の効果測定は、これまで、何を対象に、どういう分析をして問題を抽出しているかとそこから得られる本研究の新たな視点を表2-3にまとめて示す。

表2-3 文献サーベイ結果まとめ(エンジニア教育効果の定量的測定)

分野	研究の視点
教育効果測定理論	何を:なぜ評価が必要か,どの様に教育効果を測定して評価するか 分析:4-レベルアプローチ 4-レベルアプローチを越える新たな教育効果評価モデル
我が国の教育効果測定	何を:大学での授業, 教員研修 分析:正しく評価するための統計的手法 4-レベルアプローチを実践した教員研修の効果測定
本研究	何を:JAXA 内外のエンジニアを対象として実行するシステム安全に関する教育の結果データ 新たな視点: ①エンジニア教育における4-レベルアプローチの具体化 ②システム安全に関するエンジニア教育では何をどの様に測定するか ③JAXA 内外のエンジニアに教育を実施した結果のデータを統計的に解析し,システム安全の問題となった要因の改善度を定量的に評価

## 2.4 文献サーベイのまとめと研究課題の設定

### 2.4.1 文献サーベイのまとめ

システム安全の必要性については、まず宇宙航空分野では、N.G.LevesonがNASAのシステム安全形骸化を警告する論文、従来のハザード解析では扱えない複雑なシステム、ソフトウェアが重要な部分を制御するシステムをカバーする新しい STAMP ベース・ハザード解析の提案、NASAの安全文化とシステム安全の因果関係についての定性的分析など多くの論文を発表している。

欧米の民生機器の現状についても、多くの研究者、エンジニアが航空機や列車事故などの繰り返される事故の再発防止を始めとしてシステム安全の現状がまだ十分ではないと議論しているが、すべて定性的な分析または精神論に近い主張である。具体的な事故調査報告を元データとして分析し、システム安全の必要性を論じている(A.G.Hessami, 2001)も、定性的分析である。

我が国でも、2000年に入ってから、日本信頼性学会で製品安全、機能安全について充実化を主張する論文が出ている。特に製品安全分野で我が国の考え方が世界標準から遠く離れていることに大きな懸念を感じ、改善の必要性を主張した(向殿, 2003a) (向殿, 2003b) (杉本, 2004) (蓬原, 2004)らは、技術的に強い流れを形成している。

システム安全に関するエンジニア教育については、NASAを中心としたアメリカでは、既にビジネスとして成立するほどに成熟しているため、新規に課題を抽出して教育で解決するといった議論は少ないが、CSPの中に新たにシステム安全プロフェッショナルを創設すべき(M. H. Demmick, 2004)という主張やNASAのシステム安全不十分を解決するために今一度システム安全の教育を見直すべき(R.Goodin, 2006)と言った注目すべき論文がある。

我が国の工学教育に目を転じると、知識記憶型から自らの頭で考える型＝創世学へのシフトに関する研究が大学教育分野から論文として出ている。また企業でのエンジニア教育については、大学卒業新人を専門家へ育成していくこと他にいくつかの課題を見出し、新しい教育スタイルについて研究している(竹下, 岡田, 1998) (松本, 1999) (桑門, 1999)。

安全またはシステム安全の教育については、2000年に入ってから体系的な安全学の確立について、(向殿, 2004)を発端として(株三菱総合研究所, 2005) (株三菱総合研究所, 2006)で実践した流れと(柚原, 2004)で試行している2つがある。いずれも研究者の経験を基に考察がベースになっており、特に学習モデルを適用しているという理論的議論はない。

プロジェクトマネジメントの視点では、プロジェクトを成功に導く要因の一つに標準の活用がある(Jang, 1998)が、欧州ではそれほど標準が活用されていない実態も調査している(Ahleman, 2008)。こういった状況の中で標準を活用するための要因を分析し、そこに教育を活かす研究は新規性があると言える。

企業内教育については、我が国でこれから本格的な学術研究を始めると(中原 編著, 2006)で宣言し、これまでの学習と教育に関する理論を体系立ててまとめて紹介している。従って、学習モデルを新しく提案する等、この分野の研究はすべて新規性があると言える。

教育効果測定は、代表的なテキストとして(J.J. Philip 著, 渡辺, 外島裕監訳, 「教育研修効果測定ハンドブック」翻訳委員会訳, 2006)がある。その中でも教育評価モデルについて5モデル挙げているが、本研究では(D.L.Kirkpatrick, 1975)による4レベルアプローチを採用する。しかしこのアプローチは、4レベルで各々適切に評価しなければならないとの示唆だけであるため、実際の教育でその4レベルを具体化して評価指標を設定し実行することが研究となる。これを実行した結果の論文は(広島県立教育センター, 2003) (広島県立教育センター, 2004) (広島県立教育センター, 2005)による一連のものしか発表がない。従ってこの研究は新規性があると言える。

## 2.4.2 問題点の総括と研究課題

文献サーベイを通じて得た問題点を以下のとおりに設定し、それを解決するための研究を行なう。

### (1)事故データ分析によるシステム安全の必要性

欧米でも我が国でも大規模システム、複雑システムなど事故調査報告が発行されるレベルの大きな事故について、定性分析でシステム安全の必要性を論じている点に着目する。

そこで本研究では、システム安全の必要性について、身近で発生している事故情報データを製品評価技術基盤機構から入手した上で統計解析を行い、リスクアセスメントを含むシステム安全の不十分さの要因と事故との因果関係を明らかにする。更にシステム安全を十分に実行することで身近な事故は、どの程度減少できるか定量評価することで我が国のあらゆる分野においてシステム安全を浸透・実行させる必要性を議論する。

## **(2)技術標準活用のための教育プログラム設定**

NASA を中心としてアメリカでは、システム安全に関するエンジニア教育はビジネスとして成立しているほどに盛んであるが、それに至ったプロセスと根拠は明らかになっていない。その状態で NASA では、最近になってシステム安全の不十分さを解消するためにエンジニア教育を見直す議論が始まっている。そこで本研究では、NASA のシステム安全の教育(NASA Safety Training Center, 2004)を再度レビューし、その結果を教育プログラム構築へ入力する。

宇宙航空開発は、プロジェクトである。プロジェクトの成功のために標準類の活用は重要な要因であるが、欧州の一部ではそれほど活用されていない実態も報告されている。そこで我が国の宇宙航空開発において標準類を十分に活用するために必要となるエンジニア教育を考察し、教育プログラム構築へ入力する。

企業内人材育成の分野について、本研究では、システム安全に関するエンジニア教育に必要な事項を分析し新たな学習モデルを提案し、動機付け理論、インストラクションデザインと共に学術的根拠を付加する。

上記を経て、本研究では我が国の宇宙航空研究開発におけるシステム安全に関する教育プログラムの提案に及ぶが、そこに、(株)三菱総合研究所, 2006) (株)三菱総合研究所, 2005)で示されたカリキュラムを横断的に加味することで、完成度の高いシステム安全のプロフェッショナルを教育するプログラムとする。

## **(3)エンジニア教育効果の定量的測定**

企業内教育効果測定は、世界的に確かなテキストとして(J.J. Philips 著, 渡辺, 外島裕監訳, 「教育研修効果測定ハンドブック」翻訳委員会訳, 2006)があり、その中で最も重要な評価モデル

についても4-レベルアプローチ(D.L.Kirkpatrick,1975)が広く知られており,本研究ではこれを採用する.ただしこの4-レベルアプローチはその具体策を示していないことから,各教育で4つのレベルに特化した評価実行方法を設定し実行する研究が必要となる.

そこで,本研究では JAXA 内外のエンジニアを広く対象として実行するシステム安全に関する教育に4-レベルアプローチを評価モデルとして採用し, JAXA 内外横断的に指標を設定し教育効果を定量的に測定する.その統計解析結果を, JAXA のシステム安全及び安全文化の議論にフィードバックさせてシステム安全がどこまで活性化したかの定量的結論を得る.

以上,文献サーベイから得た本研究の視点を表2-4にまとめる.

表2-4 文献サーベイと本研究の視点

事故データ分析によるシステム安全の必要性				
	Hessami 他	Leveesson	向殿 他	本研究
大規模・複雑システムの 定性分析	○	○	○	
新しい解析手法 導入の提案	○	○		日本の宇宙航空 で系統的には初 ○ ←
組織の安全文化	○	○	○	
身近な事故情報データ の定量分析による システム安全の現状				○ 初の視点 ← 要因
技術標準活用のための教育プログラム設定				
	中原	Leveesson 他	向殿 他	本研究
システム安全に関する 教育の必要性・見直し		○		体系立てた 完成度の高い システム安全教育 ○ ←
体系立てた 安全学			○	
標準の活用と教育				○ 初の試み ←
企業内人材育成	○			△ 研究のベース
エンジニア教育効果の定量的測定				
	Kirkpatrick		広島県立教 育センター他	本研究
教育効果評価モデル	○			△ 研究のベース
教育効果測定			○	
システム安全に関する エンジニア教育 の効果測定				○ 初の試み ← 結果をフィード バックして考察

## 第3章 事故データ分析によるシステム安全の必要性

### 3.1 目的

2.1.1 節でシステム安全の定義を明確にしたが、それに従って JAXA においてシステム安全を活性化する諸対策を進めていると「システム安全は本当に必要なのか」、「システム安全はなぜ必要なのか」と本質的な質問を問われることが多い。これらの質問に対して、全員が納得できる答を提示できないことが、JAXA でシステム安全を活性化する上で最初の障壁となっていることから、宇宙航空開発を含む幅広い分野でシステム安全の必要性を客観的なデータで明確にする必要がある。そこで先行研究サーベイ結果を基にして、本研究では、我が国の身近な製品で発生している事故の公開情報をデータとして、事故の要因や防止策とシステム安全の関係を定量的に分析し、システム安全を十分に実行すると何割程度の事故を防止できるかまで定量的に分析し、システム安全の必要性を客観的にデータで検証する。

### 3.2 分析対象とするデータ

我が国で一般に公開されアクセスできる事故情報データベースは以下を始めとして複数ある。

- 製品安全・事故情報データベース(製品評価技術基盤機構:NITE)
- 消費生活相談データベース(国民生活センター)
- 労働災害事例データベース(中央労働災害防止協会)
- 死亡災害事例データベース(同上)
- 失敗知識データベース(科学技術振興機構)

これらの中でも幅広い分野の身近な製品の事故については、NITE と国民生活センターにデータが豊富である。一方データの質としては、NITE が経済産業省所管の消費生活用製品等に関する事故情報を年度毎に分析し公表している製品安全・事故情報データベース(製品評価技術基盤機構, No Date)が CSV 形式でダウンロード可能なデータになっており分析しやすいことから、本研究の対象とする。対象年度は、本研究を開始した 2006 年 9 月にデータをダウンロード可能であった 1999～2005 年度とし、更に印刷版の事故情報収集制度報告書も平成 16 年(2004 年)度版(製品評価技術基盤機構, 2005) も入手し考察において参考にしている。

## 3.3 事故データ全体傾向の分析

### 3.3.1 事故件数の分析

事故件数の推移を、製品区別に被害の度合いを考慮して図3-1に示す。全般的に右肩上がりに事故が増加する傾向にあり、2000年度以降事業者からの通知が増えた（（製品評価技術基盤機構, 2005））ことが件数増の要因である。考察結果の概略は以下である。

- 1)2001, 2年度に家庭用電気製品で拡大被害増加が著しい。これはデータを確認すると特定メーカーの同一商品による同じ特異事象と分かり、件数が増加した要因は明確である。
- 2)身のまわり品及び乗物の事故は、毎年、合計300件程度で増減が少ない。
- 3)2004, 5年度と燃焼器具の事故が増加傾向にあり、中でも死亡事故が増加傾向にある。
- 4)燃焼器具と電気製品は共に事故件数が増加傾向にある。データを確認すると燃焼器具の事故は火事がほとんどであるが、電気製品の事故にも電気ストーブや電気こんろといった火を扱う製品による火事が多いとわかる。つまり現在の製品区分で電気製品に属していても、事故の区分としては燃焼器具に属するものが多い。



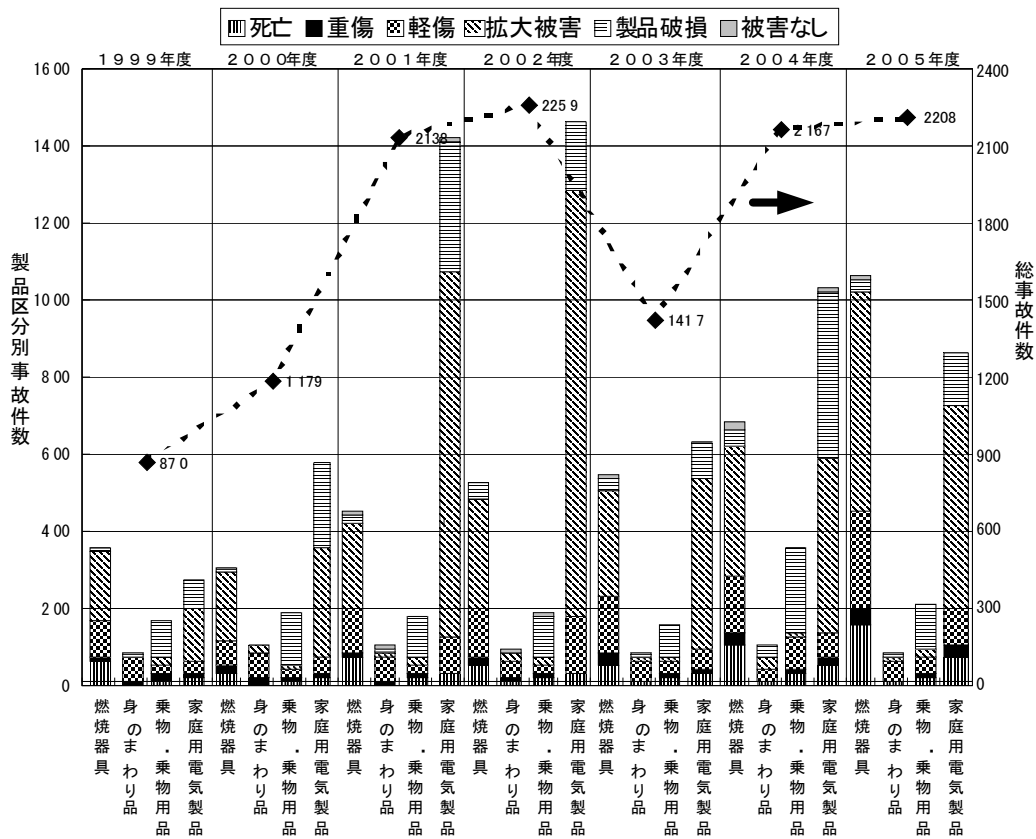


図3-1 製品区別事故件数

### 3.3.2 事故原因

NITE では原因を22種類に細分類しており正確ではあるが、データがばらついてしまうため、分析には工夫が必要である。今回は NITE の分類を同じグループでまとめて以下9種類にデータを分類し直している。

- ① 設計不良
- ② 製造不良
- ③ 品質管理不十分
- ④ 取説不備
- ⑤ 経年劣化
- ⑥ 業者の取扱不良
- ⑦ 消費者の誤使用・不注意

- ⑧ 製品に起因しない事故
- ⑨ 原因不明

この分類に従った年度毎の原因の推移を図3-2に示す。考察結果の概略は以下である。

- 1)消費者の誤使用・不注意が原因の事故は、事故全体に占める割合が年によって減少することなく、7年間平均で 34.1%もあることが特徴である。
- 2)消費者の誤使用・不注意が原因の事故は、年々件数も割合も増加傾向にある。その理由は、消費者行動の傾向に依るものなのか、NITE の分類方法に依るものなのか、データだけでは判別ができない。
- 3)原因不明の事故も毎年多く平均 26.9%あるが、データを確認すると火事による消失の結果と分かる。
- 4)2004, 5 年度の原因不明は今後の調査が進むに従い件数は減るが、原因特定の困難さから結局、消費者の誤使用・不注意に分類される傾向にある。

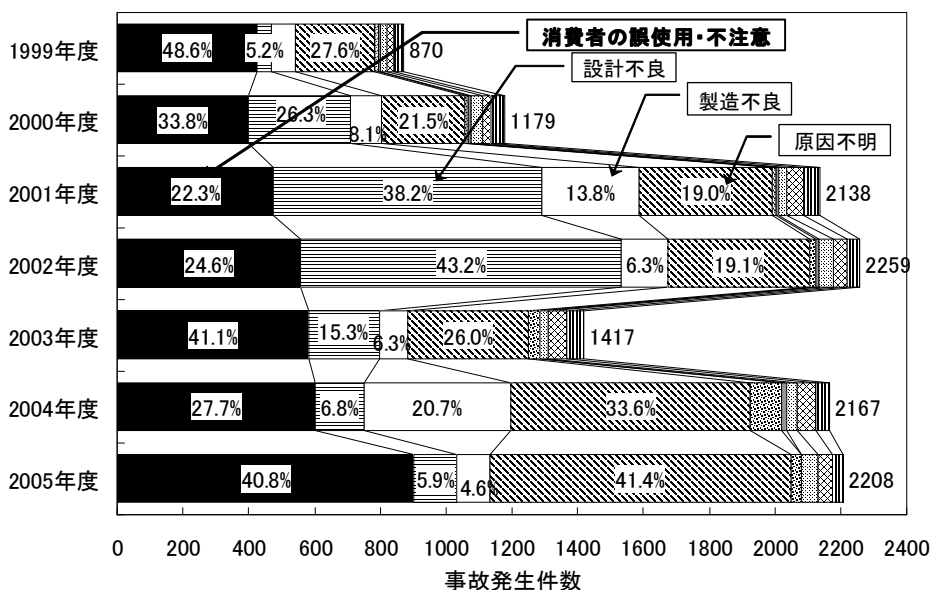


図3-2 事故発生件数と事故原因

- 5)設計と製造を原因とする事故が毎年 10%を越えており、開発上流で原因を絶っていないと言える。
- 6)2001, 2 年度に設計の原因が増加したのは、前記3. 1節 1)項で説明した特定メーカー製品の事故が要因である。

昨今、マスコミでも誤使用の責任は本当に消費者にあるのか、誤使用の事故が多いのは何か理由があるのではないかとの観点で議論が盛んである。一方製造物責任法第3条は消費者誤使用もメーカーに責任があるとしており、その判例も出ている。そこで以降の本研究の分析は「消費者の誤使用・不注意」事故に特化するが、NITEの分類で該当する「専ら誤使用や不注意な使い方と考えられるもの」の具体例を挙げる。

- 例1) 電動のこぎりで、木材を裁断していた男性が左太ももを傷つけ、出血多量で死亡した。
- 例2) コーヒーメーカーを使用中、ヒーター部から発火し、置き台が焦げた。使用者が修理したことにより、サーモスタットが連続通電状態となり、温度ヒューズが切れなかったため、ヒーターが過熱して出火したものと推定される。
- 例3) 農道の側溝に、女性が電動車いすとともに転落しているのを通行人が発見し、病院へ搬送されたが死亡した。警察の調査では、電動車いすは通常に走行でき、異常は認められないことから、操作ミスにより転落したものとみている。
- 例4) 寺の仏間で7人が座卓を囲むように倒れているのを訪ねてきた隣人が発見し病院に搬送されたが、2名が死亡した。消防の調査では、長時間締め切った室内で練炭火鉢を使用していたため、一酸化中毒を起こしたものとみている。

例4)はガス検知で消費者に注意を促す対策が必要で、例2)は自己修理が原因であるが、他2件は製品設計で事故防止が可能と推定する。従ってこれら4件共に「消費者の誤使用・不注意」を事故原因と分類することには分析が必要であり、それを4章で行う。

### 3.3.3 事故の再発防止対策

再発防止策も NITE では19種類に細分類しているが、やはり分析に工夫が必要である。本研究では、例えば交換、回収、リコールを「交換」1種類にまとめ、点検、修理、設置場所変更を「修理」にまとめる等の手法で以下11種類にデータを分類し直している。

- ① なし
- ② 設計変更
- ③ 製造工程改善
- ④ 品質管理強化

- ⑤ 取説改善
- ⑥ 教育
- ⑦ 注意喚起
- ⑧ 交換
- ⑨ 修理
- ⑩ 使用中止
- ⑪ 調査

「消費者の誤使用・不注意」の事故の再発防止対策の推移を表3-1に示す。7年間で全3,934件の「消費者の誤使用・不注意」事故があったが、その95%の3,743件に対策がないことが大きな特徴である。また対策を実施しても消費者へ改善を要求する注意喚起、取説改善が多く、自らの製品で設計を変更して誤使用の再発を防いだものは、わずか1.04%の41件に留まっている。事故が減少しない要因の一つがここにあると表3-1から言える。

表3-1 誤使用・不注意事故の再発防止策

再発防止策	なし	注意喚起	取説改善	設計変更	その他
1999年度	392	13	10	4	4
2000年度	372	6	12	6	2
2001年度	450	11	7	2	6
2002年度	530	4	9	5	5
2003年度	544	20	5	8	5
2004年度	582	10	6	1	2
2005年度	873	7	5	15	1
合計	3743	71	54	41	25

### 3.4 システム安全の視点を取り入れた新たな分析

「消費者の誤使用・不注意」による事故は、本当に想定できない使用方法だったのか、再発防止策はないのかについて分析する有効な方法として本研究からシステム安全の視点を取り入れた3-step分析法を新たに提案する。

なお、本章以降では、最近の年度であって、かつNITEでの分析がほぼ終了している2004年度に焦点をあてる。また2004年度の「消費者の誤使用・不注意」事故601件の内、事故に至っていない「被害なし」と、厳密には品質問題であって事故ではない「製品自身の破損」は除外し、「死亡」「重傷」「軽傷」「拡大被害」の4種類・570件を分析対象とする。

### 3.4.1 分析方法

システム安全の中核を成すのは、ハザード識別から始めるハザード解析とそれに伴うリスクアセスメントである。これは、安全を工学の対象として定量化する主張として蓬原、向殿、佐藤、橘が論じている。JAXAでも宇宙航空研究開発のマネジメント要求である、「システム安全標準」：JMR-001B(宇宙航空研究開発機構，2008)の中で体系立ったハザード解析，リスクアセスメントを規定している。本研究でも分析の中で事故情報データについてハザード解析とリスクアセスメントを実行するために，NITEのデータの記述に戻り1件毎に以下に示すStepで分析を加えた。

#### Step1. システム安全で対象とする範囲か否か

以下の3カテゴリで識別する。

「範囲内」:

過去の事故情報を参考にすれば使用方法を事前に想定できハザードを識別できる事故。3.2節1)項, 3)項, 及び4)項で前述した例が該当する。

「範囲外」:

公序良俗に反する非常識な使用もしくは法律に違反する使用による事故。3.2節2)項で前述した例は電気製品を修理業者でないユーザが改造して使用しており電気用品安全法に違反している。

「不明」:

NITEのデータだけでは情報が不足していて同定できない事故。

#### Step2. システム安全のレベル

以下の3カテゴリで識別する。

「一般で当然」:

当該事故を防止するための安全確保技術が既存か商品化されている場合である。3.2節1)項で前述した例は，似た電動工具で対象に近づかない限り歯にカバーが自動でかかる製品が既にあることから該当する。

「一般で理想」:

当該事故を防止する安全確保技術が現在はないが，コストを度外視すれば開発できるもの，もしくは基礎からの新たな研究開発が必要なものである。3.2節3)項で前述した例は，おも

ゃレベルでは滑走面の下が空間になった瞬間に車輪が向きを逆方向へ変えて落下を防ぐものがある。これを電動車いすに実用化する研究開発が有効であることからこれに該当する。

「宇宙機器レベル」:

通常使っている範囲の磨耗・損傷等まで考慮しなければ事故を防止できないもの、もしくは日常生活レベルよりも使用環境を整える、もしくは使用環境を計測しなければ事故を防止できない場合である。3. 2節 4)項で前述した例は空気中の一酸化炭素濃度検知で事故を防げるが、日常生活で一酸化炭素濃度を計測することはない。しかし宇宙航空の研究開発では、この種の環境計測は常識という観点でこれに該当する。

### Step3. ハザード抑制策

ハザードを抑制する設計方策は、3-step メソッドとして具体的な方法(向殿政男, 2003b)を論じており、更に具体的な設計解として機械的安全コンポーネントの一般式(高津雅一, 2004)も論じている。また JAXA でも、JMR-001B において設計から運用までの方策を7段階で規定している。これらを基に本 Step3としてハザードを抑制する方法は以下の5段階とする。

「設計で除去」:

事故の原因となるものを設計の中で除去しても該当の製品が成立する場合

「設計で抑制」:

危険であるが機能の中心になっているコンポーネントを必要な場合だけ出す、または安全検知により安全でない場合は隠す等を設計で実現する場合。

「安全装置」:

ヒューズ、電源遮断等でパワーを切るもしくは危険源を押さえ込む装置を付加する場合。

「警報装置」:

ガス濃度計測、温度計測等で危険を検知し、警報を出してユーザに気付かせる場合。

「手順・訓練」:

事故に至る様な誤った使い方を禁止する、正しい手順を教えるもしくは訓練する場合。

### 3. 4. 2 分析結果

事故データの「品目」「被害の種類」と3. 4. 1節で前述した3-step 分析法で分析する「システム安全の範囲内か」「システム安全の技術レベル」及び「ハザード抑制策」という計5個の質的変数に

ついて、データの分布状況を把握し分析を詳細化する関連性のある変数を抽出するために多変量連関図が有効である。分析対象とした事故570件の多変量連関図を図3-3に示す。本図には、変数の関連性をカイ二乗検定で判定した結果も示す。考察結果の概略は以下である。

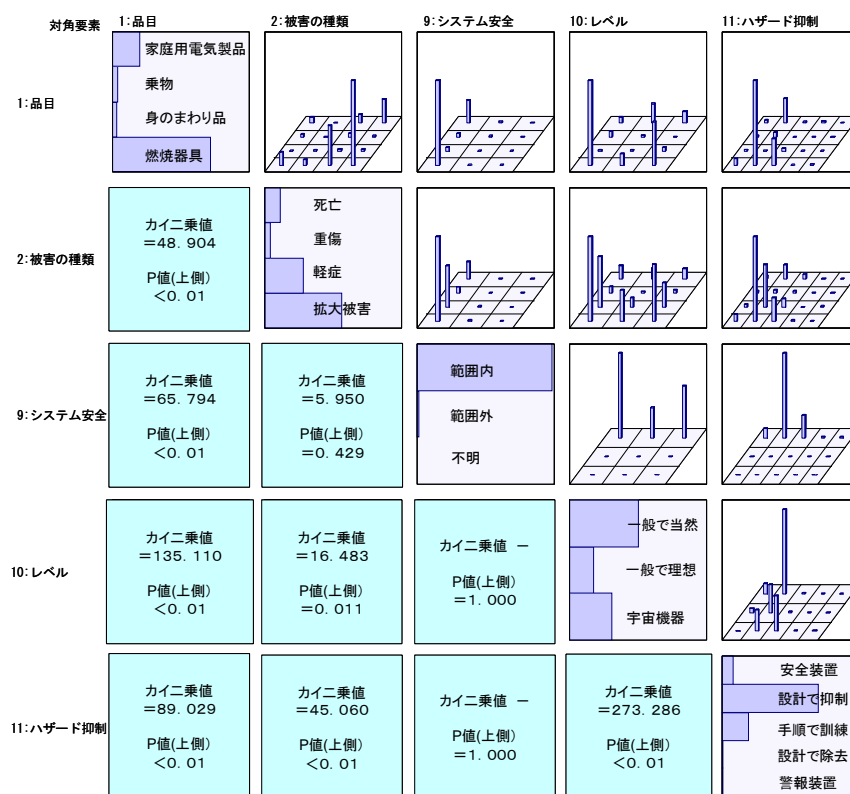


図3-3 事故とシステム安全について多変量連関図

- 1) 例えばシステム安全のレベルとハザード抑制策はカイ二乗値が 273.286 となり有意水準 5% で帰無仮説「システム安全のレベルとハザード抑制策は関連がない」は棄却される。従ってシステム安全のレベルとハザード抑制策は関連がある。同様にすべての関連性を評価する。
- 2) 品目は、他の 4 項目すべてと関連がある。
- 3) 被害の種類とハザード抑制策及びシステム安全のレベルは関連がある。
- 4) システム安全の範囲にあるかどうかは、品目と被害の種類と関連があるが、システム安全のレベル及びハザード抑制策との関連は検出されなかった。

カイ二乗検定によりシステム安全のレベルとハザード抑制策の関連が最も強いと分かり、以降本研究の分析はこの2点に集中する。具体的には、570件の事故の内、98%の 559 件は使用法が過去の事故まで考慮すれば十分に想定できハザードを識別できる「システム安全範囲内」であり、50%の284件は現在の技術でも安全を確保できる「一般で当然」レベルである。

「システム安全範囲内」の559件のハザード抑制策の分析結果を表2に示すが、「一般で当然」レベルの284件の中でも、設計改善により防止できる事故が88%、249件にのぼると分かる。

システム安全のレベルが「一般で当然」に入る事故のデータを確認すると、過去に同様の事故が繰り返されているものが多い。それらの情報を反映すれば危険源を設計で抑制できるものが247件ある。最近のガスこんろではナベ底の温度を計測し異常高温を検知してガスを遮断する技術が実用化しているが、これが一例である。

システム安全のレベルが「宇宙機器レベル」に入る事故は、その抑制策として設計で考慮すべき技術が高度になるだけでなく、「一般で当然レベル」「一般で理想レベル」では抑制策としてわずかしか取らない「手順・訓練」が103件で59%を占める点が他のレベルと異なる。すなわち宇宙機器レベルにおいてはハザード抑制策を手順・訓練に依存していることがデータから分かる。

表3-2 システム安全範囲内のハザード抑制策

抑制策	設計除去	設計抑制	安全装置	警報装置	手順・訓練	合計
一般当然	2	247	32	0	3	284
一般理想	1	84	12	0	3	100
宇宙機器レベル	4	62	2	4	103	175
合計	7	393	46	4	109	559

### 3.5 システム安全の不十分さと事故の関連分析

3.4節までに「消費者誤使用・不注意」で「対策なし」事故の約50%はシステム安全を十分に行うことで設計により事故を防止が可能であると分かった。そこで前節までの4製品区分を具体的な品名に詳細化して事故を発生した品名(サンプル)とそのハザード抑制策(カテゴリ)に数量を与え、その数量から品名によるハザード抑制策の傾向を数量化Ⅲ類解析により探る。

#### (1) 品名分類

NITEの2004年度報告書を見ると「消費者誤使用・不注意」事故の品名を100種類を越えて細分化しており、このままではデータがばらついてしまう。本研究では各区分で各6品名程度が適切と考え、以下の24品名に分類し直した。



(家庭用電気製品)

①こんろ(電気), ②暖房機(電気), ③電動工具, ④配線器具, ⑤発電機, ⑥台所用品(電気),  
⑦その他家庭用電気製品

(燃焼器具)

⑧ガスボンベ, ⑨ガス湯沸器, ⑩こんろ(ガス), ⑪こんろ(カセットガス), ⑫暖房機(ガス),  
⑬暖房機(石油), ⑭ふろがま, ⑮練炭・火鉢・七輪・豆炭・まき, ⑯そのほか燃焼器具

(乗り物)

⑰四輪自動車, ⑱自転車, ⑲電動車いす, ⑳その他乗物

(身のまわり品)

㉑ライター, ㉒リチウム乾電池, ㉓ろうそく・香, ㉔その他身のまわり品

## (2)数量化Ⅲ類解析結果

3. 5. 1章の品名分類で数量化Ⅲ類による解析を行った結果を第1成分と第2成分について図3-4, 第3成分と第4成分について図3-5に示す. 各成分の固有値, 寄与率及びその解釈を考察した結果は以下である

1)第1成分:固有値 0.641, 累積寄与率 0.066(6.6%)

第2成分:固有値 0.526, 累積寄与率 0.121(12.1%)

第3成分:固有値 0.466, 累積寄与率 0.169(16.9%)

第4成分:固有値 0.435, 累積寄与率 0.214(21.4%) である.

