

鉄の製造現場を動かす 数学イノベーション

鉄づくりは固体・液体・気体を高温、高圧から常温までさまざまな状態で扱うなど製造条件が複雑に絡み合い、これまで現場の経験則や過去のデータから推測し、論理や数値などで必ずしも明確に説明できない暗黙知によって制御してきた現象も多い。その中で新日鉄は数学を利用することで、原理原則に基づいた現象の本質的解明を図る可能性を見出し、数学者と鉄鋼研究者の知恵を集結した産学連携を進め、鉄づくりの現場の課題解決に挑戦している。

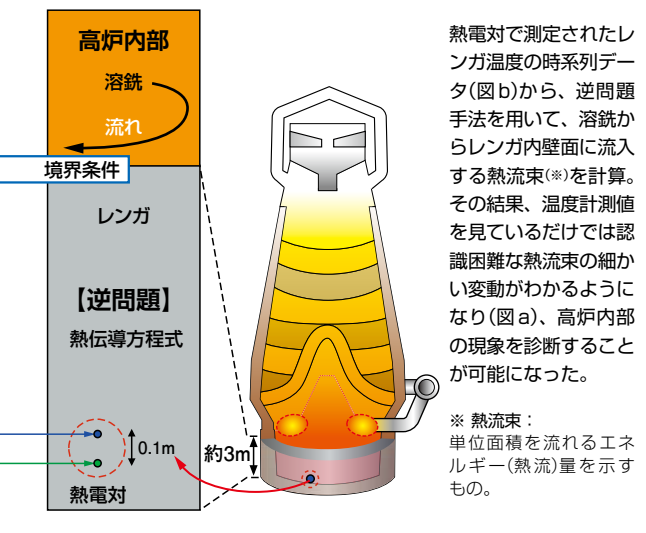
「逆問題」で高炉操業を最適化

新日鉄は「数学」という一見、製造業との直接的なつながりの薄い学問を工学分野の技術と融合することによって、製造現場のさまざまな課題を効率的に解決することに取り組んできた。その適用事例の一つが「高炉の伝熱逆問題」だ。逆問題とは、直接計測することができない現象の間接的な観測結果から、その原因や現象を突き止める数学的手法。逆問題の研究は古く、

古代ギリシャ時代の学者エラトステネスは、離れた2つの都市で塔などの影を夏至の日の正午に測って、都市間の距離を用いて地球の半径を推定したと言われている。新日鉄は、この逆問題という数学手法を用いることで、高炉の操業変動を高精度で把握することに成功した。

高炉では鉄鉱石(焼結鉱)と石炭(コークス)を高温・高圧で化学反応させ、溶鉄と呼ばれる約1500℃の溶けた鉄をつくり出している。高炉を安定操業させるためには、炉内部の温度を把握し制御することが重要になるが、内部温度は約

図1 高炉への伝熱逆問題手法の適用事例





技術開発本部 先端技術研究所
数理学研究部長 山田 亘



技術開発本部 環境・プロセス研究開発センター
プロセス技術部長 村上 英樹



技術開発本部 先端技術研究所 数理学研究部
主幹研究員 中川 淳一

2000℃に達し直接計測することはできない。課題解決について、中川淳一は次のように解説する。

「これまでは炉底の厚さ3mのレンガに熱電対を埋設し、その計測データから炉内の状況を推定していましたが、炉内で急激な温度変化を引き起こす現象が起こっても計測データだけでそれを識別することは困難でした。そこで熱伝導方程式を使って炉内温度の変化を逆算したところ、温度が急上昇する直前に炉内部の温度が頻繁に上下していることがわかりました(図1)。結果を見て原因を推定する逆問題という数学的手法を通して初めて、炉内の温度変化の原因を特定することができたのです」

数学を利用し、高炉における温度変化の原因を定量的にとらえることができるようになったことによって、実際に高炉内の温度変化を制御して安定操業につながった。数学の製造現場への適用の狙いについて、2010年4月に発足した数理学研究部の立ち上げに携わった村上英樹は次のように語る。

