

# 電波は生存圏を救う

篠原 真毅\*\*

## 1. はじめに

「生存圏研究所」とは「人類の生存に必要な領域と空間を「生存圏」としてグローバルにとらえ、その状態を正確に「診断」とともに、それに基づいて現状と将来を学術的に正しく評価・理解し、さらにその生存圏の「治療・修復」を積極的に行なうことを目指した研究を遂行する」研究所です<sup>1)</sup>。研究所内には様々な研究を遂行する先生方が居られますが、私は電波を用いた研究をしています。電波は生存圏に何の関係があるのでしょうか？電波だけではありませんが、私たち人間にとって電波技術を含む科学技術は生存のために不可欠な要素だと思います。

私たち人間は「裸のサル」とも呼ばれ、生物としてはサルの幼生がそのまま大きくなってしまった不思議な生物で、体毛もなく、生まれて立ち上がるまでに約1年もかかる(普通の哺乳類は生まれて数分で立つ)、体一つでは生きていけない不思議な生物という説があります。しかし、それでも人間は地球上にすべての生物を搾取して君臨しています。これは知能が異常に発達し、生物として駄目な部分を知能と、その発現である科学技術で補完しているからと思っています。体毛がなければ服を發明し作り、子供が生まれて1年も全く無防備であれば家族や社会システムを作って子供を守り、生き延びるために食物を採取するのみならず農業を始め、そして様々な科学技術が私たちの生存を支えています。科学技術がなければ(つまり知能がなければ)人間は生存できないと思います。近年「行き過ぎた科学技術は人間を滅ぼす」という論調が目立ちますが、どこまで行きすぎたとするのかははっきりしませんし、イメージだけの問題でしょう。すぐに我々の役には立たないように見え、人間を滅ぼすかに見える最先端科学は、我々の生存を支える基盤技術や社会システムを支えるために必須であり、イメージで研究を減速させることは人間という不思議な生物自体の否定に見えます。

このような思いで、電波を応用した様々なエネルギーシステムの研究を私は行っています。大きく分けると 1) 宇宙で発電した電力を電波で地上に送る「宇宙太陽発電所」の研究、2) 電池を電波で充電したり電池レスで電波だけで電気製品を動かすような「無線電力伝送」の研究、3) 電波で新材料を作る研究、の3つを宇治キャンパスで行っています。今回はこれらの内容について説明します。

## 2. 宇宙太陽発電所 SPS<sup>2)</sup>

宇宙開発には重大な意味があると思います。近視的には多大なコストのわりにリターンが少なく見える宇宙開発や宇宙科学は意味がないように思えるかもしれません。しかし、今地球は真綿で首を絞められるがごとく少しずつおかしくなっています。最近すっかり忘れられ、下手をするとその問題すら否定するような論調に変わってしまった地球温暖化問題は何も解決していません。豪雨や竜巻等が起こると「温暖化問題のために」と少し他人ごとのように天気予報で触れるだけで、5年ほど前の「地球温暖化問題を解決しない限り地球に未来はない」的な論調はすっかり影をひそめました。人間は信じたいものしか信じないという特性があるので仕方がないのですが、我々の首を絞めているのは私達人間以外の何者でもないのです。地球上に人類が今の勢いで増え続ける限り、地球は破滅へ向かい続けるでしょう。宇宙空間を利用することは人類を地球の重力から解放し、生存のためにその活動を広げることを意味すると思っています。私達はこれを「生存圏の持続的発展」として捉えています。図

\*\* 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所生存圏電波応用分野。  
E-mail: shino@rish.kyoto-u.ac.jp

1はそのイメージ図ですが、地球上のみならず宇宙圏からもエネルギーをはじめ様々な循環系を構築し、持続的に発展していける地球や生活のイメージと考えています。すぐにリターンが返らない宇宙開発は、近未来の人類や地球のために重要な意味を持っているのです。



