

2,000 キュリー ^{60}Co γ 線照射装置設計について

On the Design of 2,000 Curie ^{60}Co γ -Ray Irradiator

米田幸夫* 鈴木伸* 橋本春吉*
Yukio Yoneda Shin Suzuki Harukichi Hashimoto
水池敦* 笛木和雄* 田畑米穂*
Atsushi Mizuike Kazuo Fueki Yoneho Tabata
清瀬量平* 牧島象二*
Ryohei Kiyose Shoji Makishima

内 容 梗 概

東京大学では昭和32年度機関研究費によって 2,000 キュリーの ^{60}Co を線源とする γ 線照射室を建設した。この種の放射線化学研究設置に必要な条件, すなわち線量率, 照射下の実験条件, 安全性, 保守, 操作法を考慮し, これに基づいて, 各様式の照射器を検討した。その結果, 本報告記載のような, 天井内に格納兼照射器を設置する方式を採用し, 日立製作所に詳細設計および製作を依頼した。ここに各段階での考察の詳細および仕様の概略を報告し, あわせて, 本装置に採用した線源の線量分布の計算値をも記述する。

1. 緒 言

放射線化学の基礎的, 応用的研究は原子力平和利用の重要な一環であって, きわめて将来性に富む分野である。これらの研究に不可欠な放射線源中, 最も容易に利用でき, 運転, 保守も簡単なものは, ^{60}Co を線源とする γ 線である。

東京大学においても, 昭和32年度文部省機関研究費によって, γ 線源および付帯設備を建設を計画し, このたびその調整が完了した。主要部分である照射器はあまり例のない形式であって, 日立製作所によって製作・据付された。ここにその設計に至るまでの経過および設備の概要を報告する。照射室の設備, 漏洩線量, 照射線量分布については, 追って発表する予定である。

本報告の本文は米田の執筆により, 付録 1, 2 は笛木, 田畑によるものである。なお, 本報告はさきに「研究報告-1」(本文), 「設計資料-1, 3」(付録 1, 2) として発表したものを改訂してとりまとめた。

2. γ 線照射装置の必要条件

放射線化学研究用の強力な γ 線源は, 現在, 主として ^{60}Co の γ 線 (1.33 MeV および 1.17 MeV) によっている。これを照射, 格納する照射装置に要求される条件はその目的に応じた(1)線量率(2)試料と線源との距離および照射領域(3)広範囲の操作, 測定の可能性(4)常時および異常時の安全性(5)操作および保守の確実, 簡単さ(6)使用者の特殊性 などである。

2.1 線 量 率

研究目的に応じて必要な線量は大幅に異なる。ごく一

* 東京大学工学部応用化学科

第 1 表

研 究 対 象	線量 (γ)	線 量 率 (γ/h) (100 時間照射として)
金属の放射線損傷	$\sim 10^9$	
有機高分子の改質	$\sim 10^7$	$\sim 10^5$
無機固体の損傷 (ガラス)	$\sim 10^6$	$\sim 10^4$
低分子化合物 (液体, 気体)		$\sim 10^4$
完全殺菌	$\sim 10^7$	
不完全殺菌	$\sim 10^5$	
生物学的照射	$\sim 10^3$	

般的な数字としては第 1 表があげられよう。

このように, 金属, 無生物, 生物の各対象によって, 所要の線量, したがって線量率が異なっているの, 特定の線源量および線源の様式で全般をカバーすることはきわめて困難である。

2.2 試料と線源との関係および照射領域

2.1 の条件下でも, 同時に多数の試料を, また異なった線量率, 線量で照射することが望ましい。特に強線量率が望ましい場合は線源のごく近くに, あるいは形式によってはケージ状(キャプセル)線源内部に試料を設置しなければならない。

2.3 照射下の操作・測定

狭義の放射線化学の研究に限定して考える。

照射下の操作, 測定としては次の諸項があげられよう。かっこ内はわれわれの考えた一応の要求である。

(i) 加熱 (近接 300°C , 遠隔 500°C)

注: 照射器: 試料を照射する装置で, 同時に線源を格納するもの。

照射装置: 照射器, 安全回路, 制御器などの総称。

照射室: 照射装置を設置する研究室。

ケープ: 照射器本体を据え付けた照射室がいわゆるケープ状のものであるとき。

照射施設: 照射室および照射装置をあわせたもの

- (ii) 冷却 (近接 -80°C)
- (iii) 加圧 (オートクレーブによる)
- (iv) 減圧 (連続排気)
- (v) 任意の雰囲気下の照射 ($\text{H}_2, \text{N}_2, \text{CO}_2, \dots$)
- (vi) 攪拌, 振盪, 試料回転
- (vii) 測定 (温度, 圧力, 機械的特性, 電気的特性, その他)
- (viii) 機械的動作 (たとえば試料の伸長, 圧縮など)
- (ix) そのほか化学的な一般的操作

広範な化学の研究には上記の諸条件は不可欠と思われるが, 線源のコンテナ中で照射する形式あるいは Ghomley Hochanadel 形(後述)では(vi), (vii) すらかなりの困難を伴う。(vi)は単に機械的な考案のみで解決可能である。(vii)は測定器や測定素子の放射線損傷を考慮しなければ, 通常の遠隔測定の技術を用いて, 電気的信号に変換することより, 特に困難はない。

(i)は線源あるいは照射器の耐熱限界によって限定されるけれども, 適当な断熱材を挿入することで解決されよう。(ii)には(i)と同様な困難もあるが, 長時間(少なくとも一晩)寒剤を補給することなく, この程度のしかも制御された低温をうることはさほど容易なことではない。(iii)はオートクレーブによれば問題はないが, オートクレーブによる放射線吸収を考慮する必要がある, またオートクレーブ爆発による線源の飛散を考えるとときわめて危険なことともいえる。しかし, これはオートクレーブあるいは封管の設計, 線源の保護によって解決されているようである。(iv), (v)は配置が空間的に可能であれば, 特に困難ではない。(viii)は(vii)と組み合わせることにより, 電氣的に外部から動作することで解決される。

2.4 安全性

(i)日常使用時の安全性と(ii)故障, 突発的事故や天災地変の際の安全性にわけて考える。人体に対する安全性と装置自身の安全性と, 両方を考慮するが, 後者の眼目は修理可能か否か, すなわち事故が起った後に線源を一応安全に格納しうるか否かで, 格納しえないときはその装置は事実上再使用不可能である。

日常使用時の安全性はさらに, (a)外部への放射線障害, (b)研究者の放射線障害, (c)誤動作の防止, (d)事故の防止に分けられる。(a)は最も容易で, ケーブの遮蔽を十分にしておいて, 外部への γ 線漏洩を極少にすることで解決される。たとえば外部の人間の自由に近づきうる場所の線量率を 0.1 mr/h^* 以下とすれば問題はない。(b)は漏洩線量を極少にするとともに照射施設に, 簡単にしておいて十分な安全装置を設備すればよい。前者は研究者の被照射時間が大きいことと, 許容照射量が逐年低下してい

* 非管理区域の上限の約 $1/2$ に当る。

る事実にかんがみれば, (a)と同様漏洩を 0.1 mr/h^* 以下にとることができれば問題はない。安全装置は電氣的機械的止錠および連動機構, リレー系によって行うもので, さらに安全を期するために, これらの機構の一部に放射線検出装置を組込むべきであろう。(c)は(b)の安全装置と同様な構想のもとで誤動作がないように, また, 誤動作であることがわかるようなものでありたい。また押しちがっても装置が破損されてはならない。(d)は照射中の試料の爆発, 機械的衝撃, 引火などの問題である。常識的なことではあるが事故は未然に防止すべきであって, 照射室内では特に留意しなければならない。たとえば引火しやすい溶剤を用いる実験にあたっては, 封管中で行うとか, ほかに加熱を行わないとか, 通常の配慮が必要である。また, ケーブ中で照射のときは, 適当な火災報知機と炭酸ガス消火器(ボンベ)によって外部より消火できるであろう。前二者は近接照射時に特に注意を要するもので, このような事故の起らないよう, 嚴重に配慮するとともに線源に, 吸収とのバランスを考慮しつつ, 適当な保護装置をつける以外には防止法はないであろう。

非常時の安全性は(e)天災地変(f)外部よりの火災(g)停電(h)突発的事故などである。(e)はその照射室の立地条件に大いに左右される。ここでは出水時の考慮は省略する^{**}。地震に対しては十分に考慮しなければならぬ。関東大震災程度の地震によっても修理不可能(すなわち線源の格納不可能)の事態を招かないよう, 機械的強度を有することが必要である。(f)については, 照射装置の建築物を不燃性にすることが不可欠で, これによりほとんど防止できるし, また事故があっても線源を一応は格納できるであろう。(g)停電時には手動または自動的に(たとえば重力により)格納できることを要する。(h)これまでにあげた諸点を十分考慮しても, 線源が容器中へ収納できないような事故が不可抗力的に発生した場合の処置はきわめて困難である。いずれの形式であってもこの種の事故は起りうるので, 全体的な見地からバランスをとりつつ, 事故の絶無を期するよう十分の考慮をはらう必要がある。ただしいかなる場合にも外部に危険を及ぼさないよう考慮しなければならない。

2.5 操作および保守の確実, 簡単なこと

操作の確実, 簡単なことを要するのは特に論ずるまでもない。保守は(a) γ 線照射による損傷と(b)通常の故障に対して特に注意を払うべきである。

(a)についていえば少なくとも高線量照射の部分には有機物などの放射線に弱い材料を用いるべきではない。

* 準管理区域(職業的従事者の常時勤務可能)の下限の $1/6$ 上限の $1/60$

** 照射室の設置場所が高台であるため。

たとえば、摩擦部分に有機の潤滑油を用いてはならない*。また照射により直接、間接に金属の腐蝕が促進されるので、材質、表面処理なども考慮すべきである。

(b)は通常の装置に準じて注意を払うべきであるが、危険を伴う部分には安全係数をさらに大きくとるべきであろう。

最後に考慮すべきは ^{60}Co の減衰である。 ^{60}Co の半減期は5.3年であるから、かりにこの種の装置の耐用年限を15年とすると、線量率の50%低下を許したときでも5年ごとに計2回線源部分の交換が必要であるから、その作業が容易に行えるように設計すべきである。また、付带的ではあるが、実際問題として重要なことは線源の設置方法である。配分室(たとえば日本放射性同位元素協会のホットケブ)の容積、重量物取扱能力、マニピュレータの動作能力の範囲内でコバルト線源を照射器に取りつけよう設計しなければならない。なお、運搬容器と照射装置の格納容器とが異なるときは、照射室内で確実に装置に取りつけなければならない。

2.6 使用者の特殊性

われわれは大学の研究室としての特殊性を考慮した。すなわち、(a)利用希望者が多く、しかも各部局にまたがること、(b)使用目的が自主的であるため、きわめて多様であること、(c)手薄で、事務上、行政上の管理が十分とはいえないこと、などである。

(b)は大学の研究、教育の使命から当然予想されることで、化繊会社における高分子というようにには使用の目的が一定でなく、形状、寸法、照射条件(線量率、時間、その他)が異なるものを同時に照射する必要がある。(a)は(b)とも関連することである。(c)は望ましくないけれども現実であって、安全性を検討するとき、特に配意すべきである。

3. 照射器の様式

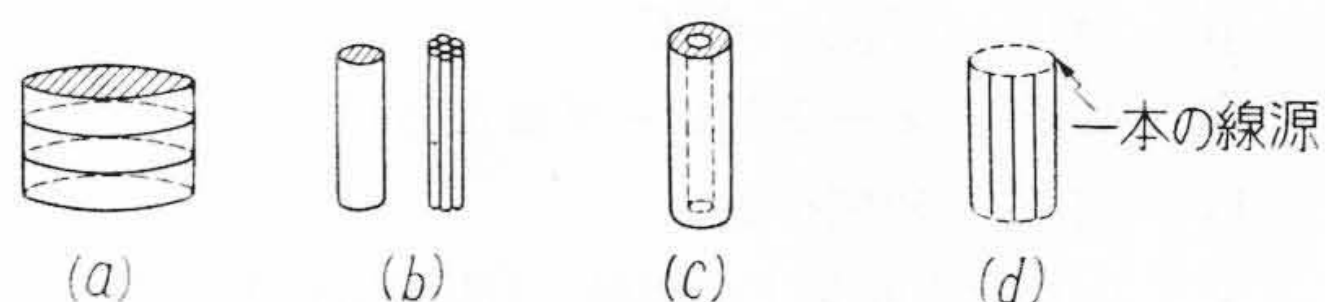
既設の照射器の様式を検討するために、(1)線源の形状、(2)格納位置と照射位置との関係、(3)線源の移動方法、(4)格納時の遮蔽(特に蓋)、(5)照射室との関係(ケブか否か)について類形化し、その得失を論じる。

3.1 線源の形状

線源の形状は、(a)ウェーブアス形、(b)棒状、(c)中空円筒、(d)ケージ形に大別される。

(a)は主として医療用に使用されるもので、銅貨状の線源を所要キューリー数だけ積みかさねるものである。(b)はムクの棒状：または $3\text{mm}\phi$ 前後の棒状線源をたばねたもの、(c)は中空(ときには有底)円筒状線源(d)は $3\text{mm}\phi$ 前後の棒状線源を同心円筒上にならべたものである。

