

課題名: 組成制御による超希薄燃焼の火炎伝播安定化技術の開発

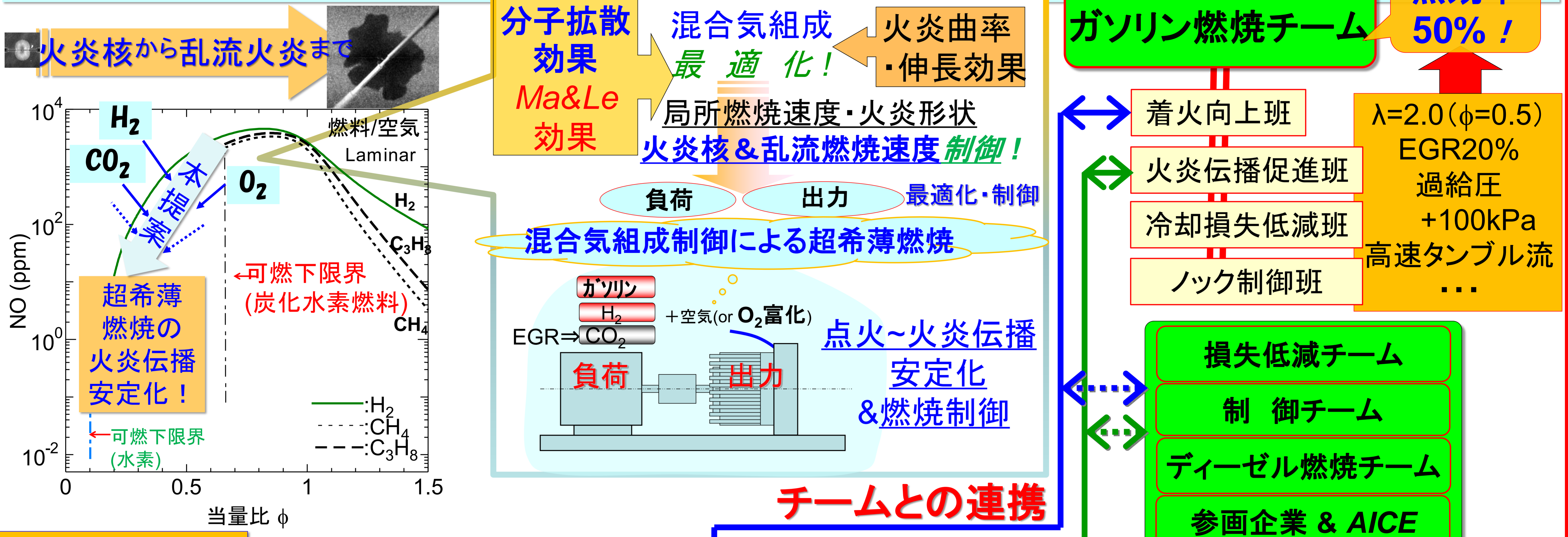
愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学コース 熱工学研究室

研究責任者: 中原 真也



研究開発目的

本研究は、さらなる低NO_x化や高効率化が期待できる、ガソリンエンジンでの超希薄燃焼の実現を目指す。そこで本研究では、超希薄化にともなうサイクル変動や失火などの燃焼不安定性を抑制するために、燃焼特性に優れた水素, EGRガスである二酸化炭素, および酸素濃度に着目した混合気組成の制御による火炎伝播安定化技術の開発を目的とする。



研究開発項目

研究開発項目1 「初期火炎形成の安定化技術」

研究開発項目2 「乱流燃焼時の火炎伝播の安定化技術」

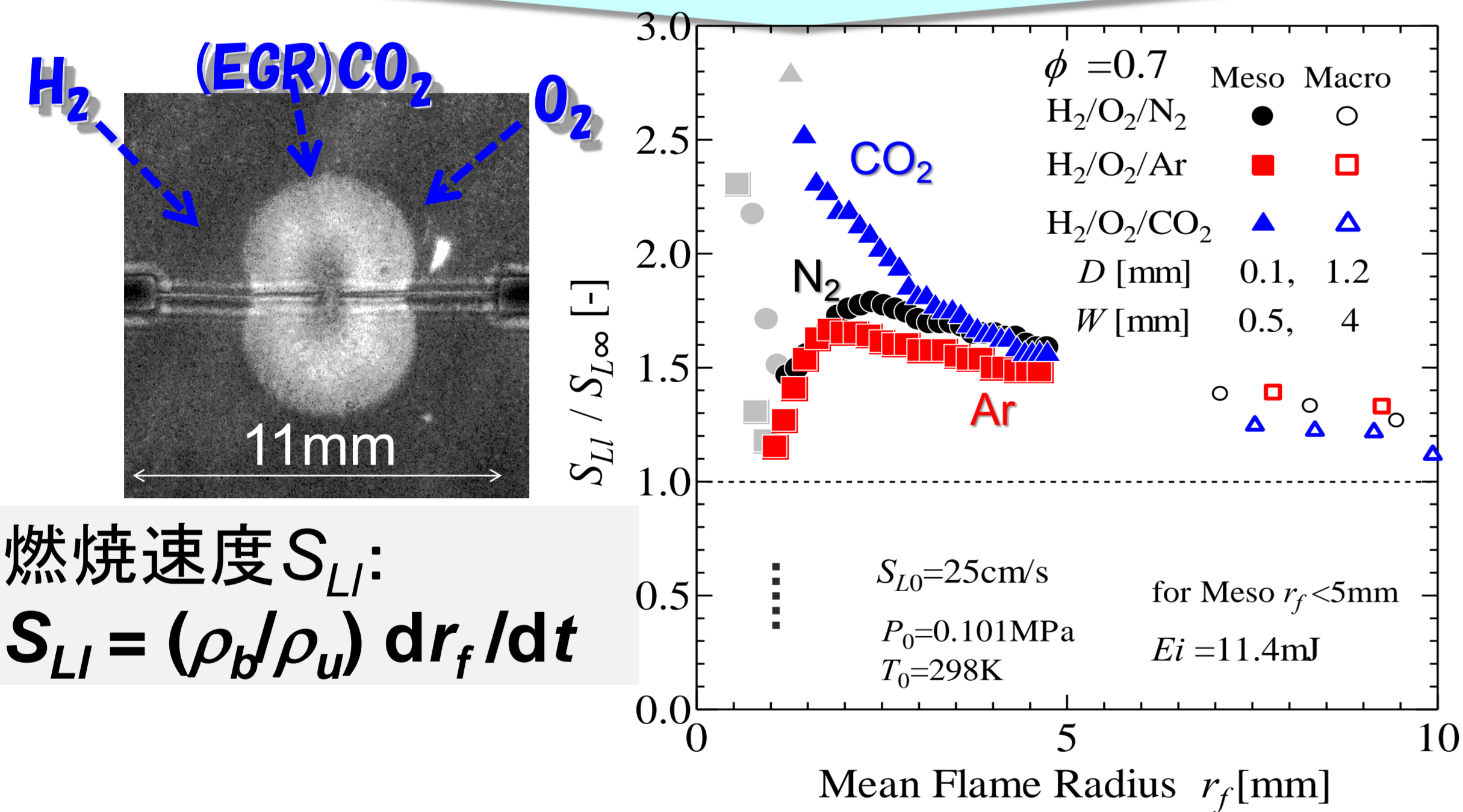
ガソリン-水素-空気(酸素)-EGRガス 混合気 [$\phi=0.5$ ($\lambda=2.0$) 以下, $S_{L0} = 25\sim 50$ cm/s程度]

C₃H₈, (CH₄...)

