

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	機械学習を利用した複数の潤滑油添加剤共存下における摩擦制御因子の予測
Title(English)	
著者(和文)	野間央
Author(English)	Hiroshi Noma
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12814号, 授与年月日:2024年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 才子,下山 裕介,松本 秀行,水谷 義弘,森 伸介,大川原 真一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12814号, Conferred date:2024/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 応用化学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	野間 央		審査員主査： Chief Examiner	青木 才子 准教授

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、統計的手法および機械学習を用いることで、複数の添加剤共存下における摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布を調査することで、摩擦制御因子の予測を行った。

第1章「序論」では、二酸化炭素排出量削減に向けた自動車産業の取り組みについて述べ、自動車の燃費向上には潤滑油の低粘度化が必要であり、それによる潤滑状態の境界潤滑領域への移行を示した。境界潤滑領域では、潤滑油添加剤の一つである極圧剤がトライボフィルムを形成することで、摩擦制御に関連していることを概説した。境界潤滑領域における潤滑油の摩擦特性において、高さ分布の不均一性やトライボフィルムの不均一な形成より、摩耗痕の面情報の摩擦特性への影響について調査する必要性を述べた。そして、統計的手法および機械学習を用いることで、摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布から摩擦制御の因子予測の可能性について示し、本研究の目的と構成について述べた。

第2章「自己相関係数による統計解析を利用した複数の添加剤共存下で形成されるトライボフィルムの元素分布と摩擦特性との相関性評価」では、統計的手法を用いて、摩擦試験によって測定された摩擦係数と摩耗痕の面情報である摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布との関係性について調査した。本研究では、リン、硫黄、カルシウム系添加剤の複数の添加剤を使用し、摩擦試験結果より、リン系添加剤にカルシウム系添加剤を併用することで、摩擦係数が増加し、摩耗痕表面がしゅう動方向と平行に伸びた筋目上の平坦な構造が確認された。さらに、カルシウム系添加剤の併用により、カルシウム系添加剤由来のトライボフィルムの形成と元素分布がしゅう動方向と平行に伸びた高強度な分布を確認した。このことから、トライボフィルムの形成量を表す元素強度、摩耗痕形状の方向性を表すアスペクト比(Str)，さらに、トライボフィルムの元素分布の方向性を表す元素分布のアスペクト比を取得し、摩擦特性との関係性を調査した。そして、カルシウムの元素強度、Str およびカルシウム元素のアスペクト比が摩擦特性に影響していることを示した。

第3章「複数添加剤併用下における鋼の摩擦係数予測に向けた機械学習の応用」では、機械学習を用いて、摩耗痕の高さ分布から取得した粗さパラメータおよびトライボフィルムの元素分布から得られた元素強度と元素分布のアスペクト比と摩擦係数との統計的な関係について調査した。第2章では、一対一の関係でしか調査されておらず、摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布と摩擦係数との関係を統計的に調査するために機械学習を利用した。機械学習は、複数の入力値から出力値を予測することができる。複数の入力値と出力値との関係を表現することができる。本研究では、摩耗痕の粗さパラメータ、トライボフィルムの元素強度および元素分布のアスペクト比から摩擦係数を予測する回帰モデルを構築した。さらに、特徴量重要度を用いることで、それぞれの特徴量の摩擦係数予測における重要度を算出することで、第2章で示したカルシウムの元素強度、Str およびカルシウム元素のアスペクト比が摩擦係数に大きく影響していることを示した。

第4章「トライボフィルムの元素分布より構築した畳み込みニューラルネットワークモデルによる摩擦関連因子の検討」では、摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布における一つ一つのピクセル情報と摩擦特性との関係を調査するために、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)と次元削減を利用した。第3章では、摩耗痕のそれぞれの粗さパラメータは摩耗痕の高さ分布から、そして、トライボフィルムの元素強度と元素分布のアスペクト比はトライボフィルムの元素分布から一つの代表値として算出することで、情報が圧縮しており、一つ一つのピクセル情報を保持したデータを用いて、摩擦係数との関係について調査する必要がある。そこで、本研究では、摩耗痕の高さ分布およびトライボフィルムの元素分布を画像データから摩擦係数を分類する CNN モデルの構築と次元削減を行った。さらに、Gradient-weighted class activation mapping(Grad-CAM)によって、CNN モデルが摩擦係数予測に重要な画像内の特徴を可視化することができ、第2章で示したカルシウム系添加剤によって形成されたトライボフィルムとしゅう動方向に平坦に伸びた高強度な分布、さらにこれまで見ていなかった摩耗痕端部に形成したトライボフィルムが摩擦特性に影響していることを示した。さらに、Grad-CAM が示した摩擦予測に重要な画像内の特徴と同じ位置の摩耗痕の高さ分布を見ると、しゅう動方向と平行に伸びた平坦な構造と摩耗痕端部にかさ高いカルシウムリッチなトライボフィルム形成であることがわかり、実際の摩擦現象を適切に説明していたことが明らかになった。

第5章「統計的結論」では、本研究で得られた結果について述べた。本研究によって、機械学習の利用が摩擦特性に影響を及ぼす因子を特定することができ、摩擦メカニズムの解明に向けた機械学習利用の有用性を示すことができた。さらに、機械学習利用のさらなる発展や他の摩擦メカニズム解明に向けた研究への機械学習利用の有用性を示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	応用化学 応用化学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	野間 央		審査員主査： Chief Examiner	青木 才子 准教授	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Many previous studies have focused on two-dimensional data of tribofilms in the depth direction and the parallel direction to the sliding direction and have investigated the relationship between the two-dimensional data of the tribofilms and friction properties in order to elucidate the friction mechanism in boundary lubrication. However, it is necessary to investigate the relationship between the physicochemical features of the tribofilms and the friction coefficient by using the three-dimensional data of the tribofilms because the tribofilms are formed from the lubricant additives ununiformly. Therefore, this study aims to investigate the relationships between the height distribution of the wear scar and the friction coefficient, also between the elemental distribution of the tribofilms formed from multiple lubricant additives and the friction coefficient by using statistical methods and the machine learning models.

In the section 2, the one-to-one relationships between the morphology of the wear scar and the friction coefficient, and between the elemental distribution of the tribofilms and the friction coefficient were investigated. In the section 3, the machine learning models were constructed to predict the friction coefficient from the roughness parameters of the wear scar and the elemental distribution of the tribofilms, and the relationships between the morphology of the wear scar and the friction coefficient, and between the elemental distribution of the tribofilms and the friction coefficient were investigated comprehensively. In the section 4, the convolutional neural network model was constructed to classify the friction coefficient from the image data which was the elemental distribution of the tribofilms, and the features of the elemental distribution of the tribofilms which were important to classify the friction coefficient were investigated.

The results of this study revealed that the features which recognized as having relationships with the friction coefficient by using the statistical methods and the machine learning models were the actual friction factors.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).