

保全有効性評価のための測定指標

2014 TECHNICAL REPORT

保全有効性評価のための測定指標

3002002385

最終レポート、2003年2月

EPRI プロジェクトマネージャー

W. E. Johnson

DISCLAIMER OF WARRANTIES AND LIMITATION OF LIABILITIES

THIS DOCUMENT WAS PREPARED BY THE ORGANIZATION NAMED BELOW AS AN ACCOUNT OF WORK SPONSORED OR COSPONSORED BY THE ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC. (EPRI). NEITHER EPRI, ANY MEMBER OF EPRI, ANY COSPONSOR, THE ORGANIZATION BELOW, NOR ANY PERSON ACTING ON BEHALF OF ANY OF THEM:

(A) MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION WHATSOEVER, EXPRESS OR IMPLIED, (I) WITH RESPECT TO THE USE OF ANY INFORMATION, APPARATUS, METHOD, PROCESS, OR SIMILAR ITEM DISCLOSED IN THIS DOCUMENT, INCLUDING MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR (II) THAT SUCH USE DOES NOT INFRINGE ON OR INTERFERE WITH PRIVATELY OWNED RIGHTS, INCLUDING ANY PARTY'S INTELLECTUAL PROPERTY, OR (III) THAT THIS DOCUMENT IS SUITABLE TO ANY PARTICULAR USER'S CIRCUMSTANCE; OR

(B) ASSUMES RESPONSIBILITY FOR ANY DAMAGES OR OTHER LIABILITY WHATSOEVER (INCLUDING ANY CONSEQUENTIAL DAMAGES, EVEN IF EPRI OR ANY EPRI REPRESENTATIVE HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES) RESULTING FROM YOUR SELECTION OR USE OF THIS DOCUMENT OR ANY INFORMATION, APPARATUS, METHOD, PROCESS, OR SIMILAR ITEM DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.

REFERENCE HEREIN TO ANY SPECIFIC COMMERCIAL PRODUCT, PROCESS, OR SERVICE BY ITS TRADE NAME, TRADEMARK, MANUFACTURER, OR OTHERWISE, DOES NOT NECESSARILY CONSTITUTE OR IMPLY ITS ENDORSEMENT, RECOMMENDATION, OR FAVORING BY EPRI.

THE FOLLOWING ORGANIZATION PREPARED THIS REPORT:

ACG

Electric Power Research Institute (EPRI)

NOTE

For further information about EPRI, call the EPRI Customer Assistance Center at 800.313.3774 or e-mail askepri@epri.com.

Electric Power Research Institute, EPRI, and TOGETHER...SHAPING THE FUTURE OF ELECTRICITY are registered service marks of the Electric Power Research Institute, Inc.

Copyright © 2014 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

ACKNOWLEDGMENTS

The following organizations, under contract to the Electric Power Research Institute (EPRI), prepared this report:

MOS
25 Piermont Ct.
Melville, NY 11747

Principal Investigator
S. (Sonny) Kasturi

Nuclear Maintenance Applications Center (NMAC)
1300 W. T. Harris Blvd.
Charlotte, NC 28262

Project Manager
W. E. Johnson

This report describes research sponsored by EPRI.

This publication is a corporate document that should be cited in the literature in the following manner:

Metrics for Assessing Maintenance Effectiveness. EPRI, Palo Alto, CA: 2014. 3002002385.

レポートの要約

EPRI は、パフォーマンスのトレンド及び継続的な改善に向けた取組みに基づいて、保全の評価に使用することが出来る測定指標（指標）をベンチマーキングする研究を行った。この作業で開発された指標及び値／範囲は、プラントがプラント内部の活動を評価したり、それら評価を産業界全体と比較したり、ピアと比較したりするためのガイダンスを提供するものである。

背景

1996年に、EPRIは **TR-107759 保全有効性の評価** という技術報告書を作成した。これは、最も共通的に使用されている保全指標、その保全指標が測定する内容、その指標の重要度、及び予想範囲／値を収集し説明するためのものであった。

産業界のトレンド、自己評価の増加、及び産業界のフォーラムから、産業界は内部的にも外部的にも保全パフォーマンスの比較評価に使用出来る一連の測定指標を持てば、その恩恵を受けることが出来るだろう。

目的

- 一連の保全に関する測定指標にデータを入力するために、プラントデータを収集及び評価すること
- あらゆる使用年数及び地理的な位置のプラントに適用出来る測定指標かどうかを判断すること
- コンピュータ化された保全管理システム（CMMS）などの集約された保全データベースからデータを収集する際に問題があればそれを理解すること
- 原子力発電所に対して、発電所内部で、ピア間で、又産業界全体で比較出来る測定指標を提供すること

アプローチ

プロジェクトチームは、保全データの収集及び提供に関する最新のトレンド及びプラクティスを理解するために、（研究レポート、アンケート結果、産業界の会議など）の情報源から関連する情報をレビューした。

測定指標に具体的な情報を定める目的で、保全データを収集し、保全に影響を与える保全プラクティスやその他のプログラムのレビューを行う発電所への訪問が実施された。これらの訪問は、そのプラントの評価プロセスにおいてプラント技術者がどのような測定指標を現在使用しているかを確認するのに役立った。さらに、チームは、ベンチマーキングの取組みに有益な他の測定指標を探した。評価プロセスには、**TR-107759** で示されている基準とプラントの既存の測定指標を比較し、一連の測定指標を変更し、測定指標のベンチマーク値を開発することが含まれた。

プロジェクトチームは、測定指標への情報に使用するデータに影響を与えると考えられる、保

全プログラムのプラント／企業としての課題又は作業プラクティスを理解するように努めた。

結果

本レポートは、発電所内の保全活動を評価するうえで適切な指標を示す一連の測定指標を示すものである。EPRIは、プラント技術者の知識及び既存の保全データを使用して、保全の分野における継続的な比較ベースを提供するための、一連の実用的な測定指標を開発した。このベンチマーキングの取組みにより、保全活動の評価に使用出来る参照範囲／値が提供される。

EPRIの見解

この取組みでは、EPRIが元々1996年に発表した指標のベンチマーキングを行った。保守規則、確率論的リスク評価（PRA）、及びその他のプログラムが適用されたことから、プラントではプラクティスを継続的に改善する取組みの中でより多くの自己評価及びピア評価が使用される傾向にある。

このベンチマーキングの取組みの中で、測定指標に情報を入力するために必要なデータについては、以下であるべきということが分かった。

- 簡単に引出せること
- コンピュータがクエリを実行する時間が最小で済むこと
- 標準の表ツールですぐに評価出来ること

プラントは以下の目的のために、現在の保全管理システム（MMS）からデータを収集出来るようにすべきである。

- 測定指標に情報を入力すること
 - 自らの発電所の制約や目標を定めること
 - より重点的な自己評価を実施すること
 - これらの測定指標を使用して、産業界の他のプラントと自らのプラントとを比較すること
- これらの測定指標は保全活動と密接に関連している。

キーワード

測定指標

指標

保全

比較

評価

要約

保全の有効性を評価、改善するには、産業界ピアとの比較のベースを提供し、改善の機会を特定する整合性の取れた一連の測定指標が必要である。そのような一連の測定指標には以下が含まれるべきである。

- プログラムの状況の評価し、ピアと産業界との最初の比較をするための一回限りの測定
- プログラムの改善のための監視、傾向解析、定期的評価、機会の特定のための継続的な測定

本図書では上記の目的のために一連の測定指標を提案し、各測定指標のベンチマーク値を提供する。これらの測定指標は、以下の事項を可能にするために開発された。

- クエリやレポートを通して、典型的な原子力発電所の *保全管理システム*¹やその他の既存データシステムの既存データから作成出来ること
- 保守規則の要求事項を満たすために開発された **WANO** 指数及び／又はシステムの健全性レポートなど、他の目的／組織で現在使用されている測定指標を補完出来ること
- 客観的な測定を使用した保全有効性の包括的な評価に役立てられること
- 現在使用されている定期的なチームベースの自己評価及びピアグループの評価の範囲を定めるのを助けること

これらの測定指標により示された情報は、正しい判断に基づいて使用しなければならない。又、ピアの発電所と比較する場合に、情報の有効で妥当な逸脱が起きる可能性があることを覚えておくべきである。トレンド／状態が大きな改善の機会及び／又は悪影響の可能性を示している場合にのみ、改善及び／又は是正措置が正当化される。

一連の測定指標のベンチマーキングは米国の原子力発電所の代表的なサンプルからのデータを収集することにより実施された。このベンチマーキングの取組みにより、測定指標の作成に必要な入力データは、既存のデータシステムからすぐに利用可能であり、クエリを通して引出せることが証明された。本レポートは、同取組みの結果をまとめ、一連の測定指標と保全評価分野との相関性を提供するものである。最後に、プラントで測定指標システムを適用する際の一連の推奨事項を取上げる。

¹ 本図書内で使用上の定義がされた語句が最初に出てきた時には、*イタリック表記* にしている。

謝辞

調査に参加し保全有効性の測定指標のベンチマークの開発用データをご提供いただいた、6 プラントの多くの方々のご協力に対し、本レポートの筆者及び EPRI のプロジェクトマネージャーから感謝申し上げます。

要旨

保全有効性評価 プログラム全体は、現在自己評価及びピアグループ評価を通して定期的に（例えば、2年に1回）実施されている。これらの評価は包括的であり、経験豊富な技術者が実施しているが、ほとんどが主観的な判断に基づいた定性的な評価である。使用されている客観的な測定（指標とも呼ばれている）には、作業のバックログ、再作業数、及び計画外のトリップ及び安全システムの作動などのプラントレベルの指標が含まれる。バックログ及び再作業を除き、使用している他の客観的な測定のほとんどは保全に重点を置いたものではない。保守規則に対応するために設けられたシステムの健全性レポートは、客観的な測定の使用の改善に寄与している。システムの健全性レポートは保守規則の範囲内の構造物、系統、及び機器（SSC）のみを含み、ほとんどの部分においてプラントレベルの指標を使うので範囲及び完全性が限られている。

本ガイドの目的は、保全の3つのP（パフォーマンス、プロセス、及びプロダクティビティ[生産性]）を客観的に測定する一連の測定指標を示すことである。これらの測定指標は、保全プログラムの有効性評価及び定期的な自己評価に現在使用されている、他の包括的指標を補完するために使用することが出来る。

ベンチマーキングの取組みにおいて、本図書で示されている一連の測定指標は、現在使用されているデータから産業界全体で整合性を持って生成することが出来、ほとんどの管理システムや他のプラントの事象／活動／記録追跡システムからすぐに引出せることが実証された。この一連の指標には、以下の事項を測定することで長所／短所を客観的に表わし、改善機会を特定する測定指標が含まれる。

- 保全に起因する、計画外のトリップ、安全システムの起動、及び発電喪失事象
- 保全の範囲及び内訳
- 保全の作業量及び内訳
- 人的資源の適用及び内訳
- 期日超過のバックログ及び再作業
- 作業員とスタッフの生産性
- 手順の安定性及び品質

さらに、これらの指標には、最初の評価／校正に有用である（予防保全[PM]及び事後保全[CM]プログラムに含まれる機器数及びタイプ別の保全の内訳など）一回限りの測定が含まれる。各測定指標に対して、本ガイドでは以下の事項を実施する。

- データソースの特定
- 何を示しているかについての説明
- 計算方法の説明
- ベンチマーク値の提供、及び適切な場合は目標

測定指標は、3つのP（パフォーマンス、プロセス、及びプロダクティビティ[生産性]）でグループ化されている。これらの測定指標を継続的に使用する場合、以下の可能性が考えられる。

- 包括的な保全プログラムの有効性評価の支援
- プラントの保全プログラムの参照グループ又は産業界に対する比較支援
- 現在使用されている定期的な自己評価及びピアグループ評価の一部の補完

最後に、ベンチマーク値を開発するために行われたプラント訪問で得られた保全のプログラム／役割の見識がセクション7にまとめられている。見識の例として以下が挙げられる。

- 本図書で取上げる、一連の測定指標を算出するために必要なデータは、プラントのMMS及び他のいくつかのデータシステムからすぐに取得可能であった。クエリは、保全サポートスタッフにより書かれた。（平均、数時間かかった。）これらのデータは、調査員がさらに処理するためにMicrosoft Excel表にダウンロードされた。アンケートを実施した各プラントでは、調査員に対して提供されたスタッフの支援は、1週間のフルタイム勤務相当の人2人分であった。
- 全体的に、収集したデータに基づくと保全コストは燃料を除く運転及び保全（O&M）コストの25%であった。
- 調査した6つのプラントのうち1つのプラントのみが、各ワークオーダーに対して実際にかかる工数を把握する包括的なシステムを有していた。作業員及び保全サポートスタッフなどの各専門分野（例えば、プランナー、技能者、作業管理、及び保全サポートエンジニア／技能者）は、作業指示毎に要した時間を請求している。調査した他のプラントからはデータの提供がなく、このような情報を集めている様子はなかった。実際の時間は、保全のコスト効果の改善を模索する場合に有益である可能性がある。例えば、緊急時保全のコストを監視することにより、コスト節約の機会を特定することが出来る。この情報は、緊急時保全の必要性を減らすために使用することが出来る。
- アンケートを実施したプラントでは、PdMの構成要素に関して比較的限定した考えを持っているようであった。ほとんどのプラントでは、PdMはサーモグラフィ、油分析、及び振動診断を意味する。実際には、電動機監視、MOV診断、及びディーゼルエンジン（DG）のパフォーマンス解析など、十数種類のプログラムがこのカテゴリに分類される。PdMの責任及び予算は多くのグループに分散している。実施されているすべてのPdMプログラムを包括的に見た場合、1つのプラントでPdMに費やされているリソースは相当な量であることが明らかになるだろう。PdMプログラムの統合の機会もあるかもしれない。そのような統合により、専門知識のレベルが上がり、管理機能が向上するだろう。

再作業及びバックログは産業界で広く使用されている指標であるが、定義及び使用に関して整合性に欠けている。さらに、これらのカテゴリに何が当てはまるかの判断は、人により大きく変わる。プラントから得たデータには大きな違いがあり、産業界全体で有

意な比較をする能力について疑問が挙がった。従って、このベンチマーキングの取組みにより、プラントがデータをカテゴリ化し、産業界全体と比較を行うために役立つはずである定義がいくつか提案された。

目次

1	はじめに	1-1
2	用語	2-1
3	有効な保全及び保全の評価	3-1
3.1	有効な保全プログラムの構成要素	3-1
3.2	保全の評価	3-2
4	提案する測定指標及びベンチマーク	4-1
4.1	保全プロセス：入力及び出力	4-1
4.2	一連の測定指標の開発	4-2
4.2.1	測定指標設計のクライテリア	4-3
4.2.2	ベンチマークの開発.....	4-3
4.2.3	一連の測定指標	4-4
4.3	パフォーマンスの評価指標	4-7
4.3.1	ドル/MWhr での保全コスト	4-7
4.3.2	100 万 KW 当たりの保全工数	4-8
4.3.3	保全に関連するプラントトリップ	4-9
4.3.4	保全に関連する発電喪失事象.....	4-10
4.3.5	保全に関連する原子力発電電力会社の事象レポート（LER）	4-11
4.3.6	保全に関連する規制違反	4-12
4.3.7	保全に関連するけがによる損失時間.....	4-12
4.3.8	保全技術者の被曝	4-13
4.3.9	保全のパフォーマンス指標	4-13
4.4	プロセスの評価指標.....	4-16
4.4.1	ワークオーダー数及び内訳	4-17
4.4.2	保全タイプごとの工数.....	4-18

4.4.3	トレーニングの工数.....	4-19
4.4.4	保全コストの割合としての請負サービス	4-19
4.4.5	機器数及び内訳.....	4-20
4.4.6	運転中保全の割合	4-21
4.4.7	主要機器及び系統の保全に対する工数	4-22
4.4.8	保全プロセス指標	4-23
4.5	生産性の測定指標	4-24
4.5.1	レンチタイム.....	4-26
4.5.2	作業員の1週間当たりのワークオーダーの取扱量.....	4-29
4.5.3	作業員に対するプランナーの比率	4-30
4.5.4	プランナーの1週間当たりのワークオーダー	4-30
4.5.5	作業員に対するスタッフの比率	4-31
4.5.6	再作業数.....	4-31
4.5.7	緊急時作業数.....	4-32
4.5.8	バックログ及びバックログの期日超過日数.....	4-33
4.5.9	定格出力100MW当たりの時間	4-36
4.5.10	手順の安定及び品質	4-36
4.5.11	保全の生産性指標.....	4-37
4.6	保全有効性指標	4-38
4.7	ヒューマンパフォーマンス指標	4-39
5	評価エリアと測定指標の関連付け	5-1
6	提案された測定指標を使用する際の推奨事項.....	6-1
7	考察及び推奨事項.....	7-1
8	要約.....	8-1
9	参考図書	9-1
A	アンケート及び解析手法.....	A-1
A.1	アンケートの母集団.....	A-1
A.2	データの収集.....	A-2

A.3	データ解析	A-6
A.4	プラントの測定指標のまとめ	A-7
B	保全工数の内訳	B-1
C	略語	C-1



図 1-1	O&M コスト及び設備使用率の今までのトレンド (データソース : NEI)	1-1
図 2-1	保全タイプの内訳.....	2-2
図 4-1	保全プロセス : 入力及び出力	4-1
図 4-2	シングルユニットのプラントの調整係数.....	4-4
図 4-3	パフォーマンスの測定指標の着目事項.....	4-7
図 4-4	プラント F のパフォーマンス測定指標のレーダー図	4-14
図 4-5	アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス指標の比較	4-15
図 4-6	プロセス測定指標の着目事項	4-16
図 4-7	アンケートを実施したプラントの保全プロセス指標	4-24
図 4-8	生産性の測定指標の着目点.....	4-25
図 4-9	アンケートを実施したプラントの保全生産性指標	4-38
図 4-10	アンケートを実施したプラントの保全有効性指標	4-39
図 4-11	アンケートを実施したプラントのヒューマンパフォーマンス指標の比較.....	4-40
図 A-1	アンケートを実施したプラントの燃料を除く O&M コスト	A-2

表

表 3-1	現在使用されているパフォーマンス指標	3-2
表 4-1	測定指標のリスト及び使用／推奨組織	4-6
表 4-2	測定指標のスコア表	4-14
表 4-3	プラント F の保全パフォーマンス指標	4-15
表 4-4	ワークオーダー数及び内訳	4-17
表 4-5	保全タイプごとの工数	4-18
表 4-6	保全プログラムに含まれる機器数	4-20
表 4-7	定検時以外で実施する保全の割合	4-21
表 4-8	主要機器及び系統に費やされた保全時間	4-22
表 4-9	プロセス指標及び良いとされる値	4-24
表 4-10	作業タスク時間の内訳	4-27
表 4-11	レンチタイムの別の計算方法	4-28
表 4-12	生産性指標及び良いとされる値	4-37
表 5-1	保全プロセス要素と測定指標の関連付け	5-1
表 A-1	データ要素の情報源	A-3
表 A-2	アンケートを実施したプラントの測定指標値及びベンチマーク	A-7
表 B-1	CM/PM の困難係数の計算	B-1
表 B-2	PM と CM の間での利用可能時間の分配	B-2

1 はじめに

「どんなプロセスも改善が可能であり、競争力を保つには継続的な改善が必要である」 ことわざ

1990年代以降、原子力発電所では、安全性、信頼性、及び設備利用率の許容レベルを維持しながら発電コストを削減するためにさまざまな取組みが着手されてきた。これらの取組みの成功は、図 1-1 で示されているように発電コストと設備利用率の確実な改善に反映されている。

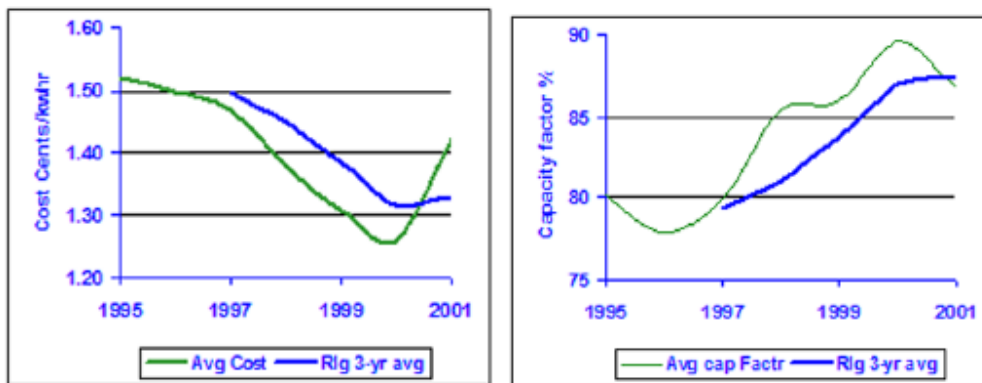


図 1-1 O&M コスト及び設備使用率の今までのトレンド (データソース : NEI)

構造物、系統、及び機器 (SSC) の保全コストは、原子力発電所の運転にかかるコストの主な構成要素である。現実的に最も高いレベルにおいてプラントが安全に継続的に運転することを可能にする、ある一定レベルの SSC のアベイラビリティ、信頼性、及び寿命が、保全により確保される。保全コストは、燃料を除く発電所コスト全体の約 25%²に上る。効果的な保全などの適切な対策により SSC のエージングのバランスを取らなければ、エージングはプラントの運転に悪影響を及ぼす可能性がある。保全プログラムでは、必要などころに対するタイムリーな措置に重点を置き、スケジュールされていない緊急時保全を最小限に抑えるべきである。保全プログラムが、SSC の信頼性及びアベイラビリティを最大限にすることに効果的であることは、必ずしもコスト効果も高いということにはならない。例えば、あるプラントの作業管理マネージャーは以下のように述べた。

「われわれは、保守規則の範囲の系統に対して多くの保全を行っている。エンジニアから要求される予防保全活動はすべて行う。継続的にバックログは増え続け、時間外コストも増えている。出費に見合ったものを得ているだろうか。『故障したら直す』アプローチをより採用した方が、収益性は上がるだろうか。他のプラントはどのように対処しているのか。」

² この推定値は、本レポートのためにアンケートを実施した母集団における燃料を除いた O&M コストに占める保全コストを計算することで求められた。

はじめに

既存の保全プログラムが効果的かを判断するためには、**評価**を実施しなければならない。現在、保全プログラムの評価は、**24** カ月を超えない頻度で、ほとんど自己評価やピア評価を通して実施されている。評価は包括的で経験豊富な技術者により実施されているが、ほとんど主観的な判断に基づいた定性的な評価である。再作業数、作業のバックログ、（例えば計画外のトリップなど）プラントレベルの指標、及び安全系統の作動など、使用されている客観的な測定がいくつかある。現在、バックログ及び再作業を除き、使用されている他の客観的な測定のほとんどは保全に重点を置いたものではない。保守規則に適合するために設けられた系統の健全性レポートにより、この評価プロセスが改善されたが、範囲及び完全性が限られている。保全プログラムのさまざまなプロセス要素において、コストと効率が十分に注目されていない。従って、整合性があり、さまざまな原子力発電所全体の保全プログラムのパフォーマンス³及び生産性を測定する一連の測定指標が必要となっている。そのような一連の測定指標について、以下のことが言える。

- 現在使用されている他の指標を補完すること
- 継続的にプラントの保全プログラムの評価に役立つこと
- 産業界全体において比較のベースを提供すること
- 保全活動、適用されるリソース、及びその結果に特化すること
- 利用出来るデータを使用し、産業界全体で整合性を持って生成出来ること

