



# CNC 旋盤用電動チャックシステムの開発(第一報)\*

- 基本メカニズムとその性能 -

田中秀岳\*\* 安田嘉和\*\*\* 鈴木直彦\*\*\*\* 坂谷勝明† 安井武司†† 平尾政利†††

Development of an Electric Power Chuck System for CNC lathe (1st Report)  
-Basic Mechanism and Performance-

Hidetake TANAKA, Yoshikazu YASUDA, Naohiko SUZUKI, Katsuaki SAKAYA, Takeshi YASUI and Masatoshi HIRAO

The study deals with a development of an electric power chuck system for CNC lathe. Today, almost power chuck system for CNC lathes are used with hydraulic system included with hydraulic fluid which causes the environment pollution. Besides, not only the hydraulic pump always wastes energy, but also its heat transfer causes thermal deformation and deteriorates machining accuracy. In the study, in order to remove the hydraulic pump system from CNC lathe, the electric power chuck system which is able to adopt to the general CNC lathe and to have enough capability as general hydraulic power chuck system are developed. The electric power chuck system adopt to alternate general hydraulic pump system. From the experimental result, the developed electric power chuck system is found to have enough abilities. In addition, the electric power chuck system aims to improve machining accuracy by intercepting heat transfer and environmental pollution as well as removing the hydraulic system from machine tools.

**Key words :** CNC lathe, electro-chuck, hydraulic system

## 1. 結 論

今日、環境意識が高まる中、工作機械分野においても例外ではなく省エネルギー化、低環境負荷化が求められている<sup>1)</sup>。近年の急速なNC化とメカトロ技術の進歩により工作機械の効率は向上している。作業雰囲気改善に関して、環境への配慮として切削油剤を用いない加工法(ドライ、セミドライ加工)<sup>2)</sup>が開発されている。しかし、最終的な環境対応加工の目標を想定すると、完全な工作機械の脱油化が必要である。切削、潤滑油剤レスの工作機械の開発が進む中、完全な工作機械の脱油化を阻む大きな課題となっているのが油圧装置である<sup>1)</sup>。

油圧は大きな推力を安価に得ることのできる駆動源として用いられている。CNC旋盤ではチャッキングシリンダに大きな推力を必要とするため、油圧による駆動方式が一般的である<sup>3)</sup>。しかしながら油圧の問題点として、大量の作動油を使用し環境負荷が大きい、廃油処理が煩雑である、油圧ポンプの発生する熱が工作精度に影響する<sup>4)</sup>、常に油圧ポンプを駆動していなければならないため、電力消費が大きいといった点が挙げられる<sup>5)</sup>。これらの問題を解決するために油圧レス化が求められている。

油圧の代わりに使用されているのは空圧であるが、空圧は油圧に比べ小さな推力のため、小型旋盤以外には適さない。

現在の所、中型以上のCNC旋盤のチャッキングシリンダの油圧レス化を電動モーターを使用して行う方法もいくつか報告されているが<sup>6)7)</sup>、専用のCNC旋盤としてのシステムであ

り、チャッキングシリンダシステムとして従来のCNC旋盤に組み込み適用不可能である。また、先の工作機械見本市においてもいくつかのメーカーより電動チャックシステムの出品が見られたが、いずれも実際にCNC旋盤に組み込める段階ではなく、チャックシステム単体での出品であった。従って、油圧チャッキングシリンダの代替として電動化を行うには、モーターの回転動作を往復運動に変換し、かつ大きな推力を得ることのできるコンパクトな倍力装置が必要となる。

本報では、以上の問題を解決するために、既存の油圧チャッキングシリンダ仕様のCNC旋盤に適用可能な新しいメカニズムによるチャックシステムの開発を行い、実際にCNC旋盤に搭載しその基本性能を検証したので報告する。

## 2. パワーチャックシステム

CNC旋盤の従来のパワーチャックシステムは図1に示すように、油圧回転シリンダとチャックボディー、それらをつなぐドロチューブからなっている。パワーチャックの動作は主軸後部にある油圧回転シリンダ内のピストンの往復運動をドロチューブを介してチャックの爪の開閉を行う。爪の開閉メカニズムには様々な方式が存在するが、ドロチューブの往復運動により動作する方式のため、目的によってチャックボディーを交換することが可能である。

