

包囲型スピーカアレイを用いた リアルタイム室内音場可聴化システムの実装

Implementation of real-time room auralization
using a surrounding loudspeaker array

岡本 拓磨^{1,2)}, Katz Brian³⁾, Noisternig Markus⁴⁾,
岩谷 幸雄^{1,5)}, 鈴木 陽一^{1,5)}

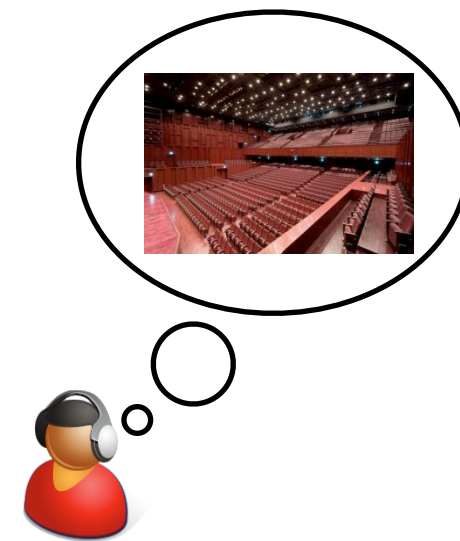
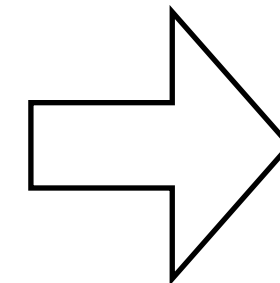
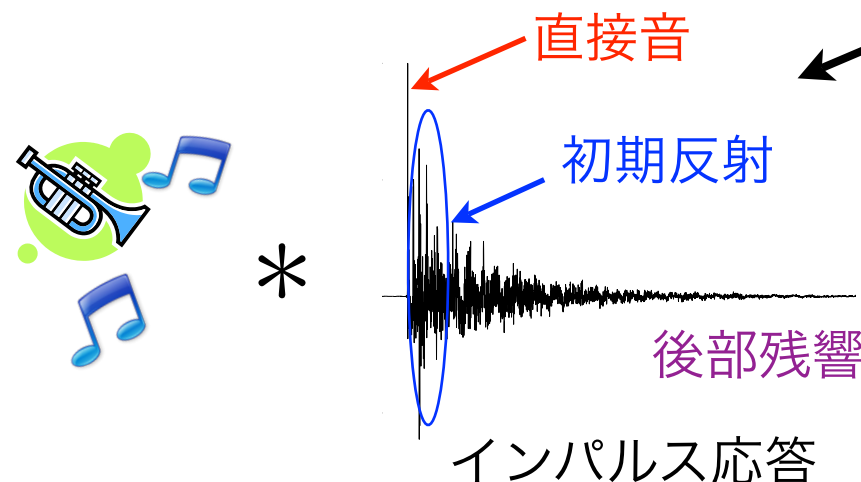
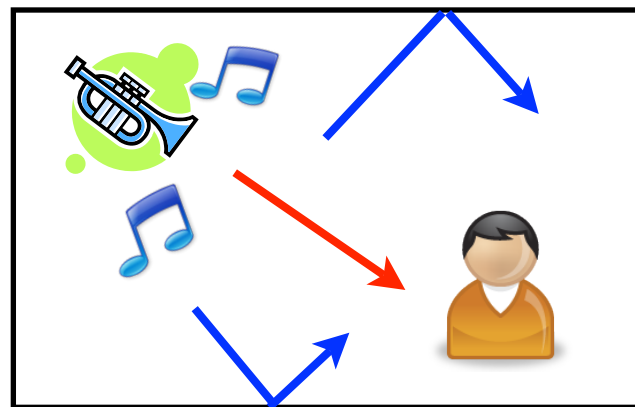
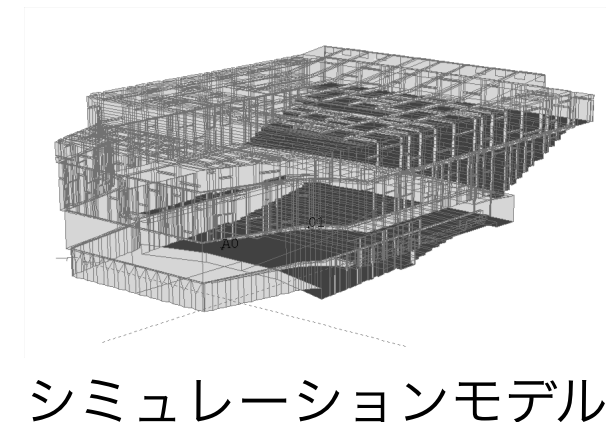
1) 東北大学電気通信研究所, 2) 東北大学大学院工学研究科, 3) LIMSI-CNRS (France)

