

全社統合設備管理システムを活用した経年設備の管理

Establishment of Judgment Standard for Deterioration Degree in Equipment and Utilization of JFE Maintenance Management System

細谷 成史 HOSOYA Narushi JFE スチール 設備技術部 主任部員 (部長)

要旨

JFE スチールでは、ここ十数年、生産設備の高経年化に伴い、腐食や疲労による設備故障で安定稼働が阻害される事態が発生していた。本論文では、高経年化対策として実行した全社共通の老朽設備管理基準の制定および JFE 統合設備管理システムの活用による設備管理精度の向上事例を紹介するとともに、安定化強化活動として実施してきた事例を紹介する。

Abstract:

In about last 10 years, stable operation of equipment has been occasionally hindered in JFE Steel due to equipment troubles such as fatigue and corrosion of aging facilities. This report provides establishment of companywide mechanical maintenance standards for those facilities and effective utilization of JFE computerized maintenance management system (CMMS) to maintain stable operation.

1. はじめに

安定生産は、製鉄メーカーにとって最も重要な課題である。メンテナンスを担う設備部門は、設備の安定稼働と機能の維持により、この命題に応えるべく活動している。これは、膨大な数の製鉄設備を、個々の劣化状況に応じて的確に管理（保全）することに他ならない。JFE スチールでは、よりの確な設備管理に向け、2014 年に新たに全社統合設備管理システムを稼働させた。これにより、点検や補修の管理精度を向上させ、故障対策を迅速に行えるようになった。

しかしながら、最近の 10 年間は、高経年設備の占める割合が増大し、故障が増加した時期でもあった。当社には稼働年数が 30 年を超える設備が多く存在することから、超長期間の稼働による腐食や疲労に起因する故障が見られるようになった。長時間の生産停止を伴う重大故障も起きており、安定稼働が阻害される状況が散見されている。

このような事態を受け、経年設備の故障防止対策として、老朽設備を含む全社統合設備管理システムを構築するとともに経年設備管理の改善を図ってきた。

本論文では、経年設備の安定化施策の中心的役割を担う全社統合設備管理システムの紹介と、その活用による管理精度の向上事例および安定化活動事例を紹介する。

2. 老朽化起因の重大故障と設備管理の課題

2.1 全社統合設備管理システム

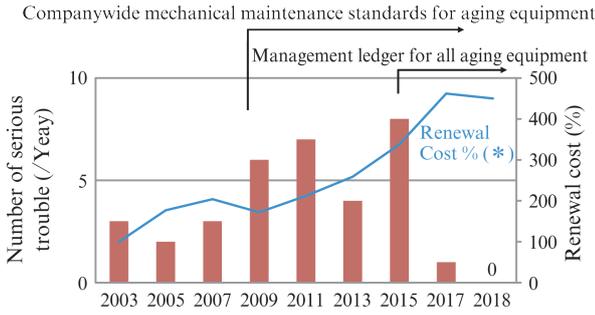
当社の従来の設備管理システムは、1985 年頃に、設備管理要員の効率化を目的として、千葉、京浜、倉敷、福山の 4 つの地区において、それぞれほぼ独立して導入されたものであった。このため、設備展開の考え方や設備重要度の設定、あるいは予備品の管理方法等は、各地区ばらばらであった。

一層の設備安定稼働に向けた、システムの効率化、全社共通化を目的として、2014 年に全社統合設備管理システムを立ち上げた。これにより、設備展開の全社共通化、点検や補修などの各ワークの定義、実行方法の共通化、予備品の定義の共通化を実現した。また、保全活動上重要な故障原因の分類を全社で共通化することで、主観的な判断で決められがちな故障の原因を共通の基準で判断できるようになり、全社共通の土俵で課題や対策を議論できるようになった。

2.2 老朽起因の故障の推移

図 1 に、2003 年度以降の、老朽劣化に起因して発生した機械設備の重大故障の推移を示す。ここで言う重大故障とは、24 時間以上の生産停止を伴う故障である。重大故障は 2009 年度より増加し、以降、年間 5~8 件程度発生している。

表 1 に、重大故障の分類を示す。件数の多い順に、屋外設備のフレーム等の腐食減肉による故障、機器内部部材の腐食減肉による破損、ダクトの座屈や脱落、配管の腐食穴あきなどが発生している。生産への影響だけでなく、安全



* Equipment renewal cost taking FY2003 as a basis (100)

