

環境にやさしい焼入鋼切削の研究

—CBN切削工具による焼入鋼のドライ切削—

佐本芳正*

Study on Environmentally Conscious Cutting of Hardened Steel -Dry Cutting of Hardened Steel Using CBN Cutting Tool-

by Yoshimasa SAMOTO

Dry cutting is environmentally conscious because this method use no cutting fluid. Dry cutting of hardened steel was carried out with engine lathe (made in 1973) and CBN cutting tool. Tool wear, surface roughness and cutting temperature were examined under various cutting conditions. The results obtained were as follows: (1) The progress of tool wear becomes remarkable while growing of cutting speed and feed. (2) The tool life at cutting speed 120m/min. is 53min. (6.31km in cutting length converion). (3) The surface roughness 1 μ mRy of work piece is obtained by selection of the cutting tool radius and cutting feed. (4) The cutting temperature rises with an increase of the tool wear, cutting speed and feed. (5) The wear mechanism of cutting tool is different in lower and higher speed area than cutting speed 65m/min.

Key Words: environment, dry cutting, hardened steel, CBN cutting tool, tool wear, surface roughness, roundness, cutting temperature

1. はじめに

切削, 研削油剤には, 環境に有害なダイオキシン発生や発ガン性の疑いがある塩素系添加剤 (塩素化パラフィン) が含まれる. また, 有害廃棄物排出規制法 (PRTR法) で指摘される化学物質も油剤中に含まれている^{1) 2)}. このことから機械加工現場では環境にやさしい加工技術が求められ, ドライ加工, 冷風加工, 植物性オイルミスト加工などが研究されてきた. とくにドライ加工は油剤を全く用いないため, 環境負荷の点では理想的な加工方法である. 鋳鉄, 非鉄金属のドライ加工は生産現場ですで行われているが, 鉄鋼のドライ加工はさらに研究すべき点が残されている^{3) 4)}.

高硬度の焼入鋼をドライ切削する技術が確立すれば, 研削油剤の使用及び研削スラッジの排出といった環境汚染の懸念される研削加工から, 環境にやさしいドライ切削へ転換できる. これまでの研究では^{5) ~7)}, 焼入鋼のドライ切削に使用されるCBN切削工具刃先形状等について実験が行われてきた.

本研究では, 工業研究部所有の普通旋盤 (昭和48年製造) を用いて焼入鋼のドライ切削を行い, 切削加工の基本データである切削工具摩耗, 被削材表面粗さ, 切削温度を測定することにより, 焼入鋼ドライ切削の可能性を調べた. その結果を以下に報告する.

* 機械情報電子グループ

2. 実験方法

切削工具は表1に示す2種類の組成, CBN粒度のCBN(立方晶窒化ホウ素)焼結体を使用した。工具形状は, (-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)と(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.4)を用いた。

表1 CBN切削工具の組成, CBN粒度

	組成	CBN粒度
CBN-1	CBN 50vol.%+ Ceramics binder 50vol.%	1 μ m
CBN-2	CBN 60vol.%+ Ceramics binder 40vol.%	3 μ m

被削材の材質は高炭素クロム軸受鋼SUJ2, ロックウェル硬さはHRC62である。普通旋盤(大隈鐵工所, LS450 \times 1250)を用いて切削速度35, 65, 120, 175, 230m/min., 切込み0.1mm, 送り0.03~0.3mm/rev.の切削条件により, 外径100mm, 長さ100mmの被削材外周をドライ切削した。工具摩耗幅の測定には万能測定顕微鏡を用い, 切削温度は工具-被削材熱電対法により測定した。

