

開発・設置の理由としては、操作者（医師・歯科医師・診療放射線技師等）の엑스線被ばく低減が最大の目的である。移動型엑스線撮影装置は、法規格により、엑스線管装置から 2mの距離で엑스線曝射が可能となるように、ハンドスイッチ（ワイヤー付き）で制御される設計になっている。[IEC60601-1-3、X線装置基準（薬事法）、JIS Z4701]

しかし、ハンドスイッチ（ワイヤー付き）では、2 m以上離れた位置からの엑스線曝射ができないこと、患者ベッドを挟んで엑스線装置とは反対側からの撮影等を余儀なくされた場合、ケーブルが患者や点滴ルート等に触れる恐れがあること、撮影時に邪魔になるなどの理由から無線方式のワイヤレスハンドスイッチが開発され、オプションで無線方式のワイヤレスハンドスイッチが装備できるようになった。

移動型엑스線装置において無線（電波）方式のワイヤレスハンドスイッチが（オプション）最初に装備されたのは、約 17 年前のA社のコンデンサ式移動型엑스線撮影装置である。

その後、約 12 年前からA社を除く各社が、赤外線方式のワイヤレスハンドスイッチを開発して販売するようになった。

現在電波式は、病院内で使用される様々な医療機器の電波周波数帯の制限から^(注1)から販売されていない。

(注1)

・移動型엑스線撮影装置での電波式リモコンについて

従前は電波式リモコンを使用していたが、使用していた周波数帯域が病院内で使用している他の医療機器と同一の周波数帯域にあり、その装置の誤動作の原因となる可能性がある。また、使用している部品の入手が困難になったなどの理由から電波式を取りやめ、赤外線式とした。現在、移動型엑스線撮影装置では電波式リモコンは採用していない。

・外科用透視スイッチについて

外科用透視スイッチでは、現在でも電波式を採用している。本装置は使用している周波数帯域を他の医療機器と異なる周波数帯域に設定し、また、暗号化により他の装置との干渉を極力避ける工夫を行っている。(A社製装置)

2) 赤外線信号の解析、操作可能範囲の測定

2-1 赤外線リモコン信号について

赤外線波長帯を図1に示す。

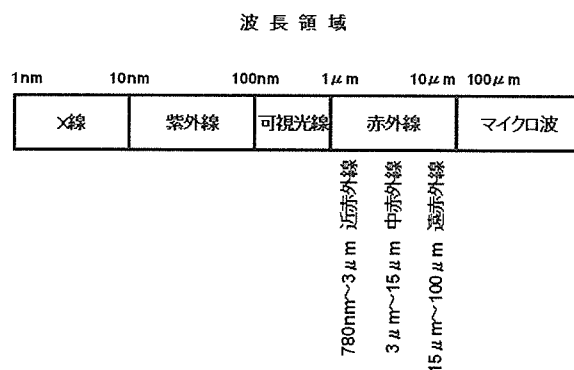


図1 赤外線波長帯

移動型エックス線撮影装置が使用している赤外線リモコンの波長域は、約 950nm の波長帯を使用して数バイト分の情報を低速で送信している。殆どの日本製機器で赤外線リモコンの制御信号はパルス位置変調方式 (Pulse Position Modulation : PPM) を採用しており、PPM 方式は、(図 2) のようにパルス間隔の違いで 2 進数のビット ” 0/1 ” を表現する方式であり、この ” 0/1 ” の符号化には以下の 2 種類がある。

- (a) 信号の OFF 時間長で表現する方式 (NEC フォーマット、家電製品協会フォーマット)
- (b) 信号の ON 時間長で表現する方式 (SONY フォーマット)

ここで、単位パルス時間長 t は一定だが、符号化に関する時間長は必ずしも $2t$ ではなく、各メーカーにより異なる。

また、赤外線リモコンは、PPM 信号が ” ON ” の時に発光するが、自然に放射されている赤外線とリモコンで利用する赤外線を区別するために、連続光ではなく 38-40kHz 程度 (キャリア周波数) で変調された点滅光になっている。(図 3)

図2 信号の方式

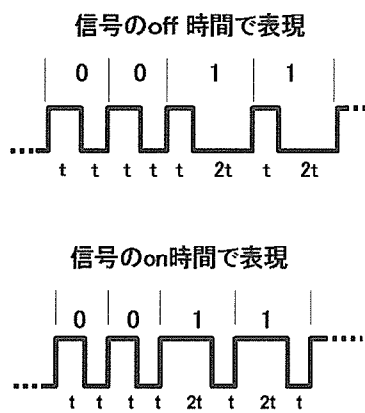
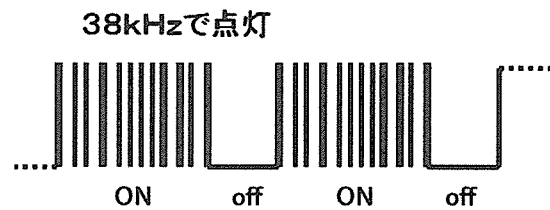


図3 キャリア周波数



一般的な NEC フォーマットでは、リーダーコード (9ms の on 状態と 4.5ms の off 状態)、カスタムコード (16 ビット)、データコード (8 ビット)、データコードの反転 (8 ビット)、ストップビットから設計されている。このことを踏まえて、赤外線リモコンを使った場合の遠隔操作での誤動作について、検討すると、大きく分けて次の二つの原因が上げられる。

