

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

微小振れツール製作システム開発

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人埼玉県中小企業振興公社

目 次

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 - 2	研究体制	2
	(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
1 - 3	成果概要	6
1 - 4	当該研究開発の連携窓口	6
第 2 章	本 論	7
最終章	全体総括	24

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

市場が要求する製品の精度は益々、精密化している。製品の大きさに関わらず、大きな製品でも小さな製品でもその寸法公差は、5年前と比較し、一桁近くの高度化を求められている。現在まで、工作機械の高度化やCAD/CAMのようなサポートソフトの進化に目が振り向けられていたが、機上で振れ量や、ツール先端位置の座標が測定可能になったことで、振れや、座標変化が製作された製品の最終的な精度との相関関係が可視化出来るようになったことで新たなステージの解決すべき問題が、確立されたと言える。

1-1-2 研究開発の目的

ツール先端の振れについては現状では避けることができない。原因は物理的に避けることができない、摺動部分のクリアランスであり、この要因は実際の加工現場においても、市販されているツール自体の加工現場でも発生してしまう。しかし、これらの振れには必ずダイナミックバランスによる再現性があり、この特性を利用することで、総合的な振れを極小にすることが可能である。即ち、加工に使用するスピンドルにツールの原材料を取り付け、その状態でツールを製作することによって、スピンドルにツールとなる材料をセットした状態で刃物の研削を行い、後述するような製造工法で、総合的な振れを物理的にキャンセルする手法である。

理化学研究所の実験結果では、平均33ナノメートルの振れに留まっている。

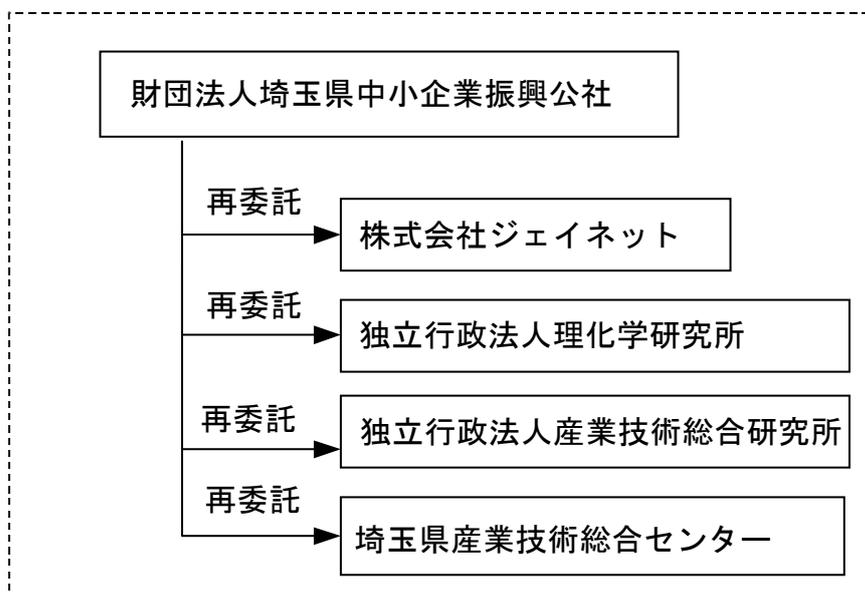
1-1-3 研究の目標

振れが極小のツール／スピンドルのセットを製作可能なシステムを開発し、それを用いて加工を行う工法を確立することで、今までの加工技術、概念とは全く次元が違う加工精度、加工時間、加工仕上がりを誰にでも簡単に行える環境を作り、200億円の市場を切り拓くと共に、日本の製造技術の底上げと中小企業の戦力の向上を併せて狙う。技術的な目標値はツール+スピンドルの総合的な振れの値が先端部分において0.5 μ m未満を目指す。

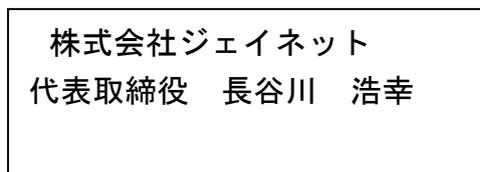
1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

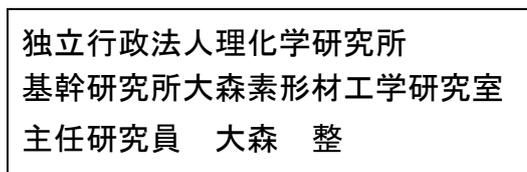
1) 研究組織（全体）



統括研究代表者（PL）



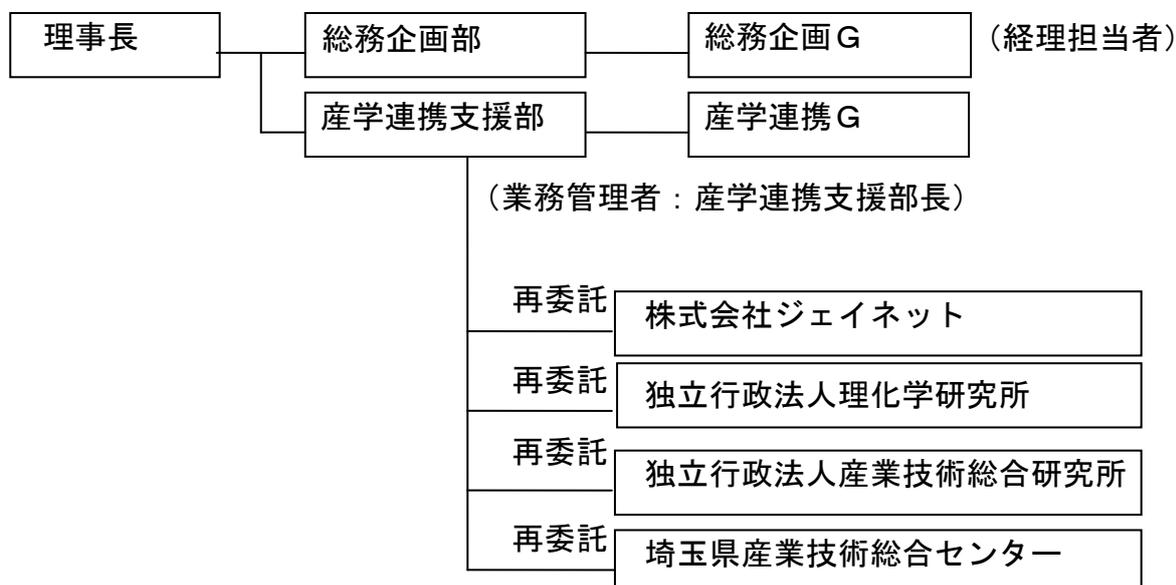
副統括研究代表者（SL）



2) 管理体制

①事業管理者

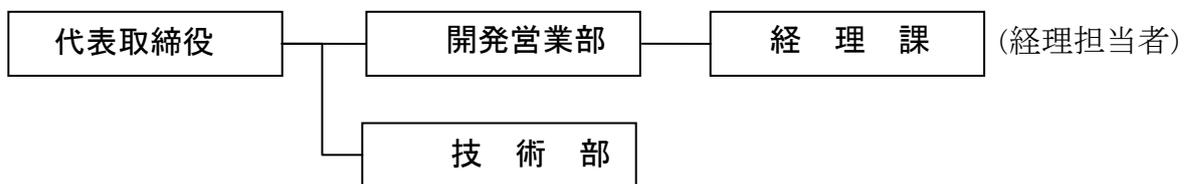
[財団法人埼玉県中小企業振興公社]



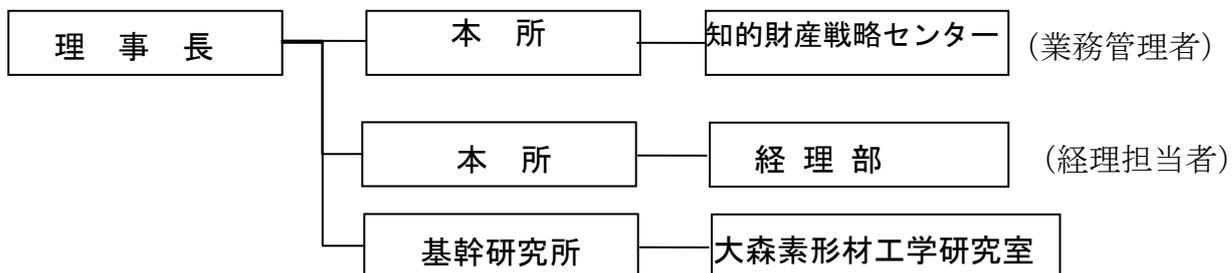
②再委託先

[株式会社ジェイネット]

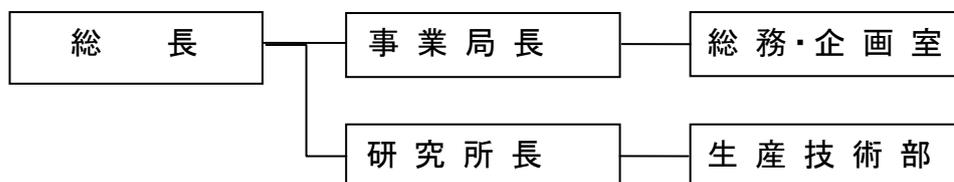
(業務管理者：開発営業部長)



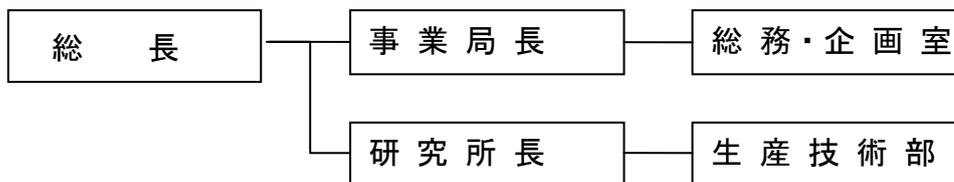
[独立行政法人理化学研究所]



[独立行政法人産業技術総合研究所]



[埼玉県産業技術総合センター]



1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人埼玉県中小企業振興公社（管理員）

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高橋 法幸	産学連携支援部産学連携グループ 主査	⑥
浪江 治	総務企画部総務企画グループ グループリーダー	⑥

【再委託先】（研究員）

株式会社ジェイネット

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
長谷川 浩幸	代表取締役	① ② ③
清水 利之	開発営業部長	① ③ ④ ⑤
鈴木 良英	顧問	① ② ③

独立行政法人理化学研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
大森 整	基幹研究所大森素形材工学研究室主任研究員	① ② ④ ⑤
片平 和俊	基幹研究所大森素形材工学研究室研究員	① ② ④ ⑤
梅津 信二郎	基幹研究所大森素形材工学研究室研究員	① ② ④ ⑤

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
尾崎 浩一	デジタルものづくり研究センター 加工基盤技術研究チーム チームリーダー	② ④ ⑤
碓井 雄一	デジタルものづくり研究センター 加工基盤技術研究チーム	② ④ ⑤

埼玉県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
南部 洋平	研究所生産技術部機械加工担当主任	① ② ④ ⑤

1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理者）

財団法人埼玉県中小企業振興公社

（経理担当者） 総務企画部総務企画グループ グループリーダー 浪江 治

（業務担当者） 産学連携支援部長 山本 誠

（再委託先）

株式会社ジェイネット

（経理担当者） 経理課 長谷川 君江

（業務担当者） 開発営業部長 清水 利之

独立行政法人理化学研究所

（経理担当者） 経理部会計課 川鍋 隆

（業務担当者） 大森素形材工学研究室 佐々木 慶子

独立行政法人産業技術総合研究所

(経理担当者) 財務会計部門経理室室長 宮本 晃之
 (業務担当者) デジタルものづくり研究センター 尾崎 浩一
 加工基盤技術研究チーム チームリーダー

埼玉県産業技術総合センター

(経理担当者) 総務・企画室 研究企画担当 中山 智子
 (業務担当者) 研究所生産技術部機械加工担当主任 南部 洋平
 加工基盤技術研究チーム チームリーダー

1-2-4 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
大森 整	独立行政法人 理化学研究所 基幹研究所大森素形材工学研究室 主任研究員	SL
長谷川 浩幸	株式会社 ジェイネット 代表取締役	PL
尾崎 浩一	独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター 加工基盤技術研究チーム チームリーダー	
南部 洋平	埼玉県産業技術総合センター 研究所生産技術部機械加工担当主任	
高橋 法幸	財団法人埼玉県中小企業振興公社 産学連携支援部産学連携グループ主査	
錦織 浩治	財団法人埼玉県中小企業振興公社 産学連携コーディネータ	