図1 老朽起因の故障の発生推移と安定化施策

Fig. 1 Mechanical trouble trends and companywide countermeasures

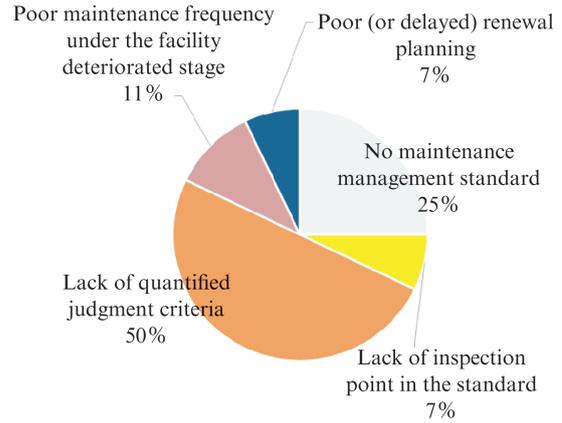


図2 故障の原因分析

Fig. 2 Cause analysis of major mechanical troubles

表1 重大故障の設備別発生件数

Table 1 Major mechanical trouble cases and number of incidents in each equipment

Major trouble case	Equipment	Number of incidents
Main frame collapse due to corrosion	・ Belt conveyor for raw material ・ Duct, ... etc.	10
Equipment function stop by inside components falling off due to the corrosion	・ Heat exchanger ・ Dust collector	8
Duct, tank buckling due to the steel plate corrosion	・ Outdoor duct ・ Cooling tower	6
Serious leakage of utility piping due to the corrosion	・ Industrial water piping, ... etc.	5
Breakage due to metal fatigue	・ Internal structure or rolls in the furnace	5

や防災上の重大事故に繋がりがねない故障が起きている。また、圧延地区では、長期使用による疲労の蓄積に伴う重大故障も発生している。

なお、活動の詳細は次項以下に示すが、設備管理の強化や老朽更新により、2017年度以降、老朽起因の設備の重大故障は大きく減少している。

2.3 重大故障の原因と設備管理の課題

図2に、2003年度以降のすべての重大故障の原因を設備管理の視点から分類したものを示す。設備の高経年化に伴う劣化が想定できず管理基準すらなかったものが25%あるが、設備管理基準に基づいて点検や状況把握を行って劣化を把握したにも拘わらず、適切に対応できず発生させたものが75%と多くを占めている。

重大故障を防止し老朽更新を効率的に進めるためには、劣化のメカニズムを把握した上で管理ポイントや限界値を

設定し、更には劣化末期の保全方法を明確にすることが重要であるが、的確な管理を行えていなかったのが実情であった。また、劣化判定基準が各地区で統一されておらず、更新の要否や全社優先順位が曖昧になっていたことも、的確な老朽更新を実行できなかった原因の一つと考えている。

3. 全社共通の経年設備管理の推進

3.1 基本方針

経年設備の管理基準作成にあたり、前項の問題を解決するため、図3に示すフローに基づく管理を基本方針とした。

まず、最初に劣化メカニズムの把握を行うこととした。従来の保全実績を再整理するとともに、温度、雰囲気、性状、ダスト堆積等の使用環境を考慮した劣化速度の推定と、点検ポイント、点検周期の見直しを実施した。更に、必要に

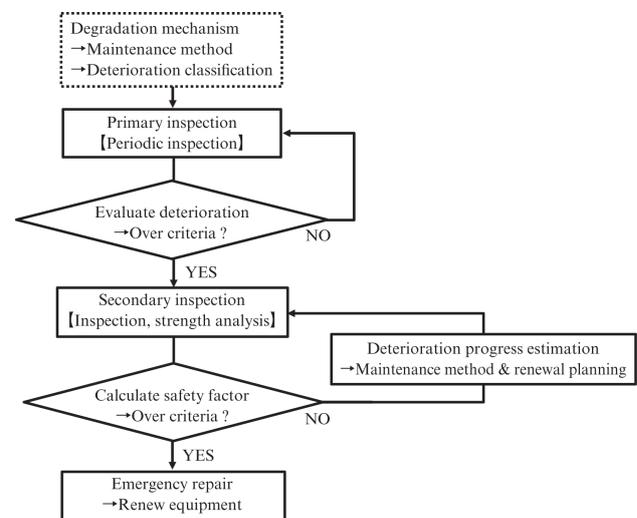


図3 経年設備の管理の基本フロー

Fig. 3 Maintenance management flow for aging equipment

応じて腐食試験を実施することとし、劣化速度の推定精度の向上も図った。

設備の劣化診断は、一次診断と二次診断の2つのステップで行うこととした。一次診断は、劣化メカニズムから見直した適切な周期での点検である。この一次診断で評価した劣化度が基準を超えると、二次診断である精密診断へと進む。精密診断により得られた腐食減肉等の結果をもとに強度解析することで、実態に即した強度評価を行い、設備寿命の予測精度を向上させた。

