

UDC 533. 6. 071 :  
62. 551. 4

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-636

遷音速風洞模型の姿勢自動設定

波木井 潔 ・ 小池 陽

1980年11月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 遷音速風洞模型の姿勢自動設定\*

波木井 潔\*\* 小池 陽\*\*

## Automatic Attitude Setting of a Wind Tunnel Model in a Transonic Wind Tunnel

Kiyoshi HAKII and Akira KOIKE

### ABSTRACT

A description of an improved automatic attitude setting system, of a wind tunnel model in a 2 m × 2 m transonic wind tunnel is presented. The purpose of this improvement is to save on manpower, and shorten the access time for setting from one testing condition to another.

An 8K words mini-computer is employed, to control the electrically powered mechanism of the model supporting system. The desired angle of attack and yaw of the wind tunnel model are obtained by the appropriate combination of the inclination and the roll angle of the sting.

The system calculates the value of these angles, for a given attitude of the model, and sets the sting at the right inclination and roll. The system was successfully operated within a setting angle error of 0.2° for each angle of attack, and with a mean access time of 20 sec. for settings from 0° to 15°.

### 1. まえがき

航空宇宙技術研究所の2 m × 2 m遷音速風洞<sup>(1)</sup>において、実験労力の省力化および風洞運転時間中のデータ生産性の向上を図るため、風洞模型姿勢設定の自動化を試みたので、その結果を報告する。

上記風洞実験での通常の設定条件は模型姿勢、マッハ数、集合胴総圧・集合胴温度及び風洞壁開口比である。これらの設定条件のうち、模型姿勢の設定は横型支持装置の迎角、ロール角および高さの同時変更操作をするため、可成りの熟練を要する。

実験担当者はこれらの設定が完了してから力、圧力および光学的観測等の実験データの集録を行う。

担当者は以上のように、多種多様な業務を同時に遂行する必要があり、最も重要である実験データの監視が、行き届かない場合も生じた。

近年小型電子計算機の信頼度が向上し、その入出力ユニットが多種標準化されたので、これらを組み合わせたシステムに、人間が行う模型姿勢設定に相似した、判断と操作を行わせる事とした。

設定制御指令は実験担当者が、各設定値を逐次指令する方法と、150組程度の設定値を一括設定制御指令する2通りとした。

実際に模型姿勢自動設定操作を行わせた結果、模型迎角、横滑り角共に±0.2°、高さ±10mmの精度で安定な設定が、誰にでも容易に可能となった。

この精度は通常風洞実験に要求される、模型姿勢設定の精度を充分満足するものである。

実験の担当者は設定制御指令後、完了が表示されるまで、計測データの監視に専念できる。

以上の模型姿勢自動設定機能の他に、応答の良好な圧力変換器を新設して、マッハ数の算出と表示方法を改良し、従来水銀マンオメーターによる表示方法より応答の速い、マッハ数の監視が可能となった。

今後の課題として、設定所要時間のよりいっそうの短縮があげられる。ロスタイムの原因は入出力タイプライターの速度不足、実験データ集録の主計算機と、自動設定用計算機との同期がとれていないこと及び、オーバーランした場合は、ハンティングを生じない時でも多少の収れん時間が必要であるなどである。

これらのロスタイムの原因の排除は、技術的には充分可能と思われる。

\* 昭和55年9月4日受付

\*\* 空気力学第二部

2. 記号

- b  $N_1$  着力点と  $N_2$  着力点間の距離 (図 2)
- b'  $Y_1$  着力点と  $Y_2$  着力点間の距離 (図 2)
- c 天秤中心と  $N_2$  着力点間の距離 (図 2)
- c' 天秤中心と  $Y_2$  着力点間の距離 (図 2)
- e スティング撓み中心と天秤中心間の距離 (図 2)
- f スティングの撓み係数 (第 4 章 2 節)
- H ストラット高さ
- $N_1$  天秤第 1 垂直力
- $N_2$  天秤第 2 垂直力
- M 一様流マッハ数
- P 測定部静圧
- $P_0$  集合胴総圧
- $Y_1$  天秤第 1 横力
- $Y_2$  天秤第 2 横力
- $\alpha$  模型迎角
- $\beta$  模型横滑り角
- $\Delta H_1$  ストラット高さ第 1 偏差
- $\Delta H_2$  ストラット高さ第 2 偏差
- $\Delta H_3$  ストラット高さ第 3 偏差
- $\Delta M$  マッハ数偏差値
- $\Delta \alpha$  空気力による撓み迎角
- $\Delta \beta$  空気力による撓み横滑り角

- $\Delta \theta_1$  スティング迎角第 1 偏差
- $\Delta \theta_2$  スティング迎角第 2 偏差
- $\Delta \theta_3$  スティング迎角第 3 偏差
- $\Delta \phi_1$  スティングロール角第 1 偏差
- $\Delta \phi_2$  スティングロール角第 2 偏差
- $\Delta \phi_3$  スティングロール角第 3 偏差
- $\theta$  スティング迎角
- $\phi$  スティングロール角
- 添字
- c 式(1)(2)による  $\theta, \phi$  の計算値
- g 設定条件値
- n 公称値

3. 模型支持装置

模型姿勢自動設定には、既設の模型支持装置を使用したため、その構造、仕様および模型姿勢と支持装置の関係についてのべる。

支持装置は図 1 に示す構造で、模型を測定部中央に保持し、姿勢変更操作をする装置である。

全機模型は、スティング先端に装着されている 6 分力天秤に取りつけられ、スティングポットに内装された電動機により、機体軸を中心に最大  $\pm 90^\circ$  のロール角  $\phi$  を与えられる。スティングポットはストラットに軸で取り付けられ、模型とは反対側をスクリーにより上下させ

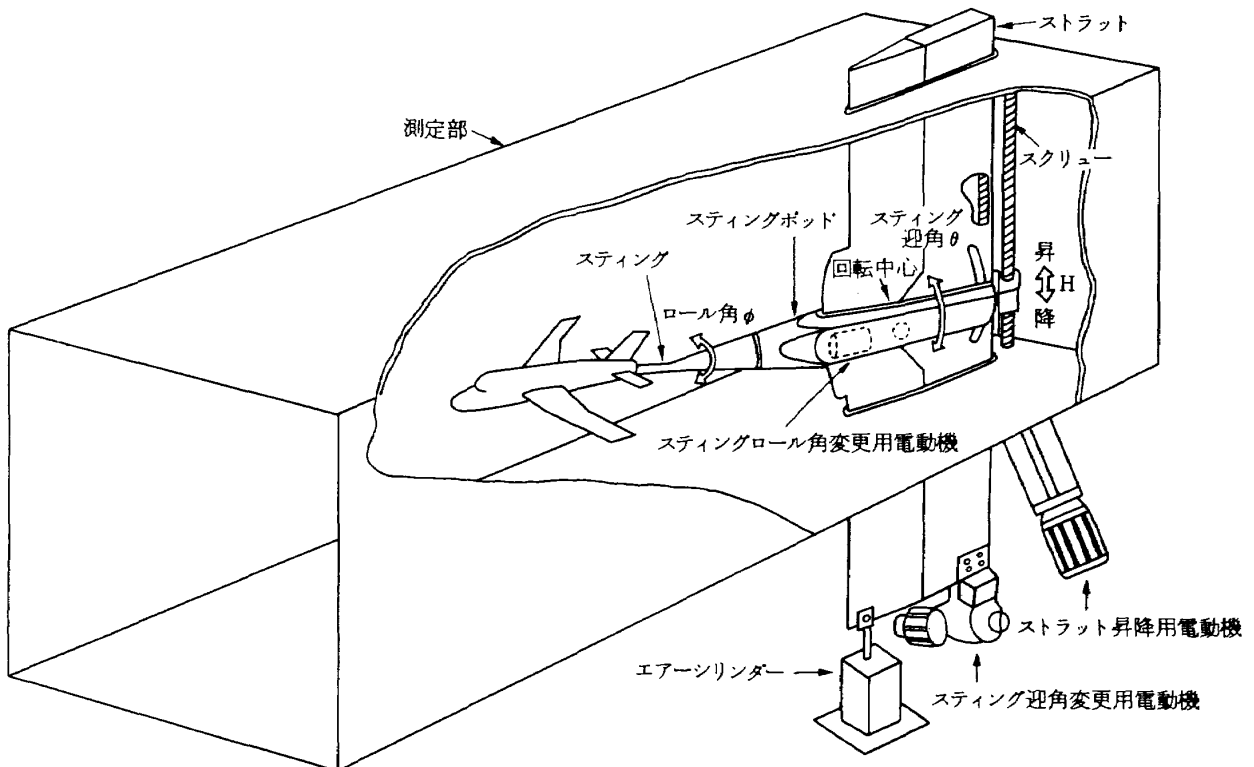


図 1 全機模型支持装置

表1 模型支持装置性能

	迎 角	ロ ー ル 角	高 さ
最大変位置	± 20°	± 90°	± 640mm
速 度 /秒	0.64°	高速 1.76° 低速 0.21°	19mm
起動時間(秒)	頭上 0.20 頭下 0.32	高速 0.20 低速 0	上昇 0.48 下降 0.6
停止時間(秒)	頭上 0.56 頭下 0.32	0	上昇 0 下降 0.72
電 動 機	3.7 KW 1.5 KW(半裁) ブレーキ付	高速時 0.375 KW 低速時 0.1 KW クラッチ付	5.5 KW ブレーキ付 ピストン圧 2 kg/cm <sup>2</sup>
ポテンシヨ最大値	± 2 ボルト	± 0.9 ボルト	± 0.64 ボルト

ることにより、最大± 20°のスティング迎角θの設定が出来る。

迎角を設定する時、模型が測定部中央に位置する様に電動機により、最大± 640mm以内で、ストラットの高さの設定を行う。ストラットは、揚力600キログラムのエアシリンダーで支えられて上昇、下降の速度を等しくされている。スティングの迎角、ロール角およびストラット高さは、その各々の駆動電動機により、直接減速駆動されているポテンシヨメーターにより、電気信号に変えられる。この信号で模型支持装置の姿勢及び高さを表示する。表1に模型支持装置の性能を示す。

模型支持装置は他に半裁模型用がある。これは測定部床に設置された回転台に、側胴を上にした半裁模型が取り付けられる模型支持装置で、回転台の回転により迎角のみ変更可能である。

#### 4. 問題点と解決方針

##### 4.1 従来の手動設定

従来の手動設定では実験担当者は、模型迎角α、横滑り角βの設定値をスティング迎角θ、ロール角φに変換する表でθ、φとして読みとり、模型支持装置の現在の表示姿勢をこの値に近づける様に、駆動操作を行った。変換表は式(1)、(2)より算出したものである。

$$\theta = \sin^{-1}(-\sin\beta / \sin\phi) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi = \tan^{-1}(-\tan\beta / \sin\alpha) \quad \dots\dots\dots (2)$$

但しスティングは扱まないものと仮定した場合

α = 0°でβ ≠ 0°の場合はφ = 90°に限定

実験担当者は、支持装置の各表示値と設定値の差が大きい間は、連続的に操作ボタンを押し続け、偏差がある程度小さくなってくれば、断続的なボタン操作を行った。

スティングの迎角を設定するとき、3章で述べたように模型が常に測定部中央に位置する様に、θと同時に式(3)の関係で、ストラット高さHを上下に駆動する。

$$H = -100\theta / 3 \cdot 2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

但し実験に使用されるスティングの長さは一定であるとする。

##### 4.2 問題点

模型支持装置のスティングは、模型に働く空気力により撓み、ねじられる。スティングは、ねじれに対して充分な剛性がありその量も少ないので、これを無視出来るが、撓みに対しては、これを無視出来ない。スティングが撓むと駆動電動機側に装着されている、スティング迎角θのポテンシヨメーター表示値は、スティング先端の姿勢とは異なったものとなる。

撓みによる模型姿勢α、βの変化量Δα、Δβは式(4)、(5)で与えられる。

$$\Delta\alpha = f \{ N_1 + (e + b - c) + N_2 (e - c) \} \quad (4)$$

$$\Delta\beta = f \{ Y_1 + (e + b' - c') + Y_2 (e - c') \} \quad (5)$$

ここで各記号は図2に示したもので、bは6分力天秤の垂直力N<sub>1</sub>とN<sub>2</sub>間の、b'は横力Y<sub>1</sub>とY<sub>2</sub>間の、cは天秤中心とN<sub>2</sub>間の、c'は天秤中心とY<sub>2</sub>間の、eは天秤中心とスティング撓み中心のそれぞれの距離であり、fはスティング撓み係数である。

模型姿勢α・βとスティングの角度表示値θ、φの関係は撓みがないと仮定すると(1)、(2)を変形した(6)、(7)より得られ、これをα、βの公称値と呼びα<sub>n</sub>、β<sub>n</sub>とする。

$$\alpha_n = \sin^{-1}(\sin\theta \cos\phi / \cos\beta) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\beta_n = \sin^{-1}(-\sin\theta \sin\phi) \quad \dots\dots\dots (7)$$

従って撓みを考えた、模型と支持装置の関係式は(4)、(5)

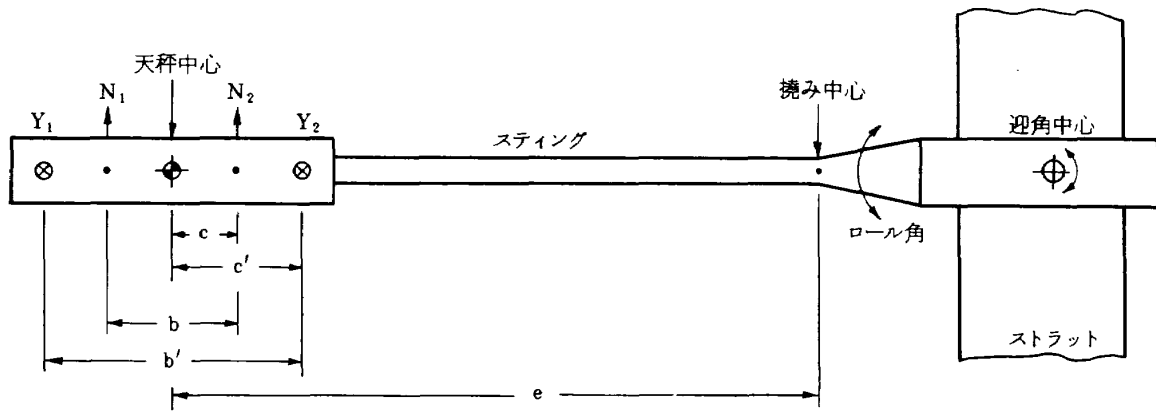


図2 スティング撓み

を(6), (7)に加えた式(8), (9)となる。

$$\alpha = \alpha_n + \Delta\alpha \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\beta = \beta_n + \Delta\beta \quad \dots\dots\dots (9)$$

