

技術解説

機械技術開発の歩みと今後の展望

Technical Development for Steel-making Machines

大石直樹*
Naoki OISHI
石森裕一
Yuichi ISHIMORI

四阿佳昭
Yoshiaki SHIA

栗栖泰
Yasushi KURISU

和田和実
Kazumichi WADA

1. はじめに

新日本製鐵は省資源、CO₂低減など社会的ニーズに応えるために、連続製造プロセスや高稼働操業技術の開発、高張力鋼板などの新商品開発を進めてきた。

本稿では、こうした時代の要請に応じた製鉄設備の高機能化を支えるべく、機械技術分野で発展させてきた要素技術、具体的には設備の状態監視と劣化傾向を把握し保全管理を刷新した設備診断技術、設備の主要部材の耐久性を大幅に向上した長寿命化技術、湯道、板道の部材表面を最適化し品質に寄与してきたロールなどのコーティング技術についての技術の変遷、これ迄の成果や今後の動向について紹介する。

2. 設備診断技術の進化と今後の動向

生産設備の安定稼働と整備コスト低減のため、設備の劣化を把握しつつ整備時期を計画する予知保全(状態基準保全)が必須であるが、早期にかつ定量的に劣化兆候を把握する手段として、駆動機械を対象とした設備診断技術を開発し、診断装置の実用化も進め、いち早く製造現場へと普及させた¹⁾。

設備診断技術の柱は、機械部品の要素別に劣化症状と検出される信号の因果関係を検証し、診断ロジックを構築することにある。このための道具としてセンシングや信号処理技術など一見すると計装分野の技術の組合せに見えるが、根幹は機械設備の状態と劣化のメカニズム把握と傾向管理であるので、当社では機械技術で開発と技術担保を受け持ってきた。

これ迄の成果では、製鉄設備の多数を占める回転機械の軸受や歯車の劣化診断技術を発展させ、点検員が巡回して測定しやすい多機能携帯型診断器(エレスマート)を日鉄エレクトクス(株)の協力を得て実用化し、日常点検の七つ道具のひとつとして活用している。

近年では、重要設備の長周期に亘る傾向管理や定量的な

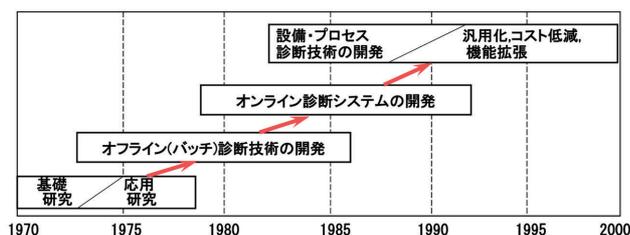


図1 設備診断技術の変遷

点検の補助として固定式のオンライン診断システムを開発し、適用設備も増やし、機能拡大も進めてきた。最近では、連続鋳造ロールなど、診断が難しいとされていた低速回転機械の診断を可能とする音響診断技術も実用化した²⁾が、これも機能拡大の一つである。これらの設備診断技術の高度化のステップを図1に示す³⁾。

なお、ここに紹介した多機能診断器やオンライン診断システムは社内外に普及し、(社)日本プラントメンテナンス協会のTPM優秀商品賞を獲得している。

ところで現在、一貫製鉄所の建設から40年が経過し、屋外鋼構造体の腐食などの長周期劣化が顕在化している。そこで、最新の測量技術や非破壊検査技術を応用した効率的な老朽診断方法も導入している。たとえば、屋外のベルトコンベヤ架構、移動機械などの部材のたわみを三次元レーザースキャン技術で計測し、動作精度確保や劣化診断に用いている。三次元レーザースキャン技術とFEMを組合せて、腐食減肉した構造部材の耐力を迅速に診断し、補修部位や老朽更新の優先順位を決定するなどの技術も実用化し多くの構造物や屋外機械に適用した。

今後は、製鉄所の特徴である広い範囲に散在する箇所に携帯通信や低消費電力無線、エネルギーハーベストを組合せ進化させた自律型オンライン診断システムを構築すれば、工事コストを抑えながら、ユビキタス保全情報管理も行えるようになる。また診断システムが点検・保全要員の邪魔をしないように、自らのシステムやセンサーの状態を自己

