

設備・プロセス診断技術の現状と今後の方向

Present Status and Future of Equipment and Process Diagnosis Technologies

村 山 恒 実⁽¹⁾ 中 嶋 智⁽²⁾ 永 井 裕 和⁽³⁾ 山 本 豊 樹⁽⁴⁾
Tsunemi Satoshi Hirokazu NAGAI Toyoki
MURAYAMA NAKASHIMA YAMAMOTO

抄 録

設備・プロセス診断技術は、新日本製鐵で開発・実用化が進められて既に20年が経過した。この間、設備・品質・操業の各々の面において多くの適用効果をあげ、現場に定着している。一方、コスト競争力の激化から設備機能の最大発揮・少数要員による効率的な操業・整備の要求が高まっており、設備・プロセス診断技術の果たす役割はますます大きくなるものと考えられる。本報告では、最近10数年間、新日本製鐵が実行してきたオフライン・オンライン診断システムの開発内容と設備・プロセス診断技術により解明できた診断効果例を紹介するとともに、今後の進むべき方向について述べた。

Abstract

Twenty years have already passed since Nippon Steel started developing the equipment and process diagnosis technologies and putting them to practical use. So far, the technologies have produced many desired application results in all the aspects of equipment, quality and operation, and are firmly fixed on the operating site. On the other hand, requirements for an effective operation and maintenance by a select few which fulfill equipment functions to the maximum are now increasing with a view to coping with an intensified cost competitiveness. It is considered, therefore, that the equipment and process diagnosis technologies will play an increasingly important role hereafter. In this paper, described are the contents of development on an off-line/on-line diagnosis system and some examples of diagnostic results made clear by the equipment and process diagnosis technologies, together with the direction these technologies should follow in the future.

1. 緒 言

近年、設備は高速化・自動化・連続化の一途をたどり、そのため人の監視・判断能力は限界に近づきつつある。一方、既存設備は老朽化が進み、これら二極化した設備を操業・整備できる人の減少による技術低下のため、生産・保全の総合コスト増大が懸念されている。

これらの課題を解決し、設備信頼性向上・整備コスト削減等の保全の近代化を達成するものとして新日本製鐵では設備診断技術の開発を行い、装備力強化を進めてきた。また設備劣化診断に加え、品質・生産両面から正しく生産されているかどうかを診断する“プロ

セス診断技術”との融合により、品質・歩留りの向上等安定生産面でも大きく貢献してきている。

図1に新日本製鐵の設備・プロセス診断技術の開発・実用化の変遷を示す。

新日本製鐵で設備・プロセス診断技術の開発を開始して既に20年余りを経過しているが、この期間は大きく二つの時期に分類される¹⁾。

第I期は1970年前半から約10年間の基礎・応用研究及びオフライン診断装置開発の時期である。このうちの前半には設備要素別に劣

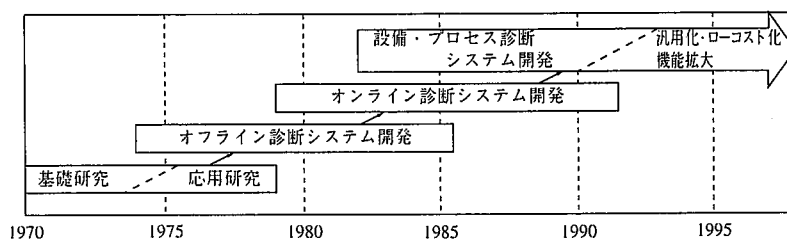


図 1 設備・プロセス診断技術の変遷

⁽¹⁾ 技術開発本部 設備技術センター 機械技術部 部長代理

⁽³⁾ 名古屋製鐵所 設備部 掛長

⁽²⁾ 技術開発本部 プロセス技術研究所

⁽⁴⁾ 技術開発本部 設備技術センター 機械技術部 掛長

機械・無機構造体研究開発センター 主任研究員

化症状、検出パラメータの因果関係を実験で検証し、診断ロジックを設備別に構築し、診断のための診断機器を試作・テストを行った。ただし、この段階の診断ソフト・ハードはそのほとんどが人間が介入するバッチ処理型の診断技術であった。

