

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420086

研究課題名(和文) 潤滑油劣化進行メカニズムの解明によるプロアクティブ診断法の創出

研究課題名(英文) Creation of the proactive diagnosis method by elucidation of deterioration progressing mechanism for the lubricating oil

研究代表者

本田 知己 (HONDA, TOMOMI)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80251982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、潤滑油の劣化の極初期段階での劣化進行メカニズムを解明することにより、潤滑油の「プロアクティブ診断法の創出」を目指した。

顕微FT-IRを用いたその場分析による酸化変質物の初生・成長過程を可視化できる技術を構築し、ろ過油温とメンブランパッチの色及び酸化生成物との関係について明らかにした。また、標準サンプルとなる模擬劣化油の作製法を確立し、酸化変質物の成長段階とその物理化学特性との関係について明らかにした。さらに、実機試料油の予寿命を予測する試みの一つとして、酸化加速試験法の一つであるDry TOSTとRPVOT値との関係を調べ、予寿命予測法の妥当性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, it aimed to create a proactive diagnosis method by elucidation of deterioration progressing mechanism in the earliest stage of the deterioration of the lubricating oil. We investigated the effect of filtration oil temperature on the color of membrane patch when we filter oxidized turbine oil by using a FT-IR microscopes with cooling and heating stage. As a result, we found high oil temperature causes oxidation products to cut hydrogen bond, and the membrane patch's color became light. And, we found that the color of membrane patches became to brown color as oxidation of hydrocarbon, and color parameters of the membrane patch increased with increasing hydroperoxide number. Furthermore, it is found that there is good relationship between the color of the membrane patch and the RPVOT residual ratio. Results show that the new estimation method, which uses both CPA and Dry TOST, is able to monitor decreased RPVOT residual ratios.

研究分野：工学

キーワード：トライボロジー 潤滑油劣化診断

1. 研究開始当初の背景

これからの機械設備状態監視技術には、「プロアクティブ診断法」の確立が切望されている。2011年3月11日に起こった東日本大震災によって、原子力発電に代わり、安定した電力供給を確保するためにコンバインド・サイクル発電などに頼らざるをえなくなっている。米国では、1979年に起こったスリーマイル島原発事故以後、世界に先駆けてコンバインド・サイクル発電を積極的に導入してきた。しかしながら、高い熱効率で運転するためには、ガスタービン入口のガス温度をできるだけ高くすることが必要であり、その結果、タービンを支える軸受の潤滑油の酸化によって生じる酸化変質物 (varnish) による重大な故障が頻繁に発生するようになった。申請者は、潤滑油の酸化変質物を色で判別する方法について1998年から研究してきた。その研究成果は、潤滑油の酸化変質を早い段階で検知することのできる唯一の方法として国内外の学会で発表され、特に欧米の学会で注目されてきた。さらに、我々の研究に対し、劣化の極初期段階での劣化関連物質の特定とその診断法の提示が期待されるようになった。人の健康診断に例えるなら、自覚症状が出てから精密検査によりがんを発見し、外科的方法で病巣を取り除くのではなく、がんに関連の深い物質を特定し、がんを発症する前にそれを検知し、早い段階で無害化する方策を施す診断法といえる。

申請者は、予知保全の次の段階である、原因除去型保全の手法を確立すべく、1998年に汚染物の色相判別の研究を開始した。これらの取組みは、申請者を研究代表者とした基盤研究(C)の課題として平成18年から24年まで行われた。その結果、フィルタで捕捉された汚染物から得られる色情報で潤滑油の劣化状態を表現できることが分かり、汚染物の色による潤滑油劣化診断の可能性を見出した。さらに、精度の高い診断方法を確立するためには、酸化変質物の初生・成長に影響を及ぼす因子の特定とその劣化進行メカニズムの解明が最も重要と考え、本課題の着想に至った。

2. 研究の目的

機械の安心・安全運転や長寿命化、石油資源の有効利用の決め手は、「機械の血液」とも表現される潤滑油の「プロアクティブ診断」である。本研究では、潤滑油の劣化の極初期段階での劣化進行メカニズムを解明することにより、潤滑油の「プロアクティブ診断法の創出」を目指す。そのための具体的研究課題として、顕微 FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) を用いたその場分析による酸化変質物の初生・成長過程の可視化、標準サンプルとなる模擬劣化油作製法の確立、ナノ界面解析による酸化変質物の固体表面への吸着現象とその物理特性の解明、を掲げ、これらの成果を総括す

ることで、プロアクティブ診断法とそのための定量的な診断基準を提示することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 【平成25年度】

