

MRF（磁性粘弾性流体研磨法）と

SSI（サバアパチャー・ステッチングインターフェロメータ法）を使った 高精度金型製法への提案。

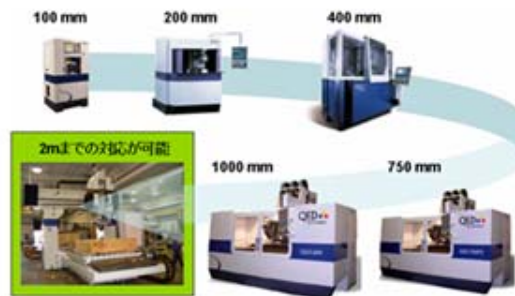
QED Technologies 日本支店長 堀江 祐二 (horie@qedmrf.com)

シニア・アプリケーションエンジニア 久米 保

会社紹介：

QED Technologies は、1996 年米国ニューヨーク州で創業し光学に特化した非常にユニークな会社で、今まで不可能だった非球面レンズの全面での高精度測定と超精密修正加工を可能にしている。

対象ワークも 3mm 程度の小型レンズから 2m を超すような大型レンズまで製品ラインナップが完成しており、すでに半導体プロセスでも採用されている。(図-1)

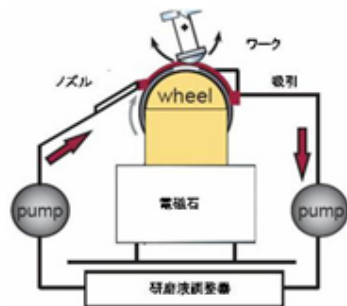


製品ラインナップ

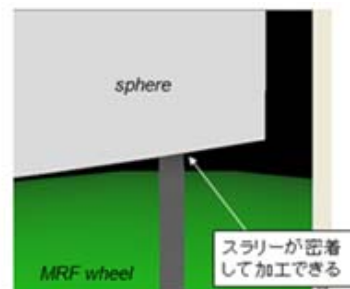
(図-1)

MRFとは：

磁性流体研磨法は昔から理想的な加工法として考えられているが、当社はその実用化に成功した数少ない会社である。磁気によりスラリーに粘弾性を与え、回転するホイール上にスラリーを配置することが可能になり、これにより今までの研磨法とは 180 度違う、パーツに垂直加圧を加えない横剪断方式での加工が可能となった。先端が摩耗しないスラリーにより今まで不可能と思われていた PV=40nm 以上の高精度加工が実現可能となっている。(図-2)。



加工部断面図



加工先端の拡大図

(図-2)

従来型（パッド・砥石）加工法との特徴比較

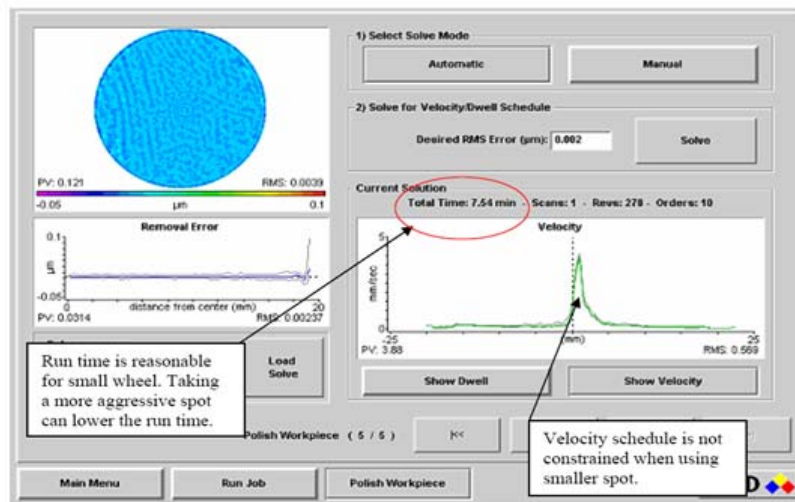
	従来研磨	MRF 研磨
研磨方式とスラリー	砥石やパッド・スラリーなどをつかい、回転しながら加圧。砥石やパッドは摩耗するため、加工精度は刻々と変化する。	研磨材に磁性粉を混ぜたものを使用し磁気中で高粘度化させる。スラリー粘度コントロールし加工精度を一定化させる。
加圧方向	ワークに対して垂直に加圧するため、複雑な面での仕上りには限界がある。凝集物や大きな研磨剤が傷の原因にもなりやすい。	横剪断方式で修正部分を選択的に加工するので、時間内に目標精度に仕上げられる。傷も発生しにくい。
使用環境	超精密研磨機では、機械と加工中の環境温度管理が重要なファクターとなり、±0.5Cレベルの管理が求められる。	装置環境は普通環境でも使えるよう、システム対応済み。