本図書のセクション 2 では、関連する用語の定義を提供する。セクション 3 では、効果的な保全の構成要素及び保全評価の特徴を取上げる。セクション 4 では、提案される一連の測定指標、入力データ要素、計算アルゴリズム、その測定指標が何を示すか、そして生成方法を取上げる。各測定指標には、参考ベンチマーク値／範囲が含まれている。セクション 5 では、保全評価分野と本図書で示されている一連の測定指標との相関性を取上げる。セクション 6 では、プラントで測定指標に基づいた監視プログラムを適用実施するための推奨事項を示す。セクション 7 では、ベンチマークの取組みにおいて調査員が得たプラントの保全プログラム／プロセスに関する見識を取上げる。付録では、本レポートで取上げた個別エリアの詳細な補足説明が提供されている。

一連の測定指標の対象読者は、プラント／本店の保全の経営層及び直属の部下である。提案されている測定指標は以下の目的で設計された。

- 保全プログラム及びプロセス全体を見るものであり、範囲や対象に制限はない。
- 保守規則、WANO、及び INPO の指標など、他の目的ですでに使用されている測定を補完するもので、重複するものではない。
- 原子力産業界で使用されている典型的なプラントの **保全管理システム** やその他のデータ管理システムで現在利用可能なデータのみに基づいている。
- 同じ情報を表すために、原子力産業界のすべての参加者が整合性を持って生成出来る。

比較のためのベースを提供するために、提案された一連の測定指標として参考値又はベンチマーク値が開発された。この参考値は、原子力発電所の代表的なサンプル全体のデータを収集、

³ 「ユニットの計画外の出力損失率」及び「熱効率」などのプラントパフォーマンス測定指標は、プラントレベルで比較可能なパフォーマンス測定指標を提供するために、原子力産業界で長く使用されている。それらは本図書では限定された取扱いとなっている。

評価、整理することにより開発された。最適な⁴値（目標）が提供されている場合は、それら最適値はセクション 3 で定義、検討された有効な保全プログラムの構成要素に基づいて選ばれた。最適値がゼロとなっている場合は、「ゼロ又は可能な限りゼロに近い値」と解釈されるべきである。付録 A では、ベンチマーク値の開発に使用された方法を取上げる。

⁴ 最適な値は、産業界の目指すべき目標であり、参考値と同じではない。参考値は、原子力発電所の代表サンプルからの評価データに基づいた産業界の平均である。

2 用語

測定指標の検討には、ユーザーの観点によって解釈又は意味が異なって使用される用語が常に存在する。従って、理解及び使用の整合性が確実に取れているようにするために、標準的でない意味の用語をリスト化し、定義、（必要な場合には）説明することが必須である。このセクションでは、本ガイドで使用されている重要用語を特定し、定義する。適切な場合には、補足説明及びイラスト例が含まれている。

評価 (Assessment) : 学習に影響するプロセスや状況を精査することを指す一般的な用語。このような精査は、通常客観的な測定、参考値又はベンチマークとの比較、及び主観的な判断と組み合わせて実施される。

アベイラビリティ (Availability) : 系統が特定の条件下で使用される時点において問題なく運転している（又待機系統では運転可能である）時間の割合。ここで考慮される合計時間は、運転時間及びダウンタイム（非アベイラビリティ）である。

注：アベイラビリティは、時間に関連している。

バックログ (backlog) : 累積している未実施タスク

一部のプラントでは、バックログにはスケジュールされているすべて作業が含まれている。このプラクティスは作業負荷により似ている。他には、期日超過している作業のみをバックログとして考慮するプラントもあれば、期日超過している作業とスケジュールされている作業を組み合わせてバックログとしているプラントもある。その期間にスケジュールされた新しい作業と前回の期間から持ち越された未実施の作業アイテムの区別はない。

さらなる検討はセクション 4.5.8 を参照のこと。

整合性を取るために、産業界がバックログのより標準的な定義を採用することが提案される。バックログは、期日超過しており、猶予期間を超えており、再スケジュールされていないタスクとして考える場合、より便利な測定指標となるだろう。

ダウンタイム (Down Time) : 系統/機器が運転していないか、問題なく運転出来ない期間

緊急時作業 (Emergency Work) : 以下の目的のために、特定されたら直ちに実施しなければならない作業

- プラントの継続運転及び安全な継続運転を確実にすること
- 計画外のトリップ又は発電喪失をなくすこと
- 人身安全を確実にすること
- 規制への適合性を確実にすること
- 放射線の放出の可能性を防止すること
- 安全系統への計画外の起動要求をなくすこと

保安全管理システム (MMS) : プラントの保全作業/活動を支援、監視、及び管理するために使用される、コンピュータ化されたデータ管理システム (CMMS)

保全タイプ (Maintenance Type) : 本来、保全は2つの大きなタイプに分類出来る。

1. 故障を防ぐために実施される保全
2. 故障が発生した後に機器を供用に戻すために実施される保全

1つ目の保全は計画された活動であり、このタイプの保全に対して使用される一般的な名称には、予防保全、計画保全、及び定期保全が含まれる。2つ目の保全は、一般的に事後保全と呼ばれている。事後保全は、プラントの安全な運転を確実にするために、アイテムの機能的重要性により、計画又は緊急ベースで実施される可能性がある。これらの用語が整合性を持って解釈、使用されるために、本図書では、保全のタイプを以下のように分類する (図 2-1 参照)。

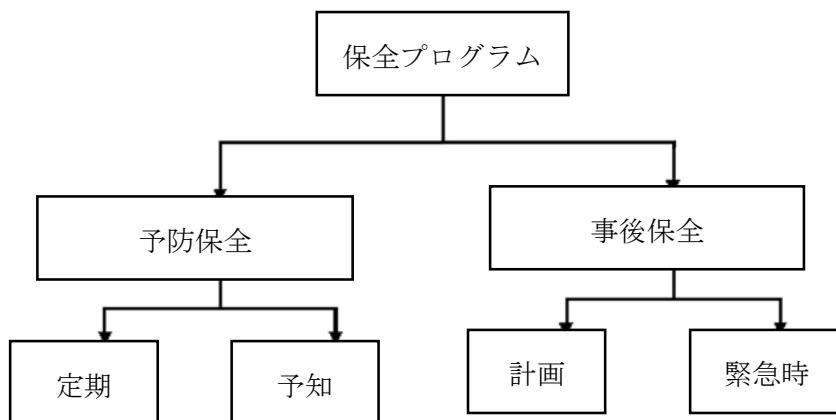


図 2-1 保全タイプの内訳

予防保全 (Preventive Maintenance (PM)) : 予期されない故障を最小限に抑えるために、計画ベースで実施される保全。さらに以下に分類される。

- **定期保全 (Periodic Maintenance)** : 機器の状態に係わらず予め設定された間隔で実施される日常的な保全活動 (例えば、点検、試験、潤滑、アラインメント、バランスング、修理、及び部品交換)。定期保全タスク及びその頻度は、メーカーの推奨及びプラント運転経験に基づいて設定される。

- **予知保全 (Predictive Maintenance (PdM))** : 機器の状態を監視し、保全の必要性を特定することを意図した保全活動。さらに、これらの保全活動は計画ベースで実施される。予知保全には、機器の状態を評価し、保全活動を開始及び／又は実施するためのデータを収集するために実施される測定や試験が含まれる。これらの活動から得られた情報は、定期保全の間隔や予知データを取得する間隔を調整するのにも使用される。この文脈で使用される別の用語としては「状態監視」がある。これは、まさに予知保全を適用する措置である。PdMの例としては、ロータのバランシングの必要性を決定する振動診断、潤滑油の交換の必要性を決定する油分析、及び変圧器内の活動を決定するためのガス内容分析が挙げられる。

注：PdMにより緊急時保全のワークオーダーが発生した場合、そのPdMが本来機能すべきように機能していないことを示している。

事後保全 (Corrective Maintenance (CM)) : 欠陥又は故障が検出されると実施される保全。このタイプの保全はさらに以下のように分類される。

- **計画された事後保全 (Planned Corrective Maintenance)** : スケジュール又はその他の計画ベースに従って優先順位化され、実施される事後保全（予期される事後保全、とも呼ばれる。）
- **緊急時事後保全 (Emergency Corrective Maintenance)** : SSCの安全で継続的な運転を確実にするために、直ちに修理が要求される場合に実施される保全。（予期されない事後保全、とも呼ばれる。）

注：今すぐ行う修理 (Fix-it-Now (FIN)) 又は今すぐ行う作業 (Work-it-now (WIN)) と呼ばれる作業がプラントには存在する。これらのチームは、一般的に予期されない保全の実施を担当する。

故障と故障の間の平均時間 (Mean Time Between Failures (MTBF)) : あるアイテムの故障と故障の間の運転時間の相加平均

運転時間 (Operating Time) : 系統／機器が許容される方法で運転している時間

ピアグループ評価 (Peer-Group Assessments) : 社内、その他プラント、及び／又は産業界組織から集められた経験のある専門家からなるチームが実施する評価

参照グループ (Reference Group) : 保全コストに影響を及ぼす可能性のある型式、タイプ、プラント二次系 (BOP)、及びその他の地理的な要素において比較に値するプラント。保全指標の比較の目的のために、参照グループには、少なくとも3つの類似プラントが含まれるべきである。

信頼性 (Reliability) : 定義された条件下において、定義された期間、系統／機器が必要に応じて問題なく機能する確率。例えば、高圧炉心注入 (HPCI) 系統の信頼性が98%であるという文の意味は以下である。

HPCI系統が起動し、要求時間内に水を炉心に注入し、設計ベース事象中及び事象後に必要なくなるまで注入を継続する確率。言い換えると、系統が意図された機能を果たさない確率が0ではない（この場合2%）あるということである。プラントの安全性の目標では、系統の信頼性を出来る限り高く保つことが要求されている。信頼性予測が、信頼性に影響を及ぼす一連のアクションの選択に役立つ。例えば、数年間の運転後、HPCI系統

用語

の信頼性が 86%となることが予想される場合、プラント経営層は、その信頼性を向上させるために（例えば、問題のある機器の状態監視の改善又は設計改造などの）利用可能なオプションを特定評価したいと思うだろう。

注：信頼性は、要求に基づくものである。

再作業 (Rework)：最初に実施した作業が適切でなく、正しくなく、又は欠陥部品及び／又は材料を使用して実施されたため、作業の最初の実施から指定された時間内に再び実施される作業。指定された時間は 6 ヶ月あるいは機器の PM 間隔のどちらか短い方の期間が推奨されている。特定の作業の完了後に供用に戻す時に再作業を指定するための記録が開始される。

系統健全性レポート (System Health Report)：すべての機器／構造物に関して信頼性を持って機能を果たす能力及び全体的なアベイラビリティを含む系統の状況レポート。これらのレポートは保全、運転、及びエンジニアリングデータからの情報を使用してシステムエンジニアが作成する。

自己評価 (Self-Assessments)：経験のある専門家個人又はチームが実施する評価。このタイプの評価は、通常特定の組織内により管理される。

非アベイラビリティ (Unavailability)：下記のダウンタイムを参照のこと。

7000 時間当たりの計画外の自動スクラム (Unplanned Automatic Scrams per 7,000 Hours Critical) [1]：一年間で 1000 時間を超えて臨界状態で運転されるユニットの 7000 時間の原子炉の臨界（約一年間の運転）ごとの平均スクラム率を追跡する指標。計画外の自動スクラムの結果プラント系統において熱過渡又は流体過渡が発生する。

予定外の出力損失係数 (Unplanned Capability Loss Factor) [1]：予定外のエネルギー損失（予定外の停止、強制的な定検、定検の延長、又は負荷の低減など）のため、プラントが送電線に電力を供給出来ない最大のエネルギー発電の割合。少なくとも 4 週間前にエネルギー損失がスケジュールされていない場合は予定外であるとみなす。

安全系統の計画外の起動 (Unplanned Safety System Actuations) [1]：有効な要求のない、非常用炉心冷却又は格納容器スプレーなどの安全系統の起動。有効な要求とは、自動的又は運転員により手動で、a) 安全系統の起動が要求されるプラント及び／又は系統の状態に基づいて、又は b) 試験の目的で、行われるものである。

作業負荷：特定の期間（原子力発電所では、通常 12 又は 13 週）で完了する作業量。作業負荷は、しばしばバックログと同義語的に使用されるが、バックログはスケジュールされた作業及びスケジュール通りに完了せず、再スケジュールされなかった過去の計画範囲からの古い作業（期日超過のバックログ）が含まれる。

産業界では作業負荷の定義として、スケジュールされたすべての作業が猶予期間内であり、完了を待っている、ということを考慮することが提案される。

3

有効な保全及び保全の評価

本セクションでは、*有効な保全プログラム*の構成要素を定義・説明し、保全有効性を*評価*する方法を説明する。

3.1 有効な保全プログラムの構成要素

あるプログラムが有効とされるのは、意図された結果が得られた場合である。有効性とは、正しい作業をすることであり（つまり、すべきことをする）、一方で効率は、可能な限り短い時間で正しいことをすることである。有効性は必ずしも効率を意味しない。発電所では、保全部門の使命は、**SSC**が可能な限り最大の信頼性、アベイラビリティ、及び寿命であることを確実にするサービスを提供することである。これにより、保全に起因する発電喪失が、なくならなくても最小限に抑えられる。この目的が可能な限り低いコストで達成されると、リソースの効果的な活用を意味する。この前提条件に基づいて、効果的な保全プログラムとは、ピアと比較した場合に*可能な限り最も低いコスト*⁵でサービスを一貫して提供し、又以下の要素が当てはまるものであると定義出来る。

- 保全に関する計画外の安全システムの起動、発電喪失、及びプラントのトリップがゼロ
- 規制違反がゼロ
- けがによる損失時間がゼロ
- 作業員の被曝が最も低い
- 緊急修理が必要な破損がゼロ

上記の提案により、効果的な保全プログラムに関するその他の重要な属性も明らかとなる。

- **SSC**の信頼性及びアベイラビリティが最大
- スキル及び技術がちょうどよく組み合わせられている
- オーナーシップが高い
- 優れた作業カルチャー
- 有能な経営層
- 基本的な保全プロセスが効率的である

⁵ この定義を分かりやすくするために、本図書全体を通して直接労働コスト及び材料のみが含まれる。

3.2 保全の評価

保全に対する評価は、保全プログラム全体、そのプロセス、及び要素に対する精査の検討である。その目的は以下である。

- 上記の関連性及び効率を理解すること
- 使用されている知識／スキル及び技術をカテゴリ化すること
- 技術及び経済的なパフォーマンスの改善機会を特定すること

いくつかの EPRI [5-9, 12]、NEI [1]、INPO [11]、WANO [4]、及び NRC [3]の図書では、保全有効性の評価のさまざまな側面を検討し、ガイドラインを提案している。表 3-1 で示すように、これらの参考図書では保全の有効性を評価するためのさまざまなパフォーマンス指標が提案されている。一般に、NEI、NRC、EPRI の図書⁶では安全系統及びいくつかの非安全系統の発電に係る系統の信頼性及びアベイラビリティに重点が置かれている。これら指標の一部は、保守規則の要求事項に対応するために開発された。

表 3-1 現在使用されているパフォーマンス指標

測定指標	WANO	IAEA	NRC NEI	INPO
7000 時間当たりの計画外のスクラム	○	○	○	○
安全系統の計画外の起動	○	○	○	○
計画外の出力変更	○	○	○	○
ユニットの設備利用率	○			
物理的な保護	○			○
人身安全				○
けがによる工数の損失		○	○	○
年間の作業被曝		○	○	○
系統の健全性レポート			○	

系統の健全性レポートを除いて、残りの指標はプラント全体レベルのパフォーマンスに重点が置かれている。系統健全性レポートは、系統のパフォーマンスに重点が置かれているが、予防保全プログラムの適用実施及び改善を単純に追求するものである。その主な目的は、保守規則の範囲である SSC の最高の信頼性及びアベイラビリティを提供することである。コストはその次に考慮される。最終的には保守規則は、プラント機器の 25%未満にしか適用されない。保全プログラムが有効かを判断するためには、*評価*が要求される。現在、保全プログラムに対する評価は、24 ヶ月を超えない頻度で自己評価及びピア評価を通して実施されている。評価は包括的で経験のある専門家により実施されるが、一般的に主観的な判断に基づいた定性的評価である。いくつかの客観的な測定が、バックログ、再作業⁷の数、及び（プラントの計画外のトリップや安全系統の計画外の起動など）プラントレベルの指標などで使用されている。包括的

⁶ 本図書より前に発効された参考図書 5 は、範囲の制限がなく、保全に厳密に重点を置いた図書として例外的である。

⁷ 本図書のためのプラント訪問及びデータ収集から、バックログと再作業の定義がプラントによって異なることが分かった。提案する定義については、セクション 2 を参照のこと。

な保全有効性評価では、いかなる範囲の制限なしに以下の 4 つの主な分野に対応すべきである。

1. 保全プログラム及びプロセス
2. 使用している技術
3. 人のスキル／知識
4. 経営層及び作業カルチャー

同様に重要な分野は保全コストである。リスト化された 4 つの分野のうち、保全プログラム及びプロセスのみ一連の客観的な測定を使用して評価をすることが出来る。しかしながら、保全プログラム及びその基礎となるプロセスの評価に適切に設計された一連の測定指標が使用されれば、分野 2、3、4 を含む保全プログラム全体の有効性を測定することが出来る。この見解の根拠となる論理は以下である。

保全の使命は、**SSC** が可能な限り最大の信頼性、アベイラビリティ、及び寿命であることを確実にするためにサービスを提供することである。この使命が可能な限り最も低いコストで達成される場合、リソースの効果的な使用を意味し、結果として有効な保全プログラムであることを意味する。この根拠付けで明らかなのは、技術、プロセス、及び人のスキルの最適な組合せと適切に調整された経営層及び作業カルチャーが保全の役割を効果的に達成するための前提条件である、ということである。適切に設計された一連の測定指標では、前提条件におけるすべての不適切な調整が明らかになるだろう。例えば、**PM** の適用範囲の割合が低いと、ほぼ **CM** の割合が高くなり、これは、保全の組合せと使用技術が不適切であることを示している。別の例としては、保全部門が役割を達成したが、産業界／ピアグループの平均コストよりも著しく高い場合、それはコスト効果が悪いことになる。

保全プロセスには、作業の特定、管理、実施、完了、アズファウンド状態の報告、及び継続的改善措置からなる。包括的で客観的な継続評価には、パフォーマンス、発電能力、サービスの品質、及びコスト効率に関連する測定が要求される。一連の正しい測定指標を使用した監視により、定期的な自己評価及びピア評価の焦点を絞りやすくする。セクション 4 では、保全のさまざまな側面の監視に使用出来る一連の包括的な測定指標を検討し、改善の機会を特定する。

4

提案する測定指標及びベンチマーク

本セクションでは、提案する一連の測定指標、要求される入力データ、測定指標を計算するためのアルゴリズム、及び測定指標から導き出される情報について取上げる。さらに、各測定指標のベンチマーク値も提供する。

4.1 保全プロセス：入力及び出力

保全プログラム評価のための一連の測定指標の設計は、プロセスと、その入力並びに出力を検討することから始めるべきである。図 4-1 で示すように、保全プログラムの要素は保全作業の特定（保全の組合せ及び範囲）、ワークオーダーの作成、作業（手順、レンチタイム、サポートレベル）の実施、及び完了からなる。

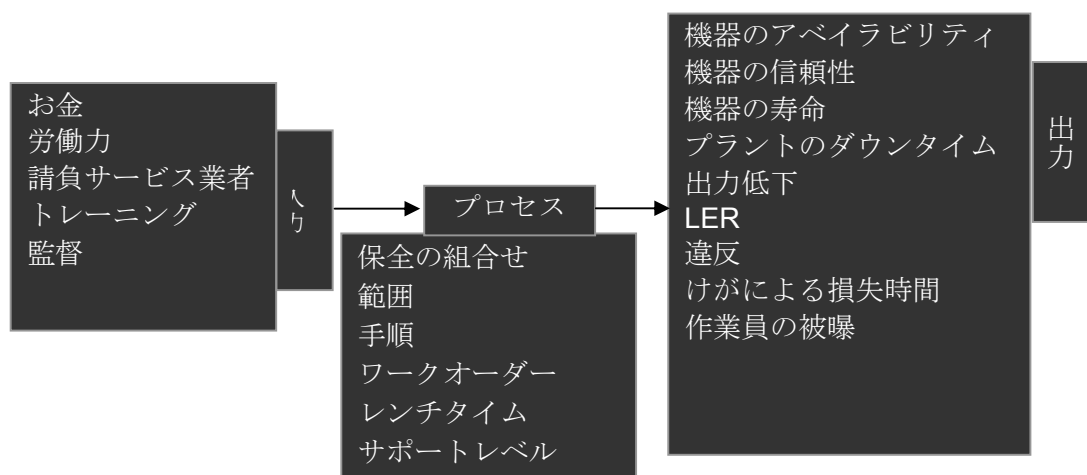


図 4-1 保全プロセス：入力及び出力

保全の組合せは、SSC、SSC の機能、保全に関するメーカーの推奨事項、及び電力会社での運転経験のレビューに基づいている。この取組みの結果が、実施する PM、CM、及び PdM に含める SSC 及びその頻度の特定である。保全プロセスでは、作業を文書化及び管理するための書面でのワークオーダー、作業の実施のガイドとしての手順、及び作業管理プロセス（つまり、作業のプランニング及びスケジューリング）を管理するためのサポートスタッフが用いられる。作業は、トレーニングを受けた技術者が書面での手順を使用して実施される。保全スタッフは、場合によっては請負サービス業者により補完されることがある。このプロセスの主な出力は機器のアベイラビリティ、信頼性、及び寿命である。このプロセスからの出力として、他にはプラントのダウンタイム、出力低下、及び電力会社の事象レポート（Licensee Event Reports (LER)）などの項目が含まれる。他にパフォーマンスに影響する出力には、規制違反、人身事

故、及び作業員の被曝がある。後者の出力はパフォーマンス⁸に影響を与え、通常プロセス及び／又はプロセス管理が有効でないことを示すものである。入力、労働力（作業員、スタッフ、及び経営層）、材料、部品、及びトレーニングへの投資からなる。

4.2 一連の測定指標の開発

保全の役割は、安全で信頼性のある、経済的な発電を行うというプラント全体の目的を支援することである。プラント保全プログラムは、一連の保全方針の目的を達成するために開発、適用実施される。原子力発電所の一連の典型的な保全方針の目的は以下のように規定されることがある。

SSC のアベイラビリティ及び信頼性の目的：

- 安全関連の SSC は、要求される信頼性及びアベイラビリティ／非アベイラビリティの目標を確実に満たすこと
- プラントの継続運転に影響する SSC（つまり発電に関係するもの）は、規定された信頼性及びアベイラビリティ／非アベイラビリティの目標を確実に満たすこと
- その他すべての SSC が可能な限り長い故障と故障の間の平均時間（MTBF）を確実に持つこと

経済及び資産管理の目的：

- 保全コストは、可能な限り低く、産業界のピアと比較可能であることを確実にすること
- 可能な限り長い供用寿命を得るために、すべての SSC のライフサイクルが管理されることを確実にすること

人身安全の目的：

- 保全の職務に起因する作業員の被曝は合理的に達成可能な限り低いことを確実にすること
- 保全の職務に起因する技術者のけがによる損失時間が可能な限り低いことを確実にすること

