

# A09 格子投影法による相対変位計測

伊藤良磨 (室蘭工業大学・学), 相原弘匡 (室蘭工業大学・院), 樋口健 (室蘭工業大学)

Ryoma Ito(Muroran Institute of Technology), Hiromasa Aihara, Ken Higuchi

## 1. はじめに

宇宙空間で使用される大型展開構造物はコンパクトに折りたたまれ、打ち上げられた後に軌道上で展開・伸展させて使用する。図 1 の衛星搭載用大型展開メッシュアンテナや図 2 の電力ソーラーセイル実証機がその代表例である。そのため展開中・展開後の表面形状を簡単かつ高精度に把握できる計測技術が必要である。現在使われている面計測手法として、ステレオ視やレーザー変位計などの手法が挙げられる。これらは、計測マーカを用いた計測であるため、あくまでも点としての位置情報しか得られない。つまり計測面が大きくなる程に計測に時間を要する課題がある。この課題への対処法の一つとして考えられるのが格子投影法である。この計測手法の特徴は、表面形状を面として計測ができることにある。そのため面計測時間を既存の計測手法よりも大幅に短縮することが可能となる。

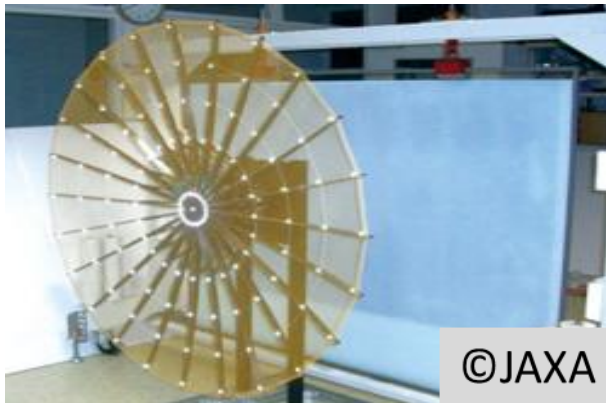


図 1 衛星搭載用大型展開  
メッシュアンテナ

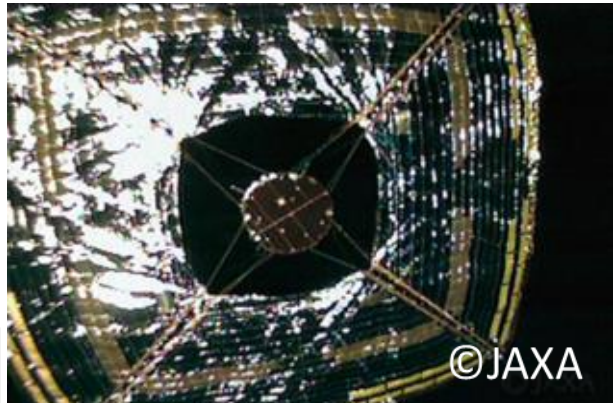


図 2 膜面を用いた電力ソーラー  
セイル実証機 (IKAROS)

## 2. 2カメラ法による変位計測

### 2.1 三次元形状計測原理

格子投影法 2カメラ法は、平板を基準面として設置し、2枚の基準面間に空間座標系を形成した後で、計測対象物の三次元形状計測を行なう。図 3 に示すように間隔をあけてカメラ 2 台を配置し、図 4 に示す以下に述べる原理で計測対象物上の点 S の三次元座標を算出する。図 3 では、プロジェクタから正弦波格子を投影する代わりに、プラズマディスプレイを基準面とし、これに任意の格子幅である正弦波格子を表示させている。基準面上の格子間隔が既知であるので、位相接続をすることにより、座標原点からの x 方向、y 方向の距離が定まる。z 方向は一軸スライダの移動距離が基準面間 ( $C_{L1}$  と  $C_{L2}$ ) の移動距離に対応している。まず基準面 1 の位置で、縦・横格子を基準面上に表示させ、2つのカメラ

