

# 講演番号A05 大型フェーズドアレイアンテナ搭載衛星の日照特性に関する研究

木村聡史（東京都市大学・院），藤本康太（東京都市大学・学），宮坂明宏（東京都市大学）  
Satoshi Kimura (Tokyo City University・Master), Kota Fujimoto (Tokyo City University・Bachelor),  
Akihiro Miyasaka(Tokyo City University)

## 1. 研究背景

エネルギー・環境問題を解決する1つの手段として、宇宙空間に巨大な太陽電池と送電アンテナを配置し、太陽光エネルギーを電気に変換した後にマイクロ波やレーザーに変換して地球上に設置した受電アンテナ（レクテナ）へ送電、地上で電力に再変換し、エネルギー源として用いる宇宙太陽光発電システム（SSPS：Space Solar Power Systems）の研究開発が進められている[1].

SSPSは現在様々なシステムが提案されているが、十分な発電量を得るために、どのモデルも数百m～数km規模の大型構造物を必要とする。そういった大型構造物の建設、制御技術や無線によるエネルギー伝送技術は、研究開発の途上である。そのため、SSPSは長期間の研究開発プロジェクトが計画されている。研究開発プロジェクトでは長期の研究開発期間の間に、その研究開発の成果を社会に還元することが検討されている[2]. 無線によるエネルギー伝送技術は監視や保安を目的としたドローンへのエネルギー伝送[3]や月探査ローバーへのエネルギー伝送に、大型構造物の展開/組立技術は大型フェーズドアレイアンテナを用いた降水観測衛星といった形での社会への実装が考えられている。SSPSの研究開発によって得られた技術を社会に実装することによって、民間を含めた投資の増大や研究者の増加、それらによる技術進歩の加速が期待されている。

## 2. 研究対象とする衛星の概要

今回研究対象とした衛星は大型フェーズドアレイアンテナを搭載した降水観測衛星である。この衛星は静止衛星軌道上を周回し、雲の分布や降水観測を行うことで宇宙技術・気象予測・防災等の分野への貢献を目的としている[4]. この衛星の大きな諸元をTable1.1に、イメージ図をFig.1.2に示す。本衛星はフェーズドアレイアンテナが常に地球に指向するように周回し、太陽電池パドルは太陽を指向するようにY軸回りに回転する。

表 1.1 静止降水観測衛星のイメージ

Orbit	GEO
Mass of bus	1000 kg
Mass of solar paddle	350 kg
Mass of antenna	2000 kg
Side length of bus	3 m × 3 m × 3 m
generating capacity	20 kW
Side length of paddle	3 m × 21.7 m
Side length of antenna	31.2×30

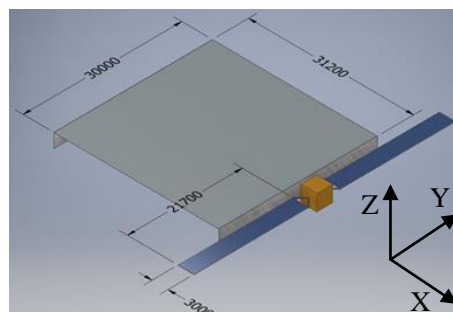


図 1.1 静止降水観測衛星のイメージ図

### 3. 研究課題

この大型フェーズドアレイアンテナ搭載衛星は研究段階であり，明らかにされていない特性や衛星のコンフィグレーションがある。

その中の一つに日照の特性がある。今回研究対象とした衛星は， $30\text{m}\times 31.2\text{m}$ の大きな面積を持つフェーズドアレイアンテナを搭載している。この大型アンテナが軌道上で日照を受けることで，衛星の機能にどのような影響があるのかについて明らかにされていない部分が多い。

### 4. 研究目的

今回研究対象とした静止降水観測衛星が軌道上で日照を受けることで生じる影響として，太陽電池パドルにアンテナの影がかかり発電が長時間にわたり阻害されることや，アンテナ自体が熱によって変形することが考えられる。そのため，太陽光によって大型フェーズドアレイアンテナや太陽光パドルがどのように影響を受けるかについて調査を行い，その影響を抑えるための衛星のコンフィグレーションについて提案することを目的とする。

