

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「角隅を有する金型の磨きレス鏡面加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 関東経済産業局
委託先 財団法人理工学振興会

目 次

1. 研究開発の概要	1
1-1. 研究開発の背景・研究目的および目標	1
1-1-1. 研究開発の背景	1
1-1-2. 研究の目的および目標	3
1-2. 研究体制	5
1-2-1. 研究組織	5
1-2-2. 管理体制	6
1-2-3. 研究者氏名	7
1-2-4. 協力者	7
1-3. 成果概要	8
1-4. 当該研究開発の連絡窓口	8
2. 研究内容および成果	9
2-1. 超音波楕円振動切削装置の高度化	9
2-1-1. 超音波楕円振動装置の開発	9
2-1-2. すくい面と逃げ面の区別がない専用工具の開発	14
2-1-3. 幅広く高負荷の超精密加工を行い得る高能率・ 高剛性超音波楕円振動装置の開発	17
2-2. 金型鋼の磨きレス角隅加工技術の開発	21
2-2-1. 切削方向の大幅変更を伴う超音波楕円振動切削の基礎検討	21
2-2-2. 最適な角隅加工経路と加工条件の検討	24
2-3. 車載用後部反射器（RR：リフレックスリフレクタ）金型加工への応用	27
2-3-1. 3次元角隅加工用刃先形状の検討 RR形状の直彫りNCデータの作成	30
2-3-2. 軟質材料を用いた RR金型形状の加工	30
2-3-3. 超音波楕円振動切削による金型鋼の RR金型加工と評価	31
2-3-4. 試作した RR金型による成形トライと総合的評価	31
3. 全体総括	32
3-1. 研究開発成果	32
3-2. 事業化展開	32

1. 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的および目標

1-1-1. 研究開発の背景

(1) 川下製造業者などの抱える課題およびニーズ

中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針（二）金型に係る技術における(1)自動車に関する事項として、ア．低コスト化、イ．複雑形状化・一体成形化、エ．短納期化が課題としてあげられており、これらの課題を根本的に解決する新製造技術の開発が強く要望されている。

車載用光学部品、特に後部反射器(RR：リフレックスリフレクタ)の金型は、世界各国（国内、EU、北米、他）で定められた反射率規格の配光試験をクリアするため、角隅を有する金型を鏡面加工する必要がある。現在は矢型を鏡面研磨した後、矢型を結束し、電铸メッキで転写して RR 金型を製作している。

電铸メッキを用いた現状の工法では修正や手直しを含め RR 金型製作に 90 から 120 日を要し、RR を含む車載用ランプ設計製造工程が自動車開発製造期間全体のボトルネックとなっている。また、現状の製造技術はカナダ DBM 社の特許を使用しており、コスト低減が困難である。

矢型利用を基本としているため、矢型面の大きさや形、自由曲面に適応することができず、自動車デザインの自由度を著しく制限している。

(2) 各研究実施者が保有する技術

本研究開発の拠点となる菅造型工業は、独自で超精密微細加工機（ロボナノ）を導入し、概ね、削り易いリン青銅やニッケルメッキに対しては角隅部の磨きレス鏡面加工に成功している（図 1-1-1 参照）。



図 1-1-1 角隅を有するリン青銅の鏡面加工

しかし、実用化のためには、金型鋼に対して適用するとともに、角隅部の鋭利さや仕上げ面精度をさらに向上する技術開発が必要である。

名古屋大学の研究実施者らは、超音波楕円振動切削加工法を発案・研究開発し、金型鋼を初めとする高硬度材料の超精密・鏡面加工を実現している（図 2、3 参照）。

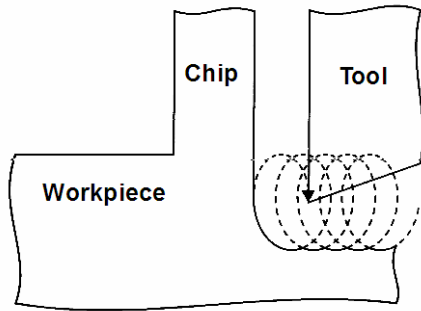


図 1-1-2 総括研究代表者が発案した楕円振動切削。金型に対する鏡面切削の実現が評価され、2 度(2001,2003 年度)の精密工学会賞を受賞

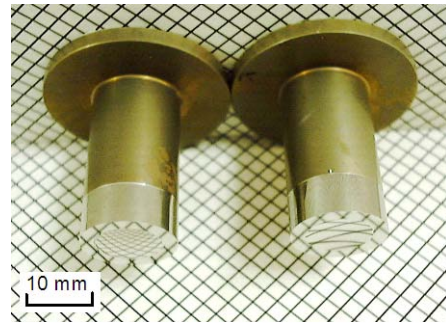


図 1-1-3 超音波楕円振動切削によって世界で初めて実用的な金型鋼の超精密鏡面切削を実現

今回の研究開発では、次の特許を使用する予定である。

【特許第 3500434 号】本特許は、楕円振動切削加工法の基本原理を権利化したもので、TLO が特許権者、多賀電気が実施権者である。世界的に見ても、類似特許などは見当たらない。多賀電気は、上述の名古屋大学の研究者らが発案・開発した楕円振動切削装置の実用化に成功（図 1-1-4 参照）した世界で唯一の企業であり、従来の超音波振動切削装置に関しても、世界一の販売実績を誇る。



図 1-1-4 多賀電気が世界で初めて実用化に成功した超精密超音波楕円振動切削装置 EL-Σ 50. 2007 年度精密工学会技術賞を受賞.

今回の研究開発では次の特許を使用する予定である。

【特許第 3730467 号】本特許は、超音波楕円振動を効率よく超精密に発生させるために必要不可欠な手段であり、他に類似手段を用いた実用例は存在しない。

【特許第 3986515 号】本特許は、パワーアンプへの供給直流電源の印加電圧と印加電流を計測して超音波楕円振動子の負荷量を低コストに検出できる手法を提供する。

アライドダイヤモンドは、超精密切削用単結晶ダイヤモンド工具のトップメーカーとして、世界一の販売実績を誇り、高精度研磨や結晶方位の調整、ろう付け等に関して最

高水準の技術力を有する。超音波振動中の刃先には 10,000G 以上の高い加速度が加わるため、アライドダイヤモンド社が有する高度なろう付け技術を適用し、すでに上記の多賀電気製楕円振動装置専用の工具を実用化し、多くの販売実績を有している(図 1-1-5)。

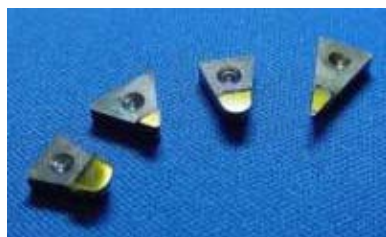


図 1-1-5 アライドダイヤモンド製超音波楕円振動切削専用単結晶ダイヤモンド工具

(3) 過去の研究開発

過去に、従来の直線振動切削を適用して角隅部の加工を行なう試みがあった(参考文献 1)が、1 方向の振動切削では、振動方向と切削方向の関係を一定に保つ必要性から、原理的に図 2 に示すような切削方向の変化は許されない。さらに刃先のチッピングを防止するために仕上げ面がのこ刃状の粗さを持つため、実用的な角隅部の磨きレス鏡面加工は極めて困難であり、これを実現した例は報告されていない。

[参考文献 1] F.H. JAPITANA, 森重, 竹内: 振動切削を利用した 6 軸制御加工・オーバハングした角隅形状の場合, 生産システム部門講演会講演論文集(2002) 51-52.

以上、『角隅部を含む磨きレス鏡面加工』は、金型加工における長年の課題でもあり、これを実現した例は世界的にも報告されていない。一方、本研究実施者らが開発・実用化してきた『楕円振動切削技術』は、本質的にこの課題を解決し得るものと期待される。このような背景のもと、本研究開発は、角隅部を多く持つ車載用光学部品金型メーカーである菅造型工業、日本発の『楕円振動切削技術』を発案・研究してきた名古屋大学、その超音波振動装置と専用工具を世界で初めて実用化した多賀電気とアライドダイヤモンドが集結し、将来の我が国のものづくりを支える基盤技術として『角隅を有する金型の磨きレス鏡面加工技術』を生み出さんとするものである。

1-1-2. 研究の目的および目標

(1) 研究開発の高度化目標

ア. 金型の低コスト化や短期間製造等を可能とする新素材・新製造技術の構築、イ. 複雑 3 次元形状等を創製する金型及び成形技術の構築、ウ. 金型の仕上げ工程の削減、エ. 工程短縮等を可能とする金型技術の開発、コ. 金型製造技術の向上、以上のすべての項目に対して、技術の高度化を目指す。

(2) 研究開発の概要

本研究開発では、研究実施者らが開発してきた新技術『楕円振動切削』を適用・高度化することによって、『角隅を有する金型の磨きレス鏡面加工技術』を生み出す。本開発技は、角隅部のために複数金型を精密に組み合わせる工程、それを転写するメッキ工程、さらに磨き工程を削減し、直接高精度加工を行なうことで修正加工の工程も削減する。これらの大幅な工程削減は、大幅な製造期間短縮をもたらし、メッキレス製造は環境に対する負荷をも低減する。以上の新技術を、現在の自動車製造においてボトルネックになっている車載用後部反射器(RR：リフレックスリフレクタ)の金型製造に応用し、図 1-1-6 に示すように、直彫りの磨きレス加工によって、工程削減、納期短縮、コスト削減、シャープな角隅加工、金型寿命延長等を達成する。

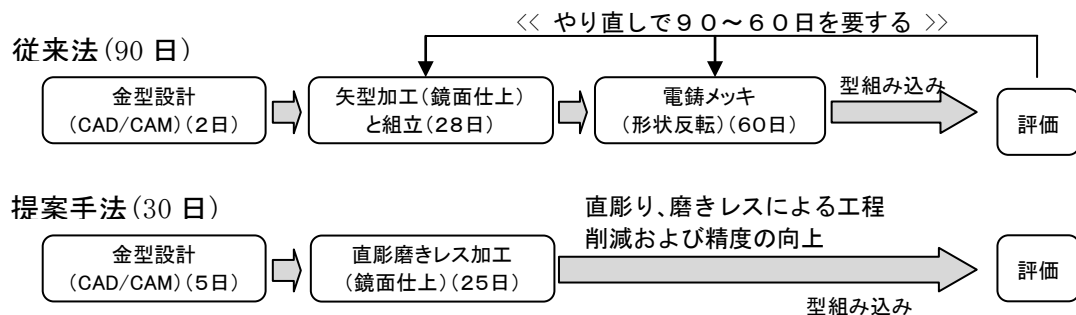


図 1-1-6 本研究による RR 金型製造の技術革新

(3) サブテーマと技術的目標値

上記の高度化目標に対して、具体的には下記のサブテーマ毎に研究開発を実施し、技術的目標値を達成する。

(ア) 超音波楕円振動切削装置の高度化

角隅部を有する RR 形状の磨きレス鏡面加工を達成するため、すくい角が大きく(例えば 40 度)、比較的突き出しの長い(例えば 5mm)形状の単結晶ダイヤモンド工具が必要となる。また、高能率化のためには、比較的幅広(例えば 3 mm)の工具を使用することが望まれる。これらのため、下記の装置開発を行う。

