

アイソトープによる木材の内部検査 (第 I 報)

木材を透過した Cs^{137} ・ Ir^{192} および Sr^{90} の γ 線 ならびに β 励起 X 線のエネルギー分布

古 谷 剛⁽¹⁾

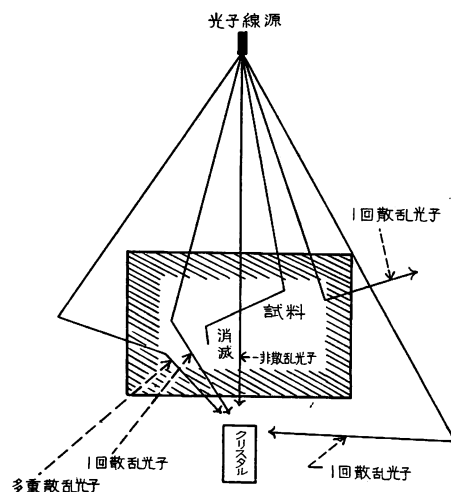
アイソトープの平和利用の一端として、計測制御およびラジオグラフィーへの応用技術は広範囲にわたって研究され、実用化されている。種々の金属製品および溶接継目等の内部検査に、アイソトープが用いられているが、良好な結果を期待するためには、対象物の形、大きさおよび種類により、アイソトープを選択することが重要である。

木材のような軽い有機物質の内部検査に、アイソトープを利用するということは、物質による吸収が少ないために、相当厚い物体でも検査できると考えられるが、検出する欠陥の寸法は、それだけ大きくならざるを得ないし、また厚い組織内での多量の散乱線が、欠陥検出能率に強く影響を与えることは否定できない。大径木の丸太材または林木の場合、放射線透過層が厚いので、吸収係数の少ない物質であるとはいえ、相当強いエネルギーを持つ放射線を必要とし、これは半価層の増大、および物質内散乱の多いことで、好ましいことではない。本研究は径 30 cm ないし 60 cm 程度の木材の内部検査に使用できるアイソトープの選定および検査に必要な条件を見いだすために行なつた。 γ 線源として、 Cs^{137} および Ir^{192} を使用した。これは対象とする木材試料の厚さを 60 cm にとつたために、相当強いエネルギーの γ 線が必要であり、購入の容易さ、および半減期を考慮に入れたからである。それよりも弱い放射線源として、 Sr^{90} を使用して比較した。 Sr^{90} は強い β 線源で、制動放射により、相当量 (約 10%) の X 線を発生することができる。

上記 3 種の線源を使用して、これらの放射線が木材試料を透過した場合の放射線エネルギー分布を測定し、木材内部で起こる放射線の散乱の度合を検討した。木材を検査する場合に、電気計測器を使用する走査法と、ラジオグラフィーによる場合とでは、検討すべきことが異なると考えられるので、別々に検討を加えた。

序 言

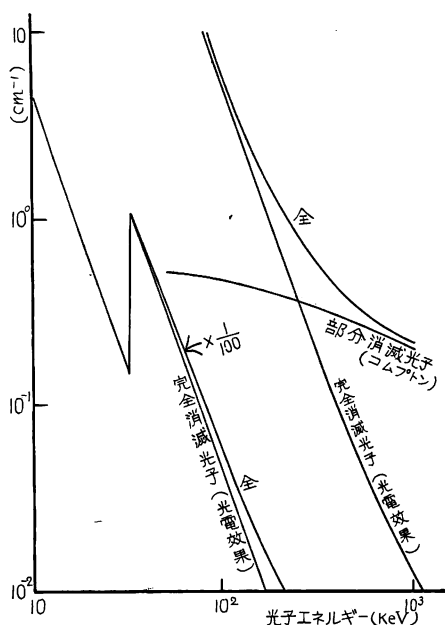
アイソトープから放射される放射線が、対象物質を透過する場合に、どのようなことが起こるかを第



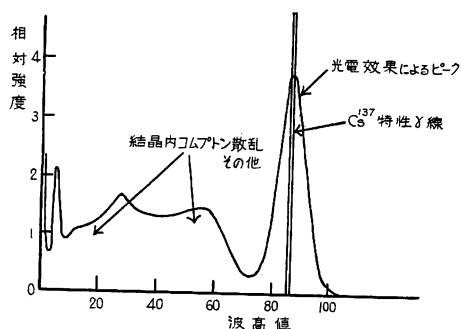
第 1 図 試料中における光子の透過散乱を示す模型図

(1) 林産化学部木材化学科材質第一研究室員

1図に示す。すなわち、物質となんら接触することなく物質を通過して外に出てくる放射線、物質と1回ないし多数回衝突して、そのつどエネルギーを失い、初めのエネルギーより低いエネルギーを持つて、物質外に出てくる放射線、および1回ないし多数回の衝突により物質内ですべてのエネルギーを失つて消滅してしまう放射線とを考えることができる。この内部で衝突した放射線は、エネルギーを失うと同時に、方向を変えて出てくるので、方向性およびエネルギー選択性を持たないフィルム、または電気的検出器で、これを検出する場合には、これらの検出器は、種々の方向から入射する、すべての放射線に感ずることになる。しかるに、内部検査に必要なのは、物質と衝突することなく物質中を通過した放射線である。後で述べるように、物質内部で衝突して物質外部に放出される放射線（散乱線）はきわめて多いので、実際には、内部検査を阻害するこれらの散乱線を減少させるなんらかの処置が必要となる。その対策を考えるためには、放射線が物質内部でどのように変化して出てくるかを知ることが必要である。本研究を行なった理由はここにある。



第2図 NaI (Tl) の断面積 (反応確率)

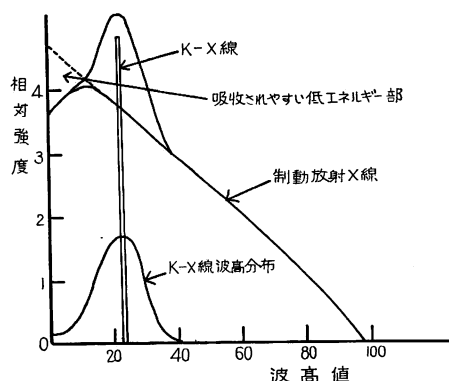


第3図 特性γ線の波高分布 (模型)

測定器として、シンチレーション波高分析器を選んだ。波高分析器は、放射線のエネルギーとその量を測定することができるので、上記の非散乱透過放射線と、散乱線とをある程度分離することが可能である。実際には、線源の放射する放射線も単一のエネルギーを持つもののみとは考えられないので、厳密な分離は不可能である。

