AMCoR
Asahikawa Medical University Repository http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/

電子情報通信学会技術研究報告 (2017.4) 117(14):33-36.

長時間モバイル胎児監視に特化した超大口径極低消費電力1MHz CWドプラシステムとその設計、試作、試用経験

松本 成史, 幸田 学, 服部 浩, 原 量宏, 竹内 康人

一般社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
US2017-7 (2017-04)

長時間モバイル胎児監視に特化した超大口径極低消費電力１MHz CW ドプラシステムとその設計、試作、試用経験

松本成史[1]、幸田 学[2]、服部 浩[3]、原 量宏[4]、竹内康人[4]
[1]旭川医科大学病院 臨床研究支援センター、[2]秋葉が丘研究所、[3]服部医院、[4]香川大学 瀬戸内圏研究センター
連絡著者（竹内）：y.takeuchi@ieee.org

あらまし： 本研究は実生活空間における妊婦自身による自律管理の下に何日もの長時間の連続動作する事を目的とする、動態（モバイル）胎児監視に特化した、超大口径（８cm）極低消費電力（20mW）の１MHz CW ドプラシステムに関する物であり、本報告においてはその要件定義と開発の経緯、また設計、試作、試用経験の概要を紹介する。スタンドアロン形式の、また院内空間テレメトリー形式の胎児監視におけるドプラ胎児信号採取がこの 30 余年にわたりロングパルス・パルスドプラをデファクトスタンダードとする事に反し、本研究においては回路量、部品量、消費電力等の究極的な軽薄短小化のために、CW ドプラに先祖帰りした。その代償として、本装置は送受総計 16 個の振動子を一斉に利用する。

キーワード： 胎児監視、モバイル、自律管理、CW ドプラ、テレメトリー、軽薄短小化

Design, Prototyping and Field Experience of Ultra-Large Aperture 1MHz CW-Doppler System Dedicated to Long Term Continuous Mobile Fetal Monitoring

[1]S. Matsumoto, [2]M. Koda, [3]H. Hattori, [4]K. Hara and [4]Y. Takeuchi
[1]Asahikawa Medical University, [2]Akibagaoka Laboratory, [3]Hattori Clinic, [4]Kagawa University
Corresponding author (Takeuchi): y.takeuchi@ieee.org

Abstract: In this study, an 1MHz CW Doppler system dedicated to mobile fetal monitoring conducted by gravidae herrself, to run for days of very long term. The system employs extra large size aperture (8cm diameter), operates with small drain (20mW) of battery power. System requirement, development history, design, prototyping and field test are given in this report. In spite of 30 or more years of de-fact standard long-pulse pulsed Doppler for fetal monitoring, we got back to CW Doppler to satisfy our design goal for minimizing circuit complexity, part count and power consumption, at cost of hiring 16 transducer elements to form one ultrasound system.

Keywords: fetal monitoring, mobile, patient conduction, CW-Doppler, telemetry, size weight reduction.

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.
Copyright ©2017 by IEICE

研究の背景および解決したい課題

本研究は実生活空間における妊婦自身による自律管理の下に何日もの超長時間の連続動作する事を目的とする、動態（モバイル）胎児監視に特化した、超大口径（８cm）極低消費電力（20mW）の１MHz CW ドプラシステムに関する物であり、本報告においてはその要件定義と開発の経緯、また設計、試作、試用経験の概要を紹介する。

胎児監視は、1980 年代初頭にいわゆる「ドプラ・自己相関」という方式(1)が現行方式のデファクトスタンダードとして定着したが、同時に信号採取側は等価口径を大きく取った多素子式のワイドビーム・ロングパルス・パルスドプラシステムがそれと対になる形でデファクトスタンダードとなった。また観測周波数としては聴診用が 2~3MHz 領域だったのに対し 1MHz という低い周波数が採用された。これは聴診用が復調されたドプラオーディオ信号がヒトの耳に心地よく聞こえる周波数である事を重視して 2~3MHz を採用するのに対し、連続監視用ではそのような聴感は最優先事項ではなく、むしろ検出可能深度や獲得信号波形の単純さ等の方が優先された事に由来する(2)。しかしながらモバイル・ウエアラブル構成の独立電源によるテレメトリー長時間連続監視という立場からはシステム全体の軽薄短小化の必要からこのようなデファクトスタンダードには依存し難い面がある。本研究においては回路量、部品量、消費電力等の究極的な軽薄短小化のために、送信の時間制御や受信の繰り返しレート帯域制限フィルタが不要となる CW ドプラに先祖帰りした。その代償として、本装置は送波に８個、受波に８個、総計 16 個の振動子を一斉に利用する。

