

観測ロケット用姿勢安定制御装置について

東 口 実 ・ 辻 本 博 司* ・ 平 岡 誠*

Attitude Stabilization System of a Sounding Rocket

By

Minoru HIGASHIGUCHI, Hiroshi TSUJIMOTO
and Makoto HIRAOKA

Abstract: The attitude stabilization system applied to the 3-axis attitude control system of K-10-11 rocket is described. Receiving the pitch and yaw error voltage (2.5 V/degree) from a sun sensor electronics and the roll error voltage (0.5 V/degree) from a geomagnetic aspectmeter, 3-axis rocket attitude stabilization and control is performed by this system that has 3 rate gyros. Also, this has outputs which respectively control 6 H₂O₂ side jets in bang-bang fashion.

This system was designed as a commonly used element in a 3-axis attitude control system adapting to various attitude error detection device, with little effort. Viewing from flight test results this system had superior function and stability.

概 要

K-10-11号機の三軸姿勢制御に使用した姿勢安定制御装置について述べる。本装置は太陽センサー処理回路からピッチ、ヨー誤差電圧(2.5 V/度)を、また地磁気姿勢計からロール誤差電圧(0.5 V/度)を受けて、内部のレートジャイロ3個の出力と共に；ロケットの三軸姿勢安定と制御を行なう。また出力として、6個のH₂O₂ サイドジェットをバングバング方式でそれぞれ動作させることができる。

本装置は種類の姿勢誤差検出回路に対して、共通にまた手軽に適用できるように設計してある。飛しようの実験結果、本装置の安定度が非常によいことがわかった。

まえがき

姿勢安定制御装置(姿勢制御エレクトロニクス部)は太陽センサとGAセンサからロケット

*三菱プレジジョン株式会社

の姿勢誤差信号を受けて、ピッチ、ヨーおよびロール制御ジェットのエレクトロニクス部にON-OFF制御号を与え、三軸姿勢制御を行なう。ロケット機体軸にとりつけたピッチ、ヨー、ロールレートジャイロの出力を使用して制御系に適切なダンピングを与えロケットの姿勢安定化を行っている。

全体のブロックを図1に示す。

2. 構成

姿勢制御エレクトロニクス部は表1のユニットから構成される。

全体の組立図を図-2, 図-3に示す。

表1 姿勢安定制御装置構成ユニット

構 成 品	数 量	寸 法 (mm)	重 量 (kg)
電 気 部	1	402 ϕ \times 112	13.8
レートジャイロパッケージ	1	160 ϕ \times 50	1.1
電 池 箱	2	104 \times 235 \times 84	5.2 (2個分)
底 板	1	402 ϕ \times 20	2.2
付 属 ケ ー ブ ル	1 式		1.5

3. 性能

3.1 総合性能

姿勢制御エレクトロニクス部の性能は次のとおりである。

3.1.1 動作モード

(1) デスピンの開始

タイマーのリレー接点ONの信号を受けて、ロケット頭胴部のスピンを止めるためデスピン制御ジェットをONにする。

(2) 姿勢制御の開始

デスピン制御エンジンによるデスピン開始後ロケットのロール角速度が10°/sec以下になった時点を検出し、姿勢制御を開始する。

(3) 姿勢制御開始バックアップ

デスピン制御エンジンによってロール角速度が10°/sec以下にならない場合、あるいはデスピンの検出が正常に行なわれなかった場合には、12秒後にタイマーのリレー接点によって強制的に、三軸姿勢制御を開始する。

