

SIP革新的燃燒技術

Research Report 2019.1



国立研究開発法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency



SIP 革新的燃燒技術
Innovative Combustion Technology
bridging to....

Contents

プログラムディレクター 巻頭言	02
-----------------	----

ガソリン燃焼チーム

Report01	メタン・空気、nヘプタン・空気予混合気の着火遅れ時間に対する乱流の影響	03
Report02	層流燃焼速度に及ぼす EGR の影響を解明	04
Report03	エンジン内壁面の熱流束を測定する薄膜抵抗体センサの開発	05
Report04	高強度乱流場におけるナノ秒パルス放電プラズマによる着火挙動の観察	06
Report05	混合気の縦方向弱成層化によりリーン限界の拡大・熱効率の向上に成功	07
Report06	SIP 詳細反応モデルのバージョンアップによりエタノール自着火の予測性能が向上したことを実証！	08

ディーゼル燃焼チーム

Report07	針弁昇降機能付き10倍拡大模型によるディーゼルノズル内流れと噴射挙動の解明	09
Report08	エントレイン制御噴霧による冷却損失低減手法の開発	10
Report09	TAIZAC インジェクタを用いた噴射率の制御により、単気筒エンジン試験で熱効率1.4pt向上を実現	11
Report10	多段噴射による双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率改善	12
Report11	二段燃焼時放射騒音の音源分布と各音源強度の時間変化を明確化	13

制御チーム

Report12	次世代燃焼技術の実現に向けたディーゼルエンジンの制御用モデルの構築	14
Report13	フィードバック誤差学習を用いたオンボードキャリブレーションによる燃焼制御系	15
Report14	ディーゼルエンジン吸排気系のための非線形フィードフォワード制御器の構築	16
Report15	HINOCA によるガソリンエンジンの火炎伝播計算とサイクル間燃焼変動の解析	17
Report16	光学計測と全量サンプリングを併用し、GDI 燃焼における筒内すす総質量及び粒径分布の時系列データを取得	18
Report17	エンジン燃焼計算に適した PM モデルの構築	19

損失低減チーム

Report18	エンジンオイル潤滑面での焼付き前に起こる移着膜生成挙動のその場観察	20
Report19	DES、PIV を用いた脈動流下における内部流れ調査	21

コラム	一体感と危機感の成せる業	22
-----	--------------	----

プログラムディレクター巻頭言

産学連携や課題解決型研究は、アカデミアの研究能力を損なうという批判がしばしば聞かれます。本課題も、開始直後からそのような疑念やすれ違いに直面しました。それにより、研究が遅々としたこともありました。しかし、プロジェクト終了直前の今、思い出として語れるようになったことを嬉しく思います。

世界トップクラスの数々の科学的成果、これを授受し組み上げた大きな技術的成果、このスパイラルアップをもたらした産産学学連携。これほどまでのインターディシプリナリな優れた研究成果と連携体制が生まれるとは、正直なところSIP前には想像できませんでした。産学連携や課題解決型研究が真に機能すれば、基礎研究力の開花にも繋がるのだという実例を、見事に示せたように思います。

もちろん、研究・教育・目標達成のバランスや実用化のための技術課題など、新たな課題も現れました。しかしそれは、次の発展に繋がる道筋だとも捉えられます。

この内閣府事業を何としても成功させるという思いを一つにして、5年間、PDの私とともに、学の研究者、産の支援者、サブPD・プログラム会議委員、JST担当者の全員が、時に衝突しながら共に歩み成長したからこそ、今ここに至ることができました。

厳しい批判も含め応援下さった内外全ての皆様に心より御礼申し上げ、無事故で実験を完遂できたことに感謝しつつ、リサーチレポート最終号の言葉とさせていただきます。



プログラムディレクター（PD）

杉山 雅則

トヨタ自動車

最新研究成果

Report 01

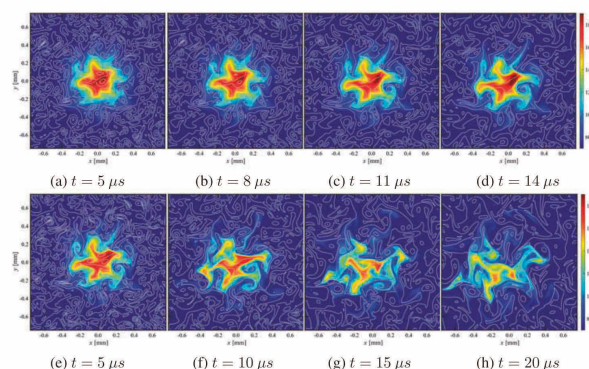
メタン・空気、n ヘプタン・空気予混合気の着火遅れ時間に対する乱流の影響

直接数値計算（DNS）により、メタン・空気、n ヘプタン・空気予混合気の着火遅れ時間に対する乱流の影響を検証した。着火遅れ時間は予熱帯における局所平均した乱流ひずみ速度と線形的な関係にあり、この依存性は燃料種によらないことが明らかになった。

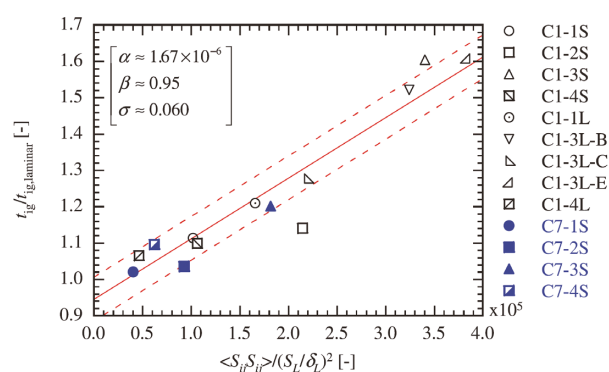


東京工業大学大学院
機械宇宙システム専攻
修士課程

齋藤 尚幸



典型的な、着火（上）及び非着火（下）に至った DNS ケースの温度分布の時間変化（時刻は 5、10、15 及び 20 μs）。



乱流場において適用可能な着火遅れ時間とひずみ速度の関係モデル。黒シンボル：メタン、青シンボル：n ヘプタン。

詳しくは

N. Saito, Y. Minamoto, B. Yenerdag, M. Shimura, M. Tanahashi, Effects of Turbulence on Ignition of Methane-Air and n-Heptane-Air Fully Premixed Mixtures, Combustion Science and Technology, 190, 3, 451-469 (2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 村中 重夫（元 日産自動車）

現象を支配する方程式（Navier-Stokes 方程式）のいずれの項もモデル化することなくそのまま解く厳密な数値計算手法である直接数値計算（DNS Direct Numerical Simulations）により予混合気の点火に及ぼす乱れの影響を調べた研究である。詳細な化学反応機構を考慮に入れた DNS で、高圧、高 EGR 率のメタン-空気、n ヘプタン-空気の希薄予混合気の点火現象を調べた結果、乱流中での着火遅れ時間が乱流運動によるひずみ速度によって整理できることを世界で初めて明らかにした。DNS による点火、燃焼現象の理解は、実用的な燃焼計算に用いる乱流燃焼モデルの高精度化、高速化に繋がると期待される。

最新研究成果

Report 02

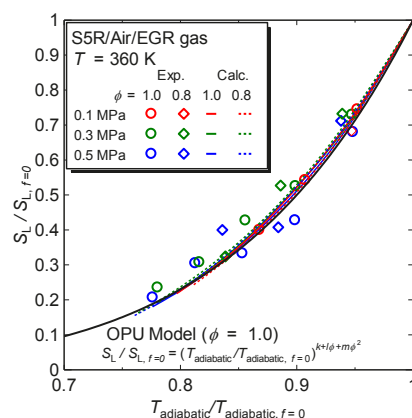
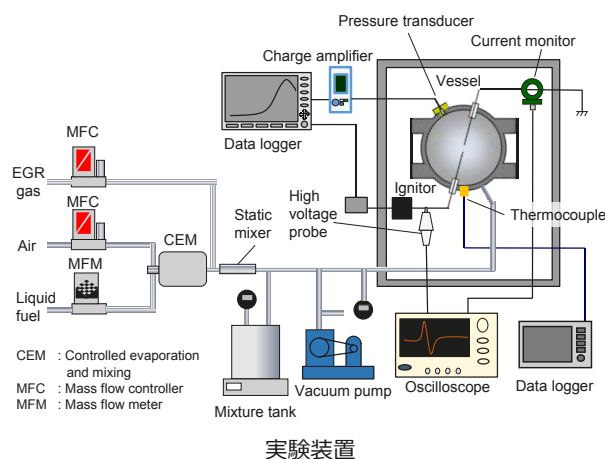


