

太陽発電衛星(SPS)と固定衛星業務(FSS)/固定地上無線業務(FS) 回線の電波干渉評価

初田 健*

上野健治*

Interference Assessment between Solar Power Satellite (SPS) System
and Fixed Satellites Service (FSS)/ Fixed Terrestrial Service (FS) Systems -
Takeshi Hatsuda* and Kenji Ueno*

Abstract : The Solar Power Satellite/Station (SPS) system is considered as one solution for future energy problems. On the other hand, the congestion of the GSO is very severe and there are many existing satellites on the GSO. The SPS system with 2.45 GHz transmitter, 6.72 GW power and one km square antenna on the geostationary satellite orbit (GSO) are examined. The Interference assessment between SPS system and Fixed Satellites Service (FSS)/ Fixed Terrestrial Service (FS) are carried out. The SPS antenna is assumed as patch array and 4.9, 12.25, 19.6, 29.4 GHz band spurious radiated antenna gains are used for interference calculations. As a result, interference constraints in 12.25 GHz band is relatively severe. Some strategies for relaxation of interference are discussed for co-existing between SPS and FSS/FS systems.

1. まえがき

将来のエネルギー危機、地球温暖化などの解決法の一つとして、太陽発電衛星(SPS)が期待されており、各種の研究が継続されている^[1~4]。SPSは静止軌道上に衛星を打ち上げ、発電した電力を、送信周波数: 2.45GHz、送信電力: 6.72GW (98.3dBW)、送信アンテナ寸法: 1km×1kmの仕様で地上に伝送する。地上ではアレーアンテナから構成されたレクテナで受信して使用可能のエネルギーに変換することが考えられている。

一方、静止衛星軌道(GSO)の混雑は、最近のIT技術、通信需要の増大によりますます激しくなっており、今後さらに増加が予想される。また、地上無線業務(FS)用の地上局も都市内では3~50km間隔で設置されており、その数が多いため干渉条件は厳しくなっている。さらに、SPSと同じ周波数帯を使用する無線LAN、ブルートゥースの普及が予想される。

このようなSPSの打ち上げによる既存のGSO上の固定衛星業務(FSS)用の衛星および地球局、FS用地上局などとの干渉の検討は、SPS計画を推進するに当たって、重要な検討事項である。干渉の具体例としては、送信機に2.45GHzを使用した場合の高調波として、第2(4.9GHz)、第5(12.25GHz)、第8(19.6GHz)、第12(29.4GHz)がFSS

の上り回線、下り回線、およびFSに干渉を与える可能性を有している。

この報告では、これらの干渉計算を行うための計算式、パッチアンテナアレーを仮定した時のサイドローブパターンを用いて高調波レベルを計算して、希望波レベル対干渉波レベル(D/U)の計算を行っている。この結果、12.25GHz帯での干渉が最も厳しいことが明らかとなった。この干渉軽減法として、(1)2サービスエリア間の距離の増大、(2)エネルギー拡散技術の導入、(3)高域通過フィルタの使用、(4)LPFの導入、(5)所要D/Uの低下などを提案している。

2. FSS/FSとSPS間の干渉特性の必要性

GSOは360°の一本に有限の資源であり、多数の通信衛星が打ち上げられ、電話、TV、データの伝送などに使用されている。これらのGSO上の既存の衛星は、相互干渉を回避するために厳しい干渉条件をITUの無線通信規則(RR)で定めており、これに基づいて通信衛星の打ち上げている。一方、地上無線業務(FS)に

ついては、多くの国で4、5、6、11、14、20GHz帯を使用しアナログ、デジタル無線方式を運用している。特に、大都市内においては、非常に多くの局がオーバーラップしてネットワーク化している。また、無線LAN、ブルートゥースの使用も増加している。

送信機に2.45GHzを使用した場合、基本波

* 情報ネットワーク工学科

のみならず高調波を発生し、送信アンテナも高次モードを有しており、これらの高調波がFSS/FSの業務に干渉を与える。これらの高調波の中で、第2(4.9GHz)～第12(29.4GHz)高調波がFSSの上り回線、下り回線、およびFSに干渉を与える可能性を有している。これまで具体的なFSS/FS方式を仮定した計算が行われていなかったが、ここでは、干渉、被干渉の2方式間のD/Uを計算することで干渉評価を行っている。