また、一次診断で基準以上の劣化が認められた設備で二次診断で更新対象と判断しなかったものは、点検周期を短縮するなど、管理強化を図ることとした。

3.2 管理基準

管理基準は、製鉄、製鋼地区の高経年設備を主な対象とし、安全、防災上リスクの大きい設備、過去に重大故障事例のある設備から順に作成した。基準は、過去の故障対策や各地区で持っていた基準を参考に、全社統一基準として制定した。ユーティリティ等の共通設備については、防災を主眼としてガス配管の管理基準を作成した。そのほか、最近では、冷延地区の酸洗槽や薬液設備にも展開しており、現在では表2に示すように30種類以上の設備について管理基準を整備している。

なお、重要設備の管理項目や内容は、今後とも点検項目を追加し整理することで、基準の検証と精度の向上を進める必要があると考えている。

3.3 劣化度の判定

表3に、原料地区ベルトコンベアフレームの一次診断における劣化判定基準を示す。劣化度Cは、設計段階で設けた腐食代の範囲と同程度の、局所的な減肉を想定している。最も劣化の進行している劣化度Dの判定は、別途実施した

表2 全社共通老朽設備管理基準作成事例

Table 2 Companywide standard examples for aging equipment

Ironmaking equipment	Steelmaking equipment	Others
Unloader, Raw material yard moving machine	Converter vessel Bearing for tilting converter	Overhead crane
Belt conveyor frame	Waste heat recovery boiler	Gas piping
Raw materials screen	Hood tube in converter OG Duct	Water piping
Duct for sintering machine	Rotating ring for CC swing tower	Pickling Tank
Electric dust collector	CC frame structure	
Mixer drum	CC Blower	
Exhauster in sintering machine	Dust collector fan	

強度解析の結果に基づき、フレーム部材の厚みが部材内の局部において30%以上減肉しているものとした。

図4に、社内の全ベルトコンベアフレームの判定結果をまとめて示す。劣化度Dのものは、全設備の約3%を占めている。劣化度Dと判定したものは二次診断を義務付けており、ダストや落鉱を清掃した後に点検し、測定データを基に強度評価を行った。

強度評価の結果、最大積載の条件で安全率がほぼ1のものをD1と判定し、更新必須とするとともに、倒壊などの事故防止処置や積載量の制限等を即時実施することとした。それ以外はD2とし、設備管理の強化を図った。ただし、コンベアの総機長は230 kmに及ぶため、劣化度Dは全体の3%とはいえ7 kmあり、点検周期の見直し等の管理強化に伴い、どうしても管理負荷は増大する。

表3 一次診断劣化度判定基準

Table 3 Deterioration classification criteria of primary inspection

Classification	Criteria
A	Healthy
B	Slight deterioration : only surface rust
C	Proceeding deterioration : Frame member thickness reduction ≒ 20~30%
D	Serious deterioration : Frame member thickness reduction > 30%

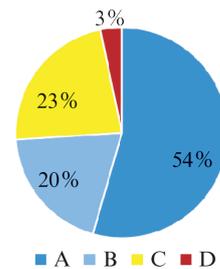


図4 コンベアフレーム劣化度判定結果

Fig. 4 Primary inspection result (deterioration classification) of belt conveyor frame

表4 二次診断-精密点検&強度評価

Table 4 Criteria of deterioration classification in secondary inspection

Classification	Criteria	Response
D1	Safety factor = < 1	Emergency repair → Renew equipment
D2	Safety factor > 1	Deterioration progress estimation → Establishment of maintenance standards & renewal planning

3.4 老朽設備管理台帳

前述のとおり、全社共通の老朽設備管理基準を制定し、点検を強化して劣化判定の精度を向上させ、更新が必要と判定した設備は逐次老朽更新してきた。しかし、その管理は、当初、各地区、職場が個別に作成した管理リストや管理マップを基にしていたため、管理対象を網羅しきれず、管理不足による故障のリスクが残っていた。その結果、突発的な設備更新要望が後を絶たず、更新費用が計画以上に積み上がるといった問題が顕在化していた。

