U.D.C. 621.313.333：621.3.044/.045-213.32

日立キャンド水中モートル

Hitachi Canned-type Submersible Motor

大和田　武義*
Takeyoshi Owada

要　　旨

従来より各種の水中モートルを製作してきたが，標準機種の系列にキャンドモートルを新シリーズとして加えた。キャンドモートルは電機部を溶接密閉した構造であるが，このため，構造，特性などにおいて従来の水中モートルと種々の点で違っている。これらについて絶縁構造を中心に紹介するとともに，保守取扱などの主要点について概説した。

1. 緒　　言

水資源の開発，有効利用は産業経済の発展とともに重要な項目であり，このため，各種ポンプの需用量は増加しているが，これらのポンプのうちで，水中モートルポンプの占める割合は年々高くなる傾向を示している。このポンプ駆動用として，各種の水中モートルが開発されているが，最近，生産技術の進歩，材料の発達とともに，従来化学設備や原子力関係に用いられていたキャンドモートルが，汎用水中モートルにも適用されてきた。

水中モートルは，ポンプと一体となって液中で稼働するため，種々の特殊条件が要求され，日立製作所においては，従来より各種の水中モートルを供給してきたが，その間長年にわたってキャンド水中モートルに検討を重ね，新シリーズに加えることにした。キャンド水中モートルは，一般の水中モートルと構造や絶縁法が大きく違っているので，これらを中心に以下概要を紹介する。

2. キャンドモートルと従来形の比較

水中モートルは，絶縁方式などによって**表1**[(1)]のように分類される。新機種として加えられたキャンドモートルは，モートル内にも清水を封入した水封式の一種である。

これらの水中モートルは，いずれも各種の長短を有しているためその特異点を生かした用途に向けられているが，最も一般的な水封式の場合，電気部や軸受が直接水に接している点は大きな特異点であり，これに対して，安定した特性を保持するために各種の改良が加えられているが，耐水絶縁線方式などにおいては，生産性向上の点などにおいて，限界が生じてくる。

キャンドモートルは，**図1**の構造例にも示すように，モートル内に清水は封入されているが，固定子内径側にも極薄の保護円筒（キャン）を内張りし，電機部を缶詰状に完全密閉して耐水保護する構造をとっているため，電機部は直接封入水と接することがなくなった。この結果，特殊耐水絶縁線のような絶縁被覆の厚い電線を用いる必要がなく，エナメル線の使用により，耐熱性の向上，小形化，生産性向上対策などが可能になった。なお深井戸用水中モートルなど，比較的高水圧下で使用する場合は，キャンや外わくと電機部分との空間には種々の目的で絶縁材を充てんしている。キャンド水中モートルの回転子には，化学関係で使用されているようなキャンは張っていないのが一般である。

3. キャンドモートルの特異点

前項で記したように，キャンドモートルは，固定子と回転子の間にキャンを張った特異な構造をとっているため，特に固定子の構造や使用材質について熟知していることが，モートルの安定運転上重要な点である。

表1　水中モートルの分類

水中モートル	水封式	耐水絶縁線方式	水中モートル全般
		耐水モールド絶縁方式	小形水中モートル用
		キャンド式	多量生産水中モートル用
	油封式		土木・農事・下水関係水中ポンプ用
	乾　式		土木関係を中心に可搬式ポンプおよび汚物排出用など

