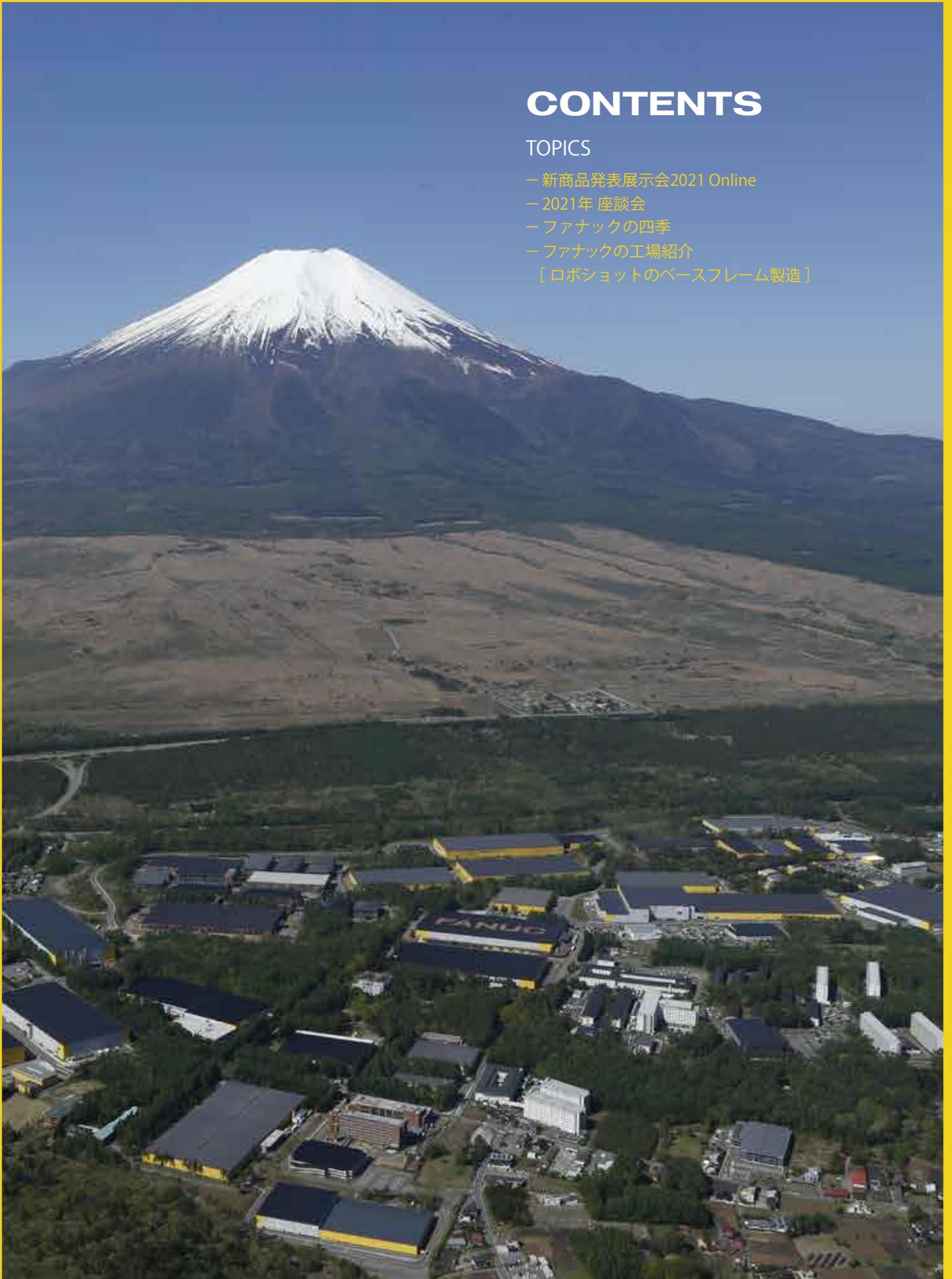


## CONTENTS

### TOPICS

- 新商品発表展示会2021 Online
- 2021年 座談会
- ファナックの四季
- ファナックの工場紹介  
[ロボショットのベースフレーム製造]



# 新商品発表展示会2021 online

2021年6月14日（月）～25日（金）の12日間、新商品発表展示会をオンラインで開催しました。オンラインでの開催は今回が初めてとなりますが、例年の本社でのリアル展示会にはなかなかご来場頂けない遠方、海外のお客様も多く、会期を通して計9,856名のお客様にご来場頂きました。

通常のリアル展示会と同様に、セミナーで展示の見どころを説明し、FA、ロボット、ロボマシン、IoT、サービス、アカデミの各コーナへと進み、興味のあるコンテンツをご覧頂きました。

ご来場頂いた方々からは、「リアル展示会は人が多く、展示物に近寄って説明を聞くことが難しかったが、オンラインでは説明がしっかり聞いて良い」といった、オンラインの利点を評価するコメントを頂きました。



**FA**のコーナでは、CNC、サーボ、レーザに関する機能強化に加え、デジタル技術の活用、ロボットと連携した自動化技術など、広範囲にわたる新商品、新技術の紹介を行いました。

「デジタルツインコンセプト」「FANUC *IPC*」「CNC-QSSR」等に多くの関心が寄せられました。



**ロボット**のコーナでは、「初めてでも簡単に使える協働ロボット」としてCRXの機能や適用事例の紹介、また新商品として「リモートレーザ溶接ロボット」「20kg可搬スカラロボット」「高速プレスロボット」「近距離計測3Dビジョンセンサ」等の紹介を行いました。

CRXへの関心は高く、アークパッケージに興味を持たれた方が多くいらっしゃいました。



ロボマシンのコーナーでは、新商品の「ロボドリル α-DiB Plusシリーズ」「ロボショット α-SiBシリーズ」「ロボカット α-CiCシリーズ」、ロボナノの新機能「Smart M-Form」等を紹介しました。また、オンライン展示ならではの企画として、「ロボマシンの360°全周動画」を出展しました。機械の周囲をぐるりと一周回って好きな方向から商品をご覧頂ける点が好評でした。



IoTのコーナーでは、MT-LINKiの新機能やFabriQR Contactの活用提案に加え、FIELD systemの最新機能、国内外の導入事例等を紹介しました。



サービスのコーナーでは、国内外のサービス体制やサービス活動の内容、稼働率向上や生涯保守の取組みについて紹介しました。

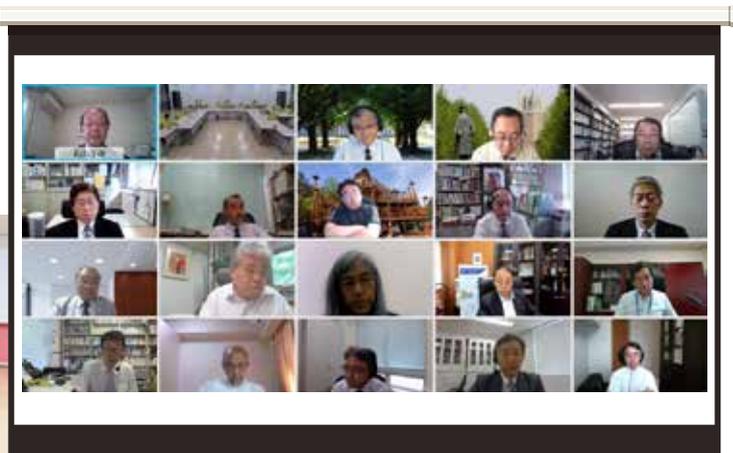


アカデミのコーナーでは、従来の「アカデミ講習会」に加えて新たな取組みとしてスタートした「ライブセミナー」と「オンデマンドセミナー」の紹介、FA、ロボット、ロボマシン、IoTの各技術研修の内容について紹介しました。



# 2021年 座談会

日頃お世話になっています先生方に、6月14日から開催したオンライン新商品発表展示会を見ていただいたあと、6月18日にオンラインでの座談会を開催いたしました。



## ● 出席者

■ 新商品発表展示会 全体講評 ..... P5  
 東京大学 名誉教授 樋口 俊郎 先生

■ FA ..... P6  
 神戸大学 教授 白瀬 敬一 先生  
 慶応義塾大学 教授 青山 英樹 先生  
 東京工業大学 教授 高木 茂孝 先生  
 東京理科大学 教授 堀 洋一 先生  
 京都大学 教授 松原 厚 先生  
 大阪大学 教授 田中 学 先生  
 東京農工大学 教授 笹原 弘之 先生  
 職業能力開発総合大学校 校長 新野 秀憲 先生

■ ロボット ..... P15  
 東京大学 教授 浅間 一 先生  
 早稲田大学 教授 菅野 重樹 先生  
 東京大学 教授 佐久間 一郎 先生  
 東京大学 特任教授 石川 正俊 先生

■ ロボマシン ..... P20  
 東京電機大学 教授 松村 隆 先生  
 東京大学 教授 國枝 正典 先生  
 名古屋大学 教授 社本 英二 先生  
 理化学研究所 主任研究員 大森 整 先生  
 東北大学 教授 厨川 常元 先生

■ 総評 ..... P25  
 慶応義塾大学 教授 青山 藤詞郎 先生

(ご発言順)

ファナック株式会社

■ 代表取締役  
 代表取締役会長 稲葉 善治  
 代表取締役社長 山口 賢治 (司会)

■ FA  
 FA事業本部長 野田 浩  
 ハードウェア研究開発本部長 橋本 良樹  
 ソフトウェア研究開発本部長 岩下 平輔  
 サーボ研究開発本部長 福田 正幹  
 レーザ研究開発本部長 西川 祐司

■ ロボット  
 ロボット事業本部長 稲葉 清典  
 ロボット機構研究開発本部長 安部 健一郎  
 ロボットソフト研究開発本部長 加藤 盛剛

■ ロボマシン  
 ロボマシン事業本部長 内田 裕之  
 ロボドリル研究開発本部長 佟 正  
 ロボショット研究開発本部長 高次 聡  
 ロボカット研究開発本部長 藤元 明彦  
 ロボナノ研究開発部長 洪 榮杓

■ 事務局  
 研究開発推進・支援本部長 松原 俊介  
 研究開発推進・支援本部長補佐 須藤 雅子

(役職は6月18日当時)

**社長：**本日はお忙しい中、多くの先生方にお集まりいただき、誠にありがとうございます。ファナックの社長の山口でございます。例年であればリアル展示会の時期にお集まりいただき、リアルの座談会を行っておりますが、今回はコロナ禍の中、安全と健康を第一に考え、オンラインの社内展および座談会としました。2020年4月の社内展と座談会は急拡大するコロナ禍の中、中止せざるを得ませんでした。今回はオンラインですが、2019年4月以来約2年ぶりの社内展であり、社内にプレッシャーを掛けるわけではありませんが、技術的には中身の濃いものになっていると信じております。またオンラインでの見せ方についても、過去1年間いろいろ試行錯誤しながら努力してきたつもりでございます。ただ、先生方のほうが私どもよりもはるかにオンラインにも慣れていらっしゃると思いますので、忌憚のないご意見・ご指導を頂ければ幸いです。本日はよろしくお願いいたします。



山口社長

#### ■ 新商品発表展示会 全体講評

**社長：**それではまず、樋口先生からオンライン社内展全体につきまして講評を頂ければ幸いです。

**樋口先生：**今回は2年分の新商品の展示会になるので、リアルではない展示会ですが、成果を期待して拝見いたしました。

まず全体としては、オンラインという制約の中、各展示、説明が分かりやすく簡潔にまとめられていたと思いました。例年のリアル展示会では2~3時間見ても全体の半分も見きれない状況でしたが、オンラインだと空いている時間に見られるため、ほぼ全体を見ることができました。

これで気が付いたのは、新製品ではないのに私が知らなかった内容がたくさん出てきたことです。全体を見られて良かったと感じました。おおいに勉強になりました。

展示会のホームページに入ると展示内容が先に出ていたので、個別の展示から見ました。その後、技術セミナーに入って、各事業本部の説明を聞きました。この技術セミナーではFA、ロボット、ロボマシンの事業本部毎に、展示の概要や展示の狙い、見てほしいところがうまく説明されていました。個々の展示を見る前にセミナーを見るように誘導されたほうが良いように思いました。

そして、今年の全体の商品の開発のキーワードは「使いやすさ」だと感じました。FAでは「ものの進化・ことの革新」というタイトルで、デジタルツインに関連するファナック

としての取り組みの実例を多く示されていました。

ただ、デジタルツインという今はやりの言葉を私は好ましく思っておりません。こういう新しい言葉を作って、新しい概念みたいに思わせて世間を惑わすことが多いからです。4~5年したらこの言葉は消える可能性があります。なぜなら、この考え方は当たり前のことだからです。コンピュータやデジタル技術が向上し、ある程度安価で大量のデータを高速に処理できる時代になったからで、基本的な考えは従来からあります。

したがって、ファナックは当然のことながらデジタルツインに関する取り組みを昔からやってきているわけです。製品としてまだまだ将来の理想的な形までは行っていませんが、リアルな世界とシミュレーションの世界の考えに基づいた新商品をいろいろ出されていました。

シミュレーションのモデルの世界と現実の世界とのやりとりを、ほぼ瞬時にやっていける時代になります。そうすると、実際には、機械がしっかり動くこと、加工であればその現象をちゃんと把握することが、ますます重要になります。

このFAのセミナーではリアル技術に力点を置くと述べていましたが、これは正しいと思います。そして、リアルの世界とコンピュータ上の世界で頻繁にやりとりするとすると、大事なものはセンサの開発だと思います。展示会にも出ていましたが、3Dのビジョンセンサ、超精密加工の機上計測用のタッチセンサを開発されていますので、このようなセンサの開発をより積極的に進めていただきたいと思います。

次にロボットですが、この展示会で一番面白かったのはロボットでした。ロボットはオンライン展示になじみがいいのかもしれませんが、特に、協働ロボットは広く使われ、使いこなされてきていることがよく分かりました。ファナックの協働ロボットは人に接触したときの力を測定するために、高感度の力センサをロボットの中に内蔵していることが特徴です。ロボットが組み立て作業をするときに、その作業時の力検出にこのセンサを利用する展示がありましたが、これは面白い着想だと思いました。

ロボマシンでも、性能向上に加えて使いやすさに力を入れていることがよく分かりました。展示会では紹介されていませんでしたが、ロボショットは、去年「超精密小型プラスチック部品用全電動式射出成形機の開発」という題で、大河内記念生産特賞を受賞されています。この生産特賞は大河内賞の最高位の賞であり、ロボショットが精密部品の生産に貢献したことが高く評価されたと言えます。

ファナックはいろいろなことをやっているが、それらの間の連携がうまく取れていないことを、数年前に指摘した覚えがあります。今回の展示を見てみますと、3事業本部が有する技術の融合が着実に進んでいると感じました。

来年はおそらく、コロナも終息してリアル開催ができるようになると思います。やっぱりリアルのほうがいいですね。今回のオンラインはリアル展示会を見直す機会でもあり、リアル展示の良さやリアル展示で足らなかったことが分かったと思います。リアルとオンラインのいいところを組み合わせることによって、来年は、より良い展示会になることを期待しています。以上です。



樋口先生

社長：樋口先生、全般にわたりまして俯瞰的なお話をありがとうございました。私も参考にしてみたいと思っています。

## FA

社長：それでは最初のパートではFAにつきまして主に話を進めてみたいと思います。まずは白瀬先生、お話しただければ幸いです。

白瀬先生：神戸大学の白瀬です。本日はこの座談会にお招きいただきありがとうございます。座談会で私が話す順番はいつも後ろのほうなので、皆様のお話を聞きながらいろいろ考える時間があるのですが、今回は樋口先生に続いて2番目ですのでいろいろと考える猶予がなく本当に緊張しています。



