

γ 線 液 面 計 Gamma Ray Liquid Level Meter

鷲 見 哲 雄* 諏 訪 志 朗*
Tetsuo Sumi Shiro Suwa

内 容 梗 概

γ 線液面計はタンク内の液体による γ 線の吸収を利用して、液面の検出、指示あるいは必要により制御を行う装置であり、従来測定困難であつた高圧タンク内の液面、高粘性液体の液面、粉体面などの測定ができるので化学工場などでその需要が高まりつつある。

日立製作所においてはいち早くその開発に乗り出し、線源および検出器を、測定タンクの両外側面に対向して水平に取付ける方法を採用し、固定型の液面検出器および自動平衡型の液面指示記録計を製作した。これらの装置は $\pm 5\text{mm}$ 以内の測定精度が得られた。特性についてもその実用性が実証されてをり、化学工場において反応タンクの液面の自動制御などにすでに実績をあげつつある。

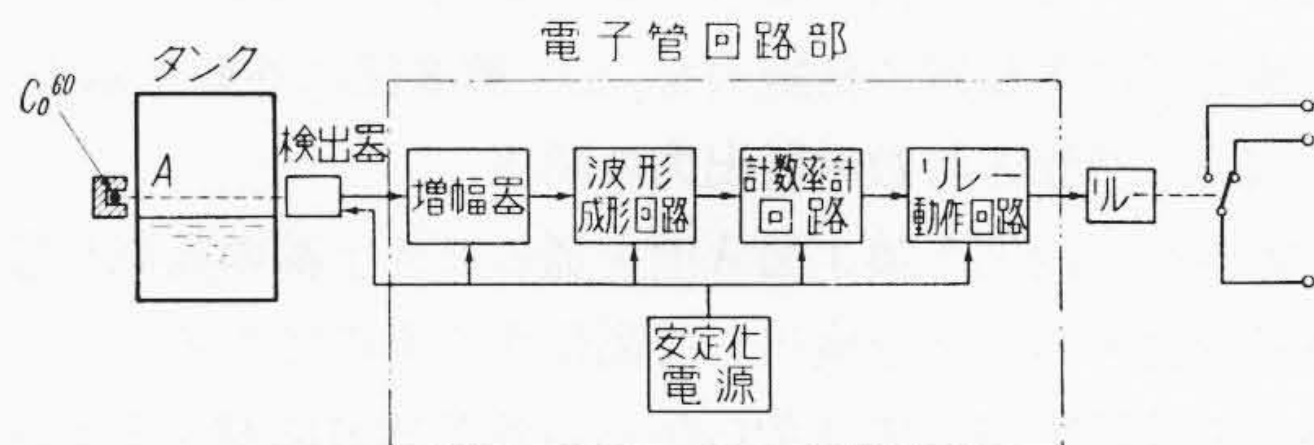
〔I〕 緒 言

従来高圧タンク内の液面、高粘性液体の液面、熔融金属面、粉体面などの測定はほとんど不可能であつたが、これはタンク内の液体に接触しないで液面を検出することが困難であつたためである。しかし最近の放射線測定技術の急速な発達に伴い、放射性同位元素から放射される γ 線を利用してタンク内の液面を、まったく外側から検出できる γ 線液面計が出現して上記の測定困難であつた方面にも容易に利用できるようになった。したがつて化学工場などにおける需要度は最近著しく高まりつつある。

γ 線液面計は、タンクの外側から γ 線を照射して、タンク内の液体による γ 線の吸収を検出することにより、液面位置を検出測定し、さらに必要によつて制御する装置である。線源としては半減期が比較的長く (5.3年)、また取扱が容易な点から、もつぱら Co^{60} (コバルト 60) が使用される。

γ 線検出器には電離函、ガイガーカウンタ、シンチレーションカウンタの3種類がある。この中電離函は構造が簡単で、寿命的にも信頼のおけるものであるが、 γ 線に対する感度が低いため、これを使用すれば Co^{60} の必要量を少なくすることができず、放射線障害予防の見地から不適當である。したがつて液面計の検出器としてはガイガーカウンタまたはシンチレーションカウンタが使用される。シンチレーションカウンタを使用すれば、ガイガーカウンタの場合に比べて回路がやや複雑になるが、 γ 線に対する感度が著しく高いので、使用する Co^{60} の量を少なくすることができ、放射線障害が問題となつてゐる折から、この点で非常に有利である。

液面を検出する方式としては、線源および検出器の配置により数種類の方式が考えられているが⁽¹⁾⁽²⁾、この中すでに日立製作所で製品化されている二つの方式、すなわち RLG 型 γ 線液面検出器および RLS 型 γ 線液面指



第1図 RLG 型 γ 線液面検出器原理図

示記録計について、以下その概要を紹介する。

〔II〕 RLG 型 γ 線液面検出器

(1) 原 理

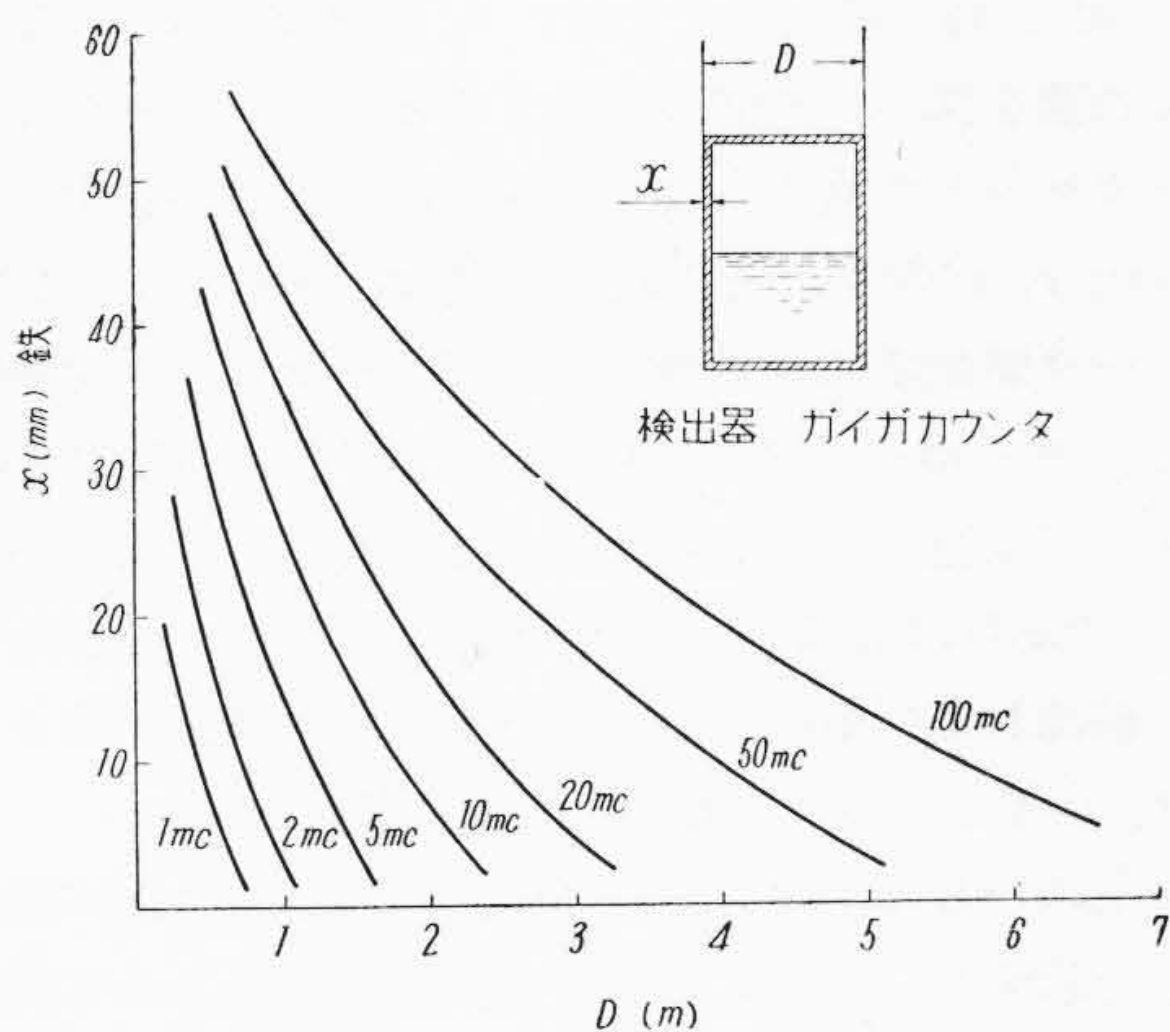
第1図に示すごとく、線源および検出器をタンクの外側面に対向して取付け、液面がこの取付高さの面を通過する際透過 γ 線が急激に変化するのを検出して、これによりリレーを動作させ警報ないしは液面制御を行わせる装置である。

