

(解説)



人とともに発展するデータ駆動科学・AIの応用技術

片山 亮*¹・友近信行*¹(博士(工学))・橋崎博司*¹(博士(工学))

Application Technologies of Data-driven Science and AI that Evolve Alongside Humans

Ryo KATAYAMA・Dr. Nobuyuki TOMOCHIKA・Dr. Hiroshi NARAZAKI

要旨

高温かつ過酷な環境で精緻なものづくりを必要とする鉄鋼業、金属加工業では、古くから高度なモデルベース制御やセンシング技術、通信技術の製造プロセスへの適用に取り組んできた。そこに近年の情報通信技術の発展とともに大量の実績データから学習し高度な推論を可能とするデータ駆動科学の実践的活用が進んだことで物理や操業知を学びとり、人に提示することが可能なAIの仕組みがものづくり現場にも適用され始めた。本稿では、とくに近年変化の目覚ましいデータ駆動科学・AI応用技術の当社での応用と、それらを通じて得た人とAIとの協調的な関係について述べる。

Abstract

The steel and metal processing industries, which demand precision manufacturing in harsh, high-temperature environments, have a rich history of actively exploring advanced model-based control, sensing technology, and communication technology. In recent years, the rapid progress in information and communication technology has enabled the learning of extensive performance data and has advanced inference capability. This has paved the way for the practical implementation of data-driven science, contributing to the development of AI systems capable of accumulating both physical and operational knowledge and presenting it to individuals. As a result, these AI mechanisms are now making their way into the manufacturing field. This paper delves into the recent and remarkable transformations in the use of data-driven science and AI technologies at Kobe Steel, shedding light on the collaborative relationship that has evolved between individuals and AI through these applications.

検索用キーワード

AI, データサイエンス, データ駆動科学, ICT応用

まえがき = 高温かつ過酷な環境で精緻なものづくりを必要とする鉄鋼業、金属加工業では、古くから圧延プロセス制御などを中心に生産ラインの自動制御に取り組んできた。当社においても例えば塑性加工の制御に必要な高度なモデルベース制御やセンシング技術、通信技術の製造プロセスへの適用に取り組んできた。

情報通信技術の発展とともに大量のデータ取得が可能になり、その活用はモデルベース制御から学習制御へと発展するとともに、近年では物理モデルのみに依らず操業者の高度な暗黙知の領域をデータとして取り込むことも可能となった。¹⁾ 大量の実績データから学習し高度な推論を可能とするデータ駆動科学の実践的活用が進み、人が積み上げた事前知識を組み込んだデータ駆動科学モデルは開発や設計といったデータの少ない領域にも適用され始めた。これら取り組みで実現された「データ駆動科学モデルにインプットとアウトプットの仕組みと事前知識を導入する仕組みとを備えたシステムおよび学習した結果得られるモデル」をAIとすると、AIは産業課題に応じて多様な形で実装され、物理や操業知を学びとり、人に提示することが可能な仕組みとしてもものづくり現場を支えるようになった。本稿では、当社における情報通信技術の産業応用からとくに近年変化の目覚まし

いデータ駆動科学・AI応用技術への取り組みの発展とその考え方、および当社が目指す人とAIの相互成長の実現に向けた最新の取り組みについて紹介する。

1. 当社におけるデータ駆動科学・AI応用技術の目指す姿

当社は鉄鋼、アルミ、銅などの素材系事業に加え、圧縮機や産業機械などの機械系事業、電力事業といった多種多様な事業・製品分野において、現場での緻密なものづくりからお客様のサプライチェーンへのタイムリーな製品供給までを担っており、自動制御とともに人による操業知が重要な役割を果たしてきた。可能な限りの自動化は大前提だが、そうしたものづくりの現場において、当社では、データ駆動科学・AI応用技術分野の果たすべき役割とは、図1に描いた「物理モデルの発展のみならず、人の操業知からも学習し、モデル化技術とあいまってさらに高度な操業につなげていく、いわば、人とAI・システムが相互に成長する未来」を実現すること、と捉えている。「人とAIの相互成長」との表現には、二つの含意がある。一つは、AIは人が明らかにしたより良い操業知を急速に学習し、人がより付加価値の高い業務に取り組むことを可能にするということ。もう一つは

