

第12回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

宇宙基本計画とSPS

京都大学
松本紘

平成21年11月13日

November 2009, Kyoto University

松本紘 研究年表

研究関連

- 1970: VLF波動・電子ビーム相互作用
電子ビームサイクロトロン不安定性
ホイッスラー波励起、トリガードエミッション
ロケット実験 衛星観測 REXS(でんぱ)
K-9M-35号機、K-9M-41号機
- 1975: 真空チェンバー実験
非線形パルス伝播による電子サイクロトロン励起
- 1980: 衛星観測
JIKIKEN (EXOS-B)
サイブル島番号によるトリガードエミッション
- 1985: 衛星観測
計算機シミュレーション
SEPAC, スペースシャトル電子ビーム
- 1990: GEOTAIL衛星
磁気圏プラズマ波動観測・解析
衛星近傍環境
プラズマ波動観測PWIの開発
衛星観測 計算機シミュレーション
広帯域帯電ノイズ(BEN)の変形発見
静電孤立波(ESW)の発見とその発生メカニズムの解明
衛星観測
電子サイクロトロン高調波(ECH)
狭帯域帯電ノイズ(NEN), AKR
磁気圏各種プラズマ波動解析
計算機シミュレーション
パワショックプラズマ波動
2次元ESW解析
水素探査衛星Bepi-Colombo
プラズマ波動受信機開発
- 1995: 衛星観測
計算機シミュレーション
再突入環境
- 2000: 衛星観測
計算機シミュレーション
電子共鳴
METLAB
マイクロ波エネルギー無縁伝送実験
高効率レクテナ開発
レトロフレクティブ技術
位置制御マグネトロン開発
- 2005: 無線電力空間
電気自動車無線充電
ユビキタス電源

宇宙太陽発電所(SPS)関連

- 理論
マイクロ波ビームと電離層の非線形相互作用
- ロケット実験
MINIX 衛星ロケット実験
非線形3波共振現象
- 地上実験
MILAX飛行機実験(1992)
ロケット実験
ISY-METSロケット実験(1993)
- 地上実験
地上2点間マイクロ波エネルギー伝送実験(1994-5)
- マイクロ波エネルギー無縁伝送
- 衛星観測
マイクロ波ビーム
- 無線電力空間

関連事項

- 1967: 京都大学工学部研究科電子工学専攻修士、菅田研究室助手兼任
- 1974: 京都大学工学部電機情報学研究所(宇地)助教兼任
- 1975-77: NASAエイムズ研究所客員研究員
- 1981: 京都大学超高層電波科学研究所加藤研究室 助教兼任
- 1982: 第1回宇宙空間シミュレーション国際学校(ISSS-1)開校
- 1987: 京都大学超高層電波科学研究所センター教授兼任、松本研究室発足
- 1991: 第4回宇宙空間シミュレーション国際学校(ISSS-4)開校
- 1991: STEPシミュレーション推進室
- 1992: 京都大学超高層電波科学研究所センター長兼任
- 1992: 滋賀県立大学工学部教授
- 1992: GEOTAILプラズマ波動観測でNASA Group 賞
- 1996: マイクロ波エネルギー伝送実験装置(METLAB)開発
- 1996: 国際電波科学連合(URSI)副会長
- 1997: 第5回宇宙空間シミュレーション国際学校(ISSS-5)開校
- 1999: 国際電波科学連合(URSI)会長兼任
- 1999: 地球電磁気・地球惑星物理学会会長兼任
- 1998: 米連邦地球物理学会(AGU)フェロー賞情報通信月間推進協議会 志田 幹三郎賞受賞
- 2000: 宇宙電波科学研究所センターへ改組
- 2002: 5.8GHz宇宙太陽発電無線電力伝送システムSPORTS導入、宇宙太陽発電研究所発足
- 2003: IEEE Fellow受賞
- 2004: 京都大学 生存圏研究所発足、初代所長兼任
- 2005: 第7回宇宙空間シミュレーション国際学校(ISSS-7)開校
- 2005: 電子情報通信学会 Fellow受賞 2
- 2005: 京都大学 理専・副学長兼任
- 2006: 京都大学 総長兼任

世界のエネルギー事情

背景のおさらい



人の道具の変遷

そして



5 5

これまでのヒトの体型の変化

そして



6 6

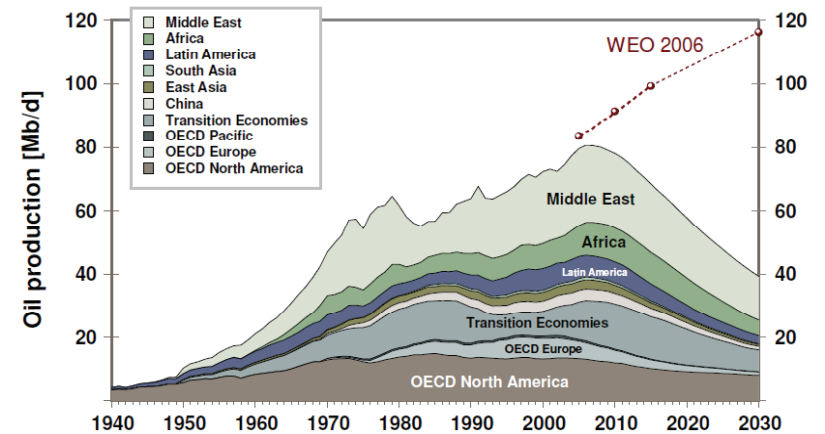
もっと深く考えると・・・

我々は生き残れるか？

個人、組織、地域、国家
そして
地球型文明・人類の危機

7

世界の石油生産量

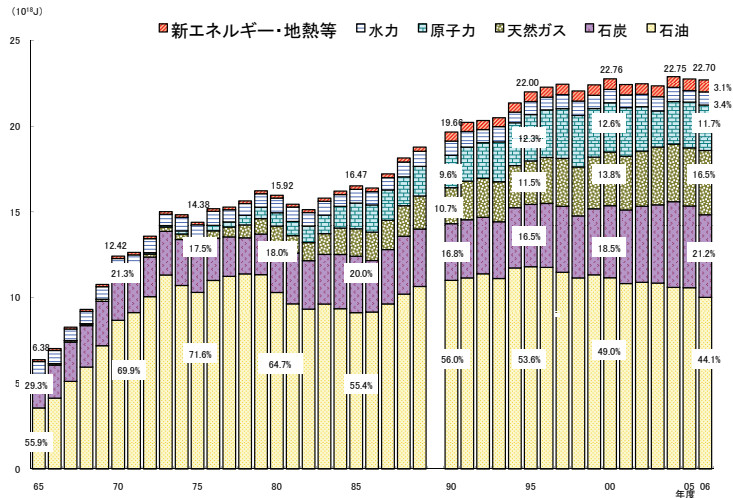


石油生産のピークは2006年に訪れた。
国際エネルギー機関の予測WEO2006とは全く異なったものとなっている。

8

一次エネルギー国内供給の推移

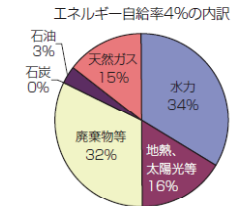
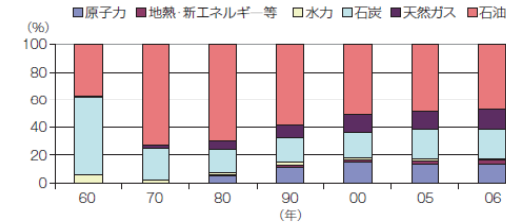
(エネルギー白書2008 211-3-1)



資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
 (注)「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。⁹