* 無機の MoS_2 などがよいという。



第1図 線源

さらに(d)についてはその直径は通例固定されているが、可変ピッチと称して、機械的に直径を変化できるものもある。

(a)、(b)は(i)近距離で極高線量率で照射するのは有利であるが、(ii)高線量率で照射しうる容積はきわめて小さく、少しはなれると線量率は急激に低下する。(iii)したがって均一に照射しがたく、線量の正確な測定が困難である。(iv)また自己吸収が大きいから原子炉中での活性化が困難であり、照射時においても線量の損失を招くけれども、(v)形状によっては方向性がある。この形式は $1,000\text{C}$ 以下の例が多い。

(d)は(a)、(b)とは逆で(i)同一線源量では(a)、(b)ほどの高線量率は得られないが、(ii)比較的高い部分の容積が大であり、(iii)場が均一であり(特にケージ内部)、線量も正確に計りうる。(iv)また活性化も容易で、自己吸収も少ない。この形式は化学的研究に好適であって $1,000\text{C}$ 以上にはこの例が多い。さらに場を均一にするために、ケージの上下端部に余分の線源を挿入して、ある程度補正する。線源の線量率分布は付録1,2を参照されたい。

(c)は(a)(b)と(d)との中間である。実際は特に高線量率を要するとき使用されているようである。

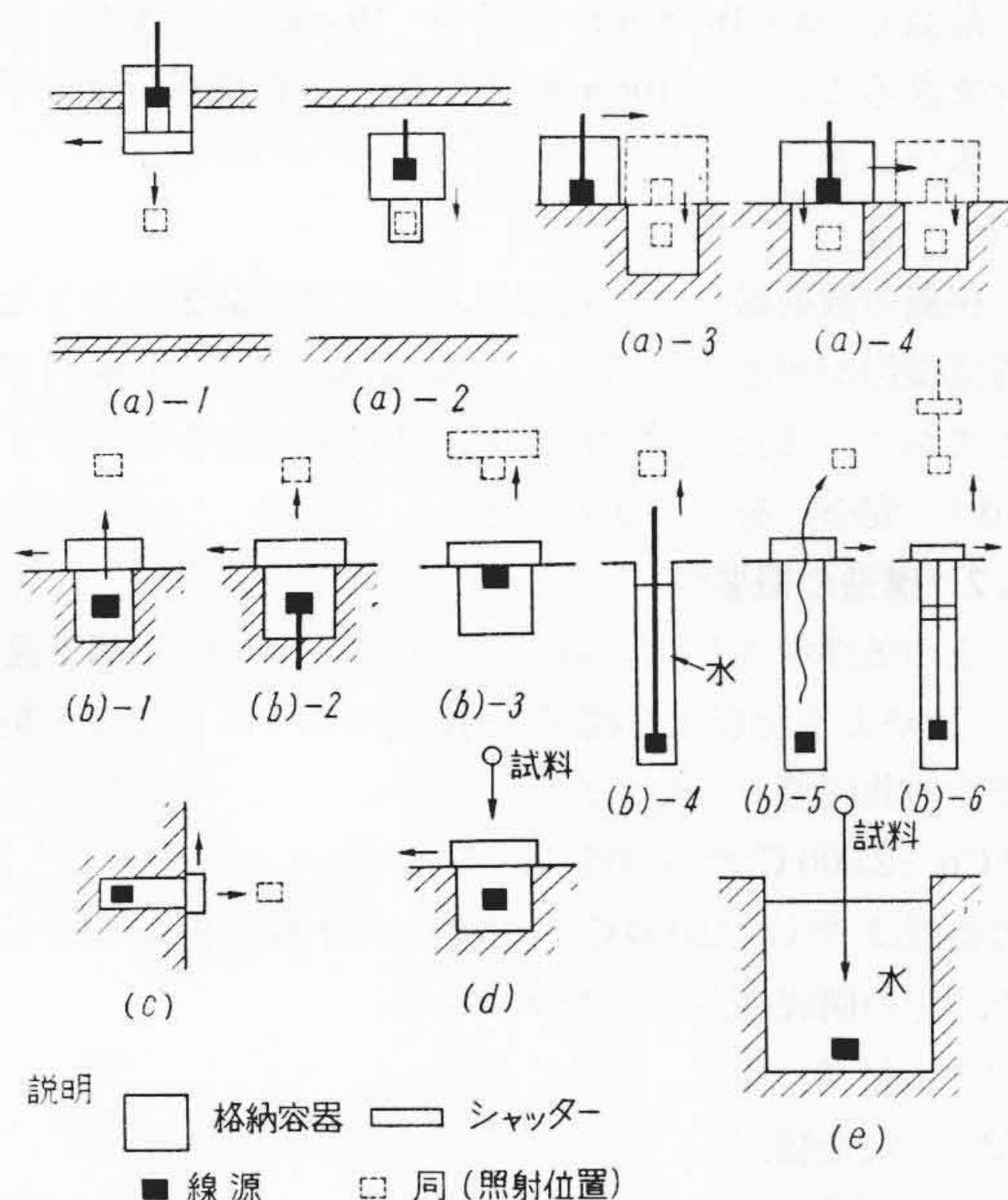
可変ピッチは原理的には望ましいものであるが、構造および操作が複雑不確実になるので、大線量であってしかも故障時のために、窓および高級なマニピュレータを備えたケブでなければ採用困難であろう。

本計画では比較的高率($>10^5\text{ r/h}$)で、冷却、加熱などの操作をすることが可能で、しかも同時に低率($10^4\sim 10^5\text{ r/h}$)で多数の試料に照射するため付録2のような形状を採用した。線量率計算値も明らかなように通常の放射線化学の研究には 1 kC 程度の線源でピッチを変えることは意味がないので考慮しなかった。

3.2 格納・照射の位置

(A)照射にあたって線源を格納容器中の格納位置から試料に向って移動させる形式と、(B)格納位置のままで試料を近づけて照射する形式に大別される。

(A)移動させる方向によって、(a)上から、(b)下から、(c)横から、などがある。(B)には(d)試料をコンテナ中に挿入するものと、(e)水中に格納した線源の近くへ試料を挿入するものとある。代表例を第2図に示す。



第2図 格納位置と照射位置

(a)-1~2 は上方から降下するので、床面積が活用でき、広範囲の仕事に便利である。(a)-3~4 は Ghomley-Hochanadel 形で、特に遮蔽した照射室を必要としない。(b)-4 は水中 3m~5m の所に格納し、水で上方に対する遮蔽を行っている。(b)-5 はマニピュレータなどで、ケーブル中、任意の場所に線源を移動できる。また(b)-2, 6 は蓋に線源をつけたまま、移動させる。

(c)の例はきわめてまれであり、この種の目的には不適當である。

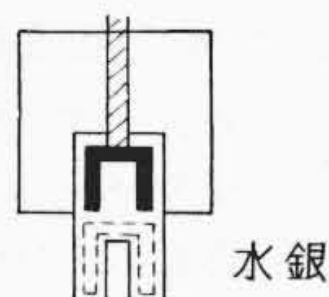
(B)線源を移動させない形式では、(d)蓋をとって線源に試料を近づけるか、または(e)線源を水中に保持しておき、試料を水中でこれに近づけるなどである。

次にこれらの方法の主な得失を考察する。

(a)-1 は ①床面積が活用でき ②ケージ形線源中に試料を入れるとき、試料の保持が容易である。③広範囲な操作に便利である。④近接照射に有利である。⑤2階に機械室が必要である。⑥ケージの遮蔽に配慮を要する。

(a)-2 は水銀を遮蔽に使用する形式で、詳細は第3図に示す。①(a)-1 とほぼ同様の利点がある。②シャッターがないから簡単確実である。③ケージ中の試料を加熱、冷却できない。したがって生物照射には好適であろう。

(a)-3, (a)-4 は ①低線量(数十~数百キュリー)には便利で ②ケーブル不要であるが、③照射容積がせまく、諸操作が困難である。し



第3図

たがって目的を特定の研究(たとえば高分子の改質)に限定するときは手軽である。ただし線量が増加すると、遮蔽の重量が大となって不経済である。

(b)-1~2 の共通の欠点は、①床面積が活用できず、②ケージ中に試料挿入が困難であり、③蓋をあけて操作中、試料、実験装置が容器中に落ちこむと格納ができない。④しかし、2階の機械室は不要である。

(b)-3, (b)-6 は同様な原理で、動作が簡単であるが、シャッターが邪魔となり、近接照射のときは、線源露出後に試料を移動させなければならない。

(b)-4 は水で遮蔽しているから、シャッターの必要がなく、最も簡単である。しかし、重大な欠点は水中における腐蝕で、一度被覆がやぶれて ^{60}Co 線源で汚染されると大事に至る。

(b)-5 はマニピュレータを使用する場合で、深い穴を掘ることによって、遮蔽材料を節約できる。

(c) は地形などで、特に遮蔽が節約できる場合以外は不便であろう。

(d) (b)-1~2 と同様であるが、試料を容器中に入れるので、諸操作が困難となろう。

(e) 原理的には最も簡単で安価であるが、(b)-4 の腐蝕の問題に加えて、試料を水中につけるといふ困難さがあり、操作はきわめて局限される。試料を水中につけない工夫(たとえば底のある鉄管を線源の近くに沈めるなど)もあるが、いずれにしても難点が多い。

3.3 線源の移動方法

3.3.1 手動

最も簡単な場合は、線源をワイヤまたは鎖で釣り、滑車によって手でひっぱる。確実ではあるが、地震その他のほかのショックによって、線源が破損するおそれがある。またガイドをつけても線源の位置が正確には決まらないので、近接照射が困難である。(a)-3~4 の形式では手動で容易に上下に移動できる。マニピュレータがあれば便利であるが、きわめて高価(200~400万円)である((b)-5)。

3.3.2 機械的方法

多くは線源を太いシャフトにつけ、これをモータまたは油圧で移動させる。モータによれば、設備は簡単であるが、リミットスイッチなどで停止を確実にする必要がある。また停電の際は、手動で格納しなければならない。油圧はやや高価であるが、停電の際は重力で自動的に格納させることも可能である。圧縮空気によるものもある。

線源量が大きくなると、シャッターの開閉をも含めて手動では困難となるので、いずれにしても機械的方法で操作することになる。

3.3.3 試料との関係

通常、あらかじめ試料を固定し、これに線源を接近させるのであるが、線源あるいはそれを包むカプセルは、線量吸収を考慮するため、機械的には強くない。したがって試料の設定位置を誤ったときは、線源を破壊することがある。このため(i)試料設定位置を治具によって規定する。(ii)試料台または線源支持部をある程度フレキシブルに作る。(iii)線源照射位置周囲に適当なプロテクタ(3.3参照)を設ける。などの措置が講じられている。特に、第2図(b)-3の形式で近接操作を行うときには、線源移動と試料移動との両機構を連動させている。

そのほか、試料の破損、転落を考えれば、線源側にプロテクタを設置することが望ましい。

3.4 格納時の遮蔽

格納容器の開口部にはなんらかの方法で蓋をしなければならない。(a)鉛、(b)水、(c)水銀で行われ、一般には(a)である。シャッターの移動(除去)は重要な問題で、なかんずく第2図(b)の形式ではこれによって、利用度が変わってくる。特に(b)-3、(b)-6は前述のように近接照射に不便である。(b)水の得失は前に説明した。(c)水銀は、近接照射時に、加熱、冷却を行わないとき、上方向には照射する必要のないとき(たとえば生物実験用)などにはきわめて巧妙で安全な方法である。

3.5 照射室との関係

研究目的によって人間のはいりうる大きさのケージを建設すべきか否かが決定される。第2図の(a)-1~2、(b)-1~6は原則としてケージ中で使用し、(a)-3~4は普通の部屋で、(d)はいずれでも使用される。

線源からは 4π 方向(立体角)に γ -線が放射されるが、目的に応じ、またケージの遮蔽の都合上任意の方向のみに限定することもある。特に遮蔽窓、ケージ入口方向に一次照射が当たらないようにすると、ケージの設計が容易になる。しかし利用度が低く、場が不均一となりやすい。場合によっては線源外周に、位置により厚さの異なる鉛のフィルターを用いて、同時に要求線量率の大幅にことなる照射を行う例もある。

4. 東京大学に設置された照射設備の概要

4.1 条件の設定

(a) 線 源 量

予算および所要線量率を考慮した結果、今回は ^{60}Co 1,000 キュリー、(3mm ϕ ×150mm×40本、比放射能 3 C/g、実際は1957年11月4日で 1,220 キュリー)を米国より購入した。ただしさらに 1,000 キュリー増加することを計画し、遮蔽の計算ですべて 2,000 キュリーとした。

(b) 所要線量率

最高： $> x \times 10^5$ r/h：直径 5~10 cm の物体をも照射できること。 $\sim 10^4$ r/h で照射できる範囲になるべく広いこと。

