

# 原子力発電所の保守作業信頼性向上のためのエラー予測 と低減の手法に関する研究

Study on the Methodology for Predicting and Preventing Errors  
to Improve Reliability of Maintenance Task in Nuclear Power Plant

花房 英光 (Hidemitsu Hanafusa)\* 岩城 利夫 (Toshio Iwaki)† デビット エンブレ (David Embrey)‡

**要約** 原子力発電所の保守作業についてヒューマンファクタ面からエラーを予測し、低減するための有効な方法の構築を目指した。航空機産業、化学プラント等の他産業における保守作業を支援するシステムや手法を参考に、作業責任者クラスが作業手順見直し時等にエラーを予測し、低減するための手法を構築した。検討した手法は次の7つのステップを含む。

- 保守作業における作業内容の同定
- 安全に影響する重要な作業の抽出
- 重要な作業で陥りやすいヒューマンエラーの評価
- 機能を低下させる因子の同定
- 重要な作業を更に詳細な作業に細分化
- 予測的ヒューマンエラー解析(PHEA)によるエラーの抽出
- エラーのリカバリー策と低減策の策定

本手法を原子力発電所のポンプの保守手順書へ適用を試みた。本手法は、重要な作業に対して、予想されるエラーを抽出でき、その低減策の策定を支援できると考えられる。本手法の適用が、保守作業におけるヒューマンエラーから起こる事故を低減できると考える。また、計算機を用いた保守支援のベースを得ることができた。

**キーワード** 原子力発電所、保守支援、ヒューマンエラー、ヒューマンファクタ、保守作業、ポンプ

**Abstract** The objective of this study was to develop an effective methodology for predicting and preventing errors in nuclear power plant maintenance tasks. A method was established by which chief maintenance personnel can predict and reduce errors when reviewing the maintenance procedures and while referring to maintenance supporting systems and methods in other industries including aviation and chemical plant industries. The method involves the following seven steps:

- Identification of maintenance tasks
- Specification of important tasks affecting safety
- Assessment of human errors occurring during important tasks
- Identification of Performance Degrading Factors
- Dividing important tasks into sub-tasks
- Extraction of errors using Predictive Human Error Analysis (PHEA)
- Development of strategies for reducing errors and for recovering from errors.

By way of a trial, this method was applied to the pump maintenance procedure in nuclear power plants. This method is believed to be capable of identifying the expected errors in important tasks and supporting the development of error reduction measures. By applying this method, the number of accidents resulting from human errors during maintenance can be reduced. Moreover, the maintenance support base using computers was developed.

**Keywords** Nuclear power plant, maintenance support, human error, human factor, maintenance work, pump.

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

† コンピュータソフト開発(株)

‡ Human Reliability Associates Ltd., UK

## 1. はじめに

原子力発電所の保守は、安全性を維持する意味で非常に重要である。一方、保守によるヒューマンエラーによって、その安全性が脅かされることもある。

このヒューマンエラーに関する原子力発電所の国内トラブルの事象分析<sup>(1)</sup>によると、図1に示されるように発生作業別では、全体の約6割と保守時が非常に多く、次に約2割が運転時である。また、図2に示すように原因別に見た場合は、作業計画、作業実施、作業確認など作業に絡むものが全体の約4割と多く、次に口頭・文書によるコミュニケーションが約2割である。

また、近年、定期検査期間の短縮が図られ、並行作業や直体制での作業が増えてきている。このような状況では、保守作業員への時間的な圧迫の増加および保守チーム間やチーム内の連絡や引継ぎ等コミュニケーションなどの機会が増えており、作業に絡むヒューマンエラーやコミュニケーションエラーを引き起こす要因が増大していると考えられる。本研究では、保守作業の信頼性を向上させるため、現場で実際に作業を行う保守技術者(作業責任者クラス)が保守作業におけるヒューマンエラーを予測し、低減するための有効な方法の構築を目指し、原子力発

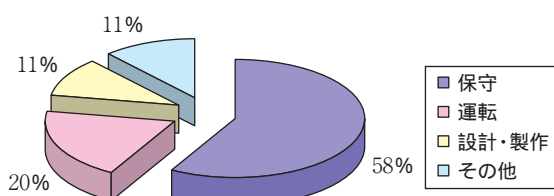


図1 ヒューマンエラー事象分析結果(発生作業別)(文献(1))

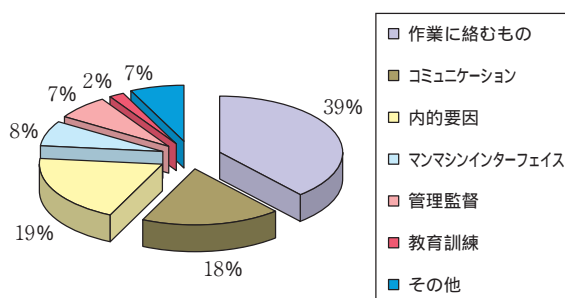


図2 ヒューマンエラー事象分析結果(原因別)(文献(1))

電所の現場の保守作業に適した手法を検討する。その応用例として、検討した手法をポンプの保守手順書へ試適用し、有用性を評価する。

## 2. 保守作業のエラー予測と低減の手法

原子力産業における現場の保守手順に関する支援システムとしては、ハンディパソコンを活用したポンプの作業手順の記憶を支援するシステム<sup>(2)</sup>が見受けられるが、その他にはあまり見あたらなかった。そこで、航空機産業や化学産業等の他産業の取組みを参考にしながら、保守作業のエラーを予測し、低減するためのタスクエラー評価手法の構築を試みた。構築した手法の利用の例示として、原子力発電所のポンプ保守手順書に対して試適用を行い、その有用性の評価を行う。

### 2.1 手法構築の方針

原子力発電所の現場で利用可能なエラーの予測と低減方法を検討するにあたって以下の点を考慮する。

- ・現場の保守技術者(作業責任者クラス)がエラーを予測し低減するための分析、評価に際して、ヒューマンファクタに関する知識をあまり必要としないこと
- ・リソースを有効に利用するため、重要な保守作業に集中して、きめ細かなエラー予測や低減策の検討ができること

### 2.2 手法の枠組み

保守手順書を現場の作業責任者クラスがヒューマンファクタ面から評価でき、安全上重要な作業を絞り込み、その作業に焦点をあて、きめ細かく分析することで、エラーを予測し、それに対する有効なエラー低減策の策定を支援するための枠組みとして、7つのステップから構成する図3の評価手法を構築した。

