
Volume Extractor 操作マニュアル (中級編：造形)

(株)アイプランツ・システムズ

1. はじめに

Volume Extractor Ver. 3.0（以下、VE）は、CT 装置や MRI 装置から取り込んだスライス画像から、画像処理、セグメンテーション、画像表示、3 次元形状再構成などの処理が可能です。図 1 は、スライス画像群をボリュームレンダリング機能を用いて表示した例です。このように大量のスライス画像から、必要な情報のみを 3 次元的に見ることも可能です。また、VE は、簡単な操作ですべての機能を利用できるように対話メニューから操作できるように設計されています。そのため、3 次元画像を扱うのが初めての方でも十分使いこなせるものになっています。図 2 は、VE の主な機能と構成です。本マニュアルでは、VE の形状再構成機能を中心に、具体例を挙げながら、その機能や操作方法を説明します^[4-7]。

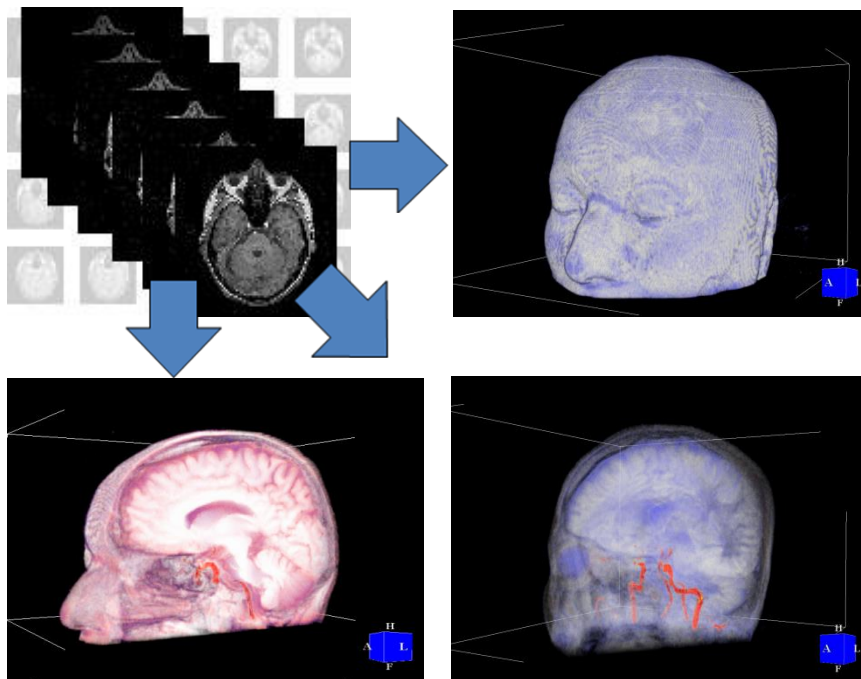
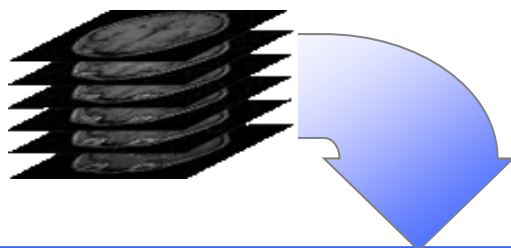


図 1 ボリュームレンダリングによる表示例

DICOM 画像・原画像
(2/3 次元画像データ)



Volume Extractor 3.0

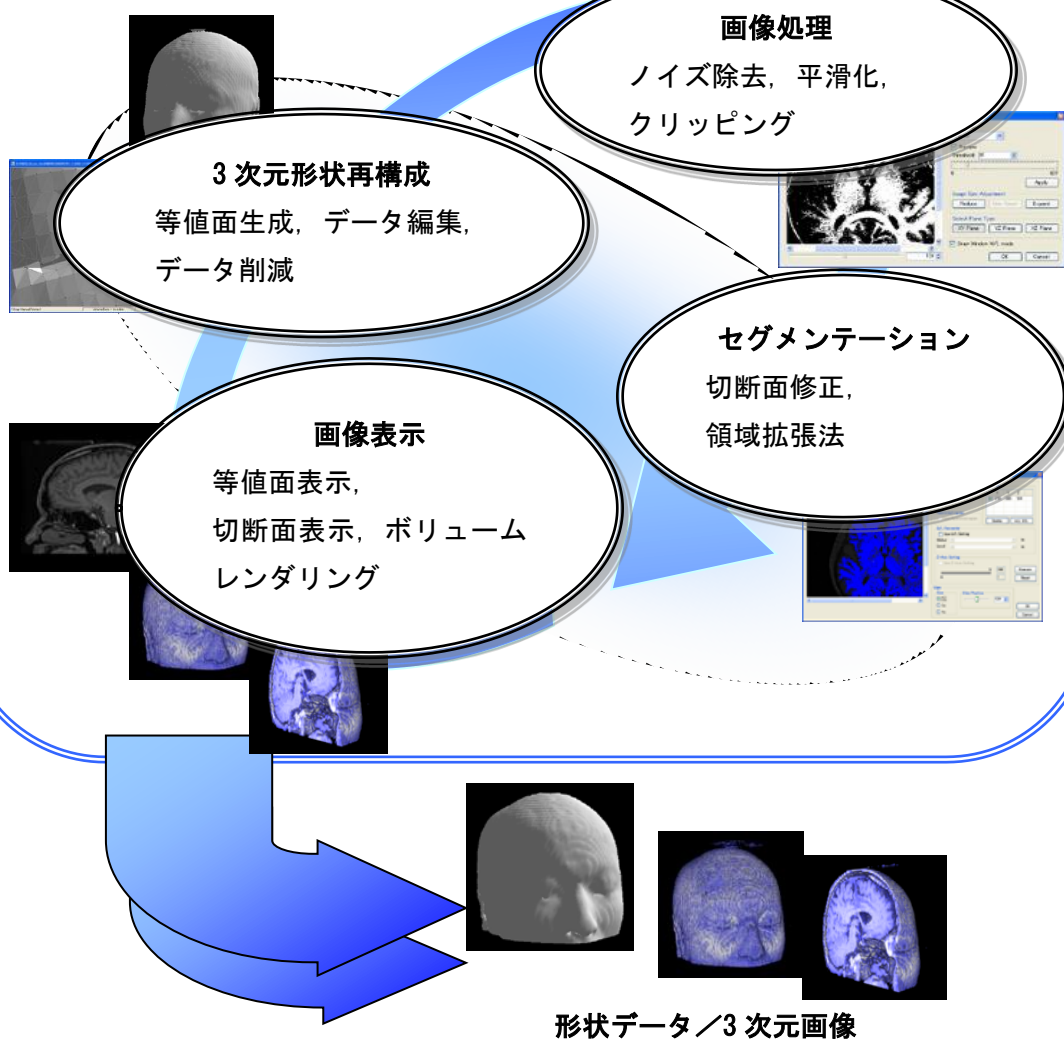


図2 VolumeExtractor 3.0 主な機能と構成

図 3 は、歯の CT 画像に対して、ボリュームレンダリング（左側）と等値面生成（右側）の違いを表したものです。図 3 の右側の等値面生成では、歯および骨の CT 値を持つ画素を 3 次元ポリゴンで表現しています。図 4 は、この等値面生成された 3 次元ポリゴンを 3D プリンタで造形した例です。このように VE では、与えられた 3 次元画像に対して、用途に応じた加工や表示が可能となっています。

図 5 は、脳の MR 画像（T2 強調画像）から、大腦部分と表皮を作成した例です。大腦部分はセグメンテーション機能を用いて、抽出しています。図 4 および図 5 で使用した 3D プリンタは、Dimension 3D プリンタ^[3]です。

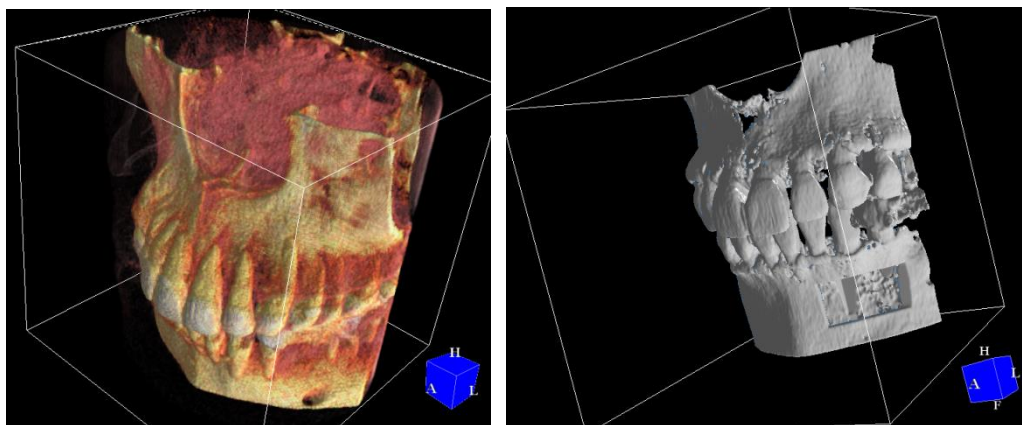


図 3 ボリュームレンダリングと等値面生成の違い

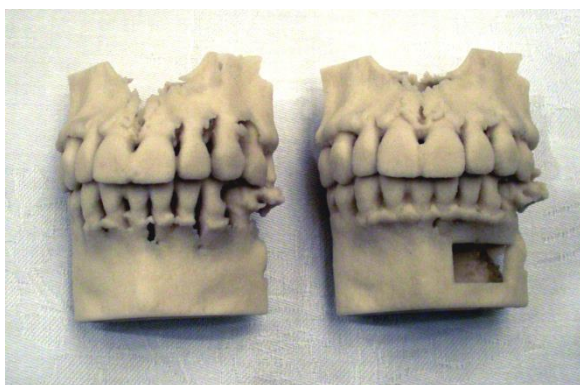


図 4 3D プリンタによる出力例 (1)



図 5 3D プリンタによる出力例 (2)

2. 機能概要

VE は主に医用画像データの処理を行うことを目的としており、次のような機能を提供しています^[4, 6]。

- DICOM 画像等の医療用画像の入力と 3 次元画像構築
- 複数の 3 次元画像表示
- 3 次元画像の部位抽出（セグメンテーション）
- 3 次元画像の計測
- 3 次元形状の再構成と操作
- 3 次元画像データ，3 次元形状データの出力

2.1 医療用画像の入力と 3 次元画像構築

MRI, CT の医療用画像として一般的な DICOM 画像フォーマットの入力に対応しています。また、原画像として、TIFF, JPEG, BMP, RAW データなどのフォーマット入力に対応しています^{注 a)}。図 6 は、複数の 2 次元断面画像から 3 次元画像を構築し、その表面形状を 3 次元ポリゴンで近似した例です。

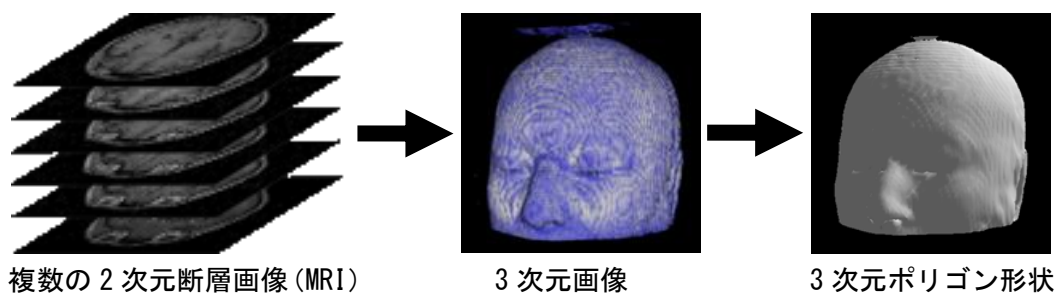


図 6 3 次元画像の構築と 3 次元形状再構成

注 a) DICOM, RAW, TIFF

DICOM は、Digital Imaging and Communications in Medicine の略で、医用デジタル画像と通信の標準規格です。DICOM 規格を採用することで、異なった装置間で、医用画像の相互接続やデータベースの統一化が可能になります。RAW は、生データや未加工であることを表しており、画像フォーマットとしては、画素値だけの画像データを表すことが多いです。TIFF は、Tagged Image File Format の略で、汎用の画像データフォーマットとして、広く普及しています。

