

非磁性耐熱鋼切削における工具摩耗特性 —工具材料の違いの影響—

森重 修一*・瀬戸 雅文*

On Tool Wear Characteristics in Cutting
of Non Magnetic Heat Resisting Steel
—Effect of Difference in Tool Materials—

Shuichi MORISHIGE*, Masafumi SETO*

Abstract

In this report, in the conventional turning of non magnetic heat resisting steel was carried out by using the cemented carbide tools (P20,P30,K10),cermet tool and coated tool and while comparing with the carbon steel for mechanical structures S45C, from the viewpoint of wear mode, the state of advance of wear and the rate of wear, the effect due to the difference of tool materials was examined.

1. まえがき

非磁性鋼の用途は、昨今の高度成長産業や、原子力産業、宇宙開発関連産業が活発化し、核融合装置や磁気浮上式超高速鉄道リニアモータといった最先端技術産業において強磁場での構造用強度部材に適する非磁性鋼の需要がさらに高まりつつある。この鋼は加工硬化が著しく、熱伝導が低く、切削加工の困難な材料である。これらの切削加工に関する検討は、既に数多くなされている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾しかし、新たな組成の非磁性鋼が開発されるなど工具材種、切削条件などによってその被削性に影響をおよぼすことが考えられる。これまでに、4種類の工具材料、超硬工具P20、P30、K10、TiC-TiN-TaC-WC系サーメット、およびCVD（化学蒸着

）法によるAl₂O₃系コーテッドを用いて非磁性耐熱鋼（SUH35）と機械構造用炭素鋼（S45C）の比較切削を行い、各工具の逃げ面およびクレータ摩耗を測定し、それぞれの摩耗形態、摩耗の進行、摩耗率（単位切削当りの切れ刃の逃げ面摩耗幅）などの検討を行った。その結果、非磁性耐熱鋼の切削における摩耗特性（適性切削速度など）が工具材料によって異なることがわかった。¹²⁾

本報では、非磁性耐熱鋼および比較材として機械構造用炭素鋼S45Cを用いて、長手方向に対する旋削加工における4種類の工具材料、超硬工具P30（P20）、K10、TiN系サーメット、コーテッド工具の摩耗形態および摩耗進行曲線、摩耗率からみた工具材料の違いによる低速度域10m/minから30m/min付近の各工具の摩耗特性について検討した。

*宇部工業高等専門学校機械工学科

表1 被削材の化学成分

Wt%

被削材	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	熱伝導率 (w/m.k)
SUH35	0.54	0.13	8.76	0.033	0.006	3.66	20.71	0.38	(13.72)
S45C	0.42	0.21	0.71	0.003	0.005	-	-	-	58.15

表2 摩耗試験用工具の機械的・物理的性質

工 具 材 料		硬さ (HRA)	抗折力 (kgf/mm ²)	圧縮強さ (kgf/mm ²)	弾性係数 (kgf/mm ²)	熱伝導率 (cal/s.cm.k)	比重
超 硬 工 具	TX20-P20	91.5	200	480	54000	0.08	11.9
	UX30-P30	91.0	230	500	56000	0.10	12.6
	TH10-K10	92.0	240	620	62000	0.19	14.7
サーメット工具	N308(TiC, TiN, TaC, WC系)	92.0	170	-	-	(0.07)	-
コーテッド工具	T802(Al ₂ O ₃ 系)	92.0	170	-	-	(0.05)	-

2. 実験装置および実験方法

被削材は表1に示す化学組成を持つ非磁性耐熱鋼および機械構造用炭素鋼S45Cを用いた。実験に使用した工具は、2種類の超硬工具P30(P20)、K10とTiN系サーメット工具およびAl₂O₃系コーテッド工具を使用した。刃先形状は(0, 0, 11, 11, 15, 15, 0.8)である。表2に摩耗試験用工具の機械的および物理的性質を示す。工作機械はLS形実用高速旋盤(大隈鉄工所製)を用いた。切削条件は、切込み1mm、送り0.1mm/revを一定とし、切削速度を変化させ、すべて乾式で切削した。

