

Airship Experiment for Microwave Power Transmission

Hiroshi Yamakawa, Kozo Hashimoto, Shigeo Kawasaki, Naoki Shinohara, Tomohiko Mitani
(Kyoto University, Research Institute for Sustainable Humanosphere),
Fumito Takahashi, Hideaki Yonekura, Takahiro Hirano
(Kyoto University, Graduate School of Engineering),
Teruo Fujiwara (Sho Engineering), and Kenji Nagano (Space Technology)

Abstract

This paper describes the current status of a flight experiment aiming at exploring the applications of microwave transmission of power and information (Fig. 1). The experiment configuration is composed of a flight system onboard an airship and ground system. Power on the order of several hundreds Watt is transmitted from the flight system, using a flat dish type antenna (radial slot array antenna), onboard an airship at the altitude of approximately 25 m, to the ground system, downward and vertically.

The receiving antenna on the ground collects the transmitted power, which is used for charging cell phones, lighting small bulbs, etc. At the same time, the telemetry data of the flight system is transmitted to the ground via wireless system, and the flight system is remotely controlled through the commands sent from the ground system to the onboard computer.

The total system intends to validate the power-information transmission system capability. The flight system is also assumed to have a beam forming and a retro-directive capability. The flight system is equipped with two phase-controlled magnetrons (500-600 W class) at 2.46 GHz frequency, slot array antenna for wireless power transmission, Lithium-ion battery, data storage for onboard data, PC with wireless LAN capability for controlling the flight system and receiving commands from the ground.

The total mass of the flight system other than the airship system is estimated as 45 kg, which makes possible a flight time of around 20 minutes for a midsize, commercial airship with 17 meter length. The peak power density on the ground is as low as 10 W/m^2 at the center point beneath the airship, which yields 2-3 W power generation with a light, inflatable rectenna (receiving antenna) of 1 m^2 area.

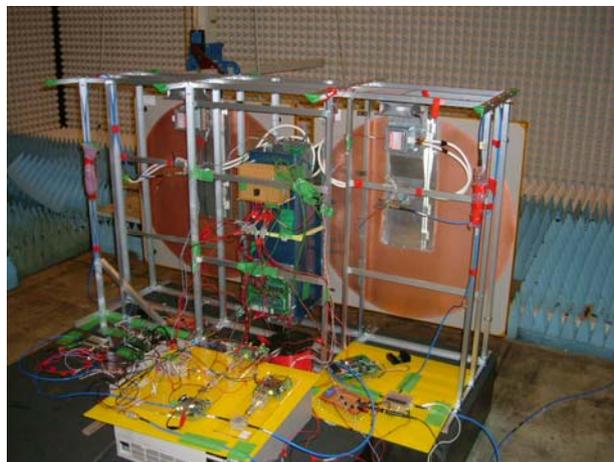


Fig. 1 Test configuration of the airship onboard system

飛行船を用いたマイクロ波無線電力伝送実験：実験概要

○ 山川宏、橋本弘藏、川崎繁男、篠原真毅、三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）
高橋 文人、米倉秀明、平野敬寛（京都大学大学院 工学研究科）、
藤原暉雄（翔エンジニアリング）、長野賢司（スペーステクノロジー）

611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
yamakawa@rish.kyoto-u.ac.jp

飛行船から地上に向けて、電力および情報の同時マイクロ波無線伝送実験を行ない、電力・情報同時伝送技術、および飛行船搭載の機器小型化技術に関する技術検証を行なう予定である。将来は、災害時を想定した飛行船等の移動体に無線送電機能を付加したアドホックな携帯電話基地局システムを想定しており、また、宇宙太陽発電衛星の実現に向けた一歩としても位置づけている。本発表では、試験の概要、準備状況、可能ならば試験結果について述べる予定である。

1. 目的および背景

本研究が対象とするのは、マイクロ波による電力と情報の同時無線送受信技術である。無線 LAN 等、マイクロ波による情報送受信技術の研究が進められているが、これに電力送信という観点を付加することにより、多様なアプリケーションを開拓していくことを意図する。

