

高次Ambisonics型音空間再生と 立体映像提示による 高精細3次元視聴覚ディスプレイの構築

岡本 拓磨^{1,2)}, 崔 正烈¹⁾, 岩谷 幸雄^{1,3)}, 鈴木 陽一^{1,3)}

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) 東北大学 大学院情報科学研究科学

研究背景と目的

■ 3次元視聴覚ディスプレイの構築

- 高臨場感コミュニケーションの実現
- 人間の空間情報を含めた視聴覚情報処理知覚の解明

■ 本発表の概要

■ 3次元音空間提示システムの構築

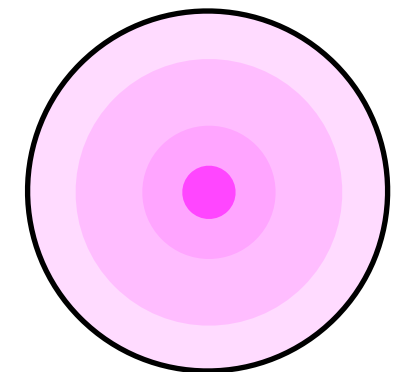
- ✳ 157 ch包囲型スピーカアレイによる音空間再生システム
- ✳ HOA (Higher-Order Ambisonics)に基づく音空間収録と再生
 - 領域制御である波面合成法(Wave Field Synthesis: WFS)や境界音場制御(Boundary Surface Control: Bosc)に比べてアレイ中心での再現精度が高い
- ✳ 157 ch音信号完全同期システムの実現

■ 3次元視聴覚提示システムの構築

- ✳ HOA音空間システムと立体視システムの融合
- ✳ 映像信号と音信号の同期検証



WFS or BoSC



Ambisonics

再現領域と周波数の関係

HOAの基本概念

■ 球面調和関数展開による音空間情報の直交展開

■ 直交展開の例(テイラー展開)

- ✳ 無限回微分可能な任意の関数 $f(x)$ は任意の定数 a に対して以下が成立

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n = f(a) + \frac{f'(a)}{1!} (x-a) + \frac{f''(a)}{2!} (x-a)^2 + \cdots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n + \cdots$$

- ✳ それぞれの成分は互いに直交(orthogonal)
- ✳ n を増やすほど実際の関数に近づく

■ 球面調和関数展開による音空間情報の直交展開

$$p(kr, \theta, \phi) = \sum_{m=0}^{+\infty} i^m j_m(kr) \sum_{n=-m}^m B_m^n Y_m^n(\theta, \phi)$$