そこで、「機械系老朽設備の設備管理および更新の運営要領」を全社統一で制定し、表5および表6に示す「老朽設備管理台帳」の作成に着手した。

3.4.1 全社統一老朽設備管理台帳の導入

管理対象設備は、工場→設備→機番→装置名と体系的に洗い出して管理台帳に記載した。加えて、各地区で比較検討することにより、管理対象の抜けを防止した。

設備の点検は、全社共通老朽設備管理基準の基本フローに従って実施し、一次診断、二次診断の結果を台帳に明記することで進捗を把握できるようにした。また、台帳には2

表5 全社統一老朽設備管理台帳事例1
Table 5 Example of management ledger for aging facilities (1)

Area	Plant	Equipment	Item number	Device	Primary inspection			Secondary Inspection			
					Date	Deterioration Level	Accuracy	Date	Deterioration Level	Reliability	Classification criteria
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-1ST	Traveling		C	Quantitative check (Representative)		C	A2	Company standard
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-1ST	Slewing	2016	D	Quantitative check (Representative)	2016	D	A2	Company standard
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-1ST	Boom		D	Quantitative check (Representative)		D	A2	Company standard
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-1ST	Elevation		C	Quantitative check (Representative)		C	A2	Company standard
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-1ST	Tripper		B	Quantitative check (Representative)				
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-2ST	Traveling	2016	C	Quantitative check (Representative)	2016	D	A2	Company standard
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-2ST	Slewing		B	Quantitative check (Representative)				
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-2ST	Boom		B	Quantitative check (Representative)				
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-2ST	Elevation		B	Quantitative check (Representative)				
Ironmaking	Raw material	Yard moving machine	O-2ST	Tripper		D	Quantitative check (Representative)		D	A2	Company standard

表6 全社統一老朽設備管理台帳事例2
Table 6 Example of management ledger for aging facilities (2)

Risk type		Risk assessment				Priority		Deterioration factors
Matter	Production	Evaluation Item-1	Evaluation Item-2	Evaluation Item-3	Overall point	Area	Company-level	
Safety	Single unit DT > 4 Days	2	2	1	4			Atmospheric corrosion
Safety	Single unit DT > 7 Days	2	2	1	4	2		Wear
Safety	Collapse	2	2	3	12			Atmospheric corrosion
Safety	Collapse	2	2	1	4			Atmospheric corrosion
Safety	Single unit DT > 7 Days	2	2	1	4			Atmospheric corrosion
Safety	Single unit DT > 4 Days	2	2	1	4	8		Atmospheric corrosion
Safety	Single unit DT > 7 Days	2	2	1	4			Wear
Safety	Collapse	2	2	3	12			Atmospheric corrosion
Safety	Collapse	2	2	1	4			Atmospheric corrosion
Safety	Single unit DT > 7 Days	2	2	1	4	5		Atmospheric corrosion

次診断の確度を明記することとした。確度とは、設備余寿命の検討精度を意味し、劣化メカニズムが十分に検討され劣化速度が明確で寿命の判定精度が高いものを A1, 以下, A2, B1, B2 と 4 段階で評価するようにした。台帳には、一次診断における点検精度と定量点検の状況および今後の技術検討の必要性も、あわせて記載するようにした。

また、劣化が進化した際のリスク(危険事象および危険度)を、倒壊、爆発、環境、安全、生産停止に分類するとともにリスクの大きさの評価基準も明確にした。このことにより、リスク評価に基づく優先順位付けを、地区毎や全社一括で簡単に実施できることになり、老朽更新をより効率的に計画できるようになった。

3.4.2 老朽設備管理台帳の運用状況

現在、管理対象設備は全社で約 36,000 基あり、**図 5** のような評価分布となっている。

老朽更新対象の劣化度 D1 は全体の 3% である。老朽更新においては、材質、構造の見直し等による長寿命化や保全負荷の軽減策、さらには更新工事の効率化や工期短縮を重要な検討課題としている。

劣化が進み重点管理が必要な劣化度 D は全体の 7% である。劣化度 D の設備は、精密診断の継続的な実施や診断周期の短縮等、設備管理の強化により故障を防止するとともに、設備の塗装や補強による延命化も検討している。