送電という観点から見ると、京都大学生存圏研究所では、地上応用例としてはユビキタス電源システムの研究、自動車への無線充電に関する研究等を進めてきた。また、近い将来の宇宙応用例としては、地球周回軌道にある宇宙太陽発電所 (SPS) から太陽電池で発生した電力をマイクロ波に変換して地上へ無線送電するシステムに関する研究を精力的に行なっており、これらの研究成果を本提案研究に応用していく計画である。2008 年度、技術実証の観点から、飛行船にマイクロ波出力装置を搭載して、電力と情報を地表に向けて送信する実験を予定している [1-5]。

2. 飛行船による実証実験

技術実証の観点から、飛行船にマイクロ波出力装置を搭載して、電力と情報を地表に向けて送信する実験を提案する。図 1 に示すように、地上では、ふるしき状の軽量展開型アンテナを利用して、バッテリーレス携帯電話による通話、あるいは、携帯電話バッテリーの無線充電を行ない、同時に無線を介してテレメトリ・コマンド操作を行なうことで電力と情報の同時送受信システムを実証する。携帯電話基地局の機能に関する試験は次の段

階で想定する。地上では、面積 1m^2 程度のふるしき展開型アンテナを利用することで、2-3W の電力を受信することが可能である。このとき、電力密度としては、常時安全基準を満たす $10\text{W}/\text{m}^2$ (中心) を想定している。2008 年度のシステム機能確認実験では、高度 25m の位置で、飛行船をゴンドラの 4 点で係留させ、飛行船の姿勢が安定しているときのみ、電力を送信する。

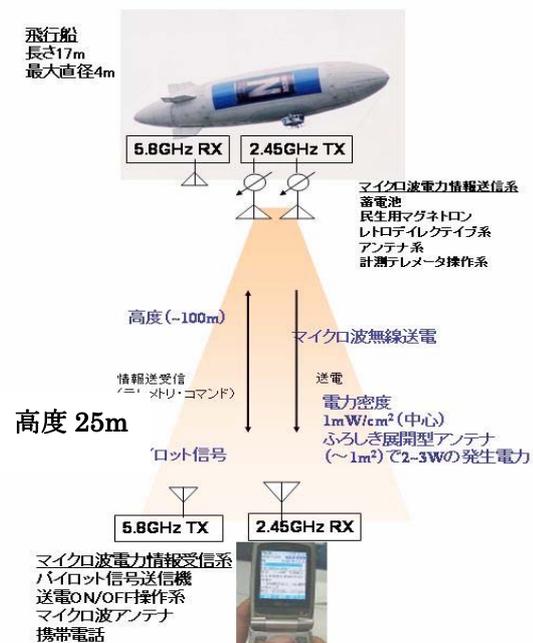


図 1 飛行船実験概要(周波数は要調整), 飛行船イメージは<http://www.airships.jp>より引用(飛行船会社メイクスホームページ)

図2に飛行船に搭載する送電系の機器構成図、図3に地上に展開する実験機器構成図を示す。なお、商業ベースでレンタル可能な飛行船では45kg程度の搭載重量で、20分間は飛行可能である。この飛行時間は消費ガソリン量に依存し、積載重量が10kgの場合は2時間程度の飛行時間が可能となる。

送電系（飛行船搭載）（図2）

蓄電池(2個)	9 kg(2個)
マイクロ波送電系	15 kg
レトロディレクティブ系	4 kg
アンテナ系	8 kg(2個)
計測テレメータ操作系	2 kg
電気系・機械系計装	7 kg