(c) 目 的

狭義の放射線化学に限定し、その代り 2.3 のような各種操作が可能であること。広範囲にわたり照射が可能であり、また大学の特質上、多目的であること。

(d) 安全、確実であること。

4.2 構造の概要*

以上の条件を満たすものとして、われわれは第2図(a)-1のような形式を採用し、後記のようにして日立製作所との共同設計を行った。

^{60}Co (2,000 C)**照射装置

本装置は ^{60}Co 2,000 C を格納し、 γ -線を照射するもので、その構成は次のとおりである。

(1) 照 射 器

(2) 安全装置

(3) 制 御 器

4.2.1 照 射 器

(a) 線 源 構 造

線源は 3 mm ϕ ×150mm*** の ^{60}Co 棒 40 本からなり、3 c/g であるから、合計 1,000 C となる。コバルト棒にはあらかじめうすいニッケルメッキが施され、さらにその上に厚さ 0.2 mm のニッケルのシースをかぶせて両端をかしめてあり、線源自身の外径は約 3.5mm である。線源は中心間直径 92 mm のケージ形とし、カプセルに収めた。

カプセルは第4図に示すごとく 3 ϕ ×150 l×80本=2,000 C の ^{60}Co 棒を収納しうるもので、厚さ 1 mm のステンレスで作られた円筒状である。1,000 C の場合にはスペーサとして 3.5 ϕ のアルミニウム棒を40本交互に入れて使用する。

カプセルは水密溶接をし、鉛パッキングにより、外気を密閉する。線源の上部空間にはアルミニウム製のディスタント・ピースを入れ、線源の上下動を防いでいる。線源の中心径および外径は第4図のとおりである。

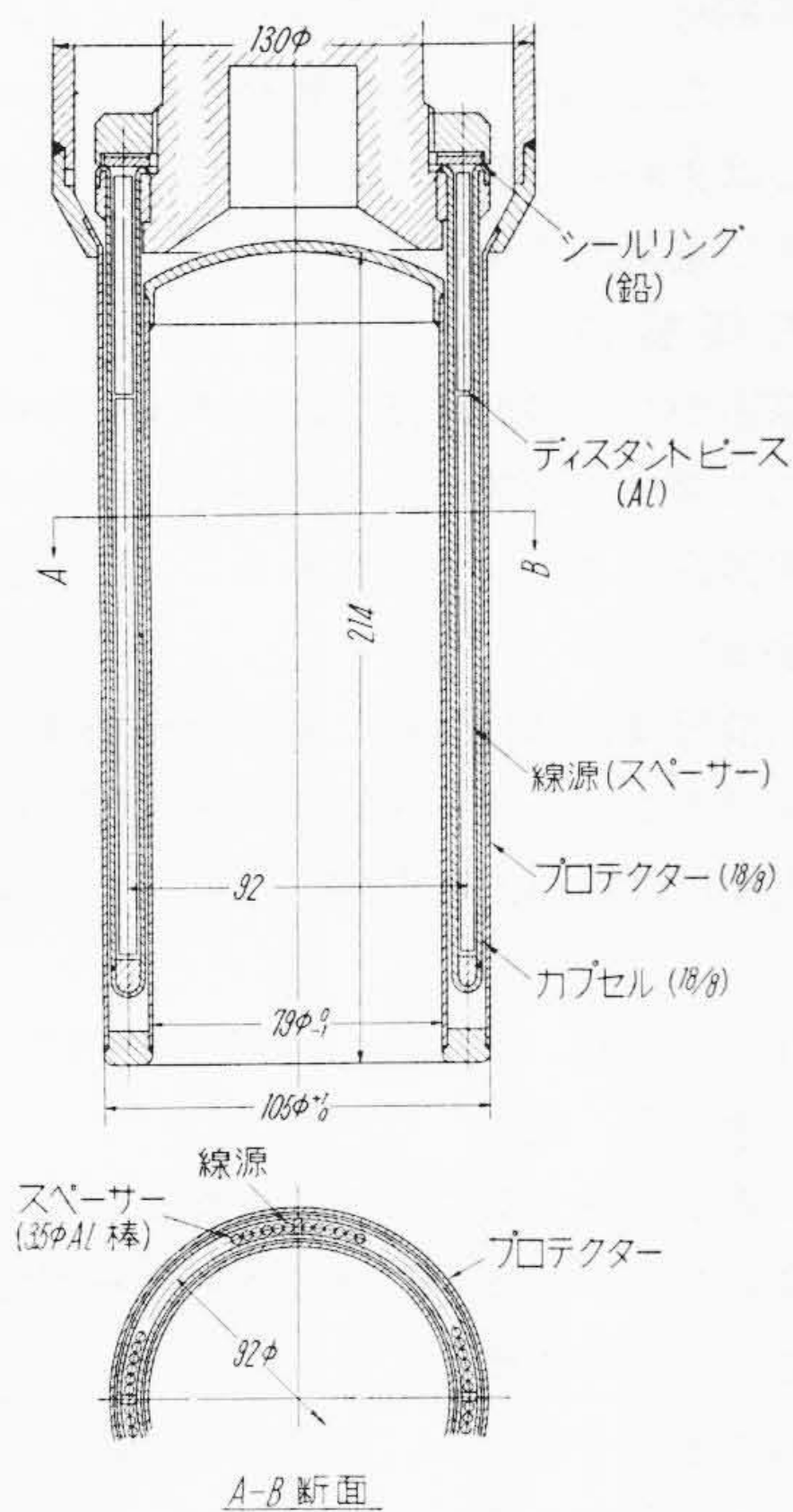
(b) 照射器構造

照射器は第5図に示すように、天井に取り付けたベースに据え付け、試料の照射は照射室天井より線源を吊り下した状態で行う。照射器の内部構造は第4図に示すとおりで、線源を納めたカプセルを漏洩のないように考慮した軸で容器中に支持し、その外周を規定された表面漏洩線量(4.2.3 参照)になるように鉛容器に

* 主として日立製作所で作成した仕様書から適当に取りまとめたものである。

** 設計は 2,000 C であるが、差当り 1,000 C を収納する。

*** 実際には多少長さの不同があった。



線源要目

- (1) 線源容量: ^{60}Co 2,000 キュリー(最大)
- (2) 線源の種類: $3\phi \times 150 \times 40$ 本(1,000キュリーの時)
- (3) 1,000 キュリーで使用する場合は本図のように線源と線源の間にスペーサ(3.5φ Al棒)を入れる。

第4図 線源

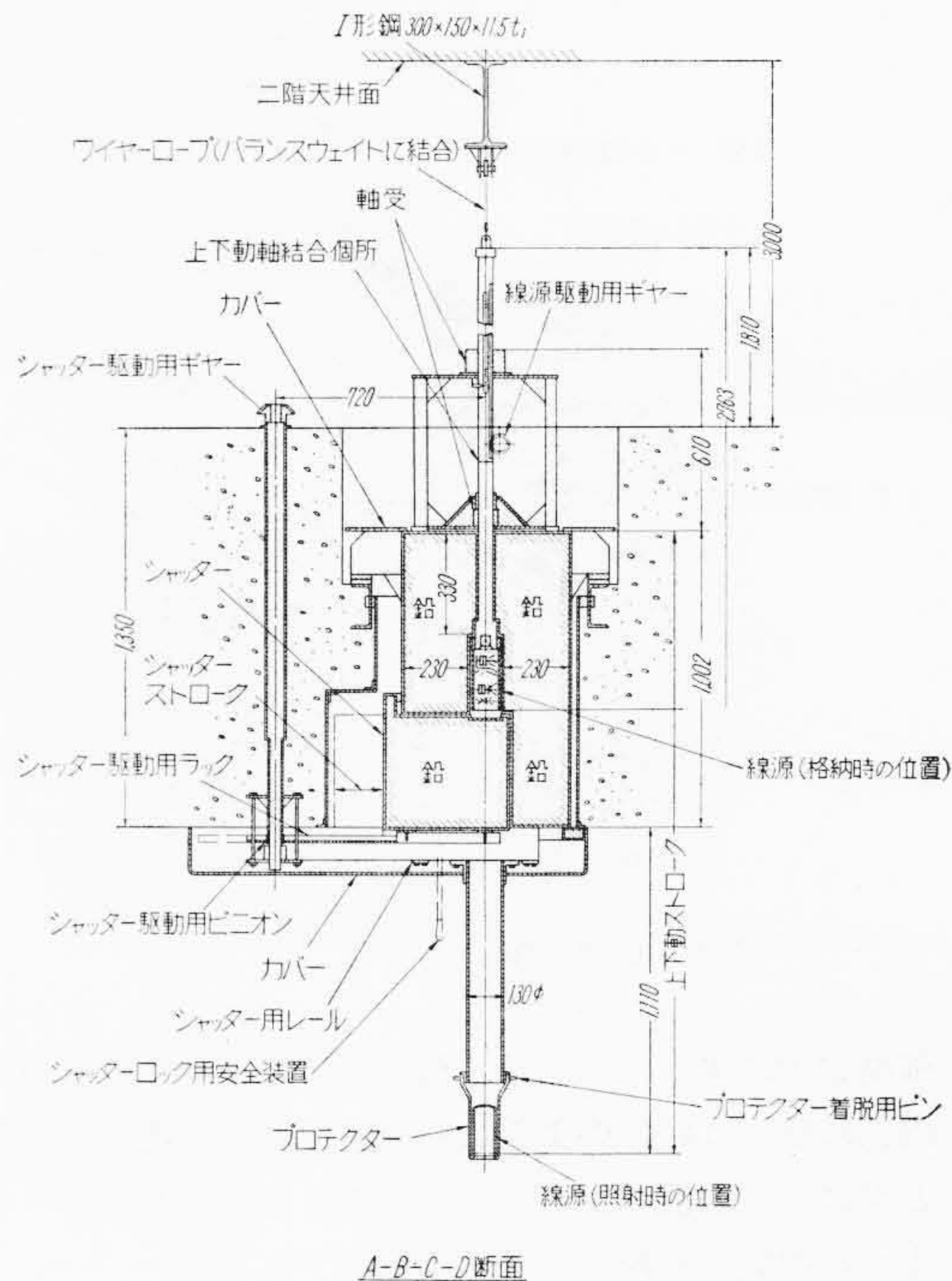
て遮蔽したものである。

材質: 格納中および照射中に一次 γ 線に被曝される部分,すなわち線源容器内面,上下動軸,シャッターおよびその照射室内駆動機構,容器下部,カプセルなどは腐蝕しないようステンレス製(18Cr-8Ni)で製作する。

シャッターおよび駆動部: シャッター開閉および線源上下動は電動駆動装置により駆動される。駆動部の点検は照射中でも容易に行える。シャッターは第5図に示すように線源容器下部に取り付けられたレール上を,天井を貫通したシャッター軸(散乱線に対して十分考慮してある)により低速度で移動するもので,防塵のためステンレス製のカバーでおおわれている。

照射: 照射時にはまず遠隔操作制御盤の線源シャッタースイッチを開にするとシャッターが開き,シャッターが開き終ると自動的に線源が降下する。このシャッター水平動および線源の上下動は電動機駆動および緩衝装置により確実に所定の位置に停止する。照射時の線源位置は容器下面より 1,110 mm でそのときの偏心および上下位置の誤差は $\pm 1\text{mm}$ 以内である。

格納: 格納時には線源シャッタースイッチを閉にすると,まず線源が上昇し,上昇し終るとリミッターにより自動的にシャッターが閉じる。このシャッター



要目

- (1) 線源: ^{60}Co 2,000 キュリー
- (2) 表面漏洩 上面……0.625 mr/h 以下
側面…… 12.5 mr/h 以下
下面…… 0.1 mr/h 以下
- (3) 容器重量: 約 3.3 t
- (4) シャッター重量: 約 300 kg
- (5) 線源上下動速度: 移動距離を 26 秒
- (6) シャッター開閉速度: 移動距離を 10 秒

第5図 照射器断面

および源線の位置は制御盤に取り付けた標示灯によって監視することができる(標示灯は 4.2.2 参照)。

停電時: 停電時の処置としては手動にて線源を上昇し,シャッターを閉じることができる(4.2.2 に詳述する)。

(c) 表面漏洩線量

ケーブ内で試料交換のためその表面漏洩は ^{60}Co 2,000C 格納時に,容器下面にて 0.1 mr/h 以下,照射時,格納時通じて上面にて 0.625 mr/h 以下とした。側面は天井のピット内に埋め込まれるため表面漏洩は輸送時に差しかえない程度,すなわち線源より 1 m の点で 12.5 mr/h になるように押えて容器の重量軽減を計った。

(d) プロテクター構造

プロテクターは第4図に示すように線源容器下部に固定され,全ステンレス製で線源を保護するためのものである。したがって照射時の吸収が問題になる部分は 1.5 mm のステンレス製でそのほかの部分は機械的

て制御回路スイッチを入れるとベルが1分間鳴りあと1動作で照射されることを示す。次に線源露出スイッチを入れるとブザーが鳴り始めると同時にシャッターが開き、次いで線源を照射位置に移動させる。このブザーは線源が照射位置にくるまで鳴り続ける。ただし制御回路スイッチ操作後1分間は線源露出、納入スイッチを操作しても線源の照射およびベルの停止は行われない。

(f) 手動機構

手動機構は電動駆動部故障あるいは照射中の停電などの非常時に線源を完全に格納しその後シャッターを閉じるもので、誤動作および手動操作中電動駆動が行われないようになっている。

