

# 食品機械用潤滑油の開発

中央技術研究所 潤滑油研究所  
機械・加工・基油グループ

わたなべ あやこ  
渡邊 絢子



中央技術研究所 潤滑油研究所  
機械・加工・基油グループ

みずたに ゆうや  
水谷 祐也



## 1. はじめに

食品に対する安全意識はここ数年で確実に高まり、今も高い水準で推移している。内閣府による世論調査でも、最も関心の高い消費者問題は「食品の安全性」であった。しかも、安全が守られていると「感じない」消費者の割合は40.2%にも達しており、安全性に対する大きな不安が存在することがわかっている<sup>1)</sup>。その背景には、食中毒や食品添加剤の健康面への影響、農薬混入事件など、食品に関わる不安を感じさせるニュースが後を絶たない現状がある。

食品業界では、食品、飲料品および関連品の製造過程において、HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point)<sup>2)</sup>、ISO22000<sup>3)</sup>、FSSC22000<sup>4)</sup>などの安全管理手法を導入するなど、その対応に積極的に動いている<sup>5)</sup>。このため、食品工場で使用される機械の潤滑油に、「食品機械用潤滑油」を採用する企業が増加している。例えば、大手清涼飲料水メーカーであるザ コカ・コーラ カンパニーでは、FSSC22000を導入し、自社内のみならずサプライヤーにも遵守を求めている<sup>6)</sup>。

当社では従来から、一般の機械を対象とした潤滑油を全国に、安定的に供給している。この供給ネットワークを活用し、食品機械用潤滑油のさらなる普及に努めることが責務と考え、NSF (National Sanitation Foundation) H1登録の食品機械用潤滑油を開発することとした。本報では、先ず NSF H1 グレードについて解説し、当社の開発した食品機械用潤滑油について報告する。

## 2. 食品機械用潤滑油とは

食品機械用潤滑油とは、食品機械に使用する目的で開発された潤滑油である。食品機械とは、食品に関連する機械全般のことであり、具体的には、食料品・飲料品などの製造、加工、梱包、出荷全般に使用される機械を示し、加工ミキサーや製粉機、製缶機など、その種類や用途は多岐にわたる。

食品機械用潤滑油は、一世紀も前からその原型が存在しており、当時は無塩バターやワセリン、流動パラフィンなどの食添オイルが使用されていた<sup>7)</sup>。現在は、この流れを

汲む潤滑油もある一方で、機械自体の性能が格段に向上していることから、食品機械用潤滑油にも潤滑油本来の高い性能を求められる場合が多い。

食品機械用潤滑油の認証については、日本国内では法令や厚生労働省によって認可された規格はない。したがって、国際的に広く認知されている NSF インターナショナルの登録が、日本でも最も普及している。

### 2.1 NSF インターナショナル

NSF インターナショナルは、NSFとして1944年に米国ミシガン州を拠点に設立され、公衆衛生機器に関する試験認定を実施していた。1990年に、現在の NSF インターナショナルに改名し、食品製造工場で使用される化学物質の認証登録を実施している。活動範囲は、米国に留まらず国際的な機関となっている<sup>8)</sup>。

食品機械用潤滑油の規格は、米国農務省 (USDA: United States Department of Agriculture) により規格化されたのが始まりである。USDA は、1958年に食品関連工場で使用される化学製品についての規格を制定し、翌々年に、万が一、人間が摂取しても安全な化学製品としてケミカルコンパウンドリストを発行した。その後、1969年に食品関連工場で使用される潤滑油がリストに追加登録され、食品機械用潤滑油の初めての規格となった。NSF インターナショナルは、USDA からこの活動を1999年に引継ぎ、食品機械用潤滑油の登録活動を実施している。

