

2026年度 JPECフォーラム

**【19】ディーゼルエンジンの高効率化および低排出ガス化を
図るためのe-fuelの高度化利用**

2026年5月12日

北海道大学(柴田 元)

1. はじめに

- 研究背景および研究目的
- 研究方法

2. 研究目的と燃料からのアプローチ

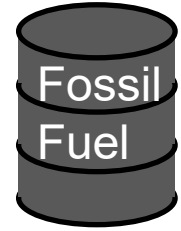
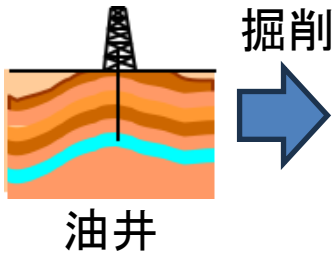
- その① 含酸素燃料(OME)の利用
- その② e-fuelの軽質化の効果
- その③ 試製e-fuelのポスト処理

3. まとめ

研究背景および研究目的

研究背景

<従来の製造>



<カーボンニュートラル燃料製造>



Direct Air Capture (DAC)
<https://www.science.org/content/article/cost-plunges-capturing-carbon-dioxide-air>



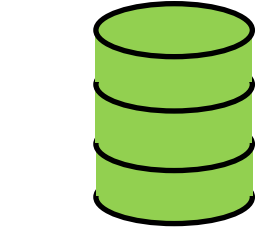
CO₂
H₂O (water)



電解処理

CO
H₂

FT合成



CN燃料 (e-fuel)

研究目的

単に軽油代替の液体合成燃料を製造・市場導入するのではなく、現行ディーゼルエンジンの熱効率を改善し排出ガス低減を図ることが可能な液体合成燃料の燃料性状の提案を目的とする。

エンジン実験(間接的)

エンジンにセンサー類を取り付けて
その信号から性能を判断する



- ・ 血圧計測
- ・ 聴診
- ・ 心電図
- ・ 血液検査
- ・ 尿検査



心電図

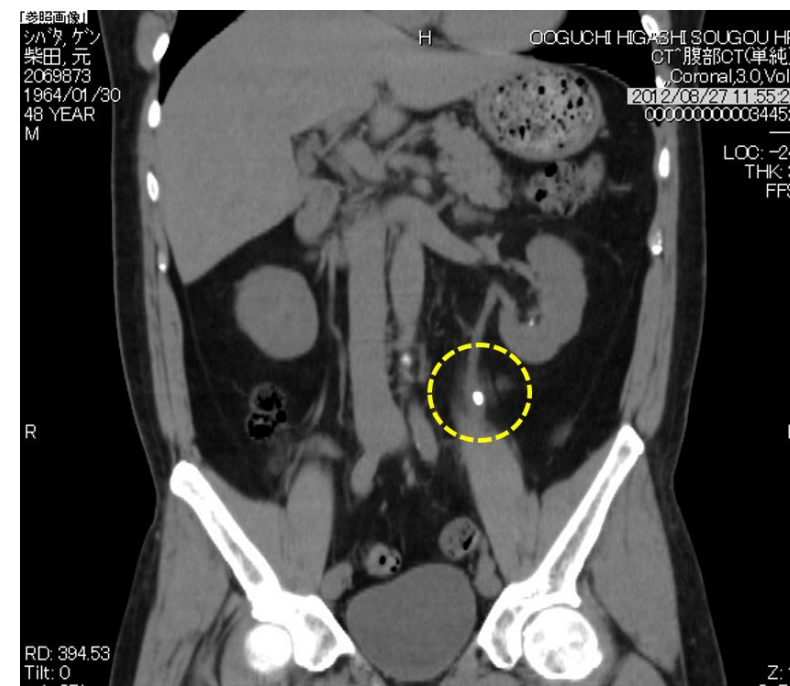
急速圧縮膨張装置実験(直接的)

定容燃焼容器実験(直接的)

