

特集 成層圏プラットフォーム

成層圏プラットフォーム定点滞空飛行試験における通信放送ミッション試験

定点滞空飛行試験

高度 20km に飛行船などの飛行体を配置し、通信放送の基地局や地上の観測などに利用しようという成層圏プラットフォームの研究開発が進められている。日本では、1998 年から科学技術庁と郵政省(いずれも当時)が共同で研究開発プロジェクトを進めてきた。この計画には、成層圏での滞空が可能な飛行船の研究開発と利用ミッションの研究開発の双方が含まれる。

飛行船自体の研究開発としては、これまでに、動力なしで高度 16km まで到達する成層圏滞空飛行試験機が完成し、2003 年 8 月に飛行試験に成功している。もう一つの目標として、高度 4km で自律的な定点滞空を実現する定点滞空飛行試験機の開発が進められてきた。

この研究開発プロジェクトも 2004 年度にはいよいよ最終年度を迎え、定点滞空飛行試験が実施された。この試験は、試験機自体の飛行試験であることはもちろんのこと、成層圏プラットフォームを利用するミッションの試験も同時に実施するよう計画された。ミッションとしては、通信放送ミッションと、地球観測ミッション(JAXA 地球観測利用推進センター担当)の2種類が計画された。

このうち通信放送ミッションについては、NICT の横須賀成層圏プラットフォームリサーチセンター、無線通信部門光宇宙通信グループおよび無線イノベーションシステムグループが、共同してミッション機器の開発および試験の実施にあたった。以下、試験機の簡単な紹介の後、通信放送ミッション試験について解説する。

飛行船(定点滞空飛行試験機)について

飛行船の船体は JAXA 航空利用技術開発センター(JAXA 発足前は航空宇宙技術研究所)により開発された。機体を制御するための追跡管制システムは NICT 三鷹成層圏プラットフォームリサーチセンター(NICT 発足前は通信・放送機構)により開発された。

飛行船は、全長 68m、全高 21m、重量 6t の軟式飛行船で、ヘリウムガスの浮力により上昇する。航空燃料を積載しており、ターボシャフトエンジンにより発電した電力により推進器を動作させる。空気とヘリウムガスが入ったエンベロープに、外部コンパ

ートメントが吊り下げられており、ここにエンジンや推進器(モーター)が搭載されている。最大高度 4km での耐風性能は、およそ 15m/s である。



2004年9月24日5:30、朝日を浴びて離陸する定点滞空飛行試験機の様子。この試験では朝風の無風状態を利用するため、日出直後に離陸した。

ミッション機器は、外部コンパートメント前方の部分に搭載する。外部コンパートメント底面の 160cm 四方のパネル2枚が「ミッションパネル」であり、このパネルの上に機器を組み付ける。飛行時には機器が外部コンパートメント内部に収まることになる。ミッションペイロードは最大 400kg が許されている。

定点滞空飛行試験は北海道大樹町の多目的航空公園内に設置された実験場において実施された。同公園は長さ 1km の滑走路を備えているが、今回の試験のため、JAXA により格納庫およびハンドリングエリア、NICT により飛行管制棟が新たに設置された。



通信放送ミッションの概要

通信放送ミッションには、3種類のサブミッションを搭載することを計画した。デジタル放送サブミッション、無線局位置推定サブミッション、光通信サブミッションである。

デジタル放送サブミッションは、飛行船から UHF (479.142857MHz) のデジタル放送信号を送信し、デジタル放送システムの実証を行うことを目的とした実験である。信号の周波数や形式を、既にサービスが開始された地上デジタル放送の規格に準拠したものとし、市販の受信機で受信できるようにシステム設計を行った。また、飛行船への仰角が 10 度以上となる範囲をサービスエリアとする回線設計を行った。ここで、飛行船直下で受信する場合と、サービスエリア外周部で受信する場合は、伝搬距離に 5.8 倍の差が生じ、自由空間伝搬損として 15dB の差が生じることになる。この差を、アンテナの指向性で補償することを目指し、送信アンテナとして新しいヘリカルアンテナを開発した。



