

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25年 5月31日現在

機関番号：17401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500508
 研究課題名（和文） 汎用性と高機能性を併せ持つユニバーサル両耳補聴システム構築のための基礎的研究
 研究課題名（英文） A basic study for constructing a binaural hearing assisting system with versatility and high performance
 研究代表者
 宇佐川 毅 (USAGAWA TSUYOSHI)
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：30160229

研究成果の概要（和文）：

本研究は、これまでにない高い汎用性を持ちながら、従来の高性能補聴器の機能を飛躍的に拡張した両耳補聴システムの構築を目指した研究である。加齢による視力低下を補う眼鏡は、数万円で入手できるのに対して、イナークanal型高性能デジタル補聴器は数十万円の価格であり、本質的な需要があるにも関わらず、その普及は進んでいない。本研究で目指す「ユニバーサル高性能両耳補聴システム」は、眼鏡程度の手軽さと、これまでにない耐ハウリング性能と特定方向信号の選択的補聴による高い補聴効果をもつ、汎用性と高機能性を併せ持ったシステムとなる。本研究ではユニバーサル高性能両耳補聴システムを実現するため基盤技術確立のための基礎的研究を行う。

研究成果の概要（英文）：

This research aims to study new methodologies to develop next-generation high performance binaural hearing aids with general versatility. Far-sighted glasses for elderly can be obtained at the cost from 10,000 or so, but a pair of inner canal type digital hearing aids costs more than 10 times of glasses. Due to this price issue, the hearing aids are not popular even if the necessity and demand form elderly are clear. Thus we would like to have an “universal” hearing aids which are easy to use and easy to get, Based on this concept, we have studies the basic methods to develop an universal binaural hearing aids with a versatility and high performance on special selectivity and howling prevention.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：信号処理, センシング情報処理, 両耳補聴, 音声情報処理, ヒューマンインターフェース, ユニバーサルデザイン

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の調査で、管理医療機器として

の補聴器の国内での出荷台数は、すでに50万台を超えている。さらに、単に音を増幅で

きると謳った集音器も広く利用されているが、それでも眼鏡の普及に比しその量はあまりに少ない。独立行政法人国民生活センターが2007年9月に発表した「通信販売の補聴器等の安全性や補聴効果」と題した報告書では、通信販売される機器を中心としながらも、現行の補聴器および集音器等のもつ多くの問題点が指摘されている。調査された機器は、医療機器の認定を受けた補聴器と集音器等で販売価格が5万円以下のものである。そこには、いくつかの問題点が指摘されているが、本質的な問題点は、過度の補聴やハウリングによる安定性の問題、運用のための経費負担や操作上の負担、さらに補聴や助聴の効果不足に関する点である。

表9. ハウリングが起きたモニター数（8人中）

種類	No.	ハウリングが起きたモニター	
		人数(人)	割合(%)
補聴器	1	0	0
	2	0	0
	3	1	12.5
	4	2	25
	5	5	62.5
集音器等	6	3	37.5
	7	1	12.5
	8	1	12.5
	9	1	12.5
	10	1	12.5

上記左は、報告書に記載されたモニターによるハウリングが生じた件数をまとめたものである。この表からは、いずれの機器もハウリング対策行っていると想定されるにも関わらず十分な抑制ができていないことが分かる。ハウリングに伴う高音圧の音を聴取することは、快適性のみならず、安全性からも大きな問題である。また、同報告では、機器の小型化に伴い電池交換の困難さに対する不満が多くあることが指摘されるとともに、電池消費量の多い機器の場合、年間の電池代が10万円程度になる機器があることも指摘されている。同報告で整理された補聴器の購入金額は10万未満が20%で、残り80%はそれ以上の金額となっており機器価格が老眼鏡に比較して極めて高価であり、このことが普及の大きな妨げになっていることが示唆されるだけでなく、高価な高性能デジタル補聴器であっても、十分な性能がでないことが利用者側から指摘されている（例えば、NPO法人沖縄県難聴福祉を考える会「補聴器購入は慎重に - 「高価」イコール「良」ならず - （琉球新報の記事））。

