

The unit cost for construction and power generation from SPS¹

Keiichiro Asakura

Faculty of Economics , Ryutsu Keizai University

E-mail:asakura@rku.ac.jp

Satoshi Nakano

The Japan Institute for Labour Policy and Training

Abstract

The solar power satellite (SPS) is an alternative power generation technology for the future. The authors elucidate the multiple aspects of the SPS system through common evaluation methods and an input-output database. In a previous paper, we confirmed that the SPS system has outstanding features in terms of CO₂ emission, energy payback time (EPT), and energy profit ratio (EPR).

In this paper, the authors focus on the economic aspects of the SPS system. The unit cost for construction and power generation from the SPS system are calculated and compared with those from other power generation technologies. The results show that the unit cost for construction is much higher than that of typical power generation systems and that the unit cost for power generation is almost the same as that for a renewable energy generation system, and a little higher than that of typical power generation system.

The SPS system is superior in terms of CO₂ emission and the energy indicators, as evident from our previous results. However, the higher cost of construction, operation, and maintenance could be recognized as the social cost of introducing the future technology.

¹ Presented at the 32nd ISAS Space Energy Symposium, 1st March, 2013

SPS の発電単価について*

朝倉啓一郎 (流通経済大学) asakura@rku.ac.jp

中野諭 (労働政策研究・研修機構)

1. はじめに

われわれは、1990年代後半より、宇宙太陽発電衛星(SPS)のCO₂負荷計算を行ってきた。評価するSPSシステムは、DOE/NASA リファレンスシステムを基点として、宇宙科学研究所(現: ISAS/JAXA)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)や無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF、現: J-spacesystems)等から提案される今日的なSPSシステムへと展開した。その間、評価指標もCO₂負荷計算からエネルギー収支計算へと拡張し、現在は、SPSシステムの環境・経済評価の整理を試みている。本報告においては、マルチバステザー型SPS(地上: 1Gw、2030年前後)の予想建設価格をもちいて、発電あたりの建設単価と発電単価を計算し、再生可能エネルギーを含めた既存の発電技術と比較検討する。なお、SPSの発電単価は、すでにUSEF(2003、2007、2008)や斉藤他(2011)等による研究成果があるが、本稿の主眼は、エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011)(以下、『コスト等検証委員会』と略称)と可能な限り同一の計算手法によってSPSの発電コストを計測することにより、既存の発電設備との比較可能性を探ることと、今後の課題を整理することである。

2 発電単価の計算方法と基礎データ

2.1 基本計算モデル

発電単価を計測する代表的な手法は、電気事業連合会(2004)、OECD(2010)および『コスト等検証委員会』のように、発電設備のモデルプラントを設定してアプローチする方法(モデルプラント方式、運転年数発電原価方式)と、室田(1991)および大島(2010)らのように、有価証券報告書にもとづいてアプローチする方法がある。本報告では、『コスト等検証委員会』で採用されたモデルプラント方式にもとづいて、電気事業連合会(2004)をもちいて次のように計算する。

$$\text{発電単価} = (\text{資本費} + \text{燃料費} + \text{運転維持費}) / \text{発電電力量} \cdots \text{式(1)}$$

式(1)に対応する項目は、図表1とおおりである。なお、SPSの発電単価計算においては、式(1)の燃料費を除外する。また、『コスト等検証委員会』と整合性を確保するため、報酬と事業税を除外する。そして、運転維持費については、衛星用と地上のレクテナ用に区分して計測する。

図表1 SPSの発電単価の計測用項目

項目		計算式
資本費	減価償却費	$\Sigma[\text{残存簿価} \times \text{償却率} \times \kappa_i]$
	固定資産税	$\Sigma[\text{残存簿価} \times \text{固定資産税率} \times \kappa_i]$
	報酬(含めない)	$\Sigma[\text{残存簿価} \times \text{報酬率(=割引率)} \times \kappa_i]$ (含めない)
運転維持費	修繕費(宇宙・地上別)	$\Sigma[\text{Cf} \times \text{P} \times \text{修繕比率} \times \kappa_i]$
	諸費(宇宙・地上別)	$\Sigma[\text{Cf} \times \text{P} \times \text{諸费率} \times \kappa_i]$
	人件費(宇宙・地上別)	$\Sigma[\text{人件費数} \times \kappa_i]$
	業務分担費(宇宙・地上別)	$\Sigma[(\text{修繕費} + \text{諸費} + \text{給料手当}) \times \text{業務分担费率} \times \kappa_i]$
	事業税(含めない)	$\Sigma[\text{資本費} + \text{直接費}(\text{修繕費} + \text{諸費} + \text{給料手当}) \times \text{税率}(1 - \text{税率}) \times \kappa_i]$

