

水銀シャッター形工業用 ^{60}Co γ 線照射器について

^{60}Co γ -ray Irradiator of the Mercury Shutter Type for Industrial Purposes

和田 正 脩*
Masanobu Wada

小林 長 平*
Chohei Kobayashi

馬 場 勝 彦*
Katsuhiko Baba

内 容 梗 概

近來放射性同位元素の生物学的利用，工業的利用が盛んになり，大容量の放射性同位元素を使用した γ 線照射器が必要になった。今回農林省蚕糸試験場より桑，蚕，生糸に対する γ 線照射研究のため，近接，中距離および遠距離照射が可能な照射装置の製作依頼があり，今後の照射器の一方向として種々研究し，製品を完成した。

この装置はことに線源格納時の漏洩線量を少なくするため，従来の方式と異なり水銀によるシャッター方式を採用した。水銀はほかの遮蔽体に比し，遮蔽厚さは薄くてよく，またその流動性によりほかの構造部に密着するので散乱線の漏洩に対しては理想的な遮蔽体であるが， γ - γ 反応を生ずる Hg-199 を含むこと，水銀蒸気が有害であること，アマルガムを作ることなど種々難点があったが，色々研究調査してこれらの難点を解決することができた。

水銀シャッター方式を採用したことによる利点は，ほかの方式に比し照射装置機構は非常に簡単となり， γ 線照射器の必要条件である安全度を高めることができた。水銀を使用した場合に問題となる水銀の γ - γ 反応は，実際に ^{60}Co にて水銀を照射した結果， γ - γ 反応は純度の高い水銀の場合には問題にならないことがわかった。水銀蒸気に対する防護としては，水銀をいれる容器を密閉形にして，水銀の蒸発を防いだ。水銀による金属の腐蝕については，日立製作所における水銀使用機器製作上の経験より特殊鋼材を使用した。

放射性同位元素を用いた γ 線照射器を使用する場合にぜひ必要なことは，多くの取扱者が使用しても絶対安全に操作しうることである。その必須条件は， γ 線照射中は絶対に照射室内に入室することができないこと，取扱者が入室している時は絶対に照射操作のできないことおよび取扱者入室中に万一照射操作が行われた場合には照射室内より脱出することができるなどである。安全装置は照射装置の形式により色々な系統が考えられるが，一応農林省蚕糸試験場に納入した装置に，安全装置を具備したのでその安全系統につき報告し，斯界の諸大家に御批評，御教導を切に御願ひする次第である。

1. 緒 言

原子力平和利用が盛んになり，その一端として放射性同位元素の生物学的利用，工業的利用が盛んになりことに放射線化学の発展に伴い高分子物質への照射上大容量の放射性同位元素 ^{60}Co を使用した工業用 γ 線照射器が必要になってきた。

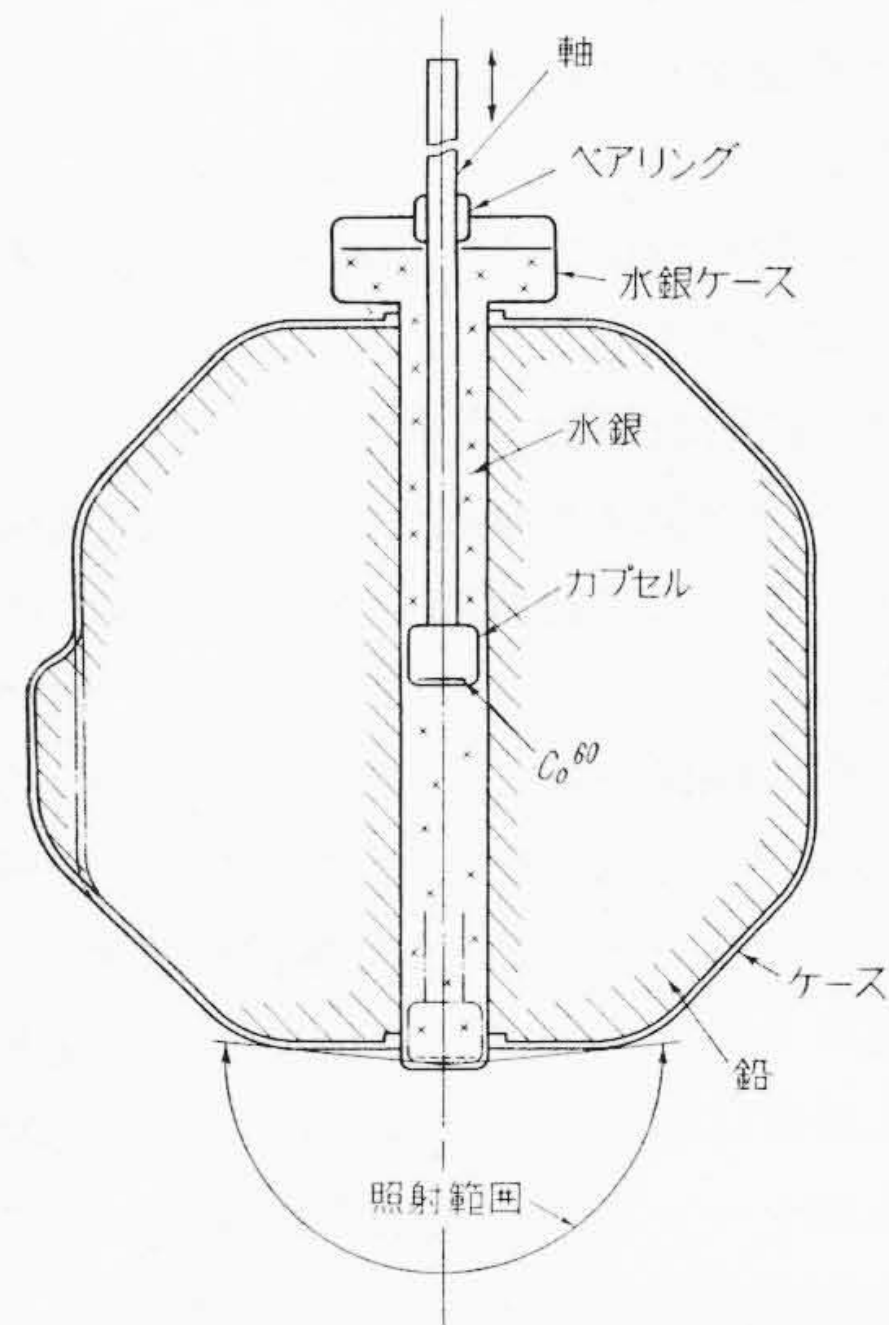
工業用 ^{60}Co γ 線照射器を使用する場合の問題点は，照射室， γ 線照射器および安全装置の3点となる。

照射室は γ 線照射器の形式および照射条件により定まるものであるが，建築関係に属するので本論文では割愛する。

γ 線照射器は試料の照射条件により形式が定まることは当然であるが，線源およびシャッターの駆動機構を条件の許す範囲内で種々考えることができる。 γ 線照射器の必須条件である機構が絶対に故障しないことは，機構が簡単になればなるほど満足しうることになる。したがって本論文にては従来のごとくシャッターに固体遮蔽物を使用する方式と異なり水銀によるシャッター方式を考案し，従来の方式との比較をし，その製品化への検討をした。

