

第23回衛星設計コンテスト

ミッション概要説明書

事務局使用欄

受付番号 2728

2015年11月4日

応募区分 アイデアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名(20文字以内) Scissors 型太陽電池パネル			
作品名 副題(これは公式文書では省略する場合があります) 火星探査車に用いる太陽電池パネル			
	氏名(フリガナ)	所属学校<大学>等、学部、学科(研究室)	学年
代表者(正)	山口広太郎(ヤマグチコウタロウ)	東京都市大学 工学部 機械システム工学科(宇宙システム研究室)	4年
代表者(副)	杉田修也(スギタシュウヤ)	同上	4年
メンバ1	市川啓太(イチカウケイタ)	同上	4年
メンバ2	澁谷優樹(シブヤユウキ)	同上	4年
メンバ3	菅原洋平(スガハラヨウヘイ)	同上	4年
メンバ4	陳諾(チンタク)	同上	4年
メンバ5	長澤由裕(ナガサワヨシヒロ)	同上	4年
メンバ6	森元気(モリゲンキ)	同上	4年

2. ミッションの概要(プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。)

現在、火星探査車の発電装置は原子力電池が主流になっているが、原子力電池は危険性が伴うため、原子力を制御するのに非常に困難である。そのため、原子力を制御する機器などの開発期間が延び、コストが掛かる。よって、火星探査車の発電装置も太陽電池を用いることが必要である。そこで、今回は火星探査車に用いる Scissors 型展開構造を利用した薄膜型太陽電池パネルを提案する。提案する太陽電池パネルは収納性がよく、軽量であり、砂埃除去の機構も考慮してあるモデルである。

3. ミッションの目的と意義(目的・重要性・技術的/社会的意義等)

(a) 目的

火星探査車に用いる、収納性があり、火星での砂嵐対策を考慮し、Scissors 型展開構造を利用した薄膜型太陽電池パネルを提案する。

(b) 重要性・技術的/社会的意義等

2003年、マーズ・エクスプロレーション・ローバプログラムで打ち上げられた火星探査車スピリット(Spirit)は太陽電池に火星の埃が積り、発電量の低下が生じる場面があった。また、車輪が砂地にはまり込み、太陽電池パネルが太陽の方向を向けず、電力供給量が不足し、ミッションを断念することがあった。このような事態があり、2011年に打ち上げられた火星探査車キュリオシティは原子力電池(RTG)を使用している。これは、昼夜や季節に関係なく安定的に大電力が得られることや余熱を電源システムの保温に使用することができることが利点である。しかし、原子力電池は危険性があり、原子力の制御装置などには精密で、高価な部品を用いなければならない。この取り扱いの難しさから、開発期間やコストの増加が懸念される。そこで、設計が容易で、火星環境に配慮した太陽電池パネルの開発が重要となる。

4. ミッションの具体的な内容

(a) システム

(地上局やミッション機器等を含む全体の構成・機能・軌道・データ取得を含む運用手順等、必要に応じて図表添付のこと)

図.1 に提案する Scissors 型展開構造を利用した太陽電池パネルを示す(単位は mm). 一辺 1m の Scissors 構造の正方形型を4つ組み合わせたモデルとなっている. 構造の中央部に展開力を上下に加えることで, 太陽電池パネルが収納状態と展開状態を自由に変形できる. その中に, 図.1 のように4つの正方形の中に膜構造を設置し, 太陽電池を膜の折り目を避けて設置する. 膜構造は中央に, 図.1 のようにスリッドを入れ, 火星で砂嵐が起きたとき, 太陽電池パネルを収納状態にし, スリッドから火星の砂などを落とすことができる. また, 太陽電池パネルが太陽と垂直方向になるように, 角度調整用のモーターも取り付ける.