従来は撓み無視の  $\alpha_n, \beta_n$  の設定を行っていたので、空気力の大きい時の模型姿勢は、以上の様に設定値とは異なってしまう。

その他にまえがきでのべた様に、多種の仕事と同時に模型支持装置を駆動し、迅速に設定を完了しなければならない。

4.3 解決方針

スティングの撓みを補正した、真の模型姿勢を誰にでも容易に設定出来る様に、小型電子計算機に模型姿勢の自動設定を行わせる事とした。

撓みの補正には天秤出力、使用スティングの較正值等の可成のデータ処理を必要とするが、データ集録システムの計算機(以後主計算機と呼ぶ)がこれを処理して、模型姿勢  $\alpha, \beta$  を表示している。そこでこの  $\alpha, \beta$  を模型姿勢自動設定システムにとりこみ式(1), (2)を用いて剛性無限大の仮想スティングの迎角  $\theta_c, \phi_c$  に変換させる。一方設定値  $\alpha_g, \beta_g$  も同じ式を用いて  $\theta_g, \phi_g$  に変換し  $\theta_c, \phi_c$  と比較し差の大きさ、正負に応じた模型支持装置の駆動を本システムに行わせる。但し主計算

機による表示リフレッシュ間隔が、1秒間隔であるので、待ち時間節約のため偏差の大きい間はスティング表示角  $\theta, \phi$  と  $\theta_g, \phi_g$  の偏差を判定する。

以下判定、駆動方法についてのべる。

支持装置の駆動にはスティング迎角、ロール角およびストラット高さがあるが、考え方は略同一であるので迎角についてのべる。

設定値  $\alpha_g, \beta_g$  より式(1), (2)によりスティング迎角設定値  $\theta_g$  を計算してその結果と、スティング迎角表示値  $\theta$  と大小を比較する。偏差の大きさを大きい方から任意に定義し、第1偏差  $\Delta\theta_1$ , 第2偏差  $\Delta\theta_2$ , 第3偏差  $\Delta\theta_3$  として、 $\Delta\theta_1$  までは  $\theta$  の表示値を比較に使い、駆動方法も連続とする。差が  $\Delta\theta_1$  以下になったら、今迄設定値  $\theta_g$  との比較に使用していた  $\theta$  の表示値に代って、撓みを考慮に入れた模型姿勢  $\alpha, \beta$  から式(1), (2)より得た仮想のスティング計算値  $\theta_c$  を、 $\theta_g$  との比較に使用し、長いパルス駆動をする。差が  $\Delta\theta_2$  以下になったら短かいパルス駆動を行い、差が  $\Delta\theta_3$  以下になったら設定完了とする。

図3に  $\theta$  設定フローチャート、図4に駆動モード、表2に偏差値およびパルス長さの標準値を示す。0.1秒の短いパルスによる  $\theta, \phi, H$  の変化量はそれぞれ  $0.064^\circ, 0.021^\circ, 1.9\text{mm}$  であり(表1参照)、第3偏差の標準値  $0.12^\circ, 0.15^\circ, 15\text{mm}$  よりも十分小さい。

表2 標準値

	(+) 第1	(-) 第1	(+) 第2	(-) 第2	(+) 第3	(-) 第3	(+) 長パルス	(+) 短パルス	(-) 長パルス	(-) 短パルス
$\theta^\circ$	0.8	0.8	0.6	0.6	0.12	0.12	0.2	0.1	0.2	0.1
$\phi^\circ$	0.9*	0.9*	0.4	0.4	0.15	0.15	1.2	0.9	1.2	0.9
Hmm	20	20	16	16	15	15	0.8	0.5	0.8	0.5

\*但し  $\phi$  は、第1偏差領域では高速連続運転 (単位) 秒

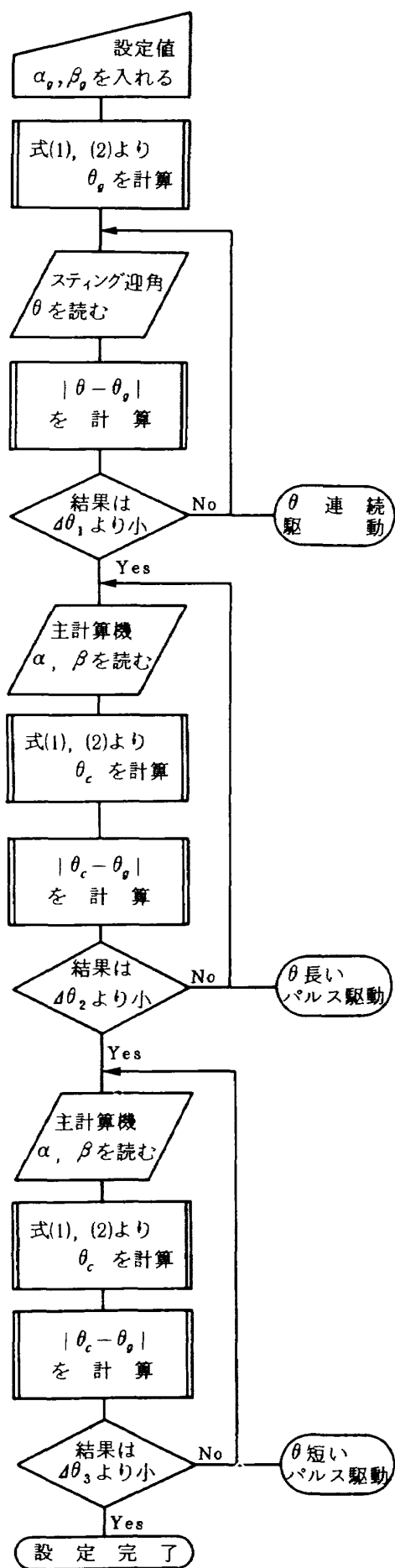


図3 θ設定フローチャート

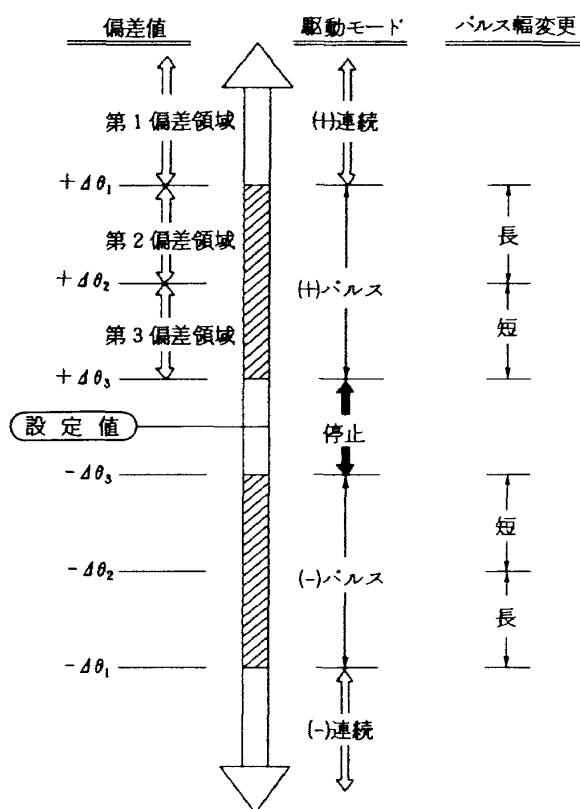


図4 θ駆動モード

表2の標準値は偏差値およびパルス長が、差の正負にかかわらず同一であるが、後述のキーワードを用いた制御命令で、これらの値を0.1秒から9.9秒までの範囲で0.1秒さきみに任意に変更出来るものとする。ロール角φについては、偏差が第1偏差より大きい連続駆動時には表1に示した高速、低速の2速のうち高速駆動を用いる。高さHについては式(3)でθより算出して駆動する。表1に示すように模型支持装置は、ブレーキ、クラッチにより停止時間を短かくしてあるが、設定完了の項目が出て来ると、これをスキップして、他のまだ停止していない項目に駆動命令が出ないように、命令を遅延出来るキーワード"D"をもうけた。

半裁模型支持装置の場合はスティングが無いので、θのみの設定で撓み補正も必要でない。

## 5. システムのソフト

### 5.1 命令の与えかた

このシステムを働かせるためのプログラムテープは電子計算機の容量の制限から模型の迎角α、横滑り角βの設定用と、模型支持装置の迎角θ、ロール角φ設定用の2種に分けてある。ロケット模型の様に揚力による撓みあまり生じない場合や、θ設定のみの半裁模型の場合にはθ、φ用が使われる。

テープが読み込まれていれば  $\alpha$ ,  $\beta$  の場合はただちに  $\theta$ ,  $\phi$  の場合には模型の全機, 半裁模型の指定後に逐次設定か, 一括設定かを選択をする。一括の場合は 1 ラン分の 150 組程度の設定予定値を, あらかじめ作られたテープで入力させる。次に  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $H$ ,  $P$ ,  $P_0$  の各補正値をタイプライターにより入力させて, 各表示値のレベル調整をおこない, 制御開始指令待ちとなる。制御開始指令は, 一括設定の場合にはキーワード "Y" 入力が, また逐次設定の場合には設定値の入力が, 制御開始指令とな

る。模型支持装置は, 制御開始指令により, 与えられた設定値に従って, 姿勢変更を開始し, 設定値に達すれば制御操作を停止し, 「完了」を表示し待機状態となる。あき時間を利用して  $P$ ,  $P_0$  より一様流マッハ数  $M$  を算出して表示する。

以上をまとめると図 5 の総括流れ図となる。表 2 の標準値や設定順序の変更をおこなうキーワードが用意されて, タイプライターにより表 3 の制御命令に従った変更が出来る。

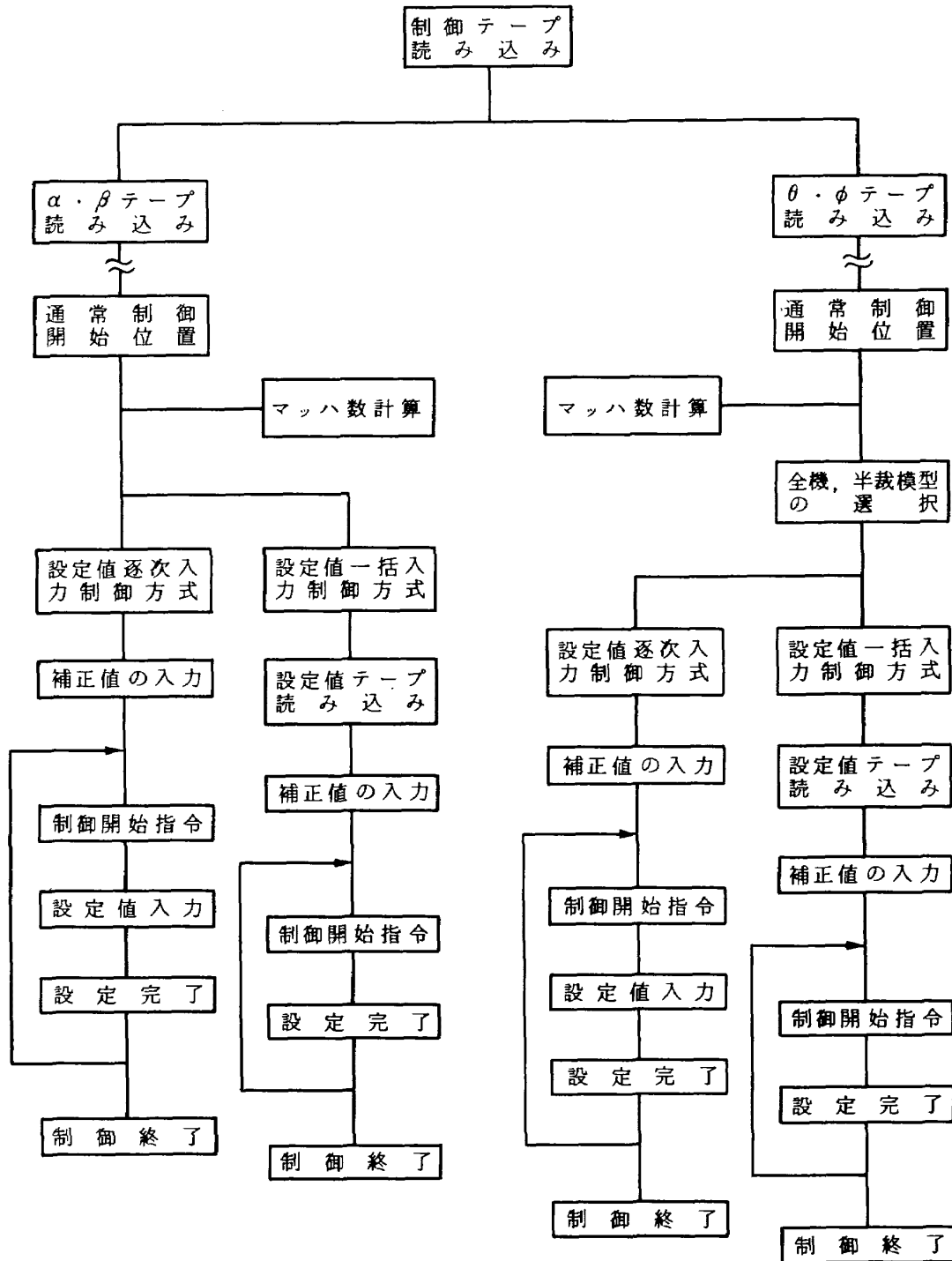


図 5 総括流れ図

表 3 制御命令

キーワード	命令名称	制御命令内容	
Y	YES	逐次制御時	設定値入力後制御開始
		一括制御時	直ちに制御開始
N	NO	プログラム再スタート	
ESC	ESCAPE	制御の中断	
Z	ZERO	事故発生時等に三軸共に零に制御	
CY	I CHANGE INSERT	一括設定時設定値を追加制御開始	
	J CHANGE JUMP	一括設定時指定番号の設定値に飛んで開始	
LY	LIST	一括設定時設定値を印字後制御開始	
CLY	CHANGE LIST	一括設定時ジャンプ先の設定値印字後開始	
V VARIATION	M MACH	マッハ数偏差許容値の変更	
	D DELAY	パルス運転中のパルス遅延時間設定変更	
	T ATTACK	$\theta$ の偏差値, パルス巾変更位置, パルス巾変更	
	F ROLL	$\phi$ の偏差値, パルス巾変更位置, パルス巾変更	
	H HEIGHT	Hの偏差値, パルス巾変更位置, パルス巾変更	

表 4 エラーメッセージ

エラーナンバー	エラーメッセージの意味	備 考
0405	CPUのメモリパリティエラーが発生	テープ読み込みより再スタートする
0517	スティング迎角信号がオーバーフロー(不定)	
0535	スティングロール角信号がオーバーフロー(不定)	
0551	ストラット高さ信号がオーバーフロー(不定)	
0560	瞬時停電が発生 0560はCPUの停止番地	
2421	集合胴総圧信号が900.0を越えた	
2424	測定部静圧信号が900.0を越えた	
2427	集合胴総圧信号が100.0以下になった	
2432	測定部静圧信号が100.0以下になった	
2441	集合胴総圧信号より, 測定部静圧信号が大きくなった	
2461	スティング迎角信号が $\pm 20.00^\circ$ の範囲外となった	
2464	スティングロール角が $\pm 100.0^\circ$ の範囲外となった	
2467	ストラット高さ信号が $\pm 700\text{mm}$ の範囲外となった	
3047	負の平方根の計算が指令された	
4004	計算したマッハ数が負になった	
5231	測定部静圧信号又は, 集合胴総圧信号がオーバーフロー	
5236	測定部静圧信号又は, 集合胴総圧信号がマイナスとなった	
	参照値を $\theta_c, \phi_c$ に切替えた時第2偏差領域外となった	警報のみ



