

MRI心臓基準断面検出技術 CardioLine

CardioLine Automatic Slice-Alignment Method for Cardiac Magnetic Resonance Imaging

新田 修平 武口 智行 久原 重英
 ■ NITTA Shuhei ■ TAKEGUCHI Tomoyuki ■ KUHARA Shigehide

虚血性心疾患や、心筋症、冠動脈瘤（りゅう）、心内血栓など様々な心疾患を一度に評価でき、予後予測に極めて有用な心臓MRI（磁気共鳴イメージング）検査の需要が増えてきている。一方、心臓MRI検査に必要な“基準断面”の設定という作業は非常に煩雑で時間が掛かるという課題があった。

東芝はこの基準断面を全自動で検出する技術を開発し、東芝メディカルシステムズ（株）が“CardioLine”というアプリケーションとして2012年3月に世界で初めて^(注1)製品化した。このアプリケーションを使用することで、従来技師が10分程度掛かっていた位置決め作業を1分以下で行うことが可能になり、検査時間の短縮と検査ワークフローの改善に加えて、被験者の負担軽減を実現している。

Demand has been increasing for cardiac magnetic resonance imaging (MRI) examinations that can evaluate various cardiovascular diseases such as ischemic heart disease, cardiomyopathy, coronary aneurysm, intracardiac thrombus, and so on, and are effective for prognostic prediction. However, the preparatory step of slice alignment for cardiac MRI examinations, which can be complicated and time consuming, is a serious issue.

As a solution to this issue, Toshiba has developed an automatic slice-alignment method called CardioLine, the world's first automatic slice-alignment application, which was released by Toshiba Medical Systems Corporation in March 2012. CardioLine makes it possible to reduce the slice alignment time from the 10 minutes required for conventional manual setting to less than a minute.

1 まえがき

様々な疾患を一度に評価でき、予後予測に有用な心臓MRI検査は、近年循環器画像診断において果たす役割が大きくなってきている。心臓MRI検査では、まず、診断に有用な基準6断面（図1）を設定し、次に設定された断面上で様々な診断用の動画像などの撮像を行う。従来、基準断面の設定は技師が手動で断面の撮像→確認→調整を繰り返す方法（図2）で行われており、熟練の技師でも10分程度の時間を費やしていた。また、この基準断面設定の間に何度も、数十秒の息止め撮像をする必要があり、心疾患のある患者にとって大きな負担となっていた。

このような背景から、基準断面の設定時間を短縮するため、設定の自動化が大きな課題となっていた。しかし、被験者の体内における心臓の位置、大きさ、及び向きや、MRI装置で撮像される画像パターン（明るさやコントラスト）には、個人差、呼吸や拍動のタイミング、及び疾患の影響により様々なバリエーションが存在するため、基準断面の設定を自動化することは非常に困難であった。

