

技術解説

計測・制御・システム技術開発の歩みと今後の展望

Development of System Control Technology

橋 爪 健 次*
Kenji HASHIZUME
杉 浦 雅 人
Masato SUGIURA

佐々木 純
Jun SASAKI
大 下 功
Isao OHSHITA

下 井 辰 一 郎
Shinichiroh SHIMOI
小 林 敬 和
Hirokazu KOBAYASHI
住 田 伸 夫
Nobuo SUMIDA

1. はじめに

グローバルな大競争時代にあつて、中国に代表される新興国の台頭、急激な原料価格の高騰、さらには地球環境負荷への配慮など鉄鋼製造現場を取り巻く環境は厳しさを増しており、高品質製品を高精度、高品質、高効率に供給するためにシステム制御技術、即ち“計測・制御・システム技術”の果たすべき役割はますます重要になって来ている。本稿では、以上の背景を踏まえ、これまでのシステム制御技術の動向を振り返りつつ、最新の技術について紹介する。

2. 計測・制御・システム分野の技術展開

鉄鋼製造はその過程において物理的／化学的／熱力学的／冶金的な変化が混在、相互干渉しながら進んで行くため、非常に複雑なダイナミクスを持ったプロセスであり、また高温、高圧、多塵という厳しい環境にシステム制御技術を適合させなければならない。

このように時々刻々と状態変化する物体を悪環境下で数十μm、ppmオーダーでの製造精度を確保しつつ、数万t/dayという鋼材の安定・大量生産を実現するために、新日本製鐵では早くから高精度計測と制御理論や物理モデル計算を取り入れた自動制御が導入されて来た(図1)。

この30年では、1980年代以降、多様化するユーザーへの対応、省エネルギー化、一層のコストダウンが求められるようになった。これに対応するために計測技術は点から面、立体へと多次元化し高精度な計測技術を開発する

とともに、大量の計測情報を分かりやすく表示する“可視化技術”も実現している。また、制御技術では個別の機器制御から品質造込みを狙ったプロセス制御へ、さらには物流、スケジュールまでを考慮した広範囲の最適化制御を開発してきた。

ここ数年では、これら理論面での高度化を追求する一方、ベテランオペレータの大量退職を見据え、作業者の負荷軽減、さらなる効率向上のために“人”に視点を置いた新しい操業支援の開発、実用化も進めている。

システム技術面では、当社は早くからソフトウェアの自製技術の確立に取組み、1990年代の計算機の汎用装置化と相まってシステム構築そのものの自製化を推進している。最近では、30年前に大量導入したメーカ製システムを汎用システムに効率的に置き換える技術や電気・計装制御装置を含むプロセス制御全体システムのソフトウェア自製化技術の確立へと拡大、高度化を進めている。

以降では、計測・制御・計算機技術の最近の主要技術動向について紹介する。

3. コークス炉診断技術

高温計測技術を活用して設備実機化を行った例として、コークス炉炭化室診断装置を紹介する。国内鉄鋼業のコークス炉の多くは高度経済成長期に建設されたため老朽化が進行しているが、炭化室の押し出し不良等の生産障害を低減してコークス炉の長寿命化を図るには、炭化室炉壁の損傷診断が必要となる。しかし炭化室は内部が常時1000℃の高温に維持され、加えて、長さが16m、高さが6mあるのに対して幅が僅か0.4mと狭いため、計測装置にとって極めて過酷な観察対象である。

新日本製鐵は、水冷構造のプローブを炭化室に挿入して炉壁の熱画像を撮像すると同時にレーザー計測で3次元プロフィールを得る耐熱診断装置を開発して実用化した^{1,2)}。図2に示す構造の装置で、ラインCCDカメラを奥行き方向にスキャンして2次元画像を生成する。損傷部の凹凸形

	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
経営環境	生産量拡大	省エネ・合理化	多品種少量生産	極限省力化	高品質・世代交代
計測	点観測・間欠測定	非接触測定	高速デジタル処理	多次元化、大量データ解析	
制御	データロガ	個別制御	品質造込み制御	総合自動制御	最適化制御
システム		メーカ独自計算機		オープン化	汎用化

