

噴射制御による分解軽油の 着火性改善

環境・動力系

環境エンジン研究グループ

*高木 正英, 今井 康雄



平成27年度(第15回)海上技術安全研究所研究発表会
2015年6月26日

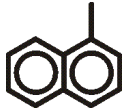

はじめに

船用燃料油(重油)中硫黄分規制強化

➡ { 指定海域 : 1.0%→0.1% 2015年
一般海域 : 3.5%→0.5% 2020 or 2025年

船用機関に用いられる低硫黄燃料は？

➡ LCO (分解軽油Light Cycle Oil)の混入量の増加の可能性
(今でもA重油中の30~40%程度がLCO)

- ・多環芳香族炭化水素  : 増加
- ・飽和炭化水素  : 減少

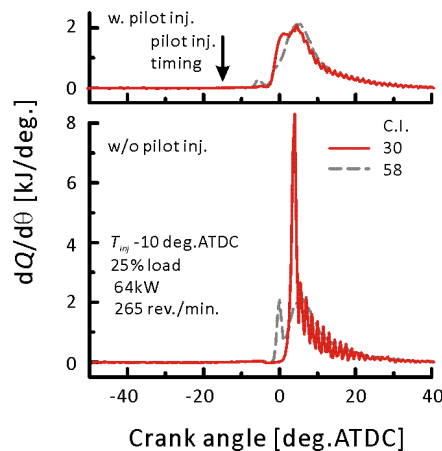
↓

着火性 (セタン価)の低下

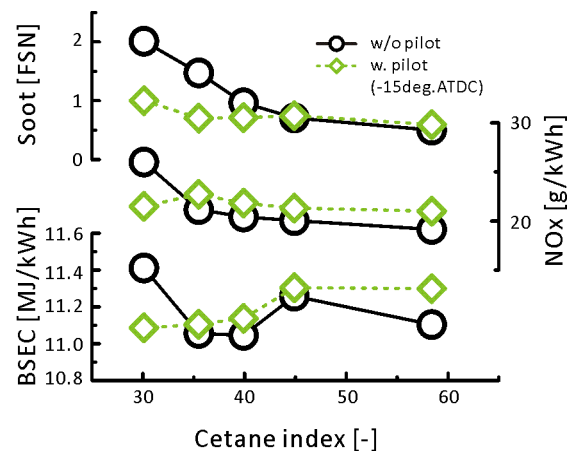
はじめに これまでの研究

LCO/軽油混合燃料の着火性(セタン指数)を30~58に変更

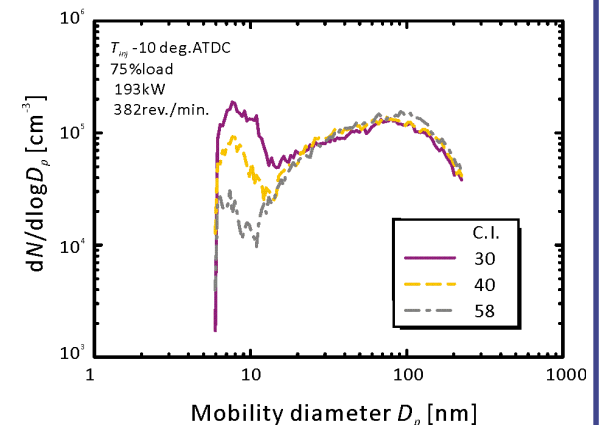
- pilot噴射によって, セタン指数の影響が小さくなる
- LCO混合量が増えると小径微粒子が増加する



熱発生率



燃費・排気特性



微粒子排出特性

はじめに 研究の目的


市場に出回る燃料(ガソリン, 軽油, 重油, ...)の一つとしてLCO(分解軽油)が供給される訳ではない



LCOは, 「現在の規格に沿った」燃料になるように, 他の基材と調合されて, 市場に供給される

現在の規格(ISO8217 : 2010), DM (船用留出油)とすると...

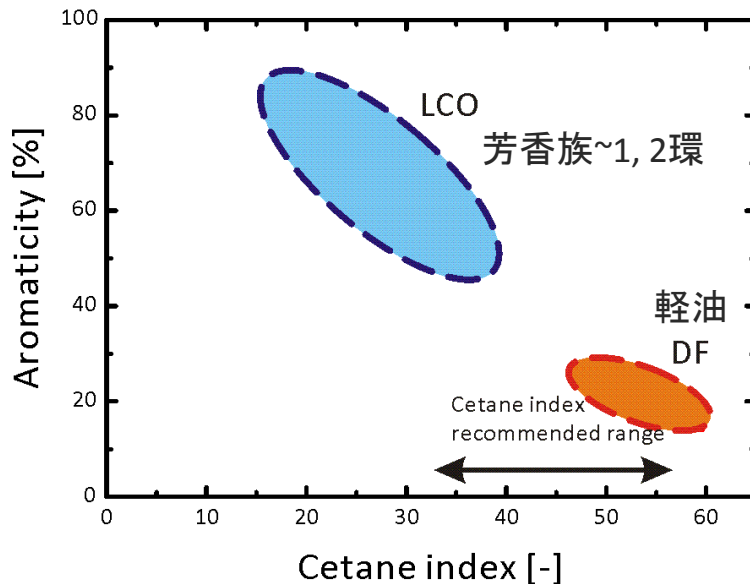
- ・着火性;セタン指数 35以上
- ・動粘度;2.0 ~ 11.0 mm²/s
- ・密度 ; ~ 900 kg/m³

- 
- ・燃料基材としてのLCOそのものの着火性能にはどのような特徴があるのか?
 - ・着火性改善手法としてのpilot噴射にはどこまで効果があるのか?

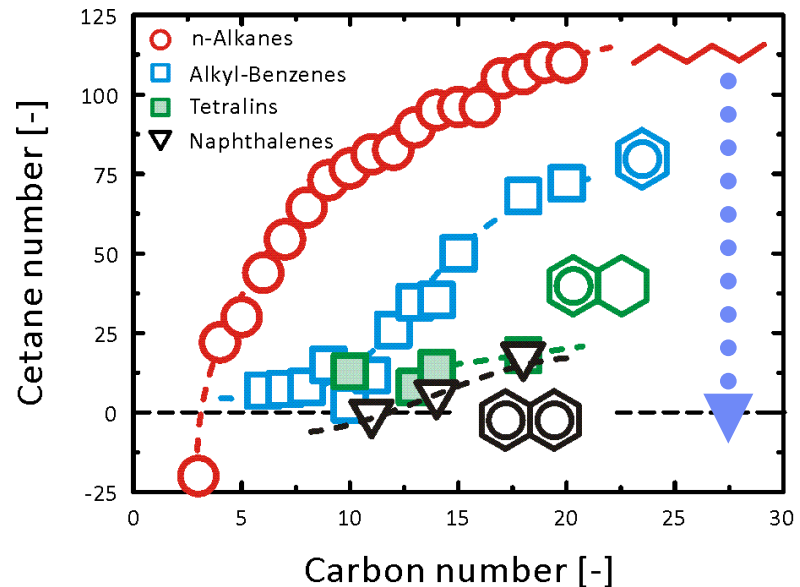
はじめに LCOの特徴

分解系軽油 (LCO: Light Cycle Oil)とは?