2)第1成分(図3-4x軸)は, ハザード抑制に消費者が関与しなくて済む設計による達成レベルの高さを示す.

3)第2成分(図3-4y軸)は, 製品使用中に消費者がどの程度危険を感じるかのレベルを示す.

例えば電動工具は手元で歯が回っているため危険を感じ怪我をしない様に十分備えるが, ろうそくが付いていても火がある事に気づく程度という様にレベルが異なる.

4)第3成分(図3-5x軸)は, ハザード抑制策を講じた後に製品の使用方法がどの程度変わるかのレベルを示す.

5)第4成分(図3-5y軸)は, 第2成分と反対に危険認知の困難さのレベルを示す.

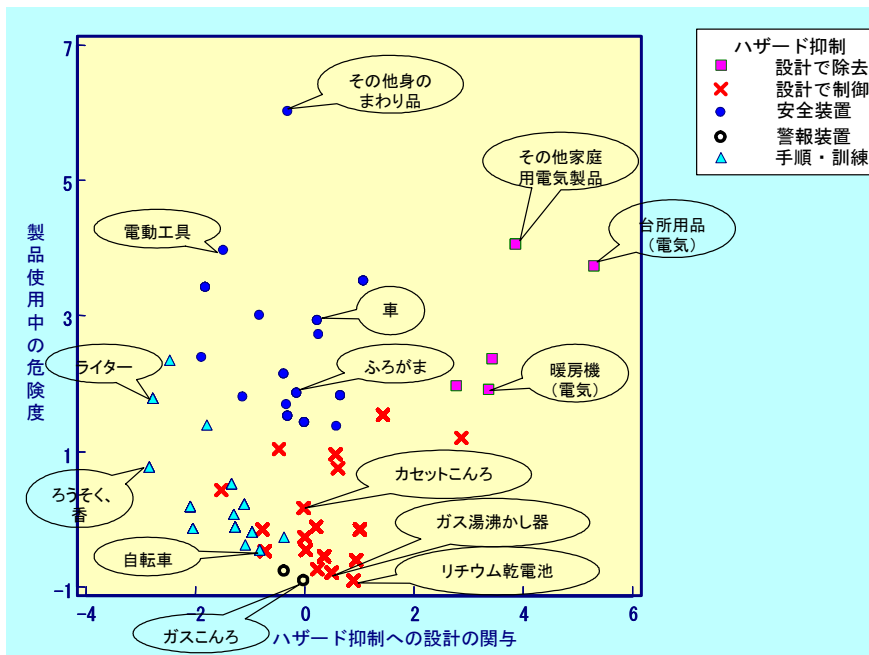


図3-4 「消費者の誤使用」事故の数量化Ⅲ類第1, 2成分

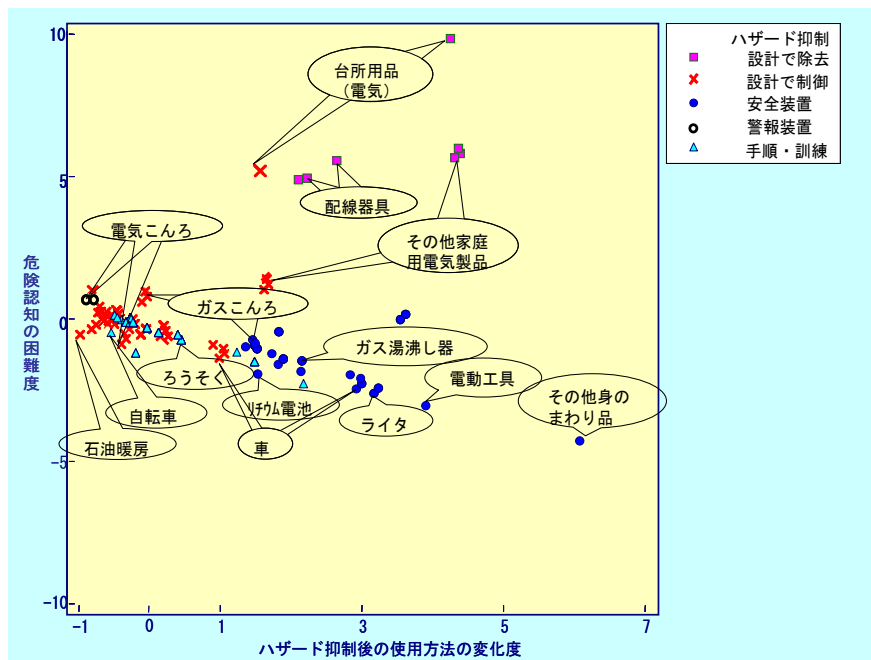


図3-5 「消費者の誤使用」事故の数量化Ⅲ類第3, 4成分

各図からハザード抑制策を中心に考察した結果の概略は以下である。

- a)「その他家庭用電気製品」「台所用品(電気)」「暖房機(電気)」は、使用中に危険を感じるレベルが高い(図3-4のy軸が正で大)が、電気をエネルギーとすることから設計によって達成できるハザードの抑制レベルも高い(図3-4のx軸が正で大)。これらのハザードが事故につながった場合の被害の大きさにより、例えば消費者が怪我する程度の場合は、1故障許容設計すなわち1つの故障あるいは1つの誤使用があっても事故に至らない設計を各企業での技術標準として定めることが事故を減らす改善に必須である。
- b)最近、事故が注目されている「ガス湯沸かし器」「リチウム乾電池」は、図3-4で警報装置によりハザードを抑制する製品に属するが、その中でも設計が高度なため使用中に危険を感じるものが少なく(図3-4のy軸が負)、設計で達成できるハザードの抑制レベルが高い(図3-4のx軸が正で大)。この場合、ハザードは事故につながると消費者は死亡に至るので、2故障許容設計すなわち2つの故障、2つの誤使用あるいは1つの故障と1つの誤使用のどの場合でも事故に至らない設計を機器の技術標準として関連する業界として定めることが事故を減らす改善には必須である。
- c)図3-4の「ライター」「ろうそく、香」「自転車」は、火そのものを扱うまたは人が駆動する様な構造が単純な製品であるため、ハザードの抑制を消費者の使用方法に頼る(図3-4のx軸が負)。この場合でも例えば「ライター」なら点火している時間を数秒に限定する装置や「自転車」なら車体を軽量化するといったリスク最小化設計を機器の技術標準として定めることが有効である。またこれらの事故防止には、消費者に注意を呼びかけるまたは誤使用を防ぐ簡単で明瞭な取扱い説明の記述を各企業の技術標準で要求することも有効となる。
- d)危険認知が困難ではない製品群(図3-5のy軸が負の製品群)は、ハザード抑制により使用方法が変わるもの程危険認知が容易であるという負の相関がある。その中でも手順・訓練に依るハザード抑制よりも安全装置によるハザード抑制の方が使用方法の変更レベルは大きい(図3-5のx軸 2~6 に分布)。
- e)危険認知が困難な製品群(図3-5のy軸が正の製品群)は、電気製品が多いが設計で危険源を除去するハザード抑制策は使用方法の変更レベルが大きい(図3-5のx軸が正で大)。

更に各分野の製品で事故の未然防止につながる研究開発が必要な方策を以下に考察した。これらの技術はどれも実用化した際には、業界内で共通技術とする設計標準の制定が必要である。

#### I)電気ストーブ, 石油ストーブ

ストーブの上に干していた衣服が落ちて接触して火事に至る事故が多い。ストーブに何かが近付くと火が消えてしまつては本来の機能を発揮できないとも言えるが、前面ガードに接触センサを装着し検知したら燃料供給を断つ安全装置が有効であり、この抑制策は前述の考察 a)に対応する。

#### II)温風ファンヒータ(電気, 石油)

ファンヒータを付けたまま就寝して事故に至る場合が多い。照度センサを装着し暗くなって数分そのままの状態が続いた場合、電源を遮断する安全装置が有効であり、この抑制策も前述の考察 a)に対応する。

#### III)電気こんろ, ガスこんろ

ナベをこんろにかけている最中に、他の用事を始めてその内にナベをかけていることを忘れて火事に至る事故が多いが、これは図3-5のy軸 0 付近に分布していることを意味する。この抑制策は、前述したとおりガスこんろにかかっているナベの温度を計測して高温を検知したらガスを遮断する技術が実用化しており、これをすべてのこんろに採用する低コスト化開発が有効である。この場合ハザード抑制後の使用方法はほとんど変化がなく図3-5のx軸 0 付近に分布することと整合する。

#### IV)電動工具

刃面を持つ電動工具は手で持つタイプも作業台で固定するタイプも、対象物に接触する直前に刃面を覆うカバーが引き込み、対象物を離れたらすぐにカバーが刃面を覆うハザードの抑制策を設計で作りこむことが有効である。この抑制策は前述の考察 d)に対応する。

#### V)四輪自動車

徐行運転中あるいは徐行でバック中に突然エンジン回転数が上がり事故に至る場合が減らないが、これらはすべて運転者の操作ミスとされている。しかし速度や運転者の目の動きを計測して、徐行すべき運転状況であると車の制御装置で判断して、急にアクセルを踏む誤操作を防止するソフトウェアで抑制する設計が有効である。この抑制策は抑制後の使用方法に変化があることを意味しており、前述の考察 e)に対応する。

### 3.6 まとめ

7年間の NITE の事故情報データについて定量的分析を行い、「消費者の誤使用・不注意」を

原因として識別した事故が 3,934 件あり, その内 95%, 3,743 件に再発防止対策を何も実行しないことが身近な事故が減少しない一要因であると判明した.

2007 年 5 月 14 日施工された改正消費生活用製品安全法によりメーカーは国へ重大事故を事故発生を知った日から 10 日以内に報告することが義務となり事故減少へ向けての施策が取られた. 一方それに先立つ 2007 年 5 月 7 日に経済産業省は「消費者の誤使用」や「不注意」であって, 明らかに製品に起因しない事故は報告除外事例であるとしてホームページで紹介している(経済産業省, No Date). これは前述の事故が減少しない要因に未だ改善の余地が残っていることを意味している.

これに対して本研究では,

「消費者誤使用・不注意による事故」=「対策何も無し」

は成立していないことをシステム安全の視点を取り入れて行う 3-step 法の分析結果で説明した. 更に「消費者誤使用・不注意」事故について行った数量化Ⅲ類解析結果から, 製品とハザード抑制策の傾向も具体的に示した. 併せて家庭用電気製品などでは故障許容設計が有効なハザード抑制策になるが, それを機器の設計時に必ず採用する様に企業内あるいは業界全体で技術標準を設定し活用することが, 事故の未然防止につながることも示した.

本研究成果により, JAXA では有人宇宙開発で安全確保の組織的, 系統的活動の基になった国際的枠組みが無い無人宇宙機開発でもシステム安全を活性化させる一步を踏み出せるだけでなく, あらゆる分野の研究開発でシステム安全を推進する際にその必要性を明確に説明することが可能となる. 更に本研究で提案した 3-step 分析法は安全解析のみならず信頼性解析でも使う FTA や FMEA に活用できる. 従って本研究成果は, 消費生活用製品がライフサイクルを終えるまで事故も故障も起こさずに機能を発揮し続ける高い安全・信頼性を確保する活動に有効である.

## 第4章 技術標準活用のための教育プログラム設定

### 4.1 目的

宇宙航空開発の様な大規模研究開発プロジェクトでは、事故と重大不具合の未然防止がプロジェクトを成功に導く鍵となる。一方、我が国全体でシステム安全が不十分であるために消費生活用製品等の事故が減少しないことを第3章で検証した。その中で、事故の未然防止に機器の設計で達成できる事項があること、その設計は技術標準として定めることが有効であることも示した。製品安全・事故情報データベース(製品評価技術基盤機構, No Date)の事故情報では、1999年からの7年間で12,238件の事故が発生し、その30%の3,743件は「消費者の誤使用・不注意」が原因で事故再発防止措置を取っていないが、再発防止措置として標準の制定や改善を採用した事故が44件(全体の0.3%)存在している。また科学技術振興機構の失敗知識データベース(科学技術振興機構, No Date)を見ると、2008年8月現在登録されている1,160件の失敗事例の内5.6%の65件が標準を対策としている。事故と重大不具合の防止措置の一角に標準があることもこれらから分かる。JAXAでは第三者を死傷に至らしめる事故発生はないものの、2000年に入ってからロケット、衛星でミッション失敗が続くという苦い経験がある。この失敗から、研究開発の中で整備してきたマネジメント要求文書あるいは衛星やロケットの設計技術要求書などから得られる知見や教訓が十分に生かされていない、すなわち技術標準の活用に改善の余地があることをJAXAは学んでいる。そこで対策として欧州の衛星設計標準であるECSS(European Cooperation on Space Standardization, No Date)を手本にして新しい衛星設計標準整備を2005年から開始し、2008年から標準の発行も始まった。新しい衛星設計標準を活用してもらい安全と信頼性を向上させる方策を質問紙調査データから分析しエンジニア教育の重要性をデータで検証する。その結果を反映してシステム安全を活性化させる体系的教育プログラムの設定を考察する。

### 4.2 技術標準活用に向けた質問紙調査

#### 4.2.1 プロジェクト活動と技術標準の現状

JAXA 安全・信頼性推進部は、衛星、ロケット及び設備の品質、信頼性及び安全を向上する様々な業務を行っている。本業務を通して得た様々な経験を基に「技術標準はどうかであれば更に

活用してもらえるか」という主題で関連エンジニアによるブレインストーミングを実行した。その結果、「最新技術を反映したタイムリーな改訂が必須」、「不確実な研究開発で技術標準はどう活用できるか?」、「プロジェクトにより標準活用法は様々」または「海外標準で作ったシステムの適合性は簡便に確認したい」を例として 40 件を越える意見を集めた。それらは技術標準活用の要因として以下に示す大項目で 3 つ、小項目で 6 つに分けると見通しが良い。

I : 標準を知っている

I-1: 存在を知っている。

I-2: 適用による利益を知っている。

II : 標準を使う能力がある

II-1: 技術根拠が明確で使える

II-2: 適用方法が透明で使える

III : 標準を使う意識がある

III-1: 使いやすければ使う

III-2: 技術内容の保証が明確なら使う

#### 4. 2. 2 質問紙設計

前述の技術標準を活用する 6 つの要因を検証する様にブレインストーミングで得た事象から 19 件を選択して表 4-1 のとおりに質問を作成した。質問紙調査実施の特徴を以下に示す。

- (1) JAXA 内外の新入職員レベルからプロジェクトマネージャまで技術分野も限定せずに幅広いエンジニアを対象にしている。
- (2) 質問紙配布と WEB のアンケート掲載の 2 方式で回答回収率向上を図っている。
- (3) 質問は以下の「どちらでもない」を排した 6 点法リッカート尺度で測定している。
  - 1: 全くそうだとは思わない
  - 2: かなりそうだとは思わない
  - 3: ややそうだとは思わない
  - 4: ややそうだと思う
  - 5: かなりそうだと思う
  - 6: 全くそのとおりだと思う

表4-1 技術標準活用に関する質問

標準を活用する要因		No	質問
I 標準を知っている	I-1 存在	Q1	設計、製造で使うべき技術標準が何か知っているを使う
		Q2	安全・信頼性・品質マネジメントで使うべき技術標準が何か知っているを使う
		Q3	プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置付けを知っているを使う
	I-2 使用による利益	Q4	教育資料他、多目的に使えることを知っているを使う
		Q5	法申請他の実務面での使用メリットを知っているを使う
		Q6	設計審査で示すコンプライアンス認証がどこに残るか知っているを使う
II 能力標準がある	II-1 技術根拠が明確	Q7	不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使える
		Q8	要求事項と設計手法が明確に分かれていると使える
		Q9	ISOやECSSなどグローバルスタンダードと互換性があると使える
	II-2 適用方法が透明	Q10	技術標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える
		Q11	プロジェクト固有の設計基準作成にあたって適用しやすいと使える
		Q12	技術標準に基づく安全・信頼性・品質マネジメントが自分の業務ならば使える
III 意識標準がある	III-1 使いやすい	Q13	衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい
		Q14	サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使いやすい
		Q15	横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい
	III-2 技術内容の保証が明確	Q16	適用してからのコンプライアンス確認、トレーニングなどが容易ならば使う
		Q17	適用、非適用の方針が明確で各プロジェクト間で共通ならば使う
		Q18	適用した後の開発途中で改訂されても混乱が無ければ使う
		Q19	標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証できるならば使う

## 4.3 質問紙調査結果

### 4.3.1 回答者の全体像

JAXA 内各プロジェクト、メーカーの代表部門に質問紙配布を依頼し、更に宇宙機設計標準の会合で質問紙を配布し、2007年8月から10月末までで合計199通を回収した。回答者の全体像は以下のとおりで、JAXA内外のエンジニアを対象に片寄りのない調査を実行している。

- ① 所属:表4-2, 図4-1に示す。メーカー回答が56%とJAXAより若干多いが片寄りはない。
- ② 職位:表4-3, 図4-2に示す。係員レベルから部長以上まで分布しており、課長代理レベルが20%、課長レベルが25%と多いことから、JAXA内外の組織の職位分布と適合している。また欠損値が20%あるが、提供した職位分類の不十分さと共に10%程度含まれる大学・高専の教員が分類できなかったと推定している。
- ③ 担当業務:表4-4, 図4-3に示す。システム設計が12%、コンポーネント設計が10%、安全・信頼性担当が22%でほぼ半数を占めていることはJAXA内外の組織の担当業務分布を代表していると言える。しかし業務の選択肢に「製造部門」および「検査部門」を含めなかった影響で「その他」業務が最も多いのが特徴である。更に本項目の欠損値10%は、大学・高専の教員に相当すると推定している。



表 4-2 所属分類集計表				
		度数	パーセント	有効パーセント
有効	JAXA	87	43.72	43.94
	メーカー	111	55.78	56.06
	合計	198	99.50	100.00
欠損値		1	0.50	
合計		199	100.00	

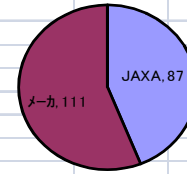


図4-1 所属分類

表 4-3 職位分類集計表				
	職位	度数	パーセント	有効パーセント
有効	3級、係員	23	11.56	14.65
	4級、係長	25	12.56	15.92
	5級、課長代理	39	19.60	24.84
	6級、課長	49	24.62	31.21
	7級、次長	6	3.02	3.82
	8級、部長以上	15	7.54	9.55
	合計	157	78.89	100.00
欠損値		42	21.11	
合計		199	100.00	

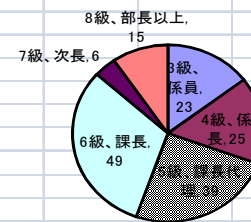


図4-2 職位分類

表 4-4 業務分類集計表				
	担当業務	度数	パーセント	有効パーセント
有効	プロジェクトマネジメント	9	4.52	5.00
	予算・計画管理	2	1.01	1.11
	システム設計	24	12.06	13.33
	コンポーネント設計	18	9.05	10.00
	安全・信頼性・品質	44	22.11	24.44
	試験・射場作業	7	3.52	3.89
	設備・治具	3	1.51	1.67
	その他	73	36.68	40.56
	合計	180	90.45	100.00
	欠損値		19	9.55
合計		199	100.00	

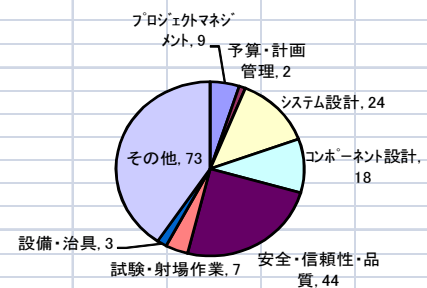


図4-3 業務分類

### 4.3.2 基礎統計

19の質問に対する回答の度数分布について表とグラフを添付資料1に示す。

(1) 平均

表4-5は基本統計表として、回答平均値を一番高いものから降順に19問を並べて平均値、標準偏差および分散を列挙したものである。

3点付近に平均が固まっており、標準偏差も1点代であることから、典型的な正規分布形状をうかがわせる。また質問に対して回答者が反対意見を表明した平均2点代が、6問ある。それら

の中でも2点代前半の3つの質問には回答者は強く反対していることになる。

表4-5 基本統計量

No		度数	平均値	標準偏差	分散
1	標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える	190	3.93	1.27	1.60
2	法申請他実務面の使用メリットを知っていると使う	189	3.80	1.55	2.40
3	設計審査でコンプライアンス認証がどこに残るか知っていると使う	187	3.61	1.59	2.53
4	サブシステム、コネクティブなどの階層を考慮してあると使いやすい	188	3.48	1.23	1.50
5	横断検索が可能な使いやすい電子ファイルではない	190	3.47	1.30	1.68
6	コンプライアンス確認、トレーニングなどが容易ならば使う	187	3.43	1.34	1.81
7	プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置づけを知っていると使う	188	3.38	1.50	2.24
8	ISOやECSSなどグローバルスタンダードとしての互換性があると使える	190	3.37	1.28	1.63
9	プロジェクト固有設計基準の作成にあって適用しやすいと使える	189	3.30	1.28	1.65
10	要求事項と設計手法が明確に分かれていますと使える	189	3.28	1.16	1.35
11	適用、非常用の方針が明確で各プロジェクト間で共通ならば使う	190	3.26	1.34	1.79
12	不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使える	191	3.26	1.30	1.68
13	衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい	191	3.10	1.28	1.65
14	開発途中で改訂されても混乱がなければ使う	190	2.97	1.27	1.62
15	標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証できるなら使う	190	2.71	1.30	1.70
16	教育資料他、多目的に使えると知っていると使う	189	2.69	1.47	2.16
17	設計、製造で使うべき技術標準が何か知っていると使う	190	2.38	1.30	1.70
18	技術標準に基づく安全・信頼性・品質が自分の業務ならば使える	189	2.19	1.37	1.86
19	安全・信頼性・品質マネジメントで使う技術標準が何か知っていると使う	189	2.06	1.10	1.22

(2) 度数分布

図4-4に回答平均値が最も高かった回答の度数分布グラフを示す。典型的な正規分布を示しており統計データとしての信憑性が高い。この傾向は他のすべてデータも同様である。

Q10 技術標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える【1】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	7	3.52	3.68
2 かなりそうだとは思わない	20	10.05	10.53
3 ややそうだとは思わない	37	18.59	19.47
4 ややそうだと思う	62	31.16	32.63
5 かなりそうだと思う	44	22.11	23.16
6 全くそのとおりだと思う	20	10.05	10.53
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	

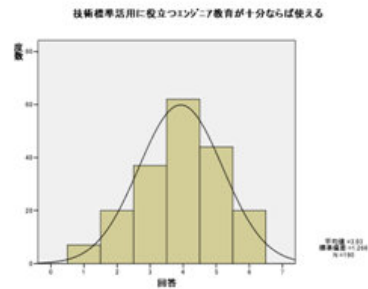


図4-4 技術標準活用にに関する調査 度数分布 表とグラフの一例

### (3) 考察

以下6項目を考察する。

- ① 課長代理までと課長以上の2つの層で平均値の独立性をt検定で確認した。両側有意確率5%で判定するとQ18が3.3%で差がある。他はQ4が10.8%でQ18の次に低いが、高い確率で2つの層で平均値に差がない。従って分析は2つの層に分けず一括して行える。このt検定の結果は添付資料2 表-1に示す。
- ② 全質問の平均値が中央値3.5よりやや低めである。これは賛同側が中央値から4点まで密な分布に対して非賛同側はその数は少ないが離れた2点まで分布している特徴の表れである。
- ③ 研究開発プロジェクトで使える標準の存在が知られていないと仮説を立ててQ1及びQ2で検証したが、平均は2点台前半で回答者は標準の存在を知っていた結果である。またQ12も平均が2点台前半で標準は安全・信頼性のマネジメント業務だけで使うものとは回答者は考えていない。
- ④ Q10の「エンジニア教育」は平均が3.93、Q5の「実務での適用メリット」は平均が3.80と他よりも高い値を示しており、回答者が最も重要と考えている2項目と言える。
- ⑤ プロジェクト実行プロセスで如何に便利に使えるかという視点でQ14,Q15,Q16及びQ17が3.4点付近にあり、それらの最頻値はいずれも4点であることから回答者の賛同を得ている。
- ⑥ 技術活動の中で使えるという視点でQ7,Q8及びQ9が3.3点付近にありかつそれらの最頻値も4点であることから回答者の賛同を得ている。

### 4.3.3 因子分析

本研究の調査では、4.3.2 節で予備的に仮説を立てたが、先行研究サーベイで仮説を検証するモデル作成に役立つ要因まで明らかにできていない。従ってモデル確立の第一歩として探索的因子分析が必要である。表4-6に重み付けのない最小二乗法による因子分析結果を示す。因子相関行列を表4-7に示す。因子数はスクリープットを見て曲線がなだらかになり始める点であることと累積の説明率で50%を越える点であることから4と判断した。

各因子は、標準の活用方策が浮き彫りになる様に以下と名付けた。第1因子は、「グローバルスタンダードとしての互換性」や「問題解決情報」に関する因子負荷が高く「技術面の自信」に関する因子である。第2因子は、「横断検索可能な電子情報」や「コンプライアンス確認が容易」に関する因子負荷が高く、使う上での「便利さ」に関する因子である。第3因子は、「安全・信頼性で使う文書」や「設計・製造で使う文書」に関する因子負荷が高く「プロセス活用」に関する因子である。第4因子は、「法的手続き等の実務メリット」の因子負荷が高く「実務メリット」に関する因子である。これら4つの因子について固有値及び分散の説明率も表4-6に示してある。