MRF を使った修正研磨とは：

加工対象となる修正面を測定データから分析し、磁気中において高粘弾となったスラリーを押し当てて加工を行う、この一連の作業を完全自動化したもので、絶対研磨と言われる所以である。

プロセスは簡単で、

- 1) 対象ワークのエラー成分（凸凹）を光学干渉計などで測定し、そのデータを MRF のシミュレーターに入力。（主要な干渉計や粗さ計からの入力も可能である）
- 2) 該当材料に対する単位時間当たりの加工力を入力。
- 3) 目標値（PV 値など）を入力し、加工シミュレーターで加工時間や仕上り精度を確認し、加工スタート、と誰もが容易に操作可能。（図-3）



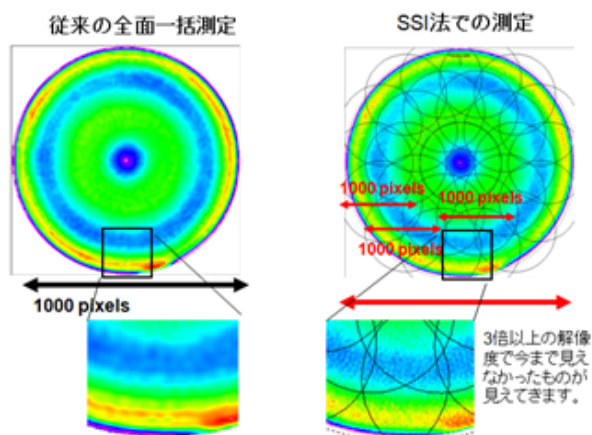
加工シミュレーションソフトウェア 対話方式の入力で操作も簡単。

(図-3)

SSIとは：

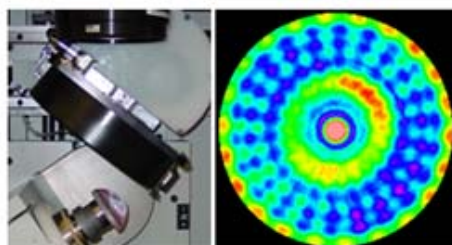
サバアパチャー・ステイッチング・インターフェロメータ法（小さな領域毎に測定した結果を高精度のまま繋ぎ合わせる）により、今まで測定できなかった大口径・高NAなパーツを測定することが可能で、これにより今まで見落としていた微細なエラーや、接触式測定機で捉えられない点在するエラーを捉ることが可能となる。（図-4/図-5）

SSIで測定したデータをMRFに使うことにより、その修正能力を最大化することができるため、金型修正での実例を早速示したい。



従来型干渉計とSSI法との分解能の違い

(図-4)

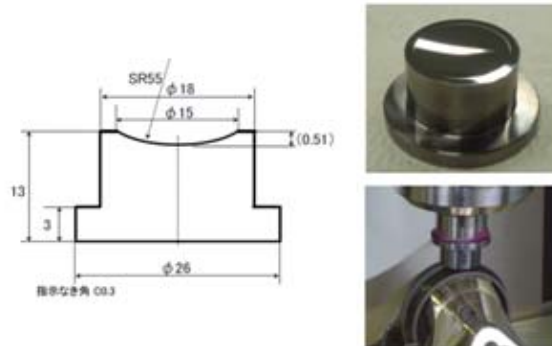


接触式では発見できない、
非同心的エラーも補足可能

(図-5)

