

ラジオアイソトープ利用による流速測定に関する二、三の実験

Some Experimental Studies for the Measurement of
Flow Velocity by Radioisotope

岡田泰三* 園田晋** 平山達*** 松本昭*****
Taizo Okada Susumu Sonoda Tôru Hirayama Akira Matumoto
長田幸民*** 北山竜男**** 山崎卓爾***** 手島友亮*****
Kômin Osada Tatuo Kitayama Takuji Yamazaki Tomosuke Tejima

内 容 梗 概

わが国のアイソトープの平和利用は原子力の研究の急速な発展によつて広く科学、技術の全分野に行きわたつていまでは産業界の有力な一手段となつてゐる。

水力発電所の水量測定にアイソトープを利用することは、すでに早くから技術的な面での話題であつたが、この試みの一環として、昨年来昭和電工株式会社と日立研究所と共同して、鉄管内にアイソトープを流し、正しく測定された2点間を通過する時間から管内の平均流速値を知つて、流量を算出する方法の一つとして、アイソトープを封入した粒状カプセルを追跡子として用いる実験を計画実施している。使用するアイソトープはその特性と国内生産量の現状から Co^{60} を使い反復使用することとし、日立研究所の水力実験所にある理想的な水平直線管路よりなる流量測定法の研究設備を用いた。

ここに報告する二、三の実験は一連の計画的な研究の一部であつて確たる結論を得るに至つていないが、この種の研究を計画される場合の参考になれば幸である。

〔I〕 緒 言

現在わが国における原子力の平和利用の大きい推進力をなしている放射性同位元素（ラジオアイソトープ、以下 R.I. と略記する。）の応用は工業技術界に一大変革をもたらしつつある。なかでも工業界にもつともなじみ深い Co^{60} が昭和27年に始めてわが国にお目見得してこのかた4年余りの間にその利用面はわれわれの計り知れない程多部門にゆきわたつてゐる。水車工業界においても早くより水車の流量測定に R.I. を利用しようという試みが方々で計画されたが、筆者らも昨年来、具体的にこの問題を取りあげ検討を加え昨年秋には一応の予備試験を行つて、この方法への手掛りを得て、本年早々始めて計画的な実験を開始する段階となり、すでに第1回目の一連の実験を終え、第一歩を踏み出すに至つた。

いま、ここに紹介する二、三の実験は Co^{60} を封入した小さい粒状のカプセルを鉄管内に流して、R.I. を流速測定トレーサとする場合の基礎をなすもので、勿論この方法が最良の方法と考えたわけではなく、当面考えられる R.I. 塩の溶液を流す方法を始め、幾多の方法が考えられるであろうが、R.I. を流速測定に応用するという文字通り未知の領域への足掛りとするために、問題を簡易化して、R.I. を粒状にした。実験に用いた鉄管は直径6inの長さ約50mの直線部をもつ完全水平な配管を利用し、その末端には流速の平均値を正確に求めるための重量法

による流量検定装置が備えてある。

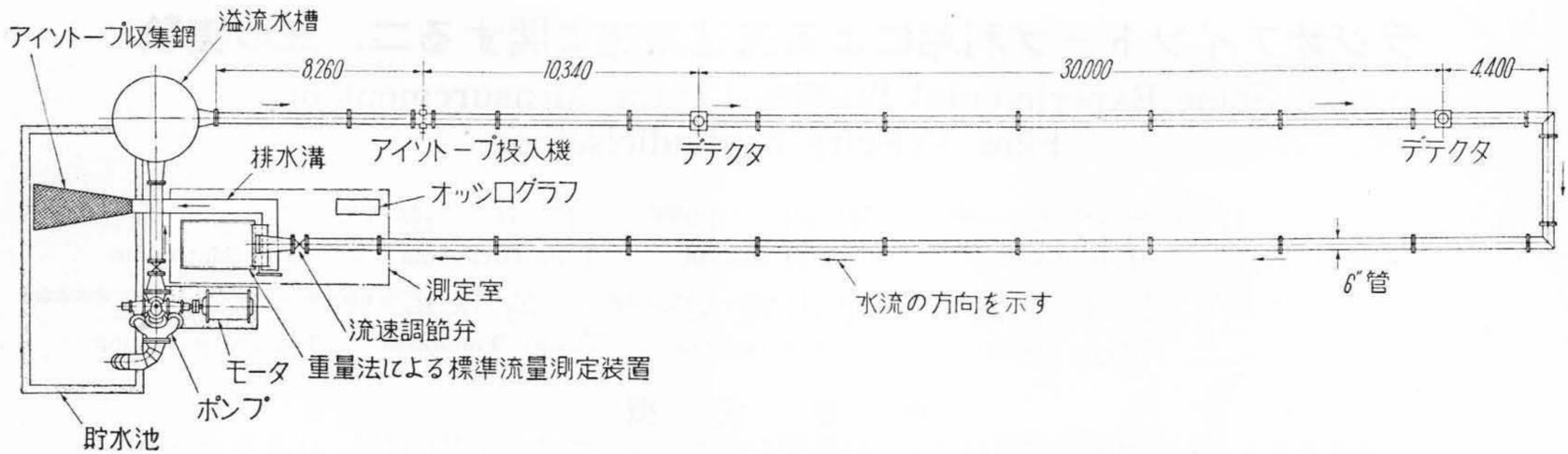
水力発電所の水量の測定に R.I. を利用することが実現すれば、従来の種々の方法に比べて、測定装置取付けのために発電を中断する度合はきわめて少く、場合によつては中断の必要のない方法が実現可能であろう。そのうへ試験の進行が便利であるという大きい利点は、発電所にとつてはほかの方法にみられない大きい魅力といえよう。また、R.I. の放射特性を上手に利用することによつては在来の手法以上に高精度の測定法を得る機会なしとしないところから R.I. を用いた方法への期待は大きい。ここに高精度測定法の確立のためには本質的に幾多の技術的な難問題があつて、深い詳細な研究を必要とするは勿論であるが、当面はせめて在来のほかの諸方法にみられる程度の精度が得られるまでに進歩すれば、前に述べた大きい利点が手伝つて容易に発電所の水量を知ることができ、ひいては水車性能向上に大きい貢献をもたらすことができるであろう。

