

平成 17 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)	社団法人日本金属プレス工業協会 (会長 江口昌典)	所在地	〒105 0011 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号 (Tel:03 3433 3730)		
技術分野	金型分野	技術区分	次世代金型技術 / 金型加工技術	研究開発 課題	超音波援用金型技術
テーマ名	超精密超音波振動金型技術による革新的生産 手法に関する研究開発		研究開発 期間	平成 17 年 4 月 1 日 ~ 平成 18 年 1 月 31 日	

1. 委託業務の概要

ノートパソコン，携帯電話あるいは携帯音楽プレーヤーなどの小型情報機器は，今日，急速に技術革新が進み爆発的に普及している．この状況は，今後もますます加速する傾向にあるものと予測できる．それに伴い，それらの機器の生産にあたっては，さらなる低コストおよび高速化が要求されている．

その生産技術の中で，素形材産業に関連するものに注目すると，前記機器には，機構部品として高精度金属部品が大量に使用されている．具体例としては，大量の情報の記録に不可欠な部品であるハードディスクドライブ(以下 HDD と略記する)装置に用いられている磁気ディスクの回転駆動用軸受には，超精密かつ微細な形状を有する流体動圧軸受が使用されている．同様に，磁気ヘッドの機構部や，その他の各種アクチュエータに用いられるマイクロモータなど多数の超高精度かつ低コストを要求される小型高精度金属部品が使用されている．

それらの小型高精度金属部品は，現状，高精度加工を可能とする超精密切削加工，あるいは放電加工等で製造されているのが一般的である．しかしながら，超精密切削加工等による生産技術手法では，今後の低コスト化および大量供給に対応することが困難であるという問題点がある．

そこで，当委託事業では，一般的に金属部品の低コスト・大量生産が可能なプレス加工技術を中心とした塑性加工技術により，前記の小型高精度金属部品を生産するための生産技術手法を開発することを目的とする．ただし，現状のプレス加工における加工精度は，一般的に 0.01mm オーダーであると言え，前述の目標を達成できないことは明らかである．そこで本研究では，その問題点をブレイクスルーするための技術として，(1) 超精密なサーボプレスを利用する技術，および(2) 金型に超音波振動を援用して，加工精度に影響を与える加工荷重や摩擦を精密にコントロールしながら加工する技術の 2 つを核とした技術開発(超精密超音波振動金型技術による革新的生産手法に関する研究開発)を実施する．具体的な技術目標は，超音波振動金型による超精密コイニング技術により，前述の流体動圧軸受のスラスト軸受を製造する技術，および超音波振動転造技術により同ラジアル軸受を製造する技術を確立し，それらの部品生産に関しての事業化を達成することとする．

この技術目標が達成されることにより，流体動圧軸受をはじめとして，各種の小型高精度金属部品がプレス加工などの塑性加工技術によって生産できるようになり，わが国の素形材産業の国際競争力が高まり，同分野に活性化をもたらすものと期待できる．

## 2. 技術目標値

本技術開発は基本的に3つのサブテーマに分けて実施する。すなわち、(1)技術開発の中心となる超精密コイニング金型の開発、(2)超精密サーボプレス機械の開発および加工技術の開発を目標とする超精密プレス加工技術の開発、および(3)微細なヘリングボーン溝(深さ5 $\mu\text{m}$ 程度の複雑形状精密微細溝)を有する流体動圧軸受の超精密ダイ製作技術の開発を目標とする超精密ダイ加工技術開発である。それらのサブテーマ毎の技術目標値を以下に示す。

### (1) 超精密超音波振動コイニング金型技術の開発

従来、コイニングや深絞り加工等に超音波振動を援用することにより、加工抵抗低減、加工限界向上、摩擦特性向上、あるいは材料変形能の向上などの効果が得られることがわかっている。しかしながら、それを実現するための金型は、工具を超音波の周波数で共振振動させなければならないという制約上、原理的に大型のものとなり、プレス機械には設置不可能であるという問題点があった。そこで、当技術開発では、A)同超音波振動金型を従来の超音波振動金型に比べて1/10程度にコンパクト化し超精密プレス機械へ設置可能(例えば、現状の金型サイズ900mm幅から90mm幅程度にする)とすることを第1の技術目標値とした。一方、一般的に加工負荷が大きいコイニングなどの塑性加工に対し、超音波振動を安定的に適用していくためには、超音波振動機器を従来以上に高出力で安定なものにする必要がある。そこで、B)超音波振動の安定性を従来の約10倍に向上(例えば、現状の安定出力持続時間1分から持続時間を10分以上)させることを第2の技術目標値とした。以上の技術目標値を達成することによって、実際に塑性加工に供しうる超音波振動金型を開発する。

