

# 異形工具の 加工誤差予測システムの開発

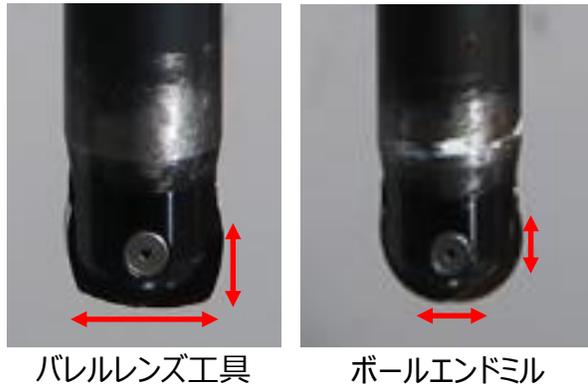
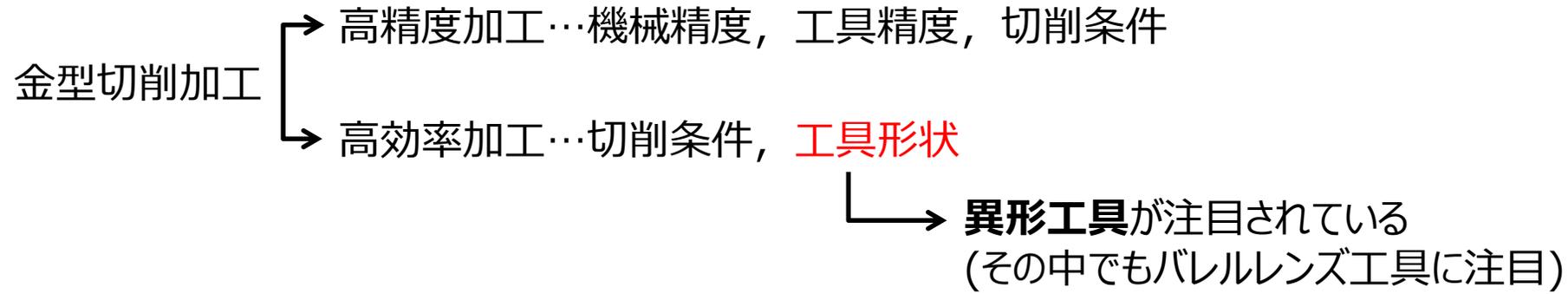
広島県立総合技術研究所

西部工業技術センター生産技術アカデミー

発表者：生産システム研究部 姫宮一輝

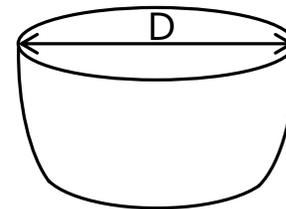


# 背景

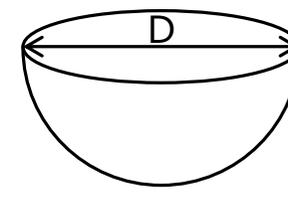


バレルレンズ工具

ボールエンドミル



バレルレンズ工具



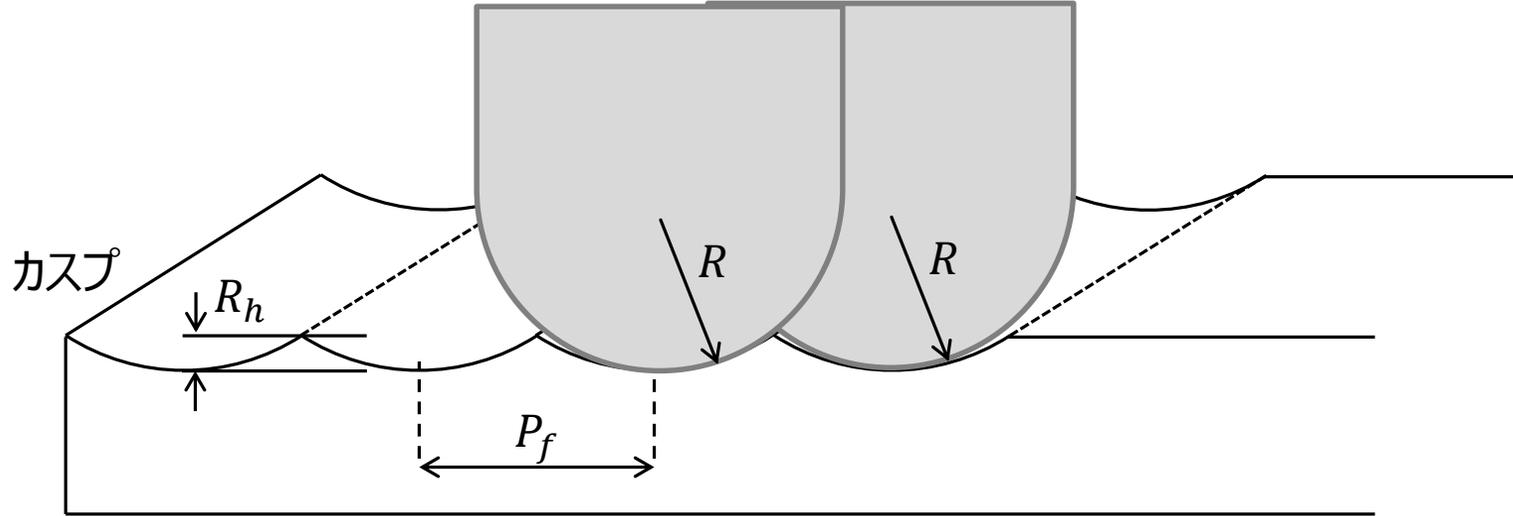
ボールエンドミル

## 【バレルレンズ工具の利点】

- ・同径のボールエンドミルと比べて側面, 底面刃で**切削領域を広く得る**ことができる  
(カスプ一定でピッチを大きくとれる) ため加工効率が良い



# カスプ（理論表面粗さ）



$$R_h = \frac{P_f^2}{8R} \times 10^3$$

$R_h$ : カスプ（理論表面粗さ） [ $\mu\text{m}$ ]

$P_f$ : ピッチ [mm]

$R$ : 刃先半径 [mm]

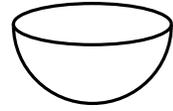
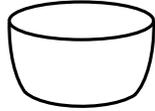
- ①カスプを小さくするためには $P_f$ を小さくする or  $R$ を大きくする
- ②加工効率を向上するには $P_f$ を大きくする（カスプは大きくなる）

