

Title	人の能力を持つ加工機を目指して：異分野の融合研究が生み出す生産技術
Sub Title	
Author	田井中, 麻都佳(Tainaka, Madoka)
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2014
Jtitle	新版 窮理図解 No.17 (2014. 10) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000017-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

人の能力を持つ 加工機を目指して

異分野の融合研究が生み出す生産技術

精密工学を専門とする柿沼康弘准教授の研究は、じつに多彩で幅広い。ときには材料工学、またあるときは制御工学、さらにナノフォトニクスまで、異分野との積極的な融合研究を通じて、これまで世界になかった新しい生産技術を次々に生み出し、脚光を浴びている。その精力的な研究への取り組みと成果について、話を聞いた。

応用が期待される 電気で粘着性が変化するゲル

微細加工技術や機械要素開発を軸にした生産工学を専門とする柿沼康弘さん。現在、①電気粘着ゲルを用いた機械要素開発、②“力を感じる”インテリジェント加工機の開発、③硬脆材や弾性高分子材の微細加工、の3つが、研究の柱という。

ユニークなのは、いずれの研究においても他分野の要素を取り入れながら、これまでになかった新しいものづくりにチャレンジしている点だ。

たとえば「電気粘着ゲル」の場合、電気で粘弾性が変わる「電気粘性流体」(ER流体 = Electro-Rheological fluid) をベースにしているが、これは1940年代に発見され、90年代に自動車産業を中心に

応用開発が盛んに進められた機能性流体である。

「ER流体は、電気をかけると、たとえば牛乳がババロアへ、さらにチーズへとというように、粘弾性を変えていく物質です。つまり電圧によって硬くなるんですね。そのため、さまざまな分野で応用が期待されているのですが、時間の経過とともに粒子が沈降・凝集してしまい、効果が薄れることや、液体のため扱いにくいという問題がありました。当初は、このER流体を使った応用デバイスの研究を目指していて、そのためにER流体をより扱いやすいゲル状にしようと、専門外の材料開発にまで踏み込んで研究したところ、思わぬ成果が得られたのです」と柿沼さんは言う。

ある日、ゲル化のための材料の分量を間違えて倍以上投入したところ、ゴム状

に近いゲルが生成されたのだ。この物質の性質を調べたところ、意外にも、電気をかけるとその表面が粘着性を持つようになることがわかった。

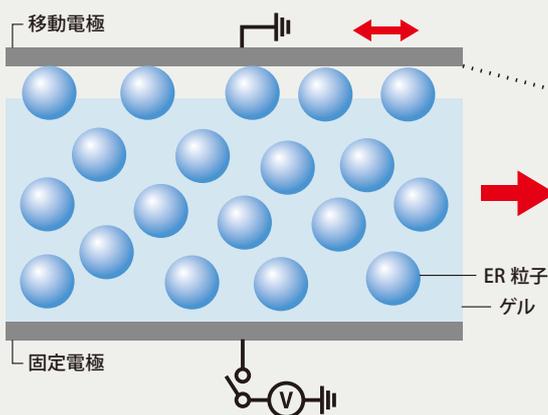
「いうなれば、電気によって、セロハンテープの表面が裏面に変化するようなイメージです。これは、シリコンゲル中に分散しているマイクロ粒子が、電気をかけると凝集し、内部のゲルが表面に押し出されることで粘着性が生じるというもの。専門外ですから、化学メーカーの協力を得て研究していたのですが、既成概念にとらわれなかったことが逆に幸いしました」。

電気をかけるだけで粘着性によってモノを固定できることから、現在は、半導体のシリコンウエハーの加工時や搬送時の固定、振動を抑えるダンパー、精密機械のクラッチやブレーキなどへの応用を図っている。

「積層させることで粘着力を高めたり、より小型化したり、現在は自分の専門の生産工学を生かして応用開発を進めているところですよ」。

(a) 無電界時

粒子が支持 → 電極は移動可能



(b) 電界印加時

ゲルが支持 → 電極は粘着固定

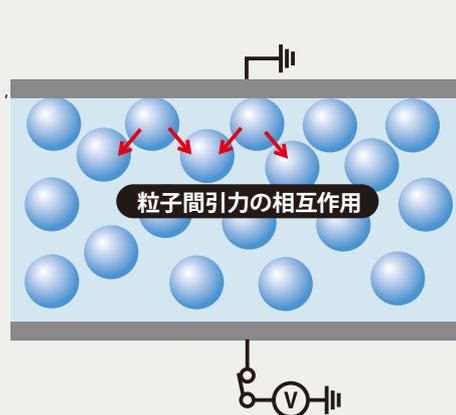


図1 電気粘着効果の発生メカニズム

(a) 無電界時には、ゲル表面より突出したER粒子が移動電極を支えている。ER粒子は滑り特性が良く、移動電極は自由に動かせる。

(b) 電界印加時には誘電分極した粒子が互いに引き合い、表面に突出していた粒子はゲル内部へ移動。一方でゲルが隆起して移動電極に粘着する。

画期的なセンサレスの加工機を開発

一方、2つ目の“力を感じる”インテリジェント加工機の研究では、制御工学の知見を取り入れた。

「これは、サーボ情報を観測し、センサなしに加工力やトルクを自在に制御できるシステムです。その際カギとなるのが、リニアモータ駆動のテーブルの駆動制御系に、外部からの負荷を監視する『外乱オブザーバ』を応用すること。これは、入力に対して、理論上得られる出力と違う結果が出た際に、外からどのような影響が加わったかを推定する技術になります」。

