

令和元年6月24日現在

機関番号：23604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14508

研究課題名（和文）災害救援のための中高度・長時間滞空型ソーラープレーンに関する研究開発

研究課題名（英文）Research and Development of a Medium Altitude Long Endurance Solar Plane for Disaster Response

研究代表者

雷 忠（Lei, Zhong）

国立諏訪東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：50392832

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は災害救援と通信利用を目的として太陽光発電を用いた長時間滞空型無人機システム（UAS）の構築に機体システムに関する要素技術を開発することを目的とする。独自の設計思想を用いて高効率太陽光発電システムと高飛行性能と軽量化機体の開発に成功した。機体と動力システムの設計において空力性能と構造強度とソーラー発電を考慮し、lifting-bodyとmedium aspect ratio wingを組み合わせたhybrid lifting solar planeを考案して、設計・製作を行い、低高度飛行テストより設計手法を実証し、高度7000mで長時間滞空ソーラープレーン無人航空機を試設計した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのソーラープレーンは殆ど従来型の設計であるため、大きなアスペクト比の翼と大きな翼面積と軽量化機体を特徴とする。また、従来の民生用無人機は航続時間が短く、飛行高度が低いため、災害救援活動が限られてしまう。それに比べて、本研究では独自の設計を考案し、太陽光エネルギーだけで連続飛行を実証して、機体設計と動力システムに関する課題を解決し、実用化へ大きく進めた。長時間滞空型無人航空機が近い将来、災害救援を始め、交通監視や通信サービスなど、さまざまな分野でビジネスチャンスを生み出すことが期待されている。

研究成果の概要（英文）：Research was conducted to develop a solar-powered unmanned aerial vehicle (UAV) for medium altitude and long endurance (MALE), which might be used for disaster response and environment monitoring. In this study, this unconventional solar plane was mainly consisted of a lifting body, a wing and a V-shaped tail. Light structure and high performance was confirmed by ground experiments and flight tests. The performance of the designed solar-powered UAV with a payload was analyzed and the possible solution was discussed for design parameters at an altitude 7,000m. Parametric studies were conducted to investigate performance and capabilities of the solar plane for continuous flight. Analysis showed that the proposed MALE flight was possibly realized.

研究分野：航空工学

キーワード：ソーラープレーン 太陽光エネルギー 無人航空機 長時間滞空

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年 3 月に東日本大震災や 2015 年 9 月～10 月 北関東・東北豪雨などが発生した際に、広い地域に交通経路、情報通信インフラに甚大な被害が発生した。24 時間リアルタイムの監視システムや、災害に強いインフラの構築などが重要な課題となっている。しかし、従来型の無人機システムは災害救援に利用されているが、飛行時間が限られている。一方、欧米では 2014 年に Google 社や Facebook 社や Airbus 社などが、高度約 15km~20km を飛び続ける大気圏衛星 (atmospheric satellites 無人ソーラープレーン) を開発している。平成 27 年にスイスの企業が開発した有人 Solar Impulse 2 号機が地球一周の飛行挑戦中に悪天候のため名古屋に着陸滞在した。日本国内では、宇宙航空研究開発機構が高高度滞空無人機の研究開発を計画している。申請者は独自の設計思想で平成 24 年には従来と異なる新しいコンセプトを考案し、ソーラー発電を考慮した hybrid lifting solar plane を設計し、平成 25 年 8 月に太陽光エネルギーだけで連続飛行試験を行った。

2. 研究の目的

想定されている長時間滞空無人機の利用について、図 1 に将来の概念図を示す。本設計では、無人航空機システムとしては消費電力を削減するための空力性能の改善、より大きなペイロードを搭載するための構造軽量化、省電力パワーシステム、機上と地上間の通信技術などの課題が浮かび上がっている。本研究では太陽光エネルギーのみを動力源とするソーラープレーンの研究を先行的に行い、機体設計、材料技術、太陽光発電技術、飛行制御などを統合し、多分野にわたる技術を開発し、近い将来に実