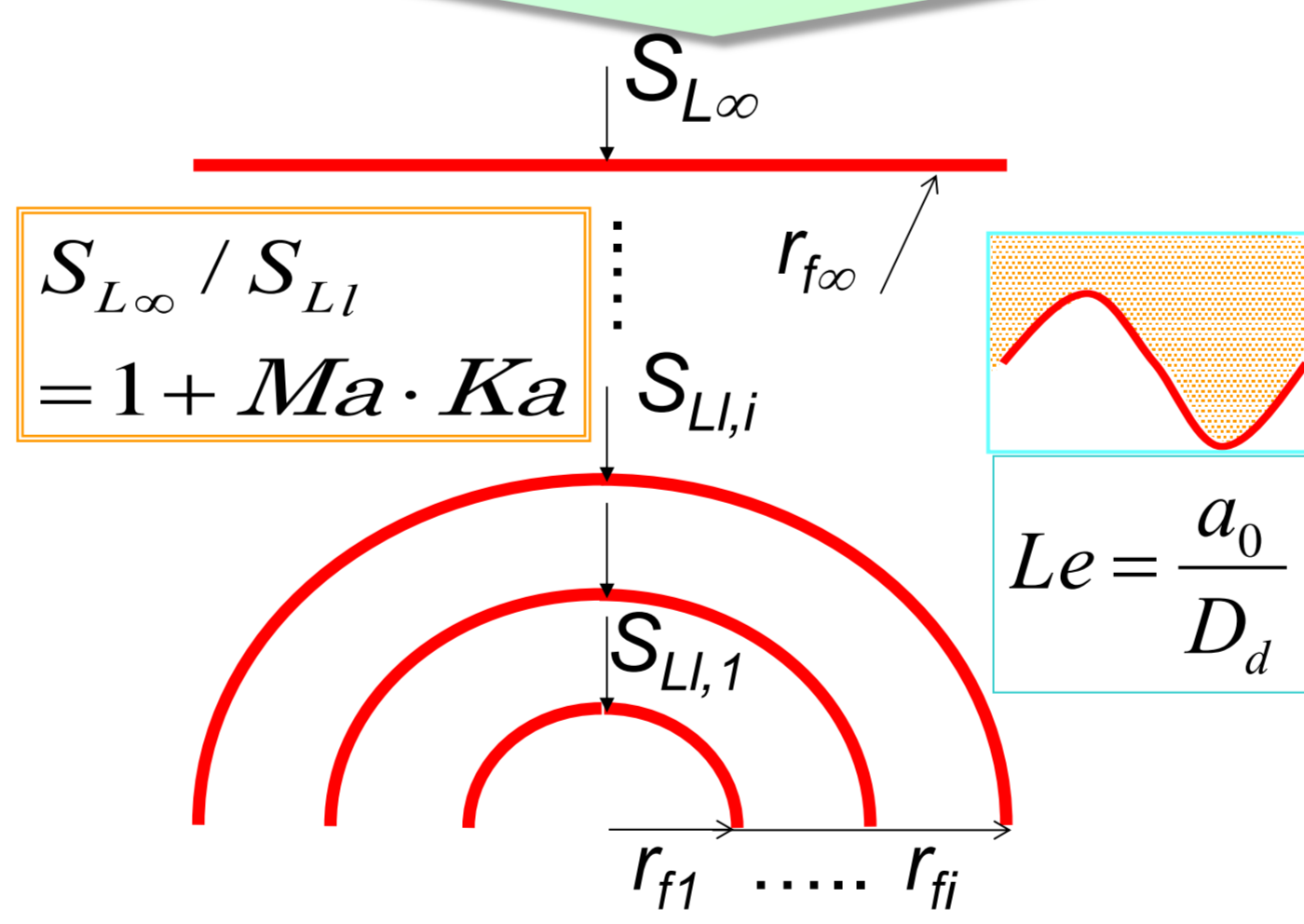
O₂ 富化

CO₂, (N₂, Ar, He, ...)

