

# 高精細音空間コンテンツのための主観的最適化音空間ディスプレイの研究開発

研究代表者名: 岩谷幸雄 所属機関: 東北学院大学工学部

研究分担者名 土屋隆生(1)<sup>†</sup> 井口寧(2)<sup>††</sup> 大谷真(3)<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>同志社大学理工学部 <sup>††</sup>北陸先端科学技術大学院大学情報社会基盤研究センター <sup>†††</sup>京都大学工学研究科

# 本プロジェクトの概要:

## 「高精細音空間コンテンツのための主観的最適化音空間ディスプレイの研究開発」

### A) 音空間ディスプレイシステムの設計指針

- 主観的に等価な体験ができるシステムの構成法を探索的に探る

### B) 高精細音空間レンダリングシステムの高精度化

- レンダリングシステムを高精細化
- コンテンツ作成用のインパルス応答をA)の実験に供給

### C) 音空間ディスプレイシステムの試作

- ベースシステム: ネットワーク型聴覚ディスプレイ
- A)やB)の成果が体感できるようなシステムを試作

### D) 音響シミュレーションブロックの試作

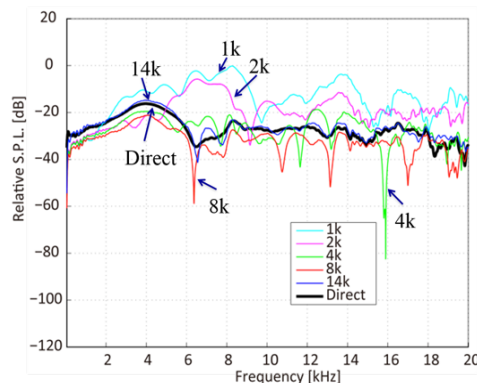
- 新しい概念に基づいたリアルタイムリアルタイムレンダリング技術



# A)音空間ディスプレイシステムへ向けた条件探索(客観的評価)

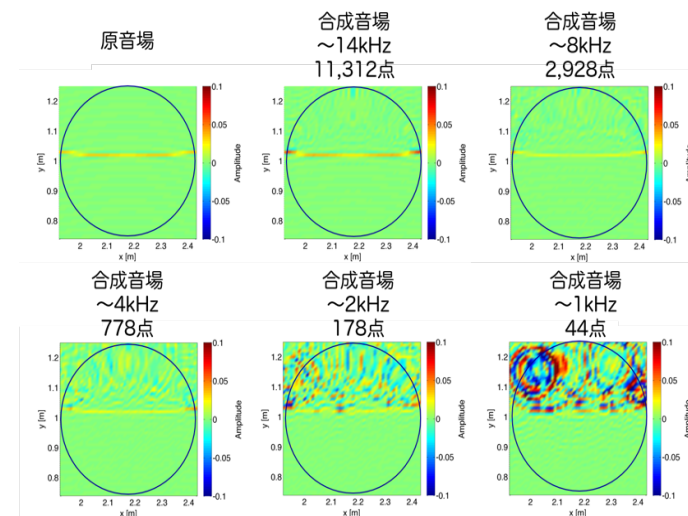
## 耳元の再現信号の評価

- 空間的折り返し歪みがある条件で耳元での信号の瀬再現精度を評価
- 4 kHzまでが再現できれば、スペクトルの概形は保持される



## 空間的折り返し歪みの発生の可視化

- 折り返し歪みが初期波面の後から到来
- 初期波面は、4 kHzまで対応すれば十分再現可能



