



足跡：長友信人先生と太陽発電衛星

1980年代：研究立ち上げ

宇宙エネルギー工学部門の担当、太陽発電衛星WGの組織、
宇宙エネルギーシンポジウムの創設

1990年代：技術研究

SPS2000の概念設計研究、科研費総合研究、太陽発電衛星
研究会の創設

2000年代：成立性評価と方向性

技術だけでなくより広い観点からの検討（軌道、輸送系、ビジネス、
開発戦略）



宇宙エネルギーシンポジウム('82-'92)

1982年第1回宇宙エネルギーシンポジウム

Japanese Motivation to Develop Solar Power Satellite

1983年第2回宇宙エネルギーシンポジウム

Introductory Note on the 10 MWSPS Conceptual Study

1986年第5回宇宙エネルギーシンポジウム

A Concept of Microwave Power Transmission Experiment with a Small Space Platform, M.Nagatomo & K.Nakatsuka

1990年第9回宇宙エネルギーシンポジウム

パネル討論「太陽発電衛星10MWモデルの電力送電に関する諸問題」

1991年第10回宇宙エネルギーシンポジウム

ストローマン研究に関する提案

1992年第11回宇宙エネルギーシンポジウム

SPS2000研究の進捗状況



宇宙エネルギーシンポジウム('93-'00)

1993年第12回宇宙エネルギーシンポジウム

SPS2000概念設計結果について

1994年第13回宇宙エネルギーシンポジウム

太陽発電衛星の研究を実現する展望

1995年第14回宇宙エネルギーシンポジウム

平成6年度「太陽発電衛星システムに関する総合研究」の概要

1996年第15回宇宙エネルギーシンポジウム

宇宙太陽発電所のための宇宙工学分野の研究課題—科研費申請作業を
ふりかえる

1997年第16回宇宙エネルギーシンポジウム

太陽発電衛星と地球環境(パネルディスカッション)

2000年第19回宇宙エネルギーシンポジウム

宇宙エネルギー工学をふりかえって(特別講演)



宇宙太陽発電システムシンポジウム（'99-'07）

1999年第1回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

太陽発電衛星のためのロケットの研究とはいかなるものか？

1999年第2回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

実現性から見た太陽発電衛星(SPS)の軌道の選択に関するクリティカル・レビュー

2000年第3回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

低高度軌道SPSのシステム設計に関する考察

2001年第4回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

宇宙太陽発電の産業化にむけて(長友・松本対談)

宇宙太陽発電所の工学基準の必要性について

2002年第5回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

軌道上建設を必要とするSPSの設計と建設計画に関する軌道工学的考察

2003年第6回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

宇宙輸送の貨物としての太陽発電衛星の特性に関する考察

2004年第7回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

太陽発電衛星に対する不信感

2005年第8回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

総合討論:「民営化」のかけ声に、忘れた「常識」を思い出す

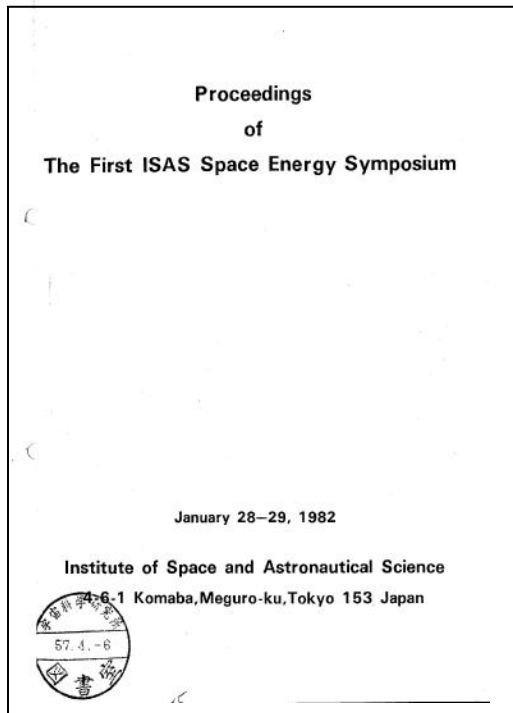
宇宙電力の需要推測:宇宙電力ビジネスのガイドライン作成に向けて

2006年第9回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

先行的な宇宙発電研究として月・火星研究プロジェクトに参加する意義

Japanese Motivation to Develop Solar Power Satellite

第1回宇宙エネルギーシンポジウム(1982)



