

## 論文

# 原子力発電所における作業員過誤の対策検討の早見表とその応用

宮崎 孝正<sup>1,\*†</sup>

## Measure Tables for Preventing Worker Errors in Nuclear Power Plants and Its Application

Takamasa MIYAZAKI<sup>1,\*†</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Nuclear Safety System, 64 Sata, Mihama-cho, Mikata-gun, Fukui 919-1205, Japan*

(Received June 3, 2008 and accepted in revised form July 14, 2008)

To date, human error has been the major cause of adverse events in nuclear power plants (NPPs), and thus, to decrease adverse events, it is crucial to prevent human errors. This study focused on worker errors, which are the most frequent human errors in NPPs, and a new method proposed for classifying measures into seven categories for error prevention. By using this new measure classification for the vertical axis of the matrix table and one of the classifications of human errors, such as background factors, error stages, and individual factors for the horizontal axis, three measure tables for preventing worker errors were created. The measures for preventing worker errors adopted by Japanese NPPs and general industry were arranged in the matrix tables. The tendencies of measures adopted by Japanese NPPs were then analyzed based on the measure tables, and several improvements to measures for decreasing worker errors were identified. The objective of this study was to decrease worker errors in NPPs by using these measure tables and by improving the measures based on the tendency analysis.

**KEYWORDS:** *adverse event, cause analysis, human error, worker errors, background factor, individual factor, worker error, measure, corrective action*

## I. 緒 言

原子力発電所(以下、発電所という)で発生している不具合事象(以下、不具合という)は、設置されている機器の故障など設備面の不具合と、設備を運用(運転管理、保守管理、等)する際の過誤による不具合と、天候等外部からの影響により発生する不具合の3種類に大別することができる。筆者が考案し原子力安全システム研究所で採用されている原因分類法<sup>1)</sup>に基づいて国内外の不具合原因を分類すると、発電所で発生している不具合の約6割は運用時の過誤による不具合である。さらにそのうちの約6割(全体の約4割)は保守不良が占め、その中で保守作業の実施段階における人的過誤である「作業員過誤」が最も多いことが判っている<sup>1)</sup>。作業員過誤を含め運用時の不具合は広い意味での人的過誤であり、その防止は発電所で発生する不具合を低減するために重要である。しかしながら、発電所で発生した人的過誤に対して、これまで様々な対策が取られているにもかかわらず人的過誤の低減が進んでいるとは

いえない<sup>2)</sup>のが現状である。

筆者らは、発電所の人的過誤低減を最終的なねらいとして、これまでに新しい人的過誤の分類法<sup>3,5)</sup>を考案して発電所で発生している人的過誤の原因を分析してきた<sup>4,5)</sup>。この分類法は、背後要因をホーキンスのSHELモデル<sup>6)</sup>を参考にして計画書・手順書(S)、設備・工具(H)、作業環境(E)、指示・連絡(L)の4つに区分し、過誤タイプを思考・行動における過誤発生段階(知覚、確認、推量、行動選択、行動、違反の6項目)とオMISSION型、COMMISSION型を組み合わせて12項目に区分し、また、個人要因を16項目(注意力の限界などの一般特性が6項目、知識不足などの個人特性が10項目)に区分する方法である。筆者らは、この人的過誤分類法を用いて、人的過誤の背後要因、過誤タイプ、個人要因を分析し、分析結果に対応した過誤防止策を講ずることによって類似の人的過誤の再発防止を効果的に行うことができると考えている。

本研究においては、まず、(1)人的過誤のうち最も発生が多い作業員過誤を対象にして、過誤を防止するための対策方針の区分を考察した。具体的には、保守作業時において、発生した過誤を防止する機能が有効に働かず最終的に作業員過誤という不具合に至る一連の過程を区分して、いくつかの過誤防止点でどのような防止策があるかで対策を

<sup>1</sup> 原子力安全システム研究所

\* Corresponding author, E-mail: tmiyazaki@nelttd.co.jp

† 現在、原子力エンジニアリング(Nuclear Engineering, Ltd.)

7 区分する対策分類法を考案した。

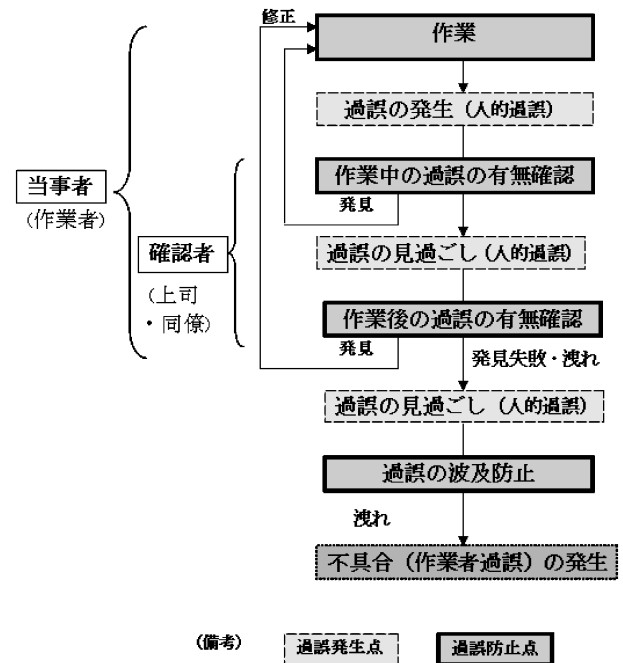
次に、(2)人的過誤を防止する具体的な対策を効率的に見出すための対策早見表を作成した。ここでは、対策区分を縦軸に、人的過誤の分析区分(背後要因、過誤発生段階、個人要因)を横軸としたマトリックス表とし、この中に具体的な過誤防止策を整理して例示している。具体的な過誤防止策は、ニューシア<sup>7)</sup>に登録されている2005年の不具合の中から作業者過誤に該当する24件の不具合で採用されている作業者過誤防止策、および、一般に産業界で実施されている過誤防止策を抽出して対策早見表に例示した。なお、対策早見表は発電所で作業者過誤対策を検討する立場の所員に参照されることを目的に作成しており、作成に当たっては、アルファベット、カタカナ、人的要因の専門用語を極力避け、発電所員に判りやすい語句・表現を用い、実践で活用しやすくすることに留意した。この対策早見表は、既存の人的過誤防止策を対策区分と人的過誤の分類区分で体系的に整理した点を特徴としたものである。

対策早見表は発生した人的過誤の具体的な防止策の検討へ適用できるだけでなく、過去に実施した作業者過誤対策の傾向把握を対策早見表に基づいて行うことで、これまで採られてきた対策の問題点をより明確にすることができる。そこで、(3)国内発電所での2005年の作業者過誤の再発防止策で採用されている作業者過誤対策を傾向分析した。そして、国内発電所で実施されている人的過誤対策の傾向、対策において不足している点、今後強化すべき点についての新しい知見を得た。