### 5. 日照量の評価

軌道上での日照量の計算は表計算ソフト Excel と熱解析ソフト Thermal Desktop を用いて行った。Thermal Desktop による解析は時間がかかり，パラメータスタディに不向きなため，簡易的な計算方法として表計算ソフトを用いた計算を行った。

#### 5.1 Excel を用いた評価方法

大型フェーズドアレイアンテナ搭載衛星の太陽電池パドルの日照量表計算ソフト Excel 及び VBA を用いてマクロを作成し，以下の手順で計算を行った。

- ① フェーズドアレイアンテナの頂点座標，太陽電池パドルを  $8\times 16$  に分割した座標点を求めた。
- ② 光源である太陽に対する衛星の角度を求め，角度の分①で求めた座標点を回転させた。
- ③ 回転後のパドル座標点がアンテナ座標点の範囲内にあるか判定しパドルに影がかかっている割合を求めた。

#### 5.2 Excel による計算結果

衛星の大まかなパラメータは以下の図 5.2 のようになっている。決定している寸法としてはアンテナの大きさ  $31.2\text{m}$  と  $30\text{m}$ (正面図)，プレッシャパネルの高さ  $2.6\text{m}$  である[4]。太陽光パドルの寸法は ETS-VIII の必要電力とパドルサイズの関係を参考にして，本衛星の必要電力から計算した。

現在決定していないパラメータとしては，衛星本体とアンテナ間の X 軸方向の距離  $x$ (図①部分)，バス中心とアンテナ面の Z 軸方向の距離  $h$ (図②部分)がある。この二つのパラメータを変更させて，日照の変化を確認した。

結果は以下のグラフ図 5.3 のようになった。グラフは横軸が図右側の Z 軸方向の距離，縦軸が影に入ったことで発電できなかった発電量，5つの凡例は図左側の X 軸方向距離を  $2\sim 10\text{m}$  まで  $2\text{m}$  ずつ変化させたものである。図からわかる通り，X 軸方向は  $x$  の値が大きくなるほど発電量の減少が少なくなり，Z 方向は  $h=2\text{m}$  の時に，最も発電量の減少が少なくなることがわかった。

