

SIP 革新的燃焼技術 AICE 機械摩擦損失低減グループ

テーマ名 (タイトル)	排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発
SIPチーム	損失低減チーム リーダー大学: 早稲田大学 大聖 泰弘
AICE分科会	排気エネルギー活用分科会 摩擦損失低減分科会
目的	ターボ過給機の性能向上、燃料改質による排熱回収技術の開発を通じて排気エネルギーを低減する。従来は経験則に基づいていた摩擦損失メカニズムを解明し、大幅低減を狙う。

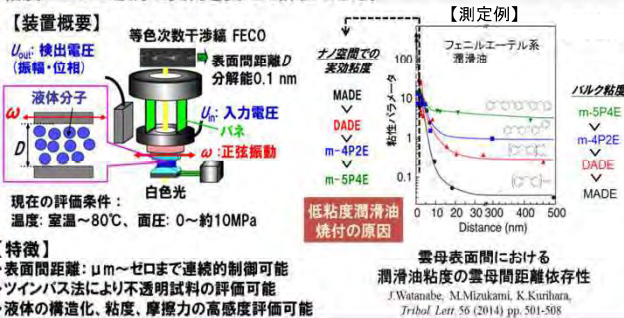
テーマ名 (タイトル)	共振ずり測定による境界膜のナノ計測と摩擦現象解明・低摩擦最適化
クラスター大学	東北大多元研 栗原和枝
50%への貢献	低粘度潤滑油の利用には、境界潤滑域での摩擦・摩耗低減、焼き付き防止が必須である。独自開発した共振ずり測定法は、境界潤滑の理解に重要なナノメートル空間に閉じ込められた液体の実効粘度、潤滑性を評価できる。本手法を用いた潤滑油の特性評価を行い、境界摩擦低減のための基礎的知見を取得し、摩擦損失低減50%に貢献する。
目的達成のための構想	● 共振ずり測定法を用いてSIP基準油などを評価し、境界摩擦低減のための知見を取得し、さらに実機の使用条件に合わせた高温、高圧測定装置を開発、評価を実施する。 アピールポイント ● バルク(流体潤滑)からナノ厚み(境界潤滑)まで連続して特性(実効粘度、潤滑性)を評価できるのは、世界的にも栗原グループで開発した共振ずり測定法のみである。

共振ずり測定による境界膜のナノ計測と摩擦現象解明・低摩擦最適化(栗原研)

基盤となる研究

共振ずり測定(独自技術)

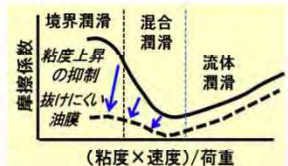
液体を挟む表面を平行に振動させたときの共振周波数と応答強度に基づき、境界膜(摩擦界面の狭い空間に閉じ込められて薄膜化された潤滑油)の実効粘度について膜厚と負荷を変えて評価できる。



実施する研究

研究項目

- 測定条件の高温・高圧化
エンジン動作条件で測定可能とする。
高温化: ~80°C 高圧化: ~数10MPa程度
- 基準油の共振ずり測定
室温ならびに高温・高圧条件における基準油(共通オイル)の共振ずり測定。



目指すゴール

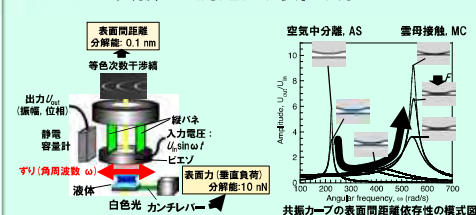
SIP研究での共通オイルについて、室温ならびに高温・高圧条件における共振ずり測定を行い、ナノ空間への閉じ込め効果と添加剤による潤滑特性を検討する。その知見をSIPでの連携において共有し、低摩擦化と焼付防止の実現に寄与する。



SIP基準油の共振ずり測定による評価

【実験】

共振ずり測定法、装置、原理



物理モデルによる解析

M. Mizukami and K. Kurihara, Rev. Sci. Instrum. 79, 113705 (2008).

(運動方程式)
 $m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1 \frac{dx_1}{dt} + k_2(x_1 - x_2) + b_1 \frac{dx_1}{dt} = F \exp(i\omega t)$
 $m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2(x_2 - x_1) + b_2 \frac{dx_2}{dt} = 0$

