

排気エネルギー有効利用と 機械摩擦損失低減

損失低減チーム 研究責任者：早稲田大学 研究院次世代自動車研究機構 特任研究教授 大聖 泰弘



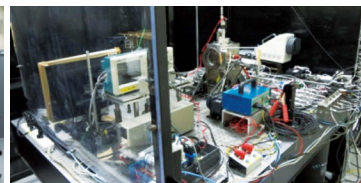
排気エネルギーの有効利用と機械摩擦の損失低減に取り組む。具体的には、前者の取り組みとして①ターボ過給システムの高効率化と②排気熱を利用した熱電発電の効率と範囲の拡大、後者の取り組みとして③ピストン・シリンダ系やクランク・軸受系で発生する摩擦損失の評価・低減技術の開発を行う。

研究拠点 共同利用実験設備：早稲田大学ラボラトリー



単気筒エンジンシステム実験室

各種設計・運転条件での実験と開発した各サブモデル、ターボ過給、(燃料改質)、熱電素子の効果の検証に活用



噴霧/火炎可視化観察/燃料改質実験室
各種の燃焼関連現象の可視化



ターボ過給システム実験室

システムの流動特性を説明するとともに数値シミュレーションモデルの検証に活用

熱効率50%の達成

目標

課題

解決手法

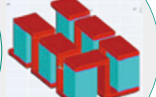
排気エネルギー有効利用

ターボ過給の
高効率化を
図る



脈動流下の損失メカニ
ズム解明
ターボ試作、モデル化

熱を電気に
変換・
利用する



熱電特性と機械的強度を
両立可能な材料の開発
モジュール構造の最適化

機械摩擦損失の半減

低摩擦と
信頼性を
両立させる



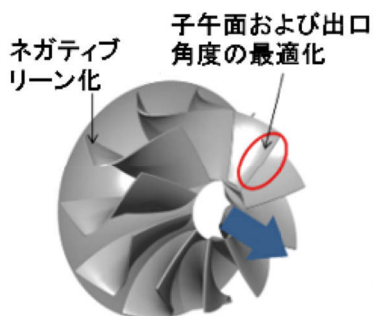
低摩擦な潤滑表面開発と
潤滑油改良
エンジン摺動部の
摩擦メカニズム解明

排気エネルギー有効利用グループ※

ターボ過給ワーキンググループ

排気ターボとコンプレッサの
高効率化で総合効率
64%を目指す。

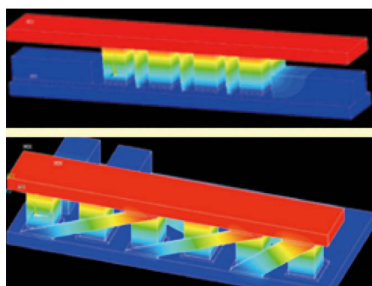
- ▶ エネルギー収支の計測とモデル化
- ▶ 脈動や曲がり管の流動を考慮した 3D シミュレーション



熱電素子ワーキンググループ

排気熱を利用した
熱電素子による発電効率と範囲の
拡大を実現する。

- ▶ 標準素子に対して開発した素子の高性能化を図る。
- ▶ 実機での装着時の発電特性を評価しモデル化する。



機械摩擦損失低減グループ

エンジンの摺動部の
主要コンポーネントで発生する
摩擦損失を半減する。

- ▶ 新たな低摩擦性状の潤滑表面開発と潤滑油改良。
- ▶ ナノからマクロにわたる摩擦モデルを構築する。



※燃料改質のテーマは2016年度に終了、成果展開へ

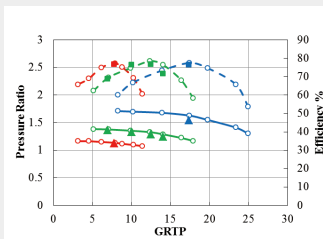
ターボチャージャの損失発生原因解明に基づくSIP仕様ターボチャージャの効率向上により、ガソリンエンジン (0.56% pt)、ディーゼルエンジン (2.24% pt) の熱効率向上を達成

