

# 金型加工用高速ミーリング

High Speed Milling for Die and Mold Making

中川 威雄\*

Takeo NAKAGAWA

ボールエンドミルによる切削加工において、工具回転速度が増せば加工時間を短縮すると共に表面の平滑さを増すことができる。このことは自由曲面をもつ金型製作の迅速化につながり、高速ミーリングとして注目されている。高速ミーリング技術は実際の金型工場でだんだんと使用されるようになってきているが、耐熱性の優れたcBNを工具として用いれば切削速度が1,000m/min又は主軸回転数50,000rpmを越すような超高速領域の超高速ミーリングも可能であることがわかってきた。最近では各所で工作機の開発も活発に進められているので近い将来鉄系材料の超高速ミーリングの時代が到来しよう。

## 1. はじめに

機械部品の生産工場においては、品質の向上とコストの削減は永遠の課題である。特に世界的な経済競争の中にあつて、生産コスト削減の要求はとりわけ厳しいものがある。多くの機械部品は型を使って成形されているが、型によって生産される素形材についても、“早く”かつ“安く”供給することは必須の命題となっている。素形材生産のネックは、この型の生産が簡単には早く安く出来ないこと、即ち型の生産には時間がかかり価格も高いこととされていた。しかし、少量生産が一般化し、商品サイクルが短期化し、新商品開発期間を短縮化する動きの中で、型製作時間の削減とコスト低減要求は益々厳しいものとなっている。

型製作は設計・加工・組付・仕上げ・トライ・修正といった順で行われる。設計の分野ではCADが導入され、さらには成形シミュレーションなどにより、型設計の合理化と共に信頼性も向上している。型加工はNCプログラミングを含め最も多くの工数を要し、この工程の時間短縮が型製作におけるリードタイムの短縮とコストの削減には不可欠のものとなっている。

型加工の大部分は切削加工で行われ、エンドミルによるフライス切削を用いて行われるが、複雑な形状をもつ型加工では、工具径の大きなものを使用できない。したがって小径工具が多用され、そのこともあって軽切削が

中心となり、一部の荒加工を除いては重切削は行われない。特に自由曲面等では、ボールエンドミルの送りピッチを細かくすることによって表面粗さを減少させ後仕上げ工程を削減することが出来るが、そのことがまた切削加工時間を長くしている。小径工具による切削時間を短縮するには、切削工具の回転数をより早くして、送り速度をより早くすればよい。そこに高速ミーリングの存在意義がある。

## 2. 鉄の時代に入った高速ミーリング

金型のような自由曲面の切削加工では、図1に示すようにボールエンドミルが使用される<sup>1)</sup>。ボールエンドミルでは表面に凹凸が生ずるのは避けられないが、より滑ら

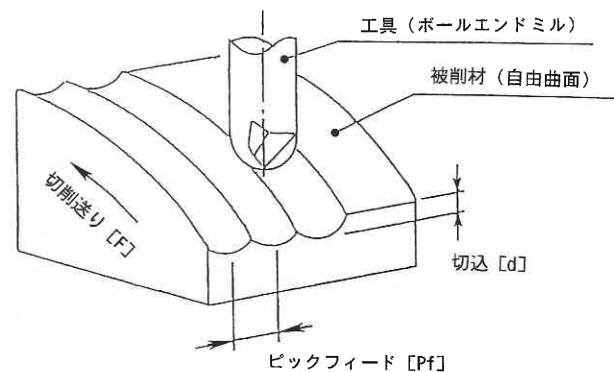


図1 自由曲面のボールエンドミル加工

\*東京大学生産技術研究所 第2部

かな面を得るには送りピッチを細かくする必要がある。このことは同時に切削加工に要する時間を長くしてしまう。高速ミーリングでは工具の回転速度を早くし、それに応じて加工能率を上げ送りを早くする。このような高速ミーリング採用により切削加工の高効率化は図2に示す金型加工の例からも理解できる<sup>2)</sup>。

同時に工具の送りピッチを細かくすれば表面粗さは図3のように大幅に改良される<sup>3)</sup>。このように高速ミーリングは高効率と高精度の加工が同時に実現できる利点を持っている。このような高速ミーリングの利点はここで改めて述べるまでもなく、ずっと以前より知られていたことで、事実アルミ合金の切削加工、特に航空機部品産業では一般的に活用されきた。この高速ミーリングが金型製作にこれまで用いられなかった理由は、切削工具の寿命

