

リスクベースドメンテナンス Risk-Based Maintenance (RBM)

平岡 潤一郎
Junichiro Hiraoka

第1事業本部 スタートアップ&オペレーションサービス部
Start-up & Operation Service Department, No.1 Business Division

要旨

リスクベースドメンテナンス (RBM) とは、設備の劣化損傷や故障のリスクを評価して、その評価結果に基づき保全・検査計画を作成する手法である。リスクの高低で優先付けされた作業を計画することにより、設備の信頼性向上および保全費の最適化に寄与することができる。近年では RBM の重要性が増してきており、JGC グループでも O&M コンサルテーションの一環として RBM サービスを提供している。本項では、当グループの RBM サービスの特徴と、A 事業所 B,C プラント向けに実施した RBM 業務から得られた知見について紹介する。

Abstract:

Risk-Based Maintenance (RBM) is the method for developing maintenance/inspection plans based on the evaluation of the risk of plant equipment degradation/failure. Planning tasks prioritized by using the risk-based approach can eventually contribute to improvements in reliability and the optimization of maintenance costs. The JGC group offers RBM service as a part of its O&M consultation services as there has been a growing need for it in recent years.

1. はじめに

リスクベースドメンテナンス (RBM) は設備の保全計画、検査計画の立案過程にリスク評価を取り込む手法であり、設備の信頼性向上および保全費の最適化に寄与する手法として注目されている。当グループでは、EPC ジョブのメンテナンスエンジニアリング業務の他に、O&M コンサルテーションサービスとして既設の設備に対して RBM を提供している。

本稿では JGC RBM サービスを紹介した上でその実施事例ならびに RBM サービスにおける留意点について紹介する。

2. リスクベースドメンテナンス

プラント設備の保全に関する作業は、回転機・計装・電気設備を対象とした保全計画と、静機械・配管を対象とした検査計画に大別されて立案される。RBM は保全計画および検査計画の立案プロセスにリスク評価を取り入れ、リスクの高低によって作業を優先順位付けし、計画化する手法である。高リスクの故障・損傷を優先的に対処し、低リスクの故障・損傷に対する作業を延期または中止することによって、設備の信頼性を維持しながら保全費の最適化を図る

ことができる。このような利点から、近年ではRBMの重要性が注目されてきている。当グループでは、保全計画の立案に信頼性重視保全(RCM: Reliability Centered Maintenance)を、検査計画の立案にリスクベースドインスペクション(RBI: Risk-based Inspection)を手法として採用し、これらに共通のリスク評価基準を組み込んだ形でRBMサービスの提供を実施している。

3. 信頼性重視保全

3.1 RCMの概要

RCMは、対象機器・設備を部品レベルまで細かく体系的に分類し、各々の機器・部品の予想される故障モードを特定し、様々な保全技術・方法を最適な形で適用して保全計画を作成する手法である。元々は航空業界で開発された設計手法だが、今日ではプラント業界においても回転機、計装、電気設備の保全計画作成手法として広く用いられている。RCMはAPIの規格はなく軍事規格などがあるだけであり、参考書としてはRCM手法を産業界に広める上でその立役者となったJohn Moubray著のReliability-Centred Maintenance Second Edition¹⁾が有名である。

RCMでは、状態監視保全(CBM: Condition-based Maintenance)、時間基準保全(TBM: Time-based Maintenance)、故障発見作業(FF: Failure Finding Task)、事後保全(BM: Breakdown Maintenance)から最も適切なものを保全方針として選別し、その方針に従って保全作業を決定する。尚、上記に適切な方針がない場合は保全による解決では不可能と判断され、設備の再設計や運用の再検討を行うことになる。

3.2 JGC RCM手法

JGCグループでのRCM作業手順は、John Moubray著のReliability-Centred Maintenance Second Editionをベースに構築している。Fig.1にJGC RCM作業プロセスの概略図を示す。