4) IRCAM (France), 5) 東北大学大学院情報科学研究科

研究背景：可聴化技術 (Auralization)

■ 可聴化技術(Auralization)とは？

- 計算機などで作成したコンサートホールなどの音空間モデルから音場を予測して人間に提示する技術
 - ✱ 音空間モデルから室内伝達特性(=インパルス応答)を計算
 - ✱ インパルス応答と音源信号を畳み込み音信号を生成
 - ✱ 生成した音を提示



- コンサートホールなどの評価
- モデルさえ作ることができれば… 任意の仮想環境の音の創出が可能
- 基本的にはヘッドホンを用いた再生系が主流

研究目的：多チャネルスピーカを用いた可聴化システムの構築

■ 旧：ヘッドホンを用いたリアルタイム可聴化システム

M. Noisternig *et al.* 2008

- 音源や人の動きに追従したレンダリング
 - ✱ 位置情報の更新を受けてインパルス応答を逐次計算
- 従来法よりも再現力のある仮想音空間提示を実現

■ 新：多数スピーカを用いたリアルタイム可聴化の実装

- 上記のシステムを計157 chのスピーカを用いた再生系へと発展
 - ✱ ヘッドホンフリー：自然な聴取が可能
 - ✱ PC1台での同時再生は不可能 → 157 chを4台のPCに分割して再生
- 最初に検討すべき問題点
 - ✱ 157 chの同期再生(サンプリング周波数48 kHz, 16 bitリニアPCM)

