

## 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 3 月 31 日現在

機関番号： 82626

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300203

研究課題名（和文） 音響的状况認識に基づく高齢者見守り技術の研究開発

研究課題名（英文） Research and Development of Elderly People Surveillance Technology Based on Acoustic Situation Recognition

研究代表者

児島 宏明 (KOJIMA HIROAKI)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：80356980

研究成果の概要(和文):独居高齢者を想定し音響センサによる見守り技術の研究開発を行った。手法としては、日常生活の音響イベントを符号に変換し、その時系列パターンを分析して生活状況を判定する。具体的には、マイクアレイを複数組合せた足音認識・動線推定や異常音検知技術、音響イベントを広く扱える分類・記述方法と特徴量抽出手法、長期間の生活行動データからの生活状況判定技術などを開発し、評価のため実際の高齢者の生活行動データの収録も行った。

研究成果の概要(英文): To support the safe life of the elderly living alone, surveillance technology based on acoustic sensors was researched. The approach is converting acoustic events in everyday life into original symbols, and recognizing situations and living conditions by data mining of time series patterns of the symbols. In this research, we developed the following technologies: multiple microphone arrays; footsteps recognition; people tracking; acoustic novelty detection; acoustic event categorization; acoustic feature extraction; behavioral situation recognition from long term life-log data. We also collected life behavioral data of the elderly in a model house for evaluation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2012年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	10,300,000	3,090,000	13,390,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：福祉工学、高齢者支援、見守り、音響センサ、マイクアレイ、音響イベント認識、データマイニング、異常検出

## 1. 研究開始当初の背景

高齢化社会の進行に伴って独り暮らしの高齢者も増加を続け、厚生労働省の平成 20 年国民生活基礎調査によれば、2008 年における 65 歳以上の単独世帯は 435 万世帯にのぼっている。そのような独居高齢者の安全で健康な生活を支援するために、情報技術を活用した見守りシステムの必要性は高い。IT

による見守り技術としては、多くの研究やシステム事例があるが、音響的なセンサに基づく見守り技術の研究事例は少ない。想定される応用は、例えば、ドアの音、ベッドの音、炊事の音、トイレの音など、日常生活における多様な生活音を継続的にとらえながら、生活や健康上の異常を自動的に検出するシステムである。

音響センサに基づく見守りには、他のセンサと比べて以下に述べるような多くの利点がある。一般に、見守りシステムは姿を撮影する方法と撮影しない方法に大別される。見守りシステムの設計における重要な要素は、見守りによって得られる情報の量と、見守られる側のプライバシーの確保であるが、これらはトレードオフの関係となることが多い。カメラ等により姿を撮影する方法は、得られる情報量が多く見守る側は安心できるが、プライバシーの確保が難しい。逆に、ドアスイッチや赤外線センサ等による撮影しない方法は、プライバシーは確保しやすいが、得られる情報が少ない。それに対して、マイク等による音響的な情報を利用した見守りシステムは、豊富な情報とプライバシーのバランスにおいて、有効な選択肢になり得る。また、GPSや無線タグ等によるシステムは、機器の常時携帯が必要で、高齢者や日常生活を想定した場合実用性に難があるのに対し、音響センサはユーザー側の装着が不要という利点がある。さらに、ドアスイッチやマットセンサ等では観測対象となる事象が限定されるのに対し、音響センサでは広範囲な情報を捉えられるとともに、予め想定していない対象からも情報を得ることができる。また、センサから得られた情報から状況を判定する処理手法も重要な課題である。これまでも、音響センサによる個別の異常な音響（物を落とした音や割れる音など）を判定する研究や、スイッチなどの ON/OFF 信号の系列から生活状況を判定する研究などが報告されているが、音響センサから得られる豊富な情報を有効に活用するためには、なお多くの課題が残されている。

## 2. 研究の目的

音響的なセンサに基づく見守りを実現するための技術開発として、複数のマイクを利用した音響入力方法と、音響イベントの符号化手法と、その時系列パターンからの生活状況判定手法の研究を目的とする。そのための研究要素には、音源の位置情報も検出可能な音響センサ技術、雑音に頑健な音響イベントのモデル化・符号化技術、音響イベントの時系列パターンからの生活状況判定技術などが含まれる。これらにより、従来よりも多様で精密な見守りシステムのプロトタイプを構築するとともに、高齢者介護の現場との連携により、この技術やシステムの有効性について、実情に即した評価を行う。