規制上の目的：

- 保全の職務に起因する LER（ライセンシーイベントレポート（原子力発電所運転レポート））及び規制への適合違反は合理的に達成可能な限り低いことを確実にすること

評価ツールには、一般に客観的な測定と主観的な判断を含むのが現実であるが、本図書で重点を置くのは以下の目的に使用出来る客観的な測定である。

- 保全プログラムの有効性の監視及び傾向分析
- プラント及び／又は産業界の参照グループに対する比較評価の実施
- 保全の職務に対する目標設定

従って、保全プログラムの有効性を評価するためのツールは以下を測定するものであるべきである。

- a. 規定された保全方針の目的がどれくらい満たされているか
- b. プロセス、リソースの消費、及び効率のさまざまな要素の見識を適用し、改善の機会を特定する、基礎となるプロセスにおける不可欠なパラメータ

⁸ パフォーマンスは SSC のアベイラビリティ、信頼性、及び寿命などの出力を使用しても測定することが出来る。何万ものアイテムに対してこれらの値を計算するには莫大な作業量が必要なため、ここでは使用しない。従って、比較的計算しやすく、同様に優れたパフォーマンス評価を示すネガティブな出力に重点が置かれる。

上記の「a」は、SSC の信頼性、アベイラビリティ／非アベイラビリティ、及び寿命の測定を使用して得ることが出来る。これには、何十万もの計算が必要となり、一部のデータはプラントのデータシステムで部分的に得ることが出来るか、全く得ることが出来ない。これらの指標は、システムレベルで間接的にはあるが、ある程度システムの健全性レポートを通して対応されている。限られた範囲の SSC では、再発する故障の評価及び機器の履歴レビュープログラムも機器の問題への対応に役立つ。これら 3 つの測定の要素に限定してしまうと、関連する直接及び間接コストが発生するネガティブな出力の一部を無視することになる。従って、本図書におけるパフォーマンス指標は副次的な結果に重点を置く。SSC の信頼性、アベイラビリティ、及び寿命におけるパフォーマンスの問題は、本図書で取上げるパフォーマンス指標の 1 つ以上に反映される。例えば、高圧安全注入システム又はその機器の信頼性又はアベイラビリティが許容レベル以下の場合、保全に関連する LER の数及び／又は安全システムにおける計画外の起動に関する測定指標に反映される。

4.2.1 測定指標設計のクライテリア

以下のクライテリアが、保全有効性評価及び監視のための提案測定指標の設計に使用された。

1. 要求された情報、及びすぐに使用出来る情報を導き出す独立した測定指標を最低数含むべきである。
2. 別の目的に使用されている既存の測定指標又は指標の補足／追加となるべきである。
3. 実用的である限り、自己評価／ピア評価の一部を重点的に取扱うことが出来る。
4. 既存のデータシステムからの利用可能なデータを使用し、新しい追加データ収集の必要性を最小限に抑えるべきである。
5. 既存の保安全管理システム及びその他の関連するプラントデータシステムで使用可能なデータから簡単に計算出来るべきである。
6. 計算アルゴリズムは既存データ管理及び報告システムに組み込むことが出来るべきである。
7. 産業界で整合性を持って使用・理解された定義及び用語に基づくべきである。このような状況でない場合、統一された使用を確実にするために定義を作成すべきである。
8. 手動によるデータの事前スクリーニング計算又は報告作成プロセスへの介入が最小限で済むようにすべきである。

本図書に示されている測定指標は、上記に設定されたクライテリアを満たしており、セクション 4.3 から 4.5 でさらに取上げられている。

4.2.2 ベンチマークの開発

一連の測定指標のベンチマーク値は、米国の原子力発電所の代表サンプルの関連データを収集及び分析することで開発された。データは発電能力が 600 MW から 1350 MW の範囲の 13 のユニット（複数号機設置の発電所）からなる 6 つのプラントから集められた。シングルユニット（単一号機設置の発電所）及びマルチユニットのプラントの両方がアンケートの母集団に含まれた。アンケートの母集団の選択及びベンチマーク値の開発手法は、付録 A に説明がある。アンケートを受けたプラントの 1 つを除いたすべてのプラントでは、すべての測定指標に要求される履歴データとして、1999、2000、及び 2001 年のデータが収集された。ベンチマーク値は、最初各プラントの各測定指標の 3 年平均を計算し、その後すべてのプラントの各測定指標の相加平均を計算することで得られた。一部の入力データはスケールメリットの影響に対して感受性があることが分かった（例えば、ドル/MWhr での保全コスト及び保全の職務に費やされた工数が挙げられる）。調整は、入力データレベル又はベンチマーク値のレベルどちらかで出来

提案する測定指標及びベンチマーク

るが、ベンチマーク値のレベルで調整係数を設定することで、測定指標の使用に対する整合性が確実に取れることが判断された。

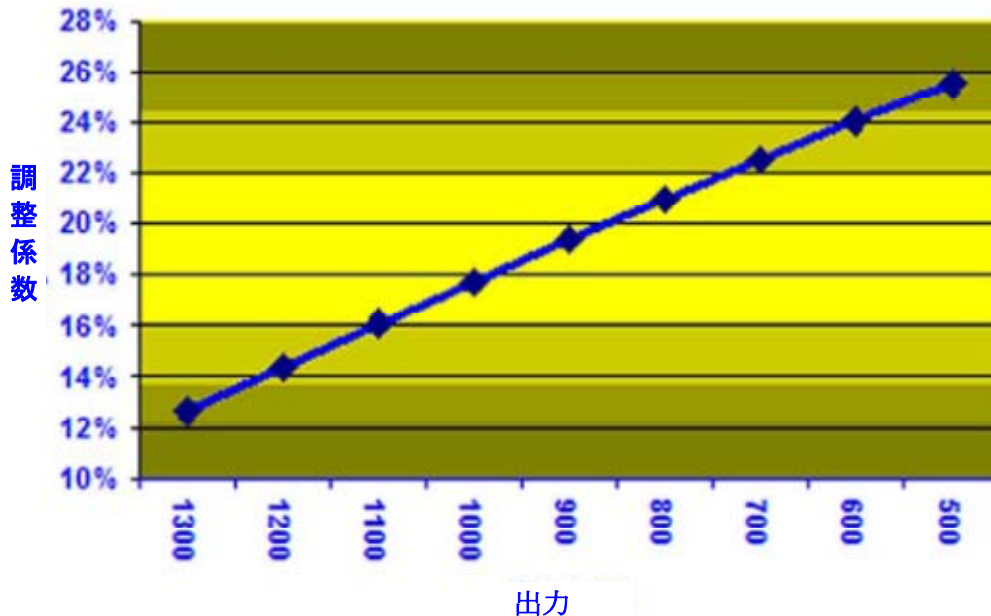


図 4-2 シングルユニットのプラントの調整係数

本図書で示すベンチマーク値は、800MW から 1350 MW の出力のユニットを持つマルチユニットのプラントに直接適用することが出来る。図 4-2 は、シングルユニットのプラントにおいて、ベンチマーク値の調整が必要な場合に使用することが出来る調整係数を設備容量の関数で示している。このグラフは、燃料を含まない発電コストと保全コストについて、シングルユニットプラントに対するマルチユニット及び 100 MW 単位での設備容量で変化の履歴を分析することで作成された。

4.2.3 一連の測定指標

前のセクションで取上げたクライテリアを満たす保全有効性評価に対して、提案される一連の測定指標を表 4-1 に示す。現在使用されている測定指標で、保全評価に使用されている測定指標について、表ではそれを使用／推奨している組織（例えば、WANO、INPO、EPRI、及び NRC）が特定されている。さらに、表では各測定指標のデータソースが特定され、詳細に取上げられている参照セクション先が提供されている。測定指標は、以下の 3 つのカテゴリにグループ化される。

- パフォーマンス
- プロセス
- 生産性

当年の値の代わりに、3 年間の平均がすべての測定指標に対して推奨されている。これは、定検及び定検でない年を含むことを目的としている。例えば、ある年の保全コストは以下の理由で通常のレベルを超えて高くなることがある。

- 2 年又は 3 年に 1 回ごとにスケジュールされた PM が特に集中するか、その年に完了すべき

頻度の低い活動による、PM数の増加

- その年に実施した特別な供用期間中検査により発生した追加コスト

セクション 4.3 から 4.5 では、各グループの各測定指標が詳細に取上げられている。これには、計算方法、意味、データソース、ベンチマーク値、及び必要に応じて、あるべき目標が含まれている。

提案する測定指標及びベンチマーク

表 4-1 測定指標のリスト及び使用／推奨組織

測定指標	WANO	IAEA	NRC	INPO	EPRI (1)	参照先セクション番号	データソース
パフォーマンスの測定指標							
ドル/MWhr での合計保全コスト					○	4.3.1	保全コスト及び発電
保全の工数情報 時間/100 万 kWhr					○	4.3.2	保全コスト及び発電
7000 時間当たりの計画外のスクラム	○		○		○	4.3.3	プラントのトリップデータ、保全に限定
計画外の出力変更	○		○ (3)		○	4.3.4	プラントの発電記録、保全に限定
安全システムの計画外の起動			○		○	4.3.5	LER の記録、保全に限定
保全に関連する LER 及び違反					○	4.3.6	LER の記録、保全に限定
けがによる損失工数	○	○	○	○	○	4.3.7	プラントの安全記録、保全に限定
作業者の年間被曝	○	○	○	○	○	4.3.8	プラントの安全記録、保全に限定
システムの健全性レポート			○		○		CM の要求及び再発故障
プロセスの測定指標							
機器/系統のアベイラビリティ			○				システムの健全性レポート
ワークオーダーの統計及び保全の組合せ					○	4.4.1	MMS、PdM データベース、PM データベース
保全タイプ別の技術者の活用					○	4.4.2	MMS
トレーニングに費やされた時間の%					○	4.4.3	プラントのトレーニング記録
請負保全の割合					○	4.4.4	プラントの事務管理の記録
主要系統及び機器別の工数					○	4.4.5	MMS
機器数 (保全プログラムの対象及びその内訳)					○	4.4.6	MMS
定検時に行わない保全の割合					○	4.4.7	MMS
生産性の測定指標							
作業員の生産性					○	4.5.1, 4.5.4	MMS
スタッフの生産性					○	4.5.2, 4.5.3, 4.5.5, 4.5.6	MMS
再作業、緊急時作業、バックログ				○	○	4.5.7, 4.5.8, 4.5.9	MMS
工数情報 時間/100MW 設備容量					○	4.5.10	保全コスト及び発電
手順変更					○	4.5.11	手順管理の記録
総合的な保全パフォーマンス指標、ヒューマンパフォーマンス指標、保全プロセス指標、及び保全生産性指標					○	4.3.8, 4.3.9, 4.4.8, 4.5.12	測定指標から計算された値

1 本レポートで示されている、一連の提案測定指標のこと。指標、データの入力、計算、仮定、及び監視期間の詳細は異なる場合がある。

2 EPRI による各指標の具体的な使用については、本レポートの参照セクションをレビューのこと。

3 ユニットの出力損失係数は、同様の指標である。

4.3 パフォーマンスの評価指標

一連のパフォーマンス評価指標では図 4-3 に示されている出力及び入力変数に着目する。機器の稼働率、信頼性、及び寿命はセクション 4.2 で取上げたので、重複を避けるために除外する。

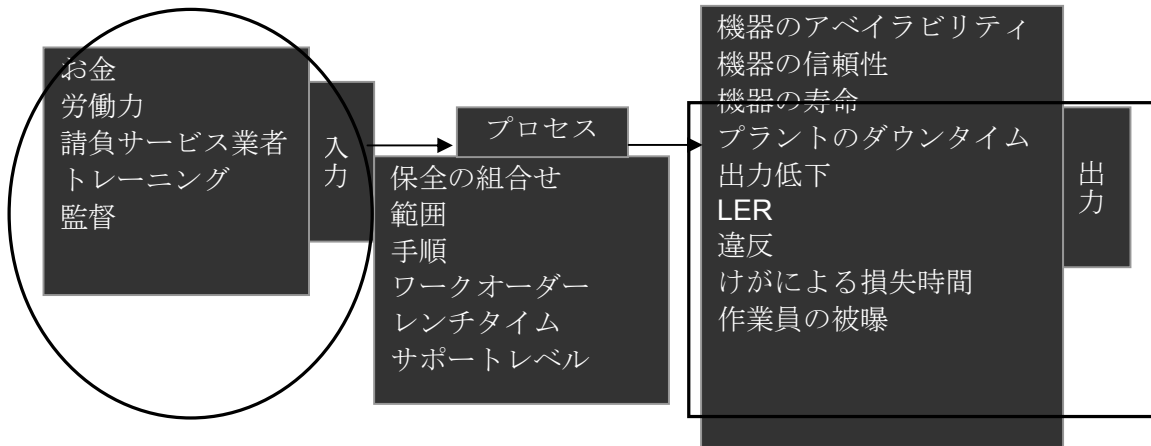


図 4-3 パフォーマンスの測定指標の着目事項

このセットは 8 つ（2 つの入力と 6 つの出力）の測定指標と、保全パフォーマンス指標（MPI）及びヒューマンパフォーマンス指標（HPI）の 2 つの複合指標からなる。MPI は、保全部門の全体的なパフォーマンスを示し、HPI は作業カルチャー、トレーニング、予備手順の妥当性などのヒューマンパフォーマンスに関する課題を考慮したヒューマンパフォーマンスを示している。この情報は、予算及び人員配置の決定、発電コスト及び料金設定の妥当性を証明するデータに対する規制要求を支援し、部門レベルでの改善が必要なエリアの特定、又はただ単に適当に満足する点を提供出来る。

保全プロセス指標も含まれる。これは、個々のプロセス測定指標を合わせたものである。複合指標では、保全の職務の全体的なパフォーマンスを素早くチェックすることが出来る。このグループの具体的な測定指標には以下がある。

1. ドル/MW hr での保全コスト
2. 100 万 KW hr 当たりの保全工数情報
3. 保全に起因するプラントトリップ数
4. 保全に起因する発電損失事象数
5. 保全に起因する LER 数
6. 保全に起因する規制違反数
7. 保全技術者の被曝
8. 保全に起因するけがによる損失時間
9. 上記の 8 つの測定指標を合わせた、保全パフォーマンス指標
10. ヒューマンパフォーマンス指標

4.3.1 ドル/MW hr での保全コスト

保全コストは、保全サービスを提供することで発生するプラント全体の燃料費を含まない発電（O&M としても知られている）コストの部分である。一般に、保全監督/マネージャーが責任

提案する測定指標及びベンチマーク

を有するコストとされるものである。保全サポートが別の原価部門にある場合、所内所外であれ、それも含まれるべきである。さらに、サーモグラフィ、振動診断、及び油分析プログラムの PdM エンジニアリングの工数コスト⁹も含まれる。これは、エンジニアが通常、別の専門グループで予算も別に持つが、一体的にこれらの活動に関与しているためである。

これらのプログラム及びその他すべての PdM プログラムの作業員の工数コストはすべて含まれる。これは、作業が保全部門の予算下で実施されるからである。すべての PM プログラムに対するラボでのサービスや機器のレンタルなどの請負サービスに係わるコストは、保全全体の予算の一部なので含まれる。保全の管理下に保全の手順及びスケジューリング支援が含まれていない場合、それらの関連コストの推定値が含まれるべきである。

すべての保全コストの全体像を把握するためには、保全技術者にトレーニングを提供するトレーニング部門で発生したコストなど、保全へのエンジニアリング部門の支援やその他の間接コストが含まれるべきである。しかしながら、プラント間でのデータに確実に整合性を持たせるために、本図書で提供されているベンチマーク値はこれらのアイテムを排除している。規制要求を満たすために実施された一度限りの圧力容器ヘッドの検査などの特別な活動に対する計画外（想定外）のコストについては、連続 3 年間平均値への歪みの影響を避けるために除外してもよい。

データソース

年間の保全コストデータはプラントの財務部門の記録から得られた。年間の発電量は、プラントの月間（又は週間）発電記録から得られた。

計算：

$$\frac{\text{保全コスト (ドル)}}{\text{MWhr}} = \frac{\text{年間合計保全コスト}}{\text{年間発電量 (MWhr)}}$$

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、1 ユニット当たりの合計コスト及び関連するユニットの年間発電量の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理し及び予算を持つマルチユニットでは、各ユニットの合計コスト及び年間発電量を使用すべきである。

ベンチマーク値 = 2.80 ドル/MWhr

推奨目標 = 産業界のユニットの下位 4 分の 1 のグループの下限に常にあること

上記に示されたベンチマーク値は、ユニットの出力が 800MW から 1350MW の範囲である典型的なマルチユニットプラントに基づいている。シングルユニットのプラントに対しては、図 4-2 に示されているグラフを使用し、設備容量に基づいて係数を掛けてベンチマーク値を求めるべきである。例えば、700MW のシングルユニットプラントでは、ベンチマーク値は、 $(2.80 \times 1.23) = 3.40$ ドル/MWhr である。

4.3.2 100 万 KW 当たりの保全工数

労働力情報に関するこの測定指数は保全支援を含む保全部門のすべての直接従業員に対して計

⁹ 他の PdM プログラムで集めることが出来る情報の解析に基づいて、すべての PdM エンジニアリング支援コスト（セクション 4.4.5 参照）を含めない場合、合計保全コストは 2%未満少なくなるのが結論付けられた。

算される。

これには、保全の職務に係わる作業員、監督者、経営層、及び事務管理員が含まれる。保全に関する手順及びスケジューリング支援が保全部門の管理下でない場合、関連する工数の推定値が含まれるべきである。サーモグラフィ、振動解析、及び油分析プログラムの PdM エンジニアリングの工数コストも含まれる。これは、エンジニアが通常、別の専門グループで予算も別に持つが、一体的にこれらの活動に関与しているためである。

データソース

保全及び保全支援部門の組織図が、適用されている合計工数を決定するために使用された。年間発電量は、プラントの月間（又は週間）発電記録より得られた。ベンチマークには、これらのプログラムについて知識のある従業員とのインタビューを通して得られたサーモグラフィ、振動診断、及び油分析のみの PdM のエンジニアリング工数が含まれる。これらのプログラム及びその他すべての PdM プログラムに係わる作業員の工数は完全に含まれる。これは、作業が保全部門の予算下で実施されるからである。その他の PdM プログラムで集めることが出来る情報の解析に基づいて、以下に示されるベンチマーク値の保全工数は、これらのプログラムに対するエンジニアリングの工数を含めない場合 3%未未満少なくなることが結論付けられた。

計算：

$$\frac{\text{工数}}{100 \text{ 万}} = \frac{\text{従業員の有効工数の合計}}{(\text{年間発電量 (KWhr)} \div 10^6)}$$

$$\text{有効工数合計} = \left(365 \times \frac{\text{作業時間}}{\text{日数}} \times \text{従業員数} \right) - \text{休暇} - \text{休日及び週末—その他予定された休み}$$

ベンチマーク計算には、年間有効工数である 1840/年/人が使用された。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、1 ユニット当たりの合計工数及び関連するユニットの年間発電量の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理を行っているマルチユニットでは、各ユニットの合計工数及び年間発電量を使用すべきである。

ベンチマーク値 = 42 時間/100 万 KWhr

推奨目標 = 産業界ユニットの下位 4 分の 1 のグループの下限に常にあること

上記に示されたベンチマーク値は、ユニットの出力が 800MW から 1350MW の範囲である典型的なマルチユニットプラントに基づいている。シングルユニットのプラントに対しては、図 4-2 に示されているグラフを使用し、設備容量に基づいて係数を掛けてベンチマーク値を求めるべきである。例えば、700MW のシングルユニットプラントでは、ベンチマーク値は、(42 x 1.23) = 52.9 時間/100 万 KWhr である。

4.3.3 保全に関連するプラントトリップ

この測定指標は、プラントが現在使用している「計画外の自動スクラム」指標のサブセットを改良したものである。現在使用されている指標の改良として、保全に係わる原因によるトリップのみに着目して 7000 クリティカル時間よりも年間の値を捉える見直しを伴う。トリップが 4 週間前にスケジュールされていない場合、計画外とされる。これには計画された保全定検又は

提案する測定指標及びベンチマーク

燃料交換定検など、計画外のトリップではないすべての自動及び手動起動スクラムが含まれる。トリップ数のデータは、プラントのトリップの記録又は運転パフォーマンスデータから得られた。保全の職務に直接起因する計画外のトリップのみが含まれるべきである。例としては、原子炉保護系統（RPS）の較正ミスによる計画外のプラントトリップが挙げられる。

保全に関連する間接的な原因によるプラントトリップを含めないようにするために注意すべきである。例えば、無停電電源装置（UPS）に対する保全活動中に据付けられた、のちに欠陥があると判断された部品が原因で発生したトリップは、保全に関連するプラントトリップとすべきでない。米国原子力規制委員会（NRC）に報告すべきかどうかに関わらず、保全に関連する原因によると判断されるすべてのトリップが含まれるべきである。

データソース

ベンチマーク値の開発において、一部のプラントでは保全に関連する原因によるトリップ数はNRCに提出される月間の運転レポート（原因コード「B」）から直接取られた。自動であれ手動であれ、どのようなトリップも月間の運転レポートに含まれその原因も特定されていると考えられる。その他のプラントでは、保全に関連するトリップ数を決定するために発電喪失事象ログや該当するLERのレビューも行われた。

ベンチマーク = 0.22/年

マルチユニットプラントでは、ユニット個別のトリップ数の値を使用すべきである。

推奨目標 = 0

この測定指標が、連続する2つの期間において増加傾向又は0以外の一定値となる場合は、標準以下の保全パフォーマンスであることを示している。この測定指標の傾向が好ましくない場合は、大抵、不十分な手順、不適切なプラクティス、及び/又は不十分なトレーニングが原因である。

4.3.4 保全に関連する発電喪失事象

この測定指標は、プラントが現在使用している「計画外の出力損失」指標のサブセットを改良したものである。現在使用されている指標の改良には、保全に係わる原因による事象のみを取扱い、7000クリティカル時間よりも年間の値を捉えることを伴う。出力の損失が4週間¹⁰前にスケジュールされていない場合、計画外とされる[1]。この測定指標は、このような事象の数であり、計画外の出力低下に関するプラントの記録から得られたものである。保全措置/活動に直接的に起因する事象のみが含まれるべきである。例としては、出力低下が要求される運転上の制限（LCO）に入ることが要求される安全系統の1つのトレイン喪失につながるポンプの軸受のミスアラインメントが挙げられる。

保全に間接的に関連する原因によるプラントトリップを含めないようにするために注意すべきである。前出の例では、保全活動中に取替えられた欠陥のある軸受の故障が原因で1つのトレインが喪失した場合、これは保全に起因したものとすべきでない。米国原子力規制委員会（NRC）に報告すべきかどうかに関わらず、保全に関連する原因によると判断されるすべての発電喪失事象が含まれるべきである。

¹⁰ WANO は NEI と同様に 4 週間を使用しているが、ROP は 72 時間を使用している。

データソース

ベンチマーク値の開発において、一部のプラントでは保全に関連する原因による発電喪失事象数は NRC に提出される月間の運転レポート（原因コード「B」）から直接取られた。自動であれ手動であれ、どのような発電喪失事象も月間の運転レポートに含まれその原因も特定されていると考えられる。その他のプラントでは、保全に関連する事象数を決定するためにトリップ及び発電喪失事象ログや該当する LER のレビューも行われた。後述のケースでは、調査員のレビューによるデータの関連性に係わる判断決定は、プラント許認可スタッフによりレビューされ合意された。

