

放射性同位元素の工業計測への利用

Applications of Radioisotope in Industrial Measurement

鷲 見 哲 雄* 船 水 正*
Tetsuo Sumi Tadashi Funamizu

内 容 梗 概

放射性同位元素の利用は近年めざましいものであるが、計測面でも液面、厚さ、密度、水分などを測定する工業計器が開発された。これらは γ 線、 β 線などの吸収あるいは散乱の特性を利用するもので、いずれも非接触測定ができることが最大の特長である。この特長を生かせば、従来の工業計器で測定できなかったものの測定も可能となり、すでに多数の装置がほとんどあらゆる産業で利用されている。

1. 緒 言

放射性同位元素の利用は原子力発電とともに原子力利用の大きな分野であって、ここ十年余りの間にほとんどあらゆる工業に浸透し、めざましい成果をあげている。工業計測面においても、放射性同位元素から放射される γ 線、 β 線などの吸収あるいは散乱の特性を利用した新しい技術が生れ、従来、測定不可能であったもののいくつかを測定可能にした。すでに各種の計測器が考案され、広く実用されているが、これらを放射線の種類と被測定物との相互作用から分類すると第1表のようになる。この中でも、特に重要なのは液面計、厚さ計、密度計および水分計の4種類で、そのうち、日立製作所において製作された装置の代表的な利用例を紹介する。

2. 液 面 計

現在、わが国で利用されている放射線応用計測器のうち最も台数の多いのは γ 線液面計である。この γ 線液面計はタンク内物質による γ 線の吸収あるいは散乱を利用して、液面の測定を行なう装置で、その最大の特長は非接触測定ができる点にあり、高粘性液体の液面、高圧あるいは低圧密閉タンク内の液面、熔融金属面、固体の混入した液体面、粉体面など、従来の液面計では測定困難であったものに利用される。

γ 線を放射する線源としては透過力が強く、また半減期も比較的長く(約5年)、さらに取り扱いに便利な小形カプセル入のものが容易に入手できる点から ^{60}Co が広く使われる。 γ 線の検出器にはハロゲンカウンタが使用される場合が多いが、特に高精度が要求される場合、あるいはタンク壁が厚い場合には感度の高いシンチレーションカウンタが使用される。

線源と検出器の配置により種々の方式が考えられるが⁽¹⁾、それらは大別して水平透過形、広範囲カウンタ形、斜透過形に分けることができる。この3種類の基本形を第1図に示す。液面の変化に伴い、検出器出力が図示のように変化するので、検出器出力より液面を知ることができる。精度および信頼性の点では水平透過形がすぐれているので利用数も水平透過形が過半数を占めている。

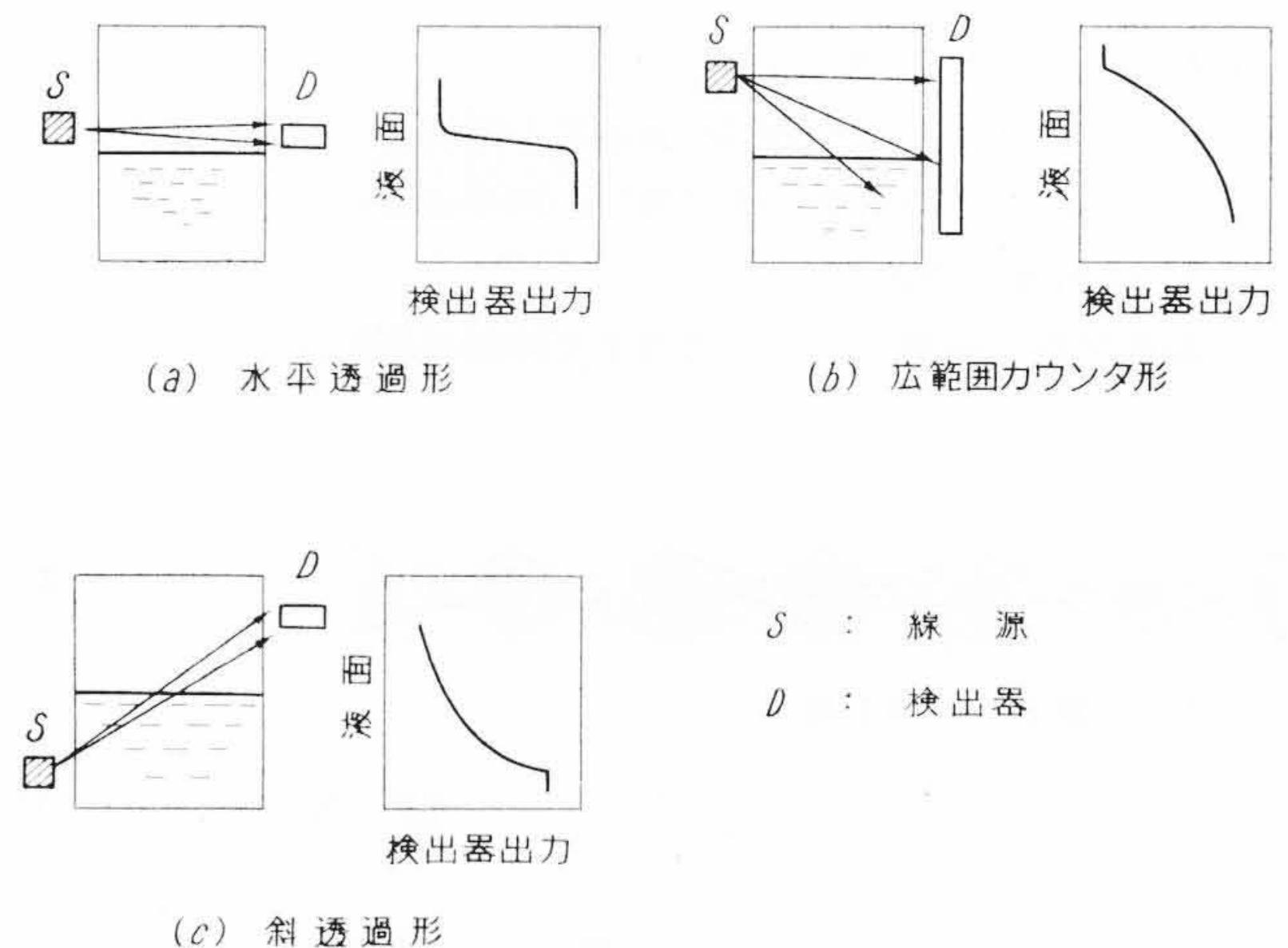
利用分野は鉄鋼、化学、石油、製紙、鋳業、ガス、ガラスなど広い分野に及んでいるが、その中から代表的なものをあげてみよう。

ホップ中に貯えられる鉄鉱石、肥料その他の粉体原料は、従来人が直接目で見ながら管理される場合が多かったが、 γ 線レベル計を設置して上下限を検出し、原料レベルを自動的にその範囲内に保つことができるようになった。鋳物関係でもキューボラの投入材料のレベルを γ 線を利用して一定の高さに制御し、その結果、作業員の減少のみならず、鋳物の品質の向上、炉体寿命の延長などに役立っている。第2図はその取付部の写真である。

* 日立製作所那珂工場

第1表 放射線応用計測器の種類

放射線	相互作用	吸 収	散 乱	そ の 他
γ 線		密度計 厚さ計 液面計 探傷計 積雪計 分析計	密度計 厚さ計 液面計	流量計
β 線		厚さ計 密度計 H/C計	厚さ計 分析計	
α 線		厚さ計 ピンホール検査器		真空計
中性子線			水分計 重油カロリー計 液面計	

