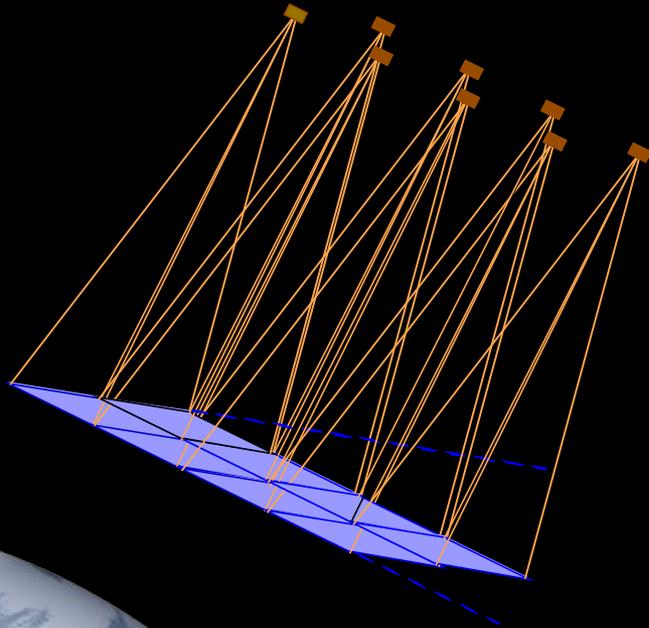
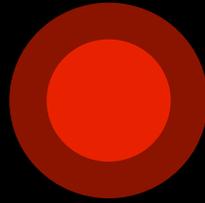


SSPSロードマップの検討で考慮すべき重要なポイント ～テザーSSPSを例として～



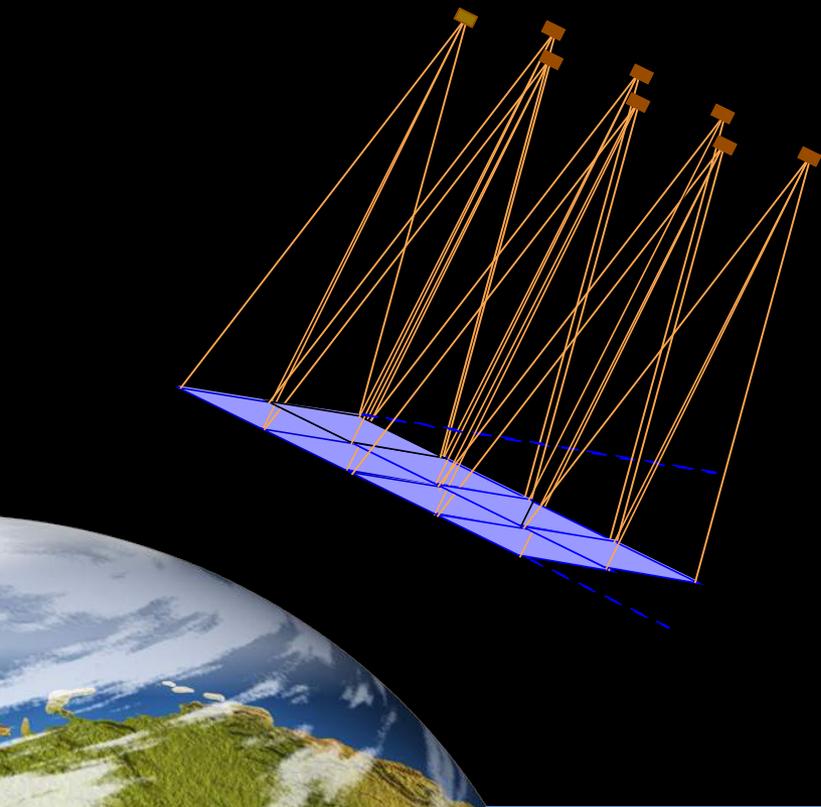
2016年12月

SSPSロードマップの検討で考慮すべき重要なポイント

- ・ロードマップは、使用目的(個人用、法人用、コミュニティ用、国の政策用...)により様々。
- ・ここでは、SSPSのコミュニティが、一般大衆やステークホルダーに、「何時どのようなことが実現できるか」というビジョン(一種の社会的な公約)を示す目的のものを対象

1. ゴールが明確で具体的であること(絵に書いて示せる)(特に社会一般の方に)。...絵にできないようなもの、沢山描かれた絵はターゲットにならない。
2. 未来技術に係わる長期の研究開発であるから、ゴールの不確定性は大きく、多くのターゲットが存在しうる。できるだけ共通的な要素をもったターゲットを描くことにより、研究の進展に柔軟に対応できるもの。...すぐに改訂せざるを得ないロードマップは信用されない。
3. ゴールそのもの及びそこに至る道筋に、技術的な実現性が読み取れること(特に周辺分野専門家に)。...技術的な実現性が示せない開発に向けた予算がつかない、学術研究レベルにとどまる。
4. ゴールは長くても30年以内(30年以内で目指すものをゴールとする)。長すぎると社会的なリアリティに欠ける。...夢は物語として楽しくても社会的な投資の対象外。
5. ロードマップは複数のフェーズに分けて、次フェーズに入ることができるレベルに達したか否かの客観的なGo/No Go判断ポイントを設ける。...プロジェクトの為のプロジェクトにならないことをロードマップ上で宣言。

