

姿勢制御用太陽センサーの指向精度について

西 恵三*・東 康一*・山口 朝三*
東 口 実

Pointing Accuracy of a Solar Sensor System of
the Attitude Control for the K-10-11 Rocket

By

Keizo NISHI, Kōichi HIGASHI, , Asami YAMAGUCHI
and Minoru HIGASHIGUCHI

Abstract: A solar sensor system was used for the attitude control of the nose cone of the K-10-11 rocket, and the pointing center of the nose cone during the flight deviated about 15' from the final set before the flight. The cause of the deviation can be explained by the change of sensitivities of four segments of the fine eye system from the flight data.

概 要

観測ロケットK-10-11号機の頭胴部姿勢制御に太陽センサーが使用された。飛翔実験の結果飛翔時に於ける頭胴部の指向方向が飛翔前の調整時の期待方向と約15'の偏位を生じた。その原因に関して、飛翔中の太陽センサーの出力信号及び太陽スペクトル観測用分光測光器のアスペクトメーター信号と比較検討することにより、太陽センサーに使用した4つの太陽電池が飛翔前と飛翔中に感度の差を生じたとすれば、説明可能であることについて報告する。

1. はじめに

K-10-11号機の頭胴部姿勢制御装置は全般的に順調に作動したが、東京天文台が太陽真空紫外領域の観測に使用した分光測光器に設置した太陽面上観測位置測定器（アスペクトメーター）と制御用太陽センサー（SAS）とは光学的に角度の1'～2'以内の精度で光軸調整（内の浦）したにも拘らず飛翔データを解析した結果、互に十数分の偏りがあることが判った。この問題について開かれた検討会で、SASに使用された太陽電池の感度変化にその原因の可能性のあることが定性的に結論されたので、この立場から定量的に検討を行ったのでその結果について報告する。

* 東京天文台

2. 検 討

使用された太陽電池そのものは入手できないから飛翔データを唯一の手がかりとして検討を行った。用いた資料は、(1)飛翔データから

- a) SAS : 太陽電池の各素子の出力
 - b) SASE : ピッチ, ヨーの平衡点からの変位量
 - c) SUV : 太陽像中心の軌跡の一部
- (2) 地上実験で判明している資料

- a) CNファインセンサーの構造(寸法)
- b) SASEのゲイン調整率
- c) SUVアスペクトメーターとCNファインセンサーの光軸調整データ
- d) 空気量0に於ける太陽電池の推定出力(絶対校正值)とピッチ, ヨー変化量との関係(実測表)等を用いた。

(1) 飛翔データのうち

(a)及び(b)について、

CNファインセンサーの各素子のモニター出力(4個)は0.4秒間隔で時間分割して送信するので、CNの作動が停止しており、SUVアスペクトメーターの資料をみて頭胴部が太陽方向に関して静止に近い時刻の資料を日本電気吉本氏より載いて使用した。即ち

$$\begin{array}{l}
 \text{No 1} \quad X + 384.2 \text{ 秒 (動き } 1' \text{ 以内)} \\
 \left. \begin{array}{l} A'_1 : 28.116^{mV} \\ B'_1 : 31.088^{mV} \\ C'_1 : 30.048^{mV} \\ D'_1 : 26.494^{mV} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta P_1 = 1' 2 \\ \Delta Y_1 = 0' 0 \end{array} \\
 \text{No 2} \quad X + 240.5 \text{ 秒 (動き } 1' \sim 2') \\
 \left. \begin{array}{l} A'_2 : 33.155^{mV} \\ B'_2 : 31.624^{mV} \\ C'_2 : 25.352^{mV} \\ D'_2 : 19.106^{mV} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta P_2 = 20' \\ \Delta Y_2 = 9' 0 \end{array}
 \end{array}$$

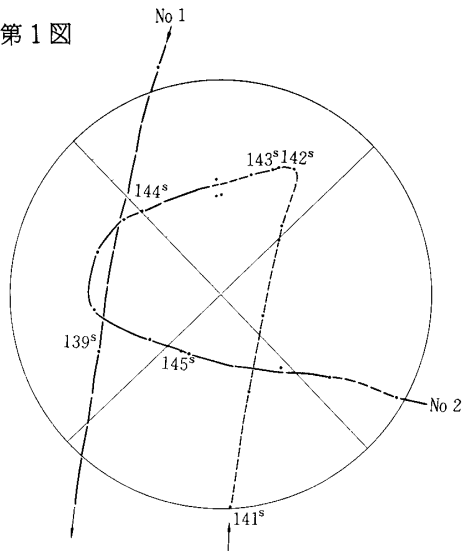
但し A' , B' , C' , D' は各素子(セグメント)の等価出力で、プリアンプのゲイン調整率を加味したものである。 ΔP , ΔY はそれぞれ、ピッチ, ヨー偏差出力から校正表(地上実験より推定)を使って読んだ値である。

