

宇宙太陽光発電システムの周波数共用について

長山 博幸[†] 高山 泰一[†] 篠原 真毅[‡]

[†] 株式会社三菱総合研究所 〒100-8141 東京都千代田区永田町 2-10-3

[‡] 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

E-mail: [†] {nagayama, takayama} @mri.co.jp, [‡] shino@rish.kyoto-u.ac.jp

あらまし マイクロ波で送電する宇宙太陽光発電システムでは周波数帯として 2.4GHz 帯及び 5.8GHz 帯が検討されている。これはこの周波数帯が降雨の影響を受けにくいこと及び ISM バンドであることが主な理由である。元来 ISM バンドは電子レンジ、医療用機器などに用いられることを想定していたが、FCC が ISM バンドの二次利用を認めたことに端を発し、現在では無線 LAN 用として急速にその利用が進んでいる。本稿では 2.4GHz 帯を使うシステムの動向を示すとともに、それらのシステムと SSPS との周波数共用について検討している。

キーワード マイクロ波無線電力伝送, 周波数共用, 宇宙太陽光発電システム

Spectrum-Sharing Issues of Space Solar Power Systems

Hiroyuki NAGAYAMA[†] Taichi TAKAYAMA[†] and Naoki SHINOHARA[‡]

[†] Mitsubishi Research Institute, Inc. 2-10-3 Nagatacho, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8141 Japan

[‡] Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokasho, Uji-shi, Kyoto, 611-0011 Japan

E-mail: [†] {nagayama, takayama} @mri.co.jp, [‡] shino@rish.kyoto-u.ac.jp

Abstract As a transmit frequency of SSPS, 2.4 GHz and 5.8 GHz are examined. This is the reasons why this frequency cannot be influenced by rain and is assigned as ISM band. Although an ISM band was used for a microwave oven, the apparatus for medical treatments, etc., FCC accepted secondary use of the ISM band for communications. The use of this band is progressing quickly for wireless LAN now. This paper shows the trend of the system using 2.4GHz and spectrum sharing issues of SSPS.

Keyword Wireless Power Transmission, Microwave, Spectrum-sharing, SSPS

1. はじめに

マイクロ波で送電する宇宙太陽光発電システム (SSPS: Space Solar Power Systems) では周波数帯として 2.4GHz 帯及び 5.8GHz 帯が検討されている。これはこの周波数帯が降雨の影響を受けにくいこと及び ISM バンドであることなどが理由である。元来 ISM バンドは電子レンジ、医療用機器などに用いられることを想定していたが、FCC Part15 で変換利得 10dB 以上のスペクトル拡散による ISM バンドの二次利用を認めたことに端を発し、現在では無線 LAN 用として急速にその利用が進んでいる。本稿では 2.4GHz 帯での SSPS の周波数共用について検討した結果を示す。

2. 2.4GHz 帯の利用状況

2.4GHz 帯は産業科学医療用として 2400~2500MHz が割り当てられているほかに、小電力データ通信システム、高度小電力データ通信システム、VICS、移動衛星に割り当てられている。移動衛星としては、日本でのサービスは行われていないものの、世界的にサービ

スを展開するグローバルスターに割り当てられている。これらの周波数割り当て状況を図 1 に示す。

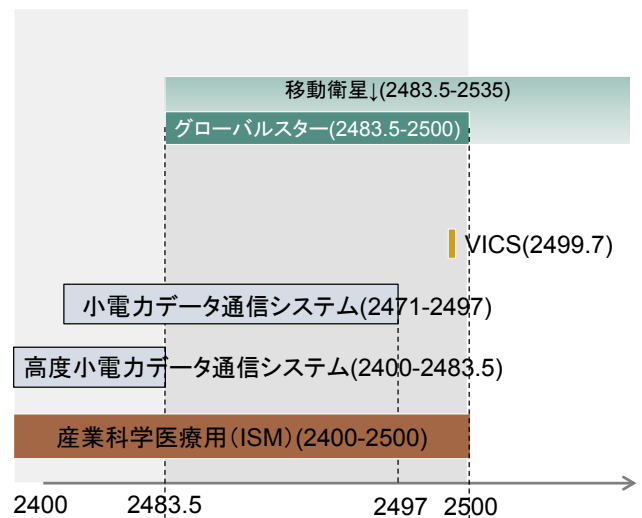


図 1 2.4GHz 帯の周波数割り当て

2.1. 産業科学医療用(ISM)

