

システム技術開発調査研究

22-R-5

保全情報、運転情報の
相互活用システムに関する調査研究
報告書

— 要旨 —

平成23年3月

財団法人 機械システム振興協会

財団法人 製造科学技術センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育など、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人JKAから機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムに関する調査研究など補助事業を実施しております。

これらを効果的に実施するために、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長：東京大学名誉教授 藤正 巖氏）を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

この「保全情報、運転情報の相互活用システムに関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人製造科学技術センターに委託して実施した成果であります。関係諸分野に関する施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成23年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

わが国の機械産業のものづくり現場では、戦後一貫して、製造業による国づくりを目指して、世界に通用する工業製品の生産に努めてきました。資源小国のわが国が、その経済を成り立たせていくためには、工業製品を輸出して外貨を獲得し、原材料を輸入しなければなりません。そのためには、輸出競争力をもった工業製品の生産が必須であり、中でもコスト競争力は重要な要素であります。

工業製品のコスト競争力を向上させるためには、製品設計段階での工夫とともに、製品生産での合理化が求められています。

当財団が実施した「保全情報、運転情報の相互活用システムに関する調査研究」は、このような状況を背景にして、生産設備の保全部門と運転部門の情報連携による生産合理化に関する調査研究であります。本調査研究は、単なる保全コストの削減にとどまらず、保全部門と運転部門の有機的連携により、設備保全の立場から工業製品の国際競争力を向上させ、ひいては企業業績を向上させうるシステム構築を目指してまいりました。

本報告書が、関係各位の今後の設備管理計画の一助になれば幸甚であります。

平成23年3月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

目 次

序

はじめに

1. 調査研究の目的	1
2. 調査研究の実施体制	2
3. 調査研究の内容	5
第1章 保全情報、運転情報の相互活用の現状と課題	6
1. 1 運転とメンテナンスの連携の技術的・管理的課題	6
1. 1. 1 設備管理の課題	6
1. 1. 2 業種ごとの保全管理の状況調査	7
1. 1. 3 調査結果のまとめ	7
1. 1. 4 運転とメンテナンスのシステム連携の課題	9
1. 1. 5 運転とメンテナンスのシステム連携のための IT 技術の活用	10
1. 2 海外における保全管理	11
1. 2. 1 保全管理システムが使用される環境及び社会的な背景	11
1. 2. 2 米国における EAM の典型的な導入事例と効果	13
1. 3 国際動向を踏まえたプラント経営と保全管理システムについて	14
1. 3. 1 設備保全関連規格に関わる国際標準化の動き	14
1. 3. 2 国際標準化傾向から見えてくる設備管理への要件	15
第2章 保全情報、運転情報の相互活用を促進するための技術課題の検討	17
2. 1 先進事例と今後の課題 加工組立産業	17
2. 1. 1 受注確定生産型の生産システムの必要性	17
2. 1. 2 生産システム構築とコアとしての保全の役割	18
2. 1. 3 生産情報・メンテナンスの統合的管理の実現に向けて	18
2. 1. 4 設備信頼性向上への取組み	19
2. 1. 5 MP (Maintenance Prevention) 標準化と設備設計への反映	20
2. 1. 6 技術課題	22
2. 2 先進事例と今後の課題 プラント系	
- 電力プラントにおける運転とメンテナンスの情報統合化	24
2. 2. 1 電力プラントにおける設備運転の特徴	24
2. 2. 2 電力プラントにおけるメンテナンスの特徴	24

2. 2. 3	運転・メンテナンスの統合的情報管理に向けて 設備信頼性向上への取組み	25
2. 3	運転とメンテナンスの連携のあるべき姿の検討	28
2. 3. 1	メンテナンスの調査結果の考察	28
2. 3. 2	運転とメンテナンスの連携のあるべき姿の実現への過程	28
第3章	情報システムの位置づけと ISO18435 とのマッピング	30
3. 1	情報システムの位置づけ	30
3. 2	情報システムの役割	31
3. 3	ISO18435 ADID とのマッピング	31
3. 3. 1	ADID マクロビュー	31
3. 3. 2	ADID ミクロビュー	33
3. 3. 3	産業界で使われているシステムマップ	34
3. 4	情報システムの概要	35
3. 4. 1	産業分野による特徴	35
3. 4. 2	保全管理機能	35
第4章	シミュレーション評価に基づく運転と保全の統合計画	38
4. 1	O&M の統合と O&M 統合計画	38
4. 2	O&M 統合計画の策定手順	39
4. 3	O&M 統合計画の最適化手法	41
4. 3. 1	O&M 統合計画問題の分類	41
4. 3. 2	両問題における O&M 統合計画の最適化方法の提案	41
4. 4	提案手法の事例評価	41
4. 4. 1	半導体製造設備における検証	41
4. 4. 2	石油精製業における検証	45
4. 5	まとめ	48
第5章	調査研究のまとめと今後の課題	50
5. 1	調査研究のまとめ	50
5. 2	今後の課題	51

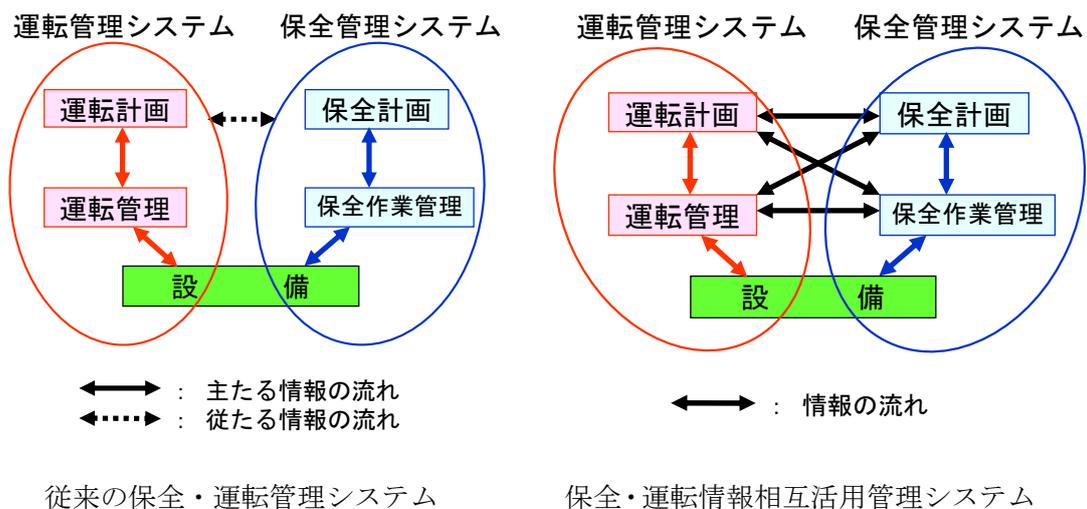
1. 調査研究の目的

わが国の機械産業のものづくり現場では、当該企業の生産計画に基づいて、生産設備を運転する運転部門が製品を製造している。運転部門が重視する任務は、生産計画に基づいた製品の製造を行い、生産計画を達成することである。一方、生産設備の保全部門は、保全計画に基づいて保全作業を実施している。保全部門が重視する任務は、故障の低減や、保全コストの削減である。

運転部門は、生産スケジュールを優先させ、また、保全部門は、メンテナンススケジュールを優先させるという、異なる要求を持っている。

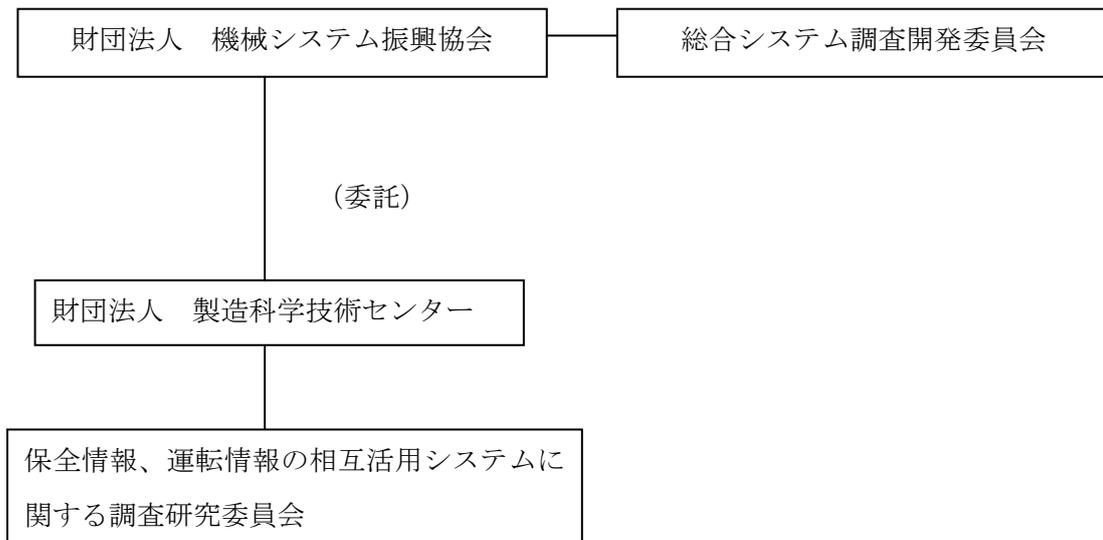
これまで、これらの運転部門と保全部門の関係は意識されてはきたが、それらの連携を常に考慮した、運転と保全の計画へのダイナミックな反映はなされていない。これは、現状の生産設備では、これまでの長い経験から、運転と保全の方法が確立しており、そこでは両者の関係がそれぞれに対する固定的な制約条件として予め考慮されているためと考えられる。

しかし、最近の経済環境や市場の激変、あるいは、厳しいコスト削減の下では、これらの関係を動的に考慮した運転とメンテナンスの統合的な管理が必要となってくることが予想される。例えば、設備に重大な影響を与えない範囲で、運転要求に応じて保全時期を柔軟に調整したり、次期シャットダウンメンテナンスまで設備を持たせたりするために運転条件を緩和するなどの選択肢を考慮することができれば、種々の要因の変化により柔軟に対応できるようになり、企業利益への貢献度合いが高まると考えられる。



2. 調査研究の実施体制

財団法人 機会システム振興協会内に総合システム調査開発委員会を設け、また、財団法人製造科学技術センター内に、本事業の運営と事業計画作成、調査研究遂行、事業の取りまとめなどを実施するために「保全情報、運転情報の相互活用システムに関する調査研究委員会」を設け、当初の目的を達成すべくこれを推進した。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学 名誉教授	藤 正 巖
委員	埼玉大学 総合研究機構 教授	太 田 公 廣
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 研究部門長	金 丸 正 剛
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 招聘研究員	志 村 洋 文
委員	早稲田大学 研究戦略センター 教授	中 島 一 郎
委員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委員	東京大学大学院 工学系研究科 准教授	藤 岡 健 彦

保全情報、運転情報の相互活用システムに関する調査研究委員会

(順不同・敬称略)

委員長	高田 祥三	早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 経営システム工学科 教授
委員	荒井 栄司	大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授
委員	福田 好朗	法政大学 デザイン工学部 システムデザイン学科 教授
委員	中村 靖雄	SAPジャパン(株) インダストリー戦略本部 公益産業担当 部長
委員	河村 幸二	合同会社 スーパーポイントリサーチ 代表
委員	清野 聡	日本アイ・ビー・エム(株) ソフトウェア事業 Tivoli 事業部 ブランド事業推進
委員	外山 久雄	日本認証(株) セーフティアセッサ特命担当
委員	浅井 誠司	(社)日本プラントメンテナンス協会 研究開発本部 本部長
委員	佐川 浩二	パナソニック電工(株) 制御機器本部 事業戦略企画室 参事
委員	塩谷 景一	三菱電機(株) 生産技術センター 基盤技術強化推進プロジェクト グループ プロジェクトグループマネージャー
委員	大井 忠	三菱電機(株) 先端技術総合研究所 ソリューション技術部 モデリング基盤グループ グループマネージャー
委員	板倉 浩	横河フィールドエンジニアリングサービス(株) グローバルサービス 戦略本部 マーケティングセンター マーケティングマネージャー
オブザーバ	鈴木 俊吾	経済産業省 産業技術環境局 情報電気標準化推進室 課長補佐/工業標準専門職
事務局	笹尾 照夫	(財)製造科学技術センター 調査研究部 部長
事務局	外山 良成	(財)製造科学技術センター 国際標準部 部長

3. 調査研究の内容

以下のような計画に基づき、調査研究実施した。

(1) 保全情報、運転情報の相互活用の現状とニーズ調査

機械産業の生産設備に係わる保全情報には、保全計画、保全履歴、修理交換部品管理データなどがあり、運転情報には、当該企業の生産計画、運転計画、運転履歴などがある。運転部門が運転計画を立案するためには、保全情報を入手することで、また、保全部門が保全計画を立案するためには、運転情報を入手することで、より適切な計画立案が可能となる。本調査研究では、必要とする情報や入手のタイミングなどについて、現在の活用状況と今後保全部門が必要とするニーズを調査する。

(2) 保全情報、運転情報の相互活用を促進するための技術課題の検討

生産設備の保全情報と運転情報の相互活用を行うために、データフォーマット、インターフェースなど技術的な課題が予想される。現在提供されているコンピュータ設備保全管理システムや、コンピュータ事業資産管理システムの現状も参照しつつ、これらの技術課題を検討する。

(3) 保全情報、運転情報の相互活用システムの概念検討

保全計画、保全実施などの各部門は、相互活用システムによって、従来得られなかったデータが入手可能となる。これらのデータを利用することで、効率の高い運転計画、保全計画の立案を可能とするシステムの概念を検討する。

(4) システムの概念検証のためのシミュレーション評価

保全情報、運転情報の相互活用システムの概念を機械設備に適用した場合のシミュレーション評価を実施する。

第1章 保全情報、運転情報の相互活用の現状と課題

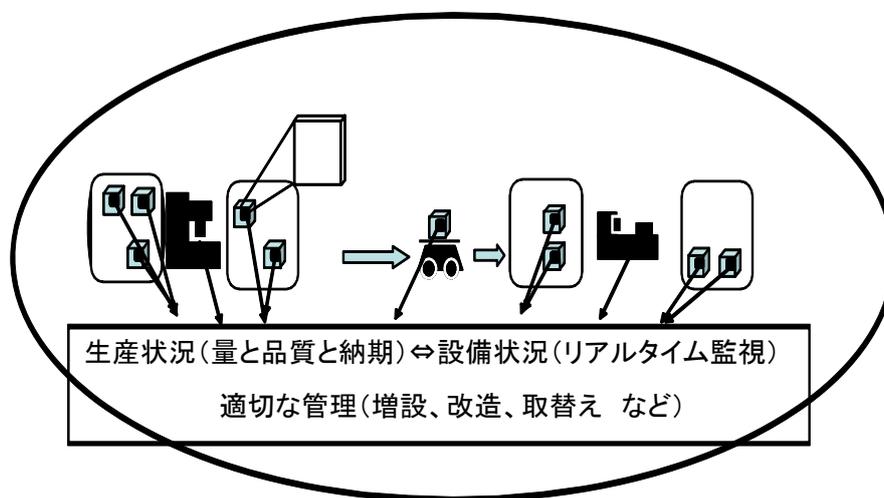
1.1 運転とメンテナンスの連携の技術的・管理的課題

1.1.1 設備管理の課題

作業の機械化、自働化や作業環境の整備が進むにつれて、それらの生産手段の管理の重要度が益々増大している。生産設備によって作業の容易化、省力化、労働条件の好適化などの効果が上がる反面、設備投資の資金や維持経費の増加という問題が発生しているのは周知のことである。

設備管理の主体は機械設備の管理にあるが、管理の方法は単なる事後保全（故障の修理）から、事前対策としての予防保全や生産保全へと進み、管理の領域も導入計画や設備配置にまで拡大しつつある。それに伴って機械設備に関連して工具や測定器の管理も重要視されてきている。