5. CONCLUDING REMARKS

SPS will not solve such a energy crisis as oil embargo but will provide Japan with capability to avoid long term energy deficit which is anticipated when developing countries consume more energy in near future.

The merit of SPS concerning thermal and waste materials produced by energy consumption will be emphasized when energy consumption increases. Japan should contribute to world prosperity with the advanced technology and economical support required to realize SPS system. From this viewpoint, it is recommended that ;

1. The SPS technologies should be developed by industries more seriously than by government organization, since it is strongly related to the Japanese future of heavy industry, **SPS技術開発は政府よりも民間で**
2. The government should take active role of cordinating an international project to realize SPS on global base, **国際協力で実施、その枠組み作りは政府の役割**
3. Space society and industry prepare definite idea of Japanese role in the field of space transportation in the SPS age. **宇宙関係者はSPS時代の輸送系の研究を**

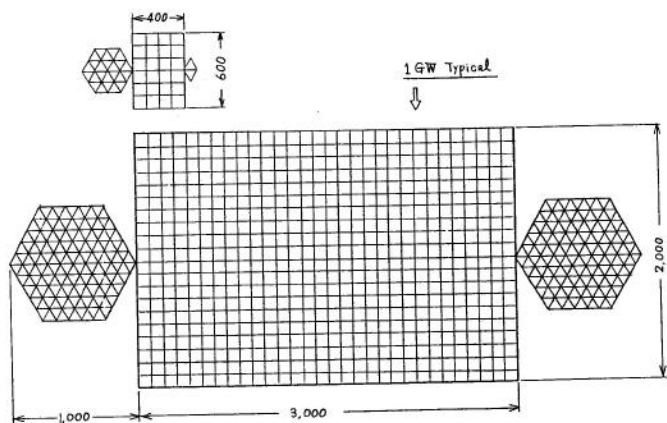
REFERENCE

1. The Energy Review, January 1982.

Introductory Note on the 10 MWSPS Conceptual Study

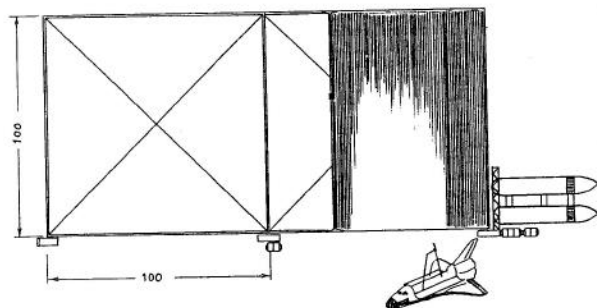
第2回宇宙エネルギーシンポジウム(1983)

10MW級



too small ?

Fig. 1 TOO SMALL ?



too big ?

Fig. 2 TOO BIG ?

