

# 宇宙太陽発電システム (SSPS) の来し方行く末 ～ 今、何を指すべきか ～<sup>†</sup> Space Solar Power Systems (SSPS) : Past and Future – Now, What should be done ? –

森 雅 裕<sup>\*1‡</sup>・長 山 博 幸<sup>\*2</sup>・斉 藤 由 佳<sup>\*3</sup>  
Masahiro MORI, Hiroyuki NAGAYAMA and Yuka SAITO

宇宙太陽発電システム (SSPS) の開発を大きく前進させるために、今なすべきことは何か。世界のフロントランナー型プロジェクトの成功事例から、ビジョン及びイノベーションの重要性とプロジェクトを成功に導くクライテリアについて分析を行い、SSPS に期待されるビジョン (政策)、商用 SSPS に求められる技術とコストを整理し、SSPS の開発の考え方や検討結果、SSPS の開発に向けての問題提起と考えるヒント等を紹介する。

To move SSPS project forward successfully, what should be done now? Results of the case study of world successful frontrunner-type projects have shown the importance of a vision and innovation and criteria for leading a project to a successful conclusion. This paper will present a political vision for SSPS, cost and technology required for commercial SSPS, the future direction and problem presentation of SSPS development and useful tips for a successful development of SSPS.

**Keywords :** frontrunner-type projects, vision and innovation, successful development of SSPS

## 1. はじめに

宇宙太陽発電システム (SSPS) の開発を大きく前進させるために、今なすべきことは何か。本稿では、世界のプロジェクト成功事例から学ぶこと、SSPS の開発の考え方、開発に向けての問題提起等を行う。

## 2. フロントランナー型プロジェクト成功事例に学ぶ

SSPS プロジェクトの実現に当たっては、従来のキャッチアップ型研究開発からフロントランナー型イノベーションへの転換が必須である。そこで本項では、過去のフロントランナー型プロジェクトの成功事例をいくつか取り上げ、イノベーションを伴うビジョンの重要性とプロジェクトを成功に導くクライテリアについて分析を行う。

### 2.1 過去のフロントランナー型プロジェクト成功事例

**2.1.1 アポロ計画の事例** 当時、米ソ冷戦構造の中、1957 年のスプートニクショック、核兵器の開発、有人飛行の成功と、ソ連は次々と自由主義国を凌駕していた。米国がソ連の後塵を押し続ける中、1961 年 5 月 25 日、ジョン・F・ケネディ大統領は、「人を月面に降ろした後、地球まで安全に連れ戻すという目標を今後 10 年で達成すべく、全力で努力すべきと考える。これほど人類に感動を与える宇宙計画は他に無い」と自由を迫害から守り、国民の志気を鼓舞するビジョンを掲げた。このアポロ計画をケネディ大統領が発表したときには、ロケットの仕様、搭載コンピュータの仕様など重要技術は何一つ決まっていなかった状態であったにもかかわらず、アポロ計画はあらゆる側面で世界を導こうとする国家としての信念とビジョンの証として国民に認められ、実現するに至った。

**2.1.2 パーソナルコンピュータの事例** アップル共同創設者で前 CEO のスティーブ・ジョブズ氏は、本格的な計算処理を得意とする IBM が支配を強めるコンピュータ市場や業界から大衆が使いこなせるコンピュータを提供し、大衆が個人として楽しみ、時間やお金が節約でき、生活水準が上がるなどのメリットを享受できるように「普通の人々にコンピュータを届ける」というビジョンを掲げた。そして 1952 年に大きな IBM701 汎用科学計算機が世に出たから 32 年後の 1984 年、机上に載る Personal Computer として Macintosh が登場した。

<sup>†</sup> 第 1 回宇宙太陽発電シンポジウム, 2015 年 12 月 15-16 日, 東京にて発表

<sup>‡</sup> Corresponding author: Masahiro MORI.  
E-mail: mori.masahiro2k@nifty.com

<sup>\*1</sup> スペースエナジー・イニシアティブ  
〒169-0073 東京都新宿区百人町 3-1-5-307,  
Space Energy Initiatives, 3-1-5-307 Hyakunincho Shinjyuku, Tokyo  
169-0073, Japan

<sup>\*2</sup> 株式会社三菱総合研究所  
〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目 10 番 3 号,  
Mitsubishi Research Institute, Inc, 10-3, Nagatacho 2-Chome,  
Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8141, Japan

<sup>\*3</sup> シー・エス・ピー・ジャパン株式会社  
〒108-0023 東京都港区芝浦 4 丁目 15 番 33 号,  
CSP Japan Inc., 4-15-33, Shibaura, Minato-Ku, Tokyo 108-0023,  
Japan

**2.1.3 宇宙輸送系の事例** 米国スペース X 社の共同創設者で CEO であるイーロン・マスク氏は、国防総省や NASA が主導してきた宇宙へのアクセス手段の開発舞台に、輸送コストを 1/100 にして「誰でも宇宙に行けるようにする」というビジョンを掲げ参入し、Falcon 9, Falcon Heavy, Dragon などを成功裏に開発しながら、並行して宇宙往還機の開発を行っている。

