

技術展望

製鉄設備におけるシステム・計測制御技術の進歩と展望

Development of Systems, Instrumentation and Control Technologies for Steel-making Processes

吉 沢 一 郎*
Ichiro YOSHIZAWA

中 川 繁 政
Shigemasa NAKAGAWA

抄 録

高品質で効率的な鉄づくりを実現するには、計算機を利用したシステム・計測制御技術が必要不可欠であり、新日鐵住金(株)においては半世紀に及ぶ製造現場での計算機適用経験に基づき、現在も様々な技術開発に取り組んでいる。計算機の進化と共に歩んできた製鉄設備への計算機応用について、システム・計測制御技術の各々の側面で過去から足元まで概観すると共に、最新の計算機技術進展を踏まえた今後の展望見通しについて述べた。

Abstract

The systems, instrumentation and control technologies, reinforced by computers, are critical to realize high quality and efficient steel-making processes. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation is consistently developing various technologies, utilizing about a-half-century-long experience of computer applications on manufacturing sites. In this article, the computer applications of steel-making processes, in the aspects of systems, instrumentation and control technologies, walking together with computer evolution, are generally viewed through the history. The perspectives, inspired by emerging brand-new computer technologies, are also described.

1. 緒 言

世界経済が成熟するにつれ、世界各国で新しい製鉄設備の建設が進んでいる。日本の製鉄設備は主に戦後の高度経済成長期に建設され、既に40年以上稼働した設備も多いが、生産性、品質、納期などあらゆる面において各国の新鋭設備との競争に耐える製造実力を備えておかなければならない。これを実現するためのツールとなる鉄鋼製造プロセスを稼働させるシステム制御技術、鉄鋼製品品質及びプロセス状態の計測技術、そしてそれらを最適に制御するための制御技術は着実に進化を遂げてきた。

鉄鋼大手各社では1960年代に近代的管理手法の急発展と呼応し計算機活用が活発化したが¹⁾、間もなく製造現場で電気・計装制御装置を組み合わせた3階層の生産制御システム(図1)の原型が作り上げられ、1968年にはオンラインリアルタイムによる一貫生産管理を確立した君津製鉄所が操業を開始した²⁾。その後、計算機の演算処理速度や通信回線の高速化、データ蓄積量の大容量化と、関連装置技術でのデジタル化進展やソフトウェア技術の進化に伴い、

多種多様な機能を計算機へ実装することで鉄鋼製造プロセスの高機能化を実現してきた。

本稿ではこれまで新日鐵住金(株)が開発及び導入してきたシステム・計測制御技術の動向を振り返りつつ、インダストリー4.0^{*1}時代を迎えた今後の展望について述べる。

2. 鉄鋼設備におけるシステム制御技術の進歩

2.1 制御用計算機の導入拡大

大規模・大量生産を特徴とする鉄鋼設備では、特有の操業の複雑さと取り扱う物量の大きさから、古くより最新技術導入による効率化、最適化が積極的に行われてきた。特に現場で24時間リアルタイム稼働を求められる制御用計算機(プロセスコンピュータ)、いわゆるプロコン技術が確立した1970年代には、上位計算機で計画した生産スケジュールに基づく設定値の自動演算や現場データの自動採取による品質管理など、既にFA(Factory Automation)、CIM(Computer Integrated Manufacturing)の概念が多くの現

^{*1} 第4次産業革命とも言う。2011年にドイツ政府が提唱。

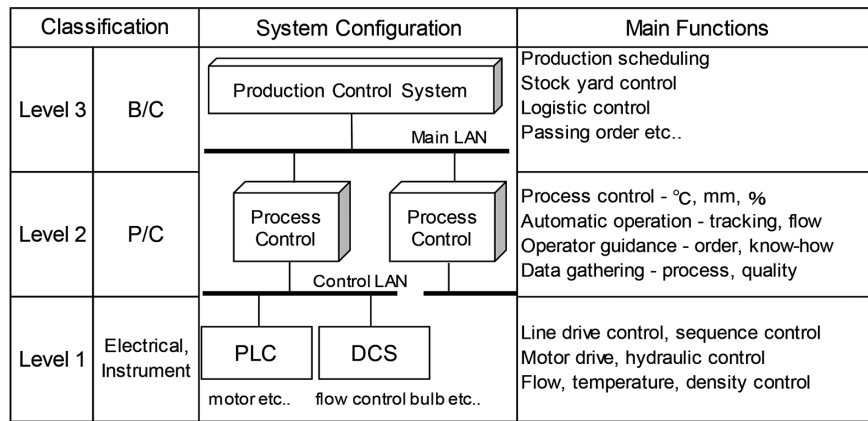


図1 鉄鋼製造プロセスの生産制御システムアーキテクチャ
Control system architecture of steel production process

