

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 27 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760136

研究課題名（和文）

新規差動機構を用いたデスクトップ型プレス加工機の開発

研究課題名（英文）

Development of desktop press machine using new differential mechanism

研究代表者

關 正憲 (Seki Masanori)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：10314650

研究成果の概要（和文）：

研究代表者は、精密位置決めと高荷重出力を両立させることが可能な差動型回転直動変換機構を組み込んだデスクトップ型プレス加工機を開発した。その性能評価の結果、パンチの設定押し込み量の増加に対し、本研究で開発したプレス加工機の押し込み荷重は従来型プレス加工機を想定した送りねじ機構より大きくなり、プレス加工機によるパンチの位置決め誤差は送りねじ機構の場合より小さくなることを実証した。

研究成果の概要（英文）：

A desktop press machine using differential rotary to linear conversion mechanism was designed. This differential mechanism is adequate for both high positioning accuracy and large output load. As a result of the performance evaluation, it was demonstrated that the load for larger punch indentation of the desktop press machine became larger than that of the feed screw mechanism intended for conventional press machine, and the positioning error of the punch of the press machine became smaller than that of the feed screw mechanism.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：差動機構，歯車，ねじ，プレス加工，V曲げ加工，位置決め，押し込み荷重

1. 研究開始当初の背景

毎年、経済産業省が発行する「技術戦略マップ」によると、環境負荷削減の具体例の一つとしてデスクトップ超精密加工装置を掲げている。工作機械の一つであるプレス加工機は、加圧の原動力によって油圧駆動またはモータ駆動に大別される。油圧駆動の場合はポンプを必要とするため、小型化が難しく、ポ

ンプのエネルギー効率が低い。一方、モータ駆動には、主に電動モータ＋クランク機構の方式とサーボモータ＋ボールねじの方式があり、いずれも大きな加圧を得るために出力容量の大きなモータを必要とする。

研究代表者は、精密位置決めと高荷重出力を両立させることが可能な差動型回転直動変換機構である「リニアアクチュエータ」の特

許を取得した。この特徴は、ねじと歯車により機械的に精密な直動出力を生み出すことであり、これまでに本機構のプロトタイプが1本のボールねじに比べ、入力トルクに対する出力荷重が大きく、位置決め精度が優れていることを確認した。そこで本研究では、大きな加圧力が期待される本機構をデスクトップ型プレス加工機に組み込み、環境負荷削減や先進的コア加工技術の実現を目指すという着想に至った。

2. 研究の目的

デスクトップ型プレス加工機の駆動機構として新規差動機構を組み込むため、新規差動機構やデスクトップ型プレス加工機本体の寸法・形状を応力解析の観点から検討し、最適な寸法・形状を見出す。問題点を修正しながら、デスクトップ型プレス加工機的设计・製作を行った後、その加工性能、加工精度を評価する。従来型プレス加工機と比較し、新規差動機構を組み込んだデスクトップ型プレス加工機の優位性を明らかにする。さらに、材料の塑性変形挙動を明らかにする材料試験機としてデスクトップ型プレス加工機の性能を評価する。

3. 研究の方法

(1) 有限要素法による設計条件の検証とプレス加工機の組立

寸法・形状の違いにより、様々な性能のプレス加工機が存在するが、本研究では、卓上に設置可能なデスクトップ型プレス加工機の開発を目指した。まず、デスクトップ型プレス加工機に及ぼす加圧力の影響を検討するために、直動出力部における最大出力荷重（最大押し込み荷重）を500kgとし、汎用有限要素法プログラム（ANSYS Mechanical Release 6.0）を用いて、三次元線形有限要素

解析を行い、加工機本体の寸法・形状などについて最適設計を行った。

最適設計の結果を考慮して機械要素を選定した後、デスクトップ型プレス加工機を組み立てた。

(2) パンチの位置決め精度試験

プレス加工において、パンチの位置決め精度が加工精度に大きく影響を及ぼす。そこで、最適設計の後、組み立てたプレス加工機によるパンチの位置決め精度試験を行った。図1にプレス加工機を用いて行った位置決め精度試験の構成を示す。回転軸に固定した歯車に基本ステップ角度 0.1deg.、最大トルク 4N・m の5相ステッピングモータによる回転入力を与え、パンチの直動変位量を分解能 0.1 μ m の接触式リニアゲージで測定した。また、本研究で開発したプレス加工機の位置決め精度と比較するため、従来型プレス加工機を想定したボールねじ1本による送りねじ機構の位置決め精度試験も実施した。これらの位置決め精度試験は、位置決め精度に関する日本工業規格を参考に、パンチの設定直動変位量 2mm に対する誤差を 20 回測定した。