*第32回宇宙エネルギーシンポジウム、2013年3月1日

発電電力量(発電端)	ΣG_i
発電電力量(送電端)	$\Sigma [G_i \times (1-L_s)]$

【注】

- ・減価償却は5.6% (耐用年数は40年)。固定資産税：1.4%。
- Cf：建設単価 (万円/kW)、P：出力 (万kW)、 α ：設備利用率 (%)、q：割引率 (%)、Ls：所内率 (%)、 κ_i ：第i年 (年度) の割引現在価値換算係数 ($= (1+q)^{-i}$)、 G_i ：P×24h×365 (日) × α × κ_i
- ・固定資産税の対象は、レクテナのみとした。Ls：所内率 (%) は、設備利用率を含めて95%。

2.2 データ

式 (1) と図表1に対応するデータは、地上で1Gw発電するマルチバステザー型SPSを2030年前後に建設する時の想定値を利用しながら、つぎのように作成した。

図表2 SPS導入時の建設コスト-マルチバステザー型 (地上：1Gw)

主要構造物	コスト (%)	出展および注
衛星	49.3	マルチバステザー型の想定値 (1ユニット：2MW：20億円)。佐々木 (2008)。
輸送	41.6	物量単位あたり輸送コスト (円/kg) は、NEDO, USEF, JAXA、およびマルチバステザー型の制度設計時の値を単純平均値した値 (図表3)。地上から低軌道までの輸送量は、SPS衛星、軌道間輸送機および軌道間輸送機の燃料。低軌道から静止軌道までの輸送量は、SPS衛星のみ。なお、低軌道輸送機の重量と燃料は、朝倉・中野 (2012) の値を使用した。
レクテナ	9.0	USEF (2008) の「共通ケース」と「目標ケース」で同一の値。なお、「共通ケース」はUSEF (2003) をJAXAの想定値に可能な限り合致させたケースであり、「目標ケース」はUSEF (2003) をさらに低コスト化することを目標とするケースである。
合計	100% (2.5兆円)	USEF (2008) の「共通ケース」は2.1兆円、「目標ケース」は1.3兆円。「共通ケース」と「目標ケース」の意味は、上の「レクテナ」を参照。

図表3 図表2の輸送関連コスト
：SPS導入想定時

	千円/kg	
	地上から 低軌道まで	低軌道から 静止軌道まで
NEDO	25	3.0
USEF	10	2.3
JAXA	17	1.0
SPS想定	10	5.0
単純平均	16	2.8

*佐々木進氏 (JAXA/ISAS) からの情報提供にもとづき、NEDO (1994)、USEF (2003, 2007, 2008)、斉藤他 (2011)、佐々木 (2008) より作成。

図表4 運転維持にかんする情報

宇宙：衛星運用・管理関連	
人件費+諸費	ヒアリングにより、現在のJAXAの大型衛星の管理費用が人件費・諸費で数億円とこのことにより、今回は10億円/年とした。なお、SPS衛星の運用時の保険等は考慮していない。
修繕費	USEF (2008) より衛星建設コストの3%
業務分担費	『コスト等検証委員会』の既存の発電設備と同様とした。直接費の14%
地上：レクテナ関連	
人件費	レクテナは巨大な地上の設備であり、その管理方法について、第一種から第三種電気主任技術者の人件費の想定等を含めて、今回は整理できなかった。したがって、『コスト等検証委員会』のメガソーラの値：300万円/年を発電規模で比例計算した。
修繕費	USEF (2008) より1%。ただし、『コスト等検証委員会』のメガソーラでは、パワコンは10年間で全て更新することを想定し、それに必要な金額の単純平均値を各年の修繕費に上乘せしている。したがって、レクテナにおいても、RF-DC変換後の商用電源網への接続費用については、同様の操作によって足し込んでいる。
諸費	『コスト等検証委員会』のメガソーラの値。建設費の0.6%とした。
業務分担費	『コスト等検証委員会』の既存の発電設備と同様。直接費の14%とした。
廃棄費用	レクテナの廃棄費用は、『コスト等検証委員会』のメガソーラより建設費の5%とした。

