

第4章 省燃費潤滑油に関する調査

第1節 はじめに

地球温暖化抑制のためのCO₂排出削減策の一つとして、自動車の燃費改善が求められている。その方策の一つとしてエンジン油には省燃費性改善のための更なる低粘度化と低摩擦化、並びに排出ガス浄化触媒保護のためのエンジン油中のリン、硫黄の更なる低減が求められてきているが、両者はトレードオフの関係にあり、同時低減は非常に難しい技術となっている。

我が国と米国では、エンジンのデザインや市場における走行条件が異なるため、エンジン油に求められる性能も異なり、これまでのように米国のエンジン油規格をそのまま運用した場合、国内市場で不具合を生じる可能性が懸念される。したがって、我が国の実情に即した省燃費エンジン油を導入するためには、その性能を適正に評価することが重要であり、そのための評価法を早急に整備することが必要である。そこで本調査では、省燃費潤滑油に係わる情報収集及び台上エンジンによる試験を実施し、我が国の実情に即した省燃費潤滑油に求められる性能を明確化するための基礎資料を収集したので報告する。

第2節 地球温暖化抑制のための法規制動向

1. 気候変動枠組条約

気候変動枠組条約(United Nations Framework Convention on Climate Change)が1992年に採択され、1994年に発効した。締約国は2005年5月現在、188カ国及び欧州連合となっている。本条約の目的は、大気中の温室効果ガス濃度の安定化にあり、締約国の責務は温室効果ガスの排出・吸収目録及び温暖化対策の国別計画の策定などである。

条約においては、1)締約国の共通だが差異のある責任、2)開発途上締約国等の国別事情の勘案、3)すみやかかつ有効な予防措置の実施等の原則のもと、主に先進締約国に対し温室効果ガス削減のための政策の実施等の義務が課せられている。

2. 京都議定書(COP3)

気候変動枠組条約締約国会議(COP : Conference of the Parties to the Convention)は毎年開催されており、京都議定書(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change)は1997年に採択され、2005年によく発効した。2006年2月現在、159カ国と欧州連合が締結している。京都議定書締約国会合(MOP : Meeting of the Parties to the Protocol)は2005年11月に初めて開催された。第2回は2006年11月にCOP12と同時に開催される予定となっている。

本条約は、先進国などに対して2008年～2012年の間に温室効果ガスを1990年比で一定数値を削減することを義務づけたものである。主要国の削減率は、日本6%、米国7%、EU8%、カナダ6%、ロシア0%などで、全体では5.2%の削減を目指したものとなり、これらの削減目標には法的な拘束力があると決められた。また、国際的に協調して目標を達成するために、温室効果ガスの排出量取引ができる仕組みを柱とする「京都メカニズム」や、森林吸収源などの新たな制度や仕組みも導入された。

3. 地球温暖化対策推進法

COP3の目標である温室効果ガスの1990年比6%削減は非常に厳しいものであるため、1997年に内閣総理大臣を本部長とする地球温暖化対策推進本部が設置され、1998年に地球温暖化対策推進法が閣議決定された。本法律は、自ら温暖化防止を目的とする我が国初めての法制度で、6%削減目標を達成するための土台となるもので、COP3の温室効果ガス6種類を対象にしている。国、地方公共団体、事業者及び国民それぞれが温室効果ガス排出抑制への取り組みを行う責務を定めるとともに、国、地方公共団体及び事業者が自ら排出する温室効果ガスの排出抑制に関する措置を計画的に進めるための枠組みを定めたものである。

なお、「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書の発効及び我が国の温室効果ガスの排出の現況にかんがみ、地球温暖化対策の一層の推進を図るため、地球温暖化対策推進本部の所掌事務の追加を行うとともに、特定排出者に係る温室効果ガスの排出量の報告等の措置を講ずるものである。」として2006年4月に一部改正される予定である。改正の概要は次のとおりである。

- 温室効果ガスを一定量以上排出する者に温室効果ガスの排出量を算定し、国に報告することを義務付け、国が報告されたデータを集計・公表する「温室効果ガスの算定・報告・公表制度」を導入。
- 地球温暖化対策推進本部の所掌事務として、「長期的展望に立った地球温暖化対策の実施の推進に関する総合調整」を追加。

4. エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)

省エネ法は、エネルギーの効率的な使用、無駄使いの排除を推進することを目的に 1979 年に制定された。1999 年には、温室効果ガスの約 9 割は CO₂ でそのほとんどがエネルギーの使用に伴い排出されているため、地球温暖化対策の中心的な対策として産業界に対してさらにエネルギーの使用を抑制することを求める内容に改正が行われた。

2002 年には、民生業務部門等における対策の強化を図るため、大規模工場に準ずるエネルギー管理の仕組みを導入するとともに、建築物の建築段階において適切に措置を講じることを促進する仕組みを導入。また、国がエネルギーの使用状況等をより適切に把握しつつ対策を講じることができる仕組みを構築等について改正が行われた。

なお、「地球温暖化防止に関する京都議定書の発効、昨今の世界的なエネルギー需給のひっ迫化等、最近のエネルギーを巡る諸情勢を踏まえ、各分野におけるエネルギー使用の合理化を一層進めるため、輸送に係る省エネルギー推進のための措置を創設するとともに、工場・事業場及び住宅・建築物分野における対策を強化する等の措置を講じる」として 2006 年 4 月に一部改正される予定である。

CO₂の排出量は、自動車と関連深い運輸部門の割合が全排出量の 2 割を占め、このうち 9 割が自動車から排出されている。地球温暖化対策推進大綱(2002 年)では、2010 年におけるエネルギー起源の CO₂の排出量を 1990 年レベルに抑制するための方策として、運輸部門については、1995 年レベル(+17%)に抑制することが目標とされている。特にガソリン乗用自動車については、省エネ法に基づき 2010 年度を目標とした燃費基準(トップランナー方式: 基準年度の最も優れた燃費地を基準に目標を設定する方式)が定められているが、2002 年度の運輸部門からの CO₂排出量は 1990 年度比 20.4%増で地球温暖化対策推進大綱の目標(+17%)を 3.4%上回っている。このため、ガソリン自動車については燃費の改善強化処置等の推進によって平成 22 年度までに平成 7 年度比 22.8%の向上達成が求められている。

第3節 自動車の燃費向上技術と排出ガス浄化技術について

我が国では CO₂排出量の約 2 割が運輸部門で占められており、その 9 割が自動車に起因している。しかも、2010 年には CO₂排出量が 90 年比で約 4 割の増加が予測されている。このような状況にあって、自動車に対しては一層の燃費向上=CO₂削減と排出ガス低減という課題が課せられている。超低燃費、超低公害車の実現のため、直噴エンジン、ハイブリッド、燃料電池等の技術開発が行われている。吸気ポートに燃料噴射する希薄燃焼(リーンバーン)方式やシリンダー内に直接噴射する希薄燃焼方式が実用化され、前者は 10%程

度、後者は約 20～30%の燃費改善が可能となり、図 4-1 に示すように従来のエンジン車と比較をすると明確に燃費の向上が認められている¹⁾。

一方、エンジン油による燃費の向上技術として低粘度化、低摩擦化等が有効であるが、行き過ぎるとオイル消費増大(蒸発性)による排出ガス浄化触媒への悪影響及び高温高負荷条件において油膜形成能力の低下によるトラブルが懸念される。エンジン油の潤滑性能を維持するための添加剤の増量が必要となるが、エンジン油にその目的のために通常添加されるジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZnDTP : Zinc dialkyldithiophosphate)には、リンが含まれている。リンは排出ガス浄化触媒に悪影響を及ぼすため、潤滑性能を維持しつつ触媒の保護を考慮した検討が必要となる。そこで、エンジントラブルを防止するためには自動車及び潤滑油製造業者双方の対応が求められている。

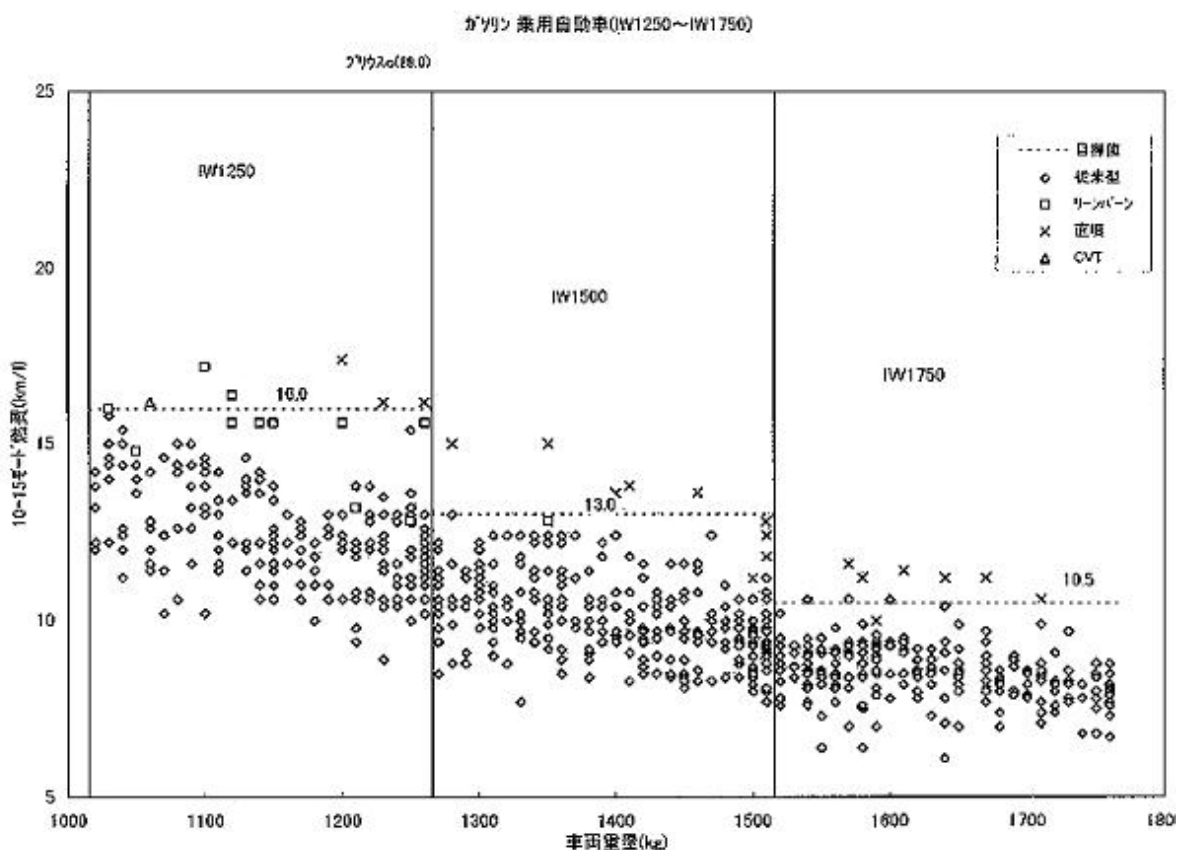


図 4-1. ガソリン乗用自動車の燃費分布(1997 年度出荷)(出典 文献 1)

第4節 ガソリンエンジン油の規格動向

1. ガソリンエンジン油規格の変遷

ガソリンエンジン油の省燃費化は、オイル交換時期の延長や排出ガス浄化システムへの影響低減などとならび、環境問題の重要な課題となっている。米国では1975年から米国環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)による企業平均燃費(CAFE: Corporate Average Fuel Economy)規制が施行されており、1983年には最初の省燃費油規格である省燃費(EC: Energy Conserving)が米国石油協会(API: American Petroleum Institute)により採用された。また、1987年に組織された潤滑油国際標準化認証委員会(ILSAC: International Lubricants Standardization and Approval Committee)規格はAPI サービス分類に省燃費性能を付加した規格となっており、SAE J300 粘度分類及び低温性能が0W-YY、5W-YY、10W-YYに適合しないエンジン油はILSAC規格を取得することはできない。我が国のガソリンエンジン油は、これらILSAC規格及びAPI規格で運用されている。

