

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24年 5月25日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19100003

研究課題名（和文）音環境理解に基づくロボット聴覚の構築

研究課題名（英文）Development of Robot Audition based on
Computational Auditory Scene Analysis

研究代表者

奥乃 博（OKUNO HIROSHI.）

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：60318201

研究成果の概要（和文）：音環境理解の主要機能である混合音の音源定位・分離・認識技術を開発し、ロボット聴覚ソフトウェア HARK として公開し、国内外で複数の講習会を実施した。HARK を応用し、複数話者同時発話を認識する聖徳太子ロボット、ユーザの割込発話を許容する対話処理などを開発し、その有効性を実証した。さらに、多重奏音楽演奏から書くパート演奏を聞き分ける技術、実時間楽譜追跡機能を開発し、人と共演をする音楽ロボットなどに応用した。

研究成果の概要（英文）： Three main features of Computational Auditory Scene Analysis, sound source localization, sound source separation, and recognition of separated sounds, have been developed and their collections are made available as an open-sourced robot audition software called “HARK”. As a proof of concepts in this robot audition, we developed “Prince Shotoku” robots that can listen to simultaneous talkers, and a spoken dialogue system that accepts a barge-in utterance of the user. We also developed various technologies to separate musical instrument parts for polyphonic performance, and real-time score following systems. These musical-related technologies are applied to make musical robots to play ensemble with human players.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	47,500,000	14,250,000	61,750,000
2008年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2009年度	10,900,000	3,270,000	14,170,000
2010年度	10,900,000	3,270,000	14,170,000
2011年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
総計	91,800,000	27,540,000	119,340,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ロボット聴覚・音環境理解・マルチドメイン音声対話・音楽共演ロボット・バー
ジン発話・聴覚アウェアネス・アクティブオーディション・ロボットインタラクション

1. 研究開始当初の背景

(1) ロボット自身の耳で聞くロボット聴覚は我々が2001年に提唱。音から音響事象を認識・理解する音環境理解研究から、混合音の音源定位、分離、認識に取り組んできた。

(2) 当時の大部分の研究は音源定位に留まっており、分離音の音声認識まで踏み込んでいるものは我々ともう1件程度であった。
(3) いずれも個別ロボットに特化しており、汎用性という視点が欠如していた。

2. 研究の目的

- (1) 複数の同時発話を聞き分け、裁いたという聖徳太子のような聴覚機能を実現.
- (2) 音環境理解の3要素技術の適用限界を明確にしたロボット聴覚設計原理の確立.
- (3) 階層的視聴覚情報統合による複数移動話者の定位・分離・認識技術の確立.
- (4) 身体性に基づいた記号獲得と記号接地によるコミュニケーション機能実現法の確立.
- (5) 音を用いた複数話者との対話技術の確立.

3. 研究の方法

- (0) ロボット聴覚テストベッド用ヒューマノイドの開発:HRP-2W への視聴覚センサの搭載.
- (1) 音環境理解技術の汎用化.
- (2) 視聴覚情報統合による音環境理解技術のロボスタ化.
- (3) RNN による身体性を考慮した記号獲得.
- (4) バージン発話が許容される複数話者との対話システムの開発.
- (5) 音環境理解技術の出力に対する可視化技術の開発

4. 研究成果

(1) ロボット聴覚ソフトウェア HARK の構築とオープンソースとしての公開と講習会実施.

2008年に初版を公開し、京都とソウルで講習会実施。2009年バージョンアップし、横浜とパリで講習会実施。2010年は京都で講習会実施。2012年2月には、ユーザのフィードバックを取り込み、大幅な機能拡張を実施。4本マイクロフォンアレイであるMS KinectやSony PlayStation Eyeをサポート。パリと名古屋で開催した講習会では上記機器を用いた実習を実施。全講習会でロボットの頭部を持ち込み3話者同時発話認識のライブデモを実施(下図左:パリ, 中:名古屋, 右:デモ)。



