

〔論 文〕

UFB を混入した潤滑油による潤滑性能の向上

中村 崇明*¹・高山 敦好*²

Improvement in Engine Performance by Mixing Lubrication Oil with Ultra-Fine Bubbles

Takaaki NAKAMURA*¹, Atsuyoshi TAKAYAMA*²

Abstract

Engine friction loss and mission significantly impact fuel consumption and engine durability. While recent technologies have successfully reduced friction loss to less than 10% by means of friction reduction, friction loss in conventional engines is still more than 20%. From these, it is expected the retrofit. The Strategic Innovation Promotion Program (SIP) is also aimed at reduction of more than 50% and CO₂ the thermal efficiency of the SIP in internal combustion engine. Ultra-fine bubbles (UFBs) are anticipated to be applied in various fields. UFBs can also be possibly mixed into the lubrication oil. In this study, we aimed to reduce the friction of the engine by mixing UFB with engine lubrication oil. As a result of using UFB mix lubrication oil, engine friction reduced as the fuel consumption improved.

Key Words : Mechanical Engineering, Tribology, Ultra Fine Bubble, Engine Oil

1. 緒 言

エンジンやミッションのフリクションロスは、燃費や耐久性に大きな影響があり、各方面で改善技術が確立され、現在では摩擦低減によりフリクションロスが10%以下に抑えられている。しかしながら、最新の技術を駆使した内燃機関以外では20%以上のフリクションロスがあり、レトロフィットによる摩擦低減技術の開発が急務となる。この対応策として、添加剤を用いた潤滑性の向上や各部材の軽量化製品が開発されている。しかしながら、添加剤に於いては効果が一時的であるにも関わらず高価である。また、部材の軽量化による効果は期待できるものの、製品全体のバランスが狂うことで効果自体が顕著に現れない場合も多いものと推測される。

内燃機関においては、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：Strategic Innovation Promotion Program）により、内燃機関の摩擦低減に関するプロジェクトが稼働している。これは、内燃機関の最大熱効率50%およびCO₂を30%削減させることが目的である。内燃機関においては、クランク軸だけでなく、ピストンやピストンリングの油膜切れが挙げられ、抵抗悪化がそのまま熱効率に跳ね返るものであるといえる。以上から、添加剤だけでなく、根本的な潤滑油に対する対応策が期待されている。

ウルトラファインバブル（UFB：Ultra-fine Bubble）は、様々な分野で応用されることが期待される。UFBは、水産業や農産業において、成長育成および鮮度保持が目的であった。気体を微細化したUFBは、油への混入も可能であり、その応用については現時点では報告されていない。

本研究は、潤滑油中にUFBを混入させることで、フリクションロスの低減を実現するものである。フリクションロスは、回転歯車の抵抗や接触部の抵抗が考えられる。これらに対し、UFBを混入した潤滑油は、抵抗の低下やUFBによる接触面粗さの改善が期待でき、さらに温度上昇や劣化に対し効果が期待できるものと考えられる。

*¹ エネルギーシステム工学専攻

*² 機械システム工学科

平成29年11月1日受理

2. 実験概要

2・1 ウルトラファインバブル (UFB)

UFB 水について図1に示す。UFB 水は、 $1\mu\text{m}$ 未満の気体が水中に混入したものである。このため、UFB 同士が反発し合うことから、UFB の結合が起こりにくく、気泡数密度の減少が抑えられ、長時間の保持が可能である。また、UFB は負コロイドとしての側面がありマイナスに帯電していることから、水中に漂うプラスの電荷を帯びた微細な汚濁物質を吸着できる。潤滑油中には水素が多く混入しており、水酸化物イオン (OH^-) が形成されるものと言える。

OH^- は、ヒドロキシルラジカル ($\text{OH}\cdot$) と相互変換されることから、ラジカルによる効果が期待できる。気泡には水中のイオンが集まり、帯電することが知られているが、溶液中に分子が溶け出した気泡の圧力が高まり、消滅時には数千気圧の圧力により、大きなエネルギーが放出されることが確認されている。気泡には表面張力が働くことにより球体になろうとする。さらに、その界面で引き合う力は内部の圧力を高めることになる。表面張力による作用は気泡が小さいほど強力であり、圧力は気泡径に反比例して大きくなる ($1\mu\text{m}$ の気泡で3気圧程度)。気泡の圧力が高まれば、液体中に溶け込む気体溶解能力が高まる。このため気体の分子が少しずつ液中に溶け出し、気泡径が縮小することで気泡内の圧力が高まる。

