

## SPSの研究開発シナリオとMDS-3による宇宙実証計画

國中 均\*

### R & D Scenario and MDS-3/HVSA Demonstration for SPS Research

By

Hitohsi KUNINAKA\*

**Abstract** : Each basic technology for SPS has been well-defined and well-developed. But its huge size in the system and the concept requires extra efforts for the mass-production and the system realization. At the beginning of the new millennium the human being will construct the International Space Station (ISS), which power capability is rated 100kW two orders of magnitude less than 10MW power of SPS2000. Beyond SPS2000 the powerful fullsize SPS, which will generate 5GW electric power, is extra two orders of magnitude larger than that of SPS2000. The state of arts in 2000 should be built-up, turned-up, standardized, and/or enhanced step by step in order to realize SPS. The author insists the roadmap of implementation for SPS2000, which targets the space business parks and the co-orbiting free flyers with several 100kW electric power as the interim objectives and finally goals to SPS2000. Each researcher and designer can cooperate to develop and research each segment and component in time for the schedule mentioned in the roadmap. As for the technology on the high voltage power generation the 300V bus power should be standardized as a first step and finally 1kV bus will be realized for SPS2000. The High Voltage Solar Array experiment (HVSA), which will demonstrate the photovoltaic power generation in 280V bus voltage in space, is accepted as a payload of the Mission Demonstration Satellite-3 (MDS-3) of NASDA. The author proposes MDS-3/HVSA as the corner stone for the roadmap.

### 概 要

SPSの基本技術はどれも達成可能であると言われているものの、その規模の大きさから具体的

---

\*宇宙科学研究所

な実現にはまだまだ多くの個別研究開発努力を必要とする。2000年の技術レベルから、発電電力規模でSPS 2000級のシステムは2桁、その後の本格的SPSに至ってはさらに2桁の革新が必要である。多くの技術要素の集合であるシステム構築は、各要素の達成時期や完成レベルの歩調を整えつつ進めるべきである。それを実施するための中間目標やその達成時期を各研究主体に知らしめるロードマップの策定を強く訴える。さらに研究開発シナリオのコーナーストーンとしてのMDS (Mission Demonstration Satellite) - 3 / 高電圧ソーラーアレイ宇宙実験を提案する。

重要語：高電圧ソーラーアレイ，プラズマ干渉，開発ロードマップ

1. 序

図1に過去と近い将来の衛星消費電力と衛星バス電圧の推移を示す。各シンボルは衛星プロジェクトまたは汎用バスシステムの消費電力を、打ち上げまたは標準化時期の関数として表す。1998年暮れより建設が開始された国際宇宙ステーション(International Space Station: ISS)は、当初3kW程度で運用、漸次増強され最終的には105kWとなる計画である。宇宙電力の増大に呼応し発電電圧も上昇の傾向にある。95年以降の宇宙電力システムのほとんどはそれまでの28Vから50Vへ置換されている。さらにISSでは120Vにて開発が進められている。

