

TEXUSロケットを利用した点火限界近傍における複数燃料液滴の自発点火に関する日独共同微小重力実験計画 (PHOENIX-2)

○森上 修¹ 菊池 政雄² 野村 浩司³ 三上 真人⁴ 田辺 光昭³ 菅沼 祐介³ Christian Eigenbrod⁵
¹九州大学 ²宇宙航空研究開発機構 ³日本大学 ⁴山口大学 ⁵University of Bremen

研究の位置付け

「きぼう」第2期後半テーマ「Atomization」打上準備中

本テーマ PHOENIX-2 2016打上を計画

「きぼう」第2期前半テーマ Group Combustion (2次元液滴列の燃え拡がり) 打上げ準備中

PHOENIX (TEXUS#46) (1次元液滴列の部分予蒸発後の燃え拡がり) 2009打上

液体燃料噴霧と燃焼過程

噴霧の液滴によるモデル化

噴霧 → 単純化 → 単一液滴

数 μm ~数 $10\mu\text{m}$ (空間・時間分解能の確保) 自然対流の影響が大きい

単一液滴について多くの知見が得られてきたが...

噴霧には液滴間干渉が存在!
 ⇒複数液滴の研究の必要性

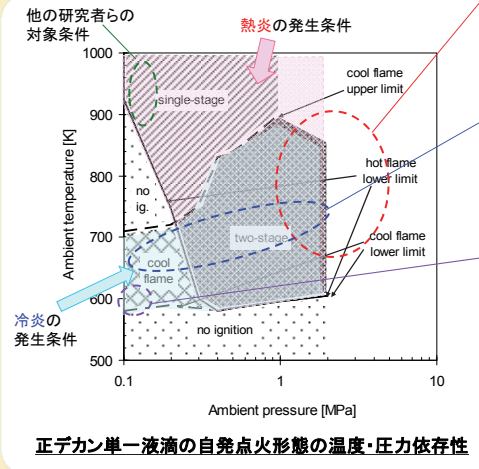
- 燃料蒸気の湧き出しが複数 → 自発点火に有利
- 液滴が相互に冷却し合う → 自発点火に不利

炭化水素の自発点火

炭化水素の自発点火は二段
 低温酸化反応→冷炎(ほぼ発光無し, <1000K)
 高温酸化反応→熱炎(一般に言われる点火)

炭化水素の自発点火は冷炎によって支配されている
 ↓
冷炎の挙動に留意した解析が要

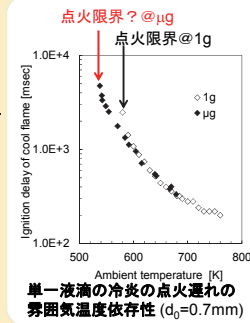
本プロジェクトの対象とする条件



実用内燃機関の稼働条件(ディーゼル, ガスタービン)
 ...低温酸化反応による冷炎が支配的な領域
 ↓
低温酸化反応が活発な条件での研究が重要

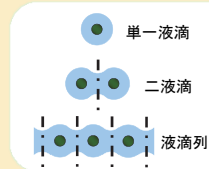
著者らがこれまで落下塔を用いて複数液滴の自発点火の研究を行ってきた条件
 (「共通微小重力実験装置を用いる高圧環境下における点火・燃焼WG」)

本プロジェクトの対象条件
 (点火限界近傍)
 ...点火遅れは複雑な温度依存性を持つ。点火限界近傍のデータが要。
 しかし、落下塔では μg 時間が不足。



本プロジェクトの目的

- 室温状態から高温空気に曝される複数燃料液滴の点火限界近傍の自発点火における液滴間干渉の影響の解明(干渉の影響の正負, 点火の起こる位置)
- 冷炎のみが発生し, 熱炎は発生しないと予想される大気圧にて特に冷炎の挙動に注目
- 単一液滴, 二液滴, 液滴列の比較(境界条件に違い)
- 数値計算との比較→数値計算の検証

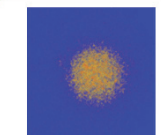


フライト実験の概要

- 前回のフライト実験(PHOENIX)で製作した実験装置の改修による活用
- 単一液滴, 二液滴, 液滴列を電気炉内に挿入し, 自発点火の様子を撮影
 - 発光をほとんど伴わない冷炎の二次元的挙動の観測のために, インテンシファイドカメラを使用
 - 液滴間隔を変じ, 冷炎の点火遅れ, 冷炎の発生位置への影響を調査
 - 実験結果を数値計算と比較