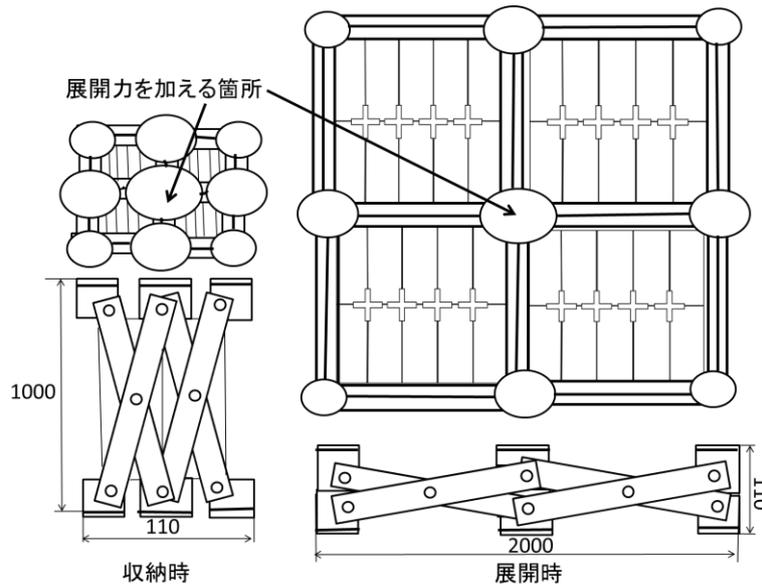


図.1 提案する Scissors 型展開構造を利用した太陽電池パネル

(b) 具体的な実現方法、もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

1. 具体的な実現方法

太陽電池の機構の Scissors 機構には, CFRP を用いた長さ 1m, 厚さ 2mm の中空円筒棒を部材として使用する. 太陽電池はシリコン型薄膜太陽電池を使用した. 駆動部は図.2 に示すように, 押しバネとワイヤを用いる. 押しバネによる力で, 太陽電池パネルが収納状態から展開状態へと変形し, ワイヤにはモーターを取り付け, ワイヤの巻き取ることで展開状態から収納状態へと変形を行う. また, 途中で太陽電池パネルを停止したい場合は, モーターを使用しワイヤの巻き取りを止める. これにより, パネルの開き具合を調節できると考え, 展開と収納が自在にできる構造となる. 膜構造は, 図.3(単位は mm) のように, 中央一列に十字のスリッドを 4 つ入れ, 折り目を避けて, シリコン型の薄膜太陽電池を入れる. このスリッドから, 太陽電池パネルの収納状態のとき, 火星の砂を落とすことができると考える.

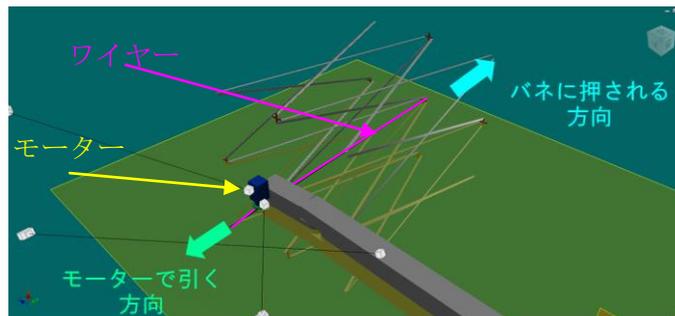


図.2 提案する Scissors 型展開構造を利用した太陽電池パネルの駆動部機構

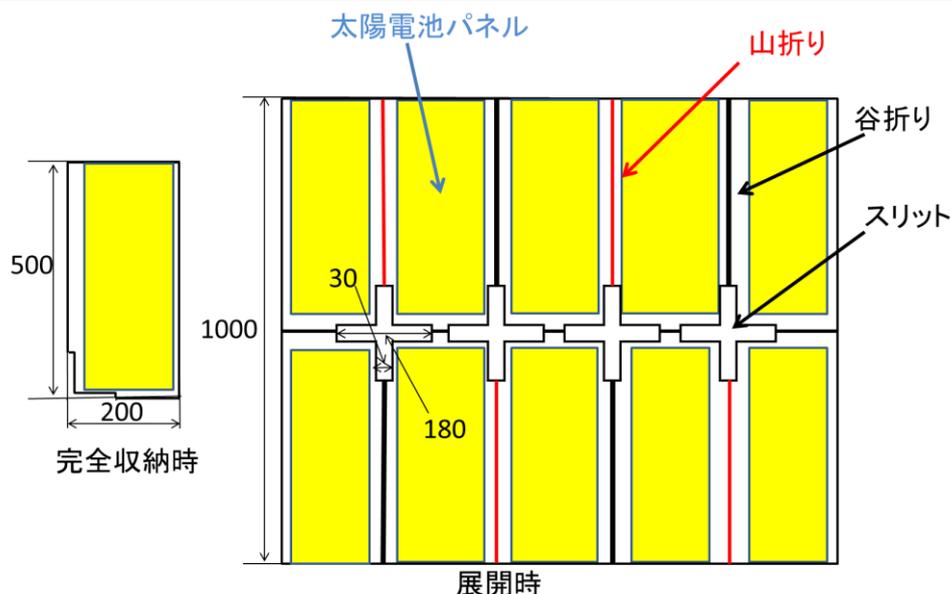


図.3 提案する Scissors 型展開構造を利用した太陽電池パネルの膜構造

2. 実現のために必要な課題・開発すべき項目

- ・膜構造の収納・展開の再現性(火星の砂埃落しの再現性)
- ・熱応力による部材長の変形が起こり, Scissors 機構の動作の妨げになる可能性があるため, 熱応力による変形が少ない材料の開発

