



大西 公平

慶應義塾大学 ハプティクス研究センター センター長 **OHNISHI KOUHEI**
1980年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。慶應義塾大学新川崎先端研究教育連携スクエア特任教授、慶應義塾大学名誉教授。専門は電気電子工学。モーションコントロール、ロボティクス、ハプティクス研究の第一人者である。

INTERVIEW 巻頭インタビュー

触覚技術が切り拓く ロボットと生きる未来

ロボットはどこまで人に近づけるのか——。その解をもたらす技術の一つが「リアルハプティクス」です。研究開発の背景や未来社会に向けた意義について、大西公平先生にお話を伺いました。

movie

「リアルハプティクス技術」について動画視聴はこちらから

REAL-HAPTICS
まるで人のように対象物に合わせてつかむことができる

”人にしかできない”という壁を超える

「リアルハプティクス*」というのは、アルゴリズムで人間の力触覚を伝送し、再現する技術です。

人間の五感のうち、聴覚は19世紀、視覚は20世紀に伝送技術が確立され、電話やテレビが生まれました。一方で「ハプティクス」と呼ばれる触覚技術は、1940年頃からロボット工学の分野で研究が始まっていますが、まだ誰も伝送には成功していませんでした。

転機となったのは、アメリカで開発された「手術支援ロボット」『ダヴィンチ』の登場です。このダヴィンチを本学医学部で試験的に使ってみたところ、やや危険な状態に陥るケースがあることがわかりました。これはロボットに触覚がないからではないかと。そこで2002年5月、医学部と共同でロボットに力触覚を実装する研究を開始したのです。

をロボットがそのまま再現すること。この要請に対して、私たちは、力センサーを使わずとも、実際に触っているのと変わらない感覚を伝えるアルゴリズムを開発。これにより、世界に先駆け鮮明な力触覚を伝送することに成功しました。積み重ねてきた研究が活かされ、開発期間はわずか半年。2002年の暮れのことでした。



ご相談を受けたのは、2011

年です。実際に現場へ伺ったり、ディスカッションしたりする中で、「これぞリアルハプティクスを産業に応用する『第一号』にふさわしい」と思い、共同研究をスタートしました。

その後、この技術はさまざまな産業分野で活用できると考え、アプリケーション化して社会に提供するシステムを構築。アルゴリズムをICチップに搭載して実体化させたこともあり、「リアルハプティクス」と名付けました。

産業界に自動化の光を照らす

この共同研究を通じて、産業界には、従来の産業用ロボットでは対応できない、いわゆる「非定型作業」がたくさんあることがよくわかりました。これまでの産業用ロボットは、決まったことを決まったとおりに行う「定型作業」のためのもので、自動車などの製造ラインへ導入することは比較的容易です。これに対して作業対象や内容が一定ではない非定型作業は、機械化が困難とされてきました。

今回の炉前作業ロボットの实用化は、今まで「人にしかできない」と考えられてきた非定型作業が、リアルハプティクスを応用することで機械化や自動化できるという

ご相談を受けたのは、2011年です。実際に現場へ伺ったり、ディスカッションしたりする中で、「これぞリアルハプティクスを産業に応用する『第一号』にふさわしい」と思い、共同研究をスタートしました。

この共同研究を通じて、産業界には、従来の産業用ロボットでは対応できない、いわゆる「非定型作業」がたくさんあることがよくわかりました。これまでの産業用ロボットは、決まったことを決まったとおりに行う「定型作業」のためのもので、自動車などの製造ラインへ導入することは比較的容易です。これに対して作業対象や内容が一定ではない非定型作業は、機械化が困難とされてきました。

今回の炉前作業ロボットの实用化は、今まで「人にしかできない」と考えられてきた非定型作業が、リアルハプティクスを応用することで機械化や自動化できるという

※ リアルハプティクスは、モーションリップ株式会社の所有する登録商標です。

特集

プラント操業の

DX

プラント現場には、人にしかできないとされる熟練の技がある。しかし、人と同様に触覚を持つロボットがあれば、その定説も覆すことができる。日鉄エンジニアリングが実機化に成功した炉前作業ロボット、そしてDX技術で実現する自立型プラント「Think Plant®」について紹介する。



香川東部溶融クリーンセンター

プラント現場にお残る重労働を解消したい

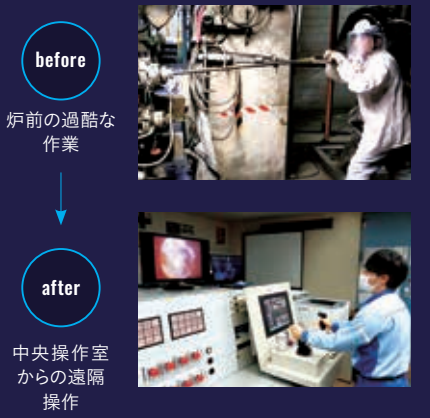
舞台となったのは、香川県さぬき市の「香川東部溶融クリーンセンター」。同センターは、製鉄用高炉の技術を応用した、ガス化溶融炉を持つごみ発電プラントだ。当社が、建設から操業・保守までを担っている。

