

科学の
峰々 68

京都大学 生存圏研究所 生存圏電波応用分野教授

しの はら な おき
篠原 真毅 先生 に聞く

“無線電力伝送”と
“宇宙太陽発電所” 構想 上

聞き手：佐藤 紀一 東京科学機器協会 副理事長／広報委員長
野村 篤史 同 広報委員
藏満 邦弘 同 事務局長
岡田 康弘 同 事務局／主事

(取材・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

と き：2011年12月2日
と ころ：東京科学機器協会会議室



篠原 直毅先生のプロフィール

- 1987年 千葉県立千葉東高等学校卒業
- 1991年 京都大学工学部電子工学科卒業卒業
- 1993年 京都大学大学院工学研究科電子工学専攻修了
- 1996年 京都大学大学院博士後期課程工学研究科電子工学専攻修了
京都大学工学博士授与
- 1996年～2000年 京都大学超高層電波研究センター助手
- 2000年～2001年 京都大学宙空電波科学研究センター(改組)助手
- 2001年～2004年 京都大学宙空電波科学研究センター助教授
- 2004年～2010年 京都大学生存圏研究所(改組)助教授(准教授)
- 2010年 京都大学生存圏研究所教授
- 2004年～2005年 宇宙航空研究開発機構 客員開発部員
- 2007年～2009年 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 宇宙探査工学
研究系 客員准教授

〈学位論文〉

マイクロ波電力伝送の受電システム並びに電力ビームの伝播特性に関する研究

〈専門分野〉

マイクロ波応用工学、マイクロ波エネルギー伝送、宇宙太陽発電所SPS

〈所属学会〉

電子情報通信学会／電気学会／日本太陽エネルギー学会／
日本電磁波エネルギー応用学会／IEEE／URSI

超高層電波研究センターから 生存圏研究所に

— 篠原先生は工学部で電気電子工学を学ばれ、現在は京都大学生存圏研究所に所属、マイクロ波による電力伝送や宇宙太陽発電所（SPS=Space Solar Power Station）の研究をご専門とされております。まず、これまでの所属に触れつつ、生存圏研究所とはどのような研究機関なのかなどから、お話ししていただけますでしょうか。

篠原 私は生まれは千葉県で、大学からはずっと京都におります。今の肩書きは生存圏電波応用分野教授ですが、学生のときから現在まで工学部電気電子工学科に所属しています。

どうして宇宙太陽発電所の研究をやっているかということですが、大学の4年生のとき、電気の研究にあまり魅力を感じず、実は就職



宇宙空間で太陽光発電を行い、その電気エネルギーを無線で地上に送る宇宙太陽発電所SPS構想

をしようと考えていました。そんなとき、現在の京大総長である松本紘先生の宇宙太陽発電所の話聞いたのです。

そのときの松本先生の話が「夢は人類をあと1万年、生き延びさせること」というもので、こういう大きな話なら面白いかなと思ったのです。そこから松本先生の下でドクターを取り、助手になり、そのまま同じ研究を続け現在に至っています。

宇宙太陽発電所とは、簡単に言えば、宇宙空間において太陽光で発電した電気エネルギーを無線で地上に送り、地上でその電気を利用しようという構想です。私はおそらく世界で唯一、宇宙太陽発電所の研究だけをやって教授になった人間だと思います。他の宇宙太陽発電の研究者は、例えばアンテナの研究をやっていて宇宙太陽発電所の研究を始めたというように、他に本業があるようです。

そして所属している生存圏研究所についてですが、もともとは超高層電波研究センターといい、空を電波で観測するための研究機関でした。この研究センターは大気を観測する直径100mほどの巨大なレーダーを持っており、それを管理することが主な仕事の一つでした。

大気は地上からせいぜい10kmぐらいの領域ですが、研究を進めていくうちに研究領域をさらに上へと広げる研究者が出てきたり、宇宙も電波で観測しようという時代になったこともあり、2000年に