ここに報告する二、三の実験は、いまなお実験継続中の一連の研究の一端であつて、これだけからは確たる結論を述べる段階ではないが、これから R.I. を利用して管内の流速測定を計画される方々の御参考になれば筆者らの幸これに過ぐるものはない。

〔II〕 R.I. の流速測定への利用方法

R.I. は周知のように物理的、化学的にトレーサとしての幾多の特性を持つてゐるが、流速測定に活用するためには当面、その位置を適確に示す放射線を放射するという物理的特性を利用することによつて、R.I. を鉄管内に流して一定距離をへだてた2点にデテクタを取付けて、

* 昭和電工株式会社取締役
** 昭和電工株式会社企画部次長
*** 昭和電工株式会社企画部原子力課
**** 昭和電工株式会社電気工営部電気課
***** 日立製作所日立研究所



第 1 図 実 験 設 備

その間を通過する時間を求めれば平均の流速を一応知ることが出来る。

R.I. を流す方法としてまず着目されるのは、従来の塩水速度法と同様に R.I. を塩の水溶液として流し込む方法である。この方法はすでに電源開発会社で実施せられ、いまなお御研究中と聞いているが、R.I. の塩溶液が被測定流体すなわち水と混然一体となつて同行動をとるという利点があるが、測定結果について本質的に解決の困難なところがあるとともに、わが国の現状では実験室で常時使用に供するに便利な強 γ 線放射体としては Na^{24} 以外適切なものがないものごとく、しかもこれは国内では一度にそう多量に入手することが困難である上に、半減期が割合に短いなどの制約から、実験条件や実験回数に大きい制限が課せられることは残念である。

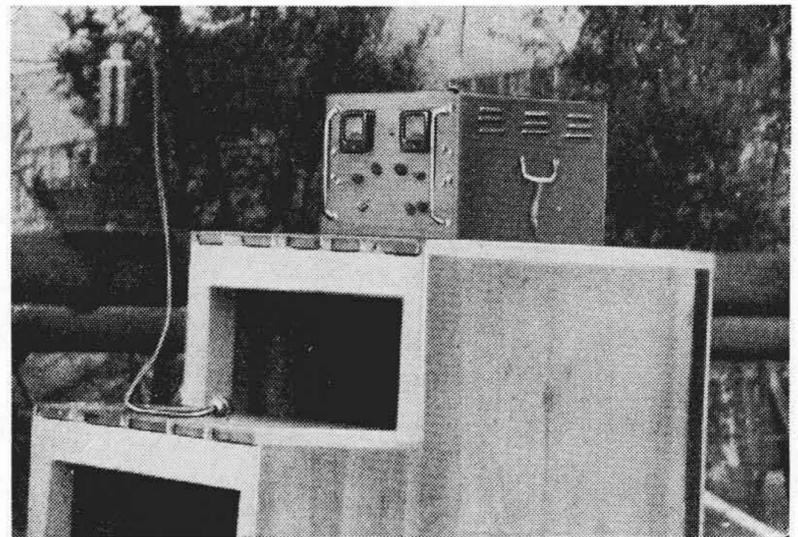
つぎに考えられる方法は本研究でとりあげたような R.I. を粒状のカプセルに封入して流す方法である。この方法では R.I. を封入したカプセルを小さくしても水と完全に同行動をとらないという流体力学上の欠点があるが、投入したカプセルを適当な方法で収集すると、反復使用できるとともに、確実に収集ができるならば半減期の長い R.I. を使用することが可能で、かつ得られた記録はきわめて明確であるなどの利点がある。

