

爆轟波エンジン

～ローテティング・デトネーションエンジン～

防衛装備庁 航空装備研究所
エンジン技術研究部
エンジン先進要素研究室

令和5年11月15日



防衛装備庁

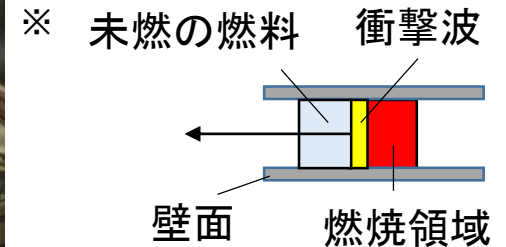
デトネーションとは

デフラグレーション

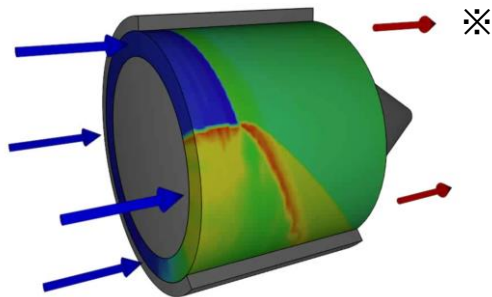


- ・亜音速(秒速数メートル程度)
- ・緩やかに火炎が伝ば

デトネーション



- ・超音速(秒速数千メートル程度)
- ・衝撃波が前方の未燃燃料を急激に圧縮し、圧力と温度を一気に上昇させながら火炎が伝ば



ローテティング・デトネーションエンジン(RDE)