5. 主張したい独創性や社会的効果

(a) 主張したい本ミッションの独創性

- ・Scissors 型展開構造を利用した太陽電池パネルは収納効率がよく, 図.1 から収納状態の 110mm×110mm の正方形が展開状態の 2m×2m の正方形となり, 面積が 331 倍にまで拡大することができる. また, 展開の同期性が優れており, 太陽電池パネルの中央部の展開力のみで作動できる提案となっている
- ・火星では砂嵐が起こることが多く, 太陽電池の効率を低下させる原因の一つである. そこで, 提案する太陽電池パネルの膜にはスリッドをいれ, 火星の砂を落とすしくみを考えた. よって, 正方形の4つの頂点からの力で収納状態と展開状態を自由にでき, 火星の砂嵐をスリッドから落とせる膜の折りたたみ方を開発した

(b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

- ・現在の火星探査車で主流になっている原子力電池では危険性があり取り扱いが困難なため, 開発期間やコストの増加が問題となっていた. しかし, 火星探査車に太陽電池を使用することにより, 原子力の制御装置などの開発が無くなり, 開発期間やコストの減少が期待できる. また, 将来の有人探査や火星移住計画への安全性向上にもつながると考える
- ・重量がある原子力電池に比べ, 太陽電池を用いることで, 探査車の軽量化と図れると考える
- ・部材長などを変えることで, 様々な構造物に適用可能なモデルとなっているため, 開発コスト, 期間を削減できると考える

以上

「Scissors 型太陽電池パネル」

～火星探査車に用いる太陽電池パネル～

東京都市大学 工学部 機械システム工学科 宇宙システム研究室

山口広太郎 杉田修也 市川啓太 澁谷優樹 菅原洋平 陳諾 長澤由裕 森元気

1 序論

最近,アメリカ航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)は火星に生命がいる可能性を示唆した発表を行った.このように,現在まで人類は火星探査を行ってきたが,探査に成功した数は極めて少ない.特に火星探査車(Mars Rover)は,アメリカやロシアを中心に開発を進めてきたが,何らかのトラブルにより,ミッションを断念せざるを得ない例がいくつもある.2003年,マーズ・エクスプロレーション・ローバプログラムで打ち上げられた火星探査車スピリット(Spirit, Fig.1.1)は太陽電池に火星の埃が積り,発電量の低下が生じる場面があった.また,車輪が砂地にはまり込み,太陽電池パネルが太陽の方向を向けず,電力供給量が不足し,ミッションを断念することあった.このような事態があり,2011年に打ち上げられた火星探査車キュリオシティ(Curiosity, Fig.1.2)は原子力電池(RTG)を使用している.これは,昼夜や季節に関係なく安定的に大電力が得られることや余熱を電源システムの保温に使用することができることが利点である.キュリオシティは現在も稼働しており,火星探査には貴重なものとなっている.しかし,キュリオシティに使用されている原子力電池は原子力という莫大なエネルギーを発生させるため,あらゆる生物にとって危険性がある.そのため,原子力の制御装置などには特殊な材料で,精密な加工をしなければならない.この取り扱いの難しさから,開発期間やコストの増加が懸念される.または,地上での失敗や実験,将来の火星有人探査や火星移住計画など人体やほかの生態系への危険性が伴う.

このように,原子力電池には取り扱いに課題がある.よって,設計が容易で,火星環境に配慮した太陽電池パネルの開発が重要となり,今後の宇宙開発の発展には太陽電池パネルが必要となる.

火星は,太陽との距離は地球と太陽の距離の1.5

倍程度あり,太陽放射が減少し,太陽光エネルギーが得られない.少ない太陽エネルギーで太陽電池を稼働させる太陽電池が必要である.また,火星で用いるためには,火星の地表温度は -140°C ～ -63°C 程度[3]とされており,低温下での探査を考慮しなければならない.そして,火星では砂嵐が頻繁に発生し,砂嵐によって,太陽光エネルギーが十分に得られないことが起きる可能性が生じてくる.ほかにも,地球よりも低重力下の環境など様々な考慮が必要である.今回は少ない太陽光エネルギーと火星で生じる砂嵐を考慮した太陽電池パネルの提案を行う.

