

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03276

研究課題名(和文)循環器動態の高精度解析を可能とする次世代超高速高調波超音波断層法の研究開発

研究課題名(英文) Research and developments on next-generation harmonic ultrafast ultrasound imaging for accurate analysis of cardiovascular dynamics

研究代表者

長谷川 英之 (Hasegawa, Hideyuki)

富山大学・学術研究部工学系・教授

研究者番号：00344698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：循環器系疾患は我が国の死因の実に3割近くを占める。動的な器官である循環器の機能診断には動態計測が必須であり、特に心臓は急激な動きを呈することからその動態解析には高い時間分解能が必要である。しかし、従来の超音波診断装置の撮像速度は秒間30枚程度と、その循環動態と高精度に計測するには不十分である。本研究では、秒間5,000枚以上の撮像速度を可能とする超高速超音波イメージングにより心臓内血流動態の定性的観察および血流速度の定量評価を実現する手法を開発した。また、更なる高コントラスト化に有用な高調波モードを導入するための積層型振動子を配列した新規超音波プローブに関する基礎的検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、心臓内血流の定性的観察には造影剤の導入が必要であったが、超高速超音波イメージングにより造影剤の導入を要せずに血流の観察が可能となると同時に従来は推定が困難であった血流ベクトルの定量評価も可能となった。また、高調波イメージングを行う場合、従来はパルスインバージョン法を用いるために2回の送受信が必要であり時間分解能が劣化するが、開発した積層型振動子で送受信を行う場合にはパルスインバージョンを行わずに高調波を取り出すことが可能であり、時間分解能を劣化させずにイメージングを行うことができる。

研究成果の概要(英文)：Cardiovascular diseases are the significant causes of mortality in Japan. Methods for the measurement of the cardiovascular dynamics are required to evaluate the cardiovascular function. Particularly, in evaluation of the cardiac function, a high temporal resolution is desirable because the heart is beating rapidly. However, the temporal resolution of a conventional diagnostic ultrasound system is about 30 frames per second (fps), and it is not enough for evaluation of the cardiac function. In the present study, qualitative observation and quantitative evaluation of cardiac blood flow were realized by high-frame-rate ultrasound imaging at a temporal resolution of over 5000 fps. Also, a new ultrasonic array probe using layered piezoelectric elements was investigated for high-contrast ultrasound imaging using harmonic components in ultrasonic echoes.

研究分野：医用超音波工学

キーワード：超音波 積層振動子 高速イメージング

1. 研究開始当初の背景

循環器系疾患は我が国における死因の 3 割近くを占めており、高精度診断による早期発見と適切な治療を通じて医療費を削減することは重要な課題である。循環器系は動的な器官であり、その機能評価のためには動態計測が必須であるため、X 線 CT や MRI などに比べ時間分解能に優れた超音波断層法は循環器系の診断に最適である。CT における被曝の問題や、MRI のように検査コストが高額であるという問題もなく、経過観察にも適している。本申請者は、超音波断層法の長所である時間分解能をさらに向上させる手法の開発に取り組み、血管の超音波診断において撮像速度を従来の数十 Hz から数 kHz まで飛躍的に向上させ、血流と血管壁の動態を高時間分解能で解析する手法を開発した。循環器の中でも心臓は特に大きくかつ急激な動きを呈する器官であり、心臓内血流速度も大きく血流動態も複雑であるため、超高速撮像が望ましい器官であるが、血管用超高速イメージング法は視野が狭く、心臓に適用することができない。本申請者は、超音波アレイ振動子を用いて拡散する送信超音波ビームを実現することにより、少ない回数で心臓の全領域に超音波を照射する手法を考案し、心臓の超高速超音波イメージングも可能とした。

2. 研究の目的

前述の心臓の超高速イメージングの問題点は、超音波ビームを集束させずに肋骨の狭い間隙から超音波を心臓に照射するため(図 1)、肋骨等からの不要超音波反射波が増加し、断層像のコントラストを劣化するという点である。この問題の解決法としては、受信信号の相関性などから不要信号を抑圧することが挙げられる。本研究では、心臓内血流を高コントラストに描出するためのイメージング手法の開発を行った。