5.2 事故対策

システム動作中風胴に異常が起きた場合、キーワード“Z”で模型姿勢を中立位置にもどせるようにして、模型の安全を図った。この他にあき時間に各表示値  $\theta$ ,  $\phi$ , H, P,  $P_0$  およびハードウェアのチェックをおこない、異常があればシステムを停止させ、マッハ数出力電圧をホールドし、表4に従ったエラーメッセージをタイプライターにて打ち出す。

6. システムのハード

図6のブロック図に従って、システムが組まれた、以下簡単に入力部、処理部、出力部の順に各要素の概要をのべ、図7にシステム主要部の写真を示す。

6.1 入力部

入力部は模型姿勢  $\alpha$ ,  $\beta$  又はスティング姿勢  $\theta$ ,  $\phi$  の設定用制御テープの読み込み、一括設定用の設定値テープの製作と、その読み込み及び、姿勢変更制御開始指令を行なう部分である。主な構成機器はタイプライター、紙テープ読み取り器、および姿勢、圧力の表示器、停電保護付きの共通電源などである。

6.2 処理部

処理部はまず支持装置の、各姿勢ポテンシオメーター信号の切替走査および、AD変換をする。

次に設定値や主計算機よりの模型姿勢を、支持部値え変換処理をしてから、両者の比較を行い偏差の判定をする。その他にマッハ数の計算およびその結果のDA変換、異常検出の判定も行う。

主な構成機器は、8キロワードの計算機、走査器、AD変換器、DA変換器、異常検出回路などである。

6.3 出力部

出力部はシステムの入力端で、模型支持装置に駆動信号を与え模型姿勢の設定をさせる。その他に設定完了および異常の表示をする。

主な構成機器は、模型支持装置駆動用リレー盤、設定状態表示器および、マッハ数表示器である。

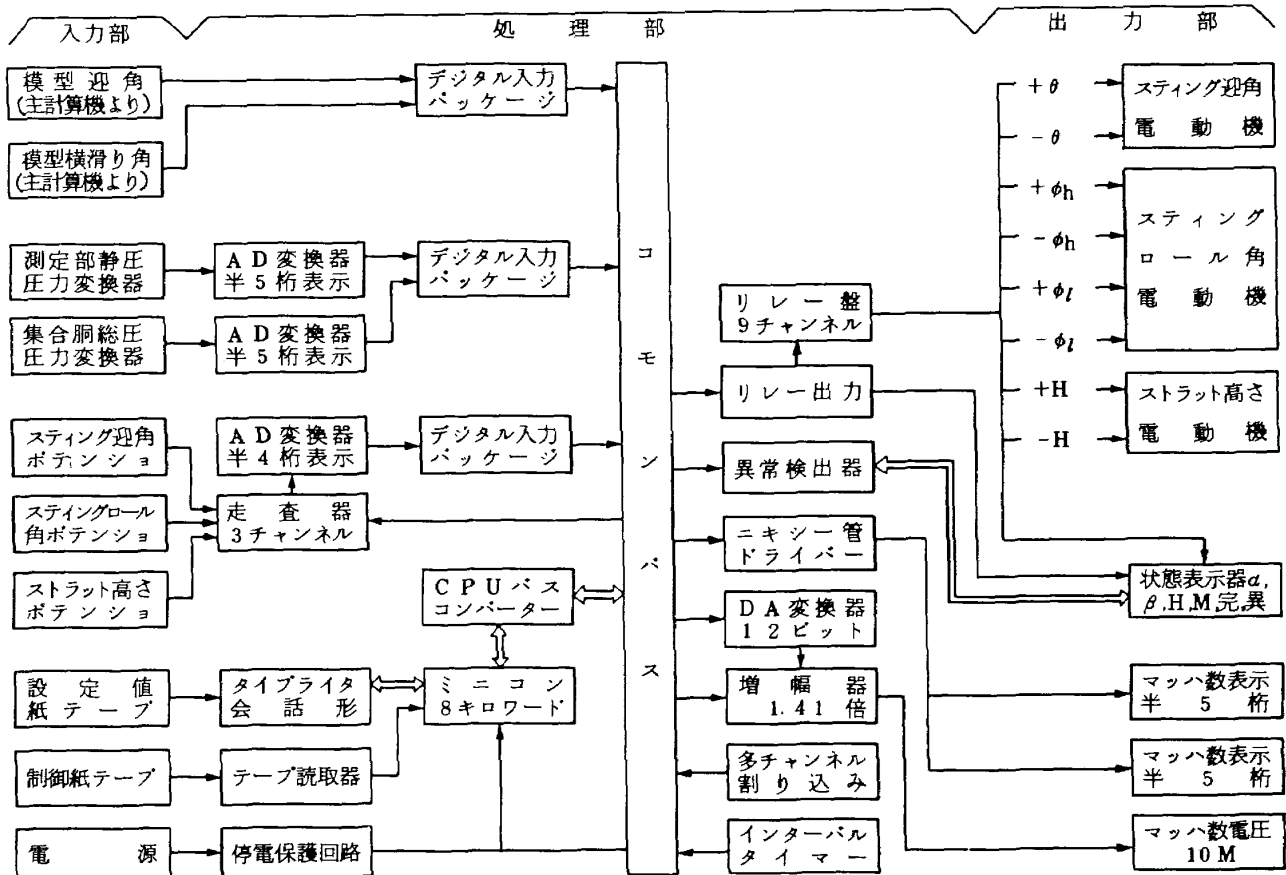


図6 ブロック図

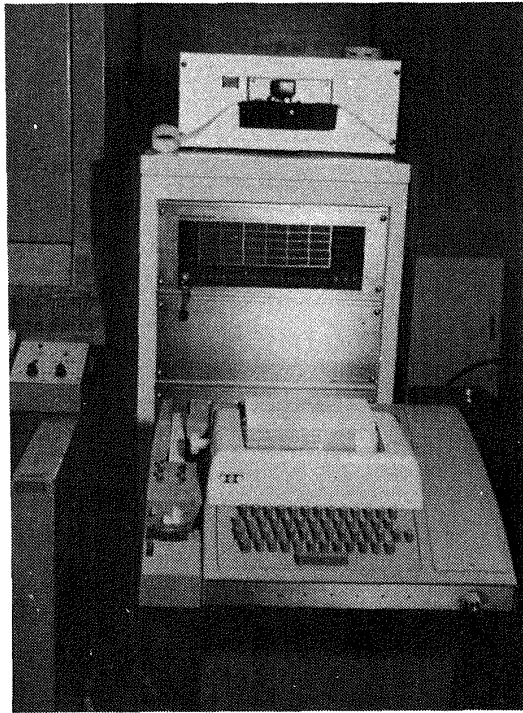


図7

7. 自動設定の結果

重量約12キログラムの模型を、模型支持装置に装着して自動設定を行った例を図7～図27に示す。設定例としては設定精度である第3偏差を $\theta, \phi$ 共に $\pm 0.1^\circ$ および $\pm 0.2^\circ$ の2種類、Hは風洞実験の精度にあまり影響を与えないので、 $\pm 10\text{mm}$ の1種のみとした。設定はいずれの場合も迎角、ロール角および高さのすべてが零の

中立位置から駆動を開始して $\theta, \phi$ では $\pm 1^\circ, \pm 2^\circ$ および $\pm 5^\circ$ の設定を、Hでは $\theta$ の $\pm 1^\circ, \pm 2^\circ$ および $\pm 5^\circ$ に相当する $\pm 31\text{mm}, \pm 63\text{mm}$ および $\pm 156\text{mm}$ の設定を行った。ここで図中の記号 $V_\theta, V_\phi, V_H$ は模型支持装置のポテンシオメーター出力電圧で、設定完了時振巾が記録紙上で約10目盛になるように、記録計の感度を調節してある。h, lはロール角駆動信号の高速、低速の別でlの場合はパルス駆動でもある。記録速度は5目盛/秒である。

設定操作は設定完了迄に要したパルス数が少ない程、良好な制御と云える。設定例は最終判定をする第3偏差と、設定変位量が小さい程、設定に要するパルスが増える傾向を示している。表5に模型姿勢設定完了迄に要したパルス数を示したが、 $\theta$ の第3偏差 $\Delta\theta_3$ を $\pm 0.1^\circ$ に定めて、変角量 $2^\circ$ の設定例で、ハンティングを生じているが、この設定値で必ずハンティングを起こすというわけではない。Hはいかなる場合も問題が無く $\theta, \phi$ も第3偏差を $\pm 0.2^\circ$ より大きく定めれば、変角量が小さくても安定した、模型姿勢の自動設定が出来た。

実験の要求設定精度は迎角 $\alpha$ 、横滑り角 $\beta$ とも $\pm 0.5^\circ$ より粗いので、自動設定の成績は充分設定精度を満足している。模型姿勢 $\alpha, \beta$ が設定値として与えられた場合は、主計算機による $\alpha, \beta$ のリフレッシュ間隔が1秒毎であるので、スティンギング値 $\theta, \phi$ が設定値として与えられた場合より、待ち時間が生じるので所要時間も数秒ふえる傾向にある。

表5 設定に要したパルス数

$\theta_g$	パルス数	図番
$5^\circ$	3	8
$2^\circ$	1	
$1^\circ$	3	9
$-1^\circ$	2	
$-2^\circ$	1	10
$-5^\circ$	1	

$\Delta\theta_3 = 0.2^\circ$

$\phi_g$	パルス数	図番
$5^\circ$	1	15
$2^\circ$	1	
$1^\circ$	3	16
$-1^\circ$	3	17
$-2^\circ$	1	18
$-5^\circ$	2	

$\Delta\phi_3 = 0.2^\circ$

Hg	パルス数	図番
156mm	1	25
63mm	1	26
31mm	1	
-31mm	1	27
-63mm	1	
-156mm	1	28

$\Delta H_3 = 10\text{mm}$

$\theta_g$	パルス数	図番
$5^\circ$	3	11
$2^\circ$	$\infty$	12
$1^\circ$	6	13
$-1^\circ$	3	
$-2^\circ$	1	14
$-5^\circ$	1	

$\Delta\theta_3 = 0.1^\circ$

$\phi_g$	パルス数	図番
$5^\circ$	1	19
$2^\circ$	1	20
$1^\circ$	4	21
$-1^\circ$	4	22
$-2^\circ$	3	23
$-5^\circ$	4	24

