
川崎製鉄の設備診断技術

Progress of Equipment Diagnosis Techniques at Kawasaki Steel Corp.

市原 晃 (Akira Ichihara) 笠井 聡 (Satoshi Kasai) 山本 博正 (Hiromasa Yamamoto) 田中 正文 (Masafumi Tanaka) 伏川 弘 (Hiroshi Fusegawa) 三宅 祐史 (Yushi Miyake)

要旨：

当社における設備診断技術に関する開発、適用の経緯について述べた。鉄鋼業においては生産が装置に大きく依存するため、品質管理の厳格化や多品種生産に対応するための設備の高度化にともない、設備管理のあり方も大きな変遷をとげてきた。すなわち、生産のための設備性能および稼働の保証の観点から、工学的裏付けに基づいた個々の要素技術の開発や、定量データに基づいた管理手法が求められ、また、設備全体の総合的な効率を最大限に高め、それを維持するという観点からは、個別機器の診断やプロセス診断およびこれらを包括した設備管理システムへの展開が不可欠となった。一方、保全業務は人の判断に頼らざるをえない面も多く、その高効率化、高度化に対する人材育成を図りつつ、設備診断技術の構築を進めている。

Synopsis：

This paper reports on the development and application of Kawasaki Steel's equipment diagnosis techniques. The equipment control in the iron and steel industry, where production heavily depends on equipment performance, has been changing largely in the form of modernization of equipment with a view to cope with highly sophisticated quality control and multifarious production. In terms of assurance of equipment for desired production, an equipment control technology backed up by engineering has been more strongly demanded. Developed to bring the capacity of equipment into full play are the machinery/equipment diagnosis techniques used as predictive maintenance and process diagnosis techniques for product quality assurance. The above two techniques are being further developed into an equipment control system techniques. Since there are many phases where human judgement is needed, attention has been paid to the role of human support for highly efficient and sophisticated maintenance work in order to establish an equipment diagnosis techniques.

本文は次のページから閲覧できます。

Progress of Equipment Diagnosis Techniques at Kawasaki Steel Corp.



市原 晃

Akira Ichihara

千葉製鉄所 保全部 保
全技術室 主査(部長
補)



笠井 聡

Satoshi Kasai

千葉製鉄所 保全部 保
全技術室 主査(課長
補)



山本 博正

Hiromasa Yamamoto

千葉製鉄所 保全部 保
全技術室 主査(課長)



田中 正文

Masafumi Tanaka

千葉製鉄所 保全部 部
長



伏川 弘

Hiroshi Fusegawa

千葉製鉄所 設備技術
部 部長



三宅 祐史

Yûshi Miyake

水島製鉄所 設備部 部
長

1 緒 言

装置産業としての鉄鋼業における設備管理は、生産活動の母体を担い、鉄鋼業の歩みとともに、そのあり方も大きな変遷をとげてきた。鉄鋼生産の高度成長期、第1次、第2次オイルショックの経済変動期をへて、近年世界的な競争激化を背景に、品質、コスト、納期などあらゆる面での改善要求が一層高まりつつある。

当社においても、自動車用鋼板をはじめ製品品質の高級化に対応する製造設備の新増設、および製造コストや納期改善のためのプロセスの連続化と同期化改造を行ってきた。また、生産性向上のための自動化・省力化技術は、従来の設備機能や性能をさらに高度に維持するための設備管理技術へのインパクトとなった。一方、生産の多様化を実現するために機能の複雑化が進んで、一層管理を複雑にし、しかも、物流という観点も加わって稼働性能の保証がさらに求められている。

以上のような状況のもと、高度な設備管理を少人数で効果的に行うためには、(1) 生産設備の監視機能が明確にできること、(2)

