

高精度デジタル太陽センサおよび試験用擬似太陽光源の開発

岸 眞人・廣川 英治・二宮 敬度
林 友直・河東田 隆

Development of Digital Sun-Aspect Sensor with High
Resolution and Solar Simulator for its Testing

By

Masato KISHI, Eiji HIROKAWA, Keiken NINOMIYA,
Tomonao HAYASHI and Takashi KATODA

Abstract: A digital sun-aspect sensor with a resolution angle of 0.5° has been developed by changing the length between a slit and a photodetector of the sun-aspect sensor of a low resolution and improving the optical system including the slit, the array of photodetectors and the electronic circuits.

A solar simulator which can emit light with a small extension angle such as 0.5° also could be fabricated.

The resolution angle of the new sun-aspect sensor was measured using sun light and the light from the solar simulator.

概 要

衛星の姿勢を精密に測定するために必要な、高精度デジタル太陽センサとその性能試験に使用する高平行度を有する擬似太陽光源の開発を行った。高精度太陽センサの構成は、従来使用していた分解能 1° を有するものと、基本的に同じであるが、スリットと受光素子との間の距離を変更するとともに、スリットを含む光学系、受光素子、電気信号処理回路などの改良を行った。今回作製した高精度デジタル太陽センサの分解能は 0.5° である。また、高平行度型擬似太陽光源は、Xeランプを用いた通常の擬似太陽光源に、新たに作製したレンズ系を組合せることにより実現した。平行度は約 0.5° である。

1. 序

デジタル太陽センサは姿勢計測器の一部として、東大宇航研の大部分の衛星及び観測ロケットに搭載されている。現在主に使用されている太陽センサはプリズムを使用し、分解能 1° 、視野角 $\pm 60^\circ$ のものであるが、最近、衛星等を利用して科学観測を行う上でより精度

の高い姿勢決定が要求されており、これに伴って姿勢センサの一部である太陽センサの高精度が必要となってきた。一方、太陽センサの高精度化とともに、その性能を試験するための擬似太陽光源も照度やスペクトル特性以外に、平行度まで太陽光に近いものが必要となってきた。

今回、分解能 0.5° の高精度センサの開発のための問題点をほぼ解決し、同時に試験用の擬似太陽光源を製作したので報告する。

2. 構造

2.1 光学系

図1に光学系の構造を示す。太陽光はスリットを通り、グレイコードパターンの窓をもつフォトダイオード列に入射し、ここで光電変換された太陽角はデジタルに測定される。この動作原理は従来使用されてきたプリズムを使用した太陽センサ（分解能 1° ）と同様であり、詳しくは文献[1]を参照されたい。

従来使用されてきたものとの相違点は、(1)分解能を 0.5° とするために、スリットと受光素子の間隔誤差が最小になるように 15.3 mm となっていること、(2)スリット付きプリズムの代わりに真空蒸着法によって作成した精密なスリットを使用していることである。図2にスリットの断面を、図3にスリットの長さを受光素子面の関係をそれぞれ示す。スリット長さは正対ビットと称する受光素子の両端のラインの中心間の距離と等しくなるように選んである。この理由はスリットの長さにより正対ビットの出力信号の立ち上がりが左右され、立ち上がりが緩やかであればアジマス方向の誤差も大きくなり、センサが太陽に正対した瞬間を正確に知ることができなくなる。したがって、スリット長を適当に選ぶことにすれば、サ