ベンチマーク = 0.13/年

マルチユニットプラントは、各ユニットの電源喪失事象数の値を使用すべきである。

推奨目標 = 0

この測定指標が、連続する 2 つの期間において増加傾向又は 0 以外の一定値となる場合は、標準以下の保全パフォーマンスであることを示している。この測定指標の傾向が好ましくない場合は、大抵、不十分な手順、不適切なプラクティス、及び/又は不十分なトレーニングが原因である。

4.3.5 保全に関連する原子力発電電力会社の事象レポート (LER)

この測定指標は、プラントが現在使用している「安全システムの起動件数」という指標のサブセットを改良したものである。現在使用されている指標の改良には、保全に係わる原因による事象のみを捉え、7000 クリティカル時間よりも、「安全システムの問題件数」を含むすべての LER の年間の値を取る見直しを伴う。保全措置/活動に直接的な結果として作成された LER のみが含まれるべきである。例としては、逃がし安全弁の不適切な設定圧力による、安全システムの計画外の起動又はその後の保全活動が原因で生じるプラントのテックスペックからの逸脱状態の発見が挙げられる。注意すべきことは、この測定指標には保全に関連する原因によるプラントトリップ又は発電喪失事象を報告した LER を含むことを意図したものであるということである。この指標の理論的根拠は LER がコストの要素を示していることであり、他と分けると追加の作業が無駄に必要になり、一貫性を欠く可能性がある。

保全に間接的に関連する原因の LER が含まれないように注意すべきである。例えば、保全活動中に据付けられ、その後欠陥ありと判断された低電圧リレーの不具合によるテックスペックの制限に従ったディーゼル発電機の起動失敗結果としての LER は、保全の職務のせいとすべきでない。

データソース

ベンチマーク値の開発において、この数は NRC に提出された LER の収集及びレビューにより決定された。このレビューにより、保全に関連する原因によるものが特定された。LER のリストについては、電力会社の規制の記録保管システムから得られた。大部分において、調査員のレビューによるデータの関連性に係わる判断決定は、プラント許認可スタッフによりレビューされた。

ベンチマーク = 1.76/年

提案する測定指標及びベンチマーク

マルチユニットプラントは、各ユニットの LER 数の値を使用すべきである。

推奨目標 = 0

この測定指標が、連続する 2 つの期間において増加傾向又は 0 以外の一定値となる場合は、標準以下の保全パフォーマンスであることを示している。この測定指標の傾向が好ましくない場合は、大抵、不十分な手順、不適切なプラクティス、及び／又は不十分なトレーニングが原因である。

4.3.6 保全に関連する規則違反

この測定指標は、保全に関連する原因による規制（例えば、NRC 又は EPA 規制）への適合性の違反回数である。違反の一部は、セクション 4.3.5 で取上げた LER の測定指標で把握されている可能性があるが、回数の整合性を取るために分離や排除は試みない。これは、すべての違反が LER に記載されない場合があるからである。例えば、保全プログラムのシステム上の欠陥が NRC により発見された後に発行される違反通知（Notice of Violation）又は一連の適切で工学的な妥当性証明がなされないまま偶発的な故障に対して行うべき EQ 保全が実施されなかった場合には、LER には記載されない。

データソース

関連するデータは、原子力に関する規制事項担当の部門が保管しているプラントの規制への適合記録から得られた。このデータは、原子力や環境に関する規制への適合から逸脱を効果的に捉えるものとする。ベンチマーク値の開発において、保全措置／活動による違反数は、プラントにある実際の文書のレビューにより決定された。大部分において、著者のレビューによるデータの関連性に係わる判断決定は、電力会社の許認可スタッフによりレビューされた。

ベンチマーク = 0.11/年

マルチユニットプラントは、各ユニットの違反数の値を使用すべきである。

推奨目標 = 0

この測定指標が、連続する 2 つの期間において増加傾向又は 0 以外の一定値となる場合は、標準以下の保全パフォーマンスであることを示している。この測定指標の傾向が好ましくない場合は、大抵、不十分な手順、不適切なプラクティス、及び／又は不十分なトレーニングが原因である。

4.3.7 保全に関連するけがによる損失時間

この測定指標は、プラントが現在使用している「けがによる損失工数」指標のサブセットを改良したものである。現在使用されている指標の改良には、保全活動による事象及び／又は保全技術者が関与した事象のみを取扱う見直しが含まれる。この測定指標は、OSHA（労働安全衛生管理局）への報告に使用されるプラント安全記録のデータベースから得ることが出来る。作業損失時間を伴うすべての人身安全事象を効果的に捉えることが出来ると考えられる。直接従業員が係わらない又は影響を受けない請負サービスによる損失時間を伴う事象は除外される。

データソース

ベンチマーク値の開発において、けがによる損失時間を伴う事象数は、単に影響を受けたか関係した部門ごとの事象のカテゴリ化を含め、記録として保管しているプラント安全部門から得られた。

ベンチマーク = 1.11 / 年

マルチユニットプラントは、各ユニットのけがによる損失時間を伴う事象数の値を使用すべきである。

推奨目標 = 0

この測定指標が、連続する 2 つの期間において増加傾向又は 0 以外の一定値となる場合は、標準以下の保全パフォーマンスであることを示している。この測定指標の傾向が好ましくない場合は、大抵、不十分な手順、不適切なプラクティス、及び／又は不十分なトレーニングが原因である。

4.3.8 保全技術者の被曝

この測定指標は、プラントが現在使用している「技術者の被曝」指標のサブセットを改良したものである。現在使用されている指標の改良には、保全技術者のみの人レムを捉えることが含まれる。被曝の原因による区別を設けない。被曝は保全活動によるかもしれないし、よらないかもしれない。保全活動及び／又は保全技術者が関与する事象のみが含まれるべきである。保全部門の直接従業員が係わらない又は影響を受けない請負サービスの作業により発生する事象は除外することが望ましい。

データソース

関連するデータは、規制組織への報告に使用されるプラントの被曝の記録データベースから集められた。このデータはすべての技術者の被曝事象を効果的に捉えらる。ベンチマーク値の開発においては、人レムでの被曝合計は、影響を受けるか係わった部門ごとの線量の記録を含めて保管しているプラント部門から得られた。

ベンチマーク = 56 人レム / 年 (5.6k シーベルト / 年)

マルチユニットプラントは、各ユニットにおける技術者の被曝の値を使用すべきである。

推奨目標 = 産業界ユニットの下位 4 分の 1 のグループの下限に常にあること

最近の規制当局主導の圧力容器の検査などの特別の場合を除いて、連続する 2 つの期間におけるこの測定指標の増加傾向は、不適切なトレーニング及び／又は高線量エリアにおける作業管理を示していることがある。

4.3.9 保全のパフォーマンス指標

この測定指標は、保全の全体的なパフォーマンスを示している。これは、セクション 4.3.1 から 4.3.8 で取上げたプラント個別のそれぞれのパフォーマンス指標を、各ベンチマークと比較して導き出されるものである。ベンチマーク値は、産業界の平均とされる。この指標は、各測定指標を等しく加重し、ベンチマークに対するスコアを与えるというスコアシステムに基づいている。表 4-2 にスコアシステムがリスト化されている。

要するに、あるプラントのある測定指標がベンチマークに等しい場合は、その測定指標のスコアは 0.75 となる。同じ測定指標がベンチマークよりも 50% 以上良いと、スコアは 1 となる。同様に、ベンチマークに対して 100% 以上のマイナスの場合、スコアは 0 となる。複合保全パ

提案する測定指標及びベンチマーク

パフォーマンス指標は、個々のスコアの合計を%で表したものである。このスコア方法では、マイナスの比較がプラスの比較を同等の量で帳消しにする。プラントが達成出来る最高スコアは8/8（つまり100%）であり、これは、産業界と比較して最も少ないコストで非常に優れた、又は欠点のない保全の職務（つまり、保全タイプと技術、非常に優れたヒューマンパフォーマンス、及び管理の最適な組合せ）に関するパフォーマンスを示している。

表 4-2 測定指標のスコア表

% Delta %デルタ	Score スコア
-100.00%	0.00
-80.00%	0.15
-60.00%	0.30
-40.00%	0.45
-20.00%	0.60
0.00%	0.75
20.00%	0.85
40.00%	0.90
50.00%	1.00

次ページにある図 4-4 には、アンケートを実施したプラントの 1 つのパフォーマンス測定指標がレーダー図で示されている。この図から、プラント F では保全に起因する計画外のトリップ数は、ベンチマークの 0.2 に対して 0.3 である。プラント F はそれ故ベンチマークに対して 50%悪いということになる。保全の職務に起因する LER 数については、プラント F は 0 である。これに対し、ベンチマークは 0.1 である。この測定指標については、プラント F はベンチマークよりも 100%以上良いということになる。

図 4-5 には、アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス指標及び参考値又はベンチマークが示されている。

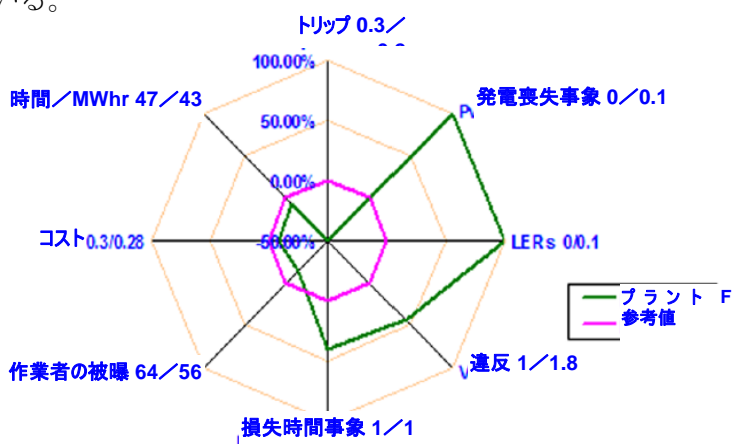


図 4-4 プラント F のパフォーマンス測定指標のレーダー図

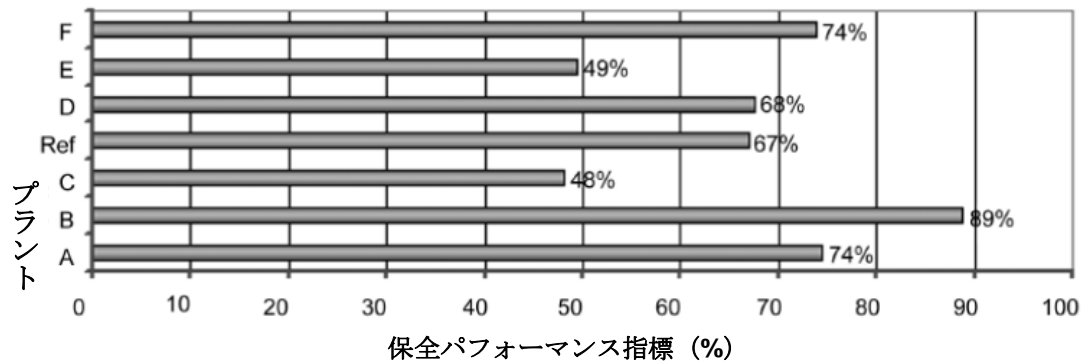


図 4-5 アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス指標の比較

表 4-3 には、表 4-2 に示されたスコアシステム及び図 4-4 で示された測定指標値を使用してプラント F の保全パフォーマンス指標の計算値が示されている。図 4-5 は、アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス測定指標及び参考ベンチマークを示したものである。

表 4-3 プラント F の保全パフォーマンス指標

分野	プラント F	参考値	良いとされる値	比較	スコア	MPI
トリップ 0/0.2	0.33	0.22	<産業界	-50.00%	0.30	
発電喪失事象 0/0.1	0.00	0.13	<産業界	100.00%	1.00	
違反	0.00	0.11	<産業界	100.00%	1.00	
LER	1.00	1.76	<産業界	43.16%	0.90	
けがによる損失時間	0.67	1.11	<産業界	40.05%	0.90	
作業者の被曝 NA/56.3	64.33	56.29	<産業界	-14.29%	0.60	
コスト \$/MWhr 3.0/2.8	3.0	2.80	<産業界	-8.89%	0.60	
人工/100 万 kWhr 32.7/41.7	45.63	41.73	<産業界	-9.35%	0.60	
合計					5.90	74%

4.4 プロセスの評価指標

一連のプロセス評価指標では、図 4-6 で示されているように入力及びプロセス変数に着目する。

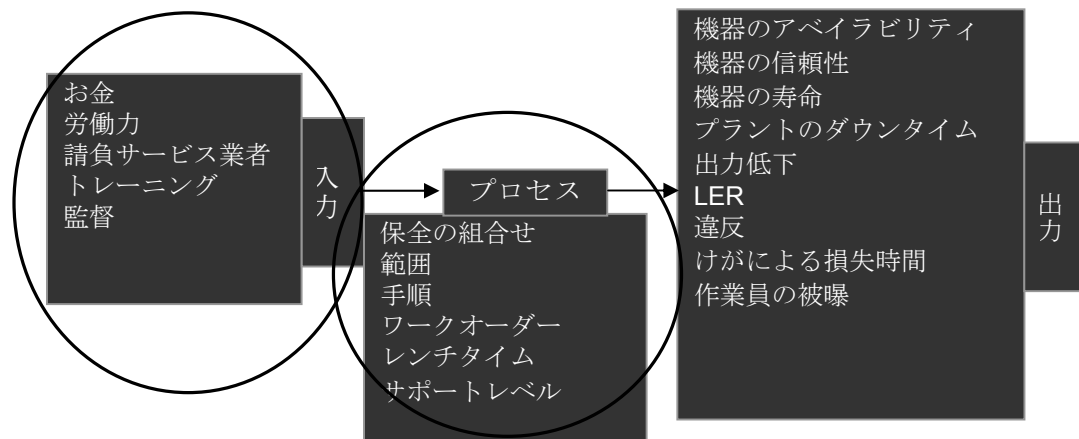


図 4-6 プロセス測定指標の着目事項

この測定指標は、概観を提供するもので、保全プログラム及びその基礎となるプロセスについて数字で表した 10 個の測定指標からなる。個々のプロセス測定指標を合わせた保全プロセス指標も含まれる。この複合指標により、全体的なプロセスを素早くチェックすることが出来る。プロセス測定指標は、以下のカテゴリにグループ化される。

1. ワークオーダー数及び内訳
2. 保全タイプ別の工数
3. トレーニングに費やされた工数
4. 保全コストに占める請負サービス
5. 選択された機器及び系統の保全に費やされた工数
6. 機器数及び内訳
7. 定検時でない運転中保全の割合
8. 保全プロセス指標

この指標のセット全体を一緒にすることにより、保全プロセスのさまざまな要素における、プログラムの範囲、組合せ、人員の配置/使用、及び作業負荷を示す。一つの特定の機器レベルでは、特別注意を要する分野が特定されるはずである。このセットは、保全プログラムの範囲、作業負荷、保全タイプ間の人員の配置、及び保全の組合せについてプラントとピアとの比較に役立てることが出来る。このような評価により、保全パフォーマンスの改善の機会が特定されるだろう（セクション 4.3 参照）。例えば、保全コストの変化は、実施処理されたワークオーダー合計数とその保全タイプごとの内訳を見ることで評価出来る場合がある。産業界と比べて CM の割合が高い場合は、それが変化の一部を示しており、CM の要求を減らす方法を見つける必要性を指摘していることがある。このセットの測定指標を個々の機器にあるいは小さなグループとして見ると、以下の情報が分かる。

- 保全が必要なところに（つまり、機器）に保全の重点が置かれているか
- 機器の選択の妥当性
- 保全の組合せの妥当性
- 複数の保全タイプ間での人員の配置及び活用

● 保全プラクティス

さらに、産業界及び／又は参照グループプラントとの比較評価により、プラクティスの望ましい変更や改善の機会が特定出来るだろう。

4.4.1 ワークオーダー数及び内訳

実施処理された合計ワークオーダー数及びその CM（事後保全）と PM の内訳では、保全部門で対応した年間の作業負荷に関する情報及び産業界全体及び／又は参照グループプラントと比較した状況に関する情報が提供される。このカテゴリ下の具体的な測定指標及びベンチマーク値を表 4-4 に示す。

表 4-4 ワークオーダー数及び内訳

項目	ベンチマーク	目標
実施処理されたワークオーダー数合計	12008	なし
PM に属するワークオーダーの割合	70%	なし
CM に属するワークオーダーの割合	30%	なし
安全関連に属するワークオーダーの割合	30%	なし
非安全系に属するワークオーダーの割合	69%	なし
高リスクに属するワークオーダーの割合	未定	なし
中リスクに属するワークオーダーの割合	未定	なし
低リスク又はリスクに属するワークオーダーの割合	未定	なし

注：

1. ワークオーダー数は、500MW の初期の年代型式のプラントでは 8000 から、1300MW の後期の年代型式のプラントでは 16000 までの範囲を取ることがある。
2. マルチユニットのプラントでは、ユニットごとのワークオーダー数の平均を使用すべきである。

全体の機器数については、ピアプラントとの比較が可能であるが、ワークオーダー数及び内訳は比較出来ない場合があるので注意すること。一部のプラントでは、ある特定の定例的な定期保全及び／又は予知保全項目についてはワークオーダーを発行していない。例としては、タスクカードによる潤滑作業及び知識のあるエンジニアが管理する別のデータベースで作成されたスケジュールを使用した赤外線スキャンが含まれる。このような場合、ワークオーダーなしで実施されるような各定期／予知保全のラインの項目は、その項目に割り当てられた作業としてワークオーダーのカウントをし、該当する年間ワークオーダー数はその作業の頻度を使用して決める。例えば、6 ヶ月に 1 回電動機 XYZ の油サンプルが取られる場合、その電動機に対して 1 年で 2 つのワークオーダーとしてカウントされ、合計ワークオーダー数に含まれるべきである。

ワークオーダーをリスクに基づいてカテゴリ化することも、プラント間の保全プログラムの比較評価をするための便利な測定指標であろう。電力会社では、このようなカテゴリ化をしている途中であるため、ベンチマークを今回開発することは出来なかった。

提案する測定指標及びベンチマーク

PdM 数に対する定期的保全のワークオーダー数や品質クラスごとの CM 作業数など、さらなるワークオーダー数の分析も、注目が必要な個別エリアを見つけるのに便利かもしれない。

データソース

ワークオーダー数及び保全タイプごとの内訳は、プラントの保全管理システムから得られた。クエリは、保全支援スタッフが実施し、ワークオーダーのシーケンス番号及び関連情報（機器 ID、作業タイプ、実施部門コード、作業カテゴリ、作業完了日、作業品質の分類、推定工数、推定期間、実際の時間、クルーの規模、及び作業の優先順位）がダウンロードされた。このダウンロード内容は、関連する測定指標の値を取得／計算するためのさらなる処理及び解析の目的で Excel 表にエクスポートされた。PdM のワークオーダーに対して route が使用されている場合、route は 1 つのワークオーダーとする。アンケートの母集団において、1 つのプラントでは赤外線、油分析、及び振動関連の PdM タスクをワークオーダー管理システム下で実施していなかった。そのプラントでは、作業範囲内の機器アイテム数、年間の touch 数、及び route 数に関するデータを使用して年間ワークオーダー数の推定が出されていた。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.4.2 保全タイプごとの工数

PM 及び CM（事後保全）に費やされた合計時間数は、人員に対する相対的な需要の見識を提供する。作業負荷とともに使用すると（セクション 4.4.1 参照）、保全の組合せを最適化するための改善の機会を特定出来るだろう。このカテゴリ下に含まれる具体的な測定指標及び各ベンチマーク値を図 4-5 に示す。

表 4-5 保全タイプごとの工数

項目	ベンチマーク
PM に費やされた工数の%	56%
CM に費やされた工数の%	44%
PM に対する%で表した、PdM に費やされた PM の工数の%	4%

データソース

PM 及び CM に費やされた実際の時間は、アンケートを実施した母集団である 6 つのプラントのうち 1 つのプラントからのみ得ることが出来た。実際の時間データはこのプラントの保全管理システム（MMS）から得られた。残りのプラントでは、実際の時間データが取られていないか、利用出来るデータが不十分であった。これらのプラントの保全タイプごとの時間の内訳は、PM と CM に対応したアベイラブルな時間からトレーニング時間を引いたものを割り当てることで作成された。これは、ワークオーダー数の内訳及び PM と比較した CM に対しての困難係数 2 を使用し作成された。これは平均的に、事後保全作業には予防保全作業と比べて 2 倍の工数がかかるということである。付録 B に、困難係数の求め方及び計算への使用方法に関して詳細に取上げる。

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.4.3 レーニングの工数

この測定指標は、保全に費やされた合計時間に占める、保全技術者のトレーニングへの投資についての情報を提供する。本指標は、プラント間の比較評価により、プラントにおけるトレーニングへの支出の見直しに役立つ。これは先行指標であり（つまり、正しいトレーニングが正しいセグメントに実施される場合）、長期間に渡って、ミスの回避、保全パフォーマンスの改善、及び低い再作業数、低いバックログ数、完了ワークオーダー当りの工数の低減などの効率の改善という形でメリットが期待できる。

計算：

$$\text{トレーニング時間の\%} = \frac{100 \times 1 \text{ 年間当たりの作業員及び保全スタッフがトレーニングに費やす時間数}}{\text{保全の職務に費やされる合計時間数}}$$

ベンチマーク：5%

データソース

1年間に作業員と保全スタッフに対して費やされた時間に関する履歴データは、アンケートを実施した6つのプラントのうちの3つのプラントのトレーニング部門のデータベース/ログから得られた。トレーニング時間とは、一般的なオリエンテーション、名札の取付け、職位固有の役割、産業界のトラブル経験レビュー、一般的な事務管理及び安全手順、及び監督のためのリーダーシップコースに関する教室でのトレーニングに費やされた時間のことである。その他の3つのプラントでは、作業員の100時間/人/年とスタッフの50時間/人/年の推定値が合計トレーニング時間数の計算に使用された。これらの推定値は、機械、I&C、電気の職務の保全支援マネージャー及び保全監督者へのインタビューを通して得られた。これらの推定値に対する確認は、作業長、技能者、及び支援スタッフとの話し合いを通して得られた。これらの推定値は、他の3プラントで得た実際の時間と同等であることが分かった。

4.4.4 保全コストの割合としての請負サービス

ほとんどのプラントでは、専門家のニーズを満たすため、及び/又は定検中の短期的な追加需要に対応するために、外注で実施する保全がある。外注で実施する保全の割合は、プラントの保全プログラムをピアと比較するための便利な測定指標である。以下のように計算される。

$$\text{外注サービスの\%} = \frac{100 \times (\text{外注サービスに対する合計支出})}{\text{年間の合計保全コスト}}$$

通常行っている請負保全のアイテムのみが、この計算に含まれるべきである。これには、インバーター及びバッテリー充電器の保全、駆動式逃がし弁 (PORV) の試験、タービン発電機の分解点検、及び定検スタッフの増員支援が含まれる。蒸気発生器の配管の再取り付け又は復水器の分解点検など、まれにしか発生しない特別な保全の支出は除外すべきである。部門別にこの測定指標を見ることも初期の適用実施段階では有益かもしれない。合計保全コストに占める割合として表されたこの測定指標は、社内の人員の活用及び保全管理の有効性を示している。

データソース：プラントの財務部門の記録

ベンチマーク：5%

このベンチマークは、直接マルチユニットの発電所に適用される。シングルユニットの発電所では、ベンチマークは、図 4-2 で設定された係数で上方修正することが必要になることがある。