ガラス用タングステン金型の研磨事例：

ガラス WC 金型を研磨した事例を紹介するが、デジタルカメラ用レンズの金型として下図(図-6)のような凹面の金型を想定し MRF で研磨した。材料は富士ダイス社製の TJS02 材である。該当品は従来品より粒度が微細化され加工性も向上しており、砥石で超精密加工した金型を今回は選択した。

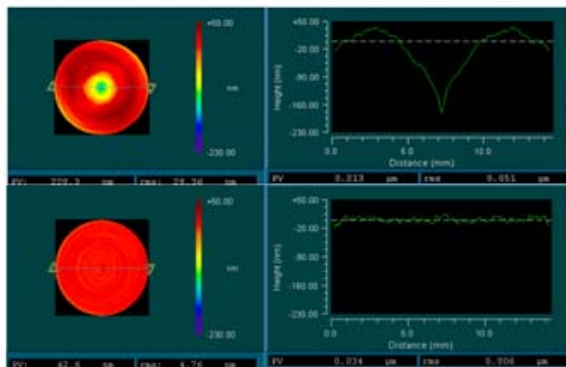


富士ダイス社製 TJS02材での加工実験

(図-6)

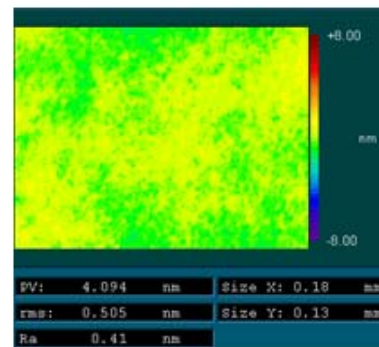
面形状誤差の修正結果であるが、MRF 研磨前 PV=200nm 以上あった形状誤差が、PV=40nm まで改善され、デジタルカメラ用レンズ仕様を十分満足する形状に仕上げることができた。(図-7)

従来の超硬材(TJ05)では Ra =1.3nm が限界であったが、研磨スラリーと加工条件の最適化を図ることにより、TJS02 では Ra =0.4nm まで改善され、研磨レンズ並の粗さを得ることができた。(図-8)



MRF加工前(上)と加工後(下)をSSIで分析

(図-7)



New Viewでの測定 Ra=0.4nm

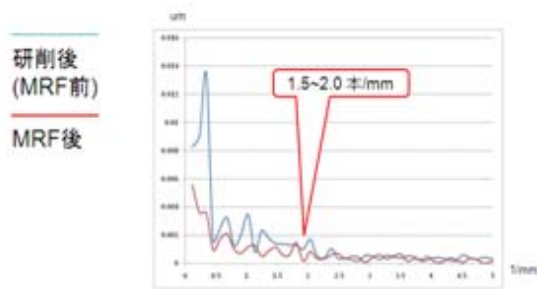
(図-8)

ガラス用タングステン金型の研磨事例を深める：

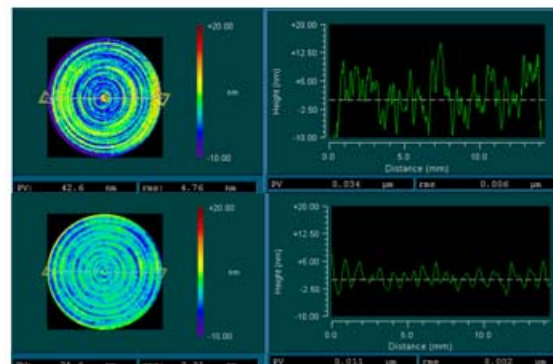
さてここで、上記金型での MRF 研磨前後の面形状誤差の改善率を空間周波数毎に解析する。

