

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成24年度採択分  
平成27年3月25日現在

ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開

Deployment of Robot Audition Toward Understanding  
Real World

課題番号：24220006

奥乃 博 (OKUNO HIROSHI G.)

早稲田大学・理工学術院・教授（任期付）



研究の概要

「ロボット自身の耳で聞く」というロボット聴覚をベースに、音による実環境理解を実現するために、室内および屋外での音環境利愛の基礎技術を確立する。これを通じて、高齢者や聴覚障害者のために聞き分ける機能を支援し、実環境・極限環境での音環境理解を支援する安全安心社会に貢献できるロボット聴覚技術の多面的展開を目的とする。

研究分野：情報学・知能ロボティクス

キーワード：ロボット聴覚，音環境理解，AV-SLAM，聖徳太子ロボット，UAV

1. 研究開始当初の背景

(1) 2000年にロボット自身が自分の耳で聞く「ロボット聴覚」を提唱し、混合音から音源定位・分離・分離音認識に取り組み、ロボット聴覚ソフトウェア HARK を開発。三話者同時発話認識や音楽ロボットに応用し世界に先駆け聖徳太子ロボットの可能性を示した。

(2) 災害時や自然環境での音環境理解への応用では現在のロボット聴覚の機能は、ひ弱であり、基礎研究が欠如していた。

(3) 「聞き分ける」機能は人ロボットインタラクションだけでなく、多様な分野での潜在的な需要があるが、顕在化していない。

2. 研究の目的

(1) 研究室から屋内・屋外で応用可能なロボット聴覚・音環境理解技術を確立。

(2) 多様なロボット、マイク配置、自己発生雑音に対応可能な HARK の機能強化。

(3) 音声に加えて音楽、環境音への展開。

(4) 実環境・極限環境・自然環境で機能するロボット聴覚の基礎研究と開発。

3. 研究の方法

4つのワークパッケージ (WP) で取り組む。

【WP1】多様なマイクコンフィグレーションへの展開，HARK の機能強化。

【WP2】室内から屋外への展開，視聴覚情報統合による音マップ構築，UAV からの音の取得と音源定位，

【WP3】音声から楽音・環境音を含めた音一般への展開，統計的信号処理による高性能化，楽器音実時間分離，感情認識生成モデル。

【WP4】実環境・極限環境への展開，索状レスキューロボットへの聴覚機能搭載。

4. これまでの成果

(1) ロボット聴覚ソフトウェア HARK の

1.1.1 ~2.1.1 の開発・公開と国内外で講習会 5 回と上級者向けハッカソン実施。

2.0 以降，Windows 版をサポートし，OS 非依存 Web ベース開発環境を提供した結果，3 万件弱のダウンロード(累積 5 万件強)である。



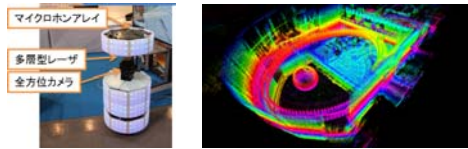
マルチパーティインタラクションの例として早口回答型クイズ司会者を取り上げ，教室型回答（回答権取得の合図）と競り型回答（いきなり解答）の2種に分けて，聞き分ける機能を活用した回答者認識と解答認識を実現し，聖徳太子ロボットの例を実証。

HARK 講習会参加者の鈴木氏（名大）が野鳥の鳴き交わし観測用 HARKBird を開発し，自然公園での観測に有効なことを報告。これを受けて，名大・UCLA との共同研究を開始。

感情のマルチモーダル間で認識にも生成にも使用可能な SIRE モデル (Strength, Intensity, Regularity, Extent) を考案し，センサ情報からの計算法を実装し，人に優しい Multimodal Emotional Intelligence 構成法を提案し，デモで実証[文献 2]。

(2) 視聴覚情報統合による 3D 地図作製法と大規模会場での人混みデータ収録.

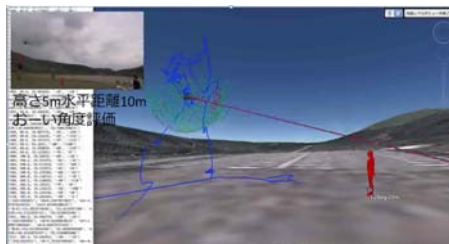
屋外定位誤差が水平角・仰角ともに 6 度程度の統計的三角測量と, LiDAR センサによる統計的誤差最小法とを組合せた 3D 地図作成法を開発. AV-SLAM 用に活用. 移動ロボットで取得した音データと 3D 地図は他グループと共有し, 研究開発に活用.