### (2) 超精密プレス製品加工技術の開発

前述の流体動圧軸受などの超精密金属部品をプレス加工や転造加工などの塑性加工法で生産するためには、プレス機械や転造機械の加工精度および加工技術を従来に比べ大きく向上させる必要がある。そこで、C)プレス機械を用いるコイニングの加工精度を従来の精密プレス加工品の約10倍(現状10 $\mu\text{m}$ オーダーから1 $\mu\text{m}$ オーダー)に向上させることを第1の技術開発目標とした。一方、プレス加工等の塑性加工によると、前記流体動圧軸受部品の生産速度および加工コストは、従来の切削加工等と比較して大きく向上あるいは低減すると予想される。そこで、D)前記部品の生産速度を従来の一般的なプレス加工速度と同等とし(言い換えれば、流体動圧軸受の生産速度を従来の切削加工による場合と比較して50~100倍に向上させる)、同時に加工コストを従来の切削加工による場合の1/5~1/10に低減させることを第2の技術目標値とした。

### (3) 超精密ダイ加工技術の開発

開発対象の流体動圧軸受にはヘリングボーン溝という深さ数 $\mu\text{m}$ で公差幅1 $\mu\text{m}$ 程度の超精密複雑微細溝を有している。同微細溝は、従来、製品に直接切削加工や放電加工する方法で製作されていたが、プレス加工で生産するためには、使用するダイ(またはパンチ)を精密に製作する必要がある。そこで、E)コイニングダイの加工精度を従来の一般的なコイニングダイの約10倍(例えば、現状の溝部寸法精度10 $\mu\text{m}$ オーダーから1 $\mu\text{m}$ オーダー)程度に向上させることができるダイ加工技術を開発することをこのプロジェクトの技術目標値とした。技術手段は粉末ハイスや超硬製の同ダイをcBNやダイヤモンドエンドミルにより直接切削することができる工具と切削技術を開発する方法による。

以上のA)~E)の技術目標値を達成することにより、当技術開発の最終目標である流体動圧軸受(スラスト軸受およびラジアル軸受)の高速、高精度および低コスト生産加工技術を開発する。さらに、本開発期間で開発した同生産加工技術は、その他の高精度金属部品に対しても、より広く適用できるものと期待される。

### 3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

#### (1) 超精密超音波振動コイニング金型の開発

当該研究の第1の技術開発目標(A)は、金型サイズを従来の超音波振動金型に比べて最大 1/10 程度までコンパクト化することである。解決策としては、まず、金型に組込むダイユニット(本研究では、ダイ・超音波発振機・振動子及び L-L 変換体のセットを言う)をコンパクト化する。具体的には、新たに L-L 型超音波振動体(振動方向を 90° 変換させることが可能な振動素子で、これにより振動方向を横方向から縦方向に変換することでコンパクト化することを狙う)を利用したダイユニットを開発し、その目標を達成する。次に、同ダイユニットをコイニング金型に精度よく組込むことを実施する。具体的には、ユニット全体が弾性振動する超音波振動ダイユニットを振動節(振動がもっとも弱い箇所)を利用して、剛性高く精度よく組込む。最後に試作した金型による超音波振動コイニングにおける、加工力、工具寿命などの基本的な加工特性に関して明らかにし、開発金型の有効性を実証する。

第2の技術開発目標(B)は、超音波振動機器の安定性を塑性加工に耐えうるように、従来の約 10 倍に向上させることである。すなわち、従来の超音波機器は塑性加工のような大きな加工負荷が断続的に加わるような使用方法に対して十分に対応できるとは言いがたい。それをプレスによるコイニングに利用できるようにする。解決策としては、強力で安定した超音波振動を得るために、2 種類の新たな振動子を開発する。1つは、従来タイプの改良型であり、もう1つはまったく新規技術による外締め型超音波振動子(具体的には成果報告書の内容を参照)である。具体的には、両振動子を設計し、実際に試作を行なってその性能を評価し、有効性の有無を検証する。

