

医療用裸眼 3D ディスプレイシステム

Glasses-Free Medical 3D Display System

爰島 快行

■ KOKOJIMA Yoshiyuki

塚越 伸介

■ TSUKAGOSHI Shinsuke

鈴木 雅裕

■ SUZUKI Masahiro

成田 善孝

■ NARITA Yoshitaka

CT (コンピュータ断層撮影) 装置により体内の3次元画像が得られるが、従来はそれを3次元のまま表示する方法がなかった。そのため外科医は、手術前や手術中に血管が複雑に重なり合う画像を様々な方向から観察し、頭の中で3次元の構造をイメージしていた。

東芝は、グラスレス3Dレグザの開発で培ったインテグラルイメージング (II) 方式の技術を応用し、専用眼鏡を使わずに、3次元のCT画像を3次元のまま見ることができる医療用裸眼3D (立体視) ディスプレイシステムを開発した。II方式の特性に基づいて立体感を制御する技術により、CT画像の高画質な3D表示を実現した。独立行政法人 国立がん研究センター中央病院の放射線技師を被験者とし、模擬血管を用いた評価実験を行い、3D表示の有用性を実証した。

In conventional medical display systems, it is difficult to display three-dimensional (3D) structures in medical 3D images acquired by computed tomography (CT) scanners. Surgeons must therefore recognize the 3D structure with its complex overlapping of blood vessels by integrating images observed from various angles before and during the operation.

Toshiba has developed a medical 3D display system for CT scanners utilizing an integral imaging (II) technology acquired through the development of the glasses-free 3D REGZA series TVs. This medical 3D display system makes it possible to intuitively recognize 3D structures in 3D CT images without the need for dedicated glasses by employing a parallax control algorithm in order to improve depth perception on the 3D display. We have confirmed the effectiveness of this system through verification tests performed by radiologists with extensive experience in observing 3D CT images at the National Cancer Center Hospital.

1 まえがき

国内外のエレクトロニクス企業が続々と医療分野に参入するなか、内視鏡手術を中心に眼鏡式の3Dディスプレイがトレンドになりつつある⁽¹⁾。しかし専用眼鏡が必要なことに対し、手術中の着脱がめんどろである、汗を拭きづらくなる、医療用ゴーグルと両立できないなど、不満の声も聞かれる。

東芝は、医療分野における3Dディスプレイのトレンドを本格的な普及へ転換するには、専用眼鏡なしの3D表示が必須であると考え、裸眼3Dディスプレイの開発に取り組んできた。今回、グラスレス3Dレグザの開発で培ったインテグラルイメージング (II) 方式の技術^{(2), (3)}を応用し、当社のCT装置 Aquilion ONETMで撮影された画像を3D表示するシステムを開発した。

CT装置によって、通常見ることのできない体内の3次元 (輪切りの断層) 画像が得られるが、従来はそれを3次元のまま表示する方法がなかった。外科医が手術前や手術中に、**図1**に示すような血管が複雑に重なり合う画像を様々な方向から観察し、頭の中で3次元の構造をイメージしていた。これに対して、今回開発した裸眼3Dディスプレイシステムでは3次元の構造を3次元のまま直感的に把握できるため、外科医の負担軽減につながる事が期待される。