大阪府立大学大学院
工学研究科
博士前期課程

土井 翔太

層流燃焼速度に及ぼす EGR の影響を解明

微小重力環境を用いて S5R/Air/EGR gas の層流燃焼速度の計測を行った。実験で得られた層流燃焼速度は SIP 詳細化学反応機構を用いて推算された結果と概ね一致した。また、層流燃焼速度に及ぼす EGR の影響は断熱火炎温度を用いて整理できることを明らかにし、実験式の作成を行った。



層流燃焼速度に及ぼす EGR の影響

詳しくは

S. Doi, H. Uesaka, R. Matsui, M. Matsuura, R. Okazaki, H. Kataoka, D. Segawa : Measurements of Laminar Burning Velocity of Gasoline Surrogate Fuel /Air/EGR Gas Mixtures, The 11th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2017), P476 (2017)

コメント

SIP 燃焼 サブ・プログラムディレクター 古野 志健男 (SOKEN 専務取締役)

本研究は、EGR が層流燃焼速度に与える影響を正確な微小重力場実験を行い、その EGR の影響が SIP 詳細燃焼反応モデルの推定結果と一致すること、また断熱火炎温度で表現できることを明らかにしたものであり、学術的に新規性があり大いに評価できる。EGR 含めた希薄乱流燃焼モデル構築に貢献できるものである。今後、更なる希薄燃焼下での EGR の影響解明も期待したい。

最新研究成果

Report 03

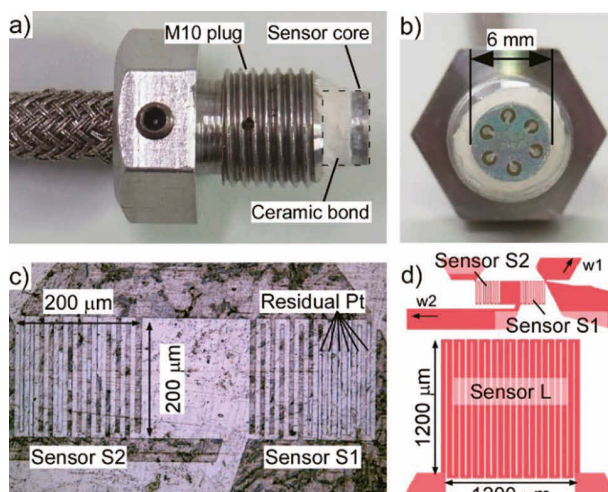
SIP 燃焼
AWARD
-2018-エンジン内壁面の熱流束を測定する
薄膜抵抗体センサの開発

燃焼室壁面熱流束を正確に測定するため、Al 合金基板 MEMS センサを開発した。壁面温度測定法に薄膜測温抵抗体を採用することで、高速応答に加え、熱電対式の10倍以上の感度と自己発熱による熱流束較正を可能とした。急速圧縮膨張装置における測定試験では、ノック下でも破損なく作動し、圧力変動に応じた熱流束変動を捉えた。現在は隣接3点熱流束センサを開発し、乱れと同等の空間スケールでの多点同時測定や乱流特性の抽出へと発展しており、冷却損失低減技術の評価とHINOCAの検証に貢献している。

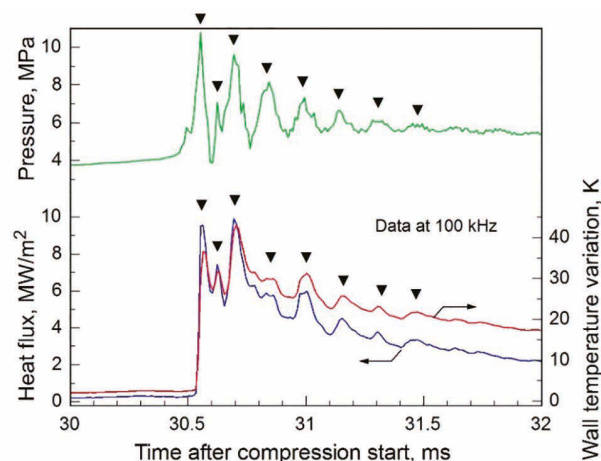


明治大学大学院
理工学研究科
博士後期課程

出島 一仁



プラグ型熱流束センサ



ノック時の壁面熱流束

詳しくは

出島一仁、中別府修、中村優斗、土屋智洋、長坂圭輔:エンジン内壁面の熱流束を測定する金属基板MEMSセンサの開発、日本機械学会論文集、Vol. 84, No. 858, p.17-00414, (2018).

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 村中 重夫 (元 日産自動車)

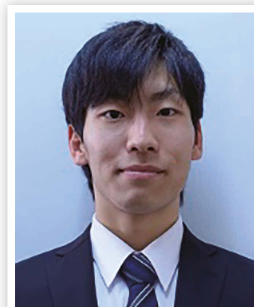
MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 技術を用いた薄膜測温抵抗体 (RTD : Resistance Temperature Detector) 方式の熱流束計を開発した。圧力ピックアップサイズの支持体の表面に300 μ m 角のRTDを ϕ 900 μ mの円周上に3個配置したもので約10kHzの応答速度を有する。熱流束計としてサイクル変動はもとより1mm以下しか離れていない3点の信号もはっきり分離して捉えられ、相互相関解析から火炎の動き等も推定できる。世界最先端の計測技術でHINOCAの冷却損失計算を検証する手段としての活用と冷却損失低減技術につながる事が期待される。

最新研究成果

Report 04

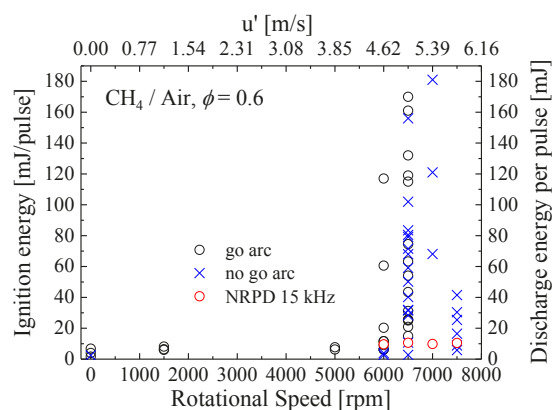
高強度乱流場における ナノ秒パルス放電プラズマによる着火挙動の観察

高強度乱流条件におけるナノ秒パルス放電プラズマ（NRPD）の有効性を調査するため、対向する二つのファンを備えた乱流着火定容燃焼容器を製作し基礎実験を行った。最小着火エネルギー（MIE）が指数関数的に増大するMIE-EXI領域において、放電周波数 1 kHz では着火核が分離し着火に至らなかったが、15 kHz では着火に至ったため、放電周波数が着火の成否に大きく関わり、NRPDは強い乱流場でも着火に優位である可能性を示した。

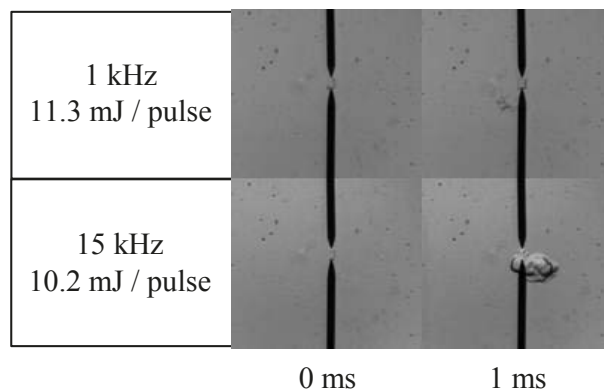


東北大学大学院
工学研究科
修士課程

上杉 滉大



→ MIE-EXI 領域において NRPD15kHz により着火を確認



→ 放電周波数の違いが着火核の形成に大きな影響を与えた
(7000 rpm, $u' = 5.39$ m/s)

詳しくは

K. Uesugi, T. Tezuka, S. Hasegawa, H. Nakamura, K. Maruta : Ignition experiments in intense turbulence for lean burn application, 37th International Symposium on Combustion, Poster 2P196 (2018)

K. Uesugi, T. Tezuka, S. Hasegawa, Y. Morii, H. Nakamura, H. Takana, K. Maruta : Ignition Experiments by Nanosecond Repetitively Pulsed Discharges for Lean Burn Application, The 15th International Conference on Flow Dynamics, OS2-101(2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 越 光男 (東京大学 名誉教授)

ガソリン燃焼チームの効率50%達成に向けた最も重要なコンセプトは超希薄燃焼による効率向上であるが、超希薄かつ高乱流強度下では着火性が悪化し、最小着火エネルギーが急激に増大する。この研究においては、アーク放電では全く着火に至らないような高乱流下でもナノ秒パルス放電では着火させることができることが見出されている。この結果を踏まえた SIP 共用エンジンでのナノ秒パルス放電実験も開始されていて、今後の発展を期待したい。