まず、ステップ1では、保守作業の内容がどのようなもので構成されているかを同定する必要がある。

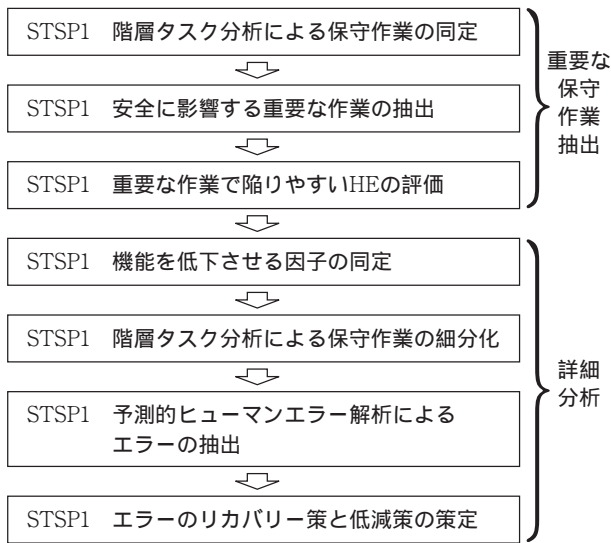


図3 手法の枠組み

る。このためタスク分析手法を用いるが、現場での利用を考えると、化学産業等で広く用いられ、取扱いが比較的簡単である階層タスク分析(Hierarchical Task Analysis：以下HTAとする)を適用する。HTAは、Shepherdら<sup>(3)</sup>により、化学プラントの訓練ニーズを確定する目的で、運転操作手順を解析するために実用化された作業解析ツールであり、作業の目標、前提条件、作業条件、実施者などを明示的に取り扱え、かつ、使用者の目的に応じた深さの階層で分析できるなど、柔軟性がある。この分析例として、化学プラントの天然ガス移送用のプースタポンプの起動に対する第1レベルのHTAを図4に示す。ここでは、作業は5つの一連の作業(サブタスク)に分割されている、事前条件のボックスは作業の開始前の条件について明記するためのものであり、計画ボックスは作業実施時の条件(例えば、タイミングや順

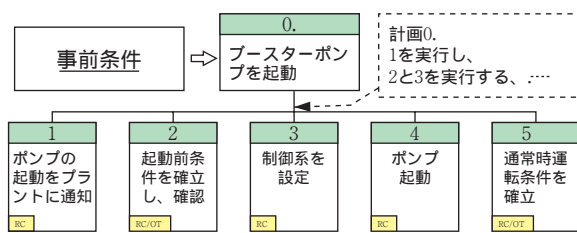


図4 プースタポンプ起動時の階層タスク分析(例)：第1レベル

番)を示す。HTAはフローチャートではなく、ゴール指向で作業の機能を階層的に分析するものである。作業の下に線が引かれている場合は、タスクの同定及び目的についての詳述という2つの基準を満足したので、この作業はこれ以上階層化する必要がないことを意味する。図5は作業の1つである図4の作業2「起動前条件を確立し、確認する」について更なるHTAを行った例である。HTAの長所は、複雑な作業を明確に定義された目標を持った一連の作業に分解することで、保守作業の全体構造の理解を容易にすることができる点である。

ステップ2～3において、HTAで同定された第1レベルの作業の中で、重要な作業であり、かつ、基本的なヒューマンエラータイプであるスリップ、ミステイク及び違反に陥りやすい作業の絞り込みを行う。これによって、重要な保守作業に焦点をあて、より詳細に分析でき、リソースを有効に活用できる。

ここで、スリップとは、「不注意による単純ミス」であり、実行時に意図(計画)どおりに行動できないために起こる失敗である。例えば、何か他のものに気を取られたため作業を省略する、タイミングが遅れる等のミスである。

ミステイクとは、「判断・思考の間違い」であり、意志決定(故障診断や目標を達成する行動選択)が必要な場合に起こる失敗である。作業で故障診断や目標を達成する行動選択が必要な場合、ミステイクの起こることがある。例えば、次の場合のような失敗である。

- ・作業員は故障の潜在的原因について誤った診断をする、例えば、計器が動かないので作業員は故障だと思って計器を取り替える。しかし、原因は電源が切れていた。
- ・目標の達成に誤った方法を選ぶ、例えば、機器交換の際に、機器Bの代わりに機器Aを取り替えてしまう。

違反とは、手順を意図的に逸脱する不安全行為である。違反は、目標を成し遂げるのにリスクに比べ利益が多いと考えられる方法がある時にしばしば起こる。しかし、違反は必ずしも良くない意志で行われるとは限らない。例えば、違反は、仕事が速く行えるようなやり方があり、設備をより早く復帰でき

