

氏 名	上野健治
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和60年3月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和48年3月 東北大学大学院工学研究科精密工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	ホブ盤のNC化とその精度向上に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 酒井 高男 東北大学教授 戸部 俊美 東北大学教授 植川 武男 東北大学教授 渡辺 真 東北大学助教授 江村 超

論 文 内 容 要 旨

第1章 緒 論

自動車，建設機械，産業機械メーカなど，歯車が使用される分野は，非常に広い。その使用数の推定は不可能である。歯車は，動力伝達用として優れた機械要素であり，それに関する多くの研究によって多大の進展をみせている。なかでも歯車の加工法の研究，特に生産技術面についての研究も盛んに行なわれてきている。

一方，実際の工場内における歯車加工技術も，主として各ユーザごとに独自の工夫をもって，それぞれの進歩を遂げつつあるが，特に我が国における歯車生産現場においては，加工費の低減と，高品質化を目指しての改善が蓄積され，その発展は目覚ましいものがある。これらは，昭和48年のオイルショックに端を発した省エネルギー対策が，歯車の生産現場にまで浸透してきたことを示唆するものと思われる。

このような背景を踏まえて歯車の生産形態により，歯車の生産現場を振返って分類すると次のようになる。すなわち，①高度に専用化された自動搬送装置が良く用いられておりライン化が進んでいる自動車メーカ，特に量産ワークの加工ラインでありながら自動車車種による製品の多様化に対応するため，小ロット化に進む自動車用歯車生産を主とする分野，②建設機械等のメーカ，あるい

は、いわゆる歯車生産メーカーの多種少量、中量生産の分野、ならびに、③非円形歯車等の特殊歯車生産の分野である。これらにおける現状の課題を整理すると、高精度加工は当然のこととして、さらにその上に、

- 1) 段取り時間の短縮が可能な歯切機械
- 2) 誰にでも使える歯切機械
- 3) 切削能率が高い歯切機械

が強く要求されてきている。

これら3項目を満たす歯切機械として、現用の歯切盤においても種々の対策がなされているが、それには限界がある。この最も大きな理由に、カッタ軸とワーク軸が歯車列で繋がっていることが挙げられる。さらに現状の歯切機械に対し生産性向上のため歯切条件が多岐に亘っていることや、熟練作業者を要したり、あるいは段取り作業が複雑であることが挙げられる。しかも、当然のことながら加工条件に応じて各種換え歯車を使用しなければならないことも障害となっている。

このような状況を改善するための一手法として、カッタ軸とワーク軸をそれぞれ独立に駆動する、いわゆる歯切機械の数値制御化（以下NC化という）は、実用上特に意義がある。事実、現在の歯切機械をNC化すると考えただけで、段取り時間が約60分短縮できることが分っている。こうして歯切機械のNC化に関する研究は、既にいくつかなされているが、実用面から見ると、まだ十分でない。工作機械のNC化が進んでいる趨勢の中で、歯切機械のNC化が最も遅れている理由は、歯切機械におけるカッタ軸とワーク軸の同期回転を得ることが困難であるためである。

本研究においては、この点に着目して上記の3項目を十分満たし得る歯切機械の開発を目的とし、それに適する方法として歯切盤のNC化と取組んだ。具体的には、NC歯切機械の現状に鑑み本研究のねらいを、歯切機械の中でも特にホブ盤の場合に性能面から研究すべき内容が多いと判断し、次の項目に定めた。すなわち、

- 1) 高精度ホブ切りができるNC制御方式の確立
- 2) 高能率NCホブ切り技術の確立

である。

以上の目標設定のもとに、以下に本論文の内容について記す。

第2章 ホブ盤のNC化

自動車、建設機械用の現用歯切盤の大半は、ホブ盤とギヤシェイパに限られることに着目し、これらをNC化するに当たっては両歯切盤ともその割出し系統は、同一形式の関係式にてまとめられることを示し、カッタ軸とワーク軸に一義的な関係を与える新方式を提案した。従来方式と異なり歯車列を有しない歯切盤、すなわち数値制御方式によりカッタ軸とワーク軸、および各種送り軸を制御するNC歯切盤を提案した。本研究においては、このうち特にホブ盤を取り挙げたが、それは高精度加工の面から見て、ホブ盤にその研究要素が多いと判断されたからである。

