

準天頂衛星4機同時並行運用を実現した地上システム —24時間衛星測位サービス提供に向けて—

峰田信之* 梅壽政徳*
田中 剛* 木村剛久*
森田直樹*

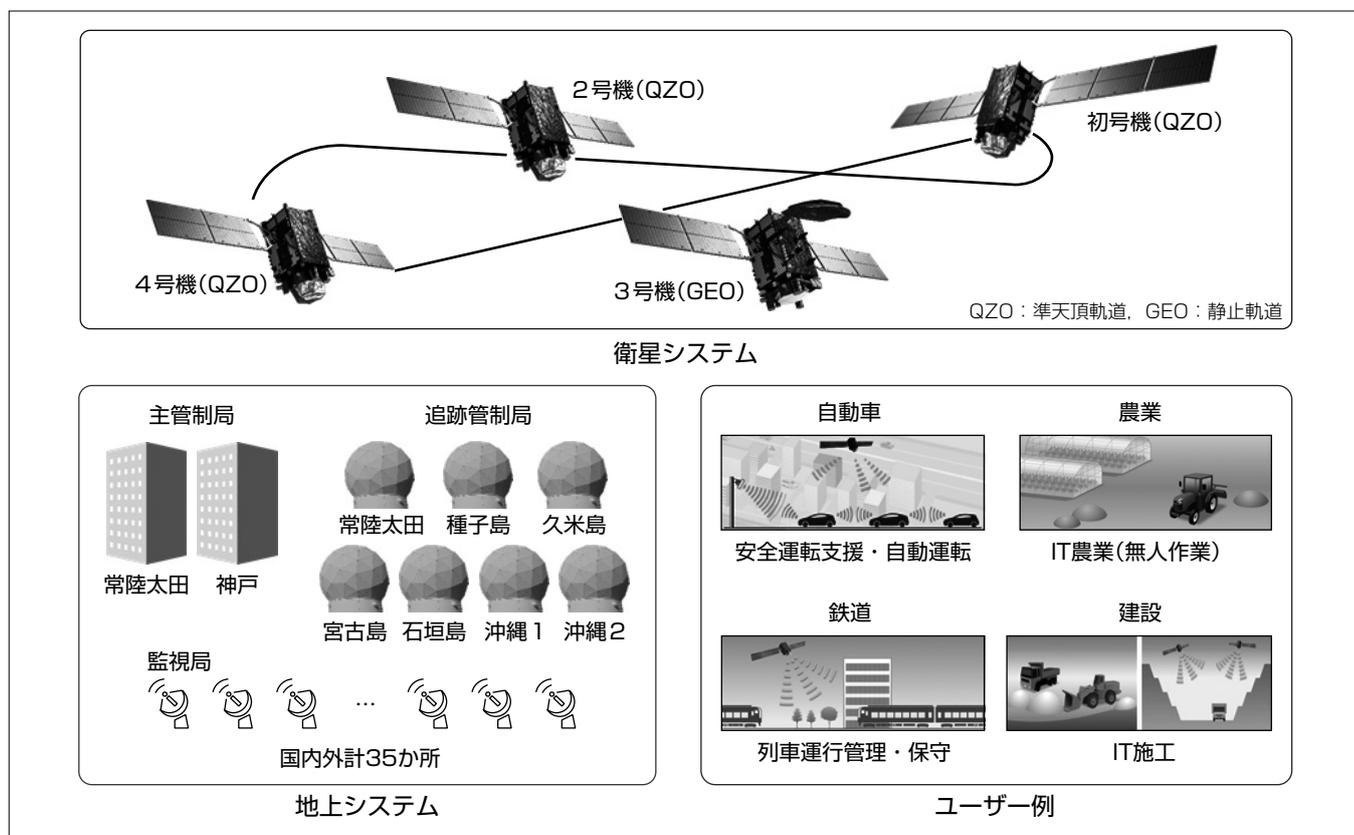
Ground System with Concurrent Operation of 4 Quasi-zenith Satellites—To Provide 24-hour Satellite Positioning Service—
Nobuyuki Mineta, Tsuyoshi Tanaka, Naoki Morita, Masanori Baiju, Takehisa Kimura

