

[招待論文] 経済産業省－USEF の委員会活動について －宇宙太陽発電システムの実用化に向けて－

小林 徹†

†財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF) 〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 2-12

E-mail: †kobayashi@usef.or.jp

あらまし USEF では、経済産業省からの委託を受けて、宇宙太陽発電システム(SSPS)の実用化技術に係る調査研究を行っている。この調査研究は平成13年度、14年度の2年間にわたり実施しているものであり、現在活動中である。ここに、本調査研究プロジェクトの概要と委員会活動の状況について報告する。具体的には、将来の電力代替エネルギー源としてSSPSを位置づけ、経済、環境及び技術面から「宇宙太陽発電」の実用化に向けての検討を行うとともに、要素技術の試作、実証実験システム及び実用段階でのSSPSの具体案についての開発計画等を策定することとしている。

キーワード 宇宙太陽発電, SSPS, 新エネルギー, USEF

Recent USEF Studies on Space Solar Power System (SSPS) －For Realization of the Space Solar Power System－

Tetsu KOBAYASHI†

†Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF)

2-12 Kanda-Ogawamachi, Chiyoda-Ku, Tokyo, 101-0052

E-mail: †kobayashi@usef.or.jp

Abstract The Space Solar Power System (SSPS) can supply stable electricity regardless of weather conditions or daylight hours and reduce the amount of CO₂ emission in generating electricity, therefore application of the SSPS will make a contribution to global environmental problems and energy security problems in Japan.

METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) has decided to investigate the feasibility of the Space Solar Power System. While, Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF) organized a committee under METI and has started two year (2001 and 2002 FY) study of the operational SSPS for the terrestrial power usage and the feasibility study of the demonstration system.

Keyword Space Solar Power, SSPS, New Energy, USEF

1. 背景と目的

国民生活や経済活動の基盤をなすエネルギーについては、気候変動枠組条約の進展等を始めてとして、今後の地球環境保全等の要請に十分対応しつつ、その安定的かつ多様な供給の実現を図っていくことが求められている。

このような中、地上の太陽発電と異なり、天候や昼夜に左右されず安定して電力を供給できる宇宙太陽発電システム(SSPS: Space Solar Power System)は、最近における様々な分野での大規模な技術革新の下で技術的可能性が拡大しつつある。それにより、全体としてのコストも大幅に改善される可能性がでてきており、従前に比べ、実用化に向けたフィジビリティが大きく高まってきている。

こうした流れを受け、我が国としても、一定の分野で技術的な優位性を確保しつつ将来の環境負荷の少ないエ

ネルギー源を多様化するという観点から、SSPSの実用化に関して経済、環境及び技術面から広範な検討を行い、今後我が国として取り組むべき課題等について調査を行うとともに、概念検討を実施するものである。財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)は、経済産業省からの委託により調査研究を行っている。委託業務の遂行について指導、調整、評価等を行うため、学識経験者等による「宇宙太陽発電システム(SSPS)実用化技術検討委員会」(本委員会)を設置、また、本委員会の下に「SSPS 専門委員会」を設置し、具体的な実証システムの検討を行っている。

2. 実用 SSPS の導入目標

実用 SSPS の導入目標として、地上で1GW(100万 kW)規模の発電能力を持つシステムを2030年頃に試験運用を開始し、2040年頃本格運用に入ることとしている。発電単

価は、電気事業者発電単価並み(現在における 10 円 / kWh 程度)になることを目指して検討を進める。開発は、段階を踏んだ実証により進める計画である(図1)。