## 3. 研究の方法

音響の見守りを実現するための研究方法として、次の4項目に分けて研究を進める。(1) 音源の位置情報も同時に検出可能な音響センサ技術の開発については、マイクロ

ホンアレイ技術を用いて、音源位置の検出と指向性の制御を行う。(2) 音響信号の高精度なモデル化による雑音に頑健な音響イベント符号化技術の開発、については、独自のボトムアップな符号化による一般的な音響イベントの記述手法の研究を行う。(3) 音響イベントの時系列パターンからのデータマイニングに基づく生活状況判定技術の開発については、ストリングカーネルと部分空間法により通常的生活パターンからの逸脱を検出する。(4) 高齢者介護の現場との連携による見守り技術の有効性の評価については、福祉工学・リハビリテーション工学の専門的知見に基づき、高齢者介護の現場とも連携しながら実情や課題に即した評価実験を進める。

## 4. 研究成果

(1) 音源の位置情報も同時に検出可能な音響センサ技術の開発

独居高齢者の活動状況を音響的に把握する研究として、独自開発したハの字型のマイクアレイを複数組合せ、模擬居室内で音源定位・分離及び足音認識により、歩行音から連続的な動線をパーティクルフィルタで推定するシステムを構築した。実験では、動線検出領域内で円を描くように摺り足で数周歩行したときの歩行音と、環境騒音としてテレビ音声とを別々に収録した。テレビの音量は健常者の耳で通常と思われるレベルとした。このテレビ音声と歩行音との間でSNRを計算すると1dB強であった。歩行音のみの場合(Clean)、通常レベルのテレビ音声との混合(SNR 1dB)、そして高齢者は難聴傾向にあるためテレビの音量を大きめに設定することから、テレビ音声を増幅後に混合(SNR -5dB)して、雑音重畳歩行音を生成した。テレビ音声の混合レベルが異なるこれら3種類の歩行音から、提案法により推定した動線の各時

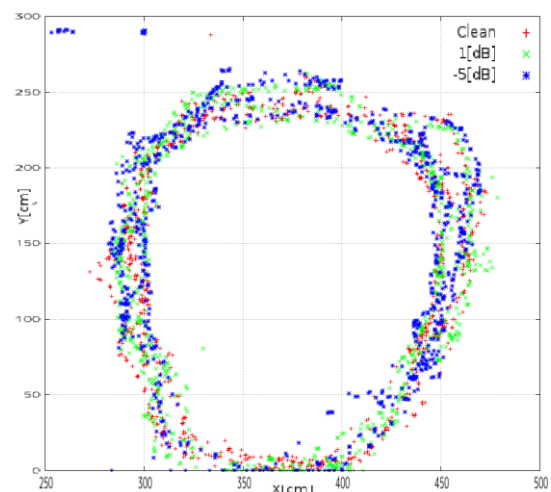


図 1 歩行音からの動線推定結果

刻における座標のプロットを図1に示す。図中、+ (赤色) はClean、× (緑色) は1dB、\* (青色) は-5dBの結果を示す。何れの結果も歩行通りに円を描くような動線が得られている。また、これら3種類の結果を比較するとおおよ一致していることから、テレビ音声の干渉に対して頑健な動線推定が行えていることがわかる。

