

科学の 峰々

68

と き：2011年12月2日
と ころ：東京科学機器協会会議室

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 下

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)



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

宇宙太陽発電所から地上へ 100万kWの電気を送電

——引き続き宇宙太陽発電所についてお話をお聞きしますが、篠原先生の構想では、宇宙太陽発電所から地上へ、どのくらいの電気を送ることが可能になるのでしょうか。

篠原 無線電力伝送は、距離、周波数、アンテナの寸法だけで決まるため、計算上電気はいくら送ってもよいことになります。太陽電池は静止衛星軌道に浮かべるため、3万6000kmという距離は決まります。そこからマクスウェル方程式を使って、マイクロ波を効率的に地上に送るための送電アンテナの寸法を計算すると、アンテナの直径は2kmほどになります。

この大きさの送電アンテナが必要ということは、1Wなどのわずかな電気を送電しても元が取れないので、投資を回収しようとすれば、100万kWの送電は行わなければなりません。そこから考えると、太陽電池の面積も2km四方の大きさになり、電波を地上で受ける受電アンテナも数kmの大きさが必要になります。

ただし、ここまでの話は太陽電池や送電アンテナの重量を考えていません。ロケットで宇宙へ打ち上げるためのコストを考えると、いかに装置を軽くするかが課題と目標になります。

そうすると、研究開発は材料の

話になってきます。いかに軽く、いかに強い構造の材料を作るか。私たちが研究している電波の装置も軽くするが、太陽電池も現在の10分の1にしたい。全体では、1万t以下の重さにしたいと考えています。

——100万kWの発電というと、ほど原子力発電1基の発電量になりますね。

篠原 宇宙開発競争をしていたころにアメリカで考えられていた宇宙太陽発電所はもっと大きいものでしたが、装置をロケットに積むことを考えると、重さは1万t以下にしなければならず、そこから100万kWの送電を考えたわけです。

では、重量1万tがどのくらいの重さかということ、国際宇宙ステーションが150t、日本の放送衛星や気象衛星の重たいもので10tほどです。1万tの装置をロケットに積みみたいと言うと、バカかと言われます。ですが、今は大きいだけで、

使っている技術は特別なものではありません。20～30年もすれば、新材料を組み合わせ、実現は可能でしょう。できないと言うほうが不思議と言えます。

できないのは心のバリアが決められているだけで、必ず可能になるというのが私たちの主張です。

——宇宙からマイクロ波によって電力を送るとき、ロスというのはないのでしょうか。

篠原 マイクロ波は地上の雲や雨、宇宙空間のプラズマなどがあっても、消えずにそのまま届きます。ただし、もともとの電気エネルギーからマイクロ波を作り、それを再び電気に戻すまで、今の計算では、50%ぐらい損失します。これは距離が何万kmあっても変わりません。

伝送の効率が50%では低いと言う人もいますが、宇宙では昼夜や天気に関係なく発電できるので、地上より発電量が増えます。

送電技術の役割

電力流通技術開発の歴史：新しい電源の利用を可能とした

明治：送電技術の誕生

➡ 電気の利用を可能とした

大正：

高圧送電技術 11万5,000V（猪苗代線）

➡ 水力発電の利用を可能とした

昭和：超（々）高圧送電 50万V（100万V）

➡ 原子力発電の利用を可能とした

平成：スマートグリッド

➡ 再生可能エネルギーの利用を可能とすれば。

未来：マイクロ波無線送電！

➡ 宇宙太陽発電 SPS の利用を可能とするはず！

SPS は発電技術・送電技術が一体となった新時代の電気利用である！

宇宙太陽発電所 SPS の特徴

1. 二酸化炭素 CO₂= 温室効果ガスをほとんど出さない発電所

理由：太陽電池なので、石油等を燃やさないため。ロケットの影響を含めても 2. のおかげで問題はない。

2. 工場や鉄道等昼夜なく大電力が必要な所を支える基幹発電所

理由：宇宙でもほぼ 1 年中地球の影に入らない所に SPS は置かれる為、地上が夜でも発電が可能。マイクロ波は雲でも雨でも吸収・散乱なく地上まで届くので曇でも雨でも発電が可能。= 夜でも雨でも太陽電池で発電できる

3. 既存技術の延長で実現可能（やろうと思えばできる）

理由：SPS は大きくは太陽電池技術とマイクロ波技術でできており、技術の壁は薄い。1GW の SSPS を構築するには 30 年後の技術で 1.29 兆円を要すると試算されている (JAXA2003)。その時の発電コストは 8.9 円 /kWh。