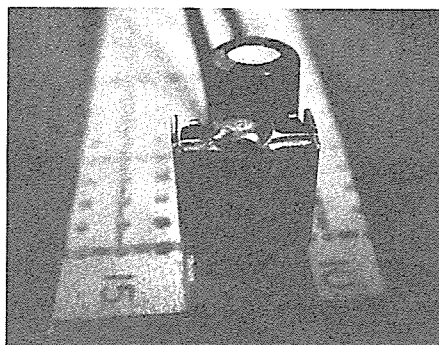
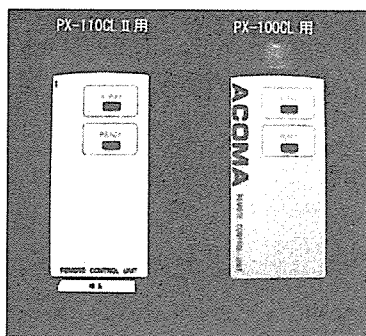
- ① 自リモコン以外のリモコンから、同じコードが送信されたために起こる誤動作。
- ② 受信機が二つのリモコンからの赤外線信号を同時に受信したために起こるパルス位置変調の不整合に起因する誤動作、または動作停止。

ここで、①については送信機ごとにコードを変えることで解決できるが、②については、変調周波数を変えなければ軽減できないことになる。同じ波長の赤外線を使っている限り起こりうる現象であり、原理的に考えても避けることは不可能である。(参考資料 1)

2-1 赤外線コードの解析

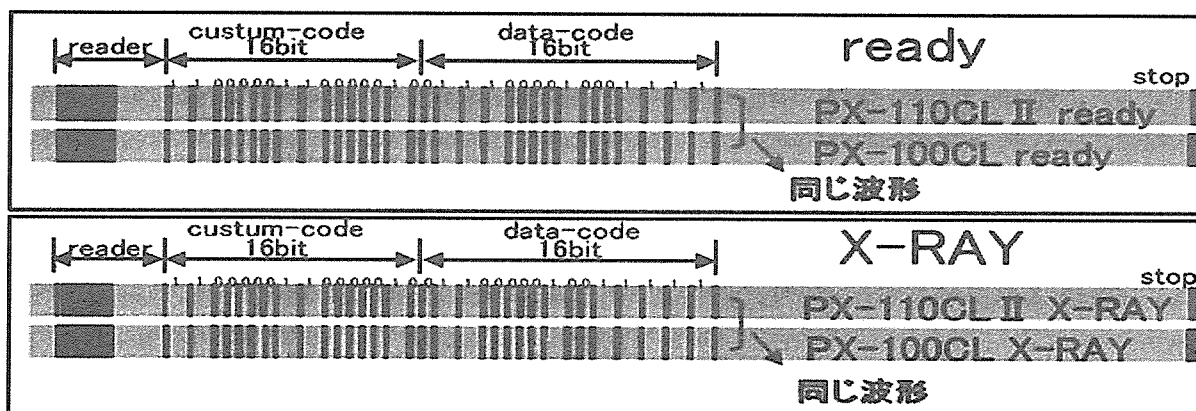
当院所有の移動型エックス線撮影装置付属のリモートコントロールユニット及び同一社製であるが他機種となるリモートコントロールユニットについて、ready ボタン、x-ray ボタンの赤外線コードを解析した。解析方法は、自作赤外線受信モジュールを windows ノートパソコンのマイク端子に接続し、サウンドレコーダに電圧波形を記録。その電圧波形より解析を行った。

図4 リモートコントロールユニット 図5 赤外線受光モジュール



解析検討の結果を図6に示す。reader 信号部に続く始めの16bitはメーカー認識用コード (custom-code) であり ready 状態の時、X-RAY 状態の時も同じ信号であった。次の16bitは (data-code) であり ready 状態の時、X-RAY 状態の時を区別をしていると考えられる。PX-100CL II 用リモコンとPX-100CL 用リモコンは同じ識別信号コードであったことから、1台の送信機で複数台の装置を稼働させ、同時にエックス線を曝射することが可能と考えられた。実際の動作確認でも複数装置の同時エックス線曝射は可能であった。また、テレビリモコンや自動ドアなどの赤外線信号 (アクティブ式) について解析したが、移動型エックス線装置の誤動作は確認できなかった。

図6 赤外線コードの解析結果



2-3 遠隔操作可能範囲の測定

使用機器及び方法

- ・移動型エックス線撮影装置 PX-110CL II (図7、図8)
- ・リモートコントロールユニット (メーカー仕様書では 270°、5mが検出範囲) (図4)

実際の撮影 (操作) 状態を再現するため、アームを上げた状態にて検出器への信号入力方向を (8方向) 変えてリモートコントロールユニットの ready ボタンを押したとき装置が作動する範囲を測定した。リモートコントロールユニットは、床面から受光部の高さとした。

(測定条件: 気温 10℃、湿度 30%、夜間)

図7 PX-110CL II (アドアメディカル)



図8 赤外線受光部



測定結果として、遠隔操作可能範囲は仕様書とは異なり、広範囲での操作が可能であった。測定条件としては、湿度の低い夜間の廊下であり、太陽光など外部からの赤外線ノイズが少ない条件下での測定とした。赤外線受光モジュールの取り付け設計は管球側ではなく、本体側に取り付けられていることから、術者が距離を取るということを優先したものであると思われる。

また、実際には装置横方向における操作可能範囲が大きい。その要因として、赤外線受光モジュールの取り付け方向にあると考えられる。横方向に対する受光モジュールは垂直に設置されているのに対し、本体側は斜め下向きに設置されている。(図10)

図9 遠隔操作可能範囲

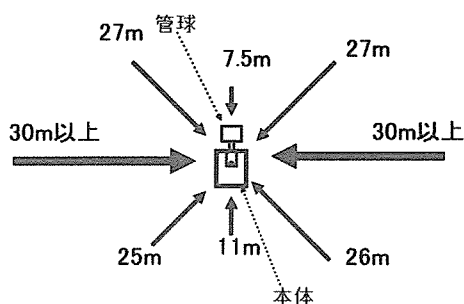
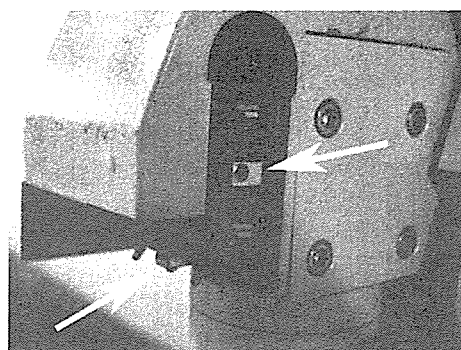