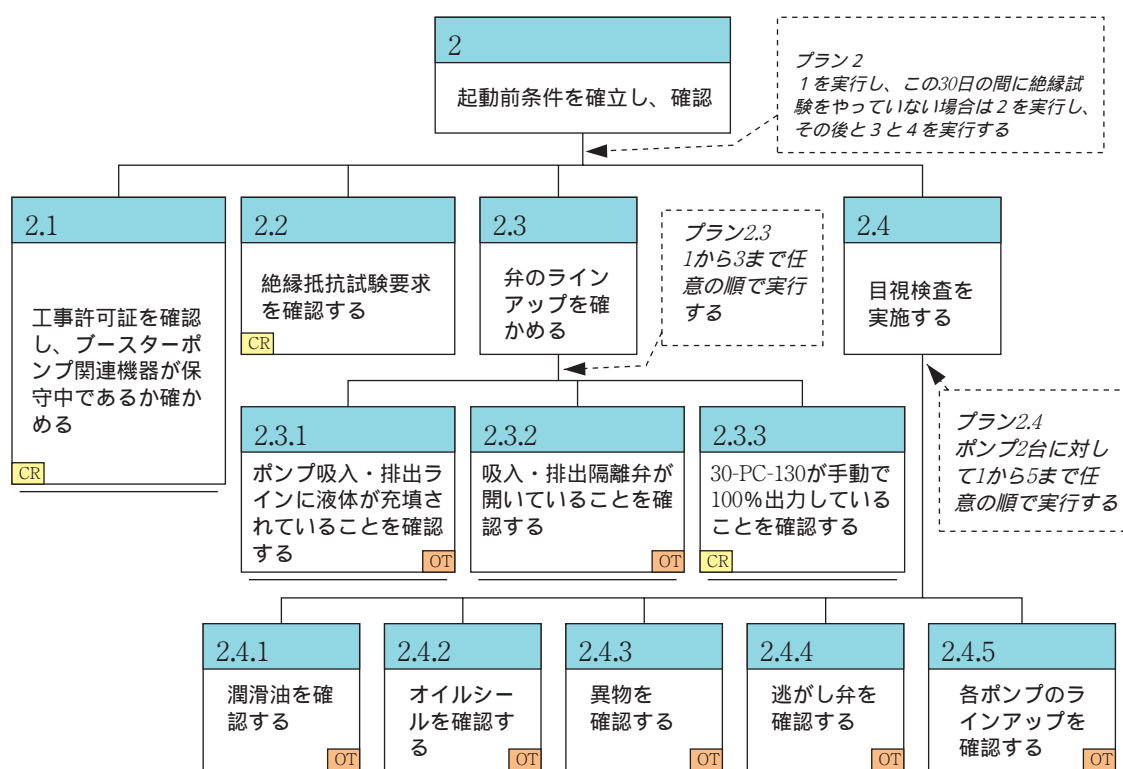


図5 ブースタポンプ起動時の階層タスク分析(例)：深層レベル

るといふ利益が認められ、その方法に内在するリスクが小さいと考えられた時に起こりうる。最近発生した茨城県東海村の核燃料加工会社「ジェー・シー・オー（JCO）」の臨界事故<sup>(4)(5)(6)</sup>のようなケースでは、事故を直接引き起したのが、作業員が臨界安全の制限値をはるかに越えるウランを、沈殿槽に投入した不安全行為である。これは、正規の手順書にない沈殿槽を利用することで、作業効率向上の利益がある、そして、組織として沈殿槽でもリスクは小さいとの誤認などにより、違反を犯したものである。

このように、作業の特性によって、ヒューマンエラーに陥りやすいエラータイプが異なる。ある作業はスリッパに陥りやすくし、あるものはミスタイクに陥りやすいし、またあるものは違反に陥りやすくなる。

ステップ4では、2.3.4項で述べる影響図法を用いて保守作業における3つのエラータイプに対する機能を低下させる因子を抽出するステップである。ヒューマンエラーを予測するためには、エラーを発生

させる条件を明確にする必要がある。航空機産業では、エラーに寄与する因子を同定する方法として、英国航空がマンチェスター大学のReason教授らと共同で開発した保守作業の安全性・健全性評価システム<sup>(7)</sup>（Maintenance Engineering Safety Health：以下MESHとする）がある。これは、事故や事象が起こる前に現場や組織の安全性を確保するため、図6にあるように定期的にエラーに寄与する因子をチェックシートに回答し、そのデータを処理することによって、同定するシステムである。MESHでは、エラーに寄与する因子として、大きく2つに分類して取り扱っている。ひとつは個別作業に係わる局部的因子、つまり、環境因子（騒音、照明、温度など）、手順書、スキル・経験、ツール、疲労などの因子である。そして、もう一つは、会社全体に係わる組織因子つまり組織構造、人事管理、訓練、経済上の圧迫などの因子である。MESHは1994年8月より英国航空エンジニアリング部門で採用されている。MESHは、問診によって作業現場で解決しなければならないヒューマンファクタの問題を同定し、順位

付けの結果を与えるため、管理者などのエラー低減対策の意志決定を支援するのに利用できるものである。

本研究では、MESHで検討されたエラーに寄与する因子等を参考に、エラータイプ（スリップ、ミス、テイク、違反）毎にどのような要因でエラーを起しているかについて影響図法を用いて、保守エラーモデルを作成し、それに基づき機能低下因子を抽出する。また、現場での利用を考慮して、MESH同様に、問診により機能低下因子を同定する方式とした。

ステップ5では、抽出された重要な保守作業に対して詳細分析を行うため、ステップ1で用いたHTA（図5参考）により、最小単位の作業まで保守作業を細分化する。

ステップ6では、予測されるエラーを抽出するステップである。

エラーの予測手法として、アメリカ化学工学会のヒューマンエラー予防のためのガイドラインに、エラーとその結果を記述し、リカバリー方法まで定性的に検討するものとして、Embreyらによって開発された予測的ヒューマンエラー解析<sup>(8)</sup>（Predictive Human Error Analysis：以下PHEAとする）が紹介されている。PHEAは、情報処理過程での誤った入力と出力に注目したエラーの分類法を用い、

入力側のエラーには計器の読み違い、誤ったチェック、命令の聞き違いであり、出力側としては、操作が長すぎる、短すぎる、操作が遅れるなどのエラーが起こった場合の影響を評価し、そのリカバリーを抽出しようとする手法である。

このPHEAを用いて、最小単位の作業に対して予測されるエラーの分析を行う。PHEAでは、最小単位の作業に対して、動作エラー、コミュニケーションエラー、確認エラー、情報収集エラーに関するガイドワードを当てはめることによってエラーの予測、起こった場合の影響等を評価する。ここで、ガイドワードとはエラーを参照する語句のことを言う（後出の表4参照）。

ステップ7では、ステップ4の機能を低下させる因子に対する対策や、ステップ6のPHEAの予測されるエラー、その影響などから、具体的なリカバリー策やエラー低減策を策定する。

## 2.3 手法の各ステップ

### 2.3.1 ステップ1：保守作業における作業内容の同定

本手法の第1段階では、保守がどのような作業で構

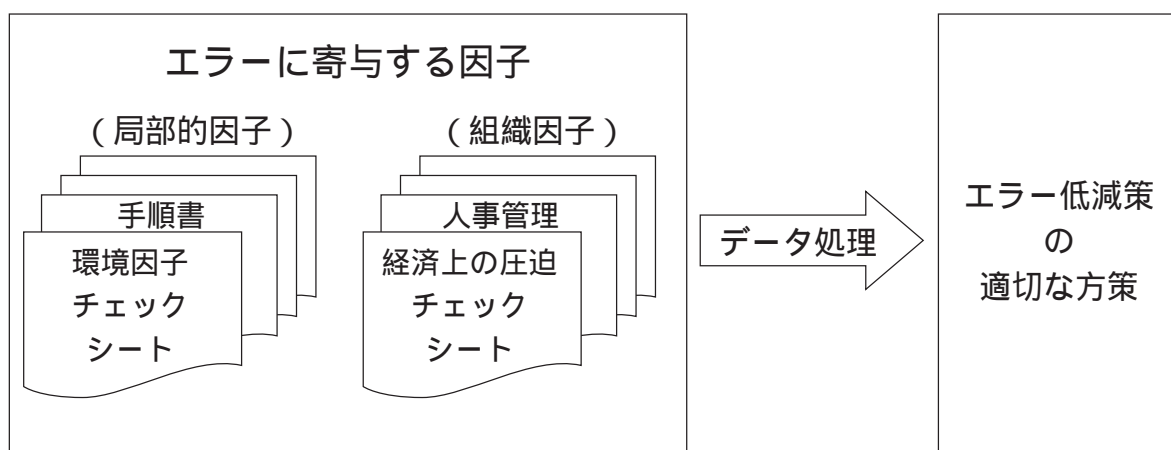


図6 MESHの概略図(文献(4))



