

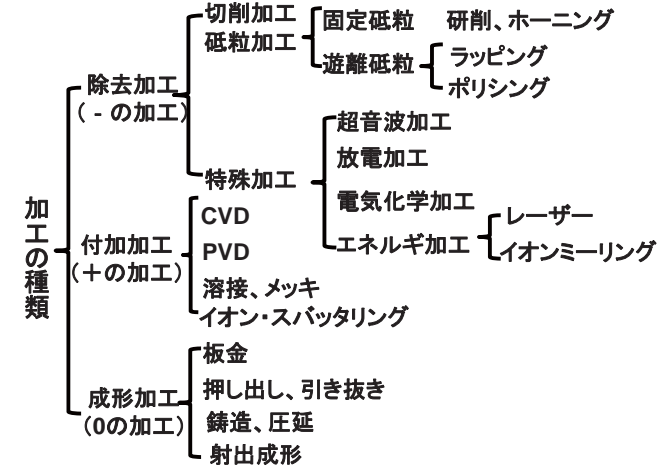
# 超精密ハイブリット 加工プロセス

群馬大学理工学研究院  
知能機械創製部門 准教授 林 偉民

2013/08/20於東茨城

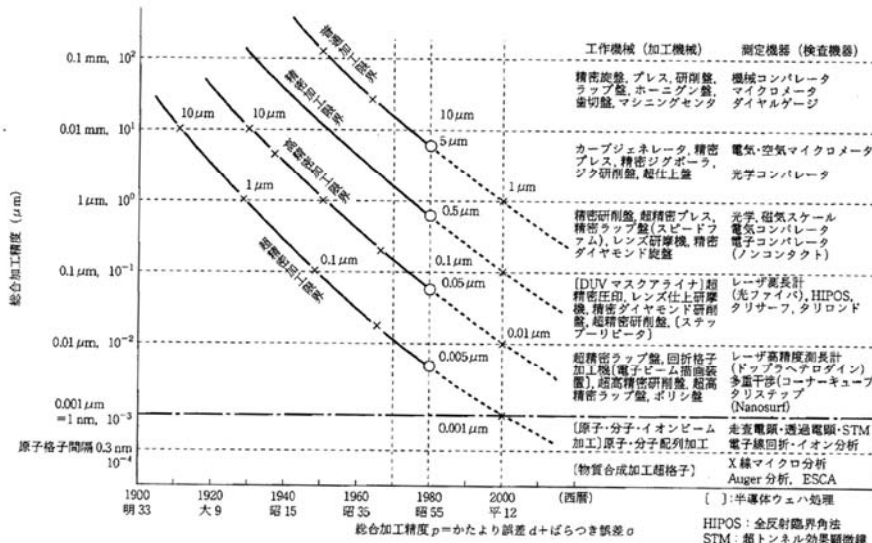
## 研究背景(加工技術の進歩)

高精度  
高品質



3

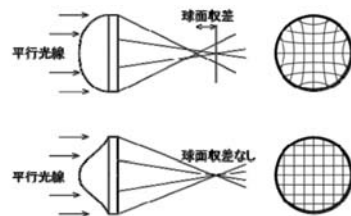
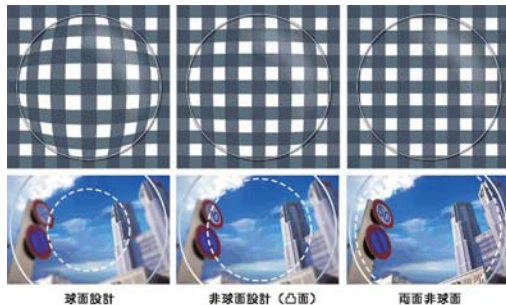
## 加工技術の進歩(谷口)



## 研究背景(非球面光学素子の応用)



# 研究背景 (高精度非球面光学素子の製造)



$$Z(X) = \frac{C_1 \cdot X^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1) \cdot C_1^2 \cdot X^2}} + \sum_{i=1}^m C_i \cdot X^i$$

## レンズの収差が原因:

たとえば

- 球面収差
  - コマ収差
  - 非点収差
  - 歪曲収差
  - 色収差
- ← 光学設計の問題
- 綺麗に結像
  - 光学系のコンパクト化
  - 光学系の調整が簡単に...

