

プラズマ支援燃焼を見据えた
エンジンの二元燃料化についての取り組み

内燃機関工学研究室

1847140w 置田翔

Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

エンジン内でのDF実験

実験結果と考察

まとめ

Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

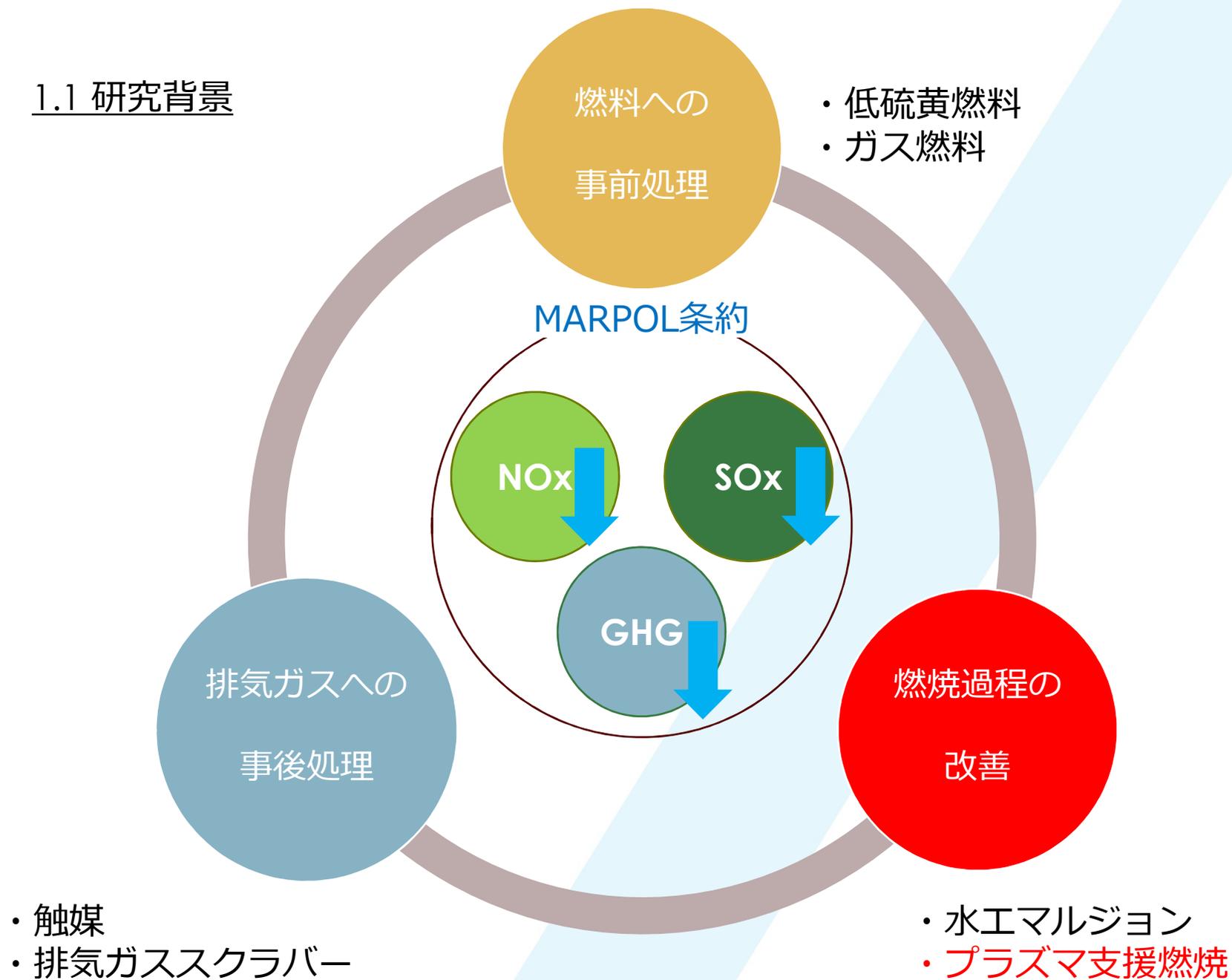
1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

エンジン内でのDF実験

実験結果と考察

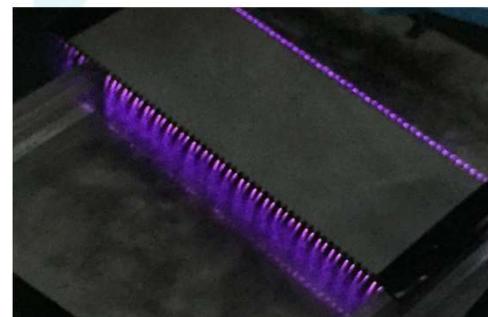
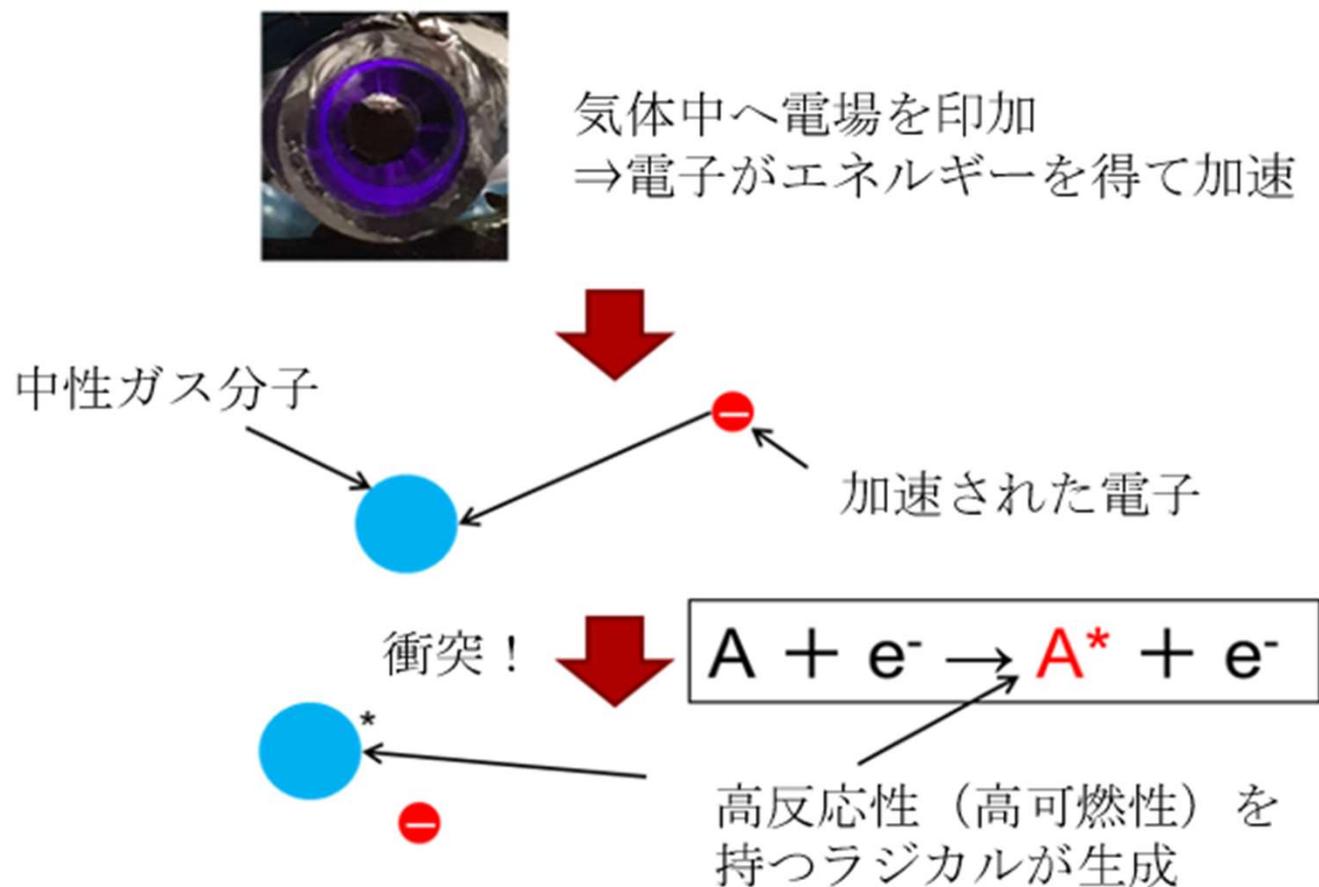
まとめ