補聴器や集音器の需要は本質的に非常に大きい、それに答えるためには量的普及が必要となる。高い汎用性をもつためには、十分な性能・安定した動作・運用の簡便さ（操作しやすい大きさ、十分な電池寿命）、そして低価格化が必要であると整理される。

2. 研究の目的

本研究は、これまでにない高い汎用性を持ちながら、従来の高性能補聴器の機能を飛躍的に拡張した両耳補聴システムの構築を目指した研究である。

加齢による視力低下を補う眼鏡は数万円で入手できるのに対して、イナークャンナル型高性能デジタル補聴器は高価で、本質的な需要があるにも関わらず、その普及は進んでいない。本研究で目指す「ユニバーサル高性能両耳補聴システム」は、眼鏡程度の手軽さと、これまでにない耐ハウリング性能、特定方向信号の選択的補聴による高い補聴効果を併せ持ったシステムとなると期待される。本研究ではユニバーサル高性能両耳補聴システムを実現するため基盤技術を確認するための基礎的研究を行う。

3. 研究の方法

本研究開始前の研究で、耐ハウリング性能は高い水準で実現されており、補聴システムとしての安定性も確保されていた。さらに、これまでに両耳補聴システムを含め一般的な2入力系で従来避けることの難しかった前後誤判断についても解決の見通しが立っていた。さらに、先行音効果のモデル化により、残響場での音源方向選択性がある程度回復できることも見出されていた。

これらの従来の研究成果を元に、具体的な補聴システムを構築するための要件を整理し、スマートホン等の携帯端末への実装を視野に、ユニバーサルな高性能両耳補聴システムを構築するための基盤技術について研究を進めてきた。そのため、これまでに開発した要素技術を補聴器へ組み込むために避けて通ることのできない演算量の低減や機能の選択的実装を目指し、多様な利用者ニーズに対応できるユニバーサルな両耳補聴システム実現に向けた基盤技術の確認を目指し研究を行った。具体的には、現在ニューラネットワークで実装している前後誤判断識別機能について、ニューラネットワークの再学習・再評価の繰り返しによるシステム構成の単純化を行い、動作時の演算量の削減を目指した。

さらに、残響場での性能評価を行うことで、より実用性の高いシステムを実現するための改良を行う。また、先行音効果モデルを部分的に導入することで、演算量の増加を抑制しつつ分離性能の向上を図った。

4. 研究成果

本研究は、眼鏡程度の手軽さと、これまでにない耐ハウリング性能、特定方向信号の選択的補聴による高い補聴効果を併せ持った「ユニバーサル高性能両耳補聴システム」の構築を目指し、その実現のための基盤技術確

立のための基礎的研究を行った。

初年度は、フレーム処理に伴うミュージカルノイズの低減と、補聴処理にともなう群遅延を 20ms 程度に削減するための手法、さらに前後誤判断による指向性制御の劣化の解決法について検討を進めた。まず、ミュージカルノイズの低減については、周波数領域両耳聴モデルによる分離信号の定量的評価について発表した論文を基礎として、複数の評価尺度を用いノイズ低減の指標を検討した。特に、前後誤判断による指向性制御性能の劣化を解決するためニューラルネットワークを利用した分離手法を提案し、問題解決のための糸口が見つかった。次に、周波数両耳聴モデルにおけるフレーム処理にともなう群遅延を、通常の電話系で遅延が知覚できないとされる 20ms 程度に抑えることを目標に、フレーム処理パラメータ等を調整し、DSP による実装では遅延を概ね目標値まで短縮できる可能性があることが明らかとなった。また



