

# 制御チーム 神戸大学大学院システム情報学研究科 堀 司



「3次元燃焼解析ソフトへの点火モデル組み込みと検証」

## 研究概要 目的

スーパーリーンバーンでは希薄混合気を安定に点火させるため、筒内流動と放電エネルギーの強化が検討されている。点火の成否は希薄混合気での火炎核成長に加えて、流動による放電経路伸張と再放電による点火エネルギーの時間および空間的な変化が影響すると考えられる。しかし、従来モデルはこれらの点火メカニズムが十分に考慮されておらず、点火予測が困難である。本研究では、スーパーリーンバーンでの点火予測を目的とし、放電経路伸張や再放電を考慮して点火を計算できるモデルを構築し、HINOCAに導入した。

## 研究 成 果

### 点火モデルの構築

**放電経路伸張**  
放電経路をパーセル近似局所流速を用いて伸張を考慮

$$\frac{dx_{p,i}}{dt} = C_g \mathbf{u}_{pg,i}$$

白石, 寺地, 森吉 (2015) より  
ずれの影響をモデル化

**電気回路**  
二次回路のエネルギー式から放電エネルギーの時間変化、放電期間を計算

$$\frac{dE_{\text{spark}}(t)}{dt} = -V_{\text{ic}} i_s(t)$$

$$I_s = \frac{2E_{\text{spark}}(0)}{i_s^2(0)}$$

$$i_s(t) = \sqrt{\frac{E_{\text{spark}}(t)}{L_s}} = i_s(0) \sqrt{\frac{1 - E_{\text{spark}}(t)}{2E_{\text{spark}}(0)}}$$

**再放電**  
放電ギャップの電圧降下が一定値を超えると、新しい放電経路を作成

$$V_{\text{ic}}(t) = V_c + V_a + V_{\text{gc}}$$

$$V_{\text{gc}} = 40460 I_{\text{spark}}^{-0.32} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{0.51}$$

$$V_c = 3 \frac{B}{A} \log\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$$

$$V_a = 18.75$$

**火炎核成長**  
放電パーセル位置で火炎核成長を計算。一定値を超えると点火したと判定し、火炎伝播モデルの初期値を作成

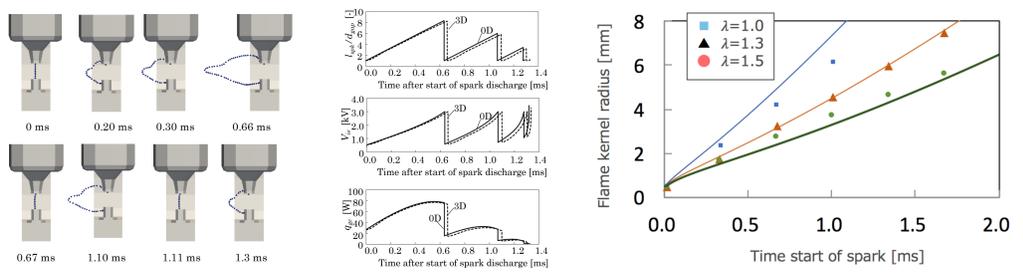
$$\frac{dr_k}{dt} = \frac{\rho_u}{\rho_K} (s_f + s_{\text{plasma}})$$

$$s_{\text{plasma}} = \frac{i V_{\text{ic}}}{4\pi r_K^2 [\rho_u (I_K - h_u) + p \frac{\partial u}{\partial r_K}]}$$

電気回路モデルで計算される  
ジュール熱

### 点火モデルの検証 (0Dと3D)

周囲気体と放電経路の速度のずれをモデル化し、放電経路を予測できた。また、火炎核成長はMalyら(1992)と同様の問題を計算し検証した。



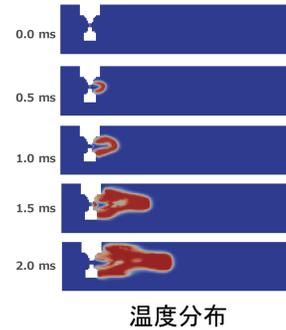
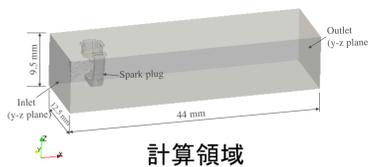
定容容器・非燃焼場 (実験値と比較)

火炎核成長の検証(0D計算)

## 予定, 将来展望

### 点火予測精度の改善

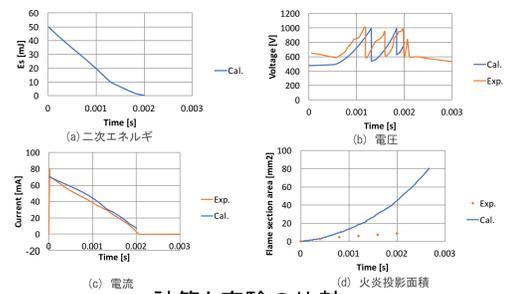
容器を対象とした計算で火炎の成長速度 (火炎投影面積) が過大に見積もられた。点火エネルギーによる熱膨張で流動場が変化すると考えられるが、その影響が計算されていない。予測改善のため、エネルギー式の生成項に点火エネルギーを与え、点火エネルギーによる流動の変化を考慮し、火炎予測精度改善をねらう。



温度分布

#### 計算条件

Fuel	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Excess air ratio	1.0
N <sub>2</sub> dilution	22%
Ambient pressure	100 kPa
Ambient temperature	300 K
Gas velocity in spark gap	7.9 m/s
Velocity fluctuation u'	1.0 m/s
Integral length	4.0 mm
Spark plug gap	1 mm
Charge duration in ambient pressure and static state	3.1 ms
Discharge energy	50 mJ
Initial current i <sub>s</sub> (0)	70 mA
Restrike pressure	1.0 kV
Initial kernel radius	0.1 mm



計算と実験の比較

流動を有する定容容器内での点火計算例

実験結果は千葉大森吉先生ご提供

## 課 題

### 火炎核成長過程のモデル

放電 (プラズマ) から火炎核形成, 火炎核が成長し火炎伝播に至る遷移過程のメカニズムが十分に明らかになっていない

### 放電挙動のモデル

雰囲気中に空気を用いた実験を対象にモデル化している。しかし、燃料気体が混在すると放電ギャップ間の電圧降下や周囲気体への追従性が変化することが実験から推測されるが、その影響については十分に明らかになっていない。