(a) 幅広で突き出しの長い専用ダイヤモンド工具と超音波楕円振動装置の開発

(b) 幅広で高負荷の超精密加工を行い得る高能率・高剛性超音波楕円振動装置の開発

(イ) 金型鋼の磨きレス角隅加工技術の開発

基礎的な二平面が直行する角隅部に対して、超音波楕円振動切削加工を試み、各平面に対し

て金型鋼の磨きレス鏡面加工[仕上げ面粗さ 50 nm Rz]を達成するとともに、半径 2 μ m 以下のシャープな角隅部の実現を目指す。

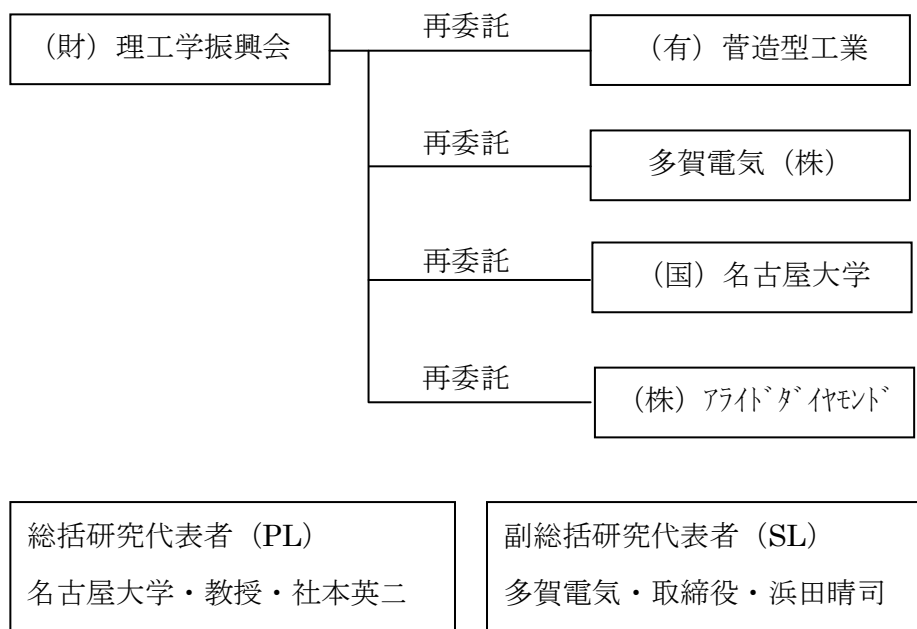
- (a) 切削方向の大幅変更を伴う超音波楕円振動切削の基礎検討
- (b) 最適な角隅加工経路と加工条件の検討
- (ウ) 車載用後部反射器 (RR: リフレックスリフレクタ) 金型加工への応用

上記の磨きレス角隅加工技術を応用して下記の各サブテーマに取り組み、RR 金型製造技術の大幅な高度化、具体的にはコストを 30% 減じ、納期を 1/3 以下に短縮し、矢型方式を脱却し、直接金型鋼に対して R2 μ m 以下のシャープな角隅部の磨きレス加工を実現する。

- (a) 3 次元角隅加工用刃先形状の検討と RR 形状の直彫り NC データの作成
- (b) 軟質材料を用いた RR 金型形状の加工
- (c) 超音波楕円振動切削による金型鋼の RR 金型加工と評価
- (d) 試作した RR 金型による成形トライと総合的評価

1-2. 研究体制

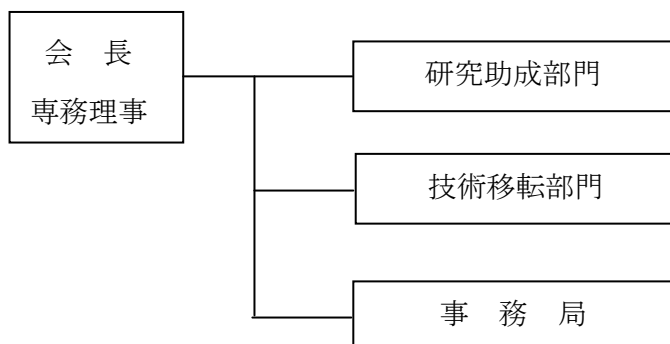
1-2-1. 研究組織



1－2－2．管理体制

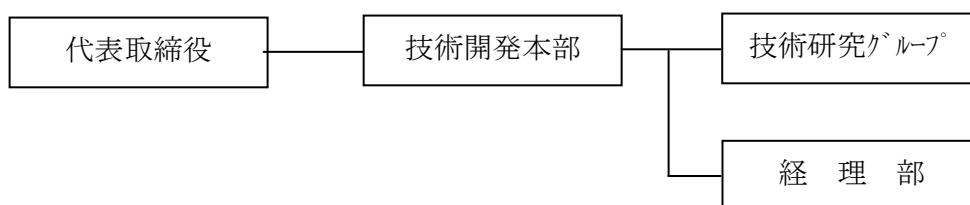
(1) 事業管理者

財団法人理工学振興会

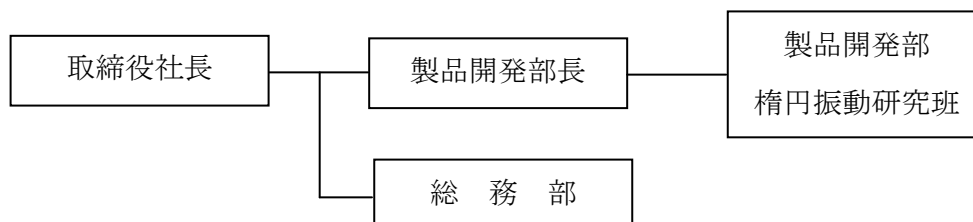


(2) 再委託先

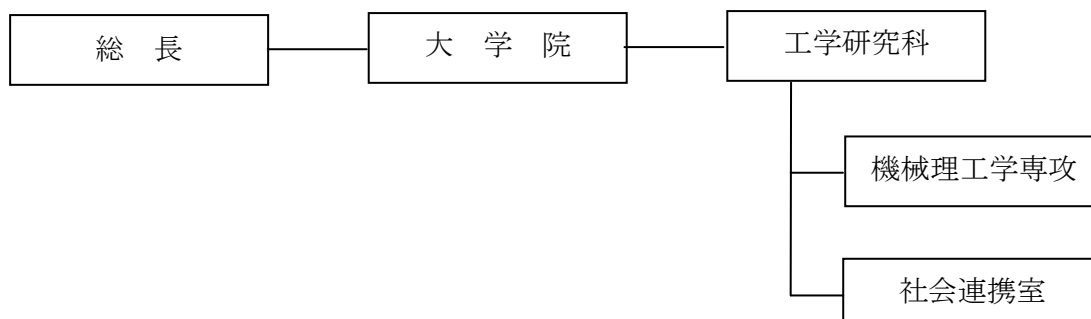
(ア) 有限会社菅造型工業



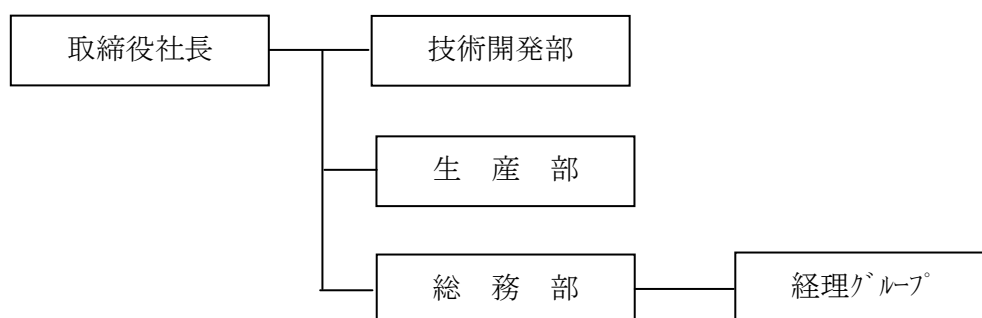
(イ) 多賀電気株式会社



(ウ) 国立大学法人名古屋大学



(エ) 株式会社アライドダイヤモンド



1-2-3. 研究者

氏名	所属・役職	注
社本 英二	名古屋大学大学院工学研究科 教授	プロジェクトリーダー
浜田 晴司	多賀電気（株）取締役製品開発部長	サブリーダー
上山 崇	多賀電気（株）主任研究員	
島津 利匡	多賀電気（株）研究員	
石井大哲	多賀電気（株）研究員	
望月 学	（有）菅造型工業 代表取締役	
増田裕輔	（有）菅造型工業 主任	
矢作弘道	（有）菅造型工業 研究員	
鈴木 教和	名古屋大学大学院工学研究科 講師	
小畠 一志	（株）アライドダイヤモンド 生産部 主席	
吉永 実樹	（株）アライドダイヤモンド 技術開発部 主査	～22年10月1日
藤原 延洋	（株）アライドダイヤモンド 生産部 研究院	～22年10月1日
木村 修三	（株）アライドダイヤモンド技術開発部 主席	22年10月1日～
小林 篤史	（株）アライドダイヤモンド技術開発部 主席	22年10月1日～

1-2-4. 協力者

氏名	所属・役職	注
吉岡 伸宏	パナソニック電工（株）製造システムセンター 金型開発グループ 長	アドバイザー ～23年3月31日
浦田 昇	パナソニック（株）エコソリューションズ社 生産技術開発センター塑性加工技術開発グループ技師	アドバイザー 23年4月1日～
太田 和義	（株）太武製作所 専務取締役	アドバイザー
細川 敏宏	e-金型研究所 代表	アドバイザー

1－3．成果概要

本研究では、金型に対する実用的な角隅部の磨きレス鏡面加工を達成することを目指し、大きなすくい角または大きな逃げ角、ワーク干渉の少ない比較的長い突き出し、幅広の単結晶ダイヤモンド工具を用いて高精度加工を行い得る高振幅・高剛性超音波楕円振動装置等の開発を進めた。また、基礎的な二平面が直交する角隅部に対して超音波楕円振動切削加工を試み、角隅部を有する金型材の磨きレス鏡面加工を実現する基礎的な加工技術の開発を行うとともに、この磨きレス角隅加工技術を応用した 3 次元 RR 金型製造技術の高度化に取り組んだ。

平成 21 年度から 23 年度の 3 年間の研究を通じて、それぞれのサブテーマについて概ね研究計画に沿った開発研究が進んだ。その結果、例えば 41.4 kHz で $6\mu\text{m}$ 以上の高振幅（長軸方向）を実現する高振幅・高剛性超音波楕円振動装置を実現し、大きなすくい角／大きな逃げ角でありながら高硬度金型の加工負荷に耐え得る超精密ダイヤモンド工具の開発に成功した。さらに、基礎的な二平面が直交する角部に対して、超音波楕円振動切削加工による金型鋼の磨きレス加工技術を開発するとともに、これを応用した 3 次元 RR 金型の磨きレス加工にも成功した。

1－4．当該研究開発の連絡窓口

財団法人理工学振興会 事務局長 泉洋一郎

TEL : 045-921-4391 FAX : 045-921-4395

2. 研究内容および成果

2-1. 超音波楕円振動切削装置の高度化

2-1-1. 超音波楕円振動装置の開発

(1) 自由曲面角隅加工用楕円振動切削装置の開発
当初、図 2-1-1-1 に示すマシニングセンタ装着用の自由曲面上の角隅加工用楕円振動切削装置を開発した。この装置は、スリップリングを用いる事により給電コネクタ側の静止体から振動子側の回転体に電力を伝達する構造としている。このホルダは市販マシニングセンタに容易に装着可能であり、正転/逆転の両方向に回転させる事が出来、また工具は新たに設計した自由曲面用専用インサート工具を装着す



図 2-1-1-1 自由曲面角隅加工用楕円振動切削装置



図 2-1-1-2 改善した自由曲面角隅加工用楕円振動切削装置 II

る。従来、工具のシャンク材質はハイスとしていたが、ロウ付け及び工具剛性の点で有利な超硬とした。工具径は $\phi 4$ とし、全長は効率の良い振動が得られる長さとした。また、単結晶ダイヤモンドはすくい面ロウ付けとする事で常に芯高が変わらず、且つ芯高に左右されるたわみ振動方向が安定なロウ付け方法としている。しかしこの装置の最外径は $\phi 115$ であり、

