

Status of SSPS study at USEF¹

Takashi SAITO, Shoichiro MIHARA, Yutaro KOBAYASHI, Koichi IJICHI
Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF)
2-12 Kanda-Ogawamachi, Chiyodaku, Tokyo, 101-0052 Japan

Abstract

Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF) has been studying Space Solar Power System (SSPS) since 2001. Research on promotion of utilization of solar photovoltaic power generation (using microwave wireless power transmission) has been done from FY2004 to FY2007. SSPS is thought as an ultimate application for that purpose in space. On the other hand, concept of very large scale photovoltaic power generation systems (VLS-PV) are advocated and studied by International Energy Agency (IEA) and so on. VLS-PV is a photovoltaic application on Earth, especially in the desert. Both SSPS and VLS-PV are large scale systems. In this paper typical concepts of SSPS and VLS-PV are introduced and their estimated cost of power generation are compared.

(1) SSPS

A multi-bus tethered SSPS concept is selected as a reference model to estimate the power generation cost. The space segment (satellite) is a combination of identical unit with power generation, beam control and power transmission. The ground segment is a rectenna of which output power is 1GW(1000MW).

The breakdown of SSPS construction cost is; space segment 45%, ground segment 18%, transportation 37%. As a result, estimated generation cost of the reference SSPS is about 9 yen/kWh. Every unit cost of materials is assumed to be that of 2030's which is rather challenging, that is, a target cost. Cost of solar cell and launching cost, to LEO, are primary factors of power generation cost. It is expected that PV cost is between 30 to 50 yen/W and launching cost is around 10,000yen/kg-payload.

(2) VLS-PV

VLS-PV has been studied by IEA Task8 since 2003. They have done 6 case studies on VLS-PV in the desert of the world, namely, Sonoran, Negev, Gobi, Sahara, Thar and Great Sundry. 100MW system of Gobi desert is shown in this paper as a "test plant". Ten 100MW systems will make up a 1GW system. Power generation cost of 1GW system depends on initial PV cost(\$/W) and global irradiation(kWh/m²/year). In the case of Gobi desert, generation cost is about 6.5 yen/kWh. According to the roadmap "Cool Earth"(METI, 2008), the target cost of PV generation is 7 yen/kWh in around 2030.

If VLS-PV is expected to be a base-load station, it requires electric storage devices to supply power at all hours of the day and night. The extra cost for storage will be more than 2-3 yen/kWh. In this case, generation cost of VLS-PV become comparable to that of SSPS.

¹ Presented at the 11th SPS Symposium, 17-18 September, 2008

USEFにおけるSSPS検討状況²

齊藤孝、三原荘一郎、小林裕太郎、伊地智幸一

財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 2-12

E-mail: {saito, mihara, y.kobayashi, ijichi}@usef.or.jp

1. はじめに

財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構では経済産業省および同省関連団体からの委託を受けて宇宙太陽発電システムに関連する調査研究を行ってきた（図1）。最近の活動として太陽光発電利用促進技術調査（平成16～19年度）[1]の中から、経済面の検討をとりあげて紹介する。