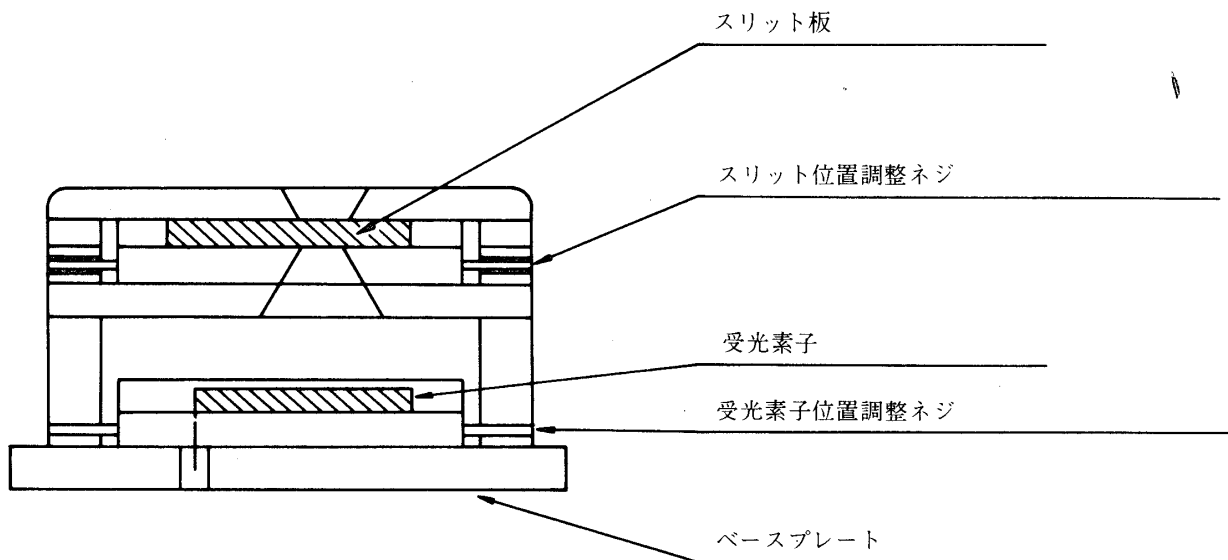


図1 光学系の構造

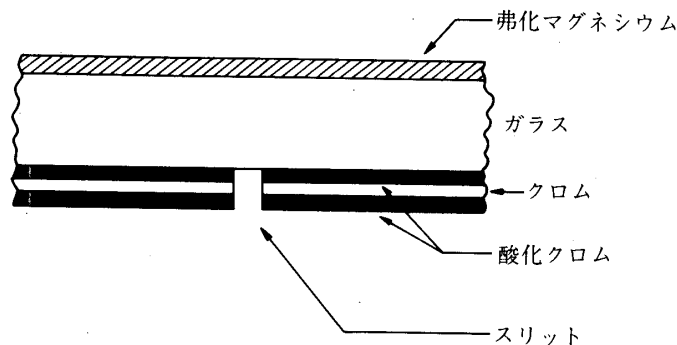


図2 スリットの断面

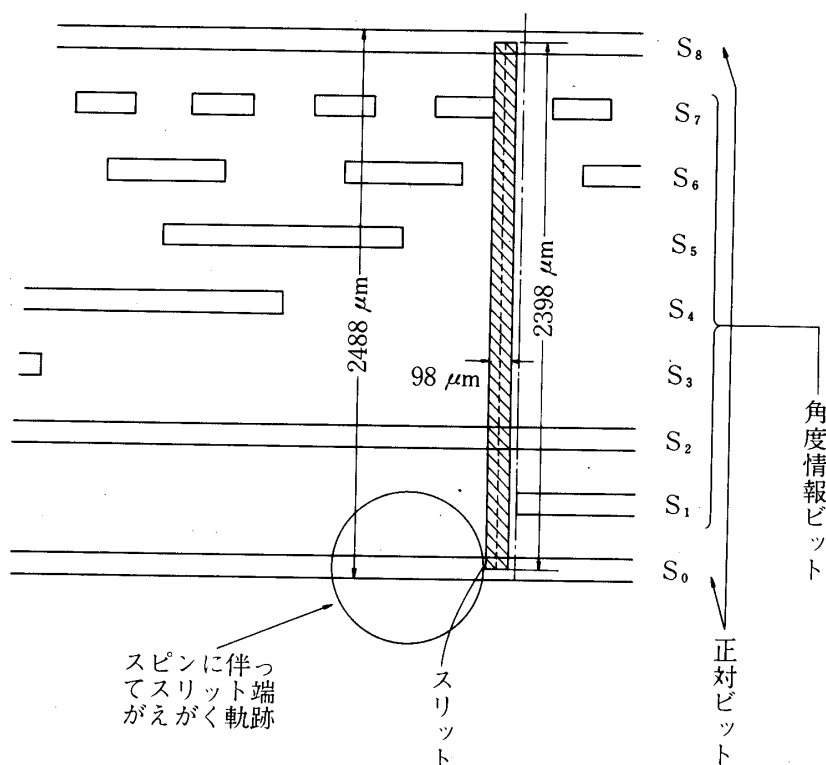


図3 スリットと受光素子面の関係

ンパルス発生回路に必要な立ち上がり、立ち下がり特性の良い出力信号が得られることになる。

これらの光学系は各構成部品がそれぞれ精度よく製作されているばかりでなく、センサとして組立てる場合に各部品間のアライメントに関しても十分な対策が施されている。

2.2 受光素子

受光素子はシリコンフォトダイオードアレイであって集積回路技術を用いて製作されている。高精度化に伴う改良点は図4に示すようにチャンネルストップ領域の上にシャ光膜を設けたことである。これによって、ビットライン間の光起電力を完全におさえることができ、ダイオード間の分離が著しく改善された。

