

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)

研究期間：2008 年度～2009 年度

課題番号：20860083

研究課題名(和文) 非接触動力伝達によるエンドエフェクターに関する研究

研究課題名(英文) Development of End Effector by Noncontact Power Transmission Device

研究代表者

平尾 篤利(ATSUTOSHI HIRAO)

独立行政法人国立高等専門学校機構 福島工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：70455111

研究成果の概要(和文):本研究では,磁気歯車方式による非接触動力伝達機構の技術を加工機に適用した。磁気歯車は,距離によって磁束密度が変化する。この現象をトルクリミッタ機能へ応用し,微小径ドリルの折損回避を試みた。直径数百 μm 以下の微小径ドリルは,切り屑の影響によって頻繁に折損するが,トルクリミッタ機能が適切に働きドリル折損の回避に成功した。また,非接触で動力伝達が可能なため,駆動軸と従動軸とをそれぞれ異環境で用い加工に適用した。その結果,切削加工では困難な微細形状加工が可能になった。

研究成果の概要(英文):In this research, we developed the machine that is noncontact power transmission device by using magnetic gear. The magnetic flux density is changed with the distance of magnetic gear. In order to avoid breaking the small diameter drill, we applied torque limiter used in the magnetic gear. The small diameter drill is frequently broken according to the effect of machining swarf. However, we avoided breaking the small diameter drill. Moreover, we applied the device under different conditions. As a result, we machine microfabrication under conditions difficult to cutting work.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：生産加工

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：マイクロ形状創成加工,トルクリミッタ,自在エフェクター

1. 研究開始当初の背景

ロボットを柔軟に動作させるために,機構部は重要な位置を占めている。特に,産業用ロボットの普及によって,様々な機構部に対して研究が進められているが,今も昔も機構部に用いられるのは,主に歯車やベルトなどの要素部品である。

これらの機構は,動力伝達などに優れた特徴を有するが,歯面が直接接触するため,極限環境や宇宙空間などでの使用には問題が生じる。また,歯車式動力伝達機構では,突発的なアクシデントを防ぐのが困難であり,大きな危険を伴う。特に,研究,開発,試作品の製作等,不確定要素を多数含むものに対

して顕著である．これらアクシデントを未然に防ぐため，安全装置が必要であるが，摩擦，疲労，熱による影響など，環境によって変化する，未知なる要素を加味した動作は困難である．

2. 研究の目的

(1) 微細穴加工機の開発

近年，微細穴加工は，エンジンの噴射ノズルやプリント基板など幅広い所に適用されている．しかし，加工に使用される微小径ドリルは，強度が低いため折損しやすいという欠点がある．そこで，本研究では，永久磁石を用いた磁気歯車方式による非接触式動力伝達機構を加工機に組み込んだ装置の開発を目的とした．

非接触動力伝達機構は，駆動源に取り付けられた永久磁石（駆動軸側）とそれと平行に設置した永久磁石（従動軸側）から構成される（図1参照），磁力により非接触でトルクを伝達する．図2に磁気歯車の表面磁束密度分布を示す．非接触であるため，異環境間に対しても動力伝達を可能にする．また，永久磁石は，ある一定以上の負荷を受けると磁極が追従しなくなり脱調する．この特徴を生かした加工機の開発を行った．

(2) エンドエフェクターの開発

磁気歯車方式による動力伝達機構は，軸合わせの必要が無いことから，軸の取り付け，取り外しが容易である．さらに，非接触で駆動するため，摩擦および発熱を考慮する必要がない．そこで，非接触動力伝達機構を有した加工機の駆動軸部をモジュラー化し，自由度の高い自在エフェクターを構築した．さらに，異環境への適用，多軸回転機構への展開など，多岐にわたる分野へ発展させることを目的とした．