安全装置は照射条件にある程度関係があるが，一応の安全回路の系統は定めることが可能である。ただし安全

* 日立製作所亀戸工場



第1図 照射器構造図

回路は色々な系統および機器が考えられるので，一応の系統を定めるべく種々検討した。

2. 水銀シャッター形 γ 線照射器について

工業用 ^{60}Co γ 線照射器は，被照射試料に対する照射条件によりその構造を決定するものであり，色々な形式の

装置が考えられる。 $^{60}\text{Co}\gamma$ 線照射器は、ほかの装置と異なり万一故障した場合には、修理点検ができないので、故障の生じないことおよび万一故障した場合には、線源を必ず十分に遮蔽した場所より格納し安全な状態に置いて修理しうることが必要条件となる。故障の生じないことは、線源を露出する機構が簡単であればあるほど安全度が高くなるので、種々検討した結果従来の方式と異なり水銀シャッター方式を採用することにした。

2.1 水銀シャッター形の概略構造⁽¹⁾

水銀シャッター形の概略構造は第1図に示すように水銀ケースに入れた水銀中に線源を収めたカプセルを十分に漏洩のないように考慮した上下動軸により支持したものであり、水銀ケースの外周は鉛を遮蔽体として使用してある。

第1図は線源格納時を示し、照射の際には、外部より上下動軸を駆動し、第1図仮想線の位置にカプセルを移動し水銀を第1図にて上方に移動させて γ 線を第1図にて下方に放射するものである。第1図は単なる水銀シャッター形照射器の一例であり照射範囲および線源の形によりこの構造は多少変形して考えることができる。

2.2 水銀シャッター形の利点

シャッターに水銀を使用したことによる利点は次のとおりである。

2.2.1 散乱線による漏洩がないこと

水銀は水銀ケースに密着するので、ほかの遮蔽体を使用したシャッターのごとく機構上の隙間よりの散乱線がなく、散乱線による漏洩線量を遮蔽上考慮する必要がなく安全である。

2.2.2 線源露出機構が簡単になること

水銀以外の遮蔽体を使用した線源露出機構にては、シャッターとしての遮蔽体を露出時に取り除く機構が必要となる。したがってシャッター遮蔽体は移動するため、機構上線源容器との隙間ができるので、隙間よりの散乱線を防ぐ処置をしなければならず構造および加工は非常に複雑となる。また線源の移動との機械的、電気的なインターロックをせねばならず線源露出機構としても非常に複雑となり故障の生ずる危険性が大となる。水銀シャッターを使用すればシャッター機構および駆動部が必要なく単に線源を移動させる機構があればよいのと同時にシャッターとの機械的、電気的インターロックは必要なく構造が簡単になり、したがって故障を生ずる確率が少ない。

2.2.3 遮蔽が簡単である

水銀は流動性があるので、他の遮蔽体のごとく製作時に巣をつくる心配がなく単に水銀ケースに注入するのみの操作ですむ。また水銀は一般の遮蔽体に比較して ^{60}Co の γ 線に対する線吸収係数が大きいので、線源

第1表 水銀の蒸気圧⁽²⁾

温度 (°C)	蒸気圧 (mmHg)
0	0.00021
10	0.00054
20	0.00131
30	0.00299
100	0.2793
357	750.0

第2表 天然水銀の組成

質量数	存在比 (%)
196	0.146
198	10.02
199	16.84
200	23.13
201	13.22
202	29.80
204	6.85

第3表 水銀への照射条件

使用線源	^{60}Co 50C
線量率	3.5×10^5 r/h (水銀中心にて)
照射時間	220 min
被照射水銀	30g (20 mm ϕ × 10 mm)
測定計器	シンチレーションカウンタ

容器の重量を軽減することができる。ただし鉛などの遮蔽体に比し価格が高いため、適宜併用する必要がある。

2.3 水銀を使用することによる諸問題およびその対策

シャッターに水銀を使用することは、照射機構上大きな利点があるが、水銀自体に色々と問題があるので、各問題につき詳述する。

2.3.1 水銀蒸気の有害性

水銀蒸気は空気中に、ある一定量以上含まれると、人体の粘膜を浸し、呼吸器などに傷害を与えるので水銀の取り扱いには十分注意せねばならぬことは一般に知られているが水銀使用機器を取り扱う場所は広く換気が十分に行われるに反し水銀の蒸気圧は高いのでまだ問題は生じていないようである。ただし $^{60}\text{Co}\gamma$ 線照射器は一般に密閉した照射室内で操作されるので、もし換気装置などが故障の際には危険性が生ずる。したがって水銀蒸気の特性を調べその対策を考えた。

水銀の蒸気圧は第1表⁽²⁾に示すように、常温においてはわずか 0.0013 mmHg, at 20°C であるが、文献⁽³⁾によれば人体に許される水銀の量は 0.1 mg, at 1 m³ 以下であり、常温における水銀の 1 m³ 中に含まれる量は、その約 15 倍に達するとのことで、水銀面を空気中にさらすことは危険である。したがって水銀は水銀ケース中に密封する必要がある。

2.3.2 水銀の γ - γ 反応

第4表 ^{199}Hg の測定結果

^{170}Tm 50 mc	6,250 c/30 sec (=1 mr/h) at 1 m
空中線量	150 c/30 sec
^{199}Hg	150 c/30 sec (測定器に密着)