運用のもう一つの要点は、劣化度判定の見直しである。

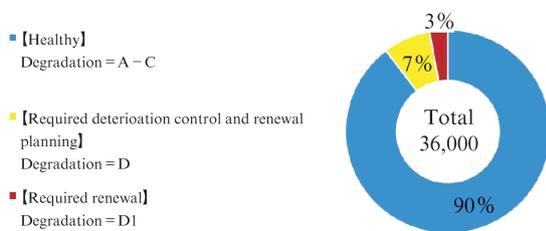


図 5 設備総管理点数と劣化度割合

Fig. 5 Inspection quantities and deterioration classification result

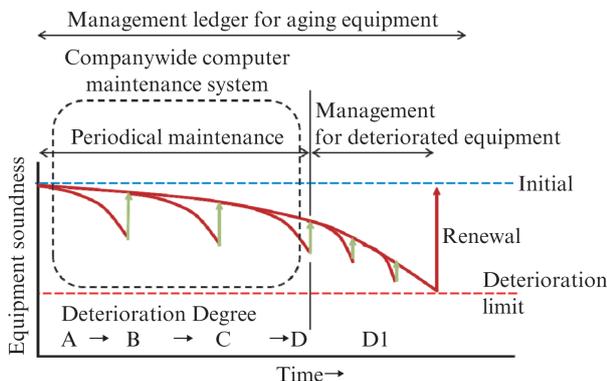


図 6 保全サイクルと現状の管理概念図

Fig. 6 Maintenance cycle and management method

老朽管理対象とした設備は、劣化度に応じて適切に管理しなければならない。このため、現在、各設備の劣化度は、地区設備管理担当、設備管理者、設備技術担当、本社管理担当で役割分担し、6 か月毎に見直している。

4. 統合設備管理システムによる老朽設備管理

4.1 老朽更新管理台帳の運用課題

図 6 に、設備の稼働から廃棄までの期間における設備管理活動を概念的に示す。

定期設備管理(保全)は、可動部品の劣化と取替が主体であり、比較的劣化の少ない構造物についてはほとんど行わない。なお、可動部品の管理においても、長期の稼働に伴い、定期設備管理の周期を徐々に短くするような対応は必要である。

一方、老朽設備の管理は、前述のように、劣化メカニズムの検討から始まり、一次診断、二次診断による劣化度判定とその結果に応じた管理の強化が重要である。経年劣化した設備の点検や補修の周期は、次第に定常設備管理の周期に近いものとなり、更新が近くなると更に短い周期で点検や補修をしなければならない。

当社のように経年設備を多く抱えている場合には、単純な定期管理という発想では故障を防止することはできず、的確に管理周期を設定して確実に対処できる管理システムが必要となる。

4.2 統合設備管理システムによる老朽設備の管理

4.2.1 従来の統合設備管理システムでの老朽設備の管理

従来の統合設備管理システムによる老朽設備の管理は、設備管理担当者には大きな負担であった。**図 7** に示すように、従来のシステムはデータベースに周期、優先順位等の設備管理基準と実績データを取り込めるようになっており、基準周期と実績周期データから次回の実行計画を優先順位と共に参照できる機能を持っていた。しかしながら、劣化度を登録する機能は持っていなかったため、劣化した設備の保全

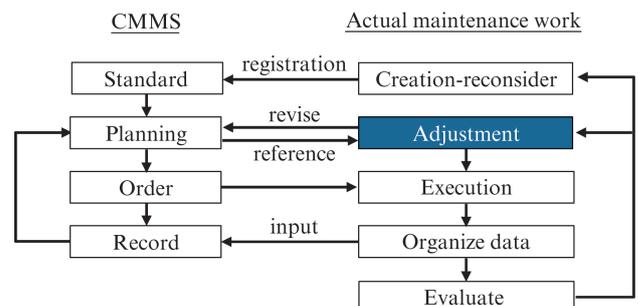


図 7 老朽更新管理台帳登録前のシステム

Fig. 7 Maintenance plan adjustment flow

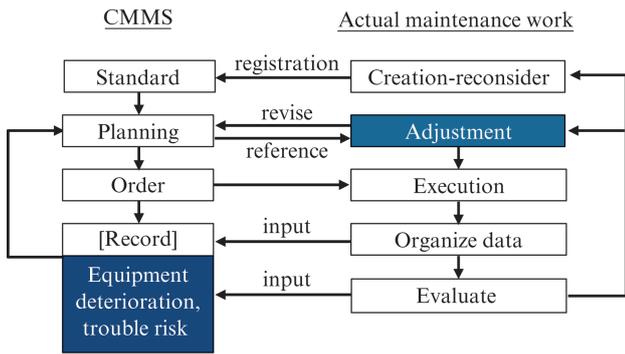


図8 老朽更新管理台帳登録後のシステム

Fig. 8 Maintenance plan adjustment flow considering equipment deterioration degree using JFE CMMS