図10 赤外線受光モジュール



以上のことから、赤外線信号による遠隔操作でのエックス線曝射は、個別認識機能が無いので、1台のリモコンで複数台の装置の操作が可能であり、複数台の装置を保有する医療機関では、同時に隣接した撮影作業を行わないことが望ましい。また、予想外に広い範囲で操作可能であることから、庭を隔てた向かい側の病室での同時使用も注意する必要がある。

3) 装置メーカー7社、医療機関40施設に対しアンケート調査

誤作動の経験や、遠隔機能の必要性について、主要メーカー及び医療機関にアンケート調査を実施し、リモコンによる遠隔操作の考え方について集計した。

3-1 メーカーへのアンケート調査

アンケート内容

移動型エックス線撮影装置（以下ポータブル装置）について教えてください。

- ①リモートコントロールによる曝射機能をもつ装置はありますか？（ない場合⑤、⑧へ）
- ②リモートコントロールの方式は、電波、赤外線どちらの方式ですか？
- ③赤外線リモートコントロールの場合、可能であればフォーマットについて教えてください。（例、キャリア 38kHz、NEC フォーマットなど）
- ④リモートコントロール機能には、個別認識ができる機能がありますか？
- ⑤個別認識機能の必要性を感じますか？
- ⑥リモートコントロールについて不具合などの報告（例えば誤動作した）があるようでしたら教えてください。
- ⑦リモートコントロール機能付のポータブル装置の販売割合について教えてください。
- ⑧リモートコントロール機能は必要だと思いますか？
- ⑨ポータブル装置に限らず、リモートコントロール機能をもつ装置がありますか？
- 集計結果を表 1、2 に示す。

表1 メーカーアンケート結果1

メーカー	装置の有無	方式		個別認識機能
A社	○	赤外線	独自フォーマット	×
B社	○	赤外線	非公開	非公開
C社	○	赤外線	非公開	×
D社	○	赤外線	NECフォーマット	×
E社	○	赤外線	独自フォーマット	○
F社	○	赤外線	NECフォーマット	×
G社	×	非公開	非公開	非公開

表2 メーカーアンケート結果2

メーカー	誤作動の報告	販売比率	遠隔操作機能は必要か
A社	なし	約10%	必要
B社	なし	約10%	不必要
C社	なし	約9.4%	必要
D社	なし	約30%	必要
E社	なし	約22%	必要
F社	なし	100%	必要
G社	(-)	(-)	必要

アンケートのまとめ

- a) 遠隔操作機能を有するメーカーではすべて赤外線方式であり、その方式については統一されていない。
- b) 個別認識機能を持たせているのは1社のみである。（日立メディコ）
 （制御コードの前に4ビットのIDコードを送信し、このIDコードが送信機側と制御機側で一致したときのみ制御コードを実行する仕組みであり、4ビットなので16種類設けることが出来るが0～9の10種類となっており、制御機側にあるロータリースイッチで子機のIDに合わせて変更するシステムとなっている。）
- c) 個別認識機能の必要性については、他の医療機器への誤動作の懸念があること、近くで撮影している場合に誤曝射を防止するために必要であるとする意見と赤外線は使用可能範囲がせまいので不必要であるという意見があった。
- d) 誤作動の報告は無い。
- e) 被曝の低減や、ケーブルが邪魔になる場合があるから必要であるという回答がほとんどであった。

3-2 医療機関へのアンケート

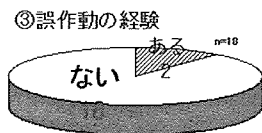
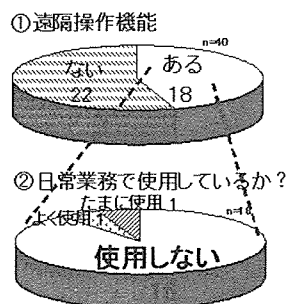
アンケート内容

- ①遠隔操作機能の有無について？
- ②日常業務で使用しているか？

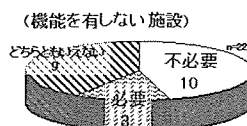
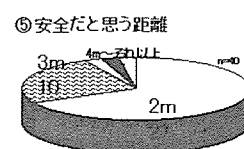
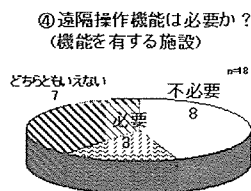
- ③誤作動の経験の有無について？
- ④遠隔操作機能は必要と思いますか？
- ⑤被曝防護に安全だと思う距離は？

集計結果をグラフ 1, 2 に示す。

グラフ1 医療機関へのアンケート



グラフ2 医療機関へのアンケート



アンケートのまとめ

- a) 遠隔操作機能を持つ施設のうち 9 割が使用していない。
- b) 誤作動の内容としては、
角度によって作動しない。
曝射音が聞こえないことから結果的に二重曝射をする。
- c) 遠隔操作機能が必要であるという意見が少なかった。
遠隔操作機能を有する施設と、有しない施設で必要性の認識度は変わらなかった。
 - 不必要であるという理由
 - ・患者を観察できる距離で撮影すべきである。
 - ・ケーブルの長さで十分距離がとれる。
 - ・プロテクタの使用で被曝防護ができる。
 - 必要であるという理由
 - ・ケーブルによる感染が懸念される時などに有効である。
- d) 被曝防護の点で安全であると思う距離は 2~3m という答えが 9 割以上であった。

