

SPS Impact on Social System *

Keiichiro Asakura

Faculty of Economics , Ryutsu Keizai University
120, Ryugasaki City, Ibaraki 301-8555, Japan
E-mail:asakura@rku.ac.jp

Satoshi Nakano

Keio Economic Observatory (KEO) , Keio University
2-15-45 Mita, Minatoku, Tokyo 108-8345, Japan

Abstract

We have focused on Solar Power Satellite (SPS) as a new power generation system and cleared CO₂ emissions of several types of SPS. In this paper, approaching the social effects of SPS as a new stage of our research, we calculate not only the CO₂ emission but also the effects on employment in the process of constructing and introducing a new concept of Multi-Buss-Tether-Type SPS, presented by Susumu Sasaki (JAXA), using 2000 Japanese Input-Output Table.

The result on CO₂ emission indicates that CO₂ emission per unit of energy generated by the Multi-Buss-Tether-Type SPS is a little more than from nuclear power system, however, much less than LNG-fired power system and coal-fired energy system, so the new SPS is one of the most effective alternative technology for further CO₂ reduction in electric power generation.

The results on employment show that efficiency of employment repercussion effects of introducing SPS ranks between construction of existing electricity generation system and average public investment, furthermore, introducing SPS don't necessarily cause large miss match in Japanese labor market.

Employment analysis on introducing SPS into social system is the first attempt in our SPS study, so that we will have to clear the dynamic effect after SPS is incorporated into the social electricity generation system along with refining basic SPS data.

* Presented at 11th SPS Symposium, 17-18 September, 2008.

SPSの社会的評価●

朝倉啓一郎¹ 中野諭²

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(Solar Power Satellite ; SPS)」に着目してきた。宇宙太陽発電衛星は未来技術だが、現在の産業技術によっても、開発・導入の可能性が高い大規模な発電システムである。SPSの基本構想は、1968年にアメリカのグレイザー (P.E.Glaser) によって提案され、1978年にアメリカのエネギー省 (Department of Energy; DOE) と航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration; NASA) によって、通称リファレンスシステムと呼ばれる SPS が発表された (以下では、DOE/NASA リファレンスシステムと呼称する)。DOE/NASA リファレンスシステム自体は現在から約 30 年前のプランではあるが、近年までより詳細に検討された宇宙発電システムは発表されていなかった。その後、NASA をはじめとして、宇宙科学研究所(現: JAXA)、宇宙開発事業団(現: JAXA)や無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)等から、新しいタイプの SPS システムが提案されてきたことから、それに対応して、われわれも基本型である DOE/NASA リファレンスシステムを出発点として、今日的な SPS システムの CO₂ 負荷計算を進めてきた。

本報告では、佐々木(2007)が提案するマルチバステザー型 SPS に着目し、その建設・導入過程において、第一に、CO₂ 負荷を計測し、第二に、雇用に与える影響を明らかにすることにより、SPS の社会的な影響評価にアプローチする。

註: 本報告は、マルチバステザー型 SPS の CO₂ 負荷計算と雇用影響の計測結果をとりまとめているが、紙面の都合により、計算モデルや利用データ等については詳しく触れることが出来なかった。それについては、吉岡完治・松岡秀雄編著『宇宙太陽発電衛星のある地球と将来』(2008年、慶應義塾大学出版会)の第6章と第7章を参照されたい。

2.マルチバステザー型 SPS の基本構成

図表 1 は、今回推計するマルチバステザー型 SPS の全体構成を示している。はじめに、図中の③の衛星本体に着目すると、その第 1 の特徴は、衛星がモジュール構造を持ち、1 モジュールごとにバスシステムと太陽電池パネルがテザーによって結ばれていることである。そして、第 2 の特徴は、1 モジュールの発電衛星自体が発電機能を持つことであり、実際の運用においては、1 つのユニットが 625 個連結されて衛星全体 (約 2.5km×2.5km) を構成する。搭載する太陽電池は、変換効率 35% の高効率太陽電池であり、発電電力は、625 ユニットの連結すると、上面で 2.8GW、下面で 2.5GW である³。また、太陽電池パネルで発電した電力はバッテリーに蓄えられ、1.36GW の電力として地上に送電される。そして、宇宙空間での送電、地上の受電アンテナの集電、およびアンテナで受電したマイクロ波の商用電力への変換におけるロスによって、地上で 1GW 発電可能なシステムとなる。