3. 送信機の高調波レベルの推定

送信機の高調波レベルは送信機の種類、例えば、進行波管、クライストロン、固体増幅器(SSMA)などにより異なった値となっている。干渉評価のため、ここでは実測値を使用して計算を試みる。実測値として、最も広く使用されている電子レンジ用マグネトロンの例を使用し、表1に結果を示す^[5]。表1から、ほぼ-70dBcが得られていることが分かる。

表1 マグネトロンの高調波レベルの例^[5]

高調波番号	周波数	出力レベル
2 nd	4.95GHz	-62.6dBc
3 rd	7.35	-81.2
4 th	9.8	-74.6
5 th	12.25	-77.1
6 th	14.7	-72.1
8 th	19.6	-71.7

4. アンテナの高次モードにおける利得：

SPSのアンテナはダイポール、パッチアンテナ、鏡面アンテナなどの代替案が考えられ、それぞれ特徴を有している。ここでは、ストリップ線路上に構成されたFig.1のようなパッチアンテナを合成したアレーの例を計算に用いた^[6-8]。パッチアンテナは誘電体基盤上のパターン構成で量産に適し、軽量化、経済性の点でも優れている。TM_{mn0}で励起された円形パッチアンテナの放射電界は次式で示される。

$$E_{\theta} = j^m K \frac{e^{-jk_0 R}}{R} \cos m \phi \left\{ J_{m+1}(k_0 a \sin \theta) - J_{m-1}(k_0 a \sin \theta) \right\}$$
$$E_{\phi} = j^m K \frac{e^{-jk_0 R}}{R} \cos \phi \sin m \phi \left\{ J_{m+1}(k_0 a \sin \theta) + J_{m-1}(k_0 a \sin \theta) \right\}$$

(1)、(2)

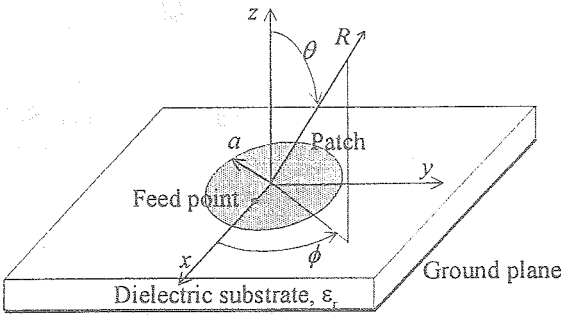


図1 パッチアンテナの例

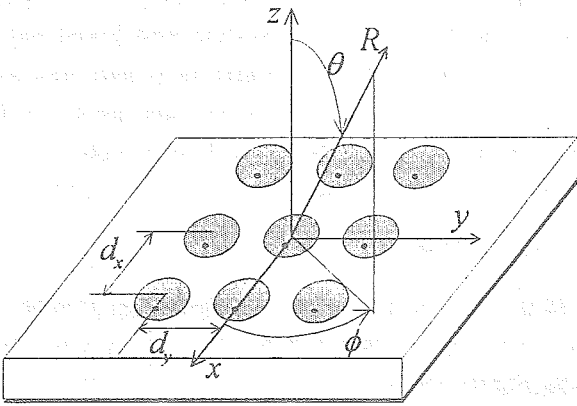


図2 パッチアンテナアレーの構成例

ここで、E_θ、E_φは電界のθ、φ成分、(R、θ、φ)は球面座標上の観測点、k₀は自由空間の波数、aはパッチの半径、J_m(x)はm次ベッセル関数を示している。

(θ、φ)方向の総合電界は次式で示される。

$$|E(\theta, \phi)|^2 = |E_{\theta}(\theta, \phi)|^2 + |E_{\phi}(\theta, \phi)|^2$$

(3)

パッチアンテナを合成したアレーの例をFig.2に示す。アレーアンテナの放射パターンを計算するために、アレーファクターを導入する。M x N素子の矩形格子平面アレーを考え、d_x、d_yをx、y方向の間隔とした時、アレーファクターF(θ、φ)は次式で示される。

$$F(\theta, \phi) = \sum a_{mn} e^{jk_0 [nd_x(u-u_0) + nd_y(v-v_0)]}$$
$$u = \sin \theta \cos \phi, v = \sin \theta \sin \phi$$

(4)

ここで、 a_{mn} は (m, n) 次のエレメント素子での励振係数である。すべての m, n に対して a_{mn} が 1 の場合、アレーファクター $F(\theta, \phi)$ は簡単化され、次式で示される。

$$F(\theta, \phi) = \frac{\sin[M\pi d_x(u-u_o)/\lambda_o]}{M \sin[\pi d_x(u-u_o)/\lambda_o]} \frac{\sin[N\pi d_y(v-v_o)/\lambda_o]}{N \sin[\pi d_y(v-v_o)/\lambda_o]} \quad (5)$$

