

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340047

研究課題名(和文) 浮遊粒子採取ターボジェットUAVシステム構築に向けた要素技術の開発

研究課題名(英文) Development of elemental technology for constructing floating particle collection turbojet UAV system

研究代表者

松平 雄策 (Matsudaira, Yusaku)

新潟大学・工学部・技術専門職員

研究者番号：50377149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らは新潟スカイプロジェクトに参加し、民生UAV用の小型ジェットエンジンと機体の開発を行ってきた。そのような中で、日本海上空での浮遊粒子採取用のUAVシステム開発を計画した。その為、当研究では小型ジェットエンジンの性能試験を行い、開発したエンジンの燃焼器による燃焼の可視化に成功した。また、エンジンの静音化にも着手し、エンジン音を減衰させることができた。また共同研究者である松原は、燃焼器の三次元数値解析を可能とした。さらに市販のUAVを使った飛行試験も国土交通省より許可を得て行い浮遊粒子採取を可能とした。

研究成果の概要(英文)：Research leaders have participated in the Niigata Sky Project and have been developing compact jet engines and aircraft for civilian UAV. Under such circumstances, we planned to develop a UAV system for collecting airborne particles over the Sea of Japan. Therefore, in this research, we conducted a performance test of a compact jet engine and successfully visualized the combustion by the combustor of the developed engine. Moreover, we started to silence the engine, and it was able to attenuate the engine sound. Matsubara, a co-researcher, made it possible to perform three-dimensional numerical analysis of the combustor. Furthermore, a flight test using a commercially available UAV was also obtained with permission from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, making it possible to collect suspended particles.

研究分野： 燃焼工学

キーワード： 小型ジェットエンジン 浮遊粒子採取 UAV 新潟スカイプロジェクト

1. 研究開始当初の背景

近年、欧州と米国では、無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)の技術開発が行われている。当初、国防が主な目的であったが、最近ではむしろ民生利用について活発な検討がなされている。米国は民生用 UAV 開発が進んでいる。特に、フロリダ大学では、森林や河川の観測に用いており、UAV による環境観測によって環境保全に有用な情報が得られることを示している。

2. 研究の目的

新潟大学・工学部はこれまで、新潟市、県内企業、国立研究所と連携して、この民生 UAV 用の小型ジェットエンジンと機体の研究開発を行い(新潟スカイプロジェクト)、日本海上空での微粒子採取用の UAV システム開発の研究計画を策定中である。研究代表者らはこのプロジェクトに参加し、エンジン用燃料ノズルの性能向上や、電動モータによる実験機の飛行試験、微粒子の採取と測定方法の検討により、システムの実現に向けて検討してきた。本研究はさらに準備を進めるため、UAV に搭載可能な微粒子測定装置を開発し実証試験を行う。

3. 研究の方法

製作した浮遊粒子採取装置を電動 UAV に搭載して実験する。この電動 UAV による試験は、当大学敷地内グラウンドで行い、採取された粒子は電子顕微鏡で観察、粒径分布を測定する。本研究の最終目標は、ターボジェットエンジンを搭載した UAV によって浮遊粒子採取することであるため、これと並行してエンジンの性能測定と長距離飛行試験に向けた GPS 制御に関して、情報を収集する。ターボジェット UAV 粒子採取システム実現に向けた要素技術を取り揃える。

4. 研究成果

4-1. 燃焼実験

実験結果は新潟スカイプロジェクト製のターボジェットエンジンに反映できるように行った。まずは燃焼器に着目し、アニュラ型燃焼器の設計を基に 1/6 モデルとなる窓付き矩形燃焼装置を製作した。各測定模式図を図 1 に、実験装置全景を図 2 に示す。

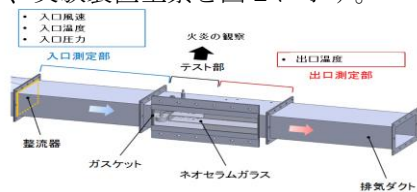


図 1. 各測定部模式図



図 2. 実験装置全景

この実験装置により燃焼を可視化することに成功した。実際のエンジン(NSP 製)のデータをもとに、エンジンの回転数 40,000~80,000rpm を想定し実際のエンジンでは蒸発管が 6 個付いているので、6 倍した値となる。この燃料流量をもとに、目標とした空燃比 n に設定するのに必要な風速を計算し、入口風速を調整した。入口風速を変えることにより空燃比を 10 ずつ上げていき失火するまでの実験を行い、火炎安定限界を求めた。また、燃焼器側面の観察用窓から燃焼の観察を行う。主に火炎の長さ、火炎の色、排煙の色、燃料の漏れ具合を観察するとともに、一眼レフにて撮影を行った。図 3 はテスト部内部であり、蒸発管を設置した状態図である。