* 設備・保全技術センター 機械技術部長 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

判定しながら稼働する技術の実用化も進めている。

3. 長寿命化技術の発展と今後の動向

3.1 長寿命化技術

製鉄設備に用いるロールをはじめとする主要部品や、粉体流れにさらされる各種部材において、摩耗や熱亀裂、腐食などの損耗が激しく、機能保持やコストが長年の課題となっていた。

こうした損耗の対策として、腐食に対しては、耐食鋼やチタンの適用、摩耗に対してはセラミックスなどのバルク材も適用を進めてきたが、摩耗や熱影響は部材の表面から始まることから、表面を改質する肉盛、溶射、めっきなどの表面被覆技術と表面加工技術も、経済的に部品の長寿命化を果すための有利な手段といえる。そこで、このような表面改質技術を製鉄設備に適用し、進歩、高度化させてきた³⁾。

たとえば溶射技術の分野では、図2に示すように関連の各種シーズ技術をいち早く導入し、製鉄設備への適用開発を進めてきた。

高温、高圧、高負荷などが非定常にかかる過酷な製鉄設備の環境に対応する固有技術が必要であったため、当社では溶射原料や溶射プロセスそのものを当社と日鉄ハード(株)などの専門メーカーと共同で開発してきた。

溶射は多くの方式が提案されてきたが、製鉄設備用として高速ガス溶射技術を中心として実用化した。近年では、さらに耐久性を向上させるため溶射皮膜の機能を部材本体の設計に反映する技術改善にも重点をおいた取組みを進めている。

図3、4は高硬度WC-Co溶射を焼結メインブロウ回転翼に適用した例⁴⁾である。焼結機の稼働率向上のため、大修繕周期律速となるブロウの補修周期を極限まで長くした例である。大型ブロウは溶射面に撓みが生じやすく、皮膜の割れ、剥離など信頼性確保が難しいが、溶射面残留応力の最適化やランナー剛性設計の適正化、溶射施工の自動化によって、一般的な皮膜の2倍に厚膜化する技術を開発

		1985	1990	1995	2000
取り組みの視点	設備長寿命化 ・メンテナンス削減				
	設備高機能(高耐用)化・メンテナンスフリー化				
主な溶射等表面被覆技術の導入時期		◆P.T.A(粉体フラマ溶接) ▲ターボ溶射 -SEA溶射	◆D-gun ◆CVD,PVD ◆HVOF		◇高効率HVOF
主な適用対象設備	製鉄 ・製鋼	○ブロウ	○ボイラチューブ&7-ドなど		◎ブロウ(高耐久化)
	熱延		○熱延プロセスロール ○プロセス刃物		
	冷延		○ハースロール		
	・メッキ		○通板ロール(グライドローラ)など		
			○シンクロール		

図2 主な溶射技術の導入時期と適用対象

し、修繕周期を2年弱から4年以上に向上するなど、画期的な効果を収めた。

以上の溶射のほか、溶接肉盛材料の開発にも取り組んでいる。その事例として連続鋳造設備のセグメントロールの寿命改善があげられる。

連続鋳造ロールでは、熱亀裂や摩耗、腐食によって交換されたロールを再生する際、ロール表面の耐久性向上を狙って耐食性がありながらも熱亀裂が比較的少ない13Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼の溶接肉盛が広く導入されてきた。これにより、セグメントの交換周期が伸びるとともに、寿命ネックがロール自体の損耗から軸受へと変化した。

その後はさらに操業条件の変化に伴い、ロール表面のより高い耐久性が求められるようになったため、耐食性を重視する部位には高合金系溶接肉盛、耐熱亀裂性用途には微細亀裂を分散させて発生できる自溶性合金溶射を開発、適用している。図5は開発されてきた肉盛材料の変遷を示す。なお、これらに併せてロール表面形状の最適化等にも取り組み、FEM解析などで熱応力緩和策を検討している。