ここで、 λ_o は自由空間の波長である。アレーアンテナの合成放射パターン、 $E_{array}(\theta, \phi)$ は次式で示される。

$$E_{array}(\theta, \phi) = F(\theta, \phi) |E(\theta, \phi)| \quad (6)$$

放射パターンを計算するために、パッチ半径 $a=29\text{mm}$ 、素子間隔 $dx, dy=91.8\text{mm}$ 、エレメント数 $M=N=10890$ と仮定する。このときアレーアンテナは 1km の矩形となる。

5. SPS 高調波と FSS/FS の間の D/U の干渉計算

総合的な干渉計算モデルを図 3 に示す。図に示すように、FSS/FS は GSO 上の SPS から干渉を受ける。このモデルでは、SPS は搬送波を送信しており、変調は受けていないものと仮定している。

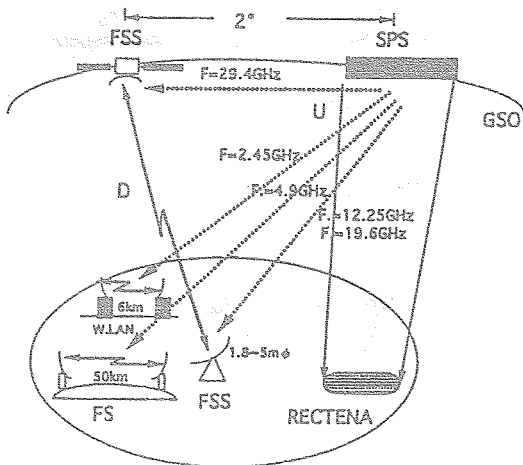


図 3 FSS/FS と SPS の干渉計算モデルの例

FSS の所要信号電力 (D) 対 SPS の不要信号電力 (U) の比 (D/U) は下式で求められる^[9, 13]。

$$D = (P_{st} - P_{sb} - L_{stf} + G_{st}) - L_{se} + (G_{er} - L_{fer}) \quad (7)$$

$$U = (P_{spst} - P_{spsh} - L_{spstf} + G_{spst}) - L_{se} + (G_{er} - G_{oe} - L_{fer}) \quad (8)$$

ここで、

P_{st}, P_{spst} ; FSS, SPS の送信電力 [dBm],

P_{sb} ; FSS 送信機のバックオフ [dB],

P_{spsh} ; SPS 送信機の高調波電力レベル [dB],

L_{stf}, L_{spstf} ; FSS, SPS の送信機給電分波損失 [dB],

G_{st}, G_{spst} ; FSS, SPS の送信アンテナ利得 [dB],

G_{oe} ; 角度 θ_e 方向の地球局受信アンテナサイドローブ利得 [dB],

L_{se} ; 自由空間損失 [dB],

G_{er} ; 地球局受信アンテナ利得 [dB],

L_{fe} ; 地球局給電分波損失 [dB] を示している。

6. SPS と FSS/FS 信号間の干渉計算例

(A) 干渉計算の仮定

干渉計算を進める上での主な仮定は以下のような項目を考える。この計算の仮定は厳しい条件となっているが、干渉軽減を検討する第 7 章で条件を緩和した時の結果を考察している。① SPS 送信機の高調波レベルはほぼ -70dBc を考える、② SPS 送信アンテナは複数のパッチアンテナアレーを考え、パッチアレーの高調波特性は、図 4～6 に示す値を使用する^[8]。③ FSS システムは VSAT システム^[10]を考え、アンテナは 1.8m とする、④ FSS と SPS 間の共存のための適切なサービスエリア分離を考慮する。例えば、 10km のサービスエリア間の分離を仮定すると、SPS レクテナと FSS 地球局の間の衛星から見た分離角 (θ) は 0.16 度となる。このパラメータは設計パラメータとして変更することが可能である、⑤ FSS と SPS の軌道分離角は 2 度を考える。⑥ FSS/FS システムの所要 D/U は 30dB とする、⑦ FS システムは既存のマイクロ無線中継システムを仮定する。⑧無線 LAN の例は、現在実用化されている方式を参考とする^[10]。

(B) 12.25GHz 帯での干渉計算例

この周波数帯は $14/12\text{GHz}$ 帯の固定衛星サービス、特に、民間衛星 (JCSAT, 宇宙通信など) の複数の衛星によるデジタル放送で活発に使われている。 12.25GHz をビーコン周波数として使用している衛星もある。干渉経路モデル、主要なパラメータを Fig. 4 に示す。被干渉システムは 1.8m のアンテナを使用