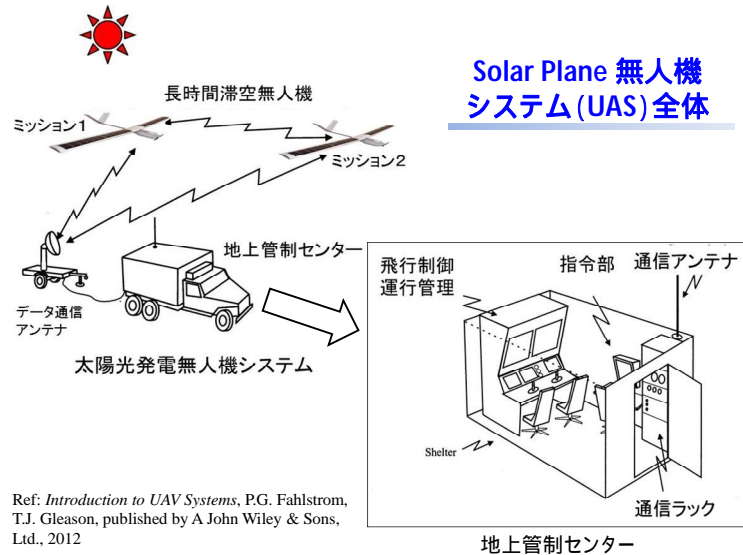


図 1 長時間滞空無人機の利用

用化することを目指す。そのために、(1) hybrid lifting solar plane 設計による機体軽量化、(2) 構造軽量化となる機体製作法、(3) 高い飛行性能の空力設計、(4) 高効率のパワー制御システムの問題を解決し、災害救援と通信利用を目的として太陽光発電を用いた長時間滞空型無人機システム (UAS) を開発することを目指す。

3. 研究の方法

海外では試験的に従来型の機体を設計し、飛行テストを行っているが、機体が大型化となり、搭載機器のペイロードが小さく、構造上にも厳しくみられるため、実用化が非常に困難である。本研究の特徴として、これらの問題を解決し、従来の設計と異なり、独自の設計を考案し、高効率太陽光発電システムと高飛行性能と軽量化機体の開発に成功した。機体と動力システムの設計において空力性能と構造強度とソーラー発電を融合し、lifting-body と medium aspect ratio wing を組み合わせた hybrid lifting solar plane を用いて、大幅に軽量化することができた。高いエネルギー変換率の太陽電池と制御装置を導入し、高効率ソーラー発電システムを構築した。搭載機器や計測機器などに関して既存の市販製品を利用し、コスト削減を図った。

4. 研究成果

機体設計

著者らが提案した設計コンセプトに基づいて、最大発電量、最小消費電力、構造軽量化を多目的として機体設計を行った。機体軽量化に関して太陽電池モジュールと機体を同時に設計し、サイジング最適化設計を行った結果は、主翼形状、lifting-body 胴体形状、V 字尾翼形状、配置関係、総重量など主要諸元を決めた。各性能と各部重量について過去の経験に基づいて数学モデルを構築、修正した。また、数値流体力学 (CFD) を用いて詳細な空力性能を解析し、2 機目と 3 機目の設計見直しに利用した。図 3 に製作した 3 機目を示す。



図 2 製作したソーラープレーン

推進システムに関してコンピュータによる性能解析と地上推力テストを実施し、特に本機体に適したモータとプロペラの組み合わせを決定した。プロペラ設計を試み、推進性能を確認した。

軽量化機体製作

製作プロセスにおいてはさらに構造軽量化を図って、これまでの研究成果に基づいて適所適材に木材、航空ベニヤ板、樹脂、CFRP、などを併用した。本学が所有するレーザーカッターや3DプリンターやCNC（コンピュータ数値制御）フライス盤などを利用して部品の精密製作と軽量化技術を開発して、設計した形状を忠実に取り込み、機体構造重量を削減する。当初の翼荷重 4.75kg/m^2 を最終的に 3.83kg/m^2 に、20%を軽量化することに成功した。性能解析予測と飛行テストより、いずれも本機体は十分な長時間滞空性能を持つことを確認できた。