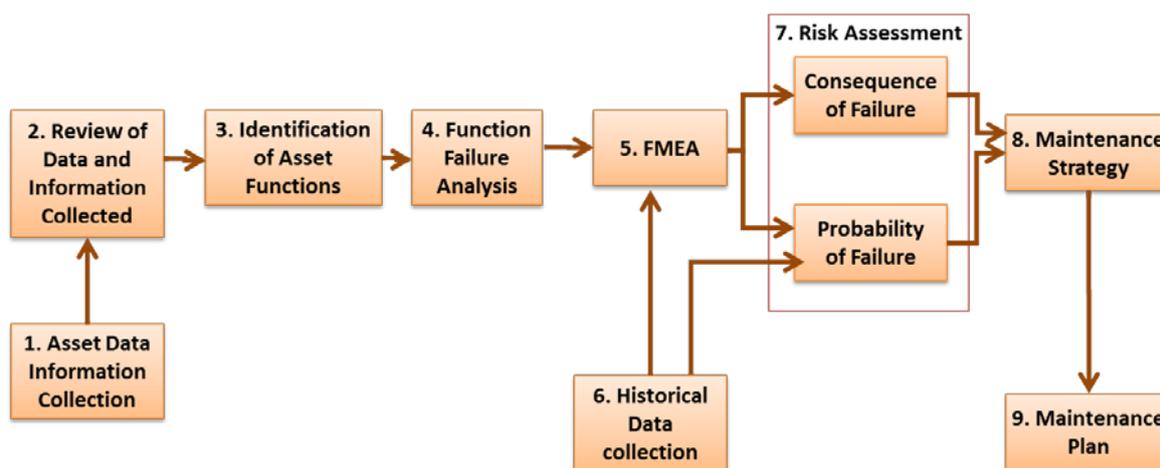


Fig.1 JGC RCM work process

以下にJGC RCM作業プロセスの補足説明を記す。

1. 設備情報の収集：対象機器・設備の生産能力や運転方針等について確認する。
2. 仕様調査：対象機器・設備の仕様データを調査し整理する。

3. 機能分析：機能と性能基準を確認する。
4. 機能故障分析：機能面から見た不良状態を確認する。
5. 故障モード影響分析：機能故障を引き起こす原因と故障が及ぼす影響を分析する。
6. 経歴の収集：対象の保全経歴を調査し、故障影響や発生確率の根拠を検討する。
7. リスク評価：各故障影響のリスクを評価する。
8. 保全方針立案：リスクや故障パターンから各故障に対する適当な方針を検討する。
9. 保全計画作成：RCM 結果を整理し保全計画を作成する。

4. リスクベースドインスペクション (RBI)

4.1 RBI の概要

RBI は、圧力容器や配管のような耐圧機器を要素レベルまで分類して損傷分析を行い、最適な検査手法や時期を検討して計画化する手法である。API RP 580 に RBI の考え方とガイドラインが、API RP 581 にその方法論が規定されており、プラント産業では国際的な検査計画作成手法として幅広く活用されている。ただし、API の定義する RBI は石油精製向けとなっているため、石油化学などのその他のプロセスプラントに対しては、独自に評価基準を定めて対応するケースが少なくない。

4.2 JGC RBI 手法

JGC グループでは、既存の石油精製・石油化学プラント向けに RBI を O&M コンサルテーションサービスとして提供している。JGC の RBI 手法は、API 版をベースに当グループの知見を取り入れた評価手法を採用しており、石油精製だけでなく、石油化学、化学プラントなど幅広く取り扱うことができる。Fig.2 にその作業プロセスの概略図を示す。