# A)音空間ディスプレイシステムへ向けた条件探索(心理物理学的探索)

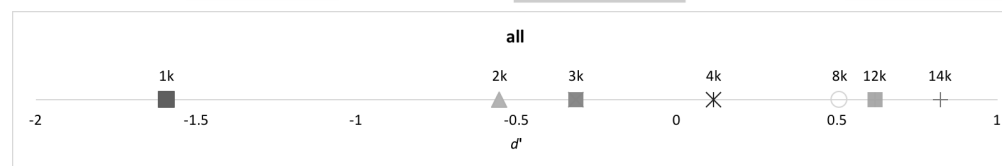
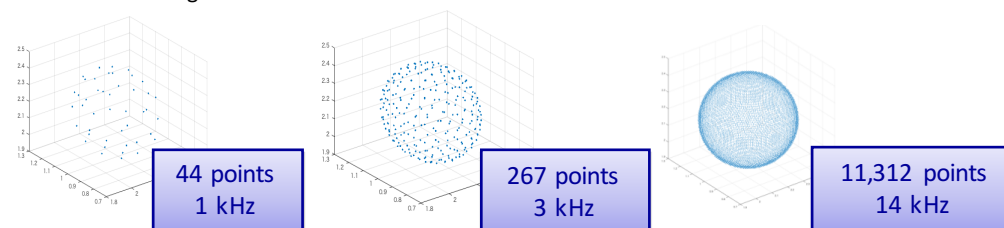
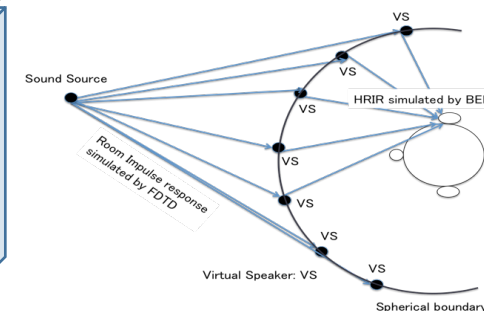
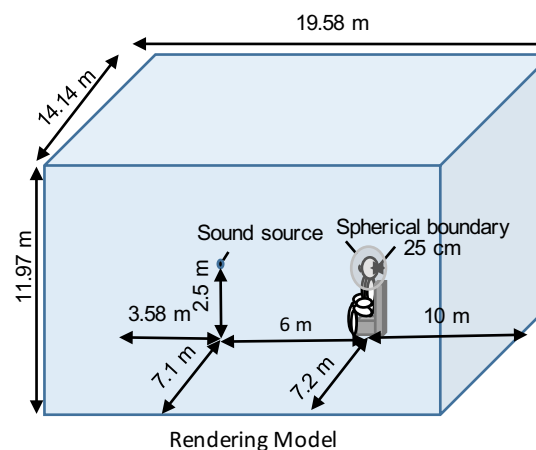
- 折り返し歪みの異なる音場の弁別実験

- 稠密なスピーカアレイを物理的に配置することは不可能

- シミュレーションによりバーチャル空間で系統的にスピーカアレイ間隔を操作

- バイノーラル信号を用いた弁別実験

- 3kHz~4 kHz程度までを厳密に再現すれば、元音場と等価な体験ができることを解明

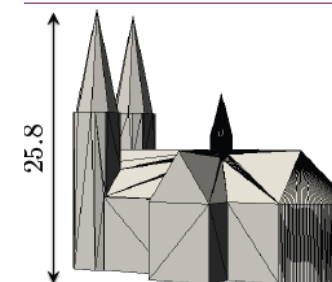
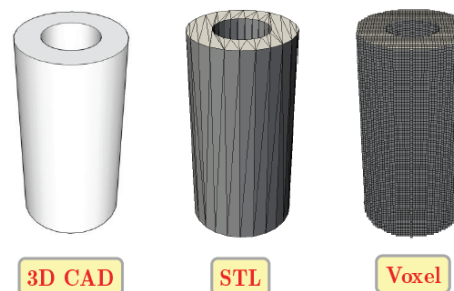


実験結果



## B) 高精細音空間レンダリングシステムの高精度化

- ① GPUクラスタの増強
  - メモリベースで5割
  - 計算速度で3割向上
- ② FDTDアルゴリズムの改良
  - 無限開放領域を表現するためにPMLをCE-FDTDに導入
- ③ 境界条件の高精度化
  - 任意の境界形状の内部物体をモデル化
  - STLモデルをボクセルデータに変換するサブシステムを開発
- ④ 3次元室形状モデルと頭部形状の同時解析の実現
  - 頭部形状と室形状を一体で解析できるようになった
  - 耳元での室内音響信号を厳密解析可能



反射率 reflection coefficient: 0.9  
 CFL数 CFL number: 0.95  
 サンプリング周波数 sampling frequency: 20 kHz  
 グリッド間隔 grid distance: 17.9 mm  
 格子点数 total grid points: 505,266,964  
 容積 volume: 2,898 m<sup>3</sup>