ILSAC規格の制定に伴い飛躍的な燃費向上がエンジン油に求められてきた。ILSAC規格の変遷²⁾を表4-1に示す。2001年7月1日にGF-3規格の運用が開始されたが、従来のGF-2規格と比較し主に省燃費性の改良、排気ガスシステムへの影響低減(リンレベルの低減)及びロングドレイン性の向上を目的として制定されている。GF-4への移行に当たっては更なる省燃費性、ロングドレイン性の向上のほかに、排気ガスシステムへの影響低減、リン成分、硫黄成分の低減が加味されている。ILSAC規格は、排出ガス規制の改正に伴って最近では3~5年間隔で改定され、GF-5規格は2009年に発行が予定され、更なる低粘度化及び低リン化・低硫黄化が行われる見込みである。

ILSAC規格のエンジン試験に使用されるエンジンは、動弁機構が米国で主流のローラタイプ(ころがり摩擦)である。一方、我が国では米国と道路事情等が異なるため小排気量のエンジンを搭載した小型車両の占める割合が多く、寸法、重量、コスト等の増大につながるローラタイプの動弁機構はあまり使用されておらず、すべり摩擦の機構が主流となっている。したがって、更なる低粘度化、低リン化・低硫黄化は摩耗防止性能を低下させる要因となり焼き付き等の不具合を生じる可能性があると考えられている。

表 4-1. ILSAC 規格の変遷(出典 文献 2)

ILSAC 規格名	GF-1	GF-2	GF-3	GF-4	GF-5
導入時期	1993 年 8 月	1996 年 10 月	2001 年 7 月	2004 年 7 月	2009 年？月
省燃費改善率	2.7%以上	0W-20、 5W-20 : 1.4%以上	0W-20、 5W-20 : 2.0/1.7%以上	0W-20、 5W-20 : 2.3/2.0%以上	更なる低粘度化 0/5W-10？
		0W-YY、 5W-YY : 1.1%以上	0W-30、 5W-30 : 1.6/1.3%以上 合計 3.0%以上	0W-30、 5W-30 : 1.8/1.5%以上	
		10W-YY : 0.5% 以上	10W-30、その他 : 0.9/0.6%以上 合計 1.6%以上	10W-30、その他 : 1.1/0.80%以上	
触媒保護 との適合性	油中リン量 : 0.12%以下	油中リン量 : 0.1%以下	油中リン量 : 0.1%以下	油中リン量 : 0.08%以下	油中リン量 : 0.05%以下？
	—	—	—	油中硫黄量 : 0W-YY、5W-YY 0.50%以下、 10W-YY 0.70%以下	油中硫黄量 : 0.20%以下？
蒸発性	5W-YY : 25%以下 10W-YY : 20%以下 (NOACK)	22%以下 (NOACK) or17%以下 (ガスクロ蒸留)	15%以下 (NOACK) and10%以下 (ガスクロ蒸留)	← ←	？
API 規格名	SH	SJ	SL	SM	

2. ILSAC GF-4(API SM)規格

2.1 ILSAC GF-4(API SM)制定の背景

ILSAC GF-4 制定の背景には米国における CAFE(Corporate Average Fuel Economy : 企業平均燃費)規制が強化されたこと、及び EPA が 120,000 マイル後の排気ガス浄化性能の規制をすることが挙げられる。

CAFE は乗用車系と小型トラック系(3,856 kg以下)の二つに分けられ、各製造業者には企業ごとに平均燃費値の規制適合が義務付けられている。現状、乗用車の CAFE 規制値は 27.5mile/gallon(約 11.6km/L)、小型トラックの場合は 20.7mile/gallon(約 8.7km/L)となっている。この規制の強化により省燃費性及び省燃費持続性を向上させることが必要になった。また、EPA が 120,000 マイル後の排気ガス浄化性能の規制をすることにより、エンジン油による触媒被毒を減らす必要が出てきた。一般にエンジン油の蒸発性は動粘度が低下すると増加する傾向があり、エンジン油の蒸発性が増すとエンジン油の消費も増加する。そのため、オイル消費が増えると触媒被毒等への悪影響が懸念され低粘度化しても蒸発性を低下させない技術が必要となる。

2.2 ILSAC GF-4(API SM)の要求性能

1) 省燃費性(エンジン試験 : Seq.VIB)

GF-4 規格では、GF-3(API SL)規格と比較して省燃費性向上の要求がさらに強まり省燃費の持続性も向上することが望まれたため、Seq.VIB 試験の規格値が見直され、GF-3 と比較し 0.2~0.3%の燃費向上が求められた。試験は粘度グレードごとに規格値が設定されており、摩擦低減効果のある摩擦調整剤の配合量が重要となる。しかし、摩擦調整剤の過度の配合は酸化安定性(Seq.ⅢG)の悪化が懸念されるため省燃費性とロングドレイン性を両立させる添加剤最適配合技術の確立が重要である。また、Seq.VIB に使用されるエンジンの動弁系はローラタイプであり境界潤滑領域が少ないため、粘度特性の改善も必要である

2) 触媒適合性(ベンチ試験 : ASTM D 4951)

触媒被毒の問題から、エンジン油中のリン量及び硫黄量の低減がさらに望まれたため、リン量については GF-3 規格の上限は 0.1wt%であったが GF-4 規格では 0.08wt%以下と規定された。また、GF-3 規格では硫黄量についての規定はなかったが GF-4 規格では 0W-YY, 5W-YY で 0.5wt%及び 10W-YY で 0.7wt%の上限設定がされた。リン量の低減は、耐摩耗性向上剤及び酸化防止剤としてエンジン油に添加している ZnDTP の量を削減する必要がある、耐摩耗性、酸化安定性の低下、加えて省燃費性への影響も懸念される。

3) 酸化安定性(エンジン試験 : Seq. ⅢG)

エンジン耐久性を維持しながらオイル交換時期の間隔を延長することによる廃油削減が望まれたため、より過酷な酸化条件でエンジン油の評価を実施する。エンジンはⅢF と同様であるが、負荷は 200N・m から 250 N・m に、油補給間隔は 10 時間ごとから 20 時間ごとに、試験時間は 80 時間から 100 時間に変更された。この結果 Seq.ⅢG 試験は酸化劣化については実質 2 倍程度の過酷度となっており、より高いピストン清浄性が求められる試験となっている。添加剤の酸化防止剤として有効なものとして ZnDTP があるが、対触媒非毒性向上によるリン分低減の面から使用量は制限されるため、ZnDTP 以外の酸化防止剤で対応する必要がある。また、酸化防止剤による対応だけではなく基油の精製度の向上も必要となる。

4) 劣化油低温粘度(エンジン試験 : Seq. ⅢG-A)

Seq.ⅢG 試験後油の低温粘度の要求が新たに導入され、高い酸化安定性が必要となる。劣化油の低温粘度規格はベンチ試験ではなくエンジン試験 Seq.ⅢG-A として

規定されたため、ACC(American Chemistry Council)が規定している試験登録の対象となった。

5) 高温清浄性(ベンチ試験：TEOST MHT-4)

TEOST は、ピストンに付着するデポジットが発生しないよう高温でのエンジン油の耐久性能を評価する。この温度条件である一定温度運転(MHT-4)の規格値は、45mg 以下から 35mg 以下に変更となった。

2.3 市場動向

エンジン油市場の動きとして、2006 年 2 月現在(導入開始から 1 年 2 ヶ月)の API SM 規格油の登録状況³⁾を確認した結果を図 4-2 及び 3 に示す。登録されている 1,823 油種のうち、5W-YY 油が 44.0%を占め最多油種となっており、次に 10W-YY 油が 33.4%の順となっている。5W-YY 油の内訳は、5W-30 が 439 油種で 5W-20 がそれに続いて 202 油種となっている。0W-YY 油の油種数も 4.9%(89 油種)となっており、0W-20 油が 38 油種で最も多い。省燃費油の代表である 0W-20 油(38 油種)と 5W-20 油(202 油種)を合わせると 240 油種(全体の約 13%)となり、今後さらにこれら低粘度油が拡大していくものと考えられる。

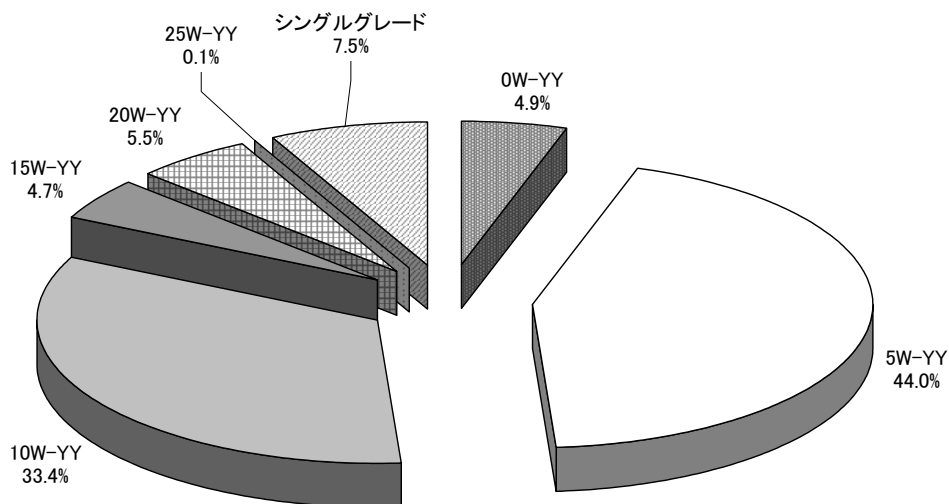


図 4-2. API SM 規格油登録状況①(2006 年 2 月現在) (出典 文献 3)

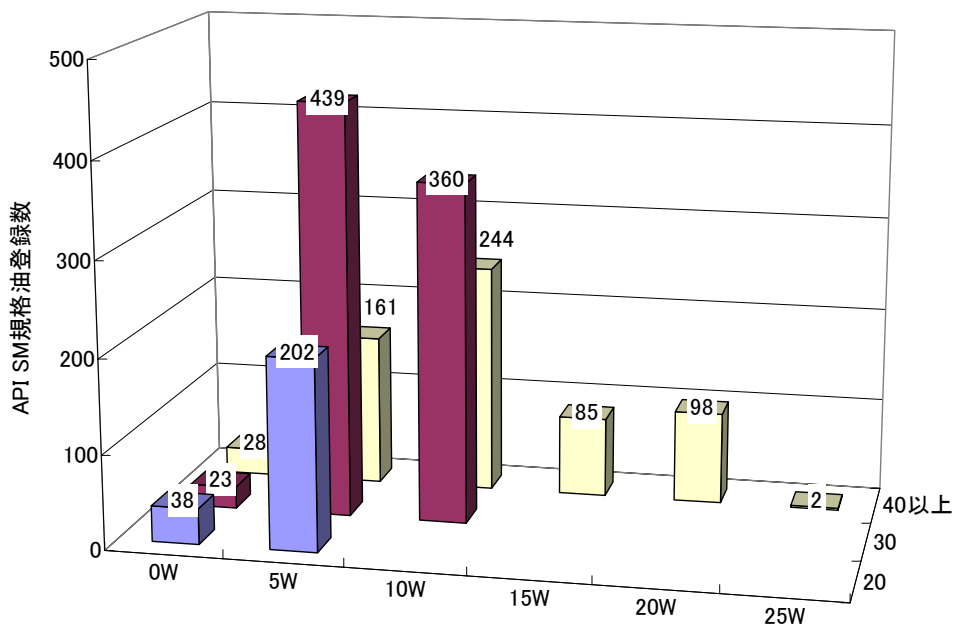


図 4-3. API SM 規格油登録状況② (2006 年 2 月現在) (出典 文献 3)

3. 次期 GF-5 規格

ILSAC は、2005 年 1 月 11 日に潤滑油製造業者、添加剤製造業者及び試験機関との会議(ILSAC/OIL MEETING)を行い、GF-5 の検討を開始した。GF-5 でも GF-3 以降要求されてきた下記三つの環境対応性能について更なる向上が求められており、現時点では 2009 年 7 月の市場導入を目指している 4),5),6),7)。

3.1 省燃費性

GF-4 では、Seq.VIB が省燃費性試験として用いられているがその代替えが検討されている。検討は GM が委員長のタスクフォースで進められており、Seq.VIB に対して多くのエンジンで認められる FM(Friction Modifiers)効果をより反映すること及び更なる精度の向上を目指して試験法の開発が行われている。

