

木材および木質材料のCNCルータ加工における工具摩耗自動監視システムの構築

誌名	九州大学大学院農学研究院学芸雑誌
ISSN	13470159
著者	大内, 毅 村瀬, 安英
巻/号	56巻2号
掲載ページ	p. 163-169
発行年月	2002年2月

木材および木質材料のCNCルータ加工における 工具摩耗自動監視システムの構築

大内 毅*・村瀬 安英**

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門生物材料機能学講座木質資源工学研究室
(2001年10月16日受付, 2001年11月20日受理)

A Construction of Tool Wear Monitoring System in Milling of Wood and Wood-based Materials with a Computerized Numerically Controlled Router

Takeshi OHUCHI* and Yasuhide MURASE**

Laboratory of Wood Material Technology, Division of Biomaterial Science,
Department of Forest and Forest Products Science, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

1. 緒 言

CNC木工機械は数値情報によって主軸、テーブル等の運動を自動制御する機械であり、近年木材および木質材料の異形加工から切断、溝突き、穴あけ等の各種自動加工に広く用いられている。その中で、CNCルータは特に家具工場等の木材加工工程において最も普及し、工作物の溝突き、面取り、切り抜き等の各種切削加工に使用されている。このCNCルータによる木材および木質材料の高精度切削加工を実現するには、被削材の特性を熟知したプログラミングの構築が必要となるが、未だそのために必要な加工精度に関する基礎資料が乏しく、家具材料として多用される木質材料についての研究資料も極めて少ない(荒武, 1993; Morita *et al.*, 1999; 吉松ら, 1981-88a, b)。

そこで、上記課題に対する基礎資料を得る目的から、MDF、パーティクルボード、合板および素材(カツラ)を供試して、CNCルータによる溝突き及び溝の側面加工を行い、加工精度(溝幅)に及ぼす各種切削条件の影響を明らかにした(大内・村瀬, 2001a, b; Ohuchi・Murase, 2001d)。さらに、実用上重要な

刃先摩耗の影響に注目し、予め刃先を摩耗させたビットと未摩耗ビットを用いて各種切削条件下で溝突き加工を行い、溝の加工精度(溝幅)とバリ発生に及ぼす工具摩耗の影響を明らかにした(大内・村瀬, 2001c)。

ところで、近年CNC木工機械については、自動化・無人化が強く求められており、CNCルータにおいても、加工工程における工具摩耗進展の自動監視システムの開発が重要になっている。一般に、この工具摩耗の監視方法には、大別して、主に光学的センサやカメラ等によって工具摩耗状態を直接的に監視する方法と、切削力、振動、音(AE)等の変化によって工具摩耗の進展を間接的に監視する方法がある。前者の直接監視法は加工中の測定はできないが、後者の間接監視法に比べると、予備的実験の必要が無い、切削条件の影響を受けにくい、簡便で信頼性が高い等の特徴を有している。

そこで本研究では、木材加工分野において研究例の乏しい前者の直接監視法をCNCルータによる溝突き加工に応用し、加工工程におけるルータビットの摩耗進展を自動監視するシステムの構築を試みた。すなわち、市販のレーザー寸法測定器をルータビットの摩耗検

* 九州大学大学院生物資源環境科学研究科林産学専攻木材工学講座

** Laboratory of Wood Material Technology, Department of Forest Products, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

** Corresponding author (E-mail: ymurase@agr.kyushu-u.ac.jp)

出センサとして導入し(松村ら, 1999), 自動監視システムの構築とその検証実験を行った.

2. 試験機と供試工具

試験機には, Fig. 1 に示すような3軸制御 CNC ルータ(唐津鉄工所製, RT-1 CNC ROUTER)を用いた. その仕様は, 最大主軸回転数400rps, 最大送り速度0.12m/s (X軸, Y軸), 0.06m/s (Z軸), 最小指令単位0.001mmである.

供試工具は, Fig. 2 に示すような切削円直径10mm(公称)の替刃式1枚刃ストレートビットを用いた. 替刃は材質が超硬合金 K05で, 刃先角が 55° であり, ビット取付け時のすくい角は 22° , 逃げ角は 13° である.