(c) SUVの分光測光器に設置されたアスペクトメーターより得た太陽像中心の軌跡。

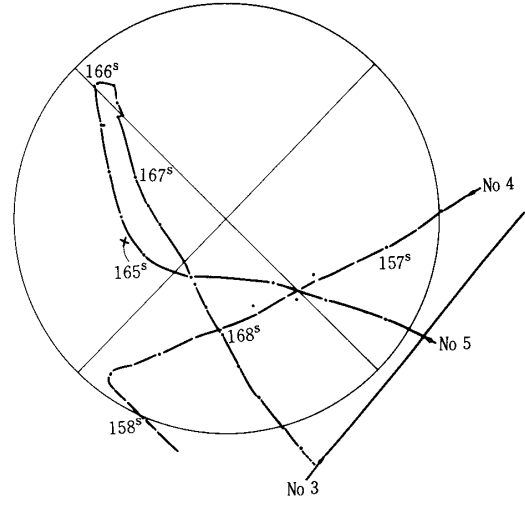
アスペクトメーターは、太陽分光測光器の主鏡によって生ずる太陽像と、分光器の入射ピンホールとの位置関係を簡単な光学系によって検証するために工夫されたものである。詳細な点は分光測光器に関する報告にゆずるが、要点は太陽像とピンホールとの位置関係をそのまま調査できるように考案されている。それによると太陽像の中心とピンホールとの関係位置を1秒間に約6回で測定でき、実験の飛翔データから太陽像はアスペクトメーター上を25回走査したので、その軌跡を第1図から第9図にわたって示した。軌跡の中に示された数字は発射からの時刻である。第1図から第9図までに示した軌跡を全部一括したものが第10図であり、之を見るとCN制御装置は完全に作動していたことが判明する。ただその軌跡の

註) SAS : Solar Aspect Sensor : 太陽センサ
 SASE : 太陽センサ信号処理回路
 CN : 姿勢制御(装置)