受電系（地上配置）（図3）

レクテナ（携帯電話・地上用）
パイロット信号送信機
計測テレメータ操作系

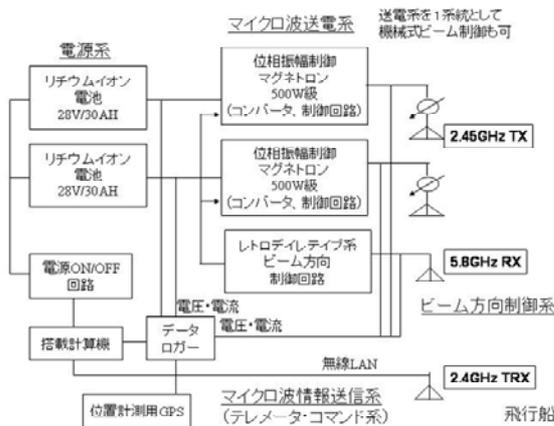


図2 飛行船に搭載する送電系の機器構成図

3. マイクロ波送電系

周波数としては、2.46GHz、<600W(送信機出力)を希望している。前提条件は、以下の通りである。

- ・ 2.46GHz（ISMバンドを用いたエネルギー伝送という条件による）。
- ・ 2素子フェーズドアレイによるビームフォーミング実験。
- ・ 送信距離 25m 上から直下（飛行船の能力による条件）。
- ・ 受電点での電力密度 10W/m² に極力近く（ユビキタス電源としての必要電力と人体への安全基準 10W/m²@2.46GHz、からの条件）。
- ・ 受電設備 「レクテナ」=電波を受信し直後に直流に変換するアンテナ・回路一体装置。完全パッシブ(ダイオードベース）。
- ・ 上記条件から求められた送電電力とアンテナ径は、送電電力 100-200W x 2（飛行船の搭載重量及びバッテリー重量、実験時間等の制約による条件）、送電アンテナ 60cm 径、ラジアルスロットアレイアンテナである（図4）。



図4 ラジアルスロットアレイアンテナ

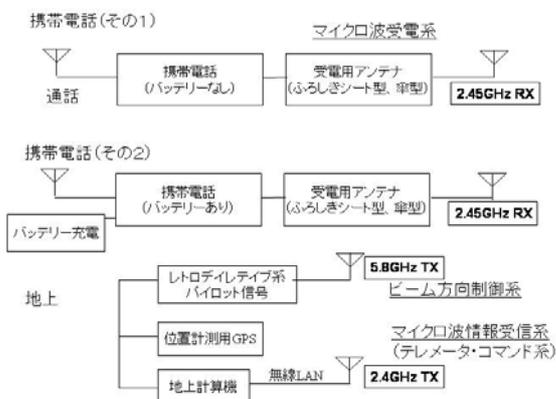


図3 飛行船実験・地上機器構成図

4. レトロディレクティブ目標追尾系

本来送電すべき上部システムを「送電側」、受ける方を「受電側」と呼ぶ。受電側から送られる5.8GHzパイロット信号の送受信系を「パイロット系」、送電側からの2.46GHz応答ビーム送受信系を「ビーム系」と呼ぶこととする。

受電側よりパイロット信号を送信し、送電側で2素子以上のアンテナで受信し、その位相差から到来方向を測定する。3素子以上による高精度測定も行なう。パイロット信号を送受するビーム系では、スペクトル拡散を掛けた実験も行なう。

送電側からは、測定された到来方向にアレイアンテナの指向性を向けて送り返す。本来はビー

ム系で別途大電力送電をするが、本実験ではそれほど大きな電力ではなく、フェーズドアレイでビームを作り、受電側では受信電力分布を測定することにより、性能を評価する。また一部の受信強度などの結果を送電側に送り返し、精度の向上を図る。

5. レクテナ系

レクテナは受電用アンテナおよびマイクロ波電力を直流電力に変換する整流回路から成る。飛行船による実証実験を行うにあたり、アンテナおよび整流回路それぞれの試作評価を行った。アンテナは方形マイクロストリップアンテナを採用した。試作アンテナの寸法は7cm角であり、アンテナ利得は実測結果より3~4dBi程度であった。これは、10W/m²のマイクロ波電力密度下においてアンテナ1素子あたり25~30mW程度のマイクロ波電力を受電できる計算となる。また、試作整流回路の実測結果より、25mWのマイクロ波入力時において直流変換効率45~50%が得られた。これらの実測結果を組み合わせると、10W/m²のマイクロ波電力密度下においてレクテナ1素子あたり10~15mW程度の直流電力が得られる計算となる。

飛行船による実証実験においては、縦に4素子、横に3素子に配置した12素子レクテナによる携帯電話充電実験を行う予定である。12素子レクテナ1枚あたりの寸法は縦28cm×横21cmであり、10W/m²のマイクロ波電力密度下において120~180mW程度の直流電力が得られる想定である。これを1m²に換算すると当初計画通りの2~3Wの直流電力が得られる。

