

# CT/MR 対応血管 CPR 自動表示システムの開発

Development of an Automated CPR Display System for CT and MR Images

白旗 崇 Takashi Shirahata

後藤 良洋 Yoshihiro Goto

株式会社日立メディコ 技術研究所

マルチスライスCTの普及やMRIの高機能化に伴い、高空間分解能や高時間分解能な血管画像が得られるようになってきている。それに伴い、血管径や狭窄率などの定量的な評価を行うアプリケーションソフトウェアに対する要求が高まっている。今回われわれは、頭部、腹部、下肢、冠動脈など複数部位の血管について、閾値設定のためのキー入力なしで解析対象とする血管芯線を自動抽出し、血管CPR(Curved Planar Reconstruction)表示するシステムを開発した。CTA(Computed Tomography Angiography)データや、MRA(Magnetic Resonance Angiography)データに適用し、対象とする全血管について自動で良好な血管CPR画像が得られることを確認した。血管芯線を軸としたCPR像の360度回転表示により、偽狭窄の少ない血管描出ができ、狭窄部や動脈瘤の検出や治療計画、治療効果判定に有用であると考ええる。

This paper presents new extraction algorithm of blood vessels and their visualizing algorithm in CTA(Computer Tomography Angiography) and MRA(Magnetic Resonance Angiography). In these days, we have been able to obtain clear images of blood vessels by advanced Multi Slice CT and MRI with higher spatial and temporal resolutions. Accordingly, the application software is demanded for visualizing and analyzing blood vessels quantitatively. We have developed the vascular centerline extraction algorithm in CTA and MRA images. In addition, we have visualized the cross section of blood vessels using CPR(Curved Planar Reconstruction) technique. We have confirmed that the centerline of blood vessels can be extracted automatically and visualized correctly in applying this algorithm to CTA and MRA images. We think that cinematic display of CPR images rotating around the centerline make it possible to detect stenosis and aneurysm and to analyze it quantitatively without false stenosis.

**Key Words:** Curved Planar Reconstruction, CT Angiography, MR Angiography

## 1. はじめに

動脈瘤や狭窄症に関する診断や治療計画、治療後の効果判定や再狭窄に対する経過観察などには、血管径や狭窄率を評価することが必要とされる。近年のマルチスライスCTの普及やMRIの高機能化に伴い、高空間分解能や高時間分解能な血管画像が得られるようになってきており、血管径や狭窄率などの定量的な評価を行うアプリケーションソフトウェアに対する要求が高まっている。CTA画像やMRA画像に各種MIP(Maximum Intensity Projection)法を用いることで、狭窄部位や動脈瘤の描出、精度良い狭窄率の評価が可能となりつつある<sup>1)~3)</sup>。しかし、これらのMIP画像再構成には以下

(a) 再構成画像作成のためのオペレータの作業量が多い。

(b) 投影面に対して複数の血管が重なって描出される領域では、複数の血管が1つの血管であるかのように見えたり、正常血管が狭窄状に描出されたり、あるいは極端に屈曲して描出されたりする場合がある。

これらの問題点を解決するため、本レポートでは以下の2点を実現する血管解析システムを提案する。

- (1) CTA画像やMRA画像から血管芯線を自動抽出する。
- (2) 血管断面のCPR(Curved Planar Reconstruction)像を作成し、血管芯線を軸として360度回転表示する。

第2項で、血管芯線の自動抽出法を示し、CPR像の回転表示について触れる。第3項では本自動抽出法をマルチスライスCT臨床例および、MR例に適用した結果を紹介する。

## 2. 血管CPR自動表示システム

### 2.1 概要

本システムの目的は、オペレータの最小限の作業量で注目する血管断面をCPR表示することにより、診断や治療計画、治療後の効果判定や経過観察に有用な画像を提供することである。画像入力からCPR表示までの主な処理の流れを図1に示す。オペレータの作業は、解析対象とする症例のスライス画像群の選択と、その中で解析対象とする血管(「注目血管」と呼ぶ)の選択のみである(図1に赤枠で示した処理)。閾値設定のためのキー入力などの面倒な処理は必要ない。注目血管の選択は、GUI上に表示された複数のMPR(Multi-Planar Reconstruction)像や3D画像上で、注目血管内を1点マウスクリックすることで行う(図2)。解析対象となる血管が指定されたら、血管芯線自動抽出処理が行われる<sup>4)</sup>。ここで、血