に問題があったからに他ならない。高速で切削を行えば、切刃に高熱が発生し、工具が短時間で損傷してしまう。

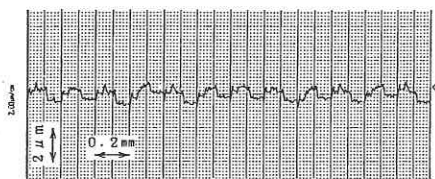
しかし、最近の工具材料の発展は目覚ましいものがある。セラミックコーティングした超硬工具はこの高速ミーリングに耐える工具材料であることがわかってきた。また、刃先に負のすくい角をつけることによって刃先のチッピングを避けることにも成功している。図4は鉄系の金型材の切削加工の過去・現在・将来をまとめたものである。このように金型製作の現場においては、ミーリングの速度をより高速化することに大きな期待が寄せられている<sup>4)</sup>。

### 3. 金型の高速ミーリングの例

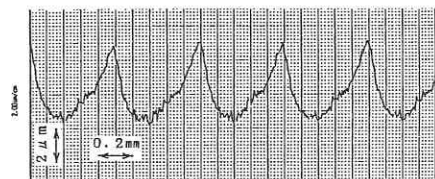
金型加工で高速ミーリングが適用され、実際に大きな効果を上げている例の報告が次第に多くなっている。図5はトヨタ自動車の金型工場における鍛造金型に適用した例であり、加工時間に大幅に低下している<sup>5)</sup>。小径工具を用いることにより放電加工や加工後のみがき工程さえも省略したことが全体の加工時間短縮に大きく寄与している。さらに図6は小径 $2\phi$ のボールエンドミル工具1本の

	高速切削 高速DNC運転	通常切削
主軸回転数	100,000 min <sup>-1</sup>	6,000 min <sup>-1</sup>
切削送り	10 m/min	0.6 m/min
切込み量	0.1 mm	←
ピックフィード	0.2 mm	←
ステップフィード	1.0 mm	←
加工時間	38 分	5 時間 41 分
切削長さ	175 m	←
NCテープ長	6,000 m	←
ボールエンドミル	サーメット R5	ハイス R5
被削材材質	S50C 硬度 HB206	
切削方式	Down-cut Dry	

図2 高速と通常切削との比較 (新潟鉄工)



Pf = 0.2 mm (Rmax = 1.350 μm)



Pf = 0.5 mm (Rmax = 4.795 μm)

被削材: HPM1 硬度 HRc36 [日立金属㈱]  
 切削工具: 特殊CBN焼結体ボールエンドミル R5mm  
 切削条件: 15度斜面, 乾式切削, Down-cut  
 N=50,000min<sup>-1</sup> F=5,000mm/min d=0.1mm Pf=0.2mm

図3 ピックフィードと表面粗さ (新潟鉄工)

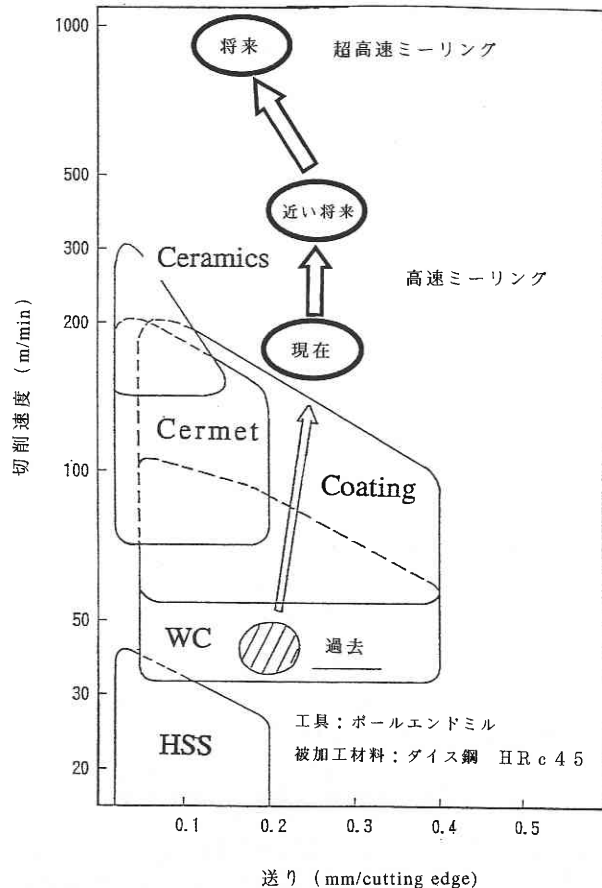


図4 金型ボールエンドミル加工の過去・現在・将来 (松岡)