バレルレンズ工具は同径のボールエンドミルよりも刃先半径が大きいので、カスプを大きくせずに $P_f$ を大きくできる  
⇒加工効率を向上できる



# 背景（問題点）

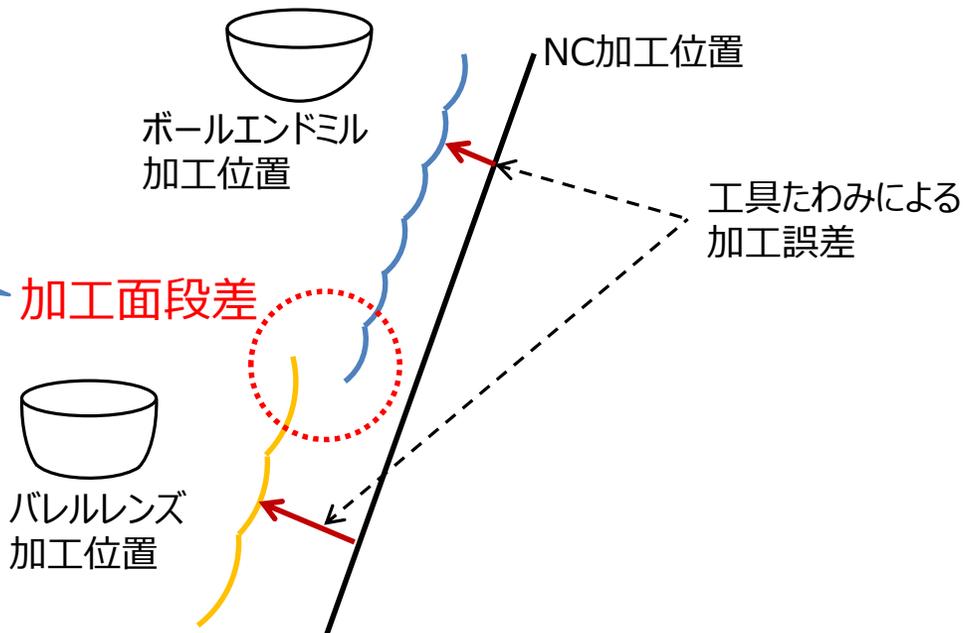
バレルレンズ工具    ボールエンドミル



切削領域	大	>	小
工具負荷	大	>	小
工具たわみ量	大	>	小
加工誤差量	大	>	小

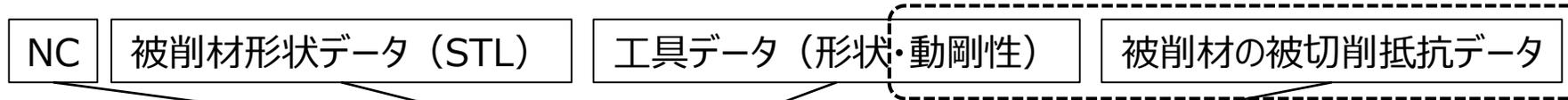
切削領域が大きいバレルレンズの方が  
工具負荷が大きくなり  
工具たわみによる加工誤差が大きくなる

バレルレンズとボールエンドミルの  
加工誤差の違いから加工面段差が生じる

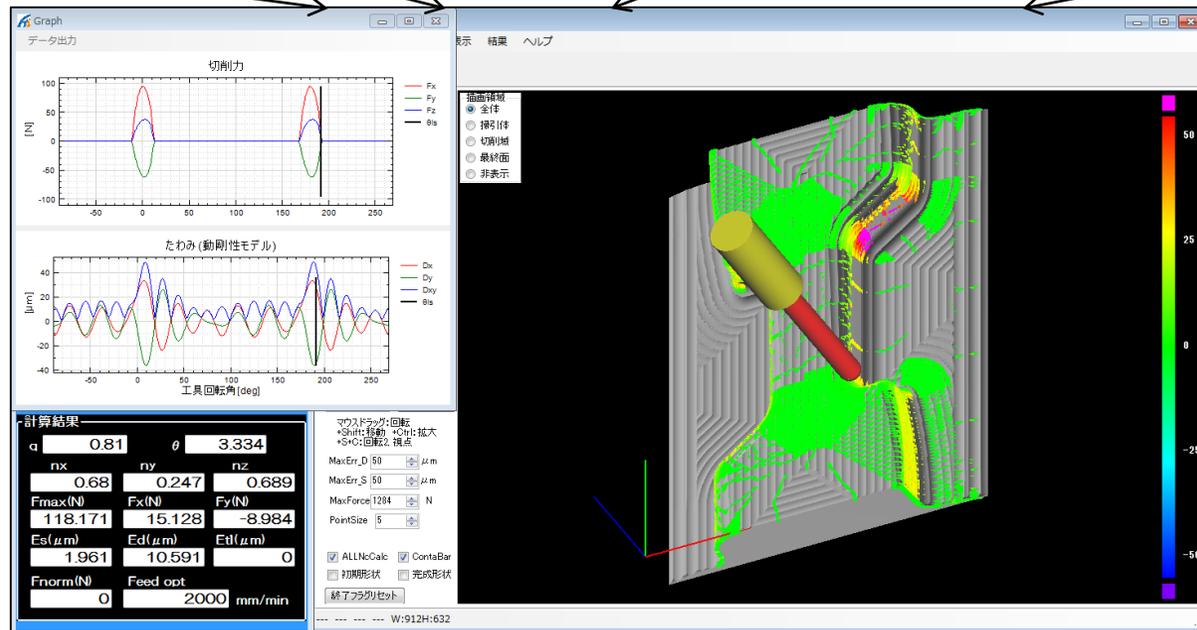


# 背景（今までの取り組み）

## 【金型高精度切削加工NCシミュレータの開発】

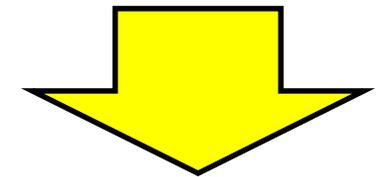


※事前試験



### ※計算対象

- 工具形状
- ・ボール
- ・ラジウス
- ・スクエア



異形工具に対応  
・バレルレンズ工具の追加

切削力   加工誤差   びびり安定度

刃先位置ごとの切削距離

修正NC (加工誤差)

修正NC (びびり振動)



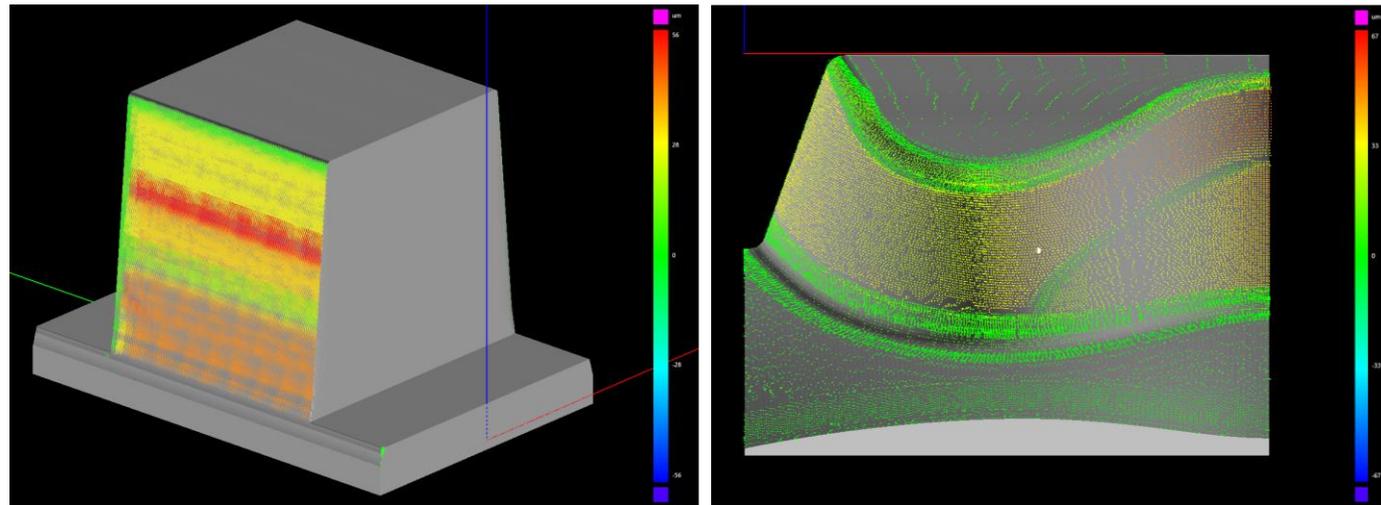
# 概要

## 【研究の目的】

バレルレンズ工具の加工誤差予測機能を実装したNCシミュレータの開発およびバレルレンズ工具を使用した加工の評価

## 【研究の内容】

- バレルレンズ工具形状，工具掃引体のモデル化による加工誤差予測システムの開発
- 加工誤差予測の検証のために傾斜面加工への適用
- 誤差予測に基づいた切削条件の変更による実金型モデルの加工面段差低減