した VSAT システムを考える。パッチアレーの高調波特性を図5に示す。このパターンから $\theta=0.16^\circ$ の利得を求めると、 $G=25\text{ dB}$ となる。これらのパラメータと式(7)、(8)を適用して D/U を求めた回線設計表を表2に示す。表2に示すように干渉改善量は 13.8 dB 必要である。この干渉軽減対策は第7章で考察する。

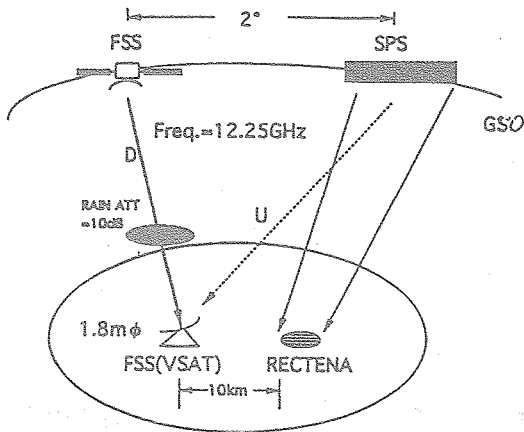


図4 SPS の第5高調波 (12.25 GHz) と FSS 下り回線との干渉計算モデル

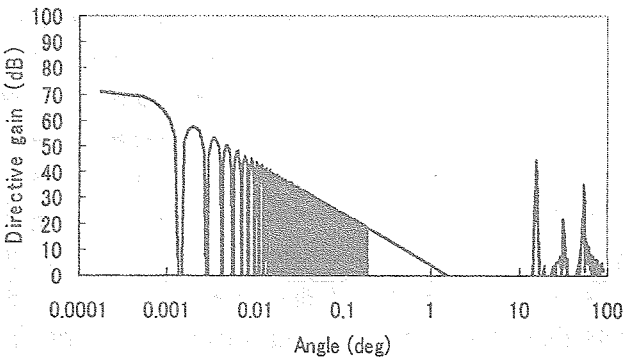


図5 2.45GHz の第5高調波(12.25GHz)の放射特性

表2 $f=12.25\text{ [GHz]}$ の干渉計算例.

項目	単位	SPS (U)	FSS (D)
周波数	[GHz]	12.25	12.25
送信電力	[dBW]	21.2	15.0
分波損失	[dB]	10.0	1.0
Back off	[dB]		22.0
送信アンテナ利得	[dB]	25.0	46.0
送信 EIRP	[dBW]	36.2	38.5

自由空間損失	[dB]	205.3	205.3
降雨減衰	[dB]		10.0
受信アンテナ利得	[dB]	21.5	45.4
分波損失	[dB]	1.0	1.0
受信レベル	[dBW]	-148.6	-132.4
D/U	[dB]	16.2	
所要 D/U	[dB]	30.0	
所要改善量	[dB]	13.8	

(C) 19.6 GHz 帯での干渉計算例

この周波数は 30/20 GHz 帯の固定衛星業務用下り回線で使用されている。干渉経路モデル、主要なパラメータを Fig. 6 に示す。被干渉システムは 5.0m のアンテナを使用した衛星通信システムを考える。このシステムでは衛星送信機のバックオフ値として 3.0dB を仮定している。また、地球局の付近に降雨減衰が生ずる最悪の干渉条件を考慮して、降雨減衰差を 15 dB と考える。また、パッチアレーの特性を図7に示す。これらのパラメータを使用した計算結果を表3に示す。表3に示すように、D/U マージンは 40 dB あり干渉問題はない。