また飛行船による実証実験においては、電子ブザーあるいはLEDを搭載した4素子レクテナを用意し、災害発生時における被災者等の所在確認手法としての無線電力伝送の有効性を検討する(図5)。



図5 レクテナ

6. アプリケーション

本研究における技術は、災害発生時における移動体搭載型の携帯電話基地局設置への展開が可能である。つまり、図6に示すように、災害復旧までのad hocな携帯電話基地局という概念を構築できる。大地震等の大災害が発生したときに、まずは、対外的な連絡および情報の収集を携帯電話により行うことになると予想される。しかし、停電、既存の電話回線の切断、携帯電話基地局の倒壊等により、復旧まで数日間は携帯電話の回線が成立せず、さらに、携帯電話の充電も行えない状況が考えられる。この状況を打開できるのが、災害発生直後から災害復旧までは数日間に使用可能な移動体搭載型で、かつ、電力送信機能を付加した携帯電話基地局システムである。移動体としては、移動能力、継続飛行時間、運航の安全性の観点から飛行船が挙げられる。地上で必要になるのは、数10g程度で1m²程度のひろしき展開型を受電アンテナだけであり、これを災害グッズとして携帯し、災害時には、携帯電話と接続することにより、充電および通話が、飛行船基地局を介して可能となる。



図6 将来の災害時のad hocな携帯電話基地局・兼・無線送電通話システム

以下にそれ以外の関連技術のアプリケーションの可能性を列挙する。

災害グッズ

- 折り畳み式軽量シート型・傘型アンテナ
(マイクロ波を受信、救助信号の送出、発光)
- 被災者位置推定システム
(遠距離型RF-ID、分散携帯電話への無線送電、携帯電話からアンサ)
- 災害時の携帯電話への電力・災害情報の同時送信

非常時ライフライン

(発電機・電池との相互補完)

- 警察・消防・自衛隊・山岳救助隊の携帯端末の長時間駆動化
(セル・バッテリー重量の軽減)
- 悪天候中に長時間災害監視を行なう無人飛行機への空中給電
- 山間の被災地ロボットへの充電

7. 開発経緯

2006-2007 年度中に、蓄電池、位相制御マグネトロン(PCM)、アンテナ系、計測テレメータ操作系、GPS 装置、受電用展開型アンテナの開発の準備を行った。2008 年度は、レトロディレクティブ系、パイロット信号送信機、システム全体を開発し、同時に、2008 年度中に実験を実施することを目標に、総務省無線免許の申請を行っている。場所としては、京都(70mx70m で周囲に建物がないこと)を想定している。2007 年 12 月までの試験においては、電波を放射せず大電力用ダミーロードでマイクロ波電力を吸収させて実験を行い、低電力型マグネトロン 5 台の基礎特性(陽極電流、電圧、電力、周波数特性)を取得し、マイクロ波送電器(位相制御マグネトロン)に適用する 2 台を選定した。

2008 年 1 月には、マイクロ波送電器基礎試験を行い、マグネトロン発振直後から 20 分以上、発振周波数を安定して制御(規定の周波数にロック)できることを確認すると共に、2 台のマイクロ波送電器の同時起動も問題なく制御できるという結果を得た。

また、2008 年 3 月の試験では電波放射実験を、電波暗室を利用して行い、送電周波数、送電電力、スペクトルデータを取得した。さらに、電力送電と同時にデータ通信が行えることを確認した。同 3 月に「けいはんなプラザ」において飛行船との機械的インターフェースチェックを行った(図 7)。

さらに、2008 年 6-8 月には無線送電系の放射電力の測定、マグネトロンの位相制御特性の測定、無線送電系とアンテナの位相を制御するレトロディレクティブ系の干渉計測、搭載電池での搭載機器の動作確認を行った(図 8-11)。

2008 年 12 月以降に京都において飛行船を用いた飛行実験を予定しているが、その実施のためには、飛行船搭載機器システムの軽量化、地上試験系の準備、飛行船インターフェースチェックを行っている。



