



幸の設立は1969年。当初はカーボン製品や半導体製造装置用部品などを取り扱う商社としてスタートしたが、顧客ニーズやマーケットの課題に心えるために、2000年代からモノづくりへの挑戦をスタートした。現在、事業の3本柱となっているのは、カーボン、セラミックス、精密機械製品の製造である。カーボンやセラミックスの主力製品は、半導体製造装置の加熱工程で使われるもの、精密機械製品も半導体製造向けの装置やユニットであり、いずれの製品も半導体需要の高まりを背景に、堅調な業績推移を見せている。

熟練のオペレーターが操業する「FZ法」の自動化を目指す

その三幸が今、チャレンジしているのが、自動操業が可能



三幸 奥野 敦
代表取締役社長

結晶成長装置の開発プロジェクトである。ベースとなる装置は、「FZ法装置（結晶成長炉）」。

主に半導体シリコンウエハーの材料となるシリコン（ケイ素）の単結晶インゴットを作る炉である。

シリコンウエハーとは半導体の「基板」となる素材で、円柱状になっているシリコンの単結晶インゴットを、厚さ1ミリの程度にスライスして使用する。単結晶インゴットは通常、多結晶シリコンを原料として「CZ（チヨクラルスキー）法」によって製造される。CZ法とは、ろつぽ内で融解した多結晶シリコンの液面に種結晶シリコン棒を漬け、回転させながら引き上げの方法で、種結晶と同じ原子配列をした単結晶インゴットを作ることができる。

一方、今回のベースとなる結晶成長炉で採用されているのは、

Business Angle 2024

ビジネスアングル

浮遊帯域溶融（Floating zone melting）法。すなわち、「FZ法」である。これは、棒状の原料（多結晶シリコン）の一部を、高周波や集光加熱によって溶融することで、液体状の溶融帯を形成し、溶融帯の下部に形成される結晶を降下させることによって、単結晶インゴットを育成する方法だ。手法的には、ろそくを一度溶かして下部に新しい形状のろそくを作るのに似ている。

FZ法は空中での作業になるため、CZ法に比べて不純物が入りにくく高純度の単結晶インゴットを作ることができる。ただし、製造に手間がかかるのが難点となっている。

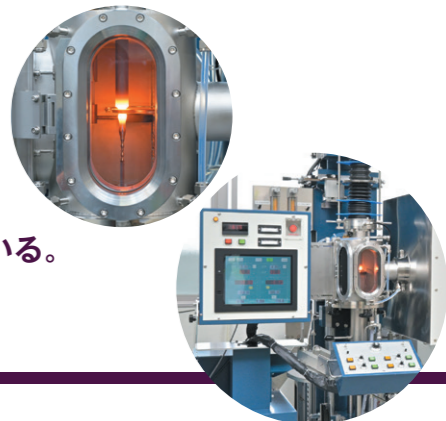
三幸の奥野敦社長は、FZ法装置の課題についてこう説明する。

「FZ法は、基本的に熟練のオ

AI制御アルゴリズムの開発で製造プロセスの自動化を実現 日本の製造業のDX化に貢献する

三幸 Company

半導体製造装置用の部品や精密機械の製造でプレゼンスの高い三幸。近年は産学連携を展開し、製造業のDX化にも積極的だ。現在は名古屋大学と京都大学発のベンチャー企業と組み、FZ（浮遊帯域溶融）法を利用したFZ法装置（結晶成長炉）の自動操業を実現する装置のプロトタイプ開発プロジェクトに取り組んでいる。技術の核となるのは、製造プロセスの自動化を実現するAI制御アルゴリズムの開発だ。



ペレーターが手動で作業を行っています。単結晶インゴットを育成するためには、溶融帯を表面張力によって保持しながら、ネッキングと呼ばれる口径制御を行う必要があるのですが、溶融帯を保持しながらネッキングを行うには、その状態に合わせて、結晶の降下速度や出力を適切に調整することが求められます。つまり操業には、熟練した「職人」の経験や技術が必要になるため、自動化ができないという課題があるのです。今回のプロジェクトは、その属人的な操業をAIを利用して自動化することで、単結晶インゴットの製造を「職人」に頼らず効率的に行えるようにする目的があります」

名古屋大学の未来材料・システム研究所がプロジェクトに参画

プロジェクトは、装置の開発を担当する三幸と、名古屋大学未来材料・システム研究所の原田俊太准教授、京都大学発のベンチャー企業「アナモルフォーシスネットワークス（Anamor-phosis Networks）」の3者による産学連携の共同研究で進められている。原田准教授の役割は、全体を統括しながらプロジェク

トを進めること。具体的には、アナモルフォーシスネットワークスと連携しながら、製造プロセスの自動化を実現するAI制御アルゴリズムを開発し、実際の装置に実装することにある。