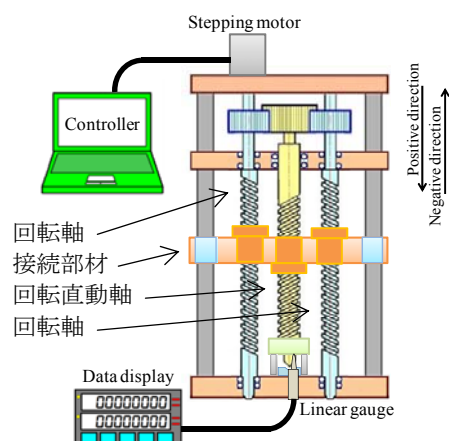


図1 プレス加工機によるパンチの位置決め精度試験の構成

(3) 入出力試験

プレス加工機の入力トルクと押し込み荷重の関係を明らかにするために入出力試験を行った。図2にプレス加工機による入出力試験の構成を示す。回転軸に分解能 $10\text{N}\cdot\text{mm}$ のトルクメータでパンチが図の下方向に直動するように回転入力を与える。このときのパンチがダイを押し込む荷重をひずみアンプを介してロードセルで測定した。なお、位置決め精度試験の場合と同様に、本研究で開発したプレス加工機の結果と比較するため、従来型プレス加工機を想定したボールねじ1本による送りねじ機構の入出力試験も実施した。

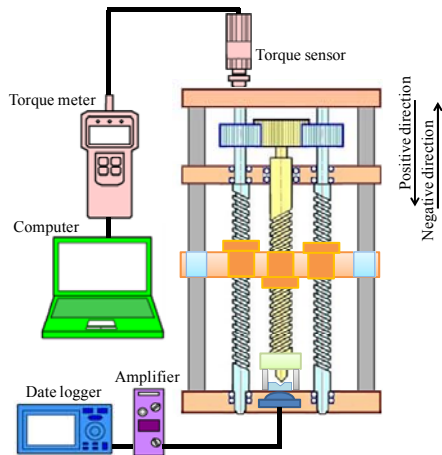


図2 プレス加工機による入力試験の構成

(4) V 曲げ試験

プレス加工機による V 曲げ加工の性能評価を行うため、V 曲げ試験を実施した。日本伸銅協会技術標準 JCBA の銅および銅合金薄板条の曲げ加工性評価方法を参考に、幅 $10\text{mm}\times$ 長さ $28\text{mm}\times$ 厚さ 0.5mm のステンレス鋼 (JIS : SUS316), ベリリウム銅 (JIS : C1720), 真鍮 (JIS : C2680) の3種類の薄板を被加工材 (試験片) として使用した。

図3にプレス加工機のパンチとダイの寸法および形状を示す。薄板をダイの上に設置した後、ステッピングモータにより回転軸に回

転入力を与え、パンチを押し込むことにより、薄板に V 曲げ加工 (90° 曲げ加工) を行う。V 曲げ試験では、ダイの下に設置したロードセルで押し込み荷重を測定し、パンチの押し込み量を接触式リニアゲージで測定した。パンチを少しずつ下降させ、パンチと薄板が接触した点をゼロ点と定義し、ゼロ点からのパンチの直動変位量をパンチの押し込み量とした。また、V 曲げ加工後の薄板の曲げ角度を分解能 0.01° のハイトゲージベベルを用いて測定した。