*1 技術開発本部 デジタルイノベーション技術センター

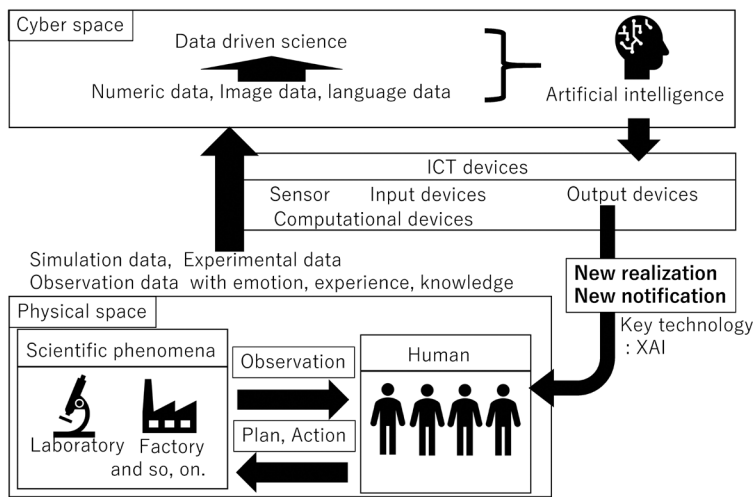


図1 人とAIがデータを通じて相互成長する仕組み
 Fig.1 Human-AI interaction through various data

人の適応力・創造力の領域に今しばらくAIはおよばないと考えられるが、それをアシスト、拡張する形で人とAIの相互的な成長が続くであろうということである。こうした人とAIの相互成長の先に、人と技術がつながる未来へのソリューションを提供し、安全・安心なまちづくり・ものづくりへの貢献を果たしていきたい。

2. データ駆動科学・AI応用技術につながるICT活用の歴史

情報通信技術の発展に従い、表1に示すように当社においてもその活用の中心は変遷してきた。日本の鉄鋼業が世界の中でも大きな役割を果たしていた1980年代から1990年頃においては、鉄鋼業全体として効率よく大量の鉄を作るために合理化を図る武器として黎明（れいめい）期のデジタル技術をプロセス制御に適用し、実応用での成果を蓄積した²⁾。

1990年代から2000年代にかけては新興国での鉄鋼生産量が増大し、日本の鉄鋼業は高級鋼を含む多品種の生産と開発の効率化の推進に力を注いできた。様々な業種で製品の作り分けが進んだことで、自動化や効率化は極めて難しくなっていき、結果として製造オペレータに高度な技能と操業知が蓄積されることになっていった。

いっぽう、同時期の1990年代から2000年代にかけてインターネットの時代が到来したことで、それまではプロセスコンピュータの中に閉じていたデータを様々なデータとつなげることが可能となり³⁾、さらに、2000年代から2010年代にかけては、情報記録媒体の大容量化や

携帯電話の普及を含む無線通信技術の発展の恩恵を受け、大量のデータが操業の自動化に用いられるようになった。^{4),5)} 情報基盤の発展により、工場の生産を様々なモデル化して高難度の自動化課題を解決する取り組みが広がり、ごみ焼却炉のように純粋な物理モデルでは表現の難しいプラントにおいて、操業データを用いて構築した多変数モデル予測制御を適用して自動化を実現した事例も生み出されるようになった⁶⁾。

また、過酷な金属素材の製造プロセスにおいては、データを獲得するハードウェアの応用力が競争力となる場面も多く、悪環境下での計測技術⁷⁾に無線通信技術を活用し、熱処理炉内のデータを取得する⁸⁾など、プロセスと人のコミュニケーションを支えるセンシング技術の発展もまたデジタル技術の発展とともに進化させてきた。