太陽光発電と動力システム

テム

高いエネルギー変換率と軽量ソーラーセルを調査し、3種類の材料を入手して、性能確認試験を行った。太陽電池モジュールを設計し、外部に製作を依頼した。太陽電池モジュールに関して地上テストを行い、単独性能と推進システムの組み合わせ性能を計測した。太陽電池による発電で飛行しながら、余剰電力をバッテリーに蓄電することを確認した。獲得した詳細なデータに基づいてパワーマネジメントシステムを調整し、電力システム効率の改善を行った。MPPTについて経費節約のため、市販製品を導入し、パワーマネジメントシステムに組み込んだ。

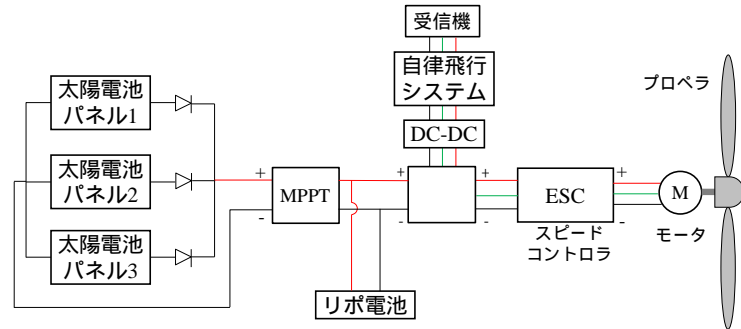


図3 動力と制御システム

MPPTについて経費節約のため、市販製品を導入し、パワーマネジメントシステムに組み込んだ。

飛行テスト

飛行テストにおいては、飛行前に地上で照度、風、温度、湿度など、気象条件を確認した。地上から高度 100~200m（海水面から約 1000m）で飛行を実施し、飛行中にソーラー発電性能や消費電力や飛行経路や飛行速度や気象条件などを計測した。さらに、飛行データに基づいて機体設計とパワー制御システムの改良を行い、長時間連続飛行性能を分析し、搭載システムと機体設計を改良した。低高度飛行テストより設計手法を実証した。水平飛行、旋回、上昇、降下など、各種飛行状態における性能を確認し、データ採集と解析を実施した。各性能が良好であることを確認できた。



図4 試作機体の飛行テスト

中高度飛行システムの試設計

低空試験の結果に基づいて、中高度長時間飛行の無人ソーラープレーンについて概念設計を行った。設計条件と機体形状を図5に示す。現在の既存技術を利用して、緯度北43度（札幌）高度7,000m、日照が最も少ない季節を想定した状況において、連続飛行の機体が可能であることを証明した。搭載した太陽電池の発電量と飛行に消費する電力を図5に示しており、高度を維持しながら、十分な発電を出力しており、想定した1.5kgのペイロードを搭載した飛行が十分可能だと考えられる。

