

# 切削加工におけるオイルレス極少量潤滑技術に関する研究

## -アルギン酸ナトリウムの潤滑効果について-

梶本英嗣\*

### A Study on the Oilless-Minimum Quantity Lubrication in Cutting -Effects of Lubricity with Aqueous Sodium Alginate Solution- Eiji Sugimoto

本研究では切削加工におけるアルギン酸ナトリウム水溶液の潤滑効果について調査を行った。アルギン酸ナトリウムと分解したアルギン酸ナトリウムを用いて加工実験を行い、アルギン酸ナトリウムは潤滑効果を持たないこと、分解したアルギン酸ナトリウムが若干の潤滑効果を持つことを確認した。

#### 1. 緒 言

現在切削加工の一部において行われている MQL (Minimum Quantity Lubrication) は従来の大量の加工液に代り、オイルミストを圧縮空気と共に加工点に供給するセミドライ加工である。MQL は従来の湿式加工で必要となる加工液の濾過循環用ポンプを必要とせず、加工液の廃液処理も求められないことから、コストダウンと環境低負荷を実現した。しかし、MQL は冷却効果に優れないため、更なる提案が求められている。

そこで本研究では、更なるコストダウンと潤滑・冷却性能の向上を目的として、オイルに依存しない水ベースでの極少量潤滑技術の確立を目指し研究を行った。ここではアルギン酸ナトリウムの潤滑効果について検討した結果について報告する。

#### 2. 切削現象における潤滑

加工現象は工具と被削材の接触・摩擦を伴う現象として説明される。ストライベック曲線<sup>1)</sup>は摩擦し合う物質の潤滑状態を表し、潤滑状態を流体潤滑、混合潤滑、境界潤滑の3種類に大別している。図1にストライベック曲線の概念図を示す。加工現象において起こりうる潤滑状態は境界潤滑であると言われている。そして境界潤滑における潤滑液の支配因子は粘性ではなく、化学的特性、界面化学的特性、表面物理的特性である<sup>2)</sup>。また、切削現象における潤滑は、工具と被削材の摩擦面への加工液の侵入、そしてせん断強度の低い潤滑膜あるいは何らかの反応生成膜の形成によって成り立つと考えられている<sup>3)</sup>。これらから加工液に求められる機能は、まず被削材表面に広がるための濡れ性を持ち<sup>4)</sup>、物理的または化学的に吸着する潤滑膜を形成することである。従来技術のオイルベースの加工液は、金属に対する濡れ性に優れるのに対し、水は金属に対する濡れ性に乏しく摩擦面に浸透し難い。水ベースのオイルレス極少量潤滑を想定した場合、まず水の濡れ性の悪さが問題となる。現在電解還元水を用いたエンドミル加工<sup>5,6)</sup>や、

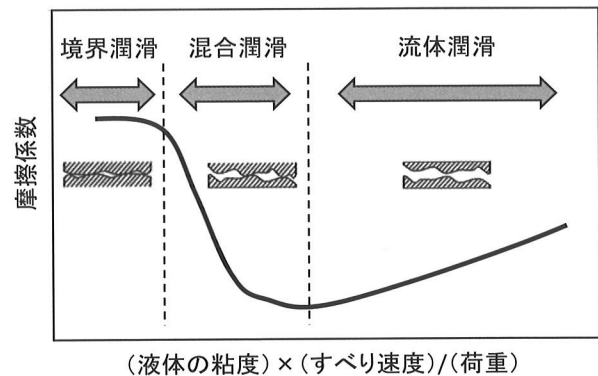


図1 ストライベック曲線の概念図

MQL に水を併用した研究結果<sup>7)</sup>などが水ベースの加工液を用いた切削加工の研究として報告されている。しかし、水ミストの濡れ性に着目した研究は見受けられない。

一方で磯部らはアルギン酸ナトリウムを用いた粘性水溶液のミストを研削加工において使用し良好な結果を得ている<sup>8-10)</sup>。これは水溶液の粘性が加工点において何らかの効果を発現した可能性を示唆するものである。粘性は先に述べたように加工現象において支配因子ではない。しかし、従来の知見の多くはオイルベースの加工液についての研究により得られたものである。そこで粘性と濡れ性を付加した水ミストを用いて加工特性を調査し、濡れ性が支配因子であること、粘性が従来の知見通り支配因子で無いことを確認した<sup>12)</sup>。これにより、磯部らのアルギン酸ナトリウムの潤滑効果は粘性による効果ではないと推察される。また、磯部らが行った実験は研削加工での結果である。研削加工の加工点温度は磯部らの実験において 250℃程度まで上昇したと報告されている。摩擦現象における温度の高さは重要な要素であり、磯部らの結果は加工点温度の高さに関係があるのではないかと考えられる。有機物の分解した残渣が摺動部においてわずかながら潤滑性を持つことは良く知られている。アルギン酸ナトリウムは褐藻に含まれる多糖類である。よってアルギン酸ナトリウムは研削加工の加工熱により分解することが予想され、分解したアルギン酸ナトリウムが潤滑効果を発揮した可能性が考えられる。