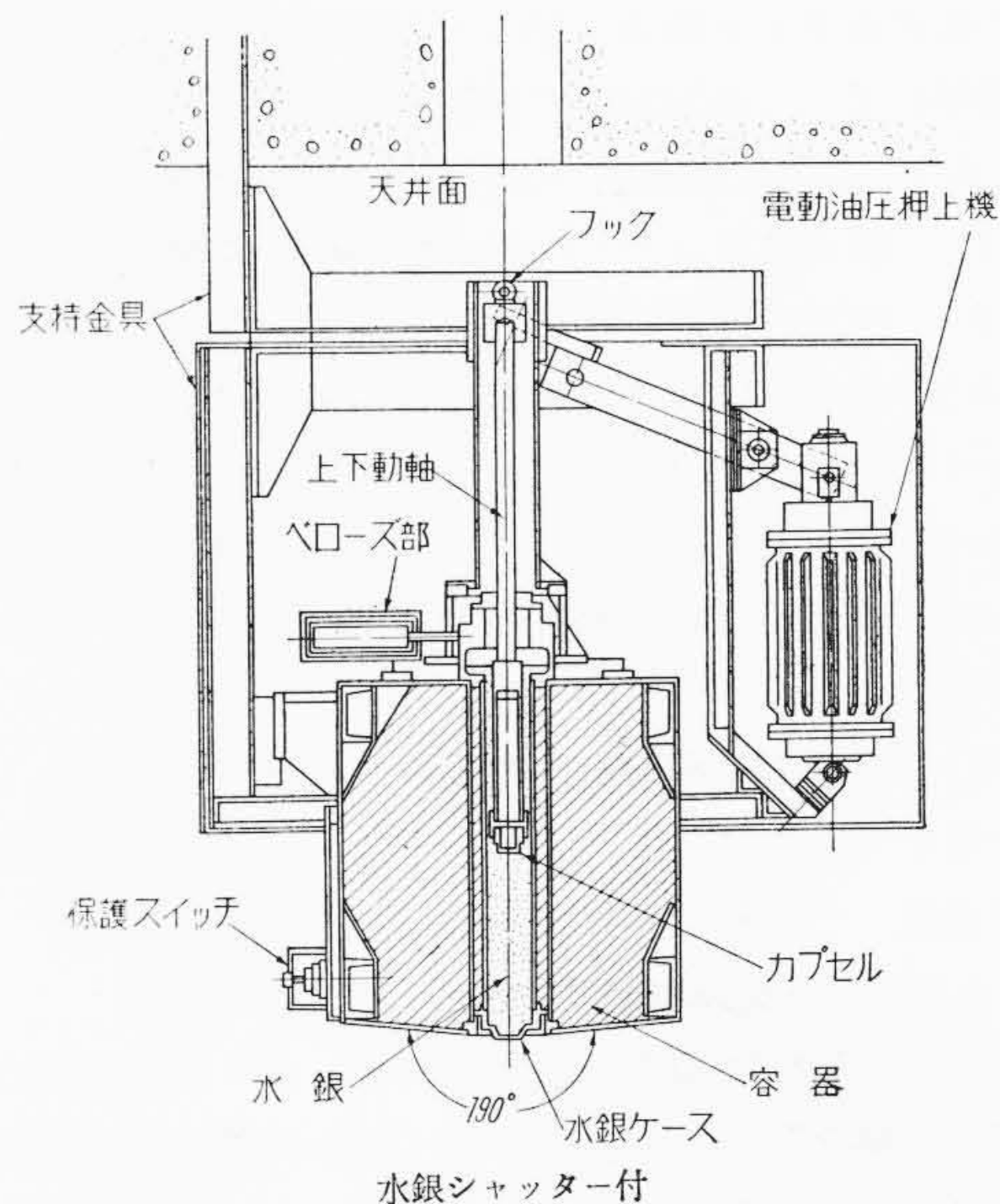
天然水銀の組成⁽⁴⁾は第2表に示すとおりで、水銀に γ 線を照射すると、天然水銀中に16.84%含まれている ^{199}Hg が核異性体 ^{199}Hg となり0.155 MeVの γ 線を出すようになることはすでに知られている⁽⁵⁾。この場合は2.6 MeVのVan De Graffで照射したものであるが、 ^{60}Co の出す γ 線のエネルギーは ^{199}Hg の γ 線より大きいので当然 γ - γ 反応を生ずると考えられるので、一応 ^{60}Co で実際に天然水銀を照射して確かめることにした。実験条件は次のとおりである。

線源の形状および被照射水銀の形状により水銀全部に均一なる照射を行うことはむずかしいので、大体使用条件に近い第3表のごとき照射を行った。照射時間は、放射化平衡は大体半減期の5倍くらい⁽⁶⁾でよいと考えられるので ^{199}Hg の半減期44分に対し220分の照射を行った。測定に使用したシンチレーションカウンタのカウント数と γ 量との換算は ^{170}Tm が0.084 MeVの γ 線を出し ^{199}Hg に近いので ^{170}Tm 50 mcを使用することにした。その測定結果は第4表に示すごとくである。

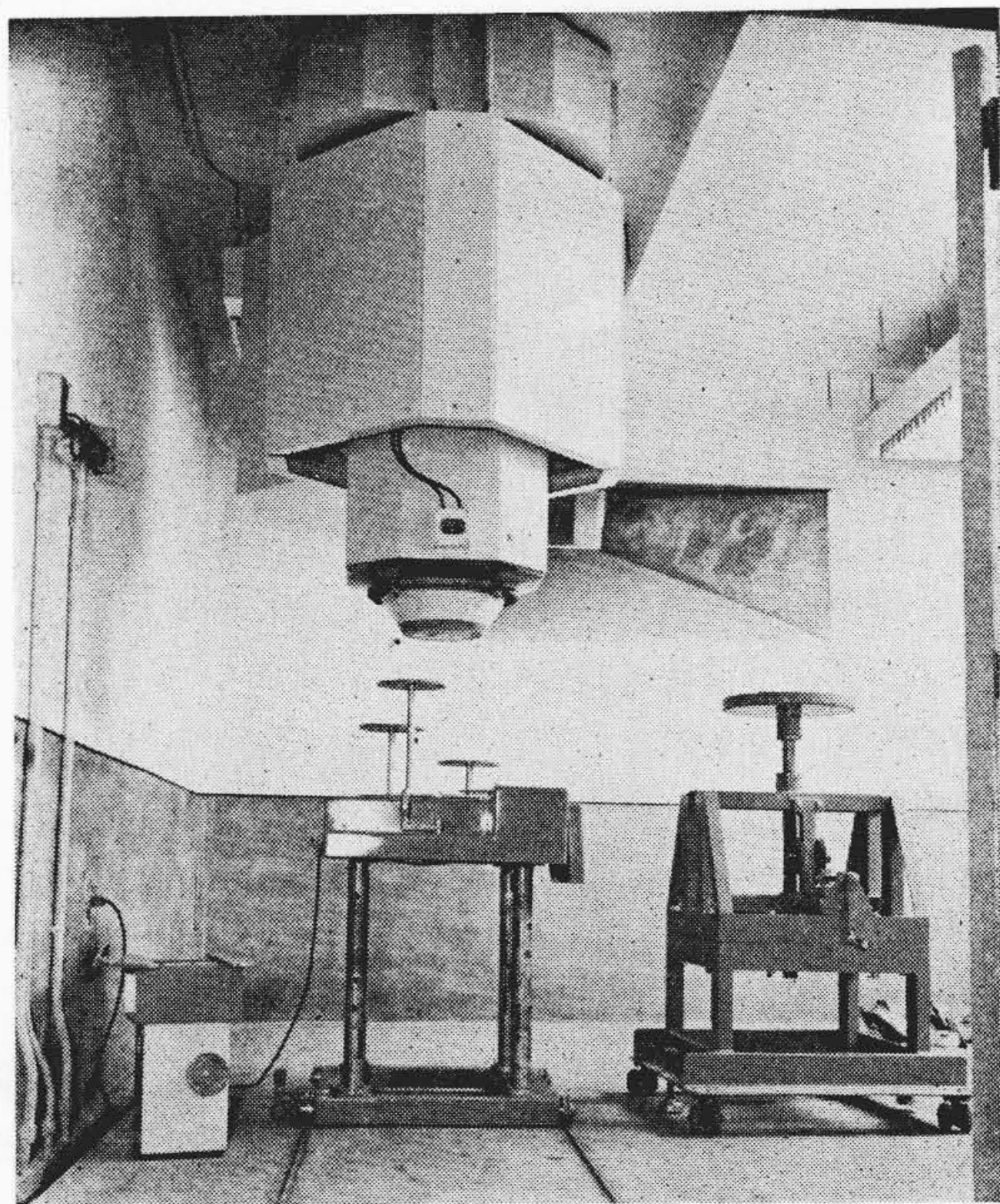
すなわち第3表のごとき照射実験では、 ^{199}Hg よりの γ 線は空中線量にかくれて測定ができないことが判明した。今空中線量150 c/30 secのときに計数の統計的変動による誤差は約17.5となる。したがって30c/30 secの γ 線があったとしたら測定しようと考えると、 ^{170}Tm 50 mcで換算すると約0.005 mr/h 出ることになる。ただしこの値は空中線量の約1/10なので問題にならない。この測定結果の原因は水銀が照射された後、測定計器まで移動する間に攪拌されたので、存在比の少ない ^{199}Hg はほかの同位元素と混合された結果と考えられるが、水銀シャッターとして使用される場合にもこれと同様の状態が生ずるので第4表の結果より水銀の γ - γ 反応は一応問題にする必要がないことがわかった。