2010年以降、とくに過去10年はICT基盤を支える通信速度、情報記録密度、計算機能力といったハードとそれらに支えられるクラウドシステムなどの基盤がコモディティ化したことで⁹⁾、当社の産業機械製品¹⁰⁾や溶接システム製品¹¹⁾のようものづくりの現場でのデータ活用を支援する製品が普及し、当社も含む各企業はビッグデータとデータ駆動科学の活用で競争の焦点を移し始めた。こうして、当社においてプロセス制御やオペレーションズリサーチで脈々と培ってきた機械学習や統計モデルなどデータ駆動科学を応用し、データに隠された操業知を読み取り、人と相互に発展するAIを開発する取り組みが始まった。

表1 ICT応用と当社モノづくりの変遷
 Table 1 Changes in ICT application and our manufacturing

era	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020
Key word of ICT	Computer communications Internet	Mobile phone Digital camera	Broadband	Smart phone Cloud system Bigdata, deep learning
Key word of manufacturing at our company	Mass production	High quality	High quality and multi-product low-volume manufacturing	Diversified added-value product
ICT applied to our manufacturing and product	Process computer	IT (Information technology) Signal processing Wireless communications	Data cooperation system Image processing	IoT, AI Analysis bigdata

3. データ駆動科学とドメイン知識を融合したAI

データ駆動科学の応用が発展するにつれ、物理モデルのように数式で表現できる現象にデータ駆動科学を適用することに加え、人に蓄えられた経験をデータ駆動科学モデルに取り込むことが可能となった。こうしたデータ駆動科学に塑性加工や流熱予測などの科学分野のドメイン知識を応用し、人が明らかにしたより良いやり方を学ぶ仕組みをもつAIについて、工場の操業と材料開発への適用事例から特徴を解説する。実際のプラントにおいて、各種センサの計測値や人が入力したデータは様々な現実から生まれる誤差要因を含み、かつ工場やプラントを多様な条件で操業する場合はデータの量も十分に確保できるとは限らないため、当社では様々な物理モデルを駆使して物理的な正しさを一定量担保しつつ、人の経験や物理則、すなわちドメイン知識を埋め込めるように工夫したデータ駆動型のモデルをもちいて物理と実際の操業の間を埋める技術を培ってきた。図2にはその一例を示している。図2下部に示すように、物理モデルで表現が難しい現実の揺らぎをデータ駆動型のモデルで合わせこみ、データ駆動型モデルに対しては未学習のデータ領域の安定性を物理モデルで確保することで、それぞれのモデルの長所を活かす。AIに搭載するモデルにおいて、物理モデルとデータ駆動型モデルのどちらに比重を置くかは対象を良く知る人のノウハウの再現しやすさから決定する。そうして得られたモデルと人との間に人が解釈しやすいアウトプットを備えることで、AIの出力を通じて人は多次元のデータを理解することができ、人が持つノウハウや経験と照合して、AIの出力と現実に行き違っていることの整合性や妥当性を評価することができる。

例えば、製鋼溶鋼温度予測技術の開発においては、人が操業の経験を上手く利用して温度を推定することに着目し、物理モデルから得られる温度予測に対し、操業実績データ間のデータ空間上の距離を利用して定義した操業の類似度に従って温度のばらつき要因の影響度に重みを付けることで、操業者の過去の知見と一致しやすかつ精度の高い温度予測技術を実現している¹²⁾。

材料設計に情報科学を活用する取り組みである

Materials IntegrationあるいはMaterials Informatics(以後MI)においても、蓄積された材料実験のデータベースから特性を予測する機械学習モデルを用いることにより、工場の操業へのデータ駆動科学の応用と同じく、物理モデルでは難しかった特性の予測や、所望の特性を得るためのプロセス条件を探索するAI、部品性能の予測モデルと素材特性の予測モデルをつなげたマルチスケールの予測モデルが構築されている。ただし、材料開発で用いるデータは、開発する材料の種類によっては実験機会が少なく、データの取得目的が実験ごとに多様化しており、工場の操業データと異なり少量かつ複雑なデータとなっている。また、実験条件やデータの取得項目が多岐にわたるため、データベースを作る際にテーブルの形を事前に統一することが難しく、データ駆動科学の応用が難しい分野の一つである。