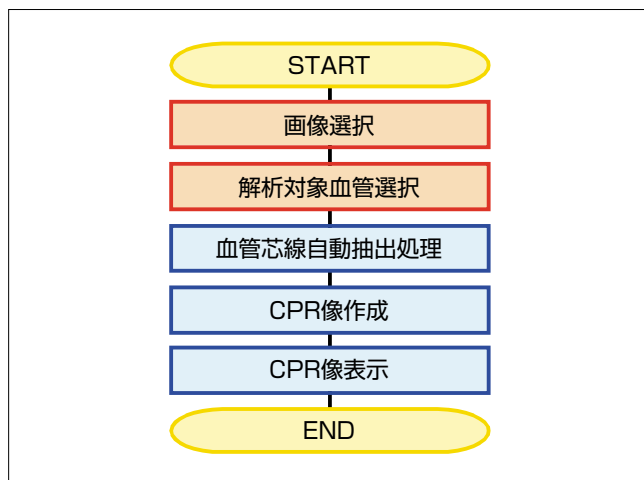


図1：血管CPR作成／表示の処理フロー

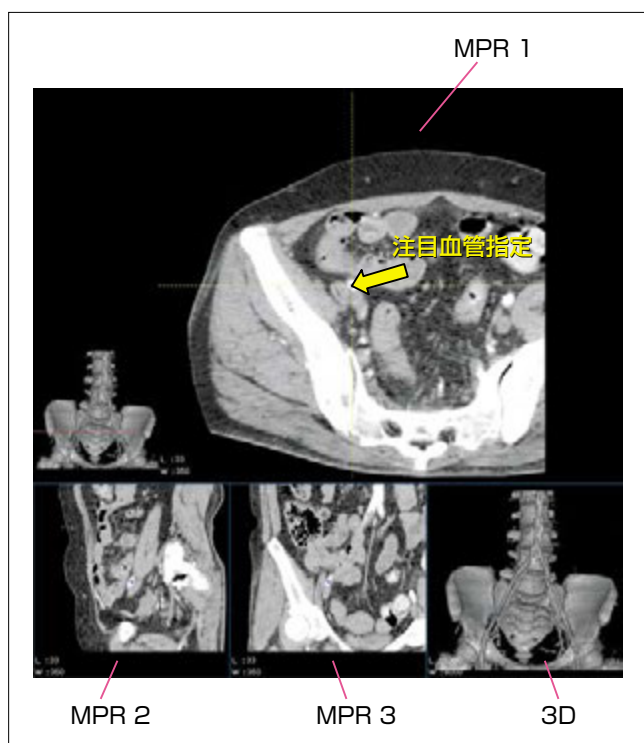


図2：注目血管選択画面

管芯線とは血管領域の中心を通る曲線のことであり、CPR画像作成時に使用する。指定した点を抽出開始点として、抽出開始点から血管起始部方向および末端部方向へそれぞれ自動的に抽出が行われる。

### 2.2 血管芯線自動抽出処理

CPR像の作成には、注目する血管領域の芯線を精度良く抽出する必要がある。図3は血管芯線自動抽出処理のフローである。指定された点を抽出開始点として、血管芯線を自動抽出する。図3の処理内容について以下に示す。

#### [STEP1] 初期領域抽出

領域抽出開始点を指定するときに用いたMPR像上で、領域抽出開始点から領域拡張処理<sup>5)</sup>により血管断面領域を抽出する。ここで抽出した領域を初期領域と呼ぶ。

