新規の研磨流体の利用を実現した小型MRFマシンの新しい用途

磁性流体仕上げ加工（magnetorheological finishing：MRF）は、その名前が米QEDテクノロジーズ社（QED）の代名詞にもなっている光学製造技術であり、それには正当な理由がある。かつてのソビエト連邦で発明され、さらに米ロチェスター大学の光学製造センターでさらに発展したMRFは、その後、QED社によって商用化され、以来、同社によって広く発展してきた。MRFでは、研磨剤をドープした流体の剛性を磁気的に制御できるため、微細に調節された成形と研磨工程が可能であり、とりわけ、精密な球面加工に理想的である。

典型的なMRFマシンは一辺が2、3メートルになるほど大型だが、大抵の光学製造施設であれば容易に収まるサイズである。しかし、QED社の研究チームは、標準のMRFマシンは不都合だが、より小型でフレキシブルなMRF装置ならば、研究所での開発用に使えるなど、他の潜在的なMRF用途が存在することに気づいた。結果としてQED社は、はるかに小型で、しかも使用可能なMR流体のタイプにほとんど制限がない「ミニMRF」マシンを考案した（図1）。QED社はこの技術を5月にニューヨーク州ローチェスターで開催された国際光工学会によるOptifab 2011で初めて公開した。

QED社のアンドリュー・クラビーク社長は、「今や、MRFは成熟し、十分に確立された技術であるが、改善の余地はまだ残る。用途を制限しているMRFシステムの領域の1つは流体輸送システムである。現在のMRF流体輸送システムでは、MR流体は多数の制御装置とノズルを通してリボン状のホイールの上に送り込まなければならない。これは流体の化学組成とレオロジー特性、それによる研磨工程の除去速度の選択肢も制限する。新しいMRFプロトタイプでは、これらの制限が緩和され、さまざまな材料と用途に最適な流体を開発するためのさらに大きなフレキシビリティが得られている。新しいプロトタイプはよりモジュール化が進んでいるため、多種多様なマシンおよび工程においてMRFを利用することが可能になるであろう」と語っている。

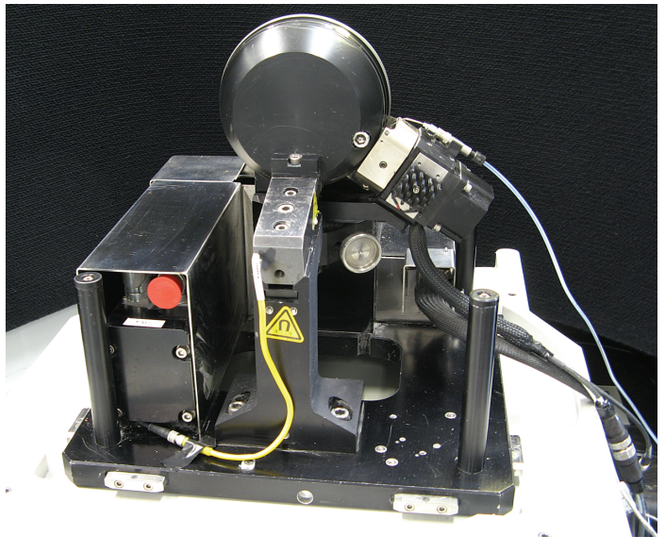

図1　改良流体輸送システムを備えた小型MRF研磨ヘッドは、エンドテーブル上に十分に納まる。研磨ホイールはそのトップにあり、MR流体のリボンはホイールのリム上に保持されている。（資料提供：QEDテクノロジーズ）

小型流体輸送システム

QED社は、現在の同社のMRFマシンにとって標準ホイールサイズである、150mm直径のホイールのコンセプトを実証した（このホイールは磁気特性を持っているため、研磨のために回転させてもその上に流体を保ち続ける）。QED社は20、50、200、および370mm直径のホイールを装備したMRFマシンも提供しており、その中のいくつかはマシン上で相互に交換することが可能である。そして、ホイール自身はさほど小さいものではない。大幅に小型化されたのは流体輸送システムである。クラビーク氏は、最初の挑戦は、ホイール上の研磨リボンを成形し、安定した材料除去速度の確保に必要なMR流体物性の監視コンポーネントのすべてを装置に統合することであった、と指摘している。基本的アイデアがまとまるとすぐに1つのプロトタイプが組み立てられ、コンセプトの実証に向けて試験が行われた。

基本的な研磨工程は標準MRFと同じであるため、この小型装置は、材料と計測方法の質にもよるが、ナノメートル台の表面形状誤差とオングストローム台の表面粗さ値を達成することができる。小型装置は、形状補正のための従来型のMRFのように確定的な研

磨に対して使用可能である一方、表面下損傷除去または非球面化に対する均一な（またはバルクな）除去工程にも使用することができる。QED社の標準MRFマシンで使われているものと同じダイヤモンドと酸化セリウムをベースにした流体はこの新しい技術でも使用することができる。しかし加えて、より高い除去速度とユニークな材料に対応するために、さらに新しい流体を開発することもできる。

一般的な光学系の研磨において、新しい流体化学は潜在的に通常では不可能な光学材料の処理を可能にする。より迅速に使用済みのMR流体を新鮮な流体に置き換える能力は、サファイアや炭化ケイ素といった非常に硬い材料の除去速度をさらに高める。しかし、より楽しみなのは、従来の型にはまらない用途であろう。クラビーク氏は、「われわれはさらなる可能性を探っており、光学系または半導体材料上の表面下損傷の高速除去、表面強度を増すための薄いガラスウエハまたは基板のエッジ研磨、ウエハの裏面薄化といった用途を想定している。他の案はコーティングの高速除去である。多くのコーティングの化学的性質は、研磨流体の化学的なバランスを乱す可能性がある。そのため、他のコーティングに対して同一の流体を使い続けることは難しい。流体の交換は一般に時間とコストがかかる作業である。新しいMRFプロトタイプは迅速な流体の交換が可能であり、無駄がほとんどない（低コスト）。したがって、個人的な小さな作業場所のワークフローでの研磨を含めて、研磨する材料のタイプに対するフレキシビリティが高い」と語っている。

QEDは自動化された環境においてロボットアームまたは運動制御系を利用することができる設計を検討している。クラビーク氏は、「われわれは、この技術の持続的な開発と試験をR&Dグループ内で進めている。そして、われわれの現在の顧客ならびに新たな顧客とさまざまな潜在的用途についての議論を開始した。今後一年間程度で、この技術をいくつかの形で商業化する計画を発展させる予定だ」と語っている。

（John Wallace） LFWJ