

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：15501  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2012～2014  
 課題番号：24560261  
 研究課題名(和文) 心臓弁膜機能を解析するための複数個所同期心音解析法の確立と診断支援システムの開発  
  
 研究課題名(英文) Development of Multi-Channel Heart Sound Measuring and Analysis System for Diagnosis of Heart Defects  
  
 研究代表者  
 江 鐘偉 (Jiang, Zhongwei)  
  
 山口大学・理工学研究科・教授  
  
 研究者番号：60225357  
  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

**研究成果の概要(和文)：**本研究では、患者にも使用しやすい4つの心音を同期計測できる心音採集装置ならびに心疾患診断支援のための心音解析方法を開発した。海外大学の研究グループと連携して各種心疾患の心音症例データを取得し、特に初めて4箇所同期心音データに対して詳細に解析を行った。解析において、様々な信号処理手法を開発し、より高精度な心疾患を識別するアルゴリズムを構築、さらに、一般ユーザまたは医師を対象とする解析用GUIを開発した。本研究で提案した心疾患診断支援のため多チャンネル心音解析法と心臓機能評価パラメータについて、臨床データを用いて検証し、その有効性を確認した。

**研究成果の概要(英文)：**In this study, a multi-channel cardiac sound measuring system and the analysis method for diagnosis of heart diseases based on cardiac auscultation were developed. By cooperating with overseas research group we have collected a lot of heart sounds from various types of heart diseases. We have tried to analyze these four synchronous heart sound data in detail which has not been done by other researchers. In order to achieve high quality analysis resolution, we have developed several new signal processing techniques and algorithms for identifying heart diseases, also the GUI tools were developed for physicians or general users. Furthermore the proposed multi-channel heart sound analysis method and heart feature parameters were validated by analyzing the clinic data.

研究分野：工学、機械工学・機械力学・制御

キーワード：音響情報・制御 心音解析 心疾患診断支援 時間周波数解析法 心雑音評価指数 サポートベクトル  
 マシン 楕円モデル近似境界線法

## 1. 研究開始当初の背景

先天性心臓欠損（CHD）は心臓の構造的欠損、または機能的問題である。新生児のうち千人中八人が先天性心疾患に患っている。選定性心疾患を早期に発見できれば、高い確率で完治することができる。わが国でもっとも多くみられるのが心室中隔欠損症である（先天性心疾患の約 60%）。心室中隔欠損症は心臓の中の左心室と右心室を仕切る壁に穴が開いているもので、小さな穴では 5 人に 1 人は自然に塞がる。大きな穴の場合は、血液の逆流を防ぐために手術でこの穴を塞ぐ必要がある。そのため、CHD の早期発見が最も重要である。

それから心臓の弁に不具合が生じる『心臓弁膜症』にかかっている患者が意外に多い。わが国においては推定患者数が 200 万人、手術を受けている患者が年間約 1 万人といわれている。アジアなどの貧困地域においては、栄養不足と生活環境の悪化などによって弁膜症の発症率がもっと高いといわれている。

弁膜症の原因には、先天性と後天性（リウマチ熱、動脈硬化、心筋梗塞、変性など）があり、原因を特定できないものも多くある。一方、高齢化に伴い、大動脈弁に動脈硬化と同じような変化が起きて硬くなってうまく開かなくなる「大動脈弁狭窄症」や、弁の組織が弱くなって起きる「僧帽弁狭窄・閉鎖不全」が増加している。

現在心臓疾患の検査方法には、心臓の大きさや形を見る胸部 X 線、不整脈や心臓肥大の状態を検査する心電図、心臓肥大の程度や心臓が収縮する力の状態や狭窄や逆流の程度などを診断する心エコー、心臓やその周りの血管の血液循環の状態を調べる心臓カテーテル、心臓やその周りの血管の形状や血液循環の状態を診断する心血管造影法、心筋の血流状態や動きを調べる心核医学検査がある。そのうち、心電図検査は在宅でも使用可能であるが、その以外の検査を受けようとしたら、専門病院にいかなければならない。一方、心音計測による聴診方法は在宅での実施が可能であるが、聴診そのものが古来“医師の芸術”と呼ばれており、高度な技術がなければ的確な診断は難しい。