$\Delta\phi_3 = 0.1^\circ$

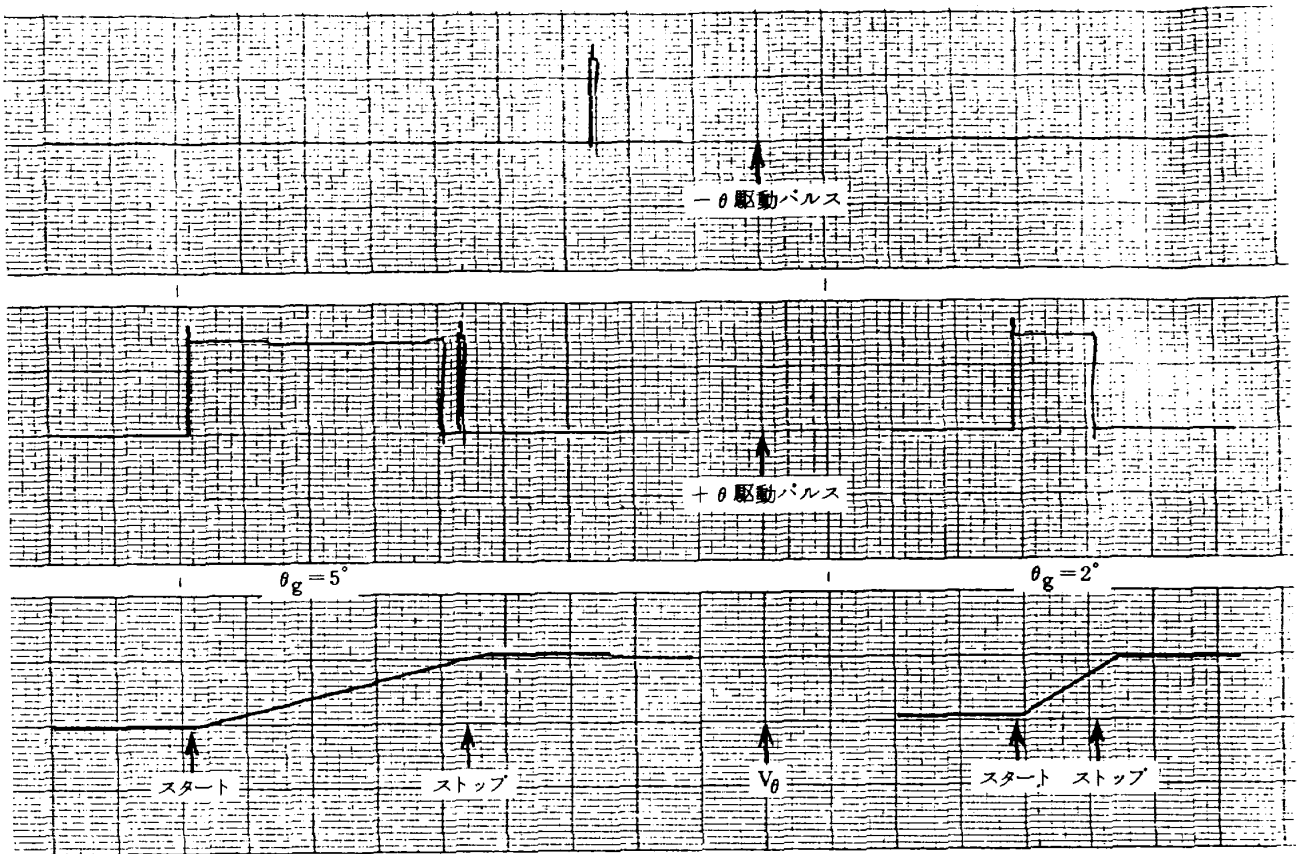


図8  $\Delta\theta_3 = 0.2^\circ$   $\theta_g = 5^\circ, \theta_g = 2^\circ$

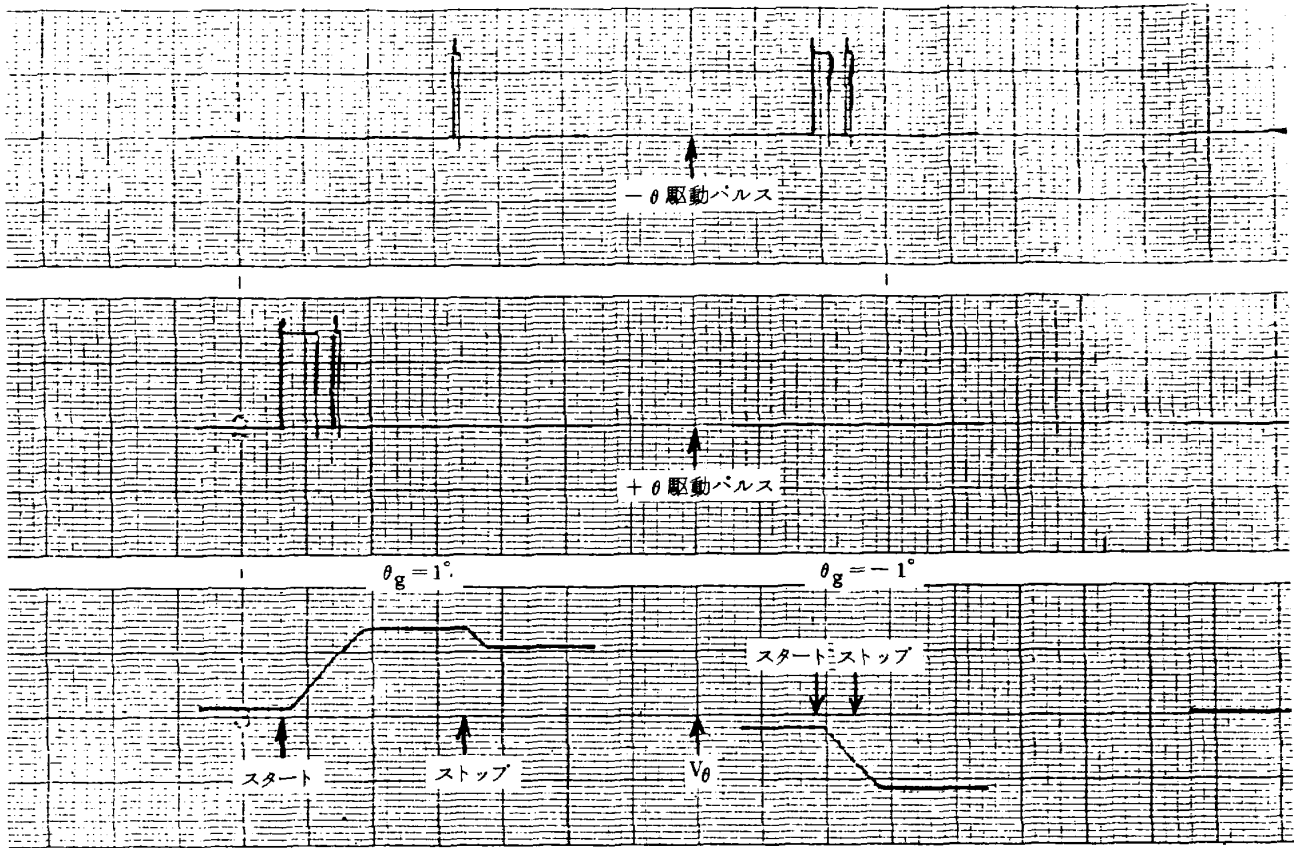


図9  $\Delta\theta_3 = 0.2^\circ$   $\theta_g = 1^\circ, \theta_g = -1^\circ$

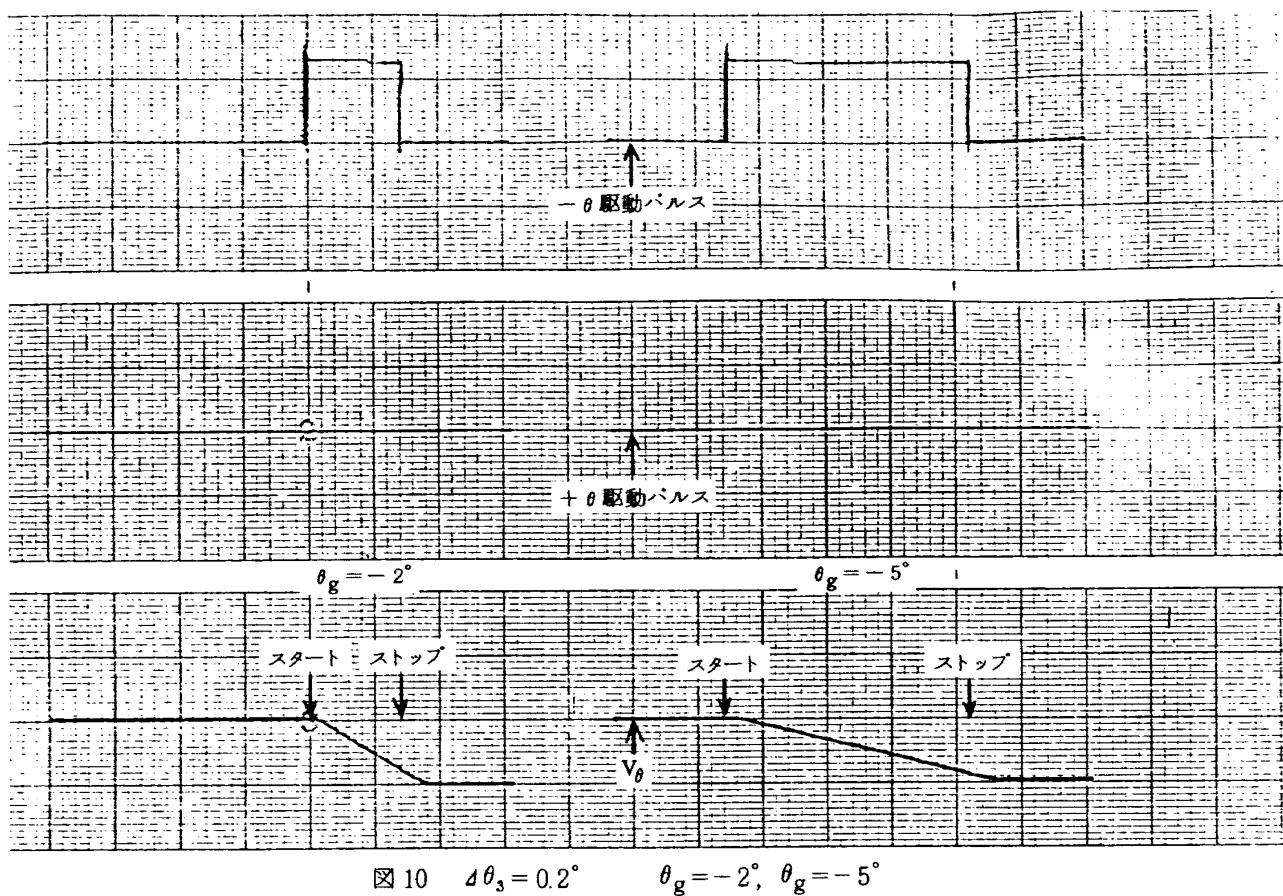


図 10  $\Delta\theta_3 = 0.2^\circ$   $\theta_g = -2^\circ, \theta_g = -5^\circ$

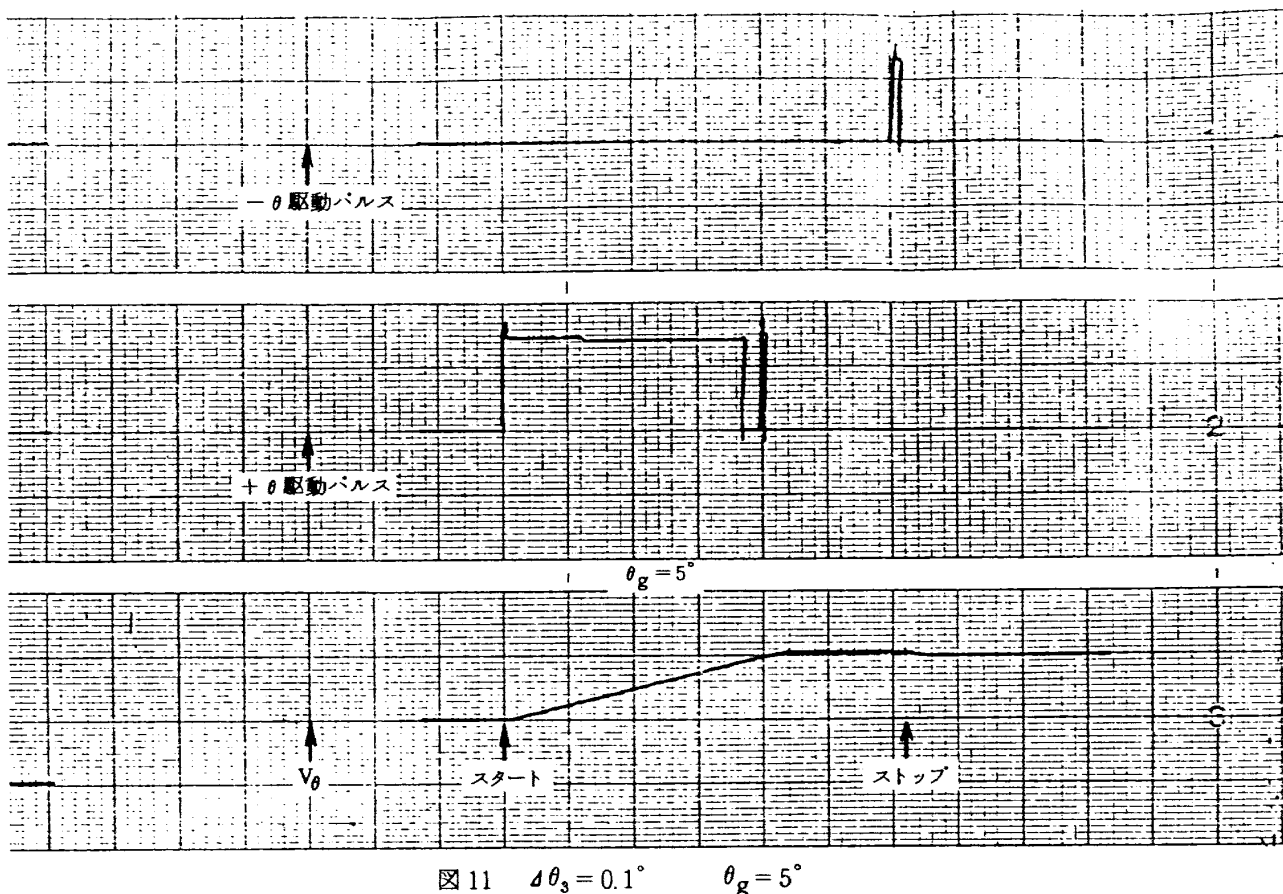


図 11  $\Delta\theta_3 = 0.1^\circ$   $\theta_g = 5^\circ$

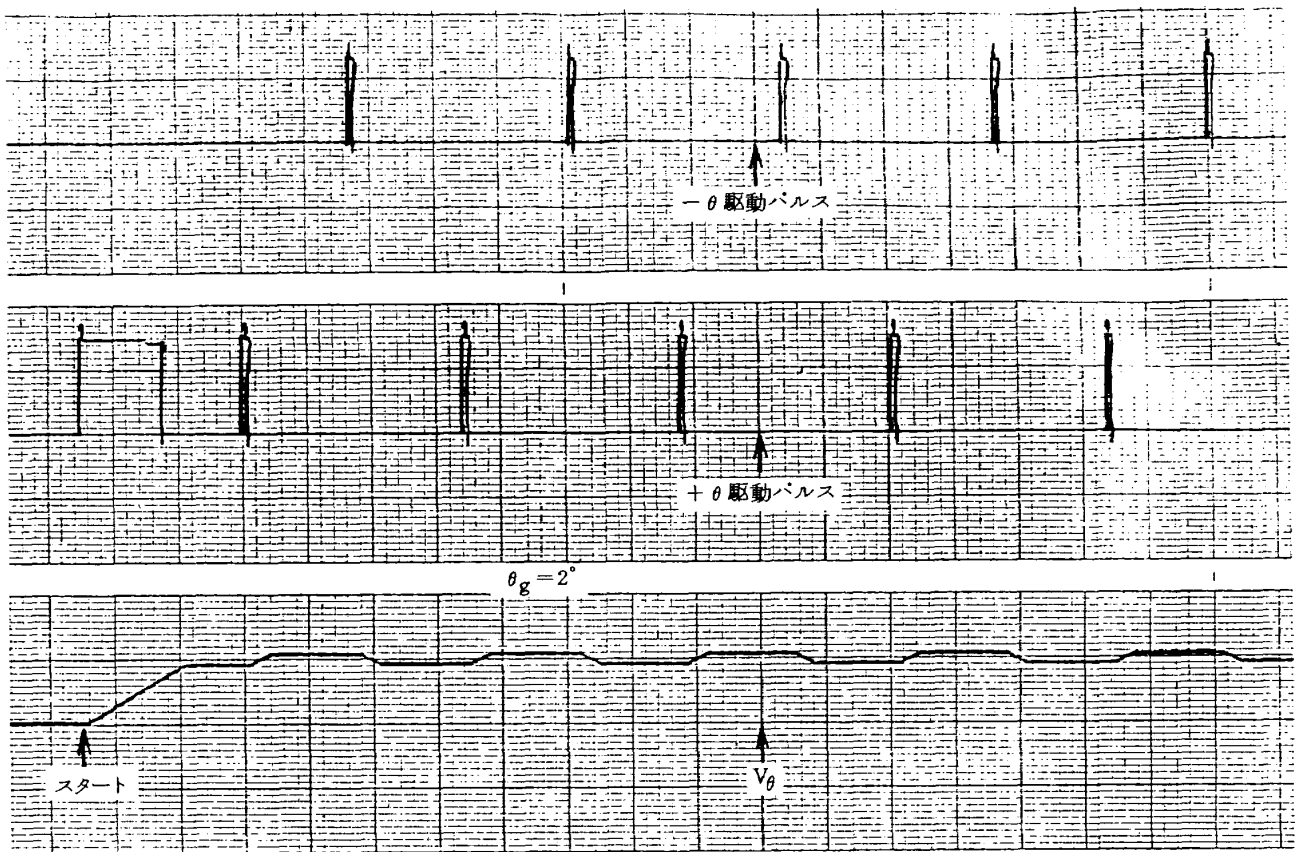


図 12  $\Delta\theta_3 = 0.1^\circ$   $\theta_g = 2^\circ$

