

インテリジェント切削工具と 自律分散型工具管理システムの提案

青 山 英 樹*・岸 浪 建 史**
齋 藤 勝 政**・佐 藤 眞***

A Proposition of an Intelligent Cutting Tool and a Distributed Automatic Tool—Management—System

Hideki AOYAMA, Takeshi KISHINAMI, Katsumasa SAITO and Makoto SATO

Abstract

This paper proposes an intelligent cutting tool and a distributed automatic tool—management—system based on the tool which are demanded according as an FMS (Flexible Manufacturing System) and a CIM (Computer Integrated Manufacturing system) become larger in scale and have higher level functions. The proposed intelligent cutting tool is composed of a sensor part having a function to detect conditions of a cutting tool, a memory part having a function to store information on a tool and a processor part having a function to manage and use the information. The managed tool information on the intelligent cutting tools for a lathe turning machine and a machining center is designed. And a distributed automatic tool—management—system based on the intelligent cutting tool is presented and the effect of the system is investigated.

Key words : tool management, intelligent cutting tool, FMS, CIM

1. 結 言

製造業労働者の絶対数の不足ならびに労働者の製造業離れにともない、工場の自動化省人化が求められ、FA (Factory Automation) 化が積極的に推進されてきている。また、多様化する製品を合理的に製造するため、多品種少量生産に対応した FMS (Flexible Manufacturing System) が開発導入されるとともに、受注から生産販売までコンピュータとネットワークを用いて統括的に制御管理する CIM (Computer Integrated Manufacturing system) が現実のものとなりつつある。さらに、平成 2 年度には日・北米・欧で IMS (Intelli-

gent Manufacturing System) の構築を目指す国際共同研究プログラムの検討が開始された。このように生産管理システムが高度大型化するにつれ、システムを管理するホストコンピュータの果たす役割も複雑多岐に及ぶようになり、生産現場の末端に至るまで十分な管理を行うことが困難になりつつある。

従来の FMS は切削工具について切削時間管理を行っており、その累積切削時間を基礎として寿命判定を行っている。FMS は多品種少量生産を目的とした生産システムであり、この場合に工具摩耗は時間的に均一ではないため、予測を越えた摩耗進行を考慮し工具寿命は本来の寿命よりも短く設定されている。このため、工具はその機能を 100% 利用されない状態に置かれている。工具の機能を十分に利用するためには、システム内で使用されている全ての工具状態を常に監視することが

* 助 手 機械工学科

** 教 授 北海道大学 工学部 精密工学科

*** R & D センター長 (株) 牧野フライス製作所

必要であるが、ホストコンピュータにこの機能を持たせることはシステムを大型化するうえで障害となる。

本研究は、上記のような問題を解決するため、切削工具に情報の自律的自己管理機能を持たせたインテリジェント切削工具を提案し、同工具が持つべき機能を検討し、旋削用切削工具とマシニングセンタ用切削工具の管理情報の設計を行う。また、同工具を用いた自律分散型工具管理システムを提案し、その有効性について明らかにする。

2. 切削工具の自律管理の必要性

FMS, CIM 構築の基本は、管理すべき情報と物の流れを正確に効率的に行うことであり、機械加工工場の切削工具の管理に関しても同様である。図1は従来のFMSにおける切削工具の管理方式を示している。切削工具自身は工具室あるいは工作機械の工具マガジン内に格納管理されており、その切削工具に関する全ての情報はFMSホストコンピュータの記憶装置内で集中管理されている。このような切削工具（物）とその情報を分離した管理方式では、工具に対して取り付けられたバーコードあるいはピンコードの番号とホストコンピュータ記憶装置内の工具情報に対して割り付けられているコード番号を参照して工具情報と工具自身の対応を図る必要があるが、次に示すよう

な3つの問題が生ずる。

- 1) 切削工具あるいは情報のどちらか一方が欠落した場合、切削工具と情報の対応を図るうえでシステムの混乱を生ずる。
- 2) 切削工具の増加とともにホストコンピュータが管理すべき情報量が増加し、FMSシステムの機能の低下を招く。
- 3) 切削中にダイナミックに変化する工具情報（工具摩耗など）の管理が困難である。

機械加工工場におけるFMS, CIMのより高度な運用を目指し、工作機械、ロボット、無人搬送車、加工状態などシステム内の構成要素の個々の状態に応じて生産計画を逐次変更し、個々の要素に対して柔軟に対応した知的生産システムの構築が望まれる。切削工具の状態は加工中徐々にあるいは突発的に変化するため、知的柔軟性のある切削加工を行うためには常時工具の状態を監視し、状態に応じて切削条件の変更修正を行う必要がある。従来行われているホストコンピュータから個々の要素への情報のダウンロード処理方式において、ホストコンピュータに個々の工作機械で使用されているすべての工具の状態の監視機能を持たせた場合、システムが大規模になるにつれてシステムの機能の低下を招く原因になる。