つぎに、SPS システムの建設過程を概観すると、そこでは、①の再使用型低軌道輸送機が②の軌道間輸送機と③の衛星ユニットを低軌道まで運び、つぎに、②の軌道間輸送機が衛星ユニットを静止軌道まで運び、衛星が自動展開した後、625 個のモジュールが組み合わされ、SPS 衛星が完成する。そして、衛星の発電電力がマイクロ波に変換され、地上の受電システムである④

●本報告は、慶應義塾大学産業研究所の SPS 研究グループにおいて、CO₂ 負荷計算および雇用影響の計測チームによる研究成果である。その過程において、JAXA の佐々木進氏ならびに成尾芳博氏に多数の情報提供とアドバイスを頂いたことに心より感謝申し上げる。なお、本報告に含まれる誤りは我々の責任である。

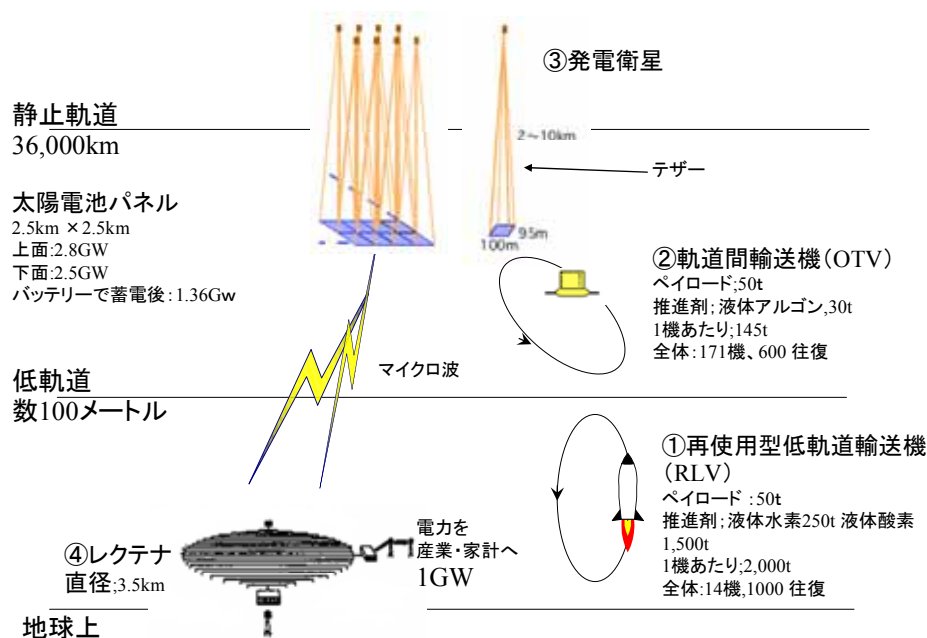
¹ 流通経済大学 経済学部

² 慶應義塾大学 産業研究所

³ 現在の宇宙用太陽電池の変換効率は、シリコン系の太陽電池が 10 数%、ガリウムヒ素系の太陽電池が 20 数%であり、今回想定する変換効率 35%は将来目標値である。

のレクテナに送られた後、産業・家計に配電される。本報告の第3節と第4節で述べるCO₂負荷計算および雇用波及計算は、①から④のシステム全体をカバーして計測作業を進めることになる。

図表1 マルチバステザー型SPSの建設過程



注；マルチバステザー型 SPS の建設過程と基本データを佐々木進氏（JAXA）の情報提供にもとづいて作成。

3. マルチバステザー型 SPS の CO₂ 負荷

3.1 計算モデル

本報告では、慶應義塾大学が公表した 2000 年環境分析用産業連関表(中野他(2008))を利用して、SPS の CO₂ 負荷計算を行う。

環境産業連関表を利用した CO₂ 負荷計算のモデルとして、オープン型産業連関モデルをもちいる(式(1))。

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

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 番目の構成物の最終需要ベクトル (例えば、 $k=1$ は衛星本体、 $k=2$ は軌道間輸送機、...)

CO_2^k : SPS の第 k 番目の構成物の CO₂ 負荷ベクトル

式(1)の右辺の C は中野他(2008)によって計測された基本的な計数值であり、また、 $(I - A)^{-1}$ は公表される産業連関表そのものから計測される。したがって、マルチバステザー型 SPS 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、図表 1 で示したシステム全体の基本構成について、各種統計資料・報告書を利用して、衛星本体、再使用型低軌道輸送機、軌道間輸送機、レクテナ、推進燃料および衛星本体と軌道間輸送機に搭載する太陽電池ごとに作成している。