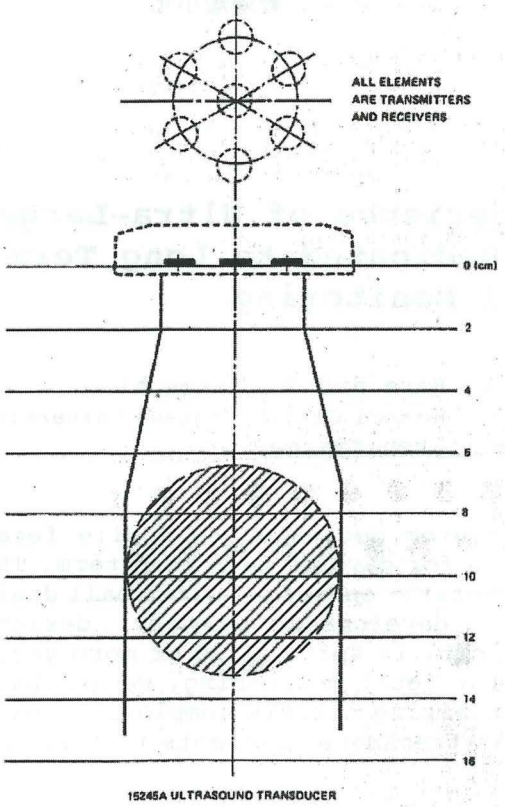

図１：従来システムにおける振動子の配置とビームプロファイルの例。斜線部分はビームの断面の形状を略示したもの。

デファクトスタンダードである慣行技術の概要と問題点の指摘

現行の胎児監視用ロングパルス・パルスドプラシステムの典型例は、観測周波数 1MHz 程度、パルス繰り返し周波数（PRF）3KHz 程度、送信信号のバースト長はデューティー比で３割程度である。パルスドプラに特徴的なレンジゲートは、設定される場合には選択距離（深度）範囲 4cm~15cm 程度に設定されるが、設定されない（送信していない時間帯は全部受信する）場合もある。これはヒトにおけるあらゆる胎位や妊婦の肥満度も考慮しての腹壁上から胎児心までの可能性ある距離範囲である。一方観測超音波ビームは例えば直径４cm とかに故意に太く非集束的に設定され、送受波器はその太さに見合う大口径の平面振動子の代りに小口径（例えば 1cm）の物数個（７個）を分布させ並列接続して用いる。図１にその例を示す。電子回路側では間欠送信のための波形発生回路、電力増幅器、低雑音初段アンプ、復調回路に加えてベースバンド段において繰り返し周波数除去のための高次のハイカットフィルタなどに総計 4～６個の演算増幅器を必要とする。この回路量、部品量、消費電力はモバイル・ウエアラブル構成の独立電源によるテレメトリー長時間連続監視という立場からは許容出来る物ではない。

課題を解決するために本研究が採用する手段手法

本研究においては同じ周波数で前記と同程度ないしそれ以上の太さの非集束ビーム(6cm 径）を、同様な思想による多素子並列駆動（送受８対 16 素子）で構成しつつ、システムを古典的かつ非常に簡素な構成の CW ドプラシステムにすることにより前記要求を満たす。CW ドプラ装置の究極的な軽薄短小化については古くから既に報告した所である(3)(4)が、今回の設計試作例においても同様に、

（１）発振段および送波ドライバ段は２値動作とする。
（２）電力消費量が大きい高周波段でのリニヤアンプを用いず、受波振動子の受波信号を直接検波する。
（３）ドプラフィルタ、AGC/ALC 機能、およびゲイン手段を１個の演算増幅器に集約する。