白瀬先生

先ほど樋口先生が、個々のテーマ紹介とセミナーを見る順序が逆だったら良かったとお話されましたが、私はたまたまセミナー先に見ていました。セミナーを見てから個々のテーマ紹介を聞かせていただきましたが、「ものの進化・ことの革新」というFAの共通テーマに沿った発表、資料作成だと思いました。セミナーはFA、ロボット、ロボマシンの3つでしたが、IoTやFIELD systemに関するセミナーがなかったのが少し残念でした。事業本部によるセミナーでしたので、FIELD systemに関するセミナーがなかったのだと思いますが、デジタルトランスフォーメーションで生産現場を変えて「ものの進化・ことの革新」を達成するというテーマを扱おうとすると、どうしても上位システムとの連携、ネットワークを使いこなす手段や情報セキュリティが大事になりますので、FIELD systemに関するセミナーも入れていただきたかったと思いました。

それから、今年はオンライン開催でしたので、いつも以上に時間を取って個々のテーマ紹介の動画を拝見しました。良いところも悪いところもありますが、好きな時間に見られる、繰り返し見られる、このためファナックさんの発信したい情報が漏れなく伝わるという点は良いところです。逆に、疑問に思ったことがすぐに質問できない点がオンライン開催の悪いところです。私も樋口先生と同じ意見で、来年は対面開催でやっていただきたいと思っています。

特に私が感心したところとは言いますと、CPUの性能アップによるCNCの進化が非常に大きいという点です。先ほどデジタルツインの話がありましたが、CPUが高速化したことで少し前ならできなかったことができるようになり、例えば、ファインサーフェステクノロジーやサイクルタイムテクノロジーが一段も二段もレベルアップした印象です。CNCのデジタルツインコンセプトでは、ユーザを支援する観点から工作機械の設計や加工、保守を具体的にどうやって支援するかについて、いろいろな手段が考えられているなどという印象を受けました。

私自身は工作機械の知能化・自律化に関する研究を長年やってきましたので、NCプログラムの最適化に注目しました。今までですと工作機械はNCプログラムに忠実に動くことが求められていましたが、NCプログラムに忠実に動いても加工結果がCADデータどおりにならないことが分かってきました。それでNCプログラムの最適化では加工結果がCADデータに近づくようにCNCがCADデータを用いてNCプログラムを修正します。これは非常に効果があることだと思いますが、私が以前から申し上げているように、CADデータに忠実に動く工作機械というのが本来のあるべき姿だと思っています。

NCプログラムで工作機械を動かすというのが当たり前なので、時代に逆行できないファナックさんとしては苦肉の策だと思います。しかし、NCプログラムで工作機械を動かすという従来のやり方を破棄するのではなく、それとは別に、ファナックさんのCNCはCADデータで工作機械を動かすので物凄い加工面ができますとか、短時間で加工ができますという新しい世界を見せていただきたいと思いました。

それから、CNCガイドと加工面推定シミュレーションは完成度が高いなと思って拝見しました。CNCガイドは駆動軸の加減速を考慮して加工時間や工具の移動位置を正確にシミュレーションするという機能です。加工面推定シミュレーションは加工レスで実機の工具位置情報を取得して加工面を非常に詳細に推定する機能ですが、少し残念なのは工作機械を空運転することです。空運転をして工具位置情報を取得するので工作機械の動きに忠実なシミュレーションができるのですが、ここをもう一歩進化させて、空運転もしないで工具位置情報が正確に予測できるようになって欲しいと思いました。

また、このCNCガイドと加工面推定シミュレーションは非常に便利で有効なツールだと思いますが、現状では機内のCNCでしか利用できないようです。ユーザ目線からすると機外のPCで忠実なシミュレーションができれば嬉しいのと思いました。半歩譲って、ファナック製のIPC上で動くのであればいいかなと思います。

それから使いやすさということで、NCプログラム作成の支援が非常にグラフィカルで直観的になり、オペレータはGコードやMコードを知らなくてもNCプログラムが作成できるようになったのと思いました。GコードやMコードには長い歴史がありますが、若い人にとって馴染みはありませんし、テレビゲーム感覚でNCプログラムが作成できれば、裏で何がどうなっているとも関係ないという感じですので、こうしたユーザインタフェースはもっともっと進化して欲しいと思います。

もう一つ、こんなこともやっているのかと驚いたのは、ハイダイナミックターニングです。旋削バイトを単に動かすのではなく、旋削バイトの角度も変えながら直線軸と回転軸を制御して新しい加工技術に対応する機能なのですが、これは最近のCAMで言えばバレル工具などの新しい形状の工具を使いこなす加工技術と同類だと思いました。ただし、CNCがその機能を実現してしまうとCAMが不要となります。ファナックさんの立場としてはCAMレスにしてしまうことはなかなか難しいのかもしれませんが、先ほど申し上げたようなCADデータがあればCAMレスで物凄い加工ができますという技術につなげていただきたいと思いました。

最後に、IoTやFIELD systemも個々のテーマ紹介を見ますと非常に進化を遂げており、いろいろな事例の紹介がありました。今はエッジやフォグといった工作機械やCNCの関連技術の進化が目立ちますが、クラウド上のサプライチェーンやスケジューリングと連携した「ものの進化・ことの革新」の実現に、さらにファナックさんが描く新しいものづくりの世界の展開にFIELD systemを駆使していただきたいと思いました。

本日はどうもありがとうございました。

**社長：**白瀬先生、ありがとうございました。ここでは野田事業本部長、何かありますか。

**野田：**白瀬先生、ありがとうございます。非常に多岐にわたるので、全部は応えられないのですが、今回FAは、デジタルツインをテーマとし、いわゆる“モノとコト”における、コトに焦点を当てました。CNCがもつたくさんの情報をデジタル側で処理してリアルに戻すという考え方、デジタル側に仮想的な機械が構築されるわけですが、リアルの実機械と情報交換しながら仮想機械の精度を上げていく。その結果、デジタル空間上で実加工に近いことが行なえるようになる、この効果は計り知れないと思います。



野田事業本部長

加工面推定については、ご指摘がありましたとおり、現在は、空運転のサーボデータを使って、その中に含まれる情報を分析して加工面を推定しています。次のステップとして、実機械の特性をサーボデータから得ることにより、仮想機械の特性を実機械に近づけることで、仮想機械による加工だけで実際の加工面を推定することを考えています。

加工面推定は、CNCシミュレーション技術との連携をはじめ、広い範囲で使えるようにしていきたいと考えています。樋口先生のご指摘のとおり、デジタルツインの考え方は、実は、これまでもふつうに行われていることでもあります。例えば、我々のCNCの操作の中に、シミュレータを使ってプログラムの動作を確認する流れがありますが、これ自体、デジタル側の技術との連携です。ですから、実は、昔と変わらない考え方かもしれませんが、近年、ネットワーク技術やIoT、AI等、データ指向の技術が進歩して使えるようになったことが、その可能性を高めているように思います。

リアルな情報を、デジタル側で処理を行うには、ネットワーク上の仕組みが大切です。例えば、リアルとデジタルを繋げて、リアルなデータをデジタル上で再現する等、FIELD systemのようなエッジにおけるプラットフォームがますます重要になると考えています。ファナックは、DXやデジタルツインの考え方を、工作機械のライフサイクルの中に取り入れ、加工性能の追求はもちろん、現場の最適化や、これまでにない利便性の実現に貢献して参ります。

どうも、ありがとうございました。

**社長：**ありがとうございます。それでは次に青山英樹先生、お願いいたします。

**青山（英）先生：**慶應義塾大学の青山英樹です。どうぞよろしくお願ひします。例年いつもファナックの展示会をすごく楽しみにしており、今年もお招きいただき、誠にありがとうございます。



青山（英）先生

今回は初のオンライン展示会ということで、オンライン展示会に参加するのは私も初めてであり、どんなものかなと思っていましたが、実際に参加してみると、例年より落ち着いて、時間をかけて担当以外の展示もいろいろと見る事ができ、すごく良かったと感じています。その場で気が付いたことをレスポンスよく対話的に意見交換できなかったことは、致し方ないかなと思っていますが、そのような中で本日意見交換の機会を設けていただいたことについては、感謝申し上げます。私はFAの担当ですので、FAの個別の技術の中で、特に注目したことについてお話しいたします。

最初に高速CPUの搭載についてですが、これは微小線分処理能力が2.5倍であり、マクロ演算処理が1.8倍ぐらい、先読みブロックが2倍ということで、すごい高性能になったと思います。特に微小線分処理能力が2.5倍というところに興味があり、この機能によって、自動車の外板のボディ一金型の加工のような曲面加工で、高速高精度が実現できることを大きく期待しています。高速CPUの効果を発揮できる加工事例がありましたら、ぜひ教えていただきたいと思っています。例えば、自動車の外板の金型曲面の加工やアルミダイカスト金型のような非常に入り組んだ微小形状の加工を高速高精度に実現できるのではないかと期待しています。

また素人考えですが、この高速CPUの機能と高精度なエンコーダ、高精度なサーボを組み合わせることによって、スカイビングギヤ加工を高精度化できるのではないかと期待しています。現在でもスカイビングギヤ加工は実用化されていますが、最高品質のギヤの生産にはまだ適用が難しい状況ですので、この辺に適用できる技術になるのではないかと考えています。

続いてデジタルツインコンセプトについてです。先ほどから、デジタルツインコンセプトの概念は、従来からあった技術を言い換えただけというお話もありましたが、言葉のもつ印象からしてすごくワクワク感があり、期待しています。本当はデジタルとリアルな世界の境目が分からなくなると一番だと思います。そのために、ファナックと、CAD、CAM、CAEなどの関連するソフトウェアを製造する会社が連携することが重要で、このことによってFIELD systemの有用性も高くできると思っています。

またファナックの得意技術であるリアル世界のサーボ情報をデジタルの世界に取り込むことによって、リアルな工場状況をデジタルの世界に正確に構築し、デジタルの世界の品質をものすごく向上できるのではないかと考えていま

すので、ぜひデジタルツインコンセプトの概念を早く具体的に実用化してほしいと思います。

また、このデジタルツインの中で、サーボビューアを使ってサーボ位置情報を認識して、実加工に近い加工面を高精度に推定する機能についてもものすごく期待しています。実切削前に加工面を評価して不具合を修正できれば、特に金型のメーカーにとっては強い武器になると思います。これができるのは、CNCとサーボを手掛けるファナックの強みだと思っています。この技術をさらに発展させて、サーボ情報に加えてその工作機械の動きの中に、例えばボールねじのねじり剛性とか工具のたわみ、工具の摩耗、工具の振動といった機械系の特性も反映させていければ加工面の本当のシミュレーションが実現できて、工作機械メーカーだけでなく金型メーカーにも非常に有効なツールになると思います。これによって加工面の不具合を事前に予知できて、加工条件の修正を加工前に行うことができれば本当に素晴らしいと思っています。

このテーマは、私が担当している型技術協会の型加工技術調査研究会のテーマにもなっていて、金型加工現場では、加工面の予期しない傷、金型の特徴形状、キャラクターラインの精度だけではなく、加工面に形成される予期しない面性状にもかなり注目していますし、金型加工現場の方が行っている砥石の引っ掛かり具合も加工面の評価としているようですので、このシミュレーションで前もって加工面の評価ができれば、非常に有効なツールだと思っています。

続いてファインサーフェステクノロジーについてです。この中では、加工プログラムの最適化について注目しています。これは最小設定単位が0.1ミクロンから1ナノということで、原理的あるいは理屈的には実現できるのかもしれないですが、加減速制御による速度低下の問題から、現実の加工と送る速度の関係を最適にしなければいけないだろうと思いましたので、それを自動でできるようにしてほしいなと思っています。

それからCADデータを用いて粗い離散点、つまりゼロ位置通過点から目標形状の推定を行っているとのことですが、これはデジタルツインの機能をうまく関連させることが重要になってくると思います。サーボガイドの情報を元に加工面を3次元表示して、加工形状を推定することも素晴らしい機能だと思っています。その推定形状とCADで示されている要求形状の差が運動誤差ですが、運動誤差情報から自動的に経路補正ができるようになると、さらに高精度な加工ができるようになると期待しています。

それから4つ目に、AIのサーボチューニングについてです。これはゲインフィルタやフィードフォワードのパラメータ、加減速のパラメータを自動チューニングする機能であり、工作機械メーカーにとって非常に効果的な機能であることは誰もが分かると思いますが、一般の工作機械のユーザにとっても、例えば加工形状の重量や加工の目的といったことからゲインフィルタや加減速のパラメータを自動的に最適化できれば、AIサーボチューニングを利用することが、非常に有効になると思いますので、一般の工作機械のユーザが利用できる機能としての提供も期待しています。

5つ目に、ファストサイクルテクノロジーについてです。これは5軸加工向けの工具先端点制御の技術を応用して実現していると思いますが、ハイダイナミックターニングが非常

に面白く、用途によっては非常に効果的かなと思います。それと旋盤用のAI輪郭制御Ⅱが2倍のスピードということも驚きました。

最後に、FAではないですが、全体の展示ビデオを見ていて気になったのが、ロボカットの設計で高精度加工を実現するために機械剛性を十分に強化しつつ熱変形も抑えるという観点で、トポロジーの最適設計を導入していることでした。理屈的にはトポロジー最適設計は有効だと思いますが、これは製造方法を考慮することなく形状が設計されます。

3Dプリンタで一品生産する場合なら良いですが、鋳物として作るとなると鋳型や中子の製造がすごく大変になると思います。今回メカの設計でその技術が導入されたということで、実際にどのようにトポロジー最適化を導入したのかなという点に非常に興味があり、時間があるときにぜひお尋ねしたいなと思っています。

以上、私からの話となります。よろしくをお願いします。

**社長：**青山先生、ありがとうございました。それではソフトウェア開発の責任者であります岩下本部長、いかがでしょうか。

**岩下：**青山先生、多岐にわたりコメントをいただき誠にありがとうございます。今回、デジタルツインコンセプトについては、ご指摘いただいたとおりリアルの世界、性能も大事にしつつ、デジタルを使ってその性能を上げていく考え方で開発を進め、社内展に発表いたしました。

リアルの方では、従来速度では少し性能が足りない事例が出てきていますので、ご指摘いただいた高速CPUが、これからしばらくは鍵になります。

一方、デジタルの方ですが、先ほどから話に出ており今はフィードバックを表示する形ですが、これを発展させて、機械を動かさずにシミュレーション、あるいはご指摘いただいたような機械系、工具の状態も含めてシミュレーションなどを実施してシミュレーションとフィードバックのデータと実加工面、これらの比較を通じて問題点の原因を追及して、高精度化につなげる方向で考えています。また詳細はいろいろとご指導いただきたいと思います。

どうもありがとうございました。

**社長：**それでは次に高木先生、お話をお願いいたします。

**高木先生：**東京工業大学の高木です。本日はお招きいただきありがとうございます。私の専門はアナログ集積回路であり、工作機械に関してはまったくの素人です。オンライン社内展を全部見ることはできませんでしたが、拝見した感想を少し述べたいと思います。

先ほど青山先生からもお話があったようにAIサーボチュー



岩下本部長

ニングで加工精度、加工性能の向上とか高速化とかを達成されており、AI熱変位補正という言葉も見受けられました。他に数年前に始まったFIELD systemもさらに充実されていて、デジタルユーティリティクラウドも始められており、AI、IoT、クラウド、機械学習などのキーワードが散見されました。FIELD systemに関しては、今集まっているデータがビッグデータになってもっといろいろなことができるのではないかと期待しています。



高木先生

AIやIoTなど、皆さんが様に連想される言葉というのはデジタルだと思います。国もデジタル庁を創設しようとしていて、アナログ回路屋としては非常に肩身の狭い思いをしており、世の中デジタル一色という感じで困っています。

ただ、デジタル信号を作り出す前には必ずアナログ信号が必要です。自然界の信号自体がマクロ的にはアナログ信号ですし、人間が感じる信号もアナログ信号です。デジタル信号は非常に扱いやすいですが、アナログ信号をデジタル信号に、デジタル信号をアナログ信号に変換する部分は不可欠です。IoTにおいてもしかりで、最初のセンシングの部分が非常に重要だと思っています。

