

写真 GSI-13 約3mmの深さでブラッグピークを拡大するためのリッジフィルタ。飛程短縮板を除き、ビームライン上に存在する最も厚い部材である。

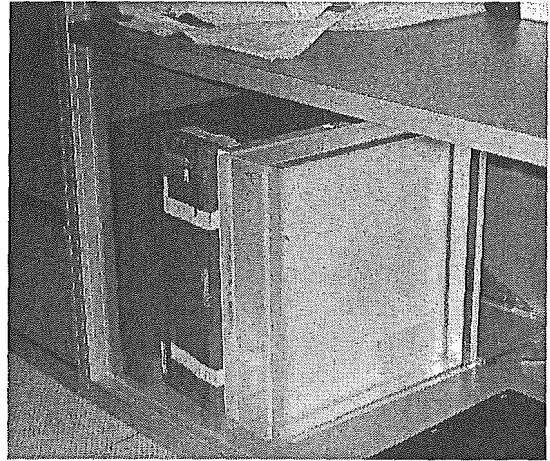


写真 GSI-14 浅い場所の患部照射時に用いる飛程短縮板。

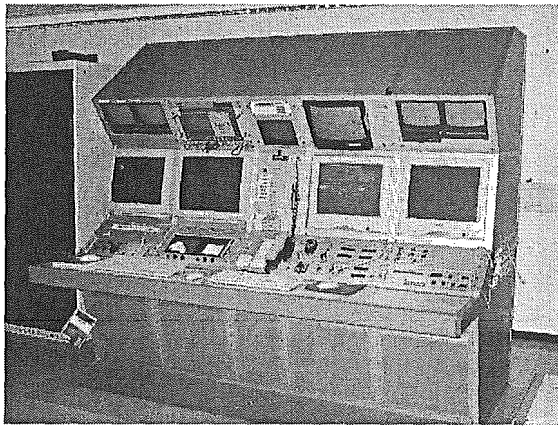


写真 GSI-15 照射設備操作卓。患者への照射は資格のある医療従事者が行う。

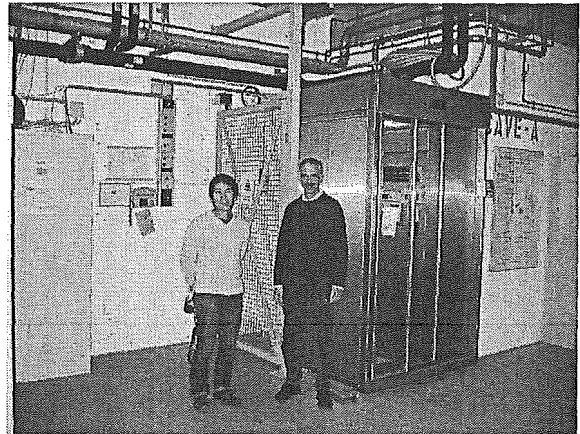


写真 GSI-16 物理実験用照射室の入口。左から岩瀬博士、Dr. Schardt。

添付 2 DKFZ 写真



写真 DKFZ-1 左から施設を案内してくれた Dr. Weber、聞き取り調査に対応してくれた Dr. Jäkel、見学に同行した留学生。