4. 計測結果-結びに変えて

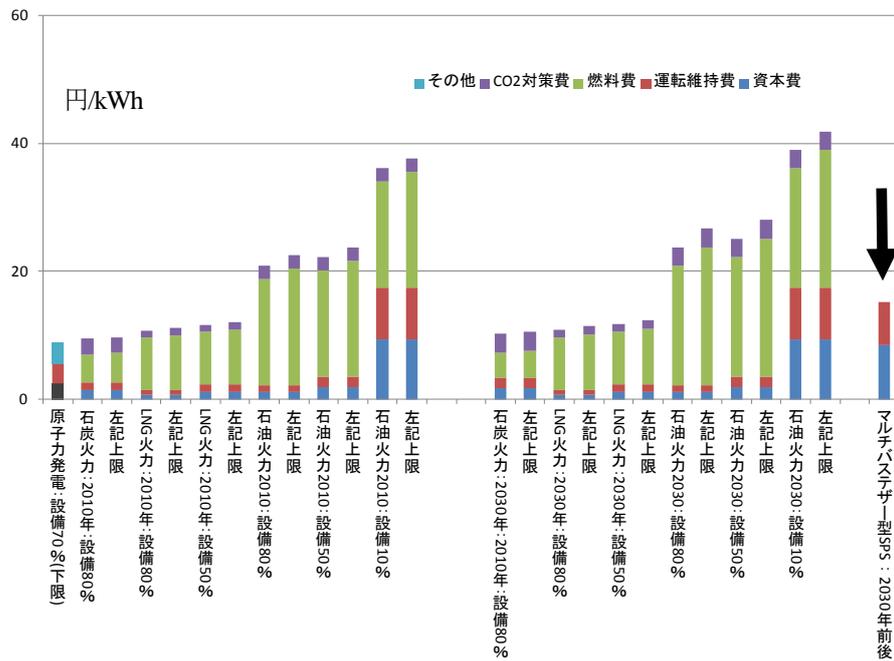
本節は、SPS と『コスト等検証委員会』の発電単価を比較する。SPS の予想発電単価は、前節の計算想定の下、『コスト等検証委員会』第3章の割引率 3%で計測すると、約 15 円と計測された。

図表 5 は、原子力発電と火力発電との比較結果である。主に調整用として使用される石油火力発電を除くと、原子力、石炭火力および LNG 火力の約 1.5 倍程度であって、極端に高い値ではないことが伺える。

つぎに、図表 6 によって、再生可能エネルギーと比較すると、SPS の予想発電単価は、再生可能エネルギーの発電単価の上限と下限の間に位置していることがわかる。

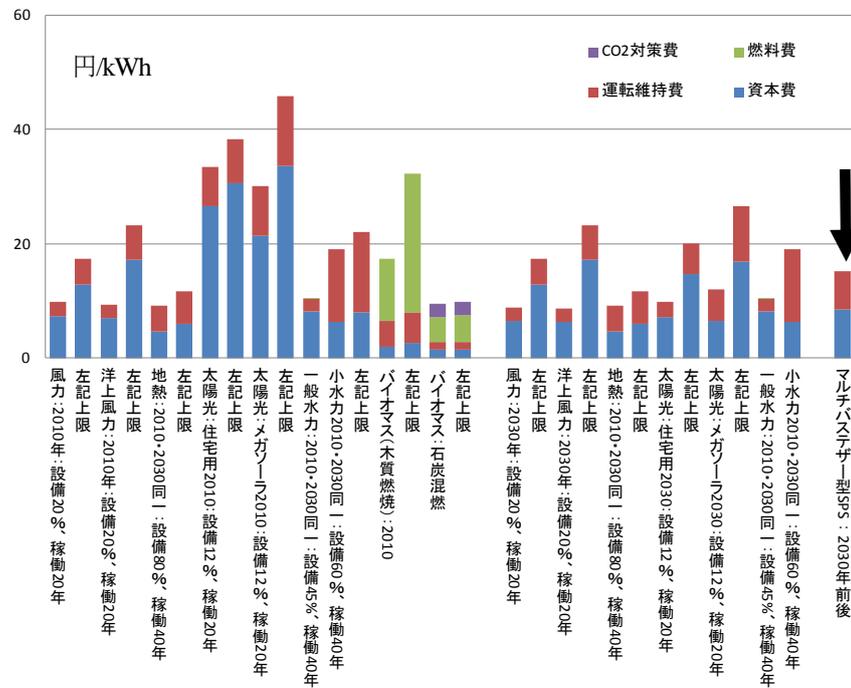
この発電単価の計測結果は、SPS が導入しやすい未来型の発電技術を意味しているのだろうか。

