



大規模複雑プラントシステムにおける保全活動の有効性 評価手法に関する研究

Study on how to evaluate the effectiveness of maintenance activities
for giant complex plant system

東北大学流体科学研究所 青木 孝行 Takayuki AOKI Member

If we try to check the effectiveness of maintenance activities in nuclear power plant, it is necessary to evaluate plant performance from the viewpoint of nuclear safety and economy efficiency. So, the relation among maintenance performance targets, maintenance performance indicators and maintenance key parameters important to nuclear safety and economic efficiency was made clear, and then a method to evaluate the effectiveness of maintenance activities was discussed. As a result of consideration, it was concluded that the maintenance performance indicators proposed in this paper can evaluate maintenance effectiveness and can show the direction of improving existing maintenance program because the relation with maintenance performance target and maintenance key parameters is clear.

Keywords: Performance Indicator, Maintenance Optimization, Maintenance Performance Target, Maintenance Effectiveness, Maintenance Importance, Maintenance Level, Maintenance Plan, Maintenance Team Performance

1. 緒言

一般に産業プラントの保全活動は、次のような手順で実施される。すなわち、産業プラントを構成する機器が経年劣化あるいは機能異常を起こすことは必然であるとの基本的認識に立ち、その劣化状態を把握するために検査・モニタリング等の保全行為を「計画」し、それを「実行」する。そして、その結果得られる機器の保全データ（検査結果など）を用いて、その時点および将来における機器の健全性を「評価」し、その評価結果に応じて機器の運転を継続するか、補修するか等の必要な「是正措置」を計画、実行するとともに、それらの結果を次の保全計画に反映する。このように、保全活動は、計画(Plan)、実施(Do)、評価(Check)、是正措置(Act)の、いわゆる保全サイクル(PDCA)を構成している¹⁾ (Fig.1)。

原子力発電所のような産業プラントの保全を最適化する場合、まず最適保全とは何を以って最適あるいは最良というか、ということが問題となる。保全は一般に劣化という自然現象だけを取り扱うのではなく、たとえば Table 1 に示す保全計画の内容から分かるように、その中に人間の判断が入る活動であるので、それらを定式化するのは難しく、物理現象のように条件が与えられれば一義的に最適解が得られるような現象とは異なる。したがって、保全を最適化するには、保全を検討する時点において最適あるいは最良と考えられる保全目標を具体的に数値で設定し、その達成に向かって PDCA を継続的に実行することによって、徐々に保全目標を達成す

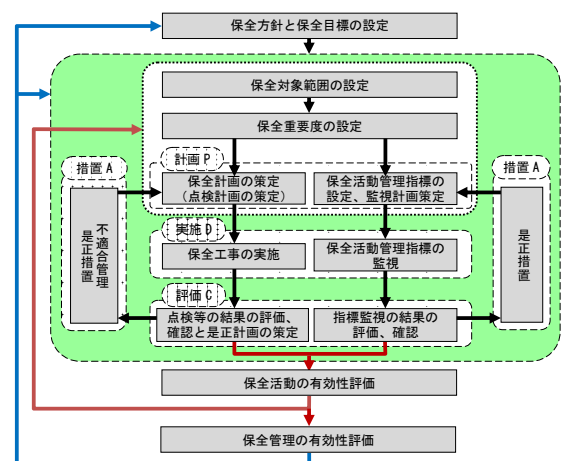


Fig.1 Flow of Maintenance Activities and Maintenance Cycle PDCA

(保守管理規程(JEAC4209-2007)²⁾を一部修正)

るという方法を取る。

それでは保全目標とはどのようなものであろうか。一般に産業プラントが社会の中に存在し続けるには、その稼働によって社会に危害を加えるようなものであってはならない。もし危害を加えるようなものであれば、社会の中に存在し続けることはできない。産業プラントはその稼働時、停止時を問わず、十分な安全性が確保されていることが必要不可欠な条件である。一方、産業プラントは社会からのニーズがある物を生産し供給するために存在する。その製品は社会が必要とするときに容易に(安価に)入手できるものでなければならない。このように産業プラントはその運用において十分