3. 結果と考察

3.1 切削工具の摩耗

図1に, CBN切削工具の刃先形状及び工具摩耗の模式図を示す。

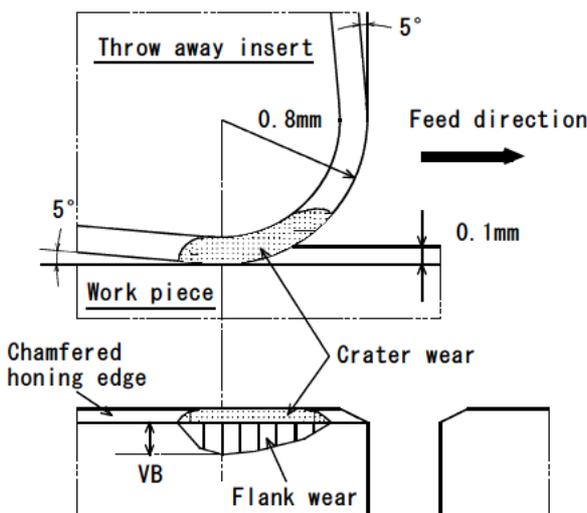
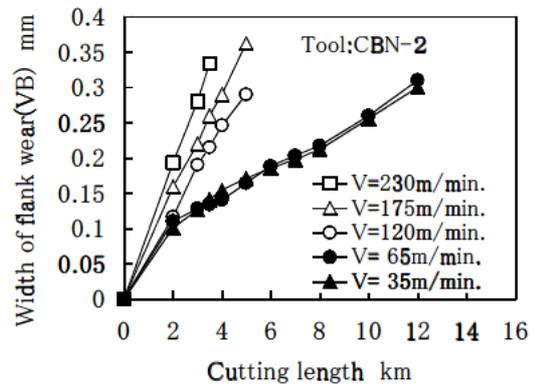


図1 切削工具の刃先形状と工具摩耗

切込みが0.1mmであるため横切れ刃は切削に関

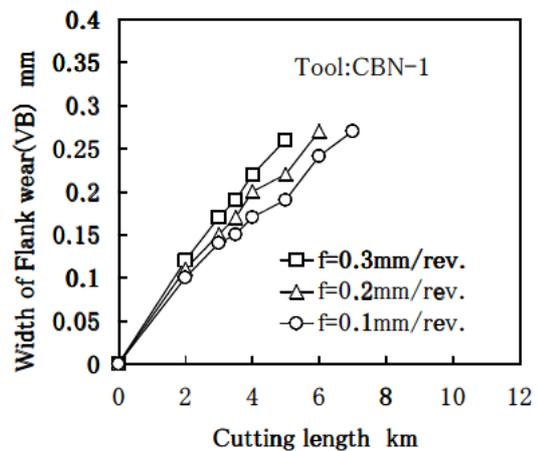
与せず, 前切れ刃で切削が行われる。万能測定顕微鏡(100倍)による観察では, すくい面摩耗は工具のチャンファの位置に生じ, クレータが成長していた。逃げ面摩耗部では, 切削方向に細長い溝状の状痕が多数みられた。

図2に, 切削工具逃げ面の摩耗進行線図を示す。切削速度の120, 175, 230m/min.では, 逃げ面摩耗幅VBの進行は切削速度が速くなるほど著しい。切削速度の35と65m/min.は, ほぼ同程度の摩耗進行である。



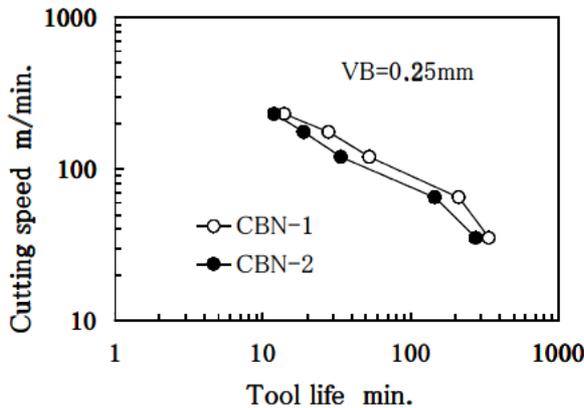
送り0.1mm/rev., 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8) 図2 逃げ面の摩耗進行線図(切削速度の影響)

図3は, 送りが0.1, 0.2, 0.3mm/rev.のときの切削工具逃げ面の摩耗進行線図を示す。送りが大きくなるほど逃げ面摩耗幅の進行は著しくなる。



切削速度120m/min. 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8) 図3 逃げ面の摩耗進行線図(送りの影響)