これらから、潤滑油中に微細気泡が混入することは、油膜切れの予防発生、すなわち UFB による油膜の穴埋めをする役割が期待でき、さらに潤滑油と部材との接触面に微細気泡が均等に配置する事から、抵抗が一様に減少するものも期待できる。

2・2 実験概要

2・2・1 UFB の精製手法

UFB の精製手法は、攪拌 (スターラ)、ポンプキャビテーション、ボールミル・ビーズミル、ジェットミル、ホモジナイザなどが挙げられる。本研究では、渦流タービン・ポンプを用いた加圧溶解方式であり、エンジン油と空気を加圧溶解攪拌型のみキサに通過させ、エンジン油中に UFB を発生させた。加圧溶解攪拌型のみキサは、2枚のプレート内で攪拌領域を設け、段階的に圧力開放を行うことで、UFB が混入したエンジンオイル (以後は UFB オイルと定義) が生成できる。

ナノ個数密度は、マルバーン製 Nano Sight によるナノトラッキング法 (NTA) や SHIMAZU 製による比表面積測定法により計測できる。UFB 水の計測装置は、経済産業省が主体となって活動しているファインバブル産業界にて、マルバーン製 Nano Sight、島津製作所製ナノ粒子径分布測定装置が推奨されている。本研究の実験では、Nano Sight を用いたものであり、ナノトラッキング法による計測となる。図2に計測結果の一例を示す。

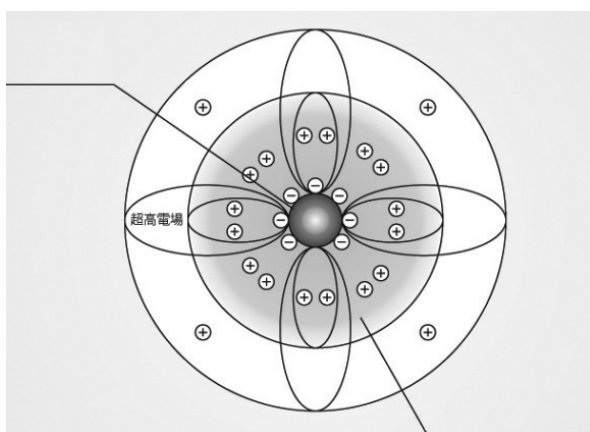


Fig.1 Structure of UFB

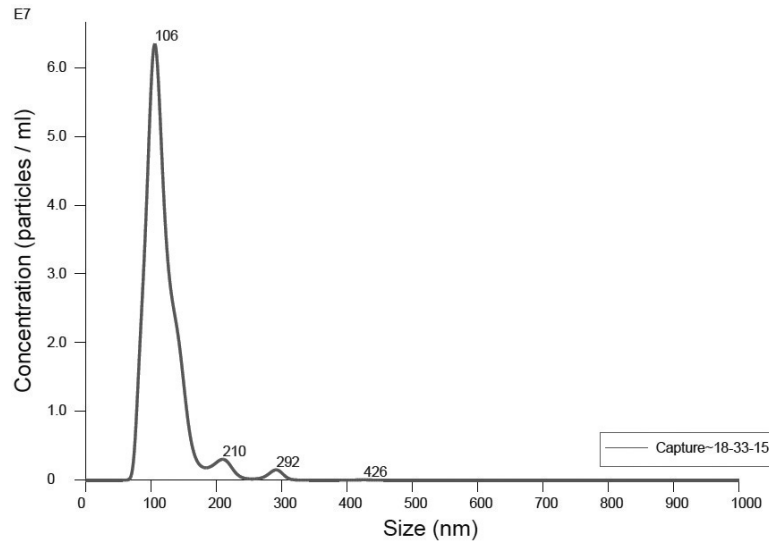


Fig. 2 UFB concentration

2・2 実験装置

図3に実験装置を示す。ポンプの1次側で潤滑油タンク10Lを設置し、ポンプ直前で空気を0.2L/min混入させた。ニクニ製25NED07Z渦流タービン・ポンプを用い、1.0MPaに加圧させた燃料油を加圧溶解攪拌型ミキサによって、UFBオイルを生成させる。循環時間は10minである。精製後24h放置し、Nano Sightで計測した。