以上のことを踏まえ、研究代表者らは、機械振動理論に基づく時間および周波数域における解析方法を開発し、単一または典型的な弁膜症の判別率を高めてきた。しかし、弁膜合併症などによる複合的成分を含む心音に対して判別率が低下する難題に直面した。その解決への試みとして、複数個所で心音を同期に採集する計測法と同期心音解析法の開発に着手し、4 箇所同期心音波形から、それぞれの心臓弁膜症状を判別する精度を向上させることが可能と考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、生まれつきの先天性心臓欠損の早期発見、または高齢化社会の到来や在宅介護のニーズをにらみ、代表者らが今までに開発してきた心音解析方法の研究を進展させ、一般ユーザが簡単に使用可能な聴診システムの開発と、より高い判別率を実現する心音解析法の開発を目指している。具体的に、医学書で教示された心臓聴診の四か所（大動脈弁 A、肺動脈弁 P、三尖弁 T、僧帽弁 M）近辺の心音を同期で計測する聴診服を試作開発し、4 箇所の心音間の相互関係を詳細に調べることで、弁膜症など心疾患の特徴を明らかにするとともに、より高度な心臓機能を解析するための弁膜症など心疾患診断支援用解析方法、ならびに心機能モニタリング支援システムを開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず複数のチェストピースを取り付けた上着を試作し、誰でも簡単に心音を収録できる聴診服を開発した。次に、海外大学の研究グループと連携し、心疾患の症例データの採集を行った。さらに、ノイズの処理方法、心音データ特徴波形の算出方法、心疾患評価用パラメータの決定など心音データの解析・評価方法の開発を試みた。最後に、在宅で採集した心肺音データをクラウドで簡便に解析できる心肺状態モニタリングシステムを構築した。

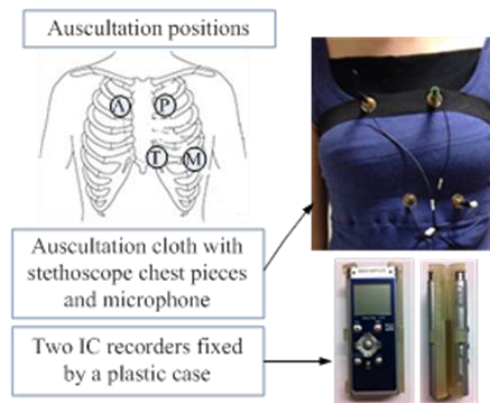


図1 4チャンネル心音採集システム（女性用）



図2 4チャンネル心音採集システム（運動用）

図1と図2に異なる目的で設計した4チャンネル心音聴音装置を示す。集団検診時女

性や子供に違和感なく使いやすいものと、軽い運動時にも心音を計測できるものなど、異なる目的に合わせて種々な聴診服を設計製作した。本計測装置は、4つのチェストピースとマイク、2つの IC ステレオレコーダで構成される。収録した心音データを PC に転送し、解析を行うものである。

解析方法として、今までに開発してきた心音特徴値波形解析方法ならびにデータクラスタリング方法を活用しながら、時間および周波数の分解能を向上させるため、時間域ならびに周波数域における局所拡大レンズ機能をもつ FSWT(Frequency Slide Wavelet Transform)を新しく開発した。本方法により、ノイズの処理能力の向上と特徴パラメータ抽出の高精度化を実現した。

#### 4. 研究成果

(1) 健常者とファロー四徴症（心室中隔欠損）患者から収集した4箇所（大動脈弁 A、肺動脈弁 P、三尖弁 T、僧房弁 M）の心音波形をそれぞれ図3と図4に示す。ファロー四徴症の場合（図4）、I音とII音の間に雑音が現われ特にP部位では顕著であることが分かる。

