

学位論文題名

光CT画像における散乱効果の抑制に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

近赤外光を用いた断層撮影法である光CTは、生体の機能情報を無侵襲的に計測できる可能性を有している。生体内色素のひとつであるヘモグロビンは、組織の酸素化・脱酸素化状態で光の吸収の大きさが異なる。この光吸収の違いを計測することで組織の活動状態を調べることができる。とりわけ、新生児を対象とした脳組織の酸素化状態を計測できれば、重大な後遺症を残すようになる前に適切な処置を施すための重要な情報を与えるものとなると考えられ、その社会的意義は極めて大きいと考えられる。一方、光CTの実現を妨げている大きな問題として、生体組織における光の散乱効果がある。生体に入射した光は生体組織によって散乱され、組織内の光吸収の情報は「ぼけ」を伴って計測されてしまう。本研究ではこの光散乱効果を一種のシステム応答としてとらえた。その立場から光散乱効果の抑制法について検討し、今後の光CT実現に寄与することを目的とした。

本論文は全10章で構成される。以下に、各章についての概要を述べる。

第1章は序論であり、本研究で取りあげた光CT画像上の散乱抑制に関する必要性を明らかにし、本研究における目的について述べている。

第2章では、光CTの基礎として、X線CTなど従来のCT技術について述べた。さらに、現在までに報告されている光CTについても概説した。ここでは特にハードウェア的に散乱を抑制する手法である、光の時間分解計測(散乱体透過光強度の経時変化)に基づく方法と連続光による方法によるイメージングについて述べる。

第3章では、本研究の理論的背景である原信号の復元手法について述べる。さらに本研究を進める上でのキー・ワードである点拡がり関数、逆たたみ込み法について述べる。

第4章では、光CTの画像再構成に用いられているアルゴリズムの一つであるフィルタ補正逆投影法について述べる。さらにそれに関連して各種の画像再構成法についても述べる。

第5章は、第7章において述べる散乱抑制手法の裏付けについて述べる。まず、散乱体中に存在する吸収体の投影像はその位置によって大きく異なることを実験的に示した。これは吸収体の存在する位置によって、投影像に表れる散乱の効果が一様でないことを意味する。そこで、このシステムの応答関数として点状

吸収体の投影像を深さに関する点拡がり関数と新たに定義した。そして、この関数を光CT画像における散乱効果の抑制に応用することの妥当性について検討した。

第6章では、これまでに報告されているCT画像改善手法のうち特に「位置に依存した応答」を考慮しているものについて概説する。SPECTにおいては、放射されるガンマ線が生体組織によって散乱される。ガンマ線の検出器の前には散乱効果を抑制するためにコリメータを設置するが、コリメータの開口角の制限から、線源とコリメータの位置関係によって散乱の効果が異なる。これについて、議論の出発点は同じであるものの、その経路が全く異なる2つの手法について概説する。

第7章では、本論文の目的である、光CT画像における散乱効果を抑制するための手法の理論を述べる。画像再構成を行うために取得される投影像はすべての深さ（位置）に関する積分であり、その時点では深さ情報が全く失われている。そこでまず一旦、すべての方向に関して投影を求め、散乱の影響を伴った画像を再構成する。そこでは深さの情報が回復している。深さに関する点拡がり関数が既知であればこの画像の各深さについて逆たたみ込み処理を行い、その結果を再投影することで散乱の効果を抑制した投影が得られることを示した。さらに、光CTに関して他の研究者が吸収体の位置に依存したの散乱の効果を利用している例を示し、本論文で考案した手法との相違点を明らかにする。

第8章では、第7章で考案した手法の有効性を確かめるため、計算機シミュレーションを行い、考案した手法は散乱影響を抑制する効果があることを確認した。

第9章では、実測光CT画像に対して考案した手法を適用した。その結果、考案した手法は光CT画像における散乱効果の抑制に有効に働くことがわかった。同時に本手法のもつ限界点も明らかになった。

第10章は本論文の結論であり、各章で得られた結論を総括し、結びとした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 孝 一
副 査 教 授 栗 城 眞 也
副 査 教 授 山 本 克 之

学 位 論 文 題 名

光CT画像における散乱効果の抑制に関する基礎的研究

近年、近赤外光を利用して生体の断層像（光CT像）を得ようとする試みが盛んに行われている。しかし、CT像を得るために必要な投影データは生体組織による光散乱の影響を受けており、従来のX線CTの画像再構成アルゴリズムを単純に用いただけでは意味のある画像は得ることができない。この再構成画像における光散乱の影響を抑制する手法に、今後の発展が待たれている。

本論文ではまず、散乱体中に存在する吸収体の投影像はその位置によって大きく異なることを実験的に示している。これは吸収体の存在する位置によって、投影像に現れる散乱の効果が一様でないことを意味する。そこで、点状吸収体の投影像を深さに関する点拡がり関数と新たに定義し、この関数を光CT画像における散乱効果の抑制に応用することの妥当性について検討している。続いて、光CT画像における散乱効果を抑制するための手法の理論を展開している。画像再構成を行うために取得される投影像はすべての深さ（位置）に関する積分であり、その時点では深さ情報が全く失われている。そこで、まず散乱の影響を伴った画像を再構成し、深さの情報を回復する。深さに関する点拡がり関数が既知であればこの画像の各深さについて逆たたみ込み処理を行い、その結果を再投影することで散乱の効果を抑制した投影が得られることを示している。このような手法は現在までに報告例がなく、発想に新規性が認められる。計算機シミュレーションにより、考案した手法の有効性を確かめ、さらに実測光CT画像に対してもその手法を適用した。その結果、考案した手法は光CT画像における散乱効果の抑制に有効に働くことを確認する一方、同手法のもつ限界点も明らかにした。

これを要するに、著者は光CT画像の再構成に関する基礎的研究を行い、その最大の障害とも言える散乱の影響を抑制する手法を新たに提案するとともにその有効性を実証しており、医用生体工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。