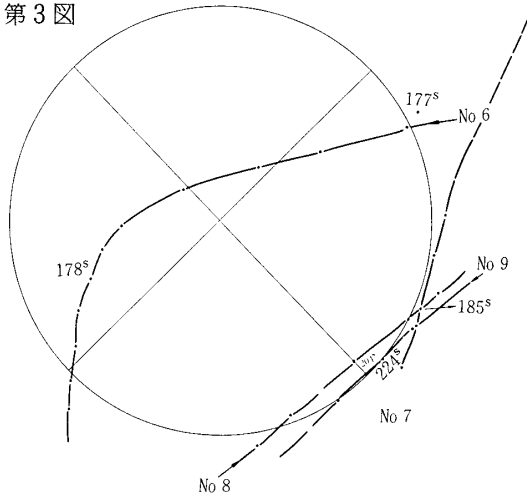
第1図



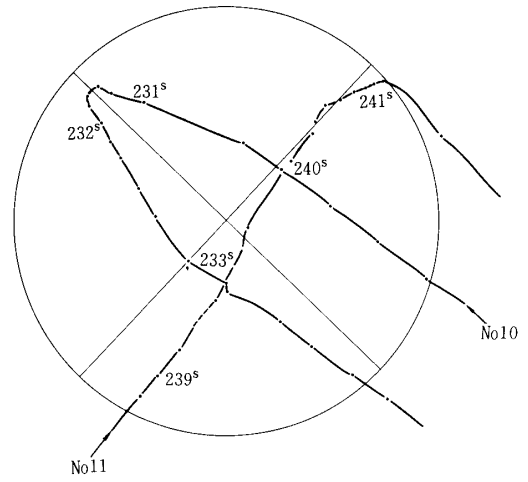
第2図



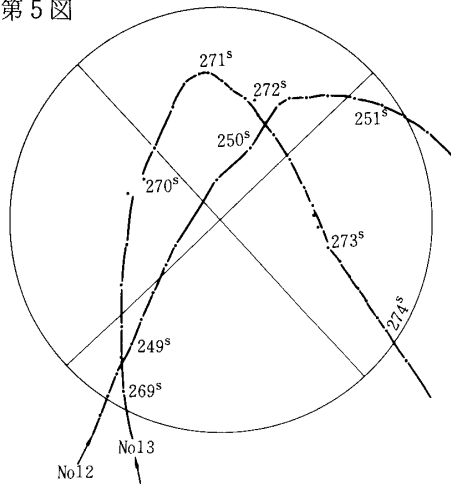
第3図



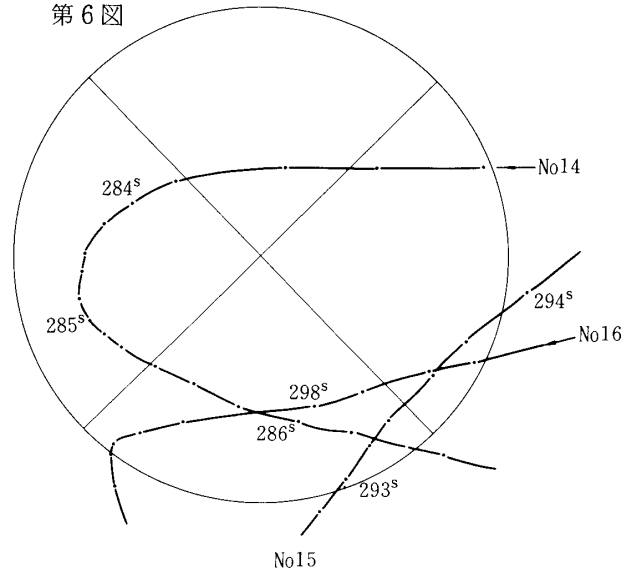
第4図



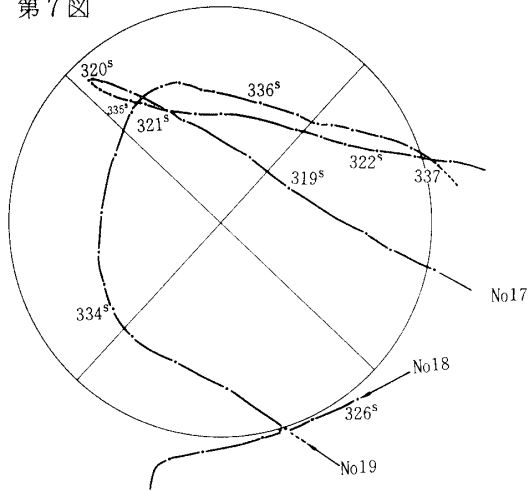
第5図



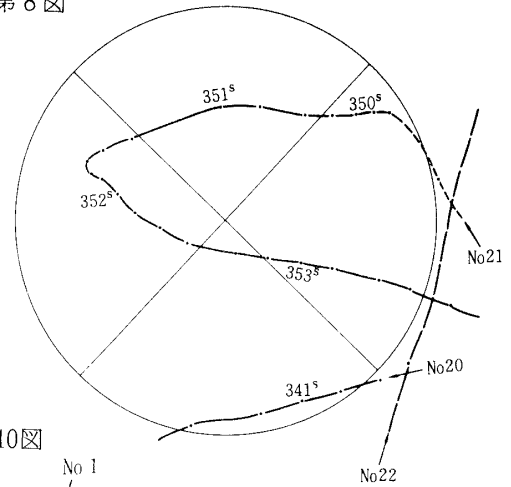
第6図



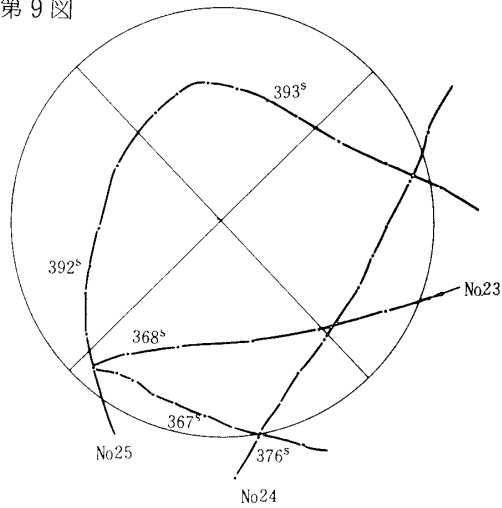