### 2.2 NSF H1 グレード

NSF 登録の潤滑油は、NSF ガイドラインで表1のとおり規定されている<sup>9)</sup>。その中で、H1グレードは「食品との偶発的な接触が許容される潤滑油」と規定されている<sup>10)</sup>。H1でも制約はあるものの、様々な潤滑部位への適合性の観点から、汎用性の高いものと言える。H1グレード登録潤滑油の使用は、代表的な安全管理手法である HACCP にも対応しており、食品および関連品のメーカーが潤滑油を使用する際に一つの安全基準となる<sup>11)</sup>。なお、前述の ISO22000、FSSC22000 は、HACCP を内包するものである<sup>4)</sup>。

H1グレードの要件としては、米国食品医薬品局 (FDA: Food and Drug Administration) が規定した原材料のみ

を使用し、NSF インターナショナルに登録されなければならない。ベースオイル（基油）として、通常の鉱油は使用できず、PAO（ポリ $\alpha$ オレフィン）に代表される化学合成油や流動パラフィン（ホワイトオイル）等の使用に限定される。また、酸化防止剤や極圧剤などの添加剤にも、使用可能な種類や添加量の制限がある。

なお、登録された商品には、図 1 に示す NSF インターナショナルの H1 登録マークを貼付することができる。

表 1 NSF ガイドライン（潤滑油）

グレード	定義
H1	食品に接触するべきではないが、偶発的接触が許容されるもの
H2	食品に絶対に接触してはならないもの。ただし、食品工場内部や周囲で食品の置かれていない所では使用が可能
H3	食肉工場などで肉を吊るすフックのさび防止等に使用され、大豆油等食べても問題ないもの
3H	グリルやフライパン等の上で焦げ付きを防ぐために使われる植物油等、直接食品に接触する目的で使用されるもの



図 1 NSF 登録マーク

### 3. 食品機械用潤滑油「フードマシンシリーズ」の開発

当社では、市場のニーズから、食品機械用潤滑油として、多目的油、油圧作動油、ギヤ油、圧縮機油が特に必須と判断し、開発を行った。また、単なる NSF H1 グレード登録品ではなく、長寿命などの信頼性を訴求できる必要があると考え、NSF H1 グレード登録のために課される処方上の制約の中で、最高の性能を発揮することを目指した。「最高の性能」を有する潤滑油を開発するための重要な要素としては、油種ごとに特有の要求性能を再確認することが挙げられる。一方で、油種間で共通する重要な性能を満たすための、骨格とも呼ぶべき基本技術の確立も必要となる。基油については、長寿命性を最重要視し、全般にわたって合成油を採用することとした。

当社では、このような考え方のもと、お客様に最も貢献できると信ずるに足る NSF H1 グレード登録潤滑油を開発した。本商品は、2014 年 4 月にフードマシンシリーズとして上市されており、まだ多くはないが、実績による実用性能の実証もなされている。商品ラインアップを表 2 に示す。

以下では、それぞれの油種ごとに、開発における重要なポイントを中心に報告する。

表 2 フードマシンシリーズ商品ラインアップ

商品名	油種	粘度グレード
フードマシンマルチ	多目的油	32、46、68、100
フードマシンハイドロ	油圧作動油	32、46、68
フードマシンギヤ	ギヤ油	150、220
フードマシンスクリュー	圧縮機油	32、46

#### 3.1 多目的油（フードマシンマルチ）

多目的油は、軸受、油圧、ギヤなどの幅広い箇所に使用されるため、それぞれの潤滑用途を包含する性能が要求される<sup>12)</sup>。したがって、NSF H1 グレードの制約がある中での開発において、骨格である基本的な処方となる。

潤滑油には、トラブルなどによって水が混入する可能性がある。したがって、さび止め性は共通する重要な性能である。しかし、FDA に登録されている添加剤 a（さび止め剤）を、さび止め試験（JIS K2510）に合格するように配合したところ、表 3 に示すように熱安定性に支障をきたすことがわかった（検討油 2）。今回の熱安定性試験は、潤滑油の基本的な安定性を短時間で確認するために採用しており、鉄・銅触媒存在下、120℃で3日間の貯蔵後に曇り・沈殿の有無を目視で確認した。ただし、検討油 2 では写真では判別できない程度のわずかな曇りが発生したため問題ありとしたが、市場で一般的に流通している H1 グレード登録品（比較油 A）では、図 2 のように明瞭な曇りを生じた。したがって、実用性能に問題は無いとも考えられるが、「最高の性能」を目指す観点から、対策を検討した。