Table 1 Method to get Optimum Solutions in Maintenance Planning Stage

| No | 保全計画の主要要素 | | 最適解を決定する方法 |
|----|-----------|---------------------------------|---|
| 1 | 保全対象機器 | 機器仕様 | 対象機器が故障した場合にシステム全体の安全性、経済性に与える影響の度合いを表す保全重要度によって全機器の序列を定量的に決定することは可能である。したがって、影響度の大きい機器から順にどの範囲までを予防保全範囲とするか、定量的に検討することができるが、最終的に対象とする範囲をどこまでとするか、どこで切るかは保全技術者・管理者の判断による。 |
| | | 保全重要度 ¹⁾ | |
| 2 | 保全タスク | 経年劣化機能異常の発生部位とそのモード | 運転保守経験等を集約し、標準的な内容のものを機種毎に策定すれば、内容を策定者に依らない普遍的なものとすることは可能と考えられる。 |
| | | 検査・モニタリング | 多種多様な手法が存在し、一義的に特定することは難しい。どのような手法を採用するかは保全技術者・管理者の判断による。 |
| | | 定例的な手入れ等の整備 | 多種多様な方法が存在し、一義的に特定することは難しい。どのような方法を採用するかは保全技術者・管理者の判断による。 |
| 3 | 保全実施時期 | SCC 等の特定の経年劣化事象 | 特定の経年劣化事象に対する決定論的な進展予測手法から最適時期を一義的に決定できるが、最終的に時期を決定する際に諸条件を考慮した保守性を確保する等の保全技術者の判断が通常入る。 |
| | | 特定の経年劣化事象がなく、確率的に発生すると考えられる異常事象 | 故障率および確率密度関数から平均故障間隔 (MTBF) 等を特定することにより、最適時期を一義的に決定できるが、最終的に時期を決定する際に諸条件を考慮した保守性を確保する等の保全技術者の判断が通常入る。 |

な経済性が確保されていることがもう一つの必要欠くべからざる条件である。

以上のように、産業プラントには安全性と経済性が要求され、いずれが欠如してもこの世の中に存在し得ないと考えられる。この2つの要求事項は、産業プラントに対する必要不可欠な基本的要求であり、保全活動によって確保すべき重要な目標である。したがって、保全目標はこのような安全性と経済性に対して設定するのが妥当であると考えられる (Fig.2)。また、この目標は最適保全の定義を明確にし、具体的な保全活動を展開できるようにするため、具体的な数値目標とし、これらを定量的に評価できるようにすることが必要である。

一方、Fig.1 に示したように、保全活動の中には上記の保全サイクルと並行して保全が有効に機能しているか監視するため、その監視活動を行うことが保守管理規程(JEAC4209-2007)²⁾の中で想定されている。この監視活動は、原子力発電

所の保全活動に対し管理指標 (Performance Indicator、以下 PI という。)を設定し、予め定められた保全目標に対してそれまでの保全が有効であったか評価する仕組みである。具体的には、これまでの保全の結果である PI の実績値がどのような値を示し、保全目標との関係が明確な PI の目標値との差を確認してこれまでの保全活動が有効であると評価できるか、有効でないとすればこれまでの保全をどう改善すればよいか、などについて検討、評価することを意図したものである。しかしながら、前述の保全目標と予め設定される PI との関係、PI と保全活動に関連する各種の保全キーパラメータとの関係など、必ずしも明確であるとは言えない。

そこで、本研究では、大規模複雑プラントシステムである原子力発電所を念頭に、これらの内容を明確にするとともに、保全活動の有効性を定量的に評価できる手法とその考え方について検討する。