最新研究成果

Report 05

混合気の縦方向弱成層化により リーン限界の拡大・熱効率の向上に成功

リーンバーンにおけるサイクル変動を低減させ、リーン限界の拡大・熱効率向上を実現することを目的とする。2つの吸気ポートにタンブル生成ノズルを挿入し、それぞれの吸気ポートに噴口6個分と4個分の燃料噴射を行うこと（図1）で、火炎伝播方向に相対的に燃料の濃い領域と薄い領域を作り弱成層化を施した（図2（a））。従来の横方向の成層化（図2（b））と異なり、この縦方向弱成層化ではリーン領域での消炎を抑制できてサイクル変動が低減し（図3）、リーン限界の拡大・熱効率向上を実現した（図4）。



千葉大学大学院
融合理工学部
修士課程

佐藤 広直

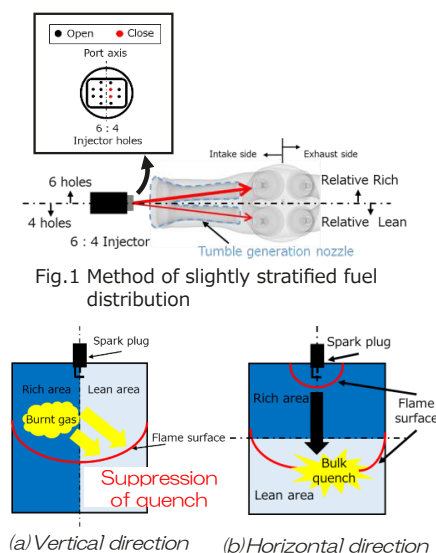


Fig.2 Slightly stratified fuel distribution

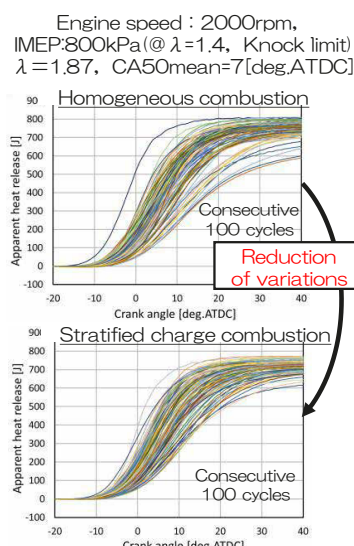


Fig.3 Apparent heat release in same first half of combustion

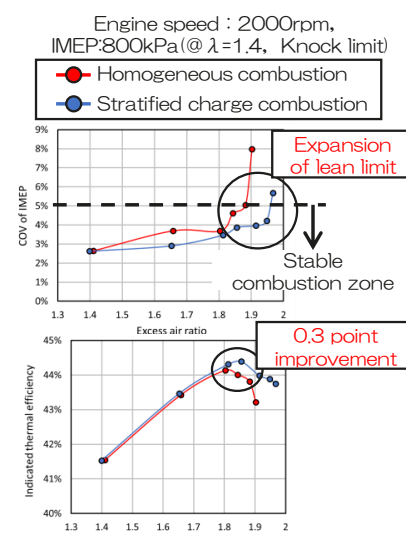


Fig.4 COV of IMEP and indicated thermal efficiency

詳しくは

佐藤広直、森吉泰生、窪山達也、金子誠：混合気の弱成層化によるリーンバーンガソリン燃焼の希薄限界拡大、自動車技術会2018年秋季大会学術講演会講演予稿集、NO.227、pp.1-5（2018）

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 村中 重夫（元 日産自動車）

混合気の成層化によるリーン限界の拡大は1990年代に商品化されたリーンバーンエンジンにも実用化例がある。4弁中心点火の燃焼室の中央付近にある点火プラグに向けて混合気を吸入させ、両側面には空気だけを吸入させるよう吸気ポート内に隔壁を設けたものであった。本研究では4弁エンジンの2つの吸気ポートに噴射する燃料割合を、噴射弁の噴口径の変更で6：4とすることにより弱成層化を図ったものである。リーン限界は λ で約0.1広がり、図示熱効率も0.3ポイント向上した。簡便な構成のリーン限界拡大手段といえる。

最新研究成果

Report 06

SIP 詳細反応モデルのバージョンアップにより エタノール自着火の予測性能が向上したことを実証！

現行のSIP詳細反応モデル（SIP-Gd1.0, 広島大学・三好教授）が、ガソリンサロゲートおよび実ガソリンの自着火特性を高精度で予測できることは実証済みであるが、バイオ燃料に関しては未だ妥当性の検証が十分でなかった。今回の反応モデルのバージョンアップ（SIP-Gd2 β ^{*1}）により、ETBE 自着火の良好な再現性は Ver.1.0より踏襲されつつ（図1）、エタノール自着火の予測性能が劇的に改善された（図2）。以上のことより、SIP-Gd2 β はバイオ燃料を用いたエンジンのノック予測に今後大きく貢献するものと期待される。

* 1) <http://sip.st.keio.ac.jp/category/download/>（近日公開予定）



上智大学大学院
理工学研究科
博士前期課程

村井 梨紗子

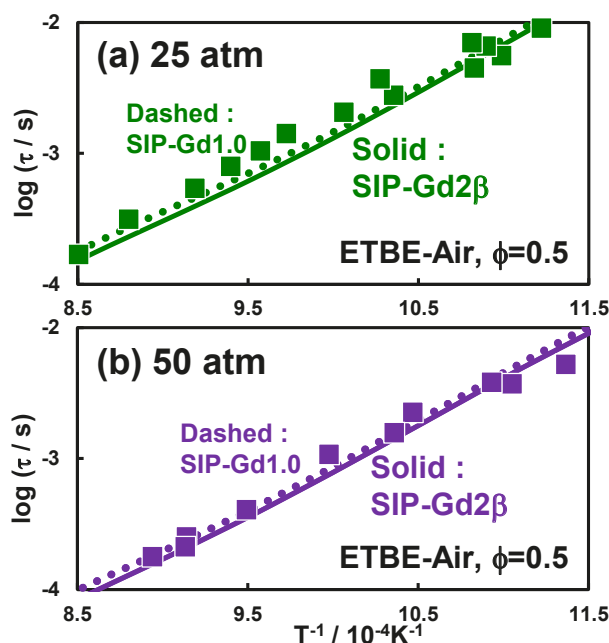


図1 ETBEの着火遅れ時間

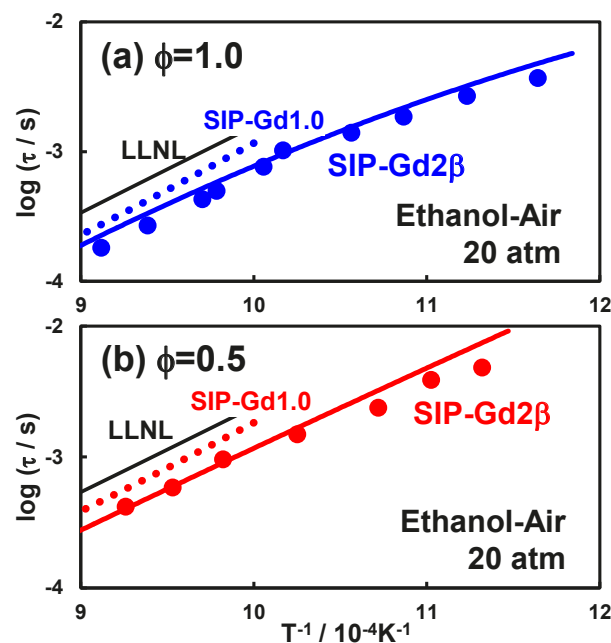


図2 エタノールの着火遅れ時間

詳しくは

村井梨紗子、先生蒼平、舘野弘樹、高橋和夫、“ガソリンサロゲートの着火特性に及ぼす含酸素炭化水素の添加効果”、第56回燃焼シンポジウム講演論文集、P-222（2018）。

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 越 光男（東京大学 名誉教授）

上智大学の衝撃波管はわが国では唯一のエンジンと同等の圧力領域で着火遅れ時間測定が可能な衝撃波管であり、ガソリンサロゲートおよび実燃料の貴重なデータが取得されている。今回のエタノールやETBEの高圧での着火遅れ時間のデータは世界的にも極めて重要なデータであり、これによりSIP詳細反応機構のエタノール・ETBEの燃焼特性予測精度が大きく改善された。バイオ燃料によるノック抑制の検討に貢献する成果である。

