

TOYOTA

産総研



最適化技術の 最先端へ。

豊田自動織機と産業技術総合研究所との技術連携

Introduction

茨城県つくば市にある「産業技術総合研究所(以下、産総研)」という施設をご存じだろうか。産総研は日本に3つしかない特定国立研究開発法人のひとつで、1882年に設立された農商務省地質調査所を起源とする100年以上の歴史を持つ研究所だ。多様な研究領域を持つ総合力を生かし、エネルギーや環境などに関する課題、少子高齢化対策など、さまざまな社会課題に対して、その課題解決と社会実装に挑んでいる。全国に12か所の拠点をもち、常勤研究員は約2,200名、さらに企業、大学、公的研究機関などの研究者を外来研究者として6,000名以上受け入れている。また、年間3,000件を超える共同研究により、企業との連携を強化している。産総研は、いわば“日本の産業技術の頭脳”的な存在と言ってもいい。この産総研と当社は密接なかかわりがある。それは2016年まで遡る。

当時、佐々木副社長と産総研の理事長である中鉢氏が双方の現場を視察し、意見交換した際、佐々木副社長は産総研の保有技術とその能力の高さ、当社との親和性に感銘を受け、産総研との共同研究を進めることで、必要な革新的技術を獲得できると確信。2016年4月にできた「冠ラボ制度」を活用し、同年10月「豊田自動織機-産総研 アドバンスト・ロジスティクス連携研究ラボ」を設立。共同研究を開始した。冠ラボ制度とは、企業ニーズに特化した研究室を産総研内に設置し、産総研の研究者と企業出向者が共同で研究する制度。現在、当社をはじめ、NECや日立、ソフトバンクなど23の企業が冠ラボを設置し、研究活動を進めている。

今回は、この冠ラボで当社と産総研がどのような研究をしているのか、共同研究によって得られるものは何かなど、過去と現在を交えながら紹介していく。

ALラボで研究者と出向者が 共同研究をする意義とは?

当社と産総研の共同研究の場は「AL (Advanced Logistics) ラボ」と名付けられ、フォークリフトなど機器の自動化・自律化をはじめ、先進的な物流ソリューションのための要素技術を研究している。具体的にはAIを活用したロボティクス、データ分析、最適化などの研究で、今回焦点を当てるのが、そのなかの「最適化技術」だ。この最適化技術について、先行開発部部長であり、過去にはALラボ長も務めた加藤紀彦はこう話す。



加藤 紀彦
先行開発部

「最適化とは、制約条件のもとで目標となる目的関数を最大化または最小化することを指します。近年ではAI、画像処理技術などのデジタル技術の進展により、効率的かつ正確な最適化結果を迅速に求めることが可能となりました。一方で、私たちを取り巻く環境を見ると、日本社会では少子高齢化が加速し、とくに物流業界において人手不足が深刻化すると予測されています。さらに、ECサイトの拡大にともない物流が活性化することで、迅速性、正確性、効率性の向上がより求められるでしょう。こうした課題に対し、産総研との共同開発により、最適化技術を活用したソリューションを提供することで、当社の社会的な価値や存在感を一層向上させることが期待されます。加えて、日本トップクラスの研究者とひざを突き合わせて議論し、研修することで、人材育成にも大きな成果を上げられると考えています」。

最適化技術研究の足跡

ALラボで学んだ「最適化技術」とは？

ALラボでは設立以来、約3年を1サイクルとして区切っている。2016年から2019年までが第1期、2020年から2022年までが第2期、2023年から2025年までが第3期である。ここでは過去、産総研に出向した当社の社員たちが、どのような研究テーマに取り組んできたのかを紹介する。

——岡本和也の場合



岡本 和也
先行開発部
先行開発第三室

日本トップクラスの研究者のすごさを実感した瞬間

2019年3月から2023年5月まで産総研に出向していたのは、先行開発部 先行開発第三室の岡本和也だ。岡本は「30歳を目の前にして、何か新しいことに挑戦したいと思っていました。そこに産総研への出向の話があり、いいチャンスだと感じ、思い切って飛び込みました」ときっかけを話してくれた。岡本は産総研で物流領域における最適化アルゴリズムの開発に着手。その代表的なものに「高速仕分け自動倉庫アルゴリズム」がある。これは当社の高浜工場内にある垂直搬送機の動作を最適化するための技術開発だ。

