

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：56302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04587

研究課題名（和文）VGPに対応した船用機関用環境配慮型ゲル状潤滑油の開発

研究課題名（英文）Development of Lubricating EA Gel Oil of Marine Engine for VGP

研究代表者

村上 知弘（Murakami, Tomohiro）

弓削商船高等専門学校・商船学科・教授

研究者番号：60280476

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、環境配慮型潤滑油をゲル化することができた。ゲル化の状態は明らかに吸水ゲルとは異なり、SEM画像からも吸水ゲルとは全く異なるフラクタル形状のような構造が見られた。また同潤滑油と本校練習船で使用している非環境配慮型潤滑油をFTIRで測定した結果では、練習船潤滑油が単純なスペクトルを示したのに対し、環境配慮型潤滑油は、スペクトルに多数のピークが表れており特徴的なピークからC=O伸縮結合を示した。また同潤滑油ゲルには温度依存性が見られ、低温度域ではグリース状となる。これらの結果から不飽和脂肪酸のように炭素2重結合をコントロールすれば、融点が制御できることが示唆できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境に配慮した潤滑油の開発に関しては、大学などよりもむしろ海外の石油企業が積極的に開発を行ってきた。日本の企業も追従するように、これらの開発を行ってきた。潤滑剤をゲル状にすることによって、機械摩擦面との吸着作用が増し、油膜形成状況が向上し、グリースなどと比べても潤滑油として長寿命も確認されている。一方、船舶機関室ではこれまで油水分離処理の問題も大きな課題となっている。この点においても油分をゲル化することで、水分との差別化を図り、油と水を効率よく処理できる。本研究の結果から、油膜形成および機械摩擦面との吸着性が向上する。さらにSDGsの観点からも今後は一般商船への展開いくと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, environmentally friendly lubricating oils have been required from the viewpoint of environmental protection. Especially in the United States, there are Vessel General Permit(VGP), and environmentally friendly lubricants must be used. In this study, we tried to gel this environment-friendly lubricating oil. The gelled lubricating oil was observed by SEM, and the greases were compared. From the SEM results, the lubricating oil gel showed a fractal structure, which is one of the characteristics of the gel. Furthermore, it was analyzed by FTIR to investigate how gelation was performed. From these results, a typical spectrum was obtained and the data represented gelation was obtained.

研究分野：高分子ゲル

キーワード：高分子ゲル 環境配慮型潤滑油 VGP

## 1. 研究開始当初の背景

海洋環境保全の問題は、SDGs (Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標))の14番目の目標である「海の豊かさを守ろう」でも掲げられているように世界が取り組まなくてはならない重要課題の一つである。このような世界的な流れにより海洋環境における規制も年々強化されている。また、船舶座礁事故による燃料の海洋流出のような大事故ばかりでなく、船舶では船尾管や可変ピッチプロペラ、スラスタなどが海水と接しているため、潤滑油の微小な流出は日常的に起こっている。これらに関しても見逃せない状況になってきており、船舶に関して、アメリカの環境庁(US Environmental Protection Agency : EPA)が定める汚濁物質防止削減制度でも船舶の航行におけるオイルに関する偶発的な流失を規制している。特に船舶入港規制 (Vessel General Permit: VGP) では「環境に配慮した潤滑油」の使用を義務づけている。2008年から努力目標としていたが、2013年12月より「アメリカに入港するすべての船舶操船社は海水に接するオイルすべての機器に環境に配慮した潤滑油を使用しなければならない」とされ、さらに2018年に同規制は延長され継続となっている。このように船舶では環境配慮型潤滑油の使用は絶対条件となりつつある。これまでの非環境配慮型の代表である鉱物油ベースの潤滑油からの転換が急務となっている。

一方、潤滑油は機械を安定して運転させるために摩耗・摩擦を低減させるものであり、機械摺動部間にしっかりと油膜を形成し続ける必要があり、船舶機器に欠かせないものである。通常、油というと燃料油に注目されるが、海と接するという観点で見ると潤滑油の重要性は高い。潤滑油の性能に関して、上述のように油膜の形成保持が需要である。この点を考慮すると液体よりも流動性の少ないゲル化が有効であると考えられる。流動性が少ないことを考慮するとグリースもがんが得られるが、より液体に近い挙動を示すゲルがり有効であると思われる。

