SIP革新的燃焼技術

第3回公開シンポジウム 平成29年7月6日



成果概要



0. ガソリン燃焼チームの研究成果概要・・・・・飯田
1. フラッシュプレゼン・・・・・・・・・大学院生
2. SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築 燃料・ノック抑制班・・・・・・田中・三好・酒井
3. SIP共用エンジンにおける着火可視化、壁面熱熱伝達計 測、マイクロPIVを用いた流動特性の解析 着火向上班/冷却損失低減班・・・河原・石井・志村 > ハイブリッド車用エンジンの熱効率:約39%(SIP開始時)



① 熱効率50%達成に繋がる要素技術の創出

② 革新的燃焼技術の解析からモデル化の推進

ガソリン燃焼チーム 発足時の研究開発体制





ガソリン燃焼チーム 現在の研究開発体制



4

SIPガソリン燃焼チーム 22大学29クラスター



・日本の知恵を結集し、世界を牽引する要素技術を創出
 ・産業界の発展にも貢献

5

SIP共用施設 ガソリン燃焼チーム研究拠点の形成

ガソリン燃焼チームにおいては、小野測器テクニカルセンター内に慶應大学SIPエンジンラボラ トリーという共用の研究拠点を設置し、チームのクラスターが自由にエンジン研究を行える施 設環境を形成しております。 SIP Engine Laboratory at ONO SOKKI Technical Center



SIP共用施設 SIP Engine Laboratory at ONO SOKKI Technical Center



SIP共用施設 SIP Engine Laboratory at ONO SOKKI Technical Center



SIP共通燃料 ガソリン燃焼チームWEBサイトにてレシピ公開中

<u>SIP共通ガソリン</u>

- ・SIP共用ガソリン(レギュラ) 4. 8kL
- ・SIP共用ガソリン(ハイオク) 14.0kL
- 5年間分を一括製造して使用する。





共通ガソリンおよびサロゲート燃料



SIP共通燃料





① 放電と点火特性の光学計測手法確立(プラズマ挙動と温度場計測) 東京大学 小林泰治、中谷辰爾、津江光洋

② SIP共通ガソリンの層流燃焼速度計測と詳細化学反応機構の検証

大阪府立大学 <u>土井翔太</u>、松浦聖満、岡崎竜之介、大和史明、貴志拓希、 前田祐輔、片岡秀文、瀬川大資

③ 誘電体バリア放電プラズマによる火炎伝播の促進効果 産総研・筑波大学 <u>倉持晃</u>、高橋栄一、瀬川武彦、齋藤直昭、西岡牧人

- ④ 世界初「エンジンシリンダ用ワイヤレスMEMS熱流束センサ」を開発 東京大学 <u>李 敏赫</u>、權 兌鎭、鈴木雄二
- ⑤ 世界初「微小表面積中に複数の計測点を有するMEMS熱流束センサ」を開発 明治大学<u>出島一仁</u>、中別府修
- ⑥ SIPサロゲート燃料にて定在冷炎を実現!冷炎構造を分析中→冷炎の超高精度モデル 東北大学 <u>異 遼太</u>、手塚 卓也、長谷川 進、中村 寿、丸田 薫
- ⑦希薄域でEGRがガソリンの自着火に及ぼす影響:支配的な要因は何だ!? 茨城大学 <u>成毛政貴</u>,吉田翔一,和知裕亮,金野満,田中光太郎
- ⑧ 最尤推定法による,不安定燃焼におけるオンボートばらつき縮減手法を開発 上智大学 徐 梓丹,張 亜輝,申 鉄龍
- ⑨ SIP可視化エンジンにて µ PIV流動計測にチャレンジ
 東京工業大学 <u>吉田真悟</u>、志村祐康、源 勇気、店橋 護

SIP革新的燃焼技術

第3回公開シンポジウム 平成29年7月6日



成果概要



0. ガソリン燃焼チームの研究成果概要・・・・・飯田
1. フラッシュプレゼン・・・・・・・・・大学院生
2. SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築 燃料・ノック抑制班・・・・・・田中・三好・酒井
3. SIP共用エンジンにおける着火可視化、壁面熱熱伝達計 測、マイクロPIVを用いた流動特性の解析 着火向上班/冷却損失低減班・・・河原・石井・志村 ▶ ガソリン燃焼チームの研究班の進捗状況 2016/11

