

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「常時補正制御型マイクロNC旋盤による微細長尺加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局
委託先 財団法人日立地区産業支援センター

目 次

第1章 研究開発の概要	2
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-1-1 研究開発の背景	2
1-1-2 研究目的	3
1-1-3 研究目標	4
1-2 研究体制	5
1-2-1 研究組織及び管理体制	5
(1) 研究組織（全体）	5
(2) 管理体制	5
1-2-2 管理員及び研究員	6
1-3 成果概要	7
1-3-1 微細加工用マイクロ NC 旋盤による高精度な切削加工技術の開発.....	7
1-3-2 リアルタイム補正制御技術の研究開発	7
1-3-3 微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発.....	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
2-1 微細加工用マイクロ NC 旋盤による高精度な切削加工技術の開発	8
2-2 リアルタイム補正制御技術の研究開発	9
2-3 微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発	15
第3章 全体総括	20

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

体内に取り込む医療機器に使用される微細切削加工部品においては、従来のNC旋盤加工では微細かつ長尺な加工を行うと加工面や材料そのものが弾性変形を起こしてしまい、精度不足や曲がりといった不良品を頻発してしまう。

このため微細長尺部品の加工は研削加工を行っており、さらに複雑な形状ではNC旋盤とプレス加工等を組み合わせ、複数の部品を溶接や圧入等により組み立てる工法が一般的であり、高コストの原因となっている。

内視鏡の開発を手掛ける川下製造業者では、設計時に溶接・圧入を見込んだ開発を行っているが、前述の工法が大きな設計上の制約となり、更なる微細化、高精度化、低コスト化に課題を有している。

1-1-2 研究目的

従来のNC旋盤による微細長尺加工では、一般的に長さ10mm程度になると外径φ0.8程度が最小限界とされている。これは機械座標位置と実際の刃先加工点での素材の逃げ（弾性変形）とのギャップが原因で、寸法精度が安定しないためである。

具体的には削れない・削りすぎ・弾性変形を超えて曲がるといった症状がでる。なお、弾性限界は材料材質によっても異なるが、一般的には0.2%とされている。これ以上の変形は塑性変形となり、元の形状に戻ることはない。

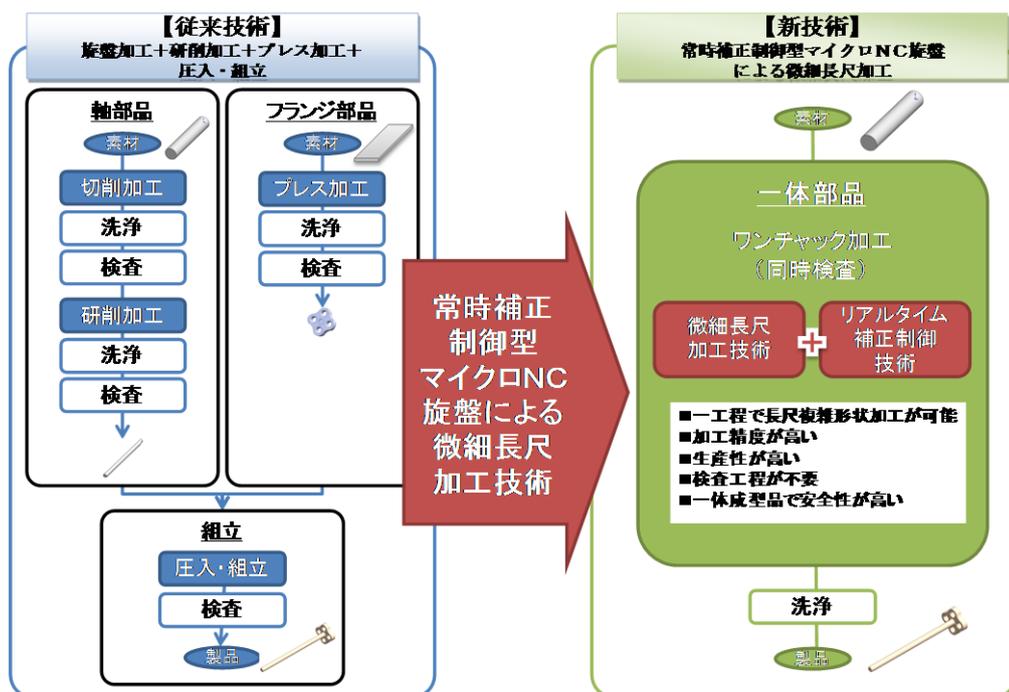
そのためさらに微細長尺で複雑形状加工がプラスされた場合、微細長尺部品はストレートピンとして研削仕上げ加工し、別体として旋盤加工したものやプレス加工したものと溶接・圧入にて組み合わせる手法が一般的になっている。

本研究開発では複雑形状加工品の弾性変形を抑制した加工技術を確認することを目的に、微細長尺加工における技術的課題（弾性変形）の解決方法として、

第一に 微細長尺切削加工に適したマイクロNC旋盤を使用し、微細長尺加工時の弾性変形を抑制する切削工具及び適した切削条件を開発する

第二に 切削加工点の位置情報をCCDカメラにて常時取り込み、画像処理測定システムにてプログラム位置との相違を検知する。その誤差情報をNC旋盤にフィードバックさせて工具位置を補正するシステムを開発する。

弾性変形の解決法として切削工具の開発と補正制御システムの二段構えを用意することで、医療機器部品等の更なる微細化・高精度化・複雑形状対応化を確認するとともに、ワンチャック加工による溶接・圧入等の工程削減とによる低コスト化、量産化に資する新たな切削加工技術の確立を目指す。これらの方法の確立により、部品の小型化と低コスト化の実現を通じて先端医療機器の普及に資することを目的とする。



1-1-3 研究目標

NC 旋盤内で微細長尺加工と複雑形状加工を同時に行うため、微細加工時に弾性変形を最小限に抑える切削工具と補正制御技術を新たに開発し、溶接や圧入による工法に対し高精度化を目指す。また同時に、微細溝加工や微細段付き加工、微細ねじ切り加工、微細テーパ加工などの複雑形状にもワンチャックで対応できる加工技術を開発する。この方法の確立により、体内に取り込むカプセル内視鏡に使用されるカメラ軸のように微細長尺切削加工部品において、小型化と低コスト化を可能にする。