図 7a 飛行船インターフェースチェック試験



図 7b 飛行船インターフェースチェック試験



図 8 位相制御マグネトロンの 2 系による位相制御動作の確認

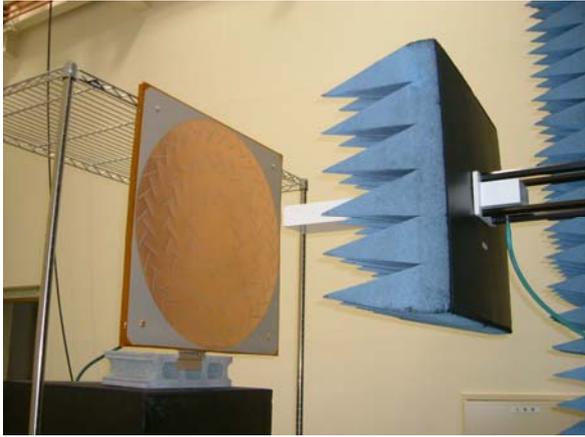


図9 近傍界測定装置によるアンテナ放射パターン測定



図10 放射電力特性確認

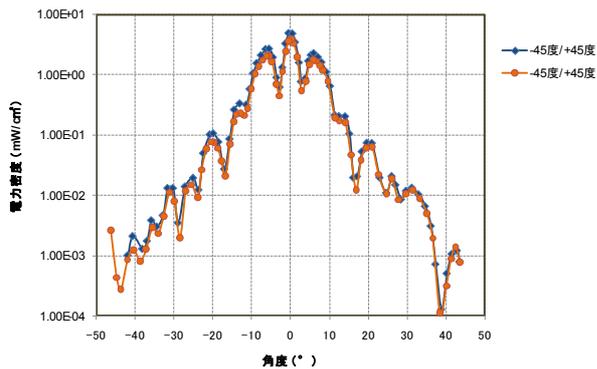


図11 放射電力特性試験(送電距離7.9m位置)

謝辞

本研究は以下の多くの御支援のもとで行っております。

東京工業大学 上田英樹氏、安藤真有先生、有限会社メイクス 池山武氏、科学研究費基盤研究B(研究代表者：橋本)、財団法人国際コミュニケーション基金(以下、研究代表者：山川)、科学技術振興機構(JST) 地域イノベーション創出総合支援事業 重点地域研究開発推進プログラム 平成19年度シーズ発掘試験、財団法人大川情報通信基金、京都大学 生存圏研究所 マイクロ波エネルギー伝送実験装置共同利用研究、京都大学総長裁量経費、京都大学生存圏研究所ミッションプロジェクト経費。

参考文献

- 1) 山川宏, 橋本弘藏, 川崎繁男, 篠原真毅, 三谷友彦, 平野敬寛, 米倉秀明, 藤原暉雄, 長野賢司, “マイクロ波無線伝送技術の飛行実証実験の試み”, 第10回SPSシンポジウム, 東京大学, 2007年8月1-2日.
- 2) 山川宏, 橋本弘藏, 川崎繁男, 篠原真毅, 三谷友彦, 平野敬寛, 米倉秀明, 藤原暉雄, 長野賢司, “マイクロ波無線電力伝送技術の飛行実証とアプリケーションの開拓”, 第51回宇宙科学技術連合講演会, 札幌, 2007年10月29-31日.
- 3) 米倉秀明, 藤原暉雄, 長野賢司, 三谷友彦, 上田英樹, 安藤真, 平野敬寛, 篠原真毅, 橋本弘藏, 山川宏, “飛行船実験用ラジアルラインスロットアンテナに関する無線LANとの干渉実験・高出力性能確認実験”, METLAB 報告会, 2008年3月17日, 京都大学.
- 4) 山川宏, 橋本弘藏, 川崎繁男, 篠原真毅, 三谷友彦, 平野敬寛, 米倉秀明, 藤原暉雄, 長野賢司, “マイクロ波無線電力伝送技術の飛行船による飛行実証構想”, 電子情報通信学会2008年総合大会, 2008年3月18日, 北九州学術研究都市三大学.
- 5) 上田英樹, 安藤真, 篠原真毅, 山川宏, 藤原暉雄, 長野賢司, “ユビキタス電源を目指した、飛行船によるマイクロ波送電実験用ハニカムラジアルラインスロットアンテナの設計試作”, SPS 時限研究専門委員会研究会, 2008.4.22, 機械振興会館, 東京, 信学技報, 電子情報通信学会.