2.2 複数の 3 次元画像表示

VE では、複数の 3 次元画像を同時表示することが可能です。例えば、骨の形状を観測するための 3 次元 CT と軟骨や内臓を観察するための MRI を同時表示することができます。表示方法には、断面表示、等値面表示、ボリュームレンダリング、各表示の組み合わせが使用可能です。3 次元画像は「ボリューム画像」、「3 次元ボリューム画像」とも呼ばれ、ボリュームレンダリングは、ボリューム画像を効果的に表示するレンダリング（画像生成）手法です。VE では、グラフィックスプロセッサユニット (GPU: Graphics Processing Unit) を利用したボリュームレンダリングにより、高速な 3 次元画像表示を可能にしています。

2.3 部位抽出（セグメンテーション）

VE での部位抽出（セグメンテーション）は、「対話型セグメンテーション」、「領域拡張法」、「ヒストグラムベース」による方式をサポートしています（図 7）。対話型セグメンテーションでは、ペンや矩形領域で直接スライス画像を編集できます。領域拡張法は、複数のシード点を与えて、その点群に隣接かつ類似した領域を抽出します。ヒストグラムベースは、ヒストグラム上で範囲を指定することで、その範囲の領域を抽出します。

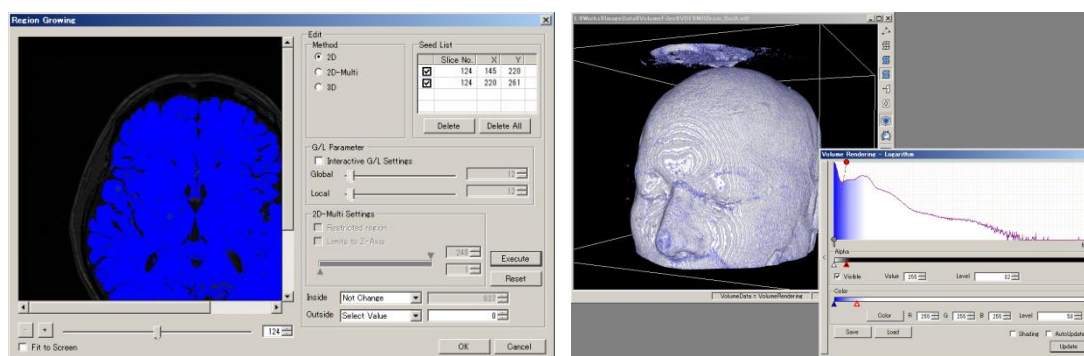


図 7 VE のセグメンテーション（領域拡張法（左）とヒストグラムベースによる手法（右））

2.4 3 次元画像の計測

VE では、3 次元画像の長さや角度、面積、体積を対話的な操作で計測することができます（図 8）。CT や MRI の性能向上により、解像度の高い 3 次元画像データが計測可能になってきたため、十分な精度の計測が可能になっています。

3. 3次元形状再構成

3.1 データ読み込み

CT装置やMRI装置から得られたDICOM画像を読み込み、3次元画像（ボリュームデータ）を作成します。図9-A～図9-Dは、インポート機能でDICOM画像を読み込んでいます。図9-Bは、DICOM画像の入ったディレクトリを指定しています。図9-Cは、読みこむDICOM画像の確認画面です。画像サイズや異なる種類のDICOM画像が含まれている場合、そのファイルのチェックボックスを外して下さい。画像ファイルのインポート終了後、画面右端のSliceEdit画面に読み込まれた画像が断面表示されます（図9-D）。

次にインポート終了後、[File] -> [Save]の3次元画像保存機能を用いて、VDFフォーマットかVOLフォーマット^{注c)}で、3次元画像を保存して下さい。次回からは、インポート機能を用いずに、[File]->[Open]の3次元画像読み込み機能で、その3次元画像ファイルを直接、読み込みます。

注c) VDF, VOL ファイルフォーマット

VDF, VOL フォーマットは、Volume Extractor 専用の3次元画像フォーマットです。VDFフォーマットは、ファイルの中に画像サイズと原画像が含まれています。VOLファイルは、原画像のみのデータ（ファイルタイプが.vol）と、同じファイル名でファイルタイプが.vifの2種類のファイルが生成されます。ファイルタイプが.vifのファイルには画像サイズや画素サイズが書かれています。他のアプリケーションで原画像を読み込む際は、VOLファイルフォーマットが便利です。

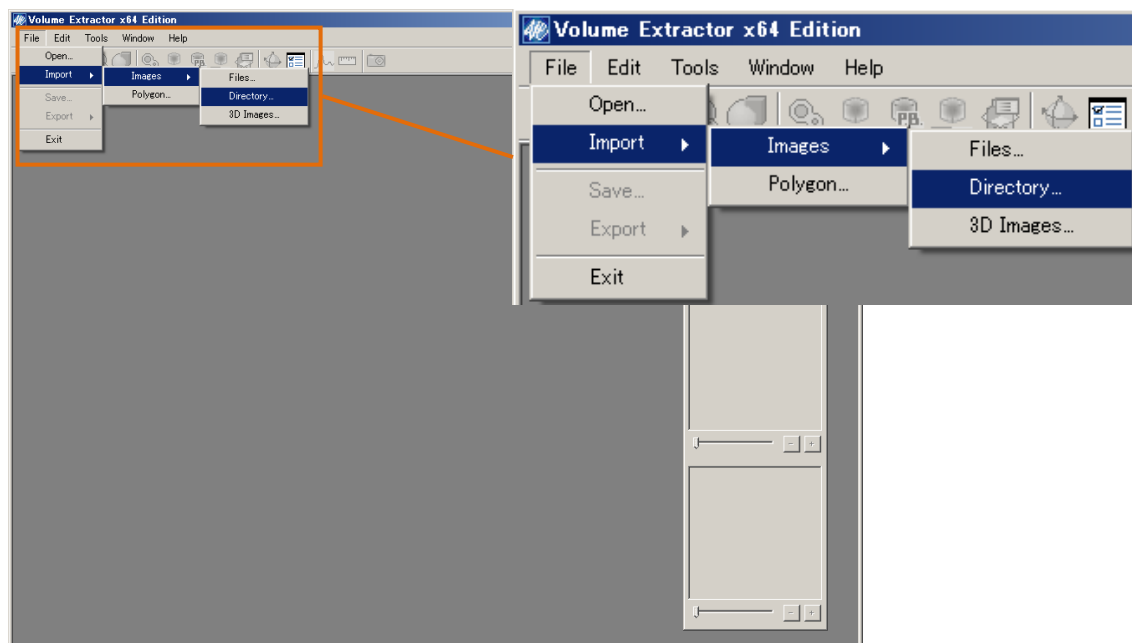


図9-A インポート作業（ファイルまたはディレクトリの指定）

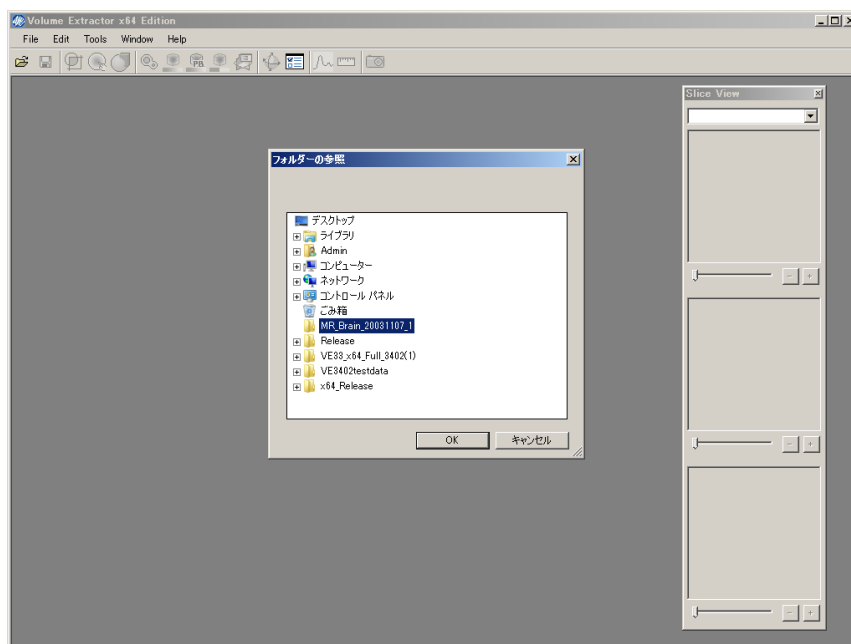


図 9-B インポート機能（DICOM 画像のディレクトリ指定）

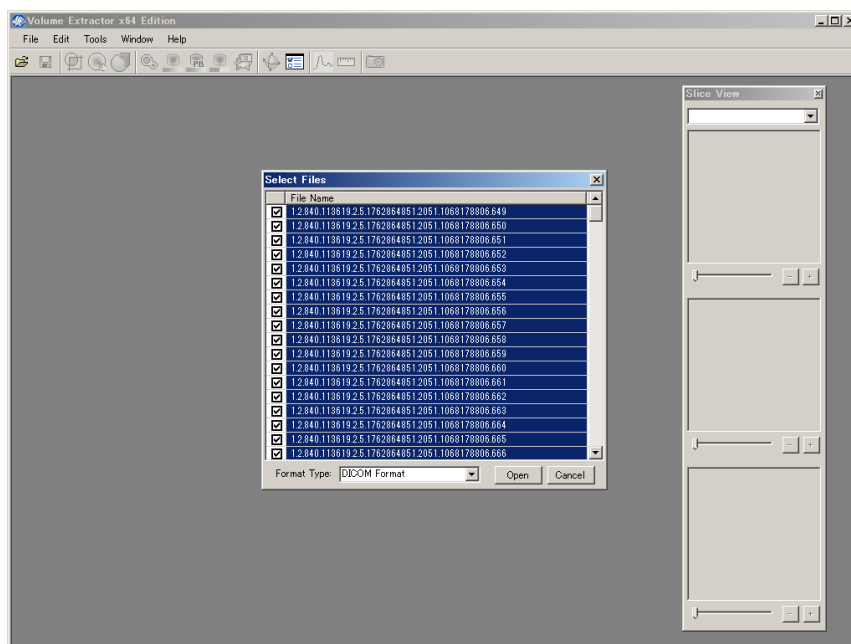


図 9-C インポート機能（DICOM 画像の読み込み）

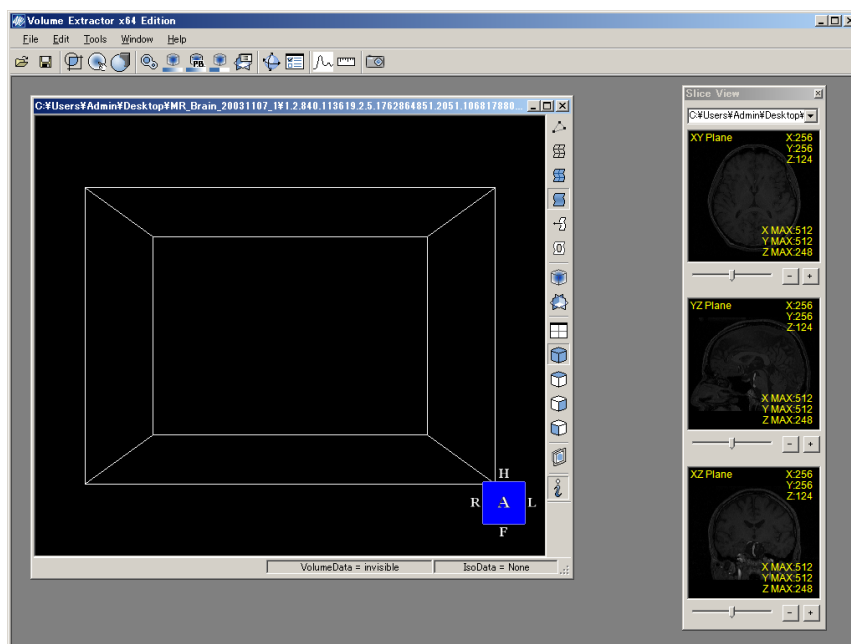


図 9-D インポート機能（3 次元画像の作成）

3.2 前処理

一般に 3 次元画像（ボリュームデータ）には、ノイズや不必要な領域などが含まれています。そのため、これらの領域は、形状データに変換する前に、3 次元画像の段階で取り除いておくことが重要です。また、3D プリンタや光造形装置を用いる際に閉じた表面を作成しておく、その後の処理が容易になります。そのため、VE では、ノイズ除去機能、不必要な領域のクリッピング機能、指定された範囲の輝度値を同一の輝度値に変換するなどの機能（インデックスマップ機能）が備わっています。

