

ポータブル形中性子水分計および γ 線密度計

Characteristics of Portable Moisture Gage and Density Gage by Nuclear Method

安 藤 弘*
Hiroshi Ando

内 容 梗 概

土木用に適するポータブル方式のそう入形ならびに表面形の中性子水分計および γ 線密度計の4種類を製品化した。試料は実際の使用状態に近いものとして砂を選び、乾燥法による含水率と計数率との関係および数種類の密度の異なる石および試料により密度計の校正曲線を求めた。その結果土木工事の施工管理用としても使用できる見通しを得た。そのほか、測定プローブの温度特性、密度計における試料とプローブの間げきと計数率の関係、試料の有効体積など実用に当たって必要な特性についても検討した。

1. 緒 言

土木工事の施工管理では、土の含水量および密度の測定はきわめて重要で、従来は炉乾燥法、砂置換法などで測定が行なわれていた。しかし、これらは測定に長時間を要するので、近年、迅速測定が可能な放射線法が注目されるようになり、外国ではすでに実用に供されているところも多い。わが国でも2～3年前から数個所で実用試験が試みられ、土木工事の利用の気運が高まってきた。日立製作所でもこの種の用途に適する蓄電池内蔵のポータブル形計器を製品化したので、その方式、構成、および諸特性について述べる。

2. 土木用中性子水分計および γ 線密度計の概要

土木用に使用されるものは第1図に示すようにそう入形水分プローブ、表面形水分プローブ、そう入形密度プローブ、表面形密度プローブおよびスケアラからなり、4種類のプローブの全部またはいずれかとスケアラの組み合わせで使用される。水分プローブでは速中性子源、熱中性子検出器および前置増幅器を内蔵している。また密度プローブでは γ 線源、 γ 線検出器および前置増幅器を内蔵している。

測定方式はそう入形と表面形に分けられ、そう入形では測定個所にアクセスチューブを打ち込んで、プローブをそう入する。表面形は測定個所の表面に置くだけで測定できる。これらの使用状況を第2図に示す。測定範囲はいずれも線源を中心に100～300 mmの範囲の平均で、線源から遠くなるほど測定値に対する寄与は少なくなる。

3. 水分プローブの構成とその特性

3.1 中性子利用による水分測定の原理

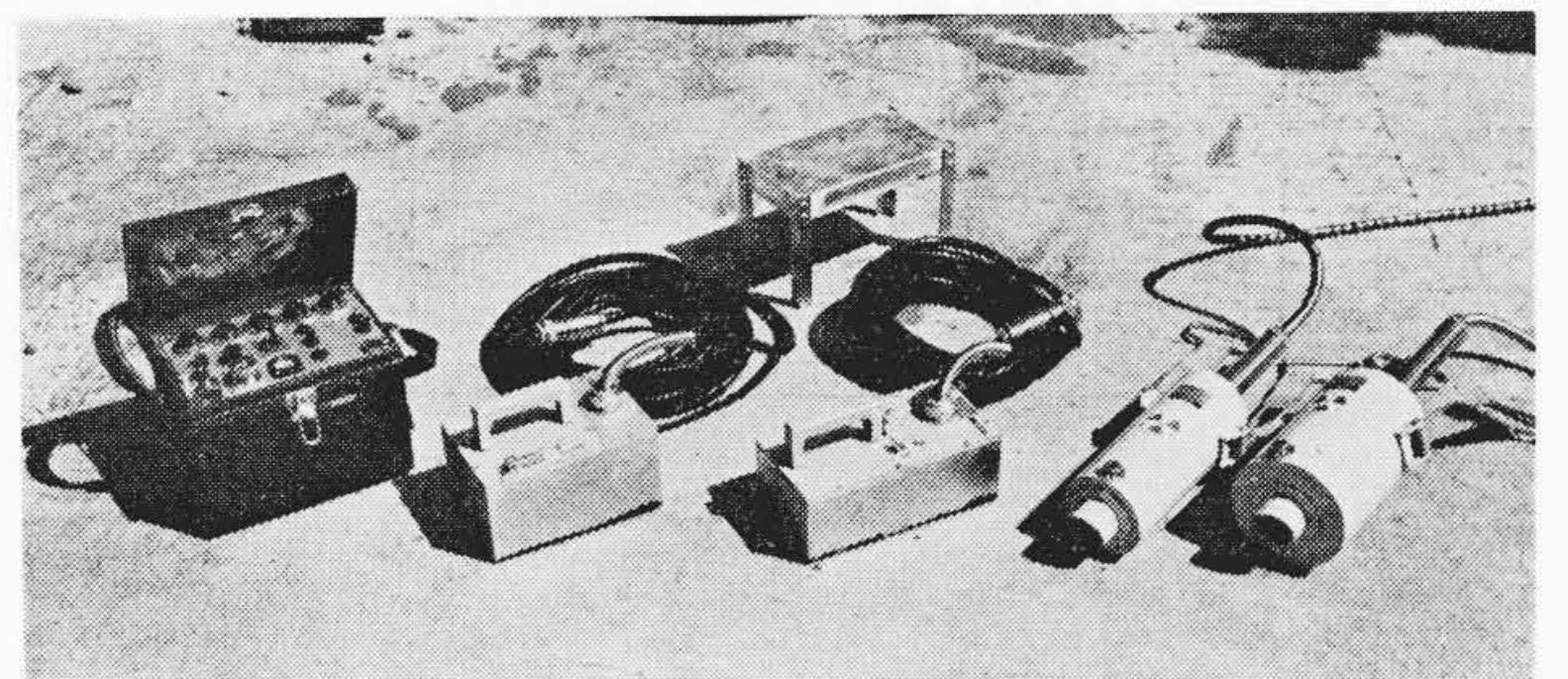
速中性子が物質中を通過する場合、物質を構成する原子核との衝突により次第に減速される。この減速の様子は関与する物質によって異なる。第1表⁽¹⁾にはおもに土壌に含まれる元素を選んで中性子に対する断面積の値を示す。散乱断面積は水素の値が他の元素に比べて1けた大きく、また熱中性子になるまでの平均衝突回数 C は1けた小さい。

いま速中性子線源を試料中に置くと、線源のまわりには水素で減速された熱中性子ができる。このときの熱中性子の密度は試料中の水素原子の密度に比例するので熱中性子だけに感じる検出器を速中性子線源と一体にして試料中にそう入すれば、検出器からのパルス計数率は試料中の水素密度に比例する。したがって検出器からのパルスを数えることにより水分測定ができる。

