正面フライス切削時の工具損傷に及ぼす

雰囲気の影響 (第1報)*

——すくい面摩耗への影響——

山根 八洲男** 鳴 瀧 則 彦**

The Effects of the Atmosphere on Tool Failure
in Face Milling (1st Report)
—The Effect on Crater Wear—

Yasuo YAMANE and Norihiko NARUTAKI

In order to clarify the effects of the oxygen content in the atmosphere on tool wear, high speed face milling tests were carried out on plain carbon steel S 45 C and stainless steel SUS 304 with carbide, cermet and ceramic tools. Cutting tests were conducted in the sealed chamber of which the atmosphere was changeable. In the case of milling S 45 C in the low oxygen content atmosphere, the crater wear reduced drastically and oxide layers

were observed on the rake face of the tested tools. A logarithmic relation was found between the crater wear and the concentration of oxygen in the atmosphere. It was also found that the thermal cracks on the rake face reduced with the decrease of the oxygen content in the atmosphere. In the case of SUS 304, the crater wear was not influenced by the oxygen content, but the chipping wear seemed to be suppressed by the decrease of the oxygen content.

Key words: atmosphere, tool failure, face milling, oxygen, oxide layers, crater wear, thermal cracks, chipping wear.

1. 緒 論

正面フライス切削時の工具の損傷については多くの研究がなされているが、特に高速域においては、切れ刃部に発生する熱き裂^{1)~3)}と、すくい面摩耗の異状な発達⁴⁾が大きな問題となっている。熱き裂については詳しい研究がなされており、断続切削特有の繰返し熱応力、特に空冷時に生じる引張りの熱応力がその主因である¹⁾と言われている。一方、すくい面摩耗については詳細な検討はほとんどなされておらず、摩耗の異状な発達は機械的、熱的な衝撃が原因であろうと推測されているのみである。

ところで工具と非金属存在物との間の拡散実験⁵⁾の結果によれば、FeOは超硬、サーメットあるいはセラミック工具と激しく反応する。したがって工具と被削材の接触面にFeOが存在した場合、工具摩耗が増大することは十分に考えられる。ただしFeOは製鋼過程において大部分還元されるため、鋼中に残存したFeOが工具と反応し、摩耗に悪影響を及ぼすという可能性はほとんどない。しかしながら断続切削では工具は被削材中と空気が交互に通過しており、特に高速切削のような刃先が高

温になる条件下では、被削材によっては工具刃先に付着した鉄が酸化されFeOになる可能性がある。更に工具自身の酸化についても、境界摩耗の研究⁶⁾から、摩耗を増大させると言われている。

本研究は、以上の推論から、すくい面摩耗の異状な発達の原因を酸化によるものと仮定し、これを調査、解明することを目的としていた。しかしながら実験結果によれば、熱き裂あるいは被削材の溶着・剥離によるチッピングについても酸化と密接な関係を持つ疑いがでてきた。熱き裂やチッピングはすくい面摩耗と同等あるいはそれ以上に重要な問題であるが、これらについては次報で詳しく検討し、本報では主としてすくい面摩耗を対象に、低酸素雰囲気下で正面フライス切削を行った場合の工具損傷について述べる。

2. 実験装置および方法

正面フライス切削において低酸素雰囲気を作り出すため、本実験では被削材およびカッタをカバーで完全に覆い、カバー内に不活性ガスを満たした。図1に装置の概略図を示す。カバー①はフライス盤のテーブル上に固定され、カバー②は①に対し送り方向にのみ移動可能で、更にスピンドルヘッドに固定されたカバー③は②に対し切込み方向にのみ移動可能となっている。各カバー間の接続部については特に密封対策はしていないが、クリアランスはできるだけ小さくし気密性を保つように

