

# FRPなどの複合材料や硬質材料などのスライシングに対応する高強度な被膜を持つワイヤソーの製造技術を開発。放電堆積加工<sup>(注1)</sup>によりワイヤ切断工具を製作。電解放電加工<sup>(注2)</sup>との複合利用によりワイヤソー単独による切断加工より加工速度と加工品質を向上。

ワイヤソー製造工程で電着の前処理として使われている塩酸等の劇毒物が不要。従来、電着処理装置等のため設備の大きさは従来数十メートル程度のスペースが必要であったが、本技術では30センチ角程度に縮小できる。さらに磨耗した硬質層を再付着させることで芯材がリサイクル可能となる点やワイヤソー製造速度の向上も期待でき、高価なダイヤモンド砥粒を使わない新しい低コストなワイヤソーを製造する技術。

- 従来のニッケル電着による固定砥粒ワイヤソー<sup>(注3)</sup>の製造法を放電堆積加工にすることで、劇毒物の使用が不要となり製造現場の労働安全環境の向上、製造廃棄物（劇毒物やさまざまな薬品の廃液処理）の減少などが期待できる。さらに、電解放電加工との複合利用によって加工速度、加工品質が向上。

## 競合技術への強み

|                          | 加工速度<br>(仮)                 | 切断能力<br>と耐久性   | 耐熱性  | 砥粒層の<br>パターン  | 芯材   | 製造装置<br>の費用               |
|--------------------------|-----------------------------|--|--|---|--|---------------------------|
| ①ニッケル電着ワイヤソー<br>(従来技術)   | △<br>目詰まりしやすい材料では加工速度は遅くなる。 | ○<br>ダイヤモンドは付着させている質であるため、磨耗が少ない。ただし、鉄系の材料とは化学的親和性が高い。ダイヤモンドとの化学反応により磨耗が激しくなる。 | ×<br>ダイヤモンドは1455℃である。融点まで上昇しなくても、切削時の温度の上昇のため、ダイヤモンドが脱落する可能性がある。 | △<br>断続的な砥粒層を形成するのにかかる時間がかかる。そのため、目詰まりが起りやすい材料には適さない。 | △<br>ピアノ線 <sup>(注4)</sup> を使用している。残存した砥粒層をいったん除去しない一般的な砥粒層を形成できないため、前処理に手間がかかり、リサイクルは非常に困難である。 | △<br>使用する <sup>(注5)</sup> |
| ②放電堆積加工によるワイヤソー<br>(本技術) | ○<br>目詰まりしやすい材料でも加工速度は速い。   | △<br>通常の切削工具に用いられるタングステンカーバイドで被覆されているため、ダイヤモンドまでは至らないが、十分な切断能力がある。             | ○<br>タングステンカーバイドの融点は2800℃以上である。                                  | ○<br>任意の砥粒層パターンを形成できる。そのため、目詰まりの回避が可能になる。             | ○<br>切断加工に使用したままの状態での再形成できる。そのため、①より高価なステンレスを使用するが、リサイクルは非常に容易である。                             | ○<br>使用しない                |

▲固定砥粒によるワイヤソー（従来技術）と放電堆積加工によるワイヤソー（本技術）の比較

- ①圧力的なスケールメリット：現在の製造設備では、ワイヤソーを塩酸などの劇毒物やさまざまな薬品の中を進ませて砥粒を付着させるため、少なくとも数十メートル程度の大きさが必要となる。しかし、新開発の設備では放電設備と小型電極送り機構のみで済むため、30センチ角、高さ40センチ程度で済む。
- ②ワイヤソー製造工程に劇毒物を使用する必要がない：現在の設備は塩酸などの薬品による悪臭の対策が必要であるが、本技術ではそれら劇毒物の使用が不要。
- ③ワイヤ工具芯線のリサイクルが可能
- ④放電加工油にチタン粉末を混入する手法を用いると、薄板電極を用いて狙った場所に硬質層を形成することができる。そのため、ランダムや千鳥配列などの任意の堆積パターンを形成できる。また、堆積加工時間を変化させることで、堆積層の厚さを制御できる。そのため、切削高さを制御することもでき、その結果、目詰まりしやすい材料への適用が可能となる。また、堆積層は、タングステンカーバイドやチタンカーバイドのような硬質材料であるため砥粒保持力も向上している。

## ここがポイント

現在は、ダイヤモンド砥粒をニッケル電着によりピアノ線に付着させたダイヤモンドワイヤソーが主流であるが、本研究で開発した放電堆積加工によるワイヤソーは、通常の切削工具に用いられる材料であるタングステンカーバイドで堆積層が形成されているため、ダイヤモンド砥粒を含まなくても切断能力があるという特徴がある。また、砥粒を付着させている電着層の機械的強度、耐熱性も切断能力向上にとって重要になるが、この点ではダイヤモンドワ

イヤソーよりも優れている。したがって、切断対象の材料によっては大きなメリットが期待できる。ただし現時点ではシリコンやガラスの切断においては、ダイヤモンドワイヤソーよりは切断能力、耐磨耗性が相当低いという課題がある。しかし、電解放電加工との複合化によって加工速度、加工品質を向上できる可能性が実験により見出されている。今後さらに研究を進めることにより、ダイヤモンドワイヤソーに匹敵する性能を出すことを目指している。また、製造方法や装置に関しては、製造装置の小型化、工具芯材のリサイクル化、劇毒物の不使用というメリットもある。

