

MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS
CONSTRUCTION AND RESPONSE

Memorial 電 離 槽 の 作 製 と そ の 特 性

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

WALTER J. RUSSELL, M.D.

MASAYOSHI MIZUNO 水野正義

YASUO SUGA 菅 和夫



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION

国立予防衛生研究所 - 原爆傷害調査委員会

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

TECHNICAL REPORT SERIES

業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC業績報告書は、ABCCの日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS
CONSTRUCTION AND RESPONSE
Memorial 電離槽の作製とその特性

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏
WALTER J. RUSSELL, M.D.
MASAYOSHI MIZUNO 水野正義
YASUO SUGA 菅和夫



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
and
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

with funds provided by
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

原爆傷害調査委員会

広島および長崎

米国学士院 - 学術会議と厚生省国立予防衛生研究所
との日米共同調査研究機関

米国原子力委員会, 厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS
CONSTRUCTION AND RESPONSE
電離槽の作製とその特性

SHIGETOSHI AKIYAMA, M.D.
WALTER L. RUSSELL, M.D.
MASAYOSHI MINENO
YASUO SUGA

ACKNOWLEDGMENT

謝 辞

The authors are grateful to Dr. John S. Laughlin, Chief of the Biophysics Division, Sloan-Kettering Institute, Memorial Center, New York, for his suggestions and for supplying several of the chambers used in these studies and to the late Dr. Francis R. Shonka, Physical Science Laboratory, St. Procopius College, Lisle, Illinois, for supplying the air-equivalent material used in the manufacture of the chambers. They are grateful to Mr. Takeo Ushiroguchi for his technical assistance in the machining of the ABCC chambers.

本研究において示唆をいただき、また、線量測定の研究に使用した電離槽の供給を受けた New York 市, Sloan-Kettering 研究所, Memorial センター, 生物物理部長 John S. Laughlin 博士, および電離槽の作製に使用した空気等価物質を提供していただいた Illinois 州, Lisle 市, St. Procopius 大学, 物理学研究所の故 Francis R. Shonka 博士に深甚の謝意を表す。ABCC における電離槽の加工においては、後口武雄氏の技術的の援助を受けた。記して謝意を表す。

CONTENTS

目 次

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| Introduction | 緒 言 | 1 |
| Materials and Method | 材料および方法 | 2 |
| Results and Discussion | 結果および考察 | 3 |
| Natural Leakage | 自然漏洩 | 3 |
| Initial Charge Voltage Stability | 荷電電圧の安定性 | 4 |
| Chamber Sensitivity | 電離槽の感度 | 4 |
| Energy Dependence | エネルギー依存性 | 6 |
| Directional Dependence | 方向依存性 | 6 |
| References | 参考文献 | 8 |
| | | |
| Table 1. | Natural charge leakage of Memorial ionization chambers | |
| 表 | Memorial 電離槽の電荷の自然漏洩 | 3 |
| | 2. Stability of Memorial ionization chambers | |
| | Memorial 電離槽の安定性 | 4 |
| | 3. Sensitivity of machined Memorial ionization chamber by radiation quality | |
| | Memorial 電離槽(旋盤加工)の線質による感度 | 5 |
| | 4. Directional dependence of machined Memorial ionization chambers, made at ABCC | |
| | ABCCで作製した旋盤加工 Memorial 電離槽の方向依存性 | 7 |
| | | |
| Figure 1. | Memorial ionization chamber | |
| 図 | Memorial 電離槽 | 2 |
| | 2. Sensitivity as a function of half-value layer of the incident X-rays beam | |
| | 入射X線の半価層による感度 | 5 |
| | 3. General response characteristics of some other detectors and two types of Memorial chamber | |
| | 二つの型の Memorial 電離槽および若干の他の検出器の一般的感度特性 | 6 |
| | 4. Directional dependence of the Memorial ionization chamber | |
| | Memorial 電離槽の方向依存性 | 7 |