図1 システム制御技術の変遷

* 設備・保全技術センター システム制御技術部長 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

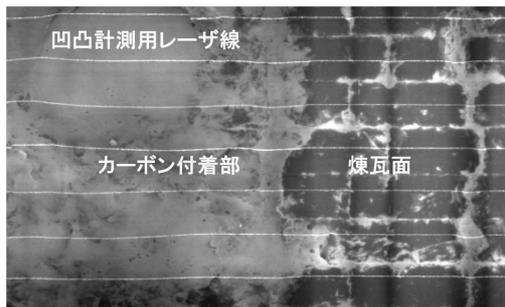
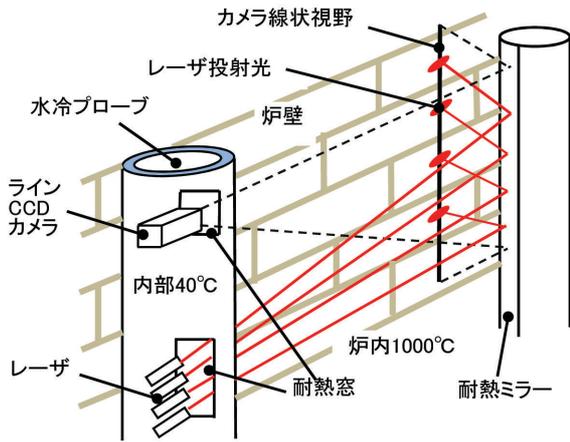


図2 炉壁診断装置の構造(上)と炉壁画像例(下)

状は、カメラの線状視野に斜め下から複数のレーザ光を投射して計測する。画像上のレーザ像は水平方向の線として観察され、炉壁に凹凸が存在すると光切断法の原理でレーザ線が上下に変位する。

この診断装置は、窯口からの目視に頼っていた炉壁損傷診断を飛躍的に向上させた。同時に開発した補修装置と組み合わせた炉体保守体制を確立し、コークス炉の稼働年数の延長に貢献している。本開発は、2008年度大河内記念生産賞⁹⁾および2010年度文部科学大臣発明賞⁴⁾を受賞した。

4. IT 操業支援技術

新日本製鐵における鉄鋼製造ラインの自動制御技術は、産業界でもトップレベルと考えられるが、安定製造の為には未だ操業オペレータや設備整備技術者のノウハウに負うところが大きい。しかし、省力化やベテラン層の大量退職(2007年問題)といった経緯から、製造現場では少人数化が進み、経験の浅いオペレータ比率が高くなってきている。このような状況下で懸念される様々な問題に対処すべく、ITを活用した支援技術の開発、実機化に取り組んできた。以下に例を示す⁹⁾。なお、本件は2007年日経ものづくり大賞を受賞している。

(1) IT野帳システム：本システムの構築を支える基盤技術の例を図3に示す。①耐騒音型モバイル音声認識技術、②計器ワイヤレス化技術、③電子ペン応用技術といった基盤技術を、対象業務や目的に応じて選択または組み合わせ