ロボットの身体性を考慮し、身体のインパルス応答を活用して、MUSIC法により音源定位性能の向上を、GHDSS法により音源分離性能の向上を、ミッシングフィーチャマスク自動生成により音声認識性能の向上を図っている。また、ロボット自身のモータの動作音を方向情報でキャンセルする単純な自己生成雑音抑制機能も有する。この結果、三話者同時発話認識、あるいは、方向性のある雑音下での音声認識がロボスタとなった[9]。HARKのドキュメントとクックブック(各々200頁超)は日本語英語で作成し、公開。ATR, 東京大学を始めとする国内外の複数のユーザ支援も行っている。なお、HARKの過去1年間のダウンロード数は15千超である。

HARKの複数話者とのインタラクションは、三話者同時発話認識、ロじゃんけんの審判に加えて、クイズ番組ATTACK 25をすべて口(音声)で行うシステムHATCK-25を開発した。これらの応用により、「聖徳太子ロボット」のイメージを具体化することができた。

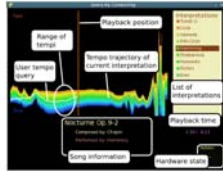
ロボット聴覚研究の世界的な展開を行うために、IEEE/RSJ IROSで2007年から毎年オーガナイズセッションを開催し、2009年にはロボット領域を越え、信号処理領域のIEEE ICASSPでも特別セッションを開催した。この結果、日本発のロボット聴覚研究分野が世界的に展開している。実際、2012年に本研究代表者の奥乃はロボット聴覚技術への貢献では世界初のIEEE Fellowに昇格している。国内では、人工知能学会AIチャレンジ研究会でロボット聴覚特集の研究会を2006年に降毎年組み、ロボット学会学術講演会でも2008年に降毎年ロボット聴覚オーガナイズセッションを組み、2010年1月には、奥乃・中臺らでロボット学会誌にロボット聴覚特集号を編集・執筆を行った。

(2) 統計的信号処理によるロボット聴覚用要素技術・音楽情報処理技術の開発.

実環境ロボット聴覚では、音源数が動的に変化、話者が移動、ロボットが移動といった動的な音環境への対応が不可欠である。HARKでは、音源数を所与とした音源定位MUSIC法を使用し、そこで得られた定位情報を基に音源分離を行っているため、動的環境への対応が不十分である。

複数移動話者の音源定位に対して、インパルス応答を活用するMUSIC法をベイズ拡張し、パーティクルフィルタを用いて定位精度の向上をはかった[17]。また、音源数推定と音源分離の同時推定をノンパラメトリックベイズ手法で解決をはかった[3]。また、マイクロフォン数よりも音源数の方が多い「劣決定条件下」での音源分離に対して、 L_p ノルム($1 \leq p \leq 2$)を用いた一般解法を考案し、 $p=1$, $p=2$ に対する既存技術よりも高性能で高速な音源分離が可能なことを示した[4]。

統計的信号処理技術をモノラル音の音源分離に適用し、多重奏演奏から調波構造に注目した楽器音分離技法を複数開発した。①調波非調波GMMモデルによる手法、②複数の楽器音モデルの時系列発現確率を求めるNMF(Non-Negative Matrix Factorization)による手法、③両者の統合モデル等[11]。特に、③の統合モデルによるアプローチでは、楽器音モデルの推定と音源分離を同時に追求する必要があるため、ノンパラメトリックベイズ手法により対応を行った。さらに、分離楽器音に対して、音色置換(次頁図左)、楽曲検索、同じ楽曲の解釈(演奏)の違い(同図右)、などに応用し、その有効性を確認した。



(3) ロボットの頭部の動きを組み合わせた音源定位での前後の曖昧性の解消.