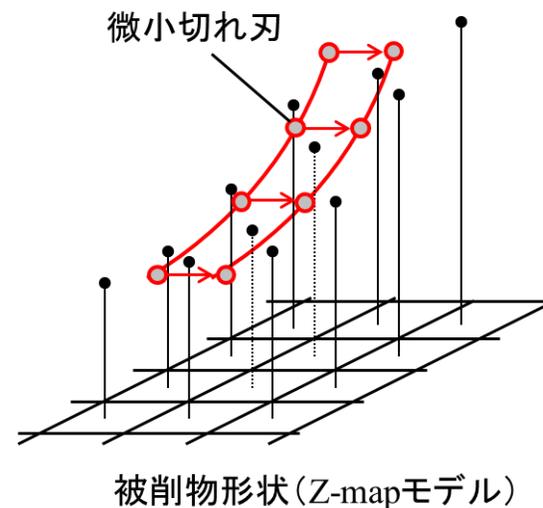
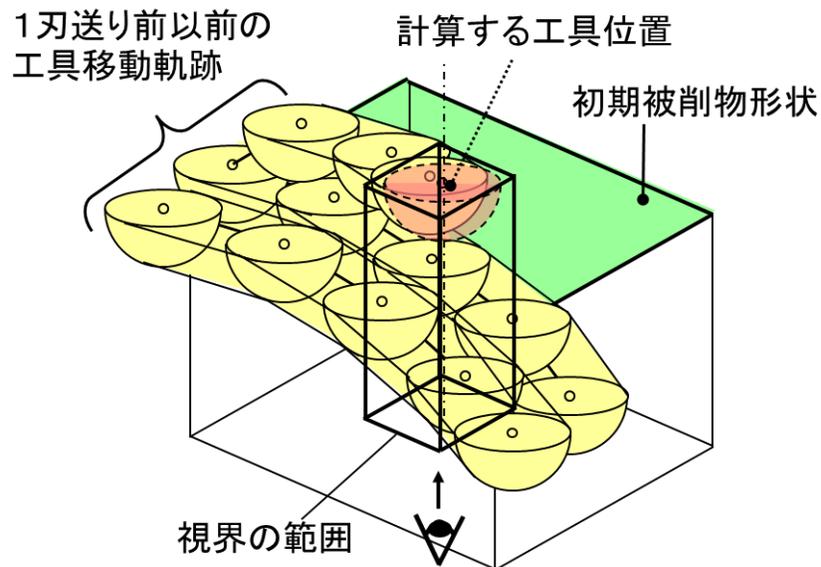


(例) 加工誤差予測計算結果



# 切削領域の計算手法

【本NCシミュレータにおける切削領域の計算方法（既報）】



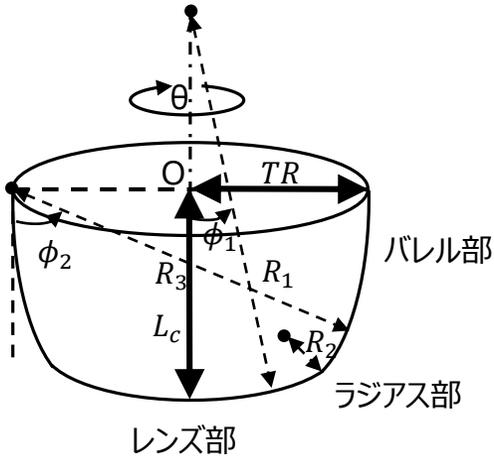
GPUの描画機能を用いて**工具形状**と**工具の移動軌跡（掃引形状）**を描画し切削領域の判断を行う。  
⇒被切削パラメータによる工具の切削力予測を行う  
⇒工具たわみ量を推定し加工誤差予測を行う

工具形状・工具掃引体が描画できると  
NCによる任意形状での切削力・加工誤差予測計算が可能になる



# 工具形状・掃引体のモデル化

## 【工具形状のモデル化】



$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 \sin\phi \sin\theta \\ R_1 \sin\phi \cos\theta \\ (R_1 - L_c) - R_1 \cos\phi \end{pmatrix} \quad \dots \text{レンズ部}$$

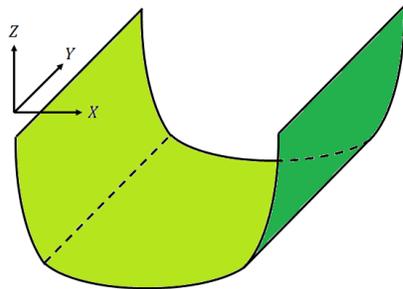
$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \{TC_x + R_2 \sin\phi\} \sin\theta \\ \{TC_x + R_2 \sin\phi\} \cos\theta \\ -TC_z - R_2 \cos\phi \end{pmatrix} \quad \dots \text{ラジラス部}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \{(TR - R_3) + R_3 \sin\phi\} \sin\theta \\ \{(TR - R_3) + R_3 \sin\phi\} \cos\theta \\ -R_3 \cos\phi \end{pmatrix} \quad \dots \text{バレル部}$$

- 3つの領域から構成される
- 既知の各種パラメータから算出される  
刃先半径  $R_1, R_2, R_3$   
工具直径  $TR$   
工具刃先長  $L_c$