* 原稿受付 昭和57年9月18日。昭和57年度精機学会春季大会学術講演会(昭和57年3月22日)にて発表。

** 正会員 広島電機大学工学部(広島市安芸区瀬野川町中野595)

*** 正会員 広島大学工学部(東広島市西条町下見)

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 1 Cutting conditions

	Milling	Turning
Cutting speed	236, 300 m/min	236, 300 m/min
Depth of cut	1.0 mm	1.0 mm
Feed	0.2, 0.25 mm/tooth	0.2, 0.25 mm/rev
Tool geometry	Radial rake -5° Axial rake -5° Corner angle 25°	$-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8$

Table 2 Chemical compositions and hardness of work materials

Work	Chemical compositions %						Hardness H_B
	C	Si	Mn	P	S	Al	
S 45 C-S	0.42	0.27	0.77	0.021	0.024	0.031	174
S 45 C-K	0.44	0.21	0.74	0.019	0.016	0.015	187
SUS 304	As received						176

注意した。カバー内へは高圧ポンプより減圧(2×10^5 Pa)した窒素あるいはアルゴンガスを流量調整器を通し(5 l/min)導入し、雰囲気中の酸素濃度は常時測定(オリエンタル電器製 RA 型酸素計)することにより行った。実験は通常カバー内の酸素濃度が酸素計にて計測出来なくなった時点で開始した。

Fig. 2 Comparisons of wear progress curves when milling and turning S 45 C-S with carbide tool P 10

Fig. 3 Cutting temperature when milling and turning S 45 C-S

Tool: P 10, Work: S 45 C-S, $d=1.0$ mm, $f=0.2$ mm/rev

表 1 に実験条件を示す。工具はフライス切削、旋削とも SNP 432 型スローアウェイ工具を用いた。フライス切削では同工具を直径 100 mm のカッタに取り付け、幅 56 mm の被削材を中心削りした。

表 2 に実験に使用した被削材の化学成分およびブリネル硬度を示す。S 45 C の S および K はメーカが異なることを示している。なお被削材中の SUS 304 は市販材(80 mm の丸棒)を 56 角に成形後使用した。

3. 実験結果

3.1 S 45 C の切削

図 2 に超硬 P 10 で S 45 C-S を切削速度 150 と 236 m/min で旋削およびフライス切削(大気中)を行った場合の実切削時間に対する工具摩耗進行線図を示す。図より逃げ面では、150 あるいは 236 m/min のいずれの切削速度でも旋削とフライス切削で摩耗に大差はないが、すくい面では切削速度が 236 m/min となると旋削に比べフライス切削の方が 4 倍以上の摩耗量となっている。この傾向は S 45 C-K の場合も、また切削速度を 300 m/min とした場合も全く同様であった。

このような、高速のフライス切削時にすくい面摩耗が急増する現象は従来から指摘されているが、どの程度の切削温度からこの現象が生じるのかを確認するため切削温度を測定した。測定は工具-被削材間熱電対法とし、起電力は、カッタボディから絶縁した工具から補償回路⁷⁾を通してドローボルト端部に取り付けた水銀接点に取り出し、直流増幅器を通してデジタルメモリーに記録した。結果を旋削と比較して図 3 に示すが、フライス切削では 150 m/min

Fig. 4 Influence of the atmosphere on tool wear when milling S45 C-S with carbide tool P 10

Fig. 5 Influence of oxygen on crater wear when milling S45 C-S with carbide tool P 10

で約 850°C , 236 m/min で約 1000°C となっていることから, $900\sim 1000^\circ\text{C}$ を境にしてすくい面摩耗が急増することがわかる. なお, 旋削とフライス切削では, 切りくずの排出状況などが異なるため厳密な意味では両者間の比較は困難であるが, ほぼ同程度の切削温度であると言える.