一般的な BT40 シャンクのホルダに比べて大きく、マシニングセンタ等に取り付ける際は使い勝手が悪い。また小型のマシニングセンタには取り付けられない欠点がある為、回転機構部を見直し装置の小型化を図った。完成した装置を図 2-1-1-2 に示す。新たに開発した装置は特に問題であった回転機構部のスリッリング固定方法を変更することでスリッリングの径方向寸法を小さくする事が可能となった。また、圧電素子に印加する高電圧の部分と他構成部品との絶縁距離を最小とし、回転機構部を構成する各部品を薄肉化する事で現行の外径 $\phi 115$ から $\phi 87$ まで小型化する事ができた。

実際にマシニングセンタ V33i に装着し、アルミを被削材として加工テストを行なった。工具は $\phi 4$ 超硬シャンク先端に単結晶ダイヤモンドをすくい面側でロウ付けしたタイプであり、ノーズ R は 2mm のものを使用した。振動子は振動周波数 37kHz、工具の突き出し長さは 12mm、振動振幅は $4\mu\text{m p-p}$ 真円、軸振動傾斜角は 12° の状態で、1 回転当たりの Z 軸降下量は $20\mu\text{m}$ 、切り込みを $15\mu\text{m}$ 、切削速度 1m/min の条件でテストを行った。図 2-1-1-3 に加工後のワーク外観写真を示すが、通常の精密マシニングセンタで鏡面に近い粗さが得られた。今後、加工テストを繰り返し行い、その結果をフィードバックする事で装置の完成度を上げ、角隅部を有する複雑 3 次元自由曲面加工の実用化に向けて研究継続をしていく。

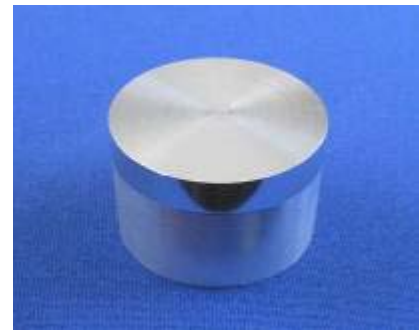


図 2-1-1-3
加工後のワーク外観写真



図 2-1-1-4 当初開発した専用工具ホルダーとそれに装着した従来型楕円振動子

(2) 実用的なマシニングセンタ装着専用ホルダーの開発

当初開発した専用装置ホルダーを図 2-1-1-4 に示す。専用工具ホルダーは、楕円振動子取り付け時に調整ねじを回転させることで Y 軸方向に微調整可能であり、X 軸は、振動子装着時に取り付けねじを若干緩めた状態で刃先位置調整を行うことで、刃先のセンタとスピンドルセンタを容易に合わせることが可能となっている。しかし、マシニングセンタの主軸部分か

らの突き出しが長く角隅加工時の剛性不足が問題となっていたため、新たに主軸部分からの突き出しを短くした高剛性刃物台の開発を行った。開発した装置の特徴は、図 2-1-1-5 に示すように BT-40 シャンクとホルダー部を一体化させる構造に変更し、楕円振動子のケーブル出口をケース横から出すように改良したことで全長を短くすることができた。従来の刃物台は、マシニングセンタの主軸部分からの突き出しが長く角隅加工時の剛性不足が問題となっていたが、楕円振動子のケーブル出口変更など各種の見直しで 100mm 全長を短くすることができた。さらに X 軸、Y 軸それぞれに位置調整用の微調機構を設けることにより、セッティングの時間を大幅に短縮することが可能になった。この高剛性刃物台を使って、図 2-1-1-6 に示すような平面切削加工テストを行った結果、加工面のうねりが格段に少なくなり、ミスト給油装置及び、ミスト集塵装置を併用することで、切り粉が絡むこともないクリーンな環境での高精度加工が可能となった。

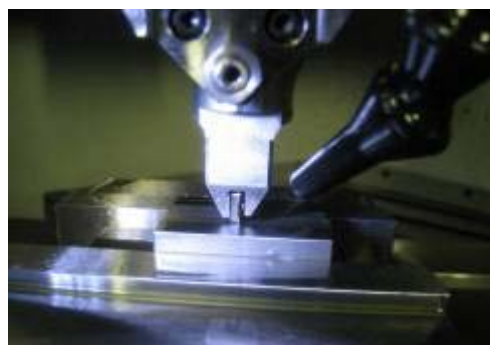


図 2-1-1-6 平面切削加工テストの様子

(3) テクスチャ加工装置の開発

名古屋大学で開発した楕円振動切削によるテクスチャ加工技術は、楕円振動振幅を意図的に変化させて切り込み深さを変え、加工面上にナノオーダーの超精密微細パターンを生成する技術

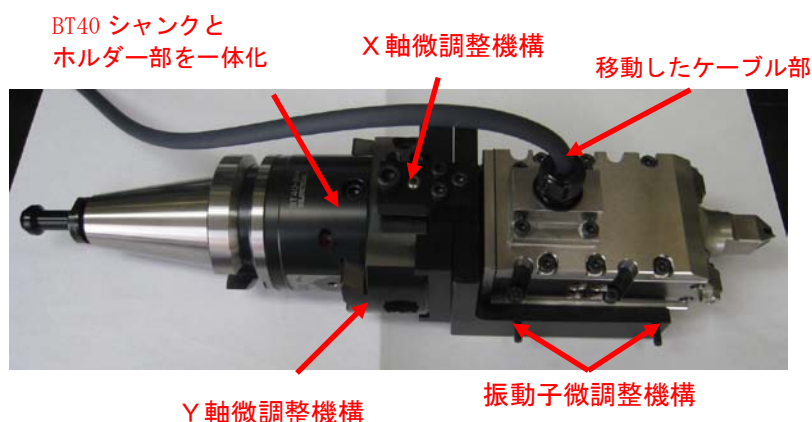


図 2-1-1-5 小型化した高剛性刃物台

だが、従来の凹凸段差は最大 1 ミクロンであった。図 2-1-3-8 で後述する今回のプロジェクトで開発したハイパワー高振幅振動子を用いた場合、最終成果として切り込み方向振幅の直径が $8\mu\text{m}$ の楕円振動での加工が可能になったため、最大 $3.5\mu\text{m}$ までの高低差で加工することが可能となり、外部からの直流電圧で容易に切り込み方向の振幅を制御できる回路を開発した。従来のこのような加工は、例えばマシニングセンタを用いた場合 Z 軸をプログラムで上下させて切り込み深さを制御する必要があるが、送り機構の同じ部位を激しく摺動することによって、特定部位のみ送り機構に偏磨耗が発生するなどの問題があり、その対策としてピエ

ゾアクチュエータを応用して工具の切り込み深さを高速度で制御できるが、対象ワークが銅やニッケルなど比較的軟らかく切削性の良いものに限られていた。それに対して、当プロジェクトでは、高硬度焼入れ鋼に直接単結晶ダイヤモンド工具を用いた角隅を有する微細加工が実現でき、今後の川下分野での展開に大きな期待が持てると考えている。今回開発した図 2-1-1-5 に示す高剛性化を実現した装置を用いて、テクスチャ加工テストを行った。

図 2-1-1-7 は、SUS420J2 Hrc52 に単結晶ダイヤモンドバイトを用いてテクスチャ加工を

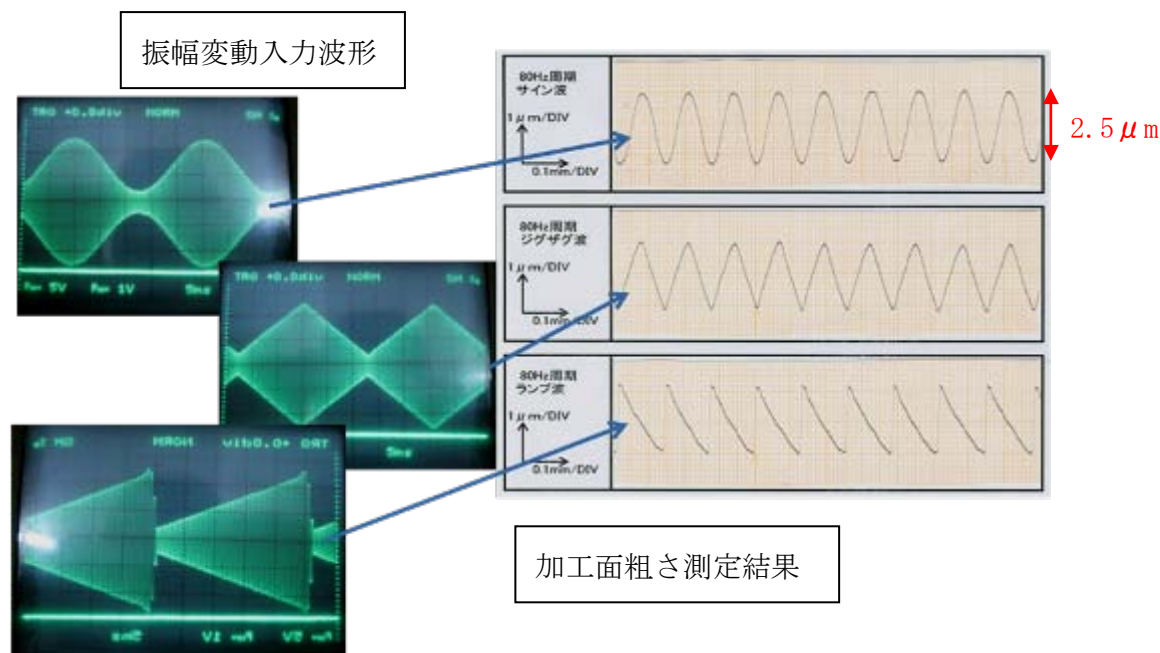


図 2-1-1-7 テクスチャ加工結果

行った際の振動子への駆動電圧波形と、実際に加工された面を面粗度計で測定した、面性状の測定結果で、振動子に印加する入力波形に対して、加工面は正確に転写されていることを確認した。右表にその加工条件の一例を示す。1枚のワークに上記に示す正弦波・三角波・ランプ波を並べて加工し、実際に加工したワークの加工面を観察すると、各々振幅変動波形が違いため、反射面は微妙に異なった様相を示す。実際に加工したワーク正面よりカメラを構えて近接撮影すると、その反射面は、結像したカメラのレンズ位置がそれぞれずれており、非常に興味深い画像となる。

*テクスチャ加工テストの加工条件

加工工具：単結晶ダイヤモンドバイト
ノーズ R=0.1
ワーク：SUS420J2 Hrc52
切削速度：0.6m/min
送りピッチ：10 μ m/pitch
ミスト：ブルーベ LB-10
切り込み深さ：3～5.5 μ m
変調周波数：80Hz
切り込み方向振幅変位：1 μ mp-p～6 μ mp-p
(切削方向たわみ振幅は 4 μ mp-p 一定)
変調波形：正弦波・三角波・ランプ波
(鋸歯状波)

（４）超硬の延性モード加工法の開発

硬脆性材である超硬は楕円振動切削法を用いても僅か 1m 程度の加工距離でも単結晶ダイヤモンドが磨滅していた。今回、超硬加工の際の切削液について検証した結果、ミスト供給では硬脆性材の微粉状になった切り粉が、表面張力の影響で加工面の油膜に付着残留し、この滞留した切り粉が刃先に悪影響を与えている可能性が考えられた。この対策として、ノズルから流量の多い粘性の低い切削液を直接供給することにより切削液の流れで切り粉を速やかに流しさり、切り粉を滞留させないようにすること等の基本的加工条件を整えることで刃先の摩耗を抑制できることが分かった。実際に上記対策上で単結晶ダイヤモンドにてコバルトバインダ入り超硬を切削した場合 50m 程度まで良好な延性モード加工が実現でき単結晶ダイヤモンドの摩耗もきわめて少ないと云う良好な結果が得られた。特に 10m の加工距離では加工面粗さ Ra2nm と云う非常に高度な平滑面が得られた。さらに単結晶ダイヤモンドに比べて摩耗し難いといわれる、住友電工製のナノ多結晶ダイヤモンド工具（バインダレス PCD 工具）を用いた楕円振動切削用工具をアライドマテリアルが開発し、これを用いたコバルトバインダ入り超硬材の端面切削加工テストを実施したところ、切削距離が 100m まで延性モード加工が可能であることを確認し、その結果より従来単結晶工具の 2 倍程度もしくはそれ以上の耐久性が推測されるという良好な結果を得ることができた。