工具摩耗は工具各部の横逃げ面、横逃げ面境界、ノーズ部、前逃げ面、および前逃げ面境界の摩耗帯幅を一定の切削距離ごとにそのつど切削を中断し、STM形工具顕微鏡(オリンパス製)を使用して測定した。すくい面のクレータ摩耗の測定には表面粗さ測定機サーフコム(東京精密製)を用いて切れ刃の形状を測定した。また、工具摩耗形態を工具顕微鏡撮影装置(オリンパス製)を使用して観察した。

3. 実験結果および考察

3.1 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕

図1に切削速度10m/minおよび切削速度70m/minで切削した場合のそれぞれの工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕を示す。主切れ刃横逃げ面摩耗幅VB0.2mmを限度として切削を行ったため各工具の切削時間は異なる。切削速度10m/min場合いずれの工具にもノーズ部から横逃げ面主切れ刃の境界摩耗発生付近にはほぼ一定の高さの溶着物が切れ刃を形成している。切削速度70m/minでは超硬工具K10、TiN系サーメットの主切れ刃横逃げ面に溶着物の形成はみられない。超硬工具P30、コーテッド工具の横境界摩耗付近にわずかにみられる程度である。TiN系サーメットは切削速度70m/minの場合切削開始8分で主切れ刃横逃げ面は塑性変形し、丸みを帯びたように摩耗する。

すくい面摩耗痕の形状は切削速度10m/minの場合いずれの工具すくい面にも切りくずによる擦過痕が切れ刃端から幅広くみられる。前述の、主切れ刃に形成した溶着物が工具切れ刃となって切りくずの裏面が激しくすくい面を滑るときこ

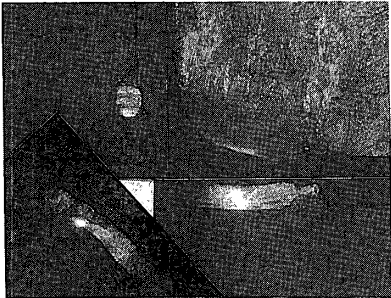
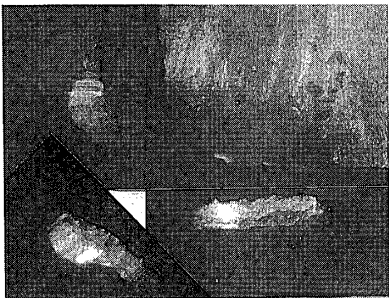
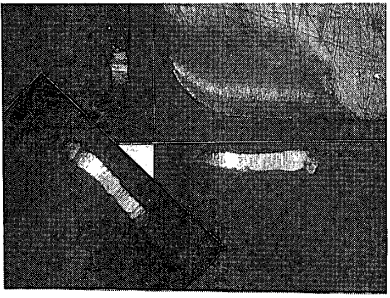
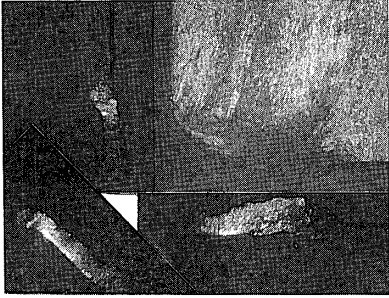


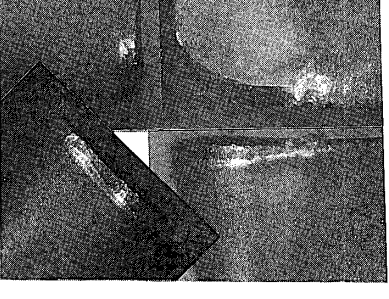
切削速度 工具材種	V=10m/min	V=70m/min
	UX30-P30	 <p>T=137min</p>
TH10-K10	 <p>T=204min</p>	 <p>T=59min</p>
N308 Cermet tool	 <p>T=151min</p>	 <p>T=8min</p>
T802 Coated tool	 <p>T=30min</p>	 <p>T=53min</p>

図1 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕

Cutting material: SUH35
 Depth of cut: 1.0mm
 Feed rate: 0.1mm/rev

のような長い擦過痕が発生するものと思われる。

切削速度 70 m/min の場合切れ刃の堤防にほぼ平行に境界摩耗付近まで細長い擦過痕がみられる。超硬工具 $K10$ のすくい面には、典型的なクレータ摩耗痕が発生する。

