

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」

研究課題

「音楽を用いた創造・交流活動を支援する  
聴空間共有システムの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成22年10月～平成28年3月

研究代表者:伊勢 史郎  
(東京電機大学情報環境学部、教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

世界初の没入型聴覚ディスプレイ装置「音響樽」を開発し、そのコンテンツをまとめたデータベースの蓄積、基本的な物理性能の評価を行い、また心理・生理実験により没入感が得られることを実証した。視覚に関しては CAVE や CAVIN などの没入型ディスプレイ装置が知られているが、聴覚に関してはこれまで没入感が得られるディスプレイ装置は作られておらず、本研究代表者が提案した「境界音場制御の原理」に基づいてシステムを構築することにより、聴覚により没入感が得られる装置を世界で初めて実現した。

**システムグループ(東京電機大学)：**境界音場制御の原理に基づく場合、逆システムの性能が音場再現性能に直接影響する。そこで断面が 9 角形の樽形状の外形を採用し、また解体、組立、運搬が容易になるように壁面を分割できる構造となる音場再生室「音響樽」を開発した。音響樽の内部に 96 個のスピーカを取り付け、120 mm厚のポリウールを壁面に充填することにより、80ch マイクロホンとの間で逆システム設計が可能となった。世界初の没入型聴覚ディスプレイ「音響樽」として民間の大規模展示会(先端コンテンツ技術展:東京ビッグサイト、デジタルコンテンツ EXPO:日本科学未来館、東京デザインウィーク:絵画館前特設テント、InterBee:幕張メッセ)での出展を実現し、多くの展示会参加者に新しい空間体験の驚きを与えた。逆システム設計では正則化パラメータ法が用いられるが、最適なパラメータを選択するアルゴリズムを提案し、逆システム設計の方法論を確立した。内部で演奏を行ったときにコンサートホールなどの実音場と同じ空間体験を得ることができる音場シミュレータを開発し、その物理性能を建築音響指標を用いて定量化した。音場シミュレータにフィードバックキャンセラを実装し、フィードバックキャンセルの低減量を確認した。音場シミュレータおよび聴空間共有システムを実現するために、FPGA を用いた低遅延畳み込み装置(96ch, 2048tap, Fs=48kHz, Delay=20 $\mu$ s)を開発し、従来の 40ms から 20 $\mu$ s と遅延を大幅(従来の 2000 分の1)に改善した。PC による畳み込みアルゴリズムと組み合わせることにより、畳み込み時間4秒以上で 96ch の実時間畳み込みが可能な装置を開発した。収録時のキャリブレーションを簡易に行うためのマイクロホン位置自動計測アルゴリズムを提案した。

**データベースグループ(九州大学)：**3D 音場収録を簡易に行うための 80ch モバイル型収録システムを開発し、音響樽における再生コンテンツ収録を続け、コンサートホールにおけるオーケストラ演奏、航空機などのコンテンツを収録してデータベースの形式に整理した。開放型の音場再生装置を開発し、数名が同時に試聴することが可能な音場再生環境を構築した。

**心理評価グループ(明治大学)：**アンサンブル演奏行為においてどの程度の遅延で演奏が可能かを調べた結果、20ms (6.8m 相当)以内であればアンサンブル演奏が支障なく行えることを見出し、システム設計の指針を得た。自らの動作に対してどのように遅延を感じるか認知メカニズムを解明する実験を行い、遅延に対して適応するメカニズムがあり、演奏動作と聴覚刺激の間に時間差があっても、それを同一現象とみなす適応能力があることを示した。また、音響樽を用いて心理・生理実験を行い、没入感に関する認知過程を2つのアプローチにより明らかにした。一つはミラーシステムに関する脳波に着目した方法であり、身体動作を想起させる音を 3D 再生したときには脳波

において  $\mu$  波の抑制が生じ、ミラーシステムの活動が高まることを観察した。もう一つは自律神経系の活動に着目する手法である。パーソナルスペースに接近する 3D 音を聞いた場合には血流量、発汗量など交感神経系の賦活が生じることが観察された。また柏野チームとの共同研究により話者の無意識な微細運動が聴き手の自律神経活動およびホルモン分泌に影響を及ぼすことを確認した。これらのアプローチにおいて他者の実在感による生理的变化が3D 再生したときに観察されることから、他者の実在感には空間的な認知過程が関わっていることが明らかになった。さらに、三次元音場の臨場感を適切に評価するためのコンテンツ選択の指針を整理した。応用面については、コンサートホールでの演奏音の鳴りに関わる現象として「遠鳴り」「そば鳴り」が知られているが、その物理・心理的なメカニズムを解明するために音響樽が有効であることを示した。

**物理評価グループ(NICT)**：3 軸型マイクロホン移動装置を用いて音響樽内の音圧信号を 3 次元計測し、波面が生成されている様子を可視化した。BoSC システムの逆システムの精度を物理的に評価する方法として音源推定アルゴリズム MUSIC 法を用いることの有効性、逆フィルタの設計に関し境界内部の頭部の有無は両耳間レベル差・位相差(ILD、IPD)には影響しないことを示した。

## (2) 顕著な成果

### <優れた基礎研究としての成果>

1. 厳密に三次元波面を生成する真の Stereophonics は音響学における夢である。1990 年代に提案された境界音場制御の原理はその夢を実現するための唯一の方法として、これまで研究が進められてきた。2000 年代になり多チャンネル音響入出力システムの低コスト化、多チャンネル逆システムの計算方法の提案などにより音場再生システムの再現精度が高まり、没入型聴覚ディスプレイ「音響樽」はその完成型として実現した。そこで 3 軸型マイクロホン移動装置を用いて音響樽内の音圧信号を 3 次元計測し、波面が生成されている様子を可視化した。境界音場制御の原理が物理的に実証されたはじめての計測であり、その歴史的意義は大きい。
2. 立体再生音場を心理・生理面から評価 するために、人の動作音及び非動作音に対するミラーシステムの活動計測(脳波計測)実験を行った。その結果、BoSC 再現音場では非動作音に比べ動作音の呈示時にミラーシステムの活動が高まる(脳波における  $\mu$  サプレッション現象に有意な差が生じる)こと、1ch で音を呈示した場合に比べて BoSC 再現音場では動作音呈示時のミラーシステムの活動が高まることが示された。音場(音源)の再現精度に起因する人の実在感の差を脳活動によって示した既往研究はなく、先導的・独創的成果と考えられる。
3. 3次元波面が再現されることが他者の実在感に及ぼす効果について明らかにするために、心理学・生理学的手法(心拍・皮膚電気コンダクタンス値・指尖容積脈波測定による自律神経系の活動計測)を用いて検討を行った。実験では、仮想音場で他者が接近する音刺激を用い、実音場と同様の3次元波面が再現された場合と、音質・音圧レベル変化は同一だが波面は再現されない場合で、比較した。その結果、波面が再現された場合では主観的に他者の実在感の評価が高かった。また、波面が再現された音場では、他者の接近音によって、再現されな

った場合に比べて、心拍の増減、皮膚コンダクタンス値の増大、指尖容積脈波によって推定される血流量の減少が確認され、交感神経系の活動の賦活が示された。加えて、これらの時系列変化は実空間で他者が接近した場合と類似していた。これらのことから、3次元波面が再現された場合には他者の実在感が高まるといえる。他者の実在感にとって音の空間再現性が重要であることを示した先行研究は多いが、客観的証拠を示した研究は少なく、独創的な研究であるといえる。

#### <科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 境界音場制御の原理に基づくことにより世界初の没入型聴覚ディスプレイ装置「音響樽」を開発した。逆システムの設計可能性を高めるためにモードに偏りが生じないように断面が9角形の樽型形状の外形を採用した。また内部に96個のスピーカを取り付け、120mm厚のポリウールを壁面に充填することにより、80ch マイクロホンとの間で逆システム設計が可能となった。逆システム設計では正則化パラメータ法が用いられるが、最適なパラメータを選択するアルゴリズムを提案し、逆システム設計の方法論を確立した。音場シミュレータを実現し、建築音響指標によりその性能を評価した。低遅延畳み込みが可能なFPGAを開発し、フィードバックキャンセラを導入した聴空間共有システムを実現した。
2. 積極的にアウトリーチ活動を行い計9回の展示会(合計30日、体験者数約5000名)に参加した。多くの大学および民間企業も参加する中で注目を集め、テレビ放送や新聞記事などで音響樽は展示会の目玉として紹介された。展示会において企業やアーティストからの問い合わせが多かったためベンチャー会社を設立した。
3. 境界音場制御の原理に基づく音場収録・再生システムは多チャンネルマイクロホンおよびスピーカを必要とするため、配線の接続および機器動作確認のためのキャリブレーションに時間がかかる。そこで多次元尺度法を用いてマイクロホンあるいはスピーカの配置を推定するアルゴリズムを提案し、国内外で特許を取得した。これまで収録や再生の現場において手動で行っていた装置の確認作業を自動的に素早く実現できる。音響樽の実用化において必須特許となるため今後の事業化において優位性を保つことができる。

## §2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

#### ① システムグループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
伊勢 史郎	京都大学大学院工学研究科 ／東京電機大学情報環境学 部	准教授／教授	H22.10～H25.3/ H25.4～H28.3
渡邊 祐子	同上	講師	H25.4～H28.3
福原 康二	同上	研究補佐	H25.4～H28.3
唐津 佑宜	東京電機大学大学院情報 環境学研究科	B4～M2	H25.4～H28.3
吉田 飛里	同上	B4～M2	H25.4～H28.3
内海 覚	東京電機大学情報環境学部	B3～B4	H26.10～H28.3
梶田 雄太郎	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
金子 雅彦	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
北川 雄一	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
小林 宥美	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
永井 篤	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
中村 智咲季	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
松尾 香澄	同上	B3～B4	H26.10～H28.3
木村 和基	同上	B3	H27.04～H28.3
久保田 奏	同上	B3	H27.04～H28.3
古庄 結依	同上	B3	H27.04～H28.3
山本 舜貴	同上	B3	H27.04～H28.3
野口 一樹	同上	B3	H27.10～H28.3
李 容子	京都大学大学院工学研究科	D1～D5	H22.10～H28.3
池田 雄介	京都大学大学院工学研究科 ／東京電機大学情報環境学 部／早稲田大学理工学術院	研究員／プロ ジェクト研究員 ／助教	H23.1～H25.3/ H25.4～H27.3/ H27.4～H28.3
河野 峻也	東京電機大学大学院情報 環境学研究科	M1～M2	H25.4～H27.3
市瀬 祐弥	東京電機大学情報環境学部	B4	H26.4～H27.3
井上 裕介	同上	B4	H26.4～H27.3
古瀬 寛人	同上	B4	H26.4～H27.3

増岡 裕人	同上	B4	H26.4～H27.3
河村 哲也	同上	B4	H25.4～H25.4
小暮 雅史	同上	B4	H25.4～H26.3
高野 将弘	同上	B4	H25.4～H25.4
滝澤 翔太	同上	B4	H25.4～H26.3
荒井 留実	同上	B4	H25.4～H26.3
宮寺 真之介	同上	B4	H25.4～H26.3
飯野 晃弘	同上	B4	H25.4～H25.5
小笠原 圭祐	京都大学大学院工学研究科	B4～M2	H23.4～H26.3
梅本 文範	同上	M1～M2	H24.4～H26.3
中島 宏毅	同上	B4	H24.4～H25.3
竹本 麻衣	同上	教務補佐	H22.11～H25.3
山下 真依	同上	B4～M2	H22.10～H25.3
森 紳吾	同上	B4	H24.4～H25.3
森山 欣昭	同上	M1～M2	H22.10～H24.3
松岡 佳世	同上	M1～M2	H22.10～H24.3
長尾 翼	同上	M1～M2	H22.10～H24.3
西村 昌浩	同上	M2	H22.10～H24.3
前川 洋志	同上	B4	H23.4～H24.3
中嶋 尚人	同上	B4	H22.10～H23.3

研究項目

- ・聴空間共有システムの開発

② データベースグループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
尾本 章	九州大学芸術工学研究 院	教授	H22.10～H28.3
亀川 徹	東京藝術大学	教授	H22.10～H28.3
羽入 敏樹	日本大学短期大学部建 築・生活デザイン学科	教授	H22.10～H28.3
星 和麿	同上	助教	H23.4～H28.3
池田 生馬	九州大学芸術工学研究 院	学術研究員	H23.1～H25.3

濱村 真理子	九州大学芸術工学研究 院	学術研究員	H26.4～H27.3
中牟田 智子	九州大学芸術工学研究 院	テクニカルスタッ フ	H23.4～H28.3
大場 弘己	九州大学芸術工学府	M1～M2	H22.4～H24.3
佐々木 悠	九州大学芸術工学府	M1～M2	H22.4～H24.3
鈴木 航輔	同上	M1～M2	H22.4～H24.3
萩尾 淳二	同上	M1～M2	H22.4～H24.3
八並 心平	同上	M1～M2	H22.4～H24.3
市川 博之	同上	M1～M2	H23.4～H25.3
杉浦 康太	同上	M1～M2	H23.4～H25.3
森田 洋明	同上	M1～M2	H23.4～H25.3
西山 貴洋	同上	M1～M2	H24.4～H26.3
吉村 祐紀	同上	M1～M2	H24.4～H26.3
坪 千尋	同上	M1～M2	H24.4～H26.3
古澤 宏樹	同上	M1～M2	H24.4～H26.3
高以良 光	同上	M1～M2	H25.4～H27.3
古川 勇太	同上	M1～M2	H25.4～H27.3
鷺見 拓彦	同上	M1～M2	H25.4～H28.3
高橋 理明	同上	M1～M2	H25.4～H27.3
浅井 拓朗	同上	M1～M2	H26.4～H28.3
森 健人	同上	M1～M2	H26.4～H28.3
斎藤 悠人	同上	M1～M2	H26.4～H28.3
市原 円	同上	M1	H27.4～H28.3
櫻井 昶	同上	M1	H27.4～H28.3
金井 樹	同上	M1	H27.4～H28.3
桐山 直己	日本大学理工学研究科	M2	H23.4～H24.3
鈴木 諒一	同上	M1～M2	H25.4～H27.3
増井 大輝	同上	M1～M2	H25.4～H27.3
松尾 明穂	同上	M1	H27.4～H28.3
宮田 岳学	同上	M1	H27.4～H28.3
金澤 桃	東京藝術大学音楽研究 科	M2	H23.4～H24.3
佐藤 えり沙	同上	M2	H23.4～H24.3
土倉 律子	同上	M2	H23.4～H24.3

ルイス・クルシエシ キー	同上	D2～D3	H23.4～H25.3
関根 鈴花	同上	M1～M2	H23.4～H25.3
黒岩 若菜	同上	M1～M2	H23.4～H25.3
鈴木 雅人	同上	M2～D3	H23.4～H27.3
石田 舞	同上	M1～D3	H23.4～H28.3

研究項目

・聴空間共有データベースの開発

③ 物理評価グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
榎本 成悟	独立行政法人情報通信 研究機構	研究員	H22.10～H28.3

研究項目

・聴空間共有システムの物理評価

④ 心理評価グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
上野 佳奈子	明治大学理工学部	准教授	H22.10～H28.3
丸井 淳史	東京藝術大学	准教授	H22.10～H28.3
渡邊 祐子	東京電機大学	講師	H22.10～H25.3
嶋田 総太郎	明治大学理工学部	教授	H22.10～H28.3
佐野 奈緒子	明治大学	研究推進員	H22.10～H23.2
小林 まおり	明治大学	研究推進員	H23.4～H28.3
Csaba Huszty	東京大学大学院	D3	H22.10～H24.3
樋田 浩一	明治大学理工学部/大学 院	B4～D2	H22.10～H28.3
鈴木 優介	東京電機大学大学院 情 報環境学研究科	B4～M2	H22.10～H25.3
李 芝鮮	明治大学理工学部	B4	H23.3～H24.3
福井 誠人	明治大学大学院/大学院	B4～M2	H23.3～H26.3

渡邊 珠希	明治大学理工学部	B4	H23.3～H24.3
田中 健	明治大学理工学部	B4	H24.4～H25.3
古屋 祐樹	明治大学大学院/大学院	B4～M2	H24.4～H27.3
赤澤 友希	明治大学理工学部	B4	H24.4～H25.3
相磯 匡哉	明治大学理工学部	B4	H24.4～H25.3
土田 江一郎	明治大学大学院	M1～M2	H25.4～H27.3
松本 賢	明治大学理工学部	B4	H25.4～H26.3
小橋 宏紀	明治大学理工学部/大学院	B4～M2	H25.4～H28.3
佐野 貴広	明治大学理工学部	B4	H25.4～H26.3
田村 淑佳	明治大学理工学部	B4	H25.4～H26.3
村田 沙織	明治大学理工学部	B4	H25.4～H26.3
麻生 治人	明治大学理工学部/大学院	B4～M1	H26.4～H28.3
添野 結衣	明治大学理工学部/大学院	B4～M1	H26.4～H28.3
松田 拓也	明治大学理工学部	B4	H26.4～H27.3
村木 優	明治大学理工学部	B4	H26.4～H27.3
宮塚 健	明治大学理工学部/大学院	B4～M1	H26.4～H28.3
矢野目 敬真	明治大学理工学部	B4	H26.4～H27.3
増田 祥子	明治大学理工学部	B4	H26.4～H27.3
高橋 茉里菜	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
沼上 祥子	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
松寄 達哉	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
柳井 遙香	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
桃川 智行	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
富澤 創	明治大学理工学部	B4	H27.4～H28.3
鈴木 淳也	ソニー株式会社	研究職	H24.10～H28.3