設備の管理としては、設備の開発から運用終了まで通した、ハード、ソフト、メカ、文書、テストなどの変更を考慮した機能の一貫性を保証する管理、「バージョン管理」もこれに含まれる。設備のライフサイクルを通しての、ハード、ソフト、メカ、文書などによる変更を制御・記録することも重要な要件といえる。しかし、設備現場では増設、改造、取替えなどが発生するたびの変更を十分に記録更新しているとは言い難い状況も散見される。



生産設備はライフサイクルの中で運転期間が最も長い



図 1.1.1 生産システムの設備管理

設備の管理をトータルに実施するためには、保守を行う設備データの管理(設備管理)、その設備に対する作業計画、作業の実施、報告を扱う作業データの管理(作業管理)、作業に必要な人材、資材、機械のデータ管理(リソース(材)管理)の機能を有機的に組み合わせる構成することが必要とされる。設備管理、作業管理、リソース管理を連動させて、PDCA サイクルを確立するためには、継ぎ目のない業務環境を構築し、統合化されたデータベースによる文書管理、履歴データベースによる高度な管理が必要である。

1. 1. 2 業種ごとの保全管理の状況調査

保全情報と運転情報の相互利用の規格として検討を進めている ISO18435 の実現可能性を視野に、規格の方向性を確認するとともにアプリケーション事例として当てはめることが可能かどうかを調査するために、文献、講演、現地訪問などを基に日本国内の製造企業の現状把握を行った。

対象企業は、先進(最新)的および設備診断技術や設備保全技術を有する事業所とし、業種に偏ることなく選定した。その結果、自動車製造工場、総合化学工場、火力発電所、石油精製工場、製鉄工場、製紙工場を調査し、6業種の現状を確認することができた。

調査は以下のような内容を中心に実施した。

①設備保全を立てる上での特徴

計画的停止時期や傾向監視による保全計画の立て方などを確認した。

②運転計画と保全計画相互で、調整又は相互活用などの実情

運転計画と保全計画を両立するために行っている調整方法などを確認した。

③運転部門と設備部門相互の情報交換方法

定期的な会合、システム活用による情報交換などを確認した。

1. 1. 3 調査結果のまとめ

調査した6社の保全に対する基本的な考え方は以下のように要約できる。

(1) 保全計画の立て方

保全の基本は定期的な SDM (Shutdown Maintenance)計画に基づき補修を行っている。SDM の際に補修する箇所は過去の経験値やメーカー設計値などと重要度ランク(リスク評価)に基づき要否と周期などを決定している。また、重要設備については運転中のオンライン診断や停止時に非破壊検査などを行い、傾向監視を行っている。これらは経験と診断に基づく CBM と捉えることができる。このように、CBM(Condition Based Maintenance)

を取り入れた TBM(Time Based Maintenance)という保全方式が一般的である。業種による違いは、この経験値の積み重ね方とリスク評価による違い、それに加えて生産や関係部署への影響度合いが加味されている、と言える。

経験値では、過去の故障修理結果や点検時に分解検査を行った結果から摩耗や劣化度を把握し、これらを的確にデータベース化して管理し利用する方法と、人の知見として保有し活用する方法の2つがあり、これらの組み合わせも存在している。表 1.1.1 では、計画保全を立案する際の手法として蓄積データや状態データの活用と人の経験値や知見の活用状況をおおまかに示した。

表 1.1.1 調査結果のまとめ

業種	計画保全立案方法	設備管理システム
自動車	バランス型	導入し、活用
総合化学	バランス型	導入し、活用
電力	データ重視型	導入し、活用
石油精製	バランス型	導入し、活用
製鉄	人間経験重視型	導入し、一部活用
製紙	人間経験重視型	導入しているが未整備

(2) 運転と保全の連携

計画的な保全は、会社規模で生産全体の影響を加味しながら計画されるため、企業の損益には織り込み済みであるが、突発的な故障や日常保全の中で発生する補修はそうでない場合も存在するため、いかに突発故障を少なくするか、もしくは突発故障があったとしても生産に影響を与えないで済ませるかが、日常保全の方法に大きく影響している。そのために製造部門と保全部門との情報連携はどの企業でも当然行われている。情報連携の方法に対しても様々なデータを活用する方法と、経験に基づく人間系による方法があり、その両方を上手く活用することで運用されているのが一般的と見られる。例えば、生産計画や運転情報は、生産する製品や原材料の変化によってプラントの劣化や性能に影響を与える可能性の視点から、保全計画を見直しする要素となる。一方、設備の状態を適時診断技術などで把握し、故障の兆候を発見し保全の要否を判断することは、生産計画に影響を与えることなどから適時情報提供される項目である。これらは調査結果から、情報連携の代表的な実例として挙げられた。

運転状態や保全結果などから緊急に補修が必要と判断された場合で、かつプラントのシャットダウンを必要とする場合は生産に多大な影響が出てしまう。このような場合は、例えば同一プラントが存在する工場は、別のプラントや別工場で生産を補ったり、在庫の活用で時間を稼いだりする方法が取られている。また、本来の性能が維持できない場合や運転に余裕がある場合などは、プラント運転の負荷を軽くし、次回のシャットダウンまで持たせる方法がとられている。このような場面では、生産管理システムや在庫管理システムなどが整備されていないと、管理は容易ではなくなり人の手が多く必要になってしまうため、システムが有効に活用されている。

(3) 顕在化するリスクは何か

企業を運営していくためには、様々な経営ファクターがある。安全と品質を重視し、安定した生産という視点からみると、次のようなリスクを回避することが生産と保全を考える上の要点であろう。

- ・生産停滞による納期遅れや受注売上の減少
- ・保全コストの増加によるコストの増加
- ・公害発生や企業イメージのダウン
- ・コンビナートや周辺工場への受給変化にともなう損失

1. 1. 4 運転とメンテナンスのシステム連携の課題

生産システムがコンピュータ化されて久しいが、従来は生産管理システムから一方的に生産指示が送られてくる関係のみだったが、その情報量が多くなり通信速度が爆発的に向上したことで、生産管理システムと、制御用システムや上位系システムのデータ連携による相互データ交換は一般的になった。その他の情報システムや基幹システムなどとの連携も含めると、操業性の改善は生産量と生産コストに直接つながり効果ははっきりと可視化できるというメリットがあり情報システム化が進んだといえる。

一方の設備管理システムや保全管理システムも導入は進んでいるが、その活用度合いは業種や企業によって大きく異なっている。これらのシステムを単純にデータ蓄積としているか、そのデータを分析し活用することで信頼性や可用性の向上につなげる活動を行い、SDM の作業項目整理や予算計画の効率化などを実施しているか否かが問われる。ただ、信頼性や可用性の向上は、その生産システム全体を常に健全な状態で維持管理することにつながるのだが、逆に保全を実施しなかった際に本当に突発故障や機会損失に至ったかどうかは正しく把握することは不可能に近い。従って過去の実績と重要度などからリスクを

評価し、必要な保全を選択して実施することになる。そういう意味ではシステム化による恩恵はなかなか直接的に評価することができない。

このことが生産関連のシステムと設備保全関連のシステムとの持つ意味の違いだとすると、その連携を行ったとしても双方のメリットは少ないのではないだろうか。例えば、設備保全のリスクを経済指標も含めて可視化し、そのリスクが適切にリアルタイムに評価できるようになったとすると、双方のバランスがとれ、外乱への対処をどうすることが最適化を評価するような仕組みにつながり、全体をシステム連携する効果が見えてくるのではないだろうか。

1. 1. 5 運転とメンテナンスのシステム連携のための IT 技術の活用

各企業により運転とメンテナンスを統合するシステムの採用は、システムの大小、管理の内容などでばらつきが大きい。また、活用の度合いも企業によりばらつきが大きい。全ての事業体とも必要性については認識が一致している。今後の取り組むべき課題としては以下の事項が挙げられる。

- ・人間系とのインターフェースが難しい。
- ・システム技術との実現コストバランスが取れない。(日本では、新規プラントでなく改造レベルでの件数がほとんどである。)
- ・設備診断の自動化技術(エキスパート頼り)との情報のリンクをどうつなげるか
- ・設備改造のリアルタイム管理ができない。

(最新の工場設備の図書化ができていない。)

- ・使い勝手の改善が必要。

キー・音声・センサなど多様な入力、解析・検索のし易さ、見易さ

- ・設備の属性情報の取得の煩雑さがある。(一貫性も無い。)

仕様、バージョン、ロット

これらの課題に対して、現場作業に関しては、IT 技術の活用が始まっている。その背景には、①高度な判断を要求されるシーンでの操業ミス、②高機能化による管理負荷増、③ノウハウを持つベテランの業務範囲の拡大による作業指示(指導)徹底の難しさ、④ノウハウを持つベテランの不足という課題により問題が発生してきたことがある。

このような厳しい環境下において生産活動/保全・保守活動を支援するには、必要な情報を必要な場所で簡単に作成し(電子化・システム化)かつ取り出すことができ、生産活動に携わる様々な人が空間・時間を問わず情報を共有化できる仕組みを提供することが今後の重要な課題となってくる。その課題解決にIT技術を活用する取組みが注目されている。メリッ

トとして、現場点検業務の定型化、定量化、システム化を支援し、若年者や外注者での確実な点検を実現し、時間的余力の創出や上位システムとのスムーズなデータ連携により点検管理や寿命予測などの高付加価値業務へのシフトも支援できるようにすることである。

具体的な例を挙げると、①音声認識技術、②計器ワイヤレス化技術、③電子ペン応用技術、④ID認識技術（タグ）の技術を活用した以下のような事例が試みられている。

- ・判断サポート機能
- ・点検サポート機能
- ・点検管理機能
- ・設備ID認知機能

現在、上記の各機能の実現を多くの企業が取り組み試行している。しかし、個別の取り組みでは、その開発コスト（人員含め）などが膨大となり。多くの企業、特に中小企業は容易に取り組むことができない。そのため、技術の確立するものから公開し、大いに標準化すべきと考える。

例えば、生産情報と設備情報、設備と操作者とのインターフェースなどは、統一されるべきであり、また個体設備の識別の仕組みも標準化し、業界全体で導入することにより、システム構築コスト、運用の安全コストの簡素化を図るべきである。

1. 2 海外における保安全管理

1. 2. 1 保安全管理システムが使用される環境及び社会的な背景

はじめに保安全管理システムについて論じる前に海外とわが国の産業構造、文化などその背景に関して言及する。これは制度や習慣、文化的な背景が保全・運転間に対して影響を及ぼすとともに、そのサポートを行う情報についても関連するためである。

わが国では戦前・戦後を通して一つの企業や組織に属して業務を行う終身雇用制度が他の欧米諸国に比べて長期間存続し、社会の安定に寄与してきた。従って作業員は一つの企業に入社すると退社までその企業の業務を行い、企業に貢献を行う。また作業員はこの業務を通して運転や保全に対する技術を取得するとともに、企業文化を継承し企業の安定に貢献する。このため日本における労働流動性は他の諸外国に比べて低い。

また管理職と技術者には明確な区別がない場合があり、技術者や管理職が実際の現場作業に参加したり、外注業者を使用して保全活動を行う場合は技術者がその管理を行ったりする。わが国では「多能工」という言葉で呼ばれる万能な作業員を育てる文化があり、1

担当者が何役もの職責を担当することは珍しくない。この意味では技術者および作業員の中から、人事や組織管理に長けた担当者が管理者となる場合がある。

これに対して海外ではマネージメント層(White Collar)と作業員層 (Blue Collar) には明確な区分があり、管理者は管理業務に徹し、また技術者は技術的な分析や調査、設計など技術的分野で実力を発揮する。管理職は管理を専門に行うために教育を受けていることがある意味で前提となり、Master of Business Administration (MBA) などの教育プログラムについては良く知られている。

更に、企業の業績によってダイナミックに生産計画や拠点変更を行う欧米のビジネスモデルでは、戦略的に企業構造を改革するための Strategic Restructuring にともなう一時解雇 (レイオフ : Lay Off) が行われるために、作業員の労働流動性は高く、組織内の知識を蓄積し、管理プロセスを標準化して、管理者・作業員が仮にレイオフにより解雇されても組織のオペレーションを継続できる体制をとる必要がある。

この考え方の違いは保全や運転の管理システムにも大きな影響を与えていると考えられる。例えば保全管理システムでは表 1.2.1 のような違いを見て取ることができる。

表 1.2.1 日本と欧米諸国の保全管理システムに対する違い

	日本	欧米
位置づけ	担当者の作業負担を改善するためのツール	企業全体としての管理システム
導入	部門別	企業全体での導入傾向大
システムに対する要求事項	非常に詳細で具体的 使い勝手の重視	要求事項の一般化
情報リテラシー	管理職は強い。作業員は低い場合がある。	高い
標準化	弱い	強い プロセス標準化を目的

日本における保全管理システムの導入の主役は各保全部門の管理者、担当者およびエンドユーザである。従って構築されるシステムについてはエンドユーザの強い意志と要求事項が反映される。担当者は多忙な時間を割いて保全管理システムヘデータを入力した情

報を参照することから、保全管理システムの機能は担当者の業務を肩代わりして軽減する機能、改善を行う情報を出力できる機能などが非常に重要になる。このため保全管理システムには技術的な分析要素を加えたシステム（例：減肉管理システム、劣化診断機能など）が存在する。

更にシステム導入について本社の IT 部門が関与することは必ずしも必須ではなく、情報技術の観点からのシステムアーキテクチャーやソリューションを評価されることは少ない可能性がある。逆に本社の情報部門として、プラント固有の技術に関連したディスカッションを行うことや、プラントや工場で使用する現場のシステムに対して直接的な指示・監督を行うことは、知識や職責（本社部門と各サイトの情報部門・ユーザの間では中央と地方といった物理的な距離も関係して、本社部門が関与を敬遠する場合もある）の関係で少ない場合がある。

日本における保全管理システムの構築・導入は「ボトムアップ方式」である。

もう一つの非常に大きな特徴として、システムをエンドユーザが使用する場合はその「使い勝手」が非常に重要で、この要求事項がシステム構築における導入コストを増加させる一因になっている場合もある。エンドユーザがシステムを使用するが、保全管理の場合エンドユーザは現場の作業員であり、また協力会社の社員である。従ってシステムが使いやすくないと情報の入力が滞り、有効な情報の出力ができなくなることでシステムの陳腐化を生じさせる。

これに対してグローバルでは、保全管理システムは文字通り「管理システム」であり、「トップダウン方法」でシステム導入が決定される傾向にある。また管理面をサポートする設備台帳、作業管理、調達管理、在庫管理、契約管理および安全・環境管理などは管理側面と技術側面でシステムとして分離され導入される。

1. 2. 2 米国における EAM の典型的な導入事例と効果

(1) 電力会社での導入事例

米国の電力会社 A 社は Maximo を使用して企業の様々なビジネスに関する資産を、一つのプラットフォームを使用して統一管理を行っている。この企業は火力発電、原子力発電、配電業務を行っている。電力会社のような大規模は企業になると通常事業部門が異なる場合は、各々のシステムを個別の部門が選択して導入するケースが多く見られる。しかし A 社では企業全体の効率向上を目的として 1 システムで統合管理を行うことを模索した。この

導入の実現を支えたコンセプトは、火力発電、原子力発電、配電業務など使用している機器や管理対象をサポートする技術は異なるものの、設備台帳、在庫管理、調達管理、作業管理など共通に適用できる分野は非常に多く、ビジネスレイヤの標準化と個別技術の支えるシステムとの融合を考慮したことにある。この結果、約 500 のシステム間インターフェースを削減し、システム間での独立性を確保するとともに、システムの全体としての柔軟性を向上させている。

(2) 国際空港での事例

米国の B 国際空港では空港施設、ボーディングブリッジ、昇降機、受電設備、滑走路、誘導灯、下水・雨水パイプラインなど統一管理を行っている。この中には空港セキュリティー関連設備、セキュリティーカメラ、施錠なども含まれる。更に空港の運用に欠かせない情報システムを **Maximo** を使用して管理を行っている。この事例の特徴は、プロセスを情報インフラストラクチャーの管理だけではなく、空港の施設を始めとする様々なインシデント管理、問題管理、予防保全管理、変更管理、リリース管理および設備データベースの維持管理に共通に適用していることである。

