

切削による金属短繊維製造法の開発

——その開発の経過——

Development of short length metal fiber by machining process

——Its developmental progress——

中川 威雄*
Takeo NAKAGAWA

当所元複合材料技術センターで誕生した複合材料に金属短繊維複合材料がある。この複合材料は同じく同センターで開発された金属短繊維の応用として生れたものである。金属短繊維の製造技術が確立し、その複合材料が使用されるようになった現在、これらの繊維製造法の開発の経過を振り返ってみる。

1. コンクリート補強用切削ファイバーの製造

1.1 コンクリート補強用鋼短繊維

筆者がコンクリート補強用鋼繊維のことを知ったのは、確か1974年の初めであった。当時第5部小林一輔先生(現名誉教授)より、鋼繊維を見せられ繊維の製造法を問われたときに逆のぼる。ルーペでの観察の結果、板材をせん断加工で切りぎざんだいわゆるせん断ファイバーであることが簡単に推定でき、その旨お伝えした。そのとき、この鋼繊維を出来るだけ安価に製造する方法はないものかを問われ、同時に小林先生がこの鋼繊維補強コンクリートがいかに優れたものであるか、繊維価格さえ安くなればこの技術は本格的に普及することを熱っぽく話されたのを今でもはっきりと記憶している。先生の熱意に押され本格的にテーマとして取り上げる決心をして、早速所内の選定研究費を申請させていただいた。そのときの申請内容は、せん断ファイバーで回転刃を利用して生産性を上げようとするのが主眼であり、切削ファイバーも含まれていたものの、それが主要テーマではなかった。選定研究の審査の席で、私の研究が余りにも実用的であったせいも、予想もしなかった工学研究に対する考え方を問われ、とっさに自分がやらなければならない研究をやっているつもりであると答えたのを記憶している。幸いにこの研究には夢があるとの評もめでたいうで、選定研究費が認められこの研究を開始させていただくこととなった。その後の生研公開でせん断ファイバーの製造メーカーの責任者と会った際、どうやら回転刃の使用はすでに検討されていることを知り、研究テーマを切削ファイバー一本に絞ることとした。

1.2 切削によるコンクリート補強用鋼繊維

コンクリート補強用鋼繊維の製造法としては、図1の

*東京大学生産技術研究所 付属先端素材開発研究センター

ように当時引き抜き鋼線の切断による方法、前述の薄鋼板のせん断による方法、さらに米国パテル研究所で開発された溶鋼より抽出するメルトエクストラクション法の3法があり、切削法はその後に考えられた第4の方法である。切削法は明らかに薄板せん断法より安価に製造することを目標としたもので、原料が最も安価な厚板より直接生産される利点を活用しようとしたものである。

切削ファイバーについては通常の切削とは逆に切削の切屑側を活用するという発想の面白さについて感心されるむきが多い。実はその2年前より切削切屑を粉末冶金用の原料に再生利用する研究を行っていた。そのとき各種の形状をした切削切屑を見ており、どこかで針状の切屑を見たような記憶からの発想で思いついたものである。それがフライス盤による平刃切削切屑であることはすぐ判明した。研究の開始に当たり、工場でのフライス切削の現場を見せていただき、ある程度の可能性の感触を得ることが出来た。プラザー工業(株)より特別のはからいで横フライス盤を納入していただき、本格的切削ファイバー製造の研究が開始された。

1.3 切削ファイバー製造技術の確立

最初に行った通常平刃でのフライス切削実験は、ある程度予想はしていたもののみじめなものであった。とてもファイバーと言える代物ではなく、まさに切屑であった。筆者自身はそれまで塑性加工の一つであるプレス機械によるせん断加工を専門としていた。切削加工は除去加工であるが、切屑側からみれば大きなせん断変形を受けた塑性加工そのものである。そこで切削加工をせん断変形を併う塑性加工の一つであるとみなし、材料と工具の両面より再検討をすることになった。材料面からは延性を上げ、切刃は静水圧成分を増すため負の大きなすくい角 θ (-15°)をつけることとした。この切刃のすくい角の値はきわめて異常な値であつたらしく、工具を注

