

あらゆる内部構造をフルカラーで捉える 3D イメージング装置開発

研究代表者

伊庭靖弘 北海道大学理学研究院 准教授

共同研究者

竹田裕介 北海道大学理学研究院 博士研究員



1. 研究の背景と達成目標

背景と目的:近年のマイクロフォーカス X 線 CT の普及により、材料・生物標本などの検査・解析が 2D から 3D へと急激にシフトしている。しかしながら、X 線を用いる従来手法は、試料内部に十分な密度差が無ければ、内部構造を可視化できない。また、得られる断層像は低解像度でグレースケールという大きな欠点をもつ。CT ユーザーの多くは、部品やモデル生物などありふれた材料を対象としている現状なのに、X 線による非破壊分析しか選択肢がない。これまでにこの解決策が示されたことはない。そこで本研究は、破壊分析を行う代わりに超高解像度で 3D 内部構造を得るという“逆転の発想”に基づき、世界初のフルカラー CT モグラフィ装置と 3D レンダリング技術を開発し、自然科学や産業分野などへの革新的技術の提供を目指した。

研究開始時の達成目標: 以下の 4 つの研究項目 / 目標を設定した。

精密除去加工機と撮影装置の連結と断層像の自動取得システムの開発

マルチスペクトル光源および倍率可変レンズの搭載と加工の高精度化による、断層像の情報量・分解能の強化

取得画像の色情報を保持したまま、試料内部のフルカラー 3D 化の達成

高い汎用性を目指した試料作成技術と加工技術の確立

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

研究結果の概要とインパクト: (1)精密除去加工機に撮影システムをシームレスに連結することで、「試料の表面除去と加工表面の撮影を全自動で繰り返す」CT モグラフィ装置を発明・制作した。(2)次に得られた連続画像の解析から、試料そのものの色をもつフルカラー 3D モデル化を世界で初めて達成した。既存の主な CT モグラフィ装置は、(1)医療用・産業用 X 線 CT、(2)シンクロトロン X 線 CT、(3)MRI、(4)集束イオンビーム SEM、(5)マイクロームを用いたシリアルセクションング法である。しかしながら、これらの手法は、低可視化力、低解像力、グレースケール、限定的な試料及びサイズ、長時間の手作業による撮影など、多くの制約がある。一方、本研究によって開発された装置およびシステムは、上述の欠点を全て克服した。本装置は、1voxel あたり最先端 CT の数億倍以上の情報量に達した。また、生物標本から金属、硬質な鉱物までの幅広い材料に対応できる。これに匹敵する機能/解像力をもつ CT モグラフィ装置は世界に一つも存在しない。

3. 研究成果

当初の達成目標を全て達成し、数値目標も大幅に上回ることができた(下記)。

自動連続撮影 10 万枚や 1 撮影サイクルを最速 30 秒となるなど、従来の数値目標を一桁上回る成果となった。

撮影システムに蛍光・分光機能と倍率可変機能を追加し、1ピクセルあたりの光学情報量を増強した。加工面精度の目標値も達成し、低倍率画像においても直径 3 μm の円形構造物を認識可能となった。

高性能計算機を用いて、取得画像の解析法を開発した。具体的には、画像の各ピクセルの RGB 値から輝度値を計算し、これを画像のアルファチャンネルに追加するスクリプトを作成した。これにより、画像において 3D 化したい構造物以外が透明化された RGBA 画像を得られるようになった。このスクリプトでは手作業による構造物の領域抽出が不要で、さらに CPU によるマルチコア並列処理に対応しているため、大量の断層画像の自動・高速処理が可能となった。得られたデータに対して GPU を用いたボリュームレンダリングを行うことで、取得画像の色情報を保持したままの試料内部のフルカラー (16,777,216 色) の 3D 化を実施した。開発に用いた高性能計算機におけるボリュームレンダリングでは、 12×10^9 ボクセルのデータのフルカラー 3D 化に成功した。また、開発手法により得られたデータに対して、スパコンを用いてさらに大規模に可視化することも可能で、最大で 480×10^9 ボクセルの可視化に成功し、マイルストーンを大幅に上回る数値を達成した。

細胞レベルでの染色・硬化技術を確立し、生物の軟組織も含めてあらゆる硬度の組織・試料の可視化を達成した。本研究開発による分析手法と比較するために、SPring-8 を用いて工業製品等(シングルボードコンピュータ)のシンクロトン X 線 CT 撮影を行った。シンクロトン X 線 CT 撮影では、密度の高い半導体や金属部品、配線部分が 3D 化される一方で、密度の低い基板部分は 3D 化が困難である。一方本研究開発手法では、微細な形態を高解像可視化されているだけでなく、密度差に関係なく試料全体をフルカラーで 3D 化しており、高い優位性を持つことが確認できた。

4. 今後の展開

上述の通り、本研究では、世界初のフルカラートモグラフィ装置と画像解析法の開発に成功した。研究開発を行うプロセスで、3D 画像解析技術自体やこれを用いる画像診断分野等において膨大な計算資源や人的コストが無駄に消費されていることに気がついた。また、現在のビックデータや AI の時代において、トモグラフィデータをを用いた新しい研究開発領域を創成できる可能性にも気がついた。今後は、1)データ生産性の向上、2)小さい計算資源に対応したレンダリングアルゴリズムの開発、3)画像 AI の開発とシステムへの搭載、4)小型化などを通して、医学および宇宙分野を想定して具体的な研究と開発を行う予定である。

5. 発表実績

Ryo Taniguchi, Hiroshi Nishino, Hidehiro Watanabe, Shûhei Yamamoto, and Yasuhiro Iba (2021), Reconstructing the ecology of a Cretaceous cockroach: destructive and high-resolution imaging of its micro sense organs. *The Science of Nature* 108:45

Mehmet Oguz Derin, Takahiro Harada Yusuke Takeda, Yasuhiro Iba, Sparse Volume Rendering using Hardware Ray Tracing and Block Walking, 2021, SIGGRAPH Asia 2021 Technical Communications, Article No.19 1-4.

竹田 裕介、田井中一貴、星野健、深井稜汰、臼井寛裕、笹木慎太郎、池上森、伊庭靖弘、JSS3 大規模チャレンジによる大規模画像データの 3次元可視化 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空数値シミュレーション技術シンポジウム 2021 年 6 月

ほか 8 件(うち特許 1 件)