2.3.3 アマルガムについて

水銀は一般構造材料とアマルガムを作り構造材料を腐蝕させるので水銀に腐蝕されにくい材料としては、合成樹脂およびステンレスなどがあるが、合成樹脂は γ 線により変質するとともに機械的強度を特に要するところには使用できない。したがってステンレスを水銀と接触する部分の構造材料として使用することにした。ステンレスにも色々な種類のものがあるが、日立製作所における水銀使用機器製作上の経験よりその材



第2図 水銀シャッター付線源吊下げ形照射器断面図

第3図 農林省蚕糸試験場納水銀シャッター形 ^{60}Co 線照射器およびサンプル台

質を選定し使用することにした。

2.4 水銀シャッター形照射器の構造決定

水銀をシャッターとして使用することによる諸問題すなわち水銀蒸気の有害性、水銀の γ - γ 反応、水銀がアマルガムを作ることの対策が種々検討の結果一応解決しうることができたので、工業用 ^{60}Co 線照射装置の一方として製品化を促進した。水銀シャッターを使用した装置はその照射条件により色々な形式があるが、一例と

して農林省蚕糸試験場に納入した近接、中距離および遠距離照射用の γ 線照射器の構造を説明する。

2.4.1 蚕糸試験場納 ^{60}Co 線照射器の仕様

- (1) 線源はウェハース形1枚100Cを使用する。
- (2) 線源容器は天井懸垂形とする。
- (3) 線源格納時の漏洩線量容器表面において次のとおりとする。すなわち、下面は0.1 mr/h以下、側面は1 mr/h以下および上面は6.25 mr/h以下とする。
- (4) 線源照射時の照射範囲は190度の体角内であること。
- (5) 駆動部は照射室内にあるため機械を簡単とし安全度を十分に高くすること。また万一故障した場合には遮蔽した室外より線源を格納しうること。

2.4.2 蚕糸試験場納 ^{60}Co 線照射器の構造

蚕糸試験場に納入した水銀シャッター形照射器の断面図を第2図に示し、第3図は蚕糸試験場の照射室に据付けられた照射器およびサンプル台の外観および据付状況を示す。

本装置は第2図に示すように、支持金具により照射室天井に懸垂されたもので、照射器全体の重量は約2tである。線源100Cはカプセル内に水銀に浸されぬように密封され、上下動軸により水銀ケースに入れた水銀中に支持されている。照射時には電動油圧押し機が駆動し、上下動軸が下に移動して線源を入れたカプセルは下降し格納時遮蔽をしていた水銀を水銀ケース上方に移して γ 線を容器下部より照射させる。照射時の線源位置は機械的に精度を上げることができるので、近接照射時の試料の位置は、線源格納時に水銀ケース下面より正確に測定し配置すれば僅少の誤差で照射が行えることになる。このように水銀シャッターを使用したためほかの遮蔽体を使用したシャッターのごとく、シャッターの機構部および線源上下移動とのインターロックが必要なくなり非常に簡単な構造となり安全度を高めることができた。

水銀は鉛などの遮蔽体と比較し ^{60}Co 線に対する線吸収係数が大であるので、遮蔽体を全部水銀にすれば線源容器は重量が軽くなるが、水銀は価格が高いため、シャッター部および散乱線による漏洩の問題のないところは価格の安い鉛を遮蔽体として使用し、水銀と鉛との比率は製作費の一番安くなるように定めた。

水銀と接触する部分すなわち、カプセル、上下動軸、水銀ケースは日立製作所にて水銀使用機器製作上の経験より十分に安全と考えられる組成のステンレスを使用した。

水銀蒸気の発生を防ぐため水銀ケースは密封したが線源上下の際に生ずる水銀面の変位を調整するため水銀ケース上部に空気の部分を残し、水銀ケース上部に

取り付けたベローズによりその調整をした。水銀ケース中の空気は外気と呼吸しないので安全でありかつ空気を残さず水銀のみの場合に比しベローズの構造が非常に簡単となった。

水銀の γ - γ 反応については、第3表の条件に比し、 ^{60}Co 線の大線量を受ける部分が水銀全体に対し少ないことおよび格納時に生じた ^{199}Hg は線源の移動によりほかの水銀と攪拌されることより照射条件が楽であると考えた。ただし天然水銀には異物が混ざっているので使用する水銀は十分に真空蒸溜し純度の高いものを使用した。

万一駆動部に故障の生じた場合には、第2図において天井に設けた孔より上下動軸の上端に取り付けたフックを引くことにより線源を格納位にすることが可能である。

駆動部は、一次 γ 線の直照を受けない場所に取り付け駆動機構の劣化を防いだ。また使用上の安全を高めるため停電時には線源は自動的に格納しうる。

2.4.3 蚕糸試験場納 ^{60}Co 線照射器の漏洩線量および測定結果

本装置は下面の線源格納時漏洩線量が0.1 mr/h以下すなわち第4表の結果よりみれば空中線量のわずか2倍にすぎないので遮蔽計算は正確に行った。測定計器はシンチレーションサーベータを使用し、その結果仕様を十分に満足することができた。

3. 照射室、操作室の安全対策用回路について

^{60}Co などの γ 線を出す物質を取り扱うため多くの作業者が同時に作業する場合、照射室に作業者を入れたまま照射したり、照射室の入口扉を開いたまま照射したりして作業者が許容被曝線量以上の放射線をうけないようにするためある種の電氣的機械的安全回路が必要となってくる。安全回路については色々な方式が考えられすでに文献⁽⁶⁾にも出ているがこれらを取りまとめるいかなる安全上の取り扱いが必要かを考えると次のとおりになる。

- (1) 照射する場合には照射室、操作室間の扉を閉じ、機械錠を閉にしないと照射ができない。
 - (2) 照射中は照射室内にあるモニターが作動し扉は開かない。
 - (3) 照射室内にスイッチがありそれを作動させれば操作室では線源を露出させることができない。
 - (4) 照射室からはいかなる場合でも脱出ができる。
- これらの安全操作に必要な機器について述べる。

3.1 安全回路に使用される機器

安全回路に使用される機器としては色々な装置が考えられるが代表的なものにつき述べる。

3.1.1 モニター

照射時照射室内の線量が 20 mr/h 以上のときに電気錠が働き入口扉が開扉できなくなるもので、万一使用者が内部に残留した場合には手動ハンドルにより内部より開扉し脱出することができる。線量計が主なものである。