\*企業支援部加工技術グループ

### 3. 実験方法

#### 3・1 加工実験

アルギン酸ナトリウムが分解することで潤滑性を発揮する可能性を検証するため、アルギン酸ナトリウムと分解したアルギン酸ナトリウムの潤滑性を加工実験で評価した。図2に実験装置の概略図を示す。実験は立形マシニングセンタによる切削加工で行った。被削材はアルミ合金 A5052 を使用した。工具はハイス4枚刃フラットエンドミルを使用した。加工点へのミスト供給と供給量の制御はミスト供給装置を用いて行った。表1に加工条件を示す。工具摩耗はこの条件においてほぼ進行しない。加工点温度も水ミストの場合 30~35°C程度<sup>12)</sup>となる。工具摩耗が進行せず、加工点温度も大きく変化しないため、加工液の潤滑効果を安定して評価することができる。

#### 3・2 切削抵抗測定

潤滑効果は加工中の切削抵抗によって評価した。切削動力計はマシニングセンタのテーブル上に固定し、被削材は切削動力計上に固定した。加工中に被削材にかかる切削抵抗は切削動力計で測定した。測定した切削抵抗はXY方向2成分の電圧信号としてアンプを介し、データロガーに保存した。保存した電圧信号は実験後にXY方向それぞれの切削抵抗として算出した。

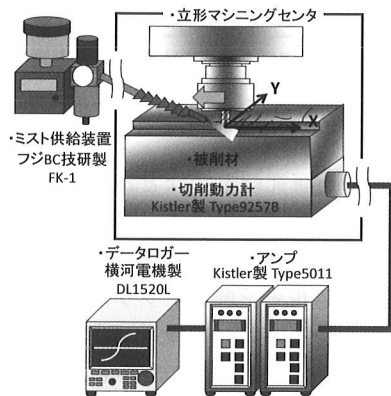


図2 実験装置の概略図

表1 加工条件

加工機	立形マシニングセンタ (日立精機製 VKC-45)
被削材	アルミ合金(A5052)
工具	ハイス4枚刃フラットエンドミル 刃径: $\Phi 8\text{mm}$ 刃長: 20mm ねじれ角: 30deg. コーティング: 無し (三菱日立ツール製 4ESMR8)
切削方式	ダウンカット側面切削
主軸回転数[ $\text{rpm}$ ]	2800
テーブル送り速度[ $\text{mm}/\text{min}$ ]	630
切削速度[ $\text{m}/\text{min}$ ]	70
1刃辺りの送り量[ $\text{mm}/\text{tooth}$ ]	0.056
軸方向切り込み量[ $\text{mm}$ ]	12
径方向切り込み量[ $\text{mm}$ ]	0.4
試験水溶液	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルギン酸ナトリウム水溶液 (アルギン酸ナトリウム+イオン交換水) 濃度: 0.4[wt%], 1[wt%], 2[wt%] 供給量: 16[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]~96[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]</li> <li>イオン交換水 供給量: 4[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]~96[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]</li> <li>MQL用オイル フジBC技研製LB-10 供給量: 0.5[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]~32[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]</li> <li>アルギン酸ナトリウム水溶液(分解後) (アルギン酸ナトリウム(分解後)+イオン交換水) 濃度: 0.4[wt%] 供給量: 1[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]~96[<math>\text{ml}/\text{h}</math>]</li> </ul>

### 4. 実験結果

#### 4・1 アルギン酸ナトリウムの潤滑性と濃度の関係

イオン交換水にアルギン酸ナトリウムを添加し 0.4wt%, 1wt%, 2wt%のアルギン酸ナトリウム水溶液を作成した。それぞれのアルギン酸ナトリウム水溶液を加工点にミスト供給し、切削抵抗を測定した。供給量は加工点において水分が蒸発しきらないように比較的多めの 96 $\text{ml}/\text{h}$  に設定した。図3にアルギン酸ナトリウム濃度と切削抵抗の関係を示す。各濃度における切削抵抗はほぼ同じであった。またイオン交換水に対してアルギン酸ナトリウム水溶液は若干悪化した。