1. 3 国際動向を踏まえたプラント経営と保安全管理システムについて

1. 3. 1 設備保全関連規格に関わる国際標準化の動き

工業分野での国際規格としては、国際標準化機構 (International Organization for Standardization) が定める ISO と国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) が定める IEC がよく知られている。設備保全業務においては、対象とする設備に求められる要件が、機械や電気、計装などといった機能領域や、法令や業界によって、異なることが一般的である。それゆえに、従来、業界単位、国単位、さらには企業単位で、その規準や技術標準が整備されてきたといえよう。しかしながら、1990 年代以降、事業の国際化がより進行するに伴って、各種制度の国際化も促され、設備保全に関わる規格に関しても、国際的に統一しようという動きが見られるようになってきている。図 1.3.1 に、その一例を示す。米国、欧州、日本という国単位での動き、石油・ガス・化学・電力などのプロセス装置産業、鉄道といった業界での動きの一部を、簡易的に図示したものである。

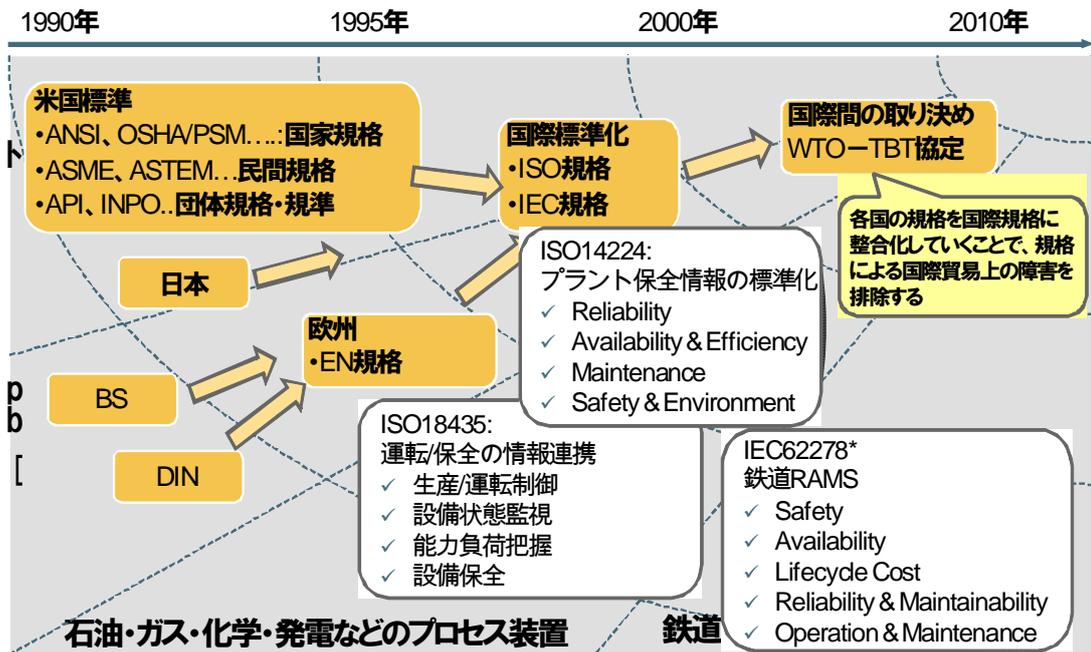


図 1.3.1 設備保全に関わる規格の国際標準化動き

1. 3. 2 国際標準化傾向から見てくる設備管理への要件

国際標準化の動きを通じて、設備管理業務に対する要件を列記すると、以下のとおりである。

- ①情報共有できること
- ②監査対応できること
- ③合理的な判断根拠を提示すること
- ④ライフサイクルの視点から安全性と経済性を評価すること

(1) 情報共有できること

組織かつ地域横断的な事業者内での情報共有はもちろんのこと、事業者とコントラクター間での情報共有、情報の内容いかんでは事業者間、更には業界内での情報共有も念頭に置いていると思われる。

(2) 監査対応できること

昨今の監査の傾向として、結果の是非を問うだけでなく、その結果に至る過程をさかのぼることで、そもそもの原因から改善しようという姿勢が見受けられる。結果だけを台帳に記録するだけでなく、計画、実施、結果、その結果に対する改善活動、結果の更新といった、継続的な改善サイクルの過程を追跡できるようなデータの持ち方が問われている。

(3) 合理的な判断根拠を提示すること

統計理論や確率論などを駆使した数理モデルを使ってデータを分析、評価し、利害関係者に納得が得られる形で、判断の根拠が提示されることが改めて求められている。故障や事故のリスクを定量的に捉えて、設備の更新や保全作業内容に反映しようという動きは従来から存在している。ここでは、ある特定の方法論を規定するものではなく、それら方法論を柔軟に適用する際に求められるデータ項目を論じているところに特徴がある。

(4) ライフサイクルの視点から安全性と経済性を評価すること

安全だけを強調するのではなく、その経済性からも評価できるよう、必要なデータ項目が論じられている。設備にかかる費用を、初期費用だけでなく、その維持・運用、更には廃棄の費用にも目を向けることで、工学的な観点に加え、経営的な観点からも評価することが求められている。

第2章 保全情報、運転情報の相互活用を促進するための技術課題の検討

2.1 先進事例と今後の課題 加工組立産業

2.1.1 受注確定生産型の生産システムの必要性

開発から生産準備、生産そして販売の全てにおいてリードタイム最短への取組みが急速に浸透し、顧客満足の向上に向けて市場要求へのスピード・フレキシブルな対応力の醸成はもとより、自社の棚卸資産回転率の改善による企業資産の有効活用の面からも、リードタイム短縮や在庫極小が強く叫ばれることとなった。

この具現化の考え方として、受注生産型の仕組みがある。この考え方を高いレベルで実現するためには幾つもの生産制約条件を改善しなければならない。この確立すべき要件の一つに「高効率な生産設備の運転を条件づける設備信頼性があり、それを戦略的に達成するコアとしての保全の役割がある。」

従来生産計画指示である月間、週間、デイリーの単位から上記で述べた順序・時間（時・分）計画となることで格段に計画遵守のハードルが高くなっており、おのずと高いレベルの設備信頼性が求められるとともに、製造コストにそのつけが廻ることのない効率的なメンテナンスが同時に求められることとなる。

生産とメンテナンスの統合を考える参考として図 2.1.1 に求める生産システムの考えを示す。

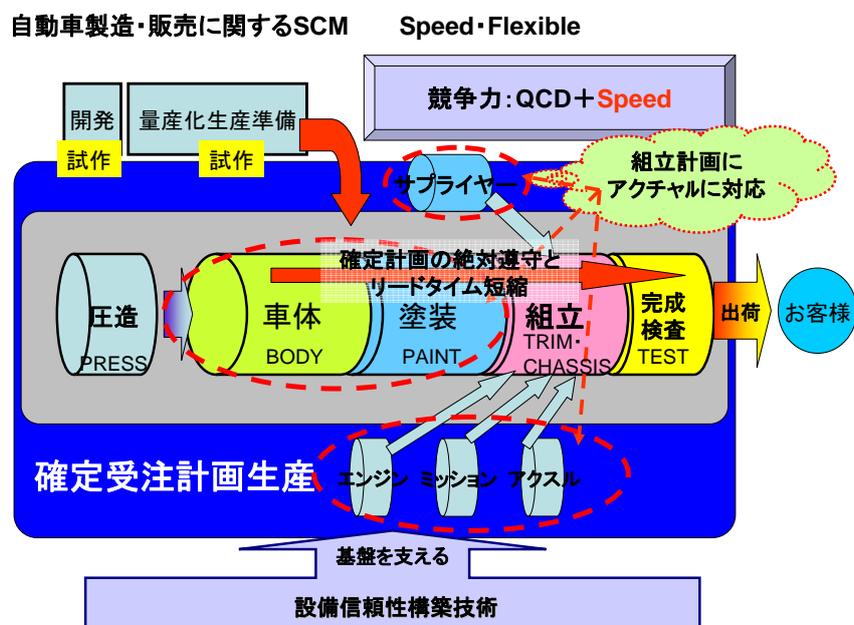


図 2.1.1 自動車製造・販売に関する SCM

2. 1. 2 生産システム構築とコアとしての保全の役割

生産管理に係わる指標と設備および保全の実力は理屈なしで相関関係にあり、仮に設備故障の発生を想定すれば即その時点で生産計画の乱れを生ずることは必定であり、未達による製造コストアップはもとより、販売機会損失、顧客への信頼の失墜など多くの損失を招くこととなる。従ってこれまで以上に生産と保全の統合的な管理が必要であり、これを生産システム構築の一つの条件としてその仕組みに組込んで管理レベルの向上を図るべきと判断している。

2. 1. 3 生産情報・メンテナンスの統合的管理の実現に向けて

(1) 生産・保全情報の相互活用に関する現実的課題

生産計画を日々達成すること、そのための統合的管理の実現を図る上で両者の情報共有がどのように実践されるべきかを考えてみたい。

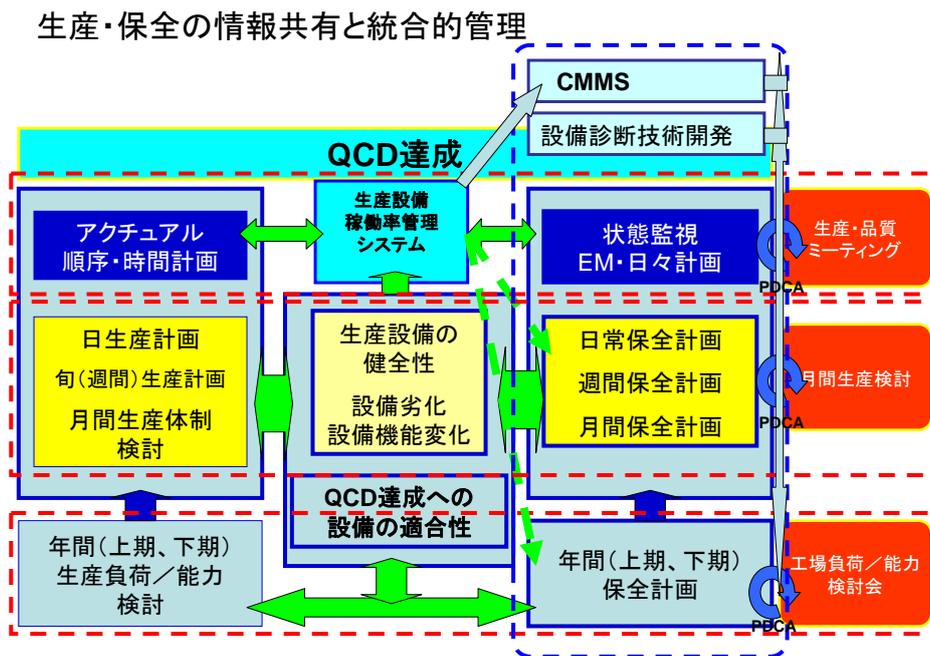


図 2.1.2 生産・保全の情報共有と統合管理

図 2.1.2 に生産・保全の情報共有と統合管理について示すが、年間、月間レベルにおいては、年間生産負荷／能力検討会と月間生産検討会で互いの情報を基に生産計画、保全計画両者の計画を整合性をもって実現するための検討が実施される。

保全においては、日々の生産設備稼働管理システムからの設備故障情報（機能停止・機能低下の両面）を CMMS（Computerized Maintenance Management System）に

取り込み、加えて定期、予知両面の保全情報を基に、劣化と機能低下の分析、判断によって保全優先順位と保全時期を判断して保全計画を立案し、生産との検討を基にスケジュールを決定している。

また、図 2.1.3 で示す日々の生産・品質ミーティング（基本的には毎朝に実施し、製造、保全部署はもとより技術、検査の関係部署が集まり、短時間に昨日（昨夜）の生産実績と計画未達情報を共有し、処置・対策を当日完了の考えで実践している。

このミーティングで活用される代表的な情報は、生産設備稼働管理システムより自動集計された生産実績情報および設備停止情報などの生産遅滞情報であり、これらをもとに処置・対策検討が実施されている。

従って、この仕組みこそがモノづくり最前線である製造工場での QCD 目標達成と、これらと同期したメンテナンス精度向上への源であると判断している。このしくみを共有して、日々のなかで発生している変化やその事実を捉えて迅速に対応することが生産速度に対応したマネジメントの基本的な要件である。生産順列、時間・分の生産スピードに則した情報収集と、異常あるいは変化に対するスピーディーかつ的確な判断、そして処置・対策へのアクション、このことが統合的管理の原点であるといえる。

2. 1. 4 設備信頼性向上への取組み

2. 1. 3 項で述べた、高いレベルの生産計画を高いレベルで達成するためのメンテナンスの取組みはいかにあるべきか。その一考察として考えを述べる。

設備信頼性向上目標達成のプロセスを大きく分ければ、新車両生産設備対策と現行車両生産設備対策とに分類される。

現行車両設備対策は機器信頼性向上を含めて、MTBF 延長対策と MTTR 短縮化対策とがある。

いずれも情報の相互活用は課題であり、これまでの経験を基に情報共有と統合的管理について述べるとともに、更に改善に向けた技術課題を挙げる。

(1) まずは新車両生産設備対策について、情報共有と統合管理の面からその要点を述べる。その基本は、新車両の工場展開あるいは増産対応設備増強計画展開の基本計画段階において設備信頼性目標とその達成への予算の大枠設定を決め、更にそれを具体化した生産工場での量産立上りに至る間での設備信頼性目標達成に向けたプロセス展開（設備、生産両面の初期・流動管理）である。

(2) もう一つの課題である現行車両生産設備対策についても、情報共有と統合管理の面から、その要点を述べる。生産設備稼働管理システム情報は生産シフト単位に自動集計さ

れて、日々の生産・品質ミーティングで活用されており、年間計画レベルから日々の生産計画、保全計画とその実践、そしてこれらの過未達分析とフィードバックがなされている。

図 2.1.3 に示す各時間階層（年、月、日）の管理サイクルを廻して、生産水準（生産能力、計画遵守率、在庫水準など）と保全管理水準（MTBF、MTTR、健全性評価判断技術、保全コストなど）両面の水準改善を継続的に図り、付加価値追求を限りなく実践することが重要である。

2. 1. 5 MP (Maintenance Prevention) 標準化と設備設計への反映

設備信頼性向上への取組みの一環としての、MP（予防保全）情報の標準化と設備設計への反映について、企業の取組み実態を踏まえながらこの取組みのありたいとする姿を整理する。

前記の 2.1.4 項で記した、新設設備及び既設生産設備の両面を通してここで述べる MP の情報発信と活用がなされるべきである。

(1) MP 情報の標準化と活用サイクルのしくみ

図 2.1.2 の中で生産設備稼働率管理システムと CMMS との関連付けを説明したが、設備故障情報をリアルタイムに CMMS に取込んで、稼働分析、故障分析、各種の設備対策をすることは勿論のこと、保全計画策定、これを基にしたメンテナンスの実行と実績記録がなされるとともに、これらの情報を基に現状のベストプラクティス情報として MP 情報を抽出する。この MP 情報を生産技術部署が主体となった技術標準化のしくみを通じて、MP 標準化し、次期設備計画への反映はもとより、企業内他工場への該当設備に改善水平展開を実施し、結果を評価して更に必要であれば MP 標準を改訂する。このサイクルをしくみとして廻し続けることが重要であり、この機能の中核組織（仮に、技術標準化委員会、あるいは MP 標準化委員会）を設けて、MP 情報をバリデートして MP 標準へ選別し、常に最新の成功事例が管理されて活用されることを責任部署として実行するのである。