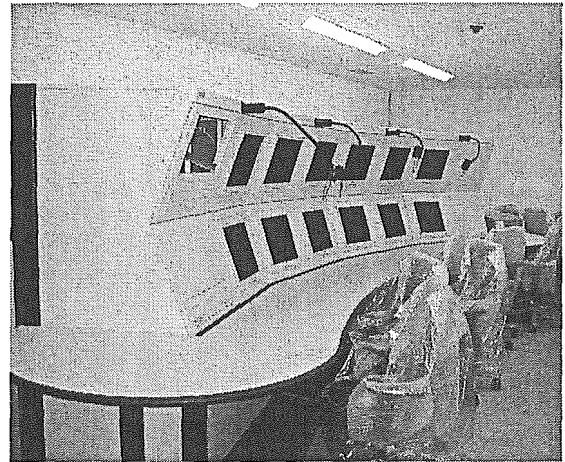


写真 DKFZ-2 加速器コントロール室。一部の機器はすでに搬入されている。

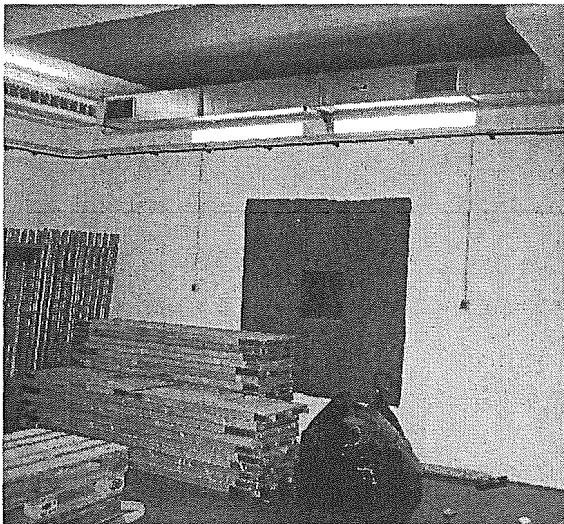


写真 DKFZ-3 品質管理の実験用ビームコースのダンプ。黒い部分が鉄。

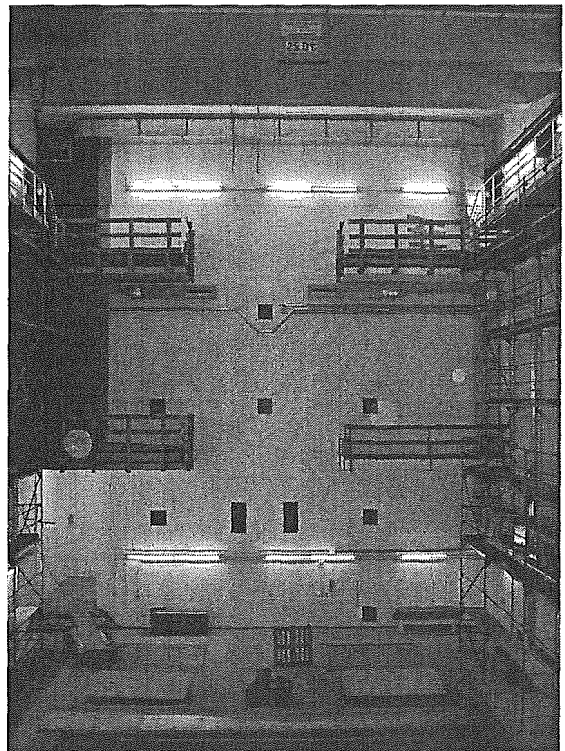


写真 DKFZ4- ビーム上流から見たガントリー照射室。奥左手に3層構造それぞれの迷路がある。

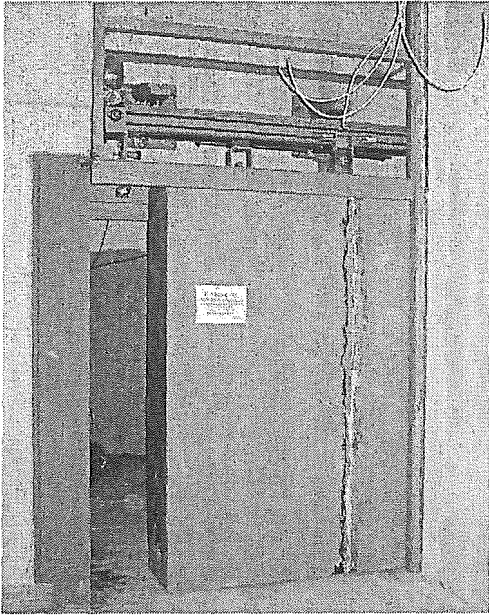


写真 DKFZ-5 しゃへい扉。上部に駆動機構がある。

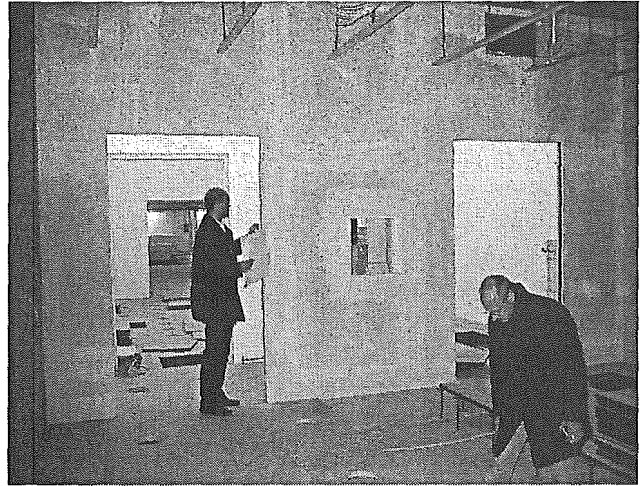


写真 DKFZ-6 水平照射室ビーム出口付近。

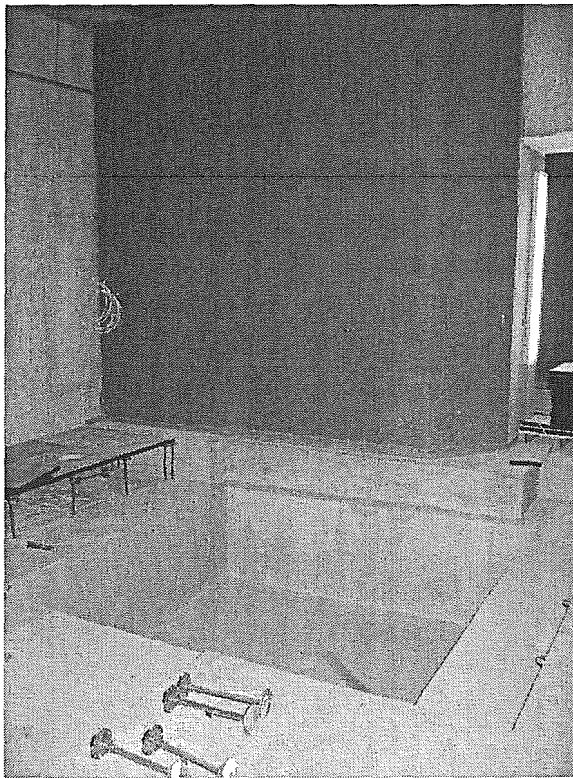