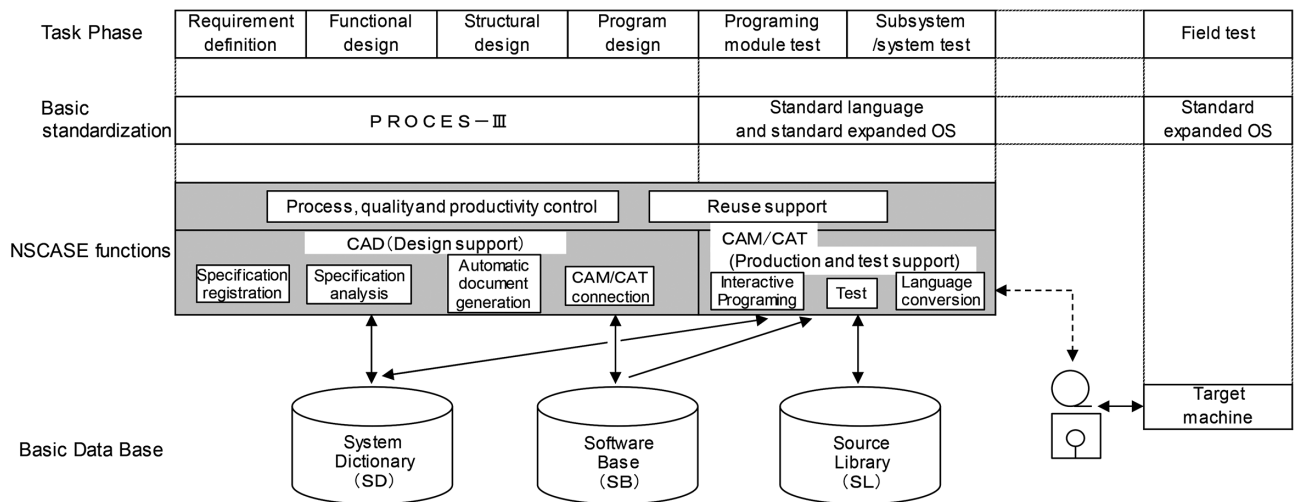


図2 NSCASE 機能構成図
Functional configuration of NSCASE

場で現実となり、それらを支える制御用計算機のソフトウェア量は増加の一途であった。

そのような背景の元、新日鐵住金の競争力となる鉄鋼製品品質を決める要は制御用計算機ソフトウェアそのものであると認識し、1980年代にソフトウェア生産支援ツールであるNSCASE (Nippon Steel Computer Aided Software Engineering System)を開発³⁾(図2)、ソフトウェアを効率的に生産する社内体制を構築した。更に1980年代後半、それまで培った計算機利用技術知見から得た、拡張性、統合性や互換性、オープン化といった独自コンセプトの産業用コンピュータを開発⁴⁾、社内のみならずエレクトロニクス・情報通信事業 (EI 事業)^{*2}の商品 (写真1)としてCASEと組み合わせたシステム外販にも取り組んだ。このようにハードウェア・ソフトウェア両面の社内生産体制が確立した1990年代には実に様々な制御アプリケーションが社内で次々と導入されていった。



写真1 新日本製鐵 (当時) 製 FA コンピュータ機器システム
FA computer system products released by Nippon Steel Corporation in 1980s

2.2 制御用計算機の利用範囲の拡大

1970年代の制御用計算機は、上位の生産管理と下位の制御装置の間で上位指令から下位への自動設定、下位の現場プロセスデータの上位への蓄積を基本機能としていた。一方、計算機の演算能力拡大と共に従来アナログアンプで行っていた各種ダイナミック制御への応用ニーズが高まり、

*2 後に現在の新日鐵住金ソリューションズ(株)へ統合

1980～90年代には当時盛んに研究されていた現代制御理論を応用したデジタル制御技術の実装が拡大、連続焼鈍処理設備(C.A.P.L.)における板温制御など革新プロセス実現を支え、熱間圧延(以下、熱延)及び転炉での最適制御や冷間圧延(以下、冷延)でのファジィ制御の適用も進んだ⁵⁻⁷⁾。更に1980年代後半からの第2次AI(Artificial Intelligence)ブームでは、知識工学を用いたエキスパートシステムによる操業支援やニューラルネットワークを応用した異常予知など、新しいコンセプトでオペレータを支援する技術が開いた⁸⁻¹⁰⁾。

電気・計装制御装置のデジタル化は、当初リレー等の部品点数削減による安価化、故障削減や、アナログアンプに付随するドリフトやノイズによる制御精度維持など主に保守管理面のニーズが主体であったが、演算速度やデータ容量の向上に伴い、新しい制御方式やそれを実現する言語の開発も進んでいった¹¹⁾。これにより電気(E)、計装(I)、計算機(C)の機能領域が次第に重なるようになり、1980年代半ばにはEIC統合システムという概念が生まれ、1980年代後半にはシングルベンダでのEIC統合システムが、1990年代前半にはマルチベンダでのEIC統合システムが実現された^{6, 12)}。この統合システムの利用により、EICはそれぞれの言語及び計算方式に応じてむしろ機能分担が進むこととなり、2000年代にEICは再び独自技術に特化した装置へと向かうこととなったが、インターネット時代に確立したEthernet等の汎用通信ネットワークを通じて相互に容易に密結合できるシステムへと進化を遂げた。