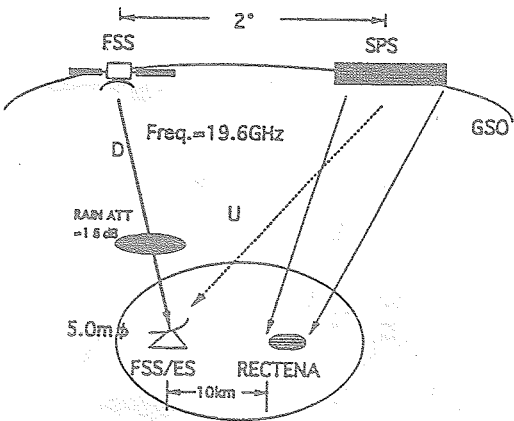


図6 SPS の第8高調波 (19.6 GHz) と下り回線との干渉計算モデル

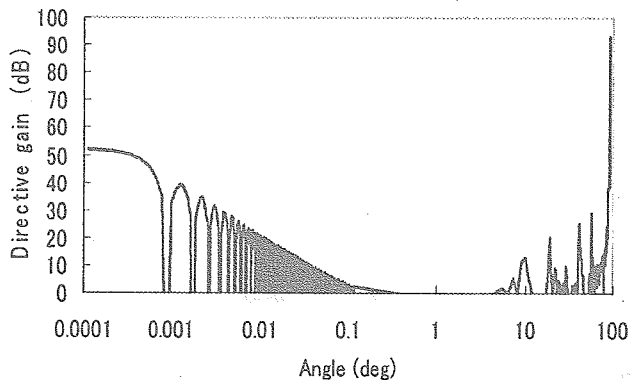


図7 2.45GHz の第8高調波(19.6GHz)の放射特性

表3 $f=19.6$ [GHz]の干渉計算例.

項目	単位	SPS (U)	FSS (D)
周波数	[GHz]	19.6	19.6
送信電力	[dBW]	26.6	17.0
分波損失	[dB]	10.0	1.0
Back off	[dB]		3.0
送信アンテナ利得	[dB]	3.0	55.2
送信 EIRP	[dBW]	19.6	68.2
自由空間損失	[dB]	209.4	209.4
降雨減衰	[dB]		15.0
受信アンテナ利得	[dB]	21.5	58.6
分波損失	[dB]	1.0	1.0
受信レベル	[dBW]	-169.3	-98.2
D/U	[dB]		71.1
所要 D/U	[dB]		30.0
D/U マージン	[dB]		41.1

(D) 4.9 GHz 帯での干渉計算例

この周波数は5 GHz 帯の固定無線業務用に使用されている。干渉モデルを Fig. 8に示す。地上局間の距離は50kmを仮定している。パッチアレーの高調波特性を図9に示す。これらのパラメータを使用し、計算結果を表4に示す。

表4 $f=4.9$ [GHz]の干渉計算例.

項目	単位	SPS (U)	FSS (D)
周波数	[GHz]	4.9	4.9
送信電力	[dBW]	35.7	7.0

分波損失	[dB]	10.0	1.0
Back off	[dB]		3.0
送信アンテナ利得	[dB]	43.0	47.5
送信 EIRP	[dBW]	68.7	47.5
自由空間損失	[dB]	197.3	140.2
降雨減衰	[dB]		0.0
受信アンテナ利得	[dB]	-10.0	44.5
分波損失	[dB]	1.0	1.0
受信レベル	[dBW]	-134.6	-49.2
D/U	[dB]		90.4
所要 D/U	[dB]		30.0
D/U マージン	[dB]		60.4

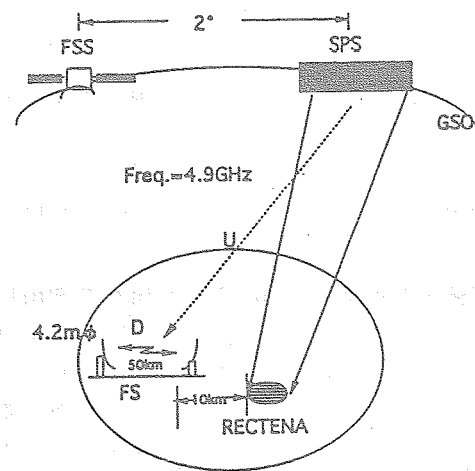


図8 SPS の第2高調波(4.9GHz)とFS回線との干渉計算モデル

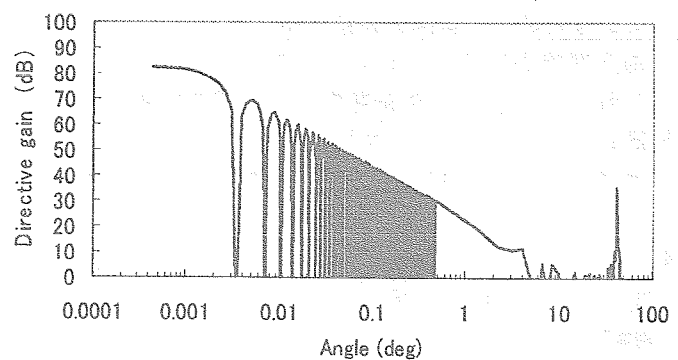


図9 第2高調波(4.9GHz)の高調波特性

いとの結論が得られる。

(E) 29.4 GHz 帯での干渉計算例

図10にSPSの第12倍高調波(29.4GHz)が

30/20GHz 帯を使用している FSS の上り回線に干渉を与えている情况进行している。FSS の 30/20GHz 帯の上り回線周波数は 27.5~31.0GHz に割り当てられており、この帯域内の 29.4GHz が問題となる。