曇りが生じた理由として、長寿命性の追求のため基油に合成油を使用していることが考えられる。これは、使用した合成油の極性が低いため、鉱油などに比較して溶解性に乏しいことによる。長寿命性を重視し、合成油を使用し、かつ FDA に登録されている基材の中から、今回のスラッジの可溶化力を高める機能（直接的には、発生を抑制する機能）を有し、諸性能に悪影響しない添加剤を探索した。その結果、極性の高い添加剤 b を見出し、併用することにより解決に至った。図 3 にフードマシンマルチ 32 の熱安定性試験後の外観を示す。

その他、酸化防止剤、極圧剤などを適宜配合し、表 4 に示す一般性状を有したフードマシンマルチシリーズを開発した。

表 3 諸性能を両立させる処方検討結果

	検討油 1	検討油 2	開発油	比較油 A
添加剤 a（さび止め剤）	無し	有り	有り	—
添加剤 b	無し	無し	有り	—
さび止め性（人工海水）	さび有り（高度）	さび無し	さび無し	さび無し
熱安定性（外観）	○	×	○	×



図 2 熱安定性試験後の外観 (比較油 A)



図 3 熱安定性試験後の外観 (フードマシンマルチ 32)

表 4 フードマシンマルチの性状

項目	ISO VG	32	46	68	100
NSF 登録番号		149317	149318	149319	149320
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.829	0.835	0.841	0.843
色 (ASTM)		L0.5	L0.5	L0.5	L0.5
引火点 (COC)	℃	250	270	270	270
動粘度	40℃ mm <sup>2</sup> /s	31.0	43.7	64.2	96.0
	100℃ mm <sup>2</sup> /s	5.98	7.59	10.1	13.9
粘度指数		142	142	143	147
流動点	℃	-45.0	-42.5	-42.5	-42.5
酸価 (指示薬法)	mgKOH/g	0.26	0.26	0.26	0.26
銅板腐食 (100℃, 3h)		1	1	1	1
さび止め性 (蒸留水, 60℃, 24h)		さびなし	さびなし	さびなし	さびなし

### 3.2 油圧作動油 (フードマシンハイドロ)

油圧作動油は、油圧ポンプなどの機器の潤滑に加えて、動力伝達媒体としても働いており、油圧システムの血液のような役割を担っている。油圧作動油では、耐摩耗性、耐スラッジ性を特に重要視した。耐摩耗性が良い油圧作動油は、ポンプの摩耗を抑制できるため、装置の長寿命化につながる。また、安定性が高くスラッジの生成量が少ない油圧作動油は、スラッジによるポンプや制御弁のトラブル (噛込みや膠着) を抑制できるため、やはり装置の長寿命化に寄与する<sup>13)</sup>。したがって、いくつかの極圧剤と酸化防止剤とを組み合わせ、最適量の配合により、処方開発を行った。

開発油の耐摩耗性について報告する。評価は、V104C ベーンポンプ試験 (ASTM D7043 準拠) で評価した。図 4 にベーンポンプの外観図を、表 5 に試験条件を示す。またフードマシンハイドロ 32 での試験結果を、図 5 に示す。このように、JCMAS (日本建設機械施工協会規格) P041 の基準 (試験時間 100h での摩耗量の合計が 50mg 以内) に合格し、試験時間を更に延長しても摩耗量が加速的に増加することなく、ISO11158 (HM) の基準 (試験時間 250h での摩耗量の合計が 150mg 以内) も十分に満たしていることを確認した。



図 4 ベーンポンプの外観

表 5 ベーンポンプ試験の条件 (ASTM D7043 準拠)