上記の標準化組織メンバーは、生産技術部署、工場保全部署、工場技術部署の専門家によって構成するものである。（図 2.1.3）

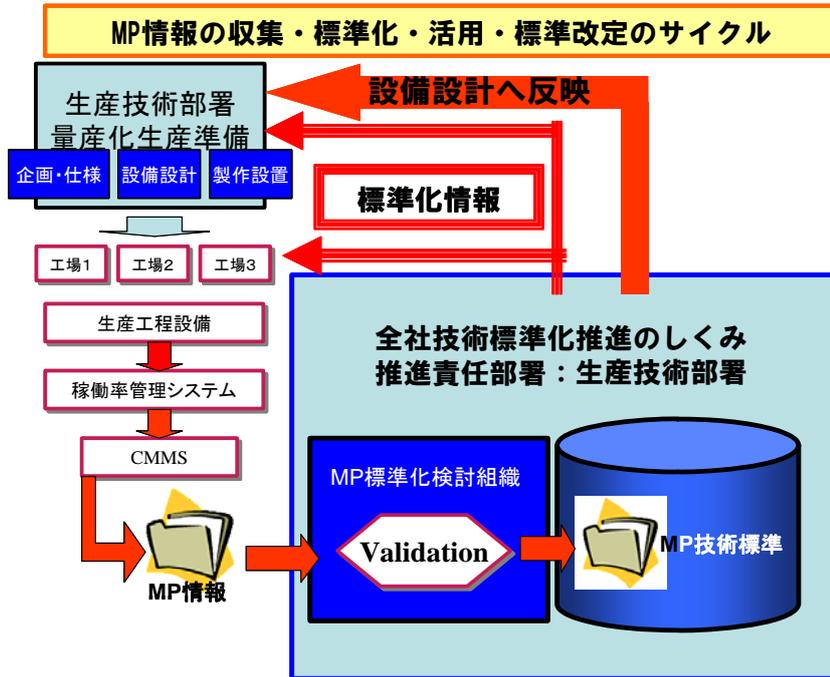


図 2.1.3 MP 情報収集と設備設計への反映サイクル

(2) 設備設計へ反映、その仕組み構築について

新設設備計画の取組み

初期・初期流動管理の実践、MP標準の設備設計への反映

ステップ ライン	計画段階			設計・製作段階				設置・調整			立上り			
	目標値 設定	レビュー シミュレーション 検証	達成方策 積上げ	仕様検討、設備 仕様統一 MP折込み	提案図 確認	設備 立会い	製作後の 設備精度 確認	新機構・ 新部品の 評価	設置後の 設備精度 確認	保全教育	保全方式 設定・点 検基準作 成	予備品 準備	設備管理 システム 活用	管理基準
#1	-	-	-	○	○	○	△	×	×	○	△	△	-	-
#2	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-
#3	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

MP標準の折込み

約900件

975件

2571件

13件

30件

良い生まれを持つ設備づくり... ×

☆ ポイント

- 1) 設備信頼性目標値とその達成方策の明確化
- 2) #1及び#2ライン設備の不具合フィードバックの徹底
(MP標準折込活動)
- 3) 設備メーカーを巻き込んだ改善の推進
新機構、新部品の信頼性評価と採用可否判断

© Japan Institute of Plant Maintenance

図 2.1.4 MP 標準の設備設計への折込み

図 2.1.4 は新設設備計画展開プロセス（要約）において、既設設備の不具合フィードバックを示したものである。#1 および #2 号機での失敗の再発防止として、目標を設定し、その目標達成に向けた展開ステップを明確化して、そのステップ単位に仕上がりを確認して次のステップへの移行判断とし、信頼性をはじめとした設備の作り込みを推進するものである。

上段横軸に展開ステップを示すが、設計・製作段階で MP 標準の折込みを義務付けし、量産立ち上がりまでの各ステップでその折込み細部を確認・評価して、ステップ移行を判断することが重要である。

表 2.1.1 初期管理不備による故障の層別分析

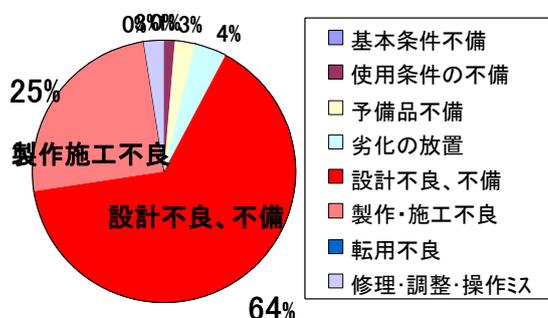


表 2.1.1 に典型的な初期管理の不備による故障の層別分析結果の一例を示す。この層別分析結果は、設備の量産立ち上がり 1 年後の実態を分析したものであり、設計不良による故障が 64% を占め、かつ製作設置不良を含めるとほぼ 90% に及んでいる。また、当該設備の更に 1 年後に故障層別分析を実施したが、設計不良が根絶せず、その影響による故障がしつこく尾を引く事実を確認している。

2. 1. 6 技術課題

1) 保全精度向上

保全にとっては難題かつ必須のテーマといえる。この点の一層の改善によって、生産リスクが軽減できて、更に QCD 達成への設備条件の適否判断が可能となる。

現状の五感による点検にせよ、診断技術を活用した劣化兆候診断にせよ、MTBF のずっと左側の運転時間間隔で点検・診断が実施されている。特に分解点検の設定においては、分解しても何も発見することができずに、設備の運転機会の損失と点検に伴う費用支出のみが残る事実をなんとしてもより小さくすべき取組みが求められている。

分解せずにかつ多くの費用を掛けずに、設備劣化と機能変化を捉え、QCD 達成への設

備条件の適否判断のできる信頼性技術を開発し、これらの取組みによって潜在的故障要因の摘出をより高めることで、生産と保全の距離が短縮されて効果的な統合的管理の水準が一層改善されると確信する。換言すれば、生産側から見た生産制約条件であった設備（保全）が、その条件解除へ向けて大きく前進することになる。（図 2.1.5）

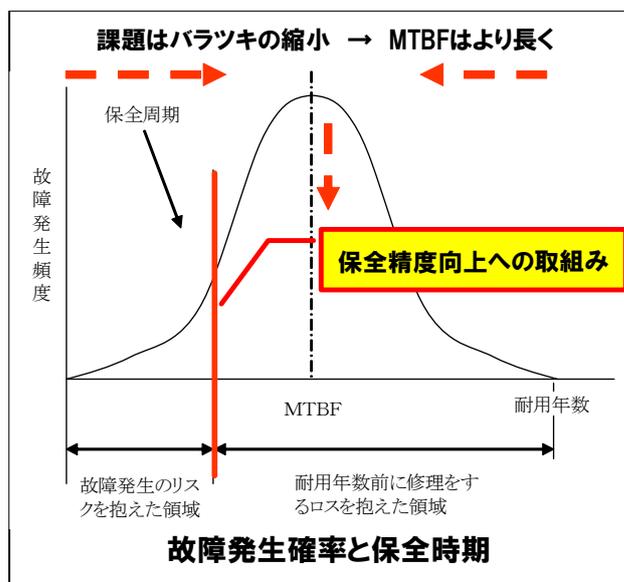


図 2.1.5 故障発生確率と保全時期

参考文献

- [1] 日本プラントメンテナンス協会 浅井誠司、日産自動車 小林洋、鳥飼正、
計画生産を支える、故障ゼロ超保全実践マニュアル、日刊工業新聞社発刊
- [2] 日本プラントメンテナンス協会、新 TPM 展開プログラム 加工組立編
- [3] 日産自動車 NPW 推進部（編）、実践 日産生産方式 キーワード 25、
日刊工業新聞社 工場管理

2. 2 先進事例と今後の課題 プラント系

- 電力プラントにおける運転とメンテナンスの情報統合化

2. 2. 1 電力プラントにおける設備運転の特徴

発電プラントを例に電力プラントにおける運転とメンテナンスの情報統合化について考察する。

電力プラントは、安定的に負荷側に電力を供給することを目的として建設・運用されている。社会基盤を支えるエネルギー源として電力は非常に重要であり、万一故障などで発電設備が停止した場合、社会的に与える影響範囲が広く、その損害も莫大なものとなる。そのため、発電プラントシステム、変電プラントシステム、電力系統制御システムには多重化など様々な高信頼化技術が適用されており、設備保全についても設備毎に詳細な設備保全基準が設けられている。図 2. 2. 1 に電力プラント設備保全の例を示す。発電プラントでは、定期的な検査が法律によって義務づけられ、例えば原子力発電プラントでは 13 ヶ月以内に一度プラントを停止させ点検を行う。

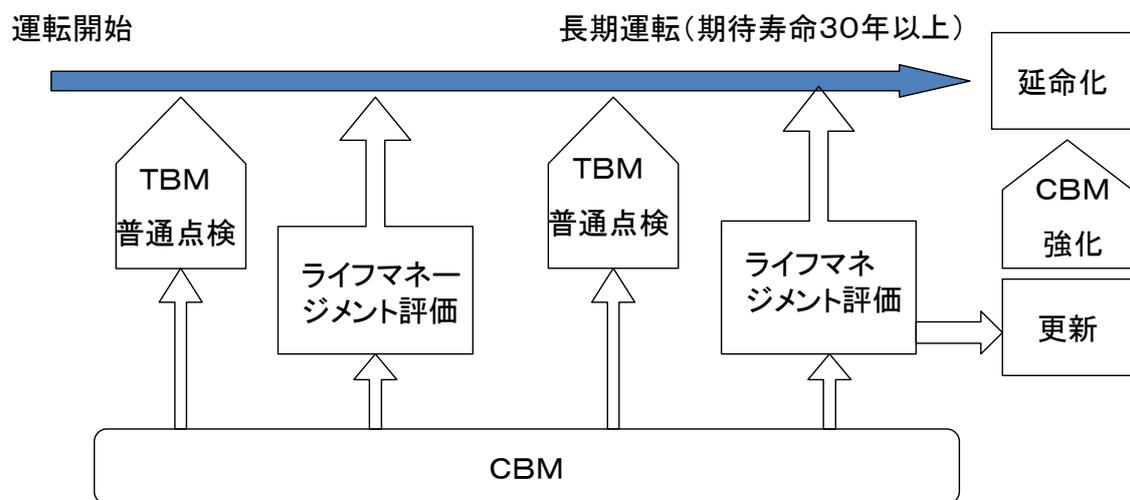


図 2. 2. 1 電力プラントの保全ライフサイクル

2. 2. 2 電力プラントにおけるメンテナンスの特徴

本項以降では、電力プラントの代表例として原子力発電プラントのメンテナンスの特徴について述べる。

原子力発電所の設備は原子炉や燃料、制御棒、制御棒駆動装置など原子力発電所特有の設備・機器の他にタービン、熱交換器、配管、弁、タンク、発電機、変圧器、電動機など多数の機器から構成され、更にケーブル、各種センサ・伝送器といった計測制御機器など

の種類も数も多く、関連技術も多岐・広範にわたる。また、設備全体の期待寿命が30年以上と長期にわたるため、幾世代に渡る技術伝承が必要であり、膨大な記録の保存管理や新しい技術に対する知識も必要となる。

具体的なメンテナンス活動は、日常的に行う運転監視・巡視点検、運転中定期試験とプラントを停止させて行う定期検査の三つに分類される。

(1) 日常点検

プラントの運転手順書に従い、運転員が設備・機器の運転状態の確認を行う。日常点検では設備診断を行っており、一般的なものとしては加速度センサを用いた振動分析、油中分析、サーモグラフィによる発熱分析、音響モニタなどの設備診断技術を用いて、設備・機器の健全性を診断する。

(2) 運転中定期試験（サーベイランステスト）

発電所の通常運転中は待機状態で、発電所の停止時や事故・故障時の緊急停止に使用する系統・設備・機器は運転員が月1回など所定の頻度で定期的に作動させ、系統・設備・機器の機能の健全性を試験する。

(3) 定期検査、定期点検（定検）

国の検査項目は、炉型により多少変化するが概ね80項目に及ぶ。国の検査に対する考え方は、プラントの安全機能の重要度に応じた確認であり、設備の機能・性能検査、構造健全性確認検査などである。

2. 2. 3 運転・メンテナンスの統合的情報管理に向けて設備信頼性向上への取組み

従来の国の定期検査が前項で述べたように時間基準保全を基本としたものであったのに比べ新しい検査制度では信頼性を重視し、原子力発電施設毎に設備の劣化状態などを踏まえた適切な点検間隔を設定できるようになり、原子炉は13ヶ月、18ヶ月又は24ヶ月ごとに停止することを選択できるようになった。信頼性重視保全(Reliability Centered Maintenance)を実現するためには保全の一層の体系化が必要となり、また運転中検査を充実させるためには状態監視保全の導入が不可欠となる。

新検査制度に基づく原子力発電プラントのメンテナンスについて基本要件を定めた民間規格として、社団法人日本電気協会の制定した「原子力発電所の保守管理規程（JEAC 4210-2007）」および「原子力発電所の保守管理指針（JEAG 4210-2007）」がある。この保守管理規程では、保全活動のアクティビティをより詳細化し、その標準的な業務フローを提示している。図 2.2.2 は、ISO-18435 Part-1 コンセプト ADID(Application Domain Integration Diagram:アプリケーション領域統合ダイアグラム)の電力プラント版である。

保全のアクティビティはADIDの中ではD4.2 運転・保安全管理指針、D3.3 保全作業計画&スケジュールリング、D2.3 保全実行&追跡システムおよびD1.3 設備構成管理の部分が対応する。JEAC4210-2007で示される標準的な保全業務フローをADIDで整理したものを図2.2.3に示す。