ロボットに2つのマイクしかない場合、音源定位では前後どちらに音源があるのか分からないことがある。ロボットが頭を、水平方向だけでなく、最初に少し傾きを入れてから動かすと、人と同様に曖昧性がよく解消できることが判明した[13] (右図). また、無響室での詳細な測定と音響環境を変化させた場合の実験から、耳介の前後問題解消への効果大きいことが判明した[16]. 一連の両耳聴 (binaural) のモジュールは、HARK のモジュール化を行い、HARK-Binaural として公開を行った。



(4) セミブラインド ICA (独立成分分析) による残響環境下での自己生成音抑制機能とバージョン発話の発話意図推定への応用

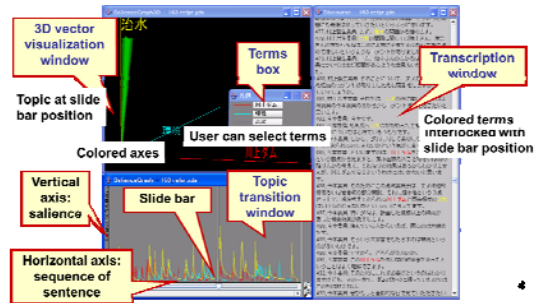
自然なインタラクションを行うには、ロボットの発話中であっても人が自由に割り込んで発話できた方がよい。このようなバージョン発話は、双方向通信が可能な電話では日常的に使われているが、対面での会話では難しい。ロボット自身が自分の発話すべき信号が分かっているので、自分の耳に聞こえる、反射や残響が入った自分の声を抑制し、相手の声だけを残響を除いて分離するセミブラインド ICA による自己生成音抑制機能を実現した[1].



本機能により、バージョン発話があると、そのタイミングとさらに分離音の音声認識が可能となる。バージョン発話を行ったユーザの意図を、発話行為の有無と発話タイミング、および、音声認識結果を併用することにより、列挙型対話において、ユーザ意図推定が向上した[5]. また、音声対話システムにおいて想定外発話への対処法を考案し、ユーザの発話意図推定の性能向上をはかった[10, 14]. さらに、岡山県立大学渡辺富夫教授開発の「ペコッぱ」という音に反応するおもちゃに自己生成音抑制機能を追加し、音楽や TV の音には反応せず、人の声にだけ反応するように拡張し、より知的な応答ができることを確認した。

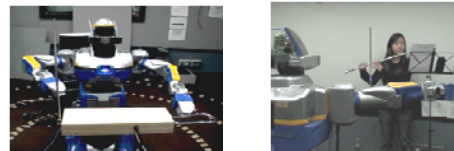
(5) 複数話者の顕現性に基づく談話文脈理解

議論支援や会話などの高度な複数話者談話処理に、談話文脈の顕現性 (saliency) に基づく談話文脈のモデル化を行った。談話参加者の注目対象が発話ごとに変化する談話文脈に対して、談話実体への注目度である談話の顕現性の動的変化を定量的に扱う。具体的には、後続発話で継続的に参照される「参照確率」を提案し、新近性効果の減衰曲線を表す窓関数を導入し、Saliency Graph として表現を行った[15]. 談話文脈でのトピックとなるキーワードを自動抽出し、その顕現性の変化を“Overview-First, Zoom and Filter, then Details on demand” (後述) という方針で表示するインタフェース (下図) を作成し、淀川コーパスの表示に応用をした。



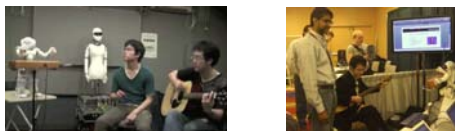
(6) ロボット聴覚応用としての音楽ロボット.

上記自己生成音抑制機能を利用し、ロボットの歌声や演奏音を抑制し、相手の演奏音だけを聞き分けることにより、ビート追跡とテンポ予測の性能が向上し、アンサンブル演奏を指向した音楽ロボットの開発が可能となった。現在、電子楽器テルミン演奏ロボットを汎用的アーキテクチャで構築[18]. 複数のロボット、HRP-2, HIRO, ASIMO, NAO に実装し、有効性を確認した。アンサンブル演奏ではリーダーとなるフルート演奏者のフルートを振る動作で開始・終了・テンポ変更を指示するシステムを開発[2]. 人がフルートを演奏し、ロボットがテルミンを演奏し、歌声ソフト Vocaloid で歌う 3 重奏システムは IROS-2010 で NTF Award for Entertainment Robots and Systems を受賞[19].