これは、マルチユニットのプラントではこのようなサービスの調達においてスケールメリットの傾向があるという前提条件に基づいたものである。しかしながら、このベンチマークの取組みで収集されたデータは、アンケートに含まれたのが1つのシングルユニットプラントしか含まれていなかったため確信出来る妥当なスケールメリットを確立するには不十分である。

4.4.5 機器数及び内訳

この一度限りの測定指数のグループは、保全の範囲及び保全の組合せの概観を提供している。プラントの保全プログラムに含まれる合計機器数及び安全分類並びに保全タイプに基づいた内訳を見るものである。このカテゴリ下に含まれる具体的な測定指標及び各ベンチマーク値を表4-6に示す。

表 4-6 保全プログラムに含まれる機器数

項目	ベンチマーク
プラントにある機器アイテム数	69,795
安全関連 (SR) の機器の%	22%
非安全関連 (NSR) の機器の%	77%
PM 対象の機器の%	11%
CM 対象の機器の%	89%
PdM 対象の機器アイテムの%	1%
PM 対象の SR 機器アイテムの% (PdM を含む)	21%
PM 対象の NSR 機器アイテムの% (PdM を含む)	8%

プラントの保全プログラムに含まれる合計機器数はプラントのタイプや年代型式により異なる。同じことは機器数の全体の分類（つまり、安全クラス、非安全クラス、及び拡大安全クラス）又は保全タイプごとの内訳についても言える。さらに、機器数は、アイテムがプラントの機器リストに含まれているかどうかにより異なる場合がある。例えば遮断器、ヒューズ、貫通部、及び通常タグ付けされていなかったり、典型的な機器リストに含まれていなかったりするその他のアイテムなどがこの例である。通常、プラントの年代型式及びタイプに従い、タグ付けされリストに含まれているとすると、それらの機器により、合計で8000から12000、機器リストの数が増加することになるだろう。アンケートを実施した6つのプラントのうち、4つのプラントでは、機器リストにこれらのアイテムが含まれていた。他の2つのプラントでは、これらのアイテムを考慮するために合計数に10000アイテムが追加された。

この一度限りの測定指標は、保全プログラムの範囲を産業界又は参照グループプラントと比較するための情報を提供するものである。この測定指標は、さらにレビューを要するエリア（例えば、同様のプラント間でPMプログラム対象の機器数の変化量、PM対象の機器数の増加）を特定することがある。一般的に、時間の関数としての著しい変化は、この測定指標に対して予期されない。しかしながら、この測定指標を5年に1回再考することが、測定期間中の変化が保全プログラムの目標と整合することを確実にするために適切であるかもしれない。このようなレビューは、予算調整を支援する根拠になるはずである。例えば、1994年から1998年における期間のこのデータをレビューすることにより、保守規則及びPdMの適用実施によるPMプログラムの発展が示されるはずである。このベンチマーキング作業に対するアンケート期間に1999年から2001年が含まれている。この期間は、保全プログラムの調整が大体完了した後の期間であるため、保全の適用範囲に認識出来るほどの変化はなかった。

データソース

PdM の範囲情報を除いて、この測定指標の残りのデータ情報は、MMS 及びプラントの機器リストから得られた。機器リストは、合計機器数及び品質クラス別の内訳を得るために使用された。MMS は、保全の適用範囲及び保全タイプ別及び機器の品質クラス別の内訳を得るために使用された。一部のプラントでは、PdM を除いた PM の範囲に対してすぐに使用出来るソースを提供する別の PM ベースデータベースを保有していた。マルチユニットのプラントでは、ユニットごとの機器数の平均を使用すべきである、共通的なプラント機器はユニット数で等しく割ったり追加したりすべきである。マルチユニットのプラントにおける共有機器の状況を補うためにベンチマークを調整する係数を確立するためには、シングルユニットプラントのより大きなサンプルが必要であろう。しかしながら、表にあるベンチマークはシングルユニットのプラントに適度に近い値である。これは、エラーマージンが 5%を超えないように推定されているためである。

PdM プログラムの範囲に係わるデータは機器リスト又は MMS から確立¹¹することが出来なかった。それらは PdM のプログラム担当のエンジニアにより通常維持されている別のデータベースにあることが分かった。一般的にアンケートを実施したプラントでは、どうやらサーモグラフィ、振動診断、及び油分析のみしか PdM として指定していない（これに関する詳細な議論はセクション 7 を参照）。従って、表 4-6 に示されている PdM の範囲はこれら 3 つのサブプログラムに限られている。いくつかのプラントでは PdM に電動機の監視が含まれていたが、これはアンケートを実施したすべてのプラントで等しくデータを取得することが出来なかったので除外された。

4.4.6 運転中保全の割合

この一度限りの測定指標のグループは、ユニットの運転中に実施される PM の量に係わるデータを提供するものである。ユニットの運転中に出来る限り多くの保全を実施することは、主に定検期間への影響の低減及び運転中保全が提供する作業負荷の平均化という柔軟性のため、コスト効率の高い保全になるはずであることが一般に認められている。いつ保全を実施するかという判断に影響を及ぼす要素には、プラント／系統のアベイラビリティへの影響、人身安全、被曝、及び社内の人員配置のリスクが含まれる。この測定指標を使用した比較評価により、プラントの保全プログラムをピア又は産業界と比較出来るようになるだろう。このカテゴリ下に含まれる具体的な測定指標及び各ベンチマーク値を図 4-7 に示す。

表 4-7 定検時以外で実施する保全の割合

項目	ベンチマーク
運転中 PM の%	69%
出力運転中に安全関連機器に対して実施される PM の%	65%
出力運転中に非安全関連機器に対して実施される PM の%	73%

¹¹ PdM に関するデータ収集及び診断試験作業は保全作業員が実施する。従って、年間の PdM の作業負荷の見当はついたが、これらのプログラムの機器数は確立出来なかった。これらの作業がワークオーダーシステムにおいて PM 下にまとめられるのではなく、「PdM」という別のカテゴリに含まれた場合に、すべての PdM 活動の範囲が簡単に確立出来ただろう。

提案する測定指標及びベンチマーク

これらは、機器数に占める割合で表される。データはプラントタイプ及び年代型式に感受性のあるものとなる。さらに、これらのデータを主要な機器タイプ別（電動弁（MOV）、電動機など）¹²に区別しレビューすることは有用な場合がある。これらのデータを詳しくレビューすることで、プラントの保全プログラムに存在するかもしれない具体的な非効率性が明らかになる可能性がある。参考プラントグループと比較して割合の高い特定のカテゴリは必ずしも変更が必要とは限らない。例えば、プラント個別の機器構成及び設計にビルトインされた保全性を考慮すると、高い割合の妥当性を証明することが出来る。

しかしながら、一部の条件では保全性を向上させるために適切なプラント改造を通して是正出来ることもある。

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、各ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.4.7 主要機器及び系統の保全に対する工数

この評価指標は、選択した主要機器タイプ又は系統に費やされた作業員の工数の内訳に関するものである。この評価指標が有用であるかもしれない具体的な機器タイプ又は系統を、表 4-8 に示す。

表 4-8 主要機器及び系統に費やされた保全時間

機器	工数
選択した機器に対する工数	6348
主タービン	15139
主発電機	7185
ディーゼル発電機	482
一次冷却材ポンプ	1410
給水ポンプ	1795
主蒸気及び給水隔離弁	1233
プラント保護系統	2590
原子炉計装系統	11553

¹² MOV プログラム又は逆止弁プログラムなど、既存のプラントの特別プログラムでは、既にこの情報が提供されていることがある。

表 4-8 で示されている工数は、1つのプラントのみに基づいた情報である。これは、残りのプラントでは実際の時間データが取られていないか、一貫して正確に取られていなかったためである。従って、これは有効なベンチマークとされない。このプラントでは、放射線監視システムに対して、3年連続で着実な増加傾向が認められた。このような傾向は、基本的な原因、コストのどの部分が CM（事後保全）ベースか、さらには多額の保全コストが発生し続けるよりもシステムを取替える方が経済的であるような寿命点に到達したかどうかの評価の必要性を示している。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理し予算を持つマルチユニットでは、各ユニット個別の値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

補足として、保全に費やされた工数合計は、参照グループ又は産業界と比較可能ではあるが、選択した影響度の高い機器のカテゴリ及び保全タイプ別の時間の内訳を分析することにより、改善が必要なエリアを特定出来ることがある。この測定指標における比較や傾向で良くない結果のものは、以下の項目を1つ以上示している可能性がある。

- 機器のエージング
- 過剰な定期／予知保全活動
- 保全性の悪い状態
- 機器の保全に対するより良いトレーニングの必要性
- 過度に複雑な手順

データソース

この測定指標を導き出すのに必要なデータは、各ワークオーダーに対する実際の時間データが取られていた、1つのプラントにおける MMS から利用可能であった。このプラントでは、すべての作業員、プランニング、及び作業管理の技術者が関連するワークオーダーに対してかかった時間を請求していた。従って、この測定指標は、機器 ID ごとに累積された時間の簡単な合計により導き出された。プラントには、すべての人が作業した実際のデータを個々の保全ワークオーダーとタスクに入力するシステムを確立することを考慮すべきことが推奨される。これにより、機器アイテム／システムのレベルまでの労働人員の活用の解析が可能になり、以下を含むメリットが生じる。

- CM、PM、及び PdM に費やされる時間及びコストの解析
- 取替え又は設計改造の意思決定の支援
- 同じ作業を再度実施するのに必要な推定時間の改善
- バックログの蓄積を避けるための、作業の工程立案の改善

4.4.8 保全プロセス指標

この測定指標は、ピア又は産業界との比較のために、プラント保全プロセスの複合的な概観を提供するものである。4.3.9 で説明される方法と同様に、4.4.1 から 4.4.6 で取上げられているプラント個別の個々のプロセス測定指標をそれぞれのベンチマークと比較することで導き出される。ここでは、選択された機器の保全に費やされる工数に関する測定指標が、複合プロセス指標に含まれないことに注意すること。表 4-9 は、複合保全プロセス指標の計算に含まれる個々のプロセス測定指標とスコアを評価するうえで、どうであれば良いと考えるかの判断事項をリスト化したものである。図 4-7 には、アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス指標及び参考値又はベンチマークを示す。

表 4-9 プロセス指標及び良いとされる値

測定指標	良いとされる値
PM のワークオーダー%	>産業界
CM のワークオーダー%	<産業界
安全関連のワークオーダー%	>産業界
非安全関連のワークオーダー%	>産業界
PM の工数%	<産業界
CM の工数%	<産業界
PM の機器%	>産業界
CM の機器%	<産業界
トレーニングの工数%	>産業界
運転中保全%	>産業界

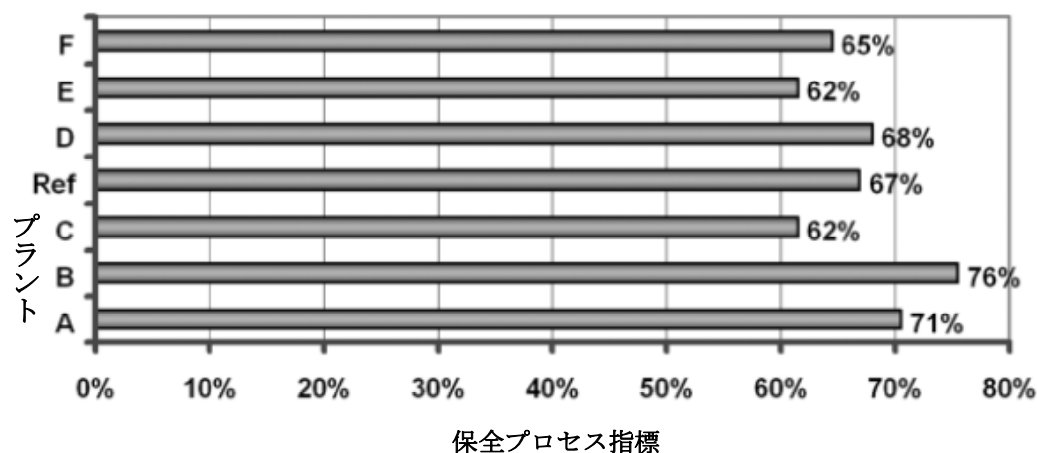


図 4-7 アンケートを実施したプラントの保全プロセス指標

4.5 生産性の測定指標

生産性の測定指標は図 4-8 に示す入力及びプロセス変数に着目する。この一連の測定指標は 10 個の測定指標からなり、保全プロセスの効率及び生産性の評価を可能にするプロセス及び入力変数を見るものである。個々の生産性に関する測定指標を合わせた、保全生産性指標も含まれている。この複合指標により、保全プロセスの全体的な生産性を見ることが出来る。

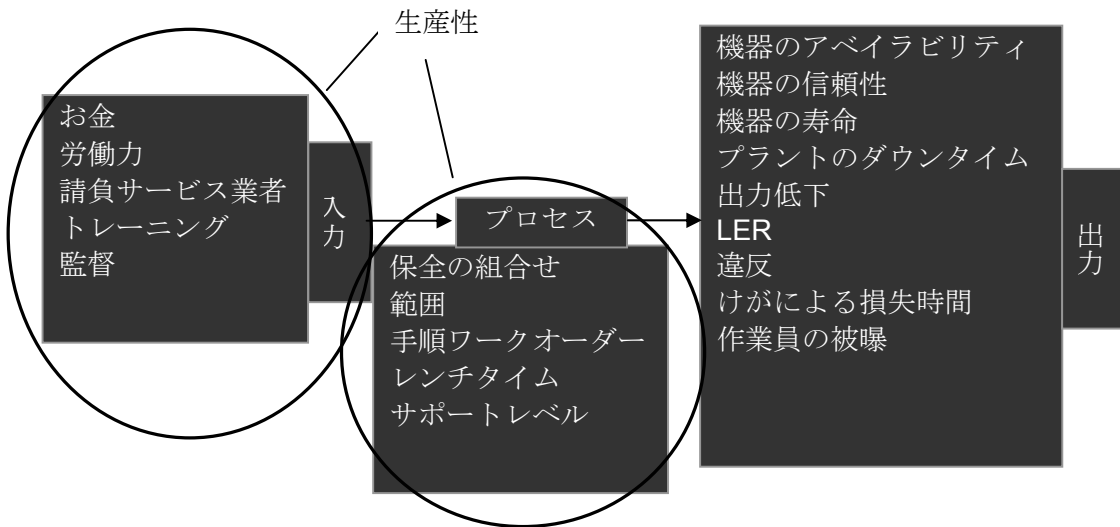


図 4-8 生産性の測定指標の着目点

この複合指標に含まれる具体的な測定指標は、以下である。

1. レンチタイム
2. 作業員の 1 週間当たりのワークオーダーの取扱量
3. プランナーに対する作業員の比率
4. プランナーの 1 週間当たりのワークオーダー
5. スタッフに対する作業員の比率
6. 再作業数
7. 緊急時作業数
8. バックログ及びバックログの期日超過日数
9. 設備容量 100MW ごとの工数
10. 手順変更
11. 生産性指標

4.5.1 レンチタイム

この測定指標は、保全作業員のリソースがどの程度効率的に活用されているかを示す測定指標である。一般に「レンチタイム」として知られている、実地作業を実施するのに費やされる時間を示すものである。本図書では、レンチタイムを以下のように定義する。

作業員／クルーが作業場所に到着してから去るまでの、機器に対して実際に物理的作業を実施するために費やす時間

以下に費やした時間が含まれる。

- 必要に応じたトラブルシューティング
- アイテムに割り当てられた／要求されたタスクの実施
- 必要に応じた個々の検証
- 保全後試験
- アイテムの復旧
- 清掃

ある与えられた日の残りの時間は、関連する事務処理及び準備タスクに当てられる。これには、作業前及び作業後の説明会、作業後の文書化、着替え、適切な安全措置の待機、許可の取得（放射線作業許可など）、休憩、などが含まれる。従って、作業員がトレーニング中でなく、現場で作業出来る時間のみが計算される。

この測定指標は保全部門レベル及び各専門分野又は作業カテゴリ毎に生成されるべきである。

計算

$$\text{レンチタイム} = \frac{100 \times (\text{物理的な作業をする平均時間数} / \text{日})}{\text{1日当たりの作業員の合計作業時間}}$$

5 x 8 時間の作業／週を取っているプラントでは、合計作業時間／日は 8 + 昼食 0.5 時間である。

1日当たりの物理的に作業を実施する平均時間数は以下のように定められた。

ステップ 1：インタビューを通して、ワークオーダーがクルーに割り当てられた後の、開始から完了までに係わるさまざまなタスクの時間の内訳が明らかにされた。インタビューを受けた人は、アンケートを実施した 6 つのプラントのうち 3 つのプラントにおける I&C、電気、機械の作業長が含まれた。これは、表 4-10 に示す 1 日間の作業及び複数日に渡る作業の両方に対して実施された。3 つの各専門分野に対して、複数日に渡る作業、及び着替えとウォークダウンが必要な作業の割合の推定値も同じインタビューで得られた。表にある小数で表した時間及び割合の推定値は 3 つの専門分野の平均である。

表 4-10 作業タスク時間の内訳

1 日間の作業	平均時間
作業前レビュー	0.75
ウォークダウンが必要な%で調整されたウォークダウン(2)	0.13
着替えが必要な作業の%で表した着替え(2)	0.04
作業場所までの移動	0.25
ツールの準備	0.53
ツールの返却	0.36
終了及び ECO	0.39
復路	0.25
パッケージの文書化	0.92
休憩及び昼食	1.50
作業の実施：機器に対する作業、保全後試験、清掃 (DJ_s) (3)を含む	5.38 (1)
複数日に渡る作業	平均時間
作業前レビュー	0.28
着替えが必要な作業の推定%値	0.04
作業場所までの移動	0.25
復路	0.25
作業後の説明会	0.39
休憩及び昼食	1.50
作業の実施：機器に対する作業、保全後試験、清掃 (DJ_M) (4)を含む	7.79 (1)
	20
ウォークダウンが必要な作業の推定%値	20
複数日に渡る作業の推定%値	20

注：

- (1) 計算は、4 x 10 週 (4 日 x 10 時間/週) に基づいている。(つまり、昼食時間を含む、作業日 1 日当たりの就業時間が 1 人当たり 10.5 時間)
- (2) 着替え又はウォークダウンが該当する場合
- (3) DJ_s = 1 日間の作業
- (4) DJ_M = 複数日に渡る作業

ステップ 2：各プラントから得られたワークオーダーのダウンロードに含まれている推定時間を使用して、1 日間の作業及び複数日にわたる作業の平均が求められた。これは、インタビューを通して得られた推定値を確認するためであった。

ステップ 3：レンチタイムは、アンケートを実施した各プラントに対して以下のように計算される。その後 6 つのプラントの平均がベンチマークとして使用される。

1 日において物理的な作業を実施する平均時間 $1 \text{ 日間の作業の} \% \times DJ_s + \text{複数日に渡る作業の} \% \times (DJ_s + DJ_M)$

提案する測定指標及びベンチマーク

$$\begin{aligned} \text{Average Time Doing the Physical Job per Day} &= \% \text{ One-Day Job} \times DJ_s + \% \text{ Multi-Day Jobs} \times (DJ_s + DJ_m) \\ &= 0.08 \times 5.38 + 0.20 \times (5.38 + 7.79) \\ &= 6.93 \\ \text{レンチタイム} &= \frac{6.93}{10.5} = 0.66 \text{ 又は } 66\% \end{aligned}$$

ベンチマーク：保全部門全体で 61%

ベンチマークより著しく低いレンチタイムは、改善が必要なエリアを特定するために作業の実施におけるタスクの内訳をレビューすることが必要であることを示している。さらに、5 x 8 作業週を採用しているプラントでは、1 日間の作業数及び 1 日における物理的作業時間が、4 x 10 作業週のプラントよりも少なくなるため、レンチタイムも少なくなることに注意すること。

産業界では、作業員が実施する実地作業時間は約 40%であることが一般的な認識である。これは、一部のプラントで使用されているレンチタイムの別の定義に基づく場合に当てはまる。この定義では、表 4-11 に示すように、年間にレンチを回すのに費やされた時間は支払われる年間時間の割合として計算される。これには、休日、休暇、病欠、及びその他の休みが含まれる。

表 4-11 レンチタイムの別の計算方法

行数	アイテムの説明	時間
1	支払われた合計時間	2088
2	休日	64
3	休暇	120
4	その他の休み（例えば、陪審義務）	24
5	ERO 義務及び訓練	24
6	その他作業に関連しない会議（例えば、全員参加会議、定検祝賀会）	16
7	安全会議	32
8	その他保全に関連しない活動（例えば、実習プログラム、LAN 管理、トレーニング支援、手順レビュー）	120
9	保全作業が実施可能な時間 1 行目 - (2-8 行目) の合計	1688
10	実地ではない作業、作業前の説明会、文書の取得、着替えなどに費やす時間、9 行目の 50%と仮定	844
11	支払った時間の%としてのレンチタイム=10 行目/1 行目	40%
12	作業が実施可能な時間の%としてのレンチタイム=10 行目/9 行目	50%

このレンチタイムの計算方法では、レンチタイムが少なくなり、作業員のリソースが著しく活用されていないという誤った印象を与えてしまう。作業を実施可能な時間の年間合計を計算するために行う引き算（2 から 8 行目）は、原子力産業界のすべての従業員に当てはまる。組織内のすべての従業員に適用されるこれらの活動の定期試験は、その作業の職務に要求され続け、費やされる時間が適切であることを確認するために望ましい。しかしながら、レンチタイムは、作業員がプラントで保全作業を実施出来る時間の比率として計算（12 行目）されることが推奨される。

4.5.2 作業員の 1 週間当たりのワークオーダーの取扱量

この測定指標は、保全作業員の残業なしでの週間平均生産能力を示すものである。この測定指標の比較評価の方が、ワークオーダーの絶対数の比較よりもさらに有用であることがある。平均的に、保全作業員の週間生産率は、大体同じであるため、産業界のさまざまなプラント間で比較可能なはずである。

計算：

原子力発電所におけるほぼすべての作業は、最低 2 人のクルーで実施されるため、この計算はクルーの規模別のワークオーダーの分布を考慮すべきである。ベンチマークは、80%のワークオーダーが 2 人のクルーで実施され、残りの各 10%は 3 人及び 4 人のクルーが必要であるとする分布を使用して計算された。1 年でサービスが提供された合計ワークオーダー数はその後 2 人のクルーのワークオーダー相当の数に変換された。クルー規模別のワークオーダーの分布が著しく異なる場合、この式は適切に変更されるべきである。

$$\text{取扱量/作業員の 1 週間} = \frac{[\text{1 年あたりに処理される 2 人のクルーと同等のワークオーダー数}]}{2 \text{ 人組のクルーの数}}$$

$$2 \text{ 人組のクルー同等のワークオーダー数} = \text{年間にサービスが提供される WO} \times (0.8 + 0.1 \times 2/3 + 0.1 \times 2/4)$$

$$2 \text{ 人組のクルー同等のワークオーダー数} = \frac{\text{合計作業員数}}{2}$$

データソース

作業員数は、保全及び保全支援部門の組織図から得られた。作業員数には、機械、I&C、電気、及び保温、足場の組立て、及び溶接施行者など、その他の支援作業員を含むすべての作業員が含まれる。1 年あたりに処理されるワークオーダー数及びクルー規模に基づいた割合の分布は MMS から得られた。

$$\text{ベンチマーク} = \text{保全部門全体で 248 ワークオーダー/作業員 1 週間当たり}$$

この測定指標を、保全部門レベル及び個々の専門分野レベルで計算することは有益だろう。ベンチマークからの著しい変化及び好ましくない傾向が見られる場合は、さらなるレビューの根拠となる。人員のアベイラビリティが変わっていない場合、その原因は、CM 数が多い及び/又は複雑な活動の CM が多いことが考えられる。実際の時間データが把握されている場合、これは、MMS からのクエリを使用して簡単に特定することが出来る。他の原因には以下が含まれる。