クラスター	(A) 2015年度 の達成内容	(B) 2016年度の目標 (C) 2016年度の成果
総括班	図示熱効45%	図示熱効率46% SIPラボエンジン図示熱効率46% (正味44.1%)
着火向上班	希薄EGR時の 着火限界	点火限界支配パラメータ同定+点火モデル構築 GT-Power用、HINOCA用点火モデル構築
火炎伝播促進 班	層流・乱流の 燃焼速度計測	ガソリンサロゲート燃料にて計測 乱れ強さ、スケールの影響把握
熱損失低減班	共用engine, RCEM冷損評価	冷損低減要素技術の提案 境界層速度分布の解明と新たな冷損低減技術提案
燃料・ノック 抑制班	詳細Ver. 1β 簡略化Ver. 0	サロゲート詳細機構 Ver. 1, 簡略化機構 Ver. 1 Ver. 1a (着火とPRF火炎伝播) PRF完了, S5R一部
モデル班	_	1 D / 3 D モデル作成・検証担当と完成時期を決定 上記決定に従い順調に進行中
ばらつき縮減 班	_	リーンバーン時の燃焼変動要因解明と解決法の提案 変動要因を見出し,実機での解決法を検討中

リーダ大学(00)慶應大学飯田

13

1. チームの基礎研究の成果をモデル式として集約する年

2.エンジン燃焼研究の成果をサイエンスとして、 HINOCAに反映してモデル予測精度向上に貢献する年

3. 熱効率50%の達成を実証する年





	単気筒エンジン モデル 基礎研究				
熱効率50%	正味熱効率 44.4% (損失低減チーム分 0.4pt)				
火炎伝播		Thin Reaction Zoneでは、 局所のスケール 影響が 大きいことを確認 (九州大・東エ大・徳島大)			
冷却損失	高タンブル化で、 ・ 圧縮行程では混合気温度 が低下(ノック改善) & ・ 膨張行程では熱損失が 大きく増えないことを確認 (慶応大・東エ大・都市大)	ビストン壁面では 乱流境界 層が発達していない ことを 確認 (東エ大・慶応大・農エ大・ 山口大・九州大)			
燃料・ノック		サロゲートガソリン反応機 構の構築(成分燃料の 着火 遅れ時間と層流燃焼速度 の双方をよく再現)			



▶ ガソリン燃焼チーム チーム内の連携による成果

アカデミアの深い知識を組み合わせることで得られた成果

- (詳細な部分にまで踏み込み理論に基づき構築されていくノウハウ等)
- → 計測技術はサイエンスに基づくことから、計測技術を中心に知見を 集約することで世界最先端の計測技術の構築に貢献

	ノウハウ、知見等
PIV計測 µ PIV計測	μ PIV計測において重要なΔt [ns]の最適値をエンジンCA [deg]に応じて設定するノウハウ(東エ大・慶応大・山ロ大)
熱流束センサー	点火装置ノイズを回避、熱電対の微細起電圧を高S/N比で 取り出すノウハウ。モータリング時の吸気・排気行程におけ る熱流束履歴を計測(東京都市大・東工大・慶応大) エンジン運転中に検定値自動補正を行うセンサーシステム を開発(明治大学/特許申請中)
RCM	クラスター保有の低速RCM、高速RCM、超高速RCM、衝撃 波管を結集、同サロゲート燃料にてデータ蓄積。高速運転 にてノックが消えない理由に迫る活動(日大・茨城大・上智大)

➢ SIP単気筒エンジン 図示熱効率の現状



▶ スーパーリーンバーンによる低温燃焼の実現

これまでにないスーパーリーンバーンによる低温燃焼の実現から, エネルギーロス(冷却損失)を低減し,熱効率を向上



従来燃焼(ストイキ)

- スーパーリーンバーンで目指す運転条件;
- ・超希薄(λ = 2.0)
- ・高流動・高乱流 (*u*=20~50 m/s, *u*'=5 m/s)
- 高EGR (EGR ratio = 20 %)





▶ ファイアリング運転時の熱流束(行程毎の積算値) 20

・空気過剰率が大きくなると主に膨張行程で熱流束が減少し、全行程の積算値 が減少することから、希薄化によって冷却損失が低減できる.