3. レーザ寸法測定器によるビット外径の測定原理

供試したレーザ寸法測定器(KEYENCE社製, LS-5500)の仕様をTable 1に示す. また, この測定器によるルータビット外径の測定原理をFig. 3に示す. 図はレーザ寸法測定器のセンサヘッドを示しており, 本測定器ではレーザ光をポリゴンミラーの回転によって, 同図Edge 1からEdge 4に向かって走査し, 受光素子で受ける仕組みになっている. そして, レーザ光が被測定物によって遮断される時間とレーザ光の走査速度から被測定物の大きさが計算される. 今, 同図のように, 空転中のルータビットが測定領域内に存在すると, ビットの最大外径 D_{max} は Edge 2 から Edge 3 までのレーザ光が遮断される時間から算出で

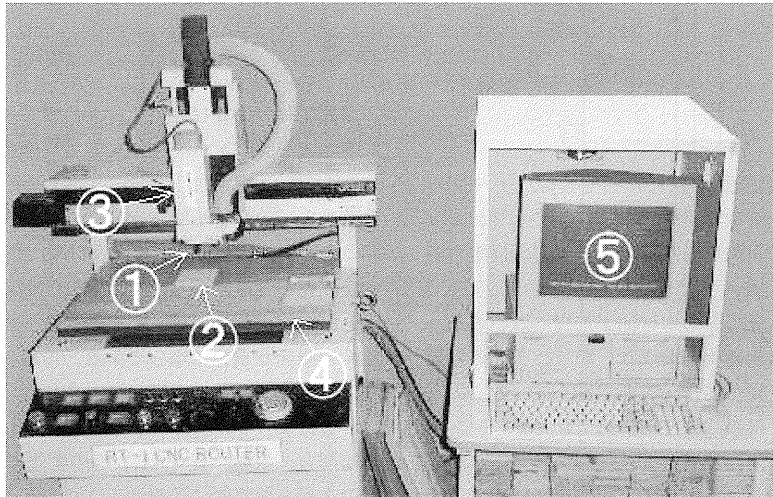


Fig. 1. CNC router used in this study.
Legend: ①: Tool, ②: Workpiece, ③: Spindle, ④: Table, ⑤: Control PC.

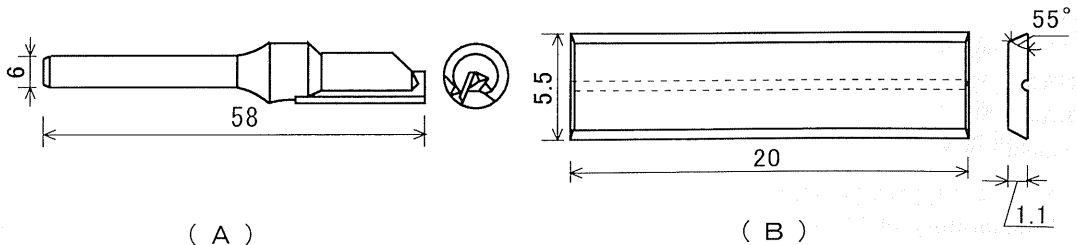


Fig. 2. Drawings of router bit (A) and cemented carbide tip (B). (unit:mm)

Table 1. Specification of laser measuring instrument.

Measuring range	0.2-40mm
Light source	Semiconductor laser 670nm
Accuracy	Less than $\pm 2\mu\text{m}$
Repeatability	Less than $\pm 0.3\mu\text{m}$
Scanning rate	121m/sec

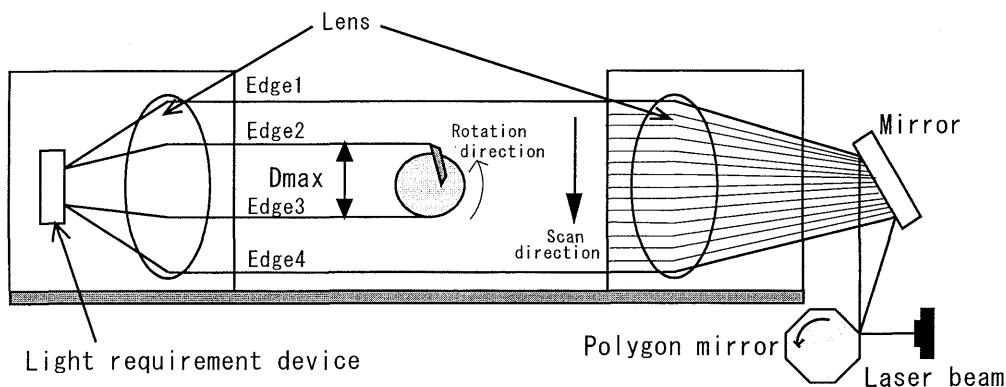


Fig. 3. A principle of laser measuring instrument.

