

軸対称型收音装置を用いた高精度・高感性 バーチャル音空間創成システムの構築 (082102005)

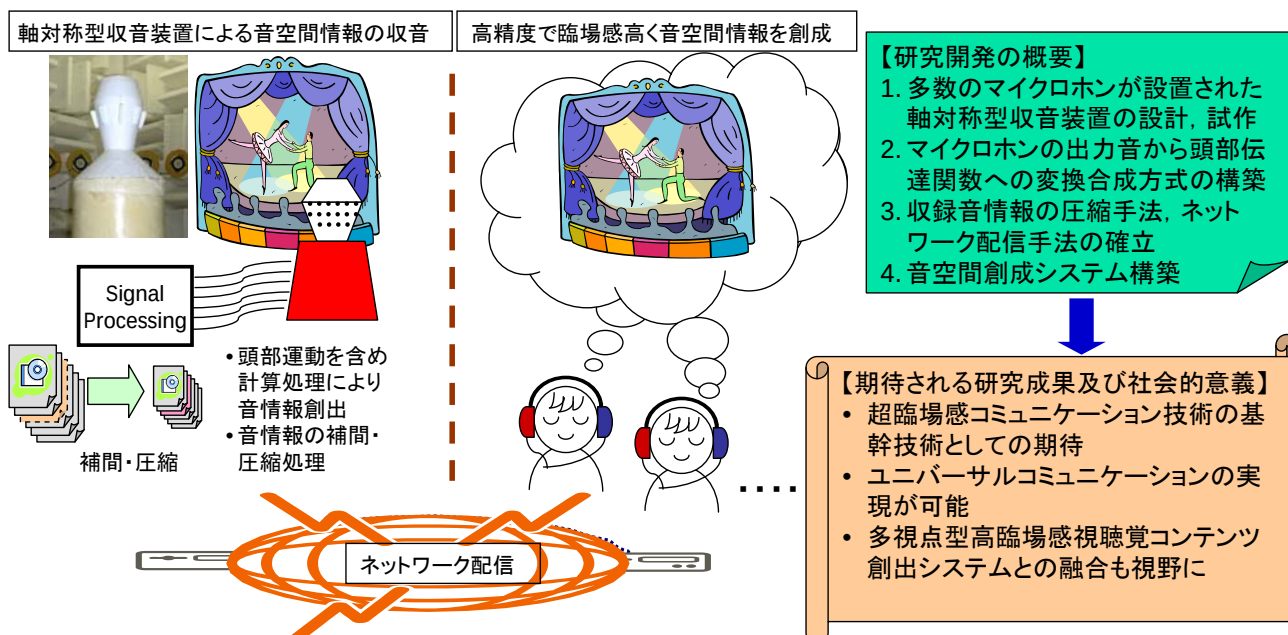
坂本修一

東北大学電気通信研究所



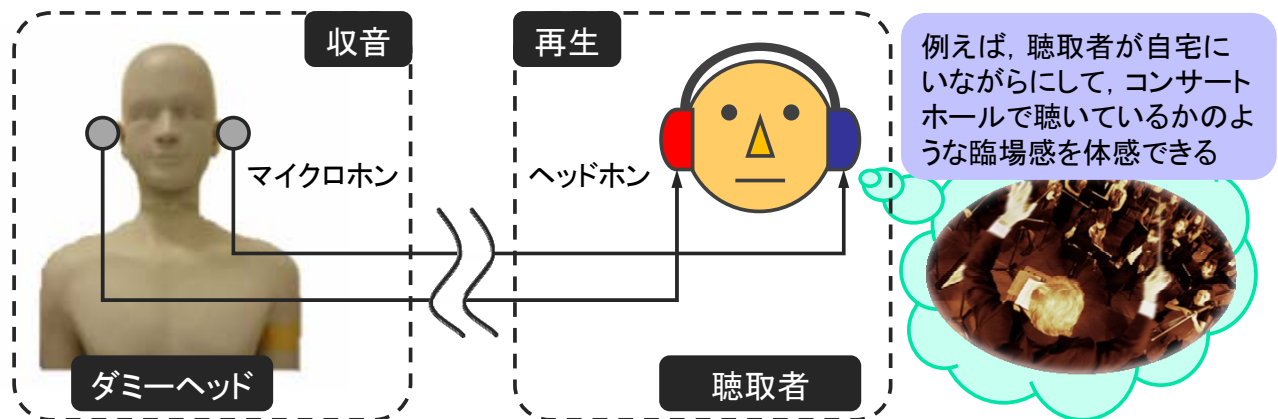
研究プロジェクトの全体像(H20～23年度)