D 考察

赤外線を使った遠隔操作機能は、患者を介助しながら撮影する際などにケーブルが邪魔になる時や清潔野にかかってしまう時などに有効であるといえる。しかし、被曝低減に関しては、コードの長さで十分な距離が取れ、さらにプロテクタを使用することで十二分に防護できるものである。また、移動型エックス線撮影装置により撮影を施行する患者は、重篤症状を呈している等で容態を監視しながら撮影することが望ましく、必要以上の距離を取ることは患者に不安感を与えかねない。更に、距離を取り過ぎることからエックス線曝射信号音も聞きづらくなり、二重曝射の原因にもなる。遠距離による患者の観察が不完全であることから、撮影タイミング等の確認が困難となり、曝射動作やタイムラグなどの問題も発生する。したがって、遠隔操作機能（リモートコントロール、リモコン）が必要であるとは思わない。

現在市販されている移動型エックス線撮影装置の遠隔操作機能は、個別認識の機能を持つ装置がほとんどなく、遠隔操作信号（赤外線）には指向性がなく広範囲で操作可能であるなど、誤作動

の誘発の懸念がある。そのため、複数台保有している施設では隣接した使用等を禁止するなどの工夫をすべきであり、今後は法的規制を行うこと、並びに装置メーカー間で統一した規格を採用するなど誤作動を防ぐ措置も必要と考える。

今回、様々な装置（他の医用電子機器）の赤外線遠隔機能についても調査を行った。他の装置では赤外線による遠隔操作機能をモニタの表示画面の切り替えなどに使用し、装置本来の重要な設定部分には使用されていないものがほとんどであった。装置本来の重要部分には、直接触れるボタンなどにより動作するように設定されている。また、心電計などの小電力医用テレメータでは電波法により送信出力および周波数が指定されており、6つの周波数帯（バンド）と各バンドを80のチャンネルとして、そのチャンネルの表示は各メーカー間で統一されている。さらに相互変調による混信を防ぐため、混信を起こさないチャンネルを組み合わせたグループが作られ、同じグループで使用される場所の単位をゾーンとして管理されている。（各病棟やフロアなど）

移動型エックス線撮影装置のようにいろいろなゾーンを行き来する装置では、このようなゾーン分けも、グループとしての使用も不可能であり、小電力医用テレメータのような遠隔操作機能を持たせることも実用的ではないと考えられた。

医療事故・医療過誤が多く報道され医療のあり方が問われている中、移動型エックス線撮影装置の遠隔操作機能は、本当に必要な機能であるかどうかを、行政を含めて改めて検討する必要があることを提案し、本研究の報告とする。

本研究を纏めるにあたり、お忙しい中アンケートにご協力頂いた装置製作会社・医療機関には深謝いたします。

参考資料

1. 山形大学工学部技術部共通講座 石谷幹夫 赤外線リモコン信号の解析と発生方法の紹介
仙台電波高専電子工学科 熊谷研究所 赤外線リモコンの利用
2. Commission Electrotechnique Internationale
International electrotechnical commission Publication 601-1
3. 放射線機器学 日本放射線技術学会編 通商産業研究社
4. 医療政策六法 中央法規
5. 日本工業規格JIS T 0601-1-2

平成18年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）
「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」

分担研究報告書

「国際免除レベルの医療法への取り入れに付随する関連事項に関する研究」

（課題3）

－複合しゃへい体の組合せ順の違いによるしゃへい効果への影響に関する研究－

分担研究者 小林 一三 国立国際医療センター 放射線診療部

研究要旨

法定の線量限度を担保していることを確認するためのしゃへい計算の考え方は、平成13年3月12日付厚生労働省医薬局長通知「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」（以下、医薬発第188号通知）に規定されている。その中で、直接線と散乱線に対する複合しゃへい体（例：コンクリートと鉛）による透過率は、エックス線管に近い側（内側）の壁に対してはエックス線透過率曲線（以下、透過率値）より求め、一方、エックス線管に遠い側（外側）のしゃへい体については、大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層（以下、半価層値）または1/10価層（以下、1/10価層値）より求めることとされている。その際に、しゃへい材料の組み合わせの順番が異なる（内側のしゃへい材と外側のしゃへい材の組み合わせ）としゃへい計算結果が異なる。実測による線量評価は、医療施設の現場の限られた装置で行うことは非常に困難であるため、モンテカルロシミュレーションソフトである、Electron Gamma Shower Version 4（以下、EGS4）⁽¹⁾を用い、医薬発第188号通知によるしゃへい計算との比較検証を行った。

その結果、医薬発第188号通知による計算では、画壁の内側を鉛にした方が、外側にした場合より5～10倍のしゃへい効率が認められた。一方、EGS4による結果では、鉛とコンクリートの順番による差異はほとんど認められなかった。鉛とコンクリート共に透過率値を用いた透過率の計算では、EGS4のシミュレーション結果と比較して10倍ほど過小評価となり、共に半価層値を用いた透過率の計算では、EGS4のシミュレーション結果と比較して10倍ほど過大評価になることが分かった。しかし、透過率値と半価層値又は1/10価層値を用いた透過率の計算結果とEGS4のシミュレーション結果とでは、「鉛内側+コンクリート外側」の場合はほぼ同じ値であり、「コンクリート内側+鉛外側」の場合は5倍程度の差であった。

以上のことから、現状の医薬発第188号通知のデータを基にして複合しゃへい体の計算を行う場合の内側のしゃへい体については透過率値、外側のしゃへい体については半価層値又は1/10価層値を用いることは妥当な考え方である。

研究協力者

塚田 勝 国立病院機構 東京医療センター

小高 喜久雄 国立がんセンター中央病院 放射線治療部

A 目的

法定の線量限度を担保していることを確認するためのしゃへい計算の考え方は、平成13年3月12日付厚生労働省医薬局長通知「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」（以下、医薬発第188号通知）に規定されている。その中で、複合のしゃへい体からの漏えいエックス線量の計算に関して、一次エックス線による利用線錐方向のしゃへいは対向板に鉛が用いられ、その後コンクリートでしゃへいされるような複合しゃへいの場合は、一次しゃへいで大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する放射線量と半価層又は1/10価層を乗じて計算することができる、としている。

$$E_p = \frac{X \times D_t \times W \times (E/K_a) \times U \times T}{d_1^2} \times \left[\frac{1}{2} \right]^{t_{1/2}} \quad (\text{式1})$$