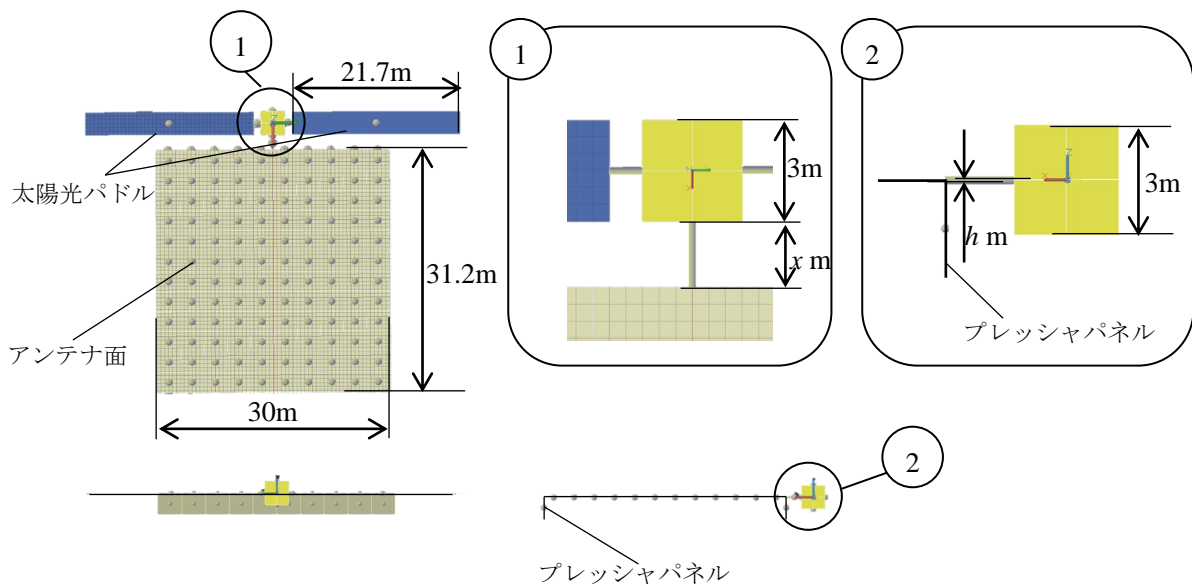


図 5.1 衛星の各パラメータ

### 5.3 Thermal Desktop との比較

簡易計算方法と Thermal Desktop による計算との比較したグラフを図 5.3 に示す. 縦軸が日照面積, 横軸が時刻である.

大きな違いとしては Thermal Desktop の結果に比べ簡易計算法では日照面積が最大で 9.8%少ない結果となった点, 簡易計算法では衛星の蝕を考慮していない点が挙げられる.

他の影に入る時間に関してはほぼ一致した結果となった.

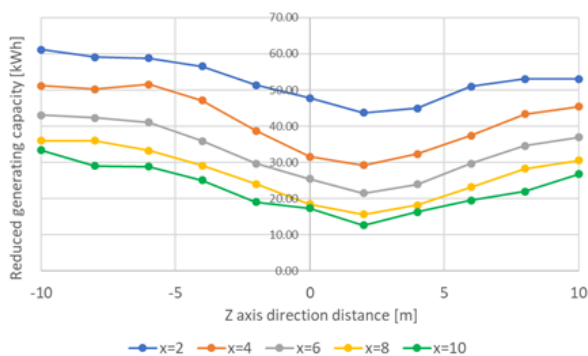


図 5.2  $x=2\sim 10\text{m}, h=-10\sim +10\text{m}$  の時の太陽光パドル日照量の比較

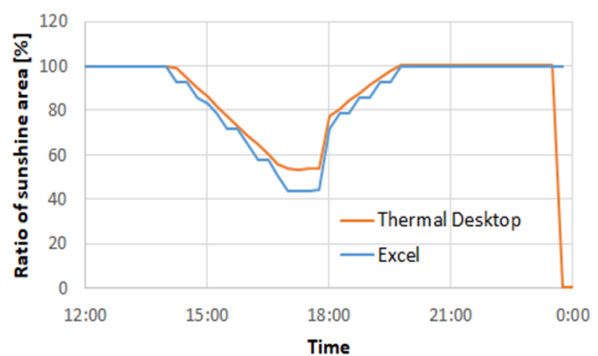


図 5.3  $x=2\text{m}, h=0\text{m}$  の時の日照量の計算方法毎の比較

### 5.4 補償方法についての考察

結果について考察を行う. Z 軸方向距離の変化に対してこのような傾向が得られた理由としては, プレッシャパネルの中心と太陽光パドルの回転軸の Z 軸方向の距離が影響していると考えられる. 距離 Z が 0m の時のプレッシャパネルの中心と太陽光パドルの回転軸の Z 軸方向の距離はプレッシャパネルの高さの半分である 1.3m であるのに対し, 距離 Z が 2m の場合, 距離が 0.7m となり最も短くなったためであると考えられる.

X 軸方向に関しては距離が遠くなるほど影がパドルにかかる時間が短くなるが, 衛星の姿勢制御の点からは, 遠くなるほど制御が困難になるので適した距離に関しては, 検討が必要である.