ワーキンググループリーダー：早稲田大学 理工学術院 教授 宮川 和芳



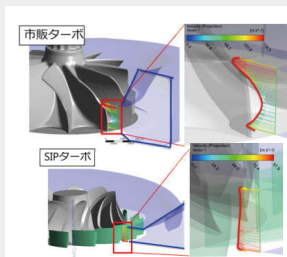
ターボチャージャ流路要素間での流れの干渉による損失低減対策の効果は十分ではない。

- ▶ 市販ターボの流動解析結果を試験結果により検証し、構築した解析法が設計ツールとして十分な精度であることを確認 (図1)。
- ▶ 市販ターボのタービン解析により、ハウジングからホイールに流入する流速の幅方向の不均一性が損失発生の要因であることを見出し (図2)、ハウジングの形状変更によりホイールへの流速を均一化し損失を低減。
- ▶ 解析、実験結果を診断し全ての流路要素における損失を低減、効率向上を達成 (図3)。
- ▶ AICE 機関における実証試験によりコンプレッサ最大効率 84.2% を検証、性能予測解析の誤差 1% 以内も確認。
- ▶ ターボチャージャを含む統合エンジンモデルを構築し、SIP仕様ターボチャージャの効率向上によるエンジン熱効率の向上効果を明確化 (図4)。



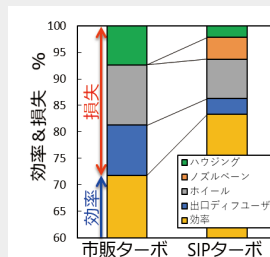
宮川 (早稲田大学)、窪山 (千葉大学)

図1 市販ターボ実験、解析結果



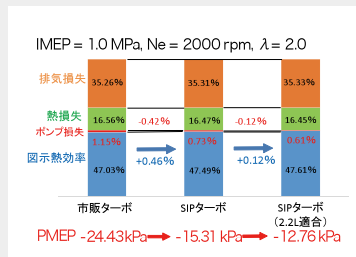
宮川 (早稲田大学)

図2 市販ターボ損失 (流動解析結果)



宮川 (早稲田大学)

図3 SIPターボと市販ターボ損失分析



窪山 (千葉大学)

図4 ターボチャージャ効率向上によるポンプ損失低減と熱効率向上

実証条件: SIPガソリン用ターボ、エンジン 2000rpm、 $\lambda=1.5$ 。コンプレッサ直径、 $D1/D2=29.69/48.72$

モデル/ソフトウェアへの繋がり: 研究結果を基にした早稲田大学、千葉大学1DモデルをGT-Powerに組込み、展開。

今後の課題: 運転領域や過渡特性の改善。

主な
関連論文

① Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa : ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference

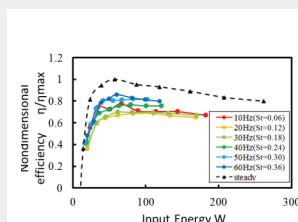
ターボチャージャの脈動流下運転が原因で誘起される損失の発生機構・特徴を解明、脈動流による非定常損失の予測手法を構築

ワーキンググループリーダー：早稲田大学 理工学術院 教授 宮川 和芳



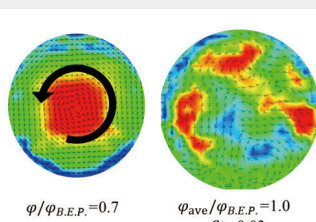
従来、定常、準定常流での性能評価のみ実施されており、脈動下運転による損失の増加、特徴は未解明。

- ▶ 早稲田大学の実験装置にて脈動流下のタービン試験を実施、脈動流下でのタービンの効率低下を確認。(図1)。
- ▶ タービンの出口の非定常 PIV 試験結果から、定常流下と脈動流下での流況の相違を明らかにし、非定常損失の増加を確認。(図2)。
- ▶ 従来よりも高精度な流動解析を用いて非定常損失を誘起するタービン出口での細かな渦を模擬、出口ディフューザとホイールでの非定常損失が大きいことを明確化。(図3)(図4)