図2に切削速度とすくい面クレータ摩耗の関係を示す。切削速度 10 m/min ではコーテッド工具は他の3つの工具材料に比べて大きい値を示す。これは主に切りくずが流出するときすくい面を激しく擦過することによるコーティング層の剥がれがクレータ摩耗の増加に関係している。超硬工具 $P30, K10, TiN$ 系サーメットは切削速度が高くなるほどクレータ摩耗は増加傾向を示す。超硬工具 $P30$ 、コーテッド工具（切削速度 100 m/min を除く）は切削速度 100 m/min 域まで超硬工具 $K10, TiN$ 系サーメットと比べてクレータ摩耗は少ない。超硬工具 $P30$ 、コーテッド工具の熱的摩耗を抑制するとされる炭化チタンを含有しているためと思われる。コーテッド工具は切削速度 30 m/min から 100 m/min の切削条件下ではクレータ摩耗に強いことがわかる。

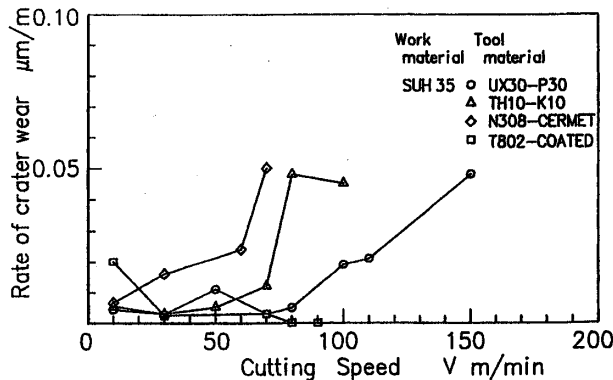


図2 切削速度とすくい面クレータ摩耗の関係

3. 2 摩耗進行曲線

超硬工具 $P30, K10, TiN$ 系サーメットおよびコーテッド工具の横逃げ面摩耗進行曲線を図3、図4、図5、および図6に示す。超硬工具 $P30, K10, TiN$ 系サーメットは切削速度に依存し、摩耗は一定の割合で増加する。コーテッド工具は切削速度 10 m/min および 30 m/min の摩耗の進行が切削速度と対応しない。