「プラント操業は、技術革新によって大部分が自動制御化され、省力化が進んでいます。しかし現場には、なお人の手が頼みとなる、いわゆる非定型作業が残っています」と技術統括センター長の古家は語る。

より、熟練者の技術伝承は大きな課題です。言葉では伝わりにくい技の妙が、見える化・自動化される意義は大きいと言えます」（古家）。
エンジニアリング会社として未来に挑む

炉前作業のロボット化による技術革新は、商業的実用化が期待される先駆的技術として、（財）エンジニアリング協会の「エンジニアリング奨励特別賞」を受賞した。DXの中でも、非定型作業ロボットの実機化成功は業界内で関心が高く、後に続こうと社内外から多くの相談が寄せられている。将来の労働力人口減少が避けら

DX: before → after



課題として挙げたのが、溶融炉の出湯口にこびりつく附着物を除去する炉前の清掃作業だ。

ガス化溶融炉では、ごみを1700〜1800℃で溶かして排出するが、出湯口には冷めた溶融物の一部が固まって附着してしまうことがある。そのため、重さ約10キロにもなる鋼製の突き棒で定期的にはがして掃き出す作業が必要となる。単純にも思える作業だが、附着物の粘り気や硬さに応じて力加減を変え、かつ溶融炉本体を傷つけないように除去するには熟練の技術が求められる。高温な炉前で防護具を装着し、重い鋼の棒を突く動作は、過酷な作業でもある。

触覚技術×リアルタイム制御で機械化に成功

この課題に対し、ブレイクスルーの糸口となったのが、触覚伝送技術「リアルハプティクス」だ。

垂直多関節の産業用ロボットのアーム先端に接触時の感触を操作機に伝送する伸縮性アタッチメントを装着。オペレーターは、中央操作室にある遠隔操作盤でロボットを操作するが、その操作レバーに、ロボットが物体に触った感覚（触覚）を手元に伝えるリアルハプティクス機能を持たせた。さらに、事前に動作を覚え込ませるティーチングをせずに、オペレーターがロボットを自在に操作できる「リアルタ

イム制御」を採用することで、多様な形や硬さの附着物に対して、手応えを感じながら的確な操作が行えるようにした。

この結果、2人で1日140分要していた作業を、1人が70分で完遂できるようになり、作業者の肉体的な負担軽減だけではなく、定量的にも劇的な効率化を実現した。

また、遠隔操作時の各種データを収集・蓄積することで、今までは体で覚えていくものとされていた作業をデータ化することもできるようになった。現在、これらデータに画像処理なども加えてロボットの自動化を目指している。

「若年労働力人口の減少はもと



Furuya Hidehiko
技術統括センター長
古家 秀彦

Comment 現場からの声

香川東部溶融クリーンセンター



日鉄環境エネルギーソリューション(株)
香川事業所
操業技術主任
中井 幸太

Nakai Kota

導入時は「こんな複雑な作業がロボットにできるのか」という不安がありました。実際には人の手で行う作業が大幅に減り、杞憂となりました。現場のニーズや状況に合わせて、ロボットが人のように動きを変えて作業してくれるようになれば、操業の自動化も可能になると感じています。

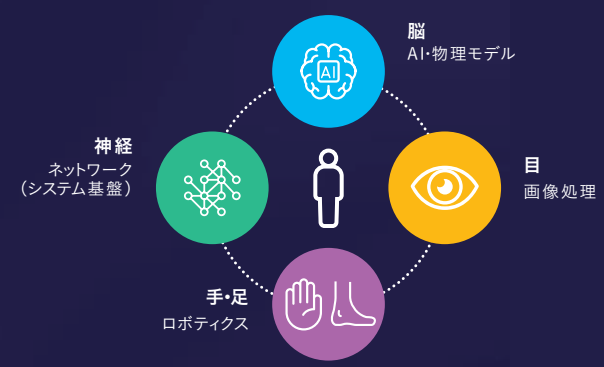


Think Robot®

様々なプラントへの展開を目指して実証機を用いた技術開発が進められている。
(北九州技術センター)



