

静止衛星の軌道運用の実際

Biprop スラスタによる軌道制御ストラテジについて

前野 安伸*¹

Actual maneuver operation of geostationary orbit

By

Yasunobu Maeno*¹

Abstract : The number of spacecraft in geostationary orbit is increasing and the competition of the communication service are also harder than before. In this environment spacecraft operation is need more efficient and cost reduction than before. Not the exception of an orbit control, spacecraft operator has to keep considering more effective maneuver strategy.

In this report, urrent maneuver strategy of Bipropellant thruster satellite is introduced and then a request as spacecraft operator for a new actuator of the electric propulsion is shown.

Key words : Geostationary orbit, maneuver strategy

概 要

通信ビジネスの競争は激しく、商用静止衛星の運用はさらなる効率化及びコスト削減が求められている。軌道運用も例外ではなく、運用の効率化及びコスト削減が必須であり、実際の衛星運用でどのような南北制御ストラテジ及び東西制御ストラテジが採用されているか紹介する。

Biprop スラスタの軌道制御ストラテジは、すでに効率化・コスト削減が進められてきており、今後さらなる最適化を行うためには電気推進などの新しいアクチュエーターの衛星搭載が求められている。

電気推進はさまざまなメリットがある反面、衛星運用の負荷を増加させるデメリットもあり、今後、衛星運用のシステムとして最適化が望まれる。

1. はじめに

近年、商用衛星は、搭載機器の診断・不具合検知・対処を行う自律機能の開発が進み、衛星運用の負荷は軽減される傾向にある。一方、1つのオペレータが運用する衛星数は増加傾向にあり、同一軌道位置で複数衛星を維持するコロケーション技術も一般的な運用となりつつある。その結果、オペレータの衛星運用の負荷は増加する傾向にある。

また、地上通信の技術進歩は目覚しく、衛星通信の競争力を維持するためには、衛星運用はさらなるコスト削減

*¹ 宇宙通信株式会社 (Space Communication Corporations)

が求められている。軌道運用も例外なく効率化及びコスト削減が求められているが、Biprop スラスタを搭載した静止軌道の軌道運用は、古典的な軌道運用の制御ストラテジが採用され大きな変化は見られていない。

このような背景のもとで、実際の軌道運用がどのように行われ、衛星運用としてどのような要求があるのか以下に報告する。

2. 南北軌道制御ストラテジ

衛星の軌道傾斜角は、太陽・月等による摂動を受け0.9~0.95度/年で増加する。このため定期的に南北軌道制御で軌道傾斜角ベクトルを制御することで衛星を保持範囲内に維持することができる。図1に軌道制御を実施しない場合の軌道傾斜角ベクトルの軌跡を示す。図中の赤円は衛星の軌道傾斜角ベクトルの保持円を示し、青線が軌道傾斜角ベクトルの軌跡である。

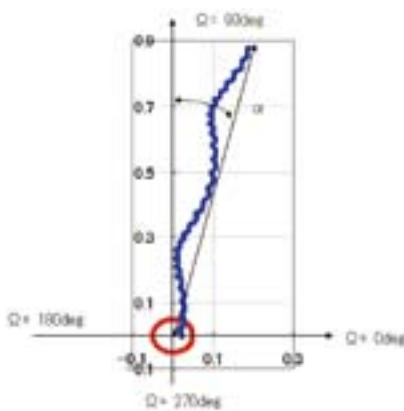


図1 軌道傾斜角ベクトルの軌跡

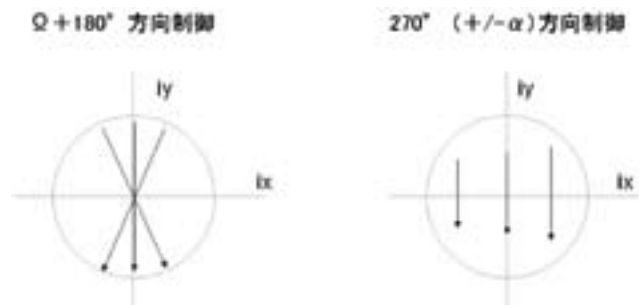


図2 南北制御方向

軌道傾斜角ベクトルを制御する南北制御ストラテジは、その制御方向により $\Omega + 180^\circ$ 方向と $270^\circ (+/- \alpha)$ 方向の2種類がある。図2に南北制御ストラテジの制御方向の違いを示す。 $\Omega + 180^\circ$ 方向は、軌道傾斜角ベクトルの変化方向と反対方向に制御することで次回の保持円逸脱までの期間を最長にすることができる。一方、 $270^\circ (+/- \alpha)$ 方向は、軌道傾斜角ベクトルの長周期変化方向（年平均）のみを制御する。短周期変化を制御しないことで、軌道制御量を減らすことができ衛星の推薬寿命を延ばすことができる。