第7図



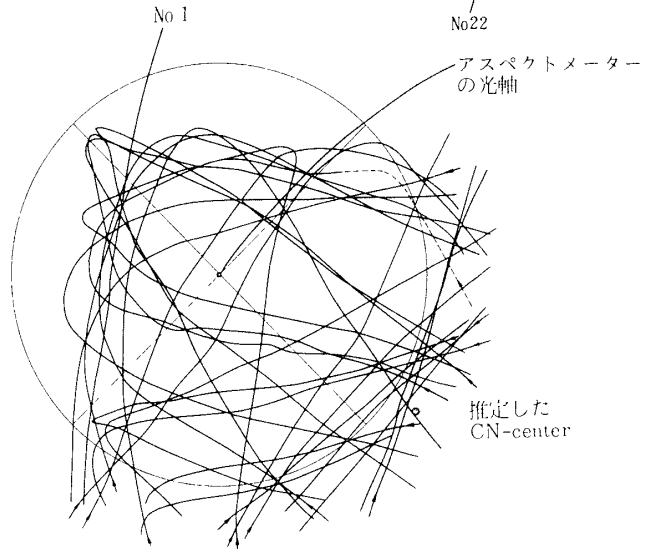
第8図



第9図



第10図



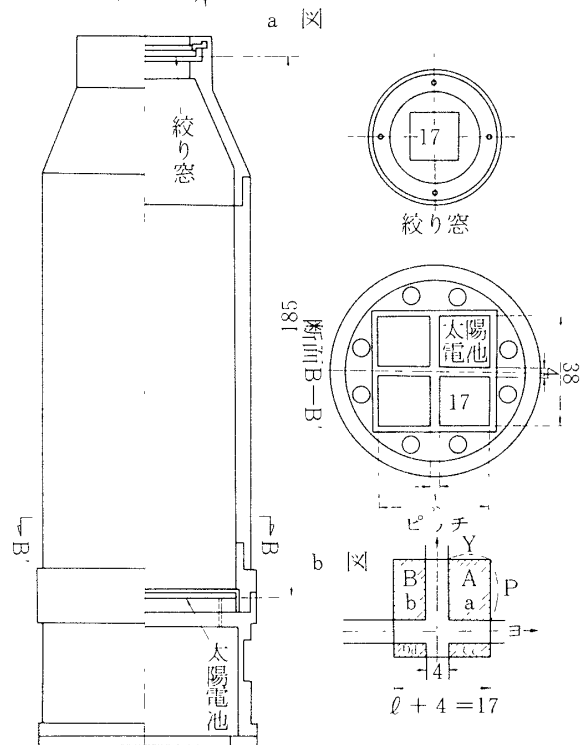
中心はアスペクトメーターの光軸とほぼ15'偏っていることも明らかになった。

(2) 地上実験によって得られている資料

a) CNファインセンサーの構造

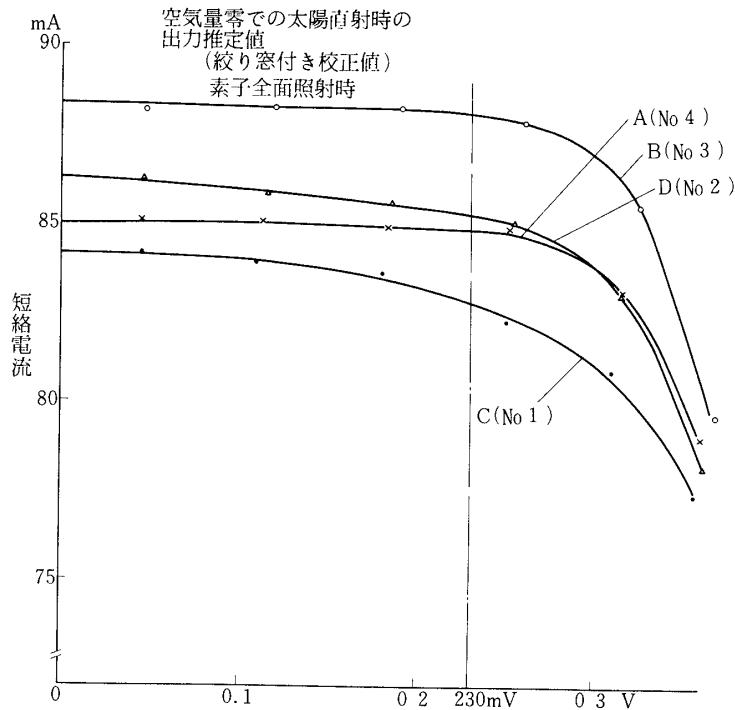
CNファインセンサーは約20cmの金属筒の上部に透明平行平面ガラスに金属蒸着による正方形(17mm×17mm)の絞りまどを配置し、下部に4枚の太陽電池を配列したものでその寸法は第11図に示されている。