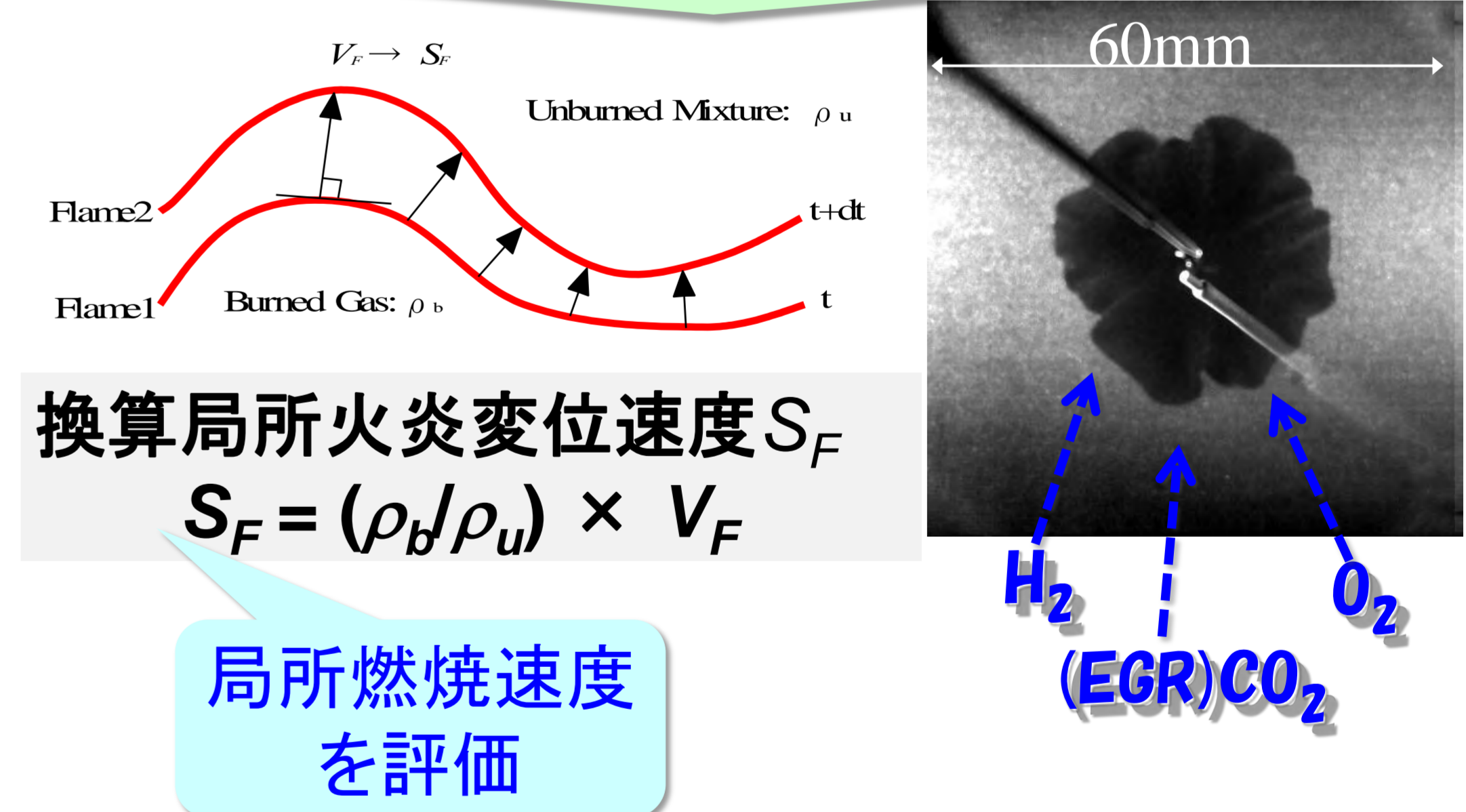
1-① 微小伝播火炎の燃焼速度 S_{L1} の定量化・評価



② 層流火炎の Markstein数 Ma & Lewis数 Le 等の定量化・評価



2-① 乱流火炎の局所燃焼速度の定量化・評価



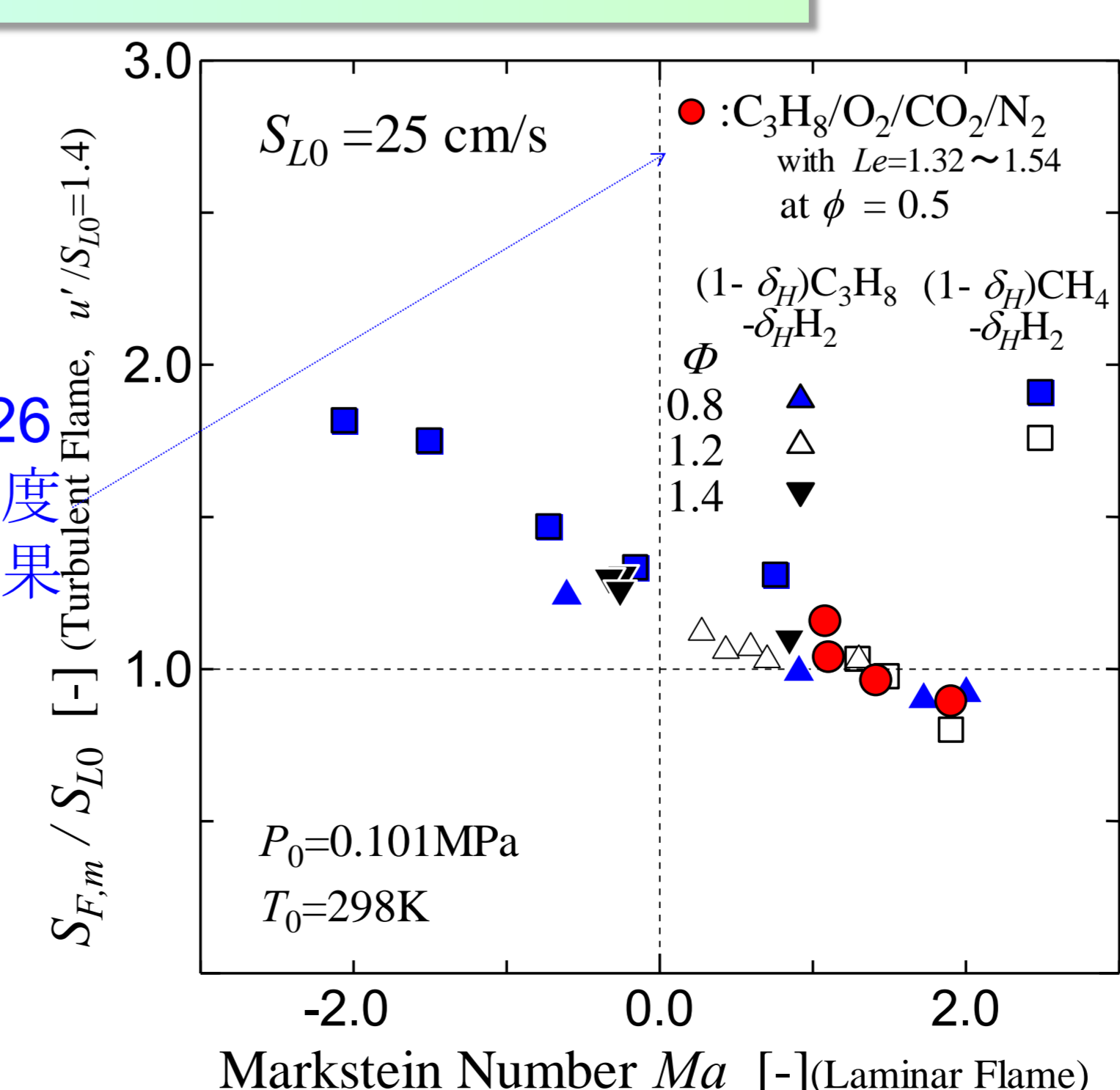
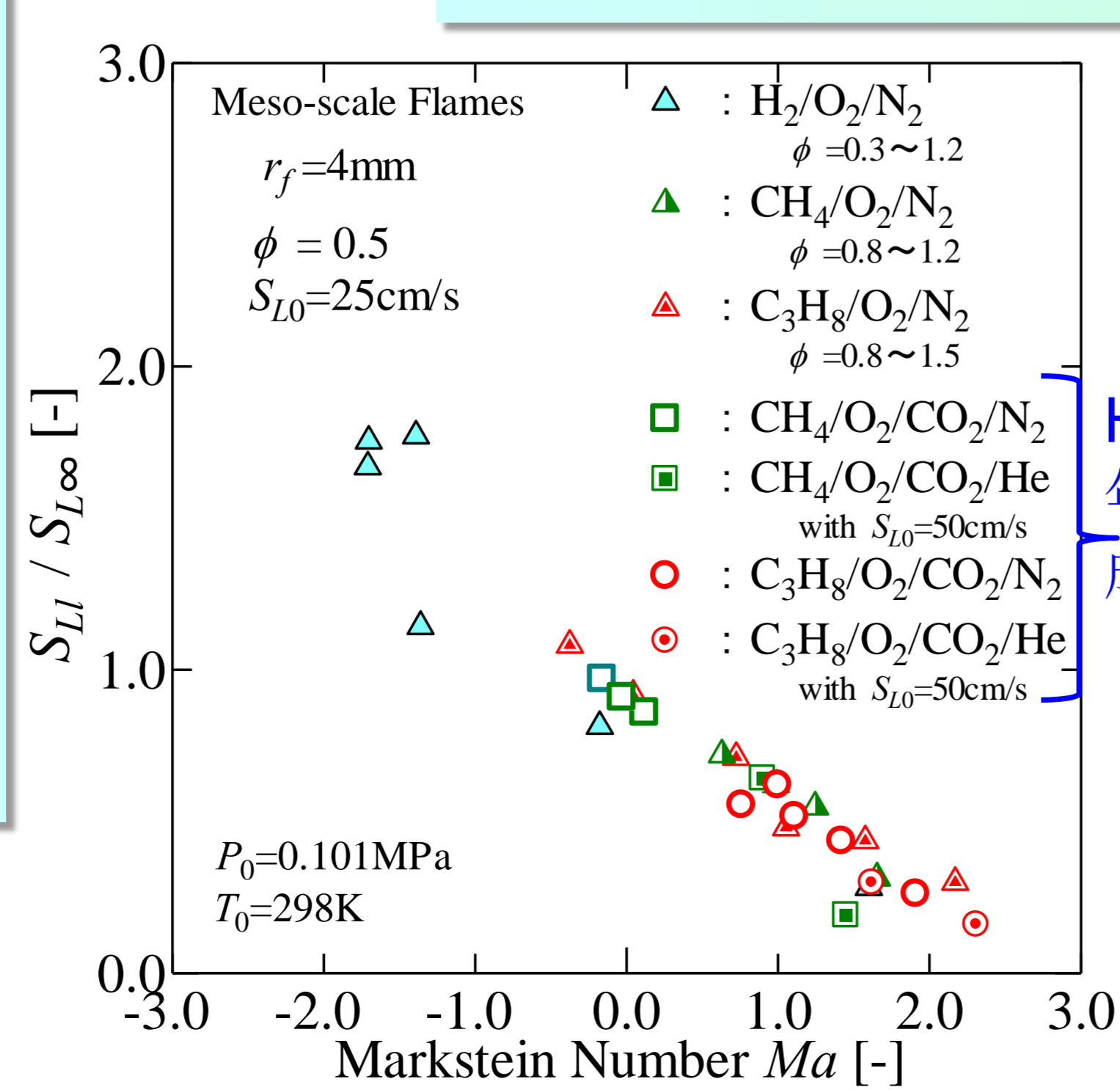
$$S_{L1} / S_{L\infty} = f(Ma, Le \dots)!$$