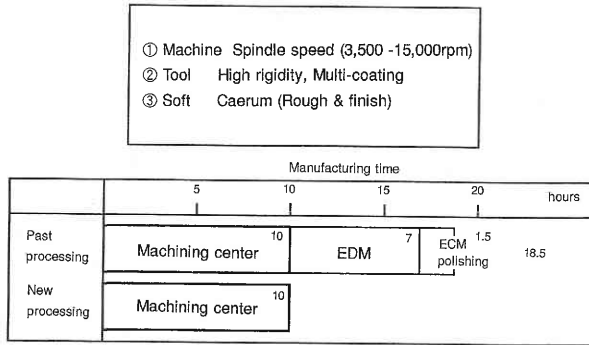


図5 高速ミーリングの実用例 (ローアーム熱間鍛造金型) (トヨタ)

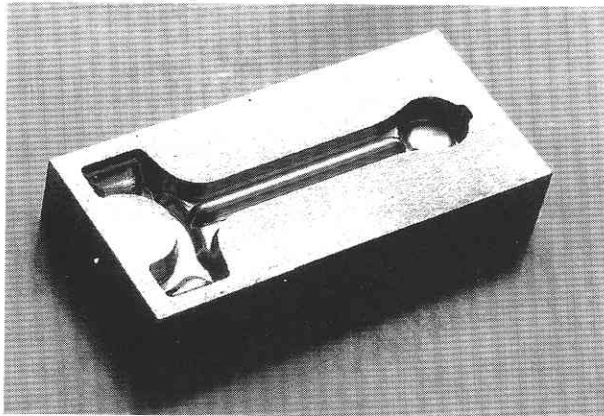


図6 エアベアリングミーリングマシンによる切削例 (コンロッド) (2φ, 30,000 rpm, 送り6m, 24min) (新潟県工業技術総合研究所)

みで熱間鍛造用コネクティングロッド金型のキャビティ部の全加工を行った例である<sup>6)</sup>。しかも、この例では使用するマシニングセンタの主軸のベアリングが空気軸受でも問題なく加工できたことが示されている。空気軸受けは高速軸受け寿命が長いことに期待が集まっている。

これらの金型加工では、高速ミーリングの採用により、送りピッチを細かくして表面仕上げ精度を向上すると共に、小径ボールエンドミルを用いることにより、従来放電加工で行っていた底のR部の形状加工も切削で行っている。この場合工具の種類を減らすと共に、NCカッターパスを求める手間も減少している。但し、小径工具では工具のアスペクト比L/Dが大きいため当然びり振動を発生し易くなるので、側壁が直角に切り立った壁を持つ金型にはこの種の切削加工のみでは加工出来ない。つまり、小径工具による切削加工における深いキャビティの加工の形状的制約は解消されている訳ではない。

#### 4. より高い切削熱に耐える cBN 工具

これら高速ミーリングの実際の金型工場での成功に刺激されて、より高速化への挑戦が進んでいる。より高速の切削、ここでは超高速と呼ぶこととするが、これに用

いられる工具材料としては焼結 cBN 工具が考えられる。cBN 工具は図7に示すように現在のところ鉄系材料の切削には最も耐摩耗性が高いと信じられている工具材料である<sup>7)</sup>。しかし、同時に超硬に比較して靱性が劣り、加工時に切刃のチッピングの発生が危惧される。cBN 工具にはバインダ量の大小によって、靱性の高いものから靱性の低いものまで各種の材質が発売されている。バインダ量が少なく靱性の低いものは硬質鋳鉄など適していると言われている。しかし、切削速度が1,000 m/minのような高速ミーリング領域では、バインダ量が多いと発生する高温の切削熱によってバインダ部分がおかされるので、出来るだけバインダ量の少ない材質が望ましい。