（５）研究成果

- ①高精度マシニングセンタに搭載して鏡面に近い切削面が得られ、自由曲面状の角隅加工が可能な、高剛性・高精度楕円振動切削装置を開発した。
- ②主軸からの突き出し長さが従来より 100mm 短い実用的なマシニングセンタ装着専用ホルダーを開発し、新たに開発したハイパワー楕円振動子を搭載して高剛性加工が可能であることを確認した。更に、単結晶ダイヤモンドバイトで SUS420J2 Hrc52 のテクスチャ加工テストを行い、高低差 $2.5\mu\text{m}$ 以上の超精密微細加工が可能であることを確認した。

2-1-2. すくい面と逃げ面の区別がない専用工具の開発

(1) 研究内容

角隅部を有する RR 形状の磨きレス鏡面切削加工を達成するため、角隅部に進入する際に干渉しない逃げ角が大きく（ 40° 以上）、比較的突き出しの長い形状で、効率化のため幅広の工具を試作・開発する。

(2) 実施内容及び結果

(ア) 工具仕様の確認

角隅部を有する RR 形状を加工する工具の仕様検討を行い、最大逃げ角 50° 以上、切れ刃幅 4.5mm 以上、切り込み深さ 2.1mm 以上の単結晶ダイヤモンド切削工具の試作を行った。逃げ角は工具の干渉回避シミュレーションを用い確認し逃げ角 50° とした。

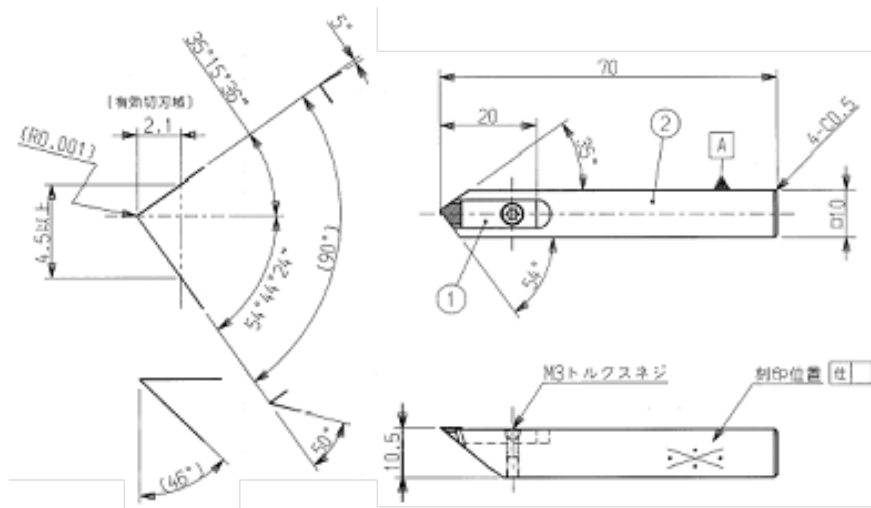


図 2-1-2-1 試作工具の形状

(イ) 研磨条件の見直し

逃げ角が 50° と大きいため従来の研磨条件では大きなカケが発生するため、工具の刃付け研磨条件の見直しを行った。角隅部を有する RR 形状が加工でき、かつ、切れ刃の微小な欠けを大幅に低減させた工具の製作可能になった。図 2-1-2-2 は従来の研磨条件と見直した研磨条件によるバイト切れ刃の比較である。図 2-1-2-3 は試作した工具である。

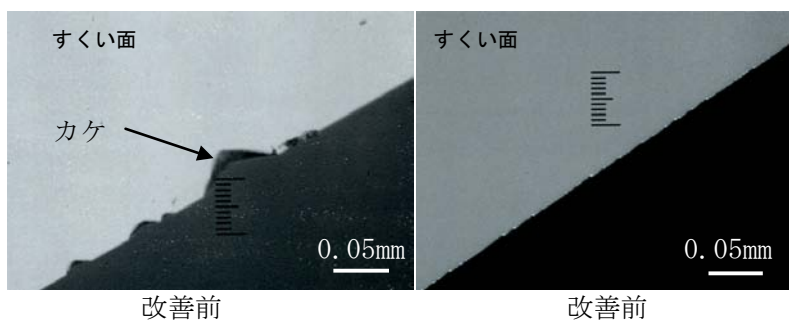


図 2-1-2-2 バイト切れ刃の比較



図 2-1-2-3 試作工具

（ウ）耐欠損性の向上

逃げ角が大きく加工中に切れ刃が欠損する問題が発生したため、次の様な刃先仕様の改善を行い、RR形状をカケなく加工できる耐欠損性に優れた工具を開発した。

（a） -25° の負のすくい面を付ける。

（b） $2-3\mu\text{m}$ の微小な -20° 負のすくい面を付ける。

（c） $1-2\mu\text{m}$ の微小な丸みを刃先に付ける。

この対策の中で仕上げ用としては（b）の $2-3\mu\text{m}$ の -20° の微小な負のすくい面が有効であった。図 2-1-2-4 は円弧刃に付けた微小な負のすくい面の例である。

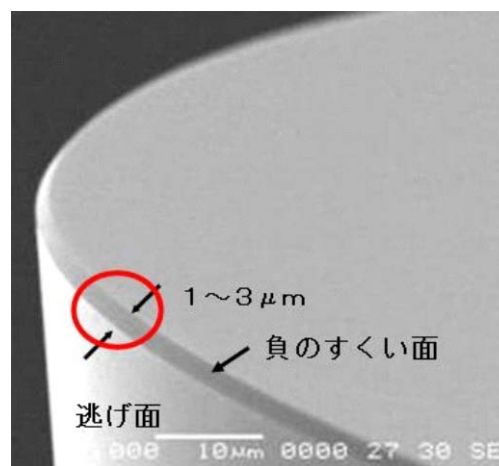


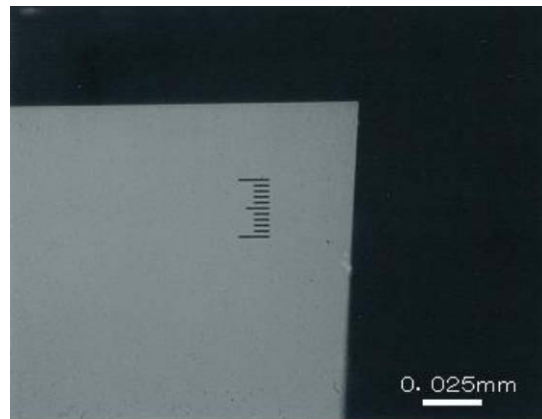
図 2-1-2-4 試作工具

（3）超精密研磨装置の開発

逃げ角が大きく、幅広でかつ突き出しの長い研磨を行う場合は現状の研磨装置では研磨圧とその微調整ができないため、超精密研磨装置の開発を行った。

開発した研磨装置は従来の研磨盤を活用し、ダイヤモンド工具を保持し、研磨圧を加える部分とその研磨圧の微調整を行う機構を新たに製作した。幅広で突き出し量の大きいダイヤモンド工具の研磨では研磨圧を大きく設定してやる必要があるが、研磨圧が大きくなると研磨の熱により研磨治具が膨張し切り込み量が大きくなりチッピングを発生させる問題がある。そこで、本装置では切り込み量の増大による振動の発生を AE センサーで感知し、加工治具に取り付けた piezo アクチュエータで切り込み量を小さくしてやる構造を設けた。本装置により切り込み過大は防ぐことが可能になった。

図 2-1-2-5 は本装置で研磨を行った研磨が非常に困難であるバインダレス-PCD バイトの切れ刃である。32 時間の時間を要したか、自動切り込み機構で長時間の研磨であったが大きなカケなどが発生しなかった。



研磨時間 32hr (自動切込み)

図 2-1-2-5 バインダレス-PCD の自動研磨装置による研磨面

2-1-3. 幅広で高負荷の超精密加工を行い得る高能率・高剛性超音波楕円振動装置の開発

(1) 刃先近傍の干渉を少なくし加工自由度を向上させたハイパワー楕円振動子の開発
実際に RR (リフレックスリフレクタ) の金型加工に適用するには、3 次的に楕円振動子を傾斜させた、自由曲面上での加工となる。この場合、従来の楕円振動子では、振動子ケースが大きく、且つ先端部の突き出しが短いため、振動子ケースとワークとが加工時に干渉することが想定される。そこで、振動子先端部の突き出しを極力長く取り、ケース前部のコーナーがワークと干渉し難い図 2-1-3-1 (b) に示す振動子ケースを設計した。

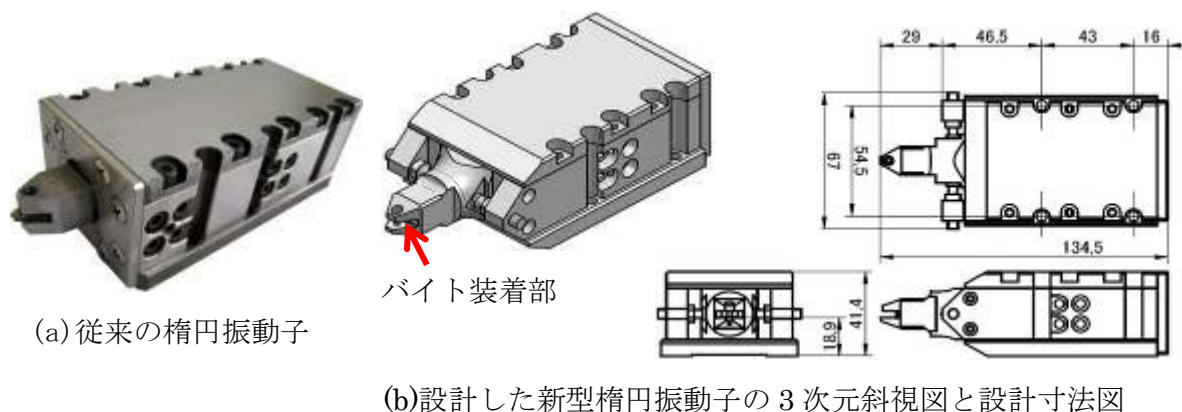
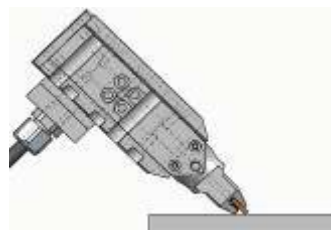


図 2-1-3-1 ワークとの干渉を軽減したハイパワー楕円振動子の設計□

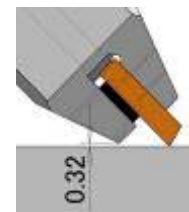
今回新たに開発した振動子は、バイト装着部の肉厚を薄くして、バイト近傍のワークとの干渉を軽減すると共に、先端部のノード（振動節）支持部を露出させ、従来のフランジ方式ではなくネジ部を形成するステー形状に変更し、ケース側板でナットにて固定する構造に変更した。また、ケースと振動子との構造を見直して、従来の全長が 170mm に対して 134.5mm まで 35.5mm 短縮化することに成功した。これによって重量も軽減され、小型化が実現したことで、今まで以上に精密加工装置の刃物台への装着が容易になった。完成した振動子を図 2-1-3-2 に示す。