3.2 排気システム適合性の向上

1) 排気システム適合性試験の検討

ILSAC 委員会の中に、Ford が委員長の Emissions System Compatibility Improvement Team が設立され検討が開始された。チームの方針では、「エンジン油が排気システムの機能及び耐久性に与える影響評価試験のために、リン、硫黄の

触媒や O₂ センサーへの影響を検討し、ケミカルリミットまたはベンチ試験、エンジン試験などが検討される」となっている。

2) チェーン摩耗試験の検討

エンジン油のケミカルリミットとして GF-4 に対して更なる低リン化(例えば 0.05mass%以下)が進んだ場合、直噴エンジンでのタイミングチェーンの摩耗増加が懸念される。そのため、チェーン摩耗試験法の検討が必要とされている。

第5節 省燃費エンジン油の動向と課題

1. 低粘度化

低粘度化は、流体潤滑域での粘性抵抗の低減に有効であり⁸⁾、図 4-4⁹⁾及び図 4-5¹⁰⁾に示すように高温高せん断 (HTHS)粘度が低くなるほど燃費が向上する可能性が示唆されている。

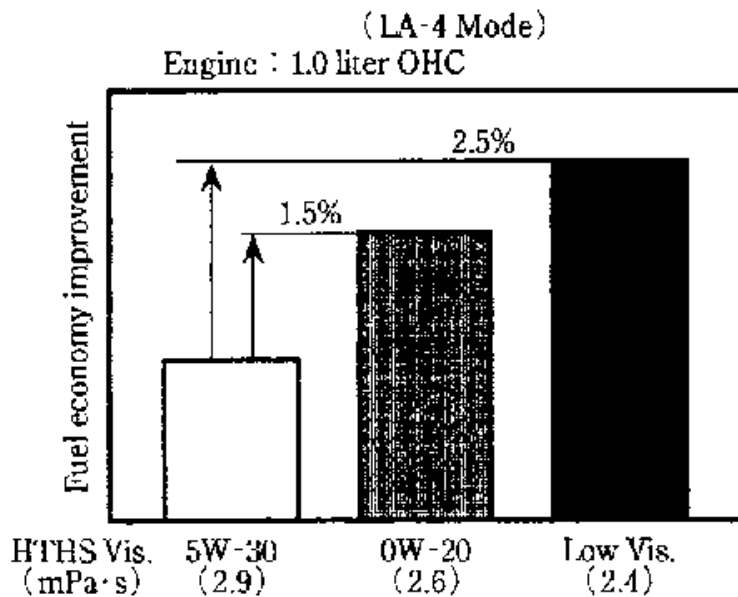


図 4-4. エンジン油処方(HTHS 粘度)と燃費の関係(出典 文献 9)

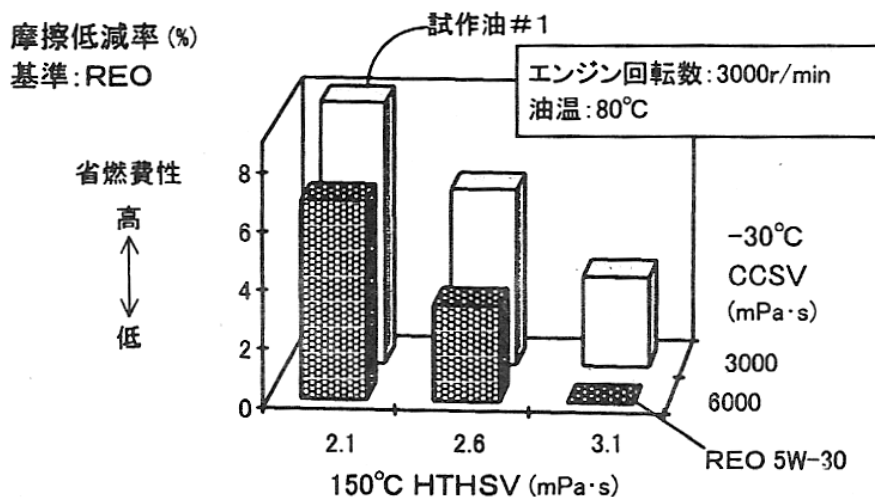


図 4-5. 低粘度化の評価結果(出典 文献 10)

SAE 粘度分類と HTHS 粘度の関係を表 4-2 に示す。現在規定されている最低粘度は 2.6mPa・s である。

表 4-2. SAE 粘度分類と HTHS 粘度の関係

SAE 粘度グレード	動粘度,mm ² /s @100℃	HTHS 粘度,mPa・s @150℃
0W	3.8	—
5W	3.8	—
10W	4.1	—
15W	5.6	—
20W	5.6	—
25W	9.3	—
10	今後新設の可能性大	今後新設の可能性大
20	5.6~9.3	2.6
30	9.3~12.5	2.9
40(0W-,5W-,10W-)	12.5~16.3	2.9
40(上記以外)	12.5~16.3	3.7

図 4-6 にエンジン油粘度の摩擦状態¹¹⁾を示すが、一般的に低粘度化すると摩擦係数は減少する(流体潤滑域)が下げすぎると逆に摩擦係数が増加する(混合・境界潤滑域)ことが知られている。エンジンの摩擦損失のうちピストン部及び軸受部における流体潤滑の占める割合が大きい¹²⁾ため、低粘度化にはエンジンの摩擦低減に対して大きな効果が期待できる。しかし、過度の低粘度化はしゅう動部において油膜厚さの減少及びそれに伴う摩耗の増大を招くことが予想され、図 4-7 に示すように低粘度化によりピストンリング摩耗などを指摘する¹³⁾報告もある。

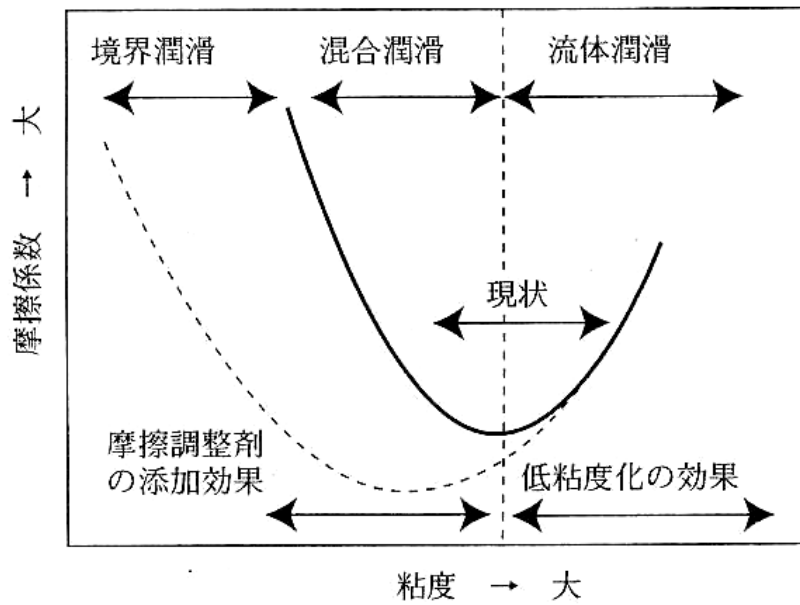


図 4-6. エンジン油粘度の摩擦状態(出典 文献 11)

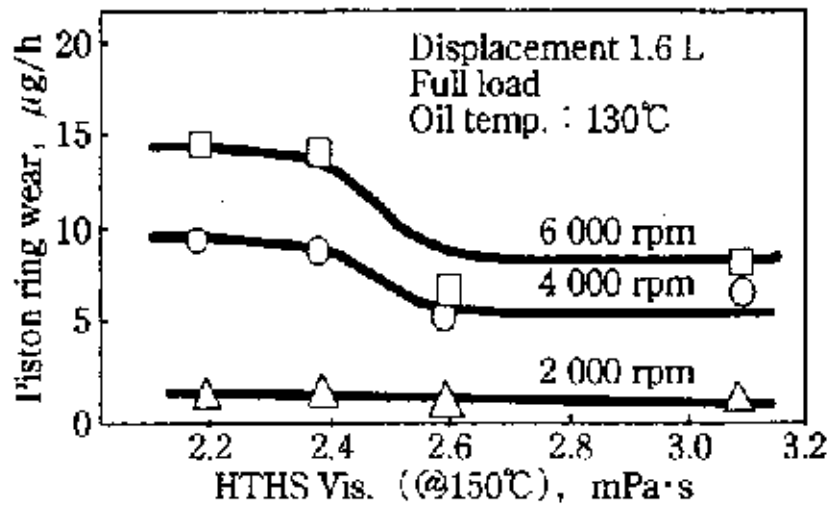


図 4-7. HTHS 粘度とピストンリング摩耗の関係(出典 文献 13)

また、粘度特性の変化がエンジンの摩擦トルクに与える影響はエンジンの動弁系のタイプ(すべり、ころがり)で異なることが知られている。すべり動弁系は図 4-8 に示すように図 4-7 のピストンリングの摩耗と同様に HTHS 粘度 2.6 mPa·s 付近で摩擦が最小(燃費は最良)となり、2.6 mPa·s 以下では境界潤滑領域が増加し摩耗が増加(燃費は悪化)する。これに対し、図 4-9 に示したように、ころがり動弁系では流体潤滑領域が多く HTHS 粘度が 2.6 mPa·s 以下となっても摩耗の増加は認められないと⁹⁾報告されている。

米国のエンジンはころがり動弁系が主流であるため、ILSAC/API 規格で採用されている燃費試験(Seq.VIB)エンジンはころがり動弁系となっている。国内のエンジンはすべり動弁系が主流であり、省燃費化のための低粘度化には摩耗を配慮した検討が必要である。

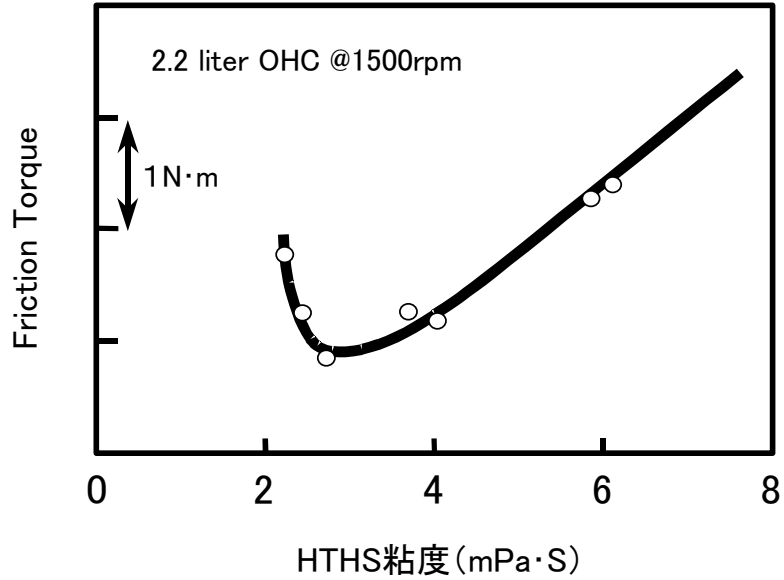


図 4-8. HTHS 粘度と摩擦損失(すべり動弁系) (出典 文献 9)

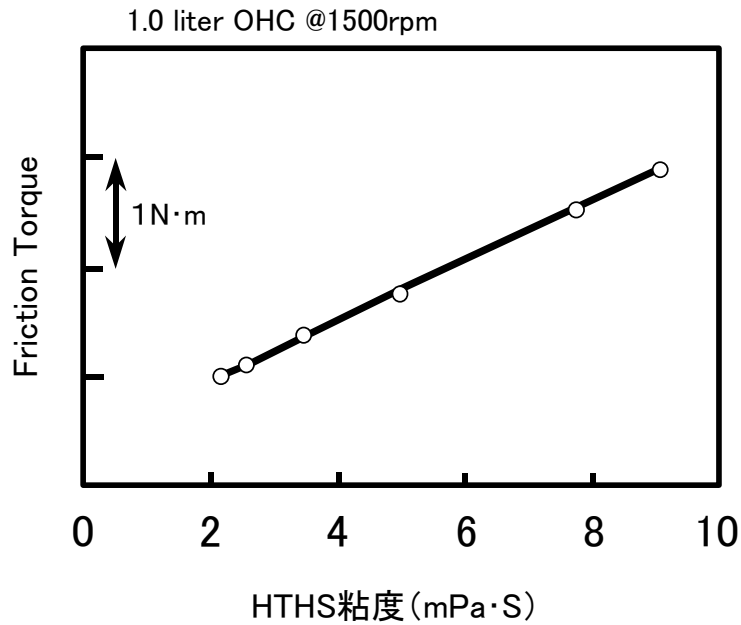


図 4-9. HTHS 粘度と摩擦損失(ころがり動弁系) (出典 文献 9)

