

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560139

研究課題名（和文） 可視域アレイ導波路回折格子を用いた超小型高感度潤滑油劣化センシングシステムの開発

研究課題名（英文） Development of micro scale lubricant deterioration sensing system with high sensitivity using an arrayed waveguide grating in visible region

研究代表者

本田 知己（HONDA TOMOMI）

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80251982

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、劣化状態が明確な劣化油の作製方法を確立し、段階的に劣化度の異なる劣化油のメンブランパッチの色と赤外分光分析法により段階的に劣化度の異なる劣化油の化学構造の変化について調査した。その結果、プロアクティブ保全のキーポイントとなる第一段階の酸化生成物の検出の可能性を見いだした。さらに、極微量の試料油で簡便に劣化診断ができるチップ型センシング装置開発の前段階として、潤滑油中に直接挿入しオンラインでモニタリング可能な光学センシング装置の試作・評価を行った。実機ギヤ油にて検証を行った結果、本研究で考案した色パラメータが潤滑診断に有効であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

We prepared sample oils which were oxidized in the laboratory using a rotary pressure vessel oxidation test (RPVOT) apparatus. We measured the color of membrane patches produced from sample oils using the colorimetric patch analyzer. The relationship between the color and the FT-IR analysis were investigated. As a result, the possibility of the detection of the oxidation product in the first stage that became the key point of a proactive maintenance was found. Furthermore, as the former stage of the chip type sensing device development, the optical sensing device that is able to be directly monitored in the lubricant was made for trial purposes and it was evaluated. It was found that the color parameter designed in this present study is effective to a lubrication diagnosis for the real machine gear oil.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2010 年度 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |
| 2011 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2012 年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学，機械機能要素，トライボロジー

キーワード：トライボロジー，モニタリング，潤滑油，劣化診断，導波路回折格子

1. 研究開始当初の背景

(1)国内外の研究動向及び位置付け

これからのメンテナンス技術には、「原因除去型保全」が切望されている。安全、安心が叫ばれる現在の状況下で、ますます使用条件が厳しくなる発電プラントや航空機などの運転状態を安全に保つために、迅速かつ精度の高い潤滑油管理が必要とされている。しかしながら、現在行われている粒子計測やASTM色による方法では油の劣化度を劣化の初期段階から精度良く診断することが非常に困難であり、新しい劣化診断法の確立が世界共通の課題となっている。

(2)これまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯

本課題申請の研究グループでは、時間基準保全が主流だった15年以上前から状態基準保全の必要性を重視し、そのための解析ツールとして、オンライン油中粒子分析装置とソフトウェア開発を行ってきた(平成7,8年度の試験研究(B)(1),平成11,12年度の基盤研究(B)(2)の課題)。これにより、その場で摺動面の劣化状態、とくに異常の前兆の診断が可能であることを立証できたが、摺動面劣化のさらに前段階である潤滑油の健全性について知ることはできず、故障の根本原因を除去するものではなかった。そこで、予知保全の次の段階として、原因除去型保全の手法を確立すべく、汚染物の色相判別の研究に着手した。これらの取組みは、本田を代表とした平成19~21年度の基盤研究(C)の課題として行われた。その結果、潤滑油の劣化状態をフィルタで捕捉された汚染物から得られる色情報(メンブランパッチの色)で表現できることが分かり、汚染物の色による潤滑油の劣化診断の可能性を見出した。一方で、メンブランパッチを用いる方法は、潤滑油を濾過するなどのオフラインの作業を必要とするため、さらに測定技術を高度化し、利便性を向上させる新たな手法の開発が必要と考え、本課題の着想に至った。

(3)これまでの研究成果の内容

タービン油の劣化現象に関して、酸化による劣化と摩耗粉による劣化の両試験を行い、各試験における劣化の進行度合いを、フィルタで捕捉された汚染物から得られる色情報(RGB)で表現できることが分かり、汚染物の色による潤滑油の劣化診断の可能性を見出した。とくに、劣化の初期段階である油の酸化過程における酸化生成物の種類とその色との関係を明らかにした点が、国内外で高く評価された。(日本機械学会機素潤滑設計部門 2008年度 優秀講演)

2. 研究の目的

これまでの科研費の採択を受けて行ってきた研究成果をさらに発展させ、劣化初期段

階での潤滑油診断ができる、可視域アレイ導波路回折格子を用いた超小型高感度潤滑油劣化センシングシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1)【平成22年度】