## II. 作業者過誤の対策分類法の考案

人間は常日頃から多くの過誤を冒しているが、自分自身で過誤に気付いて過誤の修正を行っている。自分で気が付かなくて、周囲の人に指摘されて過誤を修正することもある。すべての過誤が修正されれば問題の発生はないが、過誤が放置されていると当事者や周囲に影響を与えて不具合となり問題視されることになる。この日常的な過誤の発生と修正および修正が行われず不具合に至る一連の流れは、原子力発電所の保守作業における作業者過誤にも当てはめることができる。筆者らは、作業者過誤を「保守作業段階における作業者の個人要因が主因の人的過誤」と定義<sup>1)</sup>し、保守管理(保守作業の計画・実施など)における人的過誤の1つと考えている。

保守作業では、作業者が単独で作業を行う場合もあるが多くは同僚・上司(監督者)とともに作業が行われ、作業者が過誤を発生しても作業者自身や同僚・上司(監督者)によって発見・修正され、仮に修正できなかった場合でも過誤の波及防止措置(設備面ではインターロック、フェイルセーフ等、運用面では養生、ワイヤーロック等)により不具合に至らないような仕組みになっている。保守作業だけでなく、発電所の運転管理、放射線管理、等は基本的にこのような仕組みで運営されている。この保守作業における



第1図 作業時の不具合発生に至るまでの過誤発生と過誤防止の流れ

第1表 作業者過誤防止対策の新分類法

対策のねらい			対策区分
作業中	作業者が間違わないための対策	作業者自身	①作業者の能力向上
		作業者以外	②作業性向上 (やり易くする)
作業後	作業者に気付かせる対策	作業者自身	③作業者の自己注意 (気付く)
		作業者以外	④作業者への注意喚起 (気付かせる)
		作業者自身	⑤作業者自身による事後確認 (自己チェック)
		作業者以外	⑥作業者以外による事後確認 (他者チェック)
作業中 & 作業後	過誤が見過ごしされても不具合にしない対策	作業者以外	⑦過誤の波及防止

作業者の過誤発生と過誤防止の一連の流れは第1図のように表すことができる。この一連の流れの中で、過誤防止点はスイスチーズモデル<sup>8)</sup>のチーズ(防護壁)に相当するものである。

第1図の過誤発生と過誤防止の流れの中で、作業者過誤防止策を過誤防止のねらいでみると、「作業者自身による過誤防止」と「作業者以外による過誤防止」、「作業中の過誤防止」と「作業後の過誤防止」、「作業者が間違わないための対策」と「作業者に気付かせる対策」および「過誤が見過ごしされても不具合にしない対策」で分類することができる。これら過誤防止のねらいで対策を整理すると第1

表のようになり、対策は全体として「作業者の能力<sup>a)</sup>向上」、「作業性の向上」、「作業者の自己注意」、「作業者への注意喚起」、「作業者自身による事後確認」、「作業者以外による事後確認」、「過誤の波及防止」の7項目に分類することができる。

この新しく考案した対策分類法は、中條のフルプルーフ化の原理<sup>9)</sup>や河野の戦略的エラー対策「4STEP/M<sup>10)</sup>」で用いられている対策の考え方(「発生防止」と「拡大防止」)と基本は同じであるが、対策の主体者が作業者自身か作業者以外(同僚、作業監督者、人以外の設備・工具)かで区分している点が異なる。

### III. 作業者過誤の対策早見表の作成

人的過誤の分析手法には、VTA<sup>11)</sup>、J-HPES<sup>12)</sup>、H<sup>2</sup>-SAFER<sup>13)</sup>、FT 図法<sup>14)</sup>、等が多く提案され、筆者らもSHELモデルをベースとした新しい分類法<sup>3)</sup>を考案して人的過誤を分析<sup>4)</sup>し一部の電力会社で使われ始めている。しかし、具体的な対策手法については、フルプルーフ化の原理<sup>9)</sup>、H<sup>2</sup>-GUIDE<sup>10)</sup>、4STEP/M<sup>15)</sup>、等があるが、発電所の人的過誤防止策を検討する担当者がすぐに活用できる資料は少ない。このことから、既存の対策を整理して活用しやすい形態にまとめ、発電所の担当者が対策を検討する際に参照できる対策早見表を作成した。対策早見表の作成に当たっては、実際に発電所で採用されている対策を抽出して参考にするとともに一般に産業界で採用されている人的過誤対策も参考にした。

#### 1. 国内発電所で採用されている作業者過誤防止策の抽出

ニューシア<sup>7)</sup>に登録されている2005年度に発生した国内発電所の不具合(「保全品質情報」以上)134件について、原子力安全システム研究所で用いている原因分類法<sup>1)</sup>に基づいて分類すると、調査中・不明分を除いて保守不良54件が抽出され、さらにこれら保守不良を原因分類すると、作業者過誤24件、計画不良11件、周辺状況不良1件、軽微想定外不良18件となった。この作業者過誤24件について、ニューシア登録の報告書の対策欄に記載されている対策内容を抽出し、抽出した対策を前章IIに示した作業者過誤の対策区分(7項目)に基づいて整理すると第2表のようになる。なお、ここでは、不具合が発生した設備に対する対策区分(2項目)を追加して記載してある。この対策区分を用いて、国内発電所で採用されている主な対策を過誤防止の流れに沿って整理すると第2図のように表される。

#### 2. 一般産業界の人的過誤防止策の抽出

原子力を含めて一般に産業界で行われている人的過誤の防止対策を選定するに当たっては、中條のフルプルーフ

第2表 作業者過誤に対して採用されている主な対策例

種 類	対策区分	主な対策例
設備対策	(a) 不具合機器・部品の取替・補修	
	(b) 類似機器・部品の点検確認	
作業者過誤防止策	①作業者の能力向上	当該事例の研修、教育
	②作業性の向上 (やり易くする)	治具の使用、機器の改善
	③作業者の自己注意 (気付き)	改善点の周知、手順書に注意点明記
	④作業者への注意喚起 (気付かせる)	注意板の掲示、番号表示、識別塗装、チェックシート化
	⑤作業者自身による事後確認 (自己チェック)	チェックシート化
	⑥作業者以外による事後確認 (他者チェック)	チェックシート化、電力立会
	⑦過誤の波及防止	床面養生、計器養生、ワイヤーロック