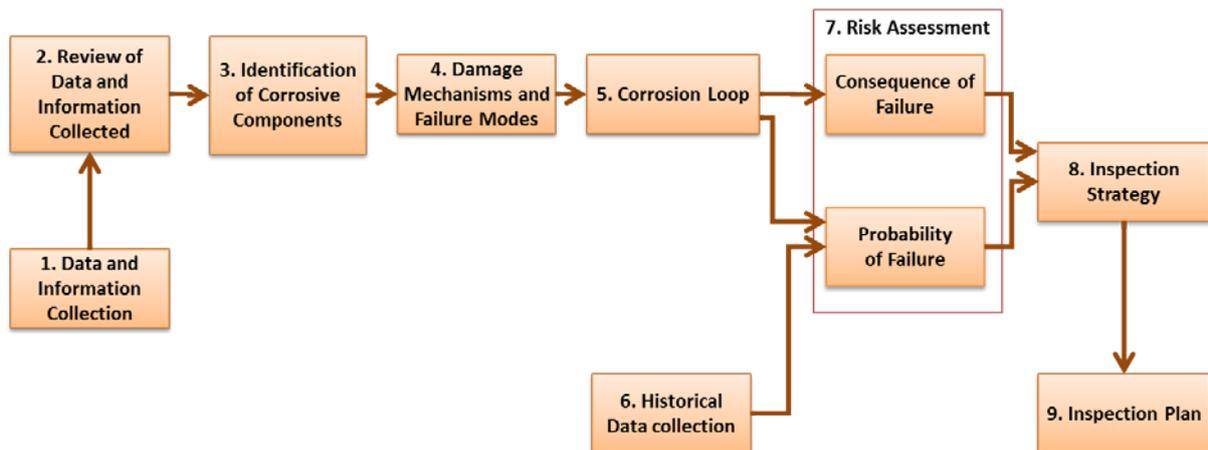


Fig.2 JGC RBI work process

以下に JGC RBI 作業プロセスの補足説明を記す。

1. 設備情報の収集：対象機器・設備の生産能力や運転方針等について確認する。
2. 仕様調査：対象機器・設備の仕様データを調査し整理する。
3. 腐食要因成分のリスト化：損傷の原因となる成分をプロセス毎に整理する。
4. 損傷抽出：懸念される損傷モードを各機器・配管毎に整理する。

5. コロージョンループ作成:プロセスや損傷モードを基に機器・配管をグルーピングする。
6. 経歴の収集:対象の検査経歴を調査し、PoF 評価の根拠を検討する。
7. リスク評価:各損傷の及ぼすリスクを評価する。
8. 検査方針立案:リスクや損傷パターンから適当な作業を検討する。
9. 検査計画作成:RBI 結果を整理し検査計画を作成する。

5. リスク評価

RBM のリスク評価は、故障や損傷が及ぼす影響度 (CoF : Consequence of Failure)、発生確率 (PoF : Probability of Failure)、およびリスクマトリックスを用いて実施される。これらの評価基準はプラントオーナーが整備した基準に準ずることが一般的であるが、まれにプラントオーナーとの合意の上で JGC グループが提案する場合もある。

Fig.3 に評価基準例を、Fig.4 に PoF 評価基準例をそれぞれ示す。CoF は、HSE および経済損失の 2 つの側面から評価し、いずれか高い方を採用する。PoF は、故障や損傷の特性に応じて評価方法が異なる。金属の腐食や摩耗といった経年劣化の場合は、劣化速度を計算して定量的に評価する。電気部品のように故障が偶発的に発生する場合は、故障履歴などから平均故障間隔 (MTBF : Mean Time Between Failure) を定め、その数値を基に評価する。故障実績が

	A	B	C	D	E
Health (Long term visibility)	Warning issued No effect	Warning issued Possible impact	Temporary health problems, curable	Limited impact on public health, threat of chronic illness	Serious impact on public health, life threatening illness
Safety (Instant visibility)	No aid needed Work disruption	First aid needed No work disability	Temporary work disability	Permanent work disability	Fatality(ies)
Environment	Negligible impact	Impact (e.g. spill) contained	Minor impact (e.g. spill)	On-site damage	Off-site damage Long term effect
Business (€)	<10k€	10-100 k€	0.1-1 M€	1-10 M€	>10 M€
Security	None	On-site (Local)	On-site (General)	Off site	Society threat
Image Loss	None	Minor	Bad publicity	Company issue	Political issue
Public disruption	None	Negligible	Minor	Small community	Large community

