

プラズマ物性を考慮した 火花点火機関における放電挙動のモデリング

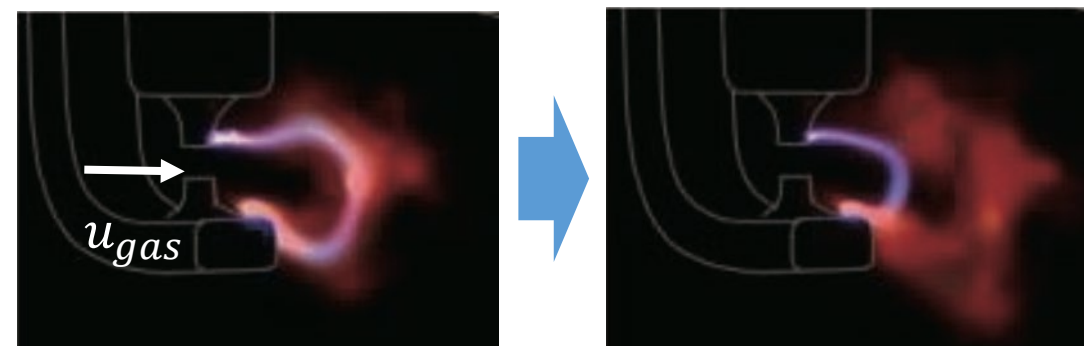
大阪大学大学院
工学研究学科 機械工学専攻
赤松研究室
今橋 裕

火花点火機関における着火

- 混合気の希薄化 → 燃焼の高効率化
- 筒内流動 → 放電伸長 & 短絡
- 放電挙動が火炎核成長に影響
→ 放電挙動を予測するモデルが必要

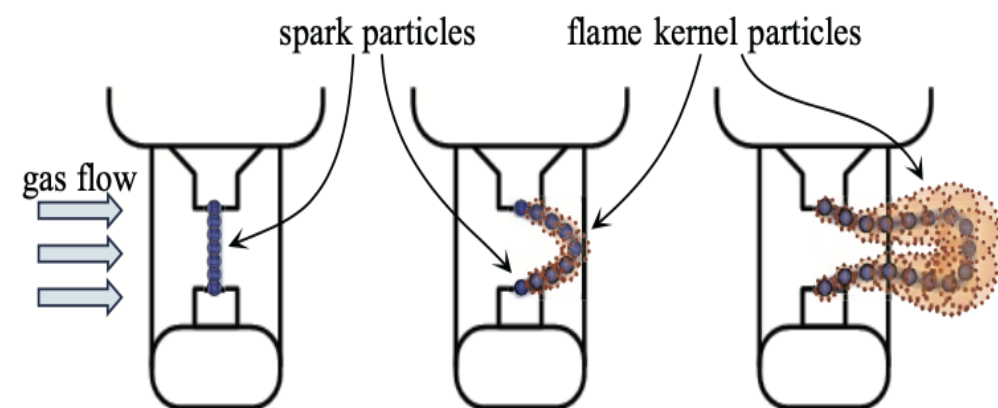
研究目的

プラズマ物性を考慮した放電挙動のモデリング



放電伸長[1]

短絡[1]



放電の粒子列モデル[2]

Ref.) [1] 松本ら, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 6, 2018.

[2] 増田ら, 自動車技術会論文集, Vol.49, No.4, p.732-738 (2018)

放電経路伸長速度 dx/dt のモデリング

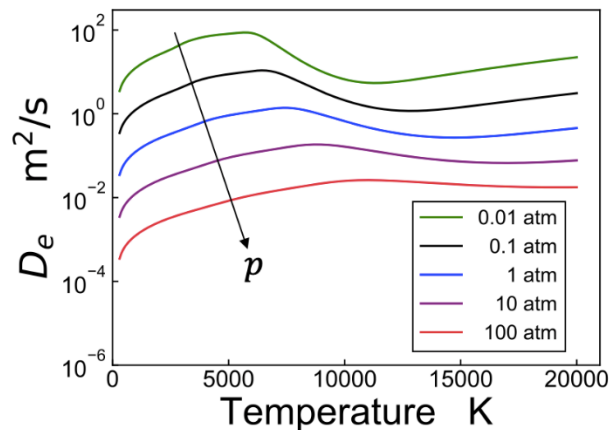
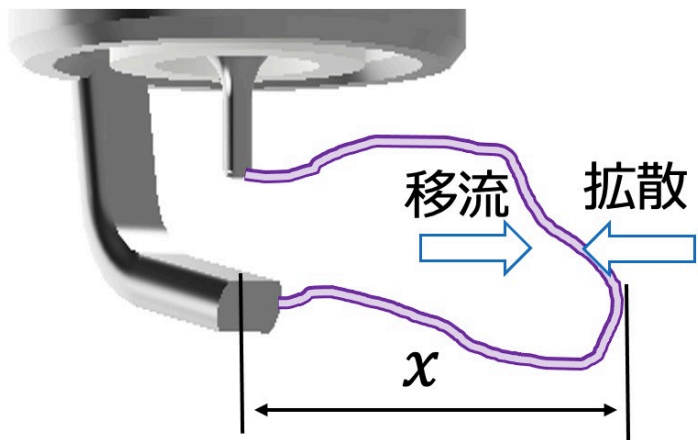
- 移流と拡散の競合に着目
- 圧力増加 → 平均自由行程が短縮
→ 拡散係数低下
→ 気体への追従性向上