宇宙電波科学研究センターとなりました。

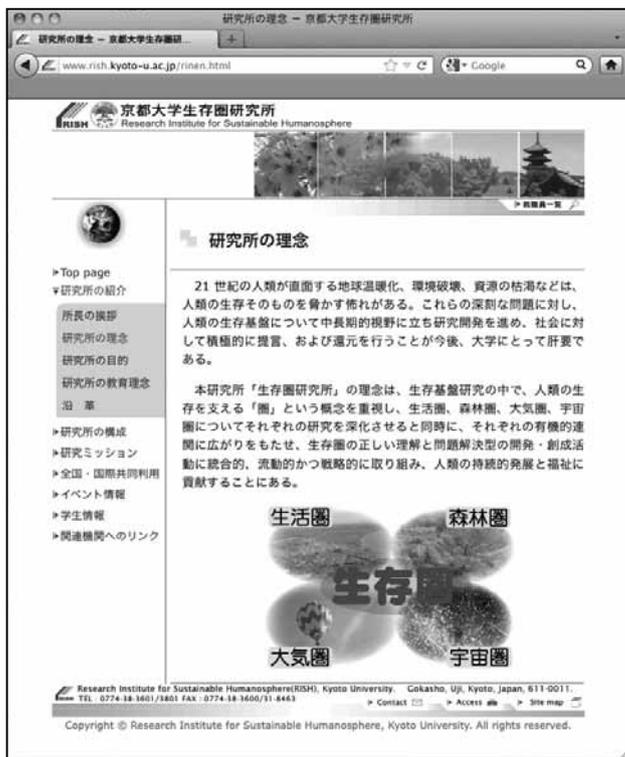
しかし観測するだけでは、医者であれば、診断はするが治療はしないというようなものです。そこで、人類が生きるのに必要なエリア、すなわち生存圏の診断と治療を行おうということで、2004年に生存圏研究所となりました。

生活圏・森林圏・大気圏・宇宙圏 4つのエリアを研究

— 生存圏とはどこを差すのか、具体的なエリアはあるのでしょうか。

篠原 私たちは生存圏を人間生活圏、森林圏、大気圏、宇宙圏の4つに分けています。英語ではHumanosphereといいます。基本は人間のために、これらのエリアで起きる諸問題を科学によって解決し、世界中の人々がウィンウィンの関係で、人類すべてがハッピーになれる世界を作っていこうというのが、私たちが取り組んでいることです。

その中で、私は電波屋なので、宇宙と電波というキーワードから宇宙太陽発電所をテーマとしましたが、遺伝子や森林などの研究をしている人もいます。最近流行の異分野融合というか、マイクロ波によって新しいバイオエタノールを作ろうという材料系の研究者や、インドネシアの森林で大気へ排出された二酸化炭素が森に吸収される循環を調べている研究者などと、コラボレーションをしたりしてい



京都大学生存圏研究所のホームページより。ホームページでは生存圏研究所の理念・目的・研究ミッションなどを紹介している

るように思います。典型的ですが、私たちには自然と融合し、一体となって生きようという世界観があります。しかし、ヨーロッパやアメリカでは、共生の概念があまり見られず、人間が使いやすいように世界を変えていこうという考えが強いように思います。

電気エネルギーを電波で送り再び電気に変換して使用する

——宇宙で発電した電気エネルギーを無線で地上に送るとき、マイクロ波による電力伝送という技術が使われるとお聞きしましたが、このメカニズムを易しくご説明していただけますか。