日本のエネルギー自給率の動向

第211-4-1 日本のエネルギー総供給構成及び自給率の推移

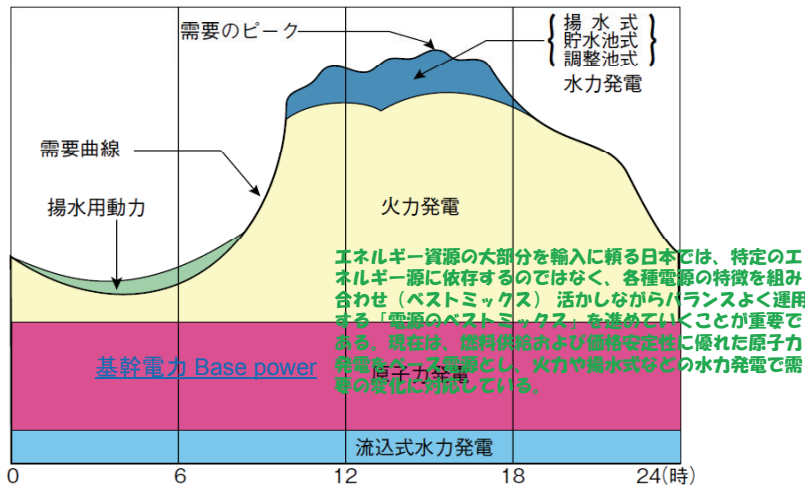


エネルギー自給率 (%)	57	14	6	5	4	4	4
(原子力含む) (%)	(57)	(14)	(12)	(16)	(19)	(18)	(19)

エネルギー白書09

(注) 生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率をエネルギー自給率という。()内は原子力を含んだ値。原子力の燃料となるウランは、一度輸入すると数年間使うことができることから、原子力を準国産エネルギーと考えることができる。
 (出所) IEA, Energy Balances of OECD Countries 2005-2006をもとに作成

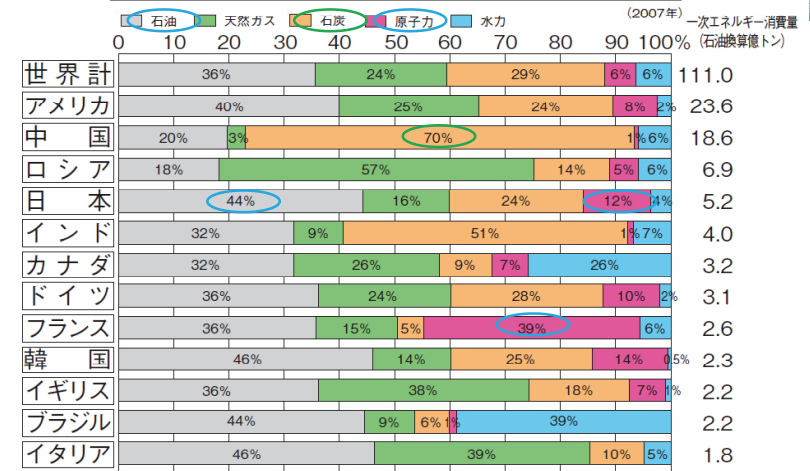
需要の変化に対応した電源の組み合わせ(ベストミックス)



※電気事業連合会が発行
 「原子力・エネルギー図面集」2009より

出典：資源エネルギー庁「原子力2008」

主要国の一次エネルギー構成



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

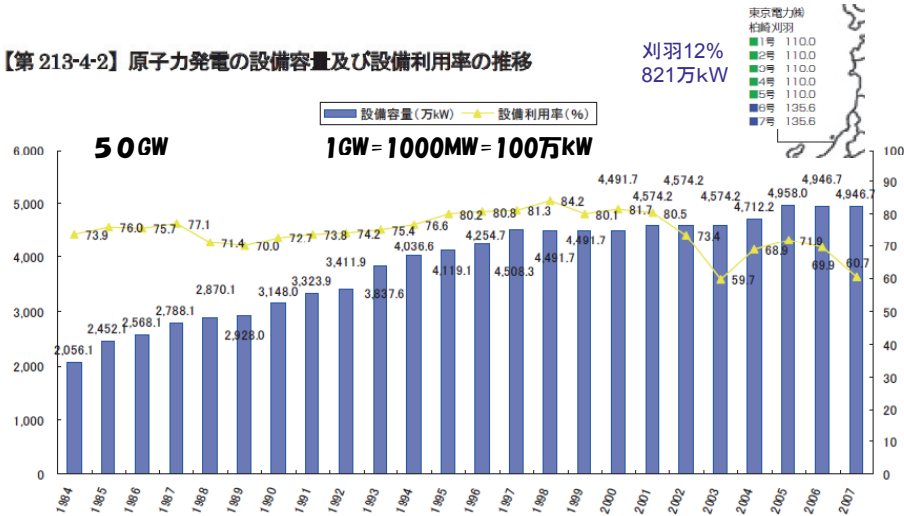
※電気事業連合会が発行
 「原子力・エネルギー図面集」2009
 出典：BP統計2008

主要国のエネルギー構成は各国の事情により異なるが、
日本は世界的にも石油依存度が高い。
フランスは原子力エネルギーの供給割合が高い(約4割)

原子力発電の設備容量及び設備利用率の推移

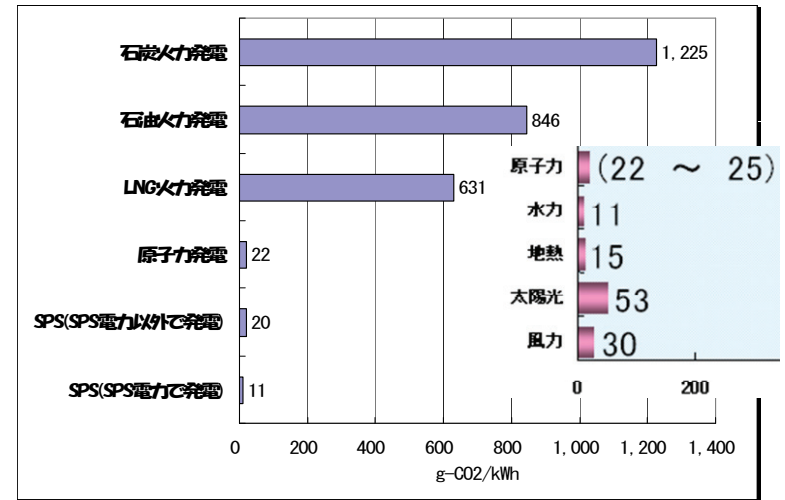
【第 213-4-2】 原子力発電の設備容量及び設備利用率の推移

刈羽12%
821万kW



エネルギー白書2008 【第213-4-2】

CO₂排出が少ないエネルギー源

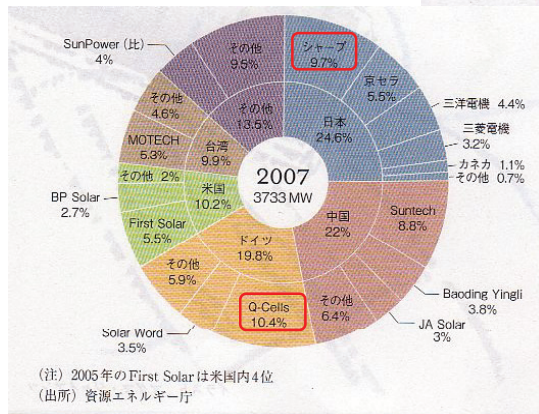
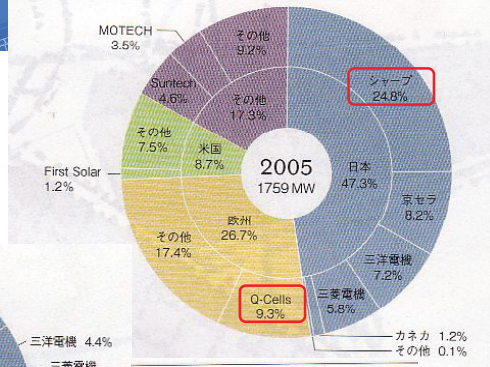