最新研究成果

Report 07

針弁昇降機能付き10倍拡大模型による
ディーゼルノズル内流れと噴射挙動の解明

ディーゼルノズルの出口における燃料の広がり角を時系列で与えるための簡易モデルが求められている。このモデルの精度向上のため、ディーゼルノズルの拡大模型で噴射実験を行った。針弁の開弁直後と閉弁直前に噴霧の広がり角が極大になる。噴射期間が短くなると2つの極大の時間間隔が短くなり、最終的に極大は1つになる。中程度、および低い針弁リフトの際に渦キャビテーションが頻繁に発生し、断続的に噴霧広がり角が大きくなる。



鳥取大学大学院
工学研究科
修士課程

八尋 洸也

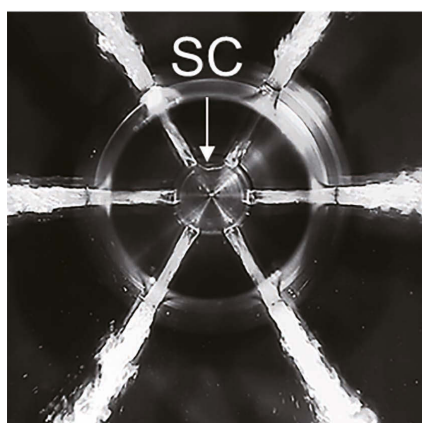


図1 低リフト時のノズル内キャビテーションと噴霧 ($t_e = 150\text{ms}$, $t = 210\text{ms}$, $L = 0.1\text{mm}$ 。ノズル下方から撮影、SC:渦キャビテーション)

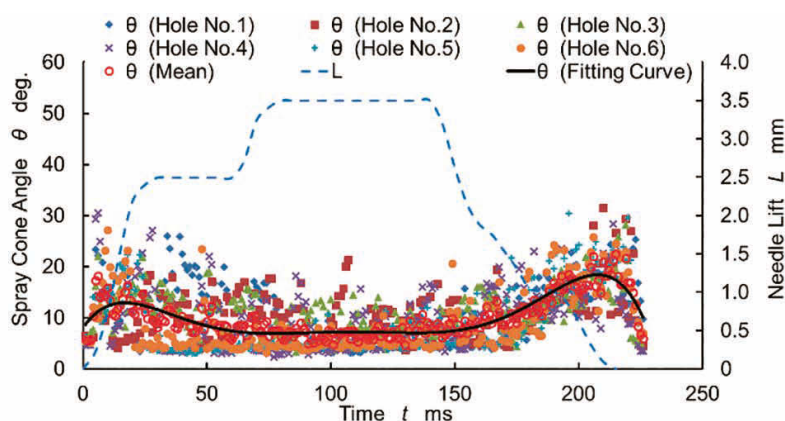


図2 噴射期間が長く、針弁がフルリフトに達しているときの針弁と噴霧広がり角の履歴 ($t_e = 150\text{ms}$)

詳しくは

八尋洸也、石田晃暉、庄田安澄、小田哲也、北田泰造、住隆博、大澤克幸:針弁昇降機能付き拡大ノズル模型による内部流れと噴射挙動の解析、第27回微粒化シンポジウム、(2018年、講演予定)

コメント

SIP 燃焼 サブ・プログラムディレクター 古野 志健男 (SOKEN 専務取締役)

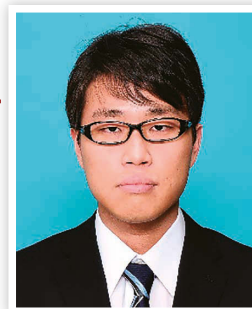
本研究は、ディーゼル燃料噴射弁の拡大ノズル可視化実験により、非定常な針弁リフトに対してノズル内流れにストリングキャビテーションが発生し、それが噴霧広がり角に影響を与えていることを実証したものであり、評価できる。今後は、一般解としてモデル化に貢献できることを期待したい。

最新研究成果

Report 08

エントレイン制御噴霧による
冷却損失低減手法の開発

冷却損失低減のために必要な制御因子として、容器実験結果から燃料の蒸発性に着目し、軽質な二成分混合燃料を用いた噴霧コンパクト化による冷却損失低減を実機エンジンで実証、高効率・低エミッション化に対する有効性を示した。

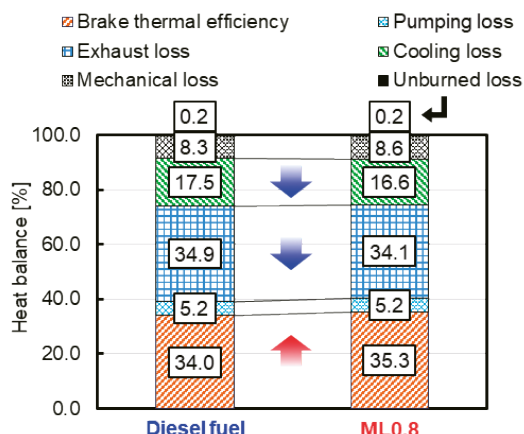


同志社大学大学院
理工学研究科
修士課程

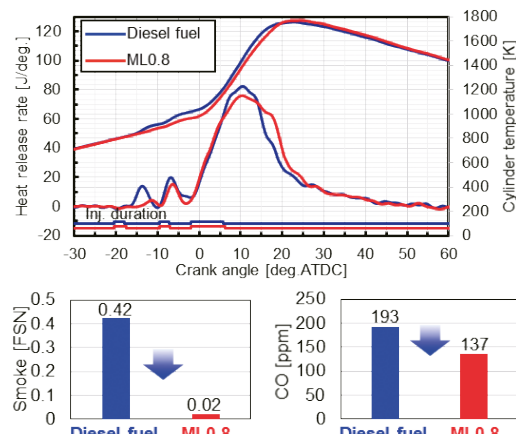
荒井 直之

2250rpm, IMEP 1440kPa, NOx 800ppm

ML0.8 (Mass fraction of Light component n-C5H12 : n-C10H22 = 0.8:0.2)



ヒートバランス解析結果（軽油・ML0.8）



筒内温度、熱発生率、排気特性（軽油・ML0.8）

詳しくは

荒井直之、中田将徳、前田篤志、藤川詳也、松村恵理子、千田二郎、
“高負荷運転時におけるディーゼル機関の高効率化に関する研究（第1報）－二成分混合燃料が効率・排気特性に及ぼす影響－”、自動車技術会 2018年春季大会

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 工藤 俊治（元 トヨタ自動車）

（同志社大学を中心とした）SIP におけるこれまでの噴霧・火炎－冷却損失の基礎的研究から、損失の低減には燃焼室中央部分にコンパクトな噴霧を形成することが有効であることが示唆されていた。しかし、実機においてこれを実証することはきわめて困難であった。報告者らは軽質燃料を組み合わせた2成分燃料を用いることにより、RCEM および実機燃焼室において、コンパクト噴霧形成を可能にし、熱損失低減および排出ガス低減に有効であることを示した。この研究で得られた知見は今後、ディーゼルエンジンの高効率化に大きく貢献するものと期待される。

最新研究成果

Report 09

TAIZACインジェクタを用いた噴射率の制御により、
単気筒エンジン試験で熱効率1.4pt 向上を実現

本研究はディーゼルエンジンの熱効率向上を目的とし、市販インジェクタ2本を直列に繋げることで噴射率を制御可能にした TAIZAC インジェクタを用い、1) 逆デルタ噴射、2) 初期噴射率の急峻化、3) 前段噴射圧力の低圧化 の3種機能を活用して、冷却損失の大幅な低減により熱効率を1.4pt 向上させる燃焼を実現した。



明治大学大学院
理工学研究科
修士課程

西川 雄也

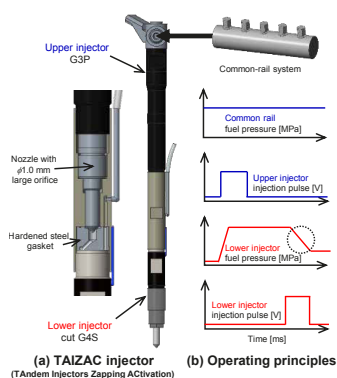


Fig1. TAIZAC injector



Fig3. TAIZAC injector installed on engine.