【研究目的】軸対称型の收音装置によるバーチャル收音・再生技術を用いて、音空間情報を遠隔地の複数の聴取者に同時に高精度、かつ、臨場感高く提示する音空間創成システムを構築する。



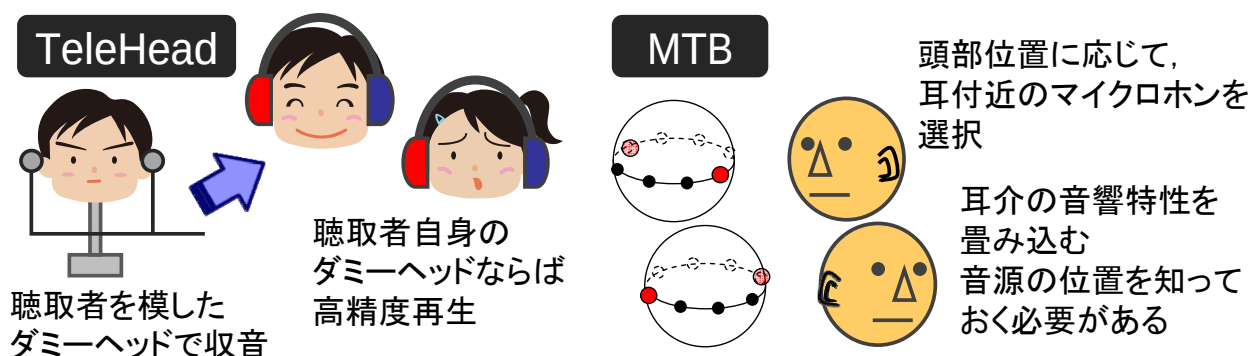
研究背景

- 3次元音情報の高次臨場感通信の実現に向けて
 - ある音空間がもつ音源の位置や場の広がり感などの情報を忠実に取得し、遠隔地で再現する技術が必要
 - バイノーラル収音・再生 (Schröder *et al.*, 1963)



既存の収音・提示システム(1/2)

- 単純なバイノーラル収音・再生では、受音位置付近の音空間を忠実に再現できない
 - TeleHead (Toshima *et al.*, 2003)
 - 聴取者を模擬したダミーヘッド使用, 頭部運動に追従
 - Motion-Tracked Binaural (Algazi *et al.*, 2004)
 - 水平面に複数のマイクロホンを設置した球状アレイ
 - 信号処理により各聴取者に対応, 頭部運動に追従



既存の收音・提示システム(2/2)

■ 高精度收音・提示システムに必要な要件

- 各聴取者のHRTFへの対応
 - 聴取者自身のHRTFが必要
- 各聴取者のHRTFへの汎用性
 - 再生側でのHRTF対応が望ましい
- 頭部運動に追従した收音・提示
 - 頭部運動が音像定位に重要
- 複数聴取者への同時提示
 - 同じ受音点を共有するには收音機器は1つ

* 頭部伝達関数
(head-related transfer function:HRTF)
音源から鼓膜への音の伝達特性
耳介や頭部形状によって異なる
音源位置によって異なる

	HRTFへの対応	汎用性	頭部運動	複数聴取者
バイノーラル	△	△	×	△
TeleHead	◎	×	○	×
MTB	△	○	○	○

本研究プロジェクトで提案する球状マイクロホンアレイを用いた音空間收音システム

■ SENZI (Sakamoto *et al.*, 2008) Symmetrical object with ENchased ZIllion microphones

