

# 鉄作りを支える最新の設備技術

## New Technologies for Steel Manufacturing Based upon Plant Engineering

植村 章 鉄鋼技術センター 設備技術部 部長  
白井 正明 基盤技術研究所 副所長

Akira Uemura  
Masaaki Shirai

当社の設備部門は、(1) 設備診断、(2) 自動化、(3) 延命化、(4) 計測制御技術の開発に多くの成果を上げて、品質の向上、品質保証、操業の合理化および設備の長寿命化に大きく貢献している。本稿では、最新の設備技術とその展望について開発事例とともに紹介する。

*NKK has successfully developed various new technologies in the field of plant engineering. These have greatly improved the quality of the Company's products and production yield, and extended the life of equipment in the steelworks. This paper introduces typical examples of recent technological accomplishments in the field of plant engineering.*

### 1. はじめに

鉄鋼業は巨大な装置産業であり、設備技術は鉄鋼製造設備の建設から保全、さらに寿命延長と鉄作りの基礎を支えてきた。

今日、設備技術には従来の分野にとどまらず、歩留り、品質の向上、商品の幅広い品質保証と多岐にわたる分野での貢献が要求されてきている。

当社では設備部門が研究所と密接に連携し、設備の診断、自動化技術、設備の長寿命化、延命技術、さらに品質保証を含む計測制御技術という最新の分野で多くの成果を上げている。

本稿では、最近の開発事例を示すとともに、今後の設備技術の方向も展望する。

### 2. 設備の診断、自動化技術

#### 2.1 設備診断技術

##### 2.1.1 設備診断技術の展望

鉄鋼製造設備の保全方式の中で、状態基準保全 (CBM: Condition Based Maintenance) は、設備診断技術を用いて設備の劣化状態を定量的に把握し最適な時期に必要な最小限の修理を行うものであり、最も合理的な保全方式である。

当社では、設備診断技術を CBM 方式の設備管理に不可欠な技術と位置付け、技術開発と実用化を進めている。

以下に当社の設備診断技術の特長を示す。

(1) 高炉・製鋼・熱間圧延・冷間圧延などの多種多様な設備を対象としているため、振動診断・潤滑診断・構造系診断・電機制御系診断などの各種診断技術を保有し、複合的に活用している。

(2) 設備の良否を判定する日常点検から余寿命予測、設備異常時の原因究明・損傷程度・損傷範囲の推定などの診断目的

に応じた診断手法を確立している。

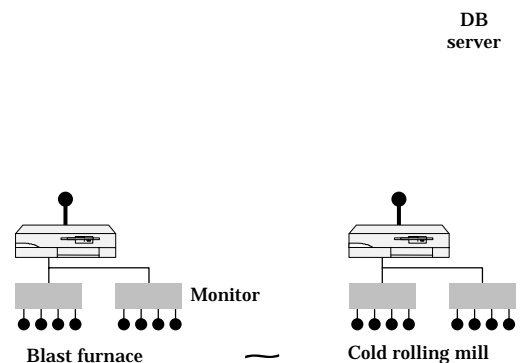
(3) 設備特性や業務フローなどの業務実態にマッチし、低コストで作業効率の高い設備診断技術とするために、汎用振動診断計、油性状自動分析計、絶縁診断計などの主要な技術の多くを自社開発している。

このような特長を持つ各種診断技術を合理的に組み合わせることで、的確で効率的な設備状態把握を実現している。

##### 2.1.2 オンラインモニタリングシステム

当社では、設備状態把握の効率化と高精度化を目的として、製鉄所内全域をカバーするネットワークシステムを自社開発しており、福山製鉄所の場合、主要な 18 工場 (約 4800 点) でオンライン監視体制を構築している。Fig.1 にシステム構成を示す。本システムの特長は、以下のとおりである。

(1) 設備異常時には自動的に精密診断を実行するとともに、監視端末から任意に精密診断が可能なシステムを開発し、さらに、システムの信頼性向上のため、センサー異常やケーブル断線、監視機器の異常などを自動的に認識する自己診断機能も開発および実用化している。





粉炭多量吹き込みなどの操業変化で、炉体熱負荷が増加した影響により、CS 本体変形が顕在化し、高炉の安定操業を阻害していた。

非融着式 CS には、CS 本体き裂の冷却配管への伝播防止のために、鑄鉄と冷却配管の間に空気層が存在するため、その断熱作用で冷却性能が低く、冷却管高密度化、背面冷却化などの CS 変形防止対策では、効果が不十分であった。そこで、冷却強化型の新型 CS として、Fig.5 (b)に示す密着式 CS を当社独自技術として開発、実用化した。