表4-6 調査データの因子分析結果

質問	平均値	標準偏差	因子			
			1st 技術面の自信	2nd 便利さ	3rd プロセス活用	4th 実務メリット
	固有値		7.134	1.312	0.889	0.698
	分散の説明率		37.545	6.905	4.678	3.676
Q9: ISOやECSSなどグローバルスタンダードと互換性があると使える	3.37	0.093	<b>0.806</b>	-0.010	-0.039	0.036
Q8: 要求事項と設計手法が明確に分かっていると使える	3.28	0.084	<b>0.728</b>	0.008	0.029	0.015
Q13: 衛星、叩つ、設備の区分が明確だと使いやすい	3.10	0.093	<b>0.499</b>	0.298	-0.094	-0.086
Q11: プロジェクト固有の設計基準作成に取り込みやすいと使える	3.30	0.093	<b>0.496</b>	0.128	0.061	-0.051
Q7: 不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使える	3.26	0.094	<b>0.493</b>	0.042	0.089	0.107
Q14: サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使いやすい	3.48	0.089	<b>0.466</b>	0.441	-0.165	-0.044
Q10: 技術標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える	3.93	0.092	<b>0.426</b>	0.036	0.056	0.000
Q15: 横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい	3.47	0.094	0.073	<b>0.685</b>	-0.056	0.000
Q18: 適用した後の開発途中で改訂されても混乱が無ければ使う	2.97	0.092	0.125	<b>0.664</b>	0.044	-0.039
Q16: 適用してからのコンプライアンス確認、トレーニングなどが容易ならば使う	3.43	0.098	0.044	<b>0.654</b>	-0.052	0.151
Q17: 適用、非適用の方針が明確で各プロジェクト間で共通ならば使う	3.26	0.097	0.080	<b>0.618</b>	0.071	0.059
Q19: 標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証できるならば使う	2.71	0.095	0.247	<b>0.427</b>	0.223	-0.090
Q2: 安全・信頼性・品質マネジメントで使うべき技術標準が何か知っているを使う	2.06	0.080	0.017	-0.002	<b>0.944</b>	-0.118
Q1: 設計、製造で使うべき技術標準が何か知っているを使う	2.38	0.095	0.136	-0.121	<b>0.805</b>	0.001
Q12: 技術標準に基づく安全・信頼性・品質マネジメントが自分の業務ならば使える	2.19	0.099	-0.307	0.430	<b>0.529</b>	-0.006
Q5: 法申請他の実務面での適用メリットを知っているを使う	3.80	0.113	-0.025	0.004	-0.203	<b>0.875</b>
Q3: プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置付けを知っているを使う	3.38	0.109	0.094	-0.060	0.113	<b>0.697</b>
Q6: 設計審査で示すコンプライアンスの認証がどこに残っているか知っているを使う	3.61	0.116	-0.129	0.265	0.074	<b>0.593</b>
Q4: 教育資料他、多目的に使えることを知っているを使う	2.69	0.107	0.221	-0.099	0.378	<b>0.368</b>

因子抽出法: 重みなし最小二乗法 回転法: Kaiser の正規化を伴うプロテックス法 3.14 ←全質問の平均値

表4-7 調査データの因子相関行列

Factor	1st	2nd	3rd	4th
1st	1.000	0.639	0.511	0.554
2nd	0.639	1.000	0.470	0.476
3rd	0.511	0.470	1.000	0.549
4th	0.554	0.476	0.549	1.000

#### 4.3.4 共分散構造分析

因子分析結果で得た4つの因子を基本として相関分析結果(添付資料2 表-2)も参照にしつつ試行錯誤しながら活用される標準のモデルを作成し、共分散構造分析を実行した。結果をグラフィカルモデリング方式で示す。

分析結果と現実の乖離度を客観的に検証する適合度関数(指標)が統計学研究の中で多く提案されているが、本研究では次の4関数を適合度関数として採用した。

- ①  $\chi^2$ 乗値: 統計学一般で広く乖離度として知られている指標である。現実には測定したデータと完全に一致しているモデル(飽和モデル)の場合は値が0になり、データと全くあてはまっていないモデル(独立モデル)では無限に大きくなる。本調査の場合、独立モデルの値は1091である。
- ② p値: 有意確率の値である。本研究では有意水準5%を採用していることから、P値が0.05以上であれば、モデルはデータと一致していると判断する。 $\chi^2$ 乗値とペアで判断することが多いが、ケース数の影響を受けやすくケース数が大きい場合にp値が0になりやすい。(ケース数3桁からp値の解釈に注意が必要になり、4桁を越えると0になる。)
- ③ 比較適合度指標: 0から1の範囲の数値を取り、飽和モデルでは1、独立モデルでは0を取る。ケース数の影響を受けない指標である。
- ④ 平均二乗誤差平方根: 母集団とモデルの乖離度を表す値で、推定するパラメータの数の影響を受けない指標として知られている。この値が0.05未満の場合、モデルのあてはまりが良いと判断し、0.1以上ではあてはまりが悪いため採用できないと判断する。0.05と0.1の間はグレーゾーンとして判断に注意を要する。

共分散構造モデルとして得た図を添付資料2に示す。

添付資料2の図-1は、因子分析で出した4因子を原因となる潜在変数とし、アンケート質問19問すべてを観測変数に割り振った共分散構造モデルである。 $\chi^2$ 乗値が280と大きくp値が0でこのモデルは現実と一致していない。

適合度を上げるために、このモデルから変数の除外を検討した。

第4因子を除外した共分散モデルの分析結果はカイ二乗値が169、p値が0で適合していない。第3因子を除外した共分散モデルの分析結果はカイ二乗値が28でp値が0.67になり良く適合している。また第3、4因子の両方を除外した共分散モデルの分析結果はカイ二乗値が

120, p 値が 0 でやはり適合していない。以上から第3因子を成す3個の変数を除外することとした。添付資料2の図-2は, 第3因子を削り, 更に因子分析と相関分析の結果から総合的に考えて必ずしも必要のない質問を削除した改善共分散構造モデルである。この改善モデルは $\chi^2$ 乗値とp値は前述したが, 比較適合度指標は1, 平均二乗誤差平方根は0と現実と一致したモデルと言える。このモデルは構造が全体的にわかるが, 各変数間がどの様に影響しているかを考察して標準を活用するための因果関係の導出は困難である。

各変数の因果関係が分かる多重指標モデルにより示した分析結果を図4-5に示す。本モデルは図中に適合度指標を示しているとおおり, 調査データと適合していると判断できる。標準が活用されるための因果関係を以下に具体的に説明するが, エンジニア教育が中心的役割を果たすことが明確になっている。

- i. 複数の標準間で, 横串検索も可能な電子情報になっていると活用にあたって便利さを感じる。
- ii. この便利さが, 適合性マトリックス作成は簡単だという気持ちにプラスに作用し, プロジェクトで標準を適用しようという意識を高めることに作用する。
- iii. 標準は使うと便利だと感じる事が, 標準を活用するための教育は充足しているという感覚をもたらす。これは逆に便利な標準は, 教育指導的役割も果たすことを意味している。
- iv. 標準を活用するための教育が足りているエンジニアは, 標準の要求の技術的根拠にも疑問を持つことがなく自信を持って使うことになる。標準を活用する教育が足りるとエンジニアは, 標準に疑問を持たずに自信を持って使うことになる。
- v. 標準を使うことに疑問を持たない状態になると標準を使うことによる実務上のメリットまで気が付くことになる。
- vi. 活用することで更に実務メリットを追求しようと思うと, もっと教育を実施してほしいと感じることになる。

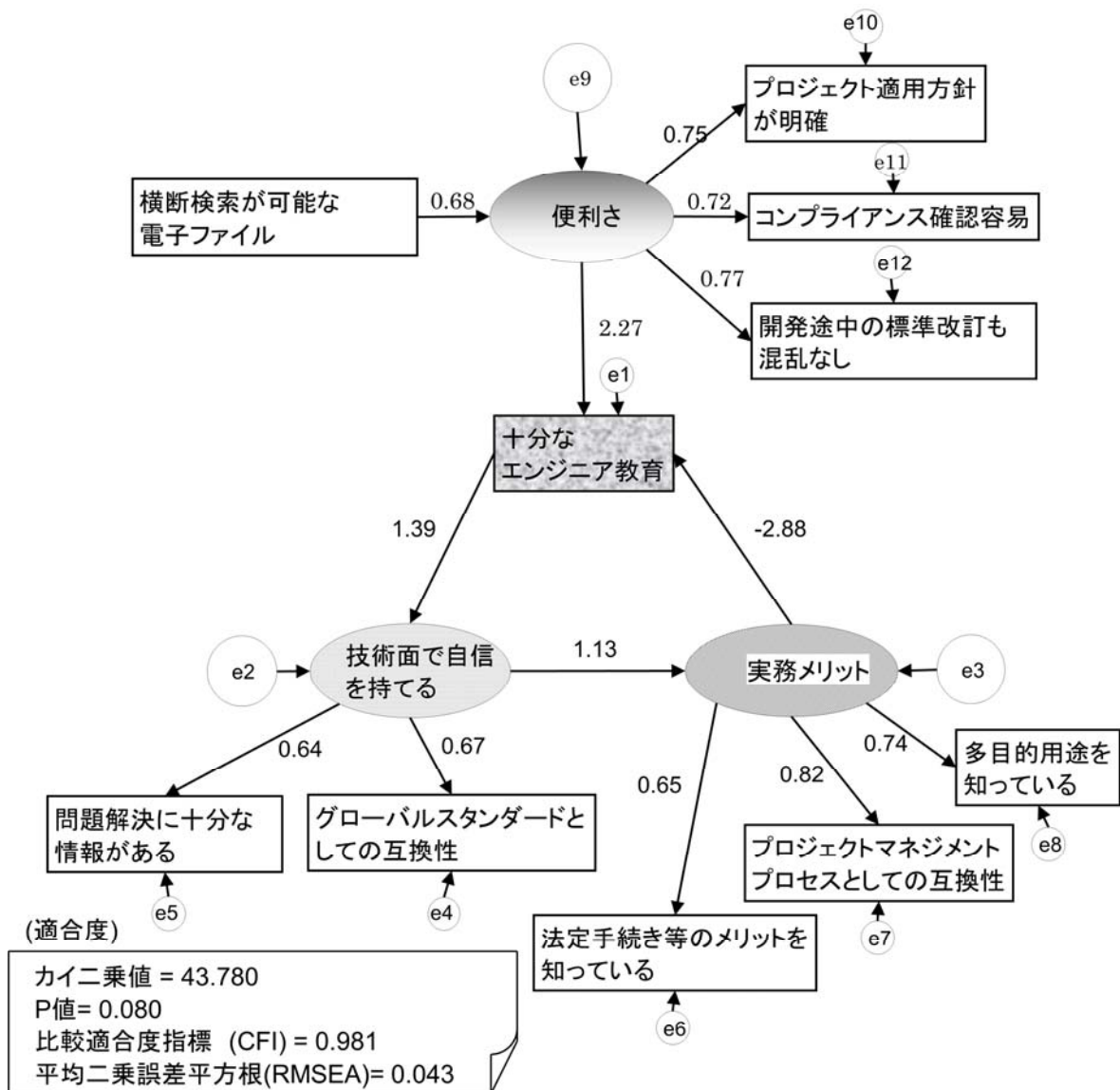


図4-5 活用される標準の多重指標モデル

#### 4.4 調査結果を反映した教育プログラムの設定

プロジェクト活動で標準を活用して事故と不具合を防止するには、教育が必要であることを4.3節で明らかにしたが、第1章で説明したとおりシステム安全を活性化させるにはエンジニアの現状を教育で改善する必要があると2004年から認識していた。教育による改善は一朝一夕で成し遂げるものではないため、教育プログラムと教材を開発した上で教育は早期に開始することも肝要である。そこで本研究では教育構築を標準に関する質問紙調査の前後で次の2ステップとした。

まず教育を早期に開始するためにNASAで実績のあるシステム安全の教育を手本にJAXAオリジナルの教育を設定した。次に4.3節で明確にした標準活用に必要な事項を反映して教育を改善した。本章では、これら2ステップの考え方とその教育プログラムの設定結果を説明する。

#### 4.4.1 第1ステップ:NASAを手本にした教育の設定

第1章で説明したとおりエンジニアがシステム安全の基本を知らない状況を教育で改善しようと考えたが、もっと直接にはプロジェクトと一緒にハザード解析を実行した際に、エンジニアと次の様なやり取りをしたことが教育の必要性を考えた契機となっている。

プロジェクトのエンジニアは、「高圧ガスがハザードである」と主張し、筆者は「適切に設計・製造された容器に充填された高圧ガスは問題がなく、人が近づくこともない場所に保管してあれば安全である。従って高圧ガスだけではハザードにならない」と説明したが、理解を得るまでに時間を要した事例である。ハザードは、一般にゴルフでもウォータハザードという言葉を使うほどにその解釈は広い。しかしシステム安全で実行するハザード解析でその概念がエンジニア間でばらつく状態は問題であり、この概念は全エンジニアで共通基盤を得る必要がある。

JAXAのシステム安全標準 JMR-001B(宇宙航空研究開発機構, 2008)では、ハザードを定義しているが、例外のない表現であるため理解しにくく、考え方の共通基盤にはなりにくい。そこで米国のNASAあるいは産業会ではハザードをどの様にとらえた上でエンジニアへ教えているかの現状をWEBで調査することから本研究を開始した。その結果、NASA Safety Training Centerと米国で広くシステム安全の教育プログラムを提供しているAPTリサーチ社の教育が良い参考になると判断した。

次は、NASA Safety Training Centerで実施している教育の基本コースと応用コースを実際に受講し、教材内容、講義ノウハウなど多くの知見を得ることとした。その結果、JAXAの教育へ反映すべき特徴を以下と考察した。

- ① 教材は、パワーポイントでキーワードだけを記述し、オリジナルのイラストなどを多様して受講生の興味を引く様に独自に工夫してある。
- ② システム安全の定義、ハザードの定義及び開発サイクルの中で実施するハザード解析の方



法など核となる事項は技術標準を教材に添付して講義の中でそれを読む。この方法により受講生が業務で技術標準を活用しやすくなる。

- ③ 教育の対象を NASA 職員に限定しておらず契約業者にも提供しており、技術レベルも新入職員からプロジェクトマネージャまで同列に扱っている。
- ④ 講義は、米国の大学と同様に講師からの一方通行ではなく質疑応答、討議ベースとして活発化させている。聞いただけでは忘れてしまい、読んだだけでは理解したにとどまるのを、実際にグループ演習で体験させて身に付けさせる効果をあげている。
- ⑤ グループ演習では、受講生は宇宙機コンポーネントなど実務に近いものを題材として希望する傾向にあるが、これは逆に担当業務により理解レベルが異なるので題材として適切ではない。むしろコーヒーマカ、アイロンなどを身近な製品を題材にする方が効果が上がる。実際に筆者は、NASA でのグループ演習時に、教室の隣の事務所にあるコーヒーマカを見に行き、手に取りながらハザード解析を実行してこの効果を体験している。
- ⑥ システム安全に限らないが、講師はシステム安全の実務経験があり技術レベルも高く、受講生からのあらゆる質問に自信を持って解を与える能力が必要である。
- ⑦ 上記⑥に加えて、講師はエンタテイメント性も併せ持ち、何よりもシステム安全に情熱を持っていることで、システム安全になじみの少ない受講生の興味を引くことが可能となる。
- ⑧ 解析プログラムを使ってすぐに解を得ることに慣れていてかつシステム安全になじみの少ない受講生は、ハザード解析でも解析ツールを使ってすぐに解が得られることを求める。ハザード解析ではそれができず、自分の頭を使い様々な経験と技術レベルの人たちとのブレインストーミングが基本となることの体験が教育の中心となる。実際に NASA のシステム安全教育は、基本コースが朝9時から夕方16時まで3日間18時間、応用コースが4日間24時間を要し、その多くがハザード解析のグループ演習に充てられている。
- ⑨ ハザードの概念は、NASA では定着しているからか、該当の講義が少ない。逆にリスクについては受講生の理解度は高くないこともあり、定義とシステム安全で実行するリスクアセスメントの実例の講義に時間をかけている。

最近になって NASA が教育の見直しを開始した経緯及び我が国のシステム安全の現状を考慮して、本研究で教育プログラムを設定で工夫したポイントは以下である。

- i. パワーポイント主体の教材は踏襲し、NASA から使用許可を受けたイラスト類を活用する。ただし日本人には文化の違いで理解できないものは、オリジナルなイラストに差し替える。

更にどちらかと言うと、NASA の教材は有人宇宙開発寄りであるため、無人の衛星、ロケットや航空機寄りの教材へ変更する工夫が必要である。

- ii. 技術標準を教材に添付する方式は有効であり、踏襲する。JAXA の技術標準添付は基より、NASA の標準もグローバルスタンダードという視点で重要なものを選択して添付した。
- iii. JAXA の研修は、JAXA 職員を対象にする方針であるが、システム安全の教育は、NASA と同様に契約業者にも広く公開して関連するエンジニア全員で共通基盤を築く方針としている。最近では業者だけでなく、衛星打上げ公募に応募する大学、高等専門学校の教員、学生まで受講の枠が広がっている。
- iv. グループ演習の題材は、NASA と同様に身のまわりの電気製品として、更に実物と取扱説明書を教室に持ち込むこととし、必ず実物を見て解析を実行する様に指導している。最近では、工具を使って分解して観察する受講生も出るほどにこの方式は定着している。
- v. 講師は、有人宇宙開発においてハザード解析の経験が豊富な有人宇宙システム株式会社のエンジニアを専任し、筆者と共に NASA の教育を受講し教材開発から実行させている。ただし当該講師は、マネジメントの知見が少ないため受講生の質問対応として筆者も講師として一部分に参加している。
- vi. JAXA では、研究開発で事故がないため説明に引用できる事例がない。逆に NASA では事故は発生するものという意識が強いことから、事例は多くても教育でそれらを題材にしていない。そこで、NASA の事故例の説明資料を許可を受けて教材に入れ、我が国の一般に起きている事故の公開資料も教材に入れることで事例説明を工夫している。
- vii. 先述のとおり NASA の教育では、ハザードの概念を共通基盤にする講義がなく、この点が NASA のシステム安全の問題である可能性がある。APT リサーチ社とも討議した結果、同社がシステム安全の教育で教えている Source-Mechanism-Outcome の3項目が揃って初めてハザードとなるという整理方法を JAXA の教材に採用した。
- viii. NASA では、事故は常に起こり得るという認識がある一方でリスクアセスメントの誤りで事故に至る点を教育で強調していない。一方 JAXA では事故経験がないために事故は起こり得るという認識が薄くエンジニアから事故の擬似体験要望が強い。更に JAXA でのリスクアセスメントは安全よりミッション達成に重点が置かれており、更にリスクアセスメントが多様性に富んでいて、判断一つで事故に至ることも十分には理解されていない。そこでリスクアセスメントを主にカバーするマネジメント層用の教育プログラムを独自に開発した。

#### 4.4.2 第2ステップ:技術標準活用の分析結果を反映した教育の改善

4.3節で明らかにしたとおり、技術標準を活用してもらうために中心的役割を果たすのが教育である。その教育が付随すべき因子も共分散構造分析の結果として図4-5の多重指標モデルに示した。このモデルを図4-6のとおり反映し、教育プログラム改善を実行した。

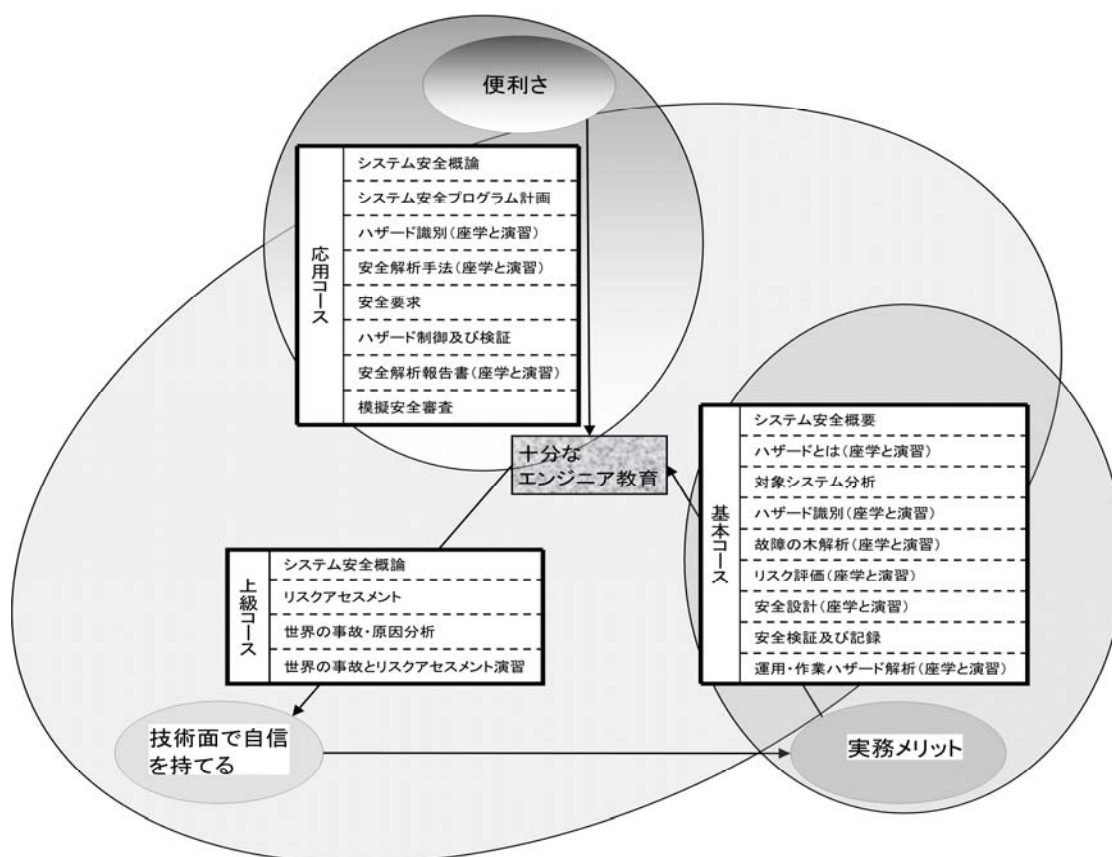


図4-6 技術標準活用の因子と教育プログラム構成

以下に図4-5も引用しながら教育へ反映した主要5項目を説明するが、講座の一部組み替えや上級コースの修正程度で、第1ステップで設定した教育の妥当性を検証したことになる。

- ① 「実務メリット」から教育へは、マイナスの寄与度すなわち教育受けたくない寄与度が高いため、「実務メリット」に関する講座は基本コースで多く教えることとし、応用コース受講へつなげている。
- ② 基本コースで教える「実務メリット」は、寄与度が 0.77 と高めの「多目的用途」に関連する講座を多く教えるプログラムとしている。

- ③ 十分な教育が「技術面で自信を持たせる」ことへの寄与度が 1.39 と高いことを意識して、3 コースすべてで技術面での自信につながる内容に心がけている。中でも仕上げとなる上級コースではグローバルスタンダードとしてシステム安全の技術標準を使うことに自信を持つ様に特に考慮している。
- ④ 「便利さ」を得ることで「教育が十分である」と感じる寄与度が 2.27 と高いことを反映して、「便利さ」は、実務に役立てるための応用コースで多く教えている。
- ⑤ 「便利さ」を構成する 3 要因は、どれも寄与度が 0.75 程度であるため応用コースで 3 要因を同じ配分で教えている。

#### 4.4.3 設定したシステム安全の教育プログラム

図4-7に設定したシステム安全の教育体系概要を示す。

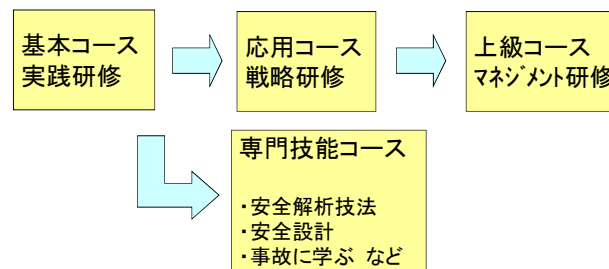


図4-7 システム安全の教育体系

システム安全の教育は、基本コースを 2004 年度から、応用コースを 2005 年度から、マネジメントコース及び専門技能コースの一部を 2006 年度から開始した。主要3コースを以下に説明する。

##### (1) 基本コース:システム安全実践研修

システム安全の定義、プロセス概要、ハザードの定義と Source-Mechanism-Outcome で整理する方法、ハザード解析ステップ、システムを良く知る設計者が行うハザード解析とリスクアセスメントの重要性及び解析技法の基本をグループ演習を通して身に付ける2日間コースである。エンジニアがシステム安全を自ら高いモチベーションで実行できる実践力を身につけるという意味で「システム安全実践研修」と名付けている。シラバスを表4-8に示す。

##### (2) 応用コース:システム安全戦略研修

基本コース修了を受講条件としている。システム安全プログラム計画の立案，電動工具を衛星に搭載すると想定したハザード解析，解析結果をハザードレポートに記録する方法，解析結果を第三者がリスクが許容できる程度に低いと評価する場の安全審査の模擬体験まで行うことによって4日間でシステム安全の全プロセスを身に付けられる。模擬安全審査で審査側と被審査側の両者を体験できることから，プロジェクトマネジメントの一部として戦略的にシステム安全を取り入れる力が養える。シラバスを表4-9に示す。

(3) 上級コース:システム安全マネジメント研修

プロジェクトで考慮すべきミッション要求，コスト，スケジュール等の制約要素と安全のパラメータをどのようにリスクアセスメントで考えるかを身に付ける1日コースである。海外の航空宇宙事故で公開されている報告書をリスクの視点で分析し，受講者自身を振り返り安全に関するリスクアセスメント改善策まで考える，知識習得に留まらない技術的に高度な内容である。

表4-8 基本コースシラバス

研修項目(2日間)		
時間	項目	内容
1.5	システム安全概要	-システム安全の歴史と哲学 過去の事故変遷と教訓 システム安全の必要性 用語(ハザード,リスク) システム安全標準
1.0	ハザードとは	事故に至るプロセスをSource-Mechanism-Outcomeで正確にとらえる
1.0	演習ハザード理解	身近な製品を例題とし，想定事故を考える
0.5	対象システム分析	ハザード解析に必要なシステム理解の重要性
1.0	ハザード及び原因識別	ハザード識別方法及び留意事項
1.0	演習ハザード識別	身近な製品を例題とし，ハザードを識別する
1.0	FTA	解析技法としてハザード原因の識別にFault Tree Analysisを利用する際の要点
1.0	演習FTA	簡易システムハザードを例題とし，FTAを利用し原因の識別をする
1.0	リスク評価	「被害の度合い」と「発生の可能性」によりリスクマトリクス法
1.0	演習リスク評価	身近な製品を例題とし，ハザード識別結果に基づきリスク評価を実施する
1.0	安全設計	安全設計の優先順位(ハザード除去から運用手順訓練まで) 安全設計の具体例
1.0	演習安全設計	簡易システムについての優先順位を考慮した安全設計提案する
0.5	安全検証及び記録	安全設計の検証方法 ハザード解析結果の記録
0.5	O&SHA	運用手順におけるハザード解析手法としてのOperating & Support Hazard Analysis
1.0	演習O&SHA	簡易運用手順を例題にし，ハザード解析を実施し，手順の改訂提案を行なう

表4-9 応用コースシラバス

研修項目(4日間)		
時間	項目	内容
1.0	システム安全概論	基本コースの普及及びシステム安全運行のためのポイント
1.5	システム安全プログラム計画	プロジェクト進行前のシステム安全プログラム計画の目的，必要性，計画すべき事項，計画書の事例紹介
1.0	ハザード識別	ハザード識別時の留意事項，ポイント
2.5	演習ハザード識別	簡易コンポーネントを宇宙システムに搭載する場合を例題とし，ハザード及び原因を識別する
2.0	ハザード解析手順/手法	ハザード解析に適用可能な解析手順，解析手法の特徴，事例紹介
3.5	演習SSHA,SHA	SSHA, SHAの一部としてFMEA, FTAを利用しハザード解析を実施する
1.5	安全要求	ロケット及び衛星に適用される安全管理要求，技術要求
1.0	ハザード制御及び検証	ハザード制御のための安全設計，安全設計の検証方法の特徴及び事例紹介
1.0	作成文書	解析結果記録の目的，必要性，記録すべき事項
3.0	演習安全解析報告書	演習での安全解析結果をハザードレポートにまとめ，解析の必要情報とともに安全性解析報告書としてまとめる
1.0	安全審査	解析結果を審査する安全審査の目的，必要性
4.0	模擬安全審査	演習で作成した解析報告書について受講者が交互に審査側，受審側を体験し，受講者間での議論を通じ，解析の重要性を体得する

研修用テキストは、NASA の教材をベースに作成し、講師が自信をもって説明できることで受講者とのコンタクトが可能であると自己評価しているものである。また前述のとおり、テキストは図表及び写真を多用し、文言はキーワードを記載のみとし、研修中に受講者がメモを取らなければならない工夫がしてある。特に図表は、研修中に印象付けて研修終了後も記憶に残るように工夫してある。図4-9にテキストの一部を例示する。テキストは、ハードカバー製のリングファイル1冊にまとめて、受講者が業務へ戻って講義資料と共に技術標準を活用することを考慮している。更に演習時間の十分な確保もNASAの教育を分析で前述したとおりである。演習では、最初に受講者個人での検討を実施し、その後グループでの討議としている。この方法により、グループ活動の重要性を認識できるようになる。また、様々な専門分野、経験と技術レベルにある複数のエンジニアによる自由なブレインストーミングがハザード解析の核となることも実感できる。演習後半には、結果発表及びそれに向けた討論時間をとることが重要で、これは解析結果をまとめる能力、説明する能力向上に寄与している。演習は、グループ構成により進捗のバラツキが生じるためその調整に講師の教育能力が必要となる。基本としては進捗が遅いグループに時間をあわせるようにし、早いグループには講師自身で結果を確認しながら修正点を指摘し、他のアプローチでの解析追加も促すことで対応している。図4-10に研修における演習風景の写真を示す。