4. 人類が宇宙で暮らす足がかりとなる

理由：SPS は今の人工衛星の千倍以上、宇宙ステーションの百倍以上大きい
→ このような大きな宇宙システムを作れるくらいなら宇宙コロニーも可能。

それに対して、地上での太陽電池の稼働率は約15%前後と低すぎます。運転費はゼロでも初期投資が高いシステムの稼働率が約15%前後というのは、本当はおかしいのです。

火力発電のように、初期投資は低く、発電するとき燃料費がかかるシステムなら、運転を止めれば燃料費が浮くので稼働率は低くてもよいのです。

地上との比較でいつも触れるのが設備稼働率の問題なのですが、春分と秋分の日には動かなくても、宇宙太陽発電所の稼働率は90%以上は可能になります。これなら初期投資が占める発電システムとして充分成立する数字です。

将来の長期的な目標は生存圏の宇宙への拡大

—— 地上から3万6000km離れた宇宙太陽発電所の設置や組み立てなどは、どのように行う計画なのでしょう。

篠原 日本は有人宇宙開発にあまり積極的でないこともあり、日本の研究者はロボットで装置を組み立てようという流派が多いようです。

しかし、私たちの将来の夢は宇宙コロニーを作ることにあります。その第一ステップである宇宙太陽発電所の構想は、宇宙から地上へエネルギーを送り、クリーンエコ

ノミーの発展に貢献することです。そして長期的な目標としては、宇宙への人類の生存圏の拡大があり、人類が宇宙で暮らせる技術ができないかと考えています。

そのため有人での宇宙開発を行い、やがてはロケットのパイロットも、組み立てをする技術者も、特別な訓練を積んだ宇宙飛行士でなく、ごく普通の人が行えるようにしたいと思っています。

—— 宇宙太陽発電所は材料や装置の軽量化が課題とのことですが、これをクリアするまで、実証実験などを行うことは難しいということでしょうか。

篠原 宇宙太陽発電所の最大の弱点は、実験からお金がかかることです。この点、地上での実験なら、まず小さな発電プラントを作り、



無線電力伝送装置を搭載した飛行船(高度30m)



飛行船搭載無線電力伝送装置



地上受電アンテナ(無線携帯充電)

生存圏研究所の若い研究者たちが行った、飛行船からのマイクロ波を用いた携帯電話充電実験(2009年)の様子。災害時の緊急電源を想定し、飛行船から地上の携帯電話へ無線電力伝送によって電気を送り、充電に成功した

次に実証プラントを作り、その上で商用プラントを作るという手順を踏むことができます。

しかし宇宙太陽発電所は、太陽電池もアンテナも大きなものになり、たいへんなお金がかかってしまいます。

そのため、今は地上でできるだけ基礎実験をやっています。その上で、例えば地上400km上空の低い軌道に太陽電池を打ち上げ、90分に1回、頭の上にくるだけですが、それで実験を行うということも考えられます。しかし、本来の目的から言えば、余計な手間になってしまいます。

あるいは、電気の揺れを速くすると光になるので、レーザー光で電力伝送をしようというグループもあります。マイクロ波の場合、1回の揺れは10cmぐらいですが、光になると、1回の揺れはミクロン単位になります。揺れが短いとアンテナを小さくできるので、その分、コストを下げることはできます。

しかし、レーザー光で100万kWの電気を送ると、エネルギー密度が濃くなりすぎるので、どう送るかを考えないといけません。

宇宙太陽発電所構想における電波の安全性

——電力伝送における電波の安全性はどのように考えられているのでしょうか。

篠原 宇宙太陽発電所から送るマ

イクロ波は、マクスウェル方程式で計算すると、頑張って制御して2kmの範囲に収まるというものです。送ろうとしている100万kWの電気を、この2kmのエリアで割り算すると、マイクロ波は携帯電話の電波よりも少し強いくらいになります。これなら問題はありせん。

電波を集中させると、アンテナを小さくできるので、できるならそうしたいのですが、電波は理論上の集中度の限界があることと、一生懸命制御してようやく集中できることが、逆に安全性を担保しているとも言えるのです。

——地球環境の面からお聞きしたいのですが、太陽から地球へ降り注いでいるエネルギーと、地上から地球の外へ放出されるエネルギーがほぼ同じなので、地球の環境はバランスを保っていると言う人もいます。この点はどうお考えでしょうか。