ます。

この点では日本で複合領域研究が流行りだす前から、それを行っており、成功している例だと思っています。

——先ほど「夢は人類をあと1万年、生き延びさせること」というお話がありましたが、これにはどのような意味があるのでしょうか。

篠原 宇宙太陽発電所の研究は松本先生がアメリカから持ち帰ってきたテーマですが、松本先生には人類は宇宙に出て行かなければいけないという哲学があります。

地球の人口も70億を超えましたが、人類全員が幸せに生きていくためには地球は限界に来ています。

人類がこの先も発展を続けたいのなら、宇宙コロニーなど宇宙も使うしかなく、そこで使われるエネルギーは宇宙太陽発電所で作られた電気になるということです。

——国内外を含め、生存圏という言葉を使った研究機関は他にもあるのですか。

篠原 生存圏という言葉は、7年前に私たちが使い始めたものですが、最近はこのキーワードを使って日本で研究グループを立ち上げる人たちも出てきました。

一方、海外では今のところないようです。生存圏という言葉には、私たちアジア系の人間のメンタリティーや地球に対する捉え方があ

篠原 マイクロ波とは電波の一種で、もともとの理論体系に戻ると、電気と磁気と電波は同じものとなります。大学の授業では電気も磁気も電波もマクスウェル方程式1つで記述でき、電波も電磁波も電気エネルギーとすることができます。

では、電気と電波の違いは何か。電気とはプラスとマイナスの揺れで、例えば、家庭のコンセントから引いている電気は、1秒間に50(60)回揺れています。それに対して、電波は揺れの動きが速く、マイクロ波になると、1秒間に10億回位揺れています。この揺れが周波数です。1秒間に50(60)回程程度の揺れの電波は空間に飛び出しにくく、揺れが非常に早い電波は空間を飛びやすいという違いで、電

気と電波という違った言葉で呼ぶのですが、基本の式は同じです。

私たちの身の回りには電波として様々な電気エネルギーが飛び交っていますが、家電などは1秒間に50(60)回揺れる電気エネルギーだけを認識し、もっと早い揺れの電気エネルギーは認識しなので、コンセントからの電気だけで動くのです。

しかし、1秒間に10億回位揺れるマイクロ波を50(60)回の揺れに落とす、あるいは一気に直流に落とし動きを止めると、飛んできたマイクロ波で家電を動かすことができます。

このように電波としてアクティブに電気エネルギーを送り、電波を電気に変換して使うおうというのが無線電力伝送です。原理から言うと何か特別なことをしているわけではなく、おおもとの物理に帰って、動きの速い電波を、動きの遅い電気に変換して使うだけなのです。

これを応用し、周辺の電波エネルギーを回収して電気として使うという技術の仲間を、エネルギーハーベスティングといいます。私たちの周囲にはラジオや携帯電話をはじめ、気持ち悪いくらいにたくさんの電波、つまり電気エネルギーが飛び交っています。この電波を、先ほど言ったように、電波電気変換器によって動きを遅くすれば電気として使うことができます。

— 無線電力伝送は特別なこと

はしていないとのことでしたが、この技術はいつごろからあるものなのでしょうか。

篠原 無線電力伝送の歴史を簡単に説明すると、1864年にマクスウェルによって電磁波の理論ができ、1888年にヘルツの実験により電波の存在が証明されました。

その10数年後の1904年に、ニコラ・テスラという人が無線電力伝送の実験を行ったのですが、このときは失敗に終わりました。失敗の理由は、電波が広がりすぎて、電気エネルギーとして回収するには電波が薄くなりすぎたのです。

その後、電気エネルギーとして認識できるぐらい濃い電波を作れるようになり、やがてマイクロ波を使ったエネルギービームが登場。1960年代にはアメリカでヘリコプターへ向けた無線電力伝送の実験が行われました。

地上での無線電力伝送の課題はコストの高さ

— 無線電力伝送が普及すれば、やがて送電線がいなくなる時代が来るといえるのでしょうか。

篠原 送電線は電気エネルギーが線の中に閉じ込められているので、送電の効率がとても良いのです。それに対して、電波は何もしないと広がってしまいます。それをアンテナの技術で無理矢理集中しているわけです。電波は周波数が高いほど絞り込めるのですが、1秒

10億回の揺れであるマイクロ波でも受けるアンテナは、まだ使うには大きくなります。

例えば、あるビルから隣のビルへマイクロ波を無線伝送すると、受信のために直径1mぐらいのパラボラアンテナが必要になります。ユーザーニーズから言うと、それなら隣のビルへ電線を引いた方がよいということになるでしょう。

