

現状の静止衛星軌道運用と将来への展望

前野安伸*¹

Current Geostationary satellite orbit operation and its future view

By

Yasunobu MAENO*¹

Abstract: Space Communications Corporation is providing the service of the satellite communication for Japan and international countries by four geostationary communications satellites (called Superbird) with Ku band and Ka band. Our company has 40 year total on-orbit satellite operation experience from eight satellites since 1989. SCC will introduce the orbit operation work and the future view.

Keywords: Geostationary satellite, orbit operation

概 要

宇宙通信は、第一種電気通信事業者として4機（4軌道位置）の静止通信衛星を所有し、Ku帯・Ka帯の周波数帯域を利用して国内・国際の衛星通信サービスを提供している。弊社は1989年の初号機から8機・延べ約40年の衛星運用経験があり、現状の軌道運用作業と運用課題及び今後の展望を説明する。

1. はじめに

宇宙通信は、1985年3月に三菱グループの出資にて設立され、第一種電気通信事業者として衛星通信サービスを提供している。商用衛星運用は、1989年の初号機から8機・延べ約40年の衛星運用の実績がある。現在は、4機の静止通信衛星をそれぞれ異なる軌道位置で運用している。

弊社所有の衛星はスーパーバード（以降、SBと略す）の名称で呼ばれ、米国の商用衛星メーカーSSL, BSS, LM製である。SBの概観及び衛星仕様を以下に示す。

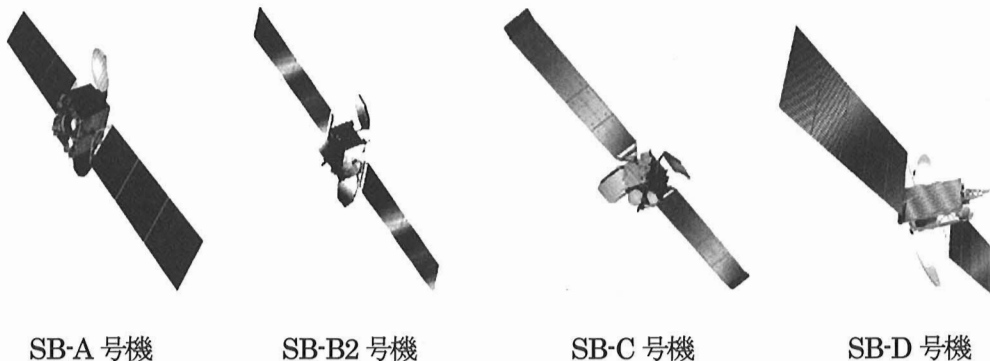


Fig.1 SB シリーズ

* 1 宇宙通信(株) (Superbird Communications Corporation)

Table 1 SB シリーズ仕様

Satellite	SB-A	SB-B2	SB-C	SB-D (NSAT-110)
Orbital slot	158 degE	162 degE	144 degE	110 degE
Launch date	Dec-1992	Feb-2000	Jul-1997	Oct-2000
Manufacturer	SS/L	BSS(HSC)	BSS(HSC)	LM
BUS type	FS1300	HS601HP	HS601	A2100AX
Payload	Ku/Ka band	Ku/Ka band	Ku band	Ku band
Service Area	Japan, Taiwan, Korea	Japan, Taiwan, Korea, Steerable Beam(Ku)	Japan, SE Asia, NE Asia, Hawaii, Steerable Beam	Japan

