

ヘリウムイオン線 炭素イオン線 ネオンイオン線	それぞれ重粒子線の種類。以下の順に粒子が大きい。 陽子<ヘリウムイオン<炭素イオン<ネオンイオン
光子線	光子は光を粒子と考える場合の名称で、素粒子の一つである。従来の放射線治療で使われてきたX線とγ線を総称して光子線という。
実効線量	被ばくした臓器・組織で吸収された等価線量を相対的な放射線感受性の相対値（組織荷重係数）で加重してすべてを加算したものである。単位はSvで表される。
線量限度	放射線被ばくの制限値として、設定された線量の限度。現行法令は、ICRP 勧告（1990年）に基づき、外部被ばくと内部被ばくの合計に対して線量限度が定められている。この線量限度には自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まれていない。
中性子線	中性子は非電荷であり線量分布は体内の浅いところで最大となる。従来の放射線より、喉頭癌、耳下腺癌、食道癌、などに対し優れた治療効果をしめす。照射した物質を放射化しやすい。
電子線	加速された電子の流れ。飛程が短く、表層ですべてのエネルギーを与え、それより深層にエネルギーを与えない。したがって臨床では比較的表在性の悪性腫瘍の治療に用いられている。
等価線量	臓器への物理的な線量である吸収線量から、放射線の種類による生物体への被ばくの影響の違いを放射線荷重係数によって修正した線量。単位はSvで表される。
ベータ線	ベータ線は放射線の一種で、その実体は電子又は陽電子の流れである。普通「ベータ線」という場合は、負電荷を持った電子の流れを指す。
放射化	非放射性物質が核反応によって放射性物質に変わること。
補償フィルタ	重粒子線の深さ方向の到達範囲を調節するもの。
ライナック	放射線治療装置のひとつで、日本語名は直線加速器。高圧の電場で加速した電子を金属の標的にぶつけてX線を発生させ、そのX線を人体に当てて治療を行う。発生するX線のエネルギーが高いため、身体の深部まで十分量の放射線が届く。
ラスタースキャニング治療	照射対象を細かいドットの集合として捉え、ドットごとに制御された線量を照射する放射線治療法。
半減期	放射能の強度が壊変にともなって半分に減少するのに要する時間。

2. 研究者名簿

平成17年度

分担研究者

上叢義朋	理化学研究所 重イオン加速器科学研究プログラム安全業務グループ
遠藤真広	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	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
佐藤幸夫	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター加速器物理工学部
西澤かな枝	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

研究協力者：

赤城 卓	兵庫県立粒子線治療センター 装置管理科
赤羽恵一	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
大野達也	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター病院
榮 武二	筑波大学 陽子線医学利用研究センター
中山 隆	(財)原子力安全技術センター
中村尚司	清水建設株式会社 技術研究所
西尾禎治	国立がんセンター東病院 放射線部
西澤邦秀	名古屋大学 アイソトープ総合センター
福田茂一	(財)若狭湾エネルギー研究センター 研究開発部粒子線医療研究室
松藤成弘	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター加速器物理工学部
山下晴男	県立静岡がんセンター陽子線治療研究部

平成18年度

分担研究員

赤羽恵一	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター医療放射線防護研究室
上叢義朋	理化学研究所 重イオン加速器科学研究プログラム安全業務グループ
松藤成弘	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター物理工学部
金井達明	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター物理工学部
西澤かな枝	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター医療放射線防護研究室

研究協力者

赤城 卓	兵庫県立粒子線治療センター 装置管理科
大野達也	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター病院
榮 武二	筑波大学 陽子線医学利用研究センター
佐藤幸夫	群馬大学重粒子線医学研究センター
中山 隆	(財)原子力安全技術センター

中村尚司 東北大学名誉教授
西尾禎治 国立がんセンター東病院 放射線部
西澤邦秀 名古屋大学 アイソトープ総合センター
福田茂一 (財)若狭湾エネルギー研究センター 研究開発部粒子線医療研究室
山下晴男 県立静岡がんセンター陽子線治療研究部

ワーキンググループ

赤城 卓 兵庫県立粒子線治療センター 装置管理課
上叢義朋 理化学研究所重イオン加速器科学研究プログラム安全業務グループ
榮 武二 筑波大学 陽子線医学利用研究センター
中村尚司 東北大学名誉教授
西尾禎治 国立がんセンター東病院 放射線部
金井達明 放医研 重粒子医科学センター物理工学部
松藤成弘 放医研 重粒子医科学センター物理工学部
米内俊祐 放医研 重粒子医科学センター物理工学部
新谷恵理子 県立静岡がんセンター陽子線治療研究部
清水勝一 兵庫県立粒子線治療センター 放射線技術科

3. 粒子線治療施設における放射化実験報告

粒子線治療に際して、機器・人体等の放射化による作業従事者の被ばく線量を評価するため、本班研究内に測定ワーキンググループを設置し、測定を行う共通の条件（プロトコル）を策定した。このプロトコルに基づき、国内の4施設で測定が行われた。本稿では、この実測の手法ならびに得られた結果について示す。

A. 参加機関

本プロトコル測定には以下の4施設が参加した（五十音順）。

- ・ 国立大学法人筑波大学陽子線治療センター
- ・ 静岡県立静岡がんセンター
- ・ 独立行政法人放射線医学総合研究所
- ・ 兵庫県立粒子線医療センター

B. 測定プロトコル

以下にワーキンググループで策定した測定プロトコルを示す。各施設での測定はこのプロトコルに可能な限り準拠するよう努め、施設固有の事情で不都合が生じた場合には適宜変更を行うこととした。

【入射ビーム条件】

- ・ 入射エネルギー
 - proton 水中飛程 250mm 程度
 - carbon 水中飛程 150mm 程度、250mm 程度
- ・ SOBP 幅
 - 60mm
- ・ 照射野サイズ
 - 直径 150mm
- ・ 1回照射線量（SOBP 中点における物理線量）
 - 5Gy
- ・ 線量率
 - 治療時の線量率に準拠

【測定器】

- ・ 電離箱サーベイメータ
 - cap 有り／無し両方で測定
 - 較正履歴の不明なものは事前に放医研に送付⇒⁶⁰Coにて較正
 - 用いた測定器の形式、製造番号を記録

【測定1：患者コリメータの放射化】

- ・ 標的物質
 - 各施設で通常使用している患者コリメータ材
- ・ 形状
 - 厚さ 300mm（水等価）
 - 開口 50mm×50mm
- ・ 測定
 - (1) 照射直後に患者コリメータ下流側表面及び 300mm の線量率計測
 - (2) ノズルから取り外し、治療ホール等周辺環境が放射化していないところに移動
 - (3) コリメータ上流面（電離箱上底を密着）および 300mm（電離箱の実効中心）点での線量率を 30 秒ごとに測定

【測定2：ボーラスの放射化】

- ・ 標的物質
 - 各施設で通常使用しているボーラス材
- ・ 形状
 - 厚さ 100mm（水等価）
 - 開口・掘削 なし（無垢ブロックの状態）
- ・ 測定
 - (1) 照射直後にボーラス下流側表面及び 300mm の線量率計測
 - (2) ノズルから取り外し、治療ホール等周辺環境が放射化していないところに移動
 - (3) ボーラス上流面（電離箱上底を密着）および 300mm（電離箱の実効中心）点での線量率を 30 秒ごとに測定

【測定3：照射機器（多葉コリメータ）の放射化】

- ・ 標的物質
 - 多葉コリメータ
- ・ 形状
 - 開口 50mm×50mm
- ・ 測定
 - (1) 照射直後から多葉コリメータ下流側表面及び 300mm（電離箱の実効中心）点での線量率を 30 秒ごとに測定
- ・ 医用電子線加速器での測定
 - 6MV と 10MV について重粒子線と同様の測定を行った。
 - 6MV については、バックグラウンド程度であったため、放射化の測定は不可能であった。また、10MV についても、放射化の程度は非常に小さかったため、

コリメータ（ジョー）を 5 x 5 cm にして、コリメータになるべく当てる条件にして測定を行った。

【測定 4：患者の放射化】

- ・ 標的物質
 - タフウォーターファントム
 - ◇ 使用後各施設に巡回
- ・ 形状
 - 厚さ 300mm
 - ファントム中心にアイソセンターが合致するように設置
- ・ 照射野設定
 - 多葉コリメータ、ブロックコリメータ 全開
 - 患者コリメータ（100mm×100mm） 挿入
 - ファントム表面～患者コリメータ距離 500mm
- ・ 測定
 - (1) 照射直後にファントム下流側表面及び 300mm の線量率計測
 - (2) 治療ホール等周辺環境が放射化していないところに移動
 - (3) ファントム上流面（電離箱上底を密着）および 300mm（電離箱の実効中心）点での線量率を 30 秒ごとに測定
 - X線については、10MV について、同様の方法で 10 x 10 cm の照射野に対して照射を行ないファントムの放射化を測定した。