試験条件		
回転数	rpm	1200
吐出圧力	MPa	13.72
試験温度	℃	65
試験時間	h	500
試験油量	L	18

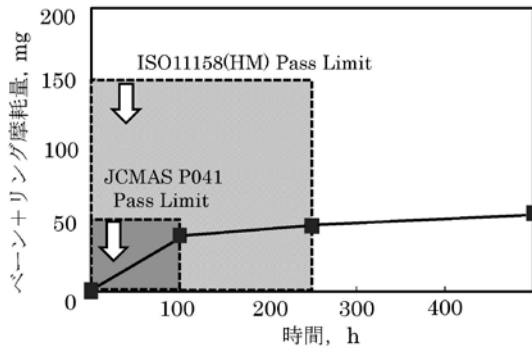


図5 V104C ベーンポンプ試験による  
フードマシンハイドロ 32 の耐摩耗性評価結果

耐スラッジ性は、熱安定性試験で、スラッジ量が 20mg/100mL-oil を越える日数で評価した。ただし、試験温度は 140℃とした。本試験は、油圧ポンプ内での極めて局所的な発熱も考慮し、油圧作動油のスラッジ抑制性を重視した長寿命性評価方法として採用している。フードマシンハイドロ 32 の結果を、図 6 に示す。汎用油（市場で大きな実績を有する鉱油系の既存商品）のレベルに対して、開発油は問題の無いことを確認した。なお、参考のため、市場で一般的に流通している H1 グレード登録品（比較油 B）の結果も併記する。

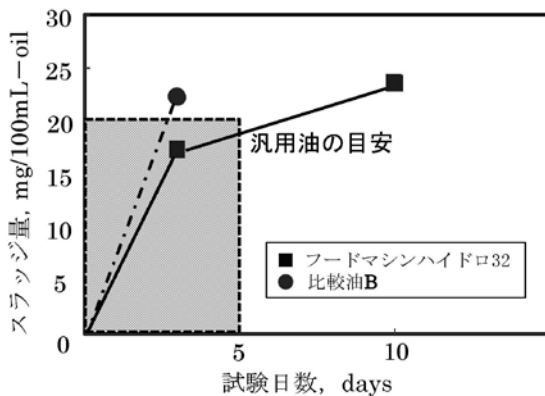


図6 熱安定性試験（140℃）による耐スラッジ性評価結果

表 6 にフードマシンハイドロシリーズの一般性状を示す。前述のように合成油を基油としていることから、一般的な油圧作動油対比で、低密度、高粘度指数、低流動点であるとの特長を有している。油圧作動油が低密度であることは、配管抵抗の低減につながる。また、高粘度指数かつ低流動点であることは、低温における粘度特性が良化するの、低温時の始動性向上や暖気運転時間の短縮に寄与する。

表 6 フードマシンハイドロの性状

項目	ISO VG	32	46	68
NSF 登録番号		149310	149311	149312
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.828	0.835	0.838
色 (ASTM)		L0.5	L0.5	L0.5
引火点 (COC)	℃	250	270	270
動粘度	40℃ mm <sup>2</sup> /s	31.0	44.0	65.3
	100℃ mm <sup>2</sup> /s	5.94	7.61	10.2
粘度指数		140	141	142
流動点	℃	-45.0	-42.5	-42.5
酸価 (指示薬法)mgKOH/g		0.24	0.24	0.24
銅板腐食 (100℃, 3h)		1	1	1
さび止め性 (蒸留水, 60℃, 24h)		さびなし	さびなし	さびなし

### 3.3 ギヤ油（フードマシンギヤ）

ギヤの歯面では、接触時の圧力が高く、滑りと転がりの両方の摩擦を伴うため、大変厳しい潤滑条件となっている。そのためギヤ油は、機器の損傷を防止するために他の大半の油種よりも優れた耐荷重性（耐焼付き性）が要求される。しかし、耐荷重性と耐摩耗性はトレードオフの関係となることがあるため、この点に留意した。したがって、いくつかの極圧剤を組み合わせ、最適量の配合により、処方を行った。