写真 DKFZ-7 水平照射室患者位置決用ロボット設置のための床掘り込み。

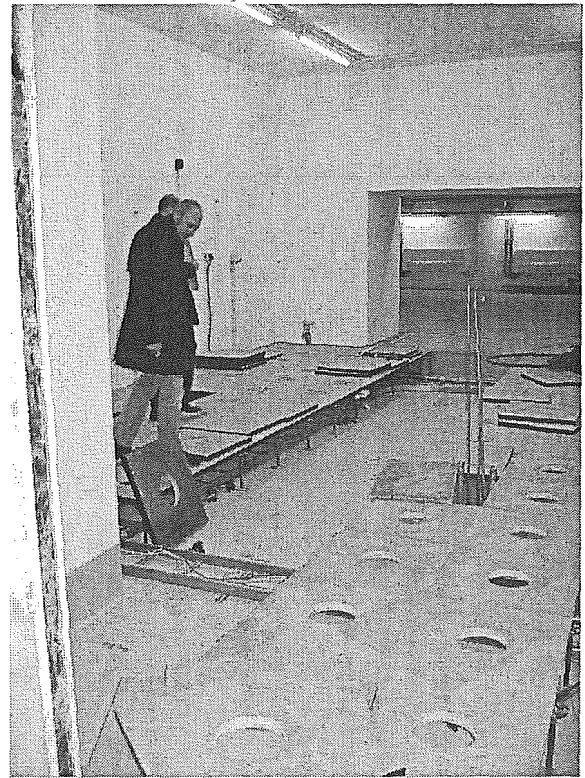


写真 DKFZ-8 水平照射室ビーム出口付近からビーム輸送室方向を望む。

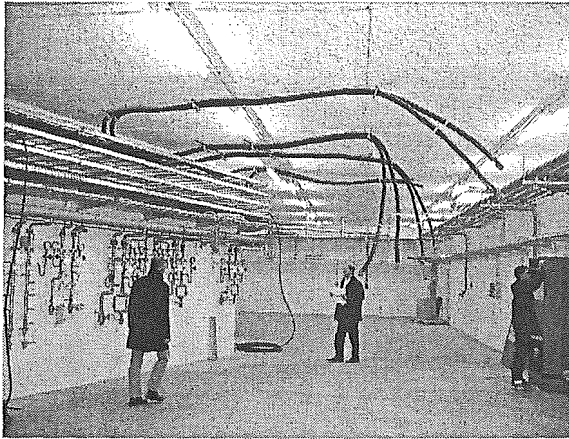


写真 DKFZ-9 シンクロトン室ビーム引き出し部付近。太い電線は水冷却のケーブル。

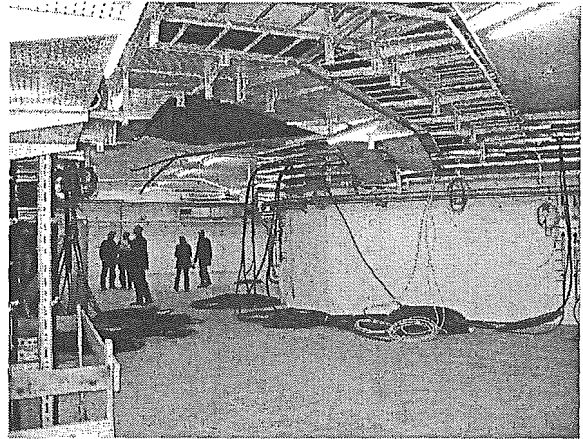


写真 DKFZ-10 シンクロトン室2。

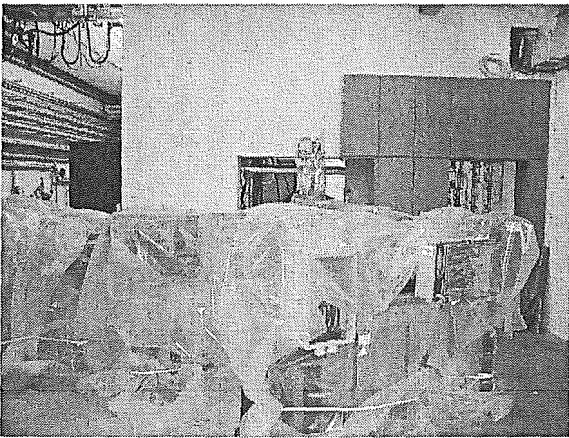


写真 DKFZ-11 イオン源室から下流リニアック室を望む。GSIでテストされた機器の一部がすでに搬入されている。リニアック運転中でもイオン源室、リニアックRF電源室には入室できる構造になっている。