接触分解装置(FCC)で重油(残渣油)から分解された燃料基材(混合される石油系成分)の一つ




同一炭素数の場合
環状炭化水素の方が着火性は劣る



M. J. Murphy, et. al.,
NREL/SR-540-36805(2004) 1-48 よりグラフ化

セタン指数とは?

セタン指数  ディーゼル燃料の着火性を表すセタン価 (CFRエンジンによって計測, JIS K 2280-4 : 2013) と等価な代替手法

セタン指数(旧) JIS K 2204 : 1992 (ASTM D976 -66)

現在のJIS K 2204 : 2007にはない

$$=0.49083+1.06577X-0.0010552X^2$$

$$X=97.833(\text{Log}A)^2+2.2088B_0 \text{Log}A+0.01247B_0^2-423.51 \text{Log}A-4.7808B_0+419.59$$

$$A=(9/5)T_{50}+32$$

セタン指数(新) JIS K 2280-5 : 2013 (ISO4264 : 2007)

式の適用範囲(推奨) セタン価 32.5~56.5, 密度 805.0~895.0 kg/m³

$$=45.2+0.0892 (T_{10}-215)+(0.131+0.901B)(T_{50}-260)+(0.0523-0.42B)(T_{90}-310)$$

$$+0.00049\{(T_{10}-215)^2-(T_{90}-310)^2\}+107B+60B^2$$

$$B=\exp\{-0.0035(1000D-850)\}-1$$

T₁₀; 体積分率10%留出温度 [°C]

T₅₀; 体積分率50%留出温度 [°C]

T₉₀; 体積分率90%留出温度 [°C]

B₀; API度

D; 密度[g/cm³]

実験条件 供試燃料

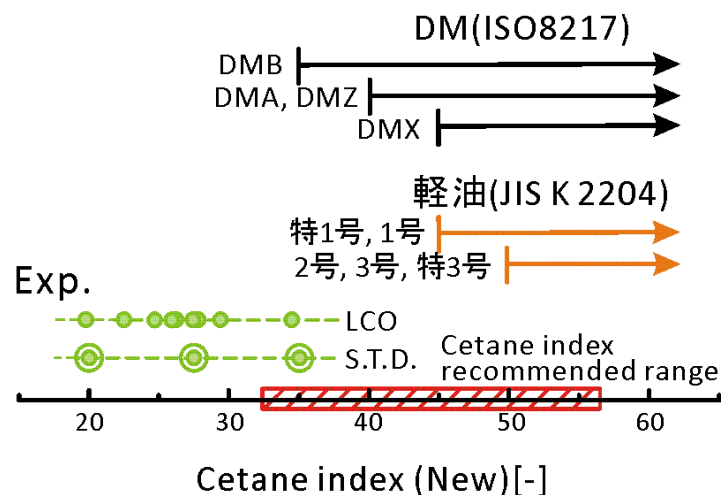
	Fuel LCO								
—	LCO1	LCO2	LCO3	LCO4	LCO5	LCO6	LCO7	LCO8	LCO9
Cetane Index (New)	19.8	22.5	24.7	25.9	26.2	27.4	27.8	29.4	34.5
Cetane Index (Old)	15.0	26.2	24.0	21.5	22.5	22.0	25.5	28.5	36.0

Standard Fuel (HMN + n-hexadecane) S.T.D.

Cetane number (CN) = n-hexadecane [vol.]+0.15 × HMN [vol.]

Cetane number (CN)

20, 27.5, 35



セタン指数(旧)

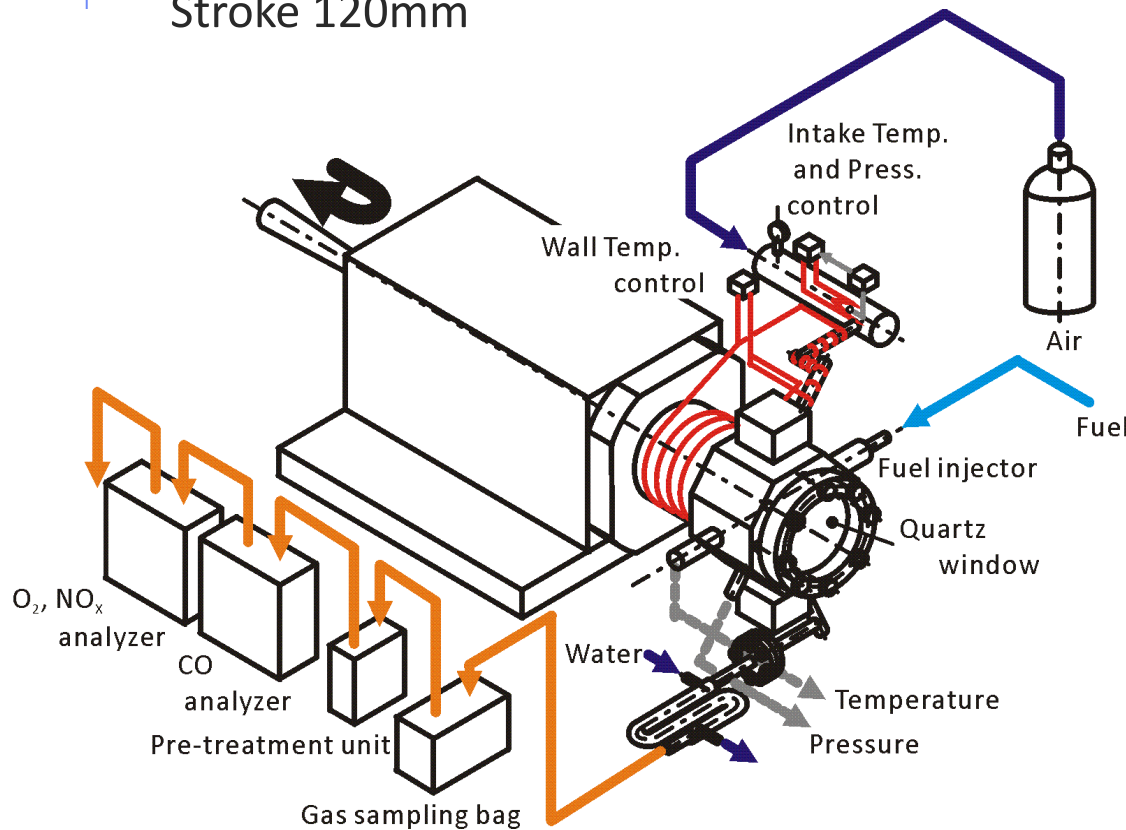
ISO規格がJIS化されるまで
A重油(相当品)で使用

セタン指数(新)