ISM 機器としては、電子レンジ、医療用ハイパーサーミア及び加熱器、電子メスなど、通信を目的としない高周波利用設備がある。これらの機器は家庭内や病院など、主に屋内の限られた場所での使用を目的としている。電子レンジは電波法施行規則第四十六条の七で規定されており、その他は電界強度の最大値は定めないとされている。

2.2. 小電力データ通信システム

1992 年、電波法施行規則第 6 条第 4 項第 4 号に「小電力データ通信システムの無線局の無線設備」として規定され、運用されている。無線 LAN、信号機の制御等に使用されている。

2.4GHz ISM 帯での使用を前提としているため、ある程度の干渉を許容したシステムとしてスペクトラム拡散 (SS: Spread Spectrum) 方式を用いている。この規格は初期の無線 LAN システムに対応したものであり、世界的に周波数や変調方式の規格が統一されていない時期に誕生し、現在も日本独自の周波数帯で運用されている。ARIB STD-33 として規格化されている。

2.3. 高度小電力データ通信システム

高度小電力データ通信システムは上記小電力データ通信システムのうち 2400~2483.5MHz の周波数を使う無線設備であり、主に無線 LAN に使われており、現在製品化されている無線 LAN のほとんどはこのタイプである。無線 LAN 以外としては Bluetooth, Zigbee などで利用されている。ARIB STD-T66 として規格化されている。

2.4. VICS(道路交通情報通信システム)

ドライバーに道路交通情報をリアルタイムに提供することを特徴としたシステムである。高速道路の路側に設置した電波ビーコン (電波発信信号塔) から送信された VICS 情報が走行中の車の車載器で受信される。

屋外での使用を前提としており、主に高速道路に設置され、概ね自車の前方 200km 以内の道路情報を提供する。今後 5GHz 帯の移行が計画されている。

2.5. グローバルスター

高度 1414km、軌道傾斜角 52 度の軌道に 6 個の衛星を配置した 8 個の軌道により全世界に音声通信、データ通信を提供している。現在衛星の入れ替えを行っている。通信方式としては CDMA を採用している。韓国にゲートウェイ局があり、日本でのサービスは現在行われていない。

3. SSPS の概要

NASA Reference System の主要パラメータを表 1 に示す。このパラメータを用いて共用検討を行う。

表 1 NASA Reference System

| | |
|-----------|------------------------|
| 送電電力 | 6.72GW (地上 DC 5GW) |
| マイクロ波周波数 | 2.45GHz |
| 電波の型式 | 無変調連続波 |
| 送電アンテナ直径 | 1km |
| 振幅分布 | 10dB ガウシアンテーパ |
| アンテナ利得 | 88.2 dB |
| 送電距離 | 36,000km |
| ビーム中心強度 | 24.5mW/cm ² |
| レクテナ付近 | 約-30 dBc (10km 付近) |
| 100km 付近 | 約-50 dBc |
| 300km 付近 | 約-60 dBc |
| 1000km 付近 | 約-70 dBc |

4. 共用検討

4.1. 無線 LAN

無線 LAN を屋内と屋外で使う場合を想定し、共用条件を検討する。無線 LAN として高速化された 40MHz システム(IEEE802.11n)を想定し、パラメータを表 2 と設定する。

表 2 無線 LAN のパラメータ

| | |
|-------------|--------------------|
| 周波数 | 2400~2483.5MHz |
| 送信アンテナ利得 | 2.14dBi |
| 送信出力 | 5mW/MHz |
| ルーター・子機間の距離 | 10m |
| 子機アンテナ開口面積 | 100cm ² |