図 1 : iPodTouch に実装した両耳補聴システムのプロトタイプ

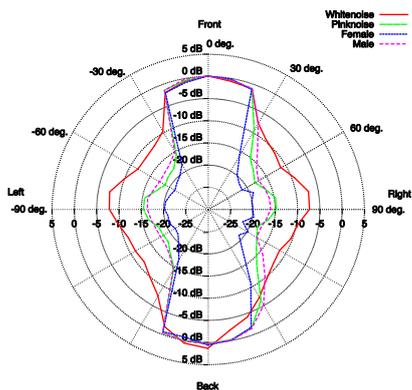


図 2 : iPodTouch に実装した両耳補聴システムの指向特性

並行して、これまでに開発したアルゴリズムを広く普及しているポータブルデバイス iPhone (図 1) に実装し、デモシステムを構築し、「ユニバーサル高性能両耳補聴システム」のプロトタイプとして評価できる環境

を実現した。この実装では、図 2 に示すように前後誤判断のため、前方のみならず後方にも指向性が形成されている。一方手軽な装用を可能にするため、従来のインナーイヤータイプのイヤホンのみならず、図 3 に示す骨伝導アクチュエータを利用した両耳補聴システムについても検討を開始した。



図 3 : 骨伝導アクチュエータ (周波数特性計測のための実験の様子)

第 2 年度では、両耳補聴システムにより特定の方向の音を選択的に強調する際に問題となる前後誤判断の解決に注力して研究を進めた。人間は、両耳情報を用いて頭部を固定した場合でも、ある程度の前後判断は可能であるが、従来のマイクロホンアレー、特に 2 入力のマイクロホンアレーでは、マイクロホンを結ぶ軸に対して、同心円状に指向特性を形成することしかできない。本研究で用いている周波数領域両耳聴モデルにおいては、頭部前方に限定すれば音源の方向角・仰角を推定可能であり、その情報に基づいた指向性制御も実現できていたが、図 2 の指向特性に示すように前後誤判断の解消は実現できていなかった。この問題を解決するため、図 4 に示す矢状面座標系を用いて両耳間位相差・レベル差をニューラルネットワークで学習させ、音源方向を前後左右の 4 領域に分割することで、解決した。シミュレーションでの性能評価では、音声・広帯域雑音いずれの場合も、正面に対して後方では 2 0 dB 以上

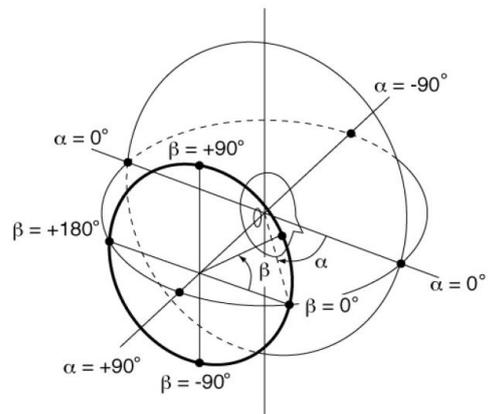


図 4 : 矢状面座標系 : 正中面と耳軸中心の交点が座標原点。、上昇角 α , 側方角 β

の抑制量が得られた。先行音効果のモデル化についても研究を進めており、初期到来音を補足しその情報から到来方向を固定した形で音源分離を行う形で基本アルゴリズムを構成した。シミュレーションによる評価で所期の性能が得られることは確認されたが、音源の移動への対応する形にアルゴリズム拡張が必要であるが明らかとなった。