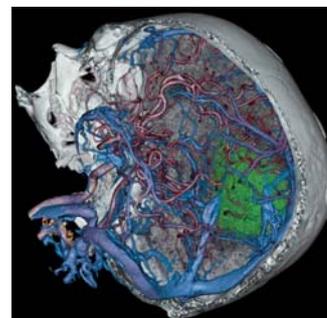


図1. 脳血管画像の例 — 動脈 (赤色) と静脈 (青色) が複雑に張り巡らされている。

Example of medical image containing blood vessels

ここでは、医療用裸眼3Dディスプレイシステムの概要とII方式の特性に基づいて立体感を制御する技術、及び放射線技師を被験者とした評価実験の結果について述べる。

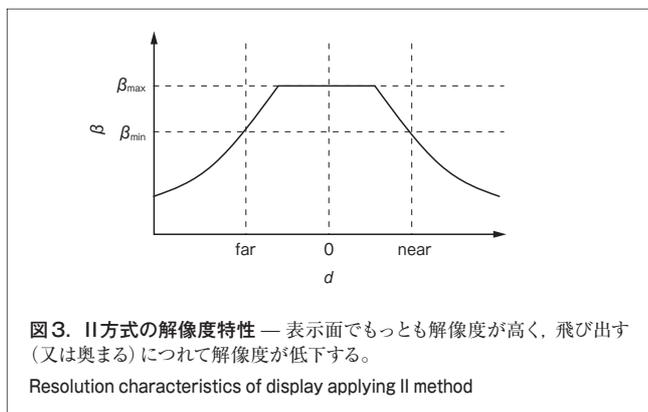
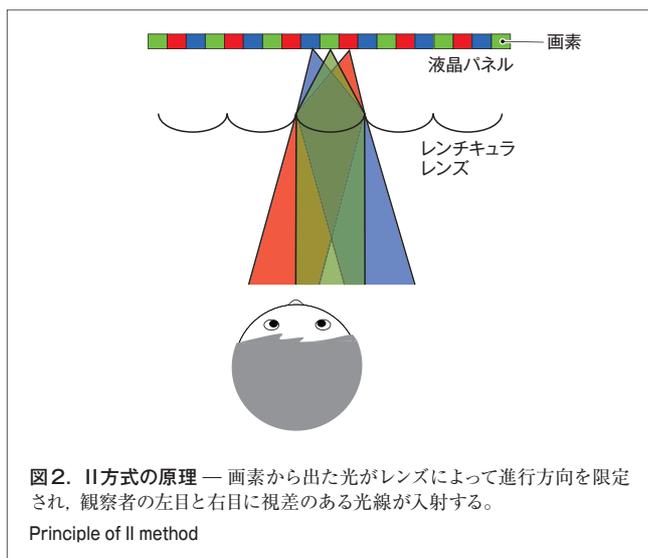
2 II方式

II方式では、液晶パネルの表示面に細長いかまぼこ型レンズが並んだレンチキュラシートを貼り合わせ、異なる方向から

見た画像の情報をレンズ背面の画素に配置する。この画素から出た光はレンチキュラレンズによって進行方向を限定され、観察者の左目と右目に視差のある光線が入射することで立体視が実現される(図2)。

レンズ一つに割り当てられた画素の数(視差数)が多いほど立体感が向上し、正しく立体視できる観察角度(視域)も広がるが、3D画像の解像度が低下してしまう。そこで、解像度低下を最小限に抑えつつ観察に十分な視域を確保するため、立体知覚に敏感な水平方向だけに視差を持つ1次元II方式を採用した。この方式を解像度3,840×2,400画素の21型高精細液晶パネルに適用することで、視差数9、3D解像度1,280×800画素、及び視域±15°を実現した。

II方式の解像度特性の例を図3に示す。図の横軸 d は裸眼3Dディスプレイの表示面からの距離を表し、中央の $d=0$ が表示面で、右半分が表示面から手前に飛び出した位置に、左半分が表示面から奥まった位置にそれぞれ相当する。図の縦軸 β は3D画像の解像度を表す。II方式では裸眼3Dディスプレイの表示面の解像度がもっとも高く、表示面から飛び出す(又は奥まる)につれて解像度が低下する。許容できるもっと



も低い解像度 β_{\min} が指定されると、それに伴って裸眼3Dディスプレイの飛出し限界値 near と奥行き限界値 far が決まる。

3 医療用裸眼3Dディスプレイシステム

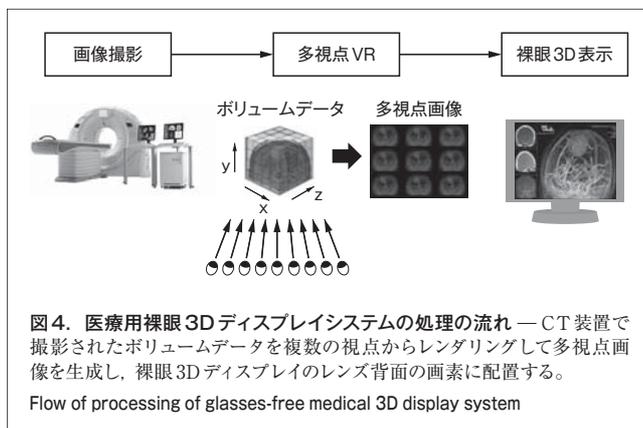
3.1 概要

医療用裸眼3Dディスプレイシステムの処理の流れを図4に示す。最初に、CT装置で輪切りの断層画像が撮影され、断層画像を積み上げた3次元の格子状データ(ボリュームデータ)が生成される。Aquilion ONE™では、1回の撮影で320枚の断層画像から成る高精細なボリュームデータを取得できる。また、連続して複数回撮影することで、血液の流れや臓器の動きが記録された時系列ボリュームデータを取得することが可能である⁽⁴⁾。