Legend: Dmax : Maximum diameter of router bit.

きる。しかしながら、ルータビットは200rpsを越えるような極めて高速で回転しているため、本測定器の仕様（測定精度と走査時間）の制約からルータビットの回転数を落とす必要があった。予備実験の結果、測定時のルータビットの回転数を30rpsにすれば、空転中のまま安定した測定ができることがわかった。

4. 工具摩耗自動監視システムの概要

前述のレーザ寸法測定器を組み込んだ工具摩耗自動監視システムの概要を Fig. 4 に示す。システムは主に、レーザ寸法測定器①、CNC ルータに付属するコントロール用 PC ②、及びこれらを制御するとともにデータをサンプリングするモニタリング用 PC ③で構成した。前述のようにレーザ寸法測定器のセンサヘッド内に空転中のビットが入ると自動的にその外径を測定できるが、ルータビットの回転数を測定可能な30rpsに落とす必要があった。そのため、ルータの主軸モータをインバータを介してモニタリング用 PC により制御できるように改造した。

ここで、既報（大内・村瀬，2001）の研究で使用した工具摩耗量 $59\mu\text{m}$ の摩耗ビットを供試し、ビット回転数を30rps、AD変換ボードのサンプリング速度

を1000Hz、サンプリング個数を256個に設定して、本システムによって得られたビット外径の時系列波形を Fig. 5 に示す。同図の(A)はビットの非切削部分、いわゆる未摩耗部、(B)は切削部分、いわゆる摩耗部のサンプリング波形である。図中の横線は、マニュアルで求めたそれぞれ未摩耗部と摩耗部におけるビット外径の最大値を示している。これより、ビット空転中のサンプリング波形にばらつきはあるが、両者ともそれぞれの最大値はマニュアルで求めた値とほぼ一致している。したがって、ビット摩耗量は未摩耗部と摩耗部の外径の最大値の差から測定できることが明らかである。

5. 自動測定プログラム

本システムによる加工工程中のビット摩耗量の測定プログラムは、設定した加工回数、あるいは加工時間毎に行うことが可能なプログラムとし、Visual Basic ver.6.0を用いて作製した。そのフローチャートを Fig. 6 に、モニタリング画面を Fig. 7 に示す。ビット摩耗量の自動測定手順は、まずモニタリング用 PC が加工後の高速空転中のビットの回転数を30rpsに落とすとともに、ルータビット移動のための NC

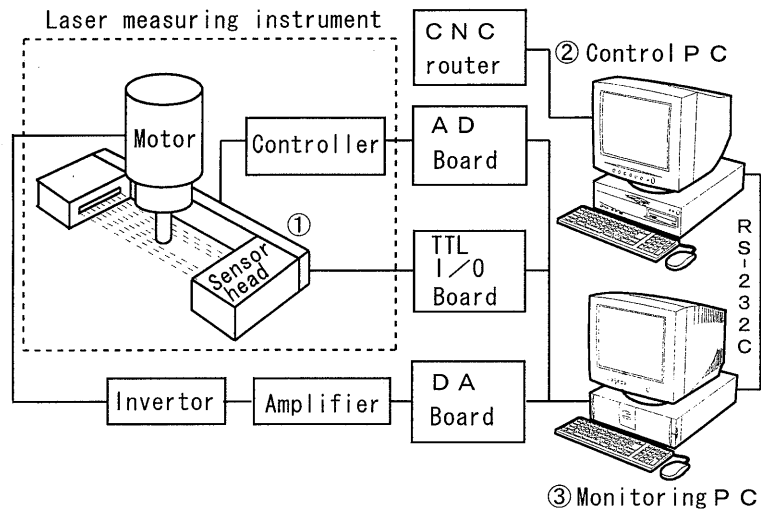


Fig. 4. Schematic diagram of tool wear monitoring system.
 Legend: ① : Laser measuring instrument, ② : Control PC,
 ③ : Monitoring PC.

