令和2年度燃料安定供給対策に関する調査等事業 (潤滑油の安定供給に向けた原料確保の 多様化に関する調査・分析事業) 調査報告書(公表用)

2021年3月

一般社団法人 潤 滑 油 協 会

目 次

第	1	部	-	事	業	\mathcal{O}	概	要·	• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •	4
		第	1	節	事業の	目的·			• • • • • • •				•••••	• • • • • •	4
		第	2	節	事業の	方法·								• • • • • • •	4
				1.	事業の体	本制							• • • • • • • • •		4
			:	2.	潤滑油品	冒質委員]会 …								5
			,	3.	事業の第	 医施期間	引						• • • • • • • •		6
		第	3	節	事業の	内容·								• • • • • • •	6
				1.	基油の多	多様化岩	犬況お。	よび基準	由再生	に関す	る動向	調査	・分析		6
			:	2.	再生基准	曲を用い	た潤滑	骨油の詞	試作お	よび品	1質評価	f	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		8
			;	3.	使用済み	人潤滑剂	曲の基準	由再生心	こ関す	る社会	システ	ムの村	倹討 …		11
绺	9	立(-	車	茶	σ	纽士	甲							12
Hi	4	디디	-	#	未	V)	小口	不							12
	第	i = 1			は油の創										
			-	分	析	• • • • • •		• • • • • •	• • • • • •		• • • • • •		• • • • • •	• • • • •	12
		第	1	節	はじめ	に …							• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • •	12
		第	2	節	国内事	業者に	こ対す	る基油	の調	達にお	けるり	リスク	等分机	f	12
				1.	調査の力	5法 …					•••••		• • • • • • • •		12
			:	2.	調査の約	吉果 …					•••••		• • • • • • • • •		12
		第	3	節	国内事	業者に	こ対す	る基油	の多	様化お	まび基	 基油再	生に	関する	取
				組	且状況等	調査·							• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • •	21
				1.	調査の力	5法 …					•••••		• • • • • • • • •		21
			:	2.	調査の約	吉果 …					•••••		• • • • • • • • •		22
		第	4	節	北米等	事業者	音に対	する基	油の	多様化	に向け	けた取	組・基	油再	生•
				沒		に関す	トる調	査		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •			•••••	• • • • • • •	35
				1.	調査の力	5法 …					• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		• • • • • • • •		35
				2.	調査の約	吉果 …									34
		第	5	節	まとめ	,							• • • • • • •	• • • • • •	66
		文		献											68

第	2 章	再生基油を用いた潤滑油の試作 および品質評価	$\cdot 71$
	第 1 貿	うはじめに	$\cdot \cdot 71$
	第2節	▶ 基油の入手と性状分析	$\cdot \cdot 71$
	1.	基油の入手	$\cdots 71$
	2.	基油の性状	$\cdots 72$
	第3節	う 再生基油を用いたエンジン油の試作と性状分析	··78
	1.	再生基油を用いたエンジン油の試作	·· 78
	2.	試作エンジン油の性状	80
	3.	内燃機関用潤滑油酸化安定度試験(ISOT)	·· 84
	4.	Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	·· 91
	5.	High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	$\cdot \cdot 97$
		Hot Tube Test(HTT) · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	第4節	5 まとめ	102
	1.	再生基油入手と性状分析	·102
		再生基油を用いたエンジン油の試作と性状分析	
	文 献	\	104
第	3章	再生基油を用いたエンジン油のエンジン試験による評	
	佃	f ······	105
	第 1 餌	た はじめに	105
	第2節	7 供試エンジン油	105
	第3節	高温酸化防止性試験方法(Sequence IIIH) ······	107
	1.	試験装置	·107
	2.	供試エンジン	.108
	3.	試験条件	·108
	第 4 節	う 結果および考察	110
	1.	試作ガソリンエンジン油	·110
	2.	試作ディーゼル油	·112
	第 5 餌	う まとめ	115
	文 南	₹ ·····	116
第	4章 1	使用済み潤滑油の基油再生に関する 社会システムの	
-		討	117
	第1節	う はじめに	117

	第2節	i 基油再生を社会システム化するための課題およびその対策 ···· 118
	1.	我が国の潤滑油リサイクルの現状119
	2.	米国の潤滑油リサイクルとの比較120
	3.	使用済み潤滑油の分別の重要性121
	4.	需要家における使用済み潤滑油の分別122
	5.	使用済み潤滑油の回収122
	6.	基油再生の推進123
	7.	潤滑油製造事業者における再生基油の利用促進123
	8.	需要家における再生潤滑油の利用促進123
	9.	法規制による基油再生の推進124
	第3節	i まとめ124
	文 献	<u>:</u> 125
略	語	表126

第1部 事業の概要

第1節 事業の目的

潤滑油は、自動車や工作機械など、様々な機械分野で使用されており、我が国の産業基盤を支える上で不可欠な存在である。この潤滑油の製造に使われる基油は主に原油から製造されるものであるが、近年我が国の原油輸入量の約9割を占める中東の情勢が緊迫化していることや、新型コロナウイルス感染症の世界的流行などを踏まえ、今後も安定的に潤滑油の供給を行うためには、基油の多様化を図る必要がある。

基油の多様化を図る 1 つの手段として期待されるのが、使用済み潤滑油をリサイクルして基油を生産する「基油再生」である。現在、北米や欧州では CO_2 の削減に向けて使用済み潤滑油のリサイクルを推進し、製造時の CO_2 の発生量も小さく、環境負荷の少ない再生基油の製造などに取り組んでいる。一方で、我が国において使用済み潤滑油の基油再生はほとんど行われておらず、年間に発生する使用済み潤滑油 168 万 kL のうち、約 61 万 kL が燃料として利用され、年間約 165 万トンの CO_2 が発生している。したがって、我が国において、使用済み潤滑油の基油再生に取り組むことは、基油の多様化を図れるだけでなく、 CO_2 の削減にも寄与するものである。

本事業では、基油原料の多様化および CO₂ の削減を図ることを目的として、国内外における基油の多様化状況および基油再生に関する動向を調査・分析するとともに、再生基油を用いて潤滑油を試作しその品質評価を行い、我が国において使用済み潤滑油の基油再生に取り組む上で実現すべき社会システムについて検討することを目的とした。

第2節 事業の方法

1. 事業の体制

本事業は一般社団法人潤滑油協会が国から受託し、実施した。実施体制は、図 1-1 に示すとおりである。一部の特殊な試験については、外部専門機関に外注して実施した。

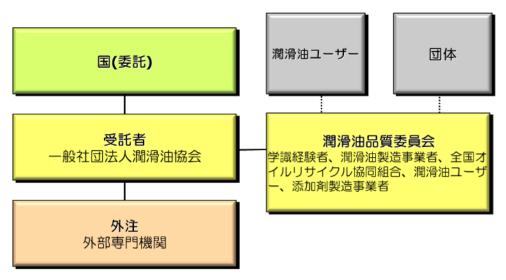


図 1-1. 事業の実施体制

2. 潤滑油品質委員会

潤滑油協会では、本事業を円滑に実施するため、協会内に学識経験者、潤滑油業界 関係者および自動車業界関係者等の外部有識者等から構成する「潤滑油品質委員会」 を設置し、事業を実施した。潤滑油品質委員会の構成を次に示す。

2020 年度 潤滑油品質委員会

(委嘱期間: 2020 年 6 月~2021 年 3 月)

	(20137711111	=== 1 = 7.
区分	氏 名	所属 および 役 職 名
委員長 (学識経験者)	益子 正文	東京工業大学 名誉教授
副委員長 (学識経験者)	三原 雄司	東京都市大学 工学部機械工学科 教授
幹事 (学識経験者)	内藤 康司	日本トライボロジー学会 添加剤技術研究会 幹事
委員 (学識経験者)	中村健太	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター
委員	佐川 琢円	日産自動車株式会社 (一般社団法人自動車工業会 安全・環境技術委員会 燃料・潤滑油部会 オイル分 科会 分科会長)
委員	和川 紀之	三和化成工業株式会社
委員	竹内 佳尚	シェブロンジャパン株式会社
委員	岡本・康男	全国オイルリサイクル協同組合

(敬称略)

3. 事業の実施期間

事業の実施期間は、次のとおりである。

2020年6月18日~2021年3月31日

潤滑油品質委員会の開催は、次のとおりである。

第1回 2020年7月8日(Web 会議)

第2回 2020年11月27日(Web会議)

第3回 2021年3月19日(Web会議)

委員会については当初対面での開催を予定していたものの、新型コロナウイルス感染拡大の影響を踏まえ、Webでの開催とした。

第3節 事業の内容

1. 基油の多様化状況および基油再生に関する動向調査・分析

1.1 国内事業者に対する基油の調達におけるリスク等分析

国内の潤滑油製造事業者に対し、基油の調達状況について、アンケート調査等の手法により情報を収集し、基油の調達におけるリスク等を分析し取りまとめた。主な成果は次のとおり。

- 国内の潤滑油製造事業者に対し、基油の調達状況について、アンケート調査を 行った結果、回答事業所の基油の購入先としては、大部分の事業所が、基油を 国内からのみで調達しており、また基油を調達できなくなった場合の代替策に ついては、「非常事態に備えて、別の調達先を確保済み」と回答したのは、回答 事業所の約2割のみで、その他の事業所は、「別の調達先を検討中」、「特に 検討は行っていない」、「わからない」、「その他」と回答しており、基油の多 様化等、今後の非常事態に備えた代替策の検討が求められる。
- 基油の多様化を図る 1 つの手段として期待されるのが、使用済み潤滑油をリサイクルして基油を生産する「基油再生」であるが、アンケート調査の結果、品質に問題がなく経済的であれば使用してもよいという意見が多く得られた。

1.2 国内事業者に対する基油の多様化および基油再生に関する取組状況等調査

国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等に対し、基油の多様化および 基油再生に関する取組状況等について、ヒアリング、電子メールおよび Web 会議等の 手段により情報を収集した。主な成果は次のとおり。

- 国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等に対し、基油の多様化および基油再生に関する取組状況等について、アンケート調査で得られた内容等を踏まえて、ヒアリングを行った結果、現在我が国においては、マテリアルリサイクルとしての基油再生はあまり行われておらず、ほとんどが、そのまま焼却されるか、あるいは再生重油として、サーマルリサイクルが行われており、一部については、使用済み潤滑油の浄油等により、潤滑油としてリユースされている。
- 再生基油に関する今後については、現在、我が国で行われている再生重油としてのサーマルリサイクルのままでよいのでは、とする意見がある一方、今般の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)によるパンデミックや、昨今のカーボンリサイクル関連動向等を受け、今後の電気自動車 (EV: Electric Vehicle)化による製油所低稼働で減圧軽油留分(VGO: Vacuum Gas Oil)が減少することにより、原油からのバージン基油の供給リスクが懸念されるため、事業継続計画(BCP: Business Continuity Planning)対策としても、再生基油は有効ではないか、との意見もあった。

1.3 北米等事業者に対する基油の多様化に向けた取組・基油再生・法規制等に関する調査

北米等の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対しても、①基油の多様化に向けた取組状況、②基油再生の現状、③最新の基油再生技術および④法規制の動向等について、ヒアリング、電子メールおよび Web 会議等の手段により情報を収集し、我が国と北米等における基油の多様化および再生基油に関する取組状況を比較した。主な成果は次のとおり。

- 米国は我が国と同様、2007年以前は、再生燃料の製造がメインであったが、2008年から、原油価格の高騰等により再生基油の比率が上昇し、現在、基油再生は使用済み潤滑油の再生がメインになっている。
- 北米の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対するヒアリング調査では、政策的にインセンティブを出す方策を取れば、使用済み潤滑油回収業者は積極的に回収作業を行い、回収率が向上し、不法投棄が減少するという意見があった。
- また、ポリ塩化ビフェニル(PCB: Poly Chlorinated Biphenyl)については、PCB の計測器等を安価で誰にでも扱えるようにしないと、潜在的に不安要素が残り、もし使用済み潤滑油に PCB の混入が認められると、その時点で責任問題が生じ

るため、現場はリスクを恐れ、使用済み潤滑油の回収率低下にもつながること を訴えていた。

● 米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が発行した "Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1"には、DOE が積極的に現場へ出向き、業界のステークホルダーから詳細の情報を入手していることのわかるレポートが添付されており、関係団体・企業がかなり積極的に DOE に協力している。同レポートによると、米国では、業界それぞれの思惑を越えて、しっかりと話し合い結論を出していく構図のようなものがうかがえる。

我が国において、品質に問題がなく、かつ経済的な再生基油を製造する場合、原料となる使用済み潤滑油の性状について、「使用済み潤滑油のまま」、「再生重油」、「低灰分再生重油にして清浄分散剤を除いて持ち込む」等、どのような品質を要求するかが、今後の再生基油普及に向けたポイントとなると考えられる。さらに、エンジン油と工業用潤滑油を分けて回収するのであればそれなりの対策が必要となる。また、どのようなプロセスで再生基油を製造するのかによっても、原料としての、使用済み潤滑油に対する要求性状が異なってくる。

今後は、我が国における基油の多様化および 2050 年のカーボンニュートラルに向け、品質に問題がなく、かつ経済的な再生基油を製造する方法や、海外での対策等を参考に、再生基油普及に向け、解決すべき課題および解決方法等を明らかにする必要がある。

2. 再生基油を用いた潤滑油の試作および品質評価

2.1 再生基油入手と性状分析

国外で製造・販売されている再生基油 15 油種およびその比較としてバージン(原油から製造されたもの)基油 2 油種を入手して、それぞれの動粘度、粘度指数、組成および硫黄分(以下 S 分)等の性状を分析した。主な成果は次のとおり。

入手した 15 油種の再生基油は、米国石油協会(API: American Petroleum Institute)の基油分類、Group I が 12 油種、Group II が 3 油種である。1 油種以外の再生基油では粘度指数が 100 を超えており、さらに 15 油種中 11 油種が 115 を超えている。これは再生基油の原料となる市場に流通している潤滑油製品の高品質化に伴う粘度指数の向上を反映している。

● 入手した再生基油のS分は、その使用済み潤滑油の回収エリア別に欧州、オセアニアおよび北米の順に減少する。

2.2 再生基油を用いたエンジン油の試作と性状分析

入手した再生基油 15 油種およびその比較として入手したバージン基油 2 油種を用いて 17 種類のディーゼルエンジン油および 17 種類のガソリンエンジン油を試作し、それぞれの密度、動粘度、粘度指数、清浄性および酸化防止性等の性状・性能を評価分析した。主な成果は次のとおり。

- 粘度が低い再生基油を配合した 2 油種以外の試作ガソリンエンジン油の蒸発損失は、API サービス分類 SL の要求値を満たしている。同様に、粘度が低い 2 油種以外の試作ディーゼルエンジン油の蒸発損失は、日本自動車規格(JASO: Japanese Automobile Standards Organization) JASO DH-2 の要求値を満たしている。
- 入手した再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の内燃機関用潤滑油酸化安定度試験(ISOT: Indiana Stirring Oxidation Test)による酸価の増加は、1 油種以外は Group I のバージン基油を用いたガソリンエンジン油より少ないが、Group II のバージン基油を用いたガソリンエンジン油より酸価の増加が大きい。同様に、入手した再生基油を用いた試作ディーゼルエンジン油の ISOT による酸価の増加は、1 油種以外は Group I のバージン基油を用いたディーゼルエンジン油より少ないが、Group II のバージン基油を用いたディーゼルエンジン油よりは酸価の増加が大きい。
- Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test 後の試作ガソリンエンジン油の動粘度増加率について、Group I のバージン基油を用いたガソリンエンジン油の結果と比較すると、蒸発損失により ROBO Test が完了できなかった 2 油種以外の試作ガソリンエンジン油は Group I のバージン基油を用いたガソリンエンジン油より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油はGroup I 以上の酸化安定性を持つ。さらに 6 油種は Group II のバージン基油を用いたガソリンエンジン油より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油を用いたガソリンエンジン油はり動料度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油以上の酸化安定性を持つ。

- High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)の結果、1 油種以外の試作 ディーゼルエンジン油は JASO DH-2 の耐食性(HTCBT)の要求性能を満足して いる。
- Hot Tube Test(HTT)の結果、いずれの試作ディーゼルエンジン油も JASO DH-2 の高温堆積物防止性能の要求性能を満足している。

今後は、本年度入手できなかった再生基油や、ロット違いの再生基油についてもその性能を明らかにする必要がある。

2.3 再生基油を用いたエンジン油のエンジン試験による評価

再生基油を用いてエンジン油を試作し、エンジン試験により、原油から製造した基油を使用したエンジン油の性能と比較検証することにより、我が国で必要な再生基油の品質水準の検証を行った。主な成果は次のとおり。

- エンジン油規格に規定されているすべてのベンチおよびエンジン試験による評価を実施していないので、今後さらに確認する必要はあるが、少なくとも基油の性能が最も影響すると考えられる酸化安定性試験(Sequence III)および各種ベンチ試験の結果から、本報告で入手した再生基油により API SL クラスのガソリンエンジン油および JASO DH-2 クラスのディーゼルエンジン油の規定に合格できるエンジン油を作成できる見込みが立った。本事業で評価できなかったベンチ試験およびエンジン試験に、既存の添加剤パッケージそのものあるいは若干の改良により合格できれば、本事業で入手した再生基油により API SL クラスのガソリンエンジン油および JASO DH-2 クラスのディーゼルエンジン油の製造が可能であろう。
- 2018 年の国内市場のガソリンエンジン油、ディーゼルエンジン油の粘度グレード、品質グレードの割合は、ガソリンエンジン油では米国自動車技術会(SAE: Society of Automotive Engineers)粘度グレード、SAE 5W-30以下の低粘度油が74%を占め、API SN以上が87%となっている。一方、ディーゼルエンジン油については、JASO DH-2、SAE 10W-30が主流である。本報告の再生基油を使用したJASO DH-2、SAE 10W-30や API SL、SAE 10W-30の製造可能確認は、運送業などの事業継続計画(BCP: Business Continuity Planning)に対し有効であると判断される。
- カーボンニュートラルの実現に向けて、市場にあるガソリンエンジン車の燃費 維持は重要であり、JASO GLV-1、あるいは ILSAC(International Lubricant Specification Advisory Committee、国際潤滑油規格諮問委員会)規格、ILSAC

GF-6 といった現在の最新のエンジン油規格への再生基油の適用性については、 市場にあるガソリンエンジン車の燃費維持のためにも今後さらに検討する必要 がある。

3. 使用済み潤滑油の基油再生に関する社会システムの検討

- 米国では年間で約360万 kLの使用済み潤滑油が回収され、94万 kLが再精製されて再生基油となっている。この再精製は12企業の13工場で行われており、国内では使用済み潤滑油が年間60万 kL回収されていることから、国内でも使用済み潤滑油からの再生基油製造は事業として成立する可能性がある。
- 再生基油製造の事業化に関して、「使用済み潤滑油の回収→基油への再生→再生 基油を用いた潤滑油の製造」というサイクルの各段階における課題および対策に ついて検討を継続する必要があり、具体的には以下の点が挙げられる。
 - ✓ 水分、塵埃、摩耗粉などの異物を大量に含む使用済み潤滑油からの基油再生は、複雑な再生工程が必要となり、環境負荷も大きくなり、経済的にも負担は大きくなるだろう。また、反対に異物が少なければ比較的簡単な工程で、使用済み潤滑油を効率よくリユースできる。したがって、使用済み潤滑油に含まれる異物の量や質によって、適するリサイクル方法が異なる。そのためには、使用済み潤滑油をどのように分別するか、その分別の基準や方法の検討が重要な課題となる。
 - ✓ 潤滑油製造会社ならびに需要家が再生基油から製造された潤滑油の品質を容認する必要があり、我が国独自の「再生基油品質基準」の策定が望まれる。なお、本事業の検討で欧米から入手した再生基油を用いて適切に添加剤を配合した試作エンジン油は、API や JASO(日本自動車規格)に規定された品質を満足する可能性が確認されている。
 - ✓ 我が国には再生基油およびそれらを使用した潤滑油に関わる法整備がされておらず、官公庁での再生基油の利用を促進するグリーン調達制度、カーボンニュートラルを実現するための基油再生への国の支援などが再生基油使用潤滑油の普及には重要である。

第2部 事業の結果

第1章 基油の多様化状況および基油再生に関す る動向調査・分析

第1節 はじめに

内外の基油多様化の状況および基油再生に関する動向等について調査、分析をしたので 報告する。

第2節 国内事業者に対する基油の調達におけるリスク等分析

国内の潤滑油製造事業者に対し、基油の調達状況について、アンケート調査等の手法により情報を収集し、基油の調達におけるリスク等を分析して取りまとめたので報告する。

1. 調査の方法

国内の潤滑油製造事業者 28 社に対し、基油の調達状況の実態を調査するため、電子メールによるアンケート調査を実施した。

2. 調査の結果

アンケート調査の回答数および回収率は、配付数 28 件に対し回答数 27 件(回収率: 約 96%)である。国内の潤滑油製造事業者における基油の調達状況に等に関し、次の調査結果を得た。

2.1 回答事業所における潤滑油製造製品

回答事業所で製造している潤滑油製品を図1-1に示す。

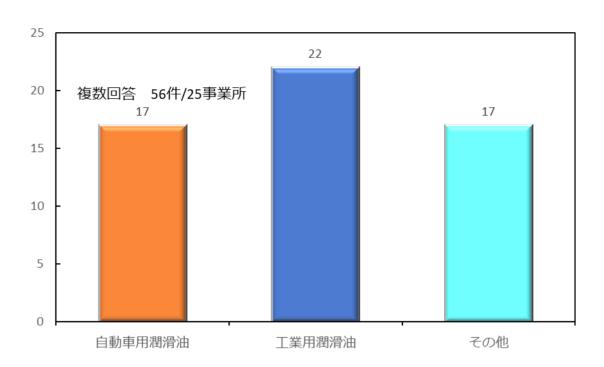


図 1-1. 回答事業所で製造している潤滑油製品

図 1-1 から、回答事業所で製造している潤滑油製品は、工業用潤滑油が 22 事業所と最も多く、次いで自動車用エンジン油の 17 事業所となっている。また、その他と回答した事業所の中には、舶用潤滑油と回答した事業所がある。

2.2 回答事業所の基油の購入先

回答事業所の基油の購入先を図1-2に示す。

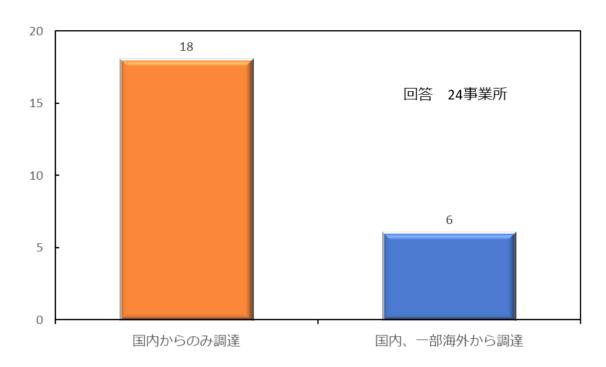


図 1-2. 回答事業所の基油の購入先

図 1-2 では国内事業者(国内輸入商社等)から購入した基油は、海外で製造されていても「国内調達」としている。図 1-2 から、回答事業所の基油の購入先としては、国内からのみ調達と回答した事業所は 18 事業所で、国内、一部海外から調達と回答した事業所は 6 事業所である。大部分の事業所が、基油を国内からのみ調達している。

2.3 基油を調達できなくなった場合の代替策

回答事業所において、もし、何らかの事情で現在使用している基油を調達できなくなった場合の代替策について図 1-3 に示す。

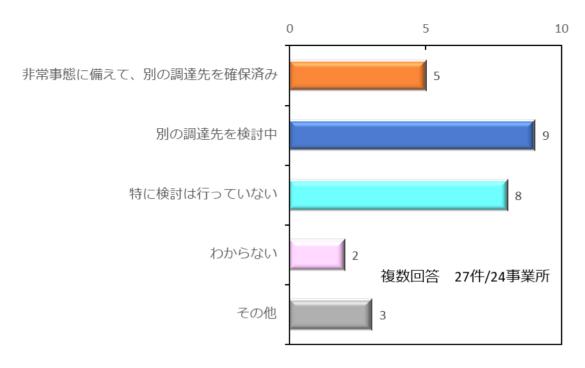


図 1-3. 基油を調達できなくなった場合の代替策

図 1-3 から、回答事業所のうち「非常事態に備えて、別の調達先を確保済み」と回答したのは、回答事業所のうち 5 事業所(約 21%)であり、「別の調達先を検討中」と回答したのは、9 事業所(約 38%)である。「非常事態に備えて、別の調達先を確保済み」と「別の調達先を検討中」を重複回答した会社が 3 社あった。その他の事業所は、「特に検討は行っていない」、「わからない」、「その他」と回答しており、今後の非常事態に備えた代替策の検討が求められる。

2.4 回答事業所の再生基油に対する考え方について

回答事業所の再生基油に対する考え方を図1-4に示す。

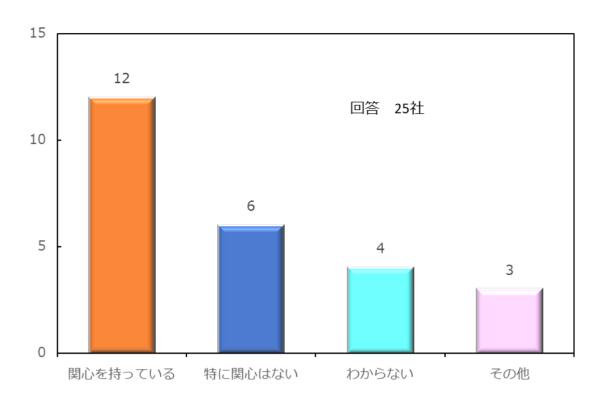


図 1-4. 回答事業所の再生基油に対する考え方

図 1-4 から、回答事業所のうち約半数の 12 事業所は、再生基油に関心を持っている。また、その他次の意見があった。

- 品質、安定供給、価格等の問題がクリアになれば・・・。
- 過去に再生基油を試したが、油種、グレードが限定的であった。
- 使用済み潤滑油は廃油として回収されるため、再生されたとしても、品質が安定しないと思われる。また、エンジン油は多様な添加剤が処方されており、完全に除去できるか不安である。

2.5 再生基油が入手可能である場合の回答事業所における意識について

再生基油が入手可能である場合の回答事業所における意識を図 1-5 に示す。

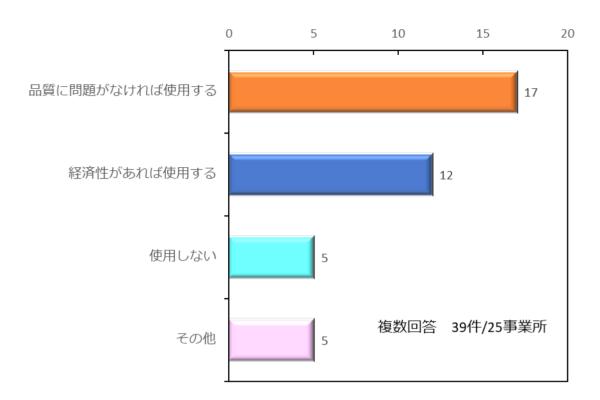


図 1-5. 再生基油が入手可能である場合の回答事業所における意識

図 1-5 から、回答事業所のうち 17 事業所は、再生基油の品質に問題がなければ使用すると回答しており、また、12 事業所は、経済性があれば使用する、と回答している。

2.6 再生基油が入手可能である場合でも使用しない、と回答した事業所における回答理由

「再生基油が入手可能である場合でも使用しない」と回答した事業所の回答理由を表 1-1 に示す。

表 1-1. 「再生基油が入手可能である場合でも使用しない」と回答した事業所の回答理由

回答理由

製品需要家・市場での受け入れ体制(品質確認・コスト・感覚的受入れ感)が醸成されていない。

OEM(Original Equipment Manufacturer)の処方指示のため

品質・供給の安定性が確保できなければ使用できない。

規格に合致していても、微量の混入物質の悪影響や、使用を継続する中で性能差(劣化度合い)が出る可能性が否定できないため。

顧客からの化学物質開示の要求が厳しく、混入物が特定できない 再生油の使用は困難。

表 1-1 から、再生基油の普及に関しては、製品需要家・市場での受け入れ体制確立、 受託先の承諾、品質・供給の安定性および化学物質開示の要求への対応等の解決が必 要となることがわかる。

2.7 回答事業所において、すでに潤滑油の原料として再生基油を使用している製品の有無について

回答事業所において、すでに潤滑油の原料として再生基油を使用している製品の有無について図 1-6 に示す。

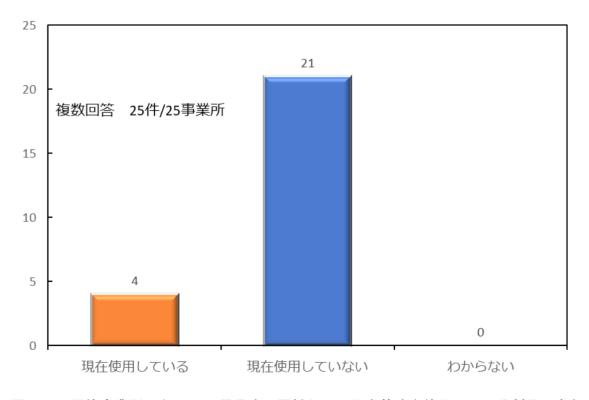


図 1-6. 回答事業所において、潤滑油の原料として再生基油を使用している製品の有無

図 1-6 から、現在再生基油を使用している事業所は 4 事業所のみである。

2.8 再生基油を使用していると回答した事業所において使用されている再生基油の製品原料への使用状況について

使用されている再生基油の製品原料への使用状況について図1-7に示す。

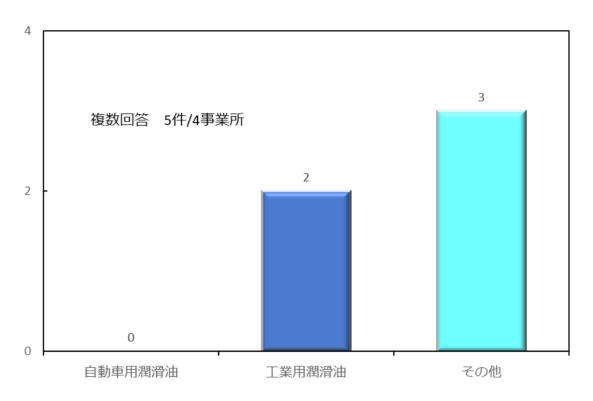


図 1-7. 再生基油を使用していると回答した事業所において使用されている再生基油の製品 原料への使用状況

図 1-7 から、再生基油を使用していると回答した事業所では、工業用潤滑油の製品 原料として使用している。また、その他と回答した事業所においては、コンクリート 離型剤の基油、あるいはフラッシング油と回答した事業所があった。