図 10 では、必要な部分を確認するために、最初にボリュームレンダリングを行っています。必要な画像のみをクリッピング（切り出し）するためには、ボリュームレンダリングで表示しておく、クリッピングする際にその大きさを決定するのに便利です。クリッピング機能は、メインフレーム上段の Edit メニューの下にあります（図 11-A）。

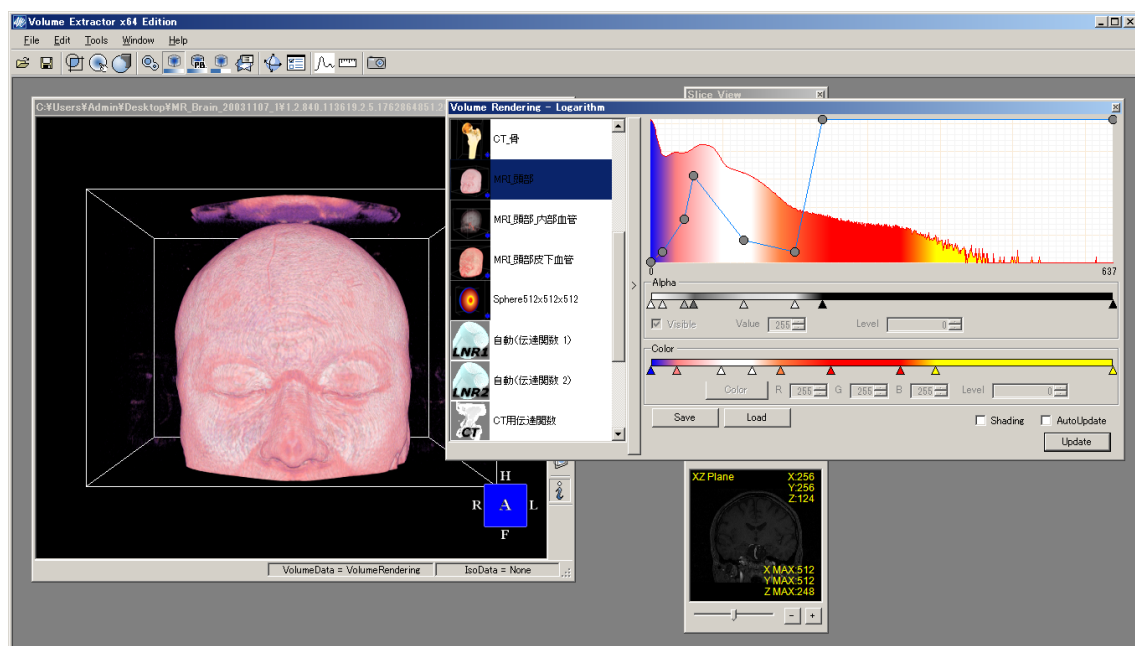


図 10 クリッピング機能のためのボリュームレンダリング

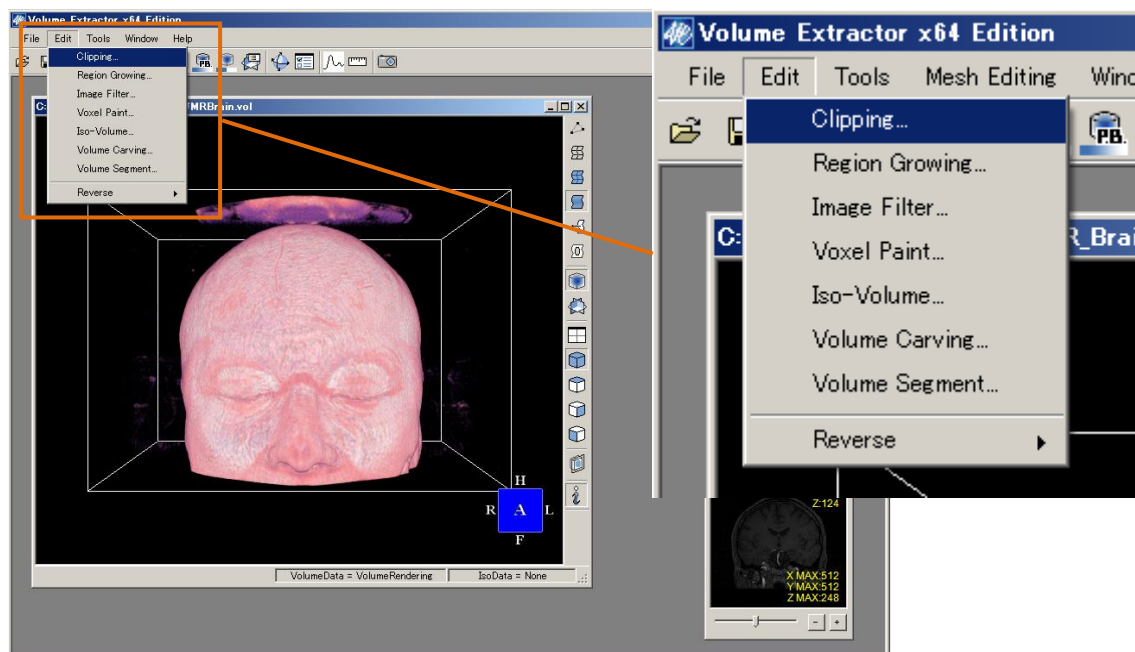


図 11 - A クリッピング機能の選択

クリッピング機能が選択されると、図 11-B のようにクリッピングダイアログとクリッピングされる領域を示す赤枠が表示されます。赤枠の大きさは、スライドバーを修正することで、変更可能です。(図 11-C) クリッピングダイアログの”Execute”ボタンを押すと、赤枠の内部がクリッピングされます。

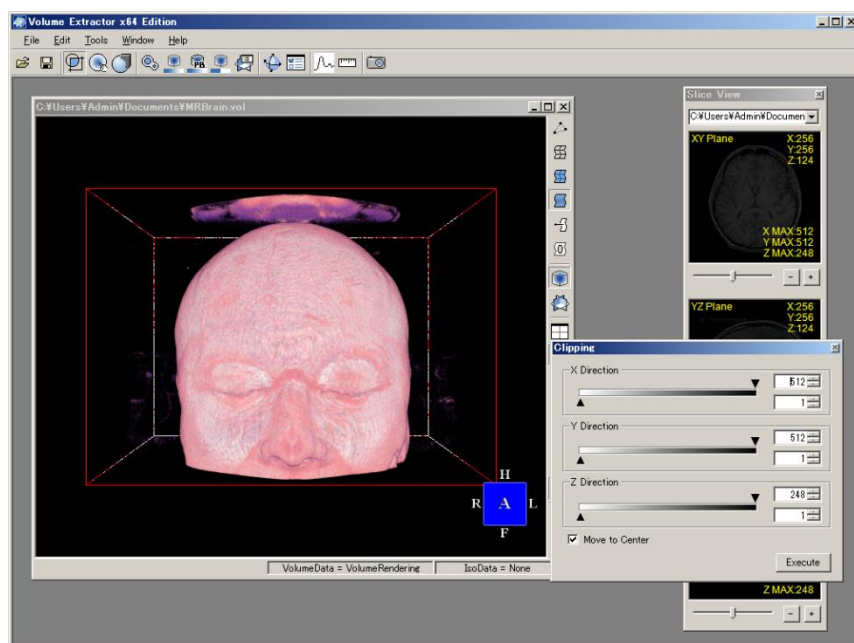


図 11 - B クリッピング機能のダイアログ

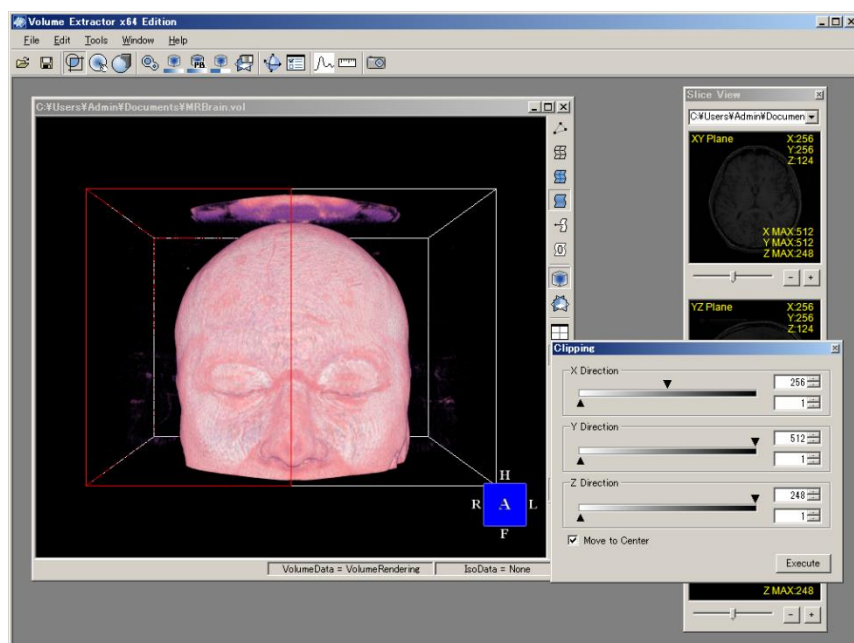


図 11 - C クリッピング領域（赤枠の部分）の指定

図 11-D は、クリッピングの最終確認です。クリッピングを行うと、その領域のみの 3 次元画像データになります (図 11-E)。クリッピングされた領域は、新しい 3 次元画像データとして、[File]->[Save] で保存して下さい (図 11-F)