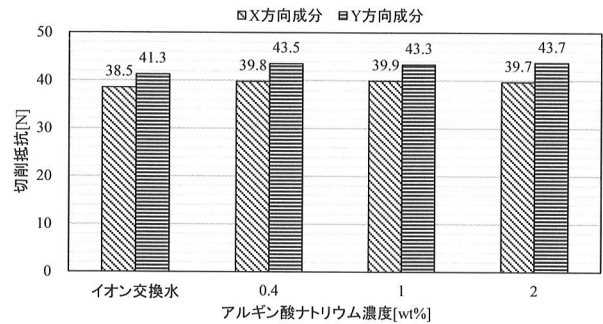


図3 アルギン酸ナトリウム濃度と切削抵抗の関係

#### 4・2 アルギン酸ナトリウムの潤滑性と供給量の関係

アルギン酸ナトリウム水溶液 0.4wt%を用いて供給量を変化させた際の切削抵抗を測定した。供給量は 16~96  $\text{ml}/\text{h}$  とした。図4にアルギン酸ナトリウム水溶液の各供給量における切削抵抗を示す。参考までにイオン交換水とオイルミストでの結果も示す。アルギン酸ナトリウム水溶液はオイルミストには全く及ばず、イオン交換水よりも切削抵抗が悪化した。よってアルギン酸ナトリウムは潤滑性を持たないと言える。

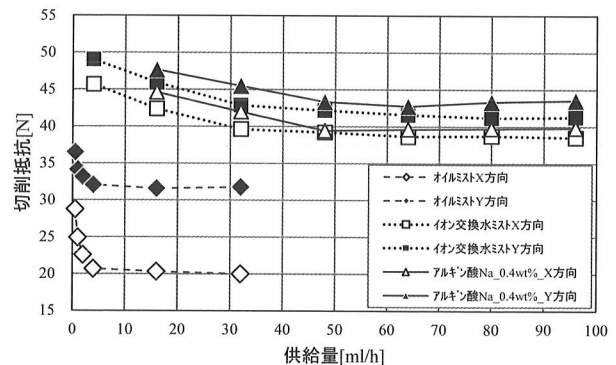


図4 アルギン酸ナトリウム水溶液の各供給量における切削抵抗

#### 4・3 分解したアルギン酸ナトリウムの潤滑性

分解したアルギン酸ナトリウムが潤滑性を持つ可能性を調査するため、分解したアルギン酸ナトリウムを用いて加工実験を行った。分解したアルギン酸ナトリウムは、アルギン酸ナトリウムを 200°Cで十分加熱することによって作成し、イオン交換水に添加して 0.4wt%の水溶液を作成した。作成した水溶液は各供給量で加工点に供給し、加工実験を

行い、切削抵抗を測定した。供給量は1~96ml/hとした。図5に分解したアルギン酸ナトリウムの各供給量における切削抵抗を示す。分解したアルギン酸ナトリウムは全供給量においてアルギン酸ナトリウムよりも切削抵抗が若干改善され、また50ml/h以下の供給量においてイオン交換水よりも低い切削抵抗を示した。よって分解したアルギン酸ナトリウムは若干の潤滑性を持つと思われる。

