

解説 2

潤滑油基油の品質と世界動向

中央技術研究所 潤滑油研究所 エンジン油 G たがわ かずお
田川 一生

1. はじめに

近年、自動車のエンジンや油圧機器などに使用される潤滑油では、省燃費性能（省エネルギー性能）や長寿命性能に代表されるような高性能化が進められている。潤滑油は特別な場合を除き基油と添加剤から構成されており、基油の品質や新たな添加剤の開発により製品性能が向上している。潤滑油の使用量は中国をはじめとしたアジア圏での経済の発展に後押しされるように増加し、世界的にみても潤滑油市場は拡大している。一方で近年、古い製油所や製造規模の小さな製油所は、閉鎖や新プロセスへの変更など、経済性や社会からの要求に対応する基油を製造するように変貌を遂げている。

本稿では、潤滑油製品の性能に大きく影響をおよぼす基油の品質とその製造プロセスならびに世界的な市場動向について解説する。

2. 潤滑油基油の品質

アメリカ石油協会（American Petroleum Institute：API）は、様々な精製方法により製造される基油について、その組成と構造を元に Group I（以降 Gp と表記）から Gp V に分類している。表 1 に API の分類を示す¹⁾。Gp I は溶剤精製法（Solvent Refining）から得られる基油組成、Gp II は水素化精製法（Hydrotreating）から得られる基油組成、Gp III は水素化分解法（Hydrocracking）から得られる基油組成、Gp IV は化学合成により得られるポリアルファオレフィン（Polyalphaolefin：PAO）とし、Gp V を Gp I から Gp IV に含まれないすべての基油としている。Gp I から III は鉱油系基油であり、I から II、III になるに従い、基油の基本性能である酸化安定性や粘度温度特性が向上する。これら鉱油系基油の精製法と性能について詳細に説明する。

表 1 API の基油カテゴリー

Base Oil Category	Sulfur, %	Saturates, %	Viscosity Index
Group I	>0.03 and/or <90		80 to 119
Group II	≤ 0.03 and ≥ 90		80 to 119
Group III	≤ 0.03 and ≥ 90		≥ 120
Group IV	PAOs Synthetic Lubricants		
Group V	All other base oils not included in Group I, II, III or IV		

2. 1 Group I 基油（溶剤精製基油）

第二次世界大戦以降にコンベンショナルな基油精製方法として確立されたのが溶剤精製法である。現在でも多くのプラントが稼働しており、一時期は世界の基油精製法の 92% 以上を占めていた²⁾。溶剤精製法は大きく分けて 3 つの精製工程からなる。第一は粘度指数と酸化安定性を高めるため、粘度温度特性の悪い芳香族分や酸化安定性の低い多環芳香族分や硫黄分や窒素分などの極性化合物を取り除く、溶剤抽出工程である。第二は潤滑油の低温流動性を向上させるために、融点の高いノルマルパラフィンやその類似化合物を低温で結晶化させて物理的に分離する、溶剤脱ろう工程である。最後の工程は、潤滑油に残存する極性成分を吸着して取り除く工程で、近年では触媒を用いた水素化仕上工程となっている。第二工程と第三工程はライセンサーにより、逆の場合もある。溶剤精製法では溶剤抽出と溶剤脱ろう工程において、潤滑油基油の安定性や流動性の向上のため不要な成分を取り除くため、原料からの基油の収率は低い。溶剤精製法による基油の収率は、要求される基油の性状・性能や粘度グレードにもよるが、溶剤抽出の収率は 50 ~ 70%、溶剤脱ろうでは 70 ~ 80%、水素化仕上では 90 ~ 95% 程度となっている。基油の品質の一つである粘度指数について、日本の溶剤精製基油の粘度指数は 100 前後であるが、海外では 95 前後であることから、日本の基油の溶剤による精製度は高いことが想定される。

代表的な製造方法を図 1 に示す。原料である常圧蒸留残渣を減圧蒸留により分留して得られた留分を、フルフルールを用いた溶剤抽出により粘度指数を高め、水素化仕上により安定性を高め、MEK-トルエン混合溶剤を用いた溶剤脱ろうにより低温特性を向上させることで、各粘度グレードの基油を得ている³⁾。