最終年度は、前年度に引き続き両耳補聴システムにより特定の方向の音を選択的に強調する際に問題となる前後誤判断の解決に注力して研究を進めた。人間は、両耳情報を用いて頭部を固定した場合でも、ある程度の前後判断は可能であるが、2入力のマイクロホンアレーでは、マイクロホンを結ぶ軸に対して同心円状に指向特性を形成することしかできない。本研究で用いている周波数領域両耳聴モデルにおいては、頭部前方に限定すれば音源の方向角・仰角を推定可能であり、その情報に基づいた指向性制御も実現できていたが、前後誤判断の解消は実現できていなかった。この問題を、矢状面座標系を用いて両耳間位相差・レベル差をニューラルネットワークで学習させ図5のように解決した。しかしながら、頭部伝達関数への依存性、即ち特定の頭部伝達関数で学習したニューラルネットワークを、別の頭部伝達関数を有する集音系に適応した際に、性能劣化が想定された。シミュレーションによりその影響を検討した結果、図6頭部伝達関数による強い依存性があり大きな性能劣化が観測された。また、側方角 ± 45 度程度の範囲とそれ以外の範囲では異なった傾向となることが確認された。提案手法により、前後誤判断機能を頭部回転運動なしにある程度実現できることが確認されたが、頭部伝達関数に対する依存性やSNRの影響等、実装する際し解決すべき課題も明らかになった。

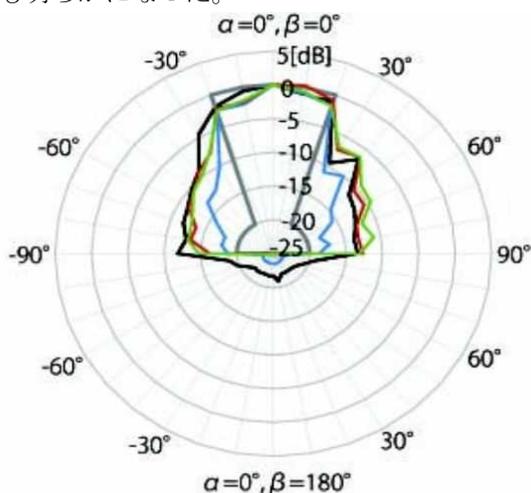
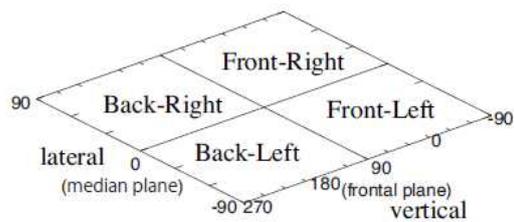
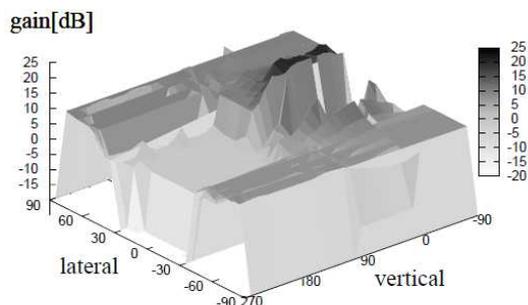


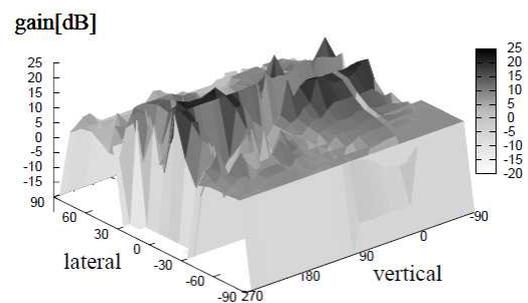
図5：ニューラルネットワークを用い前後左右判断機能を実装した両耳補聴システムの指向特性。前後誤判断が解消されている。



(a) 座標系



(b) KEMAR の HRTF を学習したニューラルネットワークに B&K ダミーヘッド入力を加えた場合の各方向のゲイン特性



(c) B&K の HRTF を学習したニューラルネットワークに KEMAR ダミーヘッド入力を加えた場合の各方向のゲイン特性

図6 異なる HRTF で学習したニューラルネットワークでの前後判断に基づく指向特性。HRTF データベースが異なると前後識別特性に劣化が生じる。

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3件)

- 1) Tsuyoshi Usagawa, Atsuya Saho, Chisaki Yoshifumi, "A binaural hearing assistance system with front-back discrimination capability," Vol. 131, 2012, pp. 3526-2526, J. Acoust. Soc. Am. 査読あり, DOI:10.1121/1.4708553
- 2) Taira Onoguchi, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, "Own voice detection with near field head related

transfer function based on frequency domain binaural model,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 131, 2012, pp. 3350-3350, 査読あり, DOI:10.1121/1.4708553

