

# 成層圏プラットフォーム 追跡管制システム

Integrated Tracking and Control System for Stratospheric Platform

勝山 靖博

■ KATSUYAMA Yasuhiro

大場 洋一

■ OHBA Yoichi

成層圏プラットフォーム構想と呼ばれる国家プロジェクトは、情報中継基地として飛行船を成層圏下層に滞空させるという壮大かつ独創的な社会インフラの構築構想であり、2004年度に実施した定点滞空飛行試験と呼ばれる開発の第一フェーズでは、高度4kmでの自律による定点滞空運用に無事成功した。

東芝は、この国家プロジェクトにおいて、これまで手がけてきた人工衛星や航空機用管制システムの構築ノウハウをもとに、大型無人飛行船を遠隔から運用するための追跡管制システムの開発を担当し、これまでに蓄積してきたシステム分析技術やシステム統合技術により、技術実証において中心的な役割を担うことができた。この成果をもとに、将来の新たな形態の社会インフラ構築に対しても有用なソリューションを提案していきたい。

The stratospheric platform (abbreviated SPF) is a Japanese national R&D project for the world's first stratospheric unmanned airship, envisioned as a unique network node for communications, broadcasting, and earth observation.

Since the inception of the project, Toshiba has been engaged in the design and integration of the integrated tracking and control system for the SPF. Our long experience in air traffic control systems as well as satellite tracking, telemetry, and command systems has assisted us in dealing with the unprecedented SPF realm.

This paper describes our approach to developing the integrated SPF tracking and control system, mainly from the standpoint of air safety precautions among many other technological and operational challenges.

## 1 まえがき

近年、ライフスタイルの変化と技術の発展に伴い、これまで比較的緩やかな変化を見せてきた社会インフラに対しても、次々と新たなニーズが生まれている。中でも高速で大容量なブロードバンド通信に対するニーズは高く、光ファイバーやDSL (Digital Subscriber Line) など有線の通信インフラは爆発的な勢いで整備されている。このようなブロードバンドの通信環境を無線で実現しようとするのが成層圏プラットフォーム (SPF: Stratospheric PlatForm) 構想である。

SPF構想は、1998年度から総務省と文部科学省共同の国家プロジェクトとして開始された。このプロジェクトでは、成層圏下層(地上約20km)に無人の飛行船を長期間にわたって滞空させ、通信や放送の中継局などとして活用することを目指している(図1)。2004年度には、定点滞空飛行試験と呼ばれる開発の第一フェーズを成功裏に終了しており、この中で東芝は、飛行船の運航を取り仕切る“追跡管制システム”の開発を独立行政法人 情報通信研究機構の指導の下に担当している。

ここでは、追跡管制システムの役割について説明するとともに、飛行船管制における重要課題である通信とヒューマンファクターに関する安全対策について導入した技術を述べ



図1. SPFを利用した通信・放送 — SPFを無線中継局とした通信・放送ミッションの概念を示す。

Mission concept of communications and broadcasting by SPF

る。なお飛行船管制において、気象の与える影響は極めて大きいため、追跡管制システムでは気象に関する安全対策のために専用のサブシステムを構築している。その詳細は、この特集の論文“成層圏プラットフォーム 風観測・予測システム”(p.12-16)で紹介する。

## 2 追跡管制システムの役割

SPF 構想において、飛行船の滞空高度は、雲がなく風も比較的穏やかで安定している成層圏下層を選択している。しかし、空気の薄い成層圏下層において飛行船が十分な浮力を得るためには、巨大な船体(全長約250 m)が必要とされる。その結果、飛行船は気象条件などの種々の環境条件の影響を受けやすいという課題を持つこととなる。追跡管制システムは、このようにデリケートな飛行船を安全に運航させなければならない。

SPF の運用では、定められた地点まで飛行船を誘導すること、定点に静止して中継局としてのミッションを果たすことの大きく二つの役割が必要とされる(図2)。前者においては、航空機の管制のように安全な飛行経路を設定し、遠隔から飛行船を誘導することが求められる。後者においては、静止衛星の管制のように飛行船を遠隔から監視制御することが求められる。