1-2-5 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望する

1-3 成果概要

脱着可能なスピンドルの開発

総合的な振れをキャンセルするために、精密ツール製造装置において、スピンドルに取り付けた材料でツールを製造し、且つ、その材料（ツール）をスピンドルに取り付けたまま加工機械に載せて加工を行える必要がある。このために今までにない精度の高い脱着可能なスピンドルを新たに製作する。

精密ツール製造装置の選定・改造・導入

（実施：株式会社ジェイネット 独立行政法人理化学研究所 独立行政法人産業技術総合研究所 埼玉県産業技術総合センター）上記①で製作されたスピンドルをそのまま載せられる精密ツール製造装置を改造等の手段により製作する。

専用機上測定器の開発・試作（実施：株式会社ジェイネット）

今回開発するスピンドル先端に取り付けるツールの形状と振れ値を測定する際に、現在存在する機上測定器とは異なった測定項目が存在するため、またツールの製造工程においては、限られたスペースに設置しなければならないため、新型の機上測定器を製作する。

精密ツール製造装置を使用した加工テスト

（実施：株式会社ジェイネット 独立行政法人理化学研究所 独立行政法人産業技術総合研究所 埼玉県産業技術総合センター）製作された精密ツール精密ツール製造装置において、実際にツールの加工テストを行う。

精密ツール製造装置における加工技術の構築

（実施：株式会社ジェイネット 独立行政法人理化学研究所 独立行政法人産業技術総合研究所 埼玉県産業技術総合センター）

総合的な振れをキャンセルする本製造技術は今までにない試みであるため、新たに加工技術を確立する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

（管理人）

財団法人埼玉県中小企業振興公社

産学連携支援部産学連携グループ 主査 高橋 法幸

〒330-8669 埼玉県さいたま市大宮区桜木町1丁目7番地5

TEL 048-857-3901 FAX 048-857-3921

E-mail noriyuki@saitama-j.or.jp

（統括研究代表者）

株式会社 ジェイネット 代表取締役 長谷川 浩幸

〒343-0002 埼玉県越谷市平方2083-1

TEL 048-9731030 FAX 048-973-1033

E-mail hiro@jng.co.jp

第2章 本論

【1】 振れの排除に関する研究・試作

振れの排除を目的とした開発項目である。技術的な目標値はツール+スピンドルの総合的な振れの値が先端部分において $0.5\mu\text{m}$ 未満を目指す。

【1-1】 脱着可能なスピンドルの開発

【1-1-1】 専用スピンドルの設計・試作



設計・試作の結果、上記のスピンドルが完成した。

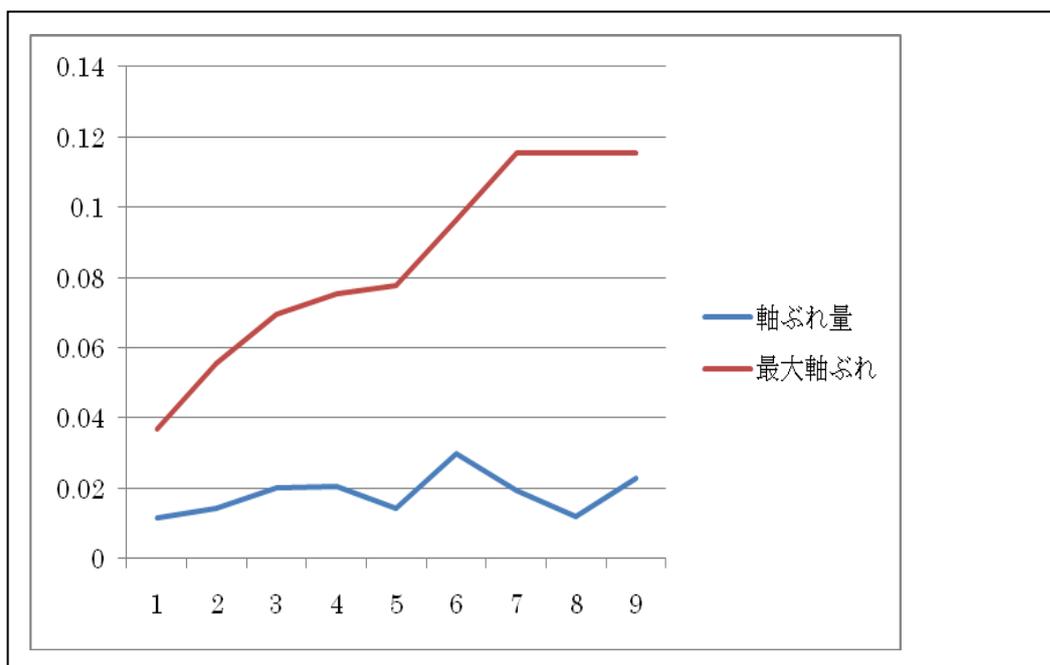
仕様 最大回転数：100,000 r p m

冷却 : エアー+ミスト

チャック : ワンタッチで脱着可能

【1-1-2】 試作専用スピンドルの評価

新規制作された、スピンドルに原器（シャンク 3mm 、振れ $0.1\mu\text{m}$ 未満）をコレットで取り付け、回転させ動的精度を確認した。結果は次の通り。



測定結果（測定値は全て最高回転数の 100,000 r p m で測定）

振れ : 0.118 μ m

先端伸び : 8 μ m

先端倒れ : 2 μ m

【1-2】 精密ツール製造装置の選定・改造・導入

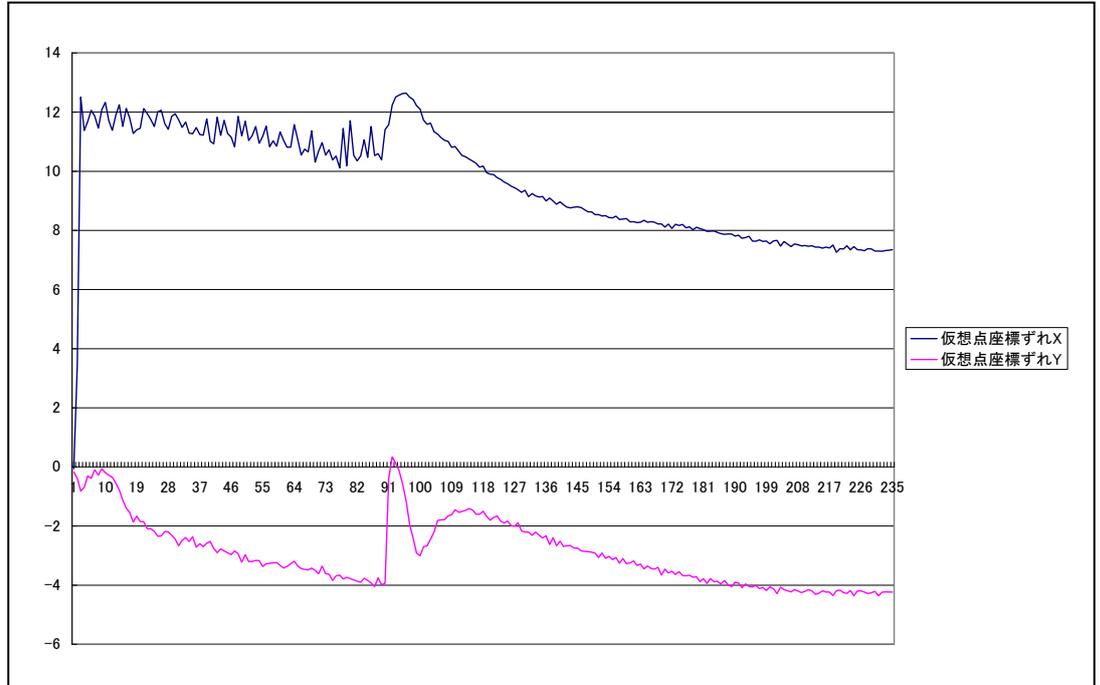
【1-2-1】 精密ツール製造装置の設計・試作

今回の研究・開発案件において取得されたデータ群と、一般市場の加工機械、及び一般的な加工技術との整合性を持たせるため、市場に多く出回っているマキノフライス製作所製の縦型マシニングセンター、V33i を選定し、専用スピンドル、ELIDシステム、専用機上測定器を付与することで、精密ツールを製造する最も適切な環境を整えた。

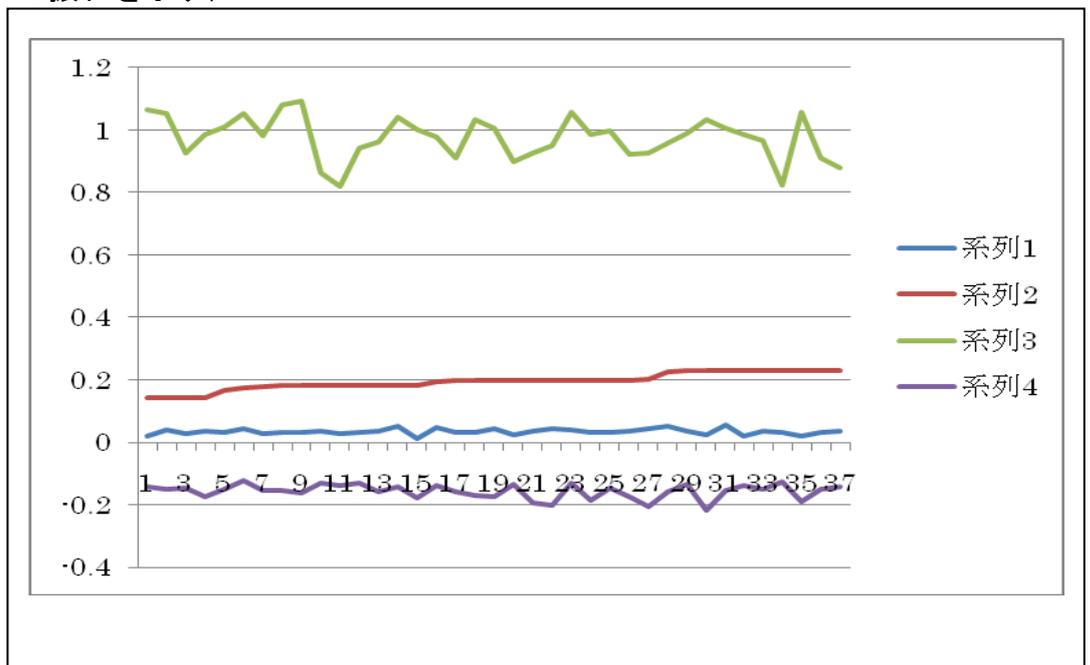


マキノ V33i 主要諸元 主軸回転 : 30,000rpm 移動量 (X/Y/Z) : 650×450×350mm
 テーブル上の最大積載重量 : 300 k g 早送り速度 : 20,000mm/min
 自動工具交換装置 (収納本数) : 15 本
 機械の大きさ (幅×奥行き×高さ) : 2,350×2,325×2,400mm
 機械質量 (制御装置含む) : 7,700 k g