慶應大学、東京都市





目標設定 正味熱効率 2017/07/06版



SIP革新的燃焼技術 第3回公開シンポジウム ガソリン燃焼チーム 研究成果報告

2017年7月6日 一橋大学 一橋講堂 (学術総合センター内)

燃料・ノック班

SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築

18 茨城大学 田中 光太郎・金野 満21 広島大学 三好 明23 福井大学 酒井 康行

- 研究組織・期間の内/外を通して再現性を担保できる 「試験研究用ガソリン」

- 商用ガソリンの耐ノック性 (自着火性) と燃焼速度を模擬することを 最優先
- 入手性と安定性を重視 (数成分に限定・沸点は 100~110℃)
- 数成分では再現不能な他の性状 (蒸留性状、すす生成傾向など) は重視しない

— 反応機構が構築可能な「模擬ガソリン」

成分炭化水素の詳細反応モデルが早期に構築可能で
 サロゲート混合燃料のモデルが構築・実験検証できること

- 燃料に目を向けた内燃機関燃焼技術開発への布石

• 燃料は変革する / 変革できる



燃料・ノック班

ー 初の日本市場ガソリンサロゲート S5R(レギュラー)・S5H(ハイオク)

• 日本市場のレギュラー (JIS 2級) とハイオク (JIS 1級) を模擬

 Table 1
 Composition and properties of the SIP common gasoline surrogate mixtures

			$S5R^{a}$		S5H ^a		
Constituent	bp [°C]	RON	MON	vol%	mol%	vol%	mol%
isooctane $(C_8H_{18})^{b}$	98	100	100	29.0	23.825	31.0	24.704
<i>n</i> -heptane (C_7H_{16})	98	0	0	21.5	19.903	10.0	8.980
methylcyclohexane (C ₇ H ₁₄)	101	75	74	5.0	5.317	5.0	5.158
diisobutylene $(C_8H_{16})^{c}$	101	96	82	14.0	12.125	14.0	11.761
toluene (C_7H_8)	110	120	109	30.5	38.830	40.0	49.397
RON / MON				90.8 / 82.9		100.2 / 88.8	
HHV / LHV [MJ/kg]				45.41 / 42.49		45.14 / 42.43	

^{*a*)} "S5R" and "S5H" stand for the SIP five-component surrogate for "regular" (JIS 2nd grade) and "high-octane" (JIS 1st grade) gasolines.

^{b)} 2,2,4-trimethylpentane.

^{c)} Approximately 4:1 mixture of 2,4,4-trimethyl-1-pentene and 2,4,4-trimethyl-2-pentene.

* 詳細組成と性状は JXTG エネルギーの協力を得て決定



燃料・ノック班

- サロゲート燃料と市場ガソリンの比較・検証

- 自着火性 RCM + MFR + ノック特性
- 火炎伝播速度

— 詳細反応機構の構築

- 自動生成と既存モデルによる詳細反応機構生成 量子化学計算と統計理論による速度定数の見直し
- 成分炭化水素に対する検証 (Ver. 1.0 β)
- サロゲート混合燃料に対する検証 (Ver. 1.0)

- 簡略化反応機構の構築

- •5成分サロゲートで化学種数 106
- TRF(3成分) で化学種数 68
- 詳細反応機構に対して着火遅れ時間と燃焼速度を検証



SIP革新的燃焼技術 第3回公開シンポジウム ガソリン燃焼チーム 研究成果報告

燃料・ノック班

SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築

1. サロゲート燃料と市場ガソリンの比較・検証

茨城大学 田中 光太郎·金野 満

2. 詳細反応機構の構築 広島大学 三好 明

3. 簡略化反応機構の構築 福井大学 酒井 康行

成果概要

ノック予測に役立つ実用ガソリンの詳細化学反応モデル構築に必要な着火遅れ 時間に関するデータを提供。

- 急速圧縮装置を用い、2-5 MPa、660-740 K、当量比0.5におけるSIP共通ガソリン、 SIPサロゲート燃料の着火遅れ時間を計測し、実ガソリンの着火遅れ時間データの 蓄積を行った。
- SIPサロゲート燃料の着火遅れ時間は、低温酸化反応開始タイミングに僅かな差が あるものの、SIP共通ガソリンの着火遅れ時間をよく再現することを確認した。