3.2.CO2 負荷の計算結果

図表 2 は、マルチバステザー型 SPS システムの CO2 負荷計算の結果を示しており、トータルで約 1 千万トンの CO2 が排出される。その内訳を見ると、再使用型低軌道輸送機の推進剤(液体酸素・液体水素)の製造過程で排出される CO2 が全体の約 6 割を占める。つぎに、図表 3 は、テザー型 SPS を建設する時に排出される CO2 負荷を産業部門別に示しており、電力部門からの CO2 排出量が全体の半分以上を占めていることがわかる。最後に、図表 4 は、テザー型 SPS の耐用年数を 40 年と想定し、電力生産 1 単位あたり CO2 負荷にかんして、SPS と既存の発電システムを比較している。CO2 負荷の観点からマルチバステザー型 SPS を評価すると、原子力発電や DOE/NASA リファレンスシステムの SPS よりは、やや高いとはいえ、化石燃料を使用する発電システムと比較して、非常に低いレベルあることが明らかになった。

図表 2 マルチバステザー型 SPS の基本構成別 CO2 負荷

| | | 万トン |
|------------|------|--------|
| 発電衛星 | 構造体 | 111.7 |
| | 太陽電池 | 219.5 |
| 軌道間輸送機 | 構造体 | 7.5 |
| | アルゴン | 6.1 |
| | 太陽電池 | 15.2 |
| 再使用型低軌道輸送機 | 構造体 | 4.7 |
| | 液酸液水 | 640.7 |
| レクテナ | | 69.3 |
| 合計 | | 1074.8 |

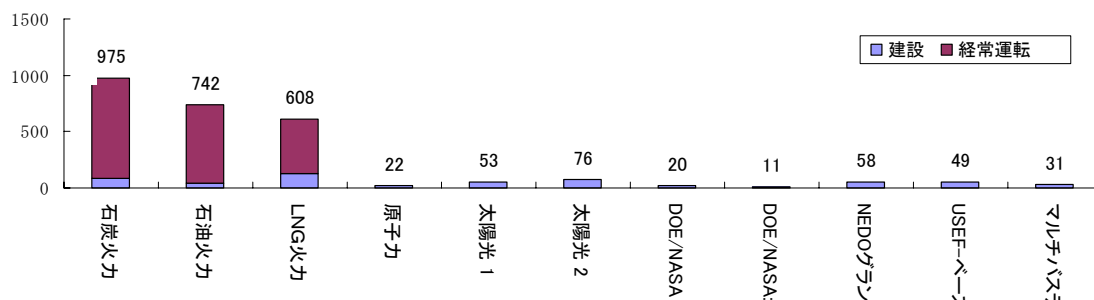
注;マルチバステザー型 SPS (地上で 1GW を 1 基建設するときの CO2 負荷を図表 1 の構成によって計測した結果。

図表 3 マルチバステザー型 SPS の産業部門別 CO2 負荷

| | 万トン | シェア(%) |
|-----------|--------|--------|
| 事業用発電 | 584.8 | 54.4 |
| 自家発電 | 67.9 | 6.3 |
| 道路貨物輸送 | 56.2 | 5.2 |
| 圧縮ガス・液化ガス | 43.8 | 4.1 |
| 銑鉄 | 43.7 | 4.1 |
| その他計 | 278.5 | 25.9 |
| 合計 | 1074.8 | 100.0 |

注;マルチバステザー型 SPS (地上で 1GW を 1 基建設するときの CO2 負荷を産業部門別に計測した結果。

図表 4 電力生産 1 単位あたり CO2 負荷:暫定値(g-CO2/kWh)



注:石炭火力、石油火力、LNG、太陽光 1 と原子力は、本藤他(2000: 修正版): 1995 年表評価値。太陽光 2 は中野(2006)に式(1)を適用して再推計した値: 2000 年表評価値。DOE/NASA とそのプリーダーは、吉岡他(1998a,b):1990 年表評価値。NEDO グランドデザインは大橋他(2001): 1990 年表評価値。USEF ベースラインは、朝倉他(2003): 1995 年表評価値。マルチバステザー型は、今回の推計値: 2000 年評価値。

4.マルチバステザー型 SPS の雇用インパクト

4.1 問題意識と前提条件

本研究における第 2 の評価軸は、雇用に与える影響である。マルチバステザー型 SPS の導入は、新規雇用を誘発する効率的な手段なのか。どのような部門の雇用を誘発するのか。既存の電

力部門との激しい競争が起こりそうか。他の公共投資や発電所建設と比較して、労働市場における需給の大きなミスマッチは起こりそうか。このような問いに答えるために、本研究では産業連関分析のオープンモデルを用いて、雇用誘発効果を推計し、統計学的手法によってマルチバステザー型 SPS と他の技術との比較分析を行っている。ただし、本研究で扱う雇用に与える影響は、SPS 建設時点の短期的な評価であって、SPS 普及後のダイナミックな評価は行っていないことに注意されたい。