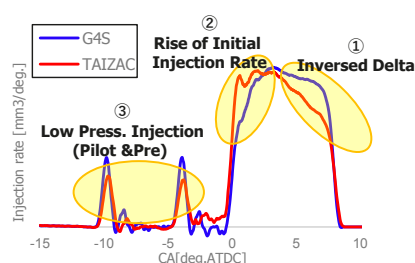


Fig2. Injection rate

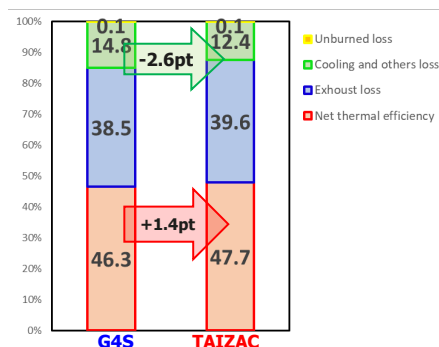


Fig4. Heat balance

詳しくは

西川雄也ほか、TAIZACインジェクタを用いた段別・噴射中の噴射圧制御がディーゼル機関性能に与える影響、第29回内燃機関シンポジウム講演論文集、No.69 (2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 工藤 俊治 (元 トヨタ自動車)

本研究は、噴射圧とパターンを自在に制御することにより、理想とする混合気形成と燃焼を実現しようとする試みの一つである。報告者らが自らの工夫でこれを実現する噴射弁を作成し、しかも大幅な熱効率向上を得たことは大いに評価できる。今後、噴射弁とともに、混合気形成の解析を並行して進め、さらなる熱効率の向上に結びつけて欲しい。

最新研究成果

Report 10

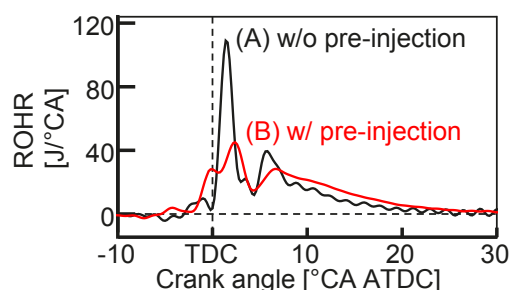
SIP燃焼
AWARD
-2018-多段噴射による双峰形部分予混合化
ディーゼル燃焼の熱効率改善

従来の二段燃料噴射に対して、前期噴射をプレ噴射付きの二段階に分割した三段噴射の双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の特性を実験およびCFDにより検討した結果、プレ噴射による前期燃焼の緩和効果により燃焼騒音が10 dBA程度低減するとともに、燃焼室壁面近傍の燃焼量の減少により冷却損失が顕著に減少して図示熱効率が1%ほど向上することなどを明らかにした。

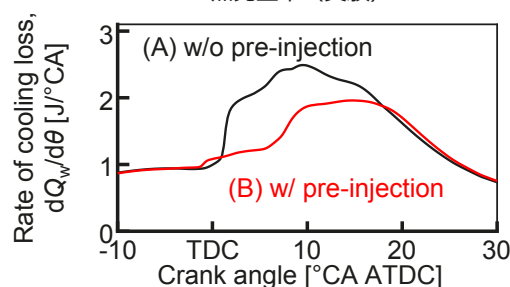


北海道大学大学院
工学院
修士課程

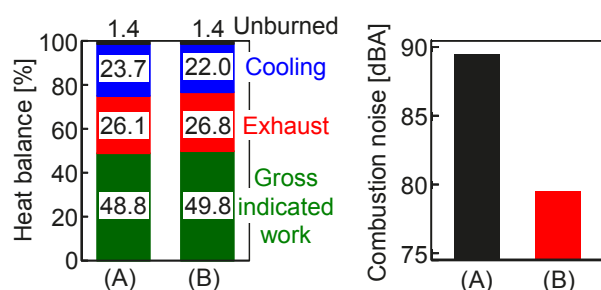
増子 曜介



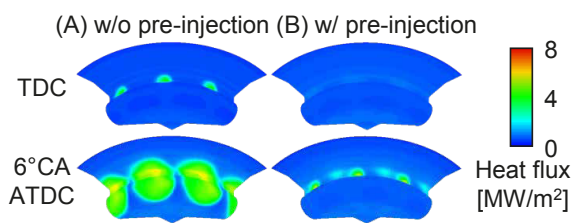
熱発生率（実験）



冷却損失（CFD）



ヒートバランスと燃焼騒音（実験）



壁面近傍熱流束分布の推移（CFD）

詳しくは

増子 曜介、稲葉 一輝、張 焰赫、小橋 好充、柴田 元、小川 英之：燃料噴射の分割による双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率改善特性、第29回内燃機関シンポジウム（2018）

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 長弘 憲一（元 本田技術研究所）

本テーマは、双峰形部分予混合ディーゼル燃焼において更なる性能向上を目的に一段目噴射の前にプレ噴射を実施した研究である。結果、冷却損失低減によって熱効率の向上やプレ噴射と一段目噴射の噴射間隔適切化で燃焼騒音の低減を排ガスエミッションへの影響少なく達成できることを実証したことは評価できる。今後、燃料噴射系の進化をも取り込み更なる性能向上研究に期待したい。

最新研究成果

Report 11

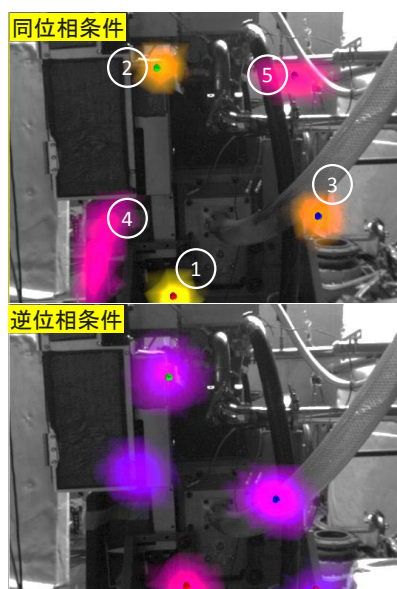
二段燃焼時放射騒音の音源分布と各音源強度の時間変化を明確化

二段燃焼の燃焼衝撃間隔を変化させ、燃焼騒音主要周波数において燃焼衝撃が増幅される同位相条件、打ち消し合う逆位相条件において音源分布と各音源強度のサイクル内変化を調査。音源分布を考慮した時間・周波数依存燃焼騒音発生モデルへの展開の可能性を示した。

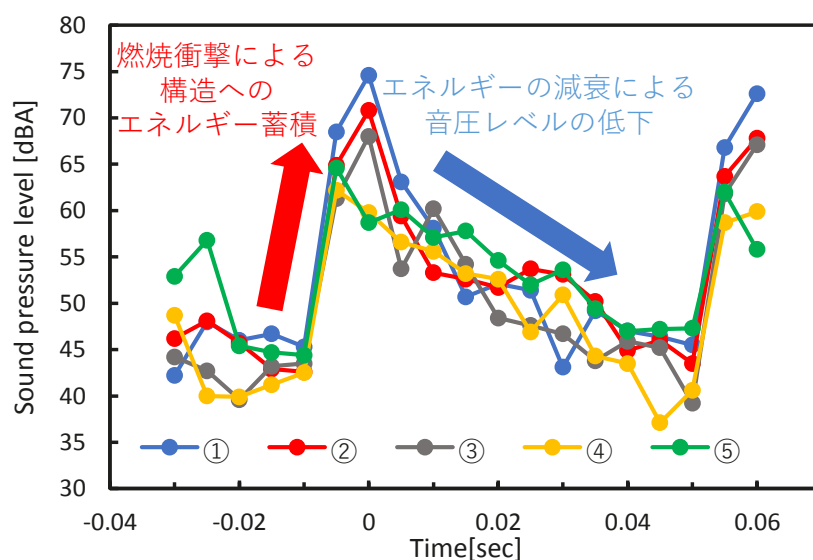


山口大学大学院
創成科学研究科
博士前期課程

湊 高貴



異なる燃焼衝撃位相に対する音源分布



燃焼騒音主要周波数における各音源の音圧レベルのサイクル内変化
(二段燃焼の衝撃が主要周波数において同位相の場合)

詳しくは

湊 高貴、小口瞳史、瀬尾健彦、三上真人：単気筒ディーゼルエンジンにおける二段燃焼時の放射騒音の音源位置に関する研究、日本機械学会 2018年度年次大会、講演番号 J0710303

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 長弘 憲一 (元 本田技術研究所)

本テーマは、ディーゼルエンジンの部分予混合二段燃焼で未着手だった放射音主要周波数における音源位置、音源強度の時間変化を計測したものである。今後、この研究を更に深化させ部分予混合二段燃焼において高熱効率、低排ガスエミッション、低騒音の高次元バランスができるツールになっていくことに期待したい。