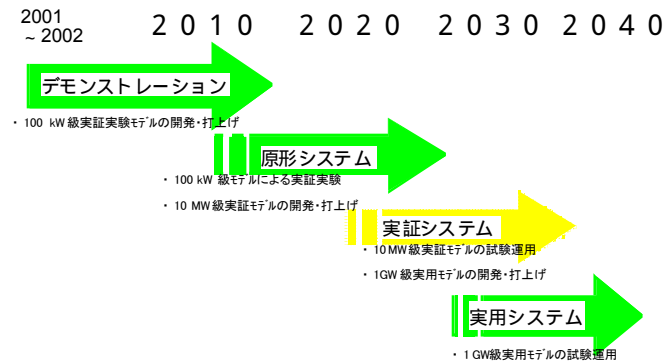


図1 開発ステップ

3. エネルギー需給構造

世界の人口は 2050 年には 93 億人に達し、そのうち途上国が 9 割近くを占めると見られている。今後は経済発展とともに途上国のエネルギー消費の増加が予想され、特にアジア地域でのエネルギー消費率の伸びが注目される(図2)。エネルギー・環境問題としては、地球環境の保全 (Environmental Conservation)、経済成長の達成 (Economic Growth)、エネルギーの安定供給 (Energy Security) のいわゆる 3E のトリレンマを解決する方策を見出すことが世界的な課題となっている(図3)。内閣府総合科学技術会議の分野別推進戦略(エネルギー)でもトリレンマの解決に向けた長期的研究開発の一つとして、また今後の宇宙開発利用に関する取組みに関連した長期の基礎的・基盤的研究開発の一つに「宇宙太陽光発電システム」がとりあげられており、今後も継続した研究努力が期待されている。

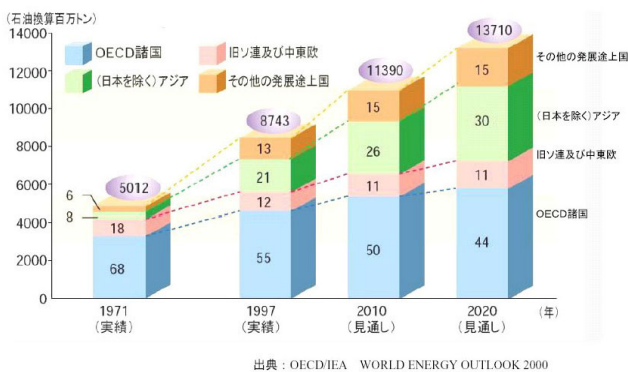


図2 世界のエネルギー消費の推移

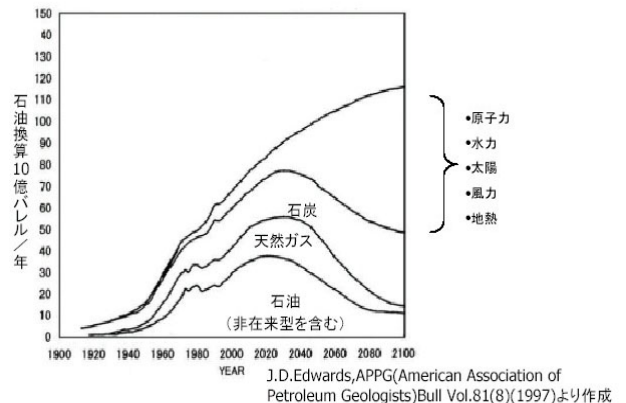


図3 世界の1次エネルギーの構成予測

4. 経済性、環境面からの検討

SSPS が基幹電力として利用されるためには、電力コストが商用として成り立つ範囲であることが必要である。そのため、将来の商用電力資源としての経済性及び市場に係る客観的な分析評価を行っていく必要がある。USEFでは、経済性評価モデルを構築した。これにより発電単価(コスト)、発電事業としての採算性がどの程度になるのかを定量的に把握することが可能となる。採算性に関しては外部コスト(環境税、CO₂ 排出権取引など)も考慮の対象となる。コンセプト案を経済的観点から評価し改善点を把握する上で評価モデルは有効である。SSPS のコスト要素の中でも特に輸送コスト(打上げ、軌道間輸送)の占める割合は大きく、実用段階での経済的な成立には輸送コストを現在の 1/100 以下にする必要があり、輸送手段の低コスト化が必須である。数万吨という物資を宇宙に打上げなければならない。NASAでは地上から低軌道までの打上げコストを 400 ドル/kg、低軌道から運用軌道までの輸送コストを 300~400ドル /kg と想定している。これらは現在のスペースシャトルのコストと比較するとその 1/100 程度である。現に米国では輸送コストを劇的に下げる研究が進んでおり実現の可能性が十分に出て来ている。