成されているかを明確にすることである。つまり、全体構造が各作業の系列として定義するため、構造的なタスク分析方法論の適用が必要であり、エラー予測を行う場合に作業記述に適した方法である前述の HTAを用い、図 4 のレベル 1 までの作業を同定する。

### 2.3.2 ステップ 2：安全に影響する重要な作業の抽出

このステップでは、重要な保守作業を抽出するためのスクリーニングを行う。スクリーニングは、評価者がステップ 1 の各作業に対して、作業員への被害の可能性とシステム全体の安全性への影響を考慮した評価基準を用いる。今回作成した評価基準は、表 1 に示す 5 つの質問項目から構成される。この評価は、評価者がそれぞれの質問項目に対して得点を与え、それらを合計することで、重要な作業を同定する方法を採った。それぞれの質問に対しては、0 から 3 までの得点をつけることが可能である。その作業が質問に対して、該当する項目がない場合には得点を 0 とした。1、2 あるいは 3 の得点は作業

表 1 保守作業の重要度スクリーニング評価

質問事項	評価ガイド( )内は得点		
	低(1)	中(2)	高(3)
1.危険なシステムとの関連	危険な物質、危険な条件とも小さい	どちらかが大きい	両方とも大きい
2.作業エリアの危険度	プラントや装置の近傍での作業	通常立入り制限	通常立入り禁止場所
3.運転状態の変化の程度	弁操作状況の簡単な変更のみ	弁操作の複雑な変更あるいは仮接続	弁操作の複雑な変更及び仮接続
4.機器の分解・組立の程度	カバー材の除去/取替え	主要部の除去/交換	機器構成部品の分解・組立
5.安全に係わる計器・装置の解除	計器、表示盤の解除	警報の解除	安全装置の解除

表 2 保守作業の重要度スクリーニング評価

作業スコア合計	重要度順位
8	高
4~7	中
3	低

の性質によってリスク増加の可能性を示すように配点した。そして、各評価を合算し、作業に対する重要度を表 2 によりランク付けを行う。

### 2.3.3 ステップ 3：重要な作業で陥りやすいヒューマンエラーの評価

ステップ 1 と 2 は、ヒューマンエラーが起こったなら、厳しい影響の可能性がある保守作業を同定するステップである。本ステップはステップ 2 で抽出された重要な保守作業において、どのタイプのヒューマンエラーに陥りやすいものかを同定する。ここでは、重要な保守作業が基本的な 3 つのエラータイプ、即ち、スリップ、ミステイク又は違反のどのエラーに陥りやすいかを、一般的な心理モデル<sup>(9)</sup>に基づき特定する。つまり、エラーの特性を考慮して、各エラー別に質問項目を作成し、その質問項目に得点を与え、集計することによって、どのエラーに陥り易いかを評価する。得点が高くエラーに陥りやすい場合に、次のステップによって詳細分析を行う。

図 7 にスリップに関する評価フローを示している。まず、スリップについて最も起こりやすい作業かどうかをチェック 1 で評価し、スコアが低い場合は、そのエラーに陥りにくいことから「低」と評価する。スコアが高い場合は、次のチェック 2 で、「作業ステップの順番」等 9 項目、リカバリーに関する 4 項目の全てについて評価する。各項目の総得点からスリップに陥りやすいかどうか高、中、低の評価を行う。同様に、ミステイク、違反についてもチェックシートに基づき同様に評価を行い、詳細分析を行うべき重要な作業を抽出する。

### 2.3.4 ステップ 4：機能を低下させる因子の同定

このステップでは、エラーを引き起こすまたは反対に防止するような、個人に影響を与える可能性が高い仕事場での要因があるかどうかを同定する。例えば、もし作業が、照明の不十分な、かつ注意が散漫になるような環境中で、時間的な圧迫の下に実行されるなら、それらの要因が改善された場合よりもエラーをする可能性は高い。これらの因子は、成功

裏に作業を行う人の能力を下げるので、機能低下因子 (Performance Degrading Factors : 以下PDFとする) と呼ばれる。

PDFは、影響図法を用いてその関連性を示した図8の保守エラーモデルに基づいて検討し、3つの基本的なエラータイプ、すなわちスリップ、ミステイク及び違反のそれぞれに関連するPDFを抽出した。表3にスリップについてのPDFを示す。また、現場での利用を考慮して、保守技術者が、各作業に

対して、PDFを抽出できるよう質問項目(表3の右側)を用意している。PDFは前のステップで重要であると判断されたエラーモードに対してのみ適用される。例えば、もし作業がスリップとミステイクの影響を受けやすいことがわかったなら、違反のためのPDFは考慮されない。