また、Amazon.com の共同創設者で CEO であるジェフ・ベゾス氏は、宇宙企業である Blue Origin 社を立ち上げ、民間資本で大幅に安く宇宙旅行を提供するとして、2015 年 11 月 23 日、打上げ機の高度 100km を超える垂直離着陸に成功した。さらに、我が国発ベンチャー企業 PD エアロスペースの緒川修治氏は、H-IIA の 1/100 の輸送コストを目指し、宇宙旅行の事業化を狙って往還機の開発を行っているところである。

**2.2 イノベーションの重要性とプロジェクト成功の秘訣**

上記のフロントランナー型プロジェクトを成功裏に導くためには、イノベーションを伴うビジョンが必要である。イノベーションの重要性については、マイクロソフト共同創設者の元 CEO であるビル・ゲイツ氏が「イノベーションのおかげで、200 年前と比べて我々の寿命は倍以上に延び、エネルギー価格は低下し、食料は豊富になった。医療やエネルギー、食料などの面においてイノベーションを継続しなければ、10 年後の世界は暗いものになる」と言っている<sup>1)</sup>。また、プロジェクトの成功の秘訣としては、アップル共同創業者の前 CEO であるスティーブ・ジョブズ氏は「ビジョンを信じ、自らの情熱を傾けながら、こだわりを捨てずに不屈の精神で邁進する。」と証している<sup>2)</sup>。

**2.3 プロジェクト化のクライテリア**

**2.3.1 フロントランナー時代における成功事例に見るプロジェクト化のクライテリア (国家プロジェクト)** 旧 NASDA や JAXA の実務での知見や、欧米のプロジェクト着手事例の分析、米国 TRW 社の助言などを参考に分析すると、国家プロジェクト化のクライテリアとしては、最大公約数的に以下の項目が評価された。

- 1. ビジョン (創造的なイノベーションを伴う) が存在するか: Yes

- 2. End User, End Use, End Items が明確になっているか: Yes
- 3. 鍵となる重要技術の技術ギャップに原理の証明を必要としているか: No
- 4. 費用対効果等経済的成立性に見通しが得られているか (PF 分析等): Yes
- 5. 民間企業、金融機関等民間だけで、プロジェクト資金のローンを組めるか (事業化までに所謂「死の谷」を迎えるリスクが低い): No
- 6. 公共財的性格を持つか: Yes

参考までに、キャッチアップ時代の国家プロジェクト化のクライテリアを以下に示す。

- ・成功事例があるか: Yes
- ・フィージビリティを確認しているか: Yes
- ・ビジネスプランを描けるか: Yes

**2.3.2 プロジェクト・製品の成功事例の開発着手時に満たしていたクライテリアと宇宙太陽発電計画の現状**

第 1 表にプロジェクト・製品開発の成功事例と、それらが開発着手時に満たしていたクライテリアを示す。また最下段には商用 SSPS の現状についても同様の項目で評価した。

SSPS は、過去のプロジェクトのクライテリアを比較しても、成熟度は高いか同等であり、重要技術の原理の証明は完了している。更に、既存の消費型宇宙開発と違い、一時国家予算を借用し、開発後一定期間を経て償還する新しいタイプの宇宙プロジェクトであることが SSPS の特徴ともなっている。

**3. 世界の超長期エネルギー見通しと SSPS の出力の決定要因**

SSPS1 基の出力が 1GW に設定されているのは、エネルギー需給見通しに依存して決定されているのではなく、我が国の原発や火力発電など既存のエネルギーソースの出力が、取水・排水など冷却水の確保など立地条件や安全規制の面や経済性や建設能力などの観点から決定されており、我が国のエネルギー需給見通しによって決まっていないと同様に、SSPS の出力はエンドユーザの要求やメーカーの設計能力など別の要因によって決定されるものである。この 1GW 級 SSPS の年間発電電力量は、稼働率を 95% と想定

第 1 表 プロジェクト・製品開発の成功事例

プロジェクト・製品開発の成功事例	開発着手時に満たしていたクライテリア					
	1	2	3	4	5	6
フロントランナー時代のプロジェクト化クライテリアの対応番号						
<b>(官需/軍需)</b>						
1. 米国アポロ計画	○	○	○		○	
2. 米ソに次いで世界で3番目に開発された国産液酸/液水エンジンLE-5	○	○	○		○	○
3. 米国インターネット(軍需)	○	○	○		○	○
4. 米国GPS(軍需)	○	○	○		○	○
<b>(民需)</b>						
1. SONYのウォークマン	○	○	○	○		
2. AppleのMacintoshPC, iPod, iPad, iPhone	○	○	○			
3. トヨタのハイブリッド車、燃料電池車等	○	○	○	○		
4. スペースXのFalcon9, Falcon Heavy, Dragon等	○	○	○	○		
<b>商用SSPSの現状</b>	○	○	○	○	○	○