- 3) Tsuyoshi Usagawa, Atsuya Saho, Kojiro Imamura, Yoshifumi Chisaki, “A solution of front-back confusion within binaural processing by an estimation method of sound source direction on sagittal coordinate,” IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference, 査読あり, CD-ROM, 2011, 1-4, DOI: 10.1109/TENCON.2011.6129051

[学会発表] (計 2 2 件)

- 1) 富田拓郎, 菫木禎史, 宇佐川毅, “前方空間のみに指向性を生成可能な周波数領域両耳聴モデル -複数 HRTF カタログにおける前後判断のキューに関する比較検討-”, 日本音響学会春季研究発表会, 2013. 3. 13-15, 東京工科大学 (八王子市)
- 2) 富田拓郎, 佐保貴哉, 菫木禎史, 宇佐川毅, “スペクトル・キューを用いた音源方向推定のモデル化について : 2 種類のダミーヘッド HRTF による前後誤判断特性の検討”, 日本音響学会聴覚研究会資料, 2012. 10. 13-14, 岩手いこいの村 (八幡平市)
- 3) 富田拓郎, 佐保貴哉, 菫木禎史, 宇佐川毅, “前方空間のみに指向性を生成可能な周波数領域両耳聴モデル -HRTF カタログ間の前後誤判断特性の比較-”, 日本音響学会秋季研究発表会, 2012. 9. 19-21, 信州大学 (長野市)
- 4) 小野口平, 菫木禎史, 宇佐川毅, “周波数領域両耳聴モデルに基づく近傍頭部伝達関数を用いた自発話検出手法の検討”, 日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp. 689-692 (CDROM), 2012. 3. 13-15, 神奈川大学 (横浜市)
- 5) 佐保貴哉, 菫木禎史, 宇佐川毅, “前方空間のみに指向性を生成可能な周波数領域両耳聴モデル-スペクトラル・キューを用いたコーン状の混同の解消-”, 日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp. 693-696 (CDROM), 2012. 3. 13-15, 神奈川大学 (横浜市)
- 6) 福田吉真, 八江優輝, 中原史博, 中谷任徳, 小林甲児, 菫木禎史, 宇佐川毅, “骨伝導アクチュエータの検知限・ラウドネス特性に関する検討-耳道挿入型と下顎頭装着型の比較-”, 日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp. 675-678 (CDROM) 2012. 3. 13-15, 神奈川大学 (横浜市)
- 7) 藤澤暁, 菫木禎史, 宇佐川毅, “両耳信

号の立ち上がり検出に基づく直接音の方向推定と強調”, 日本音響学会 2011 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 767-770 (CD-ROM) 2011. 9. 20-22, 島根大学 (松江市)