2.3 システム制御装置への汎用技術の浸透

計算機の進化は演算能力の向上から次第に小型化、安価化に向かい、1990年代後半には家庭でも高性能なパーソナルコンピュータ(PC)を扱える時代になった。基本ソフトウェアのOS(Operating System)としてWindows^{®*3}やLinux^{®*4}が登場したこの頃、新日鐵住金では計算機ハードウェア製造からオープン系システム活用へと舵が切られた。汎用PCでの24時間稼働や秒オーダーの応答性実現とベンダ毎のハードウェア・OS差の吸収を目的にNSCASEを更に拡張して制御用ミドルウェア(NS SEMI SYSTEM^{®*5})を開発¹³⁾、1997年にWindows-NT PCサーバを君津の連続铸造設備制御へ、2001年にLinuxサーバを君津の高炉制御へそれぞれ初適用するなど、着実にオープン系システムの適用拡大が進み、現在ほぼ全プロセス領域で適用可能となっている(図3)¹⁴⁾。

また電気・計装制御装置においても汎用化の流れが生まれた。主に鉄鋼プロセス電気制御用に開発され数値演算を得意とするPLC(Programmable Logic Controller)と一般産

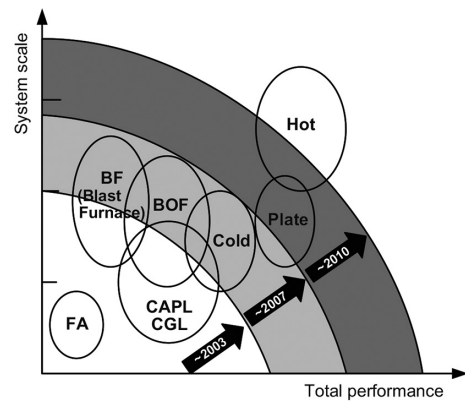


図3 オープン系システム適用プロセスの拡大
Expansion of open system applied process

業用途向け汎用シーケンサの能力は、2000年代には演算速度、データ容量の面で遜色無くなり、実質的な差はソフトウェア生産性と保守性になっていた。新日鐵住金が開発したIEC61131-3言語をベースとした電気PLCソフトウェア設計製作技術(E-CASE)¹⁵⁾はこの問題を解決し、更にモデル部品の充実化とPC内で構築できるバーチャル試運転機能の実現¹⁶⁾により、汎用シーケンサを用いた電気制御装置が鉄鋼プラントに次々に適用されていった。加えて計装制御機能が備わった電気の汎用シーケンサに計装用CASEを適用することで、計装コントローラ領域への汎用制御装置の適用も拡大しつつある。

モーター駆動制御装置においても、ポンプやファンの可変速駆動に用いられていた汎用装置へ、従来圧延機やプロセス制御向けに開発された高性能交流可変速システム^{12, 17)}の機能が実装されるようになった。これによりプロセスラインや調質圧延モーターへの適用が可能となり、近年、八幡製鉄所で全モーターを汎用装置で駆動する溶融亜鉛めっきライン(CGL)が稼働を開始した¹⁸⁾。

2.4 新しい技術の応用期

2000年代にはスマートフォンをはじめとする様々なIT(Information Technology)応用機器が生活の中で当たり前のように用いられるようになり、ゲームやウェブ市場の広がりは高速演算処理装置やオープンソフトウェア技術の出現を促してきた。この時代、このような新技術を製鉄プロセス製造現場へ応用し新たな価値を創造する“ソリューション技術展開”が積極的に行われた。

情報を製造現場で容易に扱えるようになったことにより、従来紙で行われていた細かな指示を全て電子化し必要な時に提示すると共にノウハウ情報として蓄積する“操業ナビゲーション”¹⁴⁾(図4)、測定値や声を自動認識して記録するデバイス技術¹⁹⁾、2次元バーコードや画像を用いた個体認識技術、大量の数値データを大画面で3次元立体表現する表示技術²⁰⁾(図5)、大規模データから傾向や因果関係を解析しリアルタイムフィードバックを行うデータ駆動型の制