1. **ゴールが明確で具体的であること(絵に書いて示せる)(特に社会一般の方に)。
…絵にできないようなもの、沢山描かれた絵はターゲットにならない。**



これまでの代表的な宇宙太陽光発電システム(SSPS)の設計例 —全部を示してターゲットとすることはできない—

太陽発電衛星

マイクロ波方式

レーザー方式

非集光型

集光型

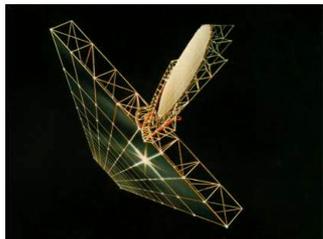
バス電力型

発電電一体型

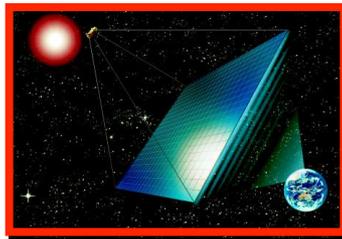
バス電力型

発電電一体型

レーザー直接励起型



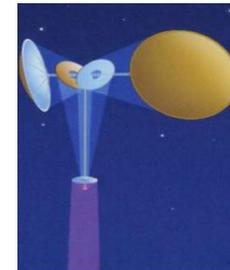
NASA リファレンスモデル



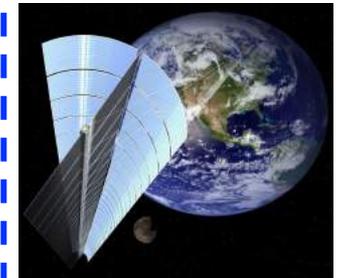
USEFテザーモデル



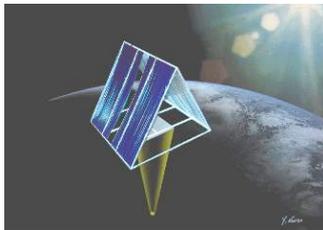
NASAサンタワー



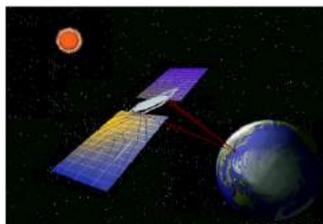
NASDA 2001モデル



JAXA L-SSPS

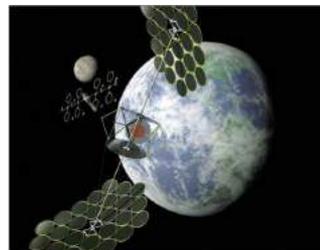


ISAS SPS2000

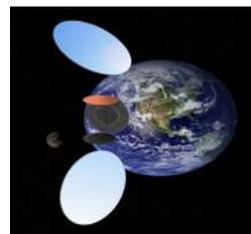


NEDOグランドデザイン

本講演ではテザーSSPSをターゲットとした例でロードマップ作成の留意点を説述べる。



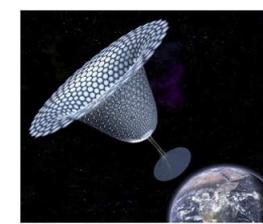
NASA ISC



JAXA M-SSPS



IAA研究モデル

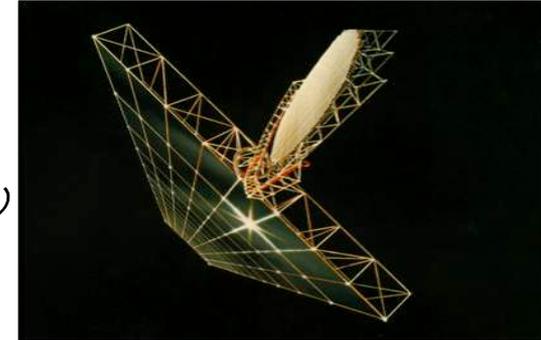


米国SPS-ALPHA

テザーSSPSとは？

—検討の背景と歴史—

NASA Reference System, 1970年代後半に設計 (NASA/DOE)



原理的には良いシステムではあるが技術的な実現性が希薄

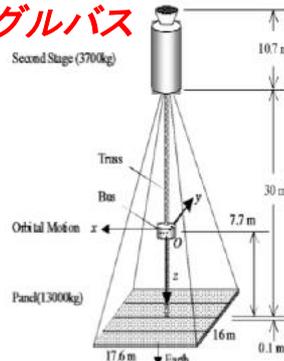
アンチテーゼ(対極)



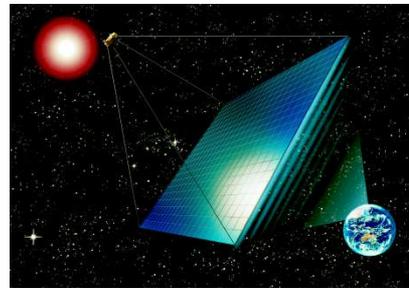
小型
単純(制御、可動部なし)
低高度軌道

大型
複雑(姿勢制御+可動機構)
静止衛星軌道

シングルバス

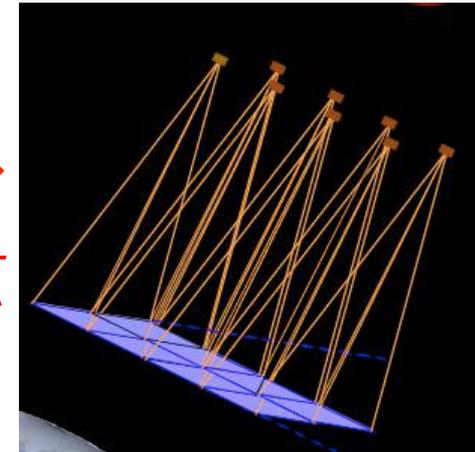


2002年頃設計(実証)



2001、2003年頃設計(実用)

マルチバス



2006, 2007年度設計

USEF 太陽光発電利用委員会
システム専門委員会(佐々木)

高度なモジュール化とシステム規模の柔軟性



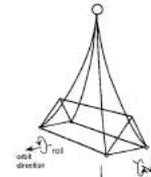
太陽電池・マイクロ波アンテナ一体型コンセプトを付加



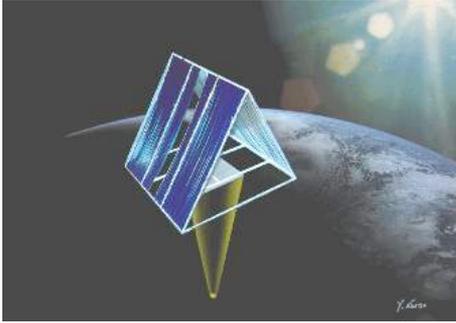
発送電一体型コンセプトを付加



SPS2000オプション



技術的な実現性を重視

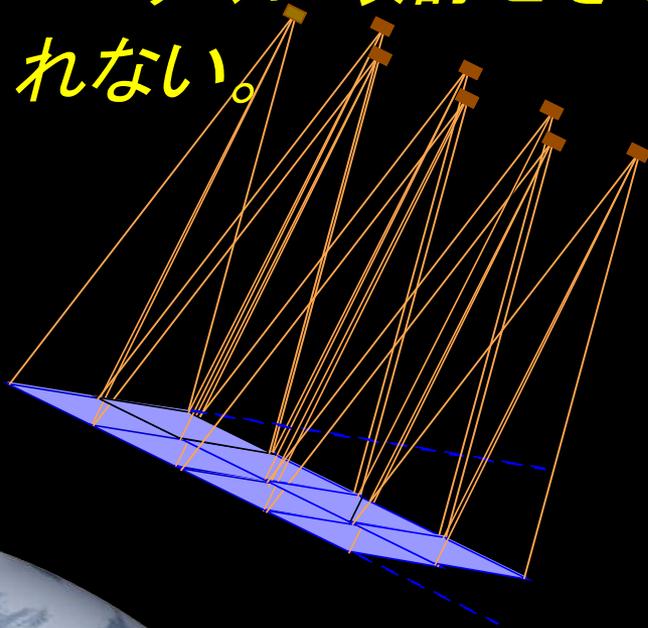


SPS2000, 1990年前後に設計
SPS2000タスクチーム(長友先生)