Think Robot® / 炉前作業ロボットについて
動画視聴はこちらから



熟練者の経験値を超える 安定操業を可能に

プラント現場における省力化・省人化は、ロボティクス導入だけにはとどまらない。当社は、独自に開発したAIやIoTを活用し、プラント自らが異常の検知や最適な操業判断を行う自立型プラント「Think Plant®」を実現するべく、環境・エネルギー分野を中心に実用化を進めている。「指示に従う『自律』ではなく、プラント自らが判断するという意味を込めて、あえて『自立』という言葉を使っています」と語るのは、全体指揮を執る富岡だ。

技術統括センター
制御技術部
制御開発室長
富岡 修一



Tomioka Shuichi

例えば、低炭素型ガス化溶融炉において、ごみの供給速度や送風量についてディープラーニングを用いて最適化する

オペレーション&メンテナンス技術、プロセス制御技術を有する当社だからこそ、プラント現場を真に理解した提案ができます」(富岡)。

未来へ向けた一手として、2022年11月にITソリューション会社(株)プライセンとの協業を発表した。プライセンは、AI学習に使用する大量の教師データを作成(タグ付け)するアノテーション事業のバイオニア。今回の協業で、運用によって積み上がった操業データの分析を強化し、サービスの精度向上を目指す。

同社代表取締役社長の藤木優氏は、「日本で最も古くて新しい日鉄エンジニアリングのThink Platformと当社で、新たな市場開拓にチャレンジできることに大変ワクワクしております。両社のコラボレーションにより、新たなソリューションを提案していきます」と事業発展に向けて力を込めた。

まるでひとりの人間のよう、プラント自らが考え、安全・安心な運転を続ける。そんなプラント操業の実現を目指して、日鉄エンジニアリングがプラントの未来、日本の未来を支えていく。

ことで、ボイラー蒸気量を安定化。オペレーターの経験や能力に依存しない維持管理を可能にする。とはもちろん、環境負荷低減にもつながる。「熟練者を介さなくても、今までと同等、あるいはそれ以上に効率的で最適なプラント操業を実現しています」と富岡は成果を分析する。

積年の開発技術 例えるなら人体

Think Plantの実現に向けた取り組みは、1990年代からスタートしている。データ解析に基づくプラント操業支援から始まり、2011年にはリアルタイム支援のインフラを構築。2017年には、クラウド上にデータベースと高度解析基盤を構築した「DS Cloud®」を導入し、プラント操業の高度化・自動化を推進してきた。プラントの自立化に用いられる様々な技術要素は、人体に例えることができる。状況を適切に判断する脳に当たる「AI・物理モデル」、その判断を支える情報を得るために重要な目となる「画像

処理」、さらに現場作業を遠隔化、自動化する手・足となる「ロボティクス」、それらすべてをつなぐ神経、すなわち「ネットワーク」だ。これはThink Plantに欠かすことのできない必須技術である。

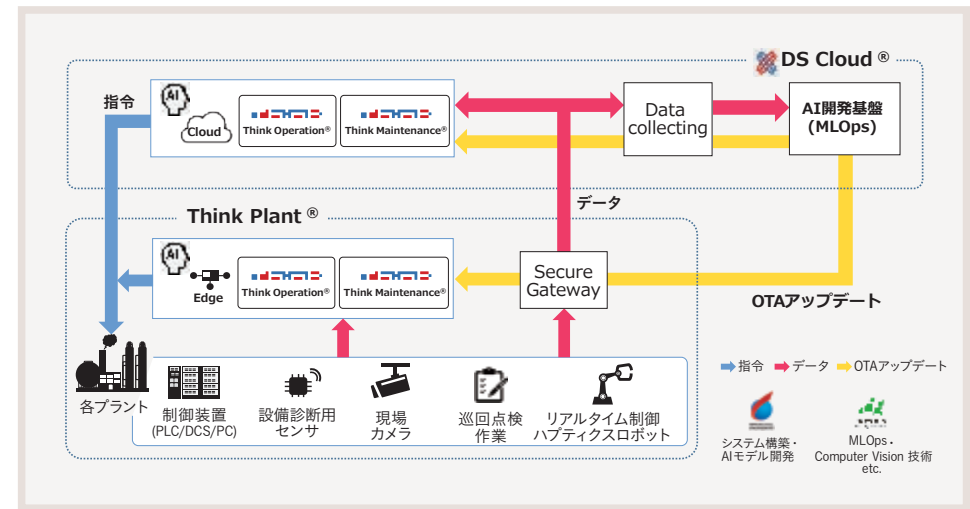
社内外へDX技術を展開し 操業の自動化ニーズに応える

現在はさらに、Think Plantの導入を支援する統合プラットフォーム「Think Platform®」(P7図)を構築し、各種サービス提供の拡充を図っている。これによりこれまで培ってきた技術や膨大なデータを、グループ企業だけでなく他社が操業するプラントなどへも広く展開していく。

