

5.6 情報化する設備管理

鉄鋼製造プロセスは、設備に加わるストレスが過酷であることなどから、保全に費やされる資源も膨大である。このため設備保全の効率化の追求は、設備管理に課せられた永遠の課題である。計算機技術や材料開発など、周辺技術の発達、信頼性工学の進歩や価値観の変化によってもたらされた保全思想の変革、設備診断技術など保全技術そのものの進歩により、保全の効率は格段と向上してきたし、今後もさらに進歩するものと思われる。

本節では、鉄鋼業における設備管理の現状を、プラントを構成する個々の設備を対象にした「設備診断技術」、プラントの生産性や品質の阻害要因の診断を目的にした「プロセス診断技術」、および保全計画・実行・評価を対象にした「設備管理システム」の現状と将来展望について概説する。

5.6.1 設備管理技術のトレンド

(1) 保全思想・保全方式の変遷

Table 5.3 は鉄鋼業における保全思想・保全方式の変遷と、これを支える診断技術、設備管理システムの進歩の過程を示すものである。

日本経済が高度成長期を迎える昭和30年代半ばまでは、設備が壊れたら修理する「事後保全」(BM: Break down

Maintenance) が主流であった。

高度成長期を迎え、BMでは生産性の向上に対応できなくなり、設備が壊れる前に保全を実施する「予防保全」(PM: Preventive Maintenance)の考え方が導入された。この思想に基づき、設備を一定期間運転した後に停止し、点検・修理・部品交換を行う「時間基準保全」(TBM: Time Based Maintenance)と呼ばれる保全方式が採られるようになった。

「予防保全」の思想には「設備は古くなれば壊れやすくなる」と言う考え方が根底にある。しかし設備は必ずしも古くなれば壊れやすくなるものばかりではなく、保全の周期を長く設定し過ぎて保全を行う前に故障したり、故障を恐れるあまり周期を短く設定し過ぎて寿命を全うする前に取り替えたりして、結果としてコスト的に高いものになると言う弊害があった。

このような状況の中、昭和43年頃、設備の劣化程度を事前に評価し、劣化が進んだ設備に対してのみ保全を行う「予知保全」(PM: Predictive Maintenance)の思想が生まれた。この考え方に基づき、劣化の程度を定量的に評価し、残存寿命を推定し、最も適切な時期に適切な保全を行う「状態基準保全」(CBM: Condition Based Maintenance)が行われるよ

Table 5.3. Change in maintenance methodology.

	1960	1973	1986	1992	
Economical activity trend	Recovery after World War 2 Economical depression	High economic growth period	Low economic growth period	* Dulling period due to appreciation of the ¥ * Capital investing boom	Industrial structure evolution
Investment activity trend	Investment for recovery	Large scale investment in plant & equipment	Energy saving Man-power saving strategy	Intensive equipment & FA enforcement	Decline of emotional capital investment
Concept of maintenance	BM (Break down Maintenance)	PM (Preventive Maintenance) PM (Productive Maintenance)	PM (Predictive Maintenance) TPM (Total Productive Maintenance) AM (Adaptive Maintenance)		
Maintenance methodology	BM	TBM (Time Based Maintenance)		CBM (Condition Based Maintenance)	
Diagnostic technology	Personal experience & "know-how" era		* Batch processing-type diagnosis * On-line equipment diagnosis system * Process diagnosis system		
Equipment managing system	Ledger based management	* Shift to EDPS from discrete function (Budgetary, Maintenance planning, Material control)	* Adaptive maintenance management system	* Integrated maintenance management system	

Table 5.4. Execution flow and technological development of equipment diagnosis.