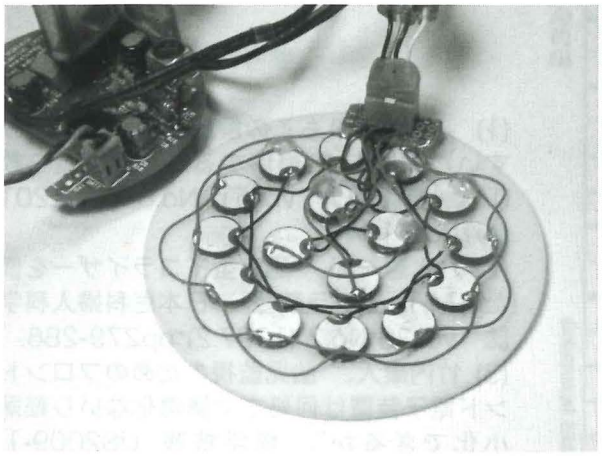

図２：　送受波器アセンブリーのプロトタイプ。１cm径の振動子 16 個を送受互い違いに並べている。左に見えるのは送受信回路。

という設計でドプラ送受信機全体をトランジスタ３個、ゲートレベル SSI１個および演算増幅器１個で完成した。図２に送受波器アセンブリーの機能試作を示す。感度有効領域は直径６cm の円筒形になる。振動子は直径 1cm、送波振動子の放射面積は総計で 6.3cm^2、体表面に結合しで稼動している状態で回路全体が 3V x 7mA 弱、20mW を消費するので、これが効率 100% で照射パワーになったとしても送波振動子面での超音波照射レベルは 3mW/cm^2 (SATA)である。

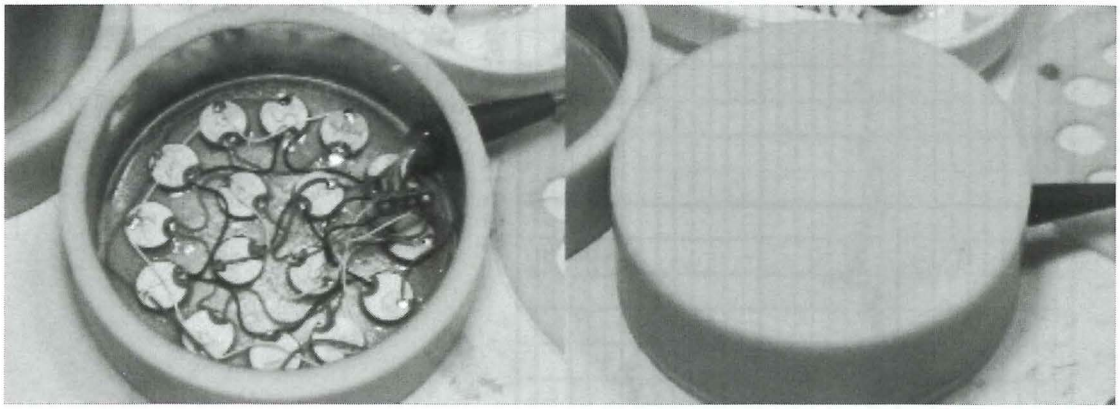

図３：臨床現場での試用のために再構築した送受波アセンブリー（探触子）。内面を電気的シールドのため銅メッキした ABS の浅いカップの底面に振動子群を接着して蓋をした。底面（音響結合面）の厚みは大略 2.7mm (5/4λ@1MHz)。

得られたデータとその考察

前記送受波器アセンブリーの機能試作を発展させ、実在の妊婦で試行出来るように図３の如く外匡を作り直し、もって実在の妊婦に通常の医療行為の一環として適用し、胎児心拍数図を採取した。対象は満期近くの 41 周の妊婦、胎児心の腹壁法線位置と推定される部位に設置する過程は全く試行錯誤する事なく１回で成功し、その後大略１時間の連続信号採取の間に位置の変更を必要とする事態は発生しなかった。図４に得られた胎児心拍数図を示す。機械的外乱と胎動によるアーティファクトによる瞬断の他は信号は極めて安定に受診され、心拍数のマクロな変動も細変動もよく描写された高品位な記録が得られた。尚、システムのドプラオーディオ信号出力を心拍数図に書き出すためには hp8041A 型胎児監視装置を外部入力（テレメトリー入力）モードで用いた。

