

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)	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 16 年 4 月 1 日 ~ 平成 17 年 2 月 28 日	

1. 委託業務の概要

携帯用コンピュータあるいは電話などの小型情報機器は、現状、急速な普及および技術革新が進んでいる。さらに将来も、この状況はますます加速的に進むものと予想できる。それに伴い、それらの小型情報機器の生産技術に対しては、さらなる高精度化、低コスト化、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、機構部品としての高精度金属部品が多量に使用されていることがあげられる。具体例としては、ハードディスクドライブ(以下 HDD と略記する)装置におけ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、各種アクチュエータとしての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、高精度加工を保證できる加工法である超精密切削加工、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化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化および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技術手法を開発することを目的とする。ただし、一般的に、プレス加工においては、その加工精度がおおよそ 0.01mm オーダーであり、現状の技術レベルでは前述の目標を達成できないことは周知である。そこで本研究では、その問題点をブレー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、および超音波振動製造技術により同ラジアル軸受を製造する技術を確立し、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のプレス加工などの塑性加工技術が確立され、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

技術開発は3つのサブテーマに分けて実施する。すなわち、技術開発の中心となる(1)超精密コイニング金型の開発、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(2)超精密プレス加工技術の開発、および流体動圧軸受に用いられる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)を加工するための超精密ダイの製作技術の開発を目標とする(3)超精密ダイ加工技術開発である。各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、加工力が向上すること、加工限界が向上すること、摩擦特性が向上すること、あるいは材料の変形能が向上すること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、工具を共振振動させる制約上、原理的にいずれも大型になり、従来の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程度にまで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900mm幅から90mm幅程度)とすることを第1の技術目標値とした。一方、コイニング等塑性加工に対し、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および高安定化する必要がある。そこで、B)超音波振動の発振安定性を従来の約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り、実生産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、従来の一般的なプレス等の加工精度を大きく向上させる必要がある。そこで、C)プレス機械によるコイニング加工精度を従来のプレス加工品の約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。プレス加工等塑性加工によると、前記部品の生産速度および加工コストは、従来の生産技術手法である切削加工等と比較して大きく向上すると予想される。そこで、D)前記部品の生産加工速度を従来の汎用プレス加工品と同等とし(言い換えれば、従来の切削加工品の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品の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

前述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1 $\mu\text{m}$ 程度の寸法公差を有する超精密複雑微細溝を有している。そのような微細溝は、従来、切削加工等で製作していたが、コイニング等のプレス加工で生産するためには、使用するダイを精密に製作する必要がある。そこで、E)同ダイのダイ加工精度を従来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)に向上させることを技術目標値とした。

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、開発した生産加工技術は、より広くその他の高精度金属部品の生産加工技術として適用できると期待される。

### 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

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(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 型超音波振動体による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。同時に、超音波振動コイニングにおける、加工力、工具寿命などの加工特性に関して明らかにする。

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。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、新たに、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)を開発する。具体的には、同振動子を設計し、実際に試作を行なってその性能を評価する。

#### (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法で製作するために、プレス加工精度を従来の約 10 倍に向上させるための加工技術を確立することである。解決策としては、動作精度が 1  $\mu\text{m}$  以内の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超音波コイニング実験を行い、その加工特性を把握する。また、超精密プレス加工品の加工精度をレーザ等による計測により評価する技術を開発する。

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。解決策としては、コイニング加工品における変形を FEM で解析することを試みる。これにより、最適加工条件を見出す可能性を追求する。

#### (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手段として、超硬ダイ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を実施する。具体的な工具は cBN あるいは単結晶ダイヤモンドである。第2手段として、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、および切削条件の確立を実施する。具体的な工具は超硬合金である。

#### 4. 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

前述までのプロジェクト全体のそれぞれの技術目標値(A)～(E)の中の当該年度(平成16年度)の技術目標値の概要とその達成状況に関して以下に説明する。

##### (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確保、加工メカニズムおよび寿命等についても調査すること、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)前年度にL-L型の振動方向変換体を利用することにより超音波振動ダイユニットを小型化することに成功した。当年度では、同ダイユニットを金型に組込むための検討を行った。流体動圧スラスト軸受を製造するための超精密超音波振動順送金型の仕様を決定し、設計・製作を行った。その結果、同順送金型により、目的の流体動圧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、試作ダイユニットではやや剛性が不足するといった問題点が残った。超音波コイニング実験を実施し、同法により慣用法の1/10の加工力でコイニングできることなどの有効性を明らかにした。B)強力型の超音波振動子として、新たに、鉄鋼製で外側締付けタイプ(従来は中心締付けタイプ)の超音波振動子を考案した。仕様の決定および設計・製作を行った。その結果、定格が従来の同サイズのものに比べて約3倍(900W)を有するものを試作し、良好な電気的特性が得られることを確認できた。以上をまとめると、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達成し、全体として、最終目標の60%程度を達成した。これまでの進行状況から推測するに、最終年度での最終目標の達成は十分可能であると考えられる。

##### (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コイニング加工特性を把握すること、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6倍に向上させること、およびD)ラジアル軸受の機械精度および超音波振動の適用法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のサイクルで当年度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)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、全体として、最終目標の60%程度を達成した。これまでの進行状況から推測するに、最終年度での最終目標の達成は十分可能であると考えられる。

##### (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60%程度を達成した。これまでの進行状況から推測するに、最終年度での最終目標の達成は十分可能であると考えられる。

## 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。