3. 研究の方法

(1) 微細穴加工機の開発

加工機の仕様

開発した加工機を図3に，仕様を表1に示す．加工機は，主軸移動を行う送り部および微小径ドリルを回転させる加工部から構成されている．

送り部はステッピングモーターを用いており，永久磁石を介して非接触でボールネジに動力伝達を行っている．動力をラジアル方向からスラスト方向に変換し，加工部は上下に移動する．移動範囲は400[mm]であり，ボールネジ回転の送りが1[mm]である．また，ステッピングモーターを用いているため，送り速度および位置制御を実現した．

加工部は高速スピンドル番を用いており，送り部と同様に非接触でドリルチャックに動力伝達を行っている．高速スピンドルの最高回転数は60000[rpm]であり，微小径ドリル

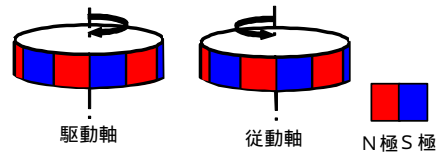


図1 磁気歯車の概略

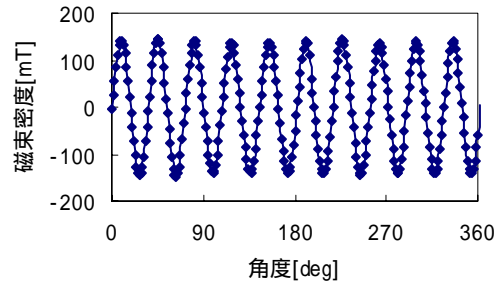


図2 磁気歯車の表面磁束密度分布

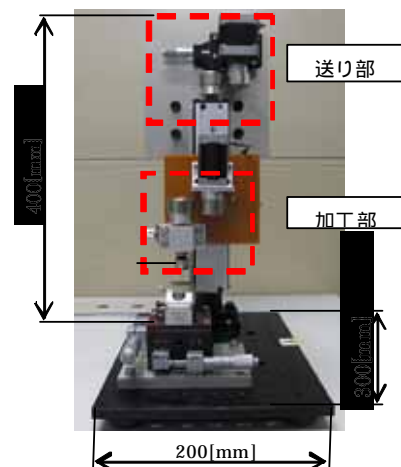


図3 微細穴加工機の外観

表1 微細穴加工機の仕様

加工機寸法[mm]		300 × 200 × 400
送り部	稼働量[mm]	400
	ステップ数[μm]	2
	永久磁石[極]	20
加工部	回転数[rpm]	5000 ~ 60000
	チャック径[mm]	0.5 ~ 5
	永久磁石[極]	12

を用いた微細穴加工に必要な高速回転を出力する．

磁気歯車を用いた非接触動力伝達機構

磁気歯車を用いた伝達機構は，ある一定以上の負荷を受けると磁極が追従せず脱調し，動力伝達を遮断する特徴がある（以降，伝達トルク）．伝達トルクは，磁気歯車間の距離（以降，伝達距離）によって容易に調節することができる．

この伝達機構の特徴をトルクリミッタ機能に適用した．微小径ドリルが過大な切削トルクを受けたとき，永久磁石の脱調によって

動力伝達を遮断し、微小径ドリルの折損を回避する。このため、伝達トルクの設定が重要となる。図4に伝達トルクと伝達距離の関係を示す。伝達距離が大きくなるほど、伝達トルクは小さくなる。これは、永久磁石表面からの距離が大きいくほど、磁束密度が小さくなるためである。ここでは、手動ステージにより伝達距離を調節し、伝達トルクを決定する。(2)エンドエフェクターの開発

近年、5軸など複数の軸を備えた加工機による3次元複雑形状加工が主流になっている。しかし、加工反力の大きな機械加工では微細加工への応用は困難である。そこで、加工反力が小さく、高精度に加工することができるワイヤ放電加工機に、モジュラー型自在エフェクターを取り付け、回転軸を加えた。

図5に開発したモジュラー型自在エフェクターの概略を示す。一般的な放電加工は、液中雰囲気において加工が進行するため、回転軸用の駆動源を加工機に実装することは困難である。本研究では、駆動部と従動部との動力を非接触で伝達することが可能であるため、自在エフェクターを密封することで対応した。また、駆動軸にステッピングモーターを用いることで回転割出を可能にした。