微小信号のセンシングはアナログ回路が得意とするところで、今回の社内展で私の一番の関心事は協働ロボットです。皆さんもご存じのとおり、協働ロボットは人との接触を検知しています。その微小信号を雑音を避けながらいかに捉えるかが、非常に大事なテーマになっています。

以前ファナックから「こういう回路を考えたが、もう少し良くできないか？」というご相談を受けました。私自身はご提案の回路を少しでも良くするために、回路の部品を減らそうと思いましたが、同席していたうちの助教がまったく別の方法を言いました。(詳細割愛) 回路自体に新規性はないですが、うちの助教はアナログ回路はもちろんですが、デジタル回路やデジタル信号処理、ソフトにも詳しいので、デジタル信号処理の良さとアナログ回路の特徴を十分考慮した提案だったと思っています。

ここで得た私自身の反省点は、アナログ回路だけを熟知していてもなかなか雑音の低減は難しいということです。検出、増幅、AD変換、こういう経路には必ず雑音が混入しますが、その助教が提案した回路は、雑音が入ってくる経路を短縮しており、シンプルな回路でアナログ信号をデジタル信号に変換しているので、システムも知った上でアナログ回路を熟知しないと雑音低減は難しいと思いました。

以上です。

**社長：**高木先生、ありがとうございました。橋本本部長、何かありますか。

**橋本：**ハードウェア研究開発本部の橋本です。高木先生には本当にいろいろお世話になっております。ありがとうございます。

ハードの開発をする上で実際デジタル回路を組むのはそれほど難しくなく、信頼性に基づいたルールにのっとって組めばよいのですが、昨今非常に重要になっているセンシング部分、中でも、その微小アナログ信号をどのように精度良くデジタル世界に取り込むかが一番苦労しているところで、先生にも回路の相談をしています。

(詳細割愛)

これからもセンシング技術は、AI、IoTにとっても、ロボットのアプリケーションの観点からも非常に重要になると思いますので、今後ともよろしく願います。

ありがとうございました。

**社長：**ありがとうございます。それでは次に堀先生、お願いいたします。

**堀先生：**東京理科大学の堀です。3月に東大は定年退職し、4月から理科大野田キャンパスに勤め、毎日快適に過ごしています。きほん対面授業で、20才前の学生もいっぱいいるので若々しくてとてもいいです。利根運河を自転車でサイクリングしています。研究は、電気自動車への走行中給電、ワイヤレス給電で、にわかに注目されるようになっています。

数日前に御社社内展にアクセスし、まずはセミナーで概要を把握しました。そのあと、いただいた技術資料を見ながら、全部拝見しました。一日かかりました。

現場でないので実際にものを見ることができませんが、私は何度もお伺いしているので展示会の雰囲気や規模感がよくわかります。現場では、時間や体力の制約があるので、専門に近い部分だけを重点的に案内してもらうことになりましたが、今回は全部を見ることができました。その結果、従来知らなかったものにも長時間触れることができ、大きな気付きになりました。

FA、ロボット、ロボマシといういわば中核の技術に加え、IoT、サービス、アカデミというそれを支えていく活動に非常に力を入れておられ、これが今日ファナックをファナックたらしめている大きな力になっているのだ、ということをおぼろげに認識しました。ニワカヅクリではできない、長い時間をかけて築いてきた伝統であり、近視眼的に金さえもうければよいといったどこかのスタンスとは一線も二線も画するものであると感銘を受けました。イタリアの会社の動画がありましたね。なかなか素晴らしいと思いました。

一方で、FA、ロボット、ロボマシなどの基盤技術については、自社で開発された素晴らしい技術に加え、学界の最新



橋本本部長



堀先生

動向をきちんと捉えているのかどうか気になりました。IoTのようにまったく新しいものは、一から勉強していくというスタンスだったと拝察しますが、いまはそれがみごとに実を結んでいて、さすがと感じます。しかし、基盤的な技術については、ファナックは昔から社内の技術をよく育て、あまり外に関心がなかったことは否めません。悪く言えば閉鎖的だったと思います。今はその頃とはまったく違いますが、それでも基本的な精神はそれほど変わっていないように思います。これは独自性、自律性という意味では、もちろん悪いことではありません。

たとえば、「アカデミ」の説明動画は、顧客への教育がほとんどすべてであり、学界の最新情報をどのように取り入れ、またこちらからどのように情報発信をしているか、という説明はまったくありませんでした。今回の展示会の趣旨は違うよ、ということかも知れません。しかし、幹部に博士の学位を取らせたり、大学との連携をきちんとやったりしているということは、とくに海外の顧客の信頼を高め、国内においてもよい学生を獲得していくことに役立つように思いました。

サーボのような根っこの技術はもうほとんど完成していて、やるとしてもAIっぽい補正や、DLのような学習というところだけかという、そんなことはありません。制御理論、制御技術も20年も30年かけて、大きな発展を遂げています。御社に役立ちそうなものもたくさんあるように思います。肉体（手足）を丈夫にして賢い頭を使うのが、おそらく最強です。弱い肉体をこざかしい頭で動かすのは限界があるでしょう。AIにあらねば人にあらず、という言葉上は矛盾した風潮がありますが、それだけではありますまいと思います。ぜひ硬派の反骨精神を発揮していただきたいものだと思っています。

以上です。ありがとうございました。

**社長：**堀先生、率直な忌憚のないご意見をありがとうございました。それでは次は松原先生、引き続きお話しいただければ幸いです。お願いいたします。

**松原先生：**京都大学の松原です。すでに諸先生方が一般的な話をされているので絞って話します。WEB展示会に関しては、スクロールバックで確認できる反面、疑問に思ったことをすぐに説明員の方に聞けないので、少しもどかしかったです。これからの感想は私の想像を入れながら話しますので、後でファナック様お得意の補正、制御で正していただければと思います。



松原先生

私が現在興味を持っていることを中心に3つほど取り上げさせていただきます。デジタルツインは皆さんも取り上げるだろうと思っていましたが、私の興味は加工面シミュレータで、その精度や精緻さアップなどがポイントと思いました。今回は、指令値とサーボ値を使っているということで、もともとこうするはずだという面と、機械の事情で変更された動きによる面、すなわち機械の個性が出ているような面が分か

るのだと想像しました。例えば、理想の指令値から機械の加減速の入った指令値、さらに機械の摩擦などの補正が入った指令値と、非常に多岐にわたります。現場のエンジニアやオペレータは、その辺は非常に悩みながらやっているの、切り分けられる点は非常によいと思います。

次に、その線にある話だと思いますが、今のシミュレータは、主軸の刃先位置というところまでは分かっているはず、おそらく運動軸だけを考慮していると思います。これが例えばエンドミルの刃先が除去した形状みたいなものまで分かるようになることに、われわれは非常に興味があります。先ほど青山英樹先生がお話されていましたが、金型加工などで官能評価というのがあります。うちの博士課程の学生が、いろんな加工面を作って官能評価で調べていますが、粗さがよくても悪いという判定をされたり、逆に粗さが悪いのによいと判定されたりします。これは松村先生がお詳しいのですが、加工面に残っている一刃が通った形状が影響を与えています。それが計算できるようになると、これはすごいです。実際は力学的な現象、つまり、ぶつかる、滑る、振動するの3つが入ってきてより複雑になりますが、少なくともその前の面が分かっていたら加工面の理解のために非常に大きなヒントになると思っています。先ほど述べた学生が、加工面から拡散して最終的に人間の目に入る手前の光の強度を計算して、人は何をどう判断しているかを研究していますが、加工面シミュレータで作った面を分析できるようになると非常に面白いと思います。

これに関係してくる内容として、同期スピンドルモータに非常に期待しています。誘導電動機だと滑り制御なので、やはり同期モータで速度がきちんと制御できるというのは非常にありがたいです。例えば、工具が回ってきて同じタイミングで刃先が加工面に入っていけないと、先ほど言った加工目の形状がずれるわけですね。位相が変わりますので。それを一生懸命予想して、加工目の位相を合わせるというようなことを、同志社大学の廣垣先生や大阪工業大学の井原先生などがやっておられるのですが、たいへんな労力が必要です。並進軸と主軸が同期すれば、これがすごく容易になります。加工目がそろって磨きやすさなどの後工程の話も絡んできますので、やはり同期スピンドルモータというのは、いろんなものに発展していきたく想像しています。先ほど、「ものごと」の話がありましたが、その先がたぶん「価値」で、そこには感性みたいなものが入ってきていて、そこにつながると思っています。

最後に、温度センサユニットは興味深いです。一昨年は確か振動測定ユニットを紹介されて、16ビットでかつ高速に応答が取れるようになったと記憶しています。今回は、熱変位をターゲットにされており、こちらも非常に期待が大きいです。現在、われわれもいろいろ機械側の熱のモデルを作っているのですが、一番厄介なのが接触熱伝導と熱伝達の問題です。工作機械は重たいものをガイドで支えますので、その位置によって熱の流れがどんどん変わっていきます。ただ温度を測るだけだとどうしようもなく、やはり今主軸やテーブルが何丁目何番地にいるかということも全部把握して初めて全体の熱流束がわかる。例えば、最適な試験パターンなんかを見つけて、一番厄介な接触面の熱伝達係数を同定する。

逆に、熱的により機械設計はどうすればよいのかに発展できるので、是非力を入れていただければと思います。

以上です。

**社長：**松原先生、ありがとうございました。それでは堀先生と松原先生のお話に関して、サーボ研究開発の責任者の福田本部長、いかがでしょうか。

**福田：**サーボ研究開発本部の福田でございます。堀先生、松原先生、コメントを頂きましてありがとうございます。



福田本部長

まず、堀先生から頂いたコメントについてですが、自社の技術に加えて学会の最新動向をきちんと捉えているかというご指摘は真摯に受け止めて、やはり足りなかったところはあるかと思っております。しっかりやっていきたいと思えます。

サーボでは、今回はAIを用いたサーボチューニングというものを出しましたが、先生のポイントとしては本来の制御理論のところをしっかりやれているかという事だと認識しています。制御理論の部分と同時に、デバイスのほうも高速化など進化をしていますので、それに合う制御とは何なのかというところをしっかりやっていきたいと思っております。堀先生には例年SiCなどパワーデバイスに関するコメントを頂いています。当社でもSiCあるいはガリウム系の新しいデバイスの産業界の動向もウオッチしながら、新規の開発を続けていきたいと考えております。引き続きご指導をよろしくお願いたします。

松原先生、コメントをありがとうございました。まず最初の加工面推定の際に刃先形状までは分かっているのではないかという所はその通りです。現状は円筒状の工具が通った跡が見えているという状況で、そこから先はCAMメーカの得意分野と当社が担当すべき部分をうまく連携する必要があるように考えますが、当社も高精度と面品位は違い、精度が出ていても官能試験ではアウトという場合があるというところは認識しております。

そして、同期スピンドルモータについては、刃先の位相まで制御できるという視点でも活用できるか検討していきたいと思っております。現在、当社では同期スピンドルモータと誘導スピンドルモータの比較検証を進めております。加工においてこういった所で得失があるか、ワークによってどういう得失があるか、原理上の違いも含めて様々な事が分かってきました。ロボドリルでは今回、同期スピンドルモータを搭載したタッピング主軸をサイクルタイム短縮の視点でアピールしています。本日頂いた視点も含めて、検討してまいります。

ありがとうございました。

**社長：**ありがとうございます。それでは次に田中先生、お願いいたします。

**田中先生：**大阪大学、接合科学研究所の田中と申します。今回初めて座談会にお招きいただきました。ありがとうございます。このオンラインの展示会に参加させていただいて、大いに刺激を受けました。



田中先生

本当はFAについてコメントをしないといけないのかもしれませんが、専門が溶接工学ですのでロボットに興味があって、レーザーロボットの方をまず訪ねました。その中でレーザスキャナはすごいなと思いました。

溶接技術というのは本当に摺り合わせ技術の固まりで、その中で3次元のガルバノスキャナ、ロボット、レーザ発振器、それからPCのシミュレーションソフト、これらすべてが御社の製品のみでシステム化されている。その造り込みというのはいわゆる日本のものづくりの良さである「摺り合わせ」が一つのパッケージの中で仕上げられていると思いました。しかもユーザの視点から溶接技術に関わっていると感じました。その象徴が、ロボガイドとガルバノスキャナとロボットの融合的な連携です。特に、複雑な溶接パターン形状を3D画面上で確認して、ガルバノスキャナとロボットと一体化、一括でティーチングできる。これは大変面倒な作業だったのですが、視覚的に誰もが簡単に実行できる。これは素晴らしいユーザ目線だと思いました。

また、ハード的にはレーザービームを揺動させる「ウォブリング機能」というのは有効だと思いました。レーザ照射の自由曲線にウォブリング機能を追加できるということは特筆すべき点と感じました。様々な3次元の継手形状で、ギャップ幅が溶接にとって非常にシビアですが、場所、場所に変化する。それらに対してウォブリング機能を追加することによって、本来はレーザービームというのは細く絞られているのがメリットですが、この細く絞られたレーザービームが、時間平均的に空間的に広がりを持った熱源となって、レーザービームがテラレーメードに変化してスマートな溶接を実現していると感じました。それらは自然と摺り合わせが行われていると思いました。その効果として、板厚の30%のギャップがあっても溶接を可能にし、特にいいと思ったのが亜鉛メッキ鋼板の溶接でありながら、溶接ビードの端部にヒュームの付着がないことです。非常に美しいビードの映像を見て感嘆しました。ヒュームが少ないことは、溶接の分野ではスマートともいいますが、亜鉛をはじめとした母材あるいは溶融池からの金属蒸気が非常に少ないということです。うまく溶融池の温度をコントロールしているのだと驚きました。入熱がコントロールされているということは、おそらく溶接のひずみ・変形も小さく抑えられていると思います。

あと、センサですね。OCT、オプティカル・コヒーレンス・サーモグラフィですね。このセンサで溶接中の溶込み深さをリアルタイムで計測を実現し、溶接部の品質管理も同時に行うことで、難しい溶接をいとも簡単にやってしまう。究極には訓練や知識を必要とせずに、誰もがボタンを押すだけで信頼性のある溶接をやってしまえる、それが溶接工学を専門としている私の夢ですが、このレーザスキャナというのはそれ

に大いに近づいていると感じました。

もう一つ刺激を受けたのは、銅線のヘアピン溶接です。2つの銅線の端部にレーザーを照射して、高速レーザー揺動によって効果的に熔融池を形成し、確実にブリッジすることによって、溶接部が実に安定して形成されています。特に溶接中のスパッタも非常にうまく抑えており、このレーザービームの高速揺動は、前の先生方もハード面の造り込みというのが非常に重要だとお話をされていましたが、まさにその点でこの技術は世界トップクラスであると思います。特にカーボンニュートラルの実現というのが日本の大きな課題で、自動車、発電などの電気モータの役割が大いに重要になる中、この銅線のヘアピン溶接は電気モータ製造において高品質で高能率な安定した溶接技術を提案するもので、社会への貢献度が非常に大きいと思っています。

最後に、私の専門外ですが、やはり御社のFAのデジタルツインコンセプトには感銘を受けました。デジタルツインというのは第6期科学技術・イノベーション基本計画でも謳われていますので、ある意味わが国の目指す「ものづくり」社会の新しい形を標榜していると思いました。今回FAの中では除去加工についてのデジタルツインのテクノロジーのご紹介だったと思いますが、これをぜひ溶接技術の方に展開していただきたいと思いますと感じました。