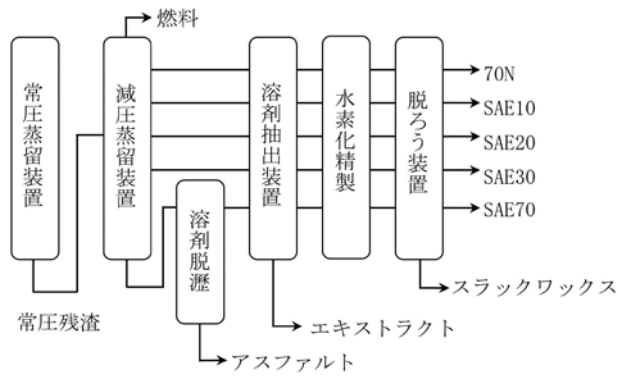


図1 Gp I基油製造方法

2.2 Group II基油 (水素化精製基油)⁴⁾

水素化精製法も第二次世界大戦以降に開発された基油の精製法である。もともとは水素化精製による燃料製造の技術を潤滑油留分に適用したもので、1960年代に低芳香族、低硫黄かつ低窒素基油として市場に投入された。精製工程での反応は、触媒による芳香族の水素化と硫黄含有化合物と窒素含有化合物の分解による脱硫および脱窒素である。ただし製油所により使用する原料やプロセスの種類も多いため、様々な精製プロセスが存在する。基本的なプロセスは、常圧蒸留残渣の減圧蒸留により得られる Vacuum Gas Oil (VGO) を原料とし、2段の水素化処理 (高温高压条件、低温高压条件) と脱ろう工程からなる。この2段の水素化工程により、芳香族が核水添されるため、最終的に基油が含有する芳香族分は 0.5mass% 以下にまで低減することが可能となる。得られた基油の粘度指数は 100 前後である。しかし、近年では水素化精製条件の過酷度を変えることで 110 以上の粘度指数の基油を製造することも可能であり、市場では GpII+ 基油として取り扱われている。Gp II 基油の製造プロセスの例として ExxonMobile Jurong の概略工程図を図 2 に示す⁵⁾。精製プロセスは水素化精製、水素化異性化脱ろうおよび水素化仕上の 3 工程から構成され、100℃の動粘度 5.6mm²/s と 10.5mm²/s の 2 粘度グレードの基油を製造している。

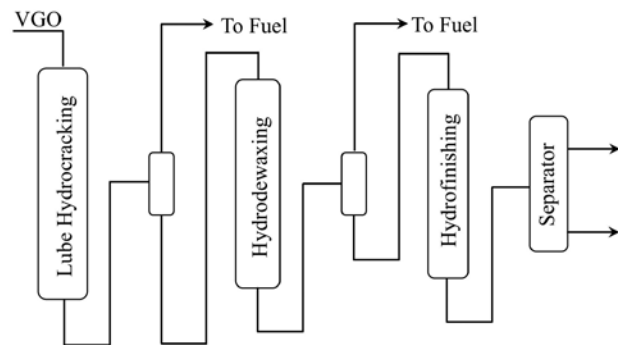


図2 Gp II基油 (ExxonMobile Jurong) 製造方法

2.3 Group III基油 (水素化分解基油)⁶⁾

省燃費性の向上を目的とした基油の高粘度指数化には、Waxy な原料の使用や、Gp II プロセスによる芳香族分低減に加えて、生成したナフテン環の開環による低粘度指数成分の低減が必要である。Gp III 基油製造プロセスは、使用する原料に大きく影響を受けるため、厳密に限定されおらず、表 1 に示した API の分類の低硫黄、高飽和分に加えて、粘度指数 120 以上の品質が得られれば Gp III 基油に分類される。Gp III 基油は韓国の SK Lubricants および S-Oil が全世界生産量の 8 割を占めており、その製造プロセスも類似しているため、精製プロセスの代表例として説明する。

Gp III 基油の原料は常圧蒸留残渣を減圧蒸留してから得られる VGO である。Gp III 基油は、この VGO から燃料を製造する目的の触媒を用いた高過酷度の水素化分解によって得られる重質分 (Hydrocracker bottom: HDC-BTM) を水素化触媒脱ろう (Hydrowaxing) により低温特性を調整し、最後に水素化仕上げして得られる。得られた基油は 100℃の動粘度が 4mm²/s で粘度指数 125 前後である。製造プロセスの代表例として SK Lubricants のプロセス概略図を図 3 に示す。分解軽油を製造するための Hydrocracker から得られるボトム留分 (HDC-BTM) を減圧蒸留により分留し、留分ごとに水素化異性化脱ろう、水素化仕上げとフラッシュャーによる粘度調整により、70N、100N と 150N の 3 粘度グレードの基油を製造している。