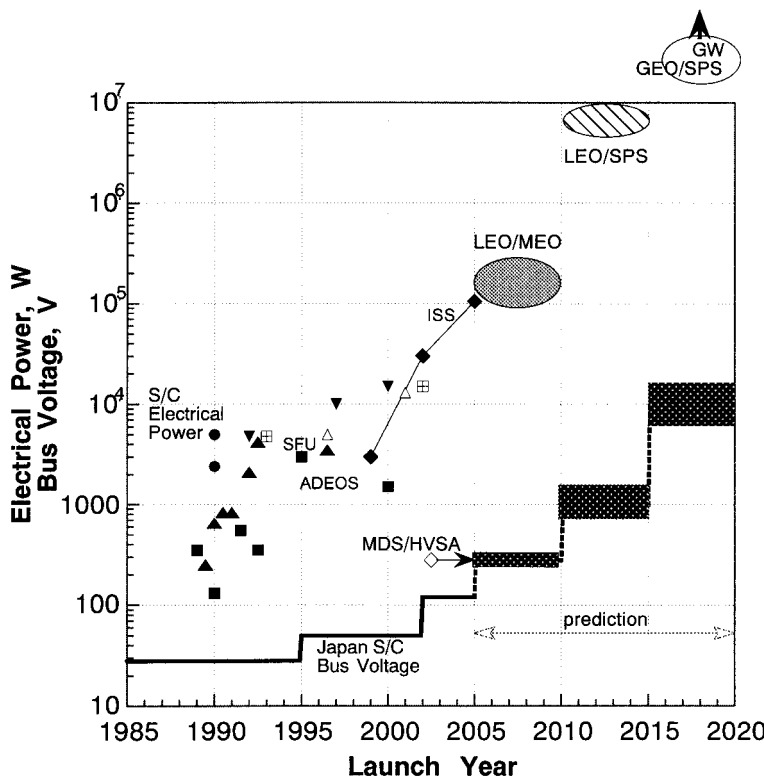


図1 宇宙電力とバス電圧の推移

西暦2000年現在宇宙において技術的に達成可能な宇宙システムの光発電電力はおおよそ100kWと言えるであろう。さて本報告書の主題であるところのSPS 2000がターゲットとする電力は10MWであり、現状値との格差は実に2桁に及ぶ。その大電力を支えるための作動電圧も少なく見込んでも1kVは必須であり、これも現状値と1

桁の格差がある。このような事例を掲げるまでもなく、図1に示されるSPS 2000の達成年次はむしろ希望的と言わざるを得ない。またその後控えるであろう地球規模の電力を担う本格的SPSに至っては電力規模でさらに2桁の技術的壁がはだかる。SPSを要請する社会的ニーズは時として桁を飛び越えて進捗するかもしれないが、これに答える技術はかような速度では進歩しない。

SPS 2000を基盤とした活動により個々個別の技術要素の研究開発が進展した。詳細記述は他章に譲るとして、光発電に関しては以下の3要素に集約されるであろう。

- (1) 高電圧利用,
- (2) 高電圧/大電流宇宙用素子,
- (3) 大量生産,

高電圧の応用は、大面積の太陽電池から集電する際に必要悪として付帯するケーブルのジュール損失を軽減する。一方高電圧の宇宙利用は耐環境技術の進捗を要請する。大電力を扱うための電力素子の宇宙仕様化のための開発が必要である。これまでの宇宙開発は、高品質、高機能、高付加価値を目指すものであったため、宇宙技術そのもの自体は低生産量、高価、特殊仕様、特別品質管理にて遂行されてきた。高い電力変換効率を有するものの、高価で、生産量の少ない単結晶型太陽電池セルのみが宇宙利用されている事実と合い通ずる。一方、今後見いだされるであろう宇宙活動の方向性は、大規模、宇宙工場、大量生産と言った単語で代表される概念である。これに対応するためには量産性、省資源、低コスト、大規模性を持つシリコンアモルファス型太陽電池の宇宙利用が期待される。これは1事例に過ぎないが効率化よりも量産性に重きが置かれるべきである。

## 2. SPS実現のための研究開発シナリオ

これら列挙される各開発技術項目は多岐にわたる。これまでの検討に従えばどれも技術的達成は見込まれているものの、そのどれか1つでも完成時期が遅ればSPSの実現はおぼつかない。そして現状技術レベルからなお2桁の進展を必要とするならば、一足飛びのSPS実現は全く不可能である。SPS実現に向けた研究開発シナリオ、開発ロードマップを早急に策定し、これをひな形に各研究主体が時期をそろえて活動を進めるべきである。適正な