線源として使用される Co^{60} は鉛または鉄製の遮蔽容器に収められ、容器のスリットを通して一方向すなわち検出器の方向に γ 線をビーム状に照射する。検出器はハロゲン入ガイガーカウンタ (以下ハロゲンカウンタと記す) および前置増幅器よりなる。ここで検出される γ 線は電気的パルスに変換されて、同軸ケーブルを通し増幅器に入る。ハロゲンカウンタは普通の有機ガス入ガイガーカウンタに比べて寿命が10倍以上長く、さらに動作電圧も 400V 前後であるから電子管回路の電源と共用することができる。したがつて工業計器として使用するには便利である。なお同軸ケーブルが 10m 以下の場合には検出器内の前置増幅器を省略することができる。

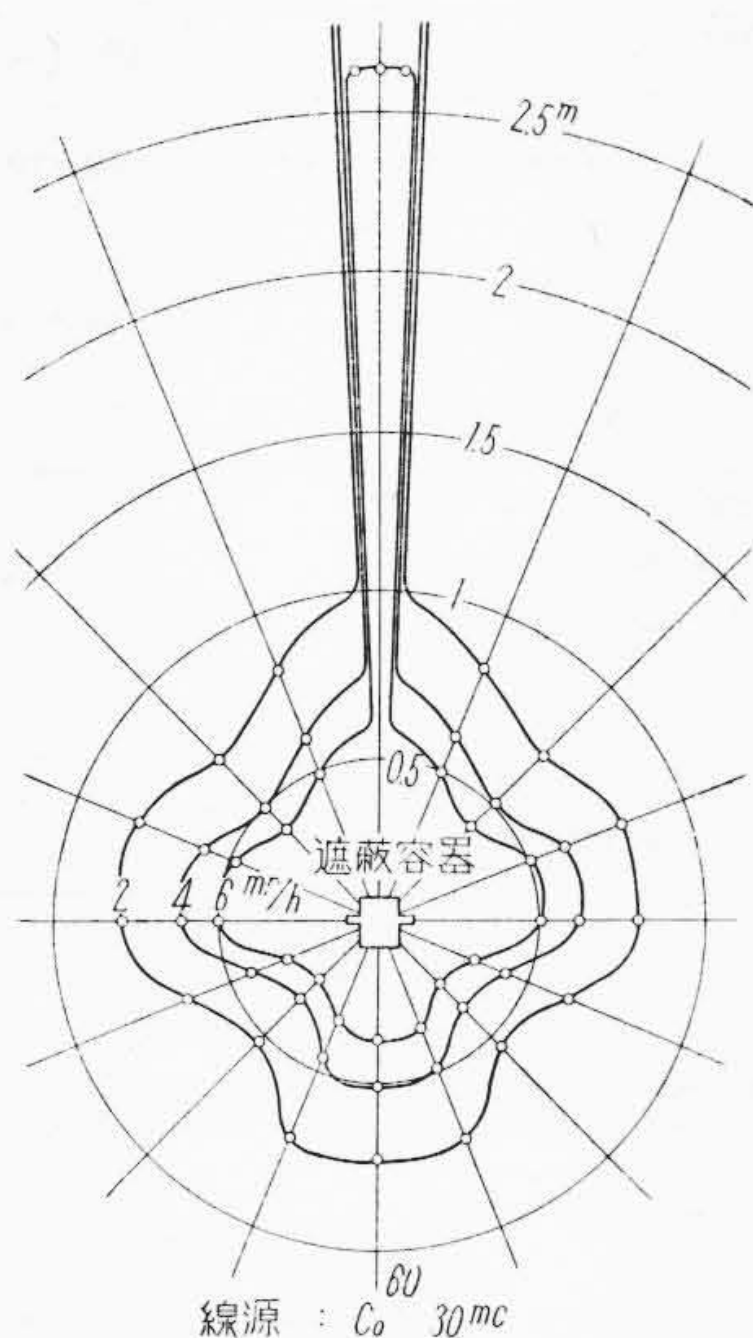
検出器の出力パルスは増幅器で増幅された後、波形成形回路で持続時間および高さの一定な矩形波に成形される。また計数率計回路は単位時間当りのパルス数に比例した直流電圧を発生させる回路であるから、その出力電圧は検出器で検出される γ 線強度に比例する。