注) 水素化処理の条件は使用する触媒や温度によりその目的や効果が大きく異なる。本稿では、各工程の最終段階で色相の向上や不飽和結合の飽和化など最終工程での水素化処理を水素化仕上げ (Hydrofinishing)、Gp II などの芳香族の核水添を目的とした水素化処理を水素化処理 (Hydrotreating)、さらに Gp III の製造時のように芳香族の水添と分解やナフテン環の開環など C-C 結合を切断する水素化処理を水素化分解 (Hydrocracking) と分類して表記した。

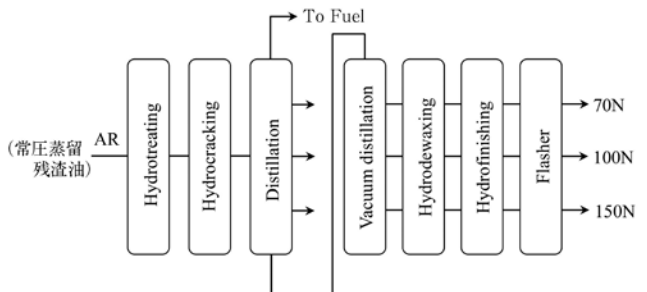


図3 Gp III基油 (SK Lubricants) 製造方法

2.4 基油の性状比較

表 2 に 100℃の動粘度が 5 ~ 6mm²/s の Gp I から III の基油の性状と組成分析結果を示す⁷⁾。基油の精製度が高くなるに従い、粘度指数は高くなり硫黄分と窒素分は低減する。粘度指数の向上はパラフィン分、シクロパラフィン

分の数値に明確に表れ、高精製度による組成の変化に起因することがわかる。硫黄分や窒素分は基油の耐スラッジ生成性や酸化安定性に影響するため、高度精製基油は酸化安定性にも優れることがこの数値からも推察される。このように、省燃費や省エネルギー性のように社会に必要とされる潤滑油の要求性能の向上により、使用される基油の精製プロセスは変化し、性能や経済性がより優れたものでその要求に対応している。

表2 Gp I, II, IIIの150N 基油の物性と組成比較

Base Oil Category	Gp I	Gp II	Gp III
	Solvent Refining	Hydrotreating	Hydrocracking
Viscosity, mm ² /s(100℃)	5.1	5.1	6.0
Viscosity Index	95	99	133
Pour Point, ℃	-12	-12	-15
Sulfur content, ppm	5,800	300	<10
Nitrogen content, ppm	12	4	<1
Paraffin, %	27.6	33.4	55.5
Cycloparaffin, %			
1-ring	20.8	30.2	20.4
2-rng	25.9	17.2	12.1
3-ring	2.9	9.3	9.1
4-ring	0.3	5.1	2.1
5-ring	0.0	1.1	0.0

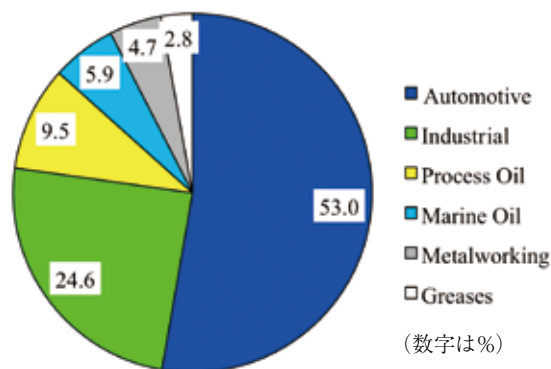


図4 世界の潤滑油需要の内訳 (2015年)

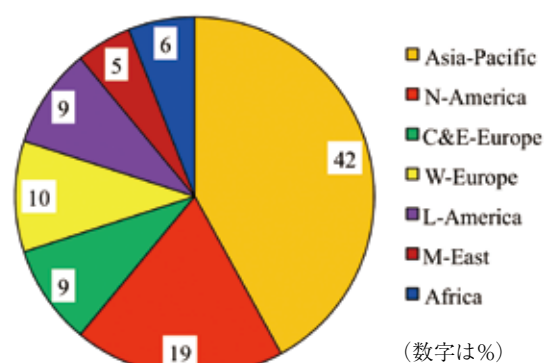


図5 2015年エリア別世界の潤滑油需用量(船用潤滑油を除く)