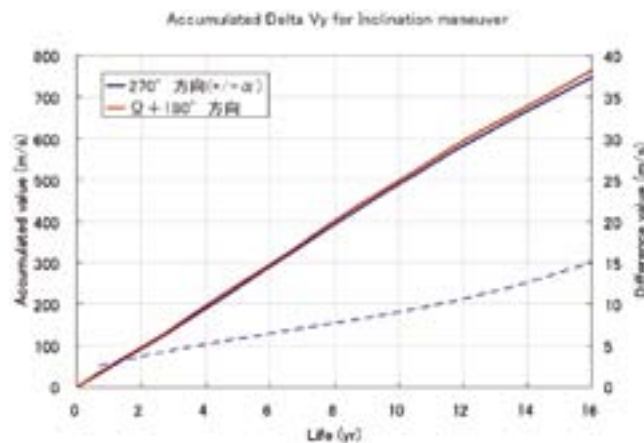


図3 南北制御ストラテジの累積制御量の比較

2種類の南北制御ストラテジの累積制御量を図3に示す。両者の制御量の差は、衛星寿命10年が経過した時点で約9 m/sとなり、累積制御量500m/sに対し2%程度の制御量の節約を実施することができる。

衛星の寿命末期（EOL）近辺では、1ヶ月当たりの南北制御量は約3 m/sであり、上記9 m/sは衛星寿命の約3ヶ月分に相当する。衛星寿命1ヶ月 = 1億円と仮定した場合、コスト削減効果は約3億に相当する。

このため、実際の衛星運用では、南北制御ストラテジとして $270^\circ (+/- a)$ 方向の制御が広く利用されている。

3. 東西軌道制御ストラテジ

東西制御ストラテジは周期により、不定期型と定期型の2種類に分けられる。図4に周期による東西制御の違いを示す。不定期型は、離心率の周期変動による経度の日変動を考慮し東西制御日を決定するため、制御間隔を保持範囲の境界近辺まで長くとることができる。一方、定期型は、離心率の周期変動による経度の日変動を ΔLe の固定とし、残りの経度 ΔLd で保持範囲を考える。経度の日変動を固定とすることで、平均経度で経度保持を考慮することができ、軌道制御周期を固定することができる。衛星数が増加すると複数衛星の軌道制御日が重なり作業人員増を招く場合があるが、予め衛星の軌道制御の曜日を固定することで作業人員増が回避できるため、実際の衛星運用では定期型が広く利用されている。

