

# 高能率加工から超精密加工、そして機能創成加工へ

東北大学 大学院医工学研究科 厨川常元

## 1. はじめに

この度は、栄えある2020年度精密工学会賞にお選びいただき、誠にありがとうございます。この表彰は、私にとって身に余る荣誉であるだけでなく、精密工学会にお世話になってきたこの30年を振り返る良い機会となりました。本稿では、私が学生だった頃からの加工に関する研究に関して振り返ってみたいと思います(図1参照)。

## 2. 高能率研削; クリープフィード研削

私が4年生で研究室に配属になったときに与えられた卒業論文テーマは“ラップ焼けに関する研究”であった。ラッピング、ポリッシングにより金属材料を鏡面研磨していくと、黒光りしていく、いわゆる“ラップ焼け”を解決せよというものであった。その現象解明と対策を明らかにするために、その当時は導入したばかりの蛍光X線分析装置を使い加工面の表面分析を行った。その結果、黒光りの主な原因は微小な切り屑の物理的な埋め込みであり、加工液に界面活性剤を添加することにより大幅に減少させられることが分かった。

その後大学院に進学したが、そのときのテーマは“クリープフィード研削に関する研究”であった。その当時はクリープフィード研削は一般的でなく、ほとんど文献もなかったが、どうも研削送り速度を極端に小さくし、切込みを大きくして研削する高能率研削であるということだけ分かった。しかし、研究室には

汎用研削盤しかなかったため、低速送りがかけられない、したがって汎用研削盤のテーブルの上に自作の低速送りテーブルを固定し、実験を始めた。その結果、クリープフィード研削においては、全体の研削抵抗は大きい、砥粒切れ刃1個に作用する力は逆に小さくなることが分かった。そして、砥石は目つぶれ気味となること、それを改善するためには極軟砥石を使用することが重要であることが分かった。

学位取得後、1991~92年にかけて米国のコネチカット州立大学の研削研究所に留学する機会を得て、そこでジェットエンジンのタービンブレードのクリープフィード研削の研究を続けた。

## 3. 米国留学

留学生活では大学の雑務から解放されていたため、比較的自由な時間が持てた。そこで、帰国後の研究テーマを探すために、米国内の大学や企業をなるべく多く訪問した。テキサス州にあるブラスト関係の企業を訪問したとき、始めてAJM (Abrasive Jet Machining)という言葉を知って、“これだ!”と直感した。日本の先生がたには、“今更ブラストの研究なんて、50年前にすでにやられているよ”、といわれたが、私にとっては、妙に気になって、頭から離れない。そこで日本に帰国してから、本格的に始めることとした。しかしすぐには研究成果は出ないだろうと考え、研削の研究の2本立てでいくことにした。

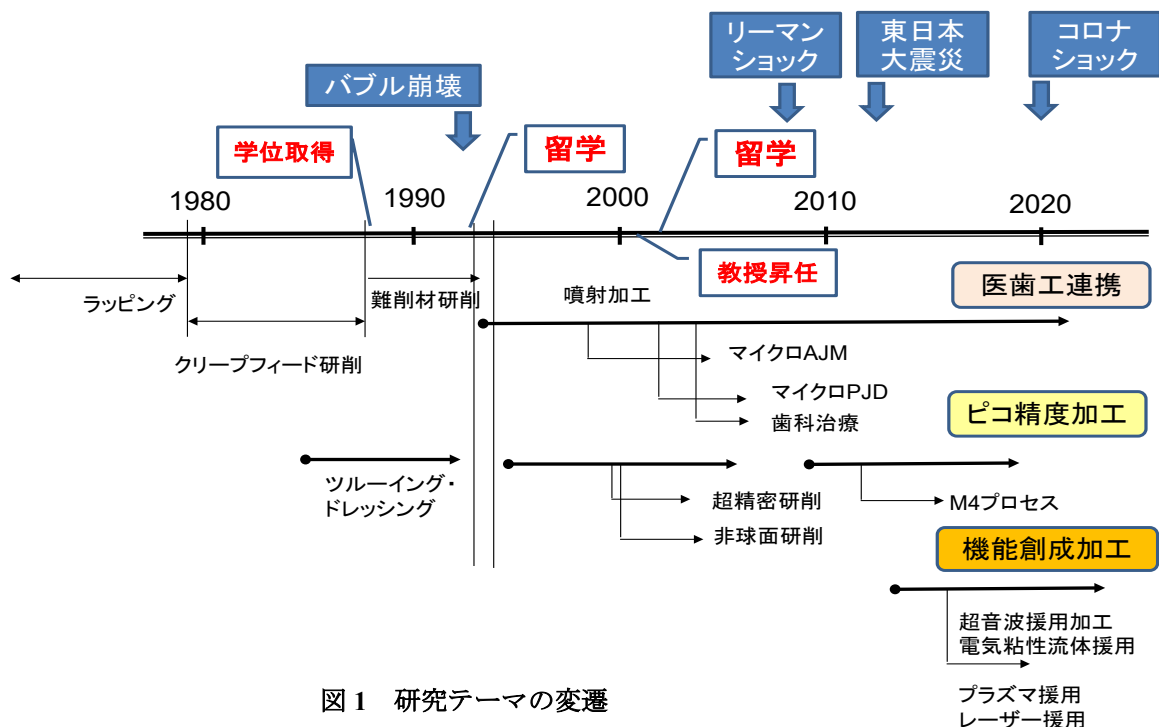


図1 研究テーマの変遷

#### 4. アブレイシブジェット加工

AJMは小径ノズル(内径0.5~2.0mm)から砥粒(直径10~20 μm)を、亜音速まで加速、噴射させて、硬脆材料等を微細加工する方法である。これはイオンビーム加工や電子ビーム加工と同じように、一種の粒子ビーム加工であるから、もし噴射砥粒の個数と速度、噴射領域を制御することができれば、精密加工に使用できると考えた。そこで光学メーカや砥粒メーカと共同研究を始め、デジタル制御方式のAJM装置を開発した。さらに、インクジェットプリンタのインク粒子の代わりに砥粒を複数ノズルから噴射し、ガラス等の表面を機械的にパターンエッチングすることのできるアブレイシブジェットプリンタを開発した。この時に開発した、粒子を精密に噴射させる技術は、後のPJD(Powder Jet Deposition)の開発へと繋がることになる。