3.1.2 手動錠

入口扉を機械的に閉める錠で操作は内部外部より操作することができる。この手動錠には、電源と照射器回路との間に直列に入れたスイッチのついているハンドル操作式と、外部よりはマスターキーを使用しなければ入口扉を開閉できないマスターキー式とがある。

3.1.3 入口扉スイッチ

入口扉を閉扉すると同時に働くスイッチで回路は電源と照射器回路との間に直列に入っている。したがって入口扉を閉扉しない限り照射はできない。

3.1.4 警報装置

線源露出操作の1分間前に危険を知らせるためベルが鳴るもので、1分間後には照射されることを標示する。その後ベルは鳴り続けると同時にその1分間は線源露出操作がし得ないようにしてある。したがってベルが鳴りはじめてから最低1分間は脱出する時間が必ずあることになる。

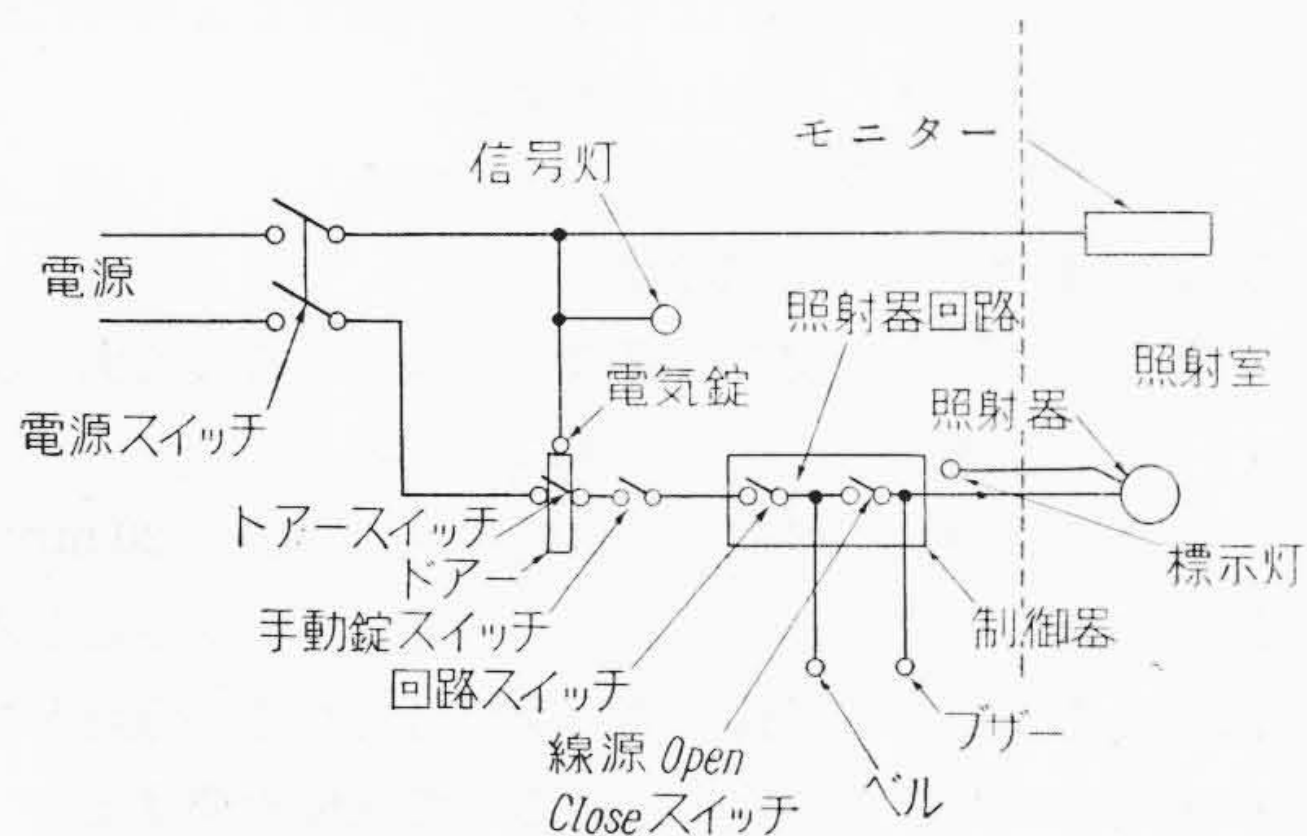
次に線源露出操作を行うと、ベルは鳴りやみブザーが鳴りはじめ線源は露出しはじめる。ブザーは線源が照射位にくるまで鳴り続け自動的に鳴りやむ。