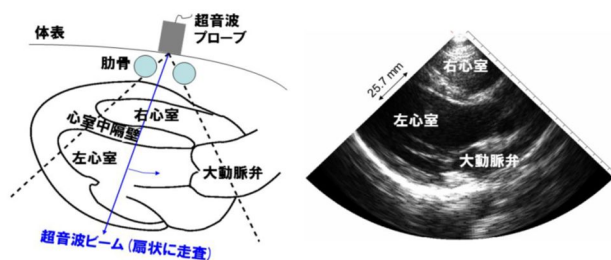


図 1: (左) 心臓超音波イメージングの模式図。(右) 超音波断層像。

高コントラスト化のもう 1 つの方法として、高調波超音波イメージングが挙げられる。高調波映像法では、超音波の伝搬過程で発生する高調波を利用しているため、超音波照射時に発生する不要反射波の影響を受けにくいという特徴がある。本研究では、高調波映像法のための新規超音波プローブに関する基礎的検討も行った。

3. 研究の方法

(1) 心臓内血球からの超音波エコーの高コントラスト描出法および血流速度ベクトル高精度定量計測法の開発

血球エコー強度は、心臓壁などの生体組織からのエコー信号の強度に比べ 40-60 dB ほど小さく微弱であるため、血球エコーを可視化するためには組織からのエコーを抑圧する処理が必要となる。組織からのエコーを抑圧し、血球エコーを強調するため、クラッタフィルタによる生体組織エコーの抑圧が必要である。

クラッタフィルタは受信超音波信号に適用されるフィルタであり、生体組織信号を抑圧し血流信号を通過するように設計される。従来は FIR フィルタに基づくクラッタフィルタが用いられてきた。しかしながら、近年、特異値分解に基づくクラッタフィルタが注目されている。特異値分解フィルタは血管イメージングにおいて従来の FIR フィルタに比べ、高いコントラストをもつカラードプラ画像を実現する。本研究では、心臓内腔のように血流速度が速く、空間分布も複雑な場合に特異値分解に基づくクラッタフィルタが有効であるか検討を行った。また、心臓の動きは深さ方向に時空間特性が異なるため、クラッタフィルタは深さごとに適用することが望ましい。本報告では、心腔内を流れる血流画像の取得のために特異値分解を用いたフィルタを深さごとに分割して適用する手法も検討した。クラッタフィルタにより強調された血球からのエコー信号についてさらに、それら信号の相関性に基づき(血球エコー信号であれば信号の相関が高く、雑音や不要エコーであれば相関が低い)、不要信号を抑圧してコントラストを向上させる手法も適用した。

上述の一連の手法は、血球からの超音波エコーを可視化し、血流動態を定性的に観察するためのものであるが、血流速度を定量的に評価するためには、対象の動きを検出する手法が必要である。現在、生体組織の 2 次元変位推定法としてスペckルトラッキング法が広く用いられている。超音波スペckルトラッキング法は、受信超音波信号の類似度を 2 つのフレーム間で比較することにより対象物変位を推定する手法である。2 つのフレームの超音波信号の類似度を評価するための関数としては、相関関数などが用いられる。スペckルトラッキング法では、2 つのフレームの超音波信号間のずれ量(ラグ)を変化させながら相関関数を算出し、相関が最大となるずれ量を対象物の変位として決定するため、多数のラグ(探索領域)における相関関数を算出する必要がある。

さらに、高速超音波イメージングでは、フレーム間の時間間隔が小さく、その間の対象の変位量は相関関数の標本化間隔以下の微小なものとなる。それを推定するためには相関関数の補間が必須であり計算量が増大する。また、秒間のフレーム数も最大で数千枚と膨大であることから、

変位推定に要する計算量を低減することは非常に重要である。本研究では、スペックルトラッキング法の血流計測への適用可能性の検討および並列計算による高速化を行った。また、受信超音波 RF 信号の位相や周波数に着目し、補間を要しない高速な変位・速度推定法に関する検討も行った。