#### 5. 超精密研削;非球面研削

一方で、ダイヤモンド砥石を使ってセラミックス材料をクリープフィード研削するために、ダイヤモンド砥石の超精密ツルーイング・ドレッシングの研究を行っていた。その研究の延長で、砥石断面を円弧にツルーイングし、セラミックスベアリングのレース面の研削を行っていた。しかし適用事例がそれだけでは満足がいかなかったので、高精度にツルーイングした円弧断面を別のものに応用しようと考えた。それが非球面研削であった。すなわち、砥石の円弧断面で任意の非球面形状を包絡創成しようとするものである。この“円弧包絡研削法”の開発は、研削点が常に移動するため、砥石摩耗が分散され、その結果として非球面形状の大幅な形状精度向上が達成された。その後、研削面粗さを極端に小さくすることのできる“パラレル研削法”や、非球面形状のムラを減少させる“超安定研削法”を開発した。研究が佳境を迎えた2000年はじめは、ちょうどデジタルカメラへの変革が始まった時期と重なり、複数の光学メーカから採用された。

#### 6. パウダージェットデポジション

AJMの研究から派生した技術として、PJDがあげられる。前述したようにAJMは粒子ビーム加工の一種で、粒子の運動エネルギーを被削材の脆性破壊エネルギーに変換するプロセスと考えることができる。したがってAJMは除去加工であるが、粒子のサイズが異なれば付着加工にもなるのではないかと、想

像していた。研究の結果、粒子のサイズ、噴射速度を変えることにより、除去から付着に遷移することを明らかにした。このPJDを歯科治療に応用し、エナメル質の再構築に成功した。現在では臨床試験も終了し、知覚過敏等の治療に適用されはじめている。さらに将来的には審美歯科や予防歯科に適用を拡大しようとしている。

#### 7. 現在、これからの研究テーマ

非球面加工の研究テーマも2010年頃には少なくなってきた。その頃リーマンショックとも重なり、経済も低迷状況となった。私も次の研究テーマ設定に悩んでいたが、その時に始めたのが、高付加価値加工を目指した機能創成加工とピコ精度加工である。現在ではその応用対象は工業分野のみならず、現在では医学、歯学、薬学、農学等に及んでいる。図2にその一部を紹介する。

#### 8. 最後に

これまで私は、仕事や様々な付き合いの場で数え切れないほど多くの人たちと出会ってきました。上司や先輩の諸氏、同輩や後輩、学生の皆さん、そして企業の研究者、技術者の方々、現場の技能者の方々。たくさんの人たちから多くのことを教わり、さまざまな経験をさせてもらいました。今の自分があるのは、その人たちのお蔭だと思っております。その中でも特に、異分野、異業種の方々との議論や助言が研究テーマ開拓に有益でありました。

本稿が若い研究者たちの参考になれば幸いです。特に異分野の方々とのネットワーク構築とブレンストレーミングを重ね、新しい学術領域、産業分野を開拓してください。皆様方の大いなる発展を期待しております。

➤ 安全・安心・セキュリティ → 国土安全保障Homeland Security  
 ➤ 超高齢化対応技術の開発と国際展開  
 ➤ 高機能化による高付加価値製品の国際展開

<p style="text-align: center;"><b>ピコ精度形状創成</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●位置決め分解能1Å以下のピコ精度加工システムによる形状創成と、サブピコ精度形状測定・サブサーフェース評価。</li> <li>●機能を発現する微細形状創成。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>【キーテクノロジー】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピコ送り分解能装置実現</li> <li>・非接触・非破壊評価</li> <li>・組み立て・実装技術</li> <li>・ピコ精度構造設計、機能設計</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>超大規模・超高速シミュレーション計算科学</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●理論に基づく高精度かつ高速な加工メカニズム解明、材料開発の実現。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>【キーテクノロジー】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マルチフィジックス計算科学シミュレーション技術</li> <li>・スーパーコンピュータ</li> </ul> <p style="text-align: center;">MASAMUNE-IMR</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超高倍率TEMによる原子観察</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>超高機能材料創成</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●組織構造制御で新機能を発現する新材料創成技術を実現。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>【キーテクノロジー】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スピントロニクス材料創製</li> <li>・ナノ構造制御技術</li> <li>・超高純度材料(不純物無し、欠陥無し)</li> <li>・材料強度評価技術(破壊メカニズム、トライボロジー)</li> </ul>
--	---	---



安全・安心・セキュリティ!  
マイクロレンズアレイ高精度化による複眼光学系の鮮明化



内視鏡非球面レンズの高精度化による診断精度向上  
超高齢化対応!



自由田光学電子  
自由田電子・Colorial Film  
島野電子・Isenval A.Ry  
高機能化!  
機能性表面創成  
無反射構造  
防曇構造

図2 ピコテクノロジー基盤高付加価値ものづくり  
(日本学術会議マスタープラン2020)