図4に超硬 P 10 で S45 C-S を, 大気中, 窒素ガスおよびアルゴンガス中でフライス切削した場合の摩耗進行線図を示す. なお横軸は見かけ上の切削時間を示している. 図によれば, 逃げ面はいずれの場合も摩耗にあまり差は見られないが, すくい面については窒素あるいはアルゴン雰囲気中で切削すると大気中に比べ極端に摩耗進行速度が遅くなっている. 同図から各雰囲気での実切削時間に対するすくい面の深さ方向の摩耗進行速度を求めると, 大気中で $21\text{ }\mu\text{m/min}$, 窒素あるいはアルゴンガス中で $2.5\text{ }\mu\text{m/min}$ となる. なお図2に示した 236 m/min での旋削では $4.7\text{ }\mu\text{m/min}$ となることから, 低酸素雰囲気では旋削よりも更にすくい面摩耗が減少していることがわかる. この傾向は S45 C-K の

場合も全く同様であった.

図5はすくい面摩耗深さと雰囲気中の酸素濃度の関係性を求めたものである. 実験は, カバー内の大気を一旦窒素ガスで置換した後, 所定の酸素濃度にした窒素と酸素の混合ガスをカバー内に導入し, 見かけ上の切削時間で 10 min 切削を行った. 図に示したように, 両対数グラフ上で酸素濃度とすくい面摩耗深さとの間に直線関係が成立することがわかる. なお, 図中の破線は同じ条件で旋削を行った場合のすくい面摩耗深さである. したがって同条件に限って言えば, 雰囲気中の酸素濃度を $0.01\text{ vol\%}$ 程度まで下げれば旋削とほぼ同じ摩耗量になる

と言える.

以上は超硬 P 10 の場合であるが, サーマット工具 (TiN 含有タイプ) およびセラミック工具 (TiC 含有タイプ) についても実験を行った. セラミック工具の場合について摩耗進行線図を図6に示すが, 超硬工具と全く同様の傾向を示すことがわかる. なおサーマット工具の場合も同様の傾向を示した.

図7に超硬, サーマットおよびセラミック工具の摩耗部の顕微鏡写真を示す. 図より, いずれの工具も窒素雰囲気中で切削した場合, すくい面後方に多量の付着物が付いていることがわかる. この付着物はアルゴン雰囲気中においても同様に見られた. また大気中で切削した場合, 超硬およびサーマット工具ではすくい面に数本の熱き裂が生じているが, 窒素雰囲気中の切削ではこのような大きな熱き裂は認められない. 更にセラミック工具についても, 大気中での切削ではすくい面に多数の溝状の摩耗⁴⁾が生じているが, 窒素雰囲気中ではこれらの摩耗は見られないことがわかる. なお逃げ面摩耗については,

Fig. 6 Influence of the atmosphere on tool wear when milling S45 C-S with carbide tool

Tool	P 10	Cermet	Ceramic
Air
Nitrogen
	$v=236\text{m/min}$ $d=1.0\text{mm}$ $f=0.2\text{mm/tooth}$ $t=15\text{min}$		$v=300\text{m/min}$ $d=1.0\text{mm}$ $f=0.25\text{mm/tooth}$ $t=10\text{min}$

Fig.7 Influence of the atmosphere on tool wear patterns when milling S 45 C-S

Fig.8 Distribution of elements at the crater wear surfaces when turning and milling S 45 C-C with carbide tool P 10 $v=236\text{ m/min}$, $d=1.0\text{ mm}$, $f=0.2\text{ mm/rev}$

写真では判別し難いが、窒素雰囲気中で切削した場合大気中に比べ被削材の擦過痕が明りょうに認められる傾向にあった。

図8はすくい面付着物のEPMA(島津EMX-SM型)による特性X線の面分析結果である。図より旋削および大気中でのフライス切削では、すくい面内部にはFe, Mnが認められるのみであるが、窒素雰囲気中での切削ではFeが減少し、代わりにMn, Al, Si, Caといった元素が同じ位置にかなり付着していることがわかる。また窒素雰囲気中で切削した工具についてはOも分析したが、Mn, Alなどの元素との関連性が認められた。したがってこの付着物はいわゆるBelagと考えられる。なお窒素雰囲気中で切削した場合Mn, Al, Si, Caといった元素が付着する現象はS 45 C-Kを切削した場合も同様に認められた。