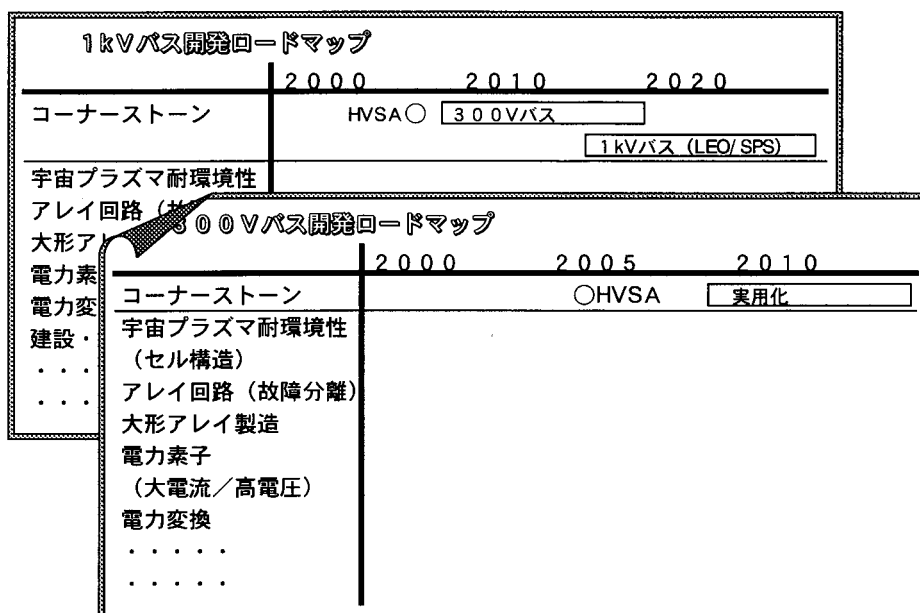


図2 高電圧バス開発ロードマップ

シナリオとして、SPS 2000 級システムの前段階ターゲットとしてLEO / MEOの 100 kW級 Space Business Parks や Free Flyers を想定することを提案する (Ref.1)。宇宙高電圧技術としては300 Vを中間目標として掲げる。

### 3. MDS - 3 , 高電圧光発電実験

SPS実現のためのコーナーストーンとして、300 V宇宙バス開発を目指して、MDS (Mission Demonstration Test Satellite) - 3の公募ミッションとして、「宇宙高電圧ソーラーアレイ」(High Voltage Solar Array : HVSA) 実験 (Ref.2) が採択されている。1995年に無人宇宙実験観測衛星Space Flyer Unit (SFU) に搭載しHVSAの軌道上実験を行ったが、機器の不具合により飛翔データを得ることが出来なかった (Ref.3)。幸いにフライトモデルはSFU本体とともに回収され、地上支援機器ともども保管されている。本ミッションが扱うHVSAは太陽電池による光発電の高効率化を担う技術に関する。一般には太陽電池セルの電力変換効率の向上にその焦点が当てられがちだが、所詮  $1.4 \text{ kW/m}^2$  の太陽輻射総量しか与えられないため、大電力化には大面積にて対応せざるを得ない。広範囲に分布する太陽電池セルから集電する際、その送電配線中の電力損失も無視しえなくなる。また大電流化は地球磁場によるローレンツ力による姿勢外乱を顕著化させるので好ましくない。勢い高電圧発電・送電へと移行することになる。一方高電圧が宇宙プラズマ、特に電離層プラズマに露出されると各種干渉現象が励起され、安定作動や耐久性を損なう。発電電圧の上限は、(1) 宇宙利用可能な電子電気素子のレーティング、(2) 宇宙環境における絶縁保持、(3) 宇宙環境 - 衛星間の適合性の技術レベルに依存する。特に3項は既存電気絶縁技術に留まらず宇宙機システムの耐環境技術に関連しており、本提案の主要題目である。高電圧が電離層プラズマに晒されると、電力漏洩・材料劣化・抗力発生・アーク放電などの現象が誘起され (図3)、人工衛星の動作や耐環境性を損なう。我々研究グループは数値解析や地上模擬実験を通じ、電離層プラズマ干渉現象を予測または評価しえるまでに基礎研究を進捗させた (Refs.4-6)。これら基礎研究の実利応用を目指し、宇宙実験データを取得して比較検討してより予測精度の高い研究へ進展させるばかりとなってる。本計画HVSAは再飛翔を目指し、以下の目的と優先順位を持って実施する。