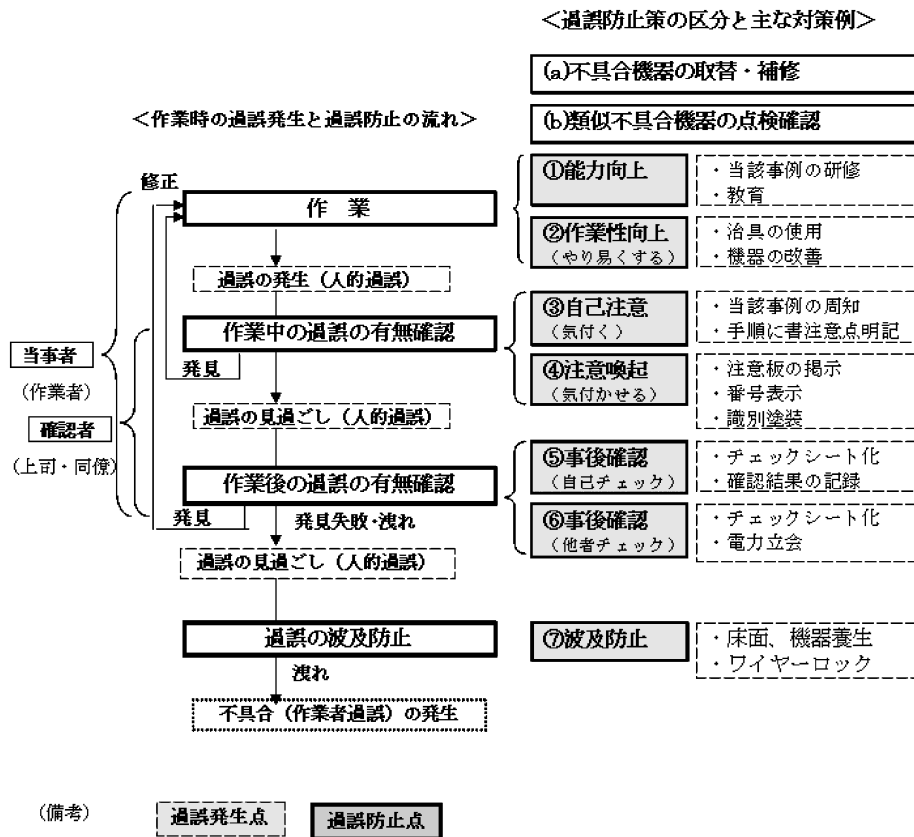
化の原理(「排除」、「代替化」、「容易化」、「異常検出」、「影響緩和」)<sup>9)</sup>に示されている対策例、河野のH<sup>2</sup>-GUIDEの5原則(「排除」、「物理的制約」、「負担軽減」、「検出」、「影響緩和」)<sup>10)</sup>や戦術的エラー対策11項目(やめる、できないようにする、わかりやすくする、やりやすくする、知覚させる、認知・予測させる、安全を優先させる、能力をもたせる、自分で気付かせる、検出する、備える)<sup>15)</sup>に示されている対策例を参考にした。参考にした対策例は、前項III-1の調査対象からは抽出されなかったがすでに発電所で実践されている対策、筆者の発電所等での業務経験から有用と判断した対策である。

#### 3. 対策早見表の作成方法と使用方法

対策区分(第2表の①～⑦に相当)を縦軸にし、人的過誤の分析区分(背後要因、過誤発生段階、個人要因)を横軸にしたマトリックス表を作成して、この中に国内発電所で実際に採用されている対策と一般的に行われている対策<sup>9,10,15)</sup>を区分整理した。作成した3種類の対策早見表を第3表、第4表、第5表に示す。これらの表では、類似的過誤対策は1つの語句にまとめて表示している。これらの表において、縦軸の防止の主体者(作業者か否か)や防止段階によって対策の方向性や内容は大きく異なってくるが、これらがグループ化されて対策例が示されている。さらに、これらグループ化された対策例は横軸の原因(背後要因、過誤段階、個人要因)によって展開されており、原因究明され絞り込まれた要因に対する裏返し対策の例が選定できる仕組みになっている。3種類の表のうちどの表を使うかは、究明された要因次第であり、多くの観点で要因が究明されておれば3種類とも使えることになる。

これらの対策早見表は、不具合対策を検討する立場の者が、人的過誤に対応した対策としてどのような具体策があ

<sup>a)</sup> 作業に必要な知識、作業に対する経験、作業の実技能力



第2図 作業者過誤の防止点と国内発電所で実施されている対策例

るかを見つけ出したり、検討中の対策案以外にほかのアイデアがないかをチェックしたりする際に用いることができる。対策を検討する立場の者は必ずしも人的過誤防止に経験の深い専門家とは限らないので、このような対策早見表を用意しておくことは有用と考えた。

対策早見表の用い方の一例を示すと、例えば、不具合を原因究明した結果、作業者過誤の背後要因「計画・手順書(S)」に原因がある場合、第3表の「計画・手順書(S)」の列を上から順にみて、当該作業者過誤の再発防止に適すると考える対策案を7項目の中から少なくとも1つ、可能であれば複数の対策案を選定する。第3表では対策案が簡潔に表示されているだけであり、より具体的な対策の内容は補助表(第6表)の考え方や具体例を参照する。

第4表の対策早見表(過誤発生段階別)では、選択する対策がオMISSION型とコミッション型のどちら(または両方)に有効か区別して示している。これは対策が主にどちらの過誤タイプに有効と考えられるかを示したものであり、対策内容によってはオMISSION型への対策がコミッション型への対策にもなる(逆も同じ)。例えば、チェックシートは、対象物の有無だけを確認するオMISSION型のチェックシートと、作業結果が判定基準内に収まっているかを確認するコミッション型のチェックシートのどちらもあり得る。

対策早見表で空欄の箇所がいくつかあるが、ここは現時

点では有効な対策がないか対策が困難であることを示しており、逆に、有効な対策を開発する余地があることを示している。

このように人的過誤対策をマトリックス表で表した先行列例として永田らの方策誘導マトリックス<sup>16)</sup>があり、縦軸に方策、横軸にPSF(GAP-W)を取り、表中には◎と○で期待効果を示している。本早見表では、縦軸に対策区分、横軸に分析区分(背後要因、過誤段階、個人要因)を取っており、永井らのマトリックス表と類似しているが、表中には具体的な対策を示している点が大きな相異点である。本早見表は、一般の発電所員が具体的な対策をすぐに選定できる点、理解しやすい語句・表現を用いている点で、より実践的な対策表になっていると考える。

#### IV. 作業者過誤防止策の傾向分析

本研究で考案した対策早見表は、発生した人的過誤の具体的な防止策の検討へ適用できるだけでなく、過去に実施された作業者過誤対策の傾向把握によって、これまで採られてきた対策の問題点を明確にすることができる。これを例証するために、III-1項で抽出した国内発電所の2005年の作業者過誤24件で採用されている作業者過誤防止策について、対策早見表に用いた区分で傾向分析を行い、以下の知見を得た。

第3表 作業者過誤の対策早見表(背後要因別)