Work flow of equipment diagnosis	1971	1981
	<p>Diagnosis by maintener who carrying portable instruments such as machine checker, etc.</p>	<p>Automatization of rough and/or precise diagnostics Built up the equipment diagnosis system (in Yawata Hot Strip Mill at '81)</p>
	<p>Diagnosis of rotating machine etc., shall be done by specialist handling batch-processing type precise instruments Through the use of time-serise signal processing technology, such as FFT, only specialist identifies the location of failures</p>	<p>('84) Applications of knowledge engineering to supporting technique for identification of failure phenomena and repairing methods ('86) Utilization of process diagnostics</p>
	<p>By maintener, the result of diagnosis reflects to maintenance planning Then the diagnostic know-how is applicable to another specialist in a maintenance branch</p>	<p>Results of diangosis are presented to operators in facility (Diagnostic techniques applicable to the operators)</p>

うになった。

(2) 設備管理技術の現状

前に述べた保全思想や保全方式を、現場でより効率的に行うために、さまざまな技術が開発され発展してきた。

設備診断技術やプロセス診断技術は、従来、人の長年の経験に裏打ちされた技能や勘に頼って行われてきた設備の劣化程度の評価や、プラントの性能（品質・生産性）低下の原因推定を、より定量的・科学的なものにして、的確なCBMを可能にするために開発され、現在では保全技能や操業技能を、よりスキルフリーなものに変化させるレベルに到達しつつある。

保安全管理システムは、保全計画、予算管理、資材管理などを、単に計算機に置き換えた時代から、保全計画、実行、評価、改善、およびこれらに対する設備管理方針の反映などすべてを包含したシステムに発展した。

5.6.2 設備診断技術

(1) 設備診断技術の現状

日本プラントメンテナンス協会によると、設備診断技術とは「設備の現在の状態量を把握し、異常あるいは故障に対する有効な処置を講ずるために、原因および将来への影響を予知・予測するハード・ソフトの総合技術である」と言われている。

我が国における設備診断技術の開発は、的確な「状態基準保全」(CBM)を実現することを目的に、昭和46年頃より始められた。

Table 5.4 に設備診断技術の進歩の概要を示す。

当初の約10年間は、マシンチェッカーなど小型可搬な診断装置による簡易診断技術と、センサー技術や信号解析技術などを利用した、例えば回転機械診断装置のようなバッチ処理型の精密診断技術が開発実用化されてきた。

昭和50年代後半になると、プラントに多くの検出端を常

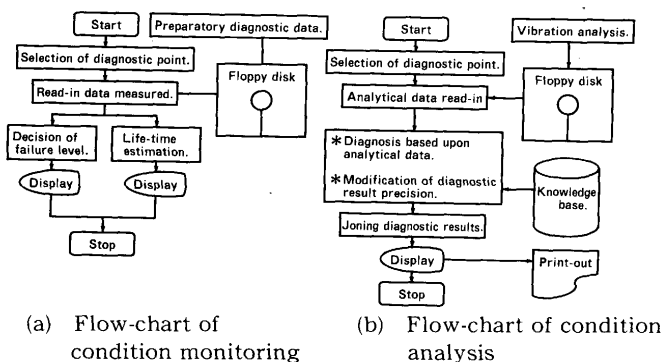


Fig. 5.45. Expert system for diagnosis of rotating machine.

設し、計算機により自動的にデータを収集し、解析・診断を行う設備診断システムが装備されるようになり、設備診断技術はシステム化の時代を迎えた。

さらに昭和60年頃になると、設備診断に知識工学を応用する研究が始まり、回転機械診断エキスパートシステムや油圧サーボ装置診断エキスパートシステムなどが実用化された。

設備診断においては、保全マンの経験や理論的根拠に乏しい判定基準を使用せざるを得ない場合があるが、知識工学を応用することにより、これらを効果的に活用する方法を見いだした。このような知識工学を応用した診断技術は、故障部位の特定や診断・予測精度の向上、また修復方法の支援に至るまで発展してきた。

以下に知識工学を応用した、最近の設備診断技術の例を紹介する。

(2) 回転機械診断エキスパートシステム

Fig 5.45 は回転機械診断エキスパートシステム（以下ESと記す）の一例で、Fig. 5.45(a)は簡易診断部の診断フローを示している。劣化程度の判定はマシンチェッカーのデータを入力し劣化判定基準値と照合した結果およびデータの変化傾