要 旨

準天頂衛星システムは、準天頂衛星(Quasi-Zenith Satellite: QZS) 4機(準天頂軌道衛星3機, 静止軌道衛星1機)を日本上空に配置することによって衛星測位サービス(日本版GPS(Global Positioning System)), サブメータ級測位補強サービス, センチメータ級測位補強サービス等の24時間衛星測位サービスを提供するシステムであり, 日本での測位精度向上に加えて, これらサービスを利用し

た様々な事業への展開も期待されている。また, 準天頂衛星システムは2023年度を目途に, 7機構成での運用を計画している。

三菱電機は, この準天頂衛星システムでの地上システムのうち, 全衛星の衛星管制システムや, 全サービスの状態監視システム, センチメータ級測位補強サービス等を行うためのシステム開発を担当した。



様々な分野への利用が期待される準天頂衛星システム

準天頂衛星システムは, 衛星4機からなる衛星システムと, 主管制局, 追跡制局, 監視局からなる地上システムで構成され, そのサービスは自動車分野, 農業分野, 鉄道分野, 建設分野など, 多様な分野での利用が期待される。

*通信機製作所

1. ま え が き

本稿では、準天頂衛星システムの地上システムのうち、当社が担当した、衛星管制の中核を担う衛星管制システム、サービス監視の中核を担うサービス監視システム、及び衛星を24時間追跡し続ける追跡管制局のアンテナシステムの技術的なポイントを述べた後、今回の大規模プロジェクトの推進に当たって重点的に取り組んだ事項について述べる。

2. 準天頂衛星システムの構成

準天頂衛星システム構成の概念図を図1に示す。

準天頂衛星システムは、準天頂軌道衛星3機と静止軌道衛星1機の計4衛星を同時に追跡管制して、次に示すサービスを提供するシステムである。

- (1) 衛星測位サービス
- (2) サブメータ級測位補強サービス
- (3) センチメータ級測位補強サービス
- (4) 測位技術実証サービス
- (5) 災害・危機管理通報サービス
- (6) 衛星安否確認サービス
- (7) 公共専用サービス
- (8) SBAS(Satellite-Based Augmentation System)配信サービス
- (9) データ提供サービス

また、4機の衛星を同時並行で管制するために、衛星の追尾・通信を行うための追跡管制局は、日本南方を主体に、全7局の構成となっている。追跡管制局が南方を主体に配置されている理由は、準天頂軌道衛星が24時間常時可視となる位置的な利点があるためである。

3. 準天頂衛星システムの設計

3.1 衛星4機同時管制

準天頂衛星システムの特徴として、日本とその近傍に、測位系や災害対応系の24時間サービスを提供するために、準天頂軌道衛星3機のうち1機を常に高仰角に配置し、静止軌道衛星1機を組み合わせることで測位信号の常時放送サービスを実現している。図2に衛星配置・軌道の概念図を示す。