後半は前段階で開発されたソフト・ハードを全社的に普及・拡大した時期であり、自動診断の開発も徐々に進めていった。

第Ⅱ期は1980年以降でシステム化・プロセス診断の強化が進められた時期である。この時期も更に2段階に分類できる。前半は自動診断技術の開発とともに、従来の簡易・精密診断の機能を併せ持ったオンライン診断システムの開発を進めた。また、パソコンの普及を背景として、測定データを効率良く管理するバッチ型の設備診断データ管理システム等オフライン診断システムの機能向上も図った。

そして現在までの後半は、前段階で確立した技術をインテグレートし、更に一層の高度化を行いつつトランスファを推進させている時期である。診断エキスパートシステムや故障時の早期トラブルシューティング・ガイダンスを目指したシステムを実用化し、また診断システムのより一層の普及促進のため、ローコストな汎用診断システムを開発している。

以上のうち、第Ⅰ期については以前、報告²⁾しているので、本報では1980年代以降第Ⅱ期の設備・プロセス診断技術の進展を紹介し、更に今後取り組むべき方向について述べる。

2. 設備・プロセス診断技術の開発内容

2.1 オフライン診断システムの開発

1980年頃までにベースとなる設備診断のアルゴリズム・機器は開発されたが、それ以降更に精度・作業性向上等を狙って、アルゴリズムのリファインとともに個別の簡易診断あるいは精密診断に利用する設備診断システムの開発も行った。その代表的な例を以下に示す。

(1) ペンシル型マシンチェッカ³⁾

振動を測定することにより回転機械の異常の有無を診断する簡易診断機器として、不要な機能を除いて常時携帯を可能とした単機能・超小型のペンシル型マシンチェッカを開発した。

このチェッカには2種類あり、アンバランスやミスアライメントなど回転機構の診断を目的としたLoレンジ用と、ころがり軸受などを診断するHiレンジ用がある。

(2) ポータブル回転機械診断装置⁴⁾

振動や音響のアナログ信号処理とデジタル信号解析を組み合わせることによって、現場で精度良く解析することにより、回転機械の精密診断を行うポータブルな診断装置を開発した。

この装置は歯車やころがり軸受などの異常特徴周波数の算出機能、フィールドバランス演算機能なども有しており、解析から診断、修復までを1台で実行できるオールインワンタイプの振動解析・診断装置である。

(3) 回転機械診断エキスパートシステム⁵⁾

専門家の技術やノウハウを知識ベースという形で表現し、専門家でなくても診断業務を遂行するエキスパートシステム(ES)により設備診断の標準化及び効率化を図る目的で、製鉄設備の中で最も重要な位置を占める回転機械を対象として、これまでに開発、蓄積してきた技術やノウハウを利用した回転機械診断ESの開発を行った。図2に診断結果の表示画面例を示す。

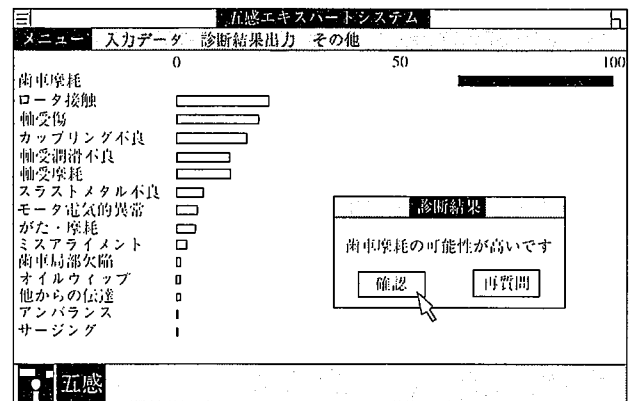


図2 回転機械診断エキスパートシステム画面例
(診断結果の表示画面)

2.2 オンライン診断システムの開発⁶⁾

オフライン診断システムは機能強化され、設備・品質・操業改善に効果を上げてきたが、設備あるいはプロセス異常の早期発見による故障回避等を行うためにはオンラインでの診断が必要である。当社においては、1982年の八幡製鉄所熱延設備診断システムを皮切りに順次開発・適用を進めてきた。この代表例として同所新冷延診断システムを紹介する。

2.2.1 システム開発の背景

1990年8月に営業生産を開始した八幡製鉄所新冷間圧延工場(以下、八幡新冷延と記す)は高機能化・複雑化しているため保全管理が難しく、また、複雑に絡み合った制御のために、一たび異常(非定常状態)が発生すると適切なアクションはおろか状況の把握すらできなくなるという不安があった。そこで、過去20年に及ぶ新日本製鉄の設備・プロセス診断技術開発の集大成として本システムを開発した。