(解)
 $X_1 = G_1(i\omega) F \rightarrow \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{1}{C} \frac{K_2 C_2}{C_1 C_2} k_2(i\omega) = \frac{C_2}{C_1} G_2(i\omega)$
 $\tan \phi_1 = -\frac{\text{Im}(G_1(i\omega))}{\text{Re}(G_1(i\omega))}$
 $X_2 = G_2(i\omega) F \rightarrow (X_2)_{\text{normalized}} = \frac{G_2(i\omega)}{G_1(i\omega)} \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right)$
 $\tan \phi_2 = -\frac{\text{Im}(G_2(i\omega))}{\text{Re}(G_2(i\omega))}$

試料部
 上部ユニット
 下部ユニット

上表面の共振カーブ理論式
 上表面の位相の理論式
 下表面の共振カーブ理論式
 下表面の位相の理論式

(解析手順)

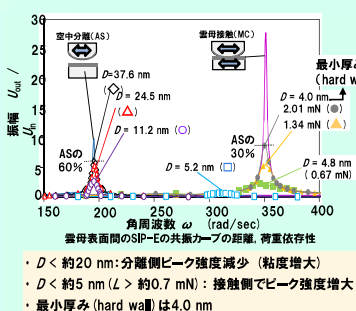
- 空気中分離の共振カーブより上部ユニットのパラメータ (k_1, b_1, m_1) を決定
 - 雲母接触の共振カーブより下部ユニットのパラメータ (k_2, b_2, m_2, α) を決定
 - 試料部下下の共振カーブより試料のパラメータ (k_2, b_2) を決定
- U_{in} : 入力電圧
 U_{out} : 出力電圧
 $C = C_1/C_2$: 定数

測定試料

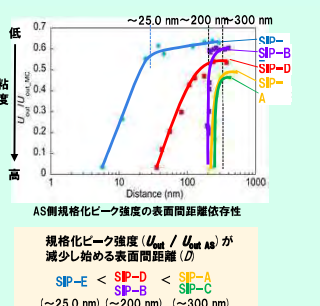
オイル名	SIP-A	SIP-B	SIP-C	SIP-D	SIP-E
SAE粘度グレード	0W-8	0W-8	0W-8		
備考		Full Formulation		基油+VM	基油
基油	鉱油 KV100=3.5 mm ² /s				
粘度指数向上剤/VM	ポリメタクリレート系VM				
耐摩耗剤	ZnDP(セカンダリータイプ)				
金属系清浄剤	過塩基性Caナリチレート				
無灰系分散剤	高分子ビスイソド				
酸化防止剤	アミン系AO, 及びフェノール系AO				
摩擦調整剤	MoDTC				
	グリセロールモノオレート(GMO)				
消泡剤	シリコン				

【結果と考察】

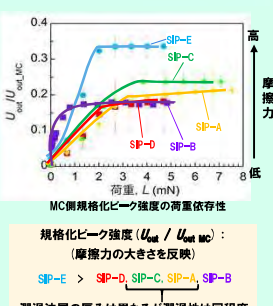
雲母表面間のSIP-Eの共振カーブ



分離側ピーク強度の距離依存性: 実効粘度に対応



接触側ピーク強度・潤滑油厚みの荷重依存性: 摩擦に対応



【まとめ】

共振ずり測定法を用いて、ナノ空間における異なる組成の潤滑油の特性を比較・検討した

分離側

規格化ピーク強度 ($U_{out} / U_{out, AS}$) の減少し始める表面間距離 (D) (粘度が増大し始める表面間距離を反映)
 $SIP-E < SIP-D < SIP-C < SIP-A$
 (~25.0 nm) (~200 nm) (~300 nm)
 ・粘度指数向上剤、その他の添加剤により、粘度がより遠距離から増大した。
 ・さらに摩擦調整剤を添加しても、粘度増大距離には変化は見られなかった。