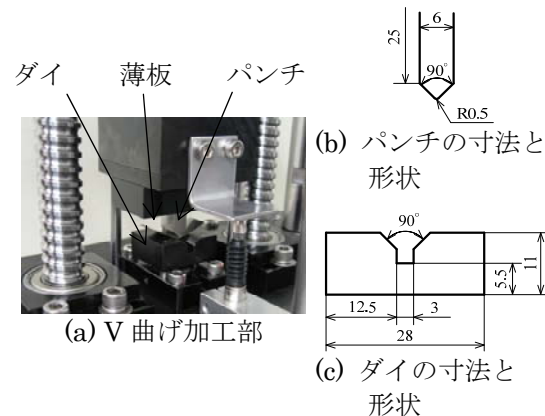


図3 プレス加工機のパンチとダイ

(5) V 曲げ加工におけるパンチの位置決め精度試験

次に V 曲げ加工におけるパンチの位置決め精度試験を行った。パンチの設定押し込み量を $3.3\text{mm}\sim 3.6\text{mm}$ とし、V 曲げ加工時のパンチの押し込み量測定値との差を誤差として算出した。さらに、この位置決め精度試験を各設定押し込み量に対して5回ずつ実施し、その平均値を求めた。このとき V 曲げ加工時におけるパンチの押し込み荷重もロードセルにより測定した。また、本研究で開発したプレス加工機の結果と比較するため、従来型プレス加工機を想定した送りねじ機構についても同じ試験を行った。

4. 研究成果

(1) 有限要素法による設計条件の検証結果と

プレス加工機の組立

回転軸と回転直動軸の外径をそれぞれ 16mm, 20mm とし, 回転軸と回転直動軸の軸間距離や接続部材の位置を変化させた解析の結果, 回転軸と回転直動軸の軸間距離が 50mm~60mm 程度において 500kg の荷重に耐えることができることを確認した. 図 4 に解析結果の一例を示す.

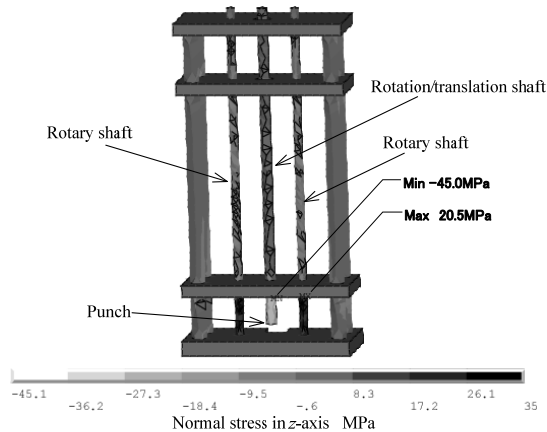


図 4 解析結果の一例

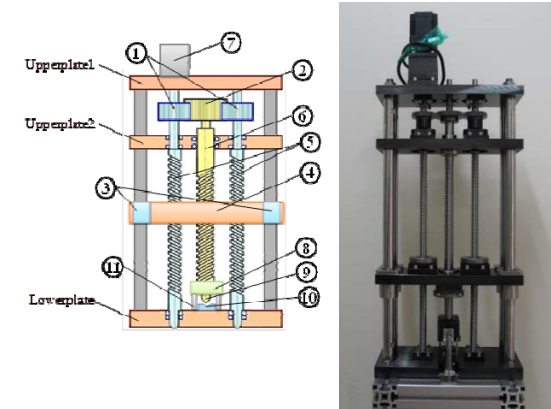
最適設計により回転軸・回転直動軸の外径, 軸間距離などを決定し, 以下に示す機械要素を選定した.

まず, 回転軸にはリード 5mm, ねじ軸呼び外径 16mm, ねじ部有効長さ 425mm, 精度等級 C5 級の予圧された左ねじの精密ボールねじを用いた. 回転直動軸にはリード 5mm, ねじ軸呼び外径 20mm, ねじ部有効長さ 336mm, 精度等級 C5 級の予圧された右ねじの精密ボールねじを用いた.

歯車には, 高周波焼入れされた歯面研削仕上げの平歯車を用い, モジュール 1mm, 精度等級 N5 級, 歯数 40~60 を使用した.

図 5 に組み立てたプレス加工機の概略図と外観を示す. 本研究のプレス加工機は, 主に 3 個の平歯車, 2 本の回転軸, 1 本の回転直動軸, 1 個の接続部材で構成され, プレス加工機本体の寸法は, 幅 300mm×高さ 760mm×奥行き 140mm である. また, 表 1 にはプレ

ス加工機の差動減速比 R とそれに対応する歯車①, 歯車②の歯数を示す. この表に示すように, 歯車の歯数比を変えることにより, プレス加工機の差動減速比 R を 3~25 に設定可能である. このプレス加工機は, 固定したダイの上に被加工材を設置し, パンチを下降させることによって, 被加工材の曲げ加工を行うことができるものである.