## 球面形状 → 非球面形状

我々の使命は、設計された形状に対していかに正確に加工できるか？ 速く、安くできる方法を開発する。

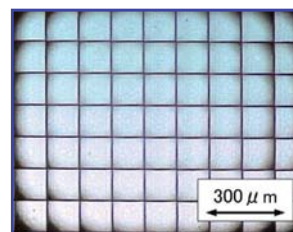
# 非球面光学素子の加工例



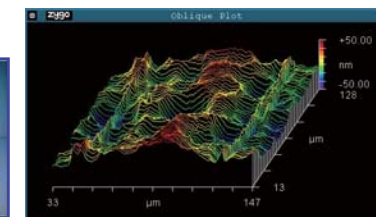
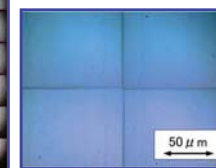
加工機本体

加工中の様子

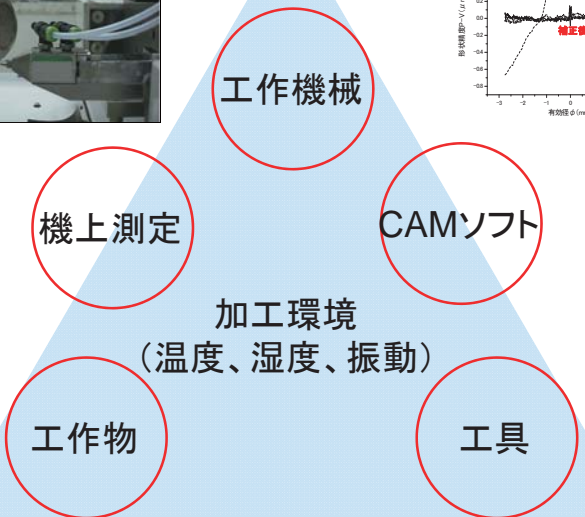
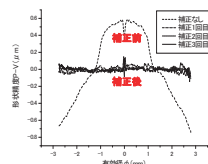
ワークとダイヤモンド工具



加工結果例



# 超精密加工システム



# 非球面形状加工の主な方法

## 現在

超精密加工機による形状加工 + 研磨による粗さの向上

## 目指す

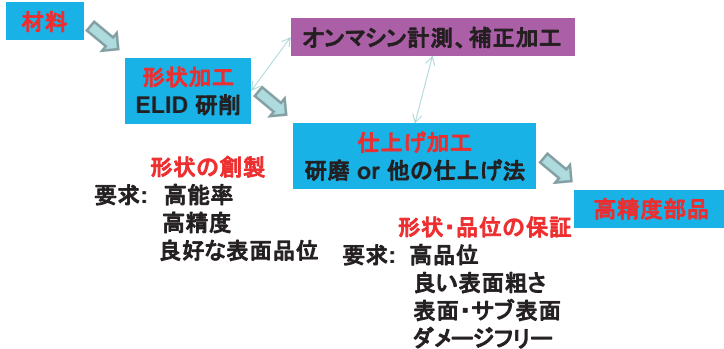
汎用加工機による非球面形状の粗加工、中仕上げ加工

技術ポイント:  
 ・形状転写 → ・形状修正  
 ・研磨量安定

安定な研磨加工方法  
 +  
 測定ソフトおよび研磨加工ソフトの開発

修正研磨法を利用した非球面形状の仕上げ加工

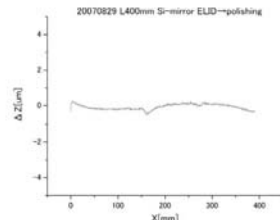
本研究では高精度光学素子の加工法の検討として、現在独立した個々の加工法(たとえば、ダイヤモンド切削、精密ELID研削、研磨など)をトータルの検討し、加工精度・加工コストが最良となるように、各加工法を併用してそれぞれの加工法の相乗効果を見出し、加工プロセス全体の最適化を目指した。