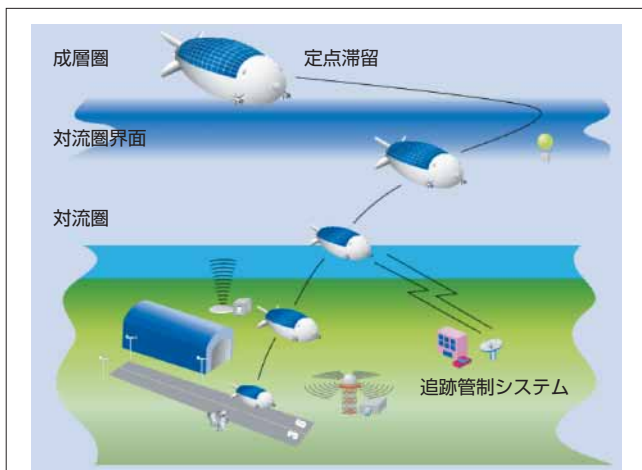


図2. 追跡管制システムの運用イメージー 地上の追跡管制システムから無人飛行船を遠隔運用する。

Image of integrated SPF tracking and control system operation

このような要求に対し、当社は航空管制や人工衛星の分野で培った技術やノウハウを結集し、構想段階からプロジェクトに主体的に参画することにより、SPFを安全に運用するための追跡管制システムを構築している。

## 3 通信に関する信頼性の向上

SPF 構想では、飛行船は長期間の運用を行うため無人であり、地上から遠隔運用される。これは、飛行船のコクピットが飛行船から離れた地上に置かれることを意味する。このため、コクピットと飛行船とを結ぶ通信リンクは、飛行船

の置かれている状況を地上に伝えるとともに、地上からの指令を飛行船へ伝える飛行船にとっての命綱である。

ここでは、命綱としての通信リンクを維持するための主な施策について述べる。

### 3.1 多様な操縦モードに対応したアップリンク方式

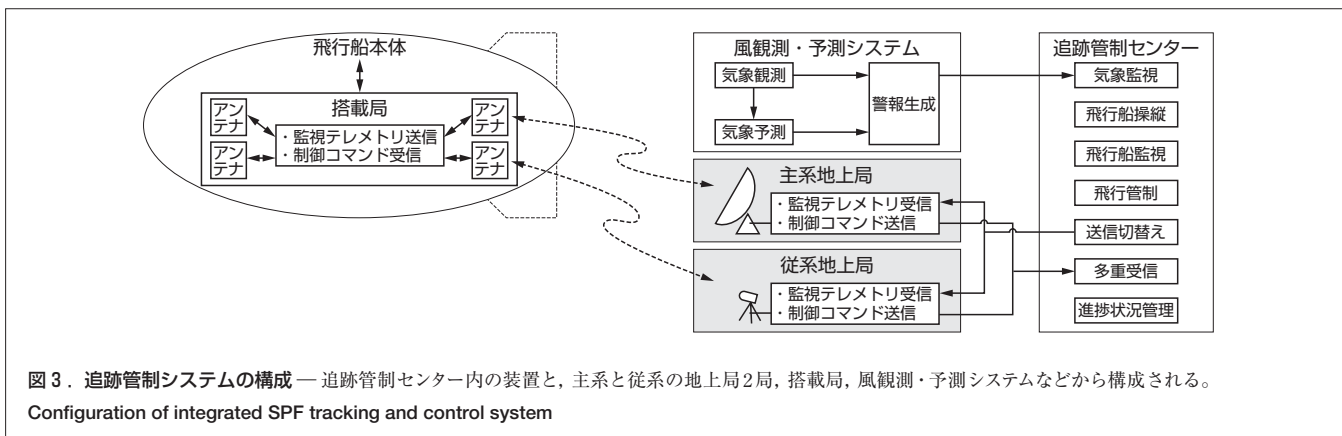
飛行船への指令には、連続的指令と散発的指令の2種類がある。前者は、操縦桿(かん)を用いた操縦指令などの連続的な指令、すなわち指令値を連続的に変化させる必要のある指令である。後者は、搭載機器の電源ON/OFF指令や主従系統切替え指令などの散発的指令、すなわち取りうる値が離散的で一度設定すればよい指令である。連続的指令の場合は指令を連続して送信する必要があるが、散発的指令の場合は必要に応じて一度送信するだけでよい。