## 3. 電動チャッキングシリンダ

### 3.1 概 要

既存のパワーチャックシステムの電動化を行う上で、CNC旋盤の大幅なメカニズムの変更なしで組み込む必要がある。従って本研究では既存の油圧回転シリンダに置き換えて使用でき、市販のチャックボディーに取り付け可能な電動式チャッキングシリンダの開発を行った。図2に装置全体を示し、図

\* 原稿受付 平成15年5月29日  
\*\* 学生会員 金沢大学大学院 (金沢市小立野 2-40-20)  
\*\*\* (株)テックヤスタ (金沢市北安江 4-16-7)  
\*\*\*\* 正会員 高松機械工業(株) (松任市旭丘 1-8)  
† 正会員 石川県工業試験場 (金沢市鞍月 2-1)  
†† 正会員 金沢市異業種研修会館 (金沢市打木町東 1400)  
††† 正会員 金沢大学工学部

3 に試作電動チャッキングシリンダの外観を示す。組み込んだ CNC 旋盤は高松機械工業(株)製(x-12)である。

### 3.2 基本構成

開発した電動チャッキングシリンダはモーター、電磁クラッチ、エアブレーキ、チャッキングシリンダ本体からなる。モーターの動力はタイミングベルトにより電磁クラッチを介

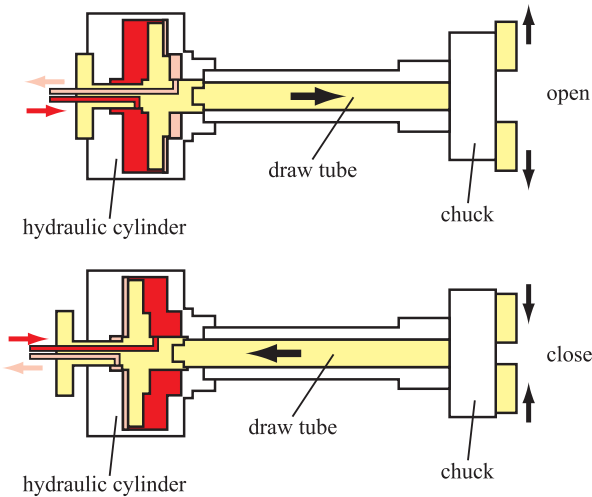


Fig.1 Hydraulic power chuck



Fig.2 Whole view of the system

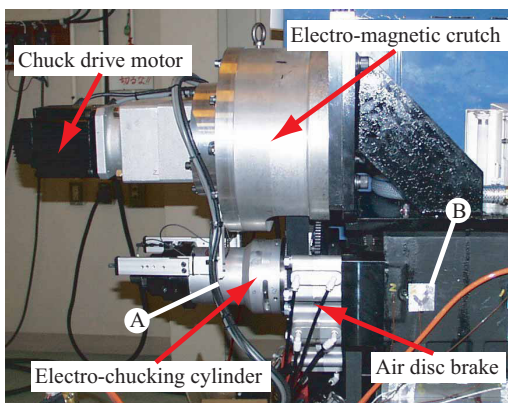


Fig.3 Electro-power chuck system  
(A,B.:Temperature measured points)

してチャッキングシリンダへ伝えられ、モーターの正転/逆転によりチャックの開閉を行う。チャッキングシリンダのドロチューブの往復動作は送りねじ機構により、既存の油圧回転シリンダと同等のストローク量の動作が可能である。チャックの動作時間、把握力の調整はモーターの出力トルク制御により可能である。把握時の追い締め動作には円筒とテーパを組み合わせることで楔の役割を果たす新提案の倍力メカニズムを使用した。

### 3.3 倍力メカニズムの原理

電動チャッキングシリンダ本体部の断面模式図を図4に示す。この機構は楔の役割を果たすテーパ部分と図4のように配置された3つのローラーからなり、楔が押し込まれると中心のローラーが押し込まれ両端のローラーの間隙を押し広げることにより増力できるメカニズムである。図5はチャッキングシリンダ断面において各部品の動きを単純化して表したものである。まず、Step1の停止時の状態においてモーターからの動力がプーリーによりシリンダ本体の送りねじを動作させ、Step2のようにa,b部が運動して動作することによりドロチューブを動作させる。チャックが把握しドロチューブが停止すると、Step3のようにモーターが規定トルクまで動作し、さらにaの楔を動作させる。このときa部がb部とは独立して動作し、楔部分がローラーを押し下げることによりさらにドロチューブを動作させる。これにより追い締めが行われる。