【その他】

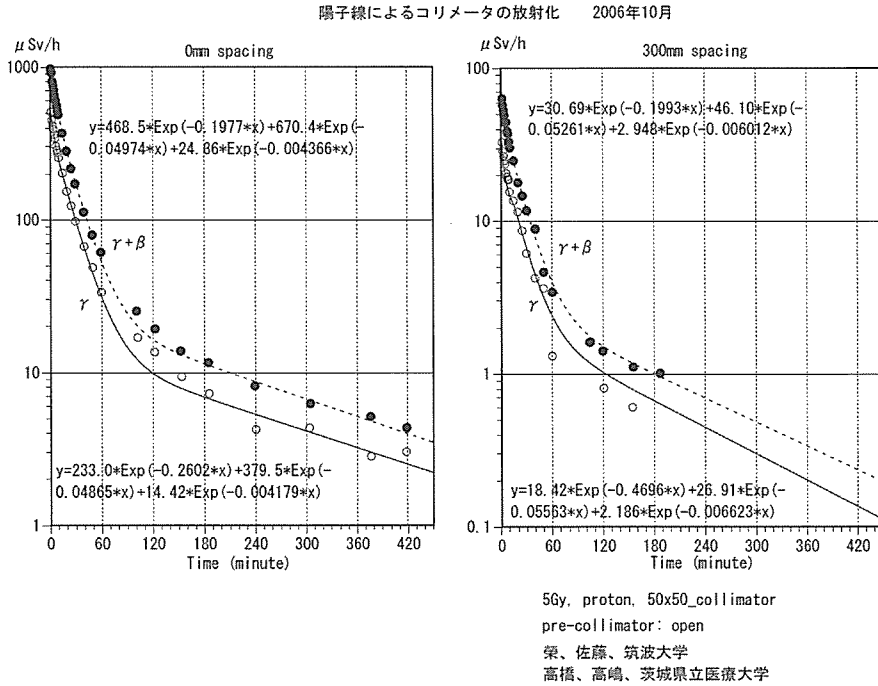
- ・ 測定量
 - 電離箱サーベイメータによるベータ線、ガンマ線の線量当量率（ μ Sv/h）
 - 照射終了後からの経時変化を 30 秒ごとに測定する（変化が緩やかになれば適宜広げる）