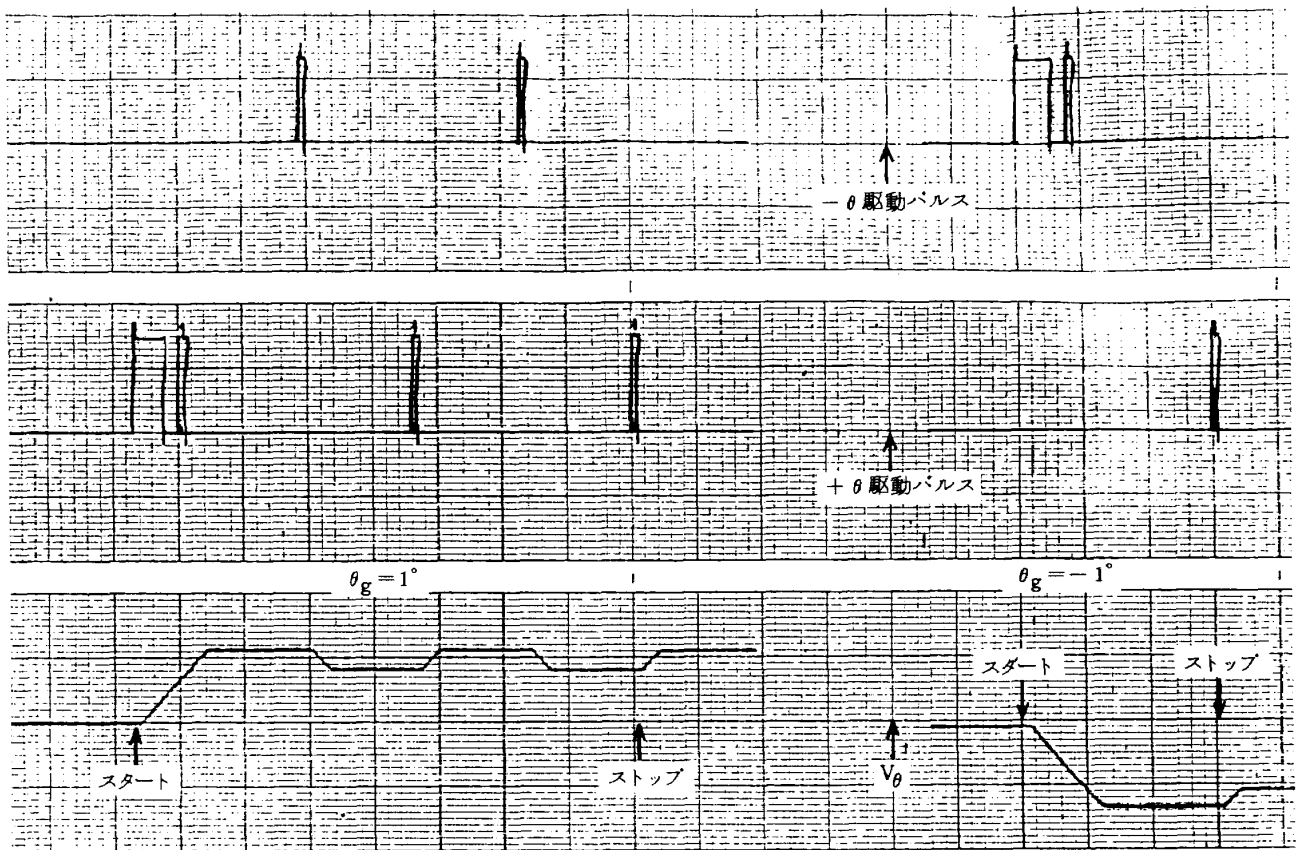


図 13  $\Delta\theta_3 = 0.1^\circ$   $\theta_g = 1^\circ, \theta_g = -1^\circ$

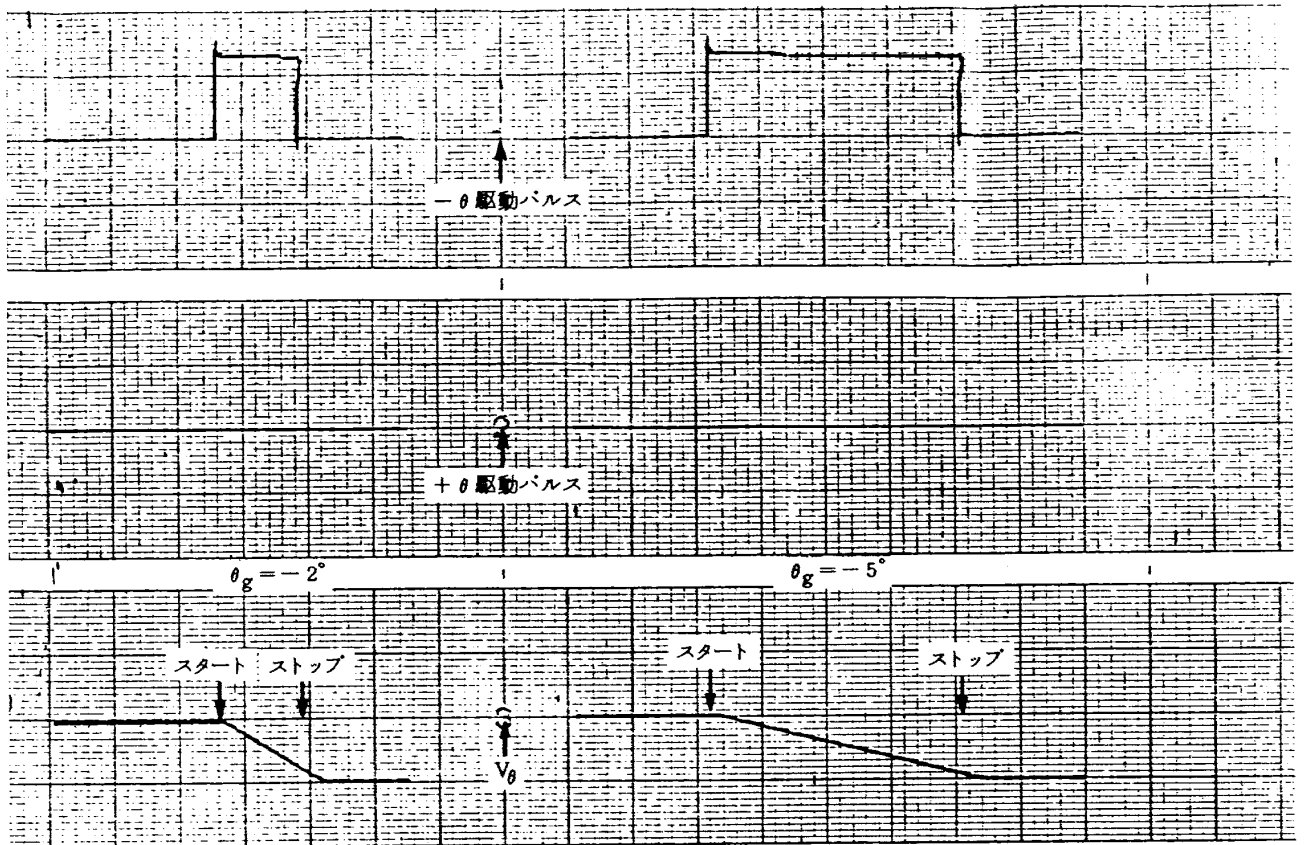


図 14  $\Delta\theta_s = 0.1^\circ$   $\theta_g = -2^\circ, \theta_g = -5^\circ$

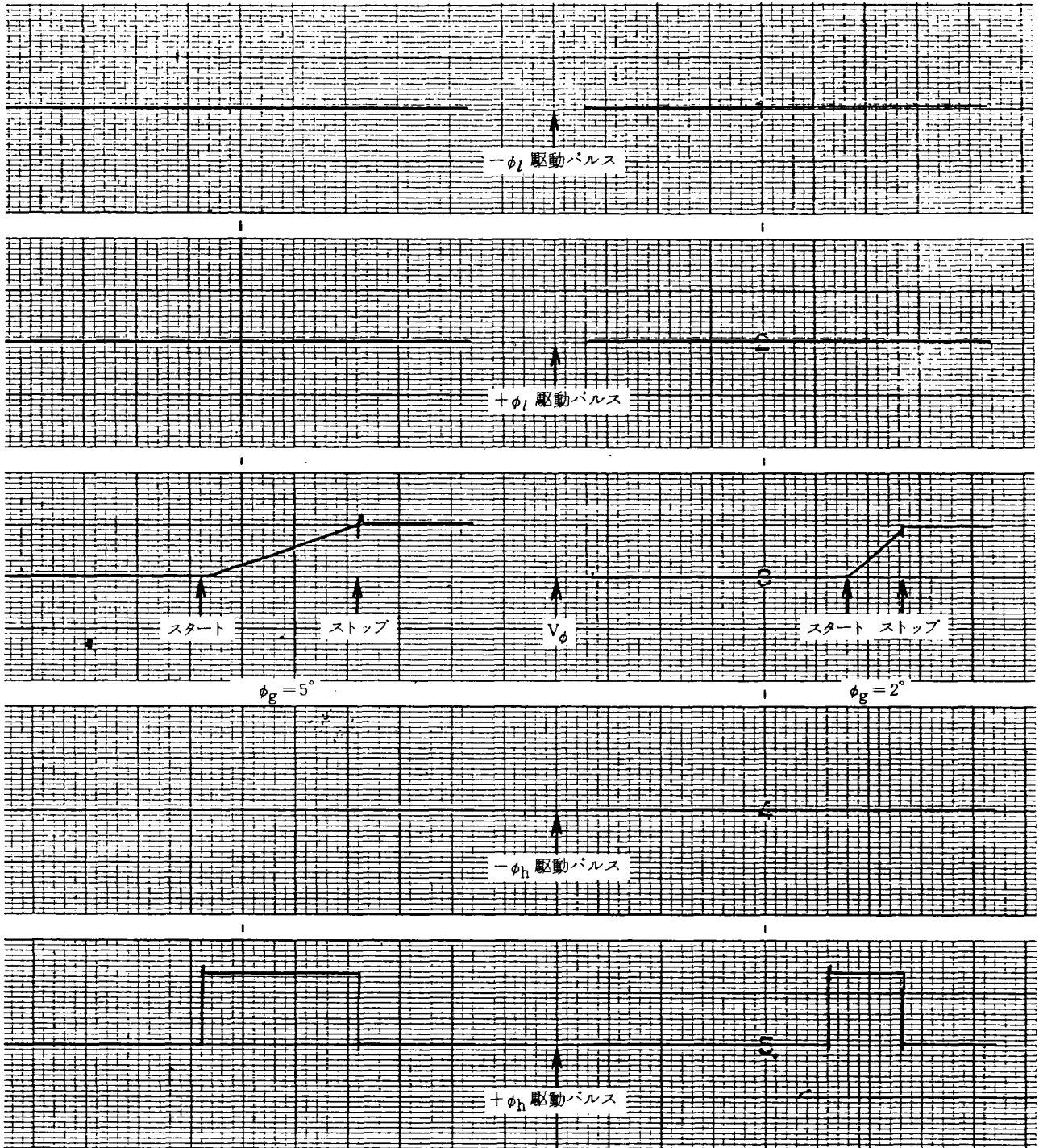


図 15  $\Delta\phi_3 = 0.2^\circ$   $\phi_g = 5^\circ, \phi_g = 2^\circ$

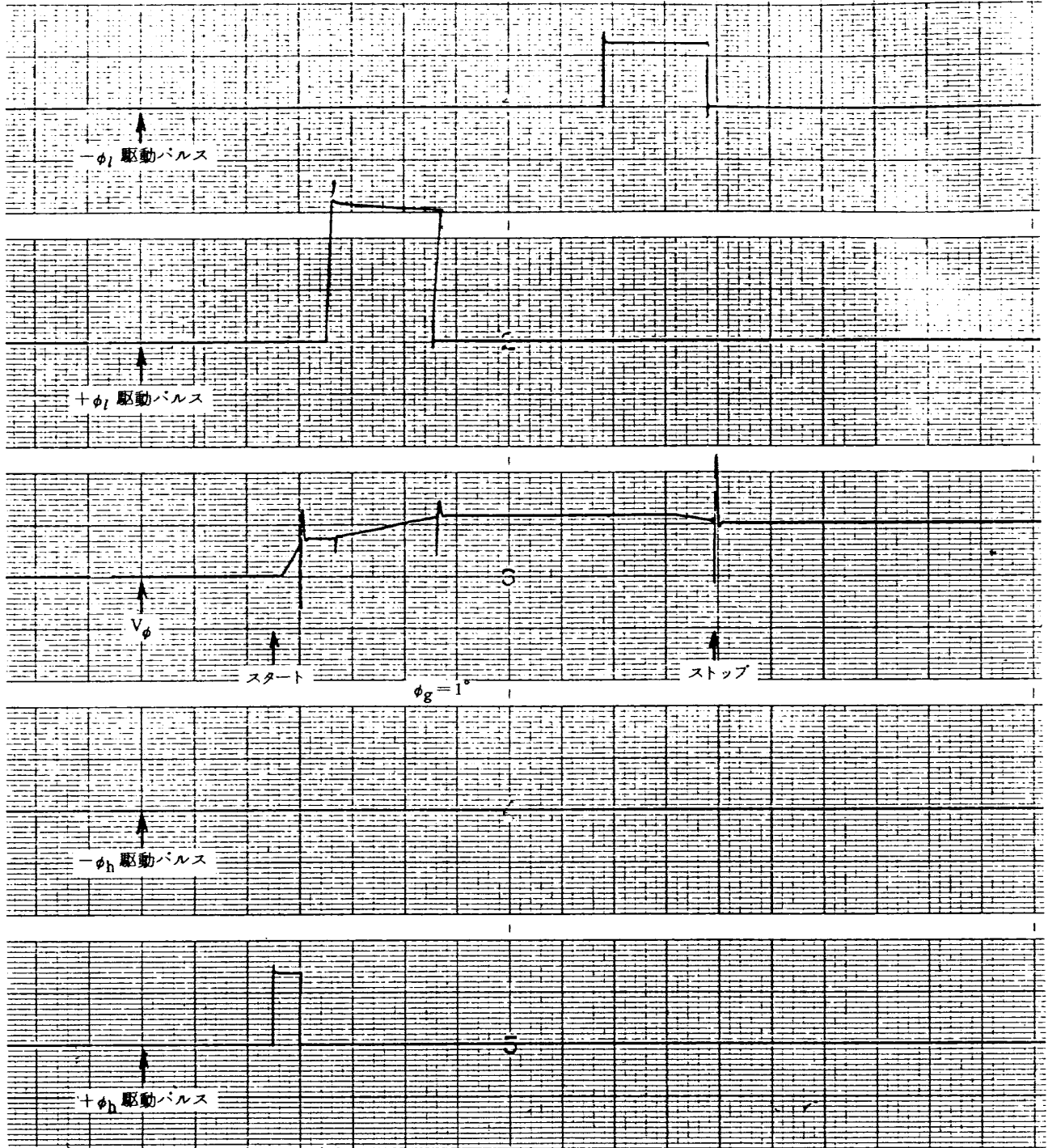


図 16  $\Delta\phi_s = 0.2^\circ$   $\phi_g = 1^\circ$



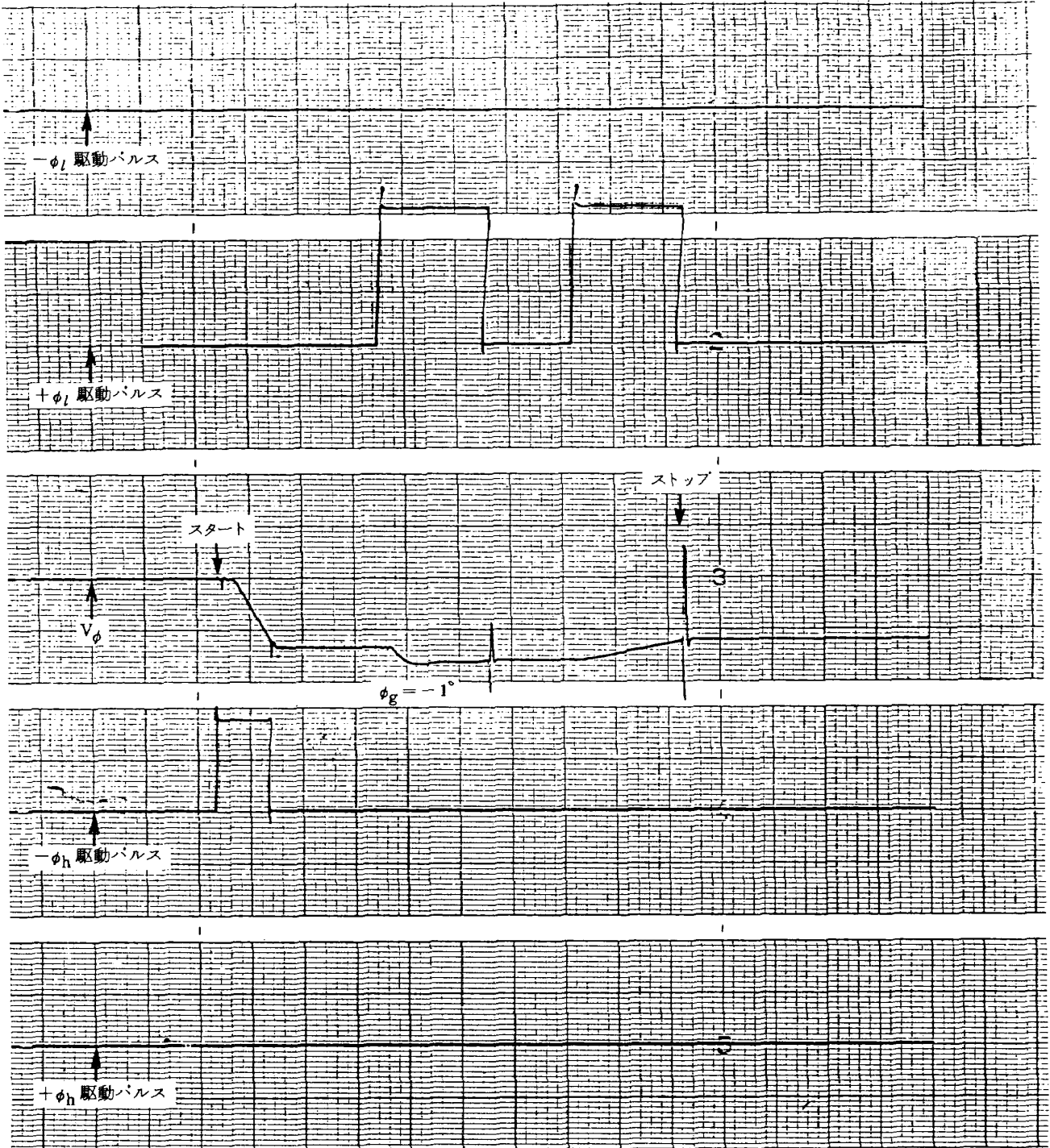


図 17  $\Delta\phi_3 = 0.2^\circ$   $\phi_g = -1^\circ$

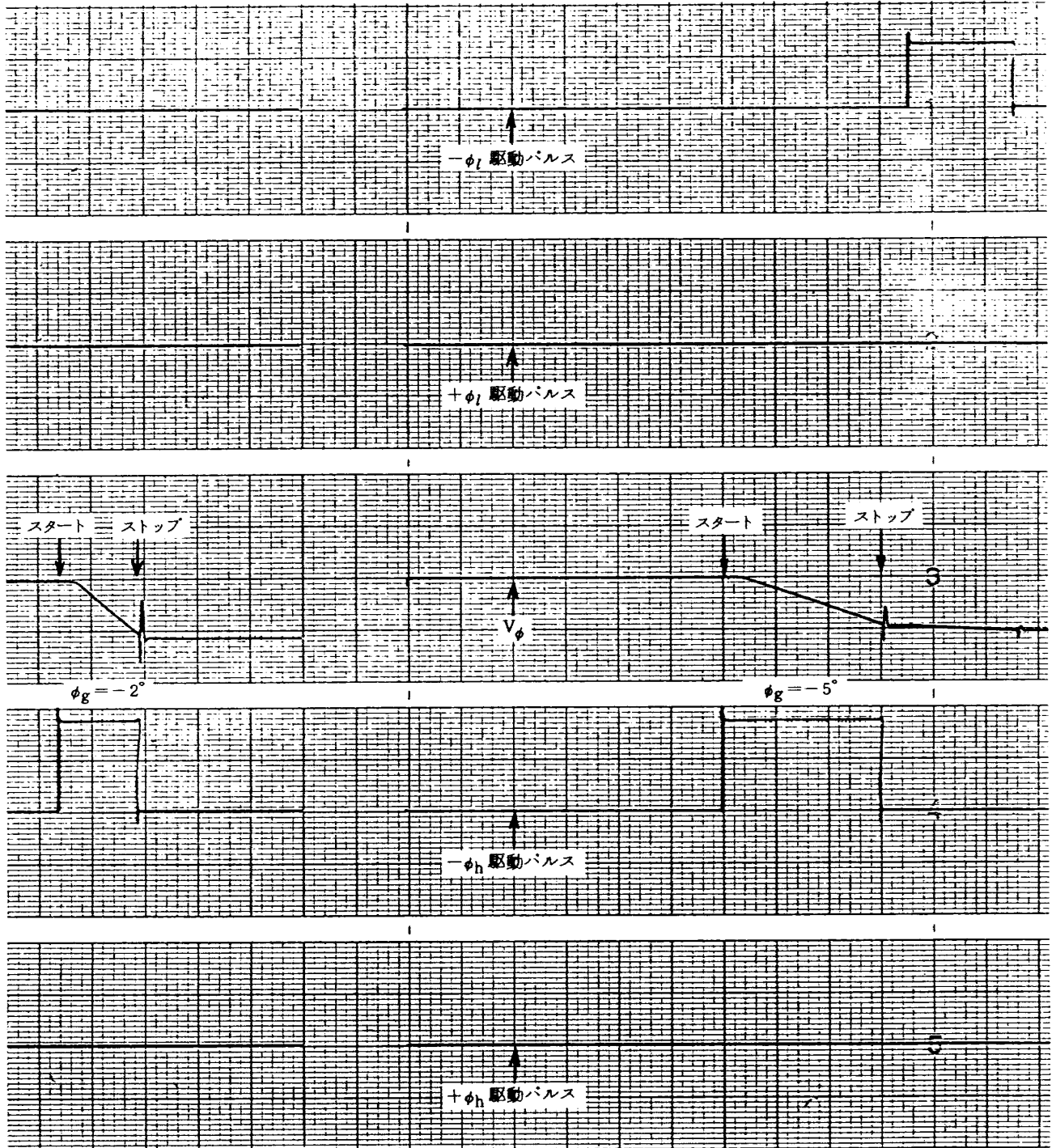


