旋盤のレトロフィット NC 化に関する一考察*

—普通旋盤の NC 化と対話式プログラミングシステムの付与について—

樫 村 幸 辰** 坂 井 政 夫***

A Study on Retrofitting of a Lathe to NC

—Construction of NC Lathe and Addition of Interactive Programming System—

Yukitatsu KASHIMURA and Masao SAKAI

The retrofitting techniques of an unnumerically controlled machine tool to NC machine tool is necessary to reconstruct a superannuated machine or to construct a special purpose machinery. The aim of the present study is to retrofit a lathe to NC lathe with an interactive programming system through a hand-made circuit. The achievement in this study are follows: (1) The problems which arise to retrofit a lathe to NC lathe are classified into each group, and the means of solving the individual problems are shown. (2) Accuracy testing and cutting performance are investigated in the retrofit NC lathe, it is confirmed that the NC lathe is a match for the NC lathe placed on the market. (3) Addition of an interactive programming system by means of personal computer enables one to easily provide NC programming and to immediately modify, edit and manage it. (4) It is verified that a feed control makes the cutting time shorter.

Key words: retrofit, NC lathe, interactive programming system, personal computer, cutting condition, feed control

1. ま え が き

機械加工における省力化、高能率化および自動化の手段として NC 工作機械が急速な発展をとげ、生産現場において主要な地位を占めている。さらに、最近の NC 工作機械の普及に拍車をかけている要因としては NC 工作機械の機能の充実と対話式入力の NC 装置などの、いわゆる“使いやすい NC 工作機械”の開発があげられる。しかし、このような NC 工作機械は一般に高価であることから、現在使用中あるいは老朽化した汎用工作機械を NC 化したり、陳腐化した NC 装置を更新するレトロフィット NC 化の技術が、要求されている¹⁾。この技術は専用工作機械の設計においても必要となる。

本研究においては、普通旋盤のレトロフィット NC 化および NC 装置が陳腐化した場合を想定し、パーソ

ナルコンピュータを利用した対話式プログラミングシステムを構築すること、さらに切削抵抗によって送りを制御する方式を用いて切削時間の短縮についても検討を行った。

2. 普通旋盤の NC 化

2.1 レトロフィット NC 化の仕様決定

工作機械のレトロフィット NC 化にあたってはどのような NC 機に改造するかが最大の問題となる。また、本来 NC 機として製作された工作機械で古くなった NC 装置を更新する場合を除いて、改造を行う工作機械の剛性、精度を十分に吟味する必要がある。普通旋盤をレトロフィット NC 化する場合に生じる改造項目は図 1 のように表すことができ、これらの項目から目的に合致した構成を採用することによって任意のレトロフィット NC 旋盤を構築することが可能となる。一例として、(1)一軸簡易送り、(2)一軸簡易位置決めおよび(3)同時二軸制御の場合は図 2 に示すように表記できる。この表記方法は専用工作機械を設計する場合の技術情報を整理するには有効である。本研究で採用した構成を図 3 に示す。このレトロフィット NC 旋盤は同時二軸制御(A 2)で、制御装置は自己開

* 原稿受付 昭和 60 年 12 月 4 日、昭和 58 年度山梨地方講演会(昭和 58 年 10 月 5 日)および昭和 60 年度日立地方講演会(昭和 60 年 9 月 27 日)にて発表

** 正 会 員 東京電機大学理工学部(埼玉県比企郡鳩山町石坂)

*** 正 会 員 (株)浦和製作所(埼玉県南埼玉郡菖蒲町昭和沼 7)

A: Concurrent control axes	A1: 1
	A2: 2
B: Controller	B1: in-house development
	B2: module system
C: Control system	B3: conventional system
	C1: open loop system
	C2: semi-closed loop system
	C3: closed loop system
D: Feed screw	D1: trapezoidal screw
	D2: ball screw
E: Position transducer	E1: rotary transducer
	E2: linear transducer
F: Feed driving motor	F1: pulse motor
	F2: servo motor