ルーター・子機間の減衰モデルとして自由空間減衰を想定すると子機のアンテナ位置では-51.2dBm/MHz となる。一方 SSPS から子機のアンテナに入る電力はレクテナ中央では 33.9dBm となる。SSPS の送信波の帯域は不明であるが、仮に 1MHz とすると SSPS からの入力力は 33.9dBm/MHz となる。20dB のマージンがあると通信できると仮定すると SSPS の送信波からの入力を 105.1dB 減衰させる必要がある。これは距離に置き換えると表 1 より 1000km 以上となる。一方屋内では壁による減衰があり、約 17dB 減衰すると仮定しても 1000km 以上離す必要がある。SSPS の送信波はできるだけ帯域を狭くしたいため、帯域を 0.1MHz とすると SSPS からの入力力は 10dB 増加し、さらに離隔距離をとる必要がある。このことから無線 LAN と SSPS の周波数共用は難しい。

一方無線 LAN のチャンネル配置は 2401MHz から 2495MHz までを重なりながら 14 チャンネルに割り当てられている (ch14 は日本独自仕様)。そのため 2400~

2401MHz の間の 1MHz, 2495~2497MHz の間の 2MHz が空いており, SSPS の送信波の帯域を 1MHz 未満にすることが可能でかつスプリアスの発生が限りなく 0 に抑えることが可能ならばこの空きを利用することで供用は可能となる。

4.2. グローバルスター

グローバルスターとの共用条件を検討する。グローバルスター衛星から端末には 2.4GHz 帯, 端末から衛星には 1.6GHz 帯で通信が行われるため, SSPS との共用は端末での受信に関して検討すればよい。グローバルスターの受信端末における受信電力は衛星の仰角により若干変わるが -138~-139dBm である。グローバルスター端末のアンテナゲインは 0.33dBi (仰角 50 度) であることより開口面積は 47.7cm² に相当する。これより SSPS からの入力, 1000km 付近で -39.3dBm となり電力的に共用することは困難である。

しかしながらグローバルスターのチャンネルは図 2 に示すように帯域幅 1.23MHz で 13 チャンネルが割り当てられているが上下 255kHz は利用されていない。SSPS の送信波の帯域を 200kHz 程度にすることが可能でかつスプリアスの発生が限りなく 0 に抑えることが可能ならばこの空きを利用することで供用は可能となる。またこの場合 VICS とは周波数が重ならないので VICS との共用も可能となる。

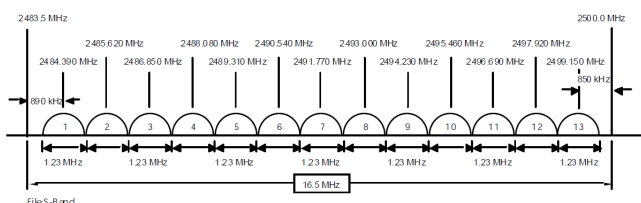


図 2 グローバルスターサービスリンク周波数配置

4.3. 電子レンジ

IMS 機器の代表である電子レンジは SSPS と周波数供用問題があるわけではないが, 無線 LAN 及びグローバルスターに対して干渉源となるため, SSPS との比較として電波暗室で測定した結果を参考に示す。

測定方法としては, 電子レンジの中に水を 300cc 入れたビーカーを置き, 内部に置いた水が沸騰するまでの約 1 分加熱し, 放射される電磁波強度と, 強く放射される方向での周波数分布を測定した。なお測定は電子レンジから 6m 程度離れた位置で行ったが, 図の電磁波強度は電子レンジから 5m 離れた場所での強度に変換している。

家庭用電子レンジから放射される雑音は若干側面

が強く, 2470MHz から 2478MHz にピークがあり, 2430MHz ぐらいまで徐々に減衰しながら分布しているが, 2480MHz 以上の帯域では急激に減衰している。