図 2-1-3-2 完成した振動子



(a) 45 度高ネガ加工イメージ



(b) 刃先拡大図

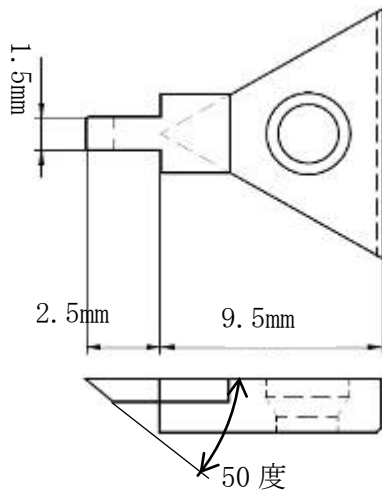
図 2-1-3-3 ワークとの相対角 45 度の加工イメージ

(2) RR 素子の加工を想定した冷却機構の開発及び専用超硬工具の開発

図 2-1-3-3 は、実際に RR 素子を加工することを想定した図であるが、相対角 45 度でワークに切り込みをかけると、振動子構成部とワークとは 0.32mm のギャップしかないため、高切り込み加工は不可能である。従って、良好な角隅加工を実現するには、突き出しの長い専用工具を開発する必要がある。

ただし、単結晶ダイヤモンドは高価であり、試作リスクが大きい。従って、単結晶ダイヤモンドの最適形状を見出すためには、まず超硬製バイトを設計・試作し、さらに加工テストを行って問題点を抽出後に専用単結晶ダイヤモンドを設計試作に入るのが最良である。

上記を踏まえ、実用化を視野に入れた「角隅加工用の幅広で突き出しの長い専用インサート工具」を設計し、試作した。図 2-1-3-4 (a) はその設計図の一部である。(b) は実際に試作した超硬バイトで、幅 1.5mm・突き出し長さ 2.5mm・前逃げ角 50 度・スクイ角 0 度で



(a) 設計した専用インサート工具 (b) 実際に試作した工具

図 2-1-3-4 開発した角隅加工テスト用超硬バイト



図 2-1-3-5

加工テストの様子

ある。試作した超硬バイトは 2 個で、何れも発振周波数約 39.5kHz、真円振幅 $4\mu\text{m}$ (直径) 以上の振動が安定して得られることを確認した。開発した角隅加工テスト用超硬バイトを楕円振動子に装着し、図 2-1-3-5 に示すように、リン青銅材の V 溝状加工テストを行なった。切削方向を矢印で示す。加工速度 3m/分・切り込み深さ $5\mu\text{m}$ で同一部分を 30 回繰り返し切削し、加工跡を観察した。その結果、高ネガ角で加工した斜面は比較的良好な切削面が得られ、切削終了点の角端部のバリも非常に少なく、改めて楕円振動切削の効果を確認し、-45 度程度の高ネガ角加工でも、バリを最小限に抑えた加工が可能であることを確認した。超精密加工において楕円振動子を長時間安定し



図 2-1-3-6 試作した振動子

て駆動するには、無負荷状態でも数ワットのエネルギーを消費発熱せざるを得ないが、この発熱は超精密微細加工においては金属の膨張を引き起こし加工精度に影響を与える重要な問題である。その対応策として超精密微細加工に適した温度変化の少ない高出力楕円振

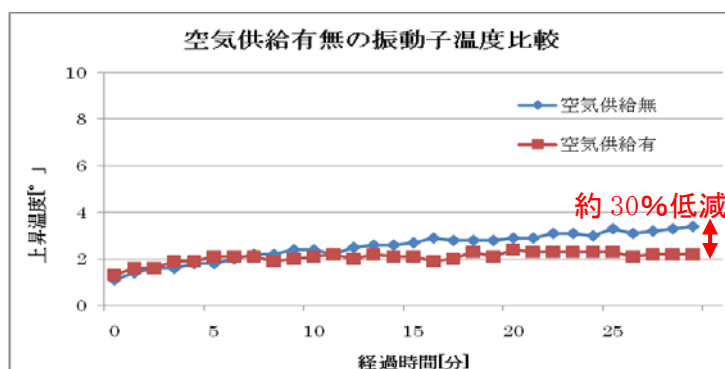


図 2-1-3-7 空気供給有無の振動子温度比

動切削装置の開発を行うこととした。具体的には、楕円振動子内に冷却媒体流路を設け、温度管理された流体をそこへ供給することで熱膨張発生の抑制を試みる。図 2-1-3-6 に実際に開発した形状を示す。性能の検証方法として、室温の空気を流体供給口から供給し、 $4\mu\text{m}$ の円振動で連続振動させ、空気供給の有無での振動子ケースの温度上昇を測定、比較した。

図 2-1-3-7 にその結果を示すが、空気供給の有無で振動子ケースの温度上昇を 30% 程度低減させることができ、超精密微細加工に適した発熱の少ない楕円振動切削装置として実用化が可能となることが判った。



図 2-1-3-8
開発した高振幅楕円振動子

(3) 高速加工用高振幅ハイパワー楕円振動子の開発
現在の楕円振動切削装置は切削速度が遅いという欠点があり、切削速度が少しでも高速化できれば、加工サイクルタイムが短くなり、高能率化が期待できるが、単純に切削速度を上げると、楕円振動軌跡のピッチが粗くなり、加工面に悪影響を与える。さらにワークに対する刃先の進入角も急になり、ワークと工具逃げ面が接触し逃げ面摩耗の進行が早くなると同時に、加工面粗さも悪くなる。この欠点を補うためには、楕円振動子の振幅を向上させ楕円の軌跡を大きくする必要がある。今回新たに、図 2-1-3-8 のような先端の拡大率を大きくした高振幅楕円振動子を開発

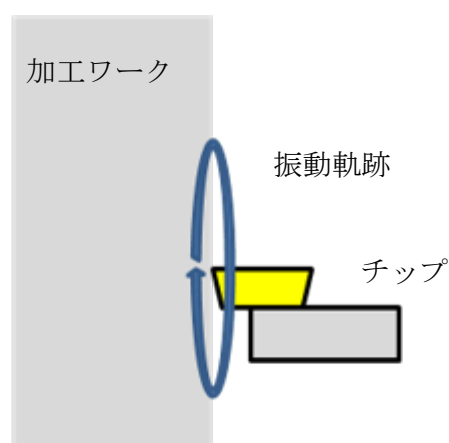


図 2-1-3-10 高能率楕円振動軌跡

した。また、高能率な加工を行う際の適切な楕円軌跡を検証し、図 2-1-3-10 のように楕円振動の軌跡をたわみ方向振幅が大きく、軸方向振幅が小さい長楕円にすることで解決を図った。この振動軌跡では背分力方向の切削抵抗がやや大きくなるが、楕円振動軌跡のピッチが粗くならないため、従来より 8 倍速い切削速度で鏡面 ($R_z=0.1\mu\text{m}$ 以下) の加工が可能となる。次に、超精密加工での最大振幅を検討するために試作した振動子の発熱特性を検証し、図 2-1-3-11 に示すように軸振幅 $1\mu\text{mp-p}$ 、たわみ方向振幅 $8\mu\text{mp-p}$ 振幅であれば、長時間動作させても超精密加工に影響ない程度の発熱であることが判った。以上の結果を踏まえて高能率楕円振動子を用いて焼入れ鋼への高能率切削加工テストを行った結果、楕

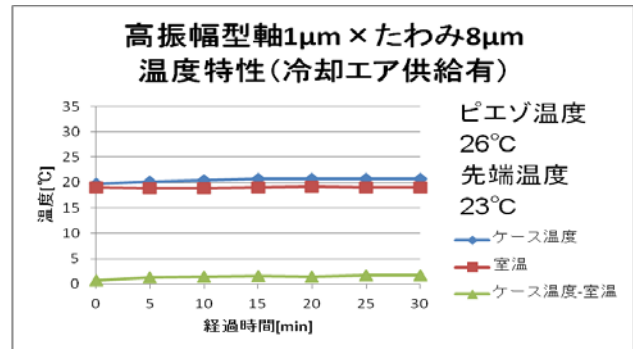


図 2-1-3-11 高振幅楕円振動子の温度特性

円振動軌跡のたわみ方向の振動が切削する面に対して完全に平行に設定すると、切削速度 8m/min で良好な鏡面の切削面が得られた。しかし、僅かでも工具逃げ面がワーク面と接触する方向に振動軌跡が傾くと、チップの逃げ面がワークに当たることで加工面を粗くしてしまうと同時に逃げ面磨耗のリスクが高まると考えられる。この振動方向の傾きは周囲の温度変化や、チップの形状、加工負荷の変化等によって軸とたわみの位相差が若干変化することで発生すると考えられ、今後長時間安定した高速加工を行なわせられる、より信頼性の高い新たな制御方式の開発を行なう予定である

(4) 研究成果

- ① RR 素子の切削加工が可能なハイパワー楕円振動子を開発し、 -45 度のネガでも良好な切削性を有することを確認した。
- ② 開発したハイパワー楕円振動子は、内部に温度管理された冷媒を流すことで更に熱膨張特性が改善された。
- ③ 従来と比較してさらに高振幅振動が可能となったため、切削方向に平行に長い超楕円振動とすることで従来比 8 倍の高速切削加工が可能となった。

2-2. 金型鋼の磨きレス角隅加工技術の開発

ここでは、基礎的な二平面が直行する角隅部に対して、超音波楕円振動切削加工を試み、各平面に対して金型鋼の磨きレス鏡面加工[仕上げ面粗さ 50 nm]を達成するとともに、半径 2 μm 程度のシャープな角隅部の実現を目指し、加工技術開発を行った。以下に、検討内容を示す。

2-2-1. 切削方向の大幅変更を伴う超音波楕円振動切削の基礎検討

角隅部を連続的に仕上げるためには、極端に大きなすくい角での加工と、極端に小さなすくい角（同時に極端に大きな逃げ角）での加工が可能でなければならない。これらの極端な工具角度の影響と、それらの限界を明らかにし、最適な妥協点を見出さなければならない。また、すくい角の変化を小さくするため、工具の刃先角度は通常（例えば 80° ）よりも小さい方が望ましいが、チッピングが生じない程度の刃先強度を同時に保たなければならない。そこで、①極端に逃げ角の大きい工具を用いた場合の工具損耗の特性について評価を行った。これにより、工具の刃先角度の限界を明らかにし、適切な妥協点について検討を行った。さらに、②極端に小さいすくい角において加工を行い、負のすくい角が加工特性に及ぼす影響について評価を行った。以下に具体的な検討内容をまとめる。

① 極端に逃げ角の大きい工具の加工性能評価

逃げ角が大きい工具では切れ刃の強度が低下するため、極端な場合にはチッピングを引き起こしてしまう恐れがある。従来の検討から、すくい角が 0° で逃げ角は 10° 程度の工具を用いることが多く、金型鋼の加工でチッピングが問題となったことは経験的にない。本研究では、逃げ角が従来よりも大きくなるように (15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45°) 変更した工具を用いて焼入れ金型鋼の平面加工を行い、逃げ角とチッピングおよび仕上げ面性状との関係について評価を行った。なお、それぞれの工具の刃先には予めチッピング予防のための丸め処理 ($R0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 程度) を施している。図 2-2-1-1 に逃げ角 45° のインサート工具の外観写真を示す。



図 2-2-1-1 逃げ角 45° のインサート工具（ノーズ半径 1mm）

実験にはナガセインテグレックス社製超精密加工機 NIC-300 を用いた。予め本実験の前に被削材の面出し加工を行い、その加工面に対して、試作した各種逃げ角の異なる工具（15°～45°）を用いて平面切削を行った。加工後には、工具刃先と被削材の仕上げ面性状について微分干渉顕微鏡により観察した。実験に使用した被削材は焼入れ鋼（64×48 mm²）で、すべての表面を加工し終えた時点で約 153m の切削距離となる。