実験装置 ~急速圧縮装置~



QCL

<u>18 茨城大学</u>

 $H_{2}O_{2}$

8 µm

ガソリン燃焼チーム

per Lean Burn

実験条件

	Condition		
当量比 φ	0.5		
圧縮後圧力 P _c (MPa)	2 - 5 <u>+</u> 0.05		
初期圧 力 P _i (MPa)	0.101 - 0.273		
圧縮後温度 T _c (K)	660 - 740 <u>+</u> 2		
初期温度 T _i (K)	300 – 353		

化学反応計算

圧縮過程、熱損失を考慮し、圧縮過程から計算 を行い、着火遅れ時間を、定義に従い決定。



SIP, "Innovative Combustion Technology"

着火遅れ時間の定義

圧縮上死点から、圧力上昇率が最大の時刻 までの時間を着火遅れ時間と定義。



着火遅れ時間~実ガソリンとサロゲートの比較~



ガソリン燃焼チーム内での燃料の燃焼特性把握



18 茨城大学

期待される効果と今後の計画

- ガソリンサロゲート詳細反応機構の構築、高精度化。
- 急速圧縮装置による計測データはノックモデルの検証にも 利用できる。

2017~2018年度の計画

燃料性状の違いがノックに及ぼす影響を実機実験で明らかにし、ノックモデル 検証用データを提供する。



- 燃料及び圧縮比の違いがノック限界に 及ぼす影響を実機実験で明らかにする。
- 3年度までに構築したノックモデルの検 証用データを取得し、提供する。
- 3年度までに考案されたノック抑制案の 検証を行う。
- RCMを用いて、エタノール、ETBE添加が 自着火に及ぼす影響を明らかにする。

18 茨城大学



33

SIP革新的燃焼技術 第3回公開シンポジウム ガソリン燃焼チーム 研究成果報告

燃料・ノック班

SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築

1. サロゲート燃料と市場ガソリンとの比較・検証 茨城大学 田中 光太郎・金野 満

2. 詳細反応機構の構築 広島大学 三好 明

3. 簡略化反応機構の構築 福井大学 酒井 康行

成果概要

ガソリンサロゲート詳細反応機構 SIP-Gd1.0 の構築

- ガソリンの燃焼特性を模擬する5成分サロゲート燃料の反応 機構を個々の成分 (ヘプタン・イソオクタン・トルエン・ジイソ ブチレン・メチルシクロヘキサン)の反応機構から構築することで市場ガソリンを模擬できる反応機構を構築する。
- チーム内のクラスターから提供された着火遅れ時間と燃焼 速度の実測値を元にサロゲート詳細反応機構 Ver. 1.0 を構 築した.
- 反応機構は成分炭化水素,2成分(PRF),3成分(TRF),5成分
 サロゲート(S5R/S5H)の燃焼速度と着火遅れをよく再現する



<u>21 広島大学</u>
着火遅れ時間 (TRF成分)

- 成分炭化水素/空気 着火遅れ時間 (TRF成分)
 - •実験値をよく再現



21 広島大学



着火遅れ時間 (オレフィン・ナフテン)



21 広島大学



37

着火遅れ時間 (サロゲート燃料)

- S5R/空気 および S5H/空気

•実験値をほぼ再現(高圧・低温は要再確認)



21 広島大学

燃焼速度 (パラフィン・ナフテン)

- アルカンとシクロアルカン

•実験値をよく再現



21 広島大学

燃焼速度 (トルエン)

- トルエンの燃焼速度
 - 圧力依存性・温度依存性ともに良好に再現する





40



- TRF および S5R
 - •実験値をよく再現





21 広島大学

期待される効果

1) ノックモデルや簡略化反応機構の開発の出発点 → CFD 計算などの質の向上

2) 0次元~低次元モデル解析の定量性の向上



21 広島大学

SIP革新的燃焼技術 第3回公開シンポジウム ガソリン燃焼チーム 研究成果報告

燃料・ノック班

SIP共通ガソリンサロゲート反応機構の構築

- 1. サロゲート燃料と市場ガソリンとの比較・検証 茨城大学 田中 光太郎・金野 満
- 2. 詳細反応機構の構築 広島大学 三好 明
- 3. **簡略化反応機構の構築** 福井大学 酒井 康行