飛行船のコンパートメント底部。黄色矢印が UHF ヘリカルアンテナで、直径 12.5cm、長さ 59cm の円筒形である。なお、その左上方にある丸い窓は、光通信サブミッションの光アンテナ用の窓である。

無線局位置推定サブミッションは、アレーセンサーを使用して電波の到来方向を推定することにより、無線局位置を推定する技術を実証するための実験である。想定される実用イメージとしては、地上で特定周波数の任意の信号を送信する無線局の位置を、成層圏プラットフォームなどの飛行体から推定し、例えば、山岳地の遭難者の捜索に役立つような利用方法が考えられる。今回の定点滞空飛行試験では、大きさや重量の制約から、アレーセンサーを飛行船に搭載することが困難であった。そのため、飛行船から送信する電波 (1740MHz) の到来方向を地上に設置したアレーセンサー (2次元 / 各 10 素子) で推定する実験を行った。ここで得られる到来方向と飛行船の追跡管制システムが発生する高度情報とを組み合わせることで、3次元の位置が推定できる。



管制棟屋上に設置されたアレーセンサー。1軸あたり、パッチアンテナ10素子で到来方向が推定される。

光通信サブミッションでは、地上と動揺する飛行船との間で光リンクを確立する技術の実証を行った。地上と飛行体の間での光通信は、大気のゆらぎや雲による遮へいがあり実用的とは考えられないものの、成層圏プラットフォームが実現した場合のプラットフォーム間の通信方法としては、有力な候補となる。今回のミッション試験は、飛行体間での光通信技術を確立するための1ステップとして位置づけられる。今回の試験では、地上の光アンテナは飛行船から発射されるビーコン光(0.97 μ m)を、飛行船搭載の光アンテナは地上の光アンテナから発射されるビーコン光(0.98 μ m)を、地上からのコマンドによる粗調整後にそれぞれ自律的に捕捉追尾し、光リンクを確立する実験を行った。



地上に設置された光アンテナ。市販の2軸ジンバルを使用している。写真上方に飛行船が写っているが、この時点では搭載側光アンテナの指向可能範囲(鉛直方向から30度以内)に入っておらず、捕捉追尾は行われていない。

ミッション機器の開発

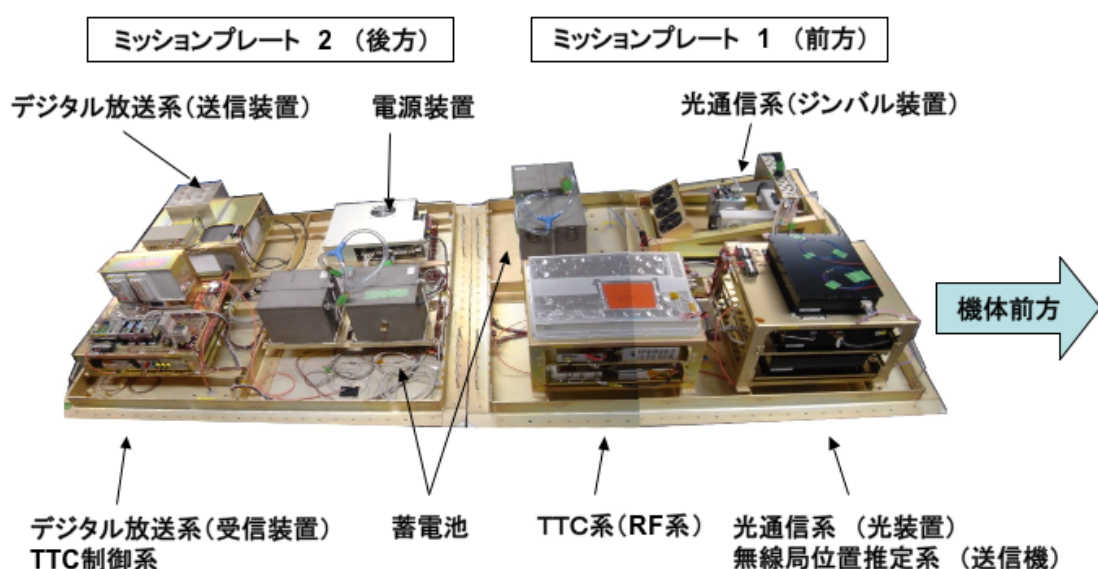
上に述べたような3種類のサブミッションを飛行船に搭載するが、飛行船システム開発側との調整の結果、ミッション搭載機器稼働に必要な電源システムと監視制御のためのTTCシステムはミッション機器独自で持つことになった。