また、音響高次局所自己相関(HLAC)と非負値行列因子分解(NMF)を用いた複合環境音からの異常音検知方法を開発した。異常音検知における提案法の有効性を検証するために、様々な場所での実際の環境音(通常音)に異常音を計算機上で混合し、その混合音から異常音を検知する実験を行なった。環境音は、市役所内、ファストフード店内、幼稚園付近、交差点、国道沿い、ガード下、工事現場付近、駅前など、その他全15ヶ所で実際に収録した(収録時間は合計約64時間)。異常音は、銃声各種、うめき声、爆発音、地鳴りなど、その他全10種類(286サンプル)を使用した。サンプリング周波数は約22kHzである。異常音と環境音の混合音は、環境音からランダムに選択した区間を、SNR(異常音がSignalで環境音をNoiseとして計算)が10dBから-5dBまで5dB刻みで生成した。但し、異常音の前後に環境騒音だけの区間を設けた。生成した混合音は4290サンプル(異常音286サンプル×環境音15種類)である。実験では、誤検出率と未検出率が等しくなるEqual Error Rate(EER)を算出した。図2に各SNRにおける各種法のEERを示す。まずNMFとLBGを比較すると、NMFは基底ベクトル数が少ないのにもかかわらず、全SNRで若干ではあるがよい精度が得られた。NMFとHLACとの比較では、全SNRにおいてHLACは精度が良く、特に高SNR領域における優位性が顕著に表れている。NMF+HLACに関しては、異常音の検知がより困難なSNR=-5dBにおいて他の手法より高い精度が得られた。

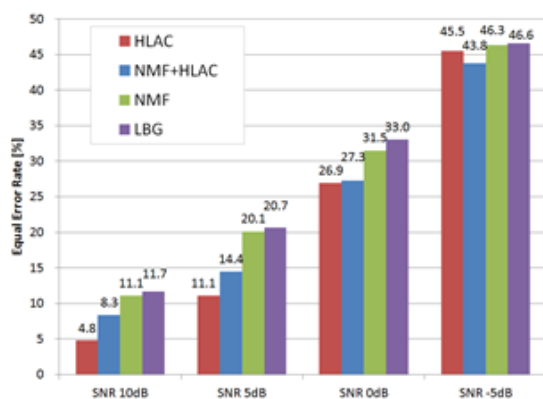


図2 異常音検知精度の比較

(2) 音響信号の高精度なモデル化による雑

音に頑健な音響イベント符号化技術の開発

音響情報による独居高齢者の見守りへの応用を目指し、生活上の多様な環境音を分類し識別する手法を開発した。対象となる音響イベントをより多くカバーできる記述法が望ましいが、音源の種類を網羅的に列挙するのは現実的でないため、効率的な分類を検討する必要がある。音響的パラメータからのクラスタリング等も考えられるが、分類記述から人が音響的な情景を想像できることが望ましいと考え、ここではトップダウンの分類記述法を採用する。環境音の分類に関しては、これまでも騒音評価や音響心理等の分野を中心に多くの研究があるが、我々は見守りに応用するための分類記述法として素性的記述に基づく方法を提案した。しかし、トップダウンの定義には恣意性が伴うため、人が環境音を聴取した印象評価を指標として、提案した素性的特徴抽出法との関連を調べた。

環境音の分類記述法として表1のように(i)素材的素性, (ii)形状・形態的素性, (iii)生成・加工的素性の3通りに関して、それぞれの中で分類した。分類は自然発生的な環境音を考慮して定義したが、電子音も扱えるようにするための記述も用意した。また、その要素の一部を統合したり、音が発生しにくいものを除いたりした簡略版(表の右側)の分類も設定した。このように、対象となる環境音をこれら(i)(ii)(iii)の組合せで記述する方法を提案した。

表1 環境音の分類・記述法

	(i)素材的素性 簡略版		(ii)形状・形態的素性 簡略版		(iii)生成・加工的素性 簡略版	
	流体	固体	流体	固体	雑音	単音
環境音等	流体		液体		雑音	単音
	固体(硬質)	固体	ゲル状	粉状	衝撃	摩擦
	固体(半硬質)		粒状		破裂	
	固体(半軟質)		糸状	弾き	回転	
	固体(軟質)		膜状	塊状	振動	
		板状	塊状	共鳴		
		立体				
電子音等					フィルタ(単純)	
	電気		雑音		フィルタ(複雑)	
	人間		単音		波形接続	
	楽器		音響		波形重畳	
				加工なし		

また、これらとは別の素性として音響的素性を定義した。音響的素性は、パワーや周波数スペクトルなどの物理的特徴量を一般化・抽象化したもので、{持続性、減衰性、突発性、周期性、広帯域性、狭帯域性、調波性、規則性}の8素性を定義した。音響的素性は、音の分類記述と物理的特徴量との中間に位置づけられる。