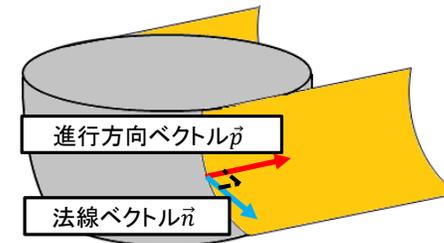
## 【工具掃引体のモデル化】

等高線加工掃引体



- Z軸移動を伴わない加工
- 外形を水平方向に伸ばした形状

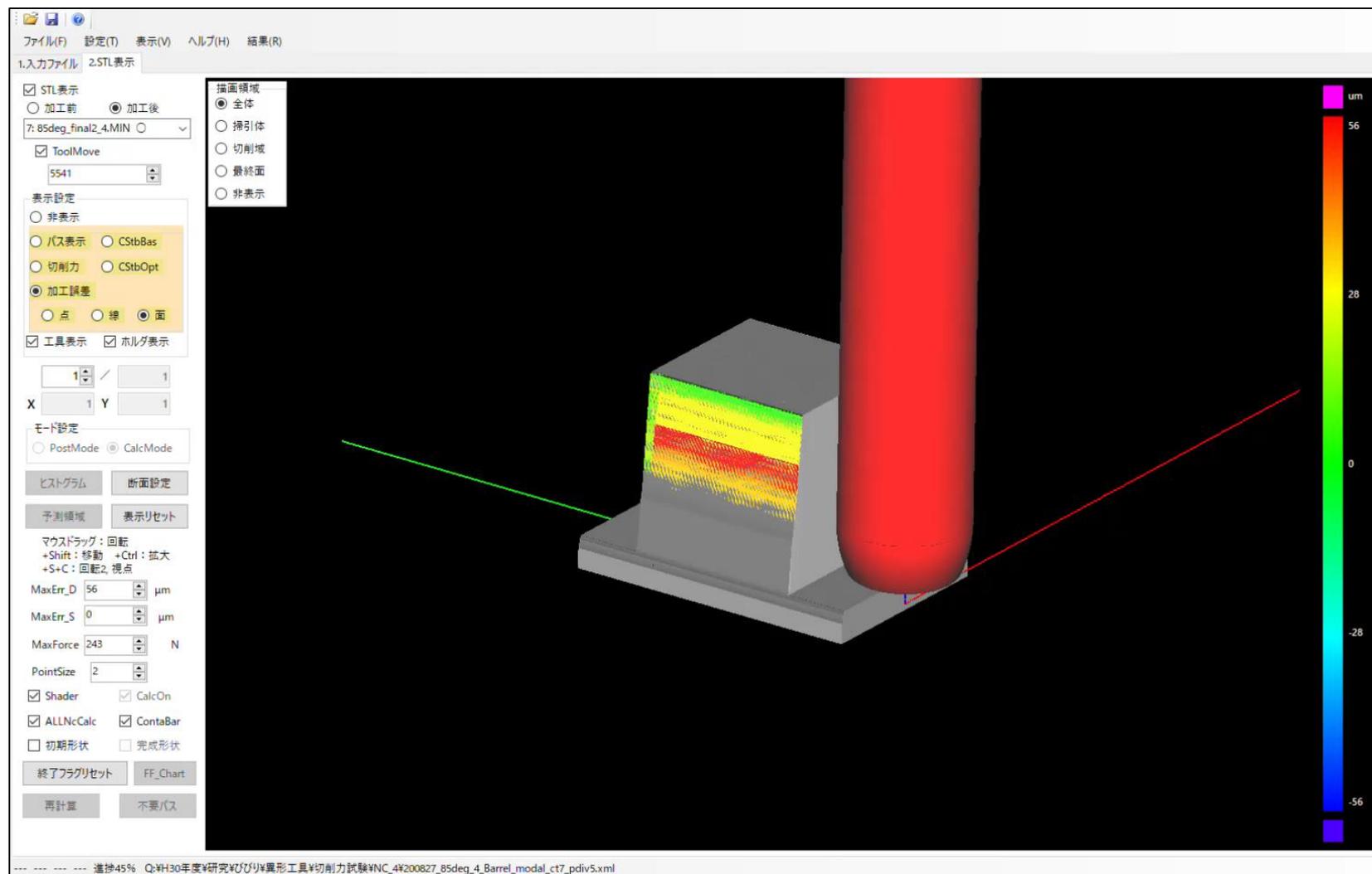
走査線加工掃引体



- Z軸移動を伴う加工
- 工具表面法線ベクトルと工具進行方向ベクトルの内積0の点を結んだ形状

# 開発した加工誤差予測システム

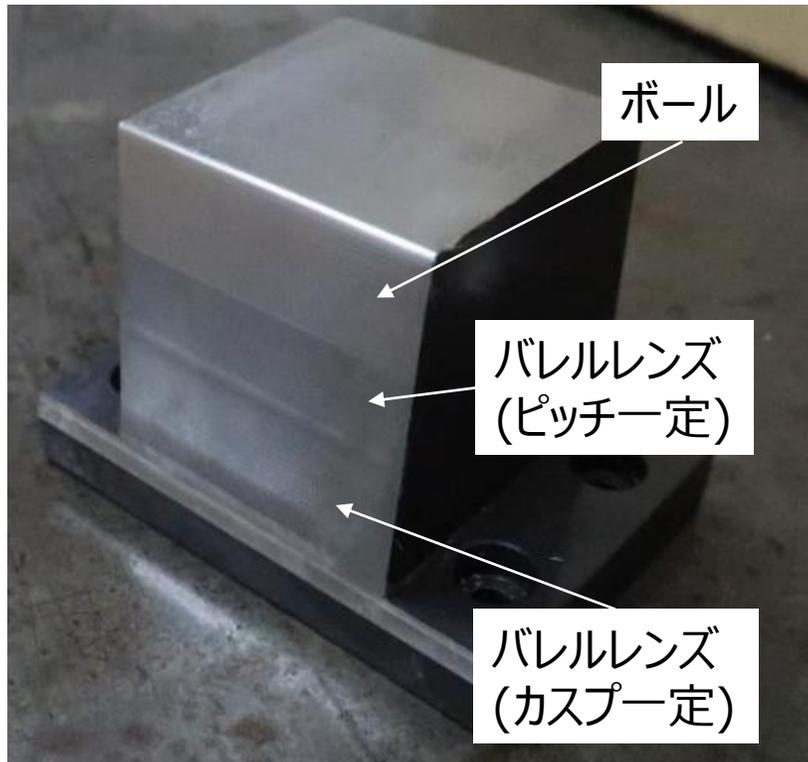
【動画】



# 適用例①（傾斜面加工）

## 【実験概要】

85°傾斜面をφ20のボールエンドミルとバレルレンズで**ピッチ一定・カスプ一定**条件で加工し  
**加工誤差**の予測・測定結果を比較・評価する



被削材質：SKD61(HRC45)  
使用工具：ZDFG200-WH（ボール）  
ZPHW200-LB20（バレル）

表1. 仕上げ加工切削条件

工具	直径 [mm]	つき出し [mm]	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]	切込量 [mm]	ピッチ [mm]
R10ボール	20	120	4000	2000	0.2	0.4
Φ20バレルレンズ	20	120	4000	2000	0.2	<b>0.4</b>
Φ20バレルレンズ	20	120	4000	2000	0.2	<b>0.567</b>