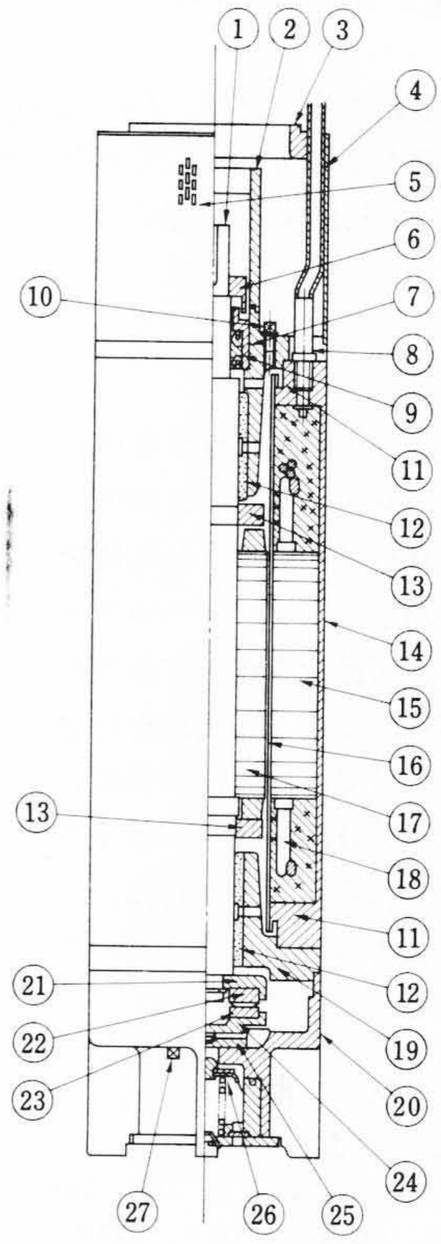

図1　深井戸用キャンド水中モートル構造例

3.1 キ　ャ　ン

キャンは，固定子と回転子の間にそう入しているため，次の条件を満足する構造材質であることが必要である。

（i）　損失の少ない材料構造であること。

キャンは主磁束である回転磁界と交鎖するので，キャン内には次の式で示すような鉄損（キャンロス）が発生する。

キャンロス

$$W_c = k \cdot \frac{B^2 \cdot L \cdot D^3 \cdot t}{\rho} \quad (\mathrm{W}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

*　日立製作所習志野工場

ここで，W_c: キャンロス
k: 構造などによって決まる定数
B: キャンと鎖交する回転磁束密度
L: 鉄心積層
D: キャンの直径
t: キャンの板厚
ρ: キャン材の固有抵抗

このため，キャンのないモートルに比べて，見掛け上鉄損が増加した形になるので，モートルの特性上，キャンロスをできるだけ少なくすることが必要であり，構造・材質上次の事項が要求される。

① 固有抵抗の高い材質であること
② 可能な限りキャンは薄くすること

モートルの各種特性上からも空隙(げき)寸法は小さいことが必要であり，このためにもキャンは薄くなければならない。よって0.15～0.2 mmとしている。

(ii) 非磁性材であること

構造上モートルの電気回路定数に影響の少ないように，非磁性材を使用することが必要である。

(iii) 耐食性のあること

キャンは薄いため，取扱液に対して腐食劣化しないような，化学的に安定した材料でなければならない。

(iv) 安定した構造で取り付けられていること

固定子鉄心の内径と密着させ，運転中加わる機械的電気的外力や熱的応力に対して，変形損傷のないような材質を用いて，確実に耐水密封構造を保つように取り付けられていなければならない。キャンの変形損傷は実質的にモートルの運転不能となる。

これらの各種条件を考慮して日立キャンド水中モートルの場合はキャン板厚を前記のように薄いステンレス鋼とし，端部は**図1**の例ではエンドブラケット取付板に水密溶接取り付けし，独自の成形法によって固定子鉄心内径に密着させており[2]，各種の過酷な運転条件に耐えられるようにしている。

3.2 絶縁構成とその特性

電機部は，キャンと外わくによって完全に密閉した室内に収納されているため，従来の耐水絶縁線使用モートルのように，特殊電線を用いる必要がなくなり，エナメル線を用いた絶縁方式が採用できるが，この場合の絶縁法としては次の2種に大別される。

(i) 空気または保護気体を密封した方式(乾式)
低水圧下で使用するキャンド水中モートルに採用

(ii) モールド材を充てん絶縁する方式(モールド式)
高水圧下一般用途向キャンド水中モートルに採用される。

乾式の場合は，内部の温度変化による吸湿を防止するため，コイル関係の絶縁方式は，ワニスの真空含浸処理などにより，じゅうぶんな耐湿処理が施され，E種絶縁が採用されている。

高水圧下で使用される水中モートルにおいては，キャンが薄いためキャン単体では外部より加わる水圧に耐えられず，また，種々の条件から，固定子内をモールド充てんしているが，このモールド材としては次のような各種の条件を考慮して選定しなければならない。

(i) 絶縁特性の良いこと
(ii) 耐熱性の良いこと，温度変化に対して内部き裂の生じないこと
(iii) 熱伝導率の高いこと
(iv) 線膨張係数が構成材とできるだけ近いこと
(v) 機械的特性が良く，広範囲の温度に対して特性変化の少ないこと