之等の太陽電池は感度出力が等しいものを選んだもので、お互のバラツキは地上テストでは、短絡電流が±2%以内に納まっていた。この外に、太陽電池の取付位置の誤差、負荷抵抗誤差、



第11図

第12図



ポットティングによる温度上昇の不均一からくる誤差があるので、最終的な感度の均一化はSASEのプリアンプ・ゲインの調整で行なった。

図12に太陽電池の各素子の太陽圏外での推定出力図を示す。

(b) SASEゲイン調整率

SASEのアンプゲイン設定値については別に述べられるが、ここで必要な定数を挙げると、

	(ゲイン)	(調整率 (K ₁))
(A)	33.43	96.95 %
(B)	36.97	107.2
(C)	32.38	93.90
(D)	35.15	101.9

太陽電池出力を負荷抵抗で1%以内に押えたにも拘らずプリアンプで更にゲイン調整を要したのは、CNファイナセンサーの光軸に対して、太陽電池の取付位置が数分くるっていたために生じたもので、例えば3分の光軸のずれは約5%の出力調整に相当する。

そこで、SASの出力という時は、SASEのゲイン調整率を補正した値を使用している。

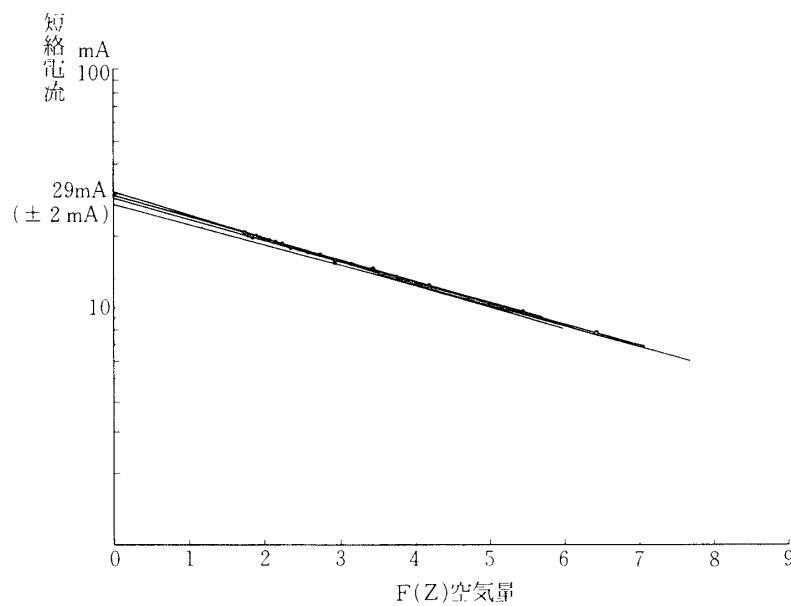
(c) SUVアスペクトメーターとCNファイナセンサーの光軸調整データ

CNセンサーとSUVとの光軸合せは環境試験時と内之浦で行われたが、この方法は、SAS(コース, ファイン)の基準面とSUV分光器本体(2箇所)に取付けた平面鏡の光軸が

一致するように、一枚の25cm平面鏡と焦点距離3mの凹面鏡で構成したオートコリメータを使用し像点を眺めながら組立てた。環境試験（衝撃、振動及びスピントレスト）では試験前後の光軸ずれは1.5'以内で、内の浦での組立時は2'以内に入っていた。

(d) 空気量0に於ける太陽電池の推定出力（絶対校正値）とピッチ、ヨー変位置との関係
 ロケットが大気圏外に出た場合の太陽電池の出力を地上に於て推定するには、普通天文観測によってよく用いられている方法を用いた。即ち太陽が時刻によって天頂巨離を変えるにつれて、それによる太陽電池の出力を測定して大気圏外への値へ外挿する。勿論雲や大気の具合で、空が極めて透明で1日中晴天であることが望ましいが、完全な資料となったのは1年を通じて僅か数日にすぎない。その1例を第13図に示す。