耐荷重性については、FZG 歯車試験（焼付き試験、ASTM D5182 規定）で評価した。図 7 に FZG 試験機の概要を、表 7 に試験条件を示す。本試験は、潤滑油の耐荷重性を実際のギヤを用いて評価する試験法であり、広く知られている。試験は、ギヤに荷重をかけた状態で回転させることで行う。荷重は Load Stage1～12 までであり、1 ステージずつ荷重を上げ、歯面に焼付きが生じるステージ（不合格ステージ）を見出すことで評価する。フードマシンギヤ 220 での評価結果を、図 8 に示す。不合格ステージは 12 以上であり、ギヤ油の規格である AGMA (American Gear Manufactures Association) 規格 (9005-E02)<sup>14)</sup> を満足する。なお、参考のため市場で一般的に流通している H1 グレード登録品（比較油 C）の結果も併記する。

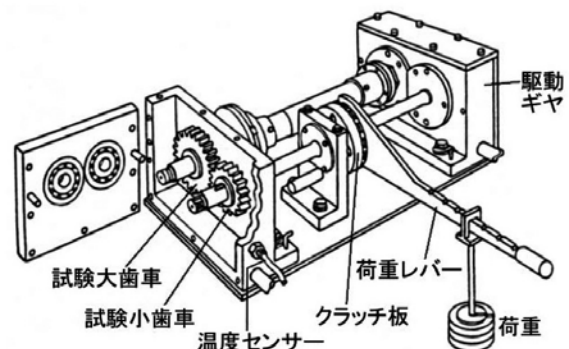


図7 FZG 歯車試験機の概要

表 7 FZG 歯車試験の条件 (ASTM D5182 規定)

試験条件		
回転数	rpm	1450
試験温度	℃	90
潤滑形態		浸漬
試験時間	(1ステージ) min	15

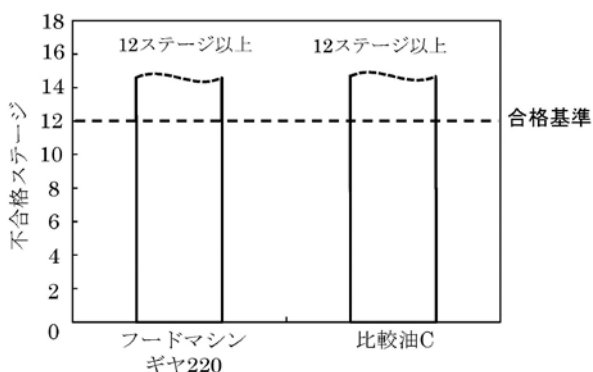


図 8 FZG 歯車試験による耐荷重性評価結果

耐摩耗性については、高速四球試験 (ASTM D4172 準拠) で評価した。本試験は、3 個の固定球の上に 1 個の球を点接触させた状態で、規定の荷重、回転数、時間、温度で上部の鋼球を回転させ、その際に下部の鋼球にできた摩耗痕径を測定し評価する。図 9 にフードマシンギヤ 220 での試験結果を示す。なお、参考のためギヤ油 A、比較油 C の結果も併記する。ギヤ油 A は、市場で大きな実績を有する鉱油系の既存商品であり、本油対比で開発油は問題のないことを確認した。このように、ギヤ油として十分な耐荷重性を有すると同時に耐摩耗性にも優れたフードマシンギヤシリーズを開発した。シリーズの一般性状を表 8 に示す。

