

# 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プロジェクトの準備状況

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

## 研究の位置付け

**液体燃料噴霧と燃焼過程**

「きぼう」第2期後半テーマ「Atomization」打上準備中

**本テーマ PHOENIX-2 2017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) 主要装置打上済

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

## 噴霧の液滴によるモデル化

噴霧 → 単一液滴 (単一化)

数 $\mu\text{m}$ ~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...

**微小重力実験が要**

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点火

低温酸化反応→冷炎 (ほぼ発光無し, <1000K)

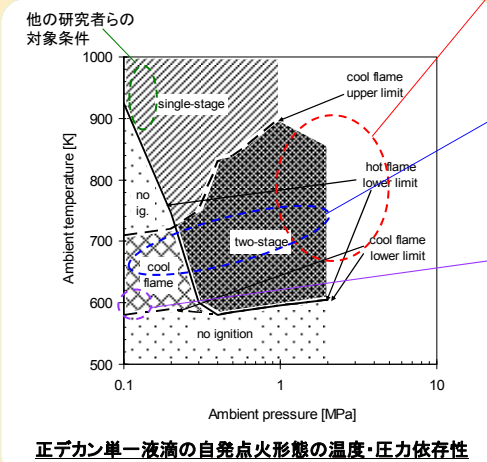
高温酸化反応→熱炎 (一般に言われる点火)

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**

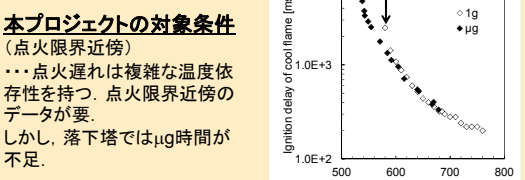
## 本プロジェクトの対象とする条件



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 $\mu\text{g}$ 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, 熱炎は発生しない予想される大気圧下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

## 装置設計・準備状況

Recovery System Scientific Payload

2nd Stage Motor

1st Stage Motor

**TEXUSロケット諸元**

Item	Value
Height	13 m (Max.)
Payload diameter	0.43 m
Payload height	3.4 m (Max.)
Payload weight	370 kg (Max.)
Apparatus weight	260 kg (Max.)
$\mu\text{g}$ level	$\sim 10^{-6}$ g
$\mu\text{g}$ duration	$\geq 360$ s
Maximum altitude	about 260 km

## 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, インテンス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**

- インテンスファイドカメラの動画
- 電気炉挿入直後の液滴画像
- 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 雰囲気圧力: 大気圧

液滴数: 最大9 液滴間隔: 8mm, 16mm,  $\infty$

雰囲気温度: 2条件 点火限界近傍 $T_0=570\text{K}$ および $580\text{K}$  (電気炉を2つ用意して同時に実験)

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)
- ▶ LOAについて調整中。

ベイドロ内装置配置設計

液滴懸濁方法 (14 $\mu\text{m}$  SiCファイバの交点に懸垂)

液滴列支持部 & 移動装置 (試作済)

液滴列生成部 (試作済)

電気炉 (要改修, 設計済)

IIカメラ (入手済 & 試験中)

冷炎により生成するホルムアルデヒド自発光観測光学系

4 sec

各条件における自発光の最高輝度部の時間履歴

単一液滴 or 3液滴, 正デカン, 大気圧, 液滴径1mm, 液滴間隔7.3mm,  $\mu\text{g}$

## これまでの研究成果(二液滴)

二段点火の生じる典型的な雰囲気条下

冷炎の発生

50 ms (液滴挿入完了) 588 ms (準定常蒸発) 598 ms (冷炎発生)

615 ms 784 ms (熱炎発生) 787 ms (熱炎発生)

王渉計による二液滴の自発点火画像

圧力0.3MPa, 雰囲気温度620K, 液滴径1mm, 液滴間隔4mm, 正デカン,  $\mu\text{g}$

冷炎の発生位置 熱炎の発生位置

冷炎・熱炎の発生位置 ( $T_0$ は雰囲気温度) 二段点火のメカニズムの解釈

**熱炎の発生下限温度近傍**

冷炎および熱炎どちらも二液滴の外側で発生。

点火下限雰囲気温度近傍では冷炎の点火遅れが長くなり燃料蒸気の濃度が液滴外側でも十分高くなり, 冷炎発生直後の過渡の冷炎の温度が十分高く, 冷炎発生から速やかに熱炎発生に移行したためと思われる。

冷炎の発生位置 熱炎の発生位置

圧力0.5MPa, 雰囲気温度590K, 液滴径1mm, 液滴間隔4mm, 正デカン,  $\mu\text{g}$

**冷炎の発生上限温度以上**

熱炎は二液滴の内側で発生。

冷炎の発生位置 熱炎の発生位置

圧力0.3MPa, 雰囲気温度750K, 液滴径0.8mm, 液滴間隔4mm, 正デカン,  $\mu\text{g}$

## 科学的な意義, 期待される波及効果

- これまで $\mu\text{g}$ 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 $\mu\text{g}$ 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 → 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。
- 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する必要があるが, 簡略化機構の信頼性向上により, シミュレーション精度の向上に貢献。