向パターンの両者から、総合的に行っている。また寿命予測はデータの変化から、重み付最小二乗法により予測曲線を求めている。

精密診断部の診断フローを Fig. 5.45(b) に示す。回転機械から生ずる振動を、加速度および速度の二つの物理量で測定し、周波数成分、変調波の大きさ、軸回転との同期の有無など、解析結果が入力される。ES は前記入力結果に基づく劣化指標と、異常モードのフォルトマトリックスを作り、Dempster-Shafer の確率論により診断する。

(3) 電気設備故障復旧支援システム

昼夜の別無く連続操業を行う製鉄プラントでは、突発的に発生する故障を、短時間のうちに復旧するために、設備を熟知した電気保全マンを、工場ごとに三交代で配置するのが一般的である。ここに紹介する例は、設備を熟知した保全マンでなくても、故障の復旧が可能なスキルフリー化を実現し、工場ごとに分散配置していた保全要員を一か所に集中配置し、要員のプール運用を可能にするとともに、故障復旧作業の能率向上も可能にして、保全要員を 104 名から 36 名に合理化した例である。このシステムの概念を Fig. 5.46 に示す。

① 故障復旧知識の獲得

設備を熟知した保全マンの持つ、原因調査手順、判断の仕方、復旧手順など、多くの知識は、保全マン自身によってフロー型またはテーブル型の知識に整理され、知識データベー

スに保存される。この時、人の理解を容易にするための、参考図やマニュアルも保存され、故障復旧作業を行う際に、容易に検索し参照することができる。

② 知識データベースによる故障復旧作業

保全マンは、当該工場の知識を搭載したポータブル端末を持って現場に出動する。現場では、ポータブル端末と対話しながら、工場オペレータから聞いた情報や、電気設備に備えられた表示装置の表示内容、その他の調査結果を端末に入力する。

ポータブル端末は、インプットされた結果に基づきながら診断を行い、次に調査すべき事柄や修復の手順を画面に表示し、保全マンはこれに従って故障復旧作業を完結していく。この時インプットされた情報や、故障復旧作業の手順は、故障復旧実績情報として保存される。

③ 知識の改善

故障復旧実績情報を再現することにより、診断の誤りなど知識に不具合な点があった場合、これらを見直し、改善することができる。

④ 保全計画への反映

故障復旧実績情報は、所内の光ループ LAN を介して保全管理システムに送られる。ここでは各種の報告書が作成され、関係先に置かれた固定端末により遅滞無く報告される。また収集された多くの故障実績情報を解析することにより、