無線電力伝送は40年以上前から実験も成功していましたが、ユーザーから見るとコストも高く、使えない技術とされてきました。ですから、無線電力伝送はこれまでに消えてしまってもおかしくない技術だったのですが、これが宇宙太陽発電になると、宇宙へ線をひっぱるわけにはいきませんから、どうしても無線しか方法がなくなるわけです。

一方、地上でも無線電力伝送の改良版の技術が、新たなユーザーニーズと出会い、この数年、多いに盛り上がりを見せています。

低消費電力機器の普及が電力伝送技術に新たな道を開く

— 地上での無線伝送の盛り上がりとは、どのようなものなのか、ここで少しお話していただけますか。

篠原 先日、あるテレビ番組で国内のメーカーさんが電波電気変換器を東京タワーに向け、LEDを点けるというエネルギーハーベス

提案するマイクロ波送電技術ロードマップ

1st Step

現行法下での通信と同程度の弱いマイクロ波を用いた、通信と共用する無線電力伝送。例えばRF-IDやセンサーへの給電、ユビキタス電源等。または逆に閉鎖空間での強強度の無線電力伝送。例えば電気自動車無線充電や建物内無線電力配電等。

2nd Step

共用 / 専用周波数帯を用いた移動体への / からのフェーズドアレーを用いた近 / 中距離無線電力伝送。飛翔体、ロボット、移動する電気自動車等、有線では不可能な電力伝送。

3rd Step

専用周波数帯を用いた長距離無線電力伝送。宇宙太陽発電SPS等。

ティングの実験を行いました。東京タワーから出ている電波を拾って電気に変えたわけです。ただ、放送用の電波は、離れると弱くなり、拾っても家電を使うほどの電気にはなりません。放送は電波の少しの動きさえ感知できれば情報になるので、利用できるわけです。

しかし、ここ10年ぐらいで多くの人々が携帯電話を持ち歩くようになり、その電池が切れると不便だと思えるようになりました。こうしたことから、携帯電話などへ少しの電気を供給してくれればいいというユーザーニーズが出てきたのです。

低消費電力の携帯電話などであれば、濃い電波エネルギーを作らなくても、微弱な電波を用いて必要な電気を送ることができます。

それと、電池は意外と環境への負荷が高く、作るときには二酸化炭素をけっこう排出しますし、廃棄にも問題があります。この点、無線で電気を送ると、携帯電話の電池がいらなくなるとは言いませんが、電池を小さくすることができます。

現在はコンセントから電気を引くか、電池を使うかが主流ですが、それに無線電力伝送を加え、使い分けによる第三の道も考えられます。線を引いて電気を送った方が効率的でいいと言う人もたくさんいますが、私はそれぞれの得意分野を活かして、住み分けをするのがよいのではと考えています。

— 無線電力送電には、すでに商用化されているシステムはあるのでしょうか。

篠原 商用化されている応用例に、RF-IDという技術があります。これは電子バーコードで、作動するために電気が必要なICチップをコンテナなどにつけておきます。必要に応じて、そのICチップに外から電波を送ってICチップを作動させ、情報を読み取るというものです。

また、ICカードは1995年頃から使われるようになりましたが、そのエネルギーは無線で来ており、これも無線電力送電の一つと言っていいものです。

ワイヤレス技術の市場が2020年には1兆円産業に!?

— マイクロ波による電力伝送では、商用化されたものは何かございますか。

篠原 マイクロ波を使った電力伝送は今のところ電波法の壁があり、事業化はしにくいのですが、その関連技術である、磁場を使う「電磁誘導」やアメリカのマサチューセッツ工科大学が打ち出した「共鳴送電」などは事業化が進んでいます。

この2つの方式は距離がとれないため、一般的な無線のイメージとは少し離れるかもしれませんが、オランダのフィリップスが中心となり「Qi規格」という電磁誘導方式の国際規格化を進め、携帯電話の置くだけ充電器などができています。日本でも、その規格のサードパーティーの置くだけ充電器を家電量販店などで買うことができます。