計測項目

- インテンシファイドカメラの動画
- 電気炉挿入前&後の液滴の映像(液滴径確認)
- 電気炉内温度
- 液滴生成部の温度



実験条件

- 雰囲気: 空気
- 燃料: 正デカン
- 初期液滴径: 1mm
- 雰囲気温度: 2条件 点火限界近傍 $T_a=500\sim 600\text{K}$ (TBD)および $T_a+20\text{K}$ 程度(電気炉を2つ用意して同時に実験)
- 雰囲気圧力: 大気圧
- 液滴数: 最大 9
- 液滴間隔: 最小 8mm
- 液滴配置: 5通り → 実験回数: 10

日独の役割分担

JAXAの役割

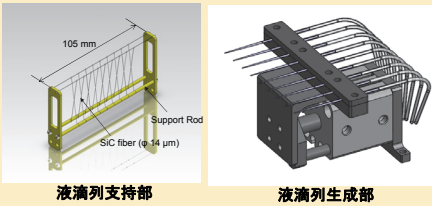
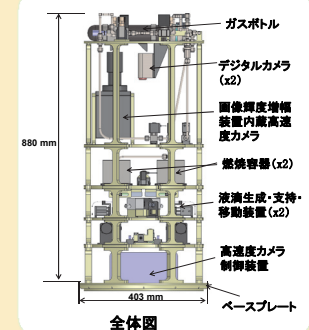
- 日独研究者チームの実験要求に基づく実験計画の構築
- TEXUSロケット搭載用液滴列燃焼実験装置(DCU)の改修設計・改修実施
- 改修後のDCUのフライト実験への提供
- 改修後のDCUのドイツへの輸送
- 本実験協力に関する日本側関係者の活動支援(旅費等)

DLRの役割

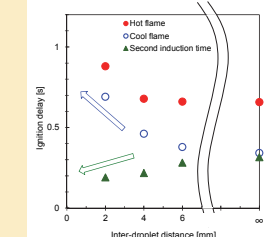
- TEXUSロケットによる実験機会の提供
- DCUに搭載する冷炎観察用光学システムの提供
- Airbus DS社との契約を通じたTEXUSロケットとDCUのインタフェース調整
- DCUを搭載する実験モジュールのインテグレーション・試験
- 本実験協力に関するドイツ側関係者の活動支援(旅費等)

- 日独研究者チームにおいて, 実験要求の詳細化, 地上予備試験, 実験装置の改修点に関する検討などを実施している。
- DLRからの協力協定(LOA)(案)の提示を受け, 内容について調整中。

装置設計



これまでの研究成果

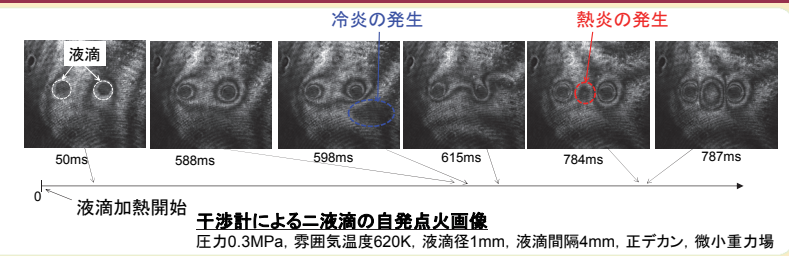


液滴間隔の減少とともに, 冷炎の点火遅れは増加(液滴間干渉が大きくなると冷炎の発生に負の影響) ⇒冷炎の発生までは相互冷却効果が支配的と思われる。

液滴間隔の減少とともに, 冷炎が発生してから熱炎が発生するまでの遅れ(第二誘導期間)が減少(液滴間干渉が大きくなると熱炎の発生に正の影響) ⇒冷炎発生後の熱炎の発生には燃料の湧き出し箇所が増えた効果が支配的と思われる。

二液滴の二段点火に与える液滴間隔の影響

圧力0.3MPa, 雰囲気温度650K, 液滴径1mm, 正デカン, 微小重力場



冷炎は二液滴の外側で, 熱炎は二液滴の内側で発生した。冷炎の発生には温度が支配的であるため, 局所温度の高い二液滴の外側で発生し, 熱炎の発生には燃料蒸気の濃度が支配的であるため, 燃料蒸気の濃度が高い二液滴の内側で発生したと考えられる。

科学的意義

- これまで μg 時間の制約から, 自発点火限界近傍の燃料液滴の冷炎の挙動を μg で調査した例はない。そのデータ取得により, 自発点火挙動の雰囲気温度依存性が内挿により広範囲に亘って予測可能となる。
- 微粒化 → 自発点火 → 炎の燃え拡がり という実用燃焼器内の噴霧燃焼の一連の過程の理論的なつながりができる。

期待される波及効果

- 燃料噴霧を用いる燃焼機器の開発において, 点火遅れの予測, 最適な噴霧の設計指針の提示に貢献。
- 詳細化学反応機構を有次元シミュレーションに適用するには簡略化が必要があるが, 点火限界近傍のデータ取得により, 簡略化機構の信頼性向上に貢献。