地上システムでは、この4機の衛星を常時かつ同時に運用していく必要がある。この“4機同時並行運用”を実現するシステムとして、当社は自社製の衛星管制システムと

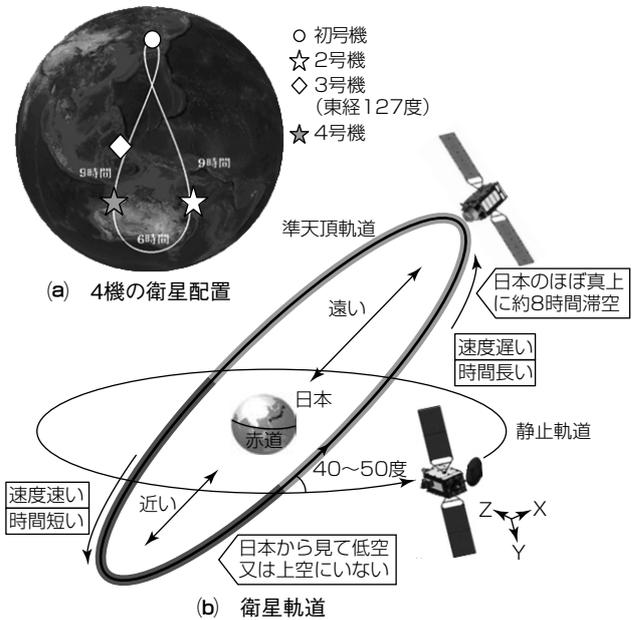


図2. 衛星配置・軌道の概念図

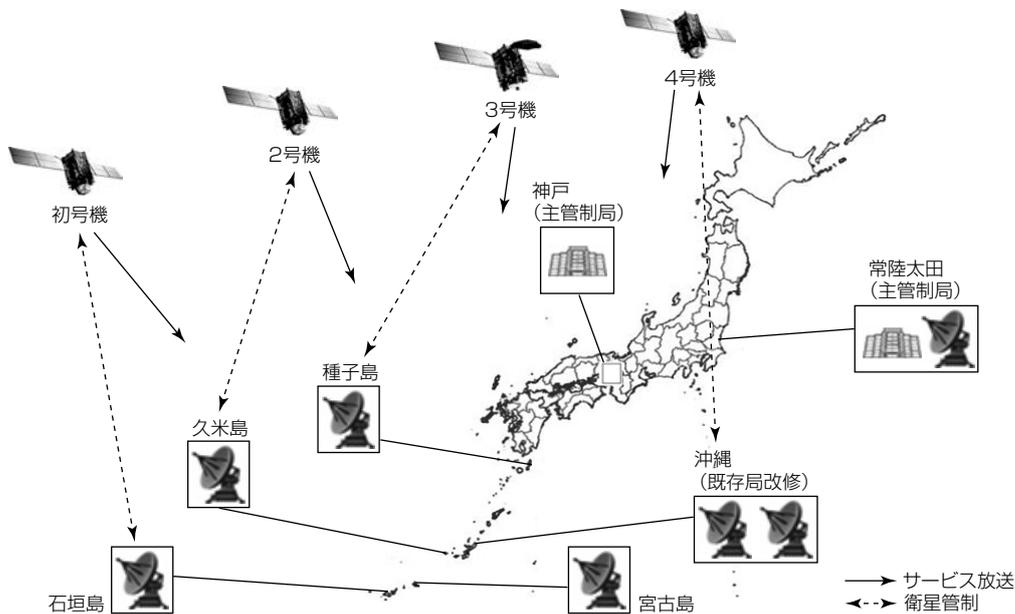


図1. 準天頂衛星システム構成の概念図

して、気象衛星ひまわりや商用衛星の管制で実績のあるBirdstar^(注1)を適用した。

Birdstarは、衛星管制用画面構築のフレキシブル性を持っており、運用者が日々の運用に最適な画面構成を実現できる。また、運用のための操作端末は、複数衛星の同時運用を前提としており、今回の準天頂衛星システムのような4機同時並行運用に適したシステムとなっている。図3にBirdstarによる衛星管制用の画面例を示す。

また、今回の準天頂衛星システムの特徴として、“24時間365日のサービス提供が必要”という命題があり、サービスを提供するためのシステム、衛星を管制するためのシステムを具備している“主管制局”は、同時被災を避けるため、東日本(常陸太田)と、西日本(神戸)に分散配置されたサイトダイバーシティ構成になっており、かつそれぞれの主管制局の中でも系を冗長構成としている(合計4系の4重冗長構成)。

しかし、衛星を制御するための制御コマンドは、各々の系がそれぞれ送信してしまうと、コマンドの制御順が崩れてしまい、衛星運用事故の原因となるため、衛星に対する制御コマンドは常にただ1つの系でだけ送信可能とする必要がある。この点について、Birdstarでは、“制御権”という概念を適用し、システム上も複数の系が同時にコマンド送信できないように排他制御し、その制御権を取得している系情報を運用者が一目で認識できる工夫を取り入れている(図4)。