供試エンジンを表1に示す。クボタ製EA14-NB直接噴射式4サイクルディーゼルエンジンである。圧縮比18、ボア94mm、ストローク90mmである。定格出力は、8.46kw/2600rpmである。燃料噴射時期はATDC-21°であり、噴射圧力は約21.5MPaである。

実験条件は回転数2600rpm、負荷率25%・50%・75%である。使用燃料はA重油であり、その性状を表2に示す。エンジン油は、Castrol製10W-30を用いた。性状はAPI:CFの鉱物油である。燃費の計測は、未処理のエンジン油とUFBを混入させたエンジン油を用意し、それぞれを同一エンジンに入れ替え燃料消費時間から燃費の算出を行った。

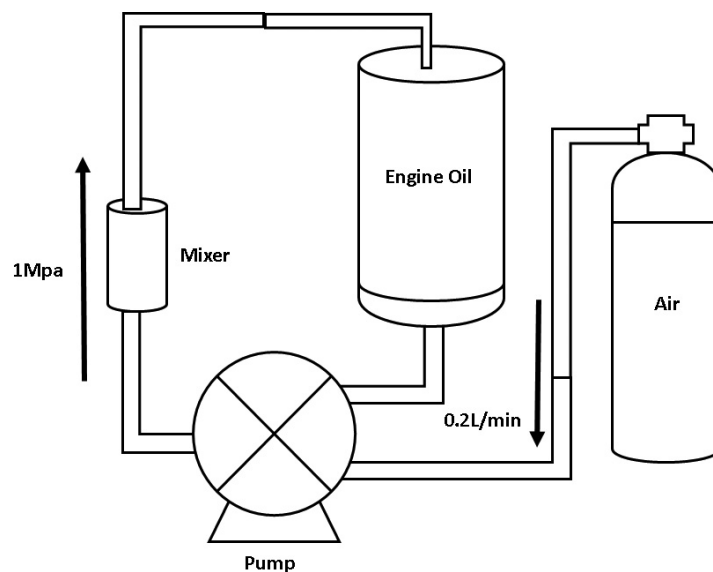


Fig. 3 Experimental device

Table 1 Engine information

Name	EA14-NB
Engine System	Direct-Injection four-stroke
Cylinder Number	1
Bore and Stroke	94x90
Compression Ratio	18.0
Max Power	8.46kw/2600rpm
Max Torque	40.2N・m/2000rpm
Dynamo meter poetical	35.2kW/6000rpm
Displacement	624cc
Injection Point (°)	ATDC - 21°
Injection pressure (MPa)	21.5
Experimental Load	25%・50%・75%

Table 2 Fuel characters

Fuel	LSA
Density (g/cm ³) (15°C)	0.85
Flashing Temperature (°C)	64.0
Kinetic Viscosity (cSt) (30°C)	2.32
Water Content (%)	0.05
Carbon Residue Content (%)	0.03
Ash Content (%)	0.001
Sulfur Content (%)	0.048
Nitrogen Content (%)	0.02
Total Heat Value (KJ/kg)	45,560

3. 実験結果

3・1 潤滑油中の UFB の計測

図4にUFBの計測結果を示す。(a)が未処理の潤滑油、(b)がUFBオイルである。未処理の潤滑油のUFBは 3.7×10^7 個/mlであった。多数のピークが観測されており、鉱物油に含まれたダストやスラッジ成分のほか、添加剤の一部が検出されているものと推測される。UFBオイルは、 12×10^8 個/mlであった。また、平均粒径約66nmをピークとしたUFBが多く含まれていることが分かった。未処理の潤滑油と比べ、粒径分布が微細化されており、スラッジやダスト成分が処理されていることが推測される。UFBオイルにより、プラスに帯電した有機物のほか、ラジカルによる分解処理が実施できたものと推測される。

3・2 エンジンによる実験結果

図5に実験結果を示す。負荷率25%、50%、75%の実験結果である。負荷率25%では、ノーマルオイルが451.9g/kWh、UFBオイルが441.1g/kWhであった。負荷率50%では、ノーマルオイルが329.9g/kWh、UFBオイルが305.3g/kWhであった。負荷率75%では、ノーマルオイルが290.4g/kWh、UFBオイルが287.1g/kWhであった。以上から、すべての負荷率で燃費の改善が見られたが、特に負荷率50%の燃費が大きく向上したことが分かった。これは、回転物の抵抗値が回転数や負荷によって大きく異なることや共振の影響が考えられ、負荷率50%において、効果が大きく現れたものと推測する。