3.2 PB-1形およびPB-2形水分プローブ

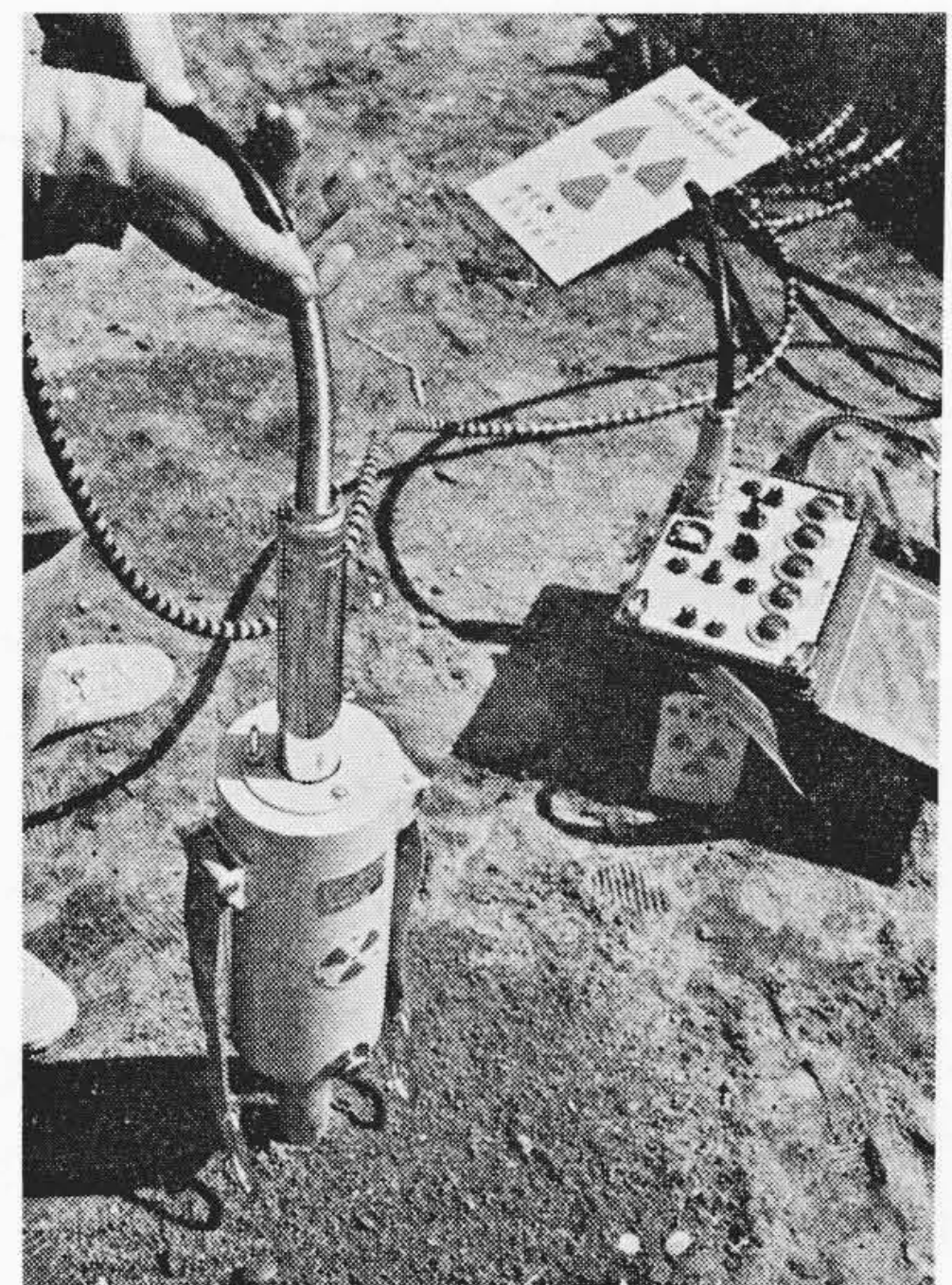
第3図はそう入形および表面形水分プローブの構造を示す。そう

* 日立製作所那珂工場



(左よりスケアラ、表面形水分プローブ、表面形密度プローブ、そう入形密度プローブ、そう入形水分プローブ)