2.9 今後、潤滑油の原料として、再生基油が広く流通するために必要な項目に対する回答事業所の考え方について

回答事業所の回答を図 1-8 に示す。

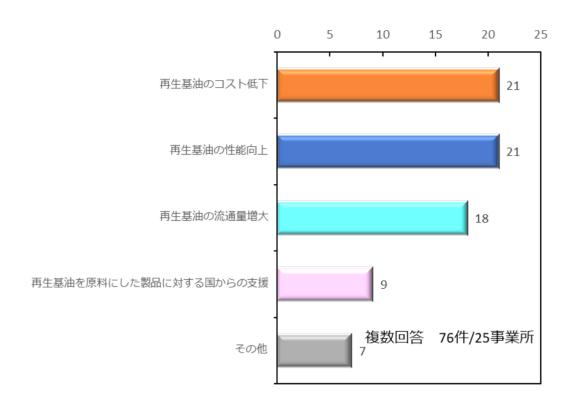


図 1-8. 今後、潤滑油の原料として、再生基油が広く流通するために必要な項目に対する回答事業所の考え方

図 1-8 から、再生基油のコスト低下と性能向上を挙げた企業が同数の 21 社となっており、再生基油の流通量増大を挙げた 18 社がこれに続く。今後、再生基油が広く流通するためには、コスト低下、性能向上および流通量増大が重要な項目と考えられている。

2.10 再生基油に対する回答事業所からの要望について

再生基油に対する回答事業所からの要望は次のとおり。

表 1-2. 再生基油に対する要望

A社	再生基油を使用した製品の普及には法的側面からの整備も重要と考える。
B社	再度 JALOS での再生基油への取り組みを希望する。 国の支援制度についての調査および、業界団体として補助金の創設活動
C社	再生基油を原材料にした製品に対しての税制優遇。 再生基油に対する補助金、助成金。
D社	潤滑油に使用済みで、油性剤、極圧剤等含有しているものであれば、その影響を排除したもの(影響度の小さいもの)が望ましいと考える。
E社	再生基油を使用するには、粘度等の品質の安定が必須である。
F社	顧客の「化学製品を構成する化学物質は、100%開示されなければ使用しない」「混入する不純物も含めて、化学製品中の物質について、メーカーが保障するように求める風潮」が変わらない限り、再生油を全面的に普及させることは難しいと考えている。 それさえ、クリアできれば、再生油の使用は、コスト的にメリットがあれば、普及すると思う。
G社	基油への再生を取り組んでいる北米や欧州における「流通量」や「性状の安定性」等、より詳しい情報を入手したい。

表 1-2 より、今後、再生基油が広く流通するためには、法的側面からの整備、再生 基油に対する補助金や助成金等が重要とする意見や、化学製品を構成する化学物質の 情報開示に関する内容が今後の課題とする意見があった。また、北米や欧州における 再生基油の「流通量」等の詳細情報を入手したいとする意見もあった。

第3節 国内事業者に対する基油の多様化および基油再生に関する取組状況等調査

国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等に対し、基油の多様化および基油 再生に関する取組状況等について、アンケート調査で得られた内容等を踏まえて、ヒアリ ング、電子メールおよび Web 会議等の手段により情報を収集したので報告する。

1. 調査の方法

国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等 5 法人に対し、基油の多様化および基油再生に関する取組状況等の実態を調査するため、Web 会議等によるヒアリング調査を実施した。

2. 調査の結果

国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等における基油の多様化および 基油再生に関する取組状況等に関し、次の調査結果を得た。

2.1 全国オイルリサイクル協同組合

全国オイルリサイクル協同組合は、1986年に設立された全国再生鉱油連合会と1995年に設立された関東再生油業協同組合を統合する形で、2001年に設立された。現在、同組合では、再生重油の共同受注、相互融通および適正な回収と処理能力の向上等を通じて、組合員のリサイクルビジネスを支援する共同事業を行っており、主に、使用済み潤滑油から日本産業規格(JIS: Japanese Industrial Standards)に適合した再生重油を製造し、使用済み潤滑油を燃料にリサイクルしている。本調査では、使用済み潤滑油再生事業者組合として、国内の使用済み潤滑油回収・処理の現状や再生基油普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について、ヒアリング調査を行った。調査の結果は次のとおり。

1) 国内の使用済み潤滑油回収・処理の現状について

回答者の個人的な見解として、次の推計値を示した。

(1) 使用済み潤滑油のマテリアルフロー

① 使用済み潤滑油回収・処理の現状(全国オイルリサイクル協同組合)

・2019 年度

使用済み潤滑油回収 329 千 kL

再生重油生産 312 千 kL 離型剤 1.5kL 含む

ロス・焼却 17 千 kL 5.1%

② 使用済み潤滑油回収・処理の現状(全国推定)

・2019 年度

使用済み潤滑油排出量 730 千 kL

再生利用 19 千 kL 潤滑油洗浄再使用

自家燃料13 千 kL水系廃油処理52 千 kL廃油ボイラー・ストーブ50 千 kL廃油処理業者回収600 千 kL

焼却工場 40 千 kL

廃油再生工場 560 千 kL

再生重油生產 530 千 kL

(内全国オイルリサイクル協同組合 312 千 kL)

離型剤 2 千 kL

処理後ロス・焼却 28 千 kL

2) 基油再生普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について

(1) 問題点

基油再生に関する問題点として、次の意見があった。

- 回収インフラの構築(油種別保管、油種別回収、油種別貯蔵、基油製造)を誰が受け持つのか。
- 採算面、基油再生に係るコストが不明。
- 採算性がないと使用済み潤滑油処理業者は現在需要のある再生重油の製造販売を継続することを選択することになる。回収コストが一番大きいので回収だけで採算を取るのは難題である。
- 基油再生しても CO₂排出量の低減化には貢献しない。再生重油が減少する 分、他の重油燃料に切り替わるだけである。
- 基油再生に向けられる潤滑油が使用済みエンジン油、工業用潤滑油中心になるとすると、残った廃油は再生重油としての安定した均一性のある製品の製造は難しくなる。利用価値のないものが残り、低カロリー燃料や焼却処分に回すしかなくなり、産業廃棄物として取り扱う以外の選択がなくなる。
- 現在の自動車潤滑油は非常にシビアな基準で生産されているが、再生基油 はその基油として使用可能なのか。
- 再生基油はバージンの基油と比較され価格は安く設定されると想定される。
- 電気自動車の普及が進む中、自動車用潤滑油は減少することが予想される が、今、基油再生に取り組む必要性があるのか疑問である。
- 基油再生は資源の有効利用ということで一見理想的に見えるが、理想論だけでは進まないのではないか。

(2) 国への要望と期待される効果

国への要望と期待される効果について、次の意見があった。

- 現状、資源の有効利用としての再生重油のサーマルリサイクルは再生業者・ 需要家から双方から支持されており、特に問題があるわけではないので、 マテリアルリサイクルに方向転換するのは相当な力仕事になる。
- 基油再生を進めるためには国として基油再生の方針をしっかり確立して、 自動車メーカーに対して再生基油からの潤滑油の購入義務を負わせる必要 がある。法的拘束力を持たせ、かつ設備のための助成、採算が合わない場 合は利益補填のための助成も考慮する必要がある。
- 原油輸入量が多少減少する効果はあるかもしれない。
- 世の中では使い捨て文化からリサイクルする文化への転換が進んでいるが、 その一助にはなるかもしれない。ただ、現在の使用済み潤滑油リサイクル は有効利用であり使い捨てには該当しない。

3) カーボンリサイクル関連動向等に対する再生基油への使用済み潤滑油再生事業者組合としての考えや、今後の方向性等について

カーボンリサイクル関連動向等に対する再生基油への使用済み潤滑油再生事業者組合としての考えや、今後の方向性等について、次の意見があった。

- 今後電気自動車の普及が進む中、自動車用潤滑油は減少することが予想されるため、理想論からいえば、使用済み潤滑油をマテリアルリサイクルで回すことになるが、原油処理量が減ったからといって、基油に回すものが比例して減るとは考えていない。今後電気自動車の普及がどのようなスピードで進むか等の情報が重要だと思う。
- 再生基油を作る上で、将来的に減少すると予想される市場に誰が参入するか、 ということを考えると、将来の潤滑油の量がどの程度残っていくかについて の情報がないと、手を挙げるところもないと思う。
- 現在、サーマルリサイクルはリサイクルとして認められているので、なぜマ テリアルリサイクルに変えなければならないか、ということが組合員等に理 解されないと、協力が得られないと思う。
- カーボンニュートラルの政策において、経済界が石油系燃料を大幅に削減する方向に転換せざるを得ない時には、削減される割合に応じてマテリアルリサイクルへの転換も必要にならざるを得ないかもしれない。ただし並行して潤滑油の使用量も減少し、使用済み潤滑油の排出量も減少することになるのではないか。

2.2 株式会社東亜オイル興業所

全国オイルリサイクル協同組合のメンバーであり、使用済み潤滑油のリサイクル事業者である。同社は2013年から2016年にかけて現国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization)の委託事業としてインドネシアで廃油リサイクルシステム実証実験を実施した。その成果や、基油再生が国内で実施できない理由等について、ヒアリング調査を行った。また、再生基油普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果等についてもヒアリング調査を行った。調査の結果は次のとおり。

1) インドネシアでの廃油リサイクルシステム実証実験での成果

インドネシアでの廃油リサイクルシステム実証実験での成果について説明があった。

(1) 背景と目的

インドネシアでは、自動車普及の進展が目覚ましく、それに伴いエンジン油を 始めとする潤滑油の需要が伸びているが、使用済み潤滑油について必ずしも適正 な処理が行われず深刻な環境汚染を引き起こしているとされている。

同社では、使用済み潤滑油等のリサイクルシステムが十分に根付いていないことに注目し、使用済みエンジン油、使用済み油圧作動油等の使用済み潤滑油から燃料油(軽質油、重質油)および使用済みトランス油からコンクリート離型剤を経済合理的に、また環境負荷低減にも貢献できる形で再利用するリサイクルシステムを構築し、安定稼動させるための実証実験を実施した。

(2) プロジェクト概要

実証実験の実施場所は、周りが海に囲まれ、鉄を使うと、1 年もたないで配管に穴があくため、材質を変える等、主要機器については我が国で実績のある仕様をベースに、現地の状況を考慮し、長期安定生産に支障を来さないようなプラントを設計および開発を行った。また回収する使用済み潤滑油も、我が国の排出業者のような、ある程度の分別が全く行われておらず、液体のものは何でも一緒に回収されることが多かったので、それらにも対応できるよう設計を行った。

試運転を通じて安定的な稼働の条件を決定し、人員体制や点検項目の確定、運転・点検スケジュールの策定等を行った。なおインドネシアでは、燃料油は我が国のような再生燃料の規格がなく、重油であれば、A 重油相当、軽油であればディーゼル燃料と同じ規格を満たす必要があったため、アッシュ分とセジメントの

2 点が課題であったが、フィルタリング等で解消を行い、最終的には船舶燃料や 発電機燃料としての実験を実施し、排ガスの測定も行った。発電機については、 最新のモデルに近かったため、1 週間程度で燃料フィルターに詰まりが発生した ため、そこが課題と考えている。

今後も各種廃油によるテストにより、さらに安定した軽質油回収モデルの確立が必要と考えている。なお現在、パートナー企業が継続して実験を行っているようだ。分析結果から、再生軽質油、再生重質油とも一部インドネシア規格を満たしていない項目があることを確認した。複雑で高コストとなる技術などで解決できることが分かっているが、さらに技術的改善を加えるべく、経済性も含め鋭意検討中である。その他としては、界面活性剤および遠心分離機を利用する方法による、廃油(高含水乳化油:水分30%以上)の水分除去に関する研究を行った。また実験室的規模で、触媒分解法(NiMo)を使用した、重質油から軽質油への改質技術に関する研究を行ったが、現在は一旦中止としている。実用に際しては、触媒の被毒性と寿命、触媒再生などの未確認事項を含め、検討が必要と考えている。

2) 基油再生が国内で実施できない理由等

北米等に比べ、我が国のリサイクルに対する考えが薄く、力が入っていないと思われる部分もある。リサイクルしたものを優先的に使うような制度等を我が国でも作り始めないと、基油再生は、国内ではなかなか進まないのではないかと思う。これは潤滑油に限らず、いろいろな商品に対しても同じことがいえる。

基油再生普及に向けた国へのサポートの要望や、期待される効果について

国からの補助金というよりも、再生基油を作るにあたっては、当然バージン基油よりもコストがかかることは明らかなので、国に対しての要望そのものをみんなでまとめて、提案する方がよいのではないかと思う。欧州では、再生基油を使用すると消費税が20%となるが、バージン基油を使用すると40~50%を課税するような制度があるようだが、それぐらいの強い措置を伴わないと、基油再生の普及は、なかなか難しいのではないかと思う。

4) カーボンリサイクル関連動向等に対する、再生基油へのリサイクル事業者として の考えや、今後の方向性等について

今後は自動車の動力源も、電気や水素に変わりつつあるものと思う。水素ガスを 直接燃焼させるエンジンであれば、恐らくエンジン油はまだ使用されると思うが、 電気に代わるとなると、あまり使われなくなると思うので、今後の動向が懸念され るところではある。今後は、使用済み潤滑油を再生重油等の燃料にするという事業 がだいぶ縮小されてくるのではないかと、肌身で感じている。本年度の調査対象としては、エンジン油をターゲットにしていると思うが、やはり、使用済み潤滑油を基油に戻すこと、例えば工業用の油圧作動油とか、再度添加剤を入れることで、再度使用可能な状態へと転換するということも、そろそろ考えざるを得ないのではないかと考えている。使用済み潤滑油を燃焼するとカーボンフリーではなくなってしまうので、サーマルからマテリアルへの転換も今後考えていかなければならないと思う。

2.3 阪和興業株式会社

再生基油輸入商社として、再生基油製造・販売事業者、再生工程および性状等について、ヒアリング調査を行った。また、再生基油普及に向けた国へのサポートの要望 や期待される効果等についてもヒアリング調査を行った。調査の結果は次のとおり。

1) 再生基油製造・販売事業者の近況について

(1) Southern Oil Refining Pty

豪州の再生基油製造業者。豪州には潤滑油基油製造会社がなく全量輸入となっている中で、再生基油製造を行い自国の基油供給に貢献している。自国内需要を最優先し余剰分を輸出している。阪和興業では、Southern Oil Refining Pty 社の再生基油を東南アジア向けに輸出している。2020年11月より使用済み潤滑油の収集量が不足し、輸出を控えているが、ヒアリングの時点では2021年3月から輸出を再開する予定になっている。日本でもSouthern Oil Refining Pt 社の再生基油の利用に向けてのサンプル評価が進んでいる。Southern Oil Refining Pt 社の再生基油価格はICIS(Independent Commodity Intelligence Services)のGroup II FOB NE Asia 価格を基に算出している。Southern Oil Refining Pt 社では、日本での再生基油製造にも関心を示しており、技術面の提供や協力も可能としている。

(2) Vertex Energy Inc

米国の基油再生事業者。ICIS US Gulf Coast 価格を基に再生基油の価格を提示している。阪和興業では、米国からの輸送費が高いため Vertex Energy 社の輸入再生基油は日本の市場とは合わないと考えている。品質に関しては使用済み潤滑油回収の時点で一定の基準を設けることによって担保している。今後の SAE 0W-X エンジン油等の製造を考慮すると水素化精製が最適と考えている。現在は政府の助成制度なしで純粋に経済性が成り立っているとのことである。

(3) AVISTA Oil AG

米国、ドイツ、デンマークで基油再生を行っている基油再生事業者。ICIS US Gulf Coast 価格を基に再生基油の価格を提示している。阪和興業では、米国からの輸送費が高いため、Vertex Energy 社と同様に、日本の市場とは合わないと考えている。助成制度なしで経済合理性に基づいて事業を行っている。精製法は経済性から N-メチル-2-ピロリドン(NMP: N-Methyl-2-Pyrrolidone)による溶剤精製を選択している。低設備投資(CAPEX: Capital Expenditure)、事業運営費(OPEX: Operating Expense)が重要と考えている。

2) 基油再生普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について

- (1) 輸入品の普及促進に向けて
- ① 自動車メーカー 添加剤メーカーの認証

欧州では、欧州自動車工業会エンジン油規格(ACEA[Association des Constructures European d'Automobiles] EUROPEAN OIL SEQUENCES)適合品の開発のための欧州潤滑油技術工業会(ATIEL: Association Technique de l'Industrie Européenne des Lubrifiants)の開発実施要領(Code of Practice)で、再生基油はバージン基油と同等に扱われる。例えば、再生基油使用エンジン油AVISTA Pure EVO CI-4 は Mercedes の認証オイルリストに入っている。

② 試験項目とその範囲の標準化

再生基油の普及には、潤滑油製造会社が再生基油を安心して使えるように多環芳香族炭化水素(PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)、微量ポリ塩化ビフェニル(PCB: Poly Chlorinated Biphenyl)、金属分等および再生基油特有の品質項目を設けることが必要と考えている。品質項目をクリアしたものは、原油から製造したバージン基油と同等の扱いとすることや、OEM からの化学物質 100%開示部分についても検討の必要がある。

③ 再生基油を使う促進制度の導入

生産者としてエコマークが表示可能となったり、使用者としてグリーン購入の判断基準にいれることができるようになったりすれば、再生基油の普及が進むと思う。

④ API Engine Oil Licensing and Certification System Annex E で規定されている 10%ルール内での混合を了承し、再生基油使用のハードルを下げる。または義務化。

⑤ 再生基油イメージの払拭

再生基油は粗悪品であるとのイメージを払拭し、再利用品との品質の違いを 業界へ周知させる必要がある。

⑥ カリフォルニア式の導入

米国カリフォルニア州で行われているように、潤滑油販売時に課税し、回収精製補助金へ充当することで、再生基油の普及が進むのではないか。イタリア、スペイン、ポルトガル、フランスも類似制度を採用している。

(2) 国産品製造の普及促進に向けて

① 技術面のサポート

NORA, An Association of Responsible Recyclers や欧米の既存参入業者とのパートナー連携が有効と考える。Avisa、SK、Southern Oil Refining Pty 等、特許パッケージライセンスの購入の補助ができるとよい。

② ライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)の実行

経済合理性だけでなく、環境負荷面でもメリットがあることを立証する必要がある。

③ 資金面でのサポート

製造設備の1/3の補助金等が必要と考えている。

④ 潤滑油協会会員への購入促進

潤滑油協会会員の再生基油に対する積極的な購入を促し、需要喚起と新規参 入障壁を限りなく減らすことができれば、普及は進むと考える。

⑤ 基油再生に基づいた廃棄ガイドラインの作成と周知

分別徹底、微量 PCB 等に関して、廃棄ガイドラインの作成や周知が必要と 考える。

3) カーボンリサイクル関連動向等に対する、再生基油への商社としての考えや、今後の方向性等について

阪和興業では、欧米同様、日本でも再生基油の製造、使用のサイクルを作ること が重要と考えている。阪和興業の考えは次の通りである。

(1) 日本で再生基油を製造すべき理由

資源を輸入に頼らないことが重要と考える。サーマルリサイクルからマテリアルリサイクルへの転換を図ることは、SDGs(Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)の目標 9(産業と技術革新の基盤をつくろう)、および目標 12(つくる責任つかう責任)に合致していると思う。再生基油を日本で製造することで、日本式技術のアジア展開を図ることができるのではないかと考えている。

(2) 基油再生の主体

再生重油メーカーと潤滑油メーカーあるいは商社が主体となるのではないか。 一番の課題は、原料確保ではないかと思う。収集運搬の難度が高いため、既存の回収ルートを維持すべきであり、同時に品質、技術面、イメージ、経験、販売ルートや資金面の確保に潤滑油メーカーや商社の力が必要と考える。

(3) 製造すべき再生基油

今後の Group III 基油の需要増への対応として、水素化精製法にて Group III の基油をつくることが最適と考える。

今般の COVID-19 によるパンデミックで世界的な製油所低稼働による減圧軽油留分(VGO: Vacuum Gas Oil)が減少し、その連産品であるバージン基油の供給リスクが明らかになった。将来、同様のパンデミックや、電気自動車の普及による製油所稼働減で同様のリスクが懸念される。BCP 対策としても、製油所由来でない国産原料として再生基油は有効ではないか。今後は、再生基油=低品質のイメージを払拭することが必要となる。また、水素化精製による再生基油製造工程は副生成物が少なく、基油販売に注力することが可能となる。

(4) 再生基油の製造

再生基油の製造地域としては、使用済み潤滑油の回収が多い地区の競争緩和も図れ、また需要地にも近いため、関東、中京および阪神地区がよいと思う。また、Group III を作るなら水素が必要となるため、製油所等副生水素の発生場所に隣接させる方がより良いと考える。

例) 米 Hydrodec と英 Essar oil のジョイントベンチャーなど。

2.4 三和化成工業株式会社

潤滑油製造事業者として、再生基油の採用状況や再生基油普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について、ヒアリング調査を行った。調査の結果は次のとおり。

1) 三和化成工業での再生基油の採用状況について

自社ブランド品への再生基油の採用について検討の有無に質問したところ、次の 回答が得られた。

再生基油の使用の検討は行っていない。10年程前に国内のあるメーカーにエンジン油の再生基油の評価を依頼されたことがあったが、熱安定性が悪く、使えなかった。自社での使用は難しいため、精製元売会社等に相談してはどうかと提案した。使用済みエンジン油を収集し、濾過、再蒸留した基油であったが、酸化安定性と熱安定性が悪かった記憶がある。パイロットプラント的なものであったため、その後、どうなったかは不明である。

2) 基油再生普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について

海外ではすでに使用例があるが、国内で行うには収集から再生までのシステムを構築しないと実際は難しいと思う。再処理のための装置にどこまで費用がかけられるかという点もある。国が本腰を入れたうえで、相当の援助がなければ、基油再生事業の普及は難しいと思う。

3) カーボンリサイクル関連動向等に対する再生基油への潤滑油製造事業者としての考えや、今後の方向性等について

カーボンフリーと叫ばれているが、新車販売時においてハイブリッド自動車の販売を当面認めるのであれば、エンジン搭載車が世の中に残ることとなる。エンジンを搭載した自動車が市場に残っている間は、燃料やエンジン油も必要となる。もし、エンジンがなくなればエンジンの機械加工に必要な、加工油の需要も減少する。今後の再生基油普及については、エンジン油の需要も減少する中で、国がどこまでカーボンリサイクルに本腰を入れるかにかかわってくると思う。

2.5 新日本油脂工業株式会社

潤滑油製造事業者として、同社が現在行っている、使用済み潤滑油リユース事業の 現状や再生基油普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について、ヒア リング調査を行った。調査の結果は次のとおり。

1) 新日本油脂工業での使用済み潤滑油リユース事業の現状について

主に、鉄鋼メーカー等の潤滑油ユーザーから使用済み潤滑油を同社で処理を行い リユースしている。使用済み潤滑油から、きょう雑物および水分等を取り除いてお 客様に返す浄油を行いつつ、必要に応じて添加剤を加え、潤滑油製品として納めて いる。水分を取り除く際、同社の設備では加熱脱水となり、溶剤が混入した潤滑油 では危ないため、お断りしているケースが多い。また絶縁油は PCB 含有の可能性が あるため、対応していない。

現在、ユーザーが履歴を追えるもののみを対象としており、不特定多数のユーザーからの使用済み潤滑油をリユースの対象にはしていない。一般的に、ほとんどの使用済み潤滑油は、委託事業者での回収の後、再生重油等サーマルリサイクルしている。「環境」はどの企業にとってもメインテーマとなり、もちろん潤滑油業界においても同様と考えている。同社では、使用済み潤滑油のサーマルリサイクルからリユースへの転換を通じ、時代の流れに迅速に対応していき、なおかつ、お客様のコスト削減・環境パフォーマンス等に役立ちたいと考えている。リユースによって、マニフェスト制度からの除外を図ることができる。

2) 基油再生普及に向けた国へのサポートの要望や期待される効果について

昨今、SDGs の実現に向け、いろいろな取り組みが行われているが、使用済み潤滑油のリユースは、処理にかかるエネルギーが小さい等、環境にやさしい、有効な手段と考えている。再生基油を原材料にした製品に対しての税制優遇や再生基油に対する補助金、助成金等の国からのサポートなどを通じ、今までより多くの企業に同社での取り組みを知ってもらい、同社におけるリユース事業を拡大していきたいと考えている。また、エコマーク制度のような商品ライフサイクルの意識が高まるとさらに普及が進むのではと考えている。

3) カーボンリサイクル関連動向等に対する、再生基油への潤滑油製造事業者としての考えや、今後の方向性等について

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、使用済み潤滑油のリユースは、もっと普及すべきと考えているが、リユース事業があまり知られていないのが現状である。同社におけるリユース事業をユーザーに説明すると、驚かれることもあるため、今後リユース事業を、もっと啓発していきたいと考えている。使用済み潤滑油リユースが普及するためには、経済性がポイントとなると考えている。需要家には、常に新油とリユースでの価格差を検討されるが、価格差があれば、リユースへ向かうものと思われる。

第4節 北米等事業者に対する基油の多様化に向けた取組・基油 再生・法規制等に関する調査

北米等の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対しても、①基油の多様化に向けた取組状況、②基油再生の現状、③最新の基油再生技術および④法規制の動向等について、ヒアリング、電子メールおよび Web 会議等の手段により情報を収集し、我が国と北米等における基油の多様化および再生基油に関する取組状況を比較した。

1. 調査の方法

北米等の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対して、①基油の多様化に向けた取組状況、②基油再生の現状、③最新の基油再生技術および④法規制の動向等について、ヒアリング、電子メールおよび Web 会議等の手段により情報収集を行った。また、北米等の使用済み潤滑油に対する政府の環境規制や州のプログラムの動向等の現状および今後の方向性について、ヒアリング、電子メールおよび Web 会議等の手段により情報を収集した。なお、2021年1月に発行された、米国エネルギー省(DOE: Department of Energy) "Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1" りも参考にした。

1.1 調査対象地域および調査先

北米、オーストラリアを調査対象とし、次の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対して、Web 会議による面談を実施した。

- United States Environmental Protection Agency (EPA)
 米国環境保護庁。
- NORA, An Association of Responsible Recyclers 全米の使用済み潤滑油リサイクル企業を代表する業界団体。1985 年設立。
- Safety-Kleen 米国基油再生・潤滑油販売事業者。1954 年に設立。Clean Harbors の子会社。
- Avista Refining and Trading
 米国と欧州に再生工場を有する基油再生事業者の北米部門。 2011 年に設立。
 Universal Environmental Services を通して運営。

また、次の事業者等に対しては、電話および電子メールによるヒアリングを行った。

Vertex Energy

- Heritage Crystal-Clean
- World Oil Corp
- PESCO Pragmatic Environmental Solutions Company
- Calumet Specialty Products Partners
- Shell Lubricants
- Southern Oil Refining Pty, Australia
- 米国エネルギー省(DOE: United States Department of Energy)

2. 調査の結果

2.1 Web 会議による面談等でのヒアリング結果

1) NORA, An Association of Responsible Recyclers

業界では、我が国と同じように、2007年以前は、再生燃料の製造がメインであったが(再生基油の比率は10~30%、原油価格により変動)、2008年から、原油価格が高騰し、再生基油の比率が一気に50%以上に跳ね上がり、今では、使用済み潤滑油の再生がメインになっている。市場では、Group III 基油の普及に伴い、再生基油の品質も向上し、米国では、原油から精製した基油と品質も同等と判断され市場で販売されている。政策的にインセンティブを出す方策を取れば、使用済み潤滑油回収事業者は積極的に回収作業を行い、回収率が向上し、不法投棄が減少するという意見があった。本調査ではNORA、An Association of Responsible Recyclers に対し、会員へのアンケート調査を依頼した。

2) Safety-Kleen

年間 76 万 kL の使用済み潤滑油を収集・処理する北米最大の使用済み潤滑油精製業者。米国、カナダ、プエルトリコなど、数千の顧客から直接、または、同社の 200以上のサービス拠点から、トラック、タンカー、鉄道、バージなどで再精製所(6ヶ所、生産能力 91 万 kL)へ輸送している。95%は再精製基油(Group II+、業界ではGroup II の中で粘度指数が 115以上のものを Group II+と称することがある)で残りは VGO 生産。北米の潤滑油製造会社と自社生産潤滑油に使用している。

最初の操業は 1977 年に遡り、北米で再精製基油製造業者のパイオニア的存在。 米国の日系企業へ一部基油販売を行っているが、今後、日系企業の拡大採用を期待 している。海外展開は、今のところ考えていないが、本調査に協力すると約束。