(凡例) ○: 適用、 ブランク: 適用外

すると、約 83 億 kWh となる。

経済産業省が 2015 年 7 月に発表した「長期エネルギー需給見通し」によると、我が国の電源構成は、徹底した省エネルギー（節電）の推進、再生可能エネルギーの最大限の導入、火力発電の効率化等を進めつつ、原発依存度を可能な限り低減することを基本方針としている。その結果、2030 年度の電力の需給構造は第 1 図 3) に示すようになると予測している。2030 年の総発電電力量が省エネを進めた場合の 10,650 億 kWh であるとする、1GW 級 SSPS は 1 基で約 0.8% 分の発電を担えることになる。一方で、本見通しでは、原子力 20～22% 程度、再エネ 22～24% との割合が示されているが、近年の脱原発風潮により原発の再稼働や新増設が困難を極めており、これだけの原子力電源を確保できるのかは非常に不透明な状況である。さらに再エネにしても想定した費用負担で実現可能であるかについては疑問の余地も残る。

このような状況の中で、原子力発電所と同様の電源特性を持つ上に、出力を安定的に保てる再生可能エネルギーでもある SSPS は、これらの電源を補完できる重要な役割を担うことが可能である。

長期的（50 年以上後）にみても、我が国においては国際的な CO2 排出量抑制圧力から、クリーンなエネルギーソースと代替する政策が堅持されることが予想される。その際には、LNG、石炭、石油もクリーンなエネルギーで代替していく必要性が生じ、SSPS の必要性はさらに増加すると見込まれる。需給見通しの振れ幅からくる SSPS のシェアの振れ幅に対する対応は、他のエネルギーソースと同様に基数の増減で対応することになる。

さらに、SSPS はその特性から販路を国内に留まることなく、資源エネルギー庁が IPSS-SRES4) と IIASA-WE5) の分析結果から纏めた第 2 図に示すような右肩上がりの国際市場に活路を見出すことは容易である。従って、SSPS に限っては、著しい増大が見込まれている世界におけるエネルギー市場の需給見通しをエネルギー販売計画の基礎と考えてよい。

### 3.1 イノベーションの重要性とプロジェクト成功の秘訣

これまで、エネルギーの安定供給と地球環境問題を中心のテーマに、SSPS の実用化・商業化に向け検討してきた結果、以下のことが明らかになっている。

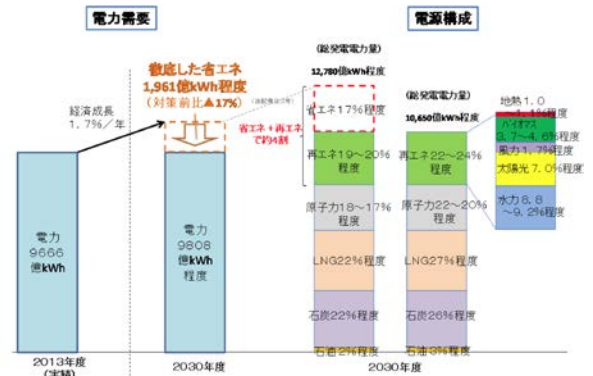
基幹エネルギー源として SSPS を加えることにより、エネルギー政策の基本的視点(3E+S)\*に加え、前提としての基幹エネルギー供給体制の堅牢性(Robust\*)を手中に収めることになる。また、地上系ソース(原子力、水力、火力、風力など)と宇宙系ソース(宇宙太陽光発電)の独立した 2 系統にすることにより、堅牢性の高い 3E+S&R という概念が確立することとなる。さらに、宇宙系ソースを加えることにより、地震、津波、テロ、地政学的リスク、炭酸ガス排出、限りある資源など地上系の共通リスクを大幅に軽減することが可能となる。

\*3E : Energy Security, Economic Efficiency and Environment  
S : Safety R : Robust

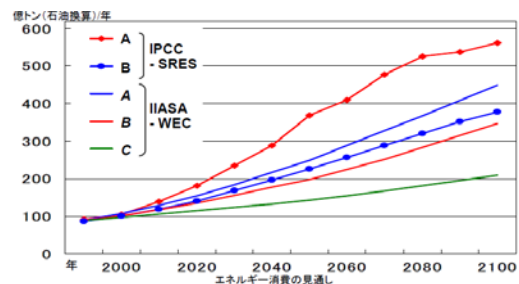
### 3.2 エネルギー安全保障の観点からの新たな国産資源開拓の重要性とその期待されるビジョン