太陽電池生産

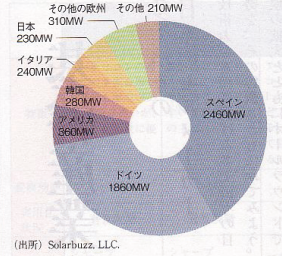
Wedge, 28-37, 2009/5

1000MW=100万kW=1GW

太陽電池生産で急進する海外勢

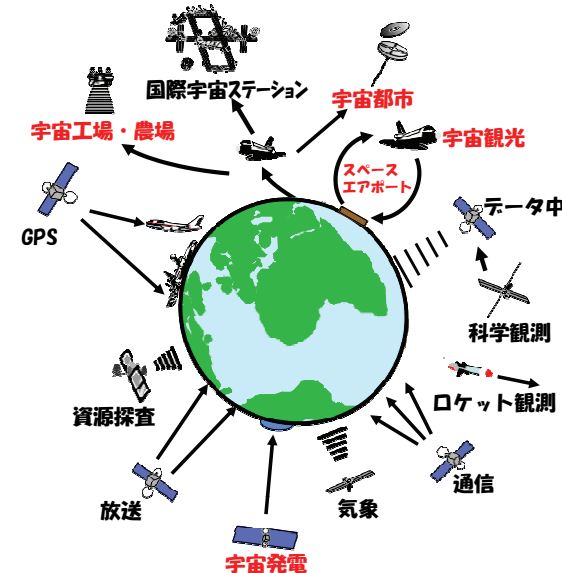


6位に転落した日本の導入量(2008年)



新しい宇宙文化と宇宙生存圏の実現

近未来



新しい宇宙文化と宇宙生存圏実現

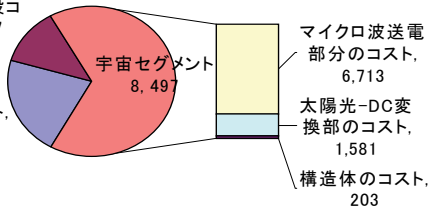
太陽系空間の資源場所エネルギー利用

SPSのコスト試算(2004モデル)

25)	宇宙セグメントのコスト	8,497	億円
29)	レクテナ建設コスト	1,637	億円
51)	総輸送コスト	2,795	億円
52)	年間メンテナンスコスト	271	億円/year
53)	年間発電量(商用網への接続端)	8,322,000,000	kWh
54)	実質金利	5.2115	%
55)	SSPS構築までの総コスト	12,929	億円
56)	発電単価(30年後の収支が0となる単価)	8.8963	円/kWh

レクテナ建設コスト, 1,637

総輸送コスト, 2,795



集光倍率が1.0倍のとき
宇宙セグメント重量が9.667ton
と最小になり、コストも最小。
1GWのSSPSの構築には1.29兆円
を要する計算結果となっており、
その発電コストは8.9円/kWhと
算出される。

(JAXA SSPS委員会2005年)

自民党宇宙エネルギー利用推進議員連盟

2009年

- 2月19日 **松本紘**京都大学総長
国家戦略として重要な位置付けを行い
オール JAPAN で進めて行くことを強く期待
- 3月5日 **茅陽一**東京大学名誉教授 ((財)地球環境産業技術研究機構副理事長)
現在の自然エネルギー利用の問題点、
将来のエネルギー供給からみて SSPS がどのような役割を持つか、
また SSPS をどのように推進すべきか
- 3月26日 **宇宙開発戦略本部、文部科学省、宇宙航空研究開発機構、
経済産業省、総務省、環境省 からヒアリング**
2030年までにSSPS を実用化レベルに持って行くため
オールJAPAN体制を
- 4月9日 **日本航空宇宙工業会、三菱重工、三菱電機、
IHIエアロスペースからヒアリング**
宇宙産業として大きな潜在市場を生み出す可能性
- 4月20日 とりまとめを宇宙開発戦略本部副部長河村建夫官房長官へ申し入れ
- 4月28日-5月18日(宇宙基本計画案に対するパブリックコメント収集)
- 6月2日 **宇宙基本計画の決定**
- 7月8日 **概算要求 に向けた取り組みなどについて、
宇宙太陽光に関係する内閣官房の宇宙開発戦略本部、
文部科学省、宇宙航空研究開発機構、経済産業省からヒアリング**

自民党宇宙エネルギー利用推進議員連盟



SPS研究開発の背景

1. 21世紀中に地球温暖化問題を解決し、低炭素社会を実現しない限り人類に未来はない
2. **低炭素社会の実現**に向け、地球社会におけるエネルギー問題の根本的解決する全く新しい技術革新(イノベーション)として、炭素を燃やさない新しい良質の電気エネルギー源の開拓が急務
3. 我が国は現在低炭素社会の実現に向け原子力発電をエネルギー政策の柱として、太陽光発電と風力発電の開拓に注力
4. 地球環境問題の解決のために2009年の地球温暖化に関する主要経済国フォーラム(MEF)の共同宣言案で「世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに50%削減、先進国全体では80%削減するとの目標を支持する」と発表された**目標を達成するためには一層の新エネルギー利用を推進するほかない**
5. 中長期的な社会改革及び経済活性化にとっても**安定的かつ大規模で供給可能な発電技術の開発が必須**

宇宙太陽発電所SPSへの期待

- エネルギーイノベーションの必要性
- 画期的低炭素社会の実現

SPSを支える「宇宙基本計画」2009.6

“我が国が世界をリードする宇宙太陽発電に関する基礎的研究を下に「宇宙太陽光発電研究開発プログラム」を推進”

宇宙基本計画

(平成21年4月1日現在)

宇宙基本計画

宇宙開発戦略専門調査会 構成員



青木 節子	慶應義塾大学総合政策学部教授
朝倉 敬一	読売新聞東京本社専務取締役論説委員長
北岡 伸子	国立大学法人東京大学法学部教授
国井 秀子	リコーソフトウエア株式会社取締役会長
澤岡 昭	大同大学学長
庄山 悦彦	株式会社日立製作所取締役会議長・ 社団法人電子情報技術産業協会会長
寺島 実郎	財団法人日本総合研究所会長
西田 篤弘	元宇宙科学研究所所長
藤森 涼子	特定非営利活動法人 気象キャスターネットワーク副代表
前田 晃伸	株式会社みずほフィナンシャルグループ 取締役会長
松永 真理	株式会社バンダイ社外取締役
松本 純	国立大学法人京都大学総長
松本 零士	漫画家・財団法人日本宇宙少年団理事長・ 社団法人中央青少年団体連絡協議会会長
御手洗 富士夫	キヤノン株式会社代表取締役会長
毛利 衛	日本科学未来館館長・宇宙飛行士
渡辺 捷昭	トヨタ自動車株式会社取締役社長

(五十音順、敬称略)

平成21年6月

宇宙基本計画

～日本の英知が宇宙を動かす～
平成21年6月2日 宇宙開発戦略本部決定



- 安全保障や災害対策に必要な情報収集
- 農業・漁業の生産性の向上
- 高度なパーソナルナビゲーションの実現などに役立つ
- 宇宙を外交にも活用
- アジア地域の災害監視や地球規模の課題の解決を目指す
- 人類の知的資産の蓄積に貢献

23

我が国の宇宙開発利用に関する基本的な6つの方向性

1. 安心・安全で豊かな社会の実現

宇宙開発利用は、天気予報、通信、放送、農業・漁業への活用、カーナビなど、国民生活に深く浸透し、不可欠な存在になってきています。宇宙の潜在能力を最大限に発揮していきます。

2. 安全保障の強化

情報収集機能の強化等の観点から宇宙空間の利用は極めて重要です。日本国憲法の平和主義の理念に則り、専守防衛の範囲内で、安全保障分野の宇宙開発利用を進めていきます。

3. 宇宙外交の推進

アジア地域への災害情報の速やかな提供や、地球温暖化などの地球規模の環境問題への対応など、我が国の外交に貢献する宇宙開発利用の取り組みをより積極的に進めていきます。