シンチレーション波高分析器で測定された波高分布は、実際に検出された放射線のエネルギー分布とは、相当に異なつたものであるということも、分布の解析には重要なことである。この関係を模型的に示したものが、第2, 3, 4図である。

第一に考えられることは、検出器に使用されるNaI (Tl) クリスタルの検出効率である。すなわち、この結晶中においても、木材中と同じように、結晶



第4図 β 励起X線の波高分布 (模型)

物質と衝突せずに通過する放射線、その他が考えられる。検出されたエネルギーは、放射線が結晶内で失われたエネルギーの総量に相当するということである。それゆえに、一部エネルギーを失って結晶外に逸脱した放射線は、その失っただけのエネルギーを持つ放射線として検出されることになり、結晶内部ですべてのエネルギーを、失って消滅した放射線のみが、正しいエネルギーを測定されることになる。

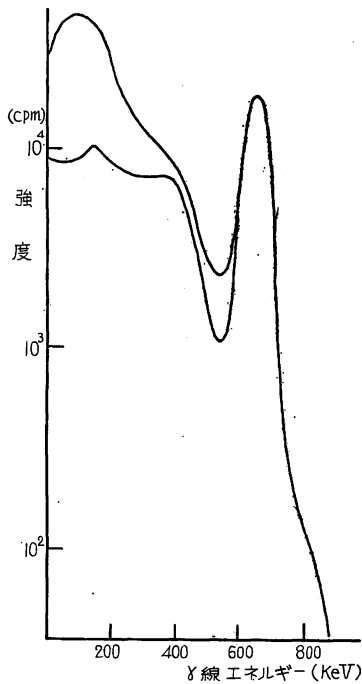
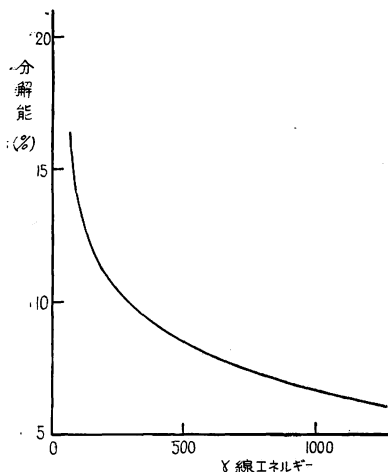
Cs^{137} の放射する単色 γ 線の波高分布は第3図中の曲線部分のように検出される。すなわち、完全消滅光子（光電効果）によるピークと、部分消滅光子（コムpton散乱）による不規則な波高範囲の広い分布とが観察される。また Sr^{90} の放射する β 線と高原子番号物質とから生成する、 β 励起 X 線のエネルギー分布は、単色 K-X 線と、エネルギー増加にともなって連続的に減少する制動放射 X 線とからなるが、測定される波高分布は、第4図に示されるように、山型の K-X 線の分布と、低エネルギー部分の吸収された制動放射 X 線の分布との重なった分布として観測される。第3図、第4図のごとく、測定される分布と実際の分布とは著しく異なることを了解して研究を行なう必要がある。

シンチレーション波高分析器を使用して、放射線エネルギー分布を解析する場合には¹⁾、クリスタルシンチレータ（以下クリスタルと呼ぶ）の内部で起こる、コムpton散乱、および光電効果は区別できない。クリスタルに入射した放射線のエネルギーが、コムpton散乱により、クリスタル外に飛びだして、エネルギー全部がクリスタルによつて吸収されない時には、その時に測定されるエネルギーの値は、すでにクリスタル外でエネルギーを一部失った散乱放射線が、クリスタル内で光電効果によつて、エネルギー全部を失った場合と区別ができない。放射線エネルギー分布は、放射線が線源、試料、クリスタル、および周囲の構造物の中で起こるコムpton1回散乱と、これらの周囲の物体内で起こるコムpton多重散乱の部分を含んでいる。ラジオグラフィーを利用して、放射線による透過検査を行なう場合には、試料内で起こる非散乱透過放射線の量と、コムpton散乱線の量の割合は、検出率と密接な関係を持つている。

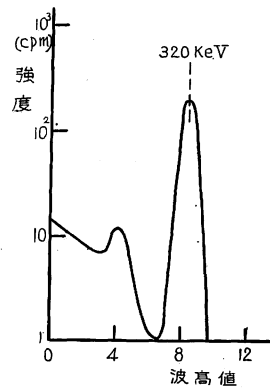
第2図は、シンチレーションクリスタルが各エネルギーを持つ放射線を吸収する割合を示したもので、クリスタル内では、約 200 KeV 以下のエネルギーを持つ放射線は、大部分光電効果により吸収されることを示している。また光電効果の起こる割合は、エネルギーの増加により急速に減少するが、コムpton効果はゆるやかに減少している。本実験で使用した Cs^{137} と Ir^{192} の γ 線の場合は、どちらも 600 KeV 以上の線を放射しているので、コムpton散乱光子の量は、光電効果の量に比較して、相当に多いことが予想される。

クリスタルの寸法および形状により、放射線エネルギーに対する吸収率は変わるのであるが、一定の寸法のクリスタルでは、一定エネルギーの放射線の波高分析器応答分布曲線は一定した形を持つている。この一定のエネルギーを持つた放射線の波高分布を実験的に求める場合には、放射線源をクリスタルに近づけて周囲構造物からの散乱放射線の量を、線源から直接クリスタルにはいる放射線の量に比較して極度に少なくすることによつて近似的に求めることができる。この分布を、散乱線を含まない場合の波高分布として用いた。この分布曲線を用いることにより、種々の実験条件で得られた放射線エネルギー分布中の、非散乱放射線の量を近似的に求むることができる。同時に、すべてのクリスタル外散乱放射線の量の総和を求むることができる。

第5図は、上記非散乱放射線分布と、クリスタル外散乱放射線分布との関係を、 Cs^{137} の γ 線を用いて示した。すなわち、2本の分布曲線に囲まれた部分は、クリスタル外コムpton散乱線の量を近似的に示

第5図 Cs^{137} γ 線のエネルギー分布

第7図 シンチレーション波高分析器の分解能

第6図 Cr^{51} γ 線スペクトル

している。一方、非散乱放射線エネルギー分布を積分した値は、660 KeV の Cs^{137} 特性 γ 線の量として考えることができる。

第6図に比較的低エネルギーの γ 線を放射する、 Cr^{51} の γ 線エネルギー分布を示した。 Cr^{51} は約 320 KeV の γ 線を放射するが、約 200 KeV 付近以下の領域に相当量のクリスタル内コムプトン散乱線の部分が現われている。