「この垂直搬送機は、エレベータ式の垂直搬送機よりも倍以上の搬送能力を持ちます。しかし、当時はその制御にA*（エースター*¹）というアルゴリズムを用いており、その実力を十分に発揮できず

にいました。そこで、この垂直搬送機の動作最適化アルゴリズムの開発に取り組みました」。

A*の限界を感じていたが、どのようなアルゴリズムが最適なのか、迷っていた。そこで北海道大学の教授であり、人工知能学会の前会長である野田五十樹先生にアドバイスを求めた。

「先生にこの課題をお話ししたら『これならMaxSAT*²が使えるかもしれない』とすぐに答えを出され、九州大学の越村先生を訪ねに行きました」。

野田先生はさっそく越村先生に要件を話すと、確かにMaxSATのアルゴリズムで解決できそうだと返答を頂き、野田先生の北海道大学、越村先生の九州大学、そして豊田中央研究所とも共同でMaxSATを用いた搬送動作の最適化に取り組んだ。

「野田先生は専門家ではないとおっしゃりながらも、MaxSATの可能性をすぐに示唆されたのには驚きました。日本トップクラスの研究者は、課題に対して何が本質なのかを瞬時に捉え、その解を導き出すことができるのだと感心するばかりでしたね」と岡本は当時を振り返る。その後、MaxSATのアルゴリズム開発を進め、搬送能力を9%向上させることに成功。その後、実際に高浜工場で実用化するため、強化学習を加えた開発をさらに重ねたことで、搬送能力は13%にも引き上げることができた。

- *1……経路探索アルゴリズムの代表格で、地図アプリやゲームなどに使用される手法。スタート地点からゴール地点までの最短ルートを探すのが得意。
- *2……すべての条件を満たせない場合でも、できるだけ多くの条件を満たすように解を探す手法。満たさなければならぬ条件をすべて満たすなかで、評価関数を最大or最小化する解を探索できるアルゴリズム。

ALラボ時代の研究経験を元に現場での実装化に励む

2023年5月に帰任した岡本は現在、基礎アルゴリズムを構築してそのシステムを現場に実装する活動を推進している。岡本はALラボ時代、先述した「高速仕分け自動倉庫アルゴリズム」以外にも、パーツセンターを舞台にピッキング作業の最適化シミュレーションを構築し、作業性の向上を図る研究もしていた。その経験を元に通過型倉庫の配荷作業をスムーズに行うため、配置工程の最適化

に取り組んでいる。

「ALラボで取り組んだパーツセンターのピッキング作業シミュレーションはシーズベースでしたが近年、以前よりも倉庫の最適化に注目が集まっています。そのため、現在取り組んでいる仕事は、ALラボでの経験を生かせる好例だと思っています。通過型倉庫は入荷した商品を保管せず、店舗ごとに商品を仕分けてすぐ出荷する物流センターのような役割を持っています。倉庫内には商品が置かれた棚があり、作業員が配送先ごとに商品をピックアップしながら一方通行の通路を進んでいきます。配送先の規模によってピックアップする商品数はバラバラなので、場所によっては渋滞が発生し、作業効率が低下してしまう課題を何とかしたいと考え、取り組んでいます」。

岡本は渋滞のメカニズムを分析するなど、解決策に当たったが、現場固有のルールもあり、当初は難航したようだ。

「商品載せるカートがいっぱいになると、そのカートはほかの場所に置き、空のカートを持ってきて作業を続けるため、それも考慮しながら棚の配置を考えたり、作業員がショートカットできる経路をつくったりと試行錯誤を重ねています」。

現場導入を成功させるため、さまざまな条件や制約を乗り越え、渋滞が発生しそうな場所をうまく分散する方法を検討している。

「ALラボ時代に日の目を浴びなかったシミュレーション技術が、いま仕事で活用できていることに喜びを感じています。ただ、実装すれば終わりではありません。棚の配置をさらに改善していきながら、物流センターの皆さんが持続的に運用できる方法も考えていかなければなりません。ワーキングリーダーとして、メンバーたちに開発技術を社会実装につなげていく進め方をしっかり考え、伝えていく役割もあります」と岡本は力強く語ってくれた。

物流領域の枠を飛び越え、ほかの領域にも挑戦していきたい

「日本トップクラスの研究者の皆さんと交流できたことで、とても大きな刺激を受けました。また、開発を進めていくうえで、ニーズをベースとした開発はそのニーズを満たすことがゴールとなりますが、シーズベースの場合は自分たちでゴール