ISO8217 : 2010 Distillate
Fuelで使用

実験装置, 条件 急速圧縮装置(吸排気系)

Bore 100mm
Stroke 120mm



Ambient gas (Air)

P_a	3.5 MPa
-------	---------

T_a	527 °C (800K)
	627 °C (900K)

Fuel injection

	pilot	main
--	-------	------

t_{inj}	0.5 ms	5.0 ms
-----------	--------	--------

P_{inj}	40, 130 MPa
-----------	-------------

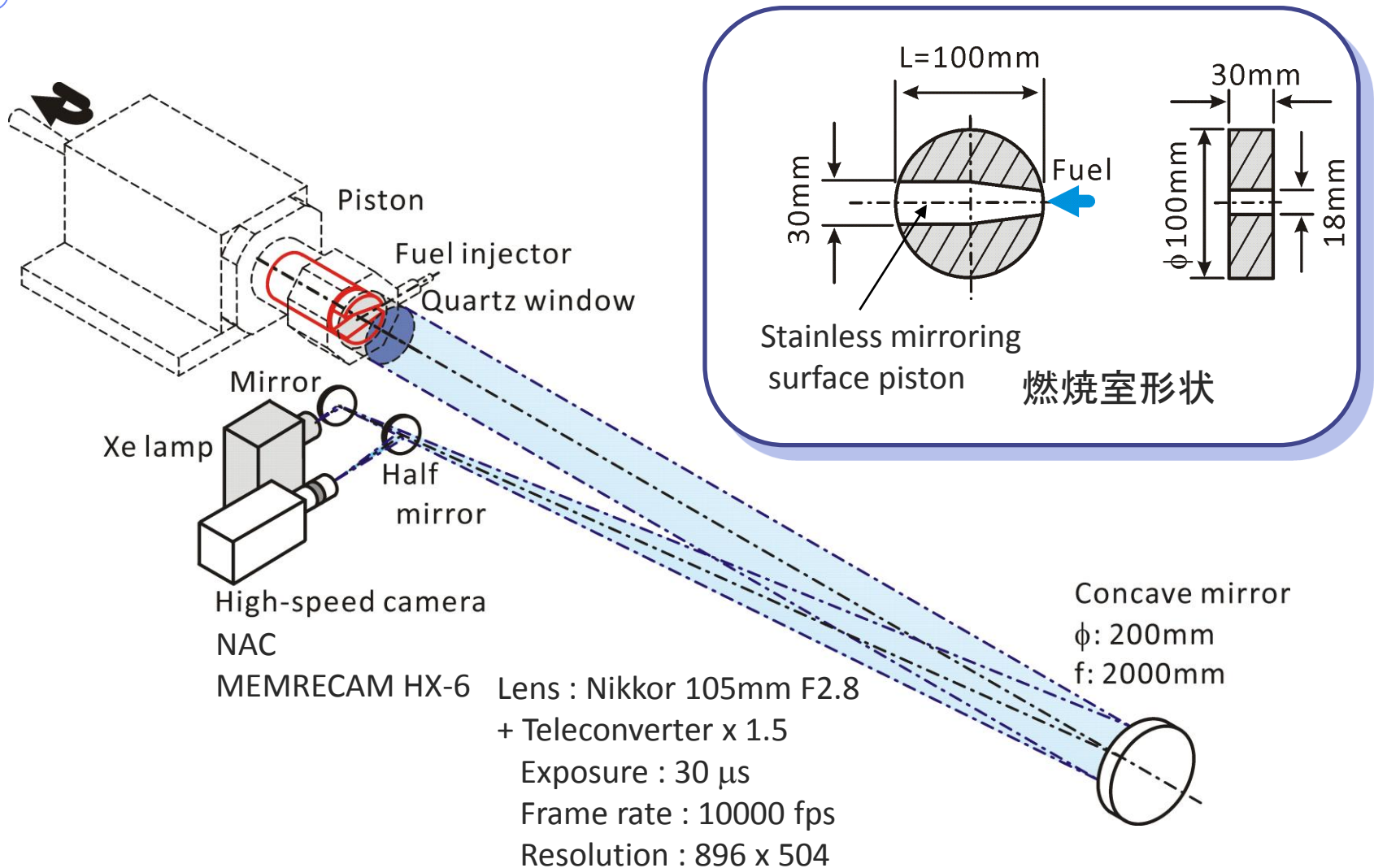
t_{dwell}	3.15 ms
-------------	---------

T_w	150, 190 °C
-------	-------------

L	100 mm
-----	--------

d_0	0.2 mm (Single hole)
-------	----------------------

実験装置 急速圧縮装置(光学系)