Examples of CoF scales

Fig.3 Example of CoF Assessment for RBM²⁾

Examples of PoF scales	Very probable	< 1 year	$>1 \times 10^{-1}$	5
	Probable	1-5 years	1×10^{-1} to 1×10^{-2}	4
	Possible	5-10 years	1×10^{-2} to 1×10^{-3}	3
	Unlikely	10-50 years	1×10^{-3} to 1×10^{-4}	2
	Very unlikely	>100 years	$<1 \times 10^{-4}$	1

Descriptive MTBF PoF

Fig.4 Example of PoF Assessment for RBM³⁾

Fig.5 に示すようなリスクマトリックスに上記の CoF、PoF を落とし込み、リスクカテゴリを決定する。ここで決定されるリスクカテゴリがリスク評価結果となる。リスクカテゴリは 3 ないし 4 段階に分けられることが一般的である。リスクはプラントオーナーの許容範囲、すなわち ALARP ゾーン (As Low As Reasonably Practical) に留まるように、保全計画や検査計画を立案する。

				Very high risk
			High risk	
		Medium risk		
	Low risk			
(Very Low, negligible risk)				
PoF category	CoF category			

Fig.5 Example of Risk Matrix for RBM⁴⁾

6. RBM プロジェクト概要

ここでは実際に国内の事業所での実施事例を紹介する。

6.1 対象設備

A 事業所向けプロジェクトでは、下記の対象設備についてワークショップ形式で RBM を実施した。

対象設備 1 : A 事業所 B プラント (新設)

実施期間 : 計 37 日間

回転機 (RCM) : 104 基、12 日間

計装 (RCM) : 4,450 タグ (DCS 含む)、10 日間

電気機器 (RCM) : 163 設備 (モーター含む)、5 日間

静機械・配管 (RBI) : 115 基・2,758 ライン、10 日間

対象設備 2 : A 事業所 C プラント (既設)

実施期間 : 計 65 日間

回転機 (RCM) : 141 基、20 日間

計装 (RCM) : 2,048 タグ (DCS 含む)、10 日間

電気機器 (RCM) : 146 設備 (モーター含む)、5 日間

静機械・配管 (RBI) : 208 基・1,890 ライン、30 日間

6.2 ワークショップメンバー

RBM は、保全員、運転員、HSE 技術者など、複数の部門から配員したワークショップチームによって実施する。それにより特定の視点に偏らないリスク評価を実施することができる。今回のプロジェクトでは、プラントオーナー組織から保全担当者、運転担当者、プロジェクト

責任者を主メンバーとして出席していただき、必要に応じて他部門からのサポートをお願いした。JGCグループからは、ファシリテータ、保全技術者、書記の3名を配員し、ワークショップ運営を行った。

6.3 RBM 作業手順

今回のプロジェクトでは、JGC RCM・RBI手法にA事業所のリスク評価基準を取り込んだ作業手順を採用し、作業を実施した。リスクカテゴリは3レベル（高、中、低）とした。

7. RBM プロジェクト結果

7.1 リスク分布の推移

Fig.6、Fig.7 に B プラントのリスク分布の推移を、**Fig.8、Fig.9** に C プラントのリスク分布の推移を示す。リスクはRCMでは故障モード毎に、RBIでは損傷モード毎に検討するので、グラフ中の数字もそれらの数を示している。