第1図 スケアラと水分プローブおよび密度プローブ



第2図 そう入形水分プローブの使用状況

第1表 熱中性子の断面積

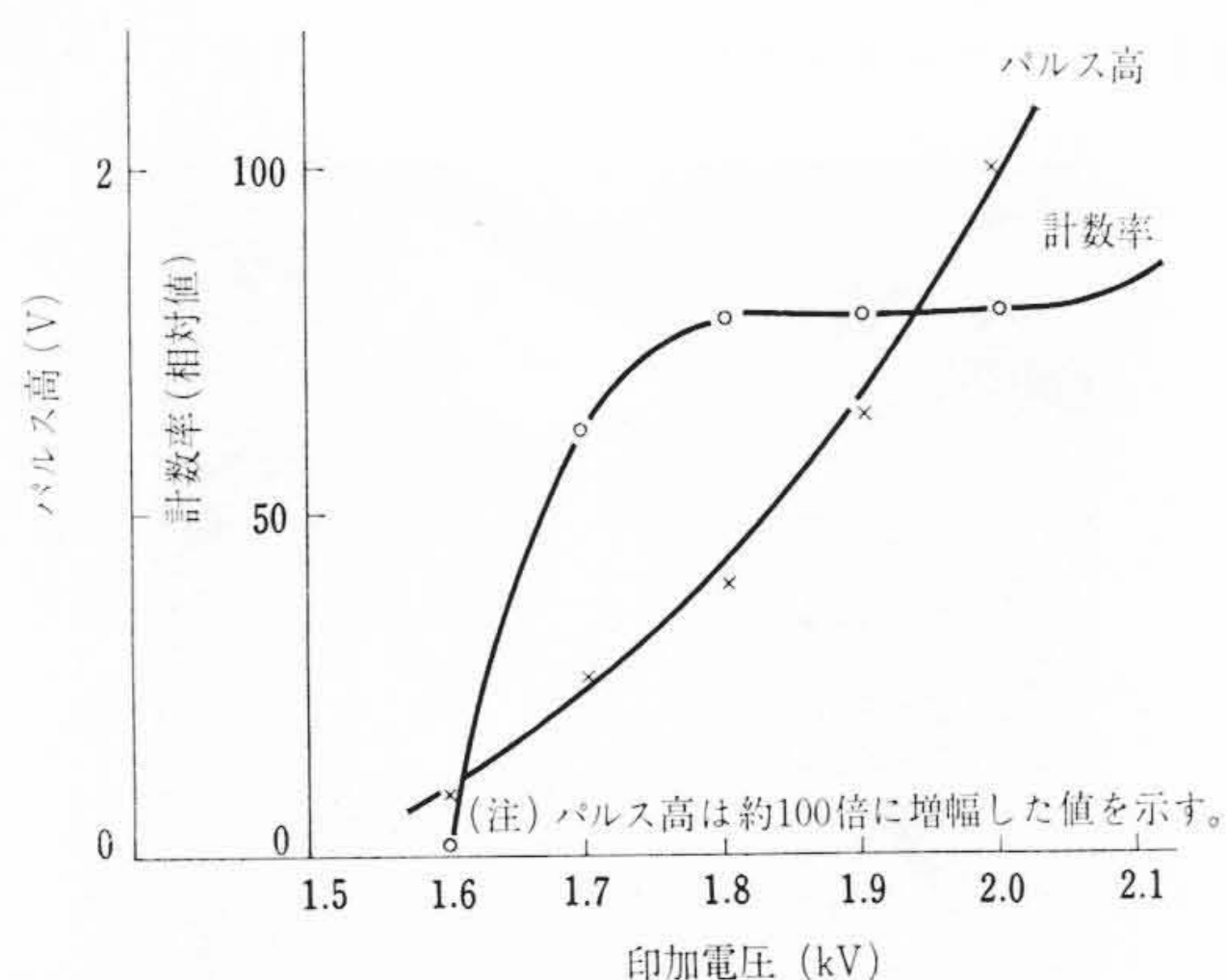
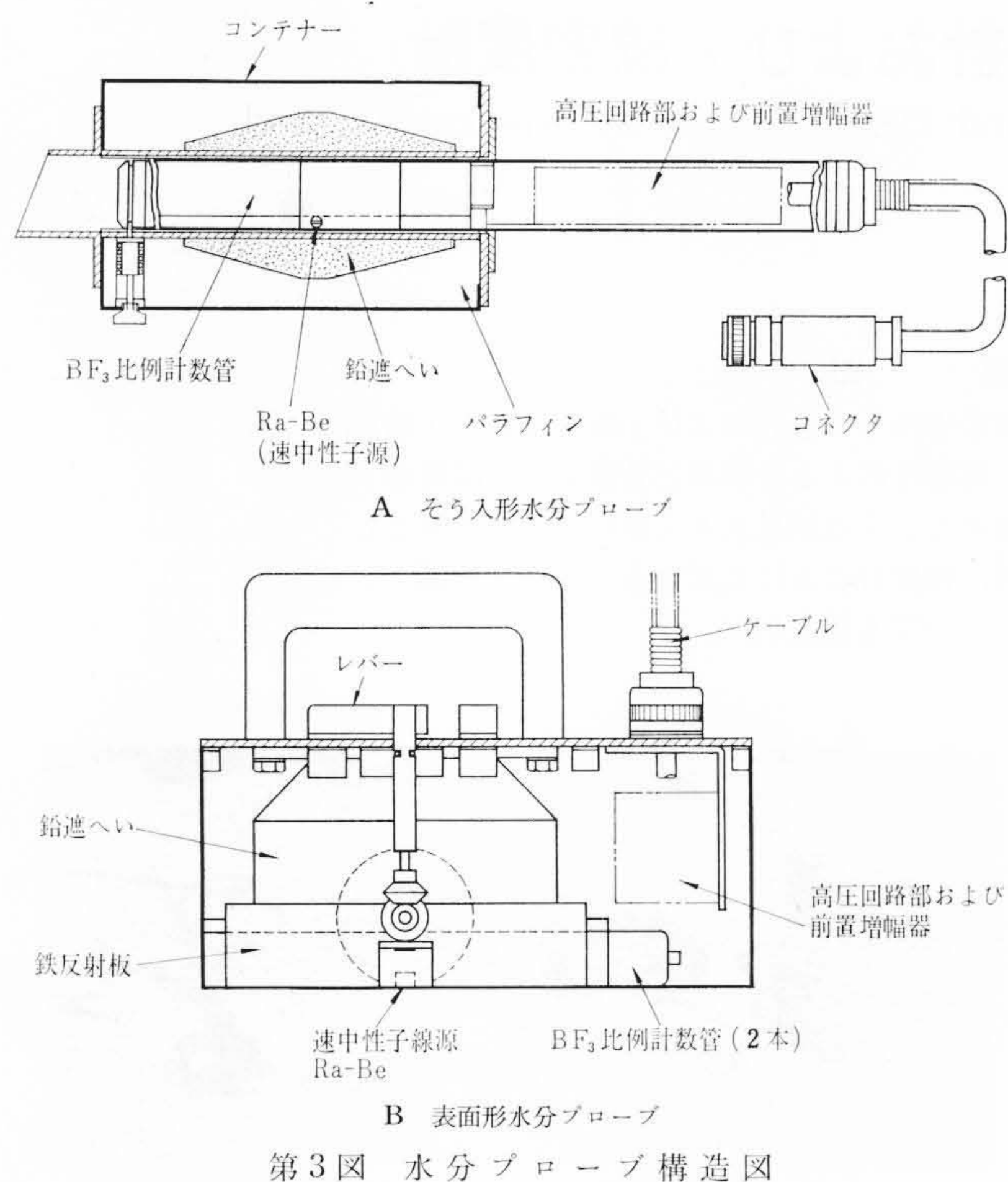
元 素	¹ H	¹² C	¹⁶ O	²⁷ Al	²⁸ Si	⁴⁰ Ca	⁵⁶ Fe
原 子 量	1	12	16	27	28	40	56
散乱断面積(バーン)	38	4.8	4.2	1.4	1.7	9	11
吸収断面積(バーン)	0.33	0.0032	<0.0002	0.23	0.13	0.43	2.52
C	18.2	114	152	252	261	324	479

C: 2 MeV から熱中性子になるまで減速するに必要な平均衝突回数

入形の場合、線源の回りはすべて試料におおわれているので速中性子は有効に減速されるが、表面形の場合、上半分は空間のため減速された中性子が上部に出ると再び検出器にもどることができない。

このような熱中性子の損失を防ぐために反射材として鉄板が使用されている。また表面形の場合はその幾何学的条件より必然的に計数率が低下するので計数管を2本使用して補っている。