次に、ボリュームレンダリング(VR)と呼ばれるコンピュータグラフィックスの技術を用いて、ボリュームデータを特定の視点から見た画像(図1)が生成される。図1は、時系列ボリュームデータから動脈と静脈それぞれが鮮明に記録されている時相のデータを抜き出し、それらに異なる色付けをしたVR画像である。このような複数の時相データのVRは計算量が多いことで知られているが、ここでは更に、視点の位置を左右にずらしながら視差数と同じ回数だけVRを繰り返すこと(多視点VR)により、多視点画像を生成する。

多視点VRは膨大な計算能力を要するが、当社は、事前にボリュームデータを解析して求めた不可視領域の計算を省略する技術と、複数のGPU(Graphics Processing Unit)を組み合わせた並列処理技術により、従来のソフトウェア処理に比べ約10倍の高速化を実現した。その結果、ユーザーがマウス操作などでインタラクティブに視点の位置を変えることができるようになった。

最後に、多視点画像の各画素を裸眼3Dディスプレイのレンズ背面の画素に配置することで、3D画像が表示される。また、時系列ボリュームデータを3D動画で再生することも可能である。

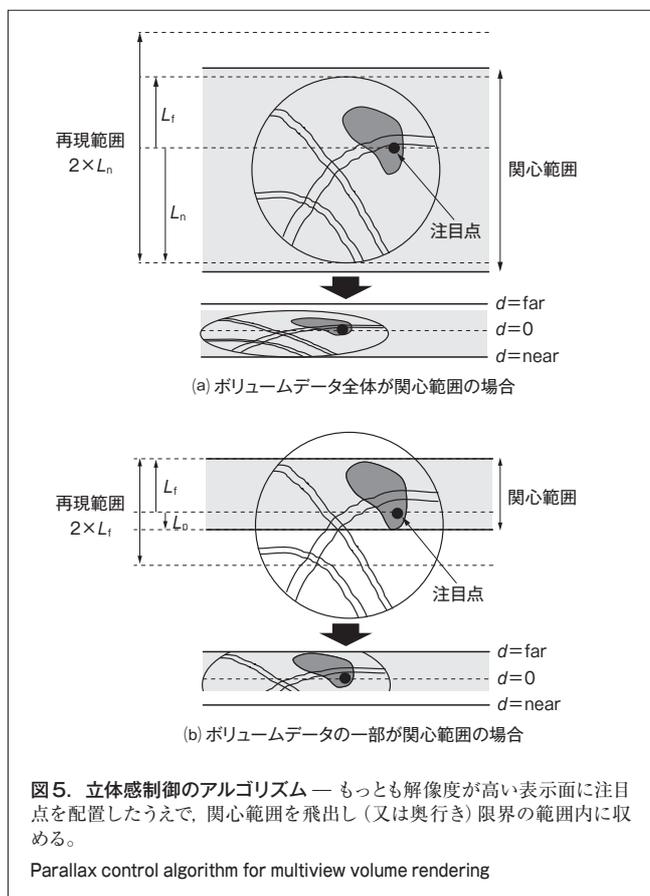


3.2 立体感制御による高画質化

II方式では、図3に示したように表示面の解像度がもっとも高く、表示面から飛び出す（又は奥まる）につれて解像度が低下する。VR画像を高画質に3D表示するには、この解像度特性を踏まえて立体感を適切に制御することが重要になる。

立体感制御のアルゴリズムについて図5を用いて述べる。(a)はボリュームデータ全体を関心範囲とした場合の立体感制御の例で、(b)はボリュームデータの一部を関心範囲とした場合の例である。(a)と(b)の上段は、視点の上方からボリュームデータを見下ろした図で、ボリュームデータの関心範囲が矢印で、関心範囲の中でもっとも関心が高い病変部などの注目点が黒丸で示されている。これらはユーザーのマウス操作で指定される。(a)と(b)の下段は、裸眼3Dディスプレイを上方から見下ろした図で、上段の関心範囲がどの程度の立体感を伴って3D表示されるかを表している。 $d=0$ の点線はもっとも解像度の高い裸眼3Dディスプレイの表示面、 $d=near$ の線は飛出し限界、及び $d=far$ の線は奥行き限界を表す。

図5(a)の例では最初に、注目点から関心範囲内のもっとも手前の箇所までの距離 L_n と、もっとも奥の箇所までの距離 L_f を計算する。次に、 L_n と L_f を比較して大きい距離（ここでは L_n ）を選択し、その距離だけ注目点から前後に離れた範囲を再現範囲とする。そして、この再現範囲が裸眼3Dディスプレ