すなわち、柔軟性を損なわずにシステムの大型化を行うためには、システムの個々の構成要素が自己の状態を自律的に認識管理し、ホストコン

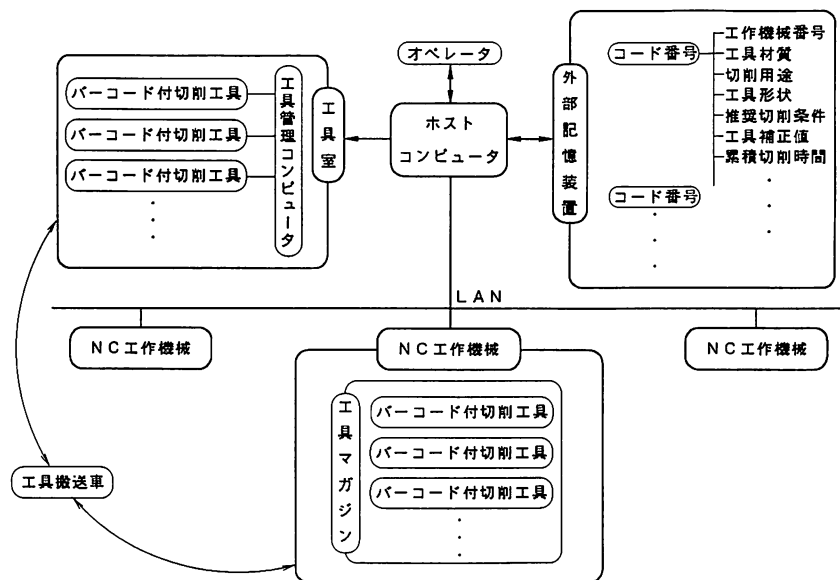


図1 従来の切削工具と情報を分離した管理方式

ピュータがシステムを総合的に管理するために必要な最小限の情報のみをアップロードする管理方式を開発する必要がある。切削工具に関してこのような管理方式を構築するため、インテリジェント切削工具とそれに基づく自律分散型の工具管理法を提案する。

3. インテリジェント切削工具の概要

提案するインテリジェント切削工具は自己の自律管理を可能とするため、次の機能を有する必要がある。

すなわち、

- ・工具の状態を検出する機能
- ・情報を格納する機能
- ・情報を管理利用する機能

である。

このような機能を有するインテリジェント切削工具は、センサ部、メモリ部、プロセッサ部により構成され、センサ部は工具状態の検出機能、メモリ部は情報の格納機能、プロセッサ部は情報の管理利用機能をそれぞれ担う。

3.1 センサ部

工具情報の検出機能を持つセンサ部は、工具の状態を検出するためのいくつかのセンサにより構築される。センサ部により検出される工具情報は、摩耗量、欠損、切削温度、切削抵抗などである。これらの情報を検出するためのセンサあるいはシステムはこれまでにいくつか提案¹⁾されてきている。例えば、筆者らが開発した抵抗薄膜回路を応用した摩耗量・欠損検出センサ²⁾あるいは AE センサや加速度センサを利用した摩耗量・欠損の検出システム、熱電対を用いた切削温度の検出システム、ひずみゲージ・圧電素子による切削抵抗検出システムなどがある。センサ部はインプロセス検出が可能なセンサを工具に内蔵して構築することが望ましいが、実用的には工具外に構築することも考えなければならない。

3.2 メモリ部

メモリ部は工具情報の格納機能を有しており、情報と物（工具）を一体化するという基本的な考え方に基づき、工具ホルダ内に構築されなければならない。工具ホルダは切削中に切りくずや切削油が降り注ぎ、切削熱により高温となり、また切