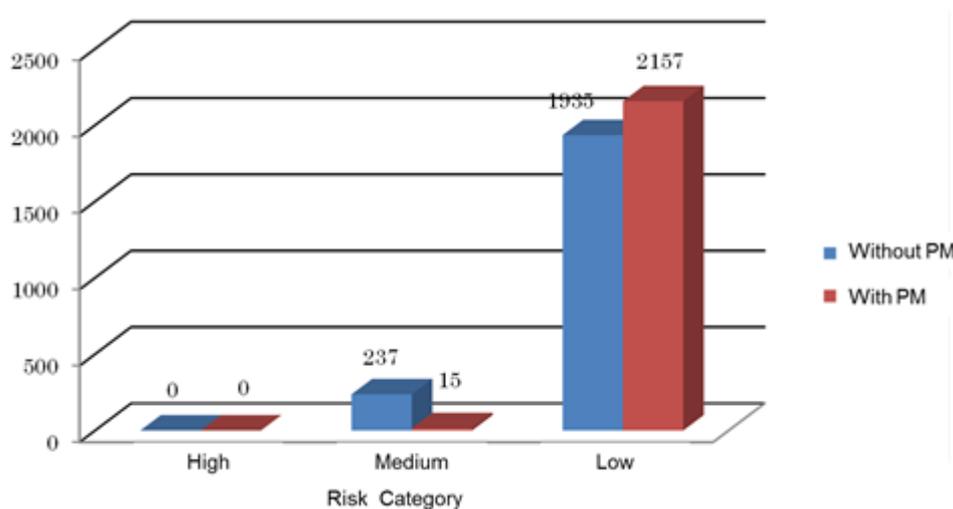


Fig.6 Risk Distribution Before and After RCM (B Plant)

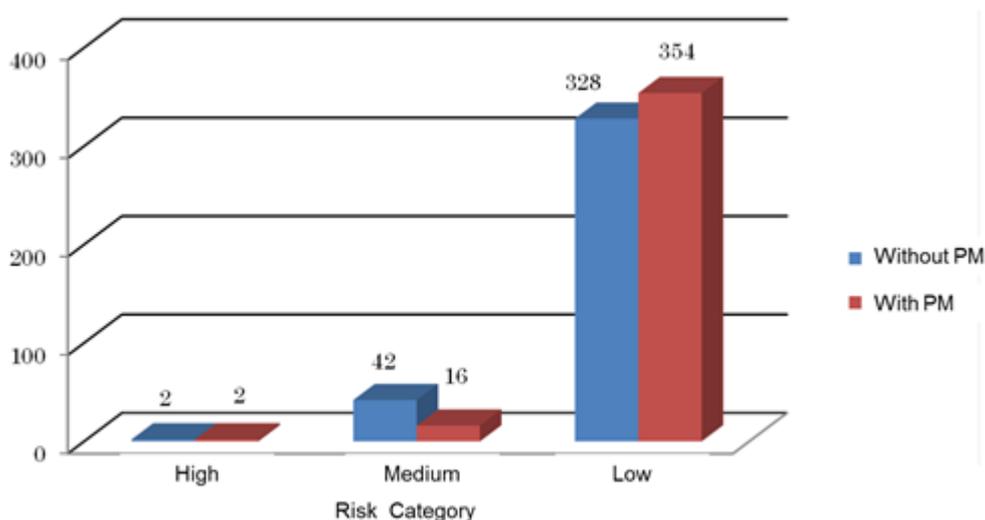


Fig.7 Risk Distribution Before and After RBI (B Plant)