顕微 FT-IR を用いたその場分析による酸化変質物の初生・成長過程を可視化できる技術を構築する。

顕微 FT-IR 用冷却加熱ステージを用いたその場分析システムの構築
潤滑油中酸化変質物の温度依存性の解明

(2) 【平成26年度】

標準サンプルとなる模擬劣化油 (実機における潤滑油の劣化段階を再現した油) の作製法を確立し、酸化変質物の成長段階とその物理化学特性との関係について明らかにする。

劣化履歴の明確な模擬酸化劣化油の作製
模擬酸化劣化油の性状値 (全酸価、動粘度) や酸化変質物の分子構造・分子量 (FT-IR、GPC による分析) との関係
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) 【平成27年度】

中性子反射率法や走査プローブ顕微鏡によるナノ界面解析により、酸化変質物の固体表面への吸着現象とその物理特性について明らかにし、潤滑油の劣化進行メカニズムの解明に役立てる。

走査プローブ顕微鏡による固体表面へ吸着した酸化変質物の凝着力・水平力測定
発電所のタービン軸受潤滑油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する。

4. 研究成果

(1) 【平成25年度】

顕微 FT-IR を用いたその場分析による酸化変質物の初生・成長過程を可視化できる技術を構築した。

顕微 FT-IR 用冷却加熱ステージを導入し、潤滑油の劣化因子である酸化変質物の初生・成長過程をその場分析できるシステムを構築した。

潤滑油中酸化変質物の温度依存性を調べるために、可溶性の酸化変質物が溶ける温度から徐々に潤滑油を冷却し、一定温度間隔で FT-IR を用いた分析を行った。これにより、酸化変質物の生成段階とその温度依存性を明らかにした。この分析結果と潤滑油をろ過したあとの酸化変質物の色との相関を調べ、本研究で用いている色パラメータが、潤滑油の劣化状態を監視する基準として有用であることを示した。

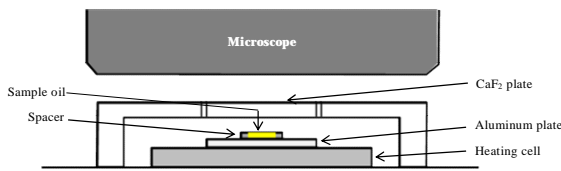


図1 顕微 FT-IR 用冷却加熱ステージを用いたその場分析システム

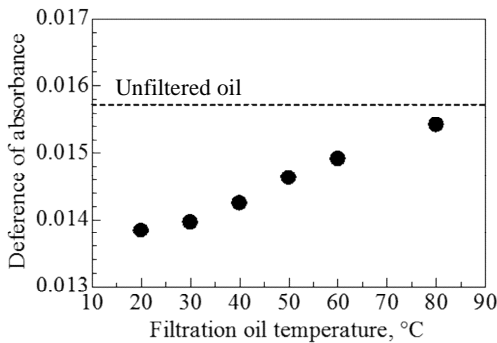


図2 各温度でろ過後の酸化油における 1697 cm⁻¹での吸光度の新油との差

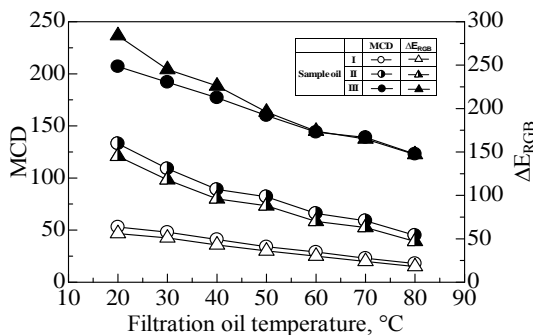


図3 油温とメンブランパッチの色パラメータとの関係

(2) 【平成 26 年度】

標準サンプルとなる模擬劣化油（実機における潤滑油の劣化段階を再現した油）の作製法を確立し、酸化変質物の成長段階とその物理化学特性との関係について明らかにすることを目的として研究を実施した。

潤滑油酸化安定性評価試験機 (RPVOT) を用いて、劣化履歴の明確な酸化劣化油を作製する手順を規定した。特に、触媒である銅コイルを入れないこと、高温状態から取り出すこととした。

模擬酸化劣化油をろ過したときのフィルタの色と酸化変質物との関係を調べるために、ガスクロマトグラフにより物質を特定した。その結果、酸化防止剤の残存率とフィルタの色との間に良い相関が見られることがわかった。

実機における更油量の定量化のために、模擬酸化劣化油と新油の混合比を変えた試料油について FT-IR と RPVOT を用いてその性状回復過程を詳細に調べた結果、RPVOT 値とメンブランパッチの色との間に良い相関が見られることがわかった。