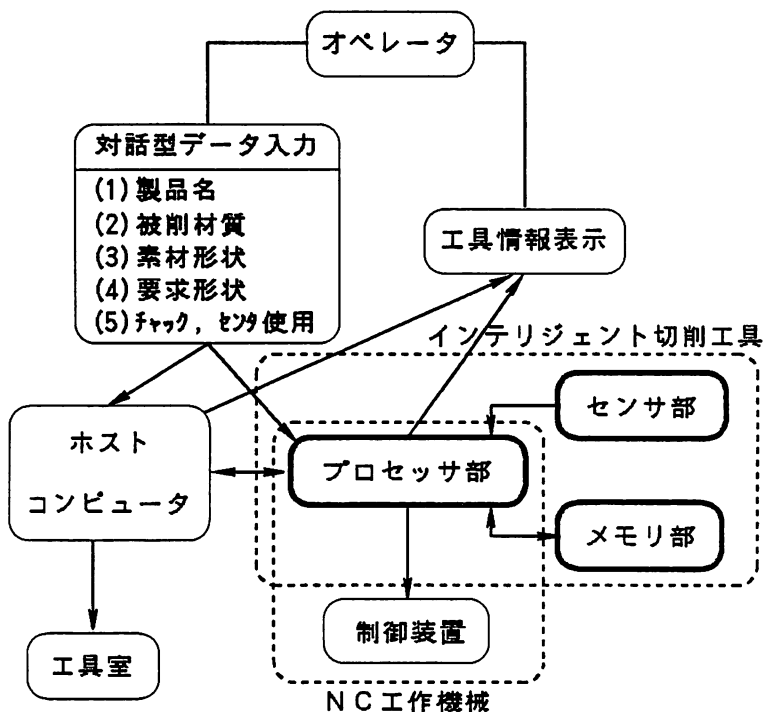


図2 インテリジェント切削工具

削の振動が直接伝わるため、極めて過酷な状態に置かれる。したがってメモリ部を構築するメモリデバイスは、このような条件下において安定して情報を格納でき、その読み出し書き込み更新が随時可能でなければならない。ツール ID システムに用いられているデータキャリアと呼ばれる ID チップはこの性能を有しており、メモリ部を実現するデバイスとして用いることができる。ID チップは非接触で情報の読み出しと書き込みが可能であり、また電源を設ける必要がない利点がある。しかし、その容量が最大で 256 バイトであるため、インテリジェント切削工具のメモリ部として適当であるかどうか検討が必要である。

3.3 プロセッサ部

図 2 はプロセッサ部の機能を示している。すなわち、プロセッサ部には次に示す 8 つの機能が必要となる。

- 1) センサ部より検出される信号から工具状態（工具摩耗、欠損、切削温度、切削抵抗）を認識し、メモリ部に格納し管理する機能。
- 2) メモリ部のデータを登録、更新、追加する機能。
- 3) NC データを作成するために必要な加工情報を対話形式によりオペレータから入力する機能。
- 4) オペレータから入力された加工情報とメモリ部において管理されている工具情報（推奨切削条件）から NC データを自動生成する機能。
- 5) 工具状態（工具摩耗、欠損、切削温度、切削抵抗）に基づき、NC データをダイナミックに修正しながら NC 制御装置にダウンロードする機能。
- 6) メモリ部において格納管理されている工具情報を表示する機能。
- 7) 切削工具が寿命に達した場合あるいは欠損を起こした場合に工具交換要求を出力する機能。
- 8) ホストコンピュータが工具の分散管理を行うために必要とする最少情報を、ホストコンピュータにアップロードする機能。

上記の全ての機能を有するプロセッサ部を工具に内蔵することは極めて困難でありまた経済的にも効率的ではないため、独立した CPU システムを用いてプロセッサ部を実現すべきである。筆者らは³⁾、パーソナルコンピュータによりプロセッサ部を構築している。

4. 管理情報の設計

4.1 管理情報とその利用法

表 1 はインテリジェント切削工具が管理すべき情報を示している。同表に示されるように、管理情報は静的情報である属性情報と動的情報である個性情報に分類され、属性情報には工具仕様データと切削条件データが含まれており、また個性情報には工具状態データと使用履歴データが含まれている。

工具仕様データとして、工具材質、切削用途、工具形状が格納管理されている。

切削条件データとして、いくつかの代表的な被削材種に対する推奨切削条件と限界切削条件および逃げ面摩耗、切削温度、切削抵抗の限界値が格納管理されている。プロセッサ部は推奨切削条件を基準としてオペレータから入力される加工能率値を基に限界切削条件の範囲内で NC データを自動生成する。また、プロセッサ部は、切削中にセンサ部より検出される切削温度、切削抵抗が限界切削温度と限界切削抵抗値を越えるような場合、ダイナミックに NC データを変更修正して制御装置へ入力し、工具が摩耗限界値を越えた場合および欠損を生じた場合、工具交換要求を出力する。

工具状態データとして、工具切れ刃のセッティング時の工具補正值、工具摩耗量、累積切削時間が格納管理されている。プロセッサ部はセッティングに基づく工具補正值および工具摩耗量に基づく工具補正值から NC データをダイナミックに変更修正する。