2.3 サンパルス発生について

図5にサンパルス発生回路の構成を示す。サンパルスは太陽センサが太陽に正対したこと

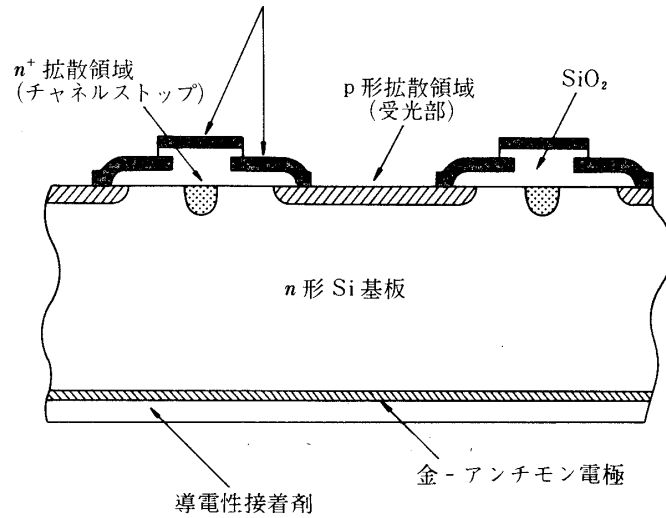


図4 受光素子の構造

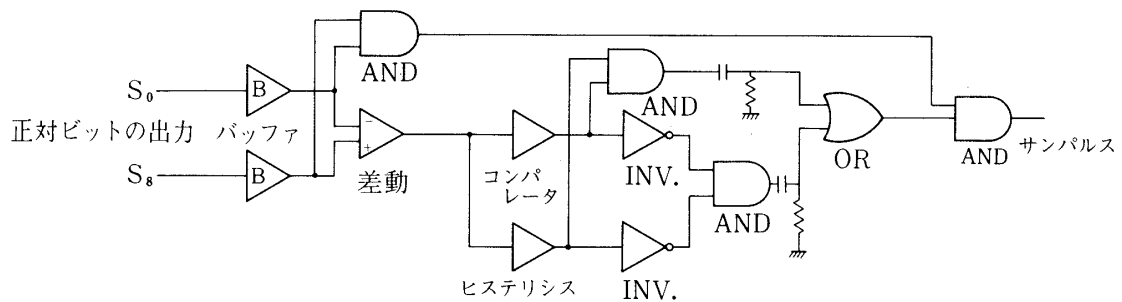


図5 サンパルス発生回路の構成

を示す信号でありこれによって太陽角を読み込むタイミングとしている。

太陽光入射角が小さくなると図3のように、スリット光は受光素子面上を回転することになる。この時、正対ビット S_0 , S_8 の出力信号の立ち上がり、立ち下がりの傾斜は小さくなるため、温度ドリフトや光量変化などで閾値が変動すると S_0 , S_8 の AND をとるタイミングが大ききずれ、サンパルスを出力するタイミングがずれるとともに測定した太陽角に大きな誤差を与えることになる。

そこで、このサンパルスを正確に発生させるため、 S_0 と S_8 の出力を合成し、固定点 (S_0 と S_8 の出力信号の差がゼロになる点) を作り、これに閾値を合わせて比較することにより、サンパルスを正確に出せるようにした。この固定点は光量の変化や温度による出力電流が変動しても、正対ビットのバランスがとれている限り変動しないので、この点でサンパルスを検出すれば正確に太陽に正対しデータが得られる。

2.4 太陽角測定について

サンパルスを検出する時には正対ビットの出力信号はちょうど最大値の 1/2 になっている。つまり、この時スリット光は S_0 , S_8 の両方にまたがり、ちょうど素子幅の半分づつに光が当たっていることになる。一方、角度情報ビット $S_1 \sim S_7$ に S_0 または S_8 に入射している量と

等量の光が入っている場合には、 $S_1 \sim S_7$ が ON または OFF になる点(閾値)であり、このレベルを固定しておくとお出力電流が変化した場合に ON / OFF のばらつきが生じる。