加工実験後に測定した仕上げ面粗さを図 2-2-1-2 にまとめる。また、逃げ角 40°と 45°における加工後の工具すくい面と被削材の加工面の微分干渉顕微鏡写真を、図 2-2-1-3 および図 2-2-1-4 に示す。逃げ角が 40°以下の場合、測定された最大粗さは、何れの条件でも理論粗さ（50 nm）を下回っており、優れた仕上げ面性状が得られていることが分かる。顕微鏡写真からも、良好な仕上げ面性状が得られていることが確認できた。また、逃げ角 40°以下であれば、工具刃先には同程度の熱化学的な摩耗が生じ、チッピングは発生しないことが確認できた。一方、逃げ角が 45°の場合、切削距離の増加に伴い刃先に微小なチッピングが生じ、最終的に大きな欠損が生じたため、切削距離 30m に至る前に工具寿命と判断した。

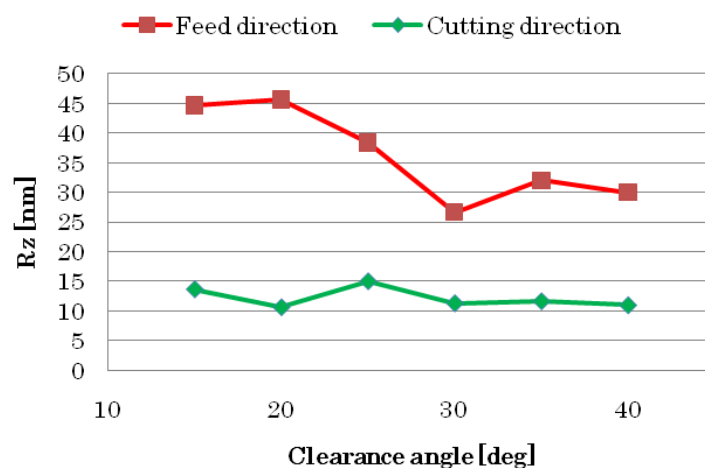


図 2-2-1-2 最大粗さと逃げ角の関係（切削速度 1m/min、送り 20 μ m、切込み 10 μ m）



図 2-2-1-3 加工面（切削距離 145 m）と工具刃先（逃げ角 40°、切削距離 153m）

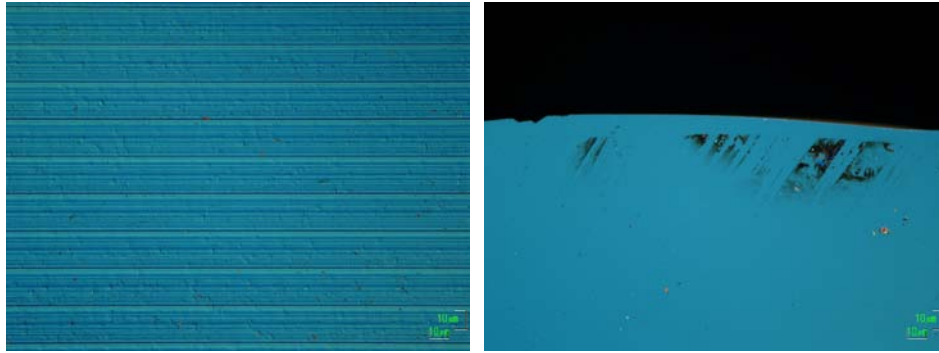


図 2-2-1-4 加工面（切削距離 22m）と工具刃先（逃げ角 45°、切削距離 25m）

② 極端に小さいすくい角の場合の加工性能評価

実験には JTEKT 社製超精密加工機 AHN05 を用いた。予め本実験の前に被削材の面出し加工を行い、その加工面に対して、刃先の微小領域（約 $2\mu\text{m}$ ）に負のすくい角（ -20° ）を持つ工具を用いて平面切削を行った。超音波振動工具を B 軸上に固定し、B 軸で工具姿勢に傾斜を与えて、X 軸送りで平面加工を行った。ただし、B 軸傾斜を大きくすると振動子の一部がワークに干渉する問題があり、ここでは 0° 、 -10° 、 -20° の 3 条件についてその順番で平面加工を行い、加工特性の評価を行った。このため、実質的なすくい角は -20° 、 -30° 、 -40° の範囲で変化している。

図 2-2-1-5 にすくい角 -40° の加工後の仕上げ面の微分干渉顕微鏡写真を示す。図に示されるように、仕上げ面性状からナノメートルオーダーのチッピングマークが複数転写されていることがわかるが、顕著な性状の劣化は見られない。最大粗さは実質のすくい角を -20° 、 -30° 、 -40° とした条件で、それぞれ 70、50、40 nm Rz と良好な仕上げ面性状が得られることが確認された。累積切削距離は 32 m 程度であったが、刃先においてもわずかな初期摩耗が見られるだけで、顕著な工具摩耗は確認できない。

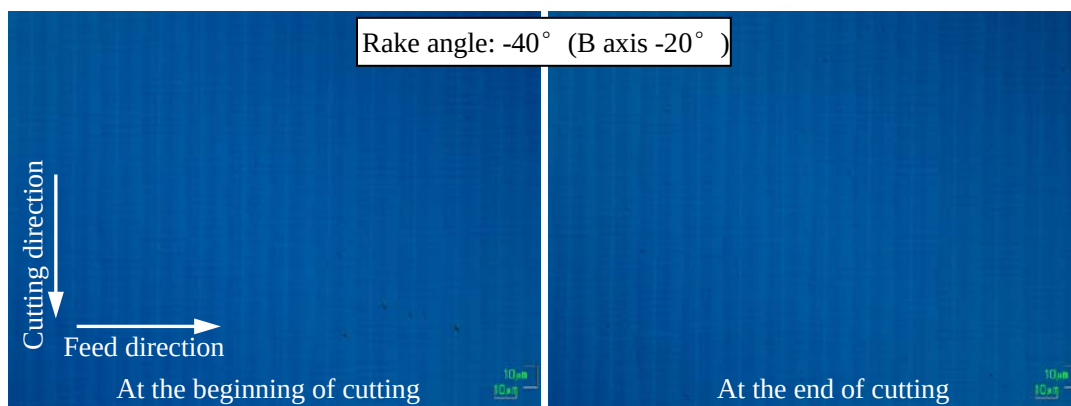


図 2-2-1-5 加工面の微分干渉顕微鏡写真
(切削速度 0.4m/min 、切込み $3\mu\text{m}$ 、送り $20\mu\text{m}$)

加工中に測定された切削力から求めた比切削抵抗を図 2-2-1-6 に示す。図から、各条件において主分力方向の比切削抵抗に顕著な差は見られないが、背分力方向では、すくい角の減少にともない、比切削抵抗の増加が確認できる。このように、せん断角理論で説明されるのと同じ傾向で、すくい角の減少が背分力の増大を引き起こすことがわかる。ただし、その増大幅は大きくない。また、切削距離の増加に伴う比切削抵抗の変化も確認できない。このことから、 -40° 程度のすくい角であれば実用上工具寿命に対して影響はないと考えられる。

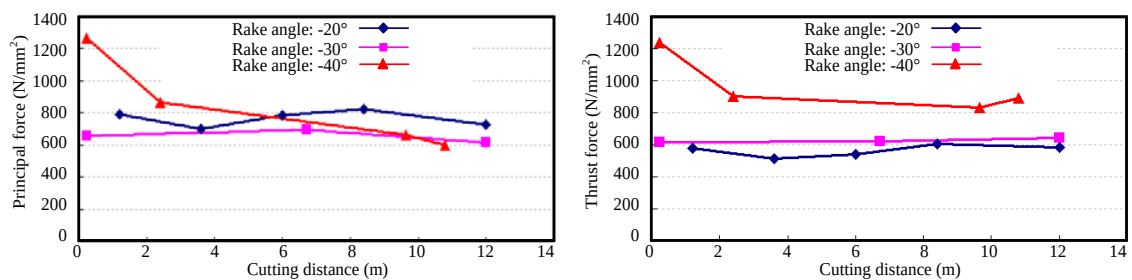


図 2-2-1-6 各条件における比切削抵抗の推移

2-2-2. 最適な角隅加工経路と加工条件の検討

連続的な角隅加工が困難となる限界の開き角が存在すると考えられる。その限界を超えた場合には、加工経路を左右と上下に分離し、例えばまず右から水平面を仕上げた後、工具姿勢を変えて上から他方の面を仕上げるなどの複雑な方法を検討する必要がある。一方で、連続的な動作による角隅加工が可能であればその方が望ましいといえる。この場合、非常に小さな負のすくい角での加工と開き角の小さい工具での加工の両立が求められる。2-2-1 節で述べた検討により、工具の刃先角が 50° 以上であれば十分な強度があり、チップングなどが生じないことがわかっている。そこで、開き角の小さい工具で姿勢を変えずに角隅部を走査する加工経路を与えた場合の加工特性について検討を行った。以下に具体的な検討内容をまとめる。

図 2-2-2-1 に加工装置とワークの外観写真および、ツールパスの模式図を示す。図に示すようにワークの右から左に送りを与え、ワークの中央付近で深さ $30\mu\text{m}$ 、角度 90° の角隅部が 101 個生じるように X-Z 軸同期運転で送りを与えて加工を行った。また、この角隅形状が連続して発生するように、Y 軸方向に送りを与えてプレーナ形式の加工を施した。切削速度は 400 mm/min に設定したが、加減速の制約から角隅部の加工における実際の切削速度は小さい。正確に角隅形状を転写するため、角隅部では 0.2s の待機命令 (Dwell) を与えた。ここでは、すくい角 0° 、逃げ角 30° の工具を用い、B 軸を -20° 傾斜させた。

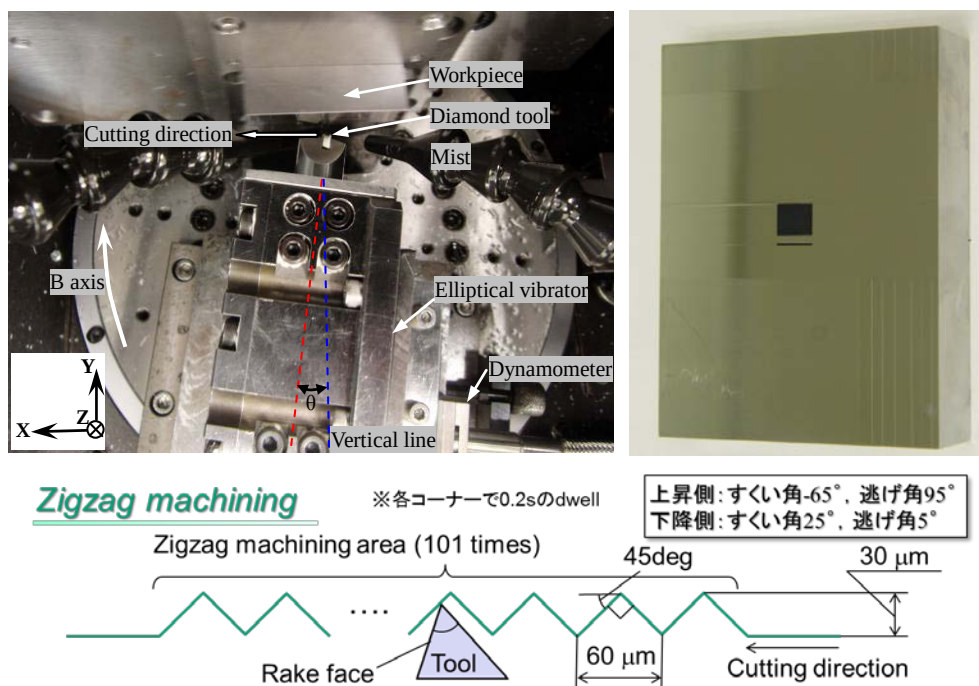


図 2-2-2-1 加工装置と加工後のワークの外観写真およびツールパスの模式図

角隅面加工部の端部付近の加工面の微分干渉顕微鏡写真を図 2-2-2-1 に示す。図は送りの最終位置であり、累積切削距離としては 14m 程度に至っている時点の加工面を示している。R 形状の工具を用いて加工を行っているため、切込みの変化に応じて切削幅が変化するため、加工面の端部ではギザギザの形状が形成されている。角隅部の SEM 写真を図 2-2-2-3 に示す。図から、角隅部の頂上および谷底のそれぞれにおいて鋭利な形状が得られていることが確認できる。各顕微鏡写真からは、頂上における丸みは $2\mu\text{m}$ 以下であり、谷底においても $2\mu\text{m}$ 程度の丸みが生じていることがわかる。

