

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2005～2008

課題番号：17204038

研究課題名（和文）空中磁場探査用自律型小型無人飛行機と搭載観測機器の開発研究

研究課題名（英文）Study on unmanned aerial vehicles and onboard instruments for the aeromagnetic survey

研究代表者 船木 實（Funaki Minoru）

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号 10132713

研究成果の概要：本研究において、4種類の空中磁場探査用の小型無人航空機、Ant-Plane 3号機、4号機、5号機、6号機と、無人機に搭載する三成分磁気抵抗型（MR）磁力計と三成分フラックスゲート磁力計の開発を行った。小型無人機は最大 1108km の連続飛行と、高度 5700m までの上昇を記録した。オーストラリアでは 10x10km の範囲を MR 磁力計により高度 500m で空中磁場探査を行い、実機による観測結果と同様の磁気異常を測定することに成功した。この結果、安全、経済的、即応性に富んだ空中磁場観測が研究者自身で行うことが可能になった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	16,700,000	5,010,000	21,710,000
2006年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2007年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			
総計	35,800,000	10,740,000	46,540,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：(1) Ant-Plane (2) 無人航空機 (3) 自動操縦 (4) 空中磁場探査

(5) MR 磁力計 (6) フラックスゲート磁力計 (7) 長距離飛行 (8) カタパルト

1. 研究開始当初の背景

2003年に民間企業が自衛隊の標的機として開発した翼長2mの自律型小型無人機(UAV)を購入し、磁場探査用に改造し(Ant-Plane2号機)、桜島で連続飛行距離100kmの空中磁場観測等を行った。高度700mで磁気抵抗型(MR)磁力計により磁場探査を、また高度1400mでの桜島火山のビ

デオ撮影を行った。2004年には更なる改良を加え、秋田県の鳥海山麓において、6x4kmの範囲を高度800mで500m間隔の自動飛行実験(連続飛行距離80km)を行った。これらの実験結果、自律装置の信頼性、磁気異常の大きい地域でのMR磁力計による磁場探査の有効性、それに低解像度ビデオ画像撮影が可能であることが判明した。しかし以下のよう

な問題点も判明した。

(1)MR 磁力計のドリフト、データログの容量不足、磁力計の更なる小型化と軽量化の必要性

(2)電磁ノイズによる自動飛行装置の誤作動

(3)巡航飛行中に 10m 前後、旋回時に 40m の機体の降下

(4)電磁シールドに起因するエンジンの不安定回転とエンスト

(5)機体振動が原因と思われる磁気ノイズと画像データの乱れ、及び測定機器の接触不良の発生

(6)速すぎる巡航速度(150km/h)と失速速度(90km/h)に起因する離着陸の困難さ

なお、空中磁場観測に使用でき、低価格の固定翼 UAV は無い。自律型のカイトプレーンと小型ヘリコプターがあるが、両者とも風に弱く、有視界内の飛行に限定され、さらに価格等の問題もあり磁場観測用 UAV として適していない。これらの問題を解決するため、極地研究所、九州大学、秋田大学、それに富山大学の研究者は、Ant-Plane グループを立ち上げ、民間の協力を得て磁場観測用無人機の開発をスタートさせた。

2 . 研究の目的

(1)空中磁場探査を目的とする翼長約 3m、飛行距離 30 ~ 1000km の 3 種の自律型小型無人飛行機[Unmanned Aerial Vehicle (UAV)]、4 サイクル・ガソリンエンジン機(高い信頼性の長距離飛行)、4 サイクル・ディーゼルエンジン機(低温環境で長距離飛行の可能性、電磁ノイズの無いエンジン)、電動機(低速・低振動、磁場精査)を開発する。

(2)UAV に搭載する空中磁場探査システム、及び飛行環境監視システムを開発する。

(3)開発した機体と搭載機器による空中磁場観測を国内外で行い、その有用性を実証する。

(4)研究成果を国内外の学会等で発表し、誰でも開発機体と装置の入手を可能にする。

3 . 研究の方法

本研究では東野、船木が機体の開発を、船木、野木、坂中、酒井が磁力計を、平沢、村瀬が飛行環境監視システムの製作(平沢)を担当した。可能な限り模型飛行機の部品を使用し、既存の装置を使用することで、安価な UAV の製作を目指した。Ant-Plane3 号機(翼長 2.76m)は市販の模型飛行機を改良し、東野の開発した自動飛行システムを搭載した。エンジンは市販のグローエンジンをガソリンエンジンに改造した他、4 サイクルディーゼルエンジンの開発(業者に依頼)も行い、搭載した。Ant-Plane4 号機(翼長 2.6m、86cc ガソリンエンジン)と Ant-Plane5 号機(翼長 3.6m、47cc ガソリンエンジン)はフジンバック KK に依頼し製作した。Ant-Plane6 号