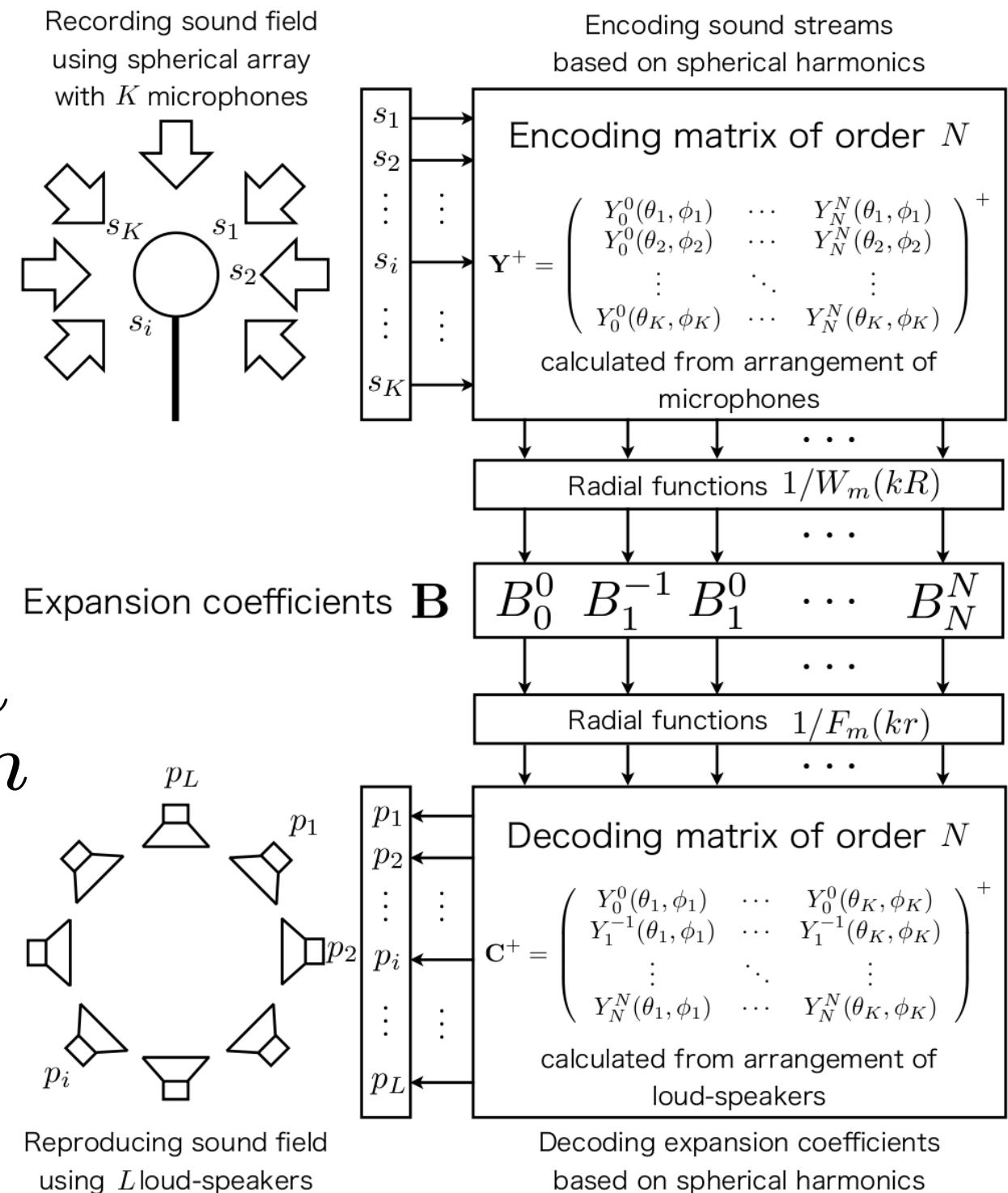
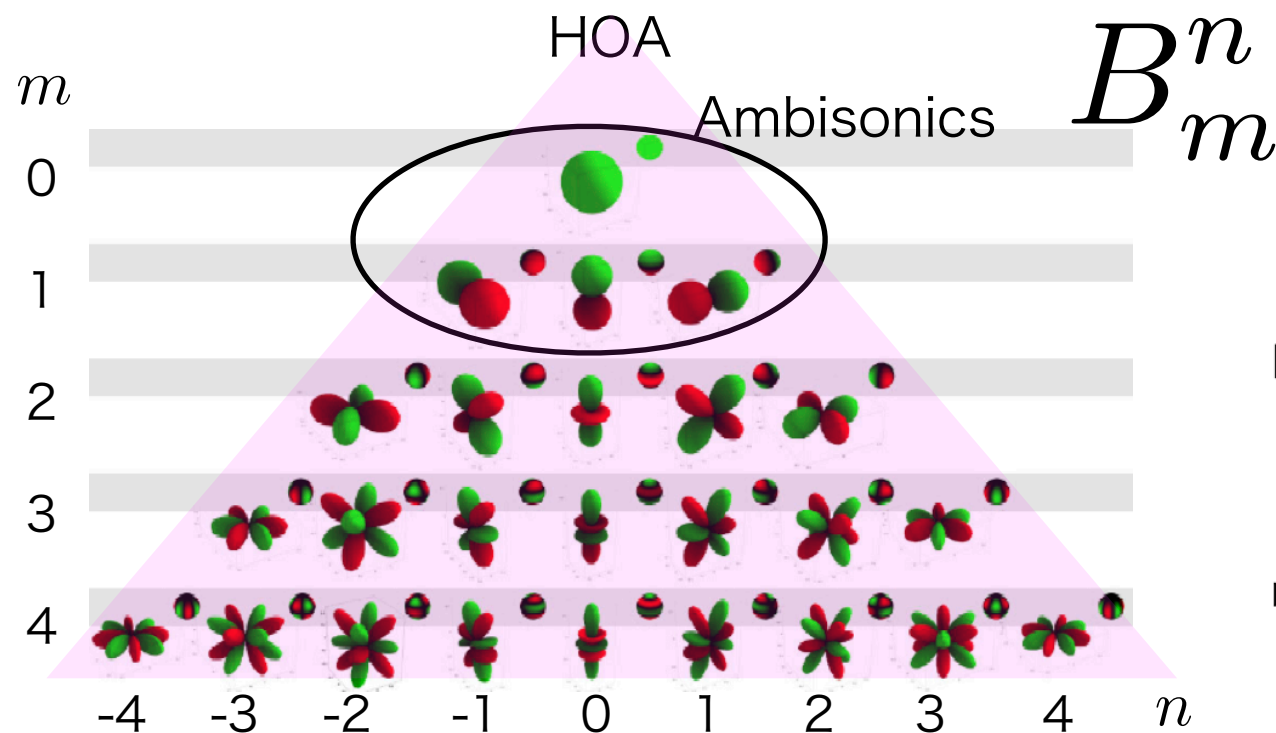
- ✳ 音情報を記録を方向 (θ, ϕ) ごとの球面調和関数 $Y_m^n(\theta, \phi)$ と展開係数 B_m^n により直交展開
- ✳ 展開次数 m を増やすほど実際の音場に近づく