図1 「生存圏の持続的発展」のイメージ

このような思いの下、生存圏研究所では宇宙圏の研究を行っています。その中でも特に「宇宙太陽発電所SPS (Solar Power Satellite/Station)」の実現のために日々研究を行っています。SPSとは宇宙空間で超大型の太陽電池パネルを広げ、太陽光発電によって得られる直流電力をマイクロ波という電波に変換して、送電アンテナから地球や宇宙都市の受電所に設置されるレクテナと呼ばれる受電アンテナへ伝送し、再び直流電力に戻す方式の発電所構想です(図2)。SPSは、地球上のエネルギー不足を補い、様々な問題を抱える原子力発電所の不足を補い、環境破壊や地球温暖化をもたらす火力発電所に代わる大型基幹電力供給源となり得るものとして1968年に米国のピーター・グレーザーによって提案されました。以降40年以上絶え間なく研究が行われています。

SPSは宇宙空間に浮かぶ発電所から地上に電力を送らなければならないため、無線による電力伝送技術が重要となります。SPSは上空36,000kmの静止衛星軌道にあり、常に地上から止まっているかのように見えています。受電側ではマイクロ波をレクテナと呼ばれる整流アンテナで再び電気エネルギーに再変換して利用します。マイクロ波はISMバンド(産業・科学・医療用周波数帯)である2.45GHzや5.8GHzの周波数を用いることが検討されています。SPSは宇宙空間で太陽光発電を行い、地上へマイクロ波送電するシステムであるため、他の新技術のように越えなければいけない技術ハードルはほとんどありません。唯一発電所としてのビジネスモデルを考えた際に必要な技術の研磨及び量産性が求められているだけなのです。SPSは2040年頃の実現を目指して検討が進められています。

我が国は2009年6月に制定された宇宙基本計画<sup>3)</sup>、及び2013年1月に改定された宇宙基本計画<sup>4)</sup>で共にSPS研究開発の推進をうたっています。国の宇宙開発計画にSPSが明記されているのは現在世界中でも日本だけです。しかし残念ながら、SPSは国の本格プロジェクトとしてはまだ始動していないのが現

実です。SPSプロジェクトとしては2013年現在経済産業省が推進する太陽光発電無線送受電技術委員会が無線電力伝送システム開発は行っており、近々マイクロ波無線電力伝送の地上実証実験を予定しています。日本の宇宙開発の中心であるJAXAも一部ではSPS研究を推進し、経産省プロジェクトと現在も連携してはいます、他の宇宙プロジェクトと比べるべくもないほど小さなものです。京都大学では30年以上前からマイクロ波無線電力伝送の研究を中心としたSPS研究を進めています。現在は宇治キャンパス内にある実験設備の中で正確なマイクロ波ビームの制御方法の研究や、小型試験衛星の設計研究等を行っています。経済産業省プロジェクトの委員長も著者です。

このような状況ですが、我が国及び世界が推進してきたSPS及び無線電力伝送技術研究が技術の民生展開を推進し、逆に民生研究が宇宙応用へと逆輸入され始めたという嬉しいニュースがありました。2013年6月には世界最大の米国電気学会IEEEが「民生用無線電力伝送技術の発展が宇宙開発及びSPSを牽引する」と発表したのです<sup>5)</sup>。無線電力伝送は10年前まではSPSのみが魅力的な応用でした。しかし今IEEEが発表したように、SPS以外でも様々な応用が進んでいるのです。