(2) 積層型振動子を用いた超音波プローブに関する検討

本研究では、高調波イメージングのための新規超音波プローブに関する検討も行った。本プローブに使用した振動子は、2枚の超音波振動子を積層した構造となっており、2つの周波数の超音波を送受信可能である。本研究では、この振動子構造を利用して高調波イメージングに応用する手法を検討した。具体的には、低周波モードで超音波を送信し、高周波モードで超音波エコー信号(高調波)を受信する。本振動子は、高周波モードでは低周波モードの2倍の周波数で共振する構造となっており、送信波(低周波モード)の伝搬過程で発生した高調波を高周波モードで検出することが可能である。高調波イメージングにおいて、現在の超音波診断装置では受信波から微弱な高調波を取り出すために極性の異なる超音波パルスを送信し、それらの差分を取るパルスインバージョン法を用いている。しかし、この手法では1つの受信時系列信号を得るために2回の超音波送受信が必要であり時間分解能が劣化する。それに対し、本積層型振動子で送受信を行う場合には、受信時には高調波の周波数帯域しか感度がないため、パルスインバージョンを行わずに高調波を取り出すことが可能であり、時間分解能が劣化しない、超高速イメージングに最適な高調波検出法となりうる。

4. 研究成果

(1) 心臓内血球からの超音波エコーの高コントラスト描出法および血流速度ベクトル高精度定量計測法の開発

ヒト心臓から 6250 fps の高フレームレートで得られた超音波信号をもとにクラッタフィルタの評価を行った。空間 2 次元×時間 1 次元の 3 次元データに特異値分解を適用した。この手順により元信号を複数の成分に分解することができる。このうち血流に対応する成分のみを残し、元のサイズに戻すことで血流エコー信号を取得できる。本研究では、閾値として -55 dB を設定し、特異値が最大特異値に比べ閾値より小さい成分が血流エコーを表す成分であるとして、血流信号を決定した。またノイズ除去のため、特異値分布の傾きに基づきノイズ信号を表す成分を推定・除去した。図 2(a) に本手法の模式図を示す。

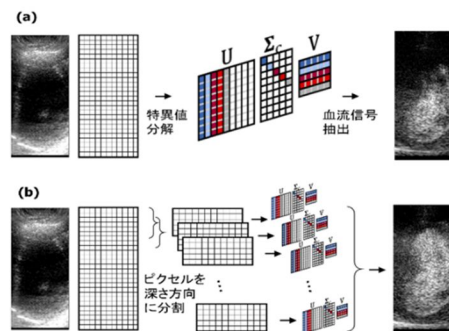


図 2: (a) 特異値分解処理の模式図。(b) 深さ方向に分割した特異値分解フィルタ。

図 3 は描出された血球からのエコー信号を示す。従来のクラッタフィルタによる結果(左)に比べ、特異値分解を用いた場合(中央)では血球からのエコー信号の強度が上昇していることがわかる。また、強調された血球エコー信号の相関性に基づき、不要信号を抑圧した結果が図 3(左)である。不要信号を抑圧することによりコントラストが向上していることが分かる。

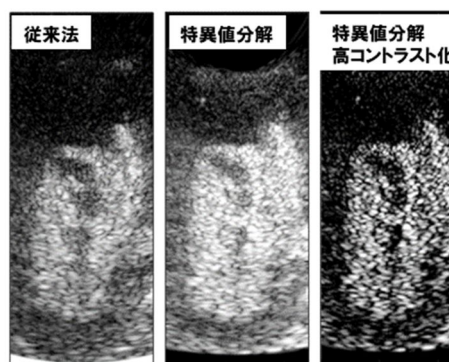


図 3: 左心室内血球からの超音波エコーの可視化結果。(左) 従来のクラッタフィルタによる結果。(b) 特異値分解フィルタによる結果。(c) 特異値分解フィルタにより強調された血球エコー信号の相関性から不要信号を抑圧した結果。