密着式 CS は、合金層を介して鑄鉄と冷却配管が一体化され、空気層が存在しないため、非融着式 CS より冷却性能が大幅に向上する。また、CS 本体き裂は、合金層に到達した際に、もろい素材の合金層が剥離することで停止し、冷却配管には伝播しない構造になっている。

FEM 解析による非融着式 CS と密着式 CS の温度、応力、変形解析結果を Fig.6 に示す。密着式 CS は、非融着式 CS より冷却性能が向上し、その結果大幅な変形低減効果を確認したことで従来約 2 倍の 10 年以上の寿命が期待できる。

密着式 CS の開発により CS の長寿命化技術が確立され、現在、高炉安定操業を志向して密着式 CS を適用拡大中である。

Fig.4 Schematic of the cooling staves

Fig.5

### 3.2 老朽更新低廉技術

#### 3.2.1 老朽更新低廉技術の展望

稼働以来約 30 年経過した製鉄所の各設備は、老朽化進行に伴いその更新時期を迎えており、この更新費用抑制は、製鉄所の大きな課題となっている。

当社では、設備の安定稼働を堅持しつつ、老朽更新の低廉化技術の開発を積極的に推進してきた。本稿では、計算機と鋼構造物の低廉技術の開発事例について紹介する。

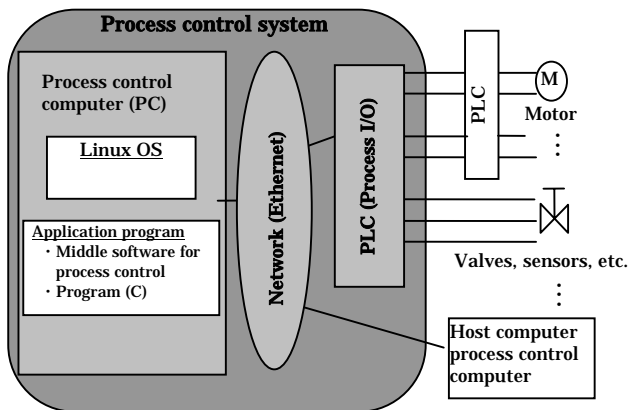
#### 3.2.2 プロコン老朽更新の低廉化

製鉄所では、全体で 200 台と数多くのプロセス制御用計算機（以下、プロコンと略記する）が稼働しており、稼働以来 15～20 年経過したシステムも多く、毎年数システムの老朽更新が見込まれている。そのため、その更新費用の低廉化が重要な課題である。従来の限られたメーカーによる高価なプロコン専用機あるいはダウンサイジングでは、大幅な更新コストの削減が難しいため、最近の情報化技術の進歩で飛躍的に性能の高くなった汎用パソコンとネットワークを活用した安価なオープン系プロコンシステムを開発した。

このシステムを実現するにあたり、すべての機能がオープンな Linux を基本ソフトウェアに採用し、市販されていないプロセス制御用に必要なソフトウェアは独自に開発した。オープン系プロコンシステムの構成を Fig.8 に、従来のプロコン専用機との比較を Table 2 に示す。

このシステムは、2001 年 1 月に京浜製鉄所内にあるエヌケーケー鋼板線の No.3 溶融亜鉛めっきラインで初めて実機適用し、その後京浜および福山製鉄所のプロコン老朽更新に順次適用している。この結果、従来のプロコン専用機に比べて約 40%以上の更新費用の削減が達成できた。

また、将来の再リプレース時期においても、パソコン本体のみの単純更新が可能であり、従来のようにハードとソフトが一体となった更新が不要となるため、非常に安価で短期間かつ容易にリプレースが可能となる。



Items	Specialized computer for process control (Conventional)	Open-type computer for process control (Newly developed)
OS		

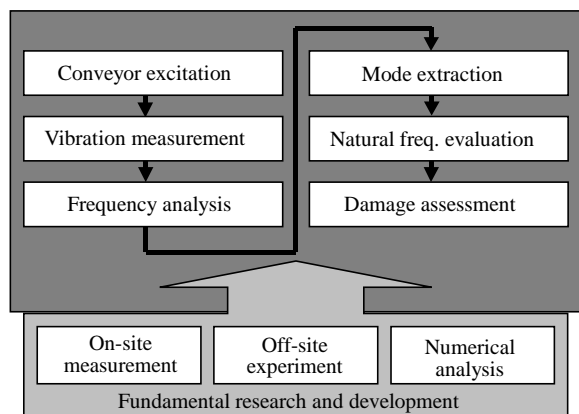
#### 3.2.3 コンベアフレーム劣化診断技術

製鉄所では鋼構造物の老朽劣化進行により、更新費用が増大傾向にある。中でも総機長 100km 以上に達する原料地区のベルトコンベア設備には毎年多大な費用を要している。コンベア設備の中には高炉装入コンベアなどのように、その故障が生産に重大な影響を及ぼす重要設備も多いため、安定操業の継続には安易な補修更新費用削減は許されない。