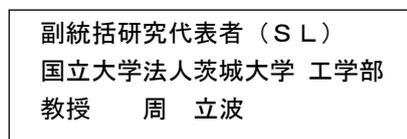
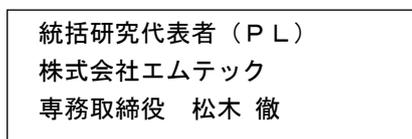
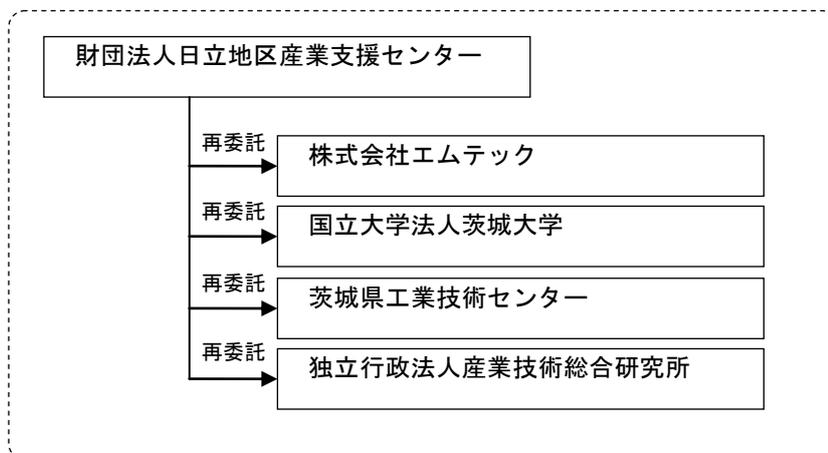
本研究開発では、マイクロ NC 旋盤による微細長尺加工技術の確立に向けて、弾性変形を抑制する切削工具の刃先形状の開発、被削材別による切削条件のデータベース化及び確立と、CCDカメラ及び画像処理システムを用いたリアルタイム補正制御技術の開発について、(1)微細加工用マイクロ NC 旋盤による高精度な切削加工技術の開発、(2)リアルタイム補正制御技術の研究開発、(3)微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発の検討により解決を図る。

- (1) 微細加工用マイクロ NC 旋盤による高精度な切削加工技術の開発においては、被削材として SUS303、C3604 及び 64 チタンにおける微細高精度加工用切削工具及び微細高精度加工用切削条件の開発、試作品の評価及び検証を行う。弾性変形を抑制する切削工具の刃先形状の開発し、様々な切削条件（切り込み量、回転数、送り速度、工具刃先の冷却方法）を検証し、最適な切削条件を取得するとともにデータベース化を行う。
仕上がり寸法は $\phi 0.5\text{mm} \pm 5\mu\text{m} \times L 10.0 \pm 0.02\text{mm}$ 、真直度 $50\mu\text{m}$ 以下、表面粗さ Ra0.6 以下
- (2) リアルタイム補正制御技術の研究開発においては、CCDカメラを用いたリアルタイム補正制御技術の開発を行う。CCDカメラ及び画像処理システムを用いて加工点座標をリアルタイムに計測し、測定座標値と NC プログラム値の誤差を制御装置（モータードライバー）にリアルタイムでフィードバックさせ、常時補正することが可能な制御システムの開発を行う。
仕上がり寸法は $\phi 0.5\text{mm} \pm 5\mu\text{m} \times L 10.0 \pm 0.02\text{mm}$ 、真直度 $20\mu\text{m}$ 以下、表面粗さ Ra0.6 以下
- (3) 微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発の検討においては、CCDカメラを用いたリアルタイム測定による新補正制御技術及び微細長尺加工条件を用いた微細長尺複雑形状加工サンプルの量産実証研究の検討を行う。
特定形状部品において従来加工方法と比較し、時間（段取り～出荷）1/2 減、歩留まり（不良率）5%以下、コスト 1/2 減

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

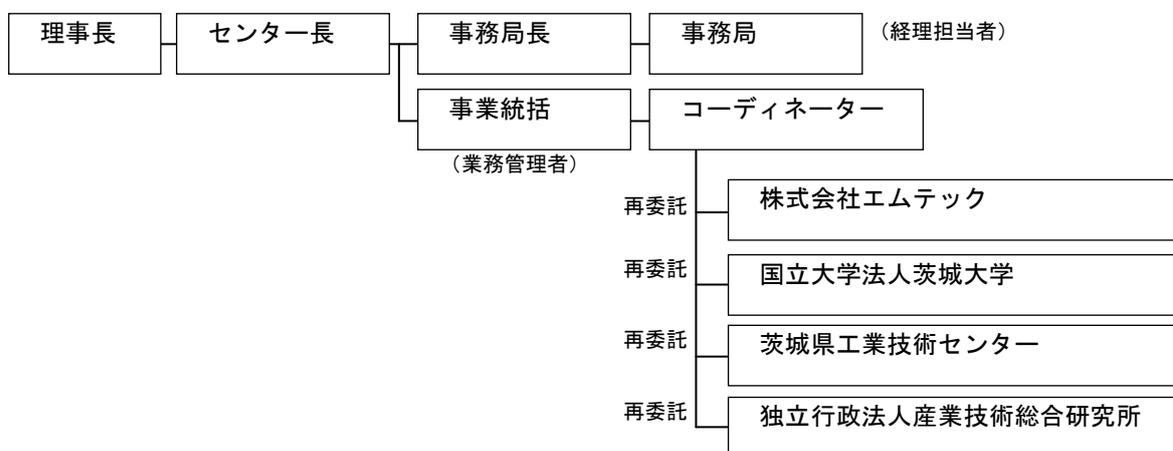
(1) 研究組織 (全体)



(2) 管理体制

事業管理機関

[財団法人日立地区産業支援センター]



1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理機関】財団法人日立地区産業支援センター
(管理員)

氏名	所属・役職	備考
日向 晃一	コーディネーター	
田中 正浩	コーディネーター	

【再委託先】

(研究員)

株式会社エムテック

氏名	所属・役職	備考
松木 徹	専務取締役	PL
安 晃弘	製造1係長	
永山 圭吾	製造1係	

国立大学法人茨城大学

氏名	所属・役職	備考
周 立波	工学部知能システム工学科 教授	SL
小貫 哲平	工学部知能システム工学科 准教授	
尾畷 裕隆	工学部知能システム工学科 講師	

茨城県工業技術センター

氏名	所属・役職	備考
早乙女 秀丸	先端材料部門 技師	
石川 裕理	先端材料部門 技師	

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	備考
碓井 雄一	先進製造プロセス研究部門 基盤的加工研究グループ 主任研究員	

【他からの指導・協力者】

氏名	所属・役職	備考
澤井 信重	産学官連携推進部門 地域連携室 ものづくり基盤技術支援室	

1-3 成果概要

平成 22 年度～24 年度の研究成果概要を各々のテーマ毎に以下に示す。

1-3-1 微細加工用マイクロ NC 旋盤による高精度な切削加工技術の開発

(実施：株式会社エムテック、茨城県工業技術センター、独立行政法人産業総合研究所)

マイクロ NC 旋盤を使用し、微細加工に特化した切削条件と切削工具を開発した。

被削材においては SUS303、C3604 及び 64 チタンにて、仕上がり寸法は $\phi 0.5\text{mm} \pm 5\mu\text{m} \times L 10.0 \pm 0.02\text{mm}$ 、真直度 $50\mu\text{m}$ 以下、表面粗さ Ra0.6 以下とし、最適な条件（切り込み量、回転数、送り速度、工具刃先の冷却方法）を開発した。

試作品の測定・評価においては、社内にてデジタルマイクロスコープによる寸法測定と、茨城県工業技術センターにて真直度及び表面の粗さを SEM 及び真円度測定器にて測定した。結果、目標値に達成していることが確認された。

1-3-2 リアルタイム補正制御技術の研究開発

(実施：株式会社エムテック、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

1) リアルタイム補正制御技術を用いたマイクロ NC 旋盤の開発を行った。

2) 常時補正制御型マイクロ NC 旋盤による試作品の加工

開発した補正制御を用いて C3604（真鍮材）の試作を行った。

仕上がり寸法は $\phi 0.5\text{mm} \pm 2\mu\text{m} \times L 10.0 \pm 0.02\text{mm}$ 、真直度 $20\mu\text{m}$ 以下、表面粗さ Ra0.6 以下とし、補正制御を用いて加工された試作品は、デジタルマイクロスコープや茨城県工業技術センターにて SEM 等で評価を行った。