要旨

当社における設備診断技術に関する開発、適用の経緯について述べた。鉄鋼業においては生産が装置に大きく依存するため、品質管理の厳格化や多品種生産に対応するための設備の高度化にともない、設備管理のあり方も大きな変遷をとげてきた。すなわち、生産のための設備性能および稼働の保証の観点から、工学的裏付けに基づいた個々の要素技術の開発や、定量データに基づいた管理手法が求められ、また、設備全体の総合的な効率を最大限に高め、それを維持するという観点からは、個別機器の診断やプロセス診断およびこれらを包括した設備管理システムへの展開が不可欠となった。一方、保全業務は人の判断に頼らざるをえない面も多く、その高効率化、高度化に対する人材育成を図りつつ、設備診断技術の構築を進めている。

Synopsis :

This paper reports on the development and application of Kawasaki Steel's equipment diagnosis techniques. The equipment control in the iron and steel industry, where production heavily depends on equipment performance, has been changing largely in the form of modernization of equipment with a view to cope with highly sophisticated quality control and multifarious production. In terms of assurance of equipment for desired production, an equipment control technology backed up by engineering has been more strongly demanded. Developed to bring the capacity of equipment into full play are the machinery/equipment diagnosis techniques used as predictive maintenance and process diagnosis techniques for product quality assurance. The above two techniques are being further developed into an equipment control system techniques. Since there are many phases where human judgement is needed, attention has been paid to the role of human support for highly efficient and sophisticated maintenance work in order to establish an equipment diagnosis techniques.

設備性能や機能保証が科学的・工学的に行われること、(3) 故障物理に立脚した理論的追求や品質と設備の因果メカニズムが明確になっていること、(4) 設備管理における情報収集、解析、判断、評価といった機能がシステム化されていること、(5) 設備の管理に対して高度な判断ができる人材の育成がなされていること、などが必要となる。

本論文では、当社における設備管理システムや設備診断技術の開発、応用の中で、その過程と今後の方向について述べる。

* 平成2年2月8日原稿受付

2 設備管理のあるべき姿と設備診断技術

2.1 設備診断技術の意義

設備診断技術の意義と戦略を Fig. 1 に示す。生産における設備管理機能は、設備の異常、故障の早期発見ないしは防止によって安定操業を行う面と、製品の品質が作り込まれる設備精度維持管理によって設備性能を保証しつつ良品の生産を行う面の両面があると考えられる。

設備の性能・機能を生産・操業の目標に合致したあるレベルに維持あるいは向上させる設備管理活動を行っている過程 (Fig. 1 の“Role of Equipment Management”) で、近年の製品競争力、品質の高度化、コスト競争力への対処として、製品品質の高級化、厳格化に適合し、しかもタイムリーな顧客納入の保証をはかる連続化・同期化された新プロセス設備や、自動化・省力化の導入設備など生産構造と生産活動の変革が行われてきた (Fig. 1 の“Restructuring of Production Process”)。こうした変革は、運転の無人化や自動化が高度に進んだ設備で高級品質を安定生産可能なレベルに維持する設備管理活動にたえず高度化、高精度化のインパクトを与えつつあ

る (Fig. 1 の“Direction of Equipment Management Progress”)。したがって、設備管理のあるべき姿として、生産設備管理機能を有することが強く求められてきている。すなわち設備の状態監視機能の明確化や、故障物理などの工学的裏付けに基づいた設備の性能機能保証をはかること、品質と設備との因果律モデルによる設備管理ができること、設備管理における情報収集、解析、判定、選択、評価が容易にできること、さらに少数で精鋭による広域な設備をカバー可能にする設備管理支援システムを構築すること、といった機能が重要となってきた (Fig. 1 の“Concept of Equipment Management”)。

設備管理において、設備診断技術とは、「設備の現在の状態量を把握して、異常故障、性能劣化の発生の有無、程度、原因および将来への影響を予知、予測し必要な手段を決定する技術¹⁾」と定義される (Fig. 1 の“Diagnosis Techniques”)。したがって、生産設備管理機能を有する設備管理の概念と照らし合わせると、設備診断技術の意義を、(1) 設備機能保証技術の確立、(2) 品質機能保証技術の確立、(3) 設備の建設やメンテナンスでの工事施工保証技術の確立、(4) 設備故障、異常の要因解析技術の確立、と考えることができる (Fig. 1 の“Advantage of Equipment Diagnosis Techniques”)。