Approved 承認 24 September 1970

MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS: CONSTRUCTION AND RESPONSE

Memorial 電離槽の作製とその特性

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. (安徳重敏)*; WALTER J. RUSSELL, M.D.;
MASAYOSHI MIZUNO (水野正義); YASUO SUGA (菅 和夫)

Department of Radiology
放射線部

SUMMARY. Memorial ionization chambers originally developed by Garrett and Laughlin were manufactured at ABCC by machining air-equivalent material. Their characteristics for use in diagnostic X-ray dosimetry were compared with those made at Memorial Center, New York City. The charge leakage and initial charge voltage stability of 23 chambers were tested, and 21 with relatively uniform sensitivity were tested for the energy and directional dependence. Those machined at ABCC had nearly the same characteristics as those machined at Memorial Center. The chambers which were molded at Memorial Center were less stable according to initial charge voltages, though their other characteristics were similar to those machined at Memorial Center and ABCC.

要約. Garrett と Laughlin によって開発された Memorial 電離槽を、ABCCにおいて空気等価物質の旋盤加工によって作製した。診断用 X 線の線量測定に利用される際のこれらの電離槽の特性を New York 市の Memorial センターで作られた電離槽と比較した。23本の電離槽について電荷の漏洩および荷電電圧の安定度を調べた。エネルギーおよび方向依存性については、比較的均一の感度をもつ21本について測定した。ABCCで作製した電離槽は、Memorial センターでの旋盤加工による電離槽とほぼ同じ特性を示した。Memorial センターで作られた圧縮成型電離槽は荷電電圧に関してやや安定性が劣っていたが、他の特性は、Memorial センターおよび ABCC における旋盤加工電離槽の間に特に差異はみられなかった。

INTRODUCTION

The choice of ionization chambers is one of the most important factors affecting the accuracy of dose estimations for patients receiving diagnostic X-ray examinations. Memorial diagnostic X-ray ionization chambers (Memorial chambers) developed by Garrett and Laughlin,¹ have been used in estimating medical and dental X-ray exposure of ABCC-JNIH Adult Health Study subjects.² These

緒言

診断用 X 線検査による患者の被曝線量の測定において、その測定精度に及ぼす重要な因子の一つとして電離槽の選択があげられる。ABCC 一予研成人健康調査対象者²における医療用および歯科用 X 線による被曝線量の測定には、Garrett および Laughlin¹ によって開発された Memorial 診断用 X 線電離槽 (Memorial 電離槽) が用いら

* Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University; Visiting Research Associate, ABCC

広島大学原爆放射能医学研究所, ABCC 非常勤研究員

chambers are very suitable for measuring dose to the gonads and active bone marrow from diagnostic X-ray examinations because they are small and relatively independent of radiation energy and the direction of the incident X-ray beam.

The Department of Radiology, ABCC, obtained 15 molded and 5 machined Memorial ionization chambers made at the Sloan-Kettering Division of Memorial Center, New York City. Because of their frequent use in long-range studies, possible increase in charge leakage, concern for their eventual deterioration, and our great distance from sources of supply, 23 such chambers were subsequently machined at ABCC for our department.

These were compared with those machined or molded at Memorial Center as to stability, sensitivity, and energy and directional dependence, and the results are described here.

MATERIALS AND METHOD

In an earlier report, Garrett and Laughlin, described the original Memorial chambers they molded from conducting polystyrene material.¹ They later found that similar chambers made by machining gave more reliable results than those which were molded.³ The chambers for our studies were made by machining air-equivalent plastic (C-552) on a lathe.