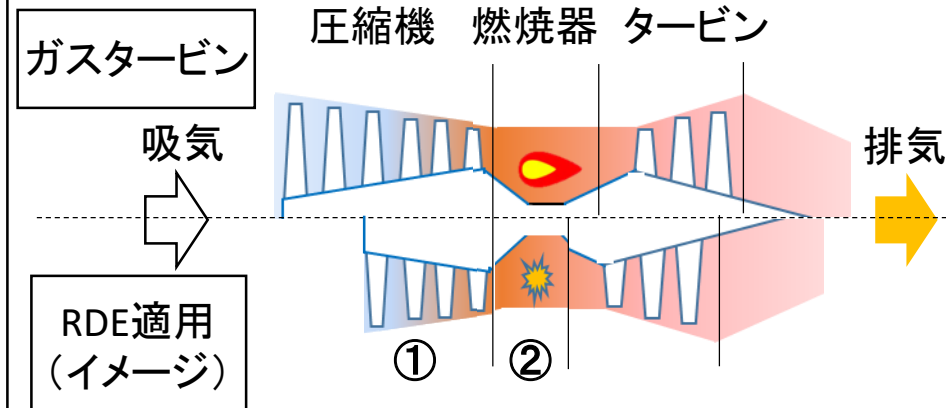
利点

- ✓ 高い理論熱効率
- ✓ コンパクトな燃焼器

既存の推進システムに組み込み、性能を向上させたい

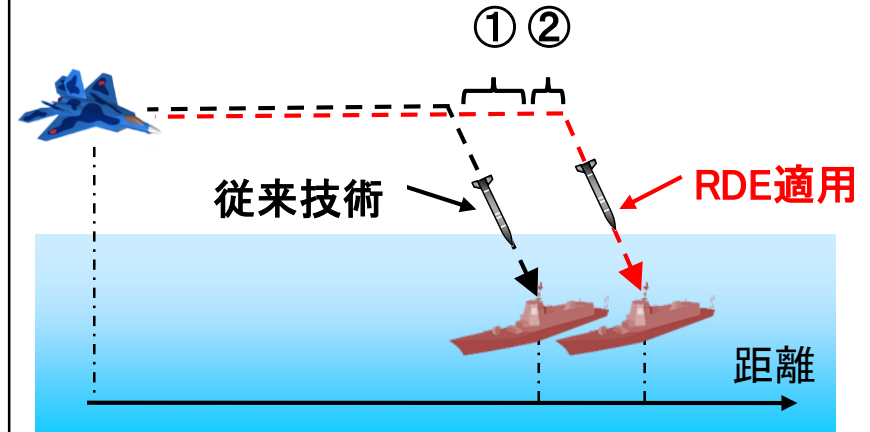
適用先とメリット

ガスタービンの燃焼器に適用する場合のイメージ



- ① 燃焼時の圧力上昇により、圧縮機を削減
- ② 超音速燃焼により、燃焼領域が短縮

誘導弾に適用する場合のイメージ



- ① 約20%の理論熱効率向上
- ② コンパクト化による搭載燃料増加

適用に向けた課題

軽量の冷却システムを検討する必要がある

必要な冷却能力を見積もるために作動中のRDEの発熱量について確認する試験を実施