←ピッチ一定

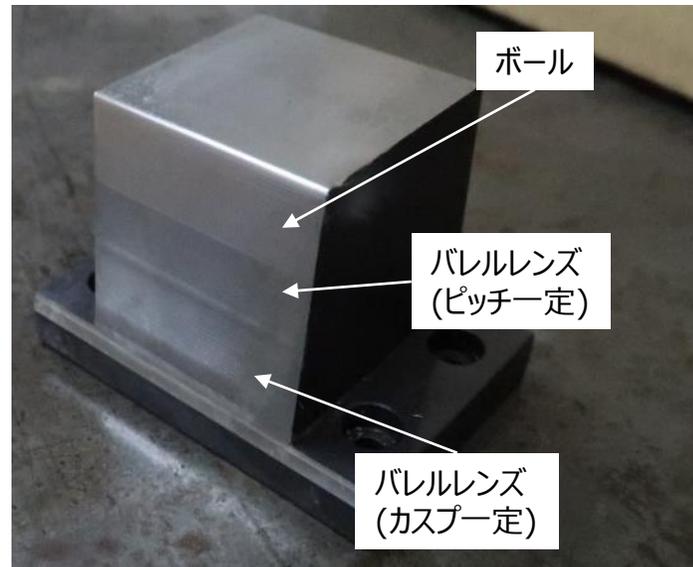
←カスプ一定



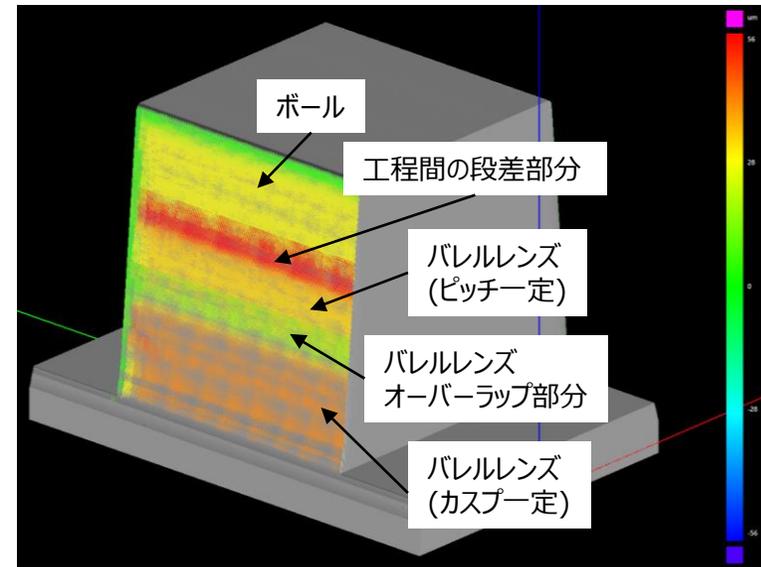
# 適用例①（加工誤差予測）

## 【加工誤差予測】

予測計算では誤差量をカラーマップ表示しており、赤色に近いほど加工誤差が大きいことを示す



加工結果



予測結果

仕上げ加工3工程においては…

ボールエンドミル	: 最小
バレルレンズ (ピッチ一定)	: 〃
バレルレンズ (カスプ一定)	: 最大

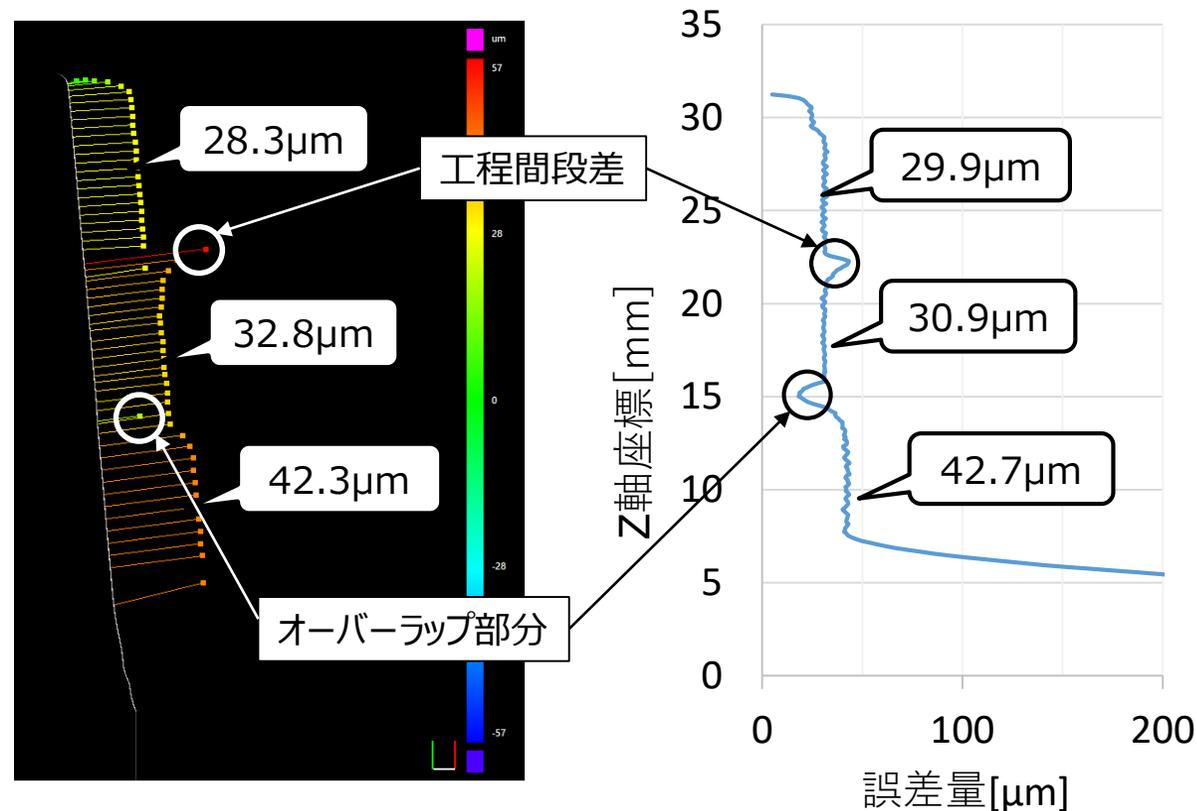
※他にもボールとバレルレンズの工程間の凸部や、バレルレンズ工程間のオーバーラップ部の凹部が予測された



# 適用例①（加工誤差比較）

## 【測定結果との比較】

加工誤差予測の断面図と工作機械（MU400-VA）に搭載されているタッチセンサで加工誤差を測定した結果を比較する



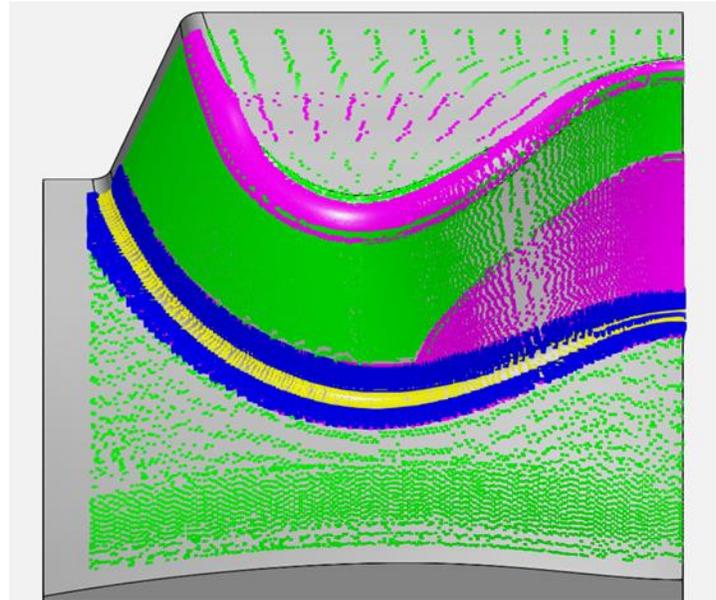
概ね一致し、工程間の段差やオーバーラップ部の結果も精度良く予測できた。  
⇒高精度な誤差予測システムが開発できた



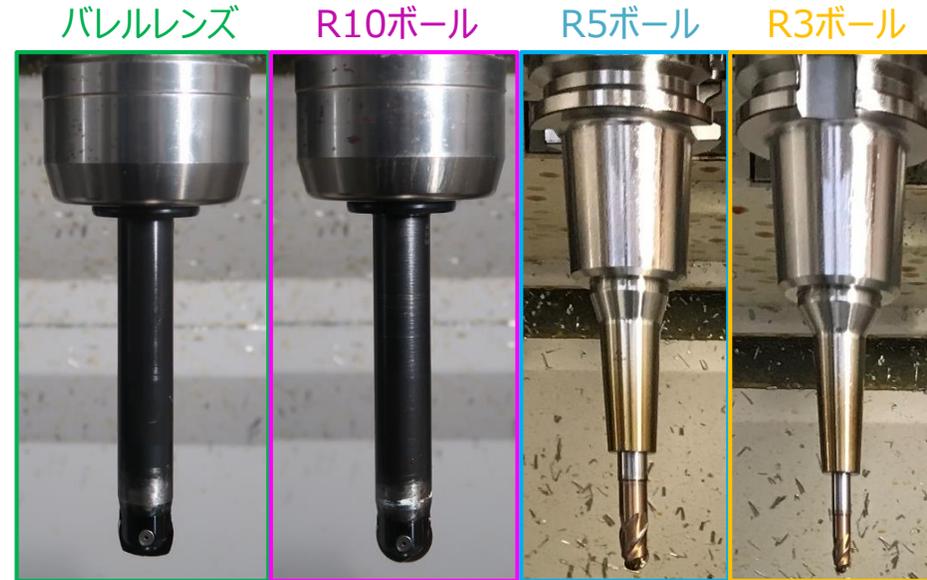
## 適用例②（金型モデル加工）

### 【実験の概要】

金型モデルに加工誤差予測計算を適用した。  
この加工ではバレルレンズとボールの加工面段差が問題となっている。  
φ20バレルレンズ， R10ボール， R5ボール， R3ボールを使用して加工を行う。