エンジンの燃焼室を可視化して、燃焼の
進行を画像で診断する

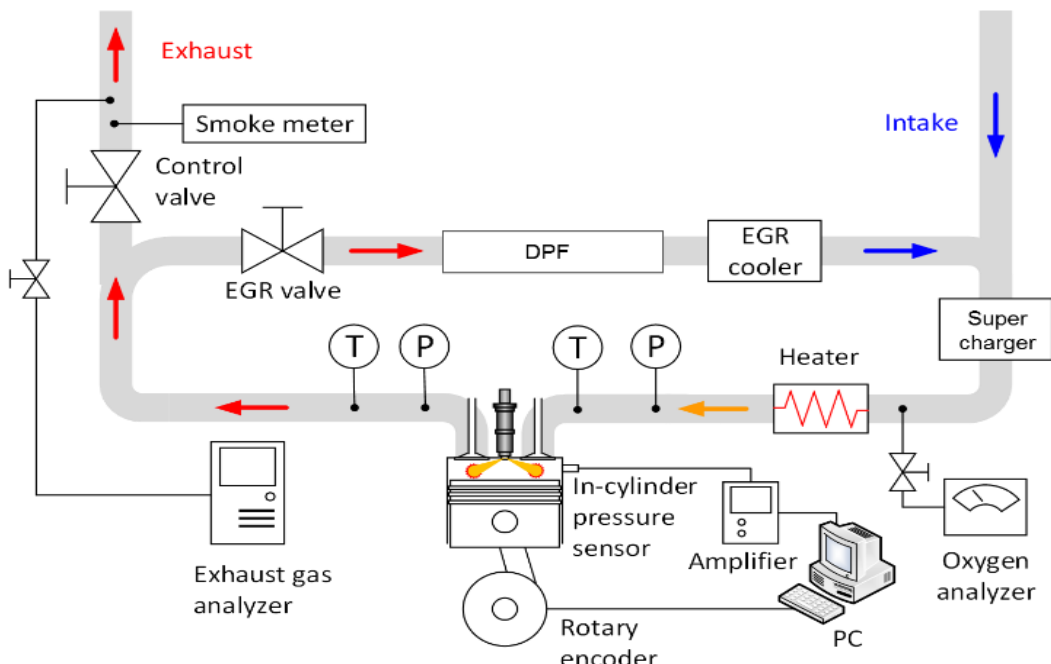


- ・ CTスキャン
- ・ MRI診断
- ・ レントゲン

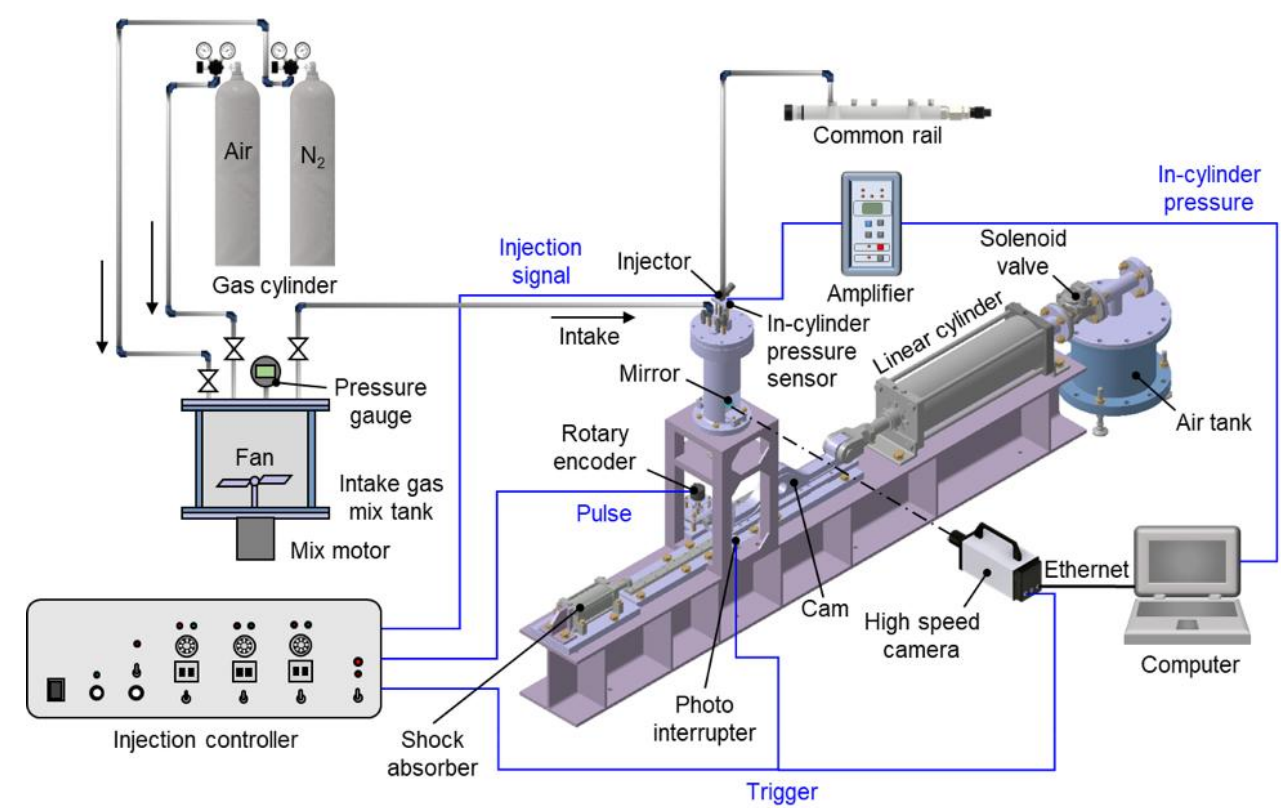


CTスキャン画像
(Year 2012, 尿管結石)

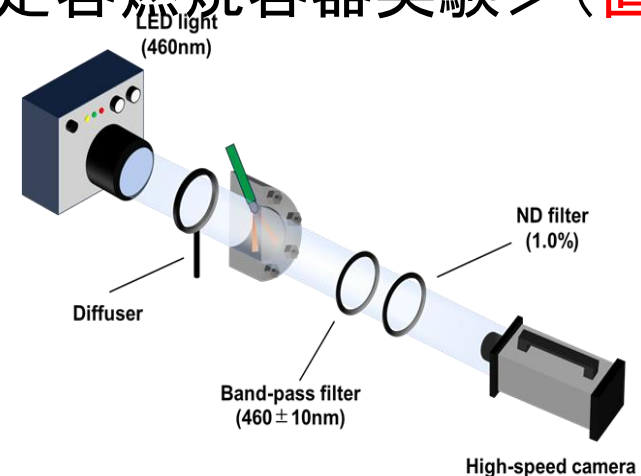
<エンジン実験> (間接的)



<急速圧縮膨張装置実験 (RCCEM)> (直接的)



<定容燃焼容器実験> (直接的)



1. はじめに

- 研究背景および研究目的
- 研究方法

2. 研究目的と燃料からのアプローチ

- その① 含酸素燃料(OME)の利用
- その② e-fuelの軽質化の効果
- その③ 試製e-fuelのポスト処理

3. まとめ

目的：従来の軽油以上のエンジン性能(熱効率、排ガス性能)を引き出せる
e-fuelの市場導入(環境インパクト)

燃料からのアプローチ

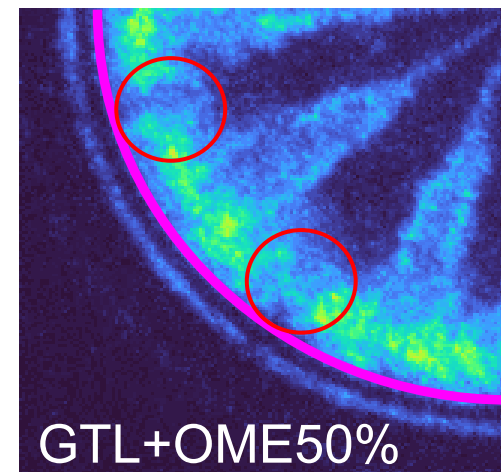
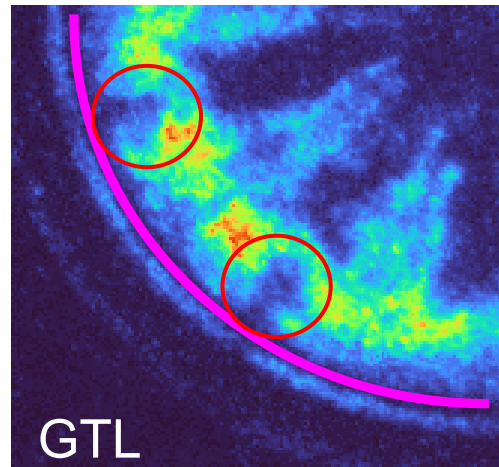
その① 含酸素燃料(OME)の利用

→OMEが燃焼に与える影響評価(2021-2024年度)

長所： 噴霧干渉領域での燃焼促進効果
(熱効率向上と低スモークの可能性)

短所： 発熱量が低いため噴射期間が長期化し過度のOME混合は熱効率低減

→2025年度： 噴孔径と噴孔数をパラメータとしたOMEインジェクタ適合研究



OMEによる噴霧干渉領域での燃焼促進効果(OHラジカル計測)

1. 含酸素燃料 (OME) へのインジェクタ適合 (エンジン実験)

噴孔径と噴孔数を変更し(噴孔面積一定)同一噴射期間で同じ熱量のOME30*を噴射

*OME30%をGTLに混合した燃料

エンジン実験条件(吸気酸素濃度変更実験)

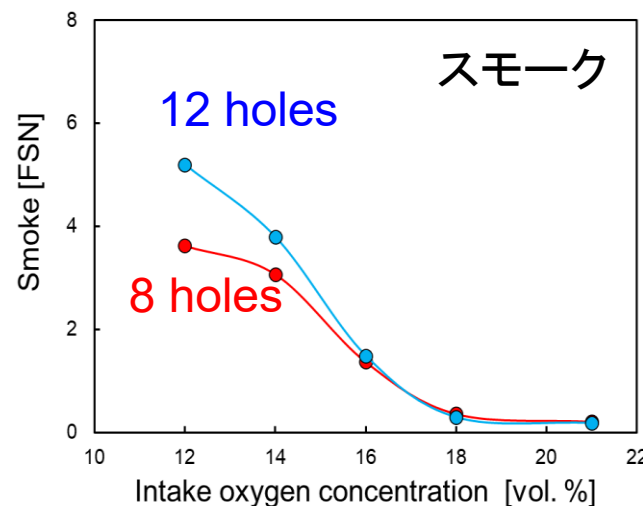
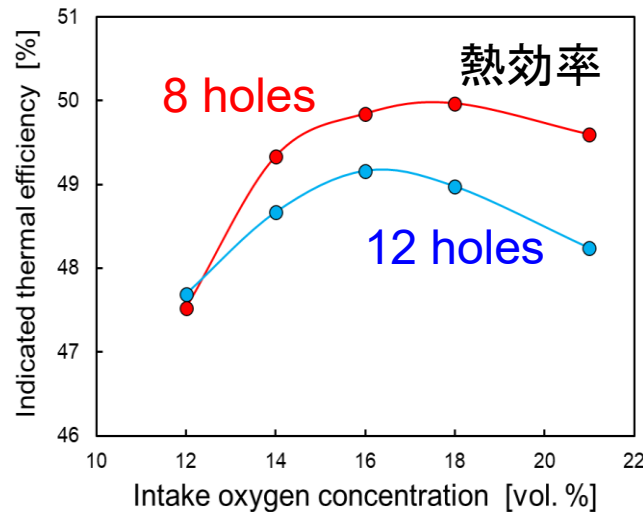
燃料	OME30(GTL+OME30%)
インジェクタ	8噴孔、12噴孔の2種類
エンジン回転速度 [rpm]	1600
IMEP [kPa]	900
燃料噴射圧力 [Mpa]	150
パイロット噴射タイミング [CAATDC]	-10.5
メイン噴射タイミング	上死点着火に調整
吸気圧力 [kPa]	140
吸気温度 [°C]	30
吸気酸素濃度 [vol%]	12, 14, 16, 18, 21