模擬酸化劣化油およびメンブランパッチの色と分光光度計を用いた透過率・反射率との関係から、劣化診断のための適切な分析波長を特定する。

- ①模擬酸化劣化油の色傾向(RGB値)の調査
- ②模擬酸化劣化油の色と透過率との関係
- ③メンブランパッチの色と反射率との関係

(2)【平成23年度】

模擬酸化劣化油の色と潤滑油の物理化学特性との関係から、独自の色パラメータと適切な劣化度診断(予寿命判定)しきい値を考案する。

- ①模擬酸化劣化油の色と油の性状値(全酸価、動粘度)や酸化物の分子構造・分子量(FT-IR, GPCによる分析)との関係
- ②模擬酸化劣化油と新油の混合比と酸化劣化進行過程の関係
- ③劣化度判定しきい値と色パラメータの考案および可視域アレイ導波路回折格子の試作

(3)【平成24年度】

測定法の標準化を行うとともに、実機潤滑油の劣化進行過程のモニタリング試験を行う。

- ①フィールドテストによる実機潤滑油の劣化進行過程のモニタリング
- ②潤滑油の可視域分光特性による劣化診断と汚染物粒子解析による劣化診断結果との複合化
- ③超小型高感度潤滑油劣化センシングシステムの構築

4. 研究成果

(1)【平成22年度】

模擬酸化劣化油およびメンブランパッチの色と分光光度計を用いた透過率・反射率との関係から、劣化度診断に適した分析波長を特定する試みを行った。

- ①劣化履歴の明確な酸化劣化油を作製する手法について検討し、作製方法を確立した。
- ②自動滴定装置、デジタル粘度計により劣化時間毎の全酸価と動粘度を測定した。また、FT-IR分析により、酸化生成物の構造解析を行った。これらの分析と同時に、同じ劣化油をメンブランフィルタにて濾過した潤滑油汚染物の色をRGB各色256階調で表現し、汚染物の色と試料油の物理化学的性質との関係を明らかにした。