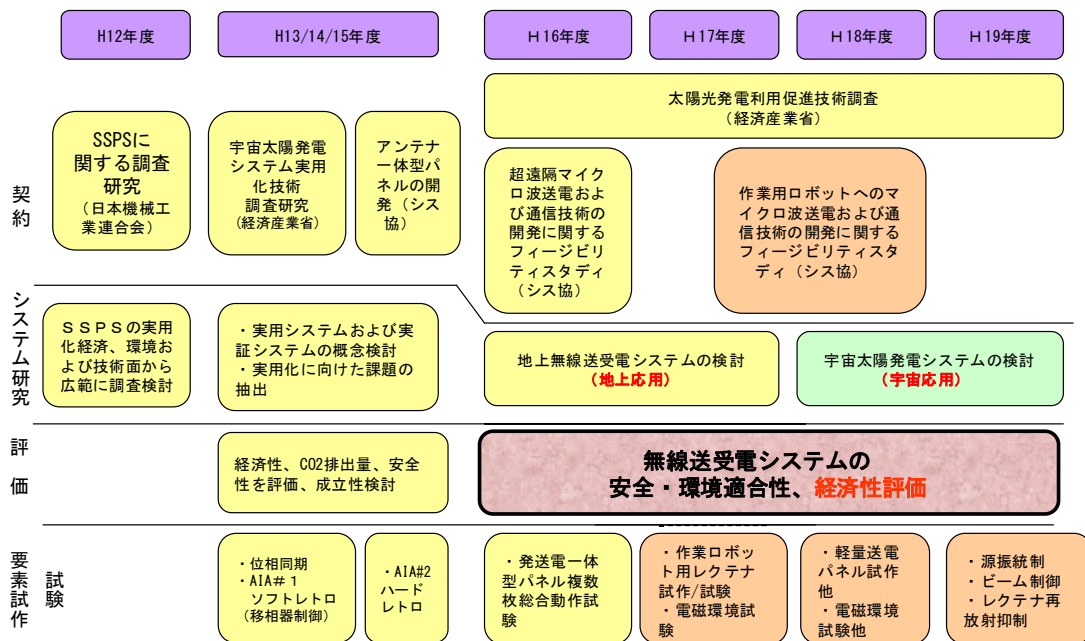


図1 USEFのSSPS活動状況

2. 大規模太陽光発電の経済性

再生可能エネルギー活用の大きな柱として太陽光発電（太陽電池）の利用が推奨されているが、これを大規模に利用する案として地上の大規模太陽光発電システム(VLS-PV: Very Large Scale Photovoltaic)と宇宙太陽発電システム(SSPS)が考えられている。ここでは、それぞれのシステム案の例を紹介し、それらの発電コストの比較を試みた結果を紹介する。

² 第11回SPSシンポジウム、慶応大学にて2008年9月17、18日開催

2.1 宇宙太陽発電システム(SSPS)の経済性評価

(1) 対象モデル

評価対象は、文献[1]で検討されたマルチテザー（マルチバス）型 SSPS である。モデルの概要と建設シナリオを図2に示す。なお、地上システム（レクテナ）の概要は以下のようなものである。

- ・マイクロ波周波数 =5.8 GHz
- ・レクテナ直径 =3.5 km
- ・電力収集効率 =90%以上(電力密度テーパーなし)
- ・レクテナでの最終出力(DC) =1 GW（出力一定型）

SSPS の建設シナリオとしては1基のテザーSSPSユニットを単位（約 45 トン）として、折り畳んだ貨物を再使用型輸送機（RLV）を用いて高度約 500km の低高度軌道へ輸送し、そこで軌道間輸送機（OTV）に積み替えて静止衛星軌道まで輸送する。

（ユニット）（ユニット・アセンブリ） （宇宙機システム）

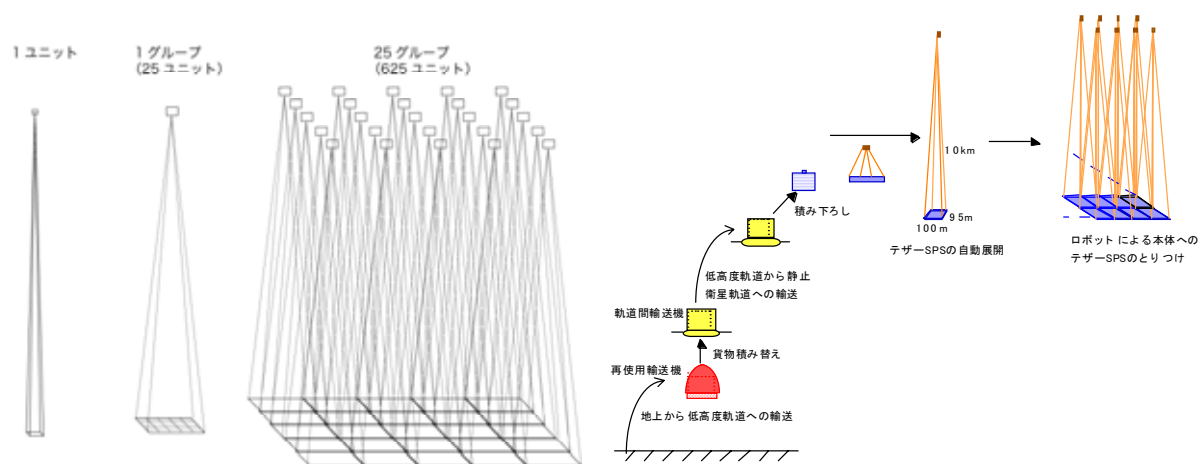


図2 宇宙機システムの構成および構築シナリオ

(2) 経済性評価に使用した設定値

USEF では平成 14 年度の調査においても SSPS の経済性評価を実施しているが[2]、宇宙航空研究開発機構(JAXA)での設定値[3]とも合わせた「共通ケース」（括弧付きは JAXA 設定にない項目）と、これらをふまえてさらに低コストをねらった「目標ケース」を設定した。（表1）