日立製作所においては，以上のような各種条件を考慮して，キャンドモートル用として最適のエポキシ樹脂を主体としたハイキャンドレジン[2]を開発した。市場のキャンドモートル用レジンとハイキャンドレジンの諸特性を比較すると**表2**のようになる。また機械的特性の温度変化比較は**図2**に示すとおりである。この図から明らかなように，日立ハイキャンドレジンは，E種絶縁として定められた120℃の温度に対して安定した特性を有していることがわかる。

またスロット内の絶縁構成は，**図3**に示すようにモールド材と共合し，E種の耐熱絶縁特性を有している。

表2 モールド材諸特性比較

	日立ハイキャンドレジン	市場キャンドモートル用レジン
主機	エポキシレジン	不飽和ポリエステルレジン
フイラー体積含有率	65～67%	57～67%
熱軟化温度	120℃	40～50℃
線膨張係数	1.5×10⁻⁵℃	4×10⁻⁵℃

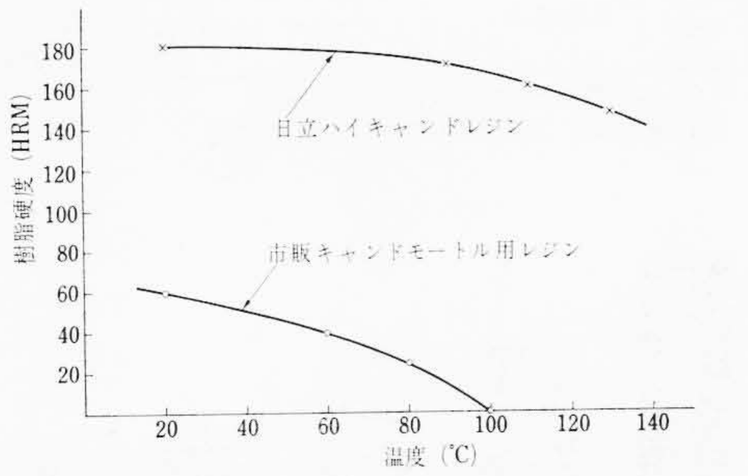

図2 キャンドモートル用レジンの温度特性比較

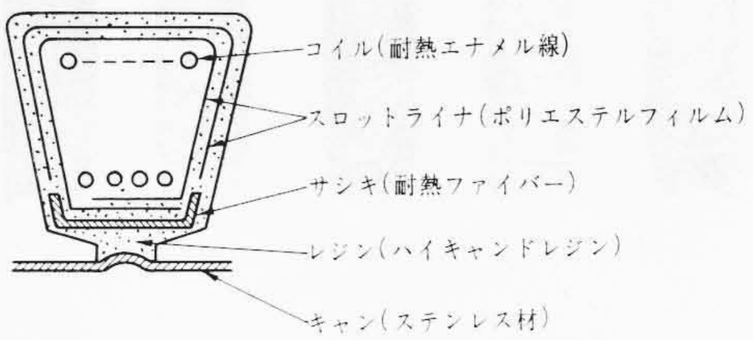

図3 スロット絶縁構成

4. 日立キャンド水中モートルの仕様・特長

日立製作所においては，**表3**に示すような標準仕様のキャンド水中モートルを製作している。**図4, 5**はその外観である。

おもな特長として，次の事項があげられる。

(1) 完全な耐水密封構造

固定子は全体をキャンおよび外わくで包み，独特の方式で成形溶接密封した構造をとっており，電機部を取扱水から完全に保護し，独自の詳細水密試験により異常のないことを確認しているので，高水圧下でも安心して使用することができる。

(2) すぐれた耐熱絶縁方式

固定子内の絶縁材にはE種絶縁として要求されるじゅうぶんな耐熱性を有する絶縁物を使用し，さらに空間部には，機械的・熱的・電気的にすぐれた特性を有するハイキャンドレジンを充てんし独自の成形法によりキャンを鉄心に密着しているので余裕のある運転ができる。また，従来不可能であった高温水の範囲にも，わく適用の変更などによって使用できるようになった。

