

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500549

研究課題名(和文)アレーアンテナ空間信号処理を用いたヒト循環器の運動の非接触計測

研究課題名(英文)Contactless Measurement of Motion of Human Cardiovascular Using Array Antennas Spatial Signal Processing

研究代表者

佐藤 宏明(SATO, Hiroaki)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号：90359498

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：心筋梗塞や動脈硬化といった循環器系疾患は日本人の病気による死亡原因の第2位をしめる重大な疾病である。そのため循環器系疾患の早期診断や予防診断のために、患者の負担が少なく、精度の高い診断法が以前より求められている。この実現を目指して、本研究課題では心臓や動脈などの循環器組織の運動を計測し、診断のための情報を抽出することを目指した。本研究課題では“マイクロ波アレーアンテナ空間信号処理の実験装置”を製作し、この実験装置を用いてヒト循環器周辺の器官の運動を非接触かつ体を傷つけることなく計測を行った。計測法の検討と検出アルゴリズムの改良により呼吸による信号変動と心臓拍動による動きを捉えることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Circulatory diseases, such as arteriosclerosis and myocardial infarction is a serious disease, which account for the second leading cause of death by disease of Japanese. For the prevention and diagnosis early diagnosis of cardiovascular disease, the burden of patients is small and therefore, diagnostic method with high accuracy is required than before. The attempt has been aimed at the realization, and to measure the motion of cardiovascular tissues such as heart and arteries in the present study object, and extracts the information for diagnosis. For the purposes of this study challenge, "Experimental equipment of spatial signal processing for micro-wave array antenna" was produced. Contactless measurements were performed without damaging the body and motion of organs of human cardiovascular surrounding using this experimental equipment. As a result, we succeeded in capturing separate motion by the heart beat and signal fluctuations due to respiration.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：アレーアンテナ 空間信号処理 マイクロ波 MIMO 心臓拍動計測 循環器系モニタ 循環器系疾患 非侵襲診断

1. 研究開始当初の背景

心筋梗塞や動脈硬化といった循環器系疾患は日本人の病気による死亡原因の第2位をしめる重大な疾病である。そのため循環器系疾患の早期診断や予防診断のために、患者の負担が少なく、精度の高い診断法が以前より求められている。この実現を目指して、本研究課題では心臓や動脈などの循環器組織の運動を計測し、診断のための情報を抽出することを旨す。

2. 研究の目的

アレーアンテナと空間信号処理によってマイクロ波（電磁マイクロ波）を用いてヒト循環器の運動の非接触、非侵襲な計測を行う。ヒト循環器系疾患の診断に役立つ情報として、生体組織の運動や弾性率の変化をマイクロ波によって計測し診断情報の抽出を目指す。計測は、これまではこの種の計測に使われてこなかったマイクロ波を用いた方法により非接触、非侵襲で行う。

本研究課題を推進することで、循環器系のモニタリングに適した検出アルゴリズムを確立して“医療診断におけるマイクロ波センシング技術”という新しい研究分野を切り開くことを目指す。マイクロ波による非接触な循環器組織の診断が実現できれば、循環器系疾患の早期診断や予防診断に対して新しい診断情報を提供し大きな寄与となると期待できる。また、循環器疾患の患者がマイクロ波の到達範囲にさえ居れば24時間のモニタ診断も可能となることが期待できる。

3. 研究の方法

(1) 提案の研究を遂行するために、図1の“マイクロ波アレーアンテナ空間信号処理の実験装置”を構成した。マイクロ波は人体を透過する際に循環器の運動の情報が重畳されている。送受信のアンテナを自作する。信号発生器を送信用、受信用で別に用意する。RF信号をダウンコンバータ（周波数変換器）でベースバンド信号変換してデータロガーによりAD変換して記録する。信号データをホストコンピュータに転送して、ホストコンピュータ上で空間信号処理の演算を行う。

