環境対応型の水溶性切削油剤 ——その開発動向——*

岩田重広**

Trend of Environmental Water Miscible Cutting Fluids/Shigehiro IWATA

Key words: metal working fluids, coolant, environmental water miscible cutting fluids, full synthetic type, nitrogen free type

1. はじめに

21世紀を迎え、生産現場に目を移してみると、バブル経済崩壊後から長く続く不況により、加工ラインの集約や高速、高送りなどによる加工時間の短縮など生産性の合理化が急速に進められてきている。そのため切削油剤は、以前より過酷な加工条件で 사용되는こともまれではなく、より高性能化が求められている。

また、切削油剤に関する環境問題が指摘され、その対策として油剤を使用しないドライ加工、もしくは非常に少量しか使用しないMQL (Minimal Quantity Lubricant system, 極微量切削油供給方法) 加工が検討されるようになっていく。

しかし、切削油剤を使用しないために発生する新たな環境問題、例えば、切りくず等の粉塵の発生などについては別途考慮する必要がある。

生産現場では、切りくずを大量の切削油剤にて物理的に流して回収することが多い。そこで油剤の流量を絞ったり、必要なときのみ流すようにして、ポンプの消費電力を削減しているユーザもある。消費電力を削減することは、発電時における環境負荷、例えば、火力発電所での排気ガスの削減などにつながる。このように切削油剤の使用方法を見直すだけでも、環境対応のひとつになる。

油剤メーカーでは、このような使用方法の改善だけでなく、切削油剤の開発改良により環境問題を解決するため、

さまざまな取り組みを行っている。

本稿では、切削油剤の環境問題を整理するとともに、水溶性切削油剤における環境対応型製品の開発動向について解説する。

2. 水溶性切削油剤について

2.1 水溶性切削油剤の種類とその成分

切削油剤は、鉱油を主成分とし原液のまま使用する不水溶性切削油剤と、水に希釈して使用する水溶性切削油剤に大別される。さらに水溶性切削油剤は、希釈した際の外観によって分類される。切削油剤のJISによる分類でA1種は、希釈液外観が牛乳のように白濁しているものであり、一般にエマルジョンタイプと呼ばれる。A2種は、半透明もしくは透明でソリュブルタイプ、A3種は、透明でありソリュションタイプと呼ばれる。これら水溶性切削油剤の成分、組成例を表1に示す¹⁾。

なお後述するが、最近その使用が拡大しているシンセティックタイプの水溶性切削油剤は、一般に潤滑成分として合成潤滑剤を使用したものである。そのため、A1種、A2種およびA3種に対応したものがあり、それぞれを、シンセティックエマルジョン、シンセティックソリュブルおよびシンセティックソリュションと呼ぶ。

2.2 切削油剤の効果

切削油剤の効果は、

(1) 潤滑作用

工具と加工物または切りくずとの間でおこる摩擦を抑制し、切削抵抗や工具摩耗を軽減する作用。

(2) 冷却作用

摩擦や加工物の塑性変形に伴う熱を奪い、熱膨張による精度不良の抑制や工具摩耗を軽減する作用。

(3) 切りくず処理ほか

であると考えられている。

* 原稿受付 平成14年4月1日

** ユシロ化学工業株式会社技術本部 (神奈川県高座郡寒川町田端1580)
1984年愛知工業大学応用化学科卒、同年ユシロ化学工業株式会社入社。1997年YUMA Industries Inc (米国)へ出向。2001年より現職。入社以来、主に切削油剤の開発に従事。

表 1 水溶性切削油剤の JIS による分類と機能、成分および組成例¹⁾

種 類		A 1 種 (エマルジョン) 質量%	A 2 種 (ソリュブル) 質量%	A 3 種 (ソリュション) 質量%
項 目	機 能	成 分		
潤滑性		鉱油(合成潤滑剤)*	50~80(50~80)	0~30(5~30)
		脂肪油, 脂肪酸	0~30	0~20
		極圧添加剤	0~30	—
乳化・可溶化・浸透		界面活性剤	10~40	5~20
さび止め性		有機インヒビタ	0~5	5~10
		無機インヒビタ	0~5	0~10
		非鉄金属防食剤	1 以下	1 以下
さび止め, 耐腐敗性		アルカリ(有機, 無機)	0~10	10~40
耐腐敗性		防腐剤	1 以下	1 以下
消泡性		消泡剤	1 以下	1 以下
その他		水	0~10	5~40
適用加工例		非鉄, 鋳鉄, 鋼 の切削, 研削加工	非鉄, 鋳鉄の切 削加工, 鋼の切 削, 研削加工	鋼の切削, 研削 加工

