

## NC 旋盤の生産性向上に関する研究 (第1報)\*

—NC プログラムシミュレータを用いた生産性の現状調査と加工能率改善の検討—

白瀬敬一\*\* 平尾政利\*\* 安井武司\*\* 河端 裕\*\*\* 藤村善雄\*\*\*

Improving Productivity in NC Lathe Turning Based on NC Program Diagnosis System (1st Report)  
—Survey and Improvement on the Productivity in Turning Operations done  
in Manufacturing Industries by Using NC Program Simulator—

Keiichi SHIRASE, Masatoshi HIRAO, Takeshi YASUI, Hiroshi KAWABATA and Yoshio FUJIMURA

An NC program simulator has been developed for evaluating productivity in NC lathe turning. Machining information about cutting parameters, tool paths and operating time are retrieved from an NC program by the simulator. These information are very useful in order to evaluate productivity in NC lathe turning. A total of 193 NC programs from 29 manufacturing companies are investigated their productivity by comparing the percentage of jog feeding time during turning operation. The result of the investigation shows that the jog feeding time occupies about 80% of total operation time on an average of 193 examples. The simulation of the revised NC programs using the touch and cut method which eliminates an air-cut travel during jog feeding shows that the operation time of the NC program can be reduced about 6% on an average. The cutting test for estimating tool life proved that the touch and cut method does not reduce the tool lifetime under the experimental cutting condition.

**Key words:** NC program, NC lathe, turning, productivity, simulation, air-cut travel

## 1. はじめに

近年, FMS や CIM に代表される FA 指向により, 工場の生産ラインは急速に高度化され生産性の向上が実現されている。しかし, これらは複数の NC 工作機械を効率よく運用して稼働率を改善することに主眼が置かれており, 個々の NC 工作機械ごとに作業工程や加工能率が十分検討されているわけではない。もちろん最適な NC プログラムを作成するために, APT に代表される自動加工ソフトウェアが種々開発されているが, 加工手順や切削条件の決定が技術者にゆだねられている場合, NC プログラムの良否は技術者の知識やノウハウに左右されてしまう。また, 機械技術研究所で開発された旋削加工用ソフトウェア MELTS<sup>1)</sup> では, 加工手順や切削条件の決定そのものを計算機で行うことが試みられているが, 加工技術の体系化や機械性能の評価法の確立といった問題が残されている。また, 仮に最適な NC プログラムが作成されたとしても, その中で実行される作業工程を理解し加工能率を検討することが困難であるために, 工具や機械の性能向上に見合うように修正・改善を行うことができないのが現状である。つまり, NC プログラムがいったん作成されてしまうと, 致命的な障害がない限りそのまま使用され続け, 加工能率の良否は無視されることになる。

こうした問題に対し, NC プログラムを解析して加工能率が評価できたり, 熟練した技術者の経験やノウハウをもとに切削条件を診断し最適化することができれば好都合である。また, 現状の NC プログラムを解析する過程で効率の良い加工を実現するための客観的なデータが蓄積できれば, 加工技術の体系化にも寄与することになる。本研究ではこのような見地から, NC プログラムをもとに工具経路や切削条件といった加工情報を解析する NC プログラムシミュレータ<sup>2)3)</sup> と, この解析

結果と知識データベースをもとに工具経路や切削条件を診断するエキスパートシステム<sup>4)5)</sup> で構成される NC プログラム診断システムを開発して, NC 工作機械の生産性向上を実現することを目的としている。

本報では, 開発した NC プログラムシミュレータを用いて行った切削時間率 (NC 旋盤が切削送りモードで運転されている時間が総加工時間に占める割合) の調査結果と, 非切削時間の短縮によって実現できる加工能率改善の検討結果について報告する。実際に旋削部品の加工に用いられている 193 件の NC プログラムを解析した結果, 切削時間率は平均で約 80% であった。また, 非切削時間の短縮としては, 早送り速度を 2 倍にした場合, 早送り加減速度を 2 倍にした場合, エアカット (工具のアプローチのために, NC 旋盤が切削送りモードで運転されているが, 実際には切削加工が行われていない状態) を除去した場合を仮定し, 総加工時間短縮率をシミュレーションにより求め比較検討した。その結果, エアカットを除去した場合に, 総加工時間の短縮率が平均で約 6% と最も効果があることがわかった。エアカットを除去した場合に予想される工具欠損の発生や工具摩耗量の増加については, 切削実験を行って問題のないことを確認した。このエアカットの除去は, NC プログラムの修正だけで対処できることから, 加工能率の改善手法として極めて有効であるといえる。