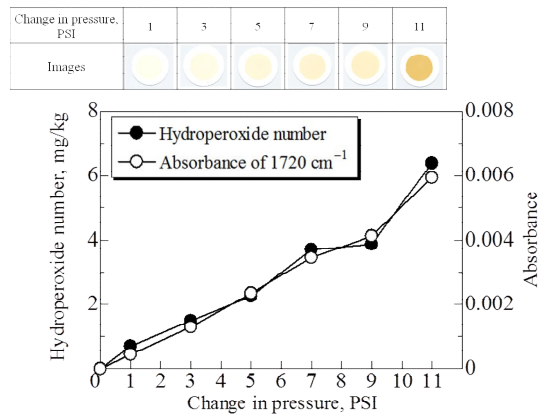


図4 酸化劣化度と酸化変質物の成長過程との関係

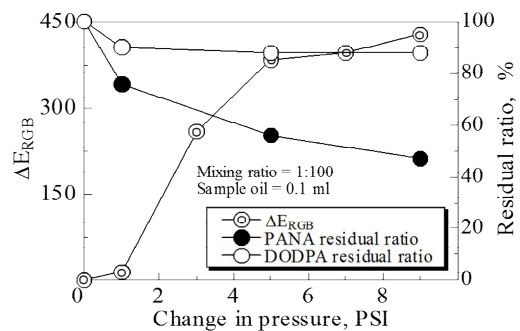


図5 酸化劣化度と酸化防止剤残存率及び E_{RGB} との関係

(3) 【平成 27 年度】

ナノ界面解析により、酸化変質物の固体表面への吸着現象とその物理特性について明らかにするために、以下の実験研究を行った。走査プローブ顕微鏡による固体表面へ吸着した酸化変質物の凝着力・水平力測定することで、トライボロジー特性に及ぼす影響を考察した。

発電所のタービン軸受潤滑油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する過程で、実機潤滑油の劣化進行過程とメンブランパッチの色による測定値との関係を求め、それが実際の機械診断に適用できることを確かめた。さらに、実機試料油の予寿命を予測する試みの一つとして、酸化加速試験法の一つである Dry TOST と RPVOT 値との関係を調べ、予寿命予測法の妥当性を示した。

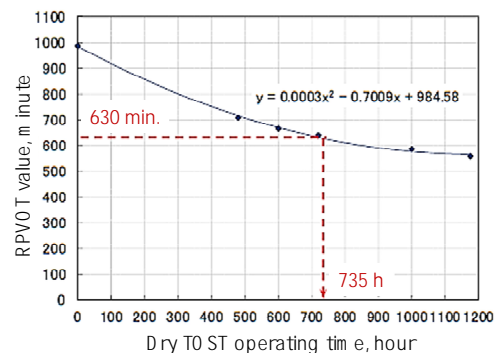


図6 新油での Dry TOST と RPVOT との関係

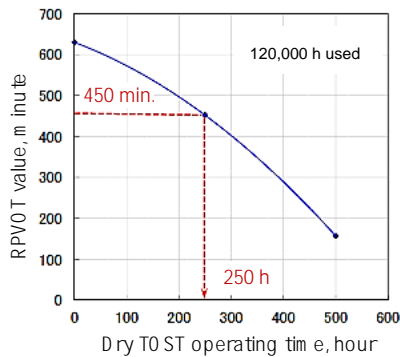


図7 使用油でのDry TOSTとRPVOTとの関係

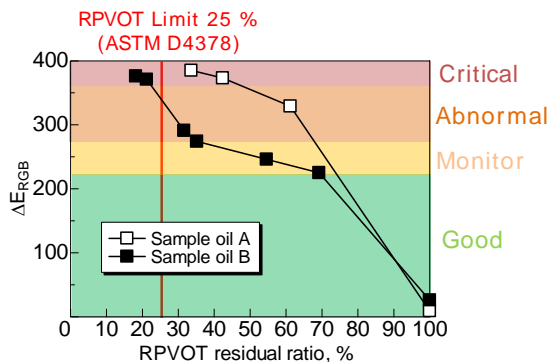


図8 実機潤滑油の劣化進行度(RPVOT残存率)とメンブランパッチの色との関係

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 2 件)

A. Sasaki, H. Aoyama, T. Honda, Y. Iwai, C.K. Yong
A Study of the Colors of Contamination in Used Oils
Tribology Transaction, 57 (2014) 1-10.

本田知己

潤滑油劣化診断の現状と動向
トライボロジスト, 59-6 (2014) 330-335.