第6図において照射位より手動操作する場合には、まず上下動駆動部に取り付けてある手動ハンドルのカバーを開くと制御回路は開かれる。次に手動ハンドルを操作して線源を格納位に引上げる。このハンドルは逆転しても線源を引下げることはいできない。

次に手動ハンドルを外してシャッター駆動部の手動ハンドル取付部カバーを開くと、また制御回路は開かれる。手動ハンドルを取り付けてシャッターを閉める。手動ハンドルは線源が格納位にないとシャッター駆動部に取付けができない。またシャッター部に取り付けて逆転させてもシャッターはそれ以上開かない機構になっている。シャッターを閉じた後に、上下駆動部にハンドルを取り付け二つのカバーを閉める。カバーを閉めないで制御回路には通電されないの、次に電動駆動を行うことができない。カバーが開いていれば制御盤上の手動操作指示灯が点灯していて電動駆動により制御できないことを示す。

(g) インターホン

操作室を親局、ケーブを子局とするインターホンを設置する。

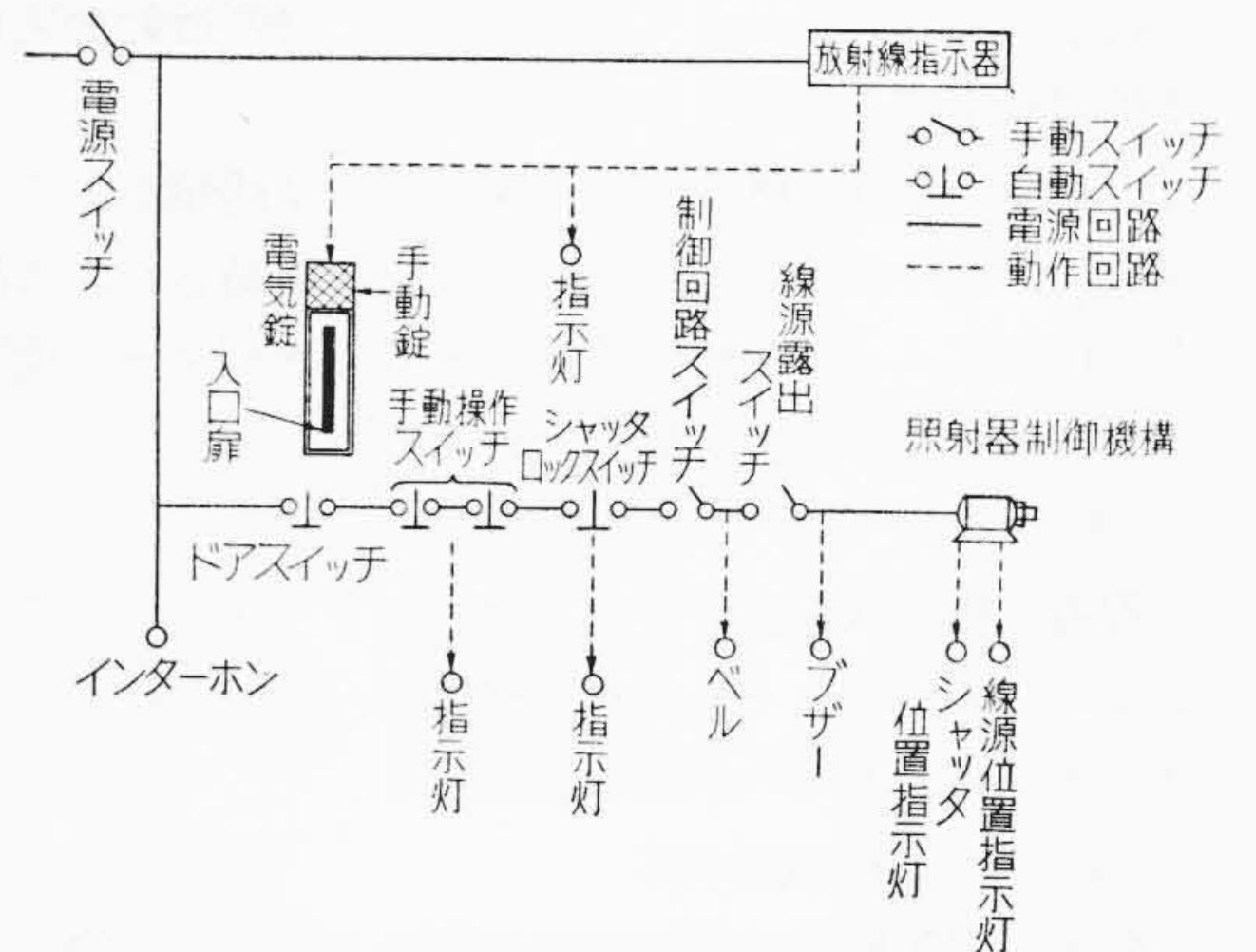
(h) 回路略図

以上の安全装置の回路略図は第7図のとおりである。

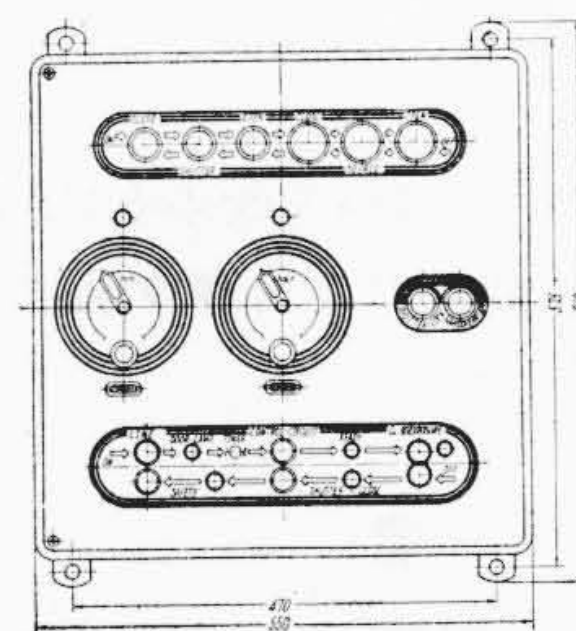
4.2.3 制御器

制御器は照射の漏洩に対し十分に遮蔽された所から、照射器を遠隔操作しうるものである。制御器には次の制御器具が備えてあり、外観は第8図に示す。

概略は次のとおりである。(a)電源スイッチ(Line)を閉にすると全電源(放射線指示器およびインターホンを含む)が通じる。(b)制御回路スイッチ(Control Circuit)を閉にすると照射室内でベルが一分間なり、あと一動作で照射が行われることを示す。一分間以内には次の動作をしても線源はでない。(c)線源露出・格納スイッチ(Exposure)によりシャッターが開き、



第7図 安全装置回路略図



第8図 制御盤外観図

ついで自動的に線源が定位位置まで下降する。この間ブザーが鳴る。線源を格納するには、上の順を逆に行う。このように、第8図のグラフィックパネルの順に行えばよい。

仕様

(a) 電源スイッチ

電動駆動部電源三相 200 V および制御用電源単相 100 V の電源スイッチで、制御回路は三相 200 V のうち一相を制御器内に納められた単巻変圧器により 100 V に下げて用いる。電源スイッチを閉にするとインターホンおよび放射線指示器に電源が通じ、電動駆動部は電磁開閉器が動作すれば駆動する状態になる。

(b) 制御回路スイッチ

制御回路の電源スイッチでこのスイッチを閉にすると照射室内のベルが鳴りあと1動作で照射が行われることを示す。

(c) 線源露出格納スイッチ

このスイッチの操作により線源の照射格納を行うもので制御回路スイッチ操作後1分間は線源露出スイッチを操作しても線源の照射はできない機構である。

(d) 標示灯

標示灯は大小2組あり、各組は各々赤、黄、緑の3個で構成されている。大きい標示灯の組は線源位置を示し、小さい標示灯の組はシャッターの位置を示す。緑は格納中またはシャッター閉、赤は露出中、またはシャッター開、黄はその動作途中であることを示す。

(e) タイマー

照射時間指示用のもので、指針は2本あり、そのうち1個が照射時間標示用でほかの1個が残りの照射時間

を指示する。したがって停電時には2個の指針を見れば停電時までの照射した時間がわかる。

タイマーは0～60分、0～24時間の2種類がある。タイマーが作動すると線源は自動的に格納され、回路は制御回路スイッチ操作前にもどる。タイマーを使用しない場合には指針を無限大にする。

(f) シャッターロック指示灯

照射室内に取扱者がいる場合、シャッターロックハンドルにより、シャッターを機械的、電氣的にロックすると点灯し、その状態を指示する。

(g) 手動操作指示灯

線源の手動操作中電動駆動が開始されると危険なので手動ハンドルを操作するため手動ハンドル用カバーを外すと制御回路を開くと同時に点灯する指示灯である。

4.3 照射室の概要

設備の詳細および遮蔽については稿を改めるが、照射器および付帯設備の配置を参考のため第9図に示す。

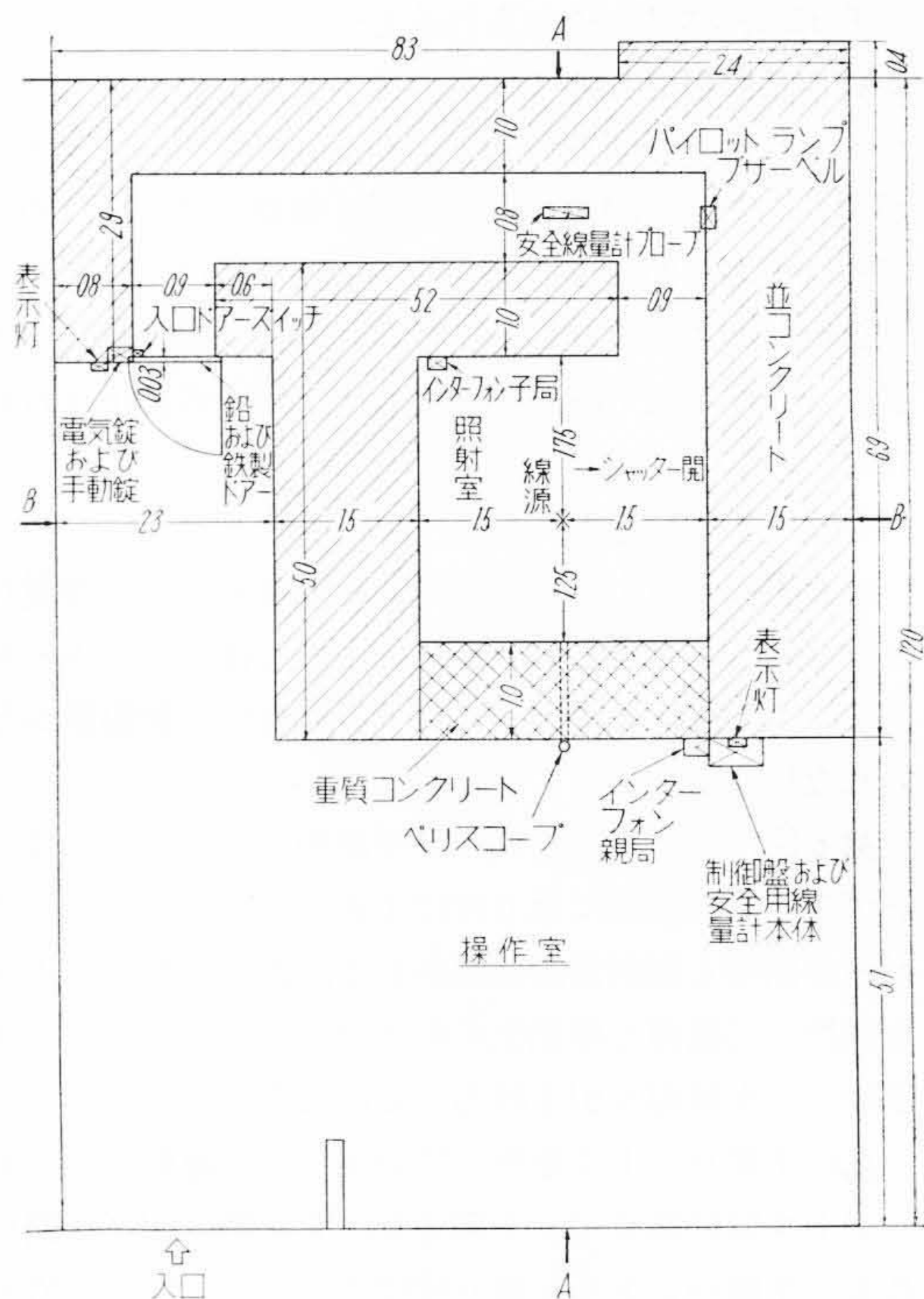
5. 結 言

本学に ^{60}Co による γ 線源、同照射設備および付帯設備を設置するため、昭和32年度文部省機関研究費（原子力関係）より、工学部牧島教授を研究担当者とする『放射線による化学反応の工学的基礎研究』に1,000万円の経費が交付された。