速中性子源にはRa-Be または Am-Be が用いられる。Ra-Be は



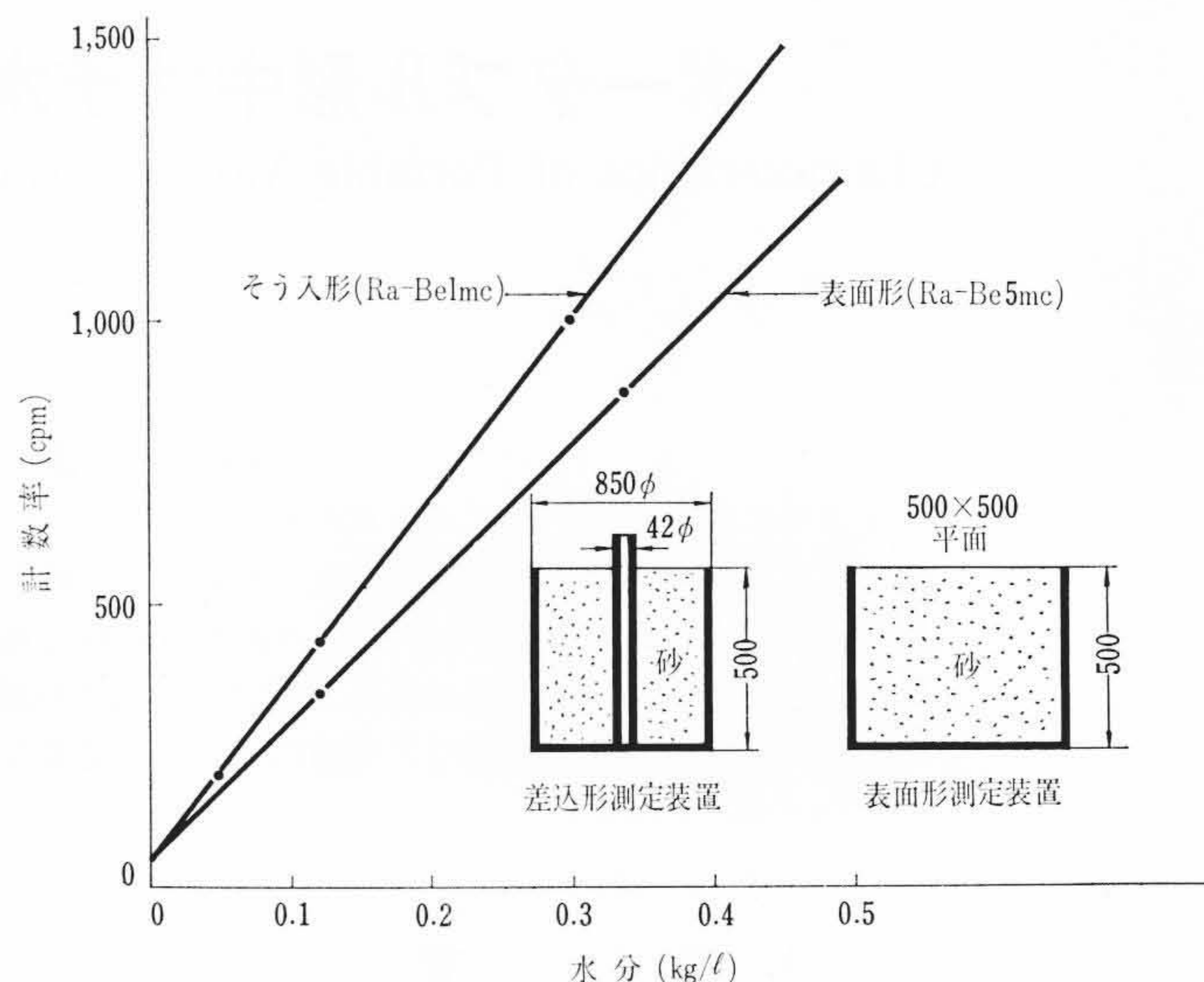
第 4 図 BF₃ 比例計数管のプラトー特性およびパルス高

寸法の小さいものが入手できるのでプローブの設計が容易であるが多量の γ 線を放射するので、取り扱い上注意を要する。一方 Am-Be は現在入手できるものは Ra-Be に比べて寸法は大きい γ 線の放射が非常に少ないので今後は Am-Be の使用が多くなるであろう。熱中性子の検出器には、BF₃ 比例計数管、シンチレーション計数管があるが、機械的強度、大きさ、プラトー特性の点から、BF₃ 比例計数管がすぐれているので日立製 EB-125 形 BF₃ 比例計数管を使用している。そのプラトー特性の一例を第 4 図に示す。

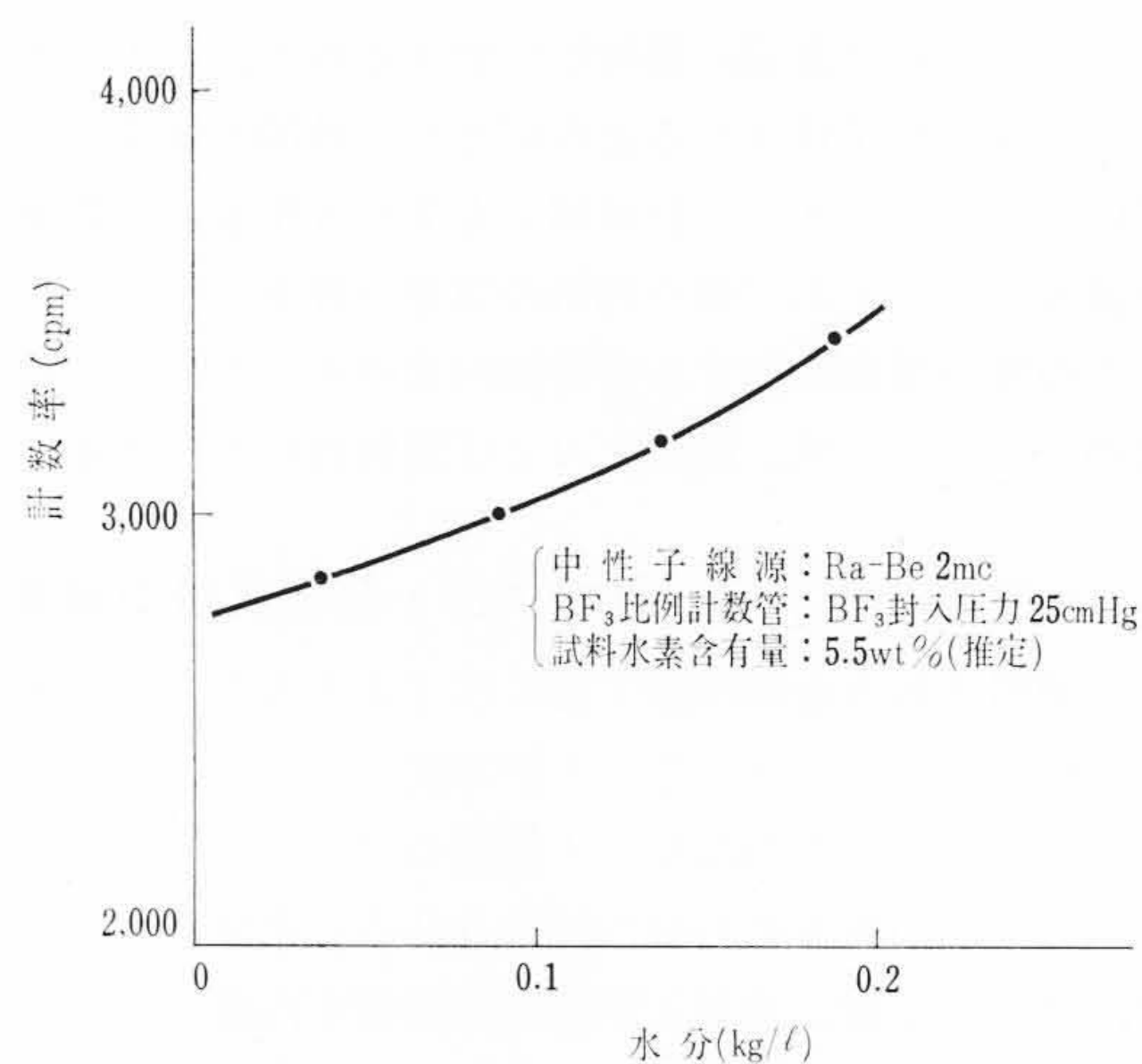
3.3 中性子水分計としての特性

3.3.1 校正曲線

水分測定に当たっては、プローブの出力パルスは後述のスケータで計数するので、計数值から水分を求めるために校正曲線が必要である。校正曲線は測定時の幾何学的条件、試料の組成などで変わるため、それぞれの使用目的に合ったものを用意しなければならない。第 5 図は砂の場合の校正曲線の例である。第 6 図は試料中に水以外の水素を含む例として試料に石炭を選び、水分と計数率の関係を求めたものである。中性子水分計は本質的には、単位体積中の水素量を測定するものであるから、砂の場合水分 0 付近で、ほぼ自然計数に近い計数率であるのに対して、石炭の場



第 5 図 中性子水分計校正曲線の例



第 6 図 そう入形中性子水分計による石炭の水分校正曲線

合には、水分 0 付近ですでに 2,700 cpm 近くの計数率がある。したがって水分以外の水素量の変動するときは誤差となるので注意を要する。

3.3.2 試料有効体積

速中性子源周辺の試料が測定にどれだけ影響するかは試料中の水分によって変化し、水分が増すに従って中性子の平均自由行程が短くなるため、試料有効体積は小さくなる。その一例を第 7 図に示す。