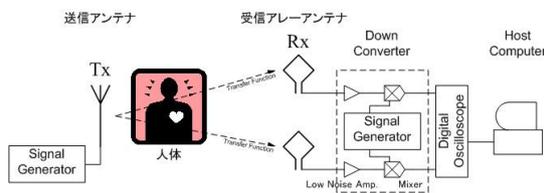


図1: 計測・実験装置

(2) 構築した実験装置を用いて計測実験を行った。本測定系では、受信側においてサンプリングされたデータをもとに伝達関数を推定する。推定した伝達関数を比較することによって、人体に由来する環境変動量を抽出する。そのため次のような実験手順を取る。

- ① まず無人環境における測定を行う
- ② 次に有人環境における測定を行う
- ③ その後コンピュータによってサンプリングデータより伝達関数を推定する

ここで、①の結果より装置や環境に由来するチャンネル変動成分の解析を行い、②の結果よりそれらを除く。それによって微小な人体由来の変動成分を抽出する。①～③の手順を様々なアンテナ距離や環境に適用することによって、検出アルゴリズムの改良と精度の評価を行う。

(3) マイクロ波を用いて計測されたヒト循環器の周辺の運動の計測信号から、循環器診断のための情報の抽出に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 送受信側それぞれ2つのパッチアンテナを横に並べた2×2MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)システムを用いる。図2の様に生体の前面に送受信アンテナ両方を置き、反射波を測定する。ここで伝搬経路の数は(受信アンテナ数*i*)×(送信アンテナ数*j*)と等しい。MIMOシステムの伝搬環境の変化を表す伝搬チャンネル h_{ij} はチャンネル行列 \mathbf{H} として以下の様に定義される。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

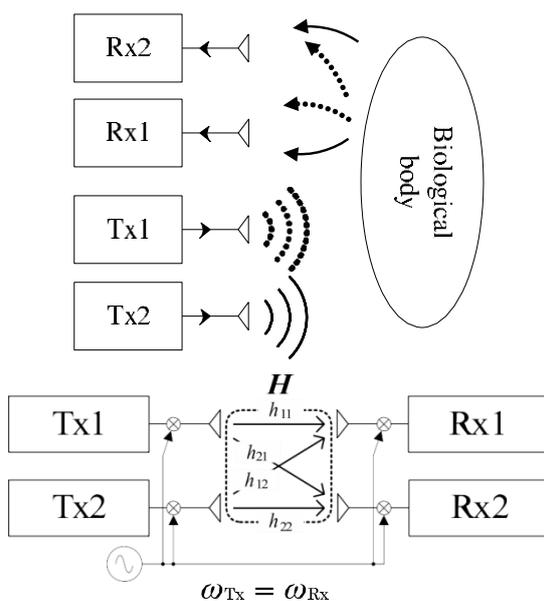


図2: MIMOシステムによる計測

図3にアンテナ間隔 1.0λ , 距離 25cm で測定した測定チャネル h_{ij} の振幅波形とフーリエ変換より求めた周波数スペクトルを示す. 振幅波形では周期をもった変動が見て取れる. 周波数スペクトルを見ると, 無人時に比べて周波数ピークが検出されており, 生体を置いたことで伝搬環境に変化が生じていることがわかる. 特に 0.3Hz 付近に高いピークが現れていることがわかる. 人間の呼吸は安静時 1Hz 以下であるため 0.3Hz 付近のピークは呼吸による体の振動が伝搬チャネルに与えた変動であると考えられる. また, 1.5Hz 付近にも周囲に比べて高いピークが検出されており, これが心拍にあたる成分と思われる. 無人時に比べて高い振幅成分が検出されており, 特定の周波数に高いピークが表れていることから生体の動きが伝搬環境に影響を与えることは明らかであり, 呼吸・心拍成分の検出も十分に可能と考えられる.