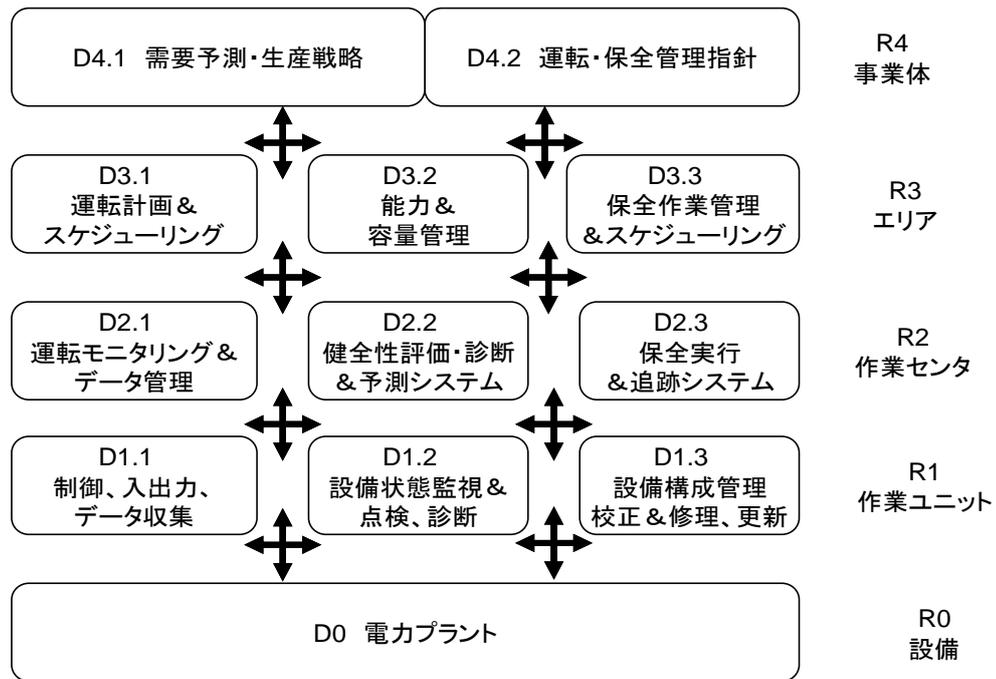


図 2.2.2 電力プラントのADID

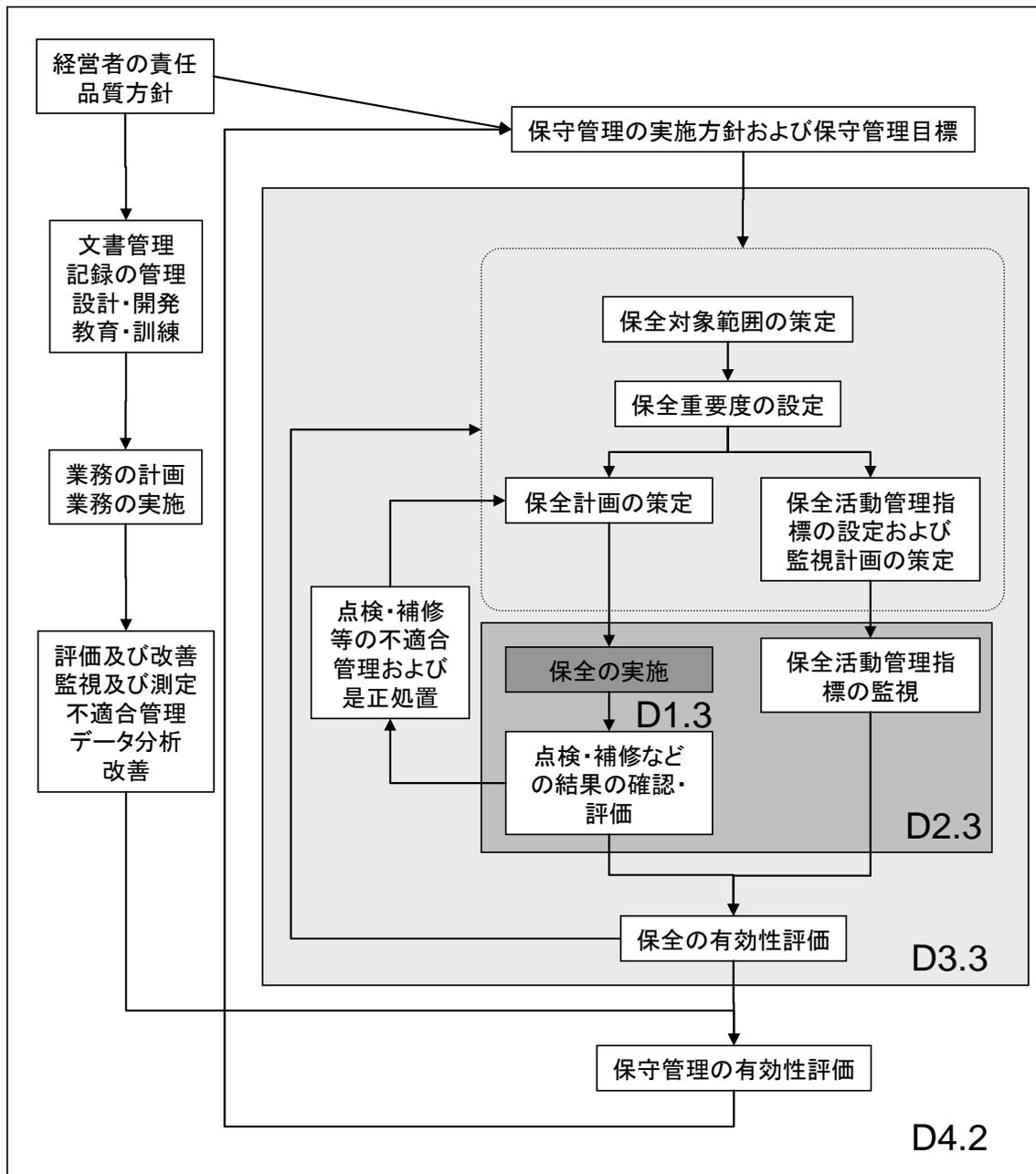


図 2.2.3 発電所保守管理の実施フローと ADID の対応関係

図 2.2.3 において、アクティビティを囲むハッチングエリアで示したのが、ADID との対応関係である。保全活動の中核となる「保全の実施」は D1.3 設備構成管理、「保全結果の確認・評価」、「保全活動管理指標の監視」などは D2.3 保全実行&追跡システムに含まれると考えられる。また、「保全対象範囲の策定」、「保全計画の策定」、「保全活動監視計画の策定」や「保全の有効性評価」などは D3.3 保全作業計画&スケジューリングに対応する。ル

ープの一番外側に位置する「保守管理の実施方針」、「保全管理の有効性評価」などはD4.2 運転・保全管理指針に対応する。

2. 3 運転とメンテナンスの連携のあるべき姿の検討

2. 3. 1 メンテナンスの調査結果の考察

(1) 運転とメンテナンスの関係

運転とメンテナンスの関係を一般的に示す。まず、運転計画とメンテナンス計画の相互作用としては、運転を優先させれば、設備の問題が発生し、緊急に停止させなければならない状況となり、設備停止後に保全を行った場合、そこには生産できなかった出荷量や廃棄しなければならない仕掛品などのロスが生じる。無理に使用を続けたため、設備の性能低下が起き、速度低下、不良、品質低下などのロスが発生する。また、設備の不具合が従業員（生産委託業者を含め）に損傷を与える可能性もあり、大きな損害を受け、企業の存続にも影響してくる。逆に、メンテナンスを優先させれば、機会損失という考えのもとでは、当然メンテナンス停止中の生産ロスが生じる。また予防保全費もかさんでしまうことになる。このように一方を優先することは、生産活動を行っている企業（工場）において総合的に無駄を生んでいることになる。

(2) 課題の抽出

見えてきた課題としては、運転とメンテナンスの相互関係は意識されているが、それらの連携を常に考慮して、運転とメンテナンスの計画にダイナミックに反映させることまではしていないことが分かった。なぜなら、これらの企業では、これまでの長い経験から、運転とメンテナンスの連携に関する方法を経験に基づき把握しているため、そこでは両者の関係をそれぞれに対する制約条件として予め考慮されて計画が実施されているからと考えられる。

しかし、最近の経済環境や市場の激変（急激な需要の拡大や下落など）あるいは、厳しいコスト削減要求の下では、これらの関係を動的（ダイナミック）に考慮した運転とメンテナンスの連携の統合的な管理が必要となってくると思われる。

2. 3. 2 運転とメンテナンスの連携のあるべき姿の実現への過程

図 2.3.1 に Operation（運転）& Maintenance（保全）を統合した計画策定手順の案を示す。

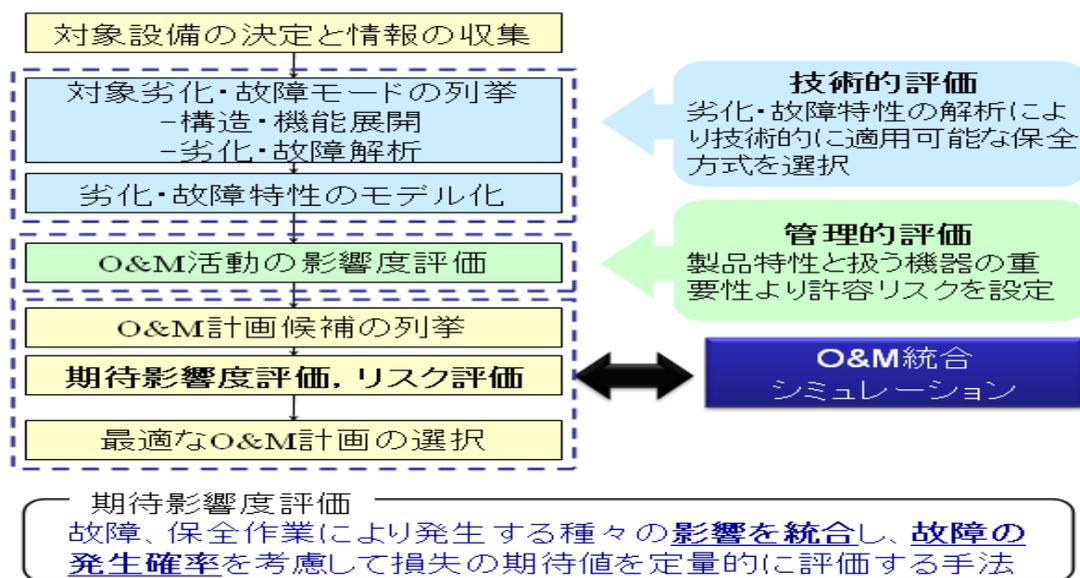


図 2.3.1 Operation (運転) & Maintenance (保全) を
統合した計画策定手順の案

対象設備を設定し、技術的評価と管理的評価を行い、最適な O&M 計画を導き出す。このときに O&M 統合シミュレーションでこの評価を行う方法がある。後述の第 4 章でその例を示す。種々の影響を考慮することで、運転と保全の不確定要素を推察、決定することで、ある程度両方の重要度がバランスの取れた計画の策定ができると考える。

運転とメンテナンスの連携の状況について、第 1 章でも紹介している CMMS (設備保全管理システム: computerized maintenance management system) などのパッケージソフトの調査を行った結果、運転計画とメンテナンス計画の両方の機能を連携まで考えて備えているものは今のところ存在せず、両者の連携の支援という点では、まだ十分でないことが明らかになった。

一方、運転とメンテナンスの統合 (O&M 統合) をキーワードに、研究状況の調査も行った結果、数は必ずしも多くはないものの、研究レベルでは、両者の統合的な管理については考慮されていることが分かった。

以上、これらの調査結果から、運転とメンテナンスの連携を意識して計画を立て、統合的な実施管理をしていくことは、現状ではまだ明確には示されていないが、今後はその重要性が増していくことが予想される。このような連携を実現する上では、上述した生産現場 (運転部門)、メンテナンス (保全部門) とシステムインテグレーター (システム設計者) の間で情報をしっかり把握する場を作ることに加え、運転とメンテナンスに関する活動と活動の間での情報共有や情報伝達がスムーズに行われている必要がある。

第3章 情報システムの位置づけと ISO18435 とのマッピング

3.1 情報システムの位置づけ

情報システムは近代的な製造管理を行うためにはなくてはならない基盤技術および管理基盤であり、生産・製造活動と保全活動を効率よく運用・改善を行っていくために重要な役割を果たしている。また情報システムには以下の特徴（表 3.1.1）があり、この特徴を利用することでプラント・生産・保全の管理者にとって有益な情報を提供することができる。しかし同時に問題点をも兼ね備えるためこの点を把握・理解した上で人間系での情報連携およびシステムの適用とシステム間の情報連携を考慮しなければならない。

本章で説明する ISO-18435-1 によって識別されている要求機能は必ずしも情報システム上に構築されることを要請しない。ADID によって識別された要求事項については人間系の情報共有、会議、指示などで実現されるものが含まれることを許容する。

表 3.1.1 情報システムの利点と問題点

特徴	利点	問題点
定型処理	俗人化されない情報処理による評価メトリクス及び評価結果の標準化	評価結果からの“連想”と“気付き”を阻害する可能性
プロセスの標準化	ビジネスプロセス、収集データ項目、処理方法などを標準化可能	運用の硬直化と柔軟性の後退
大量データの高速処理	複数の分析軸による関連性分析（例：重回帰分析など）	統計解析など、手法の熟知が必要
大量データの保存と蓄積	大量の情報記録と瞬時の取り出し	システム破損時のデータ復旧は情報システムの管理状況に依存

この結果から情報システムを表 3.1.2 のように位置づける。

表 3.1.2 情報システムに求められる基本機能

必要な機能	説明
情報処理機能性	設備で発生・検知される物理量をデジタルデータに変換する機能。またデータを入力、記憶、処理、判断、出力（電子計算機の5大要素）できる機能として代表される。
接続性	情報システムは他の情報システムに対してデータを提供するための情報通信能力を保持しなければならない。情報通信はデータの存在を一つのシステムの内部に限定されることを防止し（情報の孤島化）、複数のデータの組み合わせにより新たな情報を創生する働きを持つ。
データの関連性	データは単体では意味を成さないが、複数のデータに意味を持たせ、実際の企業や組織の管理に必要な意味づけを行う情報化が必要である。情報化は実際には評価・分析により問題点の検知や改善のために使用される。

3. 2 情報システムの役割

情報システムには二つの大きな役割がある。一つは一般的に認識されている情報の入力、記憶、演算、制御、出力で、データを蓄え処理を行うことで管理に必要な情報を作成する機能である。この役割は一般的に認知されているもので、情報システムを人間のデータ集計・分析を行うための補助を行うことを「ツールを構築する」と呼ぶ。

もう一つの役割は、情報システムにより管理すべき情報の標準化により、業務プロセスを統一し共有化を行うためのプラットフォームとしての役割である。情報システムでは入力すべき情報のコード体系や情報項目、管理プロセス上の承認フロー（ステータス管理、ワークフロー管理などによる）の管理を標準化でき、担当者がこのシステムへのデータ登録、承認管理を遵守することで定められた情報の収集と管理の証跡を確保することができる。この情報は組織内で行われる内部監査の対象となり、組織内の活動が定められた規則に従って実行されているかを把握し確認することができる。このような規則の制定と実施の強制を行うことを「システムを構築する」と呼ぶ。

つまり、情報システムを上手に活用するためには担当者の作業効率を向上させる「ツール」の局面と、組織内の管理の標準化を行い、規則を遵守させる「システム」の構築の二つのバランスを取ることが必要である。

3. 3 ISO18435 ADID とのマッピング

3. 3. 1 ADID マクロビュー

保全活動と運転・生産活動の情報を融合し、強調して企業活動の効率改善を行うためには、両者の情報を電子化し、相互に連携して情報の価値を向上させることを支援する情報システムが必要である。特に近代の大量生産、少量多品種生産においては、保全活動、運転・生産活動で発生するデータ種類・数は膨大で、人間による情報処理ではその価値を十分に発揮できない場合がある。

こうした問題意識を基に ISO18435 では、データ基本構造を ADID(Application Domain Integration Diagram)として提示している。(表 3.1.1)

ADID では図 3.3.1 の左側部分に運転・生産に関する情報システムの機能の位置づけを表し、右側では保全活動に関するシステム機能を位置づけている。また中央部分には運転・生産管理と保全管理をつなぐためのシステム機能が配置されている。

表 3.3.1 ADID 機能大分類

分類	ADID 番号	説明
運転・生産管理機能	D0.1 D0.2 D1.1 D2.1 D3.1 D4.1 D4.2	ADID の左側に属するアプリケーションドメインで、主に運転・生産管理に関する要求事項。材料や設備などの台帳を管理する D0.1, D0.2 及び企業全体のビジネスを管理する D4.1, D4.2 の一部を含む。
保安全管理機能	D0.1 D0.2 D1.3 D2.3 D3.3 D4.1 D4.2	ADID の右側に属するアプリケーションドメインで、主に保安全管理に関する要求事項を定義する。材料や設備などの台帳を管理する D0.1, D0.2 及び企業全体のビジネスを管理する D4.1, D4.2 の一部を含む。
ブリッジ機能	D0.1 D0.2 D1.2 D2.2 D2.3 D4.1 D4.2	「運転・生産管理」と「保安全管理」の機能をつなぐための要求事項。材料や設備などの台帳を管理する D0.1, D0.2 および企業全体のビジネスを管理する D4.1, D4.2 の一部を含む。