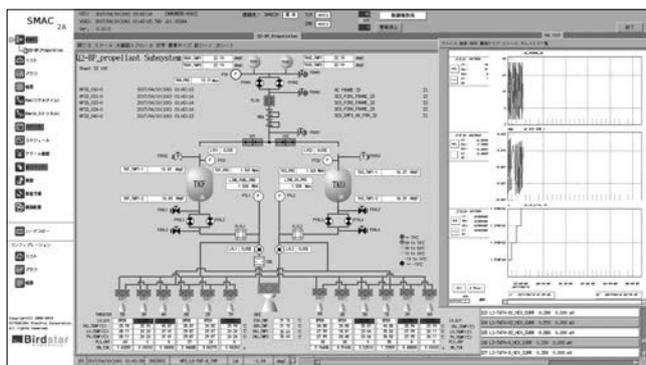


図3. Birdstarによる衛星管制用の画面例

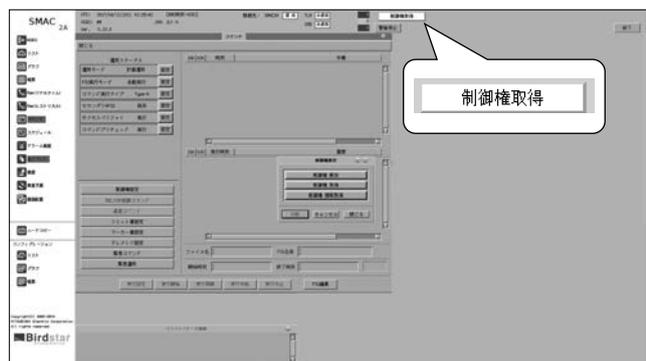


図4. 制御権を取得している系であることを明示

(注1) 当社で開発したソフトウェアパッケージであり、“衛星監視制御(SMAC)”“地上局監視制御(GMAC)”“運用計画(SOPS)”“軌道運用解析(ORAMS)”“衛星データ解析(SADA)”といったソフトウェアから構成される。ORAMSでの軌道運用計画を基にSOPSで計画立案を行い、SMAC、GMACが計画に従って制御コマンドを実行する。

3.2 サービス運用常時監視

準天頂衛星システムは、測位系サービス、災害対応系サービスを含め合計9つのサービスを同時並行で常時提供し続けるシステムである。どのサービスも常時提供が命題であり、よって運用者は全サービスを常時並行監視し、万一の障害発生時にはサービス中断時間を最少にするように努めなくてはならない。この要求を実現するシステムとして、当社は、“サービスの提供状態”とそれを実現している“各システムの動作状態”“4機の衛星の状態”等を統括的に一元監視するシステムを開発し、“総合システム監視”として適用した。図5は総合システム監視のサマリー画面例である。

運用者は、総合システム監視画面と音の鳴動でサービスや衛星の異常を即時に認識し、画面に示された障害情報から、該当障害発生時取るべき処置をすみやかに行う仕組みが構築されており、総合システム監視システムは、障害発生時のサービス中断を最小限にするための運用者への橋渡しを行う重要なシステムとなっている。

3.3 準天頂軌道衛星の軌道決定

準天頂衛星システムでは、4衛星同時並行運用が前提であり、常に4機の衛星の追尾を継続する必要がある。衛星追尾のためには、それぞれの衛星軌道状態を特定(軌道決定)し、全ての追跡管制局に対して、アンテナを常時衛星指向させるためのアンテナ予報値を生成しなくてはならない。

当社は、システムの中核となるこの要求を、いずれもBirdstarで実現している。衛星の軌道決定には、衛星と追跡管制局間の距離計測(レンジング)や距離変化率(レンジレート)の計測結果を用いることで1局だけの計測結果でアンテナ予報値に必要な精度を得ている。また、準天頂衛星システムの特徴として、測位サービスを提供しているという点がある。測位サービスはGPSに見られるように、ユーザーが自身の位置を正確に把握するためのサービ