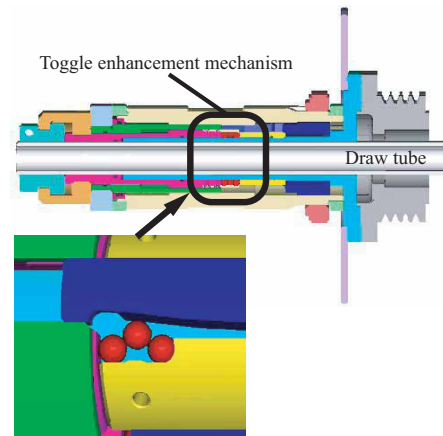


Fig.4 Model of electric chucking cylinder

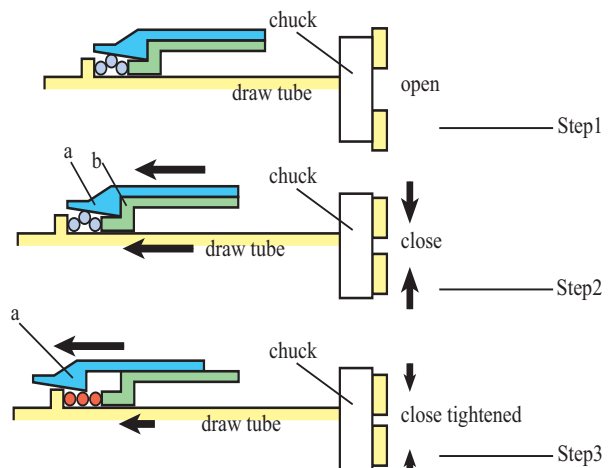


Fig.5 Principle of toggle enhancement mechanism

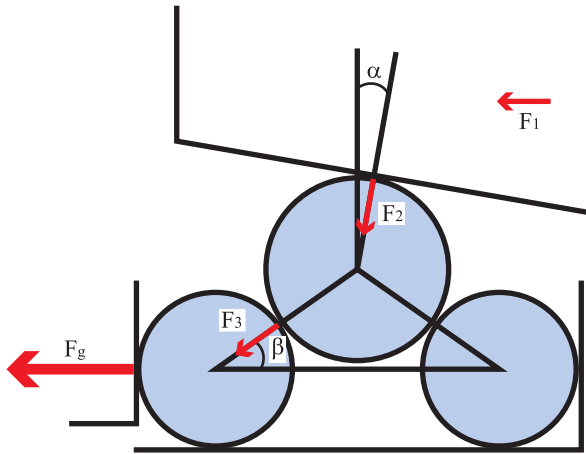


Fig.6 Model of toggle enhancement mechanism

$$F_2 = \frac{F_1}{a} \quad (1)$$

$$F_3 = \frac{(a+b)}{2ad} F_1 \quad (2)$$

$$F_g = \frac{(b-\mu d)(a+c)}{2ad} F_1 \quad (3)$$

ただし,

$\mu$ : the coefficient of friction

$$a = \sin\alpha + \mu\cos\alpha$$

$$b = \cos\beta - \mu\sin\beta$$

$$c = \cos\alpha + \mu\sin\alpha$$

$$d = \sin\beta + \mu\cos\beta$$

この倍力メカニズムをモデル化すると図6のようになる。モーターと送りねじにより発生する推力,すなわち楔が押し込まれる力を  $F_1$  としたとき,中心のローラーを押す力  $F_2$  は式(1)により表される。続いて  $F_2$  より前方のローラーが受ける力  $F_3$  は式(2)のようになり,最終的にドロチューブを押す推力  $F_g$  は式(3)で  $F_1$  より計算される。

### 3.4 特徴

チャッキングシリンダ電動化に伴い以下のような効果が期待できる。

- (a)常時動作している油圧ポンプが不要となり,動作時以外はモーター OFF による省エネ効果。
- (b)機械精度に悪影響を及ぼす熱源の排除。
- (c)油温変化等によるバラツキの無い安定した動作。
- (d)電気制御によるチャッキング動作の的確化。

しかし既存の油圧回転シリンダより寸法が大きい,主軸回転中の動作が困難といった問題が存在する。また,既存の油圧回転シリンダよりも部品点数が多く,電気系統の複雑さが欠点として考えられる。