結果、目標に達していることが確認された。

1-3-3 微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発

(実施：株式会社エムテック、茨城県工業技術センター)

1) 量産切削加工技術の開発

自動素材供給装置、自動製品回収装置及び機上測定装置を開発した。

2) 量産試作品の評価

特定部品（C3604）の量産試作において従来加工方法と比較し、11工程が2工程と大幅に短縮されたことから加工時間半減、コスト半減を達成できたものとする。歩留まり向上については、不良率5%だったことから、目標を達成した。

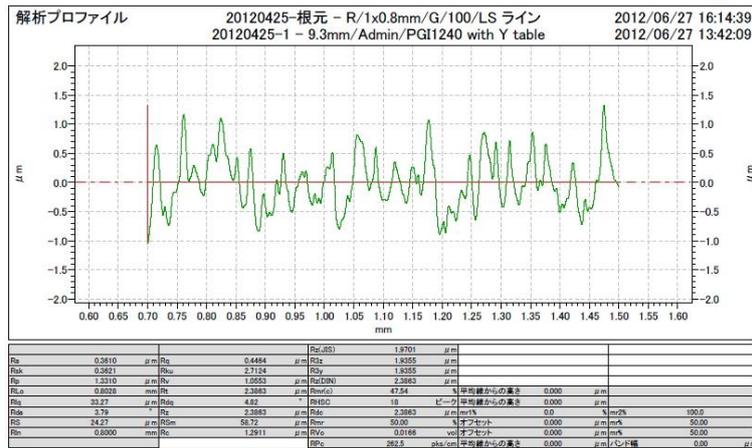
1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人 日立地区産業支援センター

〒316-0032 茨城県日立市西成沢町2丁目20番1号

TEL：0294-25-6121 FAX：0294-25-6125 E-mail：info@hits.or.jp

連絡担当者：日向 晃一（コーディネーター）、田中 正浩（コーディネーター）



(根元部)

測定結果は以下の通り。

被削材	寸法差 (μm)	真直度 (μm)	粗さ (Ra)
目標値	10.0	50.0 以下	0.6 以下
SUS303	0.6	30.03	0.28~0.44
C3604	0.0	4.82	0.14~0.26
64 チタン	1.2	20.22	0.16~0.24

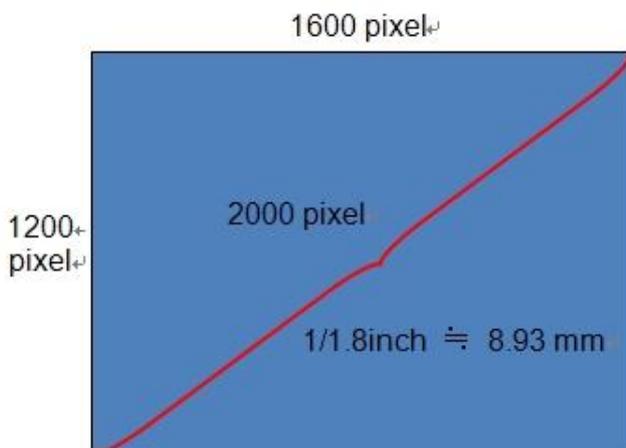
加工データはデータベース化し、最適な条件範囲を特定した。

被削材	切削速度	送り (mm/rev)	適正工具
SUS303	3.14m/min	0.02~0.06	工具 A
C3604	15~31m/min	0.05	工具 B
64 チタン	12~31m/min	0.02~0.05	工具 C

2-2 リアルタイム補正制御技術の研究開発

1) リアルタイム補正制御技術を用いたマイクロNC旋盤の開発を行った。

CCD カメラは解像度から算出し、目標精度に最適な必要画素数のカメラとレンズ倍率を決定した。



CCD画像による画像座標寸法値
 ※ 光学倍率が等倍(×1)
 $8.93 \text{ mm} / 2000 \text{ pixel} = 0.004465 \text{ mm/pixel}$
 $= 4.465 \text{ μm/pixel}$

↓
視野範囲

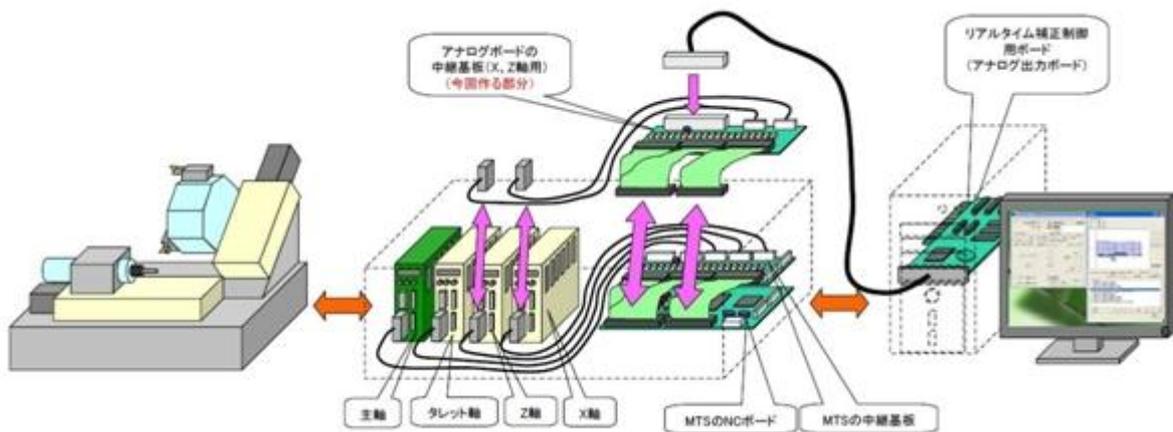
※ 光学倍率が等倍(×1)
 $7.18 \text{ mm} \times 5.32 \text{ mm}$

画素数の算出

CCDカメラは加工工具の刃先と連動しており、取り込んだ画像の処理はパターンマッチングとエッジライン検出プログラムにて素材径や切込量などの位置情報から目標値までの差を算出させ、補正制御用に用意した出力ボードによりNC旋盤のサーボモーターに直接出力される仕様とした。