今後、機械部品づくりには除去加工に加えて付加工が重要になってくると思っています。いわゆるAdditive Manufacturing（アディティブ・マニファクチャリング）、AMですね。AMにはいろいろ方式がありますが、材料に金属粉体を使う場合であっても、それは溶接技術の積み重ねです。しかしながら、ただ単に材料を積み重ねて鋳造技術に置き換えるだけでは良くなく、AMだからこそ生まれる価値を創出して欲しいと思っています。そういう意味で、ファナックのこのデジタルツインのコンセプトを溶接技術にうまく展開していただきたいと思います。それが今後の新しい溶接技術の展開になると感じました。AMだからこそできる新しい構造の設計と製造をサイバー空間で実行し、その情報をフィジカル空間に戻す。サイバー空間とフィジカル空間の融合、除去加工と付加工の融合、それらが今後のものづくりの新しい基盤になっていくのだらうと思います。今後のファナックの発展に期待しています。

**社長：**田中先生、ありがとうございました。今回は初めてのご参加を本当にありがとうございました。溶接を中心に私どもにとりまして非常に新鮮なコメントでございまして、大変ありがたいと思っております。レーザー研究開発の責任者の西川本部長から何かありますか。

**西川：**レーザー研究開発本部の西川です。田中先生、ありがとうございました。たくさんお褒めの言葉を頂いて、非常に恐縮しております。このファナックのレーザーキャナですが、これはレーザー研究開発本部だけではなくてファナックのたくさんの方の研究開発本部が一緒になって作り上げたもので、長い期間をかけて、ファナックの中でもしっかりと使い込んで、信頼性試験もしっかりと確認した上で今回商品化しました。

今後商品化していきますと、いろいろなご要求が出てくる

と思います。また、新しい使い方や、新しいワーク材料、それからワークの形状なども出てくると思いますので、その辺りはまたファナックの研究開発本部が一体となってレーザーキャナをレベルアップして対応していきたいと考えております。

以上でございます。

**社長：**どうもありがとうございます。それでは笹原先生、お願いいたします。

**笹原先生：**東京農工大学の笹原でございます。今回も座談会にお招きいただき、誠にありがとうございます。私もこういったオンラインの展示会には初めて参加させていただきましたが、興味深いコンテンツが多く集中して見てしまいました。これまでFAを中心に先生方がいろいろお話しなさっていますので、幾つかポイントを絞ってお話ししたいと思います。私は切削と、ワイヤアーク方式のアディティブ・マニファクチャリングの研究を行っていますので、その辺を中心にお話しさせていただければと思います。

まずNC装置の微小ブロックの処理能力が向上した件に関連して、学会などで情報交換してみると、切削加工の技術者の方でもNCで曲面を加工するときに、微小線分長をどれぐらいに設定すればいいのかを正しく把握なさっている方は残念ながら少ないという印象を持っています。微小線分長が小さい方が角度変化は小さくなり結果として減速が少なく高速で運動が可能となることを理解なさっている方は意外に少ないようです。微小線分長はトレランス内に収まれば良いとか、逆に微小線分長が長めの方がデータ量が少なくなって制御点が少なくなり高速に運転できるはずというNC装置の能力が高くなかった一昔前の状況を引きずっているように思います。関連の研究を大学でも行っていますが、微小線分長はNC装置の処理が間に合う範囲で短いほうが、高速にもなりますし精度も良くなるという結果が出ていますので、今回のファナックの方向性とまったく同じだと思っています。学の責任というのがありますが、加工技術者やCAMオペレータを中心として、線分長をどう設定したらいいのかという辺りの、教育や啓蒙のような活動は必要であると思いました。それをしているか、せっかくNC装置が高速化しても入力するNCプログラムが適切でないと実際の高速・高精度化に生かしきれない部分もあるかと思いました。

これに関連して、加工プログラムの最適化の話が別があり、スライドをよく見るとGコードの制御点の間隔よりもNC装置の中で最適化した制御点の間隔が小さくなっている図がありましたので、それはNC側で内部的に対応なさっているのだ



西川本部長



笹原先生

ろうと理解いたしました。ユーザ側で意識しなくても高速・高精度化が図られるのであれば、これは非常に大きな進歩であると感じています。

次はAIサーボチューニングについて、前は確かフィードフォワードの値がターゲットだったと思いますが、ゲインフィルタと加減速も加わってより高度になったと感じました。パラメータの調整に要する時間が、ゲインで30分、フィードフォワードで30分、加減速で60分という説明がムービーの中に出ておりましたが、比較的短時間で同定できるので、どんな動作をさせて同定するのか興味を持ちました。量産の場面では、適用される加工が曲面の精度重視なのか、あるいは機械部品加工で速度重視であるとか、あるいはワーク重量の大小であるとか、実際の加工状況に合わせた最適なパラメータのチューニングも可能だと思いますので、ユーザにとって利用価値が非常に高いと感じました。

新しくなったレーザ用のNCについても興味深く拝見しました。ファナックの高速でハイパワーなレーザを、マシニングセンタや旋盤にすぐにでも搭載できるNCになっているということですので、除去加工とレーザ加工・レーザ溶接を複合化した工作機械がすぐにでも開発可能な状況ということと理解しました。レーザを自在にコントロールできるとなれば、粉末なりワイヤを供給しレーザのエネルギーで溶融・積層するいわゆるDED (Directed Energy Deposition) のタイプのアディティブ・マニファクチャリング (AM) 装置についても、適用が可能ということだと思います。現段階ではAM装置はラインナップなさっていないわけですが、技術的には可能ということだと思いますので、純日本発のレーザと切削の複合機、あるいはAM機の開発ということでも期待したいと感じました。レーザによる除去(切断)加工とDEDタイプのAM装置(付加加工)の複合機などというものも実現性があるし面白いと思います。

それから、アーク溶接ロボットのアダプティブ制御溶接に興味深く拝見しました。確か接合対象の板が少しずれていてもそれを検知してうまく溶接するというものです。アーク溶接を用いたワイヤ・アークのタイプのAMですと、積層高さが厳密には制御できないとか傾斜壁では溶融金属が重力方向に偏在して固化するなどの課題があり、必ずしも思ったとおりに造形できないという状況が生じますが、この技術を展開すれば前層を認知して、その上に正確に修正しながら積層していくような応用が可能ではないかと思っています。溶接はもちろんのこと、ワイヤ・アーク方式のAMにも非常に有用な技術だと思いました。ちなみに、溶接ロボットとMIG溶接機の組み合わせでワイヤ・アーク方式のAMが可能です。

最後に、ロボットに関してですが、切削の研究にも携わっている観点で、ロボットミーリングにも注目しています。ロボットを使って切削などの除去加工を行う用途や分野も、今後徐々に広まってくるものだと思います。工作機械に比べれば剛性や精度は限りがありますので、加工能率や精度は及びませんが、大物部材の加工や切削抵抗の小さな材料の加工などから適用が始まるのではないかと思います。すでに取り組みされているかもしれませんが、そのような開発にも期待しています。

私からは以上でございます。ありがとうございました。

**社長:** 笹原先生、ありがとうございます。非常に多岐にわたるご質問を頂きましたので、関係部署からまた別途これはご回答をさせていただきたいと思っております。では続きまして、今度はFAを中心としたパートの最後になりますが、新野先生、よろしく願いいたします。

**新野先生:** ただ今、ご紹介頂きました新野秀憲です。まずは、この場をお借りして本年4月1日付で厚生労働省所管の職業能力開発総合大学校の校長に着任した旨を報告させていただきます。

現在、(一社)日本工作機械工業会で産官学技術懇談会の世話人として特定の技術課題を対象に専門家を交えた情報交換を行う勉強会を定期的に開催しています。会員企業に対する最近のアンケート調査結果から、温故知新の技術課題である工作機械の熱変形、びびり振動に加えて、ICTとAI、デジタルツイン、CPS、DXが多くの工作機械メーカーにとって興味深い技術課題であることが確認されました。

今回の「新商品発表展示会2021」の展示内容には、上述のキーワードがすべて含まれており、まさに顧客の求めるタイムリーな情報発信の場を提供しています。すなわち、主要顧客である工作機械メーカー各社が現時点で最も興味を有する技術課題に鋭意取り組み、例えば「CNCのデジタルツインコンセプト」のようなコンセプトを掲げ、適用事例を紹介すると共に実用的な情報を提供しています。参加した顧客は、マスコミ等で喧伝されているデジタルツインを具体的なイメージとしてとらえることができると共に、その効果を得るための周辺技術が概ね揃ってきたことを実感できるのではないかと考えられます。

ただし、既に樋口教授からも指摘されているように、物理空間のデータを用いて、デジタル空間で再現、シミュレーションするという概念は何ら目新しいものではなく、従来技術とは何が違うのだろうかという印象を持つ方も少なくないでしょう。今後、物理空間で何が起きているか分からないような事象を当該物理空間から得た時々刻々と変化するセンサ情報を用いてデジタル空間においてリアルタイムで再現、推定しながら所要のプロセスを実行する、その過程で物理空間とデジタル空間の相互補完を行うようなダイナミックに連動したデジタルツインを実現すべきではないかと考えています。そのようなデジタルツインを活用することによって生産システムの自己診断機能、さらに困難と考えられてきた自己修復機能を実現できるのではないかと考えています。

我が職業能力開発総合大学校では、第4次産業革命に対応するものづくり教育・訓練のためのCPPS (Cyber Physical Production System) であるラーニングファクトリーの研究開発を進めています。今後、ファナック社、ならびに本日ご出席の先生方にご協力やご支援をお願いすることもあるかと思っておりますので宜しくお願い申し上げます。

ここで、展示内容全体についての印象を次に集約したいと



新野先生

思います。

(1) 今回の展示内容を概観した限り、ハードウェアおよびソフトウェアの商品とそれに付された商品名が結び付きにくい印象を受けました。ファナック社の方はあまりにも真面目過ぎるのではないのでしょうか、もっとユーザフレンドリーなネーミングを付けて頂いた方が良いように感じました。例えば、ZDT、iRVision、QSSR、FabriQR Contact（ファブリキュアコンタクト）などが挙げられます。いずれも、直感的にどのような商品であるのか商品名からイメージすることが非常に困難です。特に、ロボナノの商品名である $\alpha$ -NMiAと $\alpha$ -NTiAについては、MachiningとTurningの頭文字を識別記号として考えると考えられるMとTが、それぞれ商品名のちょうど真ん中に入っていて顧客が容易に2種類の商品を判別できないように思います。

(2) 「コンパクト」が強調された展示が散見されましたが、いずれの商品についてもサイズ感を把握できる工夫が陽に見られません。例えば、サーボラインナップなどを拝見しても、従来製品に対して、どれだけコンパクトな構造になっているのかを容易に把握できません。

(3) 「New」が多用された商品が数多く展示され、どこが、どのように新しいのかについて十分に説明されておらず、アピールポイントが明確ではありませんでした。今回の展示会に合わせて新たに開発した商品であるのか、従来のファナック社の商品にはない新しい機能を有するのか、ファナック社独自の革新的な商品であるのか、今までにない高性能を実現できるのか、などを明確に示すべきではないかと考えます。それらを明確に提示して頂いた方が、顧客に対する訴求効果があると私は考えます。

(4) 今後、従来に増して生産環境におけるロボットの導入、展開が期待されます。今回の展示では、協働ロボットにかなり力を入れておられる様子を拝見しました。協働ロボット単体の高速化、高精度化、インテリジェント化等の高性能化は著しく進展すると予想されます。1990年代頃に散発的に研究が行われていた複数ロボットの協調制御による作業等は、主として人間が行っていた作業をロボットに置き換えることに注力していました。それらの成果は今や、研究室レベルを脱し、実際の生産システムへの適用が進んでいます。これまで高いと考えられていた日本のものづくりにおける生産性が実は低いことが指摘されていることもあり、人間には到底できないような複雑な作業を高効率化すること、単体のロボットでは達成困難な極限作業を複数の協働ロボット群で達成することなどの実用的な産業応用について、新たな提案を発信して頂けることを期待します。

以上、「新商品発表展示会2021」の個人的な印象を挙げさせて頂きました。直接的な今回の展示会の印象というわけではないものの最後に一点、触れさせて頂きますと、FIELD systemがこれまでの展示会で中心的な役割を担ってきたように思われます。しかし、今回の展示内容は以前の展示会に比べて少しトーンが落ちたような印象を受けました。今後、工作機械メーカー各社が興味を持っているCPS、CPPSを実現する上で中核要素技術に位置付けられますので、FIELD systemに数理・データサイエンス・AI技術を巧みに組み込んだ実装技術の確立と展開に期待したいと考えています。

例年、今年はどのような革新的技術が出現しているだろうかと期待しながら参加させて頂いています。今後とも、宜しくお願い申し上げます。

**社長：**新野先生、ありがとうございました。それではFAを中心としたパートの最後になりますが、稲葉会長からコメントをお願いします。

**会長：**笹原先生、新野先生、ありがとうございました。笹原先生はてっきりAMについてお話しいただけるかと思ったら、いきなり全般についてお話しされたので少し驚きました。然しながら、先生が研究されている範囲は広いので、AMに限らず、いろいろと気が付かれた点についてアドバイスを頂きまして、ありがとうございます。

微小ブロックの処理能力の問題は、部品加工であれば精度が最優先ですが、金型の自由曲面の加工では良好な面品質の実現が最大の課題ですので、まだまだ道半ばだと思っております。こうした技術に関して白瀬先生からもご指導いただいておりますが、CADが持つ膨大な情報をいかになくさず、加工まで保持しながら、如何にスムーズな Cutterパスを作っていくかが重要と思います。現在、こうした研究を通して、何とか一歩進めたのではないかと考えております。この分野については、われわれはさらに技術を磨き上げていこうと考えております。

また、いくら指令がよくても機械のチューニングができていなければ、その性能を発揮できませんので、AIサーボチューニングに注目していただけた事は大変ありがたいと思います。まだ限界はありますが、誰もが簡単に、しかも短時間でほぼ最適なチューニングができる機能を目指して頑張っております。また、AMに関して、先生が得意とされるワイヤを使ったAMはお出ししていませんでしたが、その要素技術は開発しておりますので、ぜひこれからもご指導をよろしくお願ひしたいと思います。

また、新野先生、ありがとうございます。私もこのたび日工会の会長に指名されましたので、先生のご協力を宜しくお願ひ申し上げます。工作機械の新技術の開発、特に新素材の応用やIoT技術の適用などにぜひ力を貸していただければと期待しております。

新野先生からもいろいろと広範囲の話題に触れていただきました。デジタルツインというコンセプトは実は温故知新といいますが、IMSプロジェクトの頃から目指していた事が、言葉を変えて、衣を変えて、世の中に再び提唱された気が致します。われわれは、こうした言葉だけを発信するのではなく、フィジカル空間とサイバー空間の橋渡しをして、加工を行う前にシミュレーションの世界できちんとした結果を導き出し、無駄のない試作、無駄のない加工を実現する事を目指して、この技術開発を進めていきたいと思ひます。

最後に辛口のお言葉も頂きましたが、私どもにとって大変



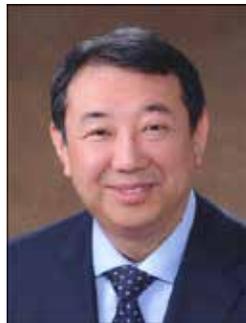
稲葉会長

刺激になりました。実はこのたびの展示は使いやすさが大きなテーマでした。われわれとしては、ユーザ目線に立って開発し、展示したつもりでしたが、まだまだ開発者目線で自分の世界からしかものごとを見ていないということがよく分かりました。これからは、ユーザ目線に立ち、機能の開発、ネーミングなどを考えていきたいと思います。これからもご指導をよろしくお願いいたします。

## ■ ロボット

**社長：**そうしましたら、ロボットを中心としたパートを進めてまいりたいと思っております。まずは浅間先生、お願いいたします。

**浅間先生：**東京大学の浅間でございます。本日はオンラインの新商品発表展示会・座談会にお招きいただきまして、どうもありがとうございます。私も何回か参加させていただいておりますが、昨年は中止になったということで、今回久しぶりにオンラインで様々な展示や技術セミナーなど拝見いたしました。やはり対面ではないので、インタラクティブに質問することはできませんでしたが、座っているいろいろなコンテンツを拝見することができたので、大変楽をさせていただきました。