東芝は、多サンプル収集に基づく認識ベース方式と、心臓の解剖学的な特徴を利用したモデルベース方式とを組み合わせ

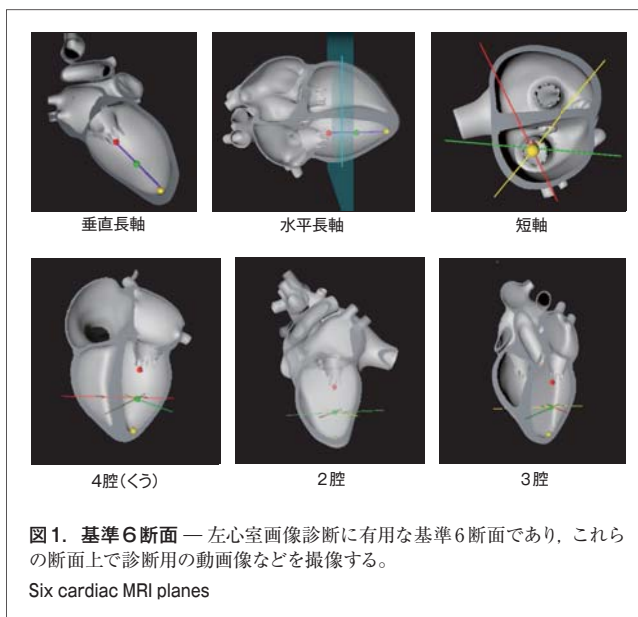
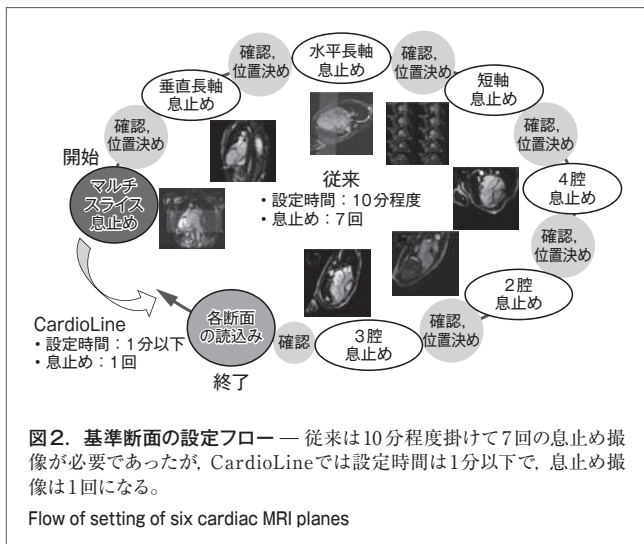


図1. 基準6断面 — 左心室画像診断に有用な基準6断面であり、これらの断面上で診断用の動画像などを撮像する。
Six cardiac MRI planes

せることで、高速かつ非健常者の心臓に対してもロバストに基準断面を全自動で検出する技術⁽¹⁾を開発し、CardioLineというアプリケーションとして東芝メディカルシステムズ（株）より世界で初めて製品化した。CardioLineを使用することで、検査時間の短縮と、高精度で再現性の高い心臓MRI検査ワークフローを実現でき、息止め回数が減ることで被験者の負担

(注1) 2012年3月時点、東芝メディカルシステムズ（株）のVantage Titan™に搭載、当社調べ。



軽減が可能となった。

ここでは、今回開発した技術の概要と、実証試験による評価結果について述べる。

2 基準断面検出技術の概要

基準断面の設定では、最初に撮像する心臓全体をカバーする体軸横断面の約20枚のマルチスライス像を入力画像とする(図3)。スライス間隔は7mmとし、心電図波形で同期を取る方法との併用により拍動のタイミングを拡張期に限定して、15~20秒間の1回の息止め下で撮像する。