試験その1 無冷却供試体（作動時間：1秒以下）

目的

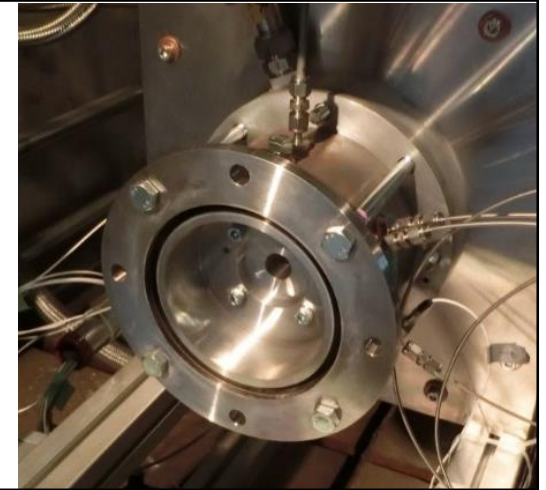
作動条件（燃料・酸化剤の流量）の確認

設計

ESEP※で航空装備研究所に配属されていた
アメリカ空軍研究者と共に設計

備考

燃料はデトネーション作動しやすい水素、酸化剤は空気を使用



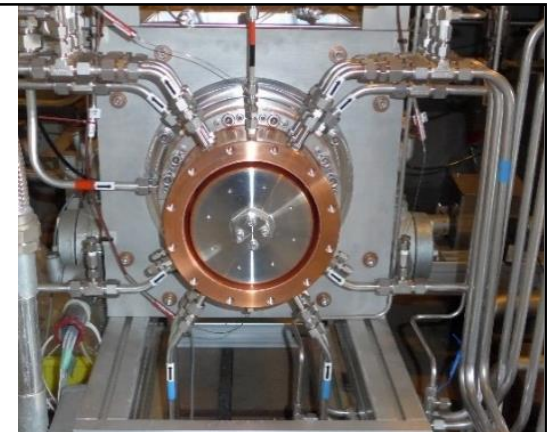
試験その2 水冷供試体（作動時間：最長10秒）

目的

作動中のRDEの発熱について確認

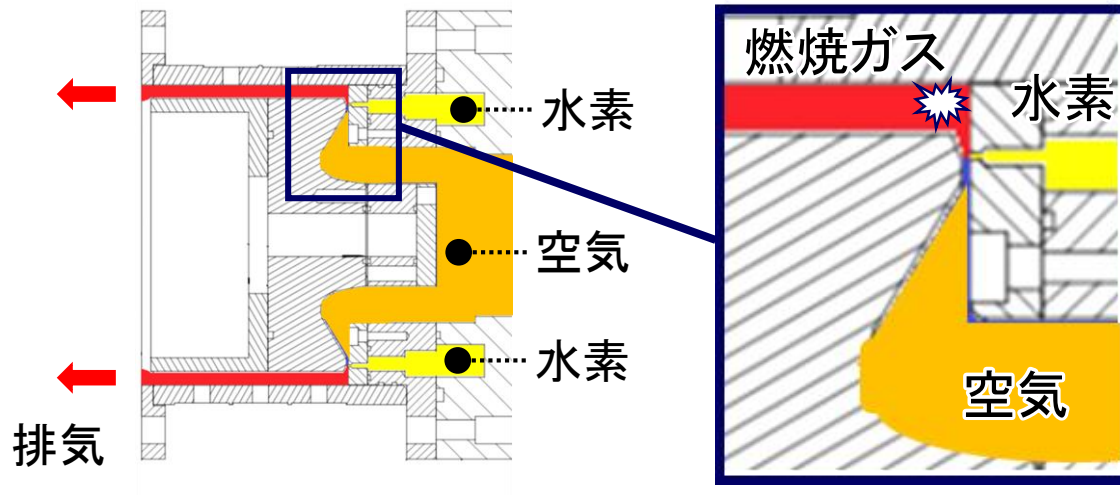
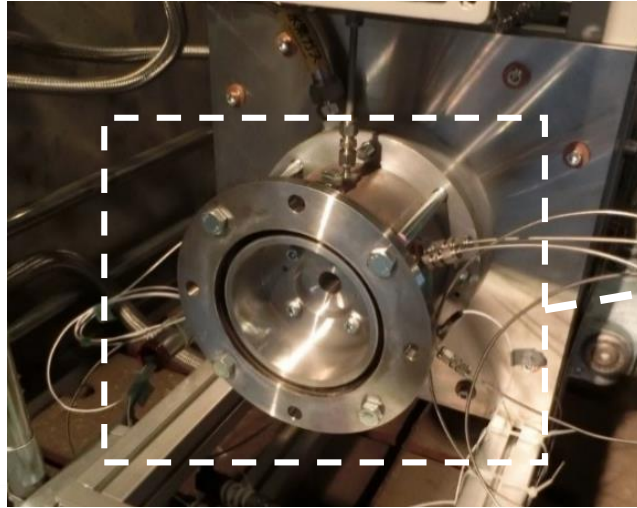
設計