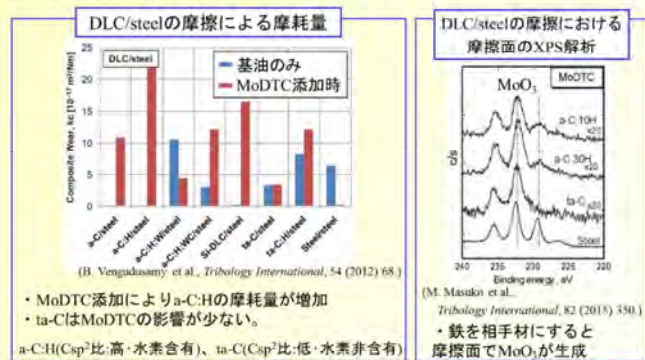
接触側

hard wallの厚み D : $SIP-E < SIP-D < SIP-C < SIP-A$
 (3.60 nm) (8.40 nm) (70.3 nm) (118 nm)
 規格化ピーク強度 ($U_{out} / U_{out, MC}$): $SIP-E > SIP-D, SIP-C, SIP-A, SIP-B$ (摩擦力の大きさを反映)
 摩擦係数 μ : $SIP-E (\mu = 0.9) > SIP-D (\mu = 0.2)$
 ・基油に粘度指数向上剤のみを添加したSIP-Dオイルにおいて、境界潤滑領域の潤滑性の向上がみられた。
 ・さらに、その他の添加剤、摩擦調整剤を添加したSIP-A,B,C,Dでは、hard wallの厚み増大したが、潤滑性はSIP-Dと同程度であった。

テーマ名 (タイトル)	排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発
SIPチーム	損失低減チーム リーダー大学: 早稲田大学 大聖 泰弘
AICE分科会	排気エネルギー活用分科会 摩擦損失低減分科会
目的	ターボ過給機の性能向上、燃料改質による排熱回収技術の開発を通じて排気エネルギーを低減する。従来は経験則に基づいていた摩擦損失メカニズムを解明し、大幅低減を狙う。

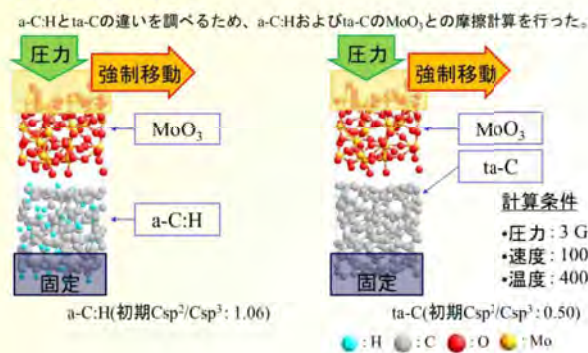
テーマ名 (タイトル)	境界摩擦領域での摩擦係数低減を目指す分子動力学を用いた摩擦予測
クラスター大学	東北大学 久保 百司、樋口 祐次
50%への貢献	当研究室で開発した量子分子動力学法に基づくマイクロシミュレータを応用することで、①極圧添加剤による化学反応膜の生成、破壊メカニズム、②摩擦調整剤の吸着、離脱メカニズム、③摩擦粉の生成、移着メカニズムを解明する。「摩擦と化学反応」のマルチフィジックス現象の解明により、摩擦・劣化の低減、低摩擦の実現のためのデザインプリンシプルを構築
目的達成のための構想	●マイクロシミュレータで得られた化学反応膜の生成メカニズムを、メソスケールシミュレータにつなぐ
アピールポイント	●化学反応膜の摩擦メカニズムが解明されたことで、この知見をメソスケールシミュレータにつなぐ準備ができた

DLC/steelにおけるDLCの摩擦



MoO₃とDLC膜との化学反応がDLC膜の摩擦に影響していると考えられる。
耐摩耗性向上のため、DLC膜とMoO₃のトライボケミカル反応を検討

摩擦計算モデル



実施する研究

当研究室で開発した量子分子動力学法に基づくマイクロシミュレータで得られた知見をメソスケールシミュレータにつなぐ

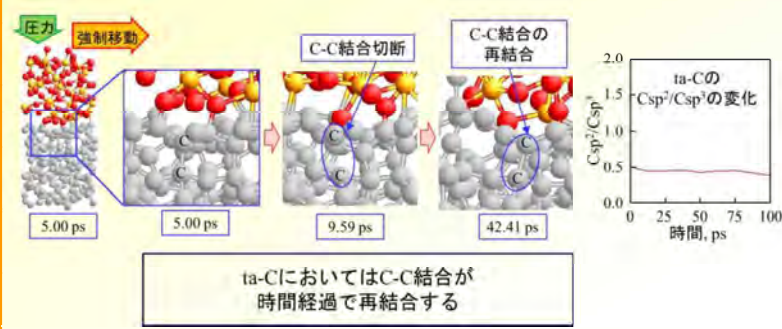
- 極圧添加剤による化学反応膜の生成、破壊メカニズム
- 摩擦調整剤の吸着、離脱メカニズム
- 摩擦粉の生成、移着メカニズム