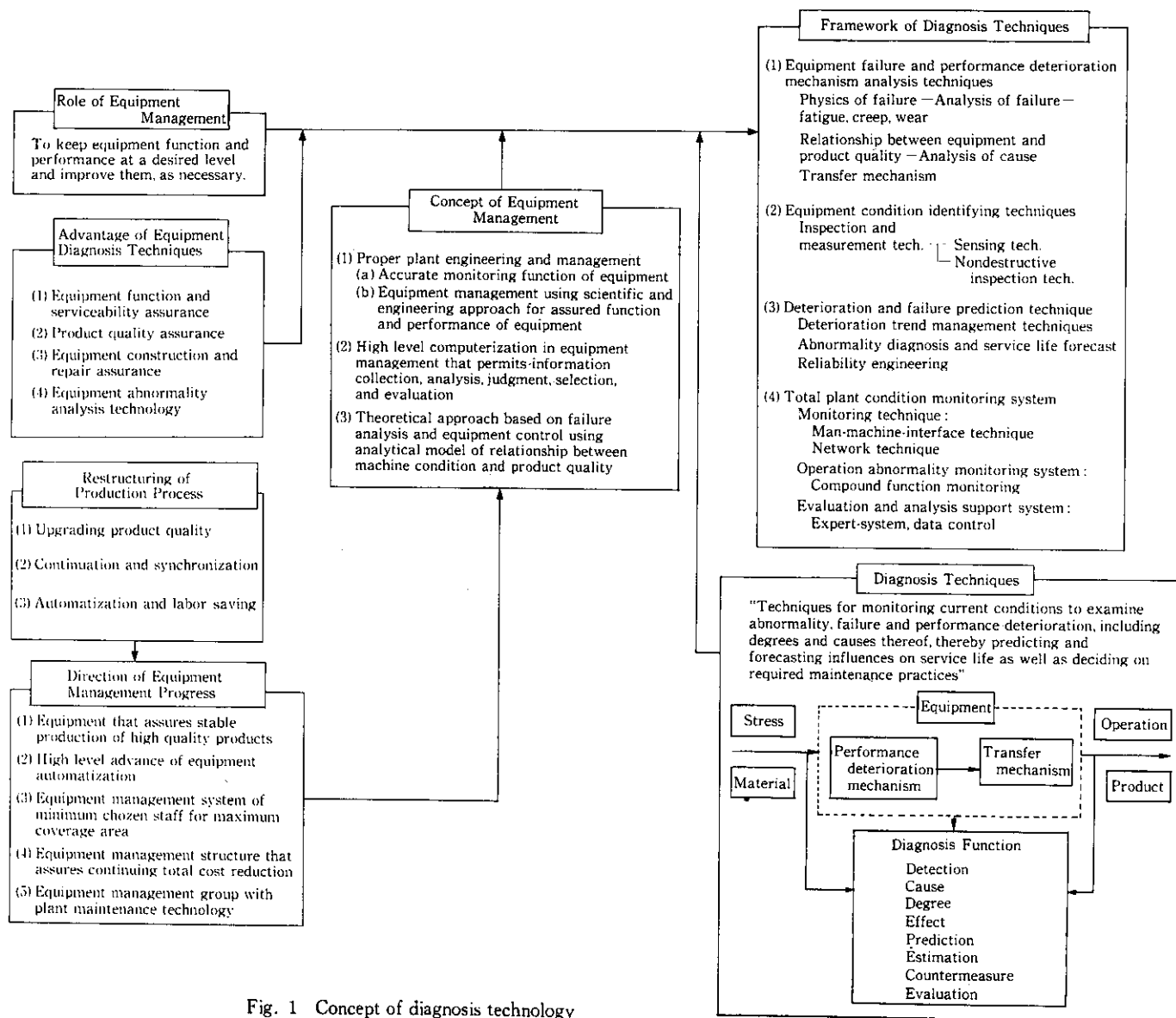


Fig. 1 Concept of diagnosis technology

Table 1 History of plant management

	～1950	1950's	1960's	1970's	1980's
History of plant management in Japan	Breakdown maintenance	Preventive maintenance	Productive maintenance	Total productive maintenance	Predictive maintenance
Type of maintenance		Time-based maintenance		Condition-based maintenance	
Kawasaki Steel's history		Establishment	Introduction of concept for productive maintenance	Reformation of maintenance organization Development of quality maintenance for product Introduction of diagnosis technique Planning of equipment control system	Development of diagnosis technique and equipment control system Development of total quality maintenance