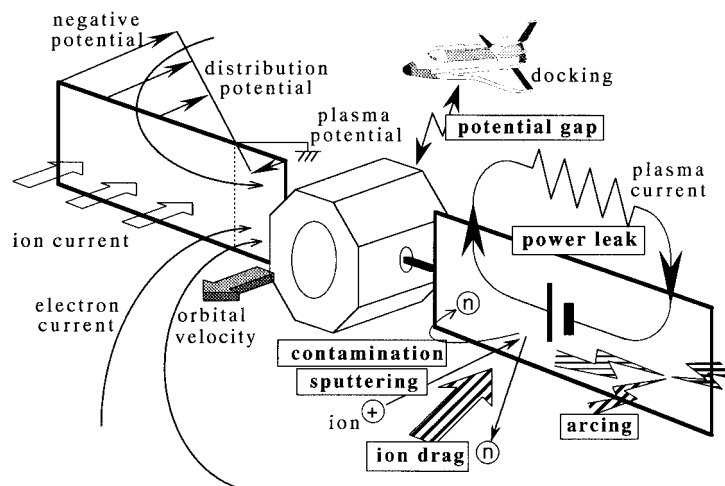


図3 高電圧ソーラーアレイの電離層プラズマ干渉

- a . 任意電圧光発電機能の宇宙実証
- b . 280 V高電圧ソーラーアレイの宇宙実証
- c . 太陽電池による高電圧発電に関するプラズマ干渉の計測
- d . 量産型宇宙用太陽電池の耐環境性データの取得

HVSAは、太陽電池モジュール（SCM）、電子コレクタ、SCMの直並列切り替えや各種計測を行う多機能電源制御器（VPCU）、衛星バスとの通信インターフェースおよびVPCUを駆動する専用コンピュータ（DEP）より構成される（Ref.7）。SCMは2cm×4cmのシリコン太陽電池セル135枚の直列接続で構成される。4枚のSCMは最大80Wの電力を発生し、VPCUの疑似負荷に消費される。また4直列にて最大開放電圧280Vを発生する。前述の直並列切り替え回路に準じて構成される高電圧ソーラーアレイの電気回路を図4に示す。太陽電池セルには、通常の反射防止膜処理をその表面に施したものと、さらにその上に導電性処理をした2種類のカバーガラスを使用している。後者のものは局所的な帯電を起こしにくいので、負バイアスのアーク放電に耐性があると言われている。SCM1と3に反射防止膜型のセルを、2に導電性膜セル、4にアモルファスセルを使用している。直列スイッチ4と5を1と2の代わりに作動させるとSCM2を最も負にバイアスすることができる。この機能を用いて同じ電圧で2種類の太陽電池セルのプラズマ干渉に対する特性を検証する。ソーラーアレイ回路は衛星の主構体から電気的に絶縁されているので、電子コレクタが電離層プラズマにソーラーアレイ回路を接触させる。疑