3. 潤滑油の世界動向

3.1 潤滑油の世界需要

世界の潤滑油需要は2015年で約3,800万トン(プロセスオイル、マリンオイルを含む)と報告されている⁸⁾。リーマンショックにより需要量は一旦落ち込んだが、現在はリーマンショック前の数量に戻り、さらに年間約1.5%で増加を続けている。潤滑油需要の内訳は図4に示すように、駆動系を含む自動車用潤滑油が全体の53%を占め、次いで工業用潤滑油、プロセスオイルの順となっている。一方、2015年の世界の潤滑油需要をエリアごとに示したのが図5である。近年のアジアの経済発展に後押しされるように潤滑油市場においても、アジア太平洋圏が全体の42%を占め、次いで北アメリカ、ヨーロッパ、南アメリカの順となっている。特にアジア圏での潤滑油需要の伸びは、世界の平均より2%程度と多く、アジアマーケットの更なる増大が見込まれる。また、欧州や北アメリカでの需要が少ない理由として、近年の潤滑油のロングドレイン化があげられ、この品質向上が需要増加を抑える方向に影響していると考えられる。

3.2 潤滑油基油の生産能力動向

このような潤滑油製品の状況により潤滑油基油の品質や生産量も大きく変わってきている。潤滑油の基油の品質については2章で示しているが、製造部門では経済性を考慮した製造プロセスにより高品質基油を多量に製造する様な改造が行われている。その一方で、古くて生産量の少ない製油所は閉鎖となっているのが現状である。

図6には、2006年と2016年の世界の潤滑油基油の生産能力(装置能力であるため、実製造量はこの8割程度)を比較したものである⁹⁾。2006年には約5,500万kL程度であったが、2016年には約6,400万kL程度まで増加している。この生産能力をエリア別に示したのが図7である⁹⁾。2006年と2016年の比較により、各エリアの傾向をみることができる。すなわち、生産能力に相違はあるものの、アメリカの占める割合が最も多い。一方、2016年の欧州の割合は2006年の約2/3に低下し20%程度となっている。この背景として、欧州の製油所は世界的にみてもやや古く、生産能力も小さいため、スクラップアンドビルトではなく、閉鎖する方向となっている。さらに、自動車用エンジン油についても、特にドイツを中心にPAOなどの合成油を配合することでロングドレイン化を進めている。「エンジン油の初期投資はやや高いが、トータルランニングコストが下がる」ことをユーザーにアピールしており、鉱油系基油の数量が低減している要因の一つと考えられる。