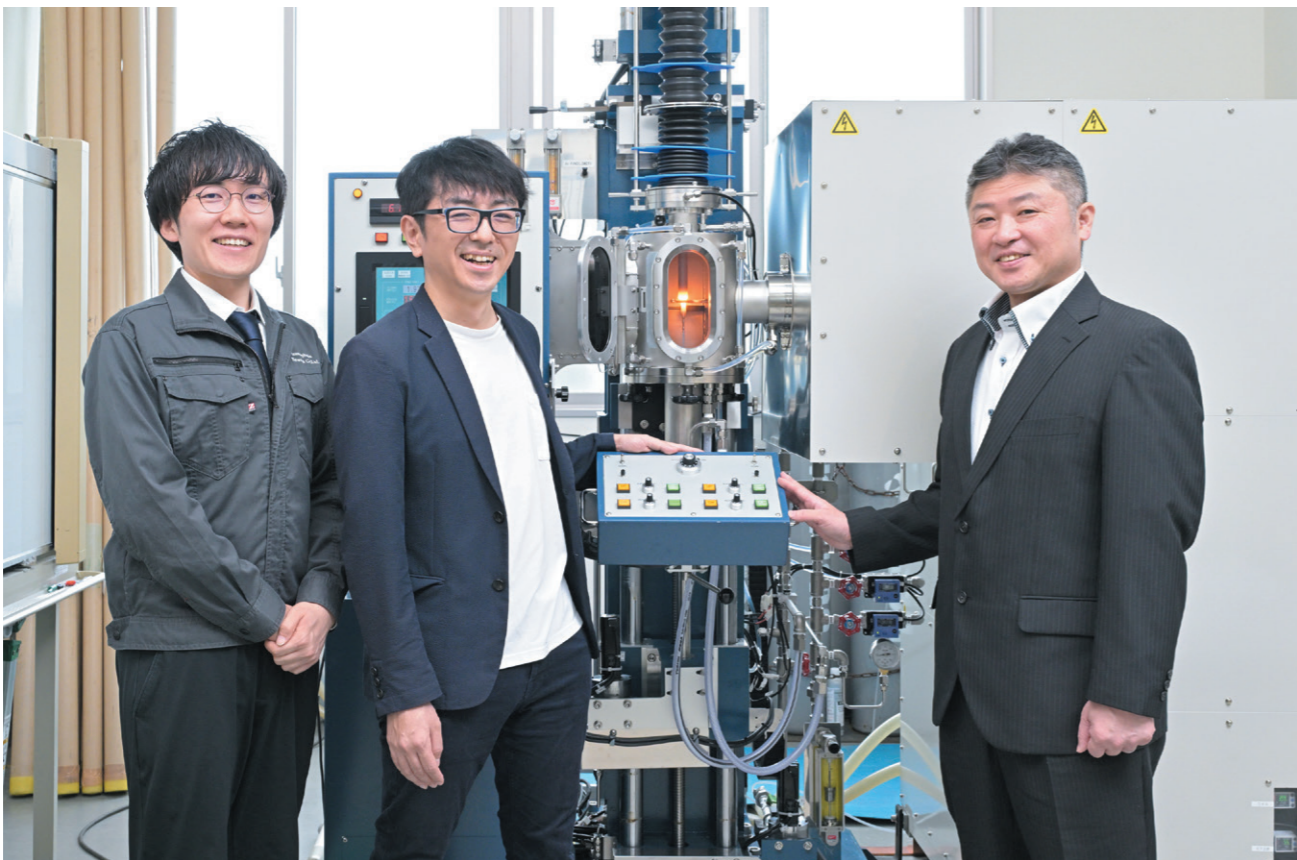
もともと原田准教授の専門分野は、最新の情報学を取り入れながら、半導体材料であるSiC（シリコンカーバイド）などの結晶を評価する研究である。「最近はこの分野でも生成AIなどのインフォーマティクスが有用なツールとして認識されるようになり、車の自動運転が可能であるならば、結晶成長の自動運転もできるのではないかと考えたのが始まりでした。車の運転は、周りの状況を見ながら、アクセルやブレーキを踏み、ハンドルを切ります。結晶成長のプロセスも同じで、特にFZ法では、人間が結晶成長の様子を観察しながら、インゴットが理想的な形になるように装置を制御します。熟練者が手動で調整を行うそのプロセスを、AIを利用して自動化しようと考えたのです」（原田准教授）

結晶成長のプロセスでは、人間が時系列変化する状態を確認し、それに合わせて制御を行う。一般的に、そうしたプロセスを自動化するのは困難だが、プロ

セスのダイナミクス（入力に対する状態の変化）を推定することができれば、強化学習で最適な操業軌道を推定でき、自動操業が可能になる。ただし操業データを大量に収集するのはコストや労力の点から難しいため、少数のデータからダイナミクスを推定する必要がある。

そこで原田准教授らの研究チームは、操業データが類似の時系列変化を示す場合が多いことに着目し、混合ガウスモデル（複数の正規分布の組み合わせによって、データ全体の確率分布を表現する統計モデル）を利用して、FZ法における結晶成長のダイナミクスを推定することにした。具体的には、FZ法による結晶成長を模して、入力パラメーター（原料と結晶の降下速度やランプのパワー）から融液の状態（融液の幅や高さ）を出力するエミュレータ（模倣ソフトウェア）を作成。そのエミュレータから仮想的に少数の操業データを作成し、強化学習によって最適な操業を実現する制御モデルを構築する。

例えば、「ブロック崩し」というゲームに強化学習のスキームを導入すると、ブロックを崩して高い点数を得ることを学習し始めて、かなり先の動きまで読



めるようになる。それと同様に、FZ法装置の操業でも強化学習で未来予測をすれば、最適な制御が可能になるのだ。

三幸の富山工場にあるFZ法装置の前にて。浮遊帯域溶融（FZ）法による結晶成長プロセスの自動化をシミュレーションで実証する産学連携は、三幸の迅速な対応でスムーズに進捗している