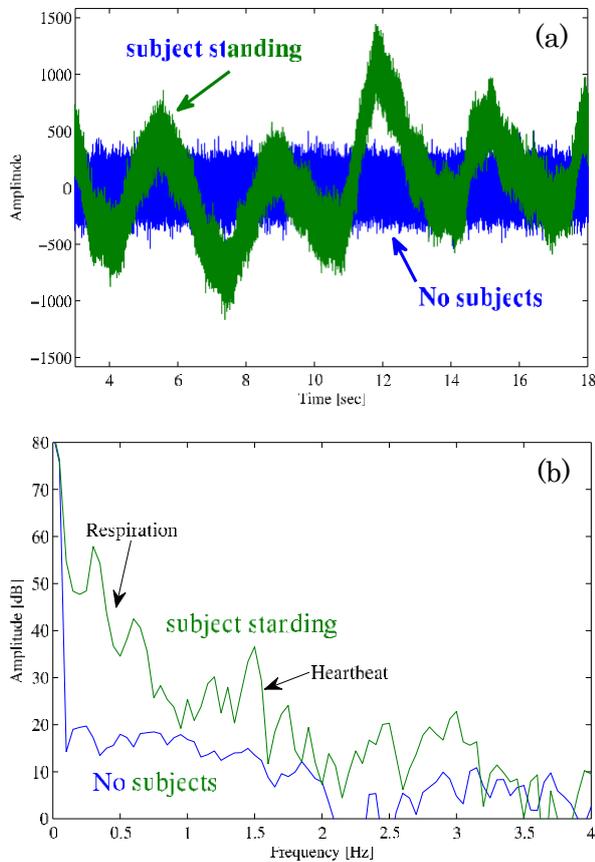


図3: 測定チャネル h_{11}

(a) 振幅波形

(b) 周波数スペクトル

測定信号にフィルタ処理を行い, より詳細な呼吸・心拍成分の分離を行う. ハイパスフィルタで直流成分を除去し, ローパスフィルタによって高周波成分を除去する. 心拍成分については, さらにローパスフィルタによって呼吸成分と思われる低周波成分を除去して抽出を行う. 呼吸成分は波形の過剰な平滑化を防ぐために心拍成分を除去しない. 呼吸成分では20秒間, 心拍成分では5秒間として振幅波形

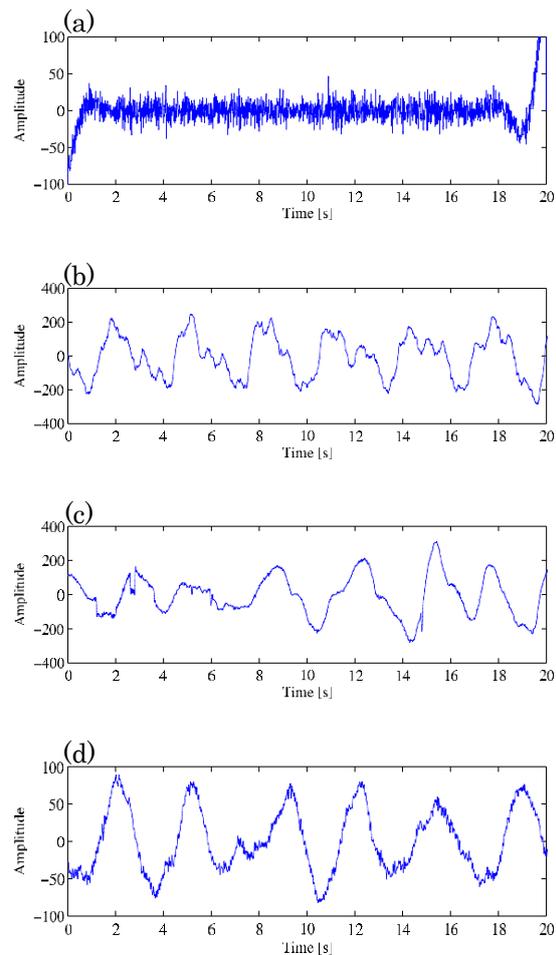


図4: 呼吸成分

(a)無人の場合, (b),(c),(d)アンテナとの距離がそれぞれ 25,100,200cm

を観測する. それぞれ0.3Hz 付近を呼吸成分, 1.5Hz 付近を心拍成分と考え, フィルタ処理によって各生体信号の分離を行った.