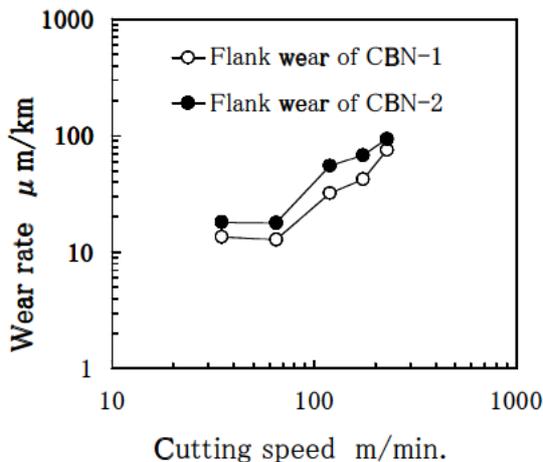
図4に、2種類のCBN切削工具に対する工具寿命曲線（V-T線図）を示す。図2の逃げ面摩耗幅VBが0.25mmに達したときを切削工具の寿命と判定し、工具寿命曲線を作成した。



送り0.1mm/rev., 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

図4 工具寿命曲線

高速切削になるほど工具寿命は短く、CBN-1はCBN-2より工具寿命が長い。また切削速度の対数と工具寿命の対数との間には、切削速度65~230m/min.の範囲ではほぼ直線関係が成立する。CBN-1では切削速度120m/min.のとき、工具寿命は53分(切削距離換算では6.31km)である。切削速度の高速化は加工能率を向上できるが、過度な高速加工は工具寿命を短くする。



送り0.1mm/rev., 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

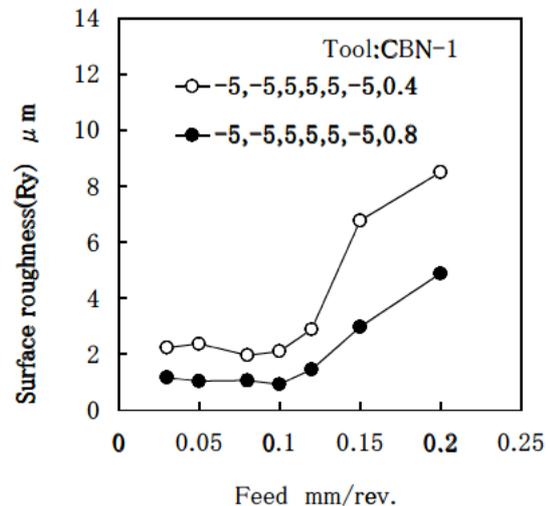
図5 切削速度と摩耗速度の関係

図5に、切削速度と切削工具摩耗速度との関係を示す。摩耗速度は単位切削距離当たりの逃げ面摩耗幅の進行割合である。切削速度が35と65m/min.では摩耗速度はほぼ同じであるが、切削速度が速くなるにつれて摩耗速度も増加する。この理由は、切削速度35, 65m/min.の低速では切削工具においてアプレシブ摩耗が支配的であり、高速になるほど凝着摩耗が支配的になるためと考える⁸⁾。

なお、切削速度の35から230m/min.の範囲においてCBN-1はCBN-2より摩耗速度は小さい。

3. 2 被削材の表面粗さ

図6に、被削材表面粗さと送りの関係を示す。



切削距離0.5km, 切削速度120m/min.

図6 被削材表面粗さと送りの関係

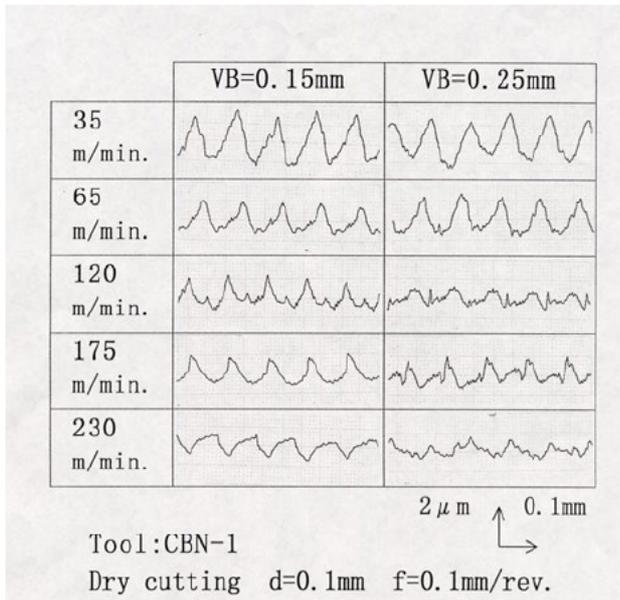
送りが0.03~0.2mm/rev.の範囲において、切削工具コーナ半径が0.8mmの方が0.4mmより表面粗さが小さい。また、両者のコーナ半径ともに送りが小さくなるとともに表面粗さは小さくなり、送りが0.10と0.08mm/rev.で最も小さい。