本研究で使用したデータのうち、テザー型 SPS の投資額(最終需要)ベクトルは、CO2 負荷を計測した際に推計したものと同一のものである。また、既存の代替発電技術の投資額ベクトルは、慶應義塾大学産業研究所(1996)のデータを更新したものである。推計方法の詳細について、前者は朝倉・中野(2008)を、後者は中野(2008)をそれぞれ参照していただきたい。なお、平均的な公共投資ベクトルには、総務省『平成 12 年産業連関表』の総固定資本形成(公的)を使用している。

4.2 雇用影響の計算結果

マルチバステザー型 SPS の建設による雇用誘発効果は、約 20 万人である。この推計結果をもとに、新規雇用を誘発する効率的な手段かどうかを他の代替技術と比較するために、雇用誘発乗数を推計したものが図表 5 である。雇用誘発乗数とは、産業連関分析のオープンモデルをもちいて推計された各技術の発電所建設にともなう総雇用誘発量を、それぞれの投資額で除したものである。雇用誘発の効率性の観点から評価すれば、マルチバステザー型 SPS は、平均的な公共投資よりは若干効率が悪いが、他の代替発電技術よりははるかに効率が良いことがわかる。

図表 5：雇用誘発乗数
(単位：人/百万円)

| | |
|------------|-------|
| マルチテザー型SPS | 0.092 |
| 微粉炭火力 | 0.045 |
| LNG火力 | 0.046 |
| 加圧水型原子力 | 0.045 |
| 平均的な公共投資 | 0.118 |

つぎに、マルチバステザー型 SPS の建設がどのような部門の雇用を誘発するかを見ると、卸売、貨物輸送などの流通部門での誘発が大きい(図表 6)。また、マルチバステザー型 SPS の建設には大量の電力が必要となることから、事業用発電も上位部門に入っており、SPS 導入は短期的に必ずしも既存の電力部門の雇用を奪わないと考えられる。

マルチバステザー型 SPS の導入が、大きな雇用のミスマッチを発生させる可能性があるかを評価するために、雇用誘発の部門別雇用構成を公共投資と比較する。ピアソン残差や順位相関で判断すると、大半の部門や職種で残差は小さく、また有意に正の相関がある。しかし、さらに厳密に両者の差の存在を確認するために、Wilcoxon の符号順位検定を行うと、有意に差があるとの結果を得た(図表 7)。したがって、マルチバステザー型 SPS 導入によって誘発される雇用構成は、平均的な公共投資のそれと統計的に有意に差が存在しているが、類似しているため、大きな雇用のミスマッチを引き起こすような技術ではないと考えられる。

図表 6：マルチバステザー型 SPS の部門別雇用誘発上位 20 部門(単位：人)

| 部門 | 雇用誘発 | 輸入脱漏 |
|--------------|--------|------|
| 卸売 | 47,473 | -936 |
| 道路貨物輸送 | 22,357 | -335 |
| その他の電子部品 | 20,347 | -789 |
| 圧縮ガス・液化ガス | 9,882 | -10 |
| 企業内研究開発 | 6,659 | -434 |
| その他の対事業所サービス | 5,647 | -570 |
| 半導体素子 | 5,534 | -94 |
| 金融 | 5,432 | -507 |
| プラスチック製品 | 3,656 | -202 |
| 小売 | 3,329 | -241 |
| 建設補修 | 2,878 | -193 |
| 事業用発電 | 2,833 | -93 |
| 集積回路 | 2,306 | -390 |
| 労働者派遣サービス | 2,097 | -191 |
| 機械修理 | 2,094 | -203 |
| 建物サービス | 1,917 | -141 |
| 情報サービス | 1,766 | -180 |
| 物品賃貸業(除貸自動車) | 1,744 | -133 |
| その他の金属製品 | 1,738 | -113 |
| 法務・財務・会計サービス | 1,731 | -173 |

図表 7：Wilcoxon の符号順位検定の結果

| | 職種別 雇用誘発 | 部門別 雇用誘発 |
|---------------------|-------------|-------------|
| SPSと2000年の公共投資の雇用誘発 | 23704.0 | 26891.0 |
| | p値=0.0012 | p値<0.0001 |
| SPSと微粉炭火力の雇用誘発 | 10658.5 | 21774.0 |
| | p値<0.0001 | p値<0.0001 |
| SPSとLNG火力の雇用誘発 | 10283.0 | 19800.0 |
| | p値<0.0001 | p値<0.0001 |
| SPSと加圧水型原子力の雇用誘発 | 12415.5 | 23757.0 |
| | p値<0.0001 | p値=0.0003 |