- 作業員に新しく雇われた人及び/又は経験の少ない人が多い
- 不十分なプランニング及び作業のための配置の段取り

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.5.3 作業員に対するプランナーの比率

プランナーは、実施される作業のプランニング及び作業のための配置の段取りを実施することで保全作業員を支援する。これには、特別な作業条件（アクセスの制限、狭所、又は高線量など）又は、足場の組立てなどの必要な支援を特定するために、必要に応じて代理巡回による写

提案する測定指標及びベンチマーク

真などの物理的又は遠隔で作業現場の調査を行う。この測定指標は、プランナーの人員の活用の効率を示すものである。

計算：

$$\text{作業員に対するプランナーの比率} = \frac{100 \times (\text{年間のプランナーの合計工数})}{(\text{年間の作業員の合計工数})}$$

プランナー／作業員の合計工数は、病欠、休日、休暇、及びその他の休みを除いた時間のみを使用して計算されるべきである。1週間に利用可能な合計作業員時間数は、年間1人当たり1840時間を使用して計算される。

データソース

保全及び保全支援部門の組織図

ベンチマーク：保全部門の10%（つまり、作業員10人ごとに1人のプランナー）

本指数は、保全部門レベル及び個々の保全の専門分野（例えば、I&C や機械）レベルで計算されるべきである。ベンチマークよりも著しく高い値及び／又は好ましくない傾向は、プランニング及び作業リクエストスクリーニング機能の調査の根拠となる。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットのプラントでは、各ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.5.4 プランナーの1週間当たりのワークオーダー

この測定指標は、プランニングの職務の生産性を示している。監視期間に渡り、この測定指標は、さまざまなプラント間で比較可能であるべきである。これは、組織又はその他の環境変数における著しい違いを除外することで、平均的に生産性はほぼ同じになるはずであるからである。

計算：

プランナー／作業員の合計工数は、病欠、休日、休暇、及びその他の休みを除外した時間のみを使用して計算されるべきである。経験から、1840 x プランナー／作業員数である。年間にサービスが提供される合計ワークオーダー数の60%のみがプランナーの手によるものである。これは、他の40%は通常FIN/WIN チームが実施するものとして取除かれるか、プランニングが必要ない潤滑、油サンプリング、及び振動データ収集などの日常的な作業であるからである。

$$\text{プランナー1週間当たりのワークオーダー} = \frac{(\text{年間で処理されるワークオーダー合計数}) \times N}{[1 \text{ 週間当たり利用出来るプランナーの合計時間} \times (1 - \text{トレーニング時間の割合})]}$$

N = 通常の作業週における作業時間数

年間に処理されるワークオーダー数 = 合計ワークオーダー数 x 60%

データソース

保全及び保全支援部門の組織図

ベンチマーク：15 ワークオーダー数／プランナー1週間当たり

この測定指標を、保全部門レベル及び個々の専門分野レベルで計算することは有益だろう。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、各ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.5.5 作業員に対するスタッフの比率

保全の職務を支援するスタッフには、作業管理スタッフ、保全部門のエンジニア、プランナー、スケジューラー、手順ライター、及びその他の事務、管理及び経営層スタッフが含まれる。この測定指標は、プラントにおける支援人員の活用効率を示すものである。

計算：

$$\text{作業員に対するスタッフの比率} = \frac{100 \times [\text{年間当たりのスタッフの合計工数}]}{\text{年間当たりの作業員}}$$

スタッフ／作業員の合計工数は、病欠、休日、休暇、及びその他の休みを除外した時間のみを使用して計算されるべきである。1週間当たりの利用可能なスタッフ／作業員の時間は、年間1人当たり 1840 時間を使用して計算される。

データソース

保全及び保全支援部門の組織図

ベンチマーク：33%（つまり保全部門レベルにおいて、作業員 3 人に対してスタッフが 1 人支援しているということ）

目標：25%

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、各ユニットの変数値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

4.5.6 再作業数

再作業は、同じ問題又は故障のために、同じ機器に対して実施が必要な追加の保全（通常完了した作業の繰り返し）である。最初の作業の実施後、保証期間を関連付けすることにより、再作業及びそうでない作業について、一貫して正確な判断が出来る。一般に、保全技術者が実施する作業には、関連する保証時間を設けるべきである。通常運転の機器については、不十分又は不適切な技量により、多くの場合保全後試験又はその直後に故障が発生する。待機機器については、保全後試験が不合格とならない場合、その後の運転機能試験において状態が発見されるだけだろう。従って、保証期間は両方のケースを考慮に入れるべきである。PM 機器については、保証時間は PM の頻度に本来関係する。しかしながら、例えば 1 年など長い間隔の PM では、PM の頻度に等しく保証時間を設定するのは合理的ではない。これは、間の期間において別の事柄が上手くいかなくなる可能性があるためである。6 カ月間など、合理的な期間よりも長い保証時間は、推奨されない。なぜならば、その期間後の故障は、別の不具合に関連している可能性が高いからである。従って、そのような再作業の追跡や評価をすることは、機器の履歴や再発故障に対するレビュープログラムでそれらが把握されるため時間の無駄である。同様に CM については、6 カ月の保証時間が推奨される。本図書は再作業を以下のように定義する。

提案する測定指標及びベンチマーク

最初に実施された作業が不十分、不正確、又は欠陥部品及び／又は材料を使用して実施されたために、特定の期間内に再び実施される作業。推奨期間は、6ヶ月又はPM間隔の半分、どちらか短い方の期間である。

これにより、いつから保証期間が開始されるかが問題となる。保証時間を計る時計は特定の保全作業が完了し、機器が供用に戻される時に開始されるべきである。一部のプラントでは、保全後試験中又は供用に戻す前に故障が発生し、すべての作業を大幅に再実施する必要が出た場合も、再作業に含めるべきとしている。この立場は論理的に正しいが、人による先入観の影響を受けることを考慮すると、そのような再作業アイテムを追跡及び評価する投資収益率は、作業員のモラルを含め、コストに見合わない。作業員の監督が、通常の業務においてそのような状況に対応出来るようにすべきである。

この測定指標は、最初に作業が実施された時に、不十分、不適切な技量、又は欠陥部品及び／又は材料が使用されたために、再び実施されたワークオーダー数を示す。

「再作業」という用語は、産業界内で定義及び使用の整合性が取れていない。現在のプラクティスは、スクリーニングを行う人が、何が間違っていたかということをも自分の判断に基づいて、作業要求が再作業かどうかを判断し、ログを取っておく。再作業数の追跡は、MMSでの適切なアルゴリズムを含め、自動化されるべきである。再作業の原因を突き止め、適切な改善及び是正措置を取るために再作業数の月間レポートを作成し評価を行うべきである。ピアと比べて再作業数が多い又は、再作業数が一定／増加する場合は、内在する原因を特定することが要求される。評価により、欠陥部品又は材料が示された場合、フォローアップのために適切なエンジニアリング部門にゆだねるべきである。それ以外の場合、このような状況は、通常、不適切なトレーニング、手順、及び／又は不十分な作業カルチャーを示している。

データソース

ベンチマークは、再作業データを（ほぼ手動で）追跡し続けていた保全支援技術者からデータを集めることで設定された。前に記したとおり、データは完全に信頼性のあるものとされない。これは、アンケートを実施した母集団内において、再作業の整合性のある定義及び再作業数の収集及び評価の文書化されたフレームワークが確立出来なかったためである。従って、設定されたベンチマークは保守的な推定値である。

ベンチマーク：保全部門全体で 24 ワークオーダー／年

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、各ユニットの再作業数の値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニットの測定指標を計算すべきである。再作業数を保全部門レベル及び各専門分野レベル両方で追跡及びレビューすることが推奨される。

目標：ゼロ

4.5.7 緊急時作業数

計画された保全作業がユニット当たり\$1かかる場合、故障に伴う保全、つまり CM は通常\$2かかることが認められている。故障後の保全が緊急に実施される必要がある場合（つまり、迅速な対応が必要な場合）、ユニット当たり\$3以上かかる可能性が高い。これは、混乱を伴い、作業が完了するまでに時間外の作業が要求され、さらに部品やサービス技術者が必要になる可能性があるからである。従って、保全コストを管理するためには、緊急として分類され、実施

される作業量を監視することは価値あることである。この測定指標は年間の緊急時ワークオーダー数である。

データソース

この測定指標のデータ入力は MMS から利用可能である。アンケート中のすべてのプラントでは、MMS に作業の優先順位を把握するフィールドがあった。通常、優先順位 1 又は優先順位「E」が緊急時作業を意味した。しかしながら、一部のプラントではワークオーダーシステムにおいて「今すぐ行う修理 (FIN) チーム」又は「今すぐ行う作業 (WIN) チーム」による作業を把握していなかった。このため、収集されたデータ情報は真の状況を反映していないかもしれない。しかし、FIN/WIN チームの作業は必ずしも緊急時作業でないことに注意しなければならない。アンケートを実施したプラントからのデータは、「優先順位」の定義がプラントごとに異なるか、定義の使用に整合性がないことを示した。従って、以下に与えられているベンチマークは、最も整合性の取れていたプラントからのデータに基づいた保守的な推定値である。

ベンチマーク : 50 ワークオーダー/年

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットごとの緊急時ワークオーダー数の値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、ユニット個別のデータを使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

目標 : < 10

4.5.8 バックログ及びバックログの期日超過日数

バックログ数は原子力産業界で広く使用されている測定指標であるが、プラント間で定義が異なる。現在使用されているように、その時点での又はプランニング段階における作業負荷¹³又は超過した期間は異なるものの期日超過作業、又はその両方を意味する可能性がある。バックログを追跡する意図は、期日超過作業を特定し、進捗を監視し、作業の蓄積をなくすことである。プラントが比較をしたい場合、「バックログ」の定義が単一の意味であり、プラント間で整合性が取れている必要がある。

従って、以下のことが推奨される。

- 「バックログ」という用語は、作業ウィンドウから外れた期日超過作業であり、猶予期間を超過、再スケジュールされていないものと定義されること
- プラントは期間及び部門別のバックログアイテムを週ベースで監視すべきである。

さらに、産業界は「作業負荷」という用語の意味をスケジュールされているすべての作業が猶予期間内であり、完了を待っているものとするのが推奨される。

現在一部の発電所が使用しているバックログは、2 つの部分からなる。それは、現在の作業負荷及び期日超過の作業負荷であり、後者を以降「バックログ」と呼ぶ。現在の作業負荷は現在

¹³ Merriam-Webster 辞書では「バックログ」という用語の定義を *実施されていないタスクの蓄積*としている。同辞書で「作業負荷」は *特定期間内に実施された、あるいは実施出来る作業量*としている。

提案する測定指標及びベンチマーク

のプランニングの範囲で実施がスケジュールされている作業量である。バックログは、前回のプランニング範囲でスケジュールされながら完了していない作業で、再スケジュールが出来なかった又は再スケジュールされず、持ち越されたものである。バックログの蓄積は、作業アイテムの継続的な蓄積を防ぐためにしっかり監視されるべきである。

保全部門による妥当なサービスレベルを確保するために、閾値となる期間を設け、それ以降はバックログがクリティカルになるようにすることが要求される。バックログの閾値の推奨は 30 日である、これは、スケジュールされた作業を実施せず、再スケジュール出来ない又は再スケジュールされずにそのまま 30 日を超えることは、不十分なサービスレベルを示すからである。この論理的根拠は、作業が元々スケジュールされた時、作業を完了させるために前提条件（例えば、部品の到着、作業実施のためのウィンドウがあるか、機器へのアクセス、技術者の利用可能性など）が考慮された。その作業がスケジュール通りに実施されず、再スケジュール出来ないか再スケジュールされず、30 日を超えて期日を超過する場合、この条件から以下の疑問が生じる。

- なぜその時期にスケジュールしたのか
- その作業は今でも必要か
- スケジュール時、作業のクリティシティ及び技術者の手当て可能な状況が考慮されたか
- 当該部門には、責任を持って作業を完了させるのに十分な人数のスタッフがいるか
- 当該部門には、期日超過の作業を追跡及び完了するための体系的なプログラムがあるか

バックログを監視し、蓄積をなくす目的に役立てるために、本図書では「バックログ」を以下のように定義する。

特定の時間／ウィンドウ中に実施されるためにスケジュールされた作業で、実施されなかった、実施出来なかった、又はいかなる理由であれ再スケジュールされず、30 日間を超えて期日超過しているもの

バックログは、MMS に適切なアルゴリズムを組み込み、週間レポートを生成することで、自動で追跡されるべきである。現在、アンケートを実施したいずれのプラントでも MMS でバックログを追跡していない。一部のプラントでは手動で MMS から要求データを表にダウンロードし、バックログの期間を示したレポートを生成処理している。アンケートを実施したプラントのうち、3 つのプラントでは、バックログが >90 日であり、50 から 60 の範囲のワークオーダーとなった。残りの 3 つのプラントでは、期間別にバックログを追跡せず、現在の作業負荷及びバックログの区別もしていなかった。

データソース

ベンチマークは、アンケートを実施したプラントでバックログ数を（ほぼ手動で）追跡し続けていた保全支援技術者からバックログ数を収集することで設定された。前に記したとおり、データは完全に信頼性のあるものとされない。これは、アンケートを実施した母集団内において、バックログの整合性のある定義及びバックログの収集及び評価の文書化されたフレームワークが確立出来なかったためである。従って、設定されたベンチマークは、アンケートを実施したプラントからの関連データのレビューに基づいた、保守的な推定値である。

ベンチマーク：任意の時点における 30 日間を超える期日超過ワークオーダー 50 件

アンケートの母集団に対する週の平均ワークオーダー取扱量に基づいて、典型的な保全部門で、技術者の 1/4 がバックログ¹⁴の解決のみに携わる場合、約 1 週間分の作業になる。

共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、各ユニットのバックログの値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

目標：<20

バックログの期日超過日数

「バックログの期日超過日数」は、バックログ数よりも便利な測定指標だろう。当該の保全部門がバックログの解決のみのために作業を実施するために、作業員の 25%でかかる日数と定義される。この測定指標は、人員の重大なミスアラインメントを明確に直接的に示すものである。この測定指標の値が大きい場合又は好ましくない傾向の場合の内在的な原因には、以下が含まれる。

- 慢性的なスタッフ不足
- 作業実施に要する時間推定が不十分
- 不十分なプランニング
- スケジューリングの問題

この測定指標は、保全部門全体及び各専門分野で計算されるべきである。この測定指標は、以下のように計算出来る。

計算：

$$\text{バックログの期日超過日数} = \frac{(\text{期日超過のワークオーダー数} > 30 \text{ 日}) \times 4 \times 7}{1 \text{ 週間当たりの完了ワークオーダー}}$$

例：

期日超過のワークオーダー > 30 日 = 121

1 週間当たりの平均完了ワークオーダー数 = 192

$$\text{バックログの期日超過日数} = \frac{121 \times 4 \times 7}{192} \approx 3 \text{ 日}$$

ベンチマーク：1 週間未満

このベンチマークは、アンケートを実施した 6 つのプラントから収集された関連データに基づいた推定値である。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットごとのバックログの期日超過日数の値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、各ユニットの測定指標を計算すべきである。

目標：ゼロ

¹⁴ アンケートを実施した母集団の半分は、バックログを経過日数別で追跡していた。これらのプラントでは、平均経過期間が 90 日以上バックログであるワークオーダーは 100 件あった。

4.5.9 定格出力 100MW 当たりの時間

この測定指標は、各ユニットの設備容量に基づいて保全の職務の提供に使用された技術の比較を可能にする。これには、以下の工数が含まれる。

- 事務管理及び経営層の人員を含めた、保全及び保全支援の職務の人員全員
- 保全の職務に対するスケジュール支援
- 保全の職務に対する手順支援
- 赤外線、振動診断、及び油分析プログラムの PdM エンジニアリング支援

計算：

$$\text{保全工数} / 100\text{MW} = \frac{(\text{保全の職務に係わる人数} \times 1840) \times 100}{\text{ユニットの定格出力}}$$

ベンチマーク：31278 工数 / 100MW

ベンチマークは、マルチユニットプラントでユニット当たりの出力が 800MW から 1300MW までの範囲であるプラントに直接適用出来る。シングルユニットのプラントでは、図 4-2 で得られた係数でベンチマークを調整すべきである。共通の保全部門を持つマルチユニットのプラントでは、ユニットごとの工数及び設置（つまり、許認可を受けた全出力定格）設備容量の値の平均を使用すべきである。個別の保全部門を持ち、それぞれで管理するマルチユニットでは、ユニット個別の変数値を使用して各ユニットの測定指標を計算すべきである。

目標：産業界 / 産業グループの下位 4 分の 1 の下限に常にあること

4.5.10 手順の安定及び品質

米国における原子力発電所が平均して 15 年強の間運転していることを踏まえ、人は機器に対する保全作業を実施するための手順システムが安定し、高品質であることを期待するはずである。技術的なエラー又は省略を是正するための変更は、最小限に抑えるべきである。変更は、主に以下の必要性により促進されるべきである。

- 過去に手順で対処されていないところの対処
- 機器 / 系統への変更の取込み
- 系統 / 機器の追加 / 削除の対処

産業界は、今や学習曲線及び規制当局手動のプラント改造の段階を過ぎているので、プラントが継続的に手順変更を経験することは、不十分な手順システムを意味し、作業員の生産性にも影響すると考えられる。手順の品質及び安定性を意味する 2 つの測定指標には以下が含まれる。

1. 使用中のすべての手順に占める割合で表した手順変更数
2. 使用中のすべての手順に占める割合で表した、変更された手順書数

どちらか又は両方で高いレベルの値が続く時、保全の職務を提供するコストが上昇し、保全部門の生産性に影響する可能性がある。

手順の変更の割合

この測定指標は、使用中の手順の合計数の割合に対する処理された手順変更数を見るものである。進行中の手順の合計数には、保全部門で実施された保全手順及びサーベイランス手順が含まれる。マルチユニットのプラントでは、手順のすべて又は大部分が各ユニットで別々であり

区別されているので、この測定指標に計算にはユニット個別の変数値を使用すべきである。

計算：

$$1 \text{ 年当たりの手順変更の} \% = \frac{100 \times (1 \text{ 年で処理される手順変更要求数})}{\text{使用中である手順書の合計数}}$$

処理された手順変更要求で結果として手順変更となったものだけが含まれるべきである。処理された手順変更数を数える時に、監視期間中に一度以上手順が変更された場合、それぞれの変更の発生を個別の手順変更として数えるべきである。この意図は、正しい是正措置が取られるように系統の問題を特定することである。

ベンチマーク = 70%

このベンチマークはかなり高い値であることに注意すること。

目標 ≤ 20%

変更された手順書の割合

この測定指標は、既に取上げた手順変更の影響を受けた手順書数を見るものである。さらに、これは進行中の手順書の合計数に占める割合として計算される。

マルチユニットのプラントでは、手順のすべて又は大部分が各ユニットで別々であり区別されているので、この測定指標の計算にはユニット個別の変数値を使用すべきである。

計算：

$$1 \text{ 年当たりの手順変更の} \% = \frac{100 \times (1 \text{ 年で変更要求の影響を受ける手順書数})}{\text{使用中である手順書の合計数}}$$

ベンチマーク = 44%

目標 ≤ 20%

4.5.11 保全の生産性指標

この測定指標はピア又は産業界との比較のためにプラントの保全生産性の複合的な概観を提供するものである。これは、4.3.9 で説明される方法と同様に、4.5.1 から 4.5.10 で取上げられているプラント個別の個々のプロセス測定指標をそれぞれのベンチマーク値と比較することで導き出される。表 4-12 は、生産性指標と各測定指標について良いとされるスコアをリスト化したものである。図 4-9 に、アンケートを実施したプラントの保全パフォーマンス指標及び参考値又はベンチマーク値を示す。

表 4-12 生産性指標及び良いとされる値

測定指標	良いとされる値
レンチタイム	>産業界
作業員の WO の取扱量	>産業界
作業員に対するプランナー	<産業界
WO/プランナー週	>産業界
スタッフに対する作業員	<産業界

WO／スタッフ週	>産業界
再作業 WO 数	<産業界
緊急時 WO 数	>産業界
%手順の変更数	<産業界
%手順書の変更数	<産業界
時間／100MW	<産業界
バックログの期日超過日数	<産業界

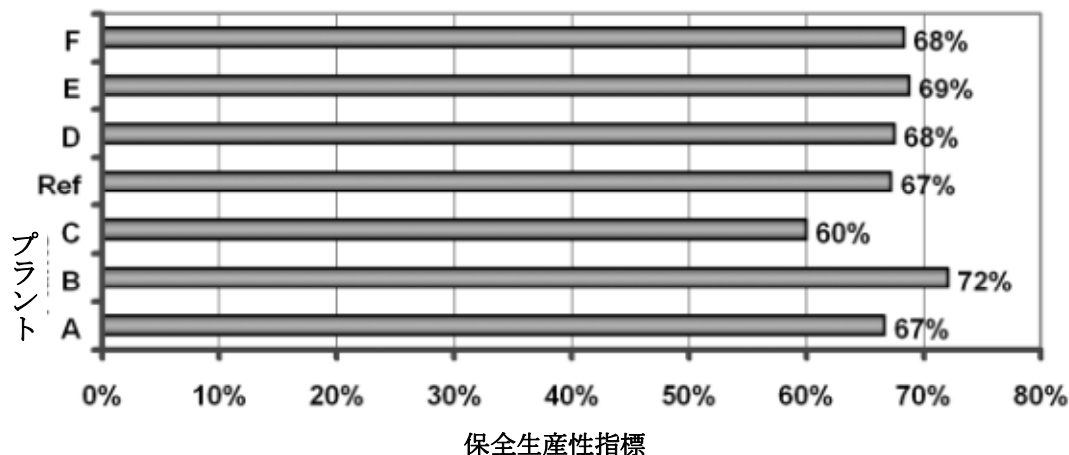


図 4-9 アンケートを実施したプラントの保全生産性指標

4.6 保全有効性指標

有効な保全プログラムは、ピアと比較した場合に 可能な限り低いコストで 常に以下を提供するプログラムである。

- 保全に起因する安全システムの課題、計画外の発電損失、及び計画外のプラントトリップがゼロ
- 規制違反がゼロ
- けがによる損失時間がゼロ
- 作業者の被曝が最も低い

上記のリストは、主にパフォーマンス（つまり、結果）に重点が置かれている。可能な限り低いコストで という語句は、上記にリスト化された結果とともにドル及び使用した工数に係わるコスト、及び基礎となるプロセスや生産性を見るものである。これは、「保全有効性指標」と呼ばれる複合指標を計算することで出来る。この「保全有効性指標」は、以下の 3 つの P の指標の相加平均である。

- パフォーマンス指標（セクション 4.3.9 を参照）
- プロセス指標（セクション 4.4.8 を参照）
- 生産性指標（セクション 4.5.11 を参照）

保全有効性指標は、パフォーマンス、採用されている保全プログラムの包括性、及び基礎となるプロセス効率を示すものである。図 4-10 は、アンケートに含まれる全 6 プラントの保全有効性指標全体及びその構成要素とその平均の棒グラフを示したものである。