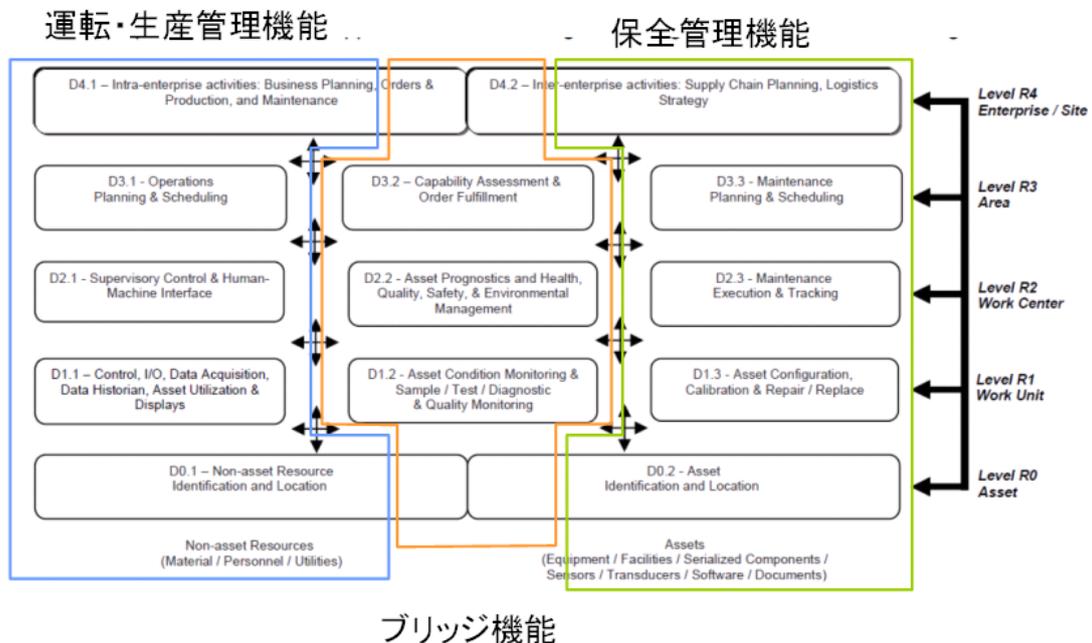


図 3.3.1 ADID の三つの領域マップ

3. 3. 2 ADID ミクロビュー

表 3.3.2 に ADID の項目詳細機能を紹介する。

表 3.3.2 ADID による項目表

ADID 番号	表記	説明
D0.1	Non-asset Resource Identification and Location	生産に必要な原材料、副材料、燃料、試薬、触媒、潤滑油、パッケージングなど、生産に関連して識別が必要な資源。この対象は生産管理の視点から識別され、管理されている必要がある。(資材管理)
D0.2	Asset Identification and Location	製造装置、製作装置、デバイス、計装機器、工具、ソフトウェアツール、容器、ネットワーク、施設および再利用可能な資産。この対象は保全管理の視点から識別され、管理されている必要がある。
D1.1	Control, I/O, Data Acquisition, Data historian, Asset Utilization & Displays	生産に関連する設備・装置などの制御 (PLC: Programmable Logic Controller や制御ボード)、データ収集、データの蓄積、設備利用状況把握、および装置操作端末など、直接生産・製造設備に関連する情報を管理する機能及びインターフェイス。 プラント PI&D およびプロセス制御、ロットのトラッキング、設備ダウンタイム状況把握、品質データ収集など、生産・運転装置に関連して発生する情報を管理する物理的なレイヤである。
D1.2	Asset Condition Monitoring & Sample / Test / Diagnostic & Quality Monitoring	設備状態の規格・統計学的モニタリング、統計学的品質管理手法 (SPC: Statistical Process Control)、状態監視、設備のテスト・試験管理、故障情報の検知、劣化予測など設備状態に立脚した技術的な分析。 そのほか設備状態を保管・分析する技術データベースシステム、研究部門での分析システムなど。
D1.3	Asset Configuration, Calibration and Repair / Replace	設備構成情報 (設計情報、現物構成情報)、設計変更・構成変更管理、校正 (較正) 管理、修理・交換作業を作業管理プログラムで管理。修理・交換作業で発生して構成変更情報をフィードバック。
D2.1	Supervisor Control & Human-Machine Interface	生産活動に関する管理、オペレータ・作業への指示機能。生産量・不良品管理、製造指示書 (トラベラー) 発行・管理。
D2.2	Asset Prognostics and Health, Quality, Safety, & Environmental Management	資産の予寿命予測・管理、品質管理、設備状態に関連した安全管理・環境管理。
D2.3	Maintenance Execution & Tracking	保全活動の実行とそのトラッキング。一般的にこの要求機能は保全管理システムが担う。
D3.1	Operations Planning & Scheduling	運転・生産に関連する生産計画およびスケジューリング。工場・プラント単位での生産計画および材料、副材料、運転員などの所要量管理 (MRP: Material Resource Planning) を行う。

D3.2	Capability Assessment & Order Fulfillment	工程能力計算および生産計画に関連する製造指示の関連付け、生産能力予測、法的制限（運転時間制限、環境負荷制限など）による影響管理、生産量・品質レベル管理、製造コスト（生産量、廃棄品：スクラップ）計算、リスク管理。またシフト、季節変動要因に関する管理。
D3.3	Maintenance Planning & Scheduling	保全計画およびスケジュール管理。保全作業全般に関する管理。一般的にこの要求機能は保全管理システムが担う。
D4.1	Intra-enterprise activities: Business Planning, Order & Production, and Maintenance	中期・長期を含むビジネス計画、受注予測、中長期生産計画および中長期保全計画（SDM 計画、設備更新計画）
D4.2	Inter-enterprise activities: Supply Chain Planning, Logistics Strategy	調達システム、在庫管理システムを含む ERP (Enterprise Resource Management) システム。場合によっては会計システムなどを含む。

3.3.3 産業界で使われているシステムマップ

図 3.3.2 に実際の産業界で使われている関連システムのマップを表し、ADID との対応関係を合わせて表示した。

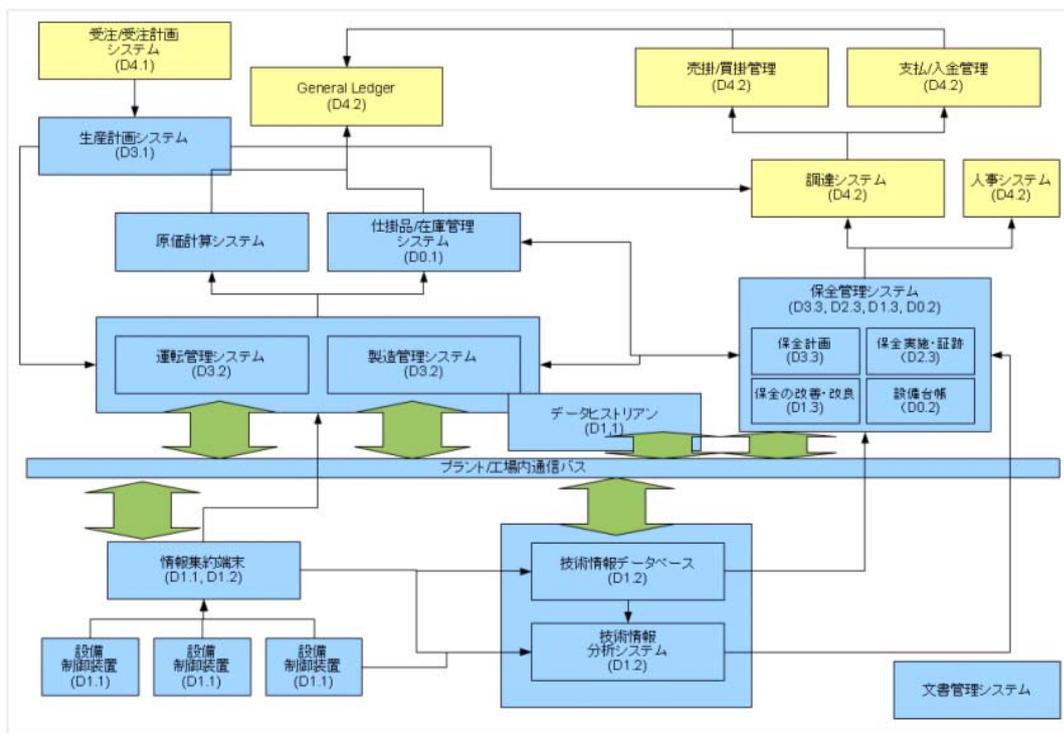


図 3.3.2 実利用の情報システムの例と ADID とのマッピング

図 3.3.2 に示すように、実際の産業界で使われている保全管理システムとしては ADID の縦階層の機能が集約されたものが多い。

3. 4 情報システムの概要

本節ではプラントや工場で現在使用されている実際の情報システムの機能概要を紹介し、各々のシステムの役割、また管理対象の情報、他システムとの連携による効果について解説を試みる。

3. 4. 1 産業分野による特徴

運転・生産管理機能は企業や組織の主な売上げを作り出す製品を生産するための活動であり、その分野に応じて使用されるシステムの内容は異なる。

(1) プロセス産業

プロセス産業は、石油化学や発電所など大規模場プラントにおける運転・生産を行う産業分野でプラント運転は計装システムが自動的にいき、少人数の運転員によって運転・生産が行われる。これに反して保全活動はプラントを停止してのシャットダウンメンテナンス(SDM: Shutdown Maintenance)での保全が中心的でSDMでは非常に大人数の保全活動を行う作業員が必要である。またプラントの構造は大変複雑で、運転・保全活動の両面での安全管理は重要で、事故が発生すると作業員、近隣住民に対する安全および環境に対して大きな問題を発生させる。

(2) ディスクリート産業

ディスクリート産業は自動車、家電製品などライン生産、セル生産などを代表とする産業分野で、一般的に生産に携わる多くの作業員と、ラインのメンテナンスを行う比較的少数の保全作業員で構成されている。ディスクリート産業ではTPM(Total Plant Maintenance)活動の実施などにも関連し、保全作業は製造に携わる作業員も参加して行われる。

3. 4. 2 保安全管理機能

(1) 保全業務領域内での情報連携

近年の設備管理システムに求められる要件として、個々の機能要件への対応に加えて、各機能で管理される情報の連携(あるいは統合)が挙げられる。個別の機能に対する実現例を分かりやすく伝えるべく、まず、保全作業の継続的な改善実現に向けて、特に欠かすことができない範囲に限定して、システム上での実現例を記述したい。ここで取り扱う範囲は図3.4.1に示す通りである。

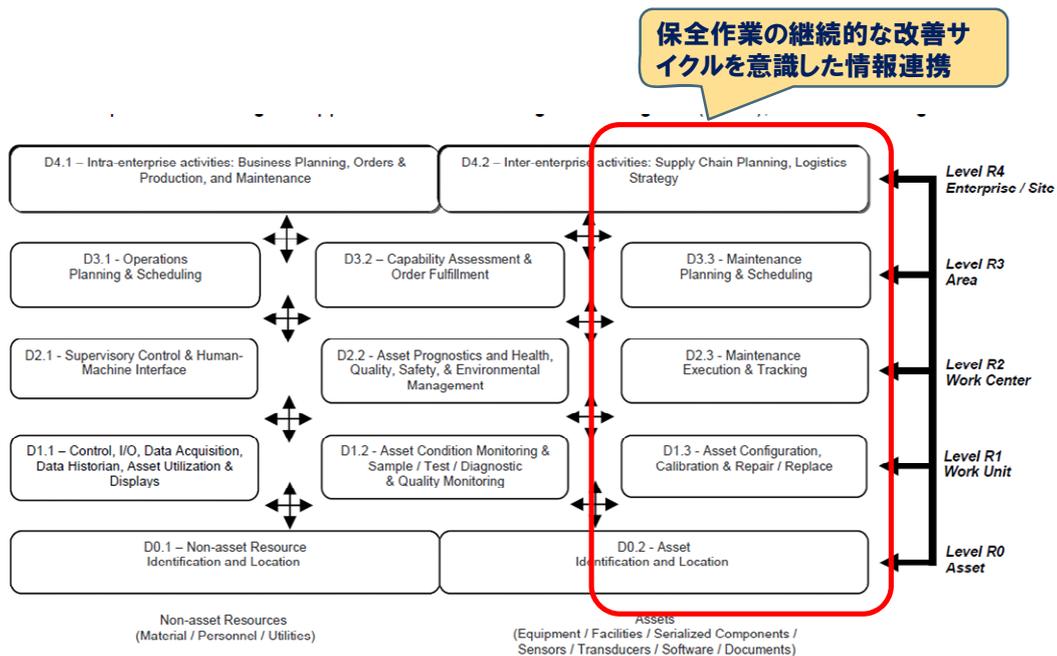
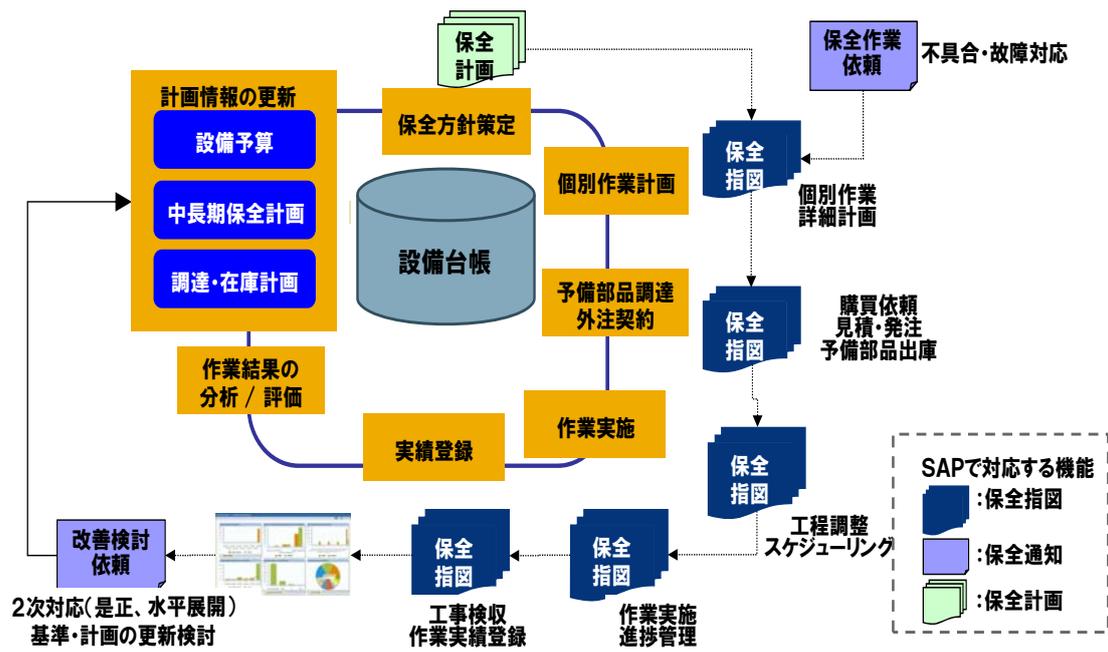


図 3. 4. 1 保全作業の継続的な改善に欠かせない情報連携範囲

保全作業の継続的な改善を図るための情報連携の実現例を、SAP 社での場合を例にとって、図 3. 4. 2 に示す。設備台帳と保全作業情報が常に連携しながら、保全のための計画 (Plan) から評価・改善 (Check および Action) までの各業務過程で情報が効率よく蓄積・更新される姿をイメージしたものである。予防保全を中心とした保全作業の計画は「保全計画」機能上で管理され、そこから、定期的に、あるいは設備の稼働や状態に応じて、作業件名毎に、保全作業の指示がシステムから自動的あるいは半自動的に提案される。ユーザは、その時の状況に応じて、適宜指示の内容を更新し、作業を実施する。得られた作業実績や設備の状態によっては、更に必要な処置を二次対応として実施する。新たな保全作業が発生する場合もあれば、予防保全作業の実施判断基準を変更したり、あるいは作業要領を更新する場合もあるであろう。この一連の業務の流れを、重複管理を排除し、かつデータの不整合を排除するような仕組みが、ソフトウェアベンダーが提供する仕組みの上でも実現可能となってきた。



第4章 シミュレーション評価に基づく運転と保全の統合計画

設備の運転とメンテナンスの相互関係の考慮の仕方は、業種によって異なる。しかし、相互関係として考慮すべき項目は、業種によらず共通していると考えられる。そのため、運転とメンテナンスを統合的に考えて計画を立てるための枠組みを一般的に論じることは可能と考えられる。以下では、運転とメンテナンス(以下、O&M)の統合計画を立案するための、基本的手順を示す。ここでは、運転にせよメンテナンスにせよ、その目的は総合的な利益を最大化することであると見え、可能な計画案の中から、ロスを最小化する計画を選択することとする。更に、その計画手順を、加工組立系の生産と装置系の生産に適用した場合の考慮点を、それぞれ半導体設備と石油精製設備を例にとり議論する。

4.1 O&Mの統合とO&M統合計画

近年では、オペレーションとメンテナンス(以下 O&M)の統合という考え方が提唱されている[1]。これは、設備運用の一部であるメンテナンス活動をメンテナンスに閉じたシステムとして扱うのではなく、運転と統合した一つのシステムとして管理するという考え方である。例えば、アセットマネジメントにおいては、設備を収益を生む資産(Asset)とみなし、その収益(Return On Asset)を最終的な指標としている[2]。このような見方からは、運転とメンテナンスは別物ではなく、ともに設備の収益に影響を与えるであろう O&M として統合的に管理することが必要となる。