2.2 設備管理の変遷と設備診断技術

日本における設備管理の歴史を振り返ると、1950年代は米国から導入された予防保全の時代であり、1960年代で生産保全が定着し、1970年代から日本流の「全員参加のPM」(いわゆるTPM: Total Productive Maintenance)が始まった。当社千葉製鉄所が(社)日本プラントメンテナンス協会からPM優秀事業場として表彰を受けたのもこの時代である。しかし、1970年代まではいわばタイムベースの保全で、1980年代からは、予知保全つまりコンディションベースの保全思想が定着してきた。そして、この予知保全のためには、設備の状態を診断するための設備診断技術の開発と活用が不可欠となってきた²⁾。

当社においても、1960年代に生産保全方式を導入した。1970年に入っては、設備の安定化、高能率化、品質保証および低コスト化への指向が一層強く打ち出され、設備保全部門の強化、効率化のための設備保全体制の技術的改革とともに、当社独自の製品品質保証のための保全、すなわち品質保全を推進していった。また、このころ、設備診断技術の開発、導入や設備保全管理システムの検討も行われた。1980年代に入ると、製品品質への要求が多様化し、設備が複雑化する中で、製品の高級化や短納期化ニーズが高まり、製造ライン全体の保証つまり設備の稼働性能保証と品質性能保証に目が向けられた。前者については、故障メカニズムの究明と異常の予知、予測技術の開発に力を注ぎ、後者については、製品品質と設備の因果メカニズムの究明と異常の早期検知、早期アクションのための技術開発を進めてきた。いずれも、重要設備の主要部位については、診断のオンライン化や自動化も同時に行ってきた。また、人手に頼らざるをえない部分は、設備保全管理システム用ハンディターミナルの開発やエキスパートシステムの開発によって、点検、診断作業の効率化を図った。さらに、これらの機器開発を契機として、技術力を高めるための教育も並行して行ってきた。日本における設備管理の変遷と当社の設備保全の歴史をTable 1に示す。

3 設備診断技術の構成要素と開発、適用

3.1 設備診断技術の構成要素

設備診断技術は、設備の故障や品質トラブルを引き起こすメカニズムの解析技術と設備の顕在化した状態量を把握する技術、さらに、設備の状態量が故障や品質劣化に至る過程を予測する技術から

構成されており、技術開発はこれらの技術をシステム化することを目指してきた。

設備の故障・性能劣化メカニズム解析技術では、設備故障につながる疲労、クリープ、摩耗といった故障物理を実際の現象に適用し、解明してゆくことが必要である。また、製品品質劣化については、生産設備での操業中に生じる諸現象から品質を作り込む条件と設備性能との因果律を明確にしてゆくことと、さらに、品質特性の変化を設備状態量と結びつける伝達メカニズム解明が必要になる。特に品質に関する分野については、生産操業のノウハウの解明と表裏一体をなすもので、生産技術の進歩と相互に依存し合う重要な領域となってきた。

設備状態量把握技術に関しては、いわば、人による設備の点検情報をセンサからの情報に置きかえるもので、人間の五感を越えた信頼性の高いセンシング技術や非破壊検査技術の開発がその鍵となる。

故障予知、劣化予測技術は、上記の技術を組み合わせて設備状態量の劣化傾向を管理する技術、異常を診断する技術、寿命を予測する技術、さらに信頼性工学に基づいて判断する技術からなる。

3.2 設備診断技術の開発、適用

設備診断技術の開発、適用にあたっては、①故障予知診断技術の開発、②性能保証診断技術の開発、③重要設備へのオンライン診断システムの導入、④診断機器の開発、⑤人材育成とトレーニング、を柱として進めてきた。当社の診断技術の歴史をTable 2に示す。