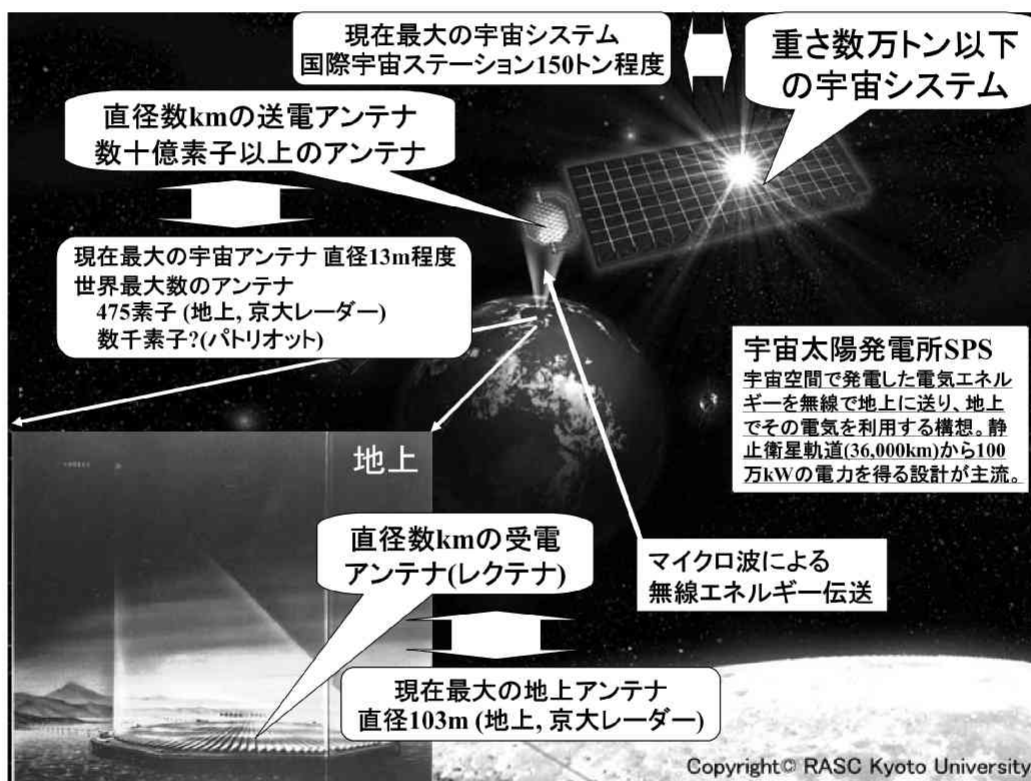


図2：宇宙太陽発電所 SPS の概念図と特徴

### 3. 無線電力伝送<sup>6)</sup>

一番古い無線電力伝送実験は100年以上前に行われました。しかしこの頃は電波エネルギーを使えるほどに1か所に集中させる技術がなく、失敗に終わりました。第2次世界大戦以後にマイクロ波という携帯電話でも今使われている電波を発生させることができる技術が生まれ、その後1960年代にはマイクロ波を使って電波エネルギーを1か所に集中させることができるようになり、マイクロ波無線電力伝送の技術が始まりました。しかし、電波エネルギーを1か所に集中させることができたといってもまだ私たちが日常使うには大きすぎるシステムと高すぎるコストであったため、マイクロ波無線電力伝送は商売としてはうまく発展できませんでした。ちょうどマイクロ波無線電力伝送の実験が行われていた頃に先述の Glaser が SPS を提唱したため、以後マイクロ波無線電力伝送は SPS 研究と寄り添うように発展してきたのです。

しかし、無線で電力を送る方法は電波を使う以外にもう一つあり、コイルを介して磁場で行う方法がこれも 100 年以上前から研究されており、こちらは電気ポットやシェーバー、IC カード等に実用化されてきました。しかしコイルで磁場を介する方法は電波と違い cm 以下に近づけないと理論的に無線で電気が送れません。電波を用いると SPS のように何万 km でも非常に高い効率で電気エネルギーを送ることができます。ですのでコイルを用いる方式は個別には商品化されていても爆発的な普及はしなかったのですが、2006 年に MIT がコイル方式でも距離を数 m 程度まで伸ばせる方式「共鳴送電」を提唱し、無線電力伝送に「革命」を起こしました。MIT の革命以降、世界中で「無線電力伝送は使える」という雰囲気となり、研究が爆発的に広がり始めたのです。現在は「Qi 規格」と呼ばれる携帯電話の置くだけ充電器が電気屋で手に入るまでに普及してきました。