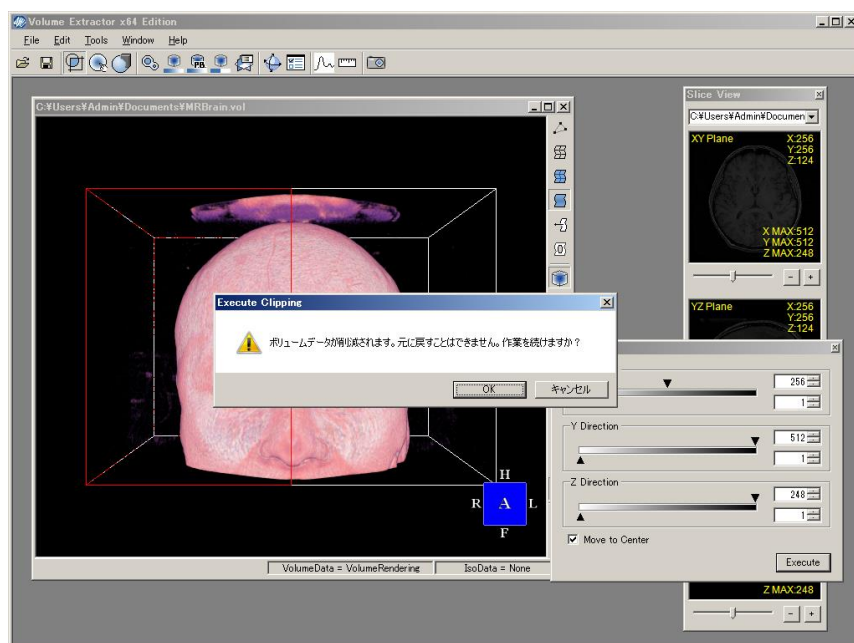


図 11 - D クリッピングの実行および確認

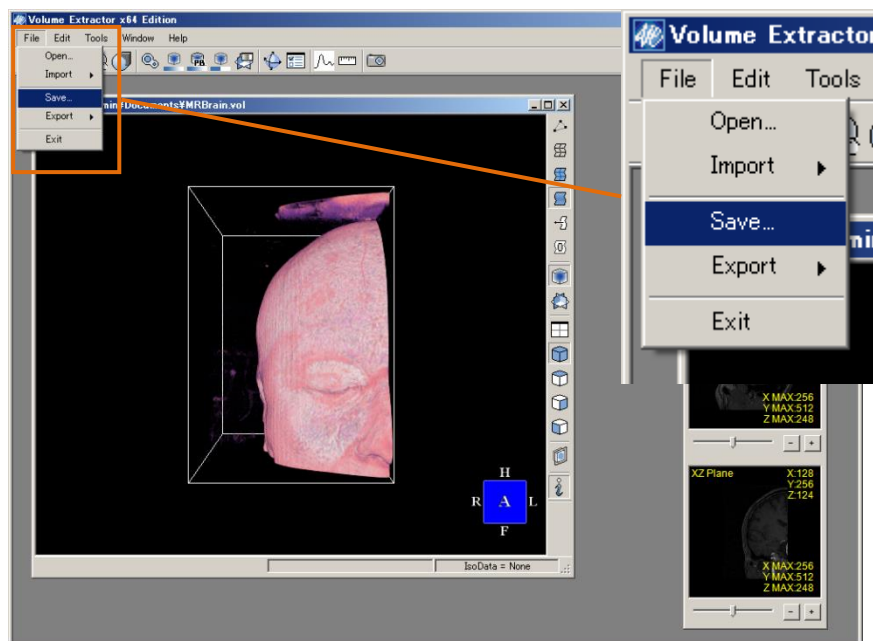


図 11 - E 3 次元画像の保存機能の選択

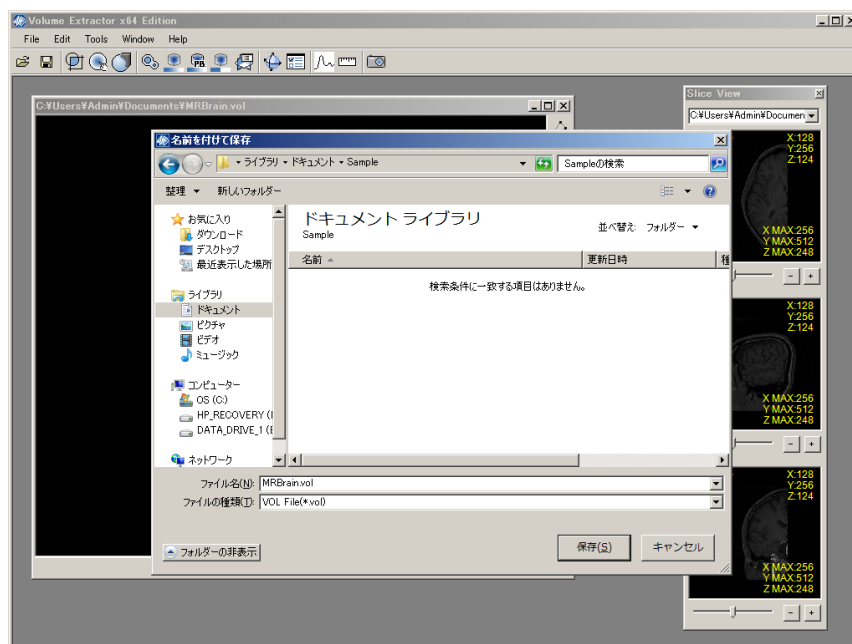


図 11 - F クリッピングされた 3 次元画像の保存

図 12 - A～図 12 - F では、インデックスマップ機能を用いて、骨抽出に必要な領域を削除しています。ここでは、対象としない領域として、CT 値のデータ全体の最小値から 184 までの値を持つボクセル値をゼロにしています（図 12 - D, 12 - E）。

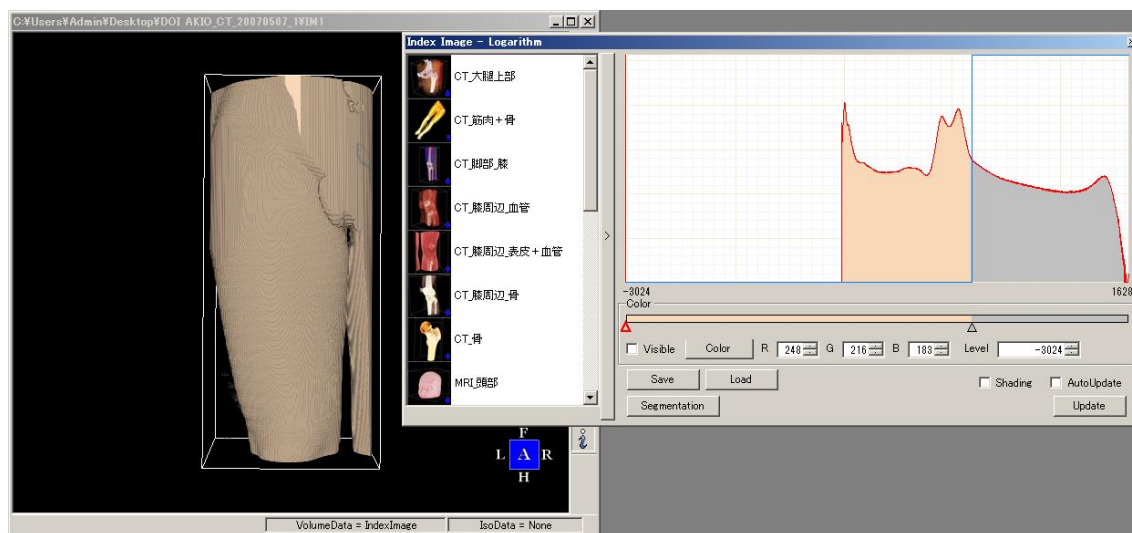


図 12 - A インデックスマップ機能（修正前）

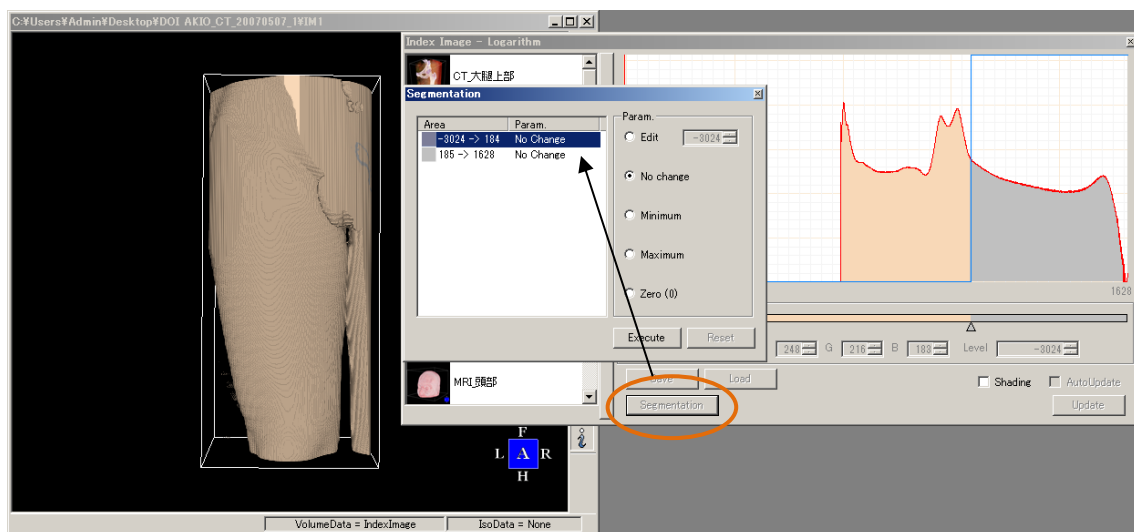


図 12 - B インデックスマップ機能 (Segmentation 機能を実行)

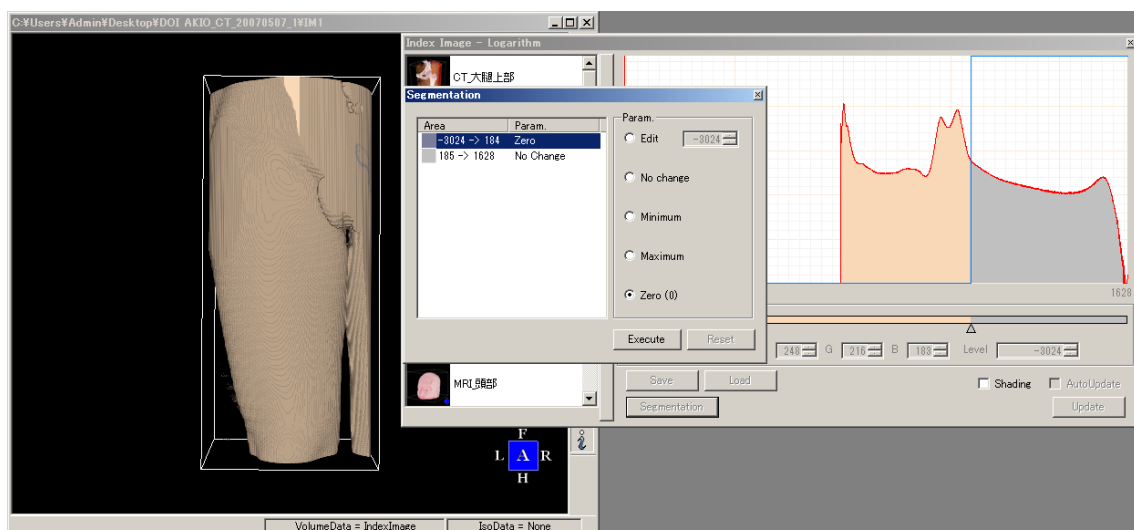


図 12 - C インデックスマップ機能 (最小値から 184 までにゼロを代入)