③ Ma & Le 等に基づく燃焼速度 S_{L1} & 局所燃焼速度特性 S_{Fm} のモデル化

$$S_{Fm} / S_{L0} = f(Ma, Le \dots)!$$

1-④ 点火初期の微小なサイズの火炎の形成の安定化

⇒ 最適な混合気組成 & 最適な点火プラグ近傍の形状



2-④ ガソリンの希薄可燃限界以下に 適応可能な乱流燃焼速度モデル

⇒ 乱流燃焼時の火炎伝播の安定化 & 燃焼促進に最適な混合気組成

組成制御による超希薄燃焼の火炎伝播安定化技術およびモデルの構築

2014年度 成果報告

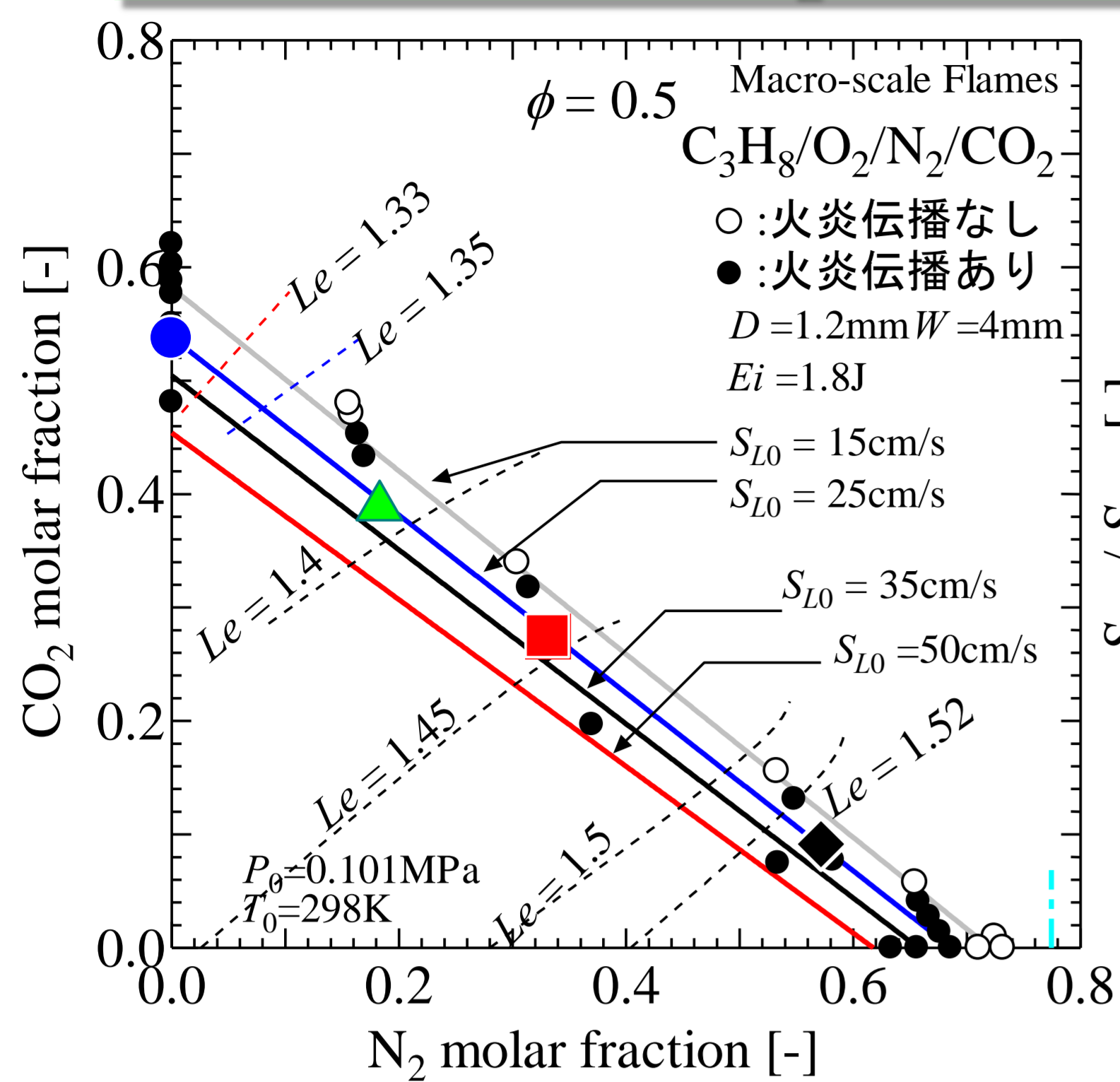
[プロパン-空気混合気の希薄可燃限界以下の $\phi=0.5$ ($\lambda=2.0$)での CO_2 添加の効果!]