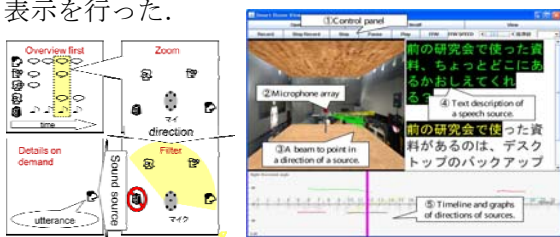
楽譜追跡技術は、パーティクルフィルタを用いた手法を開発し、従来手法よりも追跡精度が向上し、人との共演がよりロバストになった[20]. さらに、ギター演奏の楽譜追跡においては、ギターを引く手の動きを画像処理し、演奏音のビートトラックと手の動きとの視聴覚情報統合処理をパーティクルフィルタで実現し、楽譜追跡精度を向上させた。

一連のソフトウェアは HARK のモジュール化を行い、HARK-MUSIC として公開している。さらに、研究のアウトリーチ活動として、ギター奏者に合わせて小型ロボット NAO がテルミンを演奏するデモを国内外で行った。



(7) HARK 出力の 2D 空間での可視化

音情報は一覽性に欠け、全てを聞かないとわからないことが多く、映像のようにインデックス付けが難しい。Schneiderman が提唱した “Overview-First, Zoom and Filter, then Details on demand” に基づく音環境提示法を開発し、オンライン及びオフラインでの表示を可能にした (下図)。Overview-First で誰がどの方向から話しているかを提示し、Zoom で瞬間の状況を示し、Filter で特定方向から来る音だけを再生し、Details on demand で個別音の再生を可能にした。GUI では、音源方向を表示し、音声である場合には音声認識結果を示している。本システムは HARK の出力を AuditoryScene XML に変換し、ASXML に基づいて Java による 2D viewer が表示を行った。



環境音を擬音語で表示するために、環境音認識技術を開発した。環境音は、音声と異なり、音響分析での窓内変動と窓間変動の両者を取り扱う必要がある。Matching Pursuit (MP) 法による特徴量抽出と GMM と HMM による認識法を開発した。ので、Wavelet を用いた MP 法による特徴量と MFCC とを組み合わせで性能向上をはかった [7]。

(8) 米国ロボットベンチャ Willow Garage 社のテレプレゼンスロボットへの HARK 搭載

HARK はこれまでに、HRP-2, SIG2, Robovie, ASIMO 等に搭載されてきた。Willow Garage 社招待で同社の Texai (下図右中央) に HARK を搭載し、前項の可視化システムを応用して、遠隔ユーザが指定した範囲の音だけを提示するカクテルパーティ効果の機能 (下図左) を実現した。下記のデモ風景では中央の HARK 搭載の Texai を囲んで、人が 3 名ともう 1 台

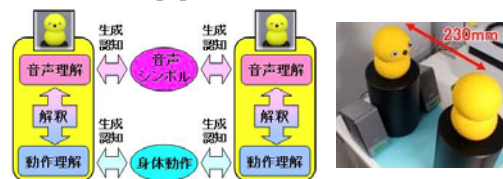


の Texai (物理的には CA 州 Menlo Park, 遠隔オペレータは Indiana 州) が会話をしている。本システムは、事前準備をほとんどせずに、上述の可視化技法を応用して、短時間で設計と実装を行うことができ、HARK システムの可搬性の高さを実証できた [20]。