ガソリンサロゲート簡略化反応機構SIP-Gr1.0の公開 - モデルサイズ

S5:106化学種

- S3(TRF):68化学種
- 着火遅れ時間検証範囲

T=625~1666 K, *p*=20~80 bar, *φ*=0.5~1.0

- 燃焼速度検証範囲

T=298~600 K, p=1~100 bar, φ=0.5~1.6 (詳細反応機構SIP-Gd1.0に対して検証)



反応経路解析・感度解析結果を基にランピング/リダクション によるハイブリッド法で簡略化・詳細反応機構に対して検証

サブモデル	化学種数	構築手法
nC ₇ H ₁₆	9	skeletal ROO 4異性体を1つ
iC ₈ H ₁₈	12	skeletal ROO 4異性体を1つ
C ₆ H ₅ CH ₃	12	reduced
cC ₇ H ₁₄	11	skeletal ROO 5異性体を1つ
eC ₈ H ₁₆	25	skeletal 水素引き抜き:ROO 3異性体を1つ OH付加:ROO 2異性体を1つ HO ₂ 付加:付加生成物 2異性体を1つ
cross reactions	4	
C ₀ -C ₂ base	33	reduced C ₂ H ₆ ・C ₂ H ₄ ・C ₂ H ₂ ・CH ₄ の 燃焼に重要な化学種

23 福井大学

着火遅れ時間(各成分)



23 福井大学

燃焼速度(各成分)



23 福井大学

r Lean Burn

着火遅れ時間・燃焼速度(ガソリン)



23 福井大学

- 既存の反応機構との比較



– 低次元ノックモデル,CFD計算の高精度化

→ ノッキングの理解

→ ノッキング抑制コンセプト提案

→ 熱効率50%



SIP革新的燃焼技術 第3回公開シンポジウム ガソリン燃焼チーム 研究成果報告

着火向上班、冷却損失低減班

SIP共用エンジンにおける着火可視化、壁面熱流束計測、 マイクロPIVを用いた流動特性の解析

 1. 共用エンジンにおける火花放電の高速度可視化 03岡山大学 河原 伸幸
2. 共用エンジン内壁面熱流束の計測 12東京都市大学 石井 大二郎
3.マイクロPIVによる点火点及びピストントップ壁面 近傍の流動特性の解明 04東京工業大学 志村 祐康

共用エンジンにおける火花放電の高速度可視化

着火向上班

03 岡山大学 河原 伸幸

*\phi*0.8



ф 0.6





 ストイキ近くではブレイクダウンとともに 初期火炎核が形成・伝ぱ (衝撃波の影響?)
希薄燃焼時には火花放電を取り囲むよう に初期火炎核が形成





52

*\phi*0.8



SIP, "Innovative Combustion Technology"





53



SIP, "Innovative Combustion Technology"

03 岡山大学



*\phi*0.8



^{ϕ0.6} 学術的視点

55





 ストイキ近くではブレイクダウンとともに 初期火炎核が形成・伝ぱ (衝撃波の影響?)
希薄燃焼時には火花放電を取り囲むよう に初期火炎核が形成





共用エンジン内壁面熱流束の計測

冷却損失低減班

12 東京都市大学 三原 雄司、石井大二郎

<u>壁面熱流束センサーの開発 都市大(12)、東大(0)、明大(14)</u>

使用目的・タイプの異なる3種類の熱流束センサを開発する

センサ材質をエンジン材に 合わせた高精度同軸型瞬 時熱流東センサー 都市大(12)



MEMS技術による柔軟な無 線熱流東センサー 東大(13)



MEMS技術による微小間隔 多点熱流束センサー 明大(14)

57



流動計測と同スケー

ルでの計測の実現





SIPガソリン燃焼共用エンジンにおける熱流束計測



Engine type	Single-cylinder SI	
Bore × Stroke [mm]	75 × 112.5	
Stroke bore ratio	1.5	
Displacement [cm ³]	497	
Compression ratio	13	