各音響的素性を抽出するための式を定義し、それに基づいて算出した音響的素性特徴



量と、各素性に関する人の印象との関係を調査するため、印象評価実験を行った。そのための音響試料として、「まな板に包丁が当たる音」「机にカップを置いた音」「掃除機の音」など 65 種類の音に、電氣的に生成した合成母音や雑音などを加えた計 113 種類の音について、各 50 サンプルを収録した。それぞれの音の種類ごとに 1 サンプルを選んで 1~5 秒の長さで切り出し、そのうち一部は 2 箇所から切り出して計 120 サンプルの印象評価用音響データセットを作成した。被験者は、各素性の意味の説明を受けた後、各評価用データを聴取して、素性があると感じたものについて素性ごとに 1~5 で評点した。被験者は、信号処理分野の背景知識を持つ男性 4 名と、無関係の分野の女性 7 名であった。

音響的素性特徴量に基づく環境音の識別精度を評価するために、印象評価用音響データセットを (i) (ii) (iii) の組合せで分類記述した上で、音響的素性に基いて自動的に抽出した特徴量と、被験者の評点を集計したデータを比較する識別実験を行った。分類には簡略版の素性を用いた。また、被験者ごとに評点の平均値を閾値として評点を 2 値化したデータとの比較も行った。自動抽出した特徴量の評価の際に用いたサンプル数は、印象評価の男女合計人数と同数の各音源当たり 11 サンプルとした。これらを用いて、(i) (ii) (iii) の各々のクラス情報に基づいて leave-one-out 交差検定で判別分析を行った結果を図 3 に示す。

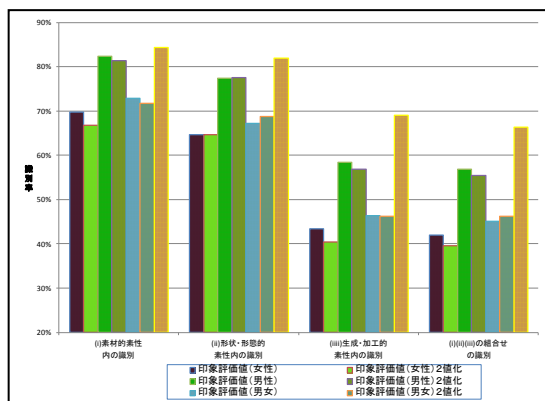


図 3 音響的素性特徴量による識別結果

この結果からは印象評価値による識別率は全体的に低く、音響的素性情報だけでは不十分といえる。特に生成的素性や組合せによる分類の識別率は 50%前後と低く、このような細かい分類を識別するためには、より情報量の多い特徴量を併用する必要がある。しかし、素材や形状などの各グループ内の分類では 70~80%に達するものもあり、概略的な分類につながる情報は含まれていることがわかる。2 値化による識別率の低下はほとん

ど見られず、弁別素性と同様な 2 値的表現に妥当性があると言える。全体的に男性の識別率が比較的高いのは、信号処理の知見により評点の揺れが少なかったためと考えられる。音響的素性特徴量による識別率は、男性の印象評価と同程度かそれを超えており、人と同等以上の情報を抽出できていることが確認された。

### (3) データマイニングに基づく生活状況判定技術の開発

現実的な生活状況判定技術に求められる重要な要件の一つは、生活環境や生活様式の多様性に対応するために、一人一人異なる生活状況のモデルを低コストで構築することである。さらに、このようなオーダーメイドのモデル構築においては、生活環境と生活様式の時間的変動にも追従する必要がある。こうした要件を満たすために、本研究では、センサの発火系列データを、典型的な行動パターンや未知の行動パターンに自動的に分節するモデルを獲得する教師無し学習手法に関する研究開発を行った。

センサ発火系列データの中から典型的な行動パターンを抽出する目的で、これまでに、頻出パターンマイニング手法などが用いられている。しかし、生活状況判定に用いられる焦電センサや音響センサの出力は時空間変動が大きいので、同じ行動が必ずしも同じセンサ時系列として観測されるとは限らない。従って本研究では、センサ時系列の不連続な変動を捉えるために、文字列カーネルを用いたデータ分節手法を開発した。