結果より現在のこの衛星の構造では, 蝕の時間以外で十分な発電量が得られない時間が発生することがわか

った。この問題の解決策の一つとして、太陽光パネルをプレッシャパネルに張り付けて追加することで不足する時間帯の発電量を補償する方法を提案する。

太陽光がプレッシャパネルによって遮られる際は、プレッシャパネルの-X方向の面が太陽方向を向いているため、太陽光パネルをプレッシャパネルの-X面に追加した場合の発電量について計算を行った。この方法でパネルを追加した場合とそうでない場合について発電量がどのように変化するかについて比較したものを以下の図 5.4 に示す。ただし、衛星バスに近いほうのプレッシャパネルを①、遠い方のパネルを②とする。

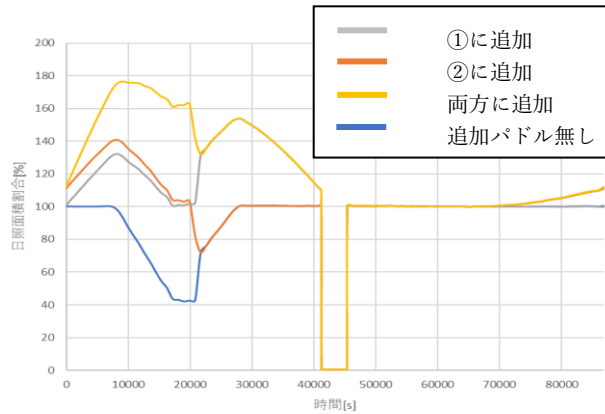


図 5.4 プレッシャパネルに太陽光パネルを追加した場合の日照面積の比較

図 5.4 の 4 つの凡例はそれぞれ、灰色が衛星本体から離れたプレッシャパネル①に太陽光パネルを追加した場合、オレンジのものが衛星本体に近いほうのプレッシャパネル②に追加した場合、黄色が両方に追加した場合、青が追加していない場合である。縦軸が元々の太陽光パドルに垂直に太陽光が当たった場合のものを 100%とした際の日照面積割合、横軸が午前 12 時からの経過時間である。

グラフより、蝕の場合を除き日照量を常に 100%以上補償できているものは、①にパネルを追加したものと①・②両方に追加したものであるため、太陽光パネルの追加箇所は①が良いと考えられる。

## 6. 温度解析

### 6.1 Thermal Desktop による温度解析

次にアンテナ面の+Z面とプレッシャパネルの-X面を表 6.1 に示すように表面特性を変化させて 1 日分の温度解析を行った。アンテナ面の分割数は、X方向に 12、Y方向に 10 である。解析日時は春分の日の午前 12 時から 24 時間、フェーズドアレイアンテナのアンテナ面の発熱については考慮せずに熱解析を行った。

表 6.1 表面状態の変化パターン

	1	2	3	4
アンテナ面(裏)	白塗装	カーボン	白塗装	カーボン
プレッシャパネル(-X面)	カーボン	カーボン	太陽光パドル	太陽光パドル

表 6.2 各表面状態の吸収率と放射率

	吸収率 $\alpha$	輻射率 $\epsilon$	$\alpha/\epsilon$
白塗装	0.200	1.000	0.200
カーボン	0.840	0.850	0.988
太陽光パドル	0.700	0.820	0.854

## 6.2 解析結果

表面特性を表 6.1 のように変化させて温度解析を行った。図 6.1 に示す赤丸の 9 点の解析の結果を図 6.2 に示す。①~④はそれぞれ表 6.1 のパターン 1~4 の解析結果である。