*3 Windows は、Microsoft Corporation の登録商標

*4 Linux は、Linus Torvalds の登録商標

*5 NS SEMI SYSTEM は、新日鐵住金(株)の日本における登録商標

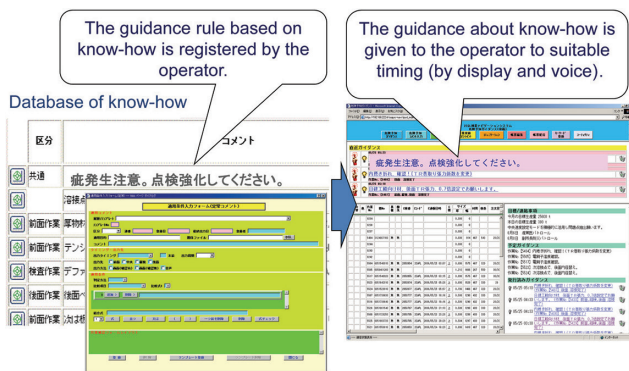


図4 操業ナビゲーションの概要
Outline of the navigation system for steel plant operation

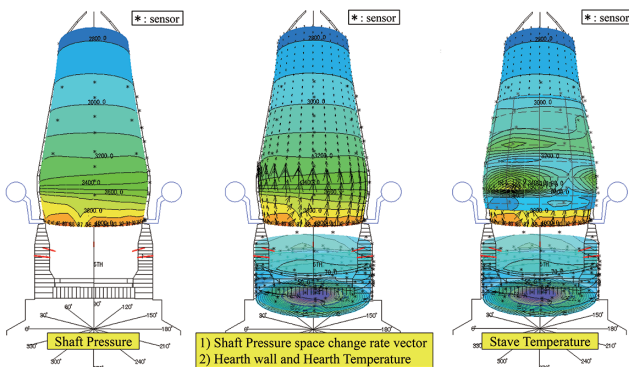


図5 高炉状態データの3次元可視化技術
3-D visualizing technology for blast furnace status

御技術、超高解像度デジタル画像をリアルタイムで処理する計測技術などが実用化されるなど、ハードウェア・ソフトウェアの進化は鉄鋼プロセスのシステム制御技術を大きく変革させてきた。

更に近年は大量のデータを様々な条件下で演算し最適な解を得る超大規模演算型のリアルタイム制御も、ゲーム用に進化した汎用並列演算処理装置であるGPGPU (General Purpose Graphics Processing Unit) を用いて実機化されてきた²¹⁾。加えて、汎用制御装置への高級言語ユニット実装や高機能PCと制御装置の組み合わせによる、高精度モデルを用いたリアルタイム制御も広がりを見せつつある。

3. 鉄鋼設備における計測・制御技術の進歩

3.1 計測・制御技術の変遷

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し、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、高压、多塵という悪環境で高精度な計測・制御を実現して行く必要がある。時々刻々と状態変化する物体を悪環境下で高精度に計測し、鉄鋼製品を安定的に大量生産するために、新日鐵住金では、早くから高精度計測と、物理モデル計算や制御理論を取り入れた制御技術の開発に取り組んできた(図6)。

1980年代以降、2000年代にかけて、多様化するユーザーニーズへの対応、省エネルギー、更なるコストダウン要請に応えるため、計測技術は点から面、立体へと多次元化し高精度化されると共に、大量の計測情報を見える化する“可視化技術”も実現されてきた。また制御技術面では、個別機能制御から品質造り込み制御へ、更には総合自動制御、最適化制御へと開発が進んだ。

3.2 計測技術の近年の進歩

本節では、2000年以降における近年の計測技術の進歩、開発事例について概要を記す。プロセス計測技術分野では、高温対象物を取り扱う上工程において、高炉羽口カメラの画像を2次元特徴平面上にマッピングする技術を用いた高炉羽口画像定量化技術²²⁾や高炉から流出する1500℃の溶銑・スラグ混合流体の温度や流量などの複合的な画像計測技術²³⁻²⁵⁾が開発された。また、下工程の熱延ミルにおいては、仕上スタンド間の悪環境下で鋼板の蛇行量を高精度に測定する2次元カメラによるステレオカメラ方式蛇行計^{26,27)}、LED光源により鋼板に投影されたパターンを撮像して平坦度を計測するLEDパターン投影式平坦度計²⁸⁾が開発実用化された。

また、変調レーザ光源とTDI (Time Delay Integration) カメラという独自の光学系を用いて通常の光切断法に比べ10倍以上高速な連続形状測定技術²⁹⁾や、溶削量定量化を目的とした縦横光切断法による鑄片形状測定技術³⁰⁾が開発さ

	1960's	1970's	1980's	1990's	2000's	2010's
Management Priority	Productivity expansion	Energy saving, downsizing	High-mix low-volume production	Laborsaving	High quality, generation change	Globalization, eco process, advanced IT
Instrumentation	Point and intermittent sampling	Noncontact measurement	Hi-speed digitization	Multi-dimension, mass data analysis	Advanced sensing with machine learning	
Control	Data logger	Individual control	Quality control	Total automation	Optimization control	Intelligent automation, data-driven control

図6 計測・制御技術の変遷
Trend of instrumentation-control technology

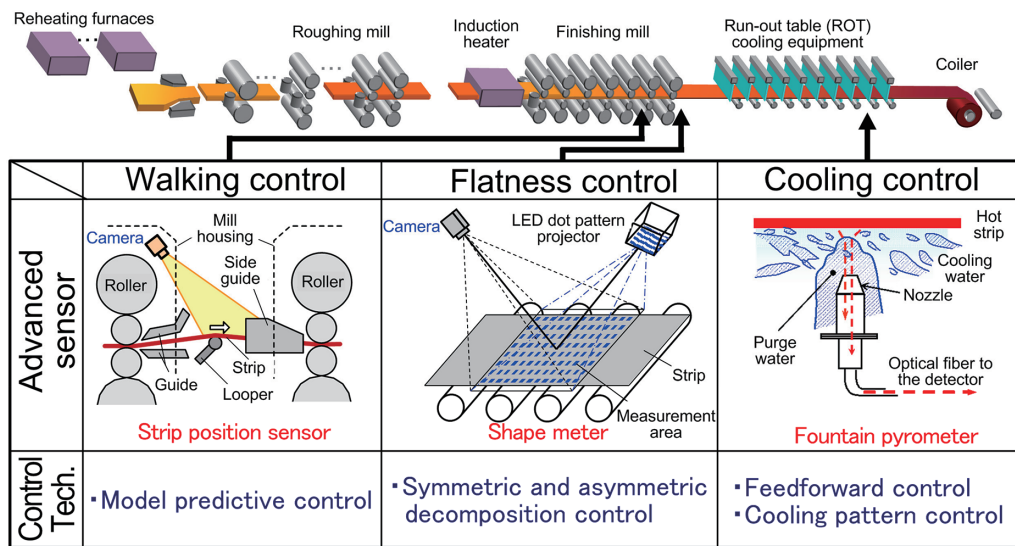


図7 計測技術（先進センサ）と制御技術の一体開発（熱延ミルでの開発事例）
Development of advanced sensors and control technologies