SSPS は、温室効果ガス(CO₂)排出量抑制には極めて有効である。運用時には CO₂ は発生しない。

環境分析用産業連関分析手法により SSPS のライフサイクル CO₂ 排出量を評価する手法を調査し、具体的な実用 SSPS の CO₂ 排出量を評価する上での課題および必要となるデータに対する要求を検討した。この評価手法に基づいて最新の環境分析用産業連関表により評価した結果、SSPS は原子力発電並の CO₂ 排出原単位であり、温室効果ガスの排出量抑制のための手段の一つとして極めて重要であることが確認された。

(参考：図4、図5、図6)

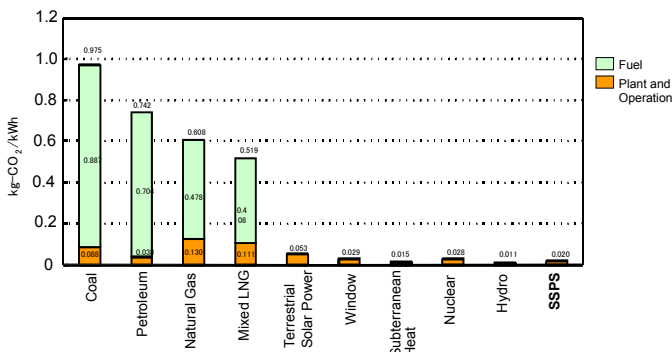
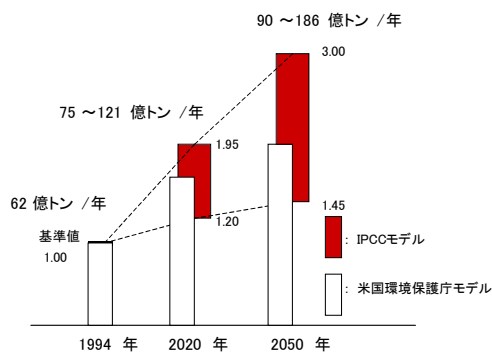
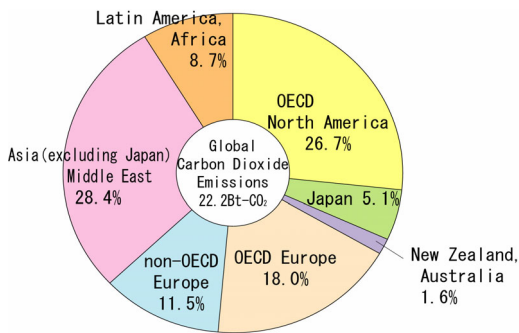


図4 発電システム別のCO₂排出量



出典: エネルギー・資源学会誌 VOL.21 No.2 2000/3 に記載された IPCC 設定数値、米環境保護庁モデルをグラフ化したもの

図5 化石燃料からのCO₂排出量(億トン/年)



Sources: EDMC Energy Economy Statistics Summary 2001

図6 世界のCO₂排出量の比較

SSPS は、宇宙で発電した電力をマイクロ波に変換し、地上のレクテナで受電・整流し電力を供給するものである。マイクロ波の人体・環境への影響については、最近の各国の動向や防護指針値、電子機器への電磁干渉問題(EMC)等について調査した。

携帯電話の普及に伴ない、マイクロ波の人体・環境への影響について各国・各機関での研究が盛んになっているが、従来の防護指針値を変えるような結論は出ていない。これらの防護指針値を設計の基準としている(表1、表2)。