空燃比 70 燃料流量 0.48 g/sec 付近での燃焼写真を図 4 に示す。燃料温度 40-50°C である。入口風速を大きくしていくと、火炎長は次第に短くなり青炎に近づいていく様子を確認することができた。燃料温度は高いほど、青炎と確認できる空燃比は低かった。これは燃料温度が高い方が、混合が良好だと考えられる。また、燃料の漏れが大きい時や失火直前は、燃焼が不安定であり排気ダクトから排出される白煙の量が多かった。

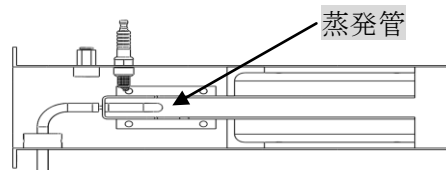


図 3. テスト部内部



図 4. 燃焼写真

矩形による可視化は成功したが、実際の燃焼器はアニュラ型(円筒形)であり、アニュラ型燃焼器を組み込んだ可視化ができないものかと試みた。

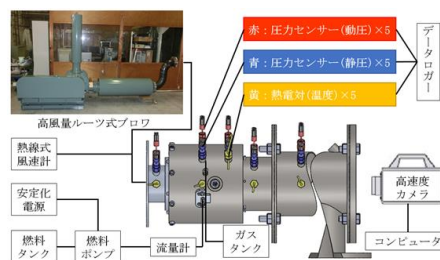


図 5. 円筒型燃焼器可視化実験装置

現在もテスト段階であるが、設計も終わり現有資産であるルーツ式ブロワに組み込み、下流側からの燃焼の可視化に成功した。図5は、アニュラ型燃焼器を組み込んだ可視化用実験装置であり、さらにルーツ式ブロワに組み込んだ時の構成図である。下流側のぞき窓から高速度カメラにて撮影した。

図6に撮影した画像を示す。



図6. 空燃比 80 付近の燃焼

以上より、より実物のエンジンに近いデータを収集が可能になり今後、新潟スカイプロジェクト製のエンジンに反映できると確信している。

4-2. 消音実験

実用化を考慮し、消音器の設計・開発とその性能評価を行った。図7に開発した消音器を示す。



図7. 消音器(全長 1115mm 直径 320mm)

消音器内部には、発泡ウレタンとグラスファイバーの複合吸音材によりジェット騒音とファン騒音を吸音させた。またパンチングメタルを内側に張ることにより騒音を反射減衰させてもいる。性能評価を行うため、超小型ターボジェットエンジンを購入(オランダ AMT 製 Mercury HPE-start)、このエンジンに消音器を取り付け消音器が無い場合とある場合、消音器の出口の形状をノーマル形状とシェブロン形状の場合で実験を行った。図8に騒音計配置図さらに、測定データの一例をグラフ1に示す。

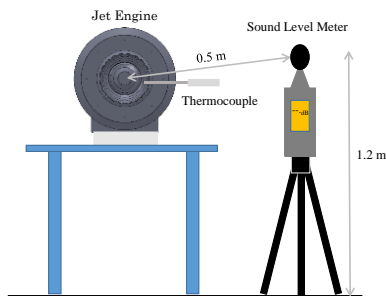
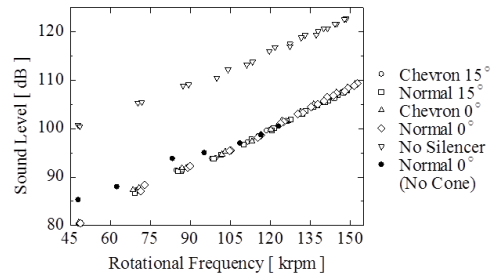


図8. 騒音計配置図



グラフ1. 騒音

消音器のある場合 20dB の、エンジン音の減衰が見られた。

出口ノズル形状をノーマルノズルとシェブロンノズルで比較したときの音圧レベルの量は、0.2dB とほとんど変化が見られなかった。本研究で使用した騒音計の誤差範囲が±1dB ということからも、騒音に関してのノズルによる変化はほとんど無かったと言える。今後、さらに適した出口ノズルを有する消音器の設計が必須となってくると思われる。