一般的なベルトコンベアは、溝形鋼や山形鋼で構成されるトラスフレームの上に、ローラーやベルトで構成される搬送部を搭載する構造を有しているが、設備によってはフレーム部の腐食減肉に伴う強度低下が限界に達しつつあり、補修や更新に至っている。

しかし、従来はその判断を保全員の目視（一部残厚測定）による主観的な劣化度判定に依存していたため、客観的かつ定量的評価が可能な診断技術の開発が望まれていた。

このニーズに応えるため、実機計測やモデル実験、数値解析などを繰り返し、その結果、コンベア設備のある特定の振動モードの固有振動数から、コンベアフレームの腐食減肉による老朽劣化度を客観的かつ定量的に評価する技術を開発した（Fig.9 のフロー参照）。さらに、その固有振動数を現場で簡便に測定する技術も開発した。本劣化診断技術は既に実用に供しており、(1) 安全確保と安定操業保証、(2) 突発的重大故障による機会損失の防止、(3) 更新範囲の厳選および補強延命の拡大による更新費用の抑制に大きく貢献している。



#### 4. 計測制御技術

##### 4.1 材質・品質保証技術

##### 4.1.1 材質・品質保証技術の展望

品質の高い鉄鋼製品を安定的に顧客に提供するため、当社では、そのベースとなるセンサーおよび計測技術の開発を積極的に推進してきた。

近年、顧客からの品質要求はますます厳しくなり、自動車外板用鋼板では、従来の凹凸性の表面欠陥から、より軽度で検出が困難な「模様状欠陥」へと厳格化してきており、また飲料缶用鋼板では、薄肉化に伴い、素材内部の微小介在物の検出が厳しく要求されている。

このような品質ニーズに対応するため、当社では新しい計

4 . 1 . 1

本装置の検出能力をオンラインで評価した結果、模様状欠陥約 800 体につき検出率 100%かつ過検出率 1%未満を確認した。

本装置の導入の結果、欠陥発生状況の定量的・客観的な連続モニタリングが初めて可能となった。そのため、上工程での欠陥低減アクションの評価にも利用されており、鋼板の高品質作り込み技術の確立に大きく寄与している。

#### 4.1.3 微小介在物計

飲料缶素材の内部品質向上のため、厚さ  $8\mu\text{m}$  以上の微小介在物がオンラインで検出可能な検査装置を開発した。

微小欠陥を検出するためには、高感度な検出に加えて材料に起因する磁気的なノイズと欠陥漏洩磁束とを区別する必要がある。材料に起因するノイズは、欠陥漏洩磁束に比べて磁束が空間的に広がっている傾向がある。その性質を利用して検出能を向上させるため、Fig.11 に示すような E 型コア磁気センサーを開発した。このセンサーは、3 本の極を持つ強磁性体コアおよびその中央の極に巻かれた検出コイルから構成されている。ノイズ磁束は、欠陥からの磁束よりも外側その性質ををノイズを区別する y D`

(a) GA (b) Advanced GA  
Feasible solutions

Fig.14 Comparison with GA and proposed algorithm

4.2.3 IT (情報技術)を活用した制御モデルの共同構築

製鉄所のホワイトスリム化とともに、制御モデルの開発・改善にかけられる技術者のマンパワーは限られており、効率的な開発のやり方が可及的な課題であった。このような背景のもとに、当社では、IT (情報技術) を活用し、社内の各部署がネットワークを介して連携して制御モデルの共同開発・調整作業の容易化を図り、開発効率を大幅に向上させることができた。

制御モデル共同構築のためのネットワークシステムを Fig.15 に示す。プロコンで収集される操業実績データは、パソコンサーバ DB (データベース) に格納され、その内容は社内ネットワークを介して研究所および製鉄所において随時参照することができる。代表的なプロセスの DB 内容を Table 3 に示す。開発スタッフは、自分のデスク上のパソコンで、操業実績データ、制御モデルパラメータ、プログラムなどをリアルタイムに参照し、解析・シミュレーションツールをうまく活用しながら、各部署が自立しつつも共同で連携した開発を行う環境を構築した。

従来の開発業務では、拒ヤ xホH8h, Yニp はiニp 拒 1 Oナ 早 イ, 2 8宴 C 3 q d g ミ