実験結果 霧囲気条件の確認

今回の実験;
温度 T_a 900, 800K 2条件

霧囲気条件の設定

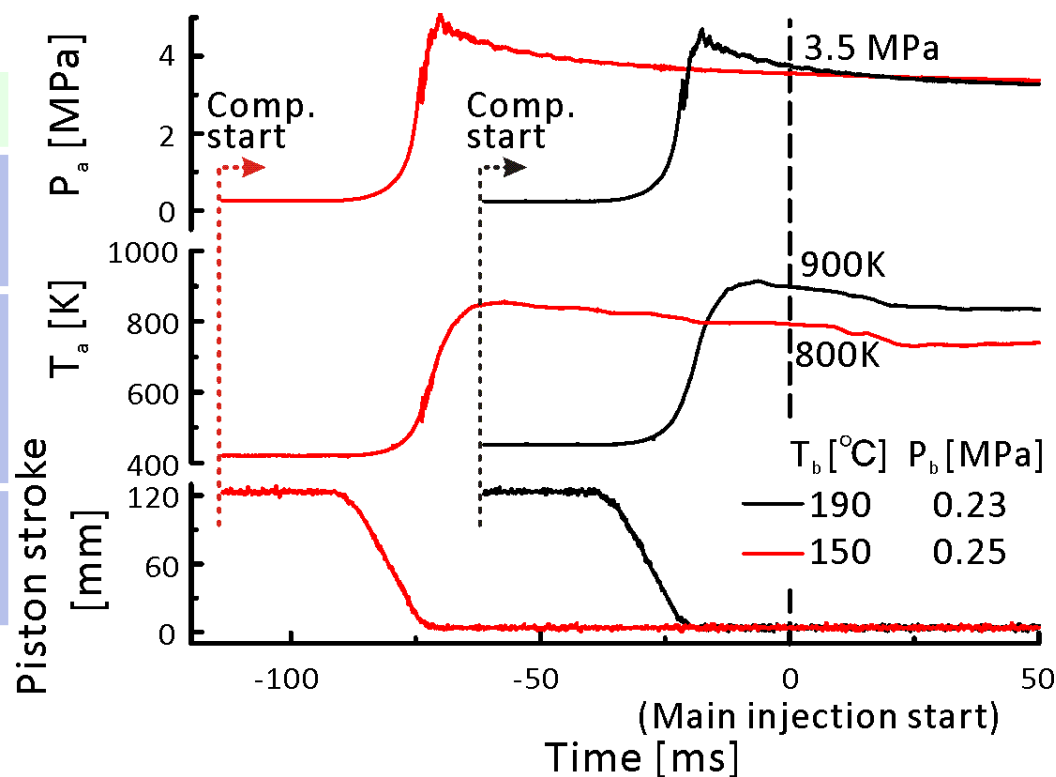
初期温度, 圧力, ピストンストローク開始から
燃料噴射開始までの時間を変更

計測装置

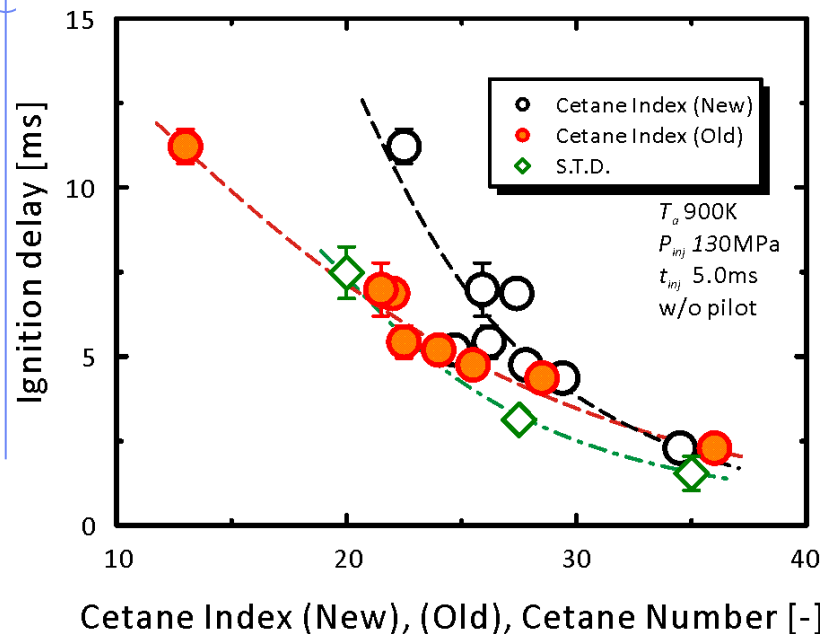
Pressure (Charge Amp.)
Kistler 6041A (5011B10Y26)

Temperature
ANBE SMT Co.
Type K Thermocouple (25 μ m)

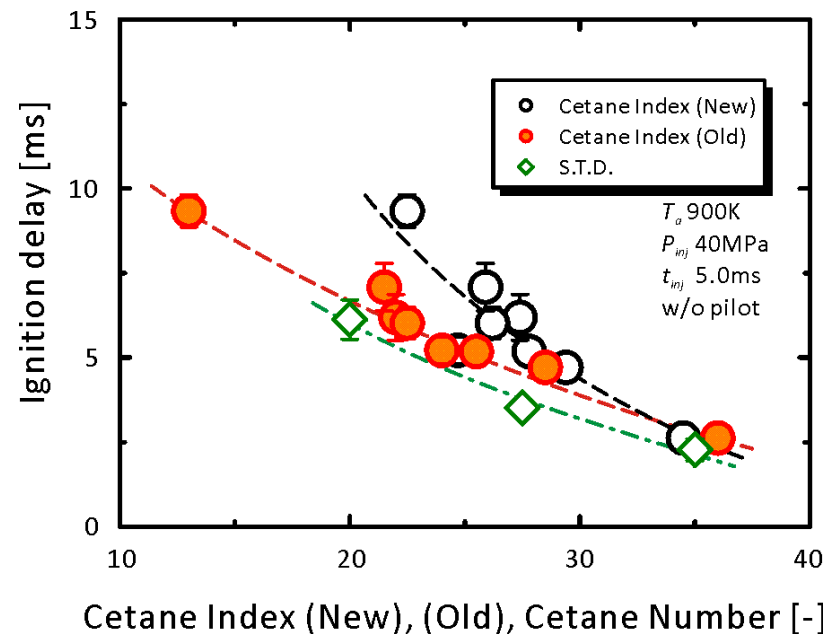
Piston position
Novotechnik T150



実験結果 燃料変更(着火性変化)



(a) P_{inj} 130MPa, T_a 900K



(b) P_{inj} 40MPa, T_a 900K

- ・セタン指数(新)では、同一セタン価標準燃料よりLCOの着火性を過大評価している
- ・噴射圧力によらず、セタン指数(新)よりセタン指数(旧)の方が、標準燃料に一致

➡ 何故、セタン指数(新)は、標準燃料と一致しないのか?

解析結果 セタン指数の項別比較

セタン指数(旧)値になるように、
セタン指数(新)式の定数を変更

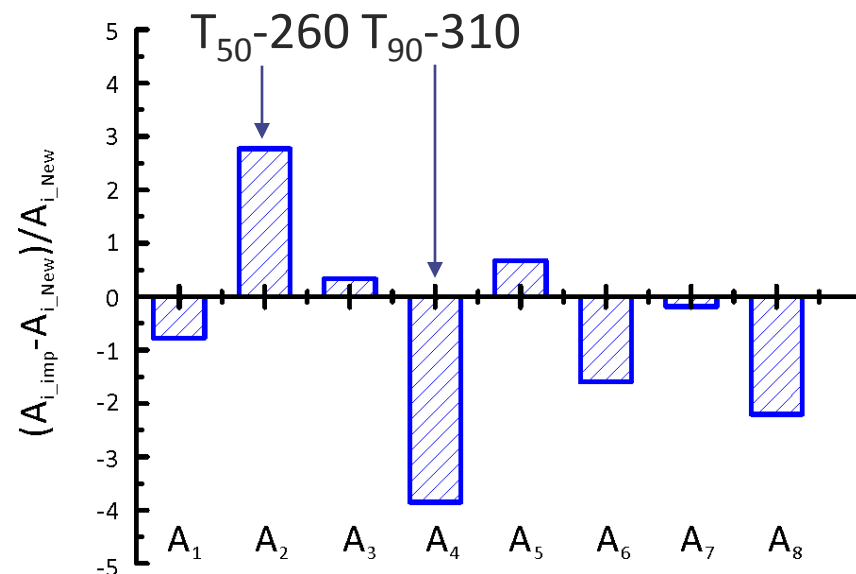
セタン指数

$$=45.2+A_1(T_{10}-215)+(A_2+A_3B)(T_{50}-260) \\ +(A_4-A_5B)(T_{90}-310)+A_6\{(T_{10}-215)^2-(T_{90}-310)^2\} \\ +A_7B+A_8B^2$$