れている。この電離槽は容積が小さく、かつ放射線エネルギーおよび方向依存性が比較的小さいために診断用X線検査における生殖腺および赤色骨髄の線量測定にきわめて好都合である。

ABCC放射線部はNew York市のSloan-Kettering研究所 Memorialセンターで作製された15本の圧縮成型による電離槽と5本の旋盤加工による電離槽の供給を受けた。長期にわたる研究において、これらの電離槽を頻繁に使用するために劣化が生じ、電荷の漏洩が増加すること、また供給の場所から遠く離れていることのために、同じ電離槽23本をABCC放射線部において旋盤加工により作製した。

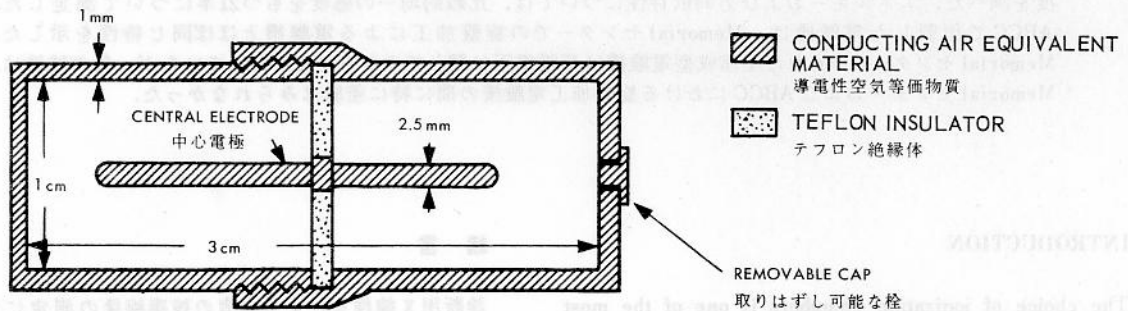
これらの電離槽の安定度、感度、エネルギー依存性ならびに方向依存性を、Memorialセンターにおいて旋盤加工および圧縮成型によって作製された電離槽と比較した。本報告ではその結果を述べる。

材料および方法

GarrettおよびLaughlinは最初導電性のポリスチレン物質を使用し、圧縮成型によってMemorial電離槽を作製する方法を報告している。¹その後旋盤加工による方法が圧縮成型法よりも信頼できる結果を与えることを見だしている。³本研究では、空気等価物質(C-552)を旋盤加工によって作製した。

FIGURE 1 MEMORIAL IONIZATION CHAMBER

図1 Memorial電離槽



The dimensions of the chambers were as originally described by Garrett and Laughlin,¹ 1 cm in diameter and 3 cm in length, inner measurements. Teflon was used for insulation between both electrodes as shown in Figure 1.

電離槽の大きさは、GarrettおよびLaughlinの最初の報告にあるものと同じで、内測で直径1 cm、長さ3 cmとした。図1に示すように、両電極の絶縁にはテフロンを使用した。

The lathe used to turn the material was a UNIMAT available through American-Edelstall Inc. After machining, the chambers were washed several times in liquid freon (DAIFRON-S3) to cleanse them of dust and to minimize charge leakage. Those which still had relatively large leakages after washing were warmed in a detergent solution for approximately 12 hours, then washed in distilled water and again cleansed in freon; thus 23 chambers were completed.

The Memorial chambers are used with the Baldwin-Farmer, type RB electrometer, by means of a special adaptor. The X-ray apparatus used during the present evaluations was a GE 130 kvp, 500 ma diagnostic radiographic apparatus. The chambers calibrated according to the free-air chamber at Memorial Center were used as standards in this study.

RESULTS AND DISCUSSION

Natural Leakage

Each chamber was charged by the application of 60 volts. The average charge leakages of the 23 chambers are shown in Table 1. The maximum leakage of any one chamber was one volt over 3 days, and the minimum was zero. The effect of this small leakage on dose measurements was negligible because the time interval between charging and exposure was less than 1 hour and the charge loss by exposure, about 20 volts in most situations. To prevent leakage due to dust absorption during usage, the chambers were periodically cleansed with freon.