を設定しなければなりません。そこを明確にして開発を進めていく大切さを痛感しました。そのほかにも開発したものを実用化するためには、研究者と当社の思惑のズレをいかに小さくするか。その重要性も学びました。今後はALラボで開発したものをL&Fと一緒に実用化していきます。当社の物流部門のソリューションを高めていくために、お客様の困りごとを解決するだけでなく、こちらから有意義な提案ができるようにしていきたいと思っています。さらにいまは物流領域を担当していますが、その枠を飛び越えて、他領域にも挑戦していきたいですね」。

岡本は今後の目標を語ってくれた。ALラボでの経験は学術的な知識だけでなく、これから取り組んでいく仕事への意欲までも培ってくれたようだ。

——岡部大輔の場合



岡部 大輔
先行開発部
先行開発第三室

AIを学ばば学ぶほど、人間の卓越した能力を実感

多くのラボメンバーが当社から直接、産総研へ出向するという形で研究開発に取り組んでいるのに対し、先行開発部 先行開発第三室の岡部大輔は、少し異色の経歴を持つ。入社3年目の冬、2018年2月から岡部は技術を習得するために、NEDOプロジェクト（国の助成を受けた産学連携プロジェクト）に参画。ここではコンビニでロボットの活用に向け、商品のピッキングや補充に関する研究を実施していた。岡部は、ディープラーニングを用いた画像認識技術に取り組んでいたが、プロジェクト側の事情により2018年度末に1年間の活動で終了してしまっただけで、そのまま会社に戻る選択もあったが、加藤部長からALラボに誘われ、

2019年から産総研でラボのメンバーとして、研究活動を始めることになった。

「2019年からはディープラーニングの経験を生かし、AIによる梱包箱選定に取り組みました。当社の高浜工場のパーツセンターにおいて、数ある課題のなかのひとつに『26種類ある配送箱を選んで、そのなかに大小・形状もさまざまな部品を効率的に梱包したい』というニーズがありました。熟練者なら瞬時に各部品の特徴を把握し、どの部品とどの部品を組み合わせれば配送箱にきっちり収まるのかがわかりますが、経験の浅い作業者の場合は、やり直しがあったり時間がかかったりします。そこでディープラーニングを活用し、熟練者の経験に頼らなくても、梱包する部品リストを入力するだけで、その部品を高効率に詰められる配送箱を弾き出してくれる仕組みをつくらうと考えたのです」。

岡部は熟練者6人がこれまで梱包してきた15万件の記録をAIに学習させようと考え、正解率80%を目指すなか、70%の結果を残すことができました。ただ、このシステムは現場での実証実験まで進んだものの、実用化には至らず悔しい思いをした。

「AIを学べば学ぶほど、人間の卓越した能力をあらためて実感します。当時はAIやビッグデータ活用が普及し始めた頃でしたが、集めたデータを適切に活用する難しさを思い知らされました」と岡部は語る。

幾何学的手法と統計的手法の2つを用いて課題を解決

ただ、この経験は現在、現場で取り組んでいる仕事に生かされることとなる。岡部は2021年に帰任し、最適化理論チームのリーダーとして活躍している。そこで、ある物流倉庫向けに注文商品をどのように分ければ1つのコンテナに入るかを事前計算する仕事に取り組むこととなる。

「従来は1種類しかないコンテナにさまざまな商品を入れる際、高速化のために商品の容積情報のみで判断して梱包していました。商品の容積の合計値がコンテナの容積以下であること、容積の大きい商品は同梱しないことを条件にしていたのですが、容積的には問題はないが、形状的に入らない場合も出てきます。そうすると、新しいコンテナを追加しなければならず、その分輸送コストが増

えてしまいます。このコンテナの追加を低減することが現場からの要望でした」。

課題となったのは計算時間だった。1日分の計画を約10分という短い時間で計算する必要があったため、すべての商品の詰め込みパターンを正攻法で計算しては、とても間に合わない。そこで岡部はコンテナに商品を入れた際に発生する隙間と同梱する他商品の寸法の関係から幾何学的に同梱できるかどうかを判別するルールを追加。さらにコンテナ追加が発生した時のデータを集め、その時の商品形状を統計的に分析した。その結果、商品の2番目に大きい面積(中面積)が閾値を超えるとコンテナが追加される可能性が高いことが判明した。そこでコンテナ追加に影響する商品は、同梱を避けるルールも追加した。