## 2. NC プログラム診断システム

## 2.1 診断システムの概要

診断システムの目標は, NC プログラムを解析して加工能率を評価したり, 工具経路ならびに切削条件を診断することによって, NC 工作機械の生産性向上に寄与することである。診断システムの概要は図 1 に示すとおりで, NC プログラムの解析を行うシミュレータと, 工具経路ならびに切削条件の診断を行うエキスパートシステムで構成される。

開発した NC プログラムシミュレータは, NC プログラムをシステム内で共用できる内部データに変換するとともに, 付加

\* 原稿受付 平成 5 年 2 月 26 日

\*\* 正会員 金沢大学工学部 (金沢市小立野 2-40-20)

\*\*\* 正会員 金沢工業大学 (石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1)

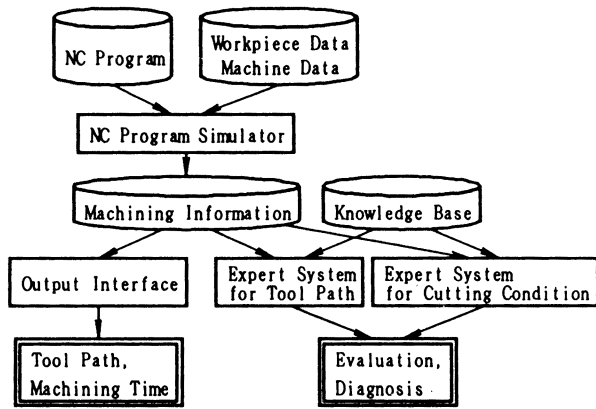


Fig. 1 NC program diagnosis system for turning

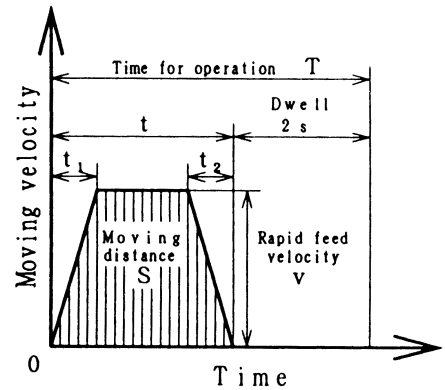


Fig. 2 Rapid feed velocity diagram for acceleration performance test

情報から判断・生成される情報を加え、解析データとして出力する機能を有している。工具経路や切削時間率といった解析結果を表示出力することにより、技術者自身によるNCプログラムの診断を支援することができる。

2.2 診断システムの入力情報

診断システムの入力情報は、NCプログラムと付加情報である。

NCプログラムは、NC工作機械を自動運転するために記述される一連の指令群で、個々の指令の意味や表記方式の標準的な規格はJISにも定められている（JIS 6311～JIS 6314）。開発したNCプログラムシミュレータは、ファナックの0T-B型NC装置の仕様を参考にしており、一般的な旋削加工を行っているNCプログラムであれば、そのまま解析を行うことができる。ただし、C軸を用いたミリング加工や、マクロ命令を含んだNCプログラムは解析することはできない。

付加情報は、NCプログラムの解析および診断に欠かせない素材寸法や被削材材種、工具形状や工具材種、工具オフセットやNC旋盤の特性を示す各種パラメータに関する情報である。こうした情報はNCプログラムからは得られないため、付加情報としてあらかじめ入力しておかなければならない。例えば、NC旋盤の特性に関するパラメータとしては、主軸電動機の出力量や主軸回転数に依存する出力特性あるいはトルク特性、早送り速度などが含まれる。機械仕様として明記されているこうしたパラメータ以外にも、早送り移動時の加減速度、主軸起動時の加減速度や工具の割出しに要する時間など、NCプログラムの運転時間を解析する際に必要なパラメータも含まれている。