表1 経済性評価に使用した設定値（2030年頃を想定）

項目	①平成14年度 検討	平成19年度検討		単位
		②共通ケース	③目標ケース	
(1)宇宙機システム				
太陽電池	30	50	30	円/W
DC-RF 変換素子	180	300	180	円/W
パネル構造等	5,000	35,000	5,000	円/kg
バッテリー	-	(30)	10	円/Wh
バス制御部	2	(2)	2	億円/ton
バス・ダミー重量	0.005	(0.005)	0.005	億円/ton
テザーシステム	0.05	(0.05)	0.05	億円/本

(2)地上システム				
RF-DC 変換素子	100	100	100	円/W
レクテナ建設単価	80	76.33	76.33	億円/km ²
土地単価	-	5.29	5.29	億円/km ²
(3)輸送				
打上げ (LEO まで)	0.1	0.173	0.1	億円/ton
軌道間輸送機(OTV)	0.35	0.35	0.35	億円/ton
OTV 推進剤	400	500	400	円/kg
建設期間	2	1	1	年
(4)保守・運用				
宇宙機システム	2.875	3	3	%/年
地上システム	2	1	1	%/年
(5)その他				
経済寿命	40	40	40	年
システム稼働率	90	-	-	%
商用電源網への接続率	-	95	95	%
借入金金利	3.0	1.55	1.55	%/年

(3) 経済性評価結果

共通ケースでは主として打上げコストの関係から、建設費ひいては発電コストが高めになるが、目標ケースでは火力発電コスト(10 円/kWh) と同等以下の約 9 円/kWh となった。(表 2)

表 2 SSPS の建設コストおよび発電単価

	②共通ケース	③目標ケース	
宇宙機システム	11,165	5,683	億円
地上システム	2,286	2,286	億円
輸送	7,770	4,747	億円
建設総コスト	21,221	12,716	億円
保守・運用	591	336	億円/年
発電単価	15.86	9.28	円/kWh

2.2 大規模太陽光発電システム(VLS-PV)の経済性評価

(1) 国際エネルギー機関(IEA)のケーススタディ

国際エネルギー機関(IEA)の Task8 では、砂漠などを利用した大面積・高出力の太陽光発電大規模利用案が検討されている[4]。ここでの検討は比較的近い将来の実現を想定しているため、技術およびコストレベルは現状の値に近いものを使用している。ケーススタディは世界の 6 地域の砂漠 (Sonoran, Negev, Gobi, Sahara, Thar, Great Sandy) について行われたが、ここでは日本にも近いゴビ砂漠の例をとりあげる。

(2) 対象モデル

図3に示す十組の平板固定型 100MW システムで構成される 1GW の VLS-PV システムが、それぞれの砂漠に導入されるものと仮定している。

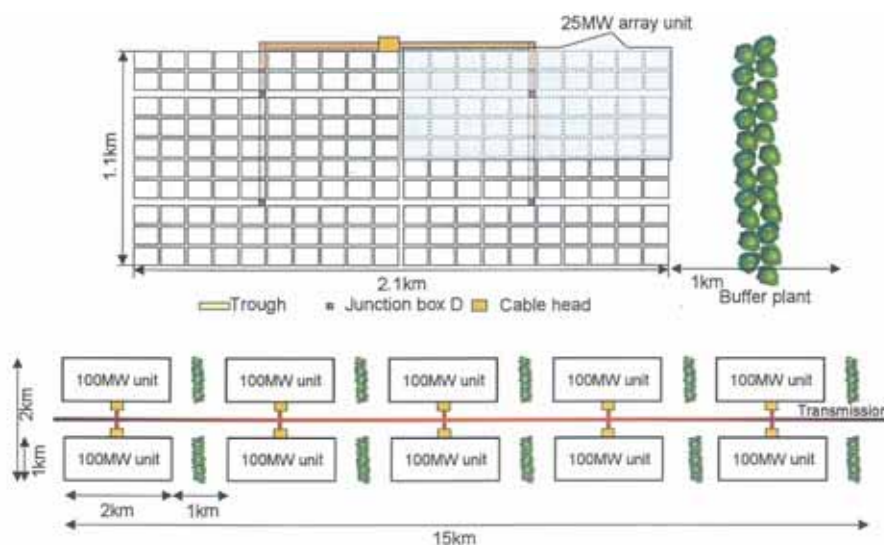


図3 1GW VLS-PV システムの概念的イメージ

(3) 経済性評価に使用した設定値および評価結果

ゴビ砂漠のケーススタディでは、初期の 100MW システムについての経済性評価が行われている。100MW システムの経済性評価の前提条件を表3に SSPS (目標ケース) と対比して示す。