2.2.2 システム(ハードウェア)及び機能(ソフトウェア)構成

システムのハードウェア構成を図3に示す。このようにプロセス

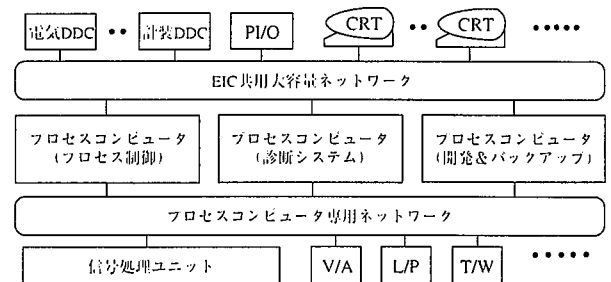


図3 八幡新冷延診断システムのハードウェア構成

コンピュータ(プロコン)中心の診断システムとすることで、生産状況の把握を容易にし、生産スケジュールに応じたアクションの決定を可能にした。また、EIC(E:電気, I:計装, C:計装機)共用ネットワークの豊富なデータを診断に利用することで、高度な診断を可能にするとともに、診断専用のセンサの設置・信号配線を最小限に抑ええることができた。更に、表示CRTを他機能(例えばトラッキング機能)と共用することで、異常時には画面を切り替えれば、診断情報・データを見ることが可能となり利用環境が向上した。

システムは図4に示すように、大きく次の三つの機能から構成される。

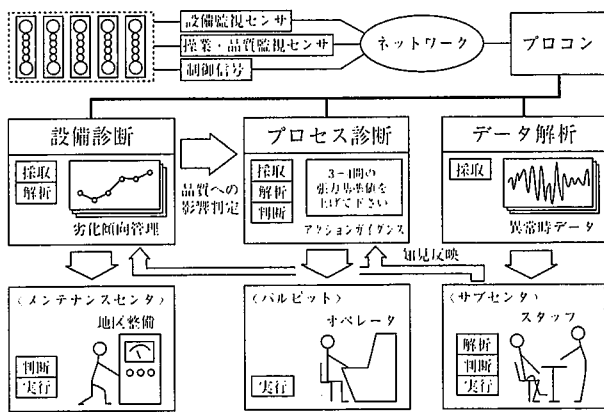


図4 八幡新冷延診断システムの機能構成

- (1) 圧延主要設備の劣化監視と異常時の原因判定を行う設備診断機能
 - (2) 品質不良の監視と不良時の原因判定・対応アクションの決定を行うプロセス診断機能
 - (3) 異常時のデータ収集と解析を支援するデータ解析支援機能
- これらの機能は独立なものではなく互いに密接に関連している。以下、これら三つの機能の概要を説明する。

2.2.3 設備診断機能

設備診断機能は主に整備マンの支援を行い、設備の劣化傾向管理等の保全情報を出力する機能である。この機能は、更に大きく次の(サブ)機能に分類される。

(1) 劣化傾向管理機能

診断のために、設備ごとに最適な管理パラメータを選択した。表1に劣化傾向管理の対象設備及び管理パラメータと点数を示す。

(2) 故障トレース機能

表1 設備劣化傾向管理項目

対象設備	管理パラメータ	点数
駆動設備	回転機振動	71
	潤滑油温度	42
油圧・潤滑設備	ポンプ圧力脈動	5
	ポンプオンロード時間	5
	タンク油温	3
	サーボスル電流	10
電気・計装設備	主機温度	65
	板速計レーザ光量	6

設備(特に制御設備)の自己診断情報を発生時刻順にトレースすることで、どのような異常がいつ発生・復旧したかを確認できる機能である。

(3) 制御設備のオンライン性能診断機能

油圧圧下制御系とミルモータ速度制御系の実圧延時の周波数応答を測定できるようにした。

2.2.4 プロセス診断機能

プロセス診断機能は主にオペレータの支援を行い、操業ガイダンスを出力する機能である。今回はその第1ステップとしてゲージ(板幅中央の長さ方向板厚精度)診断システムを構築した。