①Spur gear 1 (Rotary input) ②Spur gear 2
③Ball spline ④Connecting block
⑤Rotary shaft ⑥Rotation/translation shaft
⑦Stepping motor ⑧Thrust bearing
⑨Punch ⑩Die ⑪Spline

図 5 プレス加工機の概略図と外観

表 1 プレス加工機の差動減速比

Number of teeth	Differential reducing ratio R				
	3	6	11	12	25
Spur gear 1	40	50	50	55	48
Spur gear 2	60	60	55	60	50

(2) パンチの位置決め精度試験の結果

図 6 にプレス加工機の差動減速比に対するパンチの位置決め誤差の平均値をプロットしたものを示す. 図中の実線と破線は送りねじ機構 (図中で FSM と表記) の位置決め誤差である. この図より, ボールねじ 3 本で構成される本研究で開発したプレス加工機の位置決め精度は, 従来型プレス加工機を想定したボールねじ 1 本の送りねじ機構と同等であることがわかった. 本研究で開発したプレス加工機の位置決め精度の平均値は, $\pm 3\mu\text{m}$

以内であった。

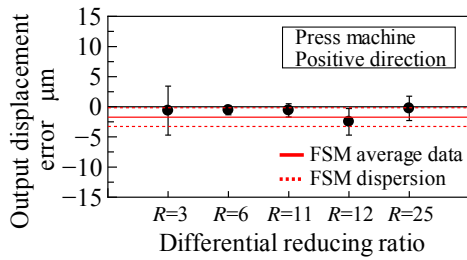


図 6 差動減速比に対するパンチの位置決め誤差

(3) 入出力試験の結果

図 7 にプレス加工機の入出力試験の結果を示し、送りねじ機構の結果（図中で FSM と表記）も合わせて示す。この図より、送りねじ機構の場合に比べ、プレス加工機の入出力特性が優れていることを確認した。これは、同じ入力トルクを与えたとき、従来型プレス加工機を想定したボールねじ 1 本の送りねじ機構より本研究で開発したプレス加工機において大きな押し込み荷重が得られることを表している。したがって、従来型プレス加工機に比べ、本研究で開発したプレス加工機の入出力特性が優れていることを実証した。

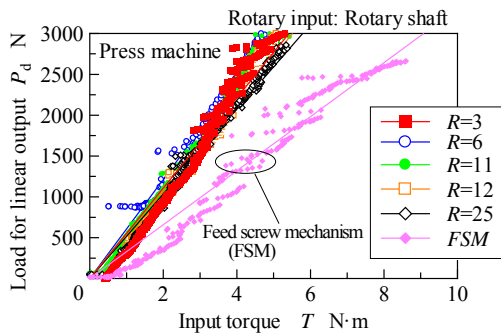


図 7 入力トルクと押し込み荷重の関係

(4) V 曲げ試験の結果

図 8 にパンチの押し込み量と加工後の薄板の曲げ角度の関係を示す。この図より、押し込み量が同じでも、材料特性によって曲げ加工後の変形挙動が変化することがわかった。したがって、本研究で開発したプレス加工機が材

料特性による変形挙動の違いを捉えており、プレス加工を実現できることを実証した。

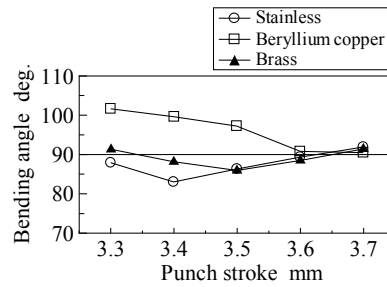


図 8 パンチの押し込み量と薄板の曲げ角度の関係

(5) V 曲げ加工における位置決め精度試験の結果

図 9 に本研究で開発したプレス加工機と従来型プレス加工機を想定した送りねじ機構におけるパンチの設定押し込み量と位置決め誤差の関係を示す。プレス加工機ではパンチの設定押し込み量に対して位置決め誤差の変動は少なく、パンチの設定押し込み量が大きくなっても、位置決め誤差が大きくなることはなかった。これは差動型回転直動変換機構の非可逆性（位置保持性能）が働き、パンチに大きな反力が加わっても、位置決め誤差が増大しなかったと考えられる。一方、送りねじ機構では、パンチの設定押し込み量が大きくなると、位置決め誤差が増大した。