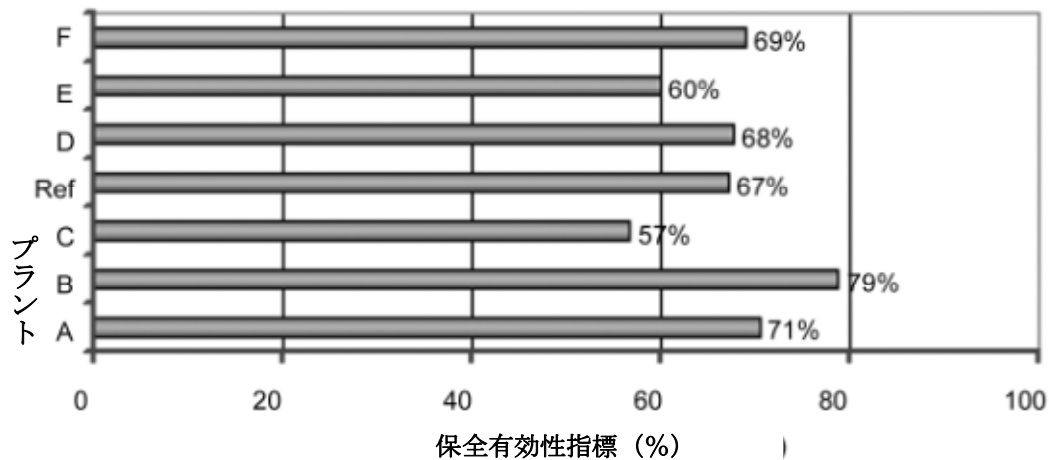


図 4-10 アンケートを実施したプラントの安全有効性指標

4.7 ヒューマンパフォーマンス指標

ヒューマンパフォーマンスの指標は、以下の 7 つの測定指標を組み合わせることで計算出来る。

1. 安全に関連するトリップ (セクション 4.3.3 を参照)
2. 安全に関連する発電喪失事象 (セクション 4.3.4 を参照)
3. 安全に関連する LER (セクション 4.3.5 を参照)
4. 安全に関連する規制違反 (セクション 4.3.6 を参照)
5. 安全に関連するけがによる損失時間を伴う事象 (セクション 4.3.7 を参照)
6. 再作業数 (セクション 4.5.8 を参照)
7. バックログの期日超過日数 (セクション 4.5.8 を参照)

セクション 4.3.8 の概説と同じ比較及びスコア方法を使用して、ヒューマンパフォーマンス指標 (HPI) が計算される。プラントが取り得る最大スコアは 7 分の 7 (つまり、100%) であり、非常に優れたヒューマンパフォーマンスを示す。つまり、これは高いレベルの再作業及びバックログにつながるヒューマンエラーを最小限に抑える、非常に優れた作業カルチャー、スキル/知識レベル、及び手順システムを示している。図 4-11 に、アンケートを実施したプラントの HPI 及びベンチマークを示す。

提案する測定指標及びベンチマーク

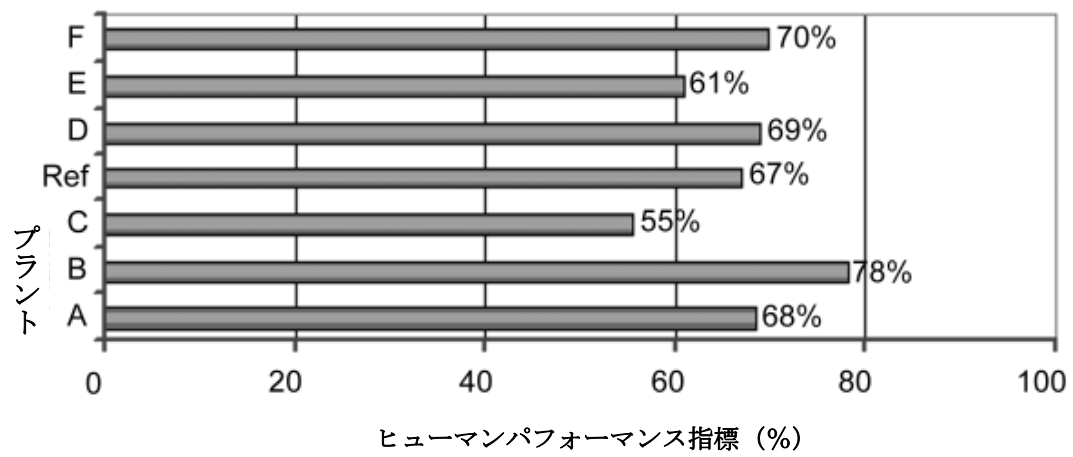


図 4-11 アンケートを実施したプラントのヒューマンパフォーマンス指標の比較

5

評価エリアと測定指標の関連付け

典型的なピア／事故評価では、保全プロセスの 5 つの主要エリア（つまり、作業の特定、作業の管理、作業の実施、作業の完了、及び保全プログラム全体）に着目する。これら各主要エリアはいくつかのサブエリアに分けることが出来る。表 5-1 には主要エリア、サブエリア、及び個々又はグループとしてそれらエリアに対応する測定指標の一覧を示す。

表 5-1 保全プロセス要素と測定指標の関連付け

評価エリア ● サブエリア	関連する測定指標
作業の特定 ● 保全ベース ● PM プログラム ● CM プログラム	1. すべてのタイプの保全プログラムの対象である合計機器数 2. PM に含まれる合計数の割合 3. CM のみに含まれる合計数の割合 4. PM に含まれる合計数の割合として表した PdM 5. PM に含まれる安全関連機器の割合 6. PM に含まれる非安全関連機器の割合 7. 出力運転中に実施される PM の割合
作業の管理 ● 優先順位付け ● リスク評価 ● プランニング ● スケジューリング ● 作業／クルーの配置 ● 外注作業	1. 実施処理されたワークオーダー (WO) 合計数 2. PM 及び CM に指定される WO の割合 3. 手順変更の割合 4. 手順書変更の割合 5. 外注保全の割合 6. バックログ、期日超過のバックログ、及びバックログの期日超過日数 7. 作業員に対するスタッフの比率 8. 作業員に対するプランナーの比率

表 5-1 (続き)

保全プロセス要素と測定指標の関連付け

<p>作業の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ツール及び材料管理及び作業のための配置の段取り ● 作業前の説明会 ● リスク管理 ● 作業手順書の使用 ● タスクの実施 ● 作業の品質管理 ● 安全プログラムの適用実施 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 計画外のトリップ数、及び発電喪失事象数 2. LER 数及び規制違反数 3. 手順変更の割合 4. 手順書変更の割合 5. 再作業数 6. バックログ、期日超過のバックログ、及びバックログの期日超過日数 7. レンチタイム 8. ワークオーダー／レンチ週 9. ワークオーダー／プランナー週 10. けがによる損失工数 11. 作業員の年間被曝量
<p>作業の完了</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 保全後試験 ● 作業後の批評コメント ● データ取得及び文書化 ● 供用への復帰 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ワークオーダー取扱い数／週 2. ワークオーダー／スタッフ週 3. レンチタイム
<p>保全プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> ● オーナーシップ ● 部門の期待事項 ● パフォーマンス ● 生産性 ● 自己評価 	<p>保全有効性指標、その 3 つの P の構成要素、及びヒューマンパフォーマンス指標</p>

表 5-1 に示されている測定指標は、ピア／自己評価活動の焦点を絞るのに役立つ見識を提供することを意図としている。測定指標があれば、評価者は保全プログラムに存在する潜在的なギャップの徴候を把握することが出来るはずである。

6

提案された測定指標を使用する際の推奨事項

本図書で提案されている一連の測定指標には、一度限りの使用を目的としたものもあれば、継続的な使用を目的としたものもある。測定指標の使用を開始するための推奨ステップを以下に示す。

- 一度限りの測定指標のスナップショット値を設定することから始める。一度限りの測定指標のいくつかは、どのように保全プログラムが変化したかを見るために、**3**から**5**年間の履歴データを収集し評価することが有益な場合がある。例えば、予知保全プログラムに含まれる機器数の履歴データを見ることにより、プログラムの成長率が分かる可能性がある。その測定指標をプログラムが安定化するまで継続的なプログラムとして使用するか、次回の監視期間の終わりなどにこの測定指標を再検討することが必要となる。
- 選択された期間（**5**年が望ましいが、最低でも**3**年）における継続的な測定指標の履歴データを収集する。ベンチマーキングは、**1999**年から**2001**年の**3**年間のデータに基づいて実施された。
- 履歴データを使用して、継続的な測定指標の連続する**3**年間の年間平均値（つまり、**1**、**2**、及び**3**年目の平均；**2**、**3**、及び**4**年目の平均；**3**、**4**、及び**5**年目の平均）を計算する。**3**つの連続する**3**年間の平均としてベースライン値を計算する。**3**年間の履歴データのみが使用される場合、ベースライン値は、**3**年間の平均値となる。ベースライン値と履歴データを検討し、著しい変化がないを見る。例えば、**5**年間のセットの**3**年目の手順変更の割合が**30%**で、他の年が**5**から**10%**の範囲の場合、**3**年目の値が大きい理由を検討し、適用する適切なディスカウント又は値を求めるべきである。**3**年目にすべての**I&C**の手順の形式を変更するために大規模な手順改訂プロジェクトが実施された場合、その一度限りの特別な取組みを反映するためにディスカウントが適切だろう。
- 一度限りの指標のスナップショット値及び継続的な測定指標のベースライン値を本図書のベンチマーク値と比較し、そして可能な場合には、参照グループ内のプラントの該当する測定指標と比較する。さらなる検討が必要かどうか、顕著な変化を示す相違の程度（例えば、好ましくない方向へデルタが**25%**を超えている）を分析する。さらに、追加の検討のために、選択された期間におけるプラントの測定指標値の好ましくない傾向に対してフラグを立てること。
- 逸脱事項を検討し、適切であれば、必要な回復又は是正措置を特定する。
- 継続的な測定指標のベースライン値及び一度限りの測定指標のスナップショット値を将来使用する場合に備えて保存しておく。
- 定期レポート生成の必要頻度（つまり、毎月、四半期に一度など）を決め、レポートを自動生成するように必要なソフトウェア変更を実施する。あるいは、各データシステムからの関連データ情報をダウンロードし **Microsoft Excel** 表に展開するために一連のクエリを使用してもよい。すべての計算及びレポート生成は **Excel** 上で設定出来る。（本図書の調査員が使用している）この方法は、おそらくより便利で簡単な方法である。さらに、ローカル管理出来るというメリットがあり、将来の変更が簡単になる。
- 必要な場合、データの関連性に係わる判断決定を行う役割分担（例えば、データ入力、レポ

提案された測定指標を使用する際の推奨事項

ート生成、及び配置) の手順を確立する。

7

考察及び推奨事項

本セクションでは、ベンチマーク開発を支援するために必要なデータを収集するプロセス中に、アンケートを実施したプラントの保全機能について得られた見識を列挙し検討する。

1. 本図書で取上げる、一連の測定指標を算出するために必要なデータは、プラント MMS や機器リスト、事象追跡、プラント運転履歴、作業者の被曝の追跡、及び OSHA に対して報告する事象など他のいくつかのデータシステムですぐに取得可能であった。クエリは比較的簡単に（平均で、数時間かかった。）保全支援スタッフにより書かれ、調査員がさらに処理するために Excel 表にデータがダウンロードされた。アンケートを実施した各プラントでは、すべてのデータを収集した支援スタッフは、1 週間のフルタイム勤務相当の人 2 人分であった。
2. アンケートを実施したプラントで使用されている MMS やその他のデータシステムにはかなり共通点がある。産業界全体においても、ほとんど例外なく、同程度の共通点が見られると仮定することが妥当である。これは、本図書で取上げる監視保全の測定指標のシステムの適用実施には、最小限の要員で、既存のシステムやプラクティスに対して最小限の支障にて実施可能であるべきであることを示している。
3. 全体的に、アンケートを実施したプラントのコストデータに基づくと保全コストは燃料を除く運転及び保全（O&M）コストの 25% であった。これは、シングル及びマルチユニットのプラントに当てはまる。
4. アンケートを実施した期間中である 1999 年から 2001 年までのデータでは保全の年間作業負荷又はその内訳に増加又は減少の傾向は見られなかった。つまり、アンケートを実施した期間に実施処理された PM 又は CM のワークオーダー数に増減はなかったということである。
5. アンケートを実施した 6 つのプラントのうち 1 つのプラントのみが、各ワークオーダーに対する作業員及びプランナー、作業管理及び保全サポートエンジニア／技能者などのサポートスタッフの実際の工数を把握する包括的なシステムを有していた。アンケートを実施した他のプラントにはこのようなシステムが全くないか、部分的にない状況であった。実際の時間は、保全のコスト効果の改善を模索する場合に有益である。例えば、アンケートを実施した 6 つのプラントのうち 3 つのプラントでは、緊急ワークオーダー数が数百件あった。これらのプラントでは、他のプラントにくらべて比較的高い保全コストとなっていた。保全コストが高いのは多くの原因が考えられるが、ワークオーダーの優先順位化及び緊急時保全の実施にかかった時間について見た場合、コスト削減につながる可能性がある。
6. アンケートを実施したプラントでは、PdM はサーモグラフィ、油分析、及び振動診断を意味する。この考え方は、調査員が最近のユーザーズグループ会議に集まった PdM エンジニアと議論した際に明らかになったように、産業界全体で一般的であると思われる。実際には、電動機監視、MOV 診断、変換器の監視、ディーゼルエンジン（DG）のパフォーマンス解析、及び流れ加速型腐食など、十数種類のプログラムがこのカテゴリに分類される。

7. PdM の責任及び予算は、プラントのエンジニアリング部門のグループ及びプラントの O&M 組織の多くに分散している。プラントで実施されているすべての PdM プログラムを包括的に見た場合、広範な範囲に渡るかなりの額の活動となるだろう。この PdM 活動を 1 つの組織に統合することは有益である可能性がある。すべて一緒になると、年間の PdM プログラムの支出合計は、300 万米ドル及び 25000 工数を超えると推定される。このような統合により、コストを削減し、この職務を管理し遂行する効率、専門知識のレベル、及びデータ管理が改善出来る可能性がある。
8. 一般的に、PdM に関連する現場データの収集は、ほとんど保全作業員によって行われている。一部のプラントでは、赤外線及び振動のデータ収集はシステムエンジニアによって行われている。一部のプラントですすでに行われているように、保全作業員が日常的にすべての PdM データ収集、診断試験、及びデータの初期レベルのスクリーニングを行う状況へと移行することが望ましい。エンジニアに時間の余裕が出来る以外にも、この作業を実施出来るトレーニングを受けた多くの技術者を抱えることが出来、保全の日常作業の一部に PdM のデータ収集を組み込むことが出来るだろう。
9. 一般的に、PdM の工学解析に関する専門知識は、個々に蓄積され、多くの場合バックアップがない。この状況は、長期的に見ると円滑な機能や移行を妨げるものである。1 つの管轄下に PdM を統合することにより、バックアップ作成及び維持の機会が出来る。
10. 一部のプラントでは、一部の PdM タスク（赤外線調査、油分析サンプル採取）がワークオーダーシステム下で実施されていない。すべての PdM 作業をワークオーダーシステム下で実施することが望ましい。現在、PdM 作業は MMS で「PM」のカテゴリとしてコード化されている。PdM のワークオーダーは、「PdM-OI」などのように独自のカテゴリで統一されてコード化されるべきである。こうすることで、PdM のコスト及びその利点を監視することが出来る。対応すべき、さらに大きな問いは、PdM が期待に込んでいるかということである（つまり PM の削減及び／又は CM の削減／排除）。この問いは、すべての PdM タスク、影響を受ける機器の ID 番号、及び実際の時間が追跡出来れば、ワークオーダーシステムから答えが得られる。
11. 再作業及びバックログは産業界で広く使用されている 2 つの指標であるが、定義に整合性が欠けている。さらに、これらのカテゴリに何が当てはまるかの判断は、人により大きく変わるので、現在使用されているこれらの指標の真の価値（つまり、保全プロセスについて有意義な結論を導き出し、産業界全体で意味のある比較を行える能力）について疑問が挙がっている。詳細な検討については、セクション 4.5.6 及び 4.5.8 を参照のこと。
12. アンケートを実施した 6 つプラントのうち 3 つのプラントでは、1 年当たりの緊急ワークオーダー数が 1 ユニット当たり数百件に及んだ。1 つのプラントでは 1 年当たりの緊急ワークオーダー数が 2 件だった。この件数の格差から、プラントにおける作業の優先順位化が統一されたクライテリアに基づいているかという疑問が出る。数百件を扱う 3 つのプラントが本当にワークオーダーの優先順位化を正しく行っているとすると（調査員はそう考えているが）、PM の改善を通じた大幅なコスト節約の機会を示している。
13. プラントの典型的な MMS で計算することが出来るその他の測定指標には、以下が含まれる。
 - ワークオーダーの文書化を完了するためにかかる日数：スタッフのサービスレベルを示す
 - CM の作業依頼に対する対応時間：保全の対応レベルを示す
 - CM のワークオーダーにおいてすべての機器を修理する平均時間：保全の対応レベルを示し、CM 作業の推定期間を改良するベースを提供し、作業のスケジューリングを改善する

- 保全の改善指数：選択された保全の測定指標に対する改善又は改善の欠如を示す
- **CM** のワークオーダーで扱うすべての機器における故障までの平均時間：供用レベルを示し、取替え決定のベースを提供する
- 緊急ワークオーダーの実施処理コスト：保全機能のコスト削減機会を特定する

8

要約

有効な保全プログラムとは、ピア／産業界と比較して実用的な限り低いコストで最大のアベイラビリティ及び寿命をもたらすとともに、系統、構造物、及び機器の信頼性のあるパフォーマンスを提供出来るプログラムのことである。特定のパフォーマンス要求事項及び電力産業界における競争の激化により、バランスの取れた保全プログラムの組合せに支えられ、しっかりと検討された保全戦略が要求されている。現在の保全戦略には、長年に渡り発展してきた保全活動の組合せが含まれる。保全プログラムは一般的に適切なレベルの系統及び機器のアベイラビリティを確実にすることに成功してきたが、必ずしもコスト効果の不高くない予防保全又は事後保全活動のさまざまな組合せで構成されている。学習曲線の検討、及び運転経験、管理要求事項、及び規制要求への対応の発展により、コスト効果は二次的な検討事項に下がってしまった。

さらに電力会社は、過去 10 年に渡り、信頼性重視保全 (RCM)、カスタマイズ化した RCM、又はその他の社内で実施されている方法を使用して予防保全の最適化プログラムを試みてきた。(成功の度合いはさまざまであった。) 定期的な保全だけでは、エージングによる故障を止める／減らすには十分ではないかもしれないという認識から、予知保全 (PdM) 技術又は状態監視の使用が広まった。残念ながら、PdM の取組みの発展度にも差があった。PdM は個別のニーズに対処するため、又は要員の制限内でより良く機能するために導入された。さらに、1996 年に発効された保守規則により、プラントは 予防保全 (PM) の範囲を大きく拡大することを含む保全プログラムのさまざまな側面を強化するためのステップを取ることになった。

保全の 3 つの P (パフォーマンス、プロセス、及び生産性) を見る一連の測定指標は、保全の有効性を評価するのに役立つものである。この一連の測定指標とそれぞれのベンチマーク値が本図書のセクション 4 に示され議論されている。各測定指標に対して本図書で与えられているベンチマークを開発するために実施された作業に 6 つのプラントが参加し、これらのプラントには全部で 13 のユニットがある。この作業により、既存のプラントデータシステムで提供されるデータを使用して測定指標を生成出来ることがさらに証明された。この一連の測定指標を継続的に使用すると、以下のことが出来る。

- 保全において問題が起きる前に潜在的な懸念箇所を特定すること
- プラントの保全プログラムをピア又は産業界と比べて測定をするためのベースを提供すること
- 原子力発電所で現在実施されているピア／自己評価の取組みの努力水準に注目する又は努力水準を下げることに

このベンチマーキングの取組み中に保全プログラム／部門について得られた主な見識の一例を以下に示す。

- 本図書で取上げる、一連の測定指標を算出するために必要なデータは、プラントの MMS 及び他のいくつかのデータシステムからすぐに取得可能であった。クエリは、保全サポートス

要約

トップにより書かれた。(平均、数時間かかった。)これらのデータは、調査員がさらに処理するために **Microsoft Excel** 表にダウンロードされた。アンケートを実施した各プラントでは、プロジェクト支援に必要なスタッフは、1週間のフルタイム勤務相当の人2人分であった。

- 一般的に、燃料を除く運転及び保全 (O&M) コストに占める保全コストは **25%**であった。
- アンケートを実施した **6**つのプラントのうち **1**つのプラントのみが、各ワークオーダーに対する作業員及びプランナー、作業管理及び保全サポートエンジニア/技能者などのサポートスタッフの実際の工数を把握する包括的なシステムを有していた。調査した他のプラントにはこのようなシステムが全くないか、部分的にない状況であった。実際の時間は、保全のコスト効果の改善を模索する場合に有益である可能性がある。例えば、緊急時保全の必要性をなくすか減らすためのステップを適用実施することによるコスト節約の機会を明らかにすることが出来る。
- **PdM**を構成するもの及び **PdM**の活動がより有効的に実施されるにはどのようにしたらよいかということ、より包括的に考えることが効率の改善をもたらす場合がある。ほとんどのプラントでは、**PdM**はサーモグラフィ、油分析、及び振動解析を意味する。実際には、電動機監視、MOV診断、及びディーゼルエンジン (DG) のパフォーマンス解析など、十数種類のプログラムがこのカテゴリに分類される。**PdM**の責任及び予算は多くのグループに分散している。プラントで実施されているすべての **PdM**プログラムを包括的に見た場合、広範な範囲に渡るかなりの額となるだろう。この **PdM**活動を **1**つの組織に統合するべきである。このような統合により、この職務を管理し遂行する効率、専門知識のレベル、及びデータ管理が改善出来るだろう。
- 再作業及びバックログは産業界で広く使用されている指標であるが、定義及び使用の整合性に欠けている。さらに、これらのカテゴリに何が当てはまるかの判断は、人により大きく変わるため、プラントから得たデータには大きな違いがあり、これらの測定指標の真の価値に及び産業界全体で有意な比較をする能力について疑問が挙げられた。本レポートでは、定義を提供しており、この定義を使用した場合、整合性が取れ、この測定指標やその他の指標と比較出来る。

9

参考図書

-
1. Nuclear Energy Institute Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, NEI (NUMARC) 93-01, April 1996.
 2. Aspects of Setting Performance Criteria for Systems, Structures, and Components Within the Scope of 10 CFR 50.65, The Maintenance Rule for Nuclear Power Plants, D. Worledge, EPRI, September 1, 1994.
 3. NRC Regulatory Guide 1.160—Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev. 2 March 1997
 4. WANO Performance Indicators for the U.S. Nuclear Utility Industry, 2000 Year-End Report, April 2001.
 5. *Assessing Maintenance Effectiveness*. EPRI, Palo Alto, CA: December 1996. TR-107759.
 6. *Plant Maintenance Optimization Assessment Guideline*. EPRI, Palo Alto, CA: December 2000. 1000321.
 7. *Predictive Maintenance Self-Assessment Guideline for Nuclear Power Plants*. EPRI, Palo Alto, CA: December 2000. 1001032.
 8. *Improving Maintenance Effectiveness Guideline*. EPRI, Palo Alto, CA: March 1998. TR-107042.
 9. *Guideline for System Monitoring by System Engineers*. EPRI, Palo Alto, CA: March 1997. TR-107668.
 10. Equipment Reliability Process Description, INPO AP-913, March 2000.
 11. Work Management Process Description, INPO AP-928, December 2000.
 12. *Guideline for Assessing the Effectiveness of Maintenance*. EPRI, Palo Alto, CA: December 2002. 1002932.