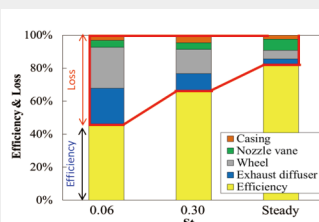
宮川 (早稲田大学)

図1 脈動流下効率



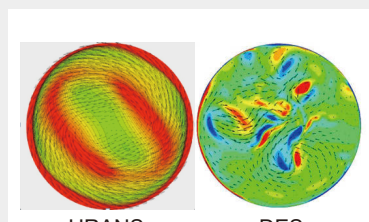
宮川 (早稲田大学)

図2 PIV試験結果 (渦度分布)



宮川 (早稲田大学)

図3 定常、脈動流下損失分析 (CFD)



宮川 (早稲田大学)

図4 脈動流振幅と非定常損失の関係

モデル/ソフトウェアへの繋がり: 得られた非定常損失の発生メカニズムをGT-Powerにモデル化して挿入、解析に適用。

今後の課題: 様々な脈動流下条件での非定常損失の評価、評価ツールである大規模解析の実用化。

主な
関連論文

① Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa : ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference

初の複合材料化で、結晶中の分布形態制御による機械特性と熱電特性の両立手法を新規に確立 中低温度域熱電モジュールを開発し実証試験・伝熱精密解析によるGT-Powerモデルを構築

ワーキンググループリーダー：東京理科大学 基礎工学部 教授 飯田 努



車載時の耐振動性を担保した高性能熱発電材料作製が行われていない。エンジン排気系に熱発電システムを装着した場合の伝熱モデルが構築されておらず熱効率改善への寄与度が不明。

- ▶ 熱電変換材料初の第2相の導入溶融合成方式複合材料化プロセスを開発し、Mg₂Siの高靱性化を実現（図1）Mg₂Si材料中の第2相の分布形態制御を行い、高靱性化Mg₂Si素材で機械特性と熱電特性を両立した高い発電出力密度を有する発電素子の作製手法を新規に確立（図2）。
- ▶ 上記の製造プロセスを活用して、中・低温度域用熱発電モジュール（Mg₂Si、BiTe）を開発し、エンジン排気系シミュレータでの熱発電実証試験を実施（図3）。
- ▶ 実証試験で得られた伝熱特性を詳細に解析して精密な1D伝熱モデルを作成し、排気系熱発電システムの新規解析法を明確化した。さらに、熱発電1D伝熱モデルをGT-Powerに組み込み熱発電システムシミュレーション環境を構築（図4）。

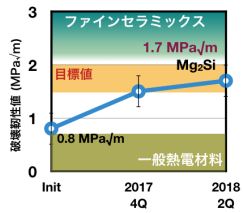
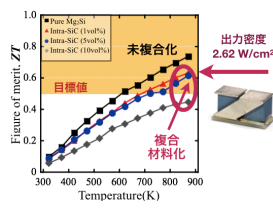
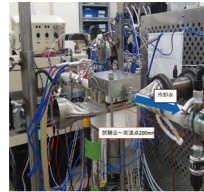
図1 Mg₂Siの複合材料化による破壊靱性値向上図2 複合材料化したMg₂Siの出力密度

図3 エンジン排気系プロワーによる熱発電実証試験

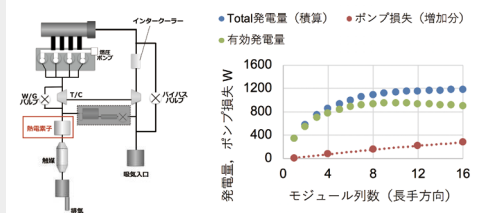


図4 熱発電モジュールの性能評価と熱効率寄与評価（ガソリンエンジン熱電システムでの発電量）

実証条件：SIP単気筒エンジン準拠の入力ガス温度・ガス流量、冷却水温度、熱交換器フィンピッチは既実証値

モデル/ソフトウェアへの繋がり：熱発電1D伝熱モデルをGT-Power(ガソリン・ディーゼル)に組み込み産業界で利用可能なシミュレーションモデルとして展開

今後の課題：機械的特性と高出力密度の両立性要求レベル検討と排気熱発電システム実機搭載試験の実施

主な関連論文 排熱発電実用化への要素技術開発の取り組み～材料、モジュール、コンバータ、次世代エンジンへの搭載シミュレーション～、飯田、茂木、横田、草鹿、大聖、井上、麻原、笠、土田、泉、吉村（理科大、早大他）、第15回日本熱電学会学術講演会、2018年9月14日