そこで、当社では研究員が多様な目的で蓄積したデータを紐づけて保存し、MIに活用しやすい形に成形するデータベースシステムの開発から着手し、これまで研究員が個別に蓄積してきたデータを縦横に組み合わせる活用する開発用プラットフォームを構築し、DataLabと名前を付けて運用している。通常のデータベースとは異なり、厳密な事前定義を要しないことがDataLabの最大の特長であり、実験データの枝分かれや組み換えなどの複雑なデータの関係性に対応しながら分析用のデータを構築することができる。溶接材料を対象とした取り組みでは、実験データから得た機械学習モデルを材料開発に活用して、相反する性能を両立させた事例を報告している¹³⁾。

データ駆動型のモデル構築には先に述べた物理的知見とデータの特徴を融合させてモデルを構築する工夫として加法モデルやガウス過程回帰を用いたことが報告されているが、それに加えてデータとして取得できていない条件や物理現象を考慮しながら、データ駆動型モデルが提唱した材料を専門家が取捨選択することにより、効率よく試作を進めて従来材料の性能を向上することができる¹³⁾。

当社のMIの取り組みで構築した人とAIとの相補的な関係は、少量かつ複雑なデータを用いるモデル化の難しい研究、開発、設計といった領域においても計算科学や

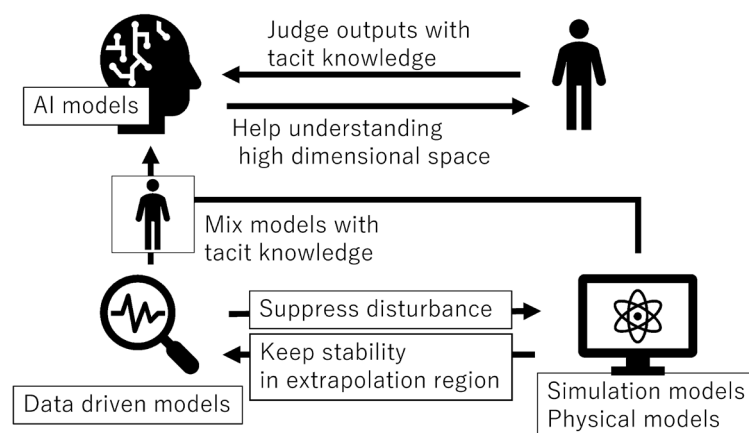


図2 人とAIの相補的な関係
Fig.2 Complementary relation between AI and human

データ駆動科学を応用して新たな知見にたどり着くための一つの解であり、人とAIとが相互的に成長するための基本であると考えている。

4. 次世代のものづくりを支える人とAIの相互理解

CCDカメラやCMOSカメラの発展と深層学習の登場により、画像データの活用が飛躍的に発展し、ものづくりの現場における官能評価の置き換えにも用いられるようになった。官能評価におけるデータ駆動科学ベースのモデル、とくに深層学習を用いた画像の判別モデルはこれまで述べてきた物理的背景のあるモデルとは異なり、厳密に従うべき法則はなく、出力も単純で、ツール類が豊富なこともあり非専門家でもモデルの評価が容易なことから適用範囲が広がったと考えている。昨今では深層学習を基礎とした生成系AIにより、人の指示に従ってAIがデジタルアートを作成するなど、データ駆動科学と人の関係性はより協調的な方向に変わりつつある。

しかし、官能評価値を用いて行う官能検査においてAIと人が協調的な関係性を得るには、判定結果の良否に加えて判定結果の乖離（かいり）に対する説明性が強く求められるため、一般的な画像AIの活用とは異なりAIの挙動を人が理解あるいは制御する技術が必要となる。そこで注目したのがAIに対して理解を深める技術として急速に発展しているXAI（eXplainable AI）に関する技術である。