タンク内液面が第1図A面より上にあるときには計数

* 日立製作所多賀工場



第5図 タンク寸法と Co^{60} 使用量の関係



第6図 γ線強度分布図

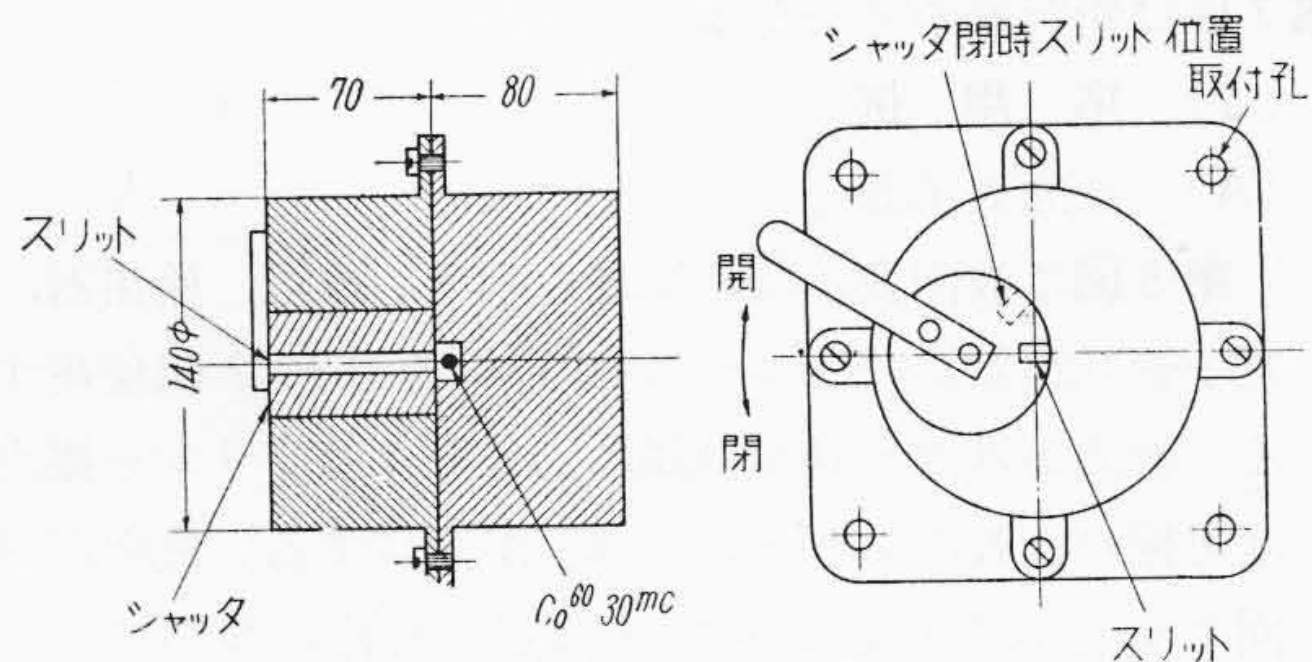
りである。

検出器の種類、タンクの形状などが異つた場合には、第5図より求められる Co^{60} の mC 数はもちろん変化するが、大体の概算としては十分である。

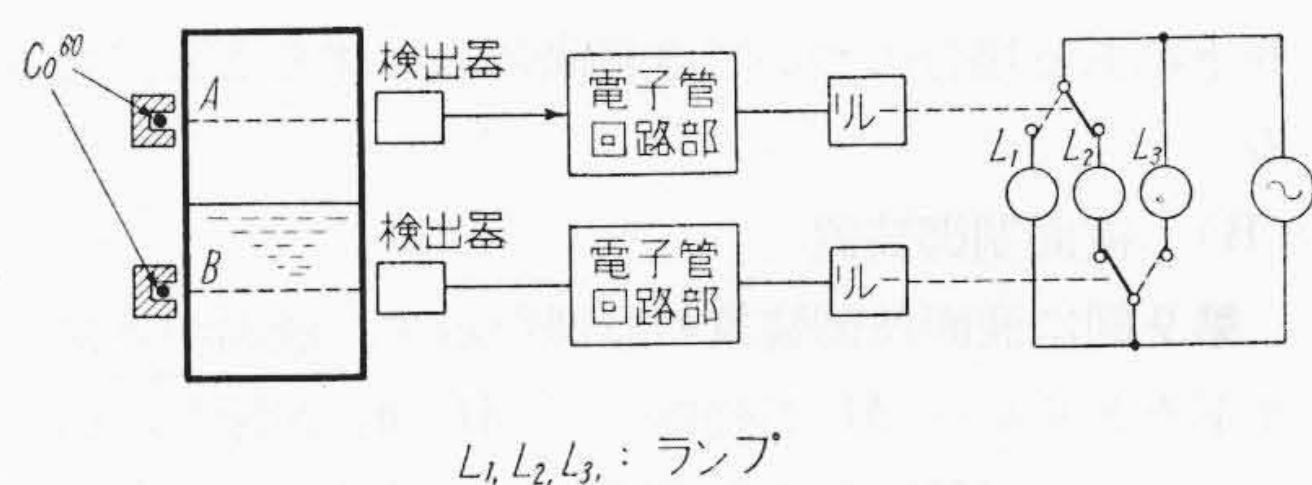
(4) 遮蔽について

Co^{60} からはたえず人体に有害な γ 線が放射されているので液面計の線源として使用する場合には危険の無いように遮蔽する必要がある。遮蔽の基準については S.T.A.C. (科学技術行政協議会) の勧告⁽³⁾があるが放射線の許容量は年々引下げられる傾向にあるから、この勧告よりも厳重な遮蔽を施した方が無難である。一応日本の基準の 30 mr/week を目標とする。

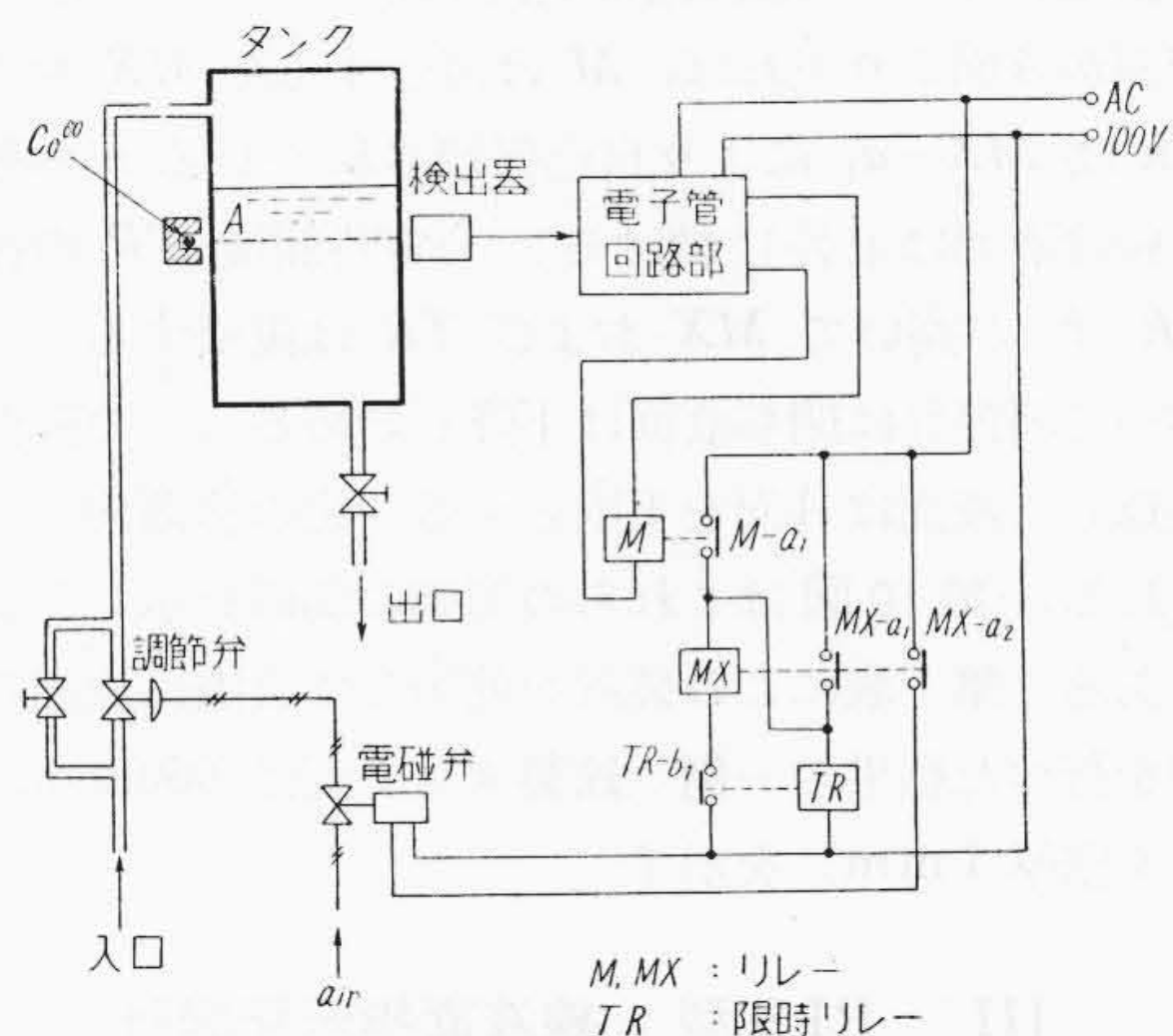
鉛で遮蔽した場合の付近の γ 線強度は (1) 式において μ を鉛に対する吸収係数 ($\mu = 0.65$)⁽⁴⁾、 x を鉛の厚さとし、さらに二次的散乱線の影響を考慮して Built up factor