これらの欠点を無くするため、 S_0 または S_8 の出力を $S_1 \sim S_7$ の出力と比較することにより ON / OFF を決定する。つまり、

$$V_{1-7} - V_{0,8} < 0 \quad \dots \text{OFF}$$

$$V_{1-7} - V_{0,8} > 0 \quad \dots \text{ON}$$

$V_{0,8}$; サンプル ON 時の S_0 または S_8 の出力電圧

V_{1-7} ; 各ビットの素子にスリット幅の半分だけ光が当たった時の S_{1-7} の出力電圧

このような信号処理を行うことにより、出力電流が変動しても V_0 と V_{1-7} の互いの出力を比較することにより、太陽角の誤差をとり除くことができる。

3. 試験用擬似太陽光源

上記の高精度の太陽センサの性能を試験するためには、光強度、スペクトル及び平行度までが太陽光に近い擬似太陽光源が必要である。しかし、実際の太陽光と同じ約 0.5° の広がりを持ち、かつ 140 mW/cm^2 の強度を持つ擬似太陽光源は巨大なものとなり製作も困難となる。そこで、試験用に平行度が 5° 程度の通常の使用状態では放射強度 140 mW/cm^2 以上が得られ、アダプタ(平行度を良くするための一種の望遠レンズ)を取りつけることによって、約 0.5° の平行度を得ることができる新しい高平行度型擬似太陽光源を製作した。図6にその概略を示す。高平行度を得るためのアダプタを取りつけると光強度は下がるので、放射強度を必要とする試験と平行度を必要とする試験とは別々に行った。

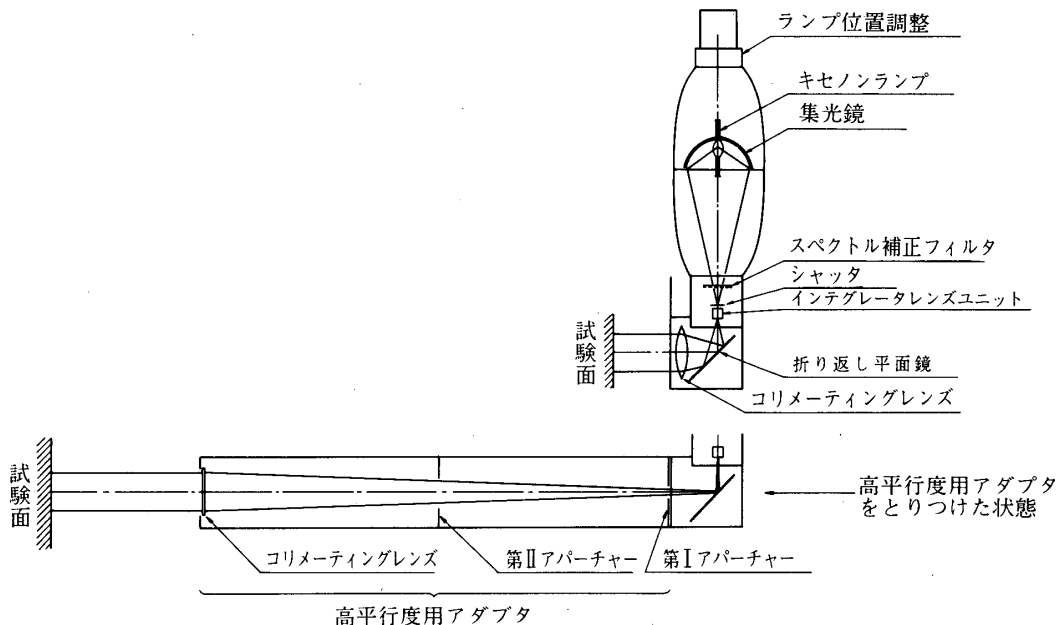


図6 高平行度型擬似太陽光源の構造

4. 試験結果

光学系、受光素子及び電気回路部からなるセンサ系を構成し、光源には実際の太陽とキセノン擬似太陽光源を使用し、太陽センサとしての機能試験を行った。

(1) サンプル発生試験

スリット光は衛星のスピンのため、図7に示すように受光素子面上を移動する。その際、センサが太陽に正対した瞬間に正確にサンプルが出力されているかどうかを確認するための測定を行った。

その方法として、スピントラブル上にセンサを置き、トランシットで太陽がヘアー線中央にきた時の角度と実際にサンプルが出力された時の角度との誤差角 ΔA_z を測定した。ここで、 ΔA_z は光学系ならびに電気系のそれぞれの誤差を含んでいる。複数回の測定結果、 ΔA_z の平均値は 0.022° 程度であり、太陽角の測定に誤差を与えるような値ではないことが判明した。