(3) 安定した軸受特性

モートルの適用が広くなるに従って，要求されるスラスト荷重は大きくなるが，キャンドモートルに使用しているスラスト軸受

表3　日立キャンド水中モートル仕様

適用	細分類	出力 (kW)	共通仕様	起動方式	許容スラスト荷重 (kg)
深井戸用	M4形	0.75～2.2 (～3.7)	2P 200V 50/60 Hz	直入	150
	M6形	2.2～11 (～18.5)	2P 200V 50/60 Hz	直入	500
	M8形	15～22 (～30)	2P 200V 50/60 Hz	人-△起動	800
一般用	設備排水用そのほか一般	0.4～1.5	2P 200V 50/60 Hz	直入	100
		2.2～3.7	2P 200V 50/60 Hz	直入	150
		5.5～7.5 (～11)	2P 200V 50/60 Hz	直入（ただし11kWは人-△起動）	200

注：1.（ ）は準標準として，製作している機種
2. 最高適用水温　深井戸用 35℃　一般用 42℃

図4　深井戸用キャンド水中モートル

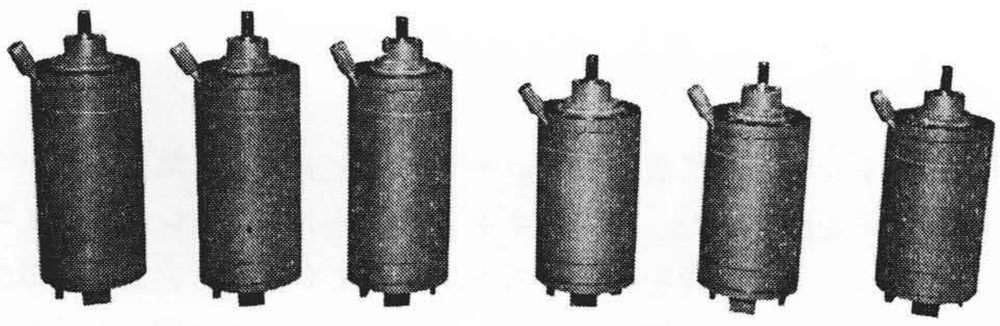

図5　一般用キャンド水中モートル

は，日立独自の放流形軸受[3]であるので，大きな荷重を受けることができる。かつ，ポンプの設計製作が容易になるとか，モートルに余裕のある使い方ができるとか，数多くの利点が期待される。放流形軸受の構造はミッチェル形のように複雑でないため，保守も非常に容易である。

ラジアル軸受にも水潤滑性のすぐれた特殊軸受を用いており，回転子や各構成部品に，高精度工作を施していっそう安定した運転を確保している。

（4）　ポンプ用として適した特性

キャンドモートルは，固定子内径にキャンを張っているため，この分だけ鉄損が増加するはずであるが，キャンの材質，構造の検討や，そのほかの各種対策により，諸特性はJIS規格を満足するとともに，耐水線使用モートルと同等の効率力率を保ち，起動トルクも大きくするなど，ポンプ駆動用モートルとして適した諸特性を有している。

（5）　口出部に防水プラグの採用

従来の水中モートルにおいては，コイルから直接口出線を出していたが，キャンドモートルでは，独特な構造の防水形コネクタを用いて口出線を接続する方式をとっているので，ケーブルの変更とか，保守点検などにおいて，非常に便利である。

表3の仕様のほかにも各種キャンド水中モートルを製作している。

5. キャンド水中モートル選定・使用上の注意

キャンド水中モートルは，前記のように多くの特長をもっているが，固定子部分を完全密閉構造としているので，従来のようなコイルの巻替などの自由性はないので，使用，選定においては，次の点を注意することが必要である。

5.1　モートルの熱特性に合った保護装置と併用

キャンドモートルに限らず，水中モートルは水中で運転するため直接監視することはできない。このため地上よりの適切な間接的保護が必要である。また保護装置が適正なものでなければ，異常時は非常な大事に至る危険があり，ひいては，引揚げ再据付けなどに大きな費用のかかることがある。

モートルの異常運転としては，次の事項がある。

（1）　過負荷運転
（2）　拘束運転
（3）　欠相運転

これらの異常保護として各種電流リレーがあるが，水中モートルの場合は，JIS B8324，8325にも規定されているような異常時に高速しゃ断するリレーと併用することが最少限必要な条件である。ヒューズは電路保護が目的であり，一般のモートル用マグネットスイッチに内蔵しているサーマルリレーは過電流時の動作時間が長く，保護要素も過電流現象を検知してほかの現象を間接的に保護するものであるため，水中モートル用としてじゅうぶんな保護は期待できない。