第7図 遮蔽容器構造図



第8図 液面表示器原理図



第9図 液面制御装置原理図

B を乗じた次式により求めることができる。

$$I' = \frac{1.35 \times X \times e^{-0.65x} \times B}{d^2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに I' : γ線強度 (mr/h)
 X : Co^{60} の量 (mC)
 d : 線源からの距離 (m)
 B : Built up factor

B の値は各種の文献により区々であるが、一例として次の値があげられている⁽⁵⁾。

$$B = \mu x \dots \dots \dots (3)$$

鉛厚さ 10 cm 程度以下では上記の B の値より実際はやや小さく $B \approx 2$ 程度の結果が得られた。

第6図は γ 線液面計用線源として 30 mC の Co^{60} を鉛容器で遮蔽した場合の γ 線強度分布図である。また

第 7 図は鉛容器の寸法を示す。

(5) 応 用 例

(A) 液面表示器

第 8 図に液面表示器の原理を示す。線源、検出器、電子管回路およびリレーを図示のように 2 組使用する。液面が A 面と B 面の間にあるときは、リレー接点の実線の位置にありランプ L_2 が点灯する。液面が A 面より上れば上側のリレー接点が破線の位置に切変り、ランプ L_1 が点灯する。液面が B 面より下ると、同様にしてランプ L_3 が点灯する。以上のごとく液面が A 面より上にある場合、A B 間にある場合、B 面より下にある場合について 3 段階に表示することができる。

(B) 液面制御装置

第 9 図に液面制御装置の原理を示す。液面が A 面より下るとリレー M が動作して $M-a_1$ が閉ち、引続いてリレー MX および限時リレー TR が動作する。 $MX-a_3$ により電磁弁が開きさらに調節弁が開く。その結果タンクへの流入量が増し、液面は上昇し始める。液面が A 面より上れば、M は復帰するが MX および TR は $MX-a_1$ により自己保持されているから動作を続け液面は上昇し続ける。一定時間後 TR の接点 $TR-b_1$ が開いて MX および TR は復帰する。したがって調節弁は閉ち液面は下降し始める。この動作を繰返して液面は A 面を下限とする一定の範囲内に制御される。第 10 図はこれらの制御の関係を示したものである。第 1 表にこの装置を使用して実際に液面の制御を行つた結果の一例（鉄製タンク直径 960mm, タンク壁厚 4mm）を示す。

〔III〕 RLS 型 γ 線液面指示記録計

(1) 原 理

第 11 図に本装置の原理を示す。本装置は自動平衡的に液面を検出指示する装置である。 γ 線源 Co^{60} および検出器は液面を測定しようとするタンクの両外側面に対向して取付けられることは RLG 型液面検出器と同様であるが、それがサーボモータによりガイドレールにそつて昇降し、常に液面の位置に追従するようになっている。

線源より放射される γ 線は検出器（シンチレーションカウンタを使用）で検出され、パルス増幅器、波形成形回路、計数率計を経て、検出される γ 線強度に比例した直流電圧 e_1 に変換される。これらの回路は RLG 型液面検出器と大差ない。線源および検出器が液

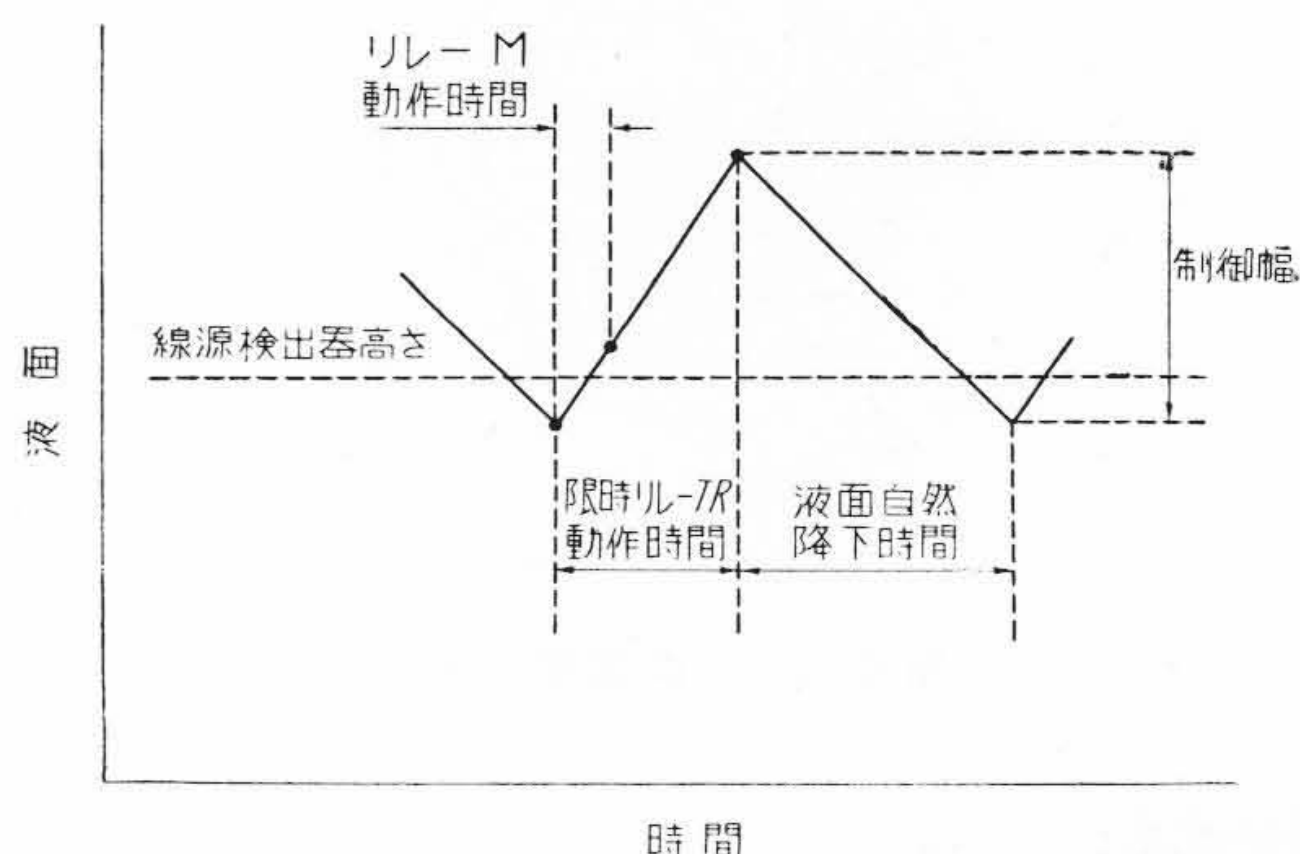
面と同じ高さにあるときは、 e_1 基準電圧 e_2 と等しく平衡状態を保つ。液面が変化するとシンチレーションカウンタヘッドで検出される γ 線強度が急激に変化して出力電圧 e_1 が変り、その結果偏差 e_3 が現れる。この e_3 がモータ駆動増幅器で増幅されてサーボモータを回転させる。サーボモータの回転方向は e_3 の正負の極性にしたがつて正逆いずれかの方向が定まる。この場合、 e_3 が (+) であれば線源および検出器を下降させる方向である。線源および検出器が液面の高さまで移動すると、 e_1 と e_2 が等しくなりふたたび平衡状態に戻る。