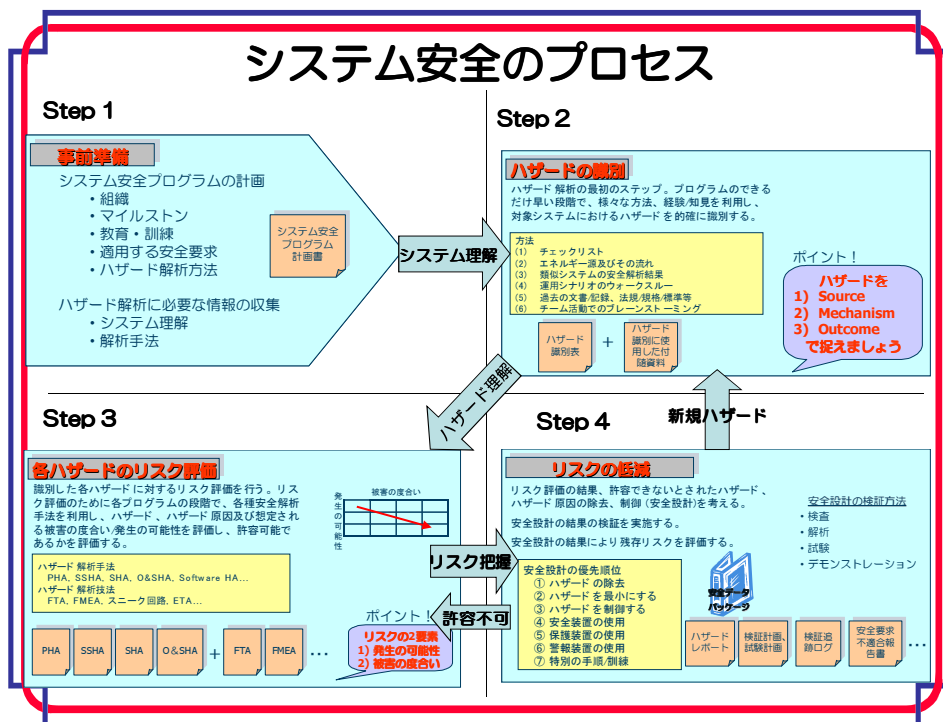


図4-9 基本コース教材の例



図4-10 研修でのグループ演習風景

## 4.5 まとめ

本研究では、宇宙航空開発におけるシステム安全の活性化を実現するために、まず第一にプロジェクト活動での技術標準活用に関する質問紙調査データから活用される標準の因果関係を分析し、その中で教育が主要な役目を果たすことまで明らかにした。この研究成果は宇宙航空の研究開発プロジェクトに限ったものではなく、あらゆる分野のプロジェクトで適用できるものである。

上記成果である標準を活用するための教育を考慮しつつ、次にシステム安全のエンジニア教育で実績ある NASA の教育を基礎として宇宙航空開発におけるシステム安全の教育プログラムを設定した。

設定した教育プログラムの内容を説明したが、システム安全を体系的に教える講座は、我が国では各企業は基より大学院でも構築途上にある。JAXA で教育を開始して4年が経過し、受講者は JAXA と契約企業の新入社員から役員レベルまで多岐に渡り、教育の有効性が広まった効果から、最近では大学、高等専門学校の教員、学生まで受講の枠が広がっている。この広がりは更に JAXA のシステム安全の教育プログラムとある大学院教育の間で単位互換共通講義へ向けた検討開始につながったところである。

教育効果については定量的に第5章で分析するが、プロジェクト活動を支援した中で教育効果があったと実感した事例を示して第4章のまとめとする。

ある衛星の打上げ前の射場整備作業において、プロジェクトチームが自ら、タスクブリーフィングで関連するハザードレポートを作業員全員に配布し、読み合わせを行っていた。これまでのプロジェクトでの読み合わせは作業手順書だけであったことと比べて、システム安全で根幹となるハザード解析の有効性が教育で認知された効果と言える。

またある衛星の射場作業で毒性のある推進薬を充填した衛星をコンテナに入れて輸送し、開梱にあたって推進薬漏洩がないことをコンテナ内のガス濃度測定で確認した。しかし予想に反して漏洩指示が出たため、作業責任者、システム設計者、安全・信頼性責任者他筆者也交えて協議したが、作業責任者から「ハザードレポートを見せてほしい。この場合の制御方法の事前解析結果を見せてくれないと、これ以上の作業はできない」と発言があった。結果的には事前にこの事象は想定していなかったため、その場でハザード解析を追加実施したが、何よりも最初に現場を預かる作業責任者からハザードレポートを見たいとの発言があったことをエンジニアが教育により成長した証拠ととらえている。



## 第5章 エンジニア教育効果の定量的測定

### 5.1 目的

JAXA では2004年からシステム安全活性化するための教育を開始し、第4章の研究も反映して一部の教育に改善も加えている。JAXA に限らず企業内教育では職位レベルに応じた様々な専門講座を充実化しているが、教育結果は実施回数、被教育者数及びテスト結果は集計するに留まり、効果を体系的に測定することが少ない。これからは教育効果を測定することで、計画(Plan)・実行(Do)・評価(Check)・処置(Act)のサイクル(以下「PDCA」)を機能させて企業教育を継続的に改善する必要がある。

先行研究サーベイで明らかにしたとおり、大学教育は学生の成長に合わせて効果も様々に測定でき教育を改善する研究も活発であるが、企業教育の分野ではほとんど研究論文がないことから測定実施や結果公表の困難さがうかがえる。本研究はこの企業教育の効果測定に焦点をあて、4-レベルアプローチ(Kirkpatrick, D.L. and J.D. Kirkpatrick., 2005)実行の具体策を考案する。そこから教育効果測定で企業教育の継続的改善に PDCA が機能して有効であることを議論する。企業教育は社員の成長よりも業務課題解決が目的で、効果指標設定などで効果測定は難しい。本研究ではこの企業教育の効果測定に焦点をあて、教育効果測定モデルの基本である 4-レベルアプローチを実行する具体策を考案する。そこから教育効果測定で PDCA が回り、システム安全活性化につながっていることをデータから検証する。

### 5.2 教育効果測定モデル

#### 5.2.1 採用したモデル:4-レベルアプローチ

本研究では教育効果測定モデルとして前述の 4-レベルアプローチを採用する。この主要点は以下である。

レベル 1:反応 (Reaction)教育に満足したか

レベル 2:学習 (Learning)教育を理解したか

レベル 3:行動(Behavior)教育を実務で活用したか

レベル 4:業績(Results)教育が業績に貢献したか

4-レベルアプローチ(Kirkpatrick, D.L. and J.D. Kirkpatrick., 2005)では、測定で使う質問紙などの手法とアメリカ企業の事例紹介が数多く含まれているものの、レベル 3 と 4 は実施が困難と指摘している。困難さの主要因として、レベル 3 では周囲の無理解が原因で適正な評価を得にくいこと、高じて本人が教育成果を実務で発揮しないことなどがあげられている。レベル 4 は教育経費とコスト効果の比較を実行するには効果が顕在化するまでに時間がかかり更に効果に対する教育寄与分の算定が困難な点があげられている。本研究は、これらの解決を試みる。

### 5. 2. 2 4-レベルアプローチの具体化の方針

教育効果の測定はすべて質問紙で行い、定量的評価のために5点法のリカート尺度を用いる。各レベルの効果測定の方針を以下に説明する。

(1) レベル 1:

企業教育は、大学の講義よりもグループによる演習に重点を置いている。そこで受講生が講義と演習から得る業務参考度と満足度に相関があると考えられるため、これを考慮した解析が良い。また本教育は個人の自発的参加であるため、総合満足度は「周囲へ受講を勧める度合い」で測定する。

(2) レベル 2:

本教育では全講義・演習毎に受講生に講義・演習の理解度及び業務活用の有益度を自己評価させている。大学の1講座終了時の全体評価よりきめ細かく講義内容、指導方法の評価を得ることができ教育改善に役立てることが可能である。

(3) レベル 3:

業務上の変化を周囲と本人による教育前後 2 回の測定が理想であるが、実行は難しい。そこで①本人だけで周囲評価は不要とし、更に②教育後3ヶ月を経過した 1 回測定で実施を容易にする工夫を考える。実施が容易になり精度が落ちる傾向は、質問を工夫して社内環境に左右されない日常生活や自己鍛練まで範囲を広げた測定で補うと良い。

(4) レベル 4:

企業内教育で最重要評価項目である。業績はコスト、設計の質など多面的に把握する

必要がある。例えばシステム安全の教育受講者から未受講者へシステム安全の重要ポイントが伝播し、全員のシステム安全に対する意識が向上すれば、設計審査で安全を追求する技術討議が実現し事故や不具合を未然に防止できて業績が向上する。この様に企業全体の意識向上や設計の質向上で測定が可能である。本研究は、システム安全について技術者が持つ意識測定による教育を受けた集団と受けていない集団の比較及び設計審査会での指摘の分析による設計の質で教育効果を議論する。

## 5.3 教育効果の定量的測定

### 5.3.1 対象とした教育の概要

本教育開始の契機は、システム安全で核となるハザード解析において過去の結果をプロジェクト「ハザード」の概念がエンジニア間でばらついて討議に入れなかったことにある。これらの解決を目的として NASA の教育を基に教育プログラムを4.4節のとおりを設定した。本節ではこの4.4節の第1ステップで設定した教育を対象としており、以下に概要を再説明する。なお JAXA の人材育成では「教育」より「研修」が一般的であるため以降「研修」を使っている。

#### (1) システム安全実践研修(基本コース)

NASA の教育を基に 2004 年度に開発した。設計が行うシステム安全の重要性、ハザード概念を教え技術の共通基盤を築くことで、システム安全の実践力が2日間で身に付く。

#### (2) システム安全戦略研修(応用コース)

NASA の教育を基に 2005 年度に開発した。基本コース修了が受講条件である。身の回りの機器を題材にハザード解析を行い、ハザードレポートを完成させる。更に模擬安全審査によりシステム安全の戦略的実行力が4日間で身に付く。

#### (3) システム安全マネジメント研修(上級コース)

JAXA 内外で事故の疑似体験要望があったこと及び安全に関するリスクマネジメントの困難さと多様性が知られていないことから 2006 年度に自主開発した。応用コース修了が受講条件である。海外の航空宇宙関連の事故報告原著を分析させ、自己業務への反映まで考察させる知識習得に留まらない高度な内容である。

### 5.3.2 測定結果全体について

本研究における教育を受けた延べ240名について図5-1に所属、図5-2に担当業務、図5-3に宇宙開発の経験年数を示す。JAXA内外の技術者に対して片寄りなく教育を実施している。図5-2で欠損が多いのは試験部門、製造部門などを選択肢に含めなかったためである。また図5-3を見ると宇宙開発の経験が浅い5年目までも多く受講しており、今後システム安全が活性する方向がうかがえる。

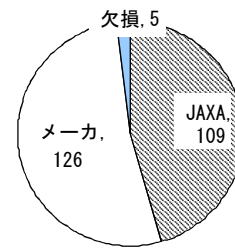


図5-1 所属分類

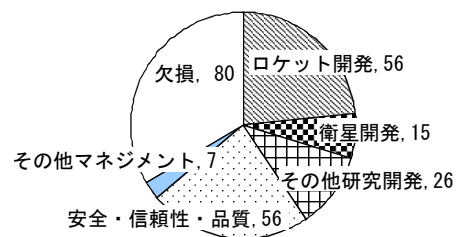


図5-2 業務分類

### 5.3.3 レベル1(満足)の測定方法と結果

#### (1)測定方法:研修後アンケート

3 コースすべてで研修満足度、講師の指導内容、総合満足度等について自己評価させ、自由記述もさせている。

#### (2)測定結果

業務参考度と総合満足度である他者へ受講を勧める度合いの関係を図5-4に示す。業務へ参考になると感じた受講生は他者に受講を勧める傾向があり、本教育の満足度は高い。業務参考度と他者へ受講を勧める度合いの関係を図5-4に示す。業務へ参考になると感じた受講者は他者に受講を勧める傾向があり、本教育の満足度は高い。

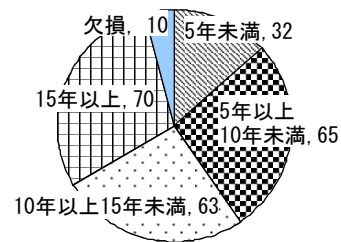


図5-3 宇宙開発経験年数分類

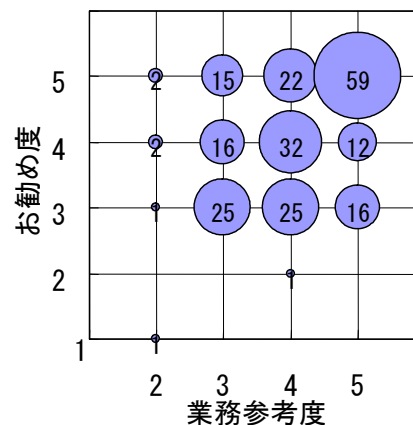


図5-4 総合満足度

### 5.3.4 レベル2(理解)の測定方法と結果

(1)測定方法:次の3方法である.

① 講義内理解度チェック

3コースすべての講義と演習について,1点:わからなかった~5点:人に教えられるまでの5点法リカート尺度で自己評価させている.

② 講義内有益度チェック

2005年度に質問が高度で積極的な受講生の理解度が3点であった.その理由が「講義は理解しても業務活用法がわからない」であったことを反映して,理解度評価に迷う要因を除去し自己評価精度を高める目的で2006年度から追加した.全講義と演習について,1点:業務反映がわからない~5点:明日から活用するの5点法リカート尺度で自己評価させている.

③ テスト

基本コースと応用コースで必須習得事項,ハザード解析と安全設計を問う記述式の100点満点テストを各研修で最後に実施している.

(2)測定結果

2004年から4年間の実践研修の理解度変遷及び実践研修と戦略研修の両方を受講した受講者の理解度変遷の2種類を有益度データも交えて考察する.

(2)-1 実践研修の理解度変遷

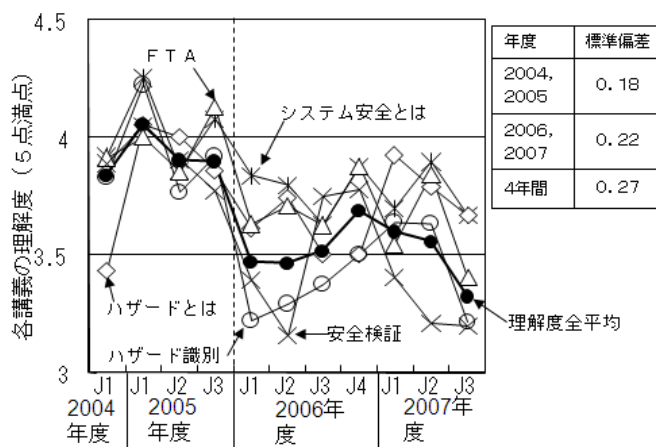
実践研修で特徴ある講座として表5-1を選定する.それらについて11回の各研修の受講生理解度平均の変遷を図5-5に示す.有益度の変遷を図5-6に示す.

表5-1 実践研修理解度変遷を考察した5講座

講座名	講座の特徴
ハザードとは	共通基盤を築く上で最重要と位置付けた講座
システム安全とは	4年間の全受講生の全講座中の理解度平均が最高(3.86)
ハザードその原因の識別	4年間の全受講生の全講座中の理解度平均が最低(3.60)
FTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析)	2005, 2006年の受講生の有益度平均が全講座中で最高(3.91)
安全検証・作成文書	2005, 2006年の受講生の有益度平均が全講座中で最低(3.56)

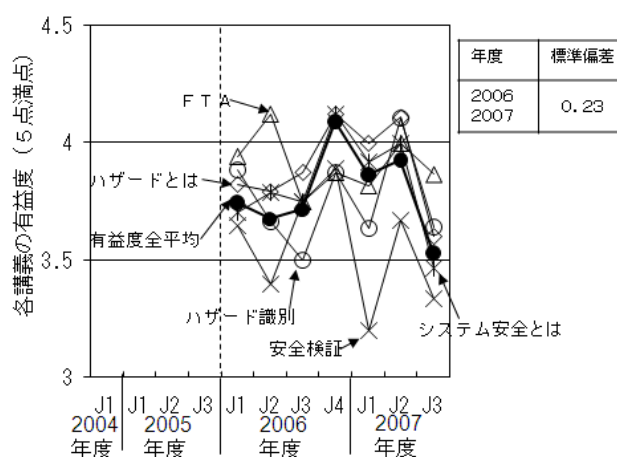
次の6点を考察する.

- ① どの科目も理解度全平均は3点を越えて高い.
- ② 「ハザードとは」は講師側で重要との意識が先行し過ぎて第1回で理解度が低い. 第2回で改善し以降の理解度は4点付近で高い.
- ③ 2006年度からの有益度追加で, 理解度全平均が0.4程度低下し, 標準偏差も講座間のばらつきが大きくなる変化を示している. 受講生が有益度も考えて理解度を正確に評価した結果で, 有益度追加の目的どおりである.
- ④ 2005年度と2006年度を比較すると理解度全平均が3.5点付近を推移しているのに対して有益度全平均は3.8点付近を推移して高い.
- ⑤ 有益度平均最低の「安全検証・作成文書」は, 5講座の中では理解度も低目で研修実施回によってばらついている.
- ⑥ FTAは, 理解度が最高であるが有益度も4点付近に推移して高くばらつき少なく実務で役立つ方向にあり好ましい.



研修実施年度と実施回の識別

図5-5 実践研修の理解度変遷



研修実施年度と実施回の識別

図5-6 実践研修の有益度変遷

(2)-2 実践研修から戦略研修への理解度変遷

実践研修の内容を戦略研修で高度化している講座がある。その中で特徴のある表5-2に示す4講座について実践研修から戦略研修間への理解度の変遷を図5-7, 有益度の変遷を図5-8に示す。

表5-2 実践研修と戦略研修の理解度変遷を考察した4講座

講座名	講座の特徴
システム安全とは	4年間の全受講生の全講座の理解度平均が最高(3.86)
ハザードその原因の識別	4年間の全受講生の全講座の理解度平均が最低(3.60)
O&SHA (Operation & Service Hazard Analysis: 作業と運用ハザード解析)	実践研修で要点だけ教え戦略研修で初めてすべてをカバーし理解できる講座。
安全検証・作成文書	戦略研修で最重要講座と位置付けている。

図は戦略研修を開始した2005年度から年度毎にマークを変えて示し、更に1行で講座毎に実践研修と戦略研修を比較できる。次の6点を考察する。

- ① 有益度評価を追加した2006年度から理解度がそれまでの4点から3.5点に低下し、実践研修と戦略研修で評価に差が出始めている。
- ② 戦略研修を経て理解度が実践研修より向上しているのは「ハザード識別」だけである。
- ③ 「O&SHA」は実践研修で基本しか教えていない影響が想定より大きく、戦略研修を経ても理解度が低下している。今後の改善点である。
- ④ 「安全検証」も戦略研修を経て理解度が低下しているが、元データで戦略研修受講生全体の有益度平均を見ても3.5点と低目である。従って戦略研修で安全データを初めて

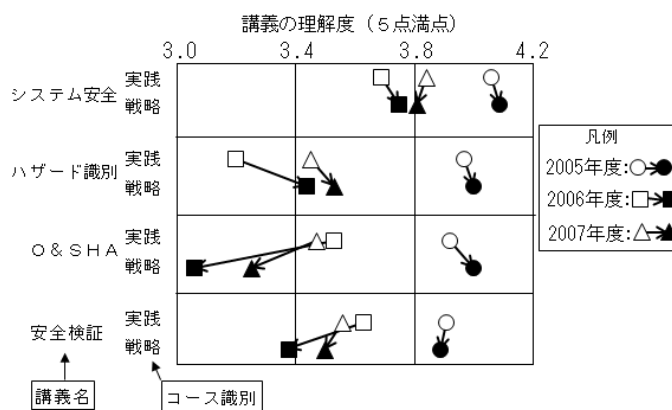


図5-7 実践研修から戦略研修への理解度変遷

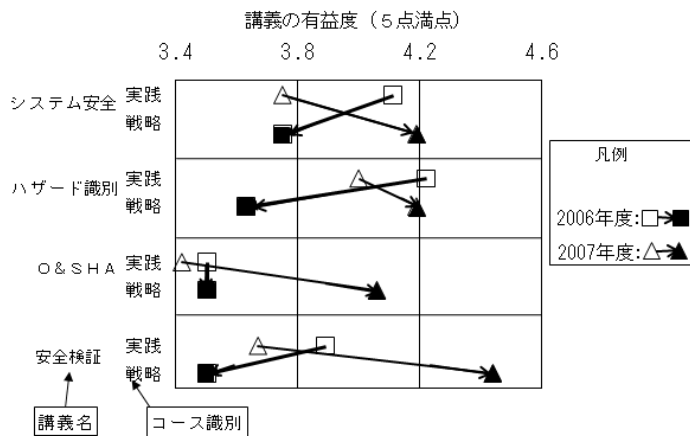


図5-8 実践研修から戦略研修への有益度変遷

作成して不明確な事項が判明した結果と考えている。

- ⑤ 有益度の変化は、理解後の変化より大きいのが特徴である。2006年度は、有益度を導入した最初の年である影響か、「O&SHA」が変化なかった他はすべて戦略研修を終えて0.4点を越えて下げており、内容は理解したが業務での活用がわからない状態である。
- ⑥ 2007年度は、すべて戦略研修を終えて有益度が上がっており、特に理解度を下げた「O&SHA」と「安全検証」は0.5点を越えて有益度が上がり、業務で活用できると認識してもらえた。

### 5.3.5 レベル3(実務活用)の測定方法と結果

#### (1)測定方法:アフターフォローアンケート

3コースすべてで研修3ヶ月後に受講者全員へ電子メールで質問紙を送付している。日常生活で安全の意識変化があったか、業務で安全を考慮したか、ハザード解析を実行したか、安全を更に勉強しようと思ったかなど31項目にわたって5点法のリカート尺度で測定している。

#### (2)測定結果

測定データの度数分布を添付資料3に示す。本研究は、受講者の研修後の変化について仮説を立てて検証するものではない。逆に広範囲な質問を行って受講者の変化の要因を探索する研究である。従って探索的因子分析が必要で、全31問について重み付けのない最小二乗法による因子分析を行った。因子数はスクリープロットから4と判断した。プロマックス回転



後の因子負荷を表5-3に、因子相関行列を表5-4に示す。

表5-3 アフターフォローアンケート因子分析結果

項目	第1因子 業務	第2因子 学び	第3因子 再発防止	第4因子 社会
システム安全を業務と同時進行	<b>0.882</b>	-0.139	-0.124	0.131
ハザード解析実施	<b>0.833</b>	-0.105	0.005	0.036
グループにハザード解析呼びかけ	<b>0.803</b>	-0.043	0.158	-0.189
スケジュールにハザード解析を見込む	<b>0.794</b>	-0.151	-0.016	-0.012
ハザード解析をどう残すか	<b>0.772</b>	0.11	-0.067	-0.015
リスクマネジメントをシステム安全で改善	<b>0.747</b>	-0.13	0.124	0.033
ハザード3段階を分析	<b>0.68</b>	0.055	-0.024	0.09
技術検討で故障, 事故考慮	<b>0.514</b>	0.079	0.049	0.207
過去のハザード解析	<b>0.507</b>	0.193	0.077	0.036
システム安全プログラム計画書作成	<b>0.465</b>	0.455	-0.086	-0.301
システム安全関わりをグループ討議	<b>0.401</b>	0.372	-0.231	0.209
システム安全は後回しだと面倒	0.333	0.173	0.111	-0.064
FTA実行	0.261	0.081	0.214	-0.011
システム安全を更に学ぶ	-0.2	<b>0.901</b>	0.052	0.085
周囲に研修を知ってもらいたい	-0.11	<b>0.756</b>	0.085	0.08
中級受講	-0.078	<b>0.719</b>	-0.104	0.017
研修受講を勧める	-0.14	<b>0.657</b>	0.231	-0.017
テキストを見返す	0.089	<b>0.587</b>	-0.05	0.131
研修内容で不明発見	0.135	<b>0.514</b>	0.028	-0.132
JAXA標準を読む	0.378	<b>0.513</b>	0.051	-0.269
業務でシステム安全を考える	0.173	<b>0.481</b>	-0.124	0.393
テキストが業務に役立つ	0.255	<b>0.477</b>	-0.073	0.209
システム安全の本、文献	0.161	0.343	0.205	0.087
失敗の要因を考える	-0.13	-0.014	<b>0.842</b>	0.164
再発防止を1人で考える	-0.16	0.091	<b>0.827</b>	0.111
再発防止をグループで	0.193	-0.008	<b>0.633</b>	0.054
再発防止を記録	0.302	-0.004	<b>0.584</b>	-0.16
私生活でリスク	0.219	-0.168	<b>0.481</b>	0.361
世の中の安全とリンク	-0.072	0.057	0.286	<b>0.697</b>
世の中の安全	-0.041	0.113	0.211	<b>0.695</b>
総合的に取組みが変化	0.242	0.37	0.171	0.141

因子抽出法: 重みなし最小二乗法 回転法: Kaiser の正規化を伴うプロマックス法

表5-4 アフターフォローアンケート因子相関

因子	1	2	3	4
1	1	0.682	0.397	0.404
2	0.682	1	0.488	0.525
3	0.397	0.488	1	0.45
4	0.404	0.525	0.45	1

第1因子は、「業務でのシステム安全」や「ハザード解析」に関する因子負荷が高く「業務」に関する因子である。第2因子は、「更に学ぶ」や「テキストを見返す」に関する因子負荷が高く「学び」に関する因子である。第3因子は、「失敗要因」や「再発防止策」に関する因子負荷が高く「再発防止」に関する因子である。第4因子は、「世の中の安全を考える」の因子負荷が高く「社会」に関する因子である。第1因子の負荷をx軸、第2因子の負荷をy軸として31問をプロットしたものを図5-9に示す。業務の変化が大きいと学ぶ変化が小さい傾向にあるが、総合的な取り組みは良い変化を示している。また31問から「総合的にシステム安全に対する取り組みの変化」を含む8問を選び受講者の研修修了後の変化を多次元線図で図5-10に示す。実践研修修了生を図5-10(1)に示す。次の3点を考察する。

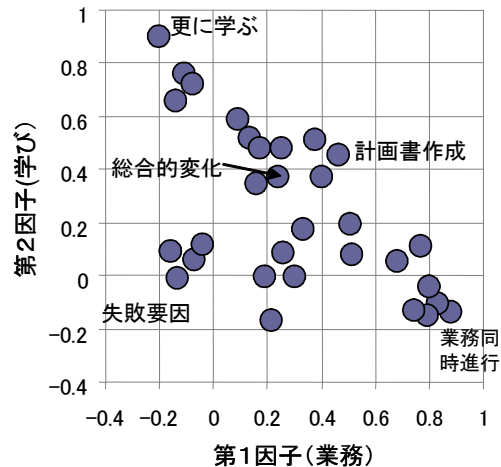


図5-8 研修後の受講生の変化  
(第1,2因子)

- ①日常生活、業務など全面的に研修を反映してシステム安全への姿勢がプラスに変化している。
- ②2004, 2005年度グループと2006, 2007年度グループに分かれ、後者の方が科目の理解度は低い研修後の変化が大きい。これも理解度と有益度に分けた効果である。
- ③基本範囲の習得であるため、業務でグループにハザード解析を呼びかけるまで変化しない。

図5-10(2)には、戦略研修とマネジメント研修両方を修了した受講生の変化及び全体の変化平均を示す。次の2点を考察する。

- ① 応用範囲まで習得したグループでは、「更に学ぶ」という変化は少ない。
- ② グループにハザード解析を呼びかける変化が出ており、望ましい教育効果が表れている。