材料の加工には American-Edelstall 社より購入した時計用旋盤 UNIMAT を使用した。旋盤仕上げ後、液化フロン(ダイフロン-S3)で電離槽を数回洗浄し、付着している塵埃を除き、電荷の漏洩を小さくするように努めた。洗浄後も比較的大きな漏洩を示す電離槽は、中性洗剤中で約12時間暖め、蒸留水で洗浄後、フロンで再び処理した。このようにして23本の電離槽を作製した。

Memorial 電離槽は電位計として特殊な受器を付けた Baldwin-Farmer RB 型を使用している。X線装置は GE 製診断 X線撮影用装置; 130 kvp, 500 ma を用いた。Memorial センターにおいて自由空気電離槽によって校正された電離槽を標準測定器とした。

結果および考察

自然漏洩

各電離槽は60 voltの充電電圧で荷電した。23本の電離槽の平均電荷漏洩を表1に示す。すべての電離槽のうち最大の漏洩は3日間で1 volt, 最低はゼロであった。荷電してから照射までの時間は1時間以内であり、照射による電荷の減少は通常約20 voltであったため、線量測定における漏洩の影響は無視できる程度であった。使用している間に塵埃の付着が生ずるが、それによる漏洩を防ぐため、電離槽はフロンで定期的に洗浄した。

TABLE 1 NATURAL CHARGE LEAKAGE OF MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS

表1 Memorial 電離槽の電荷の自然漏洩

| Time 時間 | Leakage 漏洩 (Mean, 平均, σ) Volts | | | | | |
|-------------|--|------|---------------------------|------|----------------------------|------|
| | ABCC* | | Memorial Center** センター | | Memorial Center*** センター | |
| 1 (hr) 時間 | 0.09, | 0.17 | 0.25, | 0.34 | 0.16, | 0.19 |
| 4 (hrs) 時間 | 0.20, | 0.25 | 0.38, | 0.38 | 0.20, | 0.28 |
| 1 (day) 日 | 0.18, | 0.28 | 0.45, | 0.44 | 0.32, | 0.10 |
| 3 (days) 日 | 0.29, | 0.29 | 0.46, | 0.39 | 0.48, | 0.13 |
| 36 (days) 日 | 3.0, | 0.4 | | | | |

* Average value of 23 machined chambers

23本の旋盤加工電離槽の平均値

** Average value of 15 molded chambers

15本の圧縮成型電離槽の平均値

*** Average value of 5 machined chambers

5本の旋盤加工電離槽の平均値

Initial Charge Voltage Stability

Although 60 volts were applied to each chamber, the initial charge voltages differed according to chamber and varied somewhat individually each time they were charged. The larger the variations in voltages the lesser was the accuracy in dose determinations.

The voltage values of the machined chambers of both Memorial Center and ABCC were very stable. Average standard deviations of the voltage values based on five measurements were 0.08 for the 5 machined at Memorial Center, 0.12 for the 23 made at ABCC, while it was 0.23 for the molded chambers. The results are shown in Table 2.

TABLE 2 STABILITY OF MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS

表2 Memorial 電離槽の安定性

| | Number of Chambers 電離槽数 | Average Initial Charge Voltage (\bar{V}_0) 平均荷電電圧 | Average Standard Deviation ($\bar{\sigma}$) 平均標準偏差 |
|---|----------------------------|--|---|
| ABCC | 23 | 38.5 | 0.12 |
| Memorial Center (machined) Memorial センター(旋盤加工) | 5 | 38.0 | 0.23 |
| Memorial Center (molded) Memorial センター(圧縮成型) | 14 | 38.5 | 0.08 |

Chamber Sensitivity

The sensitivity, namely charge loss by a given exposure, varies with chamber volume, wall thickness and central electrode size. The sensitivity of each chamber must be determined because very slight differences in size and thickness which may occur during manufacturing can affect it.

The average sensitivities of the chambers made at ABCC are plotted against radiation quality in Figure 2 and Table 3. The two chambers which had lower sensitivities than the others were not used in dosimetry studies and their values are shown separately. For reference, the average values of the five chambers machined at Memorial Center are also shown in Figure 2.