対策のねらい	対策区分	背後要因			
		計画・手順書 S	設備・工具 H	作業環境 E	指示・連絡 L
作業 者 に 対 す る 対 策	作業者が間違わないための対策	①作業者の能力向上 (作業者に必要な能力を持たせる)	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該事例の研修(知識付与)</li> <li>知識教育(知識付与)</li> <li>訓練(経験, 技能付与)</li> <li>OJT(経験, 技能付与)</li> <li>資格制度の導入(技能者の人選)</li> </ul>		
		②作業性の向上(やり易くする)	<ul style="list-style-type: none"> <li>手順書の手順改善</li> <li>管理方法(隙間量, パッキン圧縮量, 等)を手順書に明記</li> <li>作業方法の簡素化(機会最少)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>治具使用, 工具改良(作業性, 正確性の向上)</li> <li>フルプルーフ構造(間違わない構造)</li> <li>表示機器の改善(視認性の向上)</li> <li>自動化, 機械化(人間関与の余地をなくす)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器配置の見直し(作業性の向上)</li> </ul>
	作業者に気付かせる対策	③作業者の自己注意(気付く)	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該事例の周知(知識付与)</li> <li>手順書への注意点明記(注意喚起)</li> <li>指差呼称(外化)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>作業前の注意, TBM, KYT</li> </ul>
		④作業者に対する注意喚起(気付かせる)	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場指導, 監督の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>注意板の掲示(注意喚起)</li> <li>番号表示(差別化)</li> <li>識別塗装(差別化)</li> <li>チェックシート化(確認事項の明確化)</li> <li>警報(異常通知)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鍵管理(注意喚起)</li> <li>現場監督の実施(注意喚起)</li> <li>同僚の確認(ピアチェック)</li> </ul>
	作業結果の事後確認	⑤作業者自身による事後確認(自己チェック)	<ul style="list-style-type: none"> <li>チェックシート化(確認事項の明確化)</li> <li>確認結果の記録</li> <li>指差呼称(外化)</li> </ul>		
		⑥作業者以外による事後確認(他者チェック)	<ul style="list-style-type: none"> <li>チェックシート化(確認事項の明確化)</li> <li>ホールドポイント設定(確認点の明確化)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>ピアチェック</li> <li>電力立会(確認点の明確化)</li> </ul>
作業 者 以 外 に よ る 対 策	人以外の手段による過誤の波及防止	⑦過誤の波及防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書に計器養生や床面養生の方法明記</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤーロック(個縛)</li> <li>フェイルセーフ化</li> <li>インターロック化</li> <li>設備の冗長化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>床面養生(遮蔽)</li> <li>計器養生(遮蔽)</li> </ul>

(備考) 下線は国内発電所で採用された事例。

## 1. 対策区分の傾向

実施された対策を作業者過誤の対策区分(7項目)で分類したものを第3図に示す。ここからは次のような傾向が判る。

- (1) 「③作業者の自己注意」に期待した対策(手順書改善や注意事項周知など)が最も多い。
- (2) 一方, 「①作業者の能力向上」, 「②作業性の向上」などの対策は少ない。

手順書改善や注意事項周知などの「③作業者の自己注意」は比較的短期に採りやすい対策であるが, 作業の効率向上を求めたり作業者が変ったりした場合などでは過誤が再発しやすいと考えられる。筆者らのこれまでの作業者過誤の分析結果<sup>4)</sup>では, 第4図に示すように個人要因の知識・経験不足が多いことが判っており, 「①作業者の能力向上」は重要な対策項目であると考えている。また, 「②作業性の向上」は治具や設備の整備・改善が必要となり費用対効

第4表 作業者過誤の対策早見表(過誤発生段階別)

対策のねらい		対策区分	過 誤 発 生 段 階				
			知 覚	確 認	推 論	行 動 選 択	行 動
作 業 者 に 対 す る 対 策	作業者が間違わないための対策	① 作業者の能力向上 (作業者に必要な能力を持たせる)		○当該事例の研修(知識付与) ○知識教育(知識付与) ○訓練(経験, 技能付与) ○OJT(経験, 技能付与) ○資格制度の導入(能力者の人選)			○当該事例の検討・研修(知識付与) ○教育(知識付与)
		② 作業性向上 (やり易くする)	● <u>手順書の手順改善</u>	●管理方法(隙間管理, パッキン圧縮量管理, 等)の明確化			
			○治具使用, 工具改良(作業性, 正確性向上)				
			●○フルブルー構造(間違わない構造) ●○作業方法の簡素化(機会最少) ●○自動化・機械化(人間関与の余地をなくす)				
	作業者に気付かせる対策	③ 作業者の自己注意 (気付く)	●表示機器の改善(視認性の向上)	● <u>当該事例の周知</u> (知識付与) ● <u>手順書への注意点明記</u> (注意喚起) ●指差呼称(外化) ●作業前の注意, TBM, KYT			
作 業 者 以 外 に よ る 対 策		④ 作業者に対する注意喚起(気付かせる)		● <u>鍵管理</u> (注意喚起)			● <u>鍵管理</u> (関係者以外の関与防止)
			●○ <u>注意板の掲示</u> (注意喚起) ○番号表示(注意喚起) ○ <u>識別塗装</u> (注意喚起)				
			● <u>チェックシート化</u> (確認事項の明確化) ●○現場監督の実施(注意喚起) ●○警報(異常状態の通知)				
	作業結果の事後確認	⑤ 作業者自身による事後確認(自己チェック)	● <u>チェックシート化</u> (確認事項の明確化) ● <u>確認結果の記録</u> (確認事項の明確化) ●ホールドポイント設定(確認点の明確化) ●指差呼称(外化)				
		⑥ 作業者以外による事後確認(他者チェック)	●○ <u>チェックシート化</u> (確認事項の明確化) ●○ピアチェック ●○電力立会(確認点を明確化)				
	人以外の手段による過誤の波及防止	⑦ 過誤の波及防止	●○計器養生(遮蔽) ●○床面養生(遮蔽) ●○ワイヤーロック(個縛) ●○フェイルセーフ化 ●○インターロック化 ●○設備の冗長化				

(備考) ●は主にオMISSION型, ○は主にCOMMISSION型への対策であることを示す。  
下線は国内発電所で採用された事例。

果の検討も必要となるが重要な対策項目の1つである。真の作業者過誤防止を図るには、教育・訓練の見直しで自己注意の基礎となる作業者の知識・経験の向上を図ったり、作業性の向上を図るために設備の改善等を行ったりする中長期的な抜本対策を講じることは重要と考える。

## 2. 背後要因の傾向

第3表の横軸に用いた人的過誤の背後要因(SHEL)の観

点で、作業者過誤の要因であり改善すべき点(改善必要件数)と、実施された対策がどの要因に属するのか(改善実施件数)を比較したものを第5図に示す。ここからは、次のことが判る。

- (1)「計画・手順書(S)」や「設備・工具(H)」は、改善必要件数以上に多くの対策が実施されている。
- (2)「作業環境(E)」や「指示・連絡(L)」は、必要件数に対して実施件数が少なく対策強化の余地がある。

第5表 作業者過誤の対策早見表(作業者の個人要因別)