加工形状



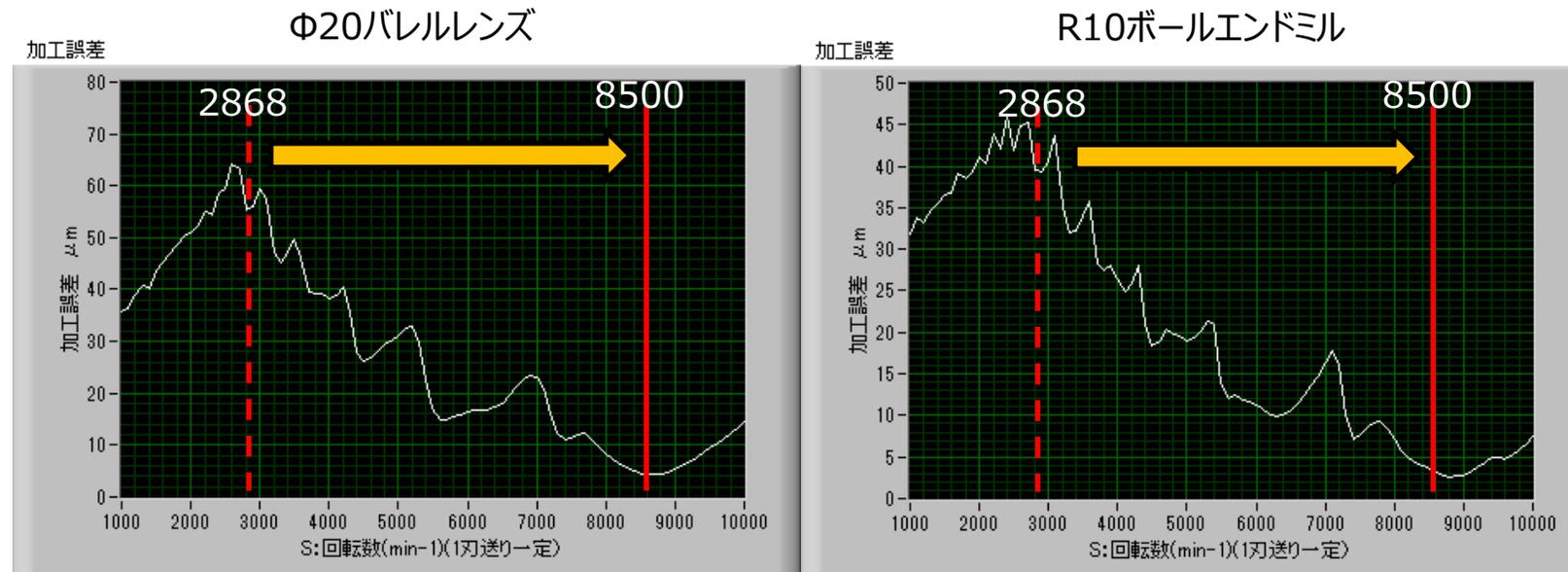
使用工具

## 適用例②（金型モデル加工）

### 【切削条件の検討】

加工面段差の発生要因がバレルレンズとR10ボールエンドミルの加工誤差が大きいことによるものと判明  
→各工具の加工誤差を小さくすることで加工面段差を低減する

○加工誤差予測計算を行い，工具回転数と加工誤差の関係を表す。



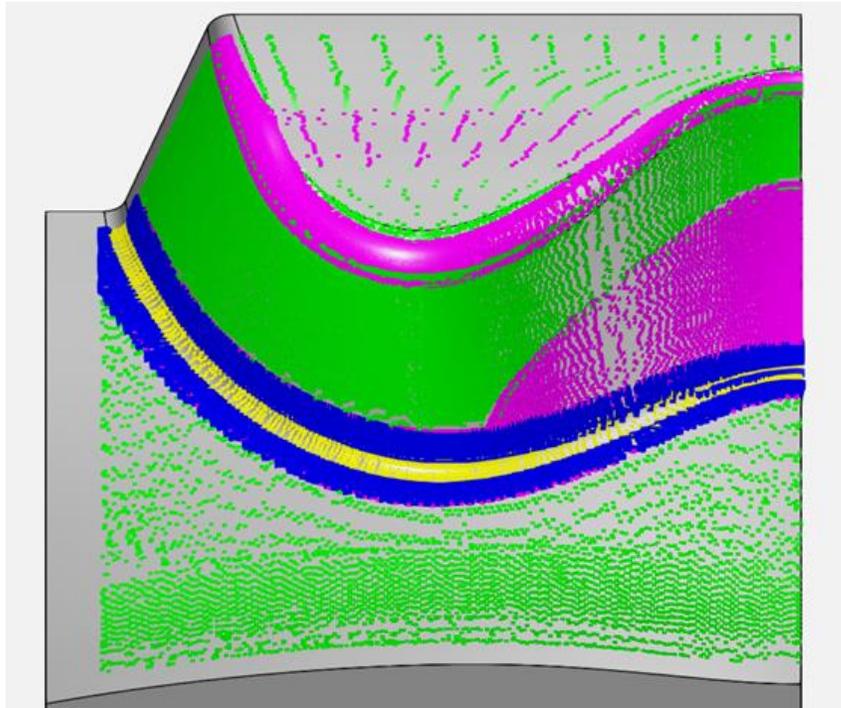
両工具で従来回転数(2868rpm)よりも高回転数(8500rpm)の部分に加工誤差が小さくなる部分があると予測された



## 適用例②（金型モデル加工）

### 【切削条件の検討】

金型モデルの仕上げ加工の条件を従来(2868rpm) から変更(8500rpm)した切削条件を表す



被削材質：SKD61(HRC45)  
使用工具：ZPHW200-LB20（φ20バレル）  
ZDFG200-WH（R10ボール）  
EMBE3100-ATH（R5ボール）  
EMBE3060-ATH（R3ボール）

表2. 金型モデルの仕上げ加工の切削条件

工程	工具	従来条件		変更条件	
		回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
仕1	φ20バレルレンズ	2868	1380	8500	4090
仕2	R10ボール	2868	1380	8500	4090
仕3	R5ボール	4800	1981	4800	1981
仕4	R3ボール	8000	2570	8000	2570

