

NIRS-M-33

IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No. 185

放射線治療用線量計の校正



科学技術庁 放射線医学総合研究所

協力 日本医学放射線学会物理部会

(1980年 9月)

本稿は IAEA (International Atomic Energy Agency) 国際原子力機構の Technical Report Series No. 185 "Calibration of Dose Meters Used in Radiotherapy" IAEA, Vienna 1979 を翻訳したものである。快よく翻訳出版を許可された IAEA 当局ならびに仲介の労をとられた岩崎民子, W. Dietl 両氏に感謝する次第である。

なお、翻訳は、日本医学放射線学会物理部会の高久祐治氏(福島医大), 西台武弘氏(京大), 安徳重敏氏(広大), 監修は、岡島俊三氏(長大), 川島勝弘氏(放医研)の協力を得た。諸先生方に深く感謝する次第である。

TECHNICAL REPORTS SERIES No. 185

Calibration of Dose Meters Used in Radiotherapy

A MANUAL SPONSORED BY THE IAEA AND WHO

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1979

序

ここ 10 年の間、放射線治療で使われる線量計の校正に対する世界的な要求が、また同時に、この校正のための施設が不足していることがますます認識されてきた。放射線安全に対するあらゆる面での一般の関心によって、電離放射線の信頼できる測定に対する強い要求が起こった。要求は、人間と環境の保護に対してだけでなく、電離放射線の医療への応用、ことに放射線治療への応用に対するものでもある。校正された放射線測定器の普及を地理的、かつ、数量的に拡大していくためには、国家 1 次標準研究所の努力が必要であった。いくつかの工業化されている大きな国では、国家標準研究所を 1 次標準センターとしつつ、校正サービスを行なうための発展的な計画が立案されなければならなかった。核エネルギーの分野を手がけていたり、放射線を医学や工業で使用している多くの国においては、2 次標準線量測定研究所 (Secondary Standard Dosimetry Laboratories, SSDL) を設立することが、放射線単位の普及という問題に対して最も適切かつ経済的な解決法を与えることがわかった。SSDL の役割は線量計やその他放射線測定器の校正を行うこと、そして、1 次標準研究所と放射線ユーザーの間の必要な鎖として役立つことにある。

このトピックは、1968 年 4 月、ベネズエラのカラカスで催された“放射線治療センターの測定要件”に関する IAEA パネルで議論された。さらに、同年 11 月、WHO は協議のため専門家をジュネーブに呼んだ。その結果は“2 次標準線量測定研究所の設立に関する指針案：その必要性、義務、および、特徴”(Draft Guide lines for Setting up of Secondary Standard Dosimetry Laboratories : Their Needs , Duties and Characteristics ” , B. Waldskog, W. Seelentag, WHO , Geneva (1970))として知られる WHO ドキュメントとなった。その仕事の一部は本マニュアルに盛り込まれている。1968 年以来、医学放射線物理の知識と、応用を普及させるため WHO は IAEA と共同で多数の SSDL を“地域標準センター”として指定し、支援してきた。カラカスパネルのもう 1 つの勧告を受けて、“放射線治療における線量測定マニュアル”(a “Manual of Dosimetry in Radiotherapy”)が J. B. Massey によって書かれ、IAEA , WHO および PAHO を代表して IAEA Technical Reports Series No. 110 として 1970 年に出版された。

本課題に対するそのあとの IAEA パネルが 1970 年デンマークのリソで催された。これらの活動の結果、SSDL の必要性は一般的に認識され、いくつかの国で研究所がおおむね国際的な支援を得ながら設立された。1974 年、ブラジルの

リオ・デ・ジャネイロで催された別の会合において、IAEAとWHOが共同してSSDLの国際的なネットワークを設立するよう提案があり、そして、1976年4月にSSDLのIAEA/WHOネットワーク設立に関するIAEAとWHO間の作業の段取りが決定された。

線量計校正法に関する資料があまりないので、この問題に関する実用マニュアルを用意するのが望ましいと考えられた。人員、装置、施設、専門知識などに関して必要なことをすべて記述すればマニュアルはSSDLを設立しようとしている方々のたすけにもなるであろう。

マニュアルの最初の草案はC. Milu（ルーマニア，ブカレスト，保健省）とK. Zsdánszky（ハンガリー，ブタペスト，国家度量局）によって書かれた。主として1次標準研究所とSSDLからの専門家約10名がこの草案に意見を述べた。これらの助言に照らして、また、IAEA Dosimetry SectionのH. Eisenloher，および，B. Waldskogとの議論ののち、マニュアルはS. B. Osborn（キングズ・カレッジ・ホスピタル，ロンドン，英国）によって修正された。

IAEAとWHOは、すでに氏名をあげた方々への感謝に加え、草案に対して意見を述べて下さった専門家のすべての皆さんに、そして、特に：W. A. Jennings（NPL，ロンドン，英国）；R. Loevinger（NBS，ワシントン D. C. 米国）および，H. Reich（Physikalisch - Technische Bundesanstalt，Braunschweig，ドイツ連邦共和国）の方々には貴重な指示や意見をいただいたことを感謝する。

注

IAEAは国際標準化機構（ISO）ジュネーブ，によって公表されている国際標準に、技術的に可能な場合は、準拠するよう要求されているのでこの冊子では“線量計”は2つの単語“dose meter”と書かれており、“dosimeter”と“dosemeter”は使われていない。従って、線量計という一般的な語があらゆる形の線量、照射線量、線量率、および類似の測定を行う測定器の意味で使われている。問題としている詳しい型は文脈から自明であるが、そうでないときは、例えば“照射線量計”（exposure meter）というように明記してある。

目 次

第 I 章	緒 言	1
第 II 章	S S D L の組織	2
II 1.	職 員	2
II 2.	研 究 所 施 設	3
II 3.	建 屋	3
第 III 章	量、単位および記号	4
第 IV 章	定 義	6
IV 1.	校正に関する用語	7
IV 2.	測定器の等級	7
IV 3.	標準研究所	8
IV 4.	測定の不完全性	8
IV 5.	性能評価	10
IV 6.	その他の定義	11
第 V 章	校 正 法	12
V 1.	先端付同時校正と置換校正法	12
V 2.	空中校正とファントム中校正	13
V 3.	放 射 線 量	14
V 4.	校 正 の 場 所	14
第 VI 章	校正用機器と設備	15
VI 1.	X線校正用セットアップ	15
VI 2.	γ 線校正用セットアップ	20
VI 3.	測 定 器	21
第 VII 章	校正前の事前測定	24
VII 1.	電気に関する安全性	25
VII 2.	漏洩放射線の検査	25
VII 3.	X線線束の調整	26
VII 4.	^{60}Co 装置線源のセンタリング点検	26
VII 5.	線束の均等性	26
VII 6.	汙 過	27
VII 7.	半価層の測定	29
VII 8.	不要放射線の寄与	30
VII 9.	γ 線線源位置決めの不確定度	31

VII 10.	時間的調節の不確定度	32
VII 11.	2次標準線量計の検査	33
第VIII章	校正用機器の手入れと保守	35
VIII 1.	機器保守一般	35
VIII 2.	2次標準線量計の再校正	36
VIII 3.	モニター線量計の検査	37
VIII 4.	タイマー	37
VIII 5.	温度計	37
VIII 6.	気圧計	37
VIII 7.	湿度計	37
VIII 8.	放射線束の通常検査	38
VIII 9.	ハウスキーピング	38
第IX章	校正手順	39
IX 1.	概観	39
IX 2.	校正定数	39
IX 3.	被校正線量計の検査	40
IX 4.	手順例	41
第X章	校正定数の不確定度	44
X 1.	ランダム不確定数	45
X 2.	系統不確定度	46
X 3.	ランダムおよび系統不確定度の合算	46
参考文献	47
付録1	関係書目	48

第 I 章 緒 言

このマニュアルは臨床で使う放射線線量計を 2 次標準線量計で校正するために必要な設備と手順に関する実用手引となるよう意図された。

放射線治療と放射線生物学においては、高い精度による放射線量の測定はその基本となるものである。X 線診断、放射線の工業利用、そして放射線防護ではそれより精度の必要性は低い。高精度は、校正された放射線量計があって、かつ、その性能と校正が継続するよう定期的に検査されているときのみ達成される。放射線治療は命を助けるが、誤った放射線量は傷害や生命喪失の原因にさえなりうる。放射線生物学と関連した研究において、それは、無定見な、または、誤った結果を導き得る。放射線防護においては、それは、情勢の誤った評価を導き障害や不必要で高額な放射線防護の処置につながる。しかし、このマニュアルは、放射線治療線量計のみを対象としている。放射線防護用モニタリング装置の校正は既刊マニュアル〔1〕で扱われている。そして、このマニュアルは放射線治療における線量測定を一般的に扱っている別のハンドブック〔2〕と併用するよう意図されている。

大半の国、特に発展途上国では、放射線治療用線量計の校正や定期的な再校正を行うのは困難であることが知られている。その理由は、放射線量計の校正を行える国家標準研究所が数ヶ国にしか存在しないからであるが、いずれにしてもそれぞれの国がそのような研究所を持つのは実際的ではないであろう。既存の国家標準研究所において 1 次標準器で普遍的に校正され、注意深く保守を行い、くりかえし恒常性をチェックされた標準器によってフィールド・機器を校正するための研究所を設立することが、この問題に対する答えである。このような装置は“2 次標準器”と呼ばれ、これによって 1 次標準器によるときの精度とほとんど異なる精度でフィールド機器を校正することができるのである。

この情況下、数ヶ国においては国家 1 次標準研究所と共に、2 次標準研究所の組織が進展していることにふれねばならない。そこでは、増加しつつある国立研究所の日常の校正による負担を減らし、こうした研究所にとっては重要な責務である、基礎的な測定にたずさわるより多くの機会が与えられることになろう。これらの 1 次標準研究所は互いに国際度量衡局の援助によって連係されており、また、SSDL の IAEA/WHO ネットワークとも連係されている。

このマニュアルは、すでに述べたように、実用手引書になるように意図されており、この課題に対する包括的なテキストとなるよう意図されていない。参考文献に加えて、付録 I に副読のための文献を挙げてある。このマニュアルで勧告している考えのすべてが世界的に採用されているわけではないが、新任者にとっては彼の

おかれているそれぞれの状況に応じて、有効なる変更を彼自身で安全に決断できるよう充分経験するまでの、現場における有益な指針となるものである。これはまた、治療線量の精度を確保するため、SSDLで校正された線量計を使用することに責任のある病院の物理学者にとっても有益であろう。例えば、臨床的に使用している状態において治療装置の日常の校正に使っている2番目の線量計の、精度をチェックするために校正された線量計を使ったり、病院における標準機器として校正された線量計を保有したいであろう。このマニュアルの勧告をすべて守ることはできないかも知れないし、彼の目的のためにはそうする必要がないかも知れないが、多分、最小限の精度の損失で1つの線量計から別の線量計に校正をいかに移しえるかということに関してより良い考えを得るであろう。

執筆している時に、特別放射線単位（ラド、レントゲンなど）からSI単位への変更が決まったばかりで、実施に移ろうとしているところである。このため、このマニュアルではSI単位が使われているが、読者が必要な場合にはどちらの単位系も使えるように相当する特別単位を併記してある。

勿論、このマニュアルを通して、重要な点は何回か反復されている。しかし、反復がなければ重要ではないと思ってはならない。このマニュアルで与えられる説明、助言、勧告は可能な限り簡潔であり、明確である。これを、特定の仕事をやる適切な方法はただ1つだけだと解釈しないで、勧告している方法は適切で、正しい方法の1つなのだと解釈すべきである。従って、ここに詳述された方法は、少なくともまず、IAEA/WHO 2次標準線量測定研究所で採用すべきであることを勧告する。

校正研究所の主な機能は校正をすることにあるが、そのスタッフはシステムにもぐり込む誤りの可能性を検出するというつもりで、装置の1つ1つ、手順のすべてに対する不断の点検の必要性を常に心に留めておかねばならない。特に、校正システムの恒常性の点検のため、装置の1つ1つを他の装置に対してチェックしてみるという努力を払ってこれを行うべきである。これを行える別の方法となると、疑いなく別の研究所で実施するということになるだろうが、SSDLは実験室に特定の線量計を1つ確保し、校正定数の目立った変化を敏速に探査するという観点から、これをその2次標準器と一定の時間間隔で校正すべきことを提案する。

第Ⅱ章 SSDLの組織

Ⅱ.1. 職員

SSDLを運営するために選ばれたスタッフには相当の資格が与えられ、相応の地位と報酬が与えられることが大切である。これは、行なわれる仕事の継続性と質を

おかれているそれぞれの状況に応じて、有効なる変更を彼自身で安全に決断できるよう充分経験するまでの、現場における有益な指針となるものである。これはまた、治療線量の精度を確保するため、SSDL で校正された線量計を使用することに責任のある病院の物理学者にとっても有益であろう。例えば、臨床的に使用している状態において治療装置の日常の校正に使っている 2 番目の線量計の、精度をチェックするために校正された線量計を使ったり、病院における標準機器として校正された線量計を保有したいであろう。このマニュアルの勧告をすべて守ることはできないかも知れないし、彼の目的のためにはそうする必要がないかも知れないが、多分、最小限の精度の損失で 1 つの線量計から別の線量計に校正をいかに移しえるかということに関してより良い考えを得るであろう。

執筆している時に、特別放射線単位（ラド、レントゲンなど）から SI 単位への変更が決まったばかりで、実施に移ろうとしているところである。このため、このマニュアルでは SI 単位が使われているが、読者が必要な場合にはどちらの単位系も使えるように相当する特別単位を併記してある。

勿論、このマニュアルを通して、重要な点は何回か反復されている。しかし、反復がなければ重要ではないと思ってはならない。このマニュアルで与えられる説明、助言、勧告は可能な限り簡潔であり、明確である。これを、特定の仕事をやる適切な方法はただ 1 つだけだと解釈しないで、勧告している方法は適切で、正しい方法の 1 つなのだと解釈すべきである。従って、ここに詳述された方法は、少なくともまず、IAEA/WHO 2 次標準線量測定研究所で採用すべきであることを勧告する。

校正研究所の主な機能は校正をすることにあるが、そのスタッフはシステムにもぐり込む誤りの可能性を検出するというつもりで、装置の 1 つ 1 つ、手順のすべてに対する不断の点検の必要性を常に心に留めておかねばならない。特に、校正システムの恒常性の点検のため、装置の 1 つ 1 つを他の装置に対してチェックしてみるという努力を払ってこれを行うべきである。これを行える別の方法となると、疑いなく別の研究所で実施するということになるだろうが、SSDL は実験室に特定の線量計を 1 つ確保し、校正定数の目立った変化を敏速に探査するという観点から、これをその 2 次標準器と一定の時間間隔で校正すべきことを提案する。

第 II 章 SSDL の組織

II. 1. 職員

SSDL を運営するために選ばれたスタッフには相当の資格が与えられ、相応の地位と報酬が与えられることが大切である。これは、行なわれる仕事の継続性と質を

保証しなければならない研究所長にとって特に重要なことである。

II. 1. 1. 研究所長

研究所長は、PSDL と SSDL における特定の訓練も含めて、放射線計測と校正に数年の経験がある物理学者か物理系科学者であるべきである。彼は研究所の全活動に責任を持つことになるので、研究所における任務はフルタイムであるべきで、他の職業上の活動が彼の時間のわずかな部分より多くをしめてはならないことが最も重要である。

II. 1. 2. 研究所職員

測定の精度に関する主な責任は、それをを行う人にあるので、すべての研究所職員は、彼等の責任にふさわしい測定技術の原理と実務に関する相当の資格と経験を持っているべきである。職員は適切に監督されるべきであり、また一般的には、規定された手続きに従うべきである。限られた資格か経験をもった職員は、適切な訓練を受けた場合には、日常的な性格を持った校正業務に携わってよいであろう。

II. 2. 研究所施設

研究所の適切な立地のために、以下の基準が考慮される必要がある；

- (1) 位置は、提供されるサービスの要求と実際的な運営を考慮して地理的に充分中央で、良い交通手段のあること；
- (2) 研究所は孤立して仕事することなく、付属、あるいは、関連施設に適当に立ち入る権利をもつべきこと；
- (3) 研究所は外部環境、例えば、放射線、に影響されることなく、また、研究所自体の環境への影響に対しても配慮すべきこと；
- (4) 研究所内の環境コントロールは標準機器と他の装置の精度や再現性に悪影響を及ぼさないものであること。特に、温度と湿度は適切に保ち、研究所に過度の振動、雑音、ほこり、煙がないようにする。主電源の安定度は使用機器にとって妥当でスイッチングサージに影響されず、また、適当な接地システムが用意されるべきこと；
- (5) 将来、研究所の拡張が可能なように余裕を持たせること；
- (6) 既設の建物に研究所が同居しなければならない場合は、上述の基準をできる限り配慮すること。

II. 3. 建 屋

建物に対して次の最低限の必要条件が充たされるべきである。

- (1) 可能な限り、研究所は建物を他の活動と共用しないこと；
- (2) 少なくとも X 線校正のため 1 つの大きな室（最小長さ約 6 m）が必要である；

^{60}Co 放射線のために、第2の室が必要であるが、まずこれを研究所内に用意できないならば、暫定として他所の ^{60}Co 線源室に立ち入る権利が用意されるべきこと；