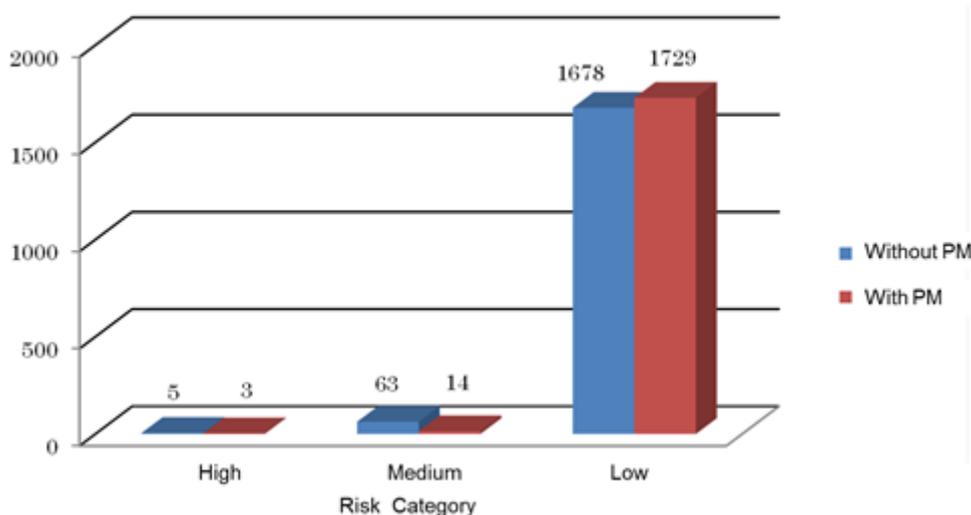


Fig.8 Risk Distribution Before and After RCM (C Plant)

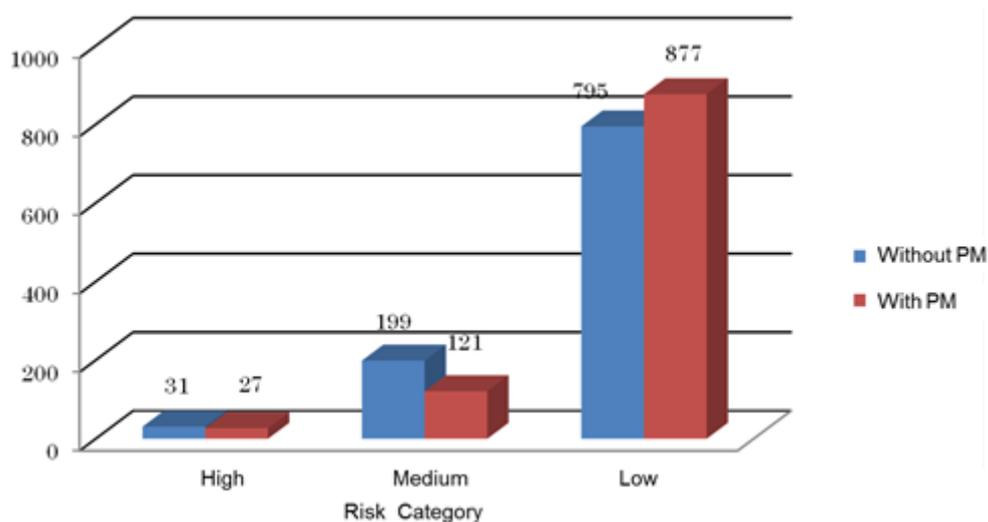


Fig.9 Risk Distribution Before and After RBI (C Plant)

今回の対象設備は、冗長化や他のプラントとの相互融通によるバックアップが可能で、故障や損傷による操業への影響がほとんど出ないケースが多く、リスク低の割合が大きくなった。両設備とも、信頼性が高い設計となっていることがこの結果から伺うことができる。しかしながら、保全・検査作業だけではリスクを十分に緩和できず、リスク高または中として留まるケースも見られた。これらについては更なる信頼性向上の機会として再設計の検討を提案した。

7.2 既存設備の保全・検査計画の見直し

既設のCプラントについては、本プロジェクトを通じてこれまで採用されてきた保全・検査計画の見直しを行うことになった。総括として、今回のRCMでは信頼性を損なうことなく保全費削減の可能性を検討する機会となり、一方RBIではJGCグループの知見を用いて静機械・配管の信頼性に対する方策や考え方を根本から見直す機会となった。