C. 測定結果

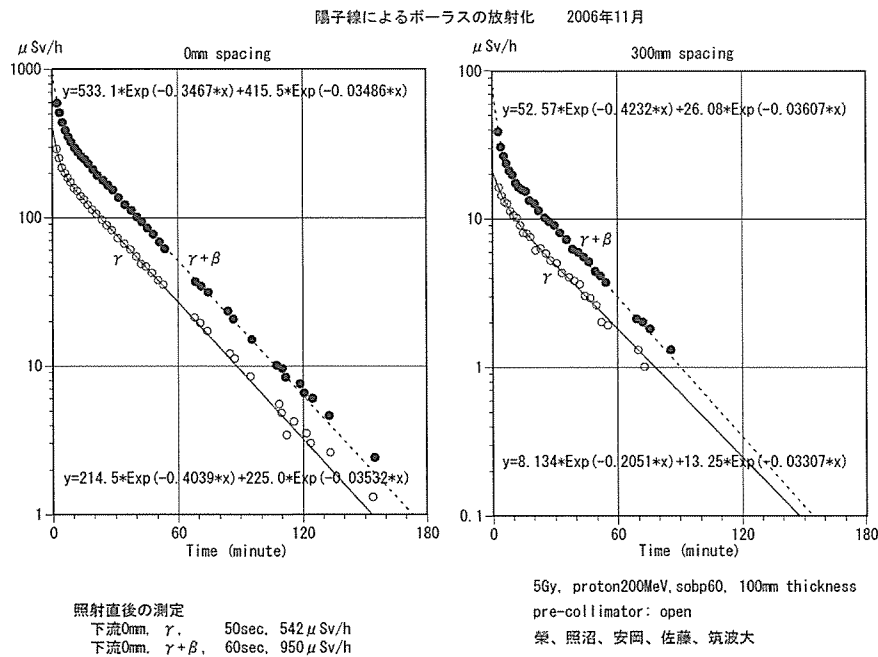
以下に、本プロトコルに準拠し、各施設で実測された結果を示す。

●筑波大学（陽子 200MeV）

【測定1：患者コリメータの放射化】



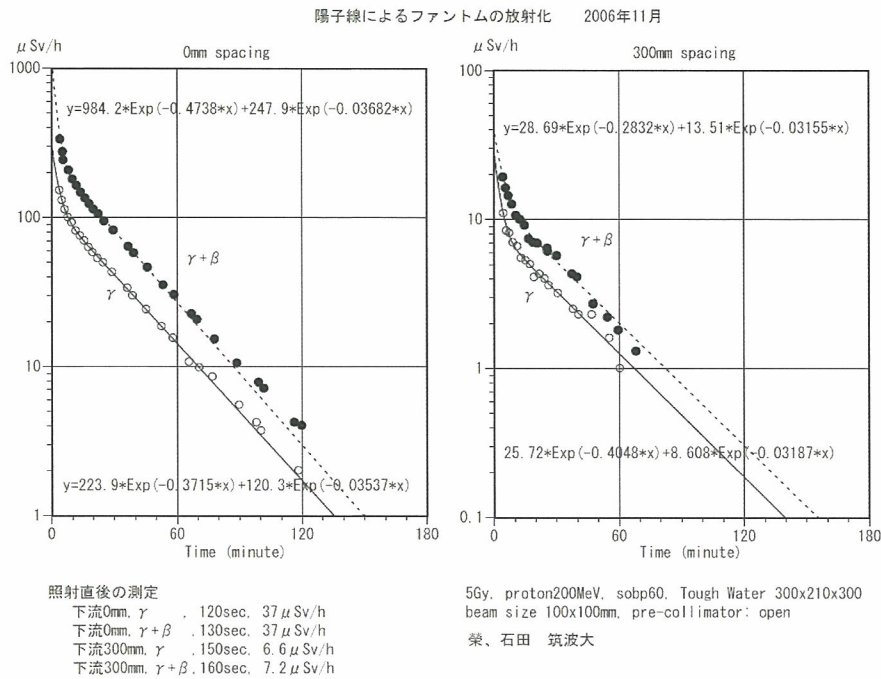
【測定2：ボースの放射化】



【測定3：MLCの放射化】

測定データ無し。

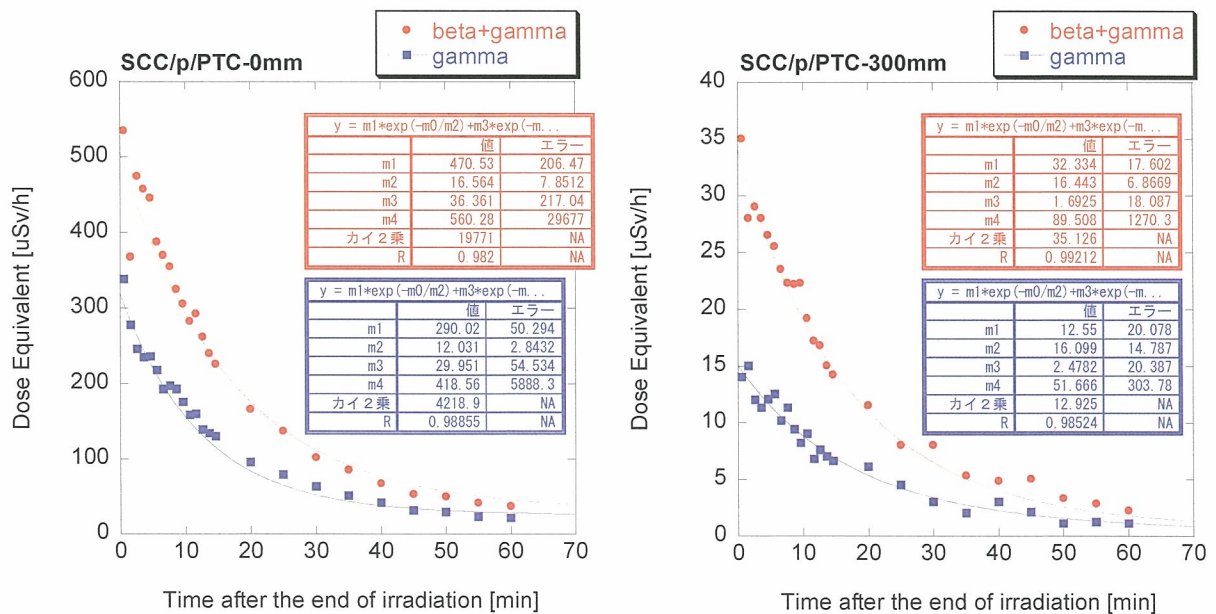
【測定 4 : タフウォーターの放射化】



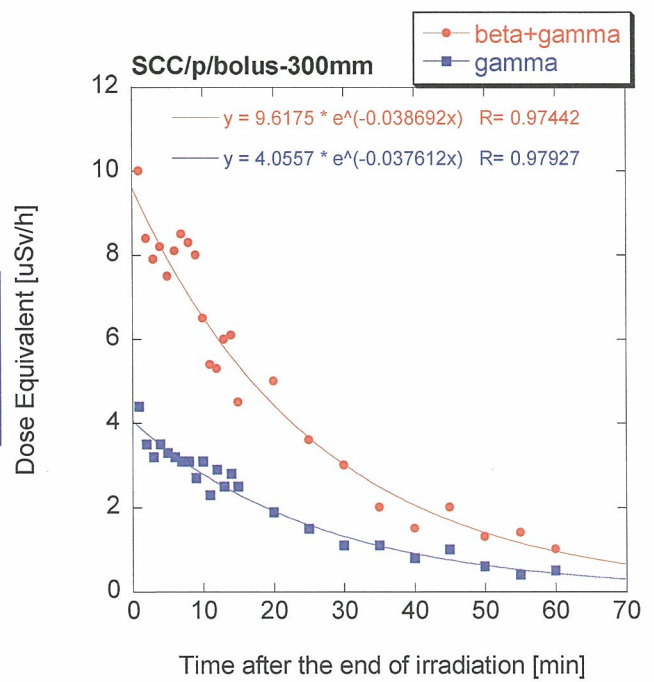
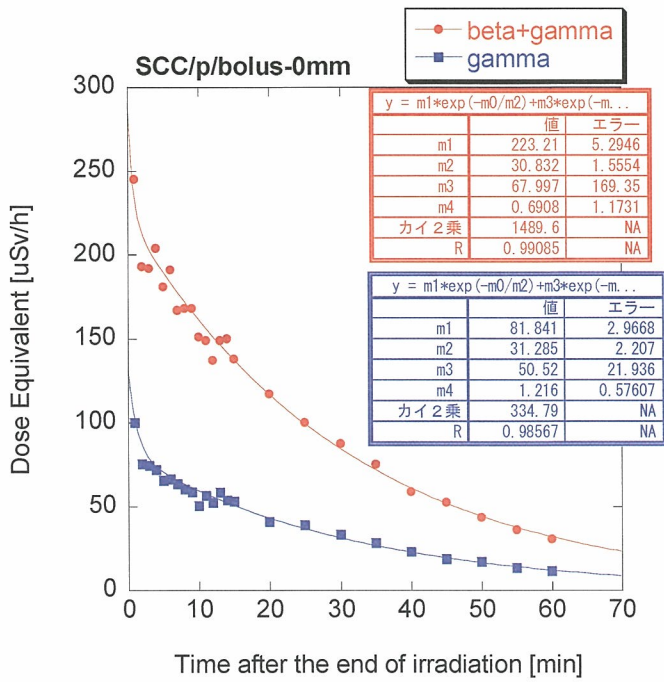
●静岡がんセンター（陽子 220MeV）

※患者コリメータ、ボラス、ファントムの測定では、照射下流面で測定が行われたため、試料の自己遮蔽効果により上流面での測定に比して多少の過小評価になっている可能性がある。

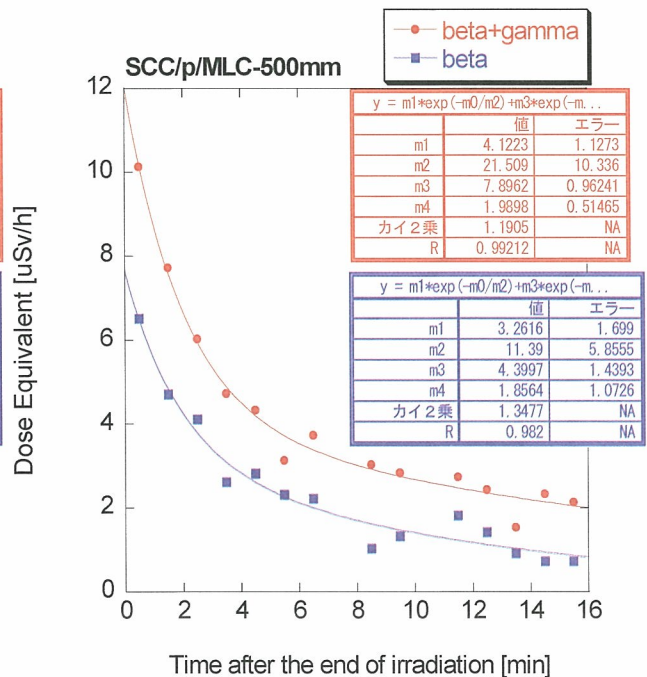
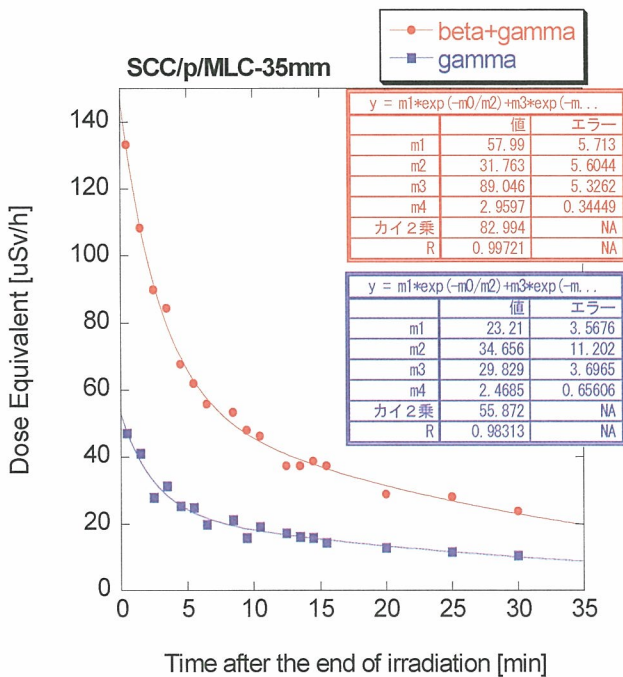
【測定 1 : 患者コリメータの放射化】



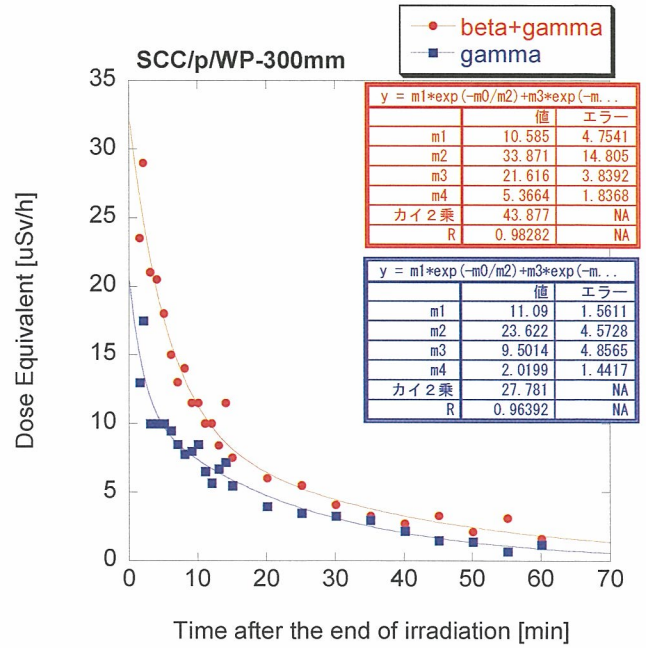
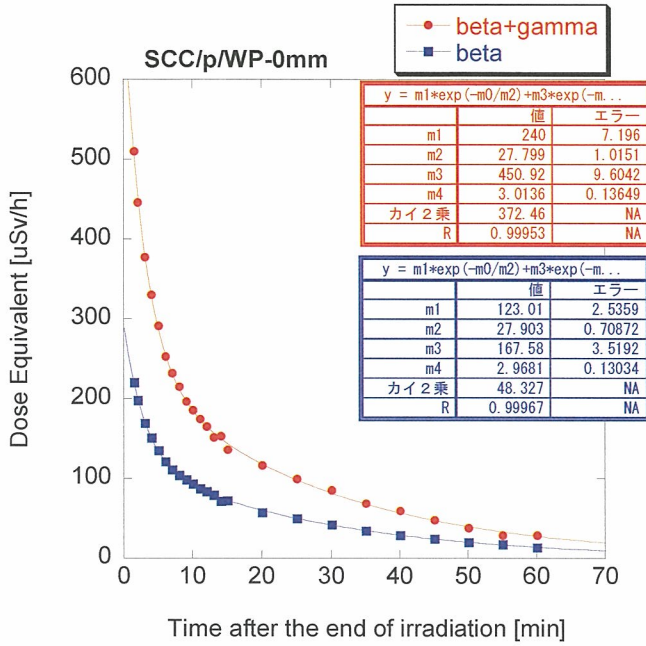
【測定 2 : ボーラスの放射化】