3線式熱流束センサ構造



SIP, "Innovative Combustion Technology"

r Lean Burn

計測システム開発



Shield case

70

50

30







応答性は6倍(600kHz)、ノイズは1/30~40倍を実現

14 不不用 11 八丁

従来システムと比較して、

SIP, "Innovative Combustion Technology"

4









12 東京都市大学



燃料を希薄化しても、熱伝達率はほぼ一定値を示しており、ガス温度が低下すること によって局所熱流束が小さくなる この結果から、希薄化による低温燃焼を実現することによって冷却損失低減の可能 性が示された

12 東京都市大学

SIP, "Innovative Combustion Technology"

en Lean Burn

マイクロPIVによる点火点及びピストントップ壁 面近傍の流動特性の解明

着火向上班,火炎伝播促進班,冷却損失低減班 04 東京工業大学 店橋 護,<u>志村 祐康</u>,源 勇気

共同研究担当

00 慶應義塾大学 横森 剛 (冷却損失低減班) 05 山口大学 瀬尾 健彦 (着火向上班)

11 東京農工大学 岩本 薫(冷却損失低減班)

エンジン筒内の流動と火炎挙動





04 東京工業大学



単気筒可視化火花点火エンジンとPIV計測システム



04 東京工業大学

プラグ位置付近の高空間分解能PIV計測



	計測方法	広域PIV	高空間分解能PIV	
	計測領域	30.4 mm × 30.4 mm	3.2 mm × 3.2 mm	
検査領域		32 pixels \times 32 pixels	64 pixels × 64 pixels	
	検査領域に基づく空間分解能	496 μm × 496 μm	100 μm × 100 μm	
	ベクトル間隔	248 µm	50 μm	
	レーザーシート厚さ	300-500 μm	160 μm	
	エンジン回転速度	2000 rpm (motoring)	PIVの時間間隔∆tは条件毎に	.設定
	計測タイミング	320, 330, 340, 350 CAD		
吸気バルブ開口タイミング (t _{IVO})		-30, -15, 0 CAD	※ 圧縮行程上死点を360クランク	
	タンブル強化プレート	有り、無し	角度(CAD)と定義	



プラグ位置に形成される速度場



→ 25.0 m/s

04 東京工業大学

サイクル平均により得られた速度場(左), 瞬時の速度場(右) 320 CAD, t_{IVO} = -30 CAD, タンブルプレート無し

> ガソリン燃焼チーム Super Lean Burn

主流と乱流変動速度の評価





320 CAD, t_{Ivo} = -30 CAD, タンブル強化プレート無し, フィルター幅d = 2.95 mm

04 東京工業大学



主流方向のサイクル変動



04 東京工業大学

er Lean Burn

主流方向のサイクル変動



er Lean Burn
主流方向のサイクル変動



04 東京工業大学

Super Lean Burn

主流方向のサイクル変動



乱流スケールの変化



SIP, "Innovative Combustion Technology"

04 東京工業大学



乱流強度の変化



u"_{*rms*}: サイクル平均からの変動速度(主流のサイクル変動に起因する変動を含む)

04 東京工業大学



ピストントップ速度境界層の速度分布計測

エンジン(モータリング)稼働条件

タンブル強化ポート	有り
エンジン回転数	2000 rpm
吸気タイミング	-30, -15, 0 CAD

壁面近傍高空間分解能PIV 実験条件

04 東京工業大学

計測領域	3.2 mm × 1.5 mm
解像度	960 pixels × 2048 pixels
検査領域	96 pixels ×48 pixels
レーザシート厚さ	160 µm
空間分解能	150 μm × 75 μm × 160 μm
トレーサー粒子, 粒径	SiO ₂ , 1µm
計測クランク角度	340, 350, 360 CAD



ピストントップ速度境界層の速度分布計測

エンジン(モータリング)稼働条件

タンブル強化ポート	有り
エンジン回転数	2000 rpm
吸気タイミング	-30, -15, 0 CAD

壁面近傍高空間分解能PIV 実験条件

04 東京工業大学

計測領域	3.2 mm × 1.5 mm
解像度	960 pixels × 2048 pixels
検査領域	96 pixels ×48 pixels
レーザシート厚さ	160 μm
空間分解能	150 μm × 75 μm × 160 μm
トレーサー粒子、粒径	SiO ₂ , 1µm
計測クランク角度	340, 350, 360 CAD



