

解 説 1

高性能摺動面油ユニウェイXSについて

潤滑油販売1部 潤滑油3グループ やすだ たかま
安田 高真



1. はじめに

工作機械とは「機械の部品を造る」機械を指し、自分が産み出す製品に自分自身の精度が親子関係のように転写される特徴がある。したがってマザーマシン (Mother Machine) とも呼ばれ、とりわけ製造業において技術力の核となる非常に重要な機械である。日本は、切削型工作機械生産高において 2008 年まで 27 年間連続で世界首位を獲得している。まさに工作機械の製造は、日本のお家芸と呼ぶに相応しい産業の一つである。最近、中国が低価格の汎用工作機械を大量に生産するようになり、2009 年から切削型工作機械生産高において世界首位へと躍り出た (表 1)。また、同国の急速な経済発展に伴う旺盛な工作機械需要から日本の工作機械メーカーにとっても魅力的な市場と映っている。一方、日本は生産高で中国を追う構図となったが、高い技術力を武器に高精度・高効率をキーワードとした高性能機種を生産において、依然存在感を発揮している。以上の背景から、最近の大手工作機械メーカーが取る経営戦略は主に 2 つに大別される。高性能機種の開発と、新興国市場の価格帯に合わせた低価格な汎用機種を生産である。当社はこのような工作機械メーカーの動きを受けて、高精度制御を必要とする高性能機種に焦点を当て、サブミクロンオーダー (0.1 μm 単位) での機械制御を可能とする、世界トップレベルの摺動特性を誇る摺動面油ユニウェイ XS を開発した。

ているものが大半であり、CNC (Computer Numerical Control) 工作機械と呼ばれる。同機械はコンピュータからの指令に、機械が応答して移動する仕組みをとる。コンピュータの指令に対する機械の応答精度のことを位置決め精度と呼び、工作物の加工精度に影響を与える重要な要素の一つである。

精密加工における工作機械の総合加工精度は 1930 年代に 0.1mm であったが 2000 年代には 0.1 μm となった (図 1)。つまり、現代はサブミクロンオーダーで工作機械を制御し加工を行う時代と言うことが出来る。2010 年 10 月に開催された工作機械見本市 JIMTOF2010 では高効率、省エネなどを追求した機種は勿論のこと、サブミクロンオーダーでの加工を可能とする高精度機種など、各社各様の工作機械の出展が目白押しであった。

2. 工作機械と摺動面油

2. 1. 工作機械の加工精度の変遷

工作機械の動作はコンピュータによって数値制御され

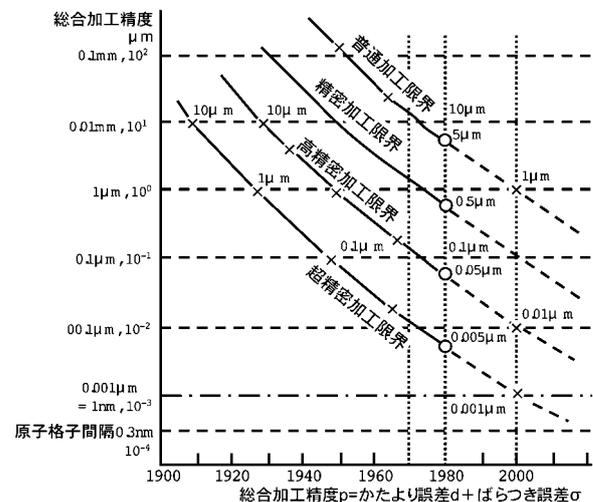


図 1 工作機械の加工精度の変遷²⁾

表 1 世界の切削型工作機械生産額¹⁾

順位	2010 年			2009 年			2008 年		
	国地域	金額 (百万\$)	シェア (%)	国地域	金額 (百万\$)	シェア (%)	国地域	金額 (百万\$)	シェア (%)
1	中国	14,680	30.3	中国	10,950	28.0	日本	13,787	22.8
2	日本	10,580	21.9	ドイツ	7,822	20.0	ドイツ	11,899	19.7
3	ドイツ	6,862	14.2	日本	5,889	15.1	中国	9,007	14.9
4	韓国	3,102	6.4	イタリア	2,567	6.6	イタリア	6,038	10.0
5	台湾	2,929	6.1	台湾	1,936	5.0	台湾	4,000	6.6
	28カ国計	48,398	100	28カ国計	39,066	100	28カ国計	60,507	100