対策のねらい		対 策 区 分	作 業 者 の 個 人 要 因				
			知識・経験不足	慣れ・習慣性	経験的思考	心理要因 (不注意等)	短期記憶 の喪失
作 業 者 に 対 す る 対 策	作業者が間違わな いたための対策	①作業者の能力向上 (作業者に必要な能力を持たせ る)	• 当該事例の研修(知識付与) • 知識教育(知識付与) • 訓練(経験, 技能付与) • OJT(経験, 技能付与) • 資格制度の導入(能力者の人選)				
		②作業性の向上 (やり易くする)	• 治具使用, 工具改良(作業性, 正確性の向上) • 手順書の手順改善 • フールプルーフ構造(間違わない構造) • 表示機器の改善(視認性の向上) • 作業方法の簡素化(機会最少) • 管理方法(隙間量, パッキン圧縮量, 等)の明確化 • 機器配置の見直し(作業性の向上) • 自動化・機械化(人間関与の余地をなくす)				
	作業者に気付かせ る対策	③作業者の自己注意 (気付く)	• 手順書への注意 点明記(注意喚 起)	• 当該事例の周知(知識付与) • 手順書への注意点明記(注 意喚起) • 指差呼称(外化) • 作業前の注意, TBM, KYT			
		④作業者に対する注意喚起 (気付かせる)	• 注意板の掲示(注意喚起) • 番号表示(注意喚起) • 識別塗装(注意喚起) • チェックシート化(確認事項の明確化) • 現場監督の実施(注意喚起) • 鍵管理(関係者以外の関与防止) • 警報(異常状態の通知)				
作 業 者 以 外 に よ る 対 策	作業結果の事後確 認	⑤作業者自身による事後確認 (自己チェック)	• チェックシート化(確認事項の明確化) • 確認結果の記録 • 指差呼称(外化)				
		⑥作業者以外による事後確認 (他者チェック)	• チェックシート化(確認事項の明確化) • 電力立会(確認点を明確化) • ピアチェック • ホールドポイント設定(確認時点を明確化)				
	人以外の手段によ る過誤の波及防止	⑦過誤の波及防止	• 計器養生(遮蔽) • 床面養生(遮蔽) • ワイヤロック(個縛) • フェイルセーフ化 • インターロック化 • 設備の冗長化				

(備考) 下線は発電所で採用された事例。

「設備・工具(H)」の対策が必要件数(1件)よりもはるかに多く(7件)実施されているのは、「設備・工具(H)」以外に原因があった場合にも、代替策として設備・工具の改善が実施されているからである。例えば、本来「作業環境(E)」の改善が必要であるが対策措置が困難な場合の代替措置<sup>17)</sup>、個人要因の不注意に対するフールプルーフ構造の採用<sup>18)</sup>などほかの要因への対策が「設備・工具(H)」として実施されている。特に、個人要因に対する対策としては、経済負担が大きくなり発電所保守部門で対応できる

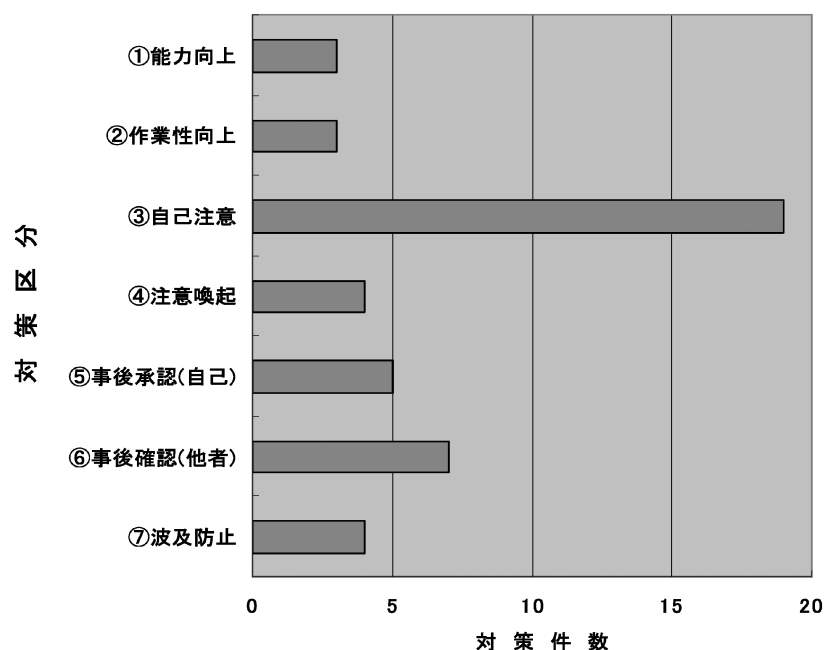
治具使用, 工具改善, 表示板掲示, ワイヤーロック等の対策は採られやすい傾向がある。前項IV-1で「作業性の向上」は少ないと述べた点と一見矛盾するのは、実施されている設備・工具の改善は、「気付かせる対策」や「⑦過誤の波及防止」の対策であり、「③作業性の向上」に寄与する「設備・工具(E)」の改善は少ないからである。

このように、改善が必要と考えられる点(改善必要件数)に対して必ずしも直接の改善措置が採られていない場合<sup>17,19,20)</sup>も見受けられることから、直接の改善措置が採ら

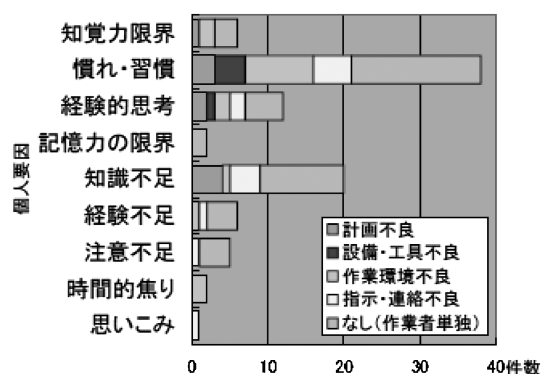
第6表 対策早見表に記載の対策の具体例(一部を例示)

