

平成 16 年度戦略的基盤技術力強化事業

研究開発成果報告概要

事業管理法人名 (代表者氏名)		財団法人中部科学技術 センター(会長 野嶋 孝)		所在地	〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄 二丁目 17 番 22 号 (Tel:052-231-3043)	
技術分野	金型分野	技術区分	超微細・精密・複雑構造部品成形 加工金型技術/金型加工技術	研究開 発課題	超精密・複雑構造部品成形加工 金型技術/金型加工技術	
テーマ名	高硬度金型の超精密微細加工を実現する楕円振動切削 加工技術の開発			研究開発期間	平成 16 年 4 月 1 日 ~ 平成 17 年 2 月 28 日	
<p>1. 委託業務の概要</p> <p>近年、IT 産業の発展に伴い、次世代光通信 / 光ディスク装置用小型レンズや光導波路など超精密微細構造のガラス素子が必要とされている。この量産のためには超合金等の高硬度金型の超精密微細加工が不可欠であるが、ダイヤモンド切削は被削材の脆性破壊と工具損耗のために適用できず、超精密研削加工は微細形状に適さないため、これを実現する実用技術は存在しない。そのため、楕円振動切削加工法を適用することで従来不可能であった超合金等の高硬度金型の超精密微細加工を実現することを目的として、これを実現するための装置および加工技術について研究開発を行う。</p>						
<p>2. 技術目標値</p> <p>これまでの研究開発では、ダイヤモンド切削加工法や研削加工法など、従来法を適用して高硬度金型の超精密微細加工が試みられてきた。このため、切削加工法では超合金のような硬脆材料製金型には適用できず、一方研削加工法では精密な微細形状の加工には適用できないという問題を残している。これに対して本技術開発は、楕円振動切削と呼ぶ新しい加工法を利用することにより、これまで不可能であった高硬度金型の超精密微細加工を実現することを目指すものである。</p> <p>そこで3年間の目標として、開発した超精密微細加工装置および高周波超精密楕円振動装置を利用し、光通信や光ディスク装置の小型化と性能向上を達成し得る小径大曲率レンズ(直径0.3mm、曲率半径0.2mm程度)および光導波路部品(高さ5<math>\mu</math>m程度の方形溝)用の超精密微細構造金型の実際的な加工を試みることににより、従来不可能であった超合金等の高硬度金型の超精密微細加工を実現するための装置および加工技術を開発する。当該年度は、超精密微細加工に適した楕円振動切削加工装置として、1<math>\mu</math>m程度の振幅で40kHz程度以上の高周波数において、振動軌跡を超精密に安定化(変動量10nm程度)し得る制御装置を開発する。次に、これを利用し、金型用高硬度材料に対して加工精度50nm、仕上げ面粗さ10nm程度の超精密微細加工を実現することを目指す。</p>						
<p>3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法</p> <p>本研究開発で活用する楕円振動切削加工法では、振動軌跡の変動が直接加工面の精度に転写されることから、超精密微細加工を実現するためには、振動軌跡の精密な安定化制御が不可欠である。そこで、高精度な制御系を構成して長時間安定して振動振幅が制御可能な超精密振動制御回路を設計開発する。また、延性モードで超精密微細加工を行うためには、仕上げ面と工具刃先の形状、切削力等を机上計測し得る装置開発が必要である。そこで、被削材の仕上げ面形状と工具刃先および微小な切削力の机上計測装置について基本仕様を策定して外注にて設計・開発し、これらの装置を初年度に開発した加工機に組込む。</p> <p>上述で開発する振動装置を実際の加工用に実用化するためには、基礎的な加工技術開発を行って振動装置開発に必要なフィードバックを行うとともに、より適切な加工方法を見出す必要がある。そこで、振動の高周波数化、制御の高精度化、振動子の駆動エネルギー、振動子の発熱による熱変形、振動制御の応答性等について評価し、これを上記の装置開発にフィードバックする。この他、対象とする高硬度金型材料に対して適切な加工条件を明らかにするとともに、上記で開発する机上計測装置を用いて形状誤差や工具取付け誤差等を補正する技術開発を目指す。</p> <p>さらに、本振動装置の実用化のためには、本手法による新たな金型加工技術を確立し、その実用性を実証する必要がある。そこで、まず当該年度においては、実際の超精密微細金型製品を想定した実用的な加工実験を行うことを目的としてその金型の設計を行う。</p>						