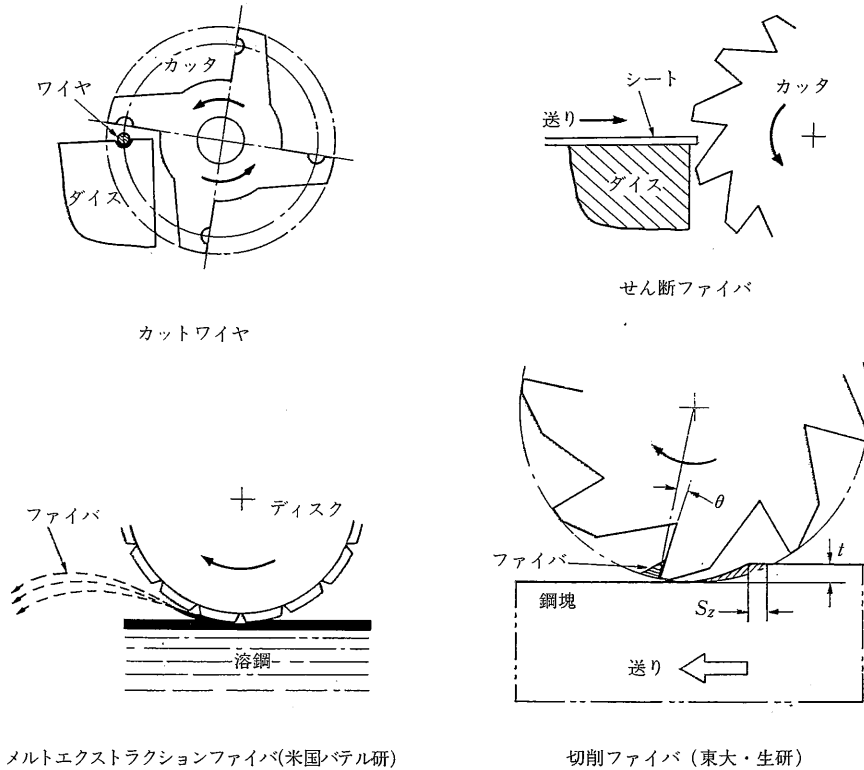


図1 コンクリートファイバーの製造法

文したとき、発注者側のミスと感違いされ、勝手に-1.5°や+15°に変更された工具が出来上がってきたことがあったほどである。

実験を繰り返しながら、だんだんと繊維らしいものが出来上がり、ある程度の自信作を小林先生に見ていただいた。しかし、誰がみても先生のお手持の鋼繊維に比較して見劣りがしている。実験は横フライスを使っており、主軸剛性が不足して切削が安定せず良質なファイバーが製造できないこともわかってきた。幸いにある会社の御好意により、剛性の高い工作機械で試作していただけることとなり、やっとまともなファイバーの試作品が出来上ることとなった。今度は小林先生も評価試験を行って下さったが、意外なことにそれまでのせん断ファイバーより補強効果の高いことがわかった。その理由は切削ファイバーのしわ状表面凹凸と表面積が大きいことによるようで、見かけの悪さがかえって良好な結果をもたらすこととなった。それまで見かけを重視して、切屑らしくない製造条件を求めていたのを、その後は切屑らしいファイバーも検討の中に加えることとなった。

1.4 専用加工機の開発

研究成果の反響はかなり大きかった。特にすでに各種の鋼繊維の生産を行っていた鉄鋼メーカーからは強い興味を示された。われわれとしては最も熱心な一社と本格的

に共同研究を行うべく準備を進めたものの、結局はまともならずその後申し出のあったアイゲンエンジニアリング(株)と専用加工機の共同開発を行うこととなった。研究室では大学院学生の内田貴之君(現新日鉄)が主として切削条件を中心とした基礎実験を行い、企業でのプロトタイプの繊維製造装置の開発と同時並行に進めたが、良質なファイバーを得るには剛性の高い大型機械での精密加工が必要であることがわかってきた。この当時の問題は繊維のバラツキと工具の寿命であった。鋼繊維の量産試作が行われ、それが現場で試験的に施工されるに及んで、切削ファイバーの全く予想外の利点が明らかとなった。それはこれまでのファイバーには存在しない並はずれた良好な分散性であった。鋼短繊維は混練時にファイバーボールを発生する危険があり、ファイバー混入にも特殊な分散機を用いていた。切削ファイバーは断面が扁平なため、ファイバーボールが出来にくく、この分散機が不要であることがわかり、施工面の大きな利点となったのである。結局はファイバーの安価な製造コスト、比較的高い補強効果の他にこの良好な施工性が決め手となって、本格的な実用化が検討されることとなった。