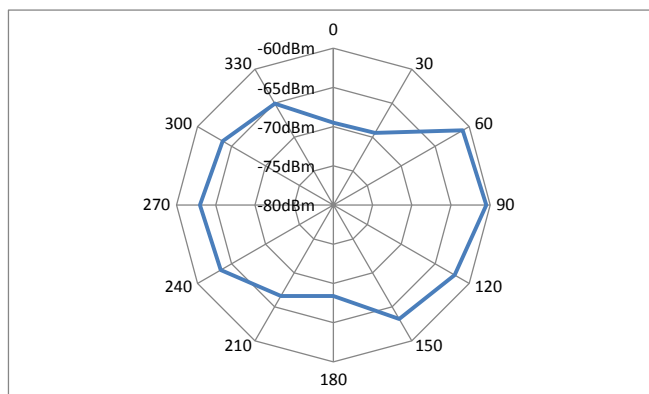


図 3 家庭用電子レンジからの電磁波放射パターン(0 度が正面)

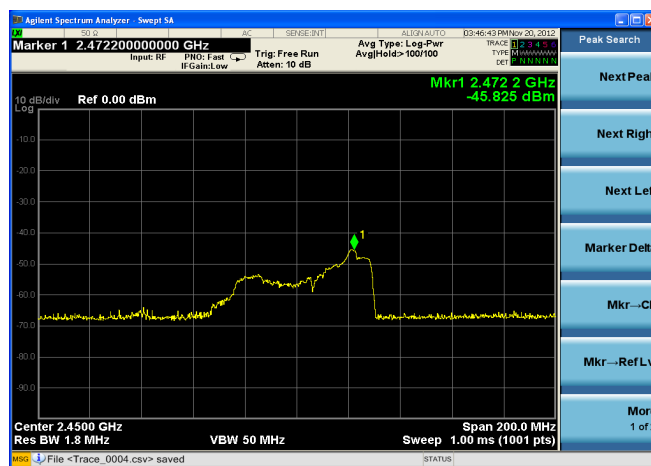


図 4 家庭用電子レンジ放射電磁波の周波数分布

電波法施行規則第四十六条の七で規定されている電子レンジの漏えい電磁波の強度は電波防護指針で職業人に適用される 5mW/cm² であり, SSPS のレクテナ端 (半径 5km 付近) の 5 倍である。レクテナ中心より 1000km 離れた開口面積 120cm² の無線 LAN アンテナに入る電力は -35.3dBm であり, 電力的には電子レンジの漏えい電磁波より高い値となる。

5. まとめ

2.4GHz 帯を使う SPS と無線 LAN, グローバルスターとの共用について検討を行った。その結果, レクテナサイトを無線 LAN の利用場所から 1000km 以上離す必要がある。また, グローバルスターに関してはチャンネルに割り当てられた周波数に関して共用は困難である。

ただし無線 LAN, グローバルスターともに割り当てられた周波数のすべてを使っているわけでないため, SSPS 送信波の帯域を狭くすることが可能ならば両者の空き周波数で共通する 2400~2401MHz の間の 1MHz 及び 2499.745~2500MHz の 255kHz を使うことで両システムと共用することは可能と考えられる.

6. おわりに

本稿では 2.4GHz 帯における周波数共用を検討したが, SSPS では通信に比べエネルギー密度が高いため高調波の影響を考慮する必要がある. また現在 JAXA 及び METI で検討が進められている SSPS では, レクテナのサイズが小型化できる 5.8GHz 帯を前提としている. 今後の課題としては, 高調波の影響検討及び 5.8GHz 帯での共用検討があげられる.

文 献

- [1] Satellite Power System, Concept development and evaluation program, DOE/NASA ER-0023, Oct. 1978.
- [2] Description of the Globalstar System, Globalstar GS-TR-94-0001, Rev. E, Dec. 2000.
- [3] 第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレス LAN システム, 標準規格, ARIB STD-T66 3.5 版, 社団法人電波産業会
- [4] 太陽光発電システム実用化技術開発 太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発 宇宙発電システムに関する調査研究, 平成 4 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書, 株式会社三菱総合研究所, 1993 年 3 月