## 4. 基本性能評価

### 4.1 十分な把握力の実現

実際の加工を行うには既存の油圧チャックシステムと同等の把握力が必要である。切削加工で発生する切削抵抗に対し

て十分に対応できる把握力が得られない場合,加工精度の悪化だけでなく,最悪の場合,工作物自体がチャックより離脱し危険である。そのため,本電動チャックシステムの把握力の確認を行った。また,比較として同CNC旋盤に既存の油圧チャッキングシリンダ(株式会社北川鉄工所製 SS1236-102)を用いた場合の把握力を測定した。両システム共通のチャックボディ(日鋼商事(株)製 HF-6)を用いた。把握力の測定には松本機械工業(株)製の回転把握力計(D G65)を用い,各場合において設定作動油圧,設定モータトルクごとに10回ずつ把握力を測定した。

図7は油圧チャックシステムと電動チャックシステムで発生するそれぞれの1爪あたり(3爪チャックを使用)の把握力を測定した結果を示す。図7(a)の油圧チャックシステムの場合,作動油圧の設定圧によって把握力が変化し,把握力は低い値から高い値まで幅広く発生している。また高圧設定時において把握力のバラツキが大きい。一方,図7(b)の電動チャックシステムの場合,把握力は油圧と比較してバラツキが少ない。発生把握力は5kNから11.5kNに限定されるが,実加工で必要となる把握力約10kNを再現可能であることが確認できた。

### 4.2 回転時における把握力の低下

主軸回転時に遠心力により把握力が低下する。油圧チャックシステムの場合,油圧ポンプの能力や各部の弾性変形により高回転になるに従い把握力が低下し,工作物がチャックより離脱する危険がある。電動チャックシステムにおいても各

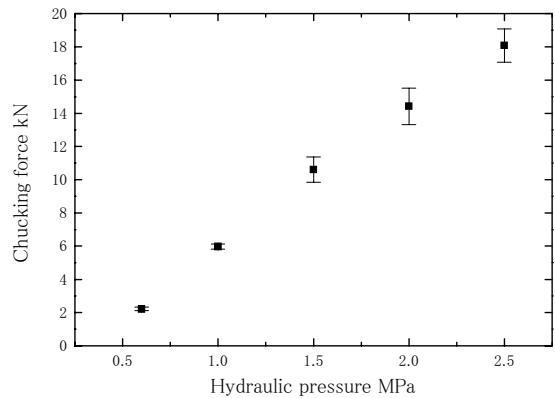


Fig.7(a) Chucking force of hydraulic chuck system

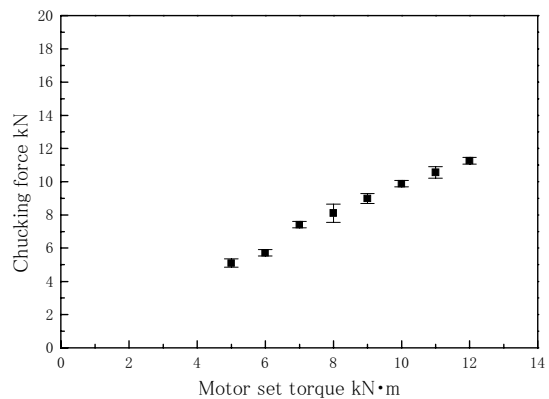


Fig.7(b) Chucking force of electro-chuck system

部の弾性変形等の要因により同様の把握力低下が起こると考えられるため、回転時の把握力を測定した。電動チャッキングシリンダが試作品のため、主軸回転数 3000min<sup>-1</sup> までとした。図 8 に測定結果を示す。比較として油圧チャックシステムの測定値も示す。電動チャックシステムも回転が上がるにつれ把握力の低下が見られ、油圧チャックシステムとほぼ同等の低下傾向を示す。

4.3 チャック動作速度

油圧チャッキングシリンダは設定油圧によりチャックの開閉動作時間が変化し、油圧が低いほど動作時間が遅くなる傾向がある。試作電動チャッキングシリンダにおいてチャック開閉時間を測定した。電動チャッキングシリンダに関しては使用サーボモーターの性能上、設定トルクが上限と下限が制限されており、実質で 5kN から 11N としている。

図 9 に油圧チャッキングシリンダ、電動チャッキングシリンダのチャック開閉動作時間の測定結果を示す。油圧チャッキングシリンダの場合、把握力が低圧時と高圧時において開閉時間の差が大きい。一方電動チャッキングシリンダは各把握力においてもほぼ同等の開閉時間であった。

4.4 把握力の維持

加工中において切削力や何らかの要因により工作物に過大な力が働き一時的にチャックが開いたり把握力が低下する場合がある<sup>4)</sup>。油圧チャックシステムの場合、常に油圧ポンプによりチャッキングシリンダが加圧されているため、把握力