(9) 身体性による記号獲得の研究

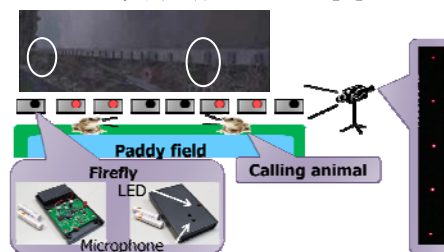
乳児の母音獲得モデルを構築するために、声道の Maeda モデルを用いた身体構造を考慮したランダムバブリングを再現し、神経回路モデル RNNPB を用いた予測誤差に基づく時系列ダイナミクス追加学習による連続音声模倣追加学習器を構築し、音素獲得過程の再現を行うとともに、バブリング動作の特性を解明した [12]。

RNN 型ニューラルネットワークに 2 種類の時間系列を学習させる MTRNN を用いて、2 台のロボット間でのインタラクションを通じて、言語と動作との共学習に応用し、言語を与えると挙動が取れ、逆に、挙動を与えると言語で表現することが可能となった。未知の挙動を与えた場合には適切な言語表現もでき、共学習機能が身体性とともにも実現できることを示した [6]。



(10) ロボット聴覚のフィールド観測への展開と音光変換「Firefly」の開発

ロボット聴覚を屋外に展開し、その可能性と限界を追求するために、カエルの合唱の解明に応用した。まず、カエルの合唱を蔵元モデルによる非線形振動子の結合系として表現した場合、3 匹の合唱で可能な 3 種類の同期、全同期、2:1 交替同期、3 相同期の観測に実験室で成功。さらに、田んぼでの観測のために、Firefly という 30cm 近傍での音を取得し、LED が光る装置 (下図) を開発した。これにより田んぼでカエルが交替同期で合唱することの観測に成功をした [8]。



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 102 件)

- 1) R. Takeda, K. Nakadai, T. Takahashi, T. Ogata, H.G. Okuno: Efficient Blind Dereverberation and Echo Cancellation based on Independent Component Analysis for Actual Acoustic Signals, *Neural Computation*, **24** (2012) 234-272. doi:10.1162/NECO_a_00219
- 2) A. Lim, T. Mizumoto, T. Ogata, H.G. Okuno: A musical robot that synchronizes with a co-player using non-verbal cues, *Advanced Robotics*, **26** (2012) 363-381. doi:10.1163/156855311X614626
- 3) K. Nagira, T. Takahashi, T. Ogata, H.G. Okuno: Complex Extension of Infinite Sparse Factor Analysis for Blind Source Separation of Speech Signals, *Lecture Notes in Computer Science*, **7191** (2012) 388-396. 10.1007/978-3-642-28551-6_48
- 4) Y. Hirasawa, N. Yasuraoka, T. Takahashi, T. Ogata, H.G. Okuno: A GMM Sound Source Model for Blind Speech Separation in Under-determined Conditions, *Lecture Notes in Computer Science*, **7191** (2012) 446-453. doi:10.1007/978-3-642-28551-6_55
- 5) 駒谷和範, 松山匡子, 武田龍, 高橋徹, 尾形哲也, 奥乃博: 発語行為レベルの情報をユーザ発話の解釈に用いる音声対話システム, *情報処理学会論文誌*, **52** (2011) 3374-3385.
- 6) W. Hinoshita, H. Arie, J. Tani, H.G. Okuno, T. Ogata: Emergence of Hierarchical Structure mirroring Linguistic Composition in a Recurrent Neural Network, *Neural Networks*, **24** (2011) 311-320. doi:10.1016/j.neunet.2010.12.006
- 7) Z. Yamakawa, T. Takahashi, T. Kitahara, T. Ogata, H.G. Okuno: Environmental Sound Recognition for Robot Audition using Matching-pursuit, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, **6704** (2011) 1-10. doi: 1007/978-3-642-21827-9_1
- 8) T. Mizumoto, I. Aihara, T. Otsuka, R. Takeda, K. Aihara, H.G. Okuno: Sound Imaging of Nocturnal Animal Calls in Their Natural Habita, *Journal of Comparative Physiology A*, **197** (2011) 915-921. 10.1007/s00359-011-0652-7
- 9) K. Nakadai, H.G. Okuno, H. Nakajima, Y. Hasegawa, and H. Tsujino: Design and Implementation of Robot Audition System "HARK", *Advanced Robotics*, **24** (2010) 739-761. doi:10.1163/016918610X493561
- 10) K. Komatani, Y. F., S. Ikeda, T. Ogata, H.G. Okuno: Selecting Help Messages by using Robust Grammar Verification for Handling Out-of-Grammar Utterances in Spoken Dialogue Systems, *IEICE Transactions D.*, **E93-D** (2010) 3359-3367. doi:10.1587/transinf.E93.D.3359
- 11) H. Fujihara, M. Goto, T. Kitahara, H.G. Okuno: A Modeling of Singing Voice Robust to Accompaniment Sounds and Its Application to Singer Identification and Vocal-Timbre-Similarity-Based Music Information Retrieval, *IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Processing*, **18** (2010) 638-648. doi:10.1109/TASL.2010.2041386
- 12) 神田尚, 尾形哲也, 駒谷和範, 奥乃博: 人工神経回路モデルと声道物理モデルを用いた母音模倣モデルに基づく音素獲得シミュレーション, *日本ロボット学会誌*, **27** (2009) 802-813.
- 13) H-D. Kim, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: Human Tracking System Integrating Sound and Face Localization using EM Algorithm in Real Environments, *Advanced Robotics*, **23** (2009) 629-653. doi:10.1163/156855309X431659
- 14) 池田智志, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博: マルチドメイン音声対話システムにおけるトピック推定と対話履歴の統合によるドメイン選択手法, *情報処理学会論文誌*, **50** (2009) 488-500.
- 15) S. Shiramatsu, K. Komatani, K. Hasida, T. Ogata, H.G. Okuno: Game-Theoretic Model of Referential Coherence and Its Empirical Verification Using Large Japanese and English Corpora, *ACM Trans. on Speech and Language Processing*, **5** (2008) Article 6, ACM. doi:10.1145/1410358.1410360