移動ロボットと展示会場の 3D 地図

(3) 無人マルチロータ搭載マイクアレイ用雑音過抑制防止付実時間処理可能な音源定位法と可視化システムの開発.

モータ雑音や風切り音などの動的雑音を逐次的に推定し, 計算量の少ない音源定位法を開発. 音声で 12m~14m, ホイッスルで 20m 程度の音源検出が達成. 音源情報を映像とともに表示する可視化システムも開発.



高さ 5m 水平距離 10m から「おーい」と叫ぶ

(4) 音源数を仮定せずに音源定位と音源分離を同時推定するノンパラメトリックベイズ法 (BNP-MAP) の開発と, 展示会場人混みデータでの検証.

HARK では処理できない音源数未知での状況に対応でき, 実世界音環境理解に有力な手段を得た. 人混み, カエルの鳴き声, 鳥の鳴き交わりの解析でも有効性確認[文献 4]

(5) 音光変換装置「カエルホタル」と HARK とを統合した HARKFrog によるカエルの合唱解明. 「カエルは交互に鳴く」ことを観測結果より実証. カエルホタルの結果を使い, HARK の鳴き声検出を高性能化[文献 3].

(6) 索状ロボットにマイクとスピーカを交互配置し, 音によるマイク位置推定を通じたロボットの姿勢推定法を開発. 非積分型のため, 突発的な姿勢変化にも対応可能[文献 1].



索状ロボットの概要と 3D 姿勢推定実験

5. 今後の計画

- (1) HARK-Binaural (Raspberry-Pi 2 で稼働) を洗練化し, HARK 入門用として展開.
- (2) HARK のクラウド化によるインストール不要システムの開発とユーザ層拡大.
- (3) HARK 用音伝送装置 RASP の高機能化と屋外での実験に展開.
- (4) 3D 地図作製法の Husky ロボットに移植し, 地空連携システムに展開.
- (5) BNP-MAP と HARK の結果を相互に利用し, 各々のシステムのチューニング.
- (6) HARKBird, HARKFrog の洗練化と実フィールド観測への応用と評価.
- (7) 索状ロボット取得音の音声強調による遠隔オペレータ支援.
- (8) 視聴覚情報統合による HARK 処理結果の可視化インタフェースの高機能化.
- (9) 多様な飛行方法 (ホバリング, 滑空, 高速滑空) に対応する雑音抑制法の開発と音源定位・音源検出法の開発.

なお, 極限音響の開発部分と実地試験棟は, ImPACT「タブ・ロボティクス・チャレンジ」 極限音響チームに移管する.

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) Y. Bando, T. Otsuka, K. Nakadai, S. Tadokoro, M. Konyo, K. Itoyama, H.G. Okuno: Posture Estimation of Hose-shaped Robot by using Active Microphone Array, *Advanced Robotics*, **29**:1 (Jan. 2015) 35-49.
- 2) A. Lim, H.G. Okuno: The MEI Robot: Towards Using Motherese to Develop Multimodal Emotional Intelligence. *IEEE Trans. on Autonomous Mental Development*, **6**:2 (June 2014) 126-138.
- 3) I. Aihara, Mizumoto, Otsuka, Awano, Nagira, H.G. Okuno, K. Aihara: Spatio-Temporal Dynamics in Collective Frog Choruses Examined by Mathematical Modeling and Field Observation. *Scientific Reports*, **4**:3891, Jan. 2014.
- 4) T. Otsuka, K. Ishiguro, H. Sawada, H.G. Okuno: Bayesian Non-parametrics for Microphone Array Processing. *IEEE/ACM Trans. on Audio, Speech & Language Processing*, **22**:2 (2014) 493-504.
- 5) K. Nakamura, K. Nakadai, H.G. Okuno: A real-time super-resolution robot audition system that improves the robustness of simultaneous speech recognition. *Advanced Robotics*, **27**:12 (2013) 933-945. **Best Paper Award**.
- 6) ロボット聴覚技術で, 平成 25 年度文部科学省大臣表彰科学技術賞 (研究部門), 人工知能学会平成 26 年度賞等受賞.

ホームページ等

<http://www.hark.jp/>

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