- 加工材料、加工技術から全面的に考慮する。
- 加工スタートから、完成品までに一つのプロセスと考え、工程能力、コストなどトータルの検討する。
- 機上測定データを活用した補正加工法の活用。

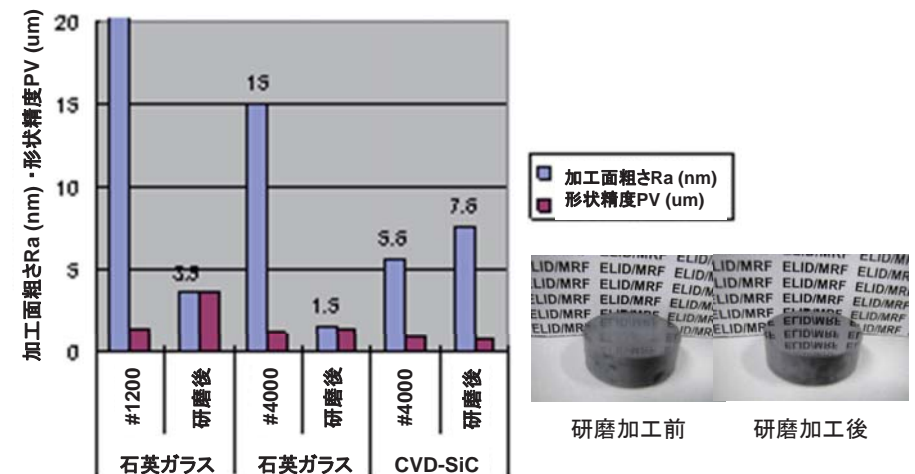
## ハイブリット加工プロセスの効果

- 加工材料からスタートし、完成品までに一つのプロセスと考え、加工・計測法の選定、到達精度、表面品位や加工時間、コストなどをトータルで検討した。
- 従来は加工精度とコストの両立が困難である高精度光学素子への応用が可能となった。
- 本技術の適用により、長尺XFELミラーの製作に成功した。

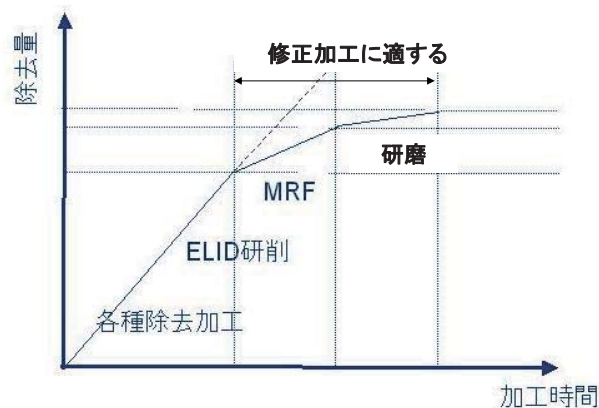


ELID研削+超精密研磨+EEMの連携加工プロセスより試作した長尺XFELミラーの外観及び形状精度 (理研・大阪大と共同研究)