使用したインジェクタ(総噴孔面積同一)

	8噴孔インジェクタ	12噴孔インジェクタ
噴孔数	8	12
噴孔径 [mm]	0.133	0.109
総噴孔面積 [mm ³]	0.111	

＜今回の結果＞

同一噴孔面積の場合は噴孔数が少ないインジェクタ(8噴孔)の方が有利である。(左図)



この他、OME混合燃料では

- 噴孔面積を大きくする
- 噴射圧力をあげる

ことが、熱効率向上とスモーク低減に効果があることも分かっている。

1. 含酸素燃料 (OME) へのインジェクタ適合 (定容燃焼容器実験)

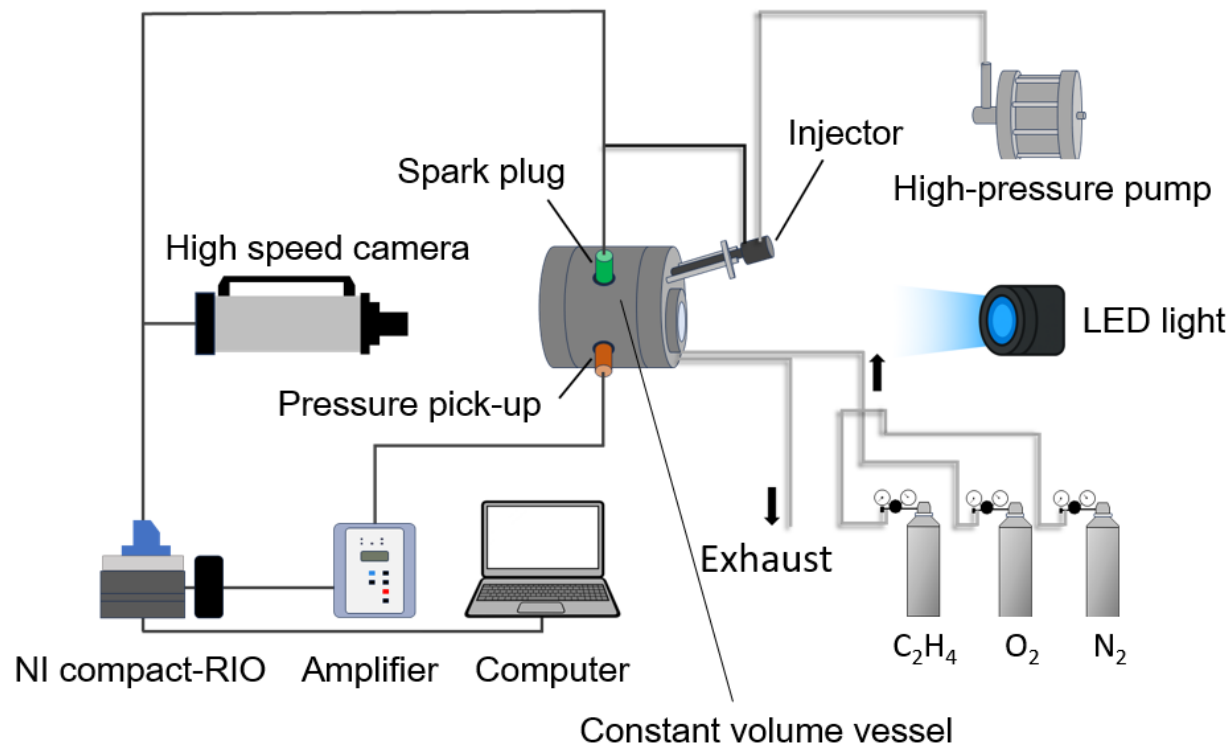
噴孔径と噴孔数を変更し(噴孔面積一定)同一噴射期間で同じ熱量のOME30*を噴射

実験条件

燃料	GTL, OME30
容器壁面温度 [°C]	100
容器内の初期酸素濃度 [%]	16
インジェクタ	8噴孔、12噴孔の2種類
壁面までの距離 [mm]	40
噴射圧力 [MPa]	100
噴射期間 [ms]	0.5

実験で使用した燃料の性状

燃料	GTL	OME30
セタン指数	66.2	72.2
密度(@15°C) [g/cm ³]	0.779	0.855
動粘度(@30°C) [mm ² /s]	3.23	2.01
酸素含有量 [mass%]	<0.1	17.1
芳香族量 [mass%]	0.3	0.21
低位発熱量 [MJ/kg]	43.5	34.8

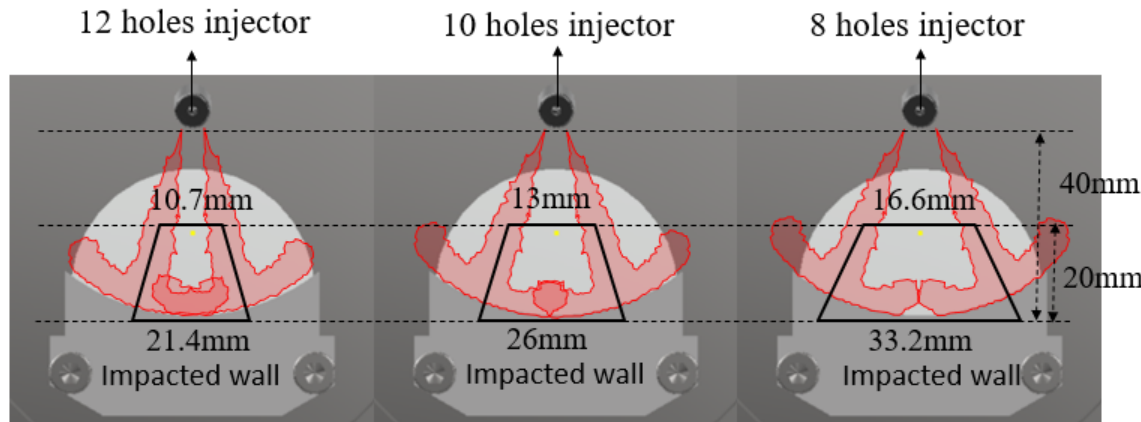


実験手順:

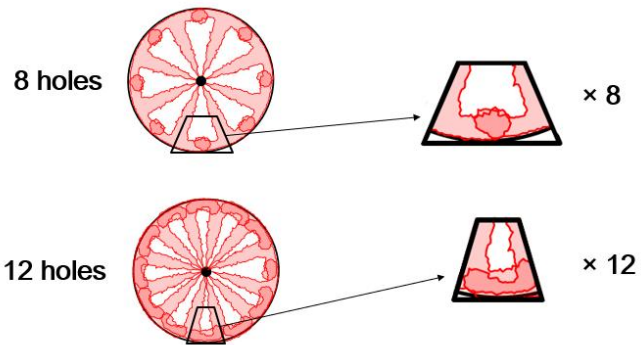
1. 窒素、エチレン、過剰の酸素を容器内に充填
2. 上記のガスに火花点火をし、燃焼室内をディーゼルエンジンの上死点雰囲気にする(噴射前の残留酸素濃度は16%)
3. 燃料(GTLまたはOME混合燃料)を噴射してスモーク量を計測