これまで SPS 以外ではなかなか応用が難しかったマイクロ波無線電力伝送も MIT の革命のおかげで再注目されるようになりました。京都大学ではマイクロ波無線電力伝送を含む無線電力伝送一般の実用化を図るために企業を集めて「ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム WiPoT」を 2013 年 4 月に立ち上げ、無線電力伝送の実用化を目指す 28 社とそれをサポートする学識会員 30 大学等で活発な議論を行っています<sup>7)</sup>。

京都大学ではマイクロ波無線電力伝送のアプリケーションとして今電気自動車とワイヤレスセンサ、固定通信機器等を想定し、企業との共同研究等を進めています。図 3 は 2012 年度に開発した固定通信機器への情報と電力の同時送信<sup>8)</sup>を想定して開発した受電整流用の 1mm×3mm 角のチップです。周波数は SPS で研究されていたマイクロ波よりも 1 ケタ高い 24GHz を用いており、世界最高効率の 47.9%を実現しました<sup>9)</sup>。

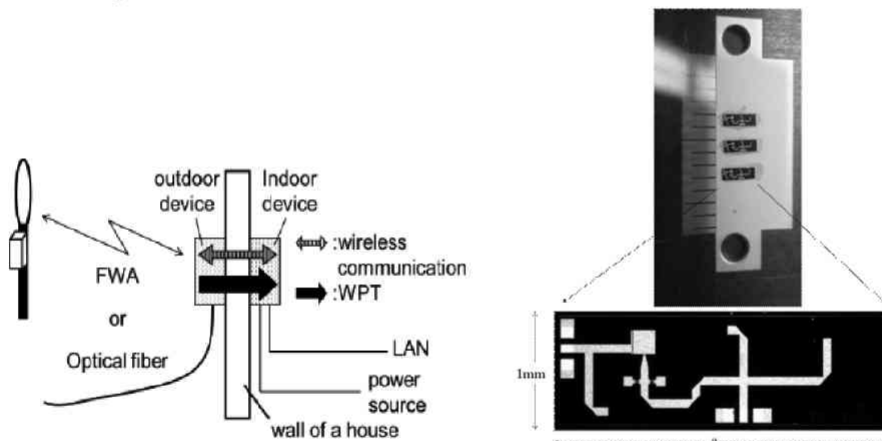


図 3：想定する応用 - 固定通信機器(FWA : Fixed Wireless Access)<sup>8)</sup>と開発したレクテナチップ (24GHz)<sup>9)</sup>