図3 IT操業支援技術の構成

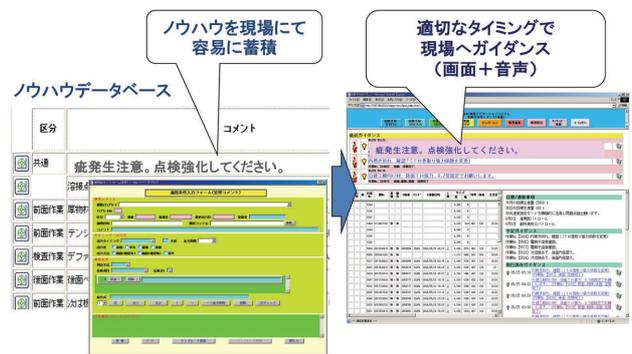


図4 操業ナビゲーションの概要

せることにより、寸法測定や公差チェック、現品照合、疵記録、作業記録等の作業支援が可能となる。

(2) 操業ナビゲーションシステム：本システムの特徴は、熟練者が製造条件・状況に応じて注意ポイントやアクションを判断する際のルールを、形式知としてデータベースに登録でき、ガイダンスに反映できる点である(図4参照)。操業中、本システムは製造条件やトラッキング状況に応じて、適切なアクション指示を選択し、適時、画面や音声で操業オペレータに伝達する。ガイダンスルールの追加、改編にあたっては、プログラムの専門家でなくとも、容易にオペレーション可能な登録画面を備え、テキストメッセージだけでなく関連する電子ファイルもリンク可能としている。導入工場では、日々の操業改善ツールとして使用され、注意、指示の伝達不備が起因するような製造トラブルの未然防止につながっている。

5. 原料一貫物流最適化

新日本製鐵の最適化技術を適用した実機化の例として、原料物流の一貫最適計画システムについて紹介する。当社が消費する膨大な量の鉄鉱石、石炭の輸送においては、物流整流化とともにコスト削減と品質を両立した生産計画立案が重要な課題である。従来は人が経験に基づいたルール

で計画立案する事が一般的であり、システム化を行った場合でも各工程単独の個別最適化に止まっていた⁹⁾。しかし近年の高性能計算機を用いた数理計画技術により、原料物流全体を一貫最適化しながら原料需給管理に関する情報を本社～積地～使用実績（製鉄所）まで一元管理出来るシステム⁷⁾を開発した（図5）。

図5より一例として揚地配船計画の最適化システムを説明する。輸送期間が短い中国等からの原料と、輸送が長いブラジル等からの原料が混在する計画では、半年程度先の計画と同時に、揚地バースでの船舶の動静には1時間単位精度（現状）の管理が要求されている。開発したシステムでは、これら多様な条件を考慮して求解する為に、在庫切れを抑制しながら荷揚すべき銘柄、荷揚量等を大枠で日単位精度で長期的に決定する階層と、この決定結果を固定情報として着岸バース、出入港タイミング等詳細を1時間精度で最適化する階層型システムを実現した。さらに立案期間を時間軸にて分割し、期間の早い部分のみ確定させ、シミュレータを組み合わせて時間を進める手法を開発した。階層型の数理計画法とシミュレータを組み合わせて時間分割を繰り返す本独自開発手法（図6）により、実操業に耐えうる性能を得ながら、実時間で解を求めることを可能とした⁸⁾。