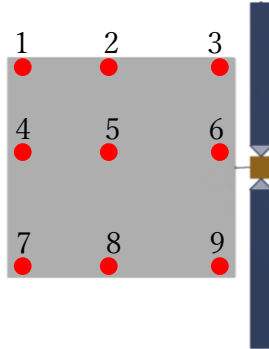


図 6.1 アンテナ温度の代表計測点

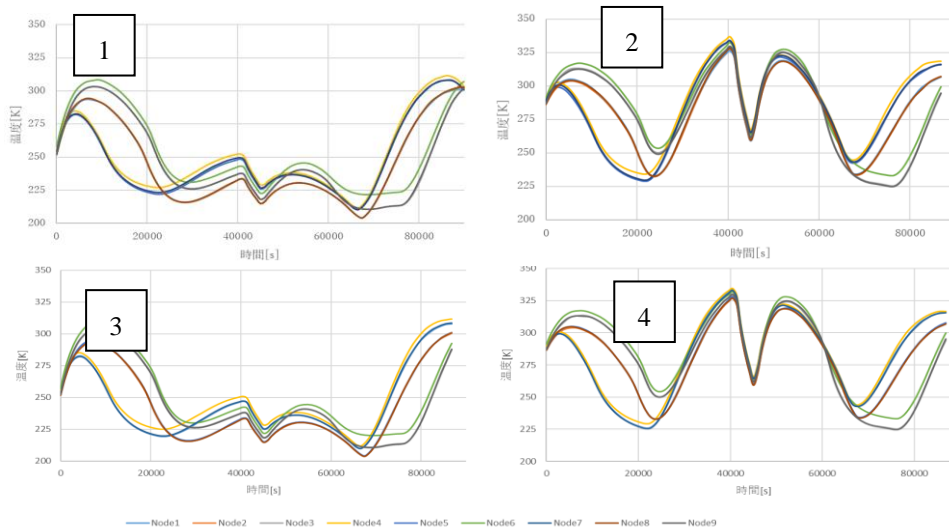


図 5.5 アンテナ裏面，プレッシャパネル面の表面特性毎のアンテナ温度の比較

グラフからアンテナの裏面の表面特性の違うグループ(パターン 1・3, 2・4)によってアンテナ面の温度がおおよそ 30000~60000 s の範囲で特に変化していることが読み取れる。

## 6.3 考察

解析を行った 24 時間の中で，各ノード点の最高温度と最低温度の差をとったものを表 6.3 に示す。

この表の合計をアンテナ全体の温度差の目安になると考えると，アンテナ裏面の塗装を行った場合の方が，

温度差が小さくなることが考えられる。

表面精度や構造の強度などの点から温度差は小さいほうが良いと考えられるため、太陽光パドルを追加したモデルの中ではより吸収率の低い白色塗装をしたものの方がしていないものよりアンテナの温度に関して適していると考えられる。

表 6.3 各計測点の 1 日当たりの最大温度差

	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9	合計
パターン 1	98.34	98.73	92.83	100.13	97.42	86.90	97.85	98.64	92.87	863.71
パターン 2	104.95	94.66	104.24	102.27	93.10	99.33	104.19	95.42	104.31	902.46
パターン 3	97.86	96.87	93.28	99.84	96.71	87.96	98.49	96.81	92.97	860.79
パターン 4	107.64	93.99	104.09	105.19	94.67	98.57	107.39	93.87	105.24	910.67

## 7. まとめと今後の課題

静止降水観測を行う衛星について、アンテナとパドルとの距離を変化させ軌道上で太陽光パドルに影がかかる時間・面積の変化を計算し、日照を得やすいコンフィギュレーションの検討を行った。結果、発電量の大きな低下が確認されたため、影を作る原因であるプレッシャパネル部に太陽光パネルを追加することで発電量が補償できるか検討した。

また、衛星の表面特性の一部を変化させて衛星の温度解析を行い、表面特性と温度差の関係について確認した。

今後は今回の温度解析から得られた温度分布を基にアンテナ面の熱変形量の算出、及び熱変形量を少なくするための表面特性について検討を行う予定である。

## 8. 参考文献

- [1] 藤田辰人, 上土井大助, 佐々木進. “宇宙太陽光利用システム (SSPS) の概要および, 大型構造物の検討の進め方”, 日本機械学会 2011 年度年次大会論文集№11-1
- [2] 後藤 大亮, 上土井 大助, 牧野 克省, 藤田辰人, 吉田裕之, 大橋一夫. “SSPS (宇宙太陽光発電システム) の新たなロードマップ構築と早期実現ミッション案”, 第 34 回宇宙エネルギーシンポジウム, (2015)
- [3] 鈴木拓明, 後藤大亮, 上土井大助. “SSPS 踊り場成果候補の紹介”, 第 60 回宇宙科学技術連合講演集, (2016)
- [4] 上土井大助, 倉富剛, 渡辺和樹. “30m 級大型フェーズドアレイアンテナの展開組立方法の検討”, 第 60 回宇宙科学技術連合講演集, (2016)