1.5 苦難を極めた実用化

すでにわずかでもマーケットが確立している分野に、後から新しい切削ファイバーが進出するのは容易ではな

い。当然既存各社の抵抗は激しいものがあり、少々ゆき過ぎた妨害と思えるような動きもあって、我々研究者も不愉快な想いをしたこともあった。幸いにも某社でこの方法の導入が決まり、本格的切削ファイバーの生産機の開発が行われ、専用の生産機械が納入された。しかし数年間の試験生産の後最終的には“切削屑のため品質が劣る”、“工具寿命が短かく生産コストもそれほど安くない”といった理由により本格生産は断念されてしまった。長い間実用化の面でも積極的に応援してただけに極めて残念な出来事であった。しかし、丁度この実用機による試験生産中、西ドイツのハレックス社よりの技術導入の話があった。日本で試験生産された切削ファイバーが送られ、西ドイツやヨーロッパ各地の大学で評価試験が行われ、その結果極めて良好との結論が出て、技術輸出の話がまとまることとなった。見かけの悪さを気にせず、評価試験をそのまま素直に受け入れたのは、さすが西ドイツと感心したものである。もちろん、当時日本メーカが前向きに検討中であつたことも幸いしたことは言うまでもない。言うまでもなく、日本メーカの断念後であれば、この話はまとまらなかったであろう。

1.6 コンクリート用切削ファイバー生産の現状

現在切削ファイバーが生産されているのはこのハレックス社のみである。その後生産は順調に拡大し、生産量は年間10,000tonを越し、主としてヨーロッパとアフリカで使用されているが、すでにそれらの地域ではコンクリート補強用繊維の過半を占めている。

当初心配されたファイバー品質のパラツキや工具寿命の問題も、改良が加えられてほぼ解決した。工具寿命の

問題など、研究開始時点での専門家の予想では30分～2時間、試験生産では数時間、今では24時間にも伸びている。さらに図2のように一つの工具で4辺の切刃が使用できる上、刃の再研磨をすればすりへってしまうまで何回も繰り返して使えるようになっている。

原料は最も安価な連続製造鋼スラブを採用し、生産性を上げるため生産機は工具の往復共切削を行う構造をとっている。現在西ドイツとフランスの2ヶ所の工場で生産されているが、近い将来ソ連とアメリカで生産することが検討されている。また、ヨーロッパでの成功に影響されてか、我が国でもこの切削ファイバーが一部輸入されたり、国内で生産を検討する動きも活発となっている。

多くの競合する生産技術が存在する中で、新しい技術が育っていくのは確かに大変なことである。大学で研究を開始し企業化するまで10年以上を要している。その間何度も消滅する危機が存在した。幸いに多くの方々の努力により何とかその地位は確立したようである。それにしても、日本でギブアップし西ドイツで軌道に乗った差が、主として流通機構と技術者の取り組み方の差に起因することをみるにつけ、新技術の実用化の困難さと同時に、国情の違いをみせつけられたようで複雑な気持ちを禁じ得ない。