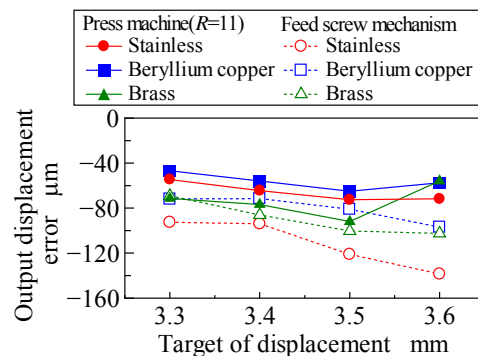


図 9 パンチの設定押し込み量と位置決め誤差の関係

図 10 に本研究で開発したプレス加工機と従来型プレス加工機を想定した送りねじ機構におけるパンチの設定押込み量と押込み荷重の関係を示す。図 7 で示したように本研究で開発したプレス加工機の入出力特性は送りねじ機構より優れていることから、同じステッピングモータで回転入力を与えた図 10 においてプレス加工機の設定押込み荷重が送りねじ機構より大きくなったと考えられる。

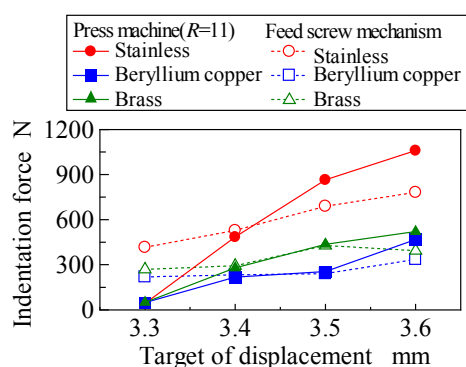


図 10 パンチの設定押込み量と押込み荷重の関係

以上の結果、パンチの設定押込み量の増加に対し、本研究で開発したプレス加工機の設定押込み荷重が大きくなり、その位置決め誤差は送りねじ機構より小さいことを実証した。したがって、送りねじ機構を用いた従来型プレス加工機と比較して、差動型回転直動変換機構を組み込んだ本研究のプレス加工機はプレス加工としての性能を十分に発揮できると考えられる。

今後は、本研究のプレス加工機の性能向上、そして差動型回転直動変換機構のさらなる応用ならびに実用化を検討する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 7 件)

Yoshiki Ototake, Masanori Seki, Ichiro Shimizu, Takafumi Matsui and Masahiro Fujii, Performance Comparison of Differential Rotary to Linear Conversion

Mechanisms with Multiple Ball Screws and Gears, The 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2011), 2011 年 4 月 26 日, 愛知県蒲郡市

關正憲, 清水一郎, 松井崇史, 乙武慶樹, 藤井正浩, 差動型回転直動変換機構の位置決め精度と入出力特性, 2011 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2011 年 5 月 28 日, 岡山県岡山市

清水一郎, 關正憲, 多田直哉, 藤井正浩, リバース式差動回転直動変換機構を用いた二軸圧縮試験装置の開発, 日本設計工学会中国支部講演会, 2011 年 6 月 4 日, 広島県広島市

關正憲, 乙武慶樹, 松崎敦史, 清水一郎, 藤井正浩, 差動型回転直動変換機構を用いた重量物の位置決めに関する研究, 日本機械学会中国四国支部 第 50 期総会・講演会, 2012 年 3 月 8 日, 広島県東広島市

關正憲, 乙武慶樹, 松井崇史, 清水一郎, 藤井正浩, 差動型回転直動変換機構による重量物の位置決め精度と位置保持性能, 2012 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2012 年 5 月 29 日, 静岡県浜松市

關正憲, 乙武慶樹, 櫻井俊輔, 差動型回転直動変換機構を用いた重量物の位置決めと位置保持, 岡山大学 知恵の見本市 2012, 2012 年 11 月 2 日, 岡山県岡山市

Masanori SEKI, Yoshiki OTOTAKE, Takafumi MATSUI, Ichiro SHIMIZU and Masahiro FUJII, Performance Evaluation of Differential Rotary to Linear Conversion Mechanism with Ball Screws and Spur Gears, The 2nd IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science, 2012 年 11 月 8 日, 東京都目黒区

6. 研究組織

(1) 研究代表者

關 正憲 (Seki Masanori)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号: 10314650