- (3) 校正室の隣りに遮へいされた操作室が必要である；
- (4) 構造的遮へいによって、特に ^{60}Co 放射線に対し、職員と公衆への許容できない放射線を防ぎ、必要な場合には防護レベルの校正と矛盾しないレベルにバックグラウンド放射線を保つべきこと；
- (5) 電気計測と他の物理実験、例えば校正のための線量計の用意・点検、TLD サービスなどを行うための小実験室を一室；
- (6) 小機械電気工作室を一室；
- (7) 研究所長、科学および技術スタッフと、書記的活動のための事務室；
- (8) 既存の建物に研究所が同居しなければならない場合は、上述の基準をできる限り配慮すること；
- (9) 適当な参考図書と最近の文献をそなえた専門図書室。

第Ⅲ章 量，単位，および，記号

あらゆる型式の量へのSI単位使用の一環として、1975年国際度量衡総会(CGPM)〔3〕は放射線量に対して新単位を採用した。単位質量当たり吸収された放射線エネルギーの量、吸収線量(記号D)は以前、ラド(rads)で表され、 $1\text{ rad} = 100\text{ erg/g}$ であった。SI単位では、いま、キログラム当たりのジュールで表わされ、この単位の特別名はグレイ(gray, 記号Gy)であるので：

$$1\text{ Gy} = 1\text{ J/kg} = 100\text{ rads}$$

本書では、従って、吸収線量はグレイで与えられているが、この単位への変更がしばらくは完了しないであろうからラドによる値もカッコ中に与えてある。

照射線量は、空気中の電離で定義されており、SI単位ではキログラム当たりのクーロン(記号C)で表されるが、これには特別名は提案されていない。当然、レントゲン(記号R)はもはや認められた単位ではなくなる。従って、例えば、

$$1\text{ R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg} = 258\text{ }\mu\text{C/kg} \quad (\text{正確に})$$

また、 $1\text{ C/kg} \approx 3876\text{ R} = 3.876\text{ kR}$

しかし、照射線量からエアークーマ(air kerma, kerma = kinetic ene-

^{60}Co 放射線のために、第2の室が必要であるが、まずこれを研究所内に用意できないならば、暫定として他所の ^{60}Co 線源室に立ち入る権利が用意されるべきこと；

- (3) 校正室の隣りに遮へいされた操作室が必要である；
- (4) 構造的遮へいによって、特に ^{60}Co 放射線に対し、職員と公衆への許容できない放射線を防ぎ、必要な場合には防護レベルの校正と矛盾しないレベルにバックグラウンド放射線を保つべきこと；
- (5) 電気計測と他の物理実験、例えば校正のための線量計の用意・点検、TLD サービスなどを行うための小実験室を一室；
- (6) 小機械電気工作室を一室；
- (7) 研究所長、科学および技術スタッフと、書記的活動のための事務室；
- (8) 既存の建物に研究所が同居しなければならない場合は、上述の基準をできる限り配慮すること；
- (9) 適当な参考図書と最近の文献をそなえた専門図書室。

第Ⅲ章 量，単位，および，記号

あらゆる型式の量へのSI単位使用の一環として、1975年国際度量衡総会(CGPM)〔3〕は放射線量に対して新単位を採用した。単位質量当たり吸収された放射線エネルギーの量、吸収線量(記号D)は以前、ラド(rads)で表され、 $1\text{ rad} = 100\text{ erg/g}$ であった。SI単位では、いま、キログラム当たりのジュールで表わされ、この単位の特別名はグレイ(gray, 記号Gy)であるので：

$$1\text{ Gy} = 1\text{ J/kg} = 100\text{ rads}$$

本書では、従って、吸収線量はグレイで与えられているが、この単位への変更がしばらくは完了しないであろうからラドによる値もカッコ中に与えてある。

照射線量は、空気中の電離で定義されており、SI単位ではキログラム当たりのクーロン(記号C)で表されるが、これには特別名は提案されていない。当然、レントゲン(記号R)はもはや認められた単位ではなくなる。従って、例えば、

$$1\text{ R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg} = 258\text{ }\mu\text{C/kg} \quad (\text{正確に})$$

また、 $1\text{ C/kg} \approx 3876\text{ R} = 3.876\text{ kR}$

しかし、照射線量からエアークーマ(air kerma, kerma = kinetic ene-

rgy released per unit mass) への変更には配慮がなされており、エアークマは、このマニュアルで考えている放射線エネルギーに対しては無視できるわずかな補正を別として、照射線量と同等のエネルギーであり、SI 単位グレイをもっている。

放射性物質の放射能は単位時間当たりの原子核壊変の数であり、キュリー（記号 Ci）で表されてきた。1 Ci は 1 秒当たり 3.7×10^{10} の原子核壊変がある場合の放射能の値である。放射能に対する SI 単位はいま、ベクレル（becquerel, 記号 Bq）であり、1 秒当たり 1 壊変の放射能に相当する。従って、

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq} \text{ (正確に)}$$

また、
$$1 \text{ Bq} = 27.02 \times 10^{-12} \text{ Ci} = 27.02 \text{ pCi}$$

やはり、本書では、放射能はカッコ内にキュリー値をつけて、ベクレルで表す。

放射線防護の目的に、個人が受けた放射線の量はしばしば線量当量（記号 H）で表される。これは、大変質の異なる放射線源から受ける放射線量を加えられるように、吸収線量に線質係数（記号 Q）と他のあり得る修正係数（記号 N）を乗じたものである。従って、

$$H = D \times Q \times N$$

これは特別単位レム（rem）で表されてきた。であるから、 $Q = N = 1$ の場合は、1 rad の線量は線量当量 1 rem に相当する。線量当量の SI 単位はシーベルト（sievert, 記号 Sv）とすることが提案されている。

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

従って $Q = N = 1$ では、1 Gy の線量は 1 Sv の線量当量に相当する。しかし、シーベルトは CGPM の承認を得ていないので SI 単位とみなすことはできない。とはいえ、シーベルトは ICRU と ICRP で承認されており、吸収線量にグレイを使いながら、線量当量にレムを使うのは極めて不便であるので保健物理学者によってシーベルトが実用化されると我々は考える。

放射線測定に使われる量と単位が表 1 にのせてある。ICRU レポート 19〔4〕も見よ。

表1 (A) 放射線量と単位

Quantity	SI Unit(symbol)	Name for SI unit(symbol)	Special unit (symbol)	Relationship of SI unit to special unit
Activity	Reciprocal second (s^{-1})	Becquerel(Bq)	Curie(Ci)	$1 \text{ Bq} = \frac{10^{-10}}{3.7} \text{ Ci}$
Absorbed dose	Joule per kilogram ($J \cdot \text{kg}^{-1}$)	Gray(Gy)	Rad(rad)	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Absorbed dose rate	Joule per kilogram-second ($J \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	Gray per second ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)	Rad per second ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)	$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Exposure	Coulomb per kilogram ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	Röntgen(R)	—
Exposure rate	Coulomb per kilogram-second ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	—	Röntgen per second ($\text{R} \cdot \text{s}^{-1}$)	—
Dose equivalent	Joule per kilogram ($J \cdot \text{kg}^{-1}$)	Sievert ^a (Sv) ^a	Rem(rem)	$1 \text{ Sv}^a = 100 \text{ rem}$

^a Recommended by ICRU and ICRP but not accepted as part of the SI at the time of writing

表1 (B) S I 接 頭 語

Factor	Prefix	Symbol	Factor	Prefix	Symbol
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	k	10^{-12}	pico	p
10^2	hecto	h	10^{-15}	femto	f
10^1	deka	da	10^{-18}	atto	a

第IV章 定 義

線量測定で使われる用語の定義についてはいくつかの国際機関で出版されている〔5, 6〕。以下にあげた定義は、このマニュアルの使用を助け、誤解を避けるために、このマニュアルで使われているものである。

表1 (A) 放射線量と単位

Quantity	SI Unit(symbol)	Name for SI unit(symbol)	Special unit (symbol)	Relationship of SI unit to special unit
Activity	Reciprocal second (s^{-1})	Becquerel(Bq)	Curie(Ci)	$1 \text{ Bq} = \frac{10^{-10}}{3.7} \text{ Ci}$
Absorbed dose	Joule per kilogram ($J \cdot \text{kg}^{-1}$)	Gray(Gy)	Rad(rad)	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Absorbed dose rate	Joule per kilogram-second ($J \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	Gray per second ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)	Rad per second ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)	$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Exposure	Coulomb per kilogram ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	Röntgen(R)	—
Exposure rate	Coulomb per kilogram-second ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	—	Röntgen per second ($\text{R} \cdot \text{s}^{-1}$)	—
Dose equivalent	Joule per kilogram ($J \cdot \text{kg}^{-1}$)	Sievert ^a (Sv) ^a	Rem(rem)	$1 \text{ Sv}^a = 100 \text{ rem}$

^a Recommended by ICRU and ICRP but not accepted as part of the SI at the time of writing

表1 (B) S I 接 頭 語

Factor	Prefix	Symbol	Factor	Prefix	Symbol
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	k	10^{-12}	pico	p
10^2	hecto	h	10^{-15}	femto	f
10^1	deka	da	10^{-18}	atto	a

第IV章 定 義

線量測定で使われる用語の定義についてはいくつかの国際機関で出版されている〔5, 6〕。以下にあげた定義は、このマニュアルの使用を助け、誤解を避けるために、このマニュアルで使われているものである。

Ⅳ. 1. 校正に関する用語

Ⅳ. 1. 1. 校正

線量計の校正とは既知の照射線量、または既知の吸収線量に対してそのレスポンス (response) を決めることを意味し、常に少なくとも1つの標準 (standard) またはリファレンス (reference) 機器 (あとを参照) が関係している。“校正” という語は、規定された条件のもとでの放射線線束中の校正点における照射線量率または吸収線量率の決定に対して (“治療装置の校正” として) 使われることもある。しかし、このマニュアルではこの場合は出力測定と呼び、“校正” という用語は器械の校正に限るものとする。出力測定の方法については別に述べる〔2, 7〕。

Ⅳ. 1. 2. 再校正

測定器の初めの校正に続くすべての校正：

- (a) 定期的校正
- (b) 修理後の校正
- (c) 定期的校正の有効期間が終る前の校正
- (d) ユーザーの要請による校正

Ⅳ. 1. 3. 校正定数

電離箱と付属測定装置よりなる線量計の場合、これは電離箱が基準点 (reference point) にあるときの指示値 (標準状態に補正したもの) を照射線量か照射線量率 (または吸収線量か吸収線量率) に変換するための乗算係数である。特定の測定装置なしで校正を行う電離箱の場合、電離箱が基準点にあるときの標準状態に補正した電離電流 (または電荷) を照射線量率 (または照射線量) に変換するための係数。

Ⅳ. 1. 4. 相互比較

同じ等級の測定器間で性能を比較するために行う測定。

Ⅳ. 2. 測定器の等級

Ⅳ. 2. 1. 標準

他の測定器に伝えるために、ある量の単位 (またはその倍数か、約数) を定義し、物理的に表し、保存し、または再現するための測定器。

Ⅳ. 2. 2. 1次標準

度量衡学最高の特性をもった器械で、ある量の単位の決定を基本物理量の測定から行え、精度は国際的な測定機構に加わっている他の施設の同等の標準と比較することによって立証されているもの。

Ⅳ. 2. 3. 2次標準

1次標準との比較によって校正された器械。

Ⅳ. 2. 4. 3次標準

2次標準との比較によって校正された器械。

Ⅳ. 2. 5. 国家標準

ある国におけるある量の値を確定する基礎として、その量の他のすべての標準器の標準として国の公式な決定で認められたもの。

Ⅳ. 2. 6. リファレンス機器

他の器械の校正のみに使う、充分高性能で安定している測定器。

Ⅳ. 2. 7. フィールド機器

現場でルーチンの測定に用いるのに妥当な性能と安定性をもった測定器。

Ⅳ. 3. 標準研究所

Ⅳ. 3. 1. 1次標準線量測定研究所 (PSDL)

PSDLは、放射線測定の1次標準を開発、保存、向上させる目的で政府から指定された国家標準研究所である。PSDLは国際度量衡局(BIPM)を介して比較を行うという方法で国際測定機構に参加しており、2次標準機器の校正サービスを提供する。

Ⅳ. 3. 2. 2次標準線量測定研究所 (SSDL)

SSDLは校正サービスを提供するよう主務官庁によって指名された測定研究所である。SSDLは少なくとも1次標準で校正した2次標準を備えている。

Ⅳ. 3. 3. SSDLのIAEA/WHOネットワーク

SSDLネットワークは国際的賛助を得てネットワークの目的推進のため協力することに同意しているSSDLの非公式な団体である。

Ⅳ. 4. 測定の不完全性

次の用語の図による表示は図1を見よ。

Ⅳ. 4. 1. 指示値 (Indicated value)

器械の読み値とコントロールパネル上に示してある倍率より得られる値。

Ⅳ. 4. 2. 真値 (True value)

器械によって測定されるべき物理量の値。

Ⅳ. 4. 3. 約定真値 (Conventional true value)

真値は実際には分からないので器械の校正を行い、性能を決めるときは代わりに約定真値が使われる。テストする器械と比較するリファレンス機器によって通常、決められる値である。

Ⅳ. 4. 4. 測定値 (Measured value)

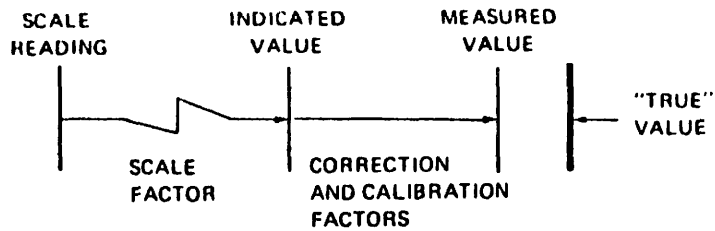


図 1 測定の不完全性の図

器械の指示値とすべての適切な補正係数、校正定数とから算出したある量の真値に対する最良の評価。

Ⅳ. 4. 5. 測定の誤差

ある量の測定値と真値との差。

Ⅳ. 4. 6. 偶然誤差 (Random error)

誤差のうち、大きさ、符号がランダムに変化するもので、測定中のゆらぎ効果に

よって起こるもの。

Ⅳ. 4. 7. 系統誤差 (Systematic error)

誤差のうち、一定か、ランダムでない変化をするもので、測定中の一定か変化するゆがみによって起こるもの。

Ⅳ. 4. 8. ランダム不確定度 (Random uncertainty)

偶然誤差が存在すると見積もられる限界で、普通、示された確率水準に対する信頼限界で表される。

Ⅳ. 4. 9. 系統不確定度 (Systematic uncertainty)

系統誤差が存在すると見積もられる限界。

Ⅳ. 4. 10. 全不確定度 (Overall uncertainty)

ランダム不確定度と系統不確定度の組み合わせで得られる不確定度。このマニュアルでは、全不確定度がランダム不確定度を含むときは、これを 95 % 信頼限界で計算した値である。

Ⅳ. 5. 性能評価

器械の必要な性能を表すため次の用語が使われる。

Ⅳ. 5. 1. 性能特性 (Performance characteristic)

器械の性能を規定するために使われるファクターの1つ (例 レスポンス, リーク電流)

Ⅳ. 5. 2. インフルエンス量 (Influence quantity)

器械の性能に影響を及ぼす、普通は外界の、量。(例 周囲温度)

Ⅳ. 5. 3. リファレンス値 (Reference value)

インフルエンス量依存に対する補正係数が 1,000 であるときのインフルエンス量、または器械パラメータ。

Ⅳ. 5. 3. 1. 標準状態 (Reference conditions)

すべてのインフルエンス量と器械パラメータがリファレンス値をとるときの状態。

Ⅳ. 5. 4. 標準テスト値 (Standard test values)

校正、または他のインフルエンス量や器械パラメータのテストを行うとき、許されるインフルエンス量や器械パラメータの値 (または値の範囲)。

Ⅳ. 5. 4. 1. 標準テスト状態

標準テスト状態ではすべてのインフルエンス量、器械パラメータが標準テスト値を持つ。

Ⅳ. 5. 5. リーク電流 (leakage current)

電離箱か測定装置で、有効容積中の電離によらないで生じる電流。

Ⅳ. 5. 6. 分解能 (Resolution)

観測者がきまっている方法で目盛を読み取るとき読み取れる小部分。デジタル表示では、通常、最小桁の ± 1 。

Ⅳ. 5. 7. レスポンス (Response)

付属測定装置付きの電離箱の場合、指示値と電離箱位置における照射線量、または照射線量率との比。付属測定装置だけでは、指示値と入力電荷、または電流との比。電離箱そのものでは、電離電荷と照射線量、または、電離電流と照射線量率との比。レスポンスは校正定数の逆数である。

Ⅳ. 5. 8. 平衡時間 (Equilibration time)

器械のインフルエンス量を急変させたあと、読み値が、最終安定値からある一定範囲に至り、とどまるに要する時間。

Ⅳ. 5. 9. 応答時間 (Response time)

測定している量が突然変化したあと、読み値が、最終安定値からある一定範囲に至り、とどまるに要する時間。

Ⅳ. 5. 10. 安定時間 (Stabilization time)