また、心臓動態の時間・空間的特性は部位により異なり、超音波イメージングシステムの点拡がり関数も深さ依存性があるため、部位ごとにクラッタフィルタの特性を可変にすることにより血球エコー描出能を向上させることができると考えられる。本研究では、図 2(b) に模式的に示すように、超音波エコーデータを深さ方向に分割し、それぞれにブロックごとに特異値分解を適用した。結果を図 4 に示す。深さ方向に分割しない図 4(左)の結果に比べ、深さ方向に分割した図 4(右)の結果では、特に浅部領域において血球エコーの描出能が向上していることが分かる。

描出した血球エコーに動き推定法を適用することにより、血流速度ベクトルを推定することが可能である。従来の超音波イメージングにおいてもドプラ法を用いて血流速度を推定可能であるが、その速度は超音波伝搬方向の成分のみである。一方、スペックルトラッキング法などの多次元方向の動き推定法を用いることで速度ベクトルを推定することができる。図 5 は描出した血球エコーにスペックルトラッキング法を適用した結果であり、収縮期と拡張期のそれぞれの時相において血流速度ベクトルが推定されている。

一方、スペックルトラッキング法の計算コストは高く、超高速イメージング法では秒間数千枚の膨大な超音波画像が得られるため、それらを効率的に処理する必要がある。本研究では、受信

超音波信号の2次元周波数スペクトルを用いて高速に2次元血流速度ベクトルを推定する手法を開発した。本手法は位相スペクトルも利用しているため、位相変化が π を超える速度では折り返し現象により推定を行うことができない。本研究では、折り返し限界を拡張する手法も開発した。図6はシミュレーションにより開発した手法の評価を行ったものであるが、図6(左)では折り返し現象により速度ベクトルの方向が不適切でありばらつきも大きいが、開発した折り返し低減手法を用いることにより図6(右)のように速度ベクトルを適切に推定することが可能である。

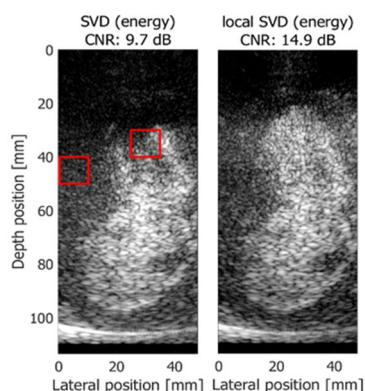


図4: クラッタフィルタの深さ方向分割効果(左)分割しない場合。(右)分割した場合。

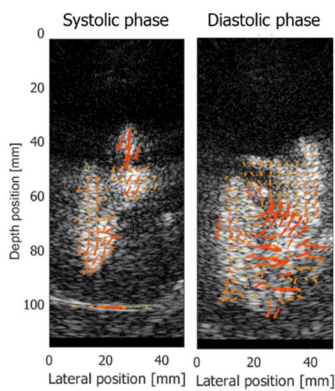


図5: 血流ベクトル推定結果。(左)心臓収縮期。(右)拡張期。

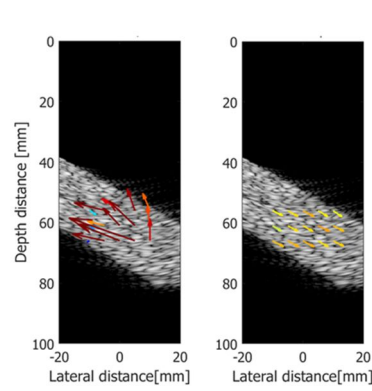


図6: 折り返し補正法の効果。(左)補正なし。(右)補正あり。

(2) 積層型振動子を用いた超音波プローブに関する検討

積層振動子を配列上に配置した超音波プローブを開発し、その特性の評価を行った。通常の振動子は信号線が1本であるが、本積層振動子は信号線が2本あり、電圧印加・検出線を切り替えることにより低周波モード(LFMode)、高周波モード(HFMode)で動作させることが可能である。

図7は、電圧を印加する線を切り替えて水中に超音波送信を行い、水中に設置した超音波ハイドロホンにより送信超音波を受信した結果である。図7(a)はそれぞれの条件で得られた超音波音圧に対応する信号の時間波形である。低周波モード(LFMode)は、積層振動子全体の厚みで共振するように動作させた場合の波形であり、その場合は図7(b)のパワースペクトルから2MHz付近にピークが見られる。