本報告では…

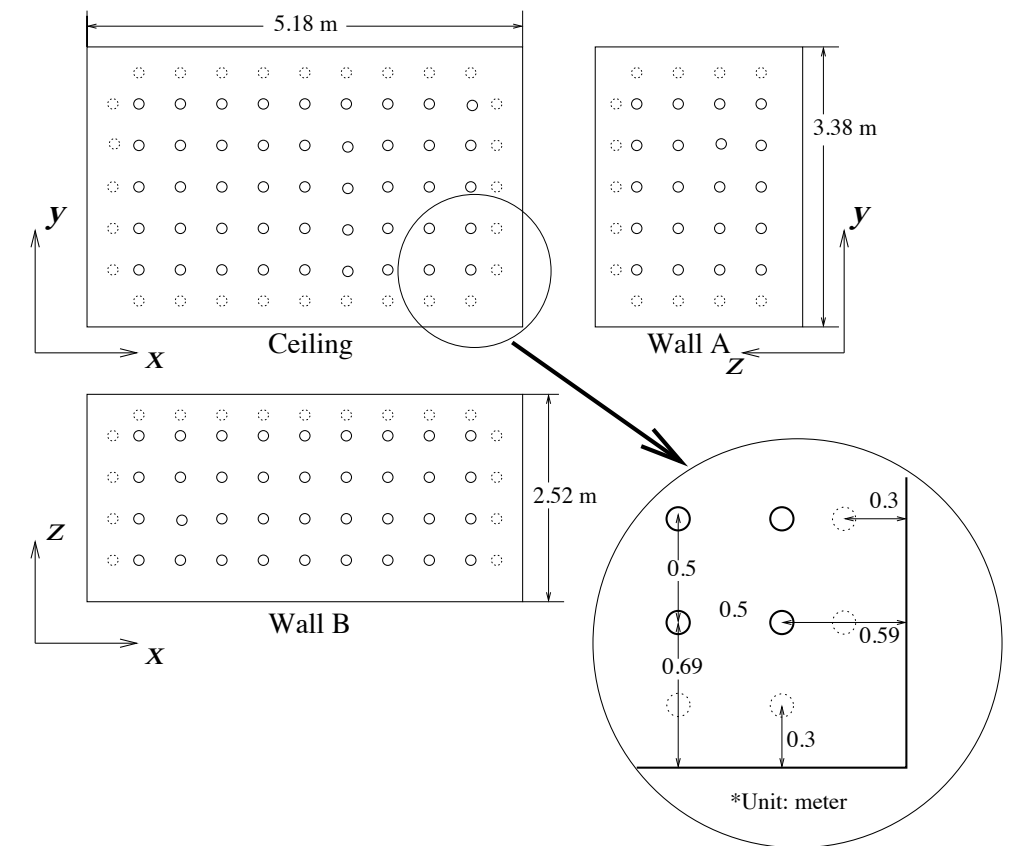
- 実装したシステム全体の概要
- 157 chの同期精度の検証

包囲型スピーカアレイ

■ 157 chの音データを同時再生可能なスピーカシステム



包囲型スピーカアレイの外観



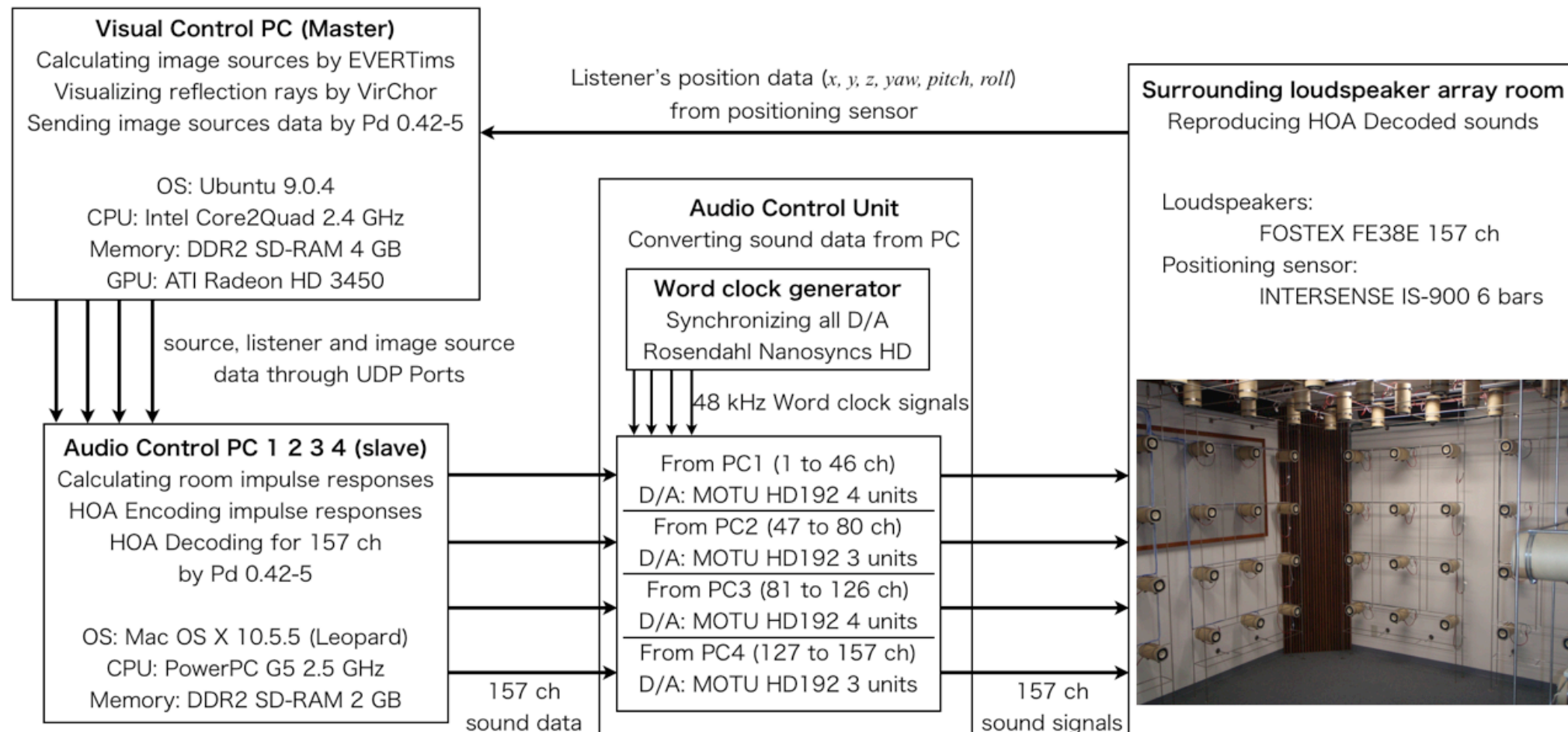
室内形状とスピーカ配置図

- 床を除く壁面，天井の計5面にスピーカ(FOSTEX FE38E)を格子状に配置
- 4台のPC，14台のD/A，クロックジェネレータ，再生ソフトウェアを用いたサンプリング周波数48 kHz，16 bitリニアPCMの157 ch同時再生を実現

システム全体の流れ

■ 157 chリアルタイム可聴化システム