Fig. 1 Retrofitting items

- (1) Simplified feed at one axis
 $A1+B1+C1+D1+F1$
- (2) Simplified positioning at one axis
 $A1+B2+C1+D2+F1$
- (3) Concurrent control of two axes
 $A2+B2+C2+D2+E1+F2$ or $A2+B2+C3+D1+E2+F2$
- (4) Retrofit NC lathe
 $A2+(B1,B2)+C3+(D1,D2)+E2+F2$

Fig. 2 Formulation of retrofitting items

Fig. 3 Configuration of a retrofit NC lathe

発+ユニット組立 (B1+B2) とした。自己開発部は図4に示すように、主として演算制御部とI/Oで、演算制御部にはZ80, 256 KBを使用し、機械語によって

NC 命令ごとのサブルーチン化を図った。I/O 部は機械側との入出力を行うユニットで、入力側は操作パネル上のスイッチ (主軸起動、停止、クーラント入切、マシンロック入切等) および機械側のリミットスイッチ類で構成し、出力側はリレー出力とした。キーボードは入力確認のために入力されたキーにランプが点灯するようにした。表示部にはセグメント LED 14 けたを使用した。使用したサーボドライバ部はトランジスタ PWM 制御方式可逆型サーボ増幅器を用い、フィードバック系に正弦波 2 相出力の光学スケールまたはパルスジェネレータを使用して閉ループを構成できるものを選択した。このサーボドライバは関数発生器から送られるパルスと光学スケールからフィードバックされる正弦波で作られるパルスの位相差を電圧レベルに変換し、のこぎり波のレベル差をサーボ電圧として出力している。なお、正弦波を用いることによって位置決め時の停止状態が最小設定単位内になめらかに引き入れられるようにした。したがって、制御方式は閉ループ方式 (3) とし、送りねじは X 軸の早送り速度を 2 400 mm/min としたこと、および台形ねじとボールねじの差異を検討するために、X 軸はピッチ 5 mm の台形ねじ (D1)、Z 軸は早送り速度を 4 800 mm/min としたのでピッチ 12 mm のボールねじ (D2) を使用した。なお、台形ねじを使用する場合には、潤滑の問題から早送り速度は 2 400 mm/min が限界と考えられる。位置検出器は X、Z 軸ともに直線形光学スケール (E2) を用い、最小設定単位を 0.01 mm とした。また、軸駆動モータは X 軸 0.45 kW、Z 軸 1.1 kW の DC サーボモータ (F2) を使用し、各軸の軸駆動モータと送りねじ間の減速比は X 軸 1.8、Z 軸 2.6 である。主軸端に設置したエンコーダは主軸回転と工具移動を同期させるとともに、ねじ旋削においては絶対原点信

号をスタートタイミングとしている。この NC 旋盤の構成は図 2 (4) のように表記される。

2.2 送り制御システムの付加

(a) NC device and feed control system

(b) Interface for data recorder

Fig. 4 Configuration of NC device and feed control system

ここでは、レトロフィット NC 旋盤に図 4 (a) に示すハードウェアと図 5 に示す拘束条件によって切削抵抗（主分力）に応じて送りを制御する方法²⁾を試みた。図 5 において、①の部分は荒削りにおける切りくず処理を考慮して削除した。②の部分は切削抵抗（最大 3.92 kN）によって、③の部分は切削動力（最大 7 kW）によってそれぞれ拘束される領域である。表面粗さの拘束条件は指定表面粗さによって図 5 の上面が上下に平行移動することで表される。この送り制御下では、図 5 の拘束条件の上限近傍で切削が実行されるように送りのオーバーライドが 10% から 200%（最大送り 0.6 mm/rev）まで 10% ステップで自動的に変更される。送り制御システムの流れ図を図 6 に示す。この送り制御システムを用いることによって旋削の NC プログラムにおいて煩雑な送りの選択から解放されることが期待できる。