以上の結果から、窒素あるいはアルゴン雰囲気中でS 45 Cを高速フライス切削した場合、大気中での切削に比べ、①すくい面クレータ摩耗の減少、②すくい面内の付着物(Belag)の増加、③すくい面熱き裂の減少、が見られることがわかる。ところで①および③については切削温度と対応した現象であり、窒素雰囲気中で切削した場合、大気中

Fig. 9 Influence of the atmosphere on crater wear when milling SUS 304 with carbide tool P 10

$v=236$ m/min, $d=1.0$ mm, $f=0.2$ mm/tooth

での切削に比べ温度がかなり低下しているとすれば、これらについては切削温度の低下が原因であったと言える。そこで窒素雰囲気中で切削した場合の切削温度を測定した。測定法はすでに述べたとおりであるが、結果は大気中と窒素雰囲気中でほとんど切削温度に差はなかった。したがって低酸素雰囲気（窒素あるいはアルゴン雰囲気）におけるこれらの現象は雰囲気そのものが原因となっていると言える。

3.2 SUS 304 の切削

S 45 C の実験結果から、大気中における高速フライス切削時の工具のすくい面摩耗の異状な発達は酸化による劣化が原因と考えられる。ところでこの劣化については、工具自身の酸化による劣化と、すくい面に付着した Fe (Fe が多量に付着していることは図 8 の EPMA 分析結果から明らかである) が酸化され、これが高温高圧下で工具と反応することによる劣化、という二つが考えられる。いずれのプロセスが支配的であるかについては、大気中で切削してもすくい面上に酸化鉄が生成しないような被削材を切削することである程度の推定が可能である。そこで S 45 C を切削した場合と同程度の切削温度となる SUS 304 を大気中と窒素雰囲気中で切削し、両雰囲気での工具摩耗を比較した。

すくい面の摩耗進行線図を図 9 に、摩耗部の顕微鏡写真を図 10 に示す。図 9 より、すくい面摩耗については大気中と窒素雰囲気中で S 45 C を切削したときほどの差は生じていないことがわかる。この結果はすくい面については工具自身の酸化による摩耗はあまり大きな割合を占めてはいないことを示唆している。

ところで図 10 の顕微鏡写真から明らかのように、大気

Fig. 10 Influence of the atmosphere on tool wear patterns when milling SUS 304 with carbide tool P 10
 $v=236$ m/min, $d=1.0$ mm, $f=0.2$ mm/tooth

中での切削ではすくい面から逃げ面にかけて被削材の溶着・剝離の繰返しが原因と思われる欠損（突発的なものではなくチップングが徐々に発達したものである）が生じているのに対し、窒素雰囲気中で切削した場合はこれらのチップングが大幅に減少している。この結果は窒素雰囲気中では溶着が減少していることを意味しており、これは図 10 の顕微鏡写真の逃げ面に、大気中では溶着物が多量に付いているのに対し、窒素雰囲気中ではあまり付いていないことから推測できる。

4. 考 察

高速で正面フライス切削を行ったときのすくい面摩耗の異状な発達の原因を調べるため、窒素およびアルゴン雰囲気中で切削実験を行った。その結果、大気中での切削に比べ S 45 C では、① すくい面クレータ摩耗の減少、② すくい面内への付着物 (Belag) の増加、③ すくい面熱き裂の減少、④ 逃げ面摩耗は量的にはあまり変化しない、ことがわかった。一方 SUS 304 を切削した場合は、⑤ すくい面摩耗は酸素濃度にあまり影響されない、⑥ 溶着・剝離が原因と思われるチップングは酸素濃度の影響を受ける、という結果を得た。