5.2　正常な運転環境の保持

水中モートルは，原則的にモートルの周囲にじゅうぶんな冷却水の存在によって正常な運転が保証される。よって，モートル部が砂中に埋没することのないように据付場所，条件の保守をじゅうぶんに行なうことが必要条件である。さらに冷却条件の低下は前項の保護リレーでは，検知できないことも承知しておかなければならない。

水中モートルに限らず，モートルの起動時は，次の式で示す損失がモートル内に発生する。

モートルの起動時損失

$$W_{st}=\left(\frac{\pi}{60}\right)^2 GD^2 n_s^2\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)\int_{s_1}^{s_2}\frac{ds}{\frac{1}{s}\left(1-\frac{T_L}{T_M}\right)} \quad \text{(W-s)} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで，W_{st}：　起動時モートル内発生損失
n_s：　モートルの同期回転数
R_1：　固定子抵抗
R_2：　回転子一次換算抵抗
s：　すべり
s_1, s_2：　初期および最終のすべり
T_L：　負荷トルク
T_M：　電動機出力トルク

また拘束運転時は，次の式で示す損失が発生する。

拘束運転時発生損失

$$W_L=\{W_i+W_c+3(R_1+R_2)I_{st}^2\}t_L \quad \text{(W-s)} \quad \cdots\cdots(3)$$

ここで，W_L：　拘束運転時モートル内発生損失
W_i：　鉄損
W_c：　キャンロス
I_{st}：　拘束電流起動電流
t_L：　拘束時間

これらの損失によって，モートルは次の式で示すような温度上昇をきたす。

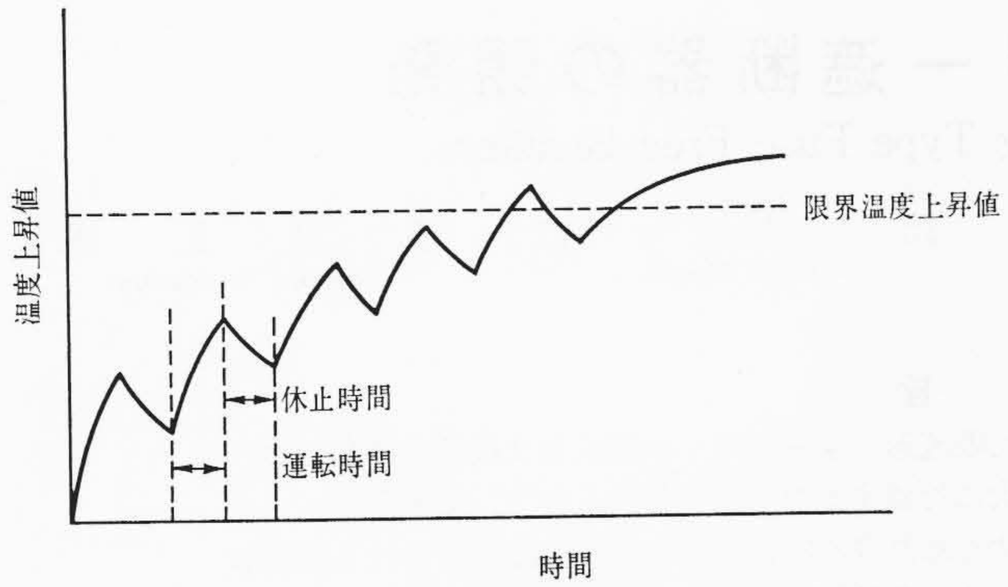

図6　高ひん度運転停止による温度上昇曲線

$$\theta = K \cdot \frac{W_{st}}{CG} \text{ または } K \cdot \frac{W_L}{CG} \quad (\text{deg}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

ここで，　θ：コイルの温度上昇
K：冷却係数
C：導体の比熱
G：導体の重量

起動時損失や拘束時損失は，平常運転時に発生する損失に比べて非常に大きく，周囲の冷却水も動いていないなどにより，コイルは急激に温度上昇するため，起動停止や拘束運転を高ひん度に繰り返すと，図6のようなコイルの温度上昇をきたすので，運転間隔は10分以上にするとか，インチングは3回程度にするなどして，コイルの異常過熱事故の生ぜぬように圧力タンクなどによる自動運転の場合は留意することが必要である。