第5図または第6図を見ても明らかなように、光電効果によるエネルギー分布の部分は、幅のある分布をしている。これはクリスタルの特性で、この分布のために、非常に近接したエネルギーを持つ2つの放射線の光電効果による分布を分離することはできない。このために、測定される波高分布はすべて、なだらかな傾斜を持つ曲線となる。第7図は、典型的な NaI (TI) クリスタルを用いた場合のシンチレーション波高分析器のエネルギー分解能を示したものである。81 KeV の場合、16.19% という値から、1277 KeV の 6.07% の間の範囲に連続的に変化しているが、この図中、 Cs^{137} γ 線の 661 KeV に対して 7.7% という値は、非常に優秀なもので、本実験に用いられた、 NaI (TI) クリスタルの場合には、約 10% であつた。

いま、クリスタルと試料との間に、鉛の小円柱を置いて、線源からの透過非散乱放射線を吸収させた場合には、エネルギー分布は、散乱放射線の場合に近い分布を示すはずである。散乱線エネルギー分布はこのようにして求めた。

W. B. PARRISH は、アイソトープを用いて丸太または林木中の諸欠陥を検査するための基礎的研究を

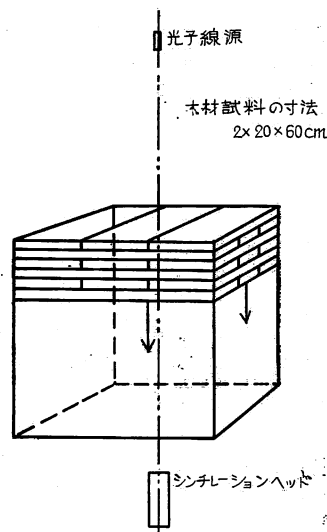
行なつた²⁾。かれは、アイソトープとして、 Sn^{113} 、 Sm^{145} 、 Se^{144} を使用して、木材を透過した γ 線の強度を測定した。かれは、シンチレーション・カウンタを使用して、走査法による方法を目的としているように思える。波高選別器を持つ測定器を用いた場合には、大部分の散乱線は選別器により消去され、木材内部欠陥検出能率は非常に向上することができよう。飯塚氏は、 Co^{60} の γ 線を使用して、材木の腐朽の状況を判断する方法について研究を行なつた³⁾。かれは、ガイガー測定器を使用した。 Co^{60} のエネルギーは相当高いものであるが、将来性あるものとして結論している。B. J. J. McHUGH と H. E. BOOTH も、木材中の欠陥検査に γ 線を利用する方法について研究し、種々の検査方法について検討を加えている⁴⁾。

本研究に示されるグラフは、ほとんどすべて対数値により表示した。これは、計数値が測定エネルギー範囲内で非常に差があることと、分布の変化が一見して明らかにわかるためである。

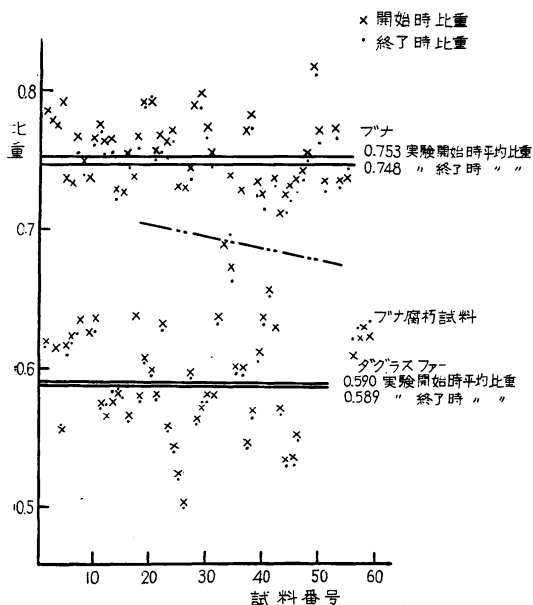
実験装置

放射線のエネルギー分布測定には、主として、シングルチャネル・シンチレーション波高分析器を使用した。コリメーターの散乱線減少効果に関する測定を行なつた時には、RCL 製の 256 チャネル波高分析器を使用した。放射線検出のためのクリスタル・シンチレーターは、ハーショークミカルの直径 1 in、長さ 1 in. の NaI (TI) クリスタルである。光電増倍管は、デumont 6292 型であり、クリスタルおよび光電管の遮光には、黒色ビニールテープを使用した。散乱線を含まない場合の線源からの放射線の波高分布測定には、マイクロキューリーオーダーの Cs^{137} 、および Ir^{192} を使用した。これらの小型線源は、ともにプラスチックの容器にはいつた小型のものである。これを直接、クリスタルヘッドに接触させて測定を行なつた。この場合、容器による γ 線の散乱の度合はきわめて少量である。また、木材試料による放射線の散乱減衰の測定には、 γ 線源として、ステンレス・カプセルに封入された約 10 mc の Cs^{137} および Ir^{192} 、および β 線源としてマグネシウム容器内に密封された、約 10 mc の Sr^{90} を使用した。放射線のエネルギー較正には、上記の小型 Cs^{137} 線源から発する 660 KeV の γ 線の波高値、および Sr^{90} から発する β 線を鉛をターゲットとして用いた場合に放射される、75 KeV の X 線の波高値を使用した。 Sr^{90} を用いた場合、鉛箔を透過した β 線は約 2 mm のルーサイト板を用いて除去した。 Sr^{90} とともに、X 線発生用に用いられたターゲットは、厚さ 0.0875 mm の鉛箔を 3 枚重ねて線源に密着させた。

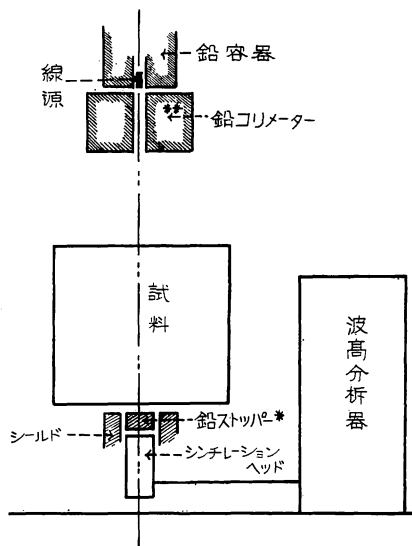
木材試料は、厚さ 2 cm、幅 20 cm、軸方向 60 cm のブナの板 60 枚、およびダグラスファーの板 40 枚を用いた。この板を 3 枚ならべて $60 \times 60 \text{ cm}^2$ の形として、これを単位として、これを積み重ねることによつて種々の厚さの試料とした。第 8 図は木材試料積み重ね方を示したものである。木材試料は、約 1 カ月間、温湿度調節された部屋に放置し、ほぼ一定の含水率のもとで使用した。第 9 図は、木材試料の容積重のグラフで、実験中ほとんど水分の変化のないことを示している。各試料間の比重の変化も、この実験目的には同一と考えて差しつかえな