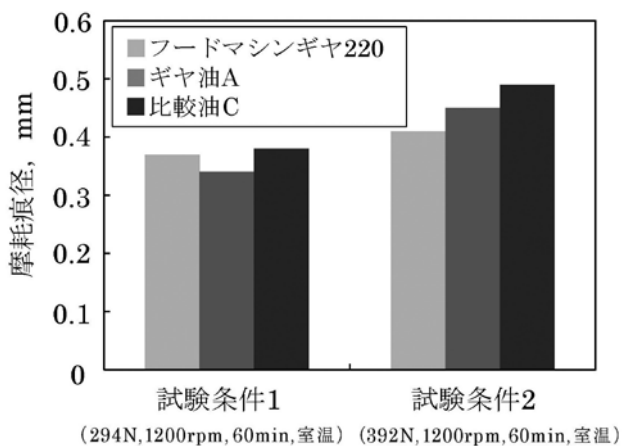


図 9 高速四球試験による耐摩耗性評価結果

表 8 フードマシンギヤの性状

項目	ISO VG	150	220	
NSF 登録番号		149313	149314	
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.841	0.848	
色 (ASTM)		L0.5	L0.5	
引火点 (COC)	℃	270	270	
動粘度	40℃	mm <sup>2</sup> /s	150	217
	100℃	mm <sup>2</sup> /s	18.9	27.3
粘度指数		143	162	
流動点	℃	-42.5	-42.5	
酸価 (指示薬法)	mgKOH/g	0.27	0.27	
銅板腐食 (100℃, 3h)		1	1	
さび止め性 (蒸留水, 60℃, 24h)		さびなし	さびなし	

### 3.4 圧縮機油 (フードマシンスクリュー)

最も一般的な空気圧縮機には、往復動式 (レシプロタイプ) と回転式 (スクリーなど) がある。今般の開発油は、回転式空気圧縮機用の圧縮機油である。

回転式圧縮機油の重要な役割は、空気などの断熱圧縮により生じた膨大な熱の除去であるため、極めて優れた酸化安定性を有することを最重要視した。また、オイルフィルターの目詰まりによる効率低下を防ぐため、耐スラッジ性も重要な性能の一つとした<sup>15)</sup>。酸化安定性と耐スラッジ性の両性能を高いレベルで達成するためには、酸化防止剤が最重要ポイントとなるが、加えて他の添加剤の影響も大きく、多くの場合には悪影響を与える。したがって、全添加剤を改めて最適化することにより開発を行った。なお、基油として高性能な合成油を採用することに変更はない。

評価にあたり、ASTM D7873 に規定される Dry-TOST (Dry-Turbine oil Oxidation Stability Test) を実施した。表 9 に試験条件を、図 10 に試験容器を示す。本試験はタービン油の評価にも広く使われている加速劣化試験で、鉄・銅触媒存在下で酸素を吹込むことが特徴である。一定期間毎に RPVOT (Rotating Pressure Vessel Oxidation Test: ASTM D2272) の測定とスラッジ量の定量を行い、これらの指標の経時変化 (経時劣化) を確認した。RPVOT 値については、新油時を 100% とする相対値 (残存率, %) で、25% 以上を保つことを寿命の判断基準とした。ただし、最大 100 日間の評価とした。スラッジ量は、20mg/100mL-oil を目安に判断した。

表 9 Dry-TOST の条件 (ASTM D7873 規定)

試験条件		
試験温度	℃	120
酸素流量	L/h	3.0
触媒		軟銅線 1.6mm φ × 3.0m および 鉄鋼線 1.6mm φ × 3.0m をコイル状にしたもの



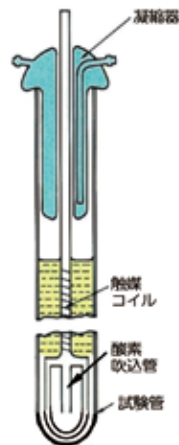


図10 Dry-TOSTの試験容器 (ASTM D7873規定)

フードマシンスクリュー 32での結果を図11,12に示す。このように、100日間の試験を問題無く終了した。なお、参考に他社 H1 グレード登録品 (比較油 D) の結果を併記する。