2. びりり振動切削ファイバーの製造

2.1 金属極細長繊維への挑戦

コンクリート用鋼繊維の開発研究を行っている過程で、より細い金属短繊維の製造法の開発の要望があることを

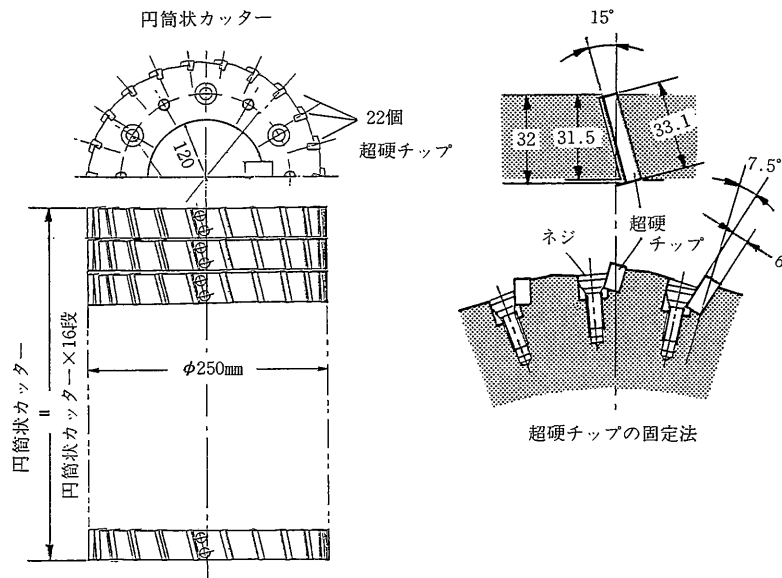


図2 ファイバー製造専用機の工具

知った。コンクリート用は断面積が 0.25mm^2 、直径が 0.5mm 程度である。これを 0.1mm 以下にしてほしいというものである。勿論理論的には可能であり、それなりに切削条件を変え試作してみた。しかし、前述のフライス切削法では当然のことながら切込みを極端に少なくすると、カッタが切込まなくなり滑ってしまう。切刃をシャープにして、高精度の工作機械を使用すれば不可能ではないはずであるが、現有の実験設備では不可能であった。さらに生産性が極端に悪化することもわかり、断念せざるをえなかった。

そのころはじめて入手した金属繊維にステンレス繊維があった。当時kg当り3万円という極めて高価な繊維であり、これを何とか安くしてほしいという要望も出されていた。そこで次に取り組んだのが、旋盤による切削を利用して金属繊維を製造しようというものである。精密旋盤とシングルポイントのバイトを用いてステンレスの丸棒を削っていただき、長く連なった切削切屑を大切な繊維として保管していたこともあった。しかし、シングルポイント工具ではいかにも能率は悪く高価なものとなることもわかった。この切屑を大切に持ち歩いてきたことから、いわゆるスチールウールといわれる金属たわしの存在を知ることとなる。これは引き抜きワイヤを長手方向に切削して、その切屑を繊維とするもので、聞くところによるとおよそ100年の歴史をもつ方法である。それまで切削屑を繊維として活用したのは恐らく世界で初めてではないかといささかうぬぼれていた筆者にとっては、スチールウールの製造法は驚きであった。極めて生産性の高い方法であることを知り、切削による長繊維製造の開発テーマは断念せざるを得なかった。

2.2 せん断型切屑による金属短繊維の製造

その頃筆者の研究室で助手をしていた鈴木清君(現日本工業大学助教授)は、コンクリート用繊維の研究開発でも手伝ってくれていた。彼は切削加工や工作機械に関して経験があり、この金属繊維の研究にも積極的に取り組んでいた。細かい繊維の製造法に関し彼自身も色々な工夫してくれた。その中に切削におけるせん断型切屑を利用して、短繊維を製造しようというものもあった。

丁度その頃アイシン精機(株)より、ブレーキパッドに使われているアスベストに代わる金属短繊維をさがしている話が持ち込まれた。そこでせん断型切屑を利用して短繊維を製造する方法を試みることにした。早速製造し易い黄銅の短繊維を研究室で試作し、ブレーキパッドに混入し、性能評価をしていただいた。今度は最初にしては将来性のある結果が得られ、我々も大いに期待に胸をふくらませ研究のピッチを上げていった。しかしこの方法は簡便ではあるが繊維径を自由に選べないこと、製造できる材料に大きな制約があることなどの問題点があり、繊維製造面での自由度が少ないこともわかり、研究の発

展性に悩むこととなった。そのために昔理化学研究所で実験をみたことのある振動切削からのヒントで、工具を超音波振動させ切屑を分断しようとしていた。このような時期に次に述べるびびり振動切削法が誕生した。

2.3 びびり振動切削法の発見

それは全く偶然の発見であった。実験室の旋盤の刃物台の上に、ほんのわずかの細かい黄銅短繊維がのっていたのである。早速実験担当者である卒論学生に聞いてみると、旋盤の主軸の回転数が遅くなって止まる寸前に、キーという音をたてその時に出来る切屑だと言う。これがびびり発生によって生じており、ヘルバイトを用いれば、その様なびびりが発生し易いことに気づくまでには時間を要しなかった。この重大さに気付くと共に、すぐさまこれまでの研究を中止して、図3のようなびびり振動を利用する研究に切り換えることとなった。考えてみれば、旋盤を止める時普通は刃物を被加工物より離してからスイッチを切るのを、その操作をサボックことでびびりが発生したのである。いわばこのミスがなければこの方法は今でも存在してないかも知れない。色々の方々から、有害なびびり振動を利用するとは素晴らしい逆転の発想であるとのオホメの言葉をいただくが、あの時点で細かい繊維をみれば、誰でも同じ方法に気がついたことは間違いないところである。びびり振動を防ぐ研究をされていた方は、切屑が分断される現象は御存知だったはずである。あらためて問題意識を持って物事を観察することの重要性を認識した次第である。