方 策	考え方・留意点・具体例
OJT (On the Job Training)	作業を通して作業者の能力(知識・経験・技能)向上を図り、作業チーム全体の能力を高める。 ○先輩が部下や後輩に、職務遂行を通して仕事に必要な知識・経験・技能・取り組み姿勢等を身につけさせる育成活動。 ○組織の目的(これを身につけさせたい)と作業者の成長目標(こうなりたい)を一致させてやる気・意欲の維持を図る。 ○個別指導において、新しい課題・機会の設定、育成レベル(期待水準)の設定が必要。
治具の使用	適切な治具・工具を使用して作業性・正確性の向上を図る。 ①テールガイド型弁の組立時には、芯出し治具を使用する。 ②フランジ締付時にはトルクレンチを用いトルクを記録する。(トルク管理) ③フランジの締付時には隙間を一定の仕様値内にして記録する。(隙間管理)
フールプルーフ構造 (Fool-proof)	初心者でも間違わない構造の機器・部品にする。 ○ここでは誤まらせない機械的な構造設計という狭義の意味で用いる。インターロックのような電氣的仕組みは別に扱う。(JIS-Z8115の定義は「人為的に不適切な行為や過失がおこってもアイテムの信頼性・安全性を保持するような設計又は状態」) ①コンピュータの信号線接続口(PS2, USB, シリアル, RGB, 等)は正しい方向でしか接続できない構造。 ②押して廻さないと開かない瓶の蓋。 ③機器回転部への接近防止網。
指差呼称 (ゆびさしこしょう)	作業直前に作業者の意識レベルを上げる。作業直後に作業結果の確認を行う。 ○作業対象(機器・スイッチ)や方向を指で差して、対象の名称・状態、操作する行為を呼称することにより、意識レベルや集中力を高める方法。指差や声を出す行為(外化)によって確認事項に対する覚醒レベルが上がる。 ○知覚(表示の状況)よりも判断(表示の意味, 判断結果, 操作内容)を呼称する方が有効。 ①標識, 計器, 作業対象などに対して、指差しを行い名称や状態を声に出して確認する。状況により手や足も使う。 ②弁の開閉操作前に弁の状態や操作内容を指差呼称で確認。 ③スイッチの ON-OFF 後に機器の状態(結果の良否)を指差呼称で確認。
鍵管理	重要機器は許可された者のみが作業する。作業者に注意が必要であることを認識させる。(関係者以外の関与防止, 注意喚起) ①電気盤・計装盤の扉に鍵を付けて、許可された者のみが扉を開閉して操作・修理できるようにする。 ②弁に鍵付きチェーンを取り付けて、許可された者が弁を開閉できるようにする。
TBM (Tool Box Meeting)	作業開始前に職長を中心にその日の作業の内容・方法・段取り・問題点について短時間で話し合ったり、指示・伝達を行う。 (米国で大工が作業前に道具箱(Tool Box)に座って行っていたことが名称の始まり) ①作業開始前に作業責任者が作業員全員を集め、10分間程度、当日の作業の注意事項や連絡事項を周知・確認する。 ②作業中にトラブルや予定してなかった状況が発生した場合、作業責任者が作業員を集めて対応方針を検討する。
チェックシート化	作業者が作業を進める上で確認すべき事項を明確化。 ①作業手順書に確認事項(確認項目, 良否の判定基準, 等)の一覧表を掲載しておき確認・記録しながら作業を進める。 ②作業時に取得するデータ, 異常の有無の確認点, 作業上の指示点をチェックリスト(記録用紙)にする。
フェイルセーフ化 (Fail safe)	機器の誤動作や誤操作があった場合、常に機器が安全側に機能する設計。 ①検出器の故障時にバイステープルは ON 信号を発信。 ②論理回路リレーは常時励磁状態で、駆動電源喪失時にはトリップ信号を発信。 ③原子炉トリップ遮断器は常時励磁状態で、駆動電源喪失時には遮断器開放となり、制御棒保持コイルへの通電が停止される。 ④制御棒の重力落下(制御棒は、供給電源が切れた場合、保持コイル電力が切れて重力落下で炉内に入り原子炉停止する)
インターロック化	条件が満たされない場合は作動しない仕組み。故障や誤操作があってもそれが波及しないように遮断する設計。 ①燃料ピットクレーン(燃料集集体用ホイスト)は、電源断でブレーキが掛かり、その状態で停止する設計。 ②燃料集集体の取扱工具は、移動中に燃料集集体が外れない構造。 ③制御棒は過出力時などでは引抜操作を阻止する設計。 ④補助建屋クレーンの燃料貯蔵ラック区域(ラック上での重量物取扱禁止)への接近を阻止する設計。
計器養生	機器の保守作業中に機器周辺の計器類に影響を与えないよう、保守作業前に計器を遮蔽・隔離する等の措置を行う。 ①作業手順書に隔離養生する計器類を明記しておく。
床面養生	機器の保守作業中に発生する切り屑, ゴミ, 油が散乱・放置されることを防止する。 ①作業手順書に床面シート養生する範囲等を明記しておく。





第3図 作業者過誤に対する改善策の実施状況  
(対策区分別。ニューシブ登録の2005年度不具合から抽出した対策を整理。)



第4図 作業者過誤の個人要因と寄与した背後要因  
(ニューシブ<sup>7)</sup>掲載の平成15～17年度不具合事象470件の中から保守不良174事象を抽出し、その中の作業者過誤89事象について分析した結果<sup>4)</sup>。)

れてない未措置の割合を第6図に整理して示す。ここからは次のことが判る。

原因に対して、その原因を排除する直接対策が十分に打たれている計画・手順書(S)と、直接対策が十分に打たれていない作業環境(E)や指示・連絡(L)がある。計画・手順書(S)は比較的採りやすい対策であるが、作業環境(E)に対する対策は、作業空間や機器構造の変更など対策が困難な場合には、工具や治具を使用する設備・工具(E)などの代替策が採られている。また、監督者の指示(L)についてはチェックシート化など手順書(S)の改善で措置されている。

### 3. 過誤発生段階の傾向

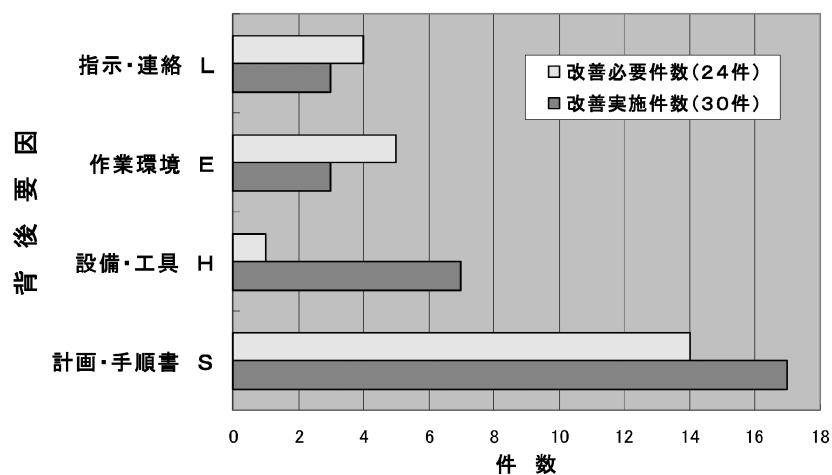
過誤発生段階に対応させた改善必要件数と改善実施件数の比較を第7図に示す。ここからは次の点が判る。

- (1)「確認誤り(オMISSION型)」の原因数は14件と多いが直接対策数は8件と半分程度で、「確認誤り(オMISSION型)」に対する直接対策が十分に講じられているとはいえない。
- (2)「行動誤り(コミッション型)」に対しても直接対策が全く採られておらず、これはコミッション型の行動誤りに対する有効な具体策が少ないことがうかがえる。