2001年頃設計(実用)

USEF SSPS実用化検討委員会(茅先生)

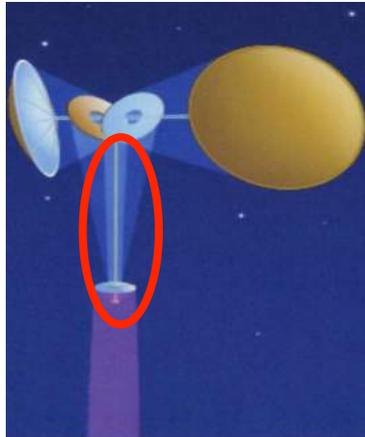
2. 未来技術に係わる長期の研究開発であるから、ゴールの不確定性は大きく、多くのターゲットが存在しうる。できるだけ共通的な要素をもったターゲットを描くことにより、研究の進展に柔軟に対応できるもの。
…すぐに改訂せざるを得ないロードマップは信用されない。



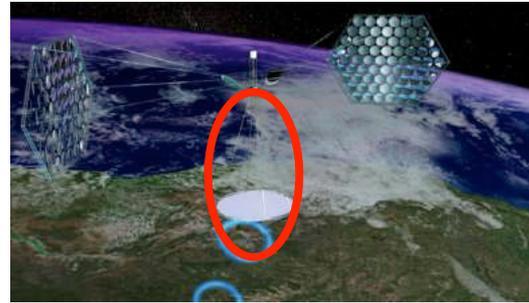
テザーSSPSは各種発電一体型SSPSの基本部分 -多くのモデルの共通的部分であり汎用性が高い-



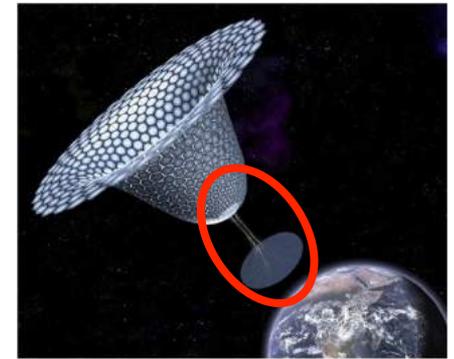
NEDOオプション
(賀谷モデル)



NASDA 2001モデル

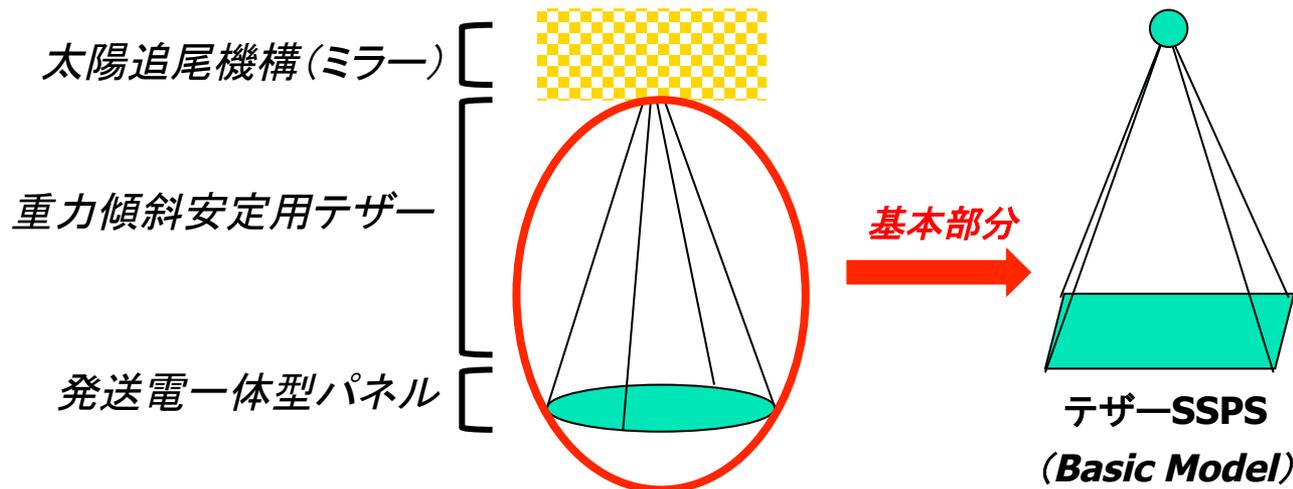


IAA研究モデル

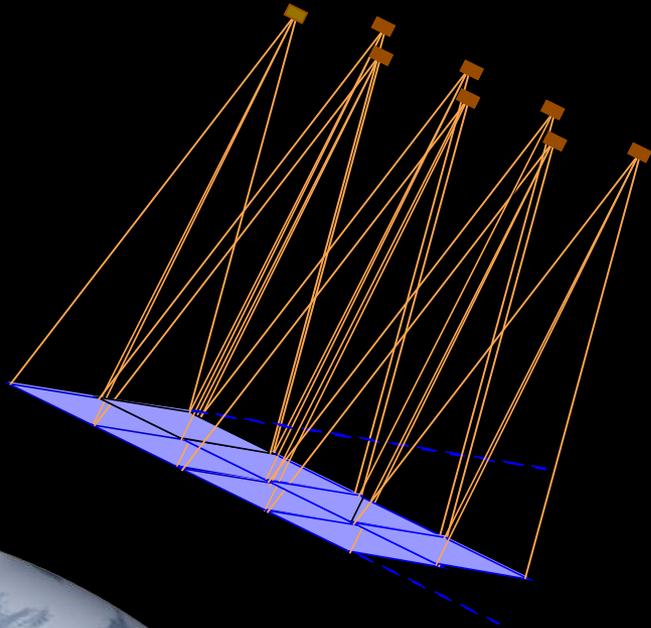


米国SPS-ALPHA

発電一体型SSPS



3. ゴールそのもの及びそこに至る道筋に、技術的な実現性が読み取れること(特に周辺分野専門家に)。
 - ・・・技術的な実現性が示せないと開発に向けた予算がつかない、学術研究レベルにとどまる。