第 8 図 木材試料の配置



第9図 木材試料の容積重



* 鉛円柱は散乱線エネルギー分布測定用

** 鉛コリメーターはコリメーター実験に使用

第10図 装置配置図

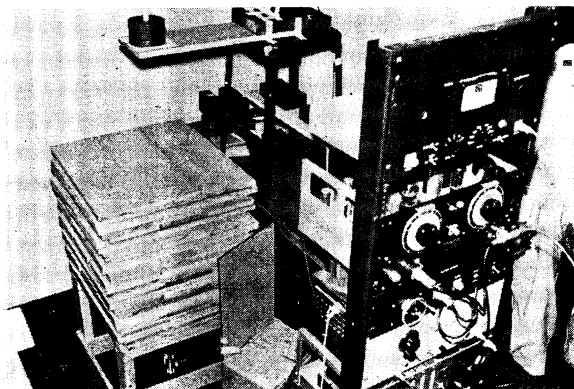


写真1. 実験配置図 (I)

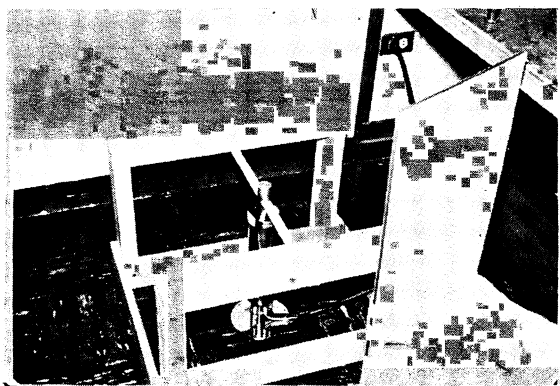


写真2. 実験配置図 (II)

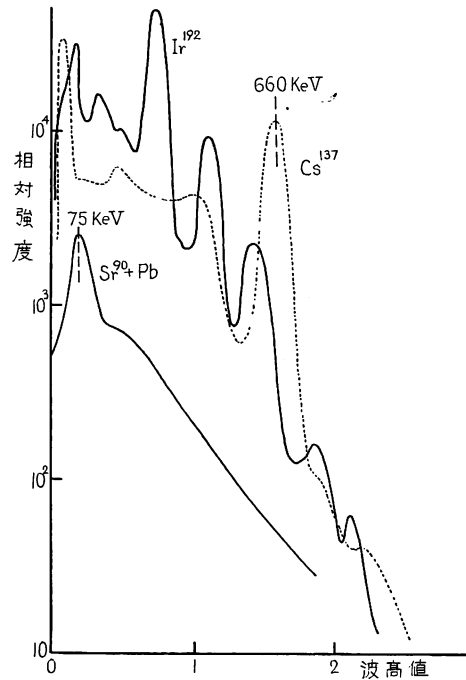
いとえられる。第10図および示された2葉の写真は、実験装置の配置を示したもので、線源とクリスタルとの間の距離は、120 cm とした。クリスタルの片方の側面には、約1 m の所にコンクリートの壁があり、天井の高さは、約3 m 30 cm 程度である。10 mc の γ 線源を使用した場合には、健康管理上、線源を鉛製の円筒中に入れ、側方に放射される γ 線を防いだ。その結果、線源直下から約1 m 以遠は、許容線量 (6.25 m γ /h) 以内にとどめることができた。

測定値はすべて計数器を使用し、高エネルギー部分を除いて、すべて1分間の計測値を用いた。高エネルギー部分の場合には、毎分 1,000 カウントの場合、1,000 カウント以上の計数をうるまで時間を延長し、これを毎分の計数値に換算した。測定値は、毎分数カウントから毎分数万カウントに達する。

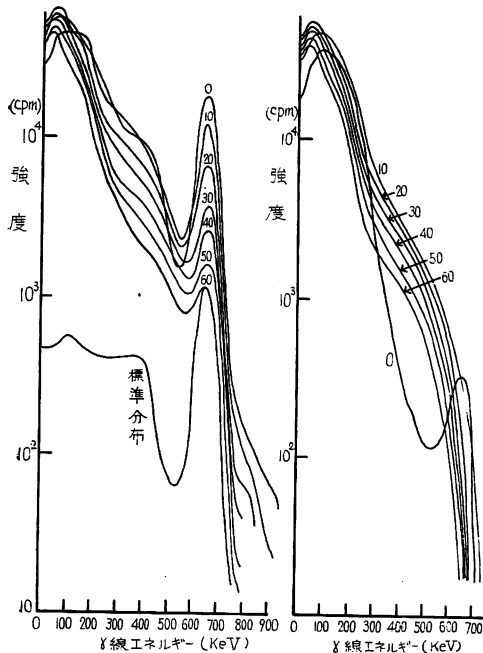
実験および考察

線源から放射される線束中から、できるだけ散乱線を除去し、コリメーター使用による効果を区別するという目的で、線源にはコリメーターを用いなかつた。当初は、健康管理上用いた線源収納の鉛円筒も、使用したくなかつたが、健康上の理由からやむなく使用した。特殊コリメーターの木材の内部検査の検出能率に対する効果に関しては、別に測定を行なつた。実験中、実験室の壁および床からの散乱線は、相当の量に上るが、この量を測定する方法は簡単ではない。なんとすれば、試料の厚さを増すごとに、散乱線の量が変化するからである。第 11 図は、使用した 3 種の線源から放射する放射線の非散乱波高分布（標準分布）を示す。

第 12, 13 および 14 図は、第 10 図に示す実験配置によつて、 Cs^{137} 、 Ir^{192} および $\text{Sr}^{90}+\text{Pb}$ の線源を用い、試料の厚さを変えて測定した場合の透過放