機(翼長 2.9m、86cc ガソリンエンジン)は模型飛行機製作会社(結城工房)に依頼し製作した。MR 磁力計は民間会社のロボティスタとテラテクニカ KK に、フラックスゲート磁力計はテラテクニカに製作を依頼した。

自動飛行システムは東野が開発した他、フジンバックのシステムを改良して使用した。機体に種々の装置の搭載作業や地上での試験は、分担者の他、上述の企業が参加した。飛行実験は分担者、協力者、それに企業が参加して行った他、アマチュアのラジコンマニアの協力も得た。飛行データや観測データの検討はそれぞれの担当者が行い、その結果を関係学会等で報告した。

4 . 研究成果

本研究により、図 1 に示すような 4 種類の、自律型小型無人飛行機を開発を行うことができた。当初、機体と操縦者の通信は 72MHz 帯を使用していたが、発電機や自動飛行システムから出る電磁ノイズで、機体の制御に苦労したが、2007 年から 2.4GHz が使用できるようになり、ノイズの問題は解決した。その結果、磁力計(500g)を搭載し、Ant-Plane3 号機で 100km 以上、4 号機で 1108km、5 号機で 400km 以上の連続飛行を確認した。6 号機は長時間自動飛行の実績はまだ無いが、おそらく 500km 以上の飛行は可能と考えられる。これらの機体は自動飛行システム、発電機(電動機を除く)、通信機、パラシュートを装備し、手動により離陸し、自動飛行の後、手動で着陸する。3 号機についてはカタパルトによる離陸が可能であるが、その他の機体のカタパルトは未完成である。

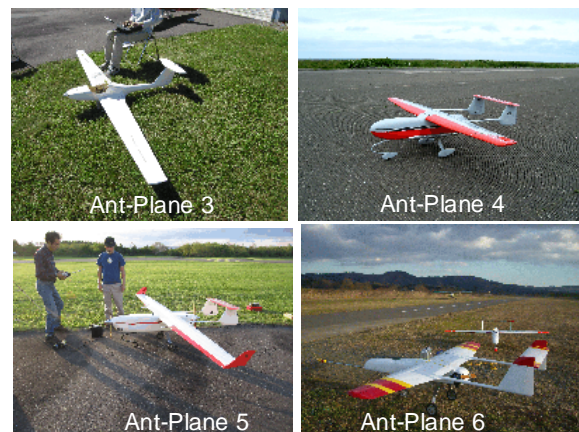


図 1 本研究で開発した小型無人飛行機 Ant-Plane

研究期間中に行った主な飛行実験とその結果は以下のとおりである。

(1) 2005 年 6 月、紋別市において Ant-Plane4 号機により最高高度 5700m を達成

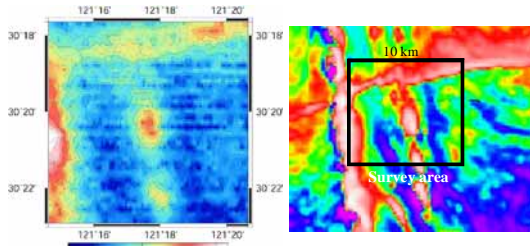


図2 左: 西オーストラリア州カルグリー周辺で本実験により得られた磁気異常図、右: 同地域の磁気異常図 (オーストラリア Geoscience)。

(2) 2006年1月、Ant-Plane2号機による昭和基地での飛行実験。滑走路が悪く離陸前に機体を損傷し、飛行を断念

(3) 2006年3月、Ant-Plane4号機より西オーストラリアの砂漠において500kmの空中磁場、気象、画像観測に成功。図2に、この時に得られた磁気異常図と、実機により得られた磁気異常図を示した。同じ磁気異常が観測されている

(4) 2007年1月、Ant-Plane4号機による昭和基地での飛行実験。離陸に成功するが、ウェイポイントの送信ミスで墜落

(5) 2007年3月、五島列島においてAnt-Plane4号機により1108kmの連続飛行に成功、磁場観測は磁力計の接触不良で失敗
(6) 2007年10月には五島列島でAnt-Plane4号機による1000kmの磁場観測を試みたが、台風20号の急接近で機体を失う。