2. 保全活動の有効性評価

2.1 原子力発電所の安全性に関する評価項目

原子力発電所の保全活動の場合、発電所の安全性については、炉心損傷頻度 (CDF: Core Damage Frequency) を用いて評価することが定着している⁴⁾。特に、米国 NRC は原子炉監視プロセス (ROP: Reactor Oversight Process) の下で原子力発電所の運転パフォーマンスを PI で評価している。この方法では、起因事象、緩和系、バリア健全性、緊急時計画、公衆被ばく、職業被ばくおよび核物質防護の7つの分野において PI を設定している^{5) 6)}。この7つの分野の中で保全に関するもの

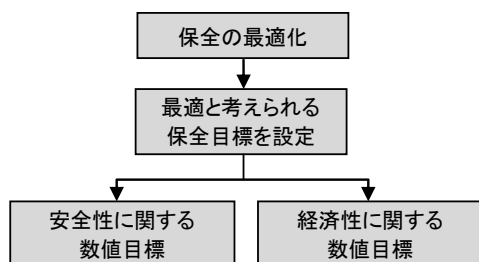


Fig.2 Relation between Preventive Maintenance Optimization & Maintenance Target

¹⁾ 本論文の検討対象は保全に関するものであるため、ここでは保全に関連するコスト (保全活動に要する修繕費と設備費並びに保全に起因する生産損失) を想定する。

は、起回事象、緩和系およびバリア健全性の3つであり、原子炉事故に発展する恐れのある事象の発生頻度を低く抑える観点から下記の項目⁷⁾が上げられている(Table 2)。

- 起回事象に関する PI (計画外スクラム回数、計画外出力変動回数)
- 緩和系に関する PI (安全系の非待機時間(UA 時間: Unavailability Time)、安全系の保全で予防可能な機能故障回数 (MPFF 回数: Number of Maintenance Preventable Function Failure))
- バリア健全性に関する PI (一次冷却材系漏えい。以下、RCS漏えいという。)

米国 NRC は、上記のように、原子炉事故に発展する恐れのある事象である「起回事象 (計画外のスクラムと出力変動)」「安全系の故障」および「一次冷却材系の漏えい」に着目している。これらは原子炉事故へ発展するプロセスに沿って原子炉事故へつながる可能性のある事象を抽出しており、また PI の数値目標に対して直接評価できる数値でカウントできる事象を選定している。したがって、これらは安全性に対する保全の有効性を定量的に評価、確認する PI として妥当であると考えられる。なお、米国 NRC は保全に関する PI の他、上記のように「放射線安全」および「安全保障」に関する PI を設定しているが、ここでは原子力発電所の保全活動に関する事項のみ示した。

ここで、米国 NRC が PI として掲げている計画外スクラム回数等の保全有効性評価項目と保全の関係について考えてみる。

まず、PI は、機器に発生する故障によって生じる事象に着目しているため、故障発生機器、機器の故障率、復旧時間に関連した項目が選定されている。これらは、安全性の評価指標である CDF に直結する事項であるとともに、これら保全活動を計画、実行する上で最大の関心事である下記の事項に関連している。

- ①どのような機器に故障が生じたのか、それは安全目標を達成するため現状保全の修正を要するほど重要か

- ②故障の発生頻度は安全目標の設定時に想定された範囲内か
- ③故障時の復旧時間は安全目標の設定時に想定された範囲内か

上記①は機器の安全重要度⁸⁾、②は機器の故障率を決定すると考えられる保全水準 (機器の健全状態のレベルを表す指標⁹⁾、③は故障時の復旧時間を決定する保全実行部隊の保全遂行能力(作業の正確性および迅速性)⁹⁾につながるものと理解できる。

2.2 原子力発電所の経済性に関する評価項目

一方、原子力発電所の経済性については、米国 NRC も含めてこれまで PI が明確にされた例はない。そこで本研究では原子力発電所の経済性に関する PI について以下に検討することとした。