3.1.5 信号灯

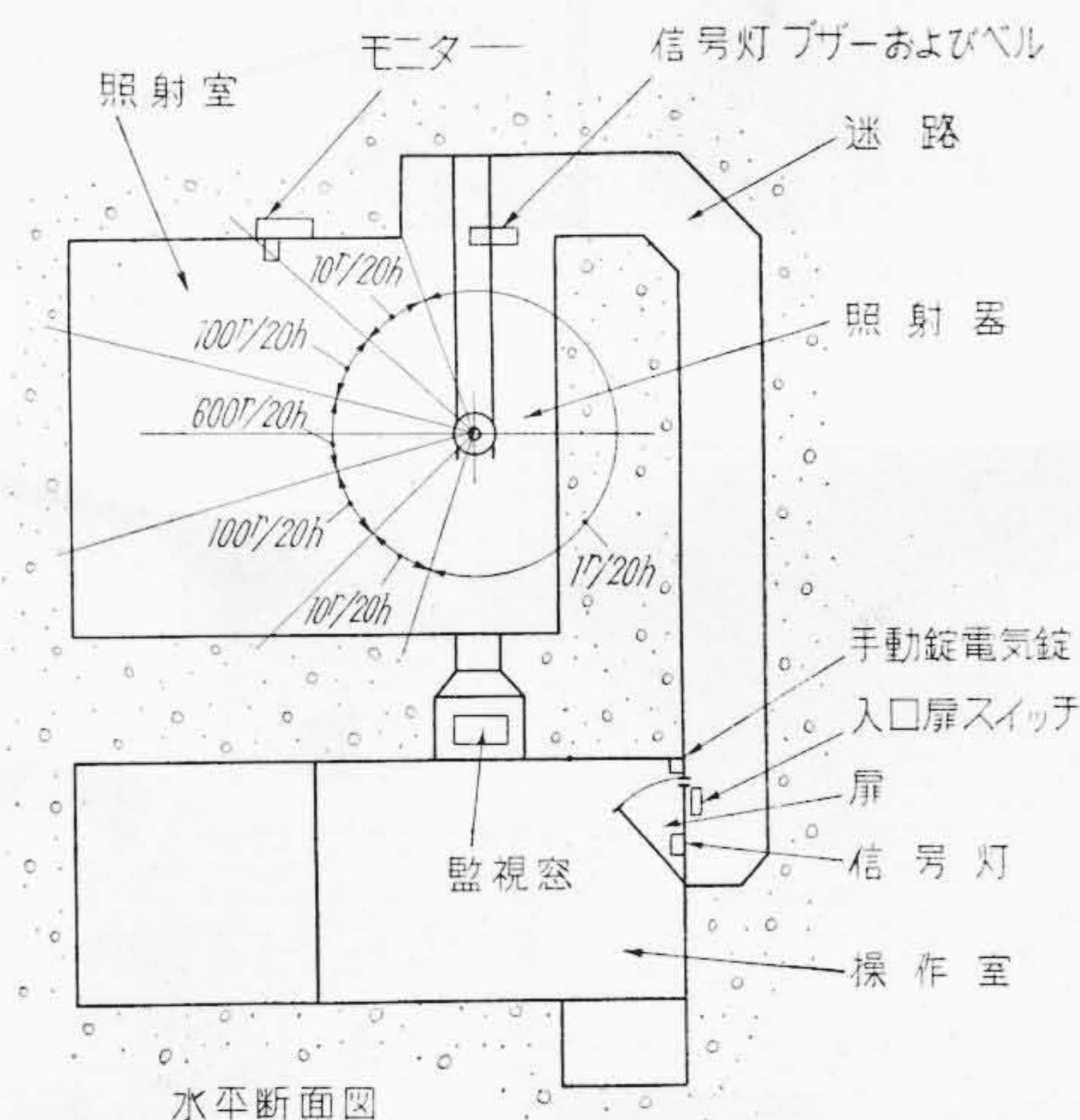
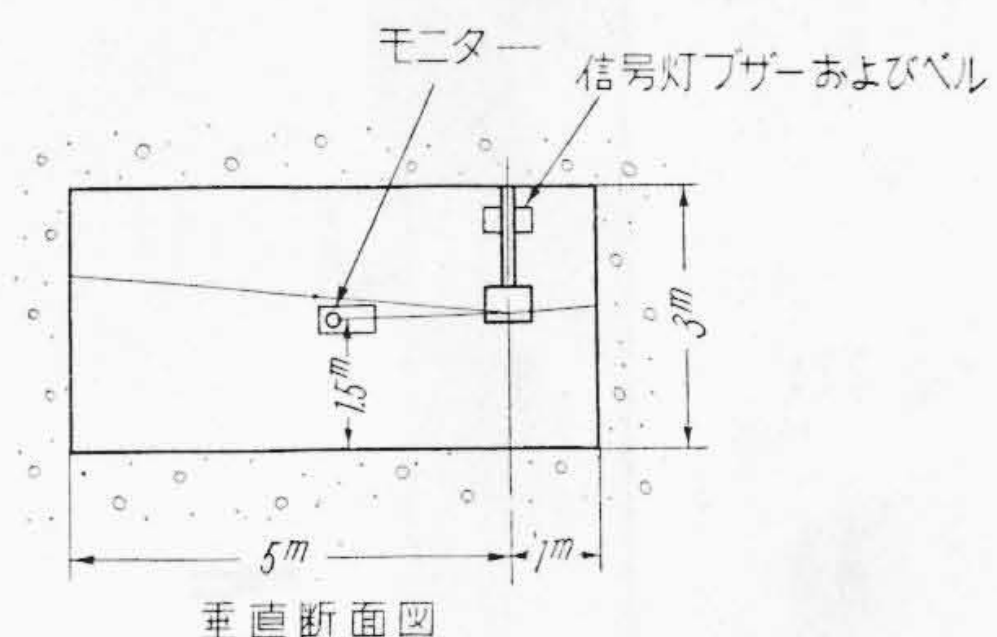
照射室内の線量が 20 mr/h に達すると入口扉の電気錠が閉まると同時に信号灯は赤が点灯し照射中なることを示し、20 mr/h 以下の時には緑が点灯して安全なることを示す。信号灯は照射室外に適宜数箇所取り付けうる。

3.1.6 保護スイッチ

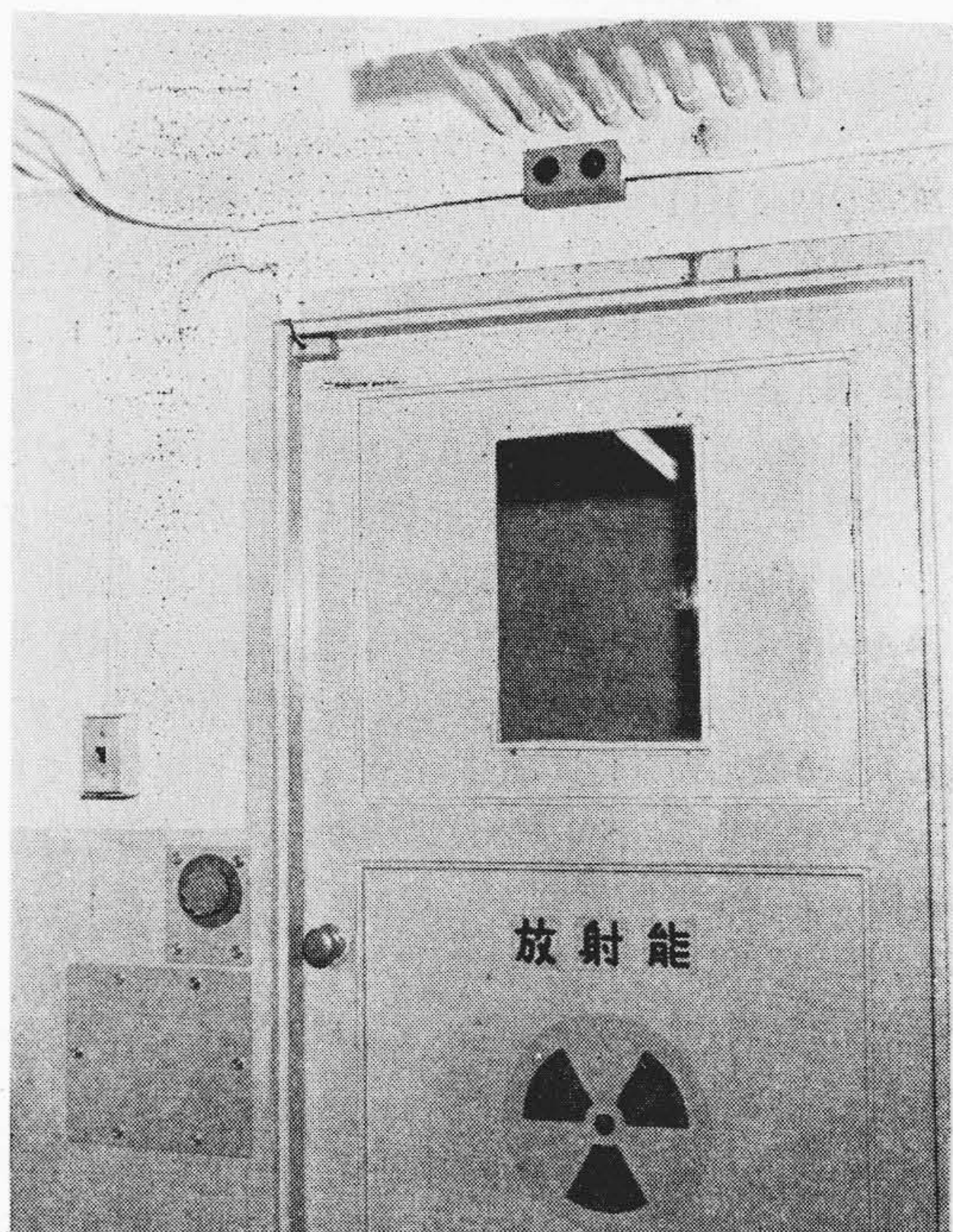
試料取り付けのため内部に人がいる時万一操作室の制御器を操作されると非常に危険なので、内部に人が