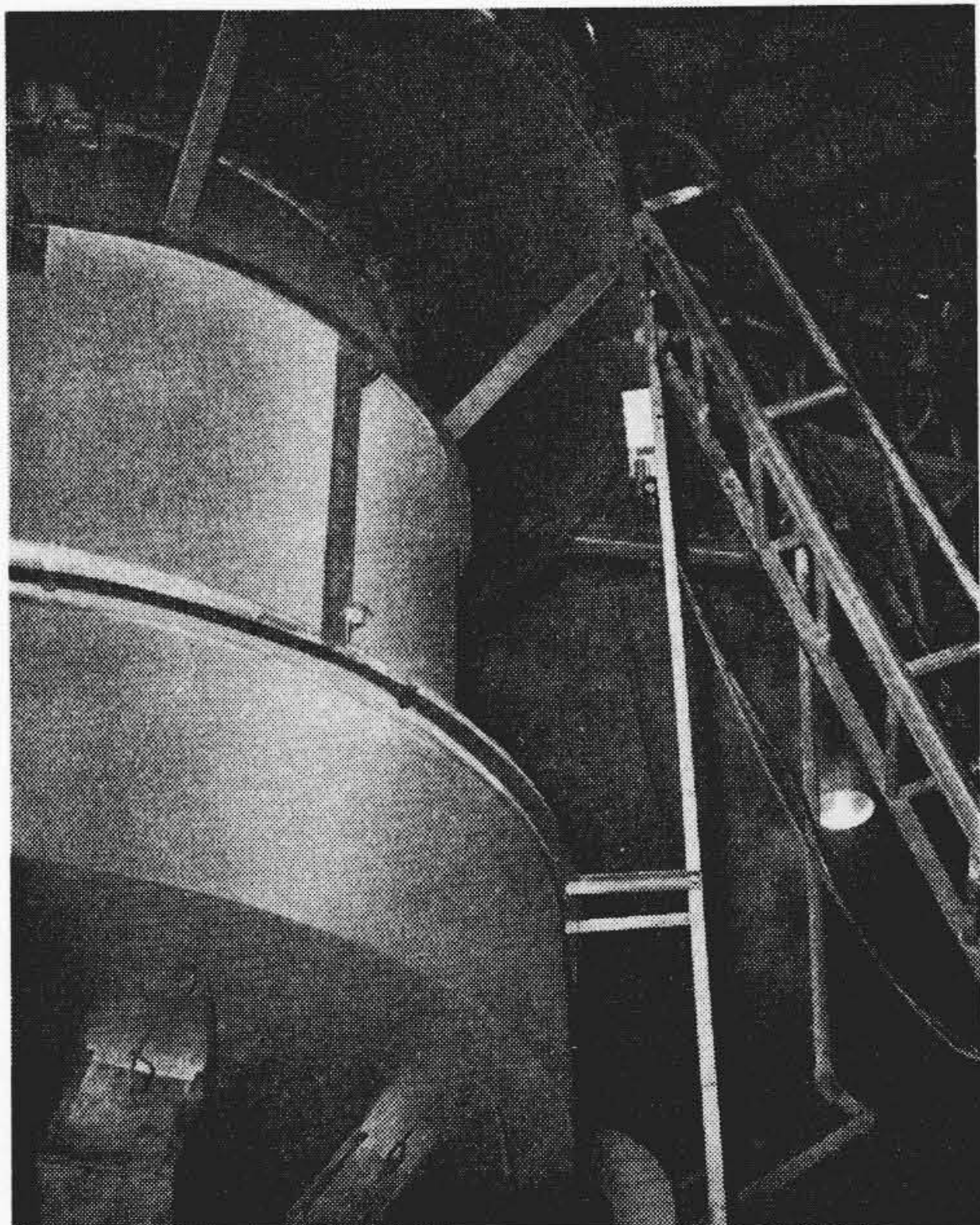


第1図 γ 線液面計の各種方式およびその特性

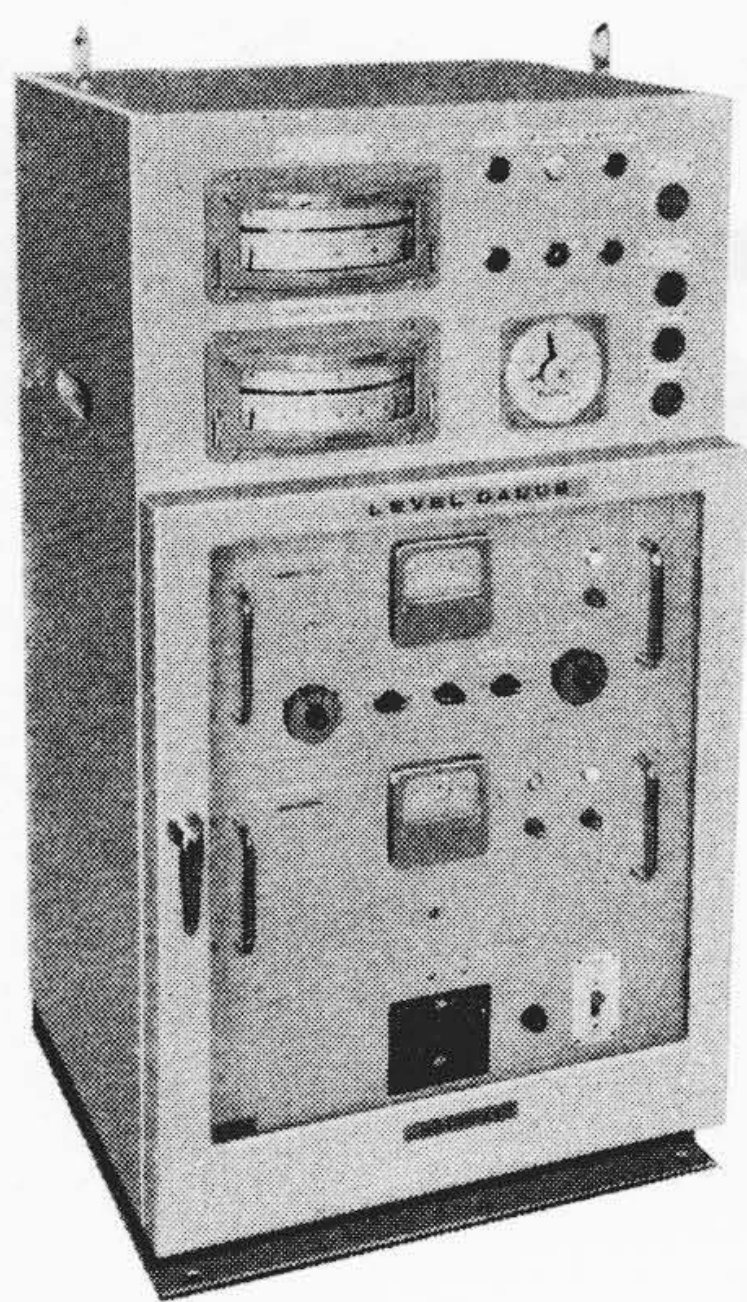
化学工場では200気圧以上の高圧タンク内の液面が γ 線の利用によりはじめて測定可能となった。すなわち、一つのタンクに300mcの ^{60}Co を5個使用し、検出器にシンチレーションカウンタを使用することにより200mm以上の壁厚(鉄)の高圧タンクの液面の測定が可能となった。第3図はこのように用途に使用される計器本体の外観である。

熔融ガラスの液面も $\pm 0.5\text{mm}$ 程度の精度で測定できるようになったが、この種の高温液面の測定には今のところ γ 線液面計が唯一の手段である。またガス発生炉のコークスのレベルを検出してコークスの自動投入を行なっているところもある。