4-3. マイクロジェットエンジン用アニュラ型燃焼器の数値解析

研究分担者である松原幸治教授らによって、本研究が取り扱う小型ジェットエンジンの蒸発管を伴うアニュラ型燃焼器の数値解析を行った。燃焼現象は、複雑であり実験を行うにしてもその内部構造を可視化することは難しい。さらに、ジェットエンジンの開発過程では、評価実験が必須である。評価実験に関しては、実験機の製作に伴う試作コストや日程といったランニングコストが掛かってしまう。一方、数値解析はデータとしての扱いとなり、短時間で多くの結果が得られ早期に評価ができるため、開発のランニングコストが大幅に削減できる。もちろん実験により、または数値計算により、でしかわからない事等、一長一短であるが双方を組み合わせたいと思い解析を行った。

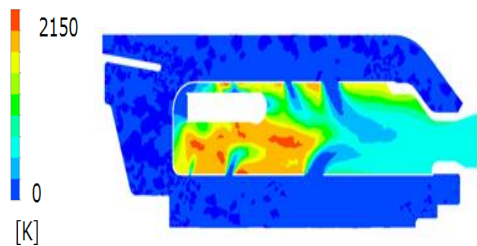


図9. 温度分布(解析結果の一例)

図9は、マイクロジェットエンジンを1/4分割したときの、流れ方向に平行な断面での温度分布図である(燃料流量 1g/sec, 空燃比 80)。

また、アニュラ型燃焼器のみを取り上げての解析結果を図10に示す。

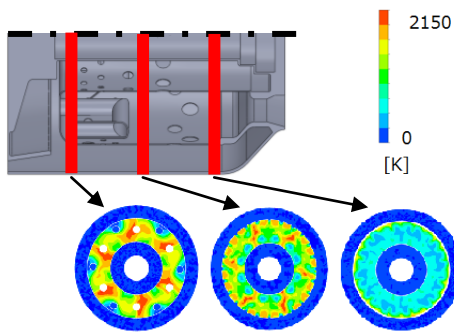


図 10. アニュラ型燃焼器の燃焼解析(一例)

これらより、実際のアニュラ型燃焼器の、モデルの数値解析ソフトウェアを構築し、液体燃料の蒸発と燃焼を伴う熱流体場の解析を可能とした。

4-4. 浮遊粒子採取試験

簡易的な粒子収集装置を製作し、図 11 に示すように、新潟大学(五十嵐地区)のグラウンド上空にてテスト飛行を行った。



図 11. テスト飛行場所(赤枠)

飛行に使用した UAV 機は、いわゆる市販機ドローン(マルチコプター: DJI 社製 PHANTOM3ADVANCED)を使用、無人航空機による飛行に関して航空法の改正により、国土交通省に許可を得た。(国空航第 2462, 2620 号)

この UAV 機の使用について、本研究では、新潟スカイプロジェクト製の機体を想定していたのであるが開発が遅れ、当研究期間内で飛行させることは困難であったため代替品として使用した。飛行条件は航空法に従い、高さ 120m, 前後左右 100m に設定、GPS 機能を活用して安全面に十分配慮しながら行った。さらに簡易浮遊粒子採取装置は、図 12 に示す。



図 12. 簡易浮遊粒子採取器

上記採取器は、長さ 90mm, ϕ 20mm のアクリルパイプに 1/4 小型モータとボタン電池(LR44)4 個を接続、モータの軸にプロペラをつけて吸引効果により粒子を採取するものである。プロペラ側に紙製のフィルターを装着し、フィルターのメッシュサイズを変えることにより、いろいろな粒子径のものが捕獲できる。全体の重さも 30g と軽量でコンパクト、UAV に搭載を可能としている。しかし、UAV に搭載するとなると、また新たに申請許可が必要となり、現段階では搭載しての飛行は行っていない。今後、国土交通省に許可申請を提出し飛行実験を考えている。