図4および図5にフィルタで抽出した呼吸成分, 心拍成分を示す. 体とアンテナとの距離を 25, 100, 200cm および無人の場合で計測を行った. アンテナ距離 25cm の場合はチャネル h_{11} が最も検出感度が高く, 100cm, 200cm の場合は比較的安定した検出感度を示しているためチャネル h_{12} を用いた. 呼吸成分と心拍成分は, 無人の場合と比べて明らかに生体による周期信号が検出されていることがわかる. 特に心拍成分では特徴的な波形が連続して表れている. アンテナ距離 25cm では呼吸・心拍成分がともに, 特徴的な波形が周期的に表れている. そして, 振幅は小さくなるがアンテナ距離が 100cm よりも 200cm の方が, 周期波形が観測しやすい.

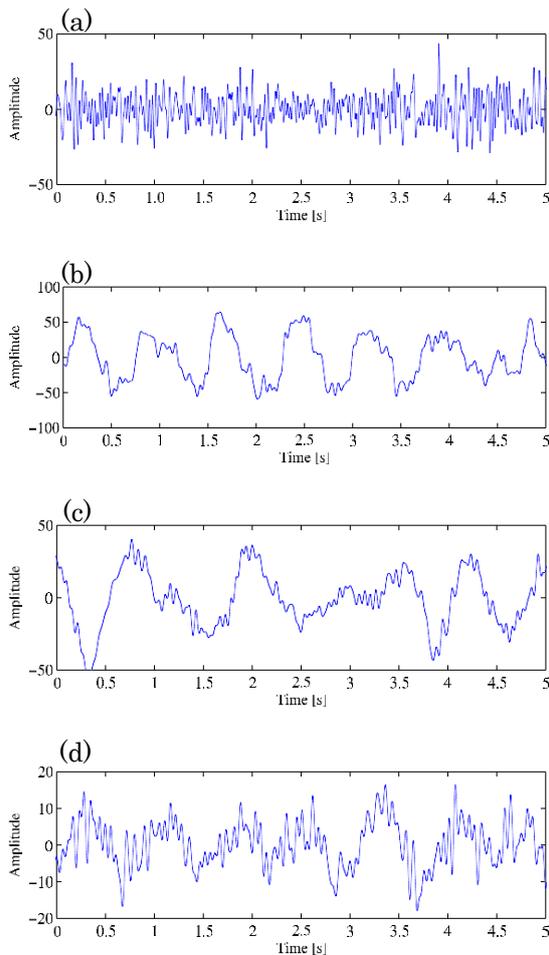


図 5: 心拍成分

(a)無人の場合, (b),(c),(d)アンテナとの距離がそれぞれ 25,100,200cm

これは測定チャネルを呼吸・心拍成分付近の検出感度からチャネルを選択したため, チャネル h_{12} については 200cm において最適なチャネルであったと考えられる.

ここでは MIMO システムの伝搬チャネルの時変動特性を用いて, 呼吸・心拍成分の検出を行った. 測定した測定チャネルには 0.3Hz 成分と 1.5Hz 成分に特徴的な振幅が観測された.

(2)図 6 に示すように有人環境における伝搬チャネルは人間の動きによって変動する. ここでは有人時のチャネル変動を検出し, スライディング相関を用いて歩行・走行時の測定チャネルとの相関変動を求め行動推定を行う.

図 7 にスライディング相関により求めた MIMO チャネル波形の自己相関の結果を示す. この結果を見ると歩行時・走行時ともある長さ以上の窓幅長では, どの窓幅においても相関値が同様の周期変動をすることが確認できる.