図表 5 原子力発電および火力発電との発電単価比較



図表注:『コスト等検証委員会』の第3章の値とSPSの発電単価の比較。割引率は、全て3%

図表 6 再生可能エネルギーとの発電単価比較



図表注:『コスト等検証委員会』の第3章の値とSPSの発電単価の比較。割引率は、全て3%

そこで、図表7によって、建設単価を見てみると、2030年の予想価格であっても、非常に高い値として計測されており、原子力発電の約7倍、LNG火力は石炭火力の10倍から20倍、そして、再生可能エネルギーの数倍の値を示している。

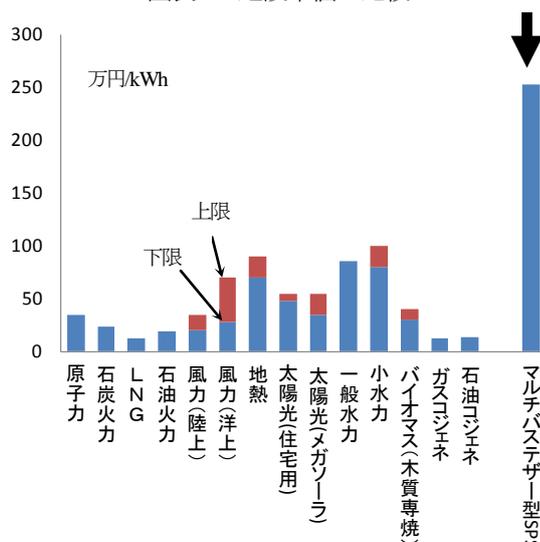
これまでの計測より、SPSは発電単位あたりCO₂負荷やエネルギー指標で優れた結果を示し、そして、今回計測した発電単価においても、極端に高い値を示すわけではない。そして、予想される発電単価は多分に目標価格の性格を帯びているとしても、その導入においては、建設コストという「高い壁」があることも再確認された。

もちろん、既存の発電設備で生産された電力は、送配電コストが上乘せられて需要家に供給されることを考えるならば、SPSの送電技術の進展により、送配電コストの取り扱いを考慮した異なる評価指標が作成されるかもしれない。しかしそれは今後の話題であって、今回の非常に高い建設単価もまた、「当然の結果」であり、SPSシステムの一つの特徴といえよう。

主要参考文献

- ・ Department of Energy(DOE) and National Aeronautics and Space Administration (NASA), U.S.(1978) *Satellite Power System*, DOE/ER-0023.
- ・ OECD (2010) *Projected Costs of Generating Electricity*.
- ・ NEDO (1994) 『太陽光発電システム実用化技術開発 太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発 宇宙発電システムに関する調査研究 (ニューサンシャイン計画)』 三菱総合研究所。
- ・ USEF(2003) 『宇宙太陽発電システム実用化技術調査研究・宇宙太陽発電システム(SSPS)実用化技術検討委員会：報告書 (平成15年3月)』。
- ・ USEF(2007) 『太陽光発電利用促進技術調査：成果報告書 (平成19年3月)』。
- ・ USEF(2008) 『太陽光発電利用促進技術調査：成果報告書 (平成20年3月)』。
- ・ 朝倉啓一郎・中野諭 (2012) 「宇宙太陽発電衛星のCO₂負荷とエネルギー収支」 *KEO Discussion Paper*, no.130.
- ・ エネルギー・環境会議コスト等検証委員会 (2011) 『コスト等検証委員会報告書報 (平成23年12月19日)』。
- ・ 大島堅一(2010) 『再生可能エネルギーの政治経済学』 東洋経済新報社。
- ・ 斉藤由佳・長山博幸・森雅裕 (2011) 「SSPSのコスト要因に関する検討」 『第14回宇宙太陽発電システムシンポジウム：講演要旨集』 pp.70-73.
- ・ 佐々木進 (2009) 「SPSのデザインとシステム技術」 吉岡完治・松岡秀雄・早見均編著『宇宙太陽発電衛星のある地球と将来』 pp.45-59、慶大出版会。
- ・ 電気事業連合会 (2004) 『モデル試算による各電源の発電コスト比較』 (新計画策定会議 技術検討小委員会 (第3回) 参考資料第3号)。

図表7 建設単価の比較



図表注：『コスト等検証委員会』の現在の値と SPS の比較。SPS の値は、図表2 の値と発電量から計測。なお、『コスト等検証委員会』には、燃料電池 (277.6 万円/kWh) も掲載されている。その値は、SPS の値を超えるが、「市場に出たばかりの値」と評価されていることと議論の見通しをよくするため、表からは除外した。