このほか拡散による濃度の低下率をもとにした塩水濃度法と類似の方法を始めとして、R.I. の多くの特性を利用すれば方法はなお多数あると思われる。

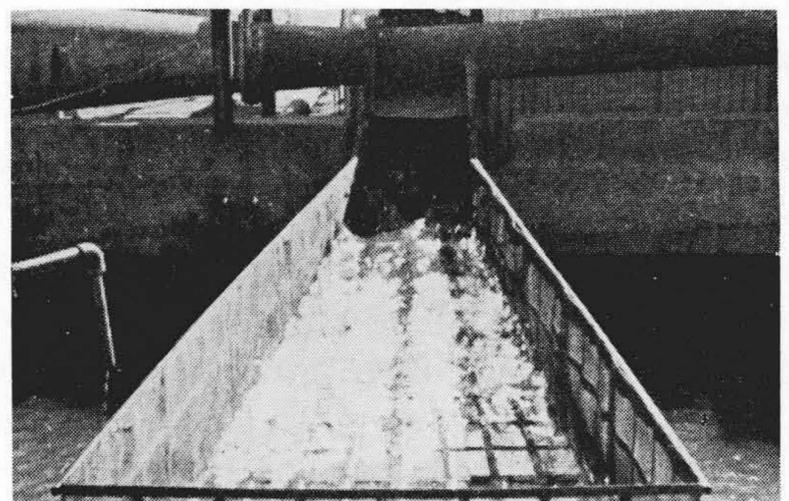
〔III〕 実験方法

(1) 実験設備

実験設備は日立研究所の水力実験所にある流量測定法研究のために特に製作されたきわめて理想的な管内流れを生成せしめ得る設備を利用した。すなわち第 1 図に示すような片道約 50m の直線部をもつ、往復の長さ約 100m の直径 6" の鋼管を完全水平に配した管路で、その上流には直径約 1.8 m、高さ約 10 m の溢流水槽を設け試験中の落差を一定に保っている。溢流水槽から 8.26 m 下



第 2 図 デテクタ取付の様相



第 3 図 カプセル収集用金網

流に R.I. の投入機を、さらに 10.34 m の下流に第 1 のデテクタ (第 2 図) を、さらに正しく 30m の距離をへだてて第 2 のデテクタを置き、この 2 個のデテクタの間を R.I. が通過する時間を、 2×10^{-8} 秒の精度を持つ電波研究所より発信される J.J.Y. 標準電波の 1 秒毎の信号をもとにして、オシログラフに記録させた。この配管の末端には流速 (流量) 調節弁が付けてあり、その下流には J.J.Y. 標準電波を利用した重量法による標準流量測定装置が設置してある。貯水池への放水口には粒状カプセルの収集のために真鍮製の大きい金網 (第 3 図) が張つてあり、未拡がり水路で水路からの放水エネルギーを減じカプセルの

発見に便利ならしめてある。

ここに使用した配管は1本が長さ 5.5m, 内径 156.3mm 外径 167mm のものを結合してあるが, その1本1本は番号が付してあつて, 内面が滑らかにされたうえに, 容積測定によつてその性質が正しく測定してあるものを使用した。

