

0 要旨

この報告書は、宇宙から地球へと地球から宇宙への両方向における、非静止衛星軌道（NGSO）固定衛星業務（FSS）システムの運用と既存業務の運用間の両立性と共有に関する研究を含む。また本書では、空港の近傍に配備された地球局から航空機を保護することについても考察する。

本書では、OneWeb と SpaceX の 2 つの NGSO FSS システムに関する研究を取り上げるが、この 2 つの NGSO システム間の両立性については取り扱わない。さらに、本書では、これら 2 つの NGSO システムを同時に運用した場合の、他の業務に対する総計的な干渉量の評価も行わない。

本書の研究の対象範囲は、10.7～12.75GHz 帯域内の FSS 下りリンク割り当てにおけるこれらの業務の、電波天文業務（RAS）と EESS（地球探査衛星業務）（受動）との両立性、ならびに、14～14.5GHz 帯域内の FSS 上りリンク割り当てを使用する地球局の、固定業務（FS）および RAS との両立性である。

本書全体を通して、SpaceX システムの研究と OneWeb システムの研究から得られた所見を別々に参照する。

OneWeb システムの研究では、2 種類の地球局、すなわち固定局と移動地球局（Earth Stations In-Motion, ESIM）について考察した。ESIM には、地上、船舶、および航空機上の移動局が含まれる。SpaceX システムの研究では、特に、10.7～12.75GHz 帯域内の FSS 下りリンク割り当てにおける SpaceX の NGSO の運用の、受動 RAS 業務および EES 業務との両立性と、14～14.5GHz 帯域内の FSS 上りリンク割り当てを使用する固定地球局の、固定業務（FS）および RAS との両立性に注目した。

OneWeb の研究は、10.6～10.7GHz 帯域で観測を行う電波天文局で 2% のデータ損失制限に適合するために、この NGSO FSS コンスタレーションの衛星の各ビームが適合する必要がある不要放射 e.i.r.p. レベルを明らかにするために行われた。こうした不要放射 e.i.r.p. レベルは、適切な変調整形、中間周波数（IF）と無線周波数（RF）のフィルタリング、SSPA 設計に対する制約を使用した、衛星ペイロードの慎重な設計による NGSO FSS コンスタレーションによって達成可能である。しかしながら、こうした技法は、受動帯域（10.7～10.95GHz）に直接隣接する OneWeb 周波数チャンネルに対しては十分ではない可能性があり、したがって、このチャンネルは、観測を行っている RAS 局の視程内にあるときは、無効化しなければならない。一般に、NGSO FSS 衛星の放射は、時間の 2% 超において、10.6～10.7GHz 帯域で、 $-241\text{dBW/m}^2/ (100\text{MHz})$ の e.pfd 値を超えてはならない。また、この NGSO FSS システム（OneWeb）に関して求めた不要放射 e.i.r.p. 制限によって、10.6～10.7GHz 帯域で動作する EESS（受動）センサが確実に保護される。

行った研究の目的は、10.6～10.7GHz 帯域内で観測を行う電波天文局で 2% のデータ損失制限に適合するために、提案される SpaceX NGSO FSS コンスタレーションの中にある個別の衛星がいずれも満たさなければならない、不要放射 e.i.r.p. レベルを明らかにすることである。これらの不要放射レベルは、適切な変調整形、周波数フィルタリング、および PA 設計に対する制約を使用した、衛星ペイロード自体の慎重な設計によって達成可能である。NGSO FSS 衛星からの放射は、時間の 2% 超において、10.6～10.7GHz 帯域で、 $-239.4\text{dBW/m}^2/ (100\text{MHz})$ を超える e.pfd 値を生じてはならない（ITU-R 勧告 S.1428 のパターンを使用した被干渉 100m アンテナに対して）。また、これと同じ不要放射 e.i.r.p. レベルによって、10.6～10.7GHz 帯域で動作する EESS（受動）センサが確実に保護される。

留意すべき点は、最初の 720 台の衛星で -142.0dBW/Hz という 低い e.i.r.p. 制限を適合することは、地球的規模で、SpaceX が最も低い Ku 帯チャンネル（10.7～10.95GHz）を使用することを制止することである。

固定位置において 14～14.5GHz 帯域で運用される NGSO FSS 地球局に関する研究では、次の結論が得られた。

- CEPT が実施した調査の結果、今のところ、14.25～14.5GHz 帯域に固定業務を配備している国は回答した 25 か国のうちわずか 5 か国であることが分かった。CEPT の少数の加盟国で使用されている 14.25～14.5GHz 帯域における固定業務との両立性は、固定業務局の周囲に適切なエリアを設けることによって

