

氏 名（本籍）	せい 清	の 野	ひろし 浩
学位の種類	医	学	博 士
学位記番号	医	第	9 7 1 号
学位授与年月日	昭和 5 2 年 2 月 2 3 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
最 終 学 歴	昭和 3 7 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信 工学専攻博士課程退学		
学位論文題目	半導体線量計による治療線量測定に関する研究		

（主 査）

論文審査委員 教授 星 野 文 彦 教授 松 沢 大 樹

教授 栗 冠 正 利

# 論 文 内 容 要 旨

放射線治療時の照射線量は、ファントムを用いて電離箱あるいは熱蛍光線量計などで測定するか、または計算による値を用いている。しかし人体構造の複雑さ、また個人差などのために、ファントム等により計算で得られた線量が、果して所定の位置に照射されているか不明な時が多い。

一般に治療の照射は分割照射であるため、一回の照射量の誤差は積算され、全線量では大きくなる。本研究は放射線治療の際のガンマ線およびX線の照射量を確認するために、半導体装置で照射線量を実測することを目的とするものである。半導体装置には主としてシリコン太陽電池を用いているが、原理的には半導体 p-n 接合の光作用と同じで、光起電力型と光導電型がある。前者は電圧を印加しない状態で、短絡電流と開放電圧の照射線量に対する比例性を用い、後者は一般の電離箱と同様に電圧を印加して電離電流を求める方法である。光起電力型の短絡電流は、光子束に比例するため、線量率そのものに比例し、開放電圧は高線量率においては光子束の対数に比例し、低線量率においては光子束にほぼ比例する。光導電型の光導電々は短絡電流と同様光子束に比例する。したがって線量測定にはこれらのいずれも用いることが可能であるが、正確な測定のためには誤差の原因となる諸要因を求める必要があり、各種実験を行なった。半導体線量計としては、製品の均一性も考慮に入れて市販の太陽電池を主として用いた。したがってこれらの装置の短絡電流等が、理論通り線量率に比例し、それが線量計として使用し得るかを確認するための実験をし、さらに誤差の原因となる温度依存性、方向依存性、放射線照射による損傷等について研究した。線量率との比例性については、短絡電流、開放電圧、光導電々流のいずれも治療線量レベルでは十分な直線性を持つと言える。ただし開放電圧については前述のようにこのレベルでは線量率の対数に比例している。温度特性については開放電圧が最も大きい影響を受け短絡電流が殆んど影響を受けないために、線量測定には短絡電流が望ましいと言える。しかし開放電圧は出力が大きいので、温度不変の場合は好都合である。入射角度依存性は、太陽電池が平板であるため、散乱のない理想的な場合はほぼ cosine の曲線になるが、実際には組織の中で散乱が大きいので大きくずれる。空気中とファントム中での実験結果によると、組織内では角度依存性が減少するようになり、体内挿入用プローブの場合、ファントム内では最大で 20% 程度の変化であることが判った。この角度は線量測定時には X 線写真を撮影して求め、角度による補正を行わなければならない。照射損傷は過渡的影響と永久的損傷があり、電圧を印加して測定する光導電々流の場合に見られる電流漸増は、過渡的变化であるが測定を不能にするので、装置について十分調べておく必要がある。この電流漸増については太陽電池に逆バイアスを印加できないので、他のダイオードで実験した。太陽電池は照射によって感度に劣化が起り、出力が減少す

るが、その感度の量的変化が同種同型の装置でも非常に大きくばらつくために、感度劣化の量的補正は不可能で、劣化の生じない範囲で用いなければならない。この線量範囲は、同種同型の装置で照射実験をしておく必要がある。またシリコンの比抵抗などでも損傷の程度が異なるので、損傷を受け難い装置を選定することが望ましい。半導体装置すなわち p-n 接合は、空洞電離箱のように幾何学的にその容積を正確に求められないために、同種同型のものでも感度の差が他の検出器に比べて大きい。特に開放電圧はばらつきが大きい。したがって使用時には、用いる素子について校正しなければならない。以上の各特性を総合的に検討して、線量測定には出力電流は小さいが、短絡電流が最も望ましいことが結論される。したがってファントムによる各種測定と患者の治療線量測定は、短絡電流のみで行なった。

まず治療線量測定の基礎的実験として、コバルト 60 ガンマ線とライナックの 10 MV X 線のファントムによる各種測定を行なった。夫々照射野および深部量百分率の測定、さらに等線量曲線の測定をしたが、これらのファントム実験の時は、太陽電池を黒のビニールテープで遮光するのみでよく、容積が小さく、特に 0.3 mm の厚さのため、深部量百分率の測定には有効で、表面線量の測定なども可能である。各種ファントム実験の後、太陽電池を直経数 mm のビニールチューブに入れて体内挿入用プローブを作り、患者の実測を行なった。このプローブは予め 10 MV X 線で線量校正をした。上顎がん患者は、ライナック 10 MV X 線で、1 回の照射量 250 ラド、総線量 4000 ラドの計画で治療中であつたが、口唇下の切開口よりプローブを約 6 cm 挿入し、上顎洞内で測定した。X 線写真によって角度を測定し、その補正をし、さらにラド変換などをした結果 239 ラドが得られた。上顎洞が空洞であることによる誤差、計器の読みとり誤差、角度校正時の諸誤差を考慮して、 $239 \pm 12$  ラドと決定され、これはほぼ計算通りの照射と言えよう。子宮頸がんの場合は 1 回の照射量 250 ラド、総線量 6000 ラドで照射を行なっていたもので、1 名は非手術であるので外子宮孔に、他は子宮全摘をしているために術后断端部に線量計を挿入したが、X 線写真で観測の結果、線量計は照射野下端に存在することが判った。このため非手術患者が 132 ラド、術后患者は 64 ラドが得られた。照射野端付近は、僅かの距離で線量が大きくずれるためこのような値となつたが、この場合照射野の設定にも問題が残る。以上患者 3 名について実測したが、半導体線量計としての欠点を補なうことにより、小容積、高感度の検出器として治療線量の測定が可能で、その結果は十分実用し得るものであり、臨床に十分寄与できるものと結論された。

## 審 査 結 果 の 要 旨

半導体線量計は容積が極めて小さく、放射線治療時の患者の表面線量並びに子宮、上顎洞、食道等の深部線量が実測できる利点がある。したがって、半導体線量計が臨床に応用出来るか否かの研究を行なった。

半導体装置が線量計として使用し得るか否かを確認するための実験の結果、充分使用し得ることが判明した。誤差の原因となる温度依存性、方向依存性についてみると、短絡電流を用いれば温度による影響が殆んどないので線量測定には線量率と直線性を有することがわかった。方向依存性については、フェントーム内では最大20%の角度依存性があることが判明した。したがって患者の線量測定時にはX線写真を撮影し、角度による補正を行わなければならないことがわかった。

半導体線量計は $^{60}\text{Co}$  r線、及びライナック10MVX線の線の線量と直線性を有することがわかった。尚、この半導体線量計によって上顎癌、子宮癌等の患者の実測を行なった結果、理論値とよく一致することや、照射野の設定の不備の点もチェック出来た。

以上の如く、半導体線量計は放射線治療時の線量測定に極めて有効であり十分学位に値する研究と考えられる。