研究全体の目指すゴール

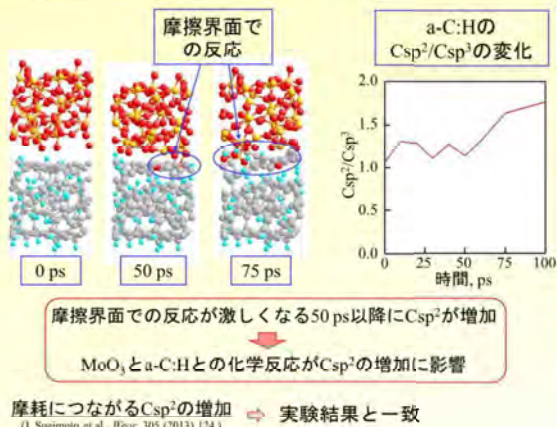
「摩擦と化学反応」のマルチフィジックス現象の解明により、
①摩擦・劣化の低減、②低摩擦の実現のためのデザインプリンシプルを構築

極圧添加剤による化学反応膜の生成・破壊
摩擦調整剤の吸着・離脱
化学反応膜の生成、移着

ta-Cの摩擦におけるC-C結合切断



MoO₃との摩擦によるa-C:HのCsp²の増加



トライボケミカル反応によるC-C結合の切断

50.00 ps, 50.00 ps, 52.07 ps, 52.83 ps, 55.56 ps

C-O結合生成, C-C結合切断, C-O-C結合

MoO₃とa-C:Hの化学反応と摩擦によるせん断
摩擦面におけるC-O-C結合の生成
C-C結合の切断
界面でのMoO₃とa-C:Hとの反応がCsp²の増加につながると考えられる。

C-C結合切断後にH原子がC原子表面に移動
C-C結合の再結合を防止
H原子がa-C:H膜のCsp²増加に寄与

H原子によるCsp²増加への影響

C-C結合切断, H原子の移動

57.86 ps, 57.90 ps, 58.01 ps

DLC膜の耐摩耗性の向上においてはCsp²の増加を抑えることが重要である



革新的燃焼技術



テーマ名 (タイトル)	排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発
SIPチーム	損失低減チーム リーダー大学: 早稲田大学 大聖 泰弘 教授
AICE分科会	ディーゼル燃焼分科会 摩擦損失低減分科会
目的	ターボ過給機の性能向上、燃料改質による排熱回収技術の開発を通じて排気エネルギーを低減する。従来は経験則に基づいていた摩擦損失メカニズムを解明し、大幅低減を狙う。