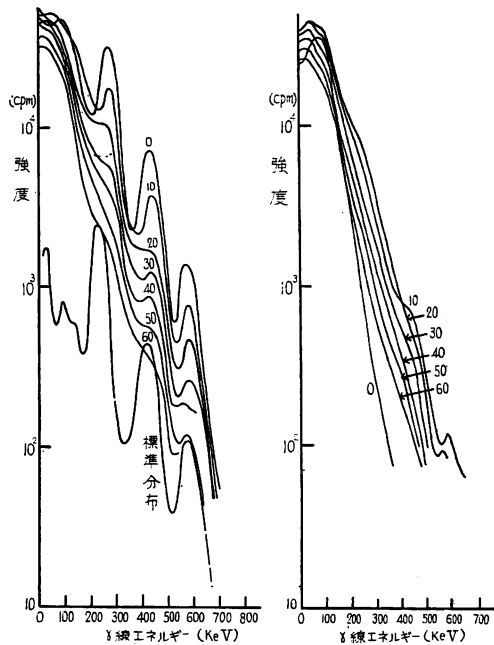
第 11 図 各線源の標準分布



第 12 図

Cs^{137} γ 線エネルギー
— 分布
グラフ中の数字は
試料の厚さ cm

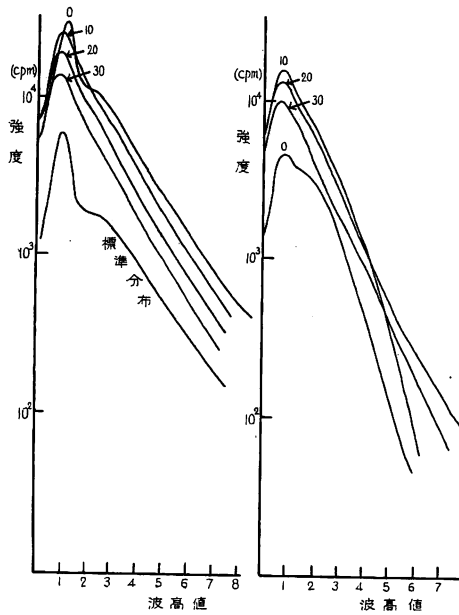
Cs^{137} γ 線エネルギー
— 分布 (散乱線)
グラフ中の数字は
試料の厚さ cm



第 13 図

Ir^{192} γ 線エネルギー
— 分布
グラフ中の数字は
試料の厚さ cm

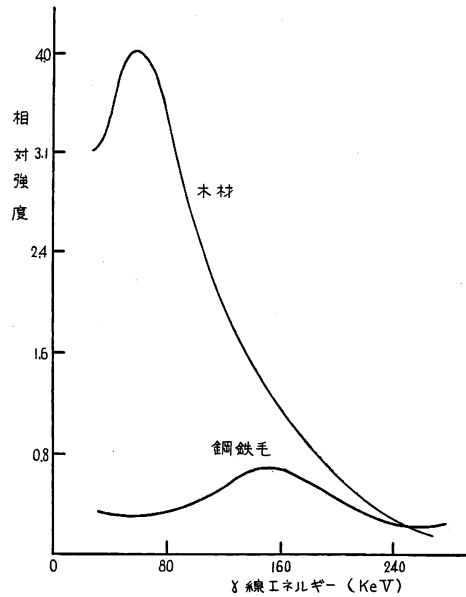
Ir^{192} γ 線エネルギー
— 分布 (散乱線)
グラフ中の数字は
試料の厚さ cm



第 14 図

Sr⁹⁰ X 線エネルギー分布
 分布
 グラフ中の数字は試料の厚さ cm

Sr⁹⁰ X 線エネルギー分布
 (散乱線)
 グラフ中の数字は試料の厚さ cm

第 15 図 Co⁶⁰ γ 線の試料中における散乱

射線のエネルギー分布である。各図中に示された標準分布は、それぞれの線源からの非散乱放射線（散乱線を含まない）のエネルギー分布である。これらの曲線と、他の各曲線を比較すると、各六本の減衰曲線は、非常に多量の散乱 γ 線を含んでいることがわかる。事実、同一比重で、原子番号の小さい物質である木材と、原子番号の大きい物質である鋼鉄毛に放射線を照射し、物質外に逸脱する散乱線の量を比較すると、木材の場合の方が著しく多い。いいかえれば、木材のような低原子番号の物質中では、系内で消滅する放射線の量が比較的に少ないことを示す。この関係を第 15 図に示す。

Cs¹³⁷ を使用した場合のエネルギー分布は、試料の厚さを増すと、ほぼ規則的に強度を減少する、660 KeV 付近の特性 γ 線の部分と、試料の増加により、まず強度が増し、ついで徐々に減少しはじめる散乱部分とからなることがわかる。そして、散乱線の強度は、特性 γ 線の強度より、はるかに強く、そのため、試料の増加に伴い、特性 γ 線の全放射線に対する割合は極端に少なくなる。これらの理由としては、散乱 γ 線の強度は、線源から放射されるすべての γ 線に関係し、試料の厚さが増加した場合には、その増加した試料中で散乱して、エネルギーを一部失うが、試料中で消滅する γ 線の量は非常に少なく、試料外部に逸脱する。これに反して、特性 γ 線（非散乱）の強度は直接線源から直線状にクリスタルにはいる、細い光路内の非常に少ない範囲の γ 線だけが関係するからである。非散乱 γ 線の強度は、透過試料の γ 線吸収係数に従って減衰することはもちろんである。

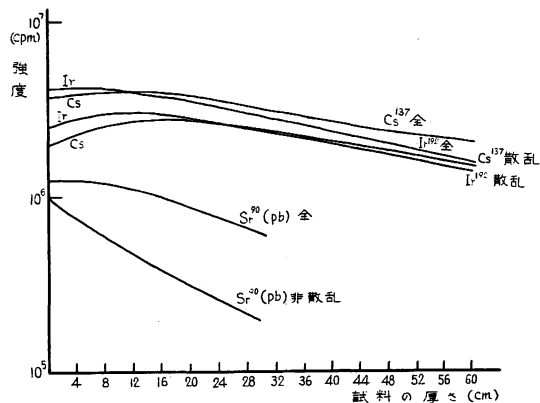
Ir¹⁹² の γ 線の場合にも同様なことがいえるが、Ir¹⁹² の線源からは、多数の異なったエネルギーを持つ γ 線を放射するので、そのエネルギー分布は、3 つ以上の極大を持つ複雑な曲線となる。すなわち、高エネルギー部分の試料内散乱部分と、そのクリスタル内コムpton散乱部分が重なり合っているために、低

エネルギー部分では、試料の厚さが増すと、散乱線の量は増加し、非散乱 γ 線と重なって、非散乱 γ 線の減少は、吸収係数に従わなくなる。第14図の Sr^{90} の β 線励起X線を用いた場合には、制動放射X線と特性X線とは重なり合っているため、非散乱X線の分布は、1個のピークを持った高エネルギー部分に続く、なだらかな傾斜をなしている。この制動放射X線は、平均エネルギーが特性X線に比して高いので、総合X線の平均エネルギーは相当高いものと思われる。