Ant-Plane5号機によるトカラ列島までの飛行実験を悪天候で中止

(7) 2007年~08年にAnt-Plane3号機による空中磁場観測を阿蘇山と桜島で行う。ウェイポイントの送信ミスにより、機体を一機失う

(8) 2008年12月、Ant-Plane4-3と4-4号機による昭和基地での空中磁場観測と気象観測。4-4号機は飛行中のエンジントラブルで破損。このため磁気データは得られず。4-3号機による地表から高度1000mまで気象観測に成功

(9) 2009年2月、5号機に橇を装着し、サロマ湖からオホーツク沿岸地域の磁場観測とハイビジョンデジタルカメラで流氷観測を計画するが、サロマ湖の結氷と悪天候で計画を変更し、サロマ湖とその周辺のオホーツク海の氷状観測のみを行う。その結果、時折降雪のある天候であったが、良好な画像を得る

(10) 2009年3月、Ant-Plane3号機のカタパルトによる飛行に成功

(11) 2009年3月Ant-Plane6号機の自動飛行とパラシュート着陸に成功

搭載機器として開発した磁力計は、図3に示した三成分MR磁力計システムと、三成分フラックスゲート磁力計である。いずれも約500gで、センサー、データロガ、GPS、そ

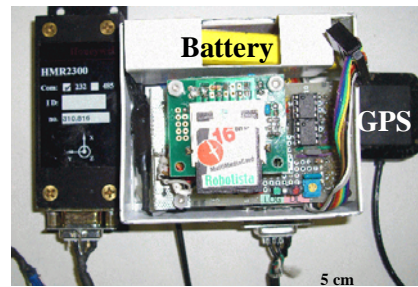


図3 MR磁力計システム、左から三成分センサー、データロガ、GPS

れにバッテリーから成る。SDメモリーカードに磁気三成分とGPS位置情報が8時間以上記録できる。磁力計センサーは、機体磁気の影響を可能な限り小さくするため、Ant-Plane3号機では翼端に、その他の機体ではノーズから出した1mのアームに取り付けた。この結果、機体磁気の大さを100nT前後に抑えることができた。その他の搭載機器として、本研究では機体内外の気温と湿度観測装置、それに機体振動を観測する目的の画像撮影装置がある。

本研究により数百万円で翼長3m前後の自律型小型無人飛行機が開発され、連続飛行時間1108km、最高高度5700mの飛行が実証された。しかし離着陸は自動化されておらず、ラジコンマニアの協力が必要である。カタパルトによる離陸とパラシュートによる着陸はこの問題を解決する有力な手法であるが、Ant-Plane3号機用カタパルト以外は、未完成である。無風下での直線飛行においては、機体はGPSの精度(水平で数m、高度で10m以上)に近い誤差で飛行することが可能であるが、旋回時には軌道から大きく外れる。今後この誤差を少なくする研究も必要である。

Ant-Planeのような小型無人飛行機は模型飛行機に分類され、航空法の適用を受けない。しかし、高度250m以上で飛行させる時は実機と同じ航空法が適用される。飛行許可を得るには、飛行日の数ヶ月前から関係機関との協議が必要である。火山噴火に伴う空中磁場観測など、即応性を要する観測に対処する為には、実機と小型無人機を切り離し、小型無人機の運用に適した航空法の制定が望まれる。また無人機が、万一墜落した場合、人命や財産に与える損害は計り知れない。しかし現法では飛行を規制することは難しい。今後この方面の対策の研究も必要となろう。海外で無人機による観測を行う場合は、ミサイル輸出と同じ輸出許可が必要となる。受け入れ国においても同様の輸入手続きが必要となる場合がある。安全かつ経済的で、即応性に富んだ無人機観測を遂行するに当たり、無人機運用の倫理的・法的な整備の必要性を痛感した。

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10件)

平沢尚彦・尾塚馨一・林政彦・船木實, 北海道紋別市で行った大気観測における無人航空機の飛行特性と気象測器の動作状況, 天気, 56,2, 2009, 3-9, 査読有

Funaki, M., Hirasawa, N. and Ant-Plane group, Outline of a small unmanned aerial vehicle (Ant-Plane) designed for Antarctic research, Polar Science, 2, 2008, 129-142, 査読有

平沢尚彦・尾塚馨一・林政彦・船木實, 北海道紋別市で行った大気観測における無人航空機の飛行特性と気象測器の動作状況, 天気, 56,2, 2009, 3-9, 査読有