このうち早送り移動時の加減速度は、Gコードで早送り移動が指令されてから工具の移動速度が早送り速度に達するまでの時間、すなわち早送り加減速時間から求めている。早送り加減速時間は、テストプログラムの実行時間から求めており、テストプログラムでは、移動距離100mmで早送り移動を行い、2秒間のドウェルを指令するという一連の命令を4回繰り返して実行した。図2で示すように速度変化が台形パターンになると仮定すると、早送り加減速時間はプログラム実行時間  $T$ 、移動距離  $S$ 、早送り速度  $v$  の関係から求めることができる。早

Table 1 Acceleration performance of the experimented NC lathes in rapid feeding

NC lathe ID code	Rapid feeding along X-axis			Rapid feeding along Z-axis			Remarks (Rapid feed velocity m/min)
	Operation time $4T$ s	Moving time $t$ s	Acceleration mm/s <sup>2</sup>	Operation time $4T$ s	Moving time $t$ s	Acceleration mm/s <sup>2</sup>	
I 01-01-**	11.24	0.81	794	11.23	0.81	794	X : 10, Z : 10
I 01-02-**	11.77	+0.94	417	11.81	0.95	476	X : 6, Z : 10
I 02-01-**	12.92	1.23	435	11.71	0.93	465	X : 6, Z : 12
I 03-01-**	12.88	1.22	284	11.83	0.96	435	X : 8, Z : 12
I 03-02-**	14.53	1.63	194	11.71	0.93	505	X : 5, Z : 10
I 04-01-**	10.85	0.71	952	9.75	0.44	2105	X : 12, Z : 24
I 04-02-**	12.78	1.20	500	12.68	1.17	588	X : 6, Z : 6
F 01-01-**	11.26	0.82	758	10.87	0.72	909	X : 10, Z : 12
F 01-02-**	14.22	1.55	238	11.88	0.92	450	X : 5, Z : 10
T 01-01-**	15.36	1.84	130	12.91	1.23	265	X : 5, Z : 10
T 01-02-**	12.95	1.24	272	12.34	1.08	345	X : 8, Z : 12
T 02-01-**	13.92	1.48	298	12.14	1.04	379	X : 5, Z : 10
T 02-02-**	14.58	1.64	189	12.30	1.08	347	X : 5, Z : 10

Moving distance is 100 mm, (\* : Moving distance is 70 mm)

送り加減速時間をもとにして計算した早送り加減速度の結果を表1にまとめて示す。主軸起動時の加減速度や工具の割出しに要する時間などについても同様の方法で測定した。

3. NCプログラムシミュレータ

前節で説明した「NCプログラム」および「付加情報」から成る入力情報をもとに、NCプログラムを1ブロックずつ解析し、工具経路や作業時間（工具移動、工具交換、主軸加減速等に要する時間）の情報を解析データとして出力する。

3.1 工具経路情報

工具経路情報は、経路の始点と終点、移動距離、主軸回転数や送り速度といった数値データを、工具経路ごとにまとめたものである。この情報をもとに、工具軌跡を表示した出力画面の一例を図3に示す。工具軌跡は、縮尺や表示原点を変更して表示したり、工具ごとあるいは工具経路ごとに表示することができる。このため、技術者自身が工具経路の良否を検査することが容易となる。

3.2 作業時間情報

作業時間情報は、工具の切削送り、工具の早送り、工具の割出し、主軸の加減速、切削油のon/off、その他の指令に要した作業時間を、NCプログラムのブロックごとにまとめたものである。この解析時間をもとに、タイムチャートを表示した出力画面の例を図4に示す。このような表示により、個々の作業時間の総加工時間に占める割合や分布を把握することができる。このため、加工時間の観点から、NCプログラムの加工能