イの飛出し限界から奥行き限界までの立体感を伴って3D表示されるように、多視点VRにおける各視点の位置を制御する。

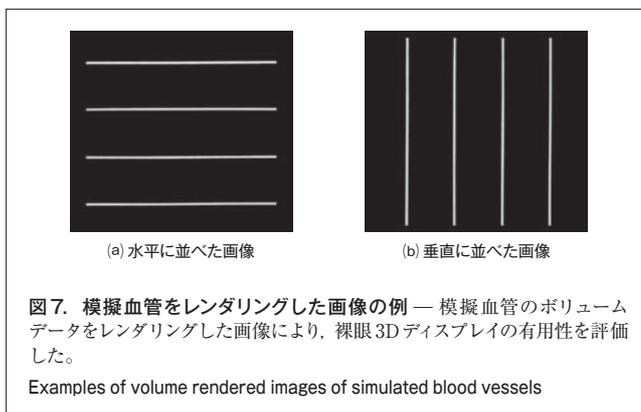
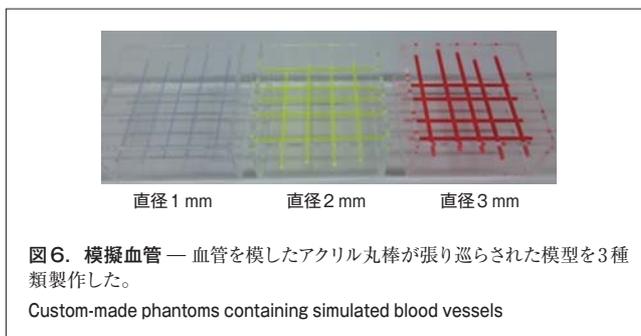
このアルゴリズムにより、もっとも解像度が高い裸眼3Dディスプレイの表示面に病変部などの注目点を配置したうえで、所望の関心範囲が裸眼3Dディスプレイの飛出し（又は奥行き）限界の範囲内に収まるように立体感を制御する。これにより、解像度を図3の β_{min} より低下させないという制約の下で、関心範囲の立体感を最大化することが可能になる。

4 有用性評価

独立行政法人 国立がん研究センター中央病院の放射線技師13名を被験者として、医療用裸眼3Dディスプレイシステムの有用性を評価する実験を行った。異なる奥行きに表示された4本の模擬血管を手前から順番に選択するタスクを被験者に実行してもらい、3D表示によって奥行き順序の正解率が向上するかを調べた。

模擬血管の外観を図6に示す。透明アクリルケースの内部に血管を模したアクリル丸棒が1～4 mm間隔でマトリクス状に張り巡らされている。血管の太さによる影響を評価できるように、直径が1 mm、2 mm、及び3 mmの3種類の模擬血管を製作した。

直径1 mmの模擬血管をCT装置で撮影して得られたボリュームデータをレンダリングした画像の例を図7に示す。血管の走行方向による影響を評価するため、模擬血管の中から



同じ向きのもの4本を抜き出して水平に並べた画像と、垂直に並べた画像の2種類を表示した。

実験では、VRの視点位置をずらして血管の奥行き順序を様々に変えた画像を3D表示し、被験者に血管を手前から順番に選択してもらった。立体感による影響を評価するため、立体感の大きさをゼロ、弱、中、強の4段階に切り替えながら3D表示した。

直径1mmの血管を水平に並べたときの評価結果を図8(a)に、垂直に並べたときの評価結果を図8(b)に示す。複数のデータのばらつきを比較するため箱ひげ図(box plot)を用いた。データを昇順に並べて4等分し、1/4番目の値を箱の下端、2/4番目の値(中央値)を箱内部の太線、3/4番目の値を箱の上端で表す。また、箱の下に出たひげの下端が最小値を、上に出たひげの上端が最大値を表している。

図8(a)からは、水平に並んだ血管の立体感を大きくしていても奥行きは把握しやすくなることわかる。1次元II方式は水平方向だけに視差を持つことから当然の結果だと言える。一方図8(b)からは、垂直に並んだ血管に少しでも立体感を付けると奥行きが把握しやすくなることわかる。立体感がゼロのときに比べて、立体感が弱、中、強のときは正解率の中央値が向上し、ばらつきも小さくなっている。直径2mmと3mmの血管についても同様の結果が得られた。