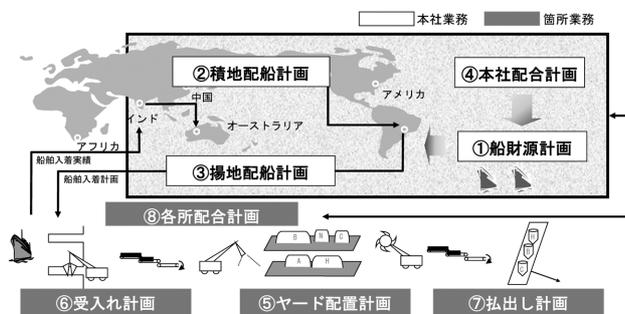


図5 製鉄工程に関連する物流計画対象

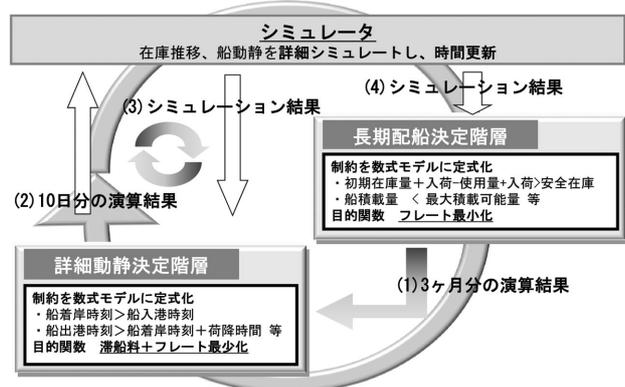


図6 時分割繰り返し型最適化機能構成概念図

6. オープンシステム技術とソフトウェア自製の推進

新日本製鐵では、プロセス制御用コンピュータ（以下プロコン）の分野でも抜本的コスト削減を狙いとして、パーソナルコンピュータ等のオープンシステムの適用が1990年代より始まった。秒オーダーの応答性と24時間連続運転に耐えうる信頼性を確保するために、制御用ミドルウェア（NS Semi System[®]*1）を自社開発し、一号機として1997年に君津製鐵所第5連続鑄造機に、Windows-NT PCサーバを鉄鋼プロセス基幹制御に世界初適用を達成した⁹⁾。また2001年君津製鐵所第3高炉改修にて、先進的なLinuxとリレーショナルデータベースを世界初適用した¹⁰⁾。2003年には大型スクリーンによる高炉プラントのEIC全運転統合の実現を、オープンシステムで安価に実現し、2003日経デジタル・エンジニアリングシステム最優秀賞を受賞した（図7）。HMI（Human Machine Interface）はインターネット技術を応用したWebベースで構築し、鉄鋼制御向けに様々な表示設定部品を開発し、遠隔での監視も可能である。

2011年時点では、最も大規模な熱間圧延プロコンもオープンシステムで構築しており、図8に示すようにほぼ全プロコン領域をカバーしている¹¹⁾。現在プロコンは全社で約800台、そのうち2/3がオープン系に更新され、重



図7 君津製鐵所第4高炉への最新IT技術適用

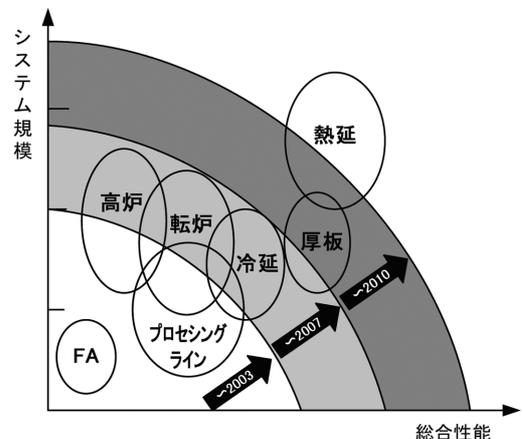


図8 オープン系システム適用プロセスの拡大

*1 NS SEMI SYSTEMは、新日本製鐵(株)の日本における登録商標

電プロコンは老朽化が進行し、トラブル発生頻度が多くなる一方、オープン系のトラブルは、2006年よりネットワークを主対象としてシステム診断ツール等の支援機能の開発、実機普及化により、発生頻度は減少傾向にある¹²⁾。

プロコンアプリケーションソフトウェア（以下APソフト）の特徴としては、①大規模（数十～数百kstep）で、②多様な処理（数式／伝送／データ編集）、③高信頼性／高レスポンスが要求される。1980年代より①制御・操業ノウハウの他社流出防止、②建設案件費用の低減、③制御／操業改善の迅速化を狙いとして、APソフトの全自製化を行っている。

2004年より既設稼働中のAPソフト資産の有効活用による設備投資ミニマムを狙った言語コンバータを開発し、2005年よりシステム老朽更新案件において新規開発システムと稼働中システムの動作を比較することによりトラブルを未然に防ぐパラランツールも開発し、既存の大規模な重電熱間圧延プロコンシステムの老朽更新やオープン化後の更新も、生産性の向上と円滑な立上げを実現している¹³⁾。

電気計装のソフトウェア自製化も、汎用コントローラの高性能化、標準言語（IEC61131-3）の進展に伴い、操業ノウハウの秘匿化、マルチベンダ化による安価調達の実現、ソフトウェア生産性向上による制作費の安価化を狙いとして、2000年代より着手した。電気ソフトウェア設計製作支援機能（E-CASE）での①鉄鋼プラント用ソフトウェア部品の開発により、ソフトウェアの再利用率と可読性を向上させ、②部品の組合せで方案を表現することで、運転方案とソフトウェアの対応付けの明確化、③機器リスト設計支援ツールの開発により機器リスト、I/O変数の作成ミスや負荷削減を達成した。