2. 摩擦調整剤

前項で記述したように動弁系のタイプにはすべりところがあり、国内のエンジンはすべりが主流であるため低粘度化によって境界潤滑域が増加した場合は摩擦を抑制する必要がある。摩擦を抑制する添加剤として摩擦調整剤が添加されるが、図 4-10 に示すようにモリブデンジチオカーバメイト(MoDTC : Molybdenum Dithiocarbamate)が他の添加剤と比較して大きな摩擦低減効果を示す結果が得られている¹⁴⁾。

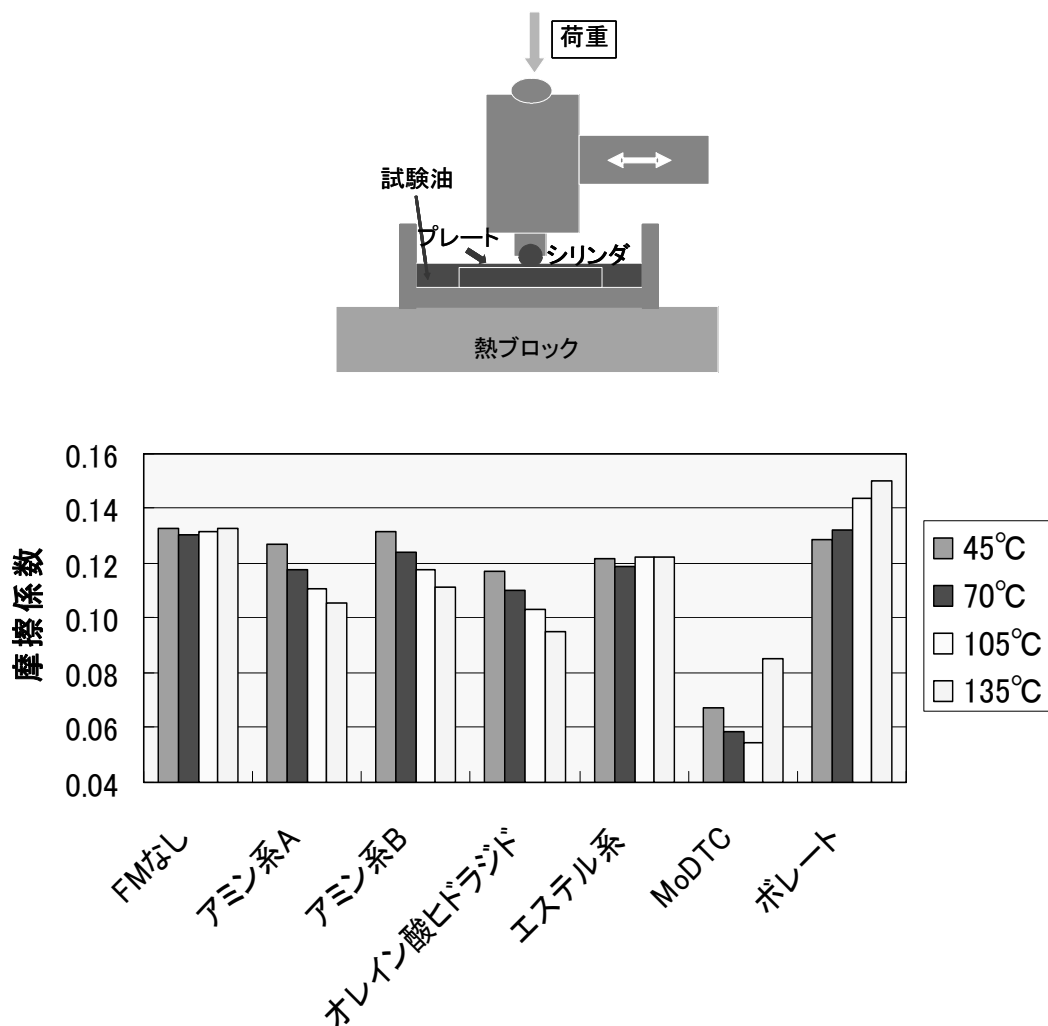


図 4-10. 往復動摩擦試験機による摩擦調整剤の評価(出典 文献 14)

図 4-11 に HTHS 粘度と 10-15 モード燃費改善率の関係を示すが、MoDTC 系摩擦調整剤(FM : Friction Modifier、以下 Mo とする)を添加することにより、燃費改善効果が見られることが報告されている¹⁵⁾。

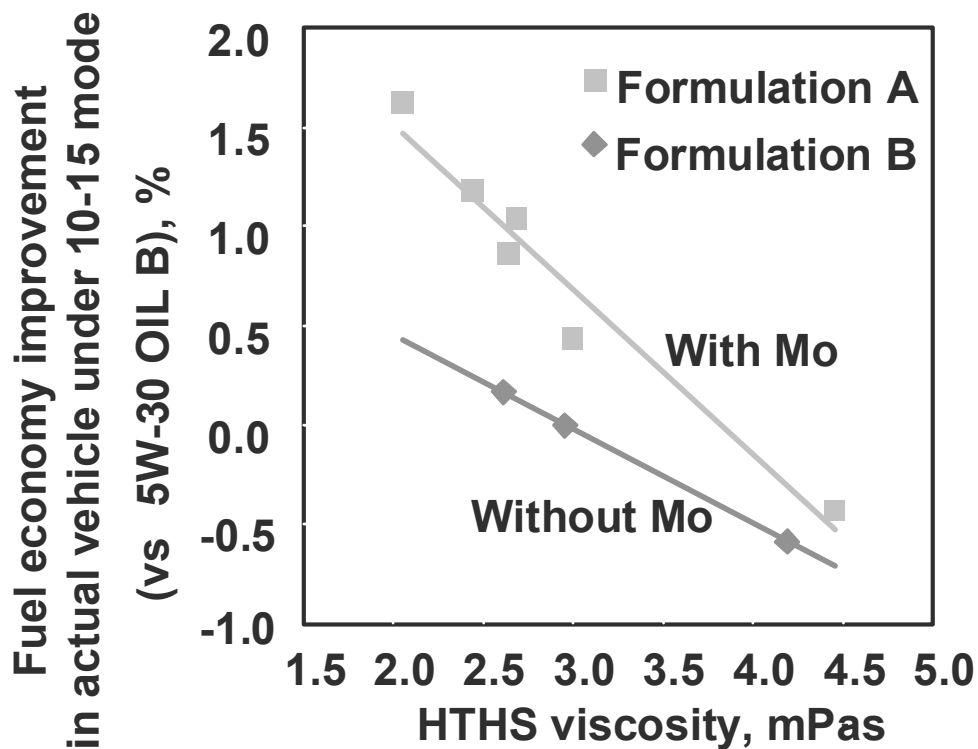


図 4-11. HTHS 粘度と省燃費性の関係(M111 エンジン試験) (出典 文献 15)

図 4-12 に動弁系のタイプ別の Mo 系 FM の省燃費性を示す。Mo 系 FM による燃費改善効果は、すべり動弁系では顕著に見られているが、ころがり動弁系では効果が十分に得られていない¹⁵⁾。

ILSAC GF-4 で規定されている省燃費性試験(Seq.VIB)エンジンは、ころがり動弁系が採用されており Mo 系 FM の評価が可能であるかは不明であり、それに対応した燃費試験法が我が国では望まれている。

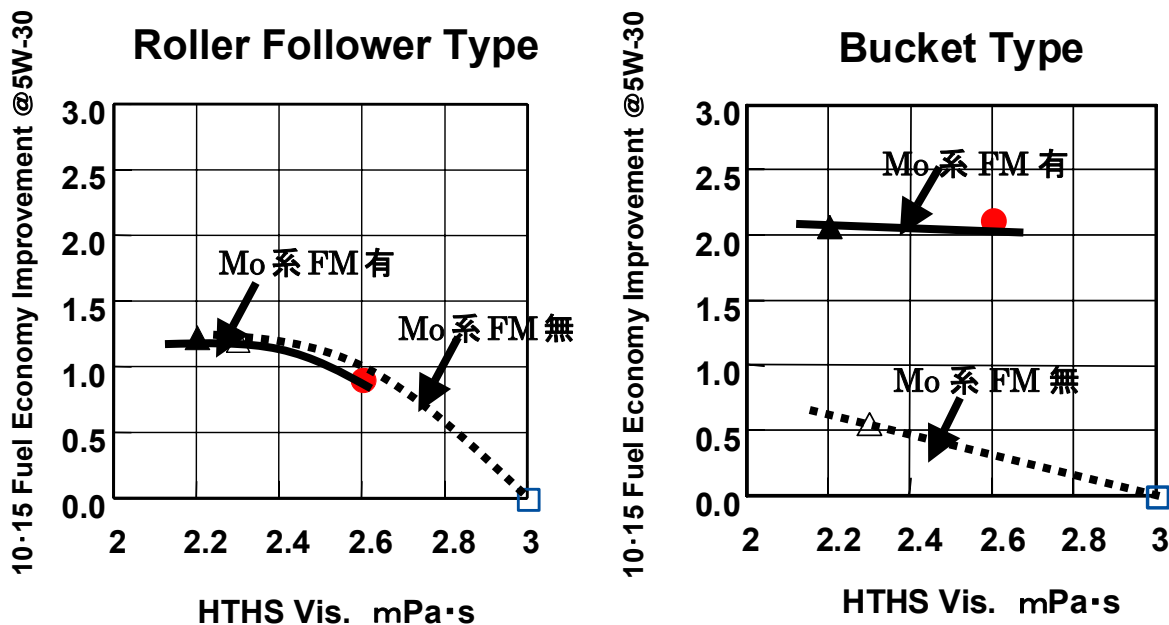


図 4-12. 動弁系タイプが燃費に与える影響(出典 文献 15)

3. 低リン化・低硫黄化

ガソリン自動車は、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NO_x)の排出低減技術として電子制御式燃料噴射装置と三元触媒の組合せによる改良が進められてきたが、エンジン油中のリンによる触媒被毒が指摘されて以降、その低減が要求されている。

触媒の排出ガス浄化性能の低下は、エンジン油に耐摩耗防止剤・酸化防止剤として使用されているジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZnDTP)の燃焼により生成するリン化合物(ガラス状ピロリン酸亜鉛)が触媒の活性金属表面を被覆し、排出ガスが触媒の細孔に入りにくくなるために起こる。そのため油中のリン濃度の要求は ILSAC GF-1 規格では、0.12mass%以下、GF-2 と GF-3 は 0.10 mass %以下、GF-4 は 0.08 mass%以下、と段階的に低減され、次期 GF-5 規格では、0.05 mass%以下が予想されている。

エンジン油中のリン量の低減は、摩耗防止剤及び酸化防止剤として添加している ZnDTP の添加量削減につながる。図 4-13 に示すようにリンを減量すると摩耗が増大し、その傾向は低粘度ほど大きいことが報告されており¹⁵⁾、リン量の低減は、耐摩耗性及び酸化安定性の低下につながるため、リン量の低減は、低粘度化と合わせて慎重に決定する必要がある。