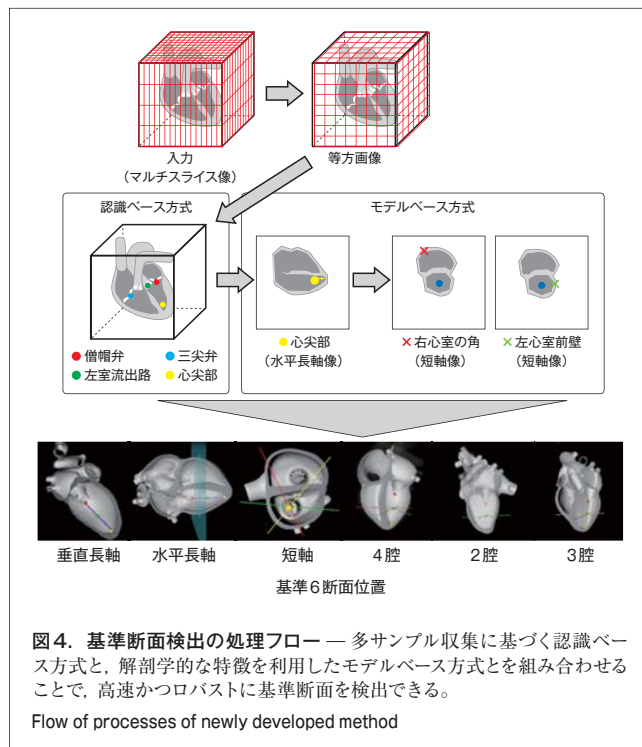
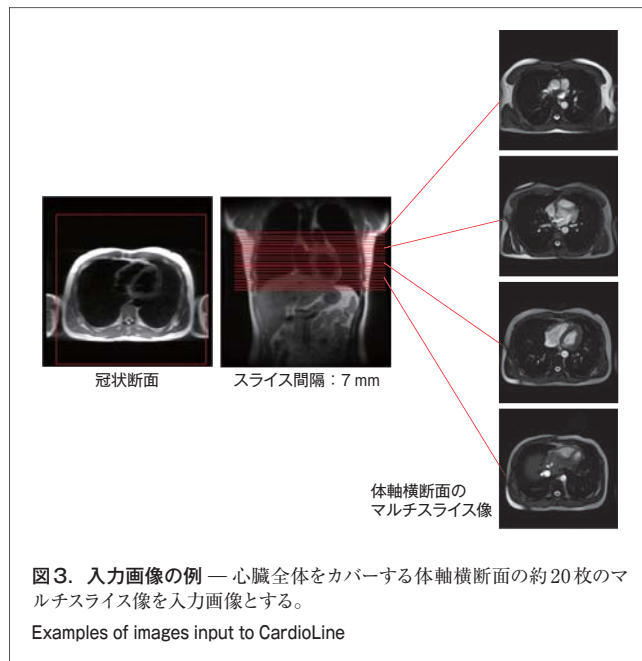
撮像した入力画像をx, y, zの3方向がそれぞれ等距離間隔となるように補間処理で等方化した後、認識ベース方式により心臓の主要な特徴部位を検出する。そして、モデルベース方式により検出した特徴部位の再検出と新たな特徴位置を検出する(図4)。このようにして検出した特徴部位に基づき基準6断面を決定する。

認識ベース方式及びモデルベース方式について以下に述べる。

2.1 認識ベース方式

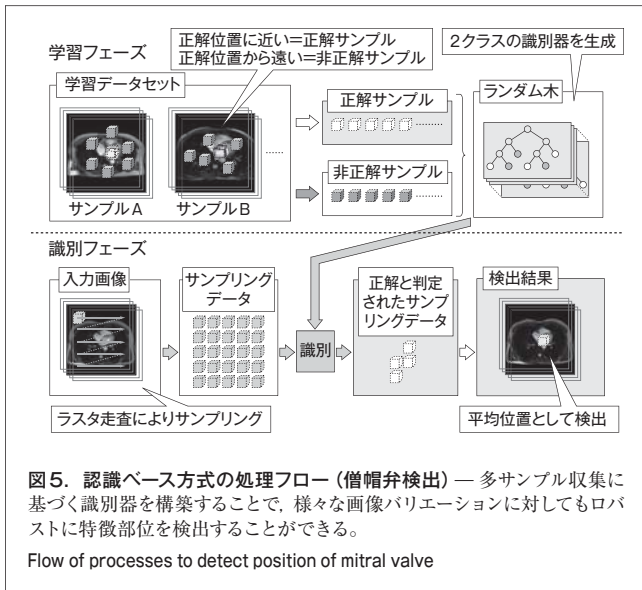
心臓の主要な特徴部位である、僧帽弁(図4の赤丸)、三尖(さんせん)弁(青丸)、左室流出路(緑丸)、及び心尖部(黄丸)の4か所を検出する。一例として、僧帽弁の位置検出処理の流れを図5に示す。

学習フェーズでは、実データから成る学習データセットから、僧帽弁に近い位置を中心に画像を切り出したデータを正解サンプルとし、僧帽弁から遠い位置を中心に画像を切り出したデータを非正解サンプルとして収集する。このようにして収集した学習サンプルデータセットを入力として、ランダム木²⁾に基づく2クラスの識別器を生成する。この識別器は学習時にランダム性を取り入れた複数の決定木から成り、高い識別能力と高速な識別処理が実現できる識別器として近年注目を集めている。