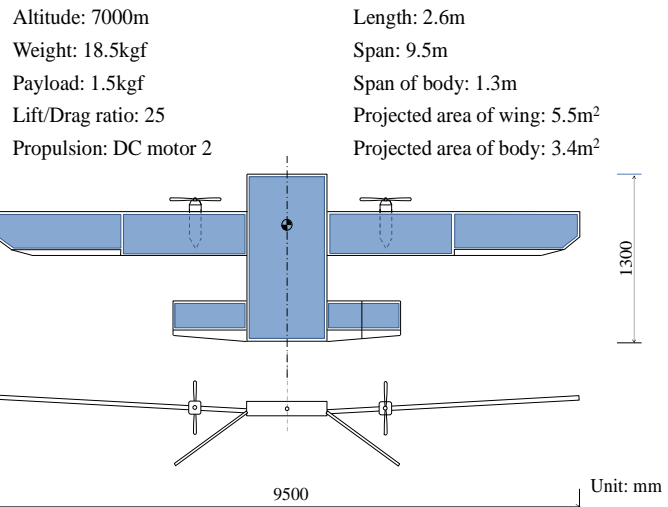


図5 災害救援型 MALE 無人機的设计例

現段階では、ペイロード及び飛行性能がまだ満足できないが、改善する余地が充分残されており、実用性が大きく期待できる。これからの発

展より、さらに性能が高い機体の設計・開発に期待できる。特に、蓄電バッテリーのエネルギー密度の向上や、太陽電池エネルギー変換及び面積質量密度や、炭素繊維複合材料や、高強度の新しい材料や、MEMS 技術などは、大きく進歩していくことが間違いない。

本研究では独自の設計を考案し、太陽光エネルギーだけで連続飛行を実証して、機体設計と動力システムに関する課題を解決し、実用化へ大きく進めた。条件を整えれば、環境監視、災害救援、などへ実用化製品を開発することが可能になる。

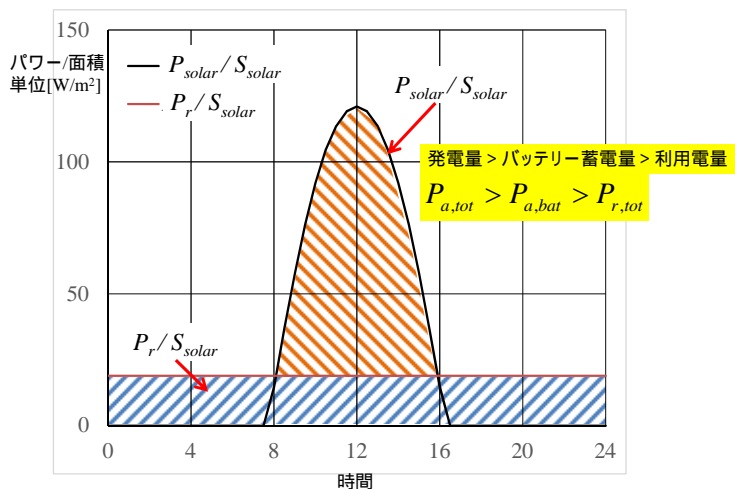


図 5 太陽光発電量と飛行必要パワー

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)
該当なし

〔学会発表〕(計 6 件)

- 1) 鳥羽大樹、高泉秀広、雷忠、山本誠、遷移予測を用いた翼まわり流れの数値解析、第 48 回流体力学講演会 / 第 34 回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム、金沢、2016 年 7 月。
- 2) Zhong Lei, Preliminary Design of a Solar-Powered MALE UAV, the 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, Toyama, Japan, Oct.25~27, 2016.
- 3) 高泉秀広、鳥羽大樹、雷忠、山本誠、e^N 法に基づいた翼型失速特性の数値シミュレーション、第 30 回数値流体力学シンポジウム、東京、2016 年 10 月。
- 4) 雷忠、大気圏人工衛星～長時間滞空無人航空機「ソーラープレーン」、大学知財群活用プラットフォーム (PUiP) 新技術説明会、科学技術振興機構主催、東京、2018 年 1 月。
- 5) 雷忠、大気圏衛星: 長時間滞空・自律飛行型無人ソーラープレーン、諏訪圏工業メッセ 2017、NPO 諏訪圏ものづくり推進機構主催
- 6) 雷忠、Prospective of the Solar-Powered Unmanned Aircraft System、情報学研究に関する産学促進ワークショップ 2018 (招待講演) 軽井沢、2018 年 6 月。

〔図書〕(計 件)
該当なし

〔産業財産権〕
○出願状況 (計 件)
該当なし

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)
該当なし

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

発表資料とプレゼン動画は下記の URL に公開されている。

大学知財群活用プラットフォーム (PUiP) 新技術説明会、2018 年 01 月 23 日、科学技術振興機構、大学知財群活用プラットフォーム (PUiP) 主催。

https://shingi.jst.go.jp/kobetsu/chizaigun/2017_chizaigun/tech_property.html

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。