「最初のアイデアは幾何学的手法に基づいたルール、2つめは統計的手法に基づいたルールと言えます。これを従来のアルゴリズムに追加してみると、コンテナ追加率を7%低減することができました。これは一日あたり500箱以上のコンテナの削減効果があり、現場の困りごと解決に貢献できたと考えています」。

最適化の対象をさらに広げ、ジェネラリストとして活躍したい

今回の課題は、理屈による幾何学的手法とデータによる統計的手法の2つのルールを追加したことによって、効果を上げたのだが、じつは統計的手法のみでも良い結果が出ていたという。

「データを利用した手法は複雑な問題にも適用しやすい反面、“なぜそう判断したか”を知ることが難しいという弱点があります。幾何学的手法のような理屈ベースの手法は判断根拠が明確ですが、人が理論を構築するので複雑な問題に適用するのは知識や労力が必要です。現場で使える技術をつくるためには両者の良い面、悪い面を理解して、適切に使い分けることが大切だと感じました。

また現場での実用化を目指す、当然、現場での前提条件に合わせなければなりません。計算リソースがなかったり、コスト増が受け入れられなかったり……。そういった面を加味しながら課題解決に取り組んでいくことの重要性を学びましたね」。

先行開発はどうしても技術先行で進めたい

ものだが、この技術を活用することで、何がうれしいのか。岡部はそのことを常に前提として考えるようになったと言う。それがまさしくALラボで経験したことによる成長を意味するのだろう。

「ALラボでの活動を含めて、これまでは物流領域を主眼に最適化を行ってきましたが、今後はその対象をもっと広げていきたい。実際、モータの設計や制御、エネルギーマネジメントなど、広い分野にテーマを広げています。モータの分野は熟練者による経験則で最適化されている部分が多いため、ビギナーであっても簡単に熟練者と同等以上の仕事ができるよう最適化を目指しています。エネルギーマネジメントも今後必要になる分野。非常に大規模で複雑なシステムの制御になるため、人力では最適化しきれないことが予想されます。そこに、最適化理論を用いてよりよくできるように技術を確認していきたいですね。このような活動によって、成果を積み上げていくことで、最終的には社内でも研究活動ができるような環境をつくれれば、最高です！」。

岡部は今後、ジェネラリストとしての立場から仕事を包括的かつ俯瞰的に捉え、自身がなすべき道をしっかりと見据えているようだ。

——岡本浩伸の場合



岡本 浩伸
先行開発部
先行開発第三室

研究そのものも、マネジメントの手法も学んだ

先行開発部 先行開発第三室でGMを務める岡本浩伸は、2020年4月から産総研に出向した。当時、岡部は自律度の高い多数の物流ロボットを用いたシステムの研究の立ち上げ準備にかかわっていた。

「この研究を行うためには、どの研究者に相談す

ればいいのかを選定する最初期の頃です。研究内容や方向性もまだ明確でなかったため、L&Fと相談しながら進めていきました」と岡部は話す。フォークリフトの自律化の研究にも携わった。これは人が状況に応じて操作しているようにフォークリフトが周囲の環境を認識し、その時点で最も効率的な動きができるようにするもので、現在、副ラボ長を務めている大隈隆史先生からテーマを頂いた。これも多数台物流ロボットの研究同様、初期の立ち上げを行った。

「当初は具体化された課題に対する研究開発をする心づもりで出向したのですが、実際は研究の立ち上げに携わり、最初はちょっと肩透かしを食らったような感じでした。しかし研究を軌道に乗せるために、さまざまな先生と話し合い、そもそも研究課題は何か、どのような研究方法が最適かを考えたり、その先生からより適任である先生を紹介していただいたりして、とても楽しかったですね」。

そして岡部は、次第にこの経験が将来のマネジメント業務に生かせるのではないかと気づいていく。立ち上げ業務は今後、研究者や当社からの出向者が研究に没頭できるような環境を整える仕事でもある。岡部は当時40代前半だったこともあり、今後のことも考えると自身が研究に没頭するよりも、このような環境をつくり上げる仕事のほうが、自分のためになると考えるようになった。

「実は以前、自分の知識や方法論の引き出しが少なく、マネジメントでうまくいかなかった苦い経験がありまして……。今回、数多くの先生とコミュニケーションすることで、足りなかった引き出しが増えたと実感しています」。