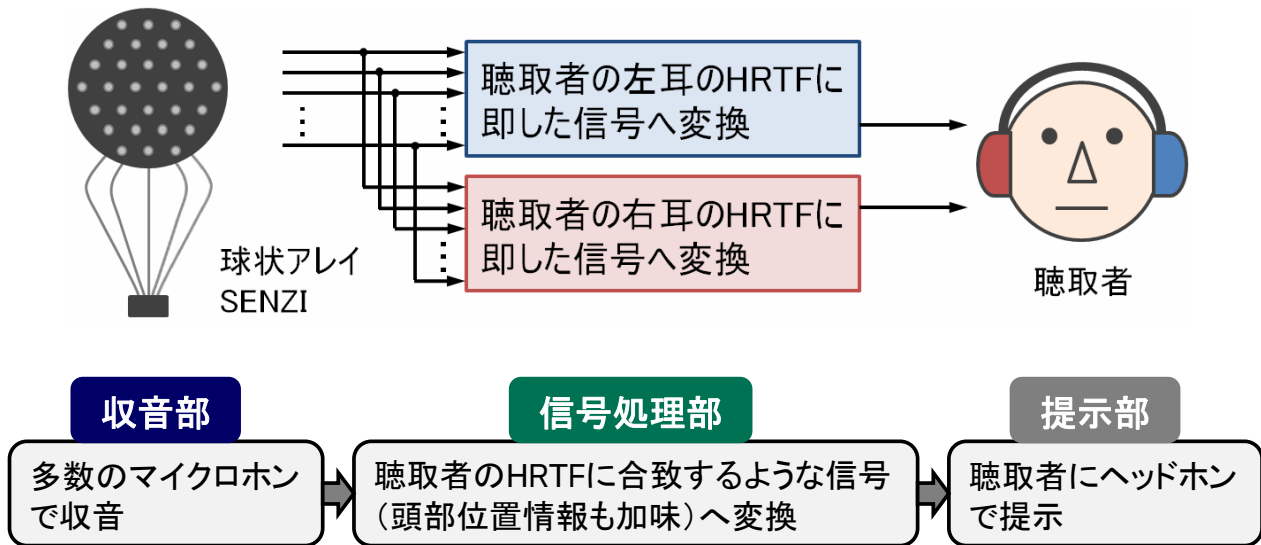
- 多数のマイクロホンを3次元等密度配置した球状アレイ
 - 信号処理により各聴取者に合った音空間を提示
 - 1つの收音機器で複数聴取者に提示可能
 - マイクロホンを切り替えることで頭部運動に追従



	HRTFへの対応	汎用性	頭部運動	複数聴取者
バイノーラル	△	△	×	△
TeleHead	◎	×	○	×
MTB	△	○	○	○
SENZI	○	○	○	○

システムの概要

■ システムの全体像



重み付き線形結合によるHRTF合成法(1/2)

ある周波数 f において,

$$\mathbf{H}_{\text{synthesized}, f} = \mathbf{H}_{\text{SENZI}, f} \mathbf{Z}_f$$

合成結果

伝達関数

$$\begin{pmatrix} h_{\text{synthesized}, f}(\theta_1) \\ h_{\text{synthesized}, f}(\theta_2) \\ \vdots \\ h_{\text{synthesized}, f}(\theta_m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{\text{SENZI}, f}(M_1, \theta_1) & h_{\text{SENZI}, f}(M_2, \theta_1) & \Lambda & h_{\text{SENZI}, f}(M_n, \theta_1) \\ h_{\text{SENZI}, f}(M_1, \theta_2) & h_{\text{SENZI}, f}(M_2, \theta_2) & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{\text{SENZI}, f}(M_1, \theta_m) & \Lambda & & h_{\text{SENZI}, f}(M_n, \theta_m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_f(M_1) \\ z_f(M_2) \\ \vdots \\ z_f(M_n) \end{pmatrix}$$

