

Trend of SPS related other fields in the world*

Kozo Hashimoto (Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University)

It is important for the realization of SPS to collect comments from other fields including contrary opinions in early days. We organized SPS related sessions in meetings and published a whitepaper on SPS in International union of radio science (URSI), which is composed of various fields of radio science including radio astronomy. Such activities are introduced, especially the SPS session of the URSI general assembly held in this year. In the session, recent activities in the United States and in Japan, impact to the radio astronomy, a microwave beaming technique, ionospheric effects, and a microwave-powered micro aerial vehicle were presented. Effects of extreme conditions on SPS were shown in the poster session.

*Presented at the Eleventh SPS Symposium, 17-18 September, 2008

世界のSPS関連他分野の動向*

橋本弘藏（京都大学生存圏研究所）

1. はじめに

我が太陽発電衛星研究会の会則では、個人会員を「太陽発電衛星の意義を認める関連研究分野の研究者、または、より広く地球の環境とエネルギーの問題の研究者とする」と定義している。一方、私たちは SPS の影響を受ける電波天文をはじめ、「太陽発電衛星の意義を認める」とは限らない研究者も加わっている国際電波科学連合 (URSI) で、SPS に関するセッションのオーガナイズや、白書の出版といった活動を行っている。反対意見を無視していても、将来に問題を残すことになる。これらの人たちの招待講演を含めるなどにより、意見交換、情報収集や相互理解に努めているところである。このような「SPS 関連他分野」の動向を、2008 年の URSI 総会時の SPS セッションを中心に紹介する。

2. URSI と SPS セッション

URSI は広い分野の電波科学を下記の分科会に分かれて活動を行っている。

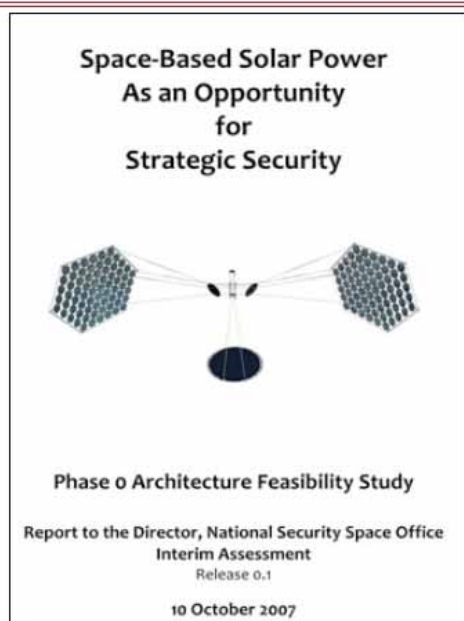
- ・ A 分科会 電磁波計測
- ・ B 分科会 電磁波
- ・ C 分科会 信号とシステム
- ・ D 分科会 エレクトロニクスとフォトニクス (including those in the microwave and optical domains)
- ・ E 分科会 電磁波の雑音と障害 :
- ・ F 分科会 非電離媒質伝搬とリモートセンシング :
- ・ G 分科会 電離圏電波伝搬
- ・ H 分科会 プラズマ波動
- ・ J 分科会 電波天文学
- ・ K 分科会 医用生体電磁気学

URSI 総会における SPS セッションは、2002 年のマーストリヒトでの総会が最初であり、総会のある 3 年ごとに開催している。それに先立ち、2001 年に京都で開催された AP-RASC'01 (アジア太平洋電波科学会議) ではユニオンセッションとして開催された。その後、2004 年北京での AP-RASC'04、2005 年のニューデリー総会でも開催した。そして、本年 8 月の URSI 総会における SPS セッションは以下の通りであった。セッション名の HBDGJK は、橋本が属している H 分科会が中心となって、A, C, E 以外の分科会が賛同したセッションであることを示している。残念ながら電波干渉を扱う E 分科会が加わっていない。B, G, および J 分科会からは、co-conveners が派遣されており、招待講演者は各分科会および conveners の推薦に基づいて決定している。その結果が以下の口頭発表のプログラムである。