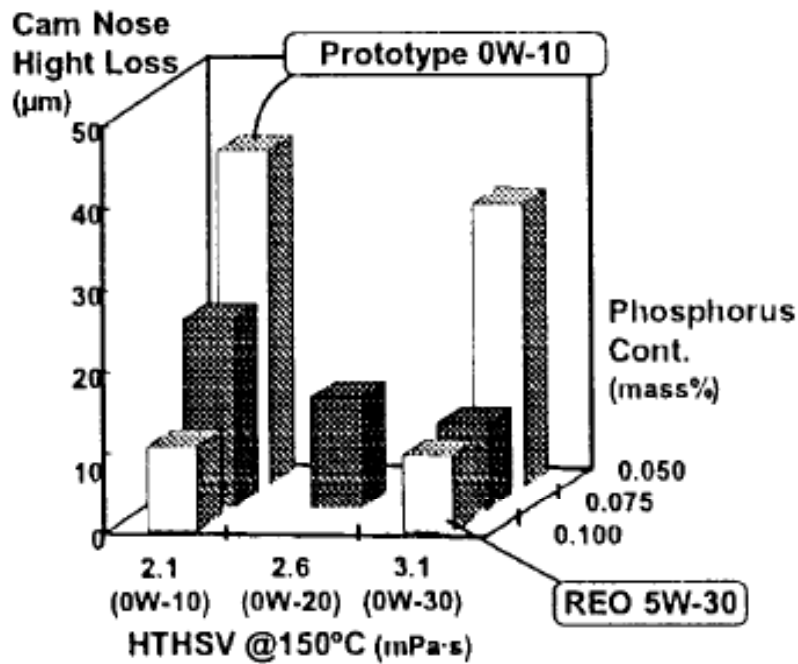


図 4-13. HTHS 粘度とリン量と摩耗の関係(出典 文献 15)

また、NO_x 吸蔵還元触媒は燃料中の硫黄で被毒されることが確認されており¹⁶⁾、燃料の低硫黄化が進められている。図 4-14 に示したように 10ppm 以下の燃料を使用した場合、エンジン油に含まれる硫黄分の寄与率が 40%もあるとの報告¹⁷⁾もあり、エンジン油にはリンに加え硫黄低減も必要となる。ILSAC での硫黄の規格値は GF-4 から新たに設定され(0W-YY、5W-YY では 0.50%以下、10W-YY では 0.70%以下)、次期 GF-5 では、更なる低減(0.20%以下)が予想されている。

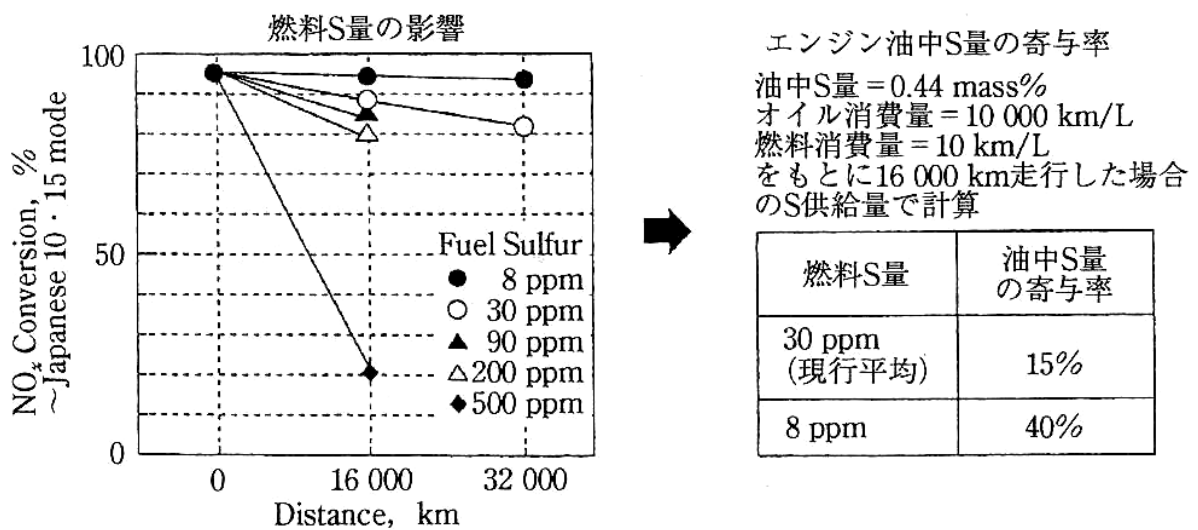


図 4-14. 燃料・エンジン油硫黄分と触媒被毒の関係(出典 文献 17)

4. 省燃費試験

4.1 省燃費試験法の現状

我が国では、ILSAC 規格に合致したガソリンエンジン油が推奨されているため、省燃費試験は米国の Seq.VIB 試験が採用されている。Seq.VIB は米国市場を考慮し、我が国市場の実態と異なるころがり動弁系を使用している。このため Seq.VIB は、これまでに記述した、①すべり摩擦では低粘度化した場合はしゅう動部において油膜厚さの減少及びそれに伴う摩耗の増大を招くことが予想されること、②ころがり動弁系では摩擦調整剤の効果が十分に把握できないこと、③リンを減量すると摩耗が増大し、その傾向は低粘度ほど大きいことなどにより、更なる省燃費化が進んだ場合の評価法として危惧されている。

すべり動弁系を採用している省燃費試験として欧州自動車工業会が規定する M111 試験があるが、現時点で SAE J300 に規定されている最低粘度である SAE 20(高温高せん断(HTHS)粘度、@150℃=2.6mPa・s)よりも低粘度化が検討されている SAE 10(HTHS 粘度、@150℃=2.3mPa・s)が新設された場合、対応できるかが不明である。Seq.VIB と M111 試験法の概要を表 4-3¹⁸⁾に示す。試験方法はいずれも定常状態の燃費を測定しており、Seq.VIB は油温 45～135℃の条件で測定し、M111 は油温 20～100℃の条件で測定しており、いずれの試験方法でも低温条件も加味して測定している。以上のことから我が国では、今後の省燃費試験には以下に示す事項が必要であると考えられる。

- ① すべり摩擦の評価が可能なこと
- ② 摩擦調整剤の効果が見られること
- ③ SAE 10 が新設されても対応できること
- ④ コールドスタートの条件が加味されていること

表 4-3. 既存省燃費試験法の概要(出典 文献 18)

	Seq.VIB	M111
動弁系タイプ	ころがり	すべり
試験時間 (h)	133.5	24
エンジン回転数 (rpm)	800,1500&2250	900-3071
負荷 (N・m)	26-98	0-152
油温 (℃)	45-135	20-100

4.2 実車燃費試験(10-15モード)と Seq.VIB 及び M111 試験との相関性

Seq.VIB と M111 試験は、試験エンジンを固定したエンジン油の省燃費性を評価する試験であるが、車両自体の燃費を測定する試験として実車燃費試験があり、我が国では 10-15 モードを採用している。10-15 モードと Seq.VIB(ころがり動弁系)の関係を図 4-15¹⁹⁾に、また M111(すべり動弁系)との関係を図 4-16¹⁹⁾に示す。

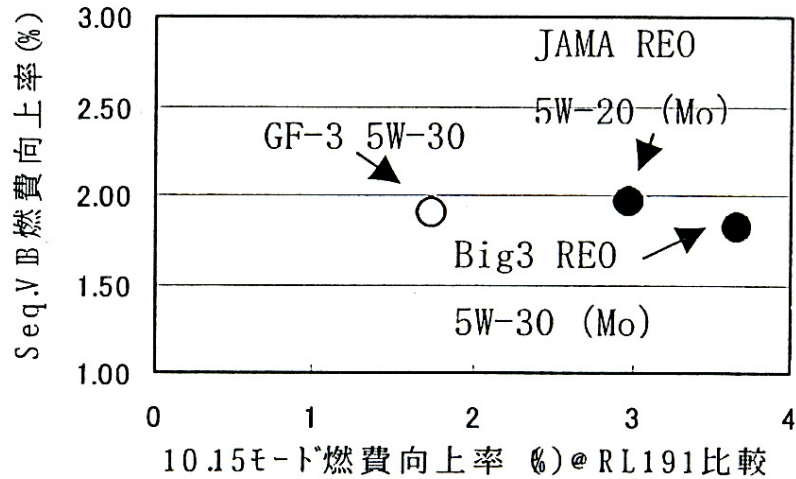


図 4-15. 10.15 モードと Seq.VIB(ころがり動弁系)燃費の関係(出典 文献 19)

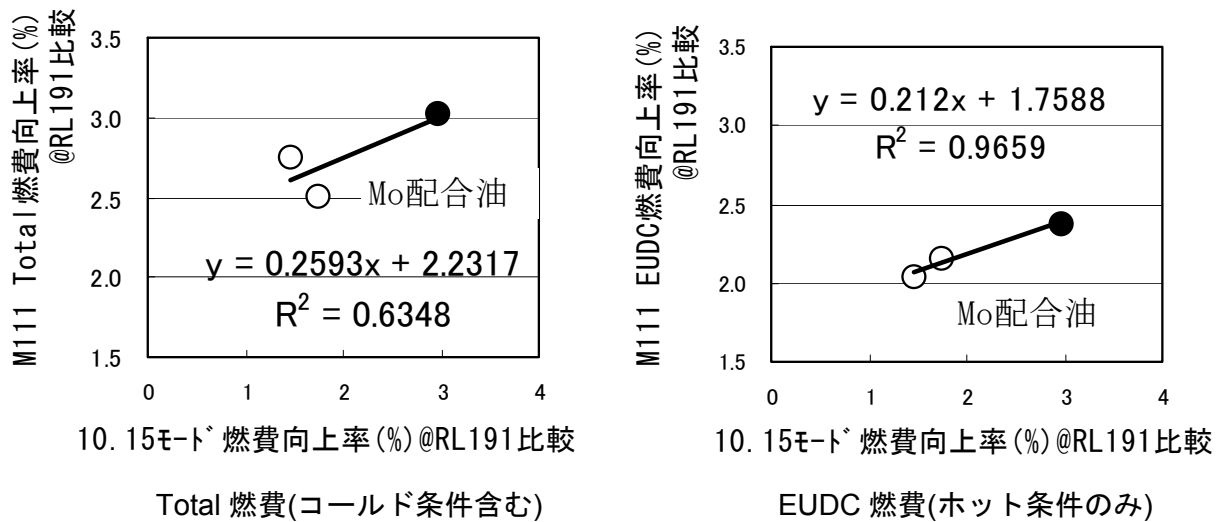


図 4-16. 10.15 モードと M111 (すべり動弁系)燃費の関係(出典 文献 19)

Seq.VIB は 10-15 モードとの相関が低く、Mo 系摩擦調整剤の効果も得られていない。一方、M111 の Total 燃費では Mo 系摩擦調整剤の効果は得られるものの 10-15

モードとの相関は得られていない。しかし、EUDC のホット条件のみでは相関がよくなり Mo 系摩擦調整剤による燃費向上効果もうかがえると報告¹⁹⁾されている。

米国においても ILSAC GF-5 に向けて新しい省燃費試験法(動弁系の形態は不明)が検討されているが、その試験法が摩擦調整剤の効果を反映できるかどうか確認する必要があり、新エンジン試験の動向を確認しながら我が国の現状に合致した新規省燃費試験法の開発の必要性を判断する必要がある。

第6節 省燃費エンジン油の台上エンジンによる摩耗防止性能評価

1. 目的

上述のように今後の省燃費ガソリンエンジン油には、省燃費化のための低粘度化及び低摩擦化、更に排出ガス浄化触媒の保護の観点からリン及び硫黄含有量を低減する等の必要が生じてきているものの、単なる低粘度化やリン及び硫黄含有量の低減はエンジン油の摩耗防止性能を損なう恐れがある。一方、エンジン本体においても燃費の面で優れている希薄燃焼(直接噴射)方式が採用されてきているが、直接噴射式エンジンは従来の燃焼方式と比較して摩耗の増加が危ぐされている。これは、図 4-17 に示すように直接噴射式(図中ではガソリン直接噴射、GDI : Gasoline Direct Injection)は、従来の燃焼方式(図中ではポート燃料噴射、PFI : Port-Fuel Injection)に比べ、燃焼の際に発生するすす(Soot)の量が多く、油中すす量の増加は、図 4-18 に示すように油中の金属分も増加することが報告²⁰⁾されており、すすが耐摩耗性に悪影響を与え油中すす濃度が高くなると摩耗量が増大する²¹⁾と考えられている。

現行の ILSAC GF-4/API SM は、触媒適合性の規格値、リン濃度は当初は 0.08 mass%以下と上限のみの規定であったが、最終的に耐摩耗性確保のため 0.06 mass%以上と下限も規定された。しかしながら次期 ILSAC GF-5/API SN では、排出ガス規制強化(我が国では 2010 年)のため、更なる低リン化が強く要望されており、上限が 0.05 mass%になると予想されている。