識別フェーズでは、入力画像をラスタ走査し、ラスタ走査した各位置を中心として画像を切り出す。切り出した各サンプリングデータを学習フェーズで生成した識別器に入力し、その位置が僧帽弁位置かどうかを判定する。そして、識別器が僧帽弁位置と判定した切出し中心位置の平均を僧帽弁の検出位置とする。

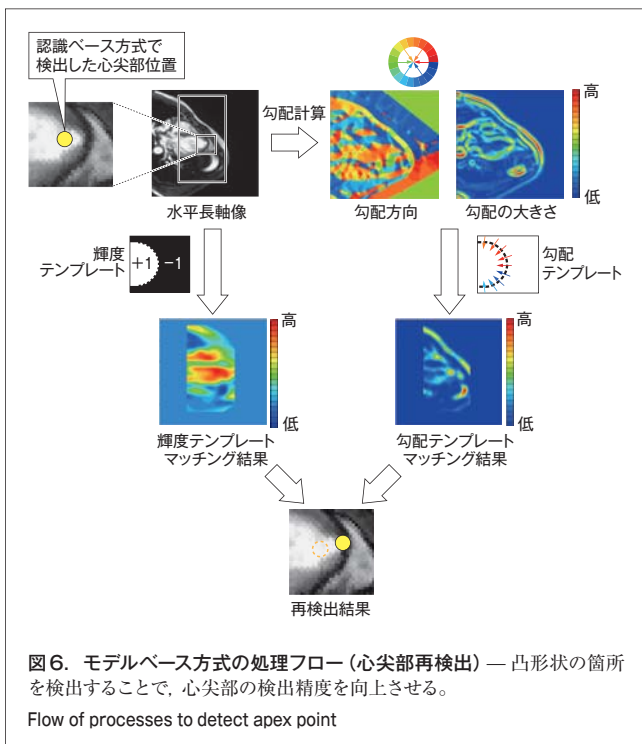
このような僧帽弁と同様の処理を三尖弁、左室流出路、及び心尖部に対しても行って、4か所の位置を検出する。



2.2 モデルベース方式

前述した特徴部位の中でも心尖部は凸形状の画像パターンを持っており、この特徴を利用したモデルベース方式で再検出することで、更に基準断面の検出精度を向上できる。モデルベース方式による心尖部の再検出処理の流れを図6に示す。