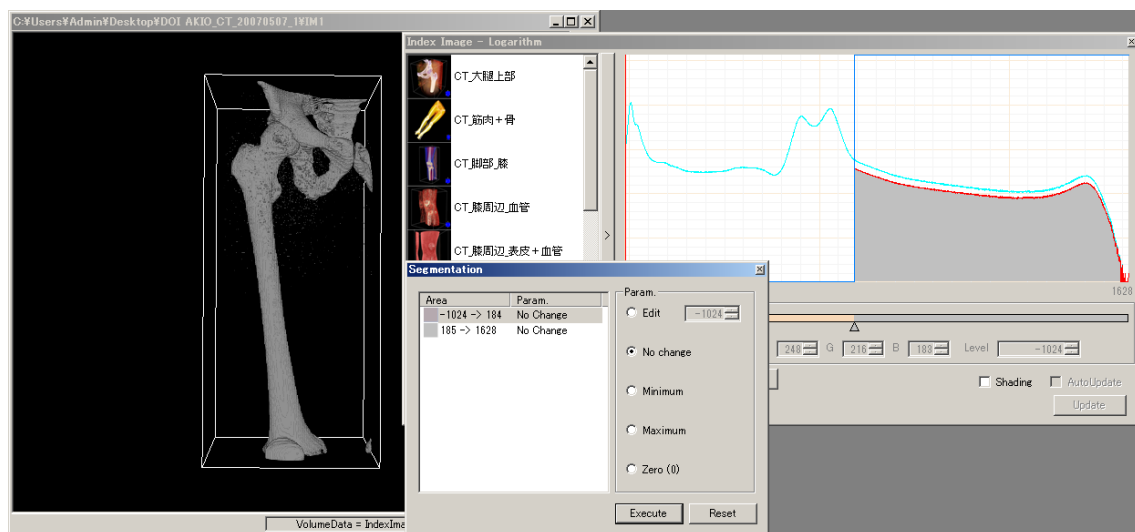


図 12 - D インデックスマップ機能（ヒストグラムの違いを表示）

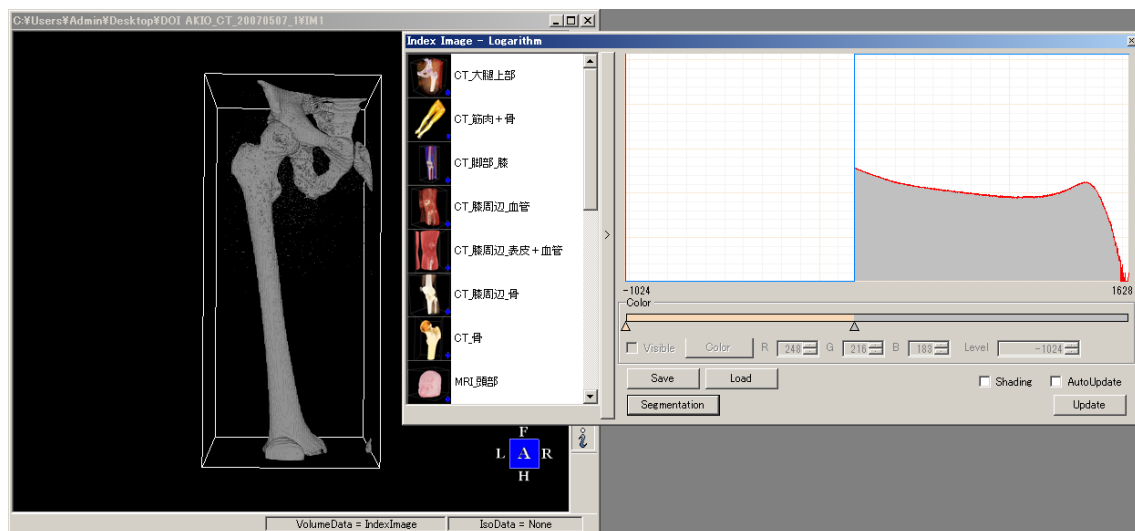


図 12 - E インデックスマップ機能（Segmentation 機能のダイアログを閉じる）

3.3 ペイント機能による不要領域の除去

図 13-A に示すようなノイズが生じている場合があります。このようなノイズを、ペイント機能（VoxelPaint 機能）を用いて、直接、除去することが可能です。VoxelPaint 画面をダブルクリックするとペイント機能の画面が表示されます（図 13-B）。3 次元の長方形で領域を指定して塗りつぶすことで、不要な領域を除去することが可能です（図 13-C）。

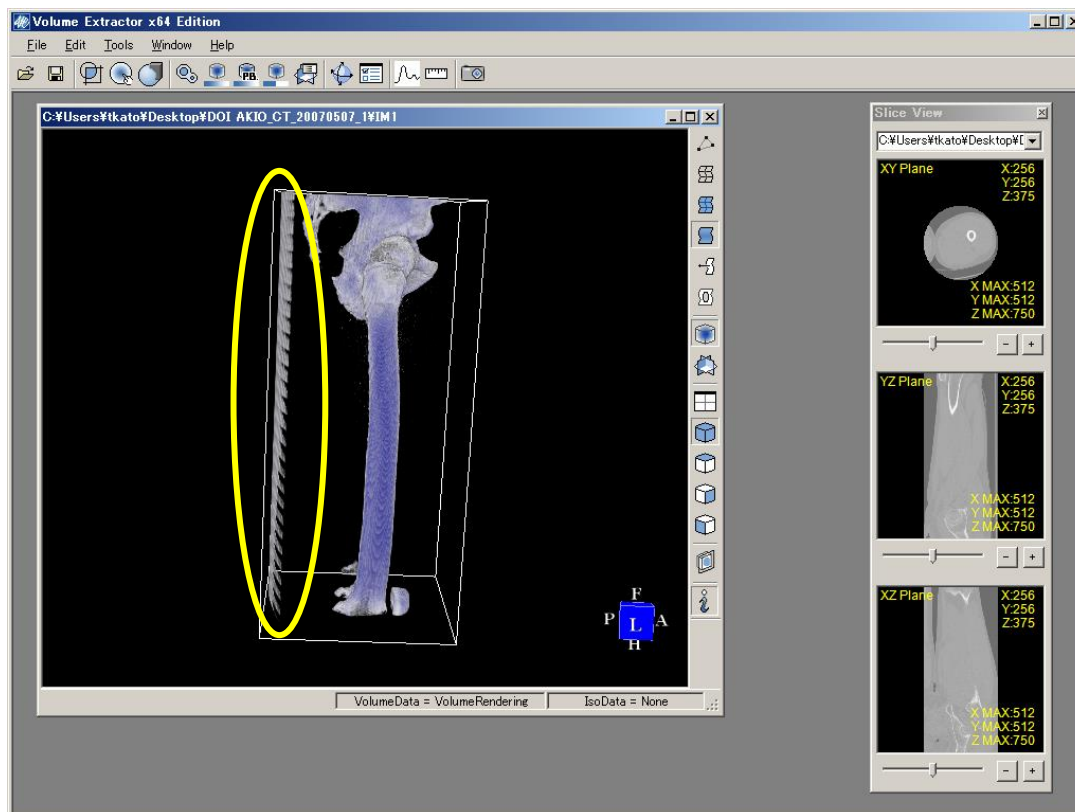


図 13 - A アーチファクト表示

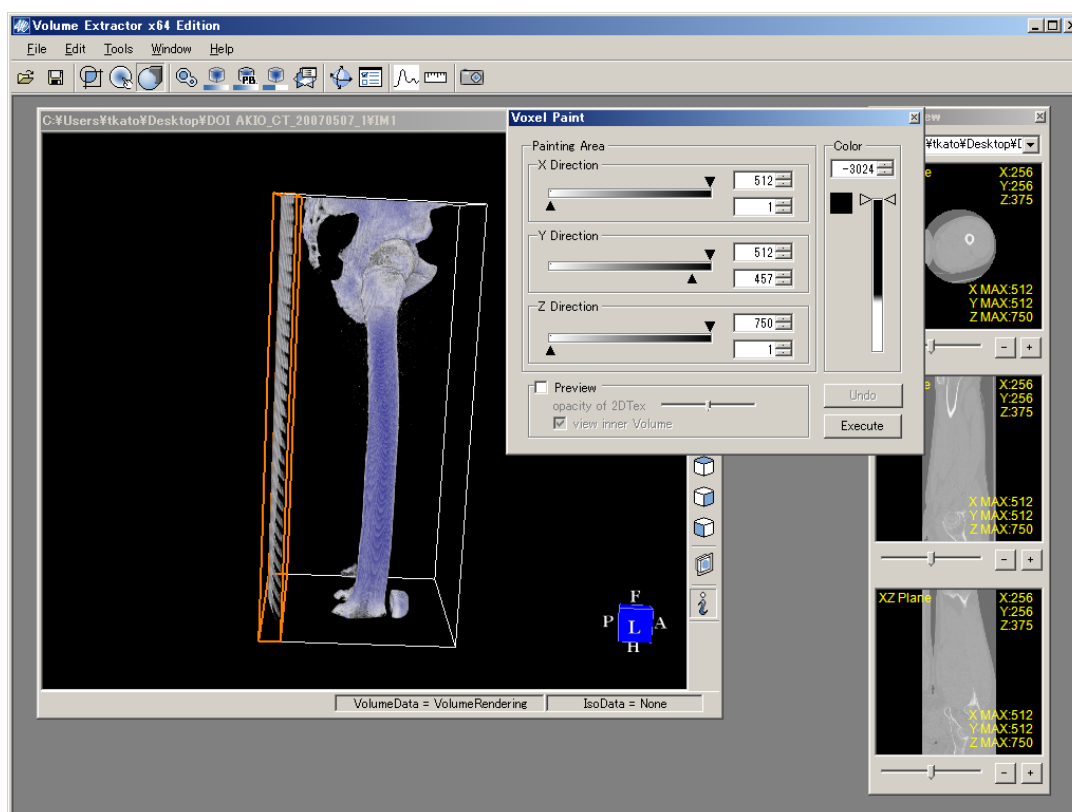


図 13 - B ペイント機能による表示（修正前）

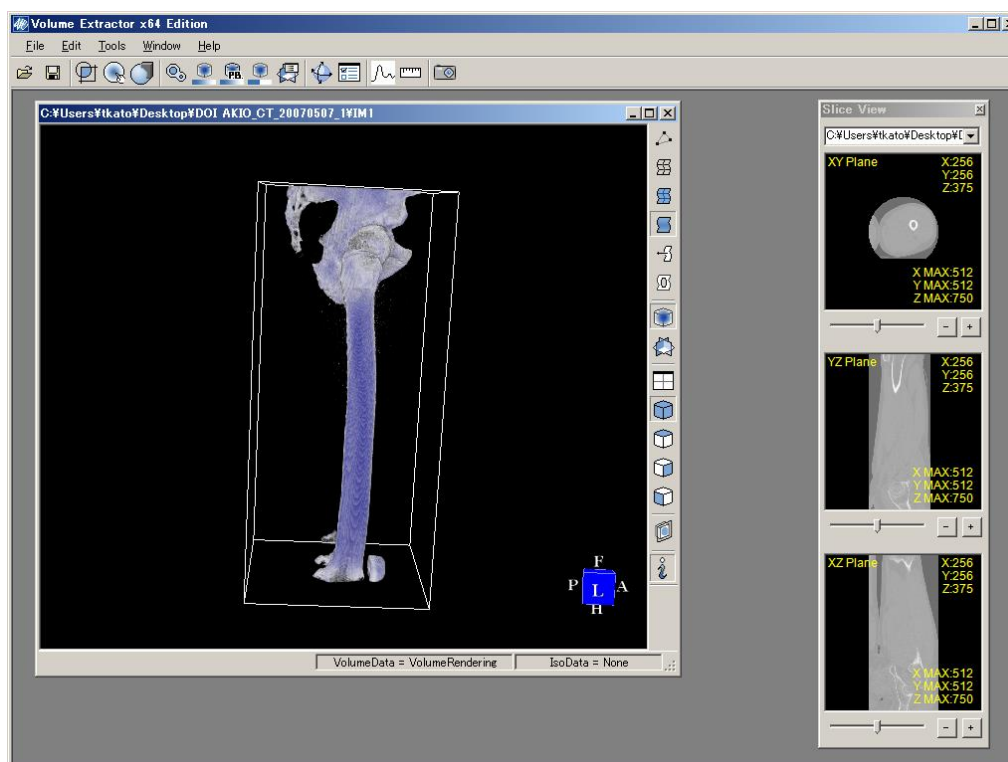


図 13 - C ペイント機能による表示（修正後）

3.4 等値面生成

ボリュームデータより指定した輝度と等値の要素を抽出し、その要素と隣接する要素をつなぐ三角形の面を生成します（図 14 - A）。作成した面はポリゴンデータとなるため、以後メッシュ編集機能による編集や、外部ファイルに出力して他のアプリケーションで使用可能です。等値面生成ダイアログでは、定数 C とデータ削減率を指定して、実行します（図 14 - B）。

データ削減率は、読み込まれた 3 次元画像をそのまま使用する場合、1.0 となります。3 次元画像の解像度が大きい場合、大量の等値面が生成され、生成時間もかかりますので、最初は小さな値（初期値は 0.4）で行って下さい。