4. 先端的研究開発の推進による活力ある未来の創造

「かくや」「はやぶさ」など世界トップレベルの成果をあげている宇宙科学や、月探査・有人宇宙活動、宇宙太陽光発電に係る研究開発などを進め、活力ある未来におけた礎を築いていきます。

5. 21世紀の戦略的産業の育成

宇宙産業は、宇宙開発利用を支える重要な基盤です。21世紀の戦略的産業として、宇宙機器の小型化やシリーズ化・共通化・標準化などにより、その競争力の強さを図っていきます。

6. 環境への配慮

地球環境だけでなく、宇宙ゴミ（デブリ）への対応など、宇宙環境に配慮した施策を進めていきます。

24

宇宙開発戦略本部事務局

低炭素社会を支えるエネルギーの実現

(現状)

地上では低炭素社会を実現する再生可能エネルギー電源（太陽光発電、風力発電等）の利用が進められているが、安定性などの課題があり、この課題等が克服できる

宇宙におけるエネルギー利用はまだ行われていない。

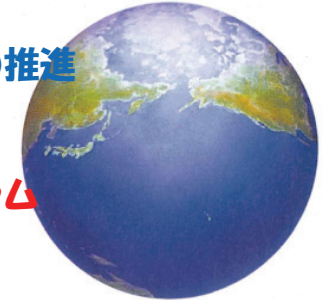
(目標)

地政学的な影響を受けず、安定的でクリーンなエネルギーを利用可能な**宇宙における太陽光発電システム**に関して、実現に必要な技術の研究開発を進め、地上における再生可能エネルギー開発の進捗とも比較しつつ、**10年程度を目途に実用化に向けた見通しをつける。**

これらを実現するためのシステム・プログラム

- (1) 5つの利用システムの構築
 - A アジア等に貢献する陸域・海域観測衛星システム
 - B 地球環境観測・気象衛星システム
 - C 高度情報通信衛星システム
 - D 測位衛星システム
 - E 安全保障を目的とした衛星システム

- (2) 4つの研究開発プログラムの推進
 - F 宇宙科学プログラム
 - G 有人宇宙活動プログラム
 - H 宇宙太陽光発電研究開発プログラム
 - I 小型実証衛星プログラム



平成22年度概算要求（宇宙関係予算）

全府省庁合計 3,551億円（対前年度 +71億円（+2%））

【内閣官庁】	63,888 (▲335)	【農林水産省】	1,466 (+736)
○ 情報収集衛星関係経費	63,888 (▲335)	○ 農林水産施策におけるリモートセンシング技術の活用	850 (+187)
【内閣府】	926 (+583)	○ 農林水産施策における衛星測位技術の活用	616 (+549)
○ 宇宙開発戦略本部にかかる経費	103 (▲1)	【経済産業省】	10,349 (+912)
○ 総合防災情報システム（人工衛星等を活用した防災衛星情報システムを統合）	770 (+585)	○ 小型化等による先進的宇宙システムの研究開発	2,275 (+638)
【警察庁】	782 (+73)	○ 太陽光発電無線送電技術の研究開発	210 (+80)
○ 高解像度衛星画像解析システムの運用等	782 (+73)	【国土交通省】	10,971 (▲677)
【総務省】	4,612 (+50)	○ 静止気象衛星業務等	9,087 (▲187)
○ 準天頂衛星システム、地上/衛星共用携帯電話システムの研究開発等	2,369 (+282)	○ 人工衛星の測量分野への利活用	1,044 (▲294)
○ 超高速インターネット衛星「きずな」を利用した国際共同実験	100 (±0)	○ 準天頂衛星システムに関する技術開発	385 (±0)
○ 地域衛星通信ネットワークの利用等	23 (+8)	【環境省】	1,818 (+309)
【外務省】	193 (+5)	○ 「いぶき」観測データ解析・処理	696 (+65)
○ 衛星画像における情報取集および分析にかかる経費	186 (+3)	○ 気候変動影響モニタリング・評価ネットワーク	336 (+98)
<small>※ その他、独立行政法人の運営費交付金の内数として、人工衛星を活用した技術協力を実施。</small>		○ 自然環境保全基礎調査	400 (+150)
【文部科学省】	198,387 (+1,775)	【防衛省】	61,697 (+3,679)
○ 宇宙利用促進調整委託費	1,500 (+1,200)	○ 衛星通信、商用画像衛星の利用等	20,208 (+1,266)
○ 陸域観測技術衛星2号 (ALOS-2)	1,986 (+986)	○ 宇宙を利用したC4ISRの機能強化のための調査・研究	1,273 (+1,195)
○ 準天頂衛星システム ※宇宙利用促進調整委託費（一部）の再掲を含む	8,764 (▲536)	○ 弾道ミサイル防衛 (BMD) 関連	40,213 (+1,216)
○ 金星探査機 (PLANET-C)	9,709 (+3,646)		
○ 日本実験棟「きぼう」の運用・科学研究等	15,437 (+66)		
○ 宇宙太陽光発電に係る研究開発	500 (+229)		
○ 宇宙ステーション補給機 (HTV)	25,981 (+1,153)		
○ GXロケット (LNG推進系飛行実証プロジェクト)	5,000 (▲4,900)		
○ 小型固体ロケット	2,000 (+1,787)		
○ 超小型衛星研究開発事業	1,000 (新規)		

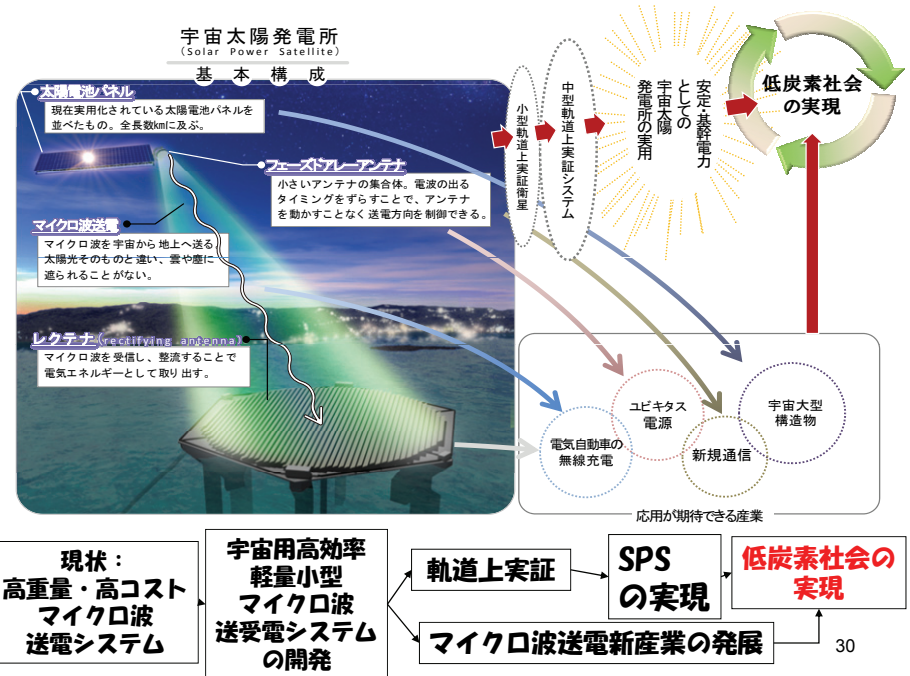
※ 各府省庁の予算は百万円、四捨五入の簡便な表現に必ずしも一致しない。
※ 宇宙開発競争未結局面に関する経費については、平成22年度より内閣府に計上。なお、研究費については、宇宙開発利用促進に関する経費の経費に計上されている。