O&M の連携を実現した設備管理を合理的に実施していくためには、以下の前提が必要となる。

- ①メンテナンスと運転に関するデータの収集と管理
- ②劣化進展予測のためのモデル化とそれに基づく機器健全度評価
- ③定量評価に基づく O&M 計画策定

設備にとって合理的な O&M 計画を策定するためには、その効果を定量的に評価することが必要であり、そのための手法の確立が求められる。また、このような効果の定量評価には、設備の健全性の評価が欠かせないが、そのためには、計画段階で将来の設備状態の予測を行う必要がある。このためには、運転などのストレスによる設備の劣化進展の予測を行うためのモデルを構築し、それに基づく評価の体系を構築する必要がある。更に、このような劣化評価モデルを構築するだけでなく、その改善を図っていく必要があるが、そのためには、メンテナンスと運転に関する日々のデータを収集し、活用できるように管理しておく必要がある。このように、両部門の情報の適切な共有に基づき、劣化進展モデルを構築することで、O&M 計画を策定するまでの一連の仕組みを O&M 統合計画と位置づ

ける。

4. 2 O&M 統合計画の策定手順

O&M 統合計画は図 4.2.1 に示すような手順で策定する。まずは対象設備の特定と準備を行い、次に O&M のそれぞれの特性である劣化・故障現象のモデル化と製品受注量のモデル化を行う。そして、ロス評価に用いるパラメータを取得した後に、定められた計画策定範囲の中で最適な O&M 計画を決定する。以下にその手順の詳細を示す。

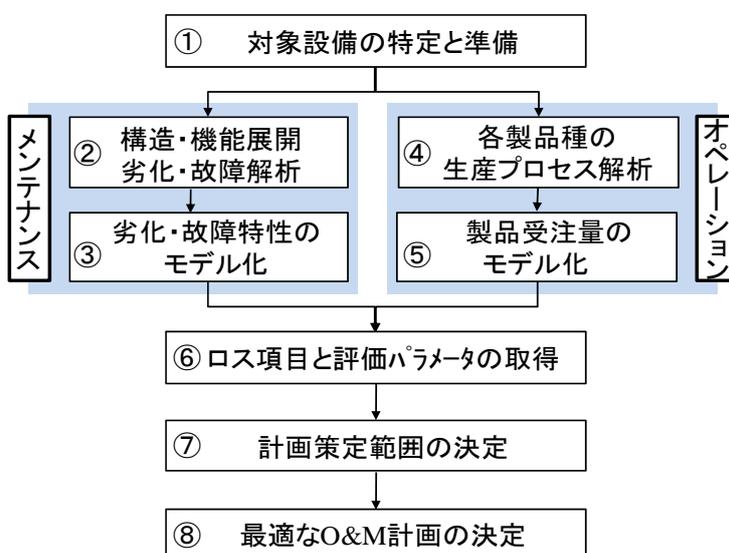


図 4.2.1 O&M 統合計画の策定手順

①対象設備の特定と準備

まず、O&M 計画策定の対象となる設備を特定し、②以降で使用するようになる構造、機能、運転条件、使用環境などに関する資料を用意する。また、対象設備の設備管理に関する法規制などの情報も取得する必要がある。法規制は、⑦で計画の策定範囲を決定する際に制約を与える要因になり得るからである。なお、ここで集められた情報が②以降で行う設定に大きく関わるため、情報の真偽や質には十分な注意が必要である。そして、対象設備の特性から最も重要な設備管理上の評価指標を定める。ここで定められた目的関数に基づいて、⑥ではロス項目を列挙し、⑧で最適な O&M 統合計画の決定を目指すことになる。

②構造・機能展開、劣化・故障解析[1]

設備に発生する劣化・故障を解析するためには、まず十分に設備を調査して理解する必要がある。そのためには、構造と機能の両面から設備を把握する必要がある。

③劣化・故障特性のモデル化

②で列挙された劣化・故障現象の進展評価を行うためのモデル化の指針を述べる。

設備で発生する全ての劣化・故障モードにおいて、劣化・故障の進展に関する状態量の値と故障発生可能性の関係が明確になっているのが理想であるが、現実では様々な理由によりそれを行えることは稀である。その主な理由としては、劣化・故障現象の発生メカニズムの知識不足や既存のデータレベルの不十分さなどが挙げられる。これより、モデル化の際には、既存のデータ量のレベルから適切なアプローチを選択する必要がある。

④各製品種の生産プロセス解析

①で収集した資料を基に、受注される製品の生産プロセスを明確にする。そして、各製品を製造する際のプロセスの手順とその所要時間を取得する。

⑤製品受注量のモデル化

④で決定した製品の受注量を製品の特性より決定する。受注は評価期間中で定期的に定量的に発生するものとしている。ここでは、受注を受ける量と周期を決定することで、受注量のモデル化を行う。

⑥ロス項目と評価パラメータの設定

①で決定した目的関数に対して、考慮すべきロス項目を列挙する。ここでいうロスとは、設備において全く故障が発生せず生産が実行できる状態と比較して発生するものと定義している。

ロス項目は人、設備、外部環境の三つの側面から算出する[1]。一般に、人に対しては作業員や外部の人間が怪我をしたときの補償金、外部環境に対しては火災や環境汚染を引き起こした際の賠償金などが考えられる。設備に関しては保全と運転の二つの側面からロスを考慮する。保全面のロス項目としては、予防保全時や緊急事後保全時の修繕費、設備停止をとまなう保全作業による待ち時間の発生が考えられる。一方運転面では原料費や燃料費などからなる運転費用と、生産量と受注量の差によって生じる生産機会損失などが考えられる。

⑦計画策定範囲の決定

⑧で最適な O&M 計画を決定する際の評価期間と、計画の選択肢の範囲を決定する。評価期間は、対象設備で扱っている製品のライフサイクルや、ロス評価に関わるパラメータの変動周期などから適切に決定する。

⑧最適な O&M 計画の決定

①～⑦で定めた設定条件に基づき、定量的な目的関数の評価により最適な O&M 計画を決定する。

4. 3 O&M 統合計画の最適化手法

4. 3. 1 O&M 統合計画問題の分類

製造業を分類するにあたっては、加工・組立系産業と装置系産業という大別がよく用いられている[3]。加工組立産業は様々な工程で順々に加工を行っていくのに対して、装置産業は簡単には設備の停止・稼働ができないため連続的な運転の実施が基本となる。O&M の視点からは、前者ではどの工程間にメンテナンスを行うか、後者ではどのタイミングで設備を停止してメンテナンスを実施するかが重要な問題となる。

4. 3. 2 両問題における O&M 統合計画の最適化方法の提案

最適な O&M 統合計画を導出するためには、両問題の特性を反映させたアプローチをとる必要がある。中でも、各問題で何を変数にして O&M 計画の最適化を行うかは重要な問題である。また、計画の利益の期待値評価を行う際には、各 O&M 工程の実施時刻からなる O&M スケジュールに基づき行う。これより、可能ならば O&M スケジュールを変数に計画の最適化を行うことが望ましい。しかし、O&M スケジュールを変数として最適解の探索を実施することは困難である。よって、何らかの O&M の設定値を変数として定義し、それに対応した O&M スケジュールを導出する仕組みを構築する必要がある。

4. 4 提案手法の事例評価

本節では、加工組立産業と装置産業の具体例として、半導体製造設備と石油精製業に提案手法を適用した評価結果例について説明する。

4. 4. 1 半導体製造設備における検証

(1) 特徴

半導体産業は、先端的な製造技術によって製品を生み出す分野であり、それを生み出しているのが半導体製造装置である。以下に、半導体製造装置を他産業と比較したときの特徴を述べる。

- 一貫装置というものは存在せず、今までその開発に成功したことがない。ゆえに複数の異なる能力を持つ装置による加工が必須となる。
- 工程が長丁場であり、例え同一製品を作る場合でもメーカー毎に製造フローが異なる。また、当然製品によって製造フローは大きく異なることになる。

半導体製造工程は図 4.4.1 に示すように、いくつかのグループに区分される。単結晶とマスク製造工程はそれぞれ専門メーカーのテリトリーなので、一般には半導体製造工程といえは前工程と後工程のことを指す。前工程は、シリコン基板に加工処理を施すウェハープロセスと呼ばれる工程であり、後工程はウェハープロセス終了後にチップをパッケージに組み込み、テストする工程である。

半導体製造というのは数百にも及ぶ装置と工程により成り立っており、複雑な工程フローを持つ。これより、様々な工程フローの特性を反映した適切な計画策定が、設備の収益の最大化のためには不可欠である。

本問題では、製品の良品率に大きく寄与する前工程のみを想定し、O&M 統合計画の最適化を目指すものとする。



図 4.4.1 半導体の出荷までの製造フロー

(3) 評価結果と考察

基本条件における装置数は3、納期は30日とする。

また、ラグランジュ乗数更新のステップサイズ α は0.05、最大回数を10とする。モンテカルロシミュレーションの試行回数は100回とした。

①メンテナンス周期に基づく感度分析の実施

感度分析を行う際には、メンテナンス方式は時間基準保全を用いる。また、ジョブの投入開始期は全て1期で統一している。メンテナンス周期を変化させたときの限界利益と変動費項目の評価結果を図4.4.2に示す。

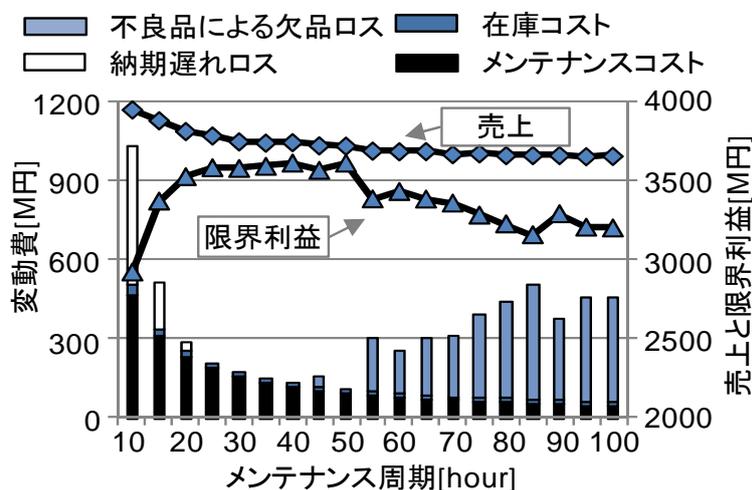


図 4.4.2 メンテナンス周期による感度分析の実施

②遺伝的アルゴリズムによる最適な O&M 計画の決定

メンテナンス方式は時間基準保全、状態基準保全から選択する。また、感度分析の結果よりメンテナンス基本周期は20~70[hour]とする。各ジョブの投入開始期の範囲は受注を受けてから10日以内とする。染色体数は200、世代数は100とし、CCMによる次世代生成のための交叉繰り返し回数は10回、突然変異率は0.05とする。

最適な O&M 統合計画の限界利益は3,697[M 円]となった。この場合、劣化進展速度の遅い装置ほど状態基準保全が用いられている。また、工程数の少ない製品は遅く投入される傾向がある。図4.4.3に最大値、最小値、平均値の推移を示す。

また、最適な O&M 計画の各装置のメンテナンス方式とメンテナンス周期、そして各ジョブの投入開始期を図4.4.4、表4.4.1に示す。

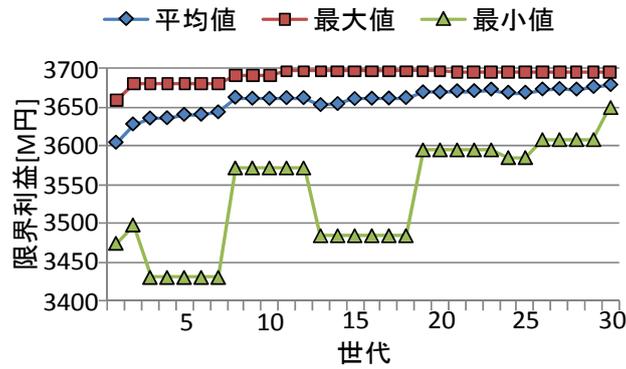


図 4.4.3 遺伝的アルゴリズムによる世代毎の値の推移

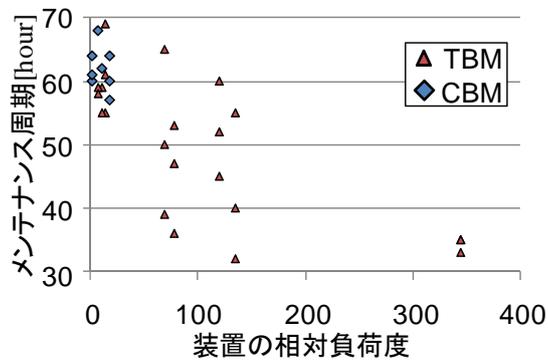


図 4.4.4 最適な個体の計画のメンテナンス周期とメンテナンス方式

表 4.4.1 最適な個体の各ジョブの投入開始期

ジョブ	ジョブ 工程数	ジョブ実施の 最低所要時間	ジョブ投入 開始期
1	120	505 hour	1 hour
2	120	505 hour	3 hour
3	120	505 hour	7 hour
4	100	401 hour	102 hour
5	100	401 hour	133 hour
6	100	401 hour	40 hour

③考察

a. メンテナンス周期による感度分析

- 図 4.4.2 に示すようにメンテナンス周期が長くなるほど、装置への負荷が大きくなるため歩留まり率が低下する。そして、売上高も減少していく。
- また、歩留まり率の低下にともない、欠品による罰金ロスも増加していつている。

- メンテナンス周期が短くなると、設備の稼働率が落ちるため納期遅れ罰金ロスが増加する。また、メンテナンスコストも増加する
- これより、図 4.4.2 ではメンテナンス周期が 50[hour]のときに限界利益は最大値を取っている。

b. 最適な O&M 計画

- 図 4.4.3 より、各世代の最大値が徐々に改善されているのが分かる。また、時折最低値の値が改悪されているのは突然変異が原因である。このように、突然変異により新たな特性を持つ染色体を発現させることで、更なる良解が生まれる可能性を残している。
- 図 4.4.3 より、劣化進展の早い装置ほど、時間基準保全が使用されている。また、使用回数の多く劣化進展が早いほどメンテナンス周期は短くなっている。
- 劣化進展が遅い装置は、メンテナンスコストを少しでも抑えるために状態基準保全が多く適用されている。
- 表 4.4.1 より、ジョブ投入開始期は、工程数の少ない製品ほど遅くなっており、不必要な在庫・仕掛コストを抑えようとしていることが読み取れる。

4. 4. 2 石油精製業における検証

(1) 特徴

石油精製業における重油直接脱硫装置は、水素と触媒を加え高温・高圧下で分解・脱硫を行うことで、重油中の硫黄分を低下させる装置である。装置は、加熱管内で重油を反応させる伝熱部、バーナーで加熱を行う燃焼部、燃焼用ガスの導入と廃ガスの排出を行う通風装置、設備の状態監視を行う計測機器から成り立っている。

本事例の業種は装置工業であり、製油所内は 24 時間稼働し続ける一貫した連続プロセス生産である。対象装置の安全かつ効率的な生産のためにはメンテナンスが不可欠であり、一定期間毎にシャットダウンメンテナンス(SDM : Shutdown Maintenance)を実施している。

(3) 評価結果と考察

①感度分析の実施

まずは、問題の特性を把握するために、SDM 周期と生産レベルという O&M で特に影響力の大きい構成要素に関して感度分析を行う。その評価結果を図 4.4.5、図 4.4.6 に示す。