またバーチャル試運転システムでの①仮想プラント画面の開発、②厳密に機電連動動作の確認やサイクルタイムの検証が可能で、高精度の物理現象がシミュレートできるプラントシミュレータの開発により、制御ロジックの検証とPI等の制御ゲインの粗調整といった実機試運転とほぼ同等の事前検証が可能となり、実機試運転時に顕在化するソフトウェア不具合、及び運転方案の不具合を事前に解消することで、ソフトウェア品質向上、現地試運転休止日数最小化、オペレータ事前習熟による垂直立上を実現している¹⁴⁾。

7. まとめ

新日本製鐵におけるシステム制御技術高度化は、省CO₂と省資源の社会的ニーズに対応し、また、グローバルな顧客のニーズに応える鉄鋼新製品の開発に伴って、今後ますます加速して行かなければならない。そのためには、個別技術の高度化とともに様々な要素技術を融合した新しいシステム概念の構築が必要になると思われる。IT操業支援はその一端であると考えている。

また、システム制御技術の基盤とも言える計算機技術の進展は目覚ましく、近く集積度の限界から頭打ちを迎えると予測されていたCPU性能の伸びもマルチコア化により新たな成長のトレンドを描き始めたことから、今後ますます高性能・大容量化が進むであろう。この無限とも思われる計算機リソースを最大限に計測・制御・システム分野に利用し、生産性・品質向上、コスト削減を果たす事が、システム制御関連技術者・研究者に与えられた使命である。

参考文献

- 1) 杉浦雅人, 境田道隆, 藤懸洋一: 計測自動制御学会第26回センシングフォーラム資料. 2009, p.165
- 2) 杉浦雅人, 入江敬介, 境田道隆, 藤懸洋一: 計測自動制御学会第27回センシングフォーラム資料. 2010, p.343
- 3) (財)大河内記念会編: 第55回大河内賞受賞業績. 2009, p.98
- 4) (社)発明協会: 平成22年度全国発明表彰受賞者功績概要. 2010, p.10
- 5) 山下英隆: 日本鉄鋼協会, 第59回白石記念講座. 2007, p.95
- 6) 小西正躬: 鉄と鋼. 90 (11), 964 (2004)
- 7) 小林敬和, 斎藤元治, 屋地靖人, 鈴木豊: ふえらむ. 16 (3), 166 (2011)
- 8) 小林敬和, 屋地靖人, 斎藤元治, 松岡純一, 岡西和也: 材料とプロセス. 20 (5), 957 (2007)
- 9) 住田伸夫, 上之俊昭: 新日鉄技報. (379), 7 (2003)
- 10) 下井辰一郎, 宮崎裕之, 住田伸夫: 新日鉄技報. (379), 14 (2003)
- 11) 住田伸夫: 日本鉄鋼協会, 制御技術部会. (137), 2007, p.1-8
- 12) 住田伸夫: 計測自動制御学会 自律分散システム特集号. 4 (6), 35 (2005)
- 13) 須山隆史: 日本鉄鋼協会, 制御技術部会. (135), 2006, p.2-3
- 14) 堤泰伸: 日本鉄鋼協会, 制御技術部会. (138), 2007, p.1-5



橋爪健次 Kenji HASHIZUME
設備・保全技術センター
システム制御技術部長
千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511



杉浦雅人 Masato SUGIURA
プロセス研究開発センター
計測・制御研究開発部 主幹研究員



佐々木 純 Jun SASAKI
プロセス研究開発センター
計測・制御研究開発部長
工博



大下 功 Isao OHSHITA
設備・保全技術センター
システム制御技術部
システム制御開発グループ マネジャー



下井辰一郎 Shinichiroh SHIMOI
設備・保全技術センター
システム制御技術部
システム制御開発グループリーダー



小林敬和 Hirokazu KOBAYASHI
プロセス研究開発センター
計測・制御研究開発部 主任研究員



住田伸夫 Nobuo SUMIDA
設備・保全技術センター
システム制御技術部
システム制御開発グループ マネジャー