2.4 びびり振動切削法研究

この方法が発見されて以来研究は加速した。鈴木助手を中心とし、何人かの応援する人も得て、基礎的な系統的な研究が精力的に進んだ。研究の過程で刃物だけが振動する特異なびびり現象で、1回の振動ごとに切刃が離れていること、さらに相手の被加工面が波打っているにもかかわらず同じ切削が繰り返され正確に同一寸法の繊維が安定して得られることも明らかとなってきた。さらに当初心配されていた工具の疲労破損もホルダー形状の変更により解決し、さらに切刃の寿命も連続切削より長

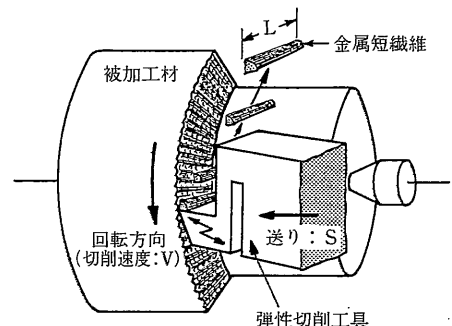


図3 びびり振動切削法による金属短繊維の製造原理

いことなどが明らかとなっていた。

工具はホルダーの固有振動数の約4000Hzで振動し、1秒間に4000本の生産能率で生産されること、さらに加工時に音が発生し極めてうるさい加工法であることもわかってきた。実験中近所の研究室に騒音をまき散らし大いに迷惑をかけたのもその頃である。この研究に熱中した数年間は、それまでの研究生生活の中で最も活発で充実した研究期間であった。ありとあらゆる切削可能な材料が繊維化され、削れる材料は全て短繊維化されることも確認された。

生産方式についても種々の新しい方式を模索したが、結局は最も単純な最初の旋盤切削の方式に落ち着くこととなった。

2.5 びびり繊維の実用化

びびり振動切削法の開発の反響は、予想の通り大きかった。見学者が相次ぎ、皆一様に試作したびびり繊維の美しさに驚たんされた。切削屑のイメージからは遠く、短い繊維は粉末状、長いものはそれなりに見事な繊維に見えた。びびり繊維の生産の申し入れも多く、結局現在国内4社、国外1社で年間で合計400tonほど生産されるに至っている。まだ用途ははっきりしない頃、びびり繊維の取り組み方をみていると、各社の特徴が出て興味深い。大きな期待のもとに広いターゲットに取り組む会社、的を絞って取り組む会社、自社製品とうまく結びつける会社等それぞれである。またある会社では、かなり早い時期に多数の切刃をとりつけると振動がうまく発生しないとの実験結果を得たようで、その技術的なゆきづまりを理由に断念されたのは印象的な出来事であった。もちろんこのような技術的な障害は存在せず、はなはだしい勘違いに基づくものであったが、その会社が最も切削加工に関する優れた専門家をようしており、自信をもって(?)中止されたことは、筆者も技術屋の一人として心にとめておきたい教訓である。

このように、取り組んだ何社かが生産を断念したことでわかるように、この実用化についても決して平坦な道だったとは言えない。大学での研究は活発に行い、それこそ全力投球との状況であったが、全く新しい生産方式を確立するのは、前述のコンクリート用繊維の場合と同じく、実用化に関しては苦労はつきなかった。特に今回のびびり繊維は、用途がはっきりしていなかったこともあり、生産方式を決めるまでが大変であった。一般に実用化するというのは、恐らく大学での基礎研究に比べて、その何倍もの努力を必要とするのが常のようである。我々大学研究者も、実用化には積極的に協力したつもりである。工具設計と製作、機械の仕様決定、繊維材質の選択、さらには宣伝用カタログ作りにもまで関与することとなった。繊維材質など、研究室でたまたま入手しやすいというだけで使っていた材質が、いつの間にか繊維

びびりファイバー

- ①プラスチックに混入
 - 耐摩耗材
 - 導電性プラスチック
 - 電波吸収体
- ②セラミックスに混入
 - 耐火物
 - 型材、鋳型
 - モルタル
- ③繊維冶金
 - FRM
 - 多孔質材
 - 砥石材