平成22年度概算要求（SPS関係予算）

【文部科学省】	265,450	(+68,837)
○ 宇宙利用促進調整委託費	3,000	(+2,700)
○ 陸域観測技術衛星2号 (ALOS-2)	5,401	(+4,401)
○ 準天頂衛星システム ※宇宙利用促進調整委託費の再掲含む	9,364	(+64)
○ 金星探査機 (PLANET-C)	9,709	(+3,646)
○ 月面着陸・探査に向けた研究等	1,500	(新規)
○ 宇宙太陽光発電に係る研究開発	1,072	(+801)
○ GXロケット (LNG推進系飛行実証プロジェクト)	10,800	(+100)
○ 小型固体ロケット	6,523	(+6,310)
○ 超小型衛星研究開発事業	2,200	(新規)

平成22年度概算要求 (SPS関係予算)

【経済産業省】	17,954	(+8,517)
○ 小型化等による先進的宇宙システムの研究開発	4,595	(+2,958)
○ 次世代地球観測センサ等の研究開発	5,917	(+1,344)
○ 太陽光発電無線送電技術の研究開発	300	(+151)
○ 次世代型輸送系ミッションインテグレーション基盤技術研究開発	620	(±0)

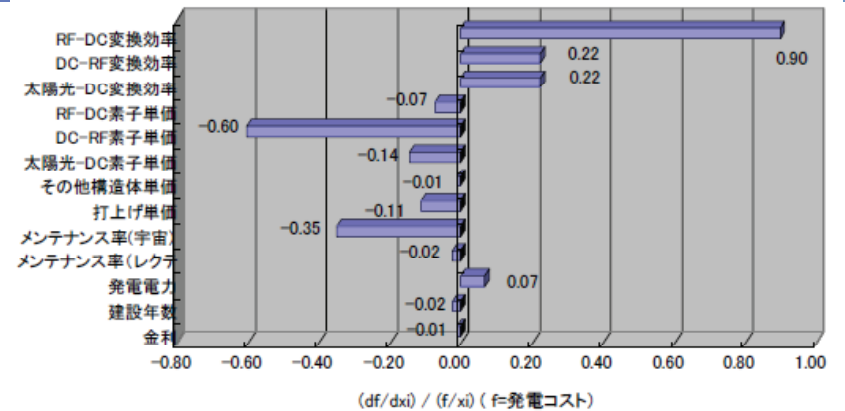


SPSの技術課題 すべては採算性とその巨大さから..

- ・ 打ち上げロケットのコスト削減 (数万トンの打ち上げ)
- ・ 超巨大高効率高精度軽量安価フェーズドアンテナ (100万kWのマイクロ波技術)
- ・ 超大型宇宙構造物の軽量化・建設・制御・保守 (数kmの宇宙構造物)
- ・ 宇宙での電力制御技術 (100万kW以上の宇宙電力制御)

(マイクロ波)無線電力伝送技術と経済性から SPS全体の大きさが決められている

JAXA2003モデルでのSPSコスト他の感度解析



$\frac{df}{dx_i} \frac{x_i}{f}$ 経済学でいう「弾力性」

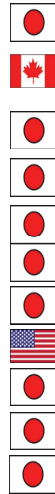
ここで、
f: 発電単価、CO₂排出量、およびペイバックタイムのいずれか
x_i: 独立変数(表 4-2参照)

発電単価を下げるためには:
RF-DC 変換効率
DC-RF 素子単価
メンテナンス率(宇宙セグメント)
が重要である

1998年モデルとの違い:
SPS軽量化によりSPSマイクロ波部分の占める割合が重量・コスト共に増したため

マイクロ波エネルギー伝送の歴史 (1983-2002)

- 1983 電離層中でのマイクロ波送電ロケット実験 MINIX (世界初)
- 1987 マイクロ波飛行機実験 SHARP (1kW:ハロホラアンテナ方式)
- 1992 マイクロ波給電飛行機実験MILAX (アクティブフェイズドアレイ方式)
- 1993 マイクロ波送電ロケット実験 ISY-METS
- 1994-95 5kW電力の地上2定点間無電電力伝送実験
- 1996 リトロディレクティブマイクロ波送電システムの開発
- 1994 METLAB導入 (京大)
- 1995-97 SPSのフレッシュ・ルック・スタディ (NASA、アメリカ)
- 1998- 文部科学省 (NASDA) SSPS 検討委員会
- 2000- 経済産業省 SSPS 検討委員会
- 2001-02 SPORTS (京大), SPRITZ (京大・NASDA) 実験装置完成



マイクロ波駆動ヘリコプター200 W (米国1964)



W. C. Brown, The history of power transmission by radio waves, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-32, pp.1230-1242, 1984

1.54kmのマイクロ波電力伝送 (米国, ジェット推進研究所JPL, 1975)



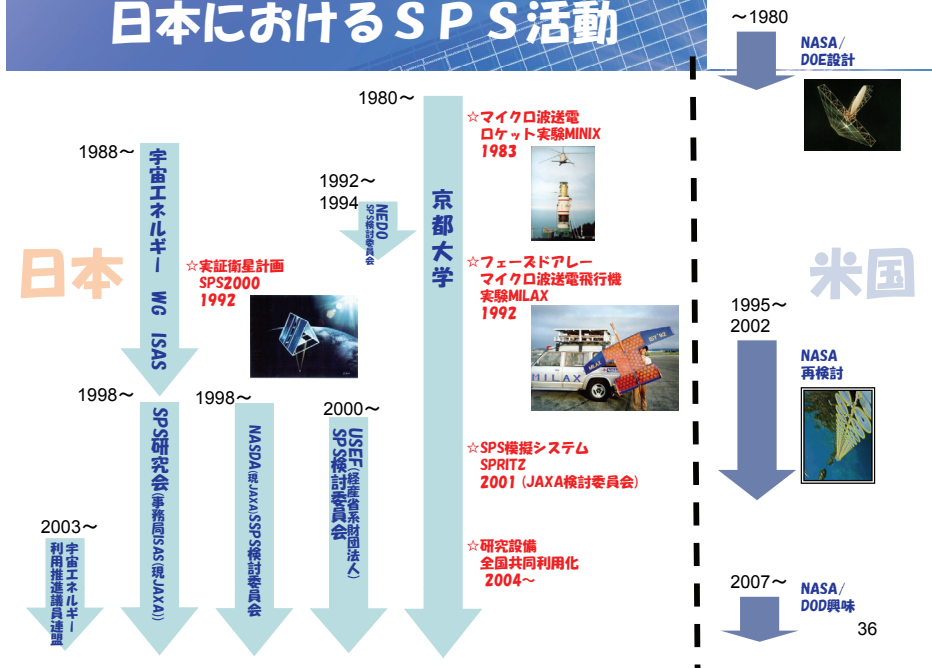
30kW
3×6
1.16m×1.2m



450kW
26mφ
Goldstone
ゴールド
ストーン

R.M. Dickinson, Performance of a high-power, 2.388-GHz receiving array in wireless power transmission over 1.54 km, 1976 MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, 139, 1976.

日本におけるSPS活動



世界初の電離層マイクロ波送電実験日本, 1983



大電力マイクロ波が電離層に与える影響を調査 (松本紘他)

Matsumoto, H., et al. MINIX Project toward the Solar Power Satellite--Rocket experiment of microwave energy transmission and associated nonlinear plasma physics in the ionosphere, ISAS Space Energy Symposium, 69-76, 1982.