で撮影を行う。次に、この基準面を面に垂直方向に移動させ（基準面 2）、この位置で基準面 1 と同じ要領で縦・横格子を撮影する。最後に、基準面を取り除いた状態で、2 つの基準面間の位置に計測対象物を置き、プロジェクタから縦・横格子を投影した状態で 2 つのカメラで撮影する。図 4 の原理図に示すように、計測対象物表面のある点  $S$  を左カメラ（Camera L）がとらえている時、カメラの視線が基準面 1 上でぶつかる点  $C_{L1}$  と基準面 2 上でぶつかる点  $C_{L2}$  の  $x,y,z$  座標値が得られるので、左カメラの視線の式  $L$  が求まる。右カメラ（Camera R）の視線からも同様に、基準面 1 上の点  $C_{R1}$  および基準面 2 上の点  $C_{R2}$  の  $x,y,z$  座標値が得られるので右カメラの視線の式  $R$  が求まる。2 つの視線  $L, R$  の式が交わる点が生ずる点  $S$  の  $x,y,z$  座標値として求められる。この点  $S$  は計測対象物上に多数存在し、この集合として表面形状が求まる。

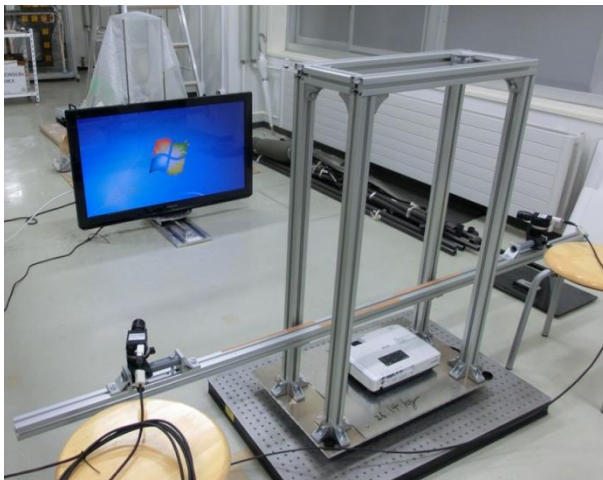


図 3 実験装置

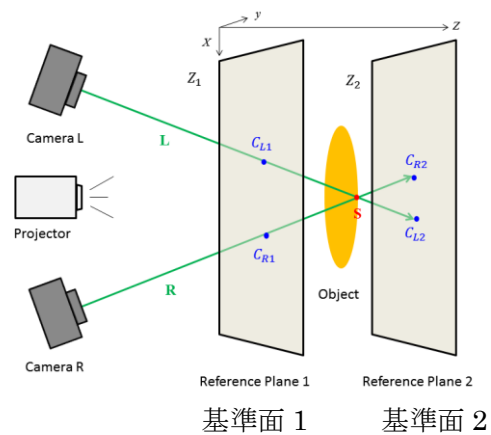


図 4 2カメラ計測法原理図

## 2.2 相対変位計測原理

計測に用いる実験装置に三次元形状計測から変更があるのは、図 5 に示すように計測対象物を基準面として使用していることである。つまり、計測される平均距離が計測対象物の相対変位量として表れることになる。つまり、計測対象物を予め地上で基準面として計測し座標系を形成しておけば、宇宙空間で相対変位を計測できることになる。

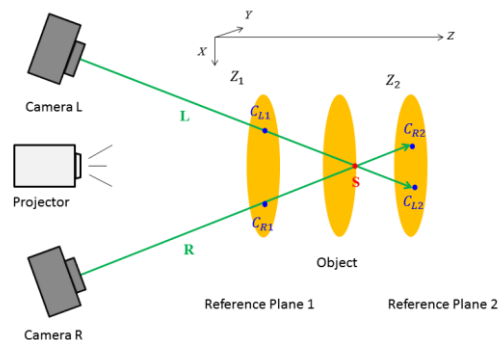


図 5 相対変位計測概念図

## 3. 相対変位計測実験

### 3.1 実験条件

計測対象物は曲面や区分的傾斜面である場合が多いため、傾斜のある表面物体を想定し、実験では平面の基準面を利用して、傾けた状態で設置して相対変位計測を行ない、傾斜による計測精度への影響を探る。基準面として格子をプラズマディスプレイに出力する方法と、格子を平板へプロジェクタで投影する方法の 2 種類で相対変位計測精度を比較する。

実験系配置図を図 6 に示す。本実験では位相シフト法により各計測点の位相を算出している。計測条件を表 1 および表 2 に記載する。両者に格子間画素数の違いがあるが、格子間隔は、どちらも 11mm で同一である。