原子力発電所の経済性は、投入した保全費用に対して得られる発電電力量の比である保全費発電単価が経済性に関する保全活動のパフォーマンスを評価するものとして相応しい PI であると考えられる。そこで、原子力発電所の経済性指標として保全費発電単価を下記のように定義することとした。

$$\text{保全費発電単価} = \frac{\text{保全費用}}{\text{発電電力量}}$$

この保全費発電単価を出発点に保全費発電単価に強く影響する因子を具体的に検討し、それらの諸因子と保全費発電単価の関係について以下に検討した。

保全費は、保全の有効性を確認する観点から計画外の保全費に着目し、プラント停止、出力低下および出力影響なしの3つの場合を網羅的に想定するとともに、発電損失量に相当する発電損失費用も復旧費用の中にカウントするようにした。ここで、プラント停止は、常用系の MPFF によるプラント停止と待機系 (安全系) の MPFF で許容待機除外時間 (AOT: Allowed Outage Time) 内に復旧できないことによるプラント停止がある。出力低下は、常用系の MPFF による部分出力運

Table 2 Maintenance Performance Indicators relating to Plant Safety

| | | 保全活動の有効性を確認するために必要な評価項目 (PI) | | 左記評価項目の影響因子 |
|-------------------------------|--------------------|--|-------------------------|--|
| 安全性指標 S (安全性リスク) | 炉心損傷リスク CDF | 正常 | 正常待機時間 | — |
| | | 起回事象 | 計画外自動/手動スクラム回数 | ● MPFF が発生した機器 (安全重要度) |
| | | | 正常な熱除去機能の喪失を伴う計画外スクラム回数 | |
| | | | 計画外出力変動回数 | |
| | | 緩和系 | 安全系の UA 時間 | ● MPFF が発生した機器の故障頻度 (それまでに当該機器に施した保全の保全水準) |
| | | | 安全系の MPFF 回数 | |
| バリア健全性 | RCS 漏えい率が基準値を超えた回数 | ● MPFF 時の復旧に要する時間 (保全実行部隊の保全遂行能力 (作業の正確性、迅速性)) | | |
| 燃料被覆管漏えい (RCS 比放射能が基準値を超えた回数) | — | | | |

転がある。出力影響なしは、上記以外のプラント出力に影響しないMPFFによる故障の是正費用である。

発電電力量はプラント出力が変化する「プラント停止」と「出力低下」の2つの場合を想定し、前述の安全性指標と同様、MPFF回数と復旧に要する時間をそれぞれ考慮した。

以上に述べた経済性に関する評価項目を列記すると、下記ようになる。

- 常用系機器のMPFFによるプラント停止時における復旧費用
- 待機系機器のMPFFによるプラント停止時における復旧費用
- 常用系機器のMPFFによる出力低下時における復旧費用
- 上記以外の是正費用
- MPFFによるプラント停止時の復旧に要する時間 (DT時間：Down Time)
- MPFFによるプラント停止に至るMPFF回数
- MPFFによる出力低下時の復旧に要する時間 (PP時間：Partial Power)
- 出力低下に至るMPFF回数

これらの評価項目は、経済性の指標として適切であると考えられる保全費発電単価から出発し、それを構成する諸因

子を展開して抽出したものである。また、これらはPIの数値目標に対して直接評価できるように、数値でカウントできる事項を選定した。したがって、これらは経済性に対する保全の有効性を定量的に評価、確認するPIとして妥当であると考えられる (Table 3)。

ここで、前項の安全性に関する検討と同様、プラント停止時の復旧費用等の保全有効性評価項目と保全の関係について考えてみる。

まず、保全有効性評価項目は、安全性に関する評価項目と同様、機器の故障によって生じる事象に着目し、故障発生機器、機器の故障率、復旧時間に関連した項目を選定するとともに、経済性に関連する事項として復旧費用を選定した。これらは、経済性の管理指標である保全費発電単価に直結する事項であるとともに、これらは皆、保全活動を計画、実行する上で最大の関心事である下記の事項に関連している。

- ①どのような機器に故障が生じたのか、それは経済目標を達成するため現状保全の修正を要するほど重要か
- ②故障の発生頻度は経済目標の設定時に想定された範囲内か
- ③故障時の復旧時間は経済目標の設定時に想定された範囲内か