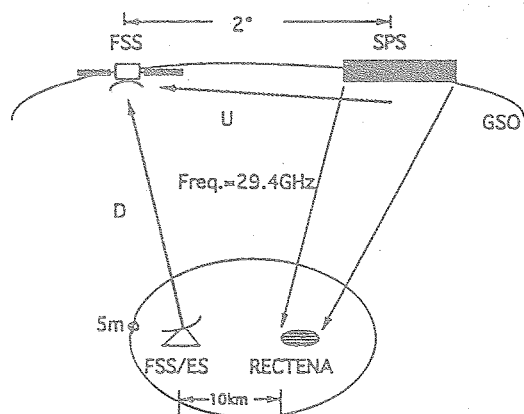


図 10 SPS の第 12 倍高調波と FSS 上り回線との干渉モデル

計算に使用した各種パラメータとしては下記の値を使用する。

*SPS 送信機の高調波レベル: 第 12 倍高調波のレベルは測定されていないが、低次の高調波レベルが $-70 \sim -80$ dBc であることを考慮して、 12.25 GHz と同じレベルである -77.1 dBc を用いる。

*SPS アンテナのサイドローブ特性: SPS アンテナの主ビームに対して、FSS は 90 度ずれた位置にあるため、大型地球局サイドローブ特性を参考にして、 -10 dB を採用する。

*FSS 上り回線のパラメータ: 地球局アンテナ直径は 5 m を考え、送信出力は 2 W とする。

*自由空間損失: SPS 衛星と FSS 衛星は 2 度離れているため、衛星間の距離は約 140 km となり、自由空間損失は約 165 dB と考える。

これらのパラメータを考慮して回線設計を行った結果を表 5 に示す。この結果、D/U のマージンは約 27 dB あり、干渉は問題ないことが明らかとなった。

表 5 $f=29.4$ [GHz] の干渉計算例.

項目	単位	SPS (U)	FSS (D)
周波数	[GHz]	29.4	29.4
送信電力	[dBW]	21.2	3.0
分波損失	[dB]	10.0	1.0
Back off	[dB]		36.0
送信アンテナ利得	[dB]	-10.0	52.7
送信 EIRP	[dBW]	1.2	55.7
自由空間損失	[dB]	164.7	213.1

降雨減衰	[dB]		10.0
受信アンテナ利得	[dB]	-10.0	42.2
分波損失	[dB]	1.0	1.0
受信レベル	[dBW]	-173.5	-116.2
D/U	[dB]		57.3
所要 D/U	[dB]		30.0
D/U マージ	[dB]		27.3

(F) 2.45 GHz 帯での無線 LAN との干渉計

例

最近のブロードバンドネットワークの一例として、 2.45 GHz 帯を使用した無線 LAN が実用化されている。この回線に SPS の 2.45 GHz が干渉すること考えられ、干渉評価が必要となる。

具体的な無線 LAN の例として、すでに市販されているもののパラメータを参考にして計算を行う^[11]。干渉計算モデルと主要なパラメータを図 11 に示す。無線 LAN の方式には、近距離用の八木アンテナを使用するものと、遠距離用の 80 cm のパラボラアンテナを使用するものが市販されている。ここの計算例では、パラボラアンテナを使用する例を用いている。また、基本波 (2.45 GHz) の放射特性を図 12 に示す。

表 6 には、これらのパラメータを使用して干渉計算を行った例を示す。計算の結果、所要改善量は約 70

dB となり、共存は不可能と判断される。さらに、ブルートースなどではユーザーが移動してレクテナの近くで使用する場合などが考えられ、さらに干渉条件がきびしくなること予想され、周波数帯域の専用化などの検討が必要と考えられる。