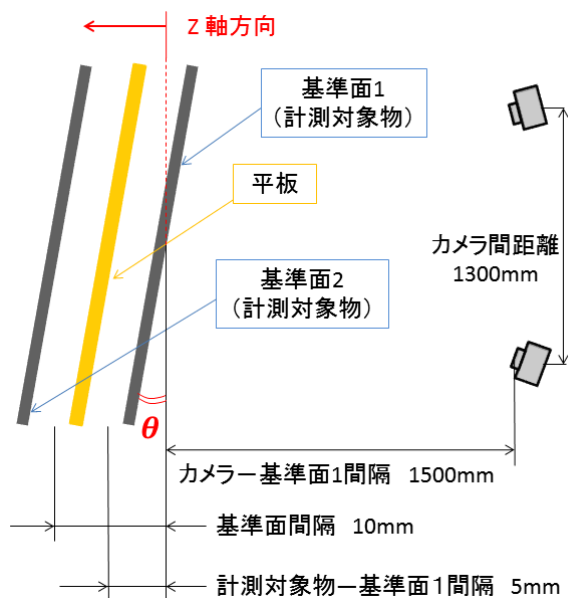


図 6 相対変位計測実験配置図

表 1 プラズマディスプレイ計測条件

計測条件	
カメラ間距離	約1300mm
地上基準のカメラ高さ	約500mm
カメラ-基準面1間距離	約1500mm
基準面間距離	10mm
基準面1からの計測対象物位置	5mm
格子間画素数	22pixel
格子間隔	11mm
位相シフト数	4回
LUT(Lookup table)	なし
最小二乗法	17pixel

表 2 平板計測条件

計測条件	
カメラ間距離	約1300mm
地上基準のカメラ高さ	約500mm
カメラ-基準面1間距離	約1500mm
基準面間距離	10mm
基準面1からの計測対象物位置	5mm
格子間画素数	16pixel
格子間隔	11mm
位相シフト数	4回
LUT(Lookup table)	なし
最小二乗法	17pixel

計測対象物の傾き角として、図 6 の  $\theta$  に  $-30^\circ$  ,  $-15^\circ$  ,  $-10^\circ$  ,  $-5^\circ$  ,  $0^\circ$  ,  $5^\circ$  ,  $10^\circ$  ,  $15^\circ$  ,  $30^\circ$  の 9 種類与えて計測を行う。

### 3.2 実験結果

同一条件で 3 回の計測を行なった相対変位の図 7, 図 8 の青枠で囲まれた範囲の各計測点における平行移動距離の実験 3 回分の平均 (図 9, 図 11) と、各計測点における相対変位の標準偏差の実験 3 回分の平均 (図 10, 図 12) を示す。基準面 1 から計測対象物までの距離の真値は 5mm である。平均距離のグラフでは、真値をオレンジの点線、計測結果を青の折れ線で表示している。青枠の大きさは図 7 が  $1570 \times 840\text{pixel}$ 、図 8 が  $740 \times 320\text{pixel}$  である。図 9, 図 11 のエラーバーは、平均距離の標準偏差を示している。図 10, 図 12 のエラーバーは各計測点における平行移動距離の標準偏差のさらに実験 3 回分の標準偏差である。平均距離が真値から一番遠ざかっている図 11 においても、エラーバーを含めた誤差は  $40 \mu\text{m}$  と小さなものとなっている。平行移動距離の標準偏差は、エラーバーを含めてもいずれも  $100 \mu\text{m}$  を下回る値を取っており、通常の三次元形状計測と変わらない精度を保っている。