※シンセティックタイプの場合は、鉱油の代わりに()内に示す量の合成潤滑剤が添加されることを表す。

摩擦や熱、切りくず処理の問題を、比較的容易にかつ経済的に解決する方法としては、切削油剤が最も優れていると考える。

3. 水溶性切削油剤と環境問題

切削油剤の環境問題とその課題について、図 1 に示す¹⁾。

切削油剤が関与する環境問題は、大きく 2 つに分けることができる。ひとつは、地球規模での環境保護であり、もうひとつは、油剤を使用している作業現場の環境改善である。地球規模での環境保護については、塩素、窒素および PRTR 法対象物質などに代表される有害物質の削減、水溶性切削油剤の廃水処理性の向上やロングライフ化による廃液量の削減が挙げられる。作業環境の改善については、ミストの抑制や腐敗による悪臭の防止、また機械周りの汚れの低減などが要望されるようになった。

図 1 切削油剤の環境問題とその課題¹⁾

4. 環境対応型水溶性切削油剤の開発動向

4.1 ダイオキシン問題

塩素化パラフィンに代表される塩素系極圧添加剤は、安価でかつ非常に優れた切削性を有することから、切削油剤、主に不水溶性切削油剤に多用されてきた。しかし、塩素化パラフィンを含む油剤を焼却処理した場合、焼却条件によっては、毒性の強いダイオキシンが発生する可能性が指摘されている。

水溶性切削油剤では、塩素に代わる潤滑添加剤、例えば硫黄系極圧添加剤や合成潤滑剤等に変更された、塩素フリー油剤が開発されている。

なお、2000 年 12 月に切削油剤の JIS が改正され塩素系添加剤を含む不水溶性および水溶性切削

油剤は、JIS 規格外になった。

4.2 PRTR 法などの法規制

生産現場では、さまざまな化学物質が使用されている。この化学物質が環境へ排出された場合の影響についてはいまだ不明なものが多いことから、化学物質の使用を規制するいままでの環境規制法では、十分な対応ができなくなってきた。そこで、特定の化学物質を使用する事業者で自主的に管理を行い、環境への影響を低減することを目的に、PRTR 法が制定された。PRTRとは、「Pollutant Release and Transfer Register」の略称であり、日本名では、「特定化学物質の環境への排出量の把握および管理の改善の促進に関する法律」となる。

PRTR 法で、第 1 種指定化学物質として 354 種、第 2 種指定化学物質として 81 種が指定された。さらに、第 1 種指定化学物質のうち、発ガン性が明らかな 12 物質については、特定第 1 種指定化学物質として指定された。

特定第 1 種指定化学物質は、製品中に 0.1 wt % 以上、その他の第 1 種指定化学物質は、1.0 wt % 以上含む場合に、その製品について、MSDS (Material Safety Data Sheet, 化学物質安全性データシート) の交付とともに、指定化学物質の環境への排出量および廃棄物としての移動量を報告する義務がある。第 2 種指定化学物質を含む製品については、MSDS の交付のみ必要である。詳

しくは、環境省のホームページなどを参照していただきたい。

切削油剤では、発ガン性のある特定第1種指定化学物質は、使用されることはないが、第1種指定化学物質のうち、表2に示す物質が水溶性切削油剤に使用されることがある²⁾。表中のアミノエタノール類は、凝集処理等で除去できないため、水質汚濁（高COD値、高BOD値、富栄養化）の原因になる可能性がある。なおCODは、Chemical Oxygen Demand（化学的酸素要求量）、BODは、Biochemical Oxygen Demand（生物化学的酸素要求量）の略であり、ともに水質汚濁の指標として用いられている。

ホウ素およびその化合物は、水溶性切削油剤のさび止め性添加剤、抗菌剤として使用されている。排水中のホウ素量について、滋賀県等ではすでに規制されていたが、昨年7月の水質汚濁防止法の改正に伴い、全国的に規制されるようになった。

ポリオキシエチレンノニルフェニルエーテルやポリオキシエチレンアルキルエーテルは、水溶性切削油剤に使用されている界面活性剤の一種であり、浸透性、洗浄性および乳化性に効果を示すものである。前者は環境ホルモンの疑いから、後者は水生生物に対する生態毒性の面から指定物質になったものである。