#### [STEP2] 参照領域設定

直前に抽出した血管断面領域を新たな参照領域とする。はじめは初期領域を参照領域とする。参照領域を用いて血管領域の連続性を考慮し、抽出処理が進められる。

#### [STEP3] 抽出方向設定

血管断面領域を抽出するための抽出方向を設定する。血管断面領域として適切な領域が抽出されるまで、抽出方向を一定範囲内で変化させる。

#### [STEP4] 領域抽出閾値設定

参照領域の平均画素値、標準偏差などから領域抽出処理の閾値を設定する。

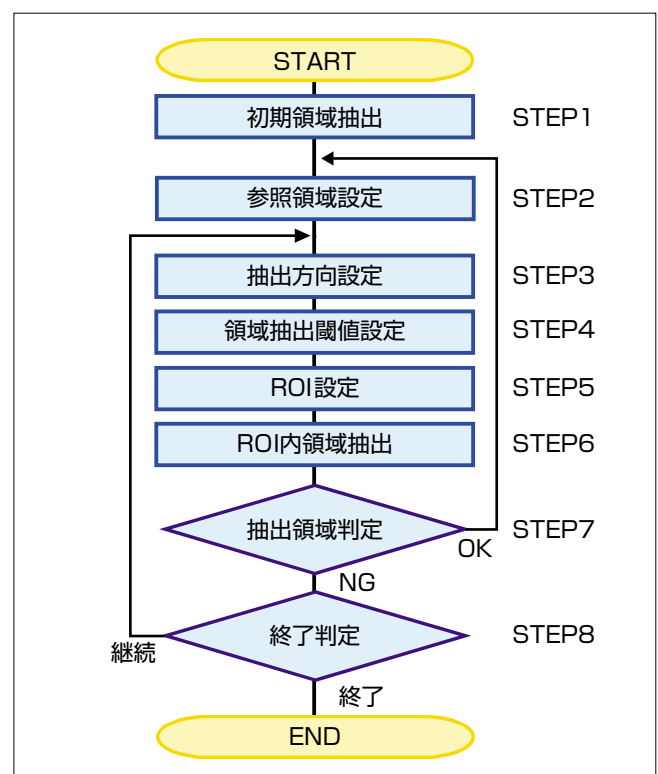


図3：血管芯線自動抽出処理フロー

### [STEP5] ROI設定

参照領域の平均半径からROI半径 $r$ を決め、抽出方向に直交する円形のROIを設定する(図4)。

### [STEP6] ROI内領域抽出

STEP5で設定したROI内で、STEP4で設定した閾値を用いて領域抽出処理を行う。

### [STEP7] 抽出領域判定

抽出した領域の面積や円形度などから抽出領域と参照領域との相関を調べ、血管断面として適切かどうかを判断する。抽出領域が血管断面領域として妥当な場合は、STEP2へ戻り抽出処理を続ける。抽出領域が血管領域として妥当でない場合は、STEP8へ進む。