加工誤差予測の結果を踏まえた変更条件で加工を行うと  
両工具の加工誤差が小さくなり、加工面段差が低減すると予想される

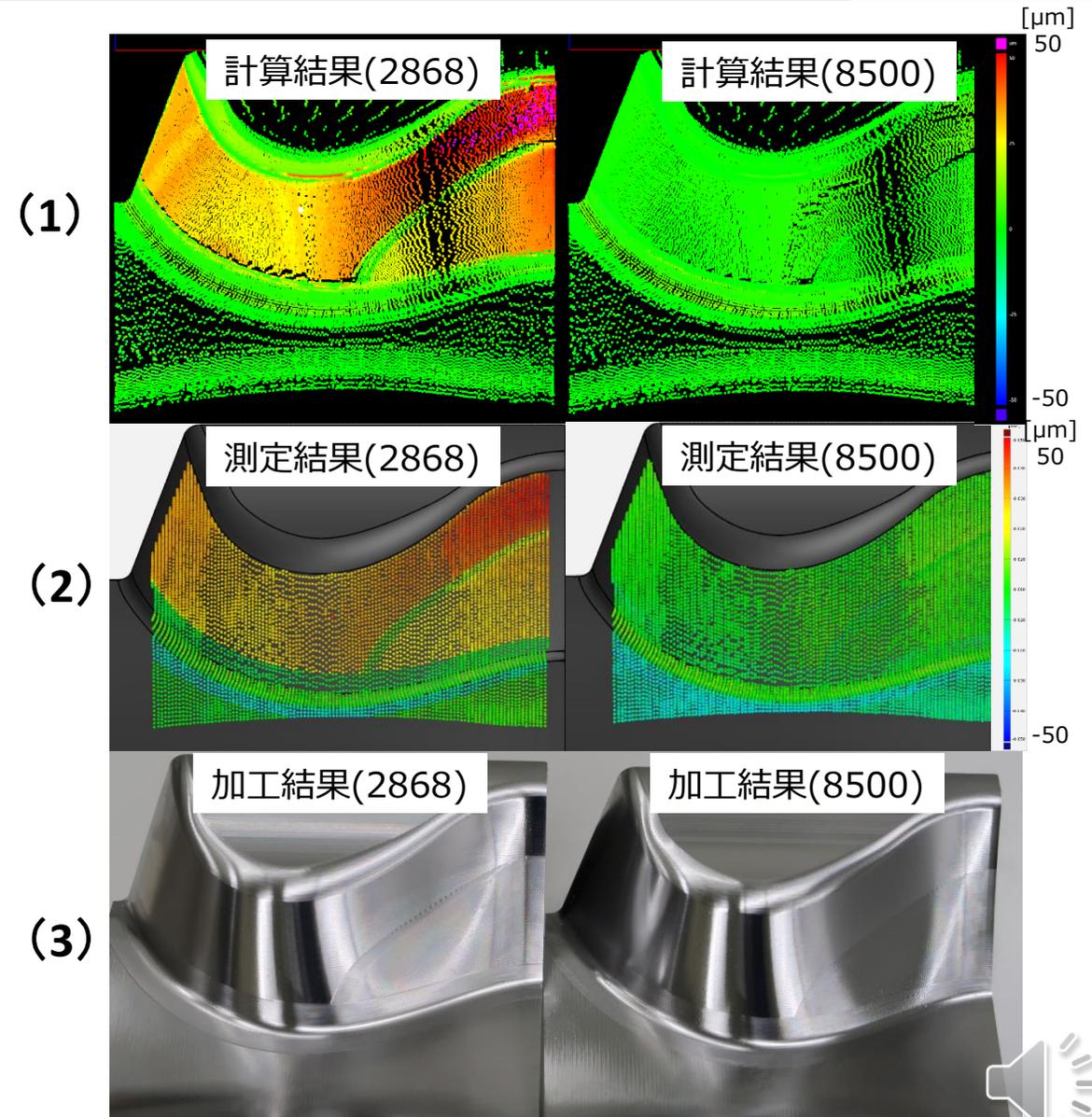


# 適用例② (結果)

## 【結果比較】

- (1)加工誤差予測計算結果
  - (2)三次元測定結果
  - (3)加工結果
- をそれぞれ比較する

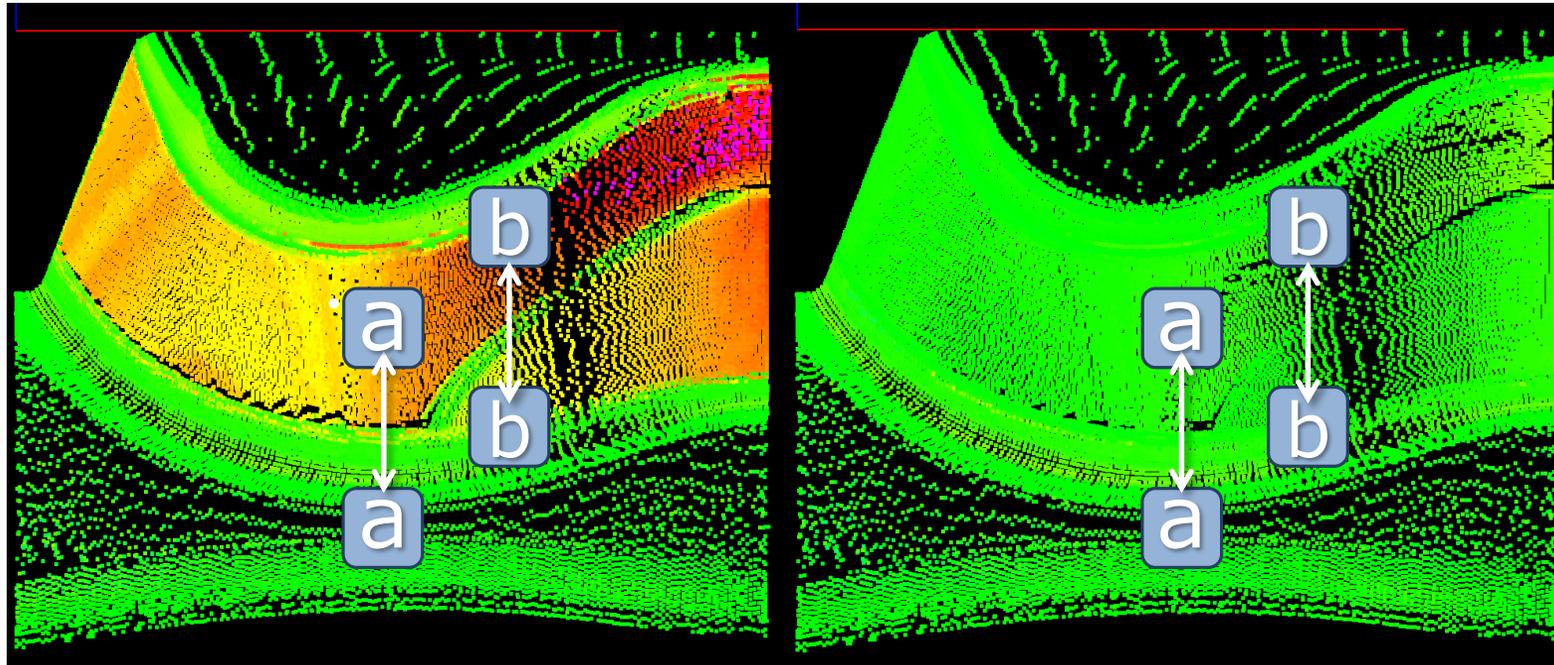
- (1)バレルレンズ・R10ボールの加工誤差が小さくなったことが確認できる
- (2)測定データとCADモデルから算出した加工誤差を表し、計算結果と概ね一致した
- (3)視覚的にも触れた感触でも加工面段差が低減できていることが確認できる



# 適用例②（結果）

## 【加工面段差の評価】

○位置(a-a)と(b-b)の2か所の加工面段差が切削条件によってどのように変化するかを確認する



計算結果 (2868)

計算結果 (8500)