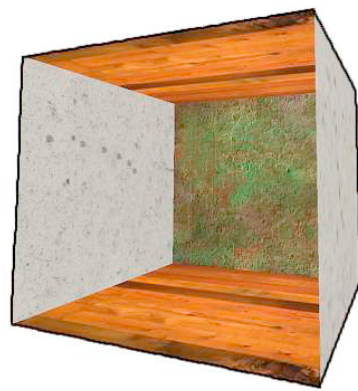
- 5台のPC, フリーソフトとUDP通信を用いたリアルタイム可聴化システムの実装
 1. 反射音情報の計算：虚像法高速演算ライブラリEVERTims
 2. 反射音伝搬経路の可視化：3D可視化ソフトウェアVirChor (Virtual Choerographer)
 3. インパルス応答と室内音の計算と再生：リアルタイムAVソフトウェアPd (Pure data)



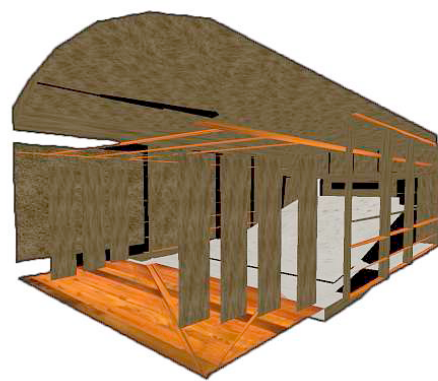
音空間モデル・初期反射音の計算

■ 音空間モデルの作成

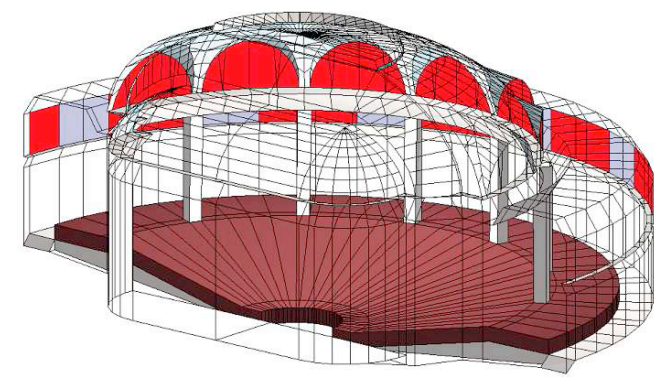
- 室内音場ソフトウェアパッケージCATT-Acoustic v8.0によるモデルの作成