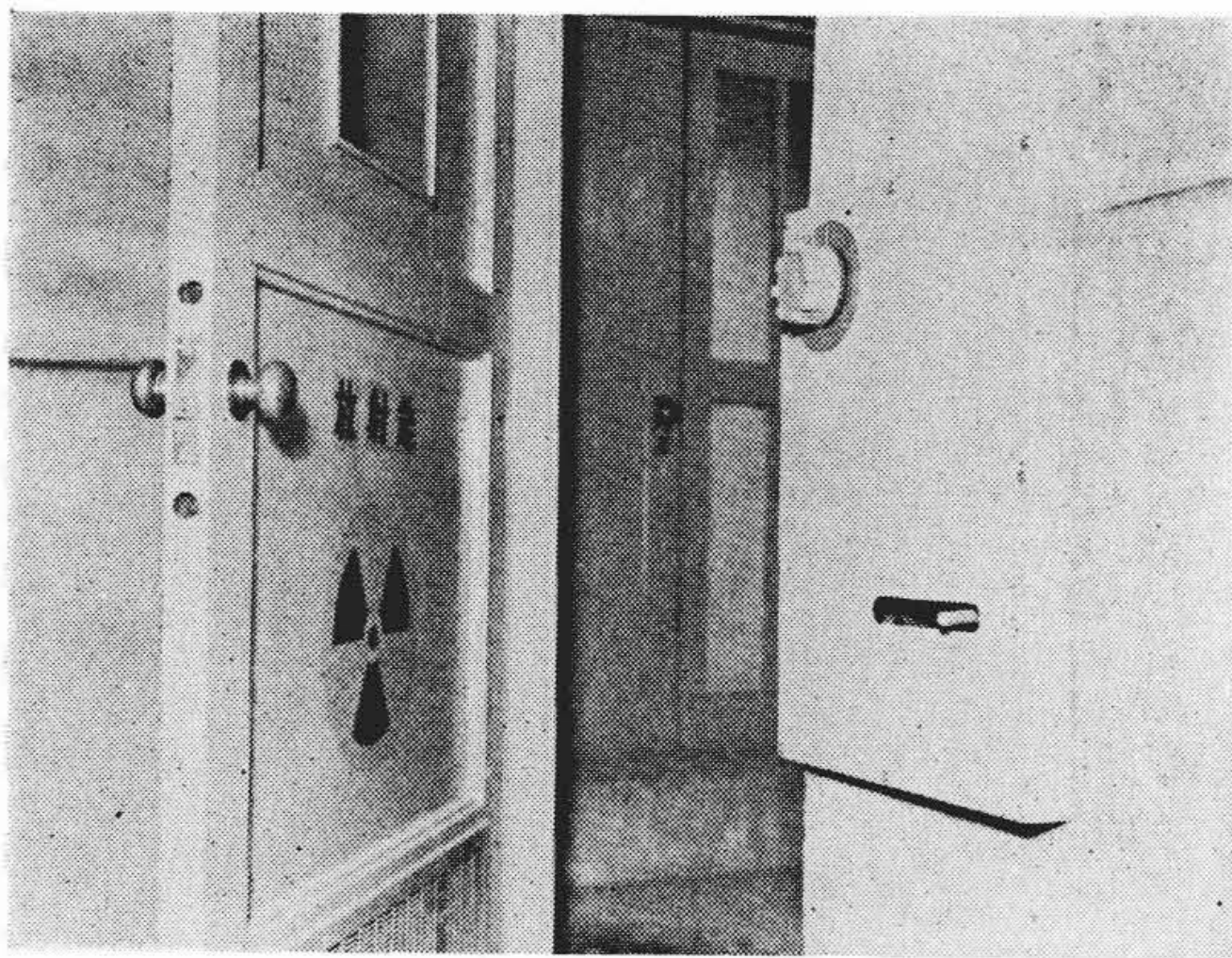
第4図 安全装置回路図



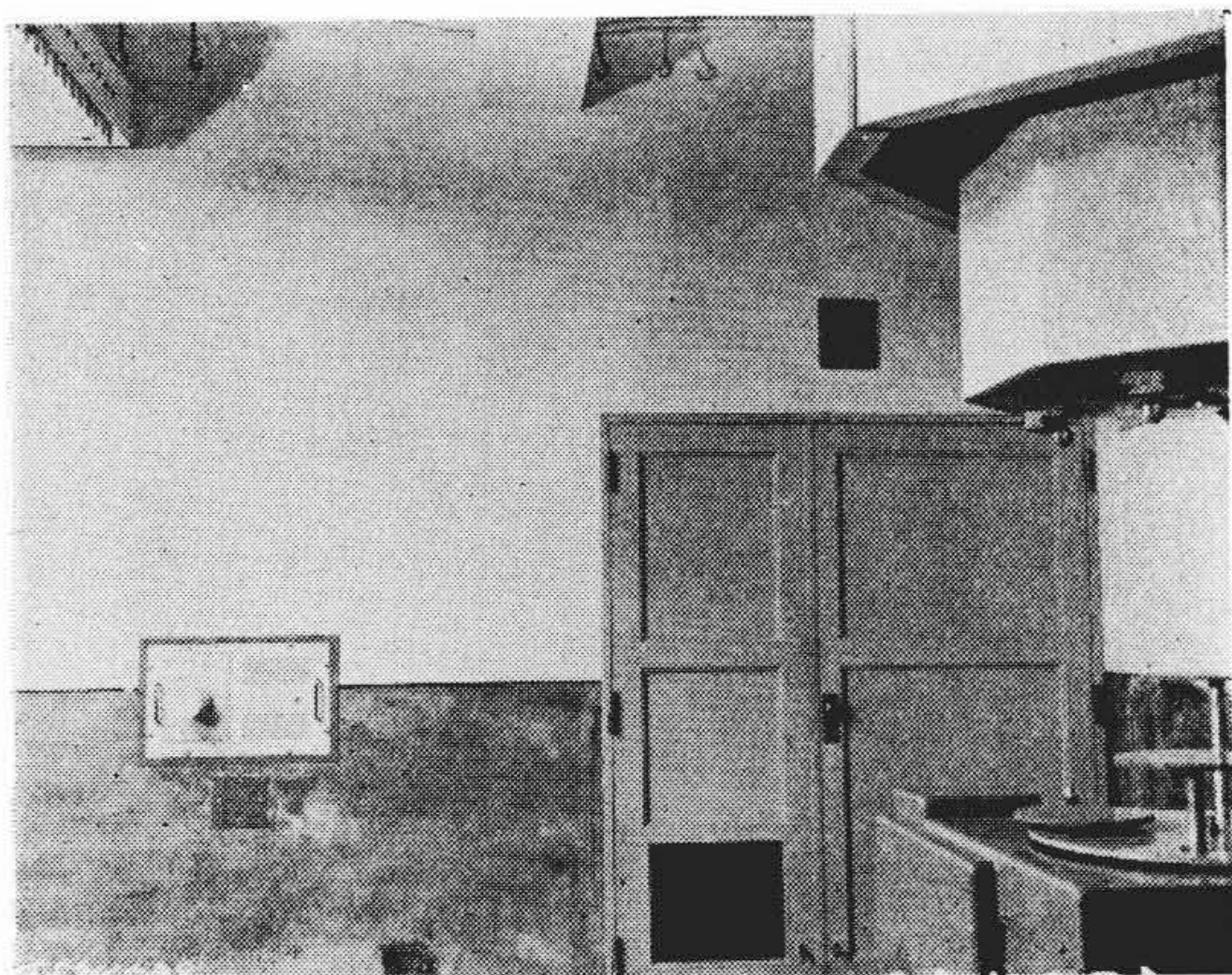
第5図 照射室における安全装置の配置



第6図 操作室側よりみた入口扉



第7図 照射室内よりみた手動錠、電気錠



第8図 照射室内部

入っている時にはこのスイッチを操作して電源と制御器間の回路を開いておけば、操作室より線源操作ができず絶対に安全である。保護スイッチを動作させたことは制御盤上に指示することができる。

3.2 安全回路

安全回路は装置の形式により色々の系統が考えられるが、一例として農林省蚕糸試験に納入した水銀シャッター形 γ 線照射器に具備した安全装置の系統を述べる。

第4図は蚕糸試験場に設置した安全回路の系統を示し、第5図は照射室における安全装置の配置状況を示す。第6、7、8図は安全装置の配置状況を示す外観写真である。次に安全装置の照射時および格納時における動作を第4図に従い説明する。

3.2.1 照射時における動作

照射時における安全装置の動作は次のように行われる。

(1) 電源スイッチを入れる。

照射室内の線量が 20 mr/h 以下であれば第6図の入口扉上の信号灯の緑が点灯し、電気錠が開く。赤が

点灯し電気錠が開かない場合には、なんらかの原因で照射室内に 20 mr/h 以上の線源があることになるのですぐに点検を要する。

(2) 信号灯の緑が点灯したことを確かめた後、手動錠を開き入口扉を開く。

第6図に示すように入口扉の左側のハンドルを回転して手動錠を開くと、スイッチが働き電源と照射器との間の回路を開く。

第6図に示すように入口扉の左側のハンドルを回転して手動錠を開く。入口扉を開くと入口扉スイッチが働き手動錠スイッチと直列に電源と照射器との間の回路を開くので、入口扉が開いた状態では線源操作はできない。

(3) 照射室に入室して保護スイッチを切る。

第3図に示すように照射器の側面に取り付けた保護スイッチを押せば電源と照射器との回路が開くので、試料設置のため照射器の近くにいても、操作室側より線源操作をされることがないので安全である。

(4) 試料を設置する。

(5) 保護スイッチをもとにもどす。

もとにもどさないと照射操作は操作室より操作できない。

(6) 入口扉を閉め、手動錠をかける。

電源と制御器間の回路が閉される。

(7) 制御器の回路スイッチを閉にする。

照射室内の警報装置すなわち第8図の扉上のベルが1分間鳴り続け、あと1操作で照射が行われることを示す。この時万一照射室内に残っていた人は内部より手動ハンドルにて手動錠および入口扉を開いて脱出する。入口扉が開くと電源は開くので線源操作はできなくなる。

(8) 線源露出スイッチを閉にする。

照射室内のベルは鳴りやみブザーが鳴る。ブザーは線源の露出が完了するまで鳴り自動的に鳴りやむ。

照射室内の線量が 20 mr/h 以上になると第8図のモニターが働き電気錠は入口扉を閉扉すると同時に信号灯は赤が点灯し、緑は点滅する。

これで照射が開始されたわけである。

3.2.2 格納時における動作

格納時における安全装置の動作は次のごとく働く。

(1) 線源露出スイッチを開にする。