世の中のXAIの取り組みには大きく分けて説明性の高いモデルを高精度化する取り組みと、説明性の低いモデルを理解する技術を作る取り組みがあるが、当社においては深層学習を利用した官能評価代替のための技術開発を進めていたこともあり、深層学習を代表する説明性の低いAIのモデルを理解する技術の応用に取り組んでいる。

当社で取り組んでいる説明性の低いAIモデルを理解する取り組みとしては、図3に示すように人がAIの出力を直接確認し、所望のふるまいをするようにAIの損失関数やハイパーパラメータを制御するCase1に該当する方法と、構築したAIが出力した結果を説明するための説明用AIを通じ、学習データを制御して説明用AIの

出力の変化を観察して理解するCase2に該当する方法とがある。

説明用AIを通じて学習データを制御することでAIのふるまいを理解した例としては、溶接自動化のための画像認識技術の開発での事例がある。溶接のトーチと母材が溶け合う領域である溶融池の特徴を認識するAIを構築したが、特定のデータで学習した場合に精度が極端に悪くなるという課題に直面した。この課題を解決するため、次の手順で深層学習モデルの挙動を理解する技術を開発した。まず、U-netのような、Encoder-Decoder構造を持つ深層学習モデルが注目している領域を可視化する手法（説明用のAI）を介して複数の注視領域マップ画像を作成する。ついで作成したマップ画像の一部を順次欠落させてAIの性能変化を算出してマップの重要度の順位付けを行う。この順位をもって画像のどの領域が隠されたかに応じてモデルの精度が変わる様子を追跡確認し、対話的にモデルが重要視している個所を理解することで精度改善を行った¹⁴⁾。この手法の手順は人同士で検査結果の技術伝承を行っていく際に、どこに注目するか、どういった見方をするかについて画像を指し示しながら伝えることと類似している。いわば、データを介して人とAIとの間で「意思の伝達」を行いながら開発をすすめていくこと、ともいえる。

後者のAIを構築する際に用いる損失関数を直接制御して意図どおりのAIを作る取り組みの事例としては、見逃しを制御するAIの構築方法を検討した事例がある。ある官能的基準により良品と不良品を判別する際、深層学習の判別モデルでは全体的に精度が良くなるように学習が進むというのが一般論である。しかし、当社のように、見逃しが下流の工程やお客様に悪影響を及ぼすことが分かっている場合には、見逃しには一定の要求仕様が定められていることが多く、例えばAIの見逃しをX%以下に制約した状態で不良品を良品としてしまう過検出を最小化したいという要求がある。そこで、当社では機械学習モデルのハイパーパラメータに確信度閾値（いきち）そのものを含めて損失関数を最適化するという手法を開発し、一般的な精度評価を元に調整されたモデルよりも制約条件下での精度が高いモデル構築が可能であることを確認している¹⁵⁾。本手法はまだ単純なモデルを対