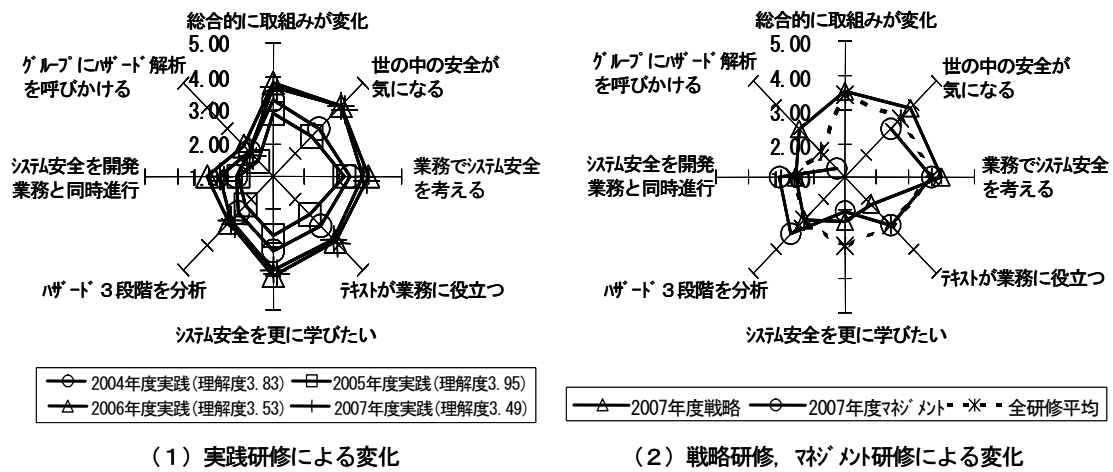


図5-10 研修後の受講生の変化(フォローアップアンケート)

システム安全の研修修了生が研修を生かして総合的に取組み姿勢が変化したことは前述の分析で明らかである。しかし変化した結果だけを見ても、4つの因子が研修生にどう影響したかの因果関係がわからず、第4章で説明した教育プログラムのPDCAを回した改善に結びつけることは困難である。そこで、研修修了生は研修を日常生活や実務でどう生かして変化に至ったかを共分散構造分析で明らかにする。

因子分析結果で得た4つの因子を基本として相関分析結果(添付資料4 表-1に示す)も参照にしつつ試行錯誤をしながらモデルを作成した。ここでは、変数が31個と多いことから共分散構造モデルが考察にあまり役立たないと考え、更に事前に「学び」と「業務」の2つの因子が強く寄与すると推定し、それらのどちらがより強い寄与度を持つかを知りたいという分析の指針を持っていたことから多重指標モデルのみで分析を実行した。

先述のとおり「学び」と「業務」を2つの柱となる因子として「総合的に取組みが変化」に至るかを分析したが、変数を13個に削減して得たモデルを図5-11に示す。図中に示した4つの適合度指標を見ると、p値が0.05を越えていないが、CFIはほぼ飽和の1に近く、RMSEAも0.05未満になっていることから調査データと適合していると判断している。研修を終えた後に各エンジニアはどう取組みが変化していくかを以下に具体的に考察する。

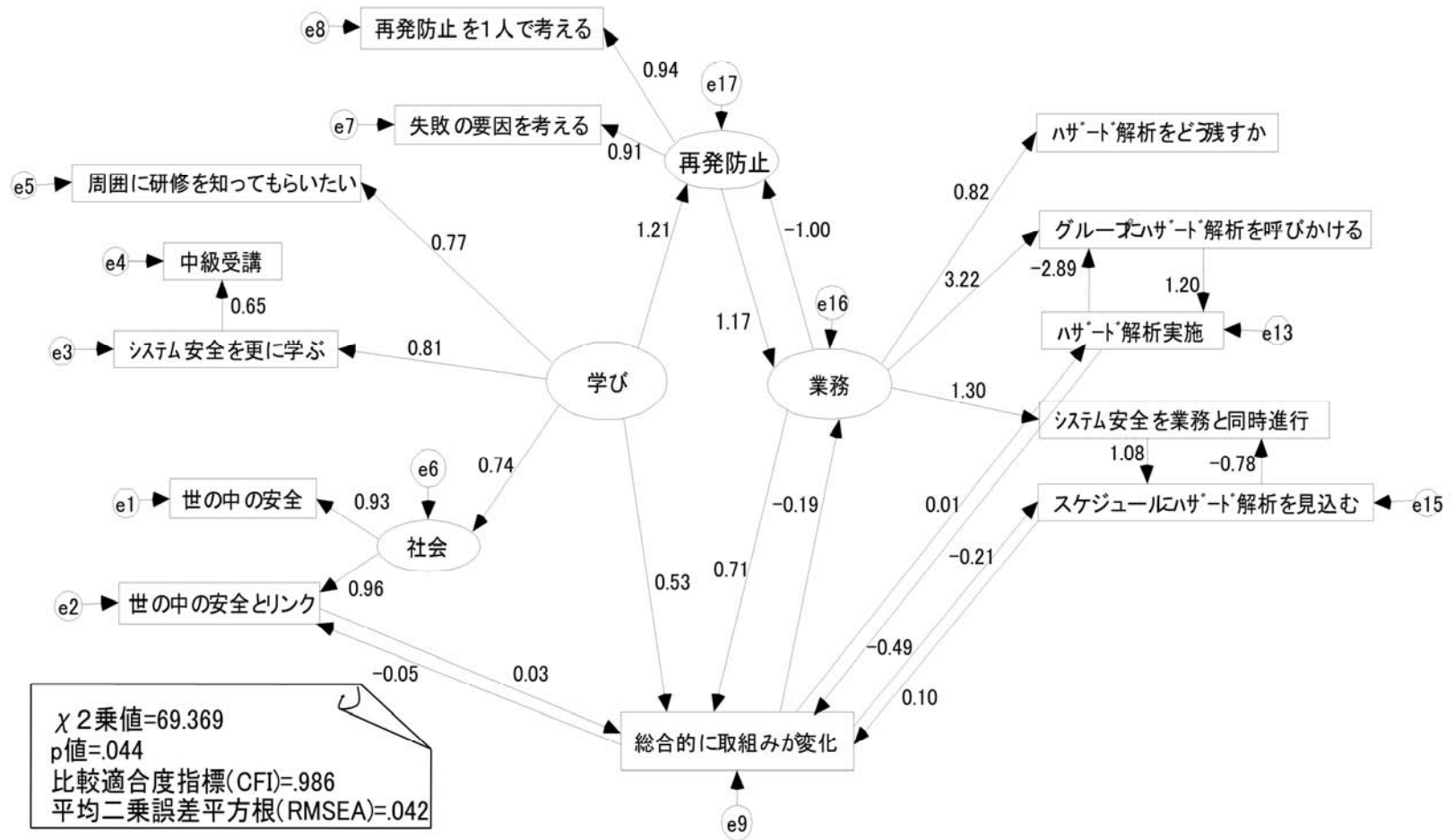


図5-11 研修修了生取り組み変化の多重指標モデル

- i. 「学び」よりも「業務」の方が、「総合的取り組み変化」への寄与度は高い。
- ii. 一方、「学び」から及ぶ影響は多岐に渡るが、唯一「業務」にだけ直接寄与しない。
- iii. 「学び」からシステム安全を更に学びたいという気持ちになり上のコースを受講する動きにつながっているが、そこで止まって他の因子へ寄与しない。上のコースの教育を受けた後に何かしらの変化につながる教育プログラムの改善余地をここに見いだせる。
- iv. 「学び」から「社会」の失敗や事故へ興味を沸いて、世の中の安全と自分の業務をリンクさせることで寄与度が低いものの「総合的取り組み変化」へプラスの影響がある。
- v. 「学び」から「再発防止」を考える寄与度が1.21と高い、しかもここから「業務」へプラスに強く寄与している。「業務」から「再発防止」を考えることはマイナスの影響という点も特徴であるが「学び」から「業務」へつながる因果関係がここにある。教育プログラムで事故の再発防止にシステム安全が不可欠であることを更に強く教える改善がこの点で有効である。
- vi. 「業務」から「グループにハザード解析を呼びかける」への寄与は3.22と特に強い。更に、「ハザード解析実施」へも高い寄与度でつながっており、教育とハザード解析の良い関係が浮き彫りになっている。
- vii. また「業務」からシステム安全は研究開発業務と同時進行すべきであるという気持ちに変化する寄与度も1.3と高い。従来、システム安全は研究開発と同時に進行が困難でフェーズ毎の後始末の色合いがあっただけに、教育が実務へ及ぼす影響の一面と言える。この点は今後の教育実施でも重点を置き続けることになる。
- viii. 「ハザード解析実施」は、総合的取り組みが変化することで寄与度は低いもののプラスに動く。一方「スケジュールにハザード解析を見込む」様になると総合的に取り組みが変化する関係にある。これら2つの変数は寄与度が低いものの「総合的取り組み変化」に欠くことができない変数である。

### 5.3.6 レベル4(業績)の測定方法と結果

「業績」は、5.2節で説明したとおり宇宙航空開発に関連する全エンジニアの意識向上と審査会の指摘にみる設計品質向上で測定する。

#### (1) 意識向上の測定方法: 研修前後でのアンケート調査

実践研修で、事故の責任は誰にあるかについて研修前・後アンケートで2回同じ質問を行

っている。更に同じ質問を研修と関係ないシンポジウムに来場したエンジニアへもアンケートを行っている。これらの比較でシステム安全の意識の変化を測定している。

## (2) 意識向上の測定結果

2005年4月に発生した JR 西日本福知山線の事故について下記5者の誰に責任があるかを複数選択可能として、2005年度第2回実践研修から研修前・後のアンケートで回答させている。

- (ア) 鉄道の安全を指導する行政
- (イ) 安全第一で資源を投入する経営者
- (ウ) 列車などの安全上の要点を知る設計者
- (エ) 超過速度運転を繰り返した運転手
- (オ) 行き過ぎた訓練も是とした社員全体

実践研修では、ハザード解析はシステムを最も良く知る設計者が第一に行うべきと強調している。すると教育効果として、研修後は「設計者」の責任を選択する受講生が最も多くなるといふ仮説を立てられる。

図5-12の上2段に研修前と後の回答集計結果を示す。次の3点を考察する。

- ① 研修前は、「設計者」の選択は52人(全回答の 49%)で「経営者」の選択80人(全回答の 75%)に次いで2位である。
- ② 研修後は、「設計者」選択が87人(全回答の 34%)で、「経営者」選択の66人(全回答の 26%)を上回り教育効果が表れている。回答者数に対する回答の割合の変化を表5-5左に示すが、研修後は、ほとんどの受講者が「設計者」を選択している。
- ③ 一人あたりの回答数も研修前の 2.0 から研修後の 2.4 に増えてシステム安全の責任について幅広く考える様になった教育効果も表れている。

教育効果の一つとして研修受講者から研修未受講者へシステム安全の重要点が伝播し、結果、宇宙航空研究開発に携わる全エンジニアのシステム安全に対する意識が向上していることを以降で測定する。そのために JAXA 安全・信頼性推進部が主催し信頼性・品質管理を中心として幅広い分野のエンジニアが集まる以下の 2 種類、3 シンポジウムで同じ事故の責任を問うアンケートを回収している。

- ・品質保証シンポジウム 2006 年度
- ・信頼性 Knowledge 研修 2006, 2007 年度

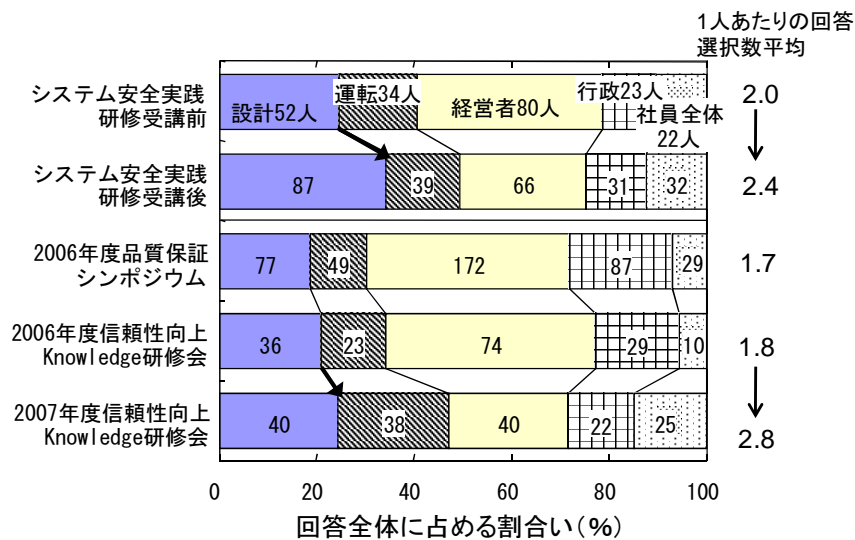


図5-12 安全の責任は誰にあるか 回答分布

表5-5 回答者数に対する回答選択割合

選択	システム安全実践研修		信頼性 Knowledge 研修	
	受講前	受講後	2006 年度	2007 年度
設計者	49%	85%	37%	68%
経営者	75%	65%	76%	68%

図5-11の下3段に3シンポジウムの回答集計結果を示す。次の3点を考察する。

- ① 2006年度の2シンポジウムは、共に「経営者」の選択が1位、「設計者」の選択は2位になっている他、回答の構成割合、一人あたりの回答数まで実践研修受講前の集団と似ている。
- ② 2007年度の信頼性 Knowledge 研修は、2006年度分と比べると、「設計者」の選択が増え「経営者」と同率で1位になっている。
- ③ 回答者数に対する回答の割合の2年間の変化を表5-5右半分に示す。研修受講後程多くはないが、2007年度は過半数を越える来場者が「設計者」を選択している。更に2007年度は一人あたりの回答数が2006年度より増え、幅広く考える傾向も出ている。

2006年度の2シンポジウムからは、システム安全の浸透が不十分という結果を得た(Check)。それを反映して2007年度は、研修修了生を増やすこと(Act)として、研修募集案内の充実化、事業所への出張研修、研修実施回数増加及びカリキュラム改善などを立案(Plan)し、順次実行(Do)し前述の成果を得ている。教育効果測定によりPDCAが回り教育改善更にはシステム安全を活性化した例である。以上をまとめると受講者が研修を業務へ反映することで周囲にもシステム安全の重要点が伝播し、全エンジニアのシステム安全に対する意識が向上したと言える。

### (3) 設計の質向上の測定方法

システム安全の研修開始前と開始後に実施した宇宙機4プロジェクトの開発完了審査会における指摘について内容と件数を類型化し数量化Ⅲ類による解析を行い、指摘の質すなわち設計の質の変化を測定する。なお、データ源とした開発完了審査会報告書は、JAXA内文書であり一般に公開はしていないが、データ開示要求を出せば誰でも閲覧可能な文書である。

### (4) 設計の質向上の測定結果

表5-6に宇宙機4プロジェクトの開発完了審査会での指摘内容とその件数についての類型表を示す。表に示した審査実施年度は、システム安全の教育を開始した年度を原点の年としてそこから±の数値を記載してある。プロジェクト名は2メーカーについて2プロジェクトずつ識別してある。指摘件数は、ハードウェアの系統別に指摘内容で類型化して示してあり、更に表の欄外に安全・信頼性・品質に係る指摘のキーワードを列挙してある。以下の2点を考察する。

1. A社とB社を比べるとB社の方が指摘による討議が活発であるという差はあるが、システム安全の教育開始後3年を経過して安全・信頼性・品質に関する指摘件数は増加している。
2. 教育後の安全・信頼性・品質の指摘はハードウェア全システムを対象に幅広くなっている。

安全・信頼性・品質に関する指摘56件すべてについて指摘票の元データ(すべて報告書に掲載されている)に戻り、次の7項目に該当するかどうかを判別した。

#### I 指摘の対象



I-1:ハードウェア, I-2:ソフトウェア, I-3:試験・作業, I-4:マネジメント

II 指摘の主旨

II-1:データ確認, 解析追加, II-2:誤記訂正, II-3:故障再発防止・未然防止討議

表5-6 宇宙機開発完了審査における指摘類型表

実施年度	プロジェクト	システム	指摘			安全・信頼性・品質の指摘におけるキーワード	
			プロジェクト管理	設計・試験	安全・信頼性・品質		
-3	A1	システム	12	11	4	射場作業I/F ヒューマンファクターズ FTA 安全審査	
		電源系	1	3	0		
		通信系	1	4	1		不具合処置
		姿勢制御系	0	3	2		フォールトトレラント 潜在不具合
		推進系	1	5	0		
		ミッション系	1	7	2		
		計	16	33	9	不具合再発防止 水平展開	
+1	B1	システム	11	10	7	射場申し送り I/F仕様 ウェアバ コンフィギュレーション管	
		電源系	1	7	0		安全設計適合 打上げトラブル 冗長構成
		通信系	0	6	3		ヒューマンエラー 不具合原因 FTA
		姿勢制御系	5	19	4		不具合確率 単一故障点 水平展開
		推進系	0	2	2		不具合水平展開 漏洩
		ミッション系	1	9	1		
		計	18	53	17	コンタ管理	
+2	A2	システム	15	6	5	単一故障点 不具合再発防止 不具合処置 ウェアバ	
		電源系	0	4	0		射場作業
		通信系	0	4	3		インピット 原因究明 水平展開
		姿勢制御系	0	3	0		
		推進系	2	1	1		射場作業
		ミッション系	2	9	0		
		計	19	27	9		
+3	B2	システム	12	5	7	審査会 ウェアバ I/F管理 射場申し送り	
		電源系	2	5	2		不具合水平展開 不良率
		通信系	1	3	1		不具合水平展開
		姿勢制御系	2	7	1		試験検証
		推進系	0	1	4		スペーステブリ 漏洩 単一故障点 漏洩
		ミッション系	5	8	6		
		計	22	29	21	不具合処置 ヒューマンエラー 不具合水平展開 故障想定 単一故障点	

前述の分類で数量化Ⅲ類解析を行った結果を第1成分と第2成分について、図5-13に示す。

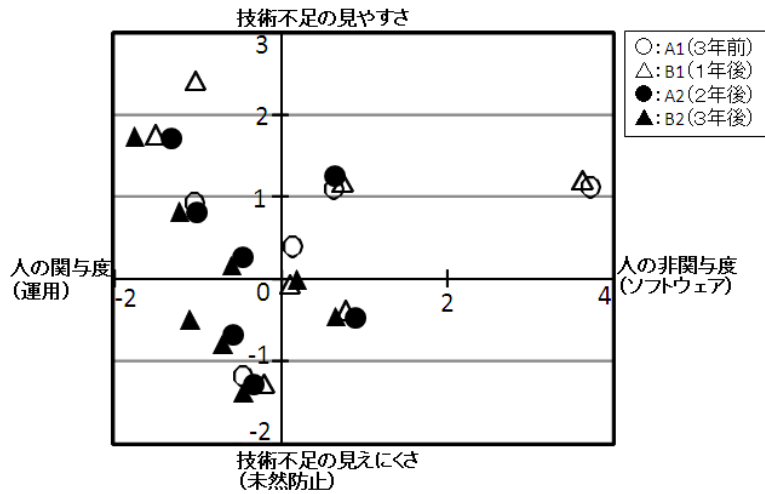


図5-13 安全・信頼性・品質に関する指摘の数量化Ⅲ類 第1, 2成分

各成分の固有値, 寄与率及びその解釈を考察した結果は以下である.

- ① 第1成分: 固有値 0.263, 累積寄与率 0.264(26.4%)  
 第2成分: 固有値 0.205, 累積寄与率 0.470(47.0%)  
 第3成分: 固有値 0.203, 累積寄与率 0.674(67.4%)  
 第4成分: 固有値 0.134, 累積寄与率 0.808(80.8%)
- ② 第1成分(図5-13 x軸)は, 指摘対象へ人が直接関与しない度合を示す. 数値が大きいものは, 人が関与しにくいソフトウェアが対象であり, マイナスの数値のものは人による試験・作業といった運用を示す.
- ③ 第2成分(図5-13 y軸)は, 指摘内容が技術不足を表している度合いを示す. 数値が大きいほど技術不足が見えていることへの指摘であり, 誤記訂正は大きな数値となる. マイナスの数値のものは指摘内容が技術として見えにくい顕在していない事項への指摘, すなわち不具合や事故の未然防止に関する討議を示す.
- ④ システム安全の教育開始前と直後の指摘には, 不具合と原因に関する指摘や「安全審査を受けるべき」, 「ソフトの検証不十分」と言った技術不足についての指摘が多く, 図5-13ではx軸もy軸も正のものに多い傾向にある.
- ⑤ 一方, 教育を実施した後の最近の指摘には, 不具合でも事故につながる漏洩を問う指摘, 単一故障点や故障想定と言った不具合未然防止という新しい安全に関する指摘が増え, その傾向が図5-13の左下側にプロットが多いことから分かる.
- ⑥ 以上からシステム安全の教育の前後を比較すると, 教育後に宇宙機の設計の質を向上させる

討議が多い傾向にあると言える。

審査会で指摘を行うエンジニアは、全員がシステム安全の教育を受けている訳ではない。それでもこの傾向が出ていることはシステム安全の教育がJAXA全体の宇宙機開発における設計の質向上へ良い影響が伝播した結果と言える。

以上から、本教育効果の「業績」の指標としたシステム安全の意識向上と設計の質の向上が実証できている。

## 5.4 まとめ

航空宇宙開発におけるシステム安全活性化という課題を解決するために JAXA ではシステム安全の体系的なエンジニア教育を2004年から開始した。本研究はその教育で4-レベルアプローチに沿って効果を測定するため、具体的な手法を考案し実行した。特にレベル 4 の「業績」は従来のコスト以外に企業の業績を上げるエンジニアの意識向上と設計審査会の指摘で見る設計の質の向上でも測定できることを実証した。

また本研究ではレベル 2 の「学習」において講義理解度と業務への有益度に分けた測定で PDCA が回り、教育内容の改善に役立つこと及びレベル 3 の「反映」は、質問内容を業務よりも範囲を広げたアンケートに工夫することで教育後3ヶ月の自己チェック1回で測定できることも実証した。

これら研究成果により、JAXA ではシステム安全に限らず、すべての分野の教育で 4-レベルアプローチに沿った教育効果測定を実行できる。また宇宙航空に限らず他分野の研究開発で行う教育でも本研究成果を段階的な教育効果測定へ応用可能である。従って本研究成果は、すべての分野のエンジニアに内在する課題解決に教育を役立てる場合に、段階的に教育効果を測定し PDCA を回して必要な施策立案・実行に有効なものとなる。

## 第6章 結言

JAXA では、世界最高の信頼性と競争力のあるロケット、人工衛星等の宇宙機を開発することで安全で豊かな社会実現に向けて国民生活への貢献度を増すことが求められている。そのためには、宇宙機の研究開発プロジェクト活動においてシステム安全を活性化させて高い安全、信頼性を確保する必要がある。本研究では、文献サーベイで得た研究の視点のとおり、システム安全の必要性を検証し、質問紙調査データ分析による技術標準の活用方策を基礎として教育プログラムを設定し、教育の定量的な効果測定まで以下のとおりに実行した。

システム安全の必要性、役割などについて身近で発生している事故情報データを製品評価技術基盤機構から入手し、その統計解析により製品の事故防止にシステム安全が有効であることを示した点に研究の意義がある。そこでは、まず元データの分類が詳細過ぎるために、ばらついて統計解析が実行できない問題を本研究独自の整理方法により解決した。その結果、システム安全の不十分さが事故の要因になっていることを独自のシステム安全の視点を取り入れる新たな 3-step 分析法により実証し、続いて数量化Ⅲ類により事故を発生した品名と事故に至るハザードの抑制策の傾向を示した。更にシステム安全を十分に実行することで身近な事故は、どの程度減少できるかまで定量評価して我が国のあらゆる分野においてシステム安全を浸透・実行させる必要性を定量的に明らかにした。また事故の再発防止・未然防止を製品の設計により達成する場合、その設計要求は企業内や業界内で共通の技術標準として制定し、誰もが適切に安全設計を採用できることが有効かつ必要であることを示した。

システム安全を活性化するための教育プログラム設定では、前述の研究成果で得た事故の再発防止に果たす技術標準の役割に着目し、技術標準をエンジニアに活用させる方策を教育により具体化させた点に研究の意義がある。そのため、JAXA 内外で技術標準活用に関する質問紙調査を行うことから研究を開始した。質問紙調査データについては共分散構造分析を行い、プロジェクト活動で技術標準を活用する因果関係を明らかにし教育が中心的で重要な役目を果たすと初めて検証した。さらにそこからプロジェクト活動の中でシステム安全を活性化させるためには標準についてどのようなエンジニア教育が必要かを考察し、NASA におけるシステム安全のエンジニア教育の現状と今後の動向も考察した上で、我が国で初めての体系的なシステム安全の企業内

教育プログラムを設定できた。

企業内教育により人を育てることは一朝一夕で成し遂げられず、その効果が表れるまでに長い時間がかかる。本研究では、JAXA内外のエンジニアを対象としてシステム安全に関する教育を2004年度末から開始し2007年度末までに実施した教育で得たデータについて教育効果測定の学術モデル4-レベルアプローチを具体化し定量的測定を実行した点に意義がある。4-レベルアプローチを完全に実施して教育効果を測定するにあたっては、レベル3とレベル4に独自の工夫を加えた。まずレベル3では受講者本人のみを対象に研修終了後3ヶ月、1回だけの質問紙調査で必要なデータを得て、受講者が教育を受けてどの様に取り組み姿勢が変化するかを共分散構造分析で明らかにした。レベル4では、企業の業績として現れる「安全」をコストよりも幅広くとらえてJAXA内外のエンジニアの安全に対する意識向上を質問紙調査で明らかにし、更にJAXA内の設計審査の指摘票をデータとした数量化Ⅲ類解析で設計の質が教育前後で向上していることを示した。これらの工夫により4-レベルアプローチを完全に実施し教育効果の定量的測定を達成することができた。

本研究の成果は、宇宙航空の研究開発プロジェクトにとどまらず、電力開発分野のプロジェクト活動、鉄道会社や建設会社の運用・作業現場及び電気製品などの身の回り製品が市場に出るからまで、多くの分野で事故の未然防止に役立つものとなる。最も重要なことは、誰もが最優先すべきと概念で理解している「安全」について改めてシステム安全の必要性はどのデータで検証できるのか、また誰もが持論を語る事が可能な「教育」でシステム安全を活性化するのに適したプログラムは何を目的としてどういうデータを基に設定すれば良いのか、そして教育効果を明らかにするためのデータ計測の具体化とその考察までを一連の流れとして明らかにしたことである。

この一連の流れは、宇宙航空の研究開発ではシステム安全以外にも例えば故障が発生した時に実施することが多い「Root Cause Analysis」を開発プロセスへ適用してプロセスの改善に役立てること、あるいはFMEAを研究開発の中で更に積極的に活用して研究開発における品質問題の未然防止に役立てるといったことに応用できる。本研究成果がないままでは、宇宙航空の研究開発プロセスそのものに問題が顕在化している訳ではなく、また重大な品質問題も多発して居てもないだけに、改善の必要性がどこにあるかを示すことから困難である。本研究で対象としたシステム安全を含めて宇宙航空の研究開発はすべて技術標準を基礎としたプロジェクト活動である。

すると本研究成果の標準を活用する視点に着目しない状況では、研究開発プロセスの改善に役立てる教育プログラムを設定する際に、何を目的にどのような教育が必要なのかを見出すことも困難である。また4-レベルアプローチによる教育効果測定は完全に実行してこそ教育プログラムで **Plan-Do-Check-Act** のサイクルで改善が実行できるのは周知のとおりであるが、企業業績に現れる研究開発プロセスの改善に及ぼした教育効果の測定は、コストで計測できる可能性はあるが、やはり困難であり、本研究成果である JAXA 内外のエンジニアの意識向上や設計の質の向上による計測が最適である。

最後に残された課題について言及する。

システム安全の活性化は、本研究の様にシステム安全を実行する人を育てその結果企業内の意識向上や研究開発の質の向上で検証する以外に、企業内の開発プロセスと開発コンポーネントの故障及び安全状態を因果連鎖モデルとして可視化することでも可能であり、その可視化したモデルはシステム安全を実行するエンジニアが開発の進行の中で活用できる。この研究が実現できれば、例えば JAXA では衛星を打上げる瞬間の安全状態を誰もが理解できる様にリアルタイムで可視化が可能である。具体的には、プロジェクトが進行する中でシステム安全の教育を受けたエンジニアが増えることの安全への寄与度、あるいは信頼性を向上させる目的で行った機器の設計変更が、安全としてはプラスに寄与するかマイナスへ寄与してしまうかといったことまで明らかにでき、プロジェクト活動、特に設計審査の場で活用されるものとなる。

更にはこのモデルは、実際の機器の故障確率データやシステム安全の教育を受けた受講生の理解度データや有益度データとリンクさせて、定量的な解析を行いモデルの精度まで議論が可能となる。この定量的な解析実現まで視野に入れて一部の研究を筆者は試みているが、未だ研究スコープを明らかにした程度で、モデル化に至る解析の実施方法の検討に至っていない。この企業内の安全状態を定量的にデータを使って解析しシステム安全がどの程度活性化しているかを可視化する研究は世界的にも意義の高い研究である。

システム安全の活性化は宇宙航空研究開発はもとより他のあらゆる分野でも必要であること、それは技術標準活用を視点とした教育により改善が可能であり、その教育効果として活性化した状態を定量的に測定できることまで本研究は示した。今後はシステム安全が企業内で活性化した状態を定量的に可視化するモデルの研究へ発展させることが課題となる。

# 文献リスト

## 英文

- (1) Ahleman, F., Teuteberg, F. & Vogelsang, K. (2008, March): "Project management standards - Diffusion and application in Germany and Switzerland", *International Journal of Project Management [Abstract Electronic Version]* Retrieved on May 2, 2008 from <http://www.sciencedirect.com/>
- (2) Adamcik, P.V. (1987): "Can System Safety and MANPRINT Coexist?" *Conference Proceeding of the 5th International System Safety Conference*, pp.320-324.
- (3) Alborzi, S.S. (2002): "System Safety Engineering- An Indispensable Element of a Reliability Engineering." *Conference Proceeding of the 20th International System Safety Conference*, pp.384-392.
- (4) Alloco, M. and B.Thornburgh. (2002): "A Systemized Approach toward System Safety Training with Recommended Learning Objectives," *Conference Proceeding of the 20th International System Safety Conference*, pp.249-256.
- (5) Bledillet, C. N. (2003 August): "Genesis and role of standards: theoretical foundations and socio-economical model for the construction and use of standards", *International Journal of Project Management*, 21(6), pp.463-470
- (6) Burno, A.T and J.C. Brandford. (2003): "Integrated Safety Engineering Environment (ISEE): A Knowledge Management Initiative," *Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*, pp.85-92.
- (7) Bussert, J. (2006): "Should "System Of Systems" Revise The "System" Safety Precedence," *Conference Proceeding of the 24th International System Safety Conference*, pp. 585-588.