1.1 研究背景

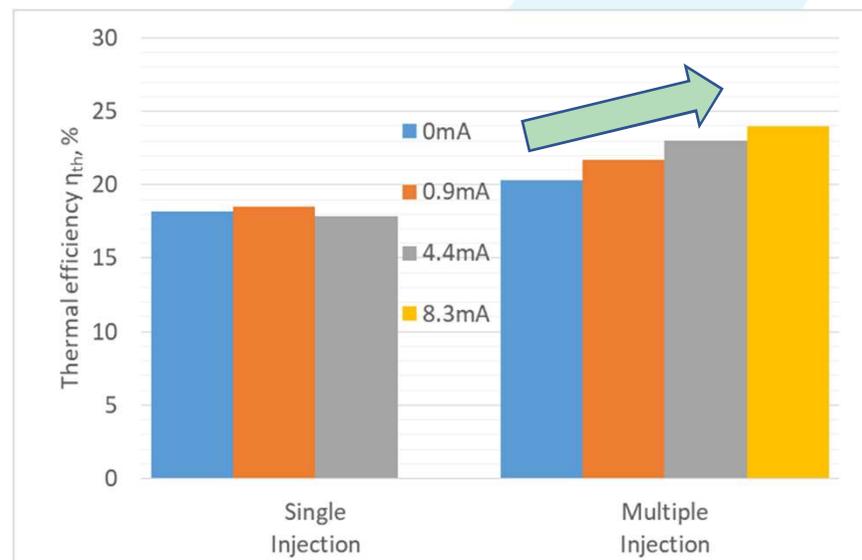
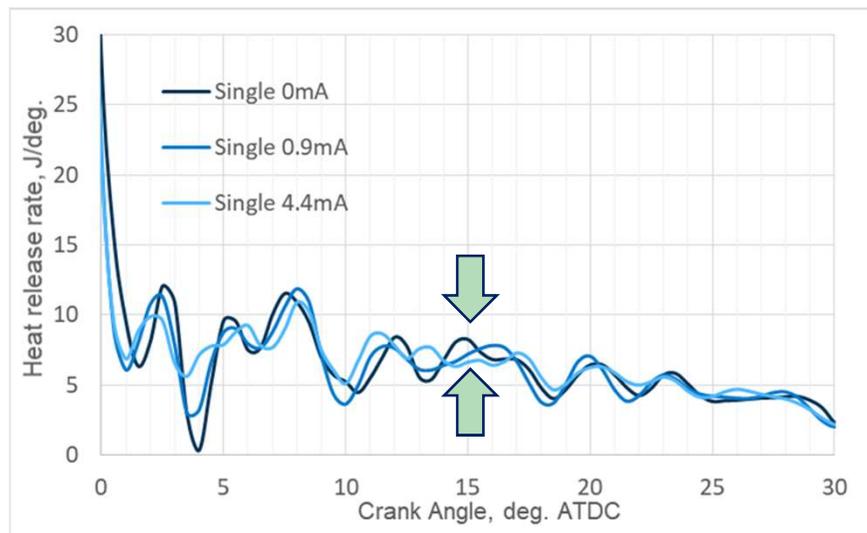