靱性の劣るバインダ量が少ないcBN材を用いて、しかも発生するピッチングの危険を避けるには、工具刃先に負のすくい角をつける対策をとらざるを得ない。負のすくい角の採用によって切れ味が低下するが、幸い図8に実験結果を示すように切れ味が劣った分は高速化することによって切れ味が向上し、超高速切削では負のすくい角でも満足な切削を行うことができる<sup>8)</sup>。これらのことから図9に示すような高密度焼結cBNを超硬本体にロウ付けした負のすくい角を持つcBN工具が超高速ミーリング用として開発された<sup>9)</sup>。

#### 5. 超高速ミーリングの実験結果

前述のcBNボールエンドミル工具と、新潟鉄工製の100×10<sup>3</sup>rpm超高速ミーリング盤を用いて金型材の超高速ミーリングを行った。鍛造用プリハードンダイス鋼を50×10<sup>3</sup>rpmで切削した結果は、図10に示すように5×10<sup>3</sup>rpmと比較して工具寿命の低下は認められなかった<sup>10)</sup>。それどころか両速度領域において、超硬合金に比べて、はるかに長寿命を示し、cBN工具の耐久性の高さを示した。

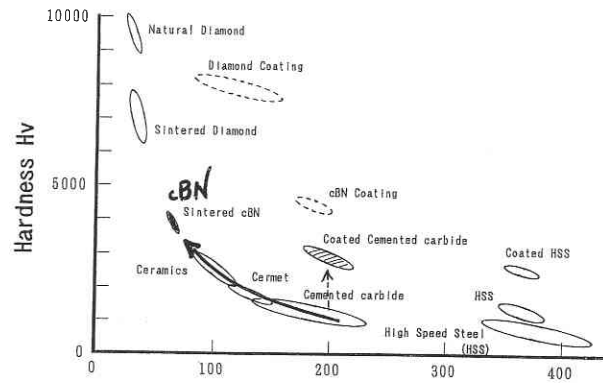


図7 切削用工具材料の硬さと靱性

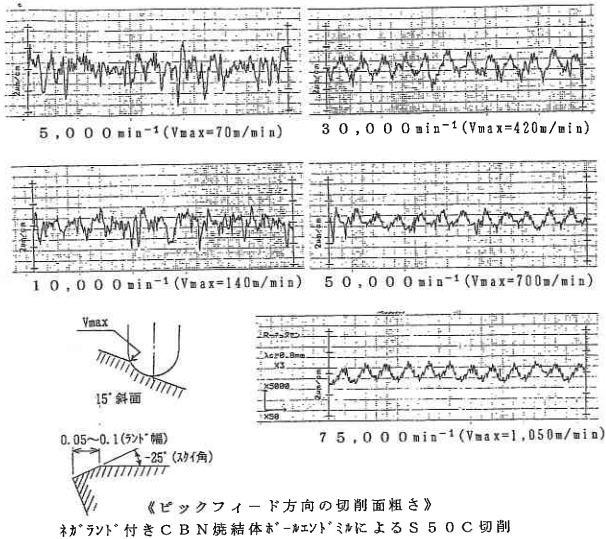
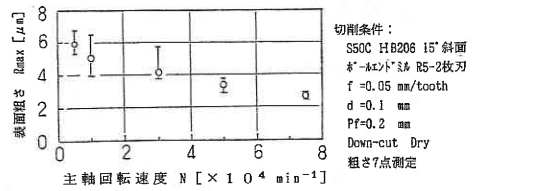


図8 高速切削におけるムシレの改善効果 (新潟鉄工・池田)

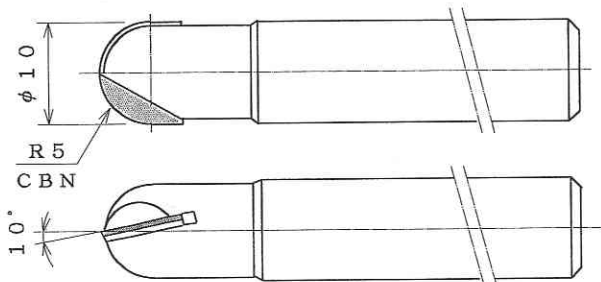


図9 高速ミーリング用cBNボールエンドミル (松岡)