器械の電源を入れて（または電離箱に分極電圧を印加して）から性能特性が安定した値になるまでの時間。

Ⅳ. 5. 11. 非直線性 (Non-linearity)

器械の校正定数を定めるべき1つの読み値Mをリファレンスとする。このリファレンス読み値を得るに要する入力信号Qを測定する。別の入力信号qが読み値mを指すなら、これに Mq/mQ を乗じて非直線性が補正される。照射線量計か吸収線量計の場合、入力電荷であるが、照射線量率計か吸収線量率計の場合、入力は電流となる。

Ⅳ. 6. その他の定義

Ⅳ. 6. 1. リファレンス指示値 (Reference indicated value)

器械の校正定数を定めるときの指示値。

Ⅳ. 6. 2. リファレンス読み値 (Reference scale reading)

レンジにかかわらず、リファレンス指示値に相当する読み値。

Ⅳ. 6. 3. 補正係数 (Correction factor)

器械の指示値を特殊な状態（温度 24℃ など）から標準状態（例えば 20℃）における値に変換するための無次元の乗数。

Ⅳ. 6. 4. 半価層 (HVL)

ある点の照射線量率が半分になるように放射線線束を減弱させる特定の物質の厚さ。線束に始めから存在しているもの以外の散乱線による寄与は除くものとする。第1半価層は、照射線量率を初期値の50%に減らすに要する厚さ。第2半価層は、

照射線量率を初期値の25%に減らすためさらに必要とする厚さで、均質係数は、第1と第2半価層との比である。

Ⅳ. 6. 5. 等価エネルギー (Equivalent energy)

第1半価層(通常は銅かアルミニウム)が、問題としているX線と同じになる単色放射線のエネルギーで通常表示する。

Ⅳ. 6. 6. 半影

放射線ビームの端で、線量率が線束軸からの距離の関数として急激に変る範囲。

Ⅳ. 6. 7. ファントム

組織等価物質のかたまりで、使っている線束が完全な後方散乱状態となるに十分な大きさのもの。

Ⅳ. 6. 8. 電離箱の基準点

電離箱の校正で、照射線量か照射線量率(または吸収線量か吸収線量率)が規定される電離箱中の点。基準点の位置は普通、この点のレスポンスが線源からの距離にできる限り依存しないように選ばれる。

Ⅳ. 6. 9. 放射線線束の線質

放射線線束が物質を透過する能力に関連した用語。厳密には、放射線スペクトルの詳細を必要とするが、実用的でないので半価層によって表示する;ただし、厚くフィルターされたX線線束、またはガンマ線線束に対しては、等価エネルギーで表示できる。

Ⅳ. 6. 10. 組織等価物質

与えられた照射に対する吸収と散乱の特性が軟組織、筋肉、骨、脂肪など与えられた生物物質と可能な限り近似する物質。

第Ⅴ章 校正法

放射線量計に適した校正法は数多くあり、ある1つの方法を選ぶ前に考慮しなければならない4つの主な事項がある。ここではこれらの概要とこれらに影響を与える因子について述べる。また、あとの章では応用の詳しい方法について述べる。

V. 1. 先端付同時校正 (Tip-to-Tip CALIBRATION) と、置換校正 (CALIBRATION BY SUBSTITUTION)

第1の方法では、比較する2つの電離箱を同時に放射線線束中において一緒に照射する、第2の方法は1つをまず線束中において読みとり、放射線線束の恒常性について必要なチェックを行いながら別の電離箱で正確に置き換え、さらに読みとる。

照射線量率を初期値の25%に減らすためさらに必要とする厚さで、均質係数は、第1と第2半価層との比である。

Ⅳ. 6. 5. 等価エネルギー (Equivalent energy)

第1半価層(通常は銅かアルミニウム)が、問題としているX線と同じになる単色放射線のエネルギーで通常表示する。

Ⅳ. 6. 6. 半影

放射線ビームの端で、線量率が線束軸からの距離の関数として急激に変る範囲。

Ⅳ. 6. 7. ファントム

組織等価物質のかたまりで、使っている線束が完全な後方散乱状態となるに十分な大きさのもの。

Ⅳ. 6. 8. 電離箱の基準点

電離箱の校正で、照射線量か照射線量率(または吸収線量か吸収線量率)が規定される電離箱中の点。基準点の位置は普通、この点のレスポンスが線源からの距離にできる限り依存しないように選ばれる。

Ⅳ. 6. 9. 放射線線束の線質

放射線線束が物質を透過する能力に関連した用語。厳密には、放射線スペクトルの詳細を必要とするが、実用的でないので半価層によって表示する;ただし、厚くフィルターされたX線線束、またはガンマ線線束に対しては、等価エネルギーで表示できる。

Ⅳ. 6. 10. 組織等価物質

与えられた照射に対する吸収と散乱の特性が軟組織、筋肉、骨、脂肪など与えられた生物物質と可能な限り近似する物質。

第Ⅴ章 校正法

放射線量計に適した校正法は数多くあり、ある1つの方法を選ぶ前に考慮しなければならない4つの主な事項がある。ここではこれらの概要とこれらに影響を与える因子について述べる。また、あとの章では応用の詳しい方法について述べる。

V. 1. 先端付同時校正 (Tip-to-Tip CALIBRATION) と、置換校正 (CALIBRATION BY SUBSTITUTION)

第1の方法では、比較する2つの電離箱を同時に放射線線束中において一緒に照射する、第2の方法は1つをまず線束中において読みとり、放射線線束の恒常性について必要なチェックを行いながら別の電離箱で正確に置き換え、さらに読みとる。

どちらの方法にも得失があり、研究所はある場合1つの方法を選び、他の場合には別の方法を選んでさしつかえない。

先端付同時校正は2つの電離箱が同等か、少なくとも設計が大変似ており2つの電離箱が受ける散乱線がほとんど同じになるよう線束中、先と先を突き合わせるように置ける場合に適している。置換校正はどんな電離箱同志の校正にも適しており、ガンマ線線束の場合は、通常、照射線量率の恒常性をチェックする必要はない。X線によるときは線束中のモニター電離箱が必要で、モニターの読みで各電離箱の照射が順に表される。このモニターは過度に線質依存性を持っていてはならないし

(VI. 1. 6. 参照)、レスポンスの再現性が極めて良くなければならない。これを使うということは誤りを起こし得る第3の線量計があるということの意味する。置換校正では、2つの電離箱が放射線線束中同じ位置を占めるので、線束の正確な均一性はそれほど重要でなくなる。先端付同時校正では、不均一性を考慮するため2つの電離箱の位置を交換する必要がある。

置換校正では、2つの電離箱が物理的に密閉されてなければ室温の変化が不平等に影響しようし、大気圧の変化が1つの照射と別の照射のあいだで起こり得よう。線源位置のわずかな変化も、先端付同時校正より精度に影響を及ぼすことになる。

その時の状況によっていずれの方法も適切になり得る。指頭型電離箱を自由空気電離箱に対して校正するときは、置換校正が基本となろうが、フィールド機器が根本的に同一設計のリファレンス機器で校正されるときは、先端付同時校正の方が適していよう。あとのセクションで述べる装置の多くは置換校正に適しているが、同時校正が用いられればいくらか単純化できる。

置換校正を行い、モニター電離箱を使うときは、一時に2つあるいはそれ以上のフィールド機器を校正できる。それぞれがビームの方向を直交して走るレールにのったトロリーか、それぞれの電離箱を独立して正確に配置できる何か別の方法が必要となる。標準線量計に対して比 R_S (IX. 4. 2. 参照) をまず求め、次に、 R_{D_1} , R_{D_2} , …… を求める。 R_S を再び求めてドリフトの有無をチェックする。それぞれの R_D のあとに R_S を求めていく方が望ましいか検討するべきである。いくつものフィールド機器を迅速に校正しなければならないとき、この方法は、関連するすべての因子が十分安定だと解っていれば、これに要する時間を短縮できる。

V. 2. 空中校正とファントム中校正

空中校正は、空気中で比較する2つの電離箱の据えつけ、高エネルギー放射線に対するビルドアップキャップの使用、そしてそれにとどく散乱線を最小にする処置などが関連している。ファントム中校正は、適切な大きさと材質で、同じ深さにあってそれぞれが電離箱にフィットする2つの穴のあるファントムによる〔7〕。 管

電圧 150 kV 以上で発生させる X 線、および高エネルギーガンマ線に対してファントムをこの目的に使うことは有利であり、また、放射線治療装置の放射線出力測定にファントムを継続的に使うことに密接な関連があると言えよう〔8〕。

明らかに、ファントム中校正で、V. 1 の同時法を採用できるのは比較される 2 つの器械の指頭型電離箱が同じ大きさで形のとけのみ可能である。しかし、電離箱は“突き合わせる”のではなく、“並べる”ことになる。この方法は、電離箱の 1 つが自由空気電離箱のときは採用できないが、リファレンス機器が指頭型電離箱を持ち、また、フィールド機器では主として出力測定やファントム内の深部線量測定を行う場合には利点を持っている。簡明にするために、このマニュアルでは以下、空気中の校正についてのみ論ずるが、その方法はファントム中の校正に応用することもできる。

V. 3. 放射線量

線量計校正、そして、治療装置の出力測定の最終目的は、患者の特定の部分に与えられた吸収線量を実用的に可能なかぎり正確に表すことである。軟組織が問題ならば水への吸収線量を明確にするのが適当である。実際は、放射線の標準が空気中の電離で定義されており、電離法と同じ精度で物質内に吸収された放射線のエネルギーが直接測定できる方法が開発されるまでこれは続くであろう。従って、PSDL は吸収線量よりも照射線量に基づいた校正証を発行することになる。

校正手続きのある段階、すなわち患者への吸収線量を確定するために校正が使われる前に、照射線量による校正から水の吸収線量による校正に変更しなければならない。そして、この目的に表 2 が使われる。表中、線質は一次線のものであるが、与えられた係数を導くにあたって、標準ファントム中 5 cm 深さにおける線質の変化は考慮されている。水の吸収線量による校正への変更は SSDL で行ってもよいが、望むならこの変更は病院でフィールド機器を使っている者によっても行うことができる。

V. 4. 校正の場所

SSDL 概念 — そしてこのマニュアル — の裏にある意味は、病院が放射線線量計を校正のため SSDL に送るべきであり、そして、例えば治療装置の出力測定をするためにこれを返送してもらいべきである。これは疑いなく一般的に行われている適切な方法である。ときに、リファレンス機器を SSDL から病院へ持ち出し、病院で線量計を校正するという場合もある。これは、リファレンス機器が可搬型で、移送によって壊れることのないように堅ろうな場合、校正が一定かどうかチェックするためのチェック線源を持つ場合、適切な技術をもった専門家がそれに付い

表 2. 照射線量から吸収線量への変換係数

Primary beam HVL or nuclide	Conversion factor (Gy·R ⁻¹)
0.5 mm Al	8.9 × 10 ⁻³
1	8.8 × 10 ⁻³
2	8.7 × 10 ⁻³
4	8.7 × 10 ⁻³
6	8.8 × 10 ⁻³
8	8.9 × 10 ⁻³
0.5 mm Cu	8.9 × 10 ⁻³
1	9.1 × 10 ⁻³
1.5	9.3 × 10 ⁻³
2.0	9.4 × 10 ⁻³
3.0	9.5 × 10 ⁻³
4.0	9.6 × 10 ⁻³
¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	9.5 × 10 ⁻³

Adapted from ICRU Report 23, Table 2[8].

SSDL の専門家が可搬型リファレンス機器を持って、たとえ彼が病院にいるとき、病院の線量計と彼の線量計と比較するだけで、マニュアルでもくろんでいる校正のすべてを行なわないにしても、病院へ行く必要があろう。それでも、彼は、制限付かも知れないが校正証を発行することができるであろう。TLD の相互比較か何かで、病院の線量測定が疑わしいという理由があれば、専門家の訪問と現場における線量計の比較は、不正確さの原因を究明し、これを解決する助けになろう。

SSDL において校正を行う利点の1つは、放射線源が設置されており、校正の目的のために保守されているということである。病院では、線源は臨床用であり、校正の際中に緊急処置のため必要となったりするので、病院における校正はより急がしく、かつ徹底しなくなる。

第 VI 章 校正用機器と設備

VI. 1. X線校正用セットアップ

X線装置による線量計校正に適した器具配置の概略図を図2に示す。このような校正用セットアップは、X線管球を防護容器で囲ったX線発生器、第1絞り

て出張するかまたは線量計を使う病院に居る場合、適切な校正装置 (VI章参照) が病院にあって病院で放射線装置を適切に点検していた場合 (VII章参照) のみ可能である。その主な利点は、病院のフィールド機器の感度にエネルギー依存性があるとき、臨床測定が行われる放射線ビームでリファレンス機器による校正を最小のエネルギー依存性で行うことができるというところにある。

実際は、校正はほとんどSSDL において行われることになろうが、ときには、

表 2. 照射線量から吸収線量への変換係数

Primary beam HVL or nuclide	Conversion factor (Gy·R ⁻¹)
0.5 mm Al	8.9 × 10 ⁻³
1	8.8 × 10 ⁻³
2	8.7 × 10 ⁻³
4	8.7 × 10 ⁻³
6	8.8 × 10 ⁻³
8	8.9 × 10 ⁻³
0.5 mm Cu	8.9 × 10 ⁻³
1	9.1 × 10 ⁻³
1.5	9.3 × 10 ⁻³
2.0	9.4 × 10 ⁻³
3.0	9.5 × 10 ⁻³
4.0	9.6 × 10 ⁻³
¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	9.5 × 10 ⁻³

Adapted from ICRU Report 23, Table 2〔8〕.

SSDL の専門家が可搬型リファレンス機器を持って、たとえ彼が病院にいるとき、病院の線量計と彼の線量計と比較するだけで、マニュアルでもくろんでいる校正のすべてを行なわないにしても、病院へ行く必要があろう。それでも、彼は、制限付かも知れないが校正証を発行することができるであろう。TLD の相互比較か何かで、病院の線量測定が疑わしいという理由があれば、専門家の訪問と現場における線量計の比較は、不正確さの原因を究明し、これを解決する助けになろう。

SSDL において校正を行う利点の 1 つは、放射線源が設置されており、校正の目的のために保守されているということである。病院では、線源は臨床用であり、校正の際中に緊急処置のため必要となったりするので、病院における校正はより急がしく、かつ徹底しなくなる。

第 VI 章 校正用機器と設備

VI. 1. X線校正用セットアップ

X線装置による線量計校正に適した器具配置の概略図を図 2 に示す。このような校正用セットアップは、X線管球を防護容器で囲った X線発生器、第 1 絞り

て出張するかまたは線量計を使う病院に居る場合、適切な校正装置 (VI 章参照) が病院にあって病院で放射線装置を適切に点検していた場合 (VII 章参照) のみ可能である。その主な利点は、病院のフィールド機器の感度にエネルギー依存性があるとき、臨床測定が行われる放射線ビームでリファレンス機器による校正を最小のエネルギー依存性で行うことができるというところにある。

実際は、校正はほとんど SSDL において行われることになろうが、ときには、

(D_1)、線束制限用絞り (D_2)、遮蔽用絞り (D_3 と D_4)、シャッター (S)、フィルタ (F)、モニター電離箱 (M)、HVL 測定のための吸収体 (A)、リファレンス電離箱 (R)、そして校正される測定器の電離箱 (I) からなる。

正確に調整ができる支持具と滑車を持った — 光学ベンチと同じような — 校正用ベンチの上に校正用セットアップのそれぞれの部品を固定すべきである。校正用ベンチ、支持具、滑車はしっかりしたもので、散乱線の発生が少ないものであり、どんな場合にも完全に利用線束の外側に設置すべきである。

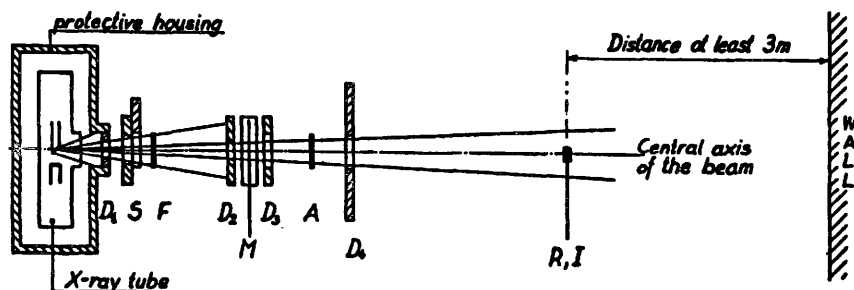


図 2. X線用校正設定の概略図 (記号は本文を参照)

VI. 1. 1. X線発生器

2種類のX線発生器；つまり、約10から60 kV 範囲の管電圧の低エネルギーX線用、および約50から300 kV 範囲の中エネルギーX線用が必要であろう。低エネルギー範囲では少なくとも30 mAの管電流、中エネルギー範囲では10 mAの管電流が必要である。それぞれのX線発生器にはそれ自身の校正用ベンチを備えるべきである。

X線管の実効焦点の大きさは2から5 mmであるべきである。低い固有透過はX線管に低管電圧まで使用できるような機能を与えるだろう。固有透過は低エネルギー領域では2 mmベリリウム厚さ以下、中エネルギー領域では3 mmアルミニウム厚さ以下にすべきである。