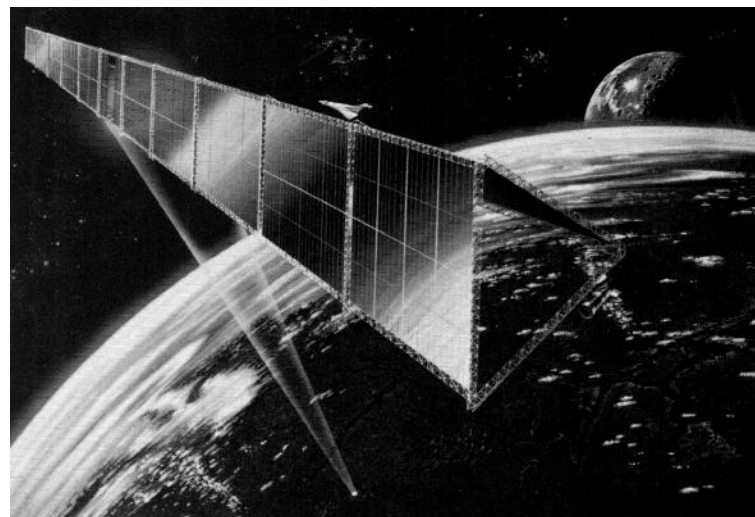
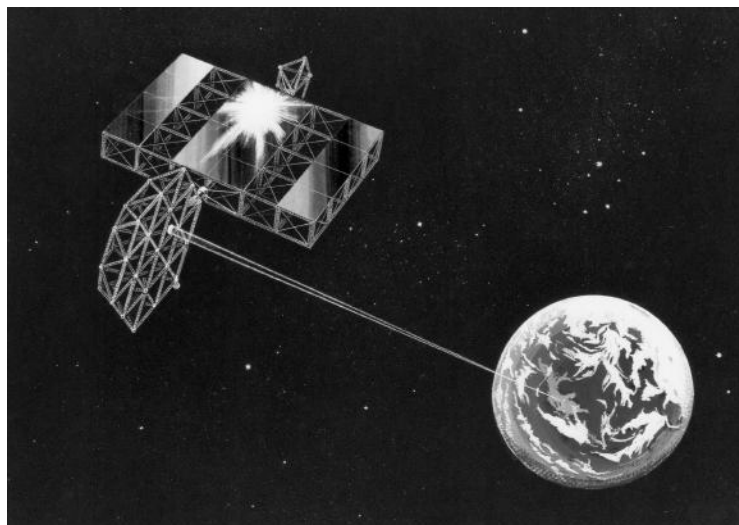
Introductory Note on the 10 MWSPS Conceptual Study

第10回宇宙エネルギーシンポジウム(1991)

4.1 設計条件の設定

上記の方針、すなわち、低高度赤道軌道に安上りの衛星を打ち上げる、という考えを設計に反映させるために次の条件を仮定した。

1. 打ち上げロケットは商業用を使用し、新規開発はしない
2. 衛星は一体構造とし姿勢制御は重力安定および地磁気によるものとする
3. 組み立ては無で行う：構造と自動化
4. マイクロ波を電力伝送に用いる



SPS2000概念設計結果について

第12回宇宙エネルギーシンポジウム(1993)