Higashino, S. and Maruyama, Y., Flight Demonstration of Realtime Path Planning of an UAV using Evolutionary Computation and Rule-Based Hybrid Method, International Review of Aerospace Engineering, 1, 6, 2008, 529-353, 査読有

平沢尚彦、原圭一郎, 第48次南極地域観測夏隊のS17航空拠点における活動報告 - 日独共同航空機観測に関連して -, 南極資料, 51(3), 2007, 273-297, 査読有

Higashino, S., Funaki, M., Hirasawa, N., Development of Ant-Plane UAVs for Observation and Scientific Missions in Antarctica, AIAA paper, AIAA-2007, 2007, CD-ROM版, 査読有

船木 實, Ant-Planeグループ:南極観測用小型無人航空機Ant-Planeの開発 その可能性と課題 -, 南極資料, 50, 2, 2006, 212-230, 査読有

船木 實, 南極観測で使用する小型無人航空機 Ant-Plane, 日本工業出版, 検査技術, 12, 2, 2006, 36-44, 査読有

船木 實, 無人航空機による南極観測. 文部科学時報, 2, 1560, 文部科学省, 2006, 85, 査読なし

Nagasaki, S. and Higashino, S., Automatic Design of UAVs Using Evolutionary Algorithm, Proceedings of The 5th Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science 2005, 7080, 2006, CD-ROM, 査読有

Higashino, S., Development of an UAV Flight Control Module for the Operation in Antarctica Proceedings of The 5th Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science, 2006, CD-ROM, 査読有

[学会発表](計30件)

内藤郁民, 東野伸一郎, 画像情報を用いた小型UAS用衝突回避システムに関する研究, 日本航空宇宙学会西部支部講演会, 2008年11月, 福岡市

松尾引文, 東野伸一郎, コントロールバー方式PPG(PoweredParaGlider)の自動飛行に関する研究, 日本航空宇宙学会西部支部講演会講演集, 2008年11月, 福岡市

Funaki, M., Sakai, H., Hoffmann, V. and Yonehara, S., Preliminary study of natural remanent magnetization of suevite collected from Ries crater, Paneth-Kolloquim, 2008年10月, ドイツ, ネルドリンゲン

船木 實, 小型無人ヘリコプターによるたたら遺跡の磁場探査, 2008年岩石磁気・古地磁気夏の学校, 2008年9月, 宮城県奥松島コースホテル

Funaki, M., Convenient aeromagnetic survey by a model helicopter SF40 at the ruin of ironwork refinement, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月, 千葉市幕張メッセ

平沢尚彦, ANTSYO II group, ANTSYO IIの観測結果の概要, 極域気水圏シンポジウム, 2007年11月, 極地研

平沢尚彦, 原圭一郎, 和田誠, 尾塚馨一, ANTSYO II group Number concentration of aerosol particles in the S17/Syowa Station area, 極域気水圏シンポジウム, 2007年11月, 極地研

船木 實, 西オーストラリア・カルグリー地域における小型無人航空機Ant-Plane4-1と磁気抵抗型磁力計による空中磁場探査. 地球電磁気・地球惑星権学会, 122回講演会, 2007, 10, 名古屋大学

平沢尚彦, S17における大気境界層観測 - 凧と模型飛行機 -, 南極エアロゾル研究会, 2007年9月, 極地研

平沢尚彦, 昭和基地近傍大陸氷床上滑走路からの日独共同エアロゾル航空機観測, 第47次南極観測隊定常気象部門越冬報告会, 2007年5月, 気象庁

Funaki, M. and Ant-Plane group. Unmanned aerial vehicle, Ant-Plane, for aeromagnetic survey in Antarctica. The 14th KOPRI international symposium on polar sciences. 2007, May. Incheon, Korea.

Funaki, M., Tanabe, S. and Ant-Plane group. A small autonomous unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 4, for aeromagnetic survey, 2007 AGU Joint Assembly, 2007, May. Acapulco, Mexico

Higashino, S., Funaki, M., and Hirasawa, N., Development of ant-Plane UAVs for

observation and scientific missions in Antarctica, 米国航空協会 (AIAA) 2007 年講演会, 2007 年 5 月, Rohnert Park, CA, USA

Funaki, M. and Nishioka, I.:

Aeromagnetic survey by small autonomous UAV. AGU Meeting, San Francisco (2006, Dec)

Funaki, M. and Ant-Plane group: Small unmanned aerial vehicles and an onboard magnetometer for aeromagnetic surveys. contribution to the efficient paleomagnetic sampling in Antarctica. The 10th New Trend in Geomagnetism, Paleo, Rock and Environmental magnetism..Valtice, Czech republic. (2006, Sep)