この切削速度域では初期摩耗によるコーティング層の剥がれが影響し、摩耗進行を早めているものとする。

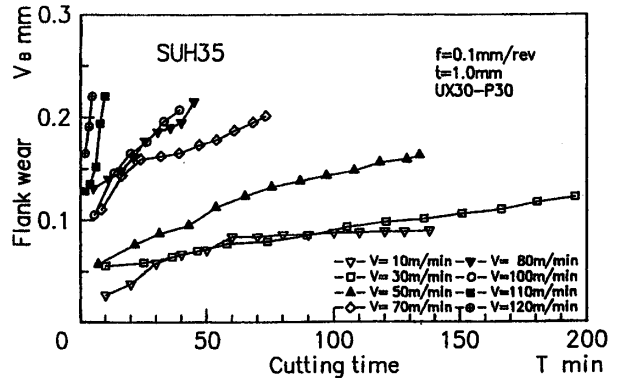


図3 横逃げ面摩耗進行曲線

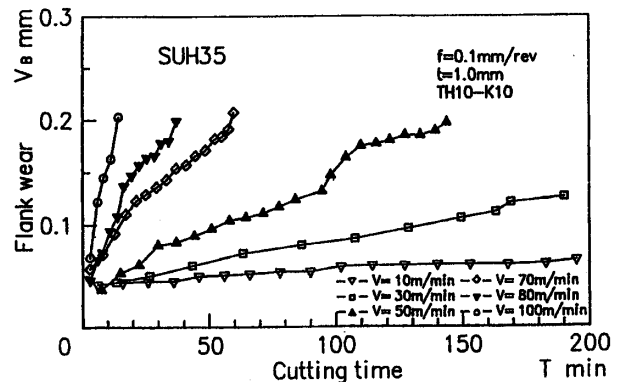


図4 横逃げ面摩耗進行曲線

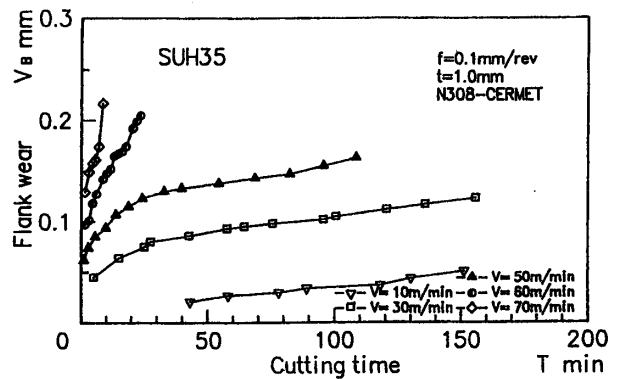


図5 横逃げ面摩耗進行曲線

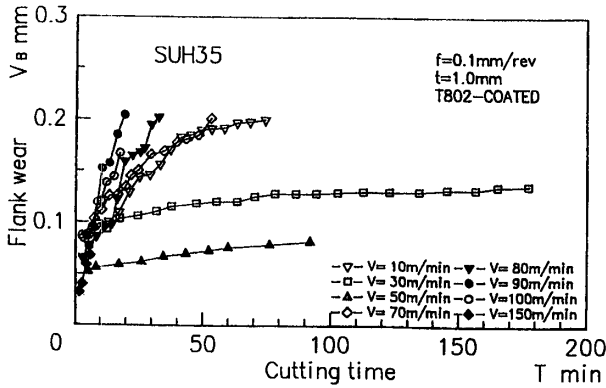


図6 横逃げ面摩耗進行曲線

図7は切削距離を3Km一定とした場合の工具横逃げ面の摩耗経過曲線である。超硬工具P30、TiN系サーメット、コーテッド工具は切削速度10m/minから30m/minまで摩耗の低下し、TiN系サーメット、コーテッド工具は切削速度50m/minから摩耗が増大する。超硬工具P30は切削速度30m/minから100m/minまで摩耗幅の変化は少ない。切削速度100m/minから増大する。超硬工具K10は切削速度10m/minから100m/minまで漸次増大する。次に、工具各逃げ面摩耗の速度依存性について詳細に検討する。

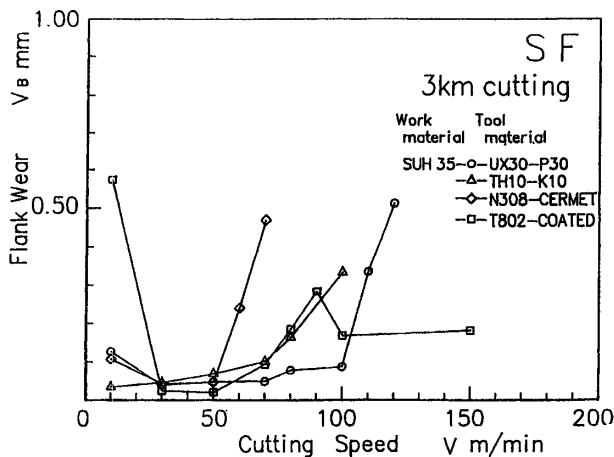


図7 切削速度と工具横逃げ面の摩耗経過曲線 (切削距離3Km一定)

3.3 摩耗率

図8に工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。

超硬工具P30、コーテッド工具、TiN系サーメットについては臨界速度域があり、この臨界速度以上あるいは以下でも摩耗率は高くなるのがわかる。なおこの傾向は、切削速度が高くなるほど急激に増加することがわかる。これは主に切削熱による工具の熱軟化によるものと考えられる。超硬工具K10ではこのような臨界速度域を示す傾向はみられない。切削速度10m/minから漸次上昇し、切削速度70m/minを過ぎるあたりから他の工具と同様に摩耗率は急激に上昇する。このように安定した摩耗特性を示すのは、超硬工具K10の熱伝導率が良いため熱伝導率の低い非磁性耐熱鋼の切削熱を工具内に吸収、分散させ工具刃先温度を下げる効果が働いているものと思われる。