以下各点について考察を行う。

① S 45 C を切削した場合窒素雰囲気中ですくい面クレータ摩耗が減少する点については、アルゴン雰囲気中でも同じ結果となることや、すくい面摩耗と酸素濃度の間に対数関係が成立する、更に雰囲気が変わっても切削温度は一定であることなどから、酸素濃度の低下が原因と考えられる。したがってすくい面については酸化による工具の劣化が摩耗の原因であると言える。しかし工具自身の酸化が劣化の主体であるのか、あるいは酸化した付着物 (FeO) が工具を劣化させるのかという点については、SUS 304 の実験結果は工具自身の酸化は主体ではないと示唆しているものの、現在のところ断定は困難

である。なお、図5から明らかなように、すくい面摩耗深さと酸素濃度との間には対数関係が成立する。この現象については、処女面に近い、極く短時間(数十ms)の、しかも時間的に温度の変化する面の酸化であるため、理論的検討は困難である。しかし酸化膜が厚い場合のWagnerらの酸化理論⁹⁾によれば酸化速度と酸素圧との間に対数関係が成立することが知られている。

② すくい面への付着物(Belag)が低酸素雰囲気が増加する現象については次のように考えられる。鋼材中に含まれる非金属介在物が工具面に付着する際付着部に何らかの形で酸素が供給されると付着が容易になることは、乾式切削ではBelagを生じない鋼種でも外部から切削液の形で切削点に酸素を供給すればこれを生じることや⁹⁾、鋼材中の酸素含有量により付着物の生成が大きく左右される¹⁰⁾ということなどから、十分に考えられる。ところで本実験に使用したS45Cについては、旋削ではBelagが生じていないことより、鋼材自身にBelagを付着させるだけの酸素供給能力はないと言える。したがって、低酸素雰囲気中でのフライス切削でBelagが生じた理由については、外部から適量の酸素が供給された結果 Al_2O_3 などの非金属介在物が工具に付着しやすくなったためと考えられる。なお、大気中でフライス切削した場合Belagが生じなかった理由については、すくい面上の鉄が多量に酸化され FeO となった結果付着物の融点が下がり(FeO の融点も 1369°C と低い)、 $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ 系の最低液相温度は 1200°C 以下¹¹⁾である)、すくい面上より流出したためと考えられる。これについては、図7の顕微鏡写真あるいは図8の元素分析結果に、すくい面後端の外に付着物の痕跡と思われるFe, Mnが帯状に認められる。

③ すくい面熱き裂の減少については次のように考えられる。従来、熱き裂については熱応力を主体に論じられてきたが、熱応力のみでき裂が発生するとすれば雰囲気に関係なく熱き裂が発生することとなり、これは実験結果と相反する。しかし、もし熱応力が単独ではき裂を発生させる程大きくなく¹²⁾、しかも酸化により工具表面が著しく劣化すると仮定すれば、低酸素雰囲気中に比べ大気中ではき裂の起点となる工具表面の欠陥が大幅に増加することとなり、それだけき裂が発生しやすくなるものと考えられる。しかしこれらの点については今後更に詳しく検討する必要がある。

④ 逃げ面摩耗が雰囲気にあまり左右されなかった点については現在のところ不明であるが、一つの可能性として、すくい面に比べ逃げ面の温度が低いと仮定すれば¹²⁾、逃げ面では工具自身の酸化も少なく、また逃げ面に付着した鉄が酸化され、これが工具と反応する割合も

少なくなることから、酸化による劣化が起こり難くなることは十分に考えられる。ただし切削速度が更に高くなった場合は、逃げ面についても切削温度が上昇することから、すくい面と同様酸化による劣化を起こす可能性がある。