3. 自動プログラミングシステムの構築

3.1 システム構成

パーソナルコンピュータを利用した NC プログラミングシステムは市販されているものもあるが、一般に高価であるので、安価な方法として NC 旋盤の DNC 化³⁾などが試みられている。本研究では、既存の NC 装置が陳腐化した場合をも想定して、試作したレトロフィット NC 旋盤に対話式自動プログラミングシステムを付与することを検討した。対話式自動プログラミングシステムの流れ図を図 7 (a) に示す。このシステムへのデータの入力はキーボードあるいはディジタイザから行う。まず、素材寸法および工作物寸法を入力し、座標系の設定を行う。加工条件は、図 5 に示した拘束条件内で工具材質と工具刃形を一定として、被削材材質を表 1 に示す範

Fig. 5 Constrained cutting conditions

Fig. 6 Flowchart of a feed control system

冊で選択すれば、工具条件、表面粗さの指定の有無によって対話式で選択できるようにした。

旋削においては工作物形状は直線と円弧の組合せで記述できるので、各組合せを関数化し、パターン化しておき、工作物完成形状を形状パターンと数値によって認識、記憶させる方法をとった。工具経路の創成においては、完成形状を設定した仕上代分だけ X, Z 軸方向にオフセットし、素材形状とこの部分の間を荒削り領域として、この領域では工具が工作物回転軸に平行に移動するように創成され、仕上切削では完成形状に倣うように創成されるようにした。なお、素材寸法との関係で荒削り領域の自動分割された切込みに端数が生じた場合には、初回の切削で処理する。また、仕上代は任意に指定できるようにした。このようにして創成された NC プログラムと工具経路は図 7 (b) に示すチェック機能によってチェックされ、NC プログラムおよび工具経路が出力される。このチェック機能は単独でも使用でき、ハンドプログラムを行った NC プログラムの工具経路の検討も行えるようにした。この機能によって工具と工作物、チャックおよびセンタとの干渉を切削前に防ぐことが可能になった。

3.2 NC プログラムの収納と転送

創成された NC プログラムによって NC 旋盤を稼働させるには NC プログラムを収納あるいは NC 装置に転送する必要がある。これを実施する方法としては、RS 232 C インタフェース等を用いて NC プログラムを直接 NC 装置に転送する DNC オンライン方式と NC プログラムをフロッピーディスクあるいは NC 装置用デジタルミニカセットテープに収納し、人の介

入によって NC 装置に転送するオフライン方式が考えられる。ここでは、複数のパーソナルコンピュータによる NC プログラムの作成、学習および管理ができること、インタフェースの製作が容易で、レコーダを含めてもフロッピーディスクドライブの価格の 1/2 以下であることから、NC 装置用ミニカセットテープにプログラムを収納する方法について検討を行った。ここで使用したデータレコーダ⁴⁾は ANSI 規格のデジタルミニカセットを記憶媒体として、片面で約 240 シーケンスの NC プログラムを記憶できる。MPU (Micro Processor Unit) からのバスと PIA (Peripheral Interface Adapter) およびミニカセットレコーダとの接続を図 4 (b) に示す。NC データは 1 バイト、コントロールコードは 2 バイト使用している。ミニカセットテープ上でのデータフォーマットは図 8 (a) に示すように、各コードは 1 バイト～4 バイトの BCD で、1 シーケンス 48 バイトで表現する固定フォーマットを用いた。固定フォーマット方式は 1 ブロックでのデータ量が一定であり、ソフト上の管理が容易で、データの変更(追加、削除)が可能である点でこの種のデータを収納する場合にはシリアル方式よりも優れている。図 8 において“FF”は未記入のデータである。図 8 (b) は

N 039 G 01 X 55.00 Z-19.92 F 0.45

のフォーマットである。なお、工具交換は T コードで行っている。

試作したレトロフィット NC 旋盤の加工機能を明確にするために、主な NC 命令機能すなわち直線切削、テーパ切削、円弧切削およびねじ切削を行った。

Fig. 7 Flowchart of an interactive automatic programming system

結果を図9に示す。いずれの機能も問題なく作動することが確認された。

4. 開発したシステムの評価

自動プログラミングシステムの評価を行うために、図10に示す形状に対応が可能か否かの検討を行った。創成された工具経路の出力結果を図11に示す。荒切削

Table 1 Combination of cutting conditions

Cutting speed m/min	80-200
Feed mm/rev	0.1-0.6
Depth of cut mm	1-4
Tool	P 20(-5, 5, 5, 5, 30, 0, 0.8)
Material cut (Hardness HRB)	S 45 C-D (91.4)
D; drawing	S 55 C-D (96.4)
N; normalizing	SCM 4-D (107.9)
Q; quenching+tempering	SCM 4-Q (96.9)
	SCM 21-D (83.3)
	SCM 21-N (78.7)
	SACM 1-D (97.1)
	SACM 1-Q (96.1)