低リン化による摩耗防止性能の低下が、すす存在下ではさらに加速されると考えられるため、タイミングチェーンや動弁系等の摩耗増加が懸念されているが、現状では、ガソリンエンジン油のすす存在下での摩耗防止性能を識別できる台上エンジン試験評価法は無く早急な開発が望まれている。このため、ガソリンエンジン油についてタイミングチェーン及び動弁系のすす存在下における摩耗試験を台上エンジンにより実施し、我が

国の実情に即した省燃費潤滑油に求められる性能を明確化するための基礎資料の収集を行った。

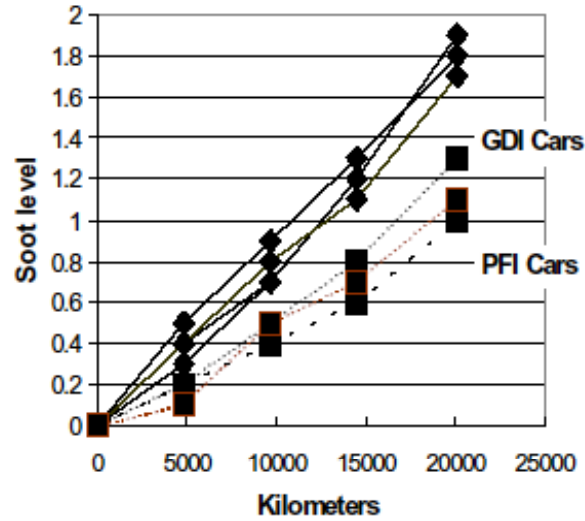


図 4-17. 走行距離と油中 Soot(すす)量の関係(出典 文献 20)

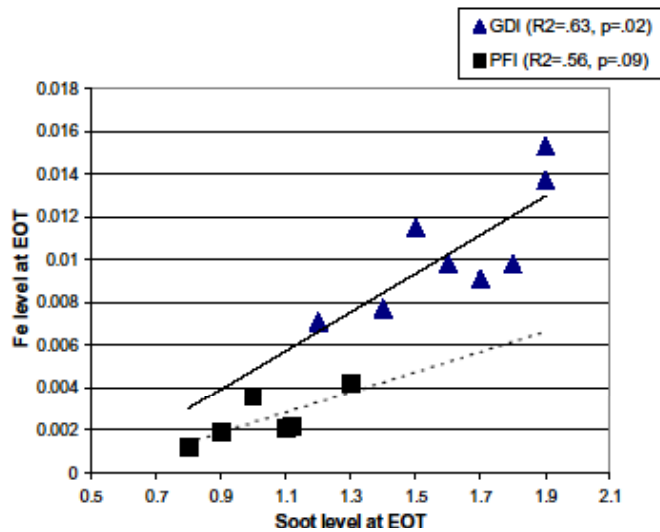


図 4-18. 試験後(EOT)の油中の Soot(すす)量と鉄(Fe)分の関係(出典 文献 20)

2. チェーン摩耗試験(モータリング試験)

我が国では ILSAC/API 規格に合致したガソリンエンジン油が推奨されており、現行のガソリンエンジン油規格として ILSAC GF-4/API SM が 2004 年に発行されている。

ILSAC GF-4/API SM 規格は、環境対応の観点からエンジン後処理装置(触媒等)を劣化させるリン、硫黄などの低減が織り込まれたが、低リン化によりスーツ存在下でのアブレイブ摩耗防止性能が低下し、図 4-19²⁾に示すようにタイミングチェーンの摩耗が増加することからリン量は 0.06~0.08mass%に規定された経緯がある。しかし、次期ガソリンエンジン油規格 ILSAC GF-5(2008 年発行予定)では排出ガス規制強化(我が国では 2010 年)のため更なる低リン化が強く要望されている。そこで、タイミングチェーン式の直接噴射式エンジンによるモータリング台上試験を実施し、エンジン油中のリン含有量のタイミングチェーンの摩耗(伸び)に及ぼす影響を調査した。

**+ Under soot existence,
lower P content is large Chain-wear in some engine design**

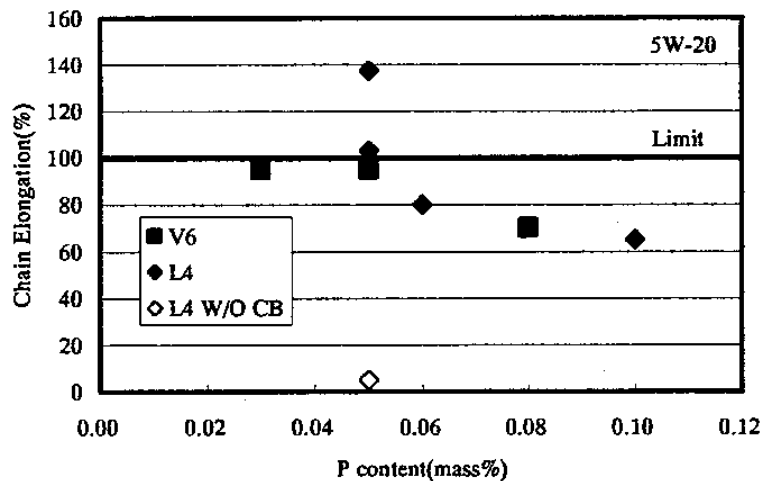


図 4-19. リン量とチェーン摩耗(伸び)の関係(出典 文献 2)

2.1 試験方法

1) 供試エンジン

供試エンジンは、V型6気筒の直接噴射式ガソリンエンジンを、モータリング試験用に改造して使用した。供試エンジンの諸元とチェーン摩耗試験用の改造を表 4-4 に示す。

表 4-4. 供試エンジンの諸元とチェーン摩耗試験用の改造

諸元	形式	3GR-FSE
	種類	水冷 4 サイクルガソリン機関
	排気量 L	2.994
	シリンダー及び配置	60° V 型 6 気筒・縦置き
	弁機構	DOHC4 弁・チェーン駆動
改造	ピストン及びコンロッド	取りはずす
	クランクシャフトのコンロッドの油孔	ふさぐ
	吸・排気マニホールド	取りはずしふさぐ
	エンジン設置角度	吸気ポート上部を基準に水平
	駆動用電動機	3 相 200V, 3.7kW
	エンジン油加熱装置	容量 500W の赤外線ランプ×3

2) カーボンブラックの分散

本エンジン試験はモータリングのため、カーボンブラックを擬似すすとして供試油に分散させて使用した。擬似すすはディーゼルエンジンのモデルすすとして実機で生成するすすとその構造が比較的類似していることが確認されている三菱化学製 MA100²²⁾を選定した。

本供試エンジンの燃焼方式は理論空燃費式の直接噴射であり、通常エンジン油交換時期(距離)である 30,000km 付近では、油中すす量は約 1mass%と確認されているため、本試験での MA100 のエンジン油への混入量は 1.0mass%とし、ホモジナイザーにより分散させた。油中にカーボンブラックを分散させる場合、図 4-20 に示すようにかくはん条件がカーボンブラックの分散性に影響を及ぼす²³⁾という報告もあり、カーボンブラックの分散性が摩耗に影響することが考えられたため、かくはん時間を 5 時間及び 85 時間の 2 条件でエンジン油中にカーボンブラックを分散させるとともに、ホモジナイザーによるかくはん終了後すみやかに供試エンジンに注入し、エンジン試験を実施した。

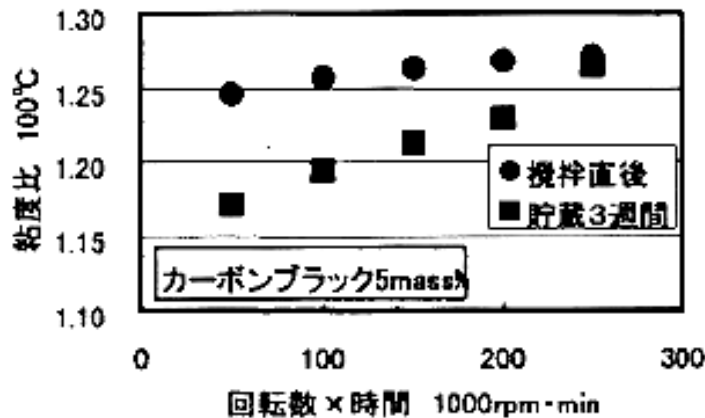


図 4-20. すす分散に及ぼすかくはん条件の影響(出典 文献 23)

3) 供試油

供試油は、以下に示す 3 種のガソリンエンジン油（供試新油）にカーボンブラックを添加して試験に供した。供試新油の一般性状を表 4-5 に示す。

(1) 供試新油 A(SAE 5W-20)

市場における ILSAC GF-4 相当の中心位置的なガソリンエンジン油(リン含有量 0.08mass%)

(2) 供試新油 B(SAE 5W-20)

(1)の供試新油 A の ZnDTP を減量しリン含有量を 0.05mass%に調整したガソリンエンジン油

(3) 供試新油 C(SAE 5W-20)

(1)の供試新油 A の ZnDTP を減量しリン含有量を 0.03mass%に調整したガソリンエンジン油。

供試新油に表 4-6 に示すように、ホモジナイザーによるかくはん時間を 5 時間と 85 時間の 2 ケースで調整した 5 油種を供試油として試験に供した。

表 4-5. 供試新油の一般性状

項 目		供試新油 A (ILSAC GF-4 相当 SAE 5W-20)	供試新油 B (供試油 A のリン を 0.05%に調整)	供試新油 C (供試油 A のリン を 0.03%に調整)
動 粘 度	mm ² /s	40℃	44.13	43.94
		100℃	8.088	8.053
粘 度 指 数		158	158	159
残 留 炭 素 分		mass%	0.84	0.73
酸 価		mgKOH/g	2.45	1.91
塩 基 価 (塩 酸 法)		mgKOH/g	5.53	5.64
塩 基 価 (過 塩 素 酸 法)		mgKOH/g	6.33	6.19
リ ン 含 有 量		mass%	0.075	0.054
ZnDTP タイプ		Sec Arkyl	Sec Arkyl	Sec Arkyl

表 4-6. 供試油

供試油コード	供試新油	粘度グレード	リン含有量 (mass%)	カーボンブラック添加後 のかくはん時間(h)
P08-CB05	A	SAE 5W-20	0.08	5
P05-CB05	B		0.05	5
P08-CB85	A		0.08	85
P05-CB85	B		0.05	85
P03-CB85	C		0.03	85

4) 本運転条件

本運転条件は、表 4-7 に示すように中回転域のケース①と高回転域のケース②の 2 条件で実施し、表 4-8 に示す試験マトリックスにより計 8 回の試験を実施した。

表 4-7. 本運転条件

項 目	試験条件：ケース①	試験条件：ケース②
回 転 数 r/min	2,000±50	3,000±50
エンジン油温度 °C	90.0±5.0	105.0±5.0
エンジン油圧力 kPa	250kPa以上	←
運 転 時 間 h	200	←
エンジン油量 L	6.3	←

備考 1.エンジン油温度は2時間以内に設定する。

2.試験条件は、範囲の中心値を目標とする。

表 4-8. 試験マトリックス

試験コード	供試油コード	リン含有量 (mass%)	カーボンブラック 添加後のかくはん時間(h)	試験条件 回転数×油温
MCW-01	P08-CB05	0.08	5	2,000rpm×90°C
MCW-02	P05-CB05	0.05		
MCW-03	P08-CB05	0.08		
MCW-04	P05-CB85	0.05		
MCW-05	P08-CB85	0.08	85	
MCW-06	P03-CB85	0.03		
MCW-07	P05-CB05	0.05	5	3,000rpm×105°C
MCW-08	P08-CB05	0.08		