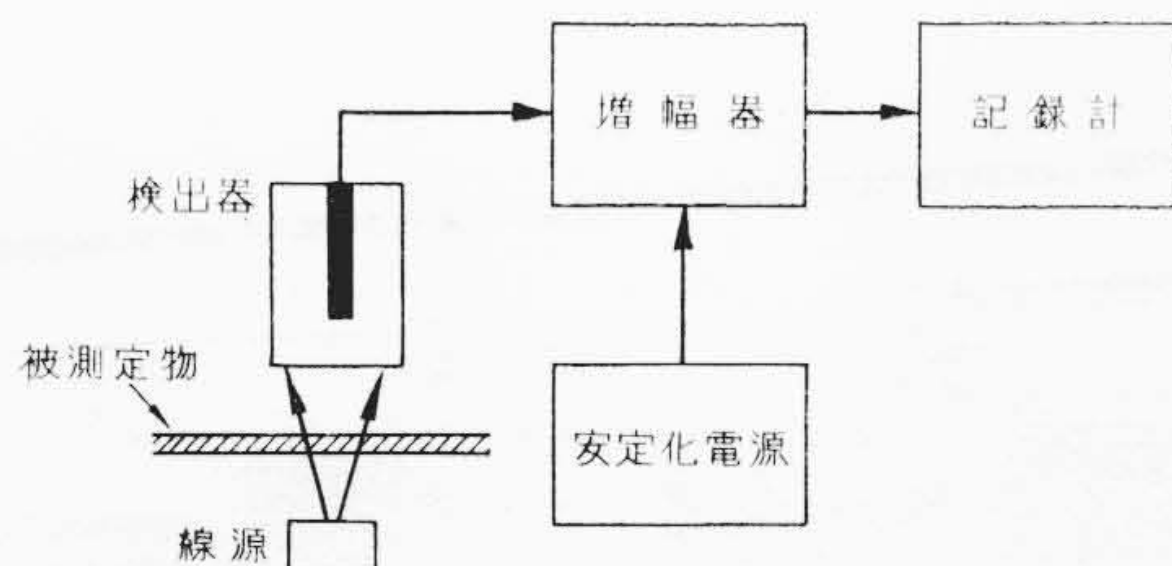
このほかにも、2種類の液体の境界面の検出、粉体触媒の層面の状態の測定など、興味深い多数の利用例がある。