PRTR法で指定された化学物質は使用禁止物質ではないとはいえ、大気汚染や水質汚濁など環境への負荷が大きいと判断された物質であることから、使用しないことが望ましい。このことから、油剤メーカは、PRTR法での指定物質を含まない製品を開発している。

4.3 アミンフリー油剤および窒素フリー油剤

水溶性切削油剤に含まれる窒素化合物として、アルカリ性物質のアルカノールアミン等が挙げられる。このアミンは、防さび、腐敗の抑制、pHの維持などに高い効果を示す。

また、水溶性切削油剤に不可欠な界面活性剤のひとつである脂肪酸せっけんの成分でもある。またアミン以外にもさまざまな窒素化合物が、防腐剤、防さび剤および界面活性剤等として含まれる。

水溶性切削油剤の廃液は、一般に硫酸バンド等の凝集剤を添加して生じた油分や凝集物を系外へ取り除く化学的処

理方法、いわゆる凝集処理を行い、廃液のCOD値やBOD値を低下させる。ただしアルカノールアミンは、上記の処理方法では除去が困難であり、高COD値や富栄養化といった水質汚濁の原因になりかねない。このことにより、常に油剤のCOD値、BOD値を軽減する努力は行われている。

それと並行して、大幅にCOD値を減らし、かつ富栄養化の原因となる窒素含有量ゼロを目指す油剤として、アミンを含まない油剤（以下、アミンフリー油剤と称す）および窒素化合物を使用しない油剤（以下、窒素フリー油剤と称す）の開発が進められている。

窒素フリー油剤について、凝集処理後のCOD値、BOD値を評価した結果を表3に示す³⁾。その結果、窒素フリー油剤のCOD、BOD値は、従来型油剤と比べ極端に低いことがわかる。

アミンフリー油剤や窒素フリー油剤が普及すれば、地球環境への影響をさらに軽減できるものと考えられる。

4.4 シンセティックタイプ油剤

一般にシンセティックタイプの水溶性切削油剤とは、「潤滑成分として、鉱油等の天然成分を含まず、化学合成された潤滑剤、つまり合成潤滑剤を適用した油剤」と言える。

4.4.1 シンセティックソリューションタイプ

シンセティックタイプ油剤に使用する合成潤滑剤は多種あり、それらを使用したシンセティック油剤も各油剤メーカでさまざまである。その中で比較的多いのが、ポリアルキレングリコールもしくはその誘導体を使用した油剤で、希釈液に透明感のあるシンセティックソリューションタイプの油剤である。

この油剤の特長として

- ① 従来型のソリューションタイプと比較して、高い潤滑性（切削性）がある。
- ② 腐敗劣化しにくい。
- ③ 機械周りが汚れにくい。
- ④ 浸透性、洗浄性および消泡性が良い。
- ⑤ 希釈液が透明で、混入する潤滑油を分離しやすい。

表3 窒素フリー油剤の廃液処理性³⁾

項 目	試 料	窒素フリー油剤	従来型エマルジョン油剤
		20倍希釈液	20倍希釈液
処理条件	硫酸バンド(mg/L)	10 000	4 500
	炭酸ナトリウム(mg/L)	3 500	1 350
	高分子凝集剤(mg/L)	10	450
処理水の性状	外観	無色透明	無色透明
	pH	7.0	7.0
	COD(mg/L)	104	1 100
	BOD(mg/L)	26	1 000

表2 水溶性切削油剤に関連する第1種指定化学物質²⁾

政令番号	化学物質名
1 6	2-アミノエタノール
1 0 9	2-(ジブチルアミノ)エタノール
1 6 0	2-(ジノルマルブチルアミノ)エタノール
3 0 4	ホウ素およびその化合物
3 0 7	ポリオキシエチレンアルキルエーテル(炭素数12~15)
3 0 9	ポリオキシエチレンノニルフェニルエーテル

表4 シンセティックタイプの性能¹⁾

	シンセティック			従来型 エマル ション
	エマル ション	ソリュー ブル	ソリュー ション	
潤滑性	◎	○	△	◎
浸透性(洗浄性)	○	◎	◎	△
冷却性	○～△	○	◎	△
耐腐敗性	○	○	◎	△
希釈液安定性	○～△	○	◎	△
機械汚れ	○～△	○	◎	△
抗乳化性	○～△	○	◎	△
希釈液外観	乳白色	半透明	透明	乳白色
廃水処理性	◎	◎	×	◎
有機材料に 対する影響	○	○	○～△	○
ランニングコスト	○	◎	◎	○