政策的にインセンティブを出す方策を取れば、使用済み潤滑油回収事業者は積極 的に回収作業を行い、回収率が向上し、不法投棄が減少するという意見があった。 Safety-Kleen 社のビデオが参考となる。

https://www.youtube.com/watch?v=AIcMze5Gn7M&feature=youtu.be

3) AVISTA OIL Refining and Trading, USA

2011 年に米国のユニバーサル環境サービスと合弁し、 AVISTA OIL Refining and Trading, USA を設立。 AVISTA OIL Refining and Trading, USA は、年間 19万 kLの使用済み潤滑油を処理し、基油、燃料、アスファルト補強剤として販売している。本社はドイツにあり、米国含め再生基油精製工場を米国の 1ヶ所含め欧州で3ヶ所保有(生産能力30万トン、現在、デンマークに10万トンクラスの最新鋭再生工場も建設中)。1951年創業で、1971年から使用済み潤滑油の収集・再生事業を本格開始した世界最古の使用済み潤滑油再生企業である。1983年にドイツで使用済み潤滑油から再生基油を製造するまでの一連のリサイクルシステムを標準化した。

同社の技術は、溶剤抽出による精製方法で、Safety-Kleen 社とは異なるが、技術的に確立され、欧米で展開する他にも、新規市場開拓に積極的である。

政策的にインセンティブを出す方策を取れば、使用済み潤滑油回収事業者は積極 的に回収作業を行い、回収率が向上し、不法投棄が減少するという意見があった。

4) Vertex Energy

Vertex Energy は、テキサス州ヒューストンに本社を置き、米国で最大規模の使用済み自動車用潤滑油の再精製を行っている。ヒューストンとポートアーサー(TX)、マレロ(LA)、コロンバス(OH)、ベルチャス(LA)に拠点を置き、年間 1 億 1,500 万ガロン(43 万 kL)を超える処理能力を備えている。精製は、主に膜(薄・厚)蒸留と水素化処理で行っている。主な顧客は、自動車用エンジン油の製造業者 Vertex の再精製する基油は、優れた性能を持ち、バージン基油よりも高く評価されている。価格もバージン基油と同等に扱われている。Vertex は使用済み潤滑油として、自動車用エンジン油に限定して回収したものを精製しており、工業用潤滑油の回収物は極力扱わないようにしている。再生基油のビジネスについては、業界内の知識向上が重要で、より良い基油の製造と顧客のニーズを把握して、生産計画を立て、適切な営業をおこなっていくことが重要である。また、バージン基油と再生基油の販売価格はかなり接近し、再生基油のトータルコストはバージン基油に比べ安くなってきたので、業界としての利益は拡大している。今後、使用済み潤滑油の回収率を上げるためにも、回収業者へのインセンティブを多く盛り込んでいけば、再生基油の製造量も増え、環境問題も解決されていくと思う。

5) Heritage Crystal-Clean

Heritage Crystal-Clean はインディアナ州インディアナポリスにある地元財閥 Heritage Group 企業の一員で、同グループの基油および潤滑油販売の Calumet Specialty Products Partners と潤滑油の製造販売の一翼を担っている。歴史は 1980 年代に遡り、1999 年に今の Heritage Crystal-Clean を設立した。現在、拡張を続け、再生基油製造能力は 7,500 万ガロン(28 万 kL)/年となっている。主に Group II 基油を製造しており、全米 2 位の使用済み潤滑油回収業者であり、再生基油製造業者である。2020 年は 4,850 万ガロン(18 万 kL)の再生基油と、2,440 万ガロン(9.2 万 kL)の使用済み潤滑油を原料としてその他の製品(主に再生燃料)を製造した。Heritage Crystal-Clean の基油は、市場においてバージン基油マイナス 5%程度でCalumet を通じて販売されており、売上高(再生基油含む)も毎年増加している。

6) World Oil Corp

World Oil Recycling は、カリフォルニアを代表する使用済み潤滑油と使用済み不凍液のリサイクル業者。40年以上環境サービスを実施、米国西部最大の環境ビジネスを行い、使用済み潤滑油を含む有害で汚染された廃棄物を回収、再生、処理、処分するという環境問題で重要なリサイクルソリューションを提供している。現在、カリフォルニア州のほか、アリゾナ、ネバダ、ニューメキシコへもサービスを展開している。使用済み潤滑油は主に舶用重油または再生基油に精製している。再精製は、蒸留、水素処理、溶剤抽出を組み合わせている。再生基油は、バージン基油と同様に従来の潤滑油製造業者への販売をしている。再生基油は、バージン基油と同等の性能を有することをしっかり市場に認識させる必要がある。今後、潤滑油市場は大幅な伸びは期待できないが、再生基油はコスト的にも環境問題、資源問題でも非常に重要で、政府主導でインセンティブなどを拡充し、回収率を上げることが求められる。すでにいくつかの州では、カリフォルニア州に追随し、インセンティブ制の導入が検討されている。

7) Pragmatic Environmental Solutions Company (PESCO)

PESCO は 1991 年に設立され、創業以来、溶剤および油回収システムのテスト、エンジニアリング、設計、製造、設置、運用を行っている。使用済み潤滑油原料から、軽質留分として、ディーゼルおよびガソリン留分(主にナフサ、トルエン、キシレン、ベンゼン、最大 15%供給)を、また基油留分として潤滑油基油(低粘度から高粘度まで(最大 75%供給)をそれぞれ主な製品として精製生産している。

精製プロセス

蒸留-大気圧蒸留で、軽質分、水、軽油を除去 潤滑油留分を回収する高真空薄膜蒸留(潤滑油留分は安定的に得られる) 水素化処理-ギリシャの Green Industrial Technologies Ltd.(GIT)と契約し PESCO ブランドで展開

PESCO は独自に設計した精製プロセスを世界で販売している。基本プロセスは上述のとおりであるが、顧客の要望に応じ、あらゆる形で、必要な基油、その他製品を製造する。基本的に Group I、II、II+基油を製造している。最近では、潤滑油基油の他に、低硫黄舶用燃料基材としてもニーズが高まってきている PESCO は、回収後の使用済み潤滑油のベストオプションは、再生基油であり、品質はバージン基油と同等で、資源的にも環境問題に与える影響でも、SDGs 的にも、最良の方法であることを強調している。今後、使用済み潤滑油を精製し再生基油を製造する流れは、欧米オーストラリアに限らず、アジア、アフリカ等へも浸透していくことは間違いないと予想している。

日本の現状を聞いて正直驚いた、との意見があった。日本は石油精製では、世界に対峙できる技術を持ちながら、なぜ、使用済み潤滑油を水素化処理や薄膜蒸留を使って再生基油を作っていないのか不思議であり、PESCO の情報を参考に、早急に SDGs について日本の潤滑油業界も、再生基油の製造へシフトしたらよいと思う。使用済み潤滑油から再生基油を製造している国は、アジアでも徐々に広がっているので、日本の政府の今後の動きを注視している。https://metalub.net/、https://www.pragmatic-env.com/、に詳細記述されており、再生基油精製プロセスが紹介されている。

8) Southern Oil Refining Pty, Australia(SOR)

Southern Oil Refining(SOR)は、ニューサウスウェールズ州ワガワガに本拠を置くオーストラリアの会社で、2001 年から使用済み潤滑油の再精製を開始している。 SOR は、溶剤抽出法で、使用済み潤滑油から Group I 基油を製造している。使用済み潤滑油から基油を生産する以外に、燃料やアスファルト関連物質が副生し、それぞれの用途に使用している。

SOR は年間オーストラリアで回収される使用済み潤滑油の30%を精製しており、オーストラリアで唯一、海外の石油会社にその使用を認定された使用済み潤滑油の再精製会社である。廃棄物を出さず、原油や基油輸入の必要性を減らし、原油よりも CO2 排出量が大幅に少ない再生潤滑油の製造に力を入れ、環境保護のために貢献している。使用済み潤滑油が発生する限り、再生基油は生産でき、潤滑油業界でリ

サイクルを進める上で、再生基油を製造し潤滑油として再利用することこそ、地球 環境問題解決の一環で、潤滑油業界も積極的に関与できることだと思う。

9) Calumet Specialty Products および Shell Lubricants

本調査では、再生基油を購入し潤滑油を製造販売している 2 社に対してヒアリングを実施した。再生基油は、Calumet はグループ会社でもある Heritage Crystal-Clean から、Shell は Safety-Kleen から Group III、Avista から Group III 基油を調達している。また、両社は、現在 Group III 基油を製造していないが、すでに Group III 基油の製造設備を持ち、いつでも生産は可能とのことである。現状、自動車会社のエンジン油の低粘度化が進んでいるため、今後輸入に頼る Group III から、徐々に国産の Group III 基油を原油でも使用済み潤滑油からでも生産できる体制を整える必要性を両社は言及していた。また、彼らの顧客で政府機関も多く含まれ、再生基油使用潤滑油ではないと購入してもらえないため、その他のメジャー系潤滑油製造会社(エクソンモービル、シェブロン等)も再生基油を購入して対応しているとの説明を受けた。

10) 米国環境保護庁 (EPA: Environmental Protection Agency)

EPA は、連邦政府の各省で別々に取り組まれていた環境行政を一元化するための機構改革計画に基づいて、1970年12月2日設立。EPAの目標は、人間の健康や環境に及ぼす汚染物質の悪影響を緩和することである。

EPAは、この目標に向けて環境汚染対策を実施するうえで必要な政策、指導、基準、規制、具体的な技術開発に関して意志決定を行う。EPAが関与している法律のうち、有害廃棄物関連のものは資源保全再生法とスーパーファンド法の二つである。資源保全再生法の最終目標は、①人の健康および環境を守り、②廃棄物を減量し、エネルギーおよび天然資源を保全し、③有害廃棄物の発生を速やかに削減することである。EPAに有害廃棄物の「ゆりかごから墓場まで」の規制権限を与えている。これによって、EPAは有害廃棄物の処理、輸送、貯蔵および処分に至るすべての段階について、規制を行うことができるようになった。

米国も、1960年代から 1970年代にかけて使用済み潤滑油は適切に処分されておらず、深刻な環境汚染が引き起こされていた。1980年に政府はリサイクリング法案を可決後、1992年の使用済み潤滑油管理基準制定により、使用済み潤滑油を燃料のみならず、潤滑油へ再生する企業が増えてきた。当初は、再生燃料が多かったが、最近になり、再生基油の生産が増加するとともに、Group III 基油の普及により、品質も向上している。また、原油から精製する基油に比べ、使用済み潤滑油から製造

する基油の方が作りやすく、品質面でも、原油から精製して作られる基油と全く遜 色ない。

EPAは、使用済み潤滑油の収集から精製に至るプロセスが適正に行われているかどうか管理することも重要な役割。日本の場合、再生燃料による再利用は、ないよりはマシであるが、再生基油製造は、使用済み潤滑油のリサイクルの中で米国では最も環境汚染を抑制する方法であり、より多くのリサイクル企業が、この方向へ進むことを願っている。そのためには、再生基油製造会社を育成し、米国の Safety-Kleen 社(シカゴ)のようなインフルエンサーを育て上げていく必要があると思う。

カリフォルニア州は米国の中で最も使用済み潤滑油の再生で厳しいルールを持つ 州であり、日本の政府も参考になると思う。

潤滑油販売に税金を加味し、それをリサイクルの促進に向けていることは特筆に値する。また、カリフォルニアは、Life Cycle Analysis を大学と共同で行い、EPAでも行っているが、使用済み潤滑油の再生に至るプロセスをしっかり管理している。

日本の場合、米国と比較して、具体的にどのようなルール(規制)があるのか興味がある。原油の輸入国である日本について、資源輸入問題および経済的問題からも日本は、再生基油へもっと踏み込んだ方がいいのではないかとの意見が出された。また、アジア諸国も日本と同じ問題を抱えているという当方からの意見に対し、日本も技術輸出国として、アメリカと協力して、使用済み潤滑油の再生基油化含め、技術のアジア展開を図ったらいいのではないかとの意見があった。

2.2 基油の多様化に向けた取組状況および基油再生の現状

米国等の関係団体・企業からのヒアリング内容および 2021 年 1 月に発行された、 米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が発行した "Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1" ¹⁾をもとに、基油の多様化に向けた取組状況および基油再生の現状を次にまとめる。

米国においては、使用済み潤滑油の保存とリサイクルは原油資源の寿命を延ばし、 使用済み潤滑油の不適切な廃棄による土壌や水質の汚染などの環境破壊の可能性を少なくし、そして原油からバージン基油を用いて新しい潤滑油を作るよりも、使用済み 潤滑油をリサイクルするほうが少ないエネルギーで製造できるため、エネルギー効率 が良いとされている。

これは、使用済み潤滑油のリサイクル産業は、幅広い層の消費者に潤滑油基油やその他の製品を提供するために使用済み潤滑油を回収、加工、そして再精製することで、経済的便益があるという事実の上に成り立っており、使用済み潤滑油のリサイクルは

何千もの直接的および間接的な仕事を支え、税収入を作り、消費者に従来のバージン 基油からの潤滑油とは別に、環境問題に配慮した持続性のあるリサイクル製品として 新たな選択肢を提供する役に立っている、と考えられている。

1) 米国における潤滑油業界の概要

米国は全世界の潤滑油総需要の 21%あり、1 人当たりの潤滑油需要は年間 7.6 ガロン(29L)である。全製品のおよそ半分が自動車用として、そして残りの半分は工業用途として使用され、2014 年以来、米国の潤滑油市場は 25 億ガロン(946 万 kL)/年程度となっている。

表 1-3. 地域別潤滑油需要合計 (出典 文献 1)

20.00		•
地域(年)	需要、10 億 (ガロン/年)	1 人当たりの需要 (ガロン/年)
アジア-太平洋(2017)	5.1	1.5
米国(2017)	2.5	7.6
西ヨーロッパ(2015)	1.2	3.3
ラテンアメリカ(2017)	1.1	1.7
東ヨーロッパ(2015)	0.8	3.5
中東(2017)	0.6	1.4
アフリカ(2017)	0.5	0.4
合計(2015; 2017)	11.8	1.8

1人当たりの需要のデータはそれぞれの統計年度に基づく

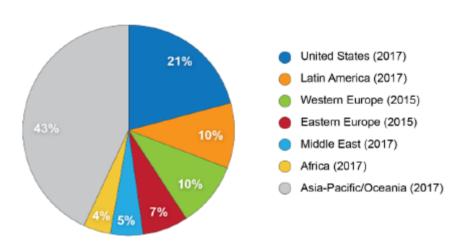


図 1-9. 世界の潤滑油需要 (出典 文献 1)

2) 潤滑油の品質変化

自動車や産業技術が進化を続ける中で、より高い性能を持つ潤滑油への需要が高まっている。高性能な現代の潤滑油は、機械システムの操作に関して、環境性能の改善にも直接貢献できるだろう。潤滑油の品質は、高性能添加剤の使用の増加や「合成潤滑油」のより幅広い導入を通して改善されてきた。

米国石油協会(API)は潤滑油基油を、飽和化合物と基油内の硫黄の量、および粘度によって、Group I、II、III、IV、そして V の 5 つの Group に分類する。

表 1-4. API 基油分類(出典 文献 1)

API Group	飽和化合物 (重量%)	硫黄 (重量%)	粘度指数
I	<90 および/または	>0.03 および	80-119
II	≧90 および	≦0.03 および	80-119
III	≧90 および	≦0.03 および	>120
IV		ポリアルファオレフィン	
V	Group I、II、III	、あるいは IV に含まれない値	也のすべての基油

Group I、II、III は鉱油系基油。

北米の API Group II の生産が伸びた一方で、Group I の生産は落ちた。北米の Group III/III+(業界では Group III の中で粘度指数が 130 以上のものを Group III+と称することがある)の高性能仕様潤滑油の生産数量は比較的小さいままであり、米 国の基油潤滑油生産のわずか 2%で、これは主に経済的な理由によるものである。これらの高性能潤滑油の国内需要は輸入品によって賄われている。

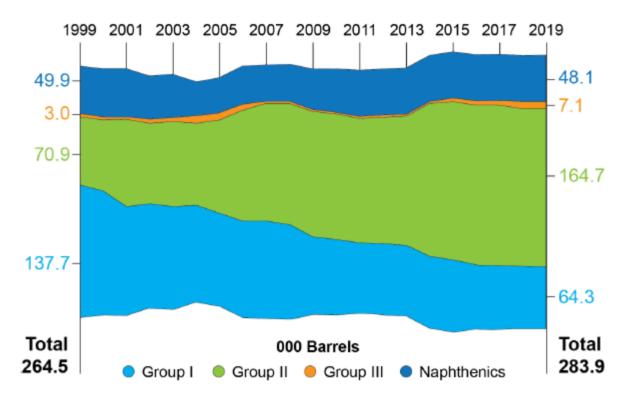


図 1-10. 北米の基油容量推移(出典 文献 1) (米国、カナダ、メキシコを含む) 264,500 バレル=11,109,000 ガロン=421 万 kL 283,900 バレル=11,923,800 ガロン=451 万 kL

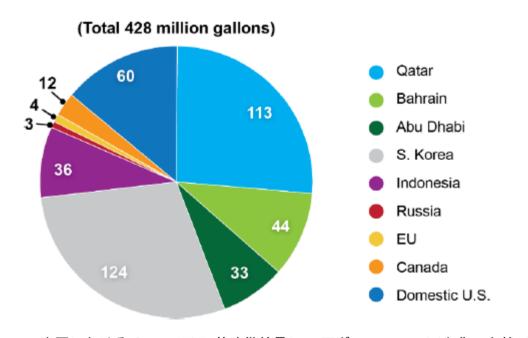


図 1-11. 米国における Group III/III+基油供給量(100 万ガロン、2018) (出典 文献 1)

今日、米国の Group III および Group III+の基油輸入の 80%以上が韓国、インドネシア、そして中東からのものである。バージン原油基油精製者と使用済み潤滑油再精製者は両者ともに、燃費の向上と低排出基準に見合うように自動車エンジンが進化すると同時に、期待通りに増加した Group III/III+の潤滑油への需要に応えるための国内生産量増加も今後加速する動きがある。

自動車用潤滑油の平均品質レベルが上がると、回収された高品質使用済み自動車 用潤滑油の量が増え続け、高品質な基油への再精製のための原料としての使用は、 通常の原油基油からの生産に比べ、経済的により魅力的な選択肢となるだろう。

使用済み潤滑油分野での相対的な油の流通量は図 1-12 のように表現でき、これはカリフォルニア州単体の 2010 年のデータに基づき整理されたサンキー ダイアグラムである。

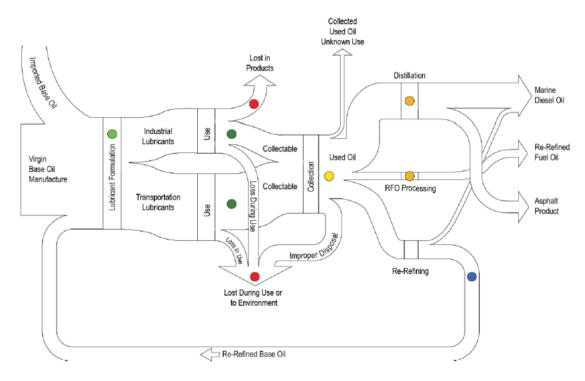


図 1-12. 使用済み潤滑油分野での相対的な油の流通量を示したサンキー ダイアグラム (出典 文献 1)

表 1-5 は DOE が発表した Kline 社による分析に基づいたこのシステムの、いくつかの重要なフローの予測を表している。このデータは次のことを示している。

● 米国の潤滑油の総消費量は946万 kL/年を下回る数値で、ここ10年間安定している。

- 潤滑油の使用による消失量の平均は、消費者向けの車による消費がおよそ 16 ~17%、商用車によるものがおよそ 22%、そして工業用途によるものがおよそ 68%であると推測されている。これらの数値は、きちんと整理されたものではないため、大まかな推測値であるとみなされている。使用による消失量の合計は、およそ 416 万 kL (44%)であると推測されている。
- 使用による消失量は、潤滑油が使用中に環境へ消失される量のことで、自動車用潤滑油に関しては2ストロークエンジンでの燃焼、エンジンからの漏れ等、工業用潤滑油に関しては、プロセス油の消費、工作機械工場等の布きれ等による吸収が挙げられる。
- 自動車用および工業用の両方から生成され、回収可能である使用済み潤滑油の量の平均は、530万 kL/年を下回る。

表 1-5. 米国の全使用済み潤滑油プロセスフローの

重要要素の推測(100 万ガロン) (出典 文献 1)

項目	詳細	2008	2010	2012	2014	2016	2018
潤滑油消費量	潤滑油合計	2,516	2,413	2,448	2,462	2,479	2,469
使用によって消失 された潤滑油のパ ーセンテージ推測	使用による消失量合 計	1,094	1,082	1,075	1,082	1,090	1,090
	受動者合計(UMO)	1,020	943	974	978	985	972
生成された使用済	工業用合計	402	405	399	402	404	406
み潤滑油量	UO生成量合計	1422	1349	1373	1380	1389	1378
	00 工/火重日时	1422	1040	1010	1000	1000	1070
回収された使用済 み潤滑油量	回収量合計	913	912	942	939	872	949
再精製のための使 用済み潤滑油原料 油の量	基油のみの原料油合 計	123	163	209	258	273	294
基油生産使用済み 潤滑油量	使用済み潤滑油から 生産された基油	na	na	na	na	205	215
非基油への再精製 のための使用済み 潤滑油原料油の量	VGO あるいは MDO へ精製される使用済 み潤滑油および工業 用潤滑油への再生	94	133	168	183	178	196
	d 5 de 2 3 de 165 de						
ソースを占める使 用済み潤滑油量	生成者による燃焼、 現地でのリサイク ル、あるいは廃棄	509	436	431	440	517	429
回収されるが生成 されない使用済み 潤滑油の量	UO として燃焼、 RFO への加工、 HSFO への調合、あ るいは輸出	696	616	565	498	421	459

● 回収可能な使用済み潤滑油のうち、平均およそ 340~360 万 kL がここ 10 年間で毎年回収され、それは回収可能な使用済み潤滑油のおよそ 70%にあたる。この量は比較的変わらない数値を維持している。

表 1-6. 2017~2018 年における主要回収企業の使用済み潤滑油回収分布 (出典 文献 1)

表 1-6. 2017~	2018年における	土安凹収止未	の使用済み酒		(出典 又献	
カテゴリー	企業	却	大 牡元左4h	再精製あるい	2107年	
77 - 17 -	企 業	親会社	本社所在地	は加工も行っ ているか	(MM ガロン)	
	Safety-	Clean Harbors	リチャードソ	はい		
	Kleen(Thermo		\sim 、TX			
	Fluids 含む)					
	Heritage-Crystal	-	インディアナ	はい		
	Clean Universal	A: - + -	ポリス、 IN ピーチツリー・	はい	326	
4 つの UORC 企業	Environmental	Avista	シティー、GA	171,		
	Services(UES)		777 CM			
	Heartland	Vertex	ヒューストン、	はい	•	
	Petroleum	Energy	TX			
	H&H Oil		ベイタウン、TX	はい		
	D II 1	W 110:1	13 3 18 3	212	326	
	Demenno-Kerdon	World Oil	サウスゲート、	はい	45	
	Noble Oil Services	-	CA スタンフォー	はい	30	
	Noble Oil Belvices		F, NC	141.	50	
	Aaron Oil	-	モービル、AL	-	20	
	Holston	-	チャタヌーガ、	ē	15	
	Environmental		TN			
	Services					
	Lorco Petro Srvcs.	-	エリザベス、NJ	-	15	
	Northstar	-	ギャラティン、	-	15	
	Environmental Group		TN			
	Vallcor	-	デクスター、MI	-	15	
15 の大手回収者(≧	Texpar Energy	-	オナラスカ、WI	-	13	
10MM ガロン)	Jebro	-	スーシティ、IA	-	12	
	Cliff Berry, Inc.	-	フォートロー	-	10	
			ダーデール、FL			
	Environ	-	ヤングスタウ	-	10	
	Specialists		ン、OH			
	Flex Oil Service	-	チャネルビュ	-	10	
	N O'I		ー、TX ブリストル、		10	
	Necessary Oil	-	TN	-	10	
	Synergy	-	ウィンターへ	-	10	
	Recycling		イブン、FL			
	Wester Oi	-	リンカーン、RI	-	10	
	合計				240	
	ORRCO, Como,			時々	30	
再精製者/再生者	Hydrodec, Rock					
	Canyon and Others					
	Waste			-	25	
この中工成変物祭	Management,				20	
5 つの大手廃棄物管 理会社	Veolia, Tradebe,					
エム L	Covanta, and					
	Another Mid States, Spirit,				80	
and the second second	Enterprise,				σU	
20 の中堅回収者	Georgia					
	Petroleum, etc					
300 から 350 の小規	-			-	236	
模回収者					005	
総計					937	

2018年に、回収された 359万 kL の使用済み潤滑油のうち、94万 kL(31%)が潤滑油基油を生産するために再精製された。この割合は 2008年のおよそ 13%から増加し、これは基油再精製設備の増強・増加に則している。2018年には 81万 kL の基油生産という結果をもたらした。

同じく 2018 年に、使用済み潤滑油が生成する際に、行方不明になった使用済み潤滑油(例: 精製業者により室内暖房器で燃焼されたり、現場でリサイクルしたり、あるいは「Do It Yourself」(DIY)のごみ処理地への廃棄や雨水の排水管への投棄、そのほかの方法で廃棄等)の量は 162 万 kL(生成した使用済み潤滑油のおよそ 31%)であると推測された。この割合はここ 10 年間で、30~35%の範囲内で比較的一定であると推測されている。室内暖房器業界から提供されたデータに基づくと、30~45 万 kL の間の回収された使用済み潤滑油が、使用済み潤滑油排出者によって、室内暖房器で毎年燃焼されている。これは 2018 年に回収された使用済み潤滑油の推測量の 18~28%の間に値する。

2018年に、回収されたが、潤滑油基油やそのほかの再精製製品に再精製されなかった(例:工業プラントで使用済み潤滑油としての燃焼、燃料油への加工、高硫黄燃料への調合材料、あるいは燃焼用の使用済み潤滑油として海外へ輸出)使用済み潤滑油の量は174万kLで、回収された使用済み潤滑油のおよそ48%だった。この割合は過去10年で、2008年の76%から2018年には48%に、安定的に落ちてきていると推測されている。この推移は使用済み潤滑油の潤滑油基油への再精製容量の増加と、アスファルト工場などにおける天然ガス燃料への移行の結果であると考えられている。

3) 短期的な市場変化

米国では、潤滑油の基油に再精製されるのは、回収されたすべての種類の使用済み潤滑油の約30%である。残りは、燃料油を含むほかの製品に加工されるかその他潤滑油へ再精製されるかであり、暖房、あるいは工業用または海洋用の燃料油として燃焼される使用済み粗油も含まれる。しかしながら、2006年のDOE報告書が発表されて以来、天然ガスやシェールオイルの働きによる随伴ガスの供給の急激な伸びにより天然ガスの価格は下がり、使用済み潤滑油の燃料油への転用は、市場で熾烈な価格競争に巻き込まれている。低価格の天然ガス供給の伸びは、特定の使用済み潤滑油を燃料油として使用してきた末端使用者(例:アスファルト工場)による燃料油としての需要を減少させ、燃料油に再生する使用済み潤滑油再精製部門に衝撃を与えた。

これに対して、使用済み潤滑油業界は基油再精製能力をさらに増大させていった。

使用済み潤滑油業界に経済的影響を及ぼす新たな要因として、2020 年 1 月に施行され国連の国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)の規定がある。それは、排気ガス削減のために、海洋バンカー油(船のエンジンで使われる燃料)の硫黄含有量を現在の 3.5 重量%から 0.5 重量%に引き下げたことである。高硫黄重油への需要減少の世界的な動向で、これらの規定は世界の石油精製業者に重要な課題をもたらしている。それは、どうやって海洋用に使う低硫黄製品の供給を増やし、高硫黄燃料の生産高を最小化するかである。高硫黄燃料と結びついている使用済み潤滑油の市場価格は昨年下落した。燃料油の価格低下を受けて、燃料油の価格と結びついている収益が減るため、燃料に再生する使用済み潤滑油の回収者や加工者に値下げ圧力がかかっている。逆に、潤滑油基油製品分野(脱硫減圧軽油)内で競争する低硫黄精製成分が低硫黄バンカー油の生産に必要な成分として価値が上がると同時に、基油の価値も上昇傾向が見られる。

4) 使用済み潤滑油部門ステークホルダー

米国の使用済み潤滑油部門は主に 5 つのステークホルダー分野に分かれる: 排出者、回収者、加工者/再精製者、燃焼者、そしてバージン原油基油精製者である。各分野における関係企業の数は図 1-13 のとおり表現できる。

使用済み自動車用潤滑油を排出するもの(内燃機関のクランク室からの使用済みエンジン油排出者)は車を運転し、自分でオイル交換する「Do It Yourself」(DIY)の者か、車をガレージかオイル交換サービス拠点へもっていく「Do It For Me」(DIFM)の者かに分けることができる。DIFM 向けの代表的オイル交換サービスに「クイックルーブ」や「ファストルーブ」サービスが知られており、売上げの大部分を速くて便利なオイル交換によって得る事業である。

自動車のクイックルーブ事業所は、生成者ステークホルダーグループ内で使用済み潤滑油のかなりの量を担っている。自動車整備と自らの使用済み潤滑油の廃棄の煩わしさを避けられるという両方の意味で消費者に利便性を提供するため、DIFMクイックルーブ運営はここ 20 年で急拡大した。結果として、個人のオイル交換(DIY)は、ここ 20 年間で減少していき、現在 DIFM75%、DIY25%となっている。