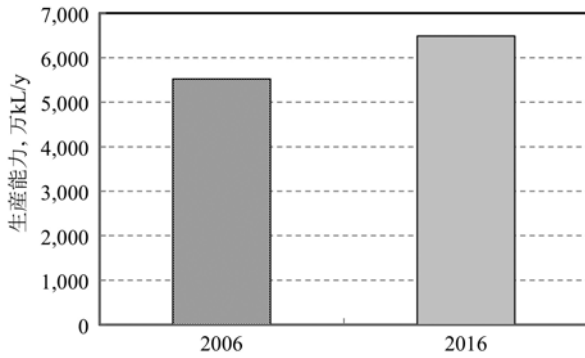


図6 世界の潤滑油生産能力の推移

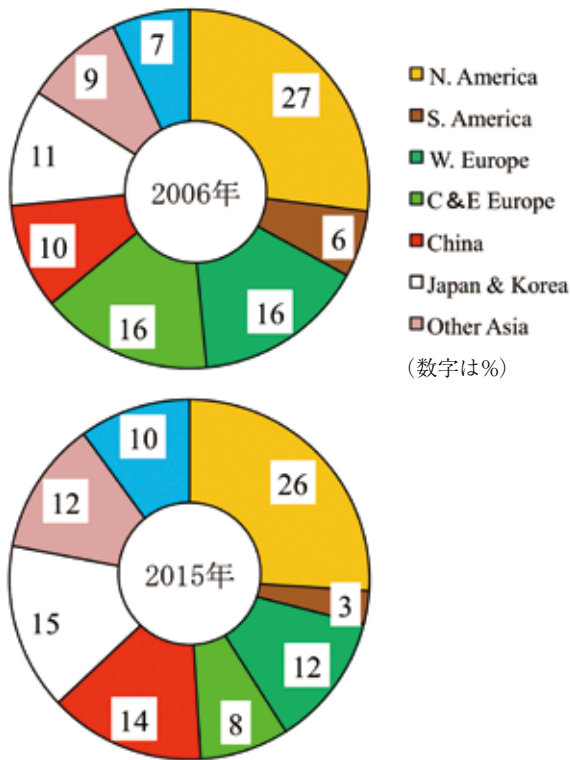


図7 エリア別世界の潤滑油生産能力の推移

3.3 潤滑油基油の品質動向

自動車用潤滑油の省燃費性の向上に代表されるように、潤滑油製品の品質や性能の向上には、使用する基油の高性能化が大きな影響をおよぼす。たとえば、酸化安定性には基油の硫黄分や窒素分の低減が、省燃費性には高粘度指数化が影響する。このような背景のもと、世界の潤滑油基油の品質は高性能化している。図8は、2005年、2014年および2016年の潤滑油基油のAPIカテゴリー別生産能力を示す^{9,10)}。2005年の構成比をみると、Gp Iが全体の65%を占めており、次いでGp II 16%、Gp III 5%となっている。しかし、先述したように基油の高性能化が進み、Gp I基油の生産能力は低下し、代わりにGp IIの生産能力が増加している。2016年には、Gp Iの生産能力は全体の40%まで低下し、かわりにGpIIが34%まで増

加している。比率としては少ないがGp IIIは、変化率が大きく、特に2005年に規格が改定されたILSAC GF-4、2010年のGF-5では省燃費性能の要求が大幅に高められ、その対策として、Gp IIIが多用されたことが影響していると考えられる。

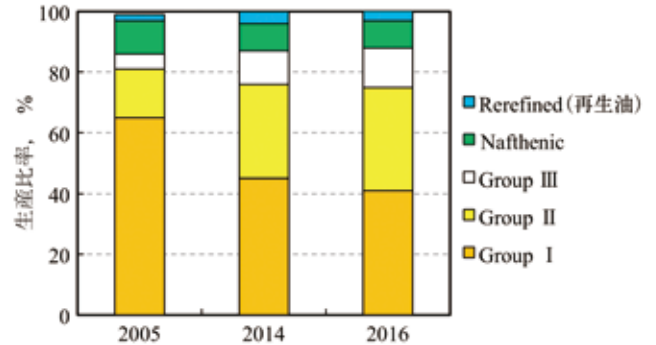


図8 APIカテゴリー別基油生産能力の推移

3.4 世界の潤滑油製造動向

先述したように、基油の高性能化や経済性により2000年以降世界の製油所は大きく変貌している。表3には2013年から2016年に閉鎖された製油所を示す¹¹⁾。この4年間で閉鎖された製油所の生産能力はおよそ75,000BPD(約440万kL/y)にのぼる。そのすべての製油所がGp Iを製造しており、Gp IIIを製造していた場合でも、その数量は1,000から1,500BPD(5~9万kL/y)と非常に少ないことが分かる。さらに、約半数の7製油所が欧州であることから、先述した通り、閉鎖する製油所は欧州の古くて小さい製油所が主体であることが分かる。

一方、表4には2016年から2018年に新設、拡張および高品質化が計画されている製油所のリストを示す¹²⁾。すべてがGp II以上あるいはナフテン系鉱油の製油所であり、数量の大きいものは新設が多い。このように、新設が予定されている製油所は生産規模が大きくかつ高性能の基油を製造することがわかる。

最後に、2016年の世界の生産能力の高い10製油所を表5に示す¹³⁾。1位のS-Oilと3位のSK LubricantsはGp III基油の生産を主体としており、先述したように両社で世界のGp III必要量の約8割を生産する。その他の製油所、特に米国の製油所はGp IIの生産を主としており、将来の基油の必要性と生産性(経済性)が油種選定の要因となっていると考えられる。