最新研究成果

Report 12

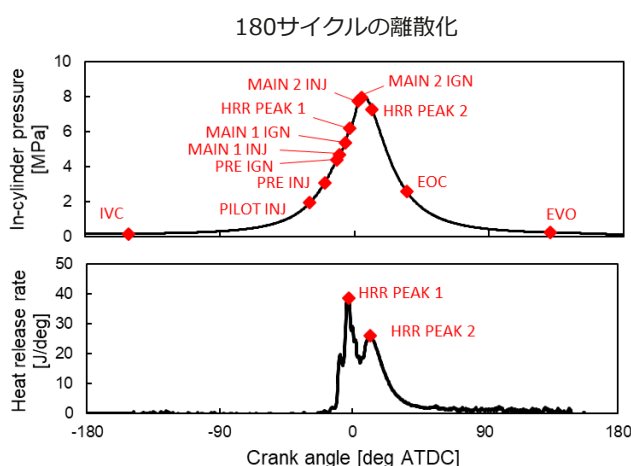


東京大学大学院
工学系研究科
修士課程

高橋 幹

次世代燃焼技術の実現に向けた ディーゼルエンジンの制御用モデルの構築

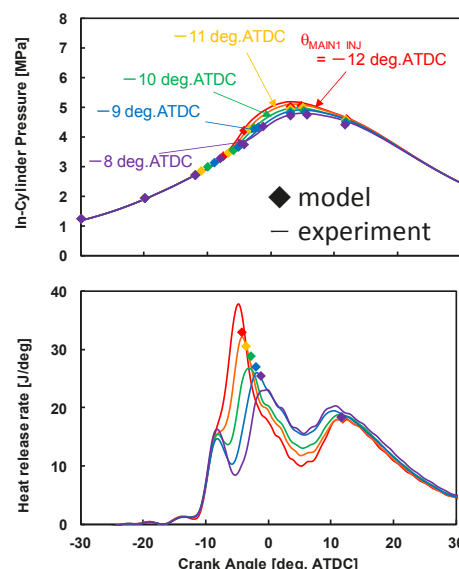
モデルベース制御をより広い燃焼技術に対応させるため、これまでの3段噴射モデルを改良し、物理・化学反応に基づいた4段噴射モデルの構築を行った。モデルは運転パラメータの変化に対して、実験値の変化の傾向を再現でき、また、計算時間も十分に短いことから、制御用モデルとして有用であるといえる。



計算時間の評価

実エンジン	モデル
40ms (3000rpm)	1 ms

運転パラメータ変化時の実験値と
モデル予測値の比較



詳しくは

高橋幹、山崎由大、金子成彦:ディーゼルエンジン制御モデルにおける燃料噴射段数の拡張、自動車技術会論文集、Vol.49, No.6, 2018

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 野波 健蔵 (千葉大学 名誉教授)

本研究は、ディーゼルエンジンにおいて、様々な燃焼形態に対するモデルベース制御を適用することを考慮して、燃料の4段噴射を考慮した燃焼モデルを構築した。この4段噴射モデルもこれまでと同様に、モジュール化された噴射、着火、燃焼サブモデルを組み合わせることで予測を行った。ベンチ試験結果とモデルによる予測結果が比較的良く一致しており、各運転パラメータを変化させた場合の燃焼特性の予測に成功したと言え、高い評価に値する。

最新研究成果

Report 14

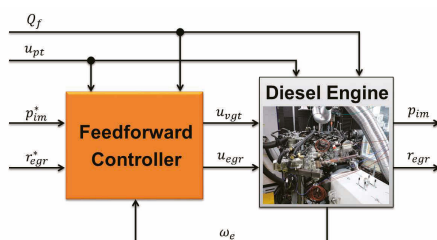


宇都宮大学大学院
工学研究科
博士前期課程

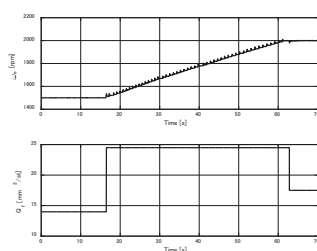
林 知史

ディーゼルエンジン吸排気系のための 非線形フィードフォワード制御器の構築

熱効率の高い次世代燃焼を定常状態だけでなく過渡状態においても実現するためには、過給圧やEGR率を高精度に制御するフィードフォワード制御器が欠かせない。そこで、本研究では吸排気系の物理モデルを構築し、そのモデルの逆特性から非線形フィードフォワード制御器を構築した。そして、エンジンテストベンチによる過渡運転実験を行い、マップを一切使用しない提案法の有効性を示した。

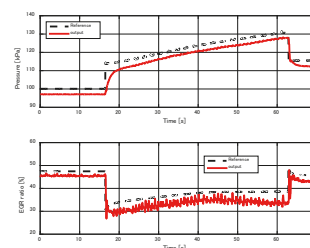


フィードフォワード制御器の概要



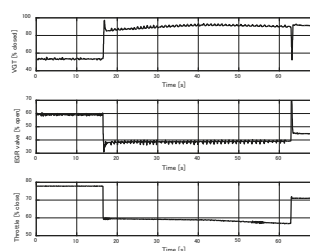
運転条件

(上段：エンジン回転数、下段：燃料噴射量)



出力応答（実験結果）

(上段：インマニ圧、下段：EGR 率)



制御入力（実験結果）

(上段：VGT 閉度、中段：EGR 開度、下段：スロットル閉度)

詳しくは

林 知史、小泉 純、平田 光男、高橋 幹、山崎 由大、金子 成彦：離散化燃焼モデルを用いたディーゼルエンジン吸排気系のモデル構築とフィードフォワード制御、自動車技術会 2018年春期大会 学術講演会 講演予稿集（2018）

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 **野波 健蔵**（千葉大学 名誉教授）

本研究は、実際のディーゼルエンジンに対して吸排気系モデルを構築して、その逆モデルを用いたフィードフォワード制御器を設計し、実際のエンジンベンチ試験装置に適用して、エンジン回転数や燃料噴射量に変化する過渡状態時の目標値追従制御試験を実施した。最終目標とする H_∞ フィードバック制御器との併用はまだ実装されていないが、良好な結果を得ており高く評価できる。今後の2自由度制御系実装と実験結果に期待したい。

最新研究成果

Report 15

HINOCA によるガソリンエンジンの
火炎伝播計算とサイクル間燃焼変動の解析

HINOCAに火炎伝播モデルを組み込み、LESによるガソリンエンジンの多サイクル燃焼計算を実施した。筒内圧力とその変動率の予測精度の検証から、HINOCAが実際のエンジンのサイクル間変動を良好に再現可能なことを確認した。また、得られた計算結果の分析から、点火プラグ周りの流動と初期燃焼の変動が燃焼安定性に対して大きな影響力を持つことを示した。

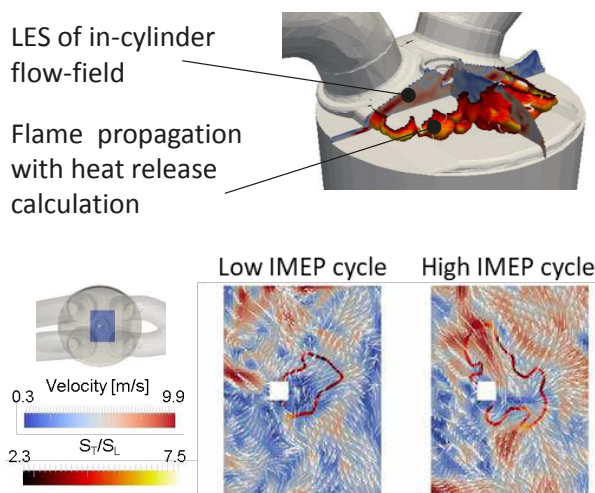


早稲田大学大学院
創造理工学研究科
博士課程

神長 隆史

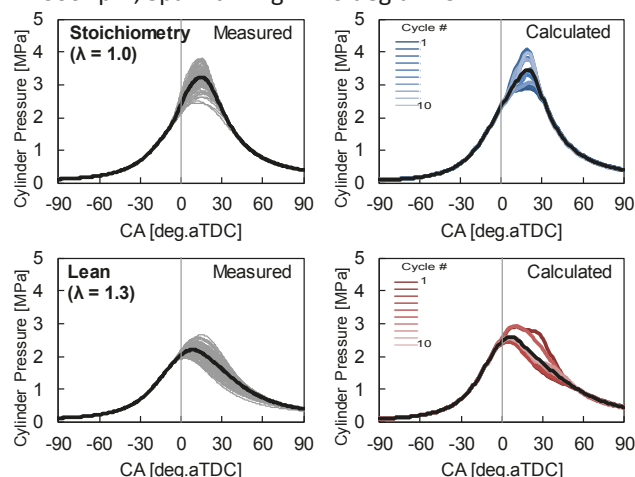
LES of in-cylinder
flow-field

Flame propagation
with heat release
calculation



点火プラグ周りの流動と初期火炎

2000 rpm, Spark timing = -20 deg.aTDC



多サイクルの燃焼圧力予測結果

詳しくは

神長隆史、喜久里陽、周蓓霓、森井雄飛、山田健人、高林徹、草鹿仁、安田章悟、八百寛樹、菱田学、南部太介、溝渕泰寛、松尾裕一：火花点火ガソリンエンジンにおける燃焼のサイクル間変動の LES 解析、自動車技術会2018年春季大会 学術講演会 講演予稿集 (2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 長弘 憲一 (元 本田技術研究所)