研究項目

- ・聴空間共有システムの心理評価

## § 3 研究実施内容及び成果

### 3.1 聴空間共有システムの開発(東京電機大学 システムグループ)

#### (1) 研究実施内容及び成果

《2010(平成 22)年度》

##### ○ BoSC 再生システム「音響樽」の開発

研究目的:従来から用いてきた BoSC 再生システムを本研究で用いるためには次のような欠点がある。

- 1) 可動範囲が狭いため演奏ができない。
  - 2) 周波数軸上における固有モードの偏りが大きく、反射音が多いため逆システムが不安定となる。
  - 3) 分解・組み立てが難しいためアウトリーチ活動にコストがかかる
- 方法:これらの問題を全て解決するために 9 角形の断面形状をもつ樽型の音場再生室を試作した。

結論:結果、上記目的の1)、2)の問題点についてはほぼ解決した。しかし、組み立て作業に職人二名で 1 時間かかるため、3)については改善する必要がある。また、九角形断面の音響モードを数値計算により調べ、従来の正方形断面よりも低周波数域において音響モードを分散できることを確認した。図 3-1 は実際に開発した音響樽である。



図 3-1: 開発した音響樽の初期モデル

##### ○ BoSC システムにおける逆システム設計アルゴリズムの提案

研究目的:BoSC システムに限らず、多チャンネルの音響入出力を有する音場制御において、安定的な逆システムを設計する必要がある。逆システムの計算方法としては正則化パラメータを用いる方法がよく用いられるが、正則化パラメータの数値を決定する合理的な方法を提案する。

方法:遺伝的アルゴリズムを用いて、音場再現性能が高くなる正則化パラメータの数値を求めめる方法を提案し、その妥当性を実験的に検討した。

結論:既存の BoSC システムを用いて実験した結果、遺伝的アルゴリズムを用いて正則化パラメータを最適化することにより、音場再現性能を6dB 程度高めることができることを確認した。

##### ○ 音場伝送システムの実現方法の検討およびプロトタイプ的设计と試作

研究目的:演奏信号を実時間で BoSC 理論によって空間的に再生するためには大規模かつ高速な信号処理システムが必要となる。AD/DA 変換時、畳み込み演算時、ネットワーク伝送時において生じる遅延を最小に抑えながら遅延の状態を管理可能なハードウェア装置が必要となる。また大規模な音響信号処理計算を行うためにタスク・スケジューリング可能な演算装置を開発する必要がある。

方法:GPGPU、FPGA、汎用 DSP を比較し、計算能力、ネットワークおよびデジタルアン

プとの整合性、遅延条件などについて長短所を検討した。

結論:GPGPUは大規模計算が可能だがデータがPCのOSを経由するため遅延の管理ができない。FPGAは浮動小数点演算ができず、また複雑な信号処理計算を行うためのタスク・スケジューリングができない。そこでデジタルアンプとの整合性の高い汎用DSPの採用を決定し、プロトタイプシステムを設計、試作した。

## 《2011(平成23)年度》

### ○ BoSC再生システム「音響樽」の設計製作(継続)

前年度に開発した音響樽の改良型および信号処理システムを開発し、基本性能(残響時間、遮音性能、畳み込み演算能力、SNレベル、遅延時間)を調査した。音場再生のデモは可能であるが、96ch再生するとSNレベルが高くなるためスピーカユニットに低次LPFが必要であること、システムの遅延は300 $\mu$ sと十分短い、DSPシステムのSDRAMにおけるデータ転送がボトルネックとなり本研究で求められる4s x 96chのインパルス応答の実時間畳み込み演算(遅延1ms以下)は難しいことがわかった。畳み込み演算はDSPですべて行わずにインパルス応答の前半部分をFPGAで後半部分をPCで計算を行う方針に変更すべきであることを見出した。

### ○ 音の遅延条件がアンサンブル演奏に与える影響に関する検討

音の遅延は実際の音場でも存在するが、演奏家にとってどの程度の遅延が許容されるのかを調査するため、15年以上の演奏経験を有するアマチュアのバイオリン奏者12名と、プロ(音楽大学大学院生を含む)のバイオリン奏者6名を被験者とする心理実験を行った。

その結果、遅延20ms以上で半数以上の被験者が遅延を認知することが示された。また、遅延時間の増加に伴いアンサンブル演奏のテンポが遅くなり、遅延40ms以上でアンサンブル演奏の同期性が大きく損なわれることを見出した。

### ○ 多次元尺度法によるマイクロホンアレイ/スピーカアレイの配置推定法の提案

多数の音響入出力デバイスの接続はミスが生じやすく、また校正にも時間がかかる。それらを自動化するためにはまず各音響入出力デバイスの配置を正確に把握する必要がある。通常、それらの配置は視覚的に確認するが、本研究では多次元尺度法で用いられる空間再構成アルゴリズムを用いることにより音響情報から各デバイスの配置を推定する手法を開発した。BoSCシステムで実験を行い、開発したアルゴリズムの有効性を確認した。

### ○ 正多角形の平面形状をもつ室の音響的な不規則性に関する研究

本研究では正九角形の断面をもつ形状が通常の正四角形の断面よりもモードが分散されているはずであるという仮説を前提に開発を進めてきたが、その仮説の妥当性を数値計算により検証した。正四角形以外の多角形ではモード周波数を理論的に導くことができないため、数値計算によりモード周波数を見出す方法を提案し、正四角形の場合は理論とも一致することを証

明した。その方法を用いてモードの分散状況を調べた結果、四角形よりも正九角形が優れていることを見出したが、正四角形から正十三角形の中では正六角形が最も優れていることが示唆された。

#### ○ BoSC マイクロホンによる仮想音源推定アルゴリズムの提案

BoSC マイクロホンは 80 個のマイクロホンを持つため、それらのインパルス応答から空間情報を推定することができる。4 個のマイクロホンから空間情報を把握する近接四点法アルゴリズムを 80 点に拡張する手法を提案し、実際の音場において仮想音源の抽出が可能であることを示した。

### 《2012(平成 24)年度》

#### ○ BoSC 再生システム「音響樽」の設計製作(継続)

前年度に調査したシステムの基本性能をもとに、4 秒×96ch のインパルス応答の実時間畳み込み演算(遅延 1ms 以下)を実現するため、インパルス応答の初期部分を FPGA で、残りの後半部分を PC で演算を行う BoSC 再生システムの設計と試作を行った。FPGA システムに MAD I インターフェイスを実装し、PC と FPGA システム間の 96ch のオーディオ信号の伝送を行い、FPGA システムから各デジタルアンプへの伝送には少ないケーブルで伝送可能な独自プロトコルの高速伝送を行うことで 96ch の再生システムをハードウェアとして実現した。また 96ch 駆動すると無視できない白色性雑音を低減するためのデジタルアンプ用 LPF を開発し、高域ノイズを約 10dB 低減した。実際に本システムを用いて音響樽による音場再生の定位感・距離感の聴感実験を実施し、システムが問題無く動作することを確認した。

#### ○ BoSC 再生システムのデモンストレーションと実証実験

音響樽の安定性と改善点を明らかにする目的で、実際に音響樽を分解・運搬し、仙台メディアアテークにおける AES コンファレンス(2012.10.9-11、図 3-2)と科学未来館におけるサイエンスアゴラ(2012.11.10-11)において、音の専門家から一般の方までのべ 170 人以上にデモを行い、長時間のシステム動作に支障が生じないことを確認した。また、音響樽のデモンストレーションに際して行ったアンケート(音響関係者 62 名及び一般 116 名)を分析し、音響樽によって呈示される音場の特徴と人気の高いコンテンツの条件を整理した。これらのデモンストレーションは、システムグループ単独ではなく、研究グループ全体として取り組んだ内容である。



図 3-2：仙台メディアアテークにおけるデモ

### ○ 音響樽の再設計と設置

デモ時の運搬などにおいて問題となった音響樽の構造の不安定さを解消するよう、開口部や床下の構造を変更するなど再設計を行った。また、デモ時にコンテンツによっては 100Hz 以下の低音が小さいという問題があったため、スピーカユニットの選定とエンクロージャの再設計を行った。再設計後の新しい音響樽を九州大学と情報通信研究機構(けいはんな)に設置を行った。

### 《2013(平成 25)年度以降》

#### ○ BoSC 再生システム「音響樽」の設計製作(継続)

前年度に引き続き、スピーカユニットやエンクロージャ、外壁など再生能力と組み立てやすさについて改良が施された音響樽を電機大学、NICT、明治大学に順に設置を行った。再生用システムに関してもローパスフィルタの改良により、チャンネル間に生じていたクロストークを 1kHz において 20 dB の改善が見られた。また、樽の床下部に設置されたデジタルアンプへの伝送において、マルチチャンネルオーディオ規格である MADI (Multichannel Audio Interface) の光ケーブルを採用することで、データ伝送時における S/N の改善が見られた。また低音の再生能力が、入力 0.5V に対して、100Hz 以下でも 90 dB 程度の音圧が得られることが確認され、十分な低音再生能力があることが確認された。



図 3-3 : MADI を採用したデジタルアンプ

音響樽を用いたアウトリーチ活動は引き続き行っており、8 月に東京藝大で行われた AES (Audio Engineering Society) 日本支部 60 周年イベントや、3 月につくば国際展示場で行われた高校生向けの科学イベントであるつくばサイエンスエッジに音響樽を一般公開し、のべ約 150 名に音響樽の体験デモを行った。特に AES では音場シミュレータや BoSC マイクロホンアレイによる 3 次元音場の収録のデモも行った。また、3 月には日本の伝統芸能である能の小学生向け教育コンテンツとして、BoSC マイクロホンアレイを用いた音場の収録を行った。

#### ○ 3次元音場シミュレータの開発

「音響樽」を用いた音場シミュレータの開発を行った。東京カテドラルで測定された 1.4 s のインパルス応答のデータを用い、直接音のピーク到来時刻から 10 ms 以降の応答を残響成分として切り出した後、あらかじめ算出している音響樽再生システム用逆フィルタと重畳し、96ch のシステム用のフィルタとして準備した。演奏実験時にはソフトウェアによって 96ch の実時間畳み込みによる音場シミュレーションを実現した。残響時間、直接音に対する初期反射音と後期反射音のエネルギー比を原音場と再現音場で比較し、十分に再現可能であることを確認した。

演奏実験はプロのバイオリン奏者 2 名の協力を得て実施した。まずは各自に各々、別々の音

響樽に入って頂き、それぞれの音場シミュレータによって実現されている自身の演奏に対する残響システムについて、(1)残響成分の遅延条件、(2)自分が演奏する直接音と残響音の音量のバランスについて主観申告による評価をしてもらい、最適と感じるセッティングを選択していただいた。総じて良好な残響感はある一方、演奏の仕方によって残響音までの遅延を感じるとの評価であった。

#### ○ 音楽演奏実験

二つの音響樽を直接接続し、お互いの演奏が相手の音響樽に再生されるシステムを実現した(図 3-4)。演奏者には、モーツァルト作曲「ウィーンソナタ」など数曲を実際に演奏させ、その後、再び主観申告による評価を実施した。本提案システムを用いたアンサンブル演奏は可能であったが、自身の音と相手の音がシミュレートしている音場に違いを感じる、タイミングのずれを感じる、などの評価であった。



図 3-4：音楽演奏実験の様子

今回の演奏実験におけるプロ奏者へのヒアリングでは大きな問題にはならなかったものの、本実験と並行して行った再現システムの予備的な物理評価の結果、今後、(a)残響成分を帰還することによるフィードバック、ならびに接続された別の樽に一端、再生された後、再び自身の樽に信号が帰還することに起因するハウリングの抑制が必要であること、(b)実時間システムを実現するにあたり、再生回路におけるオーディオインターフェイスの処理とフィルタリング演算により発生する 10 ms 程度のシステム遅延を考慮にいれたシミュレータのシステム設計と構築が必要であることが示唆された。また、ネットワーク以外のハードウェアの基本動作には問題がないことを確認した。

#### ○ ハウリングキャンセラの開発

音場シミュレータや音場共有システムでは樽内のマイクロホンに対するハウリングキャンセラが必要となる。そこで残響付加用のマイクロホンの位置について、再現音が零となるように制御する手法について検討し、様々な位置にマイクロホンを設置した結果、22 dB 以上の抑圧が可能であることが分かった。

### ○ 最適化正則化パラメータ法による逆フィルタ設計方法の提案

安定した逆システムを設計する方法として正則化パラメータ法が知られているが、大規模な逆システムの正則化パラメータを合理的に計算する方法は提案されていない。そこで最適な正則化パラメータをオクターブバンド毎に求めて、逆システムを求める方法を提案した。周波数帯域毎に正則化パラメータの値  $\beta$  を変化させ PC (Intel Corei7-3770k、CPU3.5GHz、Memory 16GB) および数値計算ソフト Matlab を用いて計算したところ約 96 時間で最適な正則化パラメータを求めることができた。全帯域 (20~20kHz) にわたる SNR は最適化  $\beta$  の場合は 6.7 dB と正則化パラメータを用いない場合 ( $\beta=0$ ) の -3.9 dB や直感的に正則化パラメータを決めた場合の 4.8 dB と比較して向上した。図 3-5 に結果の一例を示す。

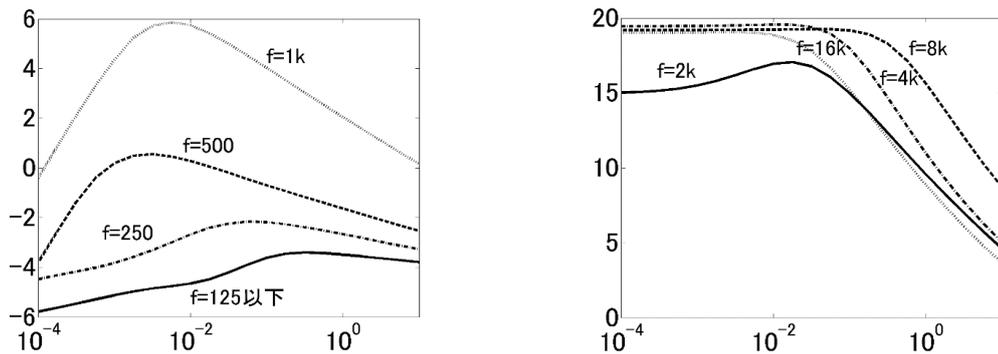


図 3-5：正則化パラメータ  $\beta$  と SNR の関係 (左:  $f=1\text{kHz}$  以下、右:  $f=2\text{k}$  以上)

### ○ 音楽芸術としての録音・再生性能に関する実証実験

収録した音楽をどの程度の芸術性を保ちながら再生可能かを調べるため、東京藝大の録音スタジオにおいて 2 名のプロ演奏家による演奏を収録し、実音場、従来の収録・再生方法、BoSC システムによる収録・再生をほぼ同時に比較する実験を行った。BoSC システムでは、収録後におけるファイル書き込み、逆フィルタ畳み込み処理におけるファイル読み書き、再生準備のためのファイル読み込みなどディスクアクセスがボトルネックとなるが、2 分程度の音の確認であれば 10 分程度ですべての処理を終えられることがわかった。また、10 分程度の待ち時間であれば生演奏、従来のオーディオ再生、従来の BoSC 再生を比較できる。比較した結果、従来の逆フィルタでは音質的に問題があることがわかった。従来の逆フィルタは周波数特性が平坦になるように補正しているが、通常のオーディオ収録・再生システムは高域でゆるやかに減衰しており、それが機械の存在を感じさせない自然な音の収録・再生を実現すると考えられる。そこで 8 kHz 以上で 10 dB/oct の減衰特性を逆フィルタにもたせることにより、音像定位などに影響を与えずに BoSC システムの音質的な問題を解消できることを確認した。



図 3-6：収録実験の様子

### ○ 没入型 3 次元音場シミュレータへのハウリングキャンセラの実装

音響樽を用いた没入型音場シミュレータにおいて、スピーカからの出力信号が樽内のマイクロホンにフィードバックすることで、マイクロホンの設置位置が限定される、一部再現精度が低下するなどの問題があった。そこで、樽内マイクロホンの位置でスピーカからの出力が零となるように逆システム設計する手法によるフィードバックの抑圧を行った。その結果、全帯域で 20 dB 程度、特にハウリングが生じやすいピークに対しては 30 dB 程度のフィードバックの抑圧が可能であることが確認された。また、ハウリングキャンセラを実装したシステムにおいて、オクターブバンドごとの残響時間や直接音に対する残響音のエネルギー比によって再現性能を評価した結果、残響時間やエネルギー比に十分な改善がみられた。また、マイクロホンを音響樽内壁面に設置することが可能になり、マイクロホン設置の自由度が高くなった。

### ○ 96ch 実時間畳み込みシステムの開発

音響樽を用いた音場シミュレータや音場共有システムにおいて 3 次元的な残響音を再現するには数秒以上の長さのフィルタを 96 ch で畳み込むという大規模な演算が必要になるが、それらを計算機で行う際に機器による遅延が生じる。床面や演奏者の近くの壁面などによる反射音は、遅延により再現が損なわれる可能性がある。そこで、機器による遅延を最大限に小さくするため、4 系統の MADI (Multichannel Audio Interface) 入出力インターフェイスを持つ 96 ch の畳み込みが可能な FPGA ボードの開発を行った。畳み込むフィルタの冒頭、約 20 ms の畳み込みを開発した FPGA ボードによって畳み込み、残りのフィルタを計算機によって畳み込みを行い、FPGA ボード上でそれらの信号をチャンネルごとに合成することで、機器による信号処理の遅延が 0.02 ms となり、実用上無視できるレベルにまで小さくすることが可能になった。