X線発生器としては、校正に使用する管電流において、平均電圧と比べて10% (ピークからピークまで) 以上にならない交流電圧 (リップル) をもった定電圧型が適している。管電圧は、使用されるそれぞれの設定において±1%の精度で再設定可能な、十分な範囲にわたって、連続可変であるべきである。

スタビライザーは主電圧あるいは周波数の予知される変化に対し0.3%以下の電圧変動におさえるようにすべきである。

X線管球はどの方向においても利用線束以外で感知しうるほどの放射線を出さないように作られた防護管球容器に収めなければならない。校正点における迷放射線 (壁、床等からの全ての散乱線を含む) の量は測定される放射線の数%を越えては

いけない。

線束が校正用ベンチと正確に平行になるように、X線管を調整しなければならない。調整後X線管をしっかりと固定しなければならない。

VI. 1. 2. 第1絞り (D_1)

第1絞りはしばしばX線管容器の1部として備えつけられている；それは使用する最大照射野を十分に含む大きさであるべきで、X線管ターゲットに可能なかぎり近づけるべきである。

VI. 1. 3. シャッター (S)

これは2つの目的をはたす。2つのシャッターまたは2重の目的をもった1つのシャッターは以下のように使われる。

- (a) 安全シャッター；これはX線管容器の1部であってもよく、放射線を個人の安全レベルまで減弱し、それぞれの照射において、X線管の高電圧スイッチを入れたり、切ったりすることなしに、X線束を安定して供給するためにある。
- (b) 迅速に動くシャッター；これは透過量を0.1%以下にする厚さをもち、それぞれの照射の始めと終わりに使われる。電離箱に対して全開照射とゼロ照射の間の動作時間は、通常、照射時間の0.1%以内であるべきである。もし、そうでなければ補正する。

シャッターが第1絞り (D_1) と置き換えられている場合以外は、シャッターの開口部はその位置におけるX線束より大きくなければならない。低エネルギーX線の線質(管電圧60 kV以下)に対しては必要な線束の減弱を得るために約1 mm鉛の、また中エネルギーX線の線質(管電圧50から300 kV)に対しては約15 mm鉛のシャッター厚さが必要である。

放射線線束中におけるその位置は、フィルター(F)と線束制限絞り (D_2) からの距離に関しては任意である。

X線管球が可動状態になりシャッターが開くとき、警告を与えるための赤い警告ランプを接続する必要がある。そして、それらの1つは制御板に取り付けられ、管球自身に近いところに、1つは入口の扉に取り付けられる。別に緑のライトを、シャッターが閉じたときのみにつくように、接続することが好ましい。

VI. 1. 4. フィルター (F)

一般に発生器からのX線束を校正目的に使用する時は付加フィルターが必要になる。適当な純度をもったフィルターをシャッターにできるだけ近づけて付加すべきである。個々のフィルター成分はその原子番号がX線管側からはなれるにつれ減少するような順序に配列しなければならない。フィルターの適当な組合せを交換しやすい回転器具上に配置することができる。

アルミニウムのみを透過を約4 mm Al (約0.15 mm Cu)までの半価層のために、

銅 γ 過（銅フィルターのうしろに1 mmのアルミニウムフィルターを用いる）をより高い半価層の時に用いる。錫の γ 過を約2 mm Cuの半価層、つまり、錫の後に約0.25 mm Cuと1 mm Alフィルターを用いたもの、に用いてもよい。99.9%の純度をもったアルミニウムを用いるべきである。フィルターは可能なかぎり均一で、すなわち、空洞、きず、割れ目等のないものでなければならない。

校正に用いる放射線線質が放射線線質が放射線治療時と同じになるようにフィルターを選ばなければならない。0.1 mm段階で γ 過を変えるために、0.1から5 mm厚さのAlとCuフィルター板が必要になるだろう。

VI. 1. 5. 線束制限絞り (D_2)

これは測定点での利用線束の大きさを規定する。これは調整、交換可能にしてもよい。その厚さは利用線束外で0.1%以下の透過になる厚さでなければならない。

それは低エネルギー領域では6 mm厚さの鋼鉄または真ちゅうで作られている。中エネルギー領域の場合には15 mm厚さの鉛で作られていなくてはならない。

それをフィルター透過後の放射線線束中に置くべきである。それが満たされればターゲットからのその距離は半影の大きさを考慮して決められる。

もし、30 mm直径の穴を持った絞りをターゲットから15 cmの位置に置いたなら、50 cmの距離で使用可能な線束の大きさは半影の広さに依存するが、10 cm直径より幾分小さいだろう。

VI. 1. 6. モニター電離箱 (M)

X線の校正（先端付同時校正法を使う場合以外、V. 1. 参照）では、透過型電離箱はフィルターと線束制限絞りを通じた後の完全にコリメートされた線束を含むべきである。リファレンス電離箱と校正される測定器の全ての読み値をモニター電離箱の読み値に対して規準化しなければならない。

モニター電離箱の有効断面積は必要とする最大線束以上に大きくなければならない。できるかぎり、放射線場がモニター電離箱によって乱されてはいけない。特に有効放射線線束中に影を作ってはいけない。その壁は十分に薄く、線束 γ 過に有意に加わるようではいけない。けれども、この付加される γ 過は低エネルギー放射線においては重要であり、全 γ 過に含ませるべきである。モニター電離箱の壁を作成するために、約50 μ m厚さの薄いプラスチック箱が入手可能である。しかし、もし電離箱の窓の厚さが電子平衡を満たしていないならば、測定中の電離箱のまわりの散乱状態がどのように変動しても電離箱の感度が影響されないように注意すべきである。モニター電離箱のエネルギー依存性は使用範囲内で $\pm 15\%$ 以下にすべきであり、望ましくない管電圧の変化のために起るかもしれないエネルギー範囲にわたっては0.5%を越えるべきでない。以上のことを注意することにより、X

線発生器の出力安定度を監視するためのモニター電離箱を使うことができる。

VI. 1. 7. 遮蔽用絞り (D_3)

リファレンス電離箱と校正に使われる電離箱からの後方散乱線による、モニター電離箱への効果を調査すべきである。もし、その効果が重大であれば、モニター電離箱を遮蔽するために遮蔽用絞りを採用することによってその効果を減らしてもよい。この絞りで利用線束を制限すべきでない。しかし、それを調整することにより半影を減らすことはできる。

注意：小さな半影にすることによって電離箱の場所での散乱線が最小になるように、可能なかぎりターゲットに近づけて、VI. 1. 2. から VI. 1. 7. に記載した全てのものを置くことは好ましいことである。

線束制限絞り (D_2) と遮蔽用しぼり (D_3) はモニター電離箱の両側に密着して取付けてもよい。

VI. 1. 8. 付加絞り (D_4)

ターゲットからある程度離れた場所にある、調整あるいは交換可能な付加絞りはさらに離れた場所における半影を減少するために有効であり、そして VI. 1. 7. で記述した遮蔽用絞り (D_3) の効果にさらに付加的遮蔽効果を与えるであろう。

VI. 1. 9. 電離箱支持システム (R, I)

もし、置換法によって校正するなら (V. 1. 参照)、リファレンス電離箱の基準点と校正される測定器の電離箱の基準点が利用線束の中心軸上の同じ位置にくるように交互に動かさなければならない。もし、大きさ、散乱状態が同じである指頭型電離箱を比較するために先端付同時校正法を用いたなら、線源から同じ距離であって利用線束軸を中心にして並べ、あるいは先端付けの状態で固定しなければならない。支持システムは電離箱をしっかりと支持し、調整しやすいものでなければならない。支持具は完全に X 線束の外側に置くべきで、測定点への散乱線を最小にすべきである。リファレンス電離箱と測定器の電離箱とを交換するために使用する器具は簡単に早く扱えるものであるべきである。

放射線線束の中心軸は X 線写真法で決定すべきであり、校正システムを簡単に並べるために、そして電離箱の校正点を中心軸に早く正確に合わせるために、光学的方法、例えば、レーザとかライトビームを用意すべきである。

支持システムは、放射線治療に使われている線源—皮膚間距離 (SSD) と線源—電離箱間距離とが一致するように、十分な距離をとるべきである。しかし、実際問題として、線束シャッター、フィルター回転器具、モニター電離箱等をたびたび調整するため長い距離が必要である。低エネルギー放射線 (10 から 60 keV) に関しては 30 から 50 cm の距離が考えられ、中エネルギーおよび高エネルギー放射線に関しては 50 から 100 cm の距離が考えられる。しかし、低エネルギー放射線では

SSD 30 cm 以下の値についても追加データを求めなければならないかもしれない。

線源 — 電離箱間距離の不確かさによって生じる誤差を減らすために、電離箱の位置を検査する器具を持つことは便利なことである。この器具として、放射線線束に対して直角に設置されたテレスコープ方式を採用することができる。例えば、ターゲットから 50 cm の位置において、この距離の変化による誤差が 0.2 % を越えないようにするには、電離箱の中心をその同じターゲット距離の 0.5 mm 以内に置かなければならない。

電離箱の位置において、照射野はそれらを均等に照射するのに十分な大きさでなければならぬ。しかし、不必要に大きくする必要はない。

VI. 1. 10. HVL 測定のための吸収体 (A)

HVL 測定に用いる吸収体を測定用電離箱とモニター電離箱のほぼ中間に固定すべきである。0.02 から 5 mm の厚さのアルミニウム板が必要である。その純度は 99.9 % であるべきである。また、0.1 から 5 mm 厚さの銅板も必要であるが、そんなに高い純度は要求されない。HVL 吸収体は十分に均一な厚さでなければならぬし、可能なかぎり均一なもの、すなわち空洞とかきず、割れ目等がないものでなければならぬ。

その厚さを可能なら $\pm 1\%$ の精度で測定すべきである。しかし、薄い箔を使った場合にはその測定が不可能になるだろう。

VI. 2. ガンマ線校正用セットアップ

ガンマ線の校正は ^{60}Co または ^{137}Cs 遠隔治療装置で行う。線源の放射能は 1 m の距離で少なくとも約 $40 \mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{s}$ (約 10 R/min) の照射線量率を生じるに十分な強さを持つべきである。しかし、校正をこの距離 (1 m) で行う必要はない。線源は十分にしゃへい能力があり、そして大きさが可変である線束コリメータを備えるべきである。しかし、線束中の照射線量率は線束の大きさに依存するので、適当な大きさに線束を合わせ、校正を行う間はこの大きさで使用する。付随するいろんな時間誤差、例えば、線源あるいはシャッターの動作時間、これは小さくすべきであり、それに寄因する時間誤差を知っているべきである。

ガンマ線線源は附加フィルターまたはモニター電離箱を必要としない。ガンマ線源はそれ自身に内蔵したシャッターあるいは線源貯蔵容器を持つべきである。異なった照射時間の測定を規準化するために、照射タイマーを使用すべきである。ある場合には水平方向より垂直方向の線束を用いて校正する方がより便利であるかもしれないが、校正用ベンチと電離箱支持システムについての要求は X 線の校正用設定の場合と同じである。

VI. 3. 測定器

VI. 3. 1. 基準測定器

SSDL は校正された、また必要に応じて、それを PSDL で再校正した二次標準線量計を持たなければならない。二次標準線量計は普通、その校正定数に変化する可能性を最小にするような状態で注意深く保管される。それを他の測定器の日常校正に使ってもよい、またはひとつあるいはそれ以上の三次標準測定器の経年的な校正の点検に単独に使ってもよい。そしてその三次標準測定器を日常校正の基準測定器として使用する。研究所の二次標準線量計、および基準測定器として使われるあらゆる三次標準線量計は最大の注意を払って取扱うことが必要である。明らかに二次標準線量計に対して直接校正されたフィールド測定器は、それが三次標準に対して校正された場合よりも幾分正確に校正されるようである。その差は小さいであろうが、どんな場合にも使用に際し二次標準の校正定数のより大きな可能な変化とその差が釣合いが取れるようにしなければならない。SSDL の全仕事はこの定数を一定にすることである。

リファレンス線量計は一般に3つの基本的な機器からなっている。つまり、電離箱、測定附属計器、そして安定性チェック線源である。

VI. 3. 1. 1. 電離箱

二次標準線量計の電離箱は長期間にわたって高い安定性と低いエネルギー依存性をもっていなければならない。どのような感度変化も1年間に0.5%より大きくなるべきでない。

ある放射線エネルギー範囲にわたり空気等価型電離箱に近いあるタイプの電離箱は、電離箱を通過すべき特定の線束のみに用いられる。線束の大きさは特定の平面に挿入されたいくつもの絞りのうちのひとつによって定められ、その絞りの中心を電離箱の基準点として採用する。

中および高エネルギー放射線を測定するための指頭型電離箱は普通約0.1から約1.0 cm³の有効体積をもっている。このような電離箱のエネルギー依存性は本来なら2 mm Al から3 mm Cu の半価層、すなわち大体70 から250 kV X線管電圧の範囲では±2%以下であろう。高エネルギー放射線に用いるのに適していると定められた電離箱では、その全壁厚（もし、別にビルドアップキャップが準備されているのなら、それをも含む）は少なくとも⁶⁰Co ガンマ線に対して電子平衡を与えるに適したものでなければならない。適当なビルドアップキャップを用いた、このような⁶⁰Co ガンマ線用電離箱のレスポンスは、2.0 mm Cu 半価層つまり約220 kV に対するレスポンスの普通5%以内のレスポンスになる。

低エネルギーを測定するための電離箱は、普通それを通して放射線が測定容積に

入ってくる、薄膜あるいは網で構成されている入射窓をもっている (thin-window chambers)。その代表的な容積値は $0.02 - 0.5 \text{ cm}^3$ の範囲内にすべきである。このような電離箱のエネルギー依存性は本来なら 0.05 から 2 mm Al の半価層つまり大体 12 から 75 kV X 線管電圧の範囲において $\pm 3\%$ 以内になる。

二次標準線量計の電離箱は密封すべきでなく、すぐに周囲の状態と平衡になるように設計すべきである。

電離箱を測定附属計器といっしょに、あるいは別々に校正してもよい。後者の場合、その校正定数は電荷 (電流) あたりの照射線量 (率) の単位で、あるいは電荷 (電流) あたりの吸収線量 (率) の単位で表示すべきである。

電離箱と測定附属計器とをつなぐために特別なケーブルが必要である。一般に高絶縁同軸ケーブルはそれが曲げられた時あるいは変形しているとき電氣的ノイズを発生する。普通それは短時間ではあるけれども、もし測定中にケーブルを動かすと誤差を生じるかもしれない。また、ケーブルが引張られた時に d. c. 電位差を生じるかもしれない。そしてこの電位差は消滅するのにある時間がかかる; つまり、測定はこの時間内では不可能であるかもしれない。その結果、電離箱と測定附属計器とをつなぐ同軸ケーブルは、これらの効果を最小に設計した“非増幅”あるいは“低ノイズ”タイプのケーブルにすべきである。

VI. 3. 1. 2. 測定附属計器

この附属計器の主な目的は電離箱からの電荷あるいは電流を測定し、それを表示、制御あるいは保有するのに適した形に変換することである。それはまた電離箱の電極電圧を供給している。数年以上たつと、得られる入力電荷あるいは電流に対する測定附属計器のレスポンスは変化する。測定附属計器の経年変化は通常1年に $\pm 0.5\%$ 以内であればよい。

表示装置は照射線量あるいは照射線量率の値を導くことができるデータを視覚的に表示できなければならない。二次標準線量計の目盛には放射線の単位を表示すべきでない。

測定附属計器は電離箱をもちいて校正してもよいし、電離箱および測定附属計器を別々に校正してもよい。この場合、測定附属計器は電荷あるいは電流単位で校正されるだろう。このような電荷/電流測定附属計器の測定範囲はそれが使われる電離箱に依存するだろう。

VI. 3. 1. 3. 安定性チェック線源

安定性チェック線源の目的は点検すべき完全な線量計の全体的性能を点検することにある。このような線源は電離箱を均等に照射しなければならない。電離箱の位置におけるわずかな変化の影響が最小になるように、放射性線源と電離箱との幾何学的な配置を正確にくり返えして設定でき、温度測定もできねばならない。

放射性核種の半減期は適当に長く、5年以下であってはならない。放射性核種の純度は3年間にわたって、その壊変が容認され、予期される半減期から著しく異っていないことが十分に保証されなければならない。

線源容器は電離箱を取りはずしたとき、開口部を閉じる装置が必要である。

VI. 3. 2. モニター測定器

モニター電離箱とともに使用される電流／電荷測定器は正確な再現性、すぐれた短時間内安定性をもたなければならない。

VI. 3. 3. 他の線量計

適当な他の線量計が三次標準線量計、移動線量計、フィールド線量計として必要になるだろう。

VI. 3. 4. 安定電圧電源

測定附属計器とモニター測定器は電離箱の電極電圧の供給器を持っているかもしれない。もし、持っていないければ、リファレンスおよびモニター電離箱に適当な範囲（例えば 0 - 500 volts）を持った安定電圧電源が必要である。それは供給電圧および周波数の変化に対して $\pm 0.02\%$ の安定性をもっていなければならない。リップルとノイズはピーク間 4 mV 以下であるべきである。