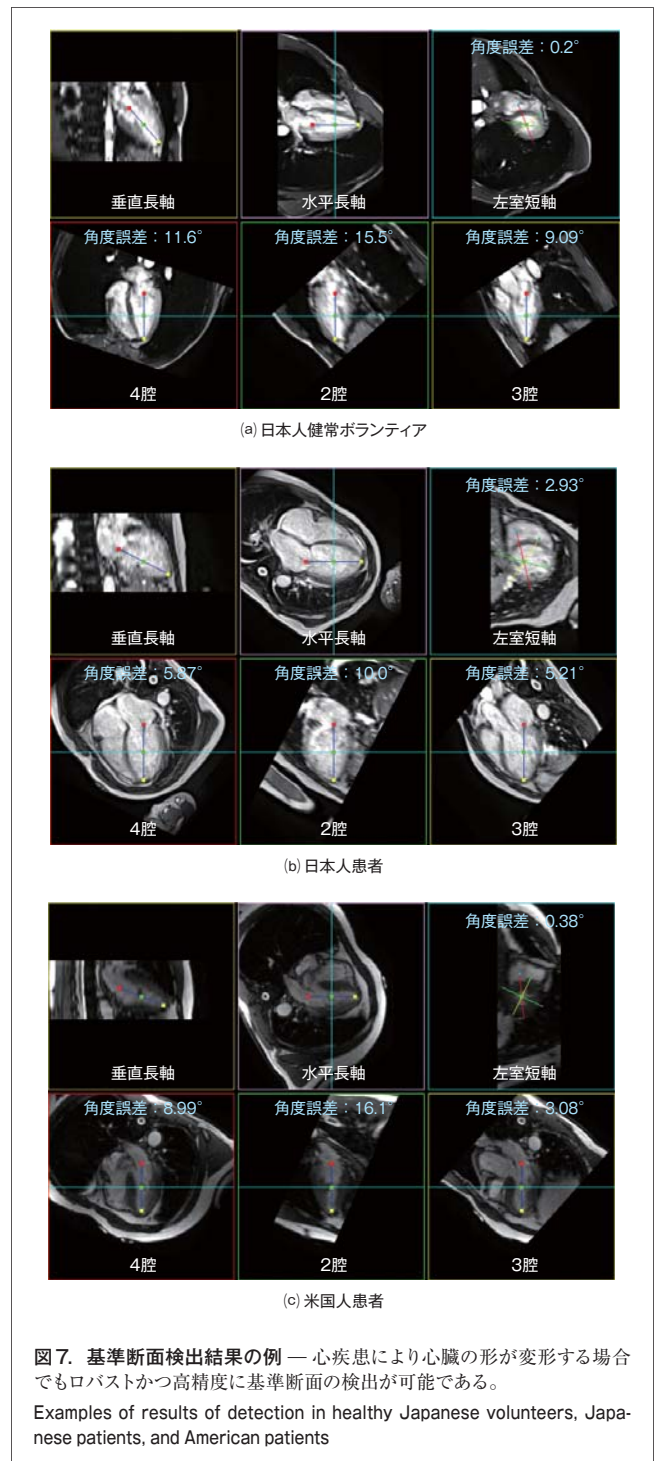
認識ベース方式で検出した僧帽弁と心尖部に基づいてMPR (Multi Planer Reconstruction: 多断面再構成) 処理により水平長軸像を作成する。そして、画像輝度レベルに基づく輝度テンプレートマッチングと、画像勾配方向に基づく勾配テンプレートマッチングにより得られた結果を組み合わせること



尖部を再検出する。また、認識ベース方式で検出した僧帽弁と心尖部に基づいて作成した短軸像に対しても同様の処理を行うことで、図4の×印で示す右心室の角と左心室の前壁の各位置を検出する。

3 実証実験

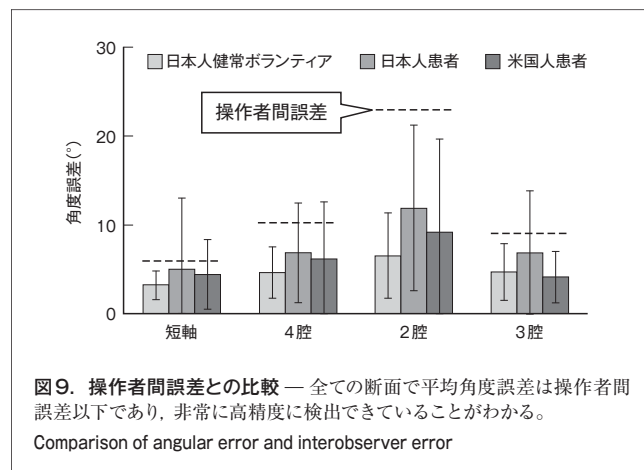
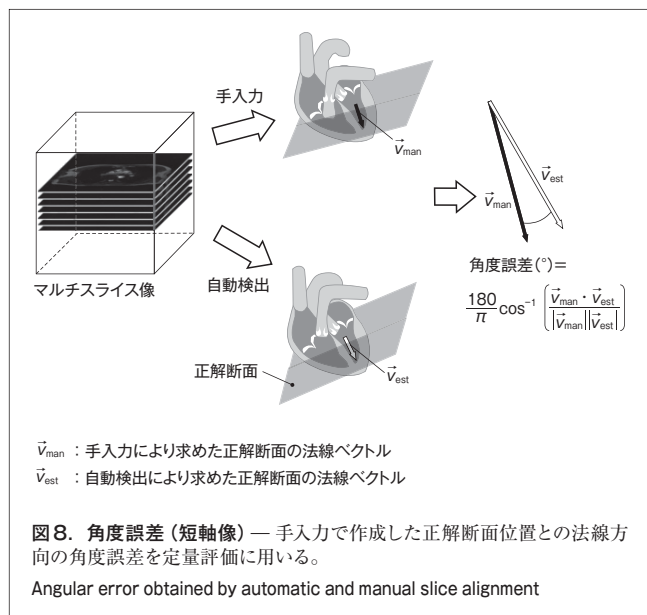
実際にMRI検査にCardioLineを適用し、基準断面設定の