【1-2-2】 精密ツール製造装置の評価



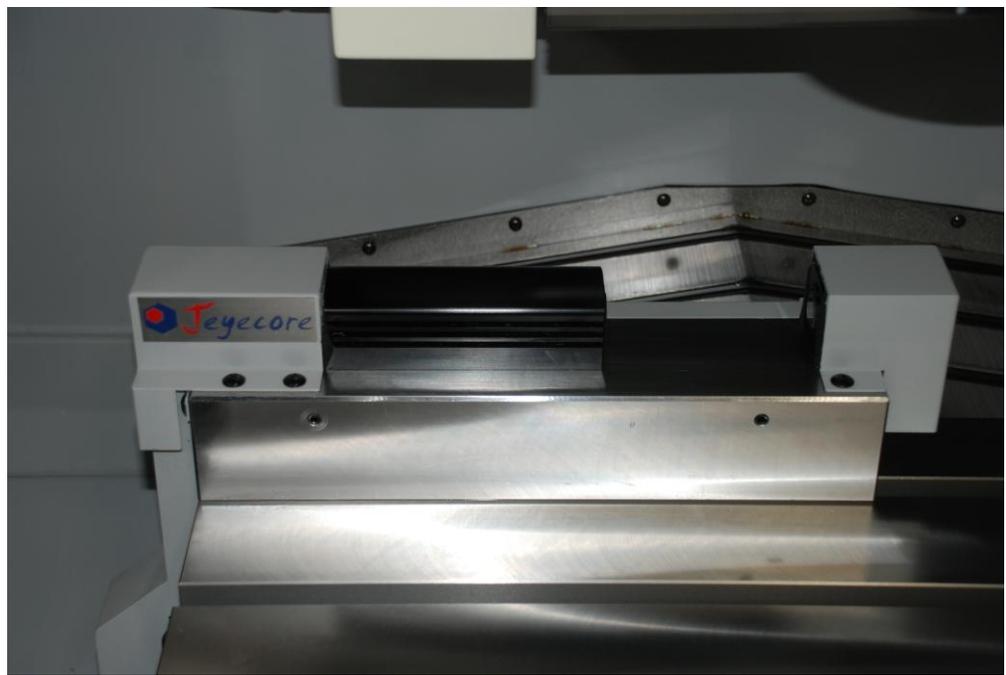
納品されたV33i をゼロ回転からスタートさせ次第に回転数を上げ、30,000回転まで上昇させた。結果12分で変位がサチュレート（飽和）し安定した。（上図参照）値は、次の通り
 加工機械におけるY方向 : 7.8 μm
 加工機械におけるZ方向 : 4.2 μm
 また、下図のように最大の振れも1ミクロンであった。（緑の線が最大の振れを示す）



【1-3】 専用機上測定器の開発・試作

【1-3-1】 測定機のハード設計・試作

切削油、切削液が大量にかかると予想されるため、本体自体に防水機能を持たせ（IP規格68・10気圧防水仕様）、カバーを廃止、更にレンズ部分を突起させることで液だれ、油膜を防ぐ構造とした。



加工テーブルの左奥に設置された新型測定機

新型測定機の主要諸元

内部分解能：10nm

表示分解能：10nm

測定方式：CCD撮像方式（透過型 緑色バックライト）

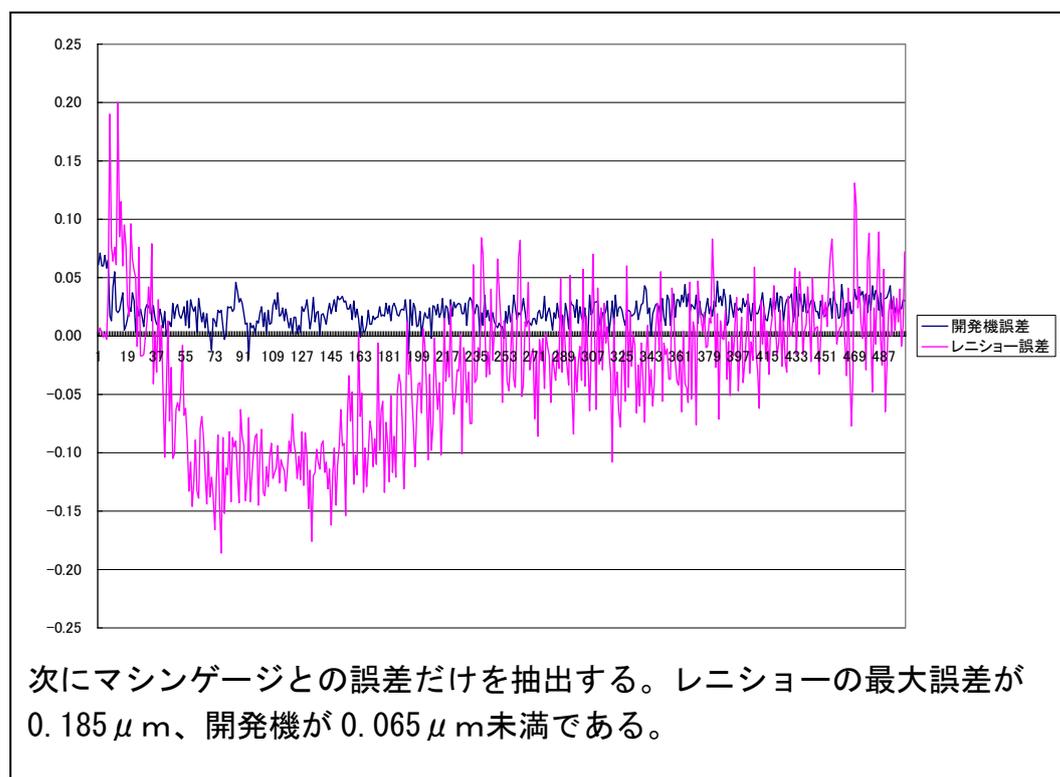
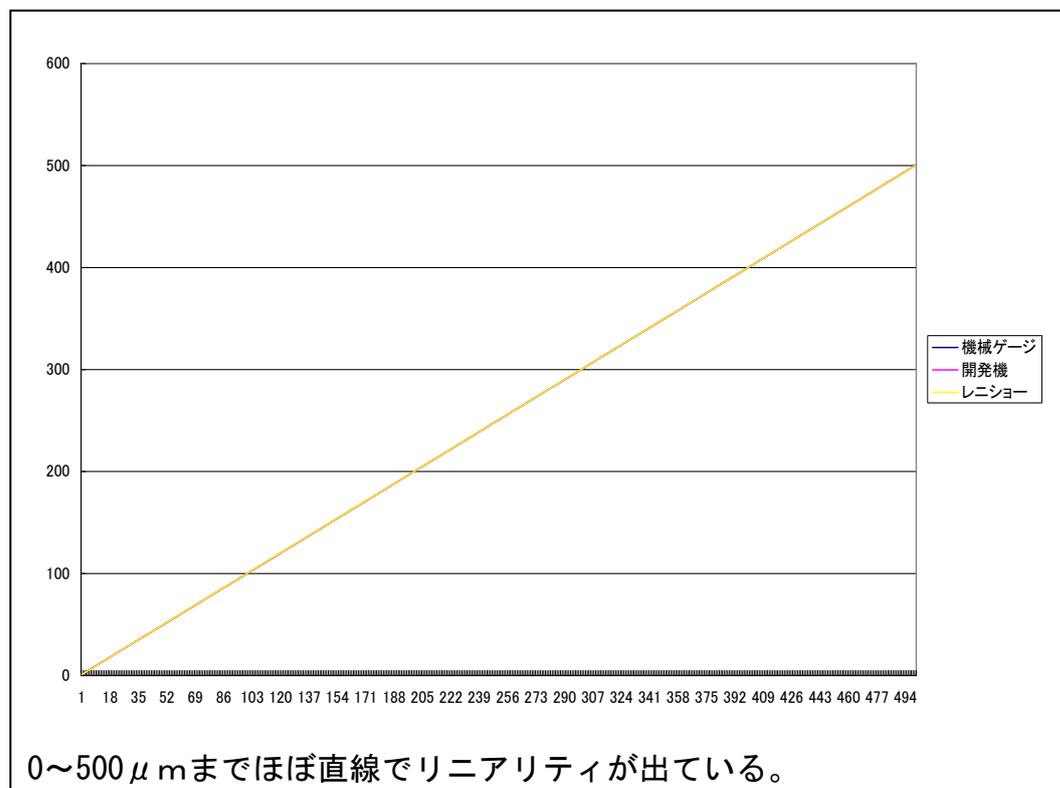
最小測定寸法：10 μ m

最大測定寸法：100mm

【1-3-2】 測定機のソフト設計・試作

最終的に自動で測定及びフィードバック加工を目標とする為に、自動認識ソフト及び、通信機能を追加した。

下記に加工機の主軸を0~500 μ mまでを機械のゲージで動かし、今回の開発機と現在、測定においてデファクトスタンダードである、レニショーのレーザ測長機との測定結果を示す。



【1-4】 精密ツール製造装置を使用した加工テスト

【1-4-1】 評価テスト・項目/スケジュール作成

評価テストの項目

- ① 材料から、研削により成型し振れを測定する。
- ② 上記①により製作された、ツールを半月状に加工し振れを確認する。
- ③ 上記②により製作された、ツールで実際に加工を行い、仕上がったワークをSEMで検証する。
- ④ 一度、ツールをスピンドルより離し、再度固定させたツールの振れを測定する。
- ⑤ 上記④にて固定されたツールで実際に加工を行い、仕上がったワークをSEMにて検証する。

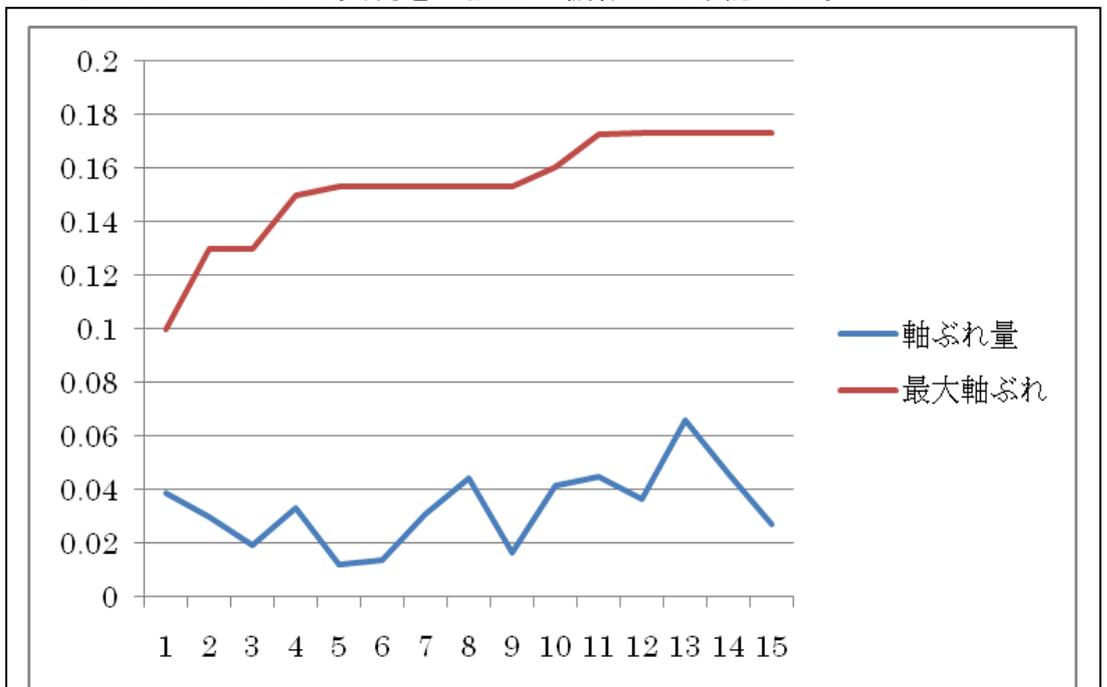
【1-4-2】 実地製作評価試験（実際にツールを製作する）

V33i に新しく製作されたスピンドルを取り付けELID研削システムを使用し、実際にツールを製作する。

- 1 材料をELIDシステムにて研削する。
- 2 先端を半月形形状に加工し、刃物として使用できるようにする。
- 3 振れの測定を行う
- 4 実際に加工を行う。
- 5 ツールをチャックし直す
- 6 振れの測定を行う
- 7 実際に加工を行う