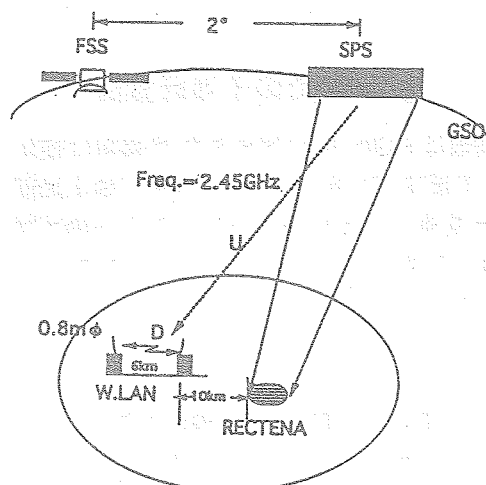


図 11 SPS の基本波 (2.45 GHz) と無線 LAN 回線との干渉モデル

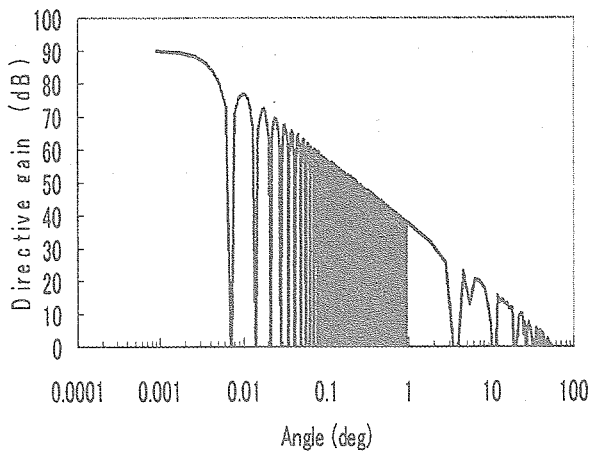


図 12 基本波 (2.45GHz) の放射特性

表 6 $f=2.45$ [GHz] の干渉計算例.

項目	単位	SPS (U)	FSS (D)
周波数	[GHz]	2.45	2.45
送信電力	[dBW]	98.3	-20.0
分波損失	[dB]	10.0	1.0
Back off	[dB]		5.0
送信アンテナ利得	[dB]	60.0	24.0
送信 EIRP	[dBW]	148.3	-2.0
自由空間損失	[dB]	191.3	115.8
降雨減衰	[dB]		0
受信アンテナ利得	[dB]	-10.0	24.0
分波損失	[dB]	1.0	1.0
受信レベル	[dBW]	54.0	-93.8
D/U	[dB]		-39.8
所要 D/U	[dB]		30.0
所要改善量	[dB]		69.8

7. D/U 値改善のための各種方策

干渉の可能性の大きい 12.25GHzSPS 帯での FSS/FS 方式の共存を可能とするための D/U 値の改善方法として、下記の方法が考えられる。

1. 受信地球局とレクテナを地理的に離す方法

計算では受信地球局と SPS 受信アンテナの距離は 10km として、最悪ケースで計算しているが、実用化する場合は、人口密集地域に SPS 受信アンテナは設置しないものと考えられるので、地理的分離による

干渉軽減が可能である。SPS 送信アンテナは 1km であるので、ビーム幅は非常にシャープになり、大きな干渉軽減が期待できる。例えば、計算で使用した 10km の地理的距離を、20km とすると、約 7dB の改善が可能である。

2. エネルギー拡散技術の利用

衛星通信方式では、無変調キャリアの信号の送信は干渉を与える潜在性が非常に大きいため、エネルギー拡散の適用が無線通信規則 (RR) で義務付けられている。エネルギー拡散技術の利用により、干渉軽減が可能となる。2 MHz (p-p) の周波数偏移で 24 ~ 27dB の干渉軽減が可能である。

3. 高調波阻止フィルターの利用

送信機出力側に 12.25、19.4 GHz を阻止するための高調波阻止フィルターを設置することで干渉軽減が可能である。しかし、ストリップ線路は Q_0 の低い回路であるために、大きな干渉軽減は期待できないが 10~15dB の改善は期待できるものと考えられる。特に、誘電体共振器フィルターは、最近の誘電体の特性改善で High-Q フィルタが実現されており、LPF, BPF として期待できる^[12]。

4. FSS との軌道間隔を大きく取る方法

計算では、軌道間隔を 2 度として計算しているが、この値を大きくすれば、干渉軽減が可能である。地球局アンテナサイドローブ特性として、

$$G=32-25\log \theta \quad (9)$$

を用いたとすると、2 度から 4 度とすることで、約 10dB の改善が期待できる。

しかし、静止衛星軌道の混雑は非常に厳しく、1~2 度スペーシングでお互いに調整を取りながらサービスを提供しているのが現実である。既存衛星が密集している状態では軌道間隔を大きく取るのは容易ではないものと考えられる。