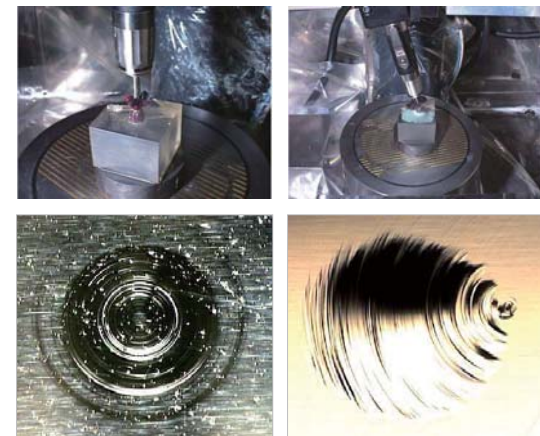
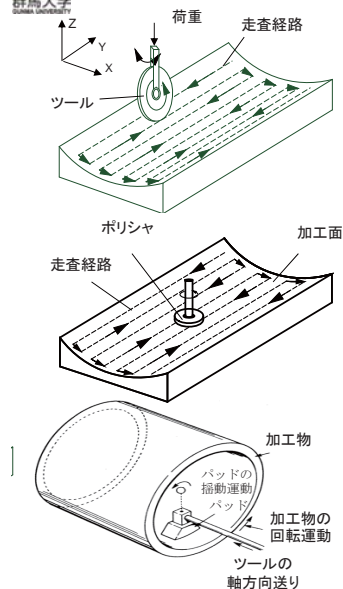
## 研磨前後のミラー精度・粗さ変化の比較