- (8) Demmick,M.H. (2004):” Establishing A System Safety Professional Certification Program,”  
*Conference Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.577-585.
- (9) Dulac,N and N.G.Leveson. (2004): “An Approach to Design for Safety in Complex Systems,”  
*International Conference on System Engineering*
- (10) Duncan,C. (2005): “The Impact of Leadership on Safety,” *Proceeding of the 1st IAASS  
Confernce*, CD-ROM
- (11) Emery,M and W.J. Pottratz. (2004): “Unmanned Vehicle Safety: 10 Commandments to Live  
By,” *Conference Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.619-625.
- (12) Fitzgerald,R.E. (2003): “Does System Safety Encompass Human Reliability Analysis, and  
Should It?” *Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*,  
pp.222-235.
- (13) Galley,M. (2002): “How to Investigate, Document, Communicate and Prevent a Safety  
Incident,” *Conference Proceeding of the 20th International System Safety Conference*,  
pp.448-455.
- (14) Gibbons,J.M. (2001): “Managing System Safety Programs in a Teaming Environment,”  
*Conference Proceeding of the 19th International System Safety Conference*, pp.179-185.
- (15) Goodin, R.A. (2006): “Silent Safety Program,” *Conference Proceeding of the 24th  
International System Safety Conference*, pp. 495-503.
- (16) Havold,J.I. (2001): “A proposal of a framework for measuring safety orientation,” *Conference  
Proceeding of the 19th International System Safety Conference*, CD-ROM.
- (17) Hanline,D.S.II and S.Dwyer. (2004): “The Five "Whats" of System Safety,” *Conference*



*Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.369-375.

- (18) Henderson,H. (2003): “In the Begining There Was Only a Regulation: Implementing a Safety Management System,” *Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*, pp.547-556.
- (19) Hessami,A.G. (2001): “System Safety, The Holistic Paradigm,” *Conference Proceeding of the 19th International System Safety Conference*, pp.140-148.
- (20) Jang, Y., & Lee, J. (1998 April): “Factors influencing the success of management consulting projects”, *International Journal of Project Management*, 16(2), pp.67-72
- (21) Kinzey,R.P. (1991): “Relationship Between Safety Improvements and Technology in the United States NAVY,” *Conference Proceeding of the 9th International System Safety Conference*, pp.2.4-5-1 – 2.4-5-14.
- (22) Kirkpatrick, D.L. and J.D. Kirkpatrick. (2005): “Evaluating Training Programs THE FOUR LEVELS” Berrett-Koehler Publishers, Inc.
- (23) Lainoff,S. (2006):“Working in Failure Space Part2 - Where Top-Down Meets Bottom Up,” *Conference Proceeding of the 24th International System Safety Conference*, pp. 589-595.
- (24) Leveson,N.G. (2001): “Evaluating Accident Models using Recent Aerospace Accidents,” A *report for NASA Ames Research Center*
- (25) Leveson,N.G. (2002): “Model-Based Analysis of Socio-Technical Risk,” *Technical Report of Engineering Systems Division, MIT*
- (26) Leveson,N.G. (2003a): “A New Approach to Hazard Analysis for Complex System,” *Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*, CD-ROM

- (27) Leveson,N.G. (2003b): “Integrating Safety Information int the System Engineering Process,”  
*Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*
- (28) Leveson,N.G., M.Daouk, N.Dulac and K.Marais. (2003): “A Systems Theoretic Approach to  
Safety Engineering,” *A New Approach to System Safety Engineering Preparation Paper*
- (29) Leveson,N.G. (2004a): “A New Accident Model for Engineering Safer Systems,” *Safety  
Science, 42, No.4: 237-270*
- (30) Leveson,N.G. (2004b): “The Role of Software in Spacecraft Accidents,” *AIAA Journal of  
Spacecraft and Rockets, 41,No.4*
- (31) Leveson,N.G and J.Cutcher-Gershenfeld. (2004): “What System Safety Engineering can Learn  
from the Columbia Accident,” *Conference Proceeding of the 22nd International System Safety  
Conference*
- (32) Leveson,N.G., J.Cutcher-Gershenfeld, B.Barrett, A. Brown, J.Carroll, N.Dulac, L.Fraile and  
K.Marais. (2004): “Effectively Addressing NASA's Organizational and Safety Culture: Insights  
from Systems Safety and Engineering Systems,” *Engineering Systems Division Symposium*
- (33) Leveson,N.G. (2005): “Modeling, Analyzing, and Engineering Safety Culture,” *Proceedings  
of the 1st IAASS Conference, CD-ROM*
- (34) Leveson,N.G., B.Barrett, J.Carroll, J.Cutcher-Gershenfeld, N. Dulac and D. Zipkin. (2005):  
“Modeling, Analyzing, and Engineering NASA's Safety Culture,” *A report for NASA/USRA  
research grant*
- (35) Leveson,N.G and N.Dulac. (2005): “Safety Risk-Driven Design in Complex Systems-of  
Systems,” *1st NASA/AIAA Space Exploration Conference*

- (36) Livingston, J. and M. Emery. (2002) "Ten Ways to Tell a Good Hazard Report from a Poor Bookend," *Conference Proceeding of the 20th International System Safety Conference*, pp.51-60.
- (37) Livingston, J.M. (2004): "The Role of System Safety in Program (Safety) Risk Management (Hero, Bum or Fall-Guy)," *Conference Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.626-634.
- (38) Main, B.W. and J.P. Frantz. (1993): "A Survey of Design Engineers' Knowledge and Use of System Safety Techniques," *Conference Proceeding of the 11th International System Safety Conference*, pp.4.D.3.1 -4.D.3.9.
- (39) Marais, K. and N.G. Leveson. (2003): "Archetypes for Organizational Safety," *Proceedings of the Workshop on Investigation and Reporting of Incidents and Accidents*
- (40) Marais, K., N. Dulac, N.G. Leveson. (2004): "Beyond Normal Accidents and High Reliability Organizations: The Need for Alternative Approach to Safety in Complex Systems," *Engineering Systems Division Symposium*
- (41) Marillet, P. (2003): "Ethics- The Foundation of System Safety," *Conference Proceeding of the 21st International System Safety Conference*, pp.906-915.
- (42) Milosevic, D., & Patanakul, P. (2005 April): "Standardized project management may increase development projects success", *International Journal of Project Management*, 23(3), pp.181-192
- (43) McIntyre, G.R. (2002): "System Safety Training for Aviation Safety Inspectors," *Conference Proceeding of the 20th International System Safety Conference*, pp.95-100.
- (44) Modugno, F., N.G. Leveson, J.D. Reese, K. Partridge and S.D. Sandys. (1997): "Integrated

Safety Analysis of Requirements Specifications,” *3rd International Symposium on Requirements Engineering*

(45) NASA Safety Training Center. (2004): “Outline Presentation Material,” *NASA-JAXA System Safety Training Technical Meeting*

(46) NASA Safety Training Center. (2004): “FY2005 NSTC Course Catalogue,” *NASA-JAXA System Safety Training Technical Meeting*

(47) NASA Marshall Space Flight Center. (2004): “QS-A-005 Professional Development Roadmap (PDRM) for System Safety Engineers,” *NASA-JAXA System Safety Training Technical Meeting*

(48) Nulton,H.G. (1981): “Training System Safety Engineers Within Industry,” *System Safety Society Symposium*, pp.XIV.A.2 – XIV.A.8.

(49) Perry.C.M and J.Dixon. (1995): “System Safety's Role in the Concurrent Engineering Process,” *Conference Proceeding of the 13th International System Safety Conference*, pp.5.C.2.1-5.C.2.16.

(50) Project Management Institute. (2004): “A guide to the project management body of knowledge (PMBOK®) (3rd ed.)”, *Newtown Square, P.A: Project Management Institute*.

(51) Raheja,D.G. and M. Allocco. (2006):“System Engineering in Concert with Product, Process, and System Safety Objectives,” *Conference Proceeding of the 24th International System Safety Conference*, pp. 54-63, 2006.

(52) Ray,P.S and A. Ghadiali. (2004): “Functional Approach of FMEA - A Concept for Safety of Space Vehicles,” *Conference Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.187-192.

- (53) Sargent,K.N. (1973): “System Safety Engineering in RPV's,” *System Safety Society Symposium*, pp.483-502.
- (54) Shivers,C.H. (2006): “NASA Technical Authority Implementation and System Safety,” *Conference Proceeding of the 24th International System Safety Conference*, pp.78-87.
- (55) Shoultz,J. (2001): “Don't Forget to Pick-Up Your Daughter: A Risk Management Plan Optimized by using Probabilistic Risk Assessment, Decision Trees, and Monte Carlo Simulations,” *Conference Proceeding of the 19th International System Safety Conference*, pp.282-287.
- (56) Vittitow,P and S.Cantrell. (2006): “Repeated Failures: What We Haven't Learned About Complex Systems,” *Conference Proceeding of the 24th International System Safety Conference*, pp. 696-701.
- (57) Weiss,K.A., N.G.Leveson, K.Lundqvist, N.Fraid and M.Stringfellow. (2001): “An Analysis of Causation in Aerospace Accidents,” *Space 2001*
- (58) Winkelbauer,W. G.Schedl and A.Gerstinger (2004): “Increase of Safety Awareness,” *Conference Proceeding of the 22nd International System Safety Conference*, pp.376-383.

## 和文

- (59) 青木 克比古 (2002): “プロジェクトマネージメントの発想を取り入れた新しい授業法”,日本工学教育協会誌, Vol.50/No.3, pp.93-97.
- (60) 青山 敦、阿部 惇 (2006): “理工系学生のためのテクノロジー・マネジメント教育”, 日本工学教育協会誌, Vol.54/N0.3, pp.123-127.
- (61) 中條 武志(2004): “組織における不適切な人間行動とそのリスク評価”,日本信頼性学会誌,

Vol.26/No.7, pp.627-635.

- (62) ドナルド・ショーン著、佐藤学、秋田喜代美訳：“専門家の知恵－反省的実践家は行為しながら考える”，ゆみる出版.
- (63) 蓬原 弘一 (2003): “信頼性依存と安全方策－信頼性雑観－”，日本信頼性学会誌，Vol.25/No.1, pp.10-13.
- (64) 蓬原 弘一 (2004): “機械安全工学講義事始”，日本信頼性学会誌，Vol.26/No.6, pp.549-557.
- (65) ジーン・レイブ、エティエンヌ・ウエンガー著、佐伯胖訳(1993): “状況に埋め込まれた学習－正統的周辺参加”，
- (66) 芳賀 繁 (1993): “リスク・ホメオスタシス説:論争史の解説と展望”，交通心理学研究，Vol.9/No.1, pp.1-10.
- (67) 原田 耕作(1999): “米国における技術系職業の傾向”，日本工学教育協会誌，Vol.47/No.1, pp.22-24.
- (68) 原田 昭治(2003): “大学が目指す及び企業が求める技術者教育”，日本工学教育協会誌，Vol.51No.3, pp.9-17.
- (69) 原村 嘉彦、岩本 静男、穴田 哲夫、黒澤 秀夫 (2004): “授業評価アンケートの解析”，日本工学教育協会誌，Vol.52/No.6, pp.66-71.
- (70) 広島県立教育センター (2003): “教員の資質・能力及び指導力の向上を図る研修の効果に関する研究 I－職能成長の視点を明確にして－”，広島県立教育センター研究紀要，Vol.30, pp.15-16.

- (71) 広島県立教育センター (2004): “教員の資質・能力及び指導力の向上を図る研修の効果に関する研究Ⅱ－10年経験者研修の効果測定を通して－”, 広島県立教育センター研究紀要, Vol.31, pp4-5,23-24.
- (72) 広島県立教育センター(2005): “教員の資質・能力及び指導力の向上を図る研修の効果に関する研究Ⅲ－10年経験者研修の効果測定を通して－” 広島県立教育センター研究紀要, Vol.32, インターネットホームページ
- (73) 池田 博一 (2001): “自立的に活動する方法を学ばせる試み”, 日本工学教育協会誌, Vol.49/No.2, pp.40-45.
- (74) 池田 博一(2002): “技術者の必要な能力(習慣、態度)を学ぶ創世教育”, 日本工学教育協会誌, Vol.50/No.3, pp.70-75.
- (75) 岩崎 日出男 (2003): “多変量解析を用いた授業評価アンケート分析”, 日本工学教育協会誌, Vol.51/No.6, pp.96-100.
- (76) J. J. Philips著、渡辺直登・外島裕監訳、「教育研修効果測定ハンドブック」翻訳委員会訳 (2006): “教育研修効果測定ハンドブック”, 日本能率協会マネジメントセンター
- (77) 科学技術振興機構・失敗知識データベース <http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search1>
- (78) 金子 龍三 (2003): “信頼性のための文化的観点”, 日本信頼性学会誌, Vol.25/No.1, pp.3-9.
- (79) 小久保 尚躬、森本 成章 (2005): “企業からみた継続的技術者育成について”, 日本工学教育協会誌, Vol.53/No.3, pp.51-56.
- (80) 駒田 浩明、葦澤 芳博、山田 芳幸、折山 明弘 (2003): “個人の知恵を引き出し組織知化する場の構築”, 日本工学教育協会誌, Vol.51/No.3, pp.92-95.

- (81) 桑門 聰 (1999): “設計業務における新入社員の早期戦力化—大学教育のカリキュラムの変化の影響と企業内教育での対応—”日本工学教育協会誌, Vol.47/No.2, pp.18-21.
- (82) 松本 重男、大澤 敏、前川 晴義、久保 猛志 (1999): “チームでプロジェクト活動を行う科目の教育評価—工学設計 I・II における学生の相互評価と個人活動の関係—”, 日本工学教育協会誌, Vol.47/No.3, pp.2-7.
- (83) 松本 将 (1999): “若者履行離れに対応する企業内要素技術教育”, 日本工学教育協会誌, Vol.47/No.3, pp.16-19.
- (84) M.チクセントミハイ著、今村浩明訳 (2000): “楽しみの社会学”, 新思索社.
- (85) 株三菱総合研究所 (2004): “平成15年度我が国の機械工業分野における21世紀標準化戦略のあり方に関する調査研究報告書”, 日本機械工業連合会.
- (86) 株三菱総合研究所(2005): “平成16年度事故対応の向上に関する調査(製品安全教材の作成に関する調査研究)報告書”, 経済産業省.
- (87) 株三菱総合研究所(2005), “平成16年度安全工学に関する人材育成プログラムの作成とそのあり方に関する調査研究報告書”, 日本機械工業連合会.
- (88) 株三菱総合研究所(2006): “平成17年度安全工学に関する人材育成プログラムの作成とそのあり方に関する調査研究報告書”, 日本機械工業連合会.
- (89) 水野 恒夫 (2003): “保全と安全”, 日本信頼性学会誌, Vol.25/No.7, pp.666-674.
- (90) 向殿 政男(2002): “安全マップ(安全曼荼羅)の提案”, 日本信頼性学会誌, Vol.14/No.7, pp.554-559.
- (91) 向殿 政男(2003a): “日本の新しいものづくりに向けて”, 日本信頼性学会誌, Vol.25/No.6,



pp.498-503.

- (92) 向殿 政男 (2003b) “よくわかるリスクアセスメントー事故未然防止の技術ー”, 中災防新書.
- (93) 向殿 政男(2004): “安全知の体系化”, 日本学術会議第34回安全工学シンポジウム講演予稿集, pp.25-26.
- (94) 森貞 晃、小林 孝之、蓬原 弘一 (2004): “国際安全規格における人間／機械安全作業システムの定式化”, 日本信頼性学会誌, Vol.26/No.2, pp.163-179.
- (95) 森田 矢次郎、岡 雄三、渡邊 啓史 (1997): “工学教育における評価法の計測理論的アプローチ”, 日本工学教育協会誌, Vol.45/No.4, pp.2-7.
- (96) 中原 淳 編著・荒木 淳子、北村 士朗、長岡 健、橋本 論 (2006): “企業内人材育成入門”, ダイヤモンド社
- (97) 西 干機 (2005): “管理からみた信頼性の意味と変遷”, 日本信頼性学会誌, Vol.27/No.4, pp.246-257.
- (98) 野村 由司彦、稲葉 忠司、辻本 公一、丸山 直樹、小竹 茂夫、前田 太佳夫、池浦 良淳、高橋 裕、加藤 典彦、佐脇 豊、鈴木 泰之、鈴木 実平、宇佐美 勝、水谷 一樹、加藤 征三 (2004): “演習・実験・実習を重点配備した実践教育カリキュラム、三重カリキュラム”, 日本工学教育協会誌, Vol.52/No.4, pp.7-13.
- (99) 野依 正晴 (2002): “企業内技術者教育の動向と課題”, 日本工学教育協会誌, Vol.50/No.4, pp.99-104.
- (100) 大中 逸雄 (1998): “エンジニア教育の認定制度はなぜ必要か”, 日本工学教育協会誌, Vol.46/No.6, pp.24-29.
- (101) 佐久間 研二 (2002): “社会人ブラッシュアップ教育の推進について”, 日本工学教育協会

誌, Vol.50/No.4, pp.105-108.

(102) 佐藤 郁哉 (2002): “組織と経営について知るための実践フィールドワーク入門”, 有斐閣.

(103) 佐藤 国仁 (2003): “機械の基本的危険源に対応する安全方策の導出”, 日本信頼性学会誌, Vol.25/No.6, pp.514-524.

(104) 佐藤 吉信(2005): “安全性からみた信頼性の意味の変遷”, 日本信頼性学会誌, Vol.27/No.4, pp.273-274.

(105) 製品評価技術基盤機構・生活安全分野, 製品安全・事故情報データベース  
<http://www.jiko.nite.go.jp/index3.html>

(106) 製品評価技術基盤機構(2005): “平成16年度事故情報収集制度報告書”

(107) 船水 尚行 (1997): “アメリカの工学教育に関する最近の議論から—多様なニーズに対応する教育システムの展開—”, 日本工学教育協会誌, Vol.45/No.2, pp.43-46.

(108) 瀬沼 武秀 (1999): “工学系人材育成のための産学連携”, 日本工学教育協会誌, Vol.47/No.3, pp.8-15.

(109) 島田 彌 (1999): “今後の技術者に必要な基礎的能力の育成方策”, 日本工学教育協会誌, Vol.48/No.1, pp.26-33.

(110) 島田 彌 (2000a): “個人の創造性育成のための’自己把握’の方法”, 日本工学教育協会誌, Vol.48/No.2, pp.15-21.

(111) 島田 彌 (2000b): “日本的討論法としての’和而不同討論法’とその相互研鑽効果”, 日本工学教育協会誌, Vol.48No.3, pp.2-7.

- (112) 宋 相載 (1998): “グローバル時代の工学教育の高揚を目指して”,日本工学教育協会誌,  
Vol.46/No.1, pp.2-7
- (113) 宋 相載 (1998): “次世代に向けた工学教育の理念と要件”,日本工学教育協会誌,  
Vol.46/No.6, pp.16-19.
- (114) 杉本 旭 (2004): “若い技術者にどう安全の責任を教えるか”,日本信頼性学会誌,  
Vol.26/No.6, pp.542-548.
- (115) 鈴木 克明 (2002): “教材設計マニュアルー独学を支援するために”, 北大路書房.
- (116) 高橋 義則、大来 雄二 (2005): “企業内技術研修における受講推奨科目の提供方法”,  
日本工学教育協会誌, Vol.53/No.2, pp.59-63.
- (117) 高尾 一義 (2003): “企業人材育成の戦略的包括組織TOSHIBA e-University”,日本工学  
教育協会誌, Vol.51/No.3, pp.50-53.
- (118) 高津 雅一、石田 豊、白井 稔人、蓬原弘一 (2004): “機械的安全コンポーネントの  
理論構造とその理論的特性”,日本信頼性学会誌, Vol.26/No.7, pp.689-698.
- (119) 武田 邦彦、土屋 敏明 (2002): “試行事例からみた創成科目と学生の推論能力の養成  
に関する考察”,日本工学教育協会誌, Vol.50/No.5, pp.54-62.
- (120) 竹下 光夫、岡田 克巳 (1998): “設計から実験検証までの一貫した講座”,日本工学教  
育協会誌, Vol.46/No.3, pp.2-5.
- (121) 竹内 明夫 (2003): “コンピテンシーマネジメントとリンクした現場主導の技術者教育”,日本  
工学教育協会誌, Vol.51/No.3, pp.60-64.
- (122) 田中 健次(2004): “設計による受動的安全からユーザ自身による適応的安全の獲得へ”,

日本信頼性学会誌, Vol.26/No.7, pp.664-669.

(123) 田中 敏、山際 勇一郎(2006): “ユーザのための教育・心理統計と実験計画法”, 教育出版.

(124) 谷井 克則(2004): “安全に係わる個人要因と組織要因”, 日本信頼性学会誌, Vol.26/No.7, pp.636-643.

(125) 氏田 博士 (2004): “安全・安心を実現する専門家・組織・社会のあり方”, 日本信頼性学会誌, Vol.26/No.6, pp.529-541.

(126) 柚原 直弘 (2004): “”安全学”を創る”, 日本信頼性学会誌, Vol.26/No.6, pp.558-571.

## 規格、標準

(127) Department of Defense U.S.A (2000): “MIL-STD-882D Standard Practice for System Safety”, *Military Standard*

(128) European Cooperation on Space Standardization. (no date): “ECSS background”, Retrieved on May 2, 2008 from <http://www.ecss.nl/>

(129) International Organization for Standardization. (no date): “About ISO”, Retrieved on May 2, 2008 from <http://www.iso.org/iso/about.htm>

(130) International Organization for Standardization (2002): “ISO14620-1 Space systems - Safety Requirements - Part1: System safety”, *International Standard*

(131) 宇宙航空研究開発機構 (2004): “JMR-001A システム安全標準”, 宇宙航空研究開発機構 管理要求文書

## 謝辞

本研究実行にあたって、懇切丁寧なご指導ならびにご助言を賜った筑波大学大学院ビジネス科学研究科の山田秀教授に深く感謝いたします。並びに同大学院で研究開始から一貫して論文のご指導を仰ぎました鈴木久敏教授、徐驊教授に感謝の意を表します。また同大学院でステージ毎に厳しい論文審査をいただきましたすべての教授の皆様には感謝いたします。

本研究は、宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部において著者がシステム安全業務の担当となったことから始まったものであり、5年にわたり同一業務を行いその中で研究に従事できたことは、上長のご理解とご助言の賜物であります。この間、業務実施におけるご指導、論文発表前の情報セキュリティ面他のご審査をいただいた、宇宙航空研究開発機構 前安全・信頼性推進部長 長谷川秀夫執行役、現安全・信頼性推進部長 武内信雄氏、現筑波宇宙センター所長 川田恭裕氏に感謝いたします。

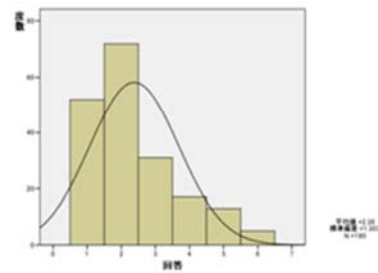
本研究開始当初からご多忙の中、明治大学理工学部 向殿政男教授には研究指針ともなる有益なご討論、ご指導をいただきました感謝いたします。またシステム安全全般について株式会社三菱総合研究所 首藤俊夫氏にご討論をいただき、有人宇宙システム株式会社 大賀公二氏にはシステム安全の教育の講師としてご尽力いただきました。ここに関係各位に心から感謝の意を表します。

最後に夫であり父であることに限りのない責任と喜びを常に筆者に思い起こさせてくれた、妻 尚子、長女 心、長男 創が本研究を成し遂げる原動力になったことを記します。

# 添付資料1 技術標準活用に関する調査データ 集計結果

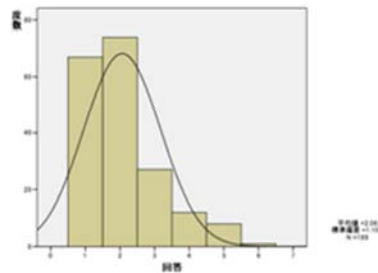
Q1 設計、製造で使うべき技術標準が何かを知っていると使う【17】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	52	26.13	27.37
2 かなりそうだとは思わない	72	36.18	37.89
3 ややそうだとは思わない	31	15.58	16.32
4 ややそうだと思う	17	8.54	8.95
5 かなりそうだと思う	13	6.53	6.84
6 全くそのとおりだと思う	5	2.51	2.63
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	

設計、製造で使うべき技術標準が何かを知っていると使う



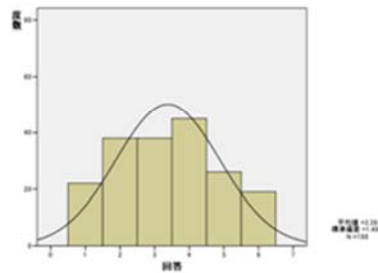
Q2 安全・信頼性・品質マネジメントで使うべき技術標準が何かを知っていると使う【19】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	67	33.67	35.45
2 かなりそうだとは思わない	74	37.19	39.15
3 ややそうだとは思わない	27	13.57	14.29
4 ややそうだと思う	12	6.03	6.35
5 かなりそうだと思う	8	4.02	4.23
6 全くそのとおりだと思う	1	0.50	0.53
合計	189	94.97	100.00
欠損値	10	5.03	
合計	199	100.00	

安全・信頼性・品質マネジメントで使うべき技術標準が何かを知っていると使う



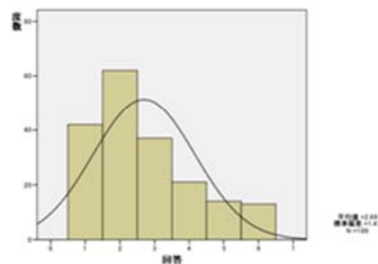
Q3 プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置づけを知っていると使う【7】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	22	11.06	11.70
2 かなりそうだとは思わない	38	19.10	20.21
3 ややそうだとは思わない	38	19.10	20.21
4 ややそうだと思う	45	22.61	23.94
5 かなりそうだと思う	26	13.07	13.83
6 全くそのとおりだと思う	19	9.55	10.11
合計	188	94.47	100.00
欠損値	11	5.53	
合計	199	100.00	

プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置づけを知っていると使う



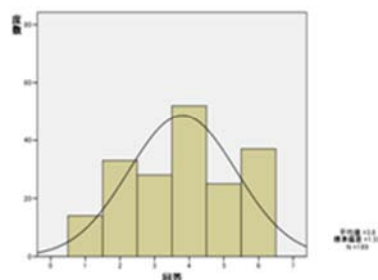
Q4 教育資料他、多目的に使えることを知っていると使う【16】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	42	21.11	22.22
2 かなりそうだとは思わない	62	31.16	32.80
3 ややそうだとは思わない	37	18.59	19.58
4 ややそうだと思う	21	10.55	11.11
5 かなりそうだと思う	14	7.04	7.41
6 全くそのとおりだと思う	13	6.53	6.88
合計	189	94.97	100.00
欠損値	10	5.03	
合計	199	100.00	

教育資料他、多目的に使えることを知っていると使う

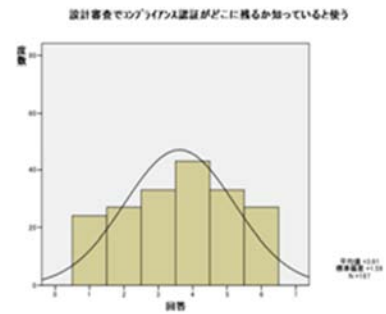


Q5 法申請他実務面の使用メリットを知っていると使う【2】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	14	7.04	7.41
2 かなりそうだとは思わない	33	16.58	17.46
3 ややそうだとは思わない	28	14.07	14.81
4 ややそうだと思う	52	26.13	27.51
5 かなりそうだと思う	25	12.56	13.23
6 全くそのとおりだと思う	37	18.59	19.58
合計	189	94.97	100.00
欠損値	10	5.03	
合計	199	100.00	