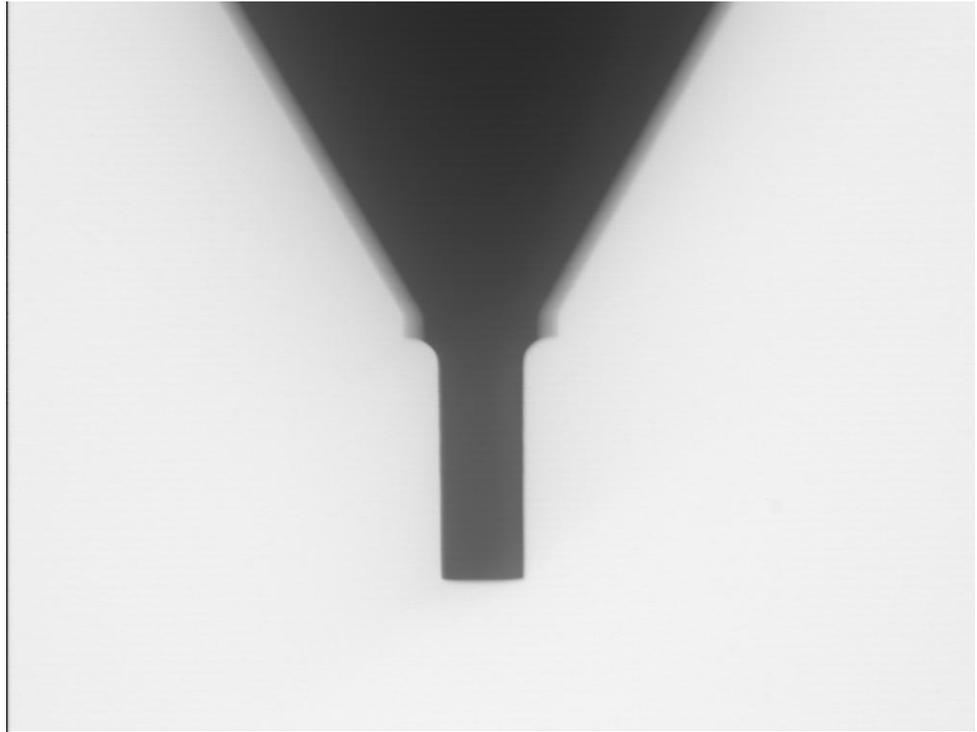
① 振れ測定 振れ量：240nm（先端位置）

この結果から当初の最大振れ目標 0.5μ （500nm）未満を大幅に超えるスペックの実現を一般加工機械上で確認した。



赤い線の最大が 0.175μ 、青い線の最大が 0.065μ であるから最大でも 240nm 未満であることを検証した。

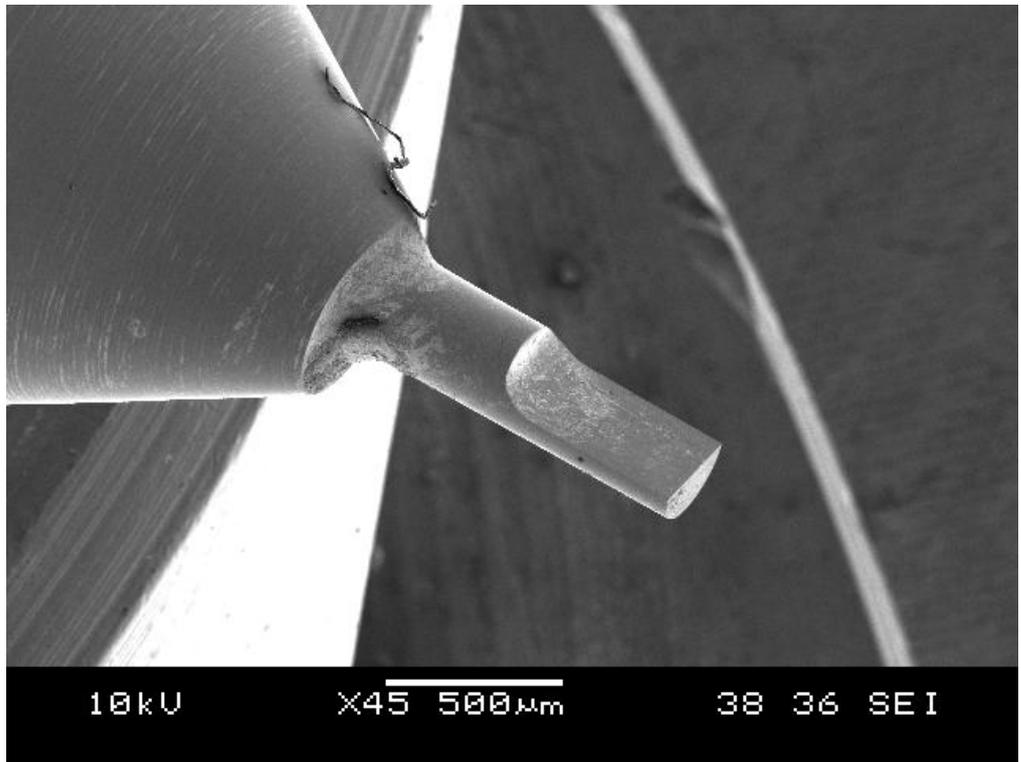
実際に製作されたツール



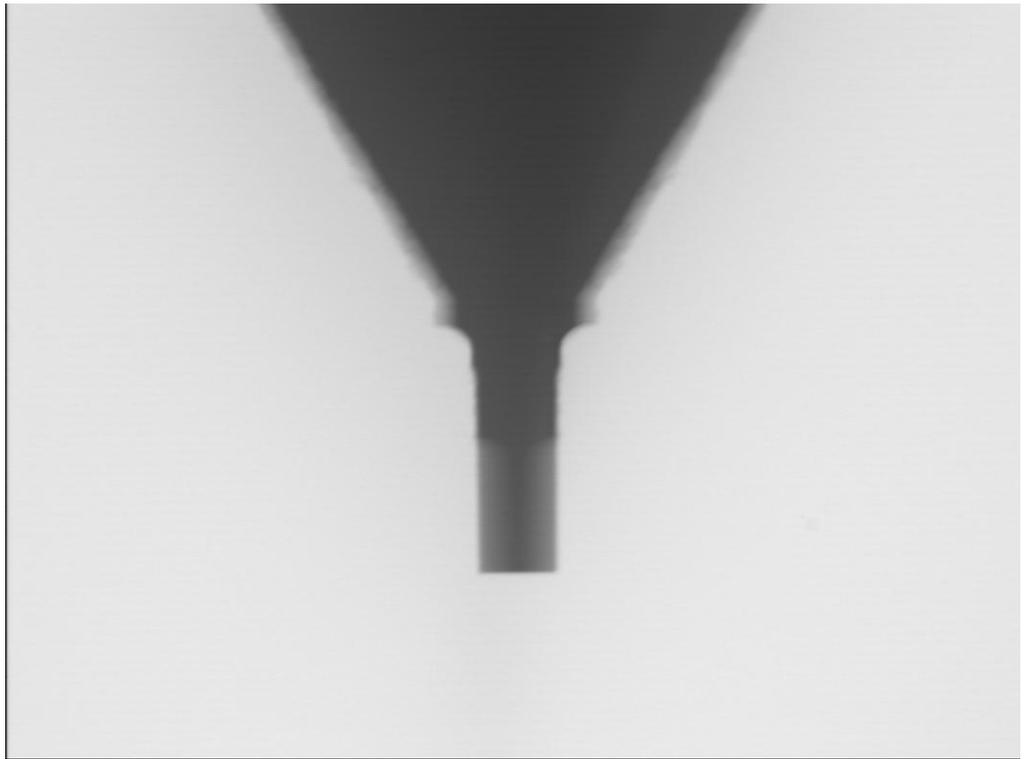
100,000 r p mでの画像 根本の三角形の稜線がぼやけていることからツールが全体的には振れているのが確認できる。一方先端に振れが無いのも確認できる。

② 半月形状の製作

SEM画像

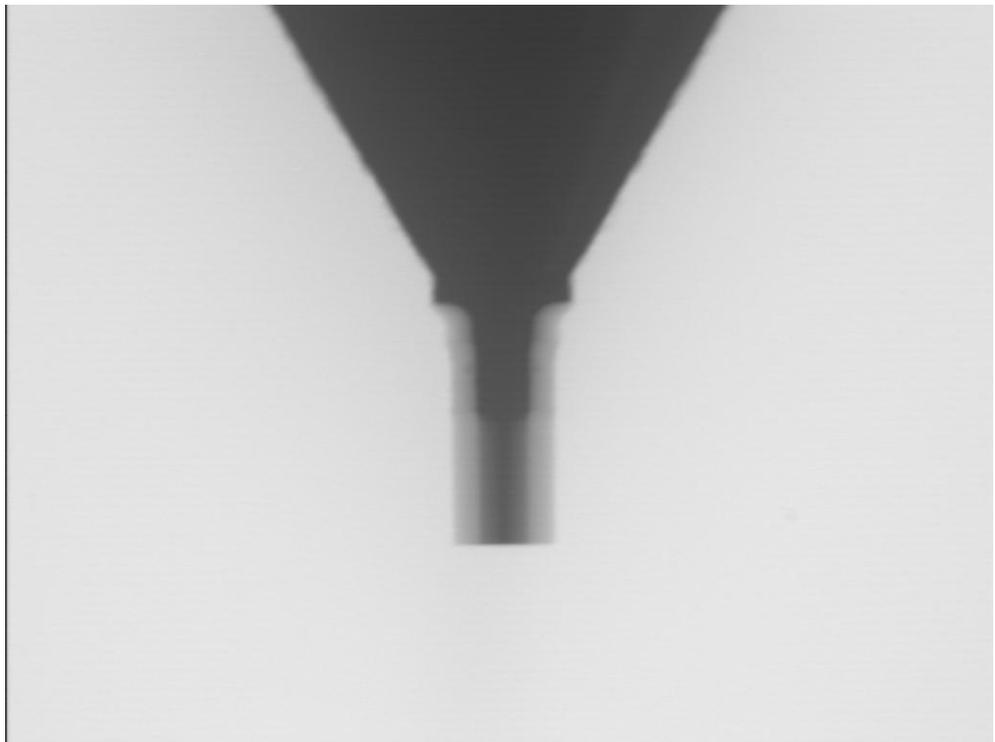


上記のような形状に加工を行った。目で見ても分かるように先端のセンターがオフセットしている。これは、ツール母材自体が振れ、及び傾き等で実際の回転軸と同芯でないことが原因である。