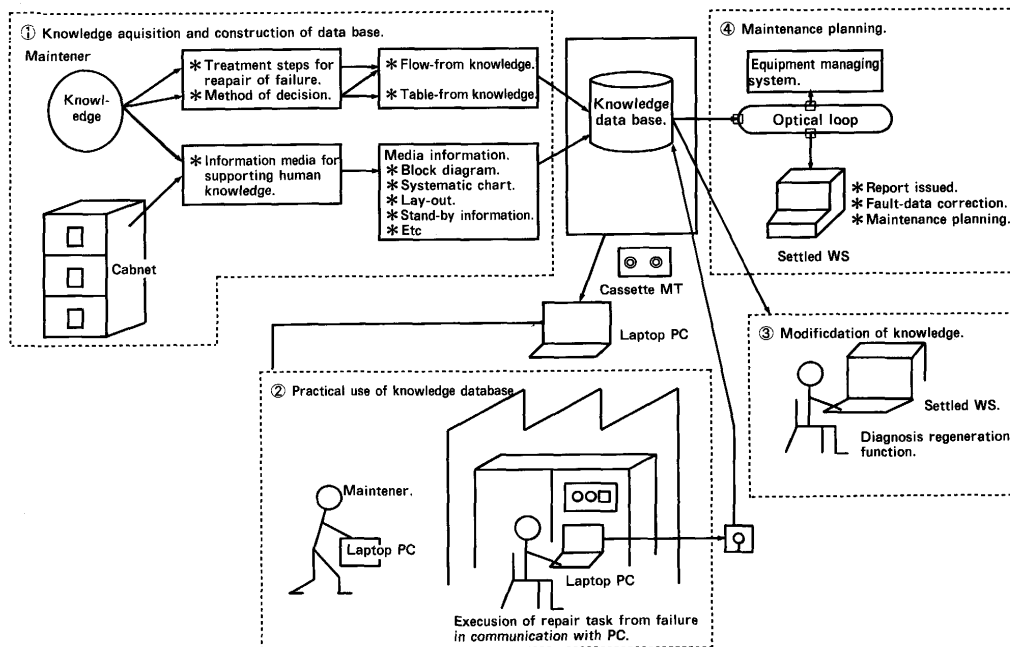


Fig. 5.46. Electrical equipment repair supporting system.

Table 5.5. Example of process diagnosis in iron and steel industry.

Ironmaking and steelmaking plant	Rolling and surface treatment plant
<ul style="list-style-type: none"> • Operation support for blast furnace • Diagnosis for blast furnace condition • Quality diagnosis for continuous casting • Breakout prediction for continuous casting 	<ul style="list-style-type: none"> • Gauge diagnosis • Winding shape diagnosis • Chattering diagnosis • Welding condition diagnosis • Furnace operation support for C.A.P.L.

繰り返し故障の有無や類似設備への予防的対策の必要性の有無など、人が理解しやすい形に整理され、保全計画策定に活用される。

5.6.3 プロセス診断技術

(1) プロセス診断技術の発展

プロセス診断の定義は明確に定まっているわけではない。最も簡単なものでは、センサ信号による上下限警報などもプロセスの異常を監視するものである。製鉄工程のなかで、AIなどの最新技術を応用しているプロセス診断システムとしては Table 5.5 に示すようなものがある。このうち高炉など反応速度の遅いプロセスでの事例は、操業診断・支援のシステムであり、設備診断技術との関連性は薄い。高速応答性が要求される圧延工程の場合は、故障に至らない設備の異常が、品質や操業に大きな影響を及ぼすため、設備診断技術とは切り離せない存在となっている。

従来の設備診断技術はおもに保全部門を中心に利用されるシステムであった。設備異常と同様に、品質・操業異常の診断にも熟練者が必要であり、その発生原因は設備異常であるなど相互に関連している場合も多い。このようなことから、生産部門にも直接活用できるものとしてプロセス診断システムが開発されてきた。昭和63年頃には、ゲージモニタリング、捲形状モニタリングシステムなどが実用化された。

その後、プロセス診断システムはその適用範囲を拡大し、また設備診断と融合しライン全体の総合診断システムとして完成してきた。以下に紹介する事例は平成2年に稼働した冷間圧延機の最適生産・保全のための診断システムである。

(2) 冷間圧延機の知的監視診断システム

システム構成としては、3台のプロセスコンピュータのうち1台を診断専用にて用いており、電気・計装 DDC とは EIC 共用ネットワークで結ばれている。

このシステムは設備診断、プロセス診断、データ解析支援の3機能から成っており、この3機能は利用形態は独立しているが相互に補完する働きをしている。

① 設備診断機能

振動などによる駆動系設備診断については省略し、ここでは、プロセス診断とも関連が大きい制御設備のオンライン性能診断について説明する。油圧圧下の位置制御やミルモーターの速度制御は、品質の要であり、若干の性能変化が品質不良につながる。従来は性能評価のためにステップ応答や周波数応答を空運転（無負荷運転）にて測定していたため、実圧延時と同等な負荷状態にできないなどの問題点があった。そこでオンラインで板厚に影響を与えない微小なテスト信号を加え、周波数応答を測定できるようにしている。

② プロセス診断機能

冷延鋼板の品質指標には、ゲージ（板センタの長手方向厚み偏差）、クラウン、形状、疵などがあるが、本システムではゲージの診断システムを構築している。なお本システムは、