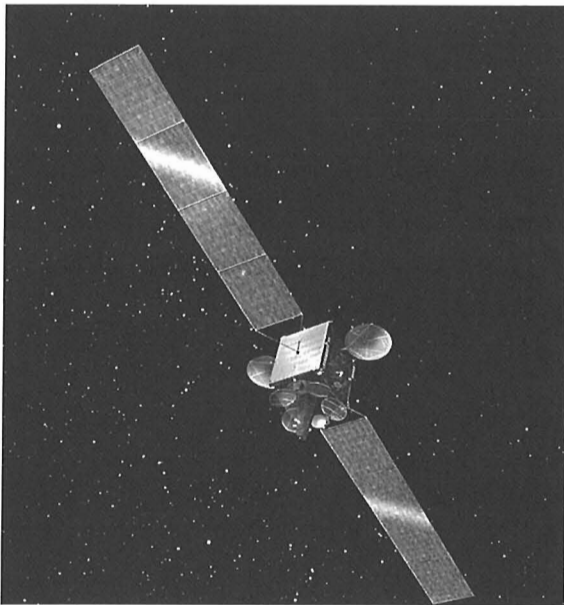


Fig. 2 次期衛星

SB-A号機は両翼20m以上、打上げ重量2.5tという打上げ当時最大級の3軸衛星であった。SB-C号機は1997年7月に打ち上げられ、A号機よりも更に大型の高性能・国際通信衛星として設計された。両翼26.2m、打上げ重量約3t、放送利用にも十分な90WのKuバンド中継器を24本搭載し、特にアジア・太平洋地域をハイパワーでカバーする点と可動スポットビームを搭載している点が特長である。SB-B2号機は2000年2月18日（日本時間）に打上げられた。SB-A号機を凌ぐ80W超のKuバンド中継器を23本、次世代の通信バンドであるKaバンドは100MHzおよび200MHzという広帯域かつ50Wという高出力中継器を6本搭載し、SB-C号機以上の性能をもつ可動スポットビームを搭載している点が特長である。SB-D号機は2000年10月7日（日本時間）に打上げられた。この衛星は東経110度に配置される衛星として設計された。BS衛星と同一の軌道位置に配置されることから配信型デジタルサービスに利用されることを想定し、120Wの高出力中継器とこれまでのSBシリーズと異なる円偏波によるダウンリンクを採用している点が特長である。

2008年第一四半期には、SB-C号機の代替衛星が打ち上げ予定である。次期衛星は、弊社、初の国産衛星を採用した。概要及び仕様を以下に示す。

Table 2 次期衛星仕様

Orbital slot	Manufacturer	BUS type	Payload	Service Area
144degE	MELCO	DS2000	Ku band	Japan, SE Asia, NE Asia, Hawaii, Steerable Beam

2. 衛星運用

2.1 運用ネットワーク

衛星管制センターは、地震や台風などの自然災害を考慮し、「スーパーバード茨城ネットワーク管制センター（主局：SPE）」と「スーパーバード山口ネットワーク管制センター（副局：SPW）」の冗長構成である。互いの局は、同じ機器構成をもち、相互にデータ監視や主局及び本社から副局の遠隔操作も可能である。また、自家発電装置はもちろん、各機器は二重三重に予備設備があり、衛星の安全運用が図られている。