国・機関名	一般公衆への曝露		職業者への曝露	
	電界強度 (V/m)	電力密度 (m W/cm ²)	電界強度 (V/m)	電力密度 (m W/cm ²)
郵政省電気通信技術審議会(日本) 1990, 1997	61.4	1	137	5
ANSI/IEEE(米) C95.1-1999	—	1.63	—	8.17
FCC(米) 1996	—	1	—	5
ICNIRP 1998	61	1	137	5
EC欧州勅告 1999	61	1	—	—
NRPB(英) 1993	194	10	194	10

表1 マイクロ波の防護指針値(2.45GHzの例)

国・機関名	一般公衆への曝露 (非管理環境)		職業者への曝露 (管理環境)	
	電界強度 (V/m)	電力密度 (m W/cm ²)	電界強度 (V/m)	電力密度 (m W/cm ²)
郵政省電気通信技術審議会(日本) 1990, 1997	61.4	1	137	5
ANSI/IEEE(米) C95.1-1999 (注2)	—	3.87	—	10
ICNIRP 1998	61	1	137	5

表2 マイクロ波の防護指針値(5.8GHzの例)

電子機器への電磁干渉については、周波数割当とも関連するが、最近のETC、無線LAN、その他の普及に伴うISM帯の利用が盛んであり、地上受電設備の設置場所や送電アンテナのビームパターン等を含めたEMC設計対策が必要である。

5.委員会とUSEFの活動状況

「SSPS 実用化技術検討委員会」(本委員会)を設置して2001年7月3日に第1回本委員会を開催した。本委員会で導入目標、基本指針等を確認、また、本委員会の下に「SSPS 専門委員会」(専門委員会)を設置、専門委員会で具体的な実用型SSPSのイメージ及び実証実験システムのコンセプト等を検討している。本委員会は今までに4回、専門委員会は2001年7月に第1回を開催した以降2002年7月までに11回の会合を持ってシステムの概念を中心に検討している。また、USEFにおいては、委員会委員の支援を受けて、経済性、CO₂排出量、安全性等についての評価手法の検討を行うとともに、SSPSを構成する主要な技術の動向について調査している。

SSPSの実現に必要な主要技術は太陽電池技術、大型構造物技術、マイクロ波送電技術、地上受電施設(レクテナ)技術、組立てロボット技術、電気推進技術、姿勢・軌道制御技術、システム設計・運用技術等である。国内外についてこれらの現状を調査し、今後の動向を予測している。

特に太陽電池技術、マイクロ波送電技術については我が国は進んでおり得意とする分野である。今後、太陽電池の高効率化、薄膜化、低コスト化、マイクロ波送電技術については高効率化、低コスト化が期待できる。

地上受電設備(レクテナ)に対する技術開発は実用 SSPS にとっては重要である。地上での受電には大きな面積が必要であり、宇宙部分、地上部分を合わせた高効率化が望まれる。

6.展望

宇宙太陽発電システムによる電力の利用は、21世紀半ばにはSFの世界の物語ではない時代が来ると予想される。実用化に向けては、近時の大規模な技術革新のもとでの可能性が拡大している。社会的な制約、地球環境の保全への対応を始めとした広範囲な検討と合わせ、国際的な協力を視野に入れ、段階的な立証を行うことにより、システムを構築していくことが重要である。

総合科学技術会議エネルギー分野の推進戦略(2001年9月)及び総合科学技術会議宇宙開発利用専門調査会報告(2002年6月)並びに宇宙開発委員会(2002年6月)で宇宙太陽発電を、我が国が実施すべき、長期を見据えた基礎的・基盤的研究開発の一つとして取り上げている。

7.おわりに

本稿で紹介した検討は SSPS 実用化技術検討委員会(本委員会)、SSPS 専門委員会及びUSEF事務局による調査・研究が進められているものである。本委員会委員は現在次に示す19名のメンバーである。