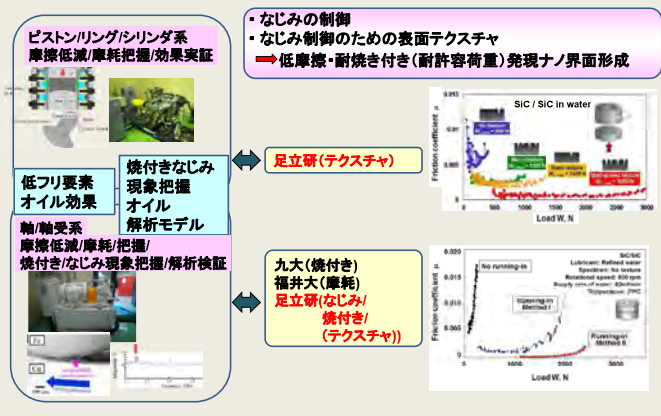


損失低減グループ

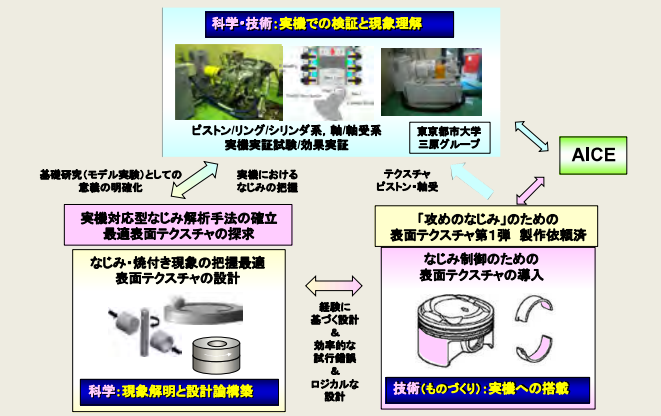


テーマ名 (タイトル)	なじみ制御にもとづく低摩擦・耐焼き付きナノ界面形成技術の開発
クラスター大学	東北大学 足立 幸志
50%への貢献	潤滑油の低粘度化ならびに摺動面積の縮小化による流体潤滑下の摩擦低減が「50%」への道である。この実現のためには、より厳しくなる接触下での摩擦・摩耗・焼き付きに対するリスクの低減が必須となる。この実現の鍵として、多くの経験知が存在する「なじみ」に着目し、その「科学的理解」とそれに基づいた「なじみ制御技術」により「50%」へ貢献する。
目的達成のための構想	● 同時進行する実機試験と基礎試験の相互比較に基づいた現象解明と実用技術の確立
アピールポイント	● なじみ過程の解析技術となじみ制御のための表面テクスチャ技術およびそのための知見

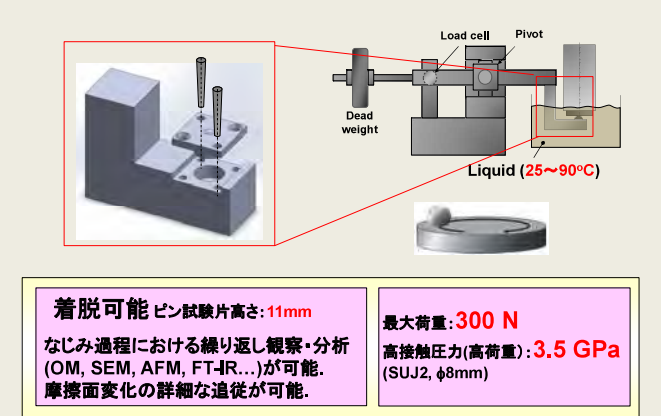
なじみ制御にもとづく低摩擦・耐焼き付きナノ界面形成技術の開発



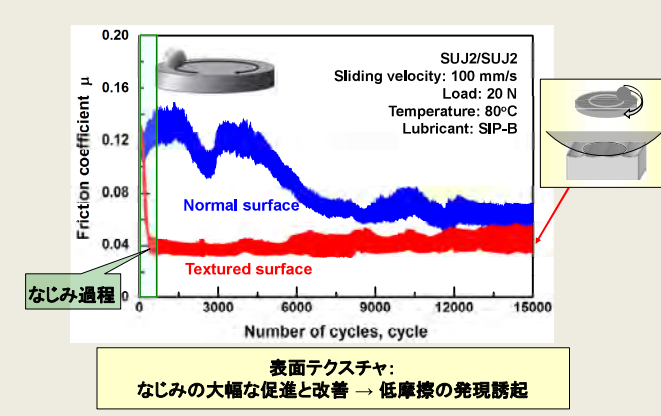
SIPにおける足立グループの取り組み (科学と技術の架け橋)



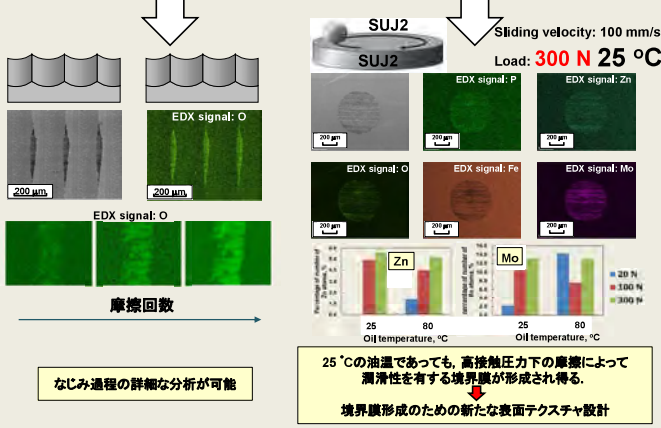
実機対応型なじみ解析手法の確立, 最適表面テクスチャの探求



なじみ制御のための表面テクスチャの可能性



SEM・EDXを用いた実機対応型なじみ解析手法の確立



なじみ現象理解のための表面テクスチャの可能性