浅間先生

ロボットを中心に少しコメントさせていただきます。ファナックはこれまでハードと制御のメーカというイメージが強かったのですが、今回拝見しているとかかなりデジタル化、知能化や、サービスまで展開するといった、総合的なメーカに変わりつつあるという印象を受けました。ICT、IoT、機械学習、AI、こういった最先端の技術も組み込んでさらなるロボット製品、サービスの価値を高め、新たなグローバルビジネスの展開に果敢に挑戦されているという印象を強く受けました。

具体的には、さまざまな製造工程の多様な用途に応じて非常に多くのタイプのロボットが製品化されていて、その品ぞろえが大変豊富で、充実していると感じました。信頼性、頑健性の高いハードウェア、協働ロボットのような高性能で安全な制御系を軸として、ビジョンセンサ、レーザセンサ、レーザスキャナなどのセンシングシステム、そしてソフトハンドという新しいエンドエフェクタなどまで手広く開発・製品化されています。さらに、ばら積みや取り出しをはじめとする知能化・システム化、ロボガイドのような設計支援ツール、ゼロダウンタイムのようなIoT・ネットワーク・AIを活用した状態監視・故障予知・故障診断・保守などのサービスから、実習教材を使った教育に至るまで総合的に事業に取り組んでおられて、毎年確実に進化していると感じました。

特に昨今、新型コロナウイルスの感染防止が叫ばれ、製造業でもウィズコロナ、ポストコロナ時代を見据え、人同士の密な接触を避けつつ効率的に生産できる環境整備も求められ

るようになりましたが、このファナックのロボット技術が、そういったニーズにも大きな貢献を果たせるのではないかと思います。昨今Society 5.0でも人中心の社会がうたわれており、次世代ものづくりにおいても、ますますこういった人中心型の生産システムというものが重要になってくると思われます。人をさまざまな場面で支援する、人共存型技術がこれから重要な役割を果たすと考えられ、ファナックの協働ロボットはその一つの重要な要素になると考えています。ちなみに、協働ロボットCRXは、昨年度日本ロボット大賞の経済産業大臣賞を獲得されました。心よりお祝いを申し上げます。

一方、私は一昨年から、工学系研究科の中に新たに設置された人工物工学研究センターのセンター長も務めさせていただいております。ここで、さまざまな製造業の企業の方とお話をさせていただいておりますが、多くの企業の方が、社会環境が著しく変化する中、少子高齢化や労働力不足、国際的な競争力の維持などで多くの悩みを抱えられおり、そういった課題を解決し、競争力を維持する上でも、自動化のみならず現場力を高めていく、すなわち人を継続的に育てていくことが極めて重要であることに気がきました。

ファナックでは顧客の立場に立った開発が際立っていると感じています。顧客満足度も非常に高いのではないかと推測されますが、それだけではなく、これからは従業員の満足度も高めていくことが重要になると考えています。先ほど先生方がご指摘になったように、デジタル技術によるサイバーフィジカルシステムやデジタルツインの開発が加速しておりまして、ファナックでも今回大きな一つの目玉になっております。樋口先生から「デジタルツインという言葉もそのうちなくなるのではないか」というお話がありましたが、人工物工学研究センターでは、今デジタルツインの次に行くデジタルトリプレットという概念を提唱しております。サイバーフィジカルシステム、デジタルツインは人が使いこなすべきものであり、人の技能や知識の形式知化、デジタル化し、それを活用した人の生産活動の支援などがこれから重要になってくると考え、これらの課題にも、企業と連携しながら取り組みたいと考えております。

デジタルトランスフォーメーションや、ビッグデータに基づくサービスの展開、設計・生産の効率化、迅速な改善などを推進すると同時に、現場のワーカーやエンジニアの技能・経験などを抽出し活用する、それで彼らの活動を支援する環境を構築し整備していく、さらには人の育成、成長を促して、顧客のみならず従業員の意欲や満足感、幸福感の向上につなげていくことが、今後重要になってくるのではないかと考えております。

私はそのためにもシステムが支援し共存するヒトというものを理解することが、これからはさらに重要になってくると思っております。ヒトを理解した上で協働ロボットが人の行動や意図を予測、推定しながら安全に動作をする、そしてどのように支援すると人が肉体的負担、精神的負担が軽減するのかをロボット自身が理解して行動する、例えば人のミスが減らすようにロボットが誘導するとか、人をやる気にさせる、達成感を感じさせる、といったようなことがこれから重要になってくるのではないかと考えています。人を理解しながら、さらなる協働ロボットの要求仕様を明らかにしていき、製造

業におけるパートナーのような存在にさせることができればよいのではないかと考えています。今後も、ファナックがものづくりをリードする存在として、さらに発展することを心からお祈りしております。

私からは以上でございます。

**社長：**浅間先生、ありがとうございました。そうしましたら続きまして菅野先生、お願いいたします。

**菅野先生：**早稲田大学の菅野です。本日はお招きいただきましてありがとうございます。CRXがトリプル受賞ということでおめでとうございます。

そのCRXですが、私が人と共存するロボットの研究をしているので、興味深く何度もその映像を拝見しました。実は他のところはあまり見ていないという申し訳ない結果なのですが、そのCRXを中心にコメントをさせていただければと思います。

まず2年前の時にも申し上げましたが、ロボットのデザインについてお話すると、緑のロボットはロボットロボットしており、それに対してCRXは非常にスマートになり、ぜひこういう方向のデザインを進めていただければと思いました。

具体的な機能については、ダイレクトティーチングや、AGVの協調の部分は何度も拝見しました。コロナになり学会もオンラインでは開かれず、通常は学会と一緒に設定される展示会も開かれず、どの学会も全部ビデオが流れています。そのためロボットに触ることがなくなってしまいました。

その流れの中でファナックさんも、非常にたくさんの工夫されたビデオを作られたところに大変敬意を表したいと思いますが、やはりビデオはロボットの実感が伝わりません。今回の座談会に参加されている先生方も、実際のロボットや機械を対象にされている先生なので、目の前で触りたい、見たいというお気持ちが強いと思います。私も研究発表でこういう動き、こういう力加減というロボットの特徴を見てほしいと思うのですが、非常に難しいことを実感しています。

例えばダイレクトティーチングですが、「非常に柔らかくダイレクトティーチングがやりやすいです」と説明すると、多くの会社や大学が同じような表現となってしまう、違いが伝えられません。その違いを示す工夫ができないか、私の研究室でもいろいろ考えています。例えばダイレクトティーチングをしているときに、実際にどのぐらいの力が手先に加わって動きやすくなっているのか。人がそのダイレクトティーチングをするのではなく、ロボットがロボットのダイレクトティーチングをしたときに、そのダイレクトティーチングをしている側のロボットの手先の力を計測して、それが小さく振動が無ければ、非常にスムーズにダイレクトティーチングが実現できていることが分かるのではないかと。もちろん対面が可能になれば実際にロボットに触れるのでよいのですが、触れない、逆に遠隔地にそれをうまく伝えたいと思う場合に



菅野先生

は、プレゼンテーションに何か工夫が必要になります。御社でしたらいろいろな工夫を考えられるのではないかと思います、そこを期待したいところです。やはりものに触ってなんぼというのがロボットですので、ぜひご検討いただければと思います。

次に、AGVについてです。御社は以前AGV開発には携わっておらず、スカラも含めて最近始められたと伺っていますが、今回、AGVで工作機械との位置決め、また、搬送で実際にAGVにより運んでいるビデオがありました。精度の問題やビジョンの技術は御社の得意分野だと思いますが、何かそこは一緒になっていなかった感じがしました。例えば通常のAGVが自由に移動できて、クランプとかがなくても工作機械で高精度な作業ができるような、そういう動作はおそらく容易に実現可能であろうと思うので、そのようなシステム化をぜひお考えいただければと思います。

もう一つは、ソフトハンドです。本当に短い時間でしたが、トマトの収穫のビデオがありました。私もロボットの農業への展開は非常に重要だと思っており、自身も農業用ロボットの研究開発に携わったことがあります。ただ、トマトの収穫は簡単ではありません。特定の環境でつかんで採ることだけだったらできるかもしれませんが、工場と違い農作物というのは自然であり、あらゆる違いがあり、環境適応とか対象物適応が求められます。これから御社がその分野に進出されようとしているのかな、とちょっと考えながら拝見しました。農業への応用でもっと何か実験をされているのであれば、ぜひ見せていただきたいと思いました。

あと最後に2つほど。2年前に見学させていただいた時には、高速のピッキングロボットがありました。いわゆる流通会社が使うようなところを実際にどこまでできるかがテーマでしたが、それが今回はなかったのも、その後の進捗がどうなったのかなというのが気になりました。もう一つはAIに関する技術が、ロボットの紹介の中にほとんどありませんでした。もちろんすでに当たり前になったということかもしれませんが、しかし、私はAIというのは今後ハードウェアと一体になって、新しいAIに変わっていくものだと考えています。いわゆるロボットのハードウェアがあってそこにAIを足すのではなく、AIの中にハードウェアが組み込まれるような話です。それはデジタルツインを別の側面から見た話とも言えます。ぜひ新しいAI、ハードと一体となったAIみたいなことを考えていただくと他のAIと差別化したロボットのAIができると思っています。

以上です。ありがとうございました。

**社長：**菅野先生、ありがとうございました。浅間先生と菅野先生のお話に対しましてロボット機構開発研究所、ロボットソフト開発研究所の安部本部長と加藤本部長に続けてコメントをお願いします。

**安部：**ロボット機構開発研究所の安部です。浅間先生、菅野先生、貴重なコメントをありがとうございました。また様々な賞の受賞につきましてお祝いの言葉を頂きありがとうございます。先ほど従業員の満足度のお話がありましたが、従業員一同、受賞が非常に励みとなり、さらに頑張る気満々

ですので引き続きご指導のほどよろしくお願ひします。

浅間先生からお話がありましたとおり、従来はファナックがロボットのハードや制御、メカ、ソフトといったところを提供し、それをどう使うか、あとはお客さまの責任であるという時代が長く続きました。ここに来て、どう使うかまで含めて考えていかないとロボットの導入が進まない、あるいは非常に使い勝手が悪いものとされてしまう状況になってきています。協働ロボットの出現もそうですが、人中心、人が使って使いやすい、それぞれのお客さんがどう使いたいかというところを考えていくという意味で、今回の展示会では使いやすさもテーマといたしました。

菅野先生に大変ご指導いただき、「協働ロボットというのは人が見て美しくないと駄目だ」というお言葉が頭の中ずっと残っていました。同じく浅間先生からも同様の指導を頂きました。そこでCRXは最初からデザインをしっかりと考え、従来のファナック商品とは違った形の実現できたと考えています。ただ、浅間先生がお話されたようにこれはまだスタート地点です。ロボットが人をよく理解し、あるいは先ほど菅野先生からもありましたロボットがロボットをダイレクトティーチして共助していくといったさらなる発展が見込めますので、またいろいろとアドバイスを頂きながらこのCRXシリーズを含めて発展させていきたいと思ひます。

それではダイレクトティーチとAIやピッキングについては加藤本部長からお願ひします。

**加藤：**ロボットソフト研究開発本部の加藤です。浅間先生、菅野先生、コメントをありがとうございました。より自然で使いやすいダイレクトティーチや、ロボットの設置位置を定めない運用への対応など、いずれも人がロボットを使うハードルを下げていくために重要な改良であると思ひます。浅間先生もお話しされていましたが、コロナ禍の世界で、人中心の生産設備へ入って行けるロボットがますます必要になっています。溶接や加工の条件出し自動化、さらなる教示の簡単化など、まだまだ達成できていないチャレンジが沢山ありますが、人が働いている工場へスムーズに導入いただけるロボットを目指して開発してまいります。また、今回は新商品として展示していない高速ピッキングやAI分野についても、研究開発を続けています。新商品や機能改良の形で次回お見せできるよう進めて参りますので、こちらについても引き続きご指導をお願ひいたします。

**社長：**ありがとうございます。それでは続きまして佐久間先生、お願ひいたします。



安部本部長



加藤本部長

**佐久間先生：**東京大学の佐久間です。お招きいただきましてありがとうございました。私はたぶん、この先生方の中ではちょっと専門が異質でして、医用生体工学ということをしています。ロボットの関係でいうと手術支援ロボットや治療支援、それから生体計測のようなことをします。ある意味、治療は生体を加工するという部分がありますので、その関連かと思ひます。それで、ロボットその他については先生方がもうすでに言われていますので、ちょっと違う視点から幾つか発言させていただければと思ひます。

まずオンラインですが、先生方もお話されたとおり、ゆっくり見ることができ、また繰り返し見られるという点は非常にいいことだと思います。一方で、インタラクティブがない。あともう一つは、先生方はおそらく実物を見たことがあるから、ビデオを見てある程度推定できるということだと思います。ですから、今後コロナが終わった後に、この方式は情報を伝えるには非常にいいことですが、何かうまい方法があると思ひますので、展示会のやり方が少し変わってくると感じました。

それから、人との協調ロボットが、生体工学と関連すると思ひ見ていました。実際、コロナの前の2019年12月のロボット展で拝見した時に、私どもがやっている医療用のロボットと関連が近いところが出てきたなということ非常に感じました。すなわち、人と一緒になってやるということですね。

それから、ビジョンのセンサについてです。実は手術ロボットは内視鏡手術ですので、ビジョンベースで行います。そのところをどのようにするかというところでの、実は扱っている問題が非常に近いという点があります。例えば、手術支援画像のAIとかでいろいろなアクティビティがあります。先ほど堀先生がいろいろな学会の活動があるということをお話されていましたが、そういうところを見ていただくとか何かヒントがあるのかなと思ひました。あとその中で、これももう20年近く前になりますが、菅野先生が委員長でパーソナルロボットの安全の話をしていただきました。あの当時の議論が非常に重要ななんだろうと思ひています。

ただ、今回は衝突すると止まるということで安全ですという説明をされていましたが、実はそれだけではないと思ひています。顧客の中に入り、アプリケーションのシーンを特定し、その中で安全のリスクマネジメントを行うことだと思います。これはおそらく導入される中で幾つかのパターンが出てくると思うので、その中でうまく安全を確保しながら効率よくやるということを少し分類して、ケーススタディのようにまとめられるとすごくいいのではないかなと思ひました。

あと、人が絡んだときに、人の行動をある程度予期しないと安全は分からない。一方で今どういう作業をしているかをシステム全体が知らないといけな。これは実は手術支援の中で今結構な研究領域になっています。今手術のプロセスの中で何をやっているのか、全体のシステムを理解した上で少し制御の仕方を変えるというようなことを考え始めてい

ます。また、人が絡んでくると、人はたぶんそういう環境の中でこういう行動を取るだろうと考えていくことが協調するというときには、必要だと思いました。時々変な行動をする人がいますが、それは仕方がないですが。

あと、センサに関してです。これはどちらかという物理界のものをある意味パッシブで取っていくというセンサだと思います。実際ロボットというのは動くアクチュエータであるとともにいろんなセンサが入っています。今回は力センサが入っているわけですが、それと同時にその対象物に特定の刺激を入れて、何かその応答を取るといって、ちょっとすみません、生体的な言い方をしましたが、そういうアクティブセンシングみたいなこともできると思います。その辺りでセンサの意味を、もう少し広げていく方向もあると思いました。