潤滑油のゲル化に関しては、これまでに設楽や大野らを中心に進められてきており、温度による低摩擦性を持ち、液体潤滑油に比べ機械摩擦面との吸着作用が増し、油膜形成状況が向上し、グリースなどと比べても潤滑油として長寿命も確認されている[1-2]。

一方、潤滑油の船舶機関室での使用は陸上で扱う機械と違い、海水との混合という陸上とは異なる環境での使用となっている。このため船用機関において、環境配慮型潤滑油の使用に伴うメンテナンスの向上や油水(海水)処理方法が近年の課題の一つとなっている。

ここで油のゲル化に関して、これまで筆者らはいくつかの油水分離などの観点から吸油性ゲルを作製してきた[3-4]。それらを応用することによって、新しい潤滑油ゲルを作製できると考えた。本研究では海洋環境を守ることと潤滑効果を考えた環境配慮型潤滑油ゲルの作製を試み、これまでの非環境配慮型潤滑油ゲルとともにフーリエ変換赤外分光光度計 FTIR を用いて比較検討を行った。

## 2. 研究の目的

本研究では、VGP に対応した船用機関用環境配慮型潤滑油のゲル化を目指し、環境配慮型ゲル状潤滑油の開発を目的とする。船舶で使用される潤滑剤は、従来ほぼ液状の油を使用しているため、潤滑油をゲル状にすることで、油膜形成の向上や長寿命となり、メンテナンスに関しても機器からの漏えいの減少だけでなく、油水分離処理にも十分に活用できる。これらの成果が、船用機関の取り扱い方を著しく変化させると考えられる。また船舶機関室ではこれまで油水分離処理の問題も大きな課題となっており、油分をゲル化することで、水分との差別化を図り、油と水を効率よく処理できると期待できる。これまでの研究は、非環境配慮型である鉱物油ベースに限られており、環境配慮型のゲル状潤滑油はないため、本研究の成果で、船舶の機関運転等が変わり、効率的な運用に寄与できると考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究で使用する潤滑油は、環境配慮型潤滑油として市販の 600 di jet (MOTUL) と非環境配慮型潤滑油として本校練習船弓削丸で使用している潤滑油を用いた。

またゲルの表面状態を調べるための実験に走査型電子顕微鏡(SEM)(ERA-8900FE、株式会社エリオニクス)を使用した。試料は、比較のため1200倍と5000倍で撮影した。

さらに環境配慮型潤滑油と本校弓削丸の潤滑油及びそれぞれの試料ゲルをフーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)(JASCO FT-IR4600)で測定を行い、得られたスペクトルデータからその違いの分析を行った。その後、環境配慮型潤滑油と非環境配慮型潤滑油に12ヒドロキシステアリン酸を添加しゲル化を試みた。そして得られた試料をFTIRで測定し、どのような変化が起きているか分析した。

## 4. 研究成果

はじめに非環境配慮型潤滑油ゲルを SEM で撮影したものを図 1 及び図 2 に示す。図 1 の写真は約 1200 倍である。ブロッコリーのような模様を示し、フラクタル形状が見られる。さらに図 2 に同ゲルの 5000 倍の SEM 画像を示す。倍率を上げてさらに同様な模様がはっきりと見られ、フラクタル形状が現れていることがわかる。このようなフラクタル構造はゲルの凝集体で見られる独特な構造であり、本試料である潤滑油がゲル化していることを視覚的に示している。

また環境配慮型潤滑油と本校弓削丸で使用している非環境配慮型潤滑油を FTIR で測定した結果を図 3 及び図 4 にそれぞれ示す。

図 3 は、弓削丸で使用している非環境型潤滑油は鉱油ベースであるためごく普通の油と同様な単純なスペクトルを示している。C-H 伸縮振動 (3000 ~ 2840  $\text{cm}^{-1}$  間のピーク) と C-H 変角振動 (1500 ~ 600  $\text{cm}^{-1}$  間の三つのピーク) が見られることからオクタンが主な構成物質であることが分かる。