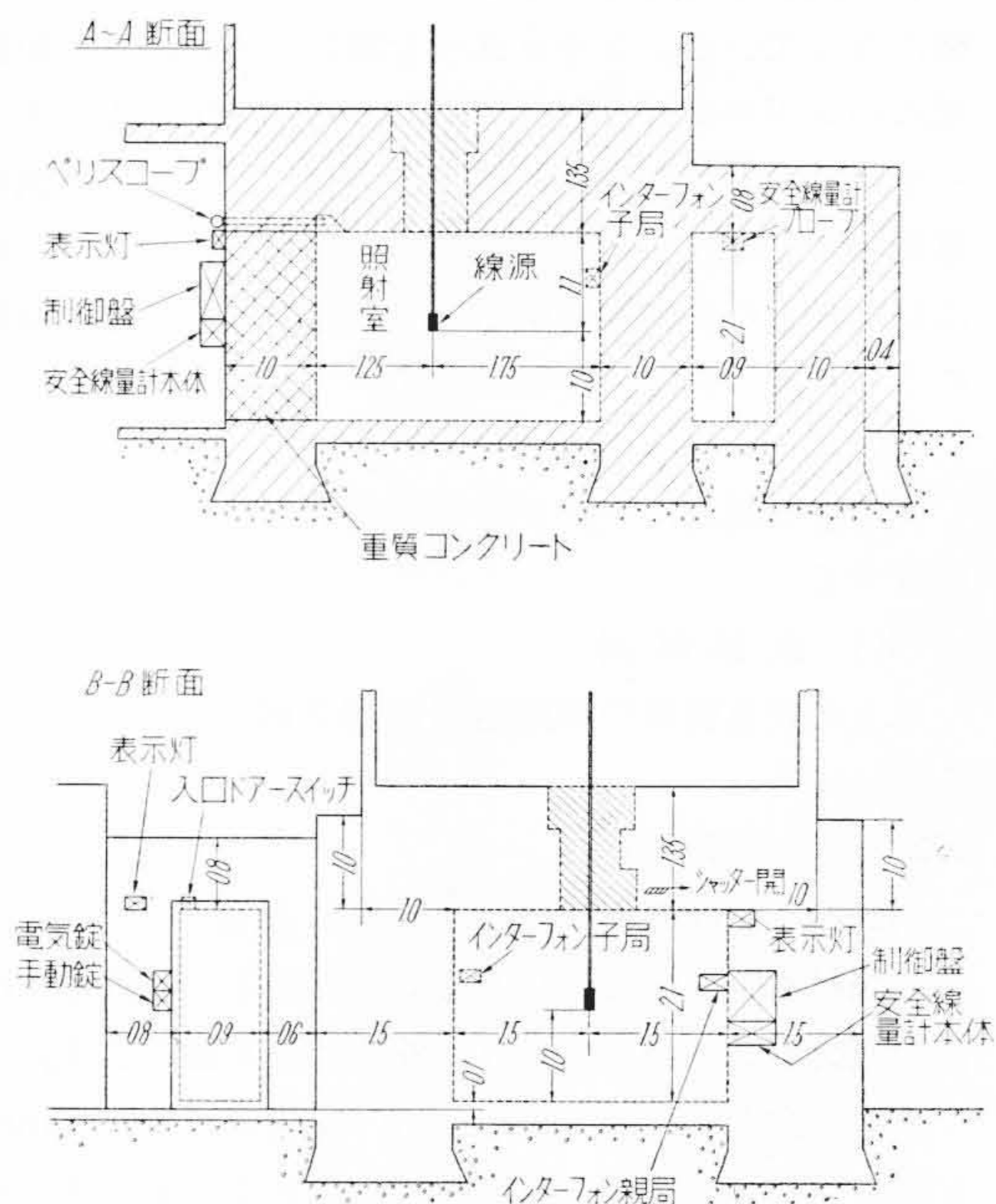
本設備の計画の設計のために、牧島教授を主班とする小委員会を設け、昭和32年5月以来、約30回の会合、あるいは製作者との打合会を開催し、慎重、かつ広範囲に研究、検討を重ねた。照射器およびその付帯設備について、文献などに発表されたもの、および海外留学、視察者の見聞を集収し、その利害損失を検討した（文献^{(1)～(18)}）。

一方、この照射施設は全学的施設であるので、理工学的な研究対象のみならず、生物学、医学、農学的な対象にも有用であるような形式を探求したが、それぞれの要求する線量、線量率および照射室床面積が大幅に異なるので、同一照射室では目的をいずれかに限定せざるを得ないとの結論に達した。

このため、本施設の対象を狭義の放射線化学に限定し、一方広範な化学的操作および測定が可能となるように設計を行うことに決定した。この目的に対しさらに検討をすすめた結果、本文中に記載するような、天井から照射器をつり下げる方式を最適と認め、次に業者選定を慎重協議の上、詳細設計および製作を株式会社日立製作所（営業関係：日製産業株式会社）に依頼することにした。爾来、同社技術者と細部設計につき約10回検討・打合せを行い、10月末に最終的な仕様書を完成するに至っ



第9-a図 照射室平面図 (単位: m)



第9-b図 照射室要部断面

た。この間急速に設計・計算を行い、各部分に関する当方の着想・要求をきわめて巧妙、精細に具体化した同社の優秀な技術者と忍耐強く両者間の調整連絡の任に当っ

た営業関係者に深甚の敬意を表する。

ここに機関研究費を交付された文部省に深謝するとともに、設計に先だってすでに完成され、あるいは計画中の施設を見学許可され、種々御教示いただいた科学研究所、東京工業試験所、農林省蚕糸試験所、東洋紡績株式会社繊維化学研究所(守口)、および名古屋工業技術試験所の関係者に対して深く感謝する。また設計にあたって有益なる御指導を得た科学研究所山崎博士、篠原博士、岡野氏、本機関研究の協同研究者に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) J. F. Black, J. J. Kunc, G. B. Clark. (ESSO): Atomic Forum Report No. 7, (Jan. 1956): 訳, 「原子力資料」, No. 6, 29(1956年7月), 日本原子力産業会議
「ガンマ線の化学反応に対する影響を研究するための放射能研究設備」
- (2) 篠原健一: 放射性高分子学研究懇話会第14回(関東)テキスト, (1957年1月)
- (3) 篠原健一: 出張報告, (1957年8月)
- (4) 井上武一郎: 「アイトープ取扱施設の設計と材料」(1956)日本建設材料協会。
- (5) A. Charlesby and O. Flint: *Atomics*, April, 100-107(1955),
- (6) Anon. *Atomics*, July, 256-259, 261(1956)
- (7) Donald F. Saunders, Frederick F. Morehead, Jr., and Farrington Daniels: *J. A. C. S.* 75, 3096-8(1953)
- (8) E. W. Rylander and R. A. Blomgren: *Nucleonics*, 12 No. 11, 98-100(1954)
- (9) W. S. Eastwood: *Nucleonics*, 13, No. 1, 52-53(1955)
- (10) Milton Burton, J. A. Ghormley, and C. J. Hochanadel: *Nucleonics*, 13, No. 10, 75-77(1955)
- (11) W. W. Meinke, A. H. Emmons, and H. J. Gomberg: *Nucleonics*, 13, No. 11, 76-79(1955)
- (12) R. G. Bauman, *Nucleonics* 15, No. 1, 96-98(1957)
- (13) E. L. Colichman, P. J. Mallon and A. A. Jarrett: *Nucleonics*, 15, No. 4, 115-117(1957)
- (14) J. A. Ghormley, and G. C. Hochanadel: *Rev. Sci. Instr.* 22, No. 7, 473-5(1951)
- (15) Roland A. Blomgren, Edwin J. Hart, and Leon S. Markheim: *Rev. Sci. Instr.* 24, No. 4, 298-303(1953)
- (16) NYO-3307(Yale Univ.)
- (17) A. Doutsch: *Designing a High Gamma Radiation Facility*

付録 1.

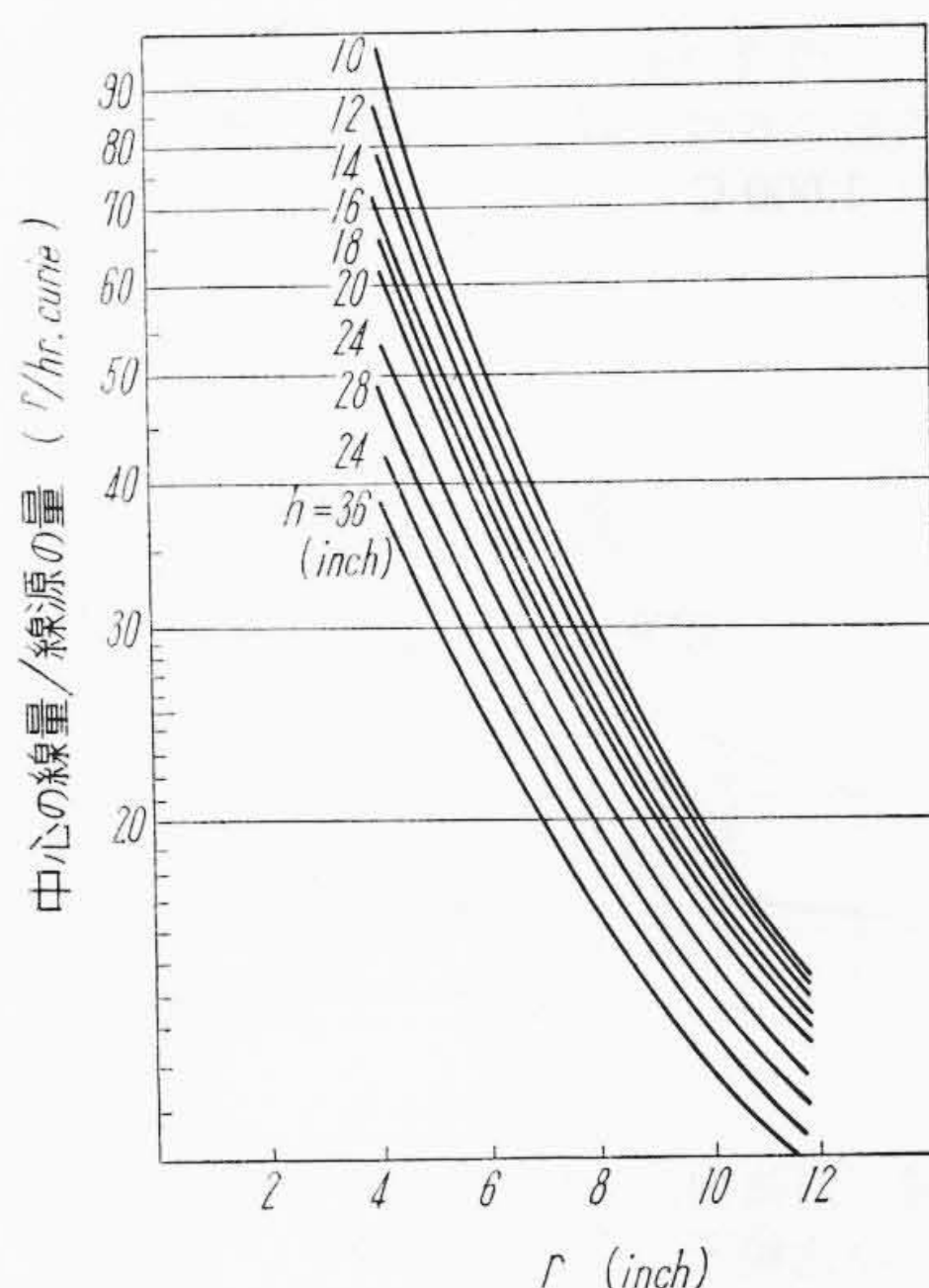
^{60}Co 円筒形線源内部の線量の計算

^{60}Co の線源はしばしば円筒形の籠にして用いられる。この線源によって得られる線量は、円筒の高さ(h)と、半径(r)および線源量の函数として表わされる。この計算は Lewis Nehemias, Harmer および Martin氏⁽¹⁾ ら