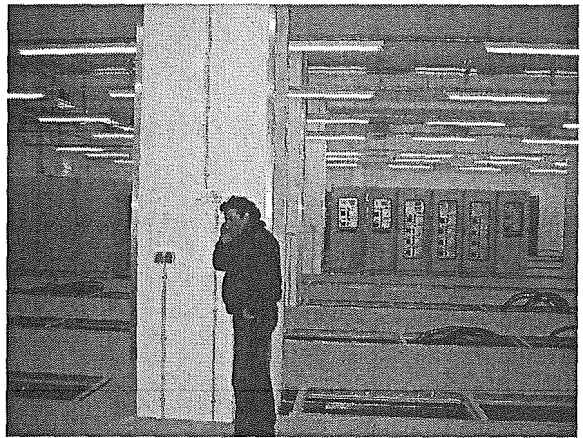


写真 DKFZ-12 地下3階電源室。すべての配線、配管は床下に設置される。

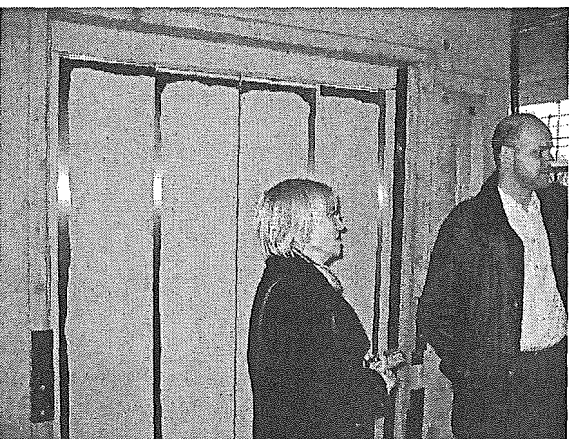


写真 DKFZ-13 建物工事中でもエレベータはすでに使用されている。

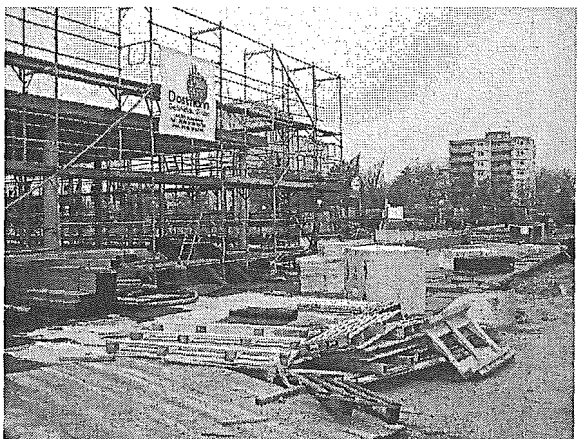


写真 DKFZ-14 地上階の研究室が配置される付近の工事現場。

放射線防護に関する検討調査

分担研究者 金井達明

独立行政法人放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 医学物理部長

研究要旨

アメリカのMD アンダーソン 陽子線治療センター施設を訪問し、最新の陽子線治療施設での放射線防護の現状を調査した。テキサス州の規制を受け、その規制の内容はWEBで誰でも閲覧できるようになっていた。防護に関する基本的な考え方はNCRPに準じていて、陽子線治療施設であるからといって特別の規制はされていなかった。

A. 研究目的

日本における粒子線治療施設の放射線防護のあり方について検討するため、諸外国の状況を調査し参考とすることにした。

B. 研究方法

アメリカでも最も新しく現在建設中である陽子線治療の最先端施設のMDアンダーソン陽子線治療センターを調査対象とした。

調査事項については国内の粒子線治療施設の放射線防護担当者や放射線防護の専門家で組織した本研究の協力者の研究会において、検討してもらい質問を作成した。訪問前に質問票を送付し、調査の効率化を図った。

C. 研究結果

訪問施設における守るべき法令や規制はテキサス州政府独自に作成されていた。放射線防護に関する基本的な考え方等は National Council Radiation Protection (NCRP 勧告) No.49, 51, 144 を主としている。病院施設におけるRIの取り扱いなどの規制と同様にテキサス州の州健康サービス部門において規制されていて、さまざまな規制内容はWEBで自由に閲覧できるようになっていた。今回州で始めて建設される陽子線治療施設への特別な規制

は、特に記述がなくライナックなどの医療用加速器に関する規制や一般の放射線防護に関する規制で代用されているという感じであった。MDアンダーソン病院はかつて中性子線治療が盛んに行われていた病院であり、今回の陽子線治療は中性子線治療に比べると被爆・放射化の危険性は非常に低いので、まったく特別視することはなかった。

粒子線治療に伴う患者の放射化や放射化物品の発生は非常に少ないとして、特別なガイドラインなどは無かった。放射化物の持ち出しに関しては一般の放射化物と同様にバックグラウンドと同程度のレベルまで下がったことを確認して持ち出せるということであった。

D. 結論

粒子線治療に関して特別な放射線防護対策は基本的にはとられておらず、通常の加速器施設と変わりはない。調査した範囲では、日本において新たに設けるべき規制すべき事項は見受けなかった。

重粒子線治療等新技术の医療応用に係る放射線防護のあり方に関する研究
(17-医療-010)

施設訪問調査報告書3

MD Anderson Proton Therapy Center (MDアンダーソン陽子線治療センター)

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター
医学物理部 金井達明

1.1 名称: MD Anderson Proton Therapy Center (MDアンダーソン陽子線治療センター)