1.2 プラズマ支援燃焼の概念

燃料雰囲気中の中性分子を、不対電子を持つ化学反応性の高いラジカル状態に置くことで反応性を高める



1.3 当研究室での先行研究



熱発生率の上下変動→小

多段噴射で熱効率が上昇

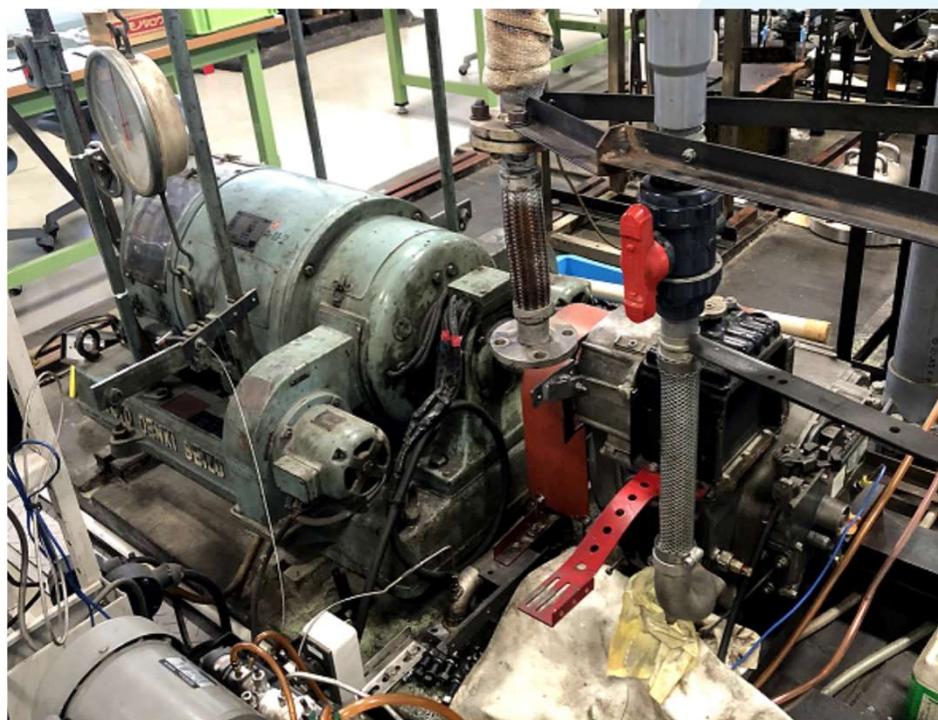
⇒ 燃焼改善効果を得られることを示唆することができた

1.4 研究目的

本研究の目的

プラズマ支援燃焼をDFエンジンへの適応を目指す

⇒ ディーゼルエンジンのDF化



Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

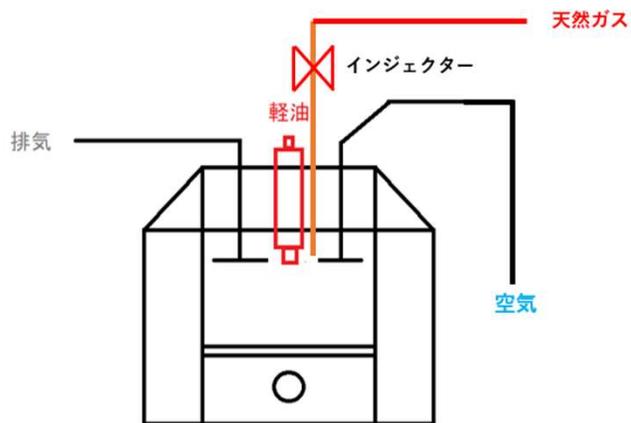
エンジン内でのDF実験

実験結果と考察

まとめ

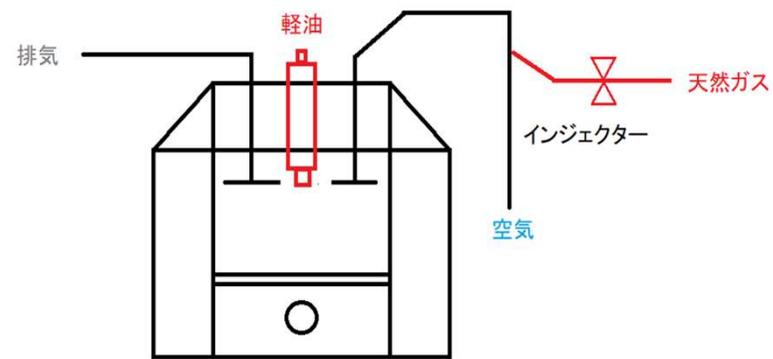
2.1 燃料噴射方法の選定

直噴



- 正確な量、タイミングで燃料噴射可能
- 新たな加工が必要

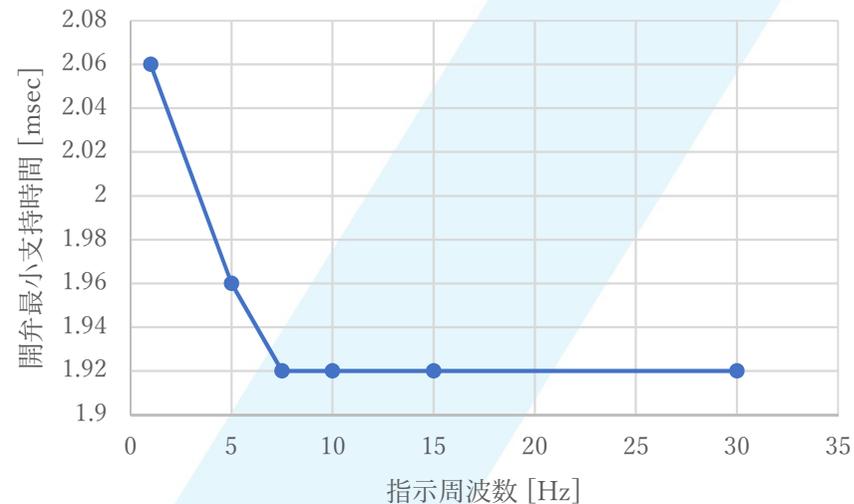
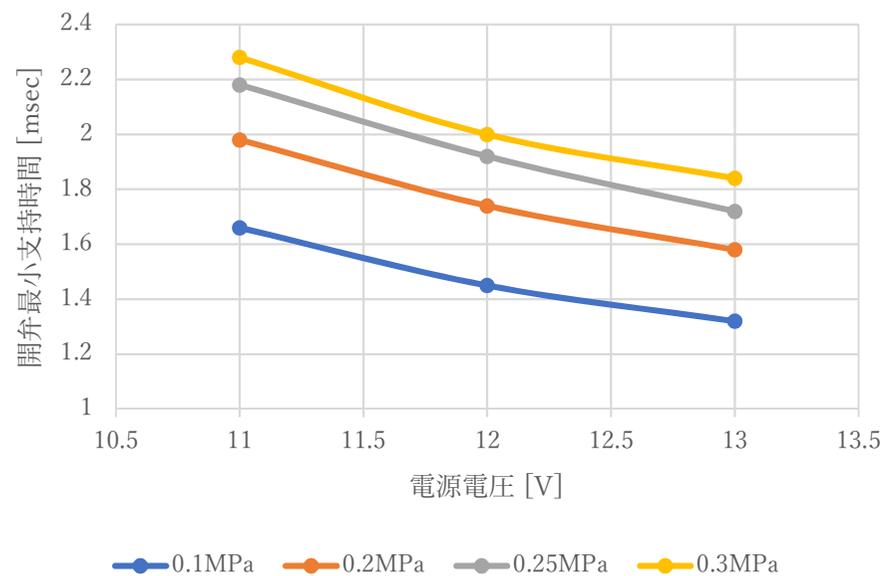
ポート噴射



- 必要な加工が少ない
- 直噴より空燃比の正確性が落ちる

ポート噴射を採用！

2.2 ガス用インジェクターの性能

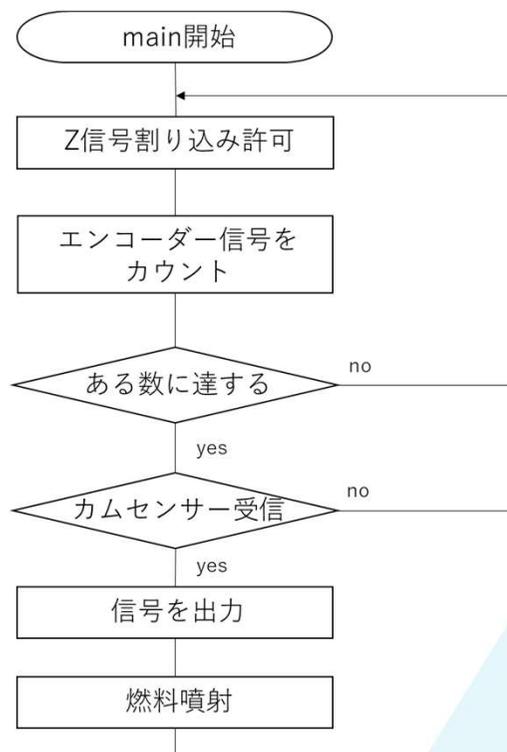
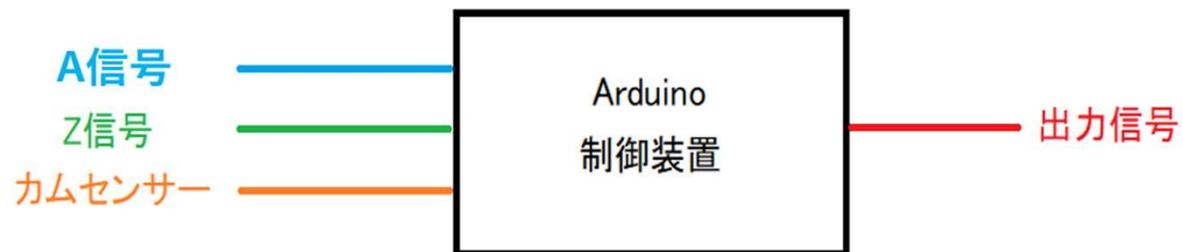