The two ABCC chambers of lowest sensitivity exhibited this defect at lower energy regions. Slightly thicker chamber walls may have been responsible for this, though this was not established.

荷電電圧の安定性

各電離槽の充電電圧は60 voltであったにもかかわらず最初の荷電電圧は電離槽によって、また充電のたびにいくらかの変動がみられた。この電圧変動が大きければ大きいほど線量測定の精度は低下する。

Memorial センターおよび ABCC ともに旋盤加工電離槽の電圧値は非常に安定していた。5回の測定に基づく電圧値の平均標準偏差は Memorial センターの5本の旋盤加工電離槽で0.08, ABCC で作られた23本では0.12であった。一方圧縮成型による電離槽では0.23となった。結果を表2に示す。

電離槽の感度

感度すなわち一定線量照射による電荷の減少は電離槽容積、壁厚および中心電極の大きさによって変動する。製作過程で生ずることが考えられる大きさや、厚さのわずかな違いが、感度に影響するので、各電離槽について感度を決定しなければならない。

ABCC で作製された電離槽の線質による平均感度を図2および表3に示す。他の電離槽に比べて低感度であった2本の電離槽は線量測定には使用しなかった。これらの値は別に示してある。Memorial センターの旋盤加工による5本の電離槽の平均値を参考のため図2にあわせて示す。