機械摩擦損失低減グループ

基礎研究による低摩擦発現要素のエンジン部品化と基本諸元の見直しによりファイアリング条件でΔ50%超の摩擦損失低減を達成

グループリーダー：東京都市大学 工学部 教授 三原 雄司



潤滑油・表面性状・形状等の変更による低μ化とエンジンでの摩擦損失低減効果の定量評価が不十分

- ▶ マイクロディンプル/金属基改質膜+MA処理Cu/MoS₂で大幅な低μ（摩擦係数）を実現。ピストンで10%摩擦低減を実証（図1）
- ▶ なじみの発生・促進現象をエンジン摺動材で再現し、低摩擦の表面性状とトライボ化学反応による低μを実現（図2）
- ▶ ポリマーモノリスを滑り軸受等のエンジン摺動面に適用。貧潤滑下でも高い耐焼き付き特性を実証（図3）
- ▶ エンジンの低摩擦効果を浮動ライナエンジンや4気筒エンジンを用いたファイアリング（実働）条件で実証（図4）
- ▶ 潤滑油のPMAやMoDTCと清浄剤/ZDP組み合わせによる低μ化で摩擦低減/軸受耐焼き付き性向上（香川大学・東京工業大学）
- ▶ CNx膜オーバーレイにより摩擦摩耗抑制効果を向上させたDLCの開発と滑り軸受への適用で耐焼き付き性の向上（名古屋大学）



図1 スカート部への固体潤滑剤/タイルグ応用（表面塑性加工）

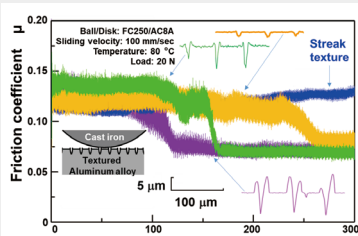


図2 なじみ現象のエンジン部品への応用（表面テクスチャリングの最適化）

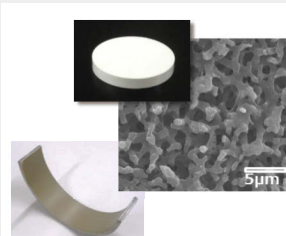


図3 モノリス構造の滑り軸受摺動面への応用

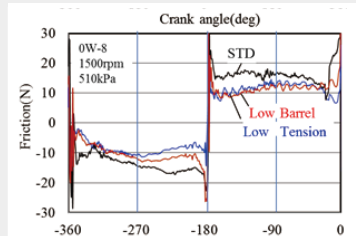


図4 なじみ低バレルピストンリングの摩擦低減効果のエンジン実証

実証の基本条件：2000rpm/IMEP=1MPa。浮動ライナでの摩擦力計測や4気筒でのファイアリングフリクション評価

モデル/ソフトウェアへの繋がり：なじみ・焼付き現象解析モデルの検証、オイル消費の解析モデルの検証

今後の課題：低摩擦要素による摩擦低減効果と解析モデルのコリレーション

主な関連論文 ①佐藤寿樹他：微細断続切削によって付与したディンプル形状がアルミニウム合金の摩擦特性に及ぼす影響、トライボロジスト、69巻9月号（2018）、②伊原健人他：MoDTC油中のAl合金を用いた摩擦システムにおける表面テクスチャによる摩擦制御、トライボロジー学会2018秋伊勢、E18(2018)、③神原圭太他：コーティング法による薄膜ポリマーモノリスの作成とトライボロジー特性、繊維学会年次大会（2018）