キューブ



ホール

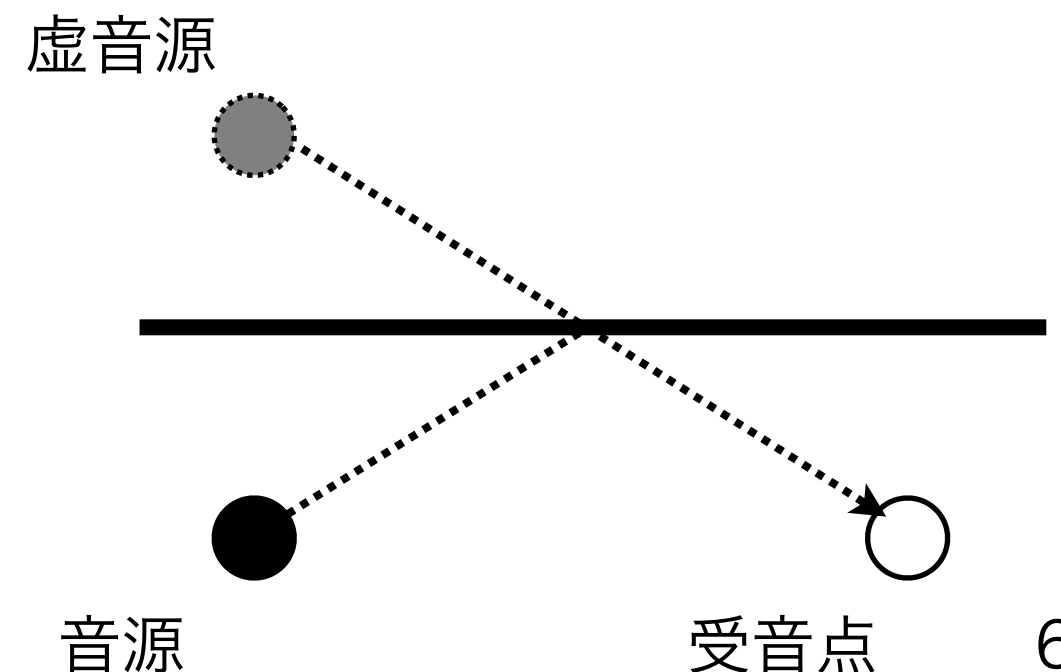


ホール(複雑形状)

など...

■ 初期反射音の高速演算

- 虚像法高速演算ライブラリEVERTに基づく
計算ソフトウェアEVERTimsによる計算
- 虚像法 J. B. Allen *et al.* 1979
 - ✳ 鏡面反射を仮定して虚音源を生成
 - ✳ 反射回数により虚音源の個数が決定