形状は無冷却供試体をベースに設計、作動時間を延長するため
水冷機構を追加



※Engineering and Scientists Exchange Programの略。日米間の科学技術者交流制度のことで、一定期間、それぞれの研究所に相手方の科学技術者を受け入れ、自国の研究者との共同研究に従事させるプログラムをいう。

試験その1 ー無冷却供試体ー

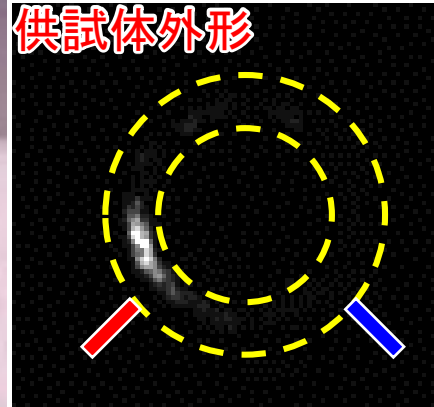
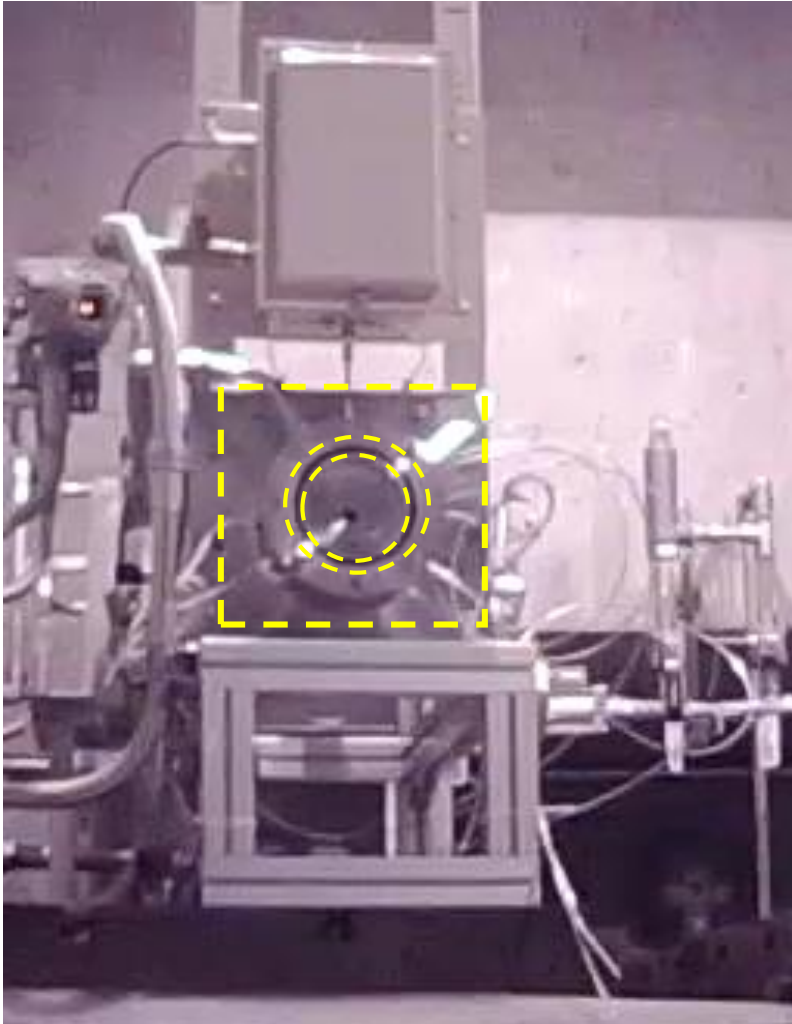