しかし、送りの0.03や0.05mm/rev.では、0.08, 0.10mm/rev.に比べて表面粗さは少し大きくなる。この理由は、切削工具の送りが小さすぎると、切削が行われた切削面を再び切削工具でこすってしまうためと考えられる。過度の微小送りは加工能率も低いいため好ましくない。

図6より、切削工具のコーナ半径が0.8mmで送り0.1mm/rev. のとき、最良の被削材表面粗さ1 μ mRyが得られる。

工業研究部所有の古い普通旋盤を用いて被削材表面粗さ1 μ mRyが得られたことは、県内中小企業が新たな設備投資で高剛性な旋盤を導入しなくても、手持ちの旋盤により焼入鋼のドライ切削が可能であることを示唆している。

図7に、切削速度、逃げ面摩耗幅VBに対する被削材表面粗さ曲線を示す。



工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

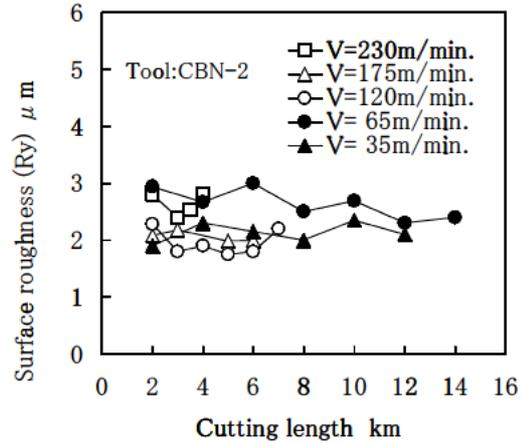
図7 被削材表面粗さ曲線

VBが0.15mmの粗さ曲線波形では、摩耗の進行が少ない切削工具先端形状が被削材表面へ転写していることがわかる。

一方、VBが0.25mmの粗さ曲線においては、切削速度が速くなるほど粗さ曲線波形に乱れが生じ、粗さ曲線の高さは低くなる。

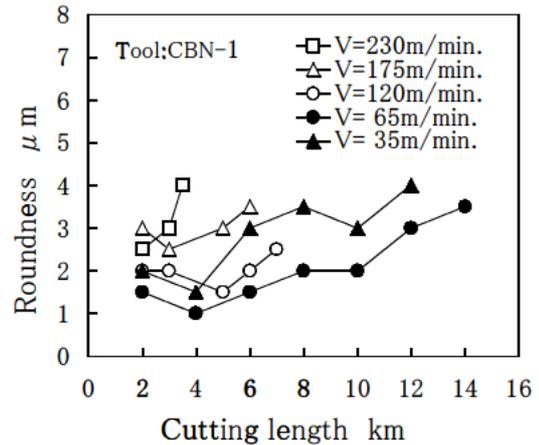
図8に、被削材表面粗さと切削距離の関係を示す。切削距離が増えて工具摩耗が進行しても、工具寿命に達するまでは、被削材表面粗さは悪化しない。

図9に、被削材真円度と切削速度の関係を示す。すべての切削速度において、切削距離が大きくなるほど被削材真円度は増加傾向である。



送り0.1mm/rev., 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

図8 被削材表面粗さと切削距離の関係



送り0.1mm/rev., 工具形状(-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

図9 被削材真円度と切削距離の関係

3. 3 切削温度測定

図10に、工具-被削材熱起電力と温度との校正曲線を求めるために作製した切削温度校正装置を示す。楕円体反射炉の一つの焦点に加熱源であるハロゲンランプを設置し、もう一つの焦点である工具材と被削材の接触部を集光加熱した。工具材と被削材の接触部温度は、クロメル・アルメル熱電対を工具材、被削材の接触部間に挿入することにより測定した。