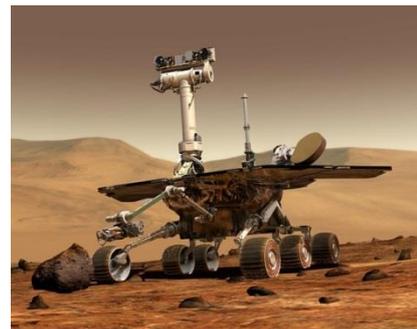


Fig.1.1 Spirit[1]

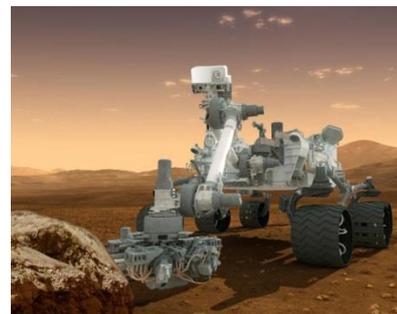


Fig.1.2 Curiosity[2]

2 ミッション目的

太陽電池を利用した火星探査車に設置する,火星環境を考慮した太陽電池パネルの提案を行う.

3 ミッション概要

提案する太陽電池パネルは、Scissors 構造を用いた展開構造である。Scissors 構造とは、2本の部材をピボットと呼ばれる回転自由なジョイントで接続した、いわゆる Scissors 部材を構成要素とする構造である[4]。Scissors 構造の利点は、棒や角材などの部材と回転ジョイントのみで構成できるので、開発しやすいという点が利点の一つである。これにより、部材長などをパラメータにすることで様々な構造に対応できる。また、収納性があり、展開の同期性が優れているため、様々な部分のどこか1カ所、展開力を加えると展開・収納できる。提案する太陽電池パネルの機構部は、バネ、ワイヤ、モータを用いて展開力を加えるとする。

太陽電池は火星環境や収納性の関係から薄膜型であれば、様々な太陽電池を使用できると考える。提案する太陽電池パネルはカプトン 500V を用いて、4点に力が働くことで展開と収納が出来る膜構造にした。また、火星で生じる砂嵐による砂塵が太陽電池パネルの上に積もり、発電効率を減少させてしまう可能性がある。この対策として、太陽電池パネルに穴を開けて、太陽電池を1度収納させることにより砂塵を下に落とす構造を考えた。