また、使用済み潤滑油排出者には、製造あるいは各種機械生産のような多様な潤滑油を使用する機械を使用する企業が含まれる。これらの潤滑油は、エンジン油、 圧縮機油、電気変圧器油、作動油、金属切削および加工油などを多くの種類の使用 済み潤滑油を直接排出している。

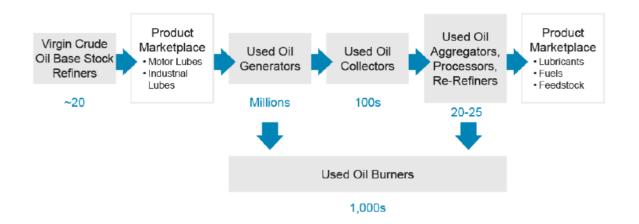


図 1-13. 使用済み潤滑油ステークホルダー (数字は各グループの独立体の数を示す)(出典 文献 1)

これらの独立体によって排出された使用済み潤滑油は現場でも使用できる(例: ガレージや DIFM 拠点で室内暖房器燃料として使用済み自動車用潤滑油を使用)が、それ以外はその後、回収業者によって回収されるか、または DIY 利用者によって排出された自動車用潤滑油の場合、使用済み潤滑油を予め定めた回収拠点へもっていくか、あるいはほかの方法で廃棄されるかである。自らの使用済み潤滑油をリサイクルしようといている DIY 利用者にとっての利便性のレベルは州によって異なる。なお、2006 年の DOE 報告以来、以前は不法投棄の温床になっていた DIY 利用者の使用済み潤滑油もリサイクルされるようになってきた。

発がん性物質として知られ、おそらくヒト発がん性物質と考えられるポリ塩化ビフェニル(PCB)による、使用済み潤滑油保管装備の汚染や、DIYの使用済み潤滑油ほかの汚染物質のリスクを考えると、DIYで排出される使用済み潤滑油の回収方法は非常に重要である。事実、潤滑油が回収業者により回収され、現場から離れたところへ輸送された場合、該当する州と連邦の規定により、その現場でPCBが発見された場合、厳しい責任問題がある。そのため、PCBに関する連邦規定は、他のステークホルダーによる使用済み潤滑油の安全で効率的な回収、加工、そして再精製の妨げになる場合もある。

使用済み潤滑油回収業者は、排出者と加工業者/再精製業者間の使用済み潤滑油の輸送をし、仲介役となる。彼らは業界にとって極めて重大なサービスを提供している。業界の試算では、米国には350~400の使用済み潤滑油回収業者が存在する。

使用済み潤滑油の回収は原油価格の影響を直接受ける。2015 年~2016 年に原油 価格が暴落した際に、排出者に対しての使用済み潤滑油の価値も下降したため、多 くの回収業者は使用済み潤滑油の集荷を有料とした。これにより、室内暖房器用燃料、あるいは野焼きや投棄などの不適切な廃棄方法を選択した排出者も出てきた。これらの要因の結果として、使用済み潤滑油回収率は2015年以前のレベルよりも、少なくとも5%程度一時的に減少した。使用済み潤滑油の回収は、ここ10年間は年間およそ340万kLと、比較的落ち着いた状態を保っている。



図 1-14. 使用済み潤滑油回収量、2009~2018 (出典 文献 1)

一度回収されると、使用済み潤滑油を使用可能な製品に変えるために、様々な加工が施される。使用済み潤滑油の再精製とは、潤滑油の主な成分として使用することができる主要な最終基油製品を作る加工を意味する。しかしながら、使用済み潤滑油を別の方法で処理する工場のケースでは、重質留出油等の生産に使われ、これらの施設の運営者は「使用済み潤滑油加工業者」のサブカテゴリーに分類されている。

米国で現在稼働している使用済み潤滑油加工企業は 12 ある。これらの工場で行われている熱蒸留や化学処理加工は主に原油製油所に向けられた重質留出油の生産のために設計されており、そこではガソリン(より重度な処理)、ディーゼル燃料、もしくはそのほかの精製製品のための接触分解装置や水素化分解装置で変えられたり、あるいは燃料油に直接混合されて使われたりする。減圧軽油/舶用ディーゼルオイル(VGO/MDO)を製造する工場は、水素処理を加え、基油生産に切替ることもできる。

使用済み潤滑油加工者のサブカテゴリー内の生産能力は年間およそ 126 万 kL であり、そのうち年間約 96 万 kL(77%)が現在稼働している。米国内の生産能力の 50% がここ 10 年の間に増加した。ほかにも絶縁油や工業用潤滑油などの特定の使用済

み潤滑油原料だけに注目するほかの加工者もあり、それらの潤滑油製品をリサイク ルするために再生基油を製造する業者もある。

表 1-7. 2019 年 8 月時点の、重質留出油生産を行う 稼働中および稼働していない使用済み潤滑油加工工場(出典 文献 1)

13/13/1		ノしいるい。区川	17月~77月7日7日7日	工一物(山 八	∼ m/ 1/
状態	企業	親会社	工場所在地	開始年	使用済み潤滑油 供給能力 (MM gals/年)
	Demenno- Kerdoon	World Oil	コンプトン、CA	1928	100
	Omega Refinig	Vertex Energy	マレロ、LA	1993	60
	Noble Oil	-	サンフォード、 NC	2009	43
稼働中	Synergy Hydrocarbon Recovery	-	キングスラン ド、GA	2016	24
	Emerald Services	Clean Harbors	タコマ、WA	2013	18
	ORRCO	-	ポートランド、 OR	2003	8
	Rock Oil Refining	-	ストラトフォー ド、WI	2012	1
			合計稼	働容量	254
稼働停止中	TopSail Energy	-	ベイタウン、TX	2018	40
(2019年8月現	TCEP	Vertex Energy	ベイタウン、TX	2009	30
在)	Intergulf Corporation	-	ラ・ポルテ、TX	2014	8
			合計稼働停止容量		78
			合計容量		332

使用済み潤滑油再精製のサブカテゴリー内の企業は、潤滑油の主な成分として使われる基油の生産のための使用済み潤滑油原料を水素処理している。処理施設は、そのほかの加工業者の簡易的な施設と比べ設計費および建築費は高くなり、運営費も高くなる。今日、米国でこのように基油を生産し稼働中の使用済み潤滑油基油精製工場は13か所ある。最も大きいところ6か所を合わせると米国全体の再精製基油製造の89%を占める。インディアナ州にある2つの巨大な再精製工場だけで、米国の再精製基油のおよそ半分を占める。

今日、米国の使用済み潤滑油精製工場で基油を精製するために処理される使用済み潤滑油給油量は年間 111 万 kL といわれている。使用済み潤滑油再精製工場は近年、生産能力ギリギリで稼働している。

表 1-8. 潤滑油再精製工場 (出典 文献 1)

		12 1-0.	川川川田 十十八年	双上物	(W y	X FIX 1)			
					使用済み	基油生産容量(MM gals/年)			
状態	企業	親会社	工場所在地	開始年	潤滑油供給量 (MM gals/年)	Ł CI	GII/ II+	GIII	合計
-	Safety- Kleen	Clean Harbors*	西シカゴ、 IN	1991	117	-	78.18	-	78.18
	Heritage- Crystal Clean	Heritage Group	インディア ナポリス、 IN	2012	75	-	48.75	-	48.75
	UED	Avista*	ピーチツリ ー・シティ ー、GA	2013	48	-	30.6	5.4	36.00
	Bango Refinig	Clean Harbors*	ファロン、 NV	2006	32	-	21.46	-	21.46
	Heartland Petroleum	Vertex Energy*	コロンビ ア、CH	2009	20	-	17.00	-	17.00
	Universal Lubricants	Clean Harbors*	ウィチタ、 KS	2009	18	-	12.26	-	12.26
稼働中	Olein Recovery	-	ヤブコア、 PR	2006	10	-	6.98	-	6.98
	Ecolube Recovery	-	ポートラン ド、OR	2003	7.7	-	5.37	-	5.37
	Green View Tech.	-	ローリンス フォード、 NH	2012	6.0	-	4.26	-	4.26
	Rock Canyon Oil	-	ア メ リ カ ン・フォー ク、 UT	2008	5.6	4.65	-	-	4.65
	Rational Energies	-	プリマス、 MN	2017	5.5	3.85	-	-	3.85
	Como Lube	-	ダルース、 MN	2009	1.5	1.04	-	-	1.04
	Rock Oil Refining	-	ストラトフ ォード、WI	2012	1.0	0.25	-	-	0.25
稼働中合	計容量				347.3	9.79	224.86	5.4	240.05
稼働停 止 中 (2019 年 8 月)	Evergreen Oil	Clean Harbors	ニューアー ク、CA	1987	2.7	-	18.40	-	18.40
	Southeaster Petroleum	-	チェスタ ー、SC	2011	13.7	9.20	-	-	9.20
稼働停止	中合計容量				16.4	9.20	18.40	-	27.60
建設中 (2019 年 8 月)	Mesa Oil Recycling	-	ベレン、NM	2019	5.6	4.65	-	-	4.65
建設中合	計容量				5.6	4.65	-	-	4.65
				合計	369.3	23.64	243.26	5.4	272.30
								ΔT	TODO +

*UORC 加盟

現在稼働している 13 の使用済み潤滑油精製工場は、従来の国内原油製油所(19 箇所ある)のバージン基油と価格や品質において同等に扱われている。

米国では、回収された使用済み潤滑油のおよそ 30%が、再精製された再生基油であるが、世界に目を向けると、欧州を中心に米国を上回る再生基油を製造する国が多い。米国は、世界 10 位の位置にある。

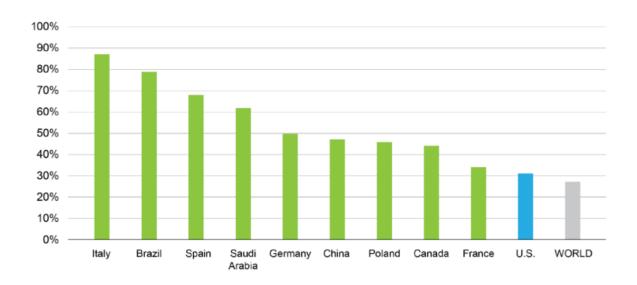


図 1-15. 回収された使用済み潤滑油の割合としての、再精製された基油量(出典 文献 1)

・国によって集計データの年が異なるが、おおむね 2015~2018 年の時間枠の中のものである。 原典: GEIR クライン予測

なお、2018年に統計上計算不能ないわゆる行方不明の使用済み潤滑油の量は 162万 kL (約 31%)であると推測された。この比率はこの 10年 $30\sim35\%$ の範囲を維持している。このうち室内暖房器業界から提供されたデータによると、回収された使用済み潤滑油の $30\sim45$ 万 kL が使用済み潤滑油排出者によって室内暖房器で毎年燃焼されているとされ、2018年に回収された使用済み潤滑油の推測量の $18\sim28\%$ に相当する。

つまり、年間およそ $114\sim133$ 万 kL の使用済み潤滑油が行方不明のままで、これらの推測の正確性は、特に使用による消失、使用済み潤滑油の回収量、そして燃焼された量に関する推測のデータ不足により、確実なものではない。今後、不透明なデータをできるだけ明確にし、使用済み潤滑油の回収率をさらに高めていくことが必要である。

5) 使用済み潤滑油の収集数量の半数以上が再生潤滑油に生まれ変わっている

- 潤滑油が一般に使われている機械に供給する燃料は、燃焼により消費されるが、潤滑油はほとんどが消費されない。
- 潤滑油は、回収、加工、再精製することなどで、再利用することができる。
- 使用済み潤滑油の回収とリサイクルは、原油資源保全にも役に立つのはもち ろんのこと、使用済み潤滑油の回収が、土壌や河川・海などを汚染する可能 性を減らすことは明らかである。
- 使用済み潤滑油を取り扱う業界は、使用済み潤滑油を収集、加工、および再 精製して、さまざまな消費者に潤滑油基油やその他の製品を製造・販売する ことで成立している。
- 特に、リサイクルにかかるエネルギーが原油から基油・潤滑油を生産するよりも使用済み潤滑油から生産する基油・潤滑油の方が少ないため、エネルギー効率は高く、使用済み潤滑油を燃料に転用するよりも CO₂やそのほかの排出物を出さないため、環境保護の立場から最良の方法であるとして再生基油シフトが推進されている。
- EPAでは、1970年の設立以降、様々な方法で、使用済み潤滑油の回収率を向上させ、環境に配慮した適切な処理を促進、米国では、現在回収した使用済み潤滑油の半数以上を再生基油・潤滑油へ精製したが、ここ数年数字の伸びが鈍化している。

6) 米国では収集した使用済み潤滑油の51%は再生潤滑油に使用され、その他は、燃料に転用している

- 2006 年頃は、使用済み潤滑油の燃料への転用が、80%程度であったが、天然ガス価格の急落により、平均天然ガス価格は 1,000 立方フィート(Mcf)あたり 6.75 ドル(2006)→2.59 ドル(2019)になった(アスファルトプラントやセメントキルンなどの産業用途の燃料として、使用済み潤滑油の需要と切替った)。
- 燃料価格の変動での再生基油へのシフトは、政府の思惑から外れるが、再生 基油製造設備拡張へ動いたこと、再生基油のマージン拡大で本格的に再生基 油へシフトしている。
- EPAによると、政府主導で、CO₂の排出を抑制するためにも、今後、燃料の 転用を減らし、潤滑油へマテリアルリサイクルシフトするための政府機関調 達計画も始動している。
- 特に、米国の包括的調達ガイドライン(CPG: Comprehensive Procurement Guideline)により米国のさまざまな機関は、再生基油を用いた潤滑油の使用

が義務付けられているなど、各州単位で再生潤滑油が積極的に使用されている。

● 使用済み潤滑油から潤滑油基油を生産することが基本であるが、DOE では、 潤滑油以外でも有用な製品の製造が可能であれば、そのプロセスを公開する ことを奨励している。

7) バイデン政権になり、環境問題への取り組みは本格化する(EPAより)

- 環境先進国を自負していた米国が、ここ数年の間に、欧州はもちろん、第2の 経済大国である中国にも、収集した使用済み潤滑油の再生基油比率で負けて いる。
- 米国が 10 位に甘んじている原因はいろいろあるが、原因の一つにインセンティブがあり、バイデン政権になったことで、なんらかの形で再生基油比率を向上させるためのインセンティブが検討されている。
- また、CO2 排出を抑えるために、燃料への転用を抑える法案も出される可能 性が高くなっている。
- 今後は、不法投棄の実数を把握する手法を明確にするとともに、使用済み潤滑油の収集効率を高め、再生基油精製比率を現行の30%から上げる計画が立てられる。
- また、基油精製による環境への影響、経済への効果など、具体的な数値を示す予定である。

2.3 最新の基油再生技術

使用済み潤滑油には、大きく分けて使用済み自動車用潤滑油および使用済み工業用 潤滑油の2種類が存在する。

2021 年 1 月に米国エネルギー省(DOE)が発行した "Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1" ¹⁾をもとに、最新の基油再生技術を次にまとめる。

使用済み潤滑油回収業者は、一般的にこの2種類の使用済み潤滑油を別々に回収し、 それぞれの使用済み潤滑油加工・精製業者へ配送している。図1-16に使用済み潤滑油 の大まかなフローを示す。

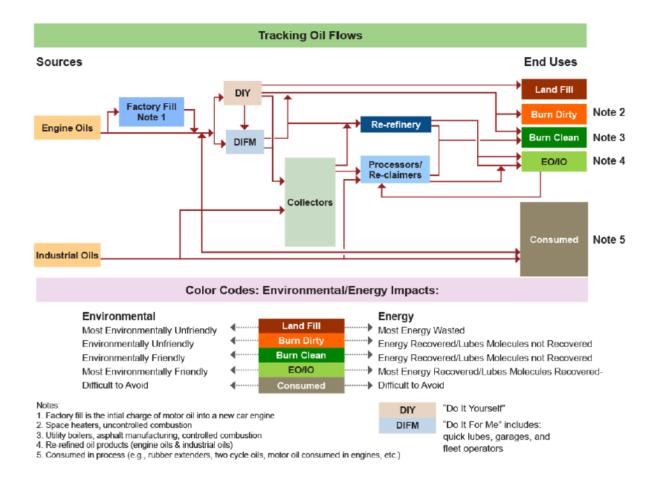


図 1-16. 使用済み潤滑油フロ一図(出典 文献 1)

使用済み潤滑油の基油精製は、通常、前処理後の2つの主要な処理段階で構成される。

- 真空下で薄膜蒸留し VGO などを生産し、他の留分(アスファルトエクステンダー、軽質留分、および水)を分離する
- 水素化、溶媒抽出などで、API 仕様の基油生成を行う Safety-Kleen 社ビデオ参照

https://www.youtube.com/watch?v=AIcMze5Gn7M&feature=youtu.be

1) 蒸留

- 使用済み潤滑油は3段階の蒸留システムで蒸留される。最初のステップである蒸留では、水と軽質炭化水素(使用済み潤滑油に混合されたガソリンや溶剤など)が除去される。
- 使用済み潤滑油は、一連の熱交換器により加熱された後、大気圧のフラッシュドラムに到達し、そこで水と軽質炭化水素が蒸発する。

- フラッシュドラムからの蒸気は凝縮器を経由して、油水分離槽で水と炭化水 素に分離される。
- 回収された軽質留分は、オンサイトのプロセスヒーターで補助燃料として使用することも、仕様に準拠または仕様外の再生燃料として販売することもできる。
- 回収されたエチレングリコール(不凍液から)は分離され、リサイクル可能な不 凍液製品として販売される。
- 水は副産物として除去され、オンサイトの廃水処理プラントに送られる。
- 次に、脱水された油は、第2のより厳しい蒸留工程である真空蒸留にかけられる。

2) 真空蒸留

- 減圧蒸留中、オイルは真空下で適度に加熱され、軽質燃料は低温で留出する。
- 炭化水素鎖に切断が生じたり、コークスが生成されたりする高温条件は回避 される。
- 減圧蒸留段階で生成された蒸気は凝縮され、家庭用暖房燃料 VGO と同様の 燃料となる。
- この燃料は、基油再生工場で燃料として使用されるか、仕様に準拠した再生 燃料として販売される。

3) 真空フラッシュタワー/薄膜蒸留

- 3番目の蒸留真空塔では、VGOが高温下で、より軽い潤滑油留分が蒸発する。
- ワイパーブレードのセットは、この材料が蒸発するのを助けるために、より 重質なオイルを、薄いフィルムにして、熱交換容器の壁に対して広げる。
- 蒸気は凝縮され、基油として回収される。
- 熱交換器の内部には、特殊な高温伝熱流体が使用されている。
- この第3の蒸留段階では、通常2つのグレードの基油が製造される。
- 1つは、硫黄、酸素、窒素などの汚染物質を含む分子と、オレフィンや芳香族 化合物などの分子構造があまり好ましくない分子を含む基油。
- もう1つは、より高品質の基油。
- 蒸発装置で蒸発しない材料はすべて回収され、精製およびアスファルト舗装で使用するためのアスファルトエクステンダー材料として販売される。

4) 水素化処理

- 前のプロセスで分離された低品質の基油は、プロセスの最終段階でアップグレードされる。
- このプロセスは、分子をより完全に飽和させ、オイルから汚染物質を除去し、 それによってその品質を向上させる。
- このステップでは、水素ガスを高温高圧の触媒反応により、残っている硫黄、 塩素、酸素、およびその他の不純物を除去し、製品の安定性、色、および臭気 を改善する。
- このプロセス中により生成される基油は、潤滑油の基油と見なされる。
- その後、さまざまな添加剤をブレンドすると、エンジン油、トランスミッションフルード、油圧作動油などが製造される。

5) 溶媒抽出

- このプロセスは、真空蒸留プロセスで生成される潤滑油留分の品質を向上させるために使用されることがある。
- 溶剤は、極性化合物、芳香族化合物、および潤滑油添加剤を抽出し、飽和炭 化水素レベルを上げるために使用される。
- 一つの欠点は、プロセスが不飽和化合物を除去し、全体的な収率を低下させることである。
- これは、これらの化合物を改質して収率を維持する水素化処理とは対照的。
- 溶媒抽出により、エンジン油の仕様は満たすが、硫黄分を除去できないため API Group II の仕様を満たさない API Group I 基油が生成される。

2.4 北米等の使用済み潤滑油に対する政府の環境規制や州のプログラムの動向等の現状および今後の方向性

1) 資源保護回復法(RCRA)の使用済み潤滑油管理基準 1,2)

40 CFR Part 279 - STANDARDS FOR THE MANAGEMENT OF USED OIL

米国では、1965年の固形廃棄物処理法(Solid Waste Disposal Act)成立により、有害廃棄物処理対策への取り組みが本格化するようになり、1976年には同法を基に、資源保護回復法(RCRA: Resource Conservation and Recovery Act)が制定された。 資源保護回復法(RCRA)は、土壌、地下水、地表水、および空気の保護を主眼に、 国民の健康と環境への悪影響を将来にわたり可能な限り取り除くことおよび貴重な

資源やエネルギー資源を保全することの二つの目的を有している。

使用済み潤滑油に適用される主要な連邦レベルの規制は、EPAによって制定され、CFR Part279のタイトル40として規定されている。管理基準は、基本的に使用済み潤滑油排出者の「適切なハウスキーピング」要件のセットであり、通知、テスト、ラベル付け、および記録保持の合理化された手順を確立している。また、オフサイト出荷を追跡するための柔軟なアプローチを確立し、使用済み潤滑油排出者が標準的なビジネス慣行(請求書、船荷証券など)を採用できるようにする。

さらに、40 CFR Part 279 は、使用済み潤滑油の保管および輸送中の環境への放出の防止とクリーンアップの基準を設定している。

40 CFR Part 279 には、9 つのサブパート(A から I)が含まれている。

- A) 定義
- B) 適用性
- C) 使用済み潤滑油収集事業者の基準
- D) 使用済み潤滑油収集センターと集約ポイントの基準
- E) 使用済み潤滑油輸送事業者および移送施設の基準
- F) 使用済み潤滑油プロセッサーおよび再精製業者の基準
- G) エネルギー回収のために仕様の使用済み潤滑油を燃焼させる使用済み潤滑油バーナーの基準
- H) 使用済み潤滑油燃料販売事業者の基準
- I) 粉じん抑制剤としての使用および使用済み油の処分に関する基準

EPA によると、これらの管理慣行は、リサイクルを妨げるほど面倒なことなく、 使用済み潤滑油の誤った管理の可能性を最小限に抑える構造を確立している。

リサイクルされる使用済み潤滑油は、主にそのような特性がリサイクルを妨げたりする可能性があるため、有害廃棄物として分類されない。ただし、PCBを含むことが判明した使用済み潤滑油は、有害物質規制法(TSCA)の該当する要件にしたがって管理する必要があり、有害廃棄物と混合されていることが判明した使用済み潤滑油は、リソースの該当する要件にしたがって管理する必要がある。

2) Executive order 13101 および Executive order 13149 について 1,3,4)

EO13101 により、「廃棄物抑制、リサイクルおよび連邦調達を通じた政府のグリーン化」が 1998 年 9 月 14 日に制定された。

汚染抑制への関心が高まる中、廃棄物管理および潤滑油を含むリサイクル材料から作られた最終製品の優先使用を促進した。特に「政府機関は米国環境保護庁(EPA)

の再精製された潤滑油と更生タイヤの調達ガイドラインを実行する」ことを求めた。 EPA 調達ガイドラインに関する追加情報は EPA のウェブサイトに掲載されている。

また、EO13149「連邦艦隊および輸送機関の効率性を通した政府のグリーン化」が 2000 年 4 月 21 日に制定された。これは特に、「いかなる連邦政府機関も、再精製された自動車用潤滑油が合理的に利用可能で、自動車メーカーの推奨する性能基準に見合う場合、バージン基油を使用した自動車用潤滑油の購入、売却、あるいは購入の手配をしない」ことを求めた。

なお、EO13101 および EO13149 とも、2007年1月26日に制定された、EO13423、「連邦環境エネルギーと輸送管理の強化」によって取り消され、その後、EO13423は2015年3月19日に制定された、EO13693「次の10年の連邦の持続可能性計画」によって取り消された。

3) Executive order 13693 について 1,5)

EO13101 および 13149 は、再精製した潤滑油への言及や、優先的に使用済み潤滑油を再精製した潤滑油を使用するよう具体的に指導していなかったが、EO13693 は連邦政府機関に「EPA で設計したリサイクル材料含有製品への購入を求める法定義務を計画し、購入実施段階にあるすべての調達において、グリーン化を促進し、持続可能なリサイクルが実現できることを確証づけ、かつ、このようなリサイクル製品の購入を促進する」ように指導した。

EPA による、包括的物品調達ガイドライン(CPG)への回収物に関する勧告通知 (RMAN)は、「EPA が調達機関の最小限の再精製オイル含有基準を、RCRA セクション 6002(C)(1)の法定要件を満たすと定義される再精製潤滑油が 25%以上含まれていること」が規定されている。

なお EO13693 は、2018 年 5 月 17 日に、連邦機関に建築物、車両、そしてエネルギーの最適化および環境性能の全体的な運営の管理、廃棄物削減、そしてコストカットを指導する EO13834「効率的な連邦政府の運営」によって取り消された。

4) Executive order 13834 について 1,6)

EO13834 は、廃棄物抑制およびリサイクル手段の実行と固形、危険、有毒な廃棄物に関するすべての連邦要件に応えるという EO の目的を果たすことを各政府機関トップに指導している。

政府機関は購入、連邦調達規制、その他の該当する連邦調達方策の法定義務に従い、製品使用および廃棄とサービスの習得を指示されている。

EO13834 の実施指導は具体的に、政府機関は再精製された潤滑油を含む、包括的物品調達ガイドライン(CPG)で EPA によってリサイクル材料含有の要件を満たす製品を購入しなくてはならないと言及している。

政府機関が、効率性を増進、性能を最適化、資源の不必要な使用を排除、そして 環境を保護する基準でエネルギーおよび環境性能の法定要件を満たすことがアメリ カ合衆国の方策であることをこの EO は断言している。

5) The California Recycling Enhancement Act (Bill SB 546) 1,7)

カリフォルニア州は、リサイクルインセンティブシステム、地方自治体および非営利団体への助成金または貸付からなる使用済み潤滑油リサイクルプログラムを確立している。

使用済み潤滑油の収集とリサイクル、および使用済み潤滑油とその副産物による 雨水汚染、使用済み潤滑油の違法処分をさせないための情報と教育プログラムの開 発と実施、報告、監視、施行プログラムに関連する特定の目的使用済み潤滑油に関 する法律が適切に実施されているかどうか確認することも求められている。(カリフ オルニア統合廃棄物管理委員会にて実施)。

特に、不法に処分される使用済み潤滑油の発生量を削減する方法を促進するため の情報および教育プログラムの開発と実施を行う。

また、このプログラムに基づく助成金の対象となる目的を改訂し、民間団体への 助成金の追加を承認した。

- 1. 使用済み潤滑油のテストを必ず実施する。
- 2. 使用済み潤滑油の料金体系の刷新を行う。
- 3. 使用済み潤滑油の支払いに加えインセンティブを支払い、使用済み潤滑油の 再精製(リサイクル)を促進する。

具体的には、次のような取り組みが行われている。

- 使用済み潤滑油を回収する。
- 認証試験期間で使用済み潤滑油の分析を行う。
- 使用済み潤滑油は、輸送またはリサイクルされる前にテストされる(州の輸送、 保管、またはリサイクル施設からの文書を入手)。
- 州外の使用済み潤滑油についても、DTSC(カリフォルニア州有害物質管理局) と合意し、州外の使用済み潤滑油リサイクル施設から文書(証明書など)を入手 する。
- 州外の施設と州外の設備に出荷された使用済み潤滑油の量に関する年次報告をまとめる。

使用済み潤滑油が汚染されていないことが重要であるため、使用済み潤滑油の試験分析は不可欠である。 この法律の改正は、カリフォルニアでリサイクルされたか州外でリサイクルされたかにかかわらず、カリフォルニアで回収される使用済み潤滑油がカリフォルニアの環境基準と同等の方法で管理されることを保証することを目的としている。

ただし、使用済み潤滑油の定義には、5ppm 以上の濃度の PCB を含むオイルは含まれていない。PCB 含有油などは、使用済み潤滑油の定義から除外され、有害廃棄物として管理される。

インセンティブについては、州内で販売または譲渡された、または使用のために州に輸入された潤滑油について、クォートごとに 0.04 ドル、またはガロンごとに 0.16 ドルの金額の支払いを石油製造業者に課すことが決められたが、2013 年 12 月 31 日までにこれらの金額を、それぞれ 0.065 ドルと 0.26 ドルに増やし、2014 年 1 月 1 日以降は、これらの料金はクォートごとに 0.06 ドル、ガロンごとに 0.24 ドルと改正された。また、少なくとも 70%の再精製基油を含む潤滑油の料金は、クォートごとに 0.03 ドル、ガロンごとに 0.12 ドルに修正された。

6) その他の関連法規制の動向

(1) 有害物質規制法(TSCA) 1,8)

米国の新規化学物質届出制度に関連する法律として、有害物質規制法(TSCA: Toxic Substances Control Act)が 1977 年に施行された。有害な化学物質による人の健康や環境への悪影響を防止することを目的としている。

高温用の油圧作動油や電気機器に使用される潤滑油には、PCBが難燃剤として使用されてきた歴史があるため、PCBが含まれている可能性があることから、PCB規制(40 CFR Part 761)では、PCB濃度が500 ppm以上の潤滑油を含む機器の商業的流通、規制を免れるためのPCB濃度の希釈、およびPCB含有機器の一般的な製造を禁止している。