ピッチ、ヨーのSAS偏差出力 $\Delta Y'$ とそれぞれの変位置 ΔY の角度換算値の関係は14図と15図に示す。この表示は素子感度(a, b, c, d)が等しければSASE出力との間に、 $G \Delta Y' = G(a + b + c + d) \cdot \frac{l}{2} \cdot \Delta Y$ (Gはプリアンプの平均増巾率34.48)の関係が成立つことから、地上実験で採用された。飛翔中は $a + b + c + d$ が地上推定値より22%減であったので表を読む場合は補正して使用する。

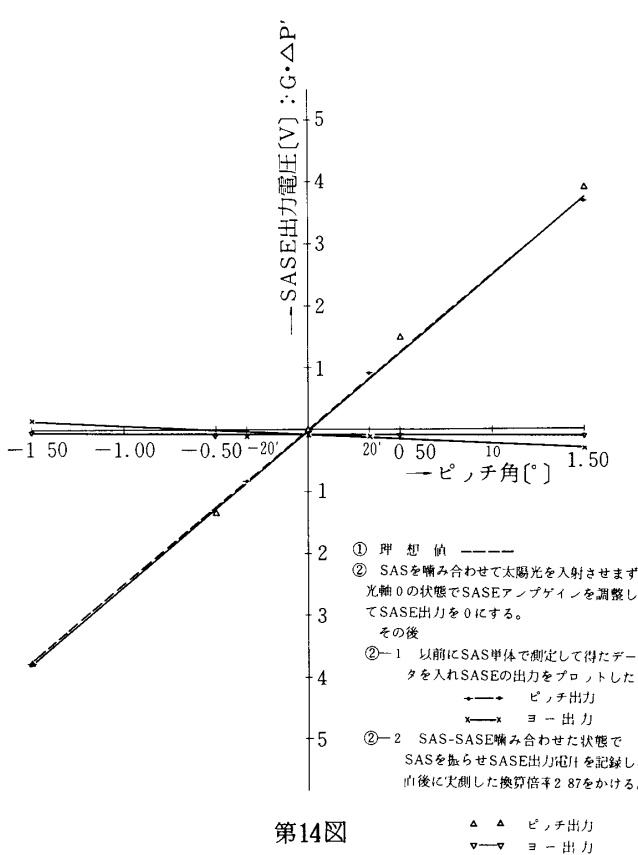


第13図 比較用標準太陽電池の校正

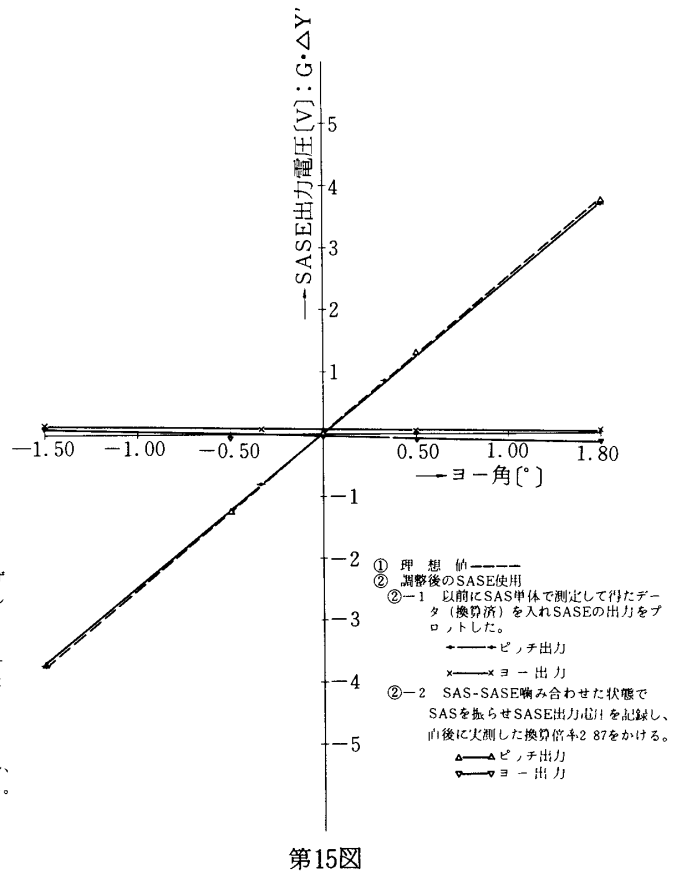
(3) データの解析

フライトデータの処理に当って一応次の設定を置く。

1: CNアインセンサーの窓（バッフル）の影は太陽電池に対して平行移動のみであって、影の形は正方形である。



第14図



第15図

2 : 測定値は数%以内で正しいと考える。

3 : CNが作動開始以後は、各素子の感度変化はそれぞれの定常値に落ちつく。

i) 太陽電池の各素子、感度が一樣であるとすれば、出力は素子の照射面積のみに比例する筈である。この場合日電吉本氏の指摘の如く、面積の間に

$$A \cdot D = B \cdot C \quad (A, B, C, D \text{ は各素子の照射面積})$$

の関係が成立する。然し測定値は次の如く満足しない

$$\begin{array}{ll} \text{No 1} & A'_1 D'_1 = 744.91 \quad \text{No 2} \quad A'_2 D'_2 = 633.46 \\ & B'_1 C'_1 = 934.13 \quad B'_2 C'_2 = 801.73 \end{array} \quad \left(\frac{K_1(A) K_1(D)}{K_1(B) K_1(C)} = 0.98 \div 1 \right)$$

∴ この影響は無視できる

この事実から太陽電池の感度変化が想像される。

ii) CNアインセンサーが平衡して、ピッチ、ヨー、偏差 ΔP , ΔY が零になるときは、この制御方式の場合次の関係が成立する。

$$\begin{aligned} a \cdot A &= d \cdot D & (a, b, c, d \text{ は各セグメントの感度}) \\ b \cdot B &= c \cdot C \end{aligned}$$