1. 含酸素燃料 (OME) へのインジェクタ適合 (定容燃焼容器実験)

噴孔径と噴孔数を変更し(噴孔面積一定)同一噴射期間で同じ熱量のOME30*を噴射



* The trapezoidal legs and spray directions are parallel



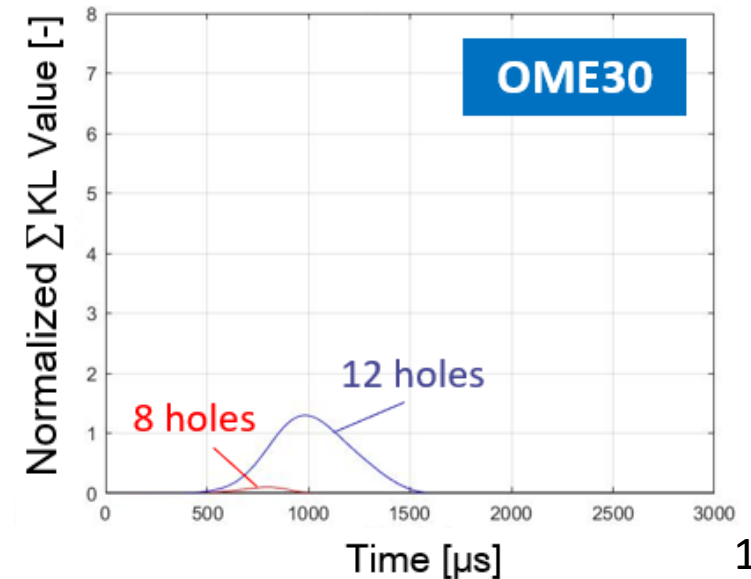
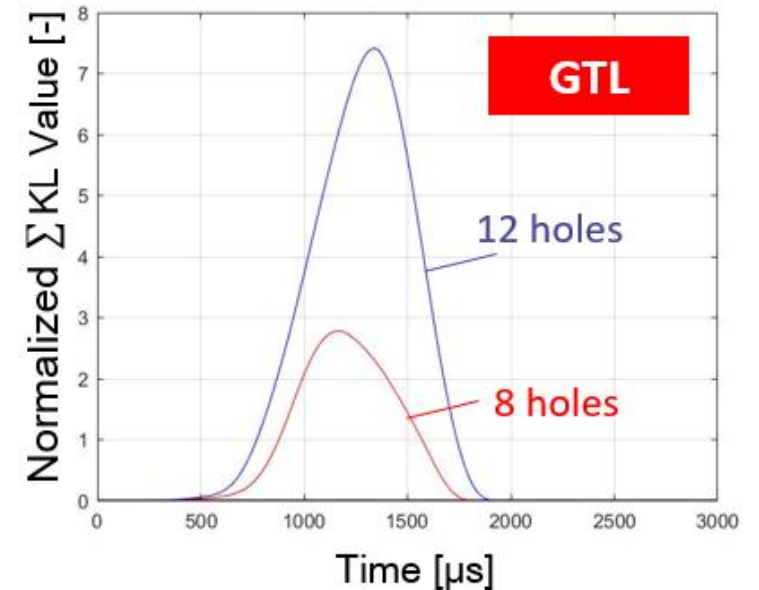
8噴孔インジェクタでは計測されるKLを8倍して評価

12噴孔インジェクタでは計測されるKLを12倍して評価

- OME30%混合燃料は、噴霧間干渉領域でのスモーク生成の大幅抑制
- 8噴孔の方が12噴孔よりも噴霧間干渉領域でのスモーク生成量は少ない

<理由>

8噴孔の方が空気を取り込む時間が長い



1. はじめに

- 研究背景および研究目的
- 研究方法

2. 研究目的と燃料からのアプローチ

- その① 含酸素燃料(OME)の利用
- その② e-fuelの軽質化の効果
- その③ 試製e-fuelのポスト処理

3. まとめ

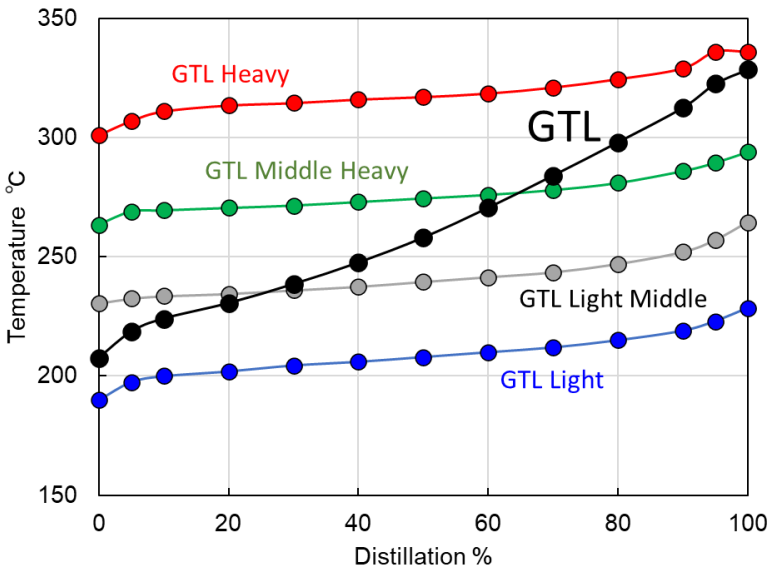
研究目的と燃料からのアプローチ その② e-fuelの軽質化の効果

動機：従来の軽油以上のエンジン性能(熱効率、排ガス性能)を引き出せる
e-fuelの市場導入(環境インパクト)