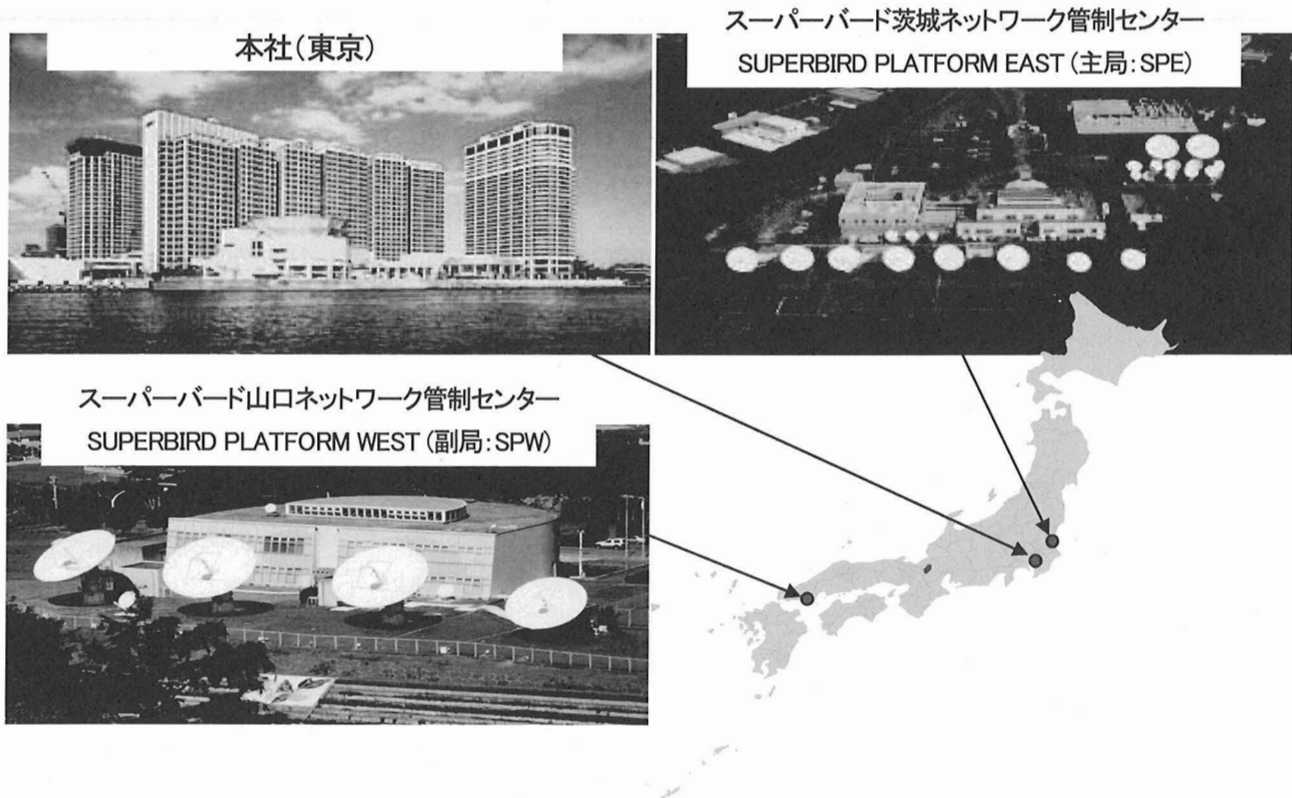


Fig. 3 運用ネットワーク

2.2 衛星管制業務

主局と副局はデータ回線で結ばれ、主局から副局の設備をリモート操作、リモート監視できる。地上設備メンテナンス、被災時など、主局を使用できない場合は、副局を使って衛星管制を実施する。主局では、24時間体制でのシフト運用者、オフラインでの技術・計画担当者、設備担当者の約40名が勤務しており、衛星の安定サービスの為にハウス・キーピング（衛星本体の健康管理）及びステーションキーピング（軌道位置の保持）を行う。副局では、設備担当者のみ若干名が勤務している。

主局の管制運用の概要を以下に示す。

- ・ 365日／24時間のシフト勤務体制
- ・ テレメトリーデータの監視
- ・ 衛星の安定運用に必要な各種コマンド送信
- ・ 測距データ取得、軌道決定、軌道制御計画・評価

2.3 測距、軌道決定 & 軌道制御

軌道制御は、Fig. 4の一連作業に従って実施される。測距データ取得及び軌道制御実施は、オンラインのシフト運用者により実施され、測距の計画、軌道決定及び制御計画・評価はオフラインのエンジニアが実施する。