図 3-7：開発した FPGA ボード

### ○ 音源の指向性を含めた音響樽内の音場収録手法の開発

Kirchhoff-Helmholtz 積分方程式に基づいた音響樽内の音源を指向性も含めて収録・再現する手法の提案を行った。樽内の音源を取り囲むように樽内の壁面に設置されたマイクロホンアレイによって音源の収録を行う。スピーカを回転させることで実現する仮想的なスピーカアレイとマイクロホンアレイとの間の逆システムを用いることで、音源の放射を指向性も含めて復元することが可能になる。さらに仮想スピーカアレイと BoSC マイクロホンアレイまでの伝達関数を畳み込むことにより、相手の音源の指向性や動きも含めた情報の伝送が可能となる。計算機シミュレーションの結果と無響室実験から、樽内マイクロホン 18 個と 400 個の仮想的なスピーカアレイを用いることで、FB 比で 20 dB 程度の指向性を持った音源の指向性の再現が可能なることを確認した。

音響樽は内部で演奏などの活動を行えるよう内部に十分なスペースが必要であったが、音を聴くだけの目的であれば、より小型の BoSC 再生室が構築可能である。そこで、実際に家庭やスペースの限られた場所にも設置可能な BoSC 再生室の設計を行った。機器の設置の基盤となる外装の実装が行われ、吸音材の量の検討やスピーカユニットの選定を行った。



図 3-8：小型 BoSC 再生室の外装および音響樽との比較

### (2) 成果の位置付け、類似研究との比較

初年度である 2010 年度、および 2011 年度にかけて、本研究の標準的音場再生プラットフォームとなる「音響樽」およびそのシステム開発を集中的に行った。これまでの音場再生システムは、無響室などの特殊な環境、あるいは実験室内でのデモンストレーションで一般に公開されることが多かった。

しかし、本研究において開発された音響樽は、アンプまでが一体化しており、さらに分解と組み立てが比較的容易に行える構造から、外部において多くのデモンストレーションを行うことができる。これは今までにないタイプの音場再生システムである。特にそのユニークな外形から、一般的な聴取者に与えるインパクトは非常に大きい。また継続的に 2015 年度まで多くのデモンストレーションの機会を探し、実行してきた。この結果インターネット上の SNS などでも音響樽というキーワードで多くのポジティブな感想が収集できる。このように大きな反響を伴う音場再生システムは、これまでの研究では存在しない。

## 3.2 聴空間共有データベースの開発(九州大学 データベースグループ)

### (1) 研究実施内容及び成果

《2010(平成 22)年度》

#### ○ BoSC 收音システムによるコンテンツ収録実験

新たに構築した BoSC 收音システムを用いて、実際の音楽演奏などの収録を試みる。PC をベースにした収録システムを構築しているが、ハードウェア、ソフトウェアの動作確認と共に今後継続的に行う収録に際しての問題点を抽出することも目的である。

九州大学の中規模のホールを用いて、インパルス応答の測定および音楽演奏の収録を行う。その際、九州大学、京都大学、情報通信研究機構から持ち寄った 3 つのシステムを同時に稼働させ、各システムの安定性などを確認した。

結果としてインパルス応答、音楽収録ともに大きなトラブルはなく行うことができ、得られたデータをデータベース化する準備が整った。また大規模なシステムであり、ケーブルの処理方法やマイクロホン感度の校正方法など、極めて現実的な問題に関する情報を全メンバーで共有することができた。ソフトウェア設定ミスにより一つのマイクロホンから収録できなかったという問題も生じ、システム動作のチェック方法を改善する必要性を認識した。

まず初年度においては、80 チャンネルのデータを安定して収録する方法と道具を揃えることで、データベース収集の準備を行った。



図 3-9：3 セットの 80 チャンネル収録システムと収録の様子

《2011(平成 23)年度》

#### ○ 屋外で計測可能な可搬型 BoSC システムの開発

屋外でインパルス応答(例えば森林の残響測定など)を計測する場合にスピーカアンプ、マイクロホンアンプ、レコーダなどのために電源が必要となるが、DC-AC インバータ(Ni-Mh バッテリー内蔵、120Wh)およびマイクアンプ内蔵の 8ch フィールドレコーダ(10 台)を用いることにより三時間の測定が可能なシステムを開発した。

特にフィールドレコーダを用いた収録システムは、耐候性にも優れ、全チャンネル完全な動機が可能な仕様であり、本研究において多くのデータベース構築に用いることになる。図 3-10

に収録システムならびに屋外での収録の様子を示す。



図 3-10：可搬型データレコーダによる 80 チャンネル収録システムと屋外での収録の様子

#### ○ BoSC 音源データベースの蓄積

以下の6か所でコンテンツ収録およびインパルス応答測定を行い、必要な逆フィルタ処理を行うことで、音響樽での再生コンテンツとして整備した。

- 九州大学芸工多次元ホール (RT=1.5s) : 音楽録音
- 北九州市・響ホール (RT=2.0s) : バイオリン独奏
- アクロス福岡・シンフォニーホール (RT=2.4s) : オーケストラ演奏
- 東京カテドラル・大聖堂 (RT=5.0s) : パイプオルガン演奏
- 九大構内: セミ時雨 (IR 無)
- 佐賀県唐津市・虹ノ松原 (RT=0.3s) : 環境音、ドライソース再生収録



図 3-11：様々な場所での収録の様子

#### 《2012(平成 24)年度》

#### ○ BoSC 音源データベースの蓄積(継続)

継続的にコンテンツ収録を続けた。ホールにおけるオーケストラ演奏リハーサル収録では 80ch マイクロホン指揮者の直前に配置して収録を行い、一般的には聞くことの出来ない音を含んだ、特徴あるコンテンツを収録した。さらに心理実験グループとの共同作業として、音源がマイクに向かって進む音源など、試聴を行った被験者の反応が大きかったものを選択し、条件を整理した状態で再収録を行った。さらに、自転車などと連結して移動しながら収録できるシス

テムを開発し、実際の収録を試みた。特に交差点での視覚障害者用音の出る信号機や、壁などの近辺での音の様子を収録することで、将来的に視覚障害者の歩行訓練にも使えるようなコンテンツの基礎データを収録している。



図 3-12：様々な場所での収録の様子

### ○ 新型音響樽の開発

開放型の BoSC 再生システムを開発し、設置した。これを用いてチャンネル数を効果的に減らすアルゴリズム作成に着手し、検討を進めている。いわゆるレゴブロック型のモジュールを組み合わせることで比較的簡単に組み立て可能なシステムであり、現在 48 チャンネルのスピーカユニットを用いて運用する形態になっている。

この形状は研究グループ内のコンペによって学生のアイデアを採用したものである。模型において可動部などのチェックを行い、おおよそ 4m x 4m のスペースに設置する形態とした。

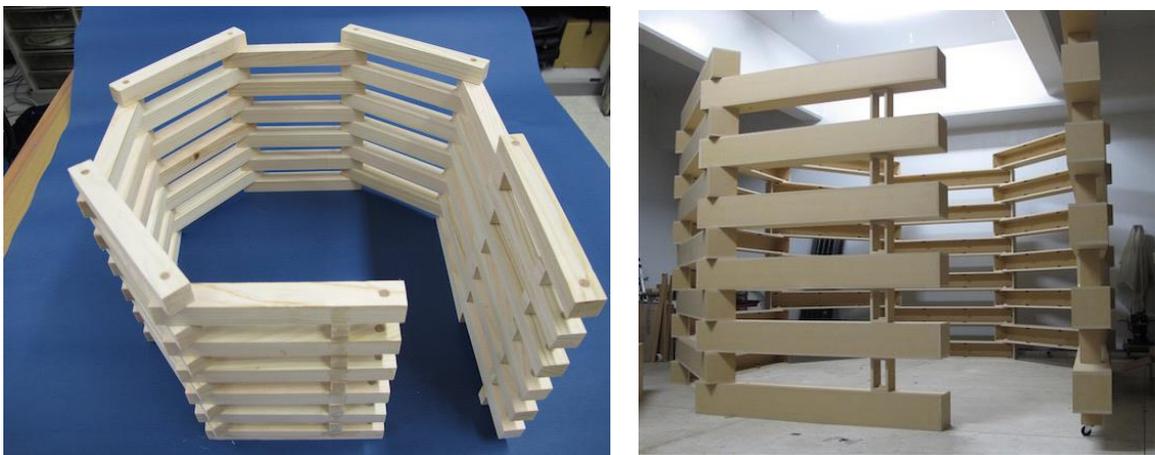


図 3-13：新型音場再生システム音積木  
(左:模型による動作確認、右:実際に組み上げたところ)

現在、九州大学に設置しているが、解体、組み立てがそれぞれ1時間以内で行うことが可能である。このために、福岡市内でのアウトリーチ活動など、多くのデモンストレーションに用いている。なお、アンプは音響樽と共通であり、再生システムもハードウェア、ソフトウェアとも同一のものを用いることができる。

## ○ パラメトリックな音場再生に関する基礎的検討

上記音積木の様に開放型システムのように性能が劣ることが予測される場合には、特徴的なパラメータのみを制御する音場再生方式も考えられる。このために、特に室内の音場の拡散状況を再現する方式に関する考察を行った。音場が拡散していく状況を、鏡面反射成分の減衰と散乱反射成分の減衰とに分けて記述することには成功しているが、これを音場再生システムに組み込むにはさらなる考察が必要である。

## 《2013(平成 25)年度以降》

### ○ BoSC 音源データベースの蓄積(継続)

継続的に音響樽における再生コンテンツ収録を続けている。2013 年度以降に行った主な収録は以下の通りである。

- 九州大学大橋キャンパス多次元デザイン実験棟:ガムランコンサート収録
- アクロス福岡シンフォニーホール:オーケストラ収録
- 黒崎ひびしんホール:ピアノ独奏コンサートリハーサル収録
- 宮崎県・シーガイア近辺の松林:ドライソース収録、インパルス応答測定
- オーケストラのリハーサル:コンサートホールの通路を、台車に乗せたマイクを移動させながら収録した。
- ライブハウス:120 dB を超える大音量のライブ演奏を収録し、高品位音源を得た。
- バイクの移動音:マイクの周りを大型バイクが周回する様子を収録した。
- 飛行機の通過音:滑走路に近接した場所で、着陸直前の航空機の音を収録した。
- 森林の自然音:竹藪の中で、鳥の声や葉が風にそよぐ音などを収録した。
- 流水の音:水路において水が流れる様子を収録した。
- 鉄道の音:駅、コンコースにおいて、電車の移動音、アナウンスなどを収録した。

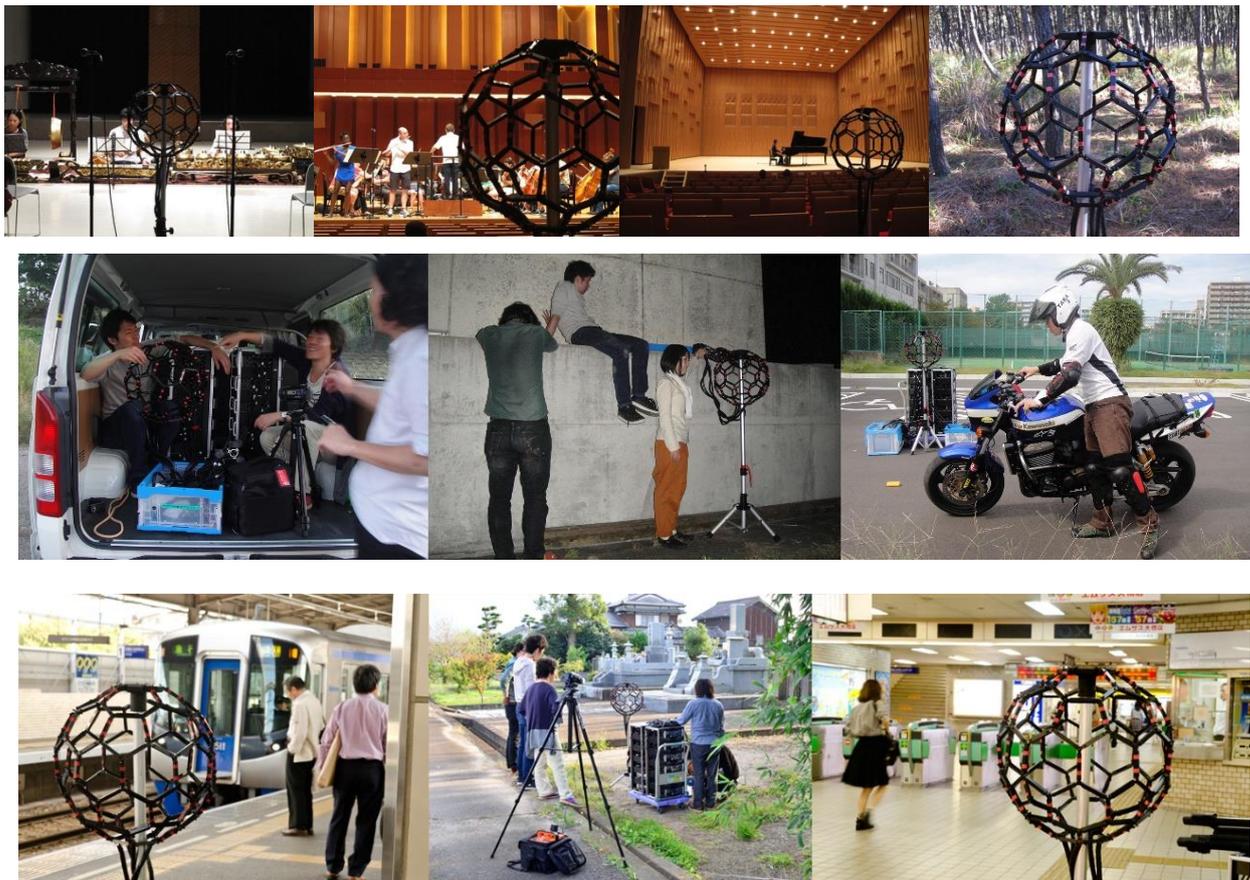


図 3-14：様々な場所での収録の様子

### ○ 新型再生システムの開発と性能検証

開放型の BoSC 再生システム、音積木を開発した。収録から再生までの一連の流れを検証し、可搬性の確認、さらにシステムとしての物理的性能、主観的な音質評価も行ない、最適な聴取位置の検証なども行なった。物理的性能に関しては、残響時間をはじめとする原音場の音響物理指標の再現性能を検証し、再生音場の影響の度合いを検証した。今後吸音性能を向上させるパーツの開発等を含め、トータルの性能向上を計る。主観評価に関しては、MUSHRA (Multi-Stimulus test with Hidden Reference and Anchor)を用いた空間性能評価の基礎的検討を行なっている。比較的広めの領域で良好な評価が得られることを確認している。

### ○ 再生音に対する加工の可能性に関する検討

室内音場の残響過程定式化の後、理論的困難さもあり、拡散音成分の独立した可観測・制御化には成功していない。このため、当初予定した拡散音成分のみを分離して制御を行なう制御システム、アルゴリズム構築には至っていない。簡易的な加工および残響成分導入の足がかりとなる手法構築のために、音再生を行なう DAW (Digital Audio Workstation)において適宜イコライジングを行なう効果等に関して検証をはじめている。内観報告の段階であるが、ポジ

ティブな評価が得られており、物理的な特徴を誇張せず、印象を向上させる手法に関して継続的に検討を進めている。

#### ○ 空間音響作品(音楽)のアーカイブメディアとしての可能性追究

当初の計画にはない項目である。アコースモニウムなど空間を広く使った音楽作品はその記録方法が確立されておらず、アーカイブ化が難しい。BoSC システムと音響樽、音積木の組み合わせによる音場再生性能を活かして、これまでにない記録媒体として用いることが出来る可能性を探求した。具体的には九州大学において開催された 16 チャンネルのスピーカを用いたアコースモニウムコンサートを収録し、直ちに音響樽において再生して評価を得ることを試みた。逆フィルタの精度向上等の課題もあるが、提案システムが持つ空間再生性能を用いることで、新しいアーカイブメディアとしての可能性は明らかになった。演奏家も好意的に捉えており、今後継続的にデータ収集と検証を行なう予定である。



図 3-15：アコースモニウムコンサートの収録状況

#### ○ 新型再生システムによるアウトリーチ

開放型の BoSC 再生システム(音積木)を用いて、福岡市役所ロビーで展示を行った。この場所においては、1週間連続で延べ 1,000 人以上という多くのデモンストレーションの機会を作った。整った形式ではないが、デモ参加者へのインタビューを通して、好まれる再生音の種類が年代などによって大きく別れることが明らかになり、以下に示すコンテンツ選定の研究課題を設定した。



図 3-16：福岡市役所ロビーでの展示の様子

#### ○ 音場再生システムに適したコンテンツの選定

さまざまな種類のコンテンツに対して主観評価実験を行い、どのような観点で好まれるのか、基礎的な検討を行った。具体的には 11 種類のコンテンツを使い、SD 法と順位法を用いた評価を行った。結果としてコンテンツをバイクや航空機などの「移動音」、オケなどの「音楽系」、ガムランや能楽などの「鑑賞性」、竹藪などの「自然音」といった 4 種類に分類できる可能性が明らかになった。