その際に、NC旋盤既存のボードと補正制御用ボードの切り替え作業が必要になり、以下のように対応した。

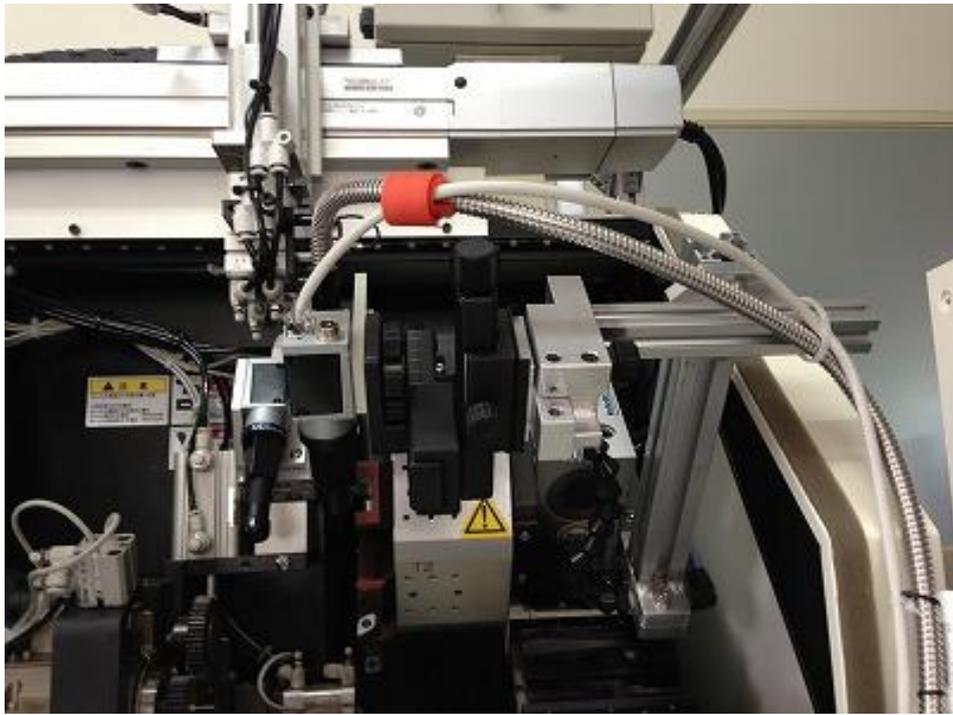
- ・NC旋盤の制御ボックスの中で、タレット軸と主軸の制御回路はそのままする。
- ・NC旋盤のソフト起動中にX軸とZ軸のモーターの制御信号のみをリレー等の基板を介してリアルタイム補正制御からの信号と切替する。
- ・原点復帰動作はこれまで通りNC旋盤のソフトで全軸を行うものとする。
- ・開発した補正制御回路の方から、工具変更のための信号と、加工終了の信号を受け取るものとする。
- ・自動運転中は工具変更信号の入力でタレットの工具変更をし、終了信号の入力でプログラムの自動運転を終了するものとする。
(回転工具などは工具変更後にMコードにより制御する)
- ・X軸、Z軸のモーターの状態（リミットエラー、過負荷等）は現状のままNC旋盤のソフト側で監視し、異常時は自動的に非常停止できるようにする。
- ・ソフト上の制御フローは右図の流れによる内容とする。
- ・以上の制御が可能なモータードライバの信号切替回路の設計、製作を行う。



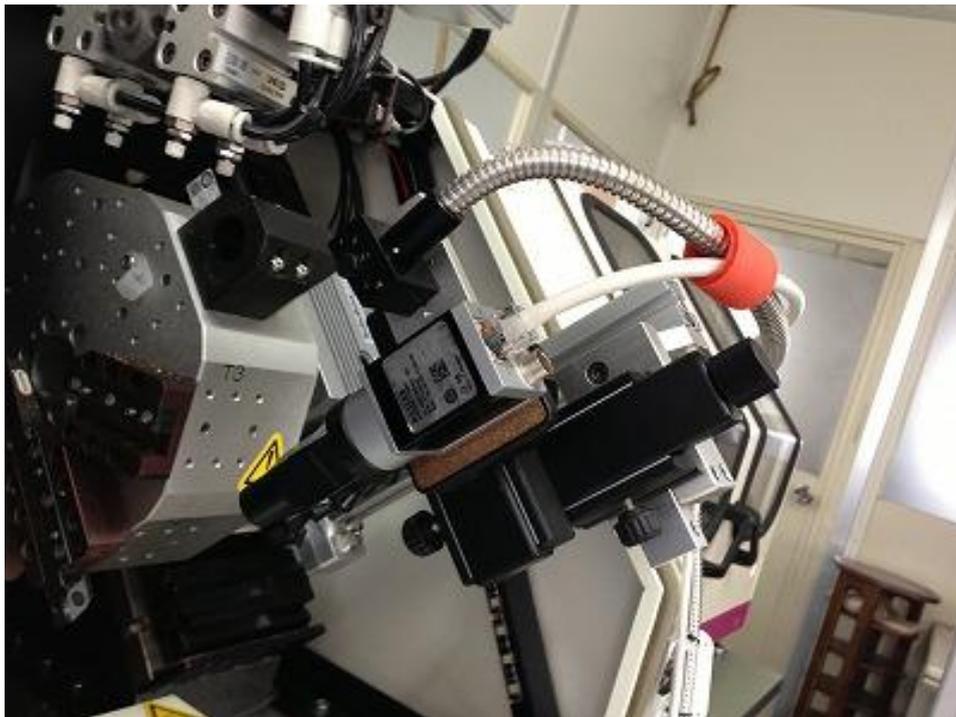
信号切替回路のイメージ

実行プログラムは Microsoft Visual C# 2010 EX にて作成し、画像取得から算出処理、サーボへのフィードバック処理までを一貫させた。

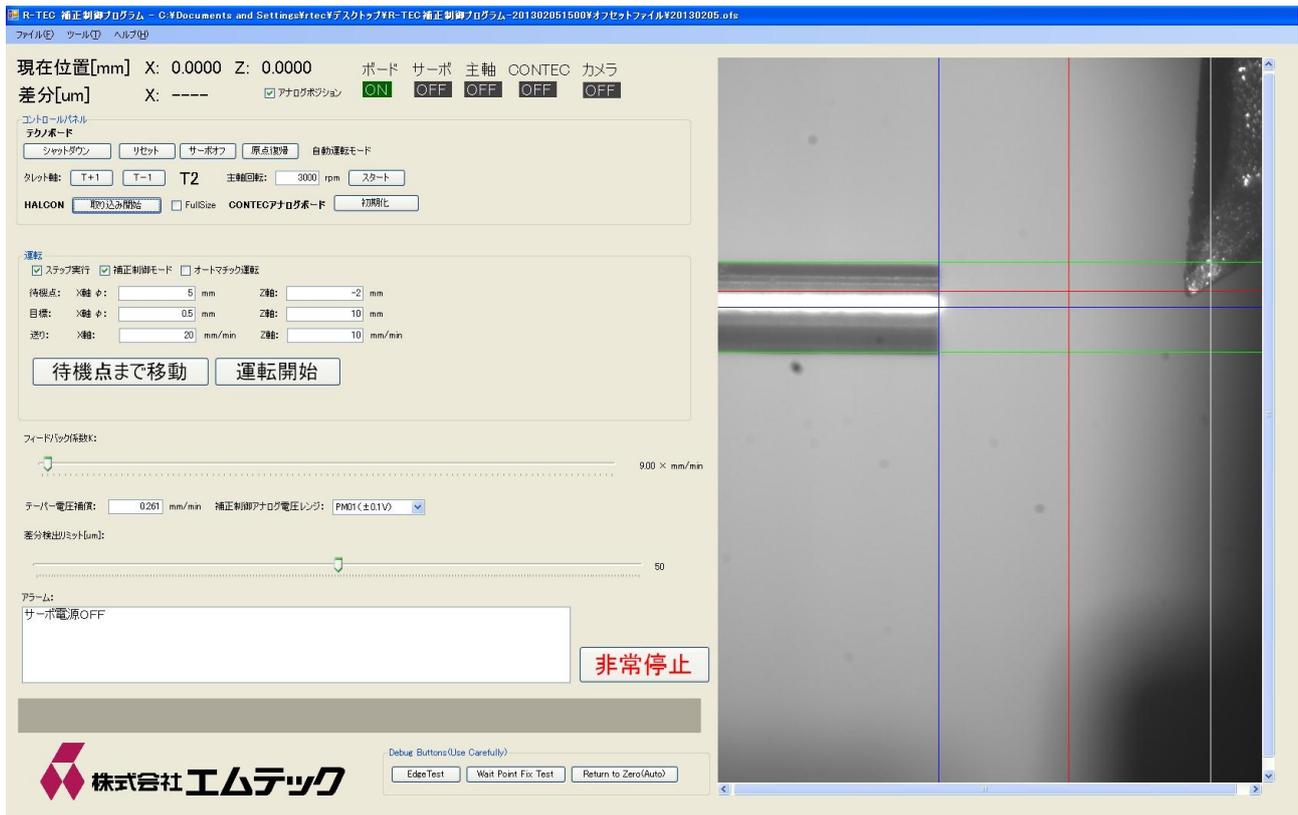
また、設定画面を設け、画像取得の時のしきい値の調整や外部装置（量産対応仕様）との接続設定、フィードバック係数及びカメラ取り込みのタイミング変更を実行中でも出来るようにした。