最小噴射指示時間の電源電圧依存性

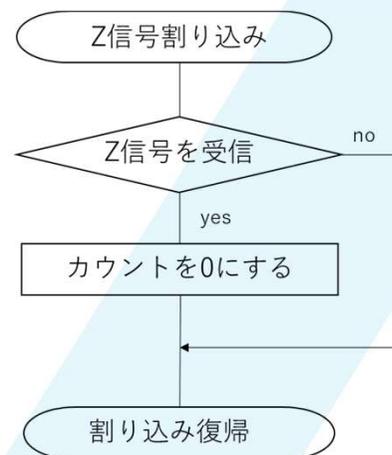
最小噴射指示時間の信号周波数依存性

最大噴射圧力0.3MPa
最小噴射指示時間2msに設定

2.3 マイコンボードでの噴射制御プログラム

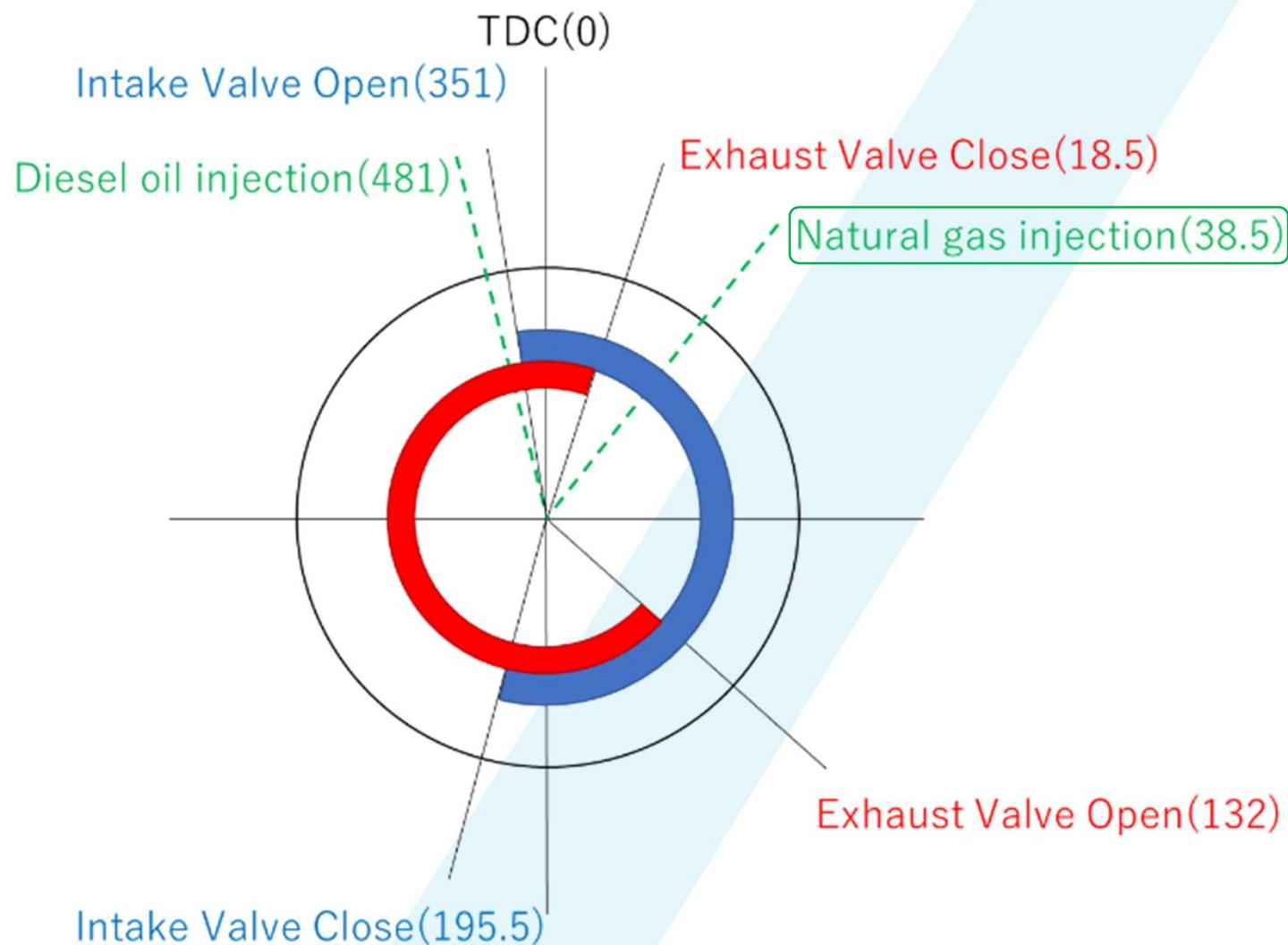


(a) メインフローチャート



(b) Z信号割り込み時のフローチャート

2.3 実験用エンジンのバルブタイミング



Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

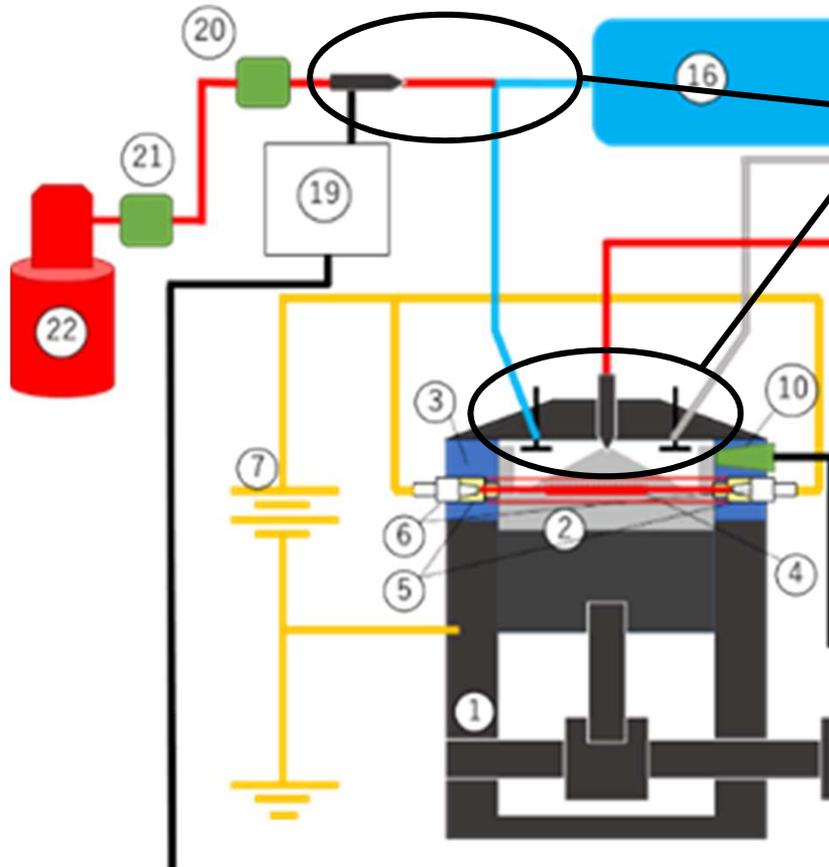
1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

エンジン内でのDF実験

実験結果と考察

まとめ

3. エンジン内でのDF実験



燃料噴射方式
軽油：直接噴射式 ⇒ 吸気工程
天然ガス：ポート噴射 (排気バルブ：閉)

形式：水冷横型単気筒
4サイクルディーゼルエンジン
ボア×ストローク[mm]：92×96
排気量：0.639L
圧縮比：11.39(電極設置用改造後)
連続定格出力：8.1kW/2400rpm
(カタログ値)
最大出力：9.2kW/2400rpm
(カタログ値)
噴射ポンプ：コモンレール方式
噴射ノズル：4孔式
開弁圧：16.7MPa
閉弁圧：13.36MPa (開弁圧の80%)

3. エンジン内でのDF実験

表1 エンジンの運転条件

運転条件		1	2	3	4
エンジン回転数	rpm	2000			
エンジン負荷	kW	1.5			
軽油噴射タイミング	-	BTDC15°			
天然ガス噴射タイミング	-	ATDC38.5°			
天然ガス噴射圧力	MPa	添加無し	0.05	0.1	0.15

・計測項目

機関：機関回転数[rpm]、制動荷重[kg]、吸気温度[°C]、排気温度[°C]
筒内圧力履歴[MPa]、燃料圧力履歴[MPa]

吸気：気温[°C]、大気圧[hPa]、湿度[%]、吸気圧力[kPa]、
吸気オリフィス差圧[kPa]

排気：HC[ppm]、CO[ppm]、NOx[ppm]、O₂[%]

任意のクランク角度における熱発生率

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(kP \frac{dV}{d\theta} + V \frac{dP}{d\theta} \right) \cdot \cdot \cdot \cdot (3.1)$$

Q: 発生熱量 [J]

θ: クランク角 [deg.]

κ: 比熱比 1.4 [-] P: 筒内圧 [Pa]

V: シリンダー容積 [m³]

Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

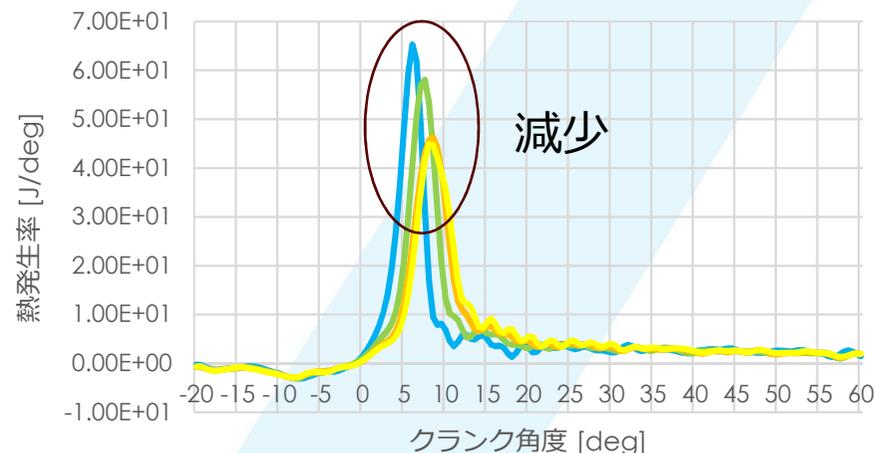
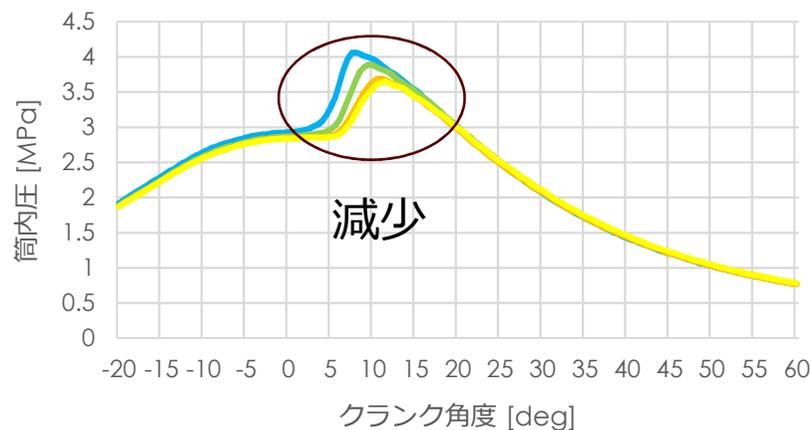
1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