E_p : 漏えい実効線量 ($\mu\text{Sv}/3$ 月間)

X : エックス線管焦点から利用線推方向に1mの距離における空気カーマ ($\mu\text{Gy}/(\text{mA} \cdot \text{s})$)

D_t : 厚さ t (cm) の最初の遮へい体による透過率

W : 3ヵ月間の実効稼働負荷 ($\text{Ma} \cdot \text{s}/3$ 月間)

E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)

U : 使用係数 (通常値としては1を使用)

T : 居住係数 (通常値としては1を使用)

d_1 : エックス線装置のエックス線管焦点から画壁外側等の利用線錐方向の評価点までの距離 (m)

$t_{1/2}$: 2番目のしゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層

t : 2番目のしゃへい体の厚さ

しかしながら、この方法で計算を行うと、しゃへい体の材料の順番が異なると、しゃへい計算結果も異なるという現象が起きることになる。

現実的な場面例としては、コンクリートを画壁にしている診療室で、装置の更新などによりしゃへい材を追加しなければならない場合、内側に鉛を追加した場合（鉛+コンクリート）と外側に鉛を追加した場合（コンクリート+鉛）ではしゃへい計算結果が異なることになる。

実測による確認測定は「NCRP Report No. 147におけるエックス線診療室のしゃへい算定に使用される透過率について」において報告しているように、医療施設の現場の限られた装置で行うことは非常に困難である。そのため、シミュレーションソフト EGS4 を用い、医薬発第188号通知による計算方法と比較検討することを目的とした。

B 研究方法

シミュレーションソフト EGS による計算方法を示す。

- ① 鉛とコンクリートを表1に示す3種類の組合せについて、利用線錐方向にあると仮定し、シミュレーションした。

表1 複合材料の組合せ

鉛 2mm+コンクリート 2cm
鉛 1mm+コンクリート 2cm
鉛 1mm+コンクリート 10cm

② EGS4 の計算パラメータ

● コンクリートの組成

密度：2.3020g/cm³

組成：8種類 (H, C, O, Na, Al, Si, Ca, Fe,)

各元素の重量比：9.0, 8.0, 3.0, 6.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0

線源-壁面間距離：50cm,

照射野：6×6cm, 50cm×50cm (150kV についてののみ)

管電圧：100kV, 150kV

エックス線スペクトル：

- 100kV は高エネルギー加速器研究機構より配布されている EGS4 に含まれているものを使用
- 150kV は Institute of Physics and Engineering in Medicine より有償配布されている Report78 のデータを使用 (以下 IPM Report78)

C 研究結果

3.1 医薬発第 188 号通知に基づく計算結果

計算例

① 管電圧 100 kV, 鉛厚 2mm とコンクリート厚 2cm (密度 2.35g/cm³) の画壁

ア) 鉛が内側でコンクリートが外側の場合

- 鉛厚 2mm の透過率を求める
 医薬発第 188 号通知の表 2 鉛中におけるエックス線の空気カーマ透過率より透過率は 2.0×10^{-4}
- コンクリート厚 2cm の透過率を求める。
 医薬発第 188 号通知の表 6 大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層及び 1/10 価層より

$$\text{半価層より} \left(\frac{1}{2}\right)^{2/1.6} = 0.42$$

$$1/10 \text{ 価層より} \left(\frac{1}{10}\right)^{2/5.3} = 0.42$$

半価層と 1/10 価層では同じ透過率となった。

以上より複合しゃへい体の透過率は、

$$2.0 \times 10^{-4} \times 0.42 = 8.4 \times 10^{-5}$$

イ) コンクリートが内側で鉛が外側の場合

- コンクリート厚 2cm の透過率を求める、

医薬発第 188 号通知の表 3 コンクリート中におけるエックス線の空気カーマ透過率よりコリート厚 2cm の透過率は 1.5×10^{-1}

- 鉛厚 2mm の透過率を求める。

医薬発第 188 号通知の表 6 大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層及び 1/10 価層より

$$\text{半価層より} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{0.27}} = 5.9 \times 10^{-3}$$

$$1/10 \text{ 価層より} \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{1}{0.88}} = 5.3 \times 10^{-3}$$

半価層と 1/10 価層ではわずかに異なる値となる。

以上より複合しゃへい体の透過率は

半価層を用いた場合

$$5 \times 10^{-1} \times 5.9 \times 10^{-3} = 8.9 \times 10^{-4}$$

1/10 価層を用いた場合

$$1.5 \times 10^{-1} \times 5.3 \times 10^{-3} = 8.0 \times 10^{-4}$$

同様にして、各組合せについて医薬発第 188 号通知に基づいて透過率を求めた結果を表 2、3 に示す。

表 2 100 kV に対する複合材料の透過率

複合しゃへい材	鉛内側+コンクリート外側		コンクリート内側+鉛外側	
	透過率値・半価層値	透過率値・1/10 価層値	透過率値・半価層値	透過率値・1/10 価層値
鉛 2mm + コンクリート 2cm	8.4×10^{-5}	8.4×10^{-5}	8.9×10^{-4}	8.0×10^{-4}
鉛 1mm + コンクリート 2cm	2.2×10^{-3}	2.2×10^{-3}	1.8×10^{-2}	1.7×10^{-2}
鉛 1mm + コンクリート 10cm	4.5×10^{-5}	4.4×10^{-5}	3.9×10^{-4}	3.7×10^{-4}