上記①は機器の経済重要度³⁾、②は機器の故障率を決定

Table 3 Maintenance Performance Indicators relating to Plant Economic Efficiency

| | | 保全活動の有効性を確認するために必要な評価項目 (PI) | | 左記評価項目の影響因子 | | |
|---------------------|--|------------------------------|--------------------------------|---|----------------------------|--|
| 経済性指標 E (経済性リスク) | 保全費 発電電力量 | 計画 | 計画通り使用した保全費用 | 計画保全費用消化率 | | — |
| | | | 計画外 | MPFF時の復旧に要した合計費用 (復旧費用=是正費用+発電損失費用) (発電損失費用=低下出力×DT/PP 時間×発電単価) | プラント停止 | 常用系機器のMPFFによるプラント停止時における復旧費用 待機系機器のMPFFによるプラント停止時における復旧費用 |
| | | 出力低下 | | | 常用系機器のMPFFによる出力低下時における復旧費用 | ●MPFF時の復旧に要する時間 (保全実行部隊の作業遂行能力(作業の迅速性)) |
| | | 出力影響無し | 上記以外の是正費用 | ●MPFF時の復旧に要する是正費用 (経済重要度) | | |
| 計画 | 生産電力量 (生産電力量=出力×運転時間) | 設備利用率 (運転時間) | | — | | |
| 計画外 | MPFFで発生した合計発電損失電力量 (発電損失量=出力低下量×DT/PP 時間) | プラント停止 | MPFFによるプラント停止時の復旧に要する時間 (DT時間) | ●MPFFが発生した機器 (経済重要度) | | |
| | | 出力低下 | プラント停止に至るMPFF回数 | ●MPFFが発生した機器の故障率 (それまでに当該機器に施した保全水準) | | |
| | | 出力低下 | MPFF時の出力低下量 | ●MPFF時の復旧に要する時間 (保全実行部隊の作業遂行能力 (作業の迅速性)) | | |
| 出力低下 | MPFFによる出力低下時の復旧に要する時間 (PP時間) | | | | | |
| 出力低下 | 出力低下に至るMPFF回数 | | | | | |

すると考えられる保全水準、③は故障時の復旧時間を決定する保全実行部隊の保全遂行能力(作業の迅速性)につながるものと理解できる。

2.3 保全有効性評価項目とその影響因子

前項までに述べた安全性および経済性に関する保全有効性評価項目 (PI) は、MPFF 発生機器、機器の故障率、復旧時間、是正費用に関連しており、これらはさらに機器の保全重要度 (安全重要度、経済重要度)、機器の保全水準、保全実行部隊の保全遂行能力に関連していることが分かった。これら PI の影響因子は保全を論じる上で重要な因子ばかりである。

まず、MPFF 発生機器である。これは言うまでもなく保全対象機器そのものである。どのような機器が故障するか、あるいはどのような機器を重点的に保全すればよいか、保全を考える場合、最も重要な検討事項の1つである。この疑問に答えてくれるのが機器の保全重要度である。保全重要度は機器が故障した場合にその故障がプラントシステムの安全性および経済性へ与える影響の度合いを示すパラメータである。このパラメータがプラントシステムを構成する膨大な数の機器の1つ1つに対して定量的に評価できるようになれば、その影響の大きさに応じてどの機器を重点的に保全すればよいか明確になる。原子力発電所の場合、既に安全性に関する重要度 (安全リスク重要度) の定量評価法が検討され、提案されているが²⁾、経済性に関する重要度およびこれら2つの重要度を総合した保全重要度については必ずしも十分な検討がなされていない。

次に、MPFF 発生機器の故障率である。機器の故障率は、当該機器のみならず、当該機器の属する系統、延いてはプラント全体の信頼性を決定する因子である。また、故障率はそれまでに当該機器に施された保全の結果であると考えられ、その保全の内容によってその代償が決まると考えられる。ここでいう保全の内容とは、当該機器に適用する保全計画と保全実行部隊の保全遂行能力のことであり、これらによって保全後の機器状態 (健全状態) が決まると考える。