この2つの案件の立ち上げを経験したことで、岡部は研究をうまく進めていくための大切な要素も学んだという。それは研究者とお客様をうまくつなぐことだ。

「研究者にはシーズがあり、お客様(この場合はL&F)にはニーズがあり、それぞれ目的が異なります。たとえば、研究者は研究の成果を論文にまとめて発表したい。お客様は課題を解決し、生産性を向上させたい、といった具合に。両者の間にはどうしても目的の違いが生じてしまうため、私のような立場の人間がその間に入り、うまく調整していく必要があります」。

当然のことだが、大切なのはまずコミュニケーション。お互いの実現したいことをしっかりと伝

え、理解してもらうこと。そして役割を分担すること。たとえば、要素技術は研究者に任せ、お客様特有の事案に関しては出向者が行うやり方も効果的だと言う。また、岡本はこんなことにも取り組んだ。

「研究者の皆さんが論文をまとめる際に有用なデータを提供して、私たちと共同で研究開発をすることへのメリットを感じていただくことも大切です。そうすることで、研究者の皆さんも私たちの依頼に対して気持ちよく応えてくださるので」。

研究者とお客様の目指すゴールが完全に一致することはほぼないと思われる。だからこそ、少しでもズレをなくし、お互いに気持ちよく研究できる環境をつくり上げることが大切だと岡本は語った。

生き生きと研究に向き合う 研究者を見て、気づいたこと

そのほかにもALラボでの経験は岡本に多くの学びをもたらした。なかでも研究者の皆さんとのコミュニケーションにより、これまでにない多角的な考え方を学び、問題解決の幅が広がったと言う。

「とくに印象に残っているのは、大隈先生が話されていたことです。大隈先生は人と機械の協調をテーマに研究を進められていたのですが、大隈先生曰く『自動化の先に協調がある』と言われていました」。

製造業において、近年では人機械協調の言葉を耳にするものの、当時の一般的な解釈だと最終目標が「自動化」と思ってしまいがちだ。しかし、大隈先生は完全な自動化は難しいとし、機械が得意なこと、人が得意なこと、その両者が手を取り合っものづくりやサービスを行うのがあるべき姿ではないかと提唱する。このように自身の常識に一石を投じるような意見や考え方に触れるのは、産総研に出向する醍醐味ではないだろうか。

「あとは研究者の皆さんが、とにかく楽しそうにしている。生き生きと研究に向き合っている姿が印象的でした。それを見た経験から、私もGMの立場からメンバーたちが楽しく、生き生きと仕事ができる職場環境づくりを意識するようになっています。組織内で働くことは、さまざまな制約やルールがありますが、そのなかで最大限、メンバーのみんな

なが能力を発揮し、楽しく働いてもらうためには何ができるだろうか、と考えるようになったんです。これはずっと当社内にいたら気づけなかったことです」。

岡本はこのような意識になったことで、現在はメンバーとのコミュニケーションの機会をより充実させ、個々のパーソナリティや目標を把握することで、生き生きと働ける環境づくりに奔走している。

AIやデータサイエンスなどの 専門組織をつくりたい

岡本は7月から先行開発部から品質統括部へ異動した。部の名称だけ見ると、まったく他分野の業務に携わるように思えるが、実際はデータサイエンスを活用し、全社的に品質機能の強化を支援することが使命であり、これまでの先行開発部や産総研での経験を十分に生かすことができる仕事だという。

「たとえば、各事業部向けに検査工程にAIを活用したり、その活用のためのガイドラインをつくったりしたいと思っています。これからは最適化技術を品質の観点から活用していきたいですね」と抱負を語ってくれた。さらに岡本は続ける。

「将来、当社がものづくりだけでなく、AIやデータサイエンスの分野においてもブランド力を発揮できるようになればいいなと思っています。そのためには、データサイエンス専門の研究開発拠点ををつくりたいです」。

産総研への出向は人を大きく成長させる。岡本はこの先の当社が強化すべき領域をも見定め、その実現を視野に入れている。

次に紹介するのは2021年(第2期)からと2023年(第3期)からの出向者2人。現在、ALラボで研究に取り組んでいる真っ最中だ。2021年から出向している加藤拓朗はEC開発部から、2023年から出向している菊池駿介は先行開発部からの出向となる。