#### (2) 超精密プレス製品加工技術開発

第3の技術開発目標(C)は、小型流体動圧スラスト軸受をプレス加工により製作するためにプレス加工精度を従来の一般的な加工精度である 10 $\mu$ m レベルから、その約 10 倍に向上させることである。具体的には、動作精度が 1 $\mu$ m 以内の超高精度サーボプレス機械を開発する。そして、同プレス機械による慣用コイニングおよび超音波コイニング実験を行い、その加工特性を把握する。解決策としては、コイニング金型を試作し、実験的に最適加工条件を見出すことはもとより、コイニングによる変形状態を FEM で解析することも併用する。これらの検討により、最適加工条件を見出す。なお、製品の加工精度を正確に把握するためには計測精度をも高める必要がある。そこで超精密プレス加工品の加工精度をレーザ等により精密に計測および評価する技術をも開発する。

第4の技術開発目標(D)は、生産速度および加工コストを従来プレス加工品と同等とするための加工技術を確立することである。すなわち、同軸受は、従来、超精密切削加工法や放電加工法にて製造されているため、この方法では加工速度向上に限界がある。それに対して、本技術開発ではプレス加工による方法を用いるため、前記の(C)における技術目標が達成されれば、必然的に本開発目標も達成できるものと考えられる。

#### (3) 超精密ダイ加工技術の開発

第5の技術開発目標は、ダイ加工精度を従来コイニングダイの約 10 倍に向上させるためのエンドミル加工技術および放電加工技術を確立することにある。解決策としては、第1に、被削材としては非常に高度の高い粉末ハイスや超硬製のコイニングダイ(またはパンチ)の超精密切削用に最適化された工具の開発、および切削条件の確立する。具体的に検討する工具は cBN あるいは単結晶ダイヤモンドとする。第2に、超精密超硬ダイを放電加工により製作するための最適化された工具の開発、および切削条件を確立する。具体的に検討する工具は超硬合金とする。

#### 4. 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

前述までの最終技術目標値（A）～（E）に対する平成 17 年度（最終年度）における達成状況を以下に説明する。

##### （1）超精密超音波振動コイニング金型の開発

技術目標値は、A) 超音波コイニング金型を従来の約 1/10 程度にコンパクト化すること、および同金型の剛性を十分に確保すること、加工メカニズムと工具・金型寿命に関して調査すること、および B) 高出力・高安定形の超音波振動子を試作することである。

達成状況は、A) 縦長でプレス機械に導入することが不可能であった従来の超音波振動金型を、新たに L-L 型振動方向変換体を利用することにより、横配列とすることが可能となり、超精密プレス機械に導入することが可能となった。すなわち、小型化に関する最終目標値を達成することができた。次に、同ダイユニットを金型に組込むための検討を行った。具体的には、スラスト軸受を製造するための超音波振動順送金型の設計・製作を行い超音波コイニング実験を実施した。その結果、同順送金型により、目的のスラスト軸受が十分に製作可能であることを明らかにした。ただし、試作ダイユニットの支持方式ではやや剛性が不足するといった問題点が残った。B) 強力型の超音波振動子として、(a) 従来方式の改良タイプおよび (b) 鉄鋼製で外側締付け型の新タイプ（従来は中心締付けタイプ）の両者の超音波振動子を考案した。その結果、(a) のタイプでは従来型の約 2 倍程度の出力向上、および約 10 倍の安定性向上を図ることに成功し、前述の目標 A) の実験に供することができた。一方、(b) の新規開発品に関しては、従来の振動子に比べて約 3 倍（900W）の仕様の新型振動子を設計・製作し、実験を行った。その結果、良好な振動状態は確認できたもののその特性が安定しない等結果となった。その原因は、試作に用いた部材の強度不足が考えられ、その対策が今後の課題となった。以上をまとめると、本プロジェクトにおいては、金型のコンパクト化、加工メカニズムの解明、および超音波振動子の試作などに関して、全体として最終目標の 90% 程度を達成したといえる。