N FF FF	N 39 00
G FF	G 01
P FF	P FF
X FF FF FF FF	X 00 55 00 00
Z FF FF FF FF	Z 92 19 00 08
U FF FF FF FF	U FF FF FF FF
W FF FF FF FF	W FF FF FF FF
I FF FF FF FF	I FF FF FF FF
K FF FF FF FF	K FF FF FF FF
C FF FF FF	C FF FF FF
R FF FF FF FF	R FF FF FF FF
D FF FF	D FF FF
d FF FF	d FF FF
F FF FF	F 45 00
f FF FF	f FF FF
L FF	L FF
M FF	M FF
S FF FF	S FF FF
T FF	T FF

(a) Before writing

(b) After writing

Fig. 8 NC data format

Fig. 9 Cutting sample

では切込み 3 mm, 仕上切削では切込み 0.5 mm で切削部分が自動分割されている。切込み以外の切削条件は、荒切削では送り 0.33 mm/rev, 切削速度 120 m/

Fig. 10 Geometry of a workpiece

min, 仕上切削では送り 0.18 mm/rev, 切削速度 200 m/min とした。図 10 の形状をハンドプログラムした場合と図 11 の工具経路に対応する自動プログラムを用いた場合の比較を図 12 に示す。自動プログラムの場合の方がプログラミング時間で約 1/20 であり、さらに切削時間および空切削時間も短縮されることが判明した。プログラミング時間に関しては習熟度に依存することを考慮しても十分な短縮度と考えられる。切削時間、空切削時間に関しては最適工具経路が選択されたとも考えられる。さらに、送り制御の有無によって切削時間がどの程度短縮されるかを検討するために、図 11 の工具経路をもつ自動プログラムに対して送り制御を適用した。結果を図 12 に示す。荒切削において工具経路を形状の変更点ごとのブロック切削にせず、図 11 に示すように工作物回転軸に平行に創成されるようにしたことによって、送り制御の効果が十分に得られ、切削時間が約 20% 短縮されることが判明した。なお、本実験においては、仕上切削では一定送りで切削を行っている。また、空切削部での空切削制御は実施していない。

5. 結 言

普通旋盤のレトロフィット NC 化およびパーソナルコンピュータを利用した対話式自動プログラミングシステムについて検討した結果をまとめると、次のようになる。

- (1) 普通旋盤のレトロフィット NC 化における仕様の決定法を提示した。この手法は専用機設計においても十分な効果を発揮する。

Fig. 11 Path of tool

Fig. 12 Analysis of the total time among three kinds of mode

- (2) 開発した対話式自動プログラミングシステムにより、NC プログラムの創成・管理が容易になり、自作のインタフェースで NC プログラムを制御装置に転送できることを確認した。
- (3) 創成された NC プログラムで切削を行い、切削時間および空切削時間がハンドプログラムの場合よりも短縮されることが、工具経路の創成方法によって送り制御の効果が大きであることがわかった。

最後に、本研究を行うにあたり貴重な御助言を頂いた東京電機大学・山本晃教授ならびにスクリー精密(株)片野一元氏、原園賢悟氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 横山哲男：最近の NC レトロフィット，機械と工具，11 (1983) 25.
- 2) 樫村幸辰，北田 明：切削条件の制御システムの開発，日本機械学会・精密学会東北支部郡山地方講演会概要集 (1985) 24.
- 3) 竹内芳美ほか：パーソナルコンピュータによる NC 旋盤の DNC 化，精密機械，48, 6 (1981) 714.
- 4) データレコーダ MD-3 U マニュアル，スター精密(株) (1981).