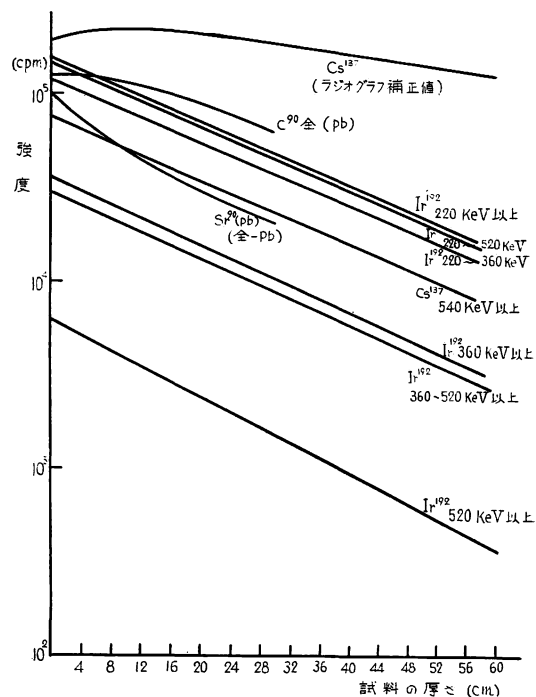
このように、 β 線励起X線そのものが広い分布をしているので、試料の増加に伴う強度の減少および分布の変化は、比較的簡単に見えるが、試料を透過したX線は、非散乱X線と、散乱X線の入りまじった複雑なものなので、各エネルギー部分のX線強度の減少は単純なものではない。ただ100 KeV以下のエネルギー領域ではNaI(Tl)クリスタル中でのコムpton散乱は無視できるので、分析器による波高分布は Cs^{137} および Ir^{192} と比較すると、実際のエネルギー分布に近い形をしていると思われる。

これらのエネルギー分布の積分値と、試料厚さとの関係を第16図に示す。波高選別器を持たないシンチレーション計数器、またはガイガー計数器を用いて、試料透過線量を測定し、試料厚さと線強度との関係を求めた場合には、この第16図に相当する図形をうるはずである。ただガイガー計数管のエネルギー特性は、クリスタルシンチレーターのエネルギー特性と異なるので、ガイガー計数器を使用した場合には、多少異なる結果となろう。

Cs^{137} 、および Ir^{192} を使用した場合に、試料の厚さを増加した時の、計数値の減少はきわめて少なく、試料厚さの変化を検知する場合には、能率がきわめて低いこととなる。 Cs^{137} および Ir^{192} の傾斜がほとんど等しいことは、その特性 γ 線の平均エネルギーがあまり変わらないからであろう。これらの γ 線に比して、平均エネルギーの低い Sr^{90} 励起X線の場合は、よほどこの検知能率は改善される。以上の各線源によるエネルギー分布を使用して、次のような解析を



第16図 放射線エネルギー分布の積分値と試料厚さとの関係

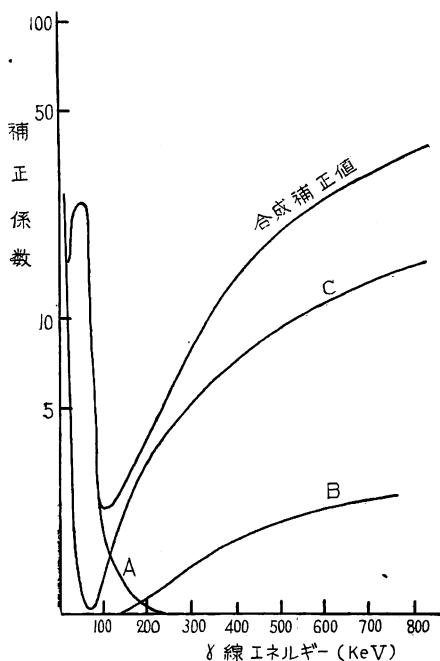


第17図 各波高領域計数値

試みた。すなわち、シンチレーション波高分析器を用い、走査法によつて試料を検査する場合に、波高選別器により特定のエネルギー範囲の放射線を計数した場合の試料厚さに対する総計数値の関係を求めた。

第 17 図は種々の波高範囲において、測定した場合の、試料厚さに対する総計数値の関係を示す。これらの値から、種々の波高範囲で、試料の内部検査をする場合の検出能率の程度が推測しうる。すなわち計数値曲線の傾斜が強いほど、検出能率は高く、計数値の減衰の度合いが弱いほど、検出能率は低くなる。 Cs^{137} および Ir^{192} の場合、波高選別を行なつた場合は、行なわない場合に比して、その減衰の度合いはきわめて強いので、各エネルギーの特性 γ 線の位置で、波高選別を行なえば、散乱線の影響は相当に少なくなり、検出能率は、大幅に改善されることがわかる。そして、波高選別を行なつた、 γ 線に関する 7 本の曲線は、ほとんど同一の傾斜を持つており、ほぼ直線状をなしている。 Ir^{192} の場合、低エネルギー γ 線の位置を選別した場合には、高エネルギー γ 線の散乱線が同時に計数されるため、若干強度減少の度合いが弱まる結果となつている。

以上 γ 線源を使用して、走査法により、木材内部検査をする場合には、波高選別器の使用は不可欠であり、また、その検出能率は、各 γ 線のエネルギー領域で波高選別を行なつても、ほとんど相違がない。 Sr^{90} と鉛からの励起 X 線を使用する場合には、高エネルギーの制動放射 X 線が木材中で散乱し、特性 X 線と重なるために、検出能率は、 Cs^{137} および Ir^{192} の場合に接近し、さらに β 線の X 線変換効率が低いいため、大径木に対しては、 γ 線源に比較して、有効な線源であるとは考えられない。内部検出能率は、その他、線源の大きさ、強度、クリスタルの寸法、走査速度およびコリメートの程度等が相互に影響を与えるが、ここでは考察しない。



第 18 図 ラジオグラフ黒化度補正分布

立木のごとく、不均一度の高い、しかも不規則な形状を持つ物体の試験に対しては、走査法は、あるいは不適当であるかもしれない。なんとすれば、走査法によつて得られた曲線と比較する健全材の推定曲線をうることがむずかしいからである。しかし、これは検出能率をどの程度まで要求するかに関係することで、近い将来の実験結果にまつこととなろう。