SSPSのターゲット及び中間モデルで示すべき実現可能性

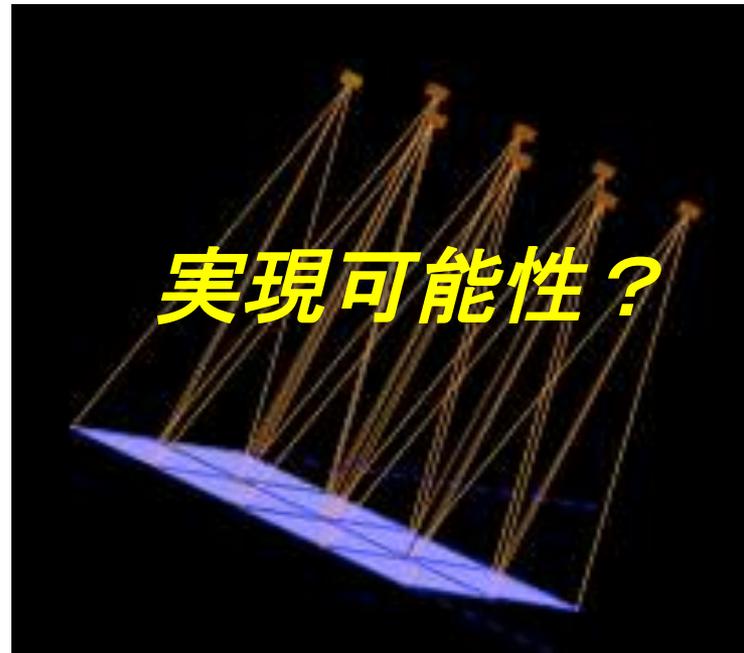
分野周辺のエネルギーシステム技術者、宇宙開発技術者のマジョリティが、技術的な実現可能性を納得できるレベルまで

重量の観点

宇宙発電所として
現実的な重量に収まるか？

構造の観点

宇宙構造物として
技術的に可能と思われる構造か？



社会的受容性の の観点

生態・生体への影響、
環境への影響、
他の社会インフラへの
影響は許容範囲か？

供給電力の観点

有用な電力システム
となりうるか？
(出力特性、信頼性、
電力単価)

熱的な観点

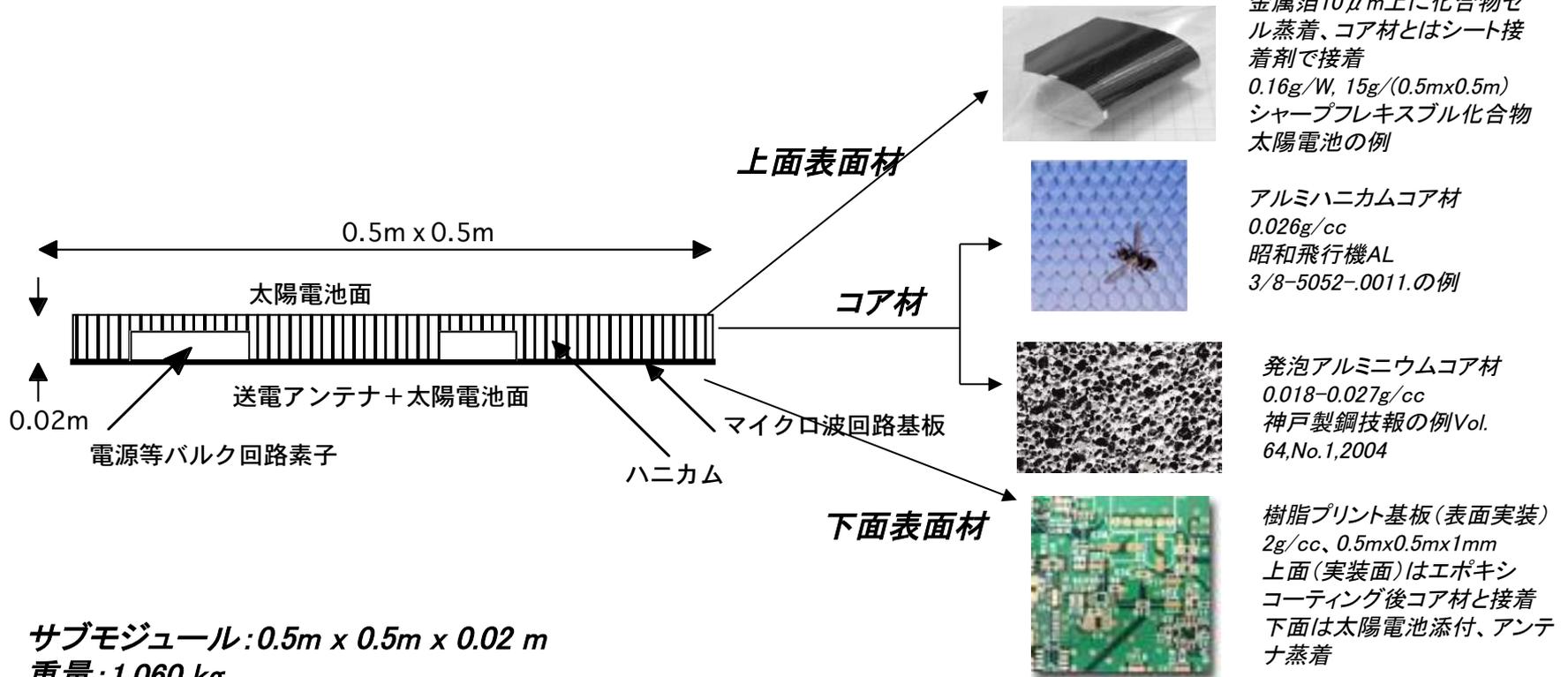
熱的に成立するの
か？(特に大電力シ
ステムなので)

建設の観点

現実的な建設のシナリオを
描くことができるか？(使用
する輸送系を含む)