——加藤拓朗の場合



加藤 拓朗
先行開発部
産業技術総合研究所

思わぬ方法で 華麗に課題を解決した 研究者のアイデアに脱帽

加藤拓朗は2021年4月から産総研に出向し、先述した岡本浩伸が初期の立ち上げにかかわった自律度の高い多数の物流ロボットを用いたシステムの研究や、自動運転フォークリフトでのパレット位置・姿勢認識・荷役制御の研究を行った。現在はそれに加え、自律型ケースハンドリングロボットシステムにおけるケース配置最適化にも取り組んでいる。

そのなかでも加藤が最も印象に残っているのは、自動運転フォークリフトでのパレット位置・姿勢認識・荷役制御の研究だという。この研究の歴史は深く、ALラボが設立された2016年当初の第1期から取り組んでおり、加藤が引き継いだものとなる。倉庫内外でフォークリフトを自動化させるためには、当然、トラックに載ったパレットを降ろしたり積んだりする荷役作業が必須。しかし、トラックに載っているパレットを降ろす際、パレットは必ずしも地面に対して水平になっているとは限らない。地面そのものが傾斜していることもあれば、トラック自体が積み荷の重みで傾いている場合もある。そのような状況でもフォークをパレットの差し込み穴に対し、正確に差し込むことができなければならない。パレット開口部の上下幅は90mm前後。角度が2度ズレルだけでも、パレットに触れてしまうのだから、その難しさが想像できる。

「この課題を解決するポイントは、フォークとパレットの位置関係とピッチ角(傾き)を高精度に把握することです。産総研の高精度画像計測技術を

応用してピッチ角推定誤差±1度以内を目標に研究を進めていきました」。

フォークとパレットの位置関係とピッチ角(傾き)を高精度に把握するためには、そもそも取り付けカメラとフォークの位置関係を正確に把握できなければならない。この取り付け位置関係を正確に把握するため、どのような手法が最適なのか、加藤は悩んだという。そこで産総研のベテラン研究者にアドバイスを求めた。

「私は当初、カメラを取り付けたい位置とフォークリフトの設計寸法から計算するぐらいの案しか持っていませんでした。しかし、その先生はこのカメラ外部パラメータのキャリブレーション(取り付け位置・姿勢の計測)も、画像計測で高精度に実現してしまう手法を提案してくださいました。取り付け誤差が生じる可能性を排除できない私の案の課題をエレガントに解決してくださいました」。

加藤は画像認識以外にもセンサーによる解決方法にもトライした。トラックからパレットを降ろす際は画像認識技術を元にした制御を使い、トラックにパレットを載せるときは、センサーを使うやり方を考えたのだ。

「こだわったのは、カメラもセンサーもまったく新しいものを追加するのではなく、自動機において標準的に搭載されるものを活用したこと。これは実用化を見据えたコストダウンのためです。いくら高精度のカメラやセンサーを使っても、それを導入する際、大幅なコストアップになってしまっは、現実的ではないからです」。

加藤はつねにゴールである現場での実用化を見据えて研究を重ねていった。プログラムを書き、それを実験用のフォークリフトに組み込み、実作業をさせてみる。不具合があれば、プログラムを書き直し、またトライしてみる。その繰り返しによって次第に精度が上がっていった。

「産総研には私たちがいる棟の隣に実験棟があり、そこにフォークリフトの実験機が置いてあります。だから、すぐにプログラムを反映し、動作を試すことができるんです。産総研の研究環境にはかなり助けられていますね」と加藤は話す。

抽象的なニーズをより具体化、 明確化するスキルを習得

加藤は出向してから約4年経ち、今年が出向の

最終年だ。通常、1期は3年単位で区切られていくため、加藤の場合は2期に跨っての長期出向となる。

「長く産総研に在籍させていただき、さまざまな分野の研究者の皆さんと交流することで、視野が広がり、問題解決の幅も広がりました。それ以上に、抽象的なニーズをより具体化、明確化していくスキルが身に付いたと思っています。ニーズというものは、常に明確になっているわけではなく『何となくこんなことしたい』といったぼんやりとしているものが多いです。そのような不確定性の高いものに対し、どのように実現していくのか。何が課題になるのか。どんな着地点(ゴール)を目指せばいいのかなどをハッキリさせていく力。研究者の皆さんは常にそのようなことをされているので、皆さんと密に接することでその知識や手法を学ぶことができたと思っています」。

