

無線規制からみたマイクロ波送電の研究開発課題† R&D Items on Microwave Power Transfer from Radio Regulation

長山博幸^{*1‡}・柄田健^{*1}
Hiroyuki NAGAYAMA and Takeshi TOMODA

宇宙太陽発電システムを実現するためにはマイクロ波無線電力伝送に必要な周波数を確保することが必須であるが、そのためにはマイクロ波無線電力伝送に対する需要を示すと同時に、既存の無線システムに影響を与えないことを示す必要がある。本稿では既存の無線システムとの影響検討として、通信衛星、電子レンジ、磁界共鳴・磁界誘導による WPT との比較により、無線規則上からみたマイクロ波電力伝送の研究開発課題について考察する。

In order to allocate the frequency to Space Solar Power Systems, it is necessary to show that it does not interfere with the existing radio system. This paper shows the research and development items of microwave power transfer from the viewpoint of radio regulation.

Keywords : Radio regulation, Frequency, WPT

1. はじめに

宇宙太陽発電システム (SSPS: Space Solar Power Systems) を実現するためにはマイクロ波無線電力伝送用の周波数を確保することが必須であるが、そのためにはマイクロ波無線電力伝送に対する需要を示すと同時に、既存の無線システムに影響を与えないことを示す必要がある。

マイクロ波無線電力伝送に対する需要に関しては、ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアムにおける検討活動が行われているほか、6月の国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) 無線通信部門 (ITU-R: ITU Radiocommunication Sector) 会合で承認された Report ITU-R SM.2303 において日本の活動が紹介が行われている。

本稿では既存の無線システムとの影響検討として、通信衛星、電子レンジ、磁界共鳴・磁界誘導による WPT (Wireless Power Transfer) との比較により、無線規則上からみたマイクロ波電力伝送の研究開発課題について考察する。

2. 無線規則

我が国の無線規則は、法律、政令、省令等により構成されている。無線に関する法律は電波法 (昭和 25 年 5 月 2

日法律第 131 号) であり、第一章第一条に「電波の公平且つ能率的な利用を確保することによって、公共の福祉を増進することを目的とする」ことが示されている。政令としては電波法施工令等があり、さらに省令として電波法施行規則、無線設備規則等が定められている。法律、政令、省令と次第に具体的な規則が定められており、省令から総務省告示を呼び出し規定する場合もある。

一方国際的な無線規則である無線通信規則 (RR: Radio Regulations) は、国際連合の専門機関である ITU の ITU-R によって改正されている。ITU-R ではこの他、無線通信の技術・運用等の問題の研究、勧告の作成及び周波数の割当て・登録等も行っている。

国際的規則である RR や ITU-R 勧告は我が国の電波法関連規則に反映されている。

3. 他の無線システムとの比較

以下では通衛星信、電子レンジ、磁界共鳴・磁界誘導による WPT との比較を行う。

3.1 通信衛星 C バンドの通信衛星の主な技術基準と SSPS の技術仕様の比較を行う。

周波数の許容偏差に関して通信衛星では 20ppm 以下と定められている。SSPS の場合、この値を十分満足することが可能であるが、可能な限り小さくすることで必要とする周波数帯幅を狭くすることにつながる。

占有周波数帯幅に関しては通信衛星では 30MHz 等の通信速度に応じた広い帯域が求められる。SSPS の電力伝送用の周波数は広い帯域を必要としないため、可能な限り狭くすることが、周波数割り当て上有利になると考えられる。

不要発射の強度の許容値に関しては、平成 17 年総務省告示により帯域外領域では $40\log(2F/BN + 1)$

† 第 2 回宇宙太陽発電シンポジウム, 2016 年 12 月 19-20 日, 東京にて発表

‡ Corresponding author: Hiroyuki NAGAYAMA.
E-mail:nagayama@mri.co.jp

*1 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,
Mitsubishi Research Institute, Inc., 10-3 Nagatacho 2-chome,
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8141, Japan
©SSPSS

[dBW/4kHz]、スプリアス領域で50μWまたは基本周波数の平均電力より 60dB 低い値 (参照帯域 4kHz) と定められている。ここで BN は必要周波数帯幅、F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値である。SSPS の場合、占有周波数帯を狭くできるため、帯域外領域よりもスプリアス領域での不要発射が問題となる。SSPS の送信電力は 1GW 級であるため、60dB 低い値であってもかなり高い値になることより、50μW以下になるよう求められる可能性が高い。この際高調波をいかに抑えるかが課題となる。

空中線電力の許容値は、通信衛星では無線設備規則第 14 条より上限 50%、下限 50% と定められている。SSPS は通信衛星でないため、この規則をそのまま適用されることはないと考えられるが、もしこのまま適用されると伝送電力を一定に保つためにテザー型の SSPS では蓄電池の搭載が必須となる。

空中線の指向特性は電波法施行規則第 32 条の 3 より 0.3° 以内と定められているが、SSPS の場合半径 1km 程度のレクテナに送信するために 0.003° が求められることよりこの規則は満足できる。