線源は格納位に移動し、照射室内の線量が 20 mr/h 以下になると電気錠は開錠し、信号灯は緑が点灯し赤は消える。もし電気錠が開かず信号灯が赤が点灯している場合には線量が残っているので点検を要する。

(2) 信号灯の緑が点灯しているのを確認した後、手動錠を開き、入口扉を開いて入室する。

- (3) 保護スイッチを押して試料の後処理をする。
- (4) 保護スイッチをもとにもどして入室し、手動錠をかける。
- (5) 信号灯の緑が点灯していることを確認した後、電源を開する。

電気錠は入口扉を開にする。したがって電源の切れた状態では入室ができない。ただし停電時入室する必要がある場合には、操作室側より電気錠の蓋を開き内部の手動ハンドルにより電気錠を開くことができる。

4. 結 言

以上の結果次のごとき結論を得た。

(1) 水銀シャッター方式を使用した照射器は機構が簡単になり γ 線照射器としての必須条件である安全性に富むので、工業用 ^{60}Co 線照射器の一方として進めることができる。

(2) 水銀をシャッターに使用することは、水銀ケー

スの材料を選定することおよび水銀蒸気に対する方法として密閉することを十分考慮すれば ^{119}Hg の γ - γ 反応は問題にする必要がない。

(3) 安全装置は種々の系統が考えられるが、一応の系統につき報告し、斯界の諸大家の御指導を仰ぎ安全系統の完成に一步進みたいと考えている。

終りにのぞみ色々と御指導にあずかった科学研究所山崎先生および蚕糸試験場森農林技官に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 工業用 ^{60}Co 線照射装置：特許出願番号 昭和31-29456
- (2) 日本図書館協会選定：常用化学定数表
- (3) I. M. Kolthoff and James J. Lingane: Polarography Vol. 1, p. 398.
- (4) S. グラストン：原子力ハンドブック基礎編 p.466
- (5) M. L. Wiedenbeck: Physical Review 68 (1) 1945
- (6) 山崎文男：放射性同位元素の応用 p. 2

特 許 の 紹 介

特 許 第 239317 号

原 政 次

ス ラ ブ 装 入 起 重 機 の 制 御 装 置

この発明は、天井走行形のスラブ装入起重機において、スラブをつかむ際装入装置の吊棒4に無理な力がかかるのを防止するため、つかみ用電動機5dが運転している間は、横行用電動機7aの電磁ブレーキ7bを自動的にゆるめてトロリ2の横行運転を自由にしたものである。

つかみ用コントローラ8を「摺」側に操作すれば、接触子11および14が投入される。したがって、電磁ブレーキ7bはゆるめられ、トロリ2は自由に横行できる状態となる。反対につかみ用コントローラ8を「放」側に操作すれば、接触子10は投入されるが、接触子14は投入されず電磁ブレーキ7bはゆるめられることはない。

横行用コントローラ9を「左」または「右」側に操作すれば、接触子12または13と同時に接触子14が投入される。

この発明によれば、つかみ動作の際吊り棒に無理を及ぼすことがなく、円滑に運転を行うことができる効果がある。

(富田)