第2図 γ 線レベル計によるキューボラ内投入材料レベルの測定



第3図 高圧タンク用 γ 線液面計の計器本体

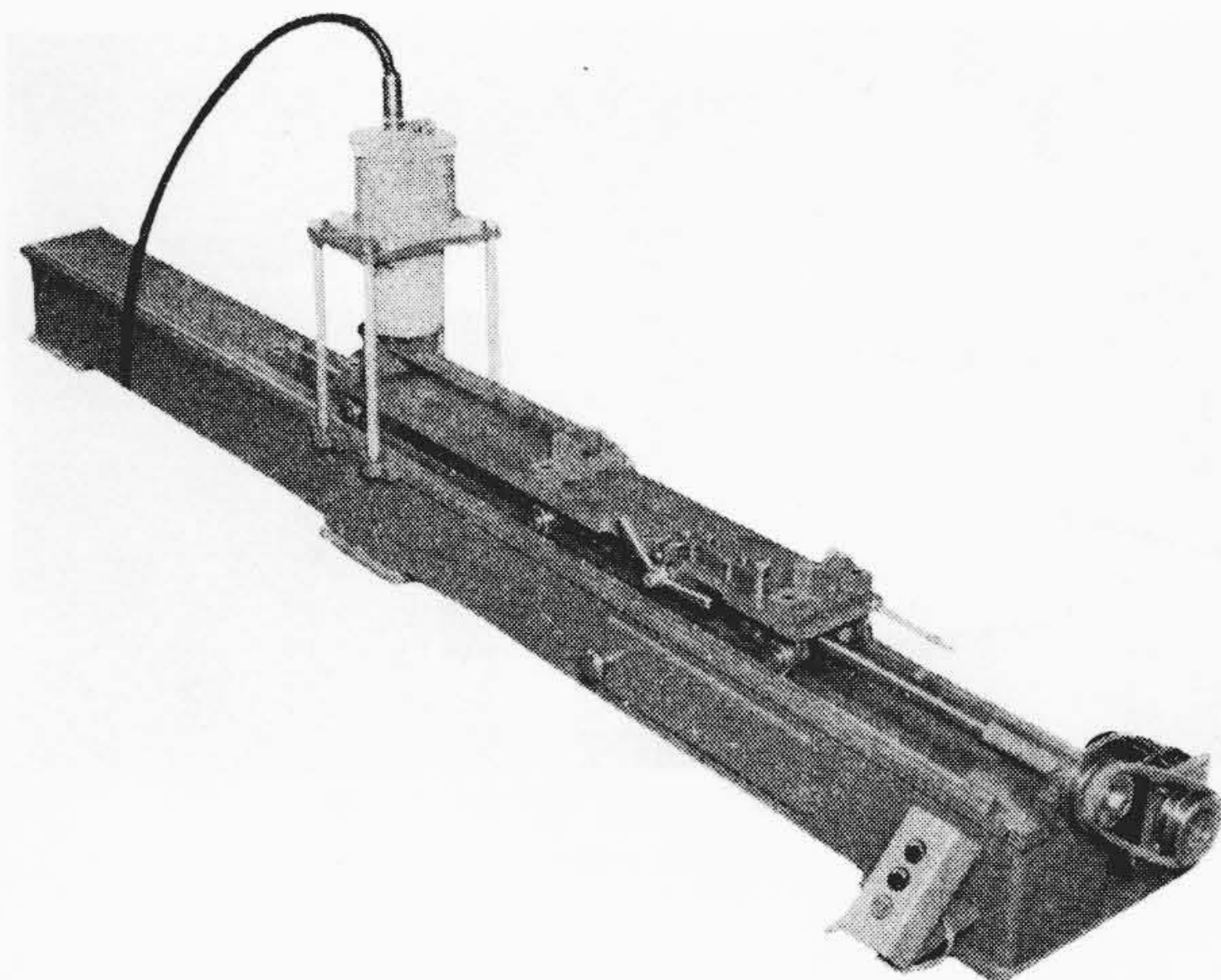


第4図 厚さ計原理図

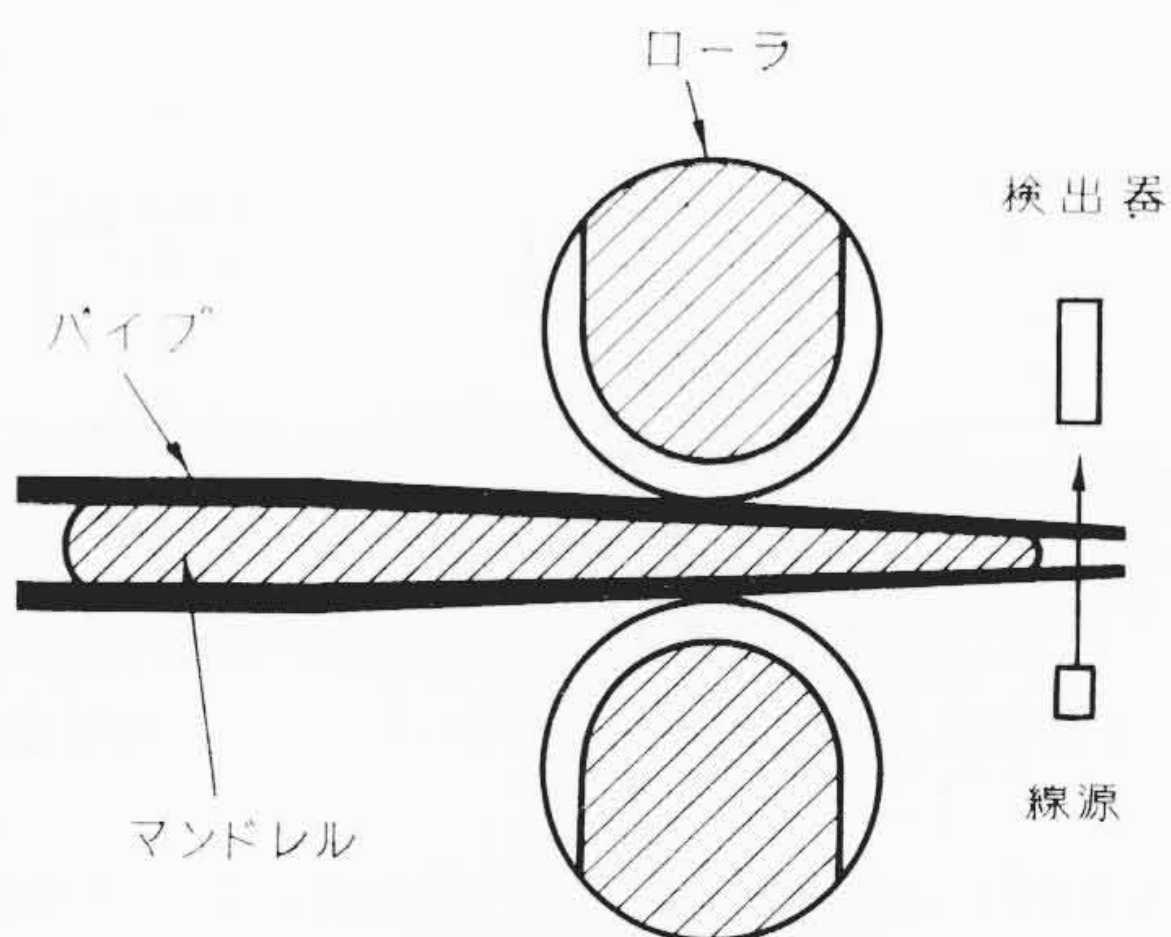
3. 厚 さ 計

厚さ計には被測定物を透過した放射線を測定する方式と、被測定物による散乱線を測定する方式があるが、現在、利用されているものはほとんど前者である。第4図に示すように線源は被測定物の片側に取り付けられ、その反対側に検出器が取り付けられる。透過放射線の強度が被測定物の厚さの関数となって変化することを利用している。

被測定物の厚さにより、適当なエネルギーの β 線あるいは γ 線が



第5図 原子炉燃料棒のアルミ被覆の検査装置



第6図 γ 線によるマンドレルの折損検出

選択され、0.1～1mm程度の金属板の測定には ^{90}Sr 、 ^{106}Ru などが、紙、ビニールなどの薄物には β 線のエネルギーの低い ^{204}Tl 、 ^{147}Pm が、また数mm以上の鉄板の測定には ^{137}Cs 、 ^{60}Co などから放射される γ 線が利用される。いずれも $\pm 1\%$ 前後の精度が得られている。

これらの厚さ計の特長は液面計の場合と同様、非接触測定ができる点にあり、特に圧延機で圧延される鉄板、銅板などの厚さの連続測定には従来利用されているフライングマイクロメータに代って広く利用されるようになった。このほかにポリエチレンパイプの肉厚測定、パイプ内の異物付着状況の検査など広い応用面がある。

原子炉燃料棒のアルミ被覆の検査にも透過形厚さ計の原理を利用することができる。第5図はその実際の装置の外観を示す。この装置はウランウムから放射される2.3 MeVの β 線を利用し、アントラセンを用いたシンチレーションカウンタで測定するものである。

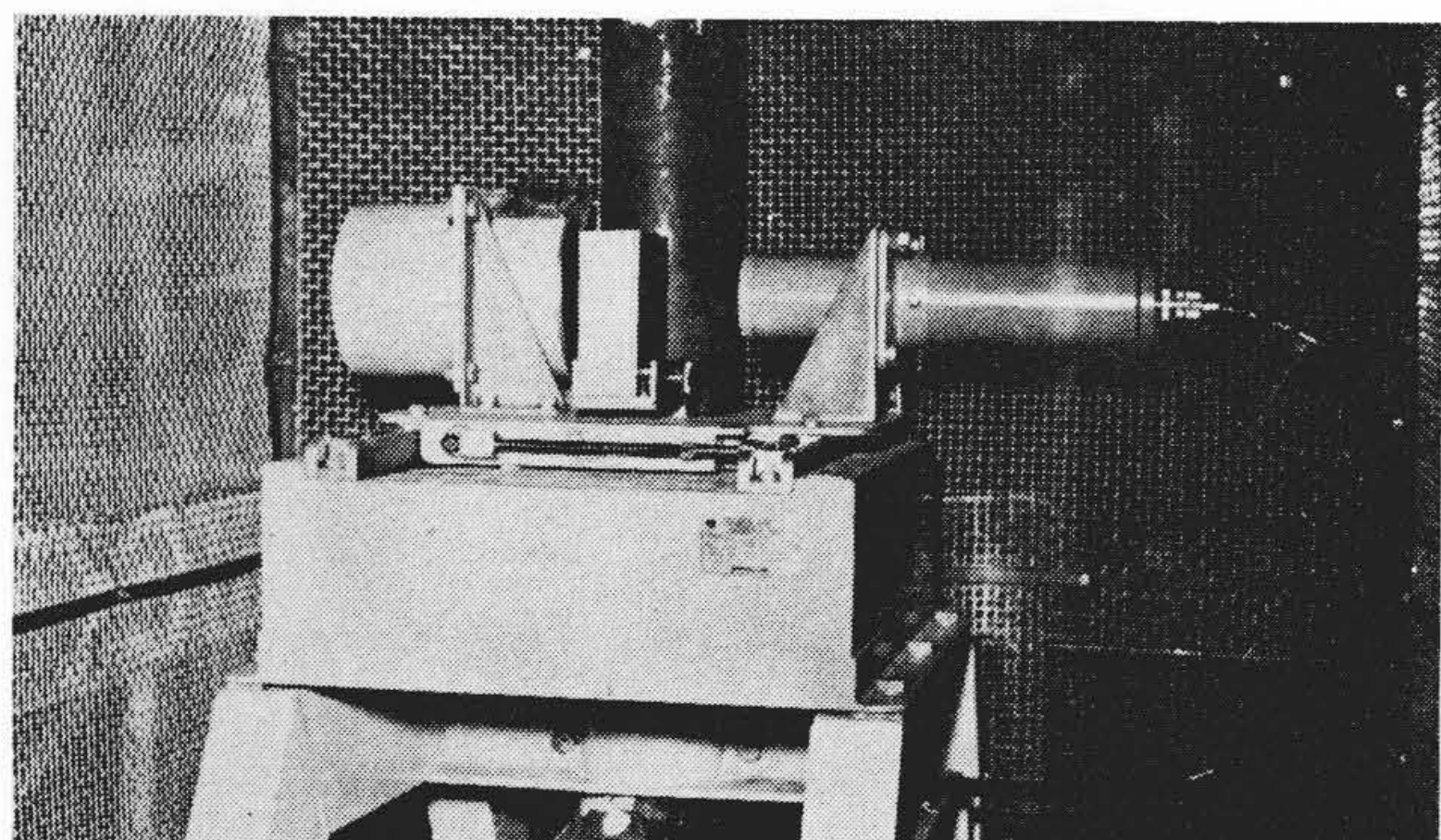
パイプ製造工程におけるマンドレル折損検出などにも第6図のような配置で γ 線の吸収を利用することができる。線源に ^{137}Cs または ^{60}Co を使用し、検出器にシンチレーションカウンタを使用したもので、応答時間0.05 s以下のものが製作されている。