#### ○ 逆フィルタ生成のためのアルゴリズムに関する検討

逆フィルタの性能は、音場の再生性能に直接的に影響する。現在は再生音場において、原音場の音響物理指標がどの程度再生されるかを一つの規範として考察を行っている。また特異値分解を応用したフィルタの生成法において、有効な打ち切り次数を求めるための簡易的アルゴリズムを考案し、その妥当性について検討を行った。具体的には、インパルス応答から算出される dB 表示の周波数特性におけるダイナミックレンジを、そのまま打ち切りの次数算出の鍵として用いる手法である。今後はさらに検討を進め、周波数特性のみではなくマトリックスの条件数のダイナミックレンジなどを用いた手法へと進化させる予定である。

## (2) 成果の位置付け、類似研究との比較

初年度より継続的に音場情報の収集を行っており、多くの種類の音場再生を行うことが可能になっている。これはバッテリー駆動のフィールドレコーダを 10 台シンクロし、屋外など過酷な状況での録音が可能なためである。本研究の非常にユニークな点である。

類似研究においては音楽などのコンテンツに限定されることが多いが、本研究では自然環境音や通常は騒音と捉えられるバイクや航空機の音を用いて効果的なデモンストレーションを構成している。これは、アウトリーチ活動を含むデモンストレーションにおいて行うアンケートで得られる「好ましい」コンテンツに関する情報によるものである。統一的で唯一のコンテンツが望まれているわけではなく、試聴者の年齢構成、バックグラウンドによって非常に幅広く好みが分かれることが明らかになっており、これに沿った形でバリエーションを増やしている。

デモンストレーションでは、平均して 1 日あたりに 200 人程度に試聴してもらうことができる。この際に得られる好みのデータなどは、今後のデータベース構築、運用にとって重要なデータであり、今後も継続的に収集する予定である。

また 2013 年度から試みている空間音響を用いた芸術作品のアーカイブメディアとしての音場再生システムというテーマは、これまでになく斬新なものである。一過性、偶然性を重視する芸術分野においても、技能の習得、伝承などの意味からアーカイブの必要性は存在する。いわゆる  $4\pi$  空間上に任意に配置される音の情報を、精密に記録できる手法は存在せず、本研究において用いる音場収録方法が唯一のものである。本研究成果の重要な活用法のひとつである。

### 3.3 聴空間共有システムの物理評価(情報通信研究機構 物理評価グループ)

#### (1) 研究実施内容及び成果

##### 《2010(平成 22)年度》

##### ○ BoSC 再生システムの再現精度に関する物理評価

研究目的:音場再現性能を物理的に評価するための基礎的な検討を行う。

方法:既存の BoSC 再生システム内に新型 BoSC 收音システムを設置し、インパルス応答を測定する。インパルス応答から逆フィルタを計算し、ある音場を再現し、逆フィルタの条件数、再現信号のスペクトル距離(SD)により音場再現性能を定量的に評価する。

結論:逆フィルタの条件数は 125Hzから 1kHz では高く、1kHz から 2kHz で徐々に減衰し、それ以上の周波数では低くなる。2 kHz 以下の帯域では吸音材の設置条件を変えることにより再現信号の SD は大きく変動するが、2kHz 以上の帯域ではほとんど変化しない。次年度開発予定の新型 BoSC 再生システムの性能を既存のシステムと定量的に比較するための基礎データを得た。

##### 《2011(平成 23)年度》

##### ○ 移動音源の再現性能に関する物理評価指標の検討

BoSC 再生システムのデモにおいて移動する音源に臨場感を感じる受聴者が多いことに着目し、MUSIC 法を用いた音源推定により移動音源の追跡の数値的な性能によって音場再生性能を物理評価する手法を提案し、これまで蓄積したコンテンツを評価した。

##### 《2012(平成 24)年度》

##### ○ 旧 BoSC システムと音響樽の再現精度の比較検討

数値計算により、旧来の BoSC 音場再現システムと音響樽の再現精度を比較した。その結果、1)両システム共にスピーカアレイの外側と比較して内側での再現精度が低いこと、2)音響樽では、旧システムと比較して遠距離場でも高い再現精度を維持していること、3)音響樽では 500Hz 程度までの帯域であればスピーカアレイのほぼ全域で音場を再現可能であることを示した。また、両システムを用いた音源定位実験により、水平・仰角・奥行き方向の定位性能を示した。

##### ○ マイクロホンアレイ移動装置を用いた音圧分布の測定

前年度導入したマイクロホンアレイ移動装置を用いた音圧分布の測定装置を構築し、水平面内における音圧分布の計測を実施した。平行壁面がないことから、固有モードによる顕著な定在波などが無いことが確認された。

##### 《2013(平成 25)年度以降》

##### ○ 音場計測装置を用いた再現音場の計測

BoSC システムはキルヒホッフ・ヘルムホルツ積分方程式を用いた物理音響モデルに基づく

波面合成システムの一つである。音場計測装置を用いて計測することにより、構築した「音響樽」の内部で、実際に波面が合成されていることを確認することが目的である。

図 3-17 に構築した音場計測装置を示す。音場計測装置は、直径 1 m、高さ約 2 m の円柱状の領域の音圧を計測することが出来る。また、表 3-1 に音場計測の条件を示す。原音場は NICT 内にある防音室とした。音源はマイクロホンアレイの正面、左右 30 度、左右 120 度とした。また、音源の距離はマイクロホンアレイの中心から 1.5 m とした。



図 3-17：音場計測装置  
(音響樽内部での音場の計測風景)

表 3-1：計測条件

原音場	NICT 内防音室
音源位置	サラウンド配置
サンプリング周波数	48kHz
計測角度	4 度
計測間隔	4cm
周波数	1kHz 以下

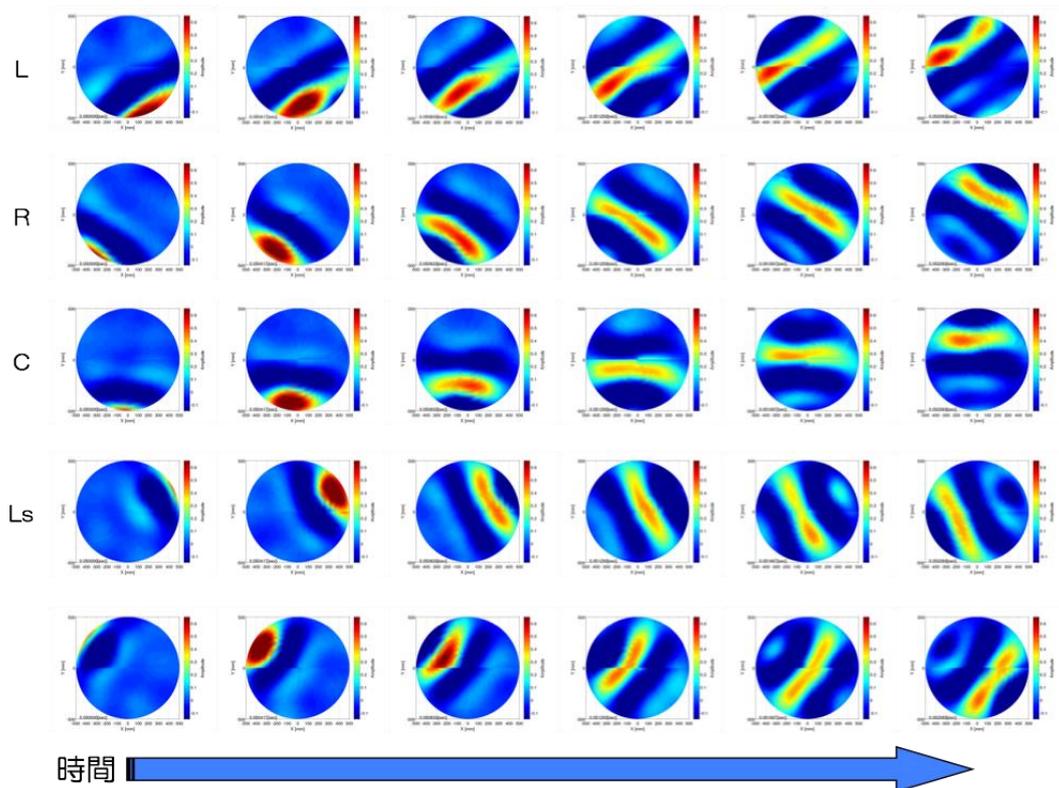


図 3-18：計測した再現音場

図 3-18 に計測した音場を示す。図は上からアレイの正面から左右 30 度(LR)、アレイの正面(C)、左右 120 度(LsRs)の直径 1 m の領域の合成波面を示している。また、図の左から右へは経過時間を示している。図より、各方向から合成された波面が音響樽内部で合成され通過していくことがわかる。また、図より直径約 46 cm のマイクロホンアレイ内部の制御領域より外側の広い範囲が再現領域となっていることが実験により明らかになった。あわせて、音響樽内部の高さ方向(正中面内)での再現音場の測定も行う。

### ○ 再現音像方向評価に基づく逆フィルタ設計パラメータの検討

本研究項目では、簡易的な再現性能の評価、複数のシステム間の性能比較と逆フィルタ設計時のパラメータを評価するため MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いた音源推定に基づく物理評価を実施した。図 3-19、図 3-20 にそれぞれ水平面、および正中面で計測した MUSIC スペクトルを示す。

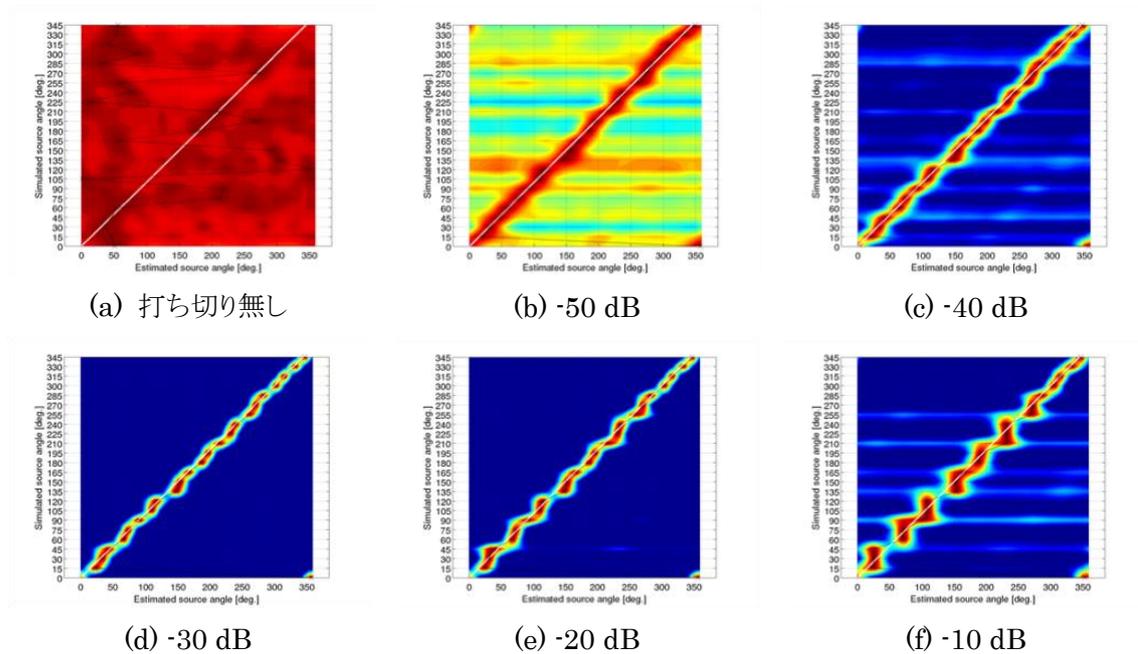


図 3-19: 水平面における MUSIC スペクトル

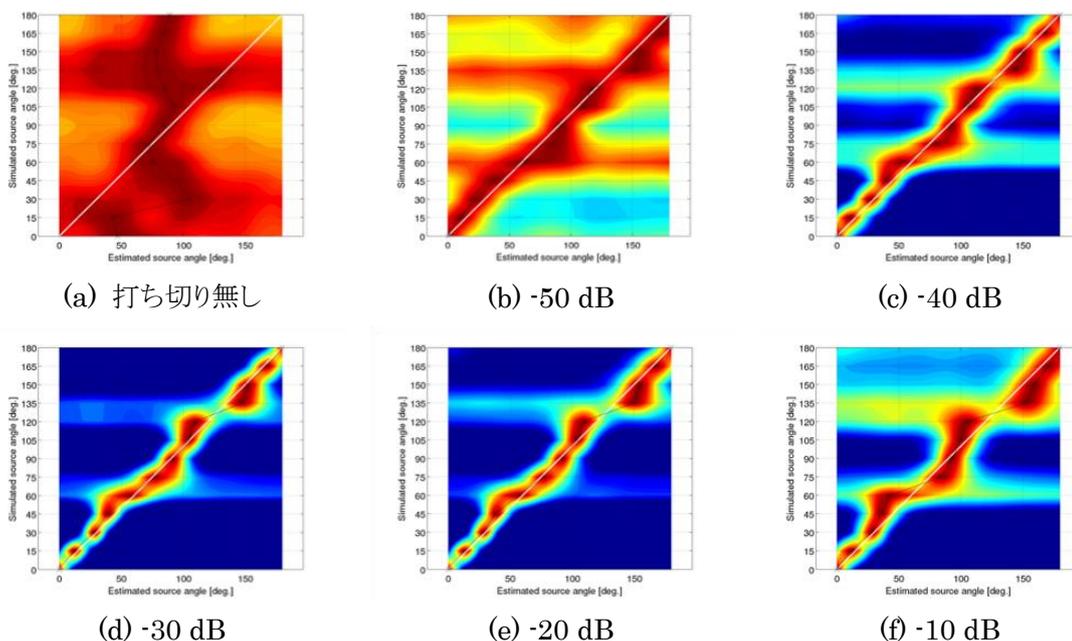


図 3-20：正中面における MUSIC スペクトル

それぞれの図の(a)から(f)は逆フィルタを計算する際に打ち切る特異値の基準を示している。(a)は打ち切りを行わない場合であり、数字が大きくなるに従って打ち切り数が大きくなる。各図の縦軸は提示した音響方向、横軸は推定された方向を示している。図(a)を見ると、水平面、正中面ともに打ち切りを行わない場合には正確な音響方向が再現できていないことがわかる。また、図(b)から(f)を見ると打ち切り数を-30 dBにした場合に最も再現精度が高く、それよりも打ち切り数を増やすと再現精度が低下する事がわかる。

次に、ある音響樽で計測したインパルス応答から計算した逆フィルタを他の音響樽の再生に使用した場合の影響について評価した結果を図 3-21 に示す。

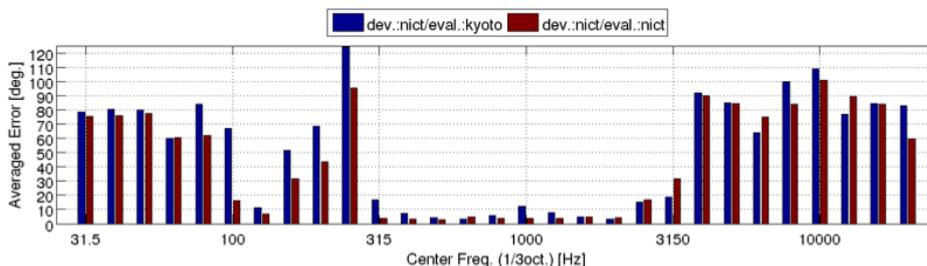


図 3-21：音響樽間の再現精度の差

図 3-21 は 1/3 oct.バンド毎に提示方向と再現方向の平均誤差を示している。青いバーは NICT に設置した音響樽で計測したインパルス応答から計算した逆フィルタを用いて京都大学の音響樽で再現を行った場合の結果である。また、赤いバーは同様に NICT の音響樽で再現した場合の結果である。図より、中心周波数 315 Hz から 2 kHz 迄の帯域では京都大学の音響

樽の再現精度の方がわずかに低いと両者に大きな差が無いことが確認された。しかし、その一方で、200 Hz から 300 Hz の帯域でいずれの音響樽においても誤差が大きくなっていることがわかる。方向毎の誤差を確認するとアレイの左側において音像方向の推定間違いがあることがわかった。この原因については、音場計測装置を用いた計測とあわせ今後検証する。

### ○ 音場の可逆性の評価

BoSC システムの再現精度は、音場を収録するマイクロホンアレイの素子間隔と逆システムの設計精度により定まる。しかし、逆システムを設計するためのインパルス応答の測定時に、再現音場を受聴する受聴者の存在を想定していない。また、BoSC を含め Ambisonics や WFS (Wave Field Synthesis) 等の「物理音響モデルに基づく音場再現システム」では通常、音場再現時に制御領域内に存在する受聴者を原音場の収録時には想定していないため、境界条件の不整合が生じている。本研究では、剛球モデルを用いた数値計算により受聴者の頭部の影響を検討する。図 3-22 に入射方向毎の S/N を示す。図中の黒線は原音場と再現音場に頭部が存在しない場合の再現精度を表している。また、青線と赤線は原音場には頭部が無く再現音場にのみ受聴者の頭部が存在する場合の再現精度を表しており、それぞれ左耳と右耳である。なお、この数値計算では自由音場を想定し、1 次音源はマイクロホンアレイの中心から 1.4 m の距離に点音源があることを想定した。また、受音点も無指向性を想定した。図より、以下のことが確認された。