スラッジ量が、20日間で極大値とする特異的な挙動を示しているが、スラッジが油中ではなく試験容器などに付着しているためであることがわかっている。

このように、開発油では、酸化安定性と耐スラッジ性の両性能を高いレベルで達成することに成功した。フードマシンスクリューシリーズの一般性状を表10に示す。

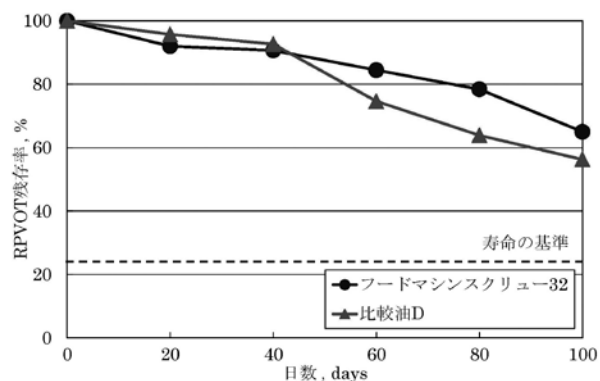


図11 Dry-TOSTによる酸化安定性評価結果

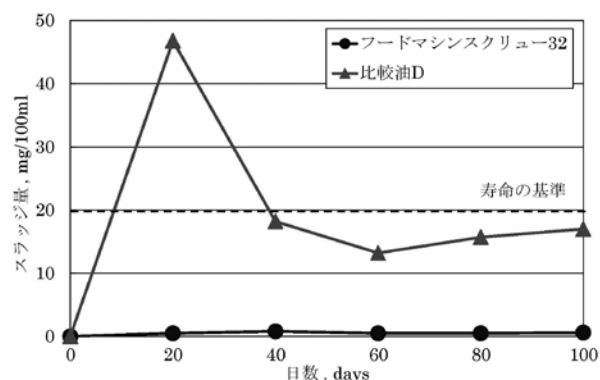


図12 Dry-TOSTによる耐スラッジ性評価結果

表10 フードマシンスクリューの性状

項目	ISO VG	32	46	
NSF 登録番号		149315	149316	
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.828	0.835	
色 (ASTM)		L0.5	L0.5	
引火点 (COC)	℃	250	272	
動粘度	40℃	mm <sup>2</sup> /s	31.0	44.0
	100℃	mm <sup>2</sup> /s	6.02	7.62
粘度指数		144	142	
流動点	℃	-42.5	-42.5	
酸価 (指示薬法)	mgKOH/g	0.02	0.03	
銅板腐食 (100℃, 3h)		1	1	
抗乳化性 (54℃)	min	5	5	
さび止め性 (蒸留水, 60℃, 24h)		さびなし	さびなし	

#### 4. おわりに

社会的な要求の高まりを受け、NSF H1 グレード登録のフードマシンシリーズを開発し、2014年4月から販売を開始している。使用可能な基油や添加剤の種類および量に大きな制約がある中で、単なるNSF H1 グレード登録品ではなく、「最高の性能」の潤滑油を追求したと自負している。フードマシンシリーズは、長寿命性を始めとする機械の信頼性の向上に資する諸性能を有しており、更油期間を長く保てる地球環境に優しい商品にもなっている。

当社の食品機械用潤滑油が多くの食品関連メーカーに使用されることも含めて「食品の安全性」についての管理体制がますます強化され、消費者の不安軽減に繋がれば、開発者として幸いである。

#### — 引用文献 —

- 1) 内閣府；消費者行政の推進に関する世論調査 調査結果の概要 (2014)
- 2) 厚生労働省ホームページ
- 3) 食品産業センターホームページ
- 4) 一般社団法人日本能率協会審査登録センターホームページ
- 5) 編集部；潤滑経済, 08, 5, 45, (2008)
- 6) 編集部；潤滑経済, 14, 6, 14 (2014)
- 7) 齋藤美也子；潤滑経済, 99, 6, 22 (1999)
- 8) 矢野健治；潤滑経済, 04, 8, 6 (2004)
- 9) JUNTSU NET ホームページ
- 10) 齋藤美也子；潤滑経済, 07, 5, 40, (2007)
- 11) NSF-ISR ジャパン株式会社ホームページ
- 12) 久保忠夫；ENEOS Technical Review, 52, 4, 27 (2010)
- 13) 置塩直史；トライボロジスト, 59, 7, 400 (2014)
- 14) 三洋貿易株式会社 科学機器事業部；潤滑経済, 13, 4, 30 (2013)
- 15) 宮島誠；ENEOS Technical Review, 48, 1, 43 (2006)