

Economic Analysis on SPS: Interim Report¹

Keiichiro Asakura

Faculty of Economics , Ryutsu Keizai University

E-mail:asakura@rku.ac.jp

Satoshi Nakano

The Japan Institute for Labor Policy and Training

Abstract

The authors are focusing on the solar power satellite (SPS) as an alternative power generation technology for the future. SPS technology is based on satellites with photovoltaic (PV) panels in geostationary orbit (GEO). The SPS continuously generates electricity regardless of the weather or time of day and transmits this power to the Earth's surface. The SPS does not use fossil fuel for electricity production and can supply large amounts of electric energy. Therefore, in a previous study the authors have calculated the CO₂ and energy indicators through the construction and operation of several SPS systems—the DOE/NASA Reference System, Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF) SPS system, Multi-Bus Tethered SPS system, etc.

Herein the authors try to elucidate the economic aspects of the SPS system through common evaluation methods and an I-O database. The interim results show that the SPS system is superior in terms of CO₂ emission and energy but has a relatively high cost for electricity production, which is recognized as the social cost of introducing the future technology.

¹ Presented at the 31st ISAS Space Energy Symposium, 24 February, 2012

SPS の経済評価*

－ 経過報告 －

朝倉啓一郎（流通経済大学） 中野諭（労働政策研究・研修機構）

1. はじめに

われわれは、環境保全技術の CO₂ 負荷計算の一環として、化石燃料を使用しない大規模発電システムである「宇宙太陽発電衛星(SPS)」に着目してきた。そして、DOE/NASA リファレンスシステム（1978 年発表）を基点として、宇宙科学研究所(現：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)等から提案される今日的な SPS システムの CO₂ 負荷計算を進めてきた。その間、評価手法の枠組みも、CO₂ 負荷計算からエネルギー収支計算へと拡張し、最終的に、SPS システムの環境・経済評価にアプローチすることを試みており、本報告においては、経済評価における発電単価の計算について、経過報告を行う。

2. 計算のカバレッジ

本研究において、発電単価を計測する SPS システムは、DOE/NASA リファレンス（シリコン太陽電池使用ケース）、USEF 型（ベースラインケース）、およびマルチバステザー型である。推計のカバレッジは、衛星本体だけでなく、衛星を運搬するロケット・輸送機およびレクテナを含めたトータルシステムである。なお、大枠となる想定を抽出すると、DOE/NASA リファレンス：常時 5GW 発電、耐用年数 30 年、太陽電池変換効率：17.3%、USEF 型：平均 1GW、耐用年数 40 年、太陽電池効率：30%、マルチバステザー型：常時 1GW、耐用年数 40 年、太陽電池効率 35%、となる。

3. 発電単価計算と CO₂ 負荷・エネルギー指標の計算方法との対応

発電単価の計算は、産業連関計算による CO₂ 負荷とエネルギー指標の計算において使用したデータベースと整合性を保持して行う。

3.1 CO₂ 負荷・エネルギー収支計算のデータベースと発電単価計算のデータベース

はじめに、CO₂ 負荷計算とエネルギー収支計算で利用した計測モデルとデータベースを確認する。

CO₂ 負荷計算とエネルギー収支計算では、環境分析用産業連関計算を利用してきた。なお、現在、最新版の環境産業連関表として 2005 年環境分析用産業連関表が作成・公表されているが、作成のために必要なエネルギー統計の改変期であったため、2000 年環境分析用産業連関表をもちいた(中野他(2008))。

SPS システムの CO₂ 負荷・エネルギー収支計算のモデルは、例として CO₂ 負荷計算のケースを示すと、式(1)となる（オープンモデルのケース）。

$$CO_2^k = C(I - A)^{-1}f^k + CO_2' \cdot \cdot \cdot (1)$$

ただし、 C ：CO₂ 排出係数行列(対角化)、 $(I - A)^{-1}$ ：レオンチェフ逆行列、 f^k ：SPS の第 k 番目の構造物の最終需要ベクトル(例えば、 $k=1$ は衛星本体、 $k=2$ はレクテナ、 $\cdot \cdot \cdot$)、 CO_2^k ：SPS の第 k 番目の構造物の直接間接 CO₂ 排出量ベクトル、 CO_2' ：今回の推計における LPG の燃焼（DOE/NASA リファレンスで使用）のように、最終財として燃焼する際の CO₂ 排出量