国家安全保障の観点からも、現状の海外資源への依存度の高さを克服すべきであり、我が国のエネルギー自給率の向上のためには、新たな国産資源の開拓が不可欠である。

温室効果ガス排出量の削減、および原子力発電への依存度の軽減を考慮すれば、



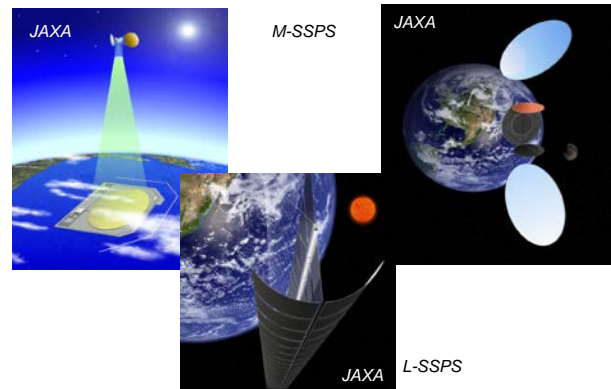
第 1 図 2030 年度の電力の需給構造 (出典：長期エネルギー需給見通し、経済産業省)



※ IPCCのSRESシナリオや、IIASAのWECの試算では、シナリオによる幅があるもの、いずれもエネルギー消費が増加することが見込まれている。  
【IPCC-SRES】 A: 高度経済成長が続き、新技術や高効率技術は早期導入が進む、地域格差が縮小するケース B: 中道なケース  
【IIASA-WEC】 A: 高成長ケース、B: 中道ケース、C: エコロジー投資ケース

第 2 図 世界の一次エネルギー消費見通し

(出典：エネルギー分野の技術戦略マップの検討状況 (策定にあたっての考え方)、資源エネルギー庁、平成17年7月)

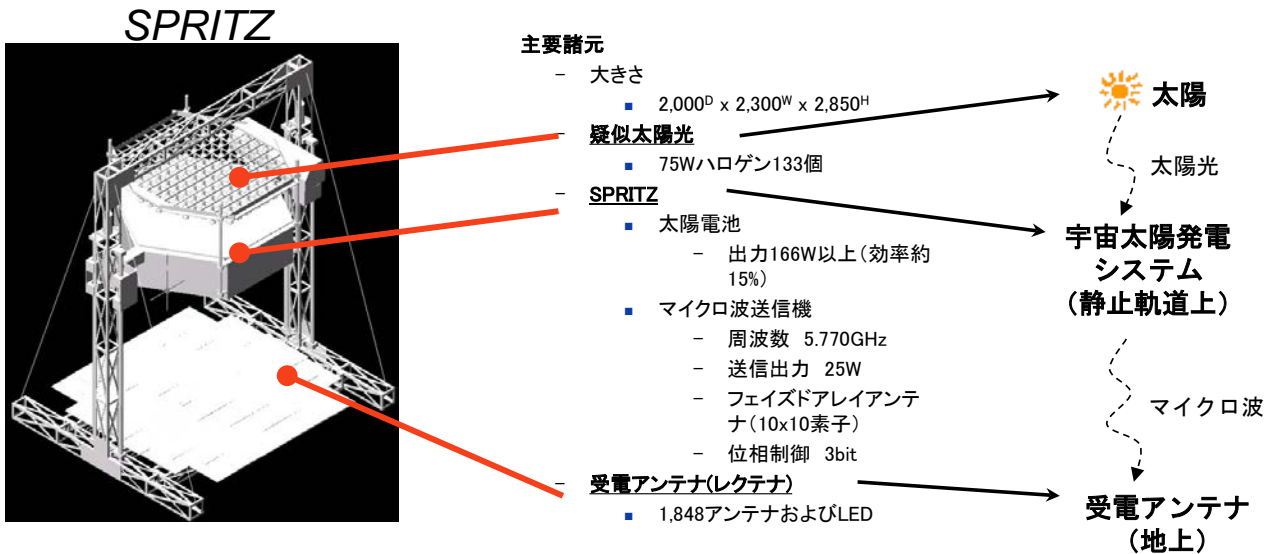


第 3 図 SSPS アーティストコンセプト (出典：JAXA)

- 1) 温室効果ガス排出削減へ貢献するもの
- 2) ベース電源の選択肢となり得るもの
- 3) 安定的で十分なエネルギー資源であるもの
- 4) 運用中及び運用終了後も安全性が十分に確保されていること

の要件を満たす必要がある。

SSPS は、このような国産資源の有望な選択肢である。また、世界のエネルギー消費地に空間伝送によりピンポイント



第4図 SPRITZ (出典: JAXA)

トで輸出することも可能であることから、世界的な視点での安定供給にも貢献するとともに、巨大な税収源と雇用の創出も見込めることから成長戦略の新たな支柱になり得るものである。

#### 4. 商用 SSPS に求められる技術/コスト

**4.1 商用 SSPS に求められる電力会社、商社等の声(要求)** 「開発はエンドユーザ、エンドユース、エンドアイテムの確認から始めよ」というのは開発の鉄則であり、エンドユーザの要求にどれだけ応えられるかが開発の鍵である。

SSPS では、エンドユーザとなると考えられる電力会社、商社等からは以下の要求が出されている。

<商用 SSPS に求められるエンドユーザの要求>

- 初期出力: 100 万 kW/基
- 目標発電コスト: 8~10 円/kWh
- 出力安定度: 安定していること
- 開発は早ければ早いほど良い(開発期間 10 年程度に期待)