一方、図 4 は、環境配慮型潤滑油は複雑な化学合成油であり、スペクトルに多数のピークが表れており特徴的な 1750  $\text{cm}^{-1}$  付近のピークから C=O 伸縮結合が示されていることが分かる。これによりカルボニル化合物の存在を示し、エステルが含まれると分かる。この環境配慮型潤滑油をゲル化させ、再度 FTIR で分析した。その結果を図 5 に示す。

図 5 では、様々なピークが乱立し、ゲル化の状況を示すが、特にエステル基 (-COO-) に由来する特徴的なピークが 1740  $\text{cm}^{-1}$  付近に検出された。一方、油の融点は脂肪を構成する脂肪酸によって決まるため、不飽和脂肪酸のように炭素 2 重結合をコントロールすれば、融点がコントロールできることが示唆できた。

一般的に潤滑油は、機械を安定して運転させるために摩耗・摩擦を低減させるものである。そのために機械修道部間にしっかりと油膜を形成し続ける必要がある。また潤滑油の漏えいにより、油膜の形成保持に影響を及ぼすことを考慮するとき、流動性の少ないゲル化が有効である。さらに環境によってグリースより、液体に近い挙動を示すことがゲルでは可能である。

これまで潤滑油のゲル化に関しては、設楽らが常温で半固体のグリース状で、加熱すると液状になる熱可逆性のアミド系ゲル状潤滑油を作成し、潤滑性のみならず低摩擦特性を持つことが報告されてきた[1-2]。また潤滑油をゲル状にすることによって、液体潤滑油に比べ油膜形成が向上し、また漏えいも少なく、液状である海水との油水分離処理も容易になると考えられる。さらに佐賀大の大野らによると潤滑剤をゲル状にすることによって、機械摩擦面との吸着作用

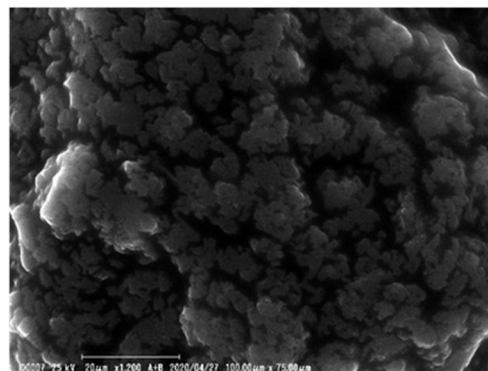


図 1 非環境配慮型潤滑油ゲル SEM(1200 倍)

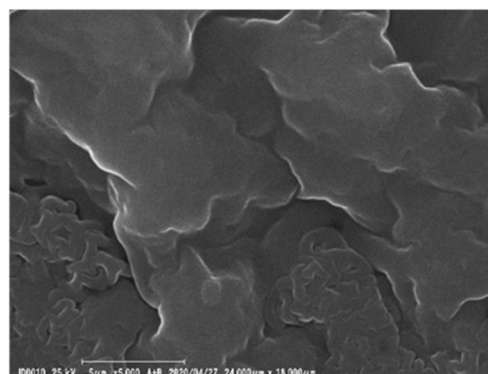


図 2 非環境配慮型潤滑油ゲル SEM(5000 倍)