- 8) 佐保貴哉, 菫木禎史, 宇佐川毅, “狭帯域信号を用いた音源方向の前後弁別手法-周波数領域両耳聴モデルに基づく補聴システムへの実装の検討-”, 日本音響学会 2011 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 761-764 (CD-ROM) 2011. 9. 20-22, 島根大学 (松江市)
- 9) 小野口平, 菫木禎史, 宇佐川毅, “周波数領域両耳聴モデルに基づく自発話の検出を目指した近傍頭部伝達関数に関する考察”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文, 05-2A-16, p. 337 (CD-ROM), 2011. 9. 26-27, 長崎大学 (長崎市)
- 10) 佐保貴哉, 菫木禎史, 宇佐川毅, “周波数領域両耳聴モデルに基づく補聴システムにおける 前後誤判断の抑制手法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 41, No. 6, EA2011-56, pp. 413-418, 2011. 8. 9-10, 東北大学 (仙台市)
- 11) 宇佐川毅, 佐保貴哉, 菫木禎史, “周波数領域両耳聴モデルのポータブルデバイス上への実装 ~ ハウリングキャンセラと前後誤判断の制御 ~”, 信学技報, vol. 111, no. 27, SIP2011-16, pp. 89-94, 2011. 5. 12, 立命館大学大阪キャンパス (大阪市)
- 12) 宇佐川毅, 西原稔貴, 菫木禎史, “骨伝導アクチュエータを用いた音響信号提示時の検知限に関する検討”, 日本音響学会 2011 年春季研究発表会講演論文集, pp. 613-616 (CDROM) 2011. 3. 9-11, 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 13) 佐保貴哉, 今村浩二郎, 菫木禎史, 宇佐川毅, “領域分割前処理による前後判断手法を用いた両耳補聴システムの小型情報端末への実装の検討”, 日本音響学会 2011 年春季研究発表会講演論文集, pp. 847-850 (CDROM) 2011. 3. 9-11, 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 14) Satoru Fujisawa, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, “Direct sound enhancement based on directions of sound source detected at onsets of binaural signals,” Proc. Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2011, pp. 133-136, 2011. 1. 22, 熊本大学 (熊本市)
- 15) Atsuya Saho, Kojiro Imamura, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, “Improvement of directional selectivity of binaural hearing assistance system -On front-back

- confusion with an artificial neural network -,” Proc. Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2011, pp.81-84, 2011.1.22, 熊本大学(熊本市)
- 16) 菫木禎史, 藤澤暁, Nguyen Van Duc, 宇佐川毅, “周波数領域両耳聴モデルの小型情報端末への実装とその特性”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 678--679 (CD-ROM) 2010. 9. 14-16, 関西大学 (吹田市)
- 17) 藤澤暁, 菫木禎史, 宇佐川毅, “サブバンドピークホールド処理を用いた両耳聴に基づいた音源方向推定”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 603--606 (CDROM), 2010. 9. 14-16, 関西大学 (吹田市)
- 18) 佐保貴哉, 今村浩二郎, 菫木禎史, 宇佐川毅, “矢状面座標系における領域分割前処理による音源方向の全方位推定手法”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, pp.681-684 (CDROM), 2010. 9. 14-16, 関西大学 (吹田市)
- 19) Atsuya Saho, Koujiro Imamura, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, “An estimation method of sound source direction in sagittal coordinate utilizing binaural input,” Proc. Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2010 Student Symposium, p. 14 (CD-ROM) 2010. 12. 14-17, バイオポリス, シンガポール
- 20) Satoru Fujisawa, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, “Estimation of Sound Source Direction using Binaural Signal with Onset Detection,” Proc. Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2010 Student Symposium, p. 47 (CD-ROM) 2010. 12. 14-17, バイオポリス, シンガポール
- 21) Tsuyoshi Usagawa, Nguyen Van Duc and Yoshifumi Chisaki, “Frequency domain binaural model and its application for hearing assistance system implemented on a portable device,” Proc. International Symposium on Multimedia Communications Technology 2010 ISMAC 2010, pp.189-192, 2010. 9. 8-9 Diamond Hotel, マニラ, フィリピン
- 22) Tsuyoshi Usagawa, Yoshifumi Chiaki, “Simple and stable howling canceller of binaural hearing assistant system based on inter-aural level difference,” Proc. The 39th International Congress and Exposition

On Noise Control Engineering 2010. 6. 13, リスボン, ポルトガル

〔図書〕 (計 2 件)

- 1) Tsuyoshi Usagawa, Yoshifumi Chisaki, World Scientific Publishing Co. Pre. Ltd., “Principles and Applications of Spatial Hearing,” 2011, 419-435, Singapore
- 2) 飯田一博, 森本正之, 福留公利, 三好正人, 宇佐川毅, 「空間音響学」, コロナ, 社 2010, pp.129-161

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇佐川 毅 (USAGAWA TSUYOSHI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：30160229

(2) 研究分担者

菫木 禎史 (CHISAKI YOSHIFUMI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：50284740