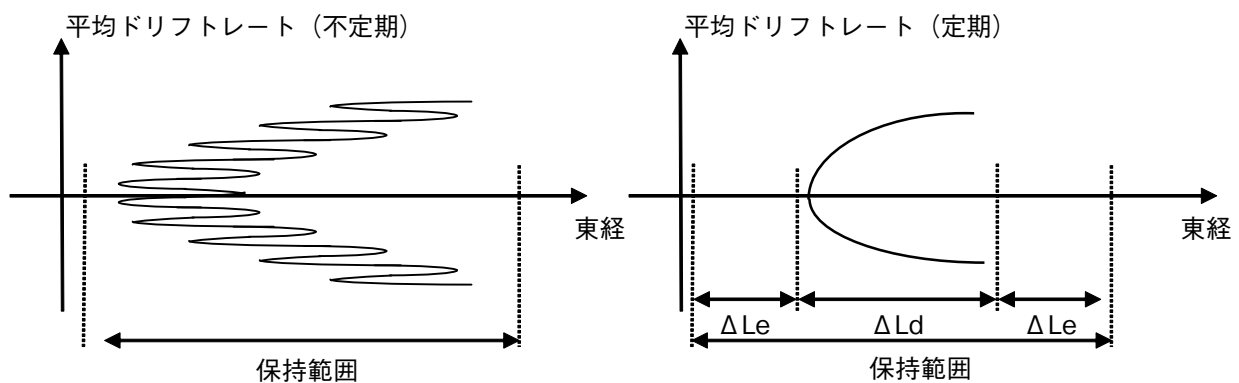


図4 東西制御ストラテジの制御周期の違い

しかしながら、実際の東西制御日は定期型を選択した場合でも南北制御中に発生する外乱成分により変化する。外乱成分は、南北制御量と南北制御中の太陽電池角度に相関を持ち周期的に変化する。図5に南北制御と東西制御の関係、図6に南北制御の外乱成分の例を示す。

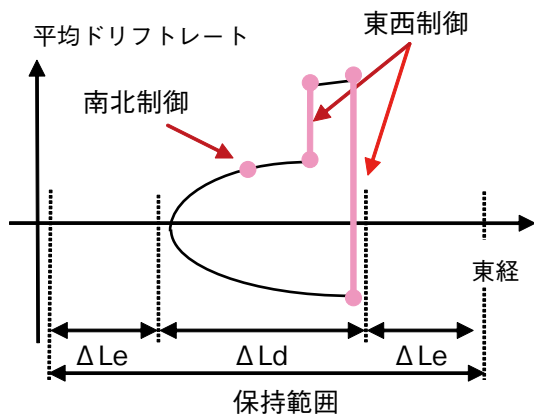


図5 南北制御と東西制御の関係

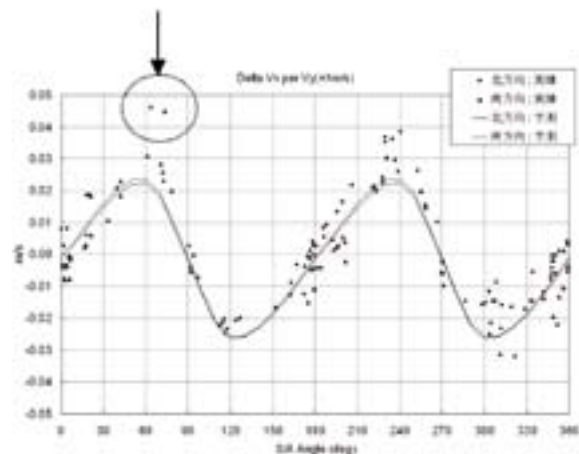


図6 南北制御の外乱成分

南北制御の外乱成分は地上試験等により予測値が得られているが、軌道上では予測値から大きな差が発生する可能性がある（図6の「↓」の箇所）。このため、実際の軌道運用では、数年の軌道上データを蓄積し南北制御の外乱成分を予測する。このような外乱成分の予測と東西制御計画時に次回南北制御の外乱成分を考慮することで、東西制御日が固定できるようにしている。

4. これからの軌道制御

Biprop スラスタによる軌道制御戦略は、南北・東西ともにほぼ確立されており、衛星運用の効率化・コスト削減の新たな改善法は報告されていない。今後さらなる衛星運用の効率化・コスト削減を検討する上では、Biprop スラスタから電気推進への転換が一つの選択と考えられる。

電気推進は、軌道制御誤差が小さく再現性が高いため、軌道制御計画を立案する上で制御誤差による経度・緯度マージンを小さく取れるメリットがある。また、電気推進を軌道制御・姿勢制御の両方に活用できる可能性があり、消費推薬の点では、比推力が大きく衛星の搭載燃料を減らすことができ、打ち上げコストを低減できる可能性がある。一方、衛星運用の作業では、軌道制御時間が長時間となり他の CMD 作業が長時間できないなどのデメリットがある。

今後、電気推進を用いた軌道制御戦略はさらなる改善が見込まれ、衛星運用の効率化・コスト削減が期待できるであろう。

5. むすび

電気推進など新しい機器の開発・実用化により衛星も Biprop スラスタから新しい時代に変わりつつある。商用の衛星運用は、通信ビジネスの競争の中、常に効率化とコスト削減が要求されている。このような環境において、衛星は、安全性はもとより衛星、地上局、運用を含めた全体としての効率化・コスト削減が要求されている。