なお、熱電対に関する中間金属の法則により、クロメル・アルメル熱電対の挿入は、工具-被削材熱起電力に影響を与えない。今回の実験で用いたCBN切削工具は、CBN粒子が絶縁体であるが結合

材に導電性があるため、それらの焼結体であるCBN切削工具は電気を通す。

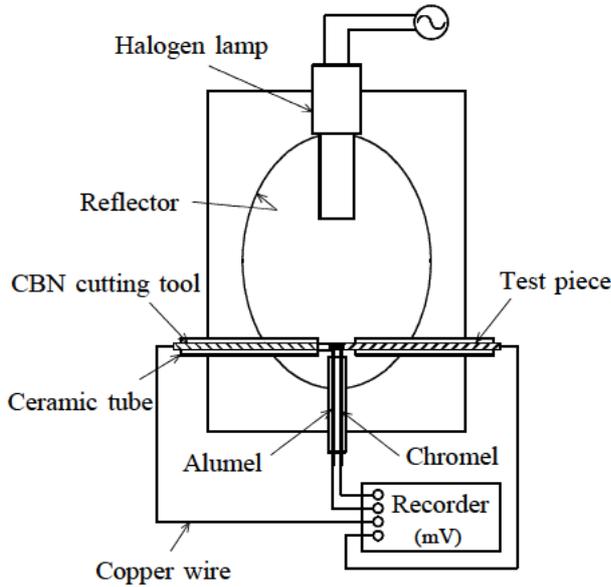


図 1 0 切削温度校正装置

図 1 1 に、切削温度校正装置により測定したクロメル・アルメル熱電対温度と工具-被削材熱起電力の関係（切削温度校正曲線）を示す。

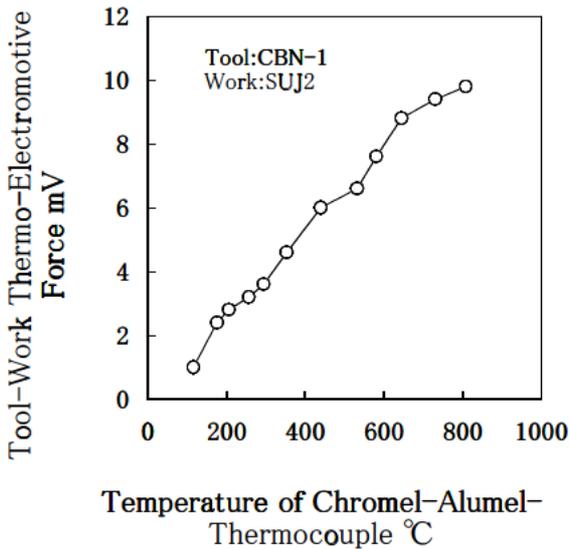
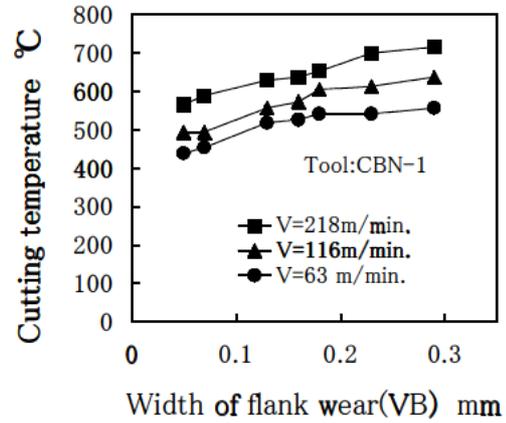


図 1 1 切削温度校正曲線

切削加工における切削温度は、工具-被削材熱電対法により測定される工具-被削材熱起電力を

切削温度校正曲線から換算した。

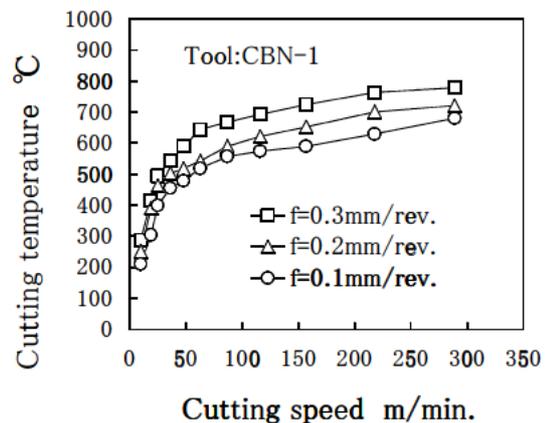
図 1 2 に、切削温度と逃げ面摩耗幅の関係を示す。逃げ面摩耗幅の増加とともに、切削温度は上昇する。