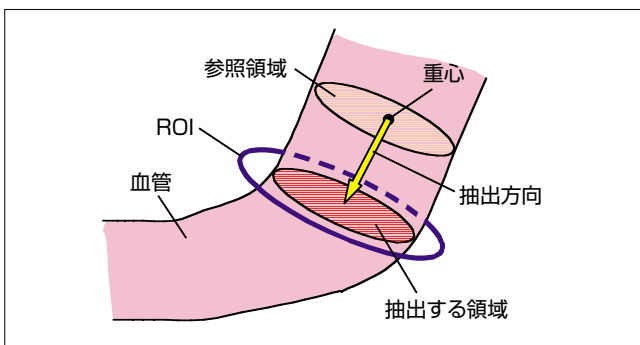


図4：ROI設定

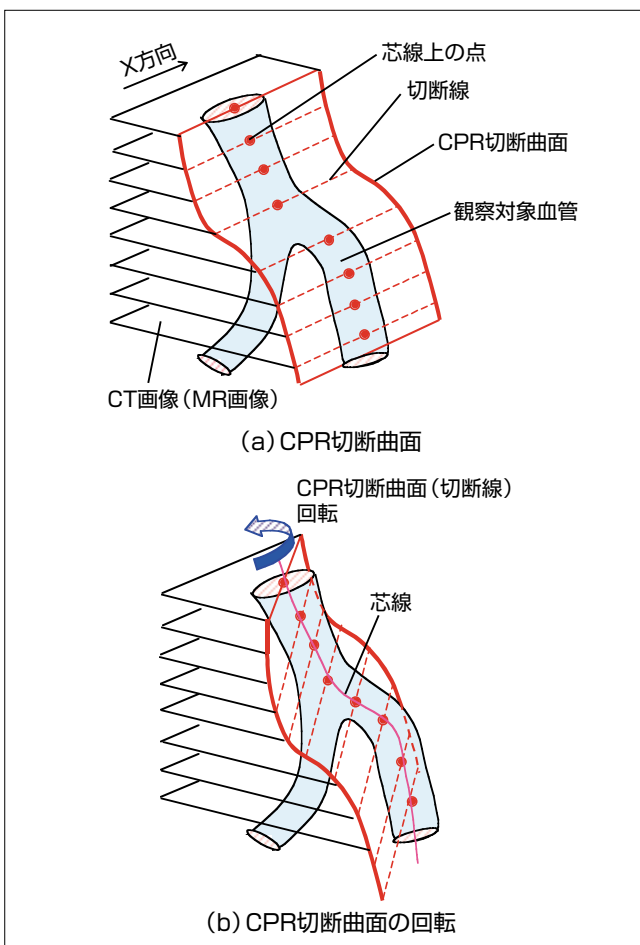


図5：CPR作成法とCPR回転表示法

### [STEP8] 終了判定

終了条件判定を行う。STEP3で設定するすべての抽出方向について抽出処理を試みた結果、血管妥当領域として妥当な領域が見つからない場合、抽出領域が血管起始部や末端部へ達したと判断して抽出処理を終了する。抽出した血管断面領域の重心を結ぶ曲線を芯線とする。

STEP3においてまだ抽出処理を試みていない方向が存在する場合はSTEP3へ戻り抽出処理を続ける。

## 2.3 血管CPR表示

自動抽出した血管芯線を使用してCPR像を作成することが可能である。図5(a)に示すように芯線上の各点を通る切断線を積み重ねることで、CPR像が得られる<sup>67)</sup>。また、図5(b)に示すようにX方向を基準として切断線の方向を360度回転させることで、CPR像の回転表示が可能である。

## 3. 臨床例適用実験

血管芯線自動抽出法をマルチスライスCTで撮影した腹部大動脈から総腸骨動脈にかけての血管データ、Coronary MRAデータにそれぞれ適用し、アルゴリズムの妥当性を検証した。検証は解析対象とする血管について、正しくCPR像が作成されるかを目視評価する。それぞれの場合について以下に示す。

### 3.1 マルチスライスCTデータ実験

マルチスライスCTで撮影した腹部大動脈から総腸骨動脈にかけての血管について本血管芯線自動抽出法を適用し、CPR像を作成した。図6、図7に適用結果を示す。図6(a)~(d)はそれぞれ芯線を軸として(a)0°、(b)45°、(c)90°、(d)135°回転した場合のCPR像である(ナチュラルViewモード)。また(e)は使用した血管データのボリュームレンダリング3D像である。ボリュームレンダリング3D像上に、抽出時に指定した抽出開始点と抽出終了点(2箇所)を矢印で示す。図7(a)~(d)は図6(a)~(d)のCPR像を芯線に沿って伸長した画像(ストレートViewモード)である。図6、図7ともに良好なCPR像が得られており、血管芯線抽出法が妥当であると言える。