SEM画像と同一のツール。実際に回転させると写真の様に先端には振れが起きない。振れ量：240nm（先端位置）

- ③ 実加工及びワーク検証、及び⑤の検証については、比較データとして後述する。
- ④ 再チャックツールの振れ測定



上記のように目視でも先端の振れが大きいことが確認できる。
上記の振れの無い状態と比較参照されたい。

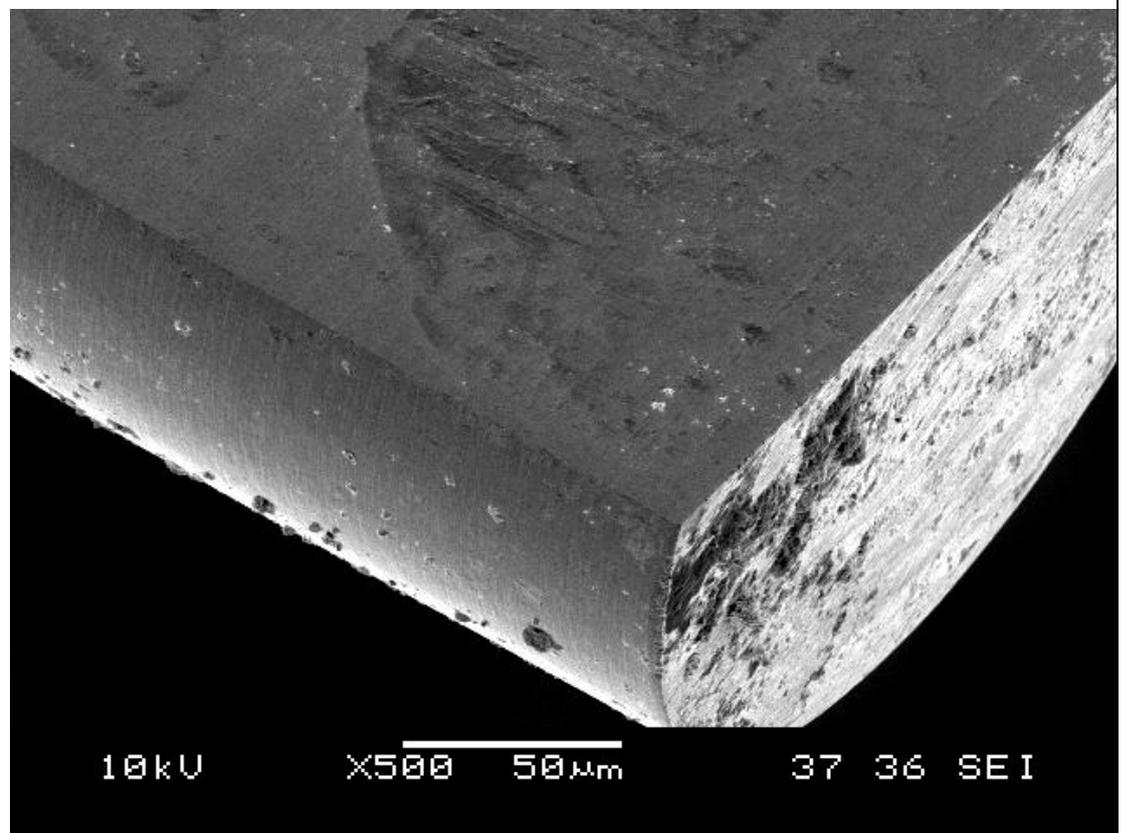
③および⑤ 実加工されたワークの比較

以下に、振れの無いツールで加工したものと、再チャックし振れが発生しているツールでの加工テストを行う。

- 1 砥石番手 8000 番にて製作された振れの無いツールでアルミ材質に対して溝加工を行う。
- 2 砥石番手 8000 番にて製作されたツールを一度チャックから離し、再チャックさせ、振れのある状態でアルミ材質に対して溝加工を行う。

(尚、振れ有りのツールは、同一回転数の場合、折損がすぐに起こってしまう為に、加工回転数を半分にし、切り込み量、送り量も比例的に落とした。)

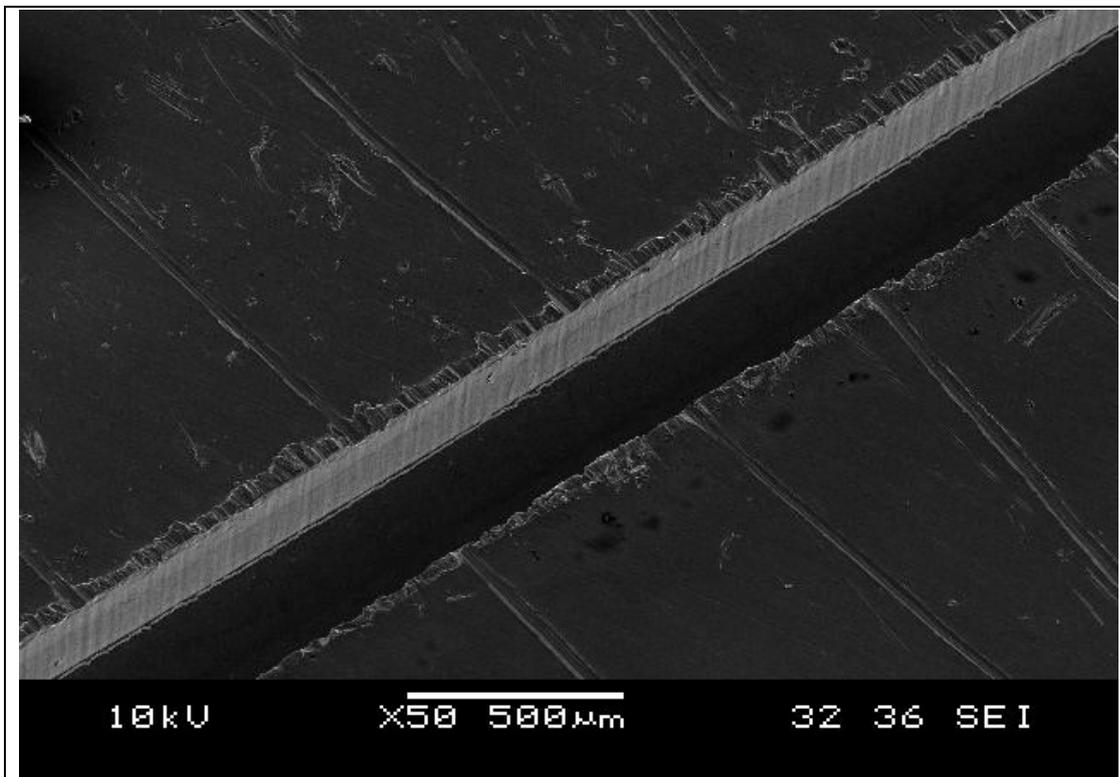
製作されたツール SEM 画像



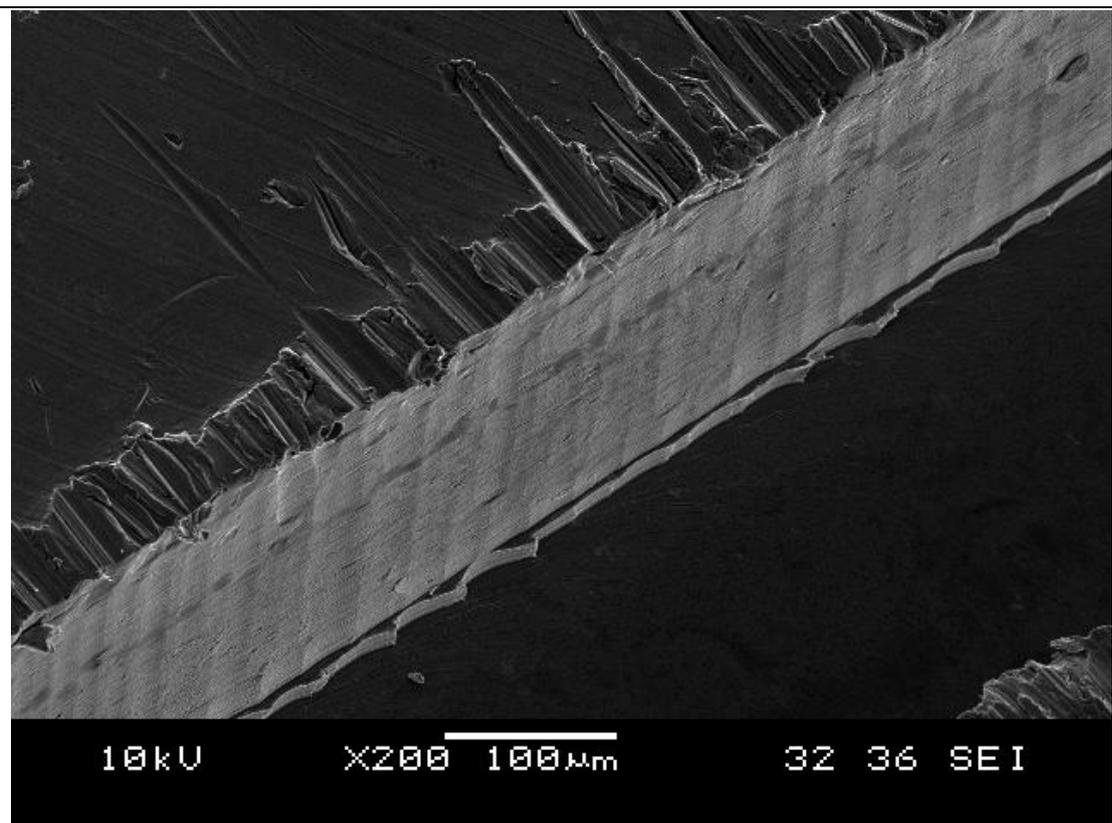
加工されたツールの稜線がきれいに生成されているのが確認できる

加工済みワーク SEM 検証画像

1 振れ無し (80,000 r p m) アルミ

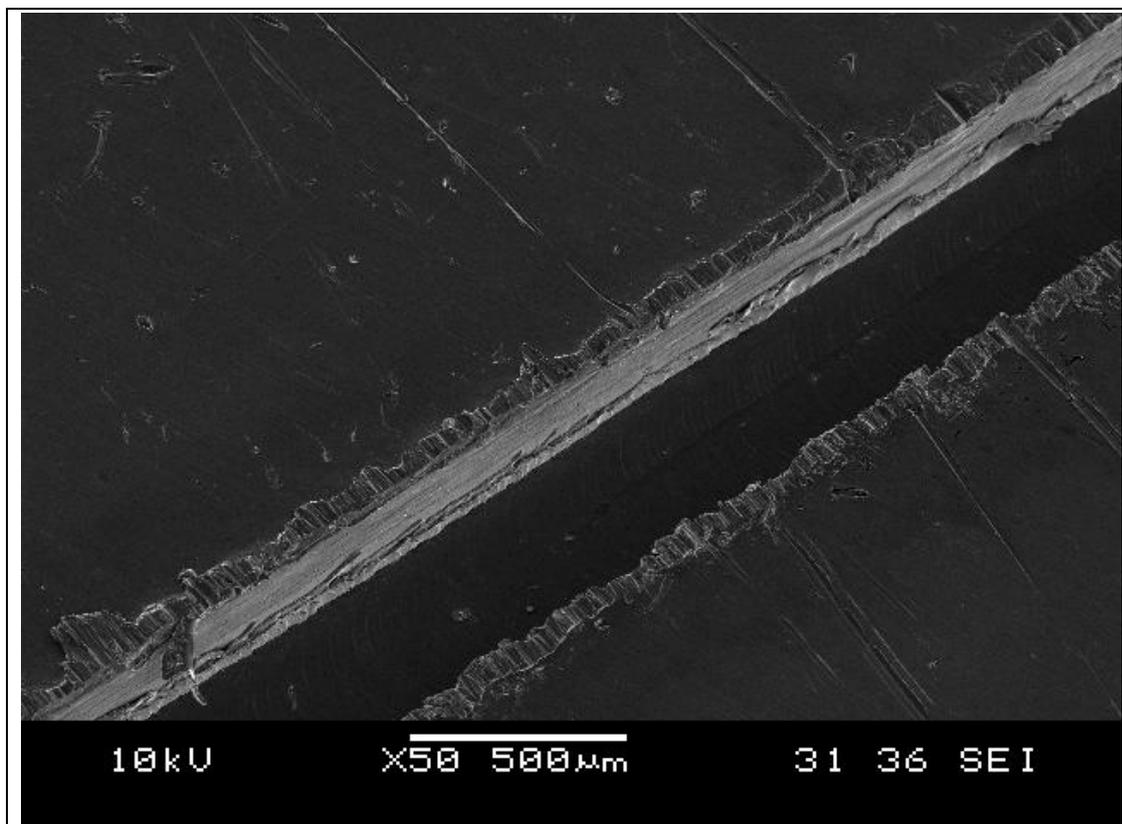


砥石番手 8000 番で $\phi 300 \mu\text{m}$ に仕上げられたツールにて切削、溝幅は、平均 $301 \mu\text{m}$ であり、切削面も非常に良好。10 回同じ加工を行うが、刃物へのダメージは確認できなかった。