以上のごとく、線源および検出器の高さは常に液面の高さを示すから、別に適当な発信器を連動させて液面の

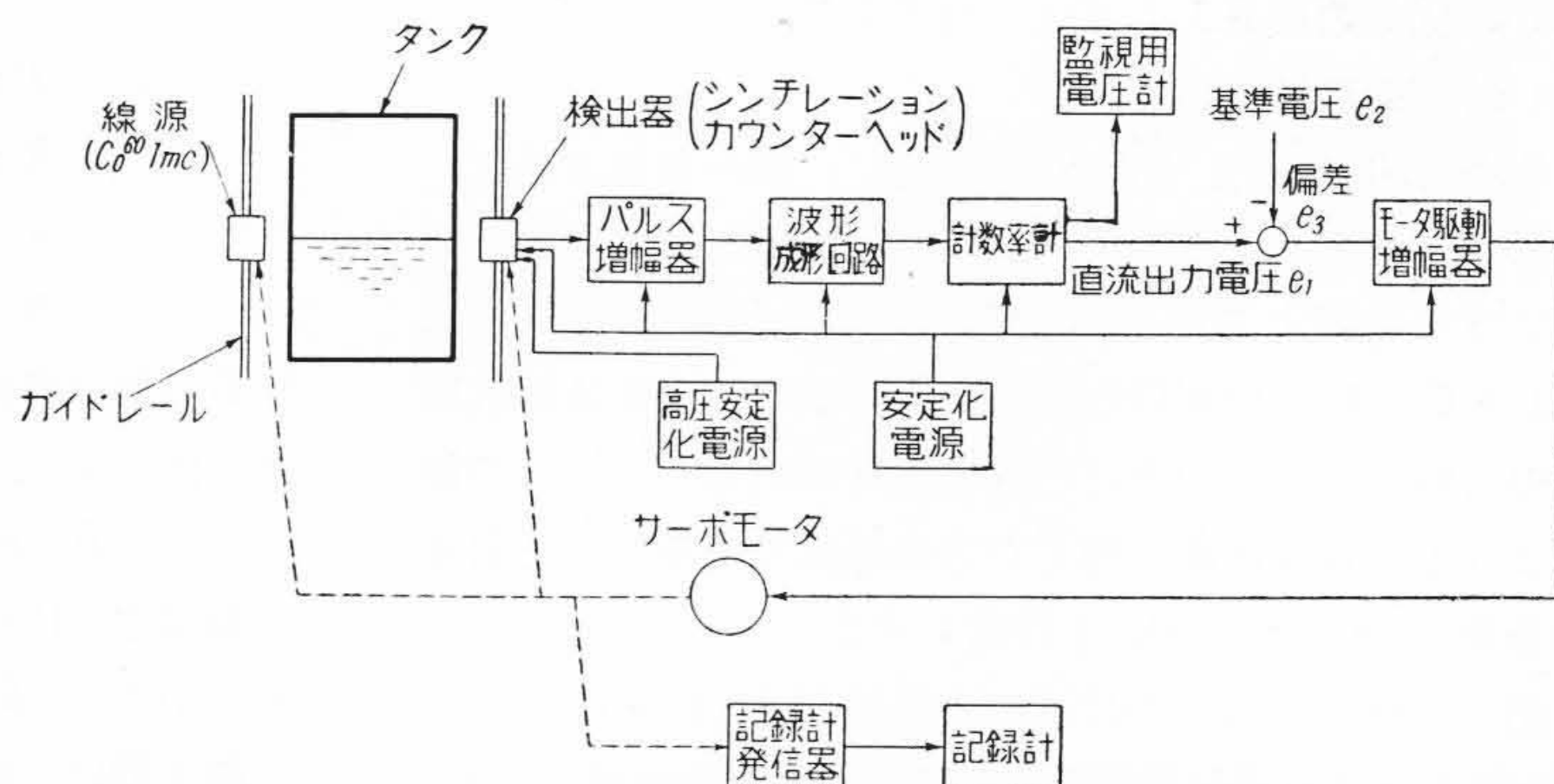
第 1 表 限時リレー整定時間と水位制御幅

流入量	制 御 幅			
	10 (s)	20 (s)	30 (s)	60 (s)
約 5 l/s	3 cm	6 cm	10 cm	23 cm
10	7	18	—	—
20	15	—	40 以上	—
50	30 以上	—	—	—