宇宙発電所として現実的な重量に収まるか？

—構造設計と試作により根拠のある重量を積み上げて示す—



サブモジュール: 0.5m x 0.5m x 0.02 m
重量: 1.060 kg

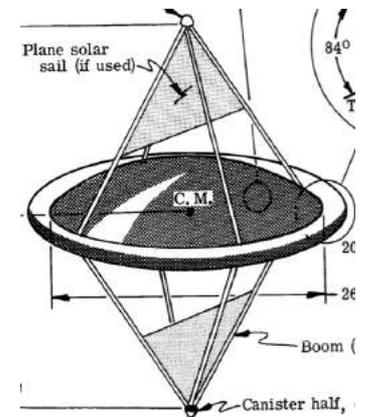
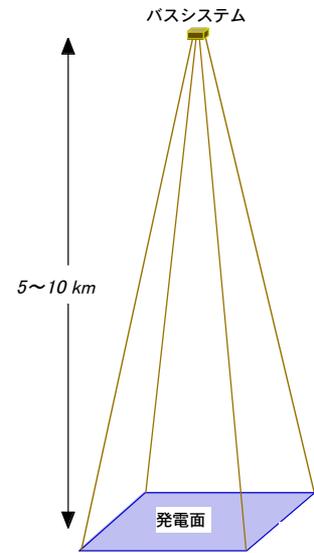
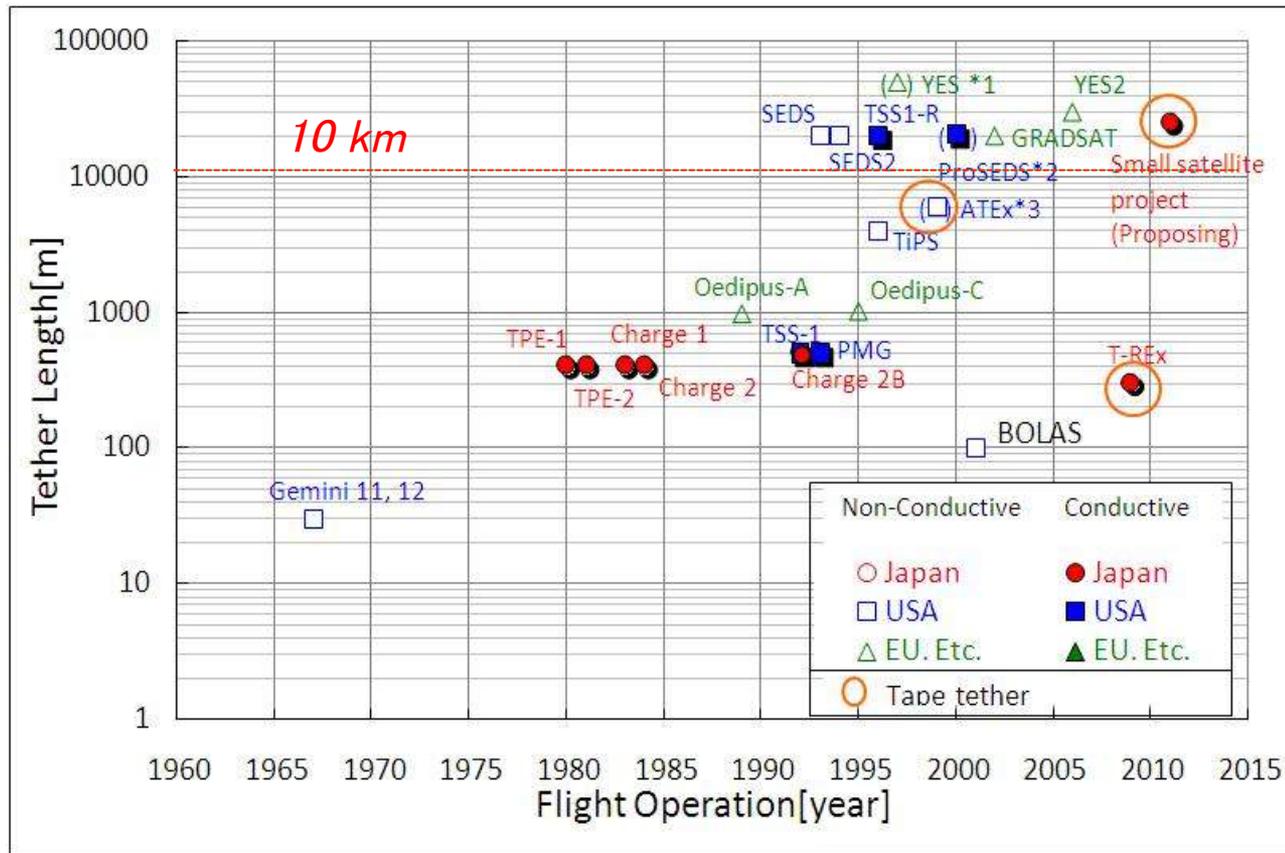
マイクロ波回路(制御、電源、アンテナ部を含む、55.5 W):
太陽電池(太陽電池、電源部への計装を含む、118.1 W):
蓄電部(362.5 Wh):
構造部材(ハニカム、機構部、他)

277.5 g (5 g/W)
120 g (1.016 g/W)
517.9g (700Wh/kg)
144.6 (0.029 g/cc)

構造の基本単位は、0.5 m x 5 m (10モジュール)

宇宙構造物として技術的に可能と思われる構造か？

—設計に基づく解析や宇宙実績で技術的可能性を示す—

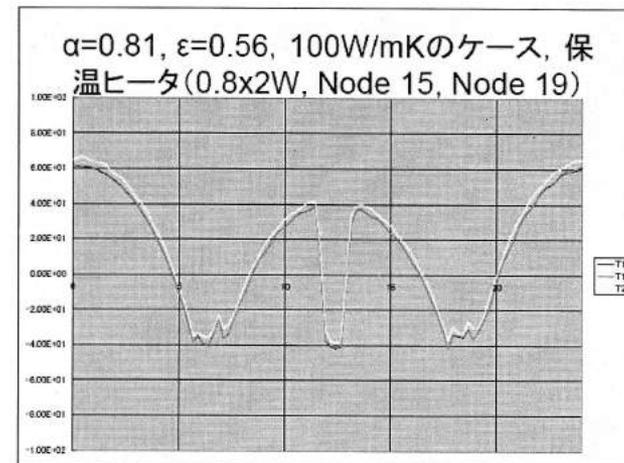
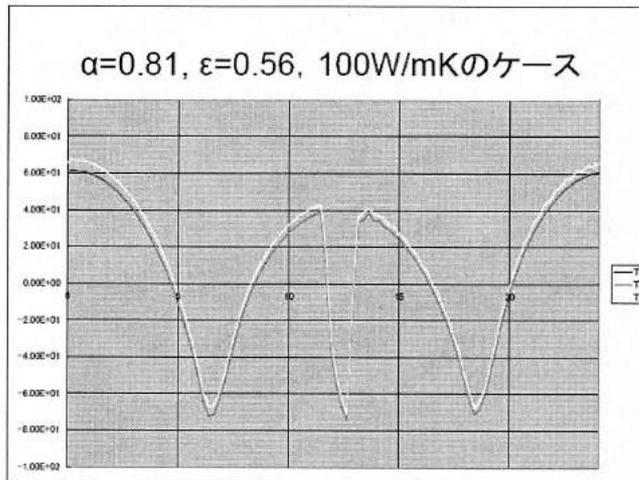
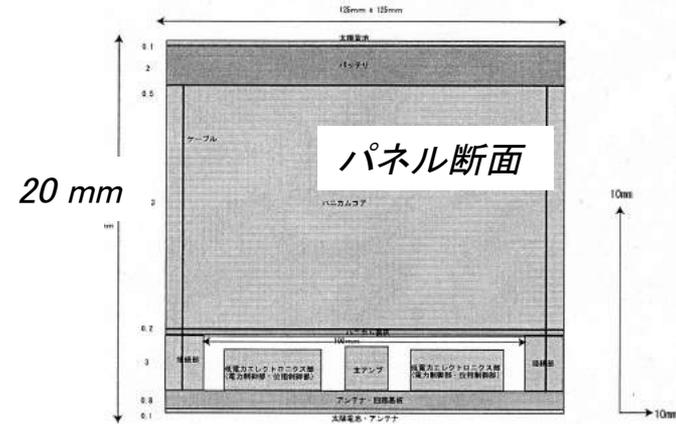
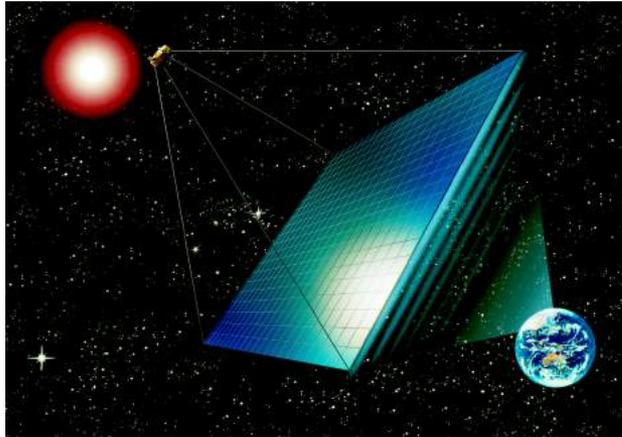