##### （2）超精密プレス製品加工技術の開発

技術目標値は、C) 超精密サーボプレスによる小型流体動圧スラスト軸受の超精密コイニング加工特性を把握することおよび製品精度評価法を確立することにより、コイニング加工精度を従来の一般的プレス加工の 10 倍に向上させ、かつ加工速度を従来の切削加工の場合の約 10 倍に向上させること、および D) ラジアル軸受を製造するに当たっての転造装置の精度、および同転造装置に対しての超音波振動適用の可能性に関して検討することである。

達成状況は、C) 開発した超精密サーボプレス機械の繰返し位置決め精度が  $1\mu\text{m}$  以内であることを検証した。流体動圧スラスト軸受が 40spm のサイクルで最終目標精度を満足させて製作可能であることを検証した。流体動圧スラスト軸受のヘリングボーン溝精度の測定法を確立した。D) ラジアル軸受の超精密転造法を確立した。さらに超音波転造装置として、3 軸リニアモータ駆動タイプの高速度・高精度かつ安価・小型の機械を新たに開発した。以上をまとめると、サーボプレスによるコイニング特性の把握、コイニング加工精度の達成、および転造機の精度把握と超音波転造機の試作を終了し、現在、サンプル評価の段階にこぎつけている。全体として、最終目標の 90% 程度を達成したといえる。

##### （3）超精密ダイ加工技術の開発

技術目標値は、E) 超硬ダイ加工用のダイヤモンドあるいは cBN エンドミルの開発および放電電極加工用のマイクロ超硬エンドミルの開発である。

達成状況は、超硬ダイのヘリングボーン溝切削用の cBN エンドミルおよび単結晶ダイヤモンドエンドミルを試作し、良好な切削性能が得られることを検証した。放電加工銅電極切削用の直径  $10\mu\text{m}$  の極小径超硬エンドミルの試作に成功した。以上をまとめると、全体として、最終目標値の 100% 程度を達成したといえる。

## 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

### 5.1 事業化の目標

パーソナルコンピュータや携帯電話等の情報機器に加えて情報機能を備えた家電製品が、今後、急速な普及および低コスト化が進むものと予測される。それに伴う情報機器の小型化と高機能化は一層強まり従来の生産技術のままでは、それらの部品的高速および低コスト生産に対応することは困難である。当技術開発では、それを達成するための生産基盤技術として「超精密超音波振動金型技術による革新的生産手法」の完成と事業化を目標ととして設定した。

その目的とするところは、たとえば直径 20 mm に満たない磁気記憶ディスクに数ギガ以上の情報を記憶する超小型ハードディスク装置 (HDD) には深さ 5  $\mu$ m 程度の微細で複雑形状を有するヘリングボーン溝を形成した空気動圧軸受が欠かせない。

本技術開発によって得られる「超精密超音波振動金型技術による生産手法」の基盤技術である超音波振動金型技術および同金型を用いた超精密成形 (コイニングや転造) 技術は「金属材料を極めて低い摩擦抵抗下で微量移動させる」ような超精密塑性加工技術であり、10 年後には超小型 HDD が年間 5 億個を超えると予想される巨大マーケットを支える技術およびそれによる事業となるものと予想される。

### 5.2 当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

当該年度に把握した「超精密超音波振動コイニング金型」、「超精密プレス加工・計測技術」および「超精密ダイ加工技術」の第 2 フェーズによって得られた技術とノウハウは、前年度の報告と同様、立案した「事業化の目標」に一致するものであり、その後の調査でも当初の需要予測数量と技術動向に差異は無く、事業化を取り巻く環境に大きな変化はない。そればかりか、平成 16 年 12 月に、新聞紙上において、今年度の注目技術の第 1 位として「500 円玉大のハードディスクドライブ」が、大きく取り上げられたように、HDD は確実に小型化の方向に向いており、当研究で取り上げている小型流体動圧軸受の高速生産手法の事業化が大いに期待されていると考えられる。

従って、当初計画した平成 17 年度の第 3 フェーズの開発の妥当性と必要性に変化は無く、当初の予定通り本研究開発の継続は必要である。さらに、本技術開発に関連して得られる「工具技術」及び「工作機械技術」は広く普及する必要がある、当該業界以外にも多くの波及効果をもたらす。