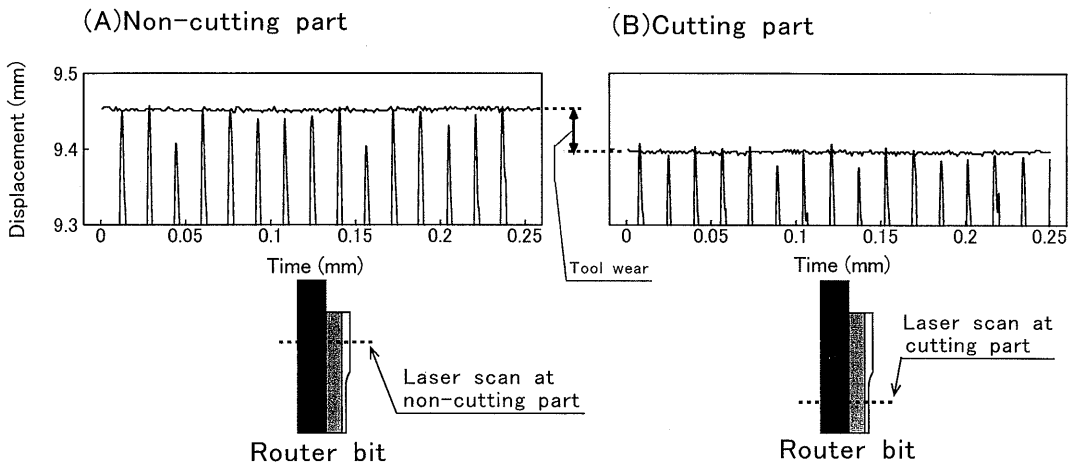


Fig. 5. Typical output signal of laser measuring instrument in spindle rotating.

データをコントロール用 PC に送信する。これにより、ルータビットは被削材から離れた場所に設置されたセンサヘッド内に移動する。ここで、レーザ寸法測定器のコントローラが出力するビット外径のアナログデータをモニタリング用 PC が AD ボードを介してサンプリングし、未摩耗部と摩耗部の測定値の差から摩耗量を判定する。なお、雑音やレーザ光の乱反射による測定値のばらつきを除去するために、サンプリ