注*第11回SPSシンポジウム、慶応大学にて2008年9月17,18日開催

- 08:00 HBDGJK.1 *PROSPECTS AND CHALLENGES FOR SOLAR POWER SATELLITES IN THE EARLY 21ST CENTURY* J. C. Mankins, Managed Energy Technologies LLC, Ashburn, VA, United States
- 08:20 HBDGJK.2 *CONCEPT OF SPACE SOLAR POWER SYSTEMS (SSPS) IN JAXA* T. Fujita, Japan Aerospace Exploration Agency, Tokyo, Japan
- 08:40 HBDGJK.3 *MICROWAVE POWER TRANSMISSION FOR SOLAR POWER SATELLITES* G. D. Arndt, P. H. Ngo, NASA-Johnson Space Center, Houston, Texas, United States
- 09:00 HBDGJK.4 *IMPACT TO THE RADIO ASTRONOMY BY THE INTERFERENCE CAUSED BY THE SOLAR POWER SATELLITE SYSTEMS* M. Ohishi, National Astronomical Observatory of Japan
- 09:40 HBDGJK.5 *TRANSIONOSPHERIC PROPAGATION, ABSORPTION AND SCATTERING OF HIGH-POWER MICROWAVES* L. M. Duncan, Rollins College, Winter Park, FL, United States
- 10:00 HBDGJK.6 *A LOW POWER DENSITY CONCEPT FOR BEAMING MICROWAVE POWER* R. J. Pogorzelski, J. Venkatesan, Jet Propulsion Laboratory - Caltech, Pasadena, CA, United States
- 10:20 HBDGJK.7 *WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM FOR A MICRO AERIAL VEHICLE* T. Komaru¹, E. Shimane², A. Diallo², K. Komurasaki², Y. Arakawa¹;¹The University of Tokyo, Tokyo, Japan; ²The University of Tokyo, Chiba, Japan

Conclusion More information



www.nss.org/settlement/ssp/library/index.htm



www.nss.org/adastra

図1 最近の SPS 関連の出版物

1, 2 番目の招待講演はH分科会の推薦でSPSの紹介を兼ねている。Mankins氏の講演

では、図 1 左の米軍のNSSOの成果やSPS全般の紹介などがあつた。その後、「アフリカで大規模に地上太陽光発電を行った方が効率的ではないか」といったSPSに否定的な質問があつたが、SPSの優位性を説明されていた。図 1 右も同時に紹介されたものであるが、彼によるSPSの紹介の他、NSSO関連の記事があり、興味深い。ともに図示のURLからPDFを入手可能である。2 はJAXAの研究の紹介であるが、レーザーに重点が置かれていた。「レーザー送電の場合の電力密度はどの程度まで許されるのか」との質問があり、Mankins氏がpeakでone sunと回答していた。これは 1kW/m^2 すなわち 100mW/cm^2 に相当する。これでは、マイクロ波の最大電力密度とそれほど変わらない。これが正しいとすれば、レーザーでも受電面積をあまり小さくできないことになる。

3 番目は欠席で、4 番目は J の電波天文分科会からの推薦である。大石先生は国際電気通信連合 ITU-R の電波天文関係の chair である。電波天文に割り当てられた周波数について説明し、2.45GHz の場合には多くの高調波が影響を与えること、5.8GHz でも 76-116GHz 帯には影響があることや、ISM バンドの電波の使用については、「その他の安全業務に有害な混信を生じさせないレベルとなるようにするため、実行可能なすべての必要な措置を執らなければならない（電気通信規則 RR 15.13）」と決められていることなどが示された。その他、静止衛星に多くの SPS を置けるのか、SPS が光を反射することなども指摘された。

