

宇宙太陽光発電の実現加速 ～技術課題とその解決方策並びに産業全般へのインパクト～

(一社)未踏科学技術協会 特任調査員 狼 嘉彰

1. 調査の目的

東日本大震災に伴う福島原発事故は、日本のエネルギー問題の根本的な見直しを迫った。原発依存が大きなリスクを伴うことは、残念ながら否定が困難である。代替エネルギー源の確保が急務である。現在、急速に発展中の再生可能エネルギー活用による電力供給が、一定の実現性を示し始めていることから、将来のエネルギー需給の解決が見通せるかもしれない、との議論が進められている。

一方、長期的な視点に立てば、多様なエネルギー源の確保は、将来の不確定性に備える意味で、極めて重要である。現時点で見通せるエネルギー源の一つが宇宙太陽光発電システムである。取り出せるエネルギーのダイナミックレンジが大きいこと、1年に2回の食を除けば1日24時間の発電が可能であること、保守を容易にできる見込があること、継続的なエネルギー収穫に地政学的な問題が絡まないこと、あるいは、地球温暖化ガスの排出が最小限であること、などは大きなメリットである。しかし、実現までに解決すべき技術課題も山積である。さらに大きな課題は政府資金の不足である。本調査研究では、最新の技術開発動向を基に、宇宙太陽光発電システムの実現性を明らかにし、民間の技術と資金の活用により将来の技術開発指針策定に貢献することを目指す。国の基本計画では、国費を用いた研究開発の妥当性に主眼を置くのに対し、本調査は、開発・設置資金の調達も含め、民間側でできること、あるいは民間側に期待されることに特化したものにする。民間資金を呼び込むには、一定のビジネスモデルに沿った資金還元の仕組み構築が求められる。このようなモデルの現状について調査し、その妥当性を評価する。これらはグローバルな視点で行う必要があり、宇宙太陽光発電技術を巡る国際環境にも配慮する。

2. 調査研究の実施内容および方法

調査委員会（第1回 24年11月9日、第2回 25年9月25日）を開催して調査内容の検討を行い、以下の4項目を決定した。

- ① 太陽発電衛星の開発の現状
- ② 宇宙太陽光発電で期待される民間の技術開発
- ③ 民間資金の呼び込みは可能か
- ④ 宇宙太陽光発電所建設を取り巻く国際環境

関連の話題を調査するためにワークショップ（第1回 25年8月19日、第2回 25年9月17日）を開催し、毛利衛氏のサイエンスカフェ（25年1月25日）にも参画した。ワークショップは当協会関係者及び宇宙産業関連の学術や事業に従事する関係者に公開して、議論を行った。さらに報告書に書き込む項目の執筆担当者を決定し、執筆依頼を行って、結果を報告書案としてまとめた。これを調査委員の査読により最終報告書として完成させた。

3. 調査に関わる研究者の氏名および組織名等

本調査のために、一般社団法人未踏科学技術協会内に「宇宙太陽光発電の実現加速に関する調査委員会」を設置した。また、報告書執筆に外部専門家を依頼した。委員会構成、及び外部専門家は下記の通りである。

委員長：狼 嘉彰（慶応義塾大学）

委員：白坂成功（慶応義塾大学）、神武直彦（慶応義塾大学）、木村茂行（当協会）、浜野正明（当協会：平成25年2月退任）篠原真毅（京都大学）、中須賀真一（東京大学）、佐々木進（元JAXA）、浅田正一郎（三菱重工株式会社）、鈴木真二（NEC東芝スペースシステム株）

外部有識者：松本 紘（京都大学）、北澤宏一（JST）

執筆を依頼した外部専門家：田中孝治（JAXA）、高野忠（日本大学）、森 雅裕（スペースエナジーイニシャティブ）

4. 調査研究の背景

調査対象の前提である宇宙太陽光発電システムは、コストの問題を解決できれば、将来ほぼ無期限に、100万キロワット級のベース電源になる可能性がある。現在、脱原発を含めたエネルギーの見直しが進められているが、放射能などの負の遺産を生じないで、しかも二酸化炭素を排出しないエネルギー源は、太陽電池パネルによるソーラー発電、風力発電、地熱利用システム、水力など、いずれも規模が限定され、大なり小なり節電や配電網のインテリジェント化などの負担が求められる。また、供給可能電力が変動するためベース電源には不適當である。さらに人類の活動は、これら持続可能なエネルギーの消費という制限を、将来的に受容し続けることができるか、という問題もある。これまでの人間の活動で限度以上に排出されたとされる二酸化炭素は、現代の技術を活用すれば、大量のエネルギー消費により、適切な形に固定できるかもしれない。が、そのエネルギーは二酸化炭素を新規に排出しないで得られるものでなくてはならない。