4-5. 研究のまとめ

本研究では、マイクロジェットエンジンの実験と数値解析、さらにそのエンジンの応用として、浮遊粒子採取に向けたシステム構築を目標とし、次のような知見を得た。

- (1) 新潟スカイプロジェクト(NSP)製のアニュラ型燃焼器の可視化に成功、空燃比 60 以上にするとほぼ完全燃焼に近い事を確認した。
- (2) 消音器を設計、製作し、マイクロジェットエンジンに装着することで、20dB の減衰量を得た。
- (3) NSP 製アニュラ型燃焼器の三次元数値解析を行い、数値解析ソフトウェアの構築と、液体燃料の蒸発と燃焼を伴う熱流体場の解析を可能とした。
- (4) 簡易浮遊粒子採取器を作製し、粒子が採取できることを確認した。また、国土交通省への UAV 機飛行に関して、申請方法を知ることができた。今後、航空法の範囲内で飛行採取試験を行いたい。

〈参考文献〉

- ①池浦正人, 平成 28 年度新潟大学修士論文「マイクロジェットエンジン用アニュラ型燃焼器の実験的研究」
- ②鈴木寛人, 平成 28 年度新潟大学修士論文「マイクロジェットエンジン用アニュラ型燃焼器の数値解析」
- ③無人航空機の安全な飛行のためのガイドライン 国土交通省 航空局
- ④酒井 涼, 平成 27 年度新潟大学修士論文「静音化マイクロジェットエンジンの実験的研究」

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①第 44 回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集 p215~p219

鈴木寛人, 松原幸治, 松平雄策, 他 3 名
「NSP マイクロジェットエンジン用ア
ニウラ型燃焼器の数値解析」
2016.10.26 発行 査読なし

- ②第 43 回日本ガスタービン学会定期講演会
講演論文集 p199~p203
田中俊祐, 松平雄策, 松原幸治, 他 3 名
「マイクロジェットエンジンの測定と熱
力学的解析」2015. 9. 9 発行 査読なし

[学会発表] (計 5 件)

- ①鈴木寛人, 松原幸治, 松平雄策, 他 3 名
「NSP マイクロジェットエンジン用ア
ニウラ型燃焼器の数値解析」2016.10.26~27
日本ガスタービン学会
会場: ホテルリッチ&ガーデン酒田
山形県酒田市若竹町 1-1-1

- ②田中俊祐, 松平雄策, 松原幸治, 他 3 名
「マイクロジェットエンジンの測定と熱
力学的解析」2015. 9. 9~10 日本ガスター
ビン学会
会場: 米子コンベンションセンターBiG
SHiP
鳥取県米子市末広町 294

- ③佐久間雄基, 星野桂佑, 松原幸治,
松平雄策
「クロスフローを伴う液体噴流の微粒化
に関する研究」2015.10.17 日本機械学会
会場: 山梨大学工学部
山梨県甲府市武田 4-3-11

- ④酒井涼, 松原幸治, 松平雄策, 他 3 名
「静音化マイクロジェットエンジンの測
定と性能評価」2015.10.17 日本機械学会
会場: 山梨大学工学部
山梨県甲府市武田 4-3-11

- ⑤本間武志, 池浦正人, 松原幸治, 松平雄策
「蒸発管付き燃焼器内火炎の可視化実験」
2015. 3. 7 日本機械学会
会場: 新潟工科大学
新潟県柏崎市藤橋 1719

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: ガスタービンエンジン
発明者: 山内慶次郎, 阿部和幸, 小式澤広之,
小林直樹, 入交昭一郎, 松原幸治, 平元和彦,
松平雄策
権利者: 新潟大学他
種類: 国際特許分類 F23R 3/00
番号: 特願 2016-106531
出願年月日: 平成 28 年 5 月 27 日
国内外の別: 国外

名称: 燃料蒸発管及びこれを備えたガスター
ビン燃焼器
発明者: 松原幸治, 松平雄策, 池浦正人, 山
内慶次郎, 阿部和幸, 小式澤広之
権利者: 新潟大学他
種類: 国際特許分類 F02C 7/22
番号: 特願 2016-101779
出願年月日: 平成 28 年 5 月 20 日
国内外の別: 国外

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等
新潟大学工学部機械システム工学熱工学研
究室
[http://mu-koba.eng.niigata-u.ac.jp/abot
us.html](http://mu-koba.eng.niigata-u.ac.jp/abotus.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松平 雄策 (MATSUDAIRA, Yusaku)
新潟大学・工学部・技術専門職員
研究者番号: 50377149

(2) 研究分担者

松原 幸治 (MATSUBARA, Koji)
新潟大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 20283004

(3) 連携研究者

川崎 一正 (KAWASAKI, Kazumasa)
新潟大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 50214622

(4) 研究協力者

白井 健司 (SHIRAI, Kenji)
新潟大学・工学部・技術職員