診断のために、圧延力・張力等の圧延状態を示す信号や電流等の設備状態を示す600種類の信号を20ミリ秒～1秒周期で採取するように

した。診断は図5のフローに示すように、製品ゲージを20ミリ秒周期で採取し、品種ごとに定めた上下限値を超えた場合には詳細な診断を行い、最適な操業アクションをオペレータにガイダンスする。

異常が発生してからガイダンスを出力するまでの時間は、本工場における冷延コイルの最短生産ピッチ時間以下の1分以内であり、異常発生コイル内でのアクションを可能にした。

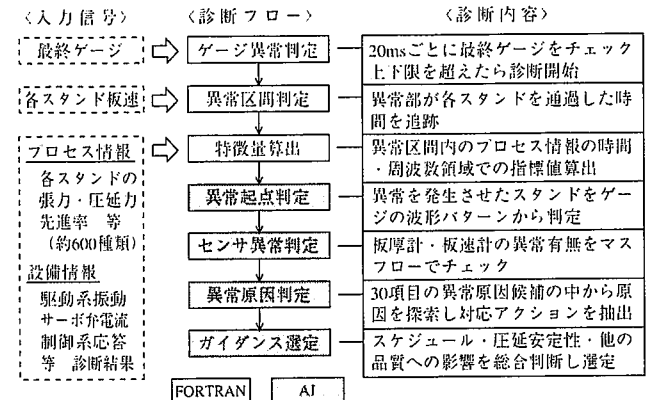


図5 八幡新冷延ゲージ診断フロー

2.2.5 データ解析支援機能

データ解析支援機能は、異常時のデータ採取・解析を支援する機能である。

従来は、何等かの異常が発生すると必要な信号に目星をつけてチャートやレコーダを設置し、異常の再現を待ってから解析を行ってきた。しかし、この方法では異常の再現を待たなければならないこと、またチャート・レコーダでは採取できる信号数に制限があることから、異常が再現しても検討に十分なデータが得られないこともある。本システムでは、前述の600種類のデータを常に一定時間記憶し、設定された異常トリガが発生すると、その前後2分間のデータをディスクに保存することで、異常時のデータが確実に捕捉できるようになった。

また、これら異常トリガのタイミングで採取されたデータを、豊富な解析機能と優れたマンマシンインタフェースで解析できる機能も開発した。図6に解析画面例を示す。解析機能としては、表示したデータの縦軸・横軸(時間軸)の変更、データ間の四則演算、相関解析や周波数解析等豊富に揃えた。

本診断システムはゲージの高精度維持・故障時間の短縮等に効果を上げている。従来の設備診断機能を拡張し、更に品質診断機能まで包含したこのシステムの考え方は、新しいオンライン診断システムの進むべき方向を示したといえる。

2.3 オンライン診断システムの汎用化・拡大化

オンライン診断システムにより故障時間の短縮・品質安定等の成果を上げてきたが、従来のシステムのほとんどがオーダーメイドで汎用性に乏しく、プロコン上で動作することもあり高額となるため、普及が進みにくい状況にあった。しかし近年、パソコン及びその周辺機器の信号処理速度の向上及び記憶容量の増大が著しく、数年前のプロコンの諸性能をしのぐようになったため、従来の診断機能を備えた診断システムのダウンサイジング化を1990年以降推進してきた。更に、従来から確立している診断機能を機能ごとにパッケージ化することにより、フレキシブルで汎用性のある設備診断シ