項目1「初期火炎形成の安定化技術」

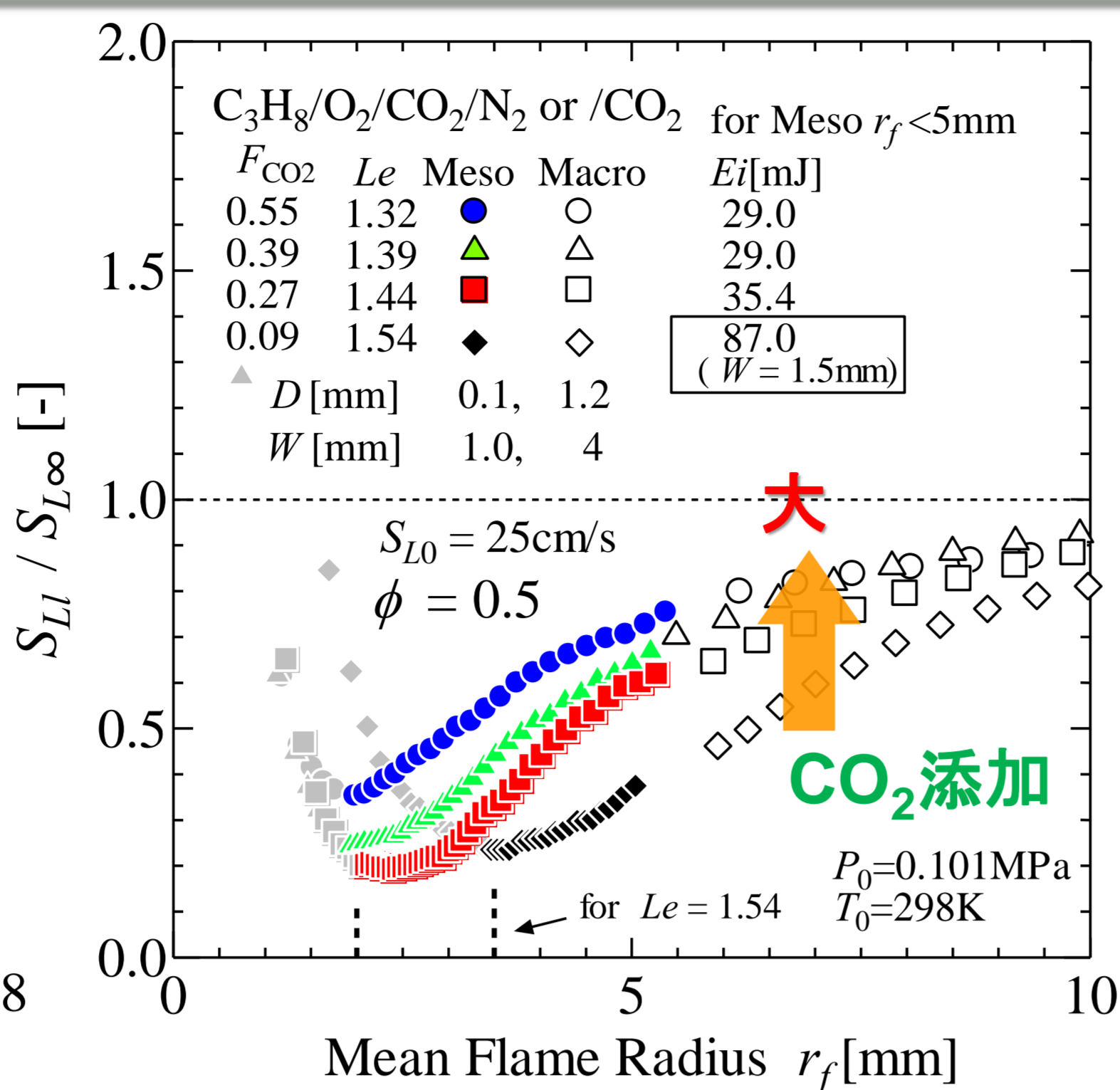
項目2「乱流燃焼時の火炎伝播の安定化技術」

1. CO_2 添加による火炎伝播安定化の効果

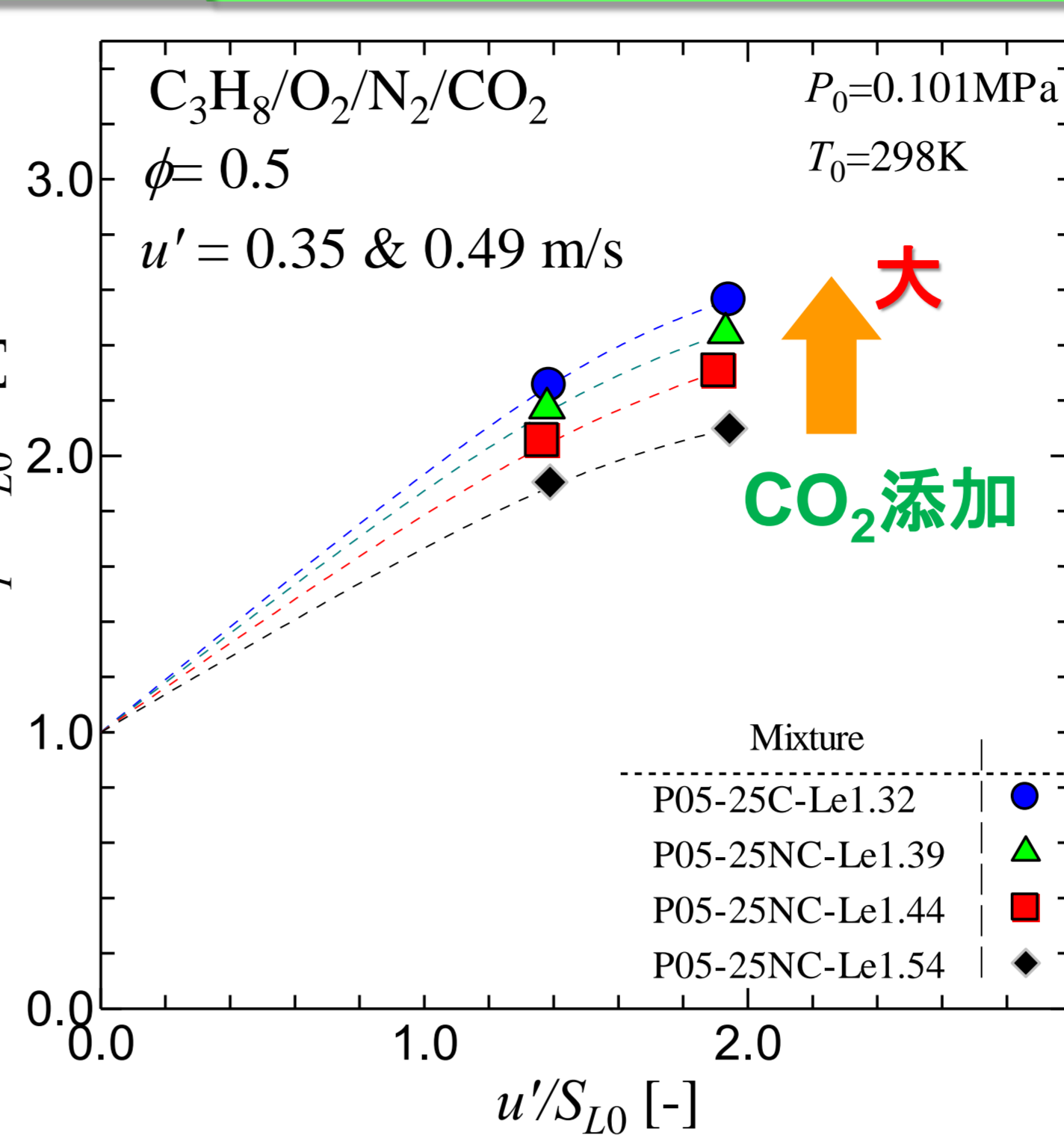
$\text{C}_3\text{H}_8-\text{O}_2-\text{N}_2-\text{CO}_2$ 混合気, $\phi=0.5$



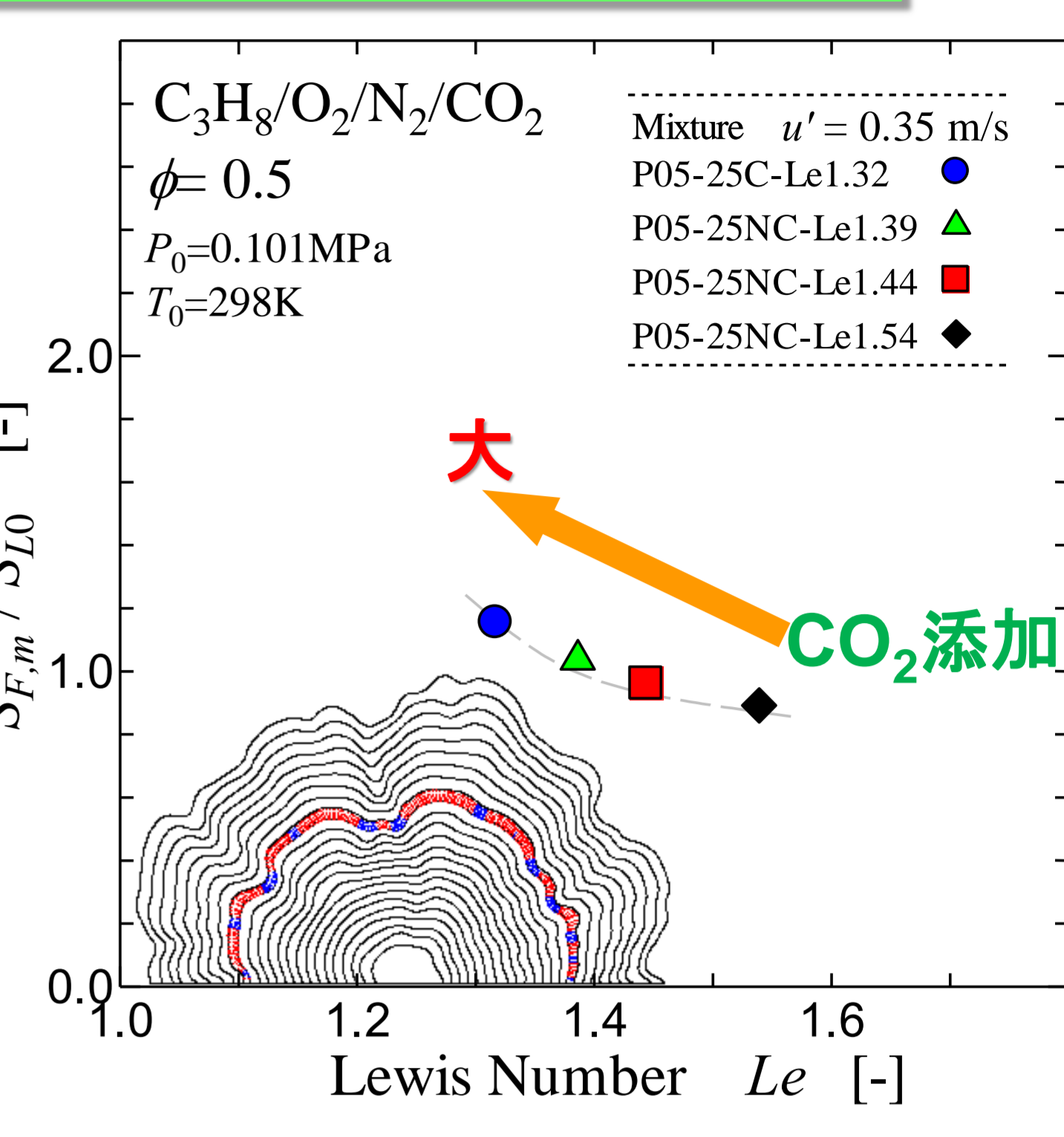
$\phi=0.5$ で、 N_2 & CO_2 モル分率と層流燃焼速度 S_{L0} (可燃範囲)との関係