Lenticular Communication Satellite (NASA, 1965)

これれまで行われた宇宙テザー実験(計画のみのものも含む)。10km以上の長さのテザーはこれまで複数回実証され、10kmテザーシステムは既存技術であると言える。

熱的に成立する可能性はあるか？

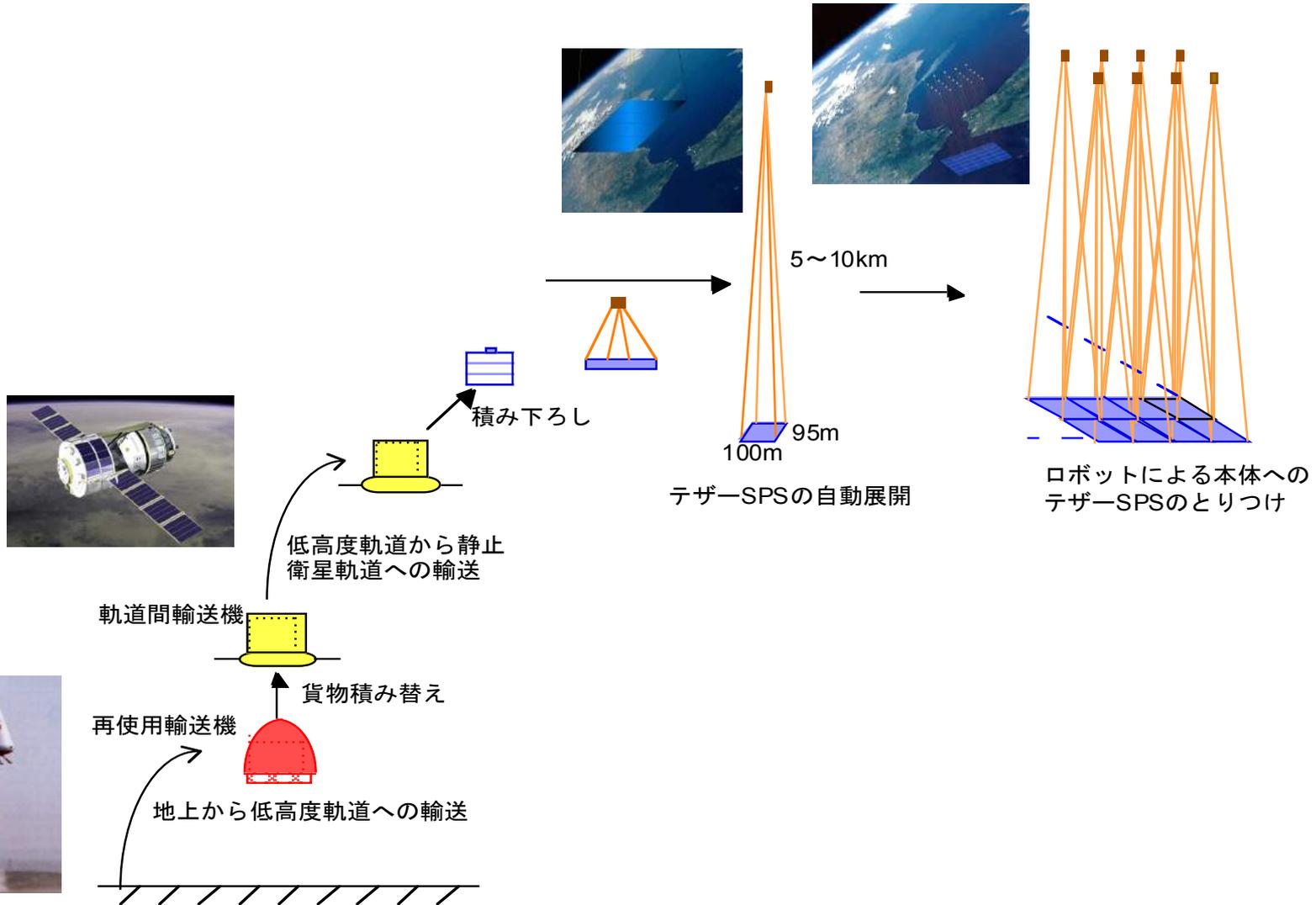
—システム設計に基づき熱解析を行う—
(現在の熱解析技術では10%程度の精度で予測可能)



ヒーターを使用することにより電子回路部を $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ の範囲に入れることができる