あとはデジタルのことに言いますと、皆さんもご承知の遠隔医療というのが始まっています。結局センサが限られているので、今の遠隔医療というのは基本的に問診だけです。ですから、そういうところでいかに情報を取ってくるかが重要です。デジタル化というのは実は情報を、先ほどアナログ・デジタルの議論がありましたが、切り捨てているということだと思います。そこでシミュレーションとの関連で言いますと、シミュレーションも言い方を悪くするとパラメータチューニングをすれば何でも合ってしまうところがあります。これは、シミュレーションの世界の中で、モデルがしっかり計算システムで計算できているかというベリフィケーションと、モデルそのものが合っているかというバリデーションというのがあり、この辺りをどういうふうにしていくかが、今後の課題かなと思っています。

あと、シミュレーションとAIの組み合わせということから言うと、何でも今AIをやっていけば何か結果が出るようなイメージの風潮ですが、ちょっと違うと思っています。実は非常に構成論的に論理的にできるシミュレータ、数値モデルができることはすごく重要ですが、一方で生体の場合は、そのパラメータがまったく分からないのです。

ある平均値があってそこがばらつく。そこを例えば実験データと合わせていくようなところを逆問題が解けないので少しAIを使ってアプローチすることがあると思います。その辺り、シミュレータをいかに現実、現場に合わせていくかが、今後の課題と思って聞いていました。

最後、先ほど教育というものがあったのですが、これを研究の立場からいくと、今回の「ものを使いやすくする」、「使いやすいシステムをつくる」ということが非常に大きな命題として出てきたと思います。効率良いものづくりということではいいのですが、一方で、今度その先の先端を開いていくと、あまりにもものが簡単になってしまい何か本質が分からないまま動いているという状況が出てくる可能性があると思います。その辺りはおそらく大学の課題だと思いますが、考えなくてはいけないと思いました。

あと、その観点からは、デジタルでいろいろなデータが出てきています。今のデータの使い方は今の考え方で使っていますが、それをいろいろな側面で見えていくと、いろいろな可能性が出てくる情報を含んでいると思います。これは実は非常に企業にとっては宝の山であり、一方研究者の立場からすると、その中であるアイデアを出していくと、いろいろ

なことができるかもしれません。その辺りをどうやって産学連携を進めていくかについても、少し考えていただけたらと思います。

以上、話させていただきました。本当に今日はありがとうございます。

**社長：**佐久間先生、ありがとうございました。それでは続きまして石川先生、お願いいたします。

**石川先生：**東京大学の石川です。今回は久しぶりだということとオンラインということで、大変楽しみにしていました。他の先生方と同様に、私も全体を見ることができました。全体を見た感想としては、センシング、処理、アクチュエーション、あるいはマニピュレーション、それぞれに大きな進歩が感じられました。処理という意味では、スタンドアローンのシステムの中の処理だけではなくて、FIELD systemなんかを考えるとネットワークでつながったもの、あるいは既得のデータとの連携をどうするかといったものも含めて、新たな世界に突入したかなという感じを持ちました。またマニピュレーション、アクチュエーションも今までの範囲を広げるような努力を着実になさっていて、大きな進歩があったかなと思っています。ここでは、私はセンシングの観点からお話をさせていただこうと思います。

ロボットに限らず、ファナックの製品全体でセンシングがどんどん進化していると感じています。特にリアルワールド、フィジカルワールドを的確に捉える力が、全体のシステムの機能を向上させるのに重要な役割を担っているということがよく分かってきたというふうに思っています。今回センシングの関連では、私が注目している3Dのセンサが紹介されていました。センサ自体は前からありましたが、ラインナップが広がって、特に近場の3Dの情報に正確に取れるようになったということは、今まで皆さんが待望していたスペックを持ったセンサが実現されたということで、着実に進歩していると思います。ただ3Dのセンサというのは、実は競争相手が山ほどあります。ロボットに限らず、ヒューマンインタフェース、ドローンから3次元でどう撮るかとか、社会的な人の流れをどう撮るかといったところまで含めていろいろなところで開発がなされています。ファナックは、どのスペック、どの機能に注目して開発するかといった目標を見失わないようにしていただければと思います。信頼性や使い勝手の良さといったところはファナックが重要視すべきスペックであると思います。

もう一つ、3DのCADデータを使うデモがありました。このデモも多くの方が今まで期待されていた、望んでいたものが着実に実現されていると思います。ばら積みの取り出しにCADデータでマッチングをかけて、把持位置を決めて取り出すというのが着実にできるということは今までなかったのですが、これが着実にできているということは素晴らしいこと



石川先生

だと思えます。

これは実はCADデータに限ることではありません。CADデータはもちろん使えますが、実際に計測したデータをCADデータの代わりに使うこともできます。計測したデータに基づいてマッチングを取り、それでいろいろな作業をするということも視野の中に入れていただければと思っています。

それから、ビジュアルフィードバックの応用という意味では、動いているタイヤを取り付けるのを、2次元のビジュアルフィードバックでやっているデモがありました。非常に単純なデモではありますが、私はこれが大きな一歩だと思っています。これを見られた方は「何だ、普通のタイヤを取り付けているだけじゃないか」と思われたかもしれませんが、エンコーダ情報を使わずにビジョンセンサだけでこれを実現していることが、大きなポイントになると思っています。何かいい例がないかなと思って考えたのですが、子どもが自転車に乗り始めて補助輪を付けて走っていたのが今までのロボットだとすれば、今は補助輪を外して自分の目でちゃんと動かしているという状態になっています。エンコーダを使わなくてもうまくいくということはどういう意味があるかということ、今までは絶対座標系で考えていて、座標変換を中心に計算をやっていたのですが、絶対座標系の座標変換の世界から、一部かもしれませんが相対座標系制御に移っているということです。相対座標系制御の精度で実現できるということになりますので、ビジョンセンサの精度がそのままこの制御の精度になるということで、大きな進歩になると思っています。ぜひとも自転車に一人で乗れるようになったのを、ロードレースに出られるようなところまで進めていただければと思っています。

それから協働ロボットに関して、先生方もご発言されましたが、私はセンサの関係から話したいと思っています。今はたぶん力センサを中心に協働ロボットを動かしていると思いますが、力センサでやりますと触ってからでないと止められないという問題があります。これをビジョンや、ビジョンでなくても近接覚センサあたりで、どこまでカバーするかが課題になります。ビジョンや近接覚の場合はすべての視野をカバーすること、つまり死角のない系を作るのが大変なので、そこをうまく工夫していただければ、触る前に止めることが実現できると思っています。

ビジョンを入れる、あるいは他のセンサを入れることによって、どういう効果があるかという観点から、ビジュアルフィードバックが実現されると把持位置の確認がロボットを止めずに認識ができるというデモがありました。あれはサラッと説明されていたのですが非常に大きな進歩です。私もこの会議で何度もロボットは止めない、対象物も止めないという話を申し上げたつもりですが、ロボットを止めずに認識がちゃんとできるシステムが出てきたので、その世界をどんどん進めていただければと思っています。ロボットを止めない、あるいは対象物を止めなくても作業ができるというのは、これから先の工場的高速化という意味では重要な案件かと思っています。別な言い方をすると、われわれ人間の目で見ている世界は人間の目の帯域の世界であり、機械の目の帯域はもっと上にあります。機械の目の帯域でロボットを動かしましょう。そうすることにより、機械の限界で動くロボットの

世界を実現していただければと思っています。今後は、センシングをさらに進化させ、リアルワールド、フィジカルワールドの情報をきちんと取った上で、最適な制御を行って、今まで以上に様々な機能を実現していただきたい。このことは、ロボットに限らず、ファナックの商品全体の基本コンセプトになると思いますので、ますますのご発展を期待しています。

以上でございます。

**社長：**石川先生、ありがとうございました。そうしますと、佐久間先生と石川先生のお話に対しまして、稲葉事業本部長にコメントをお願いします。

**稲葉：**佐久間先生、石川先生、コメントをありがとうございました。お二方から協働ロボット、センシング、シミュレーションについて、非常に興味深い話を頂きました。今回の展示では使いやすさということに焦点を当てましたが、特に教示の使いやすさが前述の3つの技術と密接に関わっていましたので、そこに絞って少しお話をさせて頂ければと思います。



稲葉事業本部長

石川先生から「大きな一歩」とお話を頂いたビジュアルフィードバックですが、相対的に動いていくものに対してロボットが追従し、作業することの第一歩がビジョンセンサのデータを用いた制御により実現できました。また、QSSRに使われている形状取り込み経路生成パッケージもビジョンセンサのデータを利用しています。佐久間先生がお話されていた現実世界とシミュレーション上の合わせこみを、ビジョンセンサ越しの現実世界の情報をシミュレーション上に反映をさせることにより行っています。そして、そのシミュレーション上で生成した動作指令を現実世界に戻しています。樋口先生の言葉をお借りすれば、「リアルな世界とシミュレーションの世界のやりとり」が少しずつできるようになってきている、という状況です。

このようなデジタル技術を通して、ある程度決まった環境における繰り返しの動作から、ロボットがセンシングした状況に応じて動作指令を生成してゆくようなステージに入り始めたことを実感します。一方で、センシングでは石川先生がお話されたような高速ビジュアルフィードバック、多数のセンサデータ処理等を実現するためには、白瀬先生からご指摘頂いた計算リソースの課題があります。この課題は自動軌跡生成を高速に実行する際にも共通です。また、シミュレーションにおいては物理モデル誤差だけでなく、高木先生からご指摘頂いた量子化誤差や、数値計算誤差等も、発展的な用途においては考慮が必要であり、計算効率化は今後の重要課題であると感じます。

最後になりますが、展示会では人との協働も考慮したアプリケーションを含めて、使いやすさを訴求してきましたが、引き続き、信頼性を基軸として商品開発を進めます。特に、ニーズの変化に迅速に対応するために開発を高速化しつつも、信頼性の確保に努めてゆきます。ZDTやFabiriQR Contactと

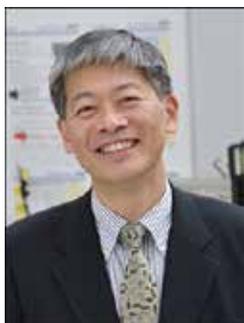
いったメンテナンス・保守のリモートツールにおいても、ロボット機能の拡充を更に進めて行く予定です。誰でも簡単に使えて、使いやすさと信頼性を両立させたロボットを進化させてゆきたいと思いますので、引き続き、先生方にはご指導をよろしくお願い申し上げます。

**社長：**ありがとうございました。それではロボットを中心としたパートはここで終了でございます。

## ■ ロボマシン

**社長：**次に、ロボマシンのパートについて進めてまいりたいと思います。それではまず、松村先生からお願いいたします。

**松村先生：**ご紹介いただきました東京電機大学の松村です。本日はオンラインの座談会にお招きいただきまして、誠にありがとうございます。すでに多くの先生方がデジタルツインやFA、それから全般的なお話をいろいろとされていますので、私はロボドリルを中心にコメントをさせていただければと思います。



松村先生

まず、ロボドリルではタッピング主軸といったものを開発された点に関心を持ちました。これによって標準の主軸よりも回転速度が上げられる、イナーシャを下げた加速時間が短くなったという特徴が得られていました。これは時間短縮というユーザーのニーズに対して技術開発されたものだと思います。私の印象では、この機械では主軸の観点からミドルレンジの仕様になっていると感じ、このシリーズの中で多くのユーザーから使いやすいという印象を受けるのではないかと思います。すなわち、中・小のサイズの部品加工、特に自動車部品加工への応用がこれまで以上に期待できていると思っています。一方で、御社では最高主軸回転数2万4,000回転の高速仕様も出されています。これに対して、新加工機では最高主軸回転数がその半分となっているため、微細加工などで小径工具を使用するユーザーにとっては、やはり高速主軸対応の仕様を選ぶのではないかと思います。今回は主軸の開発がメインのテーマになっていましたが、今後はテーブル送りに対する高精度・高加速度についても、さらなる開発を進めて頂ければと存じます。

次に、開発テーマとして加工時間を短縮するという一方で、サイクルタイムをいかに短縮するかを挙げられていました。興味深かったのは、同時指令が可能な複数の動作を一つの指令で指示できることでした。実は、これまでも複合動作は可能だったようですが、ユーザーにはこの機能はあまり知られていなかったそうです。例えば、一つの指令で同時に工具交換動作と位置決め動作ができるために加工時間が短縮されますが、大量生産における部品加工全体の時間が減ることは、現場の目線での有難い機能の一つではないかと思います。これは地道な努力だと思いますが、こういった工夫をされている

点に敬服しました。

それから、DDRのクランプ・アンクランプの自動化は印象的でした。ビデオを拝見させて頂いて「あ、確かに違うな」という感じが伝わり、私にとっては新鮮に感じました。制御の指令に関する開発はかなり進んでいると思いますが、テーブルの加減速も含めて非加工時間をどこまで削減できるかについて、さらなる研究開発に期待したいところです。

iHMIとネットワーク対応については以前からもご説明を聞き、また、実際に拝見もさせていただきましたが、ベンダーのリソースがさらに取り込みやすくなり、多機能イーサネットへの接続が簡単にできるようになっていました。これにより、IoTの活用やさらにはAI導入への展開につながっていくように思いました。中小企業さんでは、特にネットワークの接続について結構困っていることを聞きましたので、この開発では中小企業ユーザの視点で考えられたものと思っています。

LINK*i*に関しては、現在のところ複数の機械の状態を監視する段階のようですが、今後、監視された情報に対してユーザーがどんな判断をしているかを分析し、さらには、それから判断できることを御社から提案できれば、ユーザーはこの機能を導入したいという気持ちにもなると思います。

それから分野が少し違いますが、QSSRでのロボットとの接続について、3つのオプションを拝見させていただきました。QSSR ON-SITEというのは既存の機械にロボットをつなげていくということで、ロボットと接続がなかなかできない、どうしようかと悩んでいるユーザーにとっては非常にありがたい機能ではないかと思います。まだ、ロボドリルとの接続には対応していないという話ですが、QSSR AUTO PATHは、非常にチャレンジングな機能だなと思いました。この機能ではロボットの動作設定にどれぐらいの時間がかかるのでしょうか。QSSR G-CODEと同じくらいであって、導入コストを考えなければ、AUTO PATHのオプションを皆さんが選んでいくものと思います。

これはFAに関する話ですが、AIによる熱変位補正について拝見させて頂きました。工作機械の熱変位は永遠の課題と言われ、熱変位補正に関する試みというのは他社でもいろいろやられています。このような熱変位補正だけではなく、今後は加工物の監視および認識、それに対する動作をどのように展開していくのかについて、非常に期待しています。特にびびり振動、加工誤差や仕上げ粗さへの対応を期待しています。

また、AIサーボチューニングは現場の人にとっては非常に便利な機能だと思います。特に高品位加工におけるサーボ設定を機械学習によって自動調整することは画期的ですね。加工現場でサーボパラメータを調整するのは経験や知識が必要ですが、それができる作業者は少ないので、この機能がかなり役に立つと思っています。

全体としての感想を申し上げますと、これまでは「工作機械を提供し使って頂くための使いやすさ」をコンセプトとして挙げられていましたが、私にはもう一歩先に進められた印象として、「工作機械を使いこなしていく」というところまで入り込んだと思っています。先ほども話をしましたが、一つの指令で工具交換しながら移動する複合動作は良い例だと思います。これは現場の熟練者の隣にいて、その動作を見てい

ないとなかなか思い付きません。実は初心者は一つ一つの動作をシーケンシャルにやっていますが、現場の方は現在実行している動作の次の動作も考えています。実は、現場の方は複合の動作をよくやっているのです。一つの指令で複合動作をする機能は、「使いやすさ」というよりは「使いこなしやすさ」を考えられているものと思いました。

昨今、話題になっているデジタルツインに対しては、インタフェースの技術開発への展開が印象的でした。「使いこなし」への一歩としては単にハードだけではなく、工作機械が加工現象に対してどのように対応していくのかということも考えなければならぬと思います。これにはFAとの連携も必要だと思いますが、開発された技術ではその具体化がさらに推進されていくものと期待しています。