は復元する。しかし電動チャックシステムの場合、チャック動作時以外はモーターは動作しないため把握力の復元が期待できない。そこで電動チャックシステムにおいて強制的にチャックの爪に外力を加えて把握力を低下させ、各部の弾性変形範囲内において把握力が維持できるかを検証した。

試験方法は平爪チャックに六角ボルトを図10に示すように把握し、六角ボルトを締めてチャックを広げることにより強制的に爪を広げ把握力を低下させ、一定時間保持後に解放した。表 1 は把握力設定値を 6kN とし、把握力を 45 から 22% までの間で低下させ約20秒その状態を保持した後に解放した時の復元率%を示す。結果より外力により一時的に把握力が低下した場合でも、ほぼ元の把握力に回復することが確認できた。

4.5 温度上昇

油圧チャックシステムは主軸周りにチャッキングシリンダの油圧配管が存在するため、主軸回転に伴う油温上昇によって、主軸ハウジング部、ヘッド部などに熱が伝わり、熱膨張が発生し加工精度に悪影響を及ぼす。電動チャックシステムは作動油を使用せずメカニカルに把握するため、温度上昇を抑制すると考えられるため、連続運転試験を行い油圧チャックシステムと電動チャックシステムの場合それぞれについて、チャッキングシリンダと主軸ヘッドの温度上昇を測定した。

試験方法は(1)主軸回転、(2)停止、(3)チャック開閉を行うサイクルタイム60秒のプログラムを繰り返し動作させ、各部の温度上昇を熱電対アナライジングレコーダー(横川電気(株)製 MV-200)により記録、測定した。油圧チャックシステムにおいては主軸2000min<sup>-1</sup>においてのチャッキングシリンダ周りと主軸ヘッド周り温度、電動チャックシステムにおいては主軸1000min<sup>-1</sup>において、図3中に示されるA部であるチャッキングシリンダ周りとB部である主軸ヘッド周りの温度をそれぞれ測定した。電動チャックシステムの主軸回転数が1000min<sup>-1</sup>であるのは、試作ユニットのため1000min<sup>-1</sup>以上の

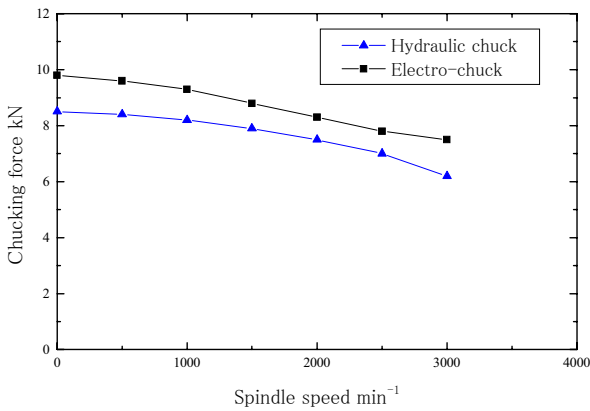


Fig.8 Decreasing chucking force while spindle rotating

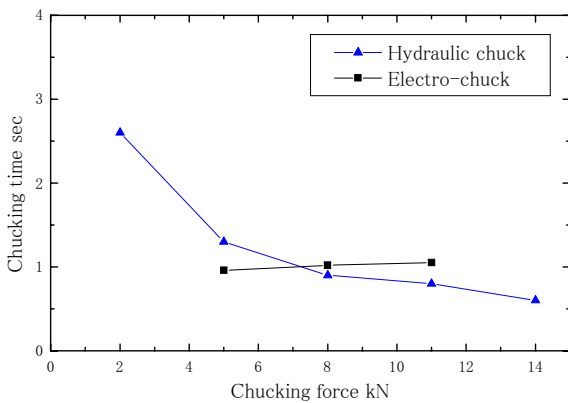


Fig.9 Chuck open/close cycle time

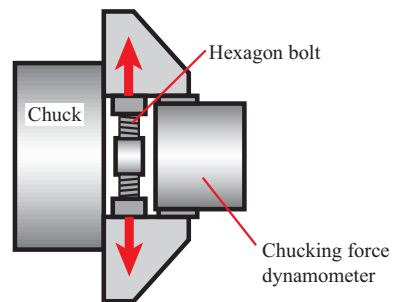


Fig.10 Model of reducing chucking force

Table 1 Maintaining chucking force

No.	Reduced %	Released %
1	45.9	95.8
2	48.3	91.0
3	40.6	98.3
4	27.4	98.3
5	22.5	101.6