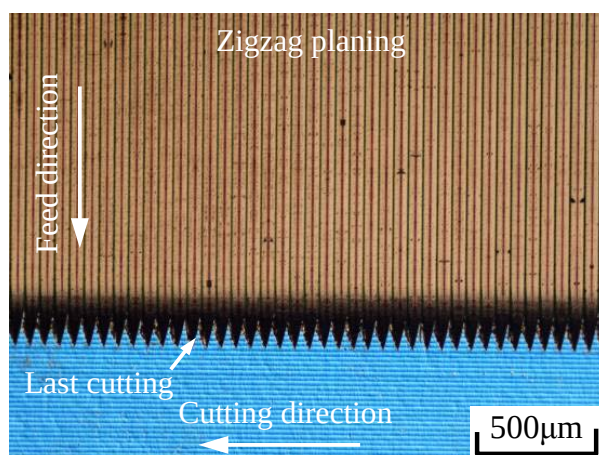


図 2-2-2-2 加工面の微分干渉顕微鏡写真

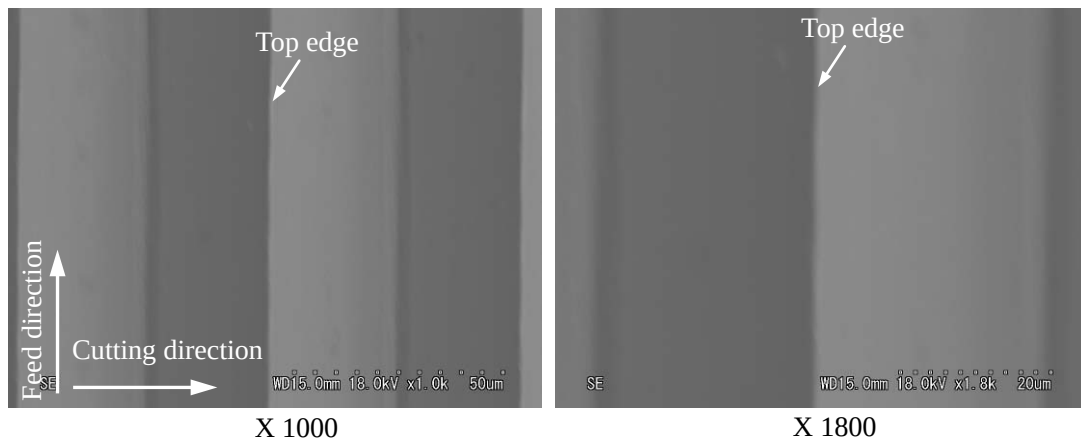


図 2-2-2-3 角隅部の走査電子顕微鏡写真

図 2-2-1-11 に触針式粗さ計を用いて測定した角隅加工面の形状を示す。用いた触針の先端半径は $2\mu\text{m}$ である。下図における赤線は測定形状、緑線はスタイラス半径を補正して求めた予想形状、紫線はその予想形状から求めた傾斜角度を示している。図から、溝形状の角度は $\pm 45^\circ$ となっており、頂上および谷底の形状も $2\mu\text{m}$ 前後の半径で鋭利なことがわかる。ただし、角隅形状の高さは約 $28\mu\text{m}$ であり、理論値（約 $29\mu\text{m}$ ）に対して若干低いことがわかる。これは、ドウェル時間が不十分でツールパスの生成において内回りが生じてしまい、頂点および谷底付近で軌道が丸くなってしまったことに起因する可能性がある。

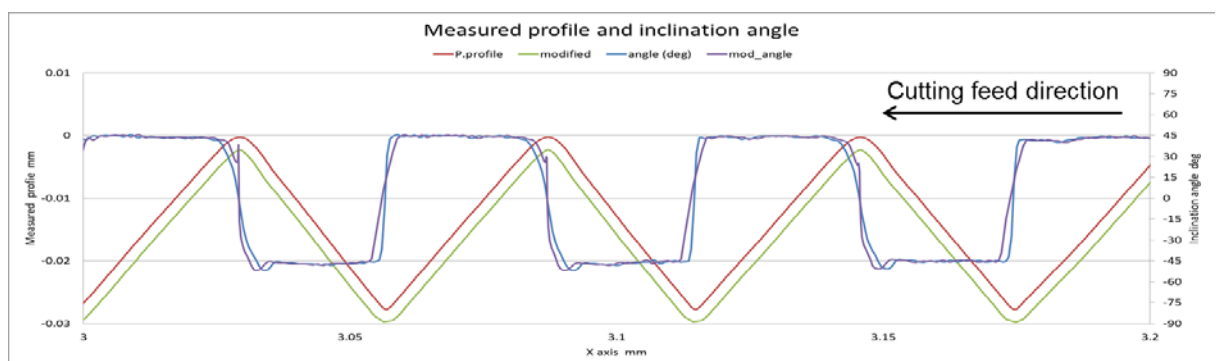


図 2-2-2-4 触針式形状測定機により測定した加工面の形状（上：全体、下：拡大）

以上の検討から、すくい角 0° で逃げ角 30° の工具を用いて 2 軸同期加工送りを与えることで、十分に高品位な角隅加工を顕著な工具摩耗を伴うことなく実用的に実現し得ることを確認した。ただし、適切な工具経路生成とバリの発生については十分な注意が必要である。

2-3. 車載用後部反射器（RR：リフレックスリフレクタ）金型加工への応用

RR は外部の光を確実に反射し、夜間相手に存在を知らせる保安部品である（図 2-3-1）。

法規（欧州規格、北米規格、国内規格等）をクリアしていない車両は販売及び公道での走行を禁止されている。したがって RR は他の自動車用レンズに比べ、金型面精度、粗度の要求が高く非常に高度な技術が要求される。現在の製造方法は矢型 PIN を 1 本毎加工（研磨）し結束、電鋳工法にて転写しており、自動車創成期からの工法を今も利用している。その為、工期は金型完成までに 3 ヶ月から 3.5 ヶ月を要し自動車開発、自動車販売時期に大きく影響を及ぼしている（大型部品のバンパー、グリル等も現在は短納期化実現の為、2.5 ヶ月から 3 ヶ月で金型が完成）。本研究では、この難易度の高い RR 金型角隅加工を従来（電鋳）工法の 3 分の 1 工期を実現し、且つ、各国法適合できる金型加工面精度、粗度の実現を目指す。



図 2-3-1 RR（リフレックスリフレクタ）の例

コーナーキューブ リフレックスリフレクタとは、立方体内面の隅の性質を利用した、光などを元の方向へ反射する器具のことである。

コーナーキューブとは、光や電波を反射する性質を持った 3 枚の平面の板を互いに直角に組み合わせ、立方体の半分を作ったものであり、平面の板は、光ならば鏡やガラス内面（プリズム）、電波なら金属板である。その内側に入射した光や電波は、平面で 3 回の反射を繰り返し結果、元来た方向へ帰る。コーナーキューブ・ミラー（光）、コーナーキューブ・プリズム（光）、コーナーキューブ・リフレクタ（電波）などがある。

その原理はいかのとおりである。

簡単のため 2 次元の場合を考える。2 枚の鏡を直角に組み合わせる。光が θ の入射角で鏡に入ると同じ角度 θ で出る。すなわち光は 2θ 曲がる。それが 2 枚目の鏡に入る角度は $90-\theta$ であり出る角度も $90-\theta$ なので $180-2\theta$ 曲がる。合計すると $2\theta+180-2\theta$ 、すなわち 180 度となり元来た方向へ戻る。

3 次元、すなわち鏡 3 枚の場合はやや複雑だが 2 次元の場合と基本的に同じであり、上下左右どちらからの光も元の方向に戻る。この性質を再帰性反射という。



図 2-3-2 自転車後部（赤）

ペダル（黄）の反射器



図 2-3-3 月面に設置したレーザー反射鏡

身近には、道路や車両に取り付けられている反射板がある。小さなコーナーキューブを多数並べたもので、プラスチック製が多い。夜間、それ自体は発光しないが、自動車のヘッドライトなどを受けて反射し、路肩や分離帯、他の車両の位置を運転者に知らせる。通常、道路用は黄色、車両用は赤である。

自転車では、後部の他、ペダルや車輪のスポークについている（図 2-3-2）。自動車ではコーナーキューブ・プリズムとして、テールランプやブレーキランプのレンズと兼用になっていることが多い。点灯走行中は必要ないが、駐車などで消灯時に必要となる。

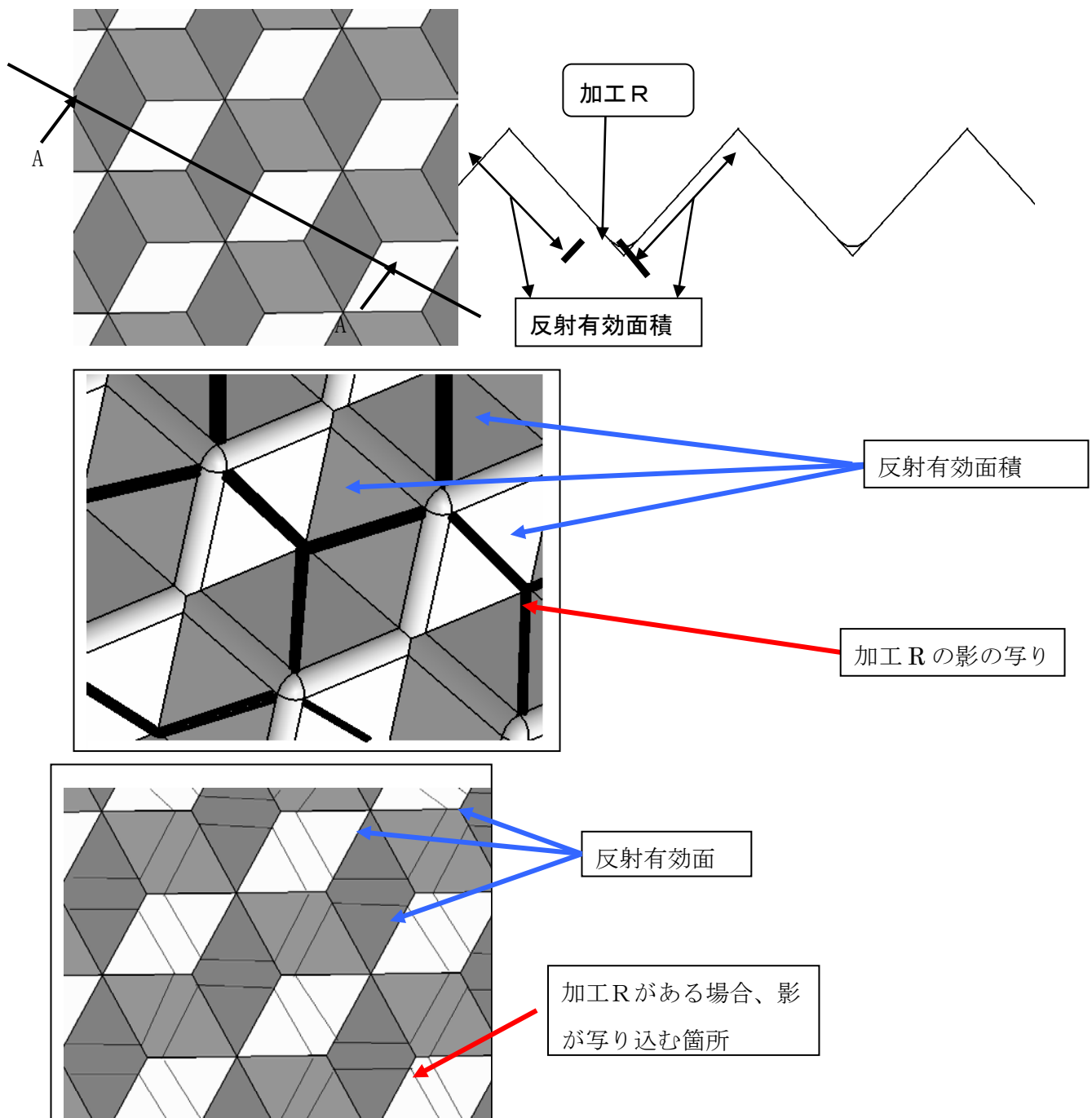
より高い精度のものは測量に用いられる。キューブも単体でガラス製が多い。レーザー光を当てその帰ってくるまでの時間から長さを測定する。遠距離の例では、アポロ宇宙船（11 号、14 号、15 号）が月面にコーナーキューブによるレーザー反射鏡を設置しており、地球からレーザーを発射して月までの距離の測定に用いられている（図 2-3-3）。また、1986 年 8 月 14 日に H-I ロケット 1 号機で打ち上げられた EGS（愛称「あじさい」）は多数のコーナー