1. いずれの方向でも頭部が存在しない場合と比較して両耳位置の再現精度は低下する
2. いずれの方向でも音源位置に対して頭部の影になる側の耳の再現精度が低い
3. 約 740 Hz にあるディップは頭部の有無とは関係なく存在する

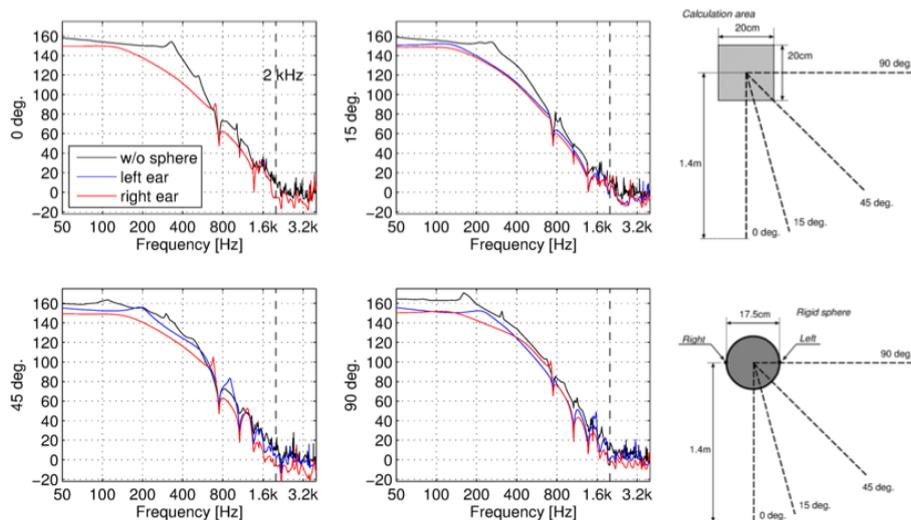


図 3-22：入射方向毎の S/N

次に、水平面の定位の重要な手がかりとなる両耳間レベル差と両耳間位相差を図 3-23、図 3-24 に示す。

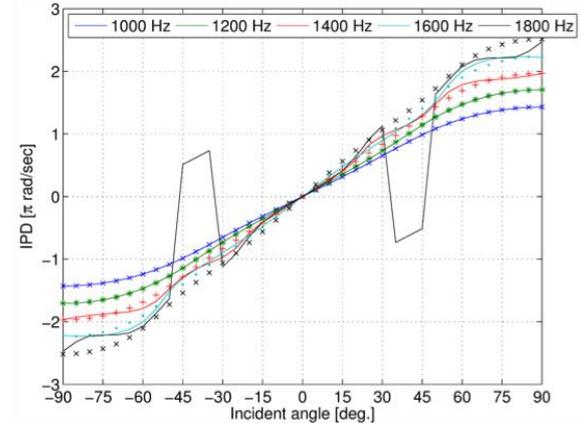
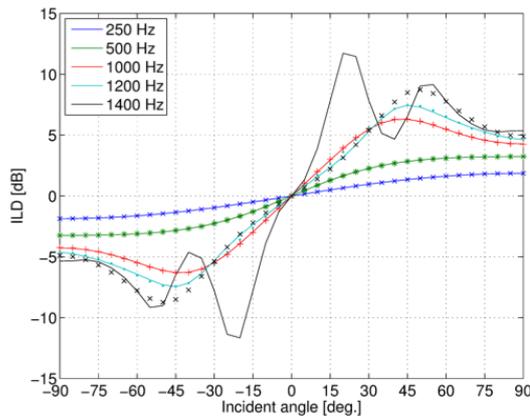


図 3-23：両耳間レベル差(ILD)左耳を基準。  
各色のマーカーは該当する周波数の原音場における ILD を表す

図 3-24：両耳間位相差(IPD)左耳を基準。  
各色のマーカーは原音場における IPD を表す

各図の中実線は再現音場における ILD (Interaural Level Difference) と IPD (Interaural Phase Difference) を示している。また、マーカーは原音場に受聴者の頭部が存在する場合の ILD と IPD を示している。したがって、受聴者の頭部を含まない中空状態のマイクロホンアレイを基に再現した音場での IPD と ILD が一致していれば頭部の影響はなく可逆性が示されたと言える。それぞれの図から、ILD では 1.2 kHz、IPD では 1.6 kHz の周波数まで原音場と再現音場がほぼ一致していることがわかる。一方、それ以上の周波数では原音場と大きくかけ離れた値となっている。しかし、現在収録に用いているマイクロホンアレイは素子間隔が最小で 8 cm、最大で 16 cm であり、原理的に波面合成が可能周波数の上限は 1kHz から 2kHz である。したがって、BoSC システムが物理的に波面を合成可能な周波数帯域以下では、水平面内の定位の手がかりとなる ILD と IPD を基準とすれば頭部の影響は無いと言える。また予備的な研究項目として、NICT が所有する HATS(Head And Torso Simulator、KEMAR Manikin)を使用して再現音場での測定を行ったところ、逆システム的设计時に使用するインパルス応答長によっては、特に ILD の値が原音場と大きく異なることが示唆された。これは、音響樽内部の反射音を抑圧できなくなっていることが原因であり、逆システム设计時の最適なパラメータを決定するためにも ILD や IPD、もしくは ITD の基準を用いることができると考えられる。

#### ○ 音場計測装置を用いた再現音場の計測

BoSC システムは逆システムを用いた波面合成法であり、他の波面合成法と比較してスピーカ配置を柔軟に選択できるという利点がある。しかし、スピーカの配置が不均一となる高さ方向でどのような波面が合成されているかはこれまで確認されてこなかった。そこで本研究では、受聴者の正中面を想定した平面内の合成波面の計測を行った。図 3-25 に構築した音響樽内で

の合成波面の計測風景と計測点を示す。再現領域となるマイクロホンアレイの中心は(0、1.2 m)とし、原音場はシミュレーション音場とした。シミュレーションにおける音源距離はマイクロホンアレイの中心より2 mとし、受聴者の正面を0度、頭頂を+90度として-60度から90度まで30度毎に計測した。また、測定は100 Hzから1.4 kHzの領域で実施した。

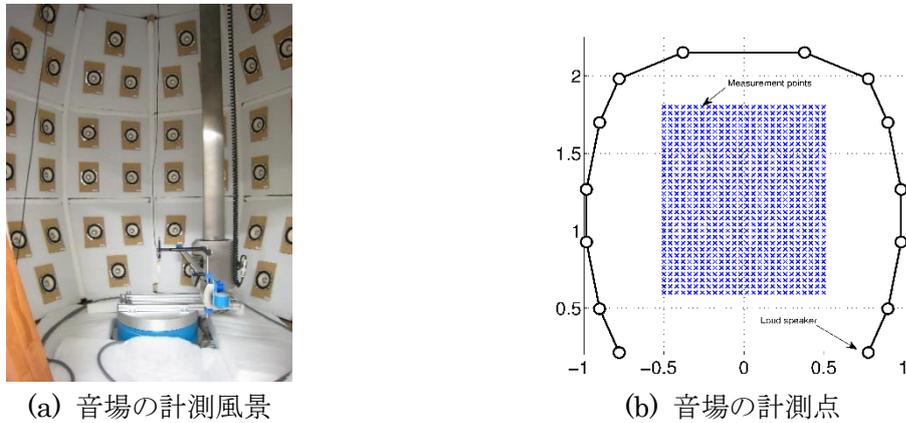


図 3-25：構築した音場計測装置を用いた正中面内音場の収録風景と測定点

図 3-26 に0度から90度までの音場の計測結果を示す。図中の黒い丸で囲まれた領域がマイクロホンアレイに囲まれた領域である。図より何れの方法から到来する波もマイクロホンアレイの外側でも再現できることが確認された。しかし、0度方向から到来する波の波面は僅かに上方に傾いてる事がわかる。この結果は聴感実験の結果とも一致するものであり、マイクロホンの設置誤差などにより生じたと考えられる。

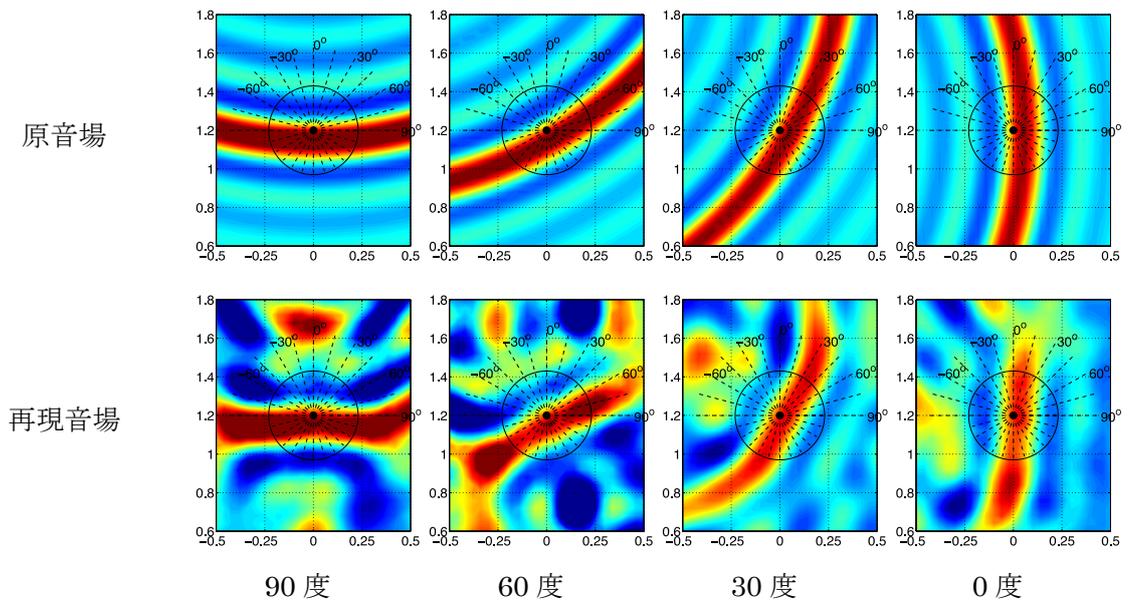


図 3-26：原音場(シミュレーション)と再現音場(実測値)の比較(上方)

次に図 3-27 に-60 度と-30 度から到来する波の再現音場の計測結果を示す。下方には十分なスピーカが配置されていないが、-30 度や-60 度方向であっても波面が合成されていることが確認された。

音場再現システムを一般家庭などに設置する場合、床面にスピーカを設置することは難しいと考えられる。BoSC システムではそのような状況下においてもスピーカが比較的少ない下方からも到来する波も合成可能であることが確認された。

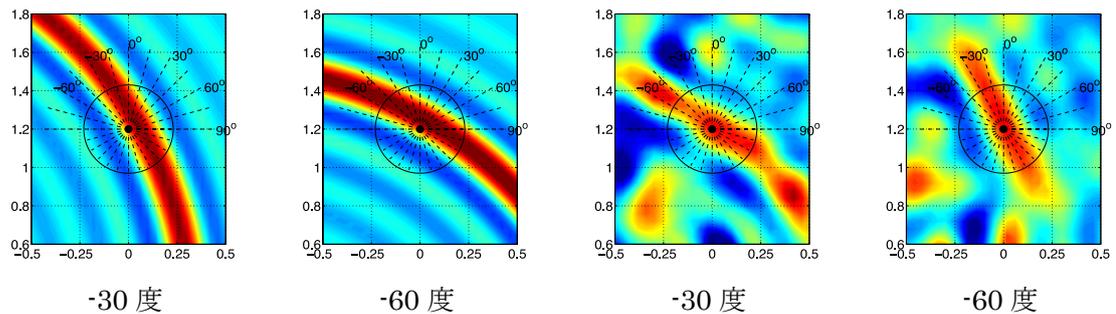


図 3-27：原音場(左)と再現音場(右)の比較

## (2) 成果の位置付け、類似研究との比較

物理評価グループの測定結果により、本研究において用いる音響樽の音場再生性能が裏付けられる。特に波面再生の正確さや、試聴者が存在する際の影響の有無などは、広く再生を行う際の拠り所となる重要なデータである。またいわゆる  $4\pi$  空間における波面の再現性を実測で検証した例は少なく、本研究において用いる手法の妥当性を示すとともに、今後の音場再生装置の評価手法を考慮する上で貴重なデータである。

### 3.4 聴空間共有システムの心理評価(明治大学 心理評価グループ)

#### (1) 研究実施内容及び成果

##### 《2010(平成 22)年度》

##### ○ 聴空間共有システムの心理評価に関わる予備的検討

研究目的:聴空間共有システムの性能を心理的に評価するための予備的検討として、ユーザーの演奏室内における心理状態を表現するためのユーザーインターフェイス装置を開発するとともに、聴空間共有システムの性能に関わる基礎実験を行う。

方法:市販のタッチパッドを用いて、評定尺度法、多岐選択式回答、定型自由記述等の入力・記録に対応するユーザーインターフェイス装置を開発した。また、身体運動(スイッチの押下)と視聴覚刺激の非同時性判断が生じる刺激呈示の遅れ時間を調べた。

結論:身体運動とそれに付随する視覚及び聴覚刺激の非同時性判断について、判断確率が50%となる遅延時間は、視覚刺激で約220 ms、聴覚刺激で約210 msという結果が得られた。この結果によれば、聴覚刺激呈示の遅れ時間は210 ms以内、感度が高いケース(判断確率10%)に対応する場合には130 ms以内として、聴空間共有システムを構築する必要がある。

##### 《2011(平成 23)年度》

##### ○ 立体再生音場の評価方法・評価要素に関する研究

唾液中のホルモン分析による人の“実在感”の評価(CREST 柏野チームとの共同研究)、脳活動計測による音場における“他者の存在感”の検出、BoSC システムにおける聴覚臨場感の評価構造の検討などを行った。BoSC システムによる話者および受聴者の身体動作を含む音場再生が臨場感、実在感などに与える影響を科学的に実証できる見通しが得られた。

##### ○ 音刺激呈示に関わる時間遅延の許容範囲に関する研究

身体動作に伴う聴覚刺激の同時性判断に関する検討を行った。身体動作と聴覚刺激の同時性判断は一意的に決まっているわけではなく、状況に応じて変化し、空間と身体に関する学習や適応が同時性判断に影響していることがわかった。

##### ○ 音の遅延条件がアンサンブル演奏に与える影響に関する検討

音の遅延は実際の音場でも存在するが、演奏家にとってどの程度の遅延が許容されるのかを調査するため、15年以上の演奏経験を有するアマチュアのバイオリン奏者12名と、プロ(音楽大学大学院生を含む)のバイオリン奏者6名を被験者とする心理実験を行った。

その結果、遅延20ms以上で半数以上の被験者が遅延を認知することが示された。また、遅延時間の増加に伴いアンサンブル演奏のテンポが遅くなり、遅延40ms以上でアンサンブル演奏の同期性が大きく損なわれることを見出した。

## 《2012(平成 24)年度》

### ○ BoSC システムによる再生音場の評価について

“話者(発音体)の実在感”に着目した心理・生理実験として、話者の微細動作を再現することの効果、音声に環境音を付加することの影響、接近する移動音源に対する生理反応、動作音・非動作音に対するミラーシステムの活動(脳波計測)の面から心理・生理実験を行った。

### ○ BoSC システムの活用に関わる研究

視覚障害者の障害物知覚訓練への応用可能性(物体の気配の再現可能性)を検討するとともに、演奏者及び楽器制作者がホールにおけるフルートの鳴りの評価に用いることを想定した実験に着手した。

### ○ 音響樽内の照明に関する検討

音響樽内の照明として LED 光源を吸音材に埋め込んだ照明装置を実装して心理評価実験を行い、広さ感や空間の魅力の面で電球型(露出型)直接照明に対して利点があることを示した。

## 《2013(平成 25)年度以降》

### ○ 身体動作に対する音の遅延時間の許容範囲と順応メカニズムの解明

構築するシステムの必要性能について、音の遅延の許容範囲の検証として、身体動作に伴う聴覚刺激の同時性判断について、順応と遅延弁別閾値の関係を実験的に示した。その結果、遅延の許容範囲は最短で数 10ms 程度であることが明らかになったが、順応によって許容範囲は伸張することも示された。この結果は、聴空間共有システム構築において伝送遅延の影響の解釈において考慮すべきものと考えられる。また、脳波計測(事象関連電位の分析)を行い、遅延への順応のメカニズムについても考察した。さらに、遅延した音への順応メカニズムについて生理指標(脳波)を用いた検討も行った。身体運動に対して遅延した聴覚刺激が提示される環境下における脳活動計測(事象関連電位の分析)から、遅延検出に伴う脳波成分を同定した。また、3 分程度、遅延した刺激の環境にさらされることで、遅延検出に伴う脳波成分がみられなくなることを示された。