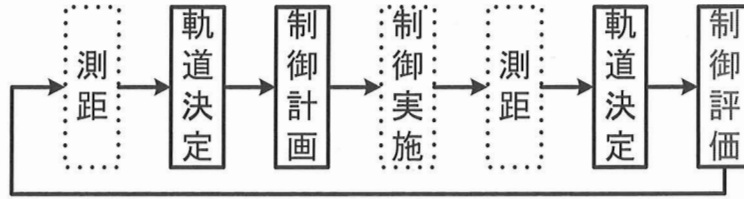


Fig. 4 軌道制御の一連作業

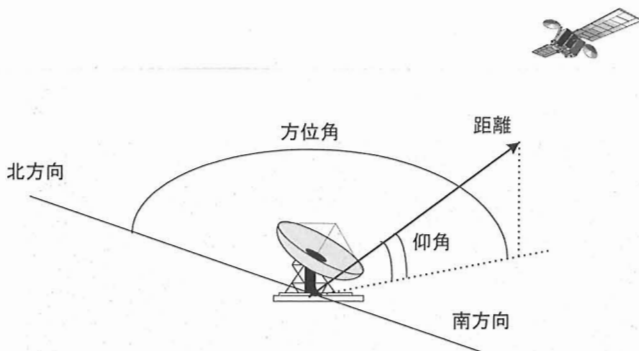


Fig. 5 測距データの定義

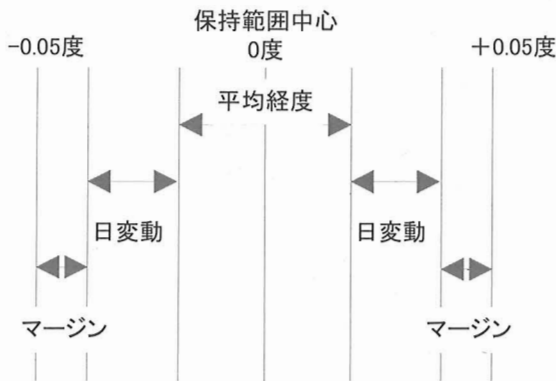


Fig. 6 保持範囲マージン内訳

2.3.1 測距

測距データの種類は、距離データ、方位角 (Azimuth)、仰角 (Elevation) の3種類であり、地上局コンフィグレーションに応じて1局、又は2局のアンテナを使用し、48時間の測距データを取得する。測距作業は基本的に自動化されており、地上イベントスケジューラーにより軌道制御日の前後に自動的に収集される。

2.3.2 軌道決定

軌道決定は、48時間の測距データの蓄積された後にバッチ処理で行われる。測距の不良データ削除、太陽輻射圧の推定、地上局遅延量の推定は、エンジニアが実施可否の判断を行う。軌道決定～軌道制御計画、軌道制御評価は、衛星メーカから納入された専用のソフトを用いて実施する。光学観測に基づく評価の結果、電波測距の軌道決定精度の実績は0.005度程度である。軌道制御計画を立案する際は、軌道決定誤差を考慮した経度・緯度のマージンを設定する。衛星の経度保持範囲マージン内訳を Fig. 6 に示す。

3. 運用課題

3.1 測距データ数と軌道決定精度

測距データ数は、データ取得数を増加することで軌道決定精度を向上させることができる反面、衛星に測距CMDを送信することから衛星イベントとの競合が発生する。そこで、軌道決定精度の要求を満たしつつ、衛星イベントとの競合を少なくする最適化が必要となり、弊社では、共分散解析に基づき、測距データ数及び測距時間の間隔の最適化を行っている。

しかしながら、実際の衛星の軌道制御では、軌道制御誤差により次回軌道制御日までの間隔及び測距データ取得期間が短くなり、結果として必要なデータ数が確保できない場合も発生する。このような場合は、軌道決定の推定パラメータを削減するなど、さらなる工夫が必要である。

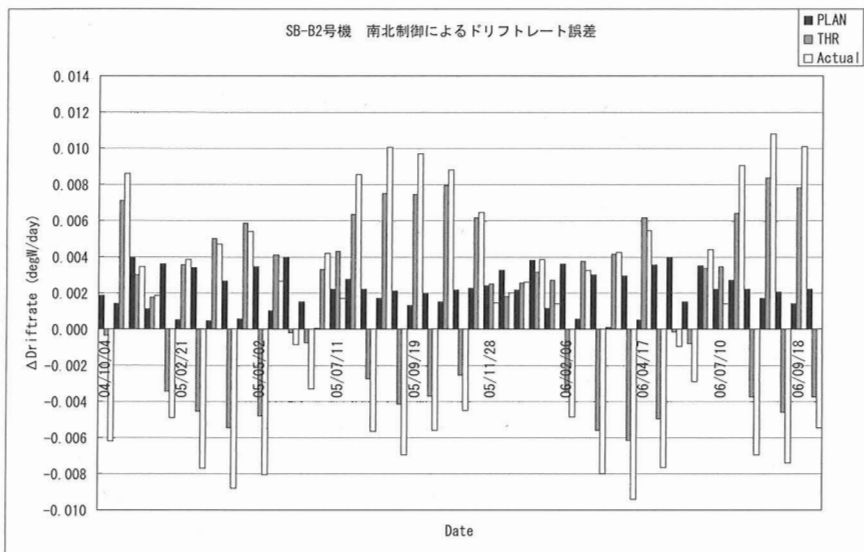


Fig. 7 軌道制御誤差 (SB-B 2号機)

3.2 測距バイアスの較正

地上局の測距バイアスは、IOT (Initial Orbit Test) 時に衛星メーカーから提供される。通常、衛星運用会社は、衛星メーカーから提供された測距バイアスを真値とし、以降の測距バイアスを維持管理する。

しかしながら、衛星メーカーから提供される測距バイアスにも少なからず誤差が含まれている。また、地上設備のコンフィグレーション変更などで、地上局の測距バイアス推定を繰り返すと、測距バイアスの誤差は累積する。