「操業を自動化したいというニーズは、あらゆる業種で高まっています。共通の課題をThink Platform®に集約し、パッケージにして提供できれば、DXを導入したいが、独自にシステムを構築することが難しい中小企業の方々も取り組みやすくなります。システム会社ではなく、これまで培ってきたエンジニアリング技術、

Think Platform®

プラントの自立化に必要な、各種機能・サービス(AIモデル)を共通基盤化することで、Think Plantの展開が加速し、効率的なサービス提供が可能となる。さらに各種サービス(AIモデル)は、DS Cloud®を介して効率的に集約・蓄積したデータをもとに構築・再学習することで、日々進化・拡充される。



Press Release

「EdgeTech+2022」で行った記者発表会にて。
右:(株)プライセン 代表取締役 藤木社長
左:技術統括センター長 古家

Limbs



手・足
ハプティクスをはじめとする、ロボットの制御システムの開発を担当しています。ロボットの活用シーンを格段に広げたいとの思いから、「産業用ロボットの遠隔操作」という今までにない発想のもと、「触覚」や「応答性の高い制御機能」をロボットに搭載することで、リアルな「操縦感」を実現しました。現在はロボットによる機械化の先、自動化に向けて、制御プログラムの開発・改善に取り組んでいます。画像処理やAIが導き出した最適解は、実際に行動する手・足となるロボットの高度な制御があってこそ、現実世界に反映することができます。これからもロボット制御機能の開発を進め、あらゆる非定型作業ニーズへの適用を推進していきます。

Kobara Takumi
甲原 匠

ロボットを
意のままに



Network



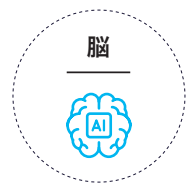
神経
様々なデータ同士が繋がってこそ成り立つThink Plantは、大前提としてデータ同士が「安全に」つながることが不可欠です。そのため、制御系を含めたインフラ基盤を導入するためのネットワーク設計および構築の自動化、機器設定情報の一元管理化に取り組んでいます。必要最低限のネットワーク設計と通信要件から、セキュアなネットワーク設計を自動的に作成し、作成した情報をもとに自動的に機器を設定するシステムを構築することで、通信要件が異なる複数の拠点に対して、信頼性の高いインフラ基盤の提供ができることを目指しています。最終的には、専門知識がなくても、誰でも安心して扱えるインフラ基盤をつくりあげていきたいと考えています。

Maegami Tomoaki
前神 明了

多拠点のデータを
安全につなぐ



Brain



Think Plantの統合プラットフォームThink PlatformのAIサービス拡充に向け、動画解析モデル開発と大規模言語モデル活用に取り組んでいます。前者では、カメラ映像から、現場作業内容をリアルタイムに判定するモデル構築を進めており、まずは当社が保有する大型海洋作業船「くろしお」のパイプライン施工現場などへの適用を目指しています。また後者では、ChatGPTに代表される最先端の言語モデルを、業務改善やUX（ユーザーエクスペリエンス）改善などに活用するための技術開発に積極的に取り組んでいます。AIソリューションにより、様々な現場のDX推進に貢献したいと思っています。

Nomada Hiroaki
野間田 裕昭

多様なニーズに
AIで応え続ける



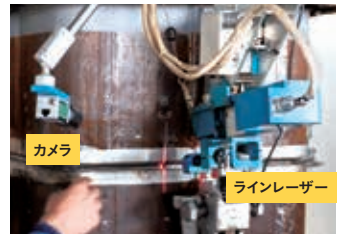
Eye



目
カメラや3Dセンサで取得したデータをもとに画像処理や3D点群データ処理を駆使して、ロボットが動くための目標位置座標を高精度で割り出し、動作内容を判断・決定する技術を開発しています。いうなれば、Think Plantの手・足を担うロボットに「目」を持たせる技術で、ロボットが自立的に「Think」して動くために不可欠な要素です。なかでも、都市インフラセクターと共同で取り組む、建設現場の自動溶接ロボットは、商品化に向けた最終段階を迎えています。「便利だね」というレベルにとどまらず、プラント操業の常識を変えるような開発で、人手作業代替ロボットの自動化に取り組んでいきます。

Fukaya Nozomi
深谷 望

ロボットに
「目」を持たせる



ラインレーザーを当てて溶接用の溝をカメラで撮影するだけで、溶接部の形状計測や狙い位置を算出する自動溶接ロボット

4 Engineers



可能性を
「現実」に

自立型プラント「Think Plant」を実現する技術要素は日々開発が進められている。越えられないとされていた壁を越え、可能性でしかなかったものを現実にしていく。技術開発の最前線を担う制御開発室の4名の若手技術者に、現在の取り組みと想いを聞いた。