Fig.3.1 は提案する太陽電池パネルを探査車に取り付ける例と挙げる。Fig.3.1 は、提案する太陽電池パネルを4モジュール取り付けた場合の例である。

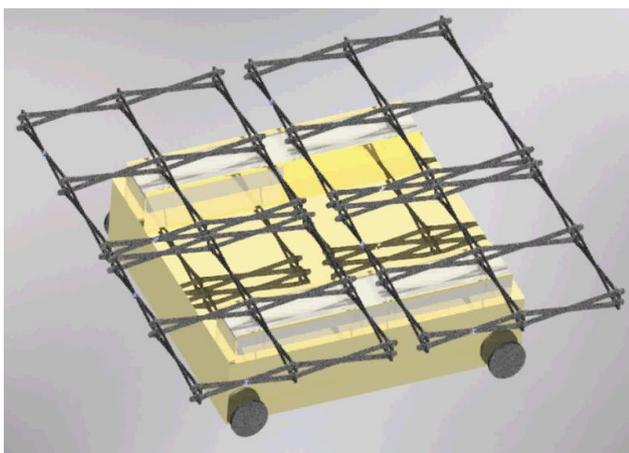


Fig.3.1 Examples of the Rover Using Solar Panels to Propose

4 構造モデル

Fig.4.1 に今回設計する太陽電池パネルの収納時と展開時のモデルを示す。寸法の単位は mm である。

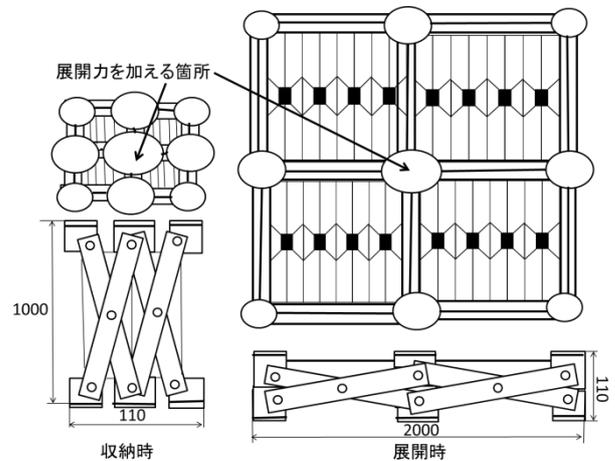


Fig.4.1 Solar Panel Design

展開力はモデルの中央部を上下に 1[N]の力を加えて、収納状態と展開状態が Scissors 構造の同期性の特徴から、自由に変形できる仕組みとなっている。

今回 Scissors 構造に使用する部材はすべて、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)を用いて、部材は長さ 1m、厚さ 2mm の中空円筒棒を用いる。

Fig.4.1 のように、4つの正方形の中に膜構造を設置し、太陽電池を膜の折り目を避けて設置する。膜構造は中央に、Fig.4.1 のようにスリッドを入れ、火星で砂嵐が起きたとき、太陽電池パネルを収納状態にし、スリッドから火星の砂などを落とすことができる。また、太陽電池パネルが太陽と垂直方向になるように、角度調整用のモータも取り付け。

Fig.4.1 から、収納時は 110mm×110mm の正方形内に収まり、展開時は 2m×2m の正方形状となり、太陽電池パネル表面の面積が収納時から展開時に 331 倍程度大きくなると考える。

5 駆動機構

5.1 駆動機構の詳細

提案するシザーズ型太陽電池パネルは、バネとモータを用いて駆動する。Fig.5.1.1 及び Fig.5.1.2 に、シザーズ機構のイメージを示した。中央のヒンジ 2 つの間に押しバネが入っており、収納時は

シザーズ機構が閉じる方向へ押された状態で保持される。

2つのヒンジは、バネとワイヤで接続されている(ワイヤは片方のヒンジにのみ固定されている)。バネによりシザーズ機構は閉じた状態で保持されるが、モータを用いてワイヤを引くと、ワイヤを固定したヒンジが引っ張られる。すると、シザーズ機構は展開を始める。展開完了後、ワイヤをそのまま保持していればシザーズ機構は展開した状態を保持する。保持したワイヤを緩めると、バネによりシザーズ機構は収納する。

火星は砂塵が舞う環境であり、ボールねじ機構などの繊細な機構を用いると砂塵が詰まり動作不能に陥る可能性がある。今回提案したバネとモータを用いる機構であれば、単純な機構故に砂塵に強く確実な動作が可能であると考えた。

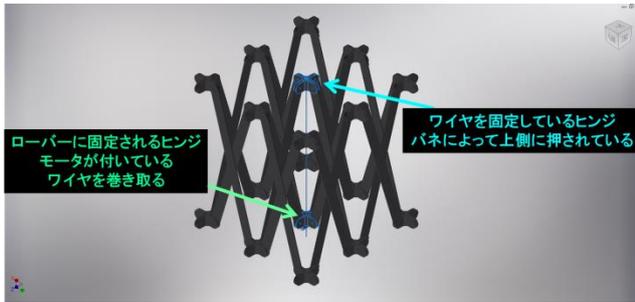


Fig.5.1.1 Mechanistic Design

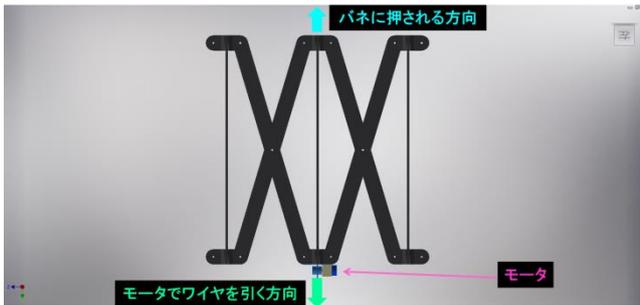


Fig.5.1.2 Mechanistic Design (Side View)

5.2 モータによる制御

提案する機構はワイヤをモータで巻き取る。使用するモータには、高精度な回転角の制御が要求される。そこで、AC サーボモータとハーモニックドライブの組み合わせが最適ではないかと考えた。レゾルバやエンコーダを用いて回転角を監視しながら駆動し、ハーモニックドライブにより少ないバックラッシュで高減速比が得られるため

である。また、無励磁作動型の電磁ブレーキを搭載した AC サーボモータであれば、通電時以外はモータの回転はロックされる。展開、収納するために通電すると、電磁ブレーキは解除されシャフトはフリーとなり回転する。展開、収納が完了し通電がストップすると電磁ブレーキが作動しシャフトがロックされる。シャフトがロックされればワイヤは動かず、シザーズ機構もロックされる。モータ部の詳細なイメージを Fig.5.2.1 に示す。