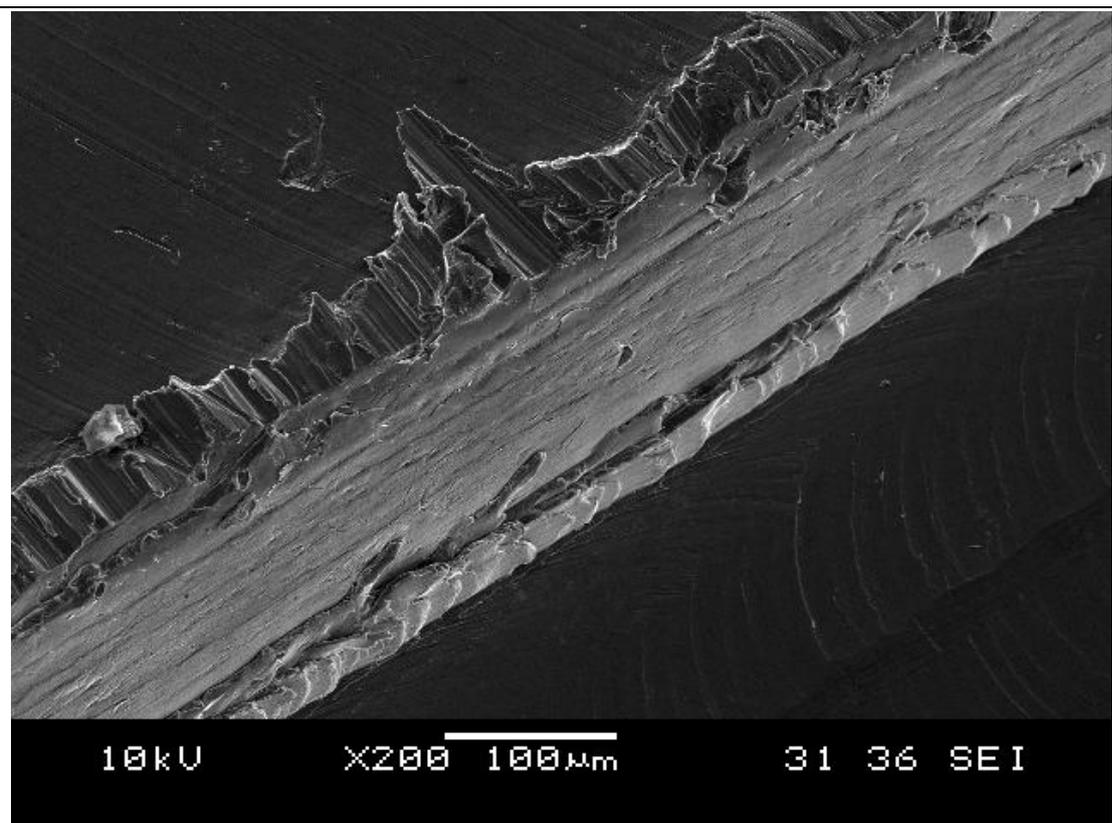


上の写真の拡大写真 200 倍

2 振れ有り (40,000 r p m) アルミ



上と同じツールで切削、溝幅は平均 480 μm で、所々に歪れた様な切削面が確認できる。4 回目の加工時に折損。



上の写真の拡大写真 200 倍

- 【1-4-3】 評価試験検討及び対策立案
上記の様に、切削加工における刃物の振れが及ぼす結果から次の事柄が検証された。

- 1 加工精度の悪化
振れを含む刃物径で切削されてしまうために加工精度が出ない。実際の切削寸法は、振れを含む外径と一致する。
- 2 加工仕上がりの悪化
刃物が断続的に当たる為に切削面が非常に粗くなる。
- 3 切削抵抗の増大
振れ回りが大きくなるために、切削抵抗が増大する。その為、刃物の寿命が大幅に落ちる。上記の刃物径のレンジの場合、寿命は振れの無い理想的な状況と比較すると平均 30%未満となる。
- 4 加工速度の低下
刃物が断続的に当たり切削を行うことで、平均的に当たる振れの無い理想的な状態から比較すると、上記の刃物径の場合、 $100\mu\text{m}$ 程度の振れで、 $1/2\sim 1/3$ 程度に低下する。

【1-5】 精密ツール製造装置における加工技術の構築

【1-5-1】 加工技術構築における、項目/スケジュール作成

前述の検証結果を含め、加工技術構築・検証の製作に展開する。尚、本年度のフェイズでは、ツールへの溝入れ加工を行わない。故にドリルでの深穴加工、エンドミルでの底面加工は切り子の排出が出来ないため、それらを排除した技術検証を行う。

- 1 先端が三角錐の刃物を製作し、ワークに接触させた時の振れを測定する。
- 2 振れの無い物、有る物で実際に穴あけを行い、実証試験を行う。
- 3 仕上げの検証を行う

【1-5-2】 加工技術構築のための実地製作

1 三角錐の刃物の製作

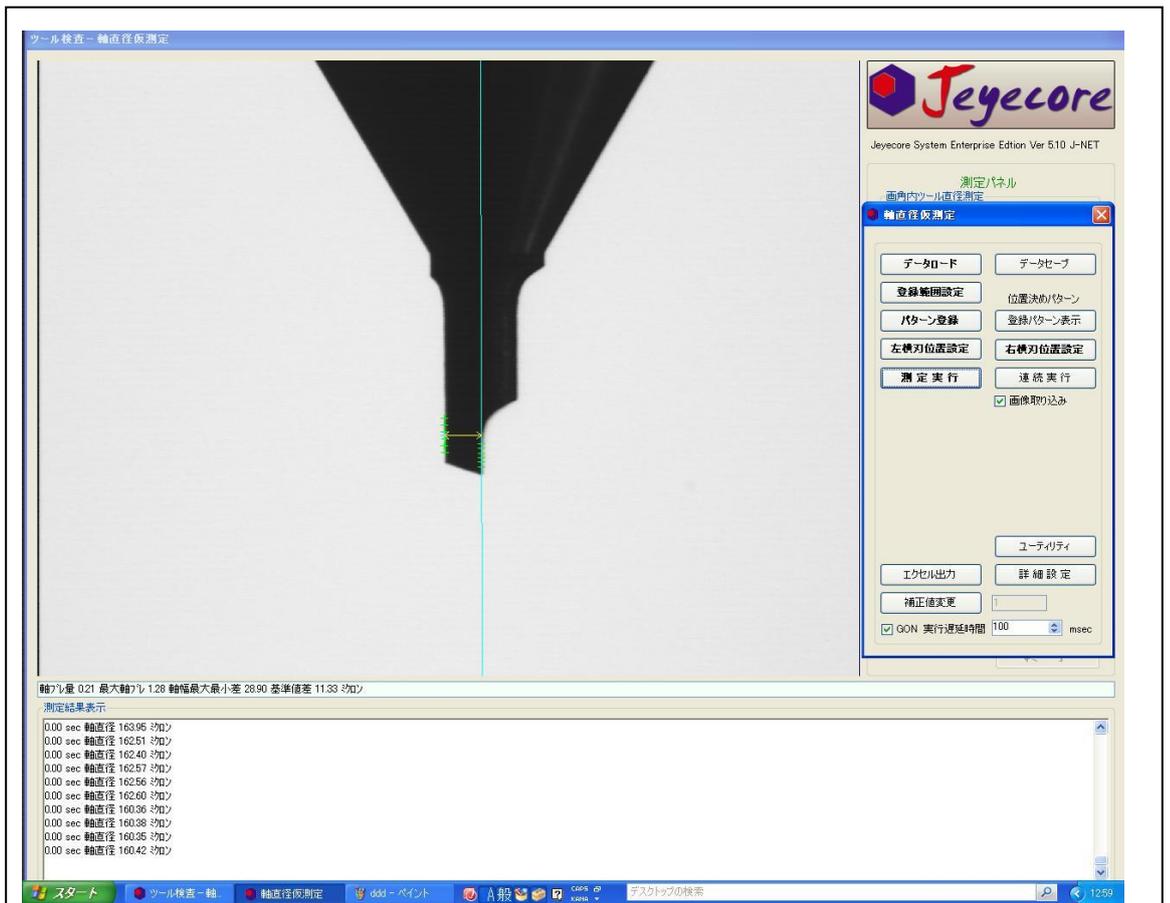
The screenshot shows the Jeyecore System Enterprise software interface. The main window displays a 3D model of a tool tip with a conical end. The control panel on the right includes buttons for 'データロード', 'データセーブ', '登録範囲設定', '位置決めパターン', 'パターン登録', '登録パターン表示', '左横刃位置設定', '右横刃位置設定', '測定実行', '連続実行', 'ユーティリティ', 'エクセル出力', '詳細設定', '修正値変更', and 'GON 実行遅延時間' (set to 100 msec). A data table at the bottom shows measurement results for various points on the tool tip.