4. 研究成果

(1) 微細穴加工機の開発

実験条件

微小径ドリルが過大な切削トルクを受けたとき、永久磁石の脱調によって動力伝達を遮断し、微小径ドリルの折損を回避する。

穴加工条件を表2に示す。微小径ドリルは、

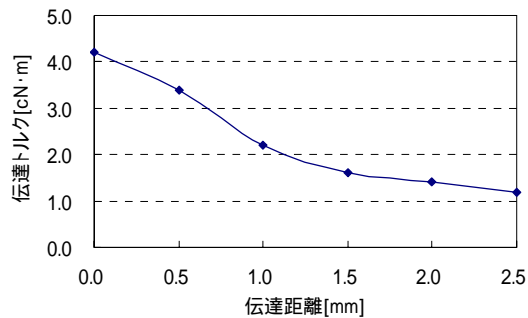


図4 伝達トルクと伝達距離の関係

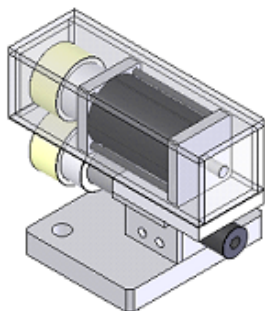


図5 自在エフェクターの概略

直径：0.5[mm]，材質：高速度鋼を用いた。本実験に用いた微小径ドリルの折損トルクは実験式(1)から1.9[cN·m]である。

$$T_b = 12.35D^{2.72} \quad (1)$$

(D: ドリル直径)

トルクリミッタの検証

そこで、図4の結果から伝達距離を0.5[mm] (伝達トルク：3.4[cN·m]) および2.0[mm] (伝達トルク：1.4[cN·m]) の2種類の条件を用い、微小径ドリルの折損回避の実験を行った。実験は、条件ごとに新しい微小径ドリルを用い、5回の連続穴加工を実施する。実験結果を表3(a), (b)に示す。(a)伝達距離：0.5[mm]，送り速度：5, 10[mm/min]のとき、微小径ドリルは折損した。一方、(b)伝達距離：2.0[mm]のとき、永久磁石が脱調し微小径ドリルの折損を回避した。このように、適切な伝達距離を選択することで微小径ドリルの折損を回避し、トルクリミッタ機能の効果が確認された。

曲げによる折損回避

開発した加工機は、送り部に対しても非接触動力伝達機構を備えている。これは、ドリルの曲げによる折損回避を目的としている。

加工時におけるスラスト力の測定結果を図6に示す。加工表面から約1mmの深さに達した時、加工部の永久磁石が脱調し、ねじれによる折損を回避した。その後、スラスト力が45Nを超えた時、送り部の永久磁石が脱調し、曲げによる折損を回避した。このように、適切な伝達距離を選択することで曲げおよびねじれによる両方の折損を回避することが可能となった。

表2 穴加工条件

被加工物 (板厚[mm])	Al(2)
主軸回転数[rpm]	12000
送り速度[mm/min]	1, 5, 10
ドリル直径[mm]	0.5
ドリル突き出し長さ[mm]	7
切削油	無

表3 トルクリミッタ機能の検証

伝達距離[mm]	(a) 0.5			(b) 2.0[mm]		
	送り速度 [mm/min]	1	5	10	1	5
連続穴加工	1回目					
	2回目			×		
	3回目			-		
	4回目		×	-		
	5回目		-	-		