37

SHARP 飛行機実験と1/8モデル (カナダ, 1987)

(送) 5kW マグネトロン2台,
4.5mφパラボラアンテナ,
直交直線偏波
(受) 高度150mで電力密度400W/m²
半値幅3.5mφ, 10%を1m²レクテナ受電



<http://friendsofrcr.ca/Projects/SHARP/sharp.html>
Schlesak et al., IEEE MTT-S Digest, 283-286, 1988

38

38

マイクロ波駆動飛行機実験MILAX (1992)



MILAX飛行機実験はマイクロ波電力のみで飛行機を飛翔させた世界2例目の実験です。

- ・機影をCCDカメラで捕らえ、電子的にマイクロ波の方向を自動制御するアクティブ・フェイズドアレイを採用
- ・96個の半導体マイクロ波増幅器と288個の送電アンテナアレイ
- ・上空10~15mを直線距離で約400mの飛行に成功

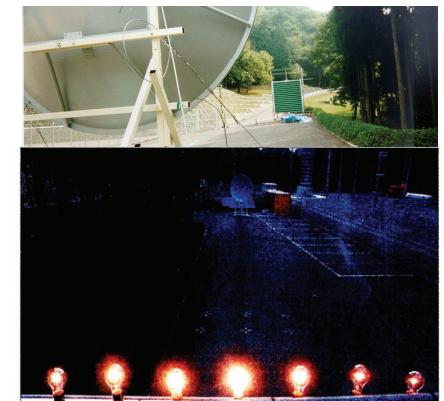
With 神戸大学、通信総合研究所、日産自動車(株)、富士重工(株)、宇宙科学研究所

地上2定点間マイクロ波送電実験(1994-5)

マイクロ波で空飛んだ

京都大などのグループ成功

燃料不要 観測 中継に力

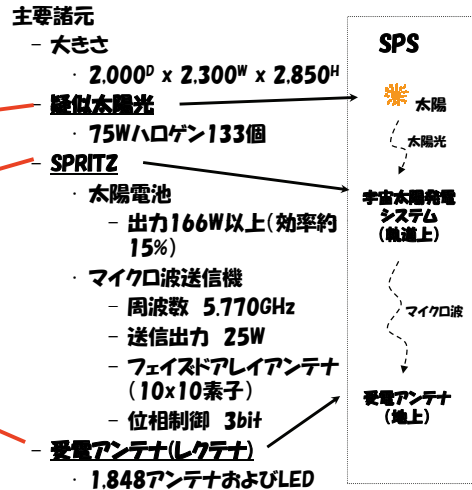
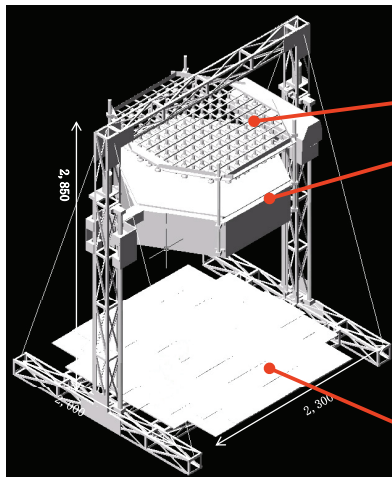


電線なくても電球点灯

マイクロ波使い 兵庫で送電実験

40

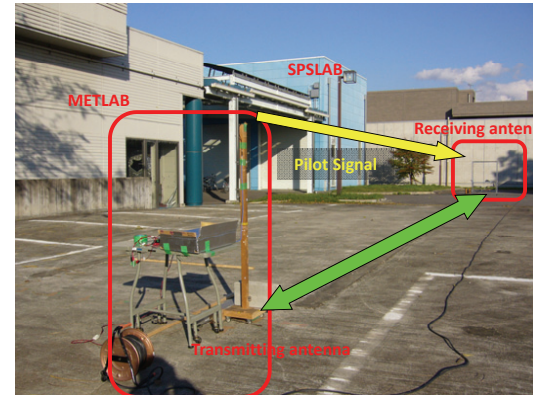
小型SPSシミュレータ "SPRITZ" (Solar Power Radio Integrated Transmitter '00)



既に原理の検証が済んでいるSPSは現実性が高い

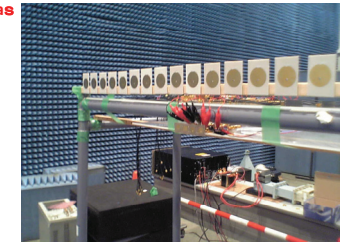
屋外での電波の到来方向測定実験

総務省の免許取得。25mの距離で実験。一部を除いて屋内実験に近い1度以内の精度が得られた。この情報を利用して、電波の到来方向に電波を送るレトロディレクティブシステムを構成する。

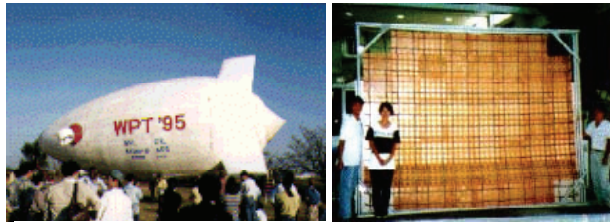


Field experiment

レトロディレクティブシステム
送電系と組み合わせる



ETHER (Energy Transmission to a High altitude long endurance airship Experiment)



Rectennas



October 1995
2.45GHz 5kWx2

マイクロ波送電 飛行船実験 2008年3月5日 @ 京都大学

概要

世界で初めて、飛行船(高度30m)から地上に向けて、マイクロ波による無線電力伝送実験を行い、電力・情報同時伝送技術、無線電力伝送システムの小型化技術・遠隔操作技術に関する技術検証を行なう。移動体による災害時用コピキナス電源システムのデモ実証、また、宇宙太陽発電衛星の実現に向けた一歩としても位置づけている。



無線電力伝送装置を搭載した飛行船(高度30m)



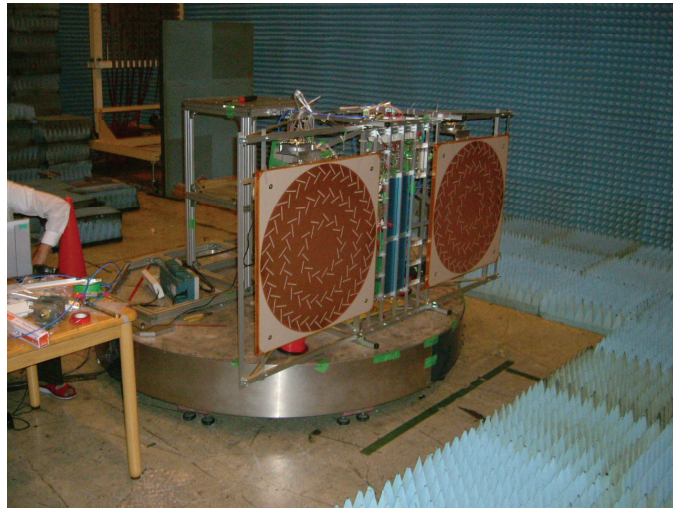
飛行船搭載無線電力伝送装置



地上受電アンテナ(無線携帯充電)

参加者は、受電アンテナを使って、無線での携帯電話の充電等が体験できます。

飛行船実験特性取得試験 放射電力特性確認 (110Wx2)



45

45

JAXA ロードマップ

SSPS 宇宙エネルギーステーション Road Map of SSPS

宇宙エネルギーステーション (SSPS: Space Solar Power Systems) は、宇宙空間で太陽光を発電し、無線電力伝送技術を用いて地上に伝送するクリーンなエネルギーシステムです。

2030年

- 大型実証プラント (2MW級) 大規模による実証プラント (100kW級)
- 大型衛星による実証 (100kW級) 大規模による実証 (100kW級)
- ステーションでのSSPS技術実証 宇宙ステーションを利用した電力伝送、大規模実証の準備 (SSPS Technology Demonstration on Space Station)
- 小型衛星による実証 (1kW級) 小型衛星と地上受電機を用いた電力伝送 (Small-Satellite Power Transmission from Orbital Power (1kW-class))
- 地上電力伝送実験 (1kW級) Demonstration on ground (1kW-class)

2008年

ROAD MAPS

SSPSから生まれる技術 (SSPS Technology Spin-off)

- 無線電力伝送の民生技術 (Commercial wireless power transmission)
- 緊急避難活動への応用 (Disaster relief systems)
- 衛星への電源と電力供給 (Power station for satellites)
- 月面探査用エネルギーシステム (Energy systems for lunar and planetary exploration)
- 月面基地への電力供給 (For Lunar Base)
- 軌道上の衛星への電力供給 (For Satellite)
- 宇宙船への電力供給 (For Lunar Exploration)
- 災害地への電力供給 (For Disaster Relief Systems)
- 飛行中の自動車、リニアモーターカーへの電力供給 (For Transportation Systems)