この実験から、CT装置と裸眼3Dディスプレイを組み合わせることで、実世界における数mmの奥行きの違いを直感的

に把握できることを実証できた。また、VR画像の奥行き把握に秀でた放射線技師に対しても、裸眼3Dディスプレイが有用であることを確認できた。

この実験結果は2012年11月に開催された北米放射線学会(RSNA)2012において報告し⁵⁾、Certificate of Meritを受賞した。

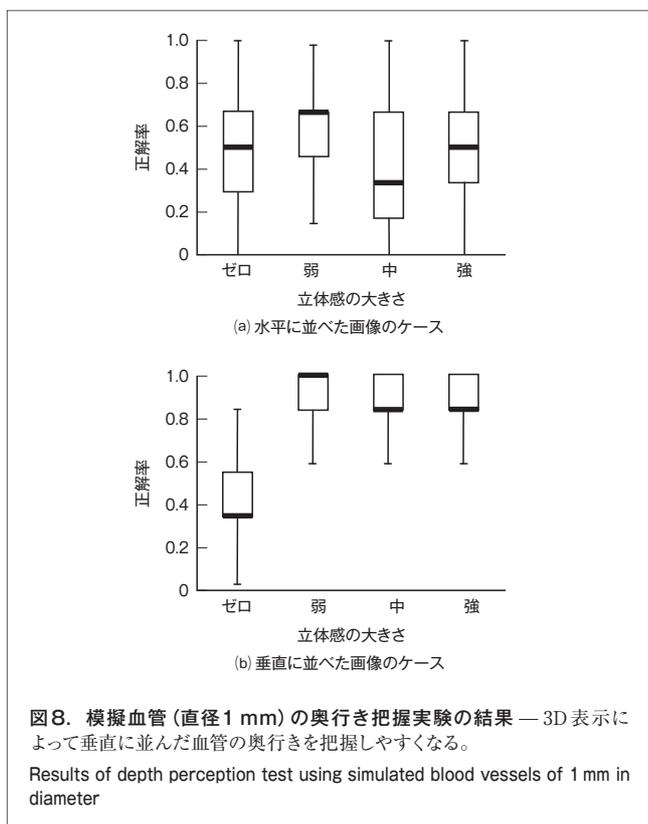
5 あとがき

グラスレス3Dレグザの開発で培ったII方式の技術を応用し、Aquilion ONE™で撮影された3次元の画像を3次元のまま表示する医療用裸眼3Dディスプレイシステムを開発した。II方式の解像度特性に基づいて立体感を適切に制御するアルゴリズムにより、高画質な3D表示を実現した。また、模擬血管を用いた評価実験によって3D表示の有用性を実証した。

今後は、更に高画質な裸眼3D表示技術の開発と、臨床画像を用いたより実践的な評価実験に取り組んでいく。

文献

- 小谷卓也. 3Dの生きる道は医療にあり. 日経エレクトロニクス. 1098, 2012-12-24. p.55 - 60.
- 平山雄三 他. グラスレス3Dレグザ(REGZA)のインテグラルイメージング方式とLCDパネル技術. 東芝レビュー. 66, 5, 2011. p.10 - 13.
- 福島理恵子 他. グラスレス3Dレグザ(REGZA)の視域最適化技術. 東芝レビュー. 66, 5, 2011. p.14 - 16.
- 風間正博 他. 3大疾患の診断と治療に貢献するCT装置Aquilion ONE™. 東芝レビュー. 66, 7, 2011. p.11 - 14.
- Suzuki, M. et al. "3D Visualization Capabilities of a Glasses-Free Medical 3D Display: Usefulness as an Integrated and Intuitive 3D Viewing Method". Radiological Society of North America (RSNA) 2012 Education Exhibit. Chicago, 2012-11, RSNA. 2012, LL-INE 2520.



爰島 快行 KOKOJIMA Yoshiyuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。
コンピュータグラフィックスに関する研究・開発に従事。情報処理学会会員。
Multimedia Lab.



塚越 伸介 TSUKAGOSHI Shinsuke, Ph.D.

東芝メディカルシステムズ(株) CT事業部 CT開発部主査、博士(保健学)。CT装置の画質設計及び臨床応用開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



鈴木 雅裕 SUZUKI Masahiro

国立がん研究センター中央病院 放射線診断科 診療放射線技師。CT装置や消化管領域の撮影と、CT装置の開発に従事。日本放射線技術学会会員。
National Cancer Center Hospital



成田 善孝 NARITA Yoshitaka, M.D., Ph.D.

国立がん研究センター中央病院 脳脊髄腫瘍科 副科長、博士(医学)。日本脳腫瘍学会理事。日本脳腫瘍の外科学会、日本術中画像情報学会、日本脳腫瘍病理学会評議員。日本脳神経外科光線力学学会幹事。
National Cancer Center Hospital