CO_2 添加によりレイス数 Le を変化させた微小火炎の燃焼速度 S_{LI} と火炎半径 r_f との関係 $[S_{L0}=25\text{cm/s}]$



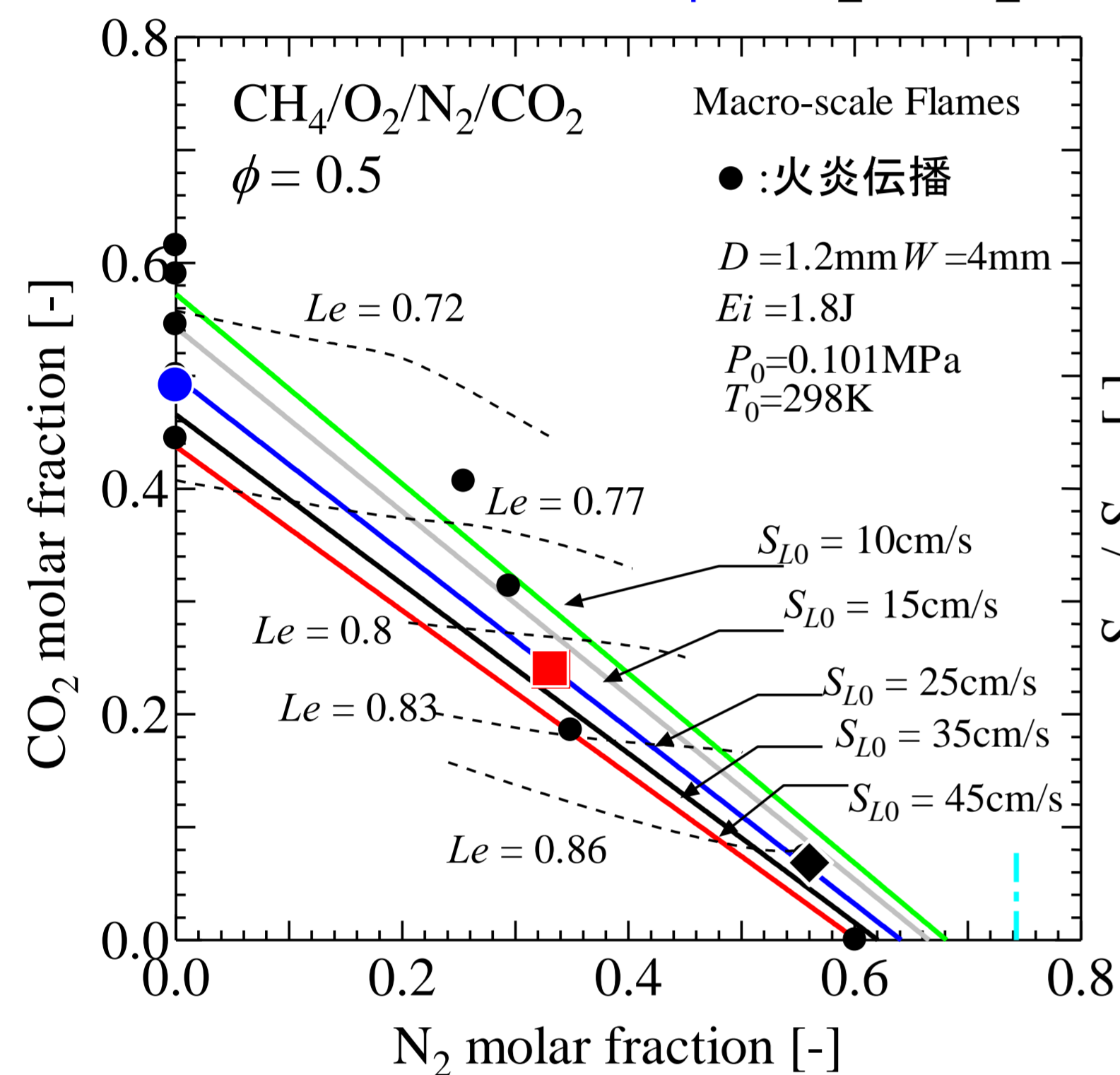
乱流燃焼速度 S_T と乱れ強さ u' との関係 $[S_{L0}=25\text{cm/s}]$



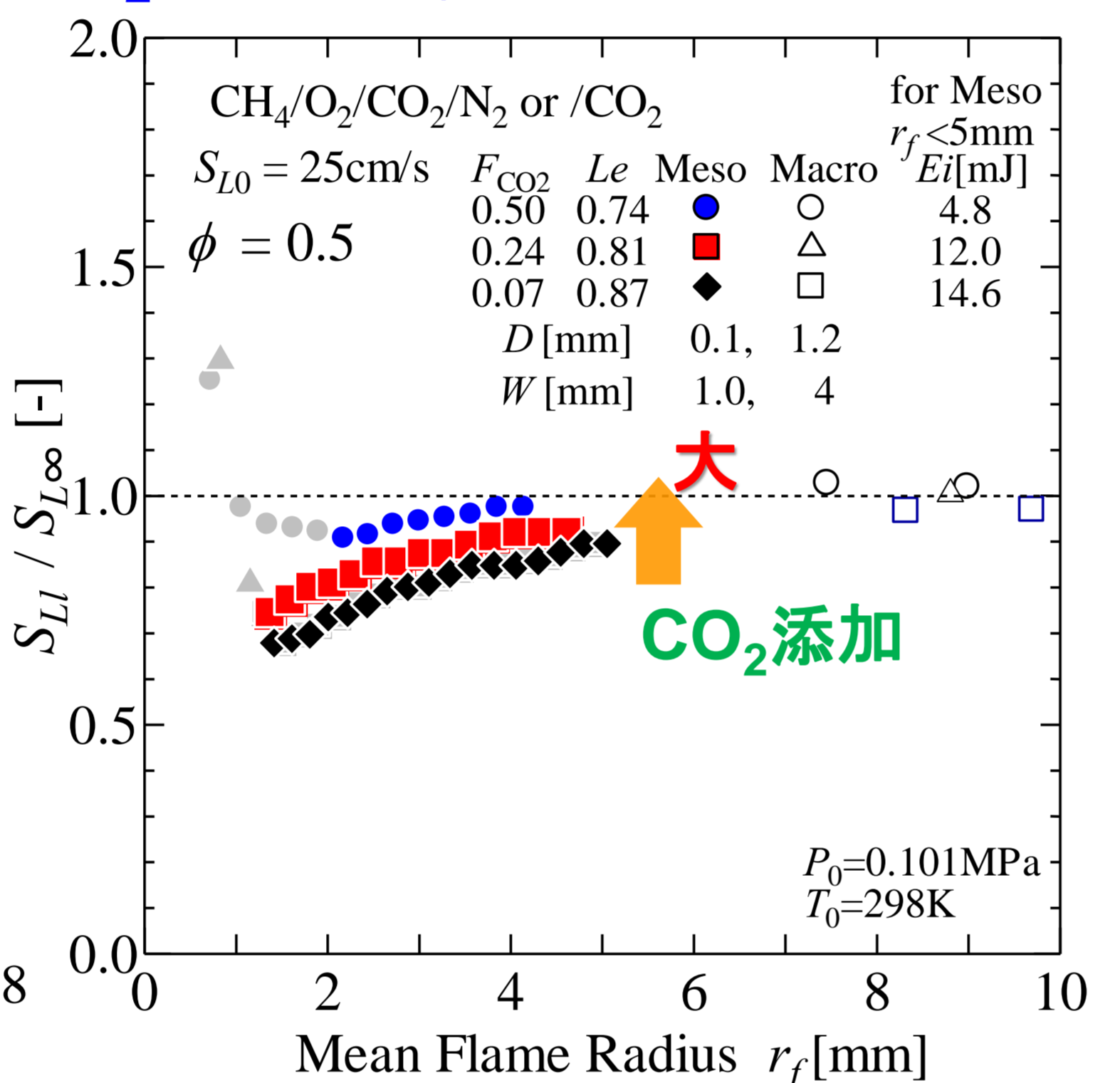
換算局所火炎変位速度 S_F とレイス数 Le との関係 $[S_{L0}=25\text{cm/s}]$