1.2 住所: 1840 Old Spanish Trail, Houston, Texas 77054, USA

1.3 訪問日: 2006年2月13日

1.4 面会者

1) 氏名: John Michael Williford, RSO

所属: Safety Specialist IV

Environmental Health and Safety

Proton Therapy Center – Houston

tel: 713-563-3625

e-mail: mwillifo@mdanderson.org

2) 吉田 篤司 site manager、日立製作所

3) 鈴木 一道 project Director、日立製作所

1.5 調査項目

1.5.1 法的な規制について

1) 粒子線治療施設に対して連邦政府や州などの法律上の規制はあるか

2) 粒子線治療施設に関する規制当局の役割は何か

3) 粒子線治療施設に対し特別な規制はあるか。あれば内容はどうか。

4) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に関する法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。

以上の粒子線治療施設に特別な規制などはない。ただ、一般的な放射線治療施設や医療用具に対する規制はあり、それに準じて運用する。

テキサスの Department of State Health Service が規制当局であり、さまざまな一般的な規制を行っている。特に、放射線治療に対しては、Radiation Safety Requirements for Accelerators, Therapeutic Radiation Machines, and Simulators (Effective

October 1, 2000)

で規制が行われている。

登録、施設条件、安全条件、運転者の研修条件、運転記録などについて大まかに基準が決められている。

(registration、Facility Requirements、Safety Requirements、Training Requirements for Operators、Records/Documents)

5) ボーラス、コリメータなど、患者ごとに取り替える物品の廃棄にはどのような規制があるか。現実の対応はどうか。

管理区域から外部に持ち出す場合はすべて **Background Level** にまで落ちていることを確認し廃棄する。それまでの間は、管理区域内の部屋に置く。

6) 施設の使用開始前や開始後に、規制当局による検査や立入が、粒子線治療施設として特別に行われているか。

基本的にはない。

1.5.2 放射線安全への対策

1) 治療に使用している粒子は何か、エネルギーはいくらか。

陽子線、70 MeV から 250 MeV まで

2) 照射システムはどのようなものか。たとえばスポットスキニング等。

ガントリ 1, 2 は、散乱体法、ガントリ 3 はスポットスキニング法、第 4 室には大照射野ポートと眼治療用ポートの水平 2 ポートがあり、散乱体法で照射野を作る。さらにもうひとつ実験室がある。

3) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に何らかの対策をとっている場合、誰が責任者でどのような体制にしているか。

患者に対しては医者、医療従事者に対しては **safety Specialist**

4) 患者の放射化に対し、何か特別な対応をしているか。尿や持ち物の取り扱いについて。

PET 室に対しては、対策を打っているが、陽子線治療照射に対しては特に行っていない。

5) 粒子線治療に関し、医者、看護師、医学物理士など医療従事者の被ばくの現状はどうか。どのようにして測定しているか。

まだ、始まっていないのでわからない。

6) 照射終了後、医療従事者が照射室に立ち入るまでの時間に制限を設けるなど、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。

測定してから決める。

- 7) ボーラス、コリメータなどの取扱いに関し、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。

測定してから決める。

- 8) 施設の周辺線量を測定している場合、測定方法と頻度はいかがか。

モニタリングポストを設置しルーチンで測定する。開始時にはサーベーターで測定し、環境放射線のレベルを認識する。安全であれば、ルーチンには行わない。

- 9) 管理区域（治療施設）への立ち入りに関する規則があるか。あればどのようなものか

- 10) 空気の放射化を測定したり計算したことはあるか。あれば結果はいかがであったか。

空気の放射化は計算していない。大丈夫である。

- 11) 心電図ホルダー、ペースメーカーなどを装着している患者に特別な配慮をしているか（中性子による誤動作の例があった。）

わからない

1.5.3 遮蔽計算について

- 1) 粒子線治療施設の遮蔽設計に関し、通常の加速器施設としての規制の他に法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。

特になし

- 2) 粒子線治療施設の照射室外壁、管理区域（あれば）境界、事業所境界などの線量限度は法律やガイドラインでどのように定められているか。自主的にさらに低い値にしたりしているか。

500 mrem/年

- 3) 上記の線量限度を法律よりも自主的にさらに低い値にしたりしているか。

特になし

- 4) 遮蔽設計のマニュアルやガイドラインは定められているか。

基本的な教科書を参照している。NCRP レポート

- 5) 遮蔽設計はどのような方法で行われたか。（線源、透過計算など）

わからない

- 6) 設計時の計算と施設稼働後の実測との差異はいかがであったか。

わからない

MD Anderson proton therapy center の概観



質問に答えてくれた管理者と施設の設計・建設者である日立製作所の責任者



放射線防護に関する検討調査

分担研究者 西澤かな枝

独立行政法人放射線医学総合研究所重粒子医科学センター医学物理部医療被ばく防護研究室長

研究要旨

アメリカのロマ・リンダ医療センター重イオン治療施設及びスウェーデンのウプサラ大学重イオン治療施設を訪問し、放射線防護の現状を調査した。米国は州毎に規制が異なるが、防護に関する基本的な考え方は主に NCRP に準じていた。スウェーデンでは放射線防護に関し SSI が大きな規制力を持っていた。両施設とも粒子線治療施設として特別な放射線防護が行われていることはほとんど無かった。