## ブレイクスルーへの道のり

2002年：文部科学省私立大学高度化推進事業ハイテクリサーチセンター「宇宙ロボティクス研究センター」のテーマのひとつとして、難削材の研削加工をターゲットに液中放電を利用した砥粒層の形成法を開発。

2003年：惑星探査用小型振動破砕機の工具としての適用可能性を検討する。（当初はワイヤソーへ適用する着想はなかった）

2004年：技術動向調査によりシリコンインゴットの切断が固定砥粒ワイヤソーに移行していること、また現状のワイヤソー製作現場の環境が劣悪であることを知り、放電加工によるワイヤソー製作への適用可能性を検討。

2005年：ワイヤソー製作とその応用として、平成17年度第1回公募の産業技術研究助成に採択。電気加工学会全国大会の研究発表によって知り合った企業から製造方法に関する問い合わせがあり、共同研究にいたった。

2006年：NEDOの知的財産専門家派遣・支援制度により特許申請に関するアドバイスを受ける。NEDOの広報支援を受けて、イノベーションジャパン2006（東京国際フォーラム）で技術紹介の講演をした。全日本科学機器展in東京（東京ビッグサイト）セミコンジャパン2006（幕張メッセ）に出展した。惑星探査機器への応用に関する検討を開始した。

2007年：NEDOの広報支援を受けて、マイクロマシン展2007（東京ビッグサイト）に出展。そこで知り合った企業から素材切断の問い合わせがあり、現在検討を継続中である。その他の企業からも引き合いが開始した。

## ■サクセス・キー

●国内外の講演会で研究成果を発表するとともに展示会にも出展し、さまざまな分野に展開するために、毎回異なる展示会に出展した。また、そこでの情報収集も行き、新たな用途を探索した。

●研究従事者から極端に少ないため、研究補助者として学生だけでなく、設計、製造部門における経験が

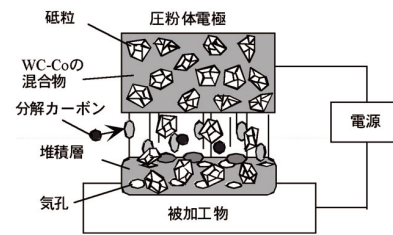


図1. 放電堆積加工を利用した砥粒層形成法の原理

豊富な企業を引退したベテラン技術者を雇用し、活躍してもらった。

## ■ネクスト・ストーリー

マイクロマシン展2007の出展の際に知り合った企業から素材切断の問い合わせがあり、現在も検討を継続中である。その他の企業からも引き合いが開始して、本テーマ以外の事項に関しても共同研究、情報交換が進みつつある。

また、連携企業以外からもさまざまな素材の切断可能性の問い合わせがあり、当初のターゲットであった硬脆材料<sup>(注6)</sup>（シリコンインゴット等）以外の切断対象として、たとえば繊維強化樹脂（FRP）などにも拡大する予定。さらに、惑星探査機器への応用に関する検討も開始している。

今後、電解放電加工以外の電気加工法との複合化、3次元形状加工やワイヤ切断工具製作速度のさらなる向上に向けて、加工機の要素技術や構造を含めて研究を進めていく予定である。

(注1) 放電堆積加工：図1にタングステンカーバイド（WC）とコバルト（Co）粉末を混合し圧縮成形したベレットを電極として用いた放電加工により砥粒を含んだ硬質層を形成する方法の原理を示す。

(注2) 塩化ナトリウムや水酸化ナトリウム水溶液などの電解液に浸したガラスやセラミックスなどの絶縁性材料の工作物に、陰極である工具電極先端を軽く押し付ける。40V程度の電圧を印加すると、工具電極表面全体が気泡に覆われる。その中で発生する放電の熱によって、工作物と電解液との化学反応が促進されることにより加工が進む。

(注3) ワイヤソーには遊離砥粒ワイヤソーと固定砥粒ワイヤソーがある。遊離砥粒ワイヤソーは、復著するピアノ線に砥粒を混入したスラリをかけたままから切断する。ワイヤの動きに引きずられるように砥粒が運動し、被加工物表面を切削・除去していく。固定砥粒ワイヤソーは、ピアノ線にニッケル電着（ニッケルを陽極とし、ニッケルイオンが含まれる水溶性中に被処理材のピアノ線を浸漬させる陰極とし、直流電流をかけて電着する方法）などで砥粒が強固に付着されており、それを刃切としてのごきりのように切断する。

(注4) ピانو線は炭素含有量が0.8%程度の鋼線である。

(注5) ニッケルの密着性を上げるために銅系金属をあらかじめめっきする場合には、さらにはほかの薬品も必要になる。

(注6) 硬くて磨りやすい材料のこと。シリコンインゴット、ガラス、セラミックス、岩石等が相当する。



プロジェクトID・研究テーマ名・年度  
05A33004a「液中放電堆積加工によるワイヤ工具の高速製作法とそれを用いた加工法の開発」  
(研究期間：平成17年7月～平成20年6月)  
代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名  
古谷 克司 豊田工業大学工学部先端工学基礎学  
教授