また、アメリカのクアルコムという会社は、ロンドンで電気自動車の無線充電の実験を始めていますし、韓国では走行中無線充電バスの事業化に向けて動き出しています。これらの実験の究極の姿は、電池を積んでいない電気自動車が、電波伝送によって電気を受け取って走るというものです。

このようにワイヤレス技術は研究も商用もホットになっており、あるアメリカのシンクタンクは、



マイクロ波無線電力伝送の応用例として、微弱な電磁波を用いてエネルギー伝送を行い、ある空間内の至るところでIT機器をバッテリーレスで駆動させるシステム「ユビキタス電源」などが考えられている

この分野は2020年には1兆円産業になると言っています。

ただし、日本は研究者は増えているのですが、商用化と規格化では世界に乗り遅れており、国の取り組みとして頑張らないといけない、と学会では話し合っているところです。

最近は無線電力伝送に関してメディアから取材を受けることも多いのですが、近頃のメディアの風潮は、日本の技術はすごい、日本頑張ろうと持ち上げるというもの。これには少し不満を感じており、日本はこの分野の規格化も商用化も出遅れており、国としての大きなプロジェクトもありません。その現実をきちんと見て、頑張らなければいけないというのが、日本の置かれている現状ではないかと思っています。

静止衛星軌道上で24時間発電し 地上に電気を無線伝送する

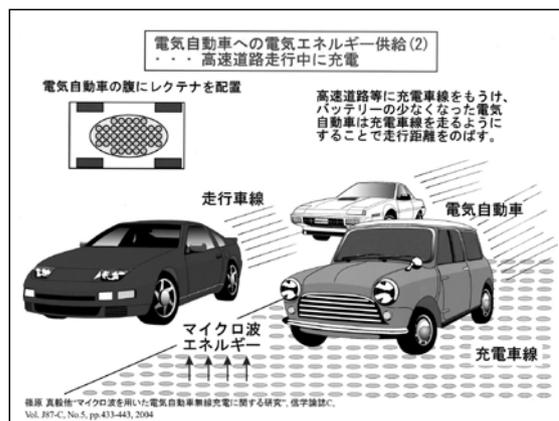
— ここから宇宙太陽発電所のお話を伺っていききたいと思います

が、この構想の概要からお聞かせいただけますでしょうか。

篠原 宇宙太陽発電所は1960年代、宇宙開発競争が盛り上がっていたときにアメリカで提唱された構想です。当時、地上ではヘリコプターを飛ばし、そこへ無線電力伝送するという実験が行われました。それをもとに宇宙で発電した電気を地上に送ることができると、1968年にピーター・グレイザーという研究者によって提唱されました。

宇宙太陽発電所は、まず、太陽電池を静止衛星軌道上に打ち上げます。静止衛星軌道は赤道上空の地球から3万6000km離れたところにあり、地球の重力と自転の遠心力の関係で、太陽電池は常に私たちの頭の上にあることになります。

頭の上といっても、地球は地軸の傾きがあるので、赤道上空の静止衛星軌道は、春分と秋分の日、若干、太陽の光の陰に入るときがありますが、基本的には24時間、常に太陽が当たり、発電を行うことができます。



高速道路などに充電車線をつくり、電気自動車に電気エネルギーを供給するという研究も進められている

なお、この静止衛星軌道には、放送衛星や気象衛星があります。衛星放送が春分と秋分にメンテナンスと言っ、放送を休止することがあるのをご存知の方もいるかと思います。あれは実は放送衛星に太陽の光が当たらず、太陽電池の発電ができないため放送を止めているのです。

また、3万6000kmより地球に近づくと、自転周期が早くなります。例えば、国際宇宙ステーションは地上から400kmの上空にありますが、これは90分で地球を1周しています。

GPS衛星は地上から2万kmの上空を飛んでいて、半日に1回程度、日本の上に来てきます。ただ、GPS衛星は何十基と飛んでいて、その中のいくつかが常に日本上空を飛ぶようになっており、位置の認識をしています。

次号では 篠原直毅 先生

“無線電力伝送” と

“宇宙太陽発電所” 構想 (下)

において続きをお話いただきます。