篠原 余計なエネルギーが地球に入ってくるという話ですね。ガイア仮説という地球を生物にたとえる仮説があって、エネルギーの全体的なインとアウトを説明する方法があります。

地球は太陽からの光が当たってエネルギーが入りますが、それを放出して、熱バランスをとっていました。しかし温室効果ガスによって放出されるはずの熱がプロテクトされ、地球の温暖化が起きているとされています。

地球に降り注いでいる太陽エネ

ルギーをすべて使えたなら、人類が使っているエネルギーの100倍ぐらいになります。この大きな太陽エネルギーのインとアウトからすると、宇宙太陽発電による100万kWという電気は、ごくわずかなものです。そして地球は恒温動物のようなもので、宇宙太陽発電所から少し余計なエネルギーが入ってきても、バランスを崩すことはないと私たちは説明しています。

これと同じことが、マイクロ波の安全性の説明にも言えます。マイクロ波が体に入ると、基本的には温度が上がります。しかし、私たち恒温動物の体は、汗をかいたりして体温を一定に保とうとします。ある程度以下の入力であれば、恒温で生きようとする人間の生体作用が勝つのです。

逆に、マイクロ波が限度を超えてしまうと、温度が上がって危険な状態になることもあるでしょう。そこで、そのレベルを安全性基準で定めているわけです。

——そもそも地球温暖化に疑問を呈する研究者もいるようですが、篠原先生はどう捉えているのでしょうか。

篠原 地球温暖化を信じるか、信じないかという話になったとき、私は信じた方が良いのではと答えています。地球温暖化が間違っているとして、何も対策をしなかったとします。それが後になって、地球温暖化が真実だということになったら、とても困ります。

それならば地球温暖化を信じ、経済活動を行いながら、二酸化炭素の排出削減の努力をし、対策を行っていくほうがいいでしょう。結果、温暖化が間違っていたとしても、あまり損はしないのではないのでしょうか。

人間の欲を肯定し かつ地球環境を守るには？

——福島での原発事故後、エネルギーをどうするのか、日本では混迷が続いています。これについては、どう見ておられますか。

篠原 原発が使えないので、その分の電気を作るために今は火力を使っていますが、二酸化炭素の排出と地球温暖化の問題はどうするのかという話は、いっこうに解決していません。

生産から廃棄までのライフサイクルアセスメントを考えて、二酸化炭素の排出量とコストを計算すると、確かに原発は優れています。原発の生産寿命を30年とし、1kW/h当たりの二酸化炭素の排

出量を計算すると、原発は火力の40分の1ほどになります。一時期メディアでは、石油に比べてガスは二酸化炭素の排出量が少ないと持ち上げていましたが、ライフサイクルアセスメントの点から計算すると、ガスは石油より少し二酸化炭素排出量が少ないだけです。

一方、新エネルギーは不安定で、ビルや家々に太陽電池を取り付けていますが、雨や曇りの日はほとんど発電しません。停電を起こさないのは、以前は原子力発電があったから、今は火力発電が動いているからです。

また、スマートグリッドによって電気を効率的に使おうとしていますが、社会全体を支えるには、まだまだ時間がかかるでしょう。

それなら、人間が我慢すればいいという人もいます。しかし、ある程度は節電をしても、日本人は相変わらず電気を使う生活を送っています。結局、人の業は乗り越えられない、その業を肯定したところから始めてこそ、人間だというのが私の考えです。

原発を止めたからといって、そ

れに代わる解は見つかっていないというのが現実です。今はいろいろな発電方法をミックスしていくしかなく、その一つとして私たちは宇宙太陽発電を提案しているのです。

ただし、宇宙太陽発電にはおまけがつきます。人類が生きていくためには、全体の生産量を増やさないといけません。そのためには宇宙の資源、エネルギーを利用しなければならないでしょう。

将来、人類が宇宙空間へ出て行ったとき、発電を行う有効な方法が太陽電池です。水力も、風力も、スマートグリッドも宇宙では使えません。宇宙への生存圏拡大の第一歩として、宇宙太陽光発電はたいへん面白い研究ではないかと私は思っています。