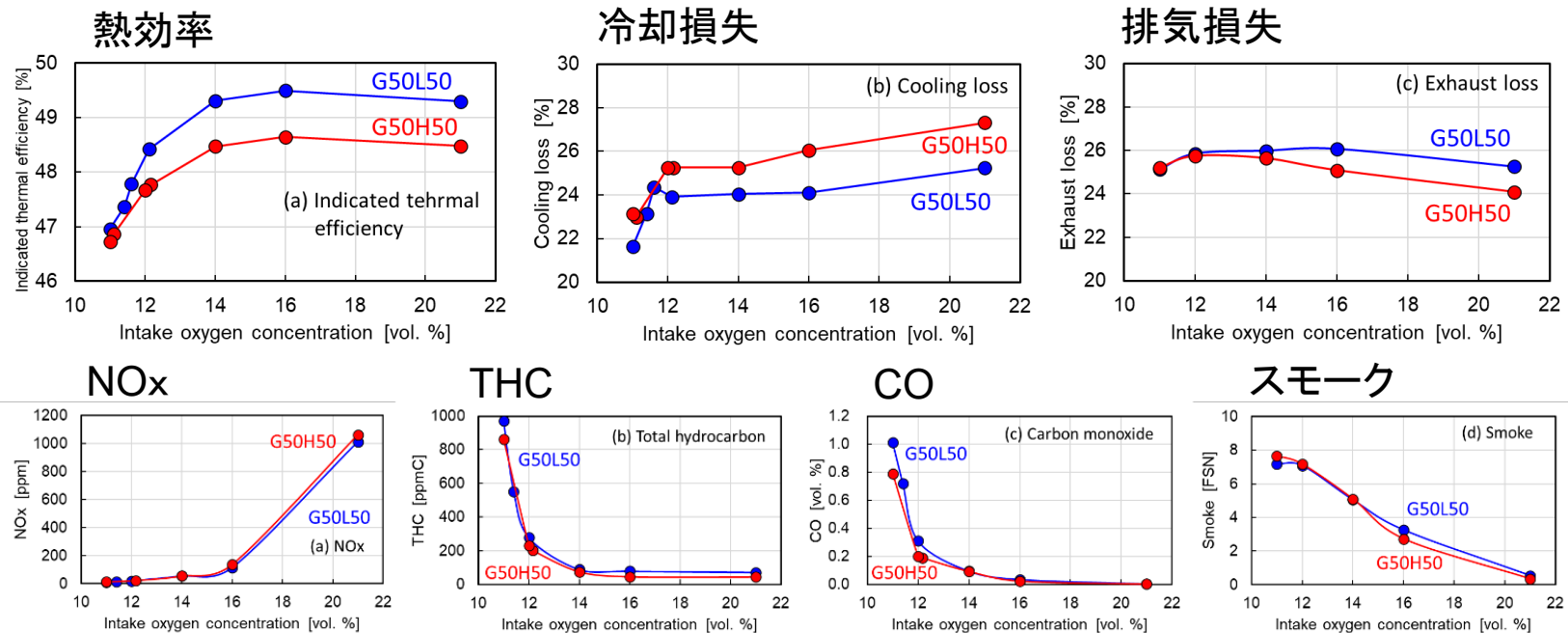
燃料からのアプローチ

その② e-fuelの軽質化の効果: 熱効率が向上するが排ガス性能は変わらない

→2025年度: 沸点留分毎の着火性、蒸発性、燃焼の評価



分画したGTLの蒸留性状

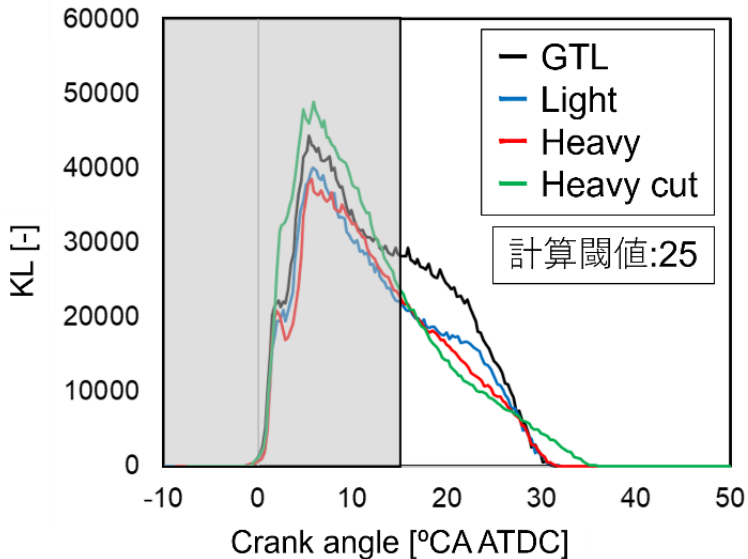
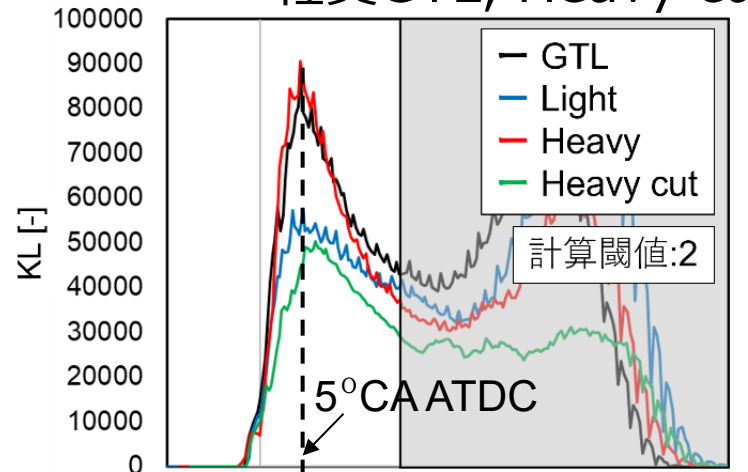


エンジン運転が不安定にならないように、エンジン試験ではGTLにGTL LightまたはGTL Heavyを1:1で混合したG50L50およびG50H50を使用した

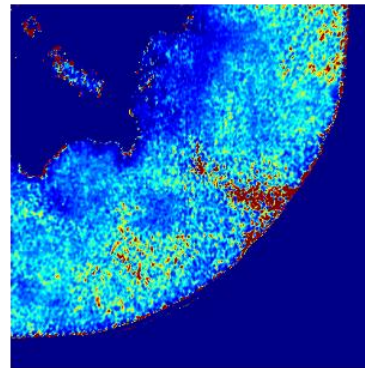
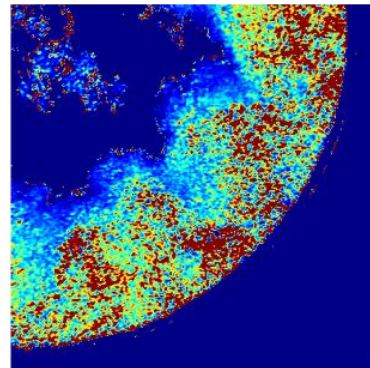
2. e-fuelの軽質化の効果 (急速圧縮膨張装置実験)

燃焼火炎中のすすの生成 (KL) とエンジンから排出されるスモーク

✓ 軽質GTL, Heavy cut GTL, GTL, 重質GTLを用いた評価

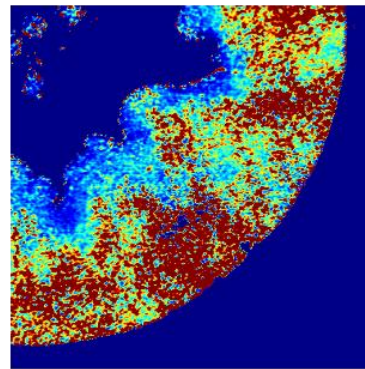
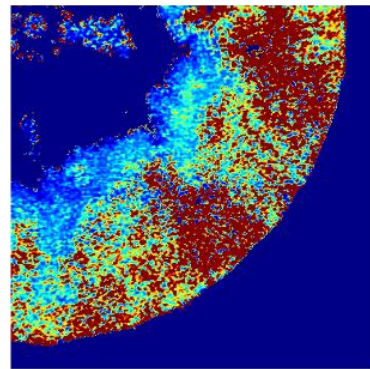


Frame:5°CA ATDC



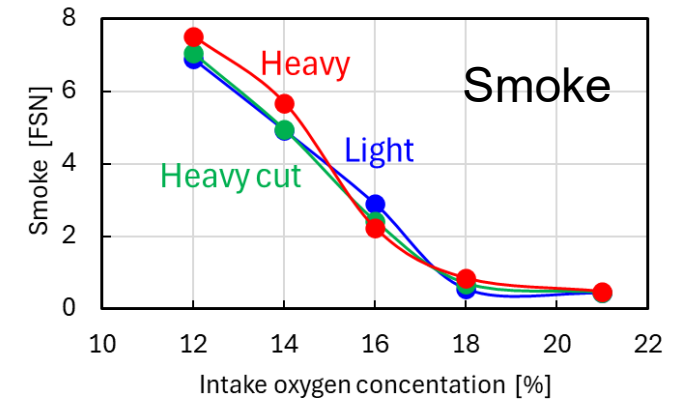
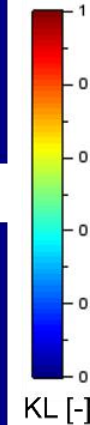
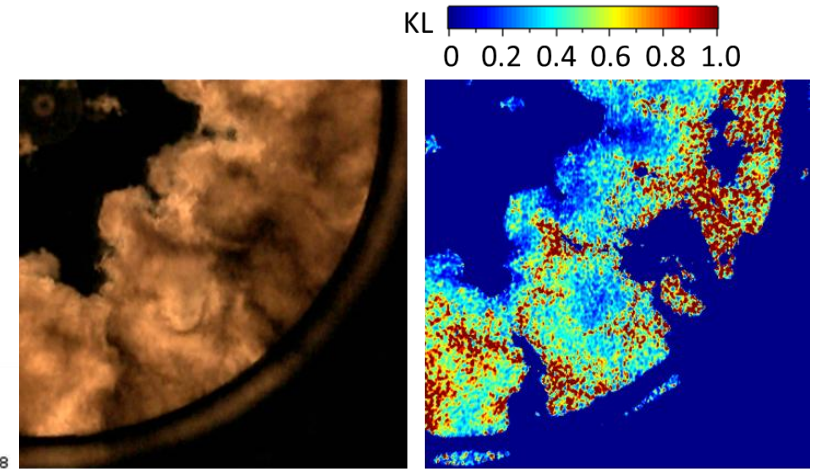
Light