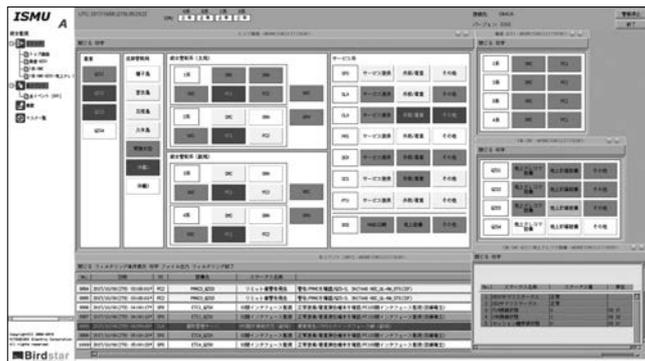


図5. 総合システム監視のサマリー画面例

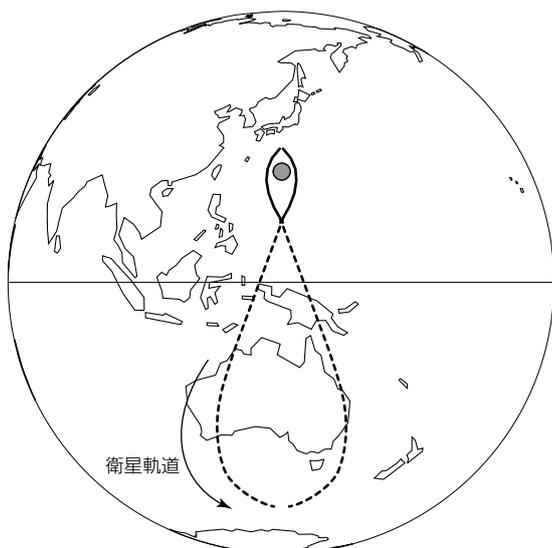


図6. 追跡管制局から見た衛星のみかけ上の軌道位置



図7. 準天頂衛星システム用3軸駆動アンテナ

スであるが、これはとりもなおさず“衛星の正確な位置が把握できている”ということになる。測位サービスから得られる“高精度の衛星位置情報”を最大限活用して、アンテナ予報値の源泉として使用できるようにBirdstarに機能追加することで、より安定的な衛星追尾運用を可能にしている。

3.4 3軸駆動アンテナ

追跡管制局のアンテナは、その構造上アンテナを駆動させるためのケーブルは巻取り構造になっており、ケーブル長の限界を超えてアンテナは回転できない。周回衛星を追尾するためのアンテナでは通常、地上局から見た衛星の軌道から、最適なアンテナの駆動経路を算出し、衛星が可視となる前に、最適位置(衛星可視中に巻取りケーブルの巻取り限界が来ないような追跡開始位置)にアンテナを駆動させ、また衛星が非可視となった後に巻取りケーブルを巻き戻す処理を入れることで運用できる仕組みとなっている。しかし、今回の準天頂衛星システムの特徴として、図6に示すように追跡管制局から見た衛星のみかけ上の軌道位置は“8の字”を描くようになるとともに、24時間常時可視のため、周回衛星用アンテナのように“可視前に最適位置にアンテナを駆動”させたり、“非可視となった後に巻取りケーブルを巻き戻す処理”を行うことができない。

この課題を解決するために当社は、JAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)等で運用実績のある3軸駆

動アンテナ^(注2)を採用し、かつ特殊な8の字構造の軌道を描く準天頂衛星に適用できる専用の3軸制御アルゴリズムを開発し、ケーブルの巻き戻しの不要な24時間常時追尾可能アンテナを実現した(図7)。

(注2) 方位方向の軸(“アジマス軸”という)、仰角方向の軸(“エレベーション軸”という。)に加えて、衛星が天頂付近を通過する際に、衛星追尾を継続させるための3つ目の軸(“クロスエレベーション軸”という。)の合計3つの軸構造を持ったアンテナである。

4. む す び

準天頂衛星システムは、2018年度からのサービス開始に向け、初号機の運用移管、2号機から4号機の打ち上げ・運用開始と推移しており、サービス開始に向けて準備が進められている。当社が担当しているサービスを滞りなく開始させる努力をするとともに、衛星管制システムやサービス監視システムは運用者の声をできるだけ反映して運用者がより使いやすいシステムになるように改善を重ねていき、ユーザーに安定的にサービスが提供できる状態を継続するための努力を続ける。

また、準天頂衛星システムを利用した事業分野へのサービス拡大や、将来的にはアジア・太平洋地域にサービス範囲が拡大されて地域の安全・安心に貢献していくことを切望する。