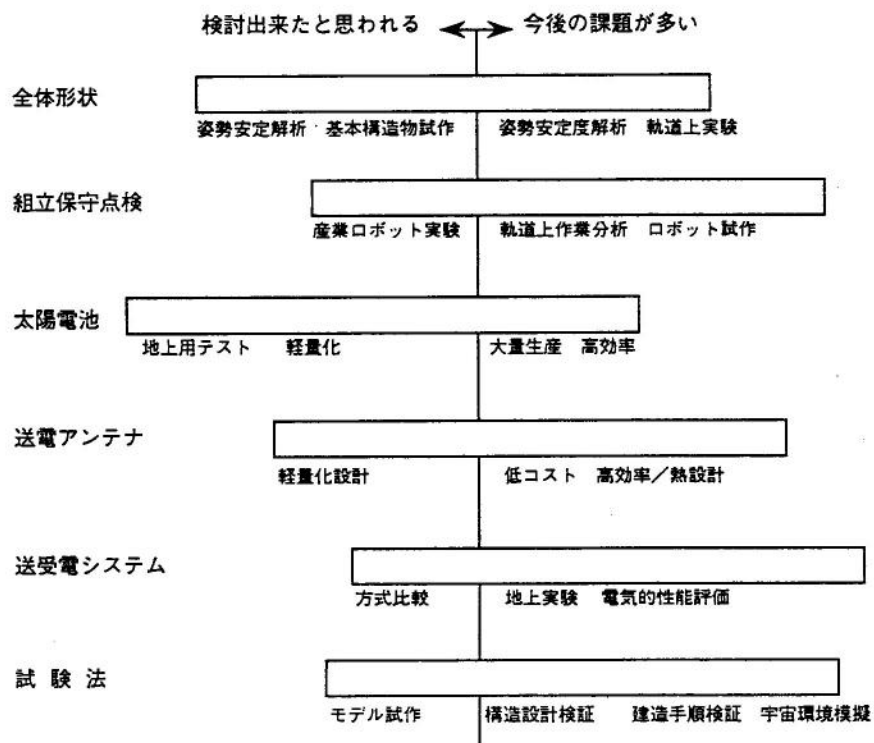
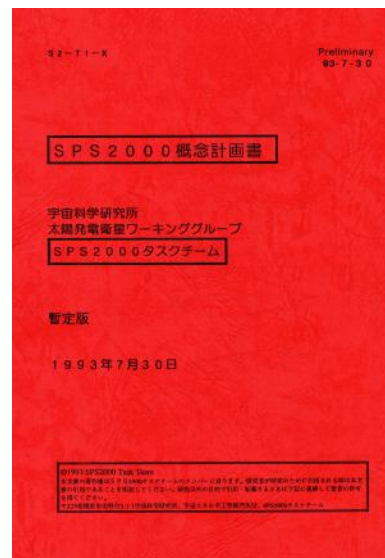
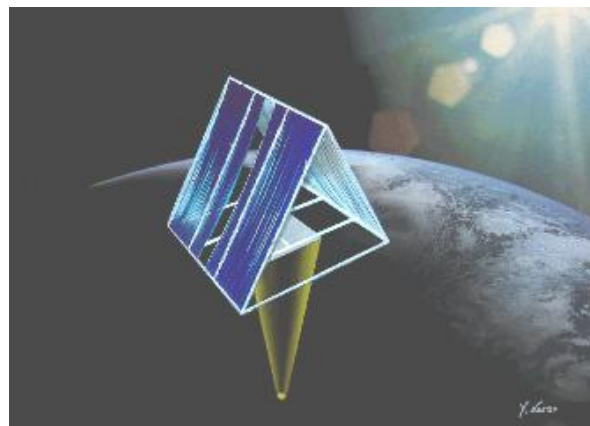


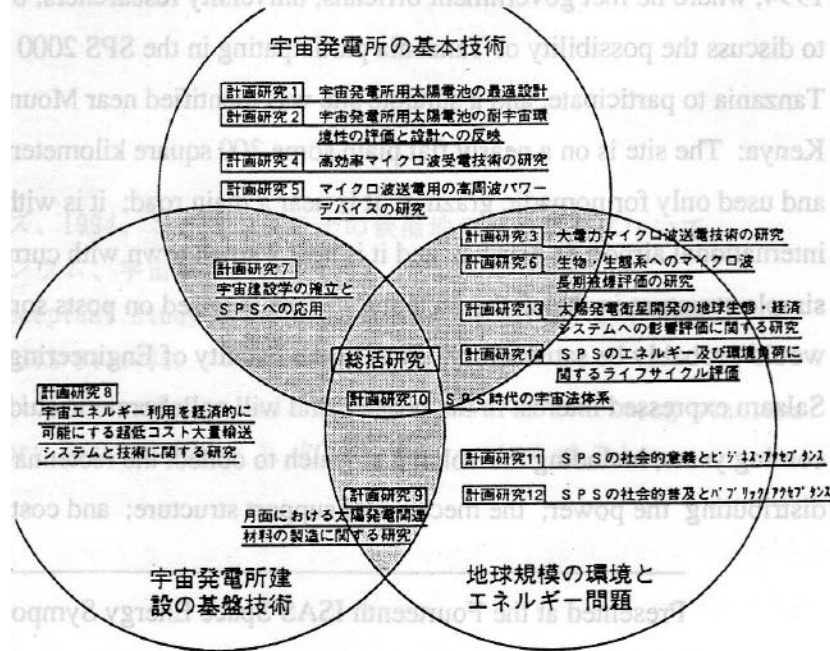
図5 重点の技術開発項目



平成6年度「太陽発電衛星システムに関する総合研究」の概要 第14回宇宙エネルギーシンポジウム(1995)