$$Y_{mn}(\theta, \varphi) = \begin{cases} N_m^0 P_m^0(\cos \varphi) & \text{if } n = 0, \\ \sqrt{2} N_m^n P_m^n(\cos \varphi) \cos n\theta & \text{if } n > 0, \\ \sqrt{2} N_m^n P_m^{-n}(\cos \varphi) \sin n\theta & \text{if } n < 0, \end{cases} \quad N_m^n = \sqrt{\frac{(2m+1)}{4\pi} \frac{(m-|n|)!}{(m+|n|)!}}$$

HOAシステム

HOAシステムの特徴

- 展開係数の次数を上げるほど実際の音空間に近づく
- 次数 m の展開係数をエンコード、デコードする場合、少なくとも $(m+1)^2$ 以上のチャンネル数が必要
- 展開係数により空間情報が記述されるため、収録と再生の系が独立



従来のHOA型3次元音空間提示システム

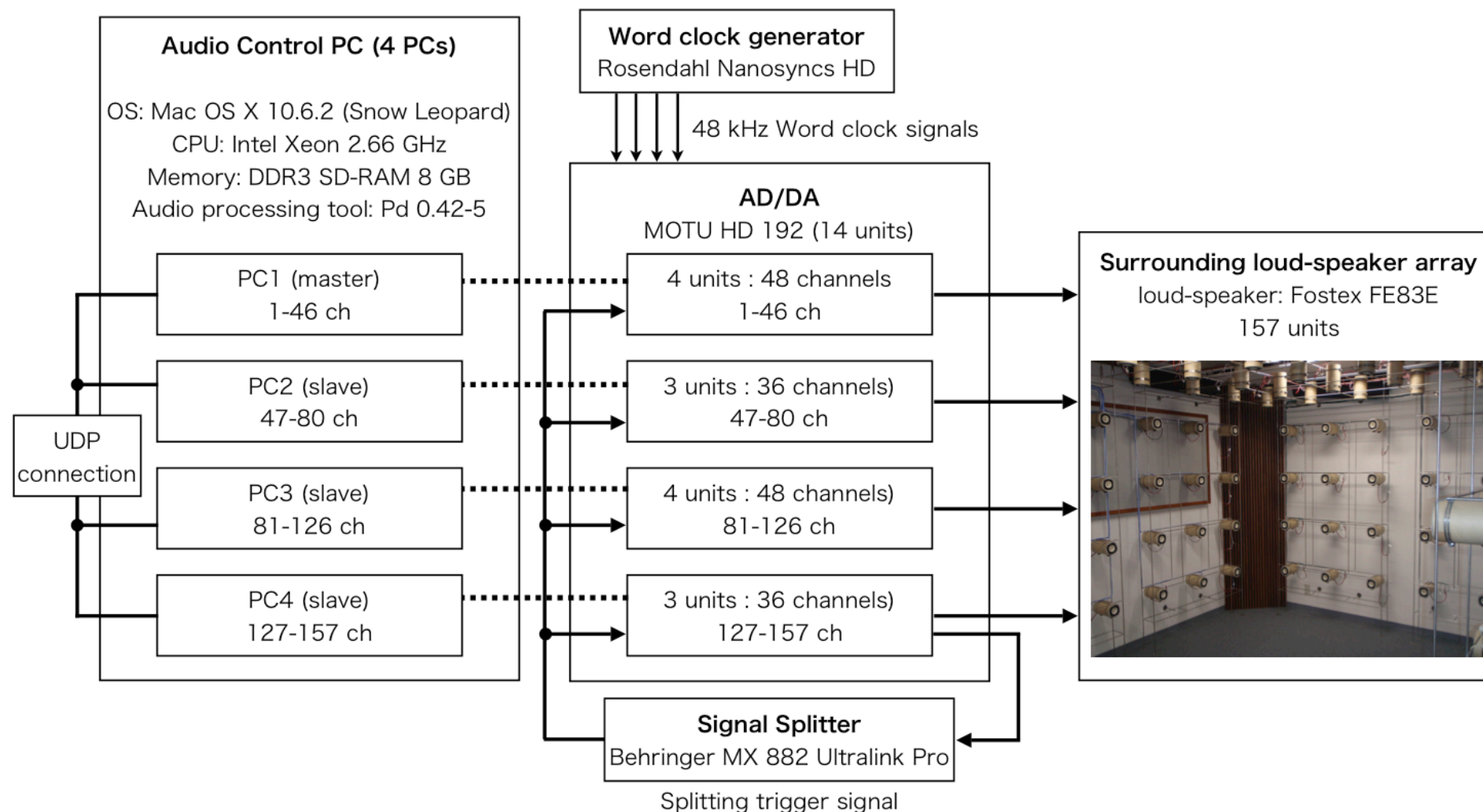
■ 157 ch包囲型スピーカアレイを用いたHOA型音空間提示システム

■ 世界最高の5次デコードシステムを実装

- ✳ 各マシン内の音信号は完全同期 (48 kHzサンプリング)