電力密度 (PFD: Power Flux Densities) の許容値については、RR 5.414A にて 2 500-2 520 MHz 及び 2 520-2 535 MHz に対して -125dB(W/m²MHz) という値が示されている (電波到来角が 25° より大きく 90° 以下の場合)。現在の SSPS の設計では、電波防護指針の 1mW/cm² を満たすことになっているが、この設計値で上記 PFD を満足するためには、300GHz 以上の広い周波数帯が必要となる。これは現実的ではない。

通信衛星を含む受信設備に関して、不要発射の許容値は無線設備規則第 24 条より 4nW 以下である。SSPS の場合、レクテナから再放射される電力をこれ以下に抑えることが求められる。

以上通信衛星に求められる技術基準を SSPS に適用可能性を検討したが、通信システムと電力システムを同一の観点から議論すること自体はナンセンスであるものの、他の無線システムへの干渉を避けるためには、通信システムに求められる基準を考慮することは重要と考えられる。

3.2 電子レンジ 電子レンジと比較を行う。

電子レンジは高周波利用設備に分類される。高周波利用設備とは電線路に 10kHz 以上の高周波電流を通ずる電信、電話、その他の通信設備及び 10kHz 以上の高周波電流を利用して医療、工業等の分野で幅広く活用されているものと定義されている。高周波利用設備から漏洩する電波が他の無線通信に妨害を与えるおそれがあるため、一定の周波数又は電力を使用する高周波利用設備を設置しようとする者は、設置する前に許可を受ける必要がある。

高周波利用設備は、大別すると「通信設備」と「通信設備以外の設備」に分類され、電子レンジは通信設備以外の設備に分類され、電波法施行規則第 46 条の 7 で以下のように規定される。

電波法施行規則第 46 条の 7 (抜粋)

(1) 占有周波数帯幅に含まれる周波数が二、四五〇 MHz z (±) 五〇MHz z の範囲内にあること。

(2) 高周波出力の定格値が二キロワット以下であり、かつ、動作状態における高周波出力の最大値が定格値の一五パーセントを超えないこと。

(3) 電源端子における妨害波電圧が次の表に定める値以下であること。

(4) 不要発射による磁界強度がその設備から三メートルの距離において次の表に定める値以下であること。

(略)

(5) 不要発射による電界強度の準尖頭値がその設備から一〇メートルの距離において次の表に定める値以下であること。ただし、準尖頭値が許容値を超える場合であっても、当該許容値を超えた準尖頭値が測定された周波数における平均値が許容値以下のときは、この限りでない。

(略)

(6) 不要発射による電界強度がその設備から三メートルの距離において次の表に定める値以下であること。

(略)

(7) 不要発射による電界強度について、一、〇〇五 MHz z から二、三九五 MHz z までの間及び二、五〇五 MHz z から一七、九九五 MHz z まで (五、七二〇 MHz z から五、八八〇 MHz z までを除く。) の間において尖頭値が最も高い妨害波の周波数を中心として、別表第八号第一の 2 (6) に定める条件で、一〇 MHz z 掃引した値の尖頭値が、当該設備から三メートルの距離において毎メートル六〇デシベルマイクロボルト以下であること。

(8) 漏えい電波の電力束密度は、耐久試験後において毎平方センチメートル五ミリワット以下であること。

(9) 高圧電気により充電される器具及び電線が、絶縁遮蔽体又は接地することができる構造の金属遮蔽体の内に收容されており、外部より容易に触れることができないような構造であること。

電波法施行規則第 46 条の 7 での電子レンジに対する規定では、妨害波電圧、不要発射による磁界強度、不要発射による電界強度に関して IMS バンドを除くとしている。SSPS の送電に用いる周波数を IMS バンド内に確保できるかどうかは不明だが、もし IMS バンド内に確保でき、かつ SSPS が IMS 機器と認定されるならば、電子レンジ同様妨害波電圧、不要発射による磁界強度、不要発射による電界強度に関して規制が緩和される (または適用を除外される) 可能性がある。

3.3 磁界共鳴・磁界誘導による WPT 磁界共鳴・磁界誘導による WPT と比較を行う。

磁界共鳴・磁界誘導による WPT に関しては、ブロードバンドワイヤレスフォーラム、国際無線障害特別委員会 (CISPR: Comite international Special des Perturbations Radioelectriques) の SC-B (電力設備及び IMS 等) で検討が行われており、総務省でも以下の活動が行われている。

- 近距離無線伝送システムの高度利用に向けた周波数共用技術の調査検討 (H22-25 年度)
- ワイヤレス電力伝送システム等における漏洩電波の影響評価技術に関する研究開発 (H25 年度)

標準化に関しても、国内では 10kHz~10MHz 及び ISM 帯 (14MHz, 27MHz, 40MHz) についてガイドラインが定められている。

平成 23 年 4 月 16 日に発行されたワイヤレス電力伝送技術の利用に関するガイドライン 1.0 版では、10cm 以内で送電電力 50W 以下 (電磁誘導、磁気共鳴、電解結合) を対象としており、平成 25 年 4 月 25 日発行の 2.0 版では、