これは感度の値如何によって平衡位置が光軸とずれ得ることを示している。平衡点近くのデータNo 1を見ると、若し感度が一樣であるとすれば、照射面積をゆがめなくてはならなくなる。ここで $\Delta P, \Delta Y = 0$ の位置が光軸も合っている場所だとすれば、 $A = D, B = C$ となって感度が直ちに求まるが、此の感度を使用してNo 2のデータと比較すると、面積で±10%

以上の過不足がでる。このことから考えても、感度と共に平衡位置もずれていると思われる。

iii) 以上のことから、我々は感度と照射面積を未知の値とし、且つ上記の仮定のもとに、No 1, No 2 のフライトデータを満足する数値を求める。ただしこの方法は確度の低い方法であるので、結果について誤差の波及を検討する必要がある。

先づ我々の依りどころとする値は、同じ素子に付いては、その出力は照射面積に比例すると考えられるので、同じ素子についての二つの測定値の比はその照射面積の比を与えるものとする。図11-bを参照して

$$\alpha = \frac{A'_2}{A'_1} = \frac{(Y + \Delta Y_2)(P + \Delta P_2)}{(Y + \Delta Y_1)(P + \Delta P_1)} = 1.1793$$

$$\beta = \frac{B'_2}{B'_1} = \frac{(l - (Y + \Delta Y_2))(P + \Delta P_2)}{(l - (Y + \Delta Y_1))(P + \Delta P_1)} = 1.0172$$

$$\gamma = \frac{C'_2}{C'_1} = \frac{(l - (P + \Delta P_2))(Y + \Delta Y_2)}{(l - (P + \Delta P_1))(Y + \Delta Y_1)} = 0.8438$$

$$\delta = \frac{D'_2}{D'_1} = \frac{(l - (P + \Delta P_2))(l - (Y + \Delta Y_2))}{(l - (P + \Delta P_1))(l - (Y + \Delta Y_1))} = 0.7212$$

上式より P 成分と Y 成分を分離すると

$$Ky = \sqrt{\frac{\alpha \gamma}{\delta \beta}} = \frac{(Y + \Delta Y_2)(l - (Y + \Delta Y_1))}{(Y + \Delta Y_1)(l - (Y + \Delta Y_2))} = 1.1646$$

$$Kp = \sqrt{\frac{\alpha \beta}{\delta \gamma}} = \frac{(P + \Delta P_2)(l - (P + \Delta P_1))}{(P + \Delta P_1)(l - (P + \Delta P_2))} = 1.4041$$