■ 問題点

- ✳ 4台のマシン間は最大51サンプル(=1.1 ms)の非同期

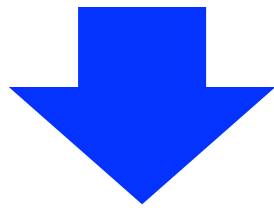


157 ch完全同期オーディオシステムの構築

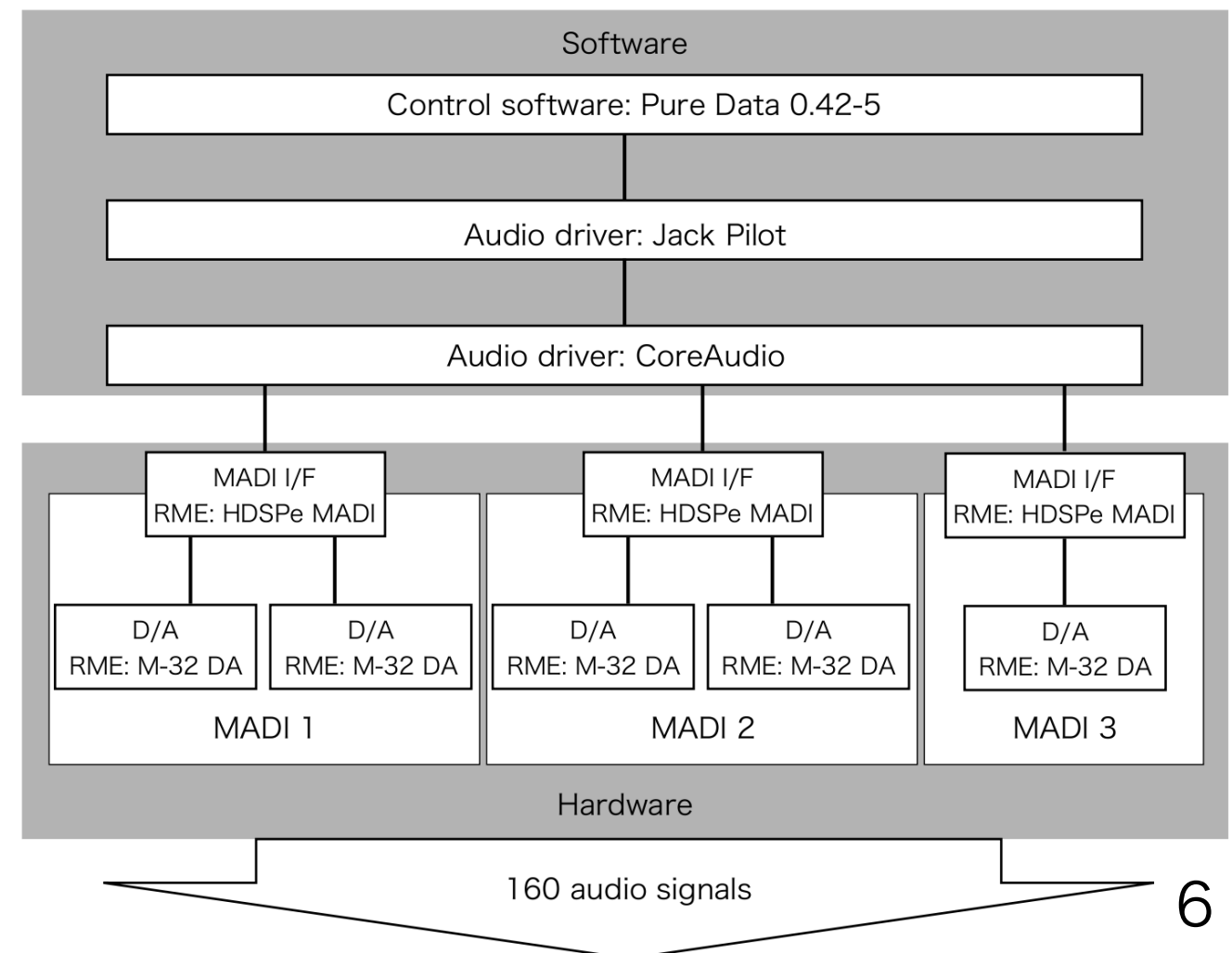
■ 3つのMADIシステムを用いた157 ch完全同期再生システム

■ 1台のマシンで全157 chを制御

- ✳ MADI (Multichannel Audio Digital Interface)の導入
 - 1システムで64 chの完全同期I/Oを実現