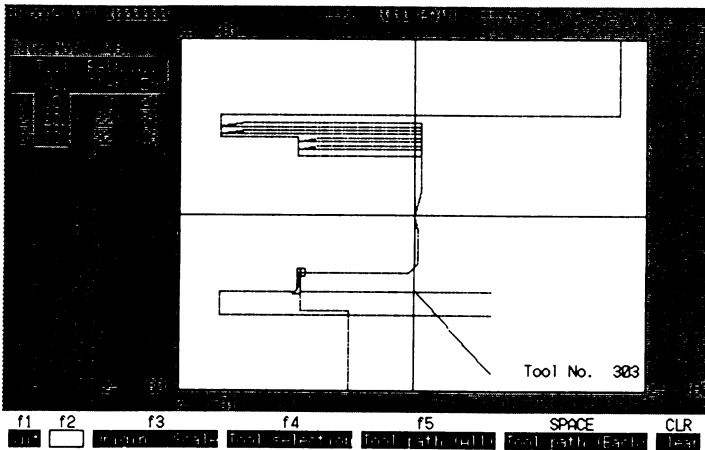


Fig. 3 Example of tool path chart displayed on CRT

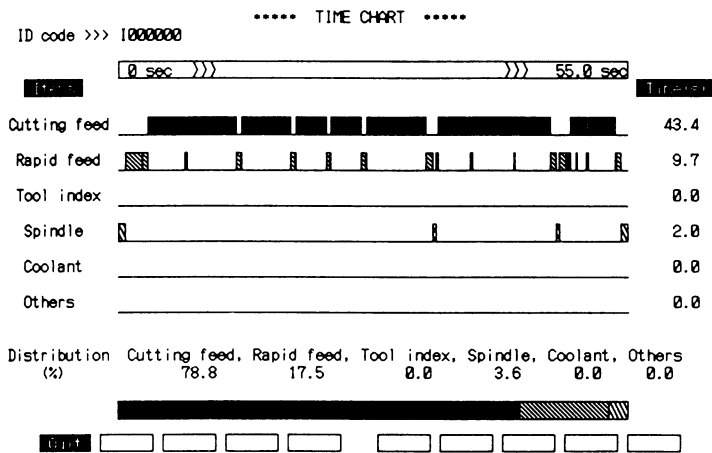


Fig. 4 Example of time chart displayed on CRT

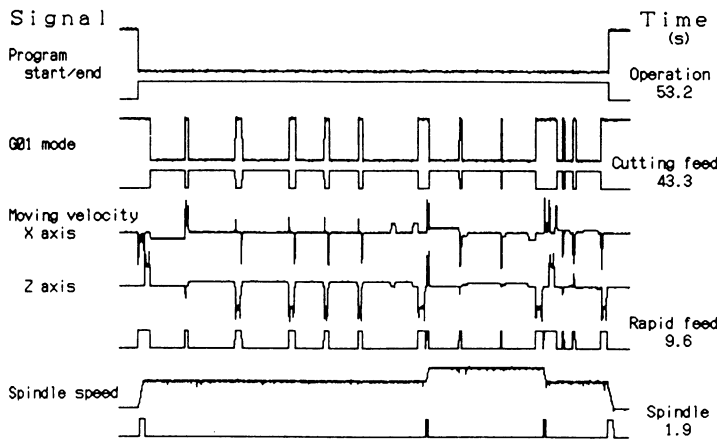


Fig. 5 Distribution of operation time measured on NC lathe

率を検討することが容易となる。

### 3.3 解析データの信頼性

3.1節および3.2節で述べたとおり、工具軌跡や作業時間のタイムチャートはNCプログラムの加工能率を検討する上で、非常に有効な判断指標となる。ただし、この場合は解析データの信頼性が保証されていなければならない。

工具経路情報は、NCプログラムに記述された座標パラメータから求められるので、NCコードの解釈に間違いがなければ正確な情報を得ることができる。一方、作業時間情報は、NC旋盤の特性に関するパラメータをもとに運転状況をシミュレートしながら求めているので、解析データの信頼性はこうしたパ