一方、ユーザとしての関心事として、機械およびその要素の寿命が気になると思います。貴社でも寿命試験はやっているとのことですが、高機能な機械に対して、ユーザ側ではその寿命はどうか？故障は？故障したときのリカバリーは？あるいはメンテナンスはどうするのか？ということが非常に気になる場所です。ユーザはそれを踏まえた上で導入になるとは思いますが、メーカ側ではその情報提供や支援といったものが課題になってくるとは思います。

また、自動車メーカのパートレイン生産などの量産向けの設備の運用には、切削のプロセス制御の一つとして、出てきた切りくずをどのように処理するかが課題となる場合が多いです。これは切りくずが刃先から出るところの処理ではなく、テーブルなどに溜まる切りくずをどう処理すればいいのかという二次的な処理の問題です。幾つかの企業さんからは、切りくずが溜まってテーブルが回転できなくなるので、どうやって切りくずが残る位置や方向を制御、または、分断したらいいのですかという、悲鳴に似た相談を受けたりすることもあります。このように出てきた切りくずをどう処理するかを、工作機械メーカとしても、現場の職人さんの目線で考えていく時かもしれません。そのために機械の加工空間に関する設計を工夫がされると、さらに魅力的になるとは思います。

恐らくメーカ側で開発されている方々も、ユーザの声、あるいは悲鳴をかなり聞いていると思います。特に御社はこの分野のリーディングカンパニとして、制御の面からいかにサポートし工作機械に搭載するか考えられる点を、どの会社よりも強みとされていると思いますので、今後のさらなる発展に期待したいと思います。

本日はどうもありがとうございました。

**社長：**松村先生、ありがとうございます。ロボドリル研究開発本部の責任者であります佟本部長、いかがでしょうか。

**佟：**松村先生、多岐にわたりコメントを頂きまして、ありがとうございます。タッピング主軸と加工時間短縮に関して、少々辛い言い訳になりますが、これまで加工能力、加工面品位、所謂加工できるかどうかに向けた開発に注力してきました。しかし、今般、自動車部品をはじめ、加工時間重視の軽切削に関して、注力しなければいけないと考え、今回はそれに注力した開発を行いました。こういった開発によって、お客様の生産性向上・コスト低減に貢献でき、やがて顧客満

足度の向上に繋がるとは思います。

また、先生よりお話しした機械の使いやすさに関しては、「使っていただく」から「使いこなしいただく」の段階に入っていると思います。今後も、さらにユーザの声を大事にし、より多くのお客様にロボドリルをより簡単に使いこなしただけこうと思います。そうすれば、同じく顧客満足度につながるとは思います。

最後、お話しした切粉に関して、切粉は工作機械の永遠の課題とも言えます。先生が先ほどお話しされたことは一つのヒントになったと思います。切粉は加工方法によって、飛ばす方向等がある程度制御可能です。今後、切粉の堆積に対する制御もぜひ検討してみたいと思います。

以上です。

**社長：**それでは続きまして。國枝先生、お願いいたします。

**國枝先生：**東大の國枝です。いつもお世話になっています。展示会は大変勉強させていただきました。

私はロボカットを中心に拝見したのですが、ピッチ精度や真円度がすでに1ミクロンのオーダーを達成しており、非常に素晴らしいと思いました。機械学習による熱変位補正や構造解析など、様々な観点から基礎的な研究を重ねないとこれだけの精度は得られないと思います。

それに関して一つ質問があります。トポロジー最適化を行い剛性を高め、熱変形を小さくした結果、鋳物重量を400キロから500キロ増やすことになったという説明でした。最適化した場合、軽くなってよいと思うのですが、なぜ増やすことになったのか、教えていただきたかったです。

あとは要望です。放電加工は発明された頃から適応制御は当たり前の加工法で、ギャップ電圧波形や放電電流波形を用いた適応制御もごく普通にされています。今は、放電の一つ一つの波形を見て適応制御できるぐらいの信号処理スピードになっているのですが、問題は一つ一つの波形が実際の放電のどんな物理現象の結果としてその波形になっているか、現象との対応がつけられていない場所です。それを可視化などの方法で基礎研究を行い、その関係を明らかにしていただければその電流・電圧波形を用いた適応制御がさらに優れた性能を示すようになると思います。

それからもう一つ。ワイヤ放電加工は非常に柔らかい、ふにゃふにゃしたワイヤという工具で加工するので、それが高精度化を妨げる一つの要因になっています。逆にそのワイヤ電極の振動や変位、変形をセンサで測定できれば、そのワイヤの挙動からいろんな情報を得ることができます。例えば放



佟本部長



國枝先生

電反力です。一回の放電で生じる放電反力の結果、ワイヤは振動したり変形したりします。放電反力というのは場所や板厚とかでも変わってきます。インプロセスでワイヤの挙動を測定することで、ワイヤそれ自体をセンサとして使えば、逆問題解法と組み合わせて、電流・電圧波形だけではできない適応制御が可能になると思われます。

それから、放電位置すなわち放電がどこに飛んでいるかという検出も長い間実用化されていなかったのですが、海外メーカはすでに加工機に搭載し、いろんな目的に利用しようという動きが明らかになってきています。それも検討していただければと思います。

また、ワイヤはふにゃふにゃした挙動をし、その振動したり変形したりする芋虫の包絡面で加工しているようなものですが、芋虫のその直径も変わればその姿勢も形も変わるので、それをシミュレーションできればさらに精度は上がります。地道な基礎研究が必要ですが、何とかそれを進めていただきたいと思います。

最後になりますが、加工液というのはあまり理論的に研究されていないように思います。水と油というのは明らかに加工結果が違います。しかし、その理由は解明できていないと思います。その中間の加工液として、添加物を入れるという方法が経験的に取られる場合がありますが、同じ水でも導電率を変えたら加工特性はまったく変わってきます。それも理由が説明できていないのではと思っています。そのような加工現象を、物理に根差して解明していただければ加工液の開発も可能ではないかと思えます。

以上です、どうもありがとうございました。よろしく願います。

**社長：**國枝先生、ありがとうございました。では、ロボカッター研究開発の責任者で藤元本部長、いかがでしょうか。

**藤元：**國枝先生、いつも放電現象の解明についてさまざまな方面からご指導いただきまして、誠にありがとうございます。

最初にご質問いただきましたトポロジー最適化を用いた結果、重量が重くなる理由について、先ほどFAの青山英樹先生からも同様のご質問を頂きましたので、そちらも踏まえてお答えしたいと思います。今回の新機種は、従来よりも熱変位を抑えて加工精度を上げるために、非常に肉厚で、機械をどっしりした構造にする必要がありました。そのためには大幅な鋳物重量のアップが避けられませんでした。その上でトポロジー最適化を用いて、鋳物の肉厚として効果的に残すべき部分を選びました。トポロジー最適化は通常ですと、軽量化のために使用される場合が多いのですが、今回は十分な肉厚を配置して、“十分な強度を得る、剛性を増す、熱的な安定性を増す”という目的で活用しました。結果として小さい方の機種で400キロ、大きい方の機種で500キロのアップに抑えられたというのが実情です。



藤元本部長

また青山先生からもお話がありました通り、トポロジー最適化では鋳物として製造することが難しい形で答えが見つかります。今回はぎりぎりの軽量化ではなく、十分な肉厚を残す場所をトポロジー最適化によって得るという目的で実施しておりますので、その点で鋳物の設計は比較的容易でした。

それから、ワイヤ挙動のシミュレーションにつきましては、いつも國枝先生にご指導いただき、誠にありがとうございます。特に現在当社で進めているワイヤ挙動のシミュレーションを行うためには、ワイヤに加わる力の他、放電現象についてもいろいろと調べていく必要があると思っております。先ほど先生がお話された加工液の影響についても、われわれはまだ十分に把握できておりませんので、基礎研究をしっかりと、また先生にご指導いただきながら進めてまいりたいと思えます。引き続きよろしく願います。

**社長：**ありがとうございます。それでは次に、社本先生、お願いいたします。

**社本先生：**名古屋大学の社本です。今回も座談会にご招待いただきまして、ありがとうございます。私は今回、オンラインということで資料を共有するほうが分かりやすいだろうと思ひまして、スライドを用意させていただきました。

まず、私の担当のロボナノ関係について幾つかコメントいたします。1つ目は油圧の精密制御です。このグラフが示すように、静圧案内用の油圧を精密に制御して変動を抑制するという技術です。一見地味に見える技術ですが、私は大変良い技術開発だと思います。非常に地道なことで、超精密というのはこうした周辺機器とか環境の変動を抑制するといういろいろな技術の積み重ねでできています。従来こうした周辺機器の変動抑制というのは、周辺機器メーカーにお任せだったと思いますが、これをファナックが得意とするサーボ技術で非常に安定化することができたことが、非常に良いと思います。精度を極めていくには、こうした一つ一つの周辺技術の向上を積み重ねていくしかありません。今後も、ロボナノ自体だけではなくて周辺機器、例えば油の圧力や温度、周囲の温度、圧縮空気の圧力や温度、クーラントなども含めて、こういった開発を継続されることを期待しています。

次に興味を持ちましたのは、Smart M-Formという技術です。こちらは接触式の機上計測器で、加工した後の面を測定して、その形状誤差を補正しようというシステムです。こういった技術自体は特別新しくはありませんが、NCと一体化することに価値があると思ひました。特に超精密とか微細加工の分野では加工時間も長く、それ以外の計測とか段取りの時間も非常に長い傾向にありますので、その効率化を進めるのが非常に重要だと思います。

次は、いろいろな機上計測器をロボナノから操作できるようにしたSmart M-Setupの開発です。こちらも段取りを省力



社本先生

化していくという方向性で、非常に良いと思います。ただ内容的にはまだ従来の机上計測器を従来の方法で利用している段階だと理解しており、大きな進化とは言えないと思います。今後はこういった方向でさらに技術開発を進められることを期待しています。最近私は、この段取りという分野は非常に重要な割には、研究開発があまり進んでいないと感じています。われわれも今後研究していきたいと思いますので、その際にはご相談させてください。

次はロボドリルについてです。このスライドは高トルク主軸で鋼を加工するというデモですが、こうした小型の機械で、鋼の加工も行おうという流れが最近進んでいます。昔はこういった小型の機械の用途はアルミの加工などが主でしたが、最近では私も複数のユーザ企業で鋼を削っているという事例を拝見します。そのような企業で同時に聞きするのは、必然的ですが、びびりの問題です。こういった小型の剛性の低い機械で鋼をバリバリ削ろうとして、びびりの問題が増えているようです。びびりに関しては、全ての工作機械にとって昔からの課題です。主軸の回転数を変動させるような技術や適切なパラメータがどこかなど、まだまだNCとしてびびり抑制に対してできることが幾つかあると思っておりますので、今後もその技術開発を進めていかれることを期待しています。

私からは以上です。ありがとうございました。

**社長：**社本先生、ありがとうございました。引き続きまして大森先生、お願いいたします。

**大森先生：**今回オンラインの社内展、座談会にお招きいただきましてありがとうございます。社内展、技術資料を拝見しまして、ロボナノ関係でコメントをさせていただきます。

最初に旋盤タイプのロボナノが発表されたということで、非常に喜ばしく思っております。私が付き合っている企業様は、レンズ金型をつくっているレンズメーカー様が多く、旋盤タイプの機械をかなりお使いになっており、「ロボナノの旋盤タイプがいつごろ出るのだろうか」という話もよく聞いていました。今回、0.1ナノの旋盤タイプということで、実際どこまで精度が出るかということをご期待したいです。

さて、5軸タイプと旋盤タイプの写真が並べて掲載されていましたが、コンソールの位置が5軸タイプは右側に、旋盤タイプは左側にあり疑問に思いました。研究室にある超精密加工機を全般的に眺めると、確かに旋盤は主軸が左側にあって段取りを右手で行うことを想定してか、確かにコンソールが左側にありました。それでも、お客様の工場を拝見しますと、意外に超精密旋盤でも右側にコンソールを置いて、機械から分離して使っている工場もありましたので、お客様の要望で分離タイプにして、右側に置けるようなタイプも考えた方が良いかも知れません。この辺は、今後ロボナノ旋盤タイプを投入するにあたり、お客様の声を聞いて検討されま



大森先生

宜しいのではと思います。

ロボマシン全般で、高い加工性能、高い稼働率、使いやすさというのが共通のキーワードになっているかと思います。使いやすさのところを見ますと、その上の部分にAI、機械学習と書かれていますが、実は私も2~3年程前から、加工における機械学習とそのパフォーマンスや加工現象の解析をつなげるような研究を始めています。具体的には研削加工における機械学習になりますが、いろいろな企業様から“砥石の切れ味がいつ変わるのか、あるいはいつ変わったのか”を自動で判別できないかをご要望いただいていたことから、そういったことの解決につながればと思いい研究を進めております。まずは加工の負荷です。砥石は回転工具ですので、手取り早くはスピンドルの負荷、消費電力やトルクをモニタリングしてどういう状態になっているかということを知ります。もう一つは加工中の振動です。この2つの入力値だけでも、加工の現象がよく分かるということに気がつきました。さらに、研削抵抗を法線分力と接線分力に分け、これらの特徴を解析しますとさらに細かい現象まで分かってきます。特に旋盤タイプですと切削マーク、つまり引き目の出方が問題となり、相当クオリティが要求されると思っておりますので、加工現象の把握はより重要になってくると思っております。さらに0.1ナノという指令値を十分使いこなすためにも、機械学習はロボナノ関係でも重要になってくると思っております。

先ほど社本先生も机上計測装置について触れておられましたが、私もずいぶん前から机上計測をやっておりました。資料を拝見いたしますと、計測分解能は0.1ナノ、ロボナノ指令値も0.1ナノということで、0.1ナノの加工現象を制御しようという時代にあっては、計測はその1桁上とか、さらに高い分解能が求められると思っております。この後に厨川先生からコメントがあるかもしれませんが、このあたりの領域をピコ加工とかピコテクノロジーと呼んでいます。量子的な世界に入っていくことになりそうですが、これからロボナノの加工精度をどこまで追求していくのかということと絡めて、果たしてどこまで計測分解能が要求されるのかという点も、考えていくべきではないかと思っております。実際に企業様から相談を受けるレンズ金型の加工精度は、数年前に議論していたレベルからもう1桁高精度なものを要求されています。今まさにそういう時代に突入しておりますので、計測分解能と加工分解能をどのような関係で追求していくかなども含め、今後ロボナノに期待したいところでもありますし、研究課題や実用性を踏まえた技術課題にもつながると思っております。

最後に、机上計測はワークの脱着をせずに補正加工に入れるということで、非常に大きなメリットですが、実はお客様の多くは機外で測定したデータを機械に戻して補正加工を行っています。脱着は上手にやらないといけません、機外で測定したデータをロボナノに持ってくるために、データの転送方式やプロトコルの検討など、お客様によっては対応が必要になると思っております。このように機外計測との連携なども今後のユーザビリティの一貫として検討されま

すと思っております。私からのコメントは以上となります。どうもありがとうございました。

**社長：**大森先生、ありがとうございました。それでは社本先生と大森先生からのご指導に対しまして、ロボナノ研究開発部 洪部長、いかがでしょうか。

**洪：**洪でございます。本日は多岐にわたるご指導・コメントを頂きましてありがとうございます。

まず社本先生のコメントについてですが、今回の油圧のサーボ制御ですが、本来は最初から取り込むべきでした。社本先生がお話されたように周辺機器をいかに制御するか、そして外乱をいかに抑えるかという一つ一つの積み重ねが、やはり超精密加工は誤差として出ますので、サーボ制御をやらないと次のステップに進まないということが、本当に切実に分かったので開発を行った次第です。社本先生から頂いた“実際にどういう応用でどれぐらい効果が得られるか”というご質問については、最近の実験ですと、回折格子が一番よく分かります。十何万本の溝があって何十時間の加工がある中で、従来のものだと0.1度ぐらいの温度変化では30ナノ弱動いてしまって、これが回折格子に1本の線として見えていたのが、今回サーボ制御を適用してロバスト性が高まったことで無くなりました。