図9に工具横逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。

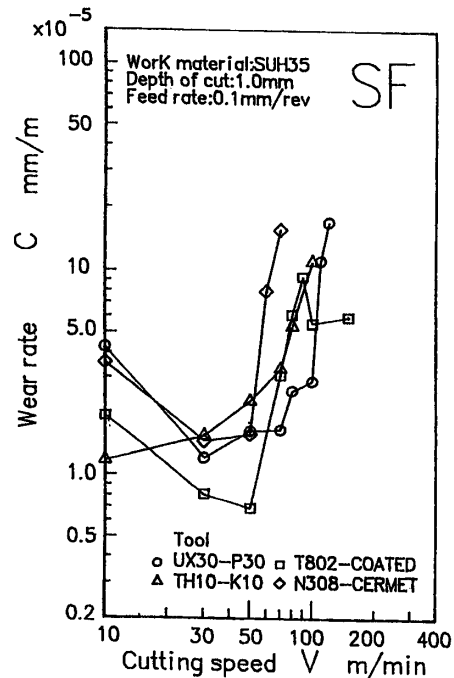


図8 工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

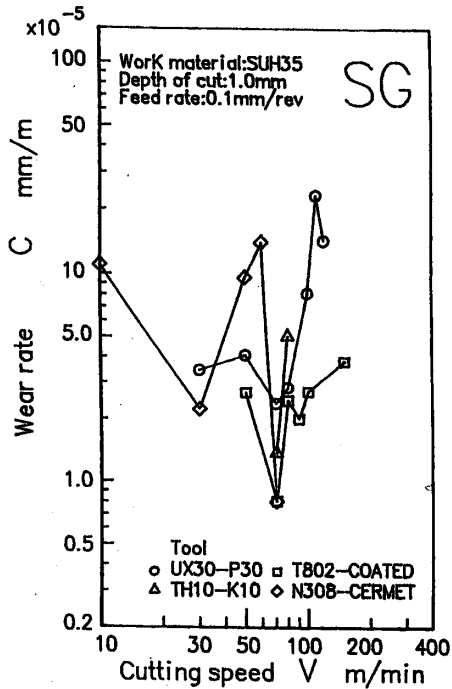


図9 工具横逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

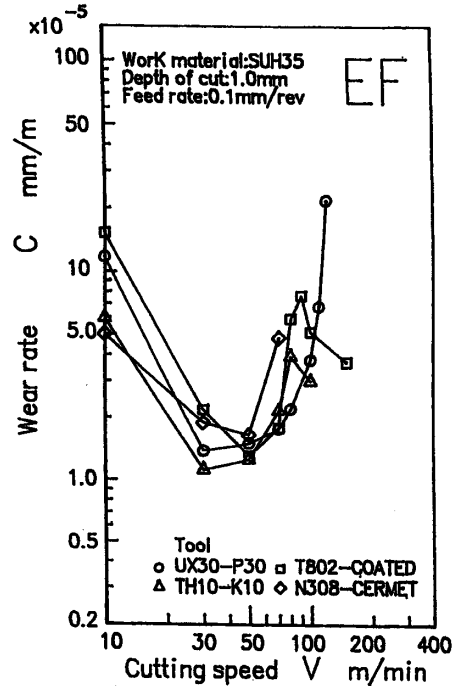


図10 工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

各工具材料すべてに切削速度70m/minにおいて摩耗率の極少値が存在し、これより低い切削速度および高い切削速度において摩耗率は増加する。超硬工具P30は切削速度10m/min、K10は10m/minから50m/min、コーテッド工具は10m/minから30m/minの切削速度域において工具横逃げ面摩耗は発生しない。

図10に工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。各工具材料の切削速度30m/minから切削速度50m/min付近で摩耗率は低下するが切削速度10m/minでは再び増加する。超硬工具P30、K10、コーテッド工具の工具前逃げ面摩耗は工具横逃げ面摩耗と比較して増大している。この工具材料には前述(図1)の工具摩耗形態より、工具前逃げ面に溶着物の発生は見られない。このため、切れ刃の保護作用のない工具前逃げ面摩耗の進行を早めているものと考えられる。図11に工具前逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。切削速度10m/minでは超硬工具P30、コーテッド工具は減少しており、K10、TiN系サーメットは切削速度30m/minから摩耗率は逆に増大している。