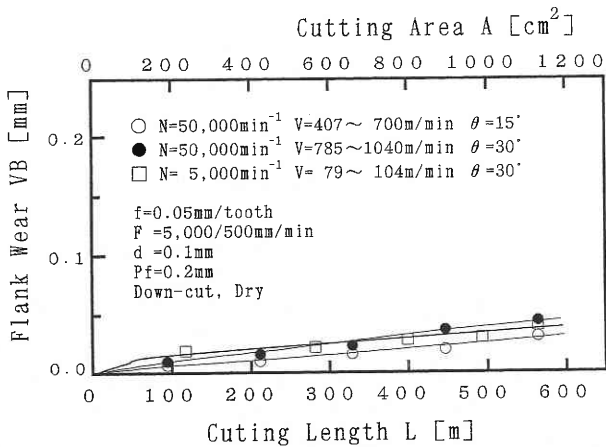


図10 Effect of cutting speed on cBN tool wear in milling of pre-hardened die steel (SKD61, HRC36) (池田他)

さらに同じ工具で焼入れダイス鋼の切削実験を行ったところ、図11に示すように、驚いたことに超高速では工具摩耗が減少する傾向が認められた<sup>11)</sup>。これは、超高速切削では、切削熱により、焼入れ材が軟化することによって、摩耗が減るのではないかと考えられているが、本当のところは不明である。

同じような超高速でかえって工具寿命が延長する現象は同じcBN工具を使った図12のようなフェイスミルを使った鋳鉄の切削実験でも認められている。6,000 m/minまでの結果を図13にまとめているが、明らかに2~3,000 m/minの超高速切削領域では工具摩耗の減少が認められている<sup>12)</sup>。この実験結果は連続加工に近いフェイス

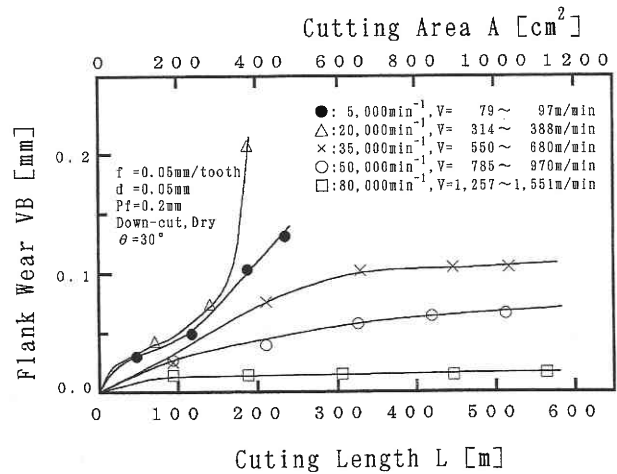


図11 Effect of cutting speed on cBN tool in milling of quenched die steel (SKD61, HRC57) (池田他)

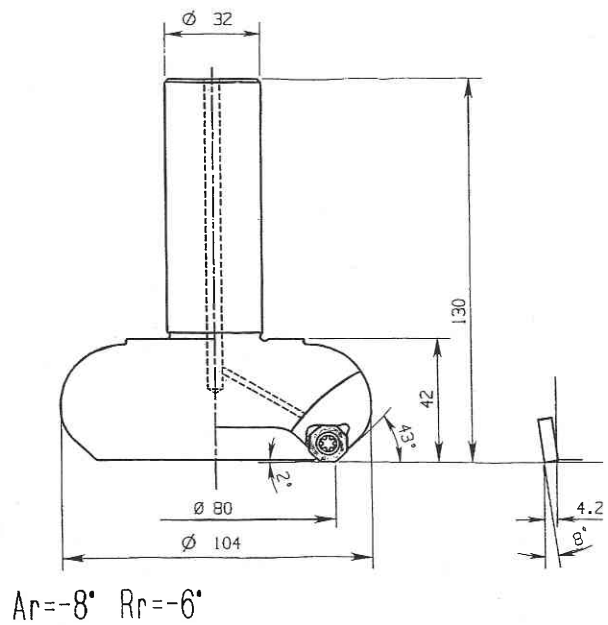


図12 超高速ミーリング試験に用いたcBN平面フライス工具 (松岡・高橋他)