SPFの通信リンクでは、これら2種類の指令を伝送できるよう、連続的に通信を行う方式を基本方式として採用している。この通信方式では、散発的指令も繰り返し送信する。これにより、散発的指令が到達する確率は累積的に高くなる。反面この方式では、例えばミッション機器の起動シーケンス指令などのように指令の実行順序が定められている場合、通信の失敗に伴う指令データの欠落により、指令の実行順序が入れ替わらないようにすることが必要となる。このため、追跡管制システムでは連続的通信方式を基本とし、上位層のプロトコルにより“個々の散発的指令の送達確認が可能な通信”も実現している。これにより、操縦指令や推進器出力指令などの連続的な指令を実行しながら、並行して、ミッション機器の起動シーケンス指令などを実行していくことが可能である。

なお、個々の散発的指令の送達確認については、地上から飛行船に指令が届いたことの確認である“センドベリファイ”と、地上からの指令が飛行船に届き、それが実際に実行されたことの確認である“サクセスベリファイ”の2種類を用意している。センドベリファイは搭載局にて折り返すため所要時間が短い、サクセスベリファイは実行結果を反映するため所要時間が長い。個々の指令の特徴に応じてセンドベリファイとサクセスベリファイを適宜使い分けることで、回線容量の点で効率的な指令運用を実現している。

### 3.2 不確実な通信環境に対応したダウンリンク方式

飛行船の低空飛行時には、近隣の林や飛行船格納庫などの建造物による電波の遮蔽(しゃへい)が問題となる。このときも飛行船の命綱である通信リンクをとだえさせることだけは避けなければならない。このため追跡管制システムでは、形態のまったく異なる2種類の地上局(主系地上局と従系地上局)を準備し、地理的にも互いに離れた地点に配置している(図3)。主系地上局は高利得のパラボラアンテナを持ち、遠距離でも通信可能である。従系地上局は広角指向のヘリカルアンテナを持ち、飛行船の離着陸時など低仰角でも通信可能である。



それぞれが飛行船からのダウンリンクを受信した後、追跡管制システムは2局のうち信頼度の高い方のデータを選択する。この選択基準は、通例のアンテナダイバーシチ方式で用いる受信電力ではなく、通信データの伝送誤りの有無を用いることで、より本質的な選択を実施している。ここで伝送誤りの有無は、通信データ上に付加したCRC (Cyclic Redundancy Check) と呼ばれる誤り検出符号にて判定する。

2系統でのダウンリンク受信は、主系地上局アンテナの追尾持続性を高めることにも寄与している。主系地上局は指向性の高いアンテナにより飛行船を自動追尾するが、電波伝搬環境の悪化により一時的に追尾できない状況に陥ることも想定される。また、飛行船が低空直上を通過する場合には、飛行船の位置する方向が短時間に大きく変化するため、同じく追尾できない状況になることも考えられる。こうした場合でも、従系地上局にて受信した飛行船の位置情報を、主系地上局のアンテナに常時伝送しておくことにより、主系地上局の再捕捉(さいほそく)の確率を大幅に向上させることができる。

このため、当社は共同研究開発プロジェクトチームや飛行船メーカーの協力の下に、オペレーションシーケンスを徹底的に分析し、必要な情報を役割ごとに絞り込むことで、各要員の個々の作業が全体行程の中でどのように位置づけられるかを明確にした。そのうえで、必要なすべての作業手順について端末上で表示や編集などを行えるようにし、リアルタイムの進捗(しんちょく)状況を要員全体が共有できるような“進捗管理メカニズム”を用意した。これにより、すべてのグループが全体行程と他のグループを含めた現時点の全作業を一目で認知できるようにしている。その進捗管理用の表示画面例を図4に示す。