高周波モード(HFMode)は、音波送信方向(実際のイメージングにおける生体側)の層の励振によるもの(HFMode-1)と、背面材側の層の励振によるもの(HFMode-2)がある。背面材(図中の黒破線)は、不要な音波を吸収して送信波を広帯域化するためのものであるため、図7(b)から分かるように全体的に感度が低下しているが、音波送信方向の層を用いることにより、低周波モード(LFMode)の倍程度の周波数にピークが見られる。したがって、低周波モード(LFMode)により送信した超音波の伝搬中に発生した高調波を、高周波モード(HFMode-1)により検出することができる。また、高周波モード(HFMode-1)は低周波モード(LFMode)の2MHz付近には感度がなく、低周波モード(LFMode)で送信される基本波をパルスインバージョン法などで抑圧する必要がないため、複数回の超音波送信を必要とせず、イメージングにおける時間分解能の低下を防ぐことができる。

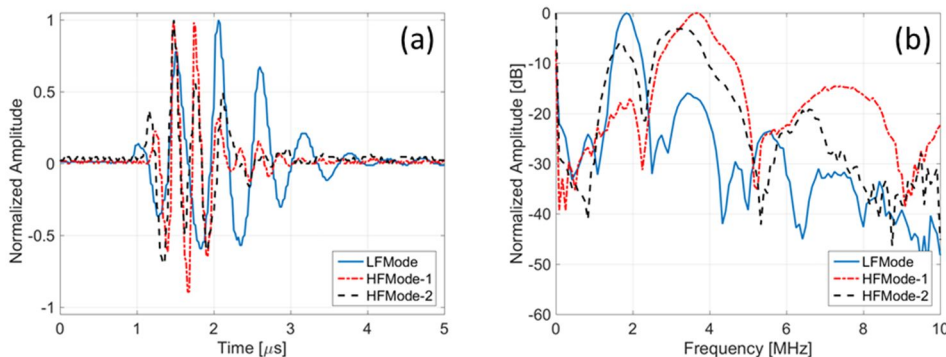


図7: 積層振動子を用いた超音波プローブからの送信超音波の測定結果。(a) 時間波形。(b) 周波数スペクトル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Analysis of arterial wall motion for measurement of regional pulse wave velocity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF01-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/JJAP.57.07LF01	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kaori Kaburaki, Michiya Mozumi, and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Estimation of two-dimensional motion velocity using ultrasonic signals beamformed in Cartesian coordinate for measurement of cardiac dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF03-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/JJAP.57.07LF03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masato Minagawa, Hideyuki Hasegawa, Tadashi Yamaguchi, and Shin-ichi Yagi	4. 巻 57
2. 論文標題 Measurement of shear wave propagation speed by estimation of two dimensional wavenumbers using phase of particle velocity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF07-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/JJAP.57.07LF07	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akira Miyajo and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Measurement of 2D motion of carotid arterial wall using phase shift and frequency of ultrasonic echo	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF11-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/JJAP.57.07LF11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Michiya Mozumi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Improvement of high range resolution imaging method by considering change in ultrasonic waveform during propagation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF23-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/JJAP.57.07LF23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa	4. 巻 56
2. 論文標題 Improvement of range spatial resolution of medical ultrasound imaging by element-domain signal processing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JF02-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.07JF02	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Fujita and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 56
2. 論文標題 Effect of frequency characteristic of excitation pulse on lateral spatial resolution in coded ultrasound imaging	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JF16-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.07JF16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Michiya Mozumi and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 8
2. 論文標題 Adaptive beamformer combined with phase coherence weighting applied to ultrafast ultrasound	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 204-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.3390/app8020204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Nagaoka and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 46
2. 論文標題 Identification of vascular lumen by singular value decomposition filtering on blood flow velocity distribution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 187 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/s10396-019-00928-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Miyajo, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Comparison of ultrasonic motion estimators for vascular applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGE16 ~ SGGE16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/1347-4065/ab19b5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Nagaoka, Michiya Mozumi, and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Investigation of the estimation accuracy of two-step block matching methods using envelope and RF signals for two-dimensional blood flow vector imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGE10 ~ SGGE10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/1347-4065/ab0ffa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka	4. 巻 58
2. 論文標題 Singular value decomposition filter for speckle reduction in adaptive ultrasound imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGE06 ~ SGGE06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/1347-4065/ab0ad6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Michiya Mozumi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Utilization of singular value decomposition in high-frame-rate cardiac blood flow imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGE02 ~ SGGE02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7567/1347-4065/ab1131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka	4. 巻 46
2. 論文標題 Initial phantom study on estimation of speed of sound in medium using coherence among received echo signals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 297 ~ 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/s10396-019-00936-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka	4. 巻 42
2. 論文標題 Converting Coherence to Signal-to-noise Ratio for Enhancement of Adaptive Ultrasound Imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrasonic Imaging	6. 最初と最後の頁 27 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1177/0161734619889384	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計84件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 31件)