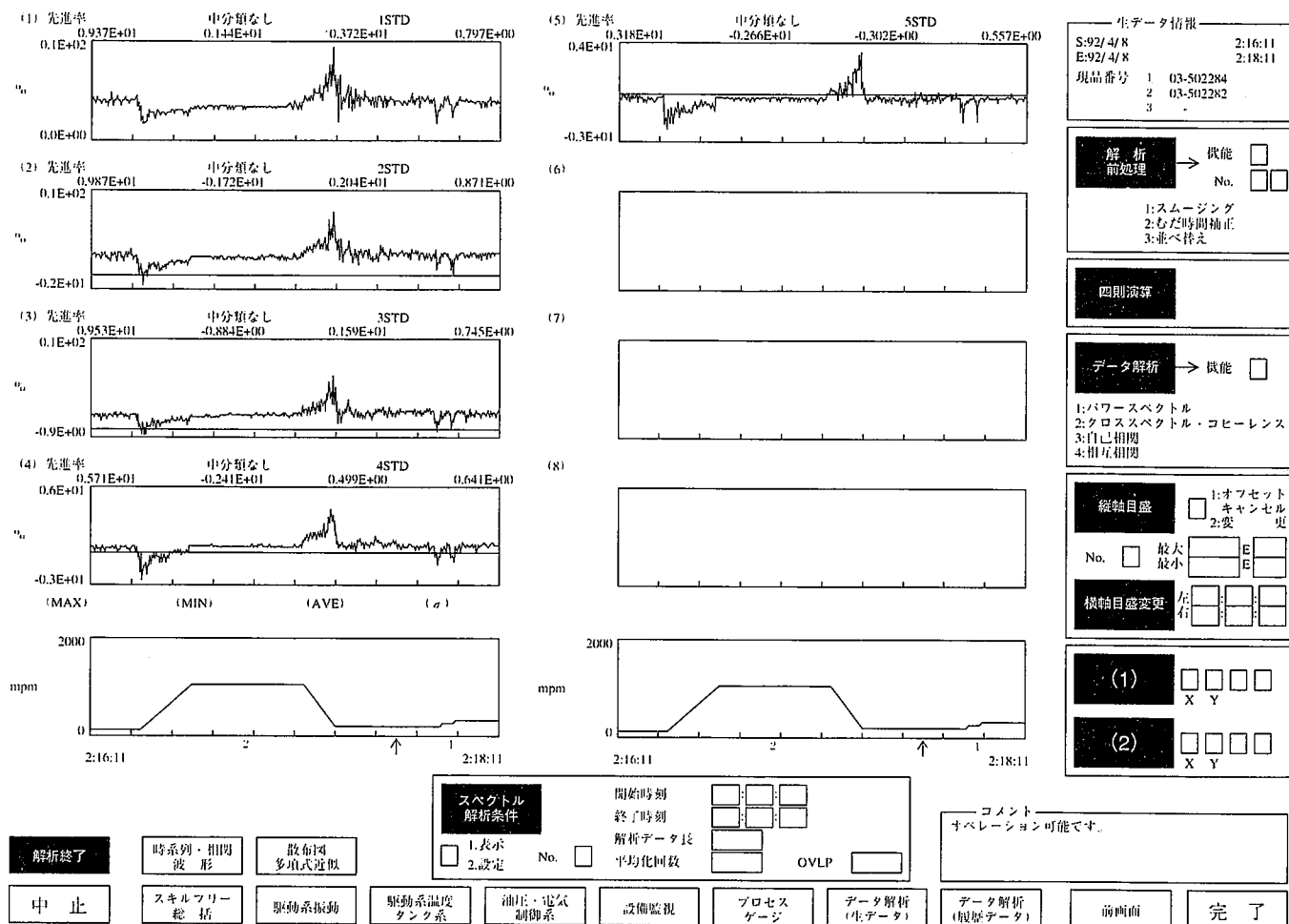


図6 データ解析の画面表示例

システムを容易に構築できるようになった(図7参照)。診断機能としては、前述の八幡新冷延診断システムの設備診断機能とデータ解析支援機能を保有している。これらは同一のLANで構成されているため、同一のCRTで情報を見ることができる。

設備診断機能は順次拡大・充実を図り、現在では表2のように多様な機能を有するようになった。これにより、設備の重要性・診断精度・診断コスト等の多くの条件を考慮した上で、最適な診断方法を選定できるようになった。特に従来の診断システムは、振動センサを主体としているため新たにセンサを設置する場合が多かったが、モータ電流により機械駆動系を監視する電流診断や油圧ポンプのオンロードタイムにより油圧システム系を監視するオンロード率診断のように、診断したい系全体をマクロ的に診断するといった、既存情報を有効に活用する方法を拡大している。

また、設備診断情報をゲートウェイを介して、他システムへ提供できるようにしたため、操業サイドでの解析も可能となった。すなわち、設備・品質・操業情報の共有化が図られ、ひいてはこれら情報を整備マン・オペレータが判断することによる改善活動の基盤を作ることができた。