経済産業省のプロジェクト を軸にオールジャパンで 研究が動き出す

——宇宙太陽発電所の研究は国家プロジェクトとして進んでいるのでしょうか。

「宇宙基本計画」のシステム・プログラム

2009年6月に策定

(1) 5つの利用システムの構築

- A アジア等に貢献する陸域・海域観測衛星システム
- B 地球環境観測・気象衛星システム
- C 高度情報通信衛星システム
- D 測位衛星システム
- E 安全保障を目的とした衛星システム

(2) 4つの研究開発プログラムの推進

- F 宇宙科学プログラム
- G 有人宇宙活動プログラム
- H 宇宙太陽光発電研究開発プログラム
- I 小型実証衛星プログラム

低炭素社会を支えるエネルギーの実現

(現状)

地上では低炭素社会を実現する再生可能エネルギー電源(太陽光発電、風力発電等)の利用が進められているが、安定性などの課題があり、この課題等が克服できる宇宙におけるエネルギー利用はまだ行われていない。

(目標)

地政学的な影響を受けず、安定的でクリーンなエネルギーを利用可能な宇宙における太陽光発電システムに関して、実現に必要な技術の研究開発を進め、地上における再生可能エネルギー開発の進捗とも比較しつつ、10年程度を目途に実用化に向けた見通しをつける。

篠原 2009年に「宇宙基本計画」がまとめられ、その中に日本は宇宙太陽発電所の開発を行うと記載されました。

その研究開発プロジェクトの1つが経済産業省のもので、私はその委員を務めています。そのプロジェクトでは、3年後に実証実験を行うというスケジュールで進んでいます。

このSPS研究の流れの中で私たちの研究所に新たに電波科学の研究設備を入れたところです。おかげさまでメディアの注目度も高く、それ以降、テレビや新聞などにたくさん取材をしていただきました。

——宇宙太陽発電所の研究は、経済産業省の所管として進められているのでしょうか。

篠原 以前は文部科学省系と経済産業省系の2つの委員会があり、実ははっきりしていませんでした。宇宙に関わることなので、文部科学省であり、JAXAの所管となるのですが、産業応用という言葉が出ると経済産業省となります。

その経緯を話すと、2009年に宇宙基本計画ができ、宇宙太陽発電所に関して産業応用という言葉が使われました。これによって、今は経済産業省が太い軸になっています。

ただし、経済産業省ではロケットは打ち上げられないので、JAXAのプロジェクトと一緒に、現在はオールジャパンで研究開発が進められています。

研究を通して科学が人類の生活を成り立たせていることを実感

——携帯電話の普及などによって無線電力伝送の商用化、標準化の研究開発が盛んになり、また、宇宙太陽発電所の研究も注目を浴びるようになったとこのことです。こうした現状をどのように感じているのでしょうか。

篠原 宇宙太陽発電は私の師匠の力と情熱をもってしても、30年間、一進一退でした。「良いものは良い」というだけでは、世の中は動かないという現実も見ました。

ところがこの数年、無線電力伝送がビジネスとなり、儲かると言われるようになると、研究者も増えてきました。今は、そういう人たちにも宇宙太陽発電が有用な技術であると理解してもらい、この分野の研究がさらに活性化したらよいという気持ちで研究を続けています。

それと宇宙太陽発電所の研究を通して辿り着いたのは、科学技術が人間という生物を成り立たせている元だということ。科学がなければ人類は人類という種として存続しつづけることはできません。

——話は変わりますが、日本の理科教育について思うこと、あるいは、若い世代に伝えたいことなどがあれば、お聞かせください。

篠原 若い人たちに対しては、何を信じていいのか分からない時代に、どうせ信じるなら科学を信じてみたらいいのではと言いたいと思います。

——最後に、科学機器業界に身を置く私たちメーカーやディーラに対して、ご意見やご要望、励ましのお言葉などがあれば、お願いいたします。

篠原 大学の研究者たちが出した見えないアイデアが形になり、リアルな機器となるのは、やはり、科学機器業界の皆さんのサポートがあってこそだと思います。そのサポートがなければ、せっかくのアイデアも妄想で終わってしまうこともあったでしょう。

一方、今は科学機器も専門化しすぎていて、どこに聞いてよいか分からないことがあります。選択肢が多すぎて選べないわけですが、そんなとき、どこに相談すればよいのかを紹介してくれる窓口があるとありがたいと思います。



今回は、佐藤 夏雄 先生

国立極地研究所副所長 に
オーロラ南北半球同時観測、国際短波レーダー網を用いた電磁圏変動の研究などについてお話いただきます。