【測定 3 : MLC の放射化】



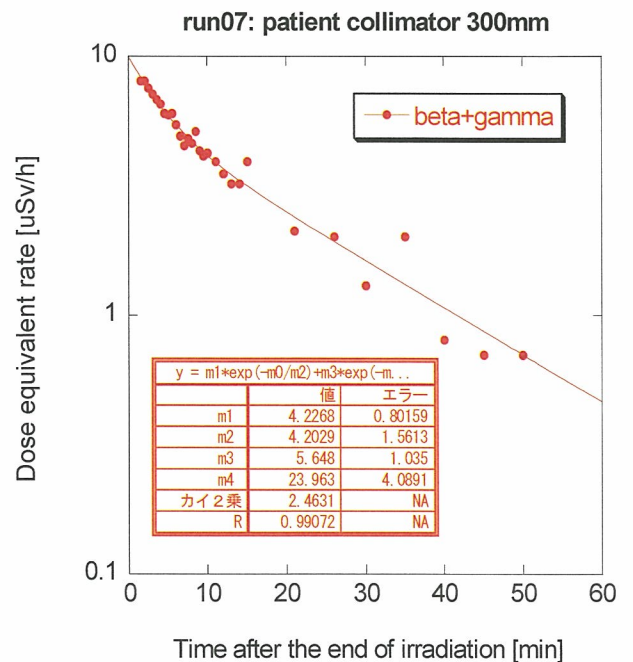
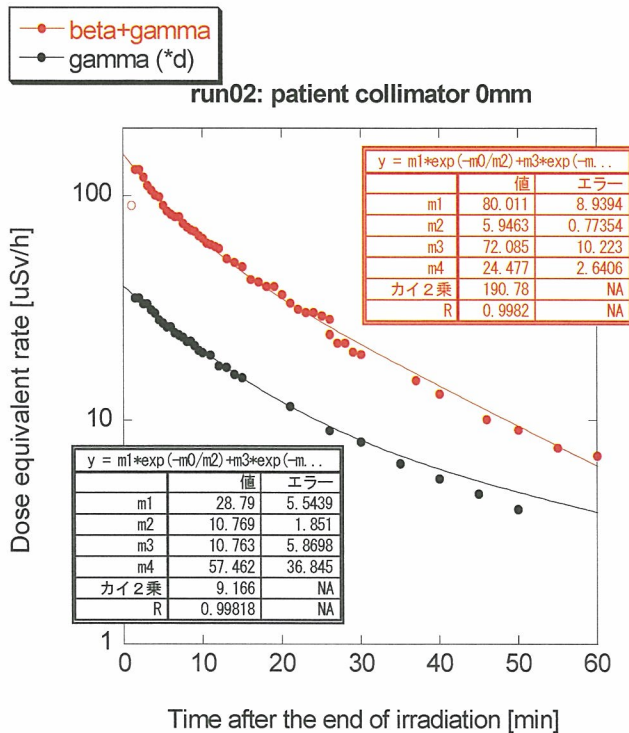
【測定 4 : タフウォーターの放射化】



●放射線医学総合研究所① (炭素 290MeV/n)

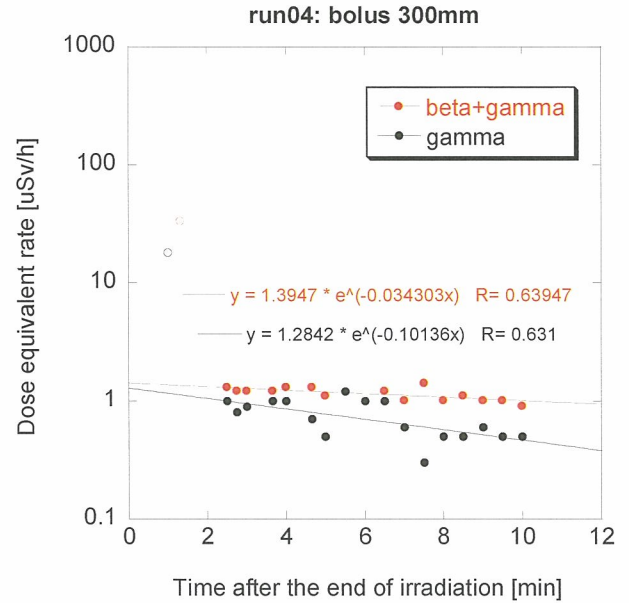
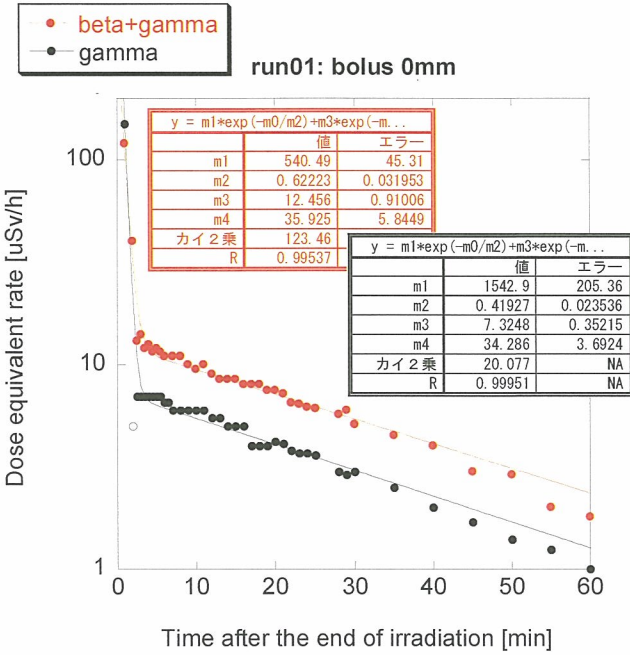
【測定 1 : 患者コリメータの放射化】

※300mm 離れた点での γ 線のみ測定は行っていない。

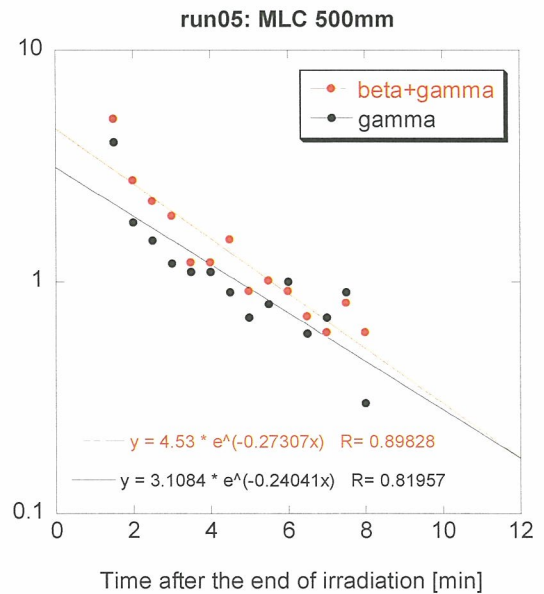
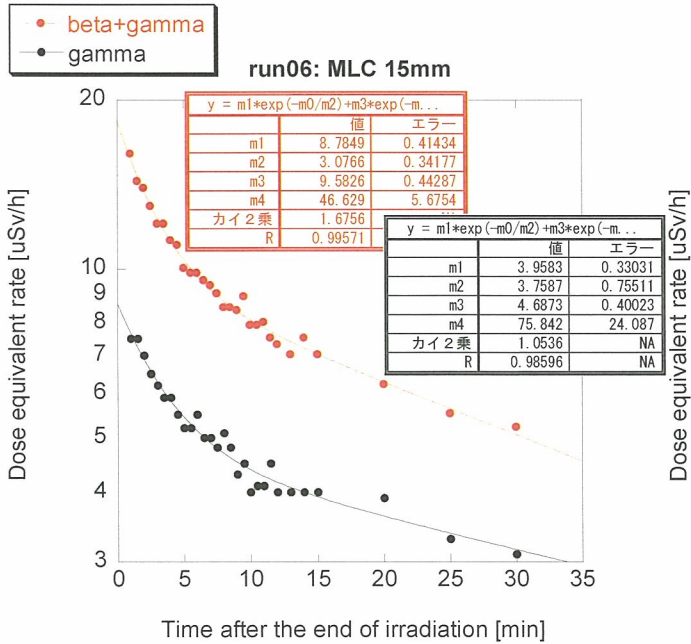