2. 案内面の分類と摺動面油の要求性能

摺動面油は工作機械の案内面に適用され、案内面は①すべり案内面②ころがり案内面③静圧案内面の3種に大別される。一般的に、重切削を行う工作機械や大型工作機械には、「すべり案内面」が多く採用される(図2(a))。すべり案内面は面接触によって機械の可動部を支持することから、機械剛性が高く、減衰能(振動を吸収する性能)に優れる。しかし、すべり案内面では摺動面油の動圧効果によるテーブルの浮き上がり避けるため、送り速度を上げにくく、生産効率の向上については課題が残っている。また、案内面に職人技であるきさげ処理という特殊な製造技術を要する他に、面接触であるがゆえ摩擦係数が高く、位置決め精度は摺動面油の影響を受けやすい特徴がある。したがって、すべり案内面を持つ工作機械には、案内面における摩擦低減の観点から摺動特性に優れる摺動面油が要求される。

生産効率を重視する工作機械には「ころがり案内面」が多く採用されている(図2(b))。ころがり案内面は、コロもしくは玉軸受けで機械の可動部を支持していることから、摩擦係数が低い、送り速度を上げやすいなどの利点がある。一方で案内面を点・線接触で支持することから、すべり案内面に比べ機械剛性が低く、減衰能に劣るという特徴がある。一般的にころがり案内面を有する工作機械は、自動車メーカーや部品メーカーの生産ラインなど、生産効率を重視し24時間の操業体制をとる工場で使用されることが多い。そうした工場では安全対策の面から水溶性切削液が使用されるケースが多いため「ころがり案内面」をもつ工作機械には、水溶性切削液との分離性が優れた摺動面油が要求される。

超大型の工作機械や研削盤、超精密加工機には摩擦係数が低く、スティックスリップ(摺動時にスティック(付着)とスリップ(滑り)が周期的におきる現象)を発生しない「静圧案内面」が多く採用されている(図2(c))。静圧案内面は油圧によって、機械的に案内面を浮上させていることから摩擦係数が非常に低いため、テーブルの浮き上がりやスティックスリップを発生しない。一方、すべり案内面やころがり案内面に比べて機械剛性や減衰能に劣るという特徴がある。静圧案内面をもつ工作機械には、一般的な性能の他に油圧性能にも優れる摺動面油が求められる。

以上のように、工作機械には用途に応じて最適な案内面が使用されている。工作機械の性能を最大限に引き出すためには、摺動面油の性能が非常に重要なファクターであり、案内面に最適な摺動面油を選択しなければならない。

3. ユニウェイXSの商品特長

ユニウェイXSは高精度制御を必要とし「すべり案内面」を持つ工作機械において最適な摺動面油である。ユニウェイXSは粘度グレード32, 68, 220の3種類をラインアップしている。一般性状を表2に示す。