3.1.2 姿勢制御

(1) 入力信号

太陽センサ：-5V ~ +5VDC 電圧感度比 = 25 volt/degree

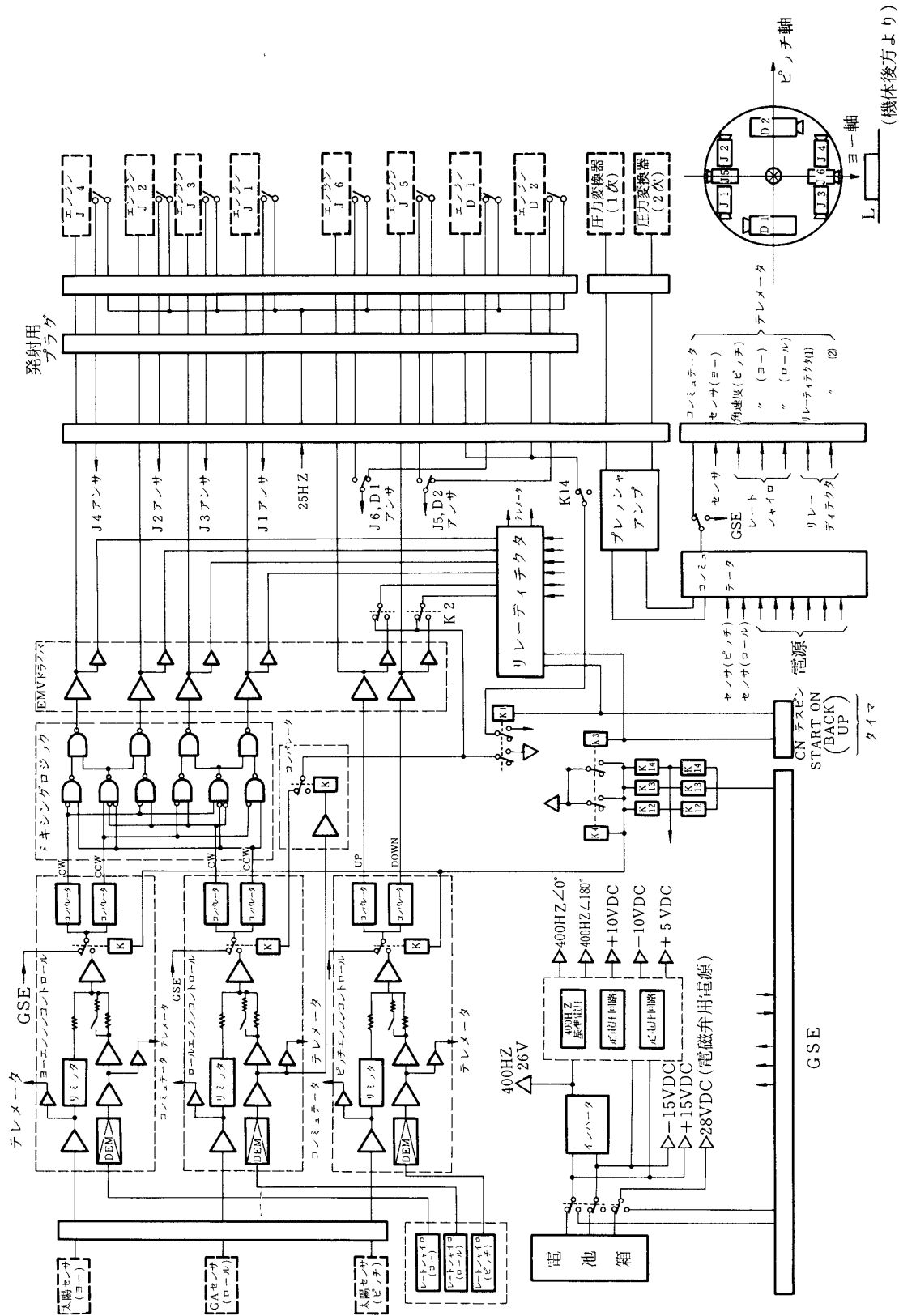


図1 姿勢制御エレクトロニクス部ブロック図 (機体後方より)