【測定 2 : ボーラスの放射化】

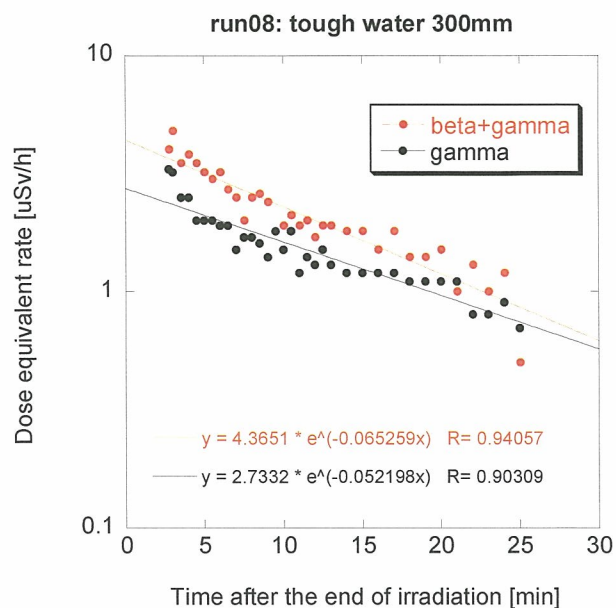
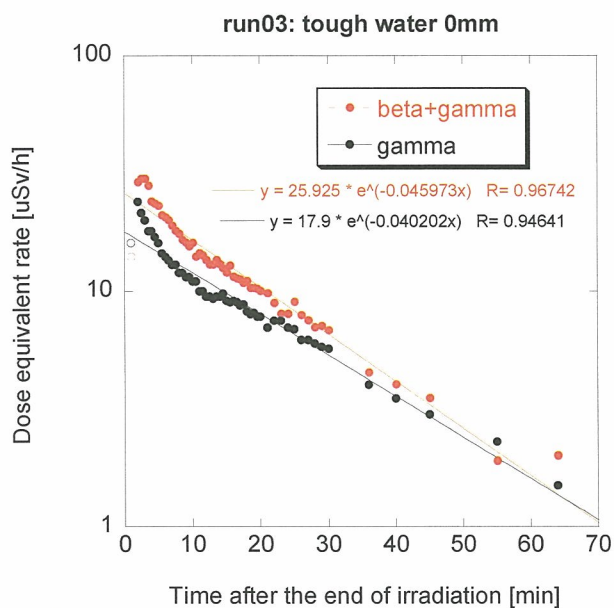
※300mm 離れた点での最初の測定ポイントは読み取りに失敗していたためフィッティングには入れていない。



【測定 3 : MLC の放射化】



【測定 4 : タフウォーターの放射化】

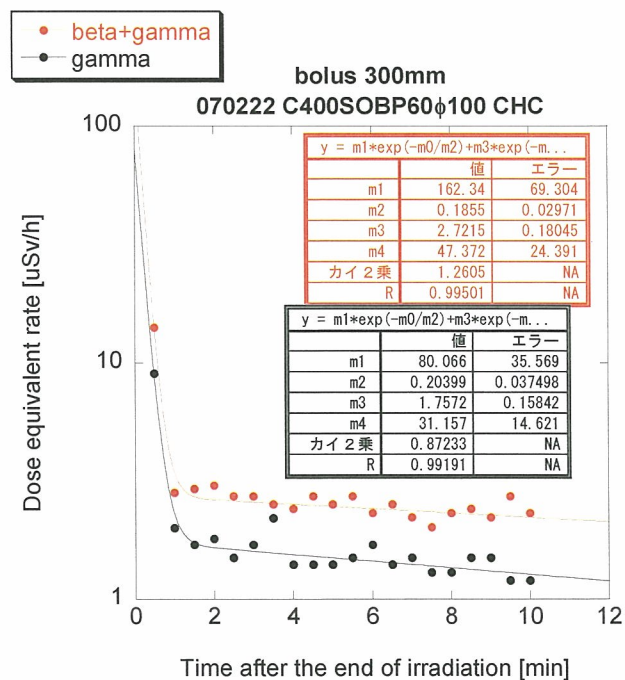
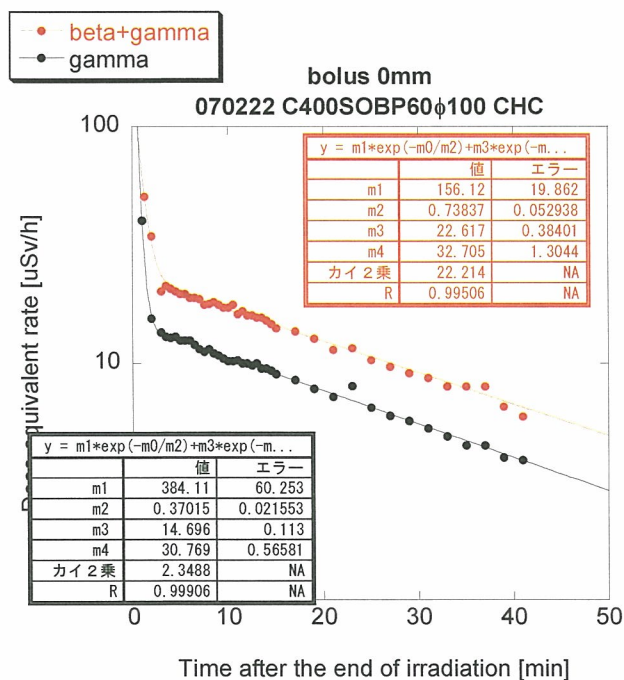


●放射線医学総合研究所② (炭素 400MeV/n)

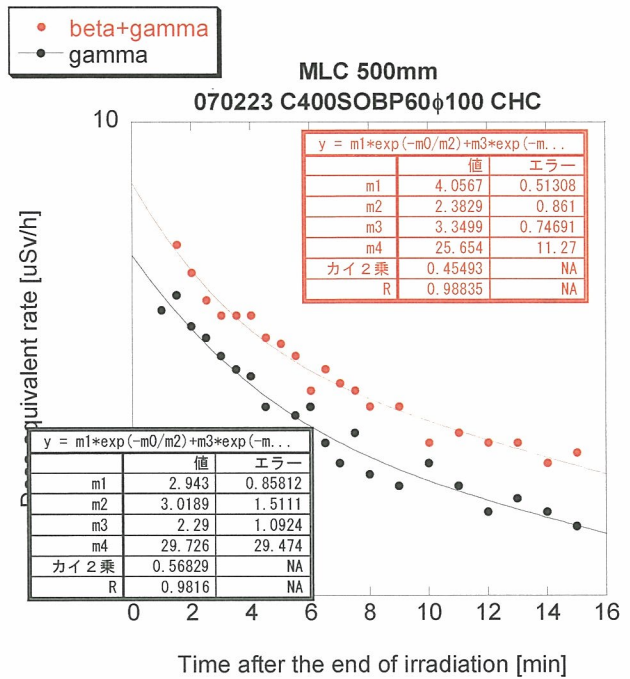
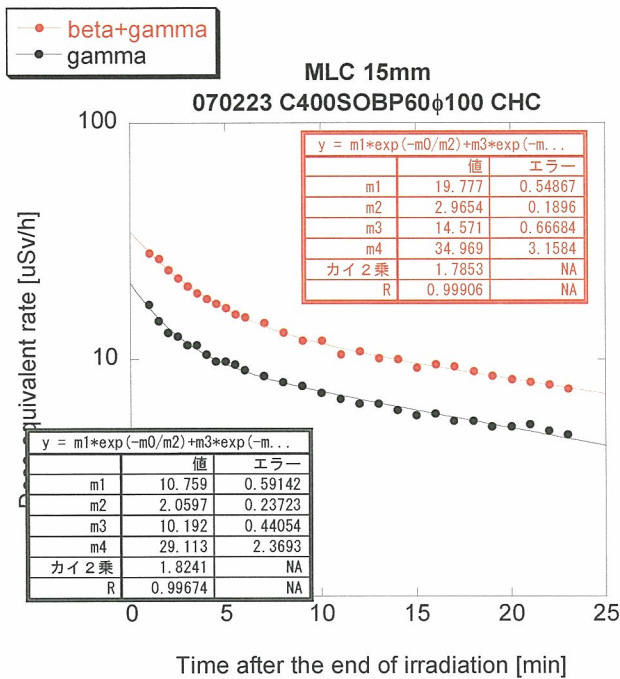
【測定 1 : 患者コリメータの放射化】