ラメータの精度によって左右される。そこで、解析して得られた作業時間と実際のNC旋盤による作業時間を比較して、解析データの信頼性を確認した。

図4で示した解析時間のタイムチャートと比較できるように、解析に用いたNCプログラムをNC旋盤（中村留精密工業 TMC-10 SP）で実行して、総加工時間の内訳を実測した。その結果を図5に示す。ここでは、自動運転on/offを表示する電気信号からNC旋盤の運転時間、G01モードを表示する電気信号から工具の切削送りに要する時間、X軸およびZ軸の駆動モータの回転速度出力信号から工具の早送りに要する時間、主軸モータの回転数出力信号から主軸の加減速に要する時間をそれぞれ検出した。

図4と図5に示した工具の切削送り、工具の早送り、主軸加減速に要する時間の分布はいずれも良く一致し、作業時間そのものも正しく解析されていることがわかる。また、実測して求めたNC旋盤の運転時間には終了時の主軸減速時間が含まれていないが、これを考慮した場合の総加工時間は、解析して得られた総加工時間にはほぼ一致している。

このように、NCプログラムシミュレータによる解析データの信頼性が確認されたので、次節ではNCプログラムシミュレータによる解析結果を用いて、切削時間率の現状調査と非切削時間短縮による加工能率改善の検討を行った。

## 4. 切削時間率の現状調査と非切削時間短縮による加工能率改善の検討

### 4.1 切削時間率の現状調査

図4で示した種々の作業時間のうち、工具の切削送りと工具の早送りに要する作業時間の総加工時間に占める割合を求めた。工具の切削送りに要する作業時間の割合を切削時間率、工具の早送りに要する作業時間の割合を早送り時間率と呼ぶことにする。北陸三県の29の企業で実際に旋削部品の加工に用いられている193件のNCプログラムについて求めた、切削時間率および早送り時間率を図6にまとめて示す。

総加工時間が短い場合に切削時間率が減少するのは当然であるが、旋削部品ごとの切削時間率に大きな違いが認められる。こうした違いは、加工手順や工具経路の良否によるものと考えられる。従って、平均的な切削時間率に比べて、切削時間率が小さなNCプログラムについては、加工能率改善の可能性があることが客観的に判断できる。なお、図6に示した切削時間率および早送り時間率の平均は、それぞれ82.8%、10.2%であった。

### 4.2 非切削時間短縮による加工能率改善の検討

加工能率の改善は、切削条件を改善して実切削時間を短縮する方法と、早送り移動やエアカット、工具の割出しといった非切削時間を短縮する方法が考えられる。ここでは、非切削時間の短縮として、早送り速度を2倍にした場合、早送り加減速度を2倍にした場合、エアカットを除去した場合を仮定し、総加工時間短縮率をシミュレーションにより求め比較検討した。

図7、図8、図9にそれぞれの結果をまとめて示す。早送り速度および早送り加減速度については、NC旋盤に関するパラメータを変更して求めた。エアカット量は、アンケート調査表

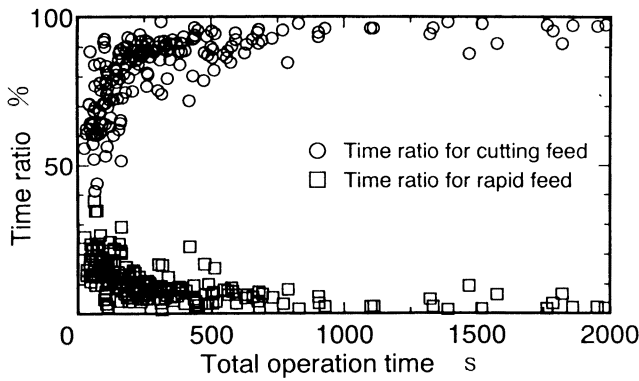


Fig. 6 Ratios of cutting feed time and rapid feed time to total operation time (193 examples)

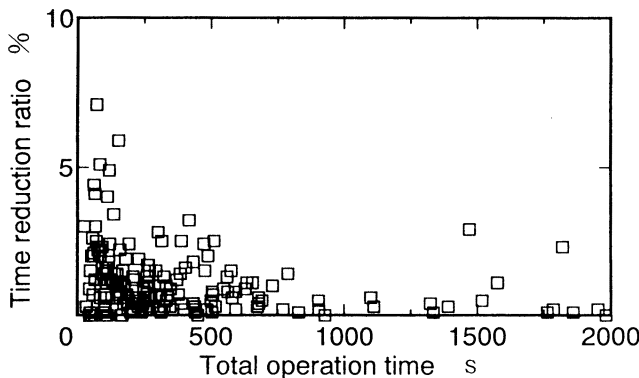


Fig. 7 Reduction of operation time when rapid feed velocity is doubled (193 examples)