本来、機械に加えられている力を直接測ろうとすると力センサが必要になるが、外乱オブザーバでは、あらかじめ工作機械に組み込まれている位置決めシステムを利用して、モータに流している電流（入力情報）と出力された回転数もしくは応答位置（出力情報）を読み取ることで、どれだけの力が加えられているかを運動方程式に基づいて割り出すことができる。動的な加工負荷をリアルタイムで推定できるのが特長だ。

「現在では何にでもセンサをつけるのが主流ですが、センサ自体、高価なものもありますし、センサを付けるとどうしてもメンテナンス期間が短くなり、コストがかさみます。したがって、10～20年も使用する工作機械などではセンサレスが求められる。そうしたことからこのシステムは業界からの注目度が高く、数年後の実用化を目指しています」。

さらに柿沼さんは、モニタリングした結果から、加工力を制御する技術の開発にも取り組んでいる。これにより、機械

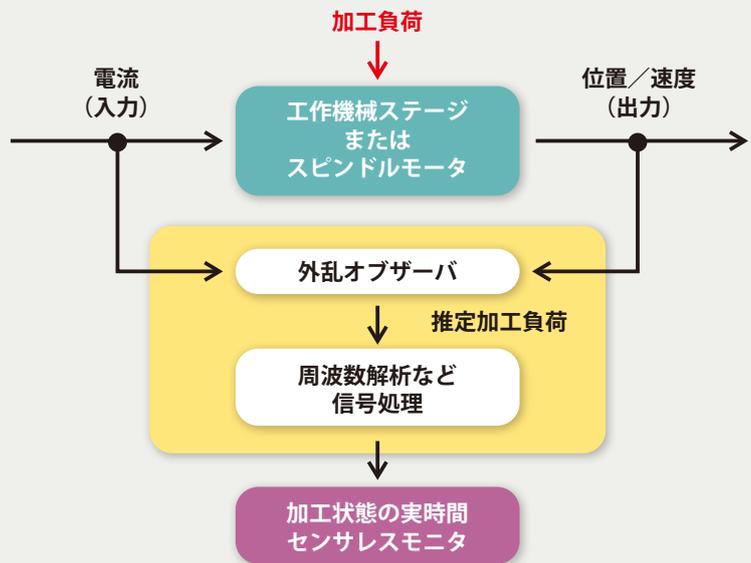


図2 センサレスプロセスモニタリング

外乱オブザーバ理論に基づき、スピンドルモータやステージのサーボモータの入出力情報から加工負荷を推定し、これに周波数解析などの信号処理を施すことで、びびり振動、工具欠損などの異常加工状態を診断する。

加工の永遠の課題ともいわれる「びびり振動」をコントロールしたいという。

「振動は不良品や、機械の故障につながります。とくに問題なのが、工作機械の動特性と加工プロセスの過程で、ある条件を満たしたときに突然発生する自励振動（系の中で引き起こされる振動）です。自励振動は事前に予測することが難しく、いまのところ画期的な対応策はありません。そこで外乱オブザーバを使って、どういう振動なのかをリアルタイムで検出し、その結果に基づいて力をコントロールできればと考えているのです。いずれは、本当の意味で人間のような能力を持った機械をつくりたいですね」。

光学素子のナノ加工まで手がける

さらに、硬脆材や弾性高分子材の微細加工の研究では、ナノ加工でみられる現

象の解析にまで手を広げる。これに基づいて、微細加工に必要な加工機の開発を行っているという。

「レンズのようなガラスを加工する場合、通常の方法で切り込んでしまうと割れてしまいますが、超音波振動を使ったり、ナノの領域で加工すると割らずに透明なままきれいに加工できるのです。現在は、その現象を解析しています。また、これに関連して電子工学科の先生とともに微小光共振器の開発を手がけています。これは光速で移動する光を一定時間、一定の場所に閉じ込めることで、光による信号処理を可能にする素子になります」。

現状の電気による信号処理ではジュール熱によるエネルギーロスが避けられないが、光による信号処理が可能になれば、エネルギーロスを劇的に減らすことができ、人々を悩ませているバッテリーの持ちを大幅に向上できる。柿沼さんの研究は、光の制御という最先端のナノフォトニクスの領域にまで及んでいるのである。

「融合研究では、未知の分野のことを勉強しなければならない大変さがありますが、今は機械と制御の両方に通じることで、これまでになかった成果が得られつつあります。今後も、世の中の役に立つ革新的な研究をしていきたいですね」と、柿沼さんは意気込む。

（取材・構成 田井中麻都佳）

図3 ナノ精度機械加工技術（超精密加工技術）

写真左：学生が試作した超精密加工機で、ダイヤモンド工具を使って鏡面加工した結果。

写真右：結晶異方性を考慮して、超精密加工機で製作した蛍石（CaF₂）の微小光共振器（光を閉じ込める容器）。