(1) RCMによる保全計画の見直し

Fig.10 に従来の保全計画と RCM による保全計画の比較結果を示す。グラフ内の数値は保全作業数を表している。

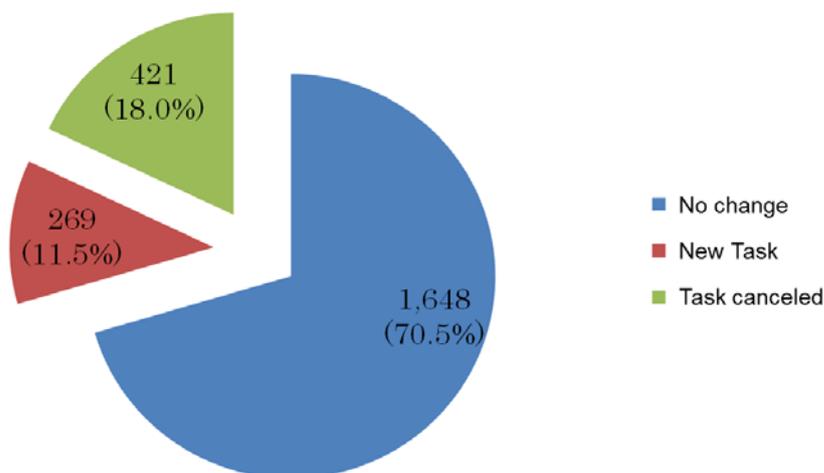


Fig.10 Comparison of Maintenance Plan Before and After RCM

この設備の回転機、計装、電気設備は、信頼性の高い設計の割に保全作業が過剰である（やり過ぎている）傾向が見られたため、全体の約 18% に当たる 421 件の保全作業を削減、もしくは取り止めにする事となった。269 件が新規作業として計画されているが、これらは取り止めとなった保全作業の代案、もしくは一部のリスクが高い故障に対するリスク緩和のために追加された作業である。いずれもコスト最適化を前提としており、全体としてやりすぎ保全を最適化し、保全費削減に寄与することができた。

この他、このグラフには登場していないが、運転員の見回り作業についても RCM を通じて再定義をした。運転員の見回りは運転状況の確認を目的とした日常的な作業であるが、設備の異常検知という認識を加えることで、保全作業の代わりに成すことが可能である。また、日常業務の一環として行うことで追加コストはかからない。このことから、保全費を削減しつつ設備の信頼性を維持するために、運転員の関与は不可欠な要素と考えられている。本プロジェクトにおいても運転員の見回り項目とその目的の明確化について丁寧に対処し、運転員の意識改革と関与を促すように心がけた。

(2) RBIによる検査計画の見直し

Fig.11 に従来の検査計画と RBI による検査計画の比較結果を示す。グラフ内の数値は検査作業数を表している。

RCM の結果とは異なり、RBI では取り止めとなった作業数は少なく、逆に新規で計画された作業が 5 割以上を占める結果となった。長い間、見過ごされてきたリスクを認識し、適切な検査計画を立案したことで、保全費の削減より信頼性の維持・向上に焦点を当てた見直しとなったことが伺える。