軸方向	最大軸径	軸幅最大最小差	基準偏差
0.21	1.28	28.90	11.33

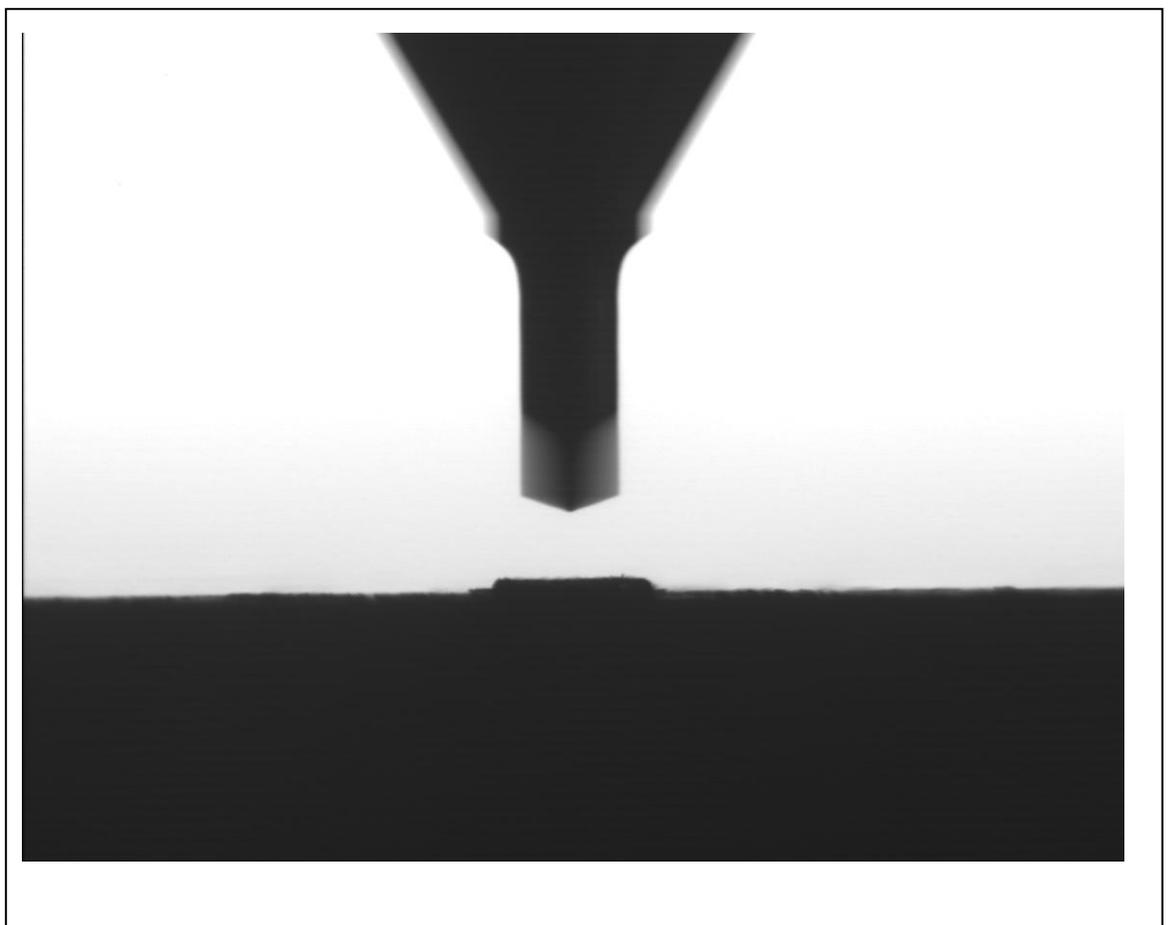
測定結果表示

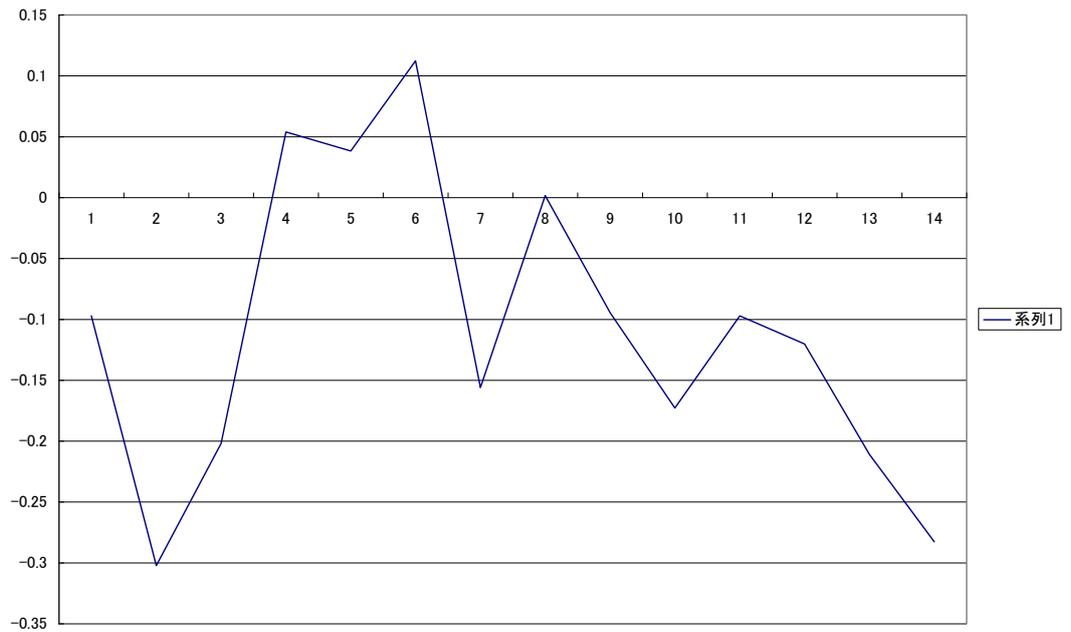
133.13 sec	エッジ点スレXY	-0.79	-26.54	距離	26.56	仮想点スレXY	0.27	1.32	距離	1.35	刃端	先端角度	141.40 度
137.05 sec	エッジ点スレXY	-0.69	-26.17	距離	26.18	仮想点スレXY	0.31	1.29	距離	1.32	刃端	先端角度	141.40 度
140.97 sec	エッジ点スレXY	-0.93	-27.02	距離	27.03	仮想点スレXY	0.31	1.36	距離	1.40	刃端	先端角度	141.42 度
144.89 sec	エッジ点スレXY	-0.70	-26.41	距離	26.42	仮想点スレXY	0.32	1.33	距離	1.37	刃端	先端角度	141.40 度
0.00 sec	エッジ点スレXY	-0.72	-26.29	距離	26.30	仮想点スレXY	0.30	1.37	距離	1.41	刃端	先端角度	141.44 度
3.59 sec	エッジ点スレXY	-0.63	-26.07	距離	26.08	仮想点スレXY	0.31	1.43	距離	1.46	刃端	先端角度	141.42 度
0.00 sec	軸直径	2601.7	刃端										
0.00 sec	軸直径	248.36	刃端										
0.00 sec	軸直径	318.61	刃端										
0.00 sec	軸直径	318.58	刃端										

先端を三角錐形状に加工を行った。(φ318μm)