MPFF 時の復旧時間は、保全実行部隊の確保、道工具特殊装置等の資機材の調達、作業要領書の準備のほか、保全実行部隊の作業遂行能力 (作業の迅速性) に依存してその長短が決まる。たとえば、原子力発電所の安全系待機機器に運転上の制限 (LCO: Limiting Condition for Operation) の逸脱となる故障が発生した時に正確かつ迅速に故障を修復できれば、UA 時間を短縮でき、プラントの安全性を高いレベルに維持できるという意味で復旧時間は重要である。また、経済性の観点からも発電に供されている常用系の機器の故障を迅速かつ正

確に修復できれば、経済性を向上させることが可能であるので重要である。

MPFF 時の復旧費用は、計画保全費用に上乗せされる計画外保全費用であるので、その大小は保全活動の良否、効率性に依存していると考えられる。復旧費用は、故障した機器の是正費用²⁾のほか、発電損失費用³⁾もカウントし、両方を合計して評価する必要がある。

以上に述べた PI とその影響因子、さらには保全との関連を理解した上で、PI の実績値と保全目標との間のギャップを確認し、そのギャップを埋める方法を検討すれば、現状保全をどう改善すればよいか、その方向性が見えてくる。

3. 保全活動の有効性評価手法

保全最適化を目指して現状の保全を改善するため、保全サイクル PDCA を有効に機能させるには、実行している保全が有効であることを定量的に示すことが重要であり、また必要である。そうでなければ、ただ闇雲に保全を改善する活動を繰り返すことになる恐れがある。また、一方でこのような手法を採用すれば、現状保全の技術的妥当性や更なる改善の技術的妥当性を説明する上で説得力のあるものになり得ると考える。

このため、以下に保全有効性を定量的に評価する方法および現状保全を改善する方法について検討した。

3.1 保全有効性を評価する方法の検討

前述のように、保全有効性評価とは、産業プラントの保全目標に対し保全活動が有効に機能しているか否かを計測、評価することである。したがって、保全有効性の評価に当たっては、計測可能なパラメータから成る指標とそれを評価する尺度(判断基準)が必要である。

Table 2 および Table 3 に示した「保全活動の有効性を確認するために必要な評価項目」は、すべて計測可能なパラメータである。このうち、安全性指標については、目標とする CDF 値を達成できるように起因事象のスクラム回数や緩和系の MPFF 回数等に対する目標値を配分し設定する方法がある。あるいは、過去の実績値を参考にして各評価項目に対する目標値を設定し、その目標値を達成することによって、結果として CDF を低減する方法も考えられる。一方、経済性指標

²⁾ 保全作業員の確保、道工具/特殊装置等の資機材の調達、作業要領書の検討準備を含む工事費用

³⁾ 復旧作業のためにプラントを出力低下あるいは停止した場合、その発電損失に相当する費用

については、目標とする保修費発電単価が決まれば、保全費発電単価を構成する保全費と発電電力量、さらにはその構成要素の1つ1つに対して目標値を配分する方法がある。この場合、配分された目標値が判断基準となる。

以上より、これらの評価項目を保全有効性評価項目、すなわちPIとして用いることは可能である。

保全活動は、保全サイクルを繰り返し実行することによって、保全目標の達成を目指して継続的に現状保全を改善していく活動である。したがって、この保全活動を実施する過程で生じる事象や状況を監視し、その都度、必要情報を調査・収集することにより、PIを定期的に評価することが可能となる。この評価結果（実績値）と目標値（判断基準）とを比較し、そのギャップを確認すれば、注目すべき評価項目やその影響因子が明確となる。さらには、それらをターゲットとして現状保全の内容を改善することが可能となる。