セタン指数(新)式

→ (T₅₀-260)の項; 過小評価
(T₉₀-310)の項; 過大評価

		C.I. (新)	C.I. (改)
T ₁₀ -215	A ₁	0.0892	0.020
T ₅₀ -260	A ₂	0.131	0.493
B(T ₅₀ -260)	A ₃	0.901	1.20
T ₉₀ -310	A ₄	0.0523	-0.149
B(T ₉₀ -310)	A ₅	0.42	0.704
(T ₁₀ -215) ² -(T ₉₀ -310) ²	A ₆	0.00049	-0.000293
B	A ₇	107	86.829
B ²	A ₈	60	-72.312



各定数の変化率

実験結果 pilot噴射の効果 着火遅れ

実験条件

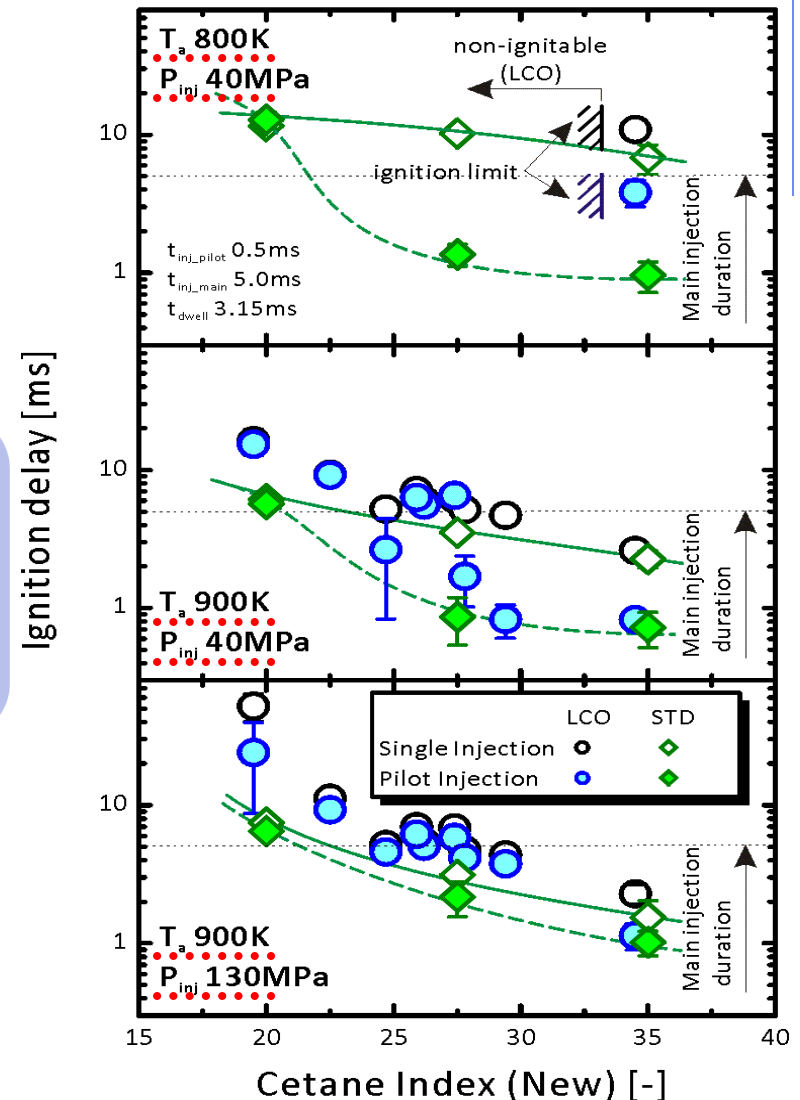
- P_{inj} 40MPa, T_a 800K
- P_{inj} 40MPa, T_a 900K
- P_{inj} 130MPa, T_a 900K

同一セタン指数(新)で比較すると・・・

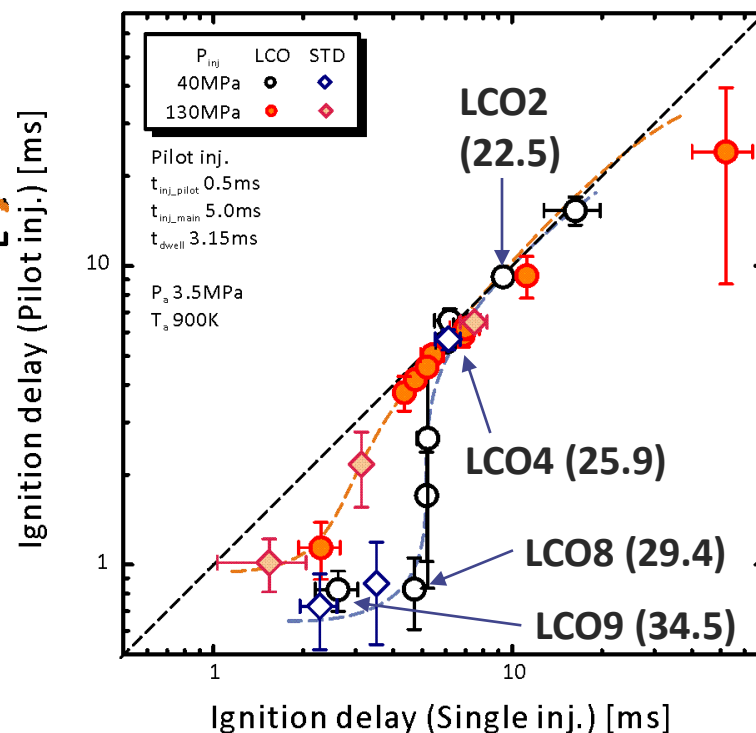
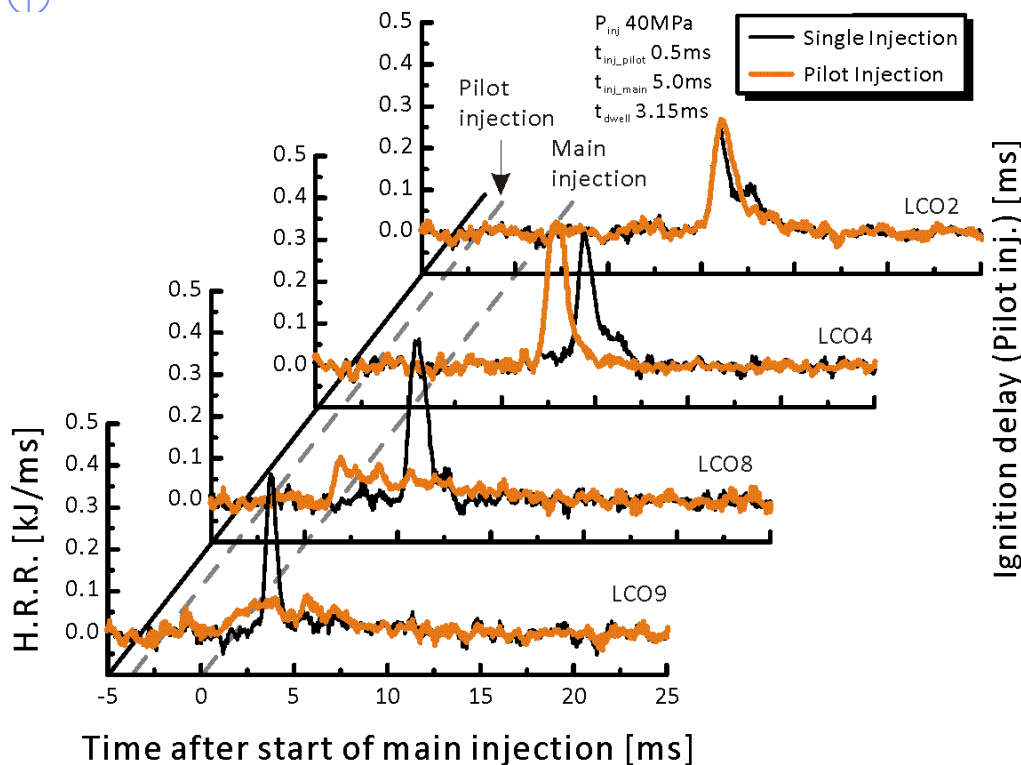
- LCOは着火性が低い
- 800Kになると, LCOはS.T.D.燃料が着火するにも関わらず, 着火しない