Heavy cut



Heavy

GTL



エンジン実験データ

5°CA ATDCにおけるKL比較
($\phi 0.133 \times 10$) (1/4領域)

燃焼初期(上)と後燃え期間(下)の
KLの推移($\phi 0.133 \times 10$) (RCCEM)

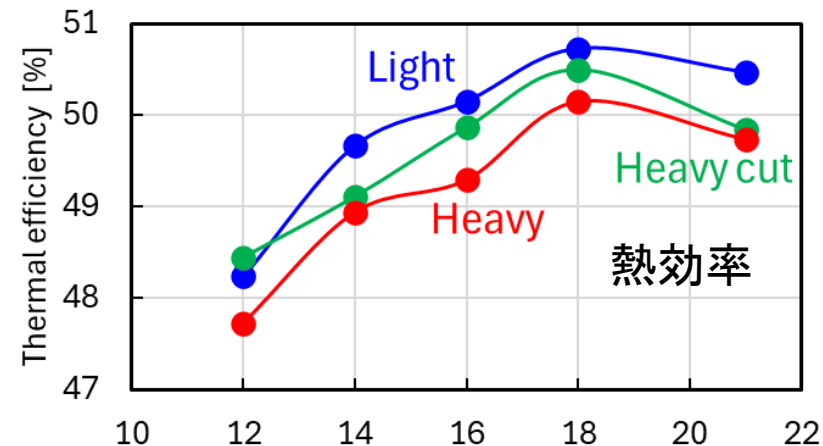
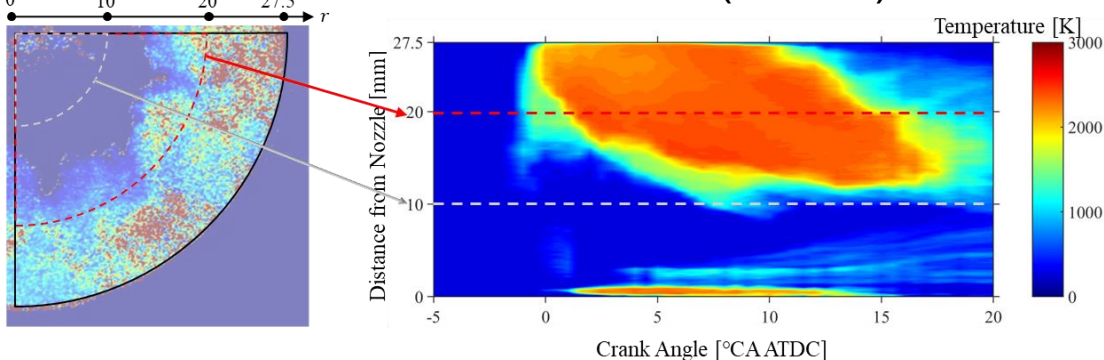
- 重質留分は燃焼初期のスモーク排出量に影響を与えるが、燃焼が終了し排出されるスモークへの影響は小さい

2. e-fuelの軽質化の効果 (急速圧縮膨張装置実験・エンジン実験)

RCEMによる燃焼期間の計測とエンジンで計測した熱効率

✓ 軽質GTL, Heavy cut GTL, GTL, 重質GTLを用いた評価

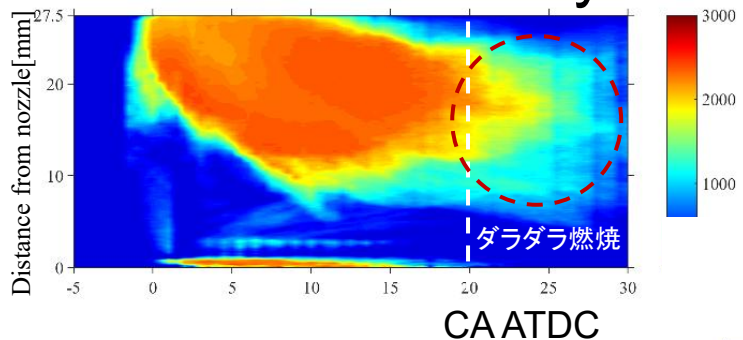
円周方向の平均温度の履歴で評価(RCEM) $\phi 0.109 \times 10$ 閾値8



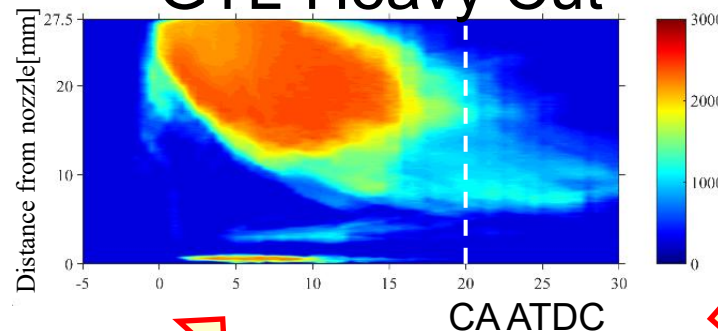
エンジン実験データ

● 燃料を軽質化すると燃焼期間が短くなり、熱効率が向上する

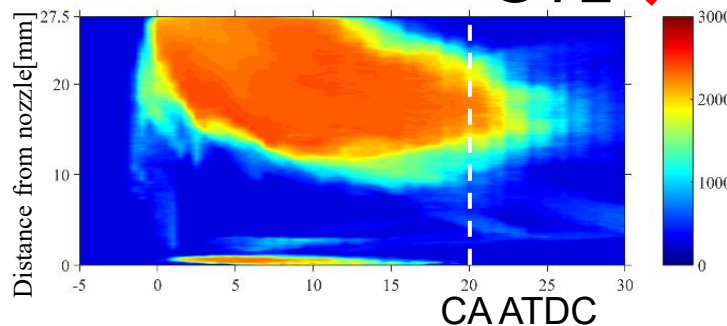
GTL-Heavy



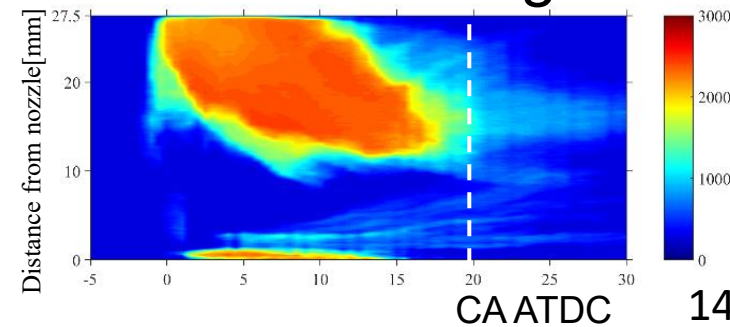
GTL-Heavy Cut



GTL



GTL-Light



1. はじめに

- 研究背景および研究目的
- 研究方法

2. 研究目的と燃料からのアプローチ

- その① 含酸素燃料(OME)の利用
- その② e-fuelの軽質化の効果
- その③ 試製e-fuelのポスト処理

3. まとめ

動機：従来の軽油以上のエンジン性能(熱効率、排ガス性能)を引き出せる
e-fuelの市場導入(環境インパクト)