- ✳ オーディオドライバ：Jack Pilotの導入
 - オーディオのI/Oと信号処理を別プロセスで処理可能
- ✳ TSP (Time Stretched Pulse)を用いた同期検証



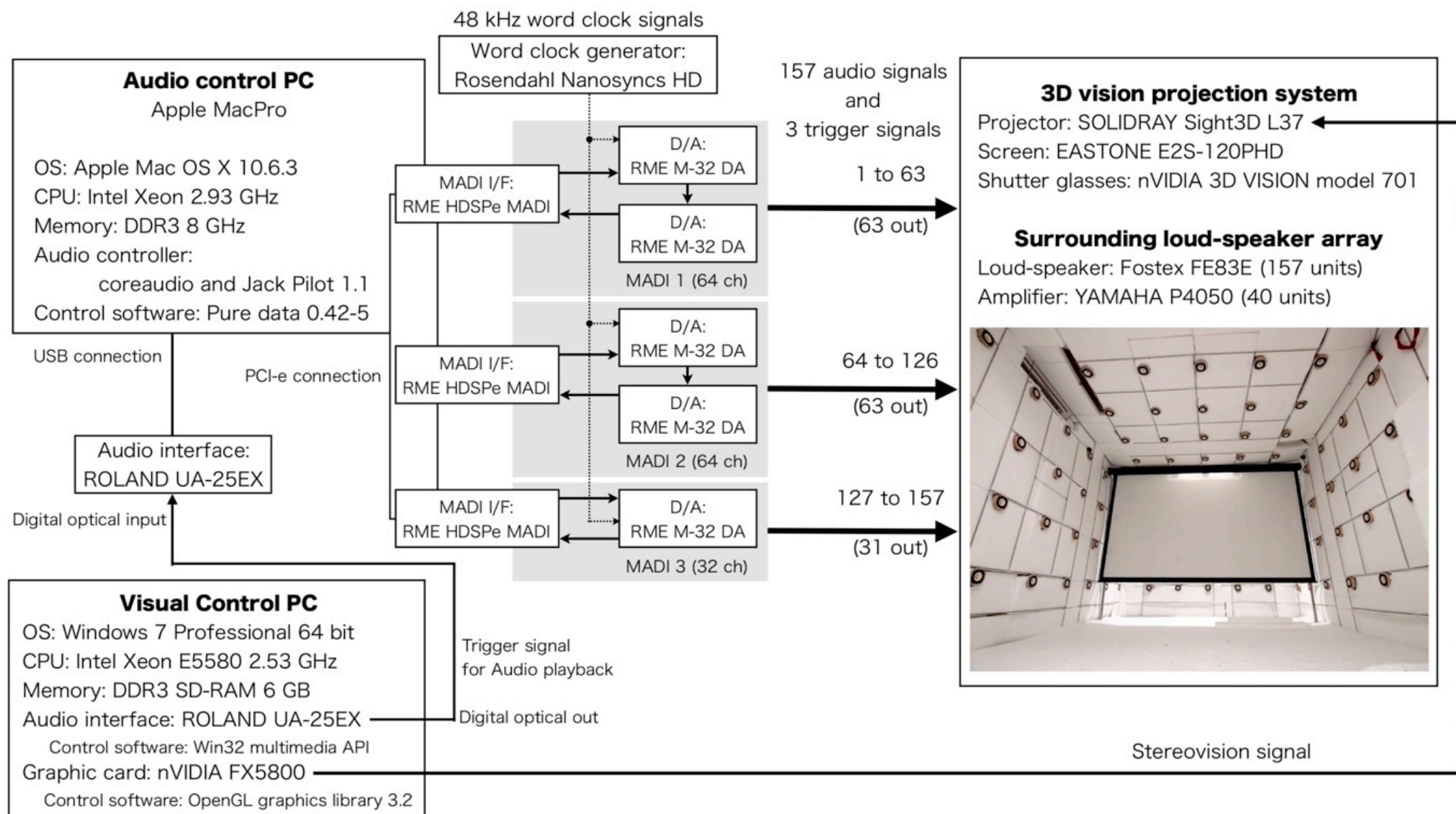
- ✳ Jack Pilotなし
 - 各MADI内の信号64 chは完全同期
 - MADI間は数サンプルの非同期
- ✳ Jack Pilotあり
 - ✳ MADI間の時間ずれ量が固定
 - ✳ 157 ch完全同期再生の実現