検出下限値以上かつ 50ppm 未満の PCB を含む使用済み潤滑油は、エネルギー 回収のために燃焼する際は、TSCA によって規制されており、それは RCRA UOMS に関連する。また TSCA の規則は、自動車業界に対し、室内暖房器による 使用済み潤滑油の現地での燃焼を制限している。

(2) 大気汚染防止法(CAA)の有害大気汚染物質の国家排出基準(NESHAP) 1,9)

大気浄化法(CAA) 国家有害性大気汚染物質排出基準(NESHAP)の現場から離れた廃棄物回収作業規則 [CFR 第 40 編 63, 副題 DD あるいは現場から離れた廃

乗物回収作業(OSWRO)NESHAO]は、RCRA UOMSで定義されているように、使用済み潤滑油処理事業者/再精製事業者が所属する施設が有害大気汚染物質の大きな発生源だった場合、使用済み潤滑油処理事業者/再精製事業者に適用される。大きな発生源とは、制御を考慮したうえで、全体として年間 10 トン以上の有害大気汚染物質(HAP)、あるいは年間 25 トン以上の HAP のどの組み合わせでも排出する、あるいは排出する可能性のあるすべての固定発生源(あるいは隣接し、共通制御下にある固定発生源の集合)を意味する。OSWRO NESHAPによって規制される発生源はタンク、地表貯留池、コンテナ、油/水および化学品/水分離器、原料移送システム、プロセスベント、そして機器の漏えいを含む。使用済み潤滑油燃焼ユニットで、大きな発生源である施設にあり、タイトル V の許可要件の対象になるものもある。規格外の燃料油の燃焼はボイラーあるいはセメントキルンのCISWI(商業および産業の固形廃棄物の相互作用)適応性をもたらす可能性がある。特定の規格外使用済み潤滑油を燃焼し得るタイプのユニットの、潜在的な CISWI 適応性および制限は規格外の使用済み潤滑油燃焼に関して考慮されるべき連邦規則である。

(3) 大気浄化法オフサイト廃棄物施設規則 1,10)

他の施設で生成される、有害大気汚染物質を含む原料を取り扱う、有害廃棄物の処理、保管、そして廃棄施設;工業排水処理施設;溶媒リサイクル施設;そして使用済み潤滑油回収施設を含む。これらの施設では、(クロロフォルム、トルエン、ホルムアルデヒド、そしてキシレンを含む)数多くの有毒大気汚染物質がタンク、プロセスベント、機器の漏えい、コンテナ、地表貯留池、そして移送システムから放出されている。EPAの規則は機器、運営、そして作業観光基準を合わせる。例えば、その規則は、コンテナが覆われることと、プロセスベントが95%の有機放出制御を満たすことを求める。その規則は推定250の現場から離れた廃棄物処理施設に影響を及ぼす。それは年間43,000トンの大気有害物質の排出と、年間52,000トンのVOC排出を削減する。水質浄化法集中廃棄物処理(CWT)点源カテゴリー(40 CFR437)

(4) 水質浄化法の一元化された廃棄物処理(CWT)^{1,11)}

ポイントソースカテゴリー(CFR 第 40 編パート 437)および汚染物質に関する 分析の試験手順(CFR 第 40 編 136)は、廃棄物を処理および/あるいは回収し、そ の活動が排水を生成する、現場から離れたところからの廃棄物を受け入れる施設 に適用される。より具体的にいうと、リサイクル/回収作業は、特に免除されてい ない限り、規則に当てはまる。排水を生成する燃料調合者はこの規則によって規制されている。すべての再精製者はこの規則によって規制されている。多くのRCRA UOMS 加工者/再精製者は CWT 規則の潤滑油カテゴリーによって規制されている。CWT 規則は 3 つの従来型の汚染物質、13 の金属汚染物質、そして 6 の有機汚染物質に対して、現在有効な最も実用的な制御技術の利用を強いる。CWT 規則の目的は、魚、貝、野生動物、海岸線、そしてビーチに限定はされないが、これらを含む、公衆衛生あるいは福祉の保護である。

(5) 流出防止の管理と対策 1,12)

流出防止管理および対策計画の要件(SPCC、40 CFR 112)は、は改訂された水質浄化法に源を発する。SPCC 計画は、植物油、動物油、そして使用済み潤滑油を含む、油の可航水域への放出から地表水を保護することを目的としている。事実上の SPCC 規則は(1)非輸送関連施設;(2)1つのコンテナあたり 660 ガロン以上の容量のある地上の保管用タンク、全体で 1.320 ガロン以上の保管容量、あるいは合計 42,000 以上の地下容量のある施設;そして(3)アメリカ合衆国の可航水域あるいは隣接する海岸線への流出の合理的な予想がされる施設に適用される。可航水域への道筋は、地表水に流入する道路側溝や下水溝を含む。SPCC 計画は、施設による油流出の防止、流出した油の可航水域あるいは隣接の海岸線への侵入防止のために取り入れられた手段の制御、そして油流出の封じ込め、清掃、そして影響の軽減の対策のために実行する操作手順について言及するべきである。その要件は、プロのエンジニアの認可、流出予測、施設の排水、施設の視察、用地のセキュリティー、3年計画の見直し、経営の承認、油流出歴、維持封じ込めあるいは分流構造、タンク車やタンクローリーのラックの荷積み/荷卸し場所、そして研修および流出の要旨説明を含む。

(6) 包括的な環境対応、補償、および責任法(CERCLA) 1, 13)

改正された包括的環境対応、補償、および責任法には、多くの使用済み潤滑油 関連の規定が含まれている。

「有害物質」の緊急除去および環境修復の権限が、放棄された使用済み潤滑油用地に対して適用された。CERCLA 114 条の潜在的な当事者責任のガソリンスタンド業者免除はガソリンスタンド業者に、家庭内で生成された使用済み潤滑油の受け入れや、RCRA UOMS との同調の動機を提供する。CERCLA は 101 条(14)において、「有害物質」を、連邦水質汚染防止法(FWPCA)の 1321(b)(2)(A)に指定された、非石油有害物質を含み、次のように定義する; CERACLA 9602 条に指定

されたすべての要素、成分、混合物、溶液、あるいは物質;固形廃棄物処分方 (RCRA)3001 条に指定されたすべての有害廃棄物;水質汚濁防止法 1317 条(a)で示される有毒汚染物質一覧;大気浄化法 112 条で上げられた有害大気汚染物質;そして第 15 編 2006 条下の方策の対象となるすべての差し迫って危険な化学物質あるいは混合物。「有害物質」という言葉が石油原油あるいは石油原油の小部分、天然ガス、天然ガス液、液化天然ガス、あるいは燃料用の合成ガスを含まない一方で、使用を通して不純物で汚染された油は含まれる。すなわち、環境への放出に関して全国対応センターへ通知するなどの、「有害物質」に適用される要件は、「使用済み潤滑油」にも適用される。

(7) 緊急計画および地域社会の知る権利法 1,14)

緊急計画および地域の知る権利に関する法律には、有害物質排出目録の報告要件と、現地に保管されている危険物について地域の緊急計画委員会に通知することが含まれている。

危険物とは、労働安全衛生局が 49 CFR 1910 のリスクコミュニケーション基準にしたがって製品安全データシート(MSDS)を要求するものである。

潤滑油添加剤として使用され、使用済み潤滑油に含まれている塩素化エタン (例: パラフィン)および塩素化ナフタンは、どちらもリストにのっている。また、クレゾールもリストにあり、1 種類のクレゾールは潤滑油製品において殺生剤として存在することがある。EPCRAへの「リストのリスト」は次のリンクから EPAのウェブサイトにて閲覧可能である:

http://www.epa.gov/ceppo/pubs/title3.pdf

(8) 沿岸警備隊の使用済み潤滑油規制、使用済み潤滑油の航行海域や船舶上での廃棄規制 1,15)

航行可能な水域への使用済み油の放出と使用済み油の船上管理は、1978年の議定書(MARPOL 73/78)によって修正された、1973年の船舶による汚染防止のための国際条約の権限の下で沿岸警備隊によって規制されている。その後、1992年に改訂された。1992年の改訂は2007年1月1日に発効した。

MARPOLは、タンカーからの石油の操業上の排出の量、速度、および場所を制限する。貨物油とその残留物の積み込みから排出までの移動をタンクごとに記録するには、オイル記録簿を使用する必要がある。

20,000dwt 以上のすべての新しいタンカーには、分離されたバラストタンクが 必要であり、貨物タンクが保護されるように配置する必要がある。1992年の附属 書 I の改正により、新しい石油タンカーに二重船殻が義務付けられ、既存のタンカーが二重船殻に適合するように段階的に導入された。

(9) 危険物輸送法 1,16)

米国運輸省(DOT)は、危険物輸送法(HMTA)の権限のもと、商取引における危険物の輸送を規制している(CFR 第 40 編パート 171 から 179)。

使用済み潤滑油は、可燃性の液体(引火点 100T以上 200T未満)、あるいは引火性の液体(引火点 100T未満)の定義を満たせば危険物として分類される。

DOT 規制は、認識および分類、梱包、表示、ラベリング、および出荷に対応している。また、輸送事業者には、掲示、発送書類の使用、記録保持、報告、そしてインシデント対応を求めている。

第5節 まとめ

本章では、国内の潤滑油製造事業者に対し、基油の調達状況について、アンケート調査等の手法により情報を収集し、基油の調達におけるリスク等を分析し取りまとめた。さらに、国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等に対し、基油の多様化および基油再生に関する取組状況等について、ヒアリング、電子メールおよびWeb会議等の手段により情報を収集した。また、北米等の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対しても、①基油の多様化に向けた取組状況、②基油再生の現状、③最新の基油再生技術および④法規制の動向等について、ヒアリング、電子メールおよびWeb会議等の手段により情報を収集し、我が国と北米等における基油の多様化および再生基油に関する取組状況を比較した。主な成果は次のとおり。

- 国内の潤滑油製造事業者に対し、基油の調達状況について、アンケート調査を行った結果、回答事業所の基油の購入先としては、大部分の事業所が、基油を国内からのみで調達しており、また基油を調達できなくなった場合の代替策については、「非常事態に備えて、別の調達先を確保済み」と回答したのは、回答事業所の約2割のみで、その他の事業所は、「別の調達先を検討中」、「特に検討は行っていない」、「わからない」、「その他」と回答しており、基油の多様化等、今後の非常事態に備えた代替策の検討が求められる。
- 基油の多様化を図る 1 つの手段として期待されるのが、使用済み潤滑油をリサイクルして基油を生産する「基油再生」であるが、アンケート調査の結果、品質に問題がなく経済的であれば使用してもよいという意見が多く得られた。

- 国内の潤滑油製造事業者や潤滑油リサイクル事業者等に対し、基油の多様化および 基油再生に関する取組状況等について、アンケート調査で得られた内容等を踏まえ て、ヒアリングを行った結果、現在我が国においては、マテリアルリサイクルとして の基油再生はあまり行われておらず、ほとんどが、そのまま焼却されるか、あるいは 再生重油として、サーマルリサイクルが行われており、一部については、使用済み潤 滑油の浄油等により、潤滑油としてリユースされている。
- 再生基油に関する今後については、現在、我が国で行われている再生重油としてのサーマルリサイクルのままでよいのでは、とする意見がある一方、今般の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)によるパンデミックや、昨今のカーボンリサイクル関連動向等を受け、今後の電気自動車 (EV: Electric Vehicle)化による製油所低稼働でVGO(Vacuum Gas Oil 減圧軽油留分)が減少することにより、原油からのバージン基油の供給リスクが懸念されるため、事業継続計画(BCP: Business Continuity Planning)対策としても、再生基油は有効ではないか、との意見もあった。
- 米国は我が国と同様、2007年以前は、再生燃料の製造がメインであったが(再生基油の比率は 10~30%、原油価格により変動)、2008年から、原油価格の高騰等により再生基油の比率が上昇し、現在、基油再生は使用済み潤滑油の再生がメインになっている。
- 北米の潤滑油製造事業者や使用済み潤滑油リサイクル事業者等に対するヒアリング 調査では、政策的にインセンティブを出す方策を取れば、使用済み潤滑油回収業者 は積極的に回収作業を行い、回収率が向上し、不法投棄が減少するという意見があ った。
- また、ポリ塩化ビフェニル(PCB: Poly Chlorinated Biphenyl)については、PCBの計測器等を安価で誰にでも扱えるようにしないと、潜在的に不安要素が残り、もし使用済み潤滑油に PCB の混入が認められると、その時点で責任問題が生じるため、現場はリスクを恐れ、使用済み潤滑油の回収率低下にもつながることを訴えていた。
- 米国エネルギー省 (DOE: Department of Energy) が発行した "Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1"には、DOE が積極的に現場へ出向き、業界のステークホルダーから詳細の情報を入手していることのわかるレポートが添付されており、関係団体・企業がかなり積極的に DOE に協力している。同レポートによると、米国では、業界それぞれの思惑を越えて、しっかりと話し合い結論を出していく構図のようなものがうかがえる。

我が国において、品質に問題がなく、かつ経済的な再生基油を製造する場合、原料となる使用済み潤滑油の性状について、「使用済み潤滑油のまま」、「再生重油」、「低灰分再生重油にして清浄分散剤を除いて持ち込む」等、どのような品質を要求するかが、今後の再生基油普及に向けたポイントとなると考えられる。さらに、エンジン油と工業用潤滑油を分けて回収するのであればそれなりの対策が必要となる。また、どのようなプロセスで再生基油を製造するのかによっても、原料としての、使用済み潤滑油に対する要求性状が異なってくる。(例えば、原油と混合してトッパー処理を行うとすれば、清浄分散剤を除いてデソルターでのエマルジョン化を防げる低灰分再生重油が望まれるのではないか。)。

今後は、我が国における基油の多様化および 2050 年のカーボンニュートラルに向け、 品質に問題がなく、かつ経済的な再生基油を製造する方法や、海外での対策等を参考に、 再生基油普及に向け、解決すべき課題および解決方法等を明らかにする必要がある。

文 献

- 1) United States Department of Energy: Used Oil Management and Beneficial Reuse Options to Address Section 1: Energy Savings from Lubricating Oil Public Law 115-345, Report to Congress December 2020, https://www.energy.gov/fe/downloads/usedoil-management-and-beneficial-reuse-report-congress
- 2) United States Environmental Protection Agency: Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Regulations, https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-regulations
- 3) United States Environmental Protection Agency: Executive Order 13101—Greening the Government Through Waste Prevention, Recycling, and Federal Acquisition, https://www.epa.gov/greenerproducts/executive-order-13101-greening-government-through-waste-prevention-recycling-and
- 4) The U.S. National Archives and Records Administration: Greening the Government Through Federal Fleet and Transportation Efficiency, https://www.archives.gov/federal-register/executive-orders/2000.html#13149
- 5) United States Environmental Protection Agency: Executive Order 13693, Planning for Federal Sustainability in the Next Decade, https://www.epa.gov/greeningepa/executive-order-13693-planning-federal-sustainability-next-decade

- 6) United States Environmental Protection Agency: Executive Order 13834: Efficient Federal Operations, https://www.epa.gov/greeningepa/executive-order-13834-efficient-federal-operations
- 7) California Department of Resources Recycling and Recovery (CalRecycle): Key Elements of Senate Bill 546 (Lowenthal), https://www.calrecycle.ca.gov/usedoil/policylaw/sb546
- 8) United States Environmental Protection Agency: Summary of the Toxic Substances Control Act, https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-toxic-substances-control-act
- 9) United States Environmental Protection Agency: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP), https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/national-emission-standards-hazardous-air-pollutants-neshap-9
- 10) United States Environmental Protection Agency: Off-Site Waste and Recovery Operations (OSWRO): National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP), https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/site-waste-and-recovery-operations-oswro-national-emission
- 11) United States Environmental Protection Agency: Centralized Waste Treatment Effluent Guidelines, https://www.epa.gov/eg/centralized-waste-treatment-effluent-guidelines
- 12) United States Environmental Protection Agency: Overview of the Spill Prevention, Control, and Countermeasure (SPCC) Regulation, https://www.epa.gov/oil-spills-prevention-and-preparedness-regulations/overview-spill-prevention-control-and
- 13) United States Environmental Protection Agency: Summary of the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (Superfund), https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-comprehensive-environmental-response-compensation-and-liability-act
- 14) United States Environmental Protection Agency: Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (EPCRA), https://www.epa.gov/epcra
- 15) United States Environmental Protection Agency: SPCC Rule Applicability, https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/2_applicability_2014.pdf
- 16) United States Environmental Protection Agency: Hazardous Materials Transportation Act (HMTA),

 $https:\!/\!/archive.epa.gov/emergencies/content/lawsregs/web/html/hmtaover.html$

第2章 再生基油を用いた潤滑油の試作 および品質評価

第1節 はじめに

海外で製造・販売している再生基油を入手して、その性状を分析するとともに、これらの再生基油を用いてエンジン油を試作し、原油から製造したバージン基油を使用したエンジン油の性状と比較検証することにより、我が国で必要な再生基油の品質水準の検証を行ったので報告する。

第2節 基油の入手と性状分析

1. 基油の入手

海外の再生基油製造・販売事業者、11 事業者から、再生基油の入手を試み、その内、欧州、北米およびオセアニアの 8 事業者から 15 油種の再生基油を入手した。入手を試みた再生基油と入手状況を表 2-1 に示す。本報告では再生基油、re-refined basestockの略号 RRBS を用いる。

表 2-1. 入手を試みた再生基油

記号	入手先	使用済み潤滑油回収エリア	粘度グレード	入手状況
RRBS-01	A社	North America	130N	0
RRBS-02-1			70N	0
RRBS-02-2	S社	North America	120N	0
RRBS-02-3			240N	0
RRBS-03	V社	North America	150N	0
RRBS-04-1			100N	0
RRBS-04-2	A社	Europe	150N	0
RRBS-04-3			200N	0
RRBS-05	P社	Europe	_	×連絡がとれなかったため
RRBS-06	A社	Europe	_	×生産を始めたばかりのため
RRBS-07-1	I社	Furana	80N	0
RRBS-07-2	1 71.	Europe	150N	0
RRBS-08-1	S社	Oceania	150N	0
RRBS-08-2	る江	Oceania	300N	0
RRBS-09-1	N 社	Oceania	150N	0
RRBS-09-2	11 7工.	Oceania	300N	0
RRBS-10	C 社	Oceania	_	×少量生産のため
RRBS-11	H社	North America	150N	\circ

さらに、再生基油との比較のために、原油から製造したバージン基油、VBS-01 および VBS-02 を入手した。

2. 基油の性状

2.1 基油の炭化水素組成

入手した再生基油およびバージン基油を表 2-2 に示す米国石油協会(API: American Petroleum Institute)の基油分類 ¹⁾に基づいて分類するために、ASTM D2007 Standard Test Method for Characteristic Groups in Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method により、その炭化水素組成を分析した。分析に用いた Clay Gel Analysis 装置を図 2-1 に、分析結果を図 2-2 に示す。

表 2-2. API 基油分類 1)

分類	S分,%	•	飽和分,%	粘度指数
Group I	>0.03	and/or	<90	80~119
Group II	≤ 0.03	and	≥ 90	$80 \sim 119$
【参考】Group II+*	≤ 0.03	and	≥ 90	$115 \sim 119$
Group III	≤ 0.03	and	≥90	≥ 120

^{*:} Group II+は業界内の共通理解であり API 基油分類ではない。



図 2-1. Clay Gel Analysis 装置

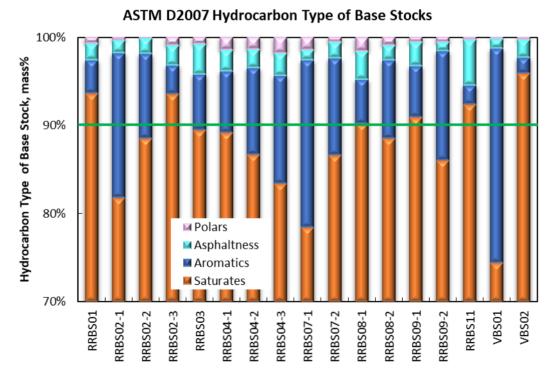


図 2-2. 基油の炭化水素組成

図 2-2 から RRBS01、RRBS02-3、RRBS08-1、RRBS09-1 および RRBS11 は飽和 分が 90%以上であるが、その他の再生基油は 90%未満である。

2.2 再生基油の性状

入手した再生基油について、API 基油分類および基油の性状分析の結果を表 2-3 に示す。表 2-3 から入手した 15 油種の再生基油は、Group I が 12 油種、Group II が 3 油種である。RRBS-02-1 以外の再生基油では粘度指数が 100 を超えており、さらに 15 油種中 11 油種が 115 を超えている。これは再生基油の原料となる市場に流通している潤滑油製品の高品質化に伴う粘度指数の向上を反映している。

表 2-3. 入手した再生基油の性状

								,,,,	<u> </u>									
項目	-	-	RRBS- 01	RRBS- 02-1	RRBS- 02-2	RRBS- 02-3	RRBS- 03	RRBS- 04-1	RRBS- 04-2	RRBS- 04-3	RRBS- 07-1	RRBS- 07-2	RRBS- 08-1	RRBS- 08-2	RRBS- 09-1	RRBS- 09-2	RRBS-	試験方法
API 基油分類			II+	I	I	II+	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II+	API 1509
色	ASTM	Color	L1.5	L0.5	L0.5	L1.5	L1.0	L1.0	2.0	L2.5	0.5	L0.5	L1.5	L2.0	1.0	L1.5	L1.0	JIS K 2580
密度	15℃	g/cm ³	0.8455	0.8454	0.8450	0.8519	0.8467	0.8464	0.8508	0.8565	0.8498	0.8505	0.8507	0.8576	0.8575	0.8628	0.8482	JIS K 2249-1
動粘度	40℃	mm²/s	25.28	12.32	24.98	43.29	25.54	23.43	33.37	42.49	15.12	30.01	28.94	49.16	30.78	48.15	28.04	
	100℃	mm²/s	4.885	3.009	4.833	6.960	4.904	4.648	5.922	6.886	3.454	5.464	5.306	7.530	5.451	7.293	5.186	JIS K 2283
粘度指数			117	97	116	119	116	116	123	119	104	119	117	117	113	112	116	
低温見かけ粘度	-25℃	mPa·s	1,637	525	1,582	4,329	1,697	1,463	2,684	4,642	1,011	2,636	2,232	6,094	3,003	7,128	2,031	ASTM D5293
CCS	-30℃	mPa·s	2,904	902	2,830	8,429	3,076	2,620	5,107	9,293	1,909	5,096	4,111	12,249	5,863	14,886	3,689	
蒸発性 NOACK	250°C	mass%	13.2	44.3	11.2	5.1	13.3	12.1	7.8	6.9	34.0	9.7	10.7	4.9	15.3	9.8	12.1	ASTM D5800
引火点 COC		$^{\circ}$ C	228	196	242	250	222	224	242	246	188	234	228	238	212	232	222	JIS K 2265-4
	Ca	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Mg	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	В	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
元素分析	Mo	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	JPI-5S-38
	Zn	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	P	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	****
	S	mass%	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.12	0.24	0.04	0.01	0.04	0.06	0.05	0.07	0.00	JIS K 2541-5*
	N &str	mass%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00 86.6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	JIS K 2609**
炭化水素組成	飽和	mass%	93.6	81.8	88.5	93.5	89.5	89.1	86.7	83.4	78.4		90.1	88.5	90.9	86.0	92.3	ACITIM DOOOT
火化小糸組以	芳香族アスファ	mass%	3.8	16.4	9.6	3.3	6.3	7.0	9.8	12.2	18.9	11.0	5.1	8.9	5.8	12.4	2.2	ASTM D2007
	ルテン	mass%	1.8	1.5	1.8	2.2	3.4	2.4	2.1	2.6	1.2	1.8	3.2	1.6	2.7	1.0	5.2	
	極性	mass%	0.8	0.4	0.2	1.0	0.8	1.5	1.4	1.9	1.5	0.6	1.6	1.0	0.6	0.6	0.3	
1 TT (1 T		/ I I /	(- ~-)															

^{*}JIS K 2541-5 付属書(ICP)

^{**}JIS K 2609(化学発光)

2.3 バージン基油の性状

比較に用いたバージン基油の動粘度、粘度指数、組成および硫黄分(以下 S 分)等の性状を分析した。結果を表 2-4 に示す。本報告では、バージン基油、virgin basestockの略号 VBS を用いる。

表 2-4. 入手したバージン基油の性状

名称	=		VBS-01	VBS-02	試験方法
API 基油分類			I	II+	API 1509
色	ASTM	Color	L0.5	L0.5	JIS K 2580
密度	15℃	g/cm ³	0.8655	0.8538	JIS K 2249-1
動粘度	40℃	mm²/s	28.30	31.02	
	100℃	mm²/s	5.044	5.506	JIS K 2283
粘度指数			104	115	
低温見かけ粘度	-25℃	mPa·s	3,117	2,515	ASTM D5293
CCS	-30℃	mPa·s	6,672	4,690	
蒸発性 NOACK	250°C	mass%	15.8	12.7	ASTM D5800
引火点 COC		$^{\circ}$	220	228	JIS K 2265-4
	Ca	mass%	0.00	0.00	
	Mg	mass%	0.00	0.00	
	В	mass%	0.00	0.00	
元素分析	Mo	mass%		JPI-5S-38	
	Zn	mass%	0.00	0.00	
	P	mass%	0.00	0.00	
	S	mass%	0.11	0.00	JIS K 2541-5*
	N	mass%	0.00	0.00	JIS K 2609**
	飽和	mass%	74.5	95.8	
炭化水素組成	芳香族	mass%	24.2	1.8	ASTM D2007
	アスファ ルテン	mass%	1.1	2.0	
	極性	mass%	0.3	0.3	

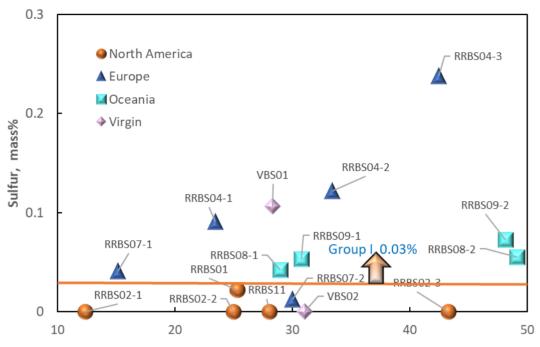
^{*}JIS K 2541-5 付属書(ICP)

表 2-4 から、VBS-01 は Group I 基油で、VBS-02 は Group II+基油である。

2.4 基油の硫黄分

入手した基油の 40℃の動粘度と S 分の関係を図 2-1 に示す。

^{**}JIS K 2609(化学発光)



Kinematic Viscosity of Base Stock at 40°C, mm²/s

図 2-3. 40℃の動粘度と S 分

図 2-3 から、入手した再生基油のS分は、その使用済み潤滑油の回収エリア別に欧州、オセアニアおよび北米の順に減少する。

2.5 基油の蒸発性

入手した再生基油の 100 \mathbb{C} の動粘度と蒸発性(Noack、250 \mathbb{C} \times 1hr) の関係を図 2-4 に示す。

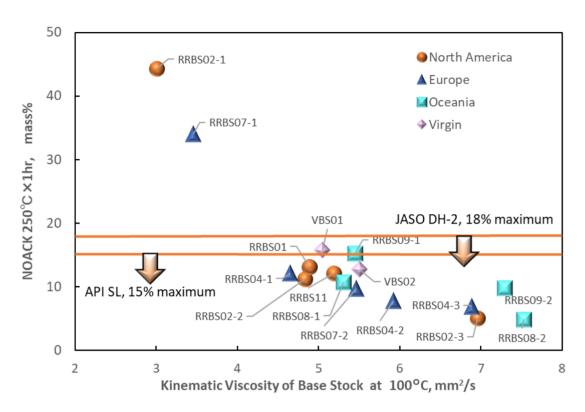


図 2-4. 100℃の動粘度と蒸発性(Noack、250℃×1hr)

図 2-4 から再生基油およびバージン基油いずれも 100℃の動粘度が小さいほど蒸発しやすく、図 2-3 で認められた欧州、北米およびオセアニア間の地域による差は認められない。NOACK(250℃×1hr)の要求性能は、最新の日本自動車規格(JASO: Japanese Automobile Standards Organization) JASO GLV-1²⁾ や ILSAC(International Lubricant Specification Advisory Committee、国際潤滑油規格諮問委員会)規格、ILSAC GF-6³⁾などのエンジン油では、15%以下、米国石油協会(API: American Petroleum Institute)規格、API CH-4のディーゼルエンジン油³⁾では 13%以下、JASO DH-2のディーゼルエンジン油⁴⁾では、18.0%以下が求められており、入手した再生基油の多くは、これらのための基油として十分な低蒸発性を有している。

第3節 再生基油を用いたエンジン油の試作と性状分析

1. 再生基油を用いたエンジン油の試作

入手した再生基油のエンジン油基油への適合性を評価するために、同一のガソリンエンジン油用添加剤パッケージあるいはディーゼルエンジン油用添加剤パッケージ、 粘度調整剤および流動点降下剤をそれぞれの再生基油に同一量添加し、ガソリンエン ジン油およびディーゼルエンジン油を試作した。また、SAE 粘度グレードを調整するための粘度調整剤の添加量の違いが、評価結果に及ぼす影響を排除するために、粘度の調整をおこなわないこととした。そのため、後述する試作油の一部について、ターゲットとした SAE10W-30 を満足していないものがある。

1.1 ガソリンエンジン油の試作

再生基油が必要となる状況として、事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan) 対応を想定し、試作ガソリンエンジン油の品質のターゲットは、JASO GLV- 1^{20} あるいは ILSAC GF- 6^{30} といった現在の最新のエンジン油の品質ではなく、必要最小限の性能として 2001 年に市場に投入された API SL クラスを想定した。また、SAE 粘度グレードとしては現在国内で最も広く流通している SAE 0W-20 ではなく、これより高粘度で汎用性の高い SAE 10W-30 を想定した。API SL、SAE 10W-30 の規格値の一部を表 2-5 に示す。