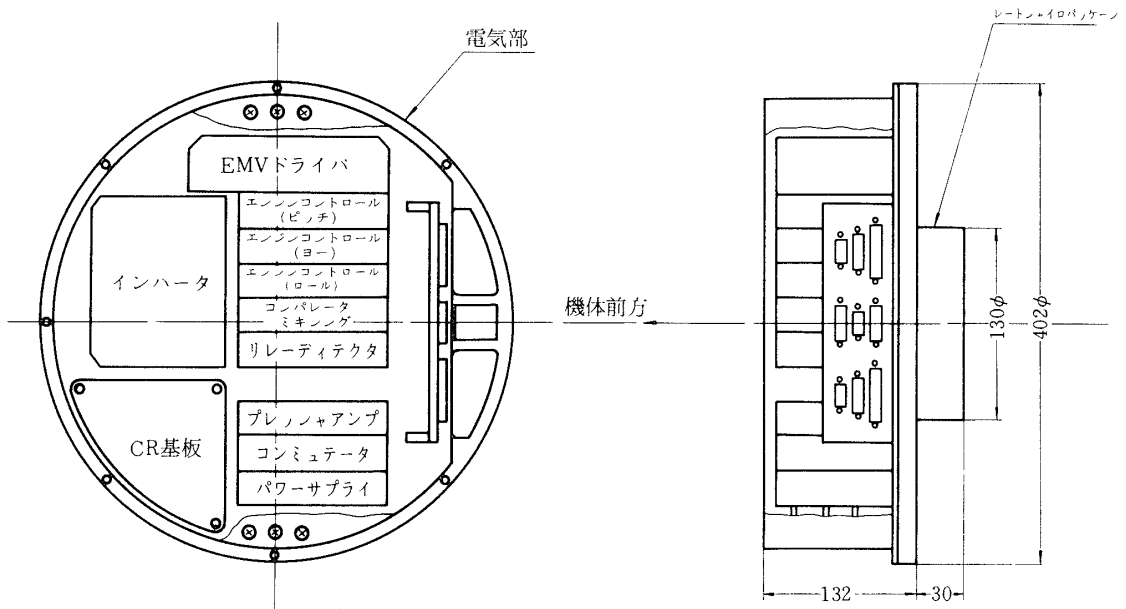


図 2 姿勢制御エレクトロニクス部組立図

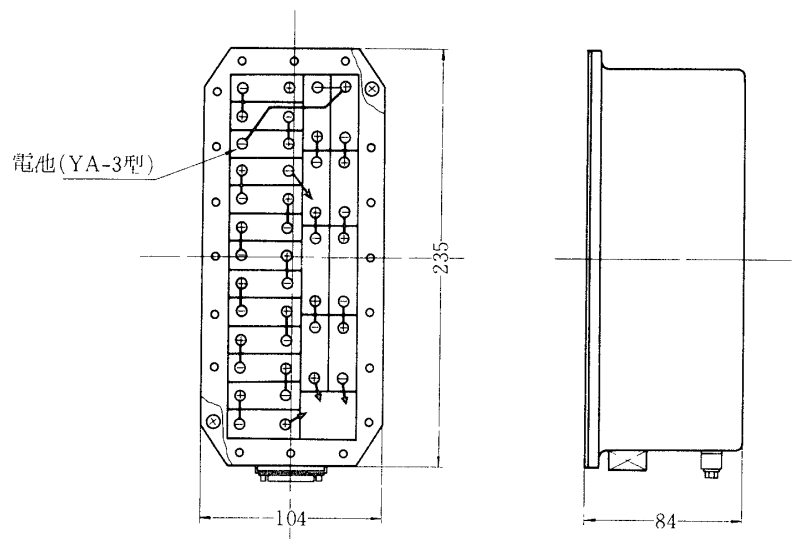


図 3 電池箱組立図

GAセンサ：-5V～+5VDC 電圧感度比 = 0.5 volt/degree

(2) 出力信号

ピッチ，ヨー，ロール姿勢制御のための制御ジェット電磁弁のON-OFF信号を表2で示すように出す。

(3) 目標精度

総合精度として表3に示す値を目標とする。

3.1.3 テレメータモニタ信号

表4に示す項目，内容を0～5VDC信号としてテレメータ送信機に入力する。

表2 制御ジェットの動作

出力 入力	制御ジェット電磁弁信号							
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	D1	D2
P. Down					ON			
P. UP						ON		
R. ccw	ON			ON				
R. cw		ON	ON					
Y. cw	ON		ON					
Y. ccw		ON		ON				
Y. cw, R. cw			ON					
Y. cw, R. ccw	ON							
Y. ccw, R. cw		ON						
Y. ccw, R. ccw				ON				
R. cw, (デスピソ)							ON	ON

注：D₁，D₂ デスピソ制御はタイマからのデスピソスタート信号により動作を開始し，ロールレートジャイロのロール角速度10°/sec以下になったときJ₁～J₆の制御に切り換えられる。

