

Economic Evaluation of Space Solar Power System And Solar Power System On The Ground*

Iwao MATSUOKA

Institute of Economic Research, Kyoto University
Yoshida Hon-machi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, JAPAN
matsuoka@kier.kyoto-u.ac.jp

Abstracts

In this paper we investigate the feasibility of the Space Solar Power System (SSPS) from the economic viewpoint. The SSPS is the system that generates the electric power by the solar panels on the orbiting platform, transforms the power into the microwave and then transmits it to the earth. The construction of the orbiting platform will need an enormous amount of initial investment. Therefore, it is important to estimate its economic feasibility beforehand. The purpose of this study is to examine the commercial viability of the SSPS.

Firstly, we compare between the SSPS and other existing power supplies today, for example, the fossil fuel power systems and the nuclear power plant, qualitatively. Then it is considered that the generating cost of the SSPS is one of the most important parameters to compare between the nuclear power and the SSPS. In compare with the crude fired power, the amount of the crude for generating the electricity is so smaller than the total crude consumptions in Japan. And we notice that the electricity from the SSPS don't role as one of the replacement of the oil and it is considered that the SSPS is not effective solution against the crude depletion.

Secondly, the generating cost of the SSPS and the Photovoltaic Power System on the Ground (PV system on the ground) are estimated with JAXA's cost model for the SSPS and our original cost model for the PV system on the ground. It shows that the both generating cost are almost same if the solar cell cost is reduced to about 100 yen per W. And if we take the value (cost) of the stable energy supply added on the generating cost of the PV system on the ground into consideration, the SSPS may be commercially viable in the future electricity market.

* Presented at the 7th SPS Symposium, 16-17 September, 2004

宇宙太陽発電システムと地上太陽発電システムとの経済評価^{注1}

松岡 巖 (京都大学経済研究所)

606-8501 京都市左京区吉田本町 : matsuoka@kier.kyoto-u.ac.jp

1 はじめに

昨今、宇宙太陽光発電システム(以下 SSPS)に関する研究が再燃している。1997年アメリカ航空宇宙局(以下 NASA)によるフレッシュルック・スタディ以降、我が国においても、1998年から旧宇宙開発事業団(NASADA・現、宇宙航空研究開発機構: JAXA)、また2000年から財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構(以下 USEF: 経済産業省より委託)により検討委員会が発足し、SSPSに対する検討を活性化させてきた。その結果、例えば技術的な検討においては、衛星における排熱問題や、輸送時における電子機器(例えば太陽電池)などへの放射線の影響などの新たな問題点[1]や、それらを考慮した複数の設計概念案[1]を提示している。また、経済的な検討の結果、既存の電源との比較による目標発電原価の設定[1]と、それをブレイクダウンした形で提示された、各要素技術のコストや効率[1]など、研究開発計画に必要な、段階的な目標値が設定されることとなった。

しかしながら、SSPS そのものの役割については、既存の研究ではほとんど検討されていない。そこで本研究では、まず、日本の既存の火力発電と原子力発電、地上太陽光発電に対して、定性的な比較検討を行うことで、将来の電力市場における SSPS の競合電源についての検討を行う。次に、地上設置型の再生可能エネルギーとの比較として、地上太陽光発電システムとの経済評価を行う。これにより、太陽電池を宇宙空間に持ち上げる経済的な意義が明らかになると考える。

2 既存の発電システムとの比較

既存の発電システムと SSPS との比較を行うため、電源のもつ性質を大きく、燃料、アセメント、電源特性、二酸化炭素(以下 CO₂) 負荷、地上設備の面積、それに経済性評価のため発電原価の6つの項目を設定した。また、SSPSには幾つかの概念設計案があるが、ここでは、SSPSを電源として想定した。よって、エネルギーを取り出す手段が、太陽電池による発電であっても、直接励起型レーザー等であるかは問わないが、光触媒等を用いてレーザー光で水素を製造するなどのシステムについては、比較が困難であるため、検討から除外している。また、設置軌道は静止軌道とし、定常的な電力供給が行えると仮定した。

^{注1} 第7回 SPS シンポジウム、九州工業大学にて2004年9月16、17日開催

表1 日本における SSPS と既存電源との比較

		SSPS (GEO)	原子力	火力			地上太陽光
				石油	石炭	天然ガス	
燃料	国内自給	○					○
	長期調達安定性	○	○		○		○
アセス	特別	○	○				
	排気			○	○	○	
電源特性	負荷追従性	?		○		○	
	定常運転	○	○	○	○	○	
CO2負荷		○	○				○
地上設備の面積				○		○	
コスト	発電原価	?	○		○	○	