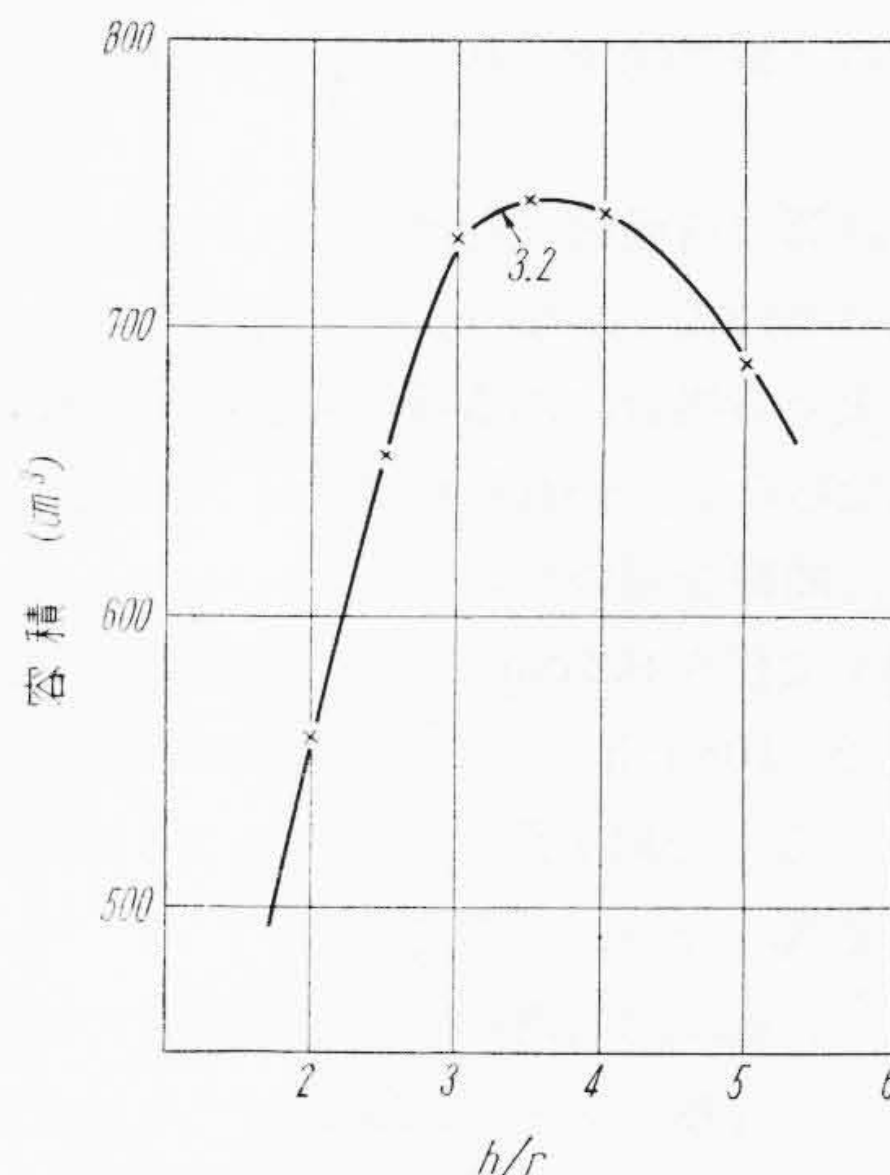
によってなされ、Smith氏⁽²⁾ によって計算の便法が試みられている。われわれはこれらの方法を参考にして ^{60}Co の 1,000 キュリーの場合について内部の線量を計算した。

最初に内部の線量を $5 \times 10^5 \text{ r/h}$ と常に一定とし、半径 r と高さ h の比を変えたとき容積がいかに変化するかを第1図を用いて求めた。その結果を第2図に示す。図からわかるように線量を一定としたとき利用しうる空間には最適な h/r の値が存在することがわかる。 h/r として3~4の領域が利用空間の大きさからみると最適である。

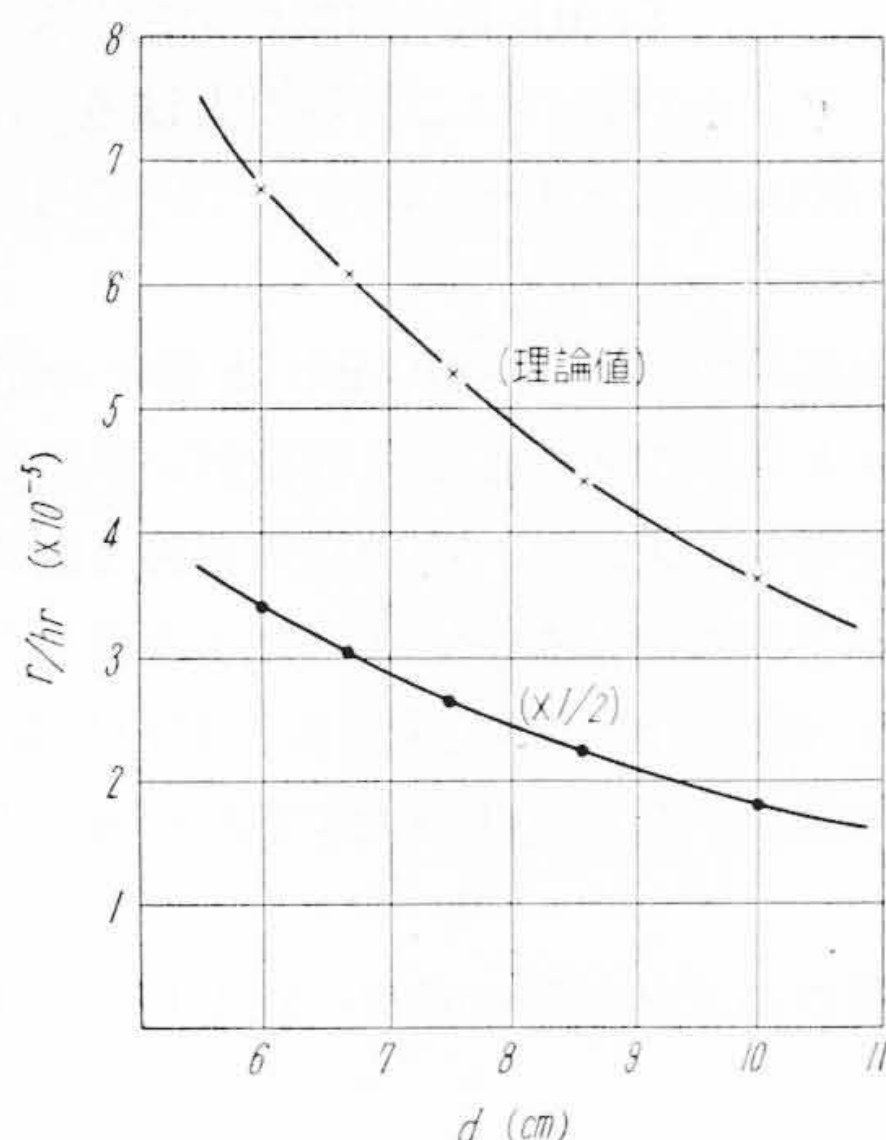
次に円筒の高さ($h=15\text{cm}$)を一定としたとき、径の大



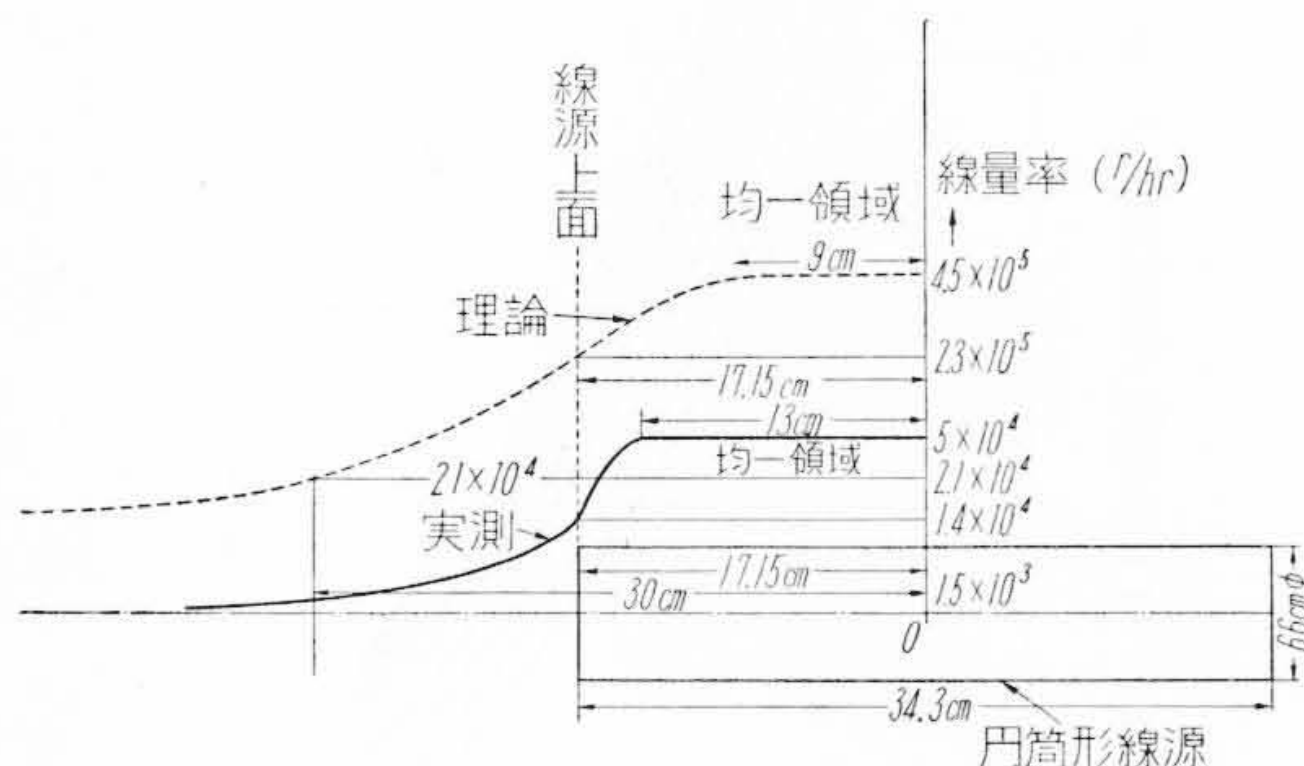
第1図 円柱の半径と内部の線量強度との関係⁽¹⁾



第2図 円筒内の線量を一定($5 \times 10^5 \text{ r/h}$)としたときの h/r と容積との関係(r 円筒の半径, h 高さ)(1,000 C の線源)



第3図 円筒の高さを一定(15 cm)としたときの内部の線量と直径との関係, d : 直径 $=2r$
線源 1,000 C



第4図 円筒内における理論的線量分布と実測値との比較⁽²⁾ (線源 1,000 C)

きさ $d (=2r)$ によって内部の線量がいかに変化するかを計算した結果が第3図である。直径が5cmから10cmまで変化すると線量は 8×10^5 から 3.5×10^5 r/h に減じて変化する。

これらの計算は自己吸収を無視している。経験的に計算値は実際の場合よりかなり大きな値となるので、実際にサイズを決める場合はある種の経験的 factor を考慮しなくてはならない。われわれはサイズ決定には計算値に $1/2$ を乗じた曲線を用いた。

高さ15cmで径を9.2cmと決定したが、第3図から内部の線量は 2×10^5 r/h が得られることがわかる。また $h/r=3.2$ となるので第2図からわかるように、空間利用の点からは最適に近いところである。

次に上記の計算は円筒内部で均一な線量の場合ができるものと考えての計算であるが、Lewis⁽¹⁾らの式を用いて計算を行うと理論的には多少不均一の結果が出る。ところが実測では、場はかなり均一化される。この一例を1,000 キュリーの場合⁽¹⁾ について図示すると第4図の

とおりであり、広い範囲の均一の場が得られることがわかる。このことから、われわれがこれから行う線源も内部ではほぼ均一の場が得られると考えて差しつかえないだろう。

(1) J. G. Lewis, J. V. Nehemias D. E. Harmer, J. J. Martin, Neucleonics 12, 40 (1954)

(2) D. R. Smith, Neucleonics 14, 25 (1956)

付録 2.

^{60}Co 円筒形線源の線量率分布の計算

1. 線源の形および寸法

^{60}Co の線源は3 mm ϕ , 15 cm の長さの Co の棒を M. T. R. で照射して比放射能 3 c/g の放射能を持たせたもので、この棒40本で約 1,000 C になる。

この棒と Al 棒のスペーサを不銹鋼製の二重円筒ケースに交互に入れて籠形の線源に仕上げるのであるが(本文第4図)線量率の大きさと空間利用度を勘案して円筒の径を適当に定める必要がある。

以下は円筒の径をいろいろに変えて、場の強さを計算によって求めた結果である。

この結果を基礎として、検討して今回の籠形線源の直径を 9.2 cm とすることに定めた。

2. 線量率計算の基礎

Lewis氏⁽¹⁾らにならって、籠形線源の内部および外部の線量率を計算した。この計算にあたっては次の仮定を設けた。

(1) 線源は半径 r cm の円筒で、肉厚は持たないとする。

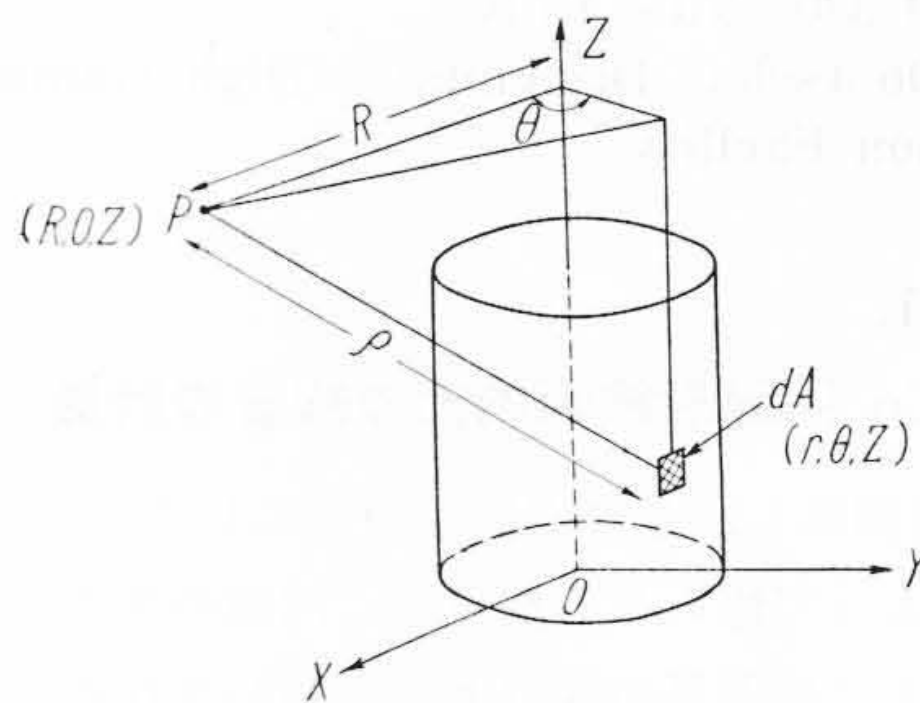
(2) 1,000 C の放射能はこの円筒の側面に一様に分布している。

(3) 自己吸収はないものとする。

第5図において点 $P(R, \theta, Z)$ における線量率のうち、円筒の側面上の素面積 $dA(r, \theta, z)$ からの寄与 dI は

$$dI = \frac{\alpha dA}{\rho^2} \dots \dots \dots (1)$$

である。 α は単位面積の面線源から 1 cm 離れた距離に



第5図

おける線量率である。

円筒線源全体からの寄与は(1)を全側面について積分すればよく、

$$I = 2 \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \int_{Z=0}^{Z=L} \frac{\alpha r d\theta dZ}{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \theta + (Z_1 - Z)^2}$$

$$= \frac{2\alpha\pi r}{R+r} \left[F\left(\tan^{-1} \frac{Z_1}{|r-R|}, k\right) - F\left(\tan^{-1} \frac{Z_1-L}{|r-R|}, k\right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