(2) 測定器および R.I. 投入機

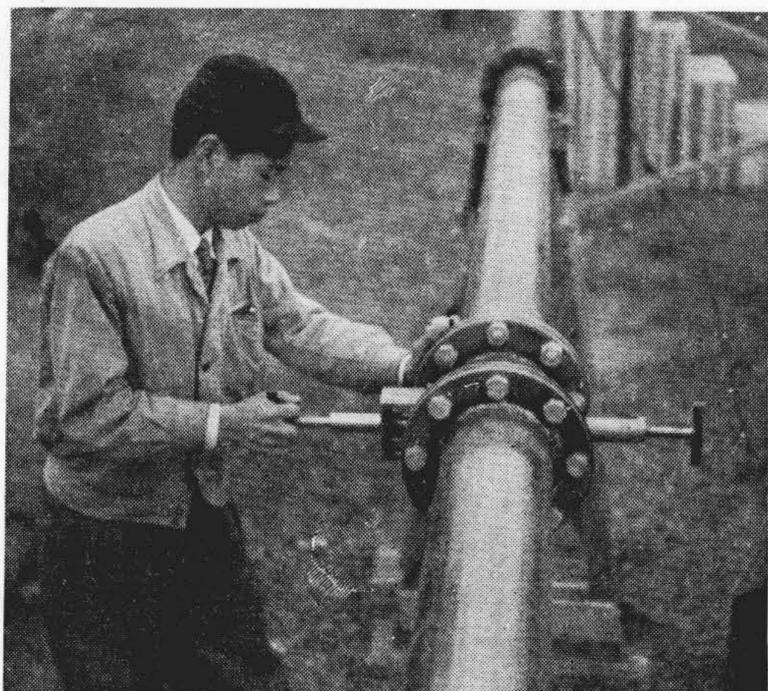
放射線検出のためにはシンチレーションデテクタおよびレートメータ (線量率計, 科研製) を使用し, 6 エLEMENTの電磁オシログラフに導いた。鉄管上に取付けたシンチレーションヘッドは厚さ 50 mm の鉛ブロックによつてその周囲を遮蔽し, ヘッド取付部における放射線の検出有効区間をできる限り少くするよう留意してある。

つぎに溢流水槽の直ぐ下流の鉄管に取付けた R.I. 投入機は第4図にその外観を示したような, 1本のスピンドル中にあけた孔の中に粒状の R.I. 封入カプセルを入れて, 鉄管内に押込み, 鉄管断面の水平直径上の中央部および中心から左右にそれぞれ 30 mm, 60 mm の位置にあけた合計 5 個の 12 mm 直径の管軸方向に向つて設けてある投入口のいずれからも任意に投入せられるような構造になつている。

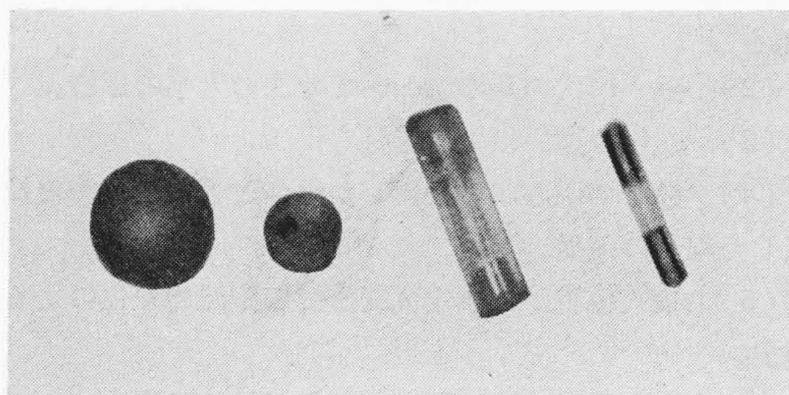
(3) R.I. 封入カプセルの製作と特性

今回の実験では Co^{60} を粒状カプセルにして流下する方法をとつたが, この場合カプセルの具備条件としてつぎの諸項目に主眼を置いて製作した。すなわち (1) 被測定流体の運動とカプセルの運動とを同一行動に近づけるためにはできる限り小寸法のものにする, (2) 被測定流体である水と同一比重のものであつて浮動中にカプセル自身の比重のために浮沈のないことが必要であること, (3) 粒状のものにした以上カプセルから R.I. が漏洩して被測定流体中に逃げないこと, (4) 半減期の長い Co^{60} を用いている以上, その収集が確実でしかも容易であること, このことは反復使用ができる便利があることなどである。さらにカプセルの製作方法を考慮して, 筆者らは第5図に示すような球形および円筒形のものを考えた。A, Bは球形で直径がそれぞれ約 10 mm, 約 5 mm で, C, Dは円筒形でそれぞれ直径約 4 mm, 長さ約 13 mm と直径約 2 mm, 長さ約 10 mm にできている。これら 4 種類のものをおのおの 5 個ずつ製作した。各組の 5 個は相互に厳密に一樣だとはいえないが試験結果からみて同一寸法のものと考えてよいようである。

A, Bの球形のものは塩化ビニールまたはゴムのスポンジから所定の球よりやや小さい球を成形し, $\text{Co}^{60}\text{Cl}_2$, HCl 溶液をしみ込ませ赤外線ランプで乾燥して放射能を測定し, 所要の放射能になるまでこの透過乾燥の操作を



第4図 R.I. 投入機の外観



第5図 種々のカプセル

繰返す。つぎにこのスポンジの周りに環化ゴム (生ゴム + 硫黄 10% ベンゾール溶液) 膜をはり, この塗布乾燥を 3 回繰返す。さらにその上にラテックス (ラテックス固形分 100, 亜鉛華 2, 硫黄 2, 促進剤, 60% アンモニア溶液) をもつて被覆し, 100°C で 20 分加硫すれば球形の放射性をもつたカプセルができる。これでは比重が 1 より小さいから, ラテックス被覆の途中で針金の細片を附着し比重を調節しながら被覆作業をする。最終的には針金を差し込んでその口をラテックスで封じる。