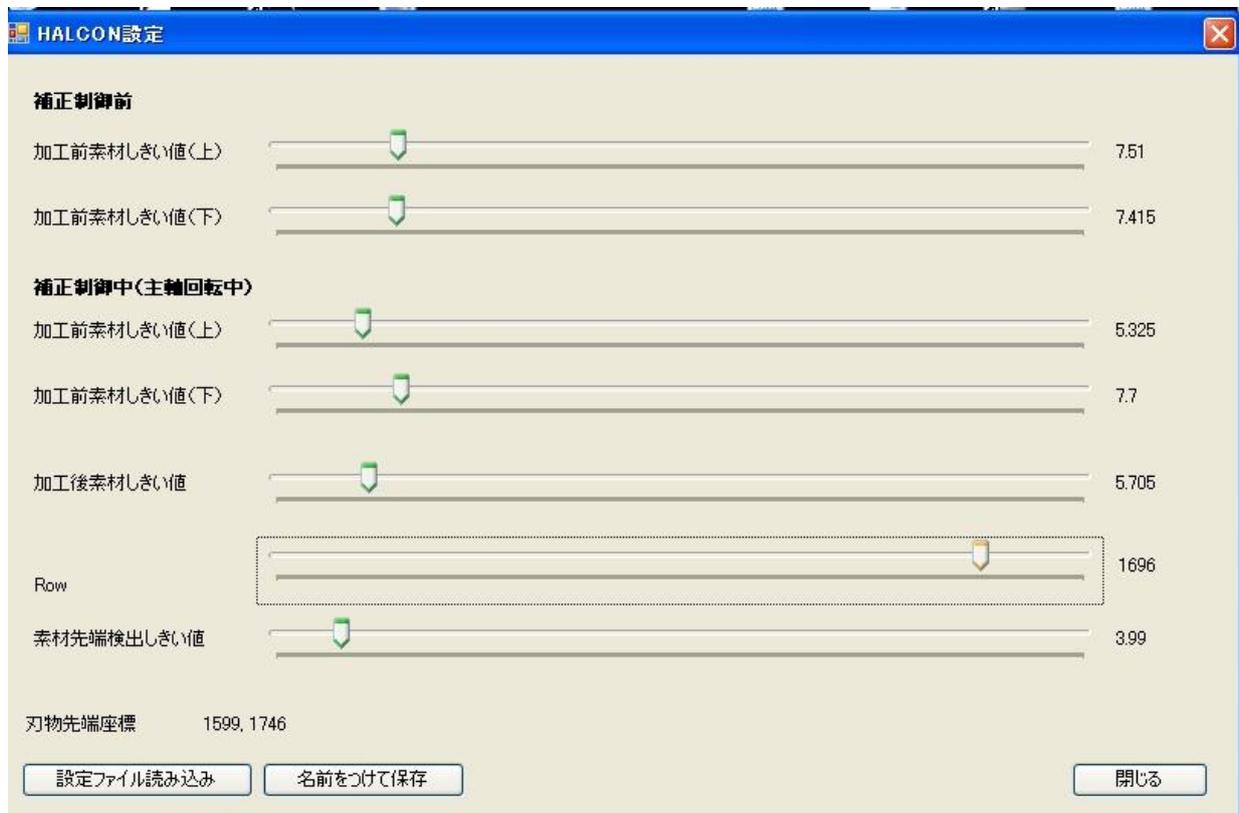
刃先と連動する CCD カメラ



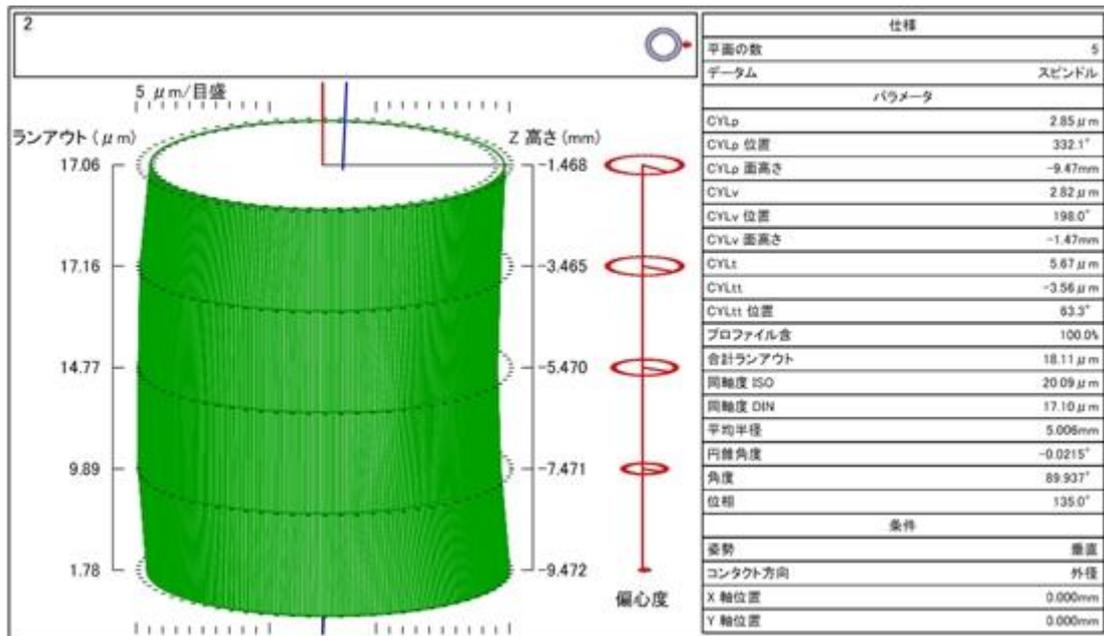
直交治具にて取り付けられた CCD カメラ



エッジライン検出による位置情報取得
 (緑：素材径 青：X 軸及び Z 軸の中心もしくは基準線 赤：目標点)