3次元視聴覚ディスプレイ

■ 157 ch HOAと立体視システムの融合によるシステムの実現

- 音響システム：157 ch完全同期HOA型音空間再生
- 映像システム：120 Hzステレオシャッター方式
- 映像システムのトリガー信号(デジタル音信号)により音響システム再生を制御



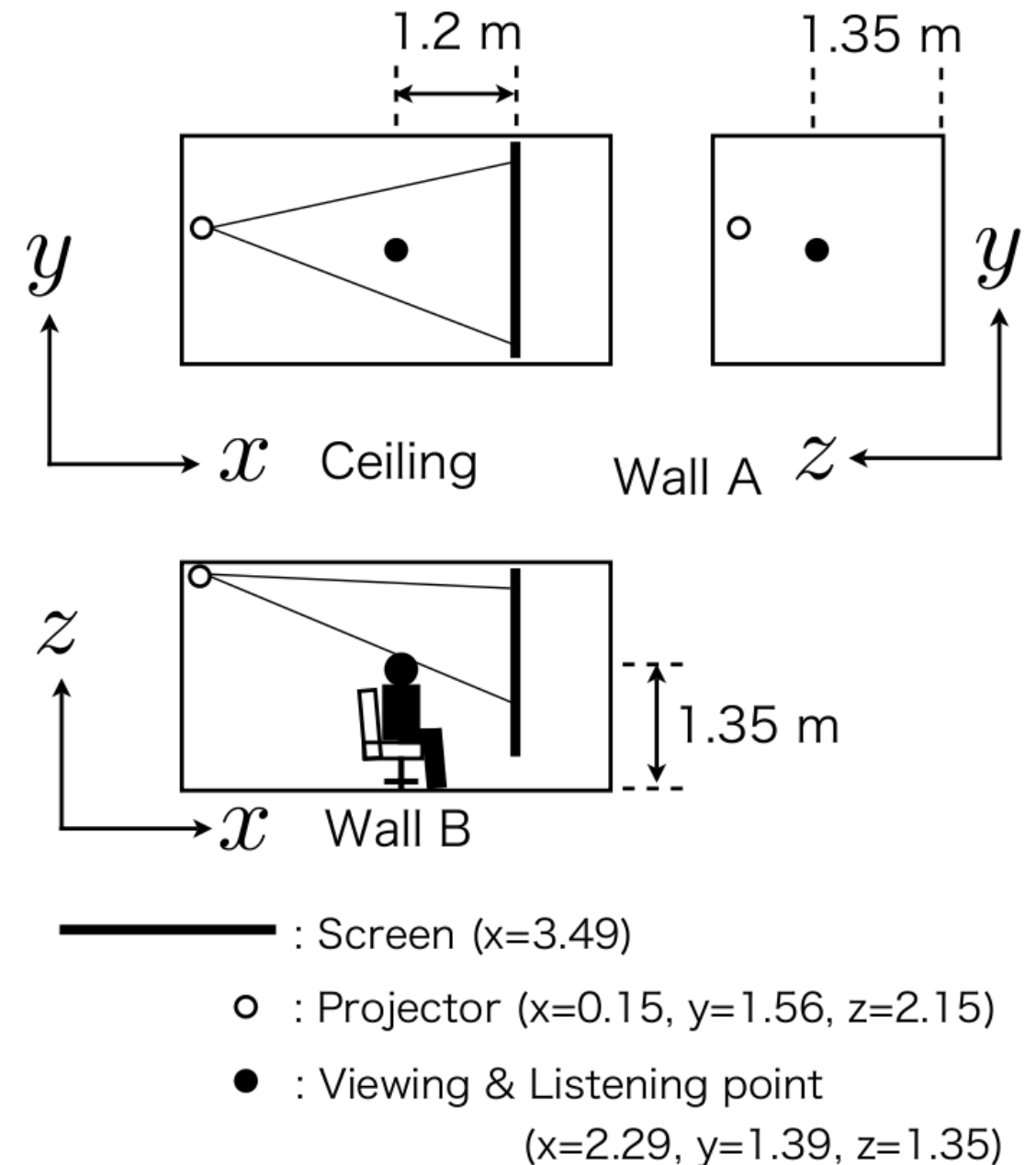
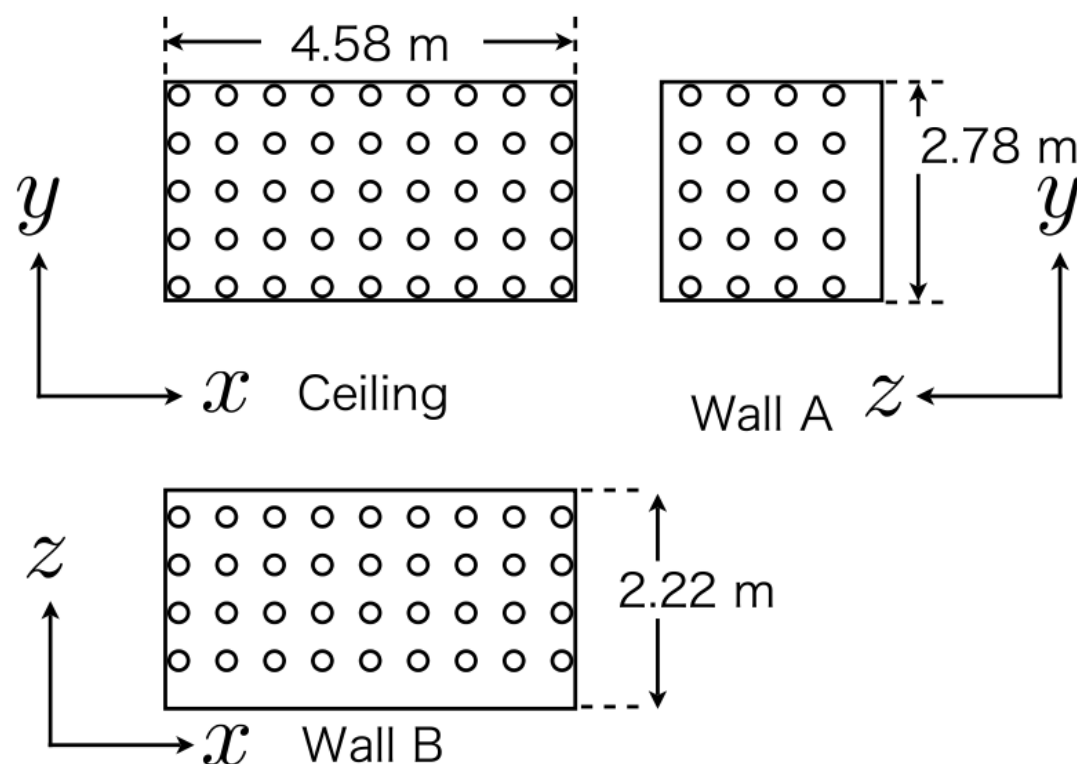
システム配置図