※400MeV/n の測定では患者コリメータは使用しないため、測定は行われていない。

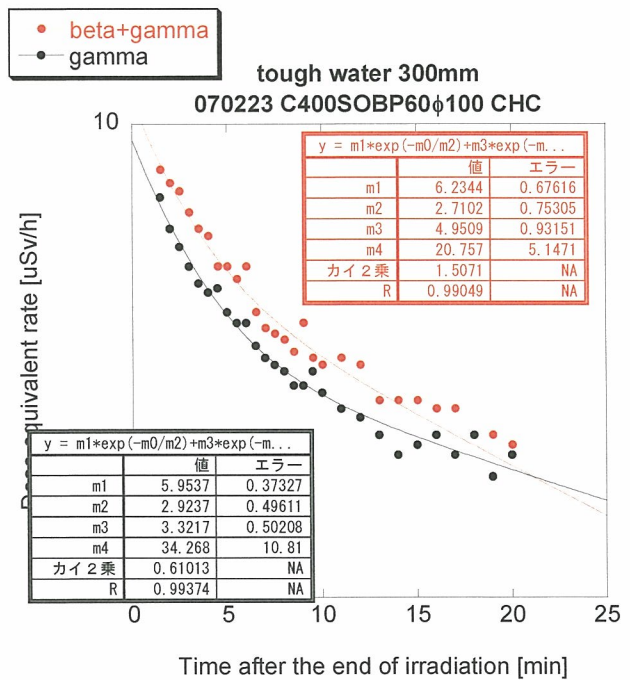
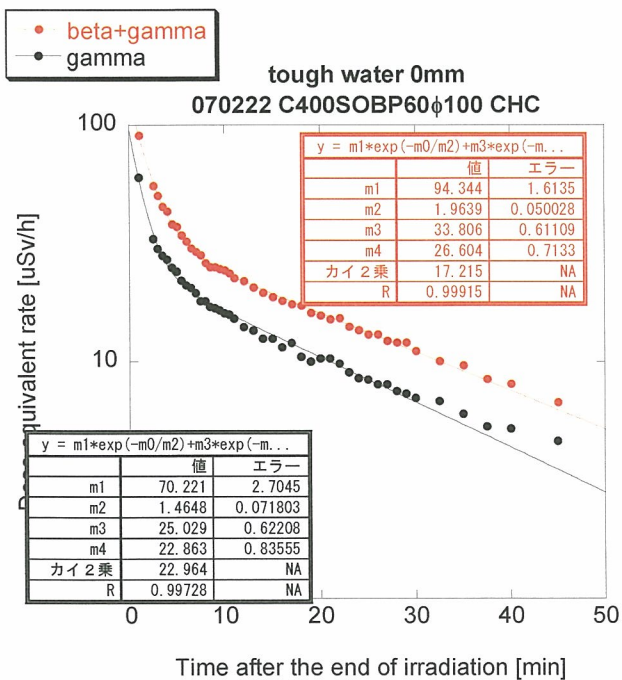
【測定 2 : ボーラスの放射化】



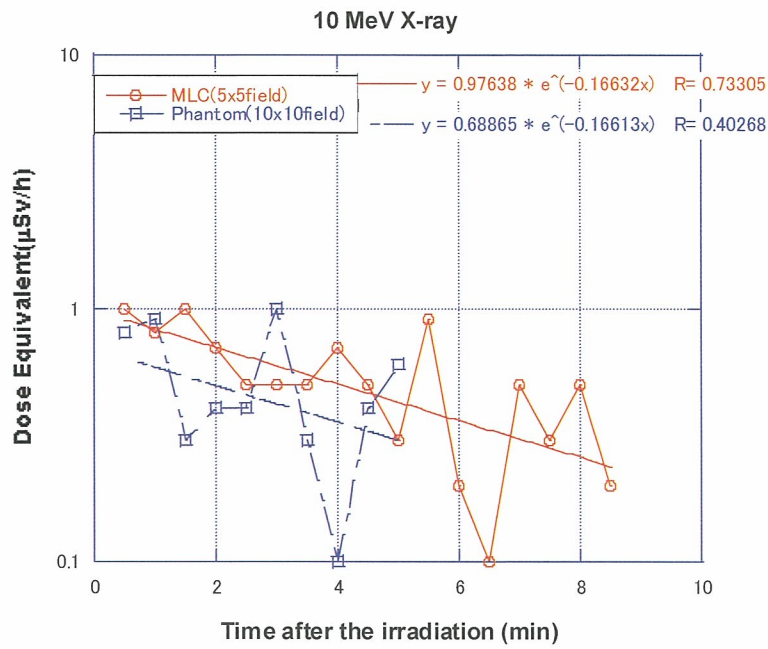
【測定 3 : MLC の放射化】



【測定 4 : タフウォーターの放射化】

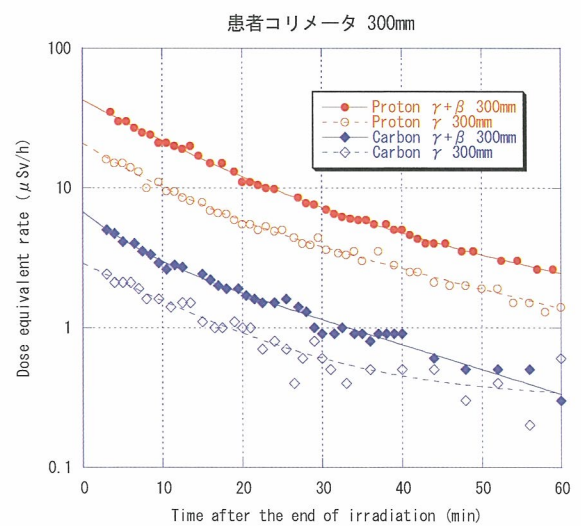
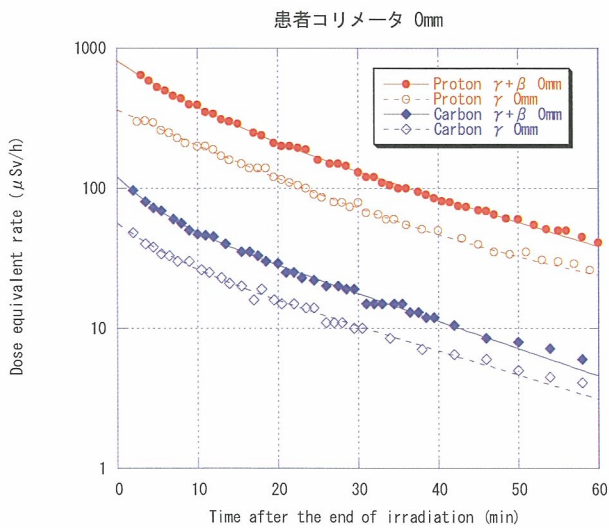


●放射線医学総合研究所③（医用電子線加速器（X線）での測定）

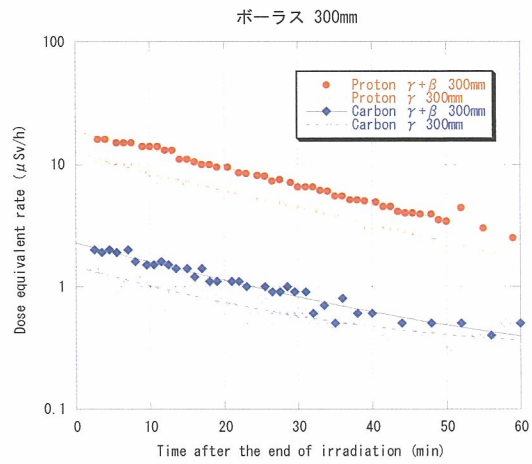
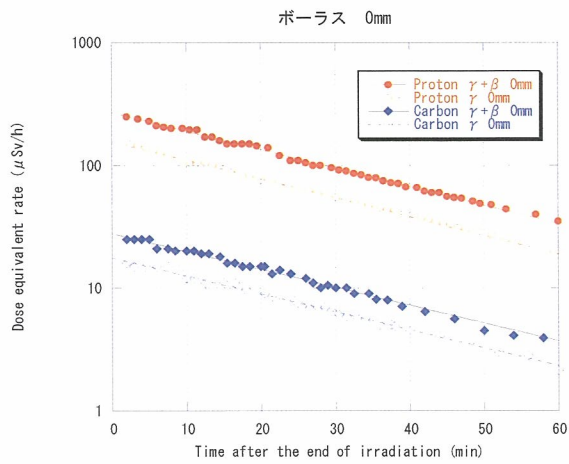