電源は、飛行船の安全審査への影響もあるため、航空機用に市販されているニッ

ケルカドミウム蓄電池を使用した。24V40Ah の電池（1個あたり約 35kg）を4個搭載した。すべてのミッション機器を4時間稼働できる容量に相当する。蓄電池からの出力は、DC-DCコンバータにより電圧変換され、各機器に供給される。電源のON/OFFはTTCシステムにより制御されるが、非常時に飛行船の追跡管制システムから電源切断できるインターフェースを設けた。地上においてミッション機器が稼働中もフロー充電が可能な設計とした。

TTCシステムは、機体-地上間を2GHz帯の無線回線で結ぶものである。双方向とも64kbpsの回線であり、IPネットワーク構成である。電源制御、信号ルート切り替え制御、電源監視、温度監視、送信機出力電力監視の機能を準備した。

3サブミッションの機器も併せ、これらをミッションプレート上を実装した。最終的に、総重量は363kgとなった。このうち、電池を含めた電源系が153kg、プレート自体や機器固定用のラック等の重量が112kgとなっており、合わせて全重量の70%を占める。



ミッションプレートの様子。160cm 四方の2枚のプレートに組み付けられている。

ミッション機器は高度4,000mでの使用が前提であるため、地上機器とは異なった温度管理が必要になる。実験場での試験準備は6月から開始された。夏期の、地上や低高度での使用の場合は、コンパートメント外への排熱を主体に設計する必要があり、室内での熱環境試験によりあらかじめ検証を実施した。一方、晩秋期の高高度での使用の場合は保温対策を行う必要があった。夏期・低高度使用時に排熱していた分はミッション室内に取り入れるように変更した上、低温に弱い機器には断熱材を巻き付ける処置を行った。

試験の経過

飛行船の飛行試験は、8月から合計8回実施された。当初の数回は、ミッション機器は搭載せず、飛行船の取り扱い手順の確認や飛行特性の確認が中心となった。

通信放送ミッション機器を搭載しての初めての飛行は9月24日の基本特性試験であった。最大到達高度 560m、総飛行時間1時間 10 分で、定点滞空は行わず、実験場から見ると仰角が概ね 60 度以下となるようなコースを飛行した。この飛行におけるミッション側の目的は、電源システムや TTC システムが正常に動作することの確認と、デジタル放送サブミッションと無線局位置推定サブミッションのチェックを実施することにおいた。いずれの機能も正常に動作することが確認された。

この後2回の飛行試験の機会は地球観測ミッションに譲り、次に11月19日の高高度到達試験において、通信放送ミッションの試験を実施した。このフライトでは、まず高度 3,600m での定点滞空飛行を実施し、次に目標高度である 4,000m に到達した。総飛行時間は3時間 15 分であった。この試験では、ミッション試験としてデジタル放送サブミッションと無線局位置推定サブミッションの試験に成功した。



11月19日の飛行試験での管制棟屋上の様子。各種アンテナが設置されている。前方に見えるのは、着陸間近の飛行船。

次のフライトは11月22日に実施された。本来、飛行試験と飛行試験の間には10日程度の期間が必要であるが、降雪の季節が近づいたことと、この機会を逃せばしばらくフライトの機会が得られないという気象予報が得られたことにより、異例の短期間での準備となった。