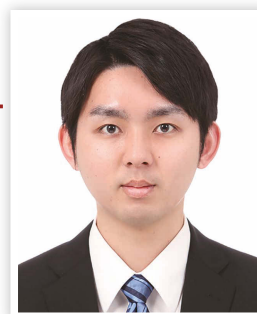
本テーマは、HINOCA に火炎伝播モデルを組み込み、ガソリンエンジンの空気過剰率変化に対する予測精度の検証やサイクル間変動の影響因子の分析を実施したものである。その結果、実機の現象を再現・予測できることやサイクル間燃焼変動における燃焼質量割合 (50%) ~ 乱流燃焼速度変動の関係を表現できる等が示された。今後、冷却損失の検証等未着手部分に取り組み更に有益なものにして欲しい。

最新研究成果

Report 16

光学計測と全量サンプリングを併用し、GDI燃焼における筒内すす総質量及び粒径分布の時系列データを取得

本研究では、PM グループ共通仕様の光学計測が可能な RCEM を用い、明確な境界条件の下での GDI エンジン筒内すす粒子の詳細・希少な実験データベースを構築している。本稿では、光学計測法（2 色法、DBI 法）に加え、筒内すす粒子全量サンプリングとフィルタ重量法及び PAMS 計測を併用し、合計 4 手法による筒内すす総質量時系列データを初めて取得した。



明治大学大学院
理工学研究科
修士課程

丸山 智久

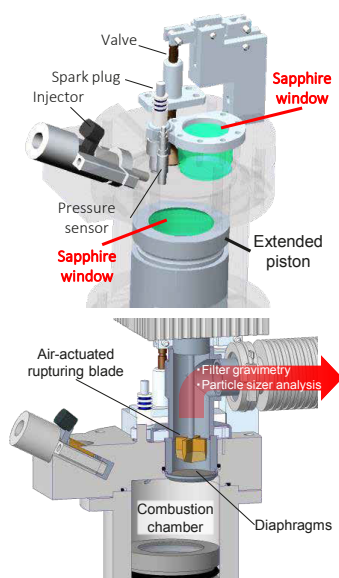


Fig.1 光学計測用 RCEM（上）及び
全量サンプリング用セットアップ（下）

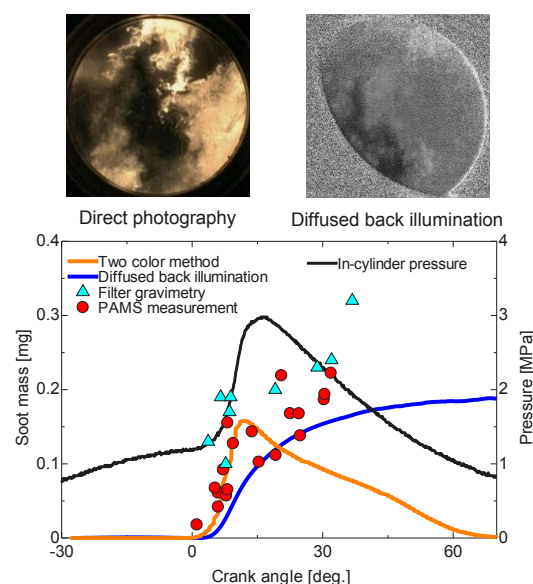


Fig.2 直接写真（左上）、可視レーザー影写真（右上）、
及び筒内すす総質量時系列データ（下）

詳しくは

Maruyama, T., Sato, Y., Endo, K., Tsukamoto, T., and Aizawa, T., "In-cylinder GDI Soot via Visualization and Time-Resolved Total Cylinder Sampling", SAE Technical Paper 2019-01-0037, 2019.

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 長弘 憲一（元 本田技術研究所）

本テーマは、ガソリン直噴エンジンの燃焼過程に生じるすす生成を光学計測法・全量サンプリング・フィルタ重量法・PAMS 計測と 4 手法を駆使し、すす総質量時系列データを初めて取得した。これは、すす生成を予測するモデル構築に大いに貢献できる。今後、この計測法の定着化やモデル精度向上のための多くのデータ収集に期待したい。

最新研究成果

Report 17

SIP 燃焼
AWARD
- 2018 -

エンジン燃焼計算に適したPMモデルの構築

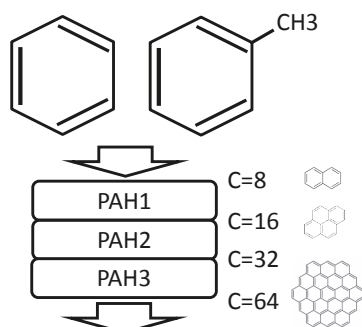
本研究では、炭素数60程度までの PAH 成長過程を 3 つに区分したセクショナル法で記述し、ガソリンチームで開発されたガソリンサロゲート燃料用気相反応モデルと結合、モーメント法による粒子成長計算と組み合わせてすす生成量を予測するモデルを構築した。さらに、ガソリンサロゲート燃料に対して衝撃波管にて計測された実験結果を用いて、モデル評価と調整を行った。その結果、基本的なベル特性を良く再現できることを示した。



大分大学大学院
工学研究科
博士前期課程

高橋 美沙紀

Gas Phase Reaction Model



Method of Moments

図1 構築した PAH 成長モデルをベンゼン、トルエンまでが考慮された気相反応である SIPG detailed for TRF 版と結合 (892化学種)

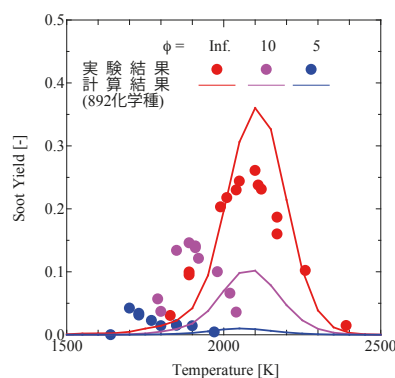


図2 ガソリンサロゲート燃料に対して計測された実験結果を用いて検証した。その結果、基本的なベル特性を再現した。

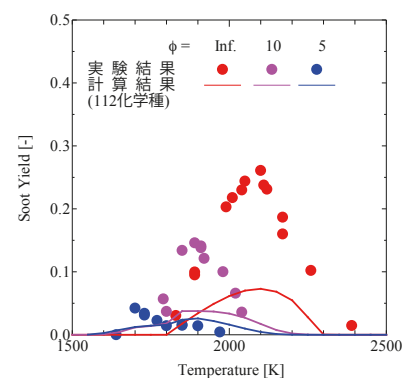


図3 SIPG reduced版と結合 (112化学種)、最適化を行った。当量比に対する傾向について再現性を向上できている。定量的にはさらなる調整が可能である。

詳しくは

- ・高橋美沙紀、橋本淳、石井一洋、秋濱一弘：ガソリンエンジンの実用計算に適用可能なすす生成モデル、第56回燃焼シンポジウム講演論文集 (2018)
- ・橋本淳、高橋美沙紀、石井一洋、秋濱一弘：粒神 PS3-SM モデルの構築と検証、第29回内燃機関シンポジウム講演論文集 (2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 長弘 憲一 (元 本田技術研究所)

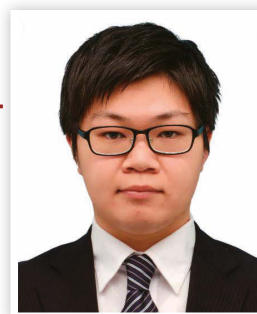
本テーマは、燃焼過程に生じるすす生成特性を炭素数60程度までのPHA成長過程を3区分したセクショナル法をモーメント法による粒子成長計算と組み合わせ、すす生成量を予測するモデルを構築した。その結果、基本的なベル特性、熱分解時の Soot Yield ピーク温度の再現ができたことは評価できる。今後、酸素添加量の増大に伴うピークシフト等が再現できるよう更なる改良に期待したい。

最新研究成果

Report 18

SIP 燃焼
AWARD
- 2018 -エンジンオイル潤滑面での焼付き前に起こる
移着膜生成挙動のその場観察

本研究では、エンジンオイル潤滑下での潤滑面の焼付き挙動のその場観察を行った。エンジンオイル中の添加剤の影響を調べるため、添加剤の配合が異なる数種類の潤滑油を用いて焼付き実験を行った。そして、その場観察で得られた画像を処理して焼付き発生前に生成される移着膜量を調べた。その結果、エンジンオイル中の添加剤は、焼付き発生前に、摩耗に伴う相手側表面への移着を抑制し、焼付き時に起こる塑性流動の初生および拡大を抑制していることが明らかとなった。