表3 目標精度

	ピッチ軸	ヨー軸	ロール軸
走査範囲	±20 min	±20 min	±1°
走査速度	10 min/sec	20 min/sec	
オフセット*	±10 min以内	±10 min以内	±0.2°以内
姿勢角誤差感度	2.5 V/deg	2.5 V/deg	0.5 V/deg

* ピッチ軸およびヨー軸は太陽センサエレクトロニクスのオフセット167mV以下を含む，ロール軸は，GAセンサのオフセット50mV以下を含む。

表 4 テレメータ信号と内容

	項 目	信 号 源	測 定 範 囲
1	ピッチレート	レートジャイロ	± 10°/sec
2	ロールレート	〃	± 10°/sec
3	ヨーレート	〃	± 10°/sec
4	ヨー姿勢誤差	太陽センサ	± 2°
5	制御エンジンコマンド/アンザ(1)	リレーディテクタ	コマンドアンザの組合せ
6	〃 〃 (2)	〃	〃 〃
7	ピッチ姿勢誤差	太陽センサ	± 2°
	ロール姿勢誤差	GAセンサ	± 5°
	1次圧	プレッシャアンプ	0 ~ 200 kg/cm ²
	2次圧	〃	0 ~ 50 kg/cm ²
	AC電圧(1)	インバータ 26V Aφ	定格の1.5倍
	AC電圧(2)	インバータ 26V Bφ	〃
	AC電流	インバータ 26V電流	〃
	DC電圧(1)	電池 +15V	〃
	〃 〃 (2)	〃 -15V	〃
	〃 〃 (3)	〃 +28V	〃
〃 〃 (4)	パワーサプライ +10V	〃	
〃 〃 (5)	〃 -10V	〃	
〃 〃 (6)	〃 +5V	〃	

3.2 各ユニットの性能

3.2.1 電気部

(1) エンジンコントロールモジュール

ヨー、ピッチエンジンコントロールモジュールは太陽センサからの姿勢誤差電圧とレートジャイロからの角速度信号とを加算処理して制御ジェットに対する指令信号(ON-OFF)を出力する。

ロールエンジンコントロールモジュールは、GAセンサからの姿勢誤差電圧とロールレートジャイロからの角速度信号とを加算処理して、制御ジェットに対する指令信号(ON-OFF)を出力する。

またここで、ヨー、ピッチ、ロール角速度信号およびヨー、ピッチ、ロール姿勢誤差信号を0~5VDC信号に変換してテレメータ送信機に供給する。

K-10-11号機における制御パラメータは表5に示すとおりで、制御ジェットの切替線は図4に示すようになっている。すなわち二段階の折線として、大振幅動作(引込制御)時の行きすぎを小さくし、また小振幅動作(原点附近、定常制御)時の動作を目標精度に近くなるようにしている。

表 5 制 御 パ ラ メ ー タ

不感帯幅 (V)	ロ ー ル	0.6
	ピ ッ チ	0.85
	ヨ ー	0.85
角速度帰還比 V / (deg / sec)	ロ ー ル	*
	ピ ッ チ	**
	ヨ ー	**

* ロールレートが 4 °/sec 以上の場合は 0.32
 ** ピッチ, ヨールレートが 1.42 °/sec 以上の場合は 1.78
 注: 姿勢角誤差入力点における電圧換算値