感度の低い ABCC の2本の電離槽は、低エネルギー部特に異常な値を示した。この原因は、解明されたわけではないが、壁厚が少し厚かったためではないかと考えられる。

FIGURE 2 SENSITIVITY AS A FUNCTION OF HALF-VALUE LAYER OF THE INCIDENT X-RAYS BEAM

図2 入射X線の半価層による感度

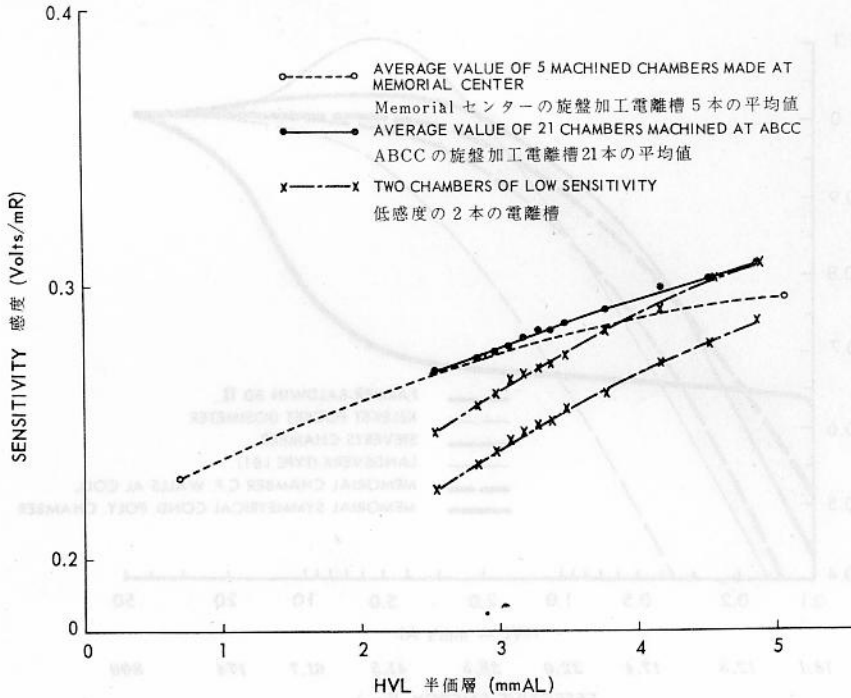


TABLE 3 SENSITIVITY OF MACHINED MEMORIAL IONIZATION CHAMBER BY RADIATION QUALITY

表3 Memorial電離槽(旋盤加工)の線質による感度

| Half Value Layer 半価層 (mmAl) | Tube Voltage 管電圧 (kvp) | Sensitivity 感度 (Mean 平均, σ) Volts/mR | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | ABCC** | Memorial Center*** Memorial センター |
| 0.7 | 60* | | 0.230, 0.02 |
| 2.55 | 66 | 0.269, 0.006 | |
| 2.85 | 74 | 0.274, 0.005 | |
| 2.9 | 100* | | 0.274, 0.005 |
| 3.0 | 78 | 0.276, 0.005 | |
| 3.1 | 80 | 0.278, 0.005 | |
| 3.2 | 84 | 0.281, 0.005 | |
| 3.3 | 86 | 0.283, 0.005 | |
| 3.4 | 90 | 0.283, 0.005 | |
| 3.5 | 92 | 0.286, 0.005 | |
| 3.8 | 100 | 0.291, 0.006 | |
| 4.2 | 110 | 0.299, 0.007 | |
| 4.55 | 120 | 0.302, 0.008 | |
| 4.90 | 130 | 0.308, 0.009 | |
| 5.1 | 150* | | 0.295, 0.005 |

* Constant potential (kvp)

定電圧 (kvp)

** Average values of 21 chambers

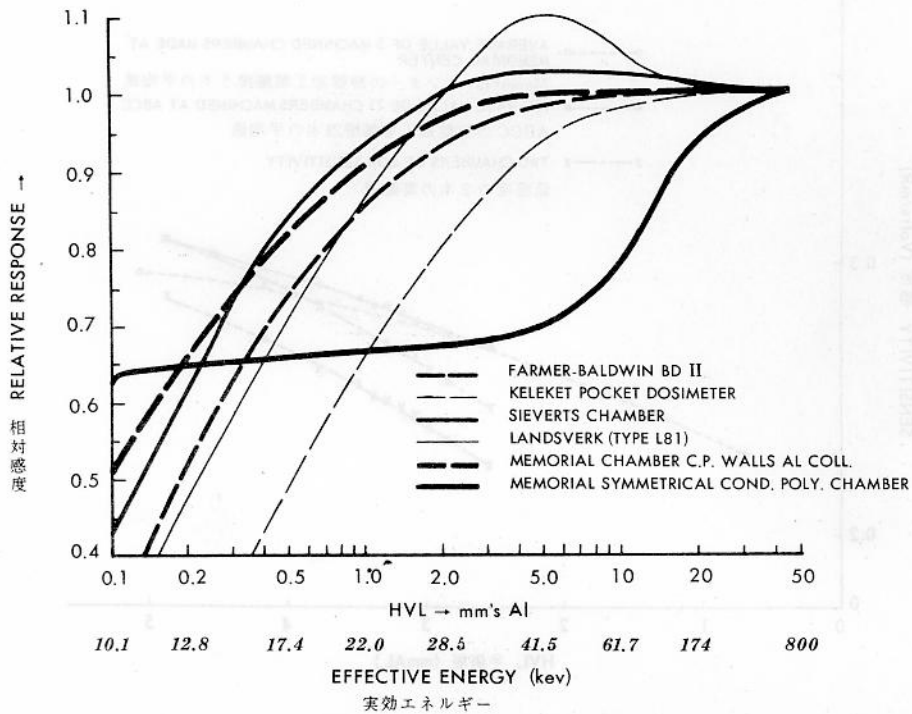
21本の電離槽の平均値

*** Average values of 5 chambers

5本の電離槽の平均値

FIGURE 3 GENERAL RESPONSE CHARACTERISTICS OF SOME OTHER DETECTORS AND TWO TYPES OF MEMORIAL CHAMBER (Ref. 1)

図3 二つの型の Memorial 電離槽および若干の他の検出器の一般的感度特性 (参考文献 1)



Energy Dependence

Energy dependence of the Memorial chambers as reported by Garrett and Laughlin¹ is shown in Figure 3. The sensitivity changes of the Memorial chambers by energy were very small for the lower energy regions, as compared to chambers of other manufacturers. The sensitivity changes of our Memorial chambers measured for X-rays with HVL of 2.55 to 4.90 mmAl are shown in Figure 2. Variation in sensitivity for this energy region was 7%. Depending on the radiation quality prevalent different correction factors must be used to achieve a 5% accuracy in dosimetry.