以上、ハード・ソフト両面からの汎用化・拡大化の結果、ローコスト化が飛躍的に進んだ。

本汎用診断システムは高炉から表面処理まで幅広く採用されており、社外でも国内外の鉄鋼会社やセメント、化学関連会社等の他産

表2 汎用設備・プロセス診断システム診断機能

診断機能		
設備診断	駆動系	振動診断
		簡易診断 精密診断
	油圧・空圧系	電流診断(起動・安定・差電流)
		油圧機器劣化(ポンプオンロード率)診断
		油圧ユニット劣化(圧力脈動)診断
	制御系	シリンダストローク時間診断
		油圧サーボ系診断
		スル電流診断
		油圧配管振動診断
		油柱沈込み診断
データ解析支援	その他	温度診断
		圧力診断
	異常時自動データ収集 データ汎用解析	

業も含め約30システムの適用実績がある。

3. 設備・プロセス診断効果例

以上のように、オフライン、オンラインを含め診断の装備力を強化し、設備異常予知のみならずプロセス・品質異常対策としても効果を挙げてきた。以下にこれらの診断効果例を示す。

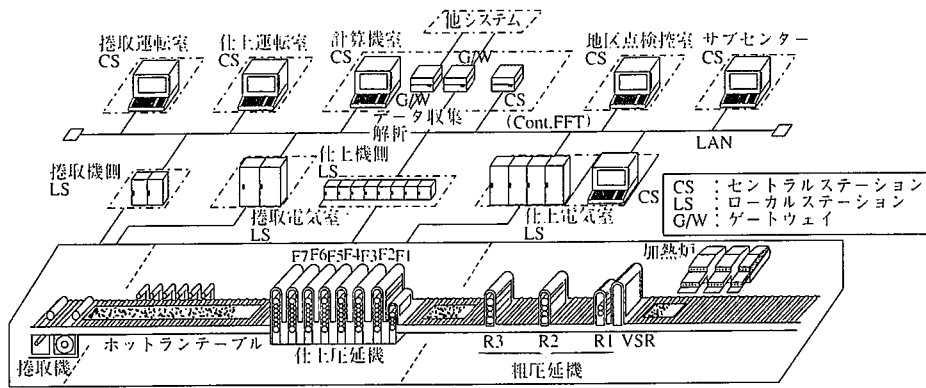


図7 汎用設備・プロセス診断システム構成(熱間圧延)

3.1 冷間圧延機におけるチャタマーク診断⁷⁾

鋼板表面の全幅、あるいは一部の範囲で鋼板長さ方向に数mmから数十mmのピッチで規則正しく発生する縞状の光沢ムラ(厚みでは計測不可能)をチャタマークと呼ぶ。チャタマークは一般に圧延機の振動によって生じるが、図8のように圧延機は構造が複雑であり、振動源も多数あるため多種多様な形態で発生する。

新日本製鐵名古屋製鐵所No.3冷間圧延機においてピッチ34mmのチャタマークが発生し、ロール・スピンドル等の取替えを実施した

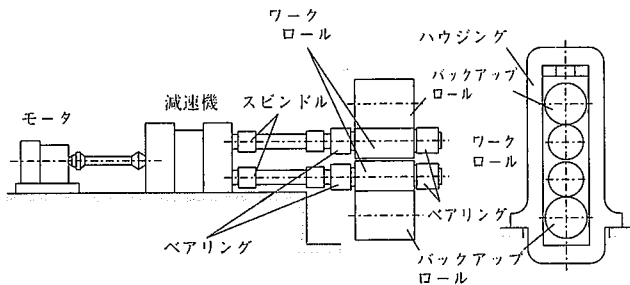


図8 冷間圧延機構造

が改善されず、原因が分からなかった。ワークロール軸受の振動測定の結果、チャタマークピッチと同期する振動が検出できた(図9参照)が、圧延機各部の強制振動周波数と合致するものではなくロールの研削ムラが振動を誘発していると考えた。そこで、ロールグラインダで研削時の振動を測定した結果、マークと合致する振動が検出できた(図10参照)。

更に詳細に解析した結果、ロールグラインダのロール回転装置ベアリング傷による振動であることを突き止め、ベアリングを取り替えることによりグラインダの振動が低下し、チャタマークも解消できた。