[学会発表] (計 147 件)

- 16) E-H. Kim, T. Mizumoto, T. Ogata, H.G. Okuno: Improvement of Speaker Localization by Considering Multipath Interference of Sound Wave for Binaural Robot Audition, *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2910-2915, San Francisco, Sep. 2011. doi:10.1109/IROS.2011.6094778
- 17) T. Otsuka, K. Nakadai, T. Ogata, H.G. Okuno: Bayesian Extension of MUSIC for Sound Source Localization and Tracking, *Proc. of International Conf. on Spoken Language Processing (Interspeech)*, 3109-3112, 2011.
- 18) T. Mizumoto, T. Yoshida, K. Nakadai, R. Takeda, T. Otsuka, T. Takahashi, H.G. Okuno: Design and Implementation of Selectable Sound Separation on a Texai Telepresence System using HARK, *Proc. of IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2011)*, 2130-2137, Shanghai. doi:10.1109/ICRA.2011.5979849
- 19) A. Lim, T. Mizumoto, L-K Cahier, T. Otsuka, T. Takahashi, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: Robot Musical Accompaniment: Integrating Audio and Visual Cues for Real-time Synchronization with a Human Flutist (Invited paper), *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1964-1969, 2010, Taipei. doi:10.1109/IROS.2010.5650427
- 20) T. Otsuka, K. Nakadai, T. Takahashi, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: Design and Implementation of Two-level Synchronization for Interactive Music Robot, *Proc. of the 24th AAAI Conf. on Artificial Intelligence*, 431-438, 2010, Atlanta.

