

学位論文題名

放射線によるカラーイメージング技術の開発

(Color imaging technology of radiation)

学位論文内容の要旨

物質を透過する際に、放射線の種類やエネルギー、物質の材質や形状によって吸収や散乱が起こり、透過する量が異なる。放射線の透過強度にもとづく情報を2次元の映像として、フィルムや電子媒体で記録する方法をラジオグラフィ [radiography] という。放射線でも、特にX線の透過をフィルムで記録することを医療分野ではレントゲン撮影という。近年、フィルムに変わって輝尽性蛍光シートあるいはイメージングプレートと呼ばれる記録媒体を用いた撮影も行われている。フィルムと異なり、暗室を使わずにレーザー装置でシートをスキャニングしてデジタルで画像化するものである。リアルタイムの撮影はできないが、現像液を使わず暗室も使わずに撮影と処理（現像と呼んでいる場合もある）が行える特徴を持つ。動画では、放射線と反応する蛍光を発光する蛍光シート（蛍光板とも言う）をテレビカメラで撮影する放射線カメラ（放射線テレビ）またはX線カメラ（X線テレビ）と呼ばれるものを使用する。更に感度を上げるために電子増幅機能を持たせ、蛍光増倍管やイメージ管とも呼ばれるイメージインテンシファイアがある。ここでは、これらの手法を含めて放射線イメージングと呼ぶことにする。

現在でも、多くの放射線のイメージングは、放射線が物質を透過し、その透過量の強弱に応じて濃淡のモノクロ画像として表示しているのがほとんどである。画像の輝度に応じて疑似カラー処理を適用している場合もあるが、同じ物質でも動画で厚さの違う状況になると、放射線の透過量が変化し、濃淡の輝度が変わると疑似カラーも変わり、かえって不自然に見えてしまう場合がある。また、疑似カラー処理の方法によっては、カラーの境界がはっきりしすぎて滑らかさに欠ける画像になったり、元の画像にノイズがある場合には、そのノイズの色が強調されてかえって視認性が悪くなったりする場合もある。

一般にカラーとは複数の色、即ち物が自然に見える天然色を想定しているが、トンネル等に設置しているナトリウムランプ等特定の波長の光を照射する場合には、赤いリングも青いリングもオレンジ色の光の中では、オレンジか黒に見えてしまい、区別がつかない。天然色では多くの光の波長があるため、赤いリング、青いリングといっても赤紫色のリングから鮮やかな明るい赤い色のリング、黄緑や青緑と厳密には異なった色で見ることができ、その情報量の多さからモノクロではできない識別が可能になる。

放射線も光の波長と同じようにエネルギーに応じて波長が異なるが、可視光ではないため人は直接見ることができない。波長に応じて色を変えて表示したり、放射線の種類に応じて色を変えて表示することで、物質透過の違いによる視認性を向上したり、放射線の種類に応じて透過の違いを区別して表示することが可能になる。

本論文は、このような背景のもと、放射線の種類識別に、そのエネルギーの違いによる物質透過の違いをカラーイメージングし視認性を向上させる新たな手法を実用化するために、そのベースである蛍光シート開発から既存のカメラ製品に組み込んだ性能試験、実用製品としてのカラーイメー

ジインテンシファイアの開発とその性能評価など、カラーイメージング法の開発の成果について述べたものである。

本論文の構成を以下に示す。

第1章「カラーラジオグラフィ」では、本研究の背景として従来の放射線によるイメージング(ラジオグラフィ)の課題とその解決手段について記載する。特に、モノクロイメージによって人が識別できる限界やカラー識別方法によるカラー化によるメリットについて詳細に示す。

第2章「マルチカラーシンチレータ」では、マルチカラーシンチレータの開発と、放射線の種類を色別にイメージングする技術について述べる。放射線の種類として、特に、X線あるいは同じ性質の γ 線と中性子を色別に撮影するシンチレータの構成や放射線と反応する材料とシンチレータの構成について述べ、実際に撮影した画像を用いてその性能について詳細に議論する。