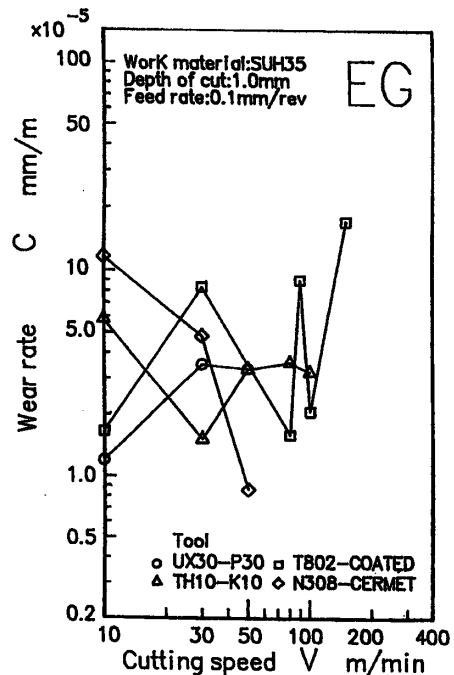


図11 工具前逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

今後の課題としては、臨界速度より高い切削速度域における工具摩耗は熱的工具損傷が主な要因と思われる。この熱的摩耗を軽減し、工具寿命を長くするには振動切削¹³⁾¹⁴⁾、潤滑切削¹⁵⁾、工具冷却¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾等が有効であると思われるのでさらに詳しく検討する必要がある。

最後に、実験に協力された本校卒業生（平成6年3月卒業）倉田昌和君、新谷勝義君ならびに（平成7年3月卒業）安東 亮君、生田憲人君、豊嶋武文君に深く感謝します。

4. むすび

非磁性耐熱鋼を主な被削材とし、長手切削を行い工具摩耗特性について検討を行った。本研究で得られた結果は次のとおりである。

- 1) 超硬工具P30、TiN系サーメット、コーテッド工具の工具横逃げ面摩耗率は切削速度30m/min~50m/min付近に極少値があり、この臨界速度以下で再び摩耗率は増加する。
- 2) 超硬工具K10は切削速度10m/min~100m/minの切削速度域に臨界速度は無く、工具横逃げ面摩耗率は漸次増加する。
- 3) 切削速度10m/minでは超硬工具P30、K10、TiN系サーメット、コーテッド工具各々の横逃げ面に溶着物が発生する。

5. 文 献

- 1) RIEUX P 他: Rev Metall, 72, 12(1975)959.
- 2) 保坂信義: 鉄と鋼, 61, 12(1975)721.
- 3) 山崎隆: 呉工業試験場報告, 20, (1977)24.
- 4) 中山一雄: 精密機械, 43, 1(1977)117.
- 5) H. FUKUNAGA 他: Symp. Influence Metall Mach Steel, (1977)241.
- 6) 福永秀春: 広島大学研究報告, 32, 1 (1983)1.
- 7) GU P H 他: 1st. Int. Met. Cutt. Conf, 1983 (1985)225.
- 8) N UEDA 他: Mem. Fac. Eng. Kumamoto Univ, 28, 1(1983)1.

- 9) 樋口英司 他: 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書, 1984, (1985)84.
- 10) 樋口英司 他: 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書, 1985, (1986)53.
- 11) 笈川茂一: ツールエンジニア, 32, 2(1991)90.
- 12) 森重修一, 瀬戸雅文, 田戸 保, 米澤俊昭: 宇部工業高等専門学校研究報告, 41, 1 (1995)1.
- 13) 中山一雄: 切削加工論, コロナ社, (1984)56.
- 14) POPOVICI G 他, Berg. Huetttenmaenn Monatsh, 139, 9(1994)336.
- 15) 臼井英治, 水原和行: 切削加工の潤滑, 潤滑, 25, 3(1980)136.
- 16) 岡本定次, 土井雅博: 工具内部冷却法による切削(第1報), 精密機械, 38, 5(1972)443.
- 17) 岡本定次, 水原雅博: 工具内部冷却法による切削(第2報), 精密機械, 41, 5(1975)431.
- 18) A. Ber(1)and M. Goldblatt: The Influence of Temperature Gradient on Cutting Tool's Life CIPR annals, 38, 1(1989)69.

(平成8年9月24日受理)