○：穴あけ成功，○：脱調，×：折損

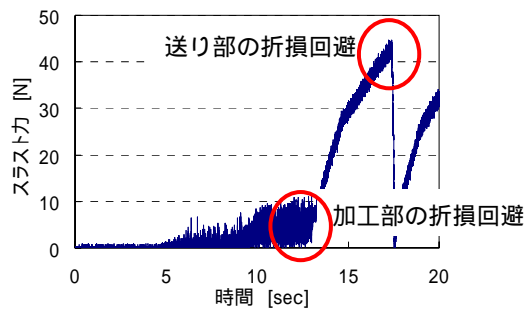


図6 加工反力の観察

(2) エンドエフェクターの開発

モジュラー型自在エフェクターを開発し、ワイヤ放電加工機に実装した。エフェクターに直径 5[mm]のアルミニウム丸棒を把持し、連続回転させた。丸棒をワイヤ放電によって加工した結果、溝切りやテーパ加工、半径 1[mm]の曲面溝形状を実現した。また、回転割出を行うことで 3[mm]の四角柱を加工した。図7に曲面溝形状を加工した結果を示す。このように、通常の旋盤加工では困難な加工が可能となった。

さらに、複合した形状加工を実施した。図8に加工結果を示す。連続回転による円柱加工および面取り加工を実施し、形状を付与した。その後、回転割出による端面加工を行い、約 90 分で複雑な形状加工を実施することができた。



図7 曲面溝形状

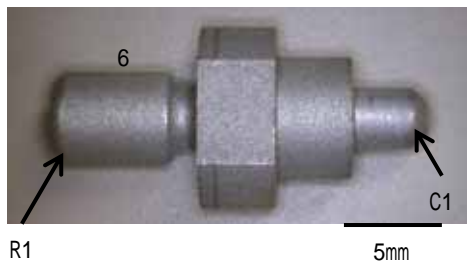


図8 複雑形状加工

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)

[雑誌論文](計4件)

Takayuki Tani, Hiromitsu Gotoh,
Yoshihide Kuwabara, Soju Aoshima,

Atsutoshi Hirao, Naotake Mohri: Surface Modification Using Electrical Discharge in Air Gap, Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining, (2010)159-162. 査読有
平尾篤利, 谷貴幸, 後藤啓光, 毛利尚武: ワイヤ工具を用いた複合加工機の開発, 電気加工学会誌, Vol.101, No.42, (2008)130-136. 査読有
Atsutoshi Hirao, Shuzo Tai, Hideki Takezawa, Naotake Mohri, Kazuro Kagayama, Hideaki Murayama, Yoshiaki Akematsu: Effect of Arc Discharge Pressure on Discharge Current in EDM, Key Engineering Materials, Vols.381-382, (2008)451-454. 査読有
Yoshiaki Akematsu, Atsutoshi Hirao, Hideki Takezawa, Kazuro Kagayama, Naotake Mohri, Hideaki Murayama: Measurement of Acoustic Emission Wave by Using Optical Fiber Sensor during Microsecond Discharge, Key Engineering Materials, Vols.381-382, (2008)399-402. 査読有

[学会発表](計5件)

鈴木晴彦, 正木俊幸, 板津和任, 齋藤亮介, 折原陸, 平尾篤利, 伊藤淳: グラファイト板に作用する反磁性磁気力の実験的考察, 講演論文集第22回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, (2010年5月20日)340-345.

平尾篤利, 折原陸, 大澤晋作, 毛利尚武: 非接触伝達機構を用いた微細穴加工機の開発 第2報 -微小径ドリルの折損回避-, 2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集, (2010年3月16日)1005-1006.

折原陸, 佐東信司, 平尾篤利: 金属材料への微細穴加工法に関する研究, 第15回高専シンポジウム講演要旨集, (2010年1月23日)135.

折原陸, 佐東信司, 平尾篤利: 非接触伝達機構を用いた微細穴加工機の開発, 2009年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集, (2009年11月28日)73-74.

平尾篤利, 谷貴幸, 武沢英樹, 難波和之, 毛利尚武: ワイヤ複合加工法による試料分析システムの開発 第4報 微細軸内部構造の観察-, 2009年度精密工学会春季大会学術講演論文集, (2009年3月11日)875-876.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平尾篤利 (福島工業高等専門学校)
研究者番号: 70455111