3.3.3 水分測定における試料かさ密度の影響

試料のかさ密度が変化すると単位体積当たりの水素量が変わるので同一の水分に対しても水分計の指示は変化する。

$$W = \frac{\omega}{\rho} \dots \dots \dots (1)$$

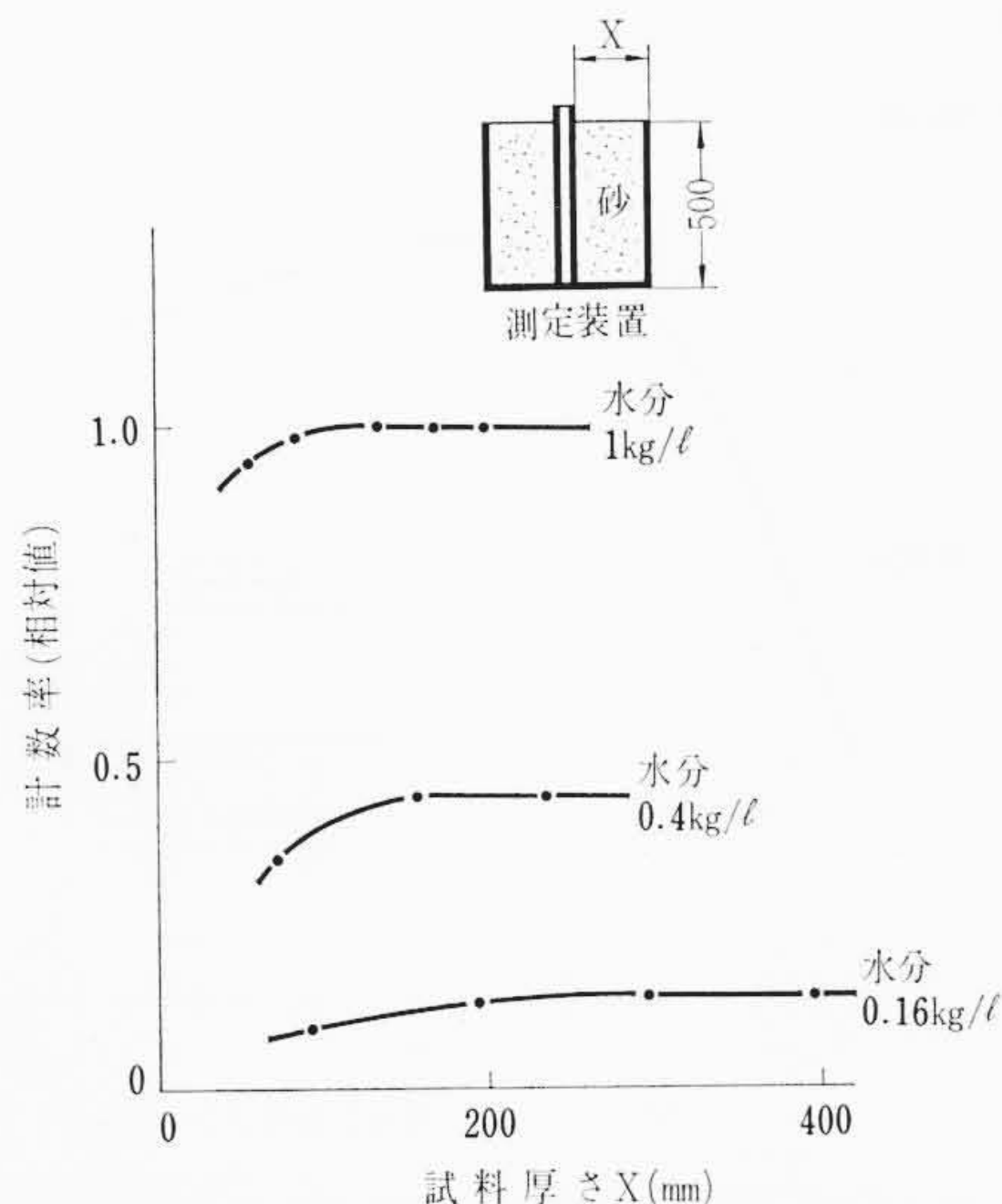
ここに、W: 水分の重量 (%)

ω : 水分の体積 (%)

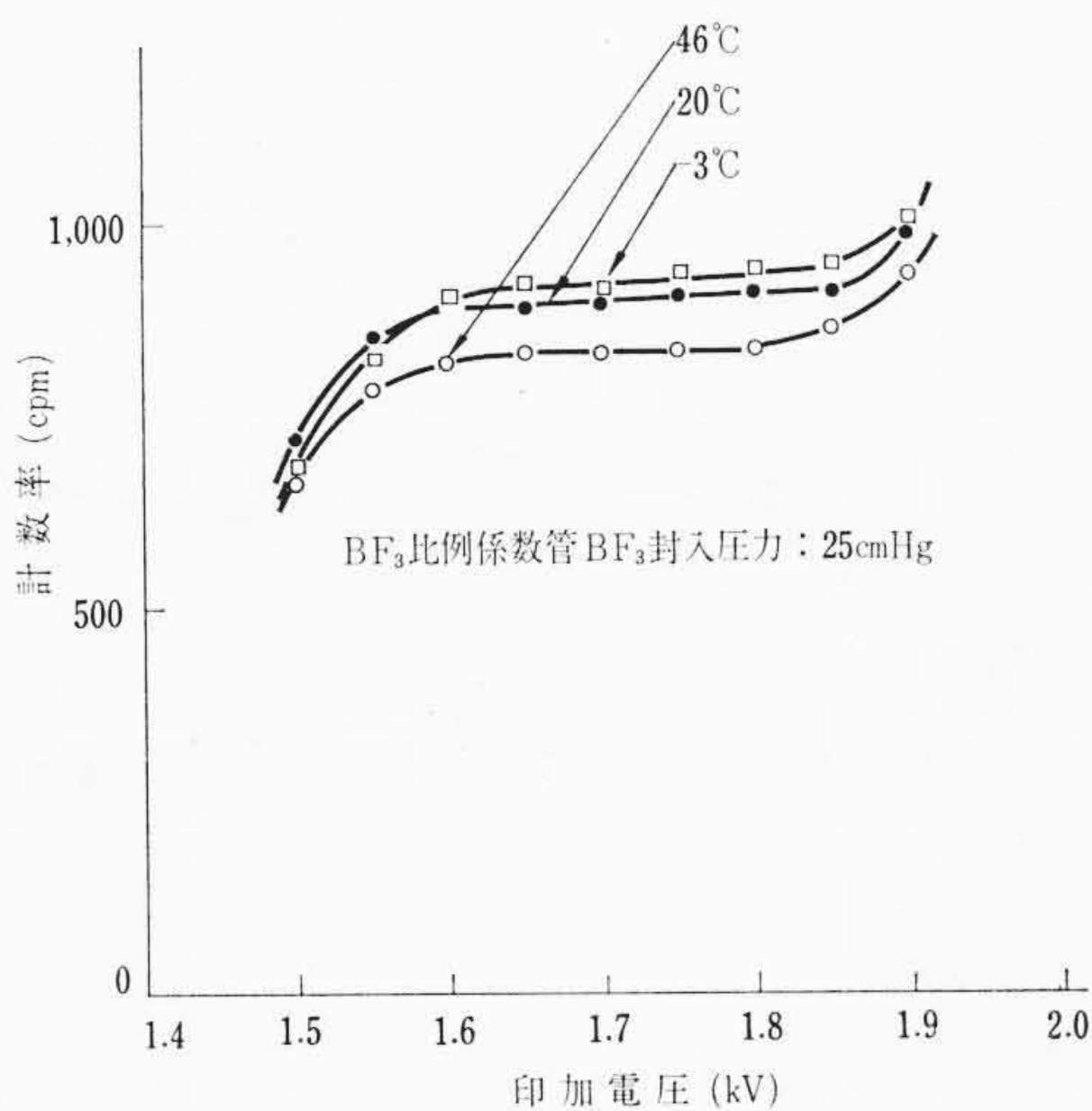
ρ : かさ密度 (g/cm³)