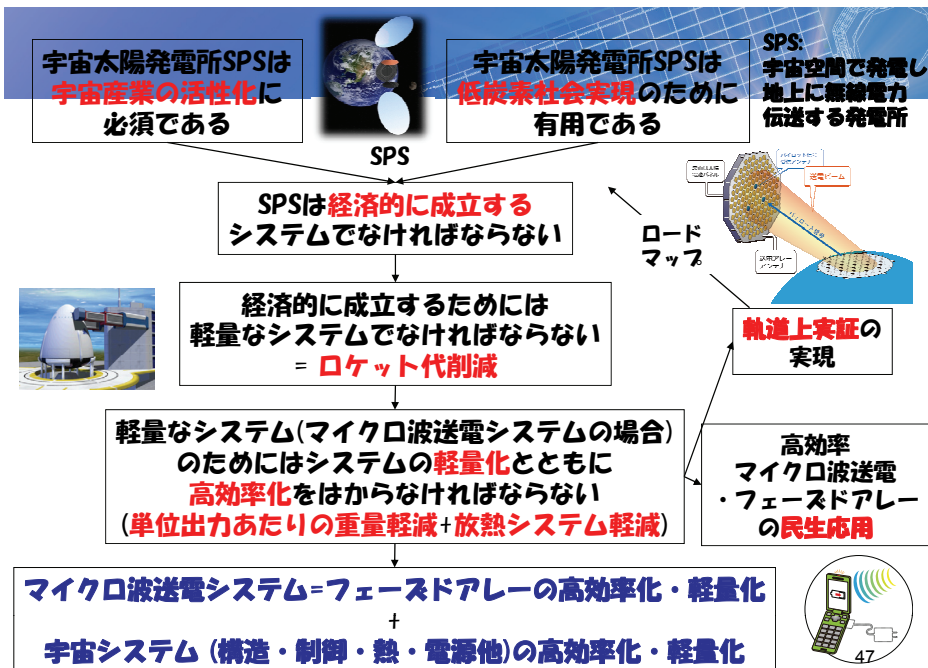
SPS 宇宙エネルギーステーション Road Map of SSPS

宇宙航空研究開発機構 総務課 企画課 高橋 寛一 (k-w-hiroe@jaxa.go.jp)

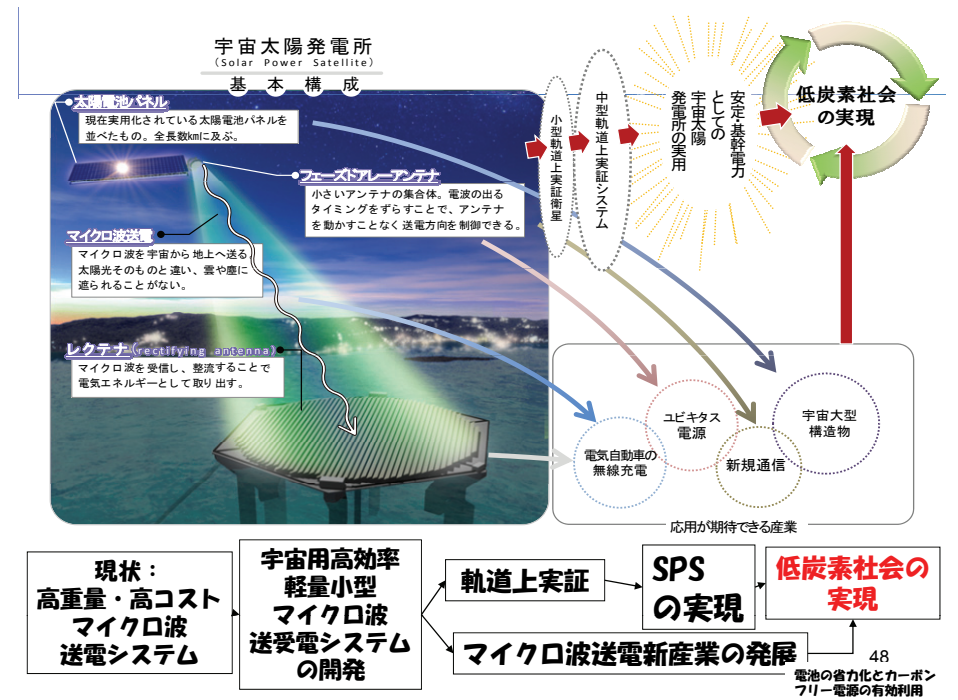
Tel: 044-254-1121 東京都小平市大原町1-1-1 Phone: 0426-2404101 Fax: 0426-2404301 JAXA - SSPS Office URL: http://www.jaxa.go.jp/

45

45



47



48

家庭内ワイヤレスプロジェクト

無線チャージ

多様な機器に自由かつ簡単に装着可能な無線チャージ

- ・ AV機器・デジカメ・洗濯機等のいろいろな家庭機器に無線機能を付加し、容易にホームネットワークを構築

非接触型のブロードバンド近距離無線

メディアプレーヤー、TV、PC等の機器間のコンテンツやデータの大容量無線伝送による完全コードレス化

- ・ 家電や音響機器に蓄積されているコンテンツを携帯メディアプレーヤーへ無線伝送し視聴

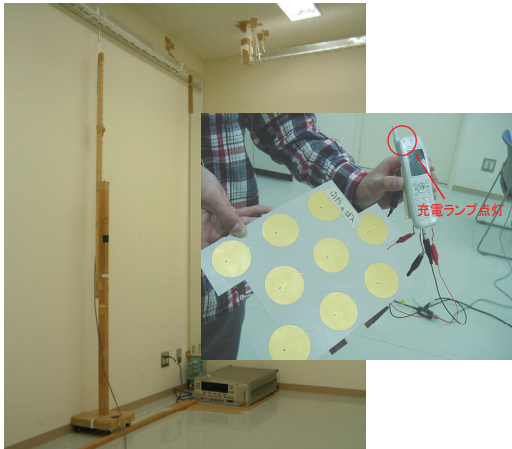
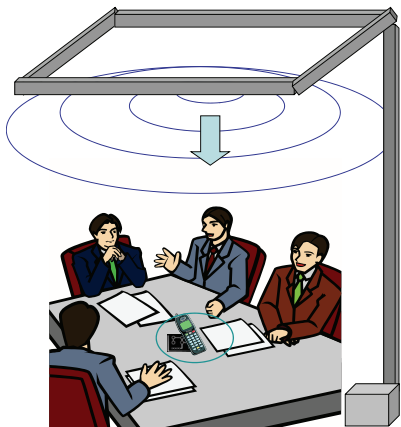
ワイヤレス電源供給

コンセントフリー住宅の実現

- ・ 机上、壁そば、床上などに置くだけでワイヤレス電源供給（自動充電）される家電機器・携帯機器の登場
- ・ 電子機器の設置工事の簡易化、電源に制約されない美的室内空間の確保、バリアフリー社会の促進



無線電力空間



・ Sun Light 100mW/cm²
 ・ Solar Cell 10mW/cm² 曇天 1/10
 Efficiency = 10% 屋内 1/100

・ Microwave 1mW/cm²
 ・ RF-DC conversion
 Efficiency = 50%

家庭内ワイヤレスプロジェクト

ワイヤレス電源供給

家庭内・オフィス内の電化製品などの電源コードをコードレス化

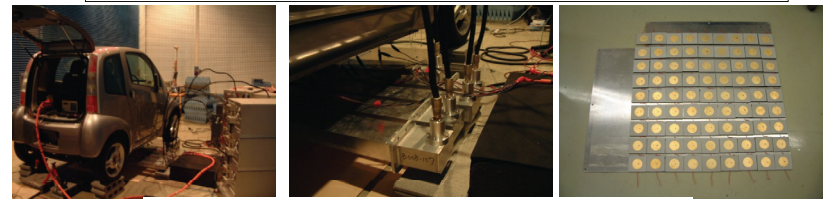
- ・ VHF 帯：数m の距離で電力伝送
- ・ マイクロ波帯ISMバンド：漏えい電波に配慮し接触面のみで電力伝送する2次元通信型