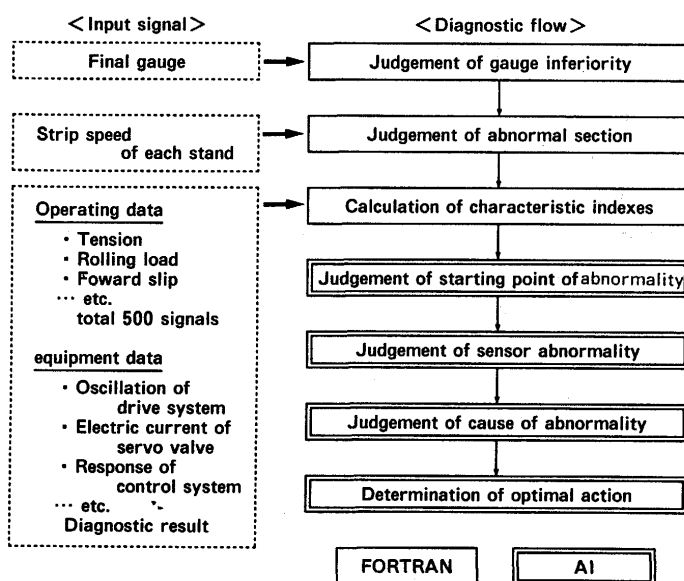


Fig. 5.47. Flow-chart of process diagnosis (gauge diagnosis).

Function Job (Object)	Standard	Planning	Execution	Actual record collection	Analysis Evaluation	Connected system
Equipment specification	Standard administration	(function non-exist)			General-purpose analysis	
Inspection		Maintenance planning ss	Inspection & diagnosis ss			Monitoring system
Repair work			Maintenance work ss			Production system Contract system
Materials		Maintenance materials control ss				Purchasing system
Budget		Maintenance budget control ss		Synthetic evaluation	Accounting system Finance system	
Trouble				Trouble ss		

Fig. 5.48. Job and function of subsystem (ss) in maintenance management system.

パススケジュール（圧下率や圧延速度の初期設定値）、制御状態、潤滑状態やロール表面粗度の推定まで診断対象に含めた総合的なものである。

診断用のデータとして、圧延力・張力などの圧延状態を示す信号や電流などの設備状態を示す信号600種類を20msから1s周期で採取している。診断は Fig. 5.47 に示すフローで行う。製品ゲージを20ms周期で採取し、品種ごとに定めた上下限值を超えた場合には原因判定を行い、最適な操業アクションをオペレータにガイダンスする。その判断部分は黒板方式のAI言語により記述されている。推論においては上述の設備診断の結果も利用し、設備と操業要因の原因切り分けに使用している。

③ データ解析支援機能

ライン異常停止などの設定されたトリガ前後2分のデータ（前述の600種類）を保存している。解析したいデータの選択や、時間・周波数領域での豊富な解析が容易にできるインターフェースを構築し、トラブル解析などに役立っている。また得られた知見は、上記の診断機能に反映できる。

5.6.4 保安全管理システム

鉄鋼業において保安全管理システムの開発・導入を始めたのは昭和40年代前半からであるが、初期のシステムは修繕費の実績収集など業務別のバッチシステムであった。専門家による分析が可能となるなど管理面での向上はみられたものの、保全業務全般を効率的にサポートするものではなかった。その後、昭和40年代末にはオンライン化によるリアルタイム処理、昭和55年頃から漢字データ処理が登場するなど計算機技術の進歩に伴い、利便性が大きく向上してきた。以下その技術動向について述べる。

(1) 保安全管理システムの総合化

従来は、資材管理・予算管理といった保全の各業務ごとにシステム化されていたのに対して、各業務（サブシステム）間の情報を結合して処理することで、また事業所の管理システム（経理・購買・生産など）と結合することによってシステムの総合化が図られてきた。またシステム化の対象領域も保全業務全般に拡大していった。Fig. 5.48に、サブシステムの対象業務と処理機能の一例を示す。これにより、例えば点検情報に基づいての工事計画立案や資材発注など、保全業務の実行が効率良く迅速に行えるようになり、また、人・物・金の資源を効果的に配分する仕組みができあがった。