エンジン内でのDF実験

実験結果と考察

まとめ

4.1 筒内圧力と熱発生率

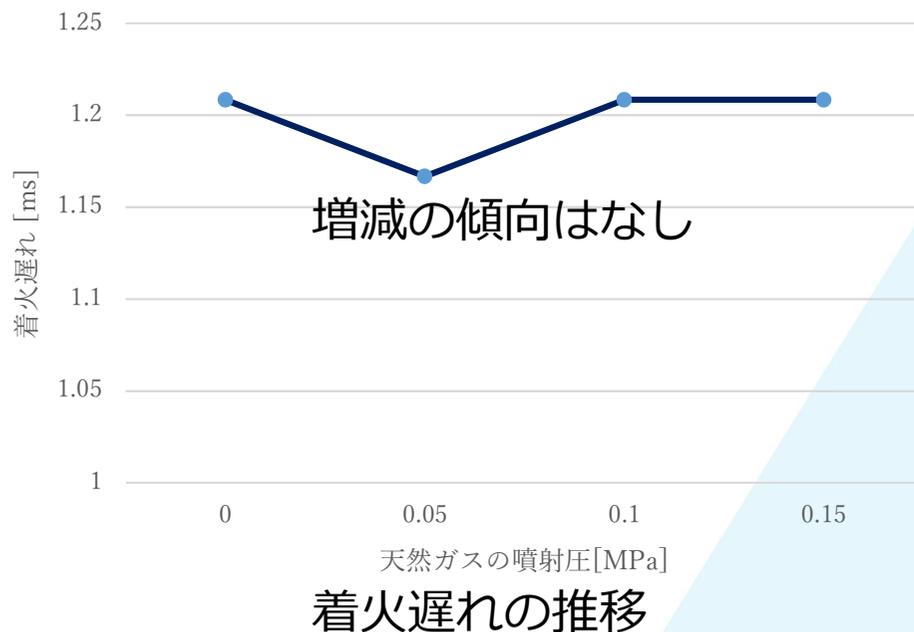


— 0MPa — 0.05MPa — 0.10MPa — 0.15MPa

筒内圧力履歴

— 0MPa — 0.05MPa — 0.10MPa — 0.15MPa

熱発生率履歴

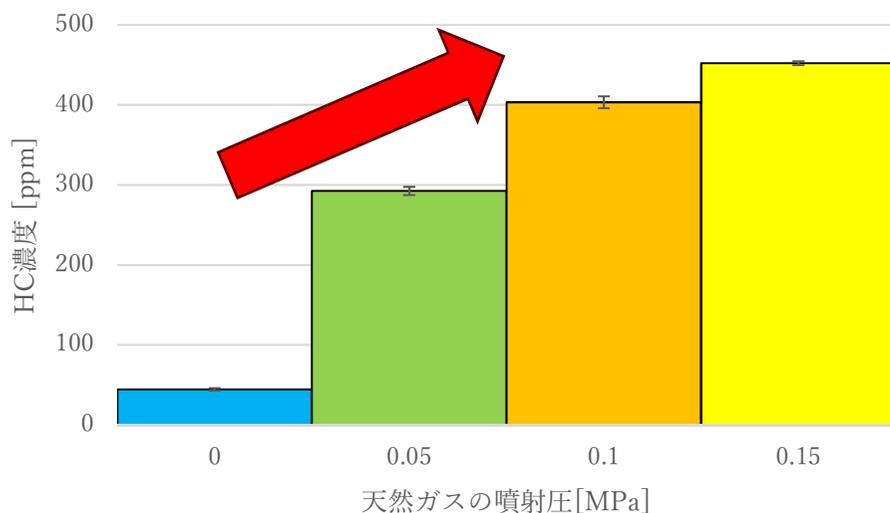


- 筒内圧力、熱発生率ともに
最大値が小さくなった
- 着火遅れ時間と天然ガスの添加量には
相関は見られなかった。

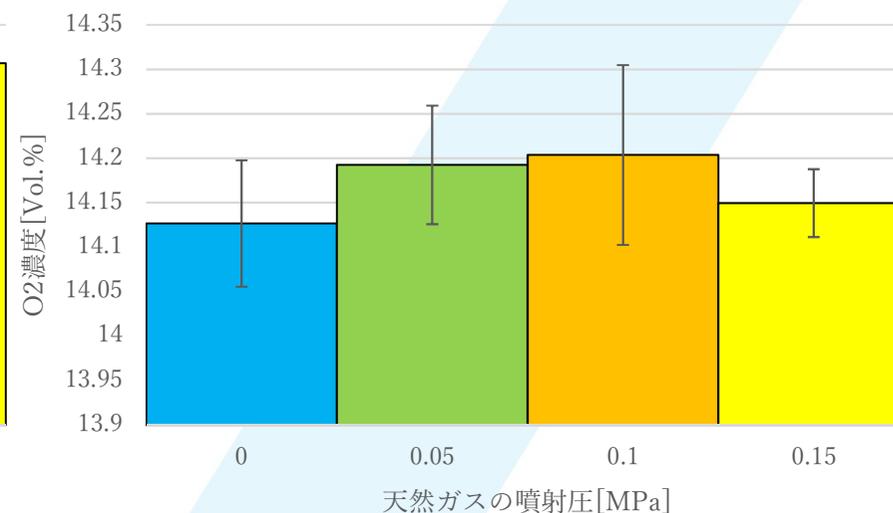


軽油噴霧の希薄化が進行したことで、
軽油燃焼が緩やかになり、天然ガス
混合気の点火と燃焼促進効果が低下した。

4.2 HC、残留酸素濃度



HC濃度の推移



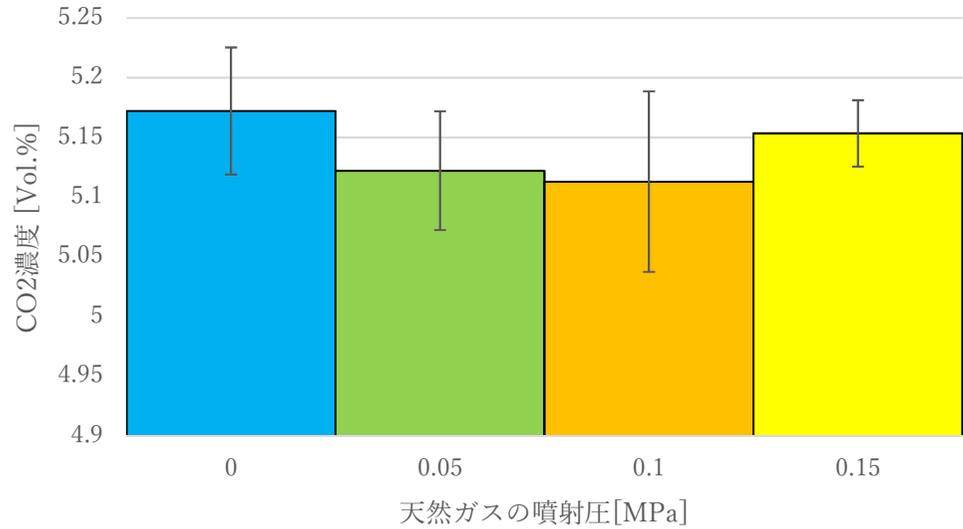
残留酸素濃度の推移

- HCの値が大幅に悪化しており、**燃焼性に問題あり**
- 残留酸素量には大きな**変化はなし**

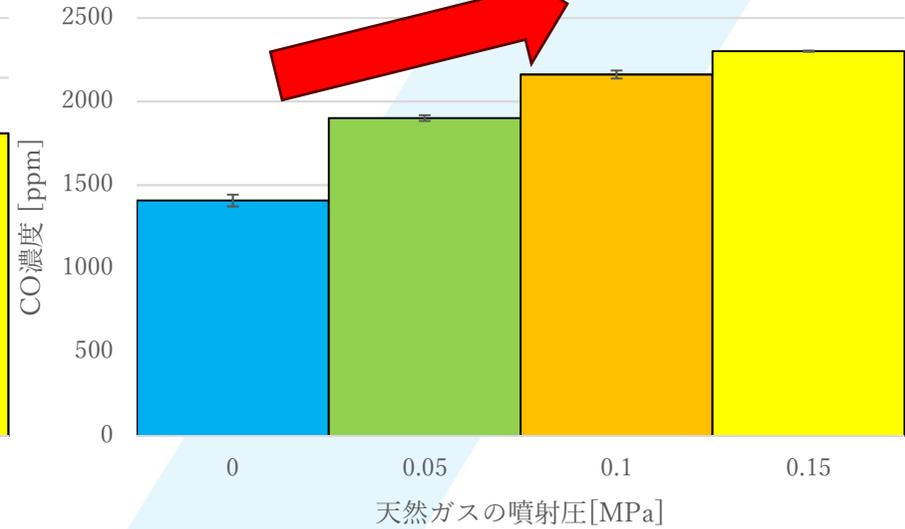


- 燃焼性の悪化の原因が酸素の不足ではない。
- 軽油噴霧の希薄化による天然ガス混合気の点火と燃焼促進効果が低下原因である。

4.3 CO₂、CO濃度

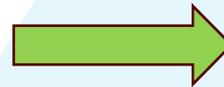


CO₂濃度の推移



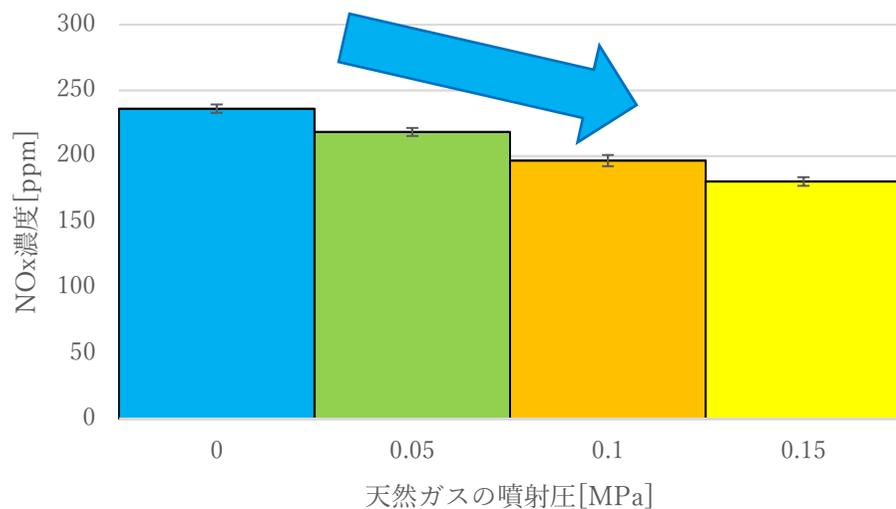
CO濃度の推移

- CO₂は基本的に減少傾向