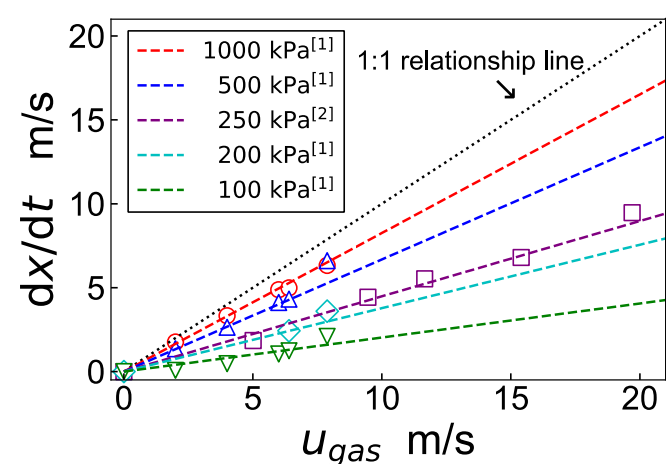
- 追従係数 C_g を圧力の関数でモデル化

$$\frac{dx}{dt} = C_g u_{gas}, \quad C_g = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{1}{3} \frac{p}{p_0} \right)$$

($p \rightarrow \infty$ で $C_g \rightarrow 1$)



電子の拡散係数



放電経路伸長速度

Ref.) [1] Shiraishi T. et al., SAE International, Vol. 9, (2015)

[2] Gardiner D. et al., ASME Internal Combustion Engine Division 2006 Fall Technical Conference, (2006)

短絡電圧 V_{short} のモデリング

- 短絡電圧が高い → ストリーマーが失活しやすい
 - ∴ 衝突頻度が高い & 放電経路上流の温度が低い
 - 熱伝導 vs 対流熱伝達 (@放電経路)
 - ヌセルト数 $Nu = f(Re, Pr)$

$$\text{※ } Re \equiv \frac{\rho d_{\text{spk}} \left(u_{\text{gas}} - \frac{dx}{dt} \right)}{\mu} \quad (d_{\text{spk}} = 300 \mu\text{m}^{[1]})$$



- 絶縁破壊電圧 (Pashleyの式^[3])

$$V_{\text{BD}} = 4.3 + 136 \frac{p}{T} + 324 \frac{p}{T} d_g$$

- 短絡電圧

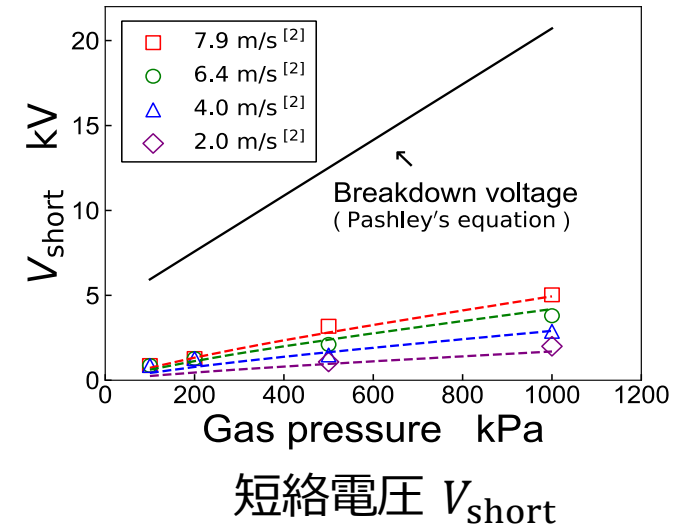
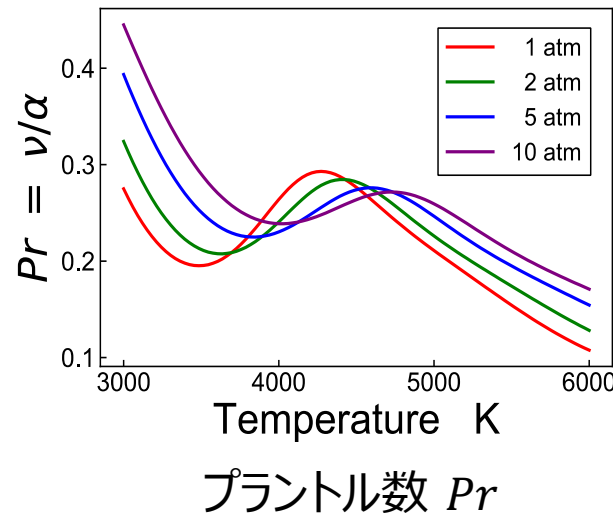
$$V_{\text{short}} = Nu V_{\text{BD}} = 0.13 Re^{0.78} V_{\text{BD}} \quad (4500 \text{ K})$$

$$V_{\text{short}} = Nu V_{\text{BD}} = 0.0028 Re^{0.78} V_{\text{BD}} \quad (300 \text{ K})$$

Ref.) [3] Pashley N. et al., SAE Technical Paper 2000-01-0245, (2000)



ストリーマーの進展^[1]



Ref.) [2] Shiraishi T. et al., SAE International, Vol. 9, (2015)

Ref.) [1] Schneider A. et al., Internationaler Motorenkongress 2016, pp. 327-348