同一の試料ではかさ密度が変化しても重量 % は変化しないが体積 % は変化する。したがって水分計と密度計を併用することが望ましい。

以上のほかに試料とプローブとの間げきの影響、組成の影響、その他多くの問題があるが、これらは「中性子水分計および γ 線密度計の利用、技術に関する懇談会」*で検討されているのでこの



第7図 そう入形中性子水分計の試料有効厚さ

第8図 BF₃ 比例計数管の温度特性

会の結論をまつことにしたい。

3.3.4 水分プローブの安定度

プローブが安定に動作するためには測定条件に対して二、三の考慮が必要である。屋外使用では温度変化が大きい、BF₃ 比例計数管は温度によって、検出効率が変化するため、温度変化のあるときはその都度、計数率の確認が必要である。計数率の確認には一定の水素密度をもつ試料を用意し、これにより得られる計数率が常に一定であることを利用する。第8図はBF₃ 比例計数管の温度特性の一例で、同様な結果も報告されている⁽²⁾。

前置増幅器はBF₃ 比例計数管の出力パルスを増幅するものであるから計数率には直接影響はない。雑音に対しては電気的なものと機械的なものがあるが、機械的振動が100μを越えると計数管から擬似パルスを発生することがある。

4. 密度プローブの構成とその特性

4.1 γ線散乱による密度測定原理

土壌を構成する比較的軽い元素よりなる物質に0.5~1 MeVのγ線が入射した場合には、コンプトン散乱が起こる確率が光電効果電子対創性などの他の確率に比べて大きくなる。コンプトン散乱による吸収係数は次の(2)式で与えられる。

$$\mu = \rho N_0 Z \sigma A^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

* 研究所、ユーザ、メーカーの集りで、第1回会合は昭39-4-29東京で開かれた。

ここに、 μ : 線吸収係数 (cm⁻¹)
 N_0 : アボガドロ数
 Z : 原子番号
 σ : 電子1個当たりのコンプトン散乱断面積
 A : 原子量
 ρ : 密度 (g/cm³)

A/Z は水素以外はだいたい1/2に近く、 σ はどの物質でも一定値となる。したがって μ は ρ に比例するからコンプトン散乱を受けたγ線の強度を測定すれば物質の密度を測定することができる。

実際の現象はかなり複雑で、γ線源から放出されたγ線は散乱の起こる点まで、吸収を起こしながら進み、散乱後、検出器に到達するまでも吸収が起こる。そのため密度と計数率の関係も複雑な関数となり、密度の増加とともに計数率は増加し、やがて極大値に達する。さらに密度が増加すれば、計数率は減少するが、密度測定ではこの部分の特性を利用している。

4.2 PG-3形およびPG-4形密度プローブ

散乱形γ線密度計にもそう入形と表面形の2種類があり、その構成を第9図に示す。線源と検出器とは鉛で遮へいして直接のγ線が検出器にはいらないようにしてある。したがって検出器にはおもに散乱されたγ線がはいる。

γ線源には¹³⁷Csを使用し、検出器には、γ線液面計で実績のある20th. Century Electronics社製G-5H形ハロゲンGM管を使用している。第10図にその特性を示す。印加電圧プラトーが平らになっているところで、できるだけ低く設定する。必要以上電圧を上げて使用すると寿命を短くする。