使用履歴データとして、加工日、加工製品名、被削材質、切削条件、切削時間、工具摩耗量が 1 ブロックとして記録されており、同データは工具使用后、生産管理や工程設計の検討に利用される。

表 1 インテリジェント切削工具管理情報

属性情報 (静的情報)	工具仕様	工具材質 切削用途 工具形状
	切削条件	推奨切削条件(切削速度, 切込み量, 送り速度) 限界切削条件(切削速度, 切込み量, 送り速度) 限界値 (逃げ面摩耗, 切削温度, 切削抵抗)
個性情報 (動的情報)	工具状態	セッティング補正值 逃げ面工具摩耗 累積切削時間
	使用履歴	加工日, 加工製品名, 被削材質 切削条件 (切削速度, 切込み量, 送り速度) 切削時間, 逃げ面工具摩耗

4.2 データの格納様式

表2はメモリ部に格納されているデータの格納様式を示しており、格納にあたり次の事項を注意する必要がある。また、データのコードはASCIIとする。

- ・データの大きな区切りは%で表される。
- ・工具形状は、旋削用工具の場合、JIS（B 4105, B 4152）に規定されている型番号、前すくい角（deg.）、横すくい角（deg.）、前逃げ角（deg.）、横逃げ角（deg.）、前切れ刃角（deg.）、横切れ刃角（deg.）、ノーズ半径（mm）の順に示され、それぞれの区切りはコンマ（,）で表される。マシニングセンタ用工具の場合、工具直径（mm）、切れ刃長さ（mm）、切れ刃角度（deg.）の順に示され、それぞれの区切りはコンマ（,）で表される。
- ・推奨切削条件と限界切削条件は、代表的ないくつかの被削材質に対する切削速度V(m/min)、切り込み量d(mm)、送り速度f（旋削用；mm/rev、マシニングセンタ用；mm/min）がコンマ（,）で区切られて示されている。また、被削材質間の区切りは/で表される。
- ・限界値は逃げ面摩耗（mm）、最高切削温度（℃）、最大主切削抵抗（N）の順に示され、それぞれの区切りはコンマ（,）で表される。
- ・セッティング補正值（mm）は、旋削用の場合はX、Z方向補正值が順に示され、マシニングセンタ用の場合は半径方向補正值とZ方向補正值が示される。それぞれの区切りはコンマ（,）で表される。
- ・逃げ面工具摩耗量を示す単位はmmである。
- ・累積切削時間を示す単位は分である。
- ・使用履歴は加工日、加工製品名、被削材質、切削速度、切込み量、送り速度、切削時間、逃げ面摩耗が1つのブロックとして順に示され、ブロック内のそれぞれの区切りはコンマ（,）で表される。加工日、加工製品名、被削材質、切削速度、切込み量、送り速度が変更された場合には、新たなブロックとして追加記録され、その区切りは/で表される。

表2 メモリ部におけるデータの格納様式

%工具材質%切削用途%工具形状%推奨切削条件
%限界切削条件%限界値%セッティング補正值
%逃げ面工具摩耗量%累積切削時間%使用履歴%

4.2 管理データ例とメモリ部 ID チップの検討

表3は旋削用インテリジェント切削工具の管理情報例を示しており、表4はマシニングセンタ用インテリジェント切削工具の管理情報例を示している。

表3と表4の例では、推奨切削条件と限界切削条件は2種類の被削材質について、また使用履歴は2ブロックの場合について示されており、どちらの場合もデータ容量は約200バイトである。1種類の被削材質に対する切削条件の容量は14～17バイトを必要とし、使用履歴が1ブロック追加登録されるためには40バイト必要である。したがって、20種類の被削材質に対する推奨・限界切削条件と20ブロックの使用履歴を格納するためのメモリ部容量は1.5kバイト程度必要となる。

現在市販されているIDチップの最大容量は256バイトであるため、提案するインテリジェント切削工具を実用化するためには、1.5kバイト程度の容量を持つIDチップの開発が要求される。

表3 旋削用インテリジェント切削工具の管理データ例

%P10%ROUGH CUTTING
%33-3,0,6,5,5,15,0,0.5%
%S25C,180,3,0.3,/S45C,160,2,0.3
%S25C,220,4,0.4/S45C,200,2.5,0.35
%0.4,600,1000%0.1,0.05%0.3%40
%1990.11.20,test1,S45C,180,2,0.2,20,0.13
/1990.11.20,test1,S45C,200,2.5,0.2,20,0.17
%