れた。更に新たな温度計測技術として、大量な冷却水が存在する熱延ミルのランアウトテーブル（ROT）内において鋼板温度を高精度に計測できるファウンテン・パイロメータ^{31, 32)}が開発実用化された。

非破壊検査技術については、フェイズドアレイ探傷技術を応用した高精度・高速検査技術^{33, 34)}がUO管溶接部オンライン検査へ適用され、また開口合成処理を用いた探傷技術を応用し丸棒鋼のオンライン探傷器^{35, 36)}やシームレス鋼管に発生するラミネーション欠陥の定量評価技術^{34, 37)}が実用化された。更に、電磁気応用技術として、重畳磁界回転法（SMaRT: Superimposed Magnetic field Rotation Technique）^{34, 38, 39)}による全方向きず検出技術や、レーザ超音波法を用いた材質計測技術⁴⁰⁾による薄鋼板の応力測定技術が、開発された。

3.3 制御技術の近年の進歩

本節では、2000年以降における近年の制御技術の進歩、開発事例について概要を記す。プロセス制御技術分野では、計測と制御の一体開発、プロセスモデル高度化、アドバンスト制御応用、オンライン最適化、データモデリング技術の観点で開発が活発に行われてきた。

計測と制御の一体開発の一例として、図7に熱延ミルにおける先進センサを活用した制御開発の事例を示す。仕上蛇行制御においては、スタンド間に設置したステレオカメラ方式蛇行計とモデル予測制御（図8）を組み合わせた技術^{26, 27)}が開発実用化された。形状制御では、仕上圧延機出口のLEDパターン投影式平坦度計で計測した鋼板の平坦度を対称成分と非対称成分に分解し仕上圧延機のベンダ圧力とレベリングにフィードバック制御する形状制御技術⁴¹⁾が開発された。また、ランアウトテーブル冷却では、ファウンテン・パイロメータを活用した冷却制御技術^{32, 42)}が開発

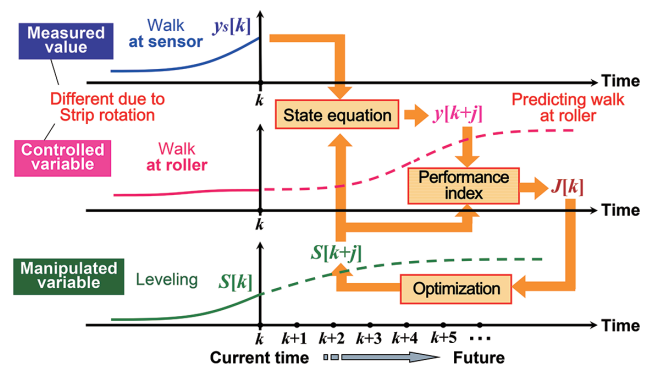


図8 モデル予測制御による蛇行制御
Walking control by using model predictive control

実用化された。これは冷却途中の鋼板を測温し、サンプリング点（制御点）の巻取温度を予測して制御点の予測巻取温度が目標巻取温度と一致するように冷却水量をフィードフォワード制御するものである。ファウンテン・パイロメータは、巻取温度だけでなく、急冷停止温度や中間空冷時間を狙い通りに制御するダイナミック冷却履歴制御^{32, 43, 44)}にも活用されている。

プロセス制御では、製造設備の設定制御が生産性向上や品質向上に重要な役割を果たすため、設定制御モデルの高精度化の取り組みが行われてきた。熱延ミルの仕上圧延機では、分割モデルを用いた高精度オンライン板プロフィール予測モデル⁴⁵⁻⁴⁷⁾が開発され、熱延高強度鋼製造技術の高度化に寄与している。厚板ミルでも、GPU (Graphics Processing Unit) を利用した圧延パススケジュールモデルの高度化²¹⁾が行われた。また、厚板加速冷却装置では、数値流体解析と実験装置での実験に基づいて開発されたノズル噴流の水冷熱伝達モデル⁴⁸⁻⁵⁰⁾をもとにした高精度な冷却制御技術^{48, 49)}が開発実用化された。