表3 前提条件および発電コスト(1)

項目	VLS-PV	備考	SSPS (目標)	備考
実現時期	近い将来		2030 年頃	
建設年数	1 年	中国の場合	1 年	
電力規模	100MW		1GW	=1000MW
太陽電池	12.8%	現状	35%	将来
	240 円/W	2USD/W、実証期	30 円/W	将来
土地代	0	中国の場合	5.29 億円/km ²	
金利	3%		1.55%	
輸送費	7.99 oil/kton mile	日本から中国へ海上輸送(1,000km)	1,000 万円/ton	低軌道まで打上げ
	0.3 元/ton km/truck 0.048 oil/t km	中国内の陸上輸送(600km)	350 万円/ton	低軌道から静止軌道まで
メンテナンス費	0.084%		3%	
経済寿命	30 年		40 年	
発電コスト	12.1 円/kWh	10.1cent/kWh、(傾斜角 30°)	9.28 円/kWh	出力一定型

表3に示すように、SSPSとは前提条件が異なるため直接の比較は困難である。VLS-PVが 1GW システムにまで成長したとき (普及期) の発電コストは、開発スタート時の太陽電池価格と砂漠の日射量に依存するとしている[4]。ゴビ砂漠 (年間日射量 1700kWh/m²/year) で 100MW (実証期、太陽電池価格 2USD/W) からスタートした場合、1GW級システムに成長した場合の発電コストは 5.4cent/kWh=6.48 円/kWhと見込まれている (表4)。

表4 前提条件および発電コスト(2)

項目	VLS-PV	備考	SSPS (目標)	備考
実現時期	30年後	開発開始後	2030年頃	
電力規模	1GW		1GW	
太陽電池	240円/W	実証期(開始時)		
	120円/W	普及期	30円/W	将来
発電コスト	6.48円/kWh	5.4cent/kWh、	9.28円/kWh	出力一定型

3. ベースロード電源としての考察

現状では輸送(打上げ)コストが高くつくため経済面(発電コスト)ではVLS-PVはSSPSを凌駕しているように思われる。ただし宇宙空間に比べて地上では、夜間はもちろん昼間でも安定した発電が必ずしも期待できないため、24時間安定した電力供給を行うには蓄電設備の建設が必須となる。現在では余剰電力を揚水ダムなど利用しての蓄電が行われているが、ダム建設には立地の制約を受ける。現在、種々の蓄電システムが考えられているが、将来的には15,000円/kWh(寿命20年)が目標とされている[5]。

仮に1か所のVLS-PVで、24時間にわたって消費地に1GWの電力を供給する(24GWh/day)ことを考えると、日照(6~18時まで)の無い時間を補うために13.2GWhの電力を蓄える必要があり、そのためにはピークの発電能力は3GW強のシステムが必要となる。このとき蓄電のための設備投資により、発電コストには約2円/kWhのコストが加算される。

この値には、充放電の損失や設備のメンテナンス費は含まれていない。特に重要なのは、実際の発電パターンは理想的なサインカーブなどではなく、雲などの天候や季節により不安定な出力であることが多い。となると蓄電設備の規模も上記仮定より大きなものが必要となり、発電コストの増分も2円/kWhでは済まなくなる可能性が高い。

文献[5]によれば、(砂漠に限定しない)地上太陽光発電のロードマップでは2030年頃に7円/kWhの発電コストを目指している。これにSSPS同様、ベースロード電源としての役割を付与しようとする2円/kWh以上の蓄電コストが加算される。その結果、SSPSと同等以上の発電コストとなる可能性も考えられる。

4. まとめ

- 1) マルチテザー型SSPSの発電コストを推算した結果、約9円/kWhを得た。
- 2) 同規模のVLS-PVの発電コストは、蓄電コストまで含めるとSSPSと同等ないしはそれ以上となる可能性がある。

ただし、1)が成り立つための条件として、

- ・太陽電池コスト：30~50円/W
- ・打上げコスト：10,000円/kg-payload程度

を目標に据える必要がある。

なお実際のエネルギー供給方法は、単一の手段に頼るのではなく、他の電源とのかねあいの中で最適な組み合わせが求められるべきであることは論をまたない。

参考文献：

- [1] USEF：「太陽光発電利用促進技術調査」(平成20年3月)
- [2] USEF：「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)
- [3] 三菱総研：「宇宙エネルギー利用システム総合研究」(平成17年3月)
- [4] IEA Task8：「Energy from the Desert」(2003年5月)
- [5] 経済産業省：「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」(平成20年3月5日)