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Plane-wave phase coherence imaging with singular value decomposition
3. 学会等名 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Nagaoka, Shin-ichiro Umemura, Yoshifumi Saijo, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Basic study on ultrasonic imaging using piezoelectric elements with polarization-inverted layer
3. 学会等名 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Soichiro Nunome, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Multi-frequency 3D phase tracking method with phased-array beamforming in Cartesian coordinate system
3. 学会等名 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Least-square beamformer for medical ultrasound imaging
3. 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Nagaoka, Michiya Mozumi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 2-D blood flow vector imaging in common carotid artery based on 2-step block matching method using envelope and RF signals
3. 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Akira Miyajo, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2 . 発表標題 Noninvasive assessment of vascular elastography using 2D phase-sensitive motion estimator
3 . 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Soichiro Nunome, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2 . 発表標題 Multi-frequency phase tracking method for estimation of three-dimensional motion velocity
3 . 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Michiya Mozumi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2 . 発表標題 Singular value decomposition of element echo signal received by individual elements for clutter reduction
3 . 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Masato Minagawa, Ryo Nagaoka, Hideyuki Hasegawa, Tadashi Yamaguchi, and Shin-ichi Yagi
2 . 発表標題 Quantitative evaluation on estimation of shear wave propagation speed using phase of particle velocity
3 . 学会等名 The 39th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 固有値展開・特異値分解による受信焦点からのエコー強度の推定
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮條 晃, 長谷川英之
2. 発表標題 受信超音波信号の位相偏移と周波数の推定による血管壁2次元移動速度の空間分布計測
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長谷川英之
2. 発表標題 セクタプローブを用いた2次元変位推定における位相コヒーレンス因子の影響の検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 布目宗一郎, 長谷川英之
2. 発表標題 周波数補償付多周波位相追跡法の3次元変位ベクトル推定への適用
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 高速超音波イメージングによる血管動態計測
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之, 茂澄倫也
2. 発表標題 高速超音波イメージングによる血球エコー可視化と血流速度ベクトル計測
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 高速超音波イメージングの原理と応用
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 高時間分解能超音波計測法におけるスペックルトラッキングの推定精度検証
3. 学会等名 日本超音波医学会第91回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 回転ファントムを用いた2次元血流速度推定法に関する基礎検討
3. 学会等名 日本超音波医学会基礎技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新川裕也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 Coherence Factorを用いた低周波イメージングにおける方位分解能の改善
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 超音波適応ビームフォーミング
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 シミュレーションファントムを用いたブロックマッチング法とベクトルドブラ法との血流速度推定精度比較に関する基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Nagata, Rikke von Barm, Ryo Nagaoka, Jens E. Wilhjelm, Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Comparative study of conventional linear scan, synthetic aperture imaging, and multi-angle compound imaging
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川数馬, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 超音波変位推定法の精度評価のための有限要素法による血管変形モデルシミュレーションの基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長岡 亮, 吉澤 晋, 梅村晋一郎, 長谷川英之
2. 発表標題 ベクトルドプラ法における血流速度推定に用いる超音波ビーム角度に関する基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 非集束送信ビームによるイメージングとその応用
3. 学会等名 日本超音波医学会第30回関東甲信越地方会学術集会抄録集(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 超音波ビームフォーマの性能向上に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会超音波研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 特異値分解を用いた血管内腔抽出に関する基礎検討 - 血流速度推定領域決定のために -
3. 学会等名 日本超音波医学会基礎技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 特異値分解を用いたカラードプラ画像の正則化
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 素子信号間の相関性に基づく音速推定に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川数馬, 宮條 晃, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 有限要素法による血管変形モデルシミュレーションを用いた周波数補償付多周波位相追跡法の精度評価に関する基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 野村英之, 大鶴 徹, 上田麻理