アドバンスト制御応用としては、連続鋳造において、Qパラメータアプローチによる連続鋳造湯面レベル制御⁵¹⁾が

開発された。これは、既存制御器に自由パラメータ Q を含むフィルタを配置し、系の感度関数に任意の周波数重みを重畳可能とするもので、その周波数重みが外乱周波数を中心周波数とするノッチフィルタの特性に近づくように自由パラメータ Q を設計することで周波数レベル変動を低減するものである。また、冷延タンデムミルでは、一般化予測制御による形状フィードバック制御⁵²⁾が開発され、タンデムミルの形状工程能力の向上に寄与した。可逆式冷間圧延機においても、拡大最小2乗法による ARMAX モデル (Auto Regressive Moving Average model with eXogenous input) の同定方法を用いて板厚制御応答特性を同定する技術⁵³⁾や、母材コイルの1巻周期の変形抵抗変動に起因した板厚変動を抑制するための変形抵抗フィードフォワード制御⁵⁴⁾が開発され、板厚精度の向上に寄与した。シームレス鋼管のマンドレルミルでは、偏肉が生じているミルとその度合いを複素フーリエ解析で逆算し分析する技術を開発し、圧下シリンドラーの個別制御による偏肉防止技術と肉厚計に基づくオンライン偏肉フィードバック制御技術との組み合わせにより、高い肉厚精度が実現された⁵⁵⁾。

オンライン最適化技術を取り入れたプロセス制御としては、熱風炉制御シミュレータと遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を組み合わせ、設備制約条件内で熱効率が最大となる燃焼パターンを決定する熱風炉燃焼パターン最適化技術⁵⁶⁾ (図9)が開発され、燃焼中の熱効率の向上に寄与した。また、厚板ミルの連続式スラブ加熱炉においては、簡易的な3次元スラブ温度計算モデルをベースにして、連続式スラブ加熱炉の各燃焼帯の設定炉温値を線形計画法 (LP: Linear Programming) を用いて決定する自動燃焼制御モデル^{57, 58)}が開発された。

データモデリング技術としては、大規模データベースオンラインモデリング (LOM: Large scale database-based Online Modeling)⁵⁹⁾、事例ベースモデリング⁶⁰⁾、自動層別による制御モデル構築手法⁶¹⁾、PCA-LDA (Principal Component Analysis-Linear Discriminant Analysis)⁶²⁾、DDQI (Data-Driven Quality Improvement)⁶³⁾、GLM (Generalized Linear Model)⁶⁴⁾ など、用途に応じた様々な手法が開発された。

一例として、事例ベースモデリングは、データベースに保存された大量の操業データから、製造条件に近いデータを抽出して、抽出されたデータ (近傍データ) を用いて局所的な予測モデルを構築する手法である (図10)。事例ベースモデリングの手法は、プロセスの予測モデルの構築だけでなく、モデルの予測誤差を推定する場合にも適用可能である。

製造プロセスにおける大量の操業実績データは、今後データモデリングに留まらず更に積極的に活用され、データ駆動型制御、インテリジェント制御へと発展して行くことが期待される。

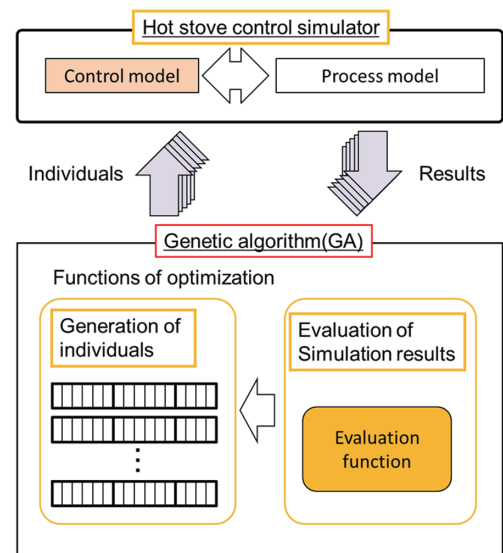


図9 プロセスシミュレータと遺伝的アルゴリズムの組み合わせによる最適化制御

Optimization control by combining process simulator and GA

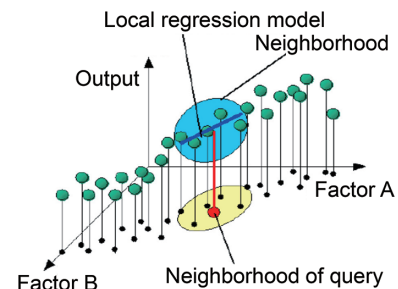


図10 大量データを活用した事例ベースモデリング
Case-based modeling

4. インダストリー 4.0時代を迎えて

2011年にドイツで提唱されたインダストリー 4.0は、2015年に深層学習を用いたAI囲碁ソフトウェアがプロ棋士に勝ったというニュースと共に世間に急速に認知されるようになり、ネット上で様々な情報を扱うIoT (Internet of Things) の普及と同時に産業界への応用の期待も一気に高まった。世で言うAIやIoTという言葉にはやや実態とかけ離れた意味合いが含まれるものの、これまで同様に、計算機及びネットワークの発展が我々の鉄鋼プロセスのシステム・計測制御の分野を更に深化させてくれるのは間違いのない事実である。この章では今後それらがどのように鉄鋼プロセスに用いられて行くか、ということについて述べてみたい。

2016年のハノーバーメッセ、2017年のCeBITなど海外の展示会では、スマートファクトリーを実現する様々な技術が紹介されている。例えば、デジタルツイン (計算機空間上の現実の計算モデル) やCPS (Cyber Physical System) を用いれば製造に関する様々な情報を活用できるようになる。また、量子コンピュータや深層学習、仮想現実・拡張現実