達成される。こうしたエリアでは、FSS 地球局は、FS 局の使用するチャンネルと重複する周波数チャンネルでの送信を回避する必要があると考えられる。エリアの実際の規模は、FS と FSS ES、および周囲の地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。これらのエリアの一般的な規模は、平坦な地表と、地平線方向に $-20\text{dBW}/(40\text{kHz})$ の e.i.r.p. を有する FSS ターミナルとを仮定すると、 37dBi の FS メインビーム方向では $58\sim 77\text{km}$ 程度だが、同じ仮定の下でも、FS 局の指向する方向の外では 11km へと急減することが明らかになっている。

- 14.47~14.5GHz 周波数帯の二次業務 RAS 割り当て内で観測を行う CEPT 内の RAS 局の数は限られている。これらの RAS 局の保護は、そうした局の周囲に、NGSO FSS 地球局が 14.47~14.5GHz 帯域と重複するチャンネルでの送信を中止しなければならないエリアを設けることによって実現可能である。エリアの規模は、FSS と地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。地平線方向に $-20\text{dBW}/(40\text{kHz})$ の e.i.r.p. を有する FSS ターミナルについては、エリアの規模は最大 340km になる可能性があり（単一エントリでの分析）、よって、一部の RAS 局については、一国の問題に収まらない。

14~14.5GHz 帯域で運用される地上 NGSO FSS ESIM に関連する両立性の研究では、次の結論が得られた。

- CEPT の少数の加盟国で 14.25~14.5GHz 帯域で使用されている固定業務局との両立性は、適切な保護ゾーンによって達成可能である。地球局は、保護ゾーンに入れば、FS 局の使用するチャンネルと重複する周波数チャンネルでの送信を中止すべきである。この送信の中止は、NGSO FSS 衛星システムのネットワーク制御ユニットによって自動的に行われるべきであり、この動作は地球局に組み込まれた GPS 受信機によって補助される。除外エリアの実際の規模は、FS と NGSO FSS ES、および周囲の地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。地平線方向に $-33\text{dBW}/(40\text{kHz})$ の e.i.r.p. を有する FSS ターミナルについては、保護ゾーンの一般的な規模は、（平坦な地表を仮定した場合） 37dBi の FS メインビーム方向では 33km 程度だが、FS 局の指向する方向の外では 2km に急減することが明らかになっている。
- 14.47~14.5GHz 帯域内で観測を行っている RAS 局の保護は、そうした局の周囲に、NGSO FSS 地球局が 14.47~14.5GHz 帯域と重複するチャンネルでの送信を中止しなければならないエリアを設けることによって実現可能である。エリアの規模は、FSS と地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。地平線方向に $-33\text{dBW}/(40\text{kHz})$ の e.i.r.p. を有する FSS ターミナルについては、エリアの規模は最大 200km になる可能性がある（単一干渉での分析）。地球局の GPS 機能および、上記の NGSO 衛星システムのネットワーク制御ユニットは、この送信の中止を自動的に実施可能であるべきである。

14~14.5GHz 帯域で運用される航空機搭載 NGSO FSS ESIM に関連する両立性の研究では、次の結論が得られた。

- 航空機搭載 ESIM が一次 FSS 割り当ての下で運用されると仮定すると、CEPT の一部の加盟国で使用されている 14.25~14.5GHz 帯域における固定業務局の保護は、pfd マスクによって実現可能である。提案されるマスクは下記のとおりである。
 - $\theta \leq 5^\circ$: $-122 \text{ dB (W/ (m}^2 \cdot \text{MHz))}$
 - $5^\circ < \theta \leq 40^\circ$: $-127 + \text{ dB (W/ (m}^2 \cdot \text{MHz))}$
 - $40^\circ < \theta \leq 90^\circ$: $-87 \text{ dB (W/ (m}^2 \cdot \text{MHz))}$

ここで、 θ は、無線周波の到来角度（水平から上の角度）である。

- 14.47~14.5GHz 帯域の二次 RAS 割り当ての中で観測を行っている RAS 局の保護は、pfd マスクによって実現することができる。提案されるマスクは下記のとおりである。
 - $\theta \leq 10^\circ$: $-185 + 0.5 \cdot \theta \text{ dB (W/ (m}^2 \cdot 150\text{kHz))}$
 - $10^\circ < \theta \leq 90^\circ$: $-180 \text{ dB (W/ (m}^2 \cdot 150\text{kHz))}$