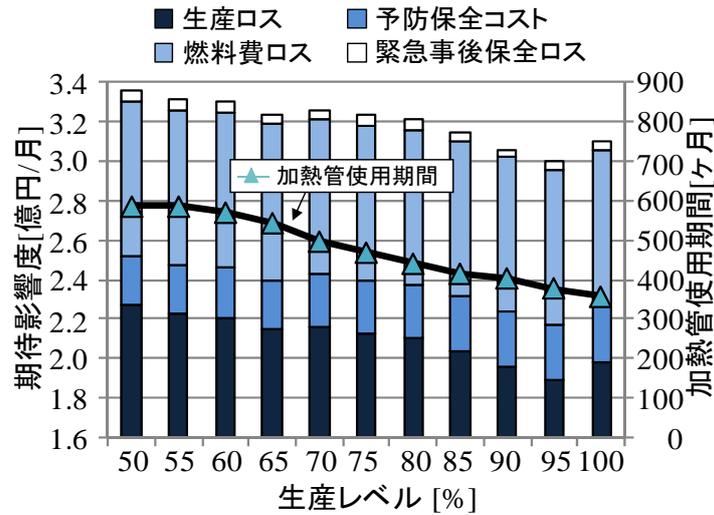


図 4.4.5 生産レベルに基づく感度分析の評価結果

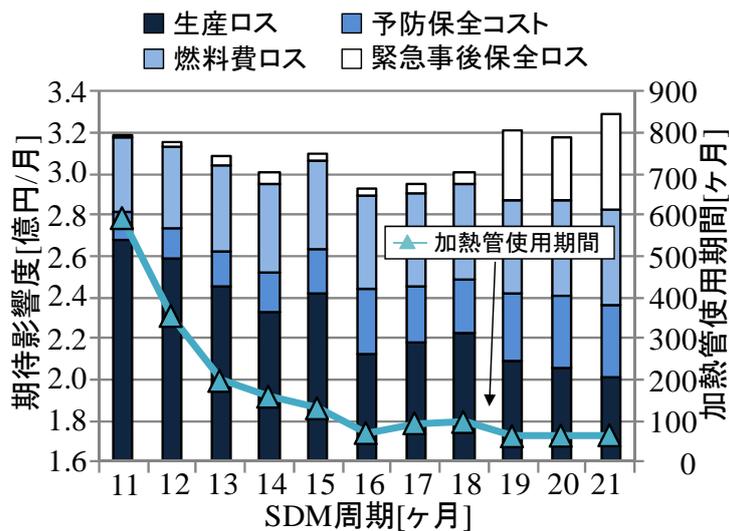


図 4.4.6 SDM 周期に基づく感度分析の評価結果

②最適な O&M 計画の導出

定められた計画の策定範囲の中で、限界利益を最大化する O&M 計画を探索する。なお、遺伝子数は 50、世代数は 30、突然変異率を 0.05 としている。その結果、ロスの期待値は 2.89[億円/月]となった。

なお、更なる解の改善のために、焼きなまし法(以下、SA: Simulated Annealing)による近傍探索を導入した評価を行った。感度分析による影響力の大きさから、近傍探索を適用する変数は SDM 周期とした。SA を実施する際の近傍の定義は、SDM 実施期を前後のどちらかにずらしてできる全ての計画候補であり、遷移先はその中から乱数発生により選択

されるものとしている。GA と SA を組み合わせて導入した場合と、GA のみを実施した場合の最適値の世代ごとの推移を図 4.4.7 に示す。なお、最適 O&M 計画の組み合わせを表 4.4.8 に示す。GA と SA を組み合わせた最適化を行った結果、ロスの期待値は 2.88 となり、GA のみのときと比較して 0.1%の改善が行えた。これは 1 ヶ月あたり 100[万円]の改善に相当する。

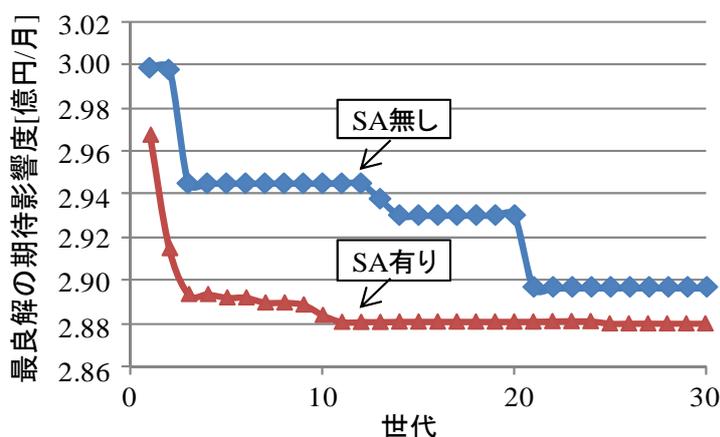


図 4.4.7 世代ごとの最適値の推移

表 4.4.2 最適な O&M 計画の組み合わせ

SDM周期	デコーキング		ノズル交換		タイル補修		期			
	SDM 機会保全	優先 保全	SDM 機会保全	優先 保全	SDM 機会保全	優先 保全	1	2	...	800
17	26	22	8	-	25	-	100	100	...	100

③考察

a. メンテナンス周期と生産レベルによる感度分析

- 図 4.4.5 より、生産レベルを上げると機器寿命が短くなることが分かる。
- また、生産レベルを上げすぎると、機器寿命が短期化し予防保全による生産損失の占める量が多くなる。
- これより、メンテナンスを適切に組み合わせ、機器の状態を良好に保ちつつ生産レベルを上げていくべきだということが分かる。
- 図 4.4.6 より、SDM 周期を短くすると、メンテナンスによる生産ロスが増加し、緊急事後保全コストは減少していくことが分かる。
- また、メンテナンス周期が長くなると加熱管の使用可能期間は減少していき、一期あた

りの予防保全コストは増加する。

b. GAによる最適なO&M計画の導出

- 図 4.4.7 より、SA と GA を組み合わせることで、より解の改善を行えていることが読み取れる。SDM を一定間隔で行わずに、前後に自由度を持たせることでよりロスを改善できることが分かる。
- 対象設備では、生産ロスが大きな影響を持つため、表 4.4.2 では生産レベルはほぼ全ての期で 100%が採用されていた。
- 最適な O&M 計画で選択されているメンテナンス周期は、感度分析の結果と比較しても妥当な結果になっている。

4. 5 まとめ

生産設備の運用計画策定における特性を、加工組立産業と装置産業という観点から分類し、それぞれの計画策定手法について説明した。ここで、両産業の計画策定を行う際に考慮すべき差異を以下の観点からまとめていく。

- 対象設備の典型的な生産プロセス
- O&M 計画策定の決定変数
- 特徴的なロス項目
- 計画候補の評価方法

これらの観点から見た両者の特徴を表 4.5.1 に示す。

表 4.5.1 両産業の特徴の差のまとめ

	装置産業	加工組立産業
対象設備の想定する生産プロセス	全プロセスが連動する連続プロセス生産	種々のプロセスで処理を繰り返す流れ生産
オペレーション計画の特徴的な決定変数	毎期の生産量	各工程の開始・終了時刻
特徴的なロス項目	運転費用 機器寿命の変化による減価償却費の変動	納期遅れロス 欠品ロス
O&M計画候補の評価方法	メンテナンスの実施時以外は生産を行っていると仮定して評価	全てのO&Mの工程をイベントとして発せさせて評価

一般に、加工組立産業では複数のプロセスで処理を繰り返すことで製品を製造するのに

対して、装置産業では製造は連動した一連の連続プロセス生産で行われる。これより、オペレーションスケジュールを決定する際には、装置産業では全ての装置を一つの生産装置として扱ったスケジューリングが可能であるが、加工組立産業の場合には装置ごとにメンテナンスとオペレーションの実施スケジュールを決定する必要がある。

一方で、O&M 計画の決定変数では、装置産業の場合は全ての装置のメンテナンス方式とメンテナンス周期、そして毎期の生産量により決定される運転スケジュールを考慮した。なぜなら、先にも述べたように、装置産業では全ての装置を一つの生産装置として扱ったスケジューリングが可能だからである。これに対して、加工組立産業では、メンテナンス実施時以外の全ての時間において生産を実施しているとは仮定できないため、オペレーション計画としては全ての工程において開始時間と終了時間を明確にする必要がある。

次に、各産業の特徴的なロス項目について説明する。装置産業では、一般に収率を保つための運転負荷の操作が頻繁に行われるため、ロス項目としては運転負荷の変化にともなう運転費用や機器寿命の変化に特徴がある。一方で加工組立産業では、ある程度の割合の不良品の発生は予め想定されているため、その中で納期遅れロスや欠品ロスがどのように発生するかという点を評価する必要があるという点に特徴がある。

O&M 計画候補を評価する際には、各装置の工程計画である O&M スケジュールを基に行う。ただし、両産業の特性から、装置産業ではメンテナンスを実施していない時間は生産活動を実施しているという前提を置いて評価を行っている。

このように、両産業の特徴を考慮したロスを最小化した計画策定手法を構築した。なお、両者の問題設定に該当しない特性を持つ生産設備が存在するならば、それを考慮して手法を改良する必要がある。

参考文献

- [1] 高田祥三: ライフサイクル・メンテナンス, JIPM-S (2006).
- [2] 高田祥三: メンテナンスの新潮流, プラントエンジニア, Vol.38, No.11, pp.1-14 (2006).
- [3] 鈴木徳太郎監修, 日本プラントメンテナンス協会編: 新・TPM 展開プログラム, JIPM ソリューション (1992).

第5章 調査研究のまとめと今後の課題

5.1 調査研究のまとめ

本調査研究では、運転と保全の統合的な管理の実現に向けて保全情報と運転情報の相互活用システムについて検討した。そもそも設備保全活動とは効率的、継続的な運転を可能にするために行うものであり、その効果は、運転効率の向上を通じて経営に貢献することによって評価されるからである。一般に、運転と保全の関係は2種類に大別される。一つは、それぞれの活動のスケジュール上の制約関係である。例えば、シャットダウンメンテナンス（SDM）を行えば、その間、運転を休止する必要がある。逆に、納期が迫っているなどの理由により運転を優先させなければならない場合は、保全の実施が先送りされることがある。運転と保全のもう一つの関係は、設備状態を通じた関係である。運転は設備状態の劣化を引き起こす一方、保全はそれを回復させる。設備の状態の変化は、一方で状態に応じた運転（CBO: Condition Based Operation）を要求し、また、他方で状態に基づく保全（CBM: Condition Based Maintenance）を可能とする。これらの2種類の相互関係を適切に考慮して、運転と保全を総合的に管理することが求められる。

本報告書では、第1章において、まず、様々な業種における運転と保全の統合に関して、現状と課題を整理するとともに、保全管理システムの機能と活用の現状についてまとめた。

保全の考え方は、業種によって差があり、保全管理のサイクルもそれによって異なってくる。例えば電力施設などでは、比較的長期的な計画に基づき運転と保全が行われているのに対して、自動車工場などでは日々の顧客の注文が直接生産計画に反映され、それを乱さないような保全活動が求められる。

いずれの業種においても、運転管理と保全管理のシステム化はそれぞれ行われているが、両者のシステムの連携は必ずしも進んでいるとはいえない。この原因の一つには、運転については、改善が運転（生産）効率の向上に直結し、その効果が直ちに明らかとなるが、保全の場合は、予防保全の実施が突発故障や機会損失の低減にどれだけつながっているのかが直ちには見えないという両者の特性の違いがあると考えられる。この結果、どうしても運転が優先され、その制約の基で保全が行われるという一方向の関係になりがちである。

第2章においては、現状においても運転情報と保全情報の相互活用が比較的よくなされていると考えられる自動車工場と電力施設の現状を述べた。前者は、加工組立系の工場の典型例であり、多種多様な設備で様々な劣化・故障モードが発生する。それらに対応するために、運転および保全上の改善を継続的に行い、故障を抑え、高い設備総合効率を達成することで生産要求に答えている。システム的には、製造管理システムの情報が保全管理システムに入力され、それを基に不具合原因の解析が行われ、種々の改善活動が実施され

ている。また、このような活動の一環として、工場で発生する不具合情報を設備設計や改善に反映させるいわゆる MP 活動も盛んに行われている。以上のように、自動車工場の例では、日々変化する市場動向に対応するために短い管理サイクルで運転と保全の活動が行われていることもあって、製造現場での運転と保全の連携は比較的良好にとれていると考えられる。しかし、無駄のない予防保全が実施できているかどうかという点に関しては、未だ課題を残しており、例えば運転負荷を考慮した保全の優先度付けなどは、運転と保全の統合の観点からの今後の課題といえる。

一方、電力施設においては、安定的な電力供給という目的を達成するために、長期的な計画の下で運転と保全の管理がなされている。想定される劣化・故障モードは、長年の運転経験と理論解析により比較的良好に把握されており、運転履歴などに基づく設備機器の健全性評価も行われている。ただし、比較的管理サイクルが長いこともあり、運転と保全があらかじめ定められた制約の下でそれぞれ計画を立てている形となっていて、自動車工場などと比較するとより静的な関係の下での連携といえる。今後、運転と保全の管理サイクルの頻度を高め、より動的な連携を可能にしていくためには、運転のための監視制御システムと設備管理システムの情報連携を実現する必要がある。

第 3 章においては、保全情報と運転情報の相互活用のための情報システムについて、現状の設備管理システムと ISO 18435-1 の ADID (Application Domain Integration Diagram) を参照しながら詳しく論じている。

第 4 章においては、保全情報と運転情報の活用のあり方の一つとして、保全と運転にともなうロスを最小化するような統合保全・運転計画の手法について述べている。ここでは、策定可能な計画案について、それを実施した時の保全と運転に関するロスをモンテカルロシミュレーションにより評価し、最適な計画を決定する手法を提案している。また、この手法を半導体製造設備と石油精製設備に適用した例を示している。

5. 2 今後の課題

本調査研究においては、保全情報と運転情報の相互活用を図るという観点から、業種別の保安全管理の特徴、および保安全管理システムの現状と活用形態を整理するとともに、運転と保全の連携がある程度実現されている先進的な事例を把握することができた。また、保全情報と運転情報の相互活用のための情報システムについて検討を行い、情報連携の具体的なあり方について検討を加えた。更に、シミュレーション評価に基づく運転と保全の統合計画策定手法を示し、適用例によってその有効性を示した。

以上の研究により、保全情報と運転情報の相互活用について、その意義、システムの概

念、相互活用による効果評価の方法などが明らかになった。今後は、この研究成果を基にして、相互活用のためのシステムの構築とその具体的な活用を推進していく必要があり、そのための課題として以下のような項目が挙げられる。

(1) 予防保全は、それが有効であるほど、何も起こらなかったという実績しか残らないので、その効果を定量的に評価することは難しい。しかし、運転と保全を統合的に考え、全体最適化を図っていくためには、運転と保全の改善効果あるいはそれらにともなうロスを同一の尺度で測る必要がある。このためには、保全の効果を推定する仕組みが必要であり、そのための技術として本調査研究では評価シミュレーション手法を提案した。今後は、このようなシミュレーション評価を様々な業種で活用できるようにシステムの汎用化を図る必要がある。また一方では、個々の業種ごとに、シミュレーションに必要な劣化・故障モデルなどの整備を行うことによって、評価結果の妥当性を向上させることが必要である。

(2) 企業でのヒアリングの結果によると、現状でも運転と保全の連携はある程度図られているという認識が一般的である。しかし、多くの場合、連携の内容はこの章の冒頭で述べた運転と保全のスケジュール上の関係においてであり、もう一つの関係である設備状態を通じた関係において、運転と保全の連携を図っている例は少ない。例えば、実際の運転負荷と劣化進行や故障発生の相関を定量的に求めた結果を設備診断に役立てることで、保全の実施時期を的確に判断するといったことができれば、より効率的な保全が可能となる。

(3) 以上のようなことを現実に可能にするためには、運転管理システムと保全管理システムとの間の情報交換が容易になっていることが必要である。そのためには、例えば、ISO 18435 のような情報交換に関わる標準化の推進は不可欠であり、その実現に向けた更なる努力が求められる。

—禁無断転載—

22-R-5

保全情報、運転情報の相互活用システムに関する調査研究
(要旨)

平成23年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03-3454-1311

委託先 財団法人 製造科学技術センター
東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
TEL 03-3500-4891