VI. 3. 5. 時間測定

X線線束が出ている時間を測定しなければならないかもしれない。もしそうならば、むしろ電気タイマーを用いるべきである。また、このタイマーを照射時間の制御のためにも使ってもよいが、ここでは測定時間の制御に使用する。時間測定の不確かさは 0.1% 以下にすべきである。別の方法として、精度がよいストップウォッチを使ってもよい。

VI. 3. 6. 大気環境モニタリングと測定装置

大気環境モニタリングの装置はそれが必要なときに研究所内の気温、気圧、湿度を記録するために設置すべきである。さらに、周囲の気温、気圧、相対湿度を測定するために簡単な気象学を利用しなければならない。また VIII.5 , VIII.6 そして VIII.7 をも参照せよ。

VI. 3. 7. 距離測定装置

線源までの電離箱距離を測定し、維持することが可能でなければならない。電離箱の位置を約 50 cm の距離で ± 0.5 mm 以下の確実さで再現しなければならない；つまり、この値は、より短い距離では、それに相当して小さくすべきである。

VI. 3. 8. 電離測定の精度

電離箱線量計をもちいて精度よい測定をおこなう時は、シリーズの1番目の読み値を無視する必要がしばしばあり、（放射線線束が変化しないと仮定して）測定において一様な傾向（上がるか、下がるかどちらか一方）が現われなくなるまで計測

し続けなければならない。もし、この傾向が5回目以上の読み値にまで続けば、装置および(または)放射線線束を調査すべきである。安定な状態に達したあと、その範囲つまり最初の数回の測定値の標準偏差を過去の経験に基づいた許容限度と比較すべきである。1シリーズ5回の読みで十分であるが、主にランダム誤差は系統誤差とくらべて相対的に小さいと思われるので、受け入れられる結果は普通1シリーズ3回だけの読みによって容認しうる結果を経験的に得てもよい。もし、結果が容認しうる限界以内であるなら、読み取りを終えることができるし、もしそうでなければ、測定器を検査すべきである。

リファレンス測定器、校正される測定器あるいはどんなモニタ測定器を使うにかかわらず、この節において概略した手順は校正時に電離箱線量計を用いたどんな測定にも適用される。

VI. 3. 9. 補助設備

上述したものに加えて、いくつかの補助器具が必要になる。

- (a) X線線束の位置付けを点検するためのフィルム(あるいは小さな蛍光板)
- (b) 電離箱が外気に自由に通気しているかどうかを点検する器具。
- (c) フィルターと吸収体の厚さを測るための適当なマイクロメータ。
- (d) X線管からの漏洩放射線と操作室、校正室等における放射線レベルを検査するのに適した、ひとつあるいはそれ以上の携帯用放射線防護サーベイメータ。
- (e) 複数レンジをもった照射線量率計。
- (f) 放射線防護のための個人線量計。
- (g) 精密な電圧計そして(あるいは)検電計($V/A \cdot \text{ohm}$)
- (h) 卓上あるいはポケット計算器。
- (i) 可能なら照射中に得られる線量計の読みが見れるような閉回路TVセット。

このような手引き書で装備の明確な細目を勧告することは不可能である。しかしウィーンにおけるIAEAの線量測定部門はいつも助言を与え続けていきたいと思う。

第Ⅶ章 校正前の事前測定

X線装置、遠隔セシウム装置あるいは遠隔コバルト装置を校正に使用する前に、機械的、電気的な観点から作業がしやすい状態である事、そして放射線から安全である事を確認する必要がある。装置からでてくる放射線線束の正確な大きさ、形そして位置を確認する必要がある。それに応じて、校正用セットアップを調整しなければならない。

し続けなければならない。もし、この傾向が5回目以上の読み値にまで続けば、装置および(または)放射線線束を調査すべきである。安定な状態に達したあと、その範囲つまり最初の数回の測定値の標準偏差を過去の経験に基づいた許容限度と比較すべきである。1シリーズ5回の読みで十分であるが、主にランダム誤差は系統誤差とくらべて相対的に小さいと思われるので、受け入れられる結果は普通1シリーズ3回だけの読みによって容認しうる結果を経験的に得てもよい。もし、結果が容認しうる限界以内であるなら、読み取りを終えることができるし、もしそうでなければ、測定器を検査すべきである。

リファレンス測定器、校正される測定器あるいはどんなモニタ測定器を使うにかかわらず、この節において概略した手順は校正時に電離箱線量計を用いたどんな測定にも適用される。

VI. 3. 9. 補助設備

上述したものに加えて、いくつかの補助器具が必要になる。

- (a) X線線束の位置付けを点検するためのフィルム(あるいは小さな蛍光板)
- (b) 電離箱が外気に自由に通気しているかどうかを点検する器具。
- (c) フィルターと吸収体の厚さを測るための適当なマイクロメータ。
- (d) X線管からの漏洩放射線と操作室、校正室等における放射線レベルを検査するのに適した、ひとつあるいはそれ以上の携帯用放射線防護サーベイメータ。
- (e) 複数レンジをもった照射線量率計。
- (f) 放射線防護のための個人線量計。
- (g) 精密な電圧計そして(あるいは)検電計($V/A \cdot \text{ohm}$)
- (h) 卓上あるいはポケット計算器。
- (i) 可能なら照射中に得られる線量計の読みが見れるような閉回路TVセット。

このような手引き書で装備の明確な細目を勧告することは不可能である。しかしウィーンにおけるIAEAの線量測定部門はいつも助言を与え続けていきたいと思う。

第Ⅶ章 校正前の事前測定

X線装置、遠隔セシウム装置あるいは遠隔コバルト装置を校正に使用する前に、機械的、電気的な観点から作業がしやすい状態である事、そして放射線から安全である事を確認する必要がある。装置からでてくる放射線線束の正確な大きさ、形そして位置を確認する必要がある。それに応じて、校正用セットアップを調整しなければならない。

X線線束の校正において必要な放射線線質を得るために半価層測定を行ない、必要に応じて調整しなければならない。散乱放射線、線束一様性そしてタイマー誤差をも測定する必要がある。

さらに、測定器が正確に働らくかを点検するための測定をおこなうべきである。

装置に取付けられた時計が正確に調整されているかどうかを確認するために、その製造業者はあらゆる努力をすべきである。けれども、装置がうまく働くかどうかを確認するために、使用者は適当な検査を十分に、そしてたびたびくり返して行なわねばならない。これらの重要な検査をおこなうSSDLのスタッフを助けるために、ここでは文献(2)で与えられた助言を要約する。

VII. 1. 電気に関する安全性

電気に関する安全性は主に設備を取付けた技術者の能力に依存している、がしかしX線発生器や遠隔治療装置の全附属部品が正しくアースされているかどうかを点検しなければならない。同様に校正用ベンチもアースされていなければならない。あらゆる主電源に適当なフューズを組込まなければならない。電氣的に操作する装置に関する地方あるいは国の全ての規定を完全に守らなければならない。

高圧ケーブルについて特別の注意を払わねばならない。これらは防電撃であり、過度の動きがないようにしっかりと締め金で締めつけられていなければならない。しかし、X線管の頭部を動かす必要があるときには、いつでもそれらが自由に動くことが可能であるべきである。ケーブルは擦れる事がないように注意すべきである。というのはその外側の被覆がほぐれたり、さもないと損傷したりする原因になるかもしれない。さらに、ケーブルを決して引張ったり、小さな半径の弧に曲げたりすべきでない。明らかな損傷がないこと、また自由に動くことを確認するためにたびたびケーブルを調べるべきである。

VII. 2. 漏洩放射線の検査

X線管あるいはガンマ線線源の防護容器をX線フィルムで取り囲み、適当な時間、線束を出すことによって、放射線の漏れが生じるような遮蔽物の穴あるいは損傷の存在、場所を測定できる。もし、機械のスイッチを入れた時に移動する線源のガンマ線装置の場合、“on”の位置での線源をもちいて検査をおこなうことが重要である。この照射のためには、シャッターを閉じる方法、あるいは第1絞りまたは ^{60}Co 装置の開口部を横切る厚い鉛板(X線には約10mmの厚さ、 ^{60}Co ガンマ線には約10cmの厚さ)を使う方法のどちらかによって主線束を遮蔽すべきである。フィルムの照射中の正確な位置が後でわかるように、フィルムに注意深く印を付けるべきである。

照射はX線装置を最大 kV および mA で操作しておこなうべきであり、約 50 cm 距離における主線束の照射線量が約 25 mC/kg (約 100 R) になるように維持すべきである。⁶⁰Co 装置の場合には、フィルムはこの線質に非常に感度がにぶく、照射時間は 20 あるいは 30 倍の長さが必要になる。

そして、特にフィルムで感知しうる放射線が検出されたすべての方向に関して注意を払いながら、X線管と遮蔽物のまわりの広範囲にわたる照射線量率のレベルを適当なサーベイメータで測定すべきである。

漏洩放射線の最大レベルはX線管容器から 1 m の距離で 70 nC/kg·s (約 1 R/h) を越えてはならない。

⁶⁰Co 装置において、どちらかが大きいにしても線源から 1 m の距離における漏洩放射線の最大線量率は 70 nC/kg·s (約 1 R/h) 以下、あるいは線源から 1 m の距離における利用線束の照射線量率の 0.1 % 以下、でなければならない。

VII. 3. X線線束の調整

ある場合には蛍光板が便利であるけれども、X線線束とコリメータ系の調整はフィルムを使ってすべきである。調整後、X線管焦点のスポットを可能なかぎり、確実に 1 mm あるいは 2 mm 以内に合わせるべきである。これは Massey (2) が述べている方法を使うことにより、非常に簡単に点検できる。もし、焦点スポットが軸の 1 mm か 2 mm 以内になるように装置を調整することが不可能であると判明したなら、線束の大きさと均等性に特に注意を払うべきである (VII. 5. 参照)。別の方法として VII. 4 節の方法をもちいてもよい。

VII. 4. ⁶⁰Co 装置線源のセンタリング点検

校正において必要とされる線束の端に電離箱を置くべきである。電離箱が線束中に十分含まれるように放射線線束を合わせ、照射線量率を測定する。そして、照射線量率はその前の値の約 1/2 になるまで照射口を閉じる。その次に、電離箱をコリメータ系の中心軸に関して左右が対称的になるように反対側に置くべきである。もし、線源が正確に中心軸上にあるのなら、2 回目の読み値は 1 回目の読み値と同じになるだろう。もしそうでなければ、読み値がお互いに 2 - 3 % 以内になるまで線源位置を調整すべきである。さらに、最初の検査に対する直角方向についても検査を繰返しおこなうべきである。

ほかの校正において、非常に異なった照射野を必要とする場合には、線束広さを数回設定してこの点検をおこなう必要があるかもしれない。

VII. 5. 線束の均等性

全ての校正目的のために必要な範囲にわたって、放射線線束が適当に均等であることが必要である。フィルムを使用すると、大体の不均等性を見つけ、位置づけることができるだろう。しかし校正に必要な約±1%の均等性を点検するためには不適当である。この測定のためには小さな電離箱を使わねばならない。“反射型ターゲット”を持ったX線管球を使うと、そのheel効果のために直角方向よりも陽極-陰極方向において均等性は悪くなるだろう。そしてこの不均等性は低kVにおいて、より重大になると考えられる。首尾一貫して最も均等な線束範囲は、電子流(X線管軸)に対して垂直方向でないかもしれない。従って、校正システムとX線管軸との角度を90°からはある程度ずれた値に固定した方が好ましいかもしれない。もし最適な線束均等性が他の方法でも得られないのなら、補償フィルターを組み立て、挿入する必要があるが、出来るかぎりそれはさけるべきである。

線束が均等であっても、V.1節の先端付同時校正方法を用いた場合には、電離箱を並べ換えることをなお一層勧める。

VII. 6. 過 過

校正に使用する放射線線質の範囲は少なくとも放射線治療に使っているものよりも広げるべきである。

このような範囲を得るためには、図3における1対の破線に囲まれた2つの範囲のうちの1つに、線束の半価層がなるように一連のX線管電圧と過過を選んで差し

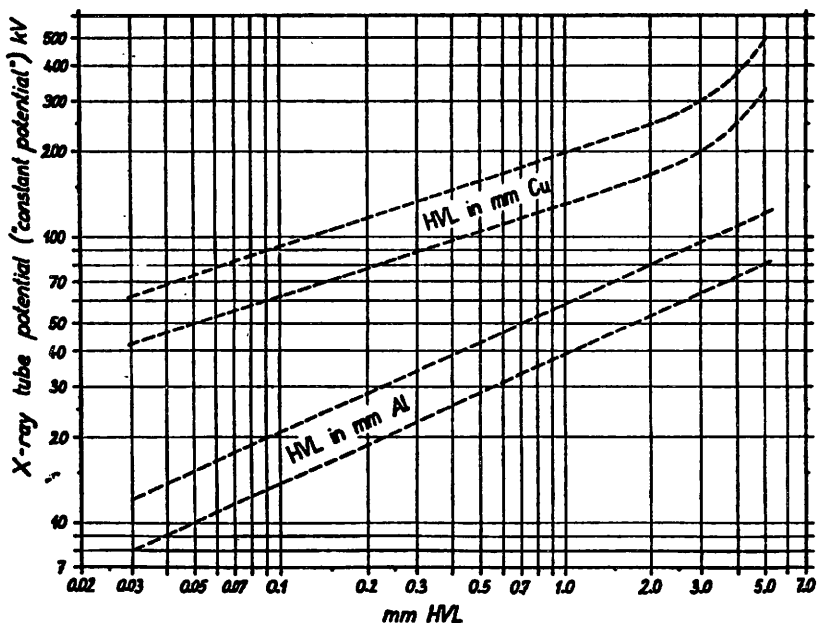


図3. 校正目的に使われるいろんな管電圧におけるHVLの範囲

表 3. 低エネルギー X 線の線質、8.5 - 50 kV〔9〕

Normal tube voltage (kV)	Added filtration (mm Al)	First half-value layer at 50 cm (mm Al)
Typical inherent filtration: 1 mm Be		
8.5	None	0.024
10	0.025	0.036
11.5	0.050	0.050
14	0.11	0.070
16	0.20	0.100
20	0.30	0.15
24	0.45	0.25
34	0.47	0.35
41	0.56	0.50
44	0.74	0.70
50	1.01	1.00

使用フィルターは上に示した厚さの ±10% 以内にすべきである。

表 4. 中エネルギー X 線の線質、30 - 280 kV〔9〕

Nominal tube voltage (kV)	Added filtration (mm)			First half-value layer	
	Sn	Cu	Al	mm Al	mm Cu
Typical inherent filtration: 1 mm Be					
32			0.47	0.35	
39			0.56	0.50	
43			0.74	0.70	
50			1.01	1.00	
Typical inherent filtration: 2.5 mm Be + 4.8 mm Perspex					
50			0.70	1.0	0.030
75			1.50	2.0	0.062
100			3.4	4.0	0.15
105		0.10	1.0	5.0	0.20
135		0.27	1.0	8.8	0.50
Typical inherent filtration: 4 mm Al equivalent + 4.8 mm Perspex					
180		0.42	1.0	12.3	1.0
220		1.20	1.0	16.1	2.0
280	1.4	0.25	1.0	20.0	4.0

使用フィルターは上に示した厚さの ±10% 以内にすべきである。

支えない。

SSDL〔9〕における二次標準線量計によるX線校正のための代表的な放射線線質のリストを、低エネルギーX線の線質に関しては表3に、中エネルギーX線の線質に関しては表4に示す。これらのリストは、世界の放射線治療分野における必要性を考慮して、SSDLが提供すべき放射線線質を決定するためにSSDLによって使われる基礎と、なることができた。これらの範囲内の放射線線質で校正する場合と同時に、ある特定の線量計を用いて測定される放射線よりも軟らかい放射線、またはせめて同じぐらいの固さの放射線でもってその線量計を校正できるように、SSDLはどんな場合の線質範囲をも提供すべきである。

表3と4に記された条件は放射線治療において使われる代表的なものであり、あきらかに二頂点をもつようなスペクトル分布はさげ、全ての範囲にわたって、大体同じ相対的なスペクトル幅を与えるのを意図した。さらに、表4に記された条件は全装置にわたって、ターゲットから75cmの位置で約40 $\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{s}$ (約10 R/min)の同じ照射線量率を与える。このことにより、照射線量率の変動に関してはほとんど補正なしに、一連の校正がおこなえる。もし、発生器がほぼ定電圧型でないときには、記載したよりもいくらか高い電圧が必要になろう。Ⅷ.8節をも参照せよ。

Ⅶ. 7. 半価層の測定

この測定に使われる電離箱のエネルギー依存性は無視できる程度であるべきである。しかし、もしこれが小さく、わかっているのなら、測定値を補正することができる。電離箱は半価層を知りたい場所、例えば校正点、に置くべきである。

HVL測定のための吸収体(A, 図2参照)は、散乱によってそれぞれに入射する放射線を最小にするように、モニター電離箱と測定用電離箱の間に置かなければならない。このために、減弱用フィルター(吸収体)を2つの電離箱のほぼ中間に置くべきである;つまり、吸収体のそれぞれの箔は、X線線束を完全にさえぎるように、X線線束より十分に大きくなければならない。吸収体の前方の高出力線束から発生し測定用電離箱に到達する、どのような散乱線をも無視しうるレベルまで減弱さすに十分な大きさの鉛板の間にフィルターを置くべきである。さらに鉛絞りの穴は測定用電離箱を均一に照射しうる最小線束を作るのに十分な大きさであるべきである。測定用電離箱の連続した読み値はモニター電離箱の読み値で規準化しなければならない。