●兵庫県立粒子線医療センター（陽子 210MeV、炭素 320MeV/n）

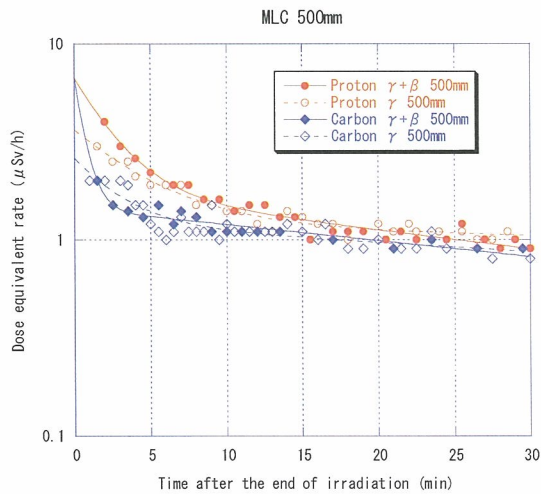
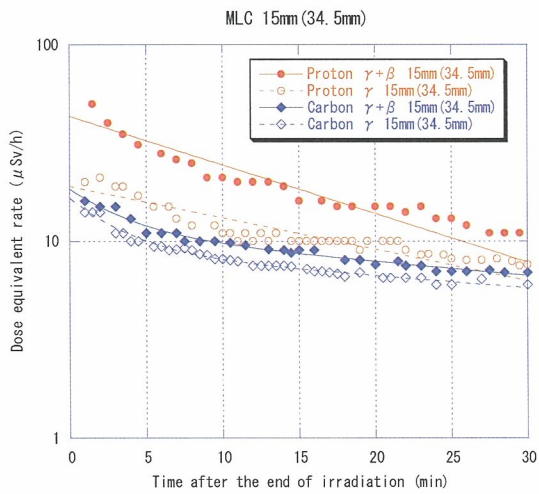
【測定 1：患者コリメータの放射化】



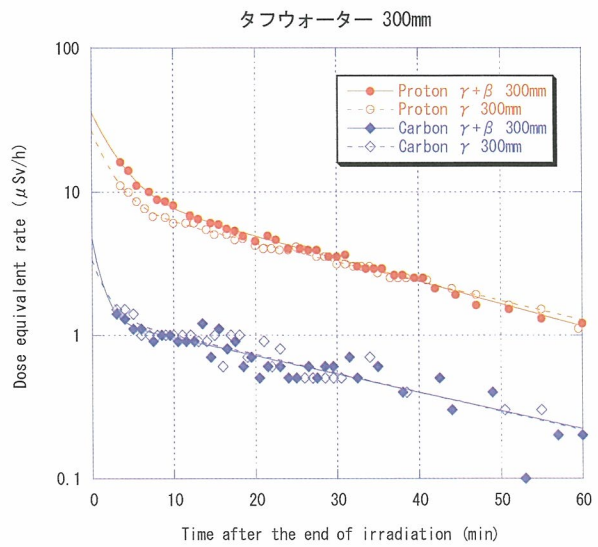
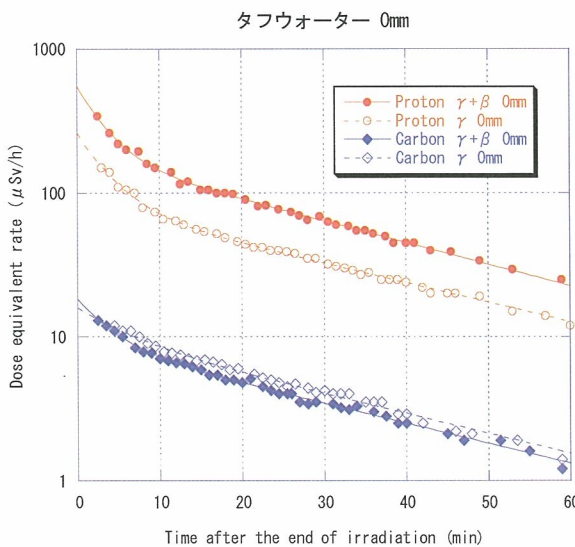
【測定 2 : ボーラスの放射化】



【測定 3 : MLC の放射化】



【測定 4 : タフウォーターの放射化】



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：施設調査報告まとめ

	日本の現状	ドイツ	MDA(米)	ロマリンダ医療センター(米国)	スウェーデン(ウプサラ大学)
1) 法的規制					
1) 国・州の法律上の規制	厚労省(医療法・医療法施行規則・電離則)、文科省(障防法)など	連邦政府と州による規制。法律は「Strahlenschutzverordnung」(環境・原子炉安全、自然保護省) 医療に関する放射線安全は「Richtlinie Strahlenschutz in Medizin」のガイドライン	一般的な放射線治療施設や医療用具に対する規制あり; それに準じて運用。	カリフォルニア州の規則	National Radiation Protection Authority(SS), National Health Welfare Board (SoS)
2) 粒子線治療施設の特別な規制	特になし	特になし	特になし	特になし	特になし
3) 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	医療法、医療法施行規則、電離則	特になし	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きな基準	NCRP No.49,51,144(Gold standard), FDA21線量に関する規制、NRC規則、CRF-part20規則、JCAHO: 患者の防護、California 17 Radiation Control Regulations	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
4) 廃棄物の規制(ボラス・コリメータなどの処理)	障害防止法における放射性同位元素またはRIによって汚染したおそれのあるものに対する法律	クリアランスレベルがすでに法律に定められている	管理区域から外部に持ち出す場合、バックグラウンドまで落ちていることを確認し廃棄。それまでの間は管理区域内の部屋に置く	原則としてボラス・コリメータ共に施設内で溶解し再利用。搬出のための線量限度は無し。施設外搬出するものは長期保管後	特定規則なし。コリメータ再利用の場合約3カ月格納。ボラス材料の放射化は取るにたらず、処分のための規則なし
6) 施設使用開始前後の規制当局による検査		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	基本的には無い	以下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、使用中止建物スマア検査	治療施設に対して年1回、一般的な加速器施設に対して年1回の検査。SSIが定期検査に来訪
2 放射線安全対策					
1) 放射線防護の体制と責任者	放射線取扱主任者、施設の安全管理者	患者に対しては医者に責任があり、医療従事者等は安全担当責任者に責任	患者に対しては医者、医療従事者に対してはSafety Specialist	Office of Radiation Safety の責任	病院は患者と放射線治療室の防護に責任。TSLは自身のスタッフとそれぞれの放射線防護組織有
3) 医療従事者の被ばく限度	100mSv/5年 かつ 50mSv/年 女性 5mSv/3月	職業人20 mSv/年が限度。線量計はTLDを用いたアルベド線量計		個人モニタ: プラスチックフィルム 中性子用、高エネルギーγ (1つのパッチ)	100mSv/5年
4) 重イオン施設特有の医療従事者の被ばく低減対策	特になし	照射後1分待つてから入室。明文化なし。この時間は現在の入室手続きに必要	測定してから決める	特になし	一般的な放射線防護システム、陽子線治療では入室前に数秒以上待つ必要は無し
5) ボラス、コリメータなどの取扱いに関する低減対策	特になし	Raster Scanningを採用しているため、ボラス、コリメータなどのような患者ごとに変換する物は使用していない	測定してから決める	通常室内に入るまでに1~2分かかるとい	特になし
6) 施設周辺線量測定	診療開始前に1回、開始後1回/6ヶ月測定	市販の減速材付中性子線量計とγ線線量計を使用し、管理区域境界で3μSv/hを超えた場合はビームが停止	モニタリングポスト設置、ルーチンで測定。開始時サベージで測定、環境放射線のレベルを認識。安全ならルーチンには行わない		治療室周辺の線量は治療方法が変化した時のみ測定。定期的な測定はしない
7) 管理区域(治療施設)への立ち入りに関する規制	管理区域である旨を示す標識。管理区域に人がみだりに立ち入らないような措置	照射室の状態には「入室禁止」、「入室制限」、「制限なし」の3種類あり。その他の照射室では放射線安全要員の承認が必要			ビームが入る所は管理区域として分類。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。全管理区域は黄色いサインで表示
8) 空気の放射化に対する安全対策	特になし	測定の結果問題なし。治療室は毎時7回以上の換気(ガイドライン)	空気の放射化は計算していない。大丈夫である	行っていない。計算の必要はない	特になし
9) 遮蔽計算・線量限度について					
a. 遮蔽設計の規制・法律ガイドライン	1mSv/1週	特になし	特になし	特になし	特になし
b. 照射室		管理区域境界は6 mSv/年(年=2,000時間、3 mSv/h)以下、立入禁止区域境界は3 mSv/h以下	500mrem/年	特になし	特になし。一般的な公衆と職業人に対する規制のみ
c. 管理区域境界	1.3mSv/3月	監視区域境界 1mSv/年(年=2,000時間) 0.5 mSv/h)以下、管理区域境界は6 mSv/年(年=2,000時間 3 mSv/h)以下、市販の減速材付中性子線量計とγ線量計を使用、管理区域境界で3μSv/hを超えた場合はビームが停止			
d. 事業所境界	250μSv/3月	1 mSv/年(年=8,760時間)以下			