図4 びびりファイバーの用途

の標準材となっており、それがまた用途によってはやや不適な材質であることがわかり、急遽別の材質に切り替えたこともあった。我々が試験材料を変えると、直ちに全国の標準材料が変わってしまい、その影響力の大きさに我ながら驚いたものである。

2.6 びびり繊維の機能性複合材料への応用

びびり繊維の応用の中心は、図4のように機能性複合材料といえる。最初に話が持ち込まれ、びびり振動切削ファイバー誕生のきっかけとなった代表的摩擦材であるブレーキパッドに混入する繊維は、びびり繊維に切り替えられた。ブレーキパッドはこれまでアスベストが使われており、アスベスト代替材として金属短繊維が用いられることになったものである。当初鋼繊維が中心であったものが、耐蝕性を増すため銅合金が増えつつある。競合する金属繊維としては、同じく切削法によるスチールウールや銅合金ウール材がある。

これらの開発は、ブレーキパッドメーカーで行われたが、大がかりな評価設備と徹底した調査、長時間にわたる準備は、我々の研究とは異なり、気の遠くなるような開発研究であった。自動車用保安部品の厳しさを、身近に体験する貴重な機会となった。

最近繊維強化セラミックが話題となっているが、これよりかなり早い時期に、筆者らはセラミックスの焼結材にこの金属短繊維を入れて補強することを試みていた。ムライト粉末と鉄粉を焼結して作る通気性セラミック型に、補強用として鉄系びびり繊維が用いられた。この型は今ではプラスチックシートの真空成形用型として広く使用されている。さらにこれが契機となって耐火物、炉材等にも補強用として用いられるようになった。短繊維であるため顕著な強度上昇は認められないが、コンクリートの場合と同じように耐びびり割れ性が向上し、これが耐久性を大幅に増す結果を示すといわれている。

各種金属短繊維が供給されるようになって、繊維を原

料とする粉末冶金, すなわち繊維冶金の開発が行われるようになった。先ずステンレス繊維焼結体のフィルター, さらにニッケル繊維焼結体は電池の電極材として用いられた。特にニッケル繊維は100mm程度の比較的長い繊維が使用されている。さらに鑄鉄繊維は焼結により鑄鉄ボンド砥石の中にも混入されている。

さらにプラスチック材に金属短繊維を混入した導電性プラスチックは電磁波シールド用, 帯電防止の導電床に用いられている。また我々は関与しなかったが, 日本電気㈱で開発された電波吸収体にもびり繊維が使われている。特に電磁波シールド用の導電性プラスチックは筆者らが研究の先鞭をつけた重要な新素材ではあるが, 引き抜き材のステンレス長繊維や銅繊維と競合することとなっている。

おわりに

金属短繊維の生産量が次第に増え, その応用面が拡大するにつれ, ようやくその地位も確立したようであり, この機会に開発の経緯を簡単にまとめさせていただいた。筆者にとっては, このような短かい文章では表すことの出来ない多くの出来事を含む想い出深い研究経過であった。筆者なりの研究の努力はして来たつもりであるが, このようなテーマのきっかけを与えて下さった方々, また研究面や実用化面で優秀な人材に恵まれたことなど,

人との出会いや実験中の偶然の発見を振り返り, 今から思うとツイていたとしか言いようのない研究経過であった。また, この間の研究の着想から開発・実用化に至る貴重な経験は, その後に行われている筆者らの最近の研究にも大いに役立っているように思える。

ともかく, どんなに偶然に助けられ, またどんな苦勞があったとしても, 自らの研究成果が何らかの形で世の中に役立っているのを知るのは研究者にとって最高の喜びである。このような喜びの体験が出来る研究者は幸福である。それがあからこそ, 次への挑戦の意欲もわいてくるのではなからうか。

参考文献

- 1) 中川威雄, 小林一輔: 繊維補強コンクリート用スチールファイバー, 塑性と加工 Vol. 19, No213 p. 842 1978-10
- 2) Production of Steel Fiber by Machining Process for SFRC: (T.Nakagawa, K.Suzuki, A.Yanagisawa,) 3rd International Symposium on Developments in FRC Concrete Proceedings of RILEN Symposium, 1, 1986.7
- 3) びりり振動切削法による金属短繊維の製造: 中川, 鈴木, 植松, 小山, 精密機械 Vol. 47, No11, 1981-11, 1399-1405
- 4) 金属短繊維と複合材料への応用: 中川威雄 生産研究, 37, 11, 427~432, 1985-11