キューブを直径 2.15m の球面に配置した測地衛星（受動式）である。

電波では、1m ほどのアルミホイルを貼った板でコーナーキューブをつくりスペースシャトルから地表を測量したことがある。（Shuttle Radar Topography Mission）

*ウィキペディアフリー百科事典より引用

角隅がなぜ重要なのか。それは、角隅の削り残りである加工 R が残ることにより、加工した鏡面に影として写りこみ、反射有効面積が小さくなる。その為、光学性能の低下に繋がる。



つまり、加工 R は反射有効面積を小さくし、効率の良い配光を行う事を低減する要因となる。又、RR は光源を持たず外部からの光を返すという特性からその鏡面、面精度、粗度、角隅の最小化（ピン角）の加工技術は必要不可欠な技術となる。自動車産業は、近年 CO₂削減が叫ばれる中、ランプの光源がハロゲン等のバルブから LED にその多くが変わりつつある。より少ない電力、より少ない光源を如何に効率よくランプ外に光を放射する技術を確立する意味においても今回のテーマ「角隅を有する金型の磨きレス鏡面加工技術の開発」は重要なテーマである。又、従来金型製造工法の中で NC 加工後、電極により放電加工を実施し角隅を除去することは当たり前の様に行われているが、本研究の成果により大幅な工程削減、費用削減効果が得られ、同時に高品質な物作りが可能になる。

2-3-1. 3次元角隅加工用刃先形状の検討と RR 形状の直堀 NC データ作成

角隅加工を実施と同時に精度、粗度を保障する加工面を作成するには、刃物 R の微細化が必要になる。従来工法では不可能な角隅を得るために、先端を鋭利に尖らせ、尚且つ強度が要求さる。加工データとして従来のトレランスを変更し加工によるカプス高さを抑制することにより鏡面を得ることに成功した。

2-3-2. 軟質材料を用いた RR 金型形状の加工

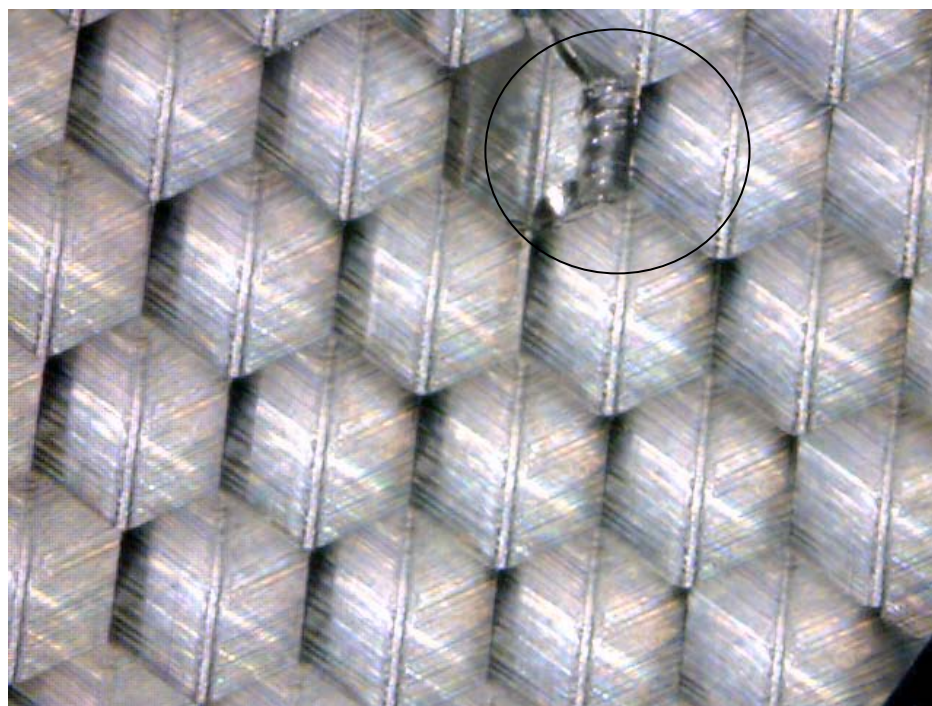


図 2-3-2-1 材質 アルミ 加工バリ（○印内）面荒れが発生

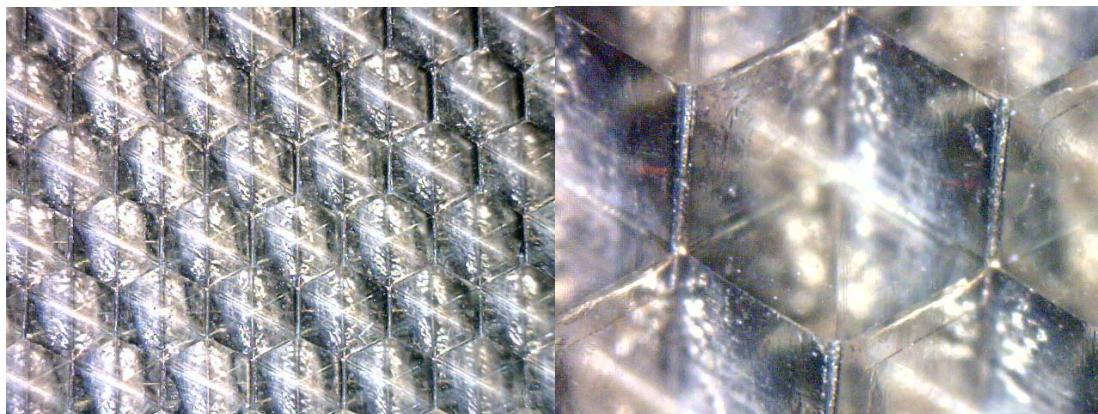


図 2-3-2-2 材質 銅合金

トレランス等加工条件の改良により、面精度、粗度が向上し、その結果、反射測定結果も大幅に向上した。

2-3-3. 超音波楕円振動切削による金型鋼の RR 金型加工と評価



図 2-3-3-1 Ni-p

図 2-3-3-1 STAVAX

数個の素子加工には対応できるが、必要な面積を加工するには工具寿命等の問題が残った。

2-3-4. 試作した RR 金型による成形トライと総合的評価

(1) 金型及び製品簡易反射測定

全長 1.5m 離れた距離から $\phi 0.2\text{mm}$ のレーザー光を照射し、ワークから 1m 離れた場所に屈折プリズムを設置し横の受光器に反射して、受光部にて反射率を測定した。

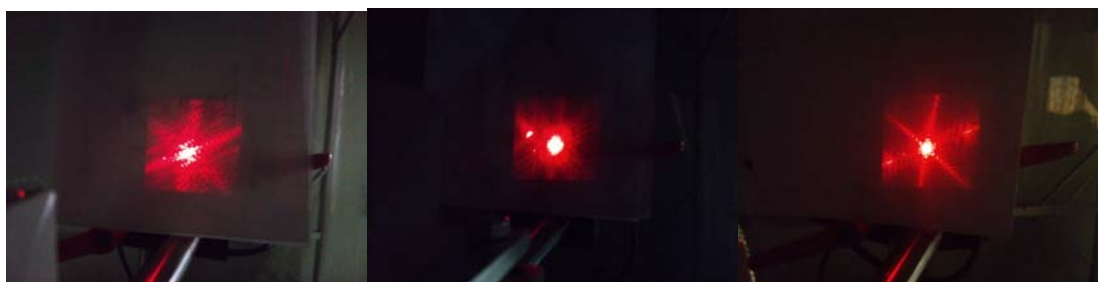


図 2-3-4-1 (a) 市販車 RR (b) 市販反射テープ (c) 角隅加工金型入子

表 2-3-4-1 測定結果

	1 回目	2 回目
市販車 RR	36%	35%
市販反射テープ	19%	18%
角隅加工金型入子	56%	58%

角隅加工を実施した場合、有効な反射率を得られることがわかった。しかしながら金型から製品を成形した場合、転写に問題がのこりこの反射率を維持出来ない。又、金型加工時間を大幅に改善する等、納期短縮、コストダウンの為の研究が課題として残っている。

3. 全体総括

3-1. 研究開発成果

3 年間のプロジェクトは概ね計画通りに進み、発生した課題等に対しても各研究機関が連携して取り組むことで基本的に何らかの解決に至り、最終的に本プロジェクトの目標である『角隅を有する金型の磨きレス鏡面加工技術』の開発に成功した。さらなる高能率化、複雑形状への対応などの改善点はあるものの、長年の間、金型加工の大きな課題であった『角隅の磨きレス鏡面加工』を実現したことで、金型の品質向上、コスト削減、納期短縮、ひいては我が国ものづくり産業の競争力向上に寄与できるものと期待している。

3-2. 事業化展開

研究参加企業が個別に、または協力して事業展開する。

(1) (有)管造型工業の事業展開

自動車用ランプ金型部品の製造販売を最優先に行う。国内外の自動車メーカー及びランプサプライヤーに対して個別にプレゼンを行い一つ一つ確実に顧客を獲得していくことにしている。既に、国内自動車メーカーへの技術紹介・PR を既に開始し、非常に高い評価を得てい

る。平成 25 年度売上げ 5,000 万円を目指す。

自動車用ランプ金型部品の実績を踏まえて、今後、自動車以外（二輪、自転車、交通標識等）のレンズ用金型部品、レンズ以外の金型及び金型部品の製造販売を展開する。

（２）多賀電気（株）の事業展開

高能率・高剛性超音波楕円振動装置の製造販売を行う。センサや超精密光学素子など、比較的ニッチな分野へは自社で積極的に販路開拓を行うと共に、従来より取引のある商社などを通して地道に営業活動を進める。平成 24 年度売上げ 6,000 万円を目指す。

また、平成 24 年 4 月以降の各種展示会に可能なものから展示していく。（有）菅造型工業で製作した最先端の成果品を展示し、楕円振動切削手段及び従来は不可能とされていた高度な金型製造技術を PR していく。特に、5 月に予定されている OPTATEC2012 では（株）アライドマテリアルと共同で出展し、楕円振動切削装置の輸出を図ると共に、海外からの超精密金型の受託生産をも同時に支援して行く。

（３）アライドダイヤモンドの事業展開

高能率・高剛性超音波楕円振動装置用の専用ダイヤモンド工具の製造販売を行う。金型鋼だけでなく高硬度・結晶材料の角隅加工へも楕円振動ダイヤモンド切削工具による加工法を PR し、拡販を図っていく。平成 24 年度売上げ 100 万円を目指す。

以上