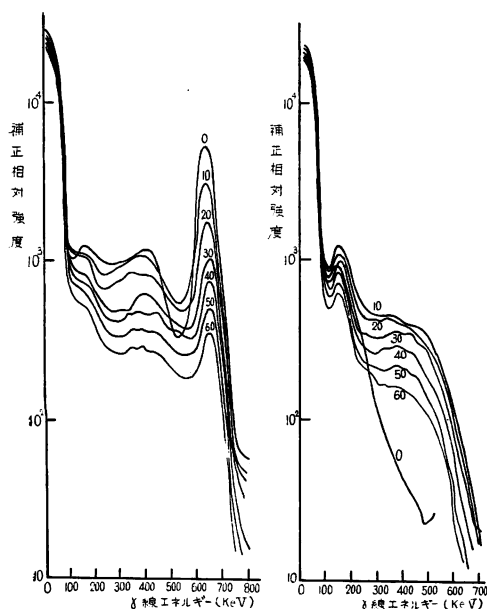
次に以上の放射線のエネルギー分布を使用して、ラジオグラフによる内部検査の可能性について考察する。すなわち、実際にラジオグラフィーを行なわずにシンチレーション波高分布を、写真フィルムの黒化度に近似的に関係づけようとするわけである。その結果、定性的に特徴のある知見が得られれば、有益であると考えられる。

フィルムが感光して黒化する場合に、その黒化の割合は、放射線のエネルギーによつて異なる。第 18 図中の A 曲線がこの関係を示すもので、同一レントゲン線量の放射線が入射した場合の、フィルムの黒化度と、放射線エネルギーとの関係である。すなわち、50 KeV

付近に最も強い感光性を有し、エネルギーの増加にしたがつて急速に減少する。そして 200 KeV 以上では、ほぼ一定の感光性を有する。

シンチレーション・クリスタルの蛍光能率は、放射エネルギーに対して異なる値を持ち、エネルギーの増加に伴つて、その効率は減少する。この効率は、クリスタルの寸法にも関係するものである。第 18 図中の B 曲線は、直径 1 in 厚さ 1 in の NaI (TI) クリスタルの光子エネルギーに対する 効率補正曲線である。また光子放射線はエネルギーにより、そのレントゲン線量値を異にするので、その関係を第 18 図中の C 曲線で表わすと、これら A, B, C 3 曲線の合成曲線は、近似的に、計数値をフィルム黒化度に変換することができる。すなわち、この関係と、エネルギー分布から、直接放射線の写真効果を表わす曲線を近似的に求むることができる。この関係を利用して、第 12 図および第 13 図の分布から合成した、フィルム黒化度の分布は第 19 図および第 20 図に示す。これらの 2 つの曲線群は、第 12 図および第 13 図の曲線群に比して、特性 γ 線の高エネルギー部分、および 50 KeV 以下の低エネルギー部分が強調された結果となつており、このことは、第 18 図の合成補正曲線の形から明らかである。第 17 図中に見られる、 Cs^{137} （ラジオグラフ補正值）のグラフは、第 19 図の曲線の積分値から求めたものであるが、曲線の傾斜は、他のいずれの曲線の傾斜よりも少ない。これは 50 KeV 以下の軟質低エネルギー部分の補正効果が大きいと思われる。

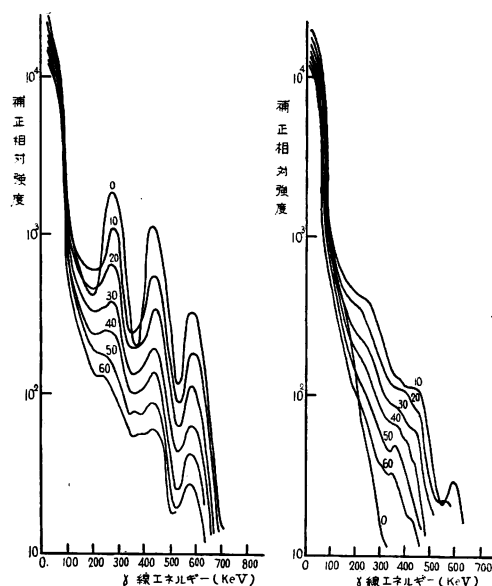
一般にラジオグラフのコントラストを上げる方法として、次の種々の方法が数えられる。すなわち、線源側コリメーター、鉛増感膜、バッキー機構等である。コリメーターは、対象物以外に、不必要な放射線を放射しないようにするためのものである。試料の必要箇所以外の場所に放射された放射線は、その物質



第 19 図

Cs^{137} 黒化度補正分布
グラフ中の数字は試料の厚さ cm

Cs^{137} 黒化度補正分布
(散乱線)
グラフ中の数字は試料の厚さ cm



第 20 図

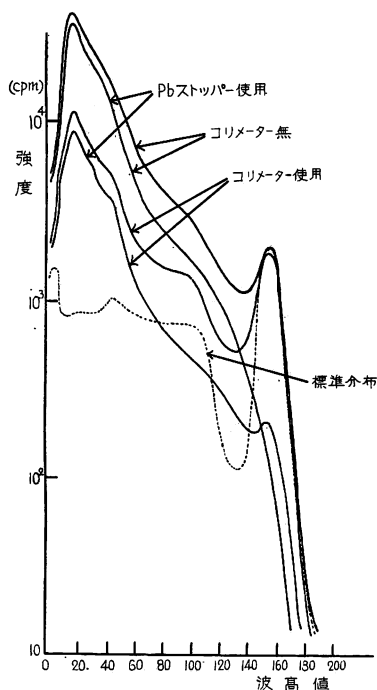
Ir^{192} 黒化度補正分布
グラフ中の数字は試料の厚さ cm

Ir^{192} 黒化度補正分布
(散乱線)
グラフ中の数字は試料の厚さ cm

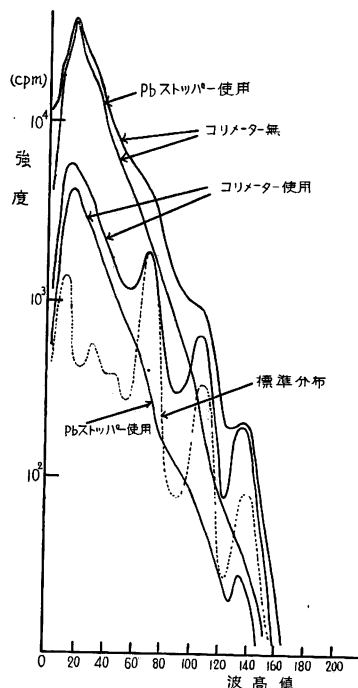
内部で散乱し、散乱放射線はフィルムに入射する。この結果フィルムのコントラストを減少させるからである。コリメーターの効果は、後で述べるごとく、相当に期待することができる。また高エネルギー放射線を利用するラジオグラフィーでは、一般に鉛箔による増感法が用いられる。鉛増感膜は、斜の方向から入射する低エネルギーの散乱線を吸収する作用を持っているので、映像のコントラストは一段と改善される。第 19 図および第 20 図中の黒化補正分布中で、たとえば 50 KeV 以下の低エネルギー部分を消失した状態を考えれば、コントラストが飛躍的に上昇することがわかる。パッキー機構は、斜方向からの放射線を吸収する力がさらに強いので、コントラスト増加に対しては、すぐれた効果が期待できるが、機構が複雑で、特殊な用途以外は使用不可能であろう。