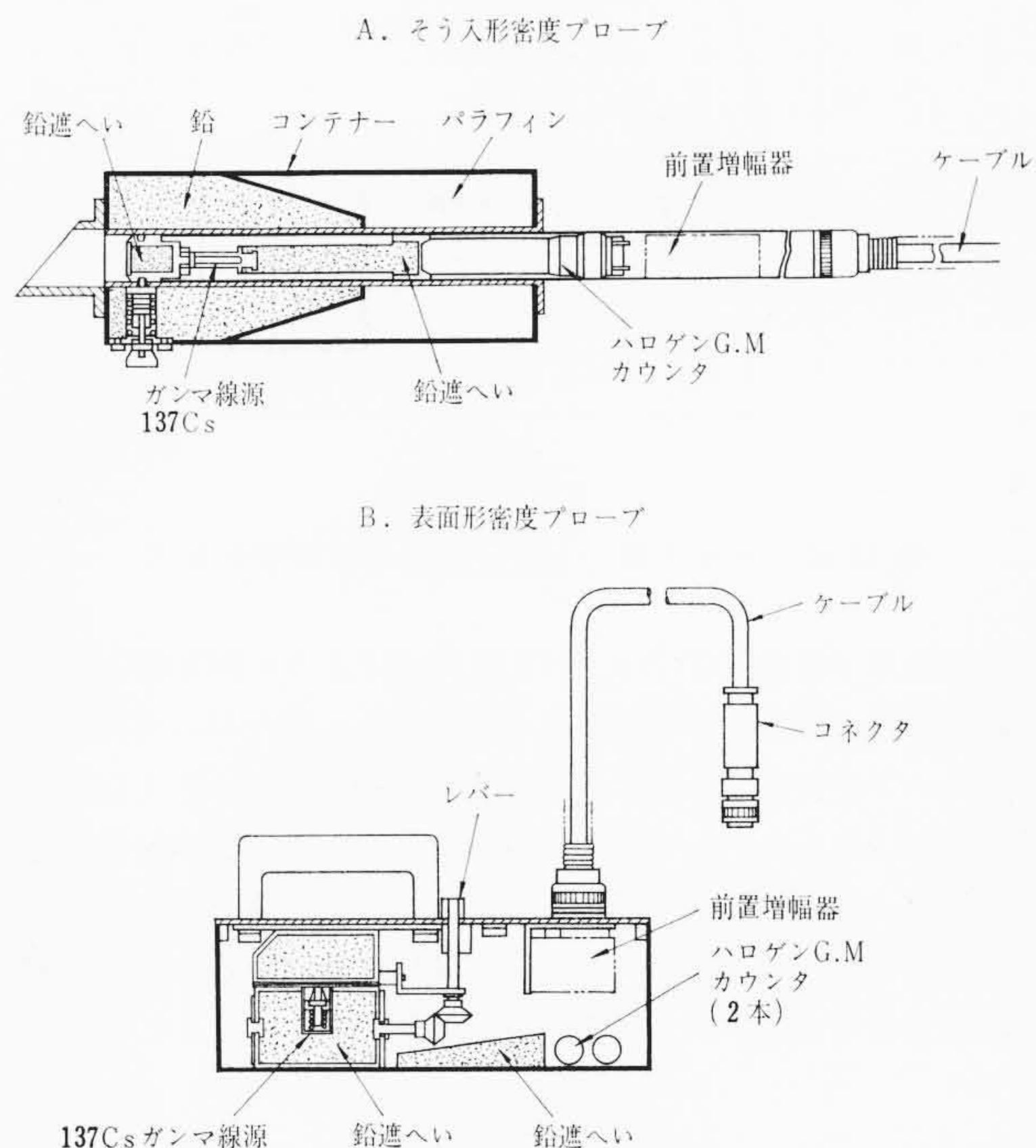
4.3 γ線密度計としての特性

4.3.1 校正曲線

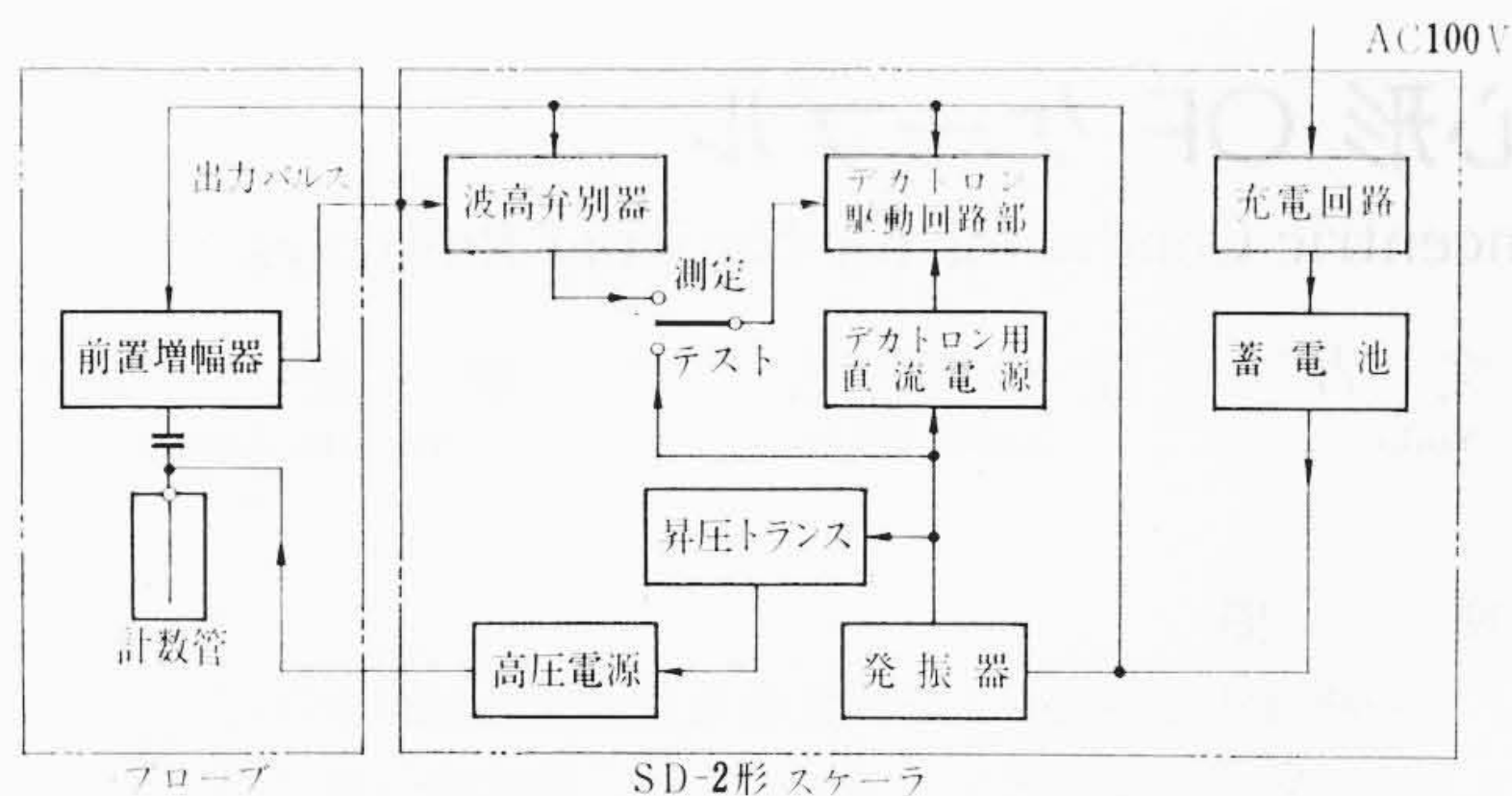
第11図は、そう入形および表面形γ線密度計の校正曲線の例を示す。表面形の場合、検出器を2本使用しているので感度が良くなっている。校正曲線の極大値は密度0.6 g/cm³付近にあり、線源と検出器との距離によって極大値の位置を変えることができる。

4.3.2 試料有効体積

そう入形プローブによる試料の大きさと計数率の関係を第12図に示す。飽和する試料厚さは約200 mm近くになる。そのほ



第9図 密度プローブの構造



第16図 スケーラの回路構成

ツケルカドミュームアルカリ電池および充電回路を内蔵している。

6. 結 言

現在、製品化されているポータブル方式中性子水分計およびγ線密度計について述べた。これらは性能的には十分土木工事の施工管理に使用できるものと考えられるので、今後は実際の取り扱い面での経験を積み重ねていっそう取り扱いやすい製品になるよう改良を加えてゆきたい。終わりにのぞみ本計器の開発製品化に当たって種々ご指導くださった日立製作所中央研究所および那珂工場関係各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) Price: Radiation Shielding, Pergamon Press (1957)
- (2) 宮下, 石井: 三菱電機技報 37, 12 (1963)
- (3) 石松, 中根: 応用物理 32, 6 (1963)
- (4) 石松: 計測 11, 451 (1961)



特許第414644号(特公昭38-10637)