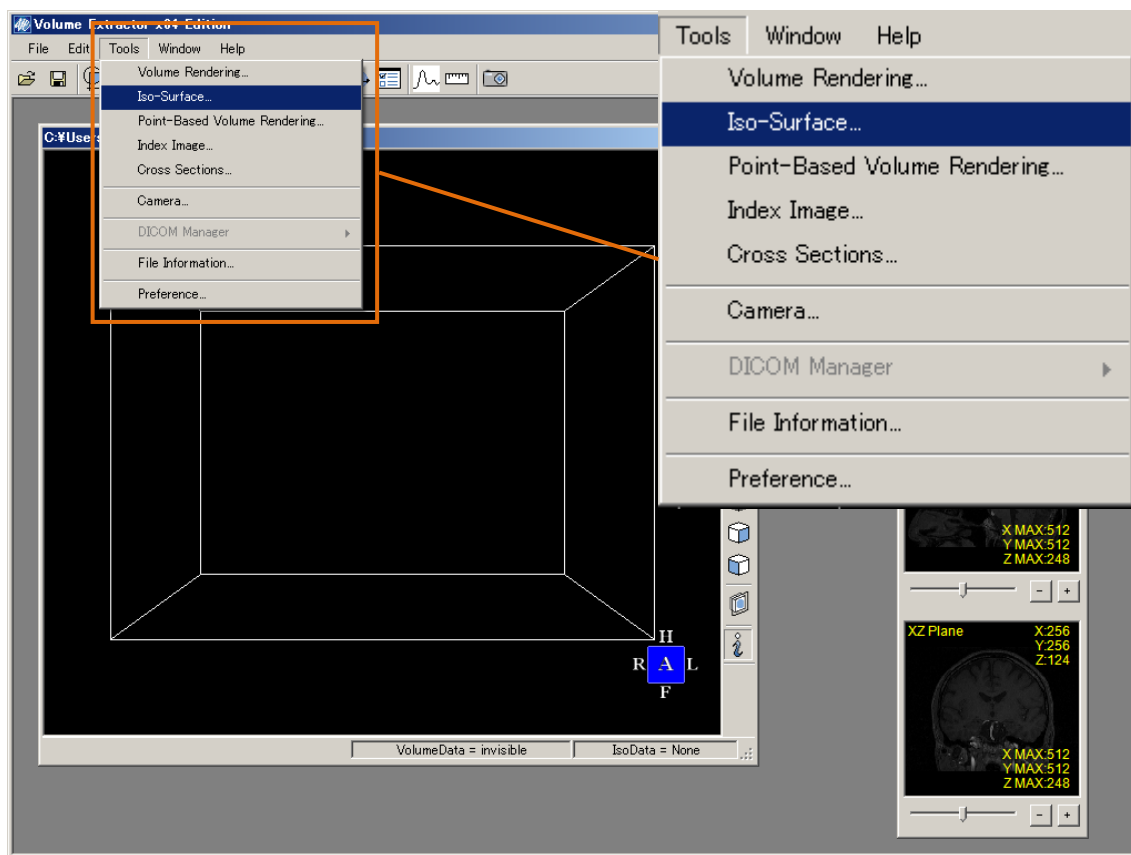


図 14 - A 等値面生成機能

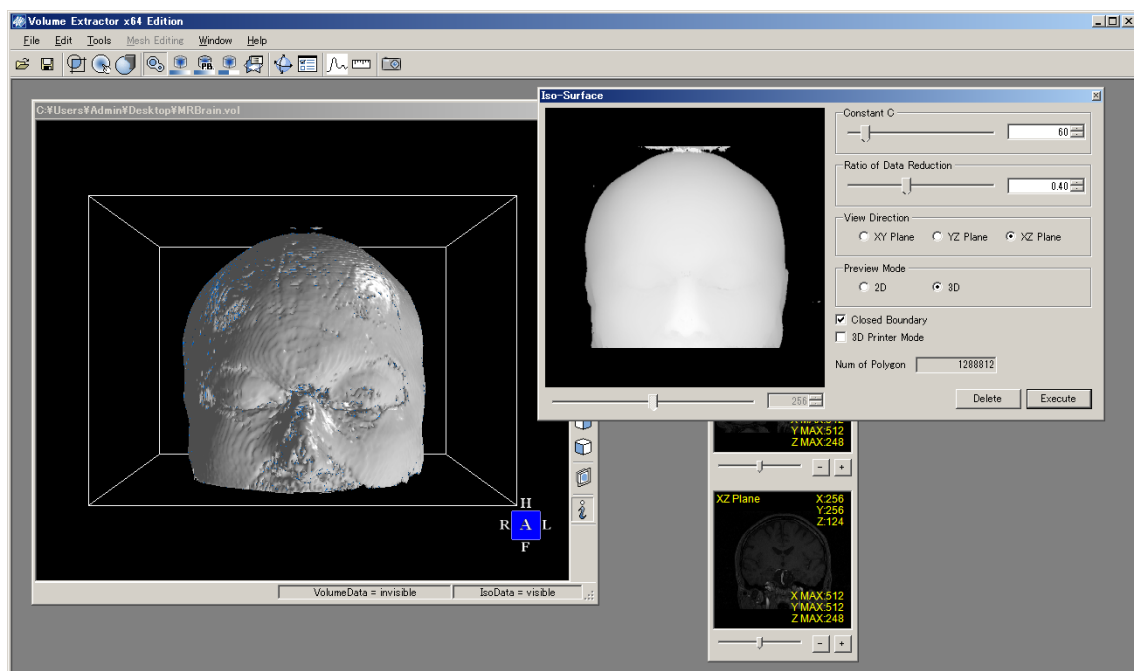


図 14 - B 等値面生成機能（定数 C およびデータ削減率の指定）

3.5 Closed Boudary 機能による境界面の面貼り

等値面生成を行うと、境界面に隙間が出来る場合があります（図 14-C）．これは、画像が端で途切れている場合に起こります．図 14-C では、裏側の面（青い面）が表示されています．この時、Closed Boundary のチェックを ON にした状態で等値面生成を行うと、自動で一番外側のスライス画像の数値を最小値に塗りつぶし、閉じた面を作成できます．

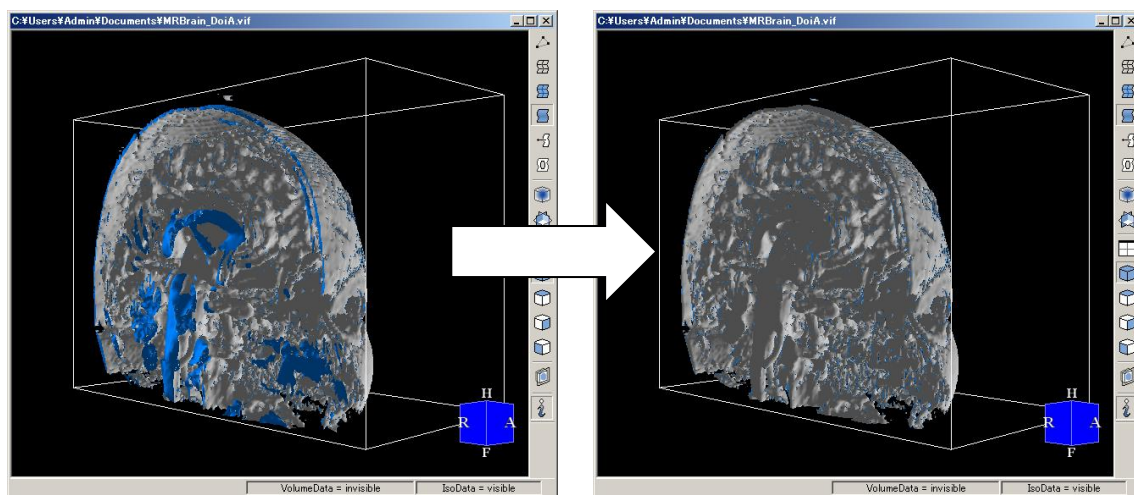


図 14 - C “Closed Boundary” OFF/ON での境界面の変化

3.6 ポリゴン編集機能^{注 d)}

等値面生成ダイアログのデータ削減率は、元の 3 次元画像の縮小度に影響します。例えば 0.4 を指定すると、3 次元画像の解像度を 0.4 倍に縮小した状態から等値面生成を行います。これにより、等値面生成にかかる時間を大幅に削減できます。また、生成したポリゴンデータは、ポリゴン編集機能で特長のある形状を出来るだけ保持しながら削減が行えます。本削減アルゴリズムでは、削減しても特徴が失われないポリゴンから順に削除するため、モデルの特徴を維持しながら、データ削減が可能です。

さらに VE には、自動ポリゴン編集機能があります。光造形装置や 3D プリンタ装置用の STL ファイルを作成する場合は、自動ポリゴン編集を行って下さい。自動ポリゴン編集を行うには、メニューから "Mesh Editing"->"Auto-Modification"を選択します。(図 15-A) Auto-Modification では、自動穴埋め、自動反転、自動削除の処理を順に行います。自動削除では、ポリゴンのグループが表示されます。(図 15-B)

この時、[Threshold of Polygon]のバーを右へスライドするか、適当な数値を入力すると、数値以下のグループがすべて選択されます。(図 15-C)

グループが選択された状態で[Execute]ボタンを押下すると、選択したグループをすべて削除します。これにより、造形に不要なデータ・ノイズを除去することができます。(図 15-D)

また、一部の 3 次元プリンタは、造形データと水平面との交差線毎にプリントし、積層する仕組みになっています。そのため、再構成された形状と水平面が交差する線分は、閉じていること（水平面と交差した線分は、連続で矛盾がないこと）が必要です。光造形装置や 3D プリンタでポリゴン形状にエラーが生じる場合、“Propriety Check”で形状をチェックして下さい。エラーが改善される場合があります。

注 d) Volume Extractor Ver.3.0 Light

Volume Extractor Ver.3.0 Light には、ポリゴン編集機能が装備されていません。本機能は、上位パッケージの Volume Extractor Ver.3.0、または Full-Trial 版(ポリゴン編集体験版)で使用可能です。本機能は、光造形装置や 3D プリンタで造形可能なポリゴン形状ファイルを作成する際に威力を発揮します。