表1は、SSPS と既存電源との比較を表している。図中の○は、項目に該当する場合に記載されている。まず原子力発電との比較を行う。現在日本において、原子力発電はベース用電源として位置づけられているが、SSPS の発電衛星が静止軌道に設置された場合、ほぼ定常的に電力を供給することが可能となるため、電源特性という点から、SSPS はベース用電源となりうる。また、燃料の国内自給という点からみても、ウラン燃料の精製という観点から国産エネルギーとされている原子力発電ではあるが、現実にはオーストラリアを始め海外産のウランに依存しているため、燃料を国内自給しているとは言い難い。資源量については、ウランの埋蔵量は60年強であり、石油と比較すると長期的である。すでに2015年までの世界のウラン需要量は採掘済[2]であるという現実、また軍縮に伴う核兵器用のプルトニウムの転用、近年の欧州等の先進国の原子力離れ、核燃料サイクルの実現までを視野に入れた場合、ウランは比較的長期に安定して供給可能な燃料と考えられる。また、地上設置面積は、両者とも数平方キロメートル必要となる。例えば、東京電力株式会社の柏崎刈羽原子力発電所の敷地面積は、およそ4平方キロメートル強で、設備容量は800万kW以上である。SSPS のレクテナ面積が出力に依存しないため、例えば半径1キロメートルの円と仮定した場合、およそ3.14平方キロメートルのレクテナに、数百万kWのオーダーで電力を輸送することが可能である。また、CO2 排出量もほぼ同程度という報告もあり、原子力発電と競合するためには、最終的には経済性が非常に重要視されてくると考えられる。

次に火力発電との比較であるが、ここでは石油火力発電との比較についてのみ説明する。過去、原子力発電の導入時に、当該電源は石油代替効果があると評された。例えば、1970年の石油火力発電による発電量は、64%[3]であり全電源の中で最も発電を行っている電源であった。よって、ベース電力の一部を担っていたと考えられるため、原子力発電にはその代替効果があったと考えることも出来る。しかしながら、将来 SSPS を導入する場合には、この石油代替効果はあまり期待できない。現在の日本における電源構成（燃料投入量

ベース)では、石油火力は全体の14%程度しかなく、同様に、日本の1次エネルギー消費(石油)量に対する電力用の量も、およそ12%程度に留まる[3]。よって、電源としてSSPSが導入される以上、全ての石油火力を代替できたとしても、石油消費量の12%を削減できるのみである。今後、化石資源の枯渇、途上国のエネルギー需要の急増を受け、石油火力発電の比率が増加する可能性はあるが、現時点では、例えば途上国で産油国でもあるインドネシアでも、現在の石油火力発電の比率は、20%以下であり、安価な石炭火力の発電量のおよそ半分程度である。よって、埋蔵量の少ない石油の枯渇により、一層石炭火力等へのシフトこそ考えられるが、日本の電源構成において石油火力へのシフトは想定し難いと考えられる。

また、比較項目別に検討した場合、電源特性の点で、そもそも石油火力発電の代替としても機能しない可能性が指摘出来る。SSPSは確かに瞬間的にレクテナに電力を供給できるため、需要変動に対する負荷追従性が高いと思える。しかしながら、裏返せば、それはその送電以外の時間は別の場所へ送電を行っているか、若しくは送電を行っていないという状態が存在していることを意味している。特にこのSSPSの負荷追従性についての検討は本格的に行われておらず、この技術課題が解決できるか否かで、SSPSが石油火力代替にすらなりえない可能性が存在している。

3 地上太陽光発電システムとの比較

次に地上太陽光発電システムとの比較を行う。表1より、同じ太陽光由来の電源である地上太陽光発電システムとSSPSとを比較する場合は、経済性以外では、定常運転が可能であるかどうかを重要視されると考えられる。そこで、定常運転の価値を考慮し、SSPSと地上太陽光発電システムの経済的優位性について比較検討を行った。これは、まさに、太陽電池を宇宙空間に持ち上げる意義を示すことになる。

まず、検討に際し、SSPSと地上太陽光発電システムのコスト評価モデルを検討した。本研究では、前者にはJAXAのモデル[1]を使用し、後者については、前者との公正な比較を行うため、太陽電池価格、太陽電池変換効率、土地費用、償却年数、借入率については、前者で使用した値を流用した。また、地上太陽光発電システムは、傾斜角30度で南向きに太陽電池を設置するとした。また、太陽電池のマウント費用と周辺機器費用については、現在価格と将来価格を設定し[4]、さらには屋根に設置する場合(土地費用は不要)と地上に新たに発電所として設置する場合(土地費用が必要)を想定し、これらの組み合わせにより4つのケースを設定した。詳細は表2に示す。