いま、立木をラジオグラフにより検査する場合を考えると、使用されるフィルムの寸法は、取扱い上、または経済上からも制約を受け、帯状の細長いフィルムを使う可能性が高い。また、ある特定の横断面の検査で、一応の内部状態の推定が可能であると考えられるので、縦方向の検査は省略しうることを考えると、一般のラジオグラフィーとは相当に条件の異なつたものとなる。すなわち、帯状の細長いフィルムを横に使用する結果、線源から直線状にフィルムに入射する放射線以外は不必要であり、その結果、強度のコリメーターの使用が可能になる。すなわち第 10 図中に示される細長い放射断面を有するコリメーターは、フィルムに入射する散乱放射線の強度を減じ、映像コントラストを改善する効果が期待できる。

このコリメーターの効果を実験的に確かめるために、次のような実験を行なつた。すなわち、線源に接近させて 2 枚の鉛煉瓦を配置し、細長い断面のコリメーターを作つた。放射線ビームの幅は、コリメーター



第 21 図 コリメーターを使用した
場合の波高分布
Cs¹³⁷ 試料厚さ 60 cm の場合



第 22 図 コリメーターを使用した
場合の波高分布
Ir¹⁹² 試料厚さ 60 cm の場合

の出口で約 2 cm である。この配置において測定したエネルギー分布を第 21 図および第 22 図に示す。同図中に示されたコリメーターを用いた場合の分布と、コリメーターを用いない場合の分布を比較すると、コリメーターの使用により、その散乱線強度は、 Cs^{137} の場合、約 1/4、 Ir^{192} の場合、約 1/7 になっていることがわかる。前述したごとく、木材のごとく原子番号の少ない原子で構成されている物質では、吸収される散乱線が少ないので、コリメーターの効果は特に大きいと考えられる。コリメーターそのものが鉛煉瓦であり、装置自身の不安定さもあつて、コリメーターの幅はこれ以上縮めることができなかったが、線ビームは、線源の寸法と、フィルム幅により、これ以上縮めることができるので、散乱 r 線の強度をよりいっそう少なくすることが可能であろう。

フィルムの前面または両面に密着させて、像のコントラストを改善する、鉛増感の効果は波高分析によつて推測することは、不可能と思われたので、この効果は、実際にラジオグラフを撮ることにより確かめる必要がある。

結 論

Cs^{137} 、 Ir^{192} および Sr^{90} から放射される、 r 線および X 線のエネルギー分布を検討し、次のとき結論をくだすことができた。

1. シンチレーション波高分析器を使用して、種々の条件で、木材を透過した放射線のエネルギー分布を測定し、この測定結果により、走査法およびラジオグラフィーによる、木材内部検査に必要な種々の関係を知ることができた。

2. 走査法を行なう場合には、上記 3 種の放射線源は、ほぼ同等の効果を持つているので、検査の目的、その他を考慮して、最も適した線源を選ぶことができる。この場合には、波高選別機構は絶対的に必要である。ただ平行移動走査法、または走査線ビームを極度に小さくすることができる場合には、この限りではない。それ以上のことは、実際に試験を行ない決定することが必要である。木材中における放射線の散乱はきわめて強いので、この散乱線は内部検出能にきわめて大きな影響力を持つている。

3. ラジオグラフィーによつて、木材の内部検査を行なう場合には、フィルムに入射する散乱放射線の量をできるだけ少なくするために、線源側にコリメーター、およびフィルム側に鉛増感膜が必要であり、さらにラジオグラフの分解能を高めるためには、散乱線の影響を極度に減少させるために、放射線ビームをできるだけ細くすることが必要である。

最近の電気測定技術の進歩はめざましく、特に半導体の研究の進歩は野外における走査法の実用の困難性を、案外早く打ち破ることができるかもしれない。またラジオグラフィーの面でも、X 線増幅蛍光板等の進歩により、またその実現性を早めることになるかもしれない。

終わりに、本研究を実施するにあたり、有益なご教示をいただいた米国イリノイ工科大学付属アーマー研究所の物理部長 L. REIFFEL 博士、ならびに核物理研究室の各氏に深く感謝するしだいである。

本報告は、木材学会誌中⁶⁾の同名の報告を書き改めたものである。

文 献

- 1) LIDEN, K. and STARFELT, N. : Arkiv F r Fysik, 7, 36, (1954) p. 427.
- 2) PARRISH, W.B. : J. Forestry, Nov., (1957) p. 851.
- 3) 飯塚 : 東大演習林報告, 52, (1956)
- 4) McHUGH, B. J. J. and BOOTH, H. E. : Australian A. E. Sympo., 615, (1958)
- 5) HAYWARD, E. and HUBBEL, J. H. : J. Appl. Phys., 25, (1954) p. 506.
- 6) 古谷 剛 : 木材学会誌, 7, 1, (1961) p. 24.

Detection of Internal Wood Defects by Radio-Isotopes I.

**Energy distribution of gamma-rays and beta-excited X-rays
transmitted through wood media.**

Takeshi FURUYA

(Résumé)

The resolution of transmitted photon image in the detection of internal wood defect is thought to be much affected by the scattered photons made inside the sample. The energy distribution of photons transmitted through wood in various conditions were measured and discussed. Three kinds of radio-isotope (Cs^{137} , Ir^{192} and Sr^{90}) were used in this study.

In the case of the scanning test method, two kinds of gamma ray source, Cs^{137} and Ir^{192} , have almost the same resolution, and it is necessary to select the photon source suitable for the purpose.

In the scanning testing, it is natural to use an energy discriminating apparatus such as the scintillation counter.

The effect of collimator for the resolution of photon image in radiography is believed to be very much, and a lead screen should be used in radiography of wood substance, because of the fact that a low atomic number material is a pure Compton scatterer.