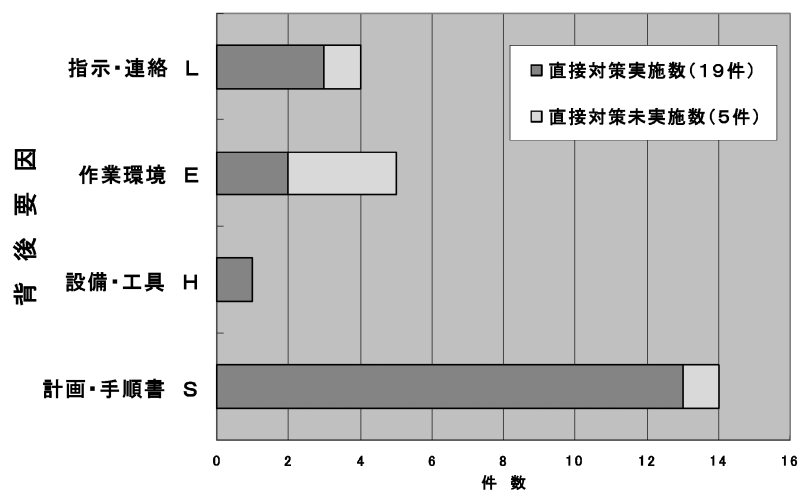
確認誤り(オMISSION型)の原因が14件であるのに対して直接対策数が半分程度の8件である理由は、過誤発生段階までを考慮した要因分析が行われておらず、対策を打つ対象が究明されていないために直接的な対策が打たれていないと推測される。また、コミッション型の対策が少ないのは、オMISSION型の過誤は作業者が気付けば修正されるので比較的対策が採りやすいが、コミッション型は当事者が確信していることから作業者の能力向上が必要となるため、中長期的な改善が必要となり対策が採り難いことが背景にあると推測される。

### 4. 個人要因の傾向

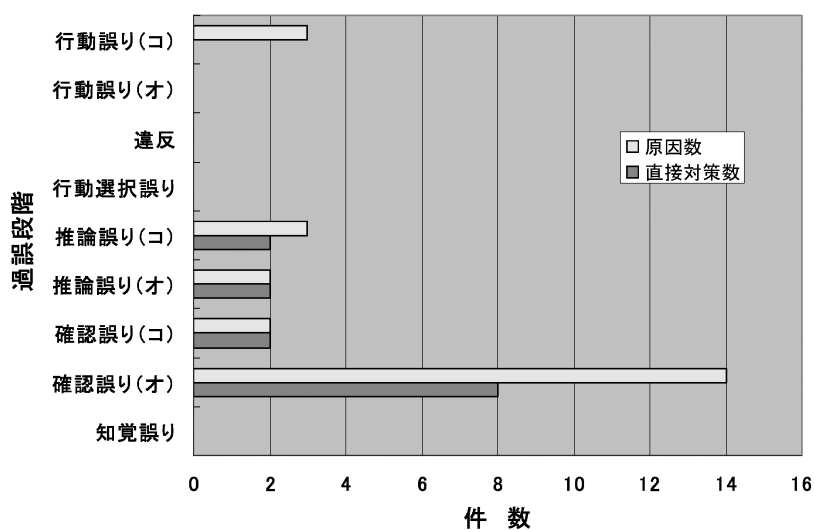
個人要因に対応した直接対策の実施状況を第8図に示すが、「知識・経験不足」に対する対策は1～2件程度あるが、そのほかの個人要因への直接対策は見当たらなかった。このように第7図と第8図からは、作業者に対する直接対策は十分に採られていないことが判る。これは、個人要因に対する有効な対策が少ないことや、原因が作業者の



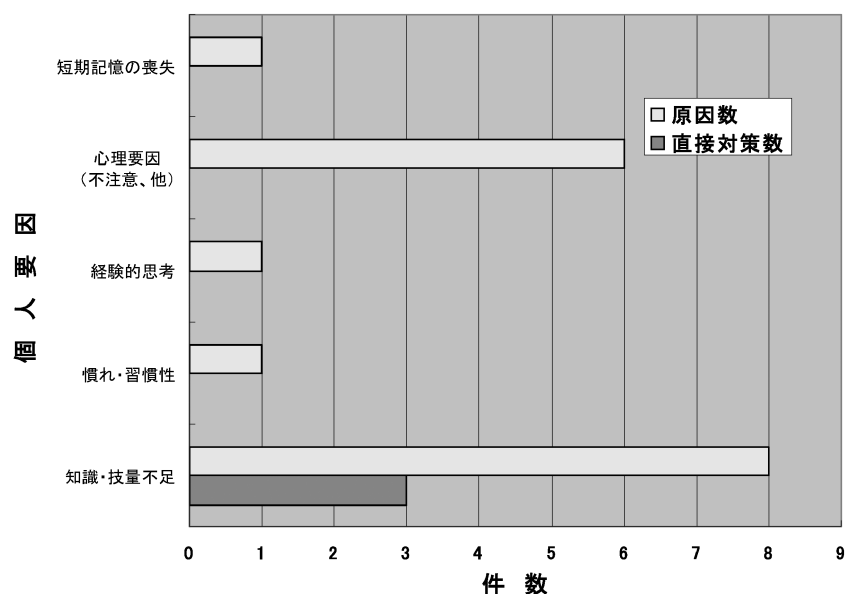
第5図 対策必要件数と改善実施件数の比較  
(背後要因別。ニューシブ登録の2005年度不具合から抽出した対策を整理。)



第6図 対策必要事象に対する直接対策の実施状況  
(背後要因別。ニューシブ登録の2005年度不具合から抽出した対策を整理。)



第7図 対策必要件数と直接的対策実施件数の比較  
(作業員の過誤発生段階別。ニューシブ登録の2005年度不具合から抽出した対策を整理。(オ)はオMISSION型, (コ)はCOMMISSION型の過誤であることを示す。)



第8図 対策必要件数と直接的対策実施件数の比較  
(個人要因別。ニューシア登録の2005年度不具合から抽出した対策を整理。)

個人要因にある場合は作業者個人を責めないという配慮から個人要因の究明が十分にはされないことが、個人要因に対する直接対策が採られてない背景にあると推測される。

### 5. 今後の作業者過誤対策に対する改善点

前項までに示した作業者過誤対策の傾向からは次の4点の特徴がみられる。

- (1) 第3図の分析結果で示したように、中長期的で根本的な対策が少なく短期的で簡便な対策が多い。
- (2) 第6図の分析結果で示したように、要因に対する直接対策が講じられずに代替策が採られている事例が少なくない。
- (3) 第7図の分析結果で示したように、人的過誤の根本原因分析が十分でないため、適切な対策が講じられてない。
- (4) 第8図の分析結果で示したように、作業者の個人要因に対する対策が見当たらない場合がある。