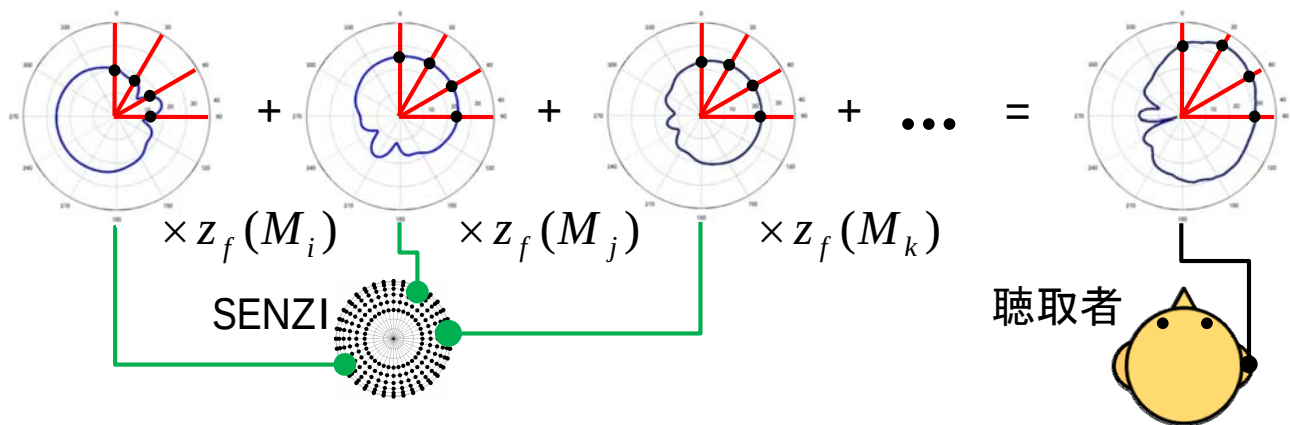
θ : 收音された音の音源方向 (m は音源方向数)

M : マイクロホンの通し番号 (n はマイクロホン数)

重みは音源方向に関係なく、周波数毎に各マイクロホンに対して1つ定める

重み付き線形結合によるHRTF合成法(2/2)

ある周波数 f において,



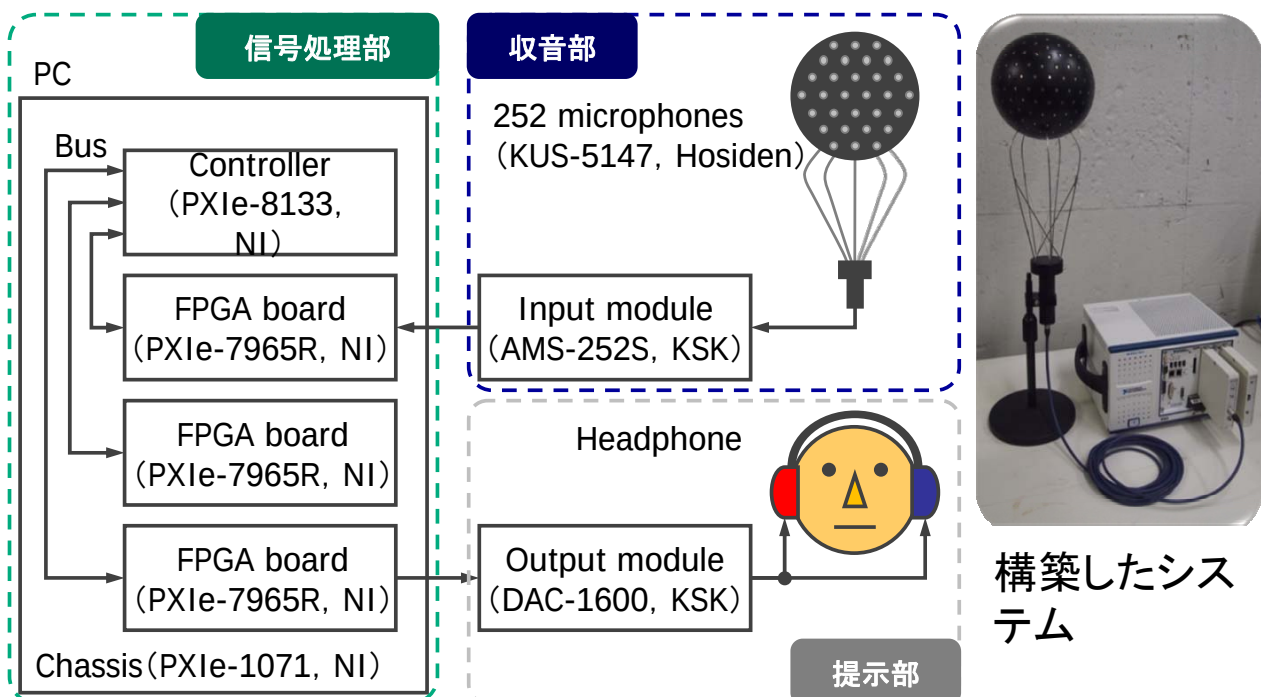
各マイクロホンの指向特性を重み付け加算した結果が、
聴取者の外耳道入口における指向特性となるように重み $\mathbf{z}_f$ を決定