故障損失と保全コストの総合コストを最小にする最経済保全の実施には、保全方式の決定は重要な事項でありその決定方法は合理的でかつ環境条件の変化にも対応可能なものでなければならない。経験則に基づいた手法や、設備劣化モデルに基づいた計算法などが考案されており、後者の概要を Fig. 5.49 に示す。

保安全管理システムのハードウェア構成としては、ホスト計算機は事業所のメインフレーム（ビジコン）を使用、所内各地区に分散した保全員駐在箇所にも多機能端末などの入出力装置をを配置し、光ケーブルのネットワークで結んでいるものが一般的である。

システムの総合化により、サブシステム間のデータの受渡しは計算機内で自動的に処理されることとなったが、点検データの入力作業など保全員の端末との対面時間は依然として多い。したがって、キーボード以外による入力方法についても各種の機器が導入されている。メモリ付き計測器（振動計・絶縁計）やハンディ端末は、現場で採取した点検データや在庫管理データを直接計算機に入力できる機器であり、広く普及している。

また、モニタリングシステムと保安全管理システムを直結したのも導入されており、一つのシステム内で一元的に傾向管理や保全計画立案などが可能となる。このほか、バーコードリーダー（主に資材管理用に利用）やOCRなども活用されている。

(2) イメージ情報処理の導入

保全業務で取り扱う情報には、数値・文字などコード化可能な情報だけではなく、図面・仕様書などの図形情報（イメージ情報）が多く存在する。ファイリングシステムの普及に伴い、昭和61年以降に導入された保安全管理システムにおいては、イメージ情報処理を兼ね備えたシステムが主流となった。主な用途としては、点検仕様書、工事仕様書、購入仕様書、故障記録、設備履歴、図面・回路図、各種技術資料などの自動出力、データ合成や保存である。

次に、機器構成の概要について述べる。記憶方式は保存コストが安価な光ディスクによるものがほとんどである。ネットワーク・端末については、コード処理用との共用方式、イメージ処理専用方式の各方式が見られる。イメージ情報ではコード情報と比べて情報処理量が2桁以上多くネットワーク高速化などの応答性確保を図らねばならないことから、現時点では専用方式を採用しているシステムが多い。ただし端末が共用でないため操作性の面では難点が残る。

イメージ情報をホスト計算機にリンクさせた方式の場合には、コード情報とイメージ情報のデータを合成して帳票出力したり、自動出力などが可能となり、まさに設備管理業務の

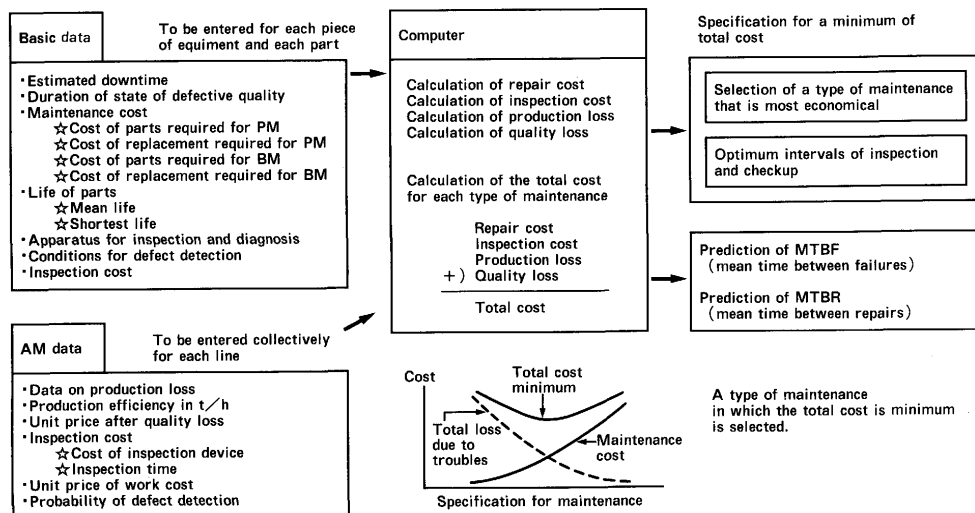


Fig. 5.49. Outline of logic for selecting type of maintenance.