文字列カーネルは、任意の 2 つの系列データの類似性を、データ中に現れる不連続な任意の部分列の頻度を要素とする特徴ベクトルの内積として計算する。与えられた系列データの任意の時区間に定義されるこの特徴ベクトルに基づいて、センタリング、ノイズ除去を行い、ノルム最大化原理に基づく最適分割を計算する。文字列カーネルを用いることで、この一連の計算を、特徴ベクトルの次元には依存せず、系列データのサイズの多項式時間で実行可能である。これをさらに過去に出現した典型的行動パターンをより選好するような分節を導くアルゴリズムに拡張した。

実際の生活状況における音響センサデータに適用する前に、模擬データとしてワシントン州立大学が公開している焦電センサとドア開閉センサを使用した生活行動データを用いて、上記アルゴリズムの評価を行った。図 4 は、睡眠、食事、外出などあらかじめ与えられた 11 の生活行動を識別した結果を示している。「行動素なし」は、センサの出力をそのまま用いて単純ベイズ識別器で行動

を識別した結果を表している。一方、上記分節アルゴリズムを用いてセンサ出力系列を分節し、これに基づいて日常行動に含まれる典型的なセンサ発火部分系列（行動素と呼ぶ）を定義する。「行動素あり」は、識別対象データを、これら行動素に対する類似度を要素とするベクトルで表現した後、単純ベイズ識別器で行動を識別した結果を示している。図4に示した結果から、行動素を用いることで識別精度が向上することが分かるが、特に、11行動以外の行動も含めた12種類の行動を分類する場合に顕著な性能向上が確認された。これは、部屋の移動など、予め想定していない（想定し得ない）行動に含まれる行動素を、上述の教師無し系列データ分節アルゴリズムによって適切に抽出できることを示唆している。これらにより、実用的な生活判定技術のコアとなる、行動素分節技術を開発した。

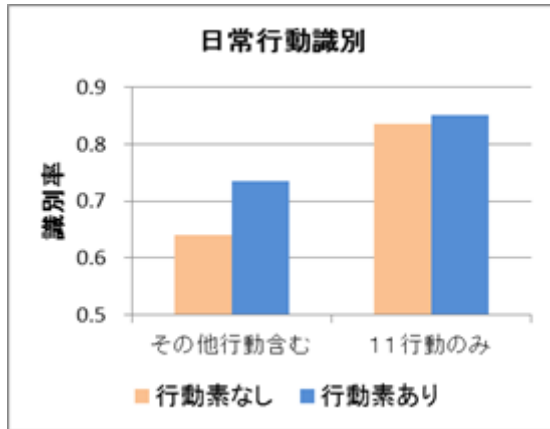


図4 日常生活行動の識別結果

(4) 高齢者介護の現場との連携による見守り技術の有効性の評価

開発した手法の有効性を評価するための基礎データとして、実際の生活環境で発生する生活行動の音を収録した。そのために、実生活に近い環境として国立障害者リハビリテーションセンター内にある障害者用モデル住宅を利用した。収録は、69～77歳の高齢者8名（男女各4名）により各2時間程度で行い、次のような行動内容を入れた。調理をする（カレー、野菜炒め、大根の煮付け、炊飯、インスタントラーメン等）。食卓に運び食事をする。食事の後片付けをする。掃除機で掃除をする。リビングでくつろぐ。テレビを視る。新聞・雑誌等を読む。窓やカーテンを開け閉めする。来客のチャイムに対応して玄関に出る。寝室へ行きベッドに横になる。トイレに入って水を流す。浴槽に水を入れる。浴室でシャワーを流す。洗面所での手洗い、ドライヤー、髭剃り、歯ブラシ（動作音のみ）等。実環境で収録したため、他にも、屋外の

自動車の走行音やウインカー音、救急車のサイレンなども含まれている。収録機材としては、音の記録に6台のPCMレコーダを用いた（48kHz, 24bit）。また、その際の状況の確認や比較用の参照データとして、2台のビデオカメラによる映像と手首に付けた加速度センサのデータを収録した。収録時の配置を図5に示す。