表示デバイス及び高速通信（5G）等、現場への活用が期待される新技術が数多く紹介され、応用例としての自動運転やロボット技術等の足元の開発状況が盛んに宣伝されている。展示の多くは一般産業向けで、安価にシステム導入可能となり適用フィールドが格段に広がったことをビジネスチャンスとして捉えたサブライサイドの展示が主流である。

古くから計算機を活用してきたユーザーとして、我々はやや違った視点からインダストリー 4.0 を眺めるべきである。そもそも、デジタルツインの概念は、制御の世界では規範モデルそのものであり、また CPS も古くから行われていた CIM の応用の延長に過ぎない。深層学習も機械学習や統計解析の一手法であり、これも古くから鉄鋼プロセスのフィールドで用いられていた技術の拡張である。

一方、我々の技術開発領域に新しい解決手段候補が提供されたということ、及びこの分野の技術開発投入の成果としてソフトウェア開発効率を大きく向上させる様々なツールや仕組みが登場してきたということは、鉄鋼プロセスのシステム・計測制御領域の進展に大いに役立てるべきである。これまで個別に検討、製作していた技術開発用ソフトウェアも世の中の汎用機能の組み合わせで構築できるようになり、また制御用計算機は早晚個別筐体から仮想筐体へと進化して行くであろう。これらに対応できるようなシステム基盤技術、ソフトウェア基盤技術の開発も進んで行く想定される。

ますます高精度、高信頼性を求められる計測・制御技術領域においては、今後も技術者が因果関係を理解し用いることができる数学的手法に基づく取り組みが主流となるべきである。計測・制御系設計では、計算機を活用したデータ駆動型設計手法や、スパースモデリング・圧縮センシング等の理論の応用により高度化、効率化が進むであろう。これによりカメラ映像等の汎用入力デバイスを用いた多変量定量値の同時計測や、プロセスを跨いだ複雑な制御系でのフィードバック制御が実現し、更に高精度、高品質、高付加価値の鉄づくりが実現されて行くであろう。

またその一方、より高度に進化した深層学習を用いた AI も一定の規模で鉄鋼プロセスにも応用されるようになって行く。ビッグデータを用いて過去の操業経験を学習することで、想定し得る範囲では AI が人に変わり操業できるようになろう。我々は 1980 年代の第 2 次 AI ブームの時代に様々な経験を培っており、現在の第 3 次 AI 時代における予兆診断や操業支援技術への展開でもその経験を活かし効率的且つ実用的な技術を開発して行かねばならない。

新しい無線技術も進展を注目すべき技術である。大量にばら撒いた無線センサの情報を超高速演算処理することで、従来作業員が手間暇掛けて確認していた多くの作業は自動化されて行くと思われる。時系列情報の有効活用により現在から将来にかけての予測も実用化され、機器の健全性、設備稼働状態、製品の品質などで、不具合が顕在化する

前に自動修正される技術も一つずつ確立して行くであろう。また、作業員の位置やバイタル情報を収集し安全見守りや作業の遠隔支援を行うシステム、作業員の動きを分析する技術などは既に新日鐵住金グループ内でも検証を開始²⁰⁾しており、今後設備と人の動きを総合的に最適化するアルゴリズムも開発されて行くと考えられる。

国内外問わず鉄鋼プロセスへの AI やデータ活用の取り組みが活性化する中、新日鐵住金においても 2016 年より全社統合データ解析基盤を活用した取り組みを開始し、既に 300 名を超える技術者が利用している。更に今年 2018 年 4 月には、技術開発本部内にインテリジェントアルゴリズム研究センターを立ち上げ、基盤研究から実プロセスへの適用まで見据えたデータエンジニアリング領域の研究開発を今後ますます加速して行く。

5. 結 言

新日鐵住金におけるシステム・計測制御技術のこれまでの開発の歴史と近年の取り組みについて述べた。この分野の技術は計算機技術の進化と切っても切り離せず、これまでと同様に、今後の計算機技術の進化による新たなデバイスの出現とソフトウェア・アルゴリズム技術の発展は、鉄づくりにおけるシステム・計測制御技術の重要性を更に高めてくれるものと確信する。

参考文献

- 1) 小林規威, 土屋守章, 宮川公男: 現代経営事典. 1 版. 東京, 日本経済新聞社, 1986, 764p
- 2) 合併記念特集号: 製鉄研究. (271), 299 (1970)
- 3) 米倉秀春 ほか: 製鉄研究. (336), 52 (1990)
- 4) 加藤正造 ほか: 新日鉄技報. (341), 51 (1991)
- 5) 広浜茂 ほか: 製鉄研究. (317), 25 (1985)
- 6) 服部正志: 新日鉄技報. (364), 1 (1997)
- 7) 長谷川明彦, 瀧文男: 製鉄研究. (339), 53 (1990)
- 8) 塩田久仁夫 ほか: 製鉄研究. (339), 1 (1990)
- 9) 小南秀隆 ほか: 製鉄研究. (339), 31 (1990)
- 10) 吉井寿昭 ほか: 新日鉄技報. (346), 23 (1992)
- 11) 町田精孝 ほか: 第 193 回西山記念技術講座. 2007, p. 151
- 12) 服部正志 ほか: 製鉄研究. (339), 46 (1990)
- 13) 住田伸夫, 上之俊昭: 新日鉄技報. (379), 7 (2003)
- 14) 橋爪健次 ほか: 新日鉄技報. (391), 117 (2011)
- 15) 上之俊昭, 井ノ口齊亮: 材料とプロセス. (18), 1143 (2005)
- 16) 堤泰伸: 材料とプロセス. (27), 794 (2014)
- 17) 吉田信一, 浦上順一: 新日鉄技報. (364), 40 (1997)
- 18) 堀江哲平: 日本鉄鋼協会第 157 回制御技術部会大会. 制技 157- 建 -2, 川崎, 2017-6, 私信
- 19) 中尾憲牛 ほか: 新日鉄住金技報. (400), 123 (2014)
- 20) Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation: CeBIT 2017. Hannover, 2017-3, Deutsche Messe AG