つぎに C, Dの円筒形カプセルは綿糸の細片に R.I. 溶液をしみ込ませ, 塩化ビニール管を切断したものの中に入れ, 管の両端を塩化ビニール棒でつめ, ビニール用セメダインで封じる。比重の調節はあらかじめ予想量の金属片をビニール管内に封じ込んでおき, 最終的にはでき上つたカプセルの外表面に針金を貼付してこまかい調整をする。このようにしてできた供試用のカプセルはメチルアルコールと塩化カリの水溶液を用いて作つた数種の比重のわかっている水溶液の中に投入して浮沈の度合から再度比重測定が行われる。流速測定実験終了後, 試験に供した全部のカプセルについて比重測定を行つたところ, 20 個のうち 5% の差のあるものが 1 個あつたほかは全部 3% 以内の差であつた。

〔IV〕 実験の項目、結果ならびに検討

筆者らは R.I. を用いた水力発電所の流量の測定をめざして、今回粒状カプセルを鉄管内に投入する方法を試みたが、終局の目的に対しては真の流量値との比較が、その流量測定法の優劣を判定するものであるから、常に流量の絶対値に基準をおいて考えている。

今回の実験は始めてのものであつたから基本的なつぎの諸項目について試験した。

(1) 同一種類のカプセルの均一性の確認と測定点の散らばりの度合：— おのおの 5 個ずつ準備せられた 4 種類のカプセルは同一種類ではあるが製作の容易ならざるところから厳密には一致していないことは前に述べたところで、試験に先立ち測定実施上これらを同一種類とみなし得るかどうかを測定点の散らばり度合から吟味した。