pilot噴射の効果

- 噴射圧力が低いと効果が高い
- 着火性が低い燃料では, 効果が得られにくい



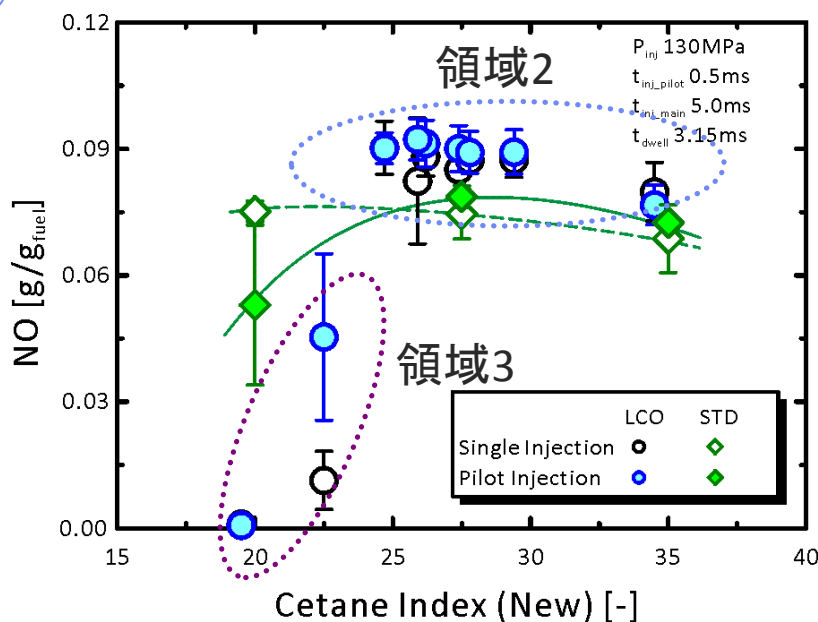
実験結果 pilot噴射の効果 着火遅れ



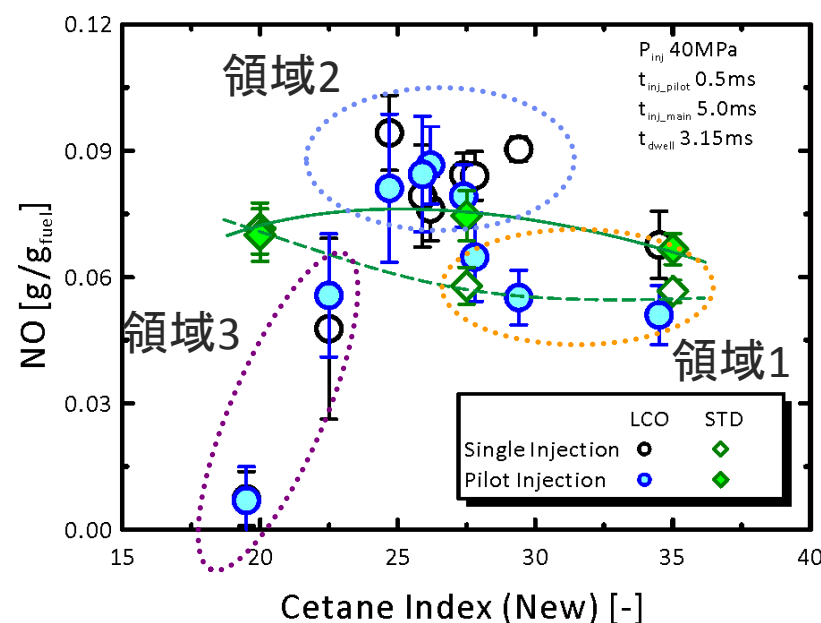
pilot噴射の効果

- ・噴射圧力が低い方が、低着火性燃料まで効果がある
- ・低着火性燃料になる程、着火遅れだけでなく、その後の燃焼・熱発生への効果も得られない

実験結果 pilot噴射の効果 NO_x生成



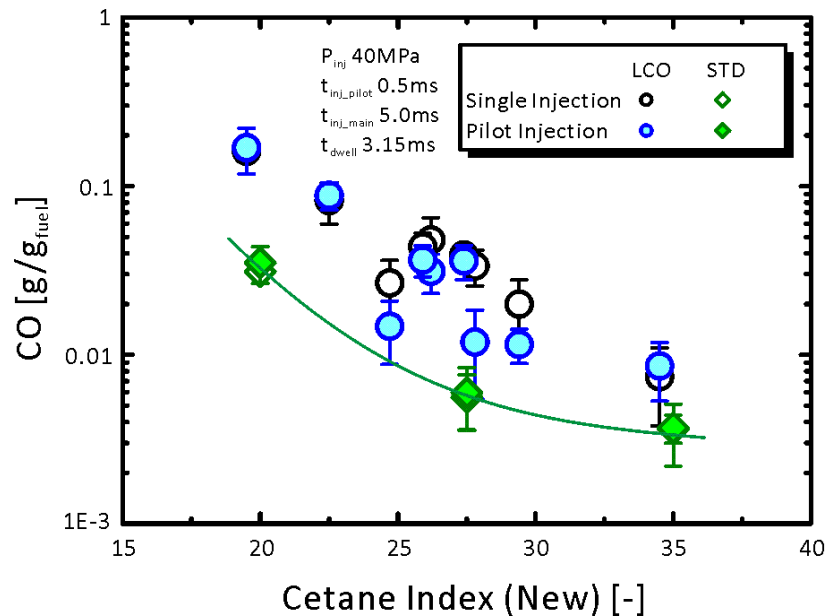
(a) P_{inj} 130MPa, T_a 900K



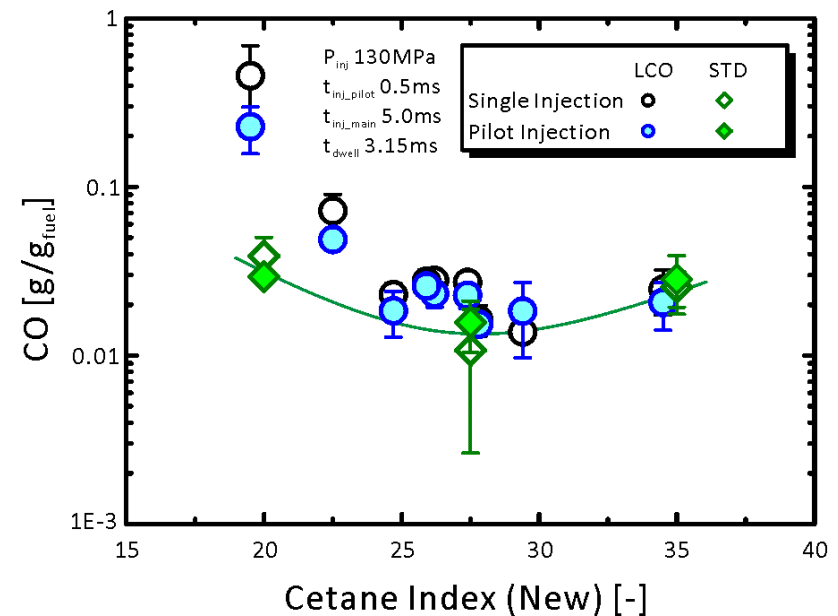
(b) P_{inj} 40MPa, T_a 900K