### 3.2 MRデータ実験

Coronary MRAデータ4例(解析対象血管数：合計4血管)に適用した。その1例を図8、図9に示す。図8は解析対象の右冠動脈のCPR像(ナチュラルViewモード)、図9はそのCPR像(ストレートViewモード)である。(a)~(d)はそれぞれ芯線を軸として(a)0°、(b)45°、(c)90°、(d)135°回転した場合のCPR像である。図8(e)は例1の一部をボリュームレンダリング3D表示した画像である。抽出した冠動脈芯線をボリュームレンダリング3D像上に赤曲線で示す。また、抽出開始点および抽出終了点を矢印で示す。図8、図9いずれの場合も良好なCPR像が得られている。

## 4. まとめ

本システムを用いることにより、オペレータの少ない作業

量(解析対象とする血管領域を1点指定するのみ)で任意の血管断面のCPR表示が可能となる。また、芯線を軸としてCPR像を360度回転表示することによって、MIP表示時に見られる複数血管が1つの血管であるかのように、解釈しにくく描出されることはなく、正常血管が狭窄状に描出されたり、極端に屈曲して描出されたりするなどの問題もない。マルチスライスCT画像、MR画像いずれの場合にも対応可能である。閾値設定のための面倒なキー入力などの必要はなく、抽出過程で部位ごとにアダプティブに自動閾値設定されるため、造影剤濃度のむらやMRにおいて脂肪などの影響も受けにくい。本システムにおいて注目血管を指定してから血管芯線が自動抽出されるまでの処理時間は、1血管あたり9秒前後である(汎用PC、CPU：Xeon3.06GHz Singleの場合)。芯線の抽出ができれば、回転表示の場合も含め、ほぼ瞬時にCPR像の作成および表示が可能である。今後は血管芯線抽出処理部のさらなる高速化と各種解析機能の充実を図る。

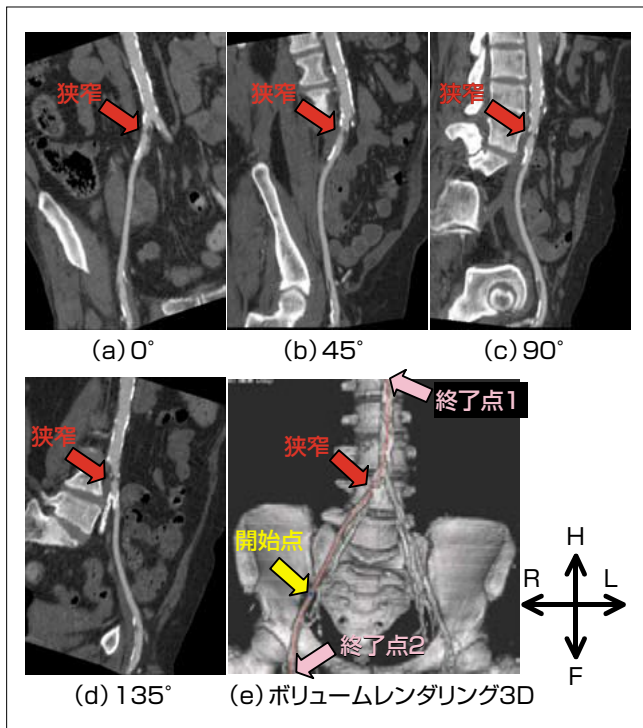


図6：腹部大動脈～総腸骨動脈CPR像(ナチュラルViewモード)

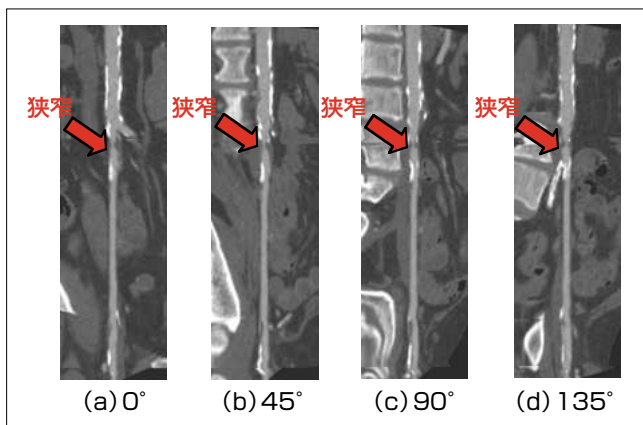


図7：腹部大動脈～総腸骨動脈CPR像(ストレートViewモード)