以上の要求を満足させるために SSPS の開発に際して求められる条件は以下の通りである。

<エンドユーザの要求を満足するための条件等>

- 開発期間: 20~30 年間(初号基までの開発期間); 往還機の開発に要歳月
- 建設期間: 1.5 年/基
- 機能: 出力拡張性(2GW, 5GW, 10GW), 軌道上で組立・換装・修理が可能
- 設計寿命: 40 年
- 組立運用軌道: 静止軌道(デブリ垂直分布やバンアレン帯を考慮して軌道を選定)
- 商用 SSPS 建設コスト: 1.2 兆円
  - 宇宙セグメント建造費 7,000 億円
  - 地上アンテナ(レクテナ)建設費 2,000 億円
  - 打ち上げコスト: 3,000 億円
- 出力安定度: 春分と秋分の真夜中に食により発電が停止するがそれ以外は安定

#### 4.2 基本技術・重要技術に「原理の証明」を必要とする技術課題がないことを証明

旧 NASDA は京都大学等と共同で、2000 年に小型模擬宇宙太陽光発電装置(SPRITZ)を開発し、エネルギーを持ったマイクロ波ビームを制御しながら所定の地点へ伝送し、LED を発光させることに成功し、SSPS の重要技術の原理を全て実証した。これにより、宇宙から地上までのエネルギー伝送を模擬することができ、SSPS は『原理の証明』を必要とする技術課題が無いことを証明した。

現在は幾多の困難な技術課題はあるものの、目標発電コストを達成させるための、技術開発を進めている段階である。今のところ致命的な技術課題は無い。

#### 4.3 1970 年代の Reference System から 30 年間で変わったこと

米国防総省(DoD)の組織である国家宇宙安全保障室(NSSO: National Security Space Office)は、2007 年 10 月に「Space-Based Solar Power As an Opportunity for Strategic Security Phase 0 Architecture Feasibility Study」を発表した。

この中で、「何が変わったのか?」という表題をつけ、1977 年とそれから 30 年の時を経た 2007 年までの間に、計算科学、材料科学、太陽電池、官民による輸送手段、宇宙制

1977年	2007年
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽電池発電能力                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 効率@ ~10%</li> </ul> </li> <li>■ 無線電力伝送                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 半導体増幅器の効率@ ~20%</li> <li>➢ 機械式ポインティング(ジッタリング)</li> </ul> </li> <li>■ SSPS パワーマネジメント要求                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 耐電圧要求@ ~50,000 Volts</li> </ul> </li> <li>■ SSPS 打ち上げ要求                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 再使用型輸送系(有人)</li> <li>➢ 打ち上げ能力@ ~250tons</li> </ul> </li> <li>■ 軌道上組立ロボット                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 自由度@ ~3</li> <li>➢ 制御: Programmed/Tele-operated</li> </ul> </li> <li>■ 軌道上組立                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 600名の宇宙飛行士による組立</li> <li>➢ GEOに大規模宇宙工場</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽電池発電能力                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 効率@ ~40%(50%)</li> </ul> </li> <li>■ 無線電力伝送                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 半導体増幅器の効率@ ~80-90%</li> <li>➢ 電子式ビーム制御</li> </ul> </li> <li>■ SSPS パワーマネジメント要求                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 耐電圧要求@ &lt;1,000 Volts</li> </ul> </li> <li>■ SSPS 打ち上げ要求                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 商用輸送系(無人往還機)</li> <li>➢ 打ち上げ能力@ ~25tons</li> </ul> </li> <li>■ 軌道上組立ロボット(要AI化)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 自由度@ ~30-100</li> <li>➢ 制御: Autonomous/Tele-supervised</li> </ul> </li> <li>■ 軌道上組立                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ AIロボットによる組立(無人、協調制御)</li> <li>➢ GEOに限定的な宇宙工場(無人、自律)</li> </ul> </li> </ul>

第5図 1977年と2007年との比較

御技術、電力マネージメント、ロボットなど多くの重要な分野での技術的な変遷があり、全てが SSPS の経済的成立性にプラスの貢献をもたらしてきたことを示す下表を載せている。

**4.4 打上げ単価と発電コストの関係** 4.1 項で述べたエンドユーザの要求を満足するための条件を満たすためには、目標とする輸送コスト (RLV 輸送) は 1700 万円/ton となり、この数字は現状の輸送コストの 1/12 (Falcon Heavy と比較) ~1/50 (H-IIB と比較) 程度と考えられている。ただし、輸送コスト以外にも多くのコスト因子が存在するため、輸送コストのみに着目した議論を展開することは不毛である。開発全期間において、SSPS の用途や他のコスト影響因子も含めたコスト管理が必要である。第 6 図に一層の高効率化/軽量化/低コスト化を進めた場合の輸送コストと発電コストの関係を示す。