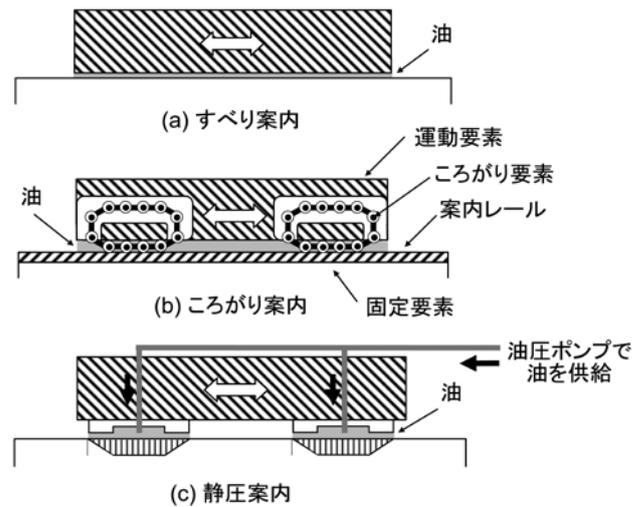


図2 工作機械の案内面の種類³⁾

表2 ユニウェイXSの一般性状

粘度グレード	32	68	220
色 (ASTM)	L1.5	L1.0	L2.5
密度 (15℃) g/cm ³	0.874	0.882	0.894
動粘度 (40℃) mm ² /s	33.6	69.3	215.5
(100℃) mm ² /s	5.69	9.04	19.1
酸価 mgKOH/g	0.17	0.20	0.15
引火点 (COC) °C	224	258	294
流動点 °C	-37.5	-32.5	-17.5
さび止め性能 (蒸留水, 60℃, 24h)	さびなし	さびなし	さびなし
銅板腐食 (100℃, 3h)	1	1	1
消防法危険物分類	第4石油類	可燃性液体類	

3. 1. 世界トップレベルの摺動特性

摺動面油は案内面の速度が高速(100m/min)から極低速(0.001mm/min)まで広範な条件下で使用される。高速域においては流体潤滑と呼ばれる潤滑状態にあり、摺動面油の粘度が摺動特性の支配因子となる。したがって高速域においては、粘度が等しい油剤間では摺動特性に顕著な差は認められない。一方、低速域においては境界潤滑と呼ばれる潤滑状態にあり、添加剤が摺動特性の支配因子となる。したがって添加剤の選定次第で、低速域における摺動特性に大きな性能差が生まれるため、高性能摺動面油を開発する上で極めて重要なファクターとなる。

一般的に、摺動面油に極圧剤を添加することで低速域での摩擦低減が図れ、スティックスリップを防ぐことができる。極圧剤としては硫黄(S)やリン(P)を含有する化合物が使用され、製品の指向に応じて添加剤の配合がなされている。油性剤も同様に摩擦低減のために用いられるが、極圧剤と組み合わせることでより優れた摺動特性を示す。このため、極圧剤や油性剤の選定が摺動特性の鍵となっている⁴⁾。ユニウェイXSは極圧剤に、特殊な硫黄系・リン系添加剤を組み合わせたもの、油性剤には独自

技術により構造を最適化した添加剤を配合している。

摺動特性の評価として、従来は簡易的な摺動試験機や実機⁵⁾が用いられていた。当社は、より正確かつ高精度な評価を行うため、名古屋工業大学および工作機械メーカーとの共同研究によって実機により近い摺動特性評価試験機を開発した(図3)。その試験機による摩擦係数の試験条件および結果を表3、図4に示す。他社油Aおよび他社油Bは、日本市場にて多く使用され、全世界的に展開されている高性能摺動面油を表している。ユニウエイXSは他社製摺動面油と比べ、全てのすべり速度領域(低速域)で低い摩擦係数を示した。

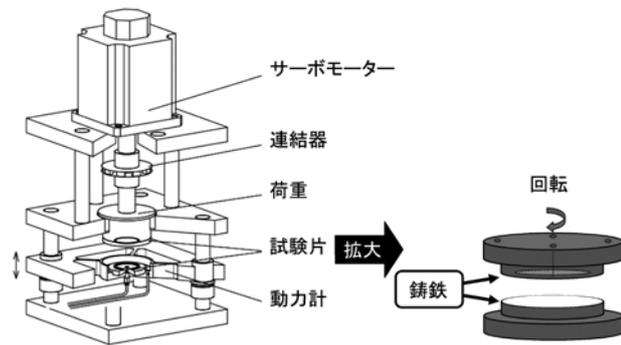


図3 摺動特性評価試験機⁶⁾

表3 摺動特性評価試験 試験条件

項目	試験条件
面圧	215KPa
すべり速度	1×10^{-3} mm/min ~ 10mm/min
試験片	鋳鉄 (FC250)