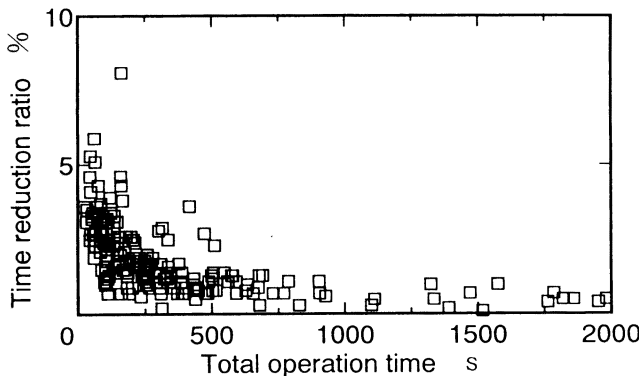


Fig. 8 Reduction of operation time when rapid feed acceleration is doubled (193 examples)

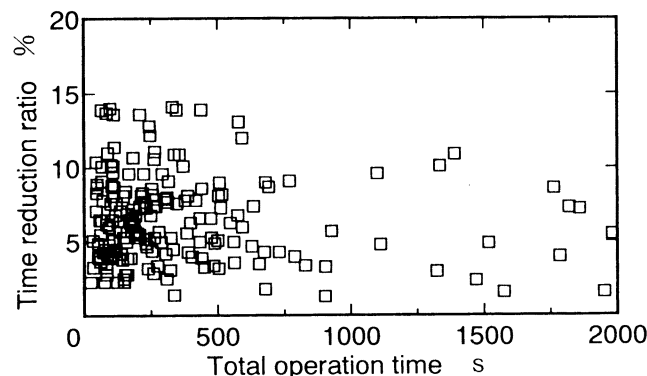


Fig. 9 Reduction of operation time when air-cut travel during jog feeding is eliminated (193 examples)

の回答をもとに 2 mm と仮定し、切削送りモードとなっている工具経路の移動距離を短くして解析した。

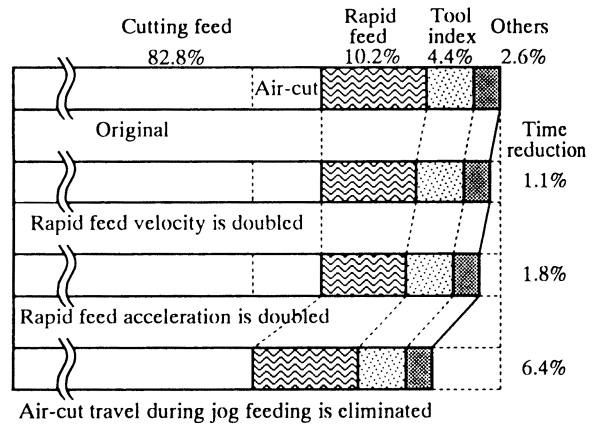


Fig. 10 Simulated results of improving productivity

早送り速度を2倍にした場合は、工具交換を頻繁に行うようなNCプログラムで、工具早送り移動距離の総和が相対的に長くなる場合に加工能率の改善効果が認められる。しかし、総加工時間の短縮率は平均で約1%である。

早送り加減速度を2倍にした場合は、小物部品を加工するようなNCプログラムで、個々の工具早送り移動距離が短い場合に加工能率の改善効果が認められる。このため、総加工時間が短くなるほどその短縮率は大きくなるが、平均で約2%である。

一方、エアカットを除去した場合は、荒加工を主としたNCプログラムで、工具が被削材にアプローチする回数が多い場合に加工能率の改善効果が認められる。従って、NCプログラムによって総加工時間の短縮率は大きく異なるが、平均で約6%と最も有効であることがわかった。