特 許 の 紹 介



佐藤 敦・竹本 猛 夫
金子 洋 一

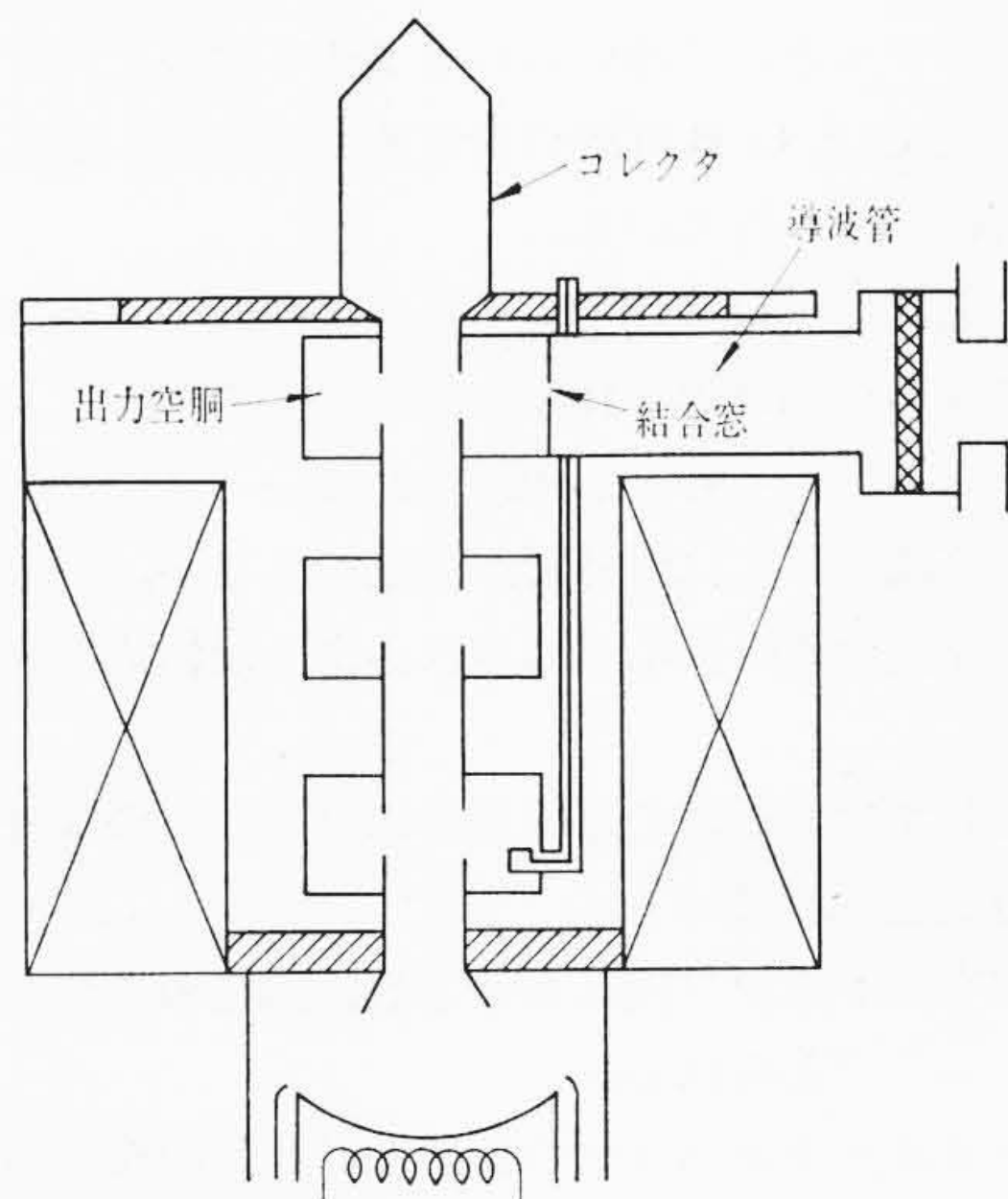
ク ラ イ ス ト ロ ン

従来のクライストロンの出力結合部は、第1図に示すように出力空洞の窓から管軸に垂直な方向に直接取り出す機構のため、出力空洞に十分な磁界強度を与えることができず、また製造に困難を伴った。本発明はこれらの欠点を改善するため第2図にその要部を示すごとく、出力空洞と出力取り出し用導波管との間にドリフト管からコレクタに向うビーム通路を成す筒体と、これを囲む導体で作った

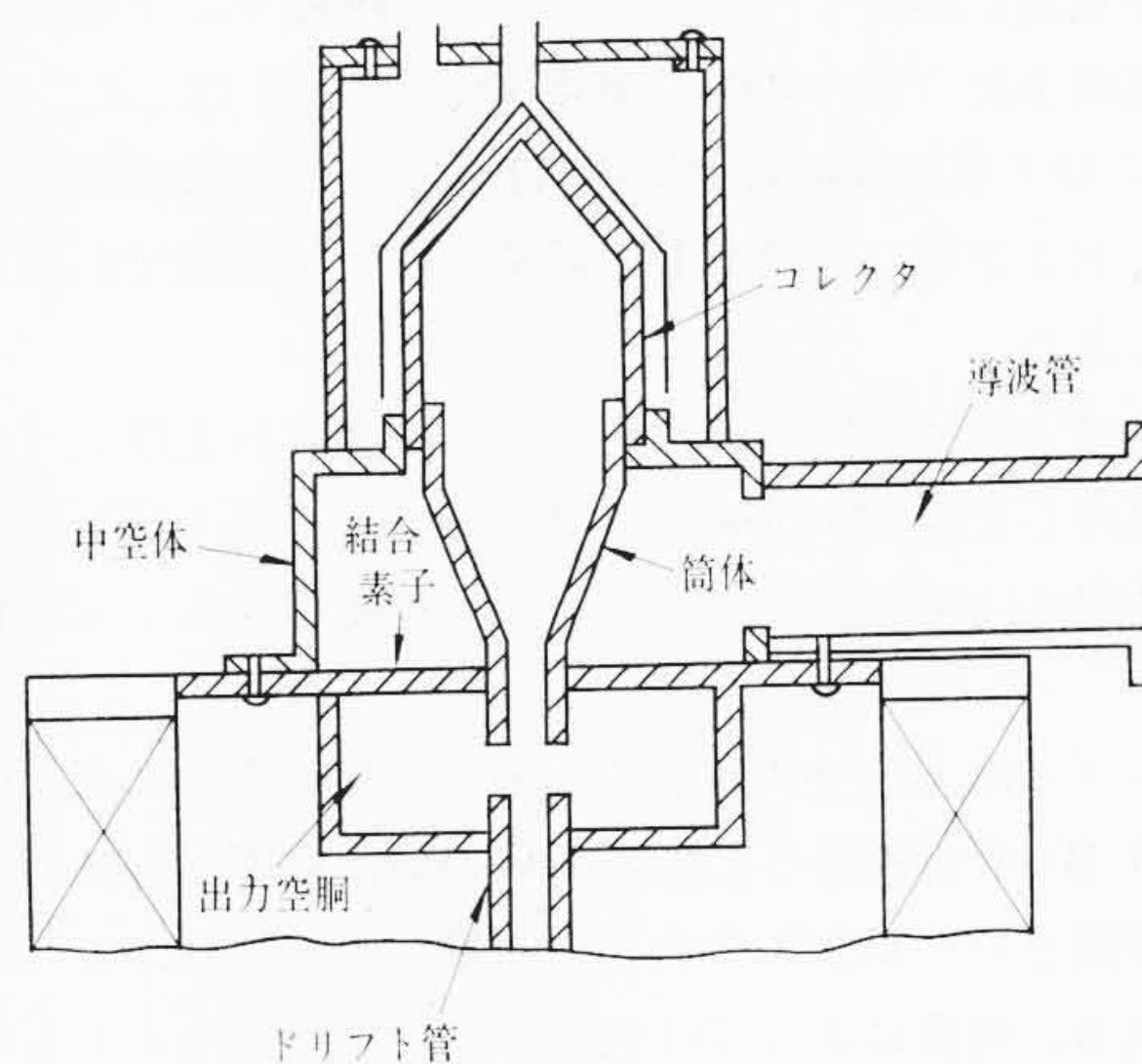
取りはずし自在な中空体で構成し、空洞および導波管と高周波気密結合素子および高周波結合素子によって出力結合回路を構成してある。

このような機構では上述の欠点を除くとともに、結合素子が電界強度が最小の位置にあり高周波電圧による波損がなく、結合回路が取りはずし自在であるため調節が可能、出力空洞の側面および筒体の材質により磁場の調整もできるなど多くの点で有効である。

(岸原)



第1図



第2図