Directional Dependence

The Memorial chambers were relatively uniform in sensitivity during the projection of incident X-ray beams, compared to other chambers such as the Baldwin-Farmer, BDII.¹ Figure 4 and Table 4 show the directional dependence of the chambers made at ABCC and at Memorial Center. Maximum sensitivity was obtained at

エネルギー依存性

図3に Garrett および Laughlin によって報告されている Memorial 電離槽¹ のエネルギー依存性を示す。Memorial 電離槽のエネルギーによる感度変化は、他社の電離槽に比べて低エネルギー部で非常に小さい。われわれが作製した Memorial 電離槽について、半価層 2.55 から 4.90 mmAl の X 線について測定した感度変化を図 2 に示す。このエネルギー域における感度変化は ±7% であった。5% の精度が要求される場合には、使用する線質に応じて異なる校正係数を用いなければならない。

方向依存性

Memorial 電離槽では、他の電離槽たとえば Baldwin-Farmer BD II¹ に比べて X 線の入射方向による感度が比較的均一であった。図 4 と表 4 に ABCC と Memorial センターで作られた電離槽の方向依存性を示す。X 線の入射角が中心電極に対して 90° および 270° すなわち垂直入射

FIGURE 4 DIRECTIONAL DEPENDENCE OF THE MEMORIAL IONIZATION CHAMBER

図4 Memorial 電離槽の方向依存性

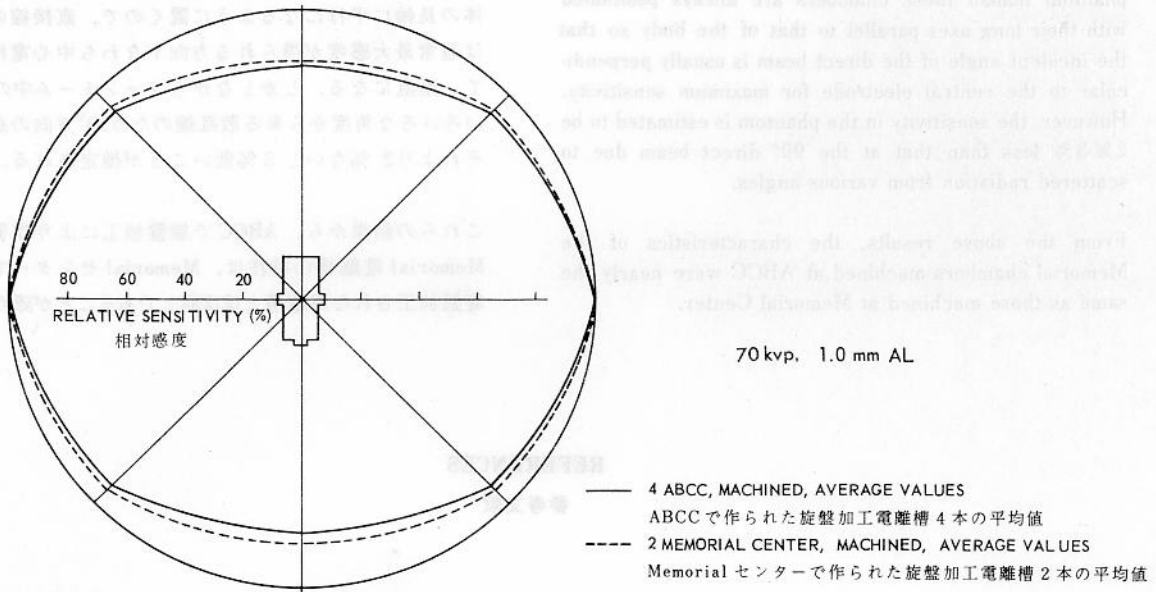
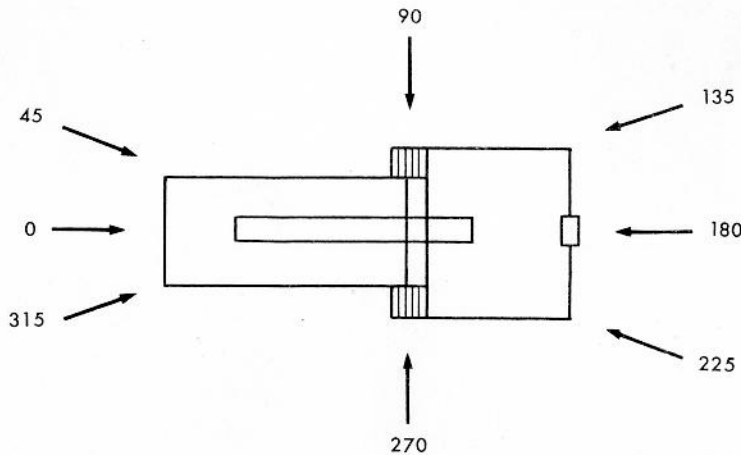