(2) 同一形状のものについて寸法の大小の影響。

(3) 形状の違いによる影響。

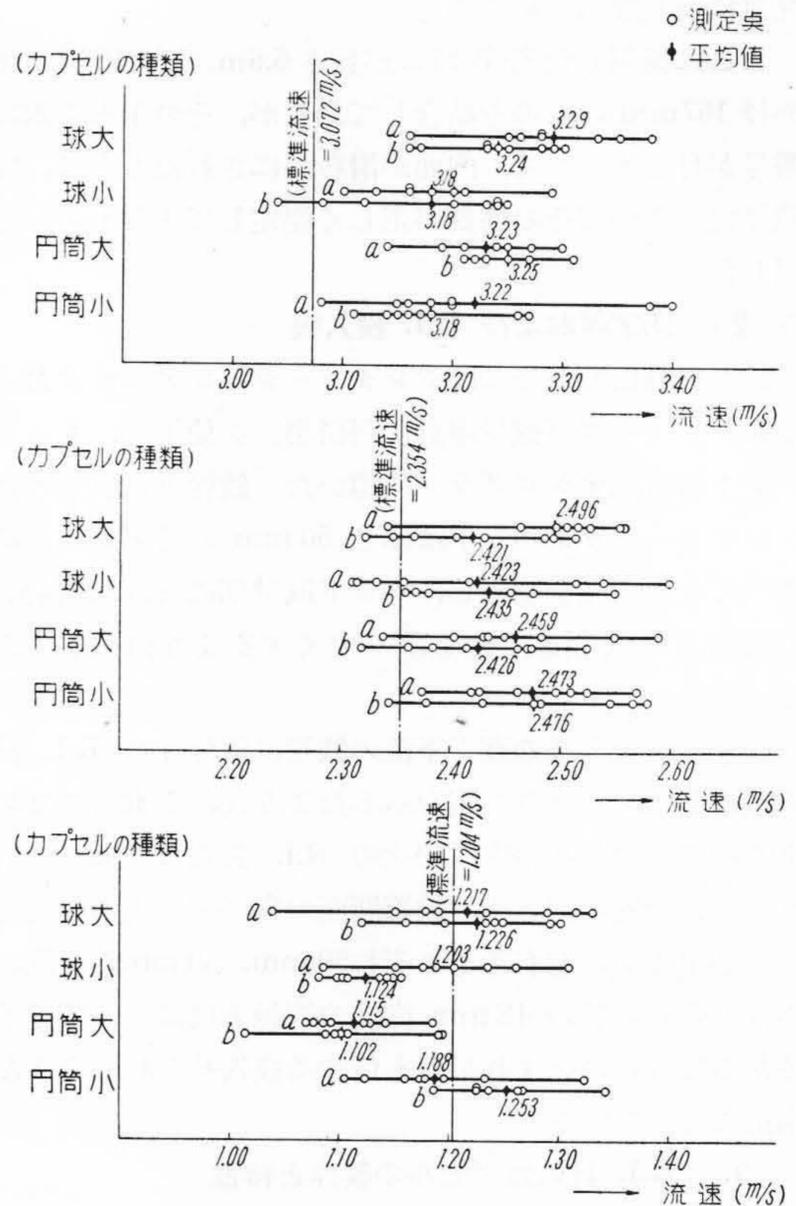
(4) 鉄管の中心から投入した場合と管壁近くから投入した場合の差異。

(5) 投入位置から測定位置までの距離の変化による差異。

どの場合にも管内流速は約 1, 2, 3 m/s の 3 種について実験した。

実験の結果は同一種類に属するおのおの 5 個のカプセル相互の間には寸法的に 10%、比重が 3% 程度の違いがあるが、測定値の散らばりからは確たる差異は見出されず、同一種類のカプセルと見なしてよいようである。いま一例として同一種類に属するもののうち任意に 2 個ずつをとりだして、これを a, b と仮称し、多数回の繰返し試験を行うと、第 6 図にみられるように各種類共に a, b 両カプセルに差が見出せないことがわかる。しかし寸法の大きいカプセルでは比重の差による測定値の違いは鋭敏であるような傾向がみられる。この比重の違いによる影響については次回の実験で確かめるべく、特別に比重を変えた試料が準備されている。

流速 3 m/s 附近では R.I. による流速の測定値の平均は標準流速に比べ一般に 3~5% 大きく指示され、その傾向はカプセルの寸法の大きいもの程顕著である。一方大きいカプセルの方が測定値相互の散らばりの範囲は狭いようである。これが 2 m/s 附近になるとどのカプセルも同程度の散らばりで、その平均値は標準流速値に近づく。さらに 1 m/s 位まで試験流速を減ざると測定値の平均値が標準流速より 3~5% かえつて低い値を示すことすらあり、その傾向は大きいカプセル程顕著であることがわかる。これを要約するとカプセルの寸法が大きい程測定値相互のばらつきは小さく、集中した測定値が得ら



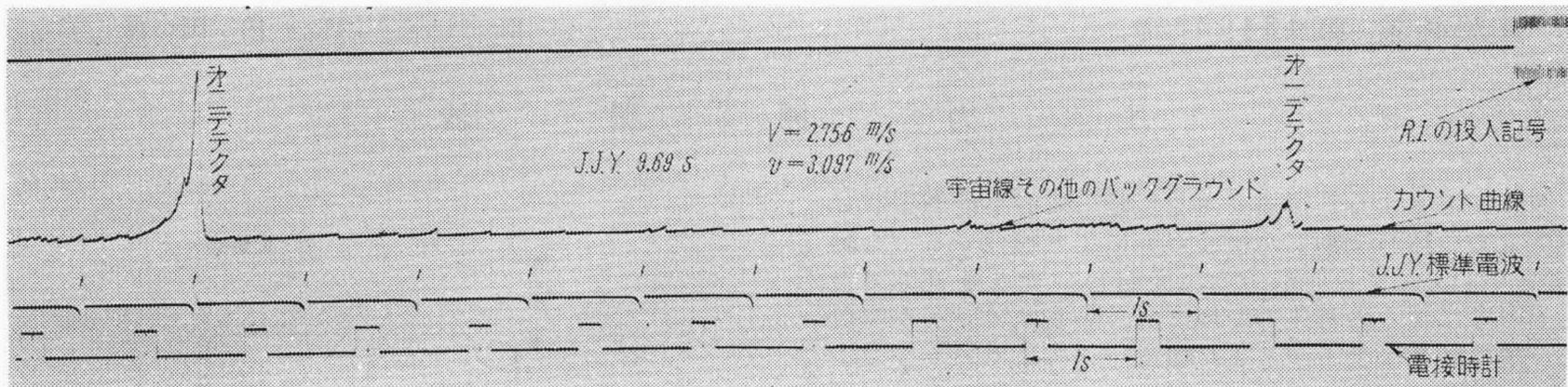
第 6 図 実 験 結 果

れるが、その平均値の標準流速値からのへだたりは顕著で、小さい粒の多数回実験による平均値が真の流速にもつとも近い値を示すといえよう。カプセルの形状については今回使用した程度のもものでは明瞭な違いはなく、要するに小さい形状のカプセルを使用するがよいということになる。