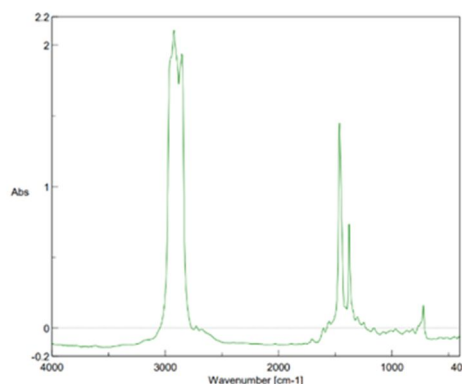


図 3 弓削丸使用の通常潤滑油

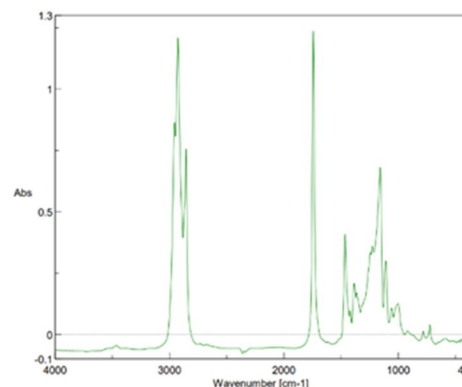


図 4 環境配慮型潤滑油

が増し、油膜形成状況が向上し、グリースなどと比べても潤滑油として長寿命も確認されている [6]。

本研究では、潤滑油をゲル化することができた。詳細な議論には至っていないが、ゲル化の状態が明らかに吸水ゲルとは異なり、SEM 画像からも吸水ゲルとは全く異なるフラクタル形状のような構造が見られた。一般的なグリースの SEM 画像で見られる増ちょう剤の形状とも大きく異なる。また同ゲル潤滑油は応答速度の速い熱可逆性を有しており、作業環境に適応して働くものと考えられる。環境配慮型潤滑油と本校弓削丸で使用している非環境配慮型潤滑油を FTIR で測定した結果では、弓削丸の潤滑油は鉱油ベースの単純なスペクトルを示し、C-H 伸縮振動 (3000 ~ 2840  $\text{cm}^{-1}$  間のピーク) と C-H 変角振動 (1500 ~ 600  $\text{cm}^{-1}$  間の三つのピーク) が見られること

からオクタンが主な構成物質であることが分かる。一方、環境配慮型潤滑油は複雑な化学合成油であり、スペクトルに多数のピークが表れており特徴的な 1750  $\text{cm}^{-1}$  付近のピークから C=O 伸縮結合が示されていることが分かる。これによりカルボニル化合物の存在を示し、エステルが含まれると分かる。この環境配慮型潤滑油をゲル化させ、再度 FTIR で分析した。

本潤滑油をゲル化させると温度依存性が見られ、低温度域ではグリース状に固形化される。同ゲルを SEM で観察すると SEM 画像 (1200 倍 ~ 5000 倍) から倍率を変えてもブロッコリーのような特異なフラクタル形状が見られる。つまり油の融点は、脂肪を構成する脂肪酸によって決まるため、不飽和脂肪酸のように炭素 2 重結合をコントロールすれば、融点がコントロールできることが示唆できた。

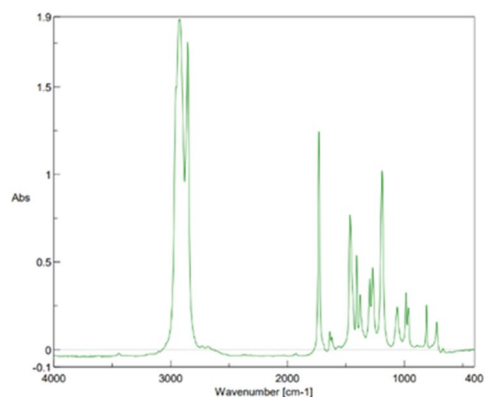


図 5 環境配慮型潤滑油ゲル

## 参考文献

- [1] 設楽裕治, ENEOS Technical Review, 第 53 巻, 第 3 号, (2011).
- [2] 設楽裕治, トライボロジスト, 58 巻, 10 号, P 722-727, (2013).
- [3] classNK テクニカルインフォメーション, No. TEC-0986, (2014).
- [4] 村上知弘, 馬越翔吾, 池田真吾, マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P47-48 (2011).
- [5] 村上知弘, 池田真吾, 黒川耀工, 鶴村凜太郎, マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P139-140, (2018).
- [6] Toshikazu Ono, Takahiro Sugimoto, Seiji Shinkai, Kazuki Sada : Nature Materials , 6, P429-433, (2007).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomohiro Murakami	4. 巻 4
2. 論文標題 Development of Lubricating EA Gel Oil of Marine Engine for VGP	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 57-59
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 村上知弘、佐久間一行、池田真吾、佐藤圭司	4. 巻 44
2. 論文標題 VGPIに対応した環境配慮型潤滑油のゲル化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 弓削商船高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村上知弘
2. 発表標題 環境配慮型潤滑油のゲル化
3. 学会等名 第90回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上 知弘、池田 慎吾、黒川 耀工、鶴村 凜太郎
2. 発表標題 環境配慮型ゲル状潤滑油の開発
3. 学会等名 第 88回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	池田 真吾  (Ikeda shingo)  (00749707)	弓削商船高等専門学校・商船学科・助教    (56302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------