宇宙太陽発電所のための宇宙工学分野の研究課題—科研費申請作業をふりかえる 第15回宇宙エネルギーシンポジウム(1996)

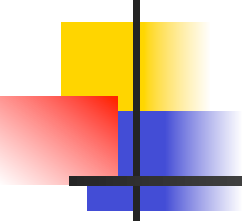
1995年



1996年

結び

科研費の重点領域申請を3回作成して、その研究課題の中で従来の宇宙工学にかかわるものが減って、逆に、電力、電子、資源、材料、建設などの分野により多くの知識が求められるようになった。今後は、宇宙に太陽発電所を作るときに宇宙理工学者はいかなる分野で貢献できるかという視点が重要になる。この意味で、SPS宇宙プロジェクトの企画やアイデアコンテストの次の段階の研究活動を組織化すべきである。



宇宙エネルギー工学をふりかえって(特別講演)

第19回宇宙エネルギーシンポジウム(2000)

結び

暗中模索ではじまった太陽発電衛星を中心に据えた宇宙エネルギー工学は、宇宙ステーションと共に立ち上がり、宇宙ステーション計画が固まった1987年までに、最初の段階を終えた。そして、太陽発電ワーキンググループの発足と共に次の時期を迎え、宇宙研として実行できることをした。この間に、SPS2000という筆者がリファレンスマデルに代わる現実的な発電衛星を探し当てた。その活動は実質的には1993年に終わっている。その後は、関係する研究分野がそれぞれの研究課題を見出して、研究を行うようになって現在に至っている。

太陽発電衛星を研究の中心に据えた「宇宙エネルギー工学」の研究は、試行錯誤が多くて学界の基準から見ると大した成果が上がったとは言い難いであろう。しかし、言い訳めくがエネルギー問題は社会的なものであって、宇宙科学の衛星一つを打ち上げるのとは難しさが全く違うことを考えれば、宇宙研の立場で出来ることは全てやったという気がする。

最後に残ったのはコストの問題であった。すなわち、コスト的には、衛星は現在の1000分の1に、宇宙輸送費は同じく100分の1にしなければ、宇宙エネルギーはエネルギーとして受け入れられない。特に後者は筆者の本来の専門分野であるロケットの課題である。宇宙エネルギー研究の長い彷徨の末、昔の出発点に戻ってきたのは感慨無量である。

太陽発電衛星のためのロケットの研究とはいかなるものか？

1999年第1回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

エアラインという用語が出てきたが、エアラインはSPSのような大きな需要を満たすロケット輸送のあり方を示すものであることが、先進的なロケット研究者によって指摘されている。巨視的な議論であるが、「ロケットも航空機も同じ産業に属し、その機体のコストは類似したものであり、同じような運用であれば、エアラインの場合毎回の運航費は燃料費の3倍という目安があるから、宇宙ロケットでもエアラインの2, 3倍の運賃で採算がとれる」という意見(3)は傾聴に値する。

要するにその気がなければ、再使用にしたからと言って宇宙輸送は安くはならない。エアライン型のロケットは再使用型のロケットの極限として、エアラインの航空機のように基本システムは整備によって半永久的に使用できるロケット機を実現しようとするもので、1段式で航空機と同じような体制で運用できるようにすれば、毎回の運航費は燃料の価格の違い程度で、エアラインと同じ程度になるはずである。このためには従来のロケット屋が陥りがちであった技術的エレガンスさよりも徹底した経済性に設計の主眼を置かなければならない。良く心配されるロケットの安全性は保険料として毎回支払うようになるので経済性の検討の一部となる。