このように考えると、現在可能性が論じられているエネルギー源のうち、宇宙太陽光発電システムが、大きな可能性として浮かび上がる。現状の試算では、すでに知られているエネルギー源に比較して、まだまだ高価である。そればかりではなく、技術的課題について依然として議論の段階にある。しかも、疑いもなく必要とされる大規模な投資の資金をどのように調達するのか、ビジネスとしての成立性も不確定である。これらの問題は、一つ一つ整理しながら解決法を探らねばならない。それが今回の調査研究計画の最も重要な背景である。その中で、コスト削減のために民間技術の展開が求められるが、これを効果的に行う方策はないのか、そして今や国家予算とは比較にならないほど巨大となった民間資金の活用の可能性、これらをグローバルな視点で探るのが今回の調査計画である。

5. 課題の抽出と今後の展開に関する評価

今回の調査対象となった、宇宙太陽光発電システムは、地球を周回する人工衛星に太陽電池を多量に設置し、発電した電力をマイクロ波もしくはレーザーの形で地上に空間伝送する、と言うものであり、物理的に実現不可能という要素はない、とされている。このようなシステムとして、様々なモデルが歴史的に次々と提案されてきた。モデルとしては、集光型にするか非集光型にするか、また、バス電力方式にするか、分散電力にするかということがある。前者は、受けた光を集光して少ない太陽電池を効率的に利用するか、集光しない構成的メリットを優先するかを選択、そして後者は発電電力を集

中させて送電系に送り込むか小ユニットを多数並べて発電・送電を行うかの選択である。静止軌道にするか、低軌道にするかで、選択肢のメリット・デメリットが変化し、一概に最適なモデルを提案するのが困難というのが特徴である。送電方式をマイクロ波にするかレーザにするかで、状況がさらに変わる。

太陽発電衛星からの電力伝送には、マイクロ波が適当、との立場から見れば、その実現性をどう確保するかが大きな課題であるが、太陽発電衛星からの電力伝送は、まだ宇宙での大電力による実証実験が行われていないものの、実現を妨げる決定的な障害も現れていないことが明らかになった。宇宙での電力伝送実験も現実に進められようとしている。さらに、今回調査の重要目的の一つであるが、地上での無線電力伝送技術の実用化・民間利用が近年急速に進んでいることが明らかになった。従来、電波の利用を国際的に管理する組織では、電力伝送は業務としての割り当てがなく実験研究と同じ扱いとされていたが、地上での無線電力伝送が本格的に進められる状況になってきた背景もあり、最近、国際的な電波割り当ての作業が進み始めた兆候がみられる。一方、マイクロ波での電力伝送技術は、従来の通信とは異なるパワーエレクトロニクスの世界であり、送電技術も利用する部材も、研究開発要素が少なくないことが判明した。この点は今後、関係者が協力して、系統的に開発を進める必要を感じさせる。なお、レーザによる電力伝送技術については、今回の調査対象に含まれていないが、JAXA 及び大学等では研究が進められている。

本調査では、宇宙太陽光発電の事業化をにらんだ建設資金の計画をすでに提案している事例を探し、その提案を中心に据えた。内容を要約すると、4つの開発段階があり、第一段階では50kW、第二段階では10MW、第三段階では100MW、そして最終段階では1GWの宇宙発電衛星を宇宙に建設する。この一連の計画実施に20～30年程度の時間を要するとしている。費用は、研究開発費総額6千億円と第三、第四段階での建設費1兆2千億円を合わせて2兆円程度と想定されるが、研究開発費を政府の補助金で、建設費を民間の資金で賄う計画になっている。詳細は報告書本文に譲るが、このような試みは宇宙太陽光発電システムの構築に向けて、貴重な指針を提供するものと言える。

なお、採択の折に提示された審査委員会コメント「長期的な視点に立って宇宙太陽光発電の実現可能性に関する調査を行うことは重要である。実現のネックは『国家予算の収縮』だけではないはずであり、問題点の抽出整理にも力点を置いてほしい」に関連して、本調査結果に基づき回答を述べるとすれば、国民的広がりを持つ検討と議論の機会が少なすぎる、という一言になると考えられる。しかし、問題点抽出整理は不十分であり、さらなる調査が必要である、と考えている。

今回の調査で、当初の目的は達成できた。当初の疑問点であった、東日本大震災の後のエネルギー問題の議論の中で、宇宙太陽光発電が話題にならなかったのは、「桁外れの建設費」及び「マイクロ波送電が動植物に健康被害を及ぼす恐れ」という風評と、我が国のエネルギー政策としての幅広い議論の不足に起因することが、ほぼ明らかになった。ただ、「桁外れの建設費」については、今回調査の中の試案を見ても、政府補助金だけで現在の国内宇宙開発予算の2年分に相当することから、軽視はできない。また、開発を開始しても、実現に20～30年の歳月を要することは、1号機の設計と完成とで、内容が大きく変わる可能性を暗示しており、着工から完成までの時間が長い建築土木の世界と比較しても別格と言える。

当協会では、本調査で明らかにできなかった問題点抽出整理にさらに取り組むと共に、宇宙太陽光発電システムの構築に関する知識の涵養とその一般への普及啓発を目指し、宇宙E&Rフロンティア研究会を新規に組織し、活動を進める予定である。現在、発起人依頼と会員募集を準備中である。