産総研での出向は今年で終了するが、ここでの経験と知識を元に、加藤は当社に戻り、研究してきた内容を実装化できるよう努めていきたいと抱負を語ってくれた。

——菊池駿介の場合



菊池 駿介
先行開発部
産業技術総合研究所

そもそも 「解が存在するかどうか分からない」 この課題に向き合う

菊池駿介は先行開発部から2023年5月、産総研に出向した。出向当初は先述した岡本和也の研究内容を引き継ぎ、積み付けロボットに関する最適化アルゴリズムの開発を半年間行い、その後、FC(燃料電池)フォークリフトに搭載されているレギュレータの故障予測の開発を半年間取り組んだ。そして2024年度からはFCシステムの自動搭

載設計をテーマに研究をしている。

「FCフォークリフトの心臓部であるFCユニットには、限られたスペースに発電や冷却などの機能部品、接続部品など2,000点以上のパーツがひしめき合っています。設計の初期段階では、一部の機能部品は形状が決まっていますが、配管や配線のような部品間の接続部品およびフレームやブラケットのような筐体部品は形状に自由度があります。設計要件を満たすような形状を自動出力できれば、FCユニットの設計者の作業負担が軽減されるはず。私たちはそれを目指して研究に取り組み始めました」。設計担当者と議論をくりかえし、最初の自動化の研究対象は配管形状の生成とした。

この研究は産総研の研究者3名、当社のメンバー2名などを含めた8人ほどのグループで取り組み、菊池はそのなかでも研究方針の決定、アルゴリズムの実装や研究者と当社の間に入って、情報の橋渡し役などを行った。

「研究で課題となったのが、ものすごく根本的なことでした。それはそもそも解が存在するのかわからないこと。『この問題は解が存在します!』とすぐに断言できないんです。それでも研究を進めなければならないので、先行研究で多かったグラフ探索アルゴリズムを用いて試してみました。グラフ探索アルゴリズムは、与えられた対象のなかから目的に合うものを見つけ出したり、最良の経路を見つけ出したり、条件を満たすものを列挙したりする手法で、カーナビなどに用いられたりしています。ただ、この手法は解が存在する場合に有効であり、今回のような狭く複雑な空間で瞬時に解があるかどうか分からない場合、現実的な時間で解くことが難しいとわかったのです」。

そこで菊池は解が存在するかどうか分からない状態でも探索可能な「遺伝的アルゴリズム」に切り替えることにした。遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化に着想を得た最適化手法で、機械学習、組み合わせ最適化問題などで広く利用される。この場合、配管を遺伝子にたとえることで、FCユニットという空間内を効率的に探索し、解を求めていこうと考えた。結果、この手法を選択することで、設計者がつくる配管形状と同等レベルを自動出力できるようになった。いまは遺伝的アルゴリズムで生み出した配管の3Dモデルを元に設計担当者、配管メーカーや実際に配管を組み付けるメンバーと一緒に評価している段階だ。

実装化まで経るべき、 「4つのステップ」を学んだ

この研究を通して菊池は、実装化までどのような段階を経て研究を進めていけばいいのかわかったという。

「人工知能学会前会長の野田五十樹先生から、技術要素から実装までのステップとして4つの段階があることを教えていただきました。菊池が教わったのは、この4つだ。

- ステップ1：やりたいことを明文化せよ
- ステップ2：定式化せよ(人の感覚やイメージ、固定観念を削ぎ落とし、共通言語化する)
- ステップ3：式がやりたいことを表しているかどうかをチェックせよ
- ステップ4：実装せよ

「この4つのステップを教えていただき、情報整理の仕方が大切だと実感しました。漠然とした問題であっても、研究関係者間で共有し、理解できる

粒度まで深掘りし、整理することが重要です。メンバーそれぞれの固定観念やイメージは違って当然ですが、みんながバラバラな解釈をしていると研究開発がうまく進まないと感じました。先生の話聞いてから、全員が同じ方向を向けるよう数式や説明図などに落とし込むことを意識するようになりました」。

AIの視点からモノやコトを語れる エンジニアを目指す

「産総研に出向して約2年経ちますが、学びが多く、とても有意義な時間を過ごしています」。

菊池は満たされた表情でそう言った。野田先生から学んだ4つのステップだけでなく、ハード(モノ)の視点に加え、AIの視点から技術を見ることができるようになった。最適化や統計的なデータ処理の思考(コト)も身に付けることで、新たな技術を研究していく楽しさがさらに深まったという。

「今後はAIを絡めた視点でモノやコトを語れる

近視眼的な思考にならず、 視野を広く持とう!