低高度軌道SPSのシステム設計に関する考察

2000年第3回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

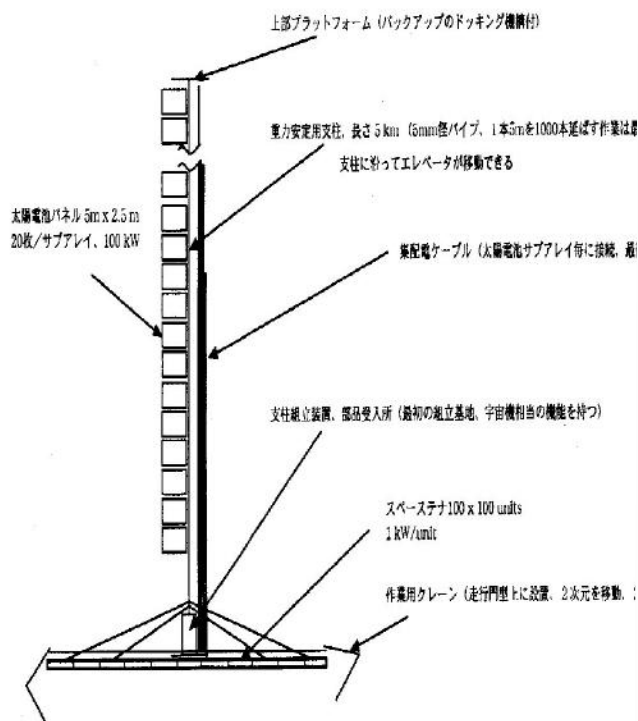


図3 最初のSPSのシステム構成 (システム設計の案)

まとめ

エンジニアリングの立場から発電所といえるような太陽発電衛星の具体化を試みた。方法的には、これまでに行われたSPS研究の成果を踏まえてシステム設計を進めてみた。

まず、低高度軌道において重点的に考慮すべき設計条件をまとめた。

次に、システム設計のために、要素技術やエンジニアリングのオプションをサーベイした結果；

- 1) 太陽電池は質量ともに使用可能な範囲に入ってきた。
- 2) 無線送電技術は、変換効率、電力レベル、アレイ形状の自由度、ビーム制御角度等のシステム設計データが不十分である。特に変換効率の点で、送電部分の熱管理が難しい。
- 3) 集配電系の研究は非常に少ない。将来、構造との関係でエンジニアリングの仕事になるであろう。
- 4) 建造方法は、必要最小限の器材が空間に浮かんだような図が多く、資材搬入、足場や作業治具、組立と試験方法等の現場が想像できない。地上の建設に詳しい専門家の検討が必要がある。
- 5) 建設作業への人の参加とロボット技術の可能性が不明確であった。この中には、地上から監視し指令するようなシステムの通信回線の確保とコストを明確にするようなものでありたい。

システム設計はこれらの技術的に不明確な状態で試みたが、建設のシナリオ作成にとどまった。この作業を通じて、現在のSPS技術の多くは、リファレンスシステムを念頭においた研究の成果で、漫然として具体的でないと言える。リファレンスシステムから20年が経過した現在、現実的なシステム設計研究が個々の技術の研究と開発のより明確な方向を示すことが必要な時代になっていると思われる。

宇宙太陽発電所の工学基準の必要性について

2001年第4回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

まとめ

太陽発電衛星の研究発表は各専門分野のばらばらで言いつばなしの傾向がある。ここでは最初の商用システム開発の工学的シナリオを描き、長期に運用される電力事業用巨大システムは最新のテクノロジーで維持されると予想した。そのためには工学的基準や規格が必要であり、これが各研究の共通の課題の一つになり得ると考え、その適用分野を予想することを試みた。その結果、次の3項目は工学以前の実用化の前提条件と考えられた。