ここで、 θ は、無線周波の到来角度（水平から上の角度）である。

このマスクへの適合は、14.47~14.5GHz の帯域で観測を行っている RAS 局の視程に入ったとき、航空機がこの帯域内での送信を回避することによってのみ達成可能である。

14～14.5GHz の帯域で運用される船舶搭載 NGSO FSS ESIM に関連する両立性の研究では、次の結果が得られた。

- 水平方向に-13dBW の合計 e.i.r.p.を有する FSS ターミナルを仮定すると、沿岸付近の FS 局を保護するために海岸からの分離距離は必要ない。すべての種類の NGSO FS システムに対応するために、Ka 帯内の ESOMP に対して定められたもの同様に、海岸での pfd 制限を定めることもできる。提案されるレベルは、海拔 80m で-116 dBW/m²/MHz で、関連する時間の割合は、維持される短期保護の基準に応じて、0.06%または 4.5%である。このことは、CEPT 加盟国の領海内に位置する船舶搭載地球局に当てはまる。
- 水平方向に-33dBW/ (40kHz) の e.i.r.p.を有する NGSO FSS については、14.47～14.5GHz 帯域内の二次 RAS 割り当ての中で観測を行い、海の近くに位置する RAS 局の保護には、最大 200km の保護ゾーンが必要になる。NGSO FSS のオペレーターは、船舶が保護ゾーンに入ると 14.47～14.5GHz 帯域での送信を中止しなければならない、そのゾーンの規模は、FSS および周囲の地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。このことは、CEPT 加盟国の領海内に位置する船舶搭載地球局に当てはまる。

NGSO FSS 衛星システムは、すべての固定リンク受信局と RAS 観測所に対して（上記に規定するとおり）に保護ゾーンを設け、固定地球局または地上と船舶搭載の ESIM に、固定業務が利用する周波数の使用を禁じることによって、ある国（国と地域）の中に配備された固定リンクおよび RAS との両立性を維持できるようになる。ある国（国と地域）で 14.25～14.5GHz 帯域内に固定リンクが配備されているが、これらの固定リンクの具体的な位置を確定できない場合には、保護ゾーンは、その国（国と地域）の領土全体として設けることもできる。保護ゾーンには、近隣の国（国と地域）の領土が含まれる場合がある。特定された保護ゾーンで、固定地球局に、14.25～14.5GHz 周波数帯（または、固定業務または RAS によって配備される特定の周波数）の使用を禁じることによって、衛星システムは、固定業務および RAS との必要な両立性を実現する。OneWeb FSS 衛星システムは、ETSI EN 303 980 [1] に規定された「放射の制御」機能を配備して、保護ゾーン内で、固定地球局による当該周波数の使用を確実に禁止する。

ECC Report 272 [2]の所見によれば、54.5dBW 未満の e.i.r.p.レベルを有する NGSO 地球局は、航空機近傍での運用についての制限の対象とならない。

固定位置において 14～14.5GHz 帯域で運用される SpaceX 地球局に関する研究では、次の結論が得られた。

- CEPT の少数の加盟国（2016 年に実施されたアンケートによる[3]）で使用される 14.25～14.5GHz 帯での固定業務との両立性は、固定業務局の周囲に適切な除外ゾーンを設けることによって達成可能である。これらのエリアでは、FSS 地球局は、FS 局の使用するチャンネルと重複する周波数チャンネルでの送信を回避しなければならない。除外ゾーンの実際の規模は、FS と FSS ES、および周囲の地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。
- 14.47～14.5GHz 帯域の二次 RAS 割り当て内で観測を行う、CEPT 加盟国の地理的地形内にある RAS 局の数は限られている。これらの RAS 局の保護は、そうした局の周囲に、NGSO FSS 地球局が 14.47～14.5GHz 帯域と重複するチャンネルでの送信を中止しなければならない除外ゾーンを設けることによって実現可能である。除外ゾーンの規模は、FSS と地形の特性を考慮して、ケースバイケースで規定する必要がある。
- The SpaceX NGSO FSS 衛星システムは、ある国（国と地域）の中に配備された固定リンクおよび RAS との両立性を、すべての固定リンク受信局と RAS 観測所について（上記に規定するとおり）に保護ゾーンを設けて、固定地球局に、固定業務の使用する周波数の使用を禁じることによって、維持することができる。特定された保護ゾーンで、固定地球局に、14.25～14.5GHz 周波数帯（または、固定業務または RAS によって配備される特定の周波数）の使用を禁じることによって、衛星システムは、固定業務および RAS との必要な両立性を実現する。