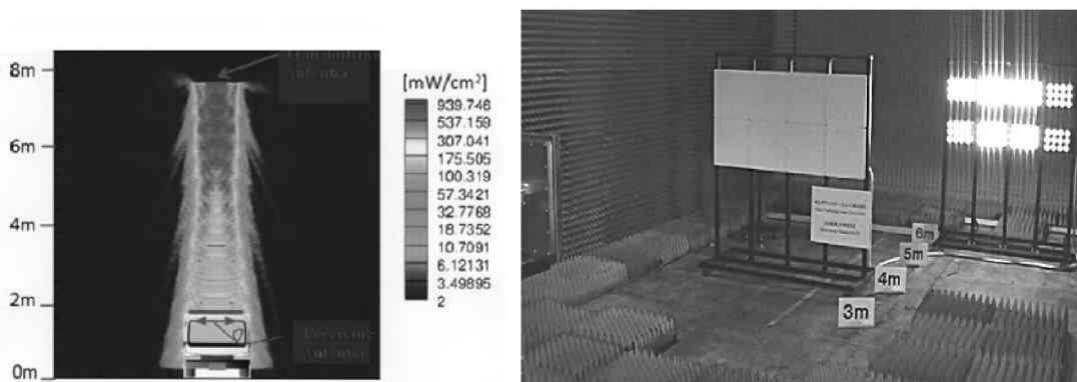


図 4：高さ 8m 程度の上空送電アンテナからの電気自動車無線充電システムのシミュレーション結果

(10kW)<sup>10)</sup>と、開発された 10kW を受電整流可能なレクテナ<sup>11)</sup>

図4左は電気自動車への無線充電に関するシミュレーション結果です<sup>10)</sup>。2.45GHz の電波強度を示しており、受電エリアだけに放射された 10kW のマイクロ波電力がほぼ集中し、不要な個所へはほとんどマイクロ波の漏れがないことがわかります。図4右はこの提案システムのために開発された 10kW を受電整流可能なレクテナ(受電整流アンテナ)です<sup>11)</sup>。レクテナ素子は 2.45GHz 帯で世界最高効率となる 91.6%を用い、128 素子のアレーを用いて実際に 10kW を受電し、4.1kW の出力を得ました。

このような世界的な無線電力でのすを取り巻く状況と、マイクロ波無線電力伝送のこれまでの研究の蓄積からすぐにでもマイクロ波無線電力伝送の実用化を進めたいのですが、残念ながら電波を管理する電波法にマイクロ波無線電力伝送が未規定なことから、「マイクロ波は危ない」という意見、そしてアプリがあまりないために未成熟で高コストな大電力マイクロ波機器の問題等、様々な障壁があり、現在はまだマイクロ波無線電力伝送装置は本格的な普及段階には至っていません。

#### 4. マイクロ波化学<sup>12)</sup>

SPS を実現する前段階として無線電力伝送の商用化を進めているのですが、電力を送るようなマイクロ波機器は他に用途があまりないこともあり、コストも高く、商用化の足かせになっています。そこでさらに遡り、無線電力伝送というこれまでにない技術を普及させるために、大電力のマイクロ波を用いた今ある何か技術をさらに発展させることで無線電力伝送の普及を加速させることはできないか、と考えました。私たちの身の回りを見渡せば一つだけそのような家電製品があることに気づきます。電子レンジです。電子レンジは 2.45GHz ・約 1kW のマイクロ波を用いて食品を温めています。このマイクロ波加熱という技術は電子レンジのみならず、木材乾燥機やハイパーサーミアというガン治療装置等、世界中で普及しています。このマイクロ波による加熱技術をさらに高度に利用することで新しい材料を作ることができる、というマイクロ波化学という学問領域が 21 世紀に入り進展してきました。京都大学ではこのマイクロ波化学による様々な研究プロジェクトを実施しています。

最新のマイクロ波化学を応用したプロジェクトとして、環境省予算により「マイクロ波による瓦礫中の有害物質迅速処理 —アスベスト飛散とダイオキシン発生防止—」を 2012-13 年度に実施しています(図 5 左)。これは他の加熱方式では十分に無害化できないアスベストをマイクロ波を用いることで短時間・大量に処理するもので、東日本大震災により大量に発生した瓦礫に含まれる非飛散性のアスベストを対象としています。実験は順調に進み、アスベスト含有スレート瓦と木材を合わせて 1 日に約 5 トン処理することに成功しました。また別プロジェクトとして木質バイオマスからエタノールを生成する研究も実施しており、図 5 右のようなマイクロ波プロセスを用いた前処理装置の開発にも成功しました。



図 5：宮城県名取市に設置されたマイクロ波による非飛散性アスベスト無害化処理装置と、実験室に設置されたバイオエタノール生成用マイクロ波前処理装置



## 5. まとめ

人類の生存圏のために宇宙圏を利用し、宇宙発電所を早期に実現したい。これが私たちの目標です。しかし、その道のりは遠く、これまで30年以上研究や普及活動をしてきても未だ本格的なプロジェクト化には至っていません。そこで無線電力伝送の民生応用の推進と共に、同じ大電力マイクロ波発振器を用いるマイクロ波化学を推進することで、遠回りかもしれませんが生存圏のために研究をしていきたいと思っています。一見我々の生存とは無関係に見える電波の技術も、このようにして見ると「電波は生存圏を救う」ように見えることがお分かりいただけましたでしょうか？電子レンジの発展形の研究が、これからの実用化を目指す無線電力伝送研究を支え、その無線電力伝送の商品が広く普及することで宇宙太陽発電所 SPS がいつか実現するのです(するはずです)。生存圏研究所ではこのような様々な科学技術の研究を通じ、生存圏のための研究を今後も行っていきたいと思ひます。