- 1) 宇宙発電所の軌道は赤道上の低高度軌道である。
- 2) 宇宙発電所の建造および完成後の運用は重力傾斜力に逆らわずに行う。
- 3) 最初の実用システムは太陽光発電とマイクロ波送受電をもちいる。

その上で、工学基準や規格を必要とする具体的な理由と適用例(括弧内)をとりあえず以下のように考えた。

- 4) レクテナ事業者の計画作成を容易にするため。(マイクロ波送受電方式の確立)
- 5) 異なるメーカーの協力と技術革新による性能向上を可能にするため。(太陽電池パネル、スペーステナ)。
- 6) 大量輸送と大規模建造を効率的に行うため。(ロケット輸送コンテナ、自動組立メカニズム)

今後、より詳しい設計とテクノロジー研究の成果を踏まえて、標準化や規格化の可能性を検討したい。

総合討論:「民営化」のかけ声に、忘れた「常識」を思い出す

2005年第8回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

まとめ

需要の調査が不足していると思っていましたが、経費の見積もりはそれ以上に出来ていないことが分かって、電力事業どころではありません。SPS研究を「まるでおもちゃ箱をひっくりかえしたような」研究分野と誰かが言いましたが、全くその通りかも知れません。常識的に考えるととまらない話をしてきましたが、「おもちゃ箱を片づける」つもりで締めくくりたいと思います。

- 1 発電衛星研究の原点はエネルギー収支： 事業としての必要なコスト算出と需要の確保である。
- 2 発電事業の計画を開始するための第1条件： 大衆の宇宙旅行ができるくらい安い宇宙輸送の見通しが立つこと。
- 3 今後、研究する価値のあるシステムの軌道は2つ：
静止衛星軌道（需要確保の点でも、必要経費の高さの点でも特別際だっている）。
赤道衛星軌道（必要経費の少ない低高度軌道の中ではもっとも需要の開拓が容易である）。





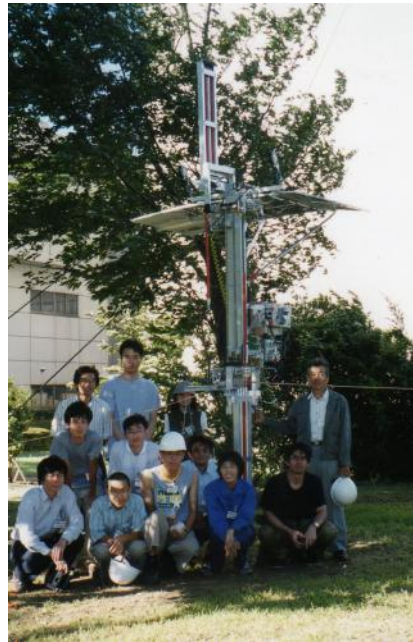
先行的な宇宙発電研究として月・火星研究プロジェクトに参加する意義 2006年第9回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

まとめ

発電衛星は電力伝送技術に不確定要素があって、具体的なシステムの設計が難しい段階にある。一方、各国は地球周辺以遠の宇宙、いわゆる深宇宙を目指してミッションを作成しつつある。アポロ計画で得られた月の石に関する知識は、早くから月の石と真空と太陽エネルギーを利用する資源開発構想の基礎になってきた。その目的のひとつは太陽発電衛星の現地での製造にあった。

この新たな状況の展開によって、当面の発電衛星には技術的研究課題のないサブシステムおよびシステム研究者は先行的な研究として、材料と製品の現地での生産を目指した科学的ミッションを立案することができる。ここではごく予備的な考察であるが、月の石を拾い歩いて分析し、月面での分布図を作成したり、月の石から金属や酸素を抽出するための基礎的な装置として、太陽電池電源、水分解燃料電池、太陽炉、高エネルギー・レーザーなどが必要になると思われる。太陽発電衛星研究会がこのようなミッション提案をする活動を開始することが望まれる。

おわりに



考えることの大事さ
自ら手を下してものを作ることの大事さ
早く実行することの大事さ