オブザーバとして経済産業省が参加している。平成13年度、14年度の調査研究について、本年度末には、SSPS の実証段階及び実用化段階に向けた報告書を纏めることとし

ている。

本委員会委員:

委員長:茅陽一(東大名誉教授)

委員:秋葉鏝二郎(USEF 技術顧問宇宙研名誉教授)

石井國義(西日本環境エネルギー(株)社長)

伊藤精彦(苫小牧工業高等専門学校校長)

後川昭雄(宇宙研名誉教授)、小田原修(東工大教授)、

神本正行(産業技術総合研究所企画副本部長)、

賀谷信幸(神戸大教授)、工藤勲(北大教授)、

佐々木進(宇宙研教授)、佐和隆光(京大経済研究

所所長・教授)、多氣昌生(都立大教授)、

武田行弘(電力中央研究所理事・情報研究所長)、

中山勝矢(広島工大名誉教授)、長友信人(宇宙研

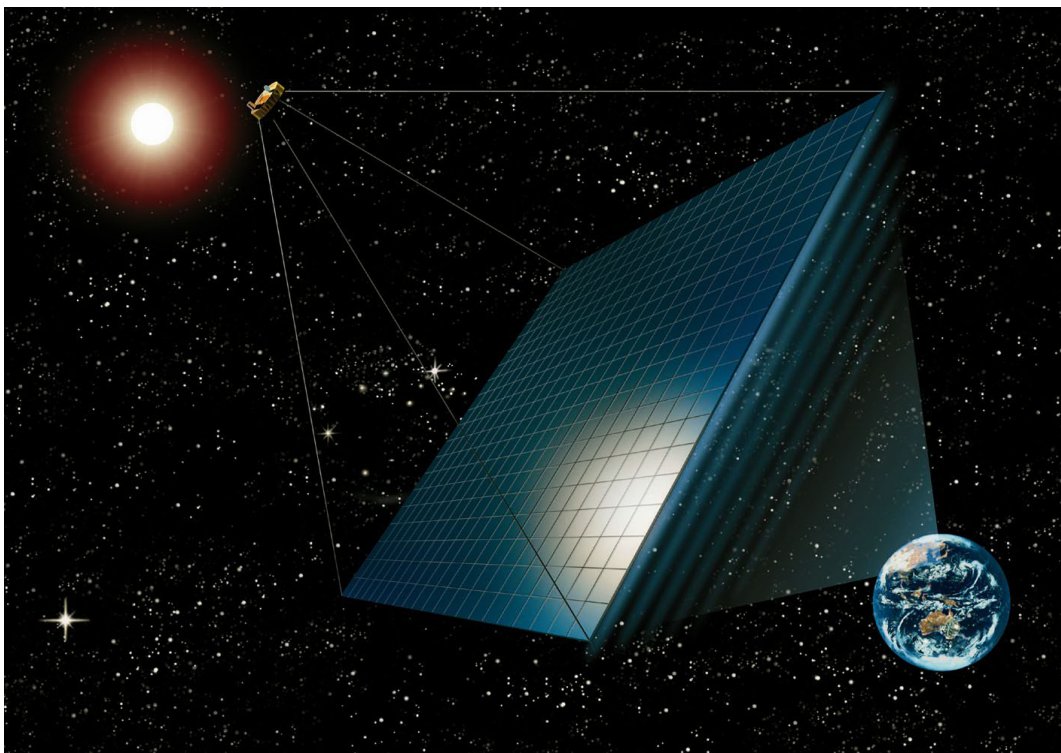
名誉教授)、永松恵一(日本経団連常務理事)、

松本紘(京大宙空電波科学研究センター長・教授)、

吉岡完治(慶大教授)、鷲田伸明(京大教授)

参考文献

- (1)平成12年度宇宙太陽発電システムに関する調査研究報告書(平成13年3月)
- (2)「SSPS実用化技術検討委員会」平成13年度中間報告書(案)(平成14年3月)



コンセプト案のイメージ