4. 密 度 計

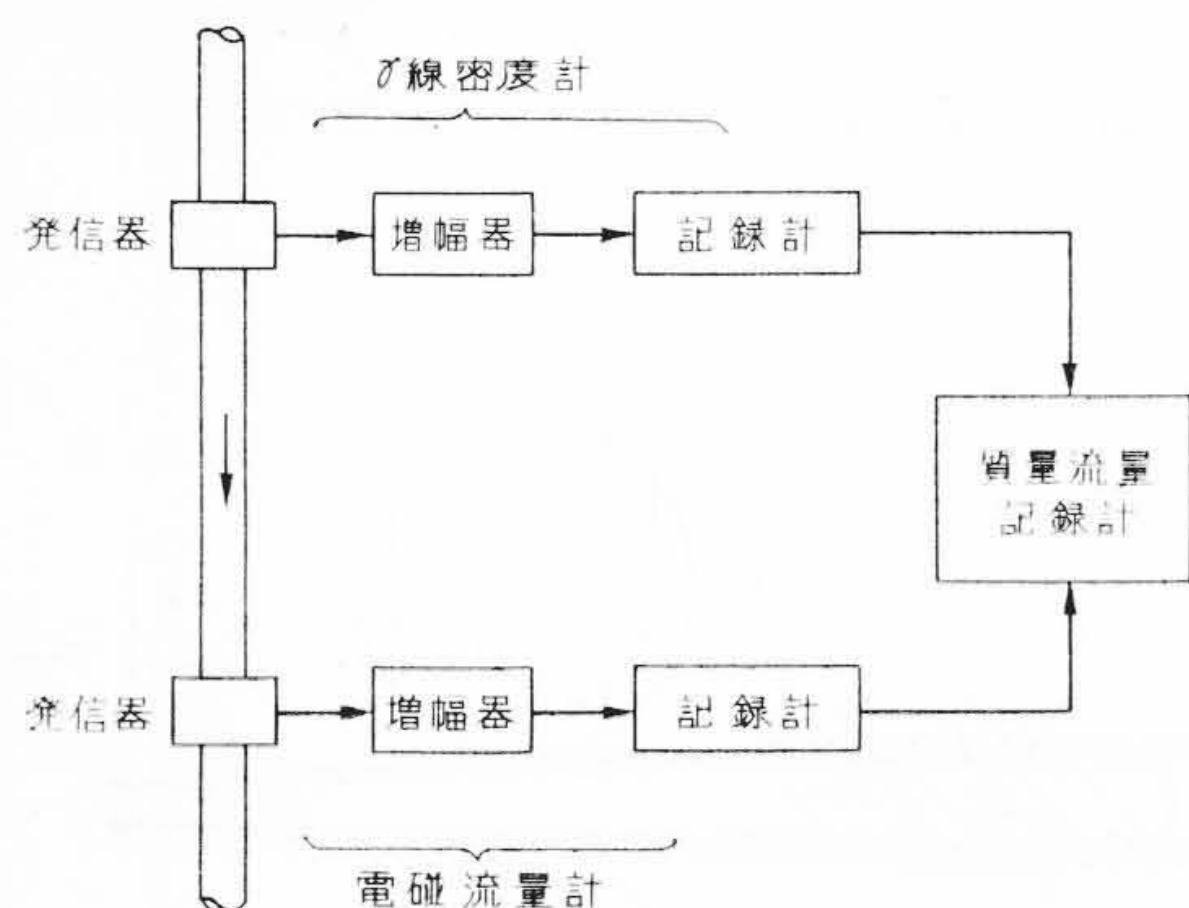
パイプやタンクの外側から γ 線を透過させることにより、内部の物質の密度の測定ができる。これは1 MeV前後のエネルギーの γ 線では吸収がおもに密度によって変ることを利用するもので、 $\pm 0.002 \text{ g/cm}^3$ 程度の精度のものが作られている⁽²⁾。

従来、液体の密度測定に利用されている気泡式、フロート式では得られない高精度の非接触測定ができるので、その利用分野はきわめて広く、近年各方面で実用されるようになった。

ことに鉱山の重液選鉱における重液の密度の連続測定は γ 線密度計によりはじめて実用になり、鉱石、石炭などの選別成績の向上に



第7図 γ 線密度計検出部
(重液密度の測定)



第8図 γ 線密度計と電磁流量計の組合せによる質量流量計

大きな成果をあげている。第7図はその検出部の取り付けを示す。

ボイラあるいは原子炉などの研究にはボイドの測定も重要な課題であるが、 γ 線の利用によりこれが可能となり実用されている。粉石炭などの粉体材料の見掛けの密度の測定は現在のところ γ 線密度計以外に適当な測定方法はなく、今後この方面での利用が多くなるものと期待される。

化学工業においても、反応の進行状態の管理に γ 線密度計が利用できることが着目され、重合率などを密度測定により間接的に知る方法が採られるようになった。

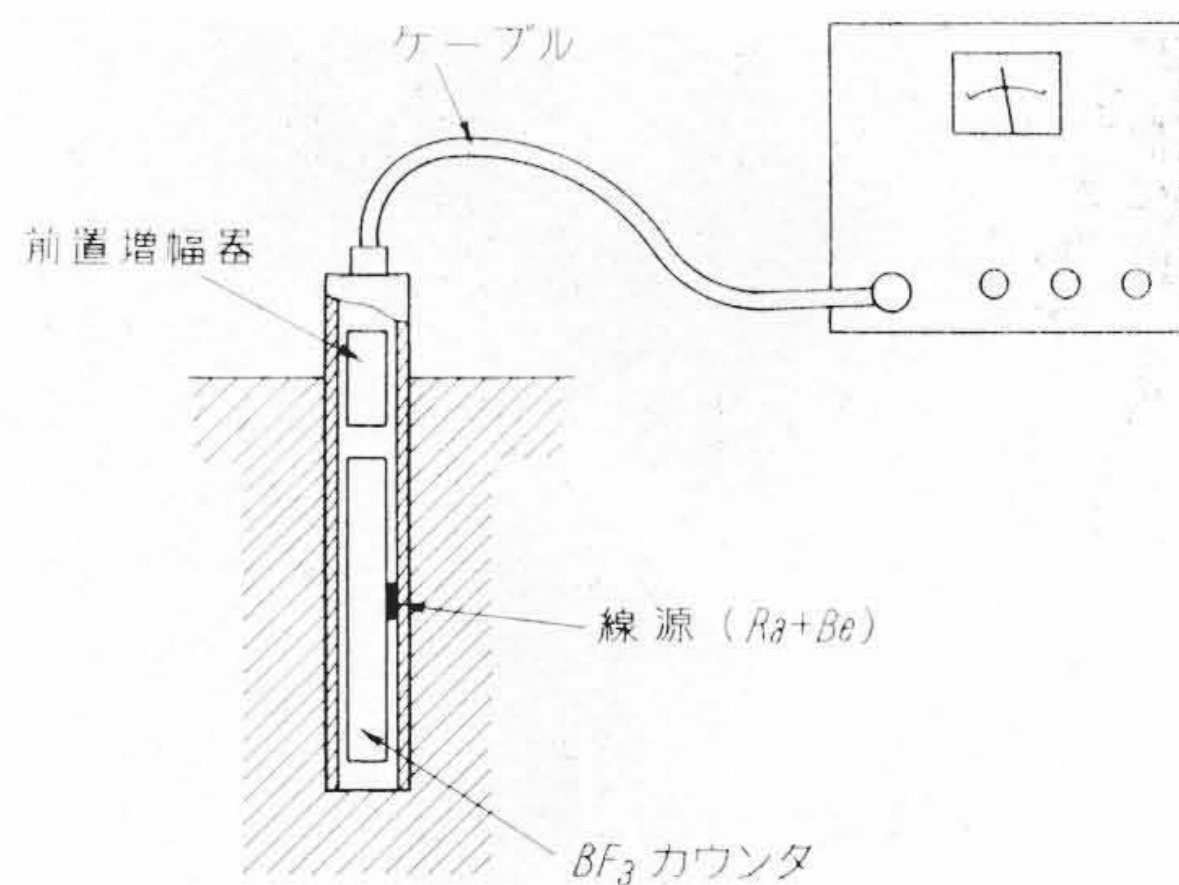
このほか、最近、注目されるようになったものに電磁流量計と組み合わせた質量流量計があり、第8図のような方式のものが、すでに外国では利用されている⁽³⁾。国内でも同様な方式で泥水中の正味泥量の測定の実用化が各所で進められている。