つぎに鉄管中心部と管壁附近から R.I. カプセルを投入した実験からは明確な傾向は見出せないが、このことは被測定流体の水と粒状カプセルとの相対運動の複雑さを物語っている。この現象は現在のような 6 in 管程度の細いもので、かつ 30m の区間についての実験では、明確な傾向が見出せないのは当然であるが、著しく管径を大きくした場合または測定区間の短い場合にはなんらかの傾向がみられるであろう。

R.I. の投入機の位置と測定点のへだたりを変えた実験の結果は粒状カプセルを使用する場合には測定成績になんらの影響をもたないことが確認された。

つぎに実験を顧みて二、三の検討を試みる。粒状カプセルを流す方法にあつてはカプセルがデテクタの正面を通過する時刻を正確にとらえることを考慮するだけでなく、この場合の検出効率もカプセルとデテクタの距りと、



第7図 オシログラムの一例

デテクタの窓に対して張る立体角によつて定まる。今回用いたデテクタの先端は直径 27mm, 厚さ 35mm のもので、さらに鉄管軸方向に直角に 50mm 厚さの鉛ブロックで遮蔽してあり、鉄管外面からシンチレーションクリスタル面まで 70mm あるから、後に述べる程度の放射能をもつカプセルを使用した 3 m/s ぐらいまでの流速の実験に対してはレートメータの使用レンジは $3 \times 10^3 \sim 10^4$ c.p.m. で適当であつた。試験配管は内径が約 150mm 厚さ約 5 mm の鋼管を用いており、 Co^{60} の γ 線エネルギーは 1.17, 1.33 MeV の 2 種類で、1.2 MeV の γ 線の水ならびに鉄の半価厚はそれぞれ約 110 mm, 17 mm であるところから、デテクタの性能と今回の取付け条件から推定算出すると、カプセルが鉄管内のもつとも遠い位置にあつた場合 Co^{60} の $1 \mu\text{c}$ で数千 c.p.m. の計数率が得られることになる。今回使用したカプセルの放射能を測定したら 50~200 μc であつた。

第7図に掲げたオシログラムの一例にみられる記録上の山はカプセルがデテクタ取付部の管断面内でどこを通過するかによつてその高さが変わるが、裾の拡がり方もやはり管断面内のカプセル通過路次第で変わってくることになる。またオシログラム上の随所にみられる小さい波形の山は宇宙線その他のバックグラウンドである。

つぎに全実験を通じて基準となる標準流速は J.J.Y. 電波を利用した重量法によつて R.I. 投入の前に 3 回、投入後に 2 回合計 5 回測定した。その測定値はいずれも $\pm 0.15\%$ 以内におさまつており、この試験の標準流速として十分な精度であると考えられる。

〔V〕 結 言

R.I. を利用した水力発電所の水車流量を測定するにはいろいろの方法が考えられるが、筆者らはさしあたり粒状のカプセル内に R.I. を封入して鉄管内を流す実験を計画し、実施しているが、その端緒として行つた第1回目の実験から粒状のカプセルはなるべく小さいものが有効で、その平均の測定値の信頼を高めるには測定回数を相当多くとる必要がある。カプセルの形状は被測定流体の運動に支障の少ないものが良いようで、この場合球形の

カプセルがこの主旨に沿うことになる。しかし真の流速値との差違が生ずる素因の究明と、その違いを縮小することが今なお継続中のこの研究の最終目標である。一方 R.I. をこの種の流速、流量の測定に利用するための方法、手段に確信を得た。

この実験は当初計画された一連の研究のまつたく最初の段階であつて、この報告からは明確な結論を申し述べることはできないので今後の研究の進展と相まつて随時報告したいと考えている。

筆者らは勿論粒状カプセルを流す方法が必ずしも最良のものとするわけではなく、 Na^{24} 塩の水溶液を流す方法についても放射能の強さや溶液の量などについて二、三の実験を試みては見たが、水車流量測定によく使われる塩水速度法より以上に沢山の未知の要素が介入して、オシロ記録の解釈には難点があり、今後の研究課題であらう。

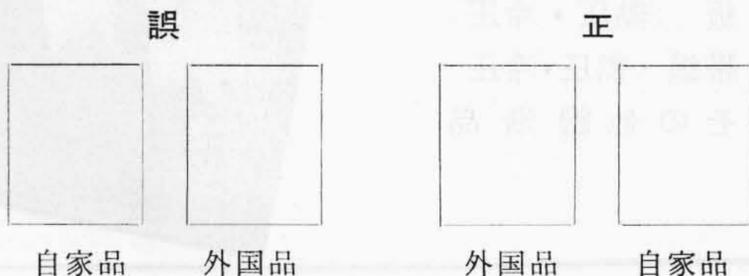
この報告を終えるにあつて、実験計画実施に際し種々御指導、御援助を賜つた東大理工学研究所大野和郎助教授、同生産技術研究所の加藤正夫助教授、ならびに科学研究所の大塚氏、大機ゴム(株)椎葉技術課長、大日本ゴム研究所の各位に深甚なる感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 大西：アイソトープ (ISOTOPE, 放射性同位元素) 投入による胆沢発電所水路の流量測定および石淵堰堤 (ロックフィル) の漏水調査報告。機械学会水車分科会資料 (昭 29)