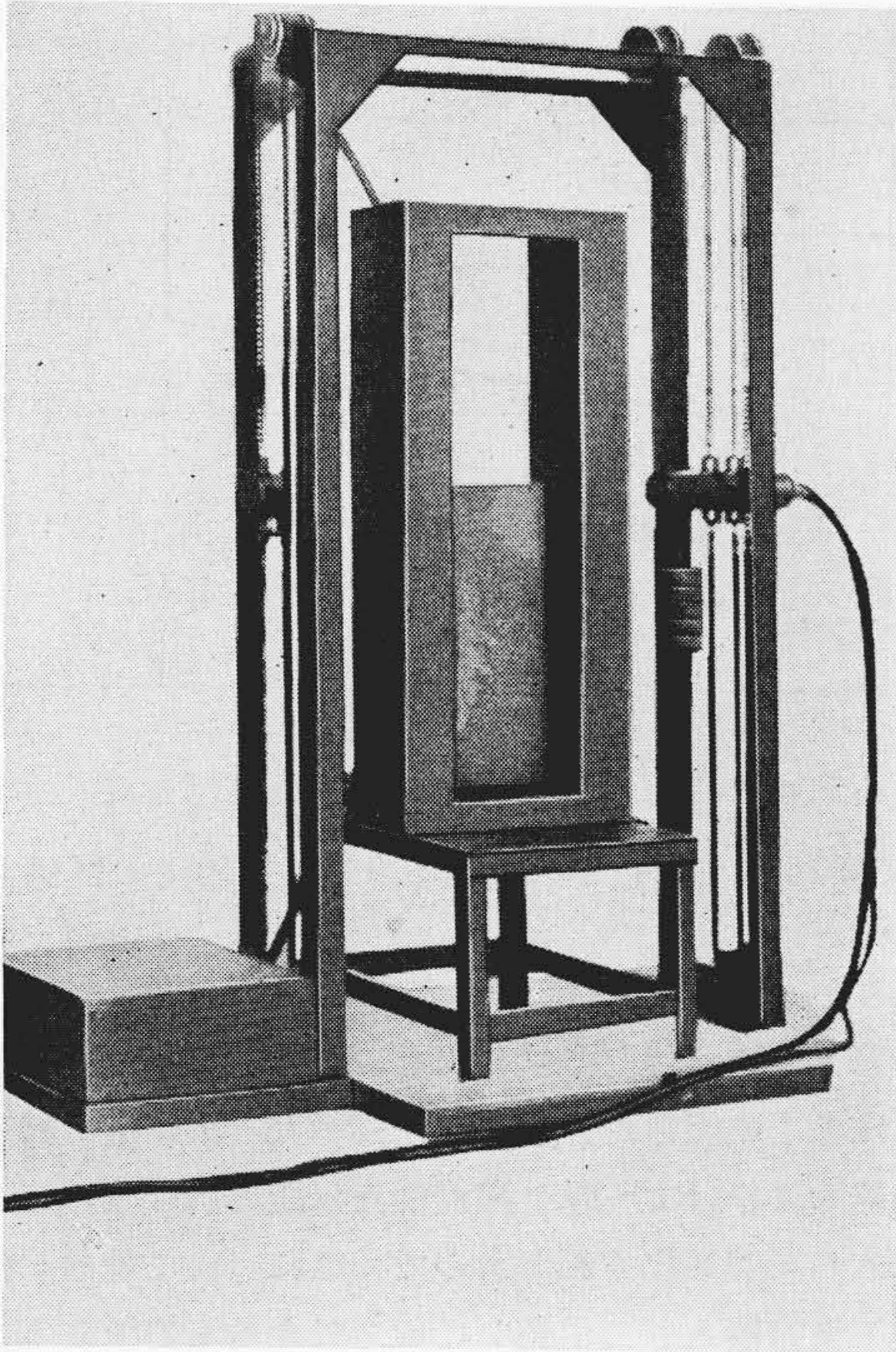
タンク 径：960 mm
タンク 壁厚：4 mm (鉄)
流 出 量：流入量の 1/2