実験を行い評価した。被験者として、日本人健常ボランティア17名(37データ)、日本人患者35名(35データ)、及び米国人患者18名(34データ)の協力を得た。実験の結果、取得した全データで基準断面検出に成功し、検出に掛かる処理時間は3 GHz CPUとシングルスレッド処理で計測したところ平均で1.8秒であった。ここで、認識ベース方式の識別器生成では、同一人物を学習データセットに含まないように全データを4グループに分け、あるグループを評価する場合、残りの3グループのデータセットを学習データセットとするようにした。

日本人健常ボランティア、日本人患者、及び米国人患者それぞれの基準6断面の自動検出結果の例を図7示す。図1に示した基準6断面と比較して、拡大型心筋症の日本人臨床例(b)や、厚い脂肪の影響などで心臓周囲の輝度が低い米国人臨床例(c)においても精度良く検出できている。放射線科医による確認でも、非常に精度良く基準断面が検出できているとのことであった。

次に、自動検出した心臓の基準6断面のうち、短軸像、4腔像、2腔像、及び3腔像の検出精度を、手入力で作成した正解断面位置との法線方向の角度誤差で評価することとした(図8)。垂直長軸像と水平長軸像は、短軸像と同一の特徴点で決まる断面であることから、評価の対象からは除外している。また、角度誤差から精度を評価するにあたり、同一のデータセットの基準断面位置を複数の放射線科医及び技師が手入力により計測した操作者間誤差と比較することとした。その結果、図9に示すように、全ての断面で平均角度誤差は操作者間誤差以下であり、また、約90%のデータが操作者間誤差以下であることから、極めて高精度に検出できたことがわかる。



4 あとがき

ここでは、多サンプル収集に基づく認識ベース方式と、心臓の解剖学的な特徴を利用したモデルベース方式とを組み合わせることで、高速かつ非健常者の心臓に対してもロバストに基準断面の検出ができることと、世界で初めて製品化された CardioLine について述べた。CardioLine を使用することで、心臓MRI検査を、より多くの施設で、シンプルかつ円滑に行うことができるようになった。

今後もわれわれは、認識ベース方式とモデルベース方式による基準断面設定技術の深耕を進め、更に幅広い検査及び診断の需要に対応できるアプリケーションを提供していく。

文献

- (1) Nitta, S. et al. "Improvement of Knowledge-Based Automatic Slice-Alignment Method for Cardiac Magnetic Resonance Imaging". Proceedings of the 15th annual scientific sessions, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMP). Orlando, FL, USA, 2012-02, SCMP. 2012, p.269.
- (2) Geurts, P. et al. Extremely randomized trees. Machine Learning. 63, 1, 2006, p.3 - 42.



新田 修平 NITTA Shuhei

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
 医用画像解析技術の研究・開発に従事。日本磁気共鳴医学会会員。
 Multimedia Lab.



武口 智行 TAKEGUCHI Tomoyuki, Ph.D.

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、博士(工学)。医用画像解析技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
 Multimedia Lab.



久原 重英 KUHARA Shigehide, Ph.D.

東芝メディカルシステムズ(株) MRI事業部 MRI開発部 参事、博士(工学)。MRIシステムの設計・開発に従事。日本磁気共鳴医学会会員。
 Toshiba Medical Systems Corp.