下図(図-9)にあるように mm あたり約 2 本より大きな(緩やかな)周期をもった形状誤差は改善されたが、それより細かい「うねり」状の誤差はそのままであることが判明。(その結果、先ほどの事例では PV=20nm 程度の「うねり」が金型に残っている。

この残っている周波数帯域の誤差は、主に砥石研削のツールマークから発生したものであるが、MRF の加工先をより小さくすることでの除去も可能で、以下がシミュレーション結果となる。(図-10)



加工前と加工後の残さ分析
(図-9)



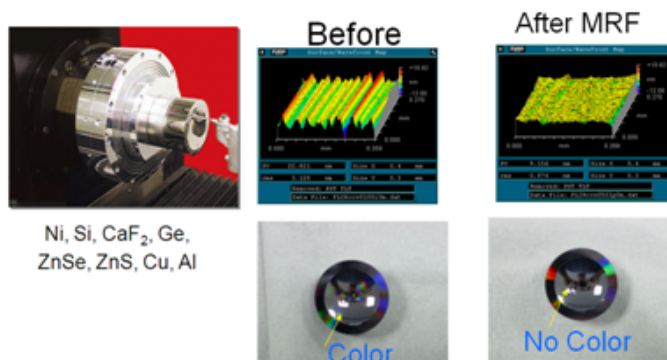
シミュレーション前(上)と後(下)の比較
(図-10)

これにより「うねり」の PV 値は 10nm 程度まで改善される。しかし実際の製造においては小さな加工先端では研磨時間がかかるため、MRF 前工程として、ポリッシング加工の追加を推奨する。すなわち砥石研削で作られた微小うねりをパッドポリッシングで除去し、それを MRF で仕上げるものである。ポリッシュ工程を加えることにより、面形状・微小うねり・表面粗さの 3 点が、いずれも最高レベルに上げることができると考えている。

プラスチック用ニッケル金型の研磨事例：

プラスチック用金型の研磨に付いて、簡単に実例を紹介する。

プラスチック用金型はNi-Pメッキをダイヤモンドターニングで切削し、そのカッターマークの除去にMRFが有効である。(もちろん形状修正を同時に行う)。写真はその事例で、MRF後面粗さが改善されているのがよく解る。(図-11)

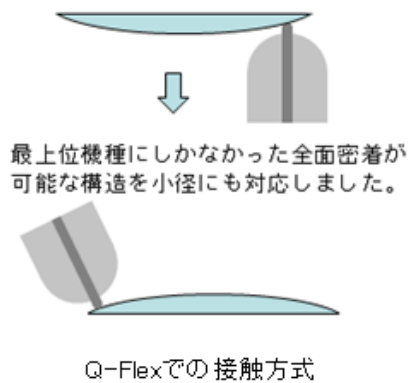


プラスチック用金型での加工実験

(図-11)

PV=20nm 以下への挑戦——Q-Flex の開発動機とは：

昨今の非球面レンズへの品質要求は非常に高く、摩耗変化することなく加工面に常に密着する MRF は砥石などに比較してもアドバンテージがある。しかしながら量産工程において、高精度な品質を安定して作るには、大きく変化する非球面に対して常に垂直に接触することが必要である。同技術は 1m 以上のレンズを磨くハイエンド機のみに適応していたが、今回は Q-Flex にも採用することとなった。非球面のみならずフリーフォームにも対応した本製品は、今まで加工できなかった領域を一気に広げると信じている。(図-12)



Q-Flexでの“フリーフォーム”加工

(図-12)

最後に：

計測データを活用した修正研磨を正確に行うには、非球面であっても全面を正確にかつ高精度に測定し、そのデータを 100%活用できる加工機が必要と考える。

当社では、非球面測定機 ASI と超精密加工機 Q-Flex の組み合わせにより、PV=20nm 以下の超精密非球面加工の提供が可能と考えている。

金型加工の最新情報は、近々Webで公開する予定である。(<http://www.qedtechnologies.co.jp/>)

以上