## 5. SSPS 開発について

**5.1 SSPS はなぜ「小さく産んで、大きく育てろ」とは  
いかないのか。** ピーク電力の半値となる放射ビームの全幅  $\theta_w$  を考えると

$$Dr/R = \theta_w \quad (1)$$

ここで  $Dr$  はレクテナの直径、 $R$  はレクテナからスペースステナまでの距離 (約 36000km~40000km) である。これを満たすスペースステナの直径  $D_s$  は、開口面アンテナの理論から

$$\theta_w = \alpha \lambda / D_s \quad (2)$$

ここで  $\alpha$  は 1 より小さい定数、 $\lambda$  はマイクロ波の波長 (ISM バンド) である。

(1)式と(2)式から、スペースステナの直径を小さくすると、マイクロ波ビームは地上のレクテナをはみ出してしまい、発電効率の低下、電磁干渉、生態系への影響等 PA(Public

Acceptance)問題を招く可能性がある。マイクロ波の場合『小さく産んで、大きく育てろ』という概念は適用し難い。また、小型衛星タイプから商用規模まで徐々に大きくする開発シナリオは、「技術要求と技術反映の反復適用・反復実証」という開発の考え方からも成功シナリオを描きにくい。

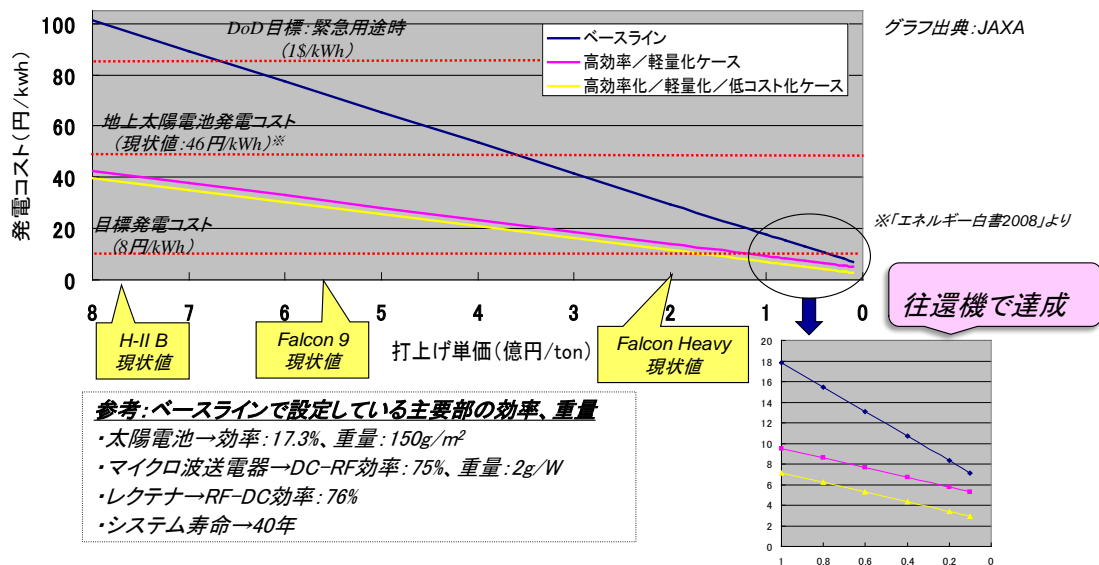
一方、直進性の高いレーザーの場合は、この限りでは無いが、フィールドテストなどで確認すべき伝送上の技術課題が存在する。

**5.2 SSPS の開発ステップの考え方** 第 7 図に示したように、ステップ 1 から順次に出力を上昇させながら、商業段階へ移行させる計画であるが、ステップ 4 の内、繰り返し実施されるシステム検討は開発全体の羅針盤の役割として、開発の全期間において最も重要である。