送り 0.1mm/rev., 工具形状 (-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

図 1 2 切削温度と逃げ面摩耗幅の関係

図 1 3 に、切削温度と切削速度の関係を示す。切削速度の増加とともに、切削温度は上昇する。また、送りの増加によっても、切削温度は上昇する。



逃げ面摩耗幅 VB=0.13~0.15mm

工具形状 (-5, -5, 5, 5, 5, -5, 0.8)

図 1 3 切削温度と切削速度の関係

図 1 2, 図 1 3 において、切削速度, 送りを増加すると切削温度が上昇することは、第 3 章第 1

節の図2, 図3において, 切削速度, 送りを増加すると切削工具摩耗の進行が著しくなることと関係が深いと考える.

図13の切削温度曲線において, 切削速度65m/min. を境界にして低速域側と高速域側では切削温度の増加傾向が異なる. 図5の摩耗速度曲線においても, 切削速度65m/min. を境界にして低速域側と高速域側では摩耗速度の増加傾向が異なる. このような現象は, 切削工具の摩耗機構が低速加工ではアブレシブ摩耗, 高速加工では凝着摩耗が支配的であるためと考える⁸⁾.

4. まとめ

普通旋盤(昭和48年製造)を用いて, 高硬度の焼入鋼をCBN切削工具でドライ切削し, 切削工具摩耗, 被削材表面粗さ, 切削温度を測定した. その結果, 以下の知見を得た.

- (1) 切削工具摩耗の進行は, 切削速度が速くなるほど, また送りが大きくなるほど著しくなる.
- (2) 切削速度が120m/min. のとき, 工具寿命は53分(切削距離換算では6.31km)である.
- (3) CBN切削工具のコーナ半径, 送りを選定することで, 被削材表面粗さ $1\mu\text{mRy}$ が得られる.
- (4) 切削工具摩耗, 切削速度, 送りの増加とともに, 切削温度は上昇する.
- (5) 切削工具の摩耗機構は, 切削速度65m/min. を境界にして低速と高速とは異なる.

切削速度65~120m/min., 送り0.08~0.1mm/rev., 切込み0.1mmの切削条件によるドライ切削は, 良好な被削材表面粗さ及び正常な工具摩耗が得ら

れ, 研削加工からドライ切削への転換を目的とした環境にやさしい焼入鋼ドライ切削を実現できた.

謝 辞

切削温度測定についてご教示いただいた神奈川県産業技術総合研究所の大石健司氏に感謝いたします.

参考文献

- 1) 岩田重広: “環境対応型の水溶性切削油剤”. 精密工学会誌, 68(7), p919-922(2002)
- 2) 前田和史: “不水溶性切削油の非塩素化代替技術の現状”. 精密工学会誌, 68(7), p915-918(2002)
- 3) 松原十三生: “環境対応加工技術の現状と課題”. 精密工学会誌, 68(7), p885-889(2002)
- 4) 向井良平: “研削盤における環境負荷低減技術の動向”. 精密工学会誌, 68(7), p911-914(2002)
- 5) 新谷一博ほか: “焼入鋼の仕上切削におけるCBN工具刃先形状の検討”. 精密機械, 51(5), p1053-1059(1985)
- 6) 鳴龍則彦ほか: “CBN工具の摩耗”. 精密機械, 45(2), p201-207(1979)
- 7) 市来崎哲雄ほか: “TiNコーテッドcBN粒を使ったcBN工具の切削性能改善”. 精密工学会誌, 61(2), p1997-2002(1995)
- 8) 佐本芳正: “焼入鋼切削における工具摩耗面のFe凝着量”. 2000年度精密工学会秋季大会講演論文集, p111(2000)