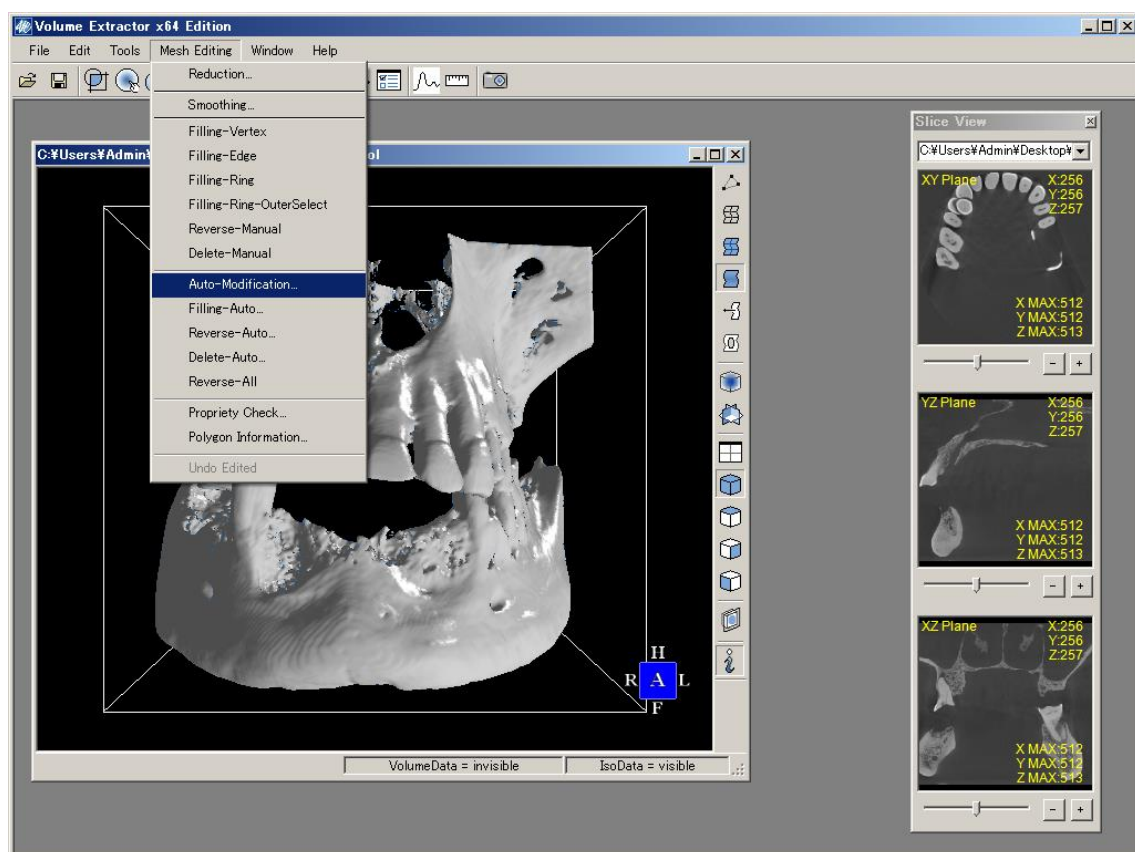


図 15 - A データ編集（自動ポリゴン編集機能）

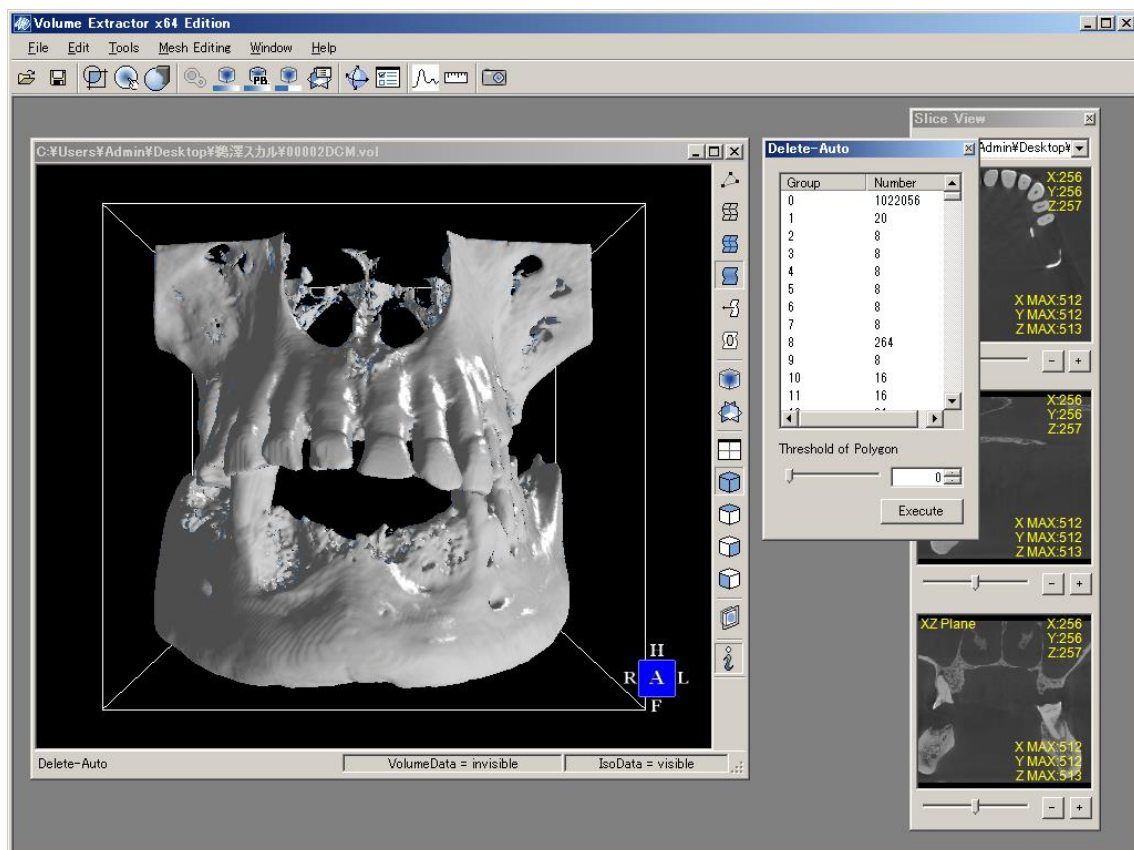


図 15 - B データ編集（ポリゴングループの表示）

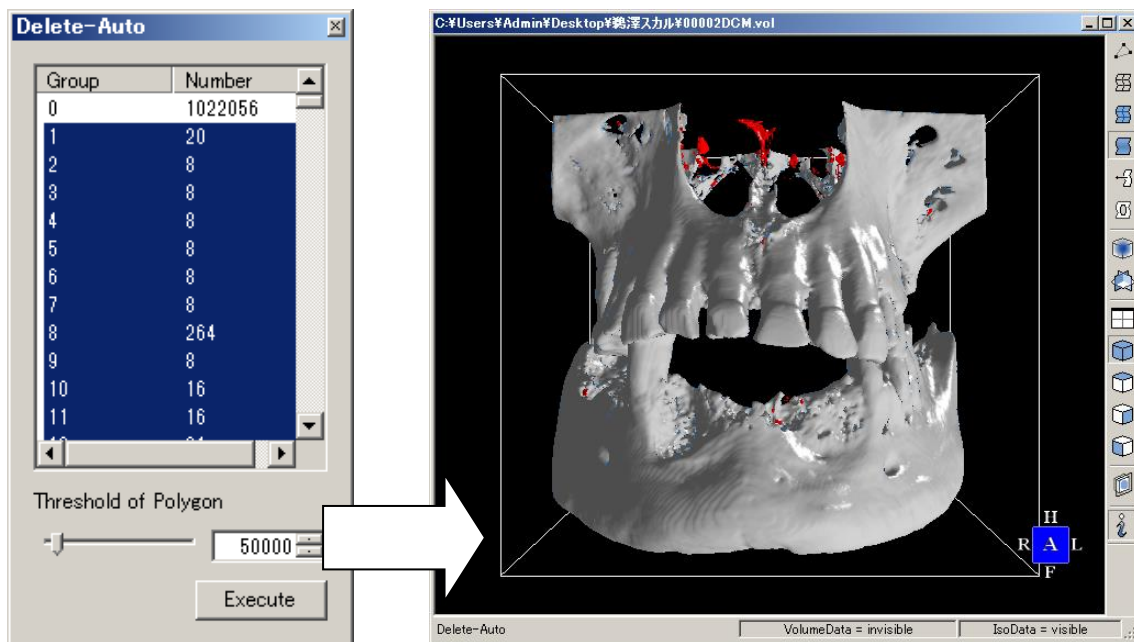


図 15 - C データ編集（削除するグループの選択）

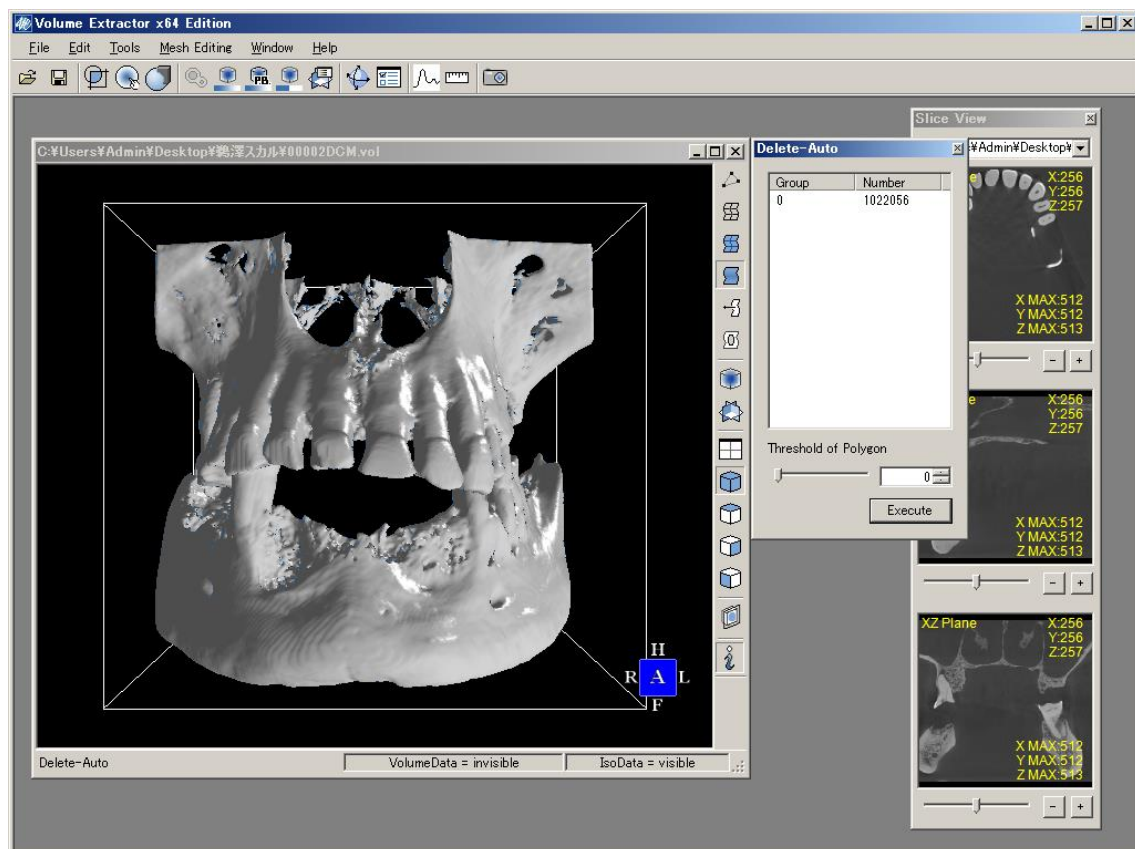


図 15 - D データ編集 (完成したポリゴン)

3.6.1 自動穴埋め

モデルデータ上の穴を自動で検出し、3 角形を追加して、穴埋めを行います。最初に隣接する 3 角形を保持しない 3 角形の辺の頂点（ここでは、基準頂点と呼ぶ）から、探索を開始して、基準頂点まで辺を探索して穴を検出します。

3.6.2 自動反転

自動反転モードは、隣接するポリゴンの表裏が揃うように自動で反転を行います。表裏判定には、隣接するポリゴンを調べて、最も多い法線の向きを採用しています。

3.6.3 自動削除

モデルデータを、ポリゴンの塊ごとに自動でグループ分けし、グループ単位で削除を行います。具体的には、シーン内の 3 角形をグループ化し、リスト形式で表示します。削除するグループの選択方法は、以下の 2 方式を用いることが可能です。

ケース 1) 3 角形数が一定数以下のグループを選択することができます。3 角形数の閾値スライダーで閾値を設定後、対象となるグループが自動選択されます。

ケース 2) 3 角形グループリスト上でマウスクリックすることにより、個別に選択状態を切り替えることができます。選択されている 3 角形群は、メインビュー上にて、強調表示されます。

自動削除は、以下の手順で行う事を推奨しています。

- 1) 閾値 100 などの低い値を直接入力し、必要な箇所が強調表示されない（選択されない）ことを確認する
- 2) 閾値を決定したら、Execute ボタンを押下する
- 3) 残ったグループのうち、不要なグループのみをリスト上からマウス左クリックで選択し、再度 Execute ボタンを押す（不要なグループがまだ多い場合は、より高い閾値で 1 ～ 2 の手順を繰り返す）

これにより、必要なデータのみを抽出することが可能です。

4. 画像の抽出手順

取り出す部位やモダリティ（CT 画像、MR 画像、OCT、超音波、SPECT、など）によって大きく異なりますが、本稿では、VE3 を用いた画像の抽出手順を述べます。

1) 必要部分の切り出しと編集

CT 装置や MRI 装置から取得した 3 次元画像から、抽出する部位を含む 3 次元画像のみを切り出します（クリッピング）。すべての DICOM 画像を読み込んだまま、セグメンテーションを行うと時間がかかる場合があります。

一度、クリッピング機能で必要な領域を切り取り、その 3 次元画像をハードディスクに VE の 3 次元画像フォーマット（VDF、VOL フォーマット）で保存して下さい。このクリップされたデータファイルを使用することで、セグメンテーションの速度が向上します。