A

アンケート及び解析手法

プログラムの初期に、提案する一連の測定指標のベンチマーク値は、代表サンプルとなる原子力発電所への訪問を通して集められた実データに基づいて開発することが決定された。本付録では、代表サンプルの選択に使用されたクライテリアについて説明する。

A.1 アンケートの母集団

現在、米国では、原子力発電所が 69 箇所あり、102 ユニット存在する。この母集団には、設備容量が 500 MW から 1300 MW 超に及ぶ 4 つの異なる原子炉タイプ¹⁵が含まれる。保全の測定指標のベンチマーク値を開発するためのデータが産業界全体を代表していることを確実にするために、以下のようにプラントを選択する際のクライテリアが定められた。

- シングルプラント及びマルチプラントのオーナーが含まれるべきである。
- シングルユニット及びマルチユニットのプラントが含まれるべきである。
- 各プラントは地理的に分散しているべきである。
- 初期の年代型式及び最近の年代型式のプラントが含まれるべきである。
- さまざまな設備容量範囲が適切に含まれるべきである。
- 4 つの原子炉タイプすべてが含まれるべきである。
- 少なくともユニット数及び設備容量両方について、母集団の 15%が含まれるべきである。
- 投資家所有のプラント及び政府所有のプラントが含まれるべきである。
- 実用的である範囲において、少なくとも 3 人の異なる建築技術者 (AE) によるプラント設計が含まれるべきである。

¹⁵ General Electric, Co. の BWR 及び Westinghouse、Combustion Engineering 並びに Babcock and Wilcox の PWR

アンケート及び解析手法

アンケート母集団は 6 つのプラントからなり、本レポート内ではプラント A から F¹⁶としか記載していない。これらのプラントには以下の特性があった。

- 運転している全 69 プラントのうちの 6 つのプラントが含まれる。
- 運転している 106 ユニットのうちの 13 つのユニットが含まれる。
- 設備容量は、600 MW から 1350 MW に及んだ。
- 合計設備容量には、合計 102,000 MW のうち 13000+MW が含まれた。
- シングルプラント及びマルチプラントのオーナーが含まれる。
- シングルプラント、2 ユニットプラント、及び 3 ユニットプラントが含まれる。
- 4 つの原子炉タイプすべてが含まれる。
- 2 人の異なる AE の設計が含まれる。
- プラントは、地理的に米国全土に分散している。
- 初期の年代型式及び最近の年代型式が含まれる。

最終的に、選択された母集団は、リスト化された 9 つのクライテリアのうち 8 つを満たした。7 つ目のクライテリアが例外である。プロジェクトの初期段階において、プロジェクトへの参加は自主的であったためにクライテリアを満たすのは難しいかもしれないということが認識された。それゆえ、母集団サンプルは、米国において据付けられている原子力発電所の母集団全体を代表していると考えられる。クロスチェックとして、アンケートを実施したプラントにおける燃料を除く O&M コストの履歴データがレビューされた。図 A-1 で示すように、O&M コストは平均付近に均等に分散し、母集団が産業界を代表していることを示している。

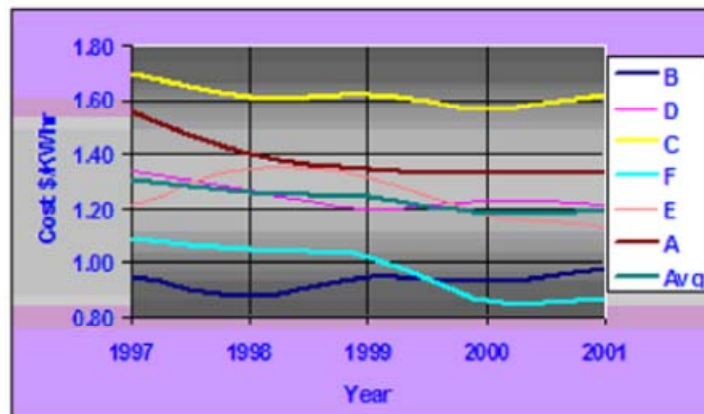


図 A-1 アンケートを実施したプラントの燃料を除く O&M コスト

A.2 データの収集

保全有効性の監視及び評価のための一連の測定指標は、42 個の測定指標からなる。プラントのデータベースから収集されたデータ要素の合計数は、91 個であった。これらデータのほとんどは保安全管理システム、機器リスト、及び PM ベースの、3 つのデータベースから得られた。表 A-1 には各データ要素及びその情報源を示している。

¹⁶ 各プラントとの守秘契約に従い、本レポート全体を通して、プラントはプラント A から F とのみ記載する。

表 A-1 データ要素の情報源

行数	データエレメント	データソース
1	保全に起因する計画外のトリップ	LER データベース及び実際のNER
2	保全に起因する計画外の発電喪失事象	LER データベース及び実際のNER
3	保全に起因する違反	LER データベース及び実際のNER
4	保全に起因する LER	LER データベース及び実際のNER
5	損失時間事象：保全によるけがのみ	プラントの安全記録データベース
6	作業員の被曝（保全部門）（レム）	プラントの被曝記録データベース
7	年間の合計保全コスト（米ドル）	計算
8	保全部門管理の年間コスト（米ドル）	プラントの財務記録及び FERC 会計レポート
9	さまざまなプログラムのために計算された年間の PdM コスト	個別のプログラム担当者
10	請負保全／サービス（米ドル）	プラントの財務記録
11	年間の発電量（MWhr）	プラントの発電記録
12	PM に割当てられた工数	MMS からのデータで計算
13	PdM に割当てられた工数	個別のプログラム担当者
14	CM に割当てられた工数	MMS からのデータによる計算
15	保全作業員のトレーニングに割当てられるコスト	トレーニング部門又はトレーニング記録データベースからの実データから提供された予測値
16	PdM を含む保全に費やされた年間の工数	組織表及び MMS からの補足データからの計算値
17	PM に費やされる工数	組織表及び MMS からの補足データからの計算値
18	CM に費やされる工数	組織表及び MMS からの補足データからの計算値
19	PdM に費やされる工数	組織表及び MMS からの補足データからの計算値
20	PdM を含む、実施処理されたワークオーダー合計	MMS からのデータで計算
21	実施処理されたワークオーダー数	MMS からのデータで計算
22	PdM を含む、実施処理された PM のワークオーダー数	MMS からのデータで計算
23	実施処理された CM のワークオーダー数	MMS からのデータで計算
24	実施処理された PdM のワークオーダー数	MMS からのデータで計算
25	実施処理された RS のワークオーダー	MMS からのデータで計算

アンケート及び解析手法

行数	データエレメント	データソース
	数 = HR + MR	
26	実施処理された NRS のワークオーダー数 = LR + NRS + n/a	MMS からのデータで計算
27	実施処理された安全関連のワークオーダー数	MMS からのデータで計算
28	実施処理された非安全関連のワークオーダー数	MMS からのデータで計算
29	再作業に属するワークオーダー数	MMS からのデータで計算
30	緊急時作業に属するワークオーダー数	MMS からのデータで計算
31	バックログ数	
32	バックログ数：I&C	保全支援スタッフの記録
33	バックログ数：電気	保全支援スタッフの記録
34	バックログ数：機械	保全支援スタッフの記録
35	定期的保全	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
36	予知保全	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
37	事後保全	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
39	機械	組織表から計算
40	電気	組織表から計算
41	I&C	組織表から計算
42	その他の作業員	組織表から計算
43	利用可能な作業員の合計時間	組織表から計算
44	作業員のレンチタイム	インタビューを通して集められたデータから計算
45	選択された機器に対する工数	
46	主タービン	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
47	主発電機	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
48	ディーゼル発電機	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
49	一次冷却材ポンプ	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
50	給水ポンプ	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
51	主蒸気及び給水隔離弁	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
52	プラント保護系統	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
53	原子力計装システム	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算

行数	データエレメント	データソース
54	放射線管理システム	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
55	セキュリティシステム	実際の時間データが利用可能な MMS データからの計算
56	プラントにおいてタグ付けされた 機器数	機器リスト
57	安全関連の機器アイテム数	機器リスト
58	非安全関連の機器アイテム数	機器リスト
59	RS 機器アイテム数	機器リスト
60	NRS 機器アイテム数	機器リスト
61	PM の対象アイテム数 (PdM を含む)	機器リスト
62	CM の対象機器アイテム数	機器リスト
63	PdM の対象機器アイテム数	機器リスト
64	PM の対象である安全関連の機器ア イテム数 (PdM を含む)	機器リスト
65	CM の対象である安全関連の機器ア イテム数	機器リスト
66	PdM の対象である安全関連の機器 アイテム数	機器リスト
67	PM の対象である非安全関連の機器 アイテム数 (PdM を含む)	機器リスト
68	CM の対象である非安全関連の機器 アイテム数	機器リスト
69	PdM の対象である非安全関連の機 器アイテム数	機器リスト
70	CM のみの対象である RS 機器ア イテム数	機器リスト
71	PdM を含む PM の対象である RS 機 器アイテム数	機器リスト
72	PdM の対象である RS 機器ア イテム数	機器リスト
73	CM のみの対象である NRS 機器ア イテム数	機器リスト
74	PdM の対象である PM 対象の NRS 機器アイテム数	機器リスト
75	PdM の対象である NRS 機器ア イテム数	機器リスト
76	出力運転中に実施される PM 数	PM ベースデータベース及び/又は MMS
77	定検中のみに実施される PM 数	PM ベースデータベース及び/又は MMS
78	出力運転中に安全関連機器に対して	PM ベースデータベース及び/又は

行数	データエレメント	データソース
	実施される PM 数	MMS
79	定検中のみに安全関連機器に対して実施される PM 数	PM ベースデータベース及び／又は MMS
80	出力運転中に非安全関連機器に対して実施される PM 数	PM ベースデータベース及び／又は MMS
81	定検中のみに非安全関連機器に対して実施される PM 数	PM ベースデータベース及び／又は MMS
82	出力運転中に安全関連機器に対して実施される PdM 数	知識のあるエンジニアが維持する PdM データベース
83	出力運転中に非安全関連機器に対して実施される PdM 数	知識のあるエンジニアが維持する PdM データベース
84	スタッフの工数	組織表から計算
85	機械プランナーの利用可能な時間数	組織表から計算
86	電気プランナーの利用可能な時間数	組織表から計算
87	I&C プランナーの利用可能な時間数	組織表から計算
88	その他のプランナーの利用可能な時間数	組織表から計算
89	手順書の合計数	手順データベース
90	手順変更数	手順データベース
91	影響を受ける手順書数	手順データベース

ちなみに、データ収集には、EPRI チームではおよそ 2 人が 1 週間に行う作業量分の作業が発生し、プラント保全支援スタッフにはおよそ 2 人が 1 週間に行う作業量分の支援が発生した。

A.3 データ解析

ほとんどの場合、プラントから得られたダウンロードデータは、カンマで区切られた値の形式か、直接 Excel 表で提供された。セクション 4 で提供されているベンチマーク値は、ダウンロードデータに対する Excel 表での標準的な作業から得られた。データ解析には以下が含まれた。

- ダウンロードしたデータを必要に応じて Excel 表にエクスポートする。
- データの完全性を確実にするために、ダウンロードされたデータをレビューする。ダウンロードされたデータはほぼ例外なく、すぐに使用出来る状態であり、調整はほとんどの場合破損した記録のわずかな削除のみで済んだ。
- 保全の職務ではない記録を削除する。例えば、いくつかのプラントでは、保全技術者が行うサーベイランス試験と運転が同じカテゴリにリスト化されていた。これには、作業員コードを使用して記録の特定及び削除が必要であった。
- すべてのプラントからのデータを標準的な Excel 上での作業に使用出来るように標準的な形式にデータをアレンジし直す。Excel 上での作業には、結合、ピボット計算、Dcount、及び Dsum などが含まれる。ピボットテーブルは、カウントや合計を求めるために使用された。結合作業は、ユニーク数をカウントするために使用された。
- 必要な場合は、ワークオーダーなしで実施される作業数を調整する。例えば、あるプラントでは、潤滑などのマイナーで日常的な保全作業は、ワークオーダー管理システムに記録されないタスクカードに従って実施されていた。

- ワークオーダー管理システムに従って実施されていない PdM 作業の数を調整する。

A.4 プラントの測定指標のまとめ

表 A-2 は、アンケート実施したプラントについて計算された測定指標とその平均のまとめを示している。マルチユニットのプラントでは、表中の測定指標の値はユニットごとの値である。アンケートを実施したプラントは産業界全体を代表していると考えられるため、これらの平均値は各測定指標の妥当なベンチマーク値と判断される。

表 A-2 アンケートを実施したプラントの測定指標値及びベンチマーク

測定指標	プラント A	プラント B	プラント C	プラント D	プラント E	プラント F	ベンチマーク
パフォーマンス指標							
保安全に起因する計画外のトリップ	0.00	0.00	0.67	0.00	0.33	0.33	0.22
保安全に起因する計画外の発電喪失事象	0.00	0.00	0.33	0.00	0.44	0.00	0.13
保安全に起因する違反	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
保安全に起因する LER	2.00	1.00	2.00	4.00	0.56	1.00	1.76
損失時間事象: 保安全によるけがのみ	NA	1.33	1.06	1.50	1.00	0.67	1.11
作業員の被曝(保全部門)(レム)	12	NA	64	48	93	64	56
年間の直接保安全コスト(セント/KW/hr)	0.21	0.12	NA	0.33	0.47	0.30	0.28
保安全に費やされた年間工数(hr/百万 KW/hr)	37	33	43	47	45	46	42
パフォーマンス指標	74%	89%	48%	68%	49%	74%	67%
プロセス指標							
PdM を含む、実施処理されたワークオーダー合計数	8752	10227	6280	18081	10986	17724	12008
PM に指定されたワークオーダー数の割合	68%	72%	57%	81%	73%	70%	70%
CM に指定されたワークオーダー数の割合	32%	28%	43%	19%	27%	30%	30%
安全関連に指定されたワークオーダーの割合	44%	39%	28%	27%	23%	21%	30%
非安全関連に指定されたワークオーダーの割合	56%	60%	72%	73%	77%	79%	69%
PM に費やされた工数の割合	53%	57%	46%	65%	59%	50%	55%
CM に費やされた工数の割合	46%	40%	57%	30%	46%	44%	44%
PM に占める、PdM に費やされた工数の割合	8%	6%	5%	2%	1%	1%	4%
保安全工数に占める、トレーニングに費やされた工数の割合	5%	5%	4%	5%	5%	5%	5%
保安全コストに占める請負保安全	5%	NA	13%	NA	NA	NA	9%
プラントにおける機器アイテム数	86238	63721	54111	89393	57542	67764	69795
安全関連機器の割合	19%	18%	23%	29%	17%	29%	22%
非安全関連機器の割合	81%	79%	77%	71%	83%	71%	77%
PM の対象機器の割合	13%	18%	12%	6%	5%	9%	11%
CM の対象機器の割合	87%	82%	88%	94%	95%	91%	89%
PdM の対象機器アイテムの割合	2%	1%	2%	1%	1%	1%	1%
(PdM を含む)PM の対象である安全関	26%	57%	19%	5%	12%	10%	21%

アンケート及び解析手法

測定指標	プラント A	プラント B	プラント C	プラント D	プラント E	プラント F	ベンチ マーク
連機器アイテムの割合							
(PdMを含む)PMの対象である非安全 関連機器アイテムの割合	10%	9%	9%	5%	3%	9%	8%
運転中保全の割合	75%	70%	58%	76%	64%	73%	69%
出力運転中に実施される安全関連機 器に対する PM の割合	74%	73%	54%	65%	58%	66%	65%
出力運転中に実施される非安全関連 機器に対する PM の割合	76%	65%	72%	80%	66%	77%	73%
プロセス指標	71%	76%	62%	68%	62%	65%	67%
生産性の測定指標							
レンチタイム	66%	66%	52%	60%	62%	58%	61%
作業員の 1 週間当たりのワークオーダ ーの取扱量	102	142	180	200	163	198	164
作業員に対するスタッフの比率	8%	9%	23%		7%		10%
プランナーの 1 週間当たりのワークオー ダー	19	11	6	19	15	19	15
作業員に対するスタッフの工数比率	22%	25%	41%	36%	35%	38%	33%
スタッフの 1 週間当たりのワークオーダ ー	17	7	6	7	5	6	8
再作業に起因するワークオーダー数	43	35	24	12	18	9	24
緊急時作業に起因するワークオーダー数	2	7	47	400	121	338	153
バックログ数 (1)	574	673	456	67	46	52	55
バックログの期日超過日数 (2)	15	11	10	9	8	7	10
設備容量 100 MW 当たりの工数	26857	23913	25817	36949	36332	37798	31278
手順変更の割合	72%	80%	52%	NA	76%	NA	70%
影響を受ける手順書の割合	47%	50%	28%	NA	50%	NA	44%
ヒューマンパフォーマンス指標	72%	77%	66%	81%	65%	84%	74%
生産性指標	67%	72%	60%	68%	69%	68%	67%
保全有効性指標	71%	79%	57%	68%	60%	69%	67%

注：

1. バックログベンチマークは、プラント D、E、及び F のみの平均であり、90 日を超える期日超過バックログに基づいている。
2. バックログの期日超過日数は、該当データがないプラント A、B、及び C については、90 日を超える期日超過バックログベンチマーク値を使用して計算された。
3. プランナーが 1 週間当たりのワークオーダーは、プランニング対象のワークオーダーの 60%に基づいて計算される。

B

保全工数の内訳

保全タイプ別の保全工数の内訳は、「困難係数（GF）」を使用して求められた。これは、保全に費やされた実際の工数が、アンケートを実施した母集団のすべてのプラントにおいてワークオーダーシステムで把握されていなかったためである。アンケートを実施した 1 つのプラントでは、作業員、プランニング、作業管理、及び事務管理スタッフ別の工数は、各ワークオーダーに対して把握出来、保全管理システムからすぐ取得出来た。最初のステップとして、実際の時間データを使用して、CM 活動の困難係数が表 B-1 で示されるように定められた。

表 B-1 CM/PM の困難係数の計算

行数	PM と CM 間の工数の分配	値
1	PM ワークオーダー数	14527
2	CM ワークオーダー数	5632
3	実際の時間に基づいた PM 時間	256758
4	実際の時間に基づいた CM 時間	254143
5	時間/PM ワークオーダー	18
6	時間/CM ワークオーダー	45
7	PM と比較した CM の困難係数 (DF) = 6 行目/5 行目	2.55

実際の時間を把握していなかったプラントについては、表 B-2 に示される 8 から 10 行目の時間/PM ワークオーダー相当を使用して合計保全工数が CM と PM とで分配された。

表 B-2 PM と CM の間での利用可能時間の分配

行数	説明	値
1	全作業員+利用可能なスタッフの時間 = 人数×1840 時間 /年/人	778320
2	100 時間/作業員/年及び 50 時間/スタッフ/年における トレーニング時間	32000
3	作業可能時間	746320
4	PM ワークオーダー数	14527
5	CM ワークオーダー数	5632
6	PM と比較した CM の困難係数	2.00
7	CM ワークオーダーに相当する PM 数 = 6 行目×5 行目	11264
8	全 PM 数に等しいワークオーダー = 7 行目+4 行目	25791
9	時間/PM ワークオーダー = 3 行目/8 行目	29
10	PM 時間 = 9 行目×4 行目	420367
11	CM 時間 = 9 行目×7 行目	325953

C

略語

CM	corrective maintenance (事後保全)
EPA	Environmental Protection Agency (環境保護庁)
EPRI	Electric Power Research Institute (米国電力研究所)
EQ	environmental qualification (環境認定)
FIN	Fix-It-Now Team (今すぐ行う修理チーム)
IAEA	International Atomic Energy Agency (国際原子力機関)
I&C	instrumentation and control (計装制御)
INPO	Institute of Nuclear Power Operations (原子力発電運転協会)
kWhr	kilowatt-hour (キロワット時)
LCO	limiting conditions of operation (運転上の制限)
LER	Licensee Event Report (原子力発電電力会社の事象レポート)
MMS	maintenance management system (computerized or CMMS) (保全管理システム、(コンピュータ化された、又は CMMS))
MOV	motor-operated valve (電動弁)
MTBF	mean time between failures (故障と故障の間の平均時間)
MWhr	megawatt-hour (メガワット時)
NEI	Nuclear Energy Institute (原子力エネルギー協会)
NRC	Nuclear Regulatory Commission (米国原子力規制委員会)
O&M	operations and maintenance (運転保全)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (労働安全衛生局)
PM	preventive maintenance (予防保全)
PdM	predictive maintenance (予知保全)
RCM	reliability-centered maintenance (信頼性重視保全)
SSC	structures, systems, and components (構造物、系統、及び機器)
WANO	World Association of Nuclear Operators (世界原子力発電事業者協会)
WIN	Work-It-Now Team (今すぐ行う作業チーム)

Export Control Restrictions

Access to and use of EPRI Intellectual Property is granted with the specific understanding and requirement that responsibility for ensuring full compliance with all applicable U.S. and foreign export laws and regulations is being undertaken by you and your company. This includes an obligation to ensure that any individual receiving access hereunder who is not a U.S. citizen or permanent U.S. resident is permitted access under applicable U.S. and foreign export laws and regulations. In the event you are uncertain whether you or your company may lawfully obtain access to this EPRI Intellectual Property, you acknowledge that it is your obligation to consult with your company's legal counsel to determine whether this access is lawful. Although EPRI may make available on a case-by-case basis an informal assessment of the applicable U.S. export classification for specific EPRI Intellectual Property, you and your company acknowledge that this assessment is solely for informational purposes and not for reliance purposes. You and your company acknowledge that it is still the obligation of you and your company to make your own assessment of the applicable U.S. export classification and ensure compliance accordingly. You and your company understand and acknowledge your obligations to make a prompt report to EPRI and the appropriate authorities regarding any access to or use of EPRI Intellectual Property hereunder that may be in violation of applicable U.S. or foreign export laws or regulations.

The Electric Power Research Institute, Inc. (EPRI, www.epri.com) conducts research and development relating to the generation, delivery and use of electricity for the benefit of the public. An independent, nonprofit organization, EPRI brings together its scientists and engineers as well as experts from academia and industry to help address challenges in electricity, including reliability, efficiency, affordability, health, safety and the environment. EPRI also provides technology, policy and economic analyses to drive long-range research and development planning, and supports research in emerging technologies. EPRI's members represent approximately 90 percent of the electricity generated and delivered in the United States, and international participation extends to more than 30 countries. EPRI's principal offices and laboratories are located in Palo Alto, Calif.; Charlotte, N.C.; Knoxville, Tenn.; and Lenox, Mass.

Together...Shaping the Future of Electricity

Program:

Nuclear Maintenance Application Center

© 2014 Electric Power Research Institute (EPRI), Inc. All rights reserved. Electric Power Research Institute, EPRI, and TOGETHER...SHAPING THE FUTURE OF ELECTRICITY are registered service marks of the Electric Power Research Institute, Inc.

3002002385

Electric Power Research Institute

3420 Hillview Avenue, Palo Alto, California 94304-1338 • PO Box 10412, Palo Alto, California 94303-0813 USA
800.313.3774 • 650.855.2121 • askepri@epri.com • www.epri.com