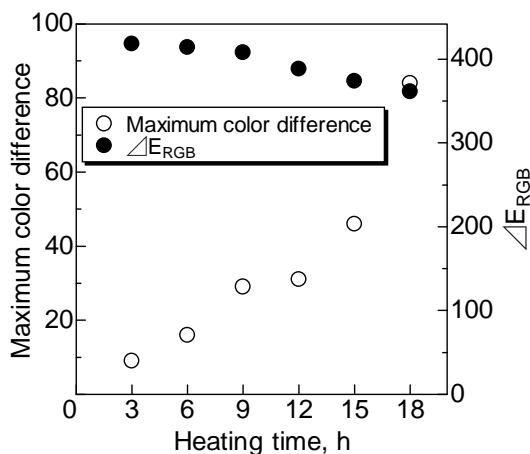


図1 加熱時間と色パラメータとの関係

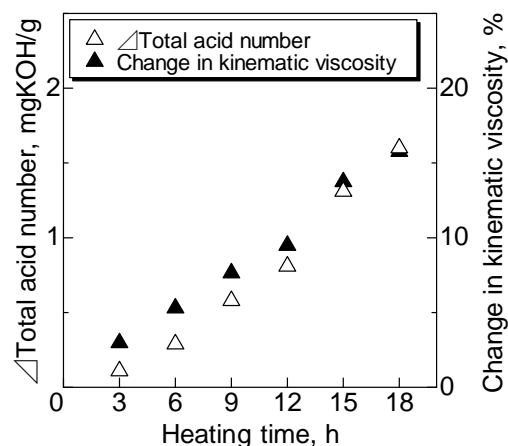


図2 加熱時間と全酸価、動粘度との関係

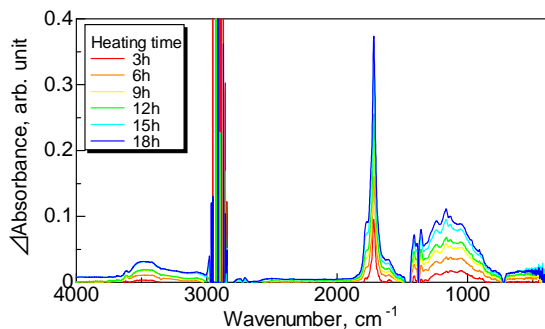


図3 酸化劣化油のIRスペクトル

(2) 【平成23年度】

模擬酸化劣化油の色と潤滑油の物理化学特性との関係から、独自の色パラメータと適切な劣化度診断（予寿命判定）しきい値を考案する。

①模擬酸化劣化油の色と油の性状値（全酸価、動粘度）や酸化物の分子構造・分子量（FT-IR, GPCによる分析）との関係を調べた。

②現有の分光光度計を用いて、汚染物の反射率や劣化油の透過率とRGB値との関係を明らかにした。

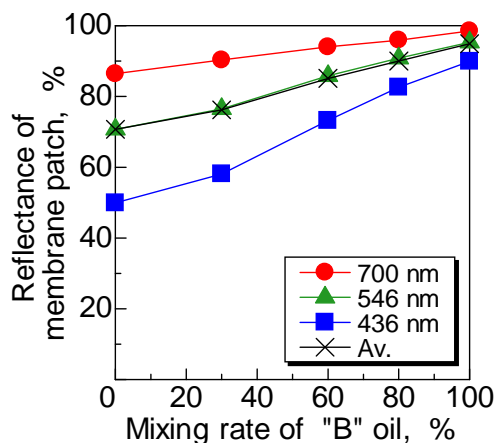


図4 汚染油含有率と反射率との関係

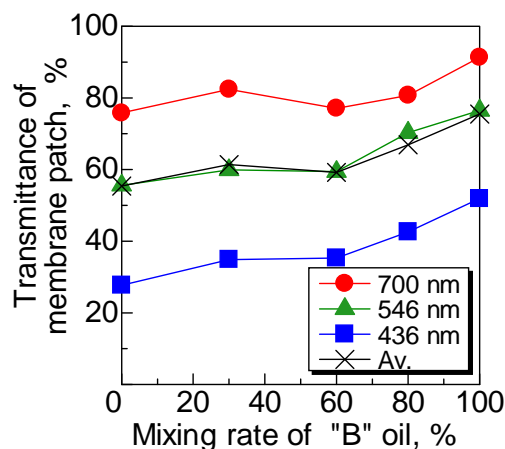


図5 汚染油含有率と透過率との関係

(3) 【平成24年度】




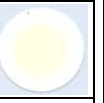


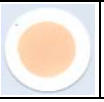
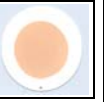

測定法の標準化を行い、実機潤滑油の劣化進行過程のモニタリング試験を行う。

①極微量の試料油で簡便に劣化診断ができるチップ型センシングモジュール開発の前段階として、潤滑油中に直接挿入しオンラインでモニタリング可能な光学センシング装置の試作・評価を行った。実機ギヤ油にて検証を行った結果、本研究で考案した色パラメータが潤滑診断に有効であることがわかった。

②試料油の劣化度と測定感度の関係を調べるために、初期の酸化状態を細かく段階的に変化させた試料油を作製し実験を行った結果、汚染物の色と試料油の化学的性質との関係が明らかになり、プロアクティブ保全のキーポイントとなる第一段階の酸化生成物を検出可能であることがわかった。

③発電所のタービン軸受オイルを定期的にサンプリングし、劣化進行過程をモニタリングした結果、本研究で考案した色パラメータが潤滑診断に有効であることがわかった。

表 1 模擬酸化劣化油のメンブランパッチ

| | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|
| Drop in pressure, PSI | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Images |  |  |  |  |
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| |  |  |  |  |
| | 9 | | | |
| |  | | | |

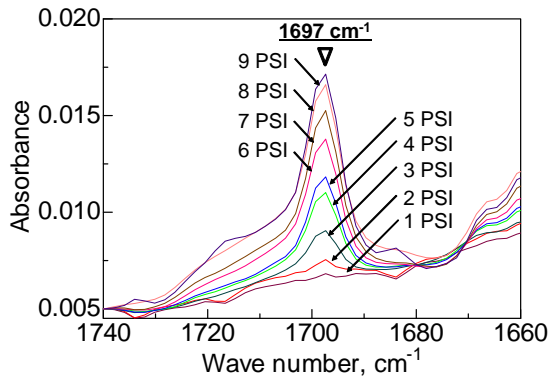


図 6 第一段階酸化生成物の IR スペクトル

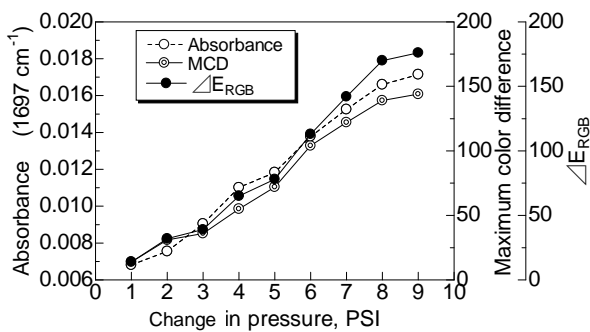


図 7 圧力変化と IR 吸光度，色パラメータとの関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

A. Sasaki, H. Aoyama, T. Honda, Y. Iwai, C.K. Yong

A Study of the Colors of Contamination in Used Oils

Tribology Transaction, (2013) 掲載決定

[学会発表] (計 13 件)