取得データ

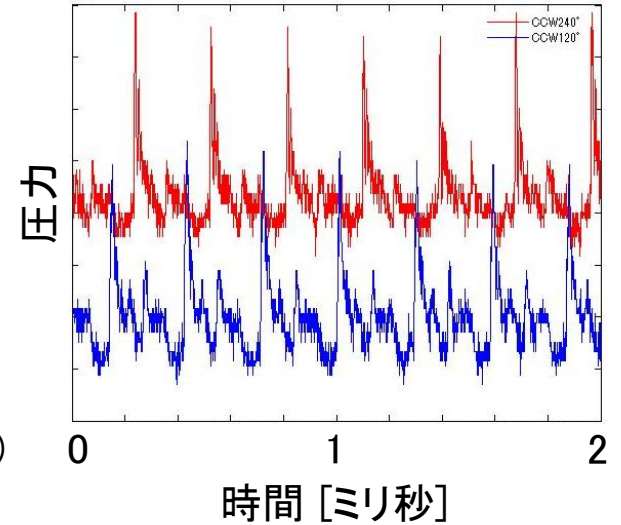
- ・高速度カメラ動画
- ・供試体圧力センサ

火炎の伝ば速度から
デトネーション作動を確認

試験その1 ー無冷却供試体ー



高速度カメラ (50,000fps)



高速度カメラと圧力センサから伝ば速度を算出

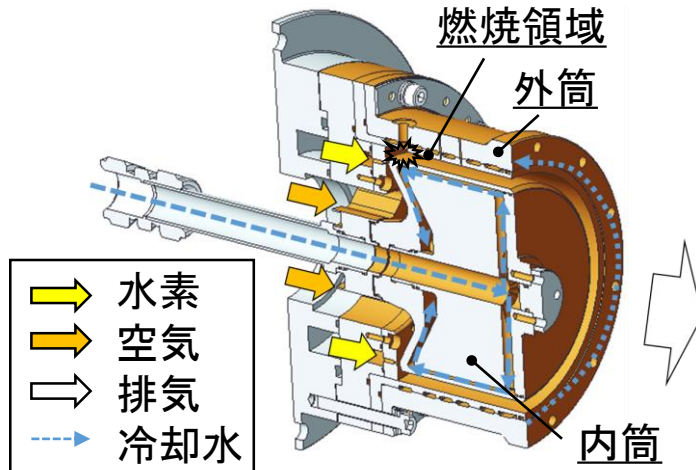
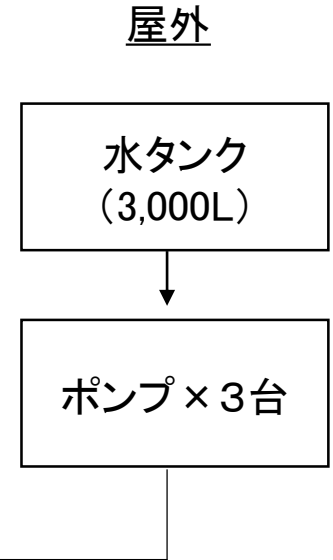
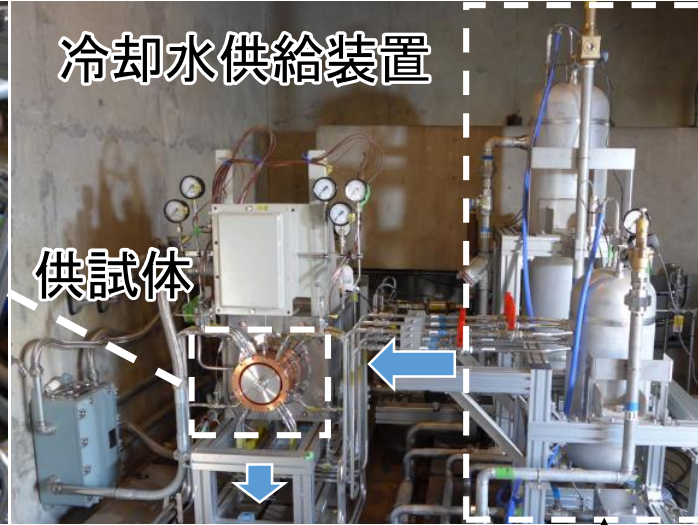
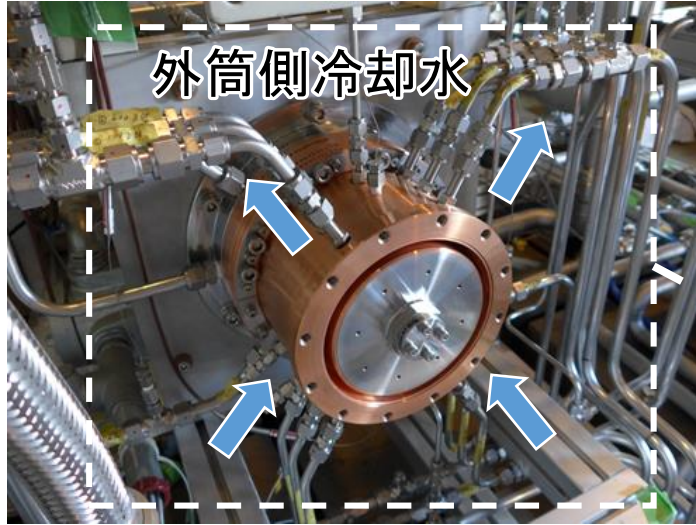
⇒ 1,600m/秒 超音速で伝ば