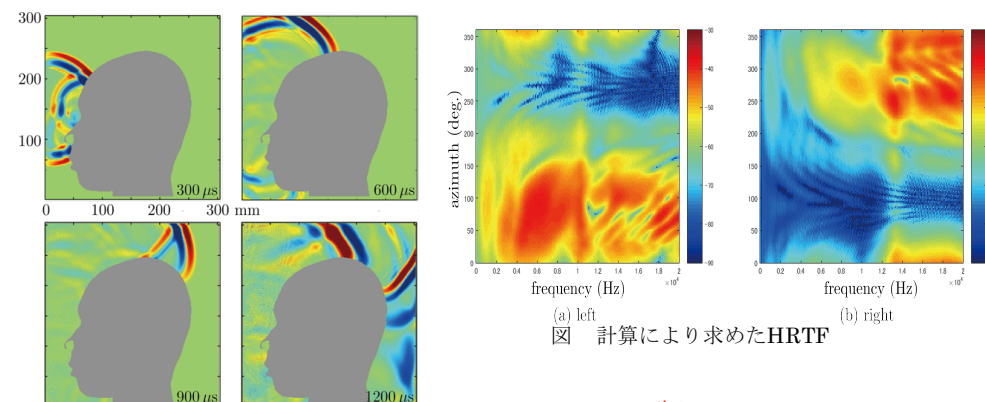
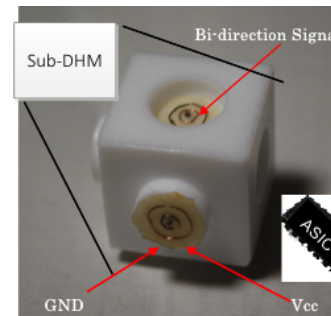


図 頭部周りの音波伝搬の様子

# D) 音響シミュレーションブロックの試作 ～リアルタイム音響シミュレーションに向けて～

- FPGAによるDHMの実装 (NICT委託研究の一部)を発展させる
- DHM機能をもつブロックを開発
  - ブロックで空間を造作することによりシミュレーションが可能
  - モデル作成とレンダリングの融合
  - **これまでに無い全く新しいリアルタイム音響シミュレーションの概念**
- ASICチップの設計とブロックの試作
- $4 \times 4 \times 4$  のDHM音響セルを計算
  - 複数のブロックを用いれば  $32 \times 32 \times 16$  のDHM音響セルをリアルタイムでシミュレーション可能



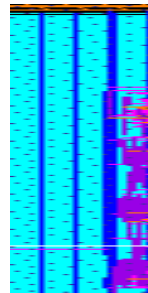
DHMをASICで実装しブロック化



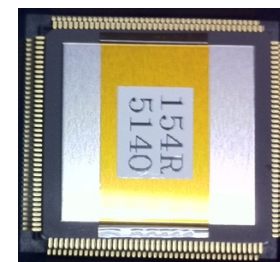
ブロックを組み合わせて



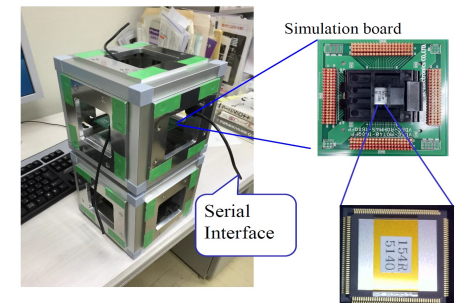
形状を造作してリアルタイムシミュレーション



チップレイアウト



試作パッケージ

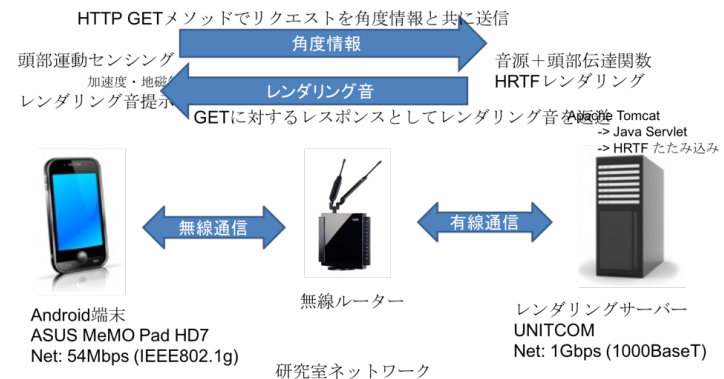


試作したレンダリングブロック

# C) 音空間ディスプレイシステムの試作

## 1. ネットワーク型聴覚ディスプレイ(ベースシステム)の開発

- 長いインパルス応答を積み込むためにサーバ&クライアント型聴覚ディスプレイを開発
- 頭部運動に感応させるために、スマートフォンのセンサを利用
- HTTPに基づいたプロトコルベース
- 研究室ネットワークでは、検知限程度(100ms)でシステム遅延を実現



## 2. 音空間ディスプレイシステムの試作

- サブテーマA)で得られた音空間知覚等に関する知見が体験できるシステムであること
- ヘッドホンによるバイノーラル提示であること
- 音空間が頭部運動に感応すること
- 音源の位置も相対的に変更可能であること
- 没入感を与えるためにバーチャル視覚空間(ホール、キャラクター)をヘッドマウントディスプレイで提示