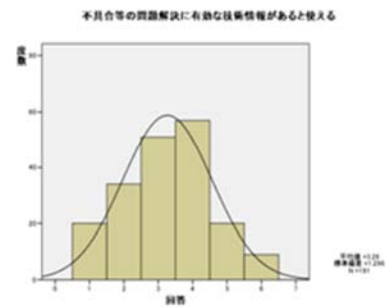
法申請他実務面のメリットを知っていると使う



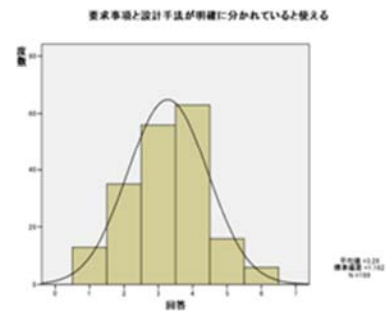
Q6 設計審査でコンプライアンス認証がどこに残るか知っていると思う【3】				
	度数	パーセント	有効パーセント	
1 全くそうだとは思わない	24	12.06	12.83	
2 かなりそうだとは思わない	27	13.57	14.44	
3 ややそうだとは思わない	33	16.58	17.65	
4 ややそうだと思う	43	21.61	22.99	
5 かなりそうだと思う	33	16.58	17.65	
6 全くそのとおりだと思う	27	13.57	14.44	
合計	187	93.97	100.00	
欠損値	11	5.53		
システム欠損値	1	0.50		
合計	12	6.03		
合計	199	100.00		



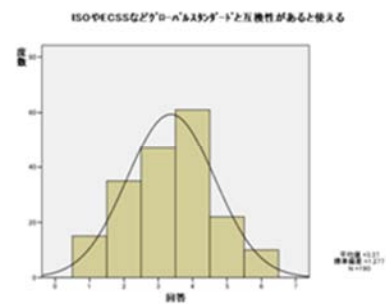
Q7 不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使える【12】				
	度数	パーセント	有効パーセント	
1 全くそうだとは思わない	20	10.05	10.47	
2 かなりそうだとは思わない	34	17.09	17.80	
3 ややそうだとは思わない	51	25.63	26.70	
4 ややそうだと思う	57	28.64	29.84	
5 かなりそうだと思う	20	10.05	10.47	
6 全くそのとおりだと思う	9	4.52	4.71	
合計	191	95.98	100.00	
欠損値	8	4.02		
合計	199	100.00		



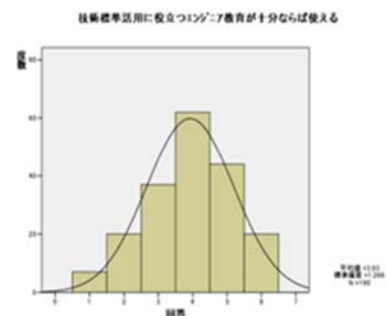
Q8 要求事項と設計手法が明確に分かれていると使える【10】				
	度数	パーセント	有効パーセント	
1 全くそうだとは思わない	13	6.53	6.88	
2 かなりそうだとは思わない	35	17.59	18.52	
3 ややそうだとは思わない	56	28.14	29.63	
4 ややそうだと思う	63	31.66	33.33	
5 かなりそうだと思う	16	8.04	8.47	
6 全くそのとおりだと思う	6	3.02	3.17	
合計	189	94.97	100.00	
欠損値	10	5.03		
合計	199	100.00		



Q9 ISOやECSSなどグローバルスタンダードと互換性があると使える【8】				
	度数	パーセント	有効パーセント	
1 全くそうだとは思わない	15	7.54	7.89	
2 かなりそうだとは思わない	35	17.59	18.42	
3 ややそうだとは思わない	47	23.62	24.74	
4 ややそうだと思う	61	30.65	32.11	
5 かなりそうだと思う	22	11.06	11.58	
6 全くそのとおりだと思う	10	5.03	5.26	
合計	190	95.48	100.00	
欠損値	9	4.52		
合計	199	100.00		



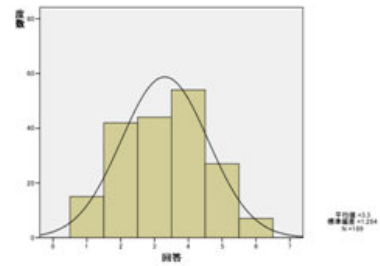
Q10 技術標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える【1】				
	度数	パーセント	有効パーセント	
1 全くそうだとは思わない	7	3.52	3.68	
2 かなりそうだとは思わない	20	10.05	10.53	
3 ややそうだとは思わない	37	18.59	19.47	
4 ややそうだと思う	62	31.16	32.63	
5 かなりそうだと思う	44	22.11	23.16	
6 全くそのとおりだと思う	20	10.05	10.53	
合計	190	95.48	100.00	
欠損値	9	4.52		
合計	199	100.00		





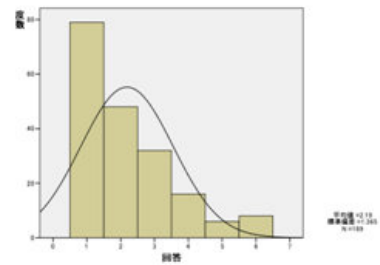
Q11 プロジェクト固有の設計基準作成にあたって適用しやすいと使える【9】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	15	7.54	7.94
2 かなりそうだとは思わない	42	21.11	22.22
3 ややそうだとは思わない	44	22.11	23.28
4 ややそうだと思う	54	27.14	28.57
5 かなりそうだと思う	27	13.57	14.29
6 全くそのとおりだと思う	7	3.52	3.70
合計	189	94.97	100.00
欠損値	9	4.52	
システム欠損値	1	0.50	
合計	10	5.03	
合計	199	100.00	

プロジェクト固有の設計基準作成にあたって適用しやすいと使える



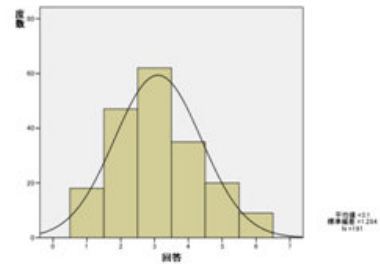
Q12 技術標準に基づく安全・信頼性・品質マネジメントが自分の業務ならば使える【18】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	79	39.70	41.80
2 かなりそうだとは思わない	48	24.12	25.40
3 ややそうだとは思わない	32	16.08	16.93
4 ややそうだと思う	16	8.04	8.47
5 かなりそうだと思う	6	3.02	3.17
6 全くそのとおりだと思う	8	4.02	4.23
合計	189	94.97	100.00
欠損値	10	5.03	
合計	199	100.00	

技術標準に基づく安全・信頼性・品質が自分の業務ならば使える



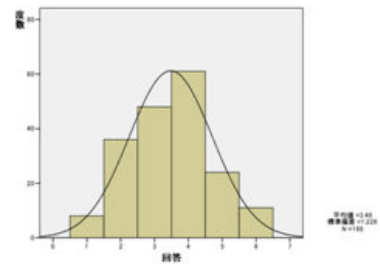
Q13 衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい【13】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	18	9.05	9.42
2 かなりそうだとは思わない	47	23.62	24.61
3 ややそうだとは思わない	62	31.16	32.46
4 ややそうだと思う	35	17.59	18.32
5 かなりそうだと思う	20	10.05	10.47
6 全くそのとおりだと思う	9	4.52	4.71
合計	191	95.98	100.00
欠損値	8	4.02	
合計	199	100.00	

衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい



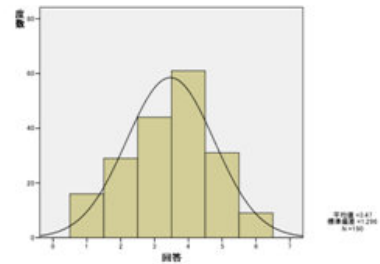
Q14 サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使いやすい【4】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	8	4.02	4.26
2 かなりそうだとは思わない	36	18.09	19.15
3 ややそうだとは思わない	48	24.12	25.53
4 ややそうだと思う	61	30.65	32.45
5 かなりそうだと思う	24	12.06	12.77
6 全くそのとおりだと思う	11	5.53	5.85
合計	188	94.47	100.00
欠損値	10	5.03	
システム欠損値	1	0.50	
合計	11	5.53	
合計	199	100.00	

サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使いやすい

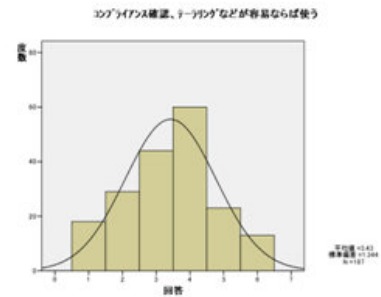


Q15 横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい【5】			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全くそうだとは思わない	16	8.04	8.42
2 かなりそうだとは思わない	29	14.57	15.26
3 ややそうだとは思わない	44	22.11	23.16
4 ややそうだと思う	61	30.65	32.11
5 かなりそうだと思う	31	15.58	16.32
6 全くそのとおりだと思う	9	4.52	4.74
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	

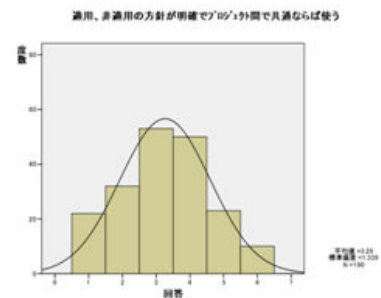
横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい



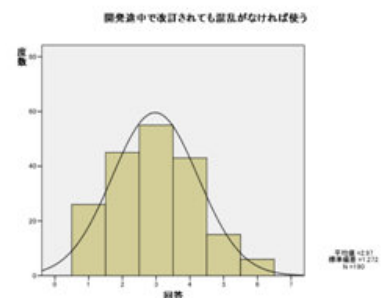
Q16 コンプライアンス確認、テラリングなどが容易ならば使う【6】			
	度数	ハパーセント	有効ハパーセント
1 全くそうだとは思わない	18	9.05	9.63
2 かなりそうだとは思わない	29	14.57	15.51
3 ややそうだとは思わない	44	22.11	23.53
4 ややそうだと思う	60	30.15	32.09
5 かなりそうだと思う	23	11.56	12.30
6 全くそのとおりだと思う	13	6.53	6.95
合計	187	93.97	100.00
欠損値	12	6.03	
合計	199	100.00	



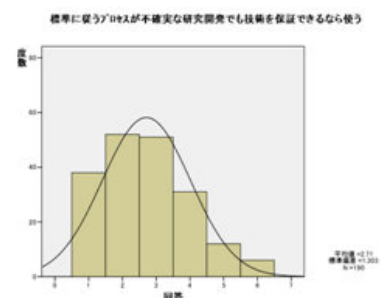
Q17 適用、非適用の方針が明確でプロジェクト間で共通ならば使う【11】			
	度数	ハパーセント	有効ハパーセント
1 全くそうだとは思わない	22	11.06	11.58
2 かなりそうだとは思わない	32	16.08	16.84
3 ややそうだとは思わない	53	26.63	27.89
4 ややそうだと思う	50	25.13	26.32
5 かなりそうだと思う	23	11.56	12.11
6 全くそのとおりだと思う	10	5.03	5.26
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	



Q18 開発途中で改訂されても混乱が無ければ使う【14】			
	度数	ハパーセント	有効ハパーセント
1 全くそうだとは思わない	26	13.07	13.68
2 かなりそうだとは思わない	45	22.61	23.68
3 ややそうだとは思わない	55	27.64	28.95
4 ややそうだと思う	43	21.61	22.63
5 かなりそうだと思う	15	7.54	7.89
6 全くそのとおりだと思う	6	3.02	3.16
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	



Q19 標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証できるなら使う【15】			
	度数	ハパーセント	有効ハパーセント
1 全くそうだとは思わない	38	19.10	20.00
2 かなりそうだとは思わない	52	26.13	27.37
3 ややそうだとは思わない	51	25.63	26.84
4 ややそうだと思う	31	15.58	16.32
5 かなりそうだと思う	12	6.03	6.32
6 全くそのとおりだと思う	6	3.02	3.16
合計	190	95.48	100.00
欠損値	9	4.52	
合計	199	100.00	



## **添付資料2 技術標準活用に関する調査データ 分析結果**

表-1 平均値の独立性検定結果

独立サンプルの検定

		等分散性のための Leveneの検定		2つの母平均の差の検定						
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間	
									下限	上限
法申請他業務面のミットを知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.576	.449	.499 .497	151 144.760	.619 .620	.126 .126	.253 .253	-.373 -.375	.625 .627
設計審査でコンプライアンス認証がどこに残るか知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	1.207	.274	1.023 1.016	149 140.496	.308 .311	.265 .265	.259 .261	-.247 -.251	.777 .780
プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置づけを知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.764	.383	1.008 1.002	151 142.498	.315 .318	.238 .238	.236 .238	-.229 -.232	.705 .708
教育資料他、多目的に使えることを知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	3.603	.060	1.649 1.667	152 151.945	.101 .098	.359 .359	.218 .215	-.071 -.066	.789 .784
設計、製造で使うべき技術標準が何か知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.563	.454	.758 .758	152 148.495	.450 .450	.154 .154	.204 .204	-.248 -.248	.557 .557
安全・信頼性・品質マネジメントで使うべき技術標準が何か知っていると使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.615	.434	.971 .963	151 141.288	.333 .337	.161 .161	.166 .168	-.167 -.170	.490 .493
不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使え	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.715	.399	1.165 1.172	152 149.960	.246 .243	.245 .245	.211 .209	-.171 -.168	.661 .659
要求事項と設計手法が明確に分かれていますと使える	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	1.572	.212	1.363 1.376	151 149.567	.175 .171	.249 .249	.183 .181	-.112 -.109	.610 .606
ISOやECSSなどグローバルスタンダードと互換性があると使	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.042	.838	1.548 1.546	152 146.082	.124 .124	.317 .317	.205 .205	-.087 -.088	.721 .721
活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.502	.480	.398 .396	151 144.230	.691 .692	.083 .083	.208 .208	-.328 -.329	.493 .495
プロジェクト固有の設計基準作成にあたって適用しやすい	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	2.145	.145	-1.179 -1.182	151 150.592	.858 .856	-.037 -.037	.208 .205	-.448 -.442	.373 .367
技術標準に基づく安全・信頼性・品質が自分の業務な	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.208	.649	.254 .252	151 141.747	.800 .801	.054 .054	.211 .212	-.362 -.366	.469 .473
衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.526	.469	.157 .158	152 150.151	.875 .874	.031 .031	.197 .195	-.358 -.355	.420 .417
サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.476	.491	1.152 1.165	150 149.286	.251 .246	.231 .231	.200 .198	-.165 -.161	.626 .622
横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.010	.919	-1.663 -1.662	152 146.925	.509 .509	-.131 -.131	.198 .198	-.521 -.522	.260 .260
コンプライアンス確認、テーラリングなどが容易ならば使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.036	.850	.803 .806	149 144.904	.423 .422	.168 .168	.209 .208	-.245 -.243	.580 .579
適用、非適用の方針が明確でプロジェクト間で共通なら	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.090	.765	1.134 1.126	151 140.623	.259 .262	.245 .245	.216 .217	-.182 -.185	.671 .675
開発途中で改訂されても混乱がなければ使う	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	1.316	.253	2.156 2.192	151 150.882	.033 .030	.406 .406	.188 .185	.034 .040	.778 .772
標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証	等分散を仮定する。 等分散を仮定しない。	.005	.943	1.313 1.312	152 146.716	.191 .192	.264 .264	.201 .201	-.133 -.134	.662 .662

表－2 相関分析結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Q1	設計、製造で使うべき文書の存在を知らない																		
Q2	安全・信頼性・品質マネジメントで使う文書の存在を知らない	0.702																	
Q3	プロジェクトマネジメントのツールと技法としての位置付けを知っていると使う	0.437	0.406																
Q4	教育資料他、多目的に使えることを知っていると使う	0.546	0.520	0.616															
Q5	法申請他の実務面での適用メリットを知っていると使う	0.225	0.214	0.437	0.546														
Q6	設計審査で示すコンプライアンスの認証がどこに残るか知っている	0.214	0.347	0.406	0.520	0.702													
Q7	不具合等の問題解決に有効な技術情報があると使える	0.323	0.344	0.432	0.394	0.356	0.343												
Q8	要求事項と設計手法が明確に分かっていると使える	0.299	0.318	0.409	0.427	0.365	0.340	0.512											
Q9	ISOやECSSなどグローバルスタンダードと互換性があると使える	0.325	0.359	0.363	0.454	0.356	0.311	0.382	0.619										
Q10	技術標準活用に役立つエンジニア教育が十分ならば使える	0.174	0.252	0.248	0.276	0.239	0.242	0.326	0.426	0.396									
Q11	プロジェクト固有の設計基準作成に取り込みやすいと使える	0.187	0.226	0.313	0.330	0.339	0.262	0.440	0.381	0.453	0.298								
Q12	技術標準に基づく安全・信頼性・品質マネジメントが自分の業務ならば使える	0.194	0.365	0.275	0.359	0.406	0.564	0.195	0.236	0.156	0.234	0.135							
Q13	衛星、ロケット、設備の区分が明確だと使いやすい	0.178	0.287	0.256	0.291	0.177	0.222	0.390	0.391	0.441	0.294	0.332	0.220						
Q14	サブシステム、コンポーネントなどの階層を考慮してあると使いやすい	0.255	0.328	0.264	0.321	0.208	0.232	0.420	0.494	0.488	0.253	0.310	0.211	0.628					
Q15	横断検索などが可能な電子ファイルであれば使いやすい	0.212	0.355	0.300	0.308	0.230	0.243	0.317	0.341	0.324	0.272	0.358	0.301	0.433	0.559				
Q16	適用してからのコンプライアンス確認、トレーニングなどが容易ならば使う	0.312	0.431	0.377	0.337	0.243	0.309	0.342	0.437	0.444	0.240	0.379	0.284	0.289	0.435	0.533			
Q17	適用、非適用の方針が明確で各プロジェクト間で共通ならば使う	0.301	0.469	0.356	0.340	0.334	0.334	0.421	0.449	0.415	0.320	0.374	0.362	0.418	0.421	0.517	0.496		
Q18	適用した後の開発途中で改訂されても混乱がなければ使う	0.266	0.290	0.359	0.343	0.302	0.320	0.419	0.472	0.399	0.256	0.362	0.357	0.358	0.479	0.500	0.564	0.594	
Q19	標準に従うプロセスが不確実な研究開発でも技術を保証できるならば使う	0.212	0.342	0.337	0.455	0.364	0.419	0.330	0.435	0.480	0.264	0.408	0.331	0.356	0.421	0.373	0.491	0.514	0.552

※表中の統計量は $\gamma$ :Pearsonの積率相関係数

：相関係数0.5以上で相関があると認められるものを示す

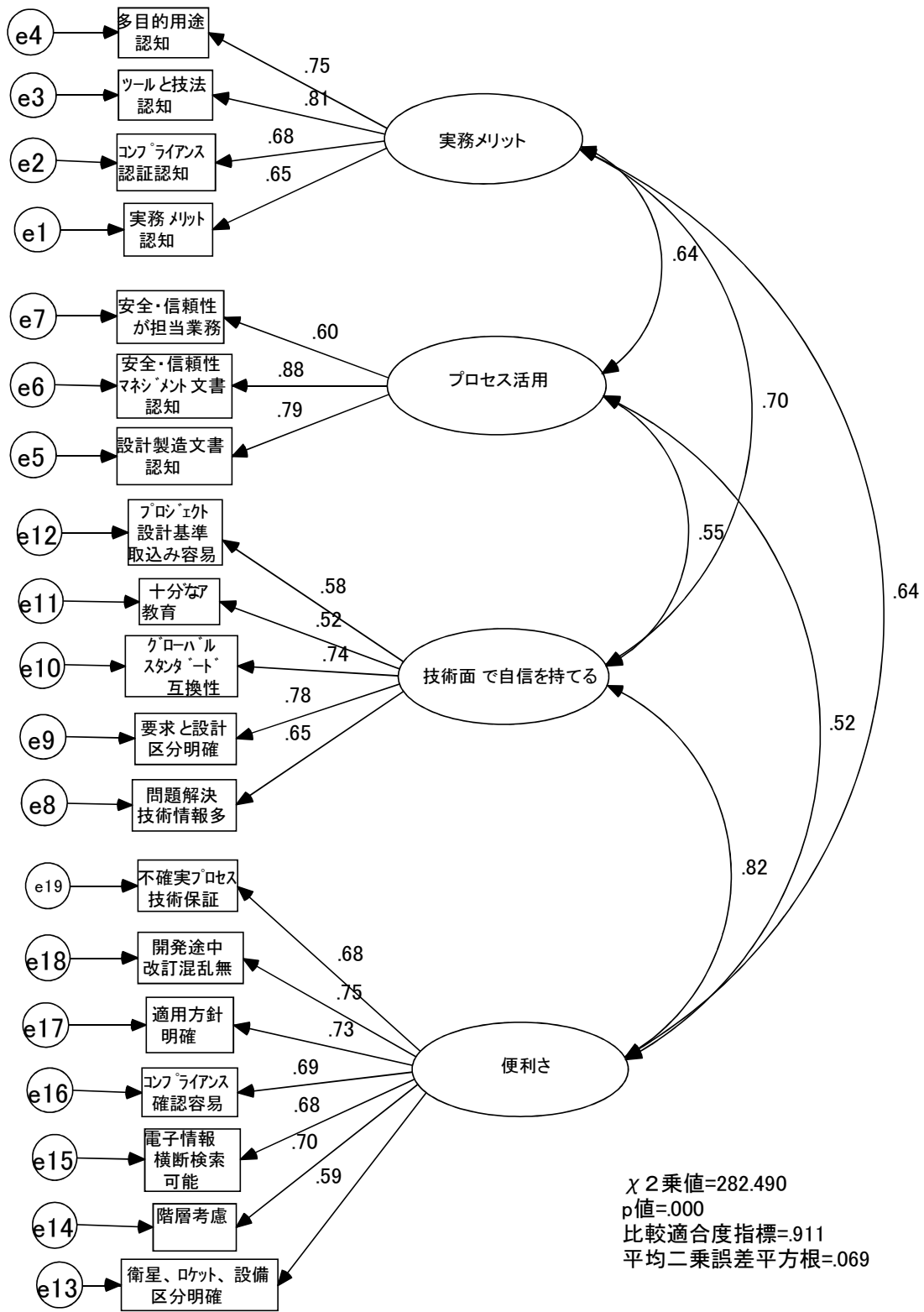
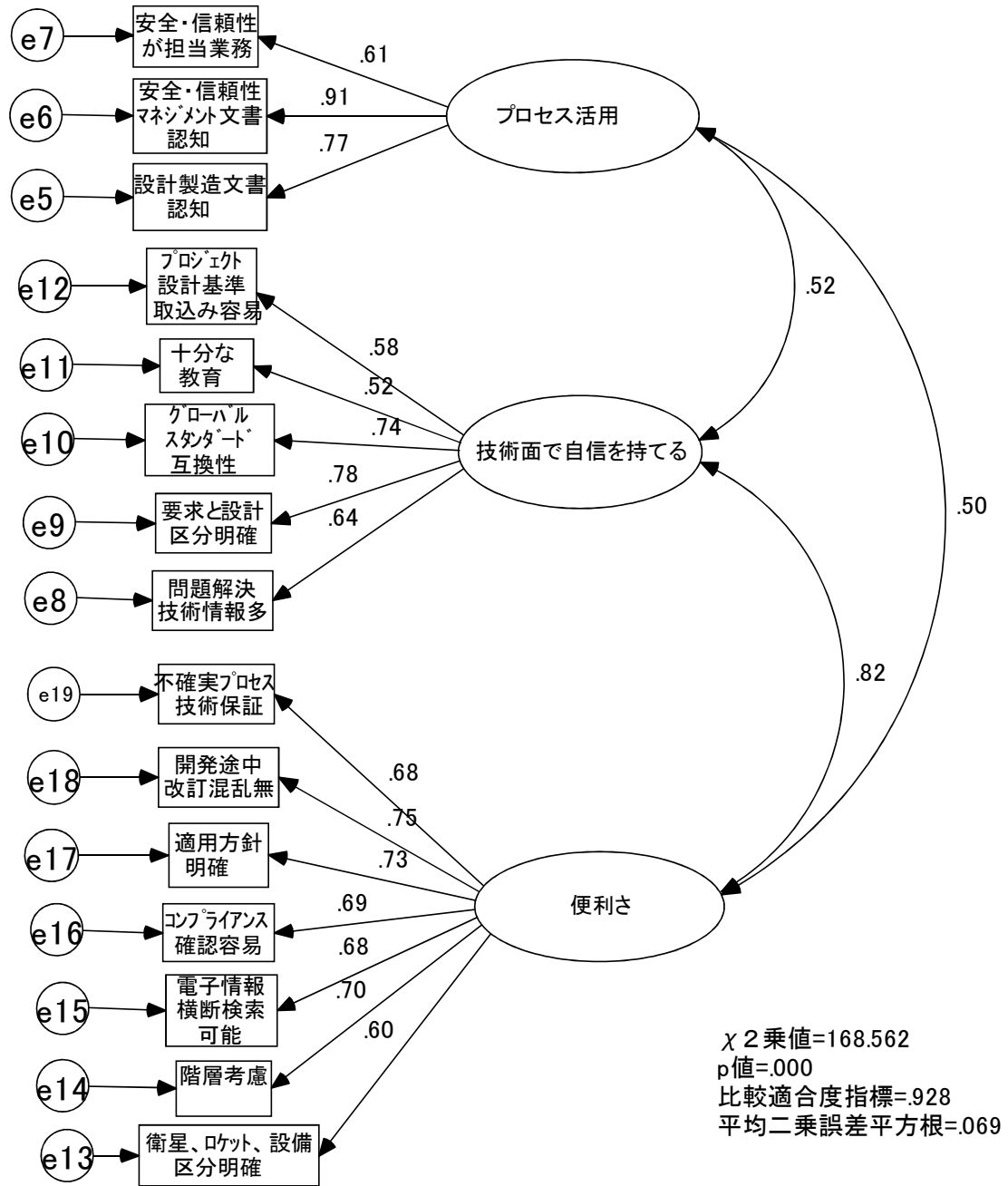