⑤ SUS304を切削した場合すくい面摩耗が酸素濃度にあまり左右されなかった点については、先にも述べたが、すくい面では工具自身の酸化による摩耗割合が少ないためと考えられる。なおSUS304の切削では低酸素雰囲気中でもすくい面摩耗が大きく出ているが、SUS304は旋削でもすくい面摩耗が大きく、実切削時間で比較するとフライス切削での摩耗量は旋削とほぼ同程度である。

⑥ 溶着・剥離が原因と思われるチッピングが低酸素雰囲気中において減少した理由については、低酸素雰囲気中で被削材の工具への溶着が減少したためと考えられるが、溶着についてはその機構も含めて今後更に検討する必要がある。

5. 結 論

低酸素雰囲気下において、高速の正面フライス切削を行い、酸素が工具摩耗に及ぼす影響について調べた結果、以下のような結論を得た。

S45Cについては低酸素雰囲気中(窒素あるいはアルゴンガス中)で切削した場合、大気中に比べ、

- (1) すくい面クレータ摩耗が減少する。
 - (2) すくい面クレータ摩耗と酸素濃度との間に両対数グラフ上で直線関係が成立する。
 - (3) すくい面上に付着物(Belag)が見られる。
 - (4) すくい面の熱き裂が減少する。
 - (5) 逃げ面摩耗は量的には大気中とあまり差がない。
- またSUS304を切削した場合は、
- (6) すくい面摩耗はS45Cほどは酸素濃度に左右されない。
 - (7) 溶着・剥離が原因と思われるチッピングは低酸素雰囲気下で減少する。

ということがわかった。これらの原因については今後更に詳しく検討する必要があると考える。

最後に、本研究を行うに当たって装置の試作、改造を担当していただいた広島電機大学工学部機械実習工場の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 奥島啓式, 星 鉄太郎: 超硬正面フライスにおける熱き裂, 日本機械学会論文集, **27**, 178 (1961) 843.
- 2) P. C. Pandey, S. M. Bhatia & H. S. Shan: Thermo Mechanical Failure of Cemented Carbide Tools in

- Intermittent Cutting, Ann. CIRP, 28, 1, (1979) 13.
- 3) K. Uehara & Y. Kanda: Fundamental Approach to the Thermal Crack of Cermet Cutting Tools, Ann. CIRP, 30, 1, (1981) 47.
- 4) 鳴瀧則彦, 越智秋雄, 浦辺哲士: S45Cの正面フライス切削時のセラミック工具の損傷, 精密機械, 43, 5 (1977) 591.
- 5) 鳴瀧則彦, 山根八洲男: 工具の拡散摩耗に及ぼす鋼材中の非金属介在物の効果(第1報), 精密機械, 48, 4 (1982) 463.
- 6) 大野幸彦, 竹山秀彦: 境界摩耗に関する基礎研究, 精密機械, 41, 3 (1975) 287.
- 7) K. J. Trigger, R. K. Campbell & B. T. Chao: A Tool-Work-Thermocouple Compensating Circuit, Trans.

ASME, Feb. (1958) 302.

- 8) 例えば, 大谷南海男: 金属表面工学, 日刊工業新聞社 (1979) 119.
- 9) W. König & N. Diederich: Cutting Fluids Improve Tool-life of Carbide Tools by Chemical Reactions, Ann. CIRP, 17, (1969) 17.
- 10) A. Wicher u. R. Pape: Über die Bildung oxydischer Beläge auf Hartmetallwerkzeugen bei der Zerspaltung von Stahl, Stahl u. Eisen, 87, (1967) 1169.
- 11) A. Muan, E. F. Osbon (宗宮重行訳): 製鉄製鋼における酸化物の相平衡, 技報堂 (1971) 145.
- 12) 井原 透, 白壁高洋, 白井英治: 断続切削における切れ刃欠損の解析的予測に関する研究(第4報), 精密機械, 48, 6 (1982) 757.