A. 研究目的

日本における粒子線治療施設の放射線防護のあり方について検討するため、諸外国の状況を調査し参考とすることにした。

B. 研究方法

アメリカでも最も患者数が多いとされているロマ・リンダ医療センター重イオン治療施設及び、医療放射線防護に関して定評のあるスウェーデンのウプサラ大学重イオン治療施設を調査対象とした。

調査事項については国内の粒子線治療施設の放射線防護担当者や放射線防護の専門家組織した本研究の協力者の研究会において、検討してもらい質問を作成した。訪問前に質問票を送付し、調査の効率化を図った。

C. 研究結果

アメリカでは種々の法令や規制は州政府独自に作成される。Loma Linda はカリフォルニア州に属するため、同州の規制が適用される。しかし、放射線防護に関する基本的な考え方は National Council Radiation Protection (NCRP 勧告) No.49, 51, 144 を主としている。重イオン線治療施設であるための特別な規制、

ライナックなどの加速器に関する規制や一般の放射線防護に関する規制と大きく異なる所はなかった。

スウェーデンでは国の担当省とは別に放射線防護に関する専門の National Radiation Protection Authority (SSI) があり、事実上 2 重の規制を受けている。細かな規制や立ち入り検査などは SSI が行い、治療などの関するライセンスも SSI から発行される。また、施設の変更や事変・事故などの報告も SSI に対し行われる。ここでも基本的に一般の放射線防護に関する規制と大きく異なる所はない。施設周辺の線量測定なども実測が重視され、施設や照射方法の変更などがなければ一定の期間毎の測定は必要ないとのことであった。

両施設とも粒子線治療に伴う患者の放射化や放射化物品の発生は非常に少ないとして、特別なガイドラインなどは無かった。

D. 結論

粒子線治療に関して特別な放射線防護対策は基本的にはとられておらず、通常の加速器施設と変わりはない。調査した範囲では、日本において新たに設けるべき規制すべき事項は見受けなかった。

重粒子線治療等新技術の医療応用に係る放射線防護のあり方に関する研究

(17-医療-010)

施設訪問調査報告書4

Loma Linda University Medical Center (ロマ・リンダ医療センター)

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター

医学物理部 西澤かな枝

加速器物理部 松藤成弘

1.1 名称：Loma Linda University Medical Center（ロマ・リンダ医療センター）

1.2 住所：10970 Parkland Avenue, Loma Linda, California 92354, USA

1.3 訪問日：2006年2月21日

1.4 面会者：

1) 氏名：Baldev Patyal, PhD., DABR

所属等：Department of Radiation Medicine, Chief Physicist

電話：+1(909)558-87272

ファックス：+1(909)558-4083

電子メール：bpatyal@dominion.llumc.edu

備考：Chief Physicist

2) 氏名：Cal Glisson, M.P.H., CHP

所属等：Office of Radiation Safety

電話：+1(909)558-4913

ファックス：+1(909)558-4707

電子メール：eglisson@ahs.llumc.edu

備考：Radiation Safety Officer

3) 氏名：Donald V. Farley, M.S., D.A.B.M.P.

所属等：Certified-American Board of Medical Physics

電話：+1(909)338-3692

ファックス：+1(909)338-3692

Cell/Voicemail：+1(909)228-6970

備考：遮蔽設計

1.5 調査項目

1.5.1 法的な規制について

1) 粒子線治療施設に対して連邦政府や州などの法律上の規制はあるか
特別なものは無い。州によって規制は異なる。

2) 粒子線治療施設に関する規制当局の役割は何か

3) 粒子線治療施設に対し特別な規制はあるか。あれば内容はどうか。
特になし

- 4) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に関する法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。

National Council Radiation Protection (勧告) No.49, 51, 144 (Gold standard)

FDA 21 線量に関する規制

NRC 規則

CRF part20 規則

Joint Commission Acceptation of Health Care Organization (JCAHO): 患者の防護

California 17 Radiation Control Regulations

- 5) ボーラス、コリメータなど、患者ごとに取り替える物品の廃棄にはどのような規制があるか。現実の対応はどうか。

放射化するが半減期は短い。

組織等価物質は数分で decay する。金属(Cerrobend)は数週間係る為再利用のために他の工場などに持ってゆくときには多少問題がある。よって長く保管する。

搬出のための線量限度は無い。

- 6) 施設の使用開始前や開始後に、規制当局による検査や立入が、粒子線治療施設として特別に行われているか。

州によって異なる

(カリフォルニアは以下のそれぞれのプロセスで検査を受ける)

シールドデザイン

建物建設

物理測定、キャリブレーション

治療開始

立ち入り検査は2-3年に一度

使用を中止した建物に関してはスミア検査など行うかも知れないが放射化は少ないと思う。単純な基準のみ存在する。

1.5.2 放射線安全への対策

- 1) 治療に使用している粒子は何か、エネルギーはいくらか。

- 2) 照射システムはどのようなものか。たとえばスポットスキヤニング等。

実験室は Scanning System

治療室は Passive Scattering

- 3) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に何らかの対策をとっている場合、誰が責任者でどのような体制にしているか。

個人モニター：プラスチックフィルム 中性子用、高エネルギー γ (1つのバッヂ)