となり、この式に ΔP , ΔY のそれぞれの値を代入し解く訳であるが、 ΔP , ΔY は SASE のフライトデータを地上で校正した測定値から読み換えたもので、この値は SUV のアスペクトメータから読んだ変位量とも合っているので、今の場合には正しいとして話を進めるが、素子感度 a , b , c , d が異なる場合は、例えば Y 成分については、

$$(a + b - (c + d)) \left[\Delta Y \left(\frac{l}{2} + P \right) + \Delta P (Y + \Delta Y) \right] + (a + b + c + d) \times \frac{l}{2} \Delta Y = \Delta Y' \quad (\Delta Y' \text{ は } \gamma \text{ ー 偏差出力の SAS 等価出力不平衡分})$$

となつて、 $(a + b - (c + d))$ の項が大きい場合が生じ、地上実験での Y に対する偏差出力 $\Delta Y'$ の太気圏外への換算表を使用するのは原理的に間違いであることに留意しなければならない。従つて場合によっては上式も併用して近似度を進める必要がある。No 1, No 2

のデータから

$$\begin{aligned} \Delta Y_1 &= 0.0 \quad (\text{mm}) & \Delta Y_2 &= 0.4843 \quad (\text{mm}) \\ \Delta P_1 &= 0.0646 \quad (\text{mm}) & \Delta P_2 &= 1.0763 \quad (\text{mm}) \\ (\Delta P_1 &= \tan 1.2' \times 185 \text{ より}) & l &= 17 - 4 = 13 \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

を使用すると,

$$\begin{aligned} Y &= 7.2134 & \text{中心のずれは} & Y_0 = Y - \frac{l}{2} = 0.7134 \\ P &= 7.2692 & & P_0 = P - \frac{l}{2} = 0.7692 \end{aligned}$$

結局, ピッチ, ヨー出力零, 即ち電氣的平衡点と光軸とのずれは

$$\begin{aligned} Y \text{成分} &+ 13.26' \\ P \text{成分} &+ 14.29' \end{aligned}$$

となり, SUVのアスペクトメータで得られた結果とほぼ一致する. この値を使用して感度を求めてみた.

No. 1 測定時

面	$A_1 = 52.902 \quad (\text{mm})^2$	出力感度	$a = \frac{A'}{A_1} = 0.5314 \text{ mv/mm}^2$	(平均値に対する比) (0.7572)
	$B_1 = 42.438$		$b = \frac{B'}{B_1} = 0.7326$	(1.0438)
積	$C_1 = 40.873$		$c = \frac{C'_1}{C_1} = 0.7352$	(1.0476)
	$D_1 = 32.788$		$d = \frac{D'_1}{D_1} = 0.8081$	(1.1514)

No. 2 測定時

面	$A_2 = 64.24 \quad (\text{mm})^2$	出力感度	$a = \frac{A'_2}{A_2} = 0.5161 \text{ mv/mm}^2$	(0.7609)
	$B_2 = 44.25$		$b = \frac{B'_2}{B_2} = 0.7147$	(1.0537)
積	$C_2 = 35.83$		$c = \frac{C'_2}{C_2} = 0.7076$	(1.0432)
	$D_2 = 24.68$		$d = \frac{D'_2}{D_2} = 0.7742$	(1.1414)

出力感度 a, b, c, d の値は, この値にプリアンプの平均増巾率を掛けると $(\text{mm})^2$ 当りのプリアンプ出力を与えるものであって, No. 1, No. 2 の二つの位置と時刻との間で各セグメントの感度比は1%程度の精度で一致している.

3. 結 論

先にのべた通り，我々はCN太陽センサーの各素子の感度の変化という観点から，得られた資料を基にして考えると，SUVアスペクトメーターの光軸とCNファイブセンサーの光軸とが約15' 偏ったことを定量的に説明できたと考えている。

しかし一方CN太陽センサーの感度変化は全然起らなかったと仮定して，何らかの理由で器械的に光軸の偏りが飛翔後発生したということを否定できる資料を持っていないことも事実なのである。

従って今後の対策としては，精密な光学観測を目的とする飛翔実験には器械的な偏位を生じない様な工夫を考えるべきであらうし，更に光学的な進尾方式を加味してその精度の向上に努めることが望ましいと考える。

1976年10月7日 計 測 部