我々は別に、SPS の周波数の高調波が表 1 の電波天文に影響を与えない周波数についても検討した結果、他の通信のことを考えなければ、5GHz 近傍では、4833-4990, 5000-5117, 5133-5217, 5438-5525, 5625-5900MHz の周波数帯が良いことが分かっている。ただし、76-116GHz は帯域が広く、40GHz 以下の周波数では必ず高調波が生じることになり、ここまで高次の高調波は抑圧するしかない。

表 1 電波天文に割り当てられた周波数

Frequency Bands(MHz)	Frequency Bands(GHz)
13.360 - 13.410	10.6 - 10.7
25.550 - 25.670	14.47 - 14.50 (H ₂ CO)0
37.5 - 38.25	15.35 - 15.40
73 - 74.6	22.21- 22.50 (H ₂ O)
150.05 - 153	23.6 - 24.0 (NH ₃)
322 - 328.6	31.3 - 31.80
406.1 - 410	42.5 - 43.5 (SiO)
608 - 614	76 - 116
1 400 - 1 427 (HI)	123 - 158.5
1 610.6 - 1 613.8 (OH)	164 - 16700
1 660 - 1 670 (OH)	200 - 231.500
2 655 - 2 700	241 - 275
4 800 - 5 000 (H ₂ CO)	

5 番目は電離層伝搬に関するG分科会からの推薦である。高電力マイクロ波による吸収や散乱に関して、F層については、自己収束、ビームのフィラメンテーション、ビームのフィラメンテーション、誘導散乱、プラズマ共鳴不安定、誘導ラングミュア乱流、

異常ビーム吸収、D層では迷走電子加熱やそれに伴う温度や密度の変化が検討された[†]。結論として、調べた範囲では、「想定される電力密度では問題はないが、より高い電力密度では、予期できない新しい現象が起こる」としている。

6番目はB分科会の推薦によるアンテナのもので、同期発振器によるフェーズドアレイに関する発表であった。7は投稿論文で唯一口頭にしたもので、マイクロ波で小型飛行機を飛ばそうというものである。東大の小紫先生のグループによるもので、実験計画や経過のビデオなどが示された。

本セッションでは、さらに以下のポスター発表があった。

HP-HBDGJK.1 *A FUNDAMENTAL STUDY ON SPECTRAL PURITY OF A CW MAGNETRON FOR MICROWAVE POWER TRANSMISSION* **T. Mitani, N. Shinohara, K. Hashimoto,**

HP-HBDGJK.2 *SOFTWARE RETRODIRECTIVE SYSTEM FOR OUTDOOR EXPERIMENTS FOR MICROWAVE POWER TRANSMISSION AND SOLAR POWER SATELLITE*

K. Hashimoto, T. Hirano, K. Mae, Y. Ohata, Kyoto University, Uji, Kyoto, Japan

HP-HBDGJK.3 *EFFECTS OF EXTREME BACKGROUND CONDITIONS ON AN SPS MICROWAVE BEAM* **R. S. Dhillon, T. R. Robinson, T. K. Yeoman,** University of Leicester, Leicester, United Kingdom