3.2 高炉炉況診断⁸⁾

高炉内部は1500℃以上の高温であり、まさにブラックボックスである。このため多種多様なセンサを設置し、炉内状況を推測している。この炉内現象に、極めてまれであるが原料が降下しなくなる棚吊りという現象が発生することがあり、炉況が悪化する要因の一つとなっている。しかしながら、この現象は温度・圧力等のセンサ情報からでは、間接的にみているため原料の停滞がかなり進行しなければ検知できないという問題がある。

そこで、図11のように炉内に挿入されているガス分析検出端用短尺ゾンデの外端にAEセンサを取り付け、原料とゾンデの摩擦に

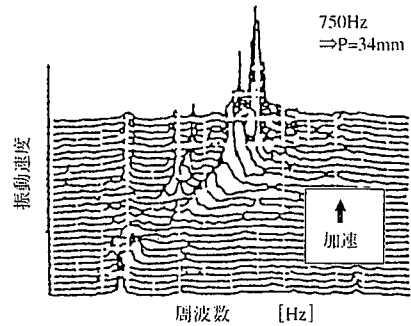


図9 ワークロール軸受振動

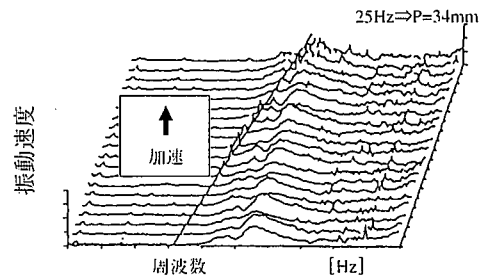


図10 研削中のグラインダー振動

よって発生する疑似AEを検出し、原料停滞及び停滞位置の判別を可能とした(図12参照)。

また、原料の落下位置検出においてもクロスゾンデ両端にAEセンサを取り付け、信号到達時間差を利用して判定する方法も開発し、炉況安定の大きな武器となっている。

3.3 ポンプオンロード率診断

上記2例は精密診断による効果例であるが、最近強化しているマクロ診断のうちポンプオンロード率診断事例を紹介する。

八幡製鐵所の熱延工場仕上ロールバランス系油圧装置ではポンプオンロード率診断を行っている。図13は異常時のオンロード率の傾向管理グラフである。異常警報が表示されたため整備マンが当該油圧システムを点検したところ、アキュムレータのシリンダ内面の摺動部から油が漏れているのを発見、直ちに補修し、ライン休止を回避することができた。

4. 設備・プロセス診断技術の今後の方向

以上、設備・プロセス診断技術の現状について述べた。

しかし、診断精度・対象設備範囲拡大等まだまだ改善すべき点も多く、技術リファインは継続されていくであろう。

以下、直近の開発状況も含め、今後の進むべき方向について述べる。

4.1 プロセス診断へのさらなる展開

プロセス診断は、近年充実されてはきたが、冷延等での単発的な開発に留まっているという見方もある。従来、設備・プロセス診断は基本的には各種センサ情報を利用し、設備・操業状態を診断してきた。しかし、診断精度の問題に加え、センサを設置できる場所の制限及びコスト面による設置数の制限等から、設備・操業状態を的確に捕らえることには限界がある。一方、シミュレーション技術を用いてこの課題を解決することも試みられているが、解析モデルの複雑さから解析時間がかかり、オンラインでの診断には不向きであるという欠点を有している。そこで相互の弱点を補うものとして、従来の設備・プロセス診断技術とシミュレーション技術とを融合することにより、プロセス診断への一層の展開を図る(図14参照)。

