

テーマ名	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	自動車用内燃機関摺動面潤滑モデルの確立および設計支援ソフトウェアへの展開
クラスター大学	九州大学 八木和行
熱効率 50% への貢献	高精度流体潤滑潤滑解析、焼付き現象の直接観察、そして他大学と連携し、マルチスケール焼付きを構築し、焼付き限界を正確に予測し、摩擦面の面圧が上昇した場合の焼付き対策を講じる。焼付き対策なしでは摩擦損失平均有効圧力 9kPa が失われる。
目的達成のための構想	● 実験で観察された現象を再現できるモデルを構築する
アピールポイント	● ナノ、メソ、ミクロといった各スケール間の現象を融合する

すべり軸受用高精度弾性流体潤滑解析

過去の研究、従来のアプローチ
レイノルズ方程式（流体）と有限要素法（弾性変形）との弱連成解析
弾性変形、流体潤滑、時間発展の多重ループ
有限要素法（構造）の並列性が悪い

SIP 革新的燃焼技術
完全陽解法による一体型流体構造連成超並列計算
上記の問題を根本的に解決！！
超並列計算との高い親和性（数億自由度）

ソフトウェア

完全陽解法による一体型流体構造連成解析

気象シミュレーションのフル GPU 計算
東工大 青木研下川辺 (2012)
TSUBAME2.5

流体の数値解析に用いられる陽解法は超並列計算向いている
本研究では構造体の弾性変形も陽解法で計算する

ハードウェア

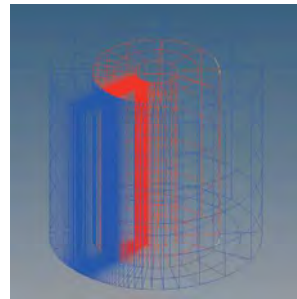
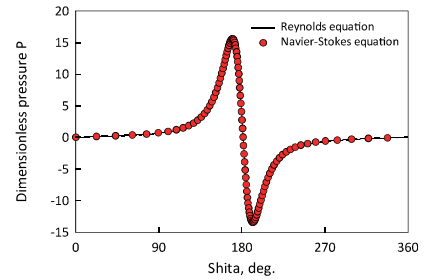
GPU・超並列計算機を用いた陽解法の高精度化

GPU(コア数 3584)

並列計算機を組み合わせることでモデルを精密化しつつ、計算時間を短縮化

解析結果

レイノルズ方程式と偏差 0.1% 以内で一致
今後は
キャビテーションモデルの組み込み
構造体の弾性変形解析
GPUを用いたハードウェアの並列化
を行っていく予定



- 軸半径 30 mm
- 密度 1000 kg/m³
- 粘度 10 m Pa s
- 半径すきま 30 micro meter
- 軸回転数 2000 rpm
- 偏心率 0.95
- メッシュ数 100×5×5
- メッシュの種類 20点二次要素
- Time step 数 10000 1ms 後に相当
- 計算時間 10 分

摩擦面焼付き現象のその場観察

焼付き過程のその場観察実験

可視光、近赤外線光、摩擦力、摩擦量の同期計測を行い、摩擦面の焼付き挙動を明らかにする

AC servo motor, microscope, sapphire disc, linear guide, load cell for friction, pin, load cell for load, oil bath, air cylinder

摩擦力 摩擦量 温度

可視光画像 近赤外光画像

焼付き表面の分析

表面粗さ、表面層の硬さ、結晶粒径などを調べ、焼付き過程における塑性流動現象を明らかにする

焼付き前 焼付き後

塑性流動層の分析

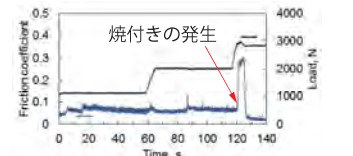
塑性流動部で硬さが上昇

ナノインデントによる硬さの測定結果

使用分析機器：
レーザ顕微鏡
ナノインデント
SEM, EDX, EBSD, XPS, Auger
Raman, FT-IR

焼付き面の直接観察結果

摩擦面の可視光と近赤外光の直接同時観察に世界で初めて成功
摩擦面全体の塑性流動
塑性流動部で 1000°C 以上にもなる瞬間的な温度上昇の発生



Sliding direction 可視光像

μ = 0.070 1 mm

μ = 0.099

μ = 0.093

μ = 0.198

近赤外光像

845 °C

1205 °C

1187 °C

1205 °C

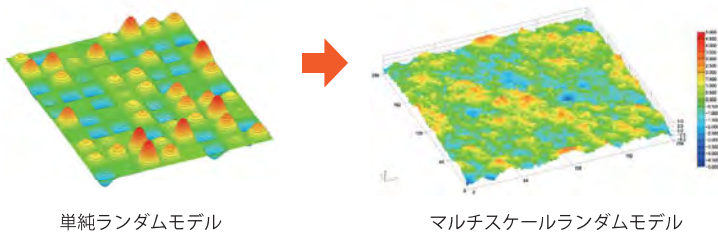
(a) t = 119.7 s (b) t = 120.24 s (c) t = 120.34 s (d) t = 120.84 s

焼付きメカニズムを明らかにし、焼付きモデル構築へとつなげる

ランダム粗さモデルに基づくオイルシールの低摩擦化

オイルシールの性能はシール面の表面粗さによって決まる

(表面粗さ)のランダム性を考慮した混合潤滑モデルを構築し、オイルシールの低摩擦化を可能とする表面粗さの条件を導く



オイルシールの摩擦力測定

オイルシールの摩擦力の測定を行い、リップの表面粗さ、緊迫力などの影響を調べ、ランダムモデルの解析結果を検証して密封機能と低摩擦を両立する最適表面形状の提案につなげる

Load cell, Sump & heater, Test oil, Oil pump, Seal specimen, Test shaft, Thermocouples