反射音伝搬経路の可視化

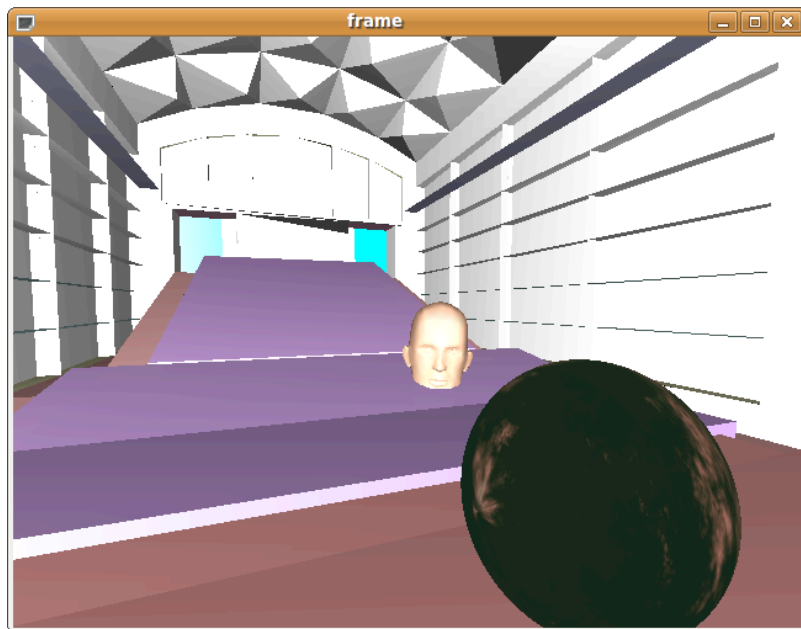
■ Virchorによる反射音経路のリアルタイム可視化

■ 聴取者や音源位置の変化に対応して反射経路を可視化

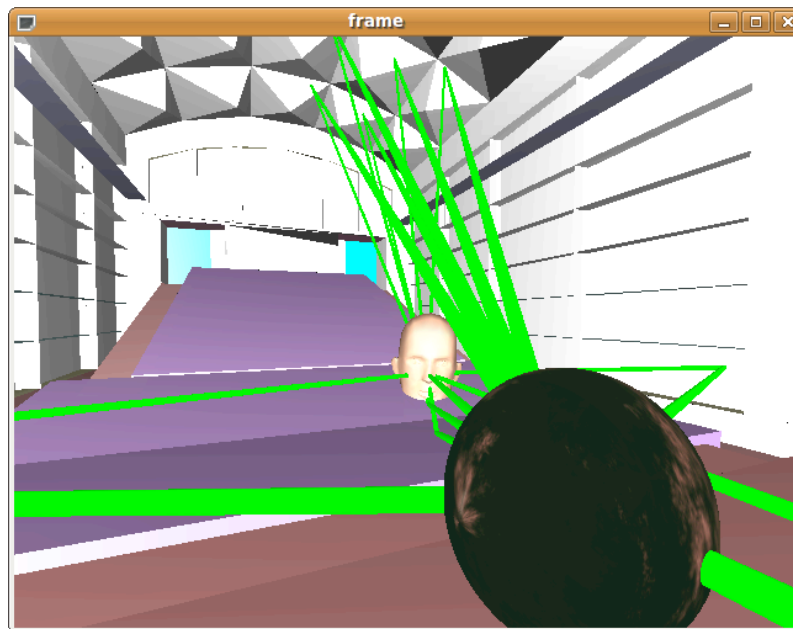
※ ● : 音源

※ 顔 : 聴取者

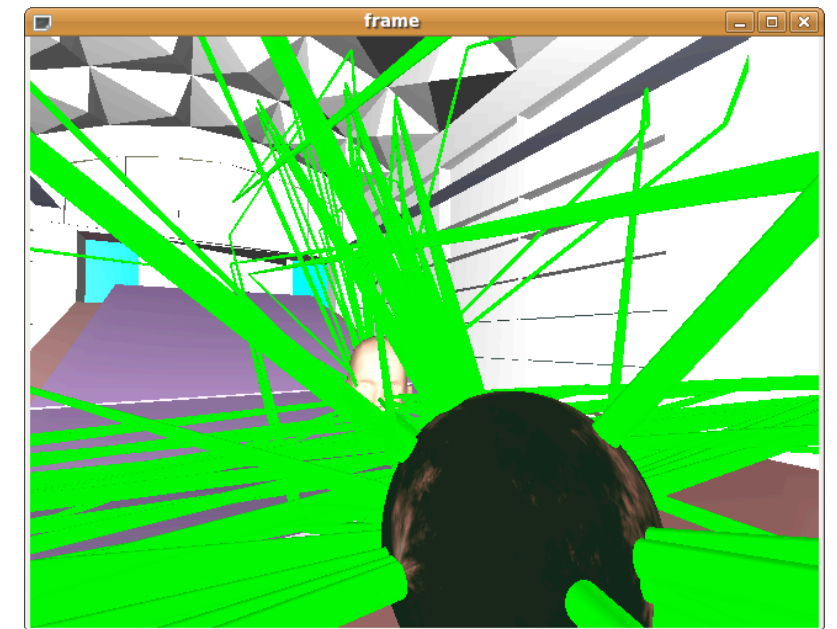
※ 緑の光線 : 反射音伝搬経路



反射なし



1次反射



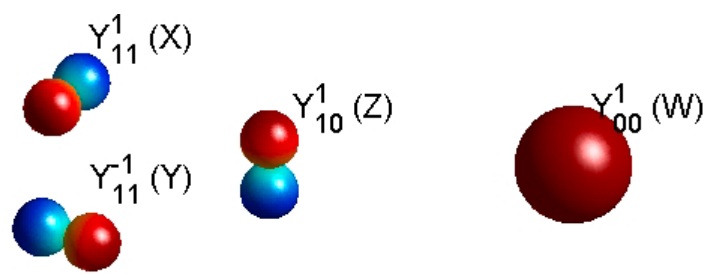
3次反射