故障予知診断技術については、機械系では回転機械を対象とした軸受診断の研究から始まって、AE法によるすべり軸受の診断、低速回転機の診断³⁾、プランジャーポンプの診断などがある。電気系については、BNケーブルの絶縁劣化診断より始め、高圧ケーブルの活線診断、回転機の絶縁診断、サイリスタの劣化診断などがある。

性能保証診断技術については、古くは油圧システムのリーク診断や性能効率診断があるが、最近では生産、製品品質、歩留りに直接影響をおよぼす連铸におけるオシレーション機構診断、圧延における油圧圧下診断、油圧AJC (Automatic Jumping Control) 診断、HARP (サイジングプレス) 診断、チャターマークの診断や鋼管工場におけるネジ切り機の切削性能診断がある。

重要設備への診断システムの導入は設備の連続化、同期化に対応している。こうした設備では、ひとたび設備の故障が生じると広範囲にわたる工程攪乱が生じたり、上工程の品質異常が大量の不具合発生につながる。高度の安定操業を達成するために、建設やリフレッシュを機に、現有の診断技術をシステム化し、適用してきた。千

Table 2 Diagnosis techniques at Kawasaki Steel

Items	1970's	1980's	
	2nd half	1st half	2nd half
Development of diagnosis technique for failure prediction	• Diagnosis of roller and motor by vibration method • Crack depth measurement • Stress analysis of structure • Insulation diagnosis of high voltage cable • Diagnosis of grease system	• Diagnosis of low speed rotating machine • Diagnosis of oil film bearing by AE method • Analysis of gas pipe corrosion • Analysis of mill spindle torque • Insulation diagnosis of rotating machine	• Diagnosis of chimney and torpedo car by thermoview • Diagnosis of hydraulic valve by vibration analysis • Diagnosis of hot-run roller by current analysis • Diagnosis of plunger pump
Development of diagnosis technique for performance assurance	• Performance and diagnosis of oil and hydraulic system	• Analysis of reel rolling • Diagnosis of hydrostatic bearing • Diagnosis of hydraulic AGC system • Diagnosis of cutting performance during machining • Measurement of roll load at CC • Strip gage analysis • Detection of nozzle clogging	• Non-touched measurement method for checking alignment • Mold oscillation performance and break-out prediction at CC machine • Performance diagnosis of A.J.C. • Analysis of chatter and gear mark of roll • Performance diagnosis of H.A.R.P. • Performance diagnosis of welder
Development of instrument for diagnosis	• Vibration analyzer • Roll gap sensor for CC	• Portable vibration analyzer • Handy vibrometer • Vibrometer for on-line system	• AE analyzer • Expert system for rotating machine • Local station for LAN system • Handy terminal for maintenance management system • On-line megger for DCM • SCR checker • SCR BO/BD detector
Introduction to main plant of on-line diagnosis system		• Continuous casting machine • Continuous annealing line • Tandem cold rolling mill	• Continuous pickling line • Hot strip mill • Sintering plant • Blast furnace • Electrolytic galvanizing line • Continuous galvanizing line • Wire rod mill
Education and training		• Monthly meeting for introduction and spreading • Established organization	• Education and training for key person • Concentrated diagnosis training by using test machine

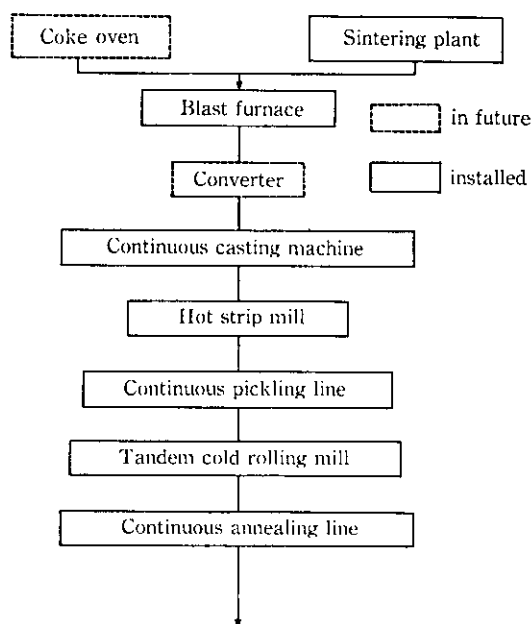


Fig. 2 Main process and introduction of equipment diagnosis system at Chiba Works