同一軌道位置で複数衛星を運用するコロケーション運用では、衛星間相対距離の高い精度が求められ測距バイアスの較正が必要となる。

弊社の場合、年1回、光学測定を用い累積した測距バイアスの除去を実施している。測距バイアス（電波測距）と光学測定による測距バイアス（真値とする）の差をFig8に示す。測距バイアスは、衛星・地上コンフィグレーションにより個体差が見られるため、継続的にデータを収集する必要がある。

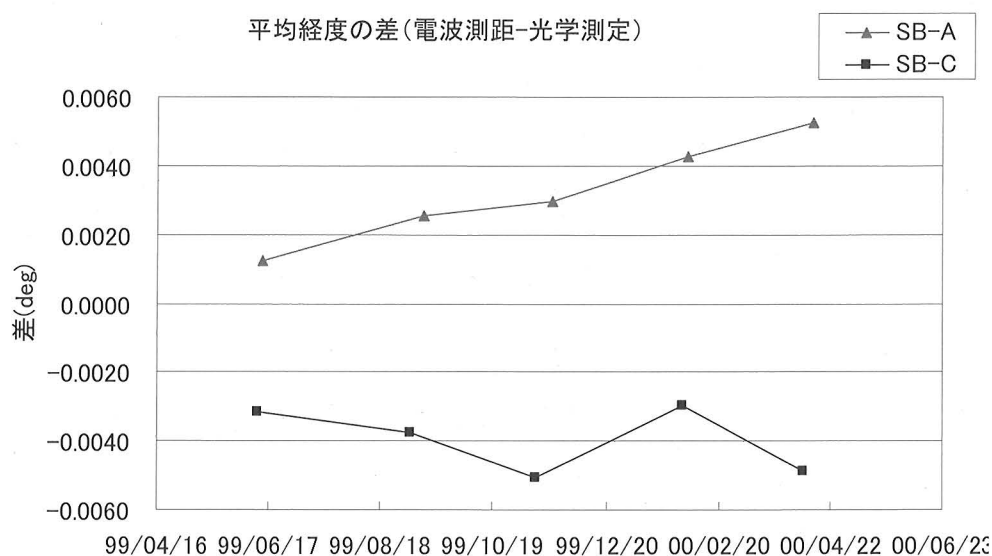


Fig.8 電波測距バイアスのトレンド

また、光学測定は天候に左右される欠点もあり、今後も測距バイアスの較正は工夫が必要である。

3.3 新しい軌道運用

衛星のアクチュエーターは、従来のスラストから電気推進に変化しつつある。アクチュエーターが電気推進へ変化すると、比推力が大きくなり消費推進量を節約できる反面、軌道制御1回当たりの推力が小さくなり軌道制御の実施回数が増加する。軌道制御の実施回数が増加すると、軌道制御を含まない測距データの長期間（48時間）の取得が難しくなり、軌道決定の方法を改善する必要が発生する。

また、測距バイアスの較正方法も、アクチュエーターがスラストから電気推進に変化することで改善が必要である。スラストを使用した衛星は、軌道制御を含まない期間で軌道決定ができ、軌道位置と地上局の位置関係から測距バイアスと経度誤差の感度係数を容易に求めることができる。測距バイアスは、この感度係数を使用して実施する。

しかし、電気推進を使用した衛星は、軌道制御の実施頻繁が増加し、従来の方法で感度係数を求めることが困難である。よって、測距バイアス較正についても新たな補正方法を検討する必要がある。

4. 今後の展望

商用衛星の運用は、衛星メーカーから提供される軌道ソフトウェアを使用し、軌道決定・軌道制御計画/評価を実施する。しかし、この軌道決定ソフトウェアは、衛星打ち上げ時に納入され、以降、殆どアップデートは実施されない。10年以上、バージョンが更新されないものもある。

衛星運用は、日々、運用の安全性、利便性の向上が求められ、また、今後は衛星の新たな仕様（アクチュエーターの変化）などに対応する必要がある。

よって、今後の軌道ソフトウェア開発では、以下の機能が衛星運用の観点から必要であり、研究者の知識、経験を基に、是非とも実現を目指して頂きたい。

- ・軌道決定作業の自動化（測距不良データ削除，SRF推定，測距バイアス推定など）
- ・軌道決定精度の向上（既存の電波測距システムを利用した精度向上）
- ・電気推進への対応（軌道決定，軌道制御評価，測距バイアス推定）