となる。

$F(\varphi, k)$: 第一楕円積分

k : $2\sqrt{Rr}/(R+r)$

$Z_1 \geq 0, R \geq 0, R \neq r$

$$\tan^{-1} \frac{Z_1-L}{|r-R|} < \frac{\pi}{2}$$

$$0 \leq \tan^{-1} \frac{Z_1}{|r-R|} < \frac{\pi}{2}$$

である。

3. 計算の結果

(2) 式の計算に必要な数値は次のとおりである。

$$L = 15\text{cm}$$

$$\alpha = \left(\frac{1,000}{15 \times 2\pi r} \text{ C/cm}^2 \right)$$

$$\times (1.4 \times 10^4 \text{ r/h C})$$

$$2\pi\alpha r = \frac{1.4 \times 10^7}{15} = 9.34 \times 10^5$$

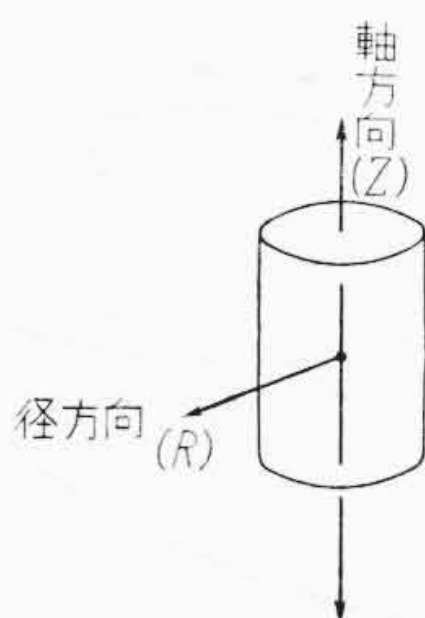
円筒の半径 r を定めて R, Z を変えることにより、その半径のときの場の強さの分布がわかる。

計算を簡単にするため、第6図のように、 R, Z の変化は軸上および中心を通る径方向に限った。

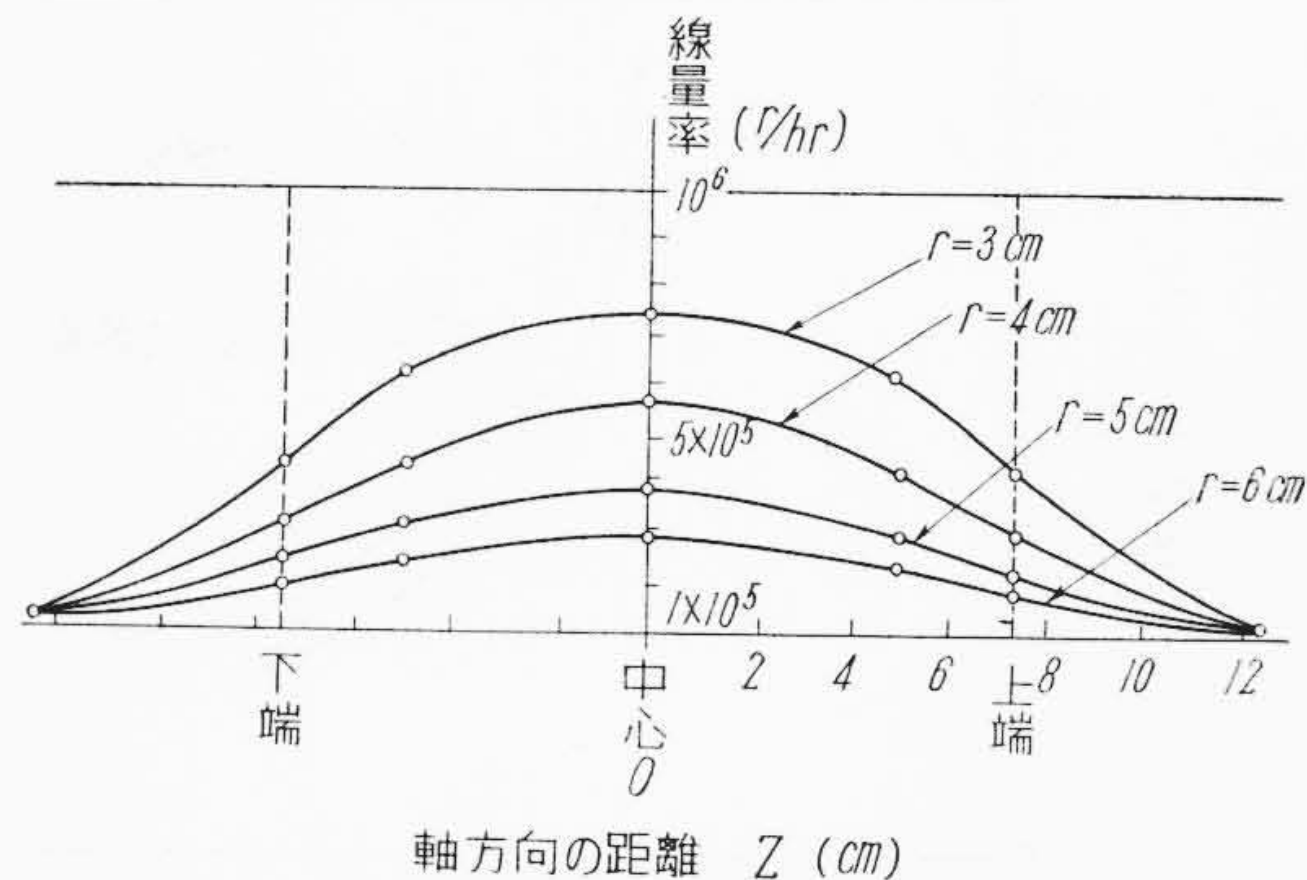
その結果は次のとおりである。

(1) 軸方向の線量率分布

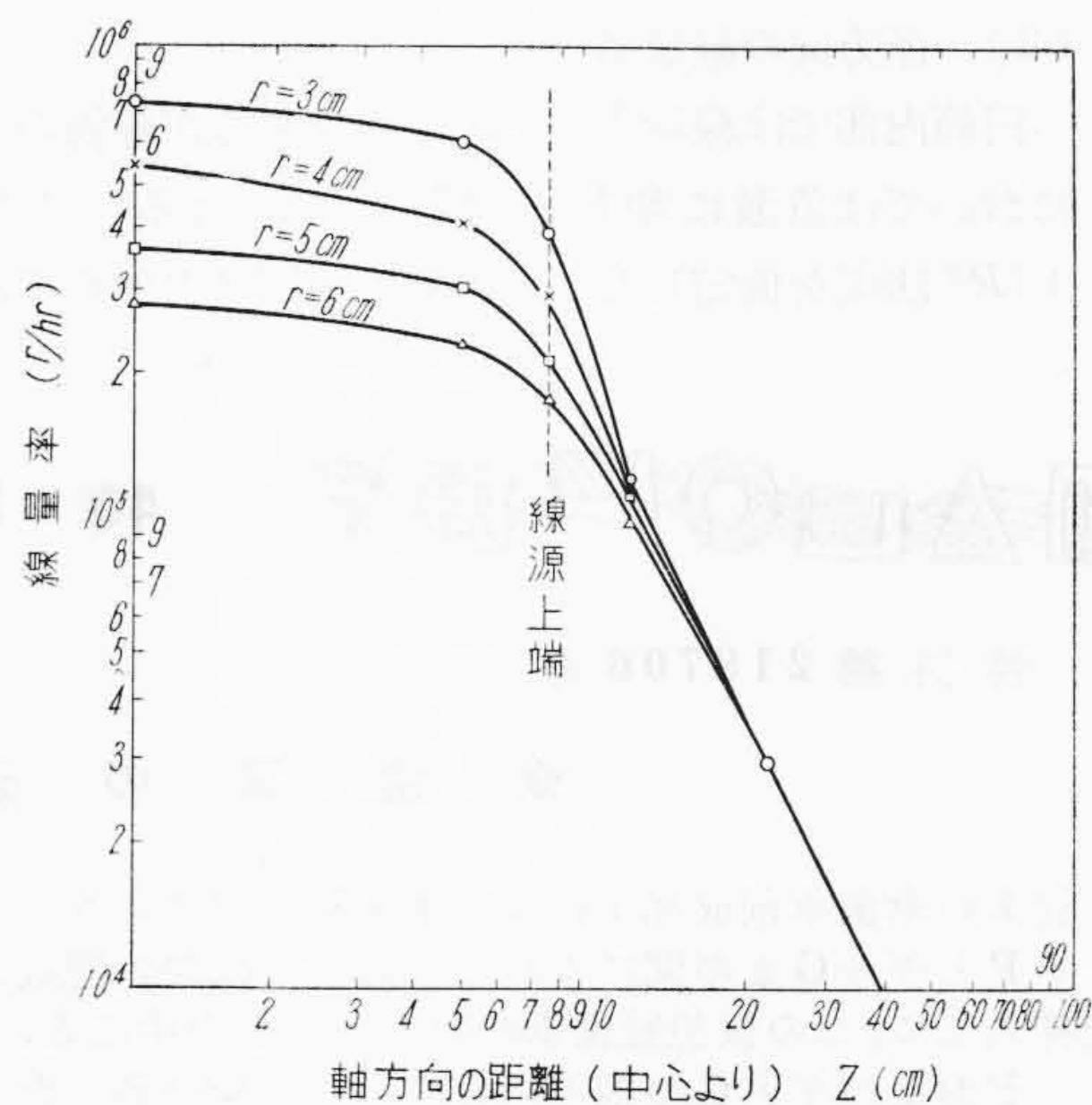
円筒内部では線量率はほぼ均一であるが、上端または下端より外部では $\frac{1}{R^2}$ に従って急激に減少する。