このように、国内発電所で永年に亘り多くの人的過誤防止策が講じられているにも関わらずその効果が十分に表れてない理由は、人的過誤に対する要因分析が十分でなかったことと、要因分析されてもそれに対する直接対策が十分に講じられてこなかったことがうかがえる。したがって、今後、人的過誤を低減してゆくためには、真の要因を排除する観点から、次の点の改善が必要と考える。

- (1) 作業者の能力向上を図る中長期的で抜本的な対策(第三者機関による資格制度の導入など)に取り組む。
- (2) 個人要因における不注意や短期記憶の喪失に対する有用な防止策の考案。
- (3) 人的面の対策だけでなく、経済性も斟酌しながら機

器・部品のフルブール構造化を促進する。

- (4) 作業者の人的過誤は避けられないものとして、過誤が発生しても重大な不具合に至らない波及防止策の積極的实施を図る。

## V. まとめ

本研究では、人的過誤のうち作業者過誤を採り上げて検討し、作業者過誤防止策について次の結果を得た。

1. 作業者過誤の防止策を、「作業者の能力向上」、「作業性の向上」、「作業者の自己注意」、「作業者への注意喚起」、「作業者自身による事後確認」、「作業者以外による事後確認」、「過誤の波及防止」の7項目に区分する新しい対策分類法を考案した。
2. 新しい対策区分(7項目)と人的過誤の分析区分(背後要因、過誤発生段階、個人要因)を組み合わせたマトリックス表で整理した3種類の作業者過誤の対策早見表を考案した。
3. 国内で実践されている作業者過誤対策には次の傾向のあることが判明した。
  - (1) 対策区分の観点でみると、手順書改善や注意事項の周知など「作業者の自己注意」に期待する対策は多いが、「作業者の能力向上」、「作業性向上」などの対策は少なく、中長期的で根本的な対策よりも比較的短期に対処できる対策が採られやすい傾向がある。
  - (2) 背後要因の観点でみると、「計画・手順書(S)」と「設備・工具(H)」では改善必要数以上の対策が実施されているが、「作業環境(E)」、「指示・連絡(L)」では必要数よりも対策数は少なく改善の余地がある。
  - (3) 過誤発生段階の観点でみると、「確認誤り」や「行

動誤り」に対する直接対策は少なく、また、個人要因の観点でも直接対策が少ないなど、作業員の過誤発生段階や個人要因に対応した対策に改善の余地がある。

4. 人的過誤の低減を図るためには、今後、作業員の能力向上を図る抜本対策(資格制度の導入など)の実施、個人要因面の不注意や短期記憶の喪失に対する有用な方策の考案、機器のフルプルーフ構造化、過誤波及防止策の積極的実施、を進める必要がある。

本研究で開発した対策早見表で過誤対策を整理する方法は、操作者過誤や作業員過誤などほかの人的過誤の対策にも適用することができる。なお、今回作成した対策早見表に記載されている対策はさらに充実して行く必要があると考えている。

本研究を進めるに当たっては、原子力安全システム研究所の原子力情報研究プロジェクトにおける国内不具合の原因分析結果を参考にさせていただきました。また、岡山大学の五福教授には本論文を執筆する際にご助言を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

#### — 参考文献 —

- 1) 宮崎孝正, “経年劣化や人的過誤等を含めた原子力発電所不具合事象の新たな原因分類法とその適用結果,” 日本原子力学会和文論文誌, 6[4], 434-443 (2007).
- 2) 平成18年度人間・組織等安全解析調査等に関する報告書(1/4), 原子力安全基盤機構, II65-66 (2007).
- 3) 宮崎孝正, 高川健一, 五福明夫, “原子力発電所の不具合事象の人的過誤の分析—(1)新しい人的過誤分析手法—,” 日本原子力学会「2007年春の年会」要旨集, D46 (2007). [CD-ROM]
- 4) 高川健一, 宮崎孝正, 五福明夫, “原子力発電所の不具合事象の人的過誤の分析—(2)国内の不具合事象の分析結果,” 日本原子力学会「2007年春の年会」要旨集, D47 (2007). [CD-ROM]
- 5) K. Takagawa, T. Miyazaki, A. Gofuku, “Human error analysis on adverse events that reported from Japanese nuclear power plants as maintenance errors,” *ISSNP*, Wakasa-wan energy research center, Tsuruga, Fukui, Japan, Jul. 9-17, 30-32 (2007). [CD-ROM]
- 6) F. H. Hawkins, *Worker Errors in Flight, 2nd Ed.*, Avebury Technica (1993).
- 7) 原子力施設情報公開ライブラリー(<http://www.nucia.jp/>), 中間法人日本原子力技術協会.
- 8) J. T. Reason, “*Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate Aldershot, UK, 11-13 (1997).
- 9) 中條武志, 久米 均, “作業のフルプルーフ化に関する研究—フルプルーフ化の原理—,” 品質, 14[2], 128-135 (1994).
- 10) 河野龍太郎, “ヒューマンエラー低減技法の発想手順: エラープルーフの考え方,” 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 4[2] (1999).
- 11) J. Leplat, J. Reason, *Analysis of Human Errors in Industrial Incidents and Accidents for Improvement of Work Safety, New Technology and Human Error*, eds. by J. Rasmussen, K. Duncan, J. Leplat, John Wiley & Sons (1987).
- 12) ヒューマンファクター分析・評価手法—J-HPES 手順書—,” 財電力中央研究所 (1990).
- 13) 河野龍太郎, “ヒューマンエラー分析支援システム Fact Flow advanced の開発,” ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ, テクノシステムズ, 129-138 (2004).
- 14) 作田 博, “樹状ダイアグラムの応用法,” ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ, テクノシステムズ, 141-146 (2004).
- 15) 河野龍太郎編, ヒューマンエラーを防ぐ技術, 日本能率協会マネジメントセンター, 157-209 (2006).
- 16) 永田 学, 行待武生, “ヒューマンエラー未然防止に向けた方策誘導マトリックスの導出,” ヒューマンファクターズ, 10[1], 22-31 (2005).
- 17) 原子力施設情報公開ライブラリー(<http://www.nucia.jp/>), 原子炉内における異物の回収について, 8158, 2005-東京-T060, 中間法人日本原子力技術協会.
- 18) 原子力施設情報公開ライブラリー(<http://www.nucia.jp/>), 放射線管理区域入域時における個人線量計の未着用について, 8124, 2005-中部-T012, 中間法人日本原子力技術協会.
- 19) 原子力施設情報公開ライブラリー(<http://www.nucia.jp/>), C-主給水ポンプケーシングのベント管台溶接部からのわずかな蒸気漏れについて, 3165, 2005-関西-T006, 中間法人日本原子力技術協会.
- 20) 原子力施設情報公開ライブラリー(<http://www.nucia.jp/>), 福島第一原子力発電所 6 号機原子炉建屋内における火災について, 8129, 2005-東京-T056, 中間法人日本原子力技術協会.