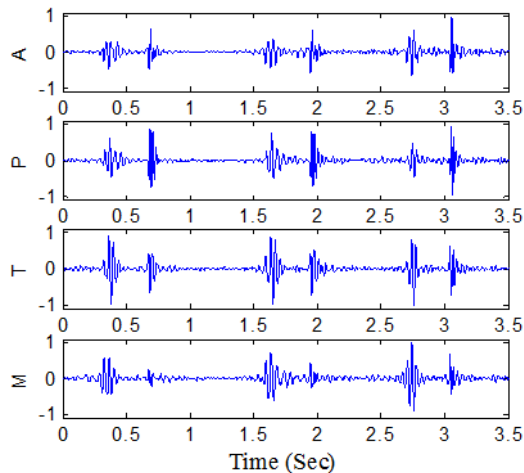


図3 健常者の心音波形

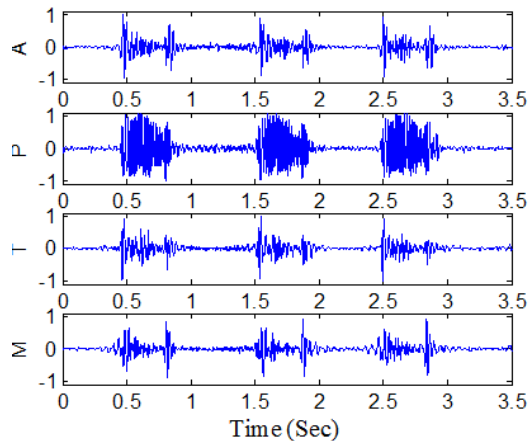


図4 ファロー四徴症患者の心音波形

表1 心室中隔欠損の穴大きさの判別率

Accuracies	SVSD		MVSD		LVSD	
	Boundaries	EMs	Boundaries	EMs	Boundaries	EMs
Se(%)	95.2	95.4	94.6	95.1	94.9	95.1
Sp(%)	94.2	95.8	93.1	94.2	93.6	94.8
CA(%)	94.8	95.7	93.7	94.7	94.1	95.0

(2) 心音波形におけるI音の時間間隔（心拍数）( $T_{11}$ )とI音とII音の時間間隔( $T_{12}$ )などを求め、時間域における心音特徴パラメータとする。さらに、心音データにFSWTを施したデータに対してFFT解析し、周波数域における中心周波数 $F_G$ と周波数幅 $F_W$ を求め、周波数域における心音特徴パラメータとする。これらのパラメータに対してサポートベクトルマシン(SVM)識別学習アルゴリズムを適用することで、心室を仕切る壁の穴の大きさ(SVSD:  $\sim\Phi 5$ , MVSD:  $\Phi 5\sim 15$ , LVSD:  $\Phi 15\sim$ )を精度よく推定することに成功した。その結果を表1に示す。

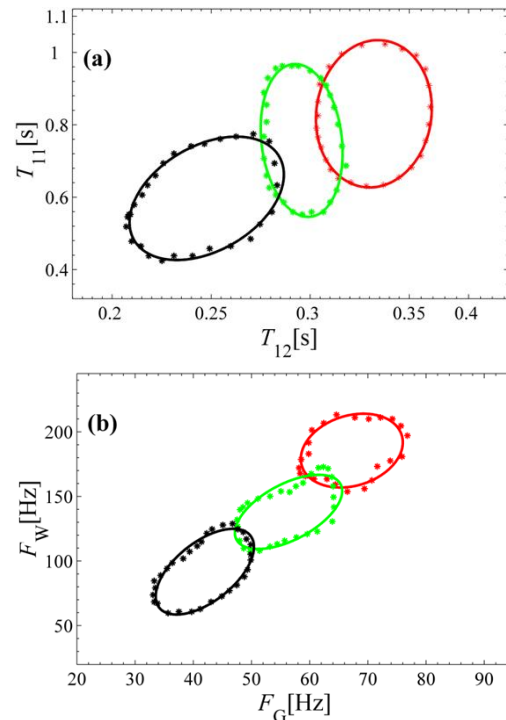


図5 楕円モデルによる簡便な識別方法  
(赤: SVSD, 緑: MVSD, 黒: LVSD)

SVM方法から求めた心室中隔欠損の大きさに対する範囲をより簡単に判別に使用するため、楕円モデル近似境界線法(EM)を提案した。図5にそれぞれ求めた時間域ならびに周波数域における楕円近似境界線を示す。また、SVM方法で得られた識別率とほぼ一致する結果が確認された(表1)。

(3) 心音解析において、心音特徴パラメータを正しく算出するため、採集した元心音デー

タに対してフィルタリング処理を行う必要がある。録音される心音データに環境音ノイズや呼吸音ノイズなどが含まれている。通常のノイズフィルターはうまく処理でないことがあるため、本研究では、FSWT 解析方法をさらに発展させ、新しく楕型デジタルフィルタ技術を開発した。基本コンセプトは、想定された複数ノイズの成分を自由自在にカットできる楕状のフィルタと考え、低減させたい複数帯域のノイズに合わせて簡単に設定できるようなアルゴリズムを開発した。また、フィルタリング後の信号を心音データに再構築するアルゴリズムも開発した。