最初の測定は吸収体がない場合の照射線量率であるべきであり、この吸収体なし測定は、ある間隔でくりかえし行ない一連の測定の最後にもこの測定をすべきである。最初の測定値の50%前後の照射線量率を与えるような2, 3の厚さの吸収体

を用いて、照射線量率を繰返し測定すべきである（第2半価層が必要ななら、25%領域について）。このようにして、半価層を吸収体厚さに対する照射線量率（あるいはその対数値）のグラフから内挿することにより得ることができる。（図4参照）

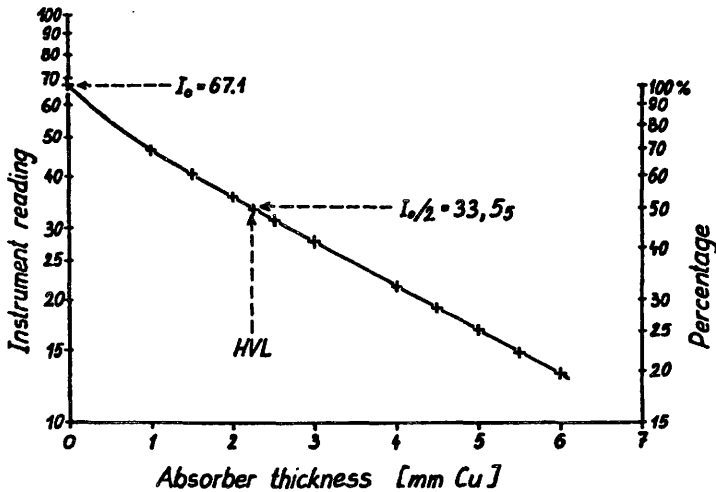


図4. 内挿によりHVLを求める方法（Massey〔2〕より）

測定された半価層は半価層測定における不確定度—大体 $\pm 2\%$ の標準偏差である—以内で校正を計画した値と一致すべきである。

もし、一致しなければ、放射線の線質を管電圧 kV あるいは戸過を調整することにより変えるべきである。しかし、もし戸過が特定物質で正確な厚さであることが確かめられているなら、kV が正しくないと考えられる。そして発生器と制御板を修正できるのなら、管電圧 kV を正確な HVL が得られるまで変えてみるべきである。もし、使っている X 線装置でこのことが不可能なら、戸過を調整すべきである。

VII. 8. 不要放射線の寄与

不必要な放射線が、2つの主な原因によって電離箱に到達するかもしれない：

- (a) 迷放射線：利用線束以外の管球容器から出てくる放射線は電離箱を直接には照射しないが、しかし壁とか装備等に散乱され電離箱に到達するかもしれない：つまり、その強度は小さく、多分、測定される放射線の1%以下であろう。それにもかかわらず、X線線束が絞りで制限され電離箱、例えば自由空気電離箱、の一部を照射するだけの時はこれが重要になるかもしれない。そして、迷放射線の補正が必要になるかもしれない。
- (b) 線束中の散乱線：利用線束内の放射線はその進路内のあらゆるもの—管壁、絞りの端、フィルターそして電離箱より後にあるあらゆる壁—に当たることに

より散乱され、そしてこれらは電離箱を照射し得る。全ての絞りの端をそれぞれの位置における利用線束の広がりに対応した傾きで切り取ることにより、散乱線を最小にすべきである。また、無駄のない—そして長くない—照射野で、均等に電離箱を照射するのに十分な大きさを持った線束を使うことにより、散乱線を最小にすべきであり、そして、利用線束によって照射される壁と電離箱とを適当な距離に保つことにより、散乱線を最小にすべきである。

以下に示す方法は、感知されるほどの迷放射線が存在するかどうかをみるのに使うことができる。

- (a) 電離箱を用いて、中心軸上の照射線量率を要求される距離で測るべきである。そして、通常の線束制限絞りを、例えば線束の 99.99% を、吸収するに十分な厚さをもった鉛で塞ぐべきである。そして、大容積の電離箱を使って照射線量率を測定すべきである。これにより感知される迷放射線が測定点において存在しているかがわかるだろう。もし、存在したら、線束制限絞りのひとつ（例えば、図 2 の D 4）の外形を大きくすることによって、迷放射線を減らすことが可能になるかもしれない。
- (b) 線束中心軸上の放射線の照射線量率を、ターゲットから数点の距離において繰り返し測定することにより、散乱放射線を考慮した補正を評価することができる；つまり、空気による減弱を補正した後、仮に距離の逆二乗則に正確に則っていないとしても、正確な照射線量率は大体片対数プロットで直線になるべきである。標準のターゲット—電離箱間距離よりも大きい距離で、この検査をおこなうことは多分特に重要である。もし、片対数プロットでますます凹型的に上昇するなら、それは照射された壁からの後方散乱の存在を示しているかもしれない。

大容積電離箱を使う時、測定の実効中心は電離箱の幾何学的中心でないかもしれない、特に線源から短い距離においてそうであることに注意せよ〔10〕。

VII. 9. ガンマ線線源位置決めの不確定度

あるガンマ線線源は内臓のシャッターをもたないで、その照射時間は貯蔵場所（ここでは遮蔽されている）から照射場所への線源の移動により決定される。この照射場所における変動は測定場所における照射線量率の変動の原因となるかもしれない。

このような変動の存在を精密な照射線量率計、あるいは精密な電子タイマーで制御されている照射線量計によって点検してもよい。測定のために線源を貯蔵場所にもどしながら、電離箱の同じ位置における照射線量率を 10 回測定すべきである。照射線量率の測定値の標準偏差は 0.1% を越えるべきでない。

Ⅶ. 10. 時間的調節の不確定度

時間的調節の不確定度は2つのまったく異なった原因によるかもしれない。

- (a) 照射の始めと終りの両方における照射線量率の変化
- (b) タイマの不確実性

Ⅶ. 10. 1. 照射線量率値の変動

照射開始時において、シャッターが開くために、あるいはX線装置の高電圧がその最大値まで上昇するまでに、照射線量率はある有限な時間でゼロから一定値まで上昇する。同様に、照射終了時において、照射線量率は即座にゼロまでには必ずしも落ちない。校正時の照射の始めと終りに起る誤差は数秒間の時間的な不確実性に相当するかもしれず、その誤差は普通は無視できない。

高電圧の変動による効果はそれぞれの照射の始めと終りにシャッターを使うことにより避けることができる。そのために、X線管を開閉する時に高電圧を切り換えることは不必要である。もし、このことが不可能なら、たとえ高電圧を切ることによって照射を終らすにしても、それぞれの照射の始めを制御するためにシャッターを合わせることはありえるだろう。次の照射の前にシャッターを閉じ、シャッターを開く前に管電圧を正常な値にもってきて、一定値にする。

先端付同時校正（V. 1 参照）を使用する場合、シャッター操作によってひとつの電離箱が他の電離箱よりもいつも長時間照射されることによって、感知する誤差が導入される状態にならないようにすることは重要なことである。

照射の有効時間に相当した時間が、タイマーに正確にセットされたかどうかを点検することはいかなる場合にも大事である。これは Massey〔2〕によって詳しく述べられているところの2回照射の方法によって点検することができる。また、同じ時間で1シリーズ10回の線量出力測定をおこなうことにより、そしてその結果の標準偏差（必要に応じ、モニター電離箱で規準化した）を点検することによりタイマーの繰返し能力を点検すべきである。

Ⅶ. 10. 2. タイマーの不確実性

病院で使われている多くのX線装置と遠隔治療装置は主周波数によって操作されているタイマーによって照射時間を制御している。照射時間を校正定数の計算に用いるとき、多くの国における主周波数の不安定さは校正のために照射時間を制御する方法を不適當にする。照射線量率計を他の照射線量率計との校正のために使用する場合は、照射時間は重要ではない。ある線量計に対して他の線量計を校正するために、先端付同時校正（V. 1 参照）を使用する場合も重要でない。置換法で校正をおこない、2つの線量計がともに照射線量計か吸収線量計であるときでも、照射時間の比が関係するときのみに照射時間が重要になる。照射線量率計か吸収線量率

計がある照射線量計あるいは吸収線量計に対して校正されている時は、照射時間それ自身を正確に知ることが必要である。そのために実際にはこの状態を避けなければならない。もし、タイマーを交換する必要があるれば、新しいタイマーは古いタイマーと同じ時間を示さないかもしれないことに注意しなければならない。使用するどんなに正確な電気タイマーあるいはストップウォッチをも時報あるいは正確な時計で正式に点検する必要がある。このことは0.1%以内の誤差は、24時間に1分の誤差に相当するのでそれほど困難な検査ではない。

Ⅶ. 11. 二次標準線量計の検査

二次標準線量計は一次標準に対して校正され、その研究所での基本的なリファレンス装置として保管されなければならない。三次標準線量計を二次標準線量計に対して校正してもよい。そして、さらに性能を点検する測定をおこなうべきである。次の検査のいくつかは三次標準線量計の性能を点検するのにも使用できる。

Ⅶ. 11. 1. 放射線非照射時における漏洩電流

電離箱は非照射時でも漏洩電流をもっているかもしれない。電離箱電極を少なくとも2時間、ともに接続すべきであり、その後分極電位を加える。15分間、1時間そして6時間で測定される漏洩電流は、測定すべき最小照射線量率によって生じる電離電流の $\pm 0.5\%$ を越えるべきでない。

Ⅶ. 11. 2. 測定附属計器の電荷漏洩

測定中に電荷がコンデンサーに集められる測定附属計器において、この電荷の漏洩の割合が、十分な精度で測定できる最低入力電荷の限界となる。電荷損失の割合は最大蓄積電荷の少なくとも90%で測定すべきである。コンデンサーを荷電したあと、測定附属計器の入力を外部漏洩部から完全に切り離し、検査の間、完全に遮蔽する。電荷損失の割合は測定される最小入力の0.5%を越えるべきでない。

電流（すなわち、吸収線量率あるいは照射線量率）を測定する測定附属計器中の小さな漏洩電流は、もしそれらが測定すべき電流に比例していないのなら、感度を非直線型に導くことになるので重要になるかもしれない。もしそれらが温度、気圧等とともに変化するのなら、これらの因子が変わった時に一定入力電流に対する計器の感度が感知しうるほど変るかどうかを確かめることによってのみ、それらは検出される。もし、漏洩電流が安定で測定されるべき電流に対して比例しているのなら、校正時にそれらを差し引く。

Ⅶ. 11. 3. ステムとケーブル漏洩の検査

もし、線量計が指頭型電離箱であるのなら、利用線束によるステム照射、そして漏洩、散乱放射線による利用線束外のステムとケーブルの照射は、測定を邪魔することになる。これを検査するひとつの方法としてはふたつの別々の処置を伴う。

どちらの場合にも、校正に使われるのと同じ長さの辺と、他の辺の長さは、電離箱と線束とを交差して置いたとき電離箱がちょうど完全に照射されるだけの、充分細長い線束を使う必要がある。線束の長軸に平行して電離箱を置いた場合、ダミー・ステム（可能なかぎり電離箱のステムとほとんど同一であるような）を電離箱の先端にふれるようにもってくる。ダミー・ステムがある場合とない場合の読み値から、ステムからの散乱線の読み値への寄与がわかる。次いで、電離箱を線束に交差して置き、ステムとケーブルを十分に遮蔽して測定をおこない、ステム散乱の補正をおこなう。もし、ステムとケーブルの照射によって何らかの効果を起していると思われるたら、その結果と前の測定とを比較する。異なった線質の放射線を用いて、この検査を繰返す必要があるかもしれない。

VII. 11. 4. 安定時間

電離箱と測定附属計器は校正を始めるまでに一定の安定時間が必要である。測定附属計器を電離箱につないで、安定時間の検査を始める前に少なくとも2時間はスイッチを切っておく。そして、測定附属計器のスイッチを入れ、電離箱に分極電位を供給する。測定器校正の間に慣例的に与えられるのとほぼ同じ照射線量を用い、感度を大体15分、1時間そして6時間後に測定する。安定性チェック線源はこの検査に使える。

別に測定附属計器を検査する場合は、適当な安全性とインピーダンスをもった電流源を入力側に接続してもよい。

スイッチを入れてから15分から6時間後の感度変化の限度は1時間後の値の±0.5%以内でなければならない。

VII. 11. 5. 長期間にわたる安定性

線量計の長期間にわたる安定性を安定性チェック線源で点検できる。安定性チェック線源を使用して、測定器において述べたように一連の測定をおこなう。電離箱を点検用装置から完全に取り除き、再び連続的な測定にもどす。

可能なかぎり、安定性チェック線源と電離箱はほぼ等しい温度平衡にある必要がある。そして、もし必要なら空気密度の変化について補正しなければならない。温度平衡は電離箱をそっと置いたままにして一連の読み値を得ることによって点検できる。

ドリフトのない状態で行う測定の平均値は、測定器が校正されて以来この線源に対する線量計の感度が問題にするほど変化していないことを確認するかもしれない。しかし、このことは全ての校正が不変であることを意味しない、というのは時間がたつと校正定数の変化は非常に軟かい放射線に関して起るかもしれないからである。しかしながら、0.3%以上の変化が観測された場合は、可能なかぎり、すぐに新しい校正をおこなわなければならない。

Ⅶ. 11. 6. レンジ間因子の検査

もし、測定器が照射線量そして（あるいは）照射線量率の幾つかのレンジで操作できるのなら、同じふれの指示値を示すそれぞれのレンジにおける実際の照射線量の割合はメータに示めされたレンジ間因子の割合とは異なる。この比による方法はおのこのレンジにおける校正定数を求めることに利用されるかもしれない。しかし一般にただひとつのレンジに関して校正定数を求めてから、他のレンジの校正定数を求める方法がより都合がよい。照射線量率の測定器では、電離箱中で一定の電流状態を生じるようなひとつあるいはそれ以上の放射性線源を用いることにより、あるいは測定附属計器中に直接一定電流を流すことにより、レンジ間因子を求めることができる。電流は最も感度の高いレンジにおいて大体フル・スケールのふれを与えるようにして、電流を変えることなしにスイッチを次のレンジに変え、2つの読み値を比較する。そして、そのレンジのほぼフル・スケールになるように再調整し、再びレンジを変える。そして以後同様に続ける。

照射線量の測定器では、一般にあるレンジを次のレンジに対して点検するためには、モニター電離箱で規準化して同じ照射線量を2度与える必要がある。

第Ⅷ章 校正用機器の手入れと保守

Ⅶ. 1. 機器保守一般

校正を行なう施設から出される結果はすべて信頼できるものであるということが必須である。この事は線量計のみならず温度計、気圧計、電位計など、その施設で用いられるすべての機器が信頼できるものでなければならない。新しい機器は適当なチェックを行なうまで校正業務に用いてはならない。もし必要であれば校正をしなければならぬ。ある種の機器については長期の安定性のチェックが必要なこともある。

施設は、機器の各品目について独自に識別された目録とその履歴を、下記の記録と共に保管しておかねばならない。

品名

製作会社名および型式

製造番号

購入年月日

保守記録（通常チェック、修理、部品交換）

要求される定期校正

定期校正が必要な品目については、下記の事項が追加されなければならない。

Ⅶ. 11. 6. レンジ間因子の検査

もし、測定器が照射線量そして（あるいは）照射線量率の幾つかのレンジで操作できるのなら、同じふれの指示値を示すそれぞれのレンジにおける実際の照射線量の割合はメータに示めされたレンジ間因子の割合とは異なる。この比による方法はおのこのレンジにおける校正定数を求めることに利用されるかもしれない。しかし一般にただひとつのレンジに関して校正定数を求めてから、他のレンジの校正定数を求める方法がより都合がよい。照射線量率の測定器では、電離箱中で一定の電流状態を生じるようなひとつあるいはそれ以上の放射性線源を用いることにより、あるいは測定附属計器中に直接一定電流を流すことにより、レンジ間因子を求めることができる。電流は最も感度の高いレンジにおいて大体フル・スケールのふれを与えるようにして、電流を変えることなしにスイッチを次のレンジに変え、2つの読み値を比較する。そして、そのレンジのほぼフル・スケールになるように再調整し、再びレンジを変える。そして以後同様に続ける。

照射線量の測定器では、一般にあるレンジを次のレンジに対して点検するためには、モニター電離箱で規準化して同じ照射線量を2度与える必要がある。

第Ⅷ章 校正用機器の手入れと保守

Ⅶ. 1. 機器保守一般

校正を行なう施設から出される結果はすべて信頼できるものであるということが必須である。この事は線量計のみならず温度計、気圧計、電位計など、その施設で用いられるすべての機器が信頼できるものでなければならない。新しい機器は適当なチェックを行なうまで校正業務に用いてはならない。もし必要であれば校正をしなければならぬ。ある種の機器については長期の安定性のチェックが必要なこともある。