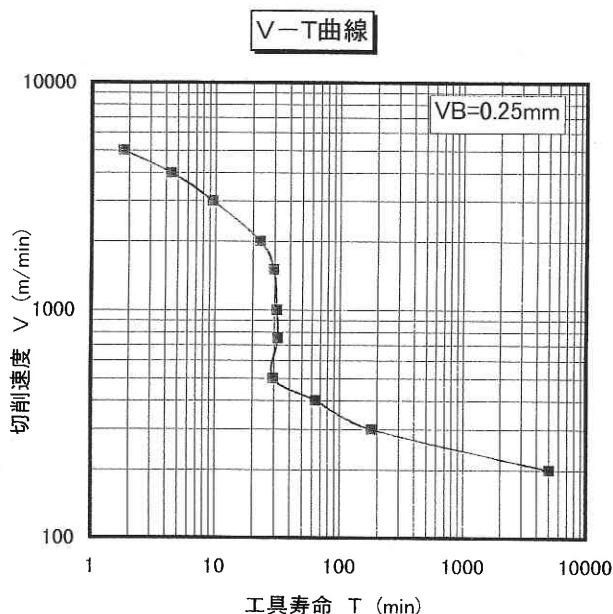


図13 切削速度と工具寿命および寿命に至るまでの除去量の関係 (高橋・松岡他)

ミルの結果があるが、フェイスミルでも切刃が被加工材に常に接触してない断続切削では、更に摩耗が減少し長寿命が得られることがわかっている。つまりこの実験結果では2~3,000 m/minで最大寿命が得られているが、ボールエンドミルでの最大寿命の速度値は更に高くなることが予想される。

以上の2つの実験結果が示すことは、ボールエンドミルによる金型材と鋳鉄の加工では、cBN工具を用いる限り今のところ工具寿命からみた速度の限界は把握されていないこととなる。高速化すればする程加工能率は上がり、工具寿命も問題となっていないのである。これはボールエンドミルでは、工具切刃が被加工材に触れる時間は極めて短時間であり、大部分の時間は空冷されていることに依っていると思われる。但し、ボールエンドミルの底の中心刃部は速度が遅く、また接触時間も長いので必ずしもこの理屈は通用しない可能性がある。したがって工具の中心刃の形状は益々重要となり、将来は工具を少し傾けて切削する等の工夫も必要となる可能性もある。

## 6. 超高速ミーリングマシン

現在開発されている高速ミーリングマシンのうち、ボールエンドミルの工具外周部で2,000 m/min以上の超高速度が出せる機種が幾つか存在する。このうち最初の新潟鉄工の機種は1990年頃に開発されたもので、軸受けにセラミックボールベアリングを用いている。これは $100 \times 10^3$  rpmの回転数を持ち、今話題の超高速ミーリングの可能性を実証するキッカケとなった機種である。これより高速回転のものは最近理研(北村機械、東芝機械、ファナックと共同開発)で開発された。 $150 \times 10^3$  rpmの主軸回転数を持ち主軸が空気軸受けとなっている<sup>13)</sup>。他の機種としてマザック(豊田工大)の40番で $40 \times 10^3$  rpmの機種があり、主としてアルミ合金切削用に開発されたもので、通常のボールベアリングを使用している。この機種の特徴は送り速度が60 m/minと極めて高速が出せる点である。この高速度送りは通常のボールスクリーユで実現している。

## 7. おわりに

何と云っても超高速ミーリングでcBN工具ボールエンドミルの速度限界がまだ見えない点は興味がないところである。NC送りや工作機械の限界が高速化の支障となっているとしたら、それを打ち破る工夫を加えてほしいものである。

(1997年6月18日受理)

## 参考文献

- 1) 池田, 松岡, 中川: 精密工学会中国四国支部 [最近の金型製作法] 講習会テキスト (1990), 1.
- 2) 池田, 手塚: 型技術, 5, 8 (1990), 91.
- 3) 池田, 高橋, 松岡, 中川: 型技術, 6, 8 (1991), 45.
- 4) 松岡: 機械技術, 43, 6 (1995), 19.
- 5) 古谷: 理研シンポジウム第2回ラピッドプロダクトマネージャクチャリングテキスト (1996), 20.
- 6) 嶽岡: 機械技術, 43, 6 (1995), 25.
- 7) 精密工作便覧, 精密工学会編 (1992), 49.
- 8) 池田, 高橋, 松岡, 中川: 1990年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集 (1990), 1115.
- 9) 松岡, 池田: 型技術協会第3回高速ミーリング研究委員会テキスト (1993), 1.
- 10, 11) 池田, 高橋, 松岡, 中川: 型技術, 8, 8 (1993), 78.
- 12) 高橋, 安斎: 機械と工具, 40, 5 (1996), 44.
- 13) 中川, 安斎, 高橋, 新野, 松岡: 1997年度精密工学会秋季大会講演予定.