5. 所要 D/U 値を減少させる方法

干渉計算表では、所要 D/U 値としては 30 dB を仮定して計算を進めている。所要 D/U 値は、システム設計者が熱雑音との配分を考えて緩和することが可能となる^[13]。これにより干渉を軽減することが可能であるものと考えられる。

5. あとがき :

SPSシステムがFSS/FSシステムに与える干渉評価について検討した。この検討に必要な干渉計算式を明らかにし、送信機の高調波特性は、マグネトロンの高調波実測値を用い、アンテナの高調波モードについては、パッチアンテナアレーを想定して、高次モードの利得を計算し、これらの特性を使用して計算を実施した。この結果、以下の結果があきらかになった。

- (1) FSSの14/12GHz帯の下り回線の周波数帯域内に干渉を与える基本波2.45GHzの第5高調波である12.25GHzは、所要D/U改善量として、13.8dBが必要である。この干渉に対しては何らかの対策が必要である。
- (2) FSSの30/20GHz帯の下り回線の周波数帯域内に干渉を与える基本波2.45GHzの第8高調波である19.6GHzは、所要D/Uからのマージン3.1dBが得られた。この干渉に対しては対策は不要である。
- (3) FSの5GHz帯の地上無線回線の周波数帯域内に干渉を与える基本波2.45GHzの第2高調波である4.9GHzは、所要D/Uからのマージン57.4dBが得られた。この干渉に対しては対策は不要である。
- (4) FSSの30/20GHz帯の上り回線の周波数帯域内に干渉を与える基本波2.45GHzの第12高調波である129.4GHzは、所要D/Uからのマージン27.3dBが得られた。この干渉に対しては対策は不要である。
- (5) 無線LANの使用周波数は2.45GHz帯であり、基本波の2.45GHzが干渉を与える可能性がある。この干渉に対しては、ユーザーが移動して使用する場合なども考慮する必要もあり、今後周波数の専用化など国際的調整による共用条件の詳細な検討が必要であろう考えられる。

今後、計算に使用したパラメータの検討、SPSで5.8GHzが使用された時の干渉評価、他の業務(宇宙研究業務など)への干渉評価、各種軽減法について検討を続ける必要がある。

謝辞：マグネトロンの高調波レベルのデータを提供頂いた京都大学橋本教授、無線LANのデータを提供頂いた広島市立大学吉田教授に感謝します。本研究は、文部科学省科学研究費補助金(No.13650422)の一環として行われている。

参考文献：

- [1] H.Matsumoto, "Research on Solar Power Station and Microwave Power Transmission in Japan : Technology and Strategy", 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference, U1-02, pp.6-9, 2001/08.
- [2] J.O.McSpadden, "The Current Capabilities of the WPT Technology", 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference, U1-03, pp.14-17, 2001/08.
- [3] T.Hatsuda and K.Ueno, "Compatibility with Radio Communications - Interference Assessment to Space and Terrestrial Systems-", 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference, U1-06, pp.25-28, 2001/08.
- [4] H.Matsumoto, K.Hashimoto and N.Shinohara, "Frequency Problem for Microwave Power Transmission", 3rd SPS Symposium, Sapporo, Japan, 2000/07.
- [5] SPS group, RASC, Kyoto Univ.
- [6] M.Haneishi, K.Hirasawa and Y.Suzuki, "Small Planar Antenna", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 1996.
- [7] R.J.Mailloux, "Phased Array Antenna Handbook", Artech House, 1994.
- [8] 上野、初田, "太陽発電衛星(SPS)送電アンテナの高調波放射特性", 電子情報通信学会, 宇宙航行エレクトロニクス研究会, 2001/11
- [9] T.Hatsuda, Y.Motozumi, "Theoretical and Measuring Results of Interferences between Fixed-Satellite and Terrestrial Radio Relay Services at 4 and 11GHz Bands", IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems (AES), Vol.34, No.1, pp.23-32, 1998/01.
- [10] T.Hatsuda, "Packet communication Ultra-Small Aperture Terminal System for the Hokkaido Integrated Telecommunication Network", IEEE Trans. on MTT, vol.43, No.7, pp.1692-1698, 1995/07.
- [11] 関西電機(株)カタログ
- [12] S.J.Fiedziuszko et.al., "Dielectric Resonators", IEEE Microwave magazines, Vol.2, No3, pp.51-60, 2001/09.
- [13] 初田、小園、鈴木, "無線、衛星、移動体通信", 丸善(株).