2. 発表標題 指向性收音システムの開発 - スポーツ競技から発生する音の計測 -
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 脈波伝搬速度検出のための超音波照射シーケンスに関する基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 特異値分解を用いた心臓壁の速度伝搬計測に関する基礎検討
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Michiya Mozumi
2. 発表標題 Maximum likelihood estimation of scattering strength for high range resolution ultrasound imaging
3. 学会等名 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Adaptive beamforming applied to transverse oscillation
3. 学会等名 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa, Kaori Kaburaki, and Michiya Mozumi
2. 発表標題 Cardiac blood flow imaging by ultrafast ultrasound based on beamforming in Cartesian coordinate
3. 学会等名 International Conference on Biomedical Ultrasound (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Methods for ultrafast imaging and motion estimation for cardiac functional imaging
3. 学会等名 Workshop on Theranostic Ultrasound in Cardiology and Neurology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Michiya Mozumi
2. 発表標題 Adaptive beamformer with phase coherence factor weighting applied to ultrafast ultrasound
3. 学会等名 2017 International Congress on Ultrasonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 変位計測への適用を目指した適応ビームフォーマによる超音波音場の横方向変調
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 最尤推定法と複数信号弁別法による高フレームレート超音波の距離分解能向上
3. 学会等名 日本超音波医学会第90回学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮條 晃, 長谷川英之
2. 発表標題 受信超音波信号の位相偏移と周波数の推定による血管壁2次元速度の高精度計測
3. 学会等名 日本超音波医学会第90回学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鍋木かおり, 轟 勇人, 長谷川英之
2. 発表標題 フェーズドアレイプローブを用いた2D変位計測におけるビームフォーミング座標系の影響
3. 学会等名 日本超音波医学会第90回学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長谷川英之
2. 発表標題 送受信特性の推定と距離分解能向上手法への適用
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 高速超音波断層法による循環器動態計測
3. 学会等名 文部科学省戦略的研究基盤形成支援事業 (2013~2017年度) 「超音波を基軸とした新たな医療技術開発の拠点形成 - ヒトにやさしい医療を目指して - 」 2017年度研究成果公開シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鍋木かおり, 長谷川英之
2. 発表標題 心臓壁動態計測のための高精度2次元変位計測法に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2017年秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Investigation on maximum likelihood method for measurement of regional pulse wave velocity
3. 学会等名 The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Minagawa, Hideyuki Hasegawa, Tadashi Yamaguchi, and Shin-ichi Yagi
2. 発表標題 Basic study on estimation of two dimensional wavenumbers using phase of particle velocity
3. 学会等名 The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kaori Kaburaki, Michiya Mozumi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 2D motion velocity estimation using beamformed ultrasonic signal in Cartesian coordinate for measurement of cardiac dynamics
3. 学会等名 The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Miyajo and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Analysis of 2D motion velocity of common carotid arterial wall by estimation of phase shift and frequency of received ultrasonic echo
3. 学会等名 The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Michiya Mozumi and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Estimation of transmit-receive response of ultrasound system for high range resolution imaging
3. 学会等名 The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 超音波による流れ・組織動態の計測法
3. 学会等名 日本超音波医学会第29回関東甲信越地方会学術集会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川英之, 西條芳文, 梅村晋一郎
2. 発表標題 分極反転構造を有する積層型振動子による超音波イメージング
3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹倉優太, 長谷川英之, 佐藤雅弘, 八木晋一
2. 発表標題 FDTD法を用いたせん断波伝播シミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長谷川英之
2. 発表標題 適応ビームフォーマと位相コヒーレンス因子の併用による空間分解能の向上
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 固有値展開・特異値分解を用いた遅延和ビームフォーミング
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 布目宗一郎, 長谷川英之
2. 発表標題 周波数補償付多周波位相追跡法の3次元化に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Michiya Mozumi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Singular value decomposition filtering in high-frame-rate cardiac vector flow imaging
3. 学会等名 International Conference on Electric and Electronic Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Very high frame rate ultrasound for medical diagnostic imaging