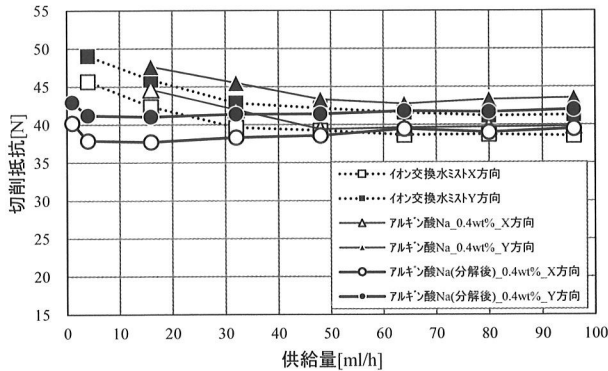


図5 分解したアルギン酸ナトリウムの各供給量における切削抵抗

### 5. 考 察

図6にアルギン酸ナトリウムの熱分解温度曲線を示す。図6の曲線Cがアルギン酸ナトリウムの熱分解曲線である。アルギン酸ナトリウムの分解温度は187.5℃であり、それ以上の温度において急速に分解する<sup>13)</sup>。磯部らの行った実験における加工点温度は250℃程度であるため、アルギン酸ナトリウムの大部分が分解していると予想される。また本実験結果より、アルギン酸ナトリウムが潤滑性を持たないこと、分解したアルギン酸ナトリウムが若干の潤滑性を持つことから、磯部らの研究におけるアルギン酸ナトリウムの潤滑効果は、研削加工の加工熱によってアルギン酸ナトリウムが分解され、若干の潤滑性を持つ物質に変化することで発現したものと考えられる。水ミストを用いたアルミ合金の切削加工の加工点温度は30~35℃程度であり<sup>12)</sup>アルギン酸ナトリウムの分解温度に達しない。よってアルミ合金の切削加工において潤滑効果は発現しない。しかし加工点温度の高い鉄系材料の切削加工においては若干の効果が発現すると思われる。アルギン酸ナトリウムでの潤滑効果はわずかであるが、加工点で積極的に分解させることは、

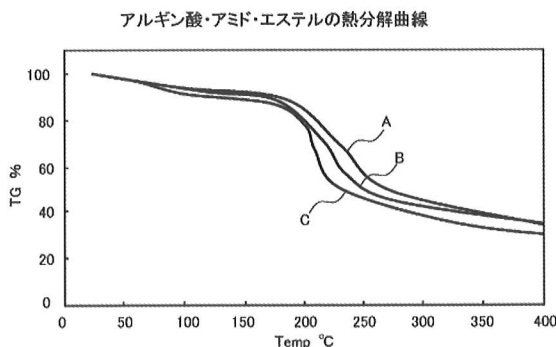


図6 アルギン酸ナトリウムの熱分解温度曲線 (特開 2006-96948号より引用)

蒸発を伴う水ミストとの相性も良く、より潤滑性を発揮する物質が見つれば水ベースの極少量潤滑技術の実現可能性が高まると思われる。

### 6. 結 言

本研究では切削加工におけるアルギン酸ナトリウム水溶液の潤滑効果について、アルギン酸ナトリウムと分解したアルギン酸ナトリウムを用いて加工実験を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) アルギン酸ナトリウムは潤滑性を持たない。
- 2) 分解したアルギン酸ナトリウムは若干の潤滑性を持つ。

### 参考文献

- 1) (社)日本機械学会：機械工学便覧デザイン編β4 機械要素・トライボロジー，丸善，p.162(2005)。
- 2) 桜井俊男：新版潤滑の物理化学第二版，幸書房，p.29(1983)。
- 3) 山本明，鈴木音作：潤滑油剤とその効果，朝倉書店，p.83(1966)。
- 4) 山本雄二，兼田楨宏：トライボロジー，理工学社，p.16(1998)。
- 5) 佐藤運海，竹ノ内敏一，原宏，山崎隆夫，若林信一：電解還元水を用いた炭素鋼のエンドミル加工，日本機械学会論文集C編，71(710)，pp.228-234(2005)。
- 6) 佐藤運海，竹ノ内敏一，原宏，若林信一：電解還元水を用いたアルミ合金のエンドミル加工，日本機械学会論文集C編，72(722)，pp.328-335(2005)。
- 7) 若林利明，柿原徹，久原淳司，熱田俊文，佃昭，柴田潤一，千本木紀夫，須田聡：アルミニウムのMQL加工におよぼす水の効果，2011年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.321-322(2011)。
- 8) 磯部佳成，加藤泰生：研削加工時における水ミスト冷却が被加工物へ及ぼす効果に関する研究 第2報：水ミスト成分と測定温度の関係について，ABTEC2007 砥粒加工学会学術講演会講演論文集，pp.197-200(2007)。
- 9) 磯部佳成，加藤泰生：研削加工時における水ミスト冷却が被加工物へ及ぼす効果に関する研究(水溶性潤滑における多糖類の効果)，ABTEC2008 砥粒加工学会学術講演会講演論文集，pp.349-350(2008)。
- 10) 磯部佳成，加藤泰生：研削加工時における水ミスト冷却が被加工物へ及ぼす効果に関する研究(水ミスト特性の影響について)，ABTEC2009 砥粒加工学会学術講演会講演論文集，pp.81-84(2009)。
- 11) 磯部佳成，加藤泰生：研削加工時における水ミスト冷却が被加工物へ及ぼす効果に関する研究(水溶性潤滑の冷却効果について)，ABTEC2010 砥粒加工学会学術講演会講演論文集，pp.29-30(2010)。
- 12) 根本英嗣：山口県産業技術センター研究報告，26，pp.1-4(2014)。
- 13) 吉田健太郎，親里由美子：「高分子材料およびその製造方法」，特開 2006-96948号。