HOAによる3次元音空間レンダリング

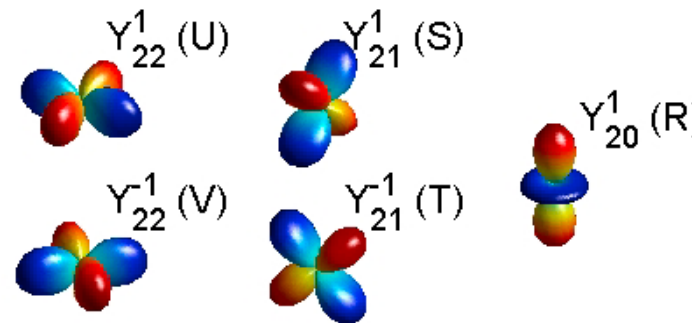
■ 高次アンビソニック (High-Order Ambisonic)

■ 球面調和解析に基づく音空間情報のエンコードおよびデコード

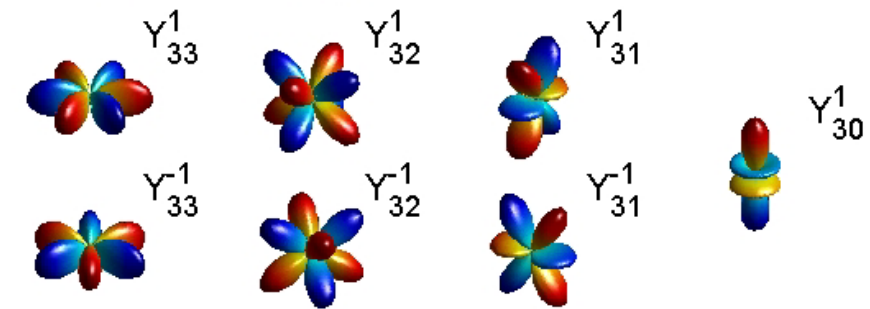
✳ 次数を上げることにより高精細な3次元音空間の記述や提示が可能



1次



2次



3次

■ Pdを用いたHOAに基づくインパルス応答の生成と再生

■ スピーカレイの中心をスポット

■ 各スピーカからスポット位置までのインパルス応答を計算 (計157 ch)