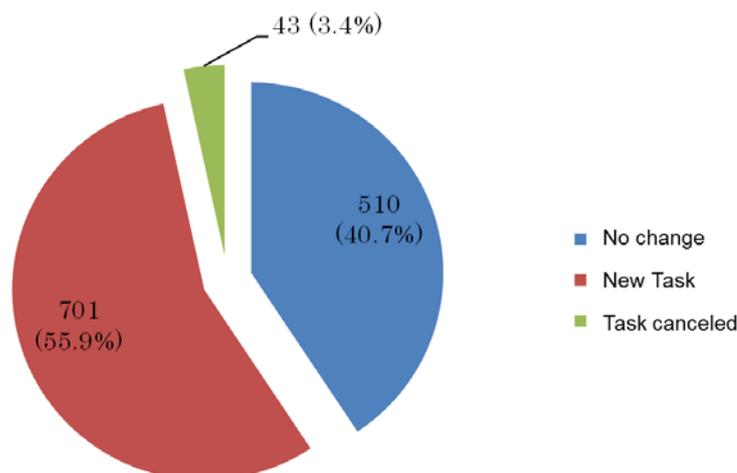


Fig.11 Comparison of Inspection Plan Before and After RBI

信頼性の維持・向上に焦点が向けられた理由は大きく 2 つ挙げられる。1 つは、JGC グループの知見を用いて損傷要因を改めて見直した結果、懸念すべき損傷モードが新たに見つかりそれに対する検査計画を機器単位で追加することになったことである。もう 1 つは、検査記録に残されている情報が不十分で損傷分析が適切に実施できず、それらを補完するために検査を計画するケースが少なくなかったことである。曖昧な損傷分析に基づく検査計画ではリスクを正しく管理できているとは言い難く、リスク評価は厳しい結果を出さざるを得なかった。今回の RBI では、そのような状況を事実として受け止め、損傷分析に必要な情報とその根拠をプラントオーナーの担当者交えて明確に定義する場となった。

8. おわりに

本プロジェクトでは、O&M コンサルテーションの一環として RBM 業務を A 事業所 B,C プラントに実施した。プラントオーナーの実務担当者を交えワークショップ形式による議論を通して、RBM の目的に相応しくコスト削減、信頼性向上の 2 点から保全・検査計画を見直す機会を提供することができた。一方、更なるサービス向上のための注意点および改善点もある。以下にそのポイントを纏める。

(1) RBM の目的はリスク評価ではない

RBM はその名の通り保全・検査計画を立案するための手法の一つであり、リスク評価自体が目的ではない。誤解するパターンとして、「保全・検査計画の必要性の有無をリスクという指標で評価する」ことが RBM と理解してしまうことがある。そうするとリスク評価を完璧にこなすことが最優先となってそちらに意識が向いてしまい、肝心の保全・検査計画の検討に入ると集中が緩み計画が手薄になってしまう。RBM のリスク評価は保全の優先度を定める簡易指標であり、言わばスクリーニング作業である。HAZOP、HAZID のような本格的な安全性評価とは一線を引いていることを受け入れてもらうことが大切である。

(2) 網羅的すぎる RBM は必ずしも品質向上に繋がらない

RBM の 1 つの売りは、網羅的なアプローチで作業の計画漏れを防ぐことにある。しかし、

ここで意味する網羅性とは必要な作業を漏れなく計画することであり、万が一のリスクを漏れなく検討することではない。実際、そのようなリスクにこだわって注意深く検討したとしても、発生頻度が極めて低いことから信頼性向上にあまり寄与しない。一方で、割いた労力の割に得られる成果は細かすぎて現実離れしている恐れがあり、結果として RBM を正しく運用できない原因になり得る。リスクを見逃すことは論外であるが、RBM を適用する設備に応じてどの程度の深い検討や分析、厳密な議論が必要なのか、RBM の進行役であるファシリテータを中心に都度考えることが大切である。

(3) RBM 対象は保全・検査で対処可能な設備に限定する

RBM は保全や検査の計画作成の支援する手法であるので、保全・検査で対処可能な領域を越える設備や装置にはそもそも適用できない。例えば、万が一の事故のために設置された安全装置は遵守すべき法律に従った保守計画にて運用すべきであり、故障率等によりリスクを無理やり評価して検査の有無や頻度を定めることはナンセンスである。

(4) 意思決定プロセスにプラントオーナーの主体的な参画を促す

プラントオーナーが主体的に意思決定し、コントラクターはその意思決定のサポートに徹底する。議論が複雑化してくると、プラントオーナーが意思決定プロセスに十分に参画できなくなる恐れがある。多少時間をかけても最終結論はきちんとプラントオーナーに意思決定してもらうことが、業務遂行上、労力をかけて作成した保全・検査計画を確実に実行に移す上でも大切なことである。

最後に、当該プロジェクトにおいては、長期に渡るワークショップへの参加とワークショップ運営に必要な設備情報を惜しみなく提供して頂いた A 事業所の協力が成功の最も大きな要因であることを申し添えたい。

引用文献

- 1) John Moubray, Reliability-centred Maintenance Second Edition (1997)
- 2), 3), 4) RIMAP, CWA 15740:2008 (E)