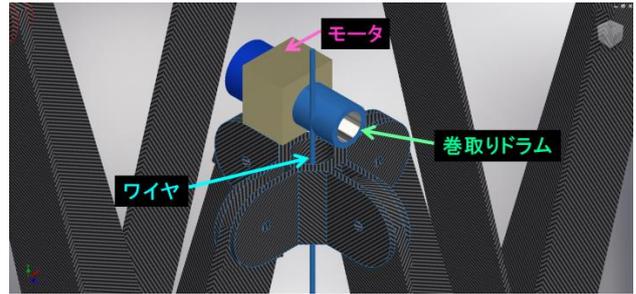


Fig.5.2.1 Detail of Motor Part

5.3 ラッチ機構

今回提案するシザーズ型太陽電池パネルには、特別なラッチ機構は搭載しない。無励磁作動型の電磁ブレーキを搭載したモータを使うことにより、通電時以外はモータの回転はロックでき、ワイヤを保持することができる。外乱などにより開く方向へ力がかかってもバネにより抑えられ、閉じる方向へ力がかかりワイヤが引っ張られてもモータがロックされているため動かない。

さらに、シザーズ機構の特徴の1つに展開同期性の高さがある。つまり、シザーズ機構のどこか1ヶ所でも動きを拘束すれば、シザーズ機構全体の動きを拘束することができる。

モータの電磁ブレーキにより通電時以外は動きを拘束し、シザーズ機構の展開同期性の高さを利用してシザーズ機構全体の動きを拘束する。よって、特別なラッチ機構は不要である。

6 膜構造モデル

6.1 膜構造

Fig.4.1 のように、今回提案する太陽電池パネルの4つの正方形の中には、膜構造を設置し、折り目や火星の砂嵐対策用のスリッドを避けて、太陽電池を設置する。今回提案する太陽電池パネルに用いる膜構造は Fig.6.1.1 に示す。寸法の単位は mm である。

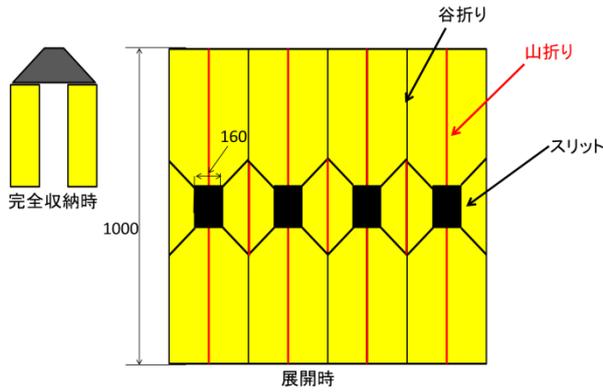


Fig.6.1.1 Membrane Design

Fig.6.1.1 の黄色い部分は太陽電池を示し、中央に4つ並んでいる黒い四角はスリットを示す。また、膜の中の黒い太線は谷折り部分を示しており、赤い太線は山折り部分を示している。

また、Fig.6.1.1には、膜の完全収納時の状態を示しているが、火星の砂塵を落とす場合は、完全に収納する必要はないと考える。

膜の材質には、カプトン 500V (密度 1.42[g/cm²]、厚さ 0.005[cm]) を用いることにする。

6.2 太陽電池

今回は、火星探査車に用いるため、火星環境に配慮した太陽電池の選定が必要である。火星環境は前述のとおり、太陽放射が地球の2分の1程度であり、地表温度は-140℃~-63℃程度と低温下の環境を考慮しなければならない。一般的に太陽電池は高温状態になると出力電力が低下することが知られている。しかし火星は低音環境のため、温度環境による出力低下は問題にならないと考えた。また収納性の向上を目的に薄膜型太陽電池に限定して話を進める。Table5.2.1に主な薄膜型太陽電池とその発電効率[5][6]を示す。

Table6.2.1 Solar Cell Name and the Conversion Efficiency

太陽電池名	発電効率
アモルファス	10.1%
3接合型	30.5%
塗布型有機薄膜	10%
CIGS	23.5%

この中でも、3接合型太陽電池はとりわけ発電効率が高く、実際に宇宙での使用例もあるため信頼性が高い。

次に太陽電池モジュールの必要面積の計算を行う。面積が小さすぎると発電量が少なくなり、思うように駆動することができなくなる。しかし、必要以上に大きくすると無駄な重量増加の原因となる。そこで、システム全体の消費電力から、必要な太陽電池の面積を計算する。