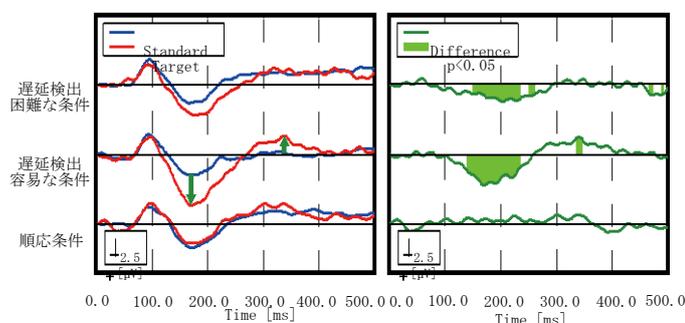


図 3-28：遅延検出に伴う事象関連電位

### ○ 仮想音場における話者(発音体)の実在感の心理的・生理的評価

BoSC システムによる再生音場の評価について、“話者(発音体)の実在感”に着目した心理・生理実験として、(1)話者の微細動作を再現することの効果、(2)接近する移動音源に対する生理反応、(3)動作音・非動作音に対するミラーシステムの活動(脳波計測)の面から心理・生理実験を行った。(1)についてはCREST 柏野チームと共同して行ない、心理的評価に加え、自律神経系の活動およびホルモン分泌を客観的指標として用い、前年度までに示された実在感に及ぼす微細動作の効果の再現性について確認した。(2)では主観評価とともに移動音源の接近に伴う自律神経系の活動の時系列変化を指標として、実在感に及ぼす空間再現性効果を確認した。その結果、空間再現性が高い場合には接近する音声提示されることによって不快感が生じ、再現音場においても実空間で確認されている現象と同様のパーソナルスペースの侵害が観測されることが示された。(3)では、チャンネル数および逆システムを操作することで音場の再現性を操作し検証した結果、音場再現性が高い場合にはミラーシステムの活動が活発になることを確認した。これらの結果から、これまでに構築した再生音場において、きわめて高い話者(発音体)の実在感が得られていること、また話者(発音体)の実在感を間接的・客観的に評価できることが示された。

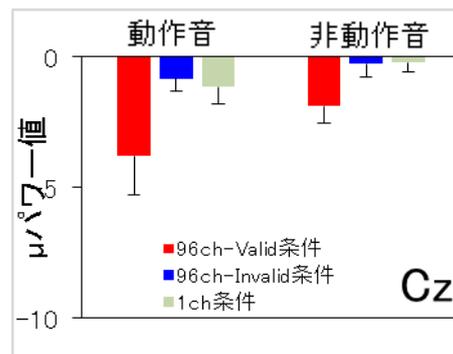
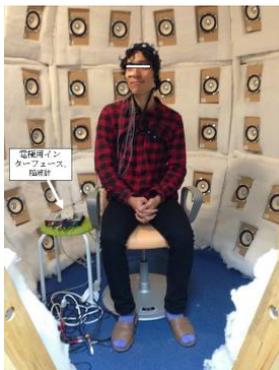


図 3-29：音響樽内での脳波測定実験の様子と  $\mu$  波抑制の結果

### ○ 臨場感の評価に用いるコンテンツの検討

システムの性能だけでなくコンテンツによっても臨場感の評価は左右されるため、臨場感を適切に評価するためのコンテンツ選択の指針構築を目的とし、経験される臨場感によるコンテンツの分類を試みた。実験ではさまざまな音コンテンツを被験者に提示し、臨場感に関する項目についてそれぞれ評価させ、この評価値をもとに主成分分析を用いて臨場感を規定する成分を抽出した。その主成分得点によってクラスター分析を行い、コンテンツを分類した。その結果、コンテンツは音楽、音声、移動音源の 3 種類に分類された。また、それぞれ包囲感、日常性、定位性といったように臨場感の評価を決定付ける要素感覚と対応することがわかった。これらのことから、臨場感の評価には少なくとも、音楽、音声、移動音源の 3 種類のコンテンツの提示が必要であることが示唆された。この結果はシステムの主観的な性能評価の方法を確立するうえで有用である。データベースグループにおいても同様の内容を別のアプローチで行っている。緊密に連携しながら、知見を共有している。

## ○ BoSC システムの応用可能性に関する研究

BoSC システムの活用に関わる研究として、視覚障害者の聴覚空間認知の訓練及び娯楽を目的としたバーチャル卓球システムのプロトタイプをシステムチームと共同で構築し、基本性能を調べた。視覚障害者用の卓球の球(サウンドボール)が転がる音を呈示し、音響樽で知覚可能な球の移動経路の定位精度を確認した。その結果、始点・終点位置が共に 3 点程度であれば、球の定位はほぼ正しく知覚できることがわかった。また、画像認識を用いてユーザーの身体運動に応じて球が変化するシステムを構築し、身体運動を認識できる性能の限界などを確認した。

また、演奏者及び楽器制作者による活用を想定し、ホールにおけるフルートの鳴り(そば鳴り・遠鳴り)に関する聴取実験を行い、システムの有用性を確認した。ステージと客席で 2 点同時に測定したフルートの演奏音をプロのフルート奏者に評価させたところ、通常の録音より楽器の違いがよくわかるなどの高評価を得た。また、自身で演奏した場合のステージと客席の音を比較したいといった要望が多く寄せられたことから、システムグループが開発した 3 次元音場シミュレータを用い、音響樽内で演奏した音にステージと客席での残響成分を付加することで各音場を模擬することを試みた。プロのフルート奏者に実際に音響樽内で数本のフルートを演奏させ評価させたところ、ステージの仮想音場に対しては楽器の違いもわかり、ステージの音場をよく再現できているという高評価を得た。一方、客席の仮想音場に対しては楽器の違いがわからないなどの指摘を受けたことから、音場シミュレータの改善を行い、音域・特徴の異なる複数の楽器を対象に、10 名のプロ奏者の協力を得て演奏・聴取実験を行った。ここでは、規模の異なる 3 つのホールを再現し、音場再現性能及び有効性について評価を求めた。その結果、ステージ音場では全ての奏者がホールの規模の違いを認識して好嫌を順序づけることができ、前回と同様に高評価を得られた。客席音場では、大半の奏者がシミュレーションした規模を想定し、「客席の雰囲気がよく出て驚いた」などの高い評価を得ることができた。しかし、一部の奏者からは音質に違和感があることが指摘され、楽器により適用性に違いがあることが示唆された。

加えて、システムグループが開発したアンサンブル演奏を可能にする二つの音響樽を連結したシステムについても、5 組(計 10 名)のプロ奏者の協力を得て、評価実験を行い、システムの有用性を確認した。その結果、伝送・計算遅延による時間遅延については全く気にならないといった回答が得られ、疑似的なステージ音場でのアンサンブル演奏を実現するシステムとして高評価を得ることができた。また、「遠隔地の生徒へのレッスンにも使用できそう」といった他の応用可能性についても積極的なコメントが得ることができた。その一方で、楽器の指向性による音質の違いがわからない、レッスンに使うなら画面(映像呈示)は大きいほうが良いなどの指摘を受け、今後は使用場面に応じた要求性能に対するシステムの性能向上が望まれる。

また遠隔地でのコミュニケーション支援を目的とした二つの音響樽を連結したシステムの評価法の検証に着手した。検証では、2 者間対話場面において対話者が同一空間にいる場合と異なる空間にいる場合で、コミュニケーション行動にどのような違いが生じるのか、探索的に検証した。その結果、話者交替の頻度やタイミングといった会話行動ばかりでなく、姿勢やジェスチャーといった行動が大きく異なる傾向が見られた。また、同一空間に対話者がいるほうが話しや

すいといった内観も得られた。内観で得られた心理的評価と行動の関係について検証することで、コミュニケーション場面におけるシステムの有効性を客観的に評価できる可能性が示された。



図 3-30：フルート演奏収録状況(左)と試聴実験の様子(右)



図 3-31：インパルス応答の測定風景(左)とアンサンブルシステム内での試奏実験の様子(右)

### ○ 3次元音場の付加価値に関する研究

従来の音響システムと比較し、3次元音場再現システムでの試聴体験における付加価値、またデモなどに適したコンテンツを調べるために、音響の専門家と一般聴取者を対象に心理評価実験を行った。音響の専門家では、「音に包まれる」ことや「(自分が)あたかもその場にいる感じ」といった「場」を体験することに付加価値を見いだす傾向があった。一方、一般聴取者では「対象者(物)がまさにそこにいると感じ」といった「他者の実在感」を付加価値として捉えていることが示された。加えて、一般聴取者では音響の専門家で評価の高かった特徴的な空間で収録されたコンテンツの評価が低かった。これらの結果から、評価者の属性によって3次元音場の付加価値には差があり、デモの対象に応じて用いるコンテンツを変えることが有効であるとの知見を得た。

### (2) 成果の位置付け、類似研究との比較

心理的なアプローチを主としながら、適宜生理的な評価を取り入れて音響樽の再生性能の多面的な評価を試みた。得られた知見は幅広く、高評価を得る可能性のある効果的なコンテンツに関

する知見、さらに近接する話者の気配を再現できる可能性や、楽器音の聞き分けに関する応用の可能性などが明らかになった。音場再生システムに関しては、特に物理的な性能評価が重視される傾向があるが、本研究における心理的なアプローチによって、より実践的で効果的なシステム構築が可能になった。

## § 4 成果発表など

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 5件、国内(英文)誌 2件、国際(欧文)誌 5件)

(国内)

- [1] 小林まおり,土田江一郎,上野佳奈子,嶋田総太郎,“ミラーニューロンシステムの活動計測による 3 次元音場再現システムの定量的評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21(1), 73-79, 2016.
- [2] 渡邊祐子, 吉田飛里, 池田雄介, 伊勢史郎, “没入型聴覚ディスプレイ装置を用いた音場シミュレータの開発”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.20(1), 2015.  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009931660>
- [3] 小林まおり, 福井誠人, 上野佳奈子, “3 次元音場システムでのコンテンツ選択における指針の提案”, 日本バーチャルリアリティ学会, vol.19(1), pp.37-45, 2014.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/VR\\_Kobayashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/VR_Kobayashi.pdf)
- [4] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの知覚順応”, 認知科学, vol.20(4), pp.493-497, 2013.12.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcss/20/4/20\\_493/article-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcss/20/4/20_493/article-char/ja/)
- [5] 李容子, 伊勢史郎, “正則化パラメータに着目した多チャネル逆システムの最適化設計法”, 日本音響学会誌 69(6), 276-284, 2013. [NAID:110009615342]
- [6] Akira Omoto, Shiro Ise, Yusuke Ikeda, Kanako Ueno, Seigo Enomoto, Maori Kobayashi, “Sound field reproduction and sharing system based on the boundary surface control principle”, Acoustical Science and Technology Vol. 36(1), pp.1-11, 2015.01  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/01/Omoto.pdf>
- [7] Yoko LEE, Seigo ENOMOTO, Yusuke IKEDA, Satoshi NAKAMURA, and Shiro ISE, “Influence of the presence of a human head in the controlled area in the three-dimensional sound field recording and reproduction system based on the boundary surface control principle: Objective examination”, Acoustical Science and Technology, vol.33, No.3, 2012.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/33/3/33\\_3\\_190/article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/33/3/33_3_190/article)

(国際)

- [1] Koichi Toida, Kanako Ueno, Sotaro Shimada “Neural basis of the time window for subjective motor-auditory integration”, Frontiers in Human Neuroscience, vol.9 (688), pp.1-12, 2016.01.  
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2015.00688/abstract>
- [2] Maori KOBAYASHI, Kanako UENO and Shiro ISE, “The Effects of Spatialized Sounds on the Sense of Presence in Auditory Virtual Environments: A Psychological and Physiological Study”, Presence, Vol. 24, No. 2, Spring 2015,

163–174.

[http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/PRES\\_a\\_00226#.VjcYObfhDmE](http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/PRES_a_00226#.VjcYObfhDmE)

- [3] Koichiro TSUCHIDA, Kanako UENO, and otao SHIMADA, “Motor area activity for action-related and nonaction-related sounds in a three-dimensional sound field reproduction system”, *NeuroReport*, Vol. 26(5), pp.291-295, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/Tsuchida\\_Ueno\\_Shimada\\_NeuroReport15.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/Tsuchida_Ueno_Shimada_NeuroReport15.pdf)
- [4] Koichi Toida, Kanako Ueno, Sotaro Shimada “Recalibration of subjective simultaneity between self-generated movement and delayed auditory feedback”, *NeuroReport*, vol.25(5), pp.284-288, 2014.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/NeuroReport\\_Toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/NeuroReport_Toida.pdf)
- [5] Akira OMOTO, ‘Comment on “A theoretical framework for quantitatively characterizing sound field diffusion based on scattering coefficient and absorption coefficient of walls”’, *J. Acoust. Soc. Am.* 133 (1), pp.9-12, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.1121/1.4768884>

(2) その他の著作物(総説、書籍など)

- [1] 伊勢史郎, 池田雄介, “複数の演奏空間をネットワーク接続する「音響樽」の実現”, *計測と制御*, 51(12), 2012.12.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/2012\\_%E4%BC%8A%E5%8B%A2\\_%E8%A8%88%E6%B8%AC%E3%81%A8%E5%88%B6%E5%BE%A1.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/2012_%E4%BC%8A%E5%8B%A2_%E8%A8%88%E6%B8%AC%E3%81%A8%E5%88%B6%E5%BE%A1.pdf)
- [2] 尾本章, “音場再生技術について”, *日本音響学会誌*, 67(11), pp.520-525, 2011.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/67110520.pdf>
- [3] 伊勢史郎, “境界音場制御”, *日本音響学会誌*, 67(11), pp.532-537, 2011.  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008761880>

(3) 国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 6件、国際会議 3件)

(国内)

- [1] 伊勢史郎 “没入型聴覚ディスプレイ”音響樽”がもたらすヒトとオトの新しい関係”, *情報処理学会音学シンポジウム 2016(第 111 回 音楽情報科学研究会)*, 2016.05.
- [2] 尾本章, “音場の計測・評価・制御に関する研究”, *日本音響学会建築音響研究会*, 2015, 10.  
<http://asi-aacom.acoustics.jp/2015/Oct.pdf>
- [3] 尾本章, “いい音・いい響きの工学的な再生と芸術的な創造”, *日本音響学会 2015 年春季*

研究発表会 特別企画「音響学シンポジウム“いい音を作る”」, 2015.03.

[http://www.asj.gr.jp/annualmeeting/info/2015spring\\_tokubetukikaku2.html](http://www.asj.gr.jp/annualmeeting/info/2015spring_tokubetukikaku2.html)

- [4] 伊勢史郎 “音楽の技能を遠隔伝送するための没入型聴覚ディスプレイ装置”音響樽”の開発”, 日本音響学会, 2014.09.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_ise2\\_taru.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_ise2_taru.pdf)

- [5] 伊勢史郎 “境界音場制御の原理に基づく音場収録・再生システムの現状と課題”, 日本音響学会, 2014.09.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_ise3\\_system.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_ise3_system.pdf)

- [6] 尾本章 “音場計測・再生の最近の研究動向”, 日本音響学会, 2014.09.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/0176\\_2-6-12.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/0176_2-6-12.pdf)

(国際)

- [1] \* Yusuke IKEDA, Yuki KARATSU, Shunya KOUNO, Yuko WATANABE, and Shiro ISE “Design of Inverse Filters for Multi-channel Directivity Reproduction of a Sound Source -Application to Telecommunication System Using Sound Casks-”, 7th Forum Acusticum 2014, Krakow, Poland, 2014.09.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/EAA2014\\_ikeda\\_poland.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/EAA2014_ikeda_poland.pdf)

- [2] \* Yusuke IKEDA & Shiro ISE, “Sound Cask: Music and voice communications system with threedimensional sound reproduction based on boundary surface control principle”, The 21st International Congress on Acoustics (ICA 2013), Montreal, Canada, 2013.06.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/02/ICA\\_Ikeda.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/02/ICA_Ikeda.pdf)

<http://www.ica2013montreal.org/>

[http://acousticalsociety.org/sites/default/files/docs/wednesday\\_full.pdf](http://acousticalsociety.org/sites/default/files/docs/wednesday_full.pdf)

- [3] \* Maori KOBAYASHI, Kanako UENO, Mai YAMASHITA, Shiro ISE & Seigo ENOMOTO, “Subjective evaluation of a virtual acoustic system: Trials with threedimensional sound field reproduced by the ‘Sound Cask’”, The 21st International Congress on Acoustics (ICA 2013), Montreal, Canada, 2013.06.

[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/02/ICA\\_Kobayashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/02/ICA_Kobayashi.pdf)

<http://www.ica2013montreal.org/>

[http://acousticalsociety.org/sites/default/files/docs/wednesday\\_full.pdf](http://acousticalsociety.org/sites/default/files/docs/wednesday_full.pdf)

② 口頭発表（国内会議 28 件、国際会議 8 件）

（国内）

- [1] 唐津佑宜, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “音場共有システムにおける指向性を含めた音源の收音方法に関する実験的検討”, 日本音響学会, 2016.03.
- [2] 吉田飛里, 北川雄一, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “音響樽を用いた音場共有システムの実現と室内音響指標による評価”, 日本音響学会, 2016.03.
- [3] 北川雄一, 伊勢史郎, “多チャンネル音場制御のための低遅延畳み込みアルゴリズムの実装とその性能評価”, 日本音響学会, 2016.03.
- [4] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “自己主体感に関連する事象関連電位成分 -身体運動に伴う聴覚フィードバックの遅延検出-”, 日本認知科学会第 32 回大会発表論文集, pp.779-781, 2015.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20121213%20%5b%20認知科学会%5d%20樋田浩一,%20上野佳奈子,%20嶋田総太郎%20-%20身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの知覚順応.pdf>
- [5] 唐津佑宜, 内海寛, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “境界音場制御の原理に基づく没入型聴覚ディスプレイの小型化の試み-カプセル型オーディオルームの提案-”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_karatsu.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_karatsu.pdf)
- [6] 吉田飛里, 北川雄一, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “FPGA を用いた低遅延畳み込み演算の実現と音場共有システムへの応用”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_yoshida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_yoshida.pdf)
- [7] 浅井拓朗, 尾本章, “3 次元音場再生システムにおける移動音源定位評価に関する基礎的検討”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_asai.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_asai.pdf)
- [8] 高以良光, 濱村真理子, 尾本章, “3 次元音場再現システムにおける室内音響物理指標による物理的評価値と主観的印象の関係性について”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_takaira.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_takaira.pdf)
- [9] 渡邊祐子, 吉田飛里, 河野峻也, 池田雄介, 伊勢史郎, “没入型聴覚ディスプレイ”音響樽”による音場シミュレータの実現と室内音響指標による評価-フィードバック抑制効果の検証-”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_watanabe.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_watanabe.pdf)
- [10] 河野峻也, 井上裕介, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “没入型聴覚ディスプレイ”音響樽”を用いた音場シミュレータにおけるフィードバックの抑圧”, 日本音響学会, 2015.03.