水中モートルは，据付場所と電源とが非常に離れることがある。この場合，ケーブルにおける電圧降下が大きいと，正規の仕様が得られないばかりでなく，モートルの異常を誘発することもあるので関連規格参照のうえケーブルの太さを選定することも必要である。

5.3　平常の保守管理

モートルの運転状況を直接監視することはできないので，電流や絶縁抵抗値を定期的に測定記録しておくことは，異常の早期発見に有効な管理法である。

欠相運転防止のために各接続部のゆるみ点検もたいせつなことである。長期の安定した運転を得るために，定期的に引き揚げて分解点検することも一般の機器と同様に必要なことである。

6. 結　　言

キャンド水中モートルは，従来のモートルと異なり，固定子をわくおよびキャンで完全密封耐水保護しており，構造，絶縁法，特性などが特異であるため，保守関係をも含めて概説した。ここには現段階における標準のキャンド水中モートルを中心に紹介したが，日立製作所においては，キャンドモートルに限らず各種の水中モートルを製作して広い需要に応じており，さらにいっそう製品の向上，進歩に精進を重ねてゆく積りである。

終わりに，本件について，種々ご指導ご援助をいただいた日立製作所日立研究所および習志野工場の関係各位に深謝する次第である。

参　考　文　献

（1）　JIS B 8324，8325
（2）　特許出願中
（3）　大和田，長谷川，岡野：　日立評論 51，1102（昭 44-12）

新案の紹介

登録実用新案 第882145号

鍋島康夫・柳川　衛
柿沼武博

フィードバック形振動台の安全装置

この考案は建造物の耐震性などを試験する際に用いられるフィードバック形振動台の安全装置に係るものである。

フィードバック形振動台というのは，あらかじめ試験しようとする荷重，振幅，周波数などの目標値Vを設定し，これによりアクチュエータを駆動して目標値Vに応じて試験片に所定の制御値Xの荷重，振幅などを繰り返し与え，またアクチュエータの出力をサーボバルブ駆動増幅器の入力側にフィードバックして $Z=V-X$ で示される制御偏差の作用によりアクチュエータの出力が常に所定値にあるように制御されるものである。

しかし上記のような振動台は，特に試験容量が大きいと各構成機器のうちいずれか一つが故障をおこすと，ほかの機器に故障を拡大したり，はなはだしいときには試験片を破損させて人命事故を起こすおそれもある。この考案はこのような問題点を解決したものであり，フィードバック形振動台における各構成機器のうちいずれか一つが動作不良になった場合，制御偏差Zが増大することに着目し，制御偏差Zを検出する検出器をサーボバルブ駆動増幅器の入力側に設け，検出値が規定値を越えたときに振動台を非常停止させるようにしたものである。

したがって，この考案によれば，故障を起こした場合でも試験片が過荷重，過振幅になることがなく，試験片の破損や人命事故を防止できる効果がある。

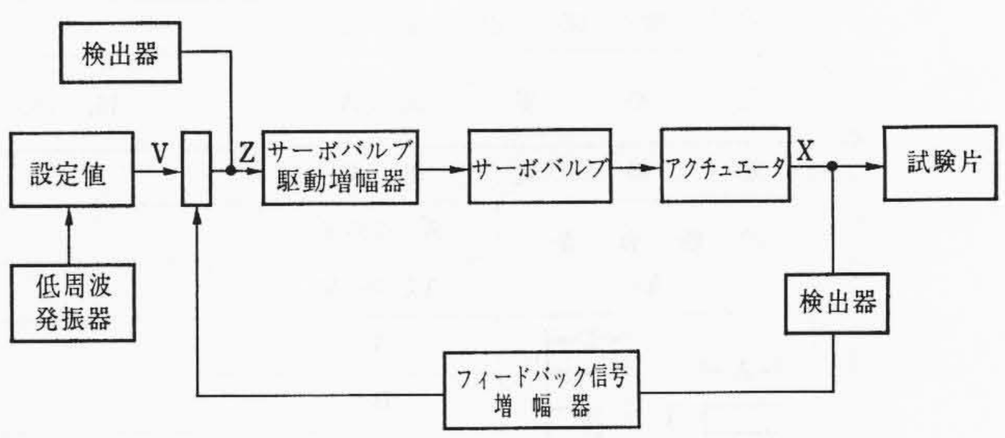

図　1