そこでまず、NCホブ盤の位置付けを明確にし、このNC化を単にホブ盤のそれに終わらせることなく、さらに高精度なNCホブ盤に仕上げる目的で、従来の生産型ホブ盤の機能を整理してNC

化との対応を示した。その結果NC化の方向が歯車製造現場の必要性に逆行するものでないことを明らかにした。これらの検討過程を通して、将来的にも一層充実した機能をもつNCホブ盤としての必要条件を明確にすることができた。

第3章 NCホブ切りの特殊性

既に試行されているNCホブ切りの制御方式に検討を加え、これらの手法の不十分な点を改善しつつ、新しい考え方を導入した制御方式を提案した。NC化する際に特に考慮すべきは、割出し系の分解能とその精度である。いうまでもなく他のNC工作機械に類のない項目である。そこでまず制御に主要な役割を果たすホブ軸の回転速度を検出するエンコーダのパルス数と、テーブル軸の駆動モータの角度検出器（レゾルバ）のパルス数を制御精度から導き本制御装置に最適な値、すなわちエンコーダのパルス数は、制御装置への入力部で8,192 p/rev、レゾルバのパルス数は、10,000 p/rev に定めた。

次に割出し系のソフトウェアについて検討し、これらの確認実験として種々の平歯車、はすば歯車を加工して検証した。同時に計測用の高精度エンコーダをテーブル軸に設置して、割出し精度の確認試験も実施している。さらに上記のホブ軸の回転速度を検出するエンコーダの取付位置についても検討を加えた。その結果本方式においては、ホブ軸の平均的な速度を正しく検出することができる位置、主軸モータの近傍が望ましいことが分った。

第4章 NCホブ切りによる高精度加工実験

第3章の基礎研究を踏まえて、実用上の加工条件特に高能率加工条件の下においても高精度が維持できる制御系の検討を加えた。

本NC装置には、ホブ軸に対するテーブル遅れ量が存在する。高能率加工の条件下においても高精度を得るには、この量の定量化がぜひとも必要となる。割出し系の制御に対してはこの遅れ量が直接加工精度に影響し、歯筋のずれとなって現れる。従ってこのテーブル遅れ量をNC要素、機械要素、および被削歯車の諸元とで関係付けて定量化することは非常に重要なことであった。このことについて、歯車加工の面から精度の検討を踏まえて解析した。この解析結果に基づいて高能率加工条件の下において高精度を得る必要条件を明確にし、上記の精度に関わる要素に改善を加えた。この効果については歯切り試験によって確認した。

さらに、NCホブ切りにおける加工精度の向上を目的としてNC構成要素の加工精度に及ぼす影響についても検討した。まず、NCホブ切りにおける加工精度の特徴について、歯形、歯筋誤差を取り挙げ種々検討した。その結果、歯車列による普通ホブ切りには生じにくい誤差、歯形誤差にはビビリ目、歯筋誤差には擬似送り目とうねりが認められた。これらは、

- 1) ディザ信号
- 2) 内部計算単位の大きさ
- 3) テーブル駆動モータ用角度検出器の精度

に影響を受けていることが予測されたので、ビビリ目については、ディザ信号のレベルの最低化に

より解決を図り、擬似送り目とうねりについては、シミュレーション計算で現象を解析し、前者は内部計算単位の大きさが送り目深さと同等かもしくはそれ以内の値となることが必要条件であること、一方後者は、3) 項の検出器の精度とマスターウォームと同ホールの噛合い誤差の重畳によるものであることを明らかにした。このことから、モジュール6、歯数23、ねじれ角 20° のはずば歯車の加工に当り、内部計算単位を 0.002° 、検出器を精度 $2.5'$ のそれに改善した。以上の手法により同歯車をJIS1の精度で安定して加工することができた。