太陽電池モジュールが発電する電力 P は、

$$P = ES\eta \quad (1)$$

となる。 E は太陽定数[W/m²]、 S はパネル面積[m²]、 η は発電効率である。充電可能な時間帯に駆動させる場合、システム電力 P_s を全て太陽電池より確保できるようにしたい。よって、太陽電池の面積 S に以下の制約条件を設定することにした。

$$S \geq \frac{P_s}{E\eta} \quad (2)$$

よって、面積 S を式(2)の制約条件の範囲内で設定することができる。

今回は、マーズ・エクスプロレーション・ローバプログラムで打ち上げられた火星探査車オポチュニティ (Opportunity) の最大消費電力 1600W[7]を用いて、(1)と(2)式から太陽電池モジュールの面積を実際に求めてみる。計算には Table.5.2.1, Table.5.2.2 の数値を用いる。

Table6.2.2 Constant to Be Used in the Calculation

消費電力P[W]	1600
太陽定数E[W/m ²]	593
発電効率 η	Table5.2.1

計算結果を図にしたものを、Fig.5.2.1に示す。



Fig.5.2.1 Result of Calculation

モジュール面積が少ないほど、重量は軽くなり収納性は向上する。今回取り上げた太陽電池の中では、3 接合型が最も有用であるといえる。

7 構造解析

Fig.7.3.1 には有限要素解析ソフト Origami/ETS を用いた動解析結果を示す。解析モデルの色はひずみエネルギーを示し、青、緑、黄、赤の順にひずみエネルギーが大きくなる。

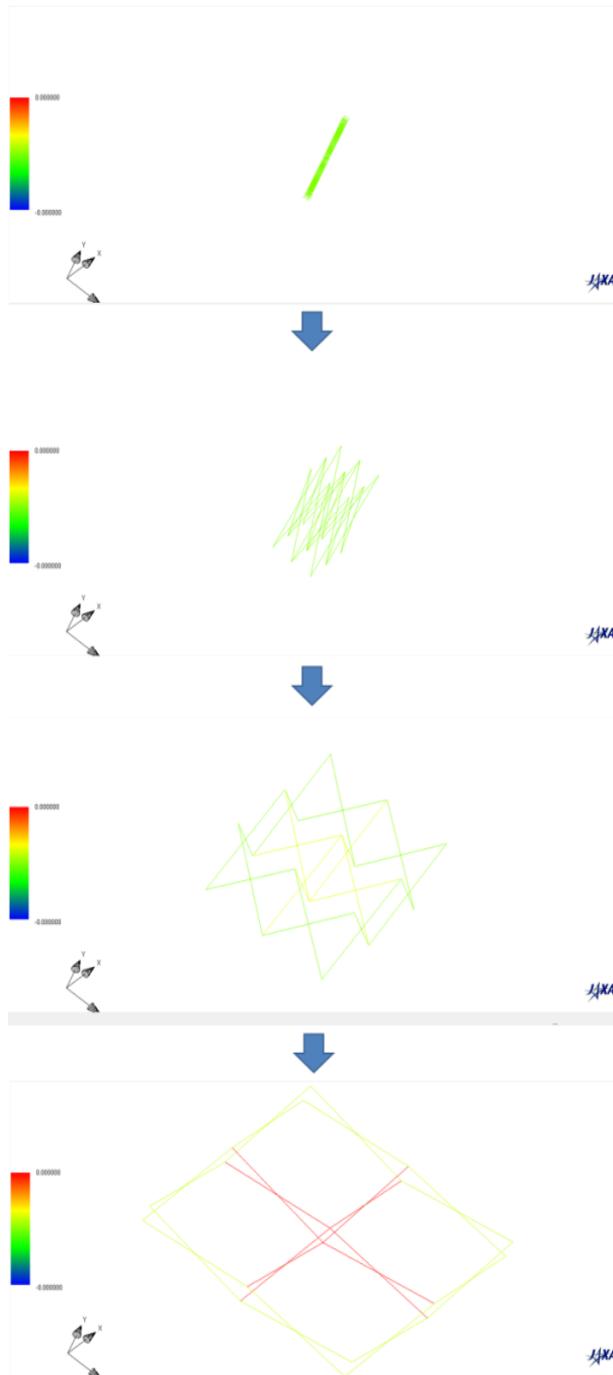


Fig.7.3.1 the Dynamic Analysis Results by the Origami / ETS(Deployment from the Housing)