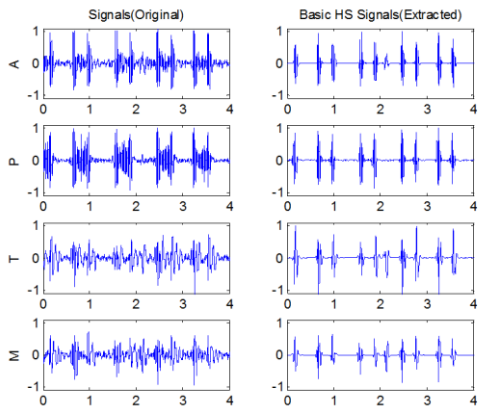


図6 I音とII音を正確に抽出した処理結果

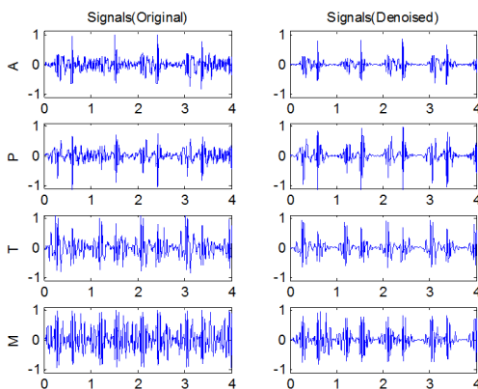


図7 環境雑音や呼吸を軽減させた処理結果

表2 各評価パラメータの統計データ

Analysis Features	NHS (mean±std)	AHS (mean±std)
HR(bpm)	72.9±10.6	92.5±31.2
Fw(Hz)	70.0±16.7	127.5±34.2
MI <sub>LF/SF</sub>	3.82±2.1	15.4±14.8
MI <sub>MF/SF</sub>	0.62±0.48	5.5±7.9
MI <sub>HF/SF</sub>	0.13±0.14	1.9±3.6

例として、異常心音の場合、心雑音が強く、I音とII音を正確に抽出することが難しい場合がある。本楕型デジタルフィルタを用いて処理した結果を図6に例示した。また、遠隔診断時に医師が録音した心音データを聴診することも想定される。環境ノイズが多く含まれるデータを正しく聴診できない場合と、一般のデジタルフィルタで処理した心音が不自然で慣れないため診断困難の場合がある。本研究で開発した楕状デジタルフィルタを使用することにより、ノイズを軽減した自然な心音に変換することができた(図7)。

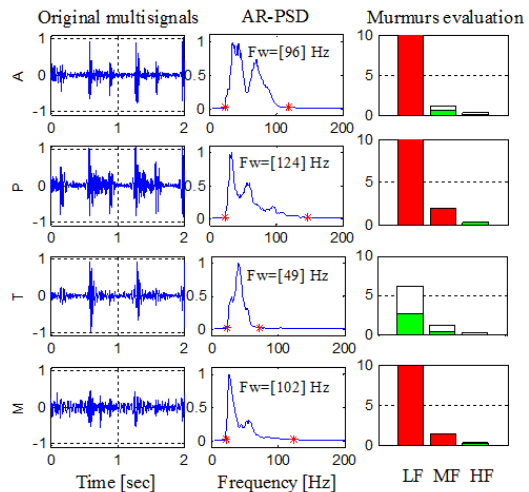


図8 心雑音の表示方法 (異常心音例)

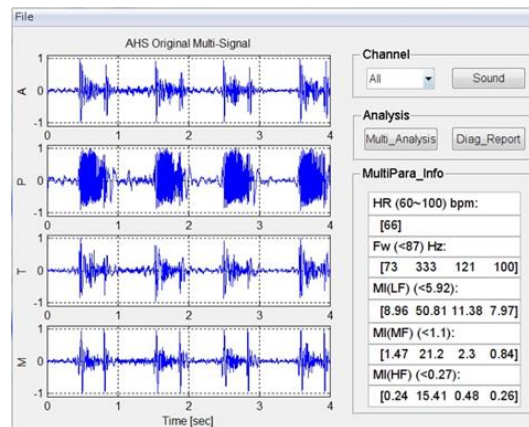


図9 心音解析用 GUI

(4) 乳幼児の先天性心疾患の早期発見、または心臓術後の経過観察も重要である。本研究では、心雑音のレベルを定量的にモニタリングする方法についても研究開発を行った。心音データを周波数域において、標準周波数域(SF)、低周波数域(LF)、中周波数域(MF)、高周波数域(HF)の4つの領域に分解し、それぞれの領域における信号強さ(パワーPSF, PLF, PMF, PHF)を求め、SF領域におけるパワーを基準としてそれに対する割合を心