- ・pilot噴射の効果を得られる範囲(領域1)
 ; pilot噴射なしよりNO_x少, S.T.D.燃料と同等
- ・pilot噴射の効果を得られにくい範囲(領域2); S.T.D.燃料よりNO_x大
- ・NO_xが低下する範囲(領域3)
 ; 噴射期間<着火遅れのため, 燃料拡散が急速に増大

実験結果 pilot噴射の効果 CO生成



(a) P_{inj} 130MPa, T_a 900K

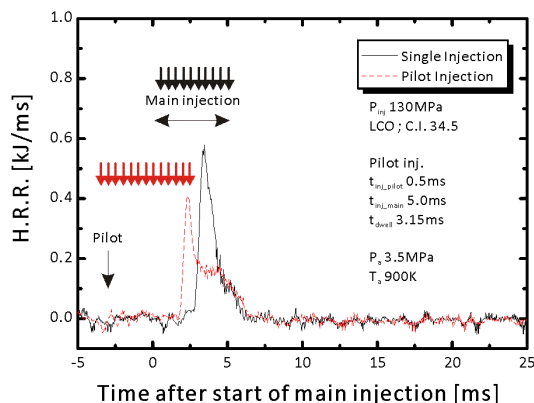
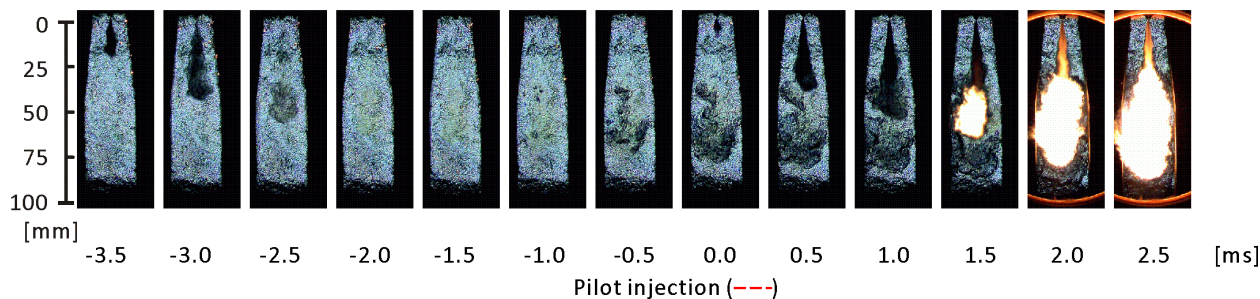
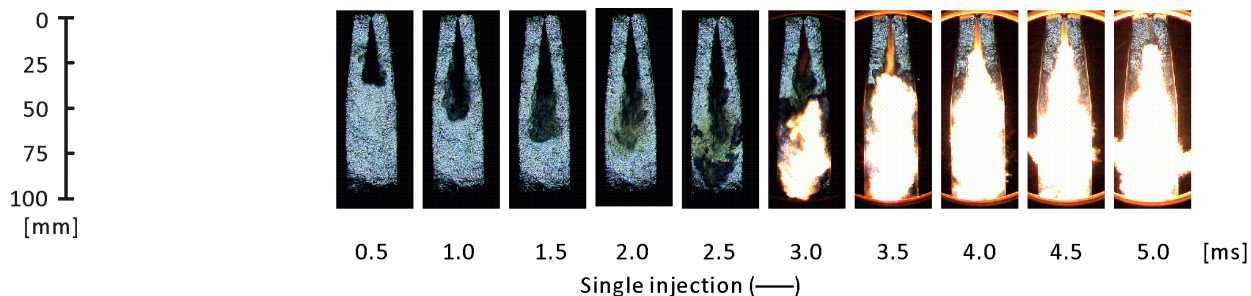


(b) P_{inj} 40MPa, T_a 900K

・pilot噴射の有無，噴射圧力によらず，S.T.D燃料よりCO大

実験結果 pilot噴射可視化例 (1)