ングデータを降順に並べ替え、上から 5 番目より 9 番目までの 5 個のデータの平均値を算出し、それを測定値とした。

6. 検証実験

未使用のルータビットを供試して溝加工を行い、本システムの検証実験を行った。切削条件は、主軸回転数 250rps、1 刃あたり送り量 0.1mm、設定削り代 2

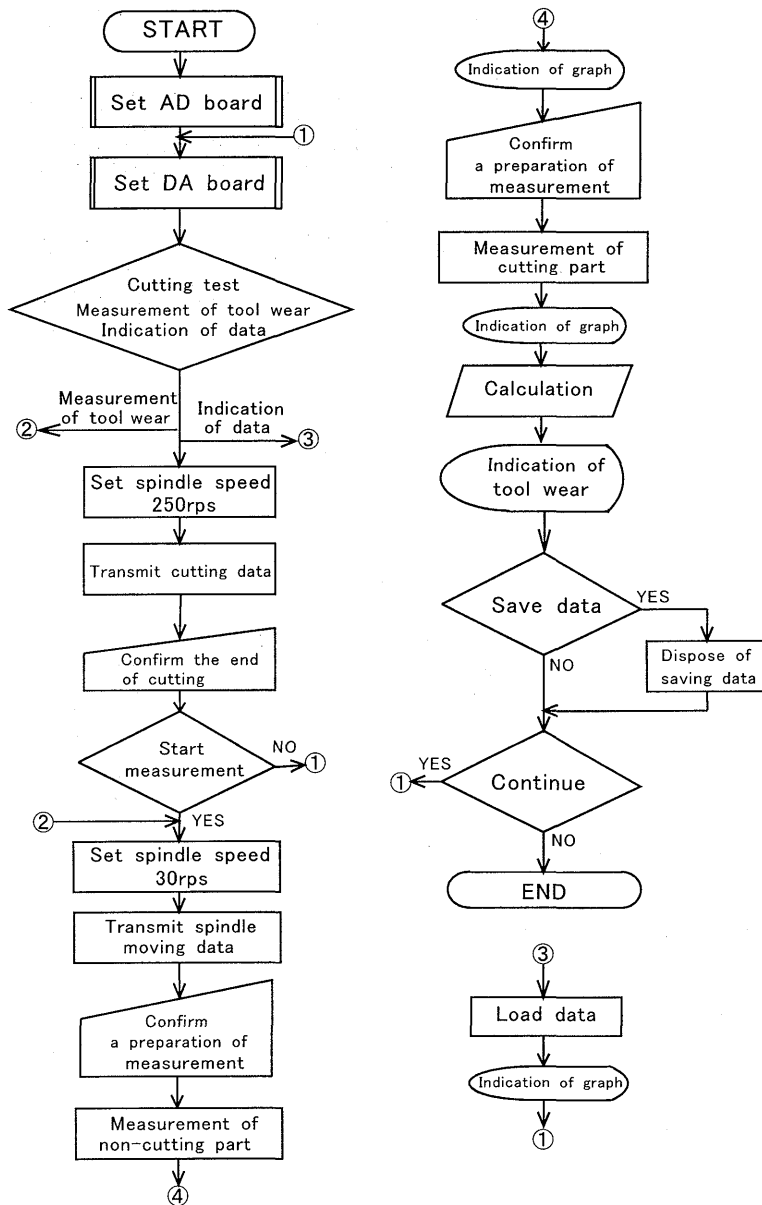


Fig. 6. Flow-chart of an automatic measurement program.

mm, 軸方向深さ5mmに設定し、被削材には気乾比重0.68, 含水率10.6%のパーティクルボードを供試した。工具摩耗の自動測定ではサンプリング速度を10kHz, サンプリング個数を1024個とし、レーザ光走査位置を摩耗部ではビット先端から3mmの位置に、未摩耗部では8mmの位置に設定した。一方、比較

のため、所定の切削材長ごとに、ダイヤモンド製のナイフエッジ型触針式粗さ測定器を用いてすくい面刃先プロフィールを求め、4ヶ所の刃先後退量の平均値を摩耗量とした (Fig. 8)。

上記の両測定法で得られた工具摩耗の進展結果を Fig. 9 に示す。図において、本システムで自動測定

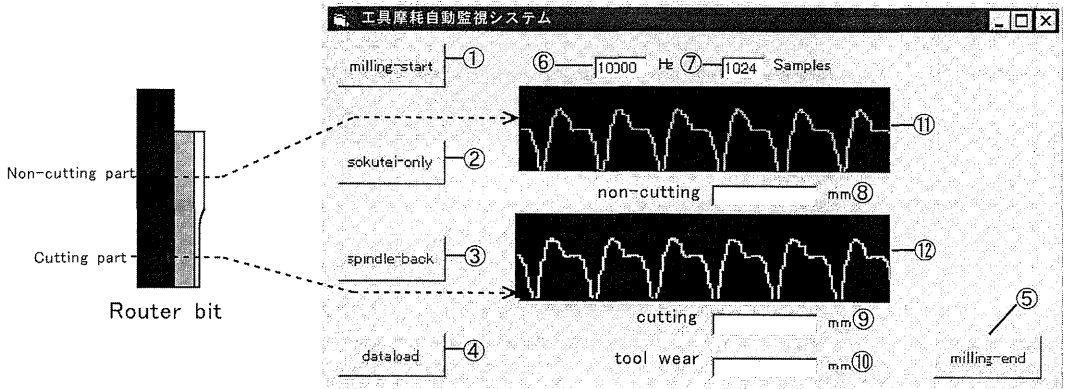
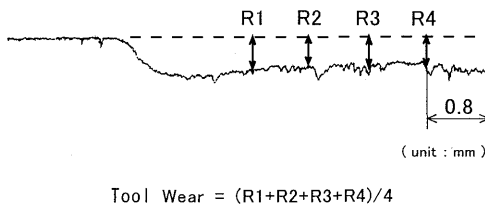


Fig. 7. A monitoring screen of an automatic measurement program.

Legend: ① : Millstartbutton, ② : Sokuteibutton, ③ : Gobackbutton, ④ : Dataloadbutton, ⑤ : Millendbutton, ⑥ : Sampling rate, ⑦ : Samples, ⑧ : Diameter of non-cutting part, ⑨ : Diameter of cutting part, ⑩ : Tool wear, ⑪ : Typical signal of non-cutting part, ⑫ : Typical signal of cutting part.



$$\text{Tool Wear} = (R1+R2+R3+R4)/4$$

Fig. 8. Measurement of tool wear from surface profile by stylus-type roughness tester.