不十分と判断されたPDFは、特定の作業に対するエラー低減策を明確化する場合に、考慮されるべきである。もし、多くの作業に関して、PDFが首

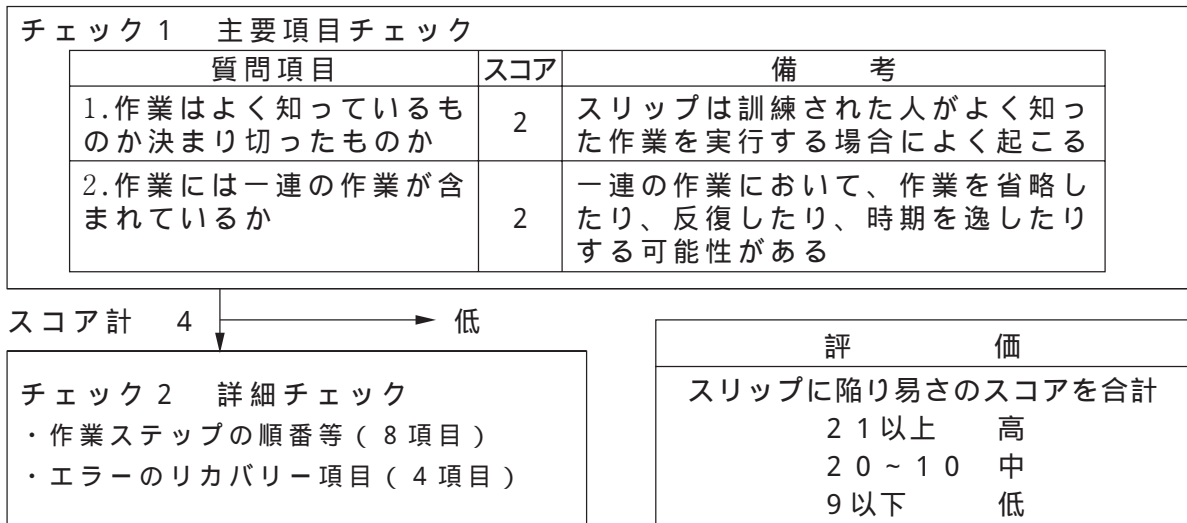


図7 重要な作業で陥りやすいヒューマンエラー(スリップ)の評価フロー

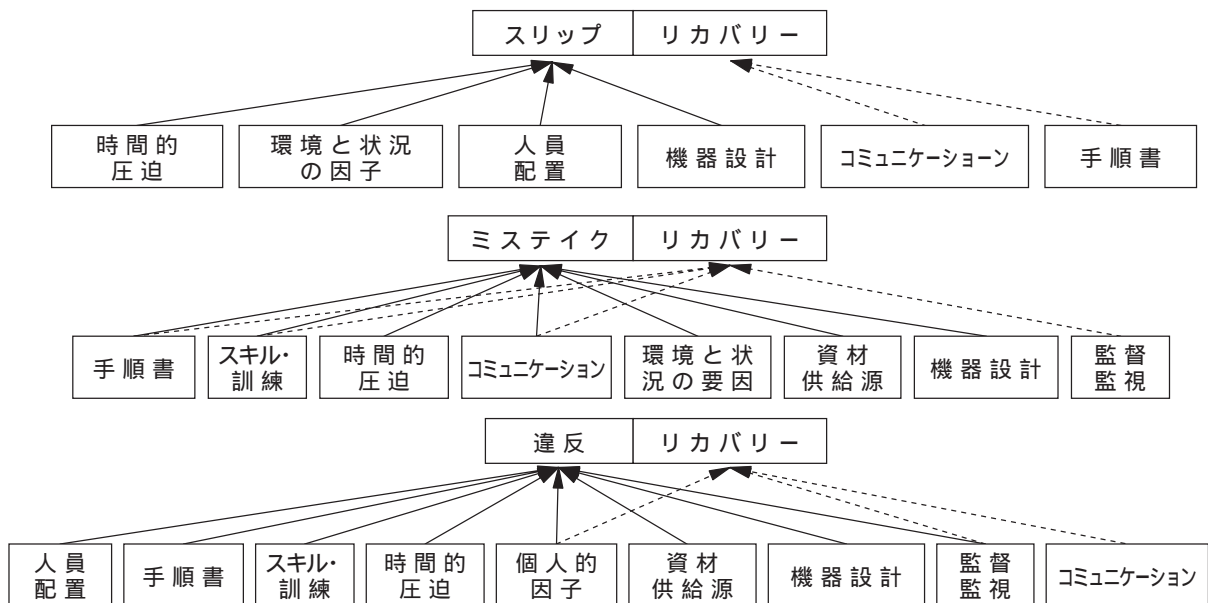


図8 影響図法による保守エラーモデル

尾一貫して不十分なら、これは組織的問題を示しており、エラー低減策はさらにグローバルなやり方で考慮されなければならない。例えば、各手順書を個別ベースに書き直すよりむしろ手順書を作成するやり方を検討する必要があると考える。

表3 スリップに関する機能低下因子及び質問内容

機能低下因子 (PDF)	質問内容
時間的圧迫：「先のことが気になる」ため作業の箇所を見落としやすい	作業員は時間的な圧迫を受けやすいか
擾乱（環境と状況の因子）：手順書の箇所を見落とす主な原因になる	作業員は妨げられたり、気を散らされたりしやすいか
騒音（環境と状況の因子）：間欠的な騒音は擾乱となることがある	作業は騒々しい環境中で実行されがちであるか
温度（環境と状況の因子）：手先の器用さは寒暖の温度条件の影響を受けることがある	作業は暑かったり、寒かったりする状況で実施されがちであるか
照明（環境と状況の因子）：不十分な照明ではプロセス情報等を読み違えたり、誤認することがある	作業は暗い照明のもとで行われることがあるか
疲労（人員配置）：疲れると精神的、肉体的能力が損なわれる	作業員は作業を実行する際疲れているか
アクセス（機器設計）：不十分なアクセスで機器の操作が妨げられる	機器へのアクセスは困難であることが多いか

### 2.3.5 ステップ5：重要な作業を更に詳細な作業に細分化

重要な保守作業のスクリーニングと陥りやすいヒューマンエラーの評価によって抽出された作業について、起こりうる可能性が高いヒューマンエラーをきめ細かに分析するため、ステップ1で用いた階層タスク分析（HTA）を用いて保守作業を構成する最小単位の作業まで細分化する。つまり、抽出された作業に対して、図5にあるように作業の同定及び目的についての詳述という2つの基準を満足するまで細分化を行う。

### 2.3.6 ステップ6：予測的ヒューマンエラー解析によるエラーの抽出

本ステップは、最小単位の作業を実行した時、起こるかもしれないエラーを同定するため、予測的ヒューマンエラー解析手法（PHEA）を適用する。PHEAは作業に予想されるエラーを同定するため、構造化されたアプローチを評価者に提供するものである。

PHEAは評価者が、HTAで細分化した最小単位の作業に「ガイドワード」を当てはめることで、予測されるエラーを同定する方法である。使用されるガイドワードは実施される作業特性に依存する。本研究で考慮されたエラーの種類は、動作エラー、コミュニケーションエラー、確認エラー及び情報収集エラーであり、そのガイドワードを表4に示す。例えば動作エラーは省かれた動作、早すぎるか、あるいは遅すぎる実行か、あるいは間違った機器に対して正しく作業を行うなどである。

評価者は潜在的なエラーを同定し、そのエラーが起こった場合の結果とそれに対するリカバリーの可能性を明らかにするように、表5に示すようなPHEAの様式を用いて行う。これは、化学プラントのポンプ起動時の例を示している。

### 2.3.7 ステップ7：エラーのリカバリー策と低減策の策定

ステップ6で起こりうるエラーの正確な内容を知ることが、効率的なエラー低減策の策定を支援することとなる。ステップ4は作業実行時に起こりやすいエラータイプを決定する。スリップ、ミスティク、違反の各エラーはその性質上異なったエラー低減策を必要とするからである。例えば、訓練がミスティクを防止することにおいて有効であるかもしれないのに対して、それはスリップを防ぐことにはあまり有効でない。異なったエラータイプに対する効率的な方策についてのガイダンスをここでは提供する。

一般に、エラー防止の最も重要な点は常にリスクをもたらしものを取り除こうと試みることである。作業環境の特性という条件のもとでこれは常に可能というわけではなく、リスクを減らす為には改善された手順書や業務支援の開発、訓練のような方策が