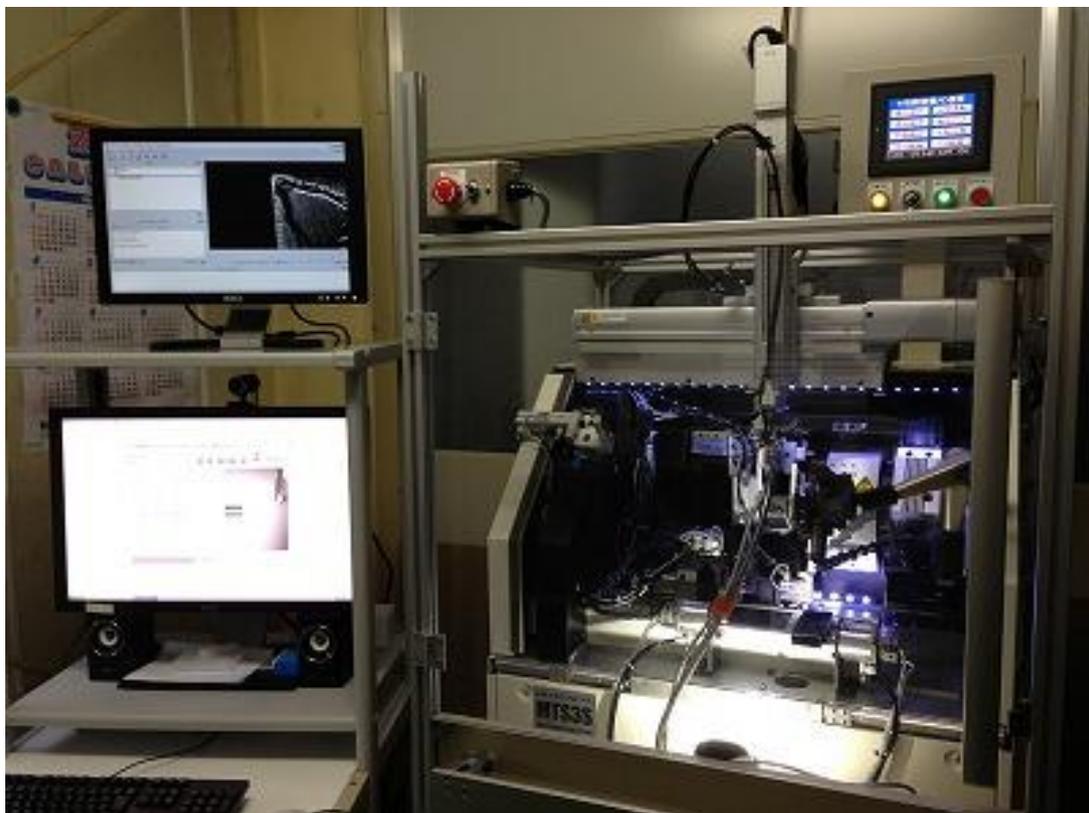


画像処理しきい値調整画面



真直度は 2.85 μm

補正制御に関しては画像取得時に外部照度によるバラつきがあることが確認された。これらは照明方法、暗室内での加工等で回避できると考えられる。また、NC 制御から補正制御に切替える際に、電圧誤差によるミスカットの問題が生じている。これは、出力方法を NC 旋盤側と同じにすることで解消されることが考えられるが、本研究においては機械メーカー側の意向もあり、断念している。今後、再協議する必要がある。