TABLE 4 DIRECTIONAL DEPENDENCE OF MACHINED MEMORIAL IONIZATION CHAMBERS, MADE AT ABCC

表4 ABCCで作製した旋盤加工 Memorial 電離槽の方向依存性

| kvp | Incident Beam Angle 入射角 (°)* | | | | | | | |
|-----|------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 |
| 50 | 80.2 | 95.7 | 100 | 95.8 | 80.4 | 91.7 | 98.9 | 90.3 |
| 70 | 80.3 | 92.8 | 100 | 93.1 | 81.7 | 94.2 | 99.3 | 91.7 |
| 90 | 82.2 | 98.4 | 100 | 94.8 | 82.8 | 95.7 | 100 | 95.5 |
| 100 | 87.0 | 96.5 | 100 | 98.5 | 87.7 | 96.2 | 98.6 | 96.8 |

* Beam angles shown are as follows: X線の入射角は次に示すとおりである.



90° and 270° incident beam projections, perpendicular to the central electrode. Minimum sensitivity was observed at 0° and 180°, parallel to the central electrode. In our phantom human these chambers are always positioned with their long axes parallel to that of the body so that the incident angle of the direct beam is usually perpendicular to the central electrode for maximum sensitivity. However, the sensitivity in the phantom is estimated to be 2%-3% less than that at the 90° direct beam due to scattered radiation from various angles.

From the above results, the characteristics of the Memorial chambers machined at ABCC were nearly the same as those machined at Memorial Center.

の場合に最大の感度が得られた。最低感度は、中心電極に平行である0°と180°においてみられた。われわれの人体ファントムにおいては、電離槽をその長軸が常に体の長軸に平行になるように置くので、直接線の入射角は通常最大感度が得られる方向すなわち中心電極に対して、垂直になる。しかしながらファントム中の感度は、いろいろな角度から来る散乱線のため90°方向の直接線のそれより2%ないし3%低いことが推定される。

これらの結果から、ABCCで旋盤加工により作製された Memorial 電離槽の特性は、Memorial センターで同じく旋盤加工された電離槽とほぼ同じであることが認められた。

REFERENCES

参考文献

1. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. Health Phys 2:189-94, 1959
(診断用 X 線の線量測定のための電離槽)
2. Research plan for joint ABCC-JNIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62
(広島および長崎における ABCC と国立予防衛生研究所が共同で実施する成人健康調査に関する研究企画書)
3. LAUGHLIN JS: Private communication, 1966
(私信)