表3 閉鎖された潤滑油基油製造プラント

year	Company	Location	SIZE (BPD)	Gp I	Gp III
2013	Essar	UK - Stanlow	5,060	○	
2013	Petroplus (ex. Shell)	France - Petit - Couronne	6,300	○	○ (1,000)
2013	Russneft	Russia - Oesk	3,700	○	
2014	Azerneftiyag	Azerbaijan - Baku	8,000	○	
2014	CPC - Shell	Taiwan - Kaohsiung	5,400	○	
2014	Safor	S. Africa - Durban	3,000	○	
2015	Colas (ex. ExxonMobil)	France - Dunkerque	5,100	○	○ (1,500)
2015	Lukoil	Russia - Nizhny Novgorod	5,500	○	
2015	Oil Ministries North Ref.	Iraq - Baiji	2,500	○	
2015	Samir	Morocco - Mohammedia	2,500	○	
2015	Shandong Quishing	China - Shandon	1,000	○	
2015	Sinopec	China - Yanshan	1,000	○	
2015	Total	France - Gouffreville	5,000	○	
2016	ExxonMobil	US - Beaumont, Texas	10,000	○	
2016	Gunvor (ex. Kuwait Petrol)	Netherlands - Rotterdam	4,650	○	
2016	Shell	Netherlands - Pernis	7,250	○	
		Total	75,960		

表4 新設、拡張および高品質化計画のある製油所

Year	Company	Location	SIZE (BPD)	Gp II	Gp III	Naph
2016	CNOOC	China-Taizhou	11,800	○		○
2016	Panjin Northern Asphalt	China-Liaoning	5,700			○
2016	VN Oil	Vietnam-Ho Chi Minh City	1,000	○		
2017	Puralube	Germany-Troeglit	1,000		○	
2017	Slavneft	Russia-Yaroslavl	2,100		○	
2018	ExxonMobil	Netherlands-Rotterdam	TBA	○		
2018	Hainan Handi	China-Hainan	16,200	○	○	
2018	Hengli Petrochemical	China-Dalian	13,600	○	○	
2018	Puraglobe Florida	US-Tampa, Fla	1,300	○		
2018	Rosneft	Russia-Novo-Kuibyshev	3,200	○		
		Total	55,900			

表5 製油所生産能力世界 Top10

2016 Rank	Company	Location	Capacity, BPD
1	S-Oil	South-Korea Onsan	41,800
2	Motiva	US Port Arthur Texas	40,300
3	SK Lubricants	South Korea-Ulsan	40,000
4	ExxonMobile	Singapore Jurong	31,000
5	ExxonMobile	US Baytown, Texas	28,000
5	Shell-Qatar Petroleum	Qatar-Ras Laffan	28,000
7	GS-Caltex	South Korea-Yeosu	26,000
8	Chevron	US-Pascagoula, Miss.	25,000
8	Ergon	US-Vicksburg, Miss.	25,000
10	PetroChina	Karamay	24,800

4. おわりに

潤滑油の基油の品質と世界動向について、基油の製造法を交えて概要を簡単にまとめた。市場では、省燃費性や長寿命化など潤滑油の品質向上が要求されており、高性能の基油が出回っている。一方で、工業用潤滑油の分野や船用潤滑油のように、Gp I プロセスから製造される高粘度基油が必要な機械も存在する。要求される物性を適正な基油で確保し、これに性能を向上させる高性能添加剤を配合することで高品質な潤滑油を製造することが可能である。さまざまな品質の基油が市場で入手可能な時代となっており、今後さらに要求性能や要求地域に適した潤滑油の製品設計が必要になると考えられる。

— 参考文献 —

- 1) 田川一生；潤滑経済, 622, 2, 2 (2017)
- 2) Thomas R. Lynch ; Process Chemistry of Lubricant Base Stocks, CRC Press, 2008, 141
- 3) 田川一生；潤滑経済, 489, 9, 6 (2006)
- 4) Thomas R. Lynch ; Process Chemistry of Lubricant Base Stocks, CRC Press, 2008, 171
- 5) Thomas R. Lynch ; Process Chemistry of Lubricant Base Stocks, CRC Press, 2008, 201
- 6) Thomas R. Lynch ; Process Chemistry of Lubricant Base Stocks, CRC Press, 2008, 205
- 7) Thomas R. Lynch ; Process Chemistry of Lubricant Base Stocks, CRC Press, 2008, 217
- 8) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2016-2017, LUBES 'N' GREASES, 40
- 9) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2016-2017, LUBES 'N' GREASES, 46
- 10) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2014, LUBES 'N' GREASES, 38
- 11) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2016-2017, LUBES 'N' GREASES, 49
- 12) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2016-2017, LUBES 'N' GREASES, 48
- 13) LUBRICANTS INDUSTRY FACTBOOK 2016-2017, LUBES 'N' GREASES, 46