この定点滞空試験では、総飛行時間3時間49分、到達高度は4,000mで、自律的な定点滞空飛行のほか、地上無線操縦者の操縦による精密定点滞空も実施された。この試験では、高高度到達試験でも成功したデジタル放送サブミッション、無線局位置推定サブミッションに加え、光通信サブミッションも成功した。

通信放送ミッション試験の成果

各サブミッションの試験の成果をまとめると次のようになる。

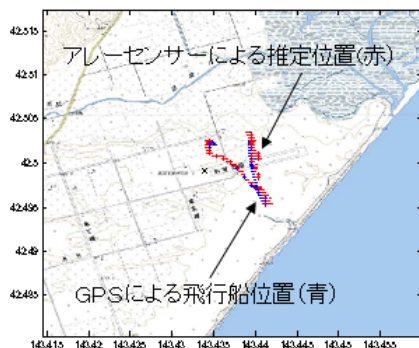
デジタル放送サブミッションでは、実験場から 20km 離れた地点をはじめとするいくつかの点で、市販受信機により予想どおりの受信が可能であることが確認された。

無線局位置推定サブミッションでは、リアルタイムのデータ解析を行い、飛行船の追跡管制システムから得られる位置情報と比較して、位置推定精度 10m 以内(高度 4,000m)で推定できることが確認された。

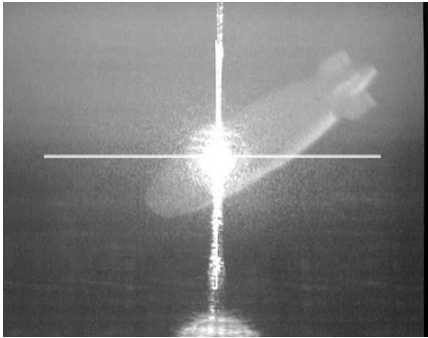
光通信サブミッションでは、飛行船-地上双方向のビーコン光の捕捉追尾に成功した。追尾誤差は 0.5 度以下であった。



デジタル放送の信号を旭浜港（実験場から 10km）で受信している様子。市販の受信機とスペクトラムアナライザ、アンテナのみで構成された実験セットであり、乗用車で持ち運びできる。



レーザセンサーによる推定位置と飛行船搭載の複合航法装置による表示位置の比較。



地上光アンテナ内の CCD カメラの映像。捕捉追尾が成功し、搭載側と地上の双方の光アンテナが対向しているため、ミッションプレートの光学窓が光って見える。

むすび

以上のように、定点滞空飛行試験機の飛行試験と併せ、通信放送ミッションの試験も順調に実施することができた。また、これとは別に、地球観測ミッションの試験も順調に成果が得られた。

試験日程は、種々のトラブルや天候の影響により遅れた。強力な台風が多い年でもあった。11 月に入ると早朝の冷え込みが厳しくなり、降雪の季節を控え、なかなか治まらない季節風の中で試験目標の達成を危ぶむことが何度もあった。実験場のある北海道の十勝地方では、11 月は季節風が強く、試験に適した気象条件が揃う日が年間で最も少ない月と言われている。統計的に見ると 11 月中で試験実施できる日数は 1 日程度と言われている中、その 11 月中に 3 回のフライトを実施できたことはまた幸運でもあった。

今回の通信放送ミッション試験で得られたデータは、今後の成層圏プラットフォームシステムの研究開発に資するものと思われる。

最後に、ご支援いただいた地元関係者の皆様、定点滞空飛行試験機の開発を担当された JAXA 各位、追跡管制システムの研究開発にあたられた NICT 三鷹成層圏プラットフォームリサーチセンター各位、その他実験隊メンバーをはじめとするご協力いただいた関係各位に感謝申し上げます。