施設は、機器の各品目について独自に識別された目録とその履歴を、下記の記録と共に保管しておかねばならない。

品名

製作会社名および型式

製造番号

購入年月日

保守記録（通常チェック、修理、部品交換）

要求される定期校正

定期校正が必要な品目については、下記の事項が追加されなければならない。

校正間隔

校正方法の詳細を記載した書類

前回の校正年月日

次回の校正年月日

定期校正を要するものについては、規定の期間内に再校正が確実にこなえるように日程表が作製されていなければならない。これは、その施設で行なういかなる校正業務にも強い自信がもてるようになるためである。SSDLの機器の校正またはチェックがどこで行なわれても、SSDLはそれが適切であり、完全に実施されたという事に満足する必要がある。いずれの校正手順または検査方法についても参考のためにSSDLに完全に記録されていなければならない。

Ⅷ. 2. 二次標準線量計の再校正

各SSDLにおける二次標準線量計は、少くとも3年を超えない間隔で、承認された一次標準施設で再校正することを薦める。この3年という間隔は二次標準線量計の長期安定性にいくらか依存するし、測定器の型式によっても異なる。

線量計を校正に送る前に、少なくとも10回のチェック線源による一連の測定を行ない、平均値を計算しておかねばならない。線量計が返送されてきたら、できるだけ早く、同一手順を繰返し、第2回目の平均値を求める。この2つの平均値は、気温、気圧、湿度、線源の減衰に対する補正を行なったあと、お互に一致し、またPSDLにおける値とも一致しなければならない。

また、内部電極が移動していないことを確かめるため、定期的に垂直2方向からX線写真を取ることが望ましい。このようにしておかないと、電極の移動は、イオン再結合の可能性が増加するため高線量率放射線照射時の感度変化となって表われるかもしれない。

二次標準線量計は使用の都度、その感度を安定性チェックのための線源でチェックしなければならない。チェック線源の標準の読みに必要な時間または線量率を長期的グラフとして作製しておく。読みは、必要であれば温度、気圧、湿度、線源の減衰の補正を行わなければならない。

線量計が校正に影響を及ぼすような損傷を受けたと考えられる場合やチェック線源の読みが（周囲の気象条件や線源の減衰の補正をした後）校正報告に与えられた値より0.3%以上異なっていれば、修理または再校正が必要であるかどうか考慮しなければならない。製作会社に相談することも有益であろう。

再校正や相互比較のデータは、不安定性やドリフトを容易に調べられるような形で保存しておかなければならない。

VIII. 3. モニタ線量計の検査

ある位置におかれた二次標準線量計の読みと比べたモニタ線量計の指示値は各放射線質について時間的に一定でなければならない。この値をグラフにしておくと、しばしば有用である。この比が変化することは、二次標準線量計の感度や線質の変化によることもありうるが、モニタ線量計の感度変化によるのが普通である。この時は調査しなければならない。

モニタのリーク・テストは定期的（例えば月1回）に行わなければならない。というのは、モニタはX線照射が行われている時は常に照射され、X線管球に近いため高い線量を受けているからである。

VIII. 4. タイマ

タイマ、特にストップウォッチは、偶然および系統誤差の原因となる。精度のわかっている時間信号に対して経時的に（少なくとも年に1回）チェックすべきである。別の方法として、良い腕時計は充分な時間間隔で行なえば正確な比較ができる。

時間測定をストップウォッチで行なう場合、測定者による誤差が重要となる。これらは作業環境例えば周囲の雑音や会話にしばしば影響される。この種の誤差は機器の性能の小さな変化を見逃すことにもなる。

VIII. 5. 温度計

SSDLには0.3 K (= 0.3 °C) またはそれ以上の精度を持つ温度計を少なくとも2個備えておく必要がある。1個は標準施設で校正され、他の1個はそれに対して校正しておく。施設で使用する他の温度計や温度記録計の校正に利用できる。

水銀温度計は再校正の必要はないが、他の型式の温度計および温度記録計は一定間隔で再校正しなければならない。再校正の頻度は経験に基づいて決めれば良い。また使用する温度計の型式にもよる。

VIII. 6. 気圧計

校正証付きの精密水銀気圧計は再校正の必要はなく、アネロイド気圧計の校正に利用できる。これらの気圧計は、調整後再封入のための工夫が施してあるのが普通である。携帯用精密アネロイド気圧計はSSDL以外の場所での放射線測定に利用すべきである。常に0.1%以内の精度で気圧を決定できるものでなければならない。

VIII. 7. 湿度計

校正施設内の空気の相対湿度の測定に必要な精度は必ずしも決定的ではない。し

かし相対湿度が75%以上になるとリーク電流が多くなり電離箱による測定ができなくなる。それ故に湿度がこの水準以下である事を知っておく必要がある。また線量計の保管においても同じである。毛髪湿度計は十分な精度を持っているが、湿度が非常に高いかまたは低い条件下で使用すると校正値は変化しやすい。かゝる湿度計は月に1回（または経験に基づいて）廻転腕湿度計に対してチェックし、必要であれば調整しなければならない。

VIII. 8. 放射線束の通常検査

X線装置の出力は、操作条件が一見同じようでも一定に保たれているとは限らない。たとえkVメータの読みまたはkVセットが変っていないくても、X線管球内の実際の電圧が変っていないと仮定することはできないし、また固有フィルタが変化していないと仮定することもできない。校正に利用される最低、最高の電圧での半価層は6ヶ月を超えない間隔でチェックしなければならない。また装置の電圧校正に変更があったりまたX線管球を交換した時には必ずチェックすべきである。

X線管球の焦点は使用するにつれて変化する。この変化はフィラメントやターゲット表面の状態についての情報を与える。しばしば焦点の形の変化からこれらの変化を推論できる。このような前もっての警告は、発注から代替品を入手するまで時間がかゝりそうなき時特に有益となる。それ故焦点の形は定期的に撮っておかなければならない。

X線、ガンマ線の中心軸の位置は約2年に1回チェックしなければならない。しかし照射野はより頻繁に、例えば月に1回、自信が持てるようになるまでチェックしなければならない。照射野の迅速測定は校正する位置でのビームのX線写真を撮ることによって行なえる。

放射線出力（照射線量率）は通常校正が行われる線源電離箱間距離で少なくとも月に1回チェックし、その読みが一定であることを示すために長期間グラフにしておくことを進言する。このチェックはX線については1線質のみについて行ない、ガンマ線については線源の減衰の補正をしなければならない。

VIII. 9. ハウス・キーピング

良い測定をするためには、施設をきちんと運営することが必須である。次の事項が施設の良好な運営のために必要である。

- (a) 施設の運営に関する一般的指針を文書にしておき、職員に良く理解されること。
- (b) ポータブル装置の組立、修理、保守は放射線施設では行わないこと。
- (c) 基準となる測定機器類や他の校正のための機器は使用していない時には、適

当に保護、保管されていること。線量計が保管されている所の空中相対湿度は75%以下であること。

- (d) 頻繁に動かす必要のある移動可能な校正用機器は、目的に応じて設計、適合した台車に設備すること。
- (e) 保管場所にはコネクタ、アダプタ、付属品、工具類も置ける場所を確保しておくこと。
- (f) 放射性線源は、しかるべき場所に、しかるべき容器に入れ注意深く保管すること。
- (g) SSDLの仕事に関する校正手順、保守説明書、校正証、検査報告書ならびにすべての関連する刊行物は適当な目次を付してファイルしておくこと。施設には、施設で保管しておかなければならない書類のみを置いておき、それ以外のものは他の室にファイルしておくこと。
- (h) 清掃が安全に行われるために特別な注意が必要である。清掃に従事する職員は注意深く監督されるか、または特別に訓練された職員によって行われること。

第Ⅸ章 校正手順

Ⅸ. 1. 概観

SSDLは二次標準線量計を種々の校正に使用するであろう。例えば二次標準線量計は定期的校正用として保存しておき、通常の校正に使用する三次線量計の校正に二次標準線量計を用いることもできる。このような三次標準線量計は云うまでもなく最も厳しいチェックと校正が必要である。時として、ある病院の放射線治療装置の限定された範囲の出力測定に使用されるフィールド線量計を校正するのに二次標準線量計（または三次標準線量計）を用いることもある。この場合、フィールド線量計の校正は広い範囲にわたる必要はないであろう。この章の目的として、二次標準線量計が病院のフィールド線量計の校正に利用されることを前提としている。それ以外については、新しいガイドラインを設定する必要がある。

この章で概略する手順は典型的なものである。ある特定の状況では、必ずしも劣っているとは考える必要のない別の方法で、望まれる結果が得られることもありうる。

Ⅸ. 2. 校正定数

校正定数は通常線量計の基準点の位置における照射線量、照射線量率、線量、線量率の値を導き出すために、空気密度や他の変異因子の補正を行なった線量計の指

当に保護、保管されていること。線量計が保管されている所の空中相対湿度は75%以下であること。

- (d) 頻繁に動かす必要のある移動可能な校正用機器は、目的に応じて設計、適合した台車に設備すること。
- (e) 保管場所にはコネクタ、アダプタ、付属品、工具類も置ける場所を確保しておくこと。
- (f) 放射性線源は、しかるべき場所に、しかるべき容器に入れ注意深く保管すること。
- (g) SSDLの仕事に関する校正手順、保守説明書、校正証、検査報告書ならびにすべての関連する刊行物は適当な目次を付してファイルしておくこと。施設には、施設で保管しておかなければならない書類のみを置いておき、それ以外のものは他の室にファイルしておくこと。
- (h) 清掃が安全に行われるために特別な注意が必要である。清掃に従事する職員は注意深く監督されるか、または特別に訓練された職員によって行われること。

第Ⅸ章 校正手順

Ⅸ. 1. 概観

SSDLは二次標準線量計を種々の校正に使用するであろう。例えば二次標準線量計は定期的校正用として保存しておき、通常の校正に使用する三次線量計の校正に二次標準線量計を用いることもできる。このような三次標準線量計は云うまでもなく最も厳しいチェックと校正が必要である。時として、ある病院の放射線治療装置の限定された範囲の出力測定に使用されるフィールド線量計を校正するのに二次標準線量計（または三次標準線量計）を用いることもある。この場合、フィールド線量計の校正は広い範囲にわたる必要はないであろう。この章の目的として、二次標準線量計が病院のフィールド線量計の校正に利用されることを前提としている。それ以外については、新しいガイドラインを設定する必要がある。

この章で概略する手順は典型的なものである。ある特定の状況では、必ずしも劣っているとは考える必要のない別の方法で、望まれる結果が得られることもありうる。

Ⅸ. 2. 校正定数

校正定数は通常線量計の基準点の位置における照射線量、照射線量率、線量、線量率の値を導き出すために、空気密度や他の変異因子の補正を行なった線量計の指

示値に乘じられる定数である。すなわち、

$$K_F = E/I$$

こゝでEは問題とする点の照射線量または線量(率)であり、Iは必要な補正をした線量計の指示値である。空気密度の補正は一般に線量計の指示値に対し、二次標準線量計の校正定数が記載されている校正証に与えてある気温(t_0)、気圧(p_0)と同じになるようにしなければならない。このために空気温度(t)、と気圧(p)を測定し、指示値に次の値を乘じなければならない。

$$\frac{273.2 + t}{273.2 + t_0} \times \frac{p_0}{p}$$

こゝで t 、 t_0 は摂氏温度、 p 、 p_0 は標準状態(1標準気圧 = 101.3 kPa = 760 mm Hg)での気圧である。

空気の湿度の変化も電離測定に影響する。しかし現時点では湿度補正のための一般的に受け入れられる式や規則を引用することはできない。校正が相対湿度40~60%程度で行われ、また二次標準線量計の校正定数がこの水準の湿度で決定されていれば、湿度の変化による影響は少く、0.3%以下であることは確実で、恐らく0.1%以下であろう。

安定性チェック線源測定が校正定数に組み込まれるように設計されている二次標準線量計もありうる。この場合には、空気密度の変化が考慮されており、空気密度補正のための計算をする必要はない。

フィールド線量計が球型または円筒型の電離箱の場合、校正定数は電離箱の特定部分が線源に向っている時の照射に適用される(IX. 4. 5. 参照)。電離箱またはシステムに印を付し(もし付していなかったら)、電離箱の基準点との関係を記述しておく。

IX. 3. 被校正線量計の検査

検査は、校正定数が信頼でき、一貫性があり、安定であることを保証するために行わねばならない。VII. 11. に掲載してある検査が考慮されねばならない。勿論校正されるべき各フィールド線量計に対してすべてが適当であるとは云えないが、ある種の検査は必須である。

フィールド線量計がバッテリーで作動していれば、このチェックが必要となる。再充電可能であれば、完全に充電しておかねばならない。再充電式でなければ、新品か少なくとも安定しており、正しい電圧を供給するものでなければならない。フィールド線量計が電燈線で作動しておれば、SSDLの電燈線で満足に作動するかどうかをチェックする必要がある。線量計が使用される病院で考えられうる電燈線の電圧および周波数の測定器の感度が著しく変化するかどうかを安定性チェック線

源でチェックすることが望ましい。漏洩電流が許容される低さであり、運搬中や保管中に測定器の湿度が高くなり過ぎるのを防ぐ方法について検討することは特に重要である。フィールド線量計がSSDLに着いたら、開封する前に運搬ケースに入れたまま施設内に24時間放置し、凝縮を防ぐために温度を平衡にしなければならない。

電離箱が開封式かどうかを決めてからチェックを行わねばならない。このための1つの方法として、放射線束（例えばコバルト装置やチェック線源）中に適当な容器の中に電離箱を挿入し、空気密度を極端に変える（例えば10%）ために気圧を充分に変化させる。そして電離箱の読みが比例的に反応するかどうかを観察する。實際上、この変化は気圧を常圧に急激に戻すことによってなされる。もし指示値が非常にゆるやかに反応したり、全く変化しない場合は、事実を所有者と相談するまでは校正すべきではない。密封式電離箱は、ある条件下では有用であるが、標準線量計としては不適當である。

放射線治療との関連で利用されている線量計は、その校正定数が一定であるかどうかの頻繁な検査チェックが必須である。すでに強調したごとく標準またはリファレンス線量計は、この目的のために安定性チェック線源を持つべきでありこのことはフィールド線量計に対してもまた重要である。しかしながら特製の安定性チェック線源のないフィールド線量計が多くあるのが現状である。

標準チェック線源が得られない状況であれば、線量計の恒久性をチェックする別の方法が工夫されなければならない。ある種の可能な方法がMassey〔2〕によって提示されている。このような方法の欠点として、線量計校正が必要な時、その安定性について校正前後SSDLにおいて再チェックできないことである。

どの程度のウォーミング・アップ時間が必要であるかを指定するためのテストとして、スイッチを入れた後色々な時間でフィールド線量計の感度を調べることが必要である。空気密度に対する補正のため、ある温度範囲について測定器の感度を測定することによって、温度変化による影響を調べることもまた同様に必要なことである。

IX. 4. 手順例

IX. 4. 1. 総論

フィールド線量計の校正を始める前に、第VII章で述べたすべての予備検査を完了し、すべての機器の保守が適切であることを確かめ（第VIII章）そして検査すべき線量計について適当なチェック（IX. 3）を行なうことが必要である。放射線源から電離箱の基準点までの距離は近似的に知っておくこと、しかしその位置は ± 0.5 mmの精度で再現できることを確かめることが特に重要である。各SSDLはこのチェ

ックのために独自の工夫をこらすであろう。

特定の線量計の校正を行っている間、すべての動作条件が一定であることを確認しなければならない。もしモニタ電離箱を校正に使用するとすれば、モニタの読みに対する二次標準線量計の読みの比が、特定の線質の放射線について実験誤差の範囲内で一定に保たなければならない。この比は、定常的ドリフトがないことを確かめるために必要な時間間隔にわたってチェックしなければならない。比の変動があり、それが空気密度の変化では説明できない時は、その原因を確かめ、それを除かなければならない。

各線量計は照射線量か照射線量率を測定するものであり、これはモニタ線量計についても云える。両方の型式の測定器を同一校正に利用する場合、測定時間が重要となる。可能な限り照射時間を一定に保つかまた少なくとも一定の比にするかして、時間の値を結果の計算から排除すべきである。このようにすることによって、正確な時間測定の必要性が減少する。

各校正前に、放射線束が校正用の台のどの部分にも当たっていないし、また電離箱に到達する散乱線増加の原因となるものをビーム内のどの位置にもおいていないことをチェックし、散乱線が最小に保たれていることを確認することは特に重要である。

電離箱の壁は、使用する放射線質について電子平衡になるに十分な厚さでなければならない。このことは、 ^{137}Cs や ^{60}Co ガンマ線を用いた校正で特に重要である。（電離箱がこれらの放射線用に特別に設計されていないかぎり）ビルド・アップキャップが必要となる。

IX. 4. 2. モニタ電離箱を用いた校正

モニタ電離箱は第VI章の置換法による校正の手順を用いた校正に必要である。放射線束内の二次標準線量計で一連の読みを得る (I_S)。同時にモニタを読む (M_S)。この比 $I_S/M_S = R_S$ の平均値を計算する。次に二次標準線量計の代りにフィールド線量計を置き、線量計 (I_D) とモニタ (M_D) について再び一連の測定を行ない、比 $I_D/M_D = R_D$ の平均値を計算する。二次標準線量計と置き換え、 R_S が変化していないことを確かめるため再度測定を行なう。これに空気密度の変化、非直線性、線量率依存性、リークなど必要な補正をする。校正定数は次式で表される。

$$K_F = R_S / R_D$$

IX. 4. 3. モニタ電離箱なしの校正

校正すべき電離箱が標準電離箱と本質的に同じように設計されているときは、先端付同時校正法のみを採用し、モニタの使用をさける。2本の電離箱を先端付で置くのが普通である。2本の電離箱の長さが直径より非常に長いような空気容積を持