- COは増加傾向

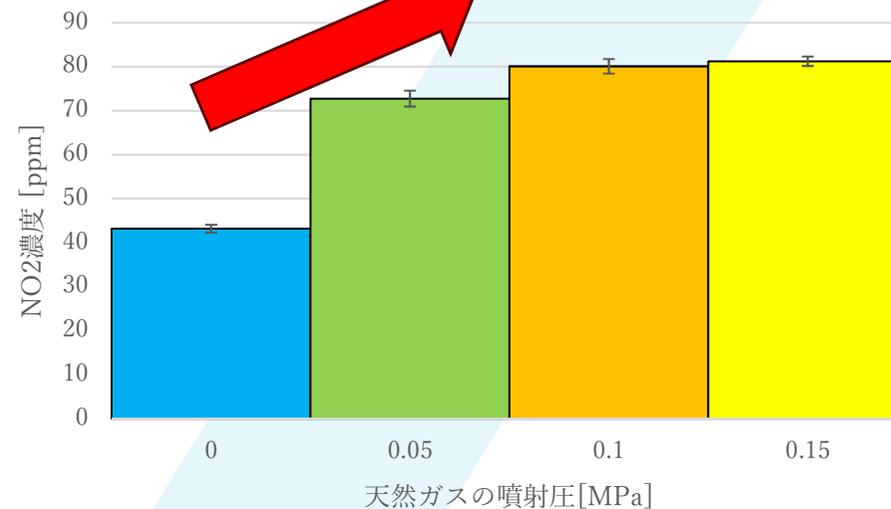


燃焼性に問題あり

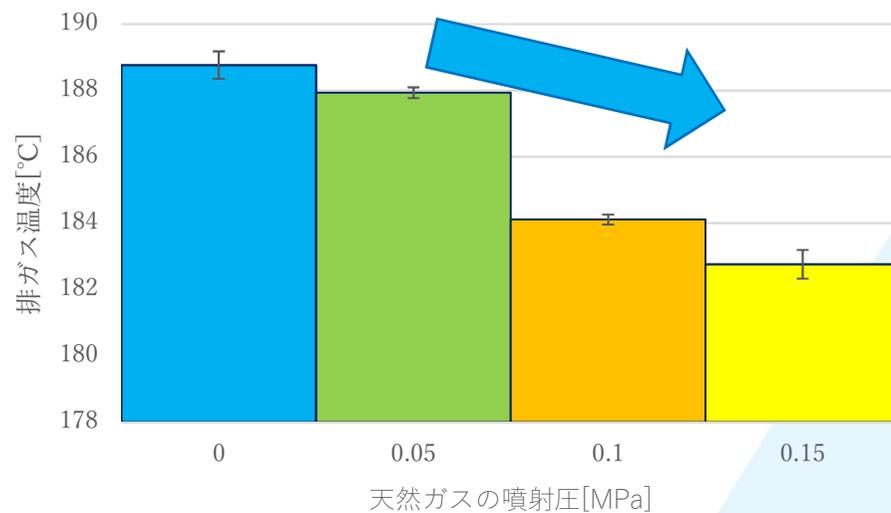
4.4 NOx、NO2、排ガス温度



NOx濃度の推移



NO₂濃度の推移



排ガス温度の推移

- NOxの減少傾向
- 排ガス温度の低下

- NO₂は増加傾向

サーマルNOx
の減少

プロンプトNOxの
増加
燃料が局所的に
可能状態の可能性

Contents

発表概要

序論

研究背景/プラズマ支援燃焼の概念/
先行研究/研究目的

DF化への取り組み

1. 燃料噴射方法の選定
2. インジェクターの性能分析
3. マイコンボードによるガス燃焼の
噴射制御方法
4. 天然ガス用の新たな燃料系統の製作

エンジン内でのDF実験

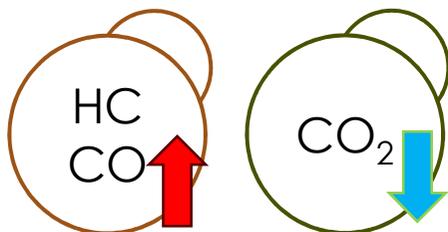
実験結果と考察

まとめ

5. DF実験まとめ

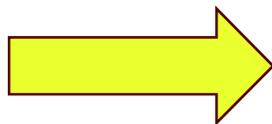
天然ガス無しと比較して...

- 最大筒内圧の減少
- 最大熱発生率の減少

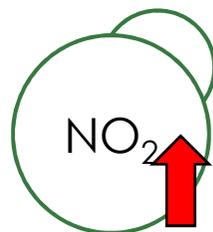


燃烧性が悪化

- 排気ガス温度の低下



サーマルNO_xが減少



プロンプトNO_xが増加
天然ガスが局所的に燃料過濃状態

5. 今後の課題

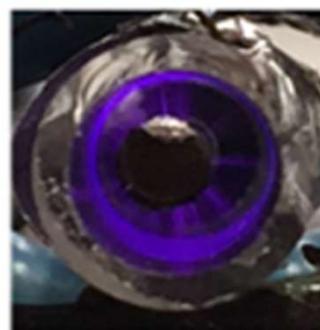
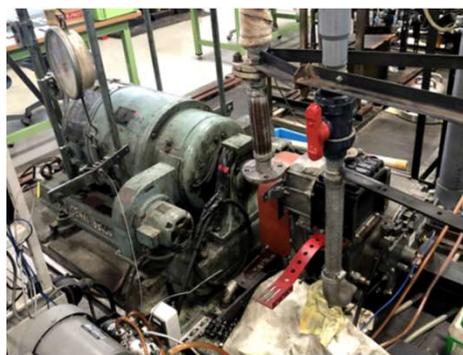
① 燃焼性の改善