Pilot噴射の反応による高温領域が空間内で滞留する条件



pilot噴射なし

；噴霧先端外縁付近から着火（輝炎なし）

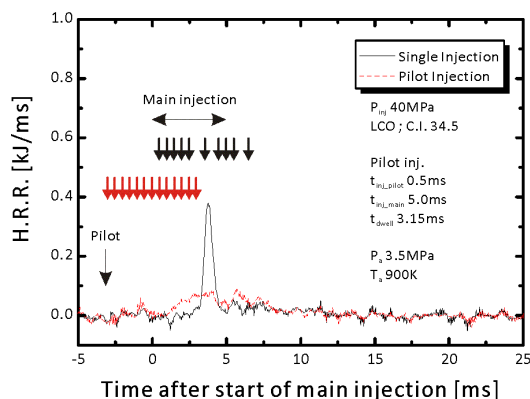
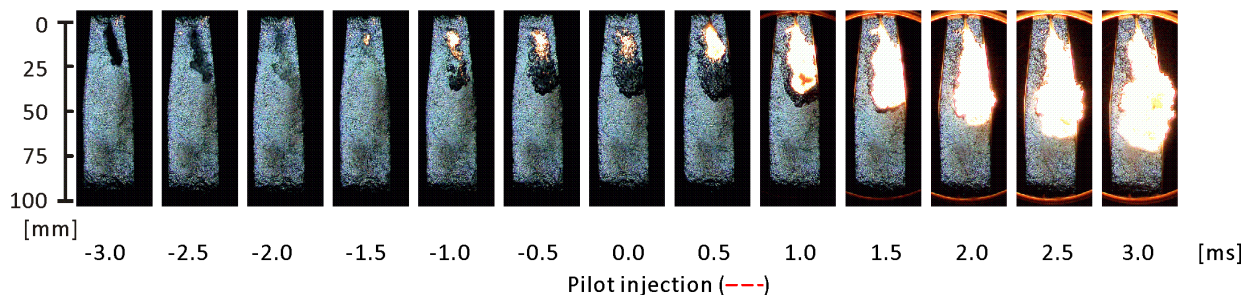
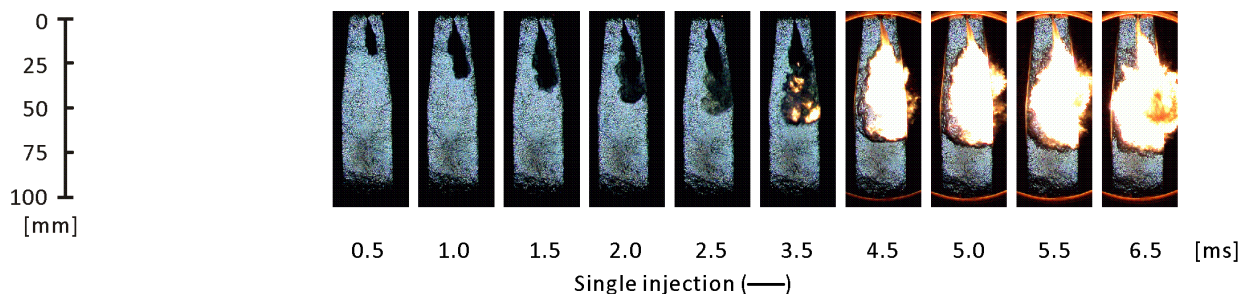
pilot噴射

；空間で滞留後，着火

main噴射との干渉後，即着火

実験結果 pilot噴射可視化例 (2)

Pilot噴射の反応による高温領域が噴孔付近で滞留する条件



pilot噴射なし

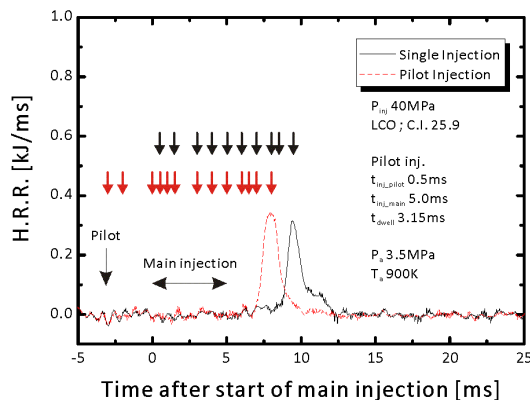
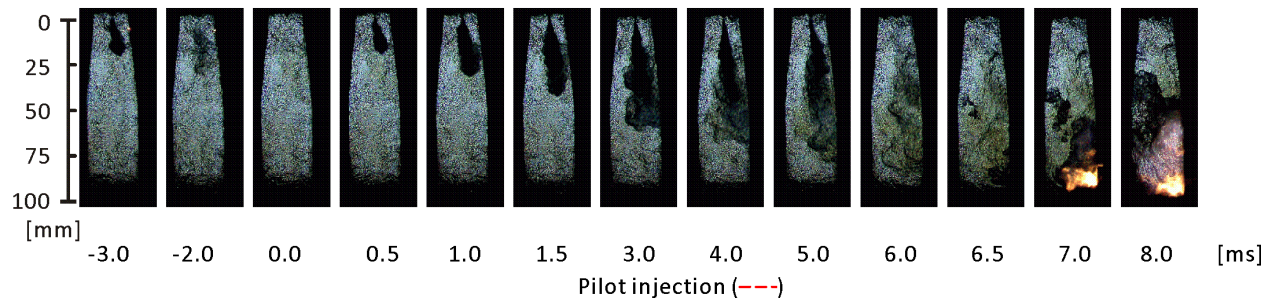
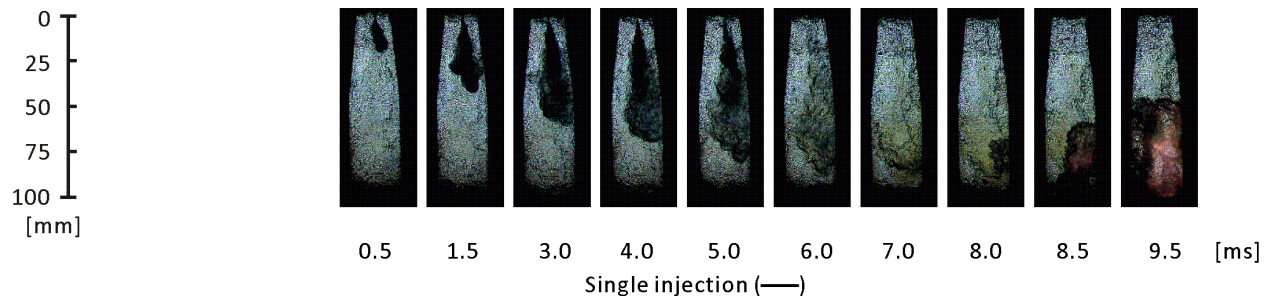
; 噴霧外縁, 内部等から多点着火 (輝炎有り)

pilot噴射あり

; 噴孔付近から輝炎を伴いながら着火
main噴射との干渉後, 即着火

実験結果 pilot噴射可視化例 (3)

Pilot噴射の反応による高温領域が可視できない条件



pilot噴射なし

; 噴射終了後, 対向壁面付近から着火

pilot噴射あり

; main噴射と反応前に干渉

pilot噴射による噴射早期化だけ,
main噴射の着火が早期化したと想定

まとめ

環境規制の導入により、船用燃料中への含有量が今後増加すると考えられるLCOについて、9種類のLCOと基準となる標準燃料3種類を用いて、着火性等の燃焼状態について調査を行い、以下の結果を得た。

- (1)セタン指数(新)の推奨範囲外のLCOの着火遅れは、セタン指数(旧)の方がより標準燃料と一致している。セタン指数(新)は、 T_{50} の項を過小評価、 T_{90} の項を過大評価している。
- (2) 同一セタン指数(新)で比較すると、LCOは標準燃料よりも着火遅れが長くなり、NO、CO生成量が多くなる。
- (3) 着火遅れが短い燃料ではpilot噴射の効果があり、着火遅れが長くなるとpilot噴射の効果を得られなくなる。また、噴射圧力が低い方がより低着火性燃料でpilot噴射の効果を得られる。

本発表の一部は、日本財団の助成事業である(一財)日本船舶技術研究協会のH26年度「大気汚染防止規制の円滑な導入のための調査研究(大気汚染防止規制導入プロジェクト)」で実施されたものです。また、燃料に関してはJX日鉱日石エネルギー(株)との共同研究により提供いただきました。ここに謝意を表します。