第3章「X線、中性子ラジオグラフィのダイナミックレンジ拡大」では、開発したマルチカラーシンチレータをX線のカメラに組み込み、材質の違い、密度の違いによるX線の透過量の違いをカラーでダイナミックレンジを広くして撮影するカラー撮影手法を実際に検証した。ここでは、カラー化を取り入れた装置構成と、カメラとして組みあげた時の、撮影手法やマルチカラーシンチレータと撮像素子の特性について示し、実際にX線や中性子を用いたイメージングでカラー画像の特長について議論する。

第4章「カラーイメージインテンシファイアの構造」では、マルチカラーシンチレータをイメージインテンシファイアの出力蛍光体に用いたカラーイメージインテンシファイアの構造について述べ、従来のモノクロのイメージインテンシファイアとの違いやカラー化によるメリットを実際の撮影例で示す。

第5章「X線、 γ 線用カラーI.I.TM」では、X線、 γ 線を用いたカラーイメージインテンシファイアについて反応膜の構成とその特長について撮影実施例を示して議論する。実用化に向けたシステムの構成についても示す。

第6章「中性子用カラーI.I.TM」では、中性子に対応するためのカラーイメージインテンシファイアの構造について述べる。中性子との反応膜としてガドリニウムや濃縮ボロンを用いた場合について、膜の最適化や製作する上での課題についても検討し、その製作に成功した異なる特長を持つ2種類についてその特性を示す。更に、アメリカの工業規格ASTMの中性子ラジオグラフィの撮影規格とそれに用いられるインジケータについて撮影した結果を示す。

第7章「パルス中性子源対応の中性子用カラーI.I.TM」では、パルス中性子源と中性子のエネルギーに対する選択的なイメージングを行なうために開発したブランキング機能を搭載した中性子カラーI.I.TMの特性について述べ、パルス初期のガンマバーストによるX線イメージングと中性子エネルギーを選択したイメージングの同時撮影や材料の中性子エネルギーに対するブラッグエッジや共鳴吸収を用い、エネルギー選択的イメージングへの適応性・特徴について議論する。

第8章「まとめと今後の展開」では、全体のまとめと、今後の展開と期待される適用先について述べる。

学位論文審査の要旨

主 査	特任教授	鬼 柳 善 明
副 査	教 授	古 坂 道 弘
副 査	准教授	加美山 隆

学 位 論 文 題 名

放射線によるカラーイメージング技術の開発

(Color imaging technology of radiation)

放射線の透過強度にもとづく情報を2次元の映像として、フィルムや電子媒体で記録する方法をラジオグラフィ [radiography] という。物質を透過する際に、放射線の種類やエネルギー、物質の材質や形状によって吸収や散乱が起これ、透過する量が異なる。このような透過撮影を総称して放射線イメージングと呼ぶことにする。近年、フィルムに変わって輝尽性蛍光シートあるいはイメージングプレートと呼ばれる記録媒体を用いた撮影も行われている。フィルムと異なり、暗室を使わずにレーザー装置でシートをスキャンしてデジタルで画像化するものである。リアルタイムの撮影はできないが、現像液を使わず暗室も使わずに撮影と処理が行える特徴を持つ。動画では、放射線と反応する蛍光を発光する蛍光シート (蛍光板とも言う) をテレビカメラで撮影する放射線カメラ (放射線テレビ) または X 線カメラ (X 線テレビ) と呼ばれるものを使用する。更に感度を上げるために電子増幅機能を持たせ、蛍光増倍管やイメージ管とも呼ばれるイメージインテンシファイア (I.I.) がある。

現在でも、多くの放射線イメージングは、放射線が物質を透過し、その透過量の強弱に応じて濃淡のモノクロ画像として表示しているのがほとんどである。画像の輝度に応じて疑似カラー処理を適用している場合もあるが、同じ物質でも動画で厚さの違う状況になると、放射線の透過量に変化し、濃淡の輝度に変化すると疑似カラーも変わり、かえって不自然に見えてしまう場合がある。また、疑似カラー処理の方法によっては、カラーの境界がはっきりしすぎて滑らかさに欠ける画像になったり、元の画像にノイズがある場合には、そのノイズの色が強調されてかえって視認性が悪くなったりする場合もある。しかし、カラー化をうまく行うことによって、その情報量の多さからモノクロではできない識別が可能になると考えられる。