「鉄づくりの現場には多くの暗黙知があります。それは人の技能による場所が大きく、人が変わると操業が変わってしまうほどの影響力を持っています。数学は本来複雑な現象を明示的・客観的に記述することができ、定量指標化することに役立ちます。鉄づくりの現場で起こる現象を物理工学のアプローチからさらに

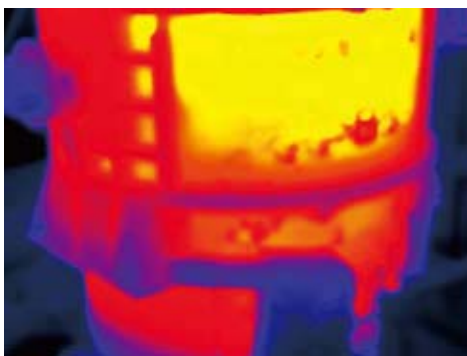
数学に落とし込むことによって、諸現象の原理原則、本質をモデル化して、製造現場の技術者と共有し課題をブレイクスルーすることを目指しています」

数学は製造現場の問題を解決する技術革新を生み出す源泉

新日鉄は2000年から開始した国内外の数学者との連携のもと、数学利用によって既存技術のブレイクスルーを図る可能性を見出してきた。そして2006年からは数学連携振興の公的活動にも積極的に参加。2010年3月には九州大学、東京大学、(社)日本数学会とともに「数学・数理学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討」報告書をまとめた。この調査・検討は2009年度文部科学省委託事業として行われ、数学・数理学と産業界との連携・協力に関するニーズおよびシブ調査などが実施された。

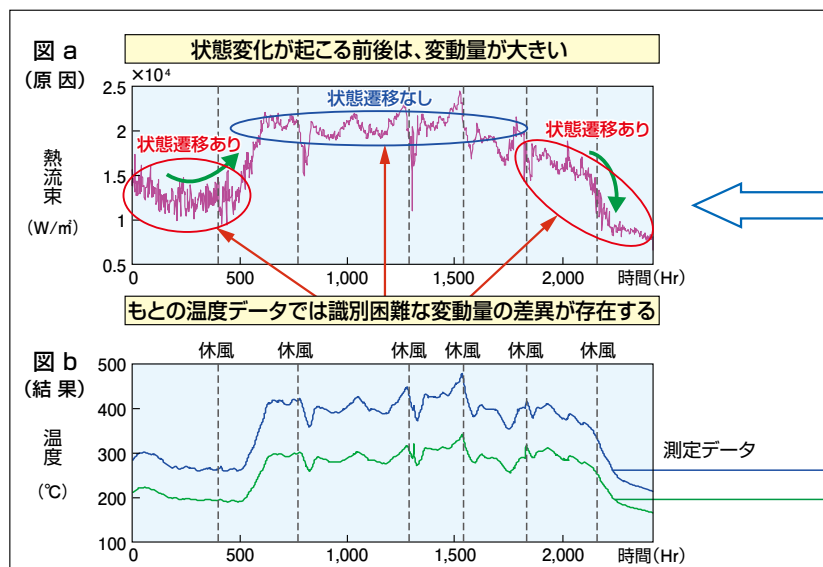
調査では企業へのアンケートも実施。数学・数理学を必要と認識している日本企業は1割程度に過ぎないことがわかった。しかしアメリカなどの外国企業では、数学・数理学者が大いに活躍していることから、日本の企業でも数学・数理学者が活躍し産業に貢献する機会と可能性は極めて大きいものと分析。ただしその開拓には、

図2 赤外線サーモグラフィーによる溶鋼鍋外壁温度計測



赤外線サーモグラフィー(赤外線素子を用いて物体の表面温度分布を測定し画像化する装置)で外熱温度を測定し、高炉で使った同じ数式を利用することで、溶鋼鍋を構成する耐火物の内部温度が計算できるようになり、耐火物の溶損状態の診断が可能になった。