月ごとに個人モニターを交換する。

治療室には測定器があり、警報装置がある。

教育訓練は新たにビームラインに拘わる人に対して行う。2時間

- 4) 患者の放射化に対し、何か特別な対応をしているか。尿や持ち物の取り扱いについて。
放射化はあっても非常に小さいので必要ない
治療衣は交換する。
- 5) 粒子線治療に関し、医者、看護師、医学物理士など医療従事者の被ばくの現状はどうか。どのようにして測定しているか。
Office of Radiation Safety の責任で行う
被ばくは大変小さい
- 6) 照射終了後、医療従事者が照射室に立ち入るまでの時間に制限を設けるなど、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。
- 7) ボーラス、コリメータなどの取扱いに関し、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。
- 8) 施設の周辺線量を測定している場合、測定方法と頻度はいかがか。
- 9) 管理区域（治療施設）への立ち入りに関する規則があるか。あればどのようなものか。
- 10) 空気の放射化を測定したり計算したことはあるか。あれば結果はいかがであったか。
行っていない。計算の必要はない。
- 11) 心電図ホルダー、ペースメーカーなどを装着している患者に特別な配慮をしているか（中性子による誤動作の例があった。）

1.5.3 遮蔽計算について

- 1) 粒子線治療施設の遮蔽設計に関し、通常の加速器施設としての規制の他に法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。
- 2) 粒子線治療施設の照射室外壁、管理区域（あれば）境界、事業所境界などの線量限度は法律やガイドラインでどのように定められているか。自主的にさらに低い値にしたりしているか。
- 3) 上記の線量限度を法律よりも自主的にさらに低い値にしたりしているか。
基本的に厳しいので更に低くする必要はない。

4) 遮蔽設計のマニュアルやガイドラインは定められているか。

NCRP51,144

5) 遮蔽設計はどのような方法で行われたか。(線源、透過計算など)

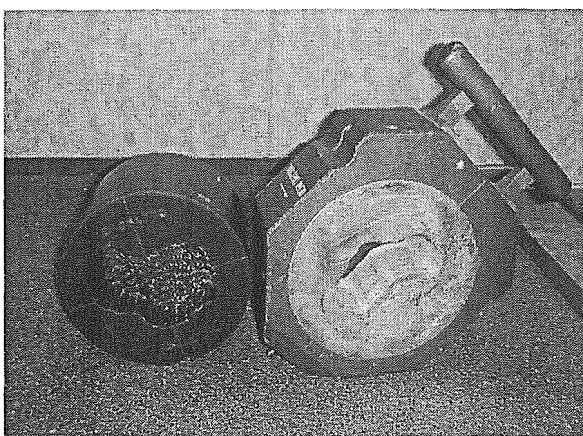
特別なデザインが必要か否かはエネルギーによる
自分で計算コードを作る。一般的なものではない。

6) 設計時の計算と施設稼動後の実測との差異はいかがであったか。

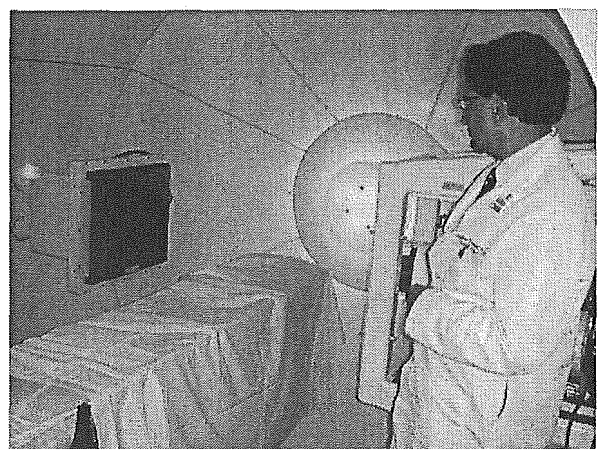
良い一致を示した。



Loma Linda 医療センター
正面入り口付近



照射コリメータ



重イオン線照射室及び
Dr. Baldev Patyal

重粒子線治療等新技术の医療応用に係る放射線防護のあり方に関する研究
(17-医療-010)

施設訪問調査報告書

ウプサラ大学 T Svedberg 研究所(TSL)

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター
医学物理部 西澤かな枝
赤羽恵一

1.1 名称：Loma Linda University Medical Center（ロマ・リンダ医療センター）

1.2 住所：10970 Parkland Avenue, Loma Linda, California 92354, USA

1.3 訪問日：2006年2月21日

1.4 面会者：

氏名：Anders Montelius, PhD 他2名

所属等：Sjukhusfysik Akademiska sjukhuset（ウプサラ大学）

住所：SE-751 85 Uppsala, Sweden

電話：+46 18 611 55 52

電子メール：anders.montelius@akademiska.se

1.5 調査項目

1.5.1 法的な規制について

1) 粒子線治療施設に対して連邦政府や州などの法律上の規制はあるか

National Radiation Protection Board(SSI)からと、National Health Welfare Board (SoS) からの規則がある。スウェーデン政府により任命された当局が2つある。

2) 粒子線治療施設に関する規制当局の役割は何か

これらの2当局は放射線治療の品質を維持する責任をもつ。陽子線治療ライセンスを当局から得る。ライセンスには次の事項が関連している：放射線量測定、患者とスタッフに対する安全、スタッフの教育と分類、場所の分類、年間の患者数の報告などに関するプログラムされた品質など。環境放射線に影響する建物のあらゆる変更が当局に報告されなければならない。