業製鉄所では、第3連続鋳造設備⁴⁾への導入を手始めに、連続焼鈍設備⁵⁾、冷間圧延機⁶⁾、連続酸洗設備、熱間圧延設備へ導入し、最近では高炉や焼結設備への適用を進めている。水島製鉄所では、連

続焼鈍設備⁷⁾を手始めに、連続鋳造機、熱間圧延設備、冷間圧延設備、連続亜鉛メッキ設備、電気亜鉛メッキ設備、線棒工場への導入を行っている。オンライン診断システムの導入状況とその主な診断項目をFig. 2, Table 3にそれぞれ示す。

単体診断機器の開発としては、ポータブル振動解析器の開発を手始めに、AE (acoustic emission) 解析器、サイリスタ劣化診断装置を開発しており、その他にもオンラインシステム用として、LANシステム用ローカルステーションや直流機のメガリング装置、最近では、回転機診断のエキスパートシステムや設備保全管理システム用ハンディターミナルの開発も行ってきた。

設備診断技術のフレームワークは、高度な工学的知識ならびに生産技術的知識を必要とし、さらに、適用に際しては設備管理の改革を伴うものであるから、人材育成ないしはトレーニングを抜きには展開が困難である。そこで、核となる人材育成をはかる教育制度を考え、フィールドとローテーションをしながらエキスパートの養成をはかる方法を採用している。このことにより個人的な技能、技術の向上をベースに、一元的な設備管理全体のレベル向上を図ることを可能にしている。

4 設備診断技術の今後

初期の設備診断活動から始まり、要素技術の開発、適用や品質性能保証技術の開発、適用および診断技術のシステム化で技術展開を

Table 3 Major items in on-line diagnosis systems

Plant Item	Sintering Plant	Blast Furnace	Continuous Casting Machine	Hot Strip Mill	Continuous Pickling Line	Tandem Cold Rolling Mill	Continuous Annealing Line
Failure prediction	• Blower, pump • Vibrating screen • Belt conveyor • Lubricant system	• Bell-less device • Conveyor pulley • Hydraulic system • Tuyere • Blower, pump • Break-out prediction	• Lubricant system • Hydraulic oil system level • Grease system	• Mill drive • Pinion stand • Mill motor, pump • Fan • Mill spindle • Hydraulic & Lubricant systems	• Looper separator • Tension device • Fan, blower • Hydraulic oil system	• Mill drive • Mill motor • Pump, reel • Hydraulic & Lubricant systems	• Hearth roll • Fan, blower
Performance assurance	• Drive motor load balance • Gas seal performance of pallet • Pallet movement analysis	• Gas seal of charging device	• Break-out prediction • Roll gap • Roll alignment • Roll load • P/R pressure system • Water spray control system • Valve sequential control system • Slab marker • Mold oscillation system	• Automatic gage control system • Automatic jumping control system • Hot-run rolls load balance	• Welder • Strip position control system	• Strip gage analysis • Chatter analysis • Detection of nozzle clogging	• Tension leveller

図ってきた。高稼働率の維持、高品質の安定、生産性向上などの目的に合致した技術の一つとして、その有効性を確認しつつある。

製鉄設備の特徴である多種の機能を組み合わせた設備、多種の部品構成からなる設備、各プロセスにおける品質対応の異なる特性を有する設備、高温、熔融、爆発性、腐食性など環境条件の相異なる多種設備など多様性のある設備を稼働性能保証してゆくことに対し、すべてを診断監視するわけにはゆかない。設備費、診断装置に対するメンテナンス負荷の問題も含め、合目的性とのバランスを考えながらシステムを構築してゆかざるをえない。