計画の変更は、設備管理担当者が老朽設備管理台帳をベースに判断し、システムに新たな管理基準を登録するか、もしくは計画作成時にその都度追加登録することが必要であった。これは非常に手間のかかる作業であり、改善が望まれていた。

また、老朽設備管理台帳を用いた管理も問題であった。当初、エクセルリストを用いた全社一括管理を推進し、診断結果に基づく点検周期や実行内容の見直しを含め管理できるようにしたが、的確な管理を目指すことで管理対象設備が当初見込よりも細分化され、結局 36,000 基となった。そのため、点検等の実行管理や集計作業をエクセルリストで行うことは、担当者にとって大きな業務負担となっていた。

4.2.2 老朽更新管理台帳の設備管理システムへの統合

前項の状況を背景として、エクセルベースの老朽設備管理台帳を設備管理システムに統合することとした。老朽設備の一次診断、二次診断、老朽更新等のワークを設備管理基準として登録し、劣化度の判断結果を設備管理基準に登録したワークと結びつけて登録できるようにした。登録後、**図8**に示すように、劣化度、リスクからシステムが自動判定し保全計画を作成するようにした。このことで、点検周期変更等の保全計画の適正化業務が、設備管理担当者の手を煩わすことなく効率的にできるようになった。

必要予算やスケジュールを各ワークに結びつけて登録することで集計作業もシステムで実施でき、今後の更新計画の「見える化」につながっている。

4.3 設備管理計画システムの更なる最適化

高経年設備の管理は、点検点数の増加、点検周期の短縮、補修頻度の増加と、新規設備の管理に比べて非常に多くの労力を要する。健全と判定されている設備の劣化が徐々に進むと、設備管理の負荷は増大の一途をたどる。

このため、設備の劣化状況を初期の段階で的確に把握するための振動等のモニタリングの拡充や、IoTを活用した点検、ロボット化等、保全作業の効率化がより一層重要となる。

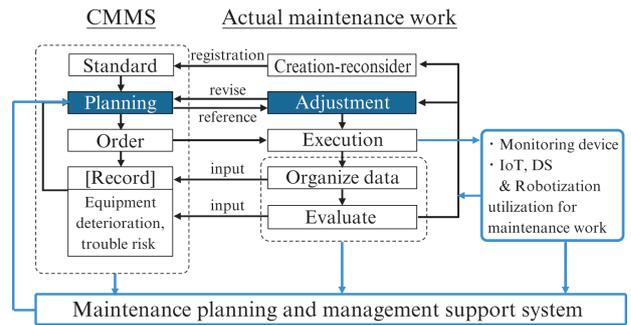


図9 設備管理計画システム最適化構想

Fig. 9 Optimization concept of maintenance plan adjustment

一方で、これらが実現することで得られる設備データは更に増加する。そのため、設備管理担当者による異常判断や保全計画の作成は、より一層複雑化すると予想される。

このような問題を解決するため、現在、DS (Data Science) を活用した異常監視システムの開発や、異常判断の高精度化に取り組んでいる。また、全てのデータから得られた判断結果から、設備管理担当者に代わってシステムが点検や補修計画を作成するなど、最適化を支援する新たな設備管理計画システムの開発も進めている。

図9に、設備管理計画システム最適化構想を示す。今後、これらの技術を活用し、一層、高経年化が進む設備を効率的に管理していけるよう開発と改善を進めていく。

5. おわりに

経年設備の全社統一設備管理基準や管理台帳を作成するとともに、統合設備管理システムへの統合を図ることで、効率的な設備の管理やシステムの運用が可能となった。また、老朽更新対象の全社の総合的な優先順位付けにより、計画精度や実行精度が向上し、結果として老朽起因の設備故障が減少に転じた。今後は、IoT や DS の活用による大量データに基づく設備管理へとレベルアップすることが不可欠と考えている。

最後に、設備を安定稼働させることは設備管理担当者の重要な使命である。これを肝に銘じ、引き続き設備部門が一丸となって最適な設備管理に取り組んでいく所存である。



細谷 成史