図 18  $\Delta\phi_s = 0.2^\circ$   $\phi_g = -2^\circ$ ,  $\phi_g = -5^\circ$

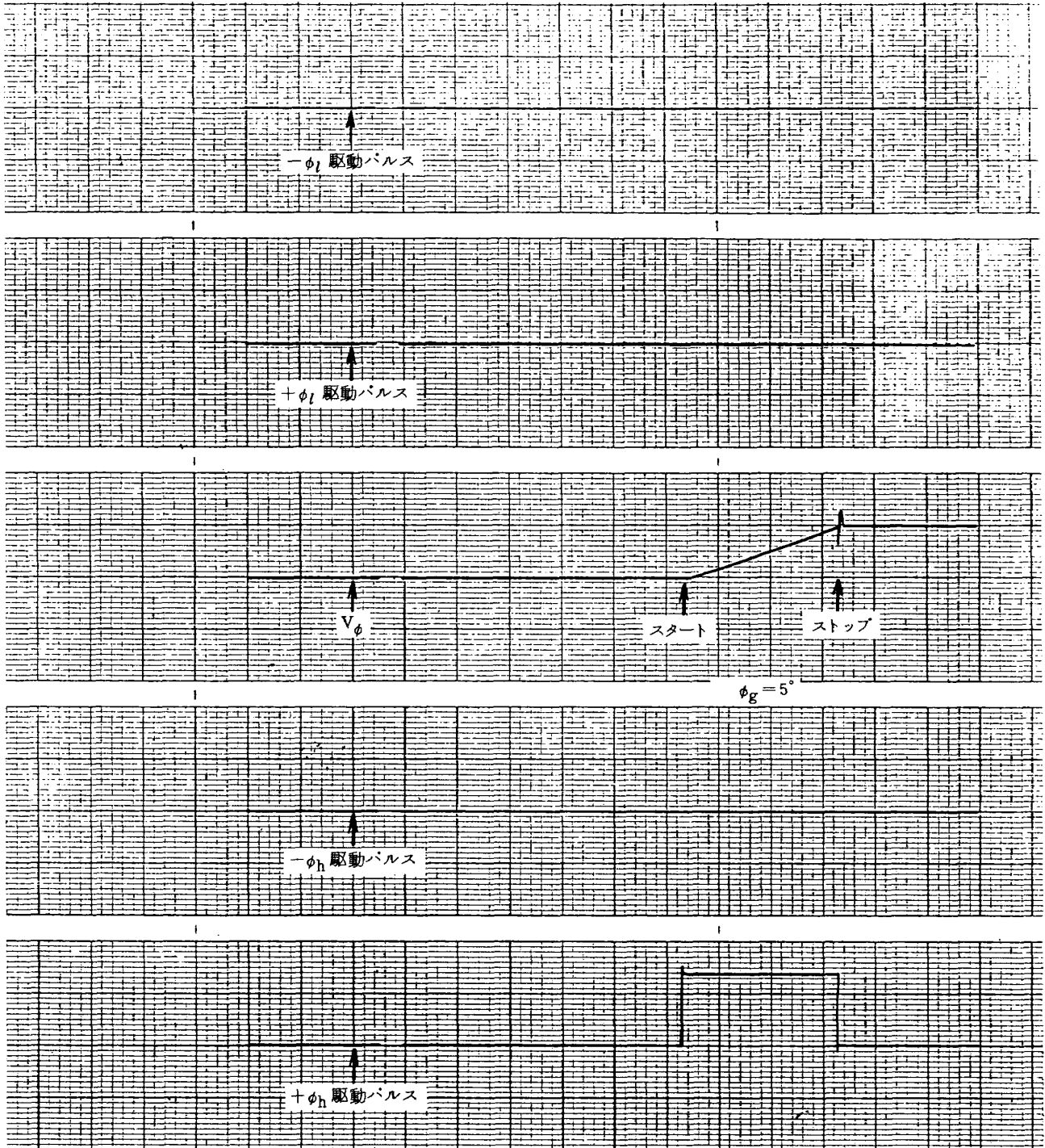


図 19  $4\phi_3 = 0.1^\circ$   $\phi_g = 5^\circ$

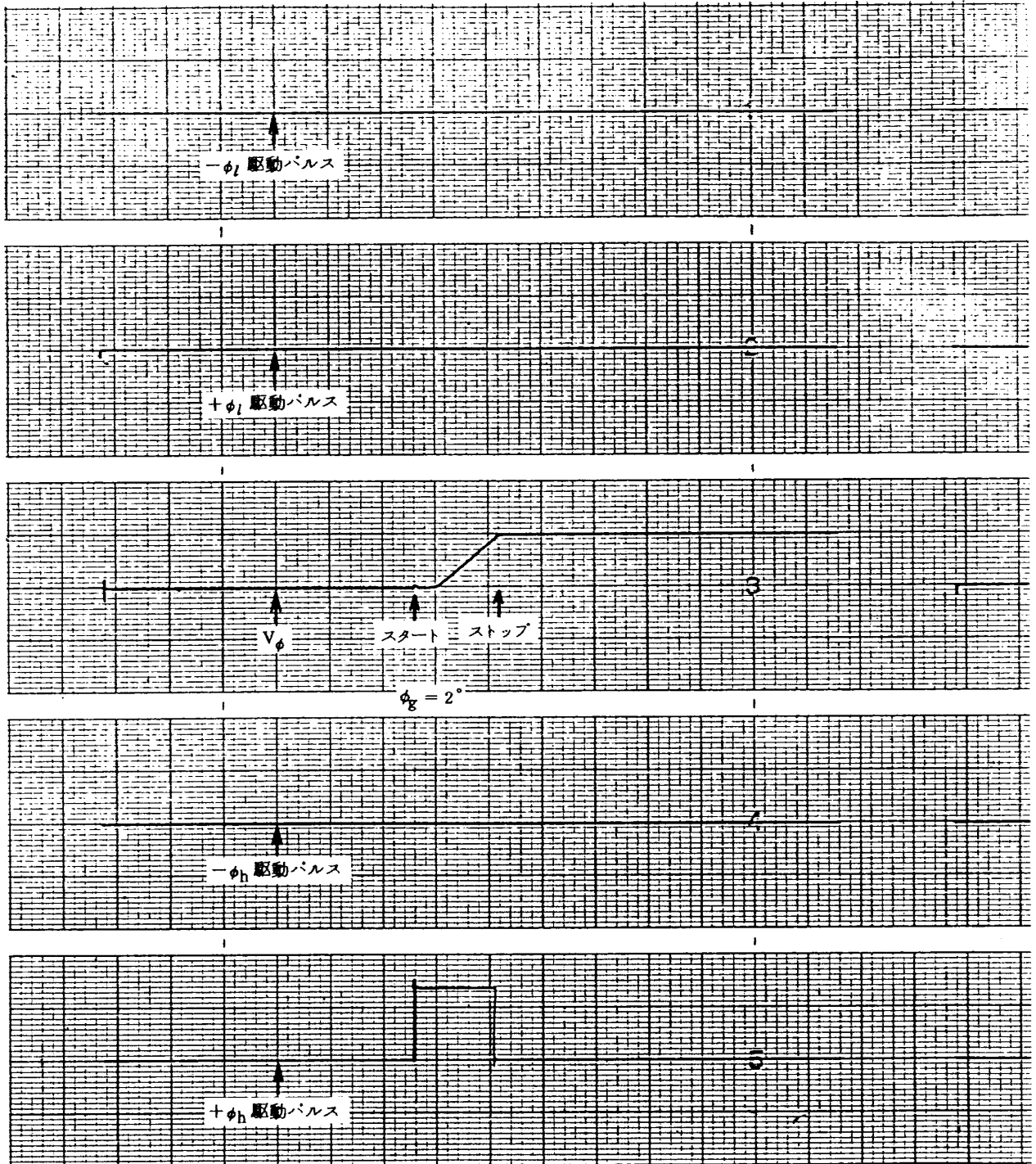


図 20  $\Delta\phi_s = 0.1^\circ$   $\phi_g = 2^\circ$

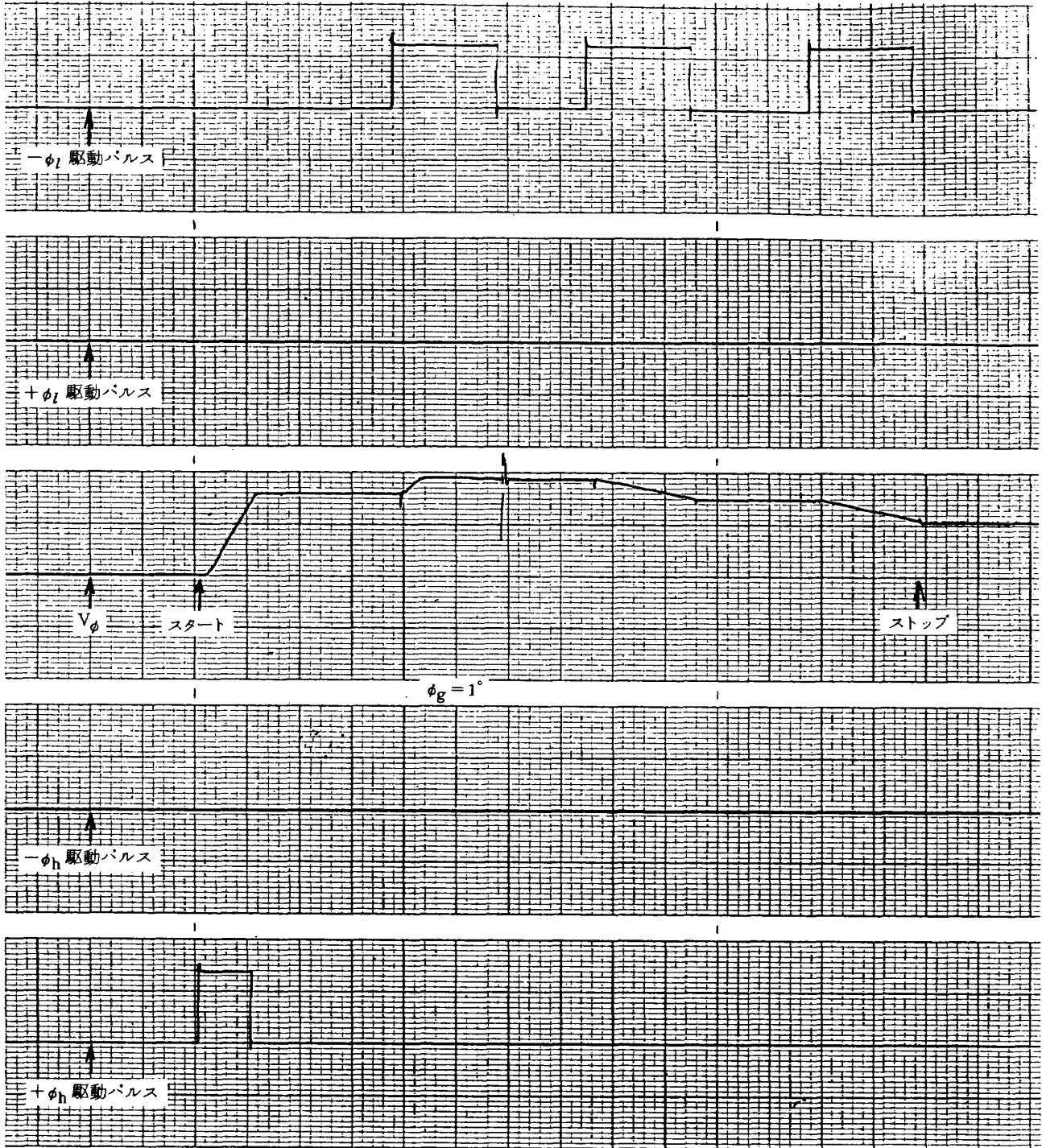


図 21  $4\phi_s = 0.1^\circ$   $\phi_g = 1^\circ$

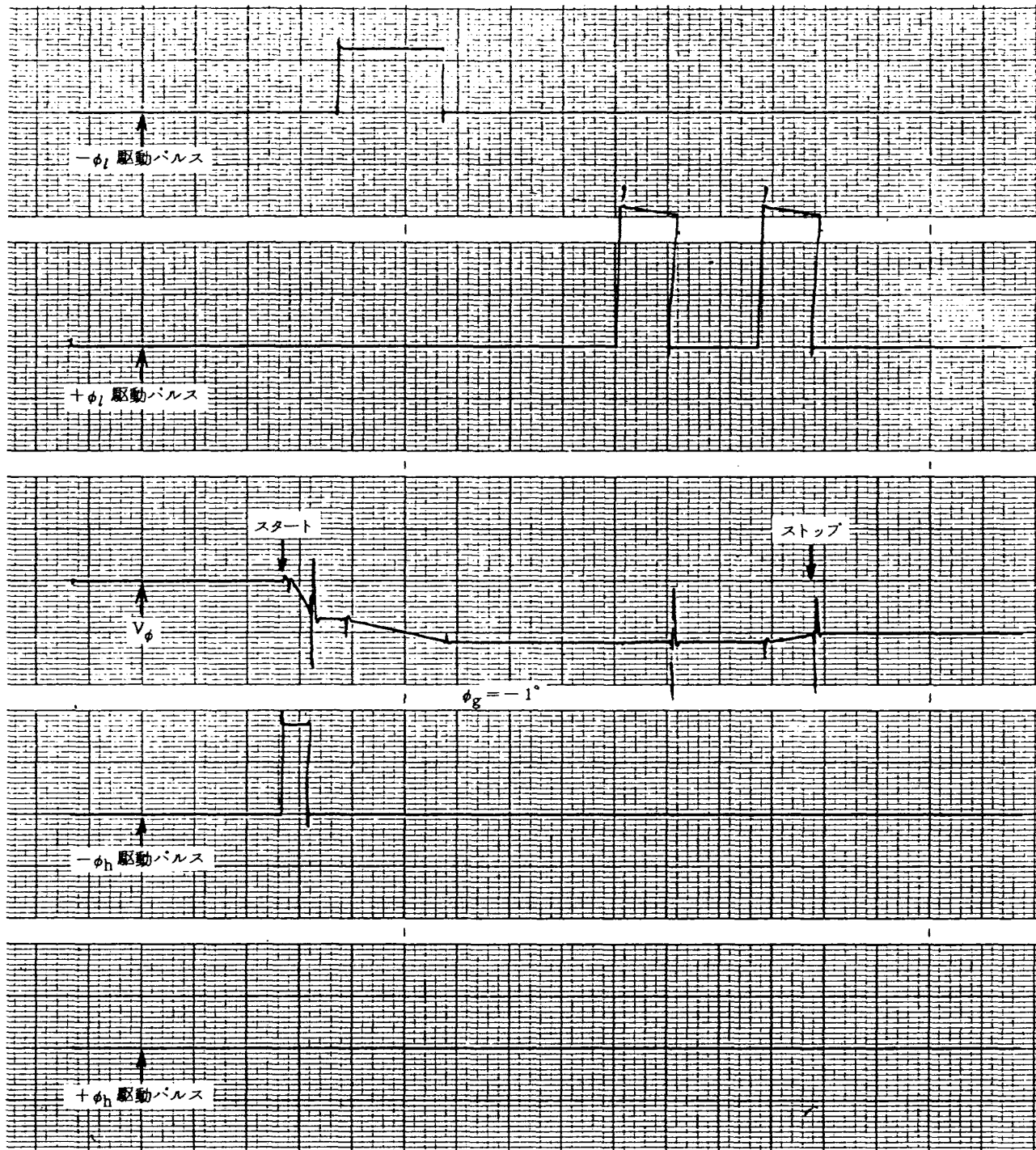


図 22  $\Delta\phi_s = 0.1^\circ$   $\phi_g = -1^\circ$

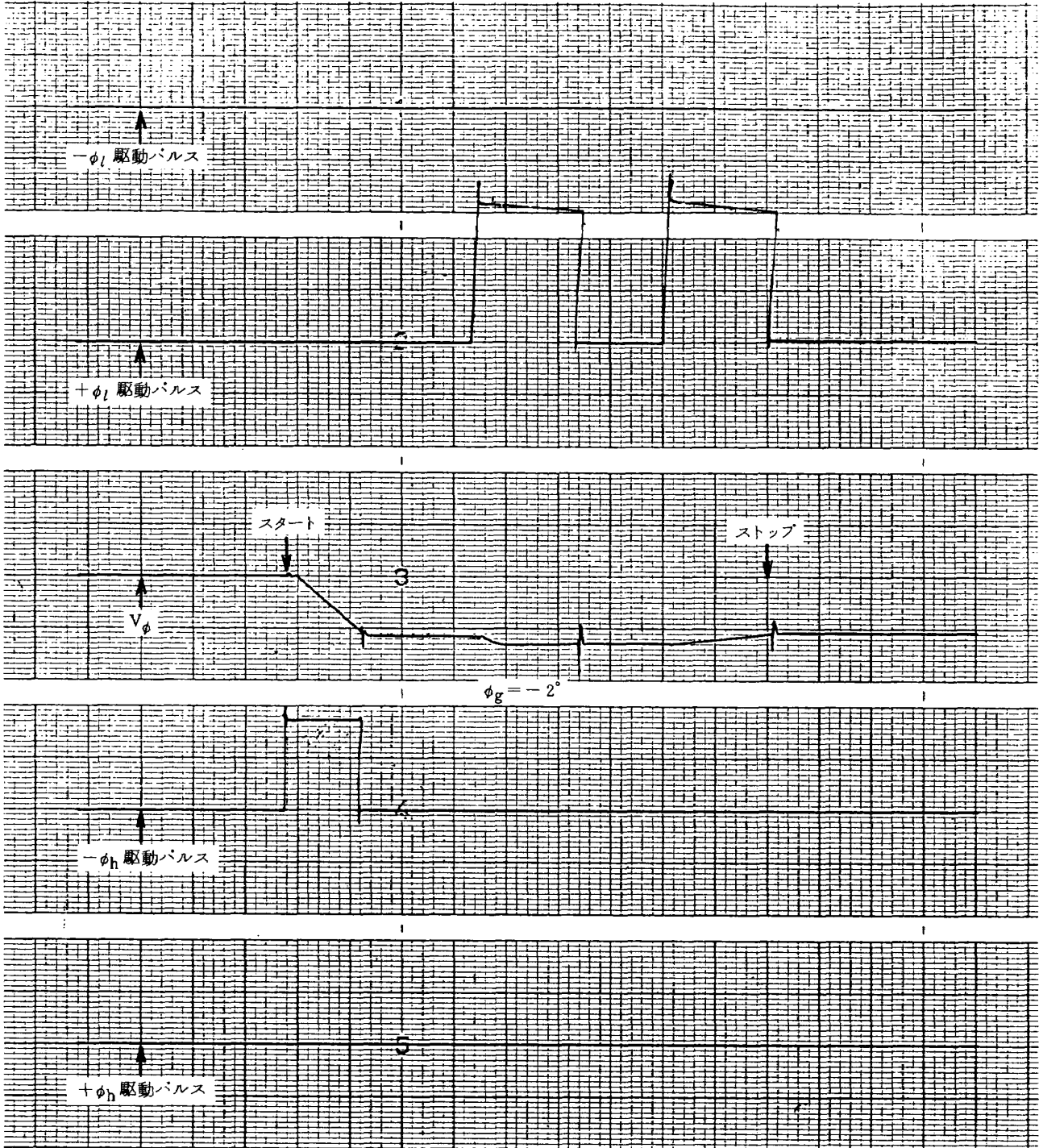


図 23  $4\phi_3 = 0.1^\circ$   $\phi_g = -2^\circ$

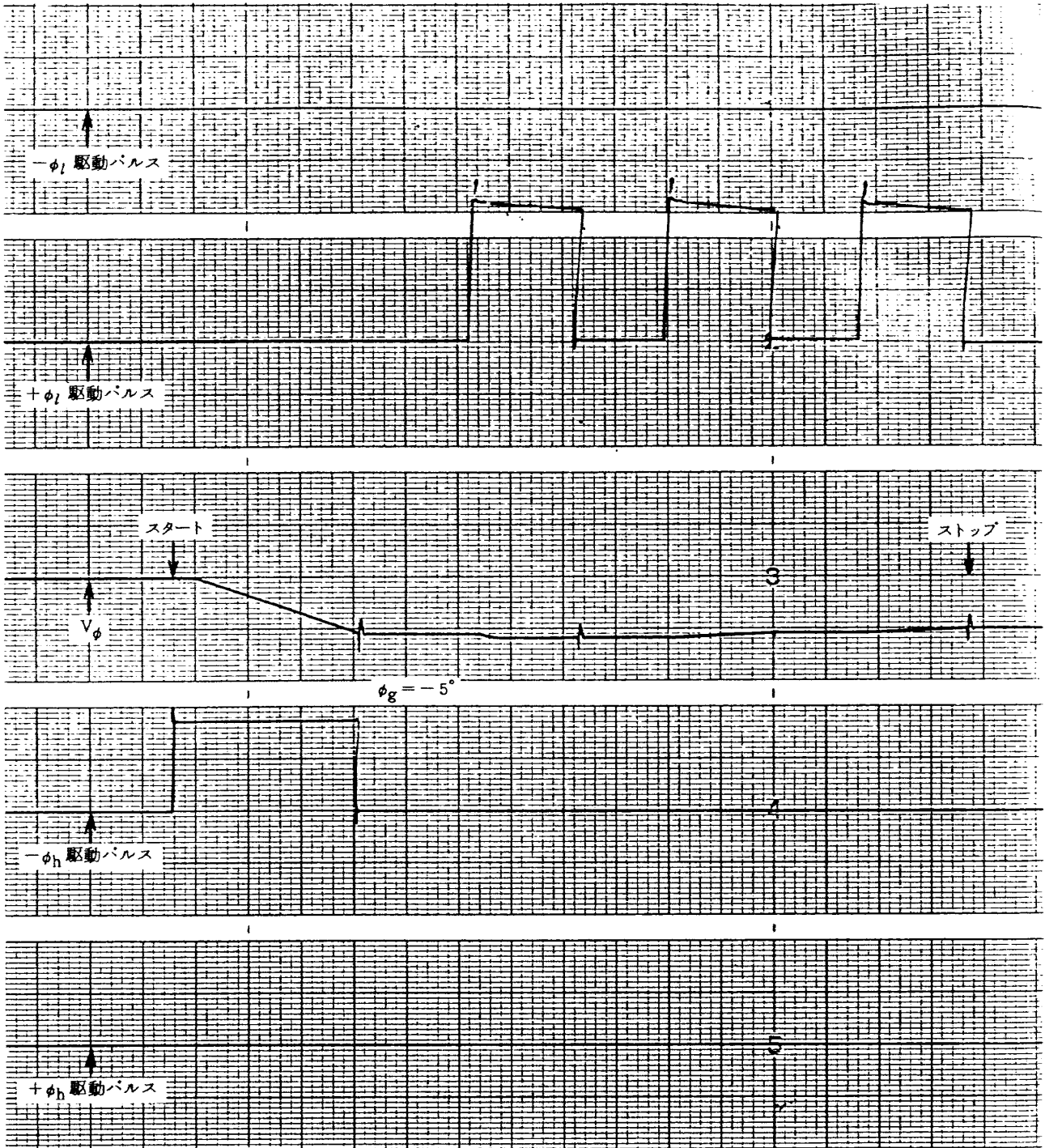