ヒューマンインタフェースとして追跡管制用端末(図5)は、ミッショングループごとに2台の表示端末が配置され、一方の表示端末に常に進捗管理用画面を表示している。

このメカニズムの中で、管理は一方的に行われるのではない。リアルタイムで進捗する作業のいずれかに問題が発生したときにその担当要員は、自身の端末から容易にアラームを発することができる。そのアラームは瞬時に全端末に伝送

#### 4 ヒューマンファクターに関する安全性の向上

飛行船の運用には非常に多くの要員が関係している。そのため、追跡管制システムを構築するには、ヒューマンファクターに起因する安全性リスクを考慮する必要があった。以下に、安全性向上のために導入した対策の中からいくつかを述べる。

##### 4.1 散在した要員のネットワークング

飛行船を運航するには、地上からの飛行船の制御、飛行状態の監視のほか、周囲の安全の監視や気象の監視など様々な作業を並行して実施しなければならない。また、飛行船の離着陸時や格納庫間の移動時には、グラウンドクルーと呼ばれる要員の作業も必要となる。これらの作業はすべて相互のタイミングを合わせて行わなければならない。飛行船が運航できるのは限られた気象条件の間だけなので、時間的なロスや安全を脅かしかねないからである。





図5. 追跡管制用端末 — 手前から二列目が2画面構成の追跡管制用端末である。  
Terminals of integrated SPF tracking and control system



図6. 飛行操縦用画面 — 飛行操縦用情報の直感的な把握が可能である。  
GUI for flight control

され、運用チーム全員が問題発生を認知する。これにより各ミッショングループは、自分たちへの影響や全体行程への影響を直に見積り、管理行程を時々刻々最善なものにすることが可能になる。これは、一つの作業の問題が他の作業の進捗へ影響するリスクを蓄積しないことにも寄与している。

#### 4.2 無人機の危険察知と意思決定の支援

飛行船は、温度(内部と外部)、圧力(内部と外部)、及び重量(燃料、パラストなど)の管理を厳密に行う必要がある。このような管理項目は非常に多く、加えてすばやく確実に把握しなければならないものである。管理の遅れは、その後の対処の大きさを左右し、安全性に大きな影響を及ぼすからである。そこで、追跡管制システムでは監視や操作をミスなく効率的に行うために、飛行船の危険察知及びそれに伴う意思決定の支援を行っている。

監視すべき項目が膨大であると、地上の要員、特に飛行船の遠隔操縦者が必要な情報だけを瞬時に取り出し、かつそれに基づいて直ちに判断を下すことが困難になる。このような問題を避けるため、追跡管制システムではミッションごとに個別のヒューマンインタフェースを用意し、必要な情報の把握だけでなく、その情報に基づく操作を直感的に行えるようなデザインを採用している。このミッションごとに個別の画面は、追跡管制用端末の片方の表示端末に表示される(図6、図7)。

要員の監視すべき項目は全体としては膨大であり、時々刻々変わっていく運用状況に応じて変化していく。そこで、追跡管制システムでは、運用の各フェーズ、すなわち地上ハンドリング時や、離着陸時、上昇時、滞空時、下降時などに応じて監視項目の範囲をあらかじめ設定し、監視項目並びにそれらの表示方法をカスタマイズして“画面レイアウト”として登録できる仕組みを設けている。これにより、時々刻々の状況変化に応じて逐一監視項目を選択するというオーバー



図7. 飛行管制用画面 — 飛行管制用情報の直感的な把握が可能である。  
GUI for air traffic control

ヘッド作業を極力削減することができる。更に、飛行船の状態を表す監視項目すべてについて、通常取りえないような値、あるいは異常ステータスへの変化を警告音と表示色で知らせる仕組みを組み込んでいる(図8)。これにより要員の危機察知に関する見逃しリスクが低減できる。