3. 学会等名 International Conference on Electric and Electronic Engineering 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Effect of size of transmit aperture on estimation of ultrasonic speed of sound in diffuse scattering medium
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa, Ryo Nagaoka, and Michiya Mozumi
2. 発表標題 Cardiac blood flow imaging using very high frame rate ultrasound
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Nagaoka, Michiya Mozumi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Visualization of blood flow velocity vectors in human heart using high frame rate ultrasound imaging and vector flow mapping
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Recent developments in adaptive beamforming
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Quantitative cardiac blood flow imaging with high frame rate ultrasound
3. 学会等名 Journal of Acoustical Society of America (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 脈派の反射波成分の検出に関する基礎検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心臓壁振動の計測における不要エコーの影響に関する基礎検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 素子信号間相関性評価による音速推定の平面波イメージングへの適用
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心腔内血流イメージングのための空間基底画像を用いた特異値分解クラッタフィルタ
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 特異値分解を用いた頸動脈内腔領域抽出
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡 亮, 茂澄倫也, 長谷川英之
2. 発表標題 超高速超音波断層法による心臓内血流ダイナミクスと流速ベクトルの可視化
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 血管エコーの基礎工学 - Bモード法から新技術まで
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 並列ビーム形成技術とその応用
3. 学会等名 日本超音波医学会第92回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之, 長岡 亮
2. 発表標題 2種送信波を用いた開口合成法に関する基礎的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心腔内血流計測のための特異値分解クラッタフィルタの空間分割化に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 参納史匡, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 配列型振動子を用いた音速推定における諸条件の検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 高時間分解能超音波計測による腹部大動脈の脈波伝搬イメージング
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Soichiro Nunome, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Accuracy evaluation of 3D velocity estimation by multi-frequency phase tracking method with matrix array probe
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumitada Sannou, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Examination of effectiveness of signal-to-noise ratio factor in estimation of sound speed of medium
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazunori Nagata, Ryo Nagaoka, Jens Erik Wilhjelm, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Basic study on differentiation of reflection and scattering components by synthetic aperture method using spherically diverging transmit beams
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michiya Mozumi, Ryo Nagaoka, Magnus Cinthio, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Anti-aliasing method for 2D phase-sensitive motion estimator in ultrasound measurement
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Characteristic analysis on linear regression beamformer
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 血流計測テクノロジーの開発と基礎的検討
3. 学会等名 第13回血流会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長岡 亮, 茂澄倫也, 長谷川英之
2. 発表標題 超高時間分解能ベクトルフローマッピング法による心臓内血流ダイナミクスと2次元速度情報の評価
3. 学会等名 第13回血流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茂澄倫也, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心腔内血流信号強調のための2次元点拡がり関数の推定に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川数馬, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 血管変形モデルシミュレーションを用いた超音波によるひずみ計測法の精度評価
3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hideyuki Hasegawa and Chris L. de Korte	4. 発行年 2018年
2. 出版社 MDPI	5. 総ページ数 173
3. 書名 Ultrafast Ultrasound Imaging	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://www3.u-toyama.ac.jp/hase/>
富山大学 工学部 知能情報工学科 長谷川研究室
<http://www3.u-toyama.ac.jp/hase/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西條 芳文 (Saijo Yoshifumi) (00292277)	東北大学・医工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	梅村 晋一郎 (Umemura Shin-ichiro) (20402787)	東北大学・医工学研究科・学術研究員 (11301)	
研究分担者	長岡 亮 (Ryo Nagaoka) (60781648)	富山大学・大学院理工学研究部(工学)・特命助教 (13201)	