5. 水 分 計

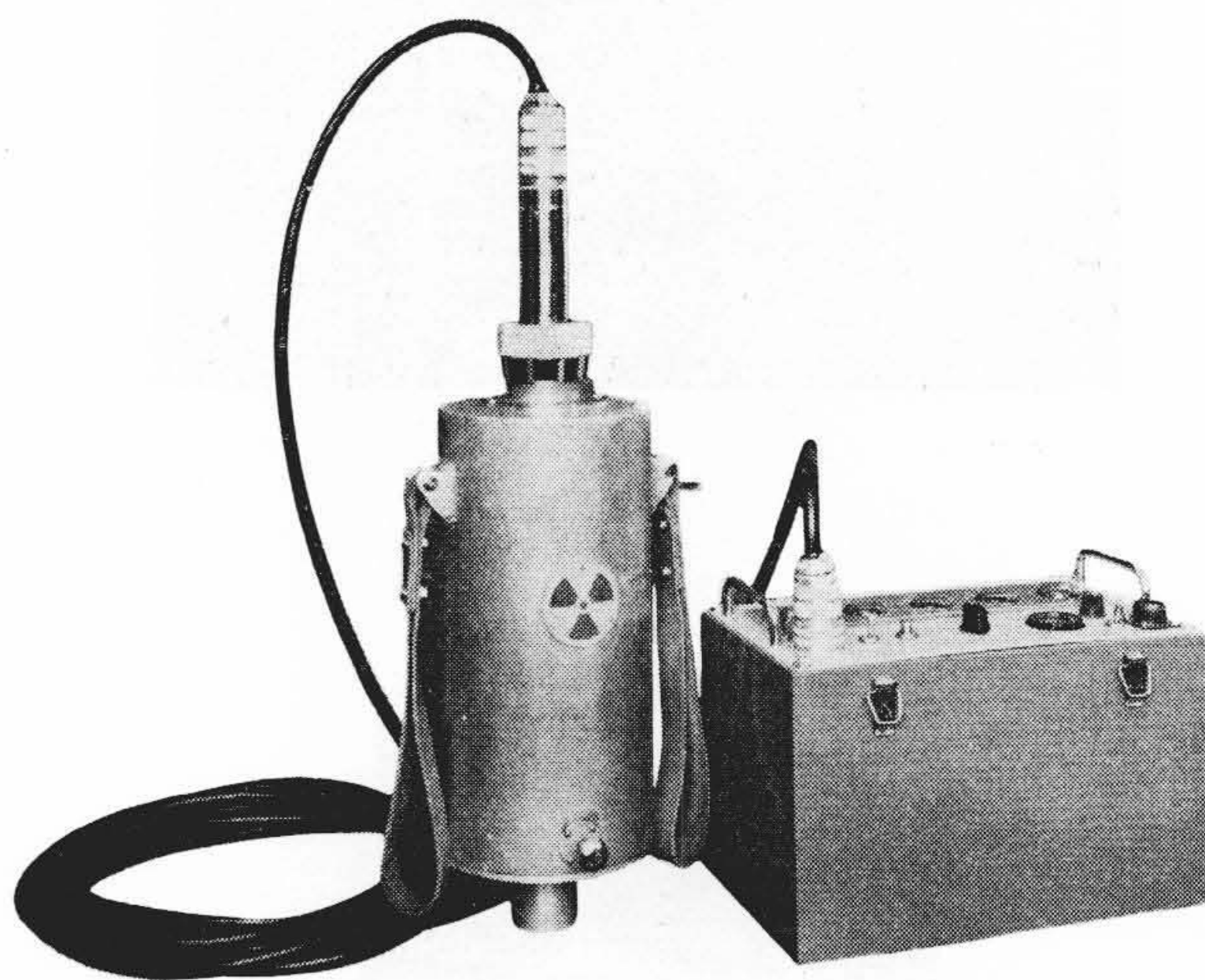
速い中性子が物質中を通過するとき、物質を構成する原子核との衝突により次第に減速されるが、この減速の様子は物質の種類により異なる。減速する能力に関連した値として減速能について各種物質を調べてみると、水素だけは他の元素に比べて2ケタ近く大きい値を持っている。したがって、この水素の特異性を利用することにより周囲条件に影響されない水分計を作ることができる。

測定方式としてはプローブを被測定物にそう入して測定する、いわゆるそう入形と被測定物の素面にプローブを当てる表面形がある。第9図はそう入形プローブの内部配置で、速い中性子を放出する線源としては Ra-Be が使用され、減速された熱中性子の検出器としては BF_3 カウンタが使用される。実用計器では $\pm 0.005 \sim 0.01 \text{ kg/l}$ 程度の精度が得られている。