式(1)の右辺の $(I - A)^{-1}$ は公表される産業連関表そのものから計測され、 C は環境分析用産業連関表より計測される。

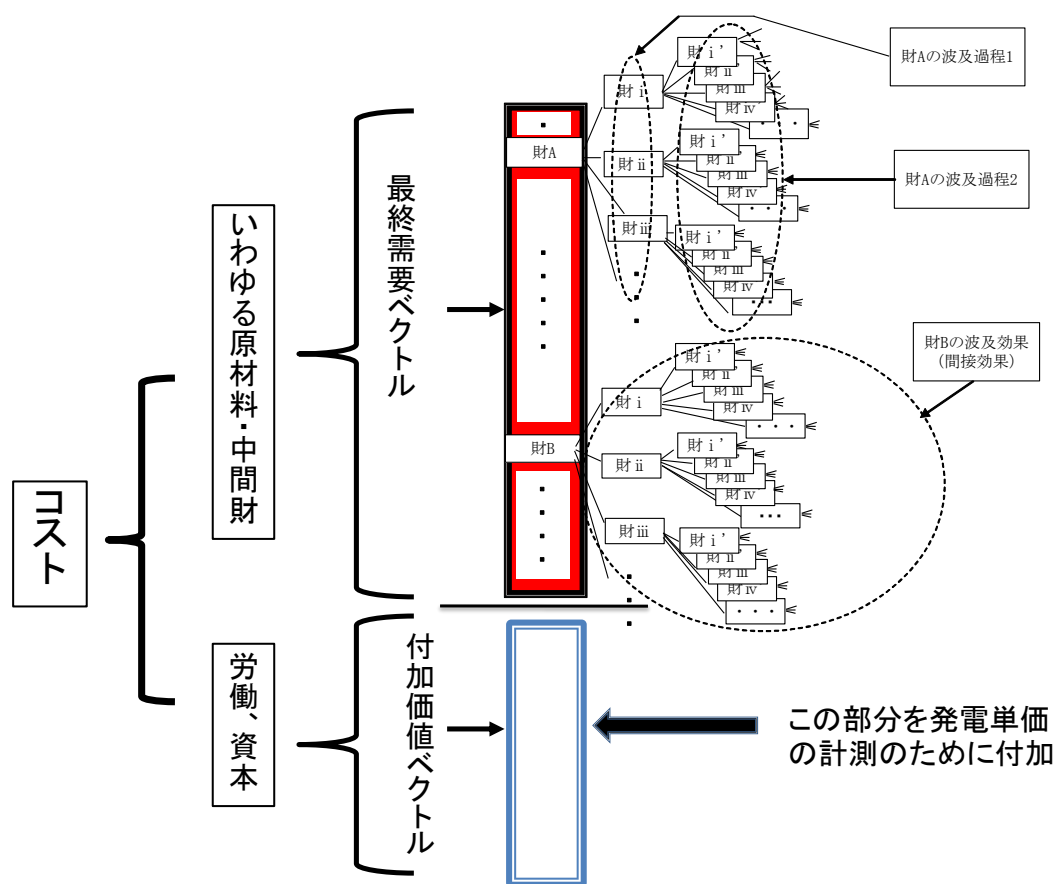
そして、SPS システムの CO₂ 負荷計算を行うためには、式(1)の最終需要 f^k を作成することが必要であり、それについては、衛星本体、軌道間輸送機、低軌道輸送機、レクテナ、推進燃料