船木 實: 小型無人機 "Ant-Plane" を南極観測で使用する意義. 第三回南極設営シンポジウム, 極地研究所. (2006, June)

船木 實: 小型無人航空機と磁気抵抗型磁力計による空中磁場探査, 日本地球惑星連合 2006 年大会、幕張メッセ. (2006, May)

船木 實, Ant-Plane グループ: 南極における無人小型飛行機による磁場探査計画、両極からみた地球内部の不均質構造とダイナミクスに関する研究集会。極地研究所, (2006, Feb)

Funaki, M. and Ant-Plane group: Development of small unmanned aerial vehicles (UAV) and onboard magnetometer for the aeromagnetic survey.

International Symposium on Airborne Geophysics 2006. AIST Tsukuba Center, Japan. (2006, Jan)

20 船木 實, Ant - Plane グループ: 小型無人航空機 Ant-Plane による磁場探査計画. Conductivity Anomaly 研究会, 2005 年 12 月, 地震研究所

21 平沢尚彦、尾塚馨一(福岡大)、林政彦(福岡大)、田辺誠治(フジ・インバック(株))、船木實:(極地研): 梅雨期の北海道オホーツク海岸域における無人航空機による大気観測。日本気象学会 秋季大会、神戸、(2005 年 11 月)。

22 台木敏晴、磯部せつ子、伊藤嘉基、鈴木康啓、丸山陽平、東野伸一郎, UAV の最適経路生成と実証飛行実験の計画について, 日本航空宇宙学会西部支部講演会. 2005 年 10 月, pp61-64 .

23 東野 伸一郎: 南極 UAV 用フライトコントロールモジュールの開発. 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

24 平沢 尚彦、尾塚 馨一、林 政彦、田辺 誠治、船木 實: 北海道紋別市で行なった高高度飛行・観測の試み. 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

25 平沢 尚彦、尾塚 馨一、林 政彦: 2007 年 2 月の南極域での試験観測と科学的興味. 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

26 伊村 智: 無人航空機を用いた航空写真撮影システムの開発: 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

27 坂中 伸也、船木 實: 南極昭和基地での小型無人航空機実験. 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

28 船木 實, Ant-Plane グループ, P. Milligan: 南極観測用小型無人飛行機 Ant-Plane4 号機による 500km の空中磁場探査. 第三回小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会, 2005 年 9 月, 日本大学.

29 Funaki, M: A trial of aeromagnetic survey by a small unmanned aerial vehicle at Mt. Chokai Volcano, Japan. 10th Scientific Assembly of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy. Toulouse, 2005 July, France.

30 Hirasawa, N., Recent activity in test flights of NIPR's UAV. Seminar on airborne operations in polar regions status and future prospects, Bremerhaven, Germany, 9 11 (2005 May).

【その他】

新聞発表: 北海道新聞 (2005 年 6 月 30 日)、オホーツク新聞 (2005 年 7 月 1 日)、朝日新聞 (2006 年 10 月 23 日夕刊、2007 年 3 月 22 日朝刊、2007 年 6 月 14 日夕刊、2008 年 12 月 25 日夕刊)、東京新聞 (2006 年 4 月 6 日夕刊)、河北新報 (2008 年 1 月 28 日)、2007 年 3 月の五島列島での 1008km の飛行と、2008 年 12 月の昭和基地での飛行については、多くの新聞報道あり。

テレビ放映: NHK 長崎 (2007 年 4 月)

【ホームページ等】

<http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/uav/front.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船木 實 (MINORU FUNAKI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号: 10132713

(2) 研究分担者

平沢 尚彦 (HIRASAWA NAHIKO)

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号: 10270422

東野 伸一郎 (HIGASHINO SHIN-ICHIRO)

九州大学・大学院工学研究院・講師

研究者番号：40243901

伊村 智 (IMURA SATOSHI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：90221788

坂中 伸也 (SAKANAKA SHINYA)

秋田大学・工学資源学部・助教

研究者番号：20323131

(3) 連携研究者

野木 義史 (NOGI YOSHIFUMI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：90280536

酒井 英男 (SAKAI HIDEO)

富山大学・理学部・教授

研究者番号：30134993

(4) 研究協力者

村瀬 弘人・社団法人日本鯨類

田辺 誠一郎・フジインバック kk

小原 徳昭・ロボティスタ

大西 信人・テラテクニカ kk

結城 正・結城工房