## 参考文献

- 1) 飯野美佐子, ほか: 冠動脈MRAによる冠動脈狭窄症の最新動向. 映像情報Medical, 36 : 56-61, 2004.
- 2) 小林泰之, ほか: 16列マルチスライスCTによる冠動脈狭窄診断の最新動向. 映像情報 Medical, 36 : 48-55, 2004.
- 3) Eienne, et al : Soap-Bubble visualization and quantitative analysis of 3D coronary magnetic resonance angiograms. Magn Reson Med, 48 : 658-666, 2002.
- 4) 白旗崇, ほか: 冠動脈領域自動抽出アルゴリズムの開発. 日本放射線技術学会雑誌, 60(9) : 1249, 2004.
- 5) 佐野耕一, ほか: リージョングローイング法による軟部組織の抽出と3次元表示. Med.Imag.Tech, 12 : 379-383, 1994.
- 6) 谷口拓樹, ほか: Curved Planar Reconstruction システムの開発. Med.Imag.Tech, 17 : 473-474, 1999.
- 7) 谷口拓樹, ほか: Cruising Eye View法を応用した Curved Planar Reconstruction法の開発と臨床応用. MEDIX, 33 : 36-41, 2000.

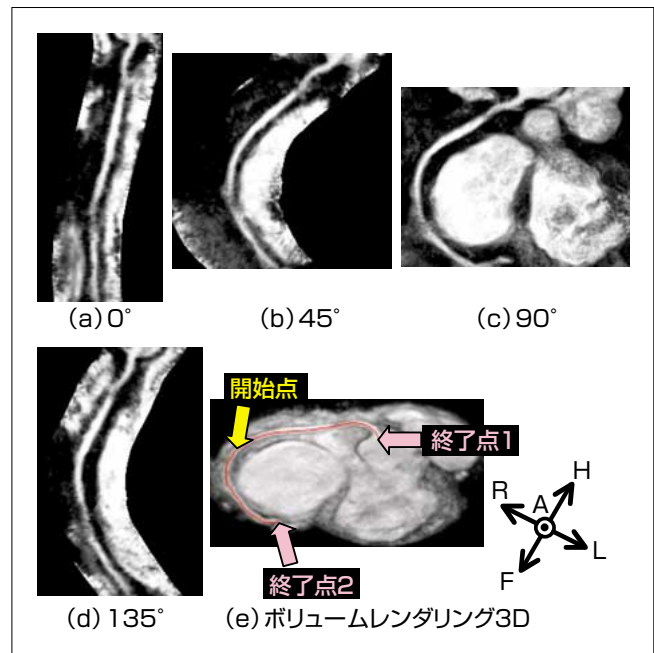


図8：右冠動脈CPR像(MR例、ナチュラルViewモード)

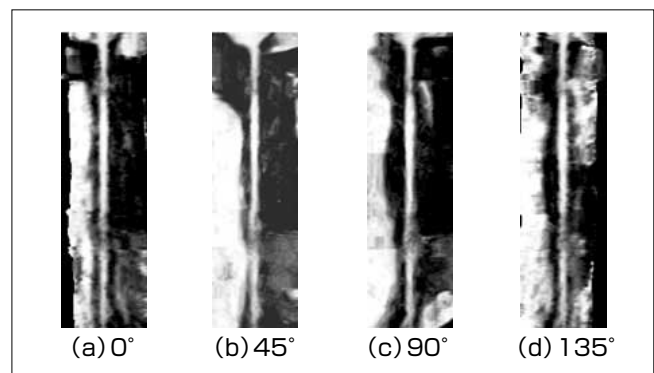


図9：右冠動脈CPR像(MR例、ストレートViewモード)