① 本田知己，田中清隆，岩井善郎，佐々木徹
メンブランパッチの色によるタービン油の

酸化劣化診断法の開発

第 11 回 評価・診断に関するシンポジウム，
川崎，2012.12.11

② 本田知己，田中清隆，岩井善郎，佐々木徹
メンブランパッチの色相解析による潤滑油
劣化診断法の開発

日本機械学会 2012 年度年次大会，2012.9.10

③ 本田知己，田中清隆，岩井善郎，佐々木徹
潤滑油劣化診断のためのメンブランパッチ
の色相特性評価

トライボロジー会議 2012 春 東京，
2012.5.14

④ T. Honda, A. Sasaki, Y. Iwai

Development of Highly Sensitive
Measuring Method of the Membrane Patch
Color for the Diagnosis of the Lubricating
Oil

2012 STLE Annual Meeting & Exhibition,
2012.5.9

⑤ A. Sasaki, H. Aoyama, T. Honda, Y. Iwai,
C.K. Yong

Contamination Control of Hydraulic Oils
by Colorimetric Patch Analysis (CPA)

2012 STLE Annual Meeting & Exhibition,
2012.5.8

⑥ 田中清隆，本田知己，岩井善郎，佐々木徹
メンブランパッチの色による油の状態監視
法

第 10 回 評価・診断に関するシンポジウム，
大阪市，2011.12.15

⑦ T. Honda, K. Tanaka, Y. Iwai, A. Sasaki
Color characterization of membrane
patches for the diagnosis of the
degradation level of lubricating oils

International Tribology Conference,
Hiroshima2011, 2011.11.2

⑧ A. Sasaki, T. Honda, Y. Iwai, N. Becker

The State-of-the-Art Fukui Model
Colorimetric Patch Analysis To Check
Contamination in Hydraulic and
Lubricating Oils

3rd European Conference on Tribology,
2011.6.7

⑨ T. Honda, H. Aoyama, Y. Iwai, A. Sasaki
Color Analysis of Membrane Patches using
a Transmitted Light

2011 STLE Annual Meeting & Exhibition,
2011.5.18

⑩A. Sasaki, H. Aoyama, T. Honda, Y. Iwai
A Study of the Colors of Contamination in
Used Oils
2011 STLE Annual Meeting & Exhibition,
2011.5.16

⑪本田知己, 青山英雄, 岩井善郎, 佐々木徹
メンブランパッチの色による油の状態監視
法
第9回 評価・診断に関するシンポジウム,
高松市, 2010.12.16

⑫T. Honda, H. Aoyama, A. Sasaki, Y. Iwai
Condition monitoring method of
lubricating oil by the colorimetric
analysis
STLE/ASME 2010 International Joint
Tribology Conference, 2010.10.20

⑬本田知己, 青山英雄, 岩井善郎, 佐々木徹
メンブランパッチの透過率を用いた潤滑油
の状態監視法
トライボロジー会議 2010 秋 福井,
2010.9.14

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: Oil state monitoring method and oil
state monitoring device

発明者: T. Honda, Y. Iwai, A. Sasaki

権利者: National University Corporation
University of Fukui

種類: 特許

番号: PCT 出願 WO2010/150526 A1

取得年月日: 2011.12.13

国内外の別: 国外

○取得状況 (計2件)

(1)

名称: 油状態監視方法および油状態監視装置

発明者: 本田知己, 岩井善郎, 佐々木徹

権利者: 国立大学法人福井大学, 佐々木徹

種類: 特許

番号: 第5190660号

取得年月日: 2013.2.8

国内外の別: 国内

(2)

名称: Oil state monitoring method and oil
state monitoring device

発明者: T. Honda, Y. Iwai, A. Sasaki

権利者: National University Corporation
University of Fukui

種類: 特許

番号: US 8,390,796 B2

取得年月日: 2013.3.5

国内外の別: 国外

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 知己 (HONDA TOMOMI)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 80251982

(2) 研究分担者

岩井 善郎 (IWAI YOSHIRO)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 40115291