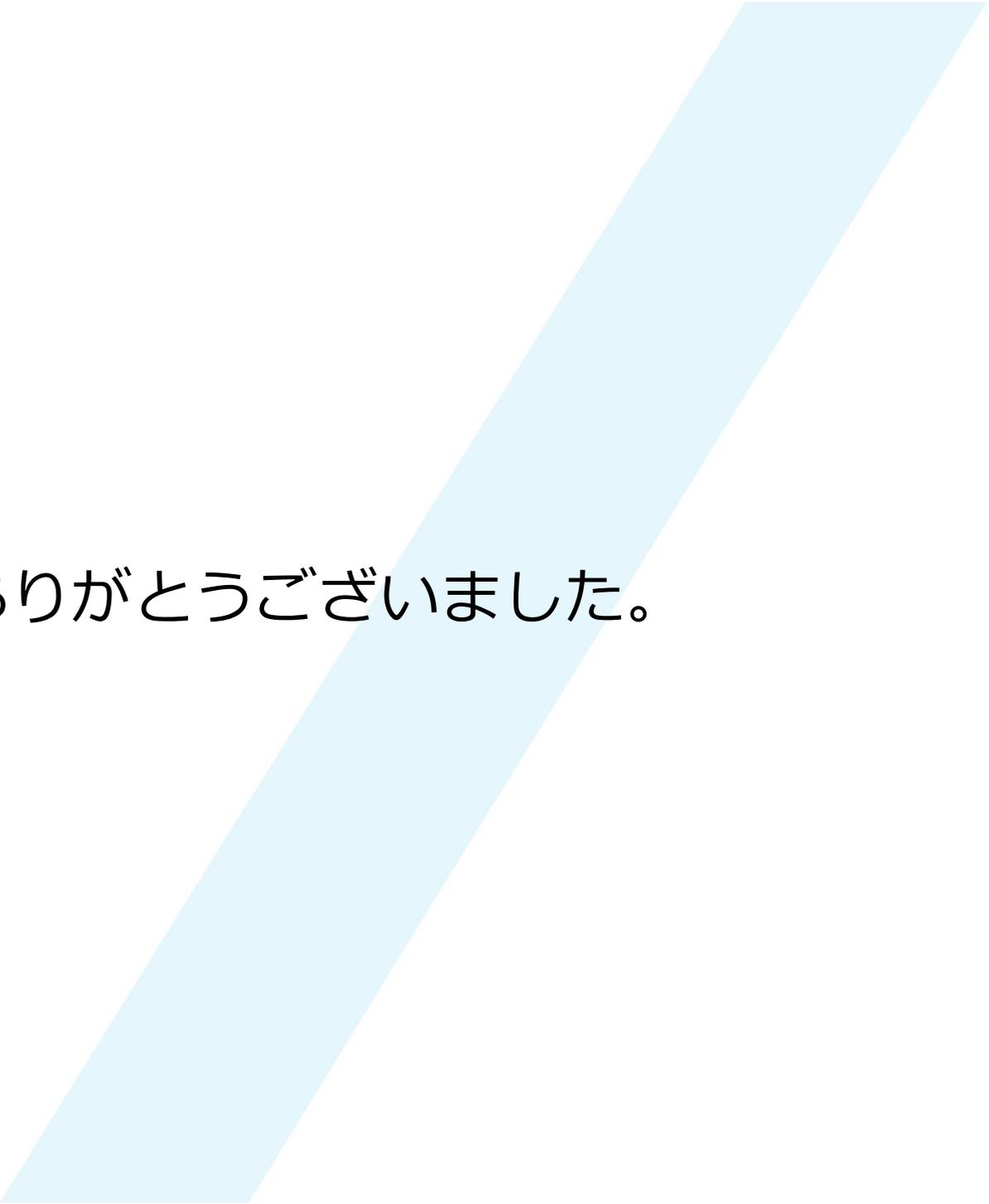
- ・ 軽油の噴射時期の進角
- ・ 圧縮比の高いシリンダーブロックの使用

② 天然ガス以外の燃料への適応

- ・ 水素燃料
- ・ アンモニア燃料

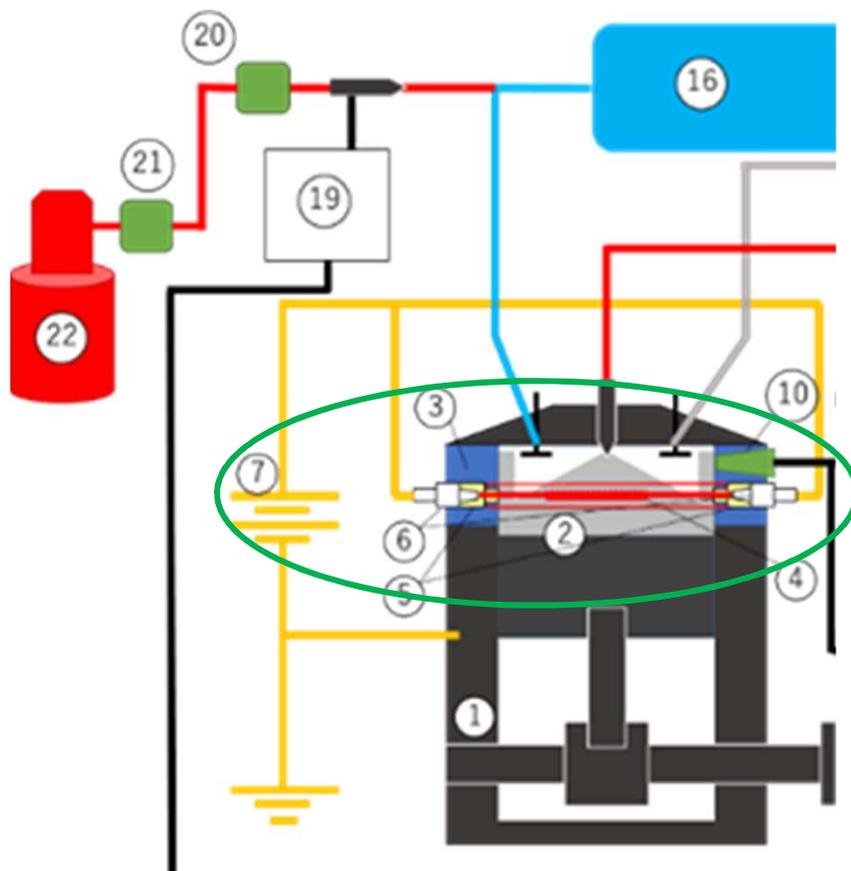
③ DFエンジンへのプラズマ支援燃焼の適応





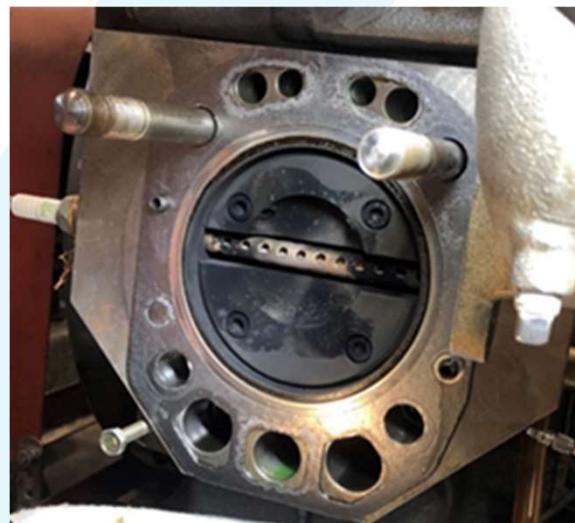
ご清聴、ありがとうございました。

補足資料（電極の形状）



使用した電極

- ・ M2 x 0.4 + 少量の針金を巻いたもの
- ・ インコネルチューブ 100 mm



補足資料（ガス用インジェクターの噴射量）

噴射量（水上置換） : 22.5℃ 湿度45% 1022hPa

・ 噴射圧力0.05MPa : 1回あたり3.4ml

・ 噴射圧力0.10MPa : 1回あたり6.7ml

・ 噴射圧力0.15MPa : 1回あたり8.7ml

→ 発熱量の観点

軽油単体（2000rpm, 1.5kW） = 天然ガス単体（1回あたり15ml）

噴射量（マスフローメーター） : 8℃ 湿度73% 1012hPa

・ 噴射圧力0.05MPa : 5.43ml/min

・ 噴射圧力0.10MPa : 7.88ml/min

・ 噴射圧力0.15MPa : 9.27ml/min

→ 実際より **少なく表示**

吸気量 : 8℃ 湿度73% 1012hPa

オリフィスより、457L/min

補足資料（熱効率）

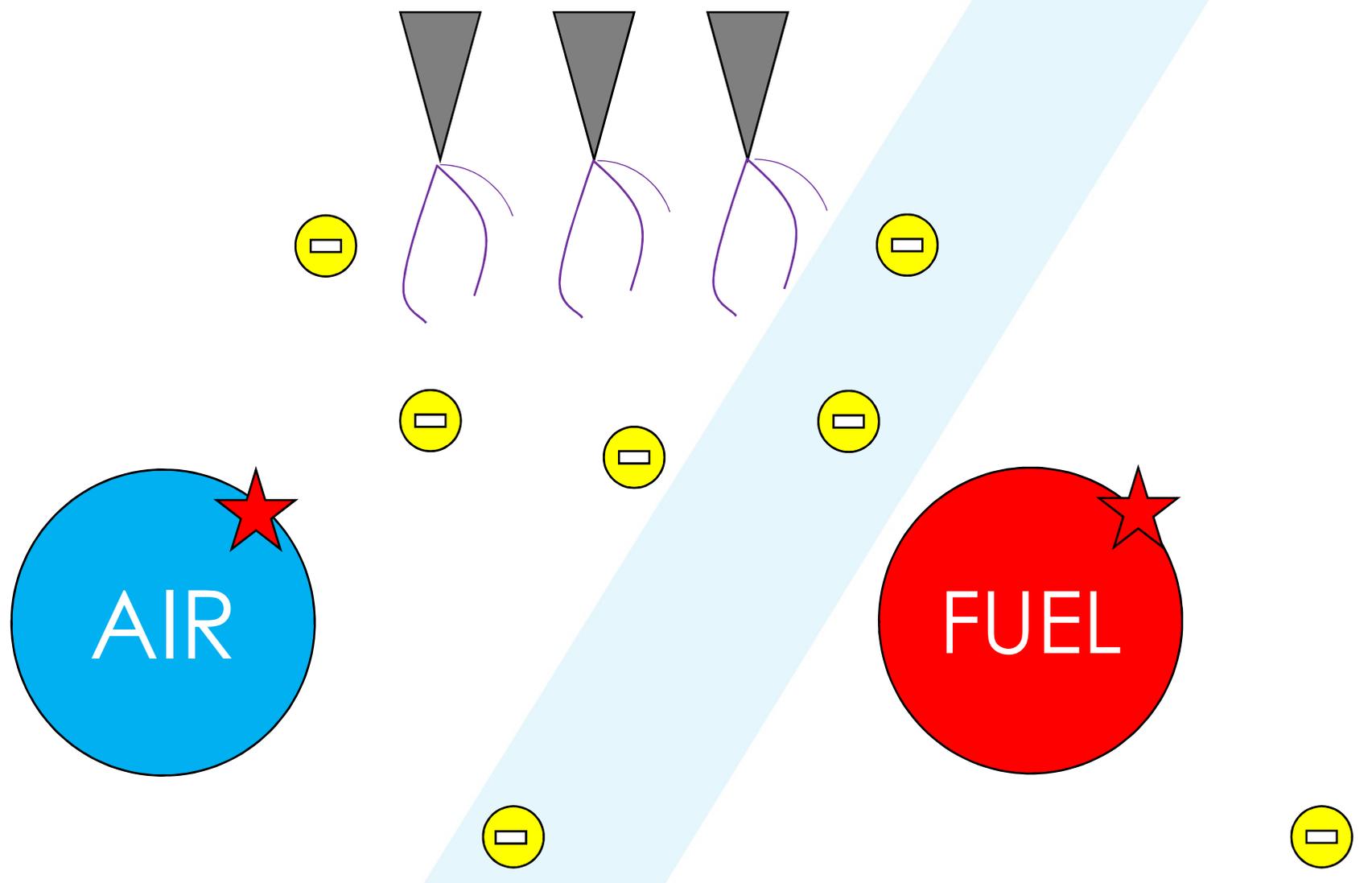
	天然ガスの噴射圧[Mpa]			
	0	0.05	0.1	0.15
軽油の流量計[ml/min]	10.83	6.67	5.14	4.58
天然ガスの流量計[slm]		5.43	7.88	9.27
熱効率[%]	21.8	19.1	17.6	16.5

補足資料（熱量比）

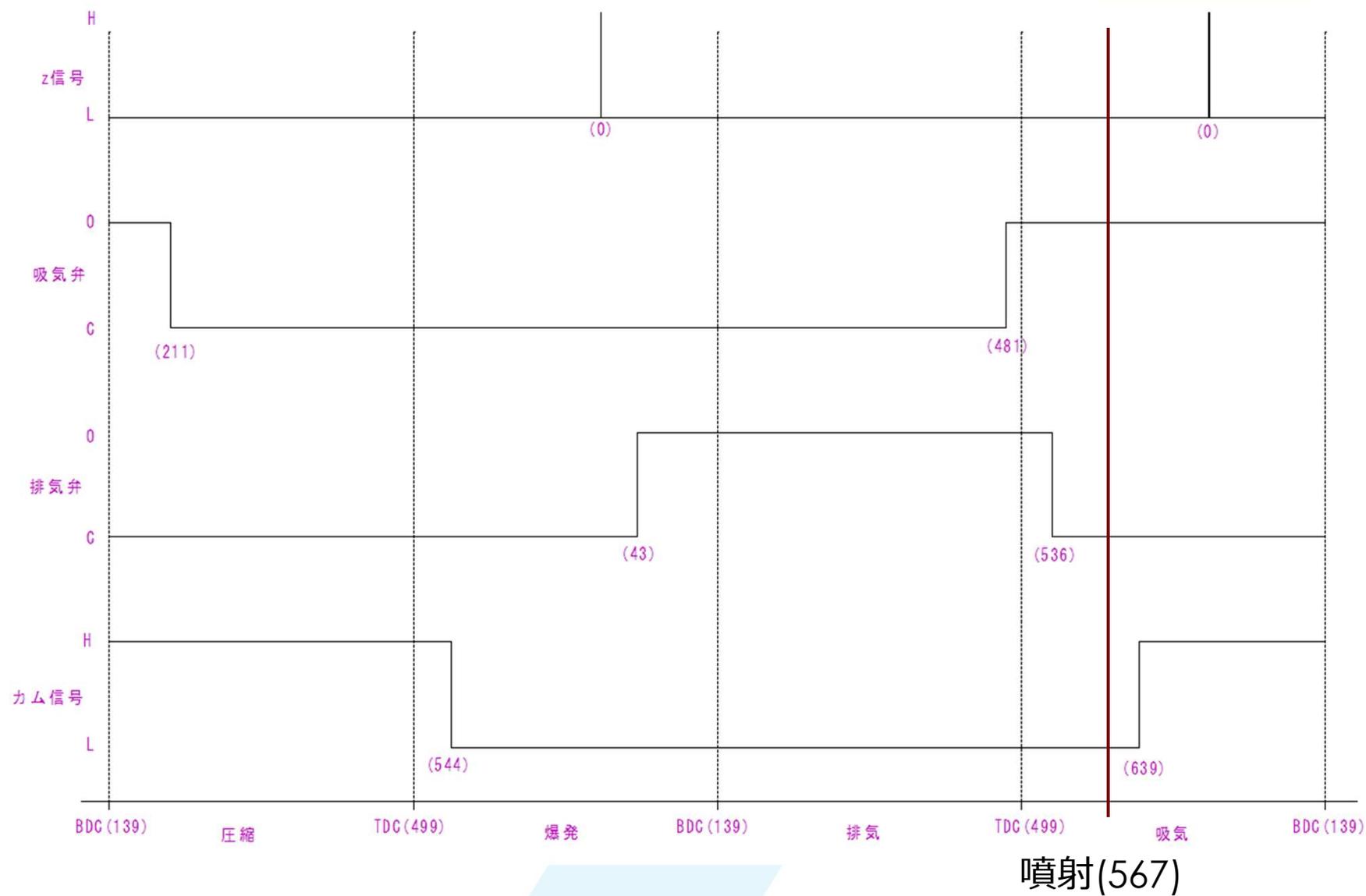
- ・ 噴射圧力0.05MPa : 22%
- ・ 噴射圧力0.10MPa : 43%
- ・ 噴射圧力0.15MPa : 56%

1.2 プラズマ支援燃焼の概念

- ・・・ 放電から生成した電子による電離作用
→ 燃焼性を向上



2.3実験用エンジンのタイムチャート