5.小括

本報告の結果から、マルチバスター型 SPS システムは、建設時に大量の CO₂ を排出するとはいえ、単位あたり CO₂ 排出量でみると、化石燃料を使用する既存の発電システムより非常に CO₂ 負荷が低いことが明らかになった。また、雇用影響に目を転じると、雇用誘発の効率性の観点からは、既存の発電システムと平均的な公共投資の中間に位置し、また、導入過程においては大きな雇用のミスマッチを生じないことが計測された。

これまで進めてきたいろいろな SPS システムの CO₂ 負荷計算の結果から、「宇宙空間で発電した電力を地上に送電して利用する」という SPS の基本コンセプトにもとづかならば、システムの CO₂ 負荷は、おおよそ 2 桁の CO₂ 排出量 (g-CO₂/kWh) に落ち着くと考えてもよいかもしれない。それについては、統一年の環境産業連関表や単価をもちいて再推計を行うことによって、各システムの技術的特徴を CO₂ 負荷の観点から再検討する確証作業が必要であろう。また、SPS の建設時には、既存の発電部門から CO₂ が最も排出されることから、ソーラーブリーダーによる SPS 建設を想定することや、液体燃料の製造に必要な電力を SPS から供給するシミュレーション分析を行うこと等も考えられるだろう。とくに、SPS の雇用分析は、今回が初めての試みであり、データの精緻化とともに、SPS が既存の発電システムとして組み込まれた後の社会的な影響にも研究を進めねばなるまい。それが今後の課題である。

参考文献

- ・ USEF:無人宇宙実験システム研究開発機構(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』。
- ・ USEF：無人宇宙実験システム研究開発機構(2007)『平成 18 年度：太陽光発電利用促進技術調査成果報告書別冊』。
- ・ 朝倉啓一郎・小林裕太郎・吉岡完治(2003)「USEF 型 SSPS の CO₂ 負荷」『第 6 回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム 講演要旨集』 pp.117-122。
- ・ 朝倉啓一郎・中野諭 (2008)「マルチテザー型 SPS の CO₂ 負荷」吉岡完治・松岡秀雄編著『宇宙太陽発電衛星のある地球と将来』第 6 章、pp.89-148、慶應義塾大学出版会。
- ・ 大橋永樹・松橋隆治・石谷久・吉田好邦・疋田浩一・吉岡完治(2001)「宇宙太陽発電衛星の CO₂ 負荷- レファレンスシステムとニューコンセプト-」KEO Discussion Paper、no.G-127。
- ・ 慶應義塾大学産業研究所環境問題分析グループ(1996)『環境分析用産業連関表』KEO モノグラフシリーズ no.7 慶應義塾大学産業研究所。
- ・ 佐々木進(2008)「SPS のデザインとシステム技術」吉岡完治・松岡秀雄編著『宇宙太陽発電衛星のある地球と将来』第 4 章、pp.45-59、慶應義塾大学出版会。
- ・ 総務省(2004)『平成 12 年産業連関表』全国統計協会連合会。
- ・ 中野諭(2005)「平成 12 年環境分析用産業連関表」KEO Discussion Paper no.098。
- ・ 中野諭 (2006)「住宅用太陽光発電装置の CO₂ 削減効果とユーザーコストの計測」KEO Discussion Paper no.102。
- ・ 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』慶應義塾大学出版会。
- ・ 中野諭 (2008)「マルチテザー型 SPS の雇用へ与える影響評価」吉岡完治・松岡秀雄編著『宇宙太陽発電衛星のある地球と将来』第 7 章、pp.149-170、慶應義塾大学出版会。
- ・ 本藤祐樹・内山洋司・森泉由恵(2000)「ライフサイクル CO₂ 排出量による発電技術の評価」『電力中央研究所報告』no.Y99009。
- ・ 吉岡完治・菅幹雄・野村浩二・朝倉啓一郎(1998a)「宇宙太陽発電衛星の CO₂ 負荷」『KEO Discussion Paper』no.G-2。
- ・ 吉岡完治・菅幹雄・野村浩二・朝倉啓一郎(1998b)「宇宙太陽発電衛星の CO₂ 負荷-若干のシミュレーション」『KEO Discussion Paper』no.G-14。
- ・ Working Group II (2002)『アジアの経済発展と環境保全：未来技術の CO₂ 負荷』第 2 巻上・下 慶應義塾大学産業研究所。