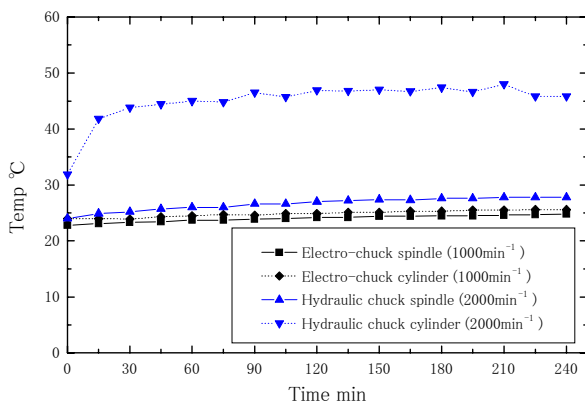


Fig.11 Temperature rise of the system

連続運転に対応できなかったためである。試験結果を図 11 に示す。油圧チャッキングシステムはチャッキングシリンダの温度上昇が高く作動油温も同様に高い温度となった。これにより作動油の影響のある旋盤の各部分の温度上昇にもつながる。またチャッキングシリンダよりドロチューブを通じてチャックボディの温度も上昇すると考えられる。一方、電動チャックシステムは、試験条件が油圧と電動で異なるが、油圧チャックシステムに対して温度上昇は極めて少ないと言える。

## 5. 考 察

### 5.1 試作電動チャックシステムの現状

基本性能試験の各試験結果より本試作電動チャックシステムは既存の油圧回転シリンダに交換する形で CNC 旋盤に取り付け可能であり、基本動作に関しては問題なく動作する事が確認できた。また、電動化により把握力が的確に設定でき、設定把握力を変更しても動作時間に差異がなく、各部の温度上昇の影響が少ないことが確認できた。

### 5.2 課 題

基本性能試験の結果より本電動チャックシステムにおいて以下の課題が明らかとなった。

- (a) 現状では油圧チャックシステムより低い把握力のため、油圧チャックシステムと同等か、より高い把握力への対応が必要。
- (b) 高速回転化とその時の把握力低下への対応。
- (c) 本試作システムにおいては内部にメカニカル部分が多くバランス調整がされていないため、高速回転時での主軸振動値が大であり、現状では高速回転での実加工は難しい。

(d) 現状では NC コントローラに非対応のため、NC コントローラと接続し操作可能にする必要がある。

以上の項目について、今後改善を行い実加工試験を行う予定である。

## 6. 結 言

電動チャックシステムの試作を行い、CNC 旋盤に搭載して各種の基本性能試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 既存の油圧チャックシステムに代わる、油圧レスの電動チャックシステムを開発した。
- (2) 本電動チャックシステムは既存の CNC 旋盤に取り付け可能である。
- (3) 把握力は油圧チャックシステムに対して適用範囲は狭いが、実加工時に必要な把握力が実現できた。
- (4) 把握力のバラツキは油圧チャックシステムより少ない。
- (5) 電動チャックシステム本体の温度上昇量は極めて小さい。

今後は明らかになった課題の改善を行い、各項目において油圧チャックシステムと同等以上の性能を目指す。また実加工試験を行い実加工時においても本システムの有効性を確認する予定である。

本試作電動チャックシステムは株式会社テック・ヤスダより 2003 年 4 月 3 日より特許公開中である。公開番号：2003-94212

## 謝 辞

本研究は(財)石川県産業創出支援機構の新産業開拓産学協同研究開発事業として行われた。関係者の研究支援に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば、横川宗彦：“環境”“省エネ”に対応する工作機械と加工技術，機械と工具，工業調査会，**44**,7,(2000)14.
- 2) 例えば、横川宗彦他：環境にやさしい冷風研削・切削加工技術，機械と工具，工業調査会，**42**,7,(1998)45.
- 3) 横山他：NC 旋盤活用マニュアル，大河出版，(1988).
- 4) 安井武司，藤村善雄：工作機械と生産システム，共立出版社，(1985).
- 5) 手嶋力：油圧のカラクリ，大河出版，(1979).
- 6) 伊藤孝治：高精度・省エネ・環境対応型工作機械開発，機械と工具，工業調査会，**44**,7,(2000)21.
- 7) オークマ(株)：油圧レス工作機械の研究，平成 11 年度 新エネルギー・産業技術総合開発共同研究 成果報告書，新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)，(1999).