図 8 はスライディング相関を用いて行動推

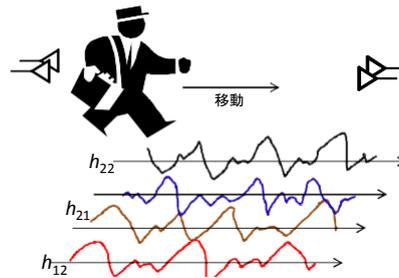
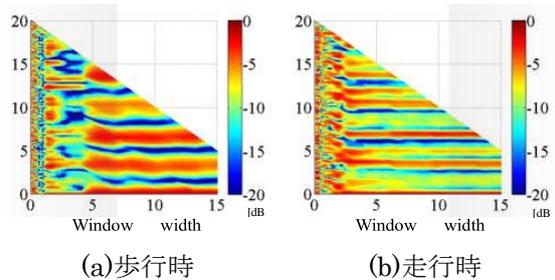


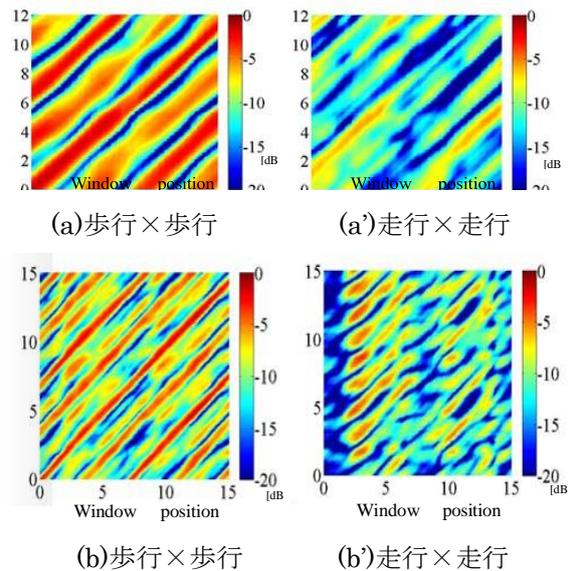
図 6: 有人時の伝搬チャネルの変化



(a)歩行時

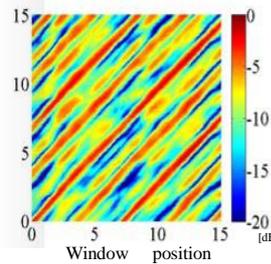
(b)走行時

図 7: ウィンドウ幅と観測時刻に対する相関特性



(a)歩行×歩行

(a')走行×走行



(b)歩行×歩行

(b')走行×走行

図 8: スライディング相関による行動推定

定を行った結果である. 横軸は基準データから切り出す窓の時間位置を示し, 縦軸は比較対象の時間位置を示す. 比較対象のデータには基準データとは別時間に測定したチャネルを用いる. 前述の結果から, (a), (a') では歩行時のチャネルを基準として窓幅を 8 秒に設定し相関を求め, (b), (b') では走行時のチャネルを基準として窓幅を 5 秒に設定し相関を求める. 異なる動作間では全体的に相関値が低く周期性も見られないが, 同一動作間では周期的に斜め方向に高い相関値が表れていることが確認できる. 斜め方向の相関は歩行・走行の周期変動を感知していることを示しており, これがどの時間位置に対しても同様に表れていることから, 別時間であっても基準データをもとに行動推定を行うことができることがわかる. 以上の結果から