■ スピーカ配置と視聴者位置

- HOAのスイートスポットはアレイ中心
- 音響のスイートスポットに視聴者の頭がくるようにシステムを構築



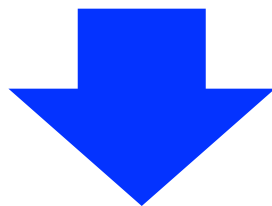
視聴位置で高精細な
3次元視聴覚情報の取得を実現



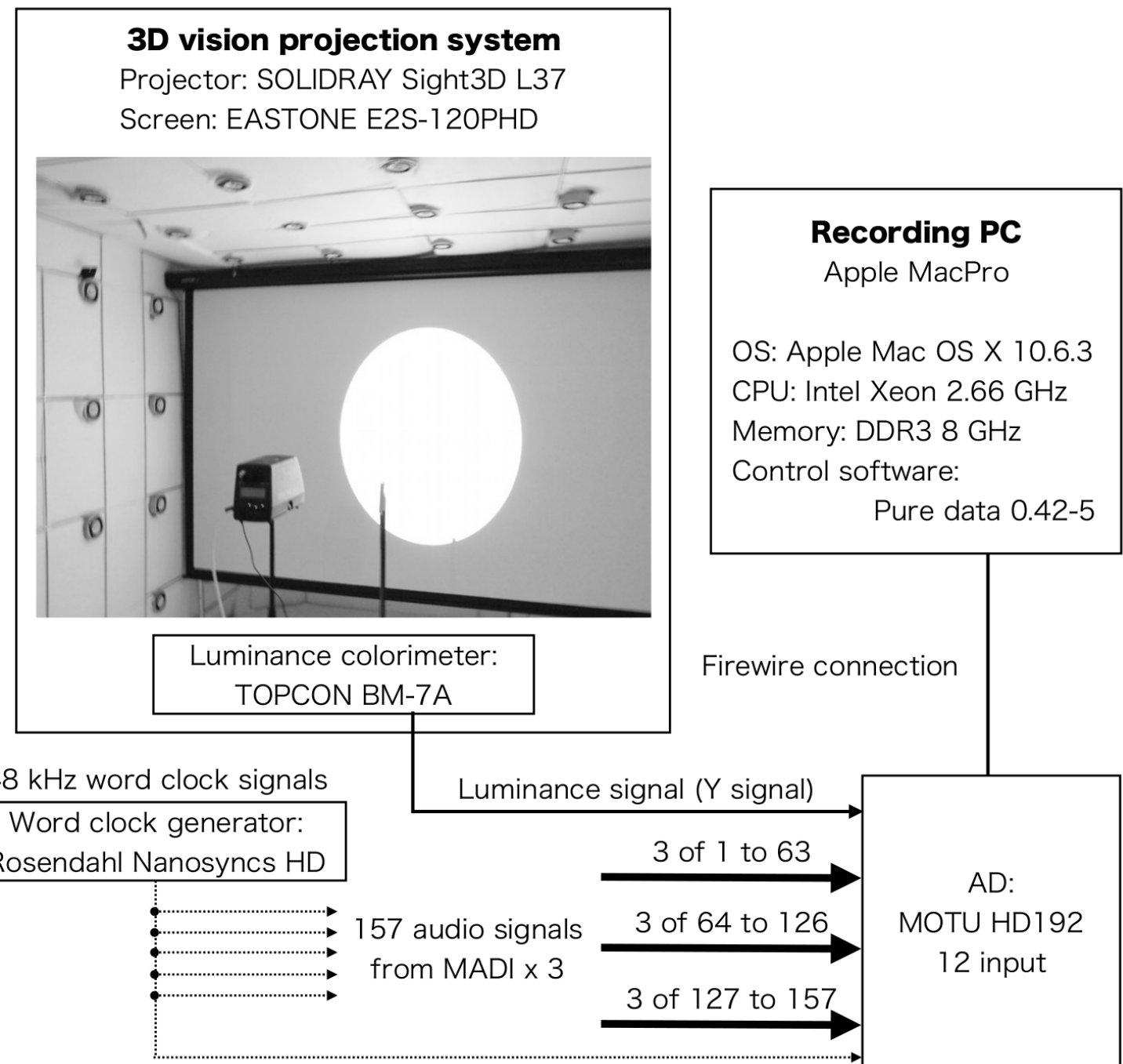
視聴覚情報の時間同期検証

■ 輝度信号とTSPを用いた視聴覚情報の同期検証

- 映像情報と音情報の再生時間に固定でないずれがあるかを検証
 - ✳ ずれが固定の場合=完全同期
 - ✳ ずれが固定でない場合=映像情報と音情報に時間的非同期



- 映像情報と音情報の間に最大 1.1 msの固定でない時間ずれを確認
- 人間の視聴覚情報のずれの検知限(=50 ms)以下のシステムの構築に成功