- [http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_kouno.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_kouno.pdf)
- [11] 濱村真理子, 市原円, 高以良光, 櫻井赴, 浅井拓朗, 尾本章, “主観評価による多チャンネル 3 次元音場再現システムに適した再生コンテンツの選定”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_hamura.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_hamura.pdf)
- [12] 伊勢史郎 “没入型聴覚ディスプレイ装置”音響樽”における逆システム設計法の検討”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_ise1\\_in.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_ise1_in.pdf)
- [13] 榎本成悟 “物理音響モデルに基づく音場再現システムにおける受聴者の頭部の影響”, 日本音響学会, 2014.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest\\_nict\\_no2.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest_nict_no2.pdf)
- [14] 小林まおり, 田村淑佳, 上野佳奈子 “ホールにおけるフルートの聴感印象 –遠鳴り・そば鳴りは存在するか–”, 日本音響学会, 2013.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/10/ASJ2013A-Kobayashi.pdf>
- [15] 山下真依, 中島宏毅, 小林まおり, 池田雄介, 榎本成悟, 上野佳奈子, 伊勢史郎 “音響樽”の音像定位に関する実験的検討 –BoSC 再生システム 96ch と 62ch の比較–”, 日本音響学会, 2013.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201109-ASJ2011A-Yamashita.pdf>
- [16] 田中健, 樋田浩一, 上野佳奈子, “音の遅延条件が電子ドラム演奏に与える影響” 日本音響学会音楽音響研究会資料, 2013.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/05/ASJMA2013-Tanaka.pdf>
- [17] 尾本章, 池田生馬, “80ch マイクアレー収音システムの 5.1ch サラウンド再生に向けての検討”, 日本音響学会講演論文集, pp. 587-588, 2012.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201209-ASJ2012A-Ikeda.pdf>
- [18] 尾本章, “残響過程における散乱反射成分定量化の試み”, 日本音響学会講演論文集, pp.1257-1258, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Omoto.pdf>
- [19] 森山欣昭, 李容子, 伊勢史郎 “正多角形の平面形状をもつ室の音響的な不規則性に関する研究”, 日本音響学会講演論文集, pp.1243-1244, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S>

[-Moriyama.pdf](#)

- [20] 松岡佳世, 前川洋志, 伊勢史郎, “多次元尺度法によるマイクロホンアレイ/スピーカアレイの配置推定法の提案”, 日本音響学会講演論文集, pp.791-792, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Matsuoka.pdf>
- [21] 長尾翼, 渡邊珠希, 池田雄介, 上野佳奈子, 伊勢史郎 “音の遅延条件がアンサンブル演奏に与える影響に関する検討”, 日本音響学会講演論文集, pp.997-998, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Nagao.pdf>
- [22] 西村昌浩, 池田雄介, 伊勢史郎, “BoSC マイクロホンによる仮想音源推定のための近接4点法の拡張アルゴリズムの提案”, 日本音響学会講演論文集 pp.789-790, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Nishimura.pdf>
- [23] 小林まおり, 大石悠貴, 榎本成悟, 北川智利, 上野佳奈子, 伊勢史郎, 柏野牧夫, “話者の動きが実在感に及ぼす効果ー音場再現システムを用いた検討ー”, 聴覚研究会資料, 第42-1, H-201 巻, pp.41-46, 2012.02.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/kobayashi2.pdf>
- [24] 伊勢史郎, “聴空間共有を実現する音響樽の構想”, 日本音響学会講演論文集, 2011.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201109-ASJ2011A-Ise.pdf>
- [25] 山下真依, 松岡佳世, 伊勢史郎, “BoSC システムを用いた聴く技能の定量的評価法の検討”, 日本音響学会講演論文集, 2011.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201109-ASJ2011A-Yamashita.pdf>
- [26] 李容子, 伊勢史郎, “境界音場制御の原理に基づく三次元音場再現システムとその逆フィルタ設計時の正則化パラメータ決定方法”, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. EA2011 43-49, 2011.07.  
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/193838/1/ieice.110008800561.pdf>
- [27] 尾本章, “残響過程における散乱反射成分定量化の試み”, 日本音響学会建築音響研究会, 大分大学, 2011.06.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/Omoto\\_2011\\_06\\_21.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/Omoto_2011_06_21.pdf)
- [28] 李容子, 伊勢史郎, “正則化パラメータに着目した多チャンネル逆システムの最適化設計法の検討”, 日本音響学会講演論文集, pp.727-728, 2011.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/0058\\_3-9-2.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/0058_3-9-2.pdf)

(国際)

- [1] Mariko HAMAMURA, Hikari TAKAIRA, Takuro ASAI, Takeru SAKURAI,

- Madoka ICHIHARA and Akira OMOTO, “Objective and subjective evaluation of the multi-channel 3D sound field reproduction system”, Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics, Nagasaki, Japan, 2015.01.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/211-HAMAMURA.pdf>
- [2] Syunya KOHNO, Hisato YOSHIDA, Yusuke IKEDA, Yuko WATANABE, Shiro ISE “Acoustic Feedback Canceller for the Three-dimensional Sound Field Simulator Using a ‘Sound Cask’”, 7th Forum Acusticum 2014, Krakow, Poland, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/EAA2014\\_kohno\\_poland.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/EAA2014_kohno_poland.pdf)
- [3] Nishimura, S. Enomoto, P. Mokhtari and H. Takemoto, “Application of Three-Dimensional Audio to Copyrighted Multimedia Contents”, International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Beijing, 2013.10. [doi: 10.1109/IIH-MSP.2013.84]
- [4] Maori KOBAYASHI, Kanako UENO, Yusuke IKEDA & Shiro ISE, “Trials for subjective evaluation of auditory virtual environment”, JSST 2013 International Conference on Simulation Technology (JSST2013), Tokyo, Japan, 2013.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/10/201309-JSST-KOBAYASHI.pdf>
- [5] Koichiro TSUCHIDA, Kanako UENO & Sotaro SHIMADA, “Brain activity to action- and non-action-related sounds in a three-dimensional sound reproduction system”, JSST 2013 International Conference on Simulation Technology (JSST2013), Tokyo, Japan, 2013.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/10/201309-JSST-TSUCHIDA.pdf>
- [6] Seigo ENOMOTO, Yusuke IKEDA, Shiro ISE, Satoshi NAKAMURA, “Sound field sharing system based on boundary surface control principle”, Proc. of the 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2011), Osaka Japan, 2011.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/inter-noise2011\\_enomoto.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/inter-noise2011_enomoto.pdf)
- [7] Kayo MATSUOKA, Shiro ISE, Seigo ENOMOTO, Yusuke IKEDA, & Satoshi NAKAMURA, “A subjective evaluation of source location for boundary surface control (BoSC) system”, Proc. of the 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2011), Osaka Japan, 2011.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/inter-noise2011\\_matsuoka.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/ise/inter-noise2011_matsuoka.pdf)
- [8] Shiro ISE, “Development of a sound field sharing system for creating and exchanging music”, IEEE Virtual Reality 2011 (VR2011)/JST Workshop,

Singapore, 2011.3.

<http://www.isvri2011.org/JSTevent/JSTWs.html#Prof. Shiro Ise>

③ ポスター発表（国内会議 37 件、国際会議 9 件）

（国内）

- [1] 永井篤, 沼上祥子, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎, 上野佳奈子, “音響樽による二者間バーチャル卓球システムの開発”, 日本音響学会, 2016.03.
- [2] 金子雅彦, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎, “3D ネットワークオーディオのためのデータベースシステムとユーザーインターフェイスの開発”, 日本音響学会, 2016.03.
- [3] 麻生治人, 小林まおり, 上野佳奈子, “没入型聴覚ディスプレイ装置“音響樽”を用いたホール音場シミュレータの性能検証”, 日本音響学会, 2016.03.
- [4] 浅井拓朗, 尾本章, “3次元音場再生システムにおける移動音源定位評価 - MUSIC 法とパーティクルフィルタの比較-”, 日本音響学会, 2016.03.
- [5] 桃川智行, 富澤創, 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “周期的聴覚刺激の遅延逸脱に伴う事象関連電位成分の検討”, 日本認知科学会第 32 回大会発表論文集, pp.270-272, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/JCSS2015\\_momokawa.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/JCSS2015_momokawa.pdf)
- [6] 小橋宏紀, 小林まおり, 上野佳奈子, 尾本章, “3次元音場再現の付加価値—一般聴取者と音響専門家の比較—”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_kobashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_kobashi.pdf)
- [7] 小林まおり, 上野佳奈子, “3次元音場における接近音によるパーソナルスペースの侵害—音声刺激の呈示距離と音圧レベルが及ぼす影響—”, 日本音響学会, 2015.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F\\_kobayashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/10/ASJ2016F_kobayashi.pdf)
- [8] 大石悠貴, 小林まおり, 北川智利, 上野佳奈子, 伊勢史郎, 柏野牧夫, “話者の無意識な微細運動が聴き手の自律神経活動に及ぼす効果”, 第 37 回日本神経科学大会, 2015.09. (ポスター)  
[http://www.jnss.org/abstract/neuro2014/meeting\\_planner/sessiondetail.php?id=2014010047&u=1446379925](http://www.jnss.org/abstract/neuro2014/meeting_planner/sessiondetail.php?id=2014010047&u=1446379925)
- [9] 浅井拓朗, 高以良光, 尾本章, “3次元音場再生システムにおける移動音源定位評価に関する基礎的検討”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_asai.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_asai.pdf)
- [10] 高以良光, 尾本章, “チャンネル音場再生システムにおける伝達関数の周波数特性を用いた逆フィルタ安定化法の提案”, 日本音響学会, 2015.03.

- [http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_takaira.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_takaira.pdf)
- [11] 石橋敬彦, 齋藤悠人, 尾本章, 河原一彦, “音場再生装置へのイコライジング操作の導入による印象変化に関する研究”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_ishibashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_ishibashi.pdf)
- [12] 樋田浩一, 矢野目敬真, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックへの順応過程 -事象関連電位の経時的変化-”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_toida.pdf)
- [13] 小橋宏紀, 小林まおり, 上野佳奈子, “3次元音場が聴取体験にもたらす付加価値の検証”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_kobashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_kobashi.pdf)
- [14] 小林まおり, 上野佳奈子, “3次元音場における接近音によるパーソナルスペースの侵害”, 日本音響学会, 2015.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S\\_kobayashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2015/05/ASJ2015S_kobayashi.pdf)
- [15] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの temporal recalibration -事象関連電位を用いた検討-”, 日本音響学会聴覚研究会資料, vol.44(7), H-2014-82, pp.433-438, 2014.10.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20141023%20%5b聴覚研究会%5d%20樋田浩一,%20上野佳奈子,%20嶋田総太郎%20-%20身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの temporal%20recalibration.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20141023%20%5b聴覚研究会%5d%20樋田浩一,%20上野佳奈子,%20嶋田総太郎%20-%20身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの%20temporal%20recalibration.pdf)
- [16] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 “聴覚フィードバックの遅延検出に対する事象関連電位成分の検討”, 日本認知科学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/JCSS2014\\_Toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/JCSS2014_Toida.pdf)
- [17] 渡邊祐子, 吉田飛里, 池田雄介, 伊勢史郎 “没入型聴覚ディスプレイ装置”音響樽”による音場シミュレータの開発 -システムの構成-, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_watanabe.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_watanabe.pdf)
- [18] 吉田飛里, 渡邊祐子, 池田雄介, 伊勢史郎 “没入型聴覚ディスプレイ装置”音響樽”による音場シミュレータの開発 -ステージ音場の再現とその評価-, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_yoshida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_yoshida.pdf)
- [19] 池田雄介, 唐津佑宜, 渡邊祐子, 伊勢史郎 “Kirchhoff-Helmholtz 積分方程式の逆問

- 題解法による音源の指向性推定－理論とシステムの構成－”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_ikeda.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_ikeda.pdf)
- [20] 唐津佑宜, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎 “Kirchhoff-Helmholtz 積分方程式の逆問題解法による音源の指向性推定－実験的検討－”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_karatsu.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_karatsu.pdf)
- [21] 浅井拓朗, 高以良光, 尾本章 “境界音場制御における逆フィルタの設計指針が音場に与える影響”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_Asai.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_Asai.pdf)
- [22] 小林まおり, 小橋宏紀, 上野佳奈子 “3次元音場再現が鑑賞性コンテンツの聴感印象に及ぼす影響”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_Kobayashi.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_Kobayashi.pdf)
- [23] 樋田浩一, 矢野目敬真, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 “身体運動に伴う聴覚フィードバックに対する脳活動分析－ピッチおよび遅延弁別に関わる事象関連電位成分－”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_Toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_Toida.pdf)
- [24] 榎本成悟 “境界音場制御を用いた音場再現システムにおける 仰角方向の再現精度の実験的検討”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest\\_nict\\_no1.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest_nict_no1.pdf)
- [25] 河野峻也, 井上裕介, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢 史郎 “フィードバックの抑制を考慮した逆システム設計と音場共有システムへの応用”, 日本音響学会, 2014.09.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A\\_kohno.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014A_kohno.pdf)
- [26] 樋田浩一, 松本賢, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 “身体運動に伴う聴覚フィードバックに対する脳活動分析－逸脱刺激呈示時の脳波成分の検討－”, 日本音響学会, 2014.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014S\\_Toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/ASJ2014S_Toida.pdf)
- [27] 高以良光, 浅井拓朗, 尾本章 “境界音場制御に基づく 48 チャンネル音場再生システム「音積木」の提案”, 日本音響学会, 2014.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/0174\\_1-Q4-6.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/kyushu/0174_1-Q4-6.pdf)
- [28] 福井誠人, 小林まおり, 上野佳奈子, 小笠原圭祐, 宮寺真之介, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎 “音響樽を用いたバーチャル卓球システム構築の試み－打球の到来方向と打ち分け動作を識別するゲーム環境の開発と評価－”, 日本音響学会, 2014.03.

- [http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/Fukui\\_2014\\_s.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/Fukui_2014_s.pdf)
- [29] 小笠原圭祐, 宮寺真之介, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎 “身体運動と相互作用する三次元音場再生システムの構築 –システムの基本構成–”, 日本音響学会, 2013.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/10/ASJ2013A-Ogasawara.pdf>
- [30] 福井誠人, 小林まおり, 上野佳奈子, 小笠原圭祐, 宮寺真之, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎 “身体運動と相互作用する三次元音場再生システムの構築 –バーチャル卓球の開発に向けた基礎実験–”, 日本音響学会, 2013.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/10/ASJ2013A-Fukui.pdf>
- [31] 小林まおり, 上野佳奈子, 伊勢史郎 “接近感をもたらす音場の生理・心理評価 –音響樽’を用いた臨場感の解明の試み–”, 日本音響学会, 2013.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2013/05/ASJ2013S-Kobayashi.pdf>
- [32] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 “身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックの知覚順応”, 日本認知科学会第 29 回大会発表論文集, pp. 404-407, 2012.12.  
[http://www.jcss.gr.jp/meetings/JCSS2012/proceedings/pdf/JCSS2012\\_P2-4.pdf](http://www.jcss.gr.jp/meetings/JCSS2012/proceedings/pdf/JCSS2012_P2-4.pdf)
- [33] 福井誠人, 小林まおり, 上野佳奈子, “多チャンネル三次元再現音場における聴覚印象の評価構造”, 日本音響学会講演論文集, pp.871-872, 2012.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201209-ASJ2012A-Fukui.pdf>
- [34] 榎本成悟, “C80 フラワーレン型マイクロホンアレイと頭部伝達関数を用いたバイノーラル再生”, 日本音響学会講演論文集 pp.919-920, 2012.03.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest\\_nict\\_no3.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/nict/crest_nict_no3.pdf)
- [35] 樋田浩一, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “聴覚刺激と身体運動の同時性判断における順応に関する研究”, 日本音響学会講演論文集, pp.627-628, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Toida.pdf>
- [36] 小林まおり, 大石悠貴, 榎本成悟, 北川智利, 上野佳奈子, 伊勢史郎, 柏野牧夫 “話者の動きの音響情報は実在感を高める –立体音場再生装置を用いた検討–”, 日本音響学会講演論文集, pp.595-596, 2012.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201203-ASJ2012S-Kobayashi.pdf>
- [37] 樋田浩一, 浅井康平, 上野佳奈子, 嶋田総太郎, “視聴覚と運動の非同時性判断に関する研究”, 日本認知科学会第 28 回大会発表論文集, pp.482-485, 2011.09.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201109-JCSS2011-Toida.pdf>

(国際)

- [1] Koichi TOIDA, Kanako UENO and Sotaro SHIMADA, “An ERP study on sense of agency and perception of delayed auditory feedback of self-movement”, The 19th annual meeting of Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC), pp.32, Paris, France, 2015.07.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20150708%20ASSC%20Poster.pdf>
- [2] Koichi TOIDA , Kanako UENO & Sotaro SHIMADA , “Recalibration of audio-motor subjective simultaneity”, 音学シンポジウム 2015(第 107 回音楽情報科学研究会) , vol.2015-MUS-107(38), 2015.05.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20150523%20%5bSIGMUS%5d%20Koichi%20TOIDA,%20Kanakano%20UENO%20&%20Sotaro%20SHIMADA%20-%20Recalibration%20of%20audio-motor%20subjective%20simultaneity.pdf>
- [3] Koichi TOIDA , Kanako UENO and Sotaro SHIMADA , “Recalibration of subjective simultaneity between self-generated movement and delayed auditory feedback”, International Symposium on Pedagogical Machines, Tokyo, Japan, 2015.03.  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/pdfdata/meiji/20150328%20%E3%83%9A%E3%83%80%E3%82%B4%E3%82%B8%E3%83%B3%E3%83%AB%E3%83%9E%E3%82%B7%E3%83%B3.pdf>
- [4] Koichiro Tsuchida, Kanako Ueno, and Sotaro Shimada, ”Modulation of EEG mu and beta rhythm in the mirror neuron system to action-related sounds in a three-dimensional sound reproduction system”, Society for Neuroscience, Washington, DC, USA, 2014.11.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/10/Tsuchida\\_Neuroscience.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/10/Tsuchida_Neuroscience.pdf)
- [5] Koichi TOIDA, Kanako UENO & Sotaro SHIMADA, “An ERP study on temporal recalibration for delayed auditory feedback”, 15th International Multi-sensory Research Forum (IMRF2014), pp.216, Amsterdam, Netherlands, 2014.06.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/IMRF2014\\_Toida.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/09/IMRF2014_Toida.pdf)
- [6] Koichiro TSUCHIDA, Kanako UENO & Sotaro SHIMADA, “Activity of the mirror neuron system for action-related sounds in a three-dimensional sound reproduction system”, Society for Neuroscience, California, US, 2013.11.  
[http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/10/Tsuchida\\_Neuroscience.pdf](http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2014/10/Tsuchida_Neuroscience.pdf)
- [7] Yusuke IKEDA & Shiro ISE, “Sound Cask – A new dimension of the sound reproduction based on the boundary surface control -”, AES Japan Section

Conference in Sendai 2012 (AESJ2012), Sendai, Japan, 2012.10.