3.2 現状保全を改善する方法の検討

前項で述べた等に、PIの評価結果（実績値）と目標値（判断基準）のギャップを確認すれば、注目すべき評価項目やその影響因子が明確となり、それらをターゲットとして現状保全の内容を改善することが可能となる。具体的には、たとえば、上記ギャップを生じさせている故障が発生している機器の保全重要度を確認し当該機器に施す保全を是正する価値があるか否か、是正する価値があると評価された場合、当該機器の故障の発生頻度から保全水準の高低をチェックし、保全水準を決定する要素である「保全計画」と「保全実行部隊の保全遂行能力（正確性）」の何を是正すべきか、さらに故障時の復旧時間から保全実行部隊の保全遂行能力（迅速性）を改善する必要があるか否か、等について検討し、改善の方向性を見出していくことが可能となる。

保全目標を達成するために現状保全をどのように効率的に改善するか、以下に検討した。

①安全目標達成のための保全内容の改善検討

a) 計画外スクラム回数の低減

MPFFにより計画外スクラムをもたらした機器を特定し、その安全重要度およびMPFF回数を勘案して改善効果が大いと考えられる機器については、故障原因が保全計画の内容に起因するものであれば、保全対象部位や検査周期の変更等の改善策が、あるいは保全員のヒューマンエラーに起因するものであれば、保全実行部隊の保全遂行能力（作業の正確性）が高い作業班を充て、ヒューマンエラーによる故障を低減する等の改善策が考えられる。

このような対応では改善できない場合は、機器仕様の変更、冗長性追加などの設計変更を実施する方策もある。

これらの改善により、計画外スクラムに至るシステム構成とその構成機器の故障率が改善され、結果として計画外スクラムの発生回数が減少する。

b) MPFF回数の低減

MPFFにより故障した機器の安全重要度およびMPFF回数を勘案して改善効果が大いと考えられる機器については、前項の計画外スクラム回数の低減と同様の考え方で改善策や設計変更を実施することが考えられる。

上記の方策を、安全重要度が高く、MPFF回数の多い機器に適用すれば、MPFF回数は確実に低減すると考えられる。

c) UA時間の短縮

安全系の待機機器が故障した場合、AOT内で当該機器を隔離し修復するが、その修復時間であるUA時間は、保全要員の即応体制や予備品道具の確保、作業要領書の準備のほか、本作業の迅速さ、修復後の機能確認の迅速さに依存する。したがって、安全重要度が高く、MPFF時におけるUA時間の長い機器に対して予め故障に対応する準備をしておき、迅速に保全作業を実行できるようにしておくこと、および保全実行部隊の保全遂行能力（作業の迅速性）を向上させるための教育訓練を充実させることが考えられる。

上記の方策を、安全重要度が高く、MPFF回数の多い機器に適用すれば、UA時間は確実に短縮すると考える。

d) RCS漏えい回数の低減

RCS漏えいは、当該機器の保全計画に起因するものと保全作業を実行する保全実行部隊の保全遂行能力（作業の正確性）に起因するものがある。MPFFによるRCS漏えいを防止するためには、これら2つの要素を改善する必要がある。すなわち、前者は保全対象部位と劣化等のモードに対する理解、保全タスクの内容および保全実施時期の改善を実施する必要がある。後者は保全実行部隊の保全遂行能力を向上させるため、保全員の教育訓練を充実させる必要がある。このような対応では改善できない場合は、機器仕様の変更などの設計変更を実施することが考えられる。

上記の方策をMPFFによるRCS漏えい回数の多い機器に適用すれば、RCS漏えい回数は確実に低減すると考える。

②経済目標達成のための保全内容の改善検討

a) 計画外復旧費用の低減

計画外復旧費用を低減するには、機器の故障率を低減すること、および故障時の復旧費用を低減することが必

要である。また、効率的効果的に計画外復旧費用を低減するには、経済重要度の高く、MPFF 回数が多い機器に注目し、その故障率を低減すること、および故障時の復旧費用を低減することが重要である。