以上193件の結果を平均し、非切削時間の短縮による総加工時間短縮率として図10にまとめて示す。鋳造品や鍛造品による素材を最初に加工する工具経路を除けば、それ以降の工具経路で工具のアプローチ距離をゼロとして、エアカットを除去することは可能である。さらに、早送り速度あるいは早送り加減速度を2倍にするためにはNC旋盤そのものの改造が必要となるのに対して、エアカットの除去はNCプログラムの修正だけで対処できることから、加工能率の改善手法として注目できる。

### 5. エアカット除去による切削実験

前節では非切削時間短縮による加工能率の改善効果を検討し、エアカットを除去した場合に、総加工時間の短縮率が平均で約6%と最も効果があることを示した。しかし、エアカットを除去して切削加工を行うと、工具欠損の発生や工具摩耗量の増加など、工具寿命への悪影響が心配される。そこで、エアカットを含む場合と含まない場合について切削実験を行って、工具逃げ面の摩耗幅を比較した。

#### 5.1 実験方法

実験には、櫛刃型のCNC小型精密旋盤（高松機械TOP-TURN, 最大加工物寸法φ160×80）を使用した。工具は超硬P20のスローアウェイチップ（三菱マテリアルTNGA 332, 刃先丸み0.8mm）である。試験片の材質は構造用炭素鋼（S55C, HV 240）で、素材寸法はφ86×96である。

被削材形状と工具経路を図11に示す。最初に端面加工を行った後、長手方向の切削を15回繰り返している。切削速度は200 m/minで、周速一定による加工とした。切込みは1.5

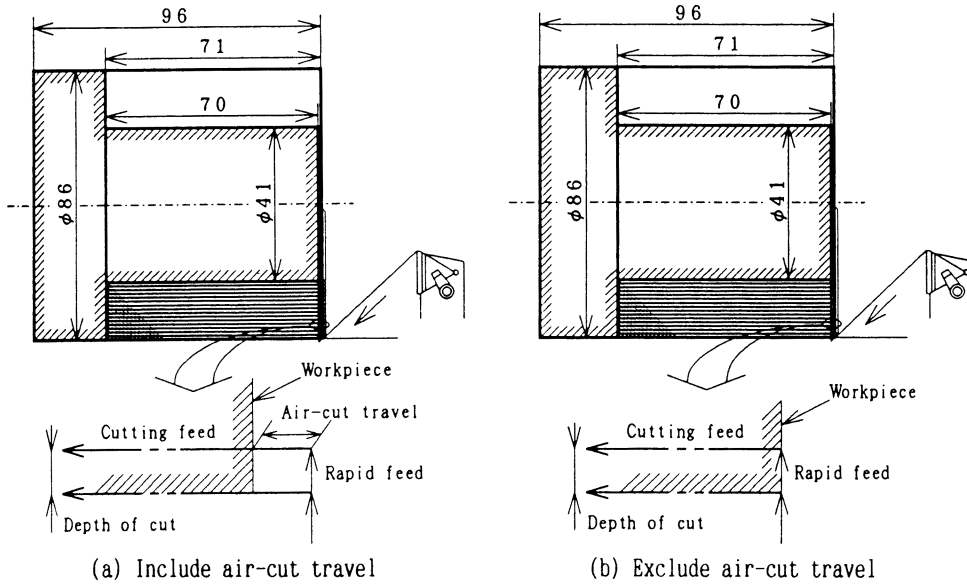


Fig. 11 Comparison of tool path which includes and excludes air-cut travel in cutting experiment