雑音評価指数 ( $MI_{LF/SF}$ ,  $MI_{MF/SH}$ ,  $MI_{HF/SF}$ ) と定義した。合わせて心拍数(HR)と心雑音成分を表す周波数の幅(Fw)を心雑音の評価パラメータとした。

200 正常心音サンプル(NHS)と 192 異常サンプル(AHS)に対して統計した結果を表 2 に示す。また、表 2 の結果に基づき正常値閾値を決定し、正常か異常かをわかりやすく判断するために図 8 のようにグラフ化した。

さらに、医師などが診断時に参考可能な GUI を作成した(図 9)。本ツールには、音声データ(wav, mp3, csv)を表示・再生する機能、ユーザが画面上領域を選択することで簡単に設定できる楕円フィルタの処理機能、FSWT 時間周波数解析機能、レポート機能などが備えている。現在本 GUI をクラウドで実行できるよう、在宅用遠隔診断支援システムの実用化を目指して研究開発を続けている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件、すべて査読有)

- ① Zhongwei Jiang, Ting Tao, Haibin Wang, New Approach on Analysis of Pathologic Cardiac Murmurs Based on WPD Energy Distribution, Journal of Healthcare Engineering, Vol. 5, No. 4, pp.375-392, 2014.
- ② Shuping Sun, Zhongwei Jiang, Haibin Wang, Yu Fang, Automatic moment segmentation and peak detection analysis of heart sound pattern via short-time modified Hilbert transform, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.114, pp.219-230, 2014.
- ③ Shuping Sun, Haibin Wang, Zhongwei Jiang, Yu Fang, Ting Tao, Segmentation-based heart sound feature extraction combined with classifier models for a VSD diagnosis system, Expert Systems with Applications, Vol.41, pp.1769-1780, 2014.
- ④ Shuping SUN, Zhongwei JIANG, Haibin WANG, Yu FANG and Ting TAO, Heart Sound Feature Parameters Distribution and Support Vector Machine-Based Classification Boundary Determination Method for Ventricular Septal Defect Auscultation, Journal of Computational Science and Technology, Vol.6, No.3, pp.198-206, 2012.

[学会発表] (計 6 件)

- ① Ting Tao, Zhongwei Jiang, Yu Fang, Haibin Wang, Multichannel Cardiac Sounds In-home Measuring System for Monitoring Children's Congenital Heart Disease,

MAGDA 2014, pp. 343-348, 2014/12/04-06, 香川県高松市、サンポートホール.

- ② Keigo Honda, Zhongwei Jiang, Minoru Morita, Study on Sleeping Condition Monitoring by Measuring Breath Sound, ICIARE2014, pp.58-59, 2014/11/30-12/03, Jeonju, Korea.
- ③ Yu Fang, Zhongwei Jiang, Zhonghong Yan, Haibin Wnag, Study on Automatics Snoring Extraction Method for Obstructive Sleep Apnea Analysis, ICIARE2014, pp.37-39, 2014/11/30-12/03, Jeonju, Korea.
- ④ 江 鐘偉、心室中隔欠損診断支援用心音解析方法の開発、第 37 回日本生体医工学会中国四国支部講演会、特別講演、2014 年 10 月 4 日、岡山県岡山市、岡山大学.
- ⑤ Yu Fang, Zhongwei Jiang, Haibin Wang, Shuping Sun, Ting Tao. Diagnosis of Ventricular Septal Defect Based on Mel Frequency Cepstrum Analysis, Proceedings of ICIARE2013, pp.78-81, 2013/12/01-03, Dalian, China.
- ⑥ Ting Tao, Zhongwei Jiang, Haibin Wang, Shuping Sun, Yu Fang. Analysis of Congenital Heart Sound Based on Envelope Waveform in Time-domain, Proceedings of ICIARE2013, pp. 82-85, 2013/12/01-03, Dalian, China.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：聴診心音信号の処理方法、聴診心音信号の処理装置及び聴診心音信号を処理するためのプログラム

発明者：江 鐘偉、孫 樹平、王 海濱

権利者：山口大学

種類：特許

番号：特願 2013-119147 号

出願年月日：平成 25 年 6 月 5 日

国内外の別：国内

名称：心音信号の判別方法及心音信号の判別システム

発明者：江 鐘偉、孫 樹平、王 海濱

権利者：西華大学 (中国)

種類：特許

番号：201310241853.X

出願年月日：2013 年 6 月 19 日

国内外の別：中国

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

江 鐘偉 (Zhongwei Jiang)

山口大学大学院理工学研究科・教授

研究者番号：6 0 2 2 5 3 5 7