# 各種加工法の加工効率比較



# 修正研磨加工の考え方 ← 球状ツール使用



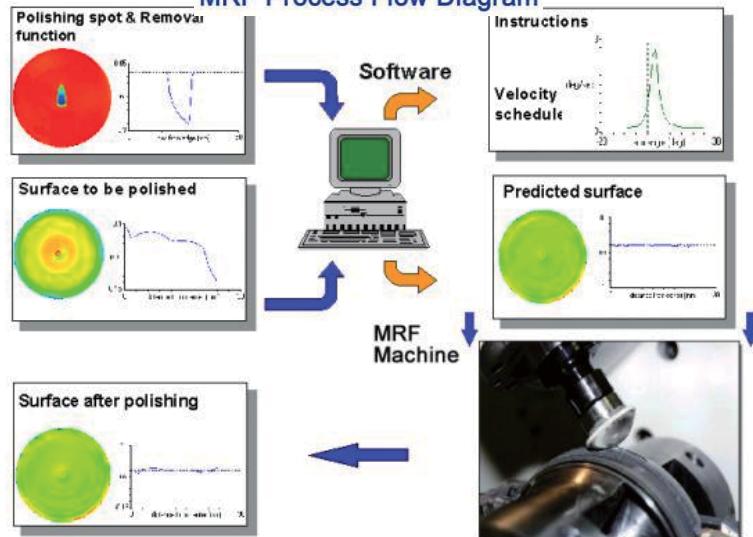
(a) 垂直 (b) 15° 傾斜

研磨速度:  $V=2\pi Rn$  ← 半径に関する超音波援用  
研磨加工痕 → 大

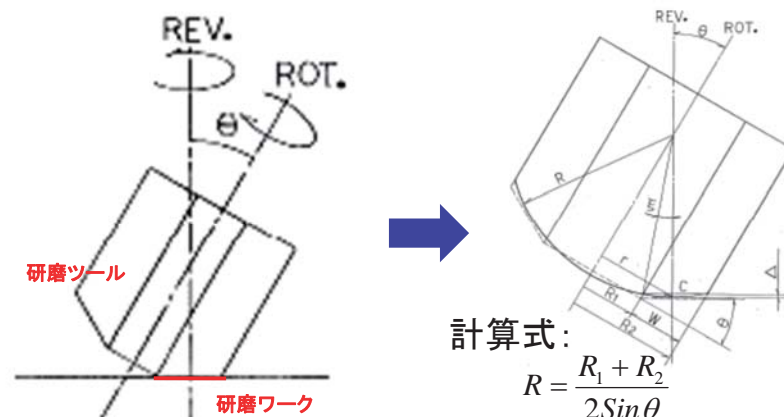
9

# 磁気粘性流体研磨法による修正加工

MRF Process Flow Diagram 資料: QED JAPANより



# 自転/公転型研磨加工の原理



計算式:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2 \sin \theta}$$

$$r = R \sin \theta$$

$$\frac{C}{2} = R \sin \xi$$

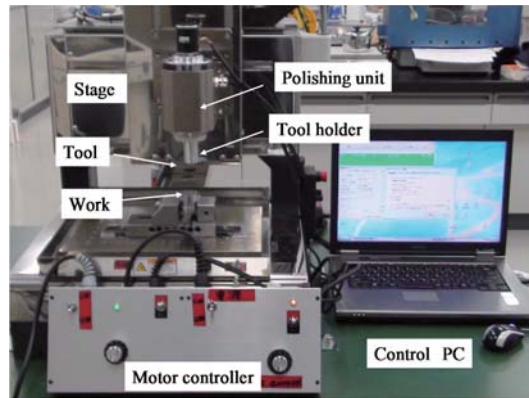
$$r = R \sin \theta$$

$$W = C \cdot \cos \theta$$

1. 公転軸まわりの工作物の周長さ
2. 工具接触部の曲率の差 (工具公転による平均化)

## 研磨装置の仕様と外観

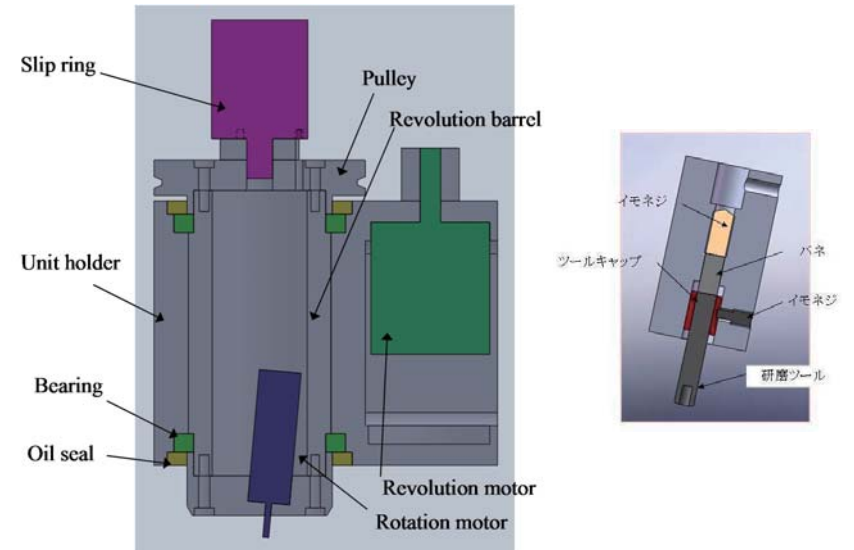
群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY



制御方式	X, Y, Z 3軸PNC制御
ストローク	X軸: 200mm
	Y軸: 100mm
	Z軸: 100mm
繰り返し精度	X, Y, Z 3軸: $\pm 2\mu\text{m}$
最大送り速度	X, Y, Z: 12mm/min
本体サイズ	480 × 625 × 733mm
本体質量	140kgf
研磨ユニット	自転/公転軸交角 $\theta$ : 3°, 5°
	自転速度: 0~8000 rpm
	公転速度: 0~400 rpm

## 研磨装置の設計イメージ

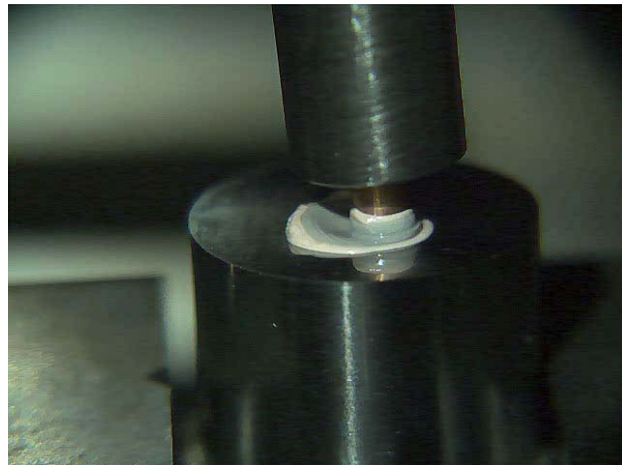
群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY



7

## 自転/公転型研磨の様子

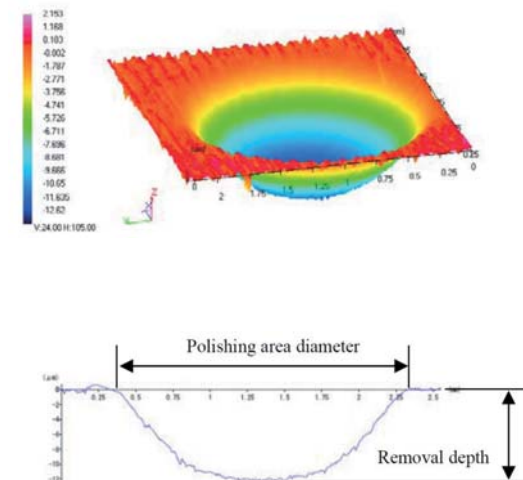
群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY



## 研磨エリアの測定イメージ

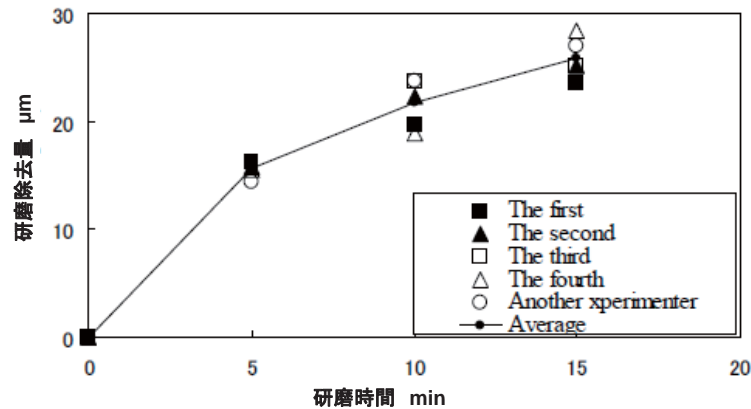
群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY

三鷹光器製PF-60より測定結果



## 研磨深さの安定性

群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY



AMT lab. (Advanced Manufacturing Technology Laboratory)

21

## 想定される用途

群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY

- 本技術の特徴を生かすためには、超精密光学素子及びその金型の製造に適用することで加工精度とコスト両立のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、大型天体望遠鏡ミラーや宇宙探査用スペース・オプティックスの製作に効果が得られることも期待される。
- 新しいパワーエレクトロン素子の製造技術の開発。
- また、本研究のために整備した机上計測装置より、微細形状をもつ部品やその加工工具のオンマシン計測ができ、高精度の形状加工及び工具のオンマシン整形に展開することも可能と思われる。

AMT lab. (Advanced Manufacturing Technology Laboratory)

22

∞

## 企業への期待

群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY

- 未解決の研磨安定性については、自転／公転型研磨法の完成により軽微な形状修正研磨ができると考えている。
- 超精密加工システム及び研削・研磨技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、自転／公転型研磨ユニットの改良、修正研磨用加工ソフトの開発に関係企業と共同研究、競争資金の共同申請を希望。
- 特殊光学素子の試作・開発中の企業、超精密・微細加工分野への展開を考えている企業には、お気軽にお尋ねください。

AMT lab. (Advanced Manufacturing Technology Laboratory)

23

## お問い合わせ先

群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY

国立大学法人群馬大学

研究・産学連携戦略推進機構

産学連携・共同研究イノベーションセンター

産学官連携コーディネーター 合谷 純一

TEL : 0277-30-1669 ; FAX : 0277-30-1192

E-mail goya@gunma-u.ac.jp

理工学研究院 知能機械創製部門

林 偉民 (太田キャンパス)

TEL:0276-50-2331 ; FAX:0276-50-2331

e-mail wlin@gunma-u.ac.jp

AMT lab. (Advanced Manufacturing Technology Laboratory)

24