*第 31 回宇宙エネルギーシンポジウム、2012 年 2 月 24 日

および衛星と軌道間輸送機に搭載する太陽電池ごとに、物量データと価格情報を調査・収集し、また、産業連関表の航空機部門や電力施設建設部門等を利用して、作成した。なお、最終需要ベクトル $\mathbf{f}^k$ は、液体燃料（液体水素）の製造、太陽電池の製造および経常活動・補修活動についての想定をおいて計測している。

そして、本稿の発電単価の計算のためには、最終需要ベクトル $\mathbf{f}^k$ が対応する中間財だけでなく、ロケット製造や太陽電池製造等に関連する付加価値ベクトルも必要であり、それについては、産業連関表の発電部門、電力施設建設、航空機および太陽電池製造（その他の電気器具）等の「タテ」ベクトルを利用して推計した。最終的なベクトルのイメージは、図表1である。

図表1 SPSの経済評価のために作成したSPSコストベクトル



2

図表注：SPSの経済評価のために拡張したSPSベクトルのイメージ図。筆者ら作成。なお、DOE/NASAリファレンス、USEF型およびマルチバステザー型で同様のデータを作成している。

3.2 発電単価の計算

既存の発電技術の発電単価の計測については、例えば、電気事業連合会（2004）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（運転年数発電原価方式）や、室田（1991）と大島（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等がある。

本報告では、図表1で作成したSPSのコストデータを利用し、電気事業連合会（2004）において示される運転年数発電原価方式にもとづいて、次のように計算する。

$$\text{発電単価} = (\text{資本費} + \text{燃料費} + \text{運転維持費}) / \text{発電電力量} \cdots \text{式(2)}$$

式に対応する項目は、つぎのとおりである（式(2)の直接的な燃料費は、SPSにおいては不要である）。

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	$\Sigma [\text{残存簿価} \times \text{報酬率} (= \text{割引率}) \times \kappa_i]$
運転維持費	修繕費	$\Sigma [\text{Cf} \times \text{P} \times \text{修繕比率} \times \kappa_i]$
	諸費	$\Sigma [\text{Cf} \times \text{P} \times \text{諸费率} \times \kappa_i]$
	給与手当	$\Sigma [\text{従業員給与} \times \text{従業員数} \times \kappa_i]$
	業務分担費	$\Sigma [(\text{修繕費} + \text{諸費} + \text{給料手当}) \times \text{業務分担费率} \times \kappa_i]$
	事業税	$\Sigma [\text{資本費} + \text{直接費}(\text{修繕費} + \text{諸費} + \text{給料手当}) \times \text{税率}(1 - \text{税率}) \times \kappa_i]$
発電電力量(発電端)		ΣG
発電電力量(送電端)		$\Sigma [G \times (1 - \text{Ls})]$

- ・電気事業連合会（2004）より、SPS の発電コストの計算に必要な項目を抽出。
- ・減価償却は、旧法の償却率で計算（DOE/NASA リファレンスは 30 年、USEF 型とマルチバステザー型は 40 年）。固定資産税：1.4%、事業税：1.3%
- Cf：建設単価、P:出力、 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（ $= (1+q)^{-i}$ ）
- ・固定資産税の対象は、レクテナと再使用型ロケットのみとした。
- ・修繕費等は、DOE/NASA リファレンスと USEF 型とマルチバステザー型の経常運転・補修活動費から直接推計。給与手当は産業連関表の付加価値項目の比率をもちいて計測。
- ・Ls：所内率（%）は想定値を複数設定。

4. 作業経過-結びに変えて

発電単価にかんする中間的な計測結果として、SPS の発電単価は既存の発電技術と比較して高いことが明らかになってきた。現在は、既存の発電技術と整合的に比較するための最終的な確認作業を行っており、値が確定後、公表する予定である。

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.
- ・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』。
- ・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。
- ・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）
- ・中野諭・早見均・中村政男・鈴木将之(2008) 『環境分析用産業連関表とその応用』慶大出版会。
- ・中野諭（2009）「平成 17 年環境分析用産業連関表」*KEO Discussion Paper*, no.117.