#### 4．当該年度における技術目標値の達成状況と意義

振動軌跡の精密な安定化制御の実現を目指し、振動変位をレーザドップラー式センサによって直接高精度で測定した。その結果、間接的な制御によって目標とする安定性を得られる見通しが得られたため、コストと経年変化に短所のある直接フィードバック方式を取り止め、間接的な制御によって長時間安定して振動振幅を維持し得る超精密周波数自動追尾型発振装置を開発した。この際、超精密な楕円振動軌跡を得る上で障害となる意図しない周波数の振動（スプリアス）を除去するため、各種ノイズ源を除去し、方形波駆動を高精度アンプによる正弦波駆動に変更し、さらに周波数自動追尾の対象をたわみ振動から軸振動に変更するなどの改善を行い、目標とする $1\mu\text{m}$ 程度の振幅、 $40\text{kHz}$ 程度の高周波数、ナノメートルオーダの安定性を同時に実現した。また、延性モードで超精密微細加工を行うため、被削材の仕上げ面形状と工具刃先および微小な切削力の机上計測装置について基本仕様を策定し、これらを外注にて設計・開発して初年度に開発済みの加工機に組み込んだ。また、加工中の振動状態を高精度で測定するため、振動ひずみを直接高精度で測定することが可能な圧電型センサを振動子に組み込んだ。

上述で開発した振動装置によって高硬度材の加工実験を行い、その仕上げ面性状を詳細に観察するとともに、振動状態の直接測定、加工力等の机上計測を行った。その結果、振動子の固定具と支持に問題があることを見出し、これらの剛性を向上するように振動装置の改善を行った。また、対象とする超硬合金に対して適切な加工条件を明らかにするとともに、上記で組み込んだ机上計測装置を用いて、工具と被削材の接触状態や加工状態の把握、被削材の形状誤差や工具取付け誤差等を机上で計測し得ることを確認した。現在、これらの計測データを基に修正加工を行うことによって高精度加工を行う実験を準備中である。この他、当初計画のみにとどまることなく、本加工技術に適した金型材料の開発を目指して、タングステン合金を金型材料とする新しい超精密ガラス成形技術の開発に取り組んだ。この結果、従来の加工法では不可能であった超精密鏡面加工（仕上げ面粗さ $10\text{nm}$ 程度）を達成し、次世代の超精密微細ガラスデバイスの実現に新しい可能性を見出した。

さらに、実際の超精密微細金型製品を想定した実用的な加工実験を行うことを目的としてその金型の設計を行った。

#### 5．事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

本プロジェクトは概ね計画通りに順調に進展しており、どちらかといえば発展的に計画を拡張している状況にある。具体的には、超精密加工機については、低速度領域で高精度な運動が可能な新しい加工機を開発し、現在各種計測機器を組み込んで机上計測技術を開発している。振動装置については、基本性能として当初の要求を満足する装置が完成しており、具体的には $39.36\text{kHz}$ の高周波数において、 $1\mu\text{m}$ 前後またはそれ以上の振幅の楕円振動を発生する振動工具を開発している。さらに、振動周波数以外の成分を $10\text{nm}$ 未満に抑制する安定化技術の開発に成功している。加工技術開発については、最終目標とする仕上げ面粗さ $10\text{nm}$ 程度をすでに達成し、ガラス素子の成形を可能とする高硬度金型材料の超精密微細溝加工および微細球面加工を実現している。ただし、加工精度については未達成であり、今後は完成したばかりの机上計測システムを活用して $50\text{nm}$ 以下の加工精度の達成を目指すとともに、事業化を見据えて、実製品に近い金型加工を実施し、開発技術の実証と改善を行う。さらに本プロジェクトでは、当初の計画である金型加工にとどまることなく、成形試験を行うよう到来年度計画を拡張する予定である。また、ガラス等の成形に用いる金型材料としては、当初従来のガラス成型用金型に一般に利用されている超硬合金を主に想定していた。しかし、超硬合金の普及は従来の超精密研削・研磨加工による製造を前提にしており、金型材料としては必ずしも最適ではない。また、本研究で提案している楕円振動切削加工法としても最適ではないと考えられる。従来の超硬合金以外の材料についても検討し、ガラス素子の成形にとって化学的親和性の低さやコスト等の点で優れているタングステン合金が本加工方法にとって適していることを見出している。これにより、従来技術では困難であった超精密微細加工を必要とするガラス素子の成形を実現し得るのみならず、コストの低下やコーティング工程の省略、型寿命の延長などの効果が得られる期待も生まれている。