常時補正制御型マイクロ NC 旋盤



補正制御技術にて加工された C3604 サンプル

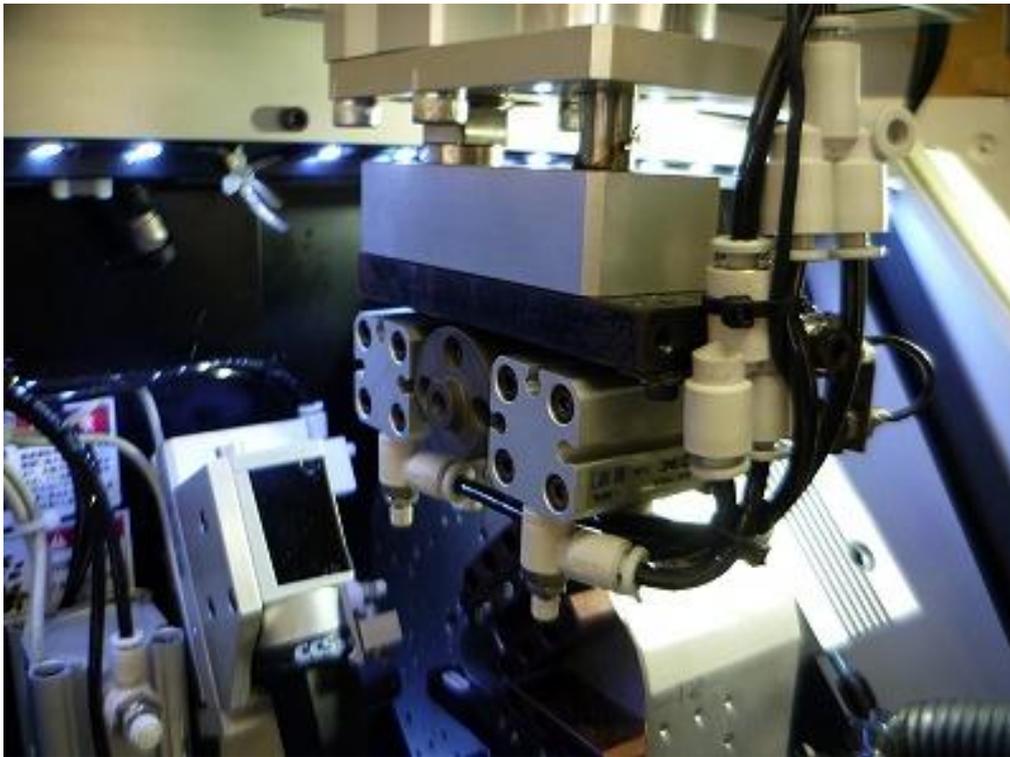
2-3 微細長尺複雑形状加工サンプルの量産切削加工技術の開発

- 1) 部品部品に基づき、ワンチャックでの切削加工を実現するために自動素材供給装置、自動製品回収装置を開発した。

素材はストッカーに整列させ、ハンドチャックで取りに行った際にプッシュして素材をハンドチャックに収めるように開発した。



素材ストッカーとプッシュバー



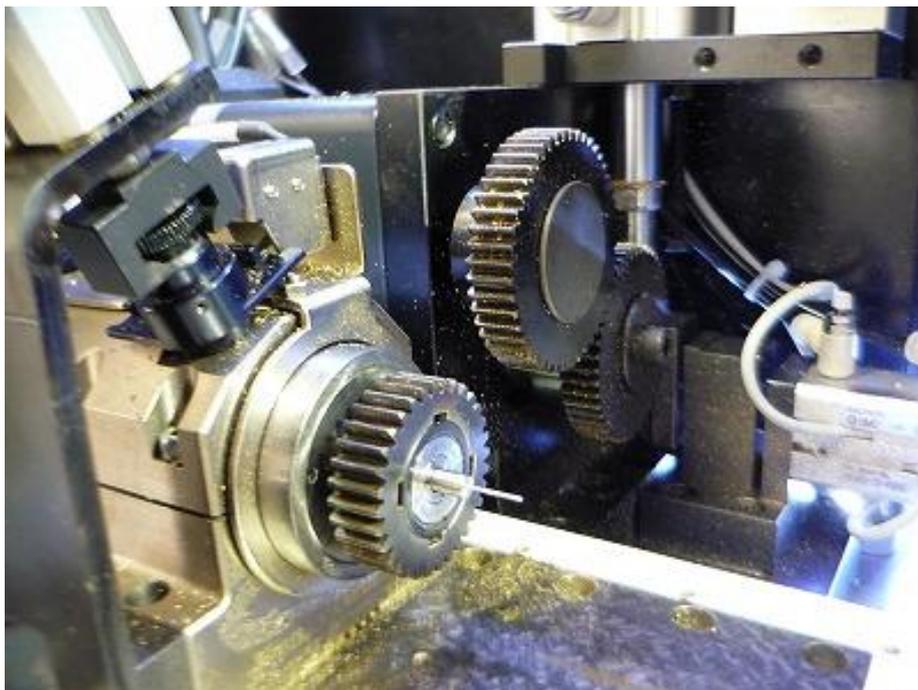
ハンドチャック装置

ハンドチャックに収められた素材は、そのまま旋盤の主軸チャック内に自動搬送される。ハンドチャックにて主軸チャック内に収められた素材は、新たに追加した自動チャック用モーターにより、自動チャックされる。

自動チャック装置にはギヤを使用した。これは、まず既存のコレットチャックキャップにギヤを圧入させ、チャック開閉させる時にモーターとギヤを連動させ、モーターの回転で開閉を行うようにした。

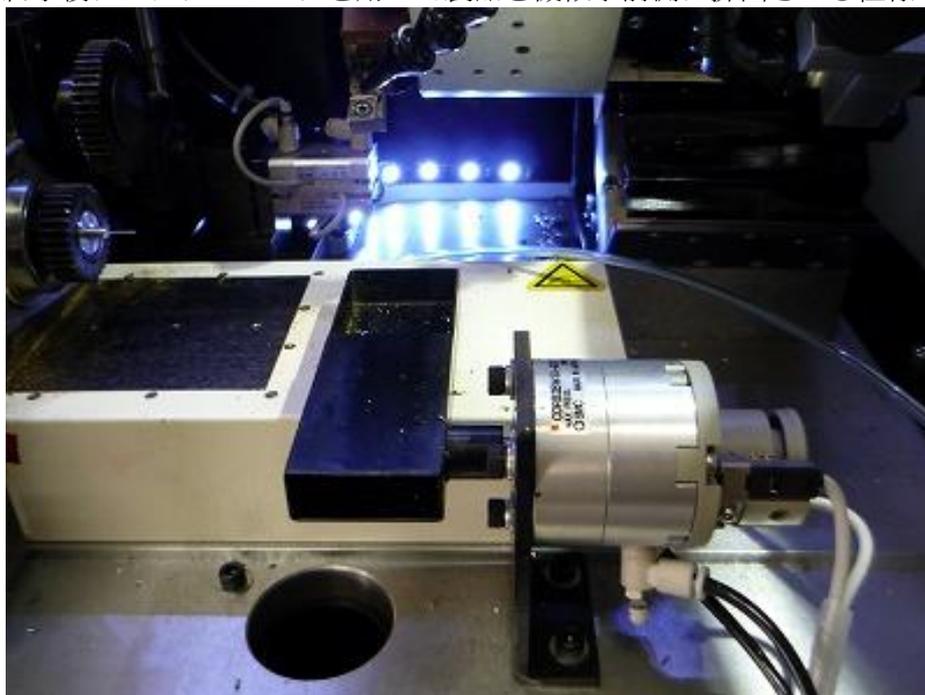
チャック開閉時には、主軸が動かないようにロックピンを事前に入れている。

モーターはトルク制御と時間制御にて設定し、チャックが確実に締められる様に配慮した。



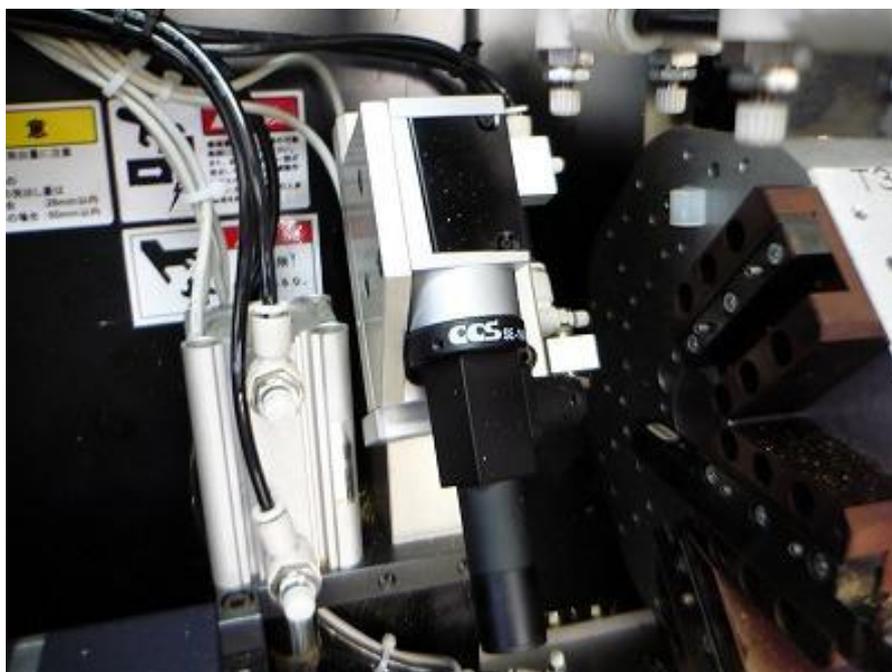
自動チャック開閉装置

切削された製品は特性上、その取り扱いに十分配慮しなければならない。
今回、製品回収においては受け皿にて回収することとした。
突っ切り加工終了後にアクチュエータを用いて製品を機械手前側に排出させる仕様である。



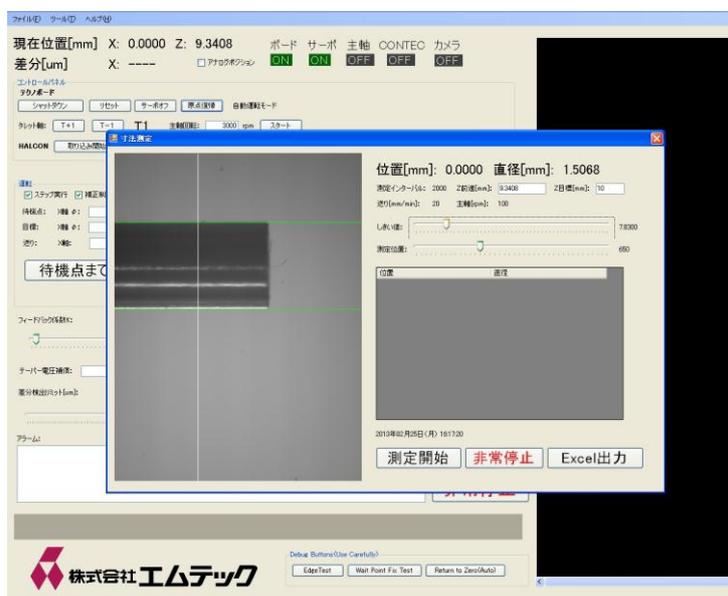
自動製品回収装置

量産時の評価方法について、機上測定による評価システムの開発も行った。
機上測定は補正制御で活用した画像測定技術を用いて製品の測定が行えるようにした。
また、補正制御の妥当性を確認するためにも、機上測定用に CCD カメラを補正用とは別な場所に新たに設置した。