ピストントップの境界層 流速分布



層流でも完全発達した乱流でもない

340 CAD, t_{IVO} = -30 CAD 30 viscous sublayer Blasius 6 Log-law layer 25 $t_{\rm IVO} = -30 \, \rm CAD$ $t_{\rm IVO} = -30 \, \rm CAD$ 5 $t_{\rm IVO} = -15 \, \rm CAD$ 20 $t_{\rm IVO} = -15 \, \rm CAD$ $t_{\rm IVO} = 0 \text{ CAD}$ 4 $t_{\rm IVO} = 0 \, \rm CAD$ OVICE DAMAGE Δ +**15** 5 8 10 2 8 5 1 340 CAD 0 0 0.2 0.8 0.6 1.0 10 100 0.0 0.4 1000 u/U y^+ 360 CAD, t_{IVO} = -30 CAD 30 iscous sublayer Blasius 6 Log-law layer 25 $t_{\rm IVO} = -30 \text{ CAD}$ $t_{\rm IVO} = -30 \, \rm CAD$ Ο 5 $t_{\rm IVO} = -15 \text{ CAD}$ 20 $t_{\rm IVO} = -15 \, \rm CAD$ $t_{\rm IVO} = 0$ CAD $t_{\rm IVO} = 0 \, \rm CAD$ + 15 μ 10 2 $\mathbb{Q}^{\bigtriangleup}$ 5 1 360 CAD 0 0 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 10 100 1000 u/U v^+ LES, RANSの高精度な壁面熱伝達モデルの構築可能性

04 東京工業大学

SIP, "Innovative Combustion Technology"

Lean Burn

まとめと今後の展望

まとめ

- ◆ 高空間分解能速度計測による点火点近傍及びピストントップ 壁面近傍の流動場の特性の検討
- ◆ 安定な点火実現のための流動場条件を把握可能
- ◆ エンジン内壁面近傍の流れ場は、必ずしも十分に発達した 壁乱流ではない。

今後の展望

- ◆ レーザ誘起蛍光法等による火炎構造計測方法の確立
- ◆ 放電経路計測,壁面熱流束計測と高空間分解能PIV・火炎 構造計測の同時計測

04 東京工業大学

◆ 高精度な放電経路モデル, 壁面熱伝達モデルの構築



SIPガソリン燃焼チーム 3年度成果のまとめ 1/2

SIPスーパリーンバーンエンジンの熱効率検証

- SIP強力点火装置の導入、およびタンブル流の強化にて、 λ=2.0超希薄予混合気の低温燃焼を実現
- 図示熱効率46%(正味熱効率44%)を達成
- 燃焼変動解析 → 燃焼改善で更なるリーン化の余地を示唆

SIP単気筒メタルエンジンにて熱流束計測

- タンブル流強化 → 熱損失は微増(吸気行程での壁面冷却効果大)
- リーンバーン化 → 熱損失が低減(低温燃焼)

SIP可視化エンジンにてµPIV流動計測にチャレンジ

 ・ピストン表面におけるタンブル流動の境界層は「発達した乱流境界 層」に至らないことを世界で初めて発見

→ テクスチャ構造による遮熱効果が望めない

82

SIPガソリン燃焼チーム 3年度成果のまとめ 2/2 83

ガソリンサロゲート詳細反応機構バージョン1.0 (SIP-Gd1.0) および簡略化反応機構バージョン1.0 (SIP-Gr1.0)をWEB公開

- •層流燃焼速度および着火遅れの双方を高精度で再現する反応スキームの開発に世界で初めて成功
- H I NOCA 竹モデル構築および予測精度向上に貢献
- •深潟康二(慶大)→エンジン筒内流動予測用DESとハイブリッドRANS/LES
- ●服部博文(名工大) →マルチタイムスケール熱伝達モデルの開発
- ・安倍賢一(九大)→非等方SGSモデルと非線形RANSを用いたハイブリッド
 乱流モデルの高精度化
- •須賀一彦(阪府大)→ RANS-LESハイブリッドモデルの壁関数

課題

- ラボエンジン: 圧縮比、ボアストローク比の熱効率最適条件探索が未達
- テクスチャ構造に代わる熱効率向上策の提案