2.3 Arduino による燃料噴射制御プログラム

```
int INTERRUPT_PIN = 2;
int CAM_SOCKET = 4;
int ENCODER_SOCKET = 6;
int OUTPUT_SOCKET = 8;
int count = 0;
// 入力・出力ピン番号の設定 変数'count'の定義
// Arduino はだいたい、ピン番号が 2 と 3 は必ず Interrupt できる

void z_signal();
// z_signal の関数宣言

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode( ENCODER_SOCKET, INPUT );
  pinMode( OUTPUT_SOCKET, OUTPUT );
  attachInterrupt( digitalPinToInterrupt(INTERRUPT_PIN), z_signal.RISING );
}
// 各番号ピンの役割設定 割り込み関数を設定 (z 信号が来た時、count を 0 にする)
// Arduino でのピン番号とハードウェアの割り込み番号が実際には違うため、
digitalPinToInterrupt()によりデジタルピンの番号をハードウェアの int0 に変換している。

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if( digitalRead( ENCODER_SOCKET ) == 1 ){
    count++;
    while( digitalRead( ENCODER_SOCKET ) == 1){
      delayMicroseconds(20);
    }
  }
  // Encoder 信号の回数を受信時にカウントする。カウントが被らないように、少しの間
  // 時間を空ける

  if( count == 576 && digitalRead(CAM_SOCKET) == 0 ){
    digitalWrite( OUTPUT_SOCKET, LOW );
    delay(2);
    digitalWrite( OUTPUT_SOCKET, HIGH );
```

補足資料 (熱量比)

- 噴射压力0.05MPa 22%
- 噴射压力0.10MPa 43%
- 噴射压力0.15MPa 56%