表 3 150 kV に対する複合材料の透過率

複合しゃへい材	鉛内側+コンクリート外側		コンクリート内側+鉛外側	
	透過率値・半価層値	透過率値・1/10 価層値	透過率値・半価層値	透過率値・1/10 価層値
鉛 1mm + コンクリート 10cm	3.5×10^{-4}	3.5×10^{-4}	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}

3.2 EGS4 を用いた計算結果

EGS4 を用いた計算結果を表 4、5 に示す。

表4 100 kV に対する透過線量

複合しゃへい材	鉛内側+コンクリート外側	コンクリート内側+鉛外側
鉛 2mm+ コンクリート 2cm	5.23×10^{-17} $\pm SD 1.43 \times 10^{-18} Gy$	5.41×10^{-17} $\pm SD 1.49 \times 10^{-18} Gy$
鉛 1mm+ コンクリート 2cm	9.29×10^{-16} $\pm SD 6.14 \times 10^{-18} Gy$	9.30×10^{-16} $\pm SD 6.13 \times 10^{-18} Gy$
鉛 1mm+ コンクリート 10cm	3.50×10^{-18} $\pm SD 1.51 \times 10^{-19} Gy$	3.34×10^{-18} $\pm SD 1.37 \times 10^{-19} Gy$

表5 150 kV に対する透過線量

複合しゃへい材	鉛内側+コンクリート外側	コンクリート内側+鉛外側
① 鉛 1mm+ コンクリート 10cm	$3.50 \times 10^{-18} Gy$ $\pm SD 1.51 \times 10^{-19} Gy$	$3.34 \times 10^{-18} Gy$ $\pm SD 1.37 \times 10^{-19} Gy$
② 鉛 1mm+ コンクリート 10cm	$7.89 \times 10^{-16} Gy$ $\pm SD 1.05 \times 10^{-17} Gy$	$9.16 \times 10^{-16} Gy$ $\pm SD 1.08 \times 10^{-17} Gy$

① 照射野 6cm×6cm、 ②照射野 50cm×50cm

3.3 計算方法による相違

(式1) によれば、 E_p は D_t (透過率値) と $\left[\frac{1}{2} \right]^{t_1 / t_{1/2}}$ (半価層値 (又は 1/10 価層値))

の積に比例する。

例えば、管電圧 100 kV に対する、鉛 2mm とコンクリート 2cm の複合しゃへい体の順番が、鉛内側+コンクリート外側とコンクリート内側+鉛外側について、それぞれの透過率値と半価層値の積は表 2 より 8.4×10^{-5} 、 8.9×10^{-4} となる。両者の透過率比 (鉛内側・コンクリート外側/コンクリート内側+鉛外側) は 0.09 となる。よって、 E_p は鉛内側+コンクリート外側がコンクリート内側+鉛外側の約 1/10 となる。

上記と同様に、しゃへい材料の順番が異なる事による透過率の違いを、各計算方法について比較した結果を表 6、7 に示す。

また、管電圧 150kV、照射野 50cm×50cm について、EGS4 により複合材料の透過率を求めた結果を表 8 に示す。

表6 100 kV に対する透過率比

	(鉛内側+コンクリート外側) / (コンクリート内側+鉛外側)		
	透過率値・ 半価層値	透過率値・ 1/10 価層値	EGS4
鉛 2mm+ コンクリート 2cm	0.09	0.11	0.97

鉛 1mm+ コンクリート 2cm	0.12	0.13	1.0
鉛 1mm+ コンクリート 10cm	0.11	0.12	1.05

表7 150kV に対する透過率比

	(鉛内側+コンクリート外側) / (コンクリート内側+鉛外側)			
	透過率値・ 半価層値	透過率値・ 1/10 価層値	① EGS4	② EGS4
鉛 1mm+ コンクリート 10cm	0.20	0.20	1.10	0.86