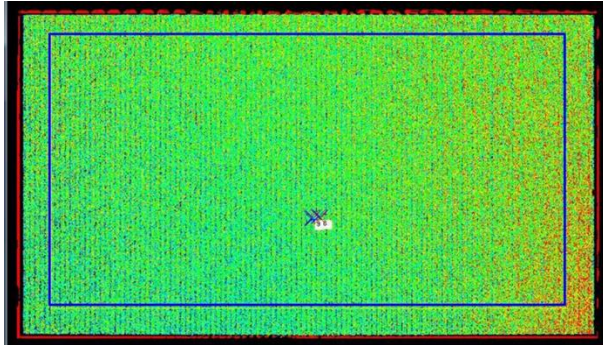


図 7 プラズマディスプレイ計測結果

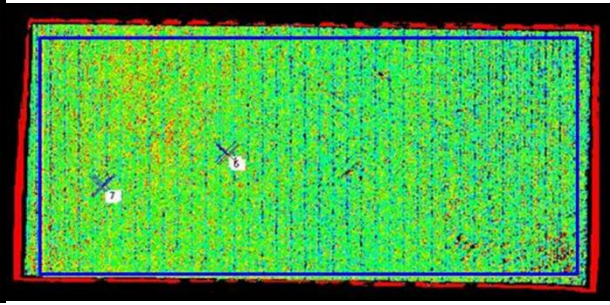


図 8 平板計測結果

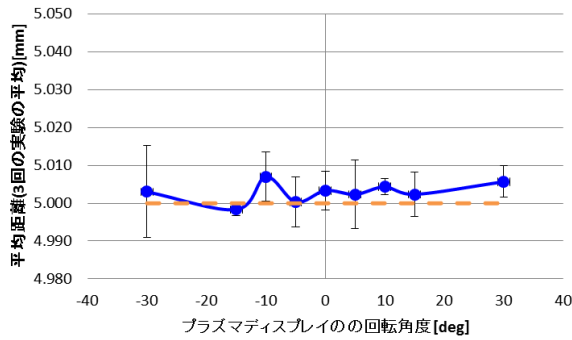


図 9 プラズマディスプレイ出力  
実験結果の平均距離

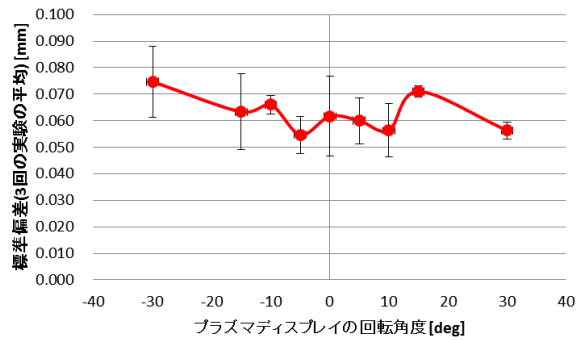


図 10 プラズマディスプレイ出力  
実験結果の標準偏差

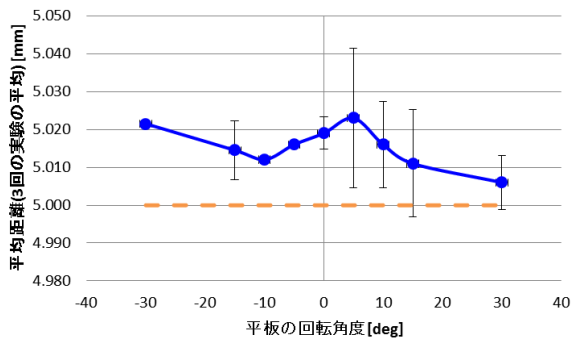


図 11 プロジェクタ投影  
実験結果の平均距離

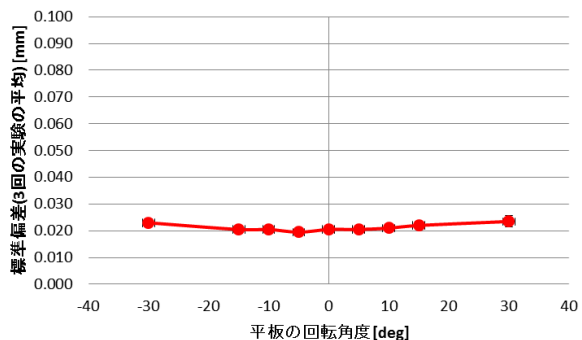


図 12 プロジェクタ投影  
実験結果の標準偏差

#### 4. まとめ

相対変位の平均距離では  $30^\circ$  から  $-30^\circ$  の範囲では大きな誤差は見られず最大の誤差でも  $40 \mu\text{m}$  であった。つまり、傾斜を持った区分的平面に対して、相対変位計測は安定した計測結果を示した。今後は曲面の計測対象物を用いた相対変位計測を行なう予定である。