[学会発表](計 16 件)

本田知己, 鴻埜和樹, 佐々木徹
メンブランパッチによるタービン油の酸化診断に及ぼす過油温の影響
トライボロジー会議 2015 春 姫路, (2015), 2015.5.27-29

T. Kon, T. Honda, E. Kitahara, A. Yano, A. Sasaki
New Estimation Method for Oxidative Deterioration of Turbine Oils by the Color of Membrane Patch
STLE Annual Meeting & Exhibition 2015 Proceedings (2015), 2015.5.18-21

D. Hamano, T. Honda, A. Sasaki
Development of Depletion Diagnosis Method for the Antioxidants by the Colorimetric Analysis of Membrane Patches
STLE Annual Meeting & Exhibition 2015 Proceedings (2015), 2015.5.18-21

A. Sasaki, K. Matsumoto, T. Honda
A State-of-the-Art Colorimetric Patch Analyzer
STLE Annual Meeting & Exhibition 2015 Proceedings (2015), 2015.5.18-21

A. Sasaki, C. K. Yong, T. Honda
Field Investigation of Turbine Oil Oxidation Products
STLE Annual Meeting & Exhibition 2015 Proceedings (2015), 2015.5.18-21

T. Kon, T. Honda, E. Kitahara, A. Yano, A. Sasaki
Colorimetric Analysis for the Estimation of Oxidative Deterioration of Turbine Oils
The 6th Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2015) USB (2015), 2015.4.23-25

D. Hamano, T. Honda
Development of Degradation Diagnosis Method for Amine Antioxidant by the Colorimetric Analysis of Membrane Patch
The 6th Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2015) USB (2015), 2015.4.23-25

濱野大輔, 本田知己

アミン系酸化防止剤の劣化診断方法の開発
第 13 回評価・診断に関するシンポジウム, 113 (2014), 2014.12.11-12

今 智彦, 本田知己, 北原瑛貴, 矢野昭彦, 佐々木徹
メンブランパッチの色を用いたタービン油酸化劣化推定法
第 13 回評価・診断に関するシンポジウム, 106 (2014), 2014.12.11-12

T. Honda

New Diagnosis Methods of the Lubricating Oils by the Colorimetric Analysis
Czech-Japan Tribology Workshop, Czech Republic, (2014) 2014.11.24-27

今 智彦, 本田知己

炭化水素の酸化過程とメンブランパッチの色との関係
日本機械学会 2014 年度年次大会, S1110502 (2014), 2014.9.8-9

A. Sasaki, K. Matsumoto, T. Honda, Y. Iwai
The Expected Laws on the Change of Colors of Contaminants of Used Lubricating Oils
STLE Annual Meeting & Exhibition 2014 proceedings (2014), 2014.5.18-22

A. Sasaki, T. Honda, Y. Iwai, K. Matsumoto
ASTM D7843 and A State-of-the-Art Colorimetric Patch Analysis
STLE Annual Meeting & Exhibition 2014 Proceedings (2014), 2014.5.18-22

本田知己, 今 智彦, 佐々木徹
タービン油の酸化過程とメンブランパッチの色との関係
第 14 回機素潤滑設計部門講演会, 2312 (2014), 2014.4.21-22

佐々木徹, 本田知己, 岩井善郎, 松本謙司
油中汚染物の色判別法
第 12 回評価・診断に関するシンポジウム, 110 (2013), 2013.12.2-3

鴻埜和樹, 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タービン油の酸化劣化診断法の開発
第 12 回評価・診断に関するシンポジウム, 109 (2013), 2013.12.2-3

〔図書〕(計 1 件)

本田知己 (分担執筆)
第 8 節 油圧・空圧システムにおける潤滑剤の汚染管理
トライボロジー設計マニュアル, (株)テクノシステム, (2015) 2015.5.15

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

(1)
名称: 潤滑油劣化度推定方法および潤滑油劣化度推定装置
発明者: 本田知己, 矢野昭彦, 松岡三治
権利者: 国立大学法人 福井大学, 三菱重工業(株)
種類: 特許
番号: 特願 2014-145095
出願年月日: 2014 年 7 月 15 日
国内外の別: 国内

(2)
名称: 酸化生成物の抽出方法及び抽出システム
発明者: 本田知己, 濱野大輔
権利者: 国立大学法人 福井大学
種類: 特許
番号: 特願 2015-041926
出願年月日: 2015 年 3 月 4 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

(1)
名称: Oil State Monitoring Method and Oil State Monitoring Device
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
種類: 特許
番号: EU 8390796B2
取得年月日: 2015 年 10 月 7 日
国内外の別: 国外

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