過酷な環境にさらされる製鉄設備を安定稼働させていくために、長寿命化技術開発は、一層、重要なものになって

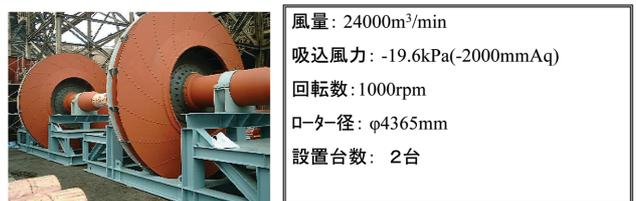


図3 WC-Co サーメット溶射 焼結メインブロウ

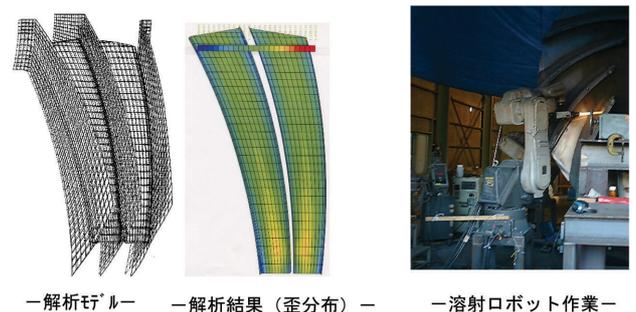


図4 翼の剛性評価・溶射施工の自動化

		1970~	1980~	1990~	2000~	2010~
サブマージ溶接	13Cr-Ni系溶接肉盛		◇ロール再生(耐食・耐熱亀裂性ハラスする組成)			
	Cr-Ni系ステンレス系溶接肉盛		◇鑄造ハダゲ対応	※耐食性向上		
溶射	13Cr-Ni系溶接肉盛		◇マシンタイプ操業対応	※表面硬質皮膜による亀裂分散で耐熱亀裂性向上		
粉体フラスマ溶接	高合金系溶接肉盛				※高温強度・耐食性向上	

図5 連続鋳造セグメントロール肉盛材料の変遷

きており、上記のように、設備劣化の定量的な診断技術や材料の進歩を、設備設計に盛り込み、診断、材料、工法、設計においてトータルで最適な設備を作り上げる取組みを今後も更に推進してゆく。

3.2 板道部材コーティング技術

セラミックス等の材料とコーティング技術は、日進月歩の世界であり、上記のように製鉄機械に相応しい材料および成膜技術がいち早く開発適用され、機械の長寿命化および高機能化に多く寄与してきた。

銅板搬送ロール等の板道部材においては、製鉄設備用の大型部品はセラミックスのみでは製作困難であり、表面をセラミックスまたはサーメットからなる溶射皮膜で被覆し、強度および靱性等は金属母材でもたせることが実用的であり、コーティング技術が実用化のキーテクノロジーである。このため1980年代から実機使用条件に合った溶射皮膜の応用開発が進み、広く使用されている。

3.2.1 板道部材用溶射技術の動向

溶射には、ガス溶射、自溶性合金溶射、プラズマ溶射等、多くの方法がある。更に、原料粉末の投射スピードが速く、より緻密な皮膜を形成することができる高速ガス溶射(HVOF)が1980年代に開発されて以降は、HVOFにより成膜した皮膜が板道部材に多く使用されている。

また、近年では、より高速での投射を目指して開発が進められており、例えば、コールドスプレーのようにマッハ2～3程度の高速で投射する技術も開発されている(図6参照)⁵⁾。

以下、当社において製鉄機械用の板道部材に溶射皮膜を適用した代表例として、連続焼鈍炉ハースロールおよび溶融亜鉛めっき機ポットロールの皮膜の最新開発動向について紹介する。

3.2.2 連続焼鈍炉ハースロール

C.A.P.L.[®]、CGLの連続焼鈍炉は縦型で、高温かつ還元雰囲気下でハースロールにより銅板が搬送される。炉内で

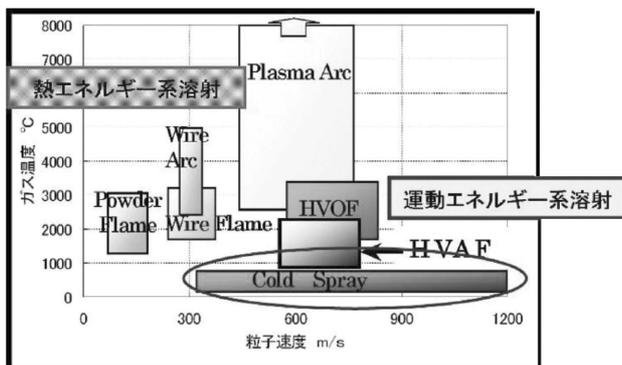


図6 各種溶射法の作動ガス温度と粒子速度

は、圧延工程で生じた鉄粉または銅板表面酸化層が還元により活性化し、鉄及び鉄酸化物がロール表面皮膜と反応または凝着し、成長した鉄系のビルドアップが生じることがある。ロール表面に生じたビルドアップは銅板の押し疵の原因となり品質低下をもたらす。この対策としてこれまでには主に、酸化物セラミックスと耐熱合金からなるサーメット皮膜を多く使用してきた。