(a-a) : バレルレンズとR5ボールエンドミルによる加工面段差

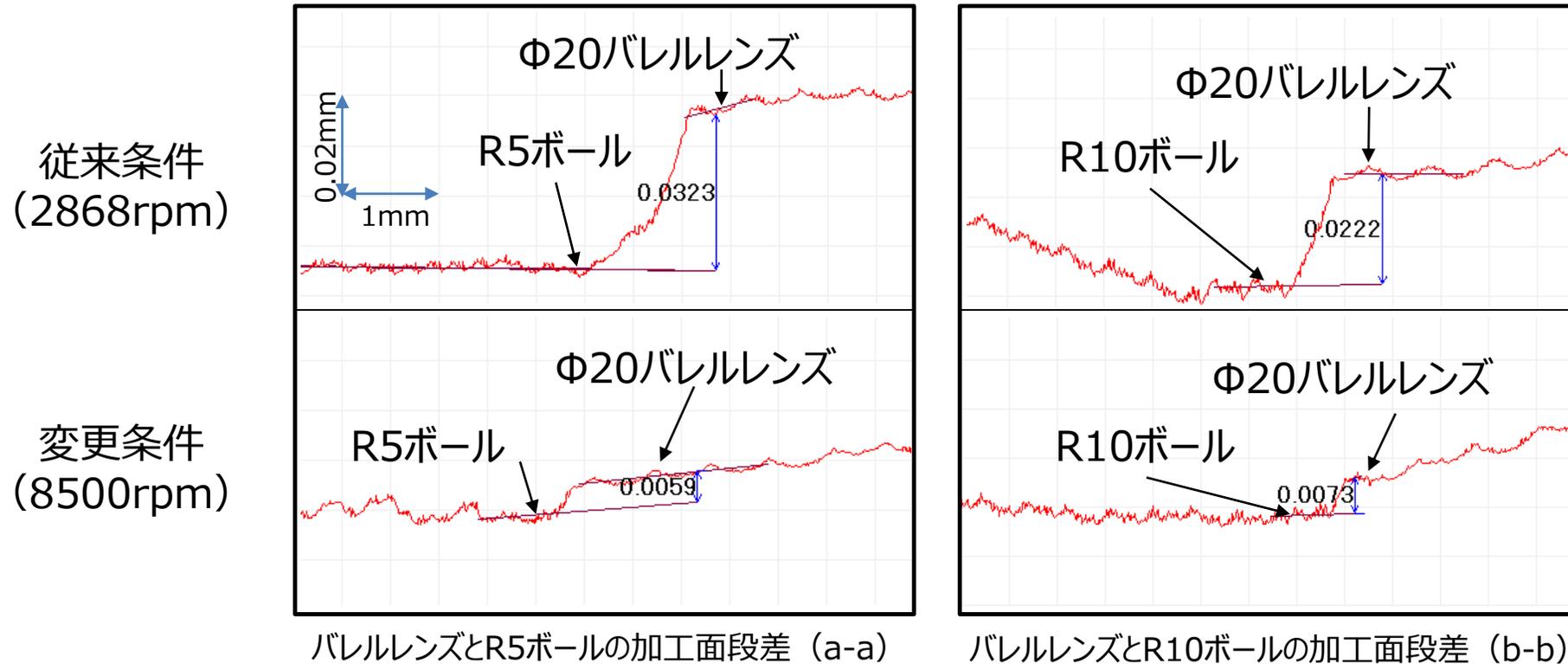
(b-b) : バレルレンズとR10ボールエンドミルによる加工面段差



# 適用例②（結果）

## 【加工面段差の低減】

加工面段差の評価は表面粗さ形状測定機（ミットヨ製CS-5000）を用いて行った



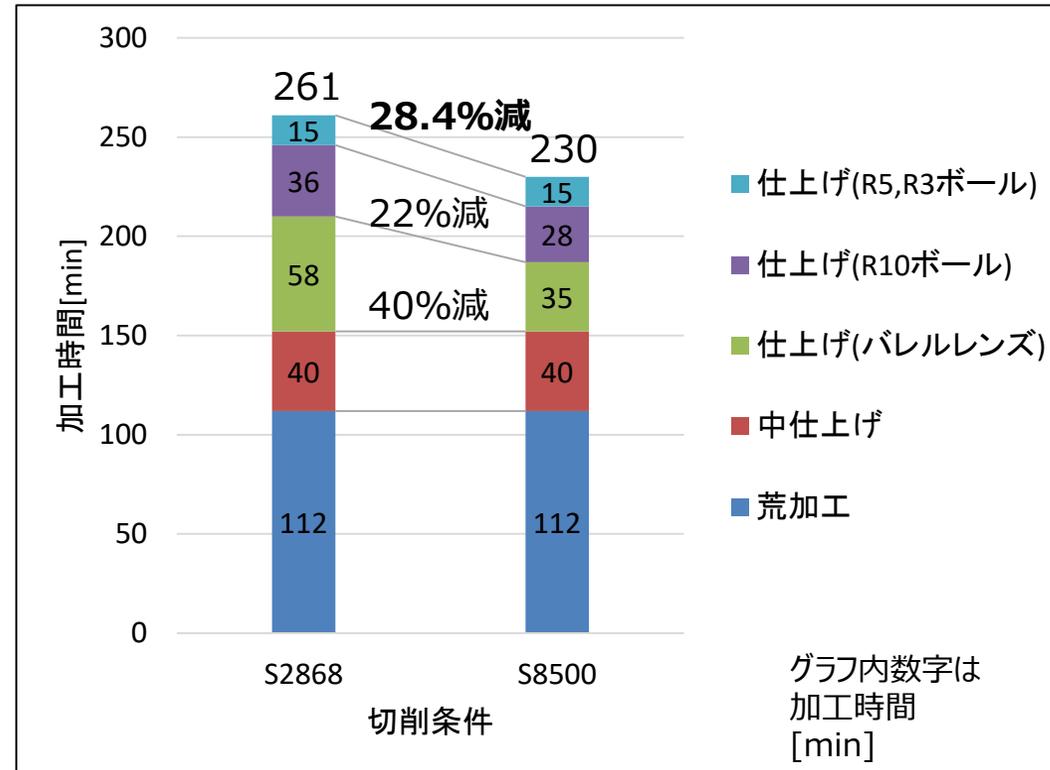
(a-a)の加工面段差は $32.3\mu\text{m} \rightarrow 5.9\mu\text{m}$   
(b-b)の加工面段差は $22.2\mu\text{m} \rightarrow 7.3\mu\text{m}$ に低減した



# 適用例②（結果）

## 【加工時間について】

仕上げ加工を従来条件（2868rpm）より高回転数（8500rpm）で加工した  
→工具の送り速度も回転数にあわせて高速化したので仕上げ加工時間が短縮した



仕上げ加工全体で加工時間が約28.4%短縮された



# まとめ

## 【研究の目的】

バレルレンズ工具の加工誤差予測機能を実装したNCシミュレータの開発およびバレルレンズ工具を使用した加工の評価

## 【研究の内容】

- バレルレンズ工具形状や工具掃引形状をモデル化しバレルレンズの加工誤差予測に対応した金型高精度加工システムを開発した
- 本システムを直径20mmのバレルレンズ工具の傾斜面加工に適用した結果、加工誤差の正確な予測が実現できた
- バレルレンズの切削条件を加工誤差予測結果に基づいて見直したところ、32.3 $\mu\text{m}$ あった加工面段差が5.9 $\mu\text{m}$ まで低減することができた



# 【お問合せ先】

広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター  
生産技術アカデミー 技術支援担当

E-mail: [sgagijutsu@pref.hiroshima.lg.jp](mailto:sgagijutsu@pref.hiroshima.lg.jp)

URL: <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/28/>

→ 「お問合せホームはこちらから」 をクリック

TEL: 082-420-0537