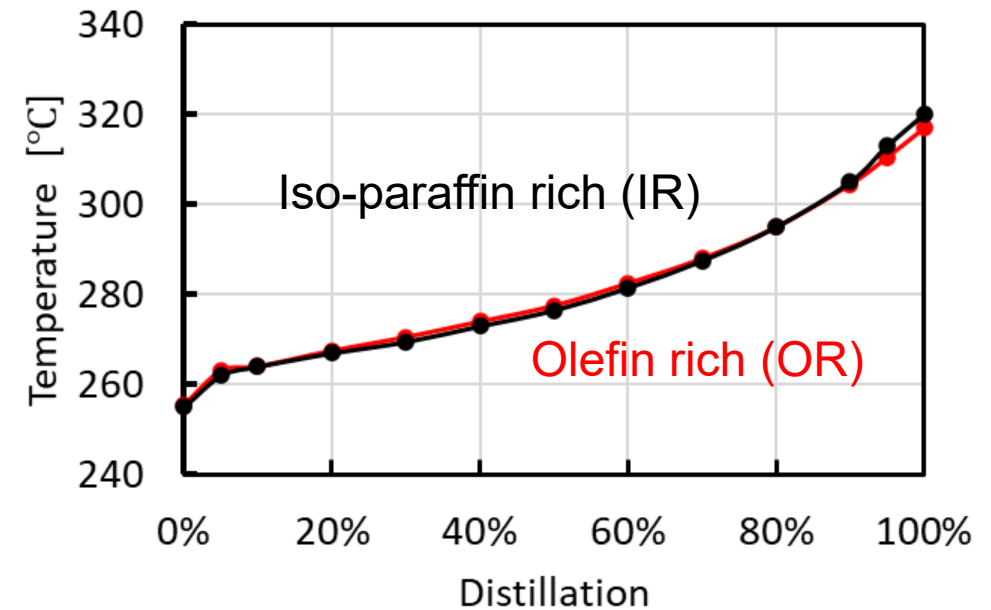
燃料からのアプローチ

その③ 試製e-fuelのポスト処理:

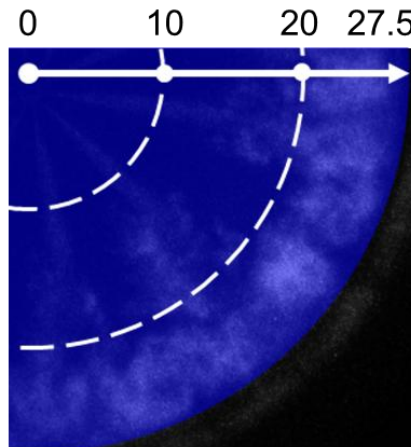
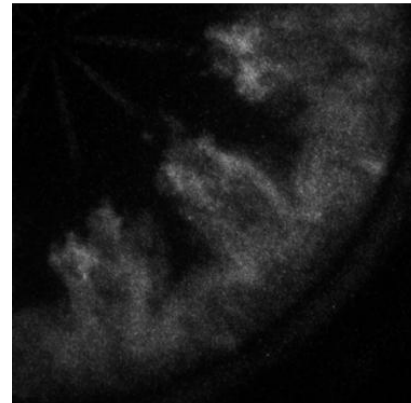
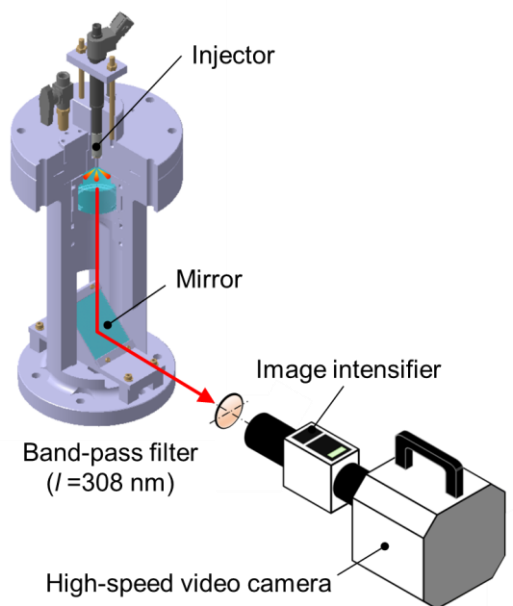
→2025年度:蒸留性状が同一でオレフィンまたはイソパラフィンを多く含む燃料の燃焼性評価

2種類の供試燃料の性状(ORとIR)

燃料	オレフィンリッチ	イソパラフィンリッチ
	(OR)	(IR)
セタン指数	79.4	78.7
密度(@15°C) [g/cm ³]	0.78	0.78
動粘度(@30°C) [mm ² /s]	3.555	3.72
10%留出温度 [°C]	264	264
50%留出温度 [°C]	277.5	276.5
90%留出温度 [°C]	304.5	305
ノルマルパラフィン [%]	75.8	37.5
イソパラフィン [%]	5.1	62.5
オレフィン [%]	16.28	0

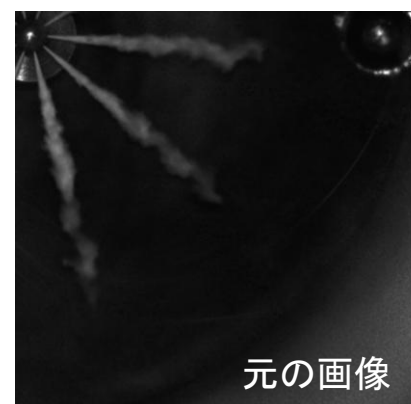
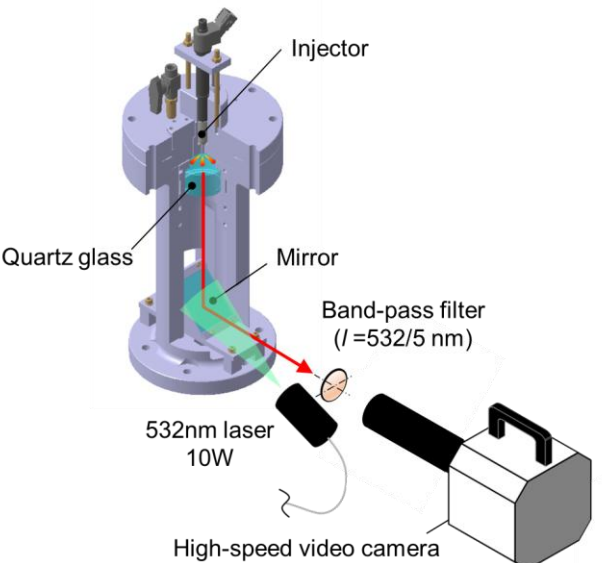


研究目的と燃料からのアプローチ その③ 試製e-fuelのポスト処理 (急速圧縮膨張装置実験)

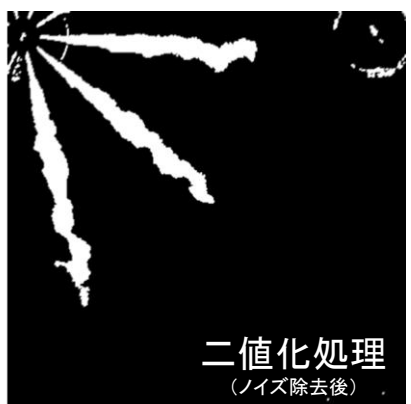


Distance from nozzle [mm]