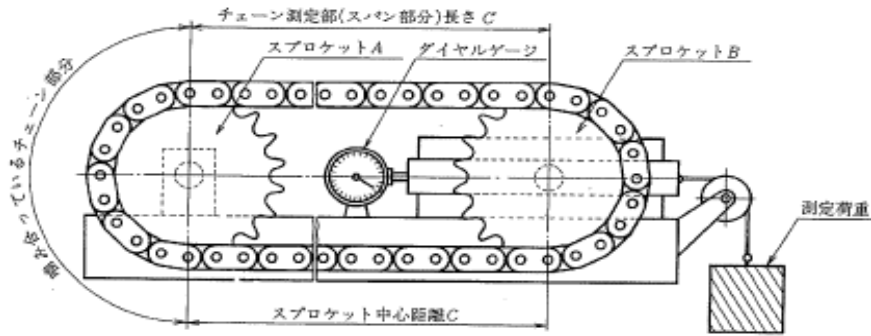
5) チェーンの計測

チェーンの摩耗(伸び)を JASO E 103 ローラチェーン及びブッシュチェーンの長さ試験に準拠(スプロケットを本タイミングチェーン用に交換)して、プライマリー(1本)及びセカンダリー(2本)の計3本について表 4-9 に示す条件で図 4-21²⁴⁾のスポ

ロケット中心距離 C を試験前後で測定し、差及び伸び率を測定した。測定は、チェーンの噛合せ位置を任意に変えて3回以上測定し、平均値を求めた。

表 4-9. ローラチェーン及びブッシュチェーンの長さ測定(JASO E 103 準拠)条件

チェーン種類	個数	スプロケット A	スプロケット B	測定荷重
プライマリー	1 個	40	40	147 N
セカンダリー	1 組(2 個)	20	20	147 N



※スプロケット A の中心は固定されており、スプロケット B の中心は測定荷重のかかる方向に動くことができる。中心距離は測定荷重がかけられた時のスプロケット B の中心の動きをダイヤルゲージで読むことにより求める。

図 4-21. チェーンの計測(JASO E 103 準拠) (出典 文献 24)

2.2 試験結果及び考察

チェーン摩耗試験後のタイミングチェーンのピンとブッシュの摩耗状況の例を図 4-22 に示す。いずれの試験もピン-ブッシュの摩耗比率はブッシュ摩耗が支配的であり、ピンの摩耗面に激しいオイルの焼き付きのようなこん跡がみられた。

チェーン摩耗試験の摩耗伸び率を表 4-10 に示し、JASO E 103 準拠で測定したチェーン摩耗試験の摩耗伸び率とリン濃度の関係を図 4-23 に示す。

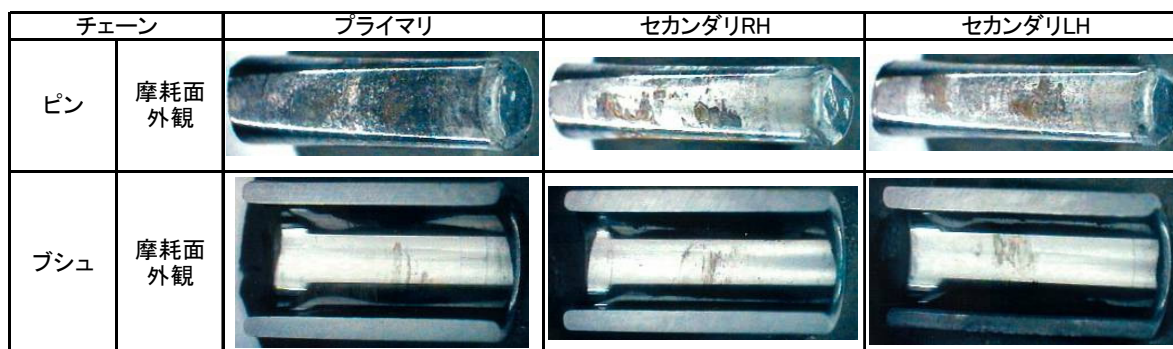


図 4-22. チェーン摩耗試験後のタイミングチェーンのピンとブッシュの摩耗状況
(試験コード MCW-01)

表 4-10. チェーン摩耗試験の摩耗伸び率

試験コード	供試油コード	リン (mass%)	摩耗伸び率(%)				備考
			プライマ リー	セカンダ リー右	セカンダ リー左	平均	
MCW-01	P08-CB05	0.08	0.27	0.32	0.31	0.30	カーボンブラック
MCW-02	P05-CB05	0.05	0.28	0.30	0.28	0.29	5hr
MCW-03	P08-CB05	0.08	0.27	0.24	0.24	0.25	回転数 2000rpm
MCW-04	P05-CB85	0.05	0.26	0.28	0.28	0.27	カーボンブラック
MCW-05	P08-CB85	0.08	0.32	0.30	0.32	0.31	85hr
MCW-06	P03-CB85	0.03	0.31	0.26	0.32	0.30	回転数 2000rpm
MCW-07	P05-CB05	0.05	0.27	0.30	0.33	0.30	カーボンブラック
MCW-08	P08-CB05	0.08	0.28	0.31	0.30	0.30	5hr 回転数 3000rpm

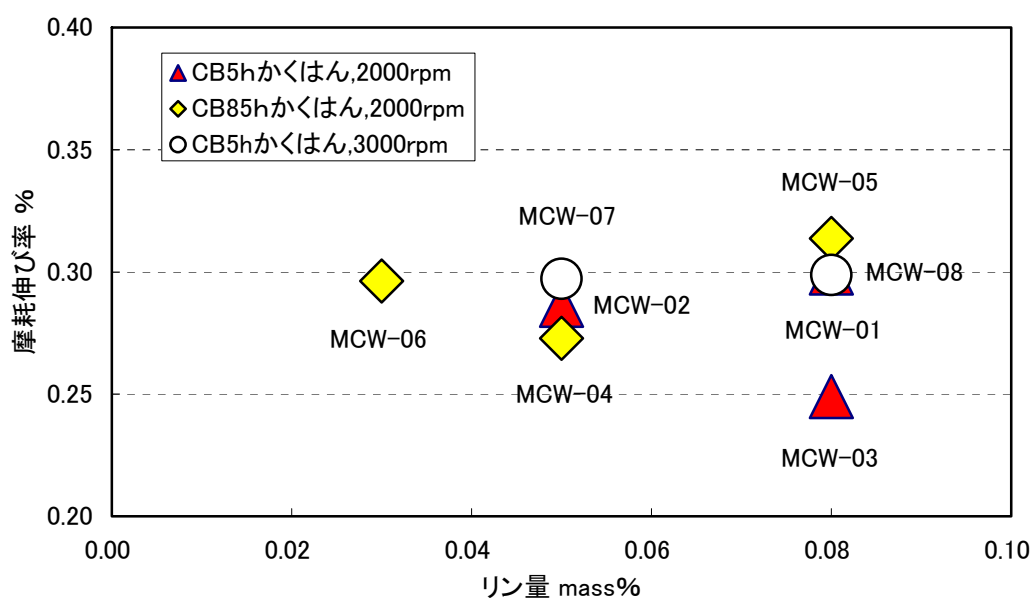


図 4-23. チェーン摩耗試験の平均摩耗伸び率

チェーン摩耗試験結果から、以下のことが判った。

(1) 同一条件による繰り返し性

(条件：リン濃度 0.08mass%、カーボンブラック 5 時間かくはん、回転数 2,000rpm)

図中の試験コード MCW-01 と MCW-03 に示すように、摩耗伸び率はプライマリーで両者 0.27%と同じ値を示したものの平均ではそれぞれ 0.30 及び 0.25 と異なる値を示した。本試験では平均値で見た場合、伸び率で 0.05%程度のばらつきがある。

(2) リン濃度の違い(カーボンブラック 5 時間かくはん)

(条件：カーボンブラック 5 時間かくはん、回転数 2,000rpm におけるリン濃度 0.08、0.05mass%)

図中の試験コード MCW-01、MCW-03 と MCW-02 に示すように、摩耗伸び率はプライマリーで両者 0.27~0.28%とほぼ同じ値を示し、試験法のばらつきから差は認められない。

(3) リン濃度の違い(カーボンブラック 85 時間かくはん)

(条件：カーボンブラック 85 時間かくはん、回転数 2,000rpm におけるリン濃度 0.08、0.05 及び 0.03mass%)

図中の試験コード MCW-05、MCW-04 及び MCW-06 に示すように、リン濃度 0.05mass%の MCW-04 が最も低い摩耗伸び率を示しており、リン濃度の違いによる摩耗量の差は認められない。

(4) カーボンブラックかくはん時間の違い

(条件：回転数 2,000rpm におけるリン濃度 0.08 及び 0.05mass%)

図中のリン濃度 0.08mass%の試験コード MCW-01、MCW-03 と MCW-05 に示すように、試験法のばらつきから差は認められず、かくはん時間の違いは認められない。

(5) 試験条件(回転数)を変化させた場合のリン濃度の違い

(条件：リン濃度 0.08 及び 0.05mass%における回転数 2,000rpm 及び 3,000rpm)

図中のリン濃度 0.08mass%の試験コード MCW-01、MCW-03 と MCW-08 に示すように、試験法のばらつきから差は認められず、試験条件を過酷にした影響は認められない。

以上のことから、本調査の試験条件下では、チェーン摩耗試験の摩耗伸び率とリン濃度の間に相関は認められないことがわかった。しかし、図 4-19 のリン量とチェーン

摩耗(伸び)の関係で示したように、エンジン油にすすが混入しなければ、タイミングチェーンはほとんど摩耗されない結果が報告されており、図 4-22 に示したチェーン摩耗試験後のピンとブッシュの摩耗状況の観察結果からも明らかなようにピンとブッシュはかなり摩耗が進行しているため、今後は試験条件、評価方法等について再考を行い、リン濃度の違いを評価できる試験法を開発する必要がある。

3. 動弁系摩耗試験(ファイヤリング試験)

タイミングチェーンの摩耗と同様にすす存在下では動弁系の摩耗も懸念されている。現状では、ガソリンエンジン油のすす存在下での摩耗防止性能を識別できる台上エンジン試験評価法はないものの、ディーゼルエンジン油では、我が国の自動車規格の自動車用ディーゼル機関潤滑油(JASO M 355)で採用されているすす存在下でのすべり動弁系機構の摩耗防止性能を評価する動弁系摩耗試験(JASO M 354)がある。このため、我が国の動弁系で広く採用されているすべり系の動弁系機構の動弁系摩耗試験(JASO M 354)によるファイヤリング台上試験を実施し、エンジン油中のリン含有量の違いが動弁系の摩耗にどのような影響を及ぼすかを探った。

3.1 試験方法

1) 供試エンジン

動弁系摩耗試験の供試エンジンの主要諸元を表 4-11 に示す。

表 4-11. 動弁系摩耗試験エンジンの主要諸元

形 式		4D34T4:95
種 類		水冷 4 サイクルディーゼル機関
シ リ ン ダ ー 数		直-4
燃 焼 室 形 状		直接噴射式
総 行 程 容 積	cm ³	3,907
圧 縮 比		18.5
最 大 出 力	kW/(r/min)	121.4/3,200
最 大 ト ル ク	N·m/(r/min)	373/1,800
機 関 重 量	kg	350
オ イ ル パ ン 容 量	L	8.0
全 油 量	L	9.0

2) 使用燃料

動弁系摩耗試験に使用した燃料の性状を表 4-12 に示す。

表 4-12. 動弁系摩耗試験に使用した燃料性状

分析項目		測定結果	試験方法
密度	(15℃) g/cm ³	0.8416	JIS K 2249
引火点	(PM) °C	70	JIS K 2265
流動点	°C	-17.5	JIS K 2269
目詰まり点	°C	-12	JIS K 2288
硫黄分	mass%	0.0007	JIS K 2541
動粘度	(30℃) mm ² /s	4.498	JIS K 2283
10%残油残留炭素分	mass%	0.01	JIS K 2270
蒸留性状	初留点 °C	171.0	JIS K 2254
	10%点 °C	231.0	
	50%点 °C	286.0	
	90%点 °C	345.5	
	95%点 °C	363.5	
	終 点 °C	375.5	
	全流出量 %	99.0	
	残油量 %	1.0	
セタン指数		54.9	JIS K 2280

3) 供試油

供試油は、以下に示す 3 種のガソリンエンジン油を試験に供した。供試油の一般性状を表 4-13 に示す。摩耗防止性能は供試油 E が最も良く、次いで供試油 A、供試油 D となるよう設定した。

(1) 供試油 A(SAE 5W-20)

市場における ILSAC GF-4 相当の中心位置的なガソリンエンジン油(リン含有量 0.08mass%)

(チェーン摩耗試験で使用した供試新油 A と同一油)

(2) 供試油 D(SAE 5W-20)