表4 予測的ヒューマンエラー解析手法のガイドワード

エラーの種類	ガイドワード
<p><u>動作エラー</u></p> <p>システムや機器の状態を物理的に変更する1つ以上の作業に関するエラーをいう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業が省かれた</li> <li>作業の実行が早すぎる/遅すぎる</li> <li>作業の実施量が多すぎる/少なすぎる</li> <li>間違った対象に対する正しい作業</li> <li>正しい対象に対する間違った作業</li> </ul>
<p><u>コミュニケーションエラー</u></p> <p>当直引継時のように、人々の間での直接または文書での情報伝達に関するエラーをいう。このエラーは複数のチーム員が共同作業を行う状況で特に発生する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コミュニケーションが省かれる</li> <li>コミュニケーションの実行が早すぎる/遅すぎる</li> <li>不完全なコミュニケーション</li> <li>間違った相手に対するコミュニケーション</li> <li>正しい相手に対する間違ったコミュニケーション</li> </ul>
<p><u>確認エラー</u></p> <p>必要な確認をし損なうエラーで、目視検査による状況確認でのエラーを特にいう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>確認が省かれた</li> <li>確認の実行が早すぎる/遅すぎる</li> <li>不完全な確認</li> <li>間違った対象に対する正しい確認</li> <li>正しい対象に対する間違った確認</li> </ul>
<p><u>情報収集エラー</u></p> <p>情報検索に関連するエラーであり、例えば、組立時にある構成要素を交換する場合に、記憶、表示画面や手順書のなかで起こりうる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報が得られない</li> <li>情報の取得が早すぎる/遅すぎる</li> <li>不完全な情報を得る</li> <li>間違った情報を得る</li> </ul>

表5 ブースターポンプのPHEA解析例

タスクステップ	エラーの種類	説明	影響	リカバリー	エラー低減策
1. ブースターポンプが起動しようとしていることをプラント側に知らせる	作業が省かれた	ブースターポンプの起動をプラント側は事前に知らされなかった	サージ圧力のためプラントのスクラムが生じる恐れがある	プラント側が圧力サージに気づき、制御室に知らせるかもしれない	起動チェックリストにプラントへの通知連絡を含める
2.1 工事許可証をチェックし、ブースターポンプ関連機器が保守点検中であるかどうか確かめる	確認が省かれた	工事許可証の確認が行われなかった	漏洩や人身事故が起こる可能性がある	なし	工事認可システム（コンピュータベースも考慮）
2. 抵抗検査を実施する	作業が省かれた	抵抗検査が実施されなかった	漏電のためポンプが動かない恐れがある。時間のロス	なし	コミュニケーション及び工事認可システムの改善
2.3.1 ポンプ共用吸込・排出ラインには液体が充填されていることを確認する	確認が省かれた	ポンプを起動する前に吸入・排出ラインがチェックされなかった	ポンプにキャビテーションが発生し、損傷に至る。このため、長期利用不能及びコストの損失を生じる恐れがある	プラント運転員はノイズからポンプのキャビテーションを検知するかもしれない	チェックリスト/訓練

適切であり、最後に、エラーリカバリーの改善及び影響の緩和が検討される。ここではエラータイプ、すなわち、スリップ、ミステイク及び違反の機能低下因子に対するエラーのリカバリー策と低減策を以下に示す。

#### (1) スリップのリカバリー策と低減策

- ・時間的な圧迫を減らすため作業計画を改善すること、これによって人々は目先の作業に集中することより、むしろ前もって考えることによりスリップを防止する
- ・作業員に作業中の実施箇所を失わず妨害を減らす為、作業場の条件を改善すること
- ・注意集中とコミュニケーションを改善するため騒音レベルを減らすこと
- ・構成機器の確認間違いの可能性や工具使用の困難さを低減するため、照明を改善すること
- ・正しい作業がエラー無しで行えることを保証するため工具の設計を改善すること
- ・保守体制は、作業員が疲労して精神的・肉体的能力が損なわれた状態で作業を行う可能性を少なくするよう保証すること
- ・エラーからのリカバリーを促進する業務支援を提供すること
- ・チーム内コミュニケーションを改善し、それによって作業員によるエラー検出の機会を拡大すること。

#### (2) ミステイクのリカバリー策と低減策

- ・作業員のための適切なレベルの手順を提供すること。それらは情報を失わないように、あまりに短かすぎない、また読む時に情報が見逃されないように、あまりに詳細すぎないようにしなければならない。
- ・手順は、作業員の混乱を避けるために、実際に行われている作業方法に合致していること。
- ・作業員が、実施している作業全体を見ることができるよう十分な時間がもてるように仕事の計画を改善すること。
- ・作業を実行するために必要な情報が迅速で、簡潔であること。
- ・何がなされているかを人が直ぐに知ることができ

- るように、診断を支援する業務支援を提供する。
- ・障害を正確に究明し、意思決定するために必要な経験を持つことを確保するために、作業員の能力保証プログラムを開発すること
- ・作業を正確に実施するためのスキル、知識や能力を持った作業員を確保するため訓練プログラムを保証すること。
- ・全ての時間に仕事状況を知ることができ、作業員が何を行っているかを保証するために、チーム内やシフト間のコミュニケーションを改善すること。
- ・肉体的・精神的な能力を害する要因となる疲労を低減すること。
- ・エラーを検出するために、独立したチェックが実施されるように監視を改善すること

#### (3) 違反のリカバリー策と低減策

- ・使われている不適当なショートカットの可能性を低減するために、作業の実際を説明する最もよい方法を見つけだすこと
- ・これらの方法が実際に用いられる可能性を増大するために、作業が受け入れやすいように簡単にすること。
- ・時間的な圧迫を減らすために、仕事の計画を改善し、ショートカットが用いられるのを防止する。
- ・無許可の方法が安易に用いられないように、作業を正確に行うために必要な機器と工具は常時利用可能であることを保証すること
- ・厳密に制定されていないガイドラインとみなされることを防止するために手順書の位置づけをはっきりと定義すること
- ・訓練ではリスクを強調し、絶えずこれらのリスクについての知識を強化する。これは作業員に、なぜ作業で行われている方法を使われなければならないかの理由を理解するようにしなければならない
- ・エラーを検出するために、独立したチェックが実施されるように監視を改善すること
- ・リスクの増大を検知しやすくするために、情報と経験が共有できるように、コミュニケーションを改善すること
- ・作業員が、作業を正しく実行するために、動機づ

けと自尊心を増大させること

### 3. ポンプの保守手順書への試適用

ヒューマンファクタの専門家ではないが、現場作業を熟知した作業責任者クラスが使用することを考慮して構築した手法の有効性を確認するため、「ポンプの保守手順書」に7つのステップを試しに適用してみた。保守作業が行われる条件と起こりうるエラーの影響について、作業の周囲状況がヒューマンエラーに最も大きい影響を持っているため、一部仮定をおいて示している。