MIMO チャンネルを用いて人間の行動推定が可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- [1] Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato and Yoshitaka Tsunekawa, “Compact antenna arrangement for MIMO sensor in indoor environment,” IEICE Transaction Communication, 査読有, Vol. E96-B, No. 10, 2013, pp. 2491-2498 DOI: 10.1587/transcom.E96.B.2491
- [2] Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato and Yoshitaka Tsunekawa, “Experimental Performance Evaluation of MIMO Sensor with Compact Antenna Arrangement,” Electric Proc. of ACT 2013, 査読無, ACT 2013, 2013, pp. 82-84
- [3] 本間尚樹, 西森健太郎, 佐藤宏明, 恒川佳隆, アンテナを集中配置した MIMO センサの検出特性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, AP2013-71, 2013, pp. 51-56
- [4] 本間尚樹, 今野恵太, 西森健太郎, 竹村暢康, 満井 勉, 佐藤宏明, 恒川佳隆, マルチアンテナシステムのセンシング応用について, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, AP2013-111, 2013, pp. 67-72
- [5] 今野恵太, 笹川大, 本間尚樹, 西森健太郎, 竹村暢康, 満井 勉, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 多重波環境マイクロ波センサに適した生体方向推定法の評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, AP2013-119, 2013, pp. 111-116
- [6] Masaki Nango, Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato, “Biological activity detection method using MIMO system,” IEICE Communications Express, 査読有, Vol. 2, No. 2, 2013, pp. 36-41
- [7] 南湖政輝, 今野恵太, 本間尚樹, 西森健太郎, 佐藤宏明, MIMO システムを用いた生体活動検出法の評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, AP2012-143, 2013, pp. 115-120
- [8] Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato and Yoshitaka Tsunekawa, “Compact antenna arrangement for MIMO sensor in indoor environment,” Electric Proc. of ISAP 2012, 査読有, 3A3-1, 2012
- [9] Nango Masaki, Naoki Honma, Kentaro Nishimori and Hiroaki Sato, “Breath Detection Method Using Time-variant MIMO Channel,” Electric Proc. of ISAP 2011, 査読無, ISAP 2011, 2011
- [10] 南湖政輝, 本間尚樹, 西森健太郎, MIMO チャンネル時変動特性を用いた非接触呼吸検出法, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 111, No. 172, 2011, pp. 1-6

〔学会発表〕(計 10 件)

- [1] Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato and Yoshitaka Tsunekawa, “Experimental Performance Evaluation of MIMO Sensor with Compact Antenna Arrangement,” The 2013 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC'13), 2013. 10. 16, MOEVENPICK HOTEL SAIGON (Vietnam)
- [2] 今野恵太, 南湖 政輝, 本間尚樹, 西森健太郎, 竹村暢康, 満井 勉, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 多重波環境におけるマイクロ波センサを用いた生体 方向推定法, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2013. 9. 17, 福岡工業大学 (福岡県)
- [3] 吉田直弘, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 本間尚樹, ウェーブレット変換による呼吸・心拍信号の成分分離の検討, 平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2013. 8. 23, 会津大学 (福島県)
- [4] Naoki Honma, Kentaro Nishimori, Hiroaki Sato and Yoshitaka Tsunekawa, “Compact antenna arrangement for MIMO sensor in indoor environment,” 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2012), 2012. 11. 1, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan
- [5] 南湖 政輝, 本間尚樹, 西森健太郎, 佐藤宏明, MIMO センサを用いた生体活動検出特性, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2012. 9. 14, 富山大学 (富山県)
- [6] 今日向, 今岡 壘, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 本間尚樹, MIMO センサを用いた呼吸・心拍の計測法, 計測自動制御学会東北支部第 272 回研究集会, 2012. 5. 30, 岩手大学 (岩手県)
- [7] 本間尚樹, 杉浦貴志, 南湖政輝, 西森健太郎, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 送受信アレーアンテナを集中配置した MIMO センサ, 電子情報通信学会総合大会, 2012. 3. 21, 岡山大学 (岡山県)
- [8] 佐藤宏明, 今日向, 南湖政輝, 本間尚樹, 恒川佳隆, 西森健太郎, MIMO チャンネルを用いたヒト心臓拍動の検出, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2011. 9. 13, 北海道大学 (北海道)
- [9] 南湖政輝, 本間尚樹, 西森健太郎, 佐藤宏明, MIMO チャンネル時変動特性を用いた人間の行動推定, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2011. 9. 13, 北海道大学 (北海道)
- [10] 杉浦貴志, 本間尚樹, 西森健太郎, アンテナ選択ダイバーシチを利用した MIMO センサ検出率の改善, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2011. 9. 13, 北海道大学 (北海道)

〔その他〕

- [1] 雑誌掲載記事, 研究取材: 産業情報出版日経 BP 社, 日経エレクトロニクス, No. 1112, pp. 45-52, 2013/7-8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 宏明 (SATO, Hiroaki)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号：90359498

(2) 研究分担者

本間 尚樹 (HONMA, Naoki)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号：70500718