出典:『数学セミナー』2010年7月号 p.28 図4



出典:『数学セミナー』2010年7月号 p.26 図1



東京大学 大学院数理科学研究科
教授 山本 昌宏氏

産学連携で新たな先進性の 創出と基礎科学への貢献を 目指す

現在、新日鉄は数理科学研究部を中核として、数学者と鉄鋼研究者の知恵を集結した産学連携を深化させている。今年1月にはイギリス・オックスフォード大学に世界最先端の数学者と新日鉄の研究者が集まり、数学の工学利用の観点から鉄鋼技術の課題解決に向けたワークショップ

実際に数学・数理科学が役立つ具体例を積み重ねて、社会に示す必要があることが浮き彫りになった。東京大学の山本昌宏教授は、産業の数学利用の取り組みを次のように評価する。

「数学をコアにした発展的・双方向的な産学連携が実現できれば、数学が持つ普遍性により、多くの産業現場で直面する多様な課題を一気に解決できる可能性が大いにあります。高炉逆問題手法は溶鋼鋼に関する非破壊検査(図2)にも当てはまり、手法の横展開を可能にしました。この事例は新日鉄と東京大学が行った共同研究の実用的な成果の一つです。産業数学は製造現場の問題を解決する技術イノベーションを生み出す源泉となるとともに、数学の研究自体の多様化・深化につながるものと期待しています」

を開催した(写真)。数理科学研究部の機能と今後の方向性について、山田亘は次のように語る。

「当部は、数学者および製造現場の双方との連携を一層強化し、両者のハブ的な機能を担うことによって、製造現場が抱える困難な課題をスピーディーに解決する新技術を効率的に輩出し、さらに、高度な数学の知恵を入れることにより、現場の『技術』を汎用性の高い『科学』に成長させていきたいと考えています。また、現象の数理表現を通して定量予測を行う数理科学を、物質・現象そのものを高度に解析する解析科学と融合させることで、現象の本質を解明する解析力を高め、研究開発の高度化・高速化、お客様へのソリューション提案の高付加価値化の先導役になることを目指しています」

また、数学をコアにした産学連携がもたらす産業と基礎科学双方への貢献について、中川は次のように語る。

「連携による成果物は、企業の課題解決につながるだけでなく、数学研究にも新たな発見をもたらします。また数学者と企業研究者が議論を重ねて信頼関係が醸成する過程で、互いの才能を一層高めることにもなります(図3)。具体的な課題を普遍的なものに置き換え考えられるという数学的思考の利点を産業で最大限発揮できるように、数学イノベーションの振興を図っていきます」

図3 数学者と企業研究者の連携スタイル

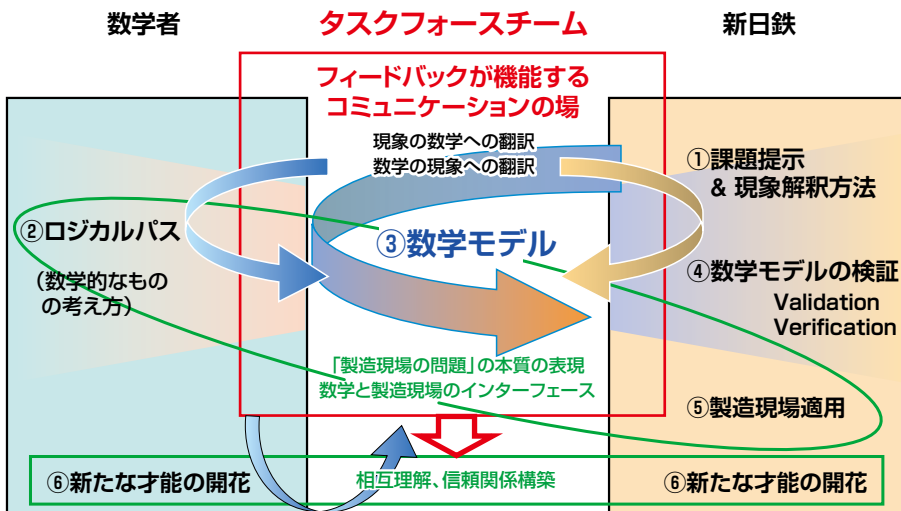


写真 世界最先端の数学者と鉄鋼研究者による討議の様子



出典: 『数学セミナー』2010年7月号 p.30 図8