$$\mathbf{z}_f = \mathbf{H}_{\text{SENZI}, f}^+ \mathbf{H}_{\text{listener}, f}$$

擬似逆行列

システムの構成

■ 構築したシステムの全体像

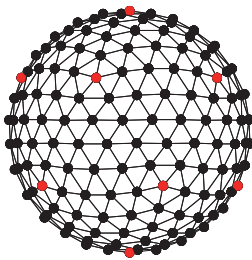


球状アレイ(收音部)設計時の基本コンセプト

■ システムに必要な要件

- 球状アレイ表面上に多数のマイクロホンを設置し、聴取者に合った信号合成の状況を計算機シミュレーションにより検証
 - マイクロホンを密に配置
 - 重み算出時に定義する制御方向を 5° 以下に設定
 - 球状アレイは人間の頭部サイズ程度の大きさ

■ コンセプトに基づいた球状アレイの設計



ハードウェアの制約

- ▶ 聴取者の頭部サイズを想定した直径 17 cm の球状アレイ
- ▶ 252 個のマイクロホンを使用
- ▶ マイクロホンをほぼ等密度に配置(各マイクロホン間隔は約 20 mm)

收音部

■ SENZI (Symmetrical object with **EN**chased **Z**illion microphones)

- 直径 : 17 cm
- 素材 : エポキシ樹脂
- 製作 : 光造形法
- マイクロホン数 : 252 個
 - デジタル ECM (KUS-5147, ホシデン)
 - クロック周波数 : 2.4 MHz
 - $\Delta \Sigma$ 変調器 : 4 次
 - SN 比 : 58 dB (typ.)
 - 動作電圧 : 1.8 V
 - 外形寸法 : $4 \times 3 \times 1$ mm
 - 全指向性

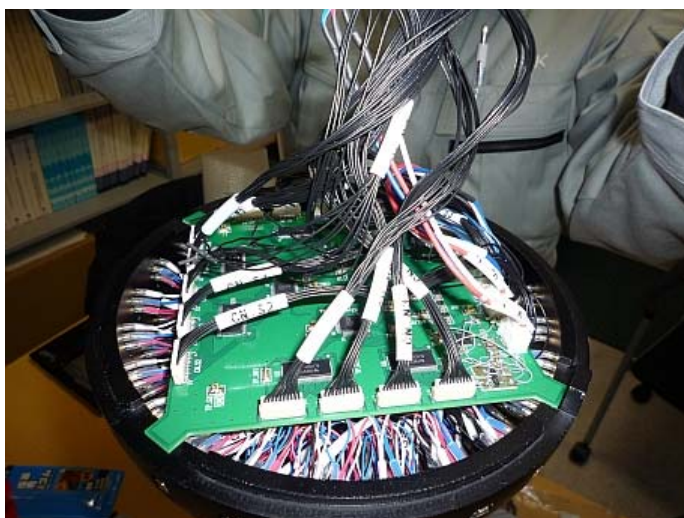


SENZI



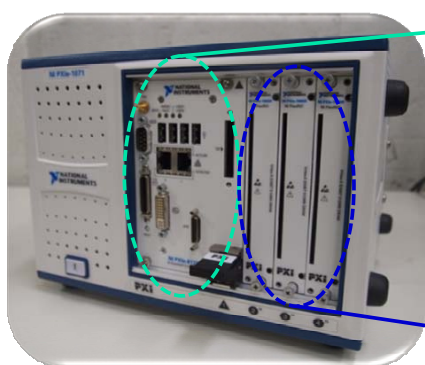
デジタル ECM

收音部内観



信号処理部

- ハードウェア (National Instruments 社製)
 - シャーシ (PXIe-1071)
 - コントローラ (PXIe-8133)
 - FPGAボード (PXIe-7965R) × 3
- ソフトウェア: LabVIEW 2010 (一部のみ2009)