2. 燃料の差異の影響(燃料の拡散速度の影響)

$\text{CH}_4-\text{O}_2-\text{N}_2-\text{CO}_2$ 混合気, $\phi=0.5$



$\phi=0.5$ で、 N_2 & CO_2 モル分率と層流燃焼速度 S_{L0} (可燃範囲)との関係

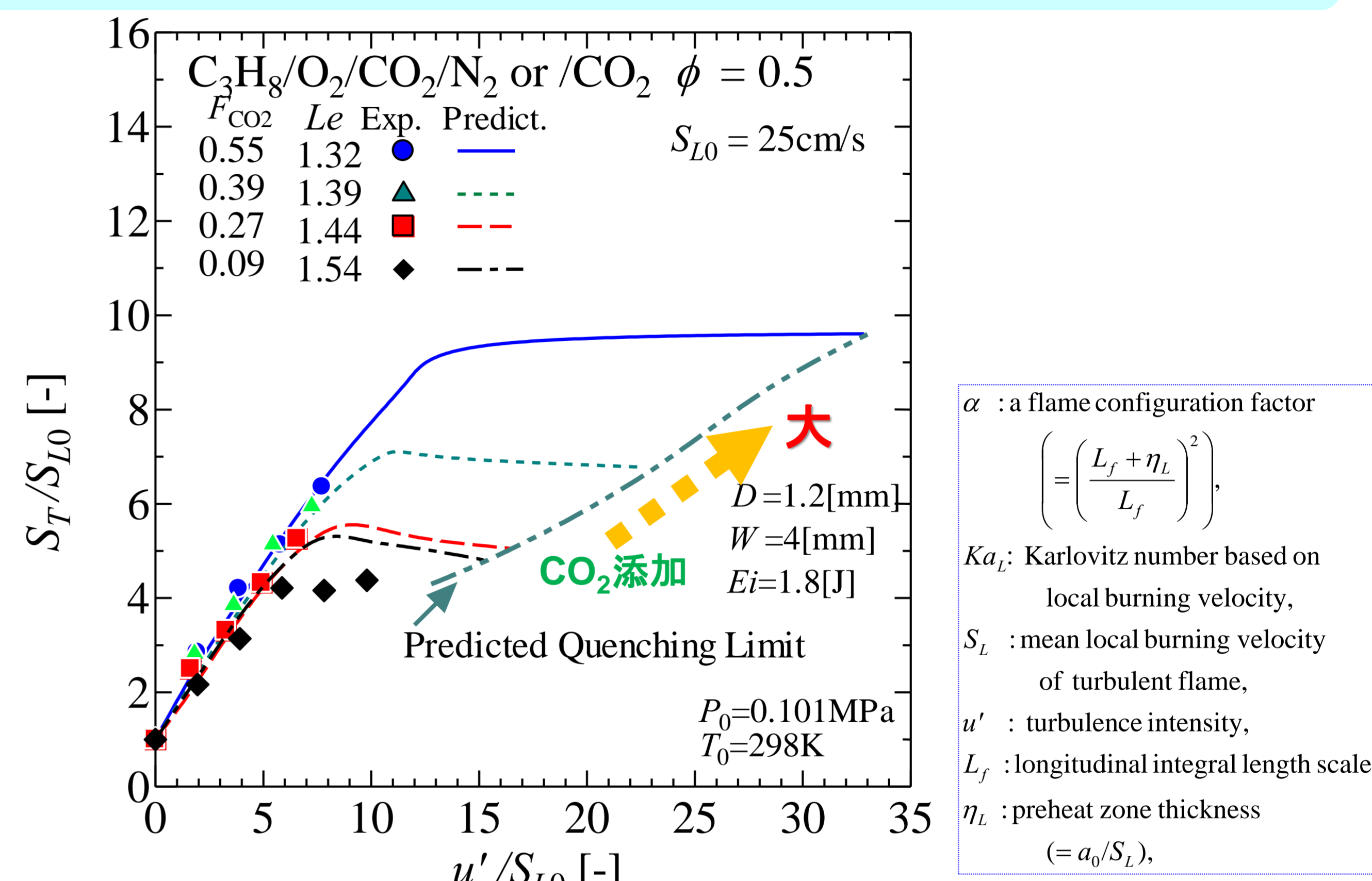


CO_2 添加により Le を変化させた CH_4 混合気の微小火炎の燃焼速度 S_{LI} と火炎半径 r_f との関係 $[S_{L0}=25\text{cm/s}]$

提案する乱流燃焼速度モデル式

$$0 < Ka_L \leq 0.5 \quad S_{T,M} = \left(S_L + \frac{\sqrt{2}}{2} \alpha \cdot u' \right) (1 - Ka_L^2),$$

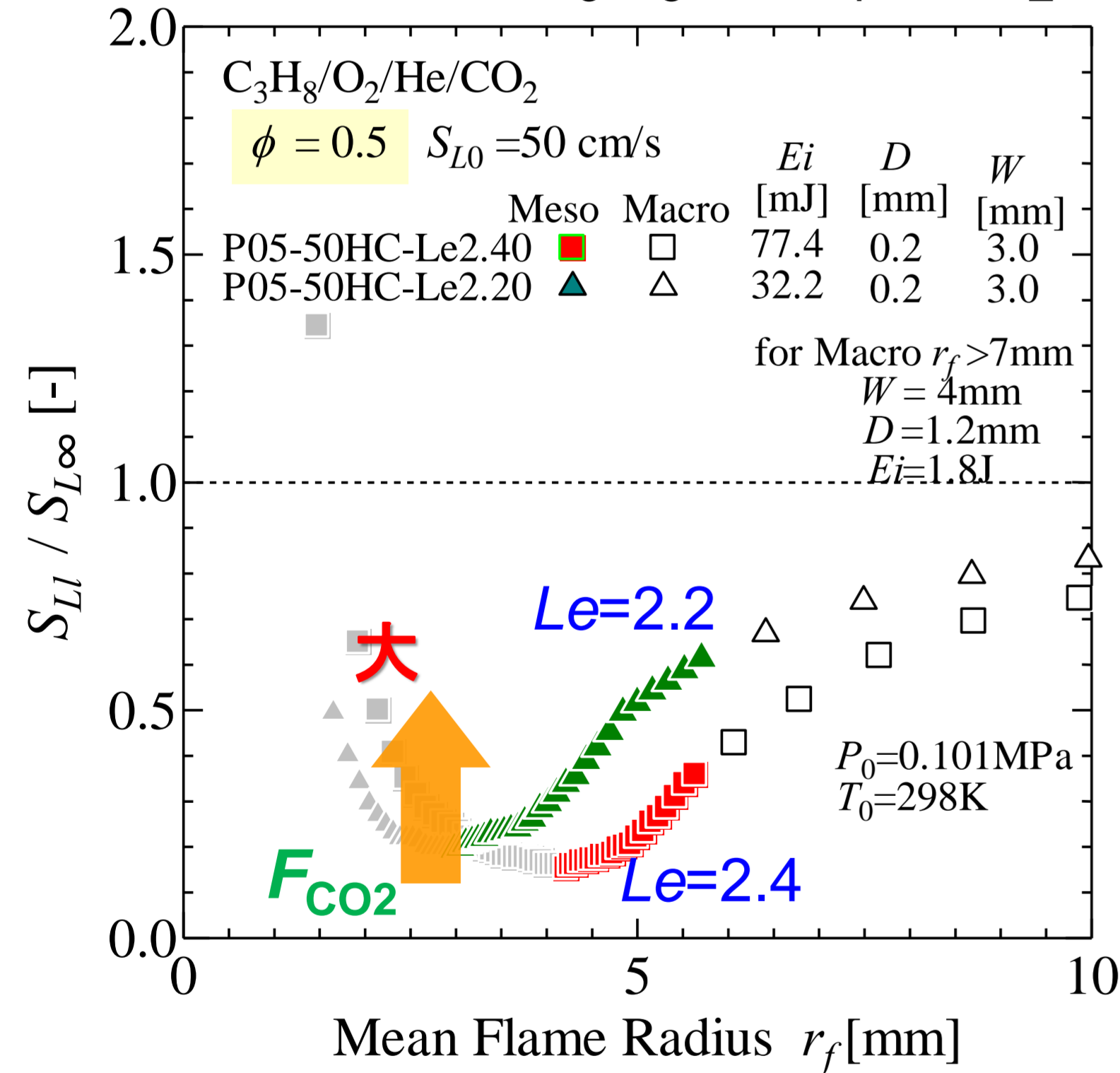
$$0.5 < Ka_L \leq 1.0 \quad S_{T,M} = \left(\frac{3}{8\sqrt{2}} \alpha \frac{\lambda_g}{\eta_L} + \frac{3}{4} \right) S_L, \quad \therefore S_L = S_{F,m}$$