した摩耗量と、すくい面刃先プロフィールからマニュアルで求めた摩耗量がほぼ一致していることから、本システムによってビット摩耗量を高精度で自動監視できることが明らかとなった。

7. 要 約

本研究では、レーザ寸法測定器をCNCルータに導入し、加工工程におけるルータビットの摩耗進展を直接的に自動監視するシステムの構築を行った。本システムは、主にレーザ寸法測定器、CNCルータに付属するコントロール用PC、及びこれらを制御するとともにデータをサンプリングするモニタリング用PCから構成された。検証実験から、本システムによってCNCルータ加工中のビット摩耗の進展を高精度で自動監視できることが明かになった。

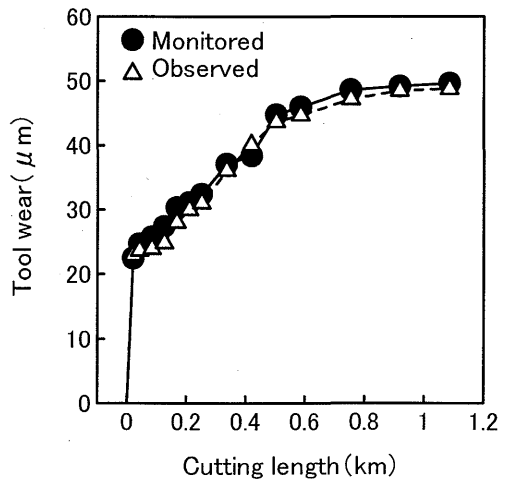


Fig. 9. Relationships between tool wear and cutting length.

Legend: ● : Monitored, △ : Observed.

Note : Spindlespeed : 250rps, Feed per knife : 0.1mm, Depth of cut : 2mm

文 献

荒武志朗 1993 NCルータによる小径ビット切削において刃先摩耗が被削材に及ぼす影響, 木材学会誌, 39: 389-395
 Morita, T., S. Makisako and Y. Murase 1999 Wear characteristics of CNC-router bit in up- and down-milling processes, Proceed-

- ings of the 14th International Wood Machining Seminar, 663-669
- 松村 隆・村山孝博・臼井英治 1999 エンドミル加工における工具逃げ面摩耗監視システム, 精密工学会誌, **65**: 11, 1617-1622
- 大内 毅・村瀬安英 2001a CNC ルータによる木材及び木質材料の切削加工 (第1報) 溝突き加工における加工精度, 木材学会誌, **47**: 212-217
- 大内 毅・村瀬安英 2001b CNC ルータによる木材及び木質材料の切削加工 (第2報) 溝の側面加工における加工精度, 木材学会誌, **47**, (掲載予定)
- 大内 毅・村瀬安英 2001c CNC ルータによる木材及び木質材料の切削加工 (第3報) 溝の加工精度とバリに及ぼす工具摩耗の影響, 木材工業 (投稿中)
- Ohuchi, T. and Y. Murase 2001d On the machining accuracies for grooving and side milling with a CNC-router, Proceedings of the 15th International Wood Machining Seminar, 447-455
- 吉松孝夫・木下直治 1981 木材のNCルータ切削に関する研究 (第1報) 加工条件の設定方法の相違による加工的欠陥, 木材学会誌, **27**: 572-578
- 吉松孝夫・木下直治 1983 木材のNCルータ切削に関する研究 (第2報) 周刃切削における加工精度, 木材学会誌, **29**: 368-374
- 吉松孝夫・野田 茂・花岡忠昭 1988a 木材のNCルータ切削に関する研究 (第3報) エッジ部の欠陥に及ぼす切削力の影響, 木材学会誌, **34**: 305-313
- 吉松孝夫・野田 茂・花岡忠昭 1988b 木材のNCルータ切削に関する研究 (第4報) 下向き切削におけるエッジ部の欠け長さ, 木材学会誌, **34**: 564-573

Summary

In this study, the laser measuring instrument was installed in CNC router, and tool wear monitoring system for router bit was constructed. The results obtained are summarized as follows:

- (1) Tool wear monitoring system was constructed, that was composed of the laser measuring instrument, the control PC for CNC router and the monitoring PC which control some devices and collect sampling data.
- (2) It was found that this system could monitor a progression of tool wear during cutting process with CNC router.