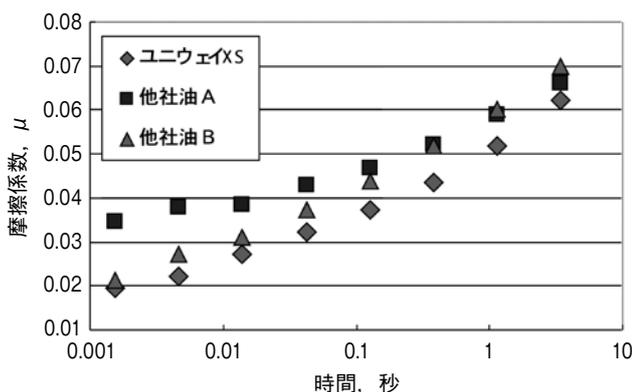


図4 低速域における摺動特性評価試験結果(VG68比較)

次に、実機での摺動特性を確認するため位置決め精度の評価を行った。測定には0.1 μmでの機械制御が可能な、すべり案内面を有する旋盤を用いた。位置決め精度は、機械から0.5 μmの移動指令を発信し、指令に対する機械の応答精度を測定することで、摺動面油による性能差を評価している。試験条件と結果を表4、図5に示す。ユニウエイXSは機械の指令値に最も近い応答性を示しており、位置決め精度に最も優れる結果が得られた。

以上より、ユニウエイXSは一般的に流通している摺動面油のなかで、世界トップレベルの摺動特性を有することが明らかとなった。

表4 位置決め精度評価試験 試験条件

項目	試験条件
使用機種	精密小型旋盤
測定面	X軸摺動面
移動指令	0.5 μm × 40回, 3サイクル
測定時間	600秒

● 5秒ごとに0.5 μm(サブミクロンオーダー)の移動指令を出し、応答性を評価

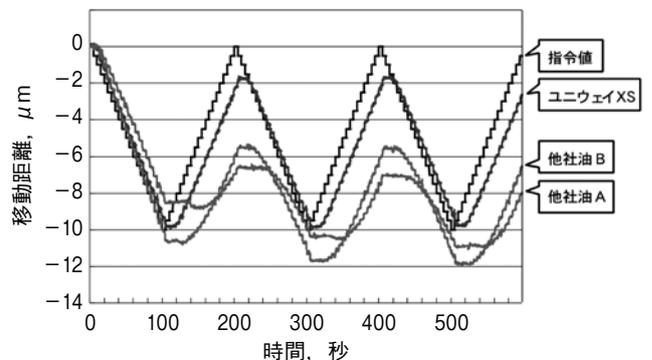


図5 各種摺動面油位置決め性評価(VG68比較)

3.2. 優れた水溶性切削液との分離性

工作機械で切削加工を行う際に、通常は切削油を使用する。一般的に工作機械では、切削油のタンクに摺動面油が混入する構造となっている。切削油は循環使用するため、長時間使用するほど摺動面油の混入量は多くなる。特に摺動面油が水溶性切削液中に取り込まれると、腐敗菌の増殖源となるため水溶性切削液の腐敗を助長する。したがって、摺動面油が水溶性切削液と容易に分離・回収できることは切削液の長寿命化に繋がるため、摺動特性と並んで重要な性能である。また水溶性切削液との分離性が悪い場合、摺動面油中に切削液が溶け込むことで、案内面に存在する油を洗浄し、摺動特性を低下させる恐れがある。

一般的に摺動特性と水溶性切削液との分離性はトレードオフの関係にあり、性能の両立は極めて難しいが、ユニウエイXSでは両立を実現した。水溶性切削液との分離性は、メスシリンダーに規定量の切削液と摺動面油を混合・攪拌し一定時間静置後の分離度を測定することで評価される。その試験結果を表5に示す。ユニウエイXSの発売にあたり、市販されている60種以上の水溶性切削液にて分離性を評価した結果、全ての切削液において分離性能に問題がなく、スラッジも発生しないことが確認されている。