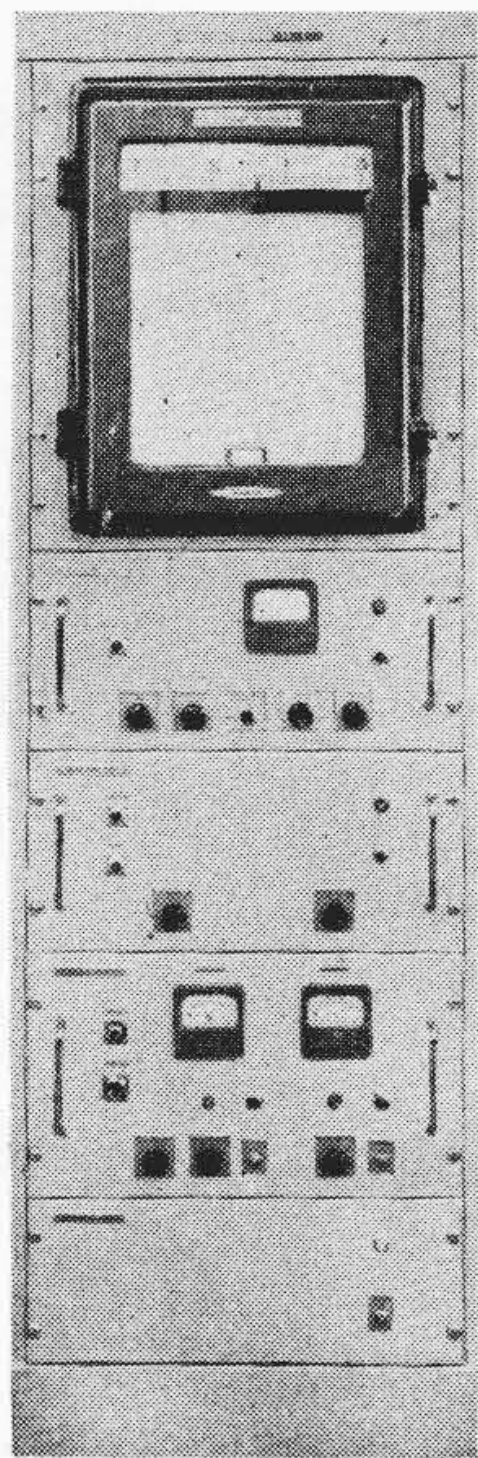
第 10 図 制御液面と時間の関係



第 11 図 RLS 型 γ 線液面指示記録計原理図



第12図 RLS 型 γ 線液面指示記録計検出部



第13図 RLS 型 γ 線液面指示記録計測定部

指示記録を行うことができる。

第12, 13図に本装置の外観を示す。

(2) シンチレーションカウンタヘッド⁽⁶⁾

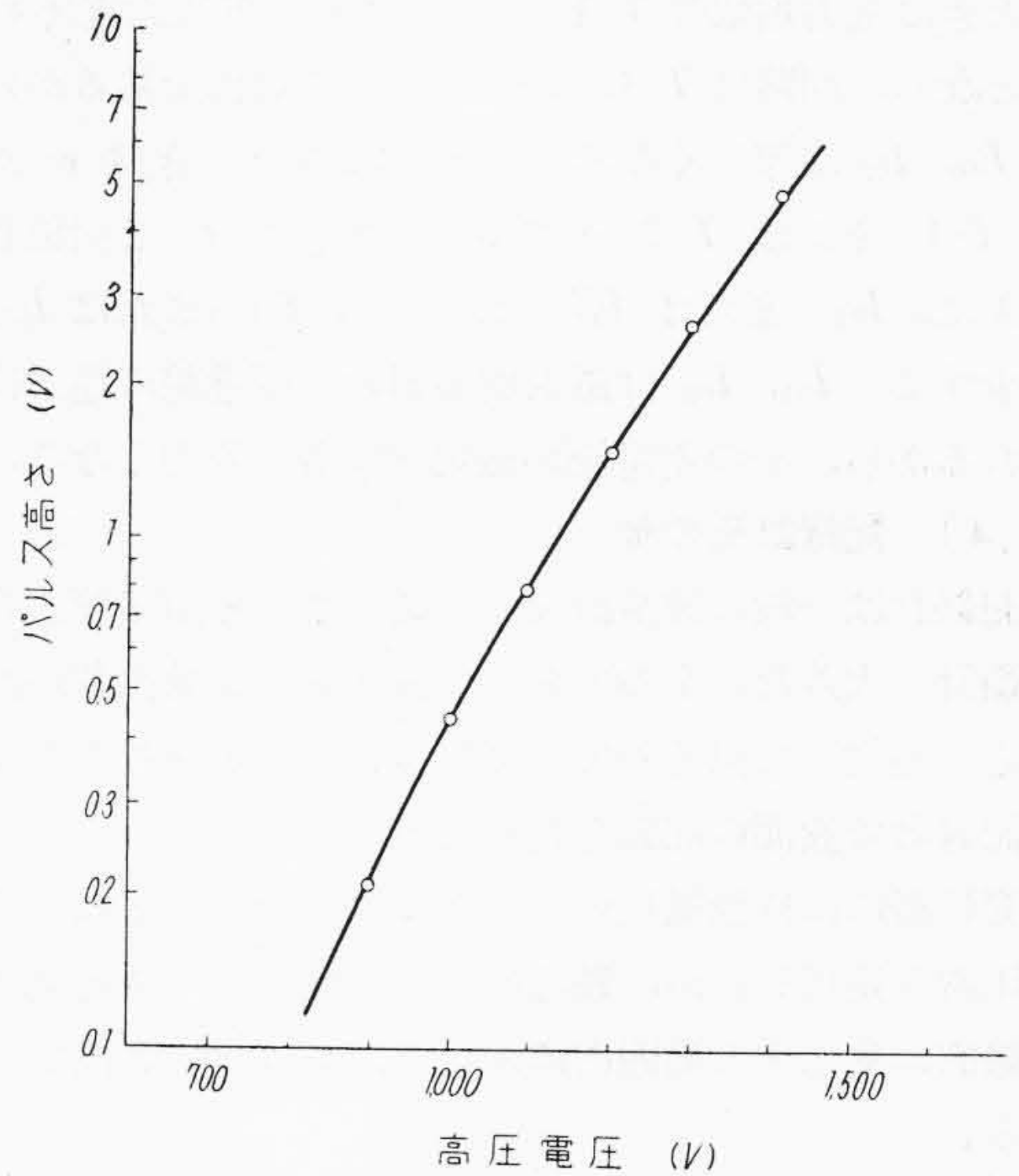
シンチレーションカウンタはγ線感度が非常に高いというすぐれた特長を持っているが、一方、出力パルスの高さはガイガーカウンタに比べて一般に小さく、またγ線のエネルギーレベルによつて異なる。さらに高圧電圧によつてパルス高さは大きく変動する。

本装置では、蛍光体は Harshaw の 1/2" NaI、二次電子増倍管は Du Mont 6292が使用してある。高圧

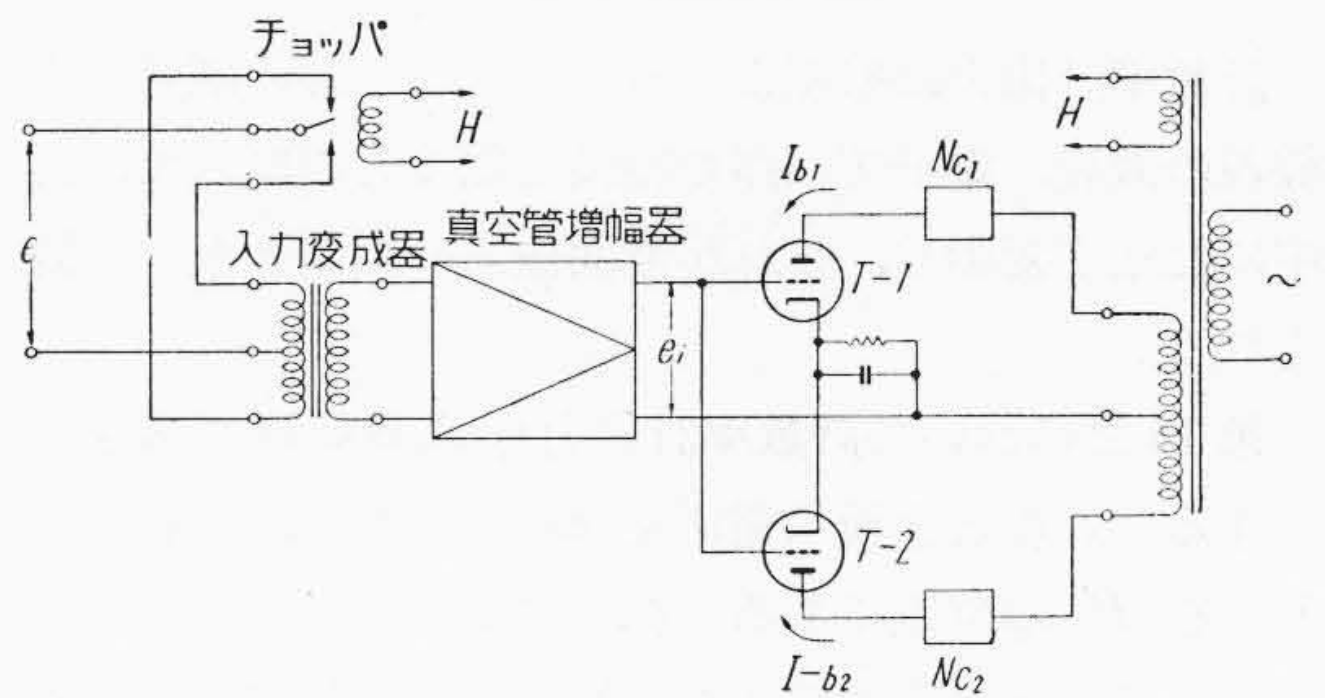
電圧と出力パルス高さの関係を実測した結果を第14図に示す。

(3) モータ駆動増幅器

本装置では、線源および検出器の可動部分かなりの重量になるので、それを昇降させるのに強力なトルクの



第14図 高圧電圧とシンチレーションヘッド出力パルス高の関係



e_3 : 偏差電圧
 Nc_1, Nc_2 : 磁気増幅器の制御巻線

第15図 モータ駆動増幅器電子管部原理図

モータが必要である。モータの駆動方式としては、電子管回路と磁気増幅器を組合せて、微小入力により 1/12 HP 程度の D.C. モータを駆動できる方式を採用した⁽⁷⁾。すなわち、真空管回路のみによつて、上記のモータを駆動することは可能であるが、このような大電力の増幅には信頼性の点で磁気増幅器を使用した方が有利である。しかし、磁気増幅器のみでこの目的を満足させるためには少くとも3段増幅が必要であり、磁気増幅器のドリフトの点で問題を残している。また、計数率計およびチョッパ関係の回路は出力インピーダンスが相当高く、ここに発生する微小入力を増幅しなければならないので入力インピーダンスのきわめて低い磁気増幅器で増幅することは困難である。したがつて真空管によりインピーダンスの高い微小入力部分を増幅し、最終段に磁気増幅器を用いてモータを駆動する組合せ方式を採用した。

第15図において偏差 e_3 はチョッパおよび入力変成器を通して交流に変換され増幅管で増幅される。 e_3 が零

のときは電力増幅管 $T-1$, $T-2$ のグリッド入力電圧 e_i は零となり、回路は $T-1$, $T-2$ について対称であるから電流 I_{b1} , I_{b2} は等しくなる。 e_3 が零でないときは e_i が現れ $T-1$ (または $T-2$) のプレート電圧が e_i と同位相のときは、 I_{b1} (または I_{b2}) は増加し、 I_{b2} (または I_{b1}) は減少する。 I_{b1} , I_{b2} は磁気増幅器の制御巻線に逆方向に流れるから、その差電流が磁気増幅器の入力となる。