しかし、近年では鉄以外の元素のビルドアップによる被害も増加している。

このため従来の酸化物セラミックスに代えて、材料の選択肢を広範にするために、単独では緻密に成膜できない材料でも原料粉末の段階でセラミックス粒子の周囲に酸化物を分散する技術を開発し、緻密で高温で長時間使用しても皮膜劣化がなく、かつビルドアップも抑性可能なサーメット皮膜を日鉄ハード(株)など溶射メーカーと共同で実用化した。

3.2.3 溶融亜鉛めっきポットロール

CGLでは、銅帯は焼鈍炉からスナウトを介して亜鉛めっき浴中に送り込まれ、浴内でシンクロールにより上向きに方向転換され、サポートロールにより反り矯正された後、浴外でワイピングノズルにより亜鉛めっき付着量を調整される。

めっき浴では、銅帯から溶出した鉄が、めっき浴成分である亜鉛およびアルミニウムとそれぞれ結合してドロスを生成する。これらドロスはシンクロールおよびサポートロール(以下浴中ロールと表す)に巻きつきやすく、銅帯表面にスリップ疵、押し疵等を付け、品質低下の原因となる。

図7は浴中ロール表面の溶射皮膜上に発生した鉄-アルミニウム系ドロスである。この図から、皮膜表面に発生したドロスが成長しつつある様子が確認できる。

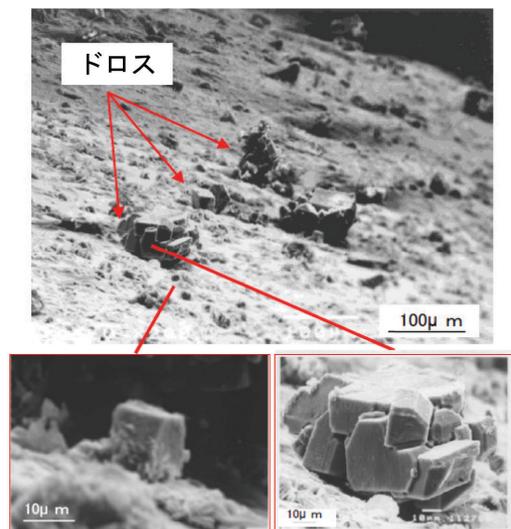


図7 CGL浴中ロール表面のドロス像

これらドロスの付着抑制のため浴中ロール表面の皮膜には、亜鉛への耐食性に加えてドロスが発生または付着しにくい性質、更には付着しても取れやすい性質が要求され、更なる溶射皮膜の開発に取り組んでいるところである。

4. まとめ

以上、紹介してきたように、機械技術の分野において設備の高稼働化、品質高度化などのニーズに応じて、自社開発あるいはグループ企業をパートナーとした材料技術や溶射技術など要素技術の開発と現場への適用を進めて成果を収め、設備技術の発展の一翼を担ってきた。今後もニーズ

やシーズ技術の動向を的確に把握しながら、更なる発展を目指して取り組む所存である。

参考文献

- 1) 豊田利夫:回転機械診断の進め方. JIPMソリューション, 1991
- 2) 村山恒実, 中嶋智, 永井裕和, 山本豊樹:新日鉄技報. (362), 71 (1997)
- 3) 龍田昭一, 佐藤信治, 津村康浩, 沢雅明, 大堀潤二:ふえらむ. 1 (9), 715 (1996)
- 4) 石森裕一, 四阿佳昭:材料とプロセス. 17 (2), 234 (2004)
- 5) 榊和彦:軽金属. 56 (7), 376 (2006)



大石直樹 Naoki Oishi
設備・保全技術センター
機械技術部長
千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511



和田和実 Kazumichi WADA
設備・保全技術センター
機械技術部 機械保全技術グループ
マネジャー



四阿佳昭 Yoshiaki SHIA
設備・保全技術センター
機械技術部 機械保全技術グループリーダー



石森裕一 Yuichi ISHIMORI
設備・保全技術センター
機械技術部 機械保全技術グループ
マネジャー



栗栖 泰 Yasushi KURISU
設備・保全技術センター
機械技術部 機械技術研究グループ
主任研究員