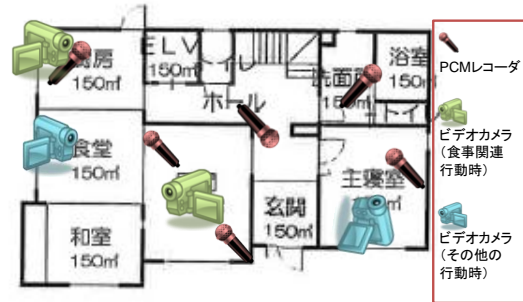


図5 収録機材と配置

これらの収録実験の内容は、国立障害者リハビリテーションセンター研究所における高齢者支援の知見と現場のニーズを反映して計画した。実験には、産業技術総合研究所及び国立障害者リハビリテーションセンターの人間工学実験及び倫理委員会の承認を得た。収録データと分析表示の例を図6に示す。今後このデータを関連分野の研究のために共通利用できるように公開に向けて整備を進めている。

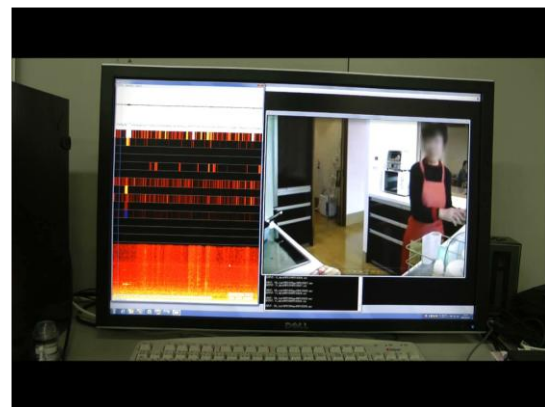


図6 調理行動と特徴抽出表示の例

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）

〔学会発表〕（計8件）

- ① 佐宗晃、オドンツェンゲル ニャムエルデネ、独居高齢者の見守りを目的とした歩行音からの動線推定、日本音響学会春季研究発表会 2013年3月13日、東京工科大学（東京都）、

- ② Akira Sasou, Odontselgel Nyamerdene, Acoustic Novelty Detection Based on AHLAC and NMF, IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2012), 2012/11/7, New Taipei City (Taiwan), 査読有, pp.872-875.  
DOI: 10.1109/ISPACS.2012.6473614
- ③ 児島宏明、大内慶久、佐土原健、佐宗晃、音響的素性の印象評価に基づく環境音特徴抽出の評価、日本音響学会秋季研究発表会、2012年9月20日、信州大学（長野県）
- ④ Akira Sasou, Kouki Tanaka, Shinichi Tanaka, Masumi Tanimoto, Acoustic Based Abnormal Event Detection Using Robust Feature Compensation, IEEE Region 10 Conference TENCON 2011, 2011/11/22, Bali (Indonesia), 査読有, pp.255-258.  
DOI:10.1109/TENCON.2011.6129103
- ⑤ 児島宏明、橋本泰治、佐土原健、佐宗晃、音響的素性記述に基づく環境音認識の検討、日本音響学会秋季研究発表会、2011年9月20日、島根大学（島根県）
- ⑥ 佐土原健、文字列カーネルと動的計画法を用いたテキスト・音声のトピック分割アルゴリズム、人工知能学会全国大会、2010年6月9日、長崎ブリックホール（長崎県）
- ⑦ 児島宏明、橋本泰治、佐土原健、佐宗晃、音響的見守りのための環境音識別の検討、日本音響学会春季研究発表、2011年3月11日、早稲田大学（東京都）
- ⑧ Ken Sadohara, Kernel Topic Segmentation for Informal Multi-Party Meetings and Performance Degradation Caused by Insufficient Lexicon, IEEE Workshop on Spoken Language Technology, 2010/12/15, Berkeley (USA), 査読有, pp.430-435.  
DOI: 10.1109/SLT.2010.5700891

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：独居高齢者の見守り方法、装置およびサービス提供システム

発明者：佐宗晃

権利者：産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特願 2013-66992

出願年月日：2013年3月27日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

児島 宏明 (KOJIMA HIROAKI)

産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：80356980

(2) 研究分担者

佐宗 晃 (SASOU AKIRA)

産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：50318169

佐土原 健 (SADOHARA KEN)

産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：90344168

井上 剛伸 (INOUE TAKENOBU)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・福祉機器開発部・部長

研究者番号：40360680

(3) 連携研究者

間宮 郁子 (MAMIYA IKUKO)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・福祉機器開発部・研究員

研究者番号：30455381