① 照射野 6cm×6cm、 ②照射野 50cm×50cm

注) 「透過率値・半価層値」 および 「透過率値・1/10 価層値」 の値は、医薬発第 188 号通知に基づく計算値

表8 EGS4 で求めた透過率

複合しゃへい 材	鉛内側+コンクリート外側	コンクリート内側+鉛外側
鉛 1mm+ コンクリート 10cm	3.01×10^{-4}	3.50×10^{-4}

管電圧 150kV、照射野 50cm×50cm

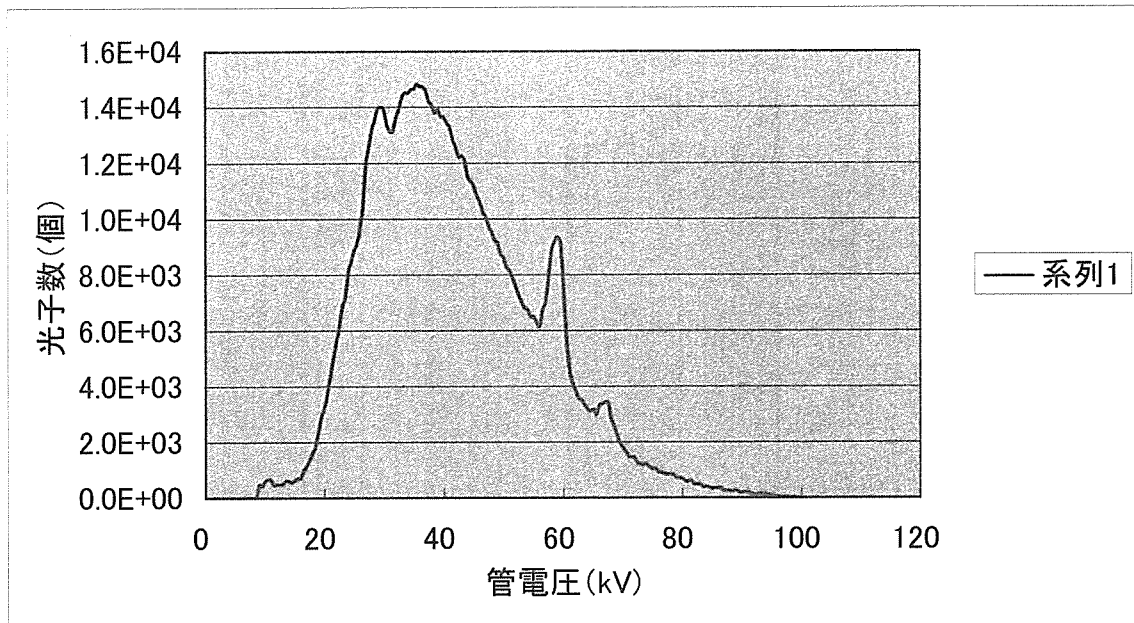
D 考察

1. 透過率について

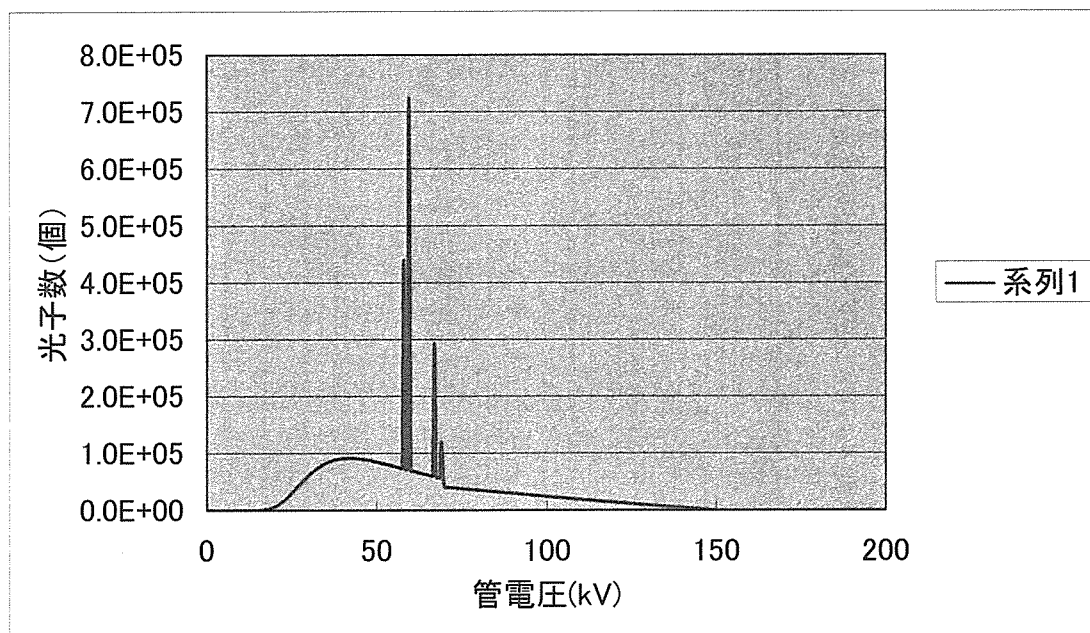
表8から、EGS4 で求めた透過率計算結果では、複合材料の順番による透過率の違いは大きくない事がわかった。

2. エックス線スペクトルの違い

エックス線スペクトルは使用するソフトにより大きく異なっていた。今回使用したスペクトルをグラフ 1, 2 に示す。透過率の評価においてエックス線スペクトルの検討も必要と考える。



グラフ 1 100kV のスペクトル (高エネルギー加速器研究機構より配布)



グラフ 2 150 kV のスペクトル (IPM Report78 より)

E 結論

鉛とコンクリートの複合しゃへい体の画壁について、医薬発第 188 号通知による計算では、画壁の内側を鉛にした方が、外側にした場合より 5~10 倍しゃへい効率がよくなる。一方、EGS4 による結果では、鉛とコンクリートの順番が入れ替わってもほぼ同じ結果となった。

管電圧 150kV における鉛とコンクリートをしゃへい体として用いた場合での透過率値と半価層値を用いて計算できる組合せと、EGS4 での計算結果を比較すると表 9 のようになる。

以上の組合せを考慮し、医薬発第 188 号通知のデータを用いて計算すると、複合しゃへい材において、2 種類とも透過率値を用いると過小評価となり、2 種類とも半価層値を用いると過大評価となる。しゃへい体の順番が異なると、「鉛内側+コンクリート外側」の場合はほぼ同じ値であるが、「コンクリート内側+鉛外側」の場合は 5 倍程度の差が生じる。しかしながら、現状の医薬発第 188 号通知で採用しているデータを基にして計算を行うのであれば、概ね妥当と考える。

表 9 管電圧 150kV における透過率データの組合せの違いによる変化

鉛 1mm+ コンクリート 10cm	両者 透過率値	両者 半価層値	鉛内側+コンクリート外側		コンクリート内側+鉛外側	
			透過率値・ 半価層値	EGS4	透過率値・ 半価層値	EGS4
複合の透過率	1.4 × 10 ⁻⁴	4.5×10 ⁻³	3.5×10 ⁻⁴	3.01×10 ⁻⁴	1.8×10 ⁻³	3.50×10 ⁻⁴

謝辞 本研究におけるモンテカルロシミュレーションソフト Electron Gamma Shower Version 4 (以下 EGS4) を使用するにあたり、国立がんセンター中央病院放射線診断部 山口 裕久 放射線主任技師にご指導ご協力を頂きました。深く感謝致します。