(4) 記録計その他

記録計は一般に流量計などに使用される電子管式自動平衡計と大差ないものである。線源および検出器が液面高さに追従して動くので、発信器をこれと連動させて上記記録計で液面の記録を行わせる。

発信器には摺動抵抗のような接触部分を含まない差動変圧器を使用した。鉄心の移動範囲は二次誘起電圧が直線的に変化する範囲内において、20 mm と設定してある。

[IV] 計数率計出力ドリフトと液面検出誤差の関係

計数率計出力は線源より放射される γ 線の統計的変動線源の減衰、電子管回路の特性変化などの原因で、使用中にたえず変動し、これが液面検出の誤差となつて観測される。

第 16 図において計数率計出力を $ABCD$ で表すものとする。このとき検出電圧を e_d とすると、計器指示は液面を H の位置であると測定する。

ここでいま、上述のような原因により出力特性が液面下出力で KV_0 、液面上出力で KV だけずれて $A'B'C'D'$ に移つたと仮定すると同図よりあきらかなように、計器指示は、 $H + \Delta H$ を液面位置と測定する。符号を図に定めたとおり表現すれば ΔH は

$$\Delta H = h \left\{ \frac{k}{1-K} - k \right\} = h \frac{kK}{1-K} \dots\dots\dots (4)$$

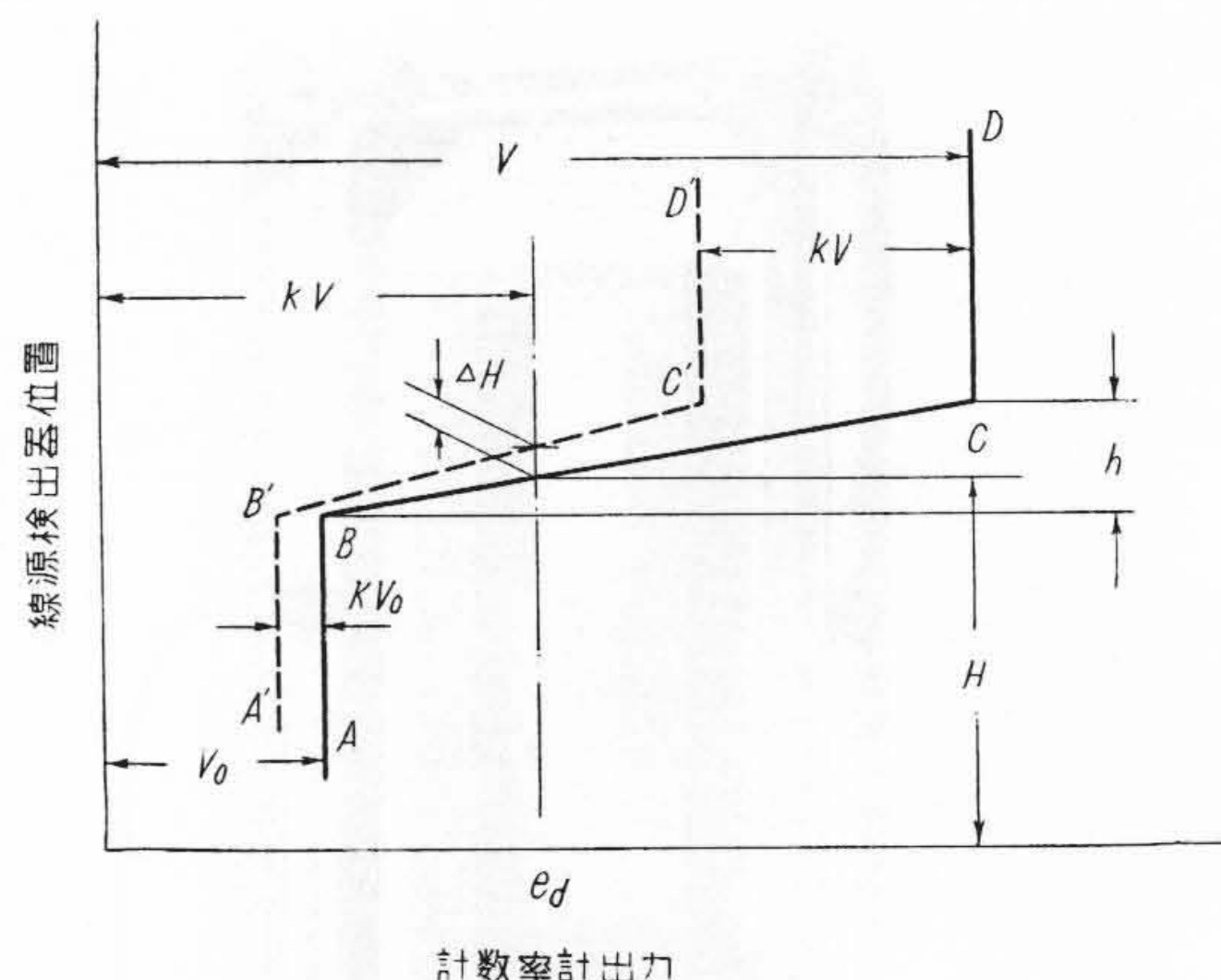
で求められる。いま、 $h = 1.2$ cm (第 3 図参照)、 $k = 0.5$ として計数率計の出力が 30% ドリフトした場合には、 ΔH は次のようになる。

$$\Delta H = 1.2 \times \frac{0.5 \times 0.3}{1 - 0.3} = 0.26 \text{ cm} \dots\dots\dots (5)$$

したがって、線源の減衰、電子管回路の特性変化などがあつて、 ± 5 mm 程度の精度を得ることは比較的容易である。

[V] 結 言

わが国においては放射性同位元素の工業面への利用が実験的段階より実用期へ入つたとはいえ、この方面の研究が開始されてからまだ日が浅く、今後検討しなければならない問題や未解決の事項が非常に多い。ことに工



第 16 図 計数率計出力ドリフトと誤差の関係

業計器として苛酷な条件のもとに計器を連続使用するためには多くの困難を伴う。以上述べた RLG 型 γ 線液面検出器および RLS 型 γ 線液面指示記録計はこの点を考慮に入れて製品化されたもので特性について検討した結果、工業計器として信頼して使用できるものであることを確かめることができた。化学工場などで今まで困難であつた問題を解決することができるので、今後広く実用されるものと思われる。

最後に、製品化にあつて御協力をいただいた日立製作所中央研究所関係者各位に御礼申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 渡辺：計測 5, 1 (昭 30.1)
- (2) 化学の領域 増刊26号 (昭 32.5)
- (3) S.T.A.C.: 放射性物質による障害予防勧告 (昭 29)
- (4) Kai Siegbahn: Beta and Gamma Ray Spectroscopy (1955)
- (5) 化学の領域 増刊17号 (昭 30.3)
- (6) Birks: Scintillation Counters (1953)
- (7) 鷲見：特許出願中

HITACHI

電気機器の損失を低減し
性能を向上する

日立
電気絶縁材料

日立製作所