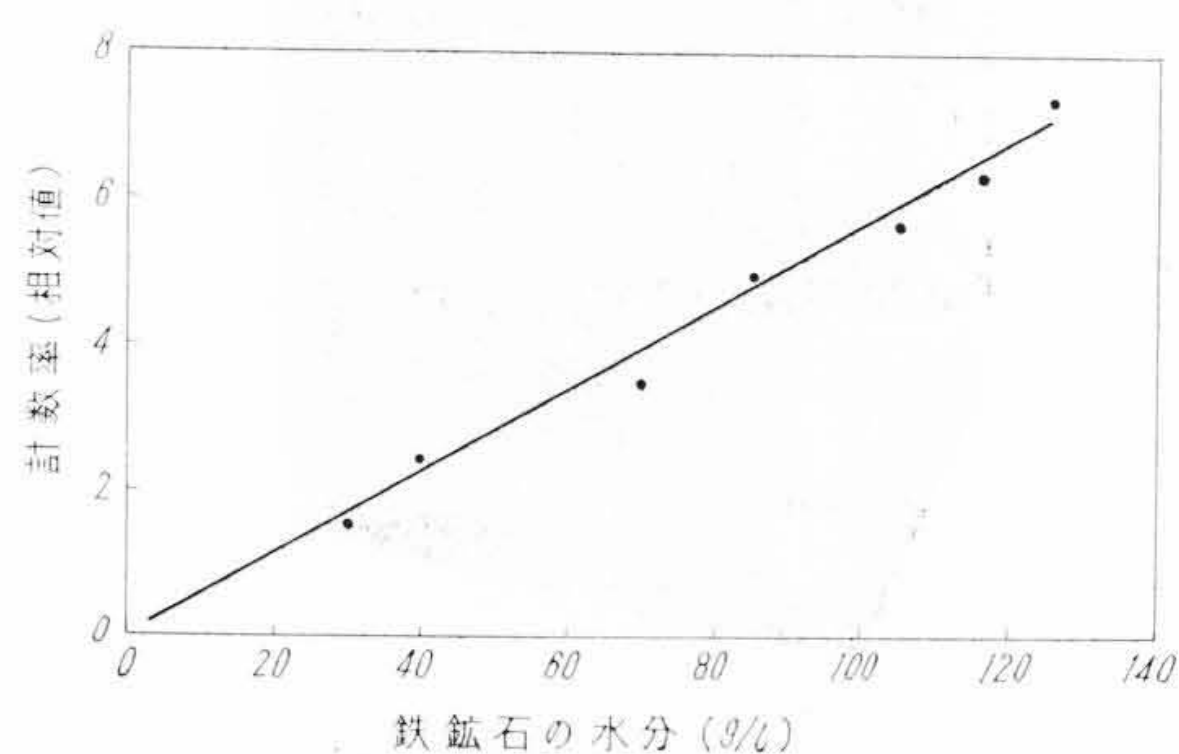
第10図はポータブル形中性子水分計の外観である。利用分野としては、まず土木用として地盤調査における土壌中の水分測定、打設時のコンクリート水分の管理などがあり、各所で実用化の実験が進められている。工業面では鉱石中の水分測定が最も多く、すでに