訂 正

本誌第39巻第2号 (昭和32年2月発行) 81頁第6図の説明に誤りがありましたので次のように訂正致します。





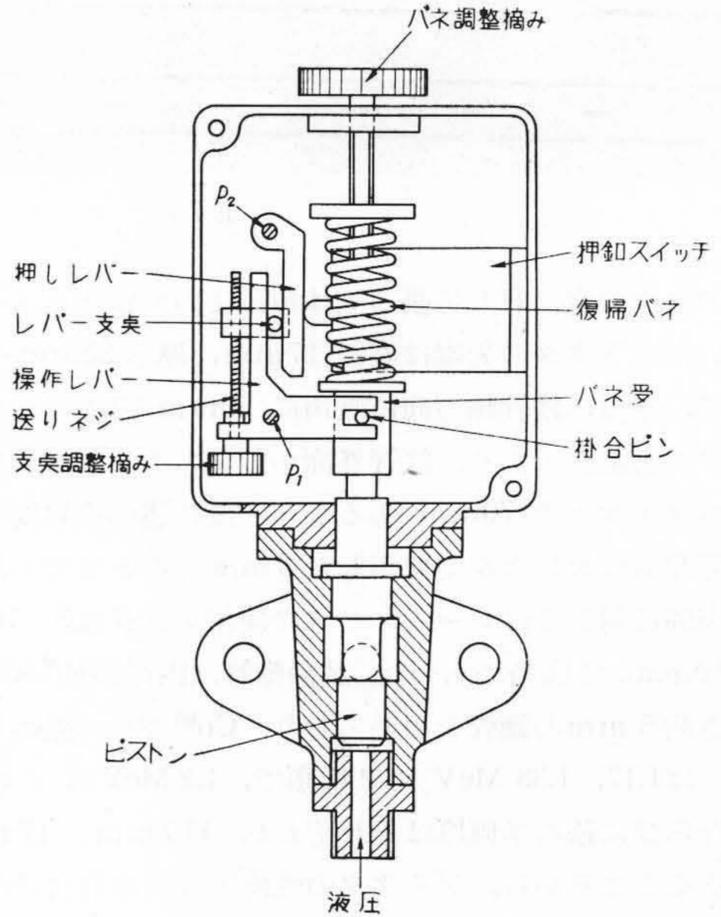
圧力開閉器

液圧が上昇すると復帰バネを圧縮してバネ受およびピストンの一体が上動し、掛合ピンにより操作レバーを軸 P_1 を中心として反時計方向に回転し、支点を介して押しレバーに加える押圧力をゆるめ、押釦スイッチを開放し、逆に液圧が低下すると、復帰バネによりバネ受およびピストンの一体は圧下され、掛合ピンにより操作レバーを軸 P_1 を中心として時計方向に回転し、支点を介して押しレバーを右方に押圧し、押釦スイッチを閉合する。

この考案は、前記操作レバーと押しレバーとをそれぞれ軸 P_1 、 P_2 を始点として差し違いに設け、両レバー間にレバー支点を介在して操作力の授受を行うようにし、かつレバー支点を送りネジにより上下方向に移動することにより P_1 —レバー支点および P_2 —レバー支点間の距離すなわちレバー比を任意に調節しうるようにしたことを特徴とするものである。

圧力開閉器を使用する液圧系統によつて、動作すべき液圧を変更する必要がある、たとえば系統の液圧が 15 kg/cm^2 より 10 kg/cm^2 に低下したとき押釦スイッチを閉合するもの、または 8 kg/cm^2 に低下したとき押釦スイッチを閉路するよう各種の圧力開閉器を要求する場合、この考案によれば、復帰バネの調整と、前記レバー比の調整とによつて、同一構造の圧力開閉器を、常用液圧および液圧低下作動値のことなる各種定格の用途に適應せしめることができる。

(滑川)



日立の安来ハガネ



工 具 鋼
刃 物 鋼
不 銹 鋼
構 造 用 鋼
特 殊 用 途 鋼

棒 (黒皮引抜磨)
板 (熱圧・冷圧)
帯鋼 (熱圧・冷圧)
その他鍛造品



日立金属工業株式会社
東京・大阪・福岡・名古屋・広島・広畑・八幡・札幌