九州大学大学院
工学府
博士後期課程

松崎 康男

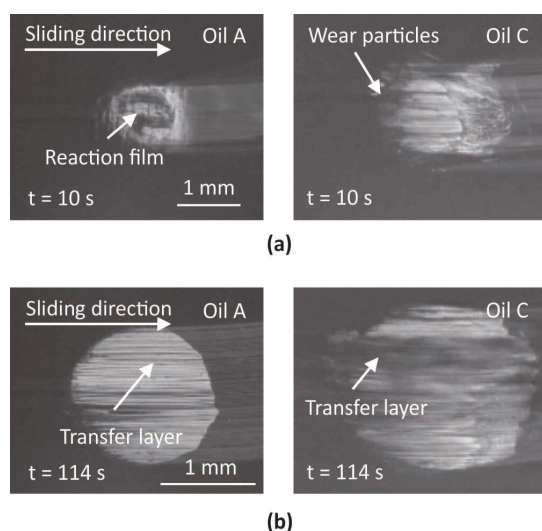


図1 その場観察画像結果

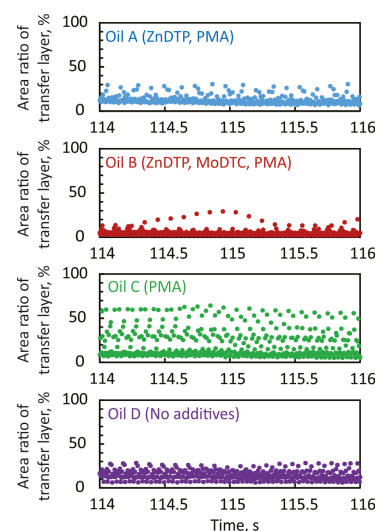


図2 潤滑油による移着膜生成量の違い

詳しくは

Yasuo Matsuzaki, Kazuyuki Yagi, Joichi Sugimura, Investigation of influence of lubricant additives on scuffing performance using in-situ observation method, Proceedings of Asia International Conference on Tribology 2018, 219-221. (2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 森 誠之 (岩手大学 名誉教授)

摩擦低減のためエンジンオイルの低粘度化により、軸受等の焼付き防止が課題となっている。本研究では、焼付き過程を明らかにする目的で、独自の装置を用いて摩擦接触部のその場観察を行った。その結果、鋼製のピンからディスクへの移着層の高速観察に成功した。さらに、焼付き直前に移着層の割合が上昇すること、オイル成分と移着層防止の関係を明らかにした。今後、摩擦材料や潤滑油添加剤と移着との関係を明らかにすることで、焼付き防止に貢献すると期待される。

最新研究成果

Report 19

SIP 燃焼
AWARD
- 2018 -DES、PIV を用いた脈動流下における
内部流れ調査

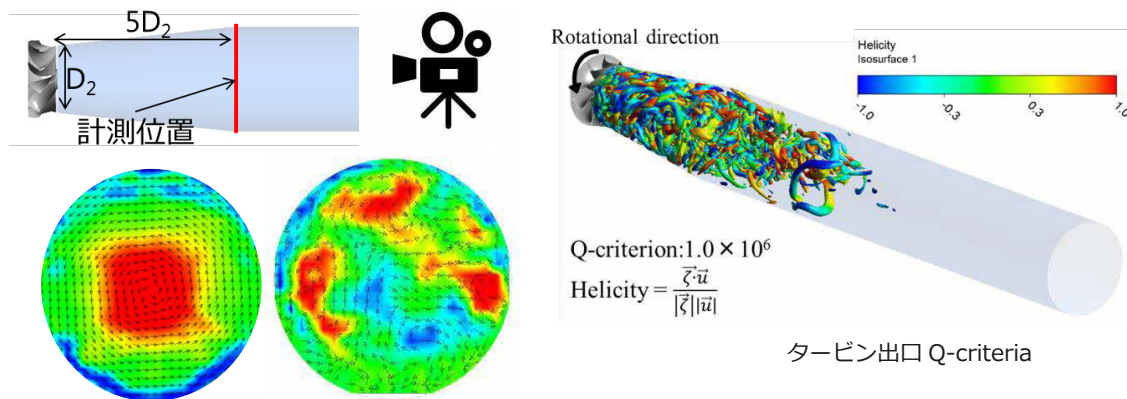
ターボチャージャの性能改善には、吸排気バルブの開閉によって生ずる脈動流下での羽根車、流路の流れの詳細な把握が必要である。一方、その流れは、羽根車回転数に比べ大きな周期での複雑な非定常性があり、計測、解析の適用は困難であった。本研究では、PIV (Particle Image Velocimetry)、DES (Detached Eddy Simulation) の適用により、複雑で非定常な流れの解明を実施し、損失の低減を可能とした。



早稲田大学
基幹理工学研究科
博士課程

中村 揚平

- 非定常流計測の実施によりタービンの出口流れが非定常性の強い小さな渦で形成されていることを確認。
- DES 解析結果より羽根車入口の剥離渦が出口の小さな渦の発生を誘起していることを明らかにした。



詳しくは

Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa,
INFLUENCE OF PULSATING FLOW ON TURBINE PERFORMANCE INVESTIGATED
BY DES AND PIV,
ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference,
(2018)

コメント

SIP 燃焼 プログラム会議委員 村中 重夫 (元 日産自動車)

本研究は、従来は定常流で評価されることが多いタービン効率の向上を目指し、脈動流下のタービン内部流れ計測と CFD 解析を行った。脈動発生装置を用いたタービン出口の内部流れを PIV (Particle Image Velocimetry) で計測した結果、定常流とは異なり、小さな渦を多数有する複雑な流れ場であることが分かった。脈動下の効率は定常流と比べタービン効率で約1.5%低下する。CFDでは非定常モデルを適用することにより、効率のヒステリシスを再現できるとともに流量変化時の効率予測精度が向上した。実測値との比較検証を進め、より高精度になればターボ系の有効な開発ツールになると期待される。

コラム

一体感と危機感の成せる業



サブ・プログラムディレクター

古野 志健男

SOKEN 専務取締役

“光陰矢のごとし”と申しますように、SIP 革新的燃焼技術が杉山 PD の強いリーダーシップの下、2014年度からスタートして早5年を迎え、結実の時となりました。産学官の多くの同志の方々に関与して戴き、非常に困難で高い目標を達成することができました。学の参画者は累積で約1300名、産の支援者は毎年約120名にのぼります。まずは、関係されたすべての方々に感謝を申し上げたいと存じます。

思い起せば、偶然にもSIP開始と同時にAICEも発足し、今までに例のない産産学学連携の国家プロジェクトの枠組みが起動し始めました。SIP開始時、学としては長年エンジン燃焼研究分野を牽引されて来られた神本武征先生と藤本元先生を中心に多大なるご指導やご提案を戴き、今に至ることができたと思います。深く御礼申し上げます。お二人には、本リサーチレポートの巻末言も何度か書いて戴きました。

ただ、ご存知のように神本先生におかれましては突然昨年2018年8月28日逝去されてしまいました。まさに驚愕の一言です。また、学のプログラム会議委員として約3年間ご指導戴いた石塚悟先生も2017年1月22日に他界されました。石塚先生は、広島大学で永年基礎燃焼研究に従事され、元日本燃焼学会会長も務められて、日本全体の燃焼研究のレベルアップに貢献されました。一方、機械摩擦損失低減グループにAICEとして入り込んでご活動戴いた町田恭一氏も2018年6月30日に亡くなられてしまいました。ここに改めて3名の方々のご冥福を心からお祈りし、深く哀悼の意を表したいと存じます。

さて、SIP 革新的燃焼技術では目標達成と共に、数多くのサイエンスとしての成果、多くのシミュレーションモデル、データベースシステムが創出され、合わせて若手研究者の成長や連携も進みました。それらの成果は、すでに産でも研究開発に活用され始めていて、まさにSIPの主旨の通り科学から技術への一気通貫のプロジェクトに出来たと思います。全員の一体感と危機感の成せる業だったのではないのでしょうか。SIP後に向けて、それらを更に持続的に成長させることの出来る体制も構築し、今後の日本の科学技術力向上にも貢献出来ることを確信して居ります。

SIP 革新的燃焼技術 Research Report 2019.1

発行日：2019年1月15日

編集発行：国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）

イノベーション拠点推進部 SIP 第1グループ

SIP 革新的燃焼技術担当

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町

E-mail：sip_combustion@jst.go.jp

HP：http://www.jst.go.jp/sip/k01.html