図6はそれぞれの研究に関する理系の大学生向けの教科書です<sup>2)6)12)</sup>。理系の大学生向けなので少し難しいかもしれませんが、講演で説明しきれなかった技術の背景や詳細等をまとめてありますので、興味がある方はご参照ください。また、「はじめに」で述べたような人間と宇宙圏のかかわりに関する考察は参考文献13)で社会学の研究者とまとめたことがありますのでこちらもご参考に。



図6：宇宙太陽発電所 SPS<sup>2)</sup>、無線電力伝送<sup>6)</sup>、マイクロ波化学<sup>12)</sup>に関する教科書(理系大学生向け)

## 参考文献

- 1) 生存圏研究所Homepage <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/>
- 2) 篠原真毅(監修, 著), “宇宙太陽発電 (知識の森シリーズ)”, ISBN978-4-274-21233-8, オーム社, 2012.7
- 3) 宇宙基本計画(2009)本文 [http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/keikaku/keikaku\\_honbun.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/keikaku/keikaku_honbun.pdf)
- 4) 宇宙基本計画(2013)本文 <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan.pdf>
- 5) IEEE Experts Comment on Space Technology Advancements' Impact on the Future of Consumer Electronics (2013) [http://www.ieee.org/about/news/2013/3june\\_2013.html](http://www.ieee.org/about/news/2013/3june_2013.html)
- 6) 篠原真毅, 小紫公也, “ワイヤレス給電技術—電磁誘導・共鳴送電からマイクロ波送電まで (設計技術シリーズ)”, ISBN978-4-904-77402-1, 科学技術出版, 2013.2
- 7) ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアムHomepage <http://www.wipot.jp/>
- 8) Hatano, K., N. Shinohara, T. Mitani, T. Seki, and M. Kawashima, “Development of Improved 24GHz-Band Class-F Load Rectennas”, Proc. of 2012 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications (IMWS-IWPT2012), pp.163-166, 2012

- 9) Hatano, K., N. Shinohara, T. Seki, and M. Kawashima, "Development of MMIC Rectenna at 24GHz", Proc. of 2013 IEEE Radio & Wireless Symposium (RWS), pp.199-201, 2013
- 10) Shinohara, N., Y. Kubo, and H. Tonomura, "Mid-Distance Wireless Power Transmission for Electric Truck via Microwaves", Proc. of 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory (EMT-S2013), pp.841-843, 2013
- 11) 古川実, 峰岸隆偉, 小川智也, 佐藤幸次, 王鵬, 外村博史, 寺本正彦, 篠原真毅, "電動トラック用2.4GHz帯 10kW出力レクテナへの送電実験", 信学技報WPT2012-47 (2013-03), pp.36-39, 2013
- 12) 堀越智(監修, 著), 篠原真毅, 滝澤博胤, 福島潤(共著), "マイクロ波化学 -反応、プロセスと工学応用-", 三共出版, 2013.10予定
- 13) 速水洋子, 西真如, 木村周平編, 「人間圏の再構築 - 熱帯社会の潜在力 - 講座生存基盤論第3巻」, 京都大学学術出版会, 2012  
のうち、第3編 人間圏をとりまく技術・制度・倫理の再構築 第9章 "クリーン・エネルギーをめぐる科学技術と社会 - 宇宙太陽発電を事例に - (篠原真毅, 木村周平)", pp.275-298