国際宇宙ステーションを利用した液滴列冷炎燃焼実験の燃焼容器開発

日大生産工(研) 〇磯野 航 日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

1. 緒言

カーボンニュートラルの実現にむけて,輸送部門の自動車では電動化等が進められている.しかしながら航空機では電動化について課題が多いため,従来の燃料に代わるカーボンニュートラル燃料のSAF(Sustainable Aviation Fuel)が注目されている.SAFは廃食油,微細藻類,サトウキビなどのバイオマスから生産される燃料で従来の化石燃料に比べて二酸化炭素削減効果があるとされている¹⁾.

ガスタービンなどで用いられている噴霧燃 焼は液体燃料を微細な霧状に噴射して空気と の混合を促進させる燃焼方式である. 噴霧燃焼 は様々な現象が同時多発的に進行するため液 滴群の燃焼メカニズムは完全には解明されて いない. SAFにも含まれる炭化水素系燃焼はこ の燃焼過程において比較的温度の低い冷炎が 発生してから熱炎が発生する二段階燃焼が起 こることがある. 冷炎は後に生じる熱炎の発生 位置や発生時間に影響を及ぼすことが分かっ ている2). 冷炎現象の解明は噴霧燃焼のメカニ ズム解明に繋がるため多くの研究が行われて いる. 冷炎の燃焼実験は微小重力環境下で行わ れる.これは実機で噴霧された液滴のサイズが 数μm程度で観測が困難であるため, 実験では観 測可能なサイズに拡大する必要があり, 拡大し た液滴は重力の影響で対流が起こるからであ る. 微小重力環境には落下塔, 観測用ロケット, 国際宇宙ステーションが使用される. 今回の実 験では長時間の微小重力環境と実験回数を要 すことから国際宇宙ステーション (ISS,International Space Station)での実験が 最適だと考えられる.

本研究ではISSで液滴列冷炎燃焼実験を行うための電気炉の新規設計開発を行い、その評価を行う. 本報では、3DCADソフトSolidWorksで作成した電気炉モデルを用いて非定常の熱伝導解析を行った結果について報告する.

2. 解析モデルおよび解析方法 ISS で実験をするにあたり、電気炉設計には 制約条件が設けられている. 要求事項を Table.1 に示す.

Table. 1 Requirements for Electric Furnace

空間サイズ	奥行 100mm以上, 高さ 100mm以上, 液滴列軸方向 200mm以上
温度範囲	300~650 Kの範囲で設定可能であること
温度精度	温度誤差は±2.5 K以内であること
電力	80 W
冷却能力	60 W

制約条件を考慮して電気炉のモデルを作成した. Fig. 1 に電気炉の簡易モデルを示す. 壁面の板厚 3 mm, 内部空間は高さ 100 mm×幅 100 mm×奥行 200 mmであり, 材質はアルミとした. 電気炉の発熱体はこの壁面に設けられる計画であるが, 本解析では壁面全体で80 W の発熱になるように初期条件を与えた. 電気炉の下部には外部構造への熱の流出を防ぐよう, 直径 6 mm, 長さ 50 mmのステンレス製の支柱を設けた.

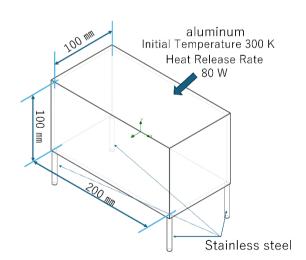


Fig. 1 Combustion vessel Model

解析は SOLIDWORKS Flow Simulation を使用した. Flow Simulation では解析条件 として外部流れで固体の熱伝達あり、非定常

Development of a combustion vessel for droplet array cool flame combustion experiments using the International Space Station

Wataru ISONO, Yusuke SUGANUMA and Hiroshi NOMURA

のため全解析時間と時間ステップ出力を設定し、デフォルト流体を空気にした.計算領域、 固体材料、発熱源は解析ごとに設定をした. 解析終了後は評価対象となる壁面および空間 の温度時間履歴,外部への放熱量を評価した.

3. 解析結果

要求条件では内部流体温度が最大でも650 Kになればよいため、650 Kに到達した時刻である4600 sで発熱をやめた条件で解析を行った.

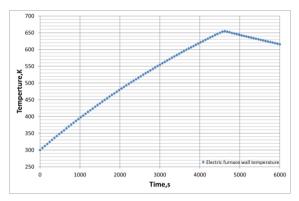


Fig. 3 Electric furnace wall temperature

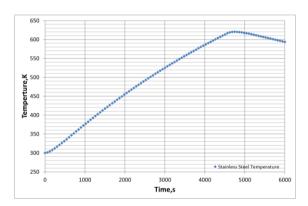


Fig. 4 Stainless steel support temperature

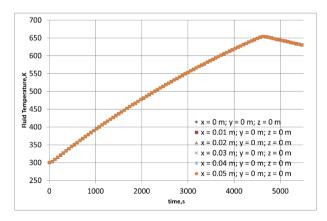


Fig. 5 Fluid temperature at each position on the X-axis of the internal space

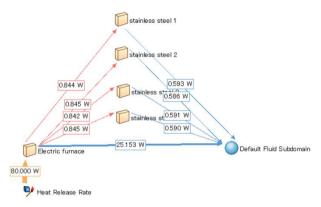


Fig. 6 Heat Transfer

Fig.3 は電気炉壁面温度履歴, Fig.4 はステンレス支柱の温度履歴, Fig.5 は内部空間の X 軸上の各位置における温度履歴, Fig.6 は $4600 \mathrm{~s}$ での熱の移動量である. Fig.3 より電気炉の発熱が $4600 \mathrm{~s}$ で停止したことが確認できる. Fig.5 より, 内部空間の温度差は見られなかった. Fig.6 より電気炉とステンレス支柱から空気に放出される熱量は約 $28 \mathrm{~W}$ であることが分かった.

4. まとめ

今回の解析では電気炉自体を発熱させることで,内部空間が均等に加熱されて各位置における温度差は見られなかった.

今後は固体燃焼実験装置(SCEM)のモデルに電気炉を組み込んで解析を行う予定である.また、内部空間の温度を、650 Kで維持させるために80 Wで発熱後、40 Wに変更し温度維持をさせる予定である.

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁, 飛行機も クリーンな乗り物に!持続可能なジェット燃料「SAF」とは? (2024-09-19) https://www.enecho.meti.go.jp/about/spe cial/johoteikyo/saf.html (参照2024-10-15)
- 山田裕之,手崎衆,後藤雄一,予混合圧縮 着火過程における高温燃焼発生メカニズ ム,日本機械学会論文集(B編),72巻721 号(2006) pp.211-217