HP-HBDGJK.4 *MPT AND ITS GROUND APPLICATIONS : RURAL TELECOMMUNICATIONS*

A. Teru, E. L. Meyer, Fort Hare Institute of Technology, Alice, Eastern Cape, South Africa

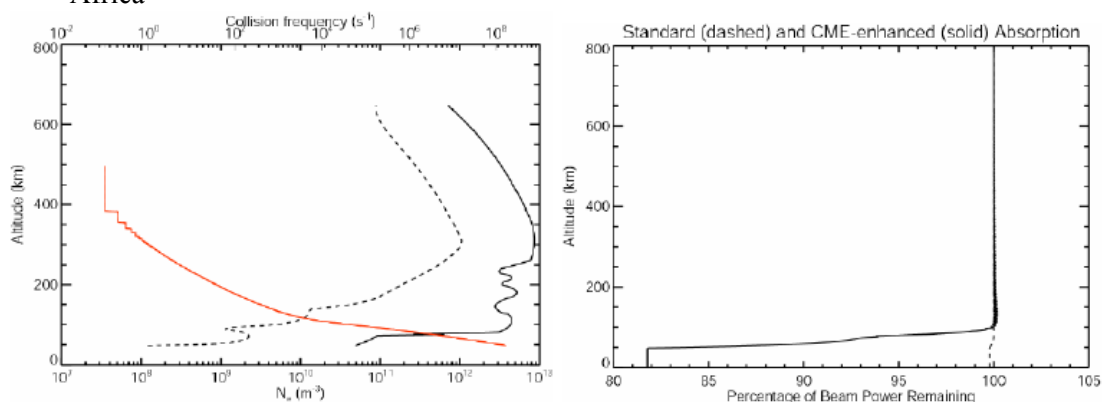


Fig. 1: ν_c and N_e for normal (black dashed) and CME-enhanced (black solid) cases (left-hand panel) and beam absorption for normal (dashed) and CME-enhanced (solid) cases (right-hand panel)

図2 2003年10月の大規模太陽フレア時のCME(コロナプラズマ塊)による電離層電子密度分布の増大(左図)とそれによる2.45GHz SPSビームの吸収(右図)

1, 2は我々のSPS側のものであるが、3は電離層の極端な条件下におけるSPSのマイクロ波ビームへの影響を論じたものである。種々の条件を検討したが、影響が出たのが

[†] 念のために元の英文を示してあくと、以下の通りである。Prospective effects in the F-region ionosphere include thermal selffocusing, beam filamentation and induced scattering, resonant plasma instabilities, stimulated Langmuir turbulence, and anomalous beam absorption. Possible D-region effects include thermal runaway electron heating and associated aeronomic changes to temperature and density.

図2の場合であったとのことである。左図の点線が通常の電子密度分布で、実線が2003年10月の大規模太陽フレア時のCME(コロナプラズマ塊)による電離層電子密度分布の増大である。右下がりの赤の実線は衝突周波数である。プラズマ周波数(10MHz程度)に比べて非常に高い周波数においては、減衰量 Γ は $f_p^2/(2cf^2)$ で表わされるが、左図のパラメータからは、右図のような大きな減衰量は得られなかった。高度100km以下でプラズマ周波数 $f_p=18\text{MHz}$ という過大な仮定で $f=2450\text{MHz}$ の電波の減衰量を計算した。高度50km-100kmまで衝突周波数 ω が ω_1 から ω_2 まで変化すると多目に見積もって、はじめて減衰量は彼らの図に近いものが得られた。

4は南アフリカからの投稿ということで、珍しく、期待していたが欠席であった。しかし、アフリカでもマイクロ波送電に興味を持たれてきたことは注目に値する。

今回の講演にはなかったが、医用生体電磁気学に関するK分科会からは以前からコメントを頂いている。具体例としては、5.8GHzでのJAXAモデルでは、当初、地上におけるレクテナの直径を2km以下として設計し、最大電力密度が 180mW/cm^2 となっていたが、 100mW/cm^2 となるように、地上を広げ、衛星のアンテナを小さくした経緯がある。これで地上における太陽の放射の電力密度と同じであるが、このレベルを超えると安全とは言えない。このレベルなら安全という表現は好ましくないようである。

3. むすび

URSIでの活動を中心に、電波に関する他の分野におけるSPSに対する見方などを紹介してきた。電子情報通信学会では、宇宙太陽発電時限研究専門委員会を2002年に立ち上げ、2年ごとに更新しつつ第4期目となっている。来年には2009年環境電磁工学シンポジウム(EMC'09/Kyoto)でSolar Power Satellite, Microwave Power Transmission, and EMCというセッションが開催される。このように他の分野との交流は、今後ともSPSへの理解を深めていくうえでも、重要であると考えている。