(2) 太陽角出力試験

上記試験と平行して、太陽光入射角度及びスピン速度を変化させて測定を行った。その結

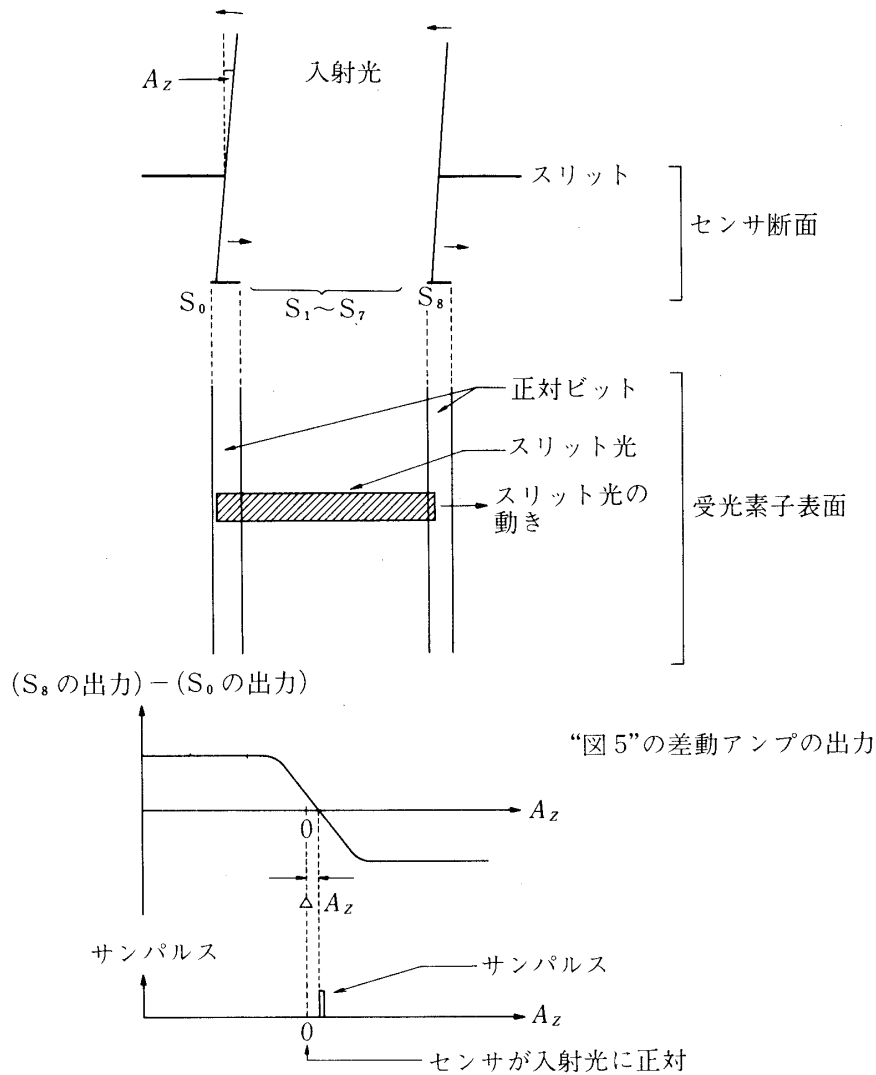


図7 受光素子上のスリット光とサンプルの関係

果、いずれの場合にも正確にサンパルスが出力されているとともに、太陽角測定に関してもビットエラーを起こすことなく動作していることが確認できた。

5. ま と め

以上述べたように、従来使用されてきた太陽センサに原理的な変更を加えることなく、(1)スリット部の精密化を含む光学系の改良、(2)受光素子の高信頼化、及び(3)電気信号処理回路の変更等により、分解能 0.5° の高精度の太陽センサが実現できた。

この高精度型太陽センサは東大宇航研の第4号試験衛星(MS-T4)に搭載され、宇宙空間での試験が行われる予定である。

6. 参 考 文 献

- [1] 河東田, 三浦, 岸, 星野, 二宮 ; 電子通信学会論文誌 J62-C No. 6, 1979. 405.
- [2] 二宮, 河東田, 小山 他 ; 電気学会 電子装置研究会資料 EDD-75-43, 1975.

1979年12月3日 新設部(工学)