収納状態から展開状態まで作動できる機構になった。

また、Fig.7.3.2 には展開状態から砂塵を落とすまでの収納状態の動解析結果を示す。

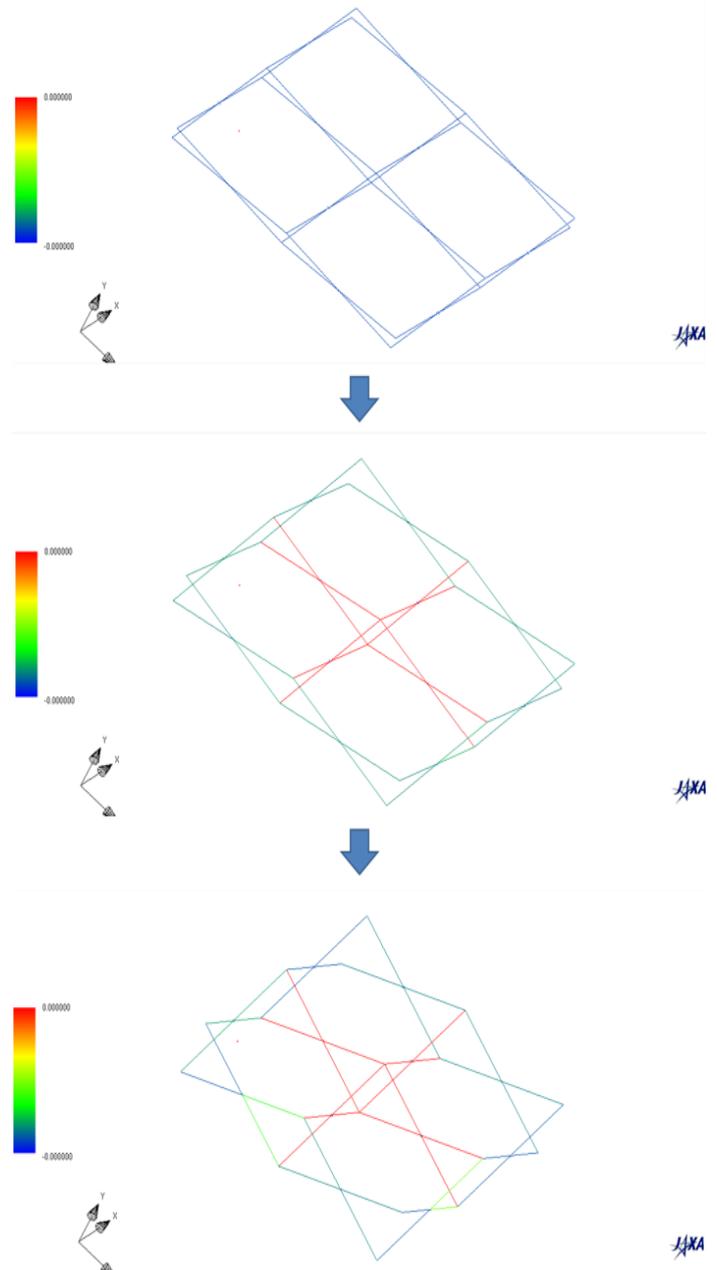


Fig.7.3.2 the Dynamic Analysis Results by the Origami / ETS(Storage from Deployment)

8 結言

今回、Scissors 型展開構造を利用した薄膜型太陽電池パネルを提案した。提案する太陽電池パネルは収納性がよく、火星で発生する砂嵐により、太陽電池パネルに積もる砂塵を除去する方法も考

えた. これにより, 火星での太陽電池パネルを用いた探査車が行えると考え.

参考文献

- [1]. NASA ホームページ,
<http://mars.nasa.gov/mer10/?ss=direct>
- [2]. WIRED,
http://wired.jp/2012/11/30/curiosity_mars_radiation/
- [3]. 太陽系探検隊,
<http://www.susutan.com/genre1/mars/>
- [4]. 近藤慎輔, 川口健一, シザーズ型展開構造物の単層ラチスドームへの適用に関する研究, 2000
- [5]. 化合物多接合太陽電池の高効率化と応用,
http://www.sharp.co.jp/corporate/rd/n39/pdf/107_08.pdf
- [6]. 環境ビジネスオンライン,
<http://www.kankyo-business.jp/dictionary/000187.php>
- [7]. Richard D.Hall, The Opportunity and Curiosity Mars Rovers are Situated on Earth,2014