#### 3.1 ステップ1： 保守作業における作業内容の同定

定期検査時のポンプ保守手順について、HTAを適用し、作業目的別に大別された第1レベルの作業として、図9に示す8つの作業に区分した。

#### 3.2 ステップ2：安全に影響する重要な作業の抽出

本ステップでは、8つの作業に対して、表1の5つの質問事項を適用し、各項目に0から3の得点を与え、合計

得点によって重要度のランク付けを行い、重要な保守作業を同定した。

評価にあたって、危険なシステムとの関連では、高温、高圧流体を扱うポンプとし、作業場所を管理区域での作業とし、安全に係わる計器の解除などはない作業とした。本試適用において、表6の結果となり、系統隔離や復旧作業を含む作業が高得点となり、作業8の完了・報告は重要度が低であった。次ステップからの検討対象から作業8を除外し、重要度が高・中の作業に絞り込んで次ステップを適用する。

#### 3.3 ステップ3：重要な作業で陥りやすいヒューマンエラーの評価

本ステップではステップ2で高、中であった作業に対して、図7の質問項目に答える形で評価した。

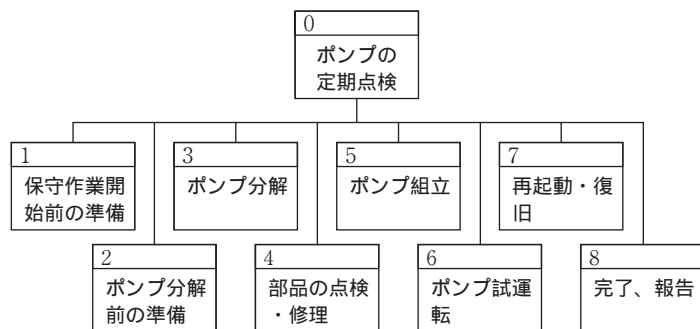


図9 ポンプの保守手順に対するHTA(例)

表6 ステップ2における重要な保守作業のスクリーニング結果(例)

質問事項	危険なシステムとの関連度	作業エリアの危険度	運転状態の変化の程度	機器の分解・組立の程度	安全に係わる計器・装置の解除	合計	重要度
1. 保守作業開始準備(系統隔離含)	3	2	3	0	0	8	高
2. ポンプ分解前の準備	2	2	2	2	0	7	中
3. ポンプの分解	2	2	0	3	0	7	中
4. 部品の点検、修理	1	2	0	1	0	4	中
5. ポンプの組立	1	2	0	3	0	6	中
6. ポンプの試運転	2	2	2	0	0	6	中
7. ポンプ再起動・復旧	3	2	3	0	0	8	高
8. 完了報告	1	2	0	0	0	3	低

質問に答えるため、以下の仮定を行った。

- ・手順書は最近変わっていない。
  - ・作業は、ほかで実施した作業と類似しているが、全く同じではない
  - ・手順書でのすべてのステップは、作業の実行時に毎回実行されなければならない など
- 各エラータイプについての陥り易さを評価した結果を表7に示す。ここで、作業に対する評価として3つのエラーのうち1つでも高を含む「1 保守作業開始前の準備」、「2 ポンプ分解前の準備」、「6 ポンプの試運転」、「7 ポンプ再起動・復旧」の4つの作業について、次のステップを適用した。

表7 ヒューマンエラーへの陥り易さの評価（例）

保守作業 \ エラータイプ	スリップ	ミスタイプ	違反	詳細評価有無
1. 保守作業開始前の準備（系統隔離含）	低	中	高	
2. ポンプ分解前の準備	低	中	高	
3. ポンプの分解	中	低	中	
4. 部品の点検、修理	低	低	低	
5. ポンプの組立	低	低	低	
6. ポンプの試運転	中	高	低	
7. ポンプ再起動・復旧	高	高	高	

### 3.4 ステップ4：機能を低下させる因子の同定

ステップ4でスクリーニングした4つの作業に対して、質問項目に基づきチェックすることで機能低下因子を評価した。しかし、これらのチェックは、作業場の環境、人員配置等実際の現場を考慮して評価する必要がある。一般的なPDFを選択して評価した「2. ポンプ分解前の準備」結果の例を表8に示す。

### 3.5 ステップ5：重要な作業を更に詳細な作業に細分化

本ステップでは、抽出された4つの重要な作業に対して詳細分析を行うため、HTAを適用し作業を細分化した。作業「2. ポンプ分解前の準備」の一部のHTAによる詳細分析を図10に示す。

### 3.6 ステップ6：予測的ヒューマンエラー解析によるエラーの抽出

このステップでは、ステップ5で詳細化した最小単位の作業について、表4のガイドワードを適用して、起こりうるエラーとその影響をPHEAの様式によって評価した。作業2「ポンプ分解前の準備」の評価結果の一部を表9に示す。

### 3.7 ステップ7：エラーのリカバリー策と低減策の策定

このステップでは、適切なエラー低減策を明らかにするためステップ4で収集されたPDFについての情報とステップ6で実行したPHEAの結果を用いる。このケーススタディにおいては、作業2「ポンプ分解前の準備」の詳細解析に対する結果を以下に示す。

作業2では、違反に陥りやすいことが抽出されており、3つのPDF、「時間的圧迫」、「工具と機器の可用性」、「不適切な訓練のために作業を行っている作業員の不十分なリスク認識」を同定した。エラー低減策の作成で考慮されるPDFに関して、違反を防ぐ次の方法が抽出された。

- ・時間的な圧迫を減らすために、仕事の計画を改善し、ショートカットが用いられるのを防止する。
- ・無許可の方法が安易に使われる可能性を減らすため、作業を正確に行うため必要な機器と工具が利用可能であることを担保すること。
- ・訓練ではリスクを強調し、絶えずこれらのリスクについての知識を強化する。これは保守作業員に、なぜ手順書で行われている作業方法を使わなければならないかの理由を理解するようにしなければならない。

また、本手法によって、以下の点についても抽出することができた。

手順書で指定されている部品の合マークを付けることと寸法計測の実施が重要であることを示しており、これらの点検の失敗は組立の際に不正な部品や、損傷した部品の使用を引き起こす恐れがある。それ

表 8 違反に関する機能低下因子の評価(例)