→ 各国とも研究段階であり国際的な周波数分配の議論が始まっていないことから、研究開発を推進していくとともに、国際標準化や国際分配の検討も積極的に推進する必要がある。また、生体電磁問題にも十分配慮した検討が必要である。

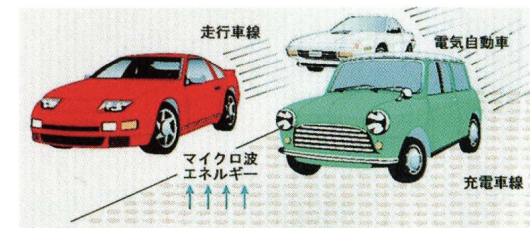
家庭内ワイヤレスシステムに適した周波数としては、ミリ波帯（60GHz 帯、70GHz 帯、120GHz 帯等）を候補として、周波数分配を検討することが適当である。（信号伝送用）

電気自動車無線充電システム

電源：車両搭載電気二重層キャパシタ(6個:2直3並列)
 受電システム：8分配型大電力小型化レクテナ(81個:9直9並)
 送電システム：スロットアンテナ(5本)
 SPORT2.45(5台:放射電力約950kW)



将来



日米欧のSPS研究現状(2009)

日本

- ・2009年6月に国家の戦略として「宇宙基本計画」が決定され、その中で、我が国が世界をリードする宇宙太陽発電に関する基礎的研究を下に「宇宙太陽光発電研究開発プログラム」が推進されることとなった。
- ・開発利用計画では「3年程度を目途に、大気圏での影響やシステム的な確認を行うため、「きぼう」や小型衛星を活用した軌道上実証に着手する」としているが具体的な計画は未着手
- ・JAXAでは1998年以降複数のWGからなるSSPS検討委員会を実施中。2009年度以降は経済産業省と連携。
- ・経済産業省は2009年7月に「太陽光発電無線送電技術の研究開発事業」として、薄型フェースドアレーの開発と地上実証実験を目指した研究を公募され、(財)USEFの計画が採択。
- ・京都大学に世界唯一のマイクロ波無線電力対応電波暗室及び実験設備等が導入され、1980年代以降SPS研究を牽引。2009年3月には世界初の電波暗室(飛行船)から地上への無線電力伝送実験に成功。

アメリカ

- ・米国防総省はSPSを100億ドルで10年以内に実用化させるとの開発計画案「Phase 0 Architecture Feasibility Study」を公開(2007)
- ・米日研究者グループが143km離れたハワイ諸島間で太陽光の転送実験に成功(2008)
- ・Space News「Obama Sparks Hope Among Space Solar Power Advocates」という記事で、国際宇宙ステーションから地上へのマイクロ波無線電力伝送実験案を提唱(2009.2.2)
- ・カリフォルニア州最大の電力ガス供給会社となるPacific Gas and Electric Companyが、宇宙太陽光発電を導入する方向でSolarEn社と基本合意(2009)

ヨーロッパ

- ・ESA (European Space Agency)がAdvanced Concepts Team (ACT)というSPS検討のプログラム(フェーズ1)を開始(2003-)
- ・ESAはフェーズ2に関するコメントなどを書き込めるウェブサイトを開設(2007-)
- ・SPSに関するワークショップNetworkshopを開催(2008.2.29)
- ・SPS関連活動に着手する欧州企業も登場

日欧米は将来は国際協力研究へ展開

Orbital Power Plant

Discovery
September,
2008



ハワイの島の間
148 km

We could have a source of never-ending power and, at the same time, reduce our carbon emissions to virtually zero. This is the astonishing vision of former NASA physicist John Mankins. He has a plan to send thousands of satellites into space, which will gather energy from the sun and then beam the solar energy down to Earth as microwave energy. The microwave energy will be collected by antennas on the ground. These then convert the energy to electricity. Can Mankins make it all work?

54

//dsc.discovery.com/tv/project-earth/highlights/highlights.html

Space Base Solar Power National Security Space Office



Space-Based Solar Power
As an Opportunity for Strategic Security



Phase 0 Architecture Feasibility Study

Report to the Director, National Security Space Office
Interim Assessment
Release 0.1

10 October 2007

<http://www.nss.org/settlement/ssp/library/index.htm>

京都新聞2007年10月27日

宇宙に巨大太陽発電所エネルギー不足の切り札?米国防総省が構想
【ワシントン26日共同】米国防総省の研究グループはこのほど、宇宙に巨大な太陽光発電装置を打ち上げて地球に送電するシステムを二〇五〇年までに商業化することを念頭に、他国とも協力して十年以内に小型実証衛星を打ち上げるべきだとする報告書をまとめた。

55

<http://www.nss.org/adastra>



FEATURES

to the stars
Astra
THE MAGAZINE OF THE NATIONAL SPACE SOCIETY

SPECIAL REPORT

Space-Based Solar Power
Inexhaustible Energy From Orbit

PLUS
NASA TURNS 50
ARECIBO AT 45

Energy from the sun is inexhaustible, as clearly underscored in this image taken aboard the Space Shuttle Endeavour. Long before Endeavour—in 1959—a mechanical engineer, Dr. Peter Glaser, envisioned a way to harness that energy. In 1968, he filed with aerospace giant NASA a plan that was later studied in more detail by NASA and the U.S. Department of Energy. The general idea was that large satellites in geosynchronous orbit could capture solar power from the sun and beam it to Earth—where it would be transferred through electrical grids to energy production centers. But in the late 1970s, the technology simply didn't seem to be ready. Today, it does. As you'll see in our special report this issue from reports on this clean, renewable new energy source.

As Dr. Glaser says in an accompanying interview, "It's not just about Peter Glaser any longer. People all over the world know about solar power satellites. It's up to them to make it work for the whole world."

A low Molniya orbit test satellite

- Kevin Reed, chief marketing officer at **Welsom Space Power**, says the company is planning to put a **1.2 megawatt (1200kW) satellite in orbit by 2010** with an eight megawatt operation scheduled for **2012**.
- 'Smaller versions of our thin-film solar cell arrays will be tested for space heritage first,' says Reed. 'We *are* talking to the government of Palau about **Helen Island** as the test area for the service. It sits next to a coral reef, which is very sensitive to heat, so it's an excellent test area.'
- The test satellite will be situated in a low 'Molniya' orbit and will pass over a number of islands during a daily cycle. The plan is to have one base station connected to the grid on Helen Island, and an additional one thousand handheld rechargers distributed among the populace. "They can use them to power their cellphones or laptops," Reed says. "The amount of power required is very minimal, something like 2 watts." **赤道域に送電か？**
- <http://www.vnunet.com/business-green/analysis/2202907/space-solar-power-closer-think>

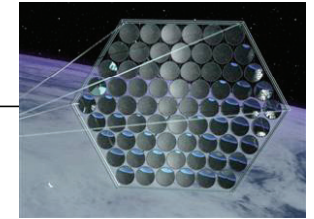
57

PG&E makes deal for space solar power Utility to buy orbit-generated electricity from Solaren in 2016, at no risk

By Alan Boyle
Science editor
msnbc.com



updated 10:41 p.m. ET April 13, 2009



California's biggest energy utility announced a deal Monday to purchase **200 megawatts (20万kW)** of electricity from a startup company that plans to beam the power down to Earth from outer space, beginning in **2016**.
San Francisco-based Pacific Gas & Electric said it was seeking approval from state regulators for an agreement to purchase power over a **15-year** period from Solaren Corp., an 8-year-old company based in Manhattan Beach, Calif. The agreement was first reported in a [posting to Next100](#), a Weblog produced by PG&E.

November 2009, Kyoto University

58



59



60

宇宙太陽発電所
(Solar Power Satellite)

基本構成