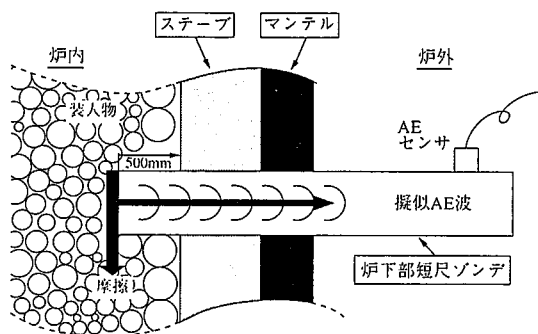


図11 高炉炉況診断の基本原則

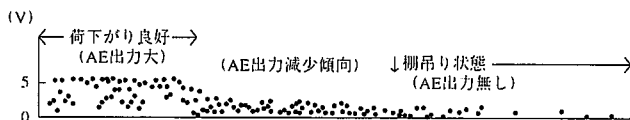


図12 短尺ゾンデのAEレベル推移

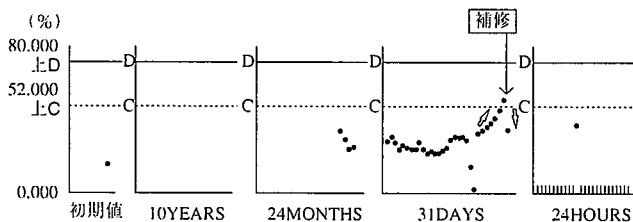


図13 ポンプオンロード率傾向管理グラフ

4.2 診断技術の適用拡大

既存の診断手法では低速回転機械への適用が難しい、歯車の歯元に発生するクラックが診断できないなどの欠点を有している等精度面での粗さがある。また、診断は基本的に一定速での稼働時に制限されており、短時間に起動・停止が頻繁に行われる熱延工場粗圧延機等での診断ができないといった診断対象設備範囲の狭さもある。これら解決すべき技術課題はまだあり、今後とも診断技術の向上による適用拡大を図っていく。

その他、開発が完了したものやトラブルシューティングで異常原因が解明できたもの等、診断ロジックが明確となった診断項目についてはパッケージ化を進め、汎用診断システムに搭載することにより、システムとしての機能向上を図っていく。それとともに診断システムのさらなるローコスト化を継続していく。

5. 結 言

本報では新日本製鐵の設備・プロセス診断技術の現状及び今後の方向について述べた。

今後、操業・整備の専門家が減少の一途をたどることは明らかであり、オペレータ・整備マンの技術・技能の伝承と高度化が緊急の課題となっている。

そこで、従来の経験的・定性的なアプローチから科学的・定量的なアプローチへ変革させることにより少数要員による効率的な操業・整備を行えるようにすることに加え、設備機能向上を図る必要がある。これを達成するためには設備・プロセス診断技術がますます不可欠になってくる。

そのため、従来の設備・プロセス診断技術の枠に捕われず、なお一層の技術向上・拡大を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 豊田利夫 ほか：製鉄研究、305.16(1981)
- 2) 前川健二：第135回 西山記念技術講座、東京、日本鉄鋼協会、1991-2
- 3) 豊田利夫 ほか：鉄と鋼、73(12)、343(1987)
- 4) Nakashima, S. et al. : 42nd Mechanical Failures Prevention Group (MFP) Meeting, Gaithersburg, 1987-9. NIST
- 5) Nakashima, S. et al. : The sixth International Iron and Steel Congress (IISC), Nagoya, 1990-10. ISIJ
- 6) 元松廣義 ほか：第1回 T P M 世界大会、Tokyo, 1991-11. JIPM
- 7) 永井裕和 ほか：JIPM 第14回設備診断シンポジウム、東京、1994-3 日本能率協会 第26回計測制御技術会議、東京、1994-11
- 8) 永井裕和：JIPM 第15回設備診断シンポジウム、東京、1995-3 日本能率協会 第27回計測制御技術会議、東京、1995-11

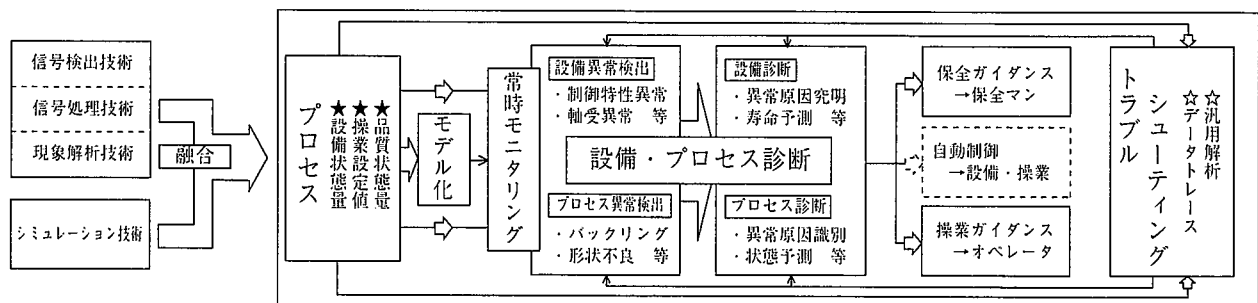


図14 設備・プロセス診断技術とシミュレーション技術の融合