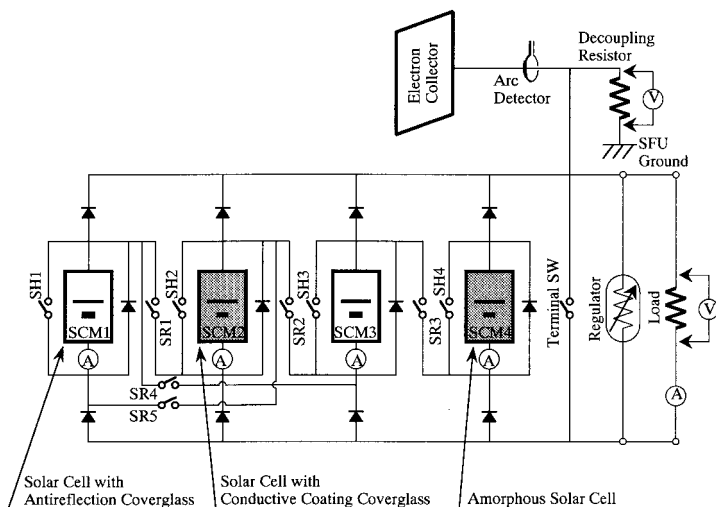


図4 HVSA回路

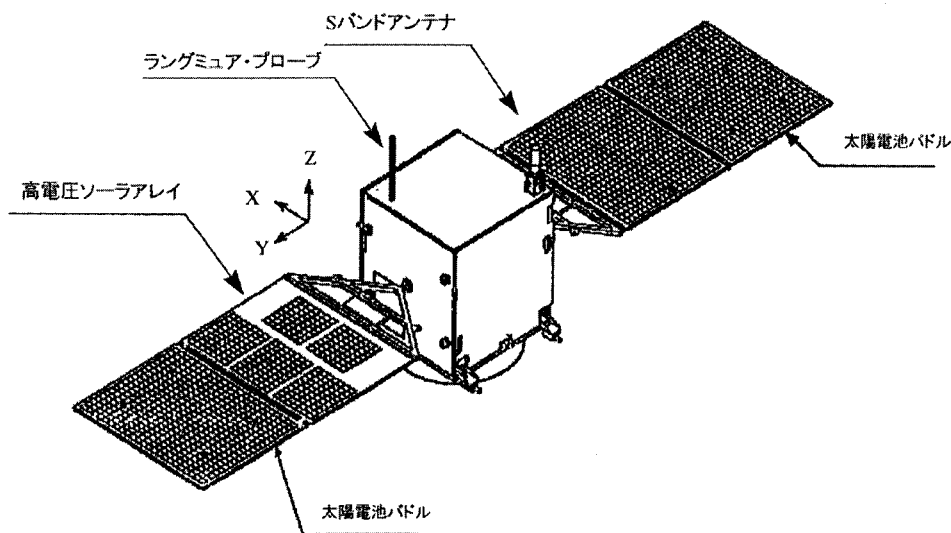


図5 MDS - 3衛星

似負荷に並列に置かれたシャントレギュレータはソーラーアレイ回路の出力電圧を安定化させる機能を有する。プラズマ干渉に関する計測項目は、各モジュール毎のプラズマ漏洩電流、主構体との電位差、アーク放電の検知である。また環境計測装置 (SEM) から電離層プラズマや放射線環境、紫外線環境の特性値が提供される。

図5の示す衛星を近地点高度400 km、遠地点高度1,000 kmの楕円軌道に投入し、1年以上の実験期間を想定している。ただしいまのところ具体的フライト計画は立案されていない。宇宙実験の実現が停滞するSPS活動を刺激できるよう今後も努力したい。さらにSPS研究のコミュニティーが本宇宙実験計画を後押ししていただくことを切に希望して止まない。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] D.V. Smitherman, Jr. :“ New Space Industries for the Next Millennium ”, NASA CP-1998-209006, December 1998.
- [ 2 ] HVSA実験提案グループ,「宇宙高電圧ソーラーアレイの宇宙実験」,第9回宇宙エネルギーシンポジウム,平成11年, p 108
- [ 3 ] 「SFU実験報告(搭載実験編)」,宇宙科学研究所報告特集第6号,1997年3月
- [ 4 ] H. Kuninaka and K. Kuriki :“ Numerical Analysis on Interaction of a High Voltage Solar Array with Ionospheric Plasma ”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.24, No.6, 1987, pp.512.
- [ 5 ] H. Kuninaka, Y. Nozaki, S. Satori and K. Kuriki :“ Ground Study of Ionospheric Plasma Interactions with a High Voltage Solar Array ”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.27, No.4, 1990, pp.417.
- [ 6 ] D.E Hastings, M. Cho and H. Kuninaka :“ The Arcing Rate for a High Voltage Solar Array Theory, Experiment and Prediction ”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.29, No.4, 1992, pp.538.
- [ 7 ] H. Kuninaka :“ Space Experiment on Plasma Interaction caused by High Voltage Photovoltaic Power Generation ”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.32, No.5, 1995, pp.894.