第5章 実用NCホブ盤の設計と製作

本研究におけるNCホブ切り技術を適用し、実用化できるNCホブ盤の設計要目について述べた。まず、従来のホブ盤の歯車列に相当する駆動部について検討してみた。NCホブ切りに必要な機能を実現するに重要な要素となる各軸の位置決め精度について具体的な数値を述べ実機での確認を行った。以上の基本的な検証を踏まえて、実用化を目指したNCホブ盤の仕様を明確にし、NCホブ盤を設計・製作した。さらに、NCホブ盤用としてのNC機能についても具体的に検討した。

NCホブ盤は、従来機にない優れた機能を有しているものの、その歴史が浅いため、NC工作機械の一機種としての稼働を早急に安定化させる必要がある。その目的のために、品質保証に関する考え方を示し、かつその実現を試行した結果、所期の目的を達することができた。

第6章 試作NCホブ盤による応用技術

既に確立されているとはいえ、まだ解決しなければならない幾つかの課題と改良の余地を残している現用の歯切り技術に対して、その拡大を目的として第3、4、5章において述べた基本的技術を踏まえて、NCホブ切りの新しい方向付けを現場の立場から検討してみた。

本章においては、

- 1) 建設機械用歯車、モジュール6～10のピニオンのライン化加工の確立
- 2) 多段歯車に対する工具数とその種類および取付回数の削減方法の達成

を応用例として検討した。各項目ともに所期の加工精度ならびに加工能率を達成することができた。

第7章 結 論

本章においては、本研究を通して得られた結論をまとめた。

審査結果の要旨

自動車や工作機械をはじめ、多くの機械において重要な位置を占めている円筒歯車は、現在その大部分を、ホブ盤とかギャシューパなどの歯切専用機で製作している。このうちホブ盤が最も多く使われているが、被加工歯車の形状、寸法、歯数などが変更される度に、工具およびその取付角、軸間距離、換え歯車の変更が必要とされ、生産性向上に対し、これが大きな障害になっている。

そこで登場したのが、旋盤やフライス盤ですでに実績をもつNC技術の導入である。しかしホブ盤では、切削主分力を直接負荷として受けるカッタと、ワークの間の相対的位置関係が、被削歯車の精度を支配するという点で、上記の工作機械類とは決定的に相違している。

本論文は、このような観点に立ち、ホブ盤をNC化するに当って遭遇するさまざまな困難のうち、とくに高負荷時におけるカッタとワーク間の同期性確保による、歯切精度の向上を中心にすえて論じたものであって、全文7章よりなる。

第1章は緒論であって、ホブ盤のNC化による利点を述べたのち、その技術的問題点を整理して述べ、本論文の目的を明確にしている。

第2章では、従来の生産型ホブ盤とNC化された場合のそれとを比較し、NCホブ盤のあるべき姿について論じている。

第3章では、すでに試行されているNCホブ切りの制御方式に検討を加え、実機に新しい手法を取入れて検討しつつ、NCホブ切りの特殊性に基づく諸問題を論じている。

第4章は、前章との関係で実施した高精度加工実験について論じたものであって、とくに高能率加工の条件下において重要な意味をもつテーブル遅れ量の検討など、加工精度向上のための諸条件を求めている。これはホブ盤のNC化に当り貴重な資料を与えるものである。

第5章では、前章までの基礎研究の上に立ち、これを実用NCホブ盤に適用した場合の具体例について論じている。さらに第6章では、この試作NCホブ盤による応用技術について論じ、NCホブ盤に期待される新しい可能性を示している。第7章は結論である。

以上要するに本論文は、ホブ盤をNC化するに当り生ずる諸問題を、とくに高能率でしかも高精度を保持するという立場で論じたものであって、歯車工学ならびに精密工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。