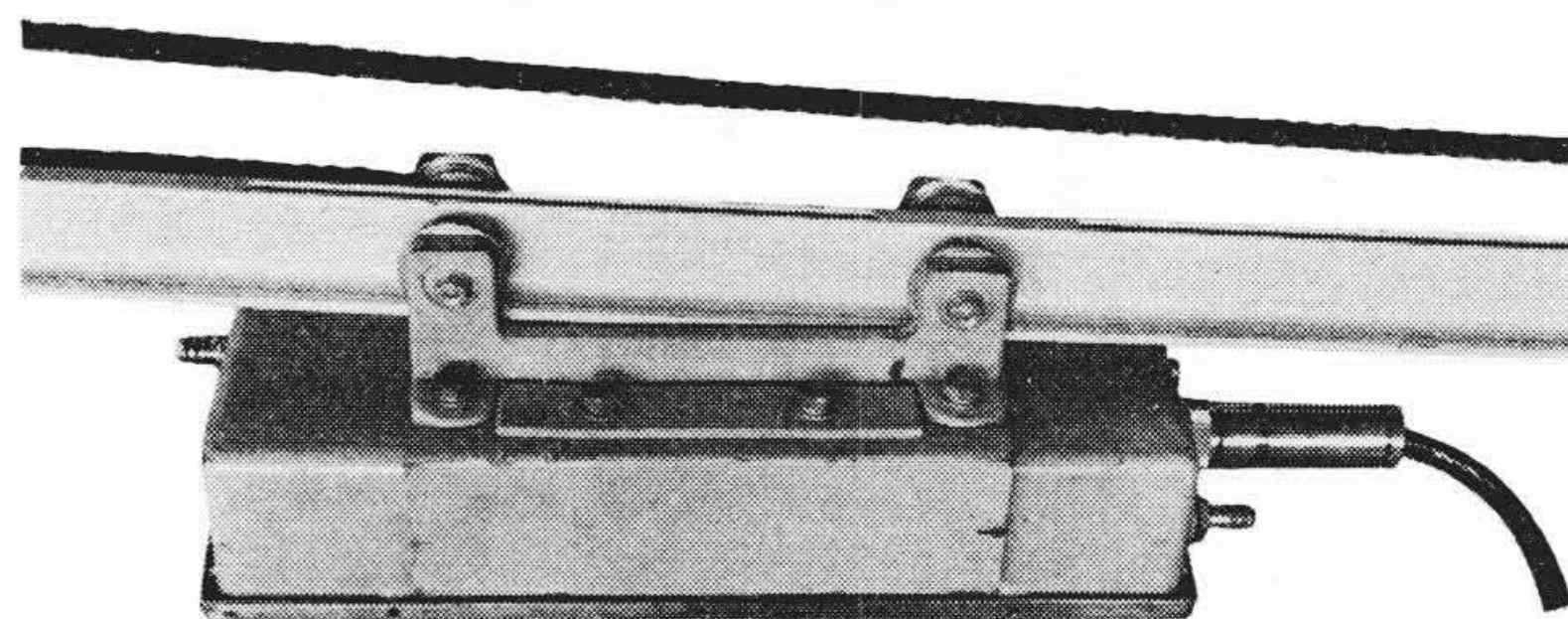
第9図 中性子水分計構成図



第10図 ポータブル形中性子水分計



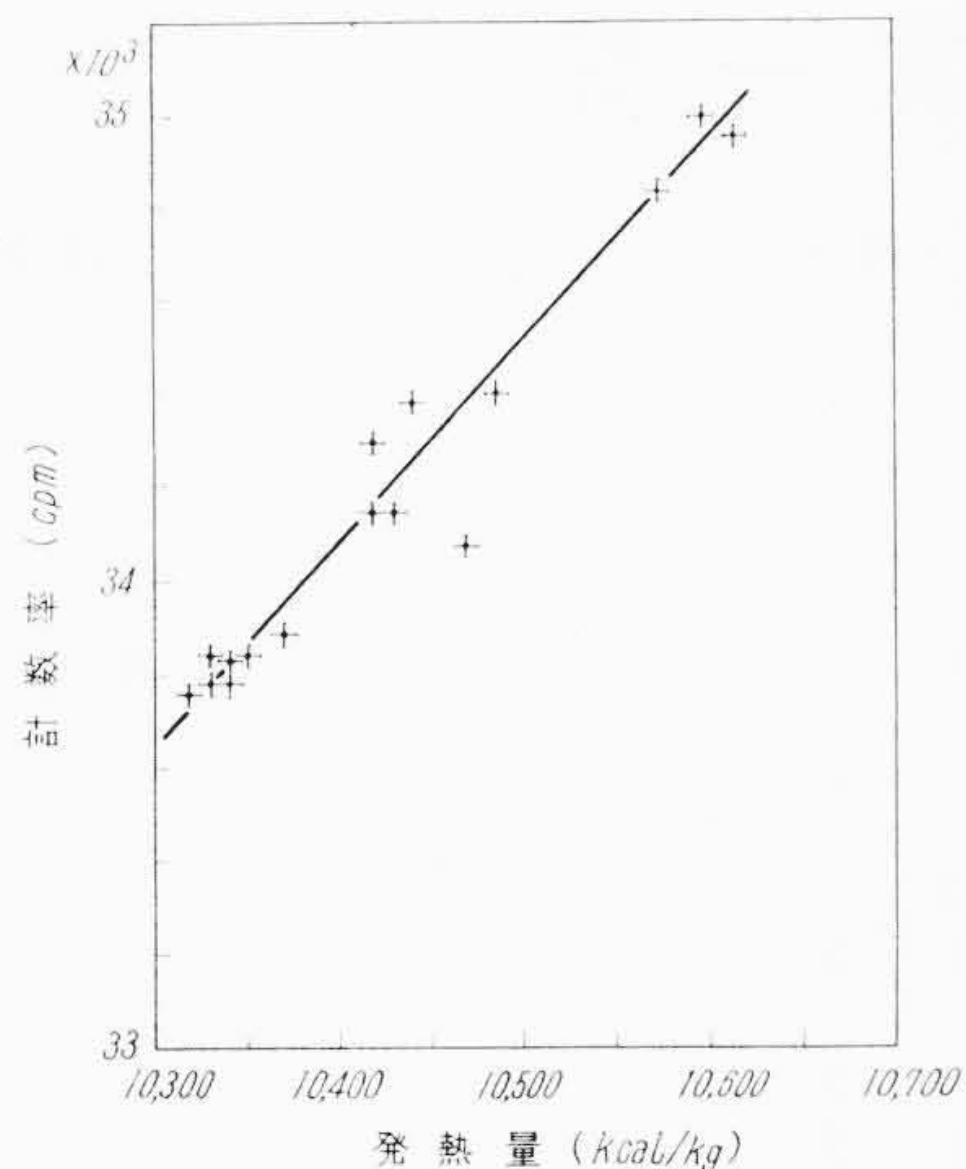
第11図 鉄鉱石の水分と計数率の関係



第12図 鉄鉱石の連続測定用中性子水分計プローブ

鉄鉱石の水分の連続測定に実用され、さらにこれを利用した水分の自動制御が計画されている。第11図は鉄鉱石の水分と BF_3 カウンタの出力の関係を示したもので、また第12図はこの種の用途の表面形プローブの外観である。

このほか、重油の発熱量が重油中の水素の量と関連があることに着目して中性子利用による発熱量の測定が試みられ、第13図のような結果からその可能性が確かめられている⁽⁴⁾。



第13図 重油発熱量と計数率の関係

中性子水分計の利用は放射線応用計測器の中では最も新しく、したがって現在のところ利用分野も比較的狭い範囲に限られているが今後新しい利用分野が次々と開拓されるものと思われる。

6. 結 言

放射性同位元素の工業計測への代表的な利用例について述べた。放射線応用計測が実用期に入ったのはわが国では昭和30年以降で、まだ一般的にはなじみが浅いが、前述の利用例にも示したように、その特長を生かせば今まで不可能であった問題を解決することができ、また工程管理に利用すれば材料の節減、品質の向上などで多大の成果が期待できる。放射線障害の問題についても、計測器に利用される程度の放射性物質であれば、十分安全なものと考えてさしつかえなく、取り扱いさえ習得すれば一般の工業計器と同様に扱うことができる。したがって、今後利用可能な分野にさらに積極的に利用されることを希望してやまない。

参 考 文 献

- (1) 鷺見：日立評論 42, 12 (1960)
- (2) 鷺見：計測 10, 12 (1960)
- (3) 市原：計測 11, 4 (1961)
- (4) 石松：計測 11, 8 (1961)



特 許 の 紹 介



特許第286688号

青木直司

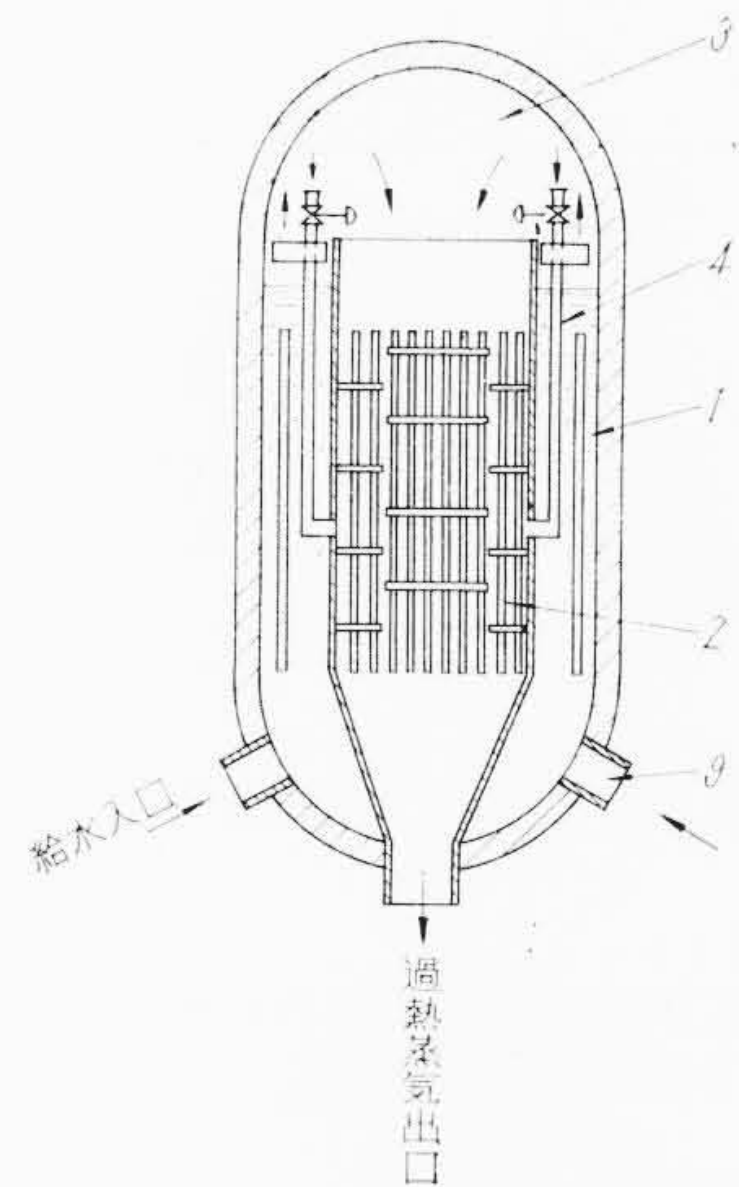
過熱部を内蔵する沸騰水形原子炉

この発明は、過熱部を備えた沸騰水形原子炉において、過熱部の温度上昇の際、これを防ぐに、過熱部の下流位置に飽和蒸気を通じて行なうことを提案するものである。

過熱部の冷却は、蒸気だけで行なわれるので、ちょっとした出力の変化や蒸気量の変化で、急激に蒸気温度が変化したり、冷却度が変化したりする。ところで過熱部内の温度分布は、蒸気流行程の前方にゆくほど温度が高くなっており、過熱部内で冷却度が変化し、その温度が上昇する事態になったとき、最も危険なのは、中心部から終行程にかけてである。

この発明によると、沸騰部1で発生した蒸気を溜める蒸気室3から、過熱部2の入口とは別に、過熱部蒸気流行程の途中に通じる蒸気通路4が設けられ、熱的に過酷な条件におかれる、過熱部下流に飽和蒸気を供給して冷却を行なえるように構成される。

このようにしてこの発明によれば、過熱部でも特に条件の厳しい部分を必要に応じて冷却することができるので、安全性を高めることができる。(丸山)



特許第286694号

江幡健夫

過熱部内蔵形原子炉

同一炉心に、沸騰部と過熱部を備えた原子炉においては、沸騰部と過熱部の熱的な制御を、各々別個に行なうことはむずかしい、すなわち一般的な制御手段である制御棒によると、たとえば過熱部を制御しようとしてもその影響が沸騰部に及ぶからである。

この発明は、過熱部2内に給水の予熱管3を組み込み、沸騰部1に供給する給水を一部分岐してこの予熱管3を経由させて沸騰部1に通じ、この予熱管3を通る冷却水量を過熱蒸気あるいは過熱部内の温度に応じて調節するようにしたものである。

よってこの発明によると過熱部3の熱的制御は、予熱管3における給水の吸熱量によって行なわれ、さらに過熱部2と沸騰部1の熱出力比を変え、場合によっては過熱部の一部を実質的に沸騰部として働かせることもできる。(丸山)