機能低下因子(PDF)	PDFを同定するための質問内容	はい	いいえ	備考
手順書：手順書では時間がかかりすぎる場合近道がとられやすい	手順書に従うとタスクを実行するのが難しかったり、時間がかかりすぎるか		○	
時間的圧迫：時間的圧迫が非常に大きい場合近道をするのが多くなる	技術員は作業を実施する場合時間的圧迫を受けることがあるか	○		定検短縮によって時間的な圧迫が増大し、忙しいことが多い
工具と機器：工具の準備不足のためタスクを実行するのが困難な場合はほかのやり方が試みられるかもしれない	作業を実施する際工具と機器の入手が難しいことがあるか	○		手順書で指定されているが、専用の機器は常に利用可能であるというわけではない
アクセス：アクセスが困難な場合タスクを行うのに他のやり方が試みられるかもしれない	機器へのアクセスは困難であることが多いか		○	
機器設計：機器設計で作業が妨げられる場合他のやり方や近道が試みられるかもしれない	機器設計のためタスクを実行するのが難しいか		○	
手順書：手順書は最良の慣行を反映していないことを意味する	手順書に字義通りに従わず、むしろ一般的なガイダンスとして用いているか		○	
訓練：訓練による正しいリスク教育は違反の発生確率を減らす	技術員は内在するリスクに充分気づかないでタスクを実行することがあるか	○		ポンプ分解の準備をしている作業員は熟練度が低く、ポンプ分解の後に起こす可能性があるリスクについて十分な認識を持っていない
監督：ある場合近道をとること、すなわち別の業務から始めることで得をする	監督者は作業を実行する際近道をとって技術員から得をえることがあるか		○	
監督：監督者のリスク意識が低い場合には違反は見逃されることが多いだろう	監督者は作業に伴ったリスクを充分に意識しないことがあるか		○	
監督：監視されたタスクには違反が起こりにくく、見つけやすい	作業は監督なしで実行されることがあるか		○	

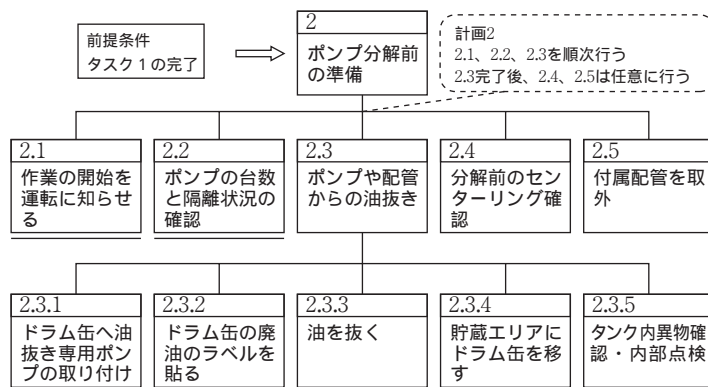


図10 作業2「ポンプ分解前の準備」のHTAの一部

らの作業を行わないでもポンプ分解前の準備はでき、更に、省かれた作業のリカバリーの機会が少ないため、これらの作業ステップは特に注意を払う必要がある。

### 3.8 まとめ

ポンプの保守手順書に基づく試適用で、8つの作業の中、4つの重要な保守作業を抽出することができた。これにより、重要な保守作業に集中して分析することができ、リソースを有効に利用したよきめ細かな低減策等の策定が可能であることを示すことができた。また、現場作業責任者クラスが各ステップでヒューマンファクタに関する質問に回答する形式で評価できることから、ヒューマンファクタに関する専門知識をあまり必要しな

いで本手法を活用できると考えられる。

さらに、現場で活用するためには各ステップで用いたチェック項目など、個々の現場にあった内容に適化する必要があると考える。このため、実際に作



表9 HTA及びPHEAによる詳細解析結果(例)

階層タスク分析(HTA)		予測されるエラー(PHEA)	説明	影響	リカバリー		
2.1	作業開始を運転に知らせる	コミュニケーションが省かれる	運転に連絡せずに作業開始	間違ったポンプの準備	機器にタグの取付け		
2.1	ポンプの台数と隔離状態を確認	確認が省かれた	間違ったポンプの選択	間違ったポンプの準備	機器にタグの取付け		
2.1	ポンプや配管から油抜き						
	2.3.1	ドラム缶へ油抜き専用ポンプの取り付け	誤った対象に正しい作業を行う	専用ポンプを用いない	オイルの飛散(人身事故)	機器のラベルの取付け オイル飛散対策を行う	
		2.4.1.2	カップリングカバーに合マーク	作業が省かれた	カップリングカバーに合マークを付けない	組立時カバーの間違え	なし

業責任者クラスに試用してもらい、その結果をフィードバックすることが今後必要と考える。

#### 4. おわりに

原子力発電所の保守作業の信頼性を向上させるため、保守作業に関するエラーを予測し、低減させるための支援を検討し、基礎的な手法の枠組みを構築した。

しかし、膨大な保守手順をすべてチェックすることは非常に膨大な時間と労力が必要であり、現状の保守手順書は実際の現場で長期間使用されており、過去のトラブル経験を反映していると考えられるため、ヒューマンエラーを起こす要因を含むことが少ないと考えられる。しかしながら、定期検査期間の短縮による時間的な圧迫、並行作業の実施などで、作業手順を大幅に見直す時には、本手法を適用すれば、エラーの低減に役立つと考える。また、作業前のツールボックスミーティング時等に、航空機産業で開発されたMESHと同様な利用法として、本手法の一部であるステップ4の機能低下因子をチェックすることによって、エラーを起こさせるような因子を同定でき、ヒューマンエラーの防止に活用できるのではないかと考える。

また、更なる利便性を考えると、本手法をベースに、計算機による支援が必要と考えられる。これらの評価方法の検討からヒューマンエラーを防止する上での手順書における留意点を抽出することができ

た。計算機を用いた保守手順等の支援システムを構築するに当たり、これらの点を留意し作成する必要がある。

#### 文献

- (1) 弘津祐子 鈴木国彦 小島三弘 高野研一, わが国の原子力発電所におけるヒューマンエラー事象分析, 電力中央研究所成果報告会資料, pp.13-26 (1999)
- (2) 電力中央研究所, 保守作業支援システム, エネルギー Vol.28 No.7, pp.70-71 (1995)
- (3) Shepherd, A., Hierarchical Task Analysis and Training Decisions. Programmed Learning and Educational Technology Vol.22, pp.162-176 (1985)
- (4) 原子力安全委員会, ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告, 1999.12.24
- (5) 住田健二, JCO臨界事故の経過と今後の取り組み, 日本原子力学会2000年春の年会, 要旨集, pp.特1-4, (2000)
- (6) 古田一雄, JCO臨界事故におけるヒューマンファクター上の問題, 日本原子力学会2000年春の年会 要旨集, pp.特9-12, (2000)
- (7) British Airways Engineering. Comprehensive Error Management in Aircraft Engineering: a Manager's guide (1993)
- (8) Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for

Preventing Human Error in Process Safety, the  
American Institute of Chemical Engineers, pp.213-  
216 ( 1994 )

( 9 ) Reason, J. T., Human Error. Cambridge :Cambridge  
University Press. ( 1990 )

[ 林善男監訳 : ヒューマンエラー , 海文堂 ,  
( 1994 ) ]