現実的な建設のシナリオを描くことができるか？

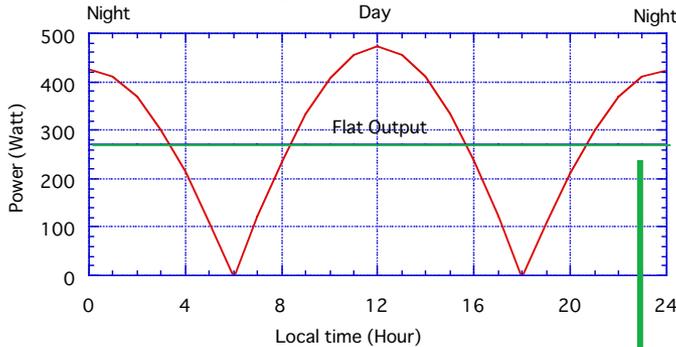
—具体的な建設方法について技術的に可能と思われる具体的なシナリオを示す—



有用な電力システムとなりうるか？

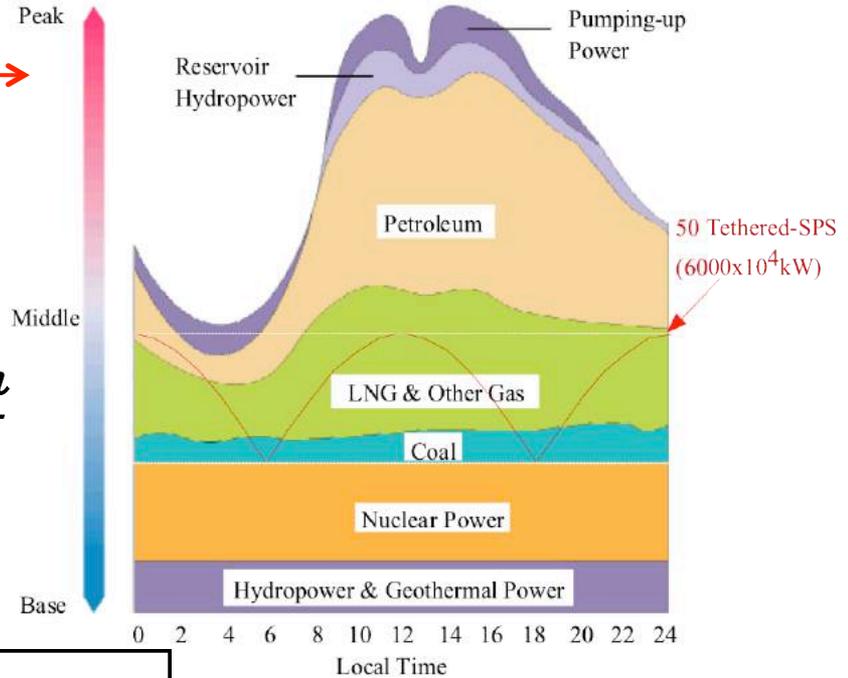
—供給電力の特性について現実のユーティリティとの整合性を示す—

テザー型SSPSの場合の発電量は時間とともに大きく変化する。



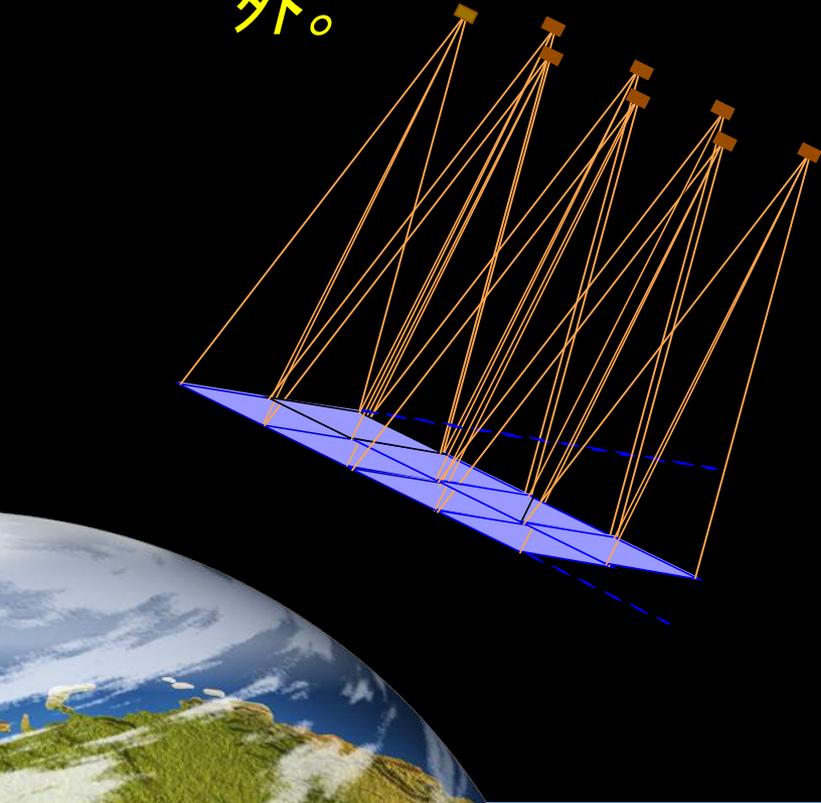
発展型として検討したバッテリーを使用した出力一定型テザーSSPS(不規則に発電量が増える地上と比べて、半日で規則的に変化するため平滑用バッテリーの容量は少なくてすむ。)

発電量の時間変化は電力源の混合の中で調整する。全電力に占める割合が10%程度の初期段階であれば、容易に適合可能。



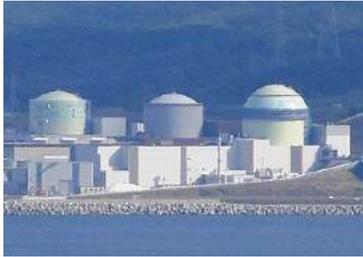
	モジュール電力	総電力	備考
太陽光強度	1,350 W(max)	8.0 GW	モジュールサイズ1m ² , 夏・冬はx 0.92(平均は0.97)
発電ピーク	473 W(表) 425 W(裏)	2.8 GW(表) 2.5 GW(裏)	裏側太陽電池面積は表側の90%、太陽電池効率35%
バッテリーへの蓄積	1000 Wh	5.9 GWh	平滑60%、充放電効率90%、ピーク電力の25%以下は充電せず
送電系への電力	270 W	1.6 GW	
送電電力	228 W	1.4 GW	マイクロ波への変換効率85%
レクテナ入力	-	1.2 GW	伝播効率97%、収集効率90%
レクテナ出力	-	1 GW	DC電力への変換効率85%

4. ゴールは長くても30年以内(30年以内で目指すものをゴールとする)。長すぎると社会的なリアリティに欠ける。
・・・夢は物語として楽しくても社会的な投資の対象外。