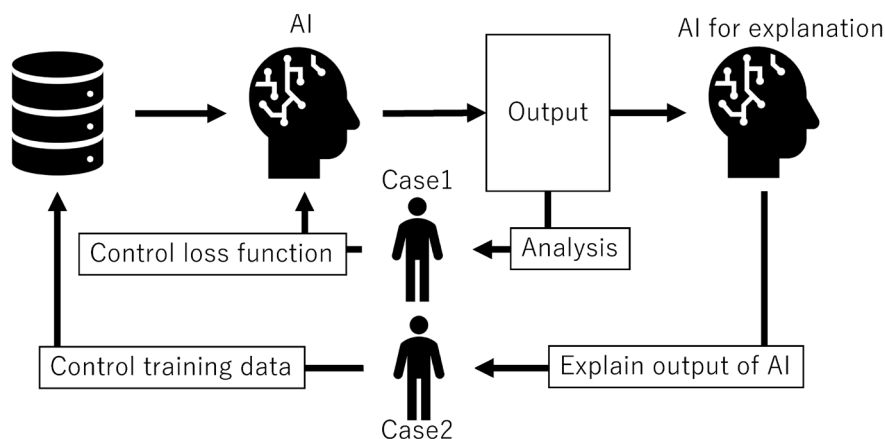


図3 説明性の高いAIの作り方
Fig.3 How to create well explainable AI

象としたもので、実験的な取り組みではあるものの応用範囲は非常に広いと考える。

人依存のものづくりにおいてデータ駆動科学の適用を拡大していくためには、この人とモデルの相互理解やモデルへの意思の埋め込みが不可欠であり、今後もXAIは産業界を中心に発展を続けると考えられる。当社はXAIについての知見はまだ少なく、獲得すべき技術の方向性については明確な答えは定められていないものの、今後もものづくりにデータ駆動科学を応用していくために不可欠な技術として注目を続け、ものづくり現場に応用する力を高めていく。

5. データ駆動科学とAI応用の今後

このように、取得できるデータの種類が増え、データ駆動科学そのものが発展するに従い、人の暗黙知領域や言語化の難しい領域や物理モデルを作ることが難しい領域でのモデル化が可能になり、当社においても様々なものがデータ駆動科学のモデルでつながり始めた。しかし、大規模な生成系AIのサービスが提供され始めるなど、データ駆動科学とAIの技術の進化と拡大は目覚ましく、数年前には一部の研究者にしかできなかったことが、今やWeb上のアプリケーションにデータを与えるだけで非専門家にも実現できる世の中になった。今後もAIが広く産業のすそ野に広がっていくことは間違いなく、従来からの取り組みであるプロセスモデルやMIでのAI応用にて技術の深化を続けながらも、人材育成やデータ活用のための基盤を整備し、コア技術としてきたデータ駆動科学とAIの応用に関する知識や経験を多くの人材で共有することでデータ駆動科学を活用する総力を高めていく。

むすび=今後カーボンニュートラルに代表される新たな価値基準が次々と生まれる中で、モノの品質はその特性だけでなく、原料や作り方といった付加的な情報にまでおよぶ可能性があり、これまで以上にモノと情報を正確にひもづける必要がある。加えて、人に依存し、労働人口の減少により技術伝承が難しくなると言われる日本のものづくりにおいては、人とつながり始めたデータ駆動科学の応用力がいっそう重要性を増すと考える。いっばうで、広範かつ複雑な成長を見せる産業インフラでの経験不足や活用を推進する人材不足に悩む企業も多い。当社としては人とデータのかげ合わせで新たな価値を生む力、産業分野における「人とAIの相互成長」を一つのテーマとしながら、多様な産業ドメインに対する技術が集まる当社において培った技術を社会に提供し、次の100年も安全・安心で豊かな社会を実現するための日本のものづくり力の下支えに貢献していきたい。

参 考 文 献

- 1) 加茂和史ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.2, p.7-11.
- 2) 北村 章ほか. 鉄と鋼. Vol.100 (2014), No.12.
- 3) 斉藤森生ほか. 計測と制御. Vol.29, No.6, p.535.
- 4) 薦田憲久ほか. IEEJ Journal. Vol.126, No.9, 2006, p.594.
- 5) 貝原保男ほか. R&D神戸製鋼技報. 2006, Vol.56, No.1, p.8-13.
- 6) 友近信行ほか. R&D神戸製鋼技報. 2006, Vol.56, No.1, p.64-68.
- 7) 伊勢居良仁ほか. 鉄と鋼. Vol.109, No.6, p.594-598.
- 8) 迫田尚和ほか. R&D神戸製鋼技報. 2014, Vol.64, No.1, p.99.
- 9) 総務省. 令和4年度版 情報通信白書.
- 10) 松本泰治ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.67, No.2, p.97-100.
- 11) 小池 武ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.2, p.59-62.
- 12) 友近信行ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.2, p.36-40.
- 13) 谷口元一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.91.
- 14) 吉本達也ほか. 第25回情報論的学習理論ワークショップ. 講演概要. 1-016, 2022-11-21-23.
<https://ibisml.org/ibis2022/posters/>
- 15) 田中哲夫ほか. Vision Engineering Workshop. 2022.12-8-9, 講演一覧 IS1-10.