いかに有効な診断手法を開発するか、そして診断部位を限定しながらも、総合的な設備保証をいかに図るかという点では解決すべき課題は多い。また、品質の要求度合に応じて製造条件としての設備の機能や精度がたえず変化していることでも、設備性能の診断手段の新たな課題を生じる。製品品質と設備の因果関係についても未解明なものも多く、また電気、制御機器に使用される素子の劣化診断など、現状の技術では開発の難しいものもある。新たな設備や装置が導入されるときにどの程度の診断機能を持たせるべきかという点も、投資コストや開発マンパワーとのからみで大いに議論の対象となろう。さらに、危険、きつい、汚いといった作業環境での点検診断手段や自己修復機能を有するロボットの開発なども、今後必要となってこよう。

一方、半永久的に取替を必要としない装置部品が世の中に存在しないことから、たえず収益性とのバランスを考えた診断技術の発展が求められる。また、人間の判断をコンピュータに置き換える試みもあるが、人工知能化やロボット化の発想だけで解決しない基本的要素技術も、世の中にはまだまだ未開拓の分野として存在するであろう。学界、装置メーカーとのタイアップも今後の課題といえる。

設備診断技術の今後の展開としては、生産設備をとりまく環境の変化はあろうとも、上記課題にこたえながら、

- (1) 効率的な要素診断機器の開発
 - (2) 装置ユニット性能診断技術の開発とシステム適用
 - (3) プロセス固有の診断技術と要素ユニット診断技術の応用展開
 - (4) 総合設備管理システムへの発展と人材育成
- を軸に有用性とのバランスを保持しつつ歩を進めてゆくことにならう。

5 結 言

当社における設備診断技術について述べた。最近の経済情勢の変動に伴う製鉄業環境の世界的規模の変化を機に、設備管理の近代化による生産性向上を構築する柱として、設備診断技術の重要性はさらに増した。設備の故障予知技術と品質性能保証技術のそれぞれの分野での開発、応用および展開をしながらシステム化としての設備適用を図り、設備の安定操業に寄与してきた。製鉄設備に関する技術としての有用性の評価が、最近では、異業種における設備管理のための技術交流により、さらに一般化された技術としての評価もされつつある。このことは、設備診断技術が、世の中に役立つ技術としての認知のあらわれと実感される。とはいえ、生産操業中の種々の問題、現象も未解決なものも多く、さらなる現象解明を伴いながら、診断技術の発展へ結びつけて合理的な設備管理を目指すことが重要なことと考える。技術の完成は際限のないものかもしれないが絶えざる努力が進歩を促すことも事実である。設備診断技術もしくりと考えたい。

参 考 文 献

- 1) 佐田登志夫:「設備診断技術」, (1978), 53, [(社)日本プラントメンテナンス協会]
- 2) 中嶋清一, 白勢国夫, 後藤文夫, 三好愛之助, 太田富志男:「生産革新のための TPM 展開プログラム」, (1986), 6, [(社)日本プラントメンテナンス協会]
- 3) 井上紀明, 西本重人, 藤本芳樹, 原田俊二:「AE によるころがり軸受診断技術の開発」, 川崎製鉄技報, 20 (1988) 1, 64
- 4) 中村勝美, 大西 廣, 佐藤国浩, 工藤敏夫, 柿原節雄, 福原 渉:「千葉製鉄所第3連続鑄造機における設備診断技術」, 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 286
- 5) 岸田宏昭:「自動診断機能を有するオンライン設備診断システム」, '89 設備管理全国大会, (社)日本プラントメンテナンス協会, (1989), C3-1
- 6) 笠井 聡, 大橋忠信, 市原 晃, 寺田時雄, 滝本高史, 清野芳一:「千葉 No. 2 冷間圧延機の設備診断システム」, 材料とプロセス, 2 (1989) 2, 375
- 7) 内藤 肅:「設備診断技術ハンドブック」, 日本鉄鋼協会編, (1986), 277, [丸善]