機器の故障は、当該機器の保全計画に起因するものと保全作業を実行する保全実行部隊の保全遂行能力（作業の正確性）に起因するものがある。MPFF による機器故障を防止するためには、これら2つの要素を改善する必要がある。すなわち、前者は保全対象部位と劣化等のモードに対する理解、保全タスクの内容および保全実施時期の改善を実施する必要がある。後者は保全実行部隊の保全遂行能力（作業の正確性）を向上させるため、保全員の教育訓練を充実させる必要がある。このような対応では改善できない場合は、機器仕様の変更、冗長性追加などの設計変更を実施することが考えられる。

復旧作業のための費用は、復旧に投入するリソース（保全員、使用資機材、作業要領書作成のための検討要員）に依存する。これらをできるだけ安価に調達すれば復旧費用を低減できるが、これには限界がある。

上記の方策を経済重要度が高く、MPFF 回数が多い機器に適用すれば、計画外復旧費用は確実に低減すると考える。

b) 計画外発電損失の低減

計画外発電損失は、プラントを停止させている故障機器の復旧時間に依存する。この復旧時間を短縮するには、保全要員の即応体制や予備品・道具の確保、作業要領書の準備のほか、本作業の迅速さ、修復後の機能確認の迅速さが必要である。したがって、保全重要度が高く、MPFF 時における復旧時間の長い機器に対して予め故障に対応する準備をしておき、迅速に保全作業を実行できるようにしておくこと、および保全実行部隊の保全遂行能力（作業の迅速性）を向上させるための教育訓練を充実させる必要がある。

上記の方策を、保全重要度が高く、MPFF 回数が多い機器に適用すれば、計画外発電損失は確実に短縮すると考えられる。

4. 結言

大規模複雑プラントシステムである原子力発電所で行われている保全活動の有効性を評価する手法を確立すべく、保全有効性評価のために監視すべき指標とその評価方法を

検討した。以下に本研究で得られた知見を要約して示す。

- (1) 原子力発電所のような産業プラントは、安全性の確保だけでなく、経済性の確保もその存立に不可欠であると考えられる。本研究では米国 NRC が採用している安全性管理指標に加え、経済性の観点から保全の有効性を評価するための項目を明確にし、それらが保全の有効性を評価するための PI として活用できることを示した。
- (2) 米国 NRC の安全性に関する PI および本研究で提案する経済性に関する PI に影響する因子を明確にするとともに、それらと保全との関係を示した。
- (3) 本研究で示した PI およびその影響因子と保全との関係を理解した上で、PI の実績値と目標値（判断基準）のギャップを確認すれば、注目すべき PI やその影響因子が明確となり、それらをターゲットとして現状保全を改善する方向性を見出すことが可能である。

参考文献

- [1] 青木 他, “保全活動の最適化と保全工学(1)”, 日本保全学会誌「保全学」, Vol.3, No.2 (2004)
- [2] (社)日本電気協会, “原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209-2007)”, 2007
- [3] 青木, “大規模複雑プラントシステムの保全重要度の定量評価手法に関する研究”, 日本保全学会誌「保全学」, Vol.9, No.3, pp.25-30 (2010)
- [4] (社)日本原子力学会, 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準: 2008 (レベル1PSA 編) (AESJ-SC-P008:2008)
- [5] NRC Inspection Manual Chapter 0305, “Operating Reactor Assessment Program”, January 29, 2004
- [6] NRC Inspection Manual Chapter 0608, “Performance Indicator Program”, April 2002
- [7] NEI 99-02, Rev.2, “Regulatory Assessment Performance Indicator Guidelines”, November 2001
- [8] 嶋田, 宮崎, “確率論的評価手法を用いた簡便な原子力発電所の機器重要度分類方法の開発”, 日本原子力学会論文誌, Vol.5, No.3, pp.167-178 (2006)
- [9] 青木, “大規模複雑プラントシステムの保全水準と安全水準の定量評価手法に関する研究”, 日本保全学会誌「保全学」, Vol.9, No.3, pp.31-36 (2010)

(平成22年5月22日)