参考文献

- 1) 三根 久 モンテカルロ法 シミュレーション コロナ社
- 2) 山口一郎 X検査時の患者の放射線曝露量等の推定におけるモンテカルロ法の利用 JRPS
- 3) Nelson, W. R., Hirayama H., and Rodger, W. R. The EGS4 Code system. SLAC-Rehe EGS4 Code system. SLAC-Report-256 (1985)
- 4) H. Hirayama, Y. Namito LectureNote Education for Radiations EGS4 using EGS4PIC32
- 5) H. hirayama Application of EGS4 Code to Research related to Health Physics
- 6) 平山 秀夫、波戸 芳仁 EGS5 の外観 高エネルギー加速器研究機構
- 7) 山口恭弘 ファントムを用いた研究及び放射線管理の現状と課題 JAERI-J 15903
- 8) 山口恭弘 ファントムの高度化の意義と方向 JAERI-J 15903
- 9) 日本保健物理学会高度人体ファントム専門研究会成果報告書 JAERI-J 15903
- 10) 寺邊 正大 齋藤 公明 知的ボクセルファントム作成システムの開発
- 11) 平山 秀夫、波戸 芳仁 モンテカルロ法による粒子輸送計算 高エネルギー加速器研究機構
- 12) EGS Particle Trajectory and Geometry Display Program Cgview Ver1.2 KEK Internal 2004_8 December2004
- 13) 医療工学におけるモンテカルロ数値シミュレーションーその1 モンテカルロ法の基礎 日本放射線学会雑誌 56 (9), 1145-1152, 2000 成田雄一郎、秋山芳久、幡野和男、木下富士美、戸川貴司、油井信春、
- 14) ICRP Publication74 外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数 日本アイソトープ協会
- 15) ICRP Publication87 CTにおける患者線量の管理 日本アイソトープ協会

平成18年度厚生労働科学研究費補助金
分担研究報告書

医療放射線分野における法令整備等
含めた管理体制に関する研究

医療機関における適切な放射線防護および
関係する制度についての研究

平成19年3月

分担研究者 山口 一郎

目 次

課題（１）：医療機関で用いる低エネルギー加速器の放射化したターゲット等の 安全管理に関する研究	1
研究要旨	3
A 研究目的	3
B 研究方法	3
C 研究結果	4
D 考察	6
E 結論	10
文献	12
課題（２）：複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を搭載するエックス線装置による 新しい放射線の利用形態における安全使用にかかる環境整備に関する研究	
(中間報告)	13
A 研究目的	13
B 研究方法	14
C 研究結果及び考察	14
D 参考文献	15
付録1	16
付録2	18
付録3-1, 3-2	23
(最終報告)	27
研究要旨	27
A 研究目的	29
B 研究方法	29
C 結果及び考察	29
D 結論	37
E 研究発表	38

課題（3）：陽電子断層撮影 (PET) 診療用放射線同位元素を用いた放射線診療を行う核
医学施設の放射線事前安全評価のあり方に関する研究

研究要旨	3 9
A 研究目的	4 1
B 研究方法	4 1
C 研究結果	4 1
D 考察	4 5
E 結論	4 6
文献	4 8

課題（4）：医療放射線の安全管理における法令適用のQ&A作成に関する研究

研究要旨	4 9
A 研究目的	5 0
B 研究方法	5 0
C 研究結果	5 0
D 考察	9 7
E 結論	9 8
F 研究発表	9 8
文献	9 8

課題（5）：放射性医薬品を投与された患者の退出について

研究要旨	9 9
A 研究目的	1 0 0
B 研究方法	1 0 0
C&D 結果及び考察	1 0 0
E 結論	1 1 2
F 研究発表	1 1 2
G 参考文献	1 1 3
別添1 退出基準算定に関する資料	1 1 5

平成 18 年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）
「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」
（主任研究者：油野民雄）

分担研究報告書

「医療機関における適切な放射線防護及び関係する制度についての研究」

課題（1）：医療機関で用いる低エネルギー加速器の放射化したターゲット等の安全管理
に関する研究

分担研究者

山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 主任研究官

研究協力者

天野 昌治 日本画像医療システム工業会
（株）島津製作所 医療機器事業部技術部 主任技師
池淵 秀治 （社）日本アイソトープ協会 医療情報室 室長
岩永 哲雄 （社）日本アイソトープ協会 医療情報室 課長
大山 昇次 全国保健所技師会 会長（東京都台東保健所）
金谷 信一 東京女子医科大学病院 核医学・PET検査室
高橋美保子 （社）日本アイソトープ協会 医療情報室
迫 義知 大阪府健康福祉部医務・福祉指導室
中沢 敦 東京都福祉保健局医療政策部 医療安全課 指導係
成田 浩人 東京慈恵会医科大学附属病院放射線部 技師長補佐
諸澄 邦彦 埼玉県立循環器・呼吸器病センター放射線技術部副技師長

目次

研究要旨.....	3
A. 研究目的.....	3
B. 研究方法.....	3
B. 1 放射化核種の同定.....	3
<i>B1. 1 測定試料.....</i>	<i>3</i>
<i>B1. 2 測定方法.....</i>	<i>4</i>
B. 2 照射前後のコリメータ周囲の空間線量率の測定.....	4
B. 3 現場担当者からの要望ヒアリング.....	4
C. 研究結果.....	4
C. 1 放射化核種の同定.....	4
<i>C1. 1 ターゲット A.....</i>	<i>4</i>
<i>C1. 2 ターゲット B.....</i>	<i>4</i>
<i>C1. 3 ターゲット C.....</i>	<i>4</i>
C. 2 照射前後のコリメータ周囲の空間線量率の測定.....	4
C. 3 現場担当者の意見の例.....	5
D. 考察.....	6
D. 1 ターゲットで生成される放射化物.....	6
D. 2 これまでの報告.....	6
D. 3 放射化生成物低減化の工夫.....	6
D. 4 計算評価の課題.....	7
D. 5 汚染の有無の評価.....	7
D. 6 医療用の電子直線加速装置やマイクロンでの放射化物の扱い.....	7
D. 7 規制の整備の方策.....	7
D. 8 規制の整備の基本的な方針.....	8
D. 9 その他の課題.....	9
E. 結論.....	10
F. 研究発表.....	10
G. 知的所有権の取得状況.....	10
謝辞.....	10
文献.....	12