3・3 レトロフィットについて

図5に実機への応用例を示す。これは、エンジンのオイルポンプにエアを送り込む配管を取り付けたもので、エンジンの運転中にUFBをエンジンオイル中に混入することができるというものである。(b)は、マツダ製RF-CDTのオイルポンプに配管を取り付けたものである。この実験機ではモーターで直接オイルポンプを駆動し、空気を混入させるも

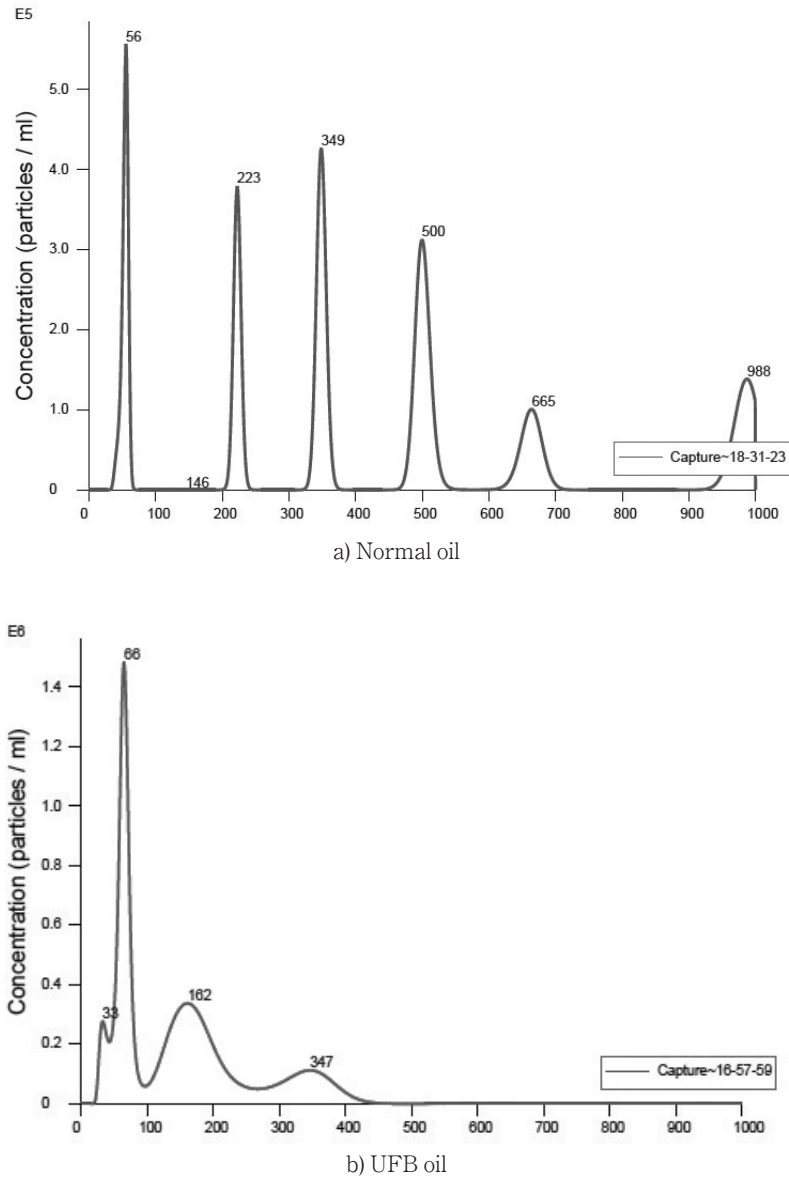


Fig. 4 Result of UFB concentration in the oil by Nano Sight

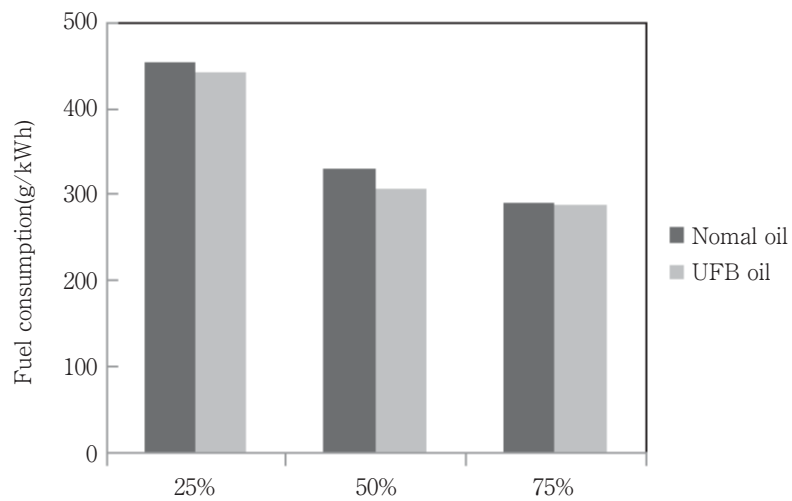


Fig. 5 Fuel consumption

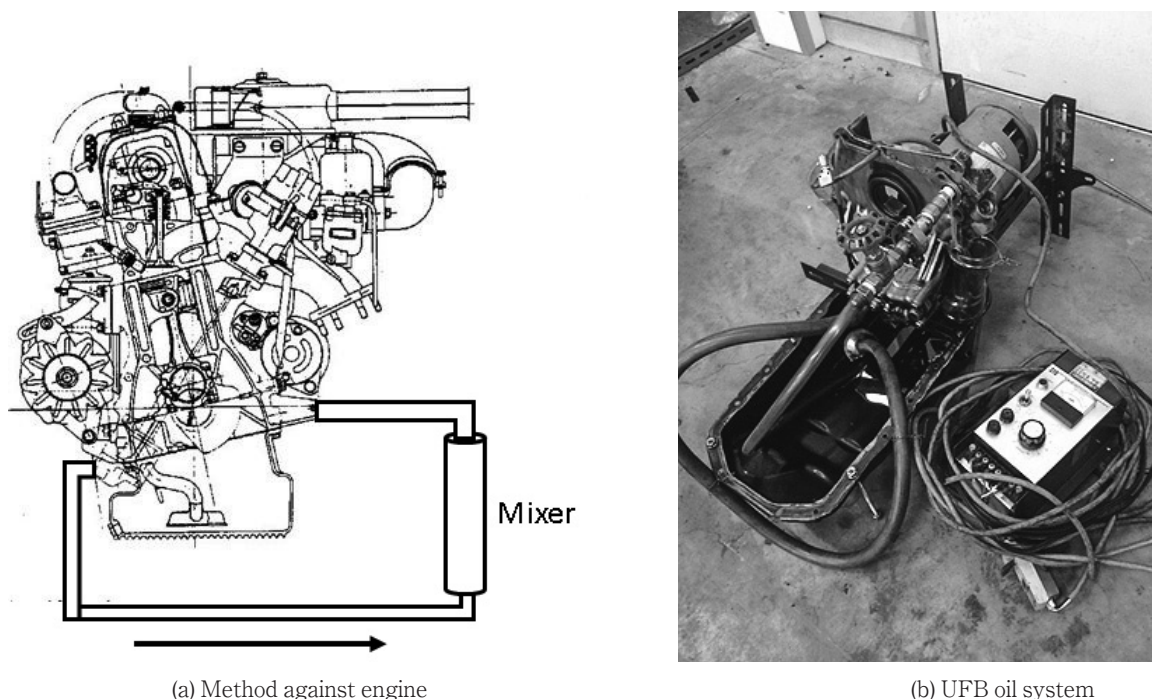


Fig. 6 Application example

のである。

4. 結 言

本研究は、加圧溶解攪拌型ミキサを用いることでUFB オイルを生成し、フリクションロス低減を目的としたものであり、以下の結論を得た。

- (1) ミキサを使用することでエンジンオイル内にUFBを混入させることができ、UFBがエンジンオイルに滞在し続けることが確認された。
- (2) UFB混入エンジンオイルを使用することで既存のエンジンにおける燃費の改善が見られた。

文 献

- (1) 稲垣英人, 許斐敏明, “内燃機関のシリンダ壁面油膜がオイル消費におよぼす影響”, 日本機械学会論文集B編, Vol. 70, No. 700 (2004-12), pp. 04-0063.
- (2) 三原雄司, 染谷常雄, “薄膜センサによる滑り軸受の油膜圧力分布計測の研究”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 42, No. 4 (2007),
- (3) 北村奈美, “潤滑油の消泡”, 日本船用機関学会誌, Vol. 26 No. 11 (1991-11)