放射線も光の波長と同じようにエネルギーに応じて波長が異なるが、可視光ではないため人は直接見るができない。波長に応じて色を変えて表示したり、放射線の種類に応じて色を変えて表示することで、物質透過の違いによる視認性を向上したり、放射線の種類に応じて透過の違いを区別して表示することが可能になる。

本論文は、このような背景のもと、放射線の種類識別に、そのエネルギーの違いによる物質透過の違いをカラーイメージングし視認性を向上させる新たな手法を実用化するために、そのベースである蛍光シート開発から既存のカメラ製品に組み込んだ性能試験、実用製品としてのカラーイメージインテンシファイアの開発とその性能評価など、カラーイメージング法の開発の成果について述べたものであり、その内容は以下の通りである。

第1章「カラーラジオグラフィ」では、本研究の背景として従来の放射線によるイメージングの課題とその解決手段について記載する。特に、モノクロイメージによって人が識別できる限界やカラー識別方法によるカラー化によるメリットについて詳細に述べている。

第2章「マルチカラーシンチレータ」では、マルチカラーシンチレータの開発を行い、放射線の種類を色別にイメージングする技術について検討している。放射線の種類として、特に、X線あるいは同じ性質の γ 線と中性子を色別に撮影するシンチレータ材料とシンチレータの構成を検討し、実際に画像を撮影し、その性能を明らかにしている。

第3章「X線、中性子ラジオグラフィのダイナミックレンジ拡大」では、開発したマルチカラーシンチレータをX線のカメラに組み込み、撮影手法の検討やマルチカラーシンチレータと撮像素子の特性について示し、実際にX線や中性子を用いたイメージングでカラー画像の撮影に成功し、その特長について述べている。

第4章「カラーイメージンシファイアの構造」では、マルチカラーシンチレータをイメージンシファイアの出力蛍光体に用いたカラーイメージンシファイアの構造について述べ、従来のモノクロのイメージンシファイアとの違いやカラー化によるメリットを実際の撮影例で明らかにした。

第5章「X線、 γ 線用カラー I.I.」では、X線、 γ 線を用いたカラーイメージンシファイアについて反応膜の構成とその特長について撮影実施例を示して議論する。実用化に向けたシステムの構成についても示している。

第6章「中性子用カラー I.I.」では、中性子に対応するために開発したカラーイメージンシファイアの構造について述べる。中性子との反応膜としてガドリニウムや濃縮ボロンを用いた場合について、膜の最適化や製作する上での課題を検討し、製作に成功した異なる特長を持つ2種類についてその特性を明らかにした。更に、アメリカの工業規格 ASTM の中性子ラジオグラフィの撮影規格とそれに用いられるインジケータについて撮影し、その性能を示している。

第7章「パルス中性子源対応の中性子用カラー I.I.」では、パルス中性子源と中性子のエネルギーに対する選択的なイメージングを行なうために開発したブランピング機能を搭載した中性子カラー I.I. の特性について述べ、パルス初期のガンマバーストによるX線イメージングと中性子エネルギーを選択したイメージングの同時撮影や材料の中性子エネルギーに対するブラッグエッジや共鳴吸収を用い、エネルギー選択的イメージングへ適応できることを明らかにしている。

第8章「まとめと今後の展開」では、全体のまとめと今後の展開、さらに期待される適用先について述べている。

以上要するに、本論文はこれまでモノクロが主であった放射線イメージングにおいて、カラー化の手法を開発し、異なった放射線のイメージをカラー化によって区別して表示させること、また、同じ放射線でもカラー化によって観測できる透過強度のダイナミックレンジを大きく広げることに成功したものであり、放射線計測工学における貢献大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)を授与される資格あるものと認める。