✳ 高精細な初期反射音は4次, 方向性を持たない後部残響成分は1次で記述



<http://puredata.info>

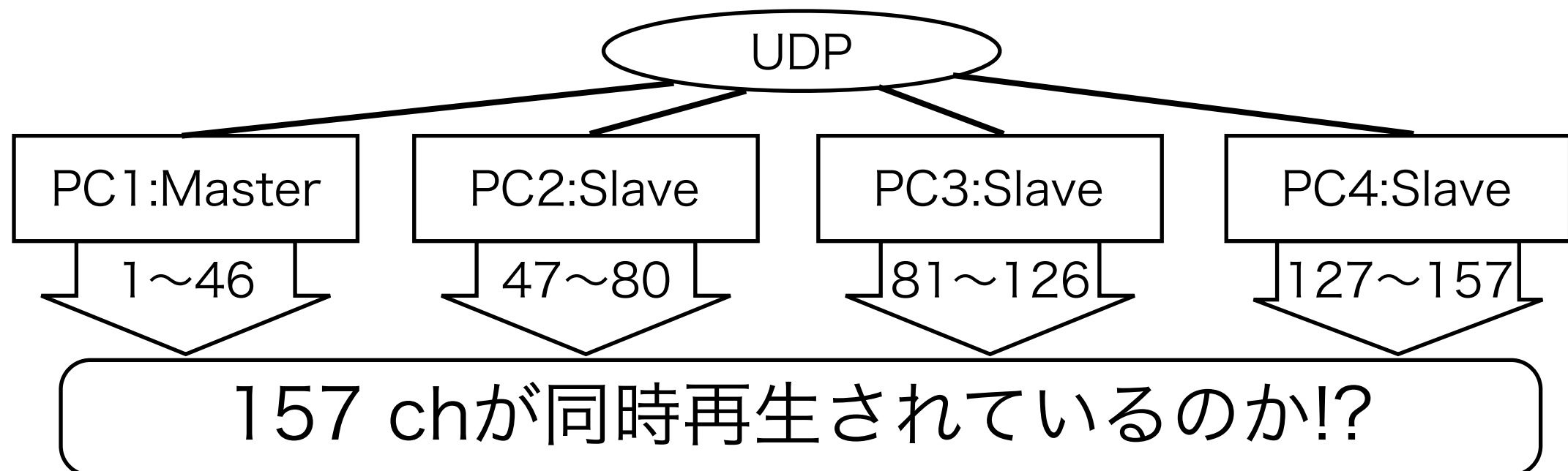
システム性能評価：同期確認

■ 実装したシステムの現状

- 反射音伝搬経路の可視化
- 157 chアンビソニック再生
- 音源や聴取位置の位置変化による応答

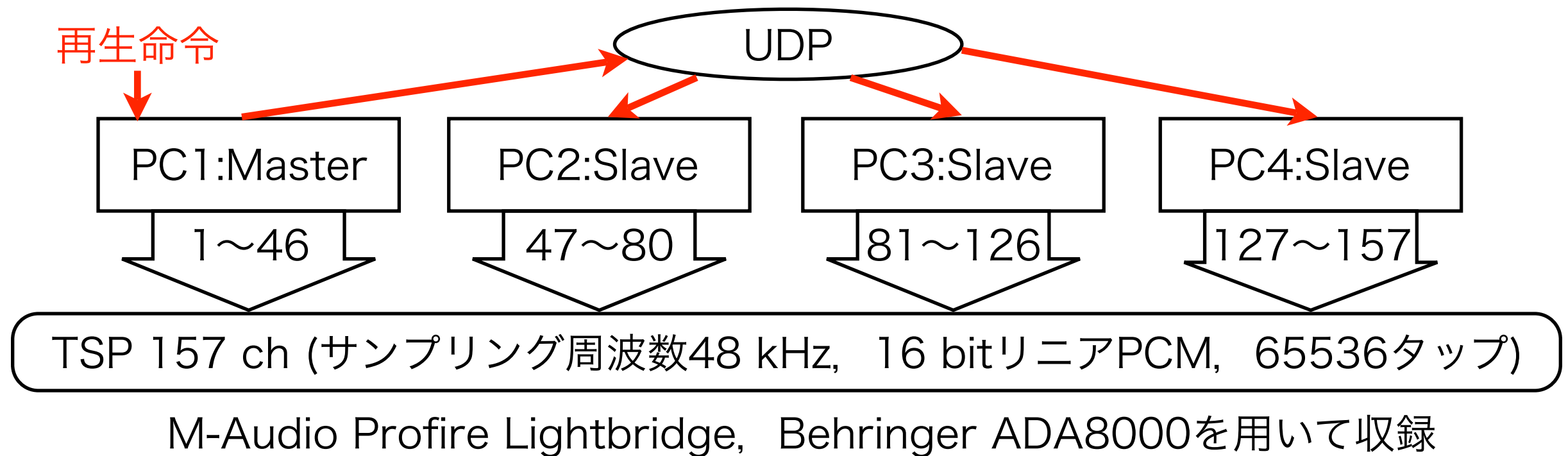
■ 157 chの同期確認

- 4台のPCとPdによる157 ch同時再生
 - ✳ 各マシン間はUDP(User Datagram Protocol)にて通信



同期確認方法と結果

■ TSP(Time Stretched Pulse)信号を用いた同期確認



■ 同期の現状

- 各マシン内のチャンネル間は完全同期
- マシン間は ± 300 タップ(=約6 ms)以内の不安定な時間ずれ
 - ✳ UDP通信速度の固定化やプロトコルの改良が必要

まとめと今後の課題

■ まとめ

- 多チャンネルスピーカを用いた可聴化システムの実装
 - ✱ 157 chスピーカアレイ, 5台のPCフリーソフトを用いたシステムの紹介
 - ✱ Pdを用いたUDP通信によるチャンネル間の同期を検証

■ 今後の課題

- 157 chの同時再生の実現
 - ✱ UDP通信速度の固定化
 - ✱ 通信プロトコルの改良
- 再生音の再現精度の検証
- リアルタイム性の検証