表2 地上太陽光発電システムのコスト計算用変数

ケース	A	B	C	D
太陽電池変換効率	17.30%			
借入率	3%			
償却年数	30年			
土地費用	50億円/km ²			
太陽電池マウント費用[千円/kW]	130	26	130	26
太陽電池周辺機器費用[千円/kW]	78	40	78	40
土地費用の有無	必要	必要	不要	不要

年平均日照率として、全国12都市の過去の日照データ（日本天気協会）より平均値を用いた。太陽電池価格をSSPSのコストモデルで用いた同値の100円/Wとして、各都市の地上太陽光発電システムの発電原価を計算した結果、最も高額なケースとなるAでは、14.2～16.5円/kWhに、最も安価なケースであるDでは、7.6～8.8円/kWhの値が得られた。また土地費用の有無が発電原価に与える影響がほとんど無いことが明らかとなった。

次に、SSPSの発電原価の比較を行う。太陽電池価格を600円/W～100円/Wと想定した場合の地上太陽光発電システムとSSPSの発電原価を図1に示す。この結果、同条件で発電原価を計算した場合、十分に太陽電池価格がコストダウンされた状態（100円/W程度）においては、太陽電池のマウント費用、周辺機器費用が将来価格の場合は、SSPSと地上太陽光発電システムとの発電原価の差異がほとんどでないことが明らかとなった。

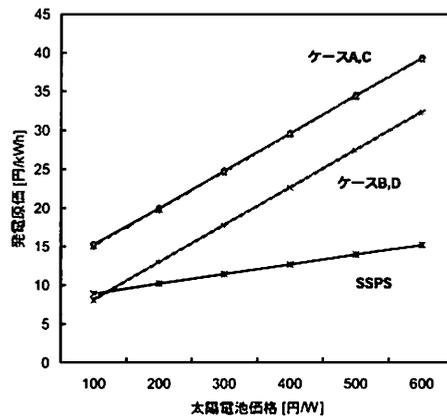


図1 SSPSと地上太陽光発電システムの発電原価

次に、SSPSの定常運転の価値を考慮するため、地上太陽光発電システムに蓄電機能を追加したケースを想定した。場所により天候条件が異なるため、蓄電容量の設定を本研究では半日分と想定し、晴天時であれば、その日照時間のうちに半日分の電力量が蓄電できる

発電設備を設置するとした。蓄電設備として、揚水発電（ケース E）、鉛蓄電池（ケース F）、さらに電解と燃料電池（固体高分子型：ケース G）を将来蓄電技術として想定した。また、蓄電設備は巨大なシステムと考えられるため、土地費用が必要で、かつ太陽電池のマウント費用、周辺機器費用は将来価格であるケース B における発電原価を計算した。日照率は 12%、日照量は、正弦曲線で近似させた。投入変数と計算結果については表 3 に示す[5]。その結果、定常運転には程遠い蓄電量であるにもかかわらず、最も安価な結果である揚水発電を利用したケース E でも、37 円/kWh と非常に高額になることが明らかとなった。

表 3 蓄電設備付き地上太陽光発電システム

ケース	E	F	G
放電効率[%]	35	40	50
2次電源建設費用[万円/kW]	15	4	10
蓄電効率[%]	70	75	90
蓄電部建設費用[万円/kW]	1	3	5
発電原価[円/kWh]	37	50	51

4 結論

まず、日本の将来電力市場において原子力発電と SSPS が競合する場合は、ベース用電源として、経済性に焦点が絞られる可能性が高い。また最も枯渇が心配されている石油を用いた石油火力代替としての効果は低く、そもそも代替可能であるかという技術的な追加検討も必要であると考えられる。また、地上太陽光発電システムと SSPS とを発電原価だけで比較した場合は、SSPS は地上太陽光発電システムに対して経済的な優位性はないと考えられる。しかしながら、定常運転を考慮した場合、SSPS には地上太陽光発電システムの発電原価は SSPS のそれよりもはるかに高額になる可能性があり優位性は存在すると考えられる。

参考文献

- [1] 株式会社三菱総合研究所：『宇宙エネルギー利用の研究 その1 「平成 11 年度宇宙太陽発電システムの研究」成果報告書』,宇宙開発事業団(1999)、同平成 13 年度までの報告書
- [2] “Uranium 1999”, IAE, 1999
- [3] 日本エネルギー経済研究所計量分析部編：『EDMC エネルギー・経済統計要覧』,財団法人省エネルギーセンター
- [4] 濱川圭弘編：『太陽光発電 最新の技術とシステム』,2000
- [5] 内山洋司、田頭直人：『二次電池とその将来展望』,電力中央研究所報告,財団法人電力中央研究所, 1993