全般にわたり情報化が実現したと言えよう。

(3) 適用効果

保全管理システムの適用効果としては、要員合理化、修繕費削減、予備品在庫圧縮、設備の信頼性向上などに大きな効果をあげている。保全業務の遂行においても、個人の知識・経験・ノウハウ・勘などに基づく判断から、組織として蓄積されたデータ・基準に基づく科学的なものへと転換することによって業務品質の高度化・均一化が図られ、誰にでも環境変化に適應した最適な保全が行えるようになった。また、保全活動の多面的な評価が可能となり体質改善への貢献も大きなものである。

5.6.5 今後の展望

以上述べてきたように、この十数年で、設備管理の情報化の進展は著しく、これからもさらに有用なシステムへと変貌していくものと考えられる。以下、今後の課題と展望について述べる。

(1) 設備診断技術

センシング技術や情報処理技術は進歩を遂げたが、いまだに人間の五感に頼らざるを得ない部分も多い。診断対象の拡大が一つの課題である。診断アルゴリズムが不明な場合には、パターンマッチングの学習により診断を行うことも可能かと思われる。

また、いっそうの普及拡大のためにはシステムの低価格化を図らねばならない。計算機については、ダウンサイジングや診断ソフトのパッケージ化を進めることで低価格化が期待できる。センサについては設備ごとに固定する方法だけでなく、少数の非接触センサで広域を遠隔監視・診断する技術も望まれる。この場合には音や熱などを情報源とすることになるが、現場環境下でSN比(ノイズに対する信号分の比率)がとれるかが鍵となる。また、診断専用のセンサを設置せずに、負荷電流やリミットスイッチなど既存の信号を利用した診断ロジックの開発も必要である。

(2) プロセス診断技術

設備診断の場合には、例えば回転機械のような共通の設備要素を対象にしているが、プロセス診断では工程間の共通性が少なく、プロセスに応じた診断ロジックを構築しなければならず、技術の汎用性は小さい。しかし一方では、工程間診断や制御などの可能性を潜めた技術であり、これは設備診断

だけをとらえては考えられないことである。

現時点でのプロセス診断の適用例はオペレータへのガイダンスが中心である。将来は自動制御まで行うものも開発されるであろう。そのためには推論の高度化、高速化が必要となる。

(3) 保全管理システム

ネットワークの高速化・オープン化に伴い、他システムとの融合・総合化は今後さらに進展すると考えられる。もちろん、一つの計算機ですべてを処理するという意味ではなく、分散処理が進むなかでも有機的に情報伝送・統制がなされているということである。また端末についても多機能化、共用化が望まれる。

ソフトウェア充実についての課題も多い。例えば修繕計画の最適化や判断に関しては、より高度な機能が求められている。これは技術的な側面だけではなく、保全に投入可能な資源(例えば修繕費)は経営環境によっても左右される。このような問題に対しても柔軟に対処できるシステムが望まれる。解決に当たってはAI技術などの導入が必要だと考えられる。

(4) 補修作業の自動化技術

鉄鋼業における補修作業は、悪環境下での重筋作業であるにもかかわらず、非常作業でかつ熟練技能を必要とするため、投資効率面からもシーズ技術面からも機械化が立ち遅れている分野である。

解決策としては、機器のアッセンブリ化を進め、各プラント内で行われている補修作業を中央整備工場内の作業に集約し、中央整備工場を、自動化、機械化、システム化することが考えられる。

ここにおいても情報化技術は欠かせないものである。補修を自動化・機械化するにはCADの設計データが必要となるし、補修内容を検討するには、点検データ、部品在庫データなどが必要になる。

抜本的な生産性向上を図るには、よりスリムで高度な保全体制を目指していかなければならない。また、オペレータの保全への参画(故障一次対応など)も必要と考える。そのためには技術技能の向上・拡大・伝承が必要であり、また同時にスキルフリー化も図らなければならない。以上述べてきた設備管理の情報化技術は、これらを支える技術として今後ますます発展するであろう。