表4 マシニングセンタ用インテリジェント切削工具の管理データ例

%HSS%END MILL%20,50,0
%S25C,80,20,60/S45C,60,20,60
%S25C,100,30,80/S45C,80,30,80
%0.2,300,40%0.5,0.1%0.1%20
%1990.11.21,test2,S25C,60,20,60,10,0.05
/1990.11.21,test3,S25C,60,20,60,10,0.05
%

5. インテリジェント切削工具を基にした
自律分散型工具管理

インテリジェント切削工具は前述の通りセンサ部、メモリ部、プロセッサ部から構成されており、プロセッサ部の持つ機能から自律管理が可能となる。すなわち、個々のNC工作機械の工具マガジンにおいて格納されている切削工具を工作機械空間内で独自に管理することができる。

このように個々の工作機械における工具の自律管理システムをFMSに組み入れることにより、FMSにおける工具の分散管理が可能となる。図3は、FMSにおけるインテリジェント切削工具を用いた自律分散型の工具管理法を示している。これより、FMSホストコンピュータは個々の工具の情報を管理する必要がなくなり、インテリジェント切削工具のプロセッサ部から示される工具交換要求に従って工具搬送車を用いて工具室の工具との交換を行うことがホストコンピュータの工具管理に関する役割となる。

このような工具の自律分散管理方式の問題点として指摘されることは、ホストコンピュータが個々の工作機械で保有されている工具を認識するために工具を一定の場所に移動しメモリ部の情報を検索（読み出し）する必要がある、このための時間を消費することである。この問題を解決するため、ホストコンピュータは工具が工作機械に搬入された時点でメモリ部の工具仕様データをプロ

セッサ部を通して入力し管理することとする。

6. 結 言

- 本研究は次の通りにまとめられる。
- (1) FMS、CIMの高機能化・大規模化にともない、システムの個々の要素の自律分散管理の必要性が高まることを示した。
 - (2) 切削工具の自律分散管理を可能とするインテリジェント切削工具を提案した。
 - (3) インテリジェント切削工具は、センサ部、メモリ部、プロセッサ部により構成される。
 - (4) センサ部は切削工具の状態検出機能を、メモリ部は情報の格納機能を、プロセッサ部は情報の管理利用機能を有している。
 - (5) 旋削用とマシニングセンタ用のインテリジェント切削工具の管理情報の設計を行った。
 - (6) インテリジェント切削工具の自律分散管理方式の検討を行った。

参 考 文 献

- 1) 岩田一明：切削工具損耗のインプロセス測定，日本機械学会誌，Vol. 82，No. 731，1979－10，1054。
- 2) 青山英樹，岸浪建史，斎藤勝政：逃げ面摩耗量検出センサ内蔵型スローアウェイ工具の開発，精密工学会誌，Vol. 54，No. 4，1988，704－709。

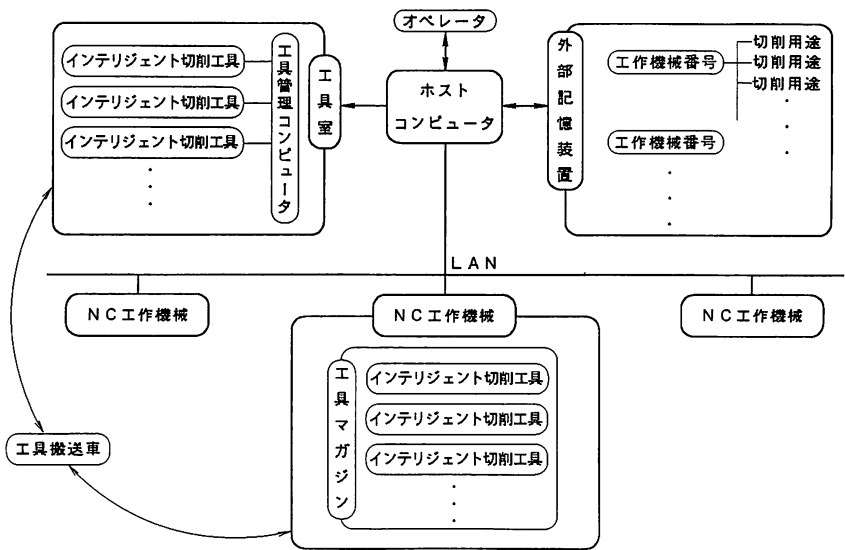


図3 インテリジェント切削工具を基にした自律分散型管理方式

- 3) Hideki Aoyama, Takeshi Kishinami, Katsunasa Saito ; A Study on an Intelligent Cutting Tool, Proc. of the 6th Int. Conf. on Production Engineering, 1987, 206–2011.

(平成 2 年 11 月 30 日受理)