図 24  $4\phi_s = 0.1^\circ$   $\phi_g = -5^\circ$



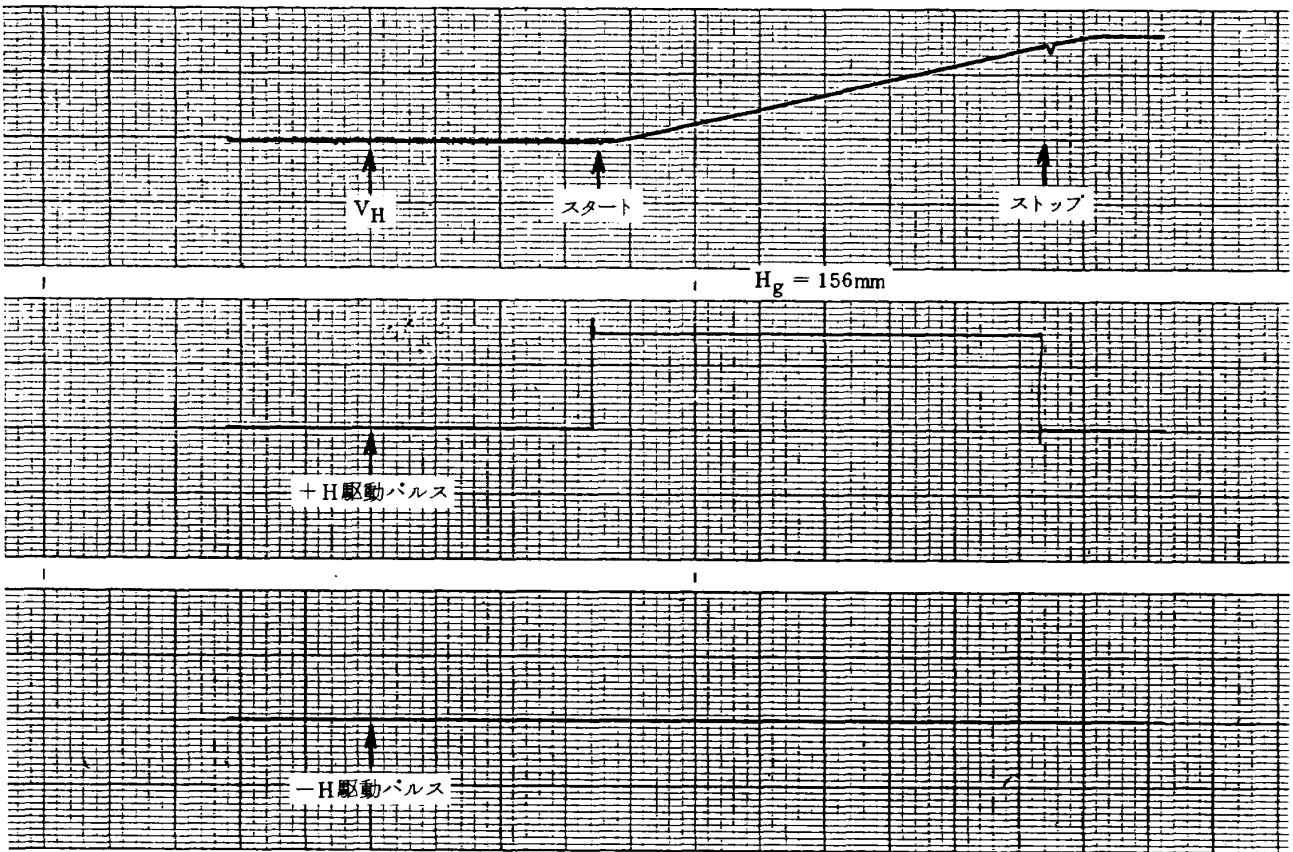


図 25  $4H_3 = 10\text{mm}$   $H_g = 156\text{mm}$

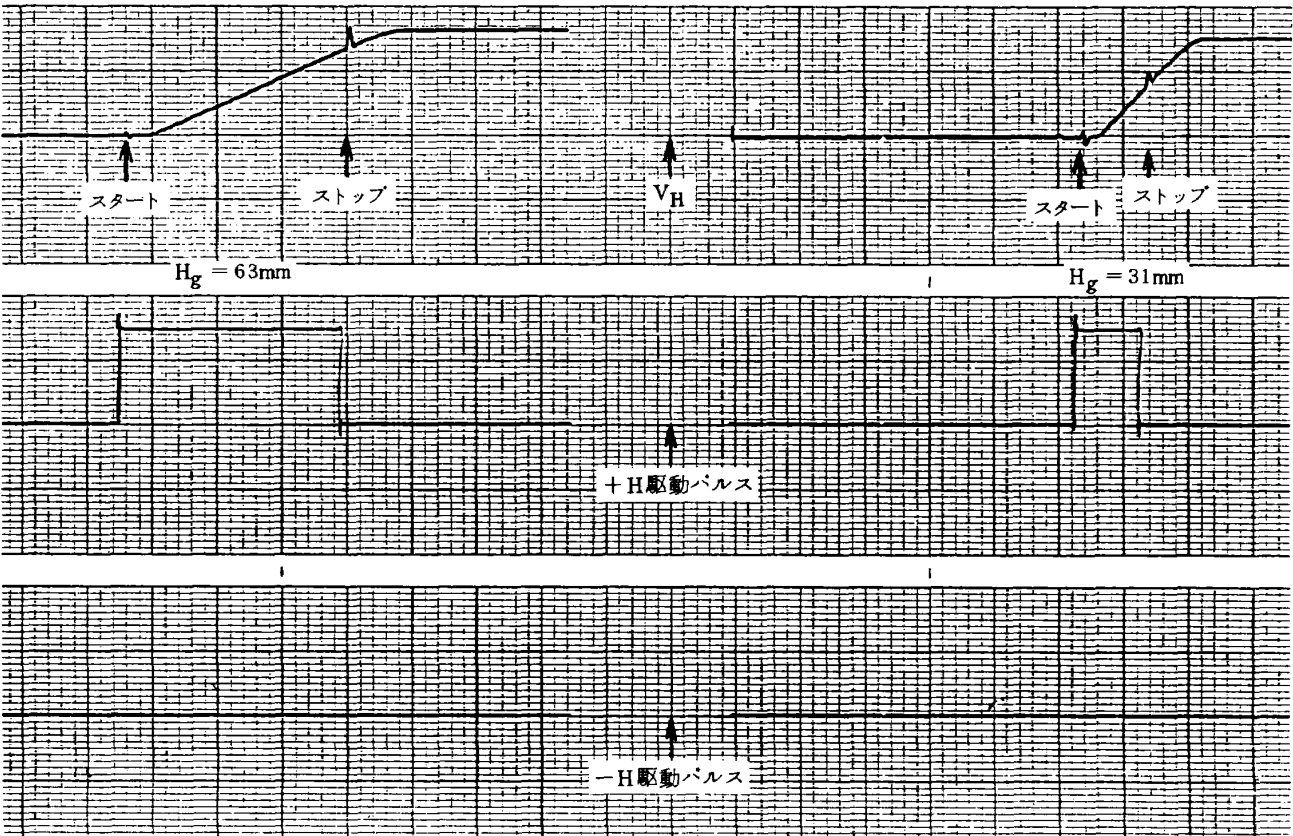


図 26  $4H_3 = 10\text{mm}$   $H_g = 63\text{mm}, H_g = 31\text{mm}$

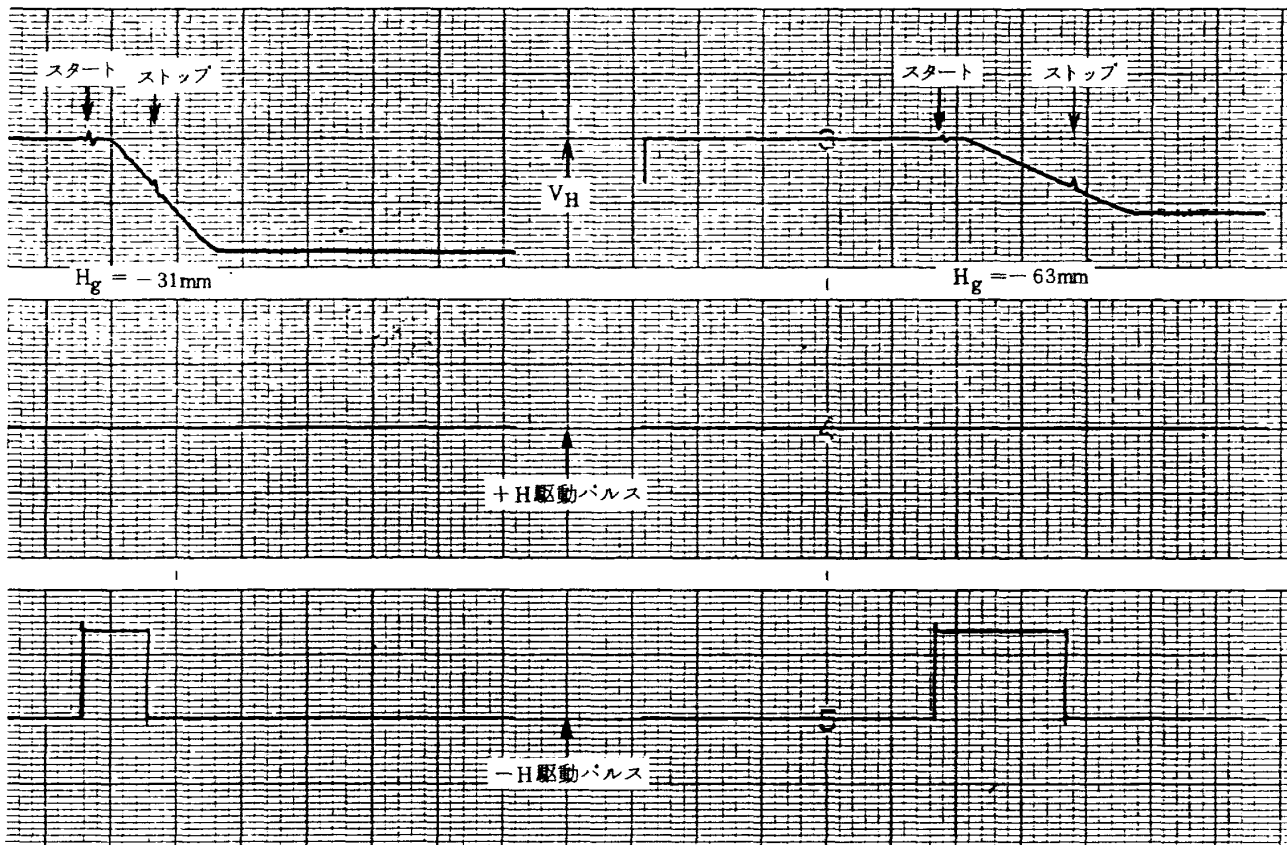


図 27  $4H_3 = 10\text{mm}$   $H_g = -31\text{mm}$ ,  $H_g = -63\text{mm}$

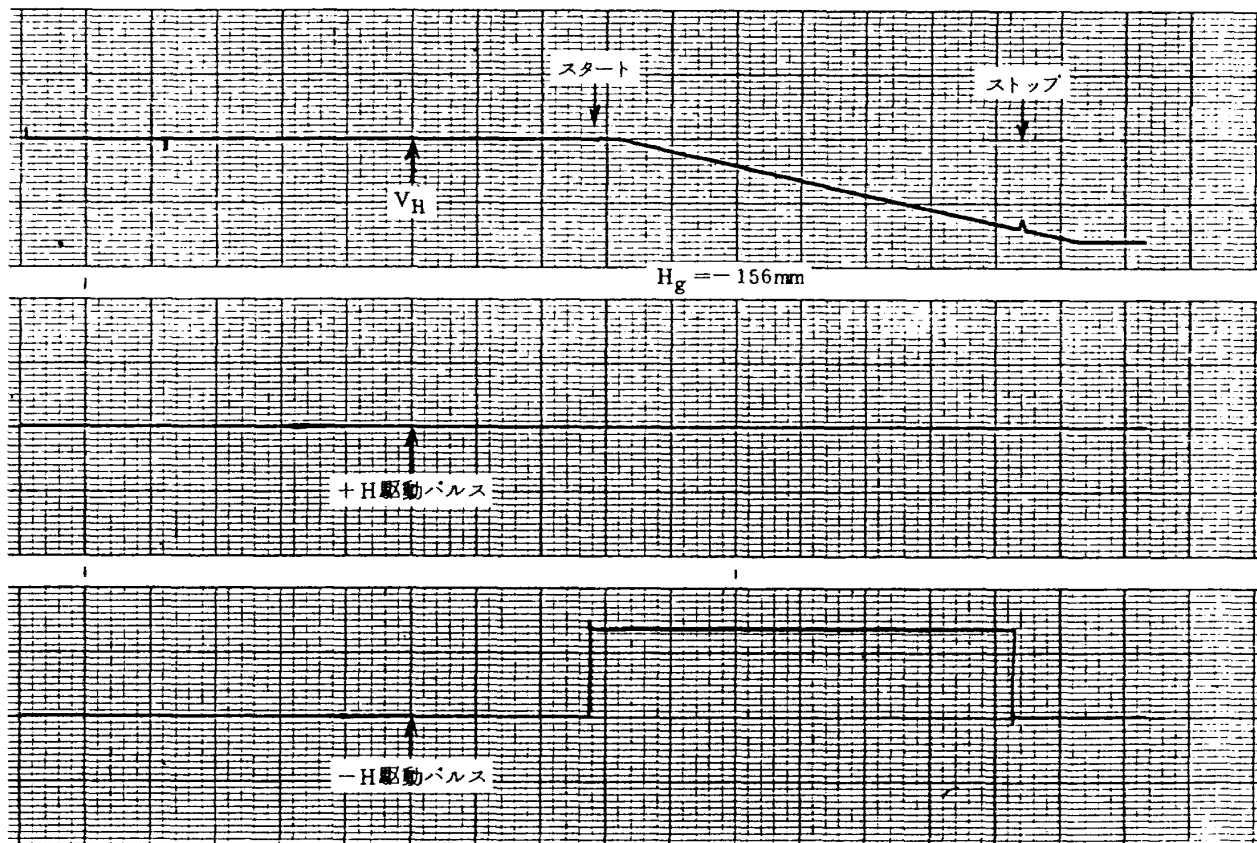


図 28  $4H_3 = 10\text{mm}$   $H_g = -156\text{mm}$

## 8. あとがき

7に述べた様にこのシステムで模型姿勢の、自動設定をおこなってみて、設定精度をゆるめると、手動による模型姿勢設定の未経験者にも、熟練者と同等に姿勢設定が2～3箇以内の駆動パルスで、設定可能であった。 $\theta$ ,  $\phi$ の第3偏差をきびしくすると、ハンティングが起きることもあるのは、このようなフィードバック系の宿命でもあろう。

改善方法としては駆動用の動力を、パルスモーターの様な一方行通の制御系にするのも一案であるが、それには現在の模型支持装置の大改造を要する。

その他の問題としては、設定所要時間が熟練者より多い、これは先にのべた主計算機との関係の他に、入力部

のタイプライターの速度が、10字/秒と遅いことが増大の原因であるので、これをブラウン管表示にすればかなり改善されると思われる。

終りに本システムの計画にあたって、当所空気力学第二部竹内理室長に助言を、自動設定の運用には遷音速風洞計測研究室諸氏の協力を、本報告をまとめるにあたって高島一明室長、神谷信彦室長に指導を受けた。また、本システムの製作に御協力をいただいた、アイ電子測器株式会社に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 航空技術研究所 2 m × 2 m 遷音速風洞の計画と構造  
航空技術研究所報告 TR-25

---

## 航空宇宙技術研究所報告636号

昭和55年11月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川2-27-12

---