火炎の通過時に圧力が上昇

⇒ 衝撃波を伴うデトネーションが発生

デトネーションの作動条件を確認した。

試験その2 ー水冷供試体ー

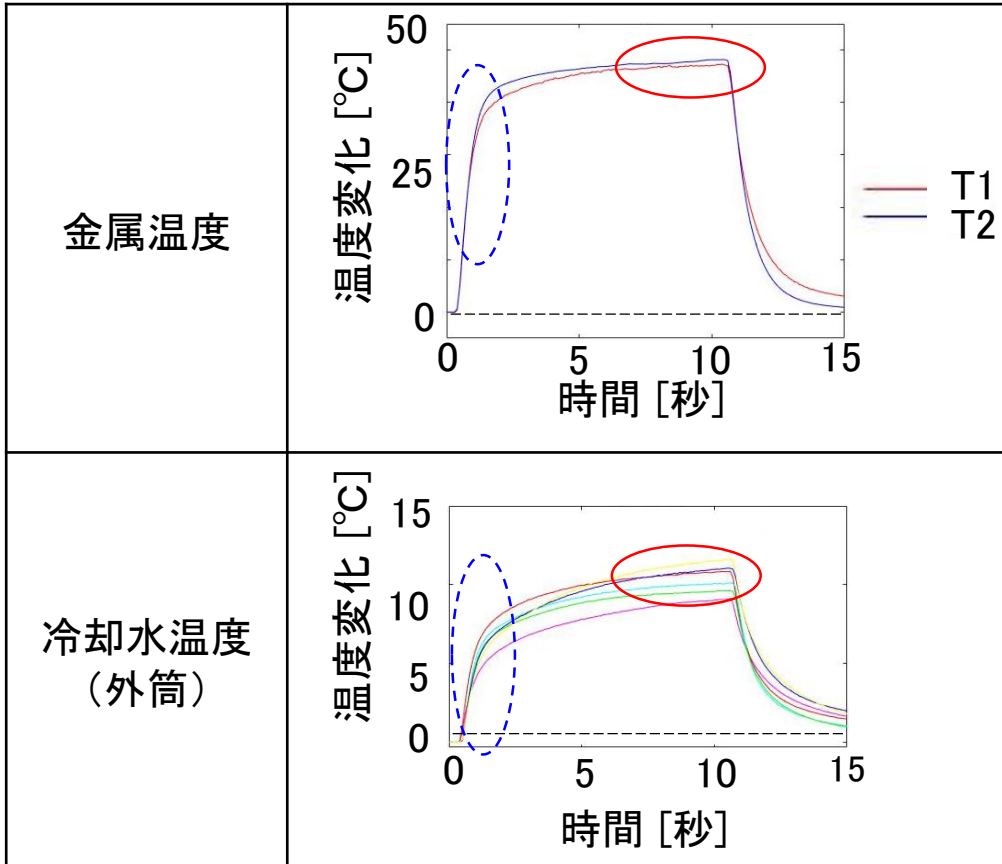


- ✓ 供試体の基本形状は同一
- ✓ 内筒、外筒に冷却水流路を設け、作動中の冷却を可能とした

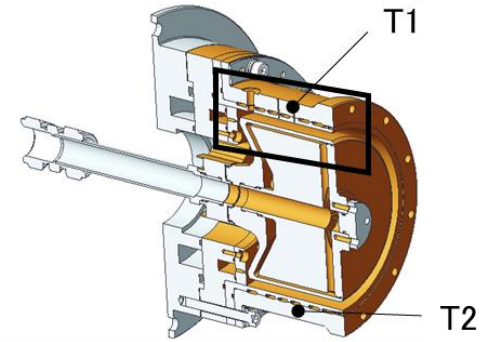
供試体と冷却水の温度データから、
作動中のRDEの発熱量を推定

水冷供試体 燃焼試験 セットアップ状況

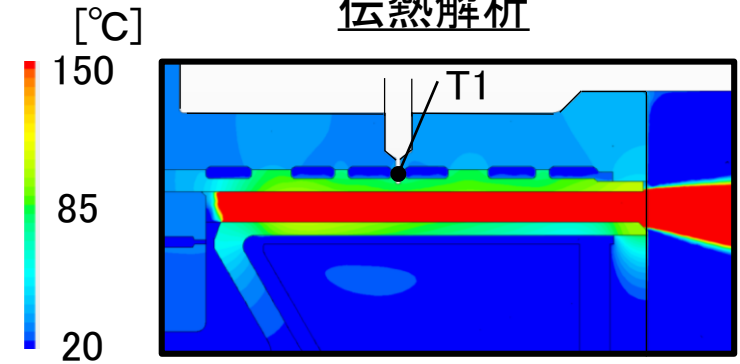
試験その2 ー水冷供試体ー



- 過渡的な状態 ⇒ 発熱量の推定が困難
- 安定な状態 ⇒ 発熱量の把握が可能



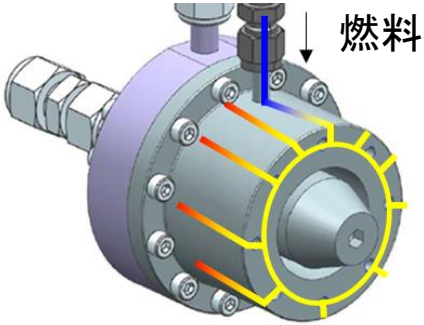
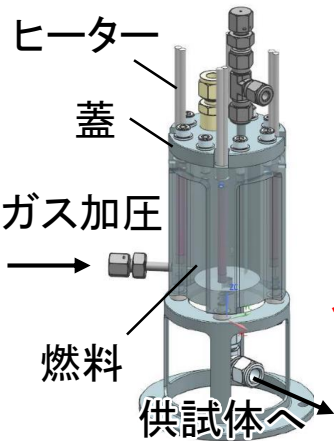
伝熱解析



伝熱解析と試験結果を合わせこみ、
作動中のRDEの発熱量や壁温を計算

冷却システム設計の見通しが得られた

航空推進システム適用に向けた課題

軽量な冷却システム	航空用液体燃料の適用
<p>水冷供試体の試験で取得したデータを基に冷却の方式等を検討</p> <p style="text-align: center;">▼</p> <p>有効と考えられる冷却システムを設計、製造し、試験を通じて性能を検証</p> <p>例) 再生冷却</p>  <p style="text-align: center;">供試体を冷却 + 着火性を良好に</p>	<p>航空用液体燃料(ジェット燃料)</p> <p><u>利点</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料体積あたりのエネルギーが大きい ・自衛隊機と燃料の共通化が可能 <p><u>課題</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・着火、デトネーション作動しづらい ・作動条件(温度、圧力等)のデータが不足 <p style="text-align: center;">▼</p> <p>温度、圧力を変えることで、作動条件を確認可能な燃料供給装置を設計</p> <p style="color: red;">今後、試験でデータ取得予定</p> 

まとめ

- ✓ 航空装備研究所ではRDEをガスタービンエンジンに適用させ、性能向上させることを目的に研究を実施
- ✓ これまでに燃料として水素を使用して、無冷却供試体と水冷供試体での試験を実施し、航空用の軽量な冷却システムの実現に向けたデータを取得
- ✓ 今後は水素に替えて航空用液体燃料でのデトネーション作動など、実用化に向けた検討を進める