ロボナノのテーマと考えているのは、先ほどの外乱抑制、周辺機器制御による安定化、そして使いやすさで、機上計測と段取り簡単化機能について力を入れているところです。

機上計測については、社本先生と大森先生からコメントを頂きましたが、機上計測は、超精密加工、計測の自動化を行うに当たって非常に重要なものです。ただし大森先生がお話されたように0.01ナノの計測をしないといけない。これはまさに超精密加工、加工計測のゴールデンルールで、これは今後の課題にしたいと思います。そして機外計測との連携、これも非常に最近実際の商談からご要望を感じていますので、本当に実践的なアドバイスを頂いたと思っています。

大森先生からご指摘いただきました操作盤のコンソールの位置ですが、一体型として機械の左に置くか、分離型として置くかというところで、ロボナノ研究開発部の中で非常に悩みました。弊社の中でいろいろな検討を行い決めましたが、ユーザ目線で完璧に検証していないところもあります。先生から頂いた分離できる構造等についても今後ユーザの声を伺いながら検討していきたいと思っています。

いつも先生のお二方にはご指導いただいておりますが、超精密加工においての一つ一つの小さな要素をつぶして、今後高精度加工をさらに実現し、使いやすくするために、今後ともご指導よろしく願います。

私からは以上でございます。

**社長：**ありがとうございます。続きまして厨川先生、お願いいたします。



洪部長

**厨川先生：**東北大学の厨川です。4月から前にいた医工学研究科から古巣の工学研究科に戻りまして、現在は工学研究科機械系に所属しています。究科から古巣の工学研究科に戻りまして、現在は工学研究科機械系に所属しています。今回はこの座談会に招待いただきまして、ありがとうございます。御礼申し上げます。また、ウェブ上での展示会では非常に有意義な情報が得られました。私にとっては初めてでしたが、Swipe Videoという手法を使ってプレゼンテーションされていましたが、非常にわかりやすく、有効なツールだと思いました。重ねて御礼申し上げます。

ロボナノに関しまして先ほど大森先生からもお話がありましたが、やはり接触式の機上測定器に興味を持ちました。もちろんこれですと断面だけ測定するのは速いのですが、実際には軸対称の非球面光学レンズでも非軸対称のエラーパターンが出たりして、全面を測定するというニーズが結構あります。そのようなところにはなるべく速く測定するために非接触の測定方法の開発が必要かと思います。シングルnm程度のものは開発したことがありますが、やはり0.1nmという結構大変で、これは御社の開発力に大いに期待しています。

私は、大森先生と同じように研削が専門です。最初に手掛けたのは1980年代で、ジェットエンジンのタービブレードのクリープフィード研削の研究をしておりました。難削材の部品を大量生産するという高効率加工が目的でした。その後、1990年代になりまして高精度・高品位加工ということで、いわゆる超精密研削とか、ナノ精度、さらには先ほど大森先生からご紹介のありましたピコ精度加工といったものに研究を進めております。こういったものは、これまでハードウェアの進歩・開発が必要不可欠だったわけですが、最近はこのハードウェアを如何に使いこなすか、いわゆるソフトウェアの開発というのも非常に重要ななと思っています。

浅間先生から、デジタルツインの先のデジタルトリプレットのお話もありましたが、例えば工作機械の配置、作業者の安全性、快適性、さらには浅間先生からは幸福感の達成という単語まで出てきましたが、こういった概念をこれからは是非ファナックのほうで完成、実現していただければと思います。

一方で、いわゆる製品をつくって使いこなす以外に重要なものは、これらを資源に戻すというリサイクルやリユースの課題解決が、どうしても避けられないと思います。すなわち循環型ものづくりを完結させるための、方向性を是非とも出していただければと思います。

さて、ナノ精度・ピコ精度という話をしましたが、いわゆる形状創成加工だけではやはりこれからは不十分だと考えています。すなわち製品の表面、あるいは表面下の結晶構造に対して機能性を持たせることも必要で、それによって製品自体の高付加価値化を計るというのが非常に重要になってくると思います。加工によって、例えば表面構造の制御というのは簡単にできるようになってきていますし、さらにその内部の結晶構造を制御するとか、材料内部の空孔を制御して全体



厨川先生

の機械的特性を変化させるとか、その特性変化に方向性を持たせるとか、あるいはいろいろな材料を取り込んだマルチマテリアル構造創成技術など、こういった新しい技術をぜひとも念頭に置いた開発をしていただければ非常にうれしく思います。

さて、こういった製品の販売先ですが、このくらいのナノ精度やピコ精度の機械加工ができるようになってきますと、いわゆる半導体分野にもある程度使えると思います。例えば最近ではスタックICで、100層とか200層を重ねたものが開発されていますが、それらの層間絶縁膜の加工とかは、絶対的に機械加工が得意だと思います。そういった分野へ進出する可能性、ポテンシャルは十分もっていると感じています。

本日はどうもありがとうございました。以上です。

**社長：** 厨川先生、ありがとうございました。ではここで内田事業本部長から、何かございましたらお願いいたします。

**内田：** 内田です。先生方には、様々な角度から貴重なご意見をいただき、本当にありがとうございました。私からは、ロボマシンも含めて、やはり今日一番の話題となったデジタルツインにつきまして、少しコメントいたします。ファナックの現在の取り組みに関して既に野田事業本部長から説明がりましたが、私からはもう一歩踏み込んで、今後の方向性についてコメントしたいと思います。



内田事業本部長

今回のオンライン社内展に於いては、「ファナックCNCのデジタルツイン」を一つのキャッチとしましたが、事前に稲葉会長から「『ファナックCNCの…』ではなくて『ファナックの…』にならないか」との話がありました。そこで来年は、「デジタルツイン」という名称の是非はさておき、ファナック全体で「デジタル・リアル・コネクティング」というコンセプトを統一して打ち出したいと考えています。

最近しばしば「デジタルとリアル」或いは「サイバーとフィジカル」という表現をうえますが、これに対して当社のCNC関連の若手の部長より、「コネクティングという言葉も加えた方が良いのでは」という意見が出ました。言われてみればその通りで、仮に“シミュレーション”と“実加工と計測”の2通りを進めても、両者が何も交わらないのではあまり意味がなく、やはり両者の間で適宜データや情報を共有する事が重要です。そこで、やはりコネクティングという概念も取り入れることにしました。ファナックの方向性としては、「デジタル・リアル・コネクティング」というコンセプトにしました。先程新野先生から「ダイナミック」という言葉をお聞きしましたが、「ダイナミック・デジタルツイン」というイメージになるかも知れません。ただ、ネーミングに関しましては、「名前が悪い」という話を随分頂きましたので、今後皆で考えていきたいと思っています。

それで、「では、ファナックのデジタルツインの肝は？」と問われた時には、私自身の意見としては、やはりサーボ技

術がコアになって来ると考えています。CNCの競合メーカーさんがデジタルツインという場合、ツインと言いながらCAMとCNCでほぼ閉じていて、それ以降のサーボ系や実加工は殆ど入っていない様です。そこで、ファナックのデジタルツインのコンセプトでは、サーボ系を更に強化して差別化を図りたいと考えています。幸いにも、ファナックには二十数年前からサーボガイドという強力なサーボの挙動を収集するツールがあり、これが近年更に進化しています。次世代CNCでは、このサーボガイド上にCADデータ、CNCのシミュレーション結果、機上計測機器による計測結果、機外での測定機器による測定結果などを全て取り込めないかと考えています。機械加工に関する様々なデータをサーボガイド上に集約する事で、様々な付加価値を生み出すという訳です。

こんな話をすると、今日ご参加いただいた先生方からは、「サーボは良いとして、工具はどうするのか」という話が出るかと思います。残念ながら当社は、工具の大ユーザですが、開発部門は持たないので、ちょっと弱いと思っています。従って、我々のコンセプトを完結させるためには、先生方より、工具関係のシミュレーションとか挙動の把握に関する色々な知見を頂き、ファナックの足りない箇所に1ピースを嵌めて、ファナックのコンセプトを完結させたいと思っています。

本日はどうもありがとうございました。

**社長：** ありがとうございました。

## ■ 総評

**社長：** そうしましたら最後になりますが、全体を通して青山藤詞郎先生からご指導を頂戴できればと思っております。よろしくお願いいたします。

**青山（藤）先生：** 本日はこの座談会にお招きいただきまして、ありがとうございました。私もオンライン展示会を見させていただきました。最初に樋口先生がお話されていましたが、このオンライン展示会は、最初にセミナーを見て、それから個別展示に入っていくと、非常に流れがよく分かりました。皆さんもゆっくり個別展示でセミナーも含めて、前もってご覧になっているので、その効果もあって今日は非常にたくさんの、山口社長が想定された以上のいろいろなディスカッションができたと思います。ただ現場でリアルに、例えばロボドリルの高負荷切削の迫力とか、振動、音、3次元的なスケール感などがやはり伝わってこないの、両方をうまく組み合わせることが課題かと思っています。



青山（藤）先生

私が特に興味を持ったのは、ロボナノ、協働ロボットです。2年前の、いわゆる緑のロボットが次第に発展してきており、今回の展示を見ると、かなりこの協働ロボットの開発が進展し、本格化しているという印象を受けました。菅野先生のトマト収穫の話、佐久間先生の医療の話、ソフトハンドグリッ

ブなど、この協働ロボットとこういった技術がうまく組み合わせることで、今までファナックがあまり対象としていなかったお客様が新たな対象となってくるのではと思いました。先ほど、お客様がもっと広がると厨川先生からも話がございましたが、工作機械メーカを対象の中心としていることには変わりはないが、さらにマーケットが広がる、裾野が広がっていくと感じた次第です。

ファナックがものをつくって社会に提供していく、その社会がどうなっているのか、社会でどう受け入れられるのかということ、産業界と大学の先生方、アカデミアとの連携が、社会と更にもっと連携して新しいものづくりに貢献していくのかということにも、今後比重が移っていくのではと感じました。

私は、ファナックアカデミのいわゆる対面型のアカデミ講習会、それからオンラインのeACADEMYを拝見しました。オンラインもオンデマンドとリアルタイムのライブセミナーを組み合わせて教育を実施されています。大学では2020年度の春学期から、突然教育がオンラインとなり、このコロナ禍が終わった後、元には戻らないだろうとアカデミアの皆さんも言われています。オンラインとリアルの対面型の教育を充実させることを、さまざまな大学によって考え方は違いますが、取り組んでおられると思います。ファナックはかなり本格的にやっているの、ファナックアカデミでオンラインと対面型のコースについて、問題点、受講者からの要望、良かった点等の情報をアカデミアと共有させていただいて、オンラインと対面型のハイブリッド型の教育をどのように効果的に構成して人材育成をしていけばいいのか検討できればよいのではないのでしょうか。それからオンライン教育の講師に対するトレーニングについて、非常に興味があります。ファナックアカデミは大学にとって参考にさせていただくところが多いと思いました。

また、グローバル企業としてファナックは、今後カーボン

ニュートラルにどうやって取り組んでいくのかということも、適宜様々なメディアを使って発信されていかれると思います。そういったところでもアカデミアと意見交換をさせていただきたいと思いました。

本日はこのオンライン座談会の場を提供していただきましたことを、大変ありがとうございます。稲葉会長、山口社長をはじめ、ファナックのご関係者の皆さまに、僭越でございますが、アカデミアを代表して重ねて御礼を申し上げます。と思います。

今日はアカデミアから様々なご意見、ご感想がございましたけれども、ぜひご参考にさせていただいて、益々ファナックの、そしてファナックと一緒にアカデミアが発展していければと思います。是非これからもどうぞよろしくお願い申し上げます。本日はどうもありがとうございました。

以上を持ちましてまとめとさせていただきます。

**社長：**青山先生、温かいコメントをありがとうございます。先生方、今日は本当にお忙しい中、長時間ありがとうございました。今日の座談会に先立ちまして、長時間にわたり社内展のほうもご覧いただきまして、重ねてお礼を申し上げます。貴重なご指導をありがとうございます。オンライン展示会は良い面としてゆっくり見られる、あとは繰り返し見られるということがありますが、やはりインタラクティブでない、質問ができないといったデメリットもあると思いますので、来年こそはリアルの社内展ができることを期待しております。座談会につきましても、できますれば先生方一堂に会して実施したいと考えておりますが、中には時間の調整が難しい先生もいらっしゃると思いますので、そういった先生のみオンラインでご出席ということも考えていきたいと思っています。重ねて本日は大変お忙しい中、皆さまにはお集まりいただきましてありがとうございました。これで閉会といたします。どうもありがとうございました。

## ファナックの四季

暑さがやわらぎ、虫の音が大きく聞こえ始める季節、鬱蒼と茂るファナックの森では花や実が出揃い、短い夏を彩ります。

ひっそりと深い緑の陰にかくれながらも、美しい姿でたたずむ小さな花々をご紹介します。



キレンゲショウマ



ツリガネニンジン



ツルフジバカマ

# ファナックの工場紹介

## ロボショットのベースフレーム製造

ロボショット工場では、ロボショットの土台となり、機械の精度に直結するベースフレームを製造しています。

ベースフレームは大きなものは全長6mを超え、重量は2トンになる大物部品です。この部品を大きく4つの工程で製造しています。

第一の工程では、柱部品にタップ穴加工を行います。第二の工程はタップ穴加工を行った柱や、他の部品を溶接で組み立てます。第三の工程でベースフレーム上面に機械加工を行い、最後に塗装して完成します。これらの工程は、ロボットによる自動化を進め、高品質・高生産性を実現しています。

柱加工の工程では、パレットに積載された鋼材をロボットがビジョンセンサで検出し、ロボドリルに供給します。

溶接工程では、2台の溶接ロボットがタッチセンシングでベースフレームの位置を検出し、正確に溶接を行います。ベースフレームはサーボモータで駆動される反転装置に搭載され、ベースの向きを自由に変えることで、すべての面の溶接を可能としています。

上面加工の工程では、自動倉庫から出庫したベースフレームを可搬質量2.3tの大ロボットがビジョンセンサで確認し、門型加工機の加工治具にセットします。ハンドを交換することで、機種変更時に必要な加工治具の交換も可能とし、ベースフレームの24時間連続無人加工を実現しています。

塗装工程では、走行軸に搭載された2台の塗装ロボットがベースフレームの位置に合わせて、高品質な塗装を行います。

溶接・加工・塗装の各工程は大型の自動倉庫で接続され、自動倉庫を搬送装置として使用することで物流工数を削減しています。

また、すべてのロボットや加工機はネットワークに接続され、FIELD systemで情報収集・分析を行い、生産性や品質の向上を図っています。

ベースフレームの生産にロボットを活用し、ロボショットの高精度、高品質を実現しています。



柱加工工程

(ロボットがビジョンで確認した鋼材をロボドリルに供給)



溶接工程

(反転装置上のベースフレームを2台のロボットで溶接)



上面加工工程

(大ロボットがベースフレームを加工治具にセット)



塗装工程

(2台のロボットでベースフレームを高品質に塗装)



#### ファナックの歴史シリーズ②

##### 「電気・油圧パルスモータ」

1959年開発・特許取得。ファナックの原点ともいべきモータで、創業者 稲葉清右衛門博士が開発。

独特の内蔵油圧制御機構により、大トルクの油圧モータが入力の電気パルスモータの動きに追従する。シンプルなオープンループ制御で、安定かつ高精度な動作を可能とし、多くの工作機械の軸送りに使用された。



FANUCニュース 2021- II  
**ファナック株式会社**

〒401-0597 山梨県南都留郡忍野村 [www.fanuc.co.jp](http://www.fanuc.co.jp)  
電話 0555-84-5555(代表) FAX 0555-84-5512(代表)

発行責任者 常務執行役員 兼 CISO 松原 俊介(研究開発推進・支援本部長)