っている場合、並べて置いた方が、要求されるビームの均一性を得るのに容易である。

一連の測定を行ない、標準線量計の読み I_S とフルード線量計の読み I_F を I_S / I_F という比で表す。この配置での比の平均値 $(K_F)_A$ を得る。次に2本の電離箱の位置を正確に反対に置き換え、この第2の配置での I_S / I_F の平均値 $(K_F)_B$ を得る。もし $(K_F)_B$ の値が $(K_F)_A$ のそれと著しく異なっておれば(例えば2%以上)調べて差異の原因を排除する。もし違っていなければ電離箱を元の状態に戻して $(K_F)_A$ が変化していないことを確かめる。校正定数は次式で表わされる。

$$K_F = \sqrt{(K_F)_A \cdot (K_F)_B}$$

IX. 4. 4. 放射線質による感度変化

すでに述べた如く、線量計を放射線治療に利用するために校正する時には、放射線質は治療に用いられるものと似ていなければならない。しかしながら、特定の電離箱のエネルギー依存性を詳細に研究することが必要であれば、各放射線質は、ある程度の精度で知られている必要がある。かゝる時は、良く戸過された即ち分解能の良いビームを用いると有利である。

フィールド線量計の校正定数 K_F は各放射線質について別々に決定されねばならない。それぞれは、校正を行なう前にチェックされたすべての因子について、別の校正とみなされるべきである。これらの校正の最後に、最初の放射線質についての K_F をチェックし、それに変化がないことを確かめなければならない。

IX. 4. 5. 放射線の方向による感度変化

電離箱は、すべての方向の放射線に対して同一の感度を示さないのが普通である。もし放射線源に対して1方向のみで使用されるならば(例えばビーム軸に電離箱軸が垂直)、1方向のみの校正で充分であろう。この場合照射方向はまぎらわしくないように明記しておかねばならない。

IX. 4. 5. 1. 電離箱廻転

電離箱軸に沿って廻転した場合の感度変化は一般にあまり大きくない。しかし軟X線については特にチェックしておく必要がある。基準点は電離箱のステムの目印との関係で与えなければならない。廻転角はこの基準位置との関係で明記しなければならない。通常90°間隔で4つの位置の感度をチェックすることで充分である。電離箱が校正される放射線のうち、最も硬いものと軟い放射線についてチェックする必要がある。

IX. 4. 5. 2. 電離箱の傾き

電離箱の感度は傾きの角度で影響されうる。これについてのチェックは、このこ

とが決定的であるかどうかを決めるために基準位置から両側へ数度の傾きについてなされれば良いであろう。通常放射線が電離箱に対して先端から入射した場合 0° 方向とする。しかし基準位置は一般に 90° 、即ちビーム軸に電離箱が垂直である。電離箱の傾きによる感度変化は一般に角 θ に対し係数 (F_θ) で表される。 F_θ の値は極線図で表される。

$$F_\theta = (K_F)_\theta / (K_F)_{90}$$

照射野が測定中変化しないことが重要である。それ故いかなる角度でも電離箱が適当に照射されるに充分大きい照射野ではじめる必要がある。電離箱の基準点が正確に同じ位置に保たれるよう電離箱を傾けることも同様に重要である。このようなチェックを行なう場合、フィールド線量計の最初の読みはフルスケールより低く（例えばフルスケールの $2/3$ ）しておき、検査中読みが変化してもレンジを変える必要のない作動条件にしておくが良い。電離箱を廻転してかなりの感度変化がある場合は傾きと廻転の両測定を行なう必要がある。

IX. 4. 6. 校正証に記載すべき事項

校正証に記載すべき事項は、校正されたフィールド線量計や得られた結果などの因子による。次のリストは適当であれば記載されるべき事項を示すことを意図している。これはチェック・リストや証書の下書きのためではない。

- (a) 検査された線量計、製作会社、型式番号、製造番号、その他各種構成品（例えば電離箱）
- (b) 用いられた方法（第V章参照）
- (c) 尖頭電圧、戸過、半価層などを含む放射線質
- (d) 照射線量（線量）で校正された線量計については用いた照射線量率（線量率）
- (e) フィールド線量計についての予備調査の結果（IX. 3）
- (f) 得られた安定性チェック線源の読みと、この読みが適用される日付
- (g) 照射方向
- (h) 校正定数の全不確定度の推定値とこれに寄与する主要因
- (i) 校正定数が適用される基準条件、例えば気温、気圧、照射線量率、照射野、ターゲット-電離箱間距離、電離箱へのビームの入射角
- (j) 得られた校正定数

第 X 章 校正定数の不確定度

校正定数 (K_F) は、一連の測定値の平均値に、既知でしかも定量的に評価され得る系統的な影響に対して補正することによって導き出される。校正定数の全不確

とが決定的であるかどうかを決めるために基準位置から両側へ数度の傾きについてなされれば良いであろう。通常放射線が電離箱に対して先端から入射した場合 0° 方向とする。しかし基準位置は一般に 90° 、即ちビーム軸に電離箱が垂直である。電離箱の傾きによる感度変化は一般に角 θ に対し係数 (F_θ) で表される。 F_θ の値は極線図で表される。

$$F_\theta = (K_F)_\theta / (K_F)_{90}$$

照射野が測定中変化しないことが重要である。それ故いかなる角度でも電離箱が適当に照射されるに充分大きい照射野ではじめる必要がある。電離箱の基準点が正確に同じ位置に保たれるよう電離箱を傾けることも同様に重要である。このようなチェックを行なう場合、フィールド線量計の最初の読みはフルスケールより低く（例えばフルスケールの $2/3$ ）しておき、検査中読みが変化してもレンジを変える必要のない作動条件にしておくが良い。電離箱を廻転してかなりの感度変化がある場合は傾きと廻転の両測定を行なう必要がある。

IX. 4. 6. 校正証に記載すべき事項

校正証に記載すべき事項は、校正されたフィールド線量計や得られた結果などの因子による。次のリストは適当であれば記載されるべき事項を示すことを意図している。これはチェック・リストや証書の下書きのためではない。

- (a) 検査された線量計、製作会社、型式番号、製造番号、その他各種構成品（例えば電離箱）
- (b) 用いられた方法（第V章参照）
- (c) 尖頭電圧、戸過、半価層などを含む放射線質
- (d) 照射線量（線量）で校正された線量計については用いた照射線量率（線量率）
- (e) フィールド線量計についての予備調査の結果（IX. 3）
- (f) 得られた安定性チェック線源の読みと、この読みが適用される日付
- (g) 照射方向
- (h) 校正定数の全不確定度の推定値とこれに寄与する主要因
- (i) 校正定数が適用される基準条件、例えば気温、気圧、照射線量率、照射野、ターゲット-電離箱間距離、電離箱へのビームの入射角
- (j) 得られた校正定数

第 X 章 校正定数の不確定度

校正定数 (K_F) は、一連の測定値の平均値に、既知でしかも定量的に評価され得る系統的な影響に対して補正することによって導き出される。校正定数の全不確

定度は、測定における偶発的、系統的な不確かさ、 K_F 決定における物理定数、変換係数から推定される。系統誤差は測定過程にバイアスを導入する。系統不確定度はこれらの系統誤差に対する上限として推定される。偶然誤差は同一条件で測定を繰返す時に見られる良くある変化である。ランダム不確定度は測定値の統計処理で得られる。偶然誤差と系統誤差は K_F の値に一つの最終誤差（知られていないまた知ることができない）を与えるために合算される。ランダムおよび系統的な不確かさは最終的全不確定度に寄与する。ランダム不確定度と系統不確定度は別々に記載し、それから推定全不確定度を与えるために合算することを薦める。

X. 1. ランダム不確定度

K_F のランダム不確定度は K_F 決定のための測定値の変化に由来する。ある一連の測定の観察値 X_i の数を n とすると、期待値の最良評価値は算術平均（または平均値） \bar{X} で表される。こゝで、

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

この平均値のまわりの観察値のばらつきは標準偏差 $S(x)$ で特徴づけられる。こゝで、

$$S(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

であり、 $S^2(x)$ という量は、測定値の分散と呼ばれている。

平均値 \bar{X} の標準誤差は $S(\bar{x})$ で与えられる。

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$S^2(\bar{x})$ は平均値の分散と呼ばれている。

信頼限界はある確率以内でこれらの限界内に真の値があると予期されるものとして定義される。この確率はこれらの限界に関連した信頼水準と呼ばれている。通常パーセントで表される。平均値 \bar{x} の信頼限界 L は次式で表される。

$$L(p, n) = \pm t v$$

こゝで p は信頼水準、 t は p と n の関数で、Student の t 検定から得られる。 t の値を2つの p の値について第5表に示す。 v はパーセントで表される平均値の相対標準誤差である。そうすると v は次式で表される。

$$v = 100 S(\bar{x}) / \bar{x}$$

これは平均値の変異係数としても知られている。

線量計校正での信頼限界はIV. 4. 10節で示した如く95%とする。1つ以上のランダム不確定度があれば、全ランダム不確定度（パーセント）を得るために求積

表 5. 種々の数の読みに対する t の値

Number of readings n	Values of t	
	p = 95%	p = 99%
3	4.3	9.9
4	3.2	5.8
5	2.8	4.6
6	2.6	4.0
8	2.4	3.5
10	2.3	3.2
20	2.1	2.9
∞	2.0	2.6

として合算される。

X. 2. 系統不確定度

測定の系統的な不確かさは、その測定において考えられるゆがみを示し、結果に影響すると考えられる物理的影響を考慮して推定される。まず最初に考慮すべき物理的影響のすべてを挙げる必要がある。これは多分に経験、判断そして時としては直観による。それから各影響に関連した系統的な不確かさ ($\pm \Delta X_j$) を推定する必要がある。系統的な不確かさは問題とする影響から生ずる可能性のあるゆがみに対する上限推定値として表わすべきである。

そのようにして系統不確定度の表は導き出されるが、次のような事項を含むものかもしれない。

	$\pm \Delta X_j$ (%)
二次標準線量計自身の校正定数の不確かさ	2.0
空気密度補正 (気温、気圧の測定精度)	0.1
100 cm の距離測定の不確かさ (0.1 cm 精度) による照射線量率の変化	0.2

X. 3. ランダムおよび系統不確定度の合算

ランダム不確定度は統計的計算の結果であり、系統不確定度は単純な推定であるので、全不確定度を得るための完全に正確な方法はない。こゝで推奨する方法は、将来別の方法について一般的合意に達したら、変更される可能性がある。

系統誤差は任意に分布し、しかし推定限界 ΔX_j の中で均一の確率をもっていると仮定する。そうすると、Wagner〔11〕によれば、校正定数の 95% 信頼水準で

の全不確定度は次式で表される。

$$u = \sqrt{(tv)^2 + 1.13 \sum_j (\Delta X_j)^2}$$

全不確定度 u の式では次のようになる。

t : 第5表の95%信頼水準での値

v : パーセントで表された K_F の平均値の相対標準誤差

ΔX_j : パーセントで表された j 番目の系統誤差の推定限界

u : パーセントで表された全不確定度

参 考 文 献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Technical Reports Series No.133, IAEA, Vienna (1970).
- [2] MASSEY, J.B., Manual of Dosimetry in Radiotherapy, Technical Reports Series No.110, IAEA, Vienna (1970).
- [3] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, Le Système International d'Unités (SI), 3rd ed., OFFILIB, Paris (1977).
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Quantities and Units, Report 19 (1971).
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X- or Gamma-rays in Radiotherapy Procedures, Report 24 (1976).
- [6] ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, Vocabulaire de Métrologie Légale, Paris (1969).
- [7] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, The Use of a Secondary Standard X-ray Exposure Meter to Calibrate a Field Instrument for Use in Output Measurements, NPL Rep. RS3 (1974).
- [8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Measurement of Absorbed Dose in a Phantom Irradiated by a Single Beam of X- or Gamma-rays, Report 23 (1973).
- [9] BRITISH CALIBRATION SERVICE, Supplementary Criteria for Laboratory Approval; Calibration of Radiological Therapy Level Instruments: X- and Gamma-rays, British Calibration Service, London, Document 0812 (1977).
- [10] KONDO, S., RANDOLPH, M.L., Effect of finite size of ionization chambers on measurements of small photon sources, Radiat. Res. 13 (1960) 37.
- [11] WAGNER, S., How to treat systematic errors in order to state the uncertainty of a measurement, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Brunswick, Rep. FMRB 31/69 (1969).

の全不確定度は次式で表される。

$$u = \sqrt{(tv)^2 + 1.13 \sum_j (\Delta X_j)^2}$$

全不確定度 u の式では次のようになる。

t : 第5表の95%信頼水準での値

v : パーセントで表された K_F の平均値の相対標準誤差

ΔX_j : パーセントで表された j 番目の系統誤差の推定限界

u : パーセントで表された全不確定度

参 考 文 献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Technical Reports Series No. 133, IAEA, Vienna (1970).
- [2] MASSEY, J.B., Manual of Dosimetry in Radiotherapy, Technical Reports Series No. 110, IAEA, Vienna (1970).
- [3] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, Le Système International d'Unités (SI), 3rd ed., OFFILIB, Paris (1977).
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Quantities and Units, Report 19 (1971).
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X- or Gamma-rays in Radiotherapy Procedures, Report 24 (1976).
- [6] ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, Vocabulaire de Métrologie Légale, Paris (1969).
- [7] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, The Use of a Secondary Standard X-ray Exposure Meter to Calibrate a Field Instrument for Use in Output Measurements, NPL Rep. RS3 (1974).
- [8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Measurement of Absorbed Dose in a Phantom Irradiated by a Single Beam of X- or Gamma-rays, Report 23 (1973).
- [9] BRITISH CALIBRATION SERVICE, Supplementary Criteria for Laboratory Approval; Calibration of Radiological Therapy Level Instruments: X- and Gamma-rays, British Calibration Service, London, Document 0812 (1977).
- [10] KONDO, S., RANDOLPH, M.L., Effect of finite size of ionization chambers on measurements of small photon sources, Radiat. Res. 13 (1960) 37.
- [11] WAGNER, S., How to treat systematic errors in order to state the uncertainty of a measurement, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Brunswick, Rep. FMRB 31/69 (1969).

付録 1.

関 係 書 目

HOSPITAL PHYSICISTS' ASSOCIATION, 'A code of practice for X-ray measurements', Br. J. Radiol. 33 (1960) 55.

HOSPITAL PHYSICISTS' ASSOCIATION, 'A code of practice for the dosimetry of 2 to 8 MV X-ray and caesium-137 and cobalt-60 gamma-ray beams', Phys. Med. Biol. 9 (1964) 457; 14 (1969) 1.

ATTIX, F.H., ROESCH, W.C., Radiation Dosimetry, Vol. I – Fundamentals; Vol. II – Instrumentation; Vol. III – Sources, fields, measurements and applications, Academic Press, New York (1968).

PYCHLAU, P.-J., "Practical solutions to the problem of instrument calibration". Radiation Protection Monitoring (Proc. Seminar Bombay, 1968), IAEA, Vienna (1968) 539.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Dosimetry; X-rays and Gamma-rays with Maximum Photon Energies between 0.6 and 50 MeV, Report 14 (1969).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Dosimetry; X-rays Generated at Potentials of 5 to 150 kV, Report 17 (1970).

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Protocol for the dosimetry of X- and gamma-ray beams with maximum energies between 0.6 and 50 MeV, Phys. Med. Biol. 16 (1971) 379.

KEMP, L.A.W., The National Physical Laboratory secondary standard therapy-level X-ray exposure meter, Br. J. Radiol. 45 (1972) 775.

CAMPION, P.J., BURNS, J.E., WILLIAMS, A., A Code of Practice for the Detailed Statement of Accuracy, National Physical Laboratory, UK (1973).

MILU, C.G., RACOVEANU, N., "Contribution of the WHO-IAEA Regional Reference Centre to the improvement of clinical dosimetry and radiological protection in Romania", Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine (Proc. Symp. Vienna, 1972), IAEA, Vienna (1973) 101.

PYCHLAU, P., "Effects on dosimeter reading due to having different conditions at calibration and in use", Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine (Proc. Symp. Vienna, 1972), IAEA, Vienna (1973) 111.

CAMPION, P.J., BURNS, J.E., Guidance on the Use of a Stability Check Source, SSDL Information Sheet No.1, WHO, Geneva (1974).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Dosimetry Data – Catalogue 1976, IAEA, Vienna (1976).

BRITISH CALIBRATION SERVICE, General Criteria for Laboratory Approval – Calibration of Radiological Instruments, BCS, London, Document 0802 (1977).

BRITISH CALIBRATION SERVICE, Calibration of Radiological Instruments at Protection and Therapy Levels, BCS, London, Document 6601 (1977).

JAEGER, R.G., HÜBNER, W., Dosimetrie und Strahlenschutz, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1974).