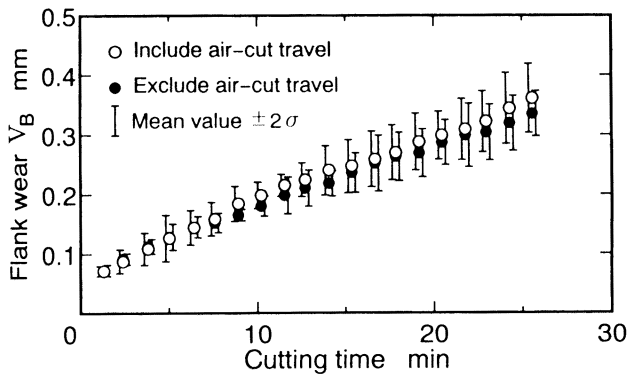


Fig. 12 Flank wear of tool tip during cutting experiment

mmで、送り速度は0.2 mm/revである。エアカットを含まない工具経路では、切込みを与える早送りの際に、工具が被削材端面と接触することになる。

### 5.2 工具摩耗の測定

試験片1本当たりの切削距離は約1000 mで、ほぼ250 mごとに工具逃げ面の摩耗幅  $V_B$  を測定した。逃げ面摩耗幅  $V_B$  は、エアカットを含む場合、含まない場合、いずれも試験片5本を切削した段階（切削距離にして約5000 m）で0.3 mmに達し、この時点で切削実験を打ち切った。切削実験終了後に工具を比較したが、摩耗形態に大きな違いは認められなかった。

図12に測定して求めた逃げ面摩耗幅  $V_B$  をまとめて示す。エアカットを含む場合、含まない場合、いずれも5回の実験を繰り返し、○印、●印でそれぞれの平均値を示した。図には平均値の  $\pm 2\sigma$  の値もあわせて示したが、両者に有意差は認められなかった。また、ここで行った切削実験では工具欠損の発生も認められず、エアカットを除去して加工能率を改善する場合に心配された工具寿命への悪影響はないと考えられる。このように、エアカットの除去はNCプログラムの修正だけで対処できるうえに、工具寿命への悪影響もないことから、加工能率の改善手法として非常に有効であることがわかった。

## 6. 結 論

本報では、開発したNCプログラムシミュレータを用いて、

実際に工場で旋削部品の加工に用いられている193件のNCプログラムを解析した。解析結果から、切削時間率（NC旋盤が切削送りモードで運転されている時間が総加工時間に占める割合）の現状調査と、非切削時間の短縮によって実現できる加工能率改善の検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) NCプログラムシミュレータの解析結果より、工具の切削送りや主軸の加減速といった指令に要する作業時間の、総加工時間に占める割合や分布を把握することができる。このため、加工時間の観点からNCプログラムの加工能率を検

討することが容易となった。

- (2) 調査した193件のNCプログラムから、切削時間率は平均で約80%であることがわかった。また、平均的な切削時間率に比べて、切削時間率が小さなNCプログラムについては、加工能率改善の可能性があることが客観的に判断できる。
- (3) 非切削時間短縮による加工能率の改善効果を種々検討し、エアカットを除去した場合に、総加工時間の短縮率が平均で約6%と最も効果があることを明らかにした。
- (4) エアカットを除去した場合に予想される工具欠損の発生や工具摩耗量の増加については、切削実験を行って問題のないことを確認した。エアカットの除去は、NCプログラムの修正だけで対処できることから、加工能率の改善手法として非常に有効であるといえる。

## 謝 辞

本研究は北陸三県機電産学官有志懇談会の共同研究事業の一環として行われており、石川県鉄工協会を始めとする関係各位に多大なるご協力をいただきました。また、本研究を進める過程で、「NC旋盤の生産性研究会」の各委員より貴重なご助言をいただきました。こうしたご協力、ご助言に対し深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 竹山秀彦, 井上久仁子, 本多庸悟, 関口 博, 高田孝次: 自動加工ソフトウェア, 日刊工業新聞社, (1981).
- 2) 安井武司, 平尾政利, 白瀬敬一, 藤村善雄, 河端 裕: NC旋盤の生産性向上に関する研究(第1報), 1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1991) 1085.
- 3) K. Shirase, M. Hirao, T. Yasui, H. Kawabata and Y. Fujimura: Development of NC Program Diagnosis System for Turning, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., 26, 1, (1992) 74.
- 4) 白瀬敬一, 笹山幸一, 河端 裕, 安井武司, 藤村善雄: NC旋盤の生産性向上に関する研究(第2報), 1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1992) 85.
- 5) 笹山幸一, 河端 裕, 藤村善雄, 白瀬敬一, 安井武司: NC旋盤の生産性向上に関する研究(第3報), 1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1992) 91.