- 21) T. Mizumoto, R. Takeda, K. Yoshii, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: A Robot Listens to Music and Counts Its Beats Aloud by Separating Music from Counting Voice, *Proc. of IEEE/RSJ IROS-2008*, 1538-1543, 2008. doi:10.1109/IROS.2008.4650821
- 22) N. Yasuraoka, T. Abe, K. Itoyama, K. Yoshii, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: Changing Timbre and Phrase in Existing Musical Performances as You Like, *Proc. of ACM Multimedia 2009*, 203-212, Beijing. doi:10.1145/1631272.1631302

[図書] (計5件)

- 1) 奥乃博: ロボット聴覚, 日本ロボット学会編『ロボットテクノロジー』, 304p, オーム社, 2011.
- 2) H.G. Okuno, M. Ali: "New Trends in Applied Artificial Intelligence", Lecture Notes in Computer Science, Vol.4570, Springer, 2007.1194p. ISBN: 978-3-540-73322-5. doi:10.1007/978-3-540-73325-6

[産業財産権]

○出願状況 (計15件)

名称: 音声認識装置及び音声認識方法
 発明者: 中臺一博, 高橋 徹, 奥乃博
 権利者: 本田技研工業株式会社
 種類: 特許出願
 番号: 特願 2011-53124 号
 出願年月日: 2010年3月10日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計9件)

名称: 音声認識装置
 発明者: 中臺一博, 辻野広司, 奥乃博, 山本
 権利者: 本田技研工業株式会社
 種類: 特許
 番号: 特許第4516527号
 取得年月日: 2010年5月21日
 国内外の別: 国内

[その他]

オープンソースソフトウェア

- 1) ロボット聴覚オープンソースソフトウェア
 HARK, V.0.0.7: 2008年4月, V.1.0.0: 2009年11月, V.1.1.0 2012年2月公開. 2010年5月から1年間に15,000超のダウンロード.
<http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/HARK>

受賞

- 1) 奥乃博: IEEE Fellow, ロボット聴覚技術への貢献, IEEE, Jan. 2012.
- 2) A. Lim, T. Mizumoto, L-K Cahier, T. Otsuka, T. Takahashi, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: NTF Award for Entertainment Robots and Systems, IEEE/RSJ, Oct. 2010.
- 3) T. Otsuka, T. Mizumoto, K. Nakadai, T. Takahashi, K. Komatani, T. Ogata, H.G. Okuno: Best Paper Award, IEA/AIE, 2010.

報道発表

- 1) 「複数の音を聞き分ける聖徳太子のようなロボットが登場!」, 世の中進歩堂, BS Japan, 2011年2月4日
- 2) 日経エレクトロニクス, 五感センサ, 聴覚「聖徳太子の耳をすべての機器に」, pp.75-77, 2008年2月25日号. 日経BP社
- 3) 「聖徳太子ロボットの未来」, 日経サイエンス, 2007年10月号.
- 4) "Playing It by Ear -- A machine-listening system that understands three speakers at once", *Scientific American*, Aug. 2007, p.28.

ホームページ等

- ・ <http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/HARK/>
- ・ <http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/SIG/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥乃 博 (OKUNO HIROSHI G.)
 京都大学・大学院情報学研究科・教授
 研究者番号: 60318201

(2) 研究分担者

尾形 哲也 (OGATA TETSUYA)
 京都大学・大学院情報学研究科・准教授
 研究者番号: 00318768

駒谷 和範 (KOMASTANI KAZUNORI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号: 40362579

高橋 徹 (TAKAHASHI TORU)
 京都大学・大学院情報学研究科・教授
 研究者番号: 00318768

(H20-H23: 研究分担者)

白松 俊 (SHIRAMATSU SHUN)
 名古屋工業大学・工学研究科・助教
 研究者番号: 80548595

(H21-H23: 研究分担者)

中臺 一博 (NAKADAI KAZUHIRO)
 東京工業大学・情報理工研究科・連携教授
 研究者番号: 70436715

(H21-H23: 研究分担者)

北原 鉄朗 (KITAHARA TETSURO)
 日本大学・文理学部・講師
 研究者番号: 00454710

(H22-H23: 研究分担者)

糸山 克寿 (ITOYAMA KATSUTOSHI)
 京都大学・大学院情報学研究科・助教
 研究者番号: 60614451

(H23: 研究分担者)

(3) 連携研究者

浅野 太 (ASANO FUTOSHI)
 産業技術総合研究所・グループリーダー
 研究者番号: 00231895

(H19: 研究分担者, H20-H23: 連携研究者)