表5 水溶性切削液との分離性試験結果

評価油種		ユニウエイ XS	他社油 A	他社油 B
水溶性切削液	静置時間	泡層-油層-クリーム層-水溶性切削液層, ml		
ユニソルブルバイオ EM-U (10 倍希釈)	1hr	0-11-12-77	3-1-21-78	1-7-18-75
	24hr	0-13-10-77	0-13-8-79	0-8-15-77
ユニソルブルバイオ SU (30 倍希釈)	1hr	0-19-2-79	0-19-2-79	0-17-3-80
	24hr	0-20-0-80	0-19-1-80	0-19-1-80
ユニソルブルバイオ CU (30 倍希釈)	1hr	0-20-0-80	0-20-0-80	15-10-12-78
	24hr	0-20-0-80	0-20-0-80	0-16-4-80

※水溶性切削液層が多いほど良好 (最良80ml)

3. 3. 優れた張付き性

工作機械の案内面が垂直方向である場合に、摺動面油が流れ落ちて油膜切れを起こし焼き付きの原因となるため、案内面への張付き性に優れることが要求される。張付き性とは、摺動面油に粘り気を持たせ油をたれ落ちにくくする特性のことである。張付き性を評価するにあたり、当社独自の糸引き試験を実施した。その結果を表6に示す。糸引き試験においては糸引き長さが長いほど、垂直方向の案内面において油膜が切れにくいと考えられる。ユニウエイXSは他社製摺動面油と比較して糸引き長さが圧倒的に長く、張付き性に優れ、垂直方向の案内面に対しても十分な性能を発揮することが示された。

表6 糸引き試験結果

	他社油A	他社油B	ユニウエイXS
粘度グレード	68	68	68
糸引き長さ, cm	5 以下	5 以下	30以上
張付き性	普通	普通	非常に良好

3. 4. 低臭気

案内面は開放系であり、摺動面油の臭気が低いことは、作業者が快適に作業を行うにあたり重視される性能である。ユニウエイXSは臭気の低い添加剤を選定したことにより、一般的な摺動面油と比較して低臭気を実現した。

3. 5. 安全性 (可燃性液体類 (VG68, 220))

粘度グレード68, 220のユニウエイXSは、250℃以上の引火点を有しており消防法上非危険物に分類されている。高引火点と摺動特性をはじめとした諸性能を両立するためには、非常に高度な技術と幅広い知見が必要とされる。ユニウエイXSでは引火点250℃以上を達成するため、高い引火点を有する基油を使用し、製品の引火点に悪影響を与えないよう特別に配慮して添加剤を選定した。市場に流通している粘度グレード68の高性能摺動面油において、世界トップレベルの摺動特性と250℃以上の引火点を兼ね備えているものは、ユニウエイXSのみである。

4. おわりに

本稿では、工作機械業界を取り巻く動向、工作機械の案内面に対する摺動面油の要求性能、ユニウエイXSの特長について述べた。ユニウエイXSは世界トップレベルの摺動特性を有しながら、水溶性切削液との分離性にも優れるため、あらゆる工作機械において使用可能な高性能摺動面油である。工作機械から最高の性能を引き出すためには、工作機械の技術に対応した高性能な摺動面油を用いなければならない。近年、中国や東南アジア諸国においても、高性能機種の需要が高まり始めている。日本の工作機械メーカーは、高性能機種の製造体制を国内外において強化する動きを見せている。高性能摺動面油の重要性は、今後益々増して行くと思われる。

— 引用文献 —

- 1) 産業機械新報 第2837号, 16-17, 2011
- 2) 谷口紀男; ナノテクノロジーの基礎と応用, 工業調査会, 2002年
- 3) 清水伸二; 新版 初歩から学ぶ工作機械, 大河出版, 2011年, p167
- 4) 中尾元; ENEOS Technical Review, 48, 2, 84-86, 2006
- 5) 磯部登, 川瀬信一郎; 日石レビュー, 6, 6, 8-23, 1964
- 6) 則久孝志, 糸魚川文広, 中村隆; トライボロジスト, 53, 10, 682-688, 2008