情 報

ファインセラミックの現状と問題点

通産省ファインセラミックス室ではこのほど標記の調査をまとめた。

同調査書は、①ファインセラミック産業振興の背景と経緯、②ファインセラミックの用途と技術、③ファインセラミック産業の現状、④ファインセラミックの研究開発の現状、⑤ファインセラミック産業の問題点の5章からなっている。

このうちファインセラミック産業の現状では、実用化されている商品の市場規模は56年で約3000億円に達していると推定される。今後さらに原子力、宇宙開発など先端技術産業の需要増加を考えると、10年後には数兆円の産業に成長するとの予測も紹介している。

また、ファインセラミック産業の問題点では、材料としての評価が正しく行われることや同産業の発展を図るために統計の整備や検査法の確立などを指摘している。

▽ファインセラミック産業の現状=この産業は新規産業として揺籃期にあり、諸統計も未整備の状態で、産業の実態が十分に把握されていない。

昭和56年の市場規模は、電気・電子機器分野で約1900億円、切削工具などの機械部品等分野で約400億円、その他医療用機械器具、原子力を加えて全体では約3000億円の規模に達している。

企業数はすでに大手をはじめとして数百社に及ぶと考えられるが、ファインセラミックの需要拡大に伴い、知識集約化を目指す中小企業の進出が増加し、企業数は今後急増するものと思われる。

▽ファインセラミック産業の問題点=①ファインセラミックの評価と問題点…新材料は機械的、電気的部品として、あるいは構造素材として重要な役割を果たしてきた。しかし、今後発展していくには製造技術、評価技術などの確立、材料利用上の課題を乗り越えなくてはならない。

特に材料利用上の課題では、④材料としての評価、認識が正しく行われること、⑤信頼性が十分確保されること、⑥価格よりもその高い機能性価値に着目される必要があること、⑦ユーザの利用インセンティブを高めること、⑧ファインセラミックメーカーが存立していくこと、などが大切である。

ファインセラミックの市場規模（単位：億円）

品 名	主 用 途	主材料	年商
【電気・電子部品】			
パッケージ	IC	A	600
基板	ク	A	50
コンデンサ	TV, VTR	B, C	900
ウェーブフィルタ	TV, FM, AM	D	120
センサ	温度・ガス・湿度各センサ	E, F	100
圧電ブザー	時計, 玩具	D	60
ファイバ	光通信	G	60
マスクプレート	IC露光	G	8
(小 計)			1898
【機械部品等】			
切削工具	スローアウェイチップ	A, H, I など	10
糸道・バルブ	繊維機械, 薬品	A, J	0.4
メカニカルシール	車, 家電ポンプ	A, K	12
ファイバ	断熱用	A, L	100
ク	樹脂強化用	M	100
ク	金属強化用	K, A	6
半導体製造用ジグ	セッタ, 炬芯管	K, M	180
(小 計)			408
【自動車部品】			
プラグ	自動車	A, J	370
排ガス触媒担体	ク	A, N	35
(小 計)			405
【医療用機械器具】			
医療用機械器具	歯根, 関節	A	10
(小 計)			10
【原子力】			
原子力	燃料棒	O	250
ク	制御棒	P	250
(小 計)			250
【合 計】			2971

注) A: アルミナ, B: チタン酸バリウム, C: チタン酸ストロンチウム, D: チタン酸ジルコン酸鉛, E: 酸化ジルコニウム, F: 酸化すず, G: 合成石英, H: 炭化チタン, I: 窒化ほう素, J: 窒化ケイ素, K: 炭化ケイ素, L: シリカ, M: 炭素, N: コーディエライト, O: 酸化ウラン, P: 炭化ほう素
(通産省及び民間調査機関の調査結果による)

②ファインセラミック産業の基盤整備上の問題点…この産業を更に育てるには、①統計の整備、②自主規格・検査法の確立、③情報の収集、整理、提供、④原料粉末の物性の向上と安定供給、⑤中小企業の参入、などを進めていく必要がある。(服部 敏夫)