飛行船は一定の高度に達した後、あらかじめ組み込まれた飛行制御パラメータで自律飛行を行う。自律飛行時に追跡管制システムは、主に通信・放送ミッション機器の運用や、飛行制御パラメータの変更などを指令する。これは従来の衛星の管制に類似した運用であり、多少の時間がかかっても一つ一つの指令が確実に飛行船に届いたことを確認しながら行うことができるものである。一方、気象の急変に伴う飛行経路変更などは、時間との勝負になる。飛行船は気象条件をもとに速度や高度を制御しながら航行するので、経路変更は非常に複雑な指令の集合になる。このため、時々刻々変化



図 8. 監視情報表示用画面 — 画面のカスタマイズや注意喚起表示が可能である。

GUI for airship condition monitoring



図 10. 定点滞空飛行試験 — 2004年6月～11月に北海道大樹町にて実施した“定点滞空飛行試験”の試験風景である。

Low-altitude stationary flight test

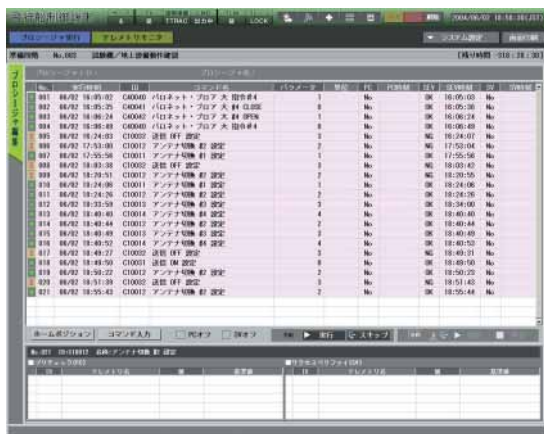


図 9. 制御指令実行用画面 — 制御指令の設定や実行の負荷低減が可能である。

GUI for setting parameters of independent flight

する周囲状況に応じて、これらの指令の一つ一つを抽出して束ねていたのでは、指令の準備に時間を費やしてしまう。このような課題に対して追跡管制システムでは、あらかじめ必要な指令をグループ化することで、指令の設定に要する要員の作業負荷を軽減している。また、センドベリファイ機能により、個々の指令が飛行船に届いたことをつど画面上で確認しながら次の指令を実行していくことで、グループ化された指令群を順序正しく実行するための作業負荷を軽減している(図9)。これにより、要員が意思決定に集中できる運用環境を提供している。

## 5 あとがき

当社は、SPFの構想段階から追跡管制システムの開発

担当として参画し、衛星の追跡管制システムや航空管制システムでの長年の経験をこのソリューションに生かすことができたことと自負している。その結果、2004年度、北海道大樹町にて実施された定点滞空飛行試験において、60 m級無人飛行船としては世界初となる高度4 kmでの自律による定点滞空運用の成功に貢献できたものとする(図10)。

この成果をもとに、将来の新たな形態の社会インフラ構築に対しても“社会インフラのソリューションプロバイダー”として、有用なソリューションを提案していきたい。

## 謝 辞

追跡管制システムの開発と運用にあたり、多大のご指導をいただいた独立行政法人 情報通信研究機構三鷹成層圏プラットフォームリサーチセンターの関係各位に深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 大橋一夫, “SPF 追跡管制システムの研究開発の成果”. 第5回成層圏プラットフォームワークショップ 講演前刷集. 東京, 2005-02, 成層圏プラットフォームワークショップ組織委員会. 2005, p.24 - 30.
- 2) 田保則夫, ほか, “無人飛行船の追跡管制技術の確立に向けて”. 第5回成層圏プラットフォームワークショップ 講演前刷集. 東京, 2005-02, 成層圏プラットフォームワークショップ組織委員会. 2005, p.152 - 158.



勝山 靖博 KATSUYAMA Yasuhiro

社会ネットワークインフラ社 小向工場 レーダ・センサ技術部 主務。航空管制システムの開発・設計に従事。  
Komukai Operations



大場 洋一 OHBA Yoichi

社会ネットワークインフラ社 小向工場 指揮・情報システム技術部。情報処理システムの開発・設計に従事。  
Komukai Operations