事件と事故に関するレポートはSSIとSoSへの両方に送らねばならない。

重大な事故は慎重に調査され、委員会は適切な対策が将来の事故が確実に避けられるように対策する。

3) 粒子線治療施設に対し特別な規制はあるか。あれば内容はどうか。

陽子線治療施設に対する直線加速装置を使用する従来の放射線療法施設への規則と異なっているどんな特別な規則もない。

4) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に関する法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。

陽子線治療施設における、患者とスタッフのための規則は従来の治療施設と同様。

スタッフ：50mSv/y、一般公衆：1mSv/y

- 5) ボーラス、コリメータなど、患者ごとに取り替える物品の廃棄にはどのような規制があるか。
現実の対応はどうか。

そのためのだんな特定の規則もないが、それらを処分する前の約 3 カ月真鍮コリメータを格納しておく。時々、古い真鍮コリメータを使用して、より大きい別の患者のためにそれを再機械加工します。 ボーラス材料の放射化は取るにたらず、処分のための規則は全くない。

- 6) 施設の使用開始前や開始後に、規制当局による検査や立入検査が、粒子線治療施設として特別に行われているか。

治療施設に対して年 1 回、一般的な加速器施設に対して同じく年 1 回の検査がある。

SSI が定期検査に来訪する。

1.5.2 放射線安全への対策

- 1) 治療に使用している粒子は何か、エネルギーはいくらか。

陽子線のみ。 加速器からの名目エネルギーは 180MeV。

- 2) 照射システムはどのようなものか。たとえばスポットスキヤニング等。

患者の治療には固定水平ビームを使用。ビームフラットニングは **passive scattering** で行われる。

スキヤンできる実験用ビームがあるが、このビームは患者治療には使用されない。

- 3) 粒子線治療に関し、患者、医療従事者の放射線防護に何らかの対策をとっている場合、誰が責任者でどのような体制にしているか。

陽子線治療は Upsala 大学に属する T Svedberg 研究所(TSL)で行わる。

TSL はビームの多くのユーザがいる物理学実験施設。

放射線治療は大学病院により行われる。(それは、Upsala の Country の地方保健当局によって融資さる)。 病院は TSL の陽子ビームの多くのユーザのひとり。

病院と TSDL には、1 年あたり 35 治療週間保証する金融協定がある(年により異なる)。

TSL はそれ自身のスタッフの放射線防護とビームのユーザに責任がある。

病院は患者と放射線治療室の放射線防護に責任がある。

TSL と病院の両方には、それら自身の放射線防護組織と SSI からのライセンスがある。

- 4) 患者の放射化に対し、何か特別な対応をしているか。尿や持ち物の取り扱いについて。

患者の放射化に関する測定はしない。きわめて低く、問題とするレベルではないため特に対策はとっていない。

- 5) 粒子線治療に関し、医者、看護師、医学物理士など医療従事者の被ばくの現状はどうか。ど

のようにして測定しているか。

すべてのスタッフはガンマ線からの線量の直接照射の線量計を携帯している。

- 6) 照射終了後、医療従事者が照射室に立ち入るまでの時間に制限を設けるなど、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。

Lab の一般的な放射線防護システムとして共に全室に放射線検出器を備えている。放射線表示が部屋への入り口にあり、放射線レベル表示が「緑色」となるまで、スタッフは部屋に入らない。陽子線治療では、線量レベルは非常に低く、治療後に部屋に入る前に数秒以上待つ必要はない。

- 7) ボーラス、コリメータなどの取扱に関し、医療従事者の被ばく低減対策を何かとっているか。

特になし

- 8) 施設の周辺線量を測定している場合、測定方法と頻度はいかがか。

治療室周辺の線量は治療方法が変化した時のみ測定する。定期的な測定はしない。

- 9) 管理区域（治療施設）への立ち入りに関する規則があるか。あればどのようなものか。

ビームが入る所は管理区域として分類される。認可されたスタッフだけが入室可能。

訪問者は、認可された人によって誘導されなければならない。

全管理区域は黄色いサインで示されている。

- 10) 空気の放射化を測定したり計算したことはあるか。あれば結果はいかがであったか。

特になし

- 11) 心電図ホルダー、ペースメーカーなどを装着している患者に特別な配慮をしているか（中性子による誤動作の例があった。）

今までのところ、ペースメーカーを着けた陽子線治療患者はいなかった。ペースメーカーは約 2Gy(または、Sv)以上の線量レベルで不調を示す。当施設の中性子線量レベルは数 mSv 程度のもので、これらの線量が不調に対し本当のリスクとなるとみなしていない。

1.5.3 遮蔽計算について

- 1) 粒子線治療施設の遮蔽設計に関し、通常の加速器施設としての規制の他に法律やガイドラインなどが定められているか。あれば内容はどのようなものか。

特にはない。

- 2) 粒子線治療施設の照射室外壁、管理区域（あれば）境界、事業所境界などの線量限度は法律やガイドラインでどのように定められているか。自主的にさらに低い値にしたりしているか。

特にはない。一般的な公衆と職業人に対する規制のみ