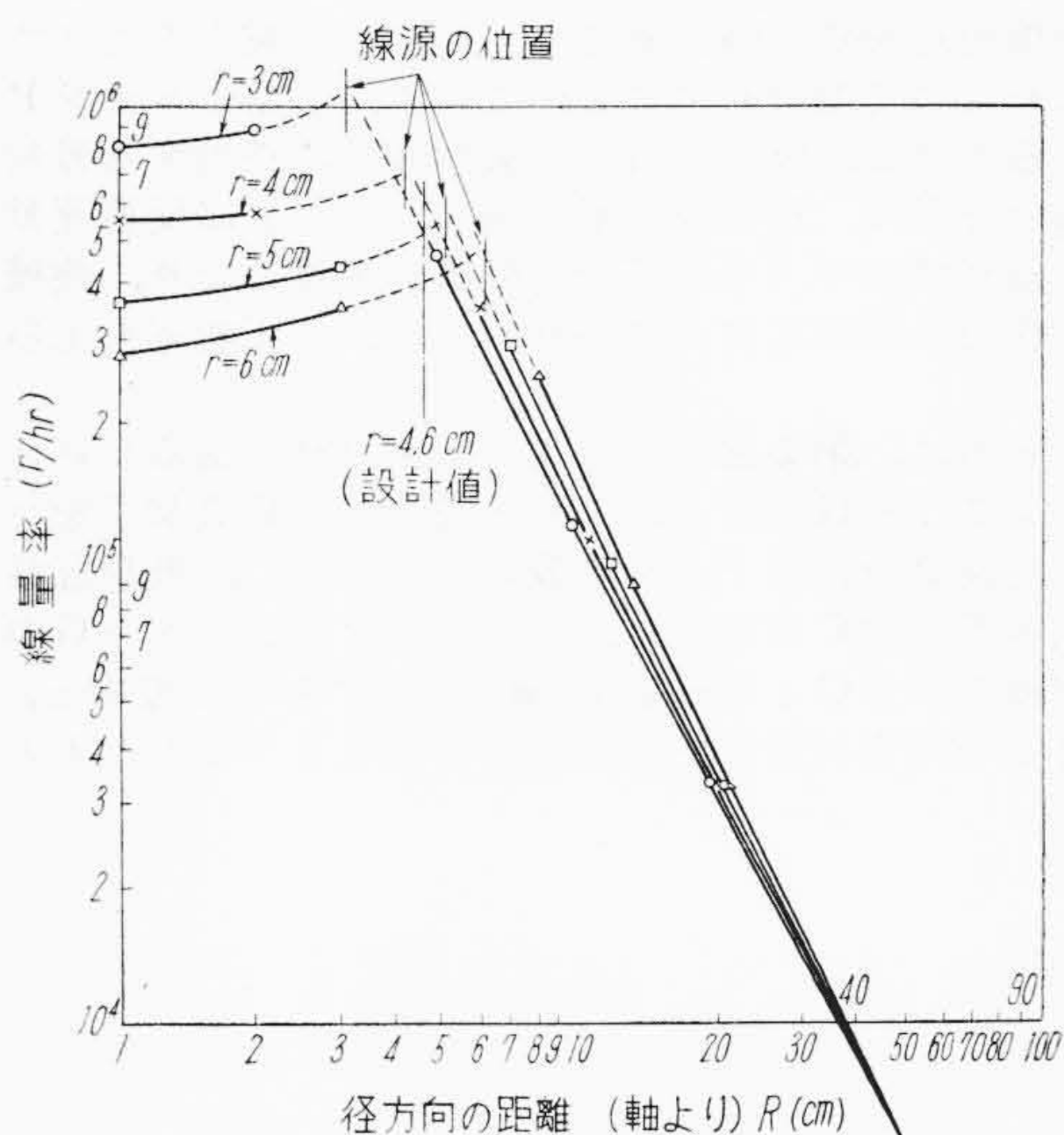
第6図



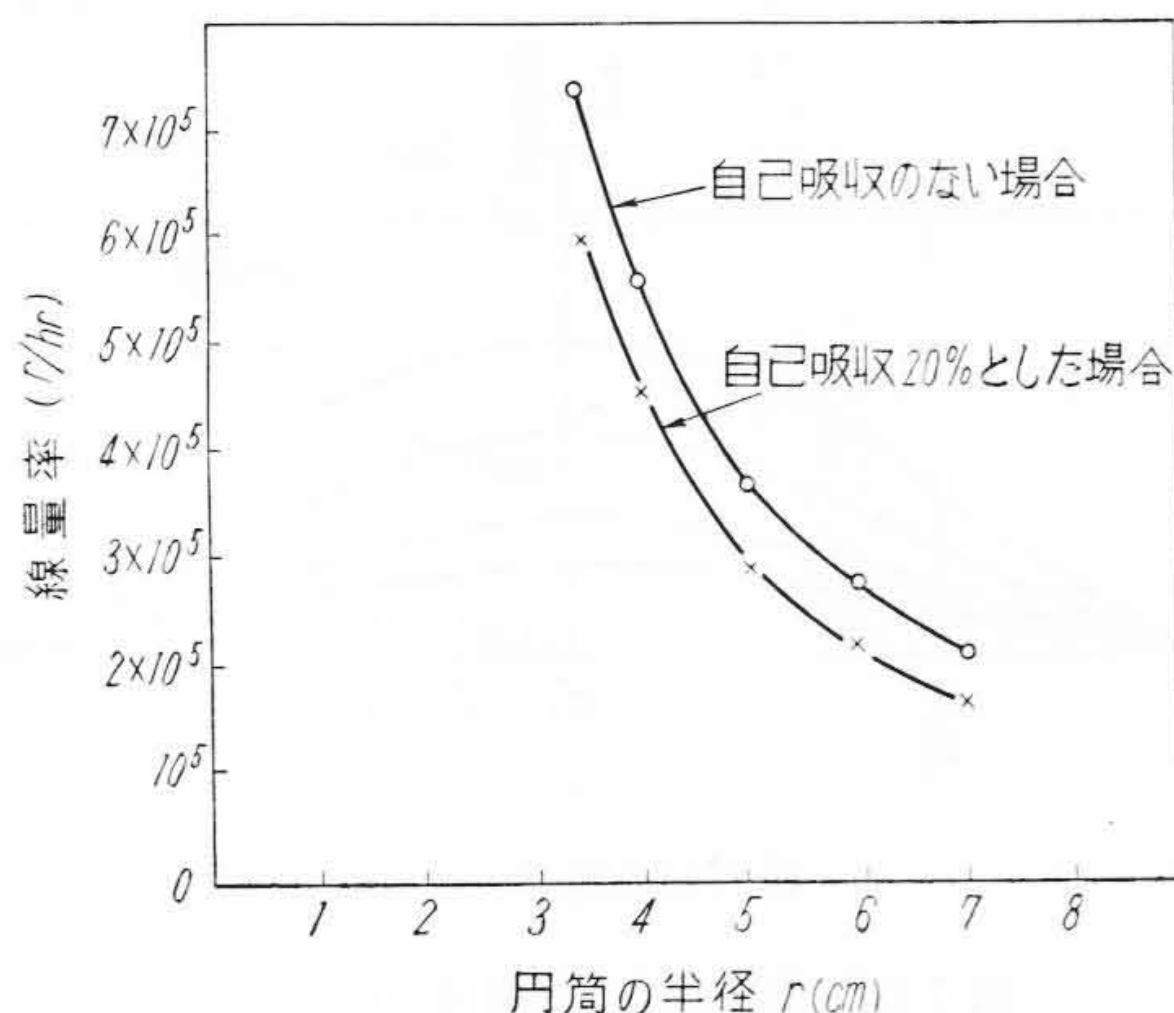
第7図 軸方向の線量率の分布(1)



第8図 軸方向の線量率の分布(2)



第9図 径方向の線量率の分布



第10図 中心における線量率

(2) 径方向の線量率分布

円筒内部では線量率はほぼ一様であるが線源の位置においては急激に増加し無限大になる。これは $1/R^2$ 法則を仮定したことに基づく。円筒の外部ではほ

ぼ $1/R^2$ に従って減少する。

(3) 円筒中心部における線量率

第10図に円筒中心 ($R=0, Z=0$) における線量率が半径 r の大小によっていかに変るかを示したものである。

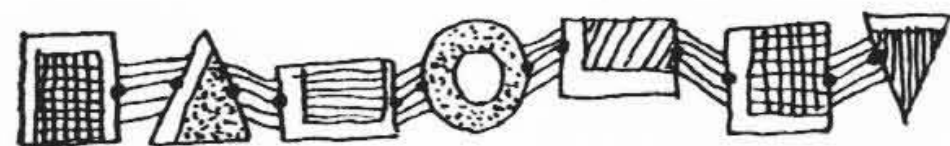
4. 円筒半径の決定

円筒の外部では線量率は径の大小によらず同じ程度と考えてよいから、径の大小によって外部の線量率を高める試みはあまり意味がない。

円筒の内部では半径を小さくすれば線量率は増加する。しかし、試料の取扱いが困難となり、また、空間利用率も悪くなる。

円筒の内部の線量率としては自己吸収20%を見込んで 10^5 r/h, 以上であることを必要条件として、検討を加え、円筒の半径を 4.6 cm と定めた。

今回の円筒形線源はプロテクタを取り付けるので有効なうちの半径は 3.9 cm となる。



特許の紹介



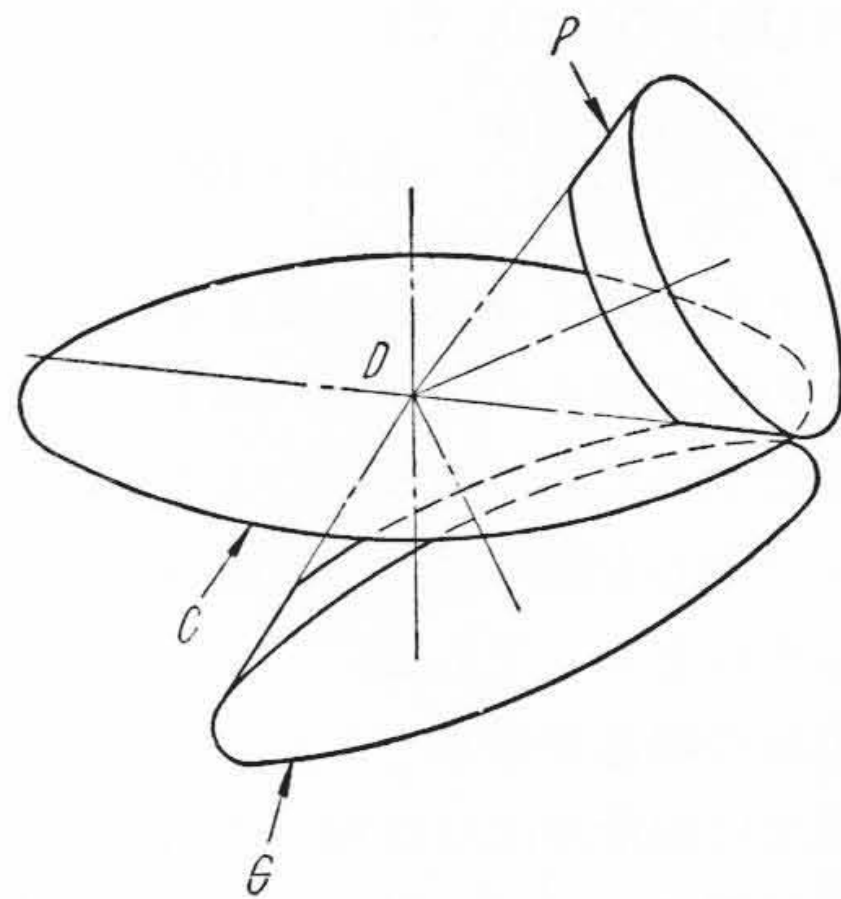
特許第218706号

山田金雄・明山正元

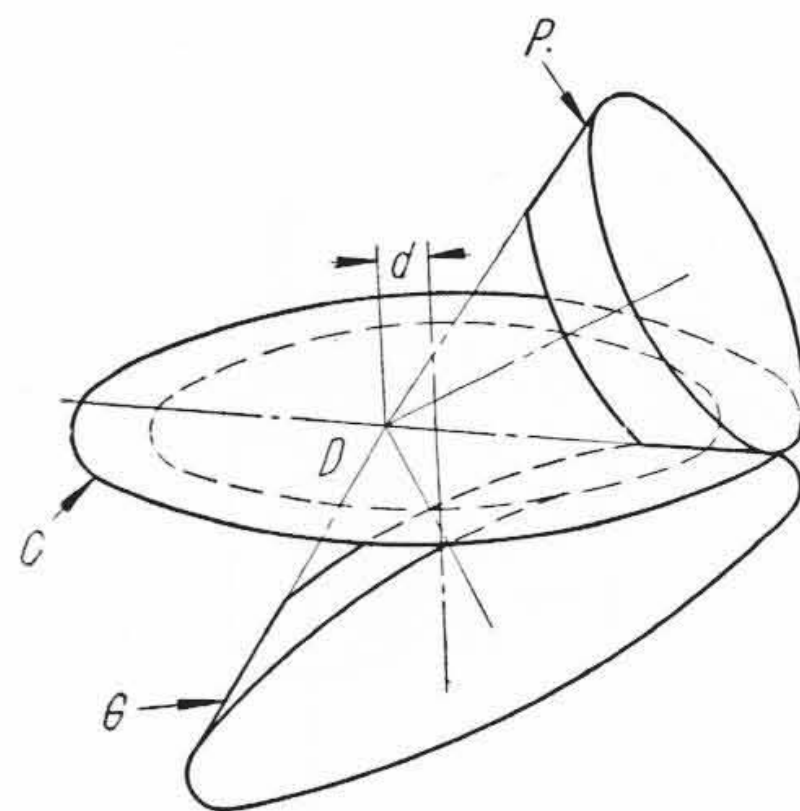
傘歯車の連続創成加工法

従来の傘歯車創成加工法は、第1図に示すようにピニオンPとギヤGとの間にきわめて薄い1枚の仮想冠歯車を挿入して、この仮想冠歯車の刻み円錐面の中心と、ピニオンPおよびギヤGの刻み円錐の頂点とを一致した状態におき、これらの面は、相互にすべることなく転ることを基本にしている。上記ピニオンPおよびギヤGの歯数 N_P, N_G は整数になるが、仮想冠歯車の歯数 N_C は整数にならない。そのためピニオンPおよびギヤGをこの仮想冠歯車に噛み合せても、局部的に噛み合うだけで全周にわたって噛み合すことができず、上記ピニオンPである歯車材と、仮想冠歯車の歯形曲面に相当する双物との噛み合運動は、1歯の歯形を創成するごとに反復運動を繰り返すので、その部分の機構が複雑となり、機械の精度保持が困難になるばかりでなく、加工能率も上らない。

本発明は、第2図に示すように歯車材であるピニオンPおよびギヤGに対し、これと噛み合せて創成加工を行う仮想冠歯車の歯数 N_C を整数になるように、仮想冠歯車の刻み円錐面Cの頂点と、ピニオンPおよびギヤGの刻み円錐の頂点Oとを一定量 (d) だけずらして双物と、歯車材との両者に連続回転運動を与えるようにしたものである。



第1図



第2図