表 2-5. API SL、SAE 10W-30 の規格値(抜粋)³⁾

項目			API SL 規格値	試験方法
動粘度	100℃	mm²/s	9.3 以上 12.5 未満	ASTM D445
高温高せん断粘度 HTHS	150℃	mPa·s	2.9 以上	ASTM D483
低温見掛け粘度 CCS	-25℃	mPa·s	7,000 以下	ASTM D5293
低温ポンプ吐出性能 MRV	-30℃ 降伏応力	mPa∙s Pa	60,000 以下 35 以下	ASTM D4684
蒸発性 NOACK	250°C	mass%	15 以下	ASTM D5800
高温酸化防止性 Seque	nce IIIH 70-	Hour Gui	deline	
	粘度増加	%	150 以下	ASTM
average weighted pist	on deposits	merits	3.3 以下	D8111
average piston sk	irt varnish,	merits	7.9 以下	

入手した再生基油 15 油種および比較としてのバージン基油 2 油種の 17 油種の各基油に、API サービス分類 SL クラスガソリンエンジン油用添加剤パッケージ(以下 SL Package とする)、粘度調整剤(VM: Viscosity modifier)および流動点降下剤(PPD: Pour Point Depressant)を推奨添加量で添加し、再生基油を用いたガソリンエンジン油(PCMO01 から PCMO11)、およびバージン基油を用いたエンジン油(PCMOV1 および PCMOV2)を調製した。ここで、PCMO は Passenger Car Motor Oil の略である。

1.2 ディーゼルエンジン油の試作

再生基油を用いるディーゼルエンジン油の品質のターゲットとしては、現在国内で 走行しているディーゼル自動車の多くに充填されている JASO DH-2 クラスを想定し た。また、SAE 粘度グレードとしては現在国内で最も流通している SAE 10W-30 を 想定した。JASO DH-2、SAE 10W-30 の規格値の一部を表 2-6 に示す。

表 2-6.	JASO DH-2-17、	SAE 10W-30	の規格値(抜粋)4)
1 L U.	0/100 011 2 1/1		V/////////////////////////////////////

公 2 0. 07.00 DH 2 17、 07.12 10 00 07%, Tale(版件)											
項目			JASO DH-2-17 規格値	試験方法							
動粘度	100℃	mm²/s	9.3 以上 12.5 未満	JIS K 2283							
高温高せん断粘度 HTHS	150° C	mPa·s	2.9 以上	JPI-5S-36							
低温見掛け粘度 CCS	-25℃	mPa·s	7,000 以下	ASTM D5293							
低温ポンプ吐出性能	-30℃	mPa·s	60,000 以下	ASTM D4684							
MRV	降伏応力	Pa	35 以下	AS1M D4664							
蒸発性 NOACK	$250^{\circ}\!\mathrm{C}$	mass%	18.0 以下	ASTM D5800							
硫酸灰分		mass%	1.0 ± 0.1	JIS K 2272							
塩基価		mgKOH/g	5.5 以上	JIS K 2501							
高温堆積物防止性 HTT	280℃	merits	7.0 以上	JPI-5S-55							
	銅		20 以下								
	鉛	mass ppm	100 以下	ASTM D6594							
耐腐食性 HTCBT	錫		50 以下								
	試験後の銅	変色(135 ℃)	3以下	ASTM D130							
高温酸化防止性 Sequence	ACTIME DOLLI										
	粘度増加	%	110 以下	ASTM D8111							

試作ガソリンエンジン油と同様に、入手した再生基油 15 油種および比較としてのバージン基油 2 油種の 17 油種の各基油に、JASO DH-2 ディーゼルエンジン油用添加剤パッケージ(以下 DH-2 Package とする)、VM および PPD を推奨添加量で添加し、再生基油を用いたディーゼルエンジン油(HDMO01 から HDMO11)、およびバージン基油を用いたディーゼルエンジン油(HDMOV1 および HDMOV2)を調製した。ここで、HDMO は Heavy-duty Motor Oil の略である。

2. 試作エンジン油の性状

試作ガソリンエンジン油の性状を表 2-7 に、試作ディーゼルンエンジン油の性状を表 2-8 に示す。なお、先述のように、粘度調整剤は、添加量の違いが評価結果に影響することを避けるため、添加量を調整しなかったが、再生基油の粘度によっては、10W-30 にならないエンジン油もあった。また、低温ポンプ吐出性能で降伏応力が発生しているエンジン油もあり、再生基油によっては、適切な流動点降下剤を選ぶ必要がある。

表 2-7. 試作ガソリンエンジン油の性状

	記号	PCMO 01	PCMO 02-1	PCMO 02-2	PCMO 02-3	PCMO 03	PCMO 04-1	PCMO 04-2	PCMO 04-3	PCMO 07-1	PCMO 07-2	PCMO 08-1	PCMO 08-2	PCMO 09-1	PCMO 09-2	PCMO 11	PCMO V1	PCMO V2	試験方法
			_													RRRS			
	基油																		SAE J300
			- 02 1							-				-	-				SAE J300
15℃	g/cm ³		0.8581							0.8620				0.8685	0.8730				JIS K 2249-1
																			010 11 22 10 1
																			JIS K 2283
100 C	11111 75																		010 11 2200
150℃	mPa·s	3.02	2.24	2.98	3.74	3.00	2.93	3.41	3.88	2.51	3.30	3.28	4.04	3.34	3.93	3.19	3.21	3.31	JPI-5S-36
-25℃	mPa·s	3,060	1,216	2,941	7,177	3,200	2,884	4,867	7,916	2,167	4,984	4,163	9,926	5,619	11,550	3,836	5,590	4,368	ASTM D5293
-30℃ 降伏応力	Pa	≦35	≦35	≦35	≦35	≦35	≦ 35	≦ 35	≦ 35	175 <y ≦210</y 	≦35	≦35	≦35	35 <y≦ 70</y≦ 	105 <y ≤140</y 	≦35	≦35	≦35	ASTM D4684
粘度	mPa·s	7,800	3,900	7,400	20,800	8,500	8,000	13,500	30,400	36,900	19,700	15,100	40,200	28,900	66,800	10,100	23,100	11,800	ASTM D4684
250°C	mass%	12.9	39.2	11.3	6.5	12.9	12.2	9.1	8.0	30.1	10.7	11.0	6.4	14.1	9.8	11.8	14.3	11.2	ASTM D5800
	$^{\circ}$ C	224	192	224	246	224	220	232	238	200	226	224	234	216	222	228	218	222	JIS K 2265-4
	mass%	1.01	1.01	1.01	1.02	1.00	0.99	1.02	1.02	1.02	1.00	1.02	1.01	1.01	0.98	1.00	1.00	1.03	JIS K 2272
	mass%	1.18	1.16	1.20	1.22	1.18	1.21	1.27	1.38	1.18	1.09	1.13	1.18	1.14	1.16	1.07	1.18	1.11	JIS K 2270
	mgKOH/g	2.20	2.23	2.22	2.24	2.43	2.43	2.44	2.37	2.36	2.32	2.27	2.30	2.36	2.30	2.37	2.36	2.65	JIS K 2501
·	mgKOH/g	5.61	5.73	5.76	5.76	6.07	6.11	6.28	6.21	6.09	6.12	6.35	6.40	5.93	5.72	5.95	5.97	5.61	JIS K 2501
	-25℃ -30℃ 降伏応力 粘度	基油 15℃ g/cm³ 40℃ mm²/s 100℃ mm²/s 150℃ mPa·s -25℃ mPa·s -30℃ Pa 粘度 mPa·s 250℃ mass%	記号 01 RRBS 01 10W·30 15℃ g/cm³ 0.8584 40℃ mm²/s 60.57 100℃ mm²/s 10.21 157 150℃ mPa·s 3.02 -25℃ mPa·s 3,060 30℃ Pa ≤35 ktg mPa·s 7,800 250℃ mass% 12.9 ℃ 224 mass% 1.01 mass% 1.18 mgKOH/g 2.20	上海	### 100	### Bit 10	### Bin Pars	据油 RRBS RRBS RRBS RRBS RRBS RRBS RRBS RRB	### RRBS RBS RRBS RPS RBS Ress Rest Rus Rest 108.471 108.471 108.471 108.471	提注	### Big Marks 101 02-1 02-2 02-3 03 04-1 04-2 04-3 07-1 ### Big Rr 10W-30	能力 01 02-1 02-2 02-3 03 04-1 04-2 04-3 07-1 07-2 基油 RRBS 01 Q2-1 02-2 02-3 03 04-1 04-2 04-3 07-1 07-2 15°C 10W-30 - 10W-30 15W-40 10W-30 10W-30 15W-40 - 10W-30 10W-30 10W-30 15W-40 - 10W-30 0.7-1 0.7-2 15°C g/cm³ 0.8584 0.8581 0.8580 0.8638 0.8594 0.8592 0.8629 0.8677 0.8620 0.8624 40°C mm²/s 60.57 33.82 60.07 94.71 61.30 57.29 77.32 93.81 40.12 70.52 100°C mm²/s 10.21 6.959 10.11 13.63 10.28 9.838 12.07 13.56 7.787 11.24 150°C m²a·s 3.060 1,216 2.941 7,177 3,200 2.884 4,867 <t< td=""><td>大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大</td><td>大き 01 02-1 02-2 02-3 03 04-1 04-2 04-3 07-1 07-2 08-1 08-2 基油 RRBS RBS RBS RBS RBS RBS RBS RBS</td><td>点 01 $02-1$ $02-2$ $02-3$ 03 $04-1$ $04-2$ $04-3$ $07-1$ $07-2$ $08-1$ $08-2$ $09-1$ 基油 RRBS RBBS 28-2<</td><td>接油 O1 O2-1 O2-2 O2-3 O3 O4-1 O4-2 O4-3 O7-1 O7-2 O8-1 O8-2 O9-1 O9-2 基油 RRBS O1 RRBS O2-2 RRBS O2-3 RRBS O3 RRBS O4-1 RRBS O4-3 RRBS O4-3 RRBS O7-1 RRBS O7-2 RRBS O8-1 RRBS O8-2 RRBS O9-1 RRBS O9-2 15°C g/cm³ 0.8544 0.8581 0.8580 0.8638 0.8594 0.8592 0.8629 0.8677 0.8620 0.8624 0.8629 0.8687 0.8639 0.8730 40°C mm²/s 10.21 6.959 10.11 13.63 10.28 9.838 12.07 13.56 7.787 11.24 11.01 14.60 11.36 14.09 150°C mPa·s 3.02 2.24 2.98 3.74 3.00 2.93 3.41 3.88 2.51 3.30 3.28 4.04 3.34 3.93 -25°C mPa·s 3.66 1.216</td><td> Rac</td><td> RRBS RBS RRBS RBS RRBS RBS </td><td> Fig. Part Par</td></t<>	大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大大	大き 01 02-1 02-2 02-3 03 04-1 04-2 04-3 07-1 07-2 08-1 08-2 基油 RRBS RBS RBS RBS RBS RBS RBS RBS	点 01 $02-1$ $02-2$ $02-3$ 03 $04-1$ $04-2$ $04-3$ $07-1$ $07-2$ $08-1$ $08-2$ $09-1$ 基油 RRBS RBBS 28-2<	接油 O1 O2-1 O2-2 O2-3 O3 O4-1 O4-2 O4-3 O7-1 O7-2 O8-1 O8-2 O9-1 O9-2 基油 RRBS O1 RRBS O2-2 RRBS O2-3 RRBS O3 RRBS O4-1 RRBS O4-3 RRBS O4-3 RRBS O7-1 RRBS O7-2 RRBS O8-1 RRBS O8-2 RRBS O9-1 RRBS O9-2 15°C g/cm³ 0.8544 0.8581 0.8580 0.8638 0.8594 0.8592 0.8629 0.8677 0.8620 0.8624 0.8629 0.8687 0.8639 0.8730 40°C mm²/s 10.21 6.959 10.11 13.63 10.28 9.838 12.07 13.56 7.787 11.24 11.01 14.60 11.36 14.09 150°C mPa·s 3.02 2.24 2.98 3.74 3.00 2.93 3.41 3.88 2.51 3.30 3.28 4.04 3.34 3.93 -25°C mPa·s 3.66 1.216	Rac	RRBS RBS RRBS RBS RRBS RBS	Fig. Part Par

表 2-8. 試作ディーゼルエンジン油の性状

			HDMO	HDMO	HDMO	HDMO	HDMO	HDMO	HDMO	HDMO	HDMO									
項目		記号	01	02-1	02-2	02-3	03	04-1	04-2	04-3	07-1	07-2	08-1	08-2	09-1	09-2	11DMO	V1	V2	試験方法
			RRBS	RRBS	RRBS	RRBS	RRBS	RRBS	RRBS	VBS-	VBS-									
		基油	01	02-1	02-2	02-3	03	04-1	04-2	04-3	07-1	07-2	08-1	08-2	09-1	09-2	11	01	02	SAE J300
业 本 ガェード			10W-30		10W-30	10W-40	10W-30		10W-30	10W-40		10W-30	10W-30	15W-40			10W-30			CAE 1000
粘度グレード	1 700							10W-30			_					_		10W-30	10W-30	SAE J300
密度	15℃	g/cm ³	0.8558	0.8556	0.8554	0.8614	0.8569	0.8566	0.8605	0.8654	0.8595	0.8602	0.8604	0.8663	0.8662	0.8709	0.8582	0.8731	0.8631	JIS K 2249-1
動粘度	40℃	mm²/s	57.55	31.91	56.94	90.50	58.04	54.24	73.03	89.27	37.65	66.82	64.57	100.7	69.16	100.1	63.13	65.85	69.49	
	100℃	mm²/s	9.829	6.665	9.750	13.16	9.867	9.450	11.58	13.05	7.451	10.79	10.53	14.08	10.93	13.85	10.39	10.42	10.97	JIS K 2283
粘度指数			157	172	157	145	156	159	153	145	169	152	152	142	149	140	153	146	149	
高温高せん断	1 ×0°0	T.	2.02	0.40					0.00			0.4.4			0.01	0.05		0.44	0.01	TDI #0 00
粘度 HTHS	150° C	mPa·s	2.92	2.16	2.90	3.67	2.96	2.85	3.32	3.67	2.39	3.14	3.07	3.94	3.21	3.85	3.07	3.11	3.21	JPI-5S-36
低温見掛け粘		_																		
度 CCS	-25℃	mPa·s	2683	1053	2555	6239	2780	2487	4229	6821	1856	4277	3600	8582	4808	10080	3328	4829	3779	ASTM D5293
低温ポンプ吐	-30℃	_	_		_	_	_				280 <y< td=""><td></td><td>_</td><td>_</td><td>35<y≦< td=""><td>105<y< td=""><td>_</td><td></td><td></td><td></td></y<></td></y≦<></td></y<>		_	_	35 <y≦< td=""><td>105<y< td=""><td>_</td><td></td><td></td><td></td></y<></td></y≦<>	105 <y< td=""><td>_</td><td></td><td></td><td></td></y<>	_			
出性能	降伏応力	Pa	≦35	≦35	≦35	≦35	≦35	≦35	≦35	≦35	≦315	≤ 35	≦35	≦35	70	≦140	≦35	≦35	≦35	ASTM D4684
MRV	粘度	mPa·s	6,700	3,400	6,400	17,700	7,200	6,800	11,200	26,700	37,700	16,800	12,800	32,100	25,200	58,000	8,800	19,300	10,200	ASTM D4684
蒸発性	0×0°C	0.4	10.0	00.5	10.5	• 0	10.0	11.0	0.4	= 0	20.4	0.0	10.0		10.0	0.0		10.0	11.0	A CITTA E DE COO
NOACK	250° C	mass%	12.0	38.7	10.5	5.9	12.3	11.6	8.4	7.3	29.6	9.9	10.2	6.0	13.6	9.2	11.1	13.8	11.0	ASTM D5800
引火点 COC		$^{\circ}\!\mathbb{C}$	228.0	186.0	230.0	246.0	222.0	222.0	234.0	242.0	192.0	222.0	226.0	244.0	220.0	230.0	232.0	230.0	228.0	JIS K 2265-4
硫酸灰分		mass%	1.10	1.09	1.10	1.09	1.08	1.09	1.13	1.09	1.08	1.10	1.08	1.09	1.08	1.09	1.09	1.09	1.10	JIS K 2272
残留炭素分		mass%	1.03	1.01	1.04	1.07	0.99	1.01	1.10	1.16	1.00	1.03	1.02	1.10	1.04	1.05	1.03	1.05	1.05	JIS K 2270
酸価		mgKOH/g	1.51	1.40	1.44	1.45	1.48	1.56	1.86	1.58	1.52	1.73	1.66	1.77	1.87	1.70	1.70	1.83	1.93	JIS K 2501
塩基価		mgKOH/g	7.16	7.64	7.34	7.34	7.12	7.46	7.73	7.59	7.37	7.24	7.56	7.38	7.25	7.49	7.11	7.14	7.34	JIS K 2501

2.1 蒸発損失(NOACK)

再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油 PCMO01 から PCMO11、およびバージン基油を用いた PCMOV1、PCMOV2 および再生基油を用いたディーゼルンエンジン油 HDMO01 から HDMO11、およびバージン基油を用いた HDMOV1、HDMOV2 を ASTM D5800 Standard Test Method for Evaporation Loss of Lubricating Oils by the Noack Method により評価して、蒸発損失を求めた。

1) 試作ガソリンエンジン油の NOACK の結果

試作ガソリンエンジン油の NOACK の結果を図 2-5 に示す。

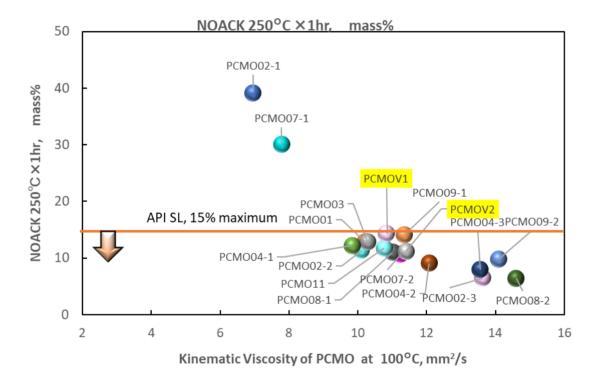


図 2-5. 試作ガソリンエンジン油の NOACK の結果

図 2-5 から粘度が低い、PCMO02-1(SAE 5W-12 と推定)および PCMO07-1(SAE 5W-16 と推定)以外の試作ガソリンエンジン油の蒸発損失は表 2-5 に示した 15%以下で、API SL の要求値を満たしている。

2) 試作ディーゼルエンジン油の NOACK の結果

試作ディーゼルエンジン油の NOACK の結果を図 2-6 に示す。

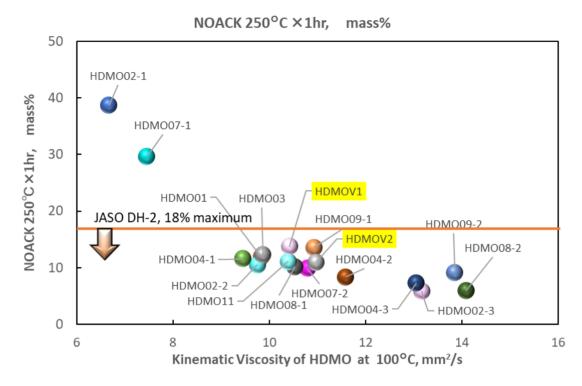


図 2-6. 試作ディーゼルエンジン油の NOACK の結果

図 2-6 から、図 2-5 の試作ガソリンエンジン油と同様に、比較的粘度が低い、 $HDMO02-1(SAE\,5W-12\,$ と推定)および $HDMO07-1(SAE\,5W-16\,$ と推定)以外の試作ディーゼルエンジン油の蒸発損失は表 2-6 に示した 18.0%以下で、 $JASO\,$ DH-2 の要求値を満たしている。

3. 内燃機関用潤滑油酸化安定度試験(ISOT)

試作ガソリンエンジン油および試作ディーゼルンエンジン油を JIS K2514-1 潤滑油 - 酸化安定度の求め方-第 1 部: 内燃機関用潤滑油酸化安定度(ISOT: Indiana Stirring Oxidation Test)により評価した。

3.1 ISOT の方法

JIS K2514-1 の規定条件は、165.5 $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 24 時間であるが、近年のエンジン油の酸化 安定性の向上を考慮し 165.5 $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 72 時間に試験条件を変更し実施した。

鋼板および銅板からなる触媒、およびガラス製のワニス棒を備えた試験容器に試料を入れ、165.5℃で 72 時間、かき混ぜ棒で試料をかき混ぜて酸化させた後、酸化油の動粘度、酸価および塩基価を測定して未酸化油のそれらと比較し、粘度比、酸価の増加および塩基価の減少を求めた。

R = D(aged)/D(fresh)

[1]

ここで

R: 粘度比

D(fresh): 未酸化油の 40℃における動粘度

D(aged): 酸化油の 40℃における動粘度

S = E(aged) - E(fresh)

[2]

ここで

S: 酸価の増加

E(fresh): 未酸化油の酸価

E(aged): 酸化油の酸価

T = F(fresh) - F(aged)

[3]

ここで

T: 塩基価の減少

F(fresh): 未酸化油の塩基価

F(aged): 酸化油の塩基価

また、酸化試験後のワニス棒のラッカー状物質またがスラッジの付着状態を評価見本(カラースケール)と比較してラッカー度を求めた。試験に用いた装置の外観を図 2-7 に示す。

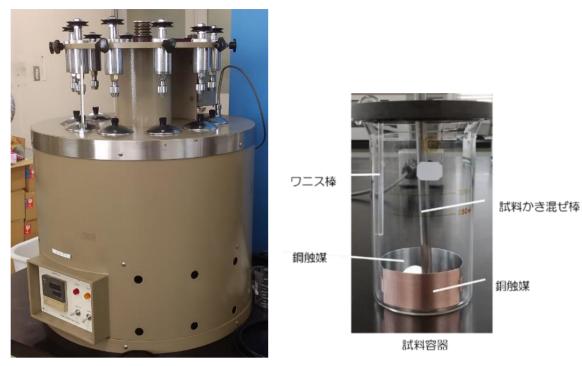


図 2-7. 内燃機関用潤滑油酸化安定度試験(ISOT)

3.2 ISOT の結果

1) 試作ガソリンエンジン油の ISOT の結果

試作ガソリンエンジン油の ISOT の結果を図 2-8 から図 2-10 に示す。 なお、いずれの試験においても ISOT 後のワニス棒に付着物は認めらなかった。

ISOT -PCMO Kinematic Viscosity ratio at 40°C

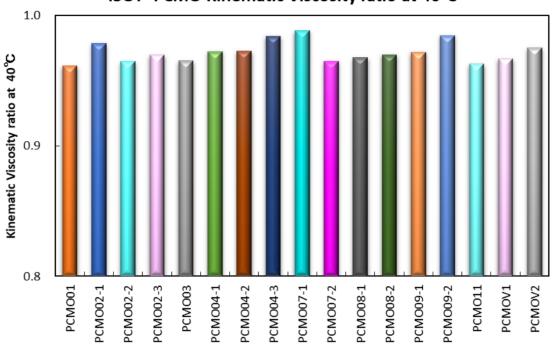


図 2-8. 試作ガソリンエンジン油の ISOT の結果一粘度比

図 2-8 から、入手した再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の粘度比は、バージン基油を用いた PCMOV1 および PCMOV2 と同等の粘度比を示す。

ISOT -PCMO Increase in Acid Number

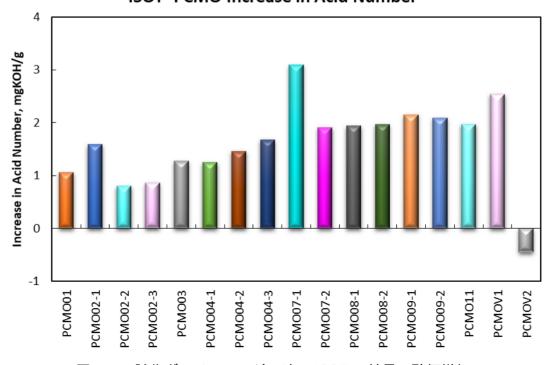


図 2-9. 試作ガソリンエンジン油の ISOT の結果一酸価増加

図 2-9 から、入手した再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の ISOT による酸価の増加では、PCMO07-1 以外は Group I のバージン基油を用いた PCMOV1 より少ないが、Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 より酸価の増加が大きい。 PCMOV2 の酸価が新油に比べて低下したのは使用している Group II 基油の飽和分が 95.8%と非常に高いことに起因している。一方、PCMO07-1 の酸価増加が大きかった要因として、PCMO07-1 に使用されている再生基油 RRBS07-1 の飽和分が 78.4%と他の再生基油に比較して少ないことが挙げられる。

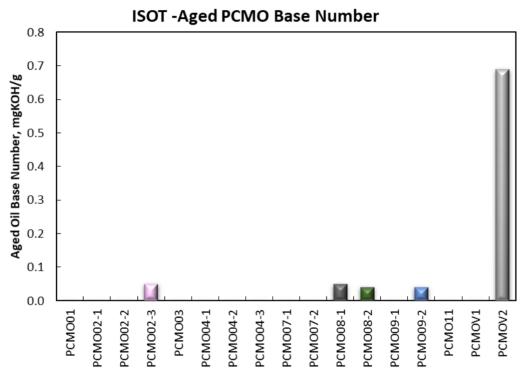


図 2-10. 試作ガソリンエンジン油の ISOT の結果一残存塩基価

図 2-10 から、入手した再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の ISOT 後の残存塩基価は、PCMO02-3、PCMO08-1、PCMO08-2 および PCMO09-2 において若干残存していた。ただし、これらの試作に使用している再生基油の飽和分や S 分が他の再生基油や Group I のバージン基油と比較して特段異なっている分けでもないことから、試験のばらつきの範囲とも思われる。一方、Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 は残存塩基価が多い結果となっており、95.8%と高い基油飽和分に起因していると考えられる。

2) 試作ディーゼルエンジン油の ISOT の結果

度比を示す。

試作ディーゼルエンジン油の ISOT の結果を図 2-11 から図 2-13 に示す。なお、いずれの試験においても ISOT 後のワニス棒に付着物は認めらなかった。

ISOT -HDMO Kinematic Viscosity ratio at 40°C 1.0 Kinematic Viscosity ratio at 40°C 0.9 0.8 HDM002-1 HDM002-2 HDM004-1 HDM004-3 HDM007-1 HDM007-2 HDM008-1 HDMOV1 HDM001 HDM002-3 HDM003 HDM004-2 HDM008-2 HDM009-1 HDM009-2 HDM011 HDMOV2 試作ディーゼルエンジン油の ISOT の結果一粘度比

図 2-11 から、入手した再生基油を用いた試作ディーゼルエンジン油の粘度比は、 HDMO07-1 以外はバージン基油を用いた HDMOV1 および HDMOV2 と同等の粘

ISOT -HDMO Increase in Acid Number

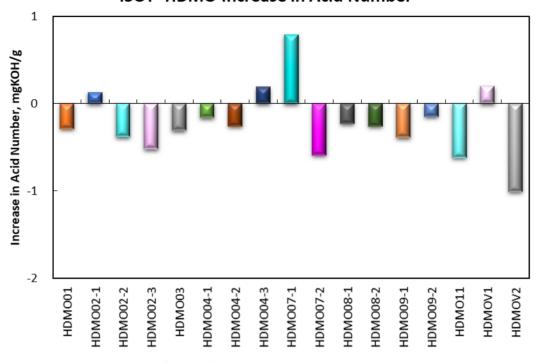


図 2-12. 試作ディーゼルエンジン油の ISOT の結果一酸価増加

図 2-12 から、入手した再生基油を用いた試作ディーゼルエンジン油の ISOT による酸価の増加は、HDMO07-1 以外は Group I のバージン基油を用いた HDMOV1 より少ないが、Group II のバージン基油を用いた HDMOV2 よりは酸価の増加が大きい。なお、試作ディーゼルエンジン油が試作ガソリンエンジン油と比較して酸価増加を示した油が少なかったのは、使用したパッケージ添加剤に配合されている添加剤の違い(金属清浄剤のタイプやジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZnDTP: Zinc Dialkyldithiophosphate)の量など)が反映されているのかもしれない。

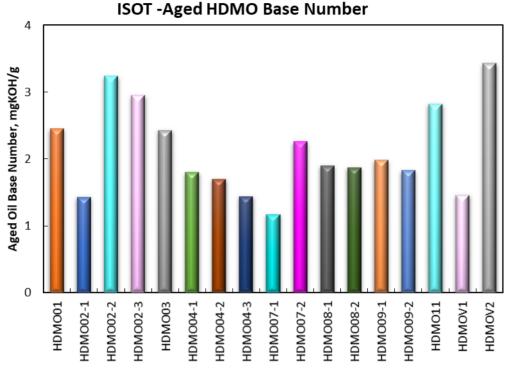


図 2-13. 試作ディーゼルエンジン油の ISOT の結果一残存塩基価

図 2-13 から、入手した再生基油を用いた試作ディーゼルエンジン油の ISOT 後の 残存塩基価は、HDMO02-1、HDMO04-3 および HDMO07-以外は Group I のバージン基油を用いた HDMOV1 より多いが、Group II のバージン基油を用いた HDMOV2 よりはいずれも残存塩基価は少ない。なお、図 2-12 で示した酸価増加が 多い試作油ほど塩基価残存が少ない傾向が認められる。

4. Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test

試作ガソリンエンジン油の酸化安定性を ASTM D7528 Standard Test Method for Bench Oxidation of Engine Oils by ROBO Apparatus により評価した。Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test は ASTM D7320 Standard Test Method for Evaluation of Automotive Engine Oils in the Sequence IIIG, Spark-Ignition Engine の試験結果と相関性のあるベンチ試験方法である。本報告の試作ガソリンエンジン油の品質ターゲットである API SL には要求項目はないが、API SM 以降では劣化油低温粘度(Aged oil low-temperature viscosity)の要求項目があり、Sequence IIIH あるいは ROBO test のいずれかで劣化油低温粘度を評価することになっている。

4.1 ROBO Test の方法

試験油を、触媒の少量の鉄フェロセンと混合した。次いで、この混合物を反応容器に入れ、空気を流しながら 170 $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 40 時間加熱した。この時間中に、ブローバイガスを模擬する酸化剤として二酸化窒素を、12 時間導入した。冷却後、酸化油の 40 $^{\circ}$ の動粘度、-25 $^{\circ}$ $^{\circ$

$$PVIS = [KV(aged)-KV(fresh)]/KV(fresh) \times 100$$
 [4]

ここで

PVIS: 動粘度増加

(Percent Kinematic Viscosity Increase)

KV(fresh): 未酸化油の 40℃における動粘度

KV(aged): 酸化油の 40℃における動粘度

$$PCCS = [CCS(aged) \cdot CCS(fresh)] / CCS(fresh) \times 100$$

[5]

ここで

PCCS: CCS 低温見掛け粘度増加

(Percent Cold Crank Simulator Apparent Viscosity Increase)

CCS(fresh): 未酸化油の-25℃における動粘度

CCS(aged): 酸化油の-25℃における動粘度

$$PMRV = [MRV(aged) - MRV(fresh)] / MRV(fresh) \times 100$$
 [6]

ここで

PMRV: MRV 低温見掛け粘度増加

(Percent Mini-Rotary Viscometer Apparent Viscosity Increase)

MRV(fresh): 未酸化油の-30℃における動粘度

MRV(aged): 酸化油の-30℃における動粘度

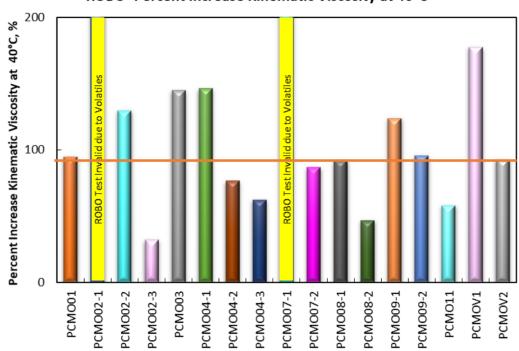
ROBO test に用いた装置の外観を図 2-14 に示す。



図 2-14. Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test

4.2 試作ガソリンエンジン油の ROBO Test の結果

試作ガソリンエンジン油の ROBO Test の結果を図 2-15、図 2-16 および図 2-17 に示す。なお、PCMO02-1 および PCMO07-1 については、蒸発損失により ASTM D7528 にしたがって ROBO Test を完了することができなかった。

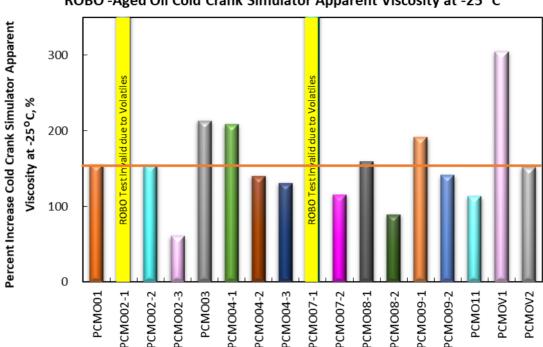


ROBO -Percent Increase Kinematic Viscosity at 40°C

図 2-15. 試作ガソリンエンジン油の ROBO Test 前後の 40℃の動粘度の増加

図 2-15 に示す再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の動粘度増加率について、Group I のバージン基油を用いた PCMOV1 および Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 の結果と比較すると、蒸発損失により ROBO Test が完了できなかった PCMO02-1 および PCMO07-1 以外の試作ガソリンエンジン油は PCMOV1 より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group I 以上の酸化安定性を持つ。さらに PCMO02-3、PCMO04-2、PCMO04-3、PCMO07-2、PCMO08-2 および PCMO11 は PCMOV2 より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油以上の酸化安定性を持つ。

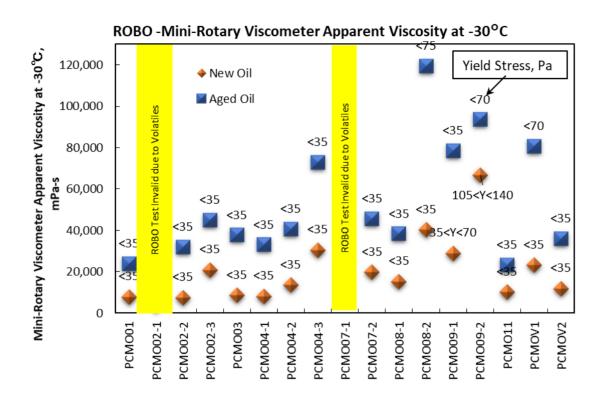
一般的に、同一添加剤が配合されたエンジン油の酸化安定性は基油の飽和分に依存することが知られている。しかし、再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油だけに着目すると、これらの酸化安定性の優劣は必ずしも基油の飽和分だけで整理することはできない。



ROBO -Aged Oil Cold Crank Simulator Apparent Viscosity at -25°C

図 2-16. 試作ガソリンエンジン油の ROBO Test 前後の-25℃における CCS 粘度の増加

図 2-16 に示す再生基油を用いた CCS 粘度の増加率について、Group I のバージン 基油を用いた PCMOV1 および Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 の結果と 比較すると、蒸発損失により ROBO Test が完了できなかった PCMO02-1 および PCMO07-1 以外の試作ガソリンエンジン油では PCMOV1 より CCS 粘度の増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group I 以上の酸化安定性を持つ。さらに PCMO02-3、PCMO04-2、PCMO04-3、PCMO07-2、PCMO08-2 および PCMO11 は PCMOV2 より CCS 粘度の増加が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油以上の酸化安定性を持つ。



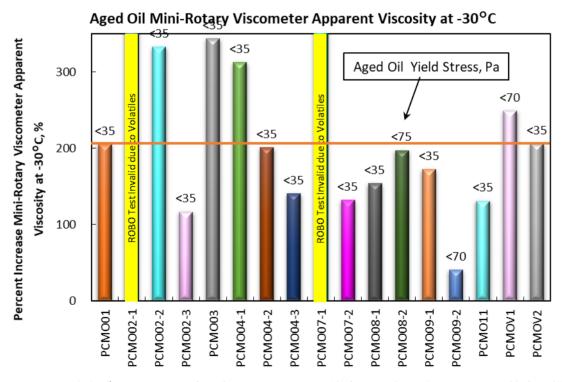


図 2-17. 試作ガソリンエンジン油の ROBO Test 前後の-30℃における MRV 粘度の増加

図 2-17 に示す再生基油を用いた MRV 粘度の増加率について、Group I のバージン 基油を用いた PCMOV1 および Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 の結果と 比較すると、蒸発損失により ROBO Test が完了できなかった PCMO02-1 および PCMO07-1 以外の試作ガソリンエンジン油では PCMOV1 より MRV 粘度の増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group I 以上の酸化安定性を持つ。さらに PCMO02-3、PCMO04-2、PCMO04-3、PCMO07-2、PCMO08-1、PCMO08-2、PCMO09-1 および PCMO11 は PCMOV2 より MRV 粘度の増加が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油以上の酸化安定性を持つ。

5. High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)

試作したディーゼルンエンジン油 HDMO01 から HDMO11、およびバージン基油を用いた HDMOV1、HDMOV2 を ASTM D6594 Standard Test Method for Evaluation of Corrosiveness of Diesel Engine Oil at 135°C により評価した。

5.1 HTCBT の方法

High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)は、エンジンのカムフォロアとベアリングで一般的に使用されている鉛と銅等の合金を腐食する傾向を調査する試験である。135 $^{\circ}$ $^{\circ}$

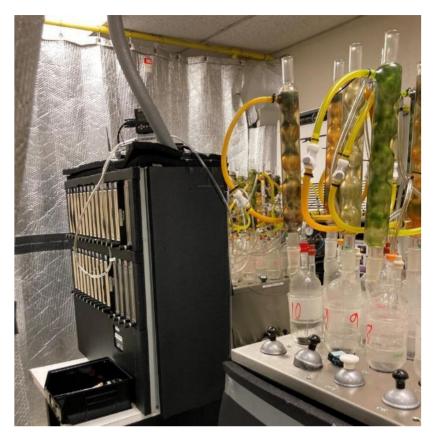


図 2-18. High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)

5.2 試作ディーゼルンエンジン油の HTCBT の結果

試作ディーゼルンエンジン油の High Temperature Corrosion Bench Test の結果を 図 2-19、図 2-20、図 2-21 および図 2-22 に示す。

HTCBT Change in Copper concentration, ppm

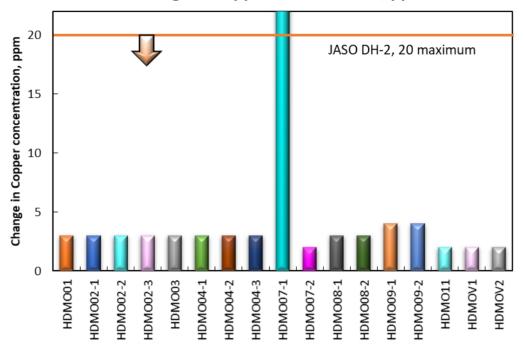


図 2-19. 試作ディーゼルエンジン油の HTCBT 後の銅の増加量

HTCBT Change in Lead concentration, ppm

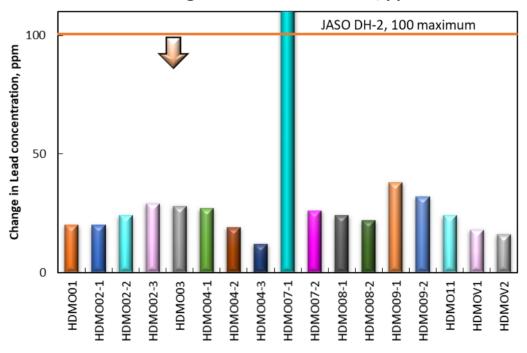


図 2-20. 試作ディーゼルエンジン油の HTCBT 後の鉛の増加量

HTCBT Change in Tin concentration, ppm

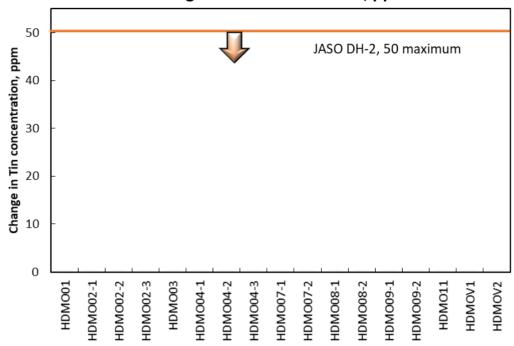


図 2-21. 試作ディーゼルエンジン油の HTCBT 後のすずの増加量

HTCBT COPPER STRIP RATING

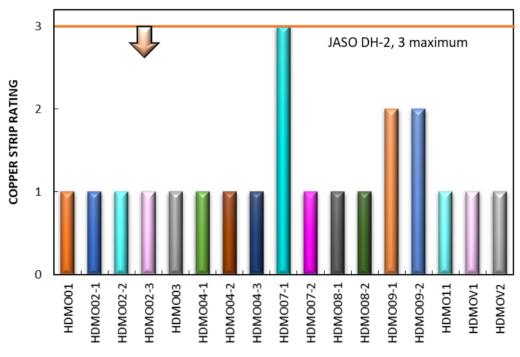


図 2-22. 試作ディーゼルエンジン油の HTCBT 後の銅板の評価

図 2-19、図 2-20、図 2-21 および図 2-22 から、High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)の結果、HDMO09 以外の試作ディーゼルエンジン油は表 2-6 に示す

JASO DH-2 の耐食性(HTCBT)の要求性能を満足している。なお、HDMO07-1 が DH-2 規格不合格になった要因として、以前述べたように使用している再生基油 BRBS-07-1 の飽和分が比較的少なくかつ蒸発損失も多いことから、 135° C、10L/h の空気吹き込みで 168 時間という比較的厳しい酸化条件下で油の劣化が進行し、生成した有機酸や添加剤劣化物が銅、鉛の腐食を進行させたことが考えられる。

Hot Tube Test(HTT)

試作したディーゼルンエンジン油 HDMO01 から HDMO11、およびバージン基油 を用いた HDMOV1、HDMOV2 の高温堆積物防止性を石油学会規格、JPI-5S-55 エンジン油ーホットチューブ試験方法により評価した。

6.1 Hot Tube Test の方法

ホットチューブ試験(Hot Tube Test)はエンジン油の耐熱性や高温清浄性を評価する試験である。試験油を、10mL/min の空気とともに 0.3mL/h で 280℃に加熱したガラス製テストチューブの下方から送り込み、16 時間後にテストチューブ内に付着したラッカーまたはデポジットを評価した。試験に用いた装置の外観および試験後のテストチューブの一例を図 2-23 に示す。



図 2-23. Hot Tube Tester

6.2 試作ディーゼルンエンジン油の Hot Tube Test の結果

試作ディーゼルンエンジン油の Hot Tube Test の結果を図 2-24 に示す。

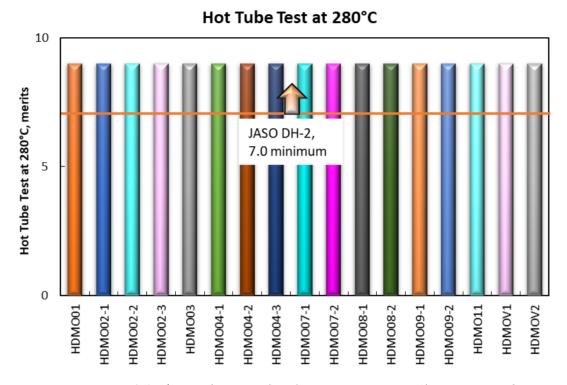


図 2-24. 試作ディーゼルエンジン油の Hot Tube Test 後のラッカー度

図 2-24 から、Hot Tube Test(HTT)の結果、いずれの試作ディーゼルエンジン油も表 2-6 に示す JASO DH-2 の高温堆積物防止性能の要求性能を満足している。

第4節 まとめ

本章では、海外で製造・販売されている再生基油を入手して、それぞれの性状を分析するとともに、これらの再生基油を用いてのエンジン油を試作し、ベンチ試験により、原油から製造した基油を使用したエンジン油の性能と比較検証することにより、我が国で必要な再生基油の品質水準の検証を行った。

1. 再生基油入手と性状分析

国外で製造・販売されている再生基油 15 油種およびその比較としてバージン基油 (原油から製造されたもの) 2 油種を入手して、それぞれの動粘度、粘度指数、組成および硫黄分(S分)等の性状を分析した。主な成果は次のとおり。

- 入手した 15 油種の再生基油は、Group I が 12 油種、Group II が 3 油種である。 RRBS-02-1 以外の再生基油では粘度指数が 100 を超えており、さらに 15 油種中 11 油種が 115 を超えている。これは再生基油の原料となる市場に流通している潤滑油製品の高品質化に伴う粘度指数の向上を反映している。
- 入手した再生基油の S 分は、その使用済み潤滑油の回収エリア別に欧州、オセアニアおよび北米の順に減少する。

2. 再生基油を用いたエンジン油の試作と性状分析

入手した再生基油 15 油種およびその比較として入手したバージン基油 2 油種を用いて 17 種類のディーゼルエンジン油および 17 種類のガソリンエンジン油を試作し、それぞれの密度、動粘度、粘度指数、清浄性および酸化防止性等の性状・性能を評価分析した。主な成果は次のとおり。

- 粘度が低い再生基油を配合した PCMO02-1 および PCMO07-1 以外の試作ガソリンエンジン油の蒸発損失は、API サービス分類 SL の要求値を満たしている。同様に、粘度が低い HDMO02-1 および HDMO07-1 以外の試作ディーゼルエンジン油の蒸発損失は、JASO DH-2 の要求値を満たしている。
- 入手した再生基油を用いた試作ガソリンエンジン油の内燃機関用潤滑油酸化安定度 試験(ISOT: Indiana Stirring Oxidation Test)による酸価の増加は、PCMO07-1以 外は Group I のバージン基油を用いた PCMOV1 より少ないが、Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 より酸価の増加が大きい。同様に、入手した再生基油を 用いた試作ディーゼルエンジン油の ISOT による酸価の増加は、HDMO07-1 以外は Group I のバージン基油を用いた HDMOV1 より少ないが、Group II のバージン基 油を用いた HDMOV2 よりは酸価の増加が大きい。
- Romaszewski Oil Bench Oxidation (ROBO) Test 後の試作ガソリンエンジン油の動 粘度増加率について、Group I のバージン基油を用いた PCMOV1 および Group II のバージン基油を用いた PCMOV2 の結果と比較すると、蒸発損失により ROBO Test が完了できなかった PCMO02-1 および PCMO07-1 以外の試作ガソリンエンジン油は PCMOV1 より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group I 以上の酸化安定性を持つ。さらに PCMO02-3、PCMO04-2、PCMO04-3、PCMO07-2、PCMO08-2 および PCMO11 は PCMOV2 より動粘度増加率が低く、これらの試作ガソリンエンジン油に用いた再生基油は Group II のバージン基油以上の酸化安定性を持つ。

- High Temperature Corrosion Bench Test(HTCBT)の結果、HDMO09以外の試作 ディーゼルエンジン油は JASO DH-2 の耐食性(HTCBT)の要求性能を満足している。
- Hot Tube Test(HTT)の結果、いずれの試作ディーゼルエンジン油も JASO DH-2 の 高温堆積物防止性能の要求性能を満足している。

今後は、本年度入手できなかった再生基油や、ロット違いの再生基油についてもその性能を明らかにする必要がある。

文 献

1) American Petroleum Institute: API 1509 Annex E-API Base Oil Interchangeability Guidelines for Passenger Car Motor Oils and Diesel Engine Oils (Revised September 2019)pE-1.

https://www.api.org/-/media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/AnnE-REV-09-20-

19.pdf?la=en&hash=B268CAB85326D4F97ED95E0D75C9A09C518E2B1C.

2) JASO エンジン油規格普及促進協議会: 自動車用ガソリン機関潤滑油規格(JASO M 364:2019)の運用マニュアル(2019).

http://www.jalos.or.jp/onfile/pdf/GEO_J1909.pdf.

3) American Petroleum Institute: Engine Oil Licensing and Certification System(API 1509)18th ed.(2019).

https://www.api.org/-/media/Files/Certification/Engine-Oil-

Diesel/Publications/150918thedition-

06282019.pdf?la=en&hash=C16D3A3F94222F002EB3A1C9AC45BE19AC52ECA6.

4) JASO エンジン油規格普及促進協議会: 自動車用ディーゼル機関潤滑油規格 (JASO M 355:2017)の運用マニュアル(2018).

http://www.jalos.or.jp/onfile/pdf/DH_J2012.pdf.

第3章 再生基油を用いたエンジン油のエンジン 試験による評価

第1節 はじめに

国際潤滑油規格諮問委員会(ILSAC: International Lubricant Specification Advisory Committee)規格や米国石油協会(API: American Petroleum Institute)サービス分類のエンジン油の認証、ライセンスの発行はエンジン油ライセンス認証システム(EOLCS: Engine Oil Licensing and Certification System) いにより実施されている。EOLCSで認証されたエンジン油の基油を変更する場合に、追加のエンジン試験による確認が必要か否かは、API 1509 Annex E-API Base Oil Interchangeability Guidelines に従う。いくつかのエンジン試験は添加剤パッケージに関するものであり、基油が変更されてもエンジン試験を再度実施する必要がないこともある。一方、高温酸化防止性試験(Sequence III)などの主に基油の性能が影響するエンジン試験では、添加剤パッケージが一緒でも、基油を変更するたびに新たにこのエンジン試験を実行する必要がある。本章では、再生基油を用いてエンジン油を試作し、Sequence III 試験により、原油から製造した基油を使用したエンジン油の性能と比較検証することにより、我が国で必要な再生基油の品質水準の検証を行ったので報告する。

第2節 供試エンジン油

前章で用いた 2 種類の試作ガソリンエンジン油、すなわち再生基油 RRBS02-2 に API サービス分類 SL クラスのガソリンエンジン油用添加剤パッケージとして実績のある SL Package、粘度調整剤 VM および流動点降下剤 PDD を添加して調製した試作ガソリンエンジン油 PCMO02-2、および再生基油 RRBS04-2 に同量の同じ添加剤を添加して調製した試作ガソリンエンジン油 PCMO04-2 をエンジン試験に供した。試作ガソリンエンジン油の性状を表 3-1 に示す。

表 3-1. 試作ガソリンエンジン油の性状

項目			PCMO02-2	PCMO04-2	API SL 規格値 ¹⁾	試験方法
基油			RRBS02-2	RRBS04-2	_	
API 基油分類			Group I	Group I	_	API 1509
パッケージ			SL Package	SL Package	_	
粘度グレード			10W-30	10W-30	_	SAE J300
密度	15° C	g/cm ³	0.8580	0.8629		JIS K 2249-1
動粘度	40℃	mm²/s	60.07	77.32		
	100℃	mm²/s	10.11	12.07	9.3 以上 12.5 未満	JIS K 2283
粘度指数			156	152		
高温高せん断 粘度 HTHS	150°C	mPa·s	2.98	3.41	2.9 以上	JPI-5S-36
低温見掛け 粘度 CCS	-25℃	mPa·s	2941	4867	7,000 以下	ASTM D5293
低温ポンプ 吐出性能	-30℃ 降伏応力	Pa	≦35	≦35	35 以下	ASTM D4684
MRV	粘度	mPa·s	7,400	13,500	60,000 以下	ASTM D4684
蒸発性 NOACK	$250^{\circ}\!\mathrm{C}$	mass%	11.3	9.1	15%以下	ASTM D5800
引火点	COC	$^{\circ}$ C	224	232	_	JIS K 2265-4
硫酸灰分		mass%	1.01	1.02	_	JIS K 2272
残留炭素分		mass%	1.20	1.27	_	JIS K 2270
酸価		mgKOH/g	2.22	2.44	_	JIS K 2501
塩基価		mgKOH/g	5.76	6.28	_	JIS K 2501

同様に、前章で用いた 2 種類の試作ディーゼルエンジン油、すなわち、再生基油 RRBS02-2 に JASO DH-2 ディーゼルエンジン油用添加剤パッケージとして実績のある DH-2 Package、粘度調整剤 VM および流動点降下剤 PDD を添加して調製した試作ディーゼルエンジン油 HDMO02-2、および再生基油 RRBS04-2 に同量の同じ添加剤を添加して調製した試作ディーゼルエンジン油 HDMO04-2 をエンジン試験に供した。試作ディーゼルエンジン油の性状を表 3-2 に示す。

表 3-2 試作ディーゼルエンジン油の性状

項目			HDMO02-2	HDMO04-2	JASO DH-2-17 規格値 ²⁾	試験方法
基油			RRBS02-2	RRBS04-2	_	
API 基油分類			Group I	Group I	_	API 1509
パッケージ			DH-2 Package	DH-2 Package	_	
粘度グレード			10W-30	10W-30	_	SAE J300
密度	15℃	g/cm ³	0.8554	0.8605		JIS K 2249-1
動粘度	40℃	mm²/s	56.94	73.03		
	100℃	mm²/s	9.75	11.58	9.3 以上 12.5 未満	JIS K 2283
粘度指数			157	153		
高温高せん断 粘度 HTHS	150℃	mPa·s	2.90	3.32	2.9 以上	JPI-5S-36
低温見掛け 粘度 CCS	-25℃	mPa·s	2555	4229	7,000以下	ASTM D5293
低温ポンプ 吐出性能	-30℃ 降伏応力	Pa	≦35	≦35	35 以下	ASTM D4684
MRV	粘度	mPa·s	6,400	11,200	60,000 以下	ASTM D4684
蒸発性 NOACK	250℃	mass%	10.5	8.4	18.0 以下	ASTM D5800
引火点	COC	$^{\circ}$	230.0	234.0	_	JIS K 2265-4
硫酸灰分		mass%	1.10	1.13	1.0±0.1	JIS K 2272
残留炭素分		mass%	1.04	1.10	_	JIS K 2270
酸価		mgKOH/g	1.44	1.86	_	JIS K 2501
塩基価		mgKOH/g	7.34	7.73	5.5 以上	JIS K 2501
高温堆積物防 止性	280℃	merits	9.0	9.0	7.0 以上	JPI-5S-55
	銅		3	3	20 以下	
	鉛	ppm%	20	19	100 以下	ASTM D6594
耐腐食性	錫		0	0	50 以下	
	試験後の 銅変色	135 ℃	1a	1a	3以下	ASTM D130

第3節 高温酸化防止性試験方法(Sequence IIIH)

ASTM D8111 Standard Test Method for Evaluation of Automotive Engine Oils in the Sequence IIIH, Spark-Ignition Engine を実施し、試作ガソリンおよびディーゼルエンジン油の高温酸化防止性能を評価した。試作ガソリンエンジン油は Sequence IIIH 70-Hour Guideline にしたがって、試作ディーゼルエンジン油は Sequence IIIH 60-Hour Guideline にしたがって試験を実施した。

1. 試験装置

Sequence IIIH はファイアリング試験で、エンジン油の粘度増加、ワニスの付着を含むエンジン油の高温性能特性を評価する試験である。試験に用いた高温酸化防止性試験装置を図 3-1 に示す。

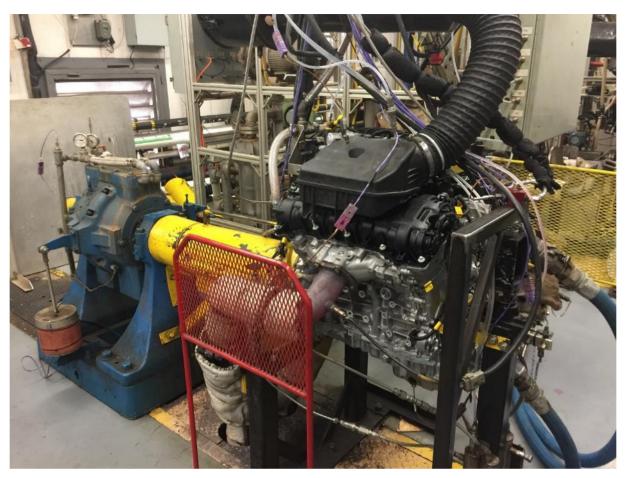


図 3-1. 高温酸化防止性試験装置(Sequence IIIH)

2. 供試エンジン

Sequence IIIH では表 3-3 に示す 2012 クライスラー社製クライスラーペンタスター3.6L 水冷 4 サイクル V 型 6 気筒エンジンを装置に用いた。エンジンはオーバヘッドカム、シリンダ当たり 2 つの吸気バルブと 2 つの排気バルブが組み込まれている。

表 3-3. 供試エンジンの主要諸元

型式	2012 クライスラーペンタスター
種類	水冷 4 サイクルガソリン機関
シリンダ数	Ⅴ型 6 気筒
動弁系	DOHC
排気量	3,600 сс

3. 試験条件

Sequence IIIH の条件を表 3-4 に示す

表 3-4. Sequence IIIH の試験条件

20 11 00001100 1111 00 11000001111		
Parameter	Set Point	
Engine Speed	3,900 r/min	
Engine Load	250 N-m	
Oil Gallery Temperature	151℃	
Coolant Outlet Temperature	115℃	
Fuel Temperature	30 ℃	
Intake Air Temperature	35 ℃	
Intake Air Pressure	0.05 kPa	
Intake Air Dew Point	16.1 ℃	
Exhaust Back Pressure	4.5 kPa	
Engine Coolant Flow	170 L/min	
Coolant Pressure	200 kPa	

試作ガソリンエンジン油は Sequence IIIH 70-Hour Guideline にしたがって評価した。Sequence IIIH 70-Hour Guideline では、表 3-4 の条件で合計 70 時間のエンジン運転を実施する。70 時間のセグメントは、3 つの 20 時間の試験セグメントと 1 つの 10 時間のセグメントに分かれている。各 20 時間セグメント、10 時間セグメントを実施後、オイルサンプルをエンジンから取り出した。20 時間セグメントサンプルおよび 10 時間セグメントサンプルの 40° C動粘度を初期サンプルの粘度と比較して、試験油の粘度増加率を得た。また、試験後のエンジンを分解し、ピストンに堆積したデポジット量を評点し、加重ピストンデポジット(WPD: Weighted Piston Deposit)および average piston skirt varnish を得た。API SL の Sequence IIIH 70-Hour Guideline の規格値を表 3-5 に示す。

表 3-5. API サービス分類 SL に対する

ASTM D8111 (Sequence IIIH 70-Hour Guideline)の規格値 1)

項目	規格値
動粘度増加 40℃,%	181 以下
average weighted piston deposits, merits	3.3 以上
average piston skirt varnish, merits	7.9 以上

試作ディーゼルエンジン油を評価した Sequence IIIH 60-Hour Guideline では、60 時間のエンジン運転を実施する。60 時間のセグメントは、3 つの 20 時間の試験セグメントに分かれている。各 20 時間セグメント、を実施後、オイルサンプルをエンジンから取り出した。20 時間セグメントサンプルの 40° C動粘度を初期サンプルの粘度と比較して、試験油の粘度増加率を得た。また、試験後のエンジンを分解し、ピストンに堆積したデポジット量を評点し、加重ピストンデポジット(WPD)を得た。JASO DH-2 の Sequence IIIH 60-Hour Guideline の規格値を表 3-6 に示す。