切り出された 3 次元画像から、不必要な領域やアーチファクトが生じている領域は、任意形状切り抜き（Volume Segment）、スライス編集（SliceEdit）、ボクセルペイント（VoxelPaint）などの画像編集機能で削除可能です。SliceEdit ダイアログは、画像を読み込む際に表示される X-Y、Y-Z、Z-X 断面表示のダイアログで、表示された画像をクリックすると、その断面の拡大表示が表れ、スライス単位で、画像の対話編集機能（ペイント、矩形塗りつぶし、画素値のチェックなど）が使えます。

ボクセルペイント機能は、3 次元の長方形領域で任意の色に塗りつぶしが可能です。

2) セグメンテーション

ヒストグラムによる分類セグメンテーション機能で、抽出したい部位の輝度値の範囲以外をすべて特定の値（例えば、0）にまとめます（抽出したい部位の輝度値のみ残す）。例えば、骨の場合、内部情報が欠落する場合があります。そのケースでは、領域拡張法を用いて、骨の外側部分に適用します。この場合、骨領域の外側に複数のシード点（領域拡張の開始点）を配置して、グローバル・ローカルパラメータ（領域拡張度を調整するパラメータ）を調整しながら、骨領域の外側を分離します。あるいは、骨領域を示す輝度値の部分にシード点を置き、パラメータを調整しながら、連続した骨領域のみを抽出します。

3) 画像フィルタリング、2 値化

VE の画像フィルタには、ノイズ除去機能やスムージング機能があります。一般に画像に小さなゴミが含まれている場合は、ノイズ除去を数回行うと効果的です。スムージング機能は、対話編集機能（SliceEdit）を利用した後に使用することで、対象とする部位の表面を滑らかにします。2 値化機能は、最終的に取り出したい部位とそれ以外に分ける際に用います。

4) 対話編集機能 (SliceEdit、VoxelPaint) を用いた穴埋め

切り出した面を広範囲に閉じる必要がある場合、その切断面を対話編集機能で、抽出したい部位の輝度値と同じ輝度値で塗りつぶします。その後処理 5 の等値面生成を行えば、その切断面は対象とする部位の表面と判断され、閉じた形状が生成されます。

5) 等値面生成

部位の境界を示す輝度値を等値面として、3次元形状を再構成します。等値面のデータ量が多過ぎる場合、3次元画像データを縮小して、等値面を生成するか、生成された等値面（ポリゴンデータ）を削減します。3次元画像データを縮小した処理は高速ですが、表面形状がボケます。そのため、3次元画像データは縮小せず、生成された等値面データをデータ削減処理アルゴリズムで削減した方が、より精度の高い形状を生成できます。

図 16 は、領域拡張法により、骨領域とそれ以外に分けた 3 次元画像で、等値面生成した例です。この時、Closed Boundary のチェックを ON にしておくと、境界面を閉じたポリゴンが作成できるため、3D プリンタや光造形装置での出力に適しています。

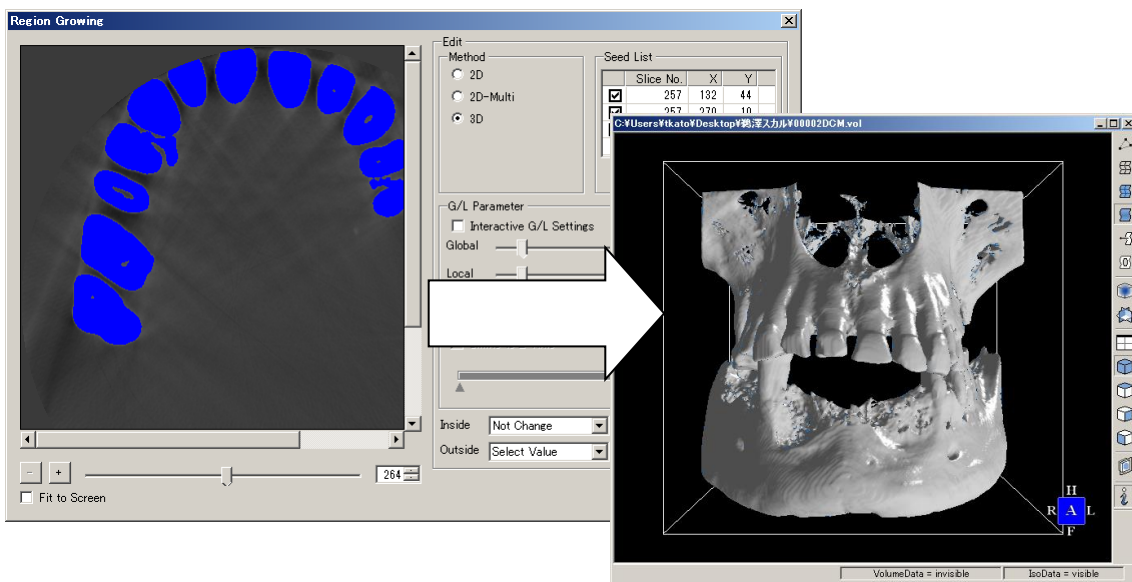


図 16 領域拡張法からの抽出と等値面生成

6) 3 角形ポリゴン形状の整形

メッシュ編集機能の自動削除機能、自動反転機能、自動グループ分け機能を使用して、生成した等値面の微小な形状を整形します。人体の CT 画像や MR 画像の場合、等値面処理により、微小な穴やノイズによる穴が生じます。そのため、隣接する辺情報を調べて、面積の小さい穴を自動的に穴埋めする必要があります。また、次に隣接する面の法線情報を利用して、面の向きに矛盾がある場合は、自動反転を行います（反転している面の修正）。最後に、全体の等値面データを空間的にグループ分けし、造形する対象のグループから空間的に乖離している小グループ群は、自動的に削除します。

5. おわりに

本マニュアルでは、VE の機能の概要を述べ、特に形状再構成機能について、具体例を挙げながら、その概念や操作方法を説明しました。VE では、3 次元画像からセグメンテーションした任意領域（内臓、骨、血管など）を 3 角形ポリゴンデータに変換・編集し、3D プリンタや光造形装置による実体モデルを作成できます。また、VE により作成された 3 次元形状モデルは、医療や工業分野に関するいろいろな場面で活用できます。例えば、内臓・骨・血管などを含んだ形状モデルは、術前計画支援、手術シミュレーション、医療教育、患者のインフォームドコンセント、VR（Virtual Reality）^{注 e)}などで利用できます。

今後の開発項目としては、ユーザインターフェースの改善、形状データへの色情報の付加機能、内臓・骨格・血管などを組み合わせた実体モデル作成機能、再構成された形状の 4 面体および 6 面体メッシュ分割機能、高解像度な画像に対する高速処理などが挙げられます。本ソフトウェアの試行版（Volume Extractor Ver.3.0 Light または Full-Trial の 64 ビット版^{注 f)}）は、株式会社 i-Plants Systems のホームページ^[8]より、ダウンロード可能です。

注 e) VR (Virtual Reality)

VR は、バーチャルリアリティ (Virtual Reality) の頭文字で、人工現実感や仮想現実感などと約されます。一般にコンピュータなどによって、仮想世界（サイバースペース）を作り出す技術や体系を表し、コンピュータグラフィックス、ネットワーク、音声、触覚などの技術が関係しています。

注 f) Windows 64 ビット版

Windows OS (主に 7, 8) には、64 ビット版と 32 ビット版が利用可能です。最近の Windows OS では 64 ビット版が主流となっており、4GB より大きなメモリが使用可能です。また、32 ビット版と比べてデータ処理能力が増大し、パフォーマンスが向上します。

Volume Extractor の歴史 :

Volume Extractor (VE) は、岩手県立大学で研究・開発されている実用的な 3 次元画像処理ソフトウェアです。VE は、1998 年頃より開発が開始され、現在は Ver. 3.0 が利用可能です。VE Ver. 1.0, VE Ver. 2.0 までは、3 次元画像処理や可視化に特化していました^[1]。2005 年、同大学に 3 次元プリンタが導入され、実物モデル構築 (Rapid Prototyping : RP) のため、医用画像から生成された等値面の形状データ (例えば、骨、内臓、筋肉など) を編集するソフトウェア SMESH Ver.1.0 が開発されました^[2]。

一般に医用画像から生成された等値面データには、不必要な形状やノイズなどによるデータの不完全性 (微小な穴や面の反転など) を含んでおり、3D プリンタや光造形装置で出力するためには、この不完全性を除去することが必要です。SMESH Ver.1.0 の主な機能は、3 次元画像から生成した等値面データを読み込み、形状編集 (穴埋め、面の向き修正、ゴミの除去など)、3D プリンタや光造形装置用の STL ファイル作成であり、本ソフトウェアを用いて、実際に多くの実物モデルが作成されました。

VE Ver. 2.0 と SMESH Ver. 1.0 は、別々のソフトウェアであったため、データの受け渡しや形状編集の点で、いくつかの改良すべき点がありました。例えば、医用画像のような 3 次元画像の場合、多くのノイズ (雑音) やアーチファクトと呼ばれる不自然な画素値が含まれています。また、セグメンテーション結果と再構成される形状ファイルには、大きな関連があるため、形状編集する前に取り除けるノイズや不必要な領域は、3 次元画像処理の段階で取り除いていた方が、効率的です。

これらの問題を解決するために、VE Ver. 3.0 では、SMESH Ver. 1.0 の機能を包含し、同時に VE Ver. 2.0 の機能に加えて、多くの新しい 3 次元画像処理機能 (例えば、3 次元計測、マルチボリューム表示機能、ヒストグラムベースのセグメンテーション機能など) が追加されました。そのため、VE Ver. 3.0 を用いると、3 次元画像からセグメンテーションした任意領域 (3 次元画像) を 3 角形ポリゴンデータに変換・編集し、3D プリンタや光造形装置による実体モデルの作成をサポートしています。

参考文献

- [1] 土井章男, “3次元医療画像処理を中心としたソフトウェア技術の研究開発”, インテリジェントコスモス学術振興財団, Vol. 9, pp. 9-12, ANNAL 2005, (2005)
- [2] 土井章男, 女鹿幸夫, ” フェイス削減・穴埋め・反転ツール「SMESH」”, 画像ラボ 2006年12月号, pp.42-47, 日本工業出版, (2006)
- [3] 丸 紅 情 報 シ ス テ ム , “ Dimension 3D プ リ ン タ ” , <http://www.marubeni-sys.com/de/dimension/>, (2008)
- [4] 土井章男, 第253回塑性加工シンポジウム用テキスト” 医療用画像処理技術と医工連携について”, 日本塑性加工学会第253回塑性加工シンポジウム, 日本塑性加工学会, (2007)
- [5] 土井章男, 松井佳一, 山佐史人, 伊藤史人, 鈴木聡史, “Volume Extractor Ver. 3.0 操作マニュアル,” <http://www.i-plants.jp/hp>”, (2008)
- [6] 土井 章男, 鈴木 聡史, 山佐 史人, 松井 佳一 , 伊藤 史人, 女鹿 幸夫, 伊藤 忍, “Volume Extractor Ver.3.0 -3次元画像処理と形状再構成-”, 画像電子学会, 第239回研究会, 2008
- [7] 土井章男, 鈴木聡史, 山佐史人, 松井佳一, 伊藤史人, 女鹿幸夫, 伊藤忍, “形状編集機能を包含した3次元画像処理システム: Volume Extractor Ver. 3.0”, 画像ラボ 2009年1月号, 2009.
- [8] 株式会社 i-Plants Systems, ” VE Ver. 3.0”, <http://www.i-plants.co.jp/hp/download>, (2008)

Volume Extractor 3.0 中級編（造形）マニュアル
2017 年 10 月 10 日 Ver3.6.0.3

製作・著作 株式会社 i-Plants Systems
info@i-plants.jp
ve_support@i-plants.jp（VE サポート専用窓口）
019－694－3103（代表）

<http://www.i-plants.jp/hp>