リン含有量 0.05mass%の摩耗防止性能が中程度となるように調整した試験精度管理用候補油(B/L REO 候補油)

(3) 供試油 E(SAE 5W-20)

リン含有量 0.05mass%の摩耗防止性能が良好となるように調整した試験精度管理用候補油(Good REO 候補油)

表 4-13. 供試油の一般性状

項 目		供試油 A : GF-4 相当油	供試油 D : (B/L REO 候補油)	供試油 E : (Good REO 候補油)
SAE 粘度分類		5W-20	5W-20	5W-20
リン含有量	mass%	0.08	0.05	0.05
動 粘 度	mm ² /s	40℃	44.13	49.53
		100℃	8.088	8.858
粘 度 指 数		158	160	156
残留炭素分	mass%	0.84	0.82	0.79
C C S 粘 度	(-30℃) mPa·S	3,450	3,700	5,850
高温高せん断粘度	(150℃) mPa·S	2.55	2.68	2.68
硫 酸 灰 分	mass%	0.77	0.63	0.77
酸 価	mgKOH/g	2.45	1.15	1.27
塩 基 価 (塩 酸 法)	mgKOH/g	5.53	4.28	5.05
塩 基 価 (過 塩 素 酸 法)	mgKOH/g	6.33	7.12	7.78

3.2 試験結果及び考察

各試験の摩耗データの平均、最大及び最小を表 4-14 に示す。

(1) カム

カム径減少量の残留炭素分増加量を 4.5mass% に補正した値(カム径減少量補正值)の平均と最大を図 4-24 に示す。

供試油 E の Good REO 候補油(リン含有量 : 0.05mass%)は、カム径減少量補正值の平均は 66.4 μm であり、ディーゼルエンジン油の JASO M 354 規格値(平均 : 95 μm 以下、最大 : 210 μm 以下)を満足する良好な結果を示した。しかし、供試油 A の ILSAC GF-4 相当油(リン含有量 : 0.08mass%)及び供試油 D の B/L REO 候補油(リン含有量 : 0.05mass%)は、それぞれ 209.8 μm 及び 240.8 μm とほぼ同じ値を示し摩耗防止性能差を識別することができなかった。ディーゼルエンジン油の JASO M 354 規格標準油である DV2(B/L REO)は、55~125 μm の範囲で有効性の判断基準が規定されており、中心の 90 μm から見ると供試油 A 及び供試油 D は 2 倍程度の値となることから、ガソリンエンジン油を評価するうえでは、本試験条件が過酷であったためと考える。

(2) タペット

タペットの質量変化及び最大摩耗量は、3 油種ともほぼ同じ値を示し、油種の違いによる動弁系の摩耗防止性能の違いを明確には識別できない。

表 4-14. 動弁系摩耗試験の摩耗データ

項 目	VTW-01・供試油 A			VTW-02・供試油 D			VTW-03・供試油 E		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
カム径減少量 μm	99.2	118.8	67.2	88.7	244.9	40.1	42.8	69.2	25.2
残留炭素分増加量 mass%	3.87			3.68			4.03		
カム径減少量* μm	209.8	258.5	133.2	240.8	834.2	91.2	66.4	113.4	36.7
試験判定 JASO M 354 規格値 カム径減少量* $95\mu\text{m}$ 以下	不合格			不合格			合格		
タペットの質量変化 mg	48.9	105.3	22.9	56.8	76.7	36.3	37.0	76.3	6.2
タペットの最大摩耗量 μm	18.0	38.0	8.0	12.7	22.0	6.0	18.5	32.5	8.5

※残留炭素分増加量を 4.5mass%相当に補正した値

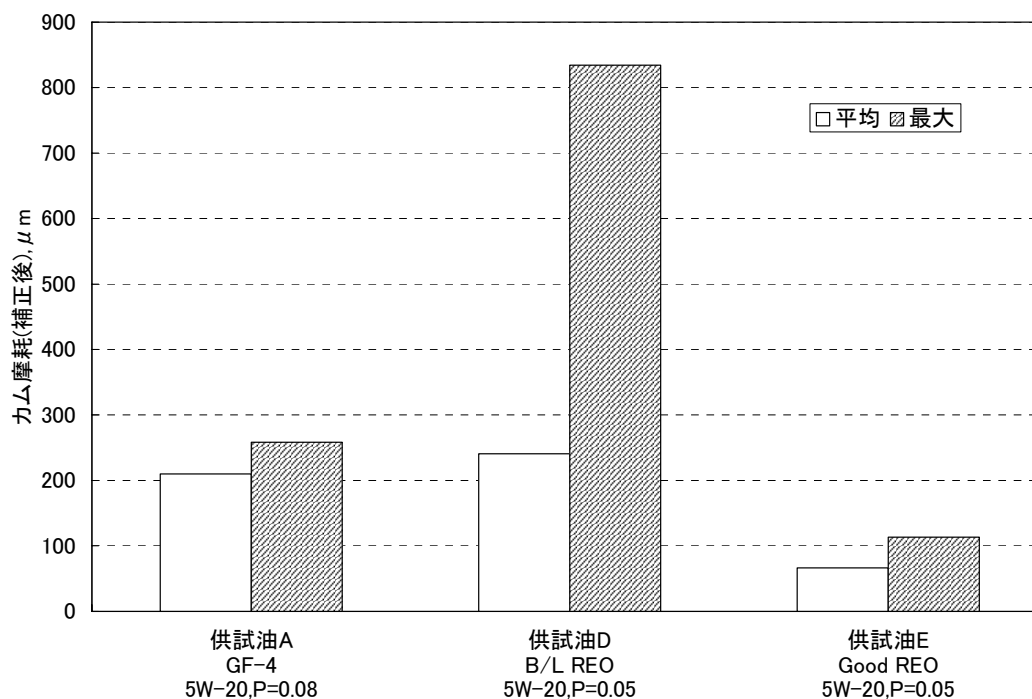


図 4-24. カム摩耗の比較

以上のことから、本調査の試験条件下では、油種間の摩耗防止性能の差異を明確には識別することができなかった。これは、カムの摩耗量が多かったためと考えられる。

カムの摩耗量が多かった原因としては、リンを低減することによる潤滑性の悪化と、すす存在下の摩耗防止性能がガソリンエンジン油処方のため、ディーゼルエンジン油より劣ったものと推定される。

本試験は、ディーゼルエンジン油の動弁系摩耗試験であり、すすの発生量がガソリンエンジンと比較して多く、160 時間試験で残留炭素分増加量(すす量として測定)が 4.5mass%を想定している。ガソリンエンジンの直接噴射式のすす量としては、1.0mass%を想定していることもあり、ガソリンエンジン油の低粘度化や低リン化を評価するには厳しすぎ、よりすす濃度が低くなる試験時間の短縮化などさらなる検討が必要であると考ええる。

第7節 まとめ

前年度の調査結果から、地球温暖化抑制のための CO₂ 排出削減策の一つとして、車両の燃費改善が求められており、新たな省燃費潤滑油の早期導入による対応が必要であることが判明した。そこで本事業では、省燃費潤滑油に係わる情報収集及び台上エンジン等による試験を実施し、我が国の実情に即した省燃費潤滑油に求められる性能を明確化するための基礎資料を収集した。その結果、次のことが明らかになった。

- ① CO₂ の排出量は、運輸部門の割合が全排出量の 2 割を占め、このうち 9 割が自動車から排出されている。ガソリン自動車については燃費の改善強化処置等の推進によって平成 22 年度までに平成 7 年度比 22.8%の向上達成が求められている。
- ② 超低燃費の実現のため、エンジン本体では、直噴エンジン、ハイブリッド、燃料電池等の技術開発が行われている。吸気ポートに燃料噴射する希薄燃焼(リーンバーン)方式では 10%程度、シリンダー内に直接噴射する希薄燃焼方式では約 20~30%の燃費改善が可能。希薄燃焼(直接噴射)方式は従来の燃焼方式と比較して摩耗の増加が危ぐされている。これは、直接噴射式が従来の燃焼方式と比べ、燃焼の際に発生するすす(Soot)の量が多く、すすが耐摩耗性に悪影響を与え摩耗量が増大すると考えられている。
- ③ 省燃費ガソリンエンジン油には、省燃費化のための低粘度化及び低摩擦化、更に排出ガス浄化触媒の保護の観点からリン含有量を低減する等の必要が生じてきているものの、単なる低粘度化やリン及び硫黄含有量の低減はエンジン油の摩耗防止性能を損なう恐れがある
- ④ 低リン化による摩耗防止性能の低下が、すす存在下ではさらに加速されると考えられるため、タイミングチェーンや動弁系等の摩耗増加が懸念されている。現状で

は、ガソリンエンジン油のすす存在下での摩耗防止性能を識別できる台上エンジン試験による評価法がなく早急な開発が望まれている。

- ⑤ チェーン摩耗試験(モータリング試験)では、本年度の条件下では、擬似すすとしてカーボンブラックを添加した供試油によって試験を行った結果、チェーン内部のピンとブッシュの摩耗は認められたものの摩耗伸び率とリン濃度の間に相関は認められなかった。
- ⑥ 動弁系摩耗試験(ファイヤリング試験)でも、本年度の条件下ではカムの摩耗量が多く、油種間の摩耗防止性能の差異を明確には識別することができなかった。
したがって、今後もさらなる基礎資料の収集が必要といえる。

文 献

- 1) 財団法人 省エネルギーセンターホームページ,
<http://www.eccj.or.jp/toprunner/car/attach4.html>.
- 2) 社団法人 日本自動車工業会資料.
- 3) <http://eolcs.api.org/>.
- 4) D. McFall, Automakers Push 'Start' Button on GF-5 Oils, LUBREPORT, Vol.4 Issue52, 2004.
- 5) D. McFall, Testing Tops GF-5 Engine Oil Agenda, LUBREPORT, Vol.5 Issue17, 2005
- 6) SAE F&L meetings TC1 ILSAC/AAM Report, October24, 2005.
- 7) M. L. McMillan et al., Development of a New Test to Determine the Fuel Efficiency of Engine Oils for ILSAC GF-5 Status Report, SAE Open Forum, April 12, 2005.
- 8) 和栗雄太郎、副島光洋他, 日本機械学会論文集、59-560(1993)、218.
- 9) H. Tanaka et al., The Effects of 0W-20 Low Viscosity Engine Oil on Fuel Economy, SAE1999-01-3468.
- 10) 高効率潤滑油製造技術小委員会報告書、PEC-2002T-09.
- 11) 中村直由, 省燃費ガソリンエンジン油、出光技報、43巻3号.
- 12) 中田雅彦, 増田義彦: 月刊トライボロジ, 4(1995) 12.
- 13) T. Ohmori et al., Influence of Engine Oil Viscosity on Piston Ring and Cam Face Wear, SAE 932782.
- 14) Development of 0W-20 ILSAC GF-3 Gasoline Engine Oil, SAE 2002-01-1636.
- 15) Nagakari et al., Formulation Effects on Engine Oil Performance, ITC 2000.
- 16) F. Ueda et al., Engine Oil Additive Effects on Deactivation of Monolithic Three-Way Catalysts and Oxygen Sensors, SAE940726.

- 17) 谷中貢他, エンジンの技術動向と乗用車エンジン油の課題、自動車技術、54、5(2000)11-17.
- 18) 日本ルーブリゾール(株)資料.
- 19) すべり動弁系の燃費試験法調査、(社)自動車技術会、2002.
- 20) Bardasz E. A. et al., A Comparison of Gasoline Direct Injection and Port Fuel Injection Vehicles: Part II-Lubricant Oil Performance and Engine Wear. SAE Tech Pap Ser (Soc Automot Eng) NR: SAE-1999-01-1499; PAGE. 14P; (1999).
- 21) 松本圭司他, 自動車用エンジン油の耐摩耗性能に及ぼす ZnDTP の劣化と油中すすの影響、自動車技術会学術講演会前刷集 NO. 73-00; PAGE. 1-4; (2000/05/24).
- 22) 三菱化学(株)、三菱カーボンブラックカタログ.
- 23) 石油 TES 用メンテナンスフリー潤滑システムの研究開発、高効率潤滑油製造技術研究会報告書、PEC-1998TA-02,1998,PAGE1-18.
- 24) 自動車規格 JASO E 103 ローラチェーン及びブッシュチェーン.