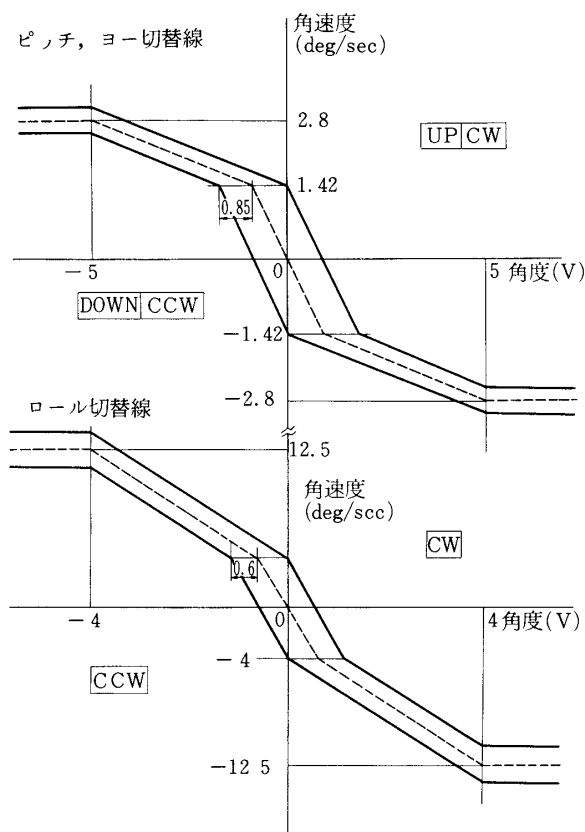


図 4 制御ジェット指令切替線

表 6 ミキシングロジック/コンパレータ性能

ミキシング ロジック部	入 力 信 号	ヨ ー cw ccw ロ ー ル cw ccw
	出 力 信 号	エンジン J ₁ , J ₂ , J ₃ , J ₄
コンパレータ部	検 出 角 速 度	0 ~ 10 °/sec
	遅 れ 時 間	1.5 ms 以下

(2) ミキシングロジック／コンパレータモジュール

ヨー、ロール制御を4基の制御ジェットとの組合わせで表2に示すように行なわせるために、エンジンコントロールモジュールからのジェット制御指令信号の分配結合をする論理回路である。またコンパレータ部ではロールレートジャイロで検出しているロール角速度(スピン)が $10^\circ/\text{sec}$ 以下になった時に、デスピピン制御ジェットを停止し、三軸制御を開始させる信号を出す。その性能は表6に示す通りである。

(3) EMVドライバモジュール

各制御ジェット動作指令信号を受けて、電磁弁への電流を開閉するトランジスタスイッチである。6基の制御ジェット電磁弁を独立に開閉できるよう、6回路実装してある。また出力電流は28V, 3Aである。

(4) リレーデテクタモジュール

制御ジェットの作動状態を確認するもので、動作指令信号とジェット燃焼室の圧力検出スイッチによる噴射応答信号とを合成して、電圧レベル識別信号とし、テレメータ送信機入力とする。一般性能は表7(a)に示す通りであって、3レベルの直流電圧、交流電圧をそれぞれ1つのON-OFF信号に割り当てた6項目のON-OFF信号を合成して1つのテレメータ信号とする。K-10-11号機では表7(b)に示すように指令信号を直流電圧レベルに割り当て、ジェット噴射応答を交流信号に割り当てて、回路1, 2でそれぞれ3基ずつの制御ジェットの状態を監視した。

表7 リレーデテクタモジュールの性能

(a) 一般性能

回路数		2回路	
検出リレー接点数		1回路につき6	
各接点に対する出力	DC	1.5V, 0.75V, 0.37V	
	25Hz	1.2V, 0.6V, 0.3V	
出力電圧		各接点に対する出力の和	

(b) K-10-11号機におけるレベル割当

回路	DC, V				AC, V		
	0.37	0.75	1.5	1.5	0.3	0.6	1.2
1	J 2	J 4	J 5 (P1)	D 1	J 2	J 4	J 5 (P1)
2	J 1	J 3	J 6 (P2)	D 2	J 1	J 3	J 6 (P2)
	Command			Command / Ans.	Ans.		

(5) プレッシュアンプモジュール

制御ジェット動作のための加圧 N_2 ガスの圧力(一次圧)と、燃料 H_2O_2 に印加されている調和弁を通った後の加圧圧力(二次圧)とを監視するための計測用増幅器である。歪計型圧力トランスデューサ2台を動作させるブリッジ電源および出力増幅器が表8に示すように実装してある。出力は0~5Vの電圧である。

(6) コンミュテータモジュール

装置動作の電源の状態、制御ジェット動作圧力などの内部状態監視を行なうための信号切換接続回路である。入力電圧0~5Vの信号を0.1sec/チャンネルで切り換え、計20チャンネルの信号を時分割処理できる。K-10-11号機では表4の7に示すように、外部から入って来た姿勢誤差信号の確認も入っている。