<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201210-AESJ2012-Ikeda.pdf>

- [8] Akira OMOTO & Ikuma IKEDA, “Construction of 80-channel mobile sound recording system”, AES Japan Section Conference 2012 (AESJ2012), Sendai, Japan, 2012.10.

<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201210-AESE2012-Omoto.pdf>

- [9] Koichi TOIDA, Kanako UENO & Sotaro SHIMADA, “Perceptual calibration to delayed auditory feedback of self-body movement”, 13th International Multi-sensory Research Forum (IMRF2012), vol.25, pp.48, Oxford, UK, 2012.06.

<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/wp-content/uploads/2012/10/201206-IMRF-Toida.pdf>

(4) 知財出願

① 国内出願(1件)

- [1] 物体配置推定装置, 伊勢史郎・松岡佳世、独立行政法人科学技術振興機構, 2012/7/31, 2012 - 169602

[http://jstore.jst.go.jp/detailPat.html?pat\\_id=33373&doc\\_num=%E7%89%B9%E8%A8%B1%E7%AC%AC5345748%E5%8F%B7](http://jstore.jst.go.jp/detailPat.html?pat_id=33373&doc_num=%E7%89%B9%E8%A8%B1%E7%AC%AC5345748%E5%8F%B7)

② 海外出願(1件)

- [1] 物体配置推定装置、伊勢史郎・松岡佳世、独立行政法人科学技術振興機構、2012/7/31、PCT/JP2013/052066、米国

[http://jstore.jst.go.jp/detailPat.html?pat\\_id=33373&doc\\_num=%E7%89%B9%E8%A8%B1%E7%AC%AC5345748%E5%8F%B7](http://jstore.jst.go.jp/detailPat.html?pat_id=33373&doc_num=%E7%89%B9%E8%A8%B1%E7%AC%AC5345748%E5%8F%B7)

(5) 受賞・報道等

① 受賞

- [1] 日本音響学会 第6回環境音響研究賞, 尾本章, 2015.09.

- [2] 日本音響学会 学生優秀発表賞, 河野峻也, 2015.09.

- [3] 日本音響学会 学生優秀発表賞, 樋田浩一, 2015.09.

- [4] 日本音響学会聴覚研究会 研究奨励賞受賞, 樋田浩一, 2014.10.

- [5] JSST 2013 Student Presentation Award, Koichiro Tsuchida, 2013.09.

- [6] 日本認知科学会大会発表賞, 樋田浩一, 2013.09.

## ② マスコミ(新聞・TV等)報道

- [1] YOMIURI ONLINE 「特殊な鏡や超音波・・・最新の技術で仮想空間を体験」、2015.10.22
- [2] 読売新聞「映像や音響効果など 大学・企業 技術公開 日本科学未来館」、2015.10.23
- [3] 産経アプリスタ「歌詞を表示するスピーカー、踊りに合わせて光る靴、先端技術が使われたコンテンツが登場」、2015.10.22  
<http://aplista.iza.ne.jp/f-iphone/250153>
- [4] 週刊アスキー「96ch の超サラウンド音響に超人スポーツ いま体感できる未来のエンタメが集合—デジタルコンテンツ EXPO 2015」、2015.10.22  
<http://weekly.ascii.jp/elem/000/000/373/373647/>
- [5] AV Watch「視触覚クローン、HMD でVR映像、歌詞が動くスピーカー。デジタルコンテンツ EXPO 開幕」、2015.10.22  
[http://av.watch.impress.co.jp/docs/news/20151022\\_726971.html](http://av.watch.impress.co.jp/docs/news/20151022_726971.html)
- [6] 北羽新報「東京電機大・伊勢教授ら八峰へ 白神周辺の「音」収録 没入型聴覚装置用にと川のせせらぎ、風、虫の声・・・」、2015.9.7
- [7] テレケーブル新聞社、2015.7.17 (第1回先端コンテンツ技術展で取材)
- [8] 化学工業新聞(話題・人物を紹介する「パーソン」コーナー)「立体音場の厳密な再生技術で成果 産業応用へ VB 設立も視野 東京電機大学教授 伊勢史郎氏」、2015.7.15
- [9] TBS 朝チャン、2015.7.12(第1回先端コンテンツ技術展で取材)
- [10] 青森放送 ニュートンのリンゴ、2015.7.12、再 7/18 (第1回先端コンテンツ技術展で取材)
- [11] AV Watch「96ch の“音響樽”、リモコンで歌い踊る初音ミク。「コンテンツ東京」レポート」、2015.7.6  
[http://av.watch.impress.co.jp/docs/series/dal/20150706\\_710290.html](http://av.watch.impress.co.jp/docs/series/dal/20150706_710290.html)
- [12] Internet Watch「アスナの目覚ましアプリ、96ch スピーカーの立体音響樽など、「第1回先端コンテンツ技術展」が先端すぎる」、2015.7.3  
[http://internet.watch.impress.co.jp/docs/event/20150703\\_710010.html](http://internet.watch.impress.co.jp/docs/event/20150703_710010.html)
- [13] 毎日新聞(インターネット版)「3Dで人の気配を再現する音響樽など最新技術を展示—第1回先端コンテンツ技術展開幕」、2015.7.2  
<http://mainichi.jp/universalon/news/20150702mog00m040012000c.html>
- [14] プレス発表 『世界初の没入型聴覚ディスプレイ装置「音響樽」を開発』、第1回 先端コンテンツ技術展、2015年7月1日～3日  
<https://exhibitor.reedexpo.co.jp/TIBF/2015/search/jp/next/list.php?mode=all>

## (6) 成果展開事例

### ① 実用化に向けての展開

- ・ 開発した没入型聴覚ディスプレイ装置「音響樽」の事業化として、ベンチャー企業「株式会

社カスクアコースティクス」を 2015 年に設立した。

② 社会還元的な展開活動

- ・ 本研究成果をインターネット(URL: <<http://www.bosc.jp>>)で公開し、一般に情報提供している。
- ・ 技術展などのイベント以外でも、様々な人々に音響樽を体験してもらえようアウトリーチ活動を実施している。

(7) その他の重要な成果

- [1] AES ジャパンコンファレンス・仙台 2012, せんだいメディアテーク, H24.10.9-11, 58 名。  
<http://japan.aes-student.org/wordpress/archives/591>
- [2] サイエンスアゴラ 2012, 日本科学未来館, H24.11.10-11, 116 名  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/?p=1140>
- [3] AES 日本支部 60 周年記念イベント, 東京芸術大学, H25.8.23-24, 83 名  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/?p=1215>
- [4] つくば Science Edge2014, つくば国際会議場, H26.3.21, 64 名  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/?p=1274>
- [5] JST 主催シンポジウム「情報学による未来社会のデザイン～健全でスマートな社会システムに向けて～ 第三回 人間力・社会力を強化する情報技術」, 東京大学・福武ホール, H26.12.5, 300 名  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/?p=1401>
- [6] 第 1 回 先端コンテンツ技術展, 東京ビックサイト, H27.7.1～7.3, 600 名  
<http://acoust.sie.dendai.ac.jp/crest/?p=1432>
- [7] デジタルコンテンツ EXPO, 日本科学未来館, H27.10.22-25, 700 名
- [8] ABLE & PARTNERS TOKYO DESIGN WEEK 2015, 明治神宮外苑絵画館前, H27.10.24-28, H27.10.30-11.3, 1,769 名  
<http://tokyodesignweek.jp/2015/exhibitors/details/007073.html>
- [9] Inter BEE, 幕張メッセ, H27.11.18-20, 約 600 名(予想)

## § 5 研究実施内容及び成果

### 5.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

#### (3) 研究実施内容及び成果

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H24.10.9 ~ H24.10.11	AES ジャパンコンファレンス・仙台 2012	せんだいメディアテーク	58 名	AES 会議参加者への音響樽の展示と試聴デモ, 2 件の技術発表とワークショップでのパネルディスカッション参加。
H24.11.10 ~H24.11.11	サイエンスアゴラ 2012	日本科学未来館	116 名	「特設研究者ゾーン」に「音を聴いて空間の記憶を探る旅に出かけよう」というタイトルの一般の方に向けた試聴デモを出展した。
H25.5.11	九州大学芸術工学部大公開:36 個のフシギ体験	九州大学大橋キャンパス	延べ 300 名程度	一般向けの大学開放行事において, 音響樽の試聴イベントを実施した。1人 4 分程度のコンテンツを用意したが, 最大で 2 時間半待ちの行列となった。
H25.8.4	九州大学オープンキャンパス	九州大学大橋キャンパス	延べ 200 名程度	高校生向けのオープンキャンパスにおいて, 音響樽の試聴イベントを実施した。一人 4 分のコンテンツを用意したが, 複数人数で短時間ずつ試聴する形式で渋滞の解消を図った。
H25.8.23 ~ H25.8.24	AES 日本支部 60 周年記念イベント	東京芸術大学	83 名	イベント参加の一般の方に向けて, 展示ブースで収録・試聴デモと「境界音場制御による聴空間共有システムの実現」の講演を行った。
H26.3.21	つくば Science Edge 2014	つくば国際会議場	64 名	イベント参加の高校生を対象に, 展示ブースで試聴デモを実施
H26.5.17	九州大学施設公開事業	九州大学大橋キャンパス	約 300 名	近隣の小, 中学生を主たる対象にした施設公開事業
H26.8.2	九州大学オープンキャンパス	九州大学大橋キャンパス	約 400 名	高校生を主たる対象にした施設公開事業

H26.12.5	JST 主催シンポジウム 「情報学による未来社会 のデザイン～健全でス マートな社会システムに 向けて～ 第三回 人間 力・社会力を強化する 情報技術」	東京大学・ 福武ホール	300 名	音響樽のデモを行った
H26.12.20～ 12.26	九州大学総合研究博物 館主催公開展示	福岡市役所	約 1,000 名	芸術工学部の活動を広く周知するた めの展示会
H27.4.6～ 4.24	芸術工学展示会	九州大学伊 都キャンパ ス椎木講堂	約 200 名	九州大学教職員、近隣住民を対象 にした芸術工学に関わる研究成果 の公開事業である。音積木の公開を 行った。
H27.5.17	九州大学大橋キャンパ ス施設公開	九州大学大 橋キャンパ ス	約 300 名	近隣住民を対象にした施設公開事 業である。音響樽、音積木の公開を 行った。
H27.7.1～ 7.3	「第1回 先端コンテンツ 技術展」	東京ビック サイト	600 名	音響樽のデモを行った
H27.8.2	九州大学オープンキャ ンパス	九州大学大 橋キャンパ ス	約 400 名	高校生を主たる対象にした大学公開 事業である。音響樽、音積木の公開を 行った。
H27.10.22～ 10.25	デジタルコンテンツ EXPO2015	日本科学未 来館	約 700 名	音響樽のデモを行った
H27.10.24～ 10.28・10.30 ～11.3	ABLE & PARTNERS TOKYO DESIGNWEEK2015	明治神宮外 苑 TOKYO DESIGN WEEK 中 央会場	約 2,000 名	音響樽のデモを行った
H27.11.18～ 11.20	Inter BEE(予定)	幕張メッセ	約 600 名 (予想)	音響樽のデモを行った

## § 6 最後に

**研究の目標等から見た達成度：**本研究では前半(H25 年度まで)に聴空間共有システムを実現し、後半はその応用可能性を広げるという計画をたてたが、実際には大規模低遅延畳み込み装置および多チャンネルフィードバックキャンセルの実現に時間がかかり(H27 年度前半まで)、応用研究まで十分に遂行することができなかったが、開発した音響樽は没入型聴覚ディスプレイの完成型として十分高い性能を実現し、没入感の心理・生理学的研究に関する新たな研究領域の展開、境界音場制御の原理の物理的実証、開放型聴覚ディスプレイ「音積み木」の提案など研究目標以上の達成を実現したと言える。

**得られた成果の意義等の自己評価：**没入型聴覚ディスプレイ装置として音響樽という形状を提案し、システム設計論まで確立するのに H26 年度までかかったが、H27 年度に行った展示会における反応を鑑みて、極めて高い完成度に達したと評価できる。3D 音響の研究の歴史は長い、没入感が得られる3D 音響システムは世界初であり、研究代表者が提案した境界音場制御の原理の応用可能性が再確認されたと言える。また、心理評価グループの研究において3D 波面の再現により発汗、血流量などの生理反応やミラーシステムの賦活が得られることを示した意義は大きい。リアリティが生理反応として現れるときに臨場感を越えた没入感という空間感覚が生じるという心理・生理モデルを想定することが可能となるためである。没入感に関する心理・生理モデルを研究するための設備として世界唯一の没入型聴覚ディスプレイである音響樽の存在は重要な位置付けとなる。また、論文などの成果が乏しいが境界音場制御の原理の物理的実証、開放型聴覚ディスプレイ「音積み木」の提案なども大きな成果である。

**今後の研究の展開：**基礎研究への展開として音による没入感の心理・生理モデルの確立という方向性がある。またアーティストが3D コンテンツを作りたいという要望があり、現在コンテンツを共同制作するプロセスにある。しかし、アーティストは空間をイメージできるが、それを言語的に表現する手段がないため3D コンテンツ創りはアーティストとエンジニアの共同作業とならざるをえない。そこでアーティストが3D 音響を言語的に表現し、音響信号へ変換するためのユーザーインターフェースの開発が必要となる。また、音響樽以外の形状でのシステムの実現の可能性、収録システムの小型化、キャリブレーションシステムの実験的検討、定位性能を高める逆システム設計方法の検討、遅延を最小化する逆システム設計方法の検討、インターネットを介した聴空間共有実験など未踏の研究領域が広がっている。

### **研究代表者としてのプロジェクト運営について(チーム全体の研究遂行、研究費の使い方等)**

限られた予算で最大の成果を得るため、ハードウェア設計は外注に出さずにシステムグループで行った。システムグループで開発したハードウェアの基本性能を検証した後で、チーム内の各グループに配布し、実験やデモを行いながら問題点をフィードバックして次の設計に結び付けるという循環的な改善プロセスを毎年続けることによりシステムの完成度を高めた。論文としての成果としては心理評価グループの貢献が大きい、これはプロジェクト運営によるものではなく質の高いメンバー(小林まおり研究員、嶋田総太郎教授)に依存する。研究費は上記の理由からハードウェア開

発は設備よりも消耗品が多く、また人件費に重心が置かれた。

**その他：**音響樽という成果は世界初の没入型聴覚ディスプレイ装置として人類が未体験の新しい空間体験を創造することができる技術である。音響樽は音という見えない物理現象を生成する装置であるため、それが驚きの空間体験を与えることを音響樽という装置なしで見える形で残すことができない。すなわち、本研究成果は音響樽という装置をそのまま残す以外は次世代に伝える方法がない。したがって本研究成果を世界に広めるために事業化を支援していただくことを希望する。

本研究を応援してくださった故東倉洋一先生には感謝の気持ちが尽きない。心よりの感謝の気持ちを伝えることができないのが残念だが、この研究成果を生かしていくことこそが我々の今後の使命と考える。