(表示) 優れる ← ◎～○～△～× → 劣る

い。

などが挙げられる。

4.4.2. シンセティックエマルションおよびシンセティックソリュブルタイプ

シンセティックソリュションタイプは、ほとんどが水に溶解する成分からなるため、凝集処理ができない。このことから、その廃液は高COD値等の問題が生ずる。そこで、凝集処理可能なシンセティックソリュブルおよびシンセティックエマルションタイプの油剤が開発されてきた。その性能の一覧表を、従来型エマルションと比較して表4に示す¹⁾。

シンセティックタイプは、従来型油剤と比較して腐敗劣化しにくい、いわゆるロングライフ型油剤である。そのため、更液周期が延長できることや、使用条件によっては、油剤の持ちだしが少なく原液の補給量が減少できるなどの利点があり、現在その使用量は増加傾向にある。

4.5 リサイクル、クローズドシステムへの対応

容器包装リサイクル法および家電リサイクル法などが成立し、世の中すべての製品について、廃棄せず再生利用を考慮していこうとする風潮が高まっている。また生産現場では、ISO 14000シリーズに代表される環境管理基準の導入により、地球環境への負荷を考慮し廃棄物をゼロにすることを目指す、いわゆる「ゼロ・エミッション」が叫ばれるようになってきた。

水溶性切削油剤について、現在油剤メーカーでは、廃棄物量の削減を目的として、ロングライフ型切削油剤を提供している。これは、腐敗やその他劣化を生じにくい油剤であ

り、先に述べたシンセティックタイプもこのひとつである。これらの油剤を使用することで、例えば、6カ月から1年に一度更液していた油剤が、3年から5年は無更液になり、この期間の廃液量が削減できる。

ただし、水溶性切削油剤をロングライフ化するには、ユーザでの管理も重要な要素であり、常にpH、濃度を一定の基準に管理することが必要である。水溶性切削油剤の管理については、数多くの文献⁴⁾⁵⁾があるので、詳しくはそちらを参照されたい。

今後、さらに地球規模での環境保護を進めるには、ロングライフ化をさらに進めた油剤の開発、つまり再利用を考えたリサイクルシステムと廃棄物を出さないクローズドシステムへの対応を考慮した次世代型油剤の開発が考えられる。

ところで水溶性切削油剤が使用されている環境は、作動液のように閉鎖された環境ではなく、常に切りくず、潤滑油その他の混入物がある。これらの混入物は、水溶性切削油剤使用液の劣化を促進させて性能を低下させる。

そのため、リサイクルをするにも、クローズドシステムにするにも、これら混合物の除去は必要不可欠になる。そのほかに、加工熱や微生物等による油剤の劣化、希釈水水質の影響などを考慮する必要もある。

したがってリサイクルやクローズドシステムを実現するためには、油剤の開発とともに、混入物の除去や油剤の管理方法にも配慮したシステムを考えなければならない。その点は、ユーザと切削油剤関連の周辺機器メーカーと協力して進めていくことになるだろう。

5. おわりに

切削油剤は、生産現場において、製品の高品質化やコスト低減に貢献してきた。環境問題においても、積極的に改善に取り組み、窒素フリータイプの油剤やシンセティックタイプの油剤などが開発されている。

将来的には、リサイクルやクローズドシステムなど、廃棄物をゼロに近づけるための新しい油剤が、環境対応型水溶性切削油剤開発の主体になっていくものと考えられる。

今後より一層、切削油剤の高性能化とともに、環境に優しい油剤の開発を行っていきたい。

参考文献

- 1) 大胡栄一：シンセティッククーラントの最近の動向，潤滑経済，11（2001）15。
- 2) 三島裕治：環境問題と切削油剤，潤滑経済，11（2000）13。
- 3) 池田強：窒素フリー水溶性切削油剤「ユシローケンNF-1」の特徴と用途，機械技術，41，13（1993）60。
- 4) 山中康夫，広井 進：切削油剤と研削油剤，幸書房。
- 5) 佐藤幸男：切削油剤の劣化と管理，潤滑経済，1（1996）45。