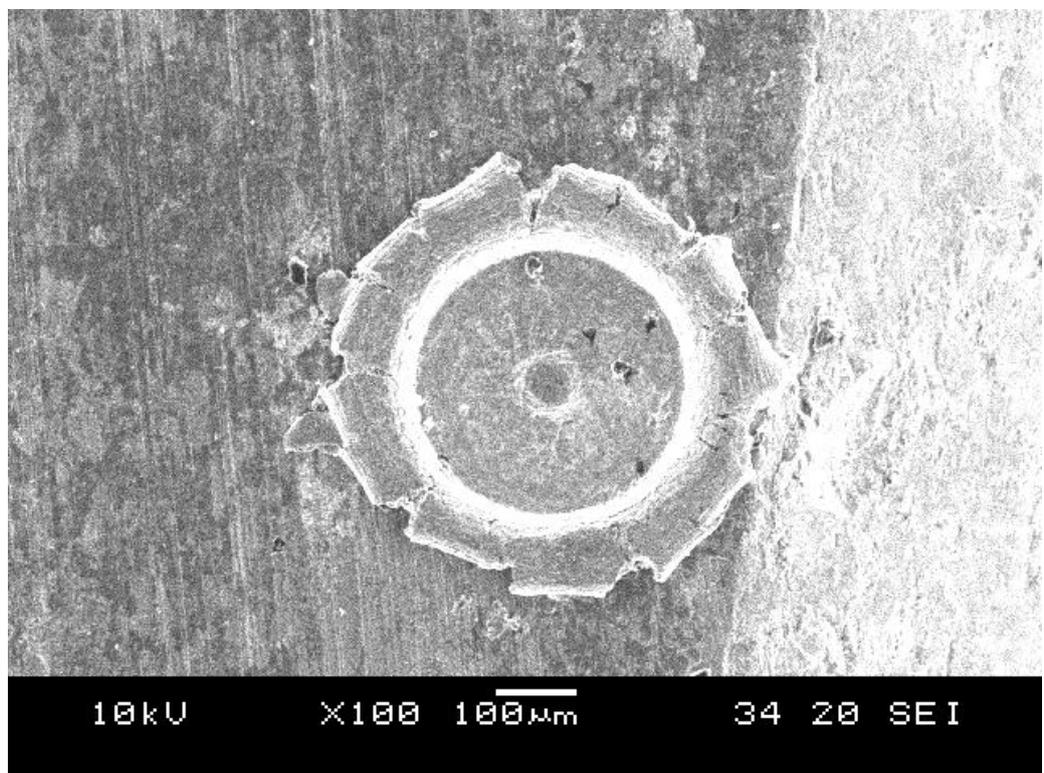
更に先端を半月形状に加工しドリルの代替品として使用可能な状態にした。



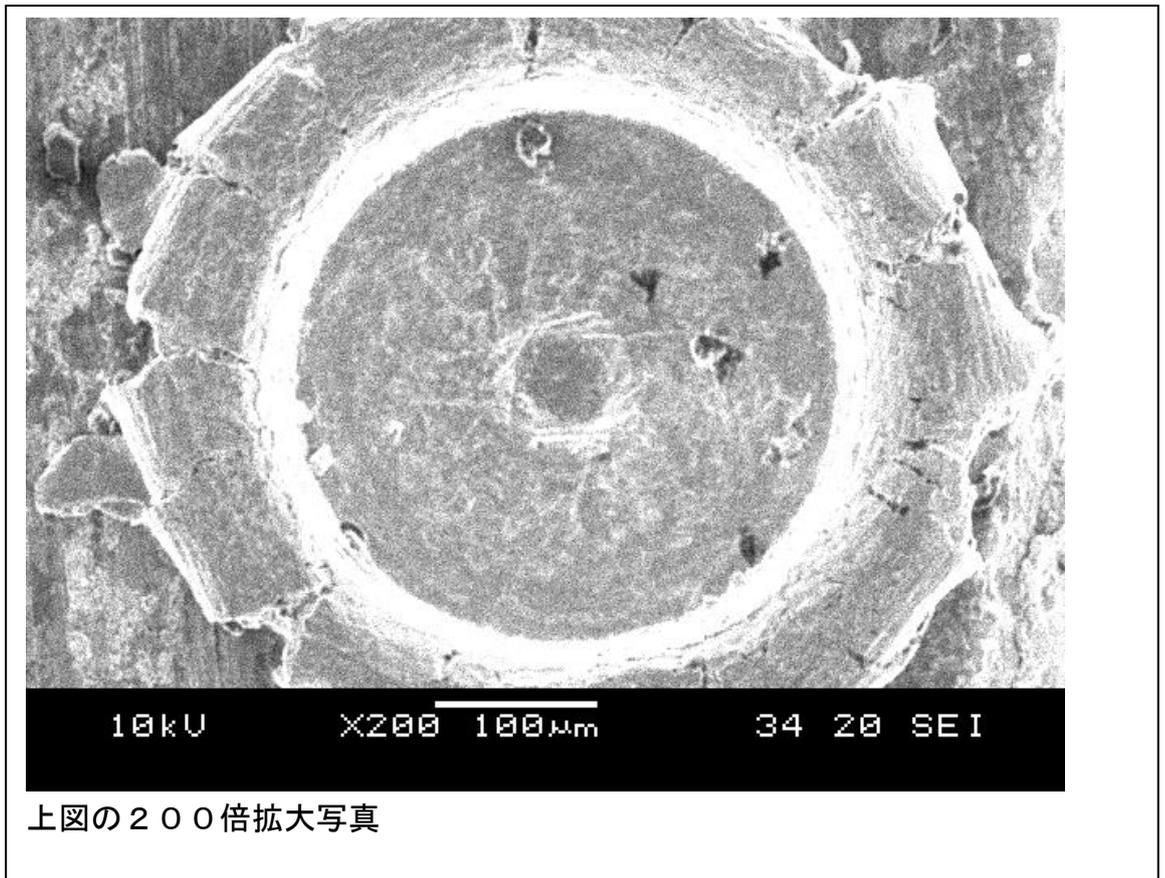


加工中の軸ぶれデータ

加工開始から終了までを測定しグラフ化した 最大でも 0.3 μ mの振れにとどまった



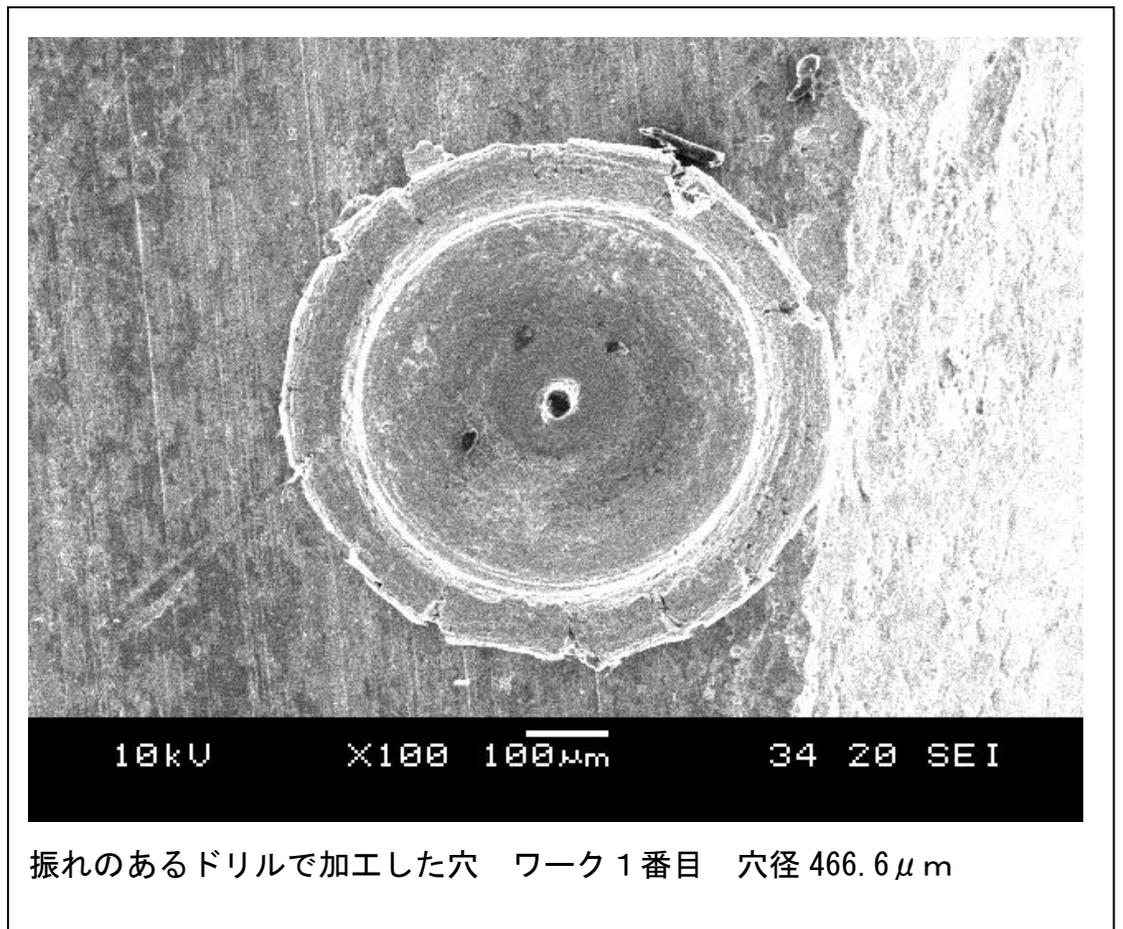
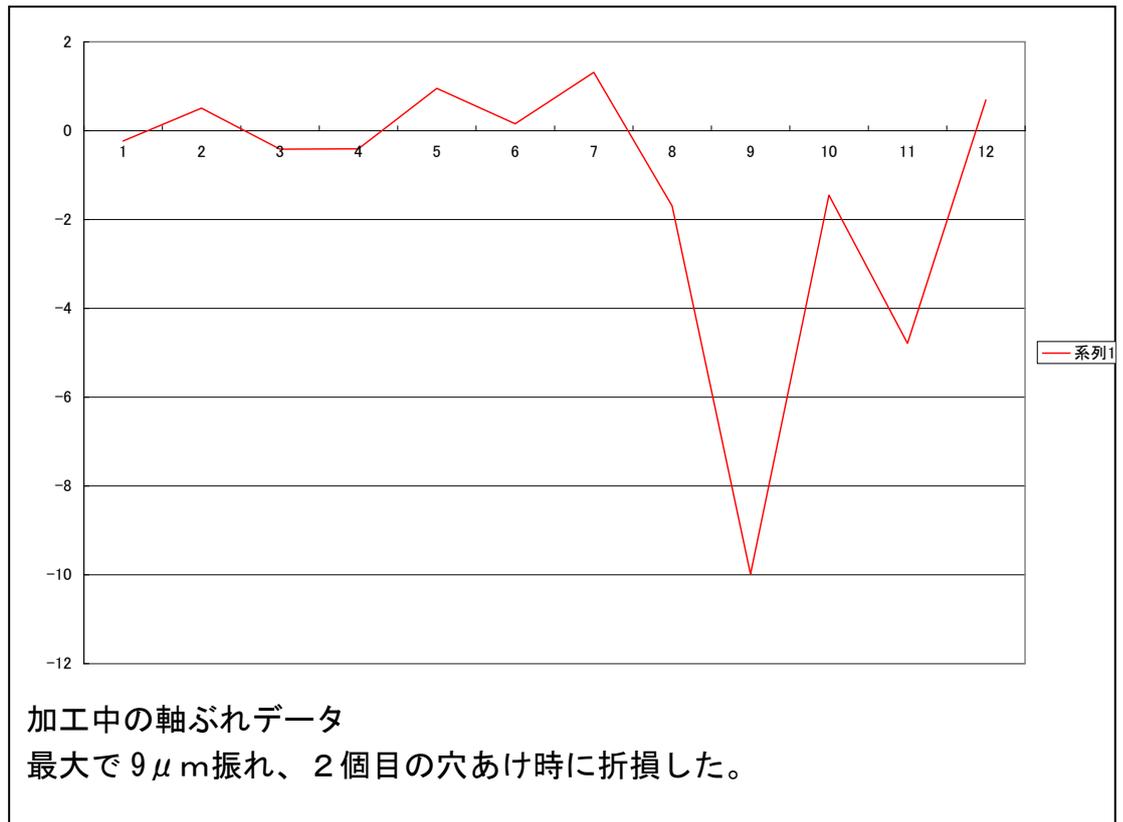
振れの無いドリルで加工した、穴 ワーク10番目 穴径 320 μ m

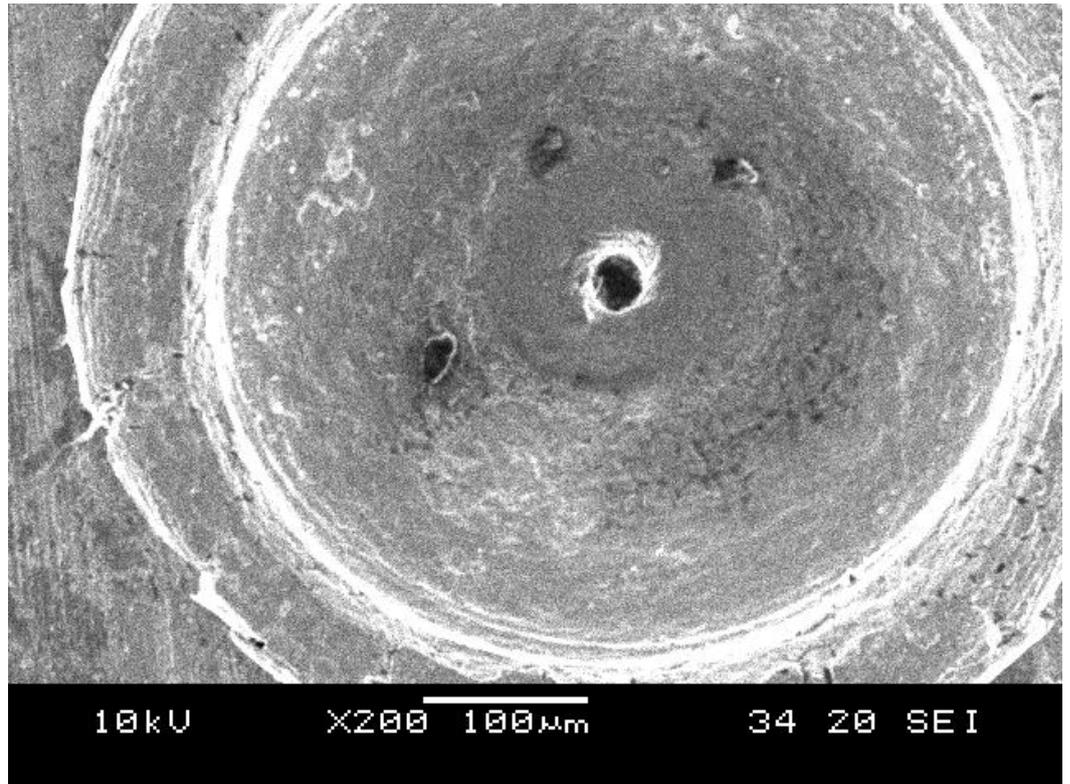


次に振れが有る場合（再チャック）の検証を行う。

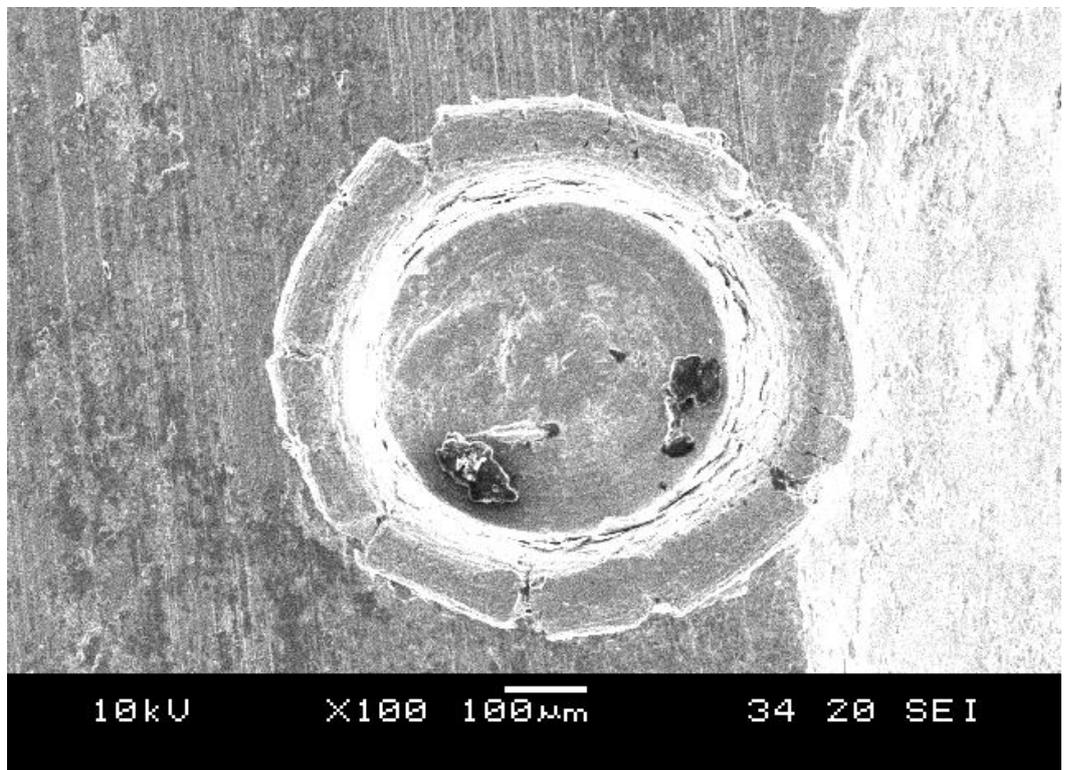


写真でも分かるように振れ回りで本来は、先端の三角錐の部分が平らに見える。





上図の拡大写真 200 倍



振れのあるドリルで加工した穴 ワーク 2 番目 穴径 $420\mu\text{m}$
加工途中で折損

3 仕上げの検証



振れの無いドリルで仕上げたワークの穴径は $320\mu\text{m}$ に対して、振れの有る物の径は $420\sim 466.6\mu\text{m}$ となっている。
振れの無いドリルの場合、切削後の摩耗等が確認できないが、振れが有る場合、三角錐の先端部分に摩耗が見られ、2個目の加工で折損を起こした。

最終章 全体総括

考 察

本年度の研究開発を終了し、様々の有意義なデータが取得できたと考える。特に【1-4-3】において得られた知見は、今まで予想はされていたが、数値的に捉えられたのは本案件が初めてであろう。そういった意味でも今回の研究開発案件の意味は大きかったと言えるだろう。また、【1-5】精密ツール製造装置における加工技術の構築において検証された要素技術は、数値的データと共に今後の精密加工の現場で必ず必要とされる知見になると思われる。

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」

リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。