制御用 PC



コントローラ

CPU: Intel Core i7-820 (1.73 GHz)
メモリ: 3 GB
OS: Windows XP

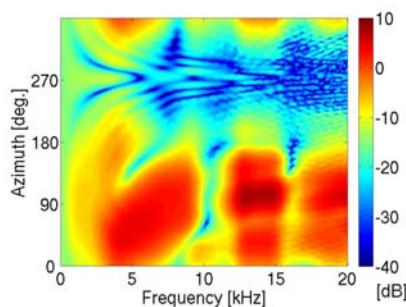


FPGA ボード

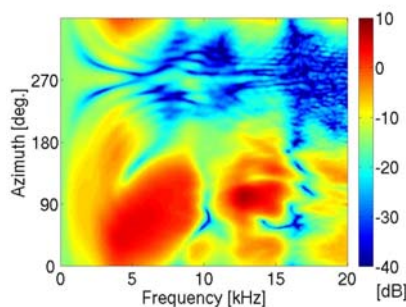
FPGA チップ: Virtex-5 SX95T
オンボードメモリ: 256MB × 2

システム性能評価

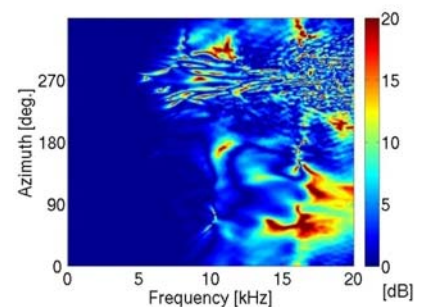
- システムによる変換精度
 - 高周波数領域での合成精度が不十分であるものの、HRTF の概形は模擬
 - 球状アレイのマイクロホン間隔に対する空間的折り返し歪の影響が約 8.5 kHz から現れるため、誤差が大きくなる
 - 10 kHz 以下では、高精度での收音・提示が可能



(a) SAMRAI の HRTF



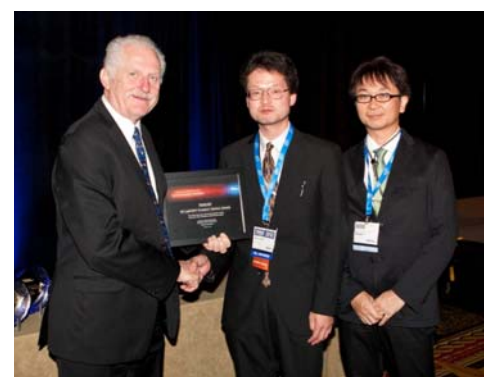
(b) 合成結果 の HRTF



(c) 合成誤差

主な研究成果一覧

- 査読付き誌上発表
 - Sakamoto *et al.*, "SENZI and ASURA: New high-precision sound-space sensing systems based on symmetrically arranged numerous microphones," Proc. ISUC2008 (他, 2件)
- 口頭発表
 - 10件(うち招待講演1件)
- 受賞
 - Finalist of Student Design Award, Graphical System Design Achievement Awards, National Instruments (他1件)



今後の展開

ネットワーク通信も念頭に高い臨場感の提供が可能な3次元音空間通信システムへ深化

- 既存の3次元音空間收音再生手法との相互展開
 - スピーカを含めた一般的な再生系への応用(現状はヘッドホンによるバイノーラル再生)も含めた拡張へ
- 頭部伝達関数の高精度・短時間測定・算出法の開発
 - 現状は, 2500点以上の頭部伝達関数が必要
- 既存のネットワークへの展開を念頭にした技術開発
 - データ圧縮
 - 近接したマイクロホンで収録した音信号の類似性を利用した多チャネル音信号圧縮技術の開発
 - システム遅延の検討