- 21) Takeshima, S. et al.: ROLLING 2016. Graz, 2016, ASMET
- 22) 今野雄介 ほか：材料とプロセス. 27, 326 (2014)
- 23) Sugiura, M. et al.: SICE Annual Conference 2011. 2011, p. 472
- 24) Sugiura, M. et al.: Int. J. Thermophysics. 35, 1320 (2014)
- 25) 杉浦雅人 ほか：第 57 回自動制御連合講演会. 2014, p. 367
- 26) 鷺北芳郎 ほか：鉄と鋼. 95 (1), 43 (2009)
- 27) 鷺北芳郎 ほか：新日鉄住金技報. (401), 11 (2015)
- 28) 加藤朋也 ほか：材料とプロセス. 24, 888 (2011)
- 29) 今野雄介 ほか：材料とプロセス. 18, 333 (2005)
- 30) Hibi, A. et al.: 材料とプロセス. 30, 548 (2017)
- 31) 本田達朗 ほか：鉄と鋼. 96 (10), 592 (2010)
- 32) 本田達朗 ほか：新日鉄住金技報. (401), 17 (2015)
- 33) Yamano, M. et al.: 26th International Conference on OMAE. 2007
- 34) 山野正樹 ほか：新日鉄住金技報. (397), 125 (2013)
- 35) 上田佳央 ほか：材料とプロセス. 31, 241 (2018)
- 36) 竹内良太郎 ほか：新日鉄住金技報. (406), 19 (2016)
- 37) 稗田剛志 ほか：平成 24 年度春季講演大会講演概要集. 日本非破壊検査協会, 2012, p. 5
- 38) Suzuma, T. et al.: The 6th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano-Materials, 2009
- 39) Suzuma, T. et al.: The 17th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation. 2012
- 40) 永田泰昭 ほか：非破壊検査. 63 (4), 182 (2014)
- 41) 太田武 ほか：材料とプロセス. 25, 352 (2012)
- 42) 中川繁政 ほか：計測自動制御学会論文集. 46 (8), 463 (2010)
- 43) 中川繁政 ほか：計測自動制御学会論文集. 45 (4), 233 (2009)
- 44) 橋久好 ほか：材料とプロセス. 25, 1026 (2012)
- 45) 佐々木保 ほか：塑性と加工. 54 (635), 1038 (2013)
- 46) 福島傑浩 ほか：鉄と鋼. 100 (12), 1499 (2014)
- 47) 福島傑浩 ほか：新日鉄住金技報. (401), 2 (2015)
- 48) 中川繁政 ほか：計測自動制御学会論文集. 50 (6), 487 (2014)
- 49) 芹澤良洋 ほか：新日鉄住金技報. (400), 18 (2014)
- 50) 小林一暁 ほか：新日鉄住金技報. (401), 105 (2015)
- 51) 北田宏：計測自動制御学会論文集. 39 (5), 487 (2001)
- 52) 安藤正樹 ほか：材料とプロセス. 20, 305 (2007)
- 53) 鷺北芳郎 ほか：鉄と鋼. 90 (11), 941 (2004)
- 54) 鷺北芳郎 ほか：材料とプロセス. 28, 720 (2015)
- 55) 山根明仁 ほか：新日鉄住金技報. (401), 64 (2015)
- 56) 高橋知子 ほか：材料とプロセス. 29, 131 (2016)
- 57) 北和昭 ほか：材料とプロセス. 23, 1051 (2010)
- 58) 野見山裕治 ほか：新日鉄住金技報. (400), 8 (2014)
- 59) 伊藤雅浩 ほか：鉄と鋼. 90 (11), 917 (2004)
- 60) 岸真友 ほか：計測と制御. 44 (2), 116 (2005)
- 61) 森田彰 ほか：材料とプロセス. 26, 854 (2013)
- 62) 中川義明 ほか：日本設備管理学会誌. 19 (4), 220 (2008)
- 63) 中川繁政 ほか：計測と制御. 48 (2), 206 (2009)
- 64) 北田宏 ほか：材料とプロセス. 23, 199 (2010)



吉沢一郎 Ichiro YOSHIKAWA
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



中川繁政 Shigemasa NAKAGAWA
プロセス研究所
計測・制御研究部長 博士(工学)