図-1 4つの因子すべてを使った共分散構造モデル分析結果



図—2 第 4 因子を削除した共通分散構造モデル分析結果

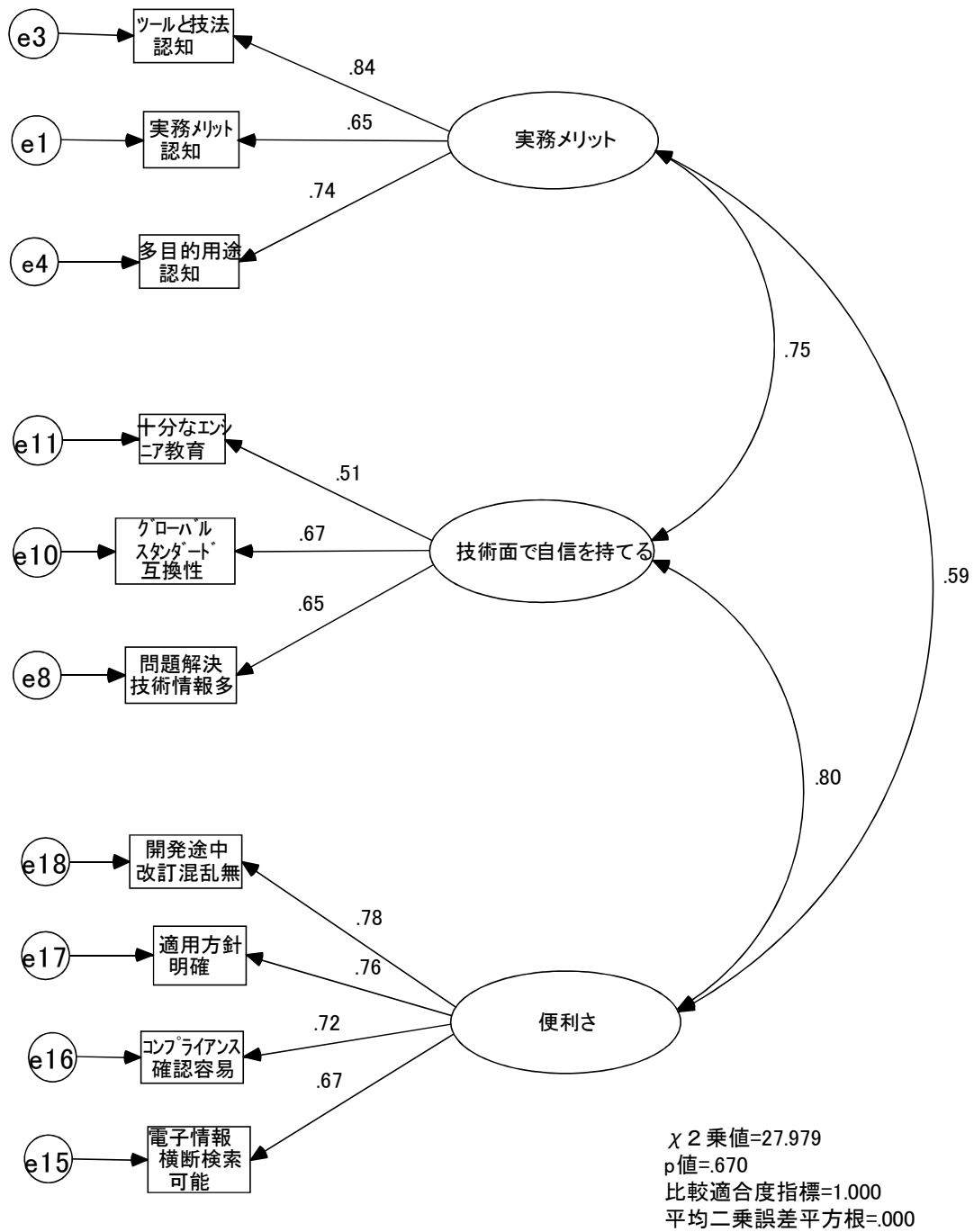


図-3 第3因子を削除したた共分散構造モデル分析結果



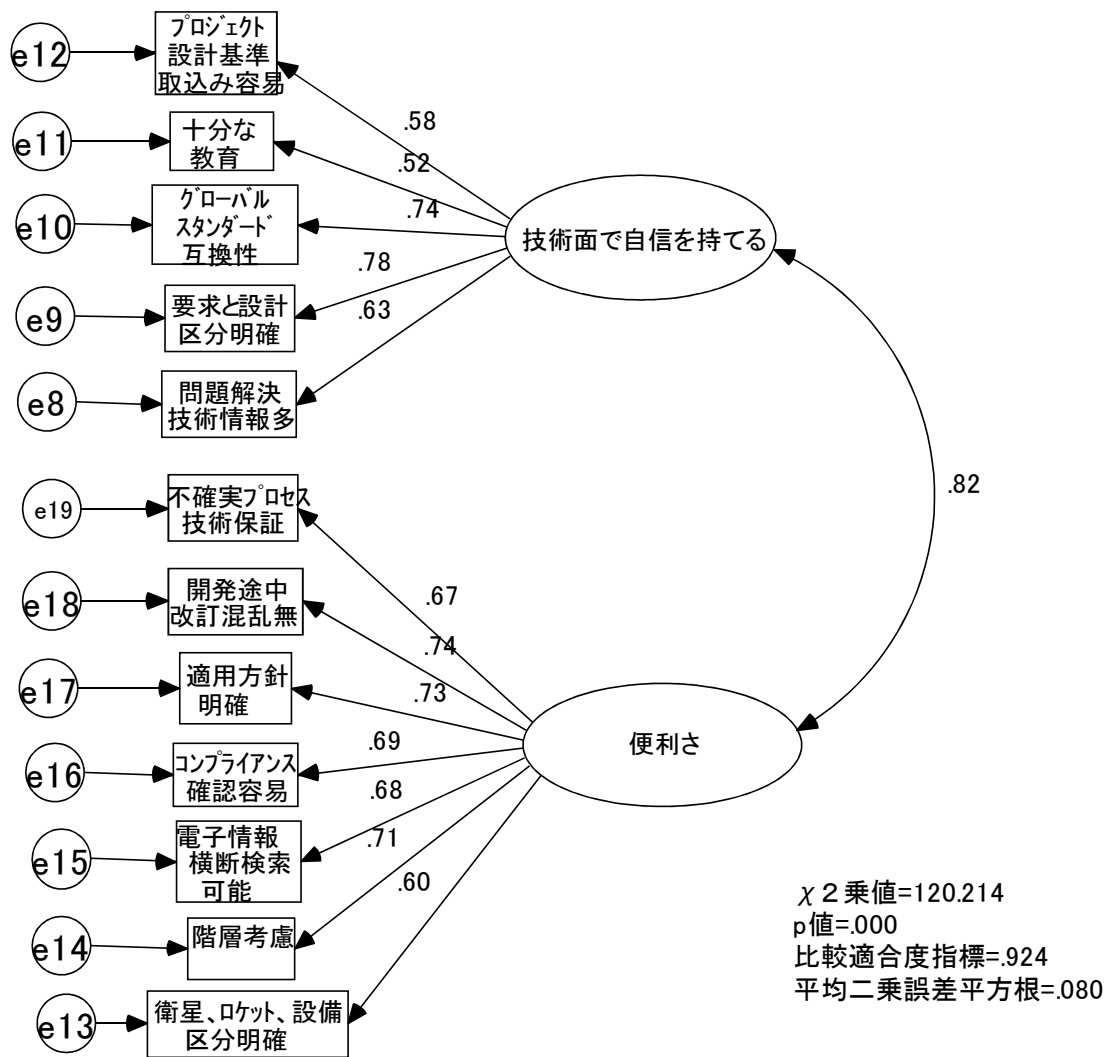
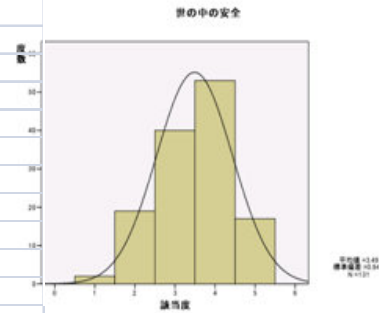


図-4 第3, 4因子を削除した共分散構造モデル分析結果

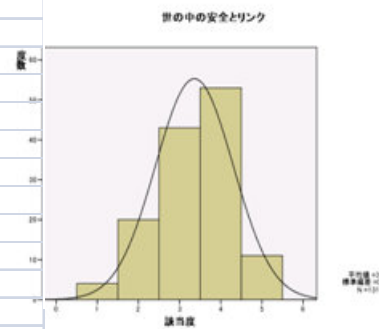
## **添付資料3 教育効果レベル3 フォローアップアンケート**

### **集計結果**

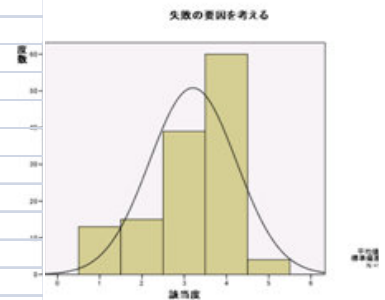
Q1 世の中の安全		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	2	1.10	1.53
2	あまり該当しない	19	10.44	14.50
3	どちらかといえば該当	40	21.98	30.53
4	該当する	53	29.12	40.46
5	大いに該当する	17	9.34	12.98
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



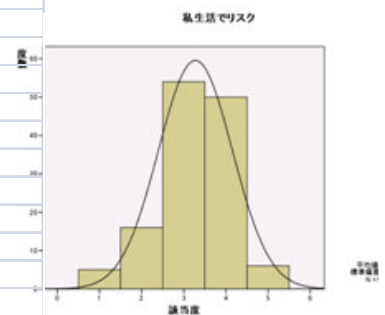
Q2 世の中の安全とリンク		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	4	2.20	3.05
2	あまり該当しない	20	10.99	15.27
3	どちらかといえば該当	43	23.63	32.82
4	該当する	53	29.12	40.46
5	大いに該当する	11	6.04	8.40
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



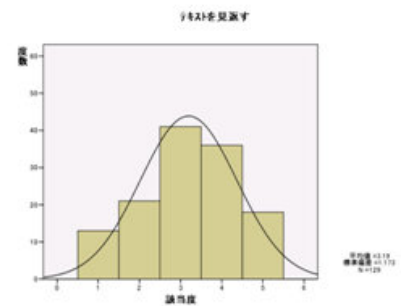
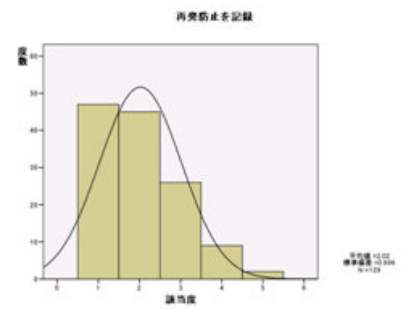
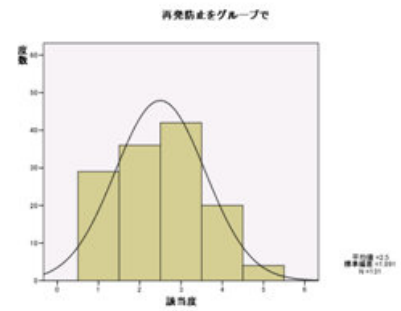
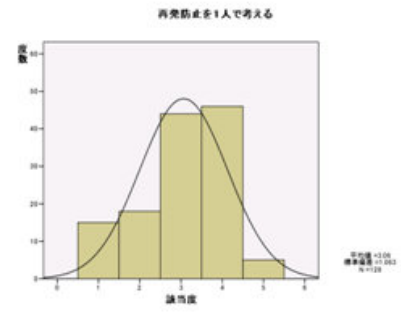
Q3 私生活でリスク		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	5	2.75	3.82
2	あまり該当しない	16	8.79	12.21
3	どちらかといえば該当	54	29.67	41.22
4	該当する	50	27.47	38.17
5	大いに該当する	6	3.30	4.58
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



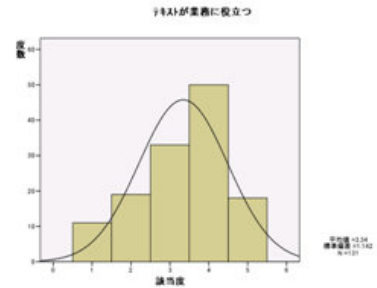
Q4 失敗の要因を考える		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	13	7.14	9.92
2	あまり該当しない	15	8.24	11.45
3	どちらかといえば該当	39	21.43	29.77
4	該当する	60	32.97	45.80
5	大いに該当する	4	2.20	3.05
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



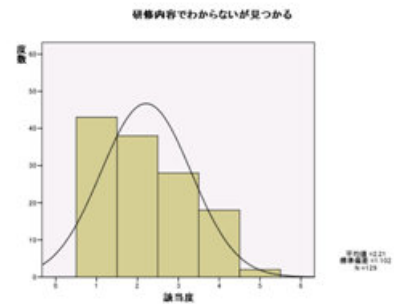
Q5 再発防止を1人で考える				
		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	15	8.24	11.72
2	あまり該当しない	18	9.89	14.06
3	どちらかといえば該当	44	24.18	34.38
4	該当する	46	25.27	35.94
5	大いに該当する	5	2.75	3.91
	合計	128	70.33	100.00
欠損値	未記入	54	29.67	
合計		182	100.00	
Q6 再発防止をグループで				
		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	29	15.93	22.14
2	あまり該当しない	36	19.78	27.48
3	どちらかといえば該当	42	23.08	32.06
4	該当する	20	10.99	15.27
5	大いに該当する	4	2.20	3.05
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	
Q7 再発防止を記録				
		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	47	25.82	36.43
2	あまり該当しない	45	24.73	34.88
3	どちらかといえば該当	26	14.29	20.16
4	該当する	9	4.95	6.98
5	大いに該当する	2	1.10	1.55
	合計	129	70.88	100.00
欠損値	未記入	53	29.12	
合計		182	100.00	
Q8 テキストを見返す				
		度数	ハ°-セント	有効ハ°-セント
1	全く該当しない	13	7.14	10.08
2	あまり該当しない	21	11.54	16.28
3	どちらかといえば該当	41	22.53	31.78
4	該当する	36	19.78	27.91
5	大いに該当する	18	9.89	13.95
	合計	129	70.88	100.00
欠損値	未記入	53	29.12	
合計		182	100.00	



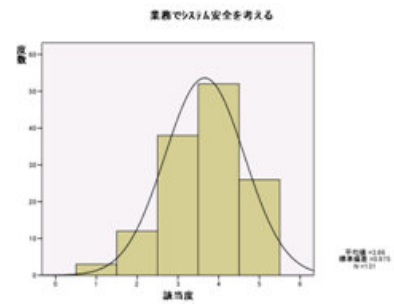
Q9 テキストが業務に役立つ		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	11	6.04	8.40
2	あまり該当しない	19	10.44	14.50
3	どちらかといえば該当	33	18.13	25.19
4	該当する	50	27.47	38.17
5	大いに該当する	18	9.89	13.74
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



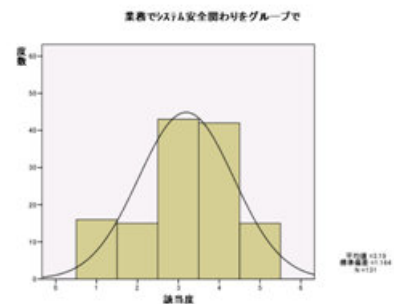
Q10 研修内容でわからないが見つかる		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	43	23.63	33.33
2	あまり該当しない	38	20.88	29.46
3	どちらかといえば該当	28	15.38	21.71
4	該当する	18	9.89	13.95
5	大いに該当する	2	1.10	1.55
	合計	129	70.88	100.00
欠損値	未記入	52	28.57	
	システム欠損値	1	0.55	
	合計	53	29.12	
合計		182	100.00	



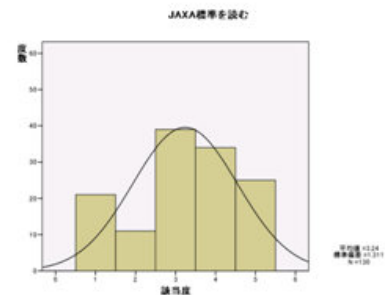
Q11 業務でシステム安全を考える		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	3	1.65	2.29
2	あまり該当しない	12	6.59	9.16
3	どちらかといえば該当	38	20.88	29.01
4	該当する	52	28.57	39.69
5	大いに該当する	26	14.29	19.85
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



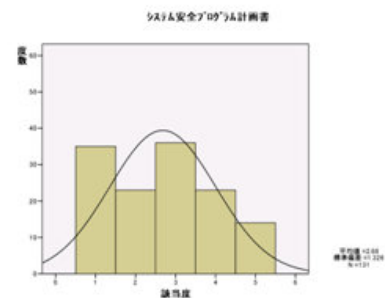
Q12 業務でシステム安全関わりをグループで		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	16	8.79	12.21
2	あまり該当しない	15	8.24	11.45
3	どちらかといえば該当	43	23.63	32.82
4	該当する	42	23.08	32.06
5	大いに該当する	15	8.24	11.45
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



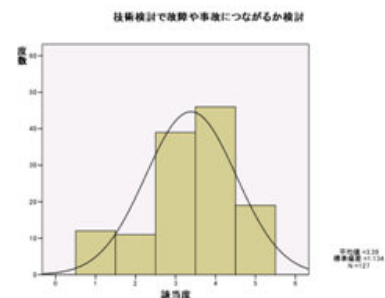
Q13 JAXA標準を読む		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	21	11.54	16.15
2	あまり該当しない	11	6.04	8.46
3	どちらかといえば該当	39	21.43	30.00
4	該当する	34	18.68	26.15
5	大いに該当する	25	13.74	19.23
	合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
	システム欠損値	1	0.55	
	合計	52	28.57	
合計		182	100.00	



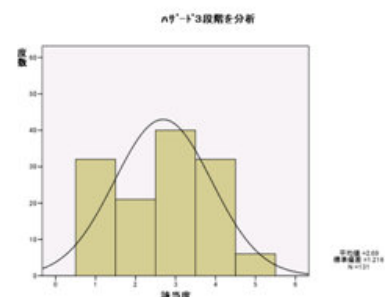
Q14 システム安全プログラム計画書		度数	パーセント	有効パーセント
有効	全く該当しない	35	19.23	26.72
	あまり該当しない	23	12.64	17.56
	どちらかといえば該当	36	19.78	27.48
	該当する	23	12.64	17.56
	大いに該当する	14	7.69	10.69
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



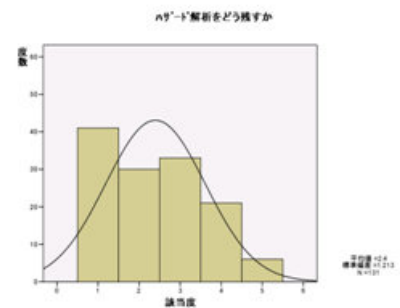
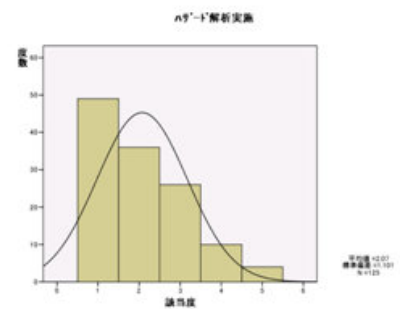
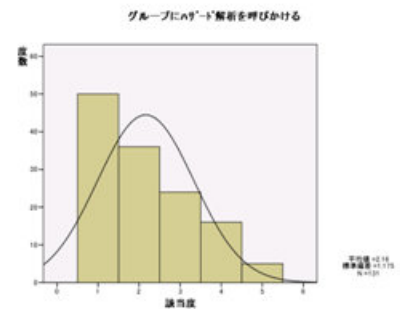
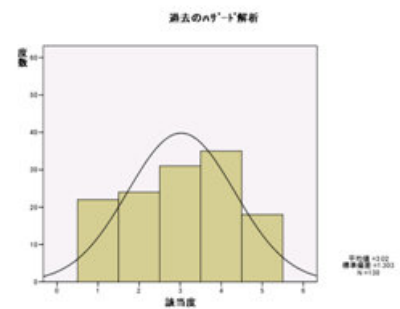
Q15 技術検討で故障や事故につながるか検討		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	12	6.59	9.45
2	あまり該当しない	11	6.04	8.66
3	どちらかといえば該当	39	21.43	30.71
4	該当する	46	25.27	36.22
5	大いに該当する	19	10.44	14.96
	合計	127	69.78	100.00
欠損値	未記入	55	30.22	
合計		182	100.00	



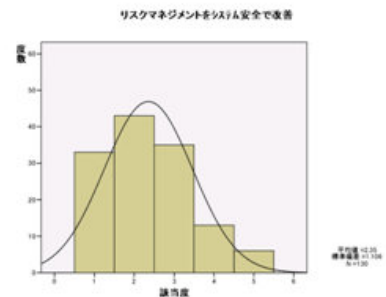
Q16 ハザード3段階を分析		度数	パーセント	有効パーセント
1	全く該当しない	32	17.58	24.43
2	あまり該当しない	21	11.54	16.03
3	どちらかといえば該当	40	21.98	30.53
4	該当する	32	17.58	24.43
5	大いに該当する	6	3.30	4.58
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	51	28.02	
合計		182	100.00	



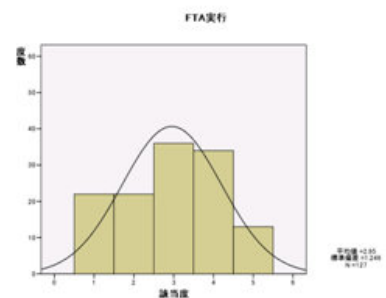
Q17 過去のハサード解析				
		度数	ハ-セント	有効ハ-セント
	1 全く該当しない	22	12.09	16.92
	2 あまり該当しない	24	13.19	18.46
	3 どちらかといえば該当	31	17.03	23.85
	4 該当する	35	19.23	26.92
	5 大いに該当する	18	9.89	13.85
	合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	47	25.82	
	システム欠損値	5	2.75	
	合計	52	28.57	
合計		182	100.00	
Q18 グループにハサード解析を呼びかける				
		度数	ハ-セント	有効ハ-セント
	1 全く該当しない	50	27.47	38.17
	2 あまり該当しない	36	19.78	27.48
	3 どちらかといえば該当	24	13.19	18.32
	4 該当する	16	8.79	12.21
	5 大いに該当する	5	2.75	3.82
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	47	25.82	
	システム欠損値	4	2.20	
	合計	51	28.02	
合計		182	100.00	
Q19 ハサード解析実施				
		度数	ハ-セント	有効ハ-セント
	1 全く該当しない	49	26.92	39.20
	2 あまり該当しない	36	19.78	28.80
	3 どちらかといえば該当	26	14.29	20.80
	4 該当する	10	5.49	8.00
	5 大いに該当する	4	2.20	3.20
	合計	125	68.68	100.00
欠損値	未記入	55	30.22	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	57	31.32	
合計		182	100.00	
Q20 ハサード解析をどう残すか				
		度数	ハ-セント	有効ハ-セント
	1 全く該当しない	41	22.53	31.30
	2 あまり該当しない	30	16.48	22.90
	3 どちらかといえば該当	33	18.13	25.19
	4 該当する	21	11.54	16.03
	5 大いに該当する	6	3.30	4.58
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	49	26.92	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	51	28.02	
合計		182	100.00	



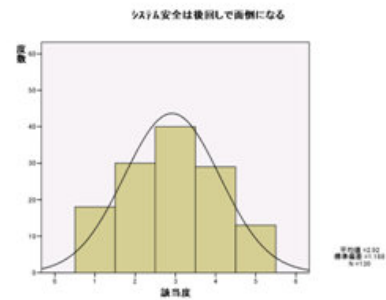
Q21 リスクマネジメントをシステム安全で改善			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	33	18.13	25.38
2 あまり該当しない	43	23.63	33.08
3 どちらかといえば該当	35	19.23	26.92
4 該当する	13	7.14	10.00
5 大いに該当する	6	3.30	4.62
合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	50	27.47
	システム欠損値	2	1.10
	合計	52	28.57
合計	182	100.00	



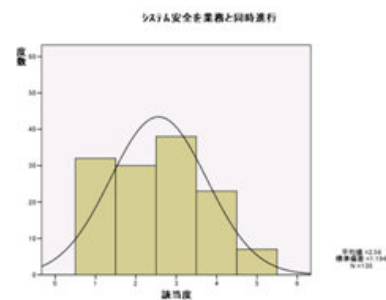
Q22 FTA実行			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	22	12.09	17.32
2 あまり該当しない	22	12.09	17.32
3 どちらかといえば該当	36	19.78	28.35
4 該当する	34	18.68	26.77
5 大いに該当する	13	7.14	10.24
合計	127	69.78	100.00
欠損値	未記入	53	29.12
	システム欠損値	2	1.10
	合計	55	30.22
合計	182	100.00	



Q23 システム安全は後回しで面倒になる			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	18	9.89	13.85
2 あまり該当しない	30	16.48	23.08
3 どちらかといえば該当	40	21.98	30.77
4 該当する	29	15.93	22.31
5 大いに該当する	13	7.14	10.00
合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	49	26.92
	システム欠損値	3	1.65
	合計	52	28.57
合計	182	100.00	

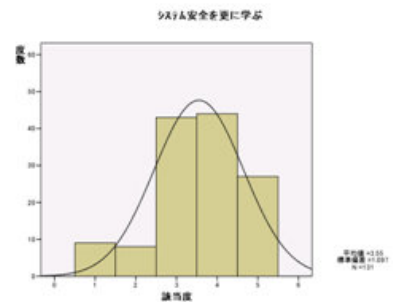
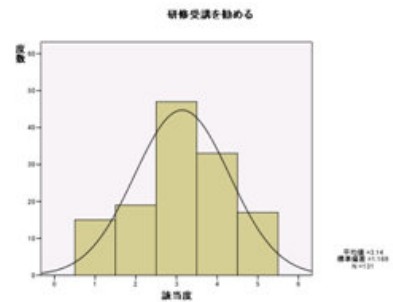
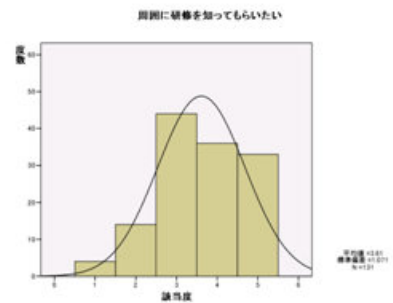
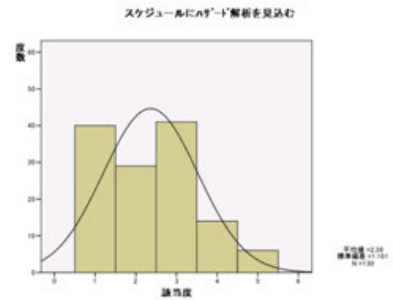


Q24 システム安全を業務と同時進行			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	32	17.58	24.62
2 あまり該当しない	30	16.48	23.08
3 どちらかといえば該当	38	20.88	29.23
4 該当する	23	12.64	17.69
5 大いに該当する	7	3.85	5.38
合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	50	27.47
	システム欠損値	2	1.10
	合計	52	28.57
合計	182	100.00	

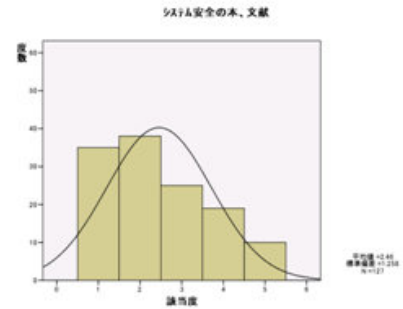




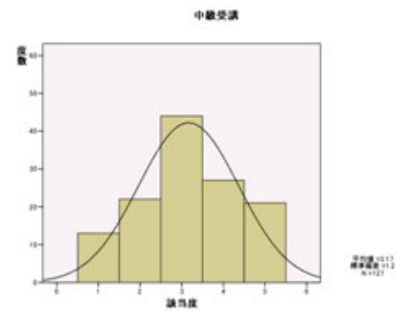
Q25 スケジュールにハザード解析を見込む				
		度数	パーセント	有効パーセント
	1 全く該当しない	40	21.98	30.77
	2 あまり該当しない	29	15.93	22.31
	3 どちらかといえば該当	41	22.53	31.54
	4 該当する	14	7.69	10.77
	5 大いに該当する	6	3.30	4.62
	合計	130	71.43	100.00
欠損値	未記入	50	27.47	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	52	28.57	
合計		182	100.00	
Q26 周囲に研修を知ってもらいたい				
		度数	パーセント	有効パーセント
	1 全く該当しない	4	2.20	3.05
	2 あまり該当しない	14	7.69	10.69
	3 どちらかといえば該当	44	24.18	33.59
	4 該当する	36	19.78	27.48
	5 大いに該当する	33	18.13	25.19
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	49	26.92	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	51	28.02	
合計		182	100.00	
Q27 研修受講を勧める				
		度数	パーセント	有効パーセント
	1 全く該当しない	15	8.24	11.45
	2 あまり該当しない	19	10.44	14.50
	3 どちらかといえば該当	47	25.82	35.88
	4 該当する	33	18.13	25.19
	5 大いに該当する	17	9.34	12.98
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	49	26.92	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	51	28.02	
合計		182	100.00	
Q28 システム安全を更に学ぶ				
		度数	パーセント	有効パーセント
有効	全く該当しない	9	4.95	6.87
	あまり該当しない	8	4.40	6.11
	どちらかといえば該当	43	23.63	32.82
	該当する	44	24.18	33.59
	大いに該当する	27	14.84	20.61
	合計	131	71.98	100.00
欠損値	未記入	49	26.92	
	システム欠損値	2	1.10	
	合計	51	28.02	
合計		182	100.00	



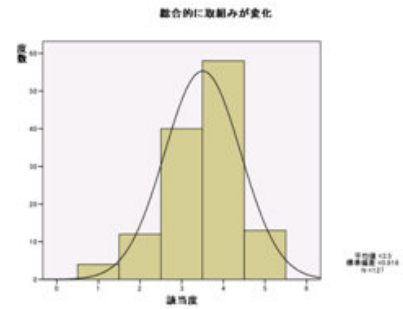
Q29 システム安全の本、文献			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	35	19.23	27.56
2 あまり該当しない	38	20.88	29.92
3 どちらかといえば該当	25	13.74	19.69
4 該当する	19	10.44	14.96
5 大いに該当する	10	5.49	7.87
合計	127	69.78	100.00
欠損値	未記入	50	27.47
	システム欠損値	5	2.75
	合計	55	30.22
合計	182	100.00	



Q30 中級受講			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	13	7.14	10.24
2 あまり該当しない	22	12.09	17.32
3 どちらかといえば該当	44	24.18	34.65
4 該当する	27	14.84	21.26
5 大いに該当する	21	11.54	16.54
合計	127	69.78	100.00
欠損値	未記入	49	26.92
	システム欠損値	6	3.30
	合計	55	30.22
合計	182	100.00	



Q31 総合的に取組みが変化			
	度数	パーセント	有効パーセント
1 全く該当しない	4	2.20	3.15
2 あまり該当しない	12	6.59	9.45
3 どちらかといえば該当	40	21.98	31.50
4 該当する	58	31.87	45.67
5 大いに該当する	13	7.14	10.24
合計	127	69.78	100.00
欠損値	未記入	50	27.47
	システム欠損値	5	2.75
	合計	55	30.22
合計	182	100.00	



## **添付資料4 教育効果レベル3 フォローアップアンケート**

### **分析結果**