OHラジカルによるリフトオフ長の測定

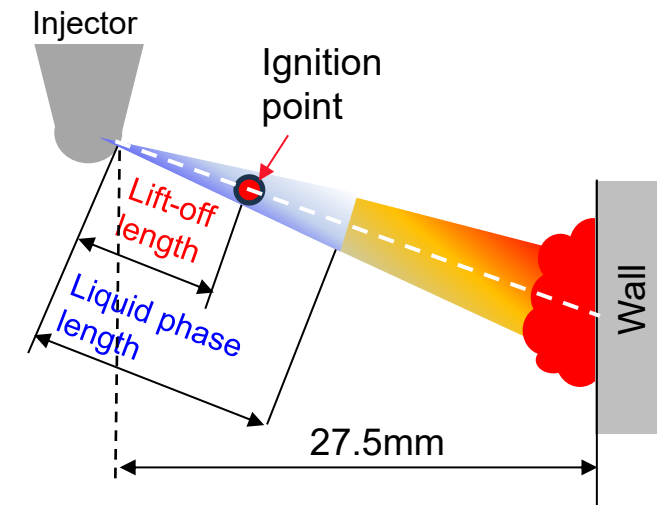


元の画像



二値化処理
(ノイズ除去後)

前方散乱光法による液相長さの計測

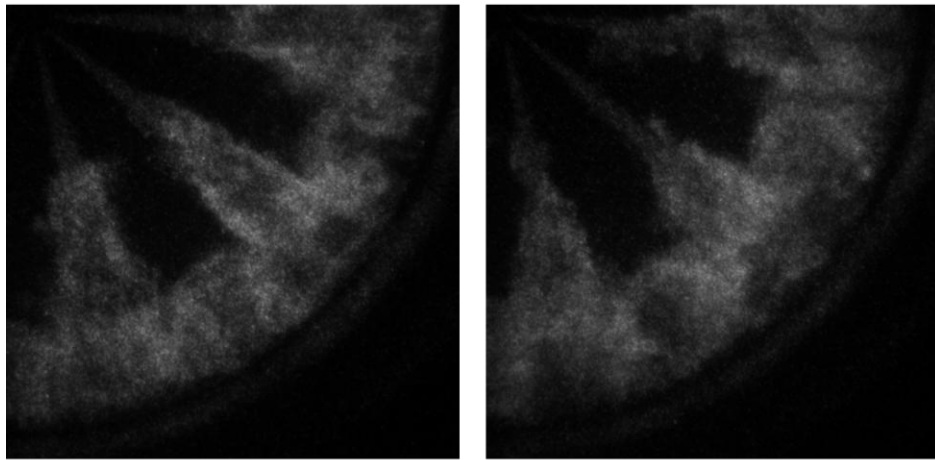


RCEMによる実験条件 (単段噴射)

燃料	オレフィンリッチ パラフィンリッチ
インジェクタ	φ0.133mm x 10 - 155°
噴射タイミング [CA BTDC]	2.5 (単段噴射)
噴射圧力 [MPa]	150
噴射期間 [ms]	0.5
吸気圧力 [kPa]	170
吸気酸素濃度 [%]	15
吸気温度 [°C]	40
上死点ガス密度 [kg/m ³]	22.8
エンジン相当回転数 [rpm]	1030

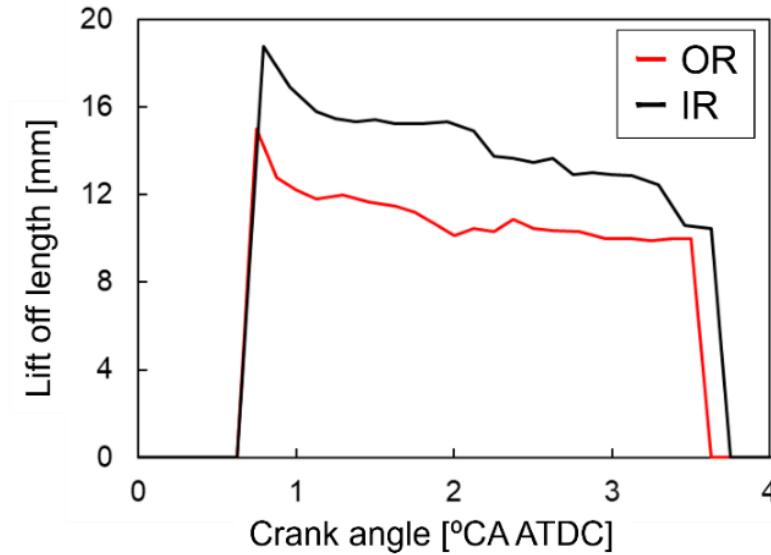
研究目的と燃料からのアプローチ その③ 試製e-fuelのポスト処理(急速圧縮膨張装置実験)

Frame timing: 2°CA ATDC

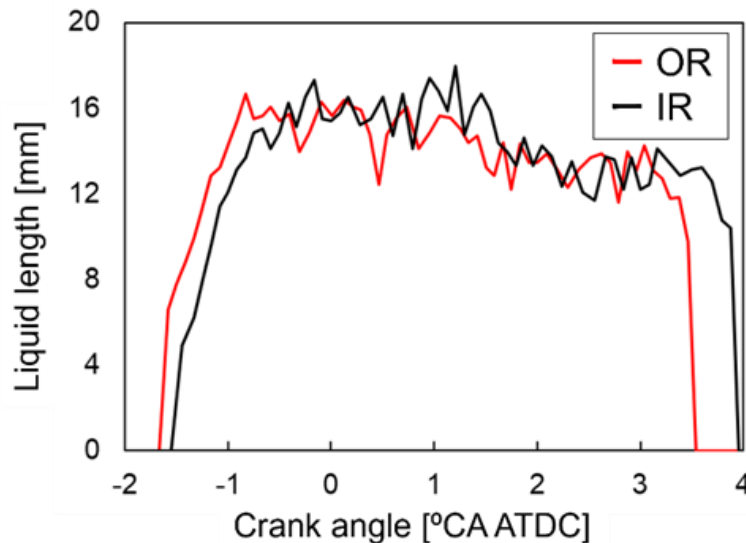


OR

IR



計測されたOHラジカル(左の写真)から求めたリフトオフ長の時間履歴(右)



計測された液相蒸発長さ

RCEMで計測した排気エミッション(参考)

	Unit	OR	IR
THC	ppm C	169	209
NOx	ppm	19	21
CO	ppm	1634	2090

- リフトオフ長: $OR < IR$ (着火性の影響)
- 液相蒸発長さ: $OR = IR$ (蒸留性状の影響)
- エミッション: $OR \approx IR$

1. はじめに

- 研究背景および研究目的
- 研究方法

2. 研究目的と燃料からのアプローチ

- その① 含酸素燃料(OME)の利用
- その② e-fuelの軽質化の効果
- その③ 試製e-fuelのポスト処理

3. まとめ

1. 含酸素燃料（OME）の利用

- OME30%までの混合であれば軽油と同じインジェクタで熱効率を向上させ、スモークを低減させることができる。
- 熱効率とスモーク排出をさらに向上させるには噴孔数を少なくし噴孔面積の大きいインジェクタを使うとよい。

2. e-fuelの軽質化の効果

- e-fuelの軽質化によるスモーク低減効果は小さいが、燃焼期間が短縮するため熱効率の改善を図ることができる。（重質cutだけでも効果がある）

3. 試製e-fuelの燃焼性評価

- 蒸留性状がほぼ同じオレフィンリッチ燃料(OR)と水素化異性化処理をしたイソパラフィンリッチ燃料(IR)について、RCEMを用いた燃焼評価を実施した。
- 着火性が異なるためリフトオフ長はORのほうがIRよりも短いですが、蒸留性状が同じであるため液相蒸発長さは変わらない。排出ガス特性もほぼ変わらず、今回の水素化異性化処理はエンジン性能にほとんど影響を与えない。

本発表内容は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO*）からの委託事業によるものです。関係各位に感謝の意を表します。

*New Energy and Industrial Technology Development Organization