表 3-6. JASO DH-2 に対する

ASTM D8111 (Sequence IIIH 60-Hour Guideline)の規格値²⁾

項目	規格値
動粘度増加 40℃,%	110 以下

第4節 結果および考察

1. 試作ガソリンエンジン油

1.1 粘度增加

試作 PCMO02-2 および PCMO04-2 の Sequence IIIH 後の粘度増加率を表 3-5 の規格値と比較し図 3-2 に示す。

PCMO Sequence IIIH 70-Hour, Viscosity Increase

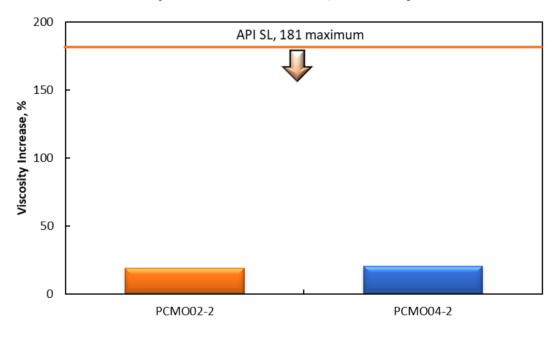
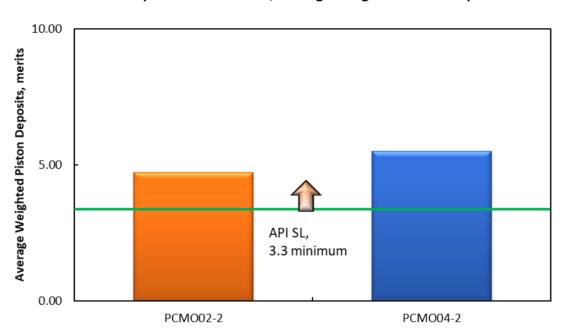


図 3-2. 試作ガソリンエンジン油の粘度増加率

表 3-5 に示したように、API SL の規定では Sequence IIIH 70-Hour Guideline での粘度増加率は、181%以下が規定されている ¹⁾。図 3-2 から、試作油 PCMO02-2 および PCMO04-2 は、いずれも規格値を満たしており、PCMO02-2 および PCMO04-2 に用いた再生基油は API SL クラスのガソリンエンジン油を調製するのに十分な酸化安定性能を有している。

1.2 Average Weighted Piston Deposits(WPD)

試作 PCMO02-2 および PCMO04-2 の Sequence IIIH 70-Hour Guideline での加重 ピストンデポジット(WPD)を表 3-5 の API SL の規格値と比較し図 3-3 に示す。



PCMO Sequence IIIH 70-Hour, Average Weighted Piston Deposits

図 3-3. 試作ガソリンエンジン油の加重ピストンデポジット(WPD)

表 3-5 に示したように、API SL では WPD 評点 3.3 以上が規定されている。試作 PCMO02-2 および PCMO04-2 は、いずれも API SL の規格値を満足する。

1.3 Average Piston Varnish

試作 PCMO02-2 および PCMO04-2 の Sequence IIIH 70-Hour Guideline での average piston skirt varnish を表 3-5 の API SL の規格値と比較し図 3-4 に示す。

PCMO Sequence IIIH 70-Hour, Average Piston Varnish

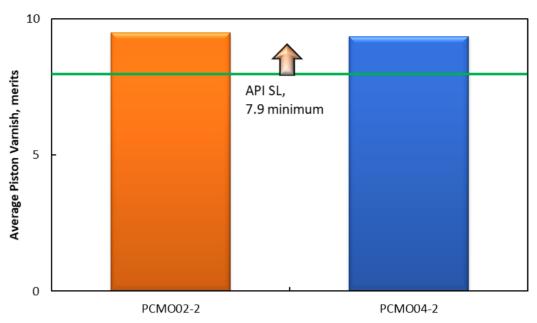


図 3-4. 試作ガソリンエンジン油の Average piston skirt varnish

表 3-5 に示したように、API SL では Average piston skirt varnish 評点 7.9 以上が規定されている。図 3-4 から試作 PCMO02-2 および PCMO04-2 は、いずれも API SL の規格値を満足する。

2. 試作ディーゼル油

2.1 粘度增加

試作 HDMO02-2、HDMO04-2 の Sequence IIIH 後の粘度増加率を表 3-6 の規格値と比較し図 3-5 に示す。

HDMO Sequence IIIH 60-Hour, Viscosity Increase

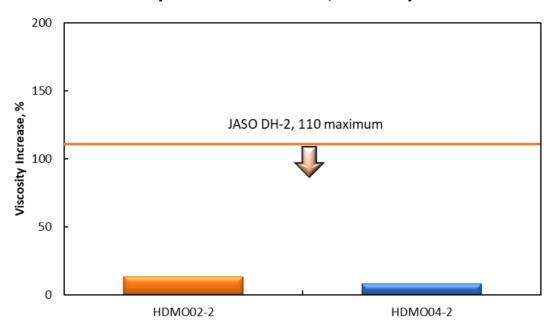


図 3-5. 試作ディーゼルエンジン油の粘度増加率

表 3-6 に示したように JASO DH-2 の規定では Sequence IIIH 60-Hour Guideline での粘度増加率は、110%以下が規定されている 3)。図 3-5 から、試作油 HDMO02-2 および HDMO04-2 は、いずれも規格値を満たしており、HDMO02-2 および HDMO04-2 に用いた再生基油は JASO DH-2 クラスのディーゼルエンジン油を調製するのに十分な酸化安定性能を有している。

2.2 Average Weighted Piston Deposits(WPD)

表 3-6 に示す DH-2 の規格にはないが、参考として試作 HDMO02-2 および HDMO04-2の Sequence IIIH 60-Hour Guideline での加重ピストンデポジット(WPD: Average Weighted Piston Deposits)を図 3-6 に示す。

HDMO Sequence IIIH 60-Hour, Average Weighted Piston Deposits

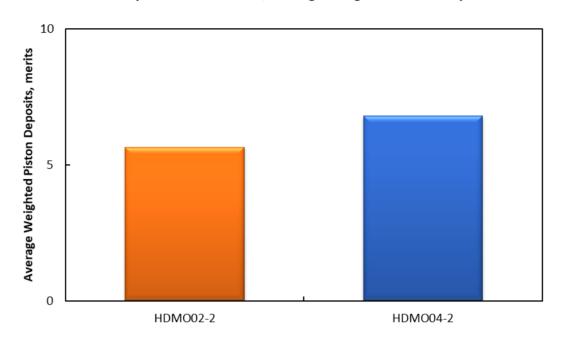


図 3-6. 試作ディーゼルエンジン油の加重ピストンデポジット(WPD)

2.3 Average Piston Varnish

WPD 同様、表 3-6 に示す DH-2 の規格にはないが、参考として試作 HDMO02-2 および HDMO04-2 の Sequence IIIH 60-Hour Guideline での average piston skirt varnish を図 3-4 に示す。

HDMO Sequence IIIH 60-Hour, Average Piston Varnish

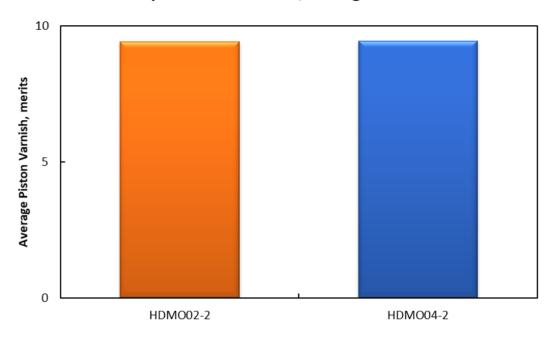


図 3-7. 試作ディーゼルエンジン油の Average piston skirt varnish

第5節 まとめ

再生基油を用いてエンジン油を試作し、エンジン試験により、原油から製造した基油を使用したエンジン油の性能と比較検証することにより、我が国で必要な再生基油の品質水準の検証を行った。主な成果は次のとおり。

- エンジン油規格に規定されているすべてのベンチおよびエンジン試験による評価を実施していないので、今後さらに確認する必要はあるが、少なくとも基油の性能が最も影響すると考えられる酸化安定性試験(Sequence III)および各種ベンチ試験の結果から、本報告で入手した再生基油により API SL クラスのガソリンエンジン油および DH・2 クラスのディーゼルエンジン油の規定に合格できるエンジン油を作成できる見込みが立った。本事業で評価できなかったベンチ試験およびエンジン試験に、既存の添加剤パッケージそのものあるいは若干の改良により合格できれば、本事業で入手した再生基油により API SL クラスのガソリンエンジン油および JASO DH・2 クラスのディーゼルエンジン油の製造が可能であろう。
- 2018 年の国内市場のガソリンエンジン油、ディーゼルエンジン油の粘度グレード、 品質グレードの割合は、ガソリンエンジン油では米国自動車技術会(SAE: Society of Automotive Engineers)粘度グレード、SAE 5W-30 以下の低粘度油が 74%を占め、

API SN 以上が 87%となっている 5°。一方、ディーゼルエンジン油については、JASO DH-2、SAE 10W-30 が主流である 5°。本報告の再生基油を使用した JASO DH-2、SAE 10W-30 や API SL、SAE 10W-30 の製造可能確認は、運送業などの BCP(事業継続計画)に対し有効であると判断される。

● カーボンニュートラルの実現に向けて、市場にあるガソリンエンジン車の燃費維持は 重 要 で 有 り 、JASO GLV-1³⁾ あ る い は ILSAC(International Lubricant Specification Advisory Committee、国際潤滑油規格諮問委員会)規格、ILSAC GF-6²⁾といった現在の最新のエンジン油規格への再生基油の適用性については、市場にあるガソリンエンジン車の燃費維持のためにも今後さらに検討する必要がある。

文献

1) American Petroleum Institute: Engine Oil Licensing and Certification System(API 1509)18th ed.(2019).

https://www.api.org/-/media/Files/Certification/Engine-Oil-

Diesel/Publications/150918thedition-

06282019.pdf? la = en&hash = C16D3A3F94222F002EB3A1C9AC45BE19AC52ECA6.

2) American Petroleum Institute: API 1509 Annex E-API Base Oil Interchangeability Guidelines for Passenger Car Motor Oils and Diesel Engine Oils (Revised September 2019).

https://www.api.org/-/media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/AnnE-REV-09-20-

19.pdf?la=en&hash=B268CAB85326D4F97ED95E0D75C9A09C518E2B1C.

3) JASO エンジン油規格普及促進協議会: 自動車用ディーゼル機関潤滑油規格 (JASO M 355:2017)の運用マニュアル(2018).

http://www.jalos.or.jp/onfile/pdf/DH_J2012.pdf.

4) JASO エンジン油規格普及促進協議会: 自動車用ガソリン機関潤滑油規格(JASO M 364:2019)の運用マニュアル(2019).

http://www.jalos.or.jp/onfile/pdf/GEO_J1909.pdf.

5) 潤滑通信社編集部:自動車エンジン油の市場動向、潤滑経済 2019 年 5 月号.

第4章 使用済み潤滑油の基油再生に関する 社会システムの検討

第1節 はじめに

2015 年 12 月、フランスのパリで開催した第 21 回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21)において、2020 年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして、パリ協定を採択した。パリ協定における長期目標は次のとおりである 1)。

- 世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える 努力をする。
- そのため、できるかぎり早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21世紀 後半には、温室効果ガス排出量と(森林などによる)吸収量のバランスをとる。

これに対応して、2020 年 10 月の国会において、菅総理は「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」を宣言した 20 。

我が国における、2020から2030年の乗用車の車種別普及目標を図4-1に示す。

		2020年	2030年
従来車		50~80%	30~50%
次世	t代自動車	20~50%	50 ~ 70%
	ハイブリッド自動車	20~30%	30 ~ 40%
	電気自動車 プラグイン・ハイブリッド自動車	15 ~ 20%	20~30%
	燃料電池自動車	~1%	~ 3%
	クリーンディーゼル自動車	~ 5%	5 ~ 10%

図 4-1. 2020 から 2030 年の乗用車の車種別普及目標(政府目標)3)

今後、世界的に脱炭素社会の流れが進むと、電気自動車の利用が進み、化石燃料であるガソリンや軽油の需要が減少する。その結果、石油精製工程の連産品である鉱油系基油の生産も減少し、国内で鉱油系基油の供給がひっ迫する恐れがある。

短期的には海外からのバージンの鉱油系基油の緊急輸入、あるいは再生基油の輸入も考えられるが、長期的にはマテリアルリサイクル、潤滑油そのもののリユースや基油再生による基油原料の多様化を図ることが重要である。しかしながら、現在、我が国において使用済み潤滑油のマテリアルリサイクルは行われていない。

第1章で報告したように、米国では年間で約360万kLの使用済み潤滑油が回収され、94万kLが再精製されて再生基油となっている。この再精製は12企業の13工場で行われており、国内では使用済み潤滑油が年間60万kL回収されていることから、国内でも使用済み潤滑油からの再生基油製造は事業として成立する可能性がある。そこで、本章では第1章、第2章および第3章の成果から、国内において、「使用済み潤滑油の回収→基油への再生→再生基油を用いた潤滑油の製造」というサイクルを社会システム化するための課題およびその対策を整理し、国内で使用済み潤滑油の基油再生に取り組む上で実現すべき社会システムについて検討を行ったので報告する。

第2節 基油再生を社会システム化するための課題およびその対策

国内で使用済み潤滑油の基油再生に取り組む上で実現すべき社会システムについて検討した。その概要を、図 4-2 に示す。

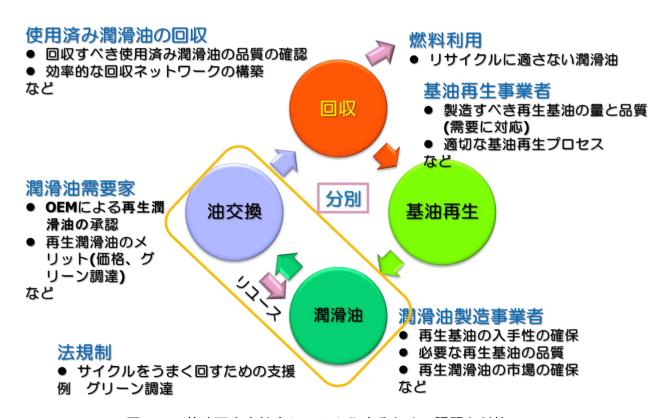


図 4-2. 基油再生を社会システム化するための課題と対策

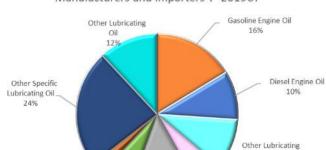
1. 我が国の潤滑油リサイクルの現状

Electrical

Metal Working Oil

Insulating Oil

2019年の我が国の潤滑油製品の品種別販売割合を図 4-3 に示す 3)。



Sales to Consumers, Wholesalers and Retailers by Manufacturers and Importers 、2019CY

図 4-3. 我が国の潤滑油製品の品種別販売量(2019年)

図 4-3 から、我が国では、ガソリンエンジン油、ディーゼルエンジン油など車両用 潤滑油の販売が全体の4割を占めている。また、機械油の販売量も14%を占めている。 潤滑油のリサイクルフローを図 4-4 に示す 4。

Mechanical Oil

Oil for Automobile

Marine Diesel

Engine Oil

6%

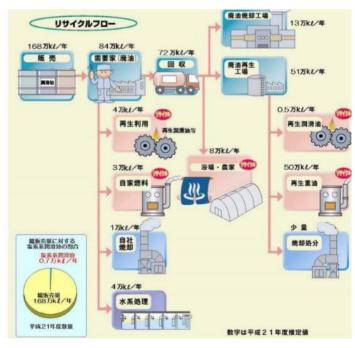


図 4-4. 潤滑油のリサイクルフロー(2009 年推計値)

図 4-4 から、販売された潤滑油の半分は使用中に消費されたり、燃焼したりして失われるが、その 4 割は使用済み潤滑油として回収され、回収された使用済み潤滑油の7割が再生重油として利用されている。

2. 米国の潤滑油リサイクルとの比較

我が国と米国の潤滑油リサイクルを比較し表 4-1 に示す。

表 4-1. 我が国と米国の潤滑油リサイクルの比較

表 4-1. 技が国と米国の潤滑油リサイクルの比較			
項目	米国	我が国	
使用済み潤滑油の回収	①回収可能な使用済み潤滑油のうち、平均 340~360万 kL がここ 10年間で毎年回収され、回収可能な使用済み潤滑油のおよそ 70%にあたる。②排出された使用済み潤滑油は現場でも使用できるが、それ以外は回収業者によって回収されるか、または DIY 利用者によって排出された自動車用潤滑油の場合、使用済み潤滑油を予め定めた回収拠点へもっていくか、あるいはほかの方法で廃棄される③米国には 350~400 の使用済み潤滑油回収業者が存在する	①2019 年度、使用済み潤滑油 排出量 730 千 kL で、使用済み 潤滑油処理業者回収 600 千 kL で、使用済み潤滑油再生工場 560 千 kL が再生重油生産 530 千 kL となっている。 ②回収・製造インフラ(油種別 保管、油種別回収、油種別貯蔵、 基油製造)が構築されていない。	
再生基油の製造	①2018 年に、回収された 359 万 kL の使用済み潤滑油のうち、94 万 kL(31%)が潤滑油基油を生産するために再精製された。 ②米国で現在稼働している使用済み潤滑油加工企業は 12 ある。 ③米国で基油を生産し稼働中の使用済み潤滑油基油精製工場は 13 か所ある。最も大きいところ 6 か所を合わせると米国全体の再精製基油製造の 89%を占める。インディアナ州にある 2 つの巨大な再精製工場だけで、米国の再精製基油のおよそ半分を占める。	国内での再生基油の製造はあまりない	
再生基油を用いた潤滑油の製造・販売	①API 基油カテゴリーに合致していれば、再生基油も再精製、外部からの混入および元の潤滑油の使用時に由来する物質がないことを条件に再生基油もバージン基油と同様に取り扱われる。②[参考] 欧州では、欧州自動車工業会エンジン油規格(ACEA[Association des Constructures European d'Automobiles] EUROPEAN OIL SEQUENCES)適合品の開発のための欧州潤滑油技術工業会(ATIEL: Association Technique de l'Industrie Européenne des Lubrifiants)の開発実施要領(Code of Practice)で、再生基油はバージン基油と同等に扱われる。例えば、再生基油使用エンジン油 AVISTA Pure EVO CI-4 は Mercedes の認証オイルリストに入っている。	①使用済み潤滑油再生工場 560 千kLの内、離型剤2千kL が生産されている ②自動車潤滑油は非常にシビアな基準で生産されているが、再生基油はその基油として使用可能なのか(←国内における再生基油品が基準は必要)	
再生基油に関する法整備	①EPA が 1980 年に政府はリサイクリング法案を可決後、1992 年の使用済み潤滑油管理基準制定②包括的調達ガイドライン(CPG: Comprehensive Procurement Guideline)により米国のさまざまな機関は、再生基油を用いた潤滑油の使用が義務付けられている。 ③EO13149「連邦艦隊および輸送機関の効率性を通した政府のグリーン化」が2000 年 4 月 21 日に制定された。「いかなる連邦政府機関も、再精製された自動車用潤滑油が合理的に利用可能で、自動車メーカーの推奨する性能基準に見合う場合、バージン基油を使用した自動車用潤滑油の購入、売却、あるいは購入の手配をしない」ことを求めた。	再生基油に関する法整備はない ①官公庁での再生基油の利用 を促進するグリーン調達制度 などの検討。 ②カーボンニュートラルを実 現するための基油再生への国 の支援の検討。	

3. 使用済み潤滑油の分別の重要性

水分、塵埃、摩耗粉などの異物を大量に含む使用済み潤滑油からの基油再生は、複雑な再生工程が必要となり、環境負荷も大きくなり、経済的にも負担は大きくなるだろう。また、反対に異物が少なければ比較的簡単な工程で、使用済み潤滑油を効率よ

くリユースできる。したがって、使用済み潤滑油に含まれる異物の量や質によって、 適するリサイクル方法が異なる。そのためには、使用済み潤滑油をどのように分別す るか、その分別の基準や方法の検討が重要な課題となる。

3.1 比較的異物の混入が少ない使用済み潤滑油はリユース

使用済み油圧作動油は比較的異物混入が少ない。我が国では使用済み油圧作動油の一部が潤滑油メーカーにより再生され、再度同じ工場で再使用している。このクローズドループによる油圧作動油などのリユースは環境負荷も少なく、経済的であり、今後とも推奨されるべきである。

3.2 比較的異物混入の多い使用済み潤滑油はサーマルリサイクル

使用済み加工油などには金属粉が多く混入するため、複雑な再生工程が必要となり、 経済的にも環境的にも基油再生には向いていない。したがって、これらの使用済み油 は燃料としてサーマルリサイクルとすべきである。

3.3 使用済みエンジン油は基油再生

我が国では使用済みエンジン油などの車両用潤滑油はガソリンスタンド、カーディーラーや DIY(Do It Yourself)などで回収され、主に使用済み潤滑油回収事業者が再生重油に加工し、燃料として利用している。現在、基油再生は行われていないが、今後はこれらの使用済みエンジン油からの基油再生が期待される。

4. 需要家における使用済み潤滑油の分別

使用済み潤滑油のリサイクルを促進するためには、潤滑油需要家における使用済み 潤滑油の分別が重要である。需要家における分別の基準や方法について、「使用済み 潤滑油の回収→基油への再生→再生基油を用いた潤滑油の製造」というサイクル全体 を見渡して検討する必要がある。

5. 使用済み潤滑油の回収

使用済み潤滑油の回収において、今後検討が必要な課題は次のとおり。

基油再生を環境にやさしく、かつ経済的に実施するにはできるだけ異物の混入の 少ない使用済み潤滑油を原料にする必要がある。使用済み潤滑油を分別回収する 際に、現場でその回収油の品質を簡単に判断できる方法と基準が必要である。 • 使用済み潤滑油を効率的に回収するネットワークが必要。欧米の例を参考に、回収率を上げるための収集運搬規則や回収システムについて検討する必要がある。

6. 基油再生の推進

現在、我が国では基油再生は行われていない。今後検討が必要な点は次のとおり。

- 本報告では、APIサービス分類 SL クラスのガソリンエンジン油および JASO DH-2 クラスのディーゼルエンジン油の基油として十分な性能を有する再生基油が海外で流通していることを確認した。今後は、それらの再生基油が工業用潤滑油の基油として必要な性能を有しているかについても確認する必要がある。
- BCP(事業継続計画)対応としては、海外からのバージンの鉱油系基油の緊急輸入、あるいは再生基油の輸入による国内の潤滑油の不足への対応も短期的には可能であろう。しかし、今後のカーボンニュートラル社会におけるガソリンや軽油の減産に伴う鉱油系基油の供給のひっ迫を想定すると、必要な性能を有する再生基油を環境にやさしい経済的な方法で製造する適切な基油再生が必須である。我が国で必要かつ実現可能な再生工程について検討し、基油再生プラントの新規建設、あるいは既存石油精製設備の利用による再生基油の生産も検討する必要がある。

7. 潤滑油製造事業者における再生基油の利用促進

我が国では一部の潤滑油製造事業者において工業用潤滑油のリユースを実施しており、これを今後も継続する必要がある。さらに、今後は再生基油を用いた再生潤滑油の製造も必要となるであろう。再生基油を用いるために、検討が必要な点は次のとおり。

- 必要な量と品質の再生基油の継続的な入手性の確保。
- 再生基油を用いて製造した潤滑油の市場の確保。

8. 需要家における再生潤滑油の利用促進

我が国では現在再生基油を用いた再生潤滑油は、ほとんど流通していない。今後検 討が必要な点は次のとおり。

 再生基油を用いた潤滑油を適用する機械装置の製造事業者(OEM)による再生潤滑油使用の承認と保証。それらを実現するための我が国独自の再生基油の品質規定 (例えば、API 基油カテゴリーに規定の項目に加えて、水分、金属、塵埃の量を規 定)が必要と考えられる。この規定や運用方法を例えば、「自動車ディーゼル機関 用潤滑油規格の運用マニュアル」に盛り込むなどの方策が考えられる。

• 再生基油を用いた潤滑油の価格やグリーン調達など、再生潤滑油を利用すること によるメリットの普及。

9. 法規制による基油再生の推進

我が国では基油の再生を促進するような法規制は存在しない。今後検討が必要な点は次のとおり。

- 官公庁での再生基油の利用を促進するグリーン調達制度などの検討。
- カーボンニュートラルを実現するための基油再生への国の支援。
- 米国では、使用済み潤滑油の回収および基油再生のために潤滑油販売に対する課金制度を実施している。

第3節 まとめ

- 米国では年間で約360万kLの使用済み潤滑油が回収され、94万kLが再精製されて再生基油となっている。この再精製は12企業の13工場で行われており、国内では使用済み潤滑油が年間60万kL回収されていることから、国内でも使用済み潤滑油からの再生基油製造は事業として成立する可能性がある。
- 再生基油製造の事業化に関して、「使用済み潤滑油の回収→基油への再生→再生 基油を用いた潤滑油の製造」というサイクルの各段階における課題および対策に ついて検討を継続する必要があり、具体的には以下の点が挙げられる。
 - ✓ 水分、塵埃、摩耗粉などの異物を大量に含む使用済み潤滑油からの基油再生は、複雑な再生工程が必要となり、環境負荷も大きくなり、経済的にも負担は大きくなるだろう。また、反対に異物が少なければ比較的簡単な工程で、使用済み潤滑油を効率よくリユースできる。したがって、使用済み潤滑油に含まれる異物の量や質によって、適するリサイクル方法が異なる。そのためには、使用済み潤滑油をどのように分別するか、その分別の基準や方法の検討が重要な課題となる。
 - ✓ 潤滑油製造会社ならびに需要家が再生基油から製造された潤滑油の品質を容認する必要があり、我が国独自の「再生基油品質基準」の策定が望まれる。なお、本事業の検討で欧米から入手した再生基油を用いて適切に添加剤を配合

- した試作エンジン油は、API や JASO(日本自動車規格)に規定された品質を満足する可能性が確認されている。
- ✔ 我が国には再生基油およびそれらを使用した潤滑油に関わる法整備がされておらず、官公庁での再生基油の利用を促進するグリーン調達制度、カーボンニュートラルを実現するための基油再生への国の支援などが再生基油使用潤滑油の普及には重要である。

文 献

- 資源エネルギー庁: 今さら聞けない「パリ協定」
 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.htm
 l.
- 2) 経済産業省: 2050 年カーボンニュートラルを巡る国内外の動き(2020)p1. https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_wg/pdf/002_03_00.pdf.
- 3) 経済産業省: 自動車産業戦略(2014)p22. https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/003_s02_02.pdf.
- 4) 資源エネルギー庁: 令和 1 年資源・エネルギー統計年報(2020). https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/sekiyuka/xls/h2dhhpe2019k.xlsx.
- 5) 潤滑油協会: パンフレットーどうしていますか? 廃油の分別(平成 23(2011)年改訂版). http://www.jalos.jp/jalos/paper/pdf/pamph_2011_01.pdf.

略 語 表

略語	英語表記	日本語表記
API	American Petroleum Institute	米国石油協会
ASTM	American Society for Testing and Materials	米国試験材料協会
CAA	Clean Air Act	大気浄化法
CAPEX	Capital Expenditure	設備投資
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act	包括的な環境対応、補償、および責任法
CFR	Code of Federal Regulations	連邦規則集
CPG	Comprehensive Procurement Guideline	包括的調達ガイドライン
CWT	Centralized Waste Treatment	一元化された廃棄物処理
DIFM	Do-It-For-Me	_
DIY	Do-It-Yourself	_
DOE	U.S. Department of Energy	米国エネルギー省
DOT	U.S. Department of Transportation	米国運輸省
EO	Executive Order	大統領令
EOLCS	Engine Oil Licensing and Certification System	エンジン油ライセンス認証システム
EPA	U.S. Environmental Protection Agency	米国環境保護庁
EU	European Union	欧州連合
EV	Electric Vehicle	電気自動車
GEIR	Groupement Européen de l'Industrie de la Régénération	_
HAP	Hazardous Air Pollutants	有害大気汚染物質
HSFO	High Sulfur Fuel Oil	高硫黄重油
ICIS	Independent Commodity Intelligence Services	_
ILSAC	International Lubricant Specification Advisory Committee	国際潤滑油規格諮問委員会
IMO	International Marine Organization	国際海事機関
LCA	Life Cycle Assessment	ライフサイクルアセスメント
MDO	Marine Diesel Oil	舶用ディーゼルオイル
MM	Million	100万
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合 開発機構
NESHAP	National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants	国家有害性大気汚染物質排出基準
NMP	N-Methyl-2-Pyrrolidone	N-メチル-2-ピロリドン
OPEX	Operating Expense	事業運営費
OSWRO	Off-site Waste Recovery Operations	現場から離れた廃棄物回収作業
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	多環芳香族炭化水素
PCB	Polychlorinated Biphenyl	ポリ塩化ビフェニル
PPD	Pour Point Depressant	流動点降下剤
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act	資源保護回復法

略語	英語表記	日本語表記
RFO	Recycled Fuel Oil	再生燃料
RMAN	Recovered Materials Advisory Notice	回収物に関する勧告通知
SAE	Society of Automotive Engineers	米国自動車技術者協会
SPCC	Spill Prevention Control and Countermeasures	流出防止管理および対策計画の要件
TSCA	Toxic Substances Control Act	有害物質規制法
VGO	Vacuum Gas Oil	減圧軽油留分
VM	Viscosity Modifier	粘度調整剤
WPD	Weighted Piston Deposits	加重ピストンデポジット