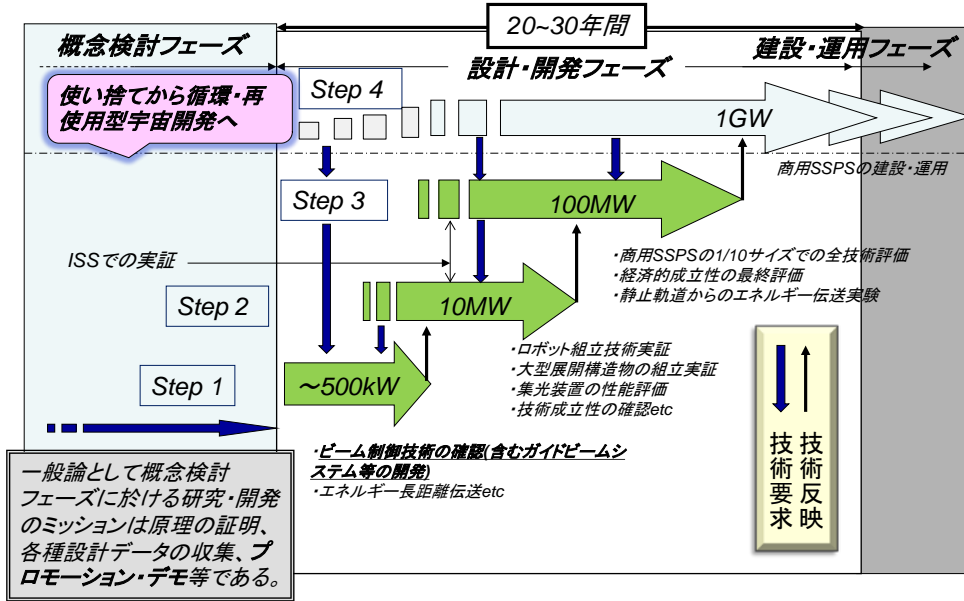
**5.3 開発体制** 第 8 図に SSPS に求められる開発体制を示す。電力会社、商社等の声を反映させる商用 SSPS の開発に向けては、

- SSPS のシステム検討のために、開発主体である JAXA を中心に産学官が一体となったシステム検討委員会(親委員会)と各種 WG を設置し、早期に ALL JAPAN 開発体制を構築することが重要である。具体的な検討項目は、1) 各種要求条件の確認 2) コンセプトの検討 3) アーキテクチャの確認・更新 4) ベースラインの設定・更新 5) 技術ギャップの確認・更新 6) WBS の確認・更新 7) 目標発電コスト達成フローチャートの更新 8) スケジュール管理 (含むロードマップの管理運用) 等である。
- SSPS のシステム以外の分野との連携を強化するための WG を立ち上げ、組立手段や輸送手段や打ち上げ射場

- \* ベースライン: JAXA の SSPS 経済性検討において、2030 年頃の数値として提示された各部品・コンポーネントの効率、価格、重量密度などを使用して算出した発電コスト
- \* 高効率/軽量化ケース: ベースラインで使用した数値に対して、さらなる高効率化(太陽電池効率25%、RF-DC変換効率85%)、軽量化(ベースラインの1/2)を想定したケース
- \* 高効率/軽量化/低コスト化ケース: 高効率/軽量化ケースに対して、さらに各部品等の低コスト化(ベースラインの1/2)を想定したケース



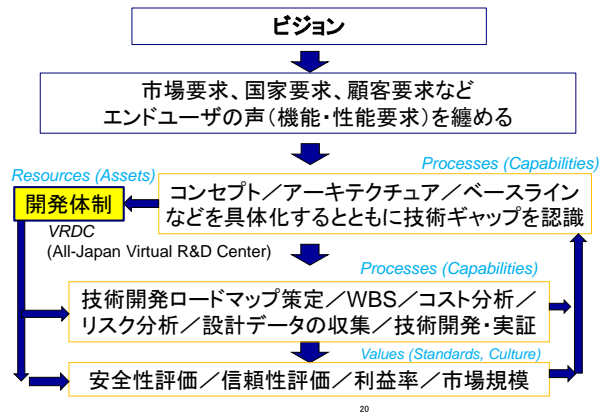
第 6 図 打上げ単価と発電コストの関係



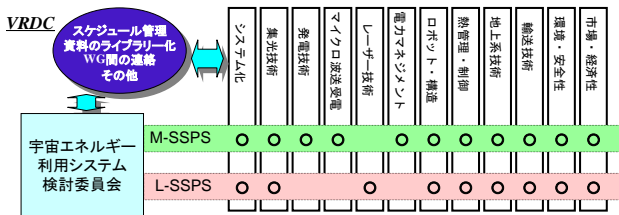
第7図 SSPS 開発ステップの考え方

などへの要求条件を早期に纏める必要がある。1) 組立・修理・交換用の AI ロボット 2) 宇宙輸送系への要求検討 3) 環境・安全性の研究 4) 市場・経済性の分析・評価などの WG を早期に充実させる必要がある。特に足の長い輸送系(宇宙往還機, 再使用型 OTV)開発への要求条件を早期に纏めることが重要である。

第9図に示すとおり, 1998~2008年の間, JAXA 主導の All-Japan 体制としての VRDC(バーチャル R&D センター; システム検討委員会と各種 WG で構成)が存在していたが, JAXA には VRDC の復活を強く望むものである。



第8図 開発体制の位置づけと開発の枠組み (Based on the RPV Framework by C.M. Christensen)



第9図 過去の JAXA での SSPS 研究開発体制

## 6. SSPS の国家プロジェクト化に向けて, 今何を目指すべきなのか

**6.1 効果的なデモ・ミッションの必要性** 内閣府に設置された宇宙戦略室の元審議官が「お話を伺う多くの人の中で, SSPS 推進派は1割です。後は全て懐疑論者でした」「懐疑的な皆さんは, 異口同音に宇宙輸送コストが高いことと, 宇宙から地上へ纏まったエネルギーを送る技術がないから成し遂げることはないと言っています」「特に懐疑論者が宇宙の専門家や宇宙関係者に多いので, 驚きです」と指摘された。