数 m 以内で送電電力 50W 以下（電磁誘導、磁気共鳴、電解結合）、並びに 50W～1.5kW の家電機器、約 3kW までの電気自動車への無線充電を対象としている。

海外では 5kW 程度の家電向け、kW 級の電気自動車向けのワイヤレス電力伝送技術の標準化活動が活発化している。

これらの活動を受け、情報通信審議会、情報通信技術分科会、電波利用環境委員会で磁界共鳴・磁界誘導による WPT の技術的条件が検討され、「国際無線障害特別委員会（CISPR）の諸規格について」のうち「ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」のうち「電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」について答申された。この答申で対象とした WPT システムを第 1 表に、共用相手方の無線システムの概要を第 2 表に示す。

第 1 表 検討対象とした WPT の概要

対象 WPT システム	電気自動車用 WPT	家電機器用 WPT システム① (モバイル機器)	家電機器用 WPT システム② (家庭・オフィス機器)	家電機器用 WPT システム③ (モバイル機器)
電力伝送方式	磁界結合方式			電磁結合方式
伝送電力	～3kW程度 (最大7.7kW)	～100W程度	～1.5kW	～100W程度
利用周波数	42kHz-48kHz 52kHz-58kHz 79kHz-90kHz 140.91kHz-118.5kHz	6.765MHz-6.795MHz	20.05kHz-28kHz 42kHz-58kHz 62kHz-100kHz	425kHz-524kHz
	0-30cm程度	0-30cm程度	0-10cm程度	0-1cm程度

(情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波利用環境委員会 報告より引用)

第 2 表 共用相手方の無線システムの概要

システム名	概要	周波数帯	通信方式等	
電波時計	標準電波送信所から時刻データを定期的に受信して同期、時刻合わせをする時計	40kHz, 60kHz		
列車無線等	信号保安設備	線路に設置したコイルへ電流を流し、その直上を通過する列車に設置したコイルに流れる電流を検出し、列車を停止するなどの制御を行う。	60kHz-140kHz 425kHz-524kHz	
	誘導式列車無線	鉄道敷地内の線路脇などに設置した伝送線路と、鉄道車両内に設置したアンテナ間を誘導結合し、信号を伝送するシステム。	100kHz-250kHz 80kHz(1局) 92kHz(1局)	
アマチュア無線	アマチュア無線技士が自己の技術研究や訓練等を目的に利用する無線システム	135.7kHz-135.8kHz 472kHz-479kHz等	振幅変調、周波数変調、SSB等	
船舶無線	船舶の航行安全のための無線システムであり、港湾付近や海上において利用される。	90kHz-110kHz(ローン) 424kHz, 490kHz, 518kHz(VAVTEX) 495kHz-505kHz(NAVDAT)	パルス、FSK等	
中波放送	中波帯を利用した音声放送受信システム	526.5kHz-1605.5kHz	振幅変調	

(情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波利用環境委員会 報告より引用)

本答申では許容値について以下の考え方が示されている。

- 国内での既存システムとの周波数共用検討の結果及び従来の電波法令で定めてきた許容値の不整合を最小とするよう配慮する。
- WPT システムが搭載される製品の区分（自動車、家電機器、パソコン等の情報技術装置）に従い関連する CISPR 規格を基本とし、国際規格との整合性を図ること。
- CISPR における WPT システムに対する許容値及び測定法は検討中であることに鑑み、最新の検討動向を勘案し、これを許容値として導入する必要があると判断された場合、本作業班においてもこのための検討を加速化することで許容値設定の迅速化を図ることが適当である。

また、答申に示された許容値は、電磁妨害波と放射妨害波について示されており、電気自動車用 WPT に関しては、電磁妨害波は利用周波数、利用周波数での漏洩電磁界強度、伝導妨害波の許容値が、放射妨害波では利用周波数以外の許容値を規定している。

磁界共鳴・磁界誘導による WPT は長距離の電力伝送を必要とする SSPS に適用できないが、専用の周波数を確保するための手順は大いに参考となる。

4. おわりに

通信衛星、電子レンジ、磁界共鳴・磁界誘導による WPT との比較により、無線規則上からみたマイクロ波電力伝送の研究開発課題について考察した。SSPS 用周波数を確保するためには、まず市場規模、需要を示す必要がある。これによりマイクロ波による WPT の必要性やパブリックアクセプタンスを得るための根拠となる。

また、マイクロ波による WPT の研究課題としては、以下のように整理できよう。

- 周波数帯幅が狭く、周波数許容偏差が小さな発振源の開発
- スプリアス領域での不要発射を低く抑える送信機の開発。特に高調波の低減。
- マイクロ波による WPT 周波数用バンドパスフィルタの開発

参考文献

- 1) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波利用環境委員会 報告、2016。

(2017. 1. 31 受付)