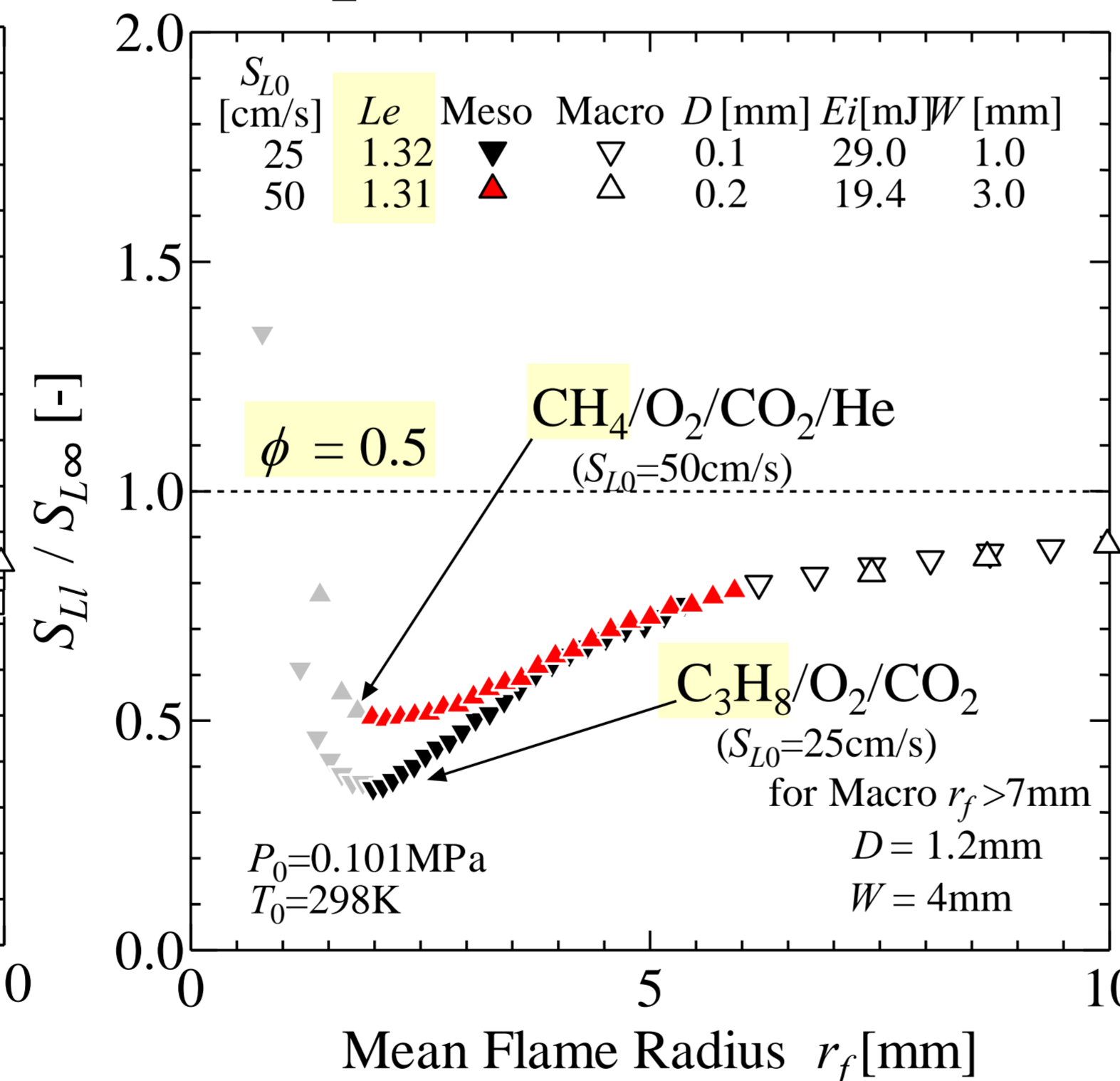
無次元乱流燃焼速度 S_T/S_{L0} と相対乱れ強度 u'/S_{L0} との関係 ($\text{C}_3\text{H}_8-\text{O}_2-\text{N}_2-\text{CO}_2$, $\phi=0.5$, $S_{L0}=25\text{cm/s}$; 曲線: 予測値)

3. レイス数 Le の影響(ガソリンを想定した高 Le & 同等 Le)

C_3H_8 (CH_4)- $\text{O}_2-\text{He}-\text{CO}_2$ 混合気, $\phi=0.5$



高レイス数($Le=2.4$ & 2.2)を有する C_3H_8 混合気の微小火炎の燃焼速度 S_{LI} と火炎半径 r_f との関係



C_3H_8 混合気と同等のレイス数($Le=1.3$)を有する CH_4 混合気の微小火炎の燃焼速度 S_{LI} と火炎半径 r_f との関係

4. 成果のまとめ

- (1) $\phi=0.5$ で、 C_3H_8 (or CH_4)- $\text{O}_2-\text{N}_2-\text{CO}_2$ 混合気で N_2 & CO_2 モル分率と層流燃焼速度 S_{L0} と可燃範囲の関係を概ね明らかにできた。
- (2) $\phi=0.5$ 、同一 S_{L0} では、 CO_2 添加量を増大させることにより、火炎半径が5mm以下の微小火炎の火炎伝播特性、乱流燃焼速度特性 & 局所燃焼速度特性を改善できることを明らかにした。
- (3) 局所燃焼速度特性として換算局所火炎変位速度 S_F を基準値とすることにより、 $\phi=0.5$ の超希薄燃焼でも概ね乱流燃焼速度を予測できる可能性があることを明らかにした。
- (4) 今後、化学反応特性時間などの影響を検討する必要があるが、超希薄炭化水素混合気でも、レイス数やマークスタイン数が重要な燃焼速度特性の支配因子であることを明らかにした。

今後の計画

- (1) 水素などの効果も検討し、水素 & 二酸化炭素添加および酸素富化が超希薄($\phi \leq 0.5$)での燃焼改善に与える影響を明らかにする。
- (2) さらにレイス数やマークスタイン数などの支配因子の影響も明らかにし、組成制御による超希薄燃焼の火炎伝播安定化モデルを提案する。
- (3) 実機を想定しガス流動、圧力などの影響を明らかにし、実機に適応可能な火炎伝播安定化技術 & モデルを提案する。さらに、提案するモデルのBroken Reaction Zoneへの適応可能性についても検討する。