機上測定用 CCD カメラ

CCD カメラは通常は干渉しない領域に下がっており、測定時に測定ポイントまで自動で前進する。測定は主軸の回転と Z 軸の動きと連動して行うようにプログラムを作成した。主軸は 100 回転で正転させ、長さ 10mm の Z 軸移動に対して測定を 10 回行う。なお、主軸の回転数と移動距離はパラメーターで設定できるように工夫した。



機上測定プログラム

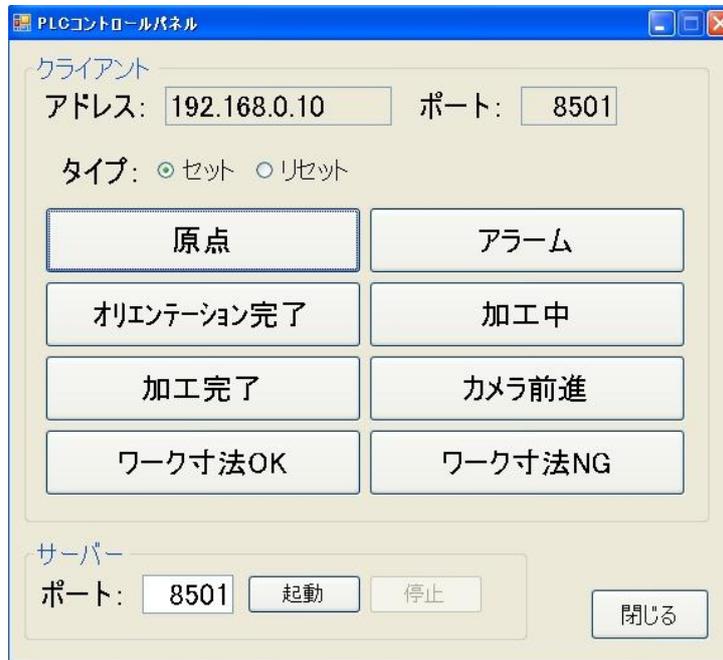
機上測定の結果はエクセルシートに吐き出す仕様とした。吐き出されたデータは最大値と最小値、差異を表記し、事前にパラメーターで決めておいた公差内に差異が入っていれば「OK」表記、入っていなければ「NG」表記とした。

Summary	
測定日時	2012/12/26 20:25:09
最小直径	0.48256
最大直径	0.48758
差	0.00502
合否判定	NG
位置[mm]	直径[mm]
0.30110	
1.39210	0.48256
2.54750	0.48354
3.64070	0.48758
4.73620	0.48666
5.82720	0.48587
6.98490	0.48339
8.07810	0.48715
9.17130	0.48622
10.00000	0.48432

機上測定データ

また、特定形状における従来加工方法との比較（コスト・時間・歩留まり）の検証のための情報収集も行った。

今回開発した自動化装置と机上測定システムは常時補正制御プログラムと PLC プログラムにより連動させ、1 サイクル内での完結を目指した。



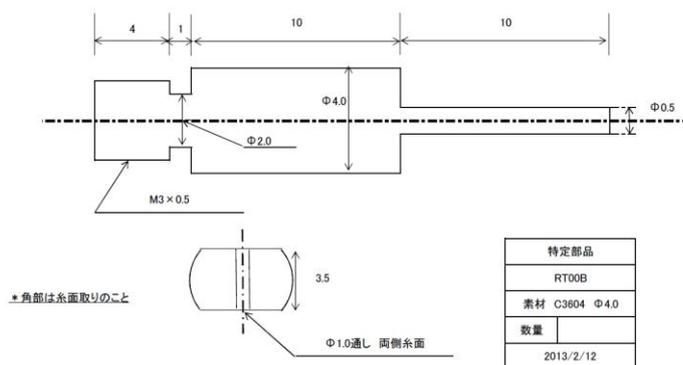
PLC 設定画面

2) 量産試作品の評価

特定部品において 20 個の連続切削テストを行った。

結果は寸法対して OK が 19 個、NG が 1 個と歩留まりが目標の 5% 以下であった。

加工時間及びコストに関しては、従来の 11 工程から 2 工程へと大幅に短縮できたことから、目標を達成したものと考えられる。



特定部品図面と加工サンプル

第3章 全体総括

内視鏡や外科手術に使用される鉗子等は、近年小型化ニーズが高まっている。

しかし、微細切削加工部品においては、従来のNC旋盤加工では微細かつ長尺な加工を行うと加工面や材料そのものが弾性変形を起こしてしまい、精度不足や曲がりといった不良品を頻発してしまう。このため設計開発段階から技術的に回避する手段をとっており、これらがコスト高、安全性低下、さらなる小型化に弊害をもたらしている。

本研究開発では微細長尺を含む部品の旋盤によるワンチャック加工を目的とした、刃先の弾性変形に対応する新たな補正制御システムの開発を目指し推進してきた。

微細加工に特化した加工条件と工具開発においては、最適な条件下で加工することで、弾性変形率を最小に抑制することに成功し、補正制御に関しては、補正をかけない状態と仕上げ状態に大差はないものの、工具摩耗時や繰り返し精度の誤差に対して非常に有効性があるものと確認された。

しかし、補正制御の出力に関しては電圧誤差による微小な誤作動が確認されており、今後出力の仕方を原理的に見直す必要があるなど課題も残った。

量産化仕様については特に機上測定に成果があった。

製品の特性上、加工後の取扱いによる変形を避けたいとの理由から、加工工程内に測定工程を組み込んだが、結果として製品毎に検査データを取得することが可能になり、医療機器部品等製品のトレーサビリティや個体管理に非常に有効であることが確認できた。また、量産化仕様を含めた補正制御システム搭載のマイクロNC旋盤自体が小型なため、クリーンルーム内や研究所への設置も容易であり、将来的には設備の販売も検討される。

医療機器業界での情報収集からは、カテーテルや内視鏡カメラの微細化に伴い、腹腔鏡下手術の技術が著しく向上している昨今、更なる微細化のニーズが高まっていることが分かった。

しかし、その一方で製品の特性故に更なる小型化と安全性を両立する点で、技術的な課題に直面している状況であることが察せられた。そうした状況の中で、本技術開発に対して非常に興味を持っていただき、今後医療業界発展に寄与出来ることを確信した。

また、事業化については現在医療系から試作について問い合わせがあり、準備中である。その他にはタングステン材による手術鉗子用微細加工、純金材による電気メス、医療用分析装置のニードル等のニーズがある。

医療業界以外では、マイクロモーター用の軸、特殊プローブ等の案件も問い合わせが来ている。

エムテックでは現在ISO13485（医療機器）の取得準備中で本年10月中の認証取得を計画している。本研究開発の成果とISOによる管理にて、次年度中の医療機器業界への参入を目指す。また、医療業界においては開発される新製品の製造のほとんどがドイツであることから、年内のドイツ現地法人設立も視野に入れて活動していく。