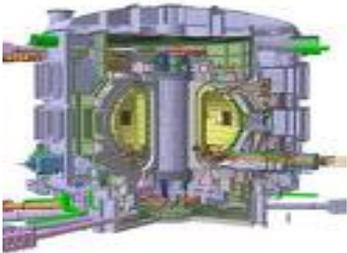


今後30年程度を目処にSSPSの実現を目指すシナリオ —他のエネルギーシステムとの比較—

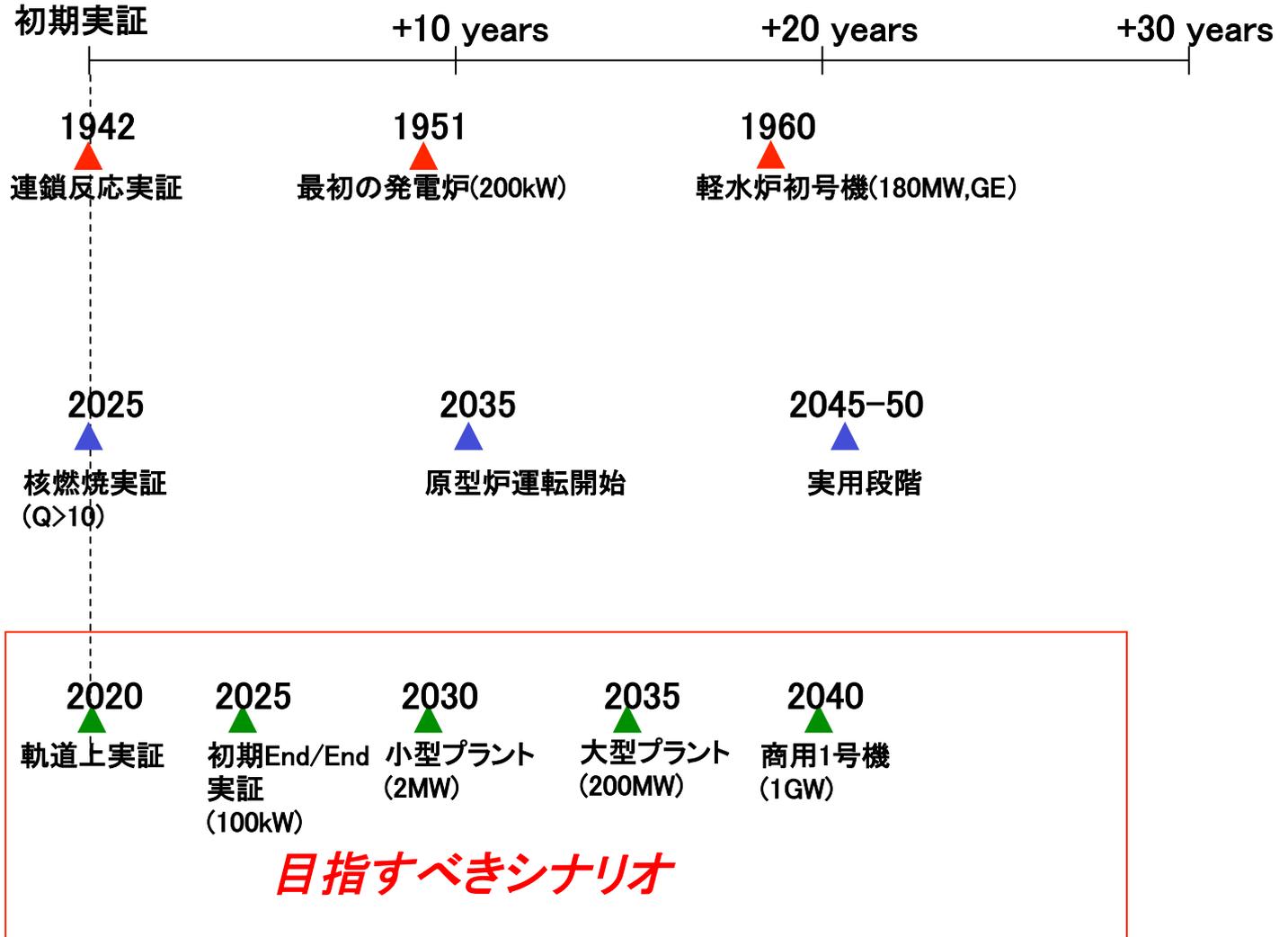
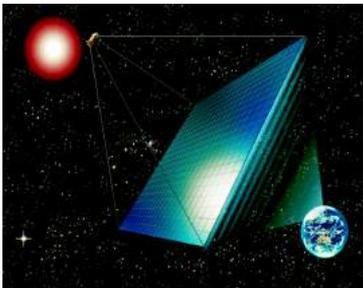
原子力発電(歴史)



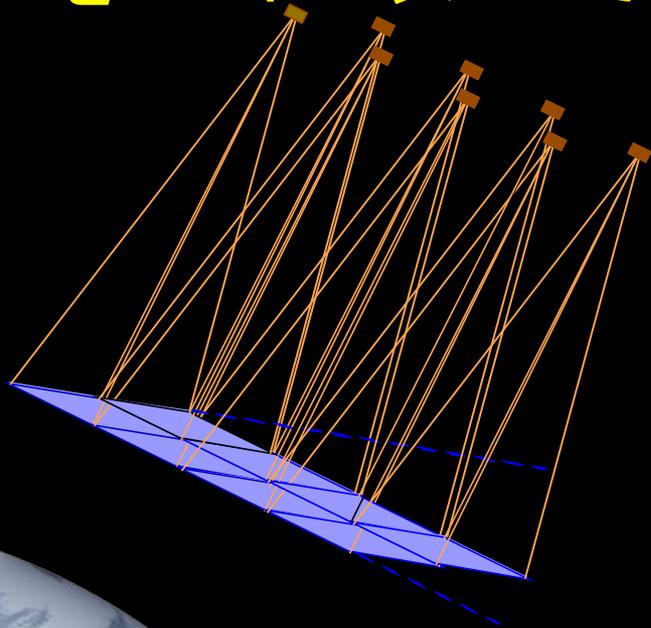
核融合炉(計画)



宇宙太陽光発電(計画)



5. ロードマップは複数のフェーズに分けて、次フェーズに入ることができるレベルに達したか否かの客観的なGo/No Go判断ポイントを設ける。
…プロジェクトの為のプロジェクトにならないことをロードマップ上で保証。



研究フェーズ

▲ GO/NO GO判断ポイント



地上実証



小型の軌道上実証



100kW 級軌道上実証



この部分は前フェーズのピアレビューにより改訂

開発フェーズ



2MW級の軌道上実証



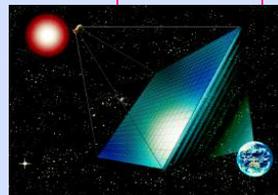
200MW級のプラント実証



実用フェーズ



1GW級商用SPS 1号機



商用SPS本格的建設・運用 (1SPS/year)