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
(中間報告書)

平成19年3月15日

放射線防護に関する検討調査

分担研究者 上叢義朋

独立行政法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・安全業務グループディレクター

研究要旨

重粒子線等を用いた治療にともなう医療従事者、患者家族の被ばく、および環境への影響を評価するため、放医研など国内の治療施設において機器と模擬患者の放射化が測定された。従事者などの行動のシナリオを定めて測定結果に基づき被ばくを評価した結果、医療従事者の被ばくの最大値は実効線量で 3.0 mSv/年、皮膚線量で 39 mSv/年、患者家族の被ばくは実効線量で 130 μ Sv、模擬患者の比放射能は照射 5 分後で 320 Bq/g 程度であることが分かった。

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、今年度は治療を模擬した放射化実験の測定結果から、医療従事者、患者家族の被ばく、および環境への影響を評価する。

B. 研究方法

治療にともない照射室に立ち入る放射線技師と看護師の被ばくを推定するため、放射線医学総合研究所、兵庫県立粒子線医療センター、筑波大学陽子線治療センター、静岡県立静岡がんセンターにおいて、治療を模擬した照射を行い、多葉コリメータ、患者コリメータ、補償フィルタ（ポーラス）および患者を模擬するタフウォーターの放射化が測定された。照射に先立ち、通常の治療にともなう被ばくの最大値を評価できるように実験のプロトコルを決めた。測定は校正された電離箱式サーベイメータを用い、全身と皮膚の 2 種類の被ばくが推定できるようにした。また実際の治療時に医療従事者の行動を観察し、放射化物品を取り扱う標準的な作業の順序、時間を求めた。

C. 研究結果

測定された線量率をフィットした式と作業時間から、それぞれの作業にかかる全身と皮膚の被ばくを求め、1 回の照射にともなう被ばく線量を評価した。この値に年間あるいは 3 月間の照射回数を通じ、それぞれの期間における被ばく線量を求めた。

タフウォーターの放射化にともなう線量率の測定結果も同様に指数関数でフィットし、患者家族が照射に付き添った場合の被ばくを評価した。また EGS4 計算コードを用いてタフウォーターの線量率から内部に生じた放射性核種の濃度を求めた。

D. 結論

測定によって得られた医療従事者の被ばくの最大値は一般に陽子線治療の方が高いが、実効線量で 3.0 mSv/年、皮膚線量で 39 mSv/年であった。患者家族の被ばく量も同様に実効線量で 130 μ Sv と評価された。タフウォーター中に生成した比放射能は照射 5 分後で 320 Bq/g であった。

厚生労働科学研究費補助金（医療技術評価総合研究事業）
分担研究報告書

線量評価法に関する研究

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 物理工学部長

研究要旨

線量評価に関する研究として、粒子線治療照射で用いられる照射野形成機器及び患者の放射化を測定するためのプロトコルを策定し、国内4施設で測定を行った。国内各施設における放射化測定の結果、陽子線が炭素線よりも腫瘍の吸収線量当たりより多くの放射化を誘起することが明らかとなったが、その程度はいずれも十分小さいものであり、炭素線・陽子線ともに現行の法律規制の範囲の中であることが判明した。

A. 研究目的

粒子線治療照射の際に生じる照射野形成機器、患者の放射化が作業従事者に与える被ばく線量の推定に資するため、国内の粒子線治療施設で実測を行う。

B. 研究方法

粒子線治療の作業従事者において最も被ばくの程度が大きいことが予想される放射線技師の被ばく線量を推定することを目的とした。照射物にはビームノズル（多葉コリメータ）、ボーラス、患者コリメータ、及び患者の体の代替物としてタフウォーターファントムを用いた。これらに、炭素線または陽子線を物理線量5Gy照射し、生じた放射化の時間減衰を、電離箱線量計を用いて β 線+ γ 線、及び γ 線単独の寄与として測定した。

C. 研究結果

測定については、静岡県がんセンター、兵庫県立粒子線治療センター、筑波大学及び放射線医学総合研究所で統一的なプロトコルに則った測定を行い、測定結果を2つの指数関数の和として表した。

測定は共通のプロトコルに準拠して実施されたが、施設固有の束縛条件等により、同一条件では結果に最大2倍程度の差を生じた。また、陽子と炭素の比較では、炭素の方が放射化の程度が小さい傾向を示した。これは、粒子1個辺りの放射化生成確率は原子核の大きさで上回る炭素の方が大きいものの、個々の粒子が腫瘍に輸送する線量は炭素の方が約100倍大きいことから、必要な粒子数を少なく済ませられることが寄与しているものと考えられる。

尚、照射終了直後の急激な減衰部分の精度の高い測定、及び生成核種の同定を行うための γ 線スペクトロメトリー計測の検討を今後の課題とする。

D. 結論

国内各施設における放射化測定の結果、陽子線が炭素線よりも腫瘍の吸収線量当たりより多くの放射化を誘起することが明らかとなったが、その程度はいずれも十分小さいものであった。（中間報告書参照）

厚生労働省科学研究費補助金（医療技術評価総合研究事業）
分担研究報告書

線量評価法に関する研究

分担研究者 松藤成弘 放射線医学総合研究所 物理工学部 主任研究員

研究要旨

スイス PSI 研究所およびドイツ GSI 研究所の海外 2 施設で放射化及び二次中性子の影響についての聞き取り訪問調査を行った。いずれの施設においても粒子線治療の作業従事者に対する、粒子線特有な防護体系が必要とは認識されていなかった。

A. 研究目的

ドイツ・スイスにおける粒子線治療施設の防護対策の現状を調べる。

中性子によるエネルギー付与を推定する手法について議論を行った。

B. 研究方法

海外の視察対象には、原子力研究施設として長い歴史を有し、陽子線治療においても独自の技術で臨んでいるポールシェラー研究所 (PSI、スイス)、及び海外で唯一炭素線治療を行っている重イオン研究所 (GSI、ドイツ) を訪問した。

D. 考察

二次中性子の患者への影響は、両施設とも研究遂行中であるが、高エネルギー X 線 (IMRT) 施設とほぼ同程度のリスクとの認識にある。今回訪問した施設は、国内で採用されていないスキャニング照射 (加速器から取り出された細いビームを腫瘍に三次元的に照射することで治療を行う) で治療照射を実施している。中性子の生成量は照射様式に依存することが予想されるため、国内粒子線治療施設の評価については、実測も含めた検討の必要性を要する。

C. 研究結果

PSI も含め、スイスでは作業従事者の被ばく管理に際し、粒子線治療独自の規制体系は講じておらず、従来の医療用放射線発生装置と同程度であった。また、患者への二次中性子の影響についてはモンテカルロでの評価を試みていた。

GSI に対して、放射化の影響については既に昨年インタビューを行っていたため、議論は中性子生成に集中して行った。炭素線治療場では荷電粒子のフラグメント生成が問題になること、液体シンチレータの測定と低いエネルギーでの計算を用いて評価していること、空間測定結果から体内での

E. 結論

諸外国の現状を鑑み、放射化については現行の被ばく防護体系で十分であるものと推察される。二次中性子は作業従事者に対しては十分に遮蔽されており、作業従事者の防護の観点では検討する必要はないと考えられる。但し、患者に二次がんを誘発するリスクについては未だ完全には結論付けられていない。