(7) インバータモジュール

レートジャイロ動作の交流電源であって、表9に示す性能を持っている。

表8 プレッシュアンプモジュール性能

回路数	2回路
利得	50dB(可変)
入力インピーダンス	1M Ω
ブリッジ用電源	8VDC

表9 インバータモジュール

電源電圧	+15VDC, -15VDC
出力電圧	26V \pm 1%
周波数	400Hz \pm 0.01%
出力電力	30W

(8) パワーサプライモジュール

レートジャイロ出力同期検波用の交流電圧および装置動作の直流安定電圧を供給する電源である。表10に示す性能を持っている。

(9) レートジャイロパッケージ

ロケットのヨー、ピッチ、ロール各軸まわりの角速度を計測し、デスピン停止信号源、三軸制御に適切な制動応答を与えるための信号源とする。ヨー、ピッチ、ロールそれぞれの軸を入力軸とするよう直交位置に三台のレートジャイロを組立ててある。この性能は表11に示す通りである。

表10 パワーサプライモジュール

交流入力電圧	26V 400Hz
交流出力電圧	15V \angle 0° 400Hz
	15V \angle 180° 400Hz
直流入力電圧	+15VDC, -15VDC
直流出力電圧	+10VDC (1A)
	-10VDC (1A)
	+5VDC (0.5A)
直流出力安定度	1%以下

表11 レートジャイロパッケージ

モーター励磁	26 V 400 Hz
ピックアップ励磁	26 V 400 Hz
測定範囲	$\pm 100 \text{deg} / \text{sec}$
ピックアップ零電圧	7 mV RMS
スケールファクタ	50 mV / deg / sec
各レートジャイロ入力軸間の直交度	$\pm 0.5^\circ$ 以内
各レートジャイロ入力軸とレートジャイロパッケージ取付面上の基準線との直交度	$\pm 0.5^\circ$ 以内
各レートジャイロ入力軸と対応する姿勢制御用ロケット軸との平行度	$\pm 0.5^\circ$ 以内

3.2.2 電池箱

姿勢安定制御装置本体を動作させる電池をおさめた電池箱と、制御ジェット電磁弁を動作させる EMV ドライバモジュール用電源として使用する電池箱との2個になっている。いずれも容量 3 AH の YA-3 型酸化銀電池を必要個数接続したものであり、本体用には11個を、制御ジェット電磁弁用には10個を接続してそれぞれの電池箱におさめている。また発射作業にあたっては電池箱を2組用意しておき、交互に使用して保守および充電が確實容易に行なえるようにしている。

4. 結 言

観測ロケットの姿勢制御系において、自動操縦装置の働きを持つ安定制御装置についてその概要を述べた。姿勢誤差をアナログ電圧で受けて、これを安定に零附近に保持するための ON-OFF 信号を制御ジェットに出力する信号処理装置である。姿勢検出器は観測器固有のものであってもよく、希望姿勢からの誤差が、ピッチ、ヨー、ロール軸まわりの成分に分解されて、 $-5 \text{ V} \sim +5 \text{ V}$ の間の直流電圧で与えられればよい。

本装置における制御誤差（姿勢制御の定常状態における平衡点の偏位）の原因は主として安定用レートジャイロの零点電圧と姿勢誤差加算処理回路の零点変動とである。レートジャイロの定格は、最大姿勢誤差角（誤差電圧最大値に対応する角度）を角速度饋還比で割った値（角速度）より大きい値を持つ必要がある。またレートジャイロの零点変動は最大許容入力角速度定格の 0.1% 程度である。このことからレートジャイロに起因する誤差は所要走査幅を最大姿勢誤差角の 20% として、この走査角の 1% 程度とみられる。一方加算処理回路に起因する誤差はさらにそれより小さいとみてよい。しかし誤差電圧最大値は 10 V 程度にとることが演算増幅器レベルの観点からより望ましいと言える。

K-10-11号機における観測では、本装置は全く異常なく動作し、また上に述べたように等価的に 1' 角以内の誤差で姿勢制御を行なった。姿勢制御系の構成要素として充分の性能を持っていたと云える。本装置は観測ロケットに搭載する汎用の姿勢制御装置として使用できる。

1975年10月5日計測部