結論および今後の展望

最も簡素な CW ドプラシステムが１MHz 領域の胎児監視用ワイドビームドプラシステムとして、特に回路量、部品量、消費電力の点で伝統的なロングパルス・パルスドプラシステムよりも有益である事が実証された。これにより実生活空間における妊婦自身による自律管理の下に何日もの超長時間の連続動作する事を目的とする、動態（モバイル）胎児監視用の信号採取システムにおいては、第一優先で採用するべき信号採取方式であると思料される。

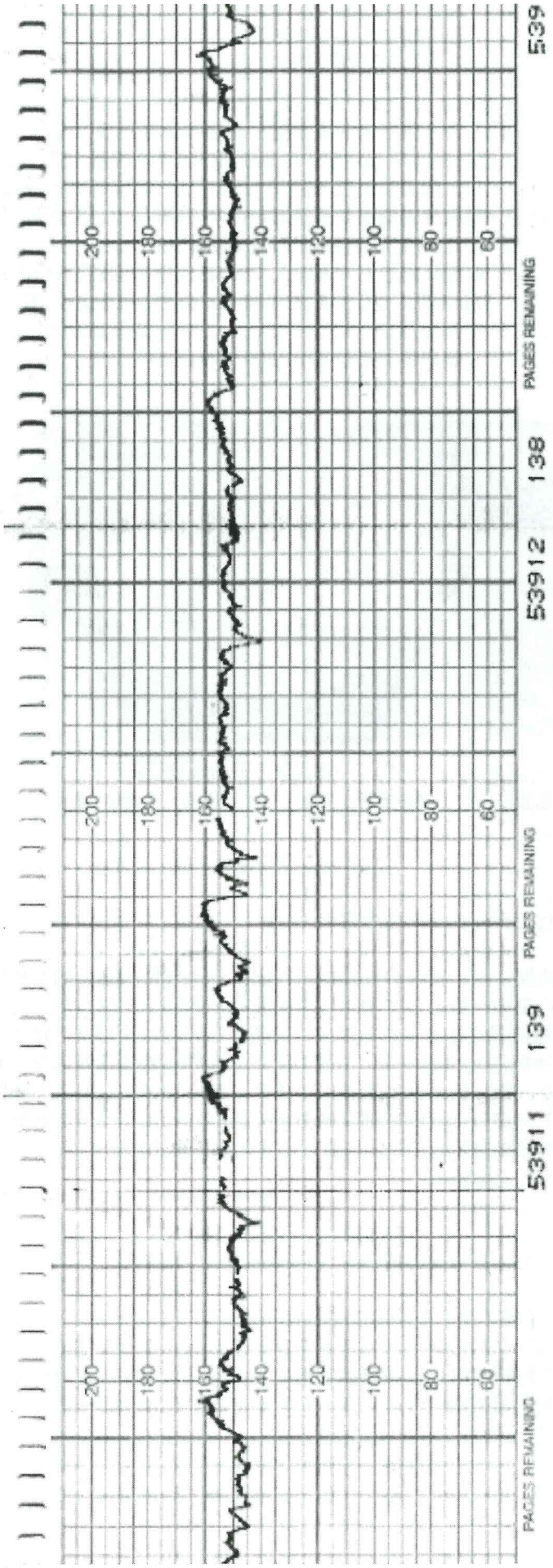

図４：　本装置により獲得されたドプラオーディオ信号による胎児心拍数図の一例。妊娠 41 週、陣痛発来前。心拍数図描画用のメインフレーム装置としては hp8041A 型胎児監視装置を有線接続外部入力（テレメトリー入力）モードで使用。

参考文献

(1) （原典よりもこの解説記事の方が読みやすい）原量宏、“ 崩壊する周産期医療を救う IT”、情報処理 vol.51 No.8 (Aug.2010) pp1039-1948.
(2) 八木憲一郎、” 適応型イコライザーを備えた 1MHz ドプラ装置”、日本産科婦人科学会誌　vol.39 No.2 (1987.2) pp279-286.
(3) 竹内康人、” 胎児監視のためのフロントエンド電子装置は何処まで簡素化ないし軽薄短小化できるか”、信学技報 US2009-116 (2010.2)
(4) 竹内康人、” CW ドプラ装置の小型低消費電力化への再検討”、信学技報 US93-29 (1993.7)
(5) 竹内康人、” 遠隔胎児監視システム構築のための胎児心拍陣痛テレメーター送信機の試作”　臨床産婦人科 vol.70 No.7 (2016.7)