産総研に出向されているメーカーの方々にも共通して言えるのは、自身がすべきことへの使命感を強く持っていること。ここで学んだ技術を手の内化し、必ず自社に持って帰るといったマインドが積極的な言動に表れていると思います。豊田自動織機の出向者については、創意工夫と仕組み化への意欲を感じます。専門分野においては研究員に頼らざるを得ない部分がありますが「自分たちでやろう!」という意気込みを持った方々が多いですね。

副ラボ長として皆さんにアドバイスができることがあるとするなら「視野を広く持とう!」ということ。短い期間で集中して研究をするため、どうしても視野が狭くなってしまいうのは仕方ないことだと思います。ただ、ときどき立ち止まり、いったん引いて考えてみる。研究内容を俯瞰して捉えてみ

る。そういうことをすると、また新しい世界が見えてくるものです。産総研では定期的に勉強会や各分野の交流会も開催しているので、会に参加することで新たな人脈もつくれるかと思っています。このような機会もうまく活用してほしいですね。



大隈 隆史

1999年、奈良先端科学技術大学の博士後期課程を修了。産総研の前身である通商産業省工業技術院電子技術総合研究所の研究員や米・コロンビア大学の客員研究員などを経て、現在は産総研の人間社会拡張研究部門の副研究部門長とALラボの副ラボ長を務める。

ようなエンジニアになっていきたいと思っています。ハード設計のなかにはまだまだ大変な作業があります。そのなかにはこれまで以上に効率化、最適化できることがあるはず。産総研で学んだ最適化技術をもっと広めていきたいですね」。

菊池はいま、これまでとは違う環境に身を置くことで、研究のエッセンスを貪欲に吸収しているようだ。産総研への出向には、研究者の探究心をこれほどまでに刺激する魅力があるのだろう。

——ALラボの未来

横町 尚也

先行開発部
産業技術総合研究所
ALラボ



自身をさらに成長させたい方々 すべてにALラボの門戸は 開かれている

「2016年から発足したALラボは、第1期、第2期で先々行開発をしていった結果、第3期の現在でその成果が出始めていると思っています」。

そう語るのは現在のラボ長である横町尚也だ。横町は当社のエアコンプレッサ開発や研究開発センターで熱マネジメントや油圧などを専門に取り組んできた技術者で、2023年の半ばからラボ長を務めている。

「産総研には量子コンピューターやABCI (AI Bridging Cloud Infrastructure) と呼ばれるAI技術開発のための計算インフラストラクチャなど、研究開発に必要なハードが揃っています。これらはほかの研究施設にはない産総研独自のもので

す。そして何より、産業技術の頭脳とも言える研究者たちと直接コミュニケーションを取り、その考え方に触れられるのは、またとない機会です。産総研で過ごす時間は、確実に出向者を成長させてくれるでしょう」。

第3期は最適化技術をテーマに研究を進めているが、横町は次の第4期でどのようなテーマを設定するのか思案している最中だと話す。

「産総研、当社、そして社会。この3者のニーズを満たすようなテーマ設定が望まれます。時代の流れを読みながら、社会実装に値するテーマをさらに熟考していきたいと考えています」。

先行開発部部長の加藤もこのように付け加える。

「ALラボは現在、茨城のつくばセンター(中央、東)と東京の臨海副都心センターに拠点があり、さまざまな分野の研究者さんたちとひびを突き合わせ、深い議論ができるとても良い環境です。ラボ設立当初は、愛知にある豊田自動織機の開発拠点とはロケーションが離れているため、コミュニケーションが取りにくいといった課題もありましたが、目標を明確にして共有し、産総研研究者、ALラボ出向者、豊田自動織機の技術者の役割を明確にして、定期的に状況を共有する施策をとることで、大きな成果を出せるようになってきました。

研究者の皆さんは、私たちとは考え方や視点が異なり、そのセンスや感性に大きな刺激を受けることも多いです。ALラボに出向したメンバーは、帰任後もその専門性を生かし、各部署でリーダーとして活躍してくれています」。

ALラボへの出向はいわば、産業技術における“道場”へ通うようなものかもしれない。企業という組織とはまた違った環境に身を置くことで、これまでの業務とは違う「研究」という視点や姿勢で臨む。それは出向者の五感を刺激し、確実に世界を広げるだろう。そして道場での修行を終えて帰任したとき、自身がひと回りもふた回りも大きくなっていることに気づくのもかもしれない。