しかし, 一方で 2011 年の 3.11 以前の世論調査(JAXA 実施)では, 8 割以上の一般国民が早期実現を願っているという事実も存在する。これらのことから, 以下のことが考えられる。

- 宇宙予算という小さなパイの奪い合いが起きているために, 担当以外の計画にネガティブ発言をしてしまう。
- 既存のエネルギー環境に既得権益を持っている企業や研究所は懐疑的である。
- 文科省研究開発局には ITER の原子力課と SSPS の宇宙開発利用課が存在しており, 財務省の二者択一論に怯えている。
- 利益追求型企業は, 衛星の数が多い程, 工場の稼働率が上がるので, 国防関連等短期収益型シリーズ衛星開発を求める傾向 (故障しても機密扱い)がある

このように宇宙やエネルギー関係省庁や関連企業の腰が引けた状況の中で SSPS のプロジェクト化を実現させるためには, 国民の話題を沸騰させ, 国民やマスコミを味方に付ける効果的なプロモーション・デモなどが必要であろう。

効果的なデモ・ミッションに関しては, 輸送コスト低減については近い将来ベンチャーが実証しそうな勢いであるが, 宇宙から地上へ纏まったエネルギーを送れるかという課題については当面はどこにも実証の機会はまだ予定されていないのではないかと危惧される。従って, 当面は国民やマスコミをひきつけるために「はやぶさ計画」のように話題

沸騰するエネルギー伝送実験を検討し、早期に実施に移すことが重要である。宇宙から安全・確実に所定の場所にエネルギーを降ろすために必要なガイド信号或いはガイドビームシステムの実証と効果的なプロモーション・デモの両立した計画が望ましい。例えば、ISS から送られたエネルギーの集中したサーキット会場で学生対抗プラモカーレース大会開催や静止衛星から沖ノ鳥島に設置した灯台を点灯、人類初の「宇宙の火」を点す実験等が期待される。

**6.2 今、何を指すべきなのか(問題提起)** 『小さく産んで、大きく育てろ』という概念を適用し難い特性を持つ SSPS の開発において、現在、JAXA に存在する WG は「踊り場戦略」と称する①回転翼無人機への無線エネルギー伝送、②月面探査ミッション探査機への無線エネルギー伝送、③成層圏滞空型無人機への無線エネルギー伝送、④大型構造物展開/組立技術を適用した静止降水レーダ、という開発の方向性が見えない小さな技術開発ミッションを主体とする4つの独立したWGがあり、その構成員は非公開であるという状況にある。これらのミッションは、先の元審議官の指摘された疑念を払拭することや商用 SSPS の設計データを収集することに必ずしも繋がらないものと危惧される。

忘れてはいけないことは、SSPS 開発上で最も重要なことの一つである『競争力のある目標発電コストを達成するための技術開発』を如何に効率よく確実に実施するかである。このためにはシステム検討のための ALL-JAPAN 体制を構築し、広く叡智や経験を国内外に求める必要がある。

昨今、JAXA は安全保障関連(NS という)の宇宙開発ミッションが増え、これに伴い情報管理が厳重化されてきた。

国家機密を伴う NS ミッションはいざ知らず、SSPS のような民間利用ミッションまでもが右倣いの情報管理を強いられているために、JAXA は従来のような委員会を作れないとか、その構成員は公開できないとも言ってきた。もっと多くの軍事ミッションを推進してきている NASA では、このようなことは断じて無く、筆者も3年間招聘され参加した NASA の SSPS のシステム検討委員会(All-American + International)は、調査研究内容の公開、参加者の名簿などを公開して、国内外に開かれた委員会運営になっていた。

血税で事業をやっているところは、国家機密や企業秘密以外は基本公開、ガラス張りにして事業を実施することが、国民から求められていることではないのか。

JAXA におかれては、取り返しの付かない事態に陥る前に、商用 SSPS のシステム検討が、開かれた ALL-JAPAN 体制により一刻も早く再開され、各省庁に跨がる実施機関としての責務を果たされることを強く望むものである。

## 参 考 文 献

- 1) 宇宙太陽発電執筆要綱, 宇宙太陽発電, **47** (1999), pp. 319-322.
- 2) 宇宙 太郎, 太陽 花子: 参考文献の例, 第 129 回参考文献講演会講演集 (1999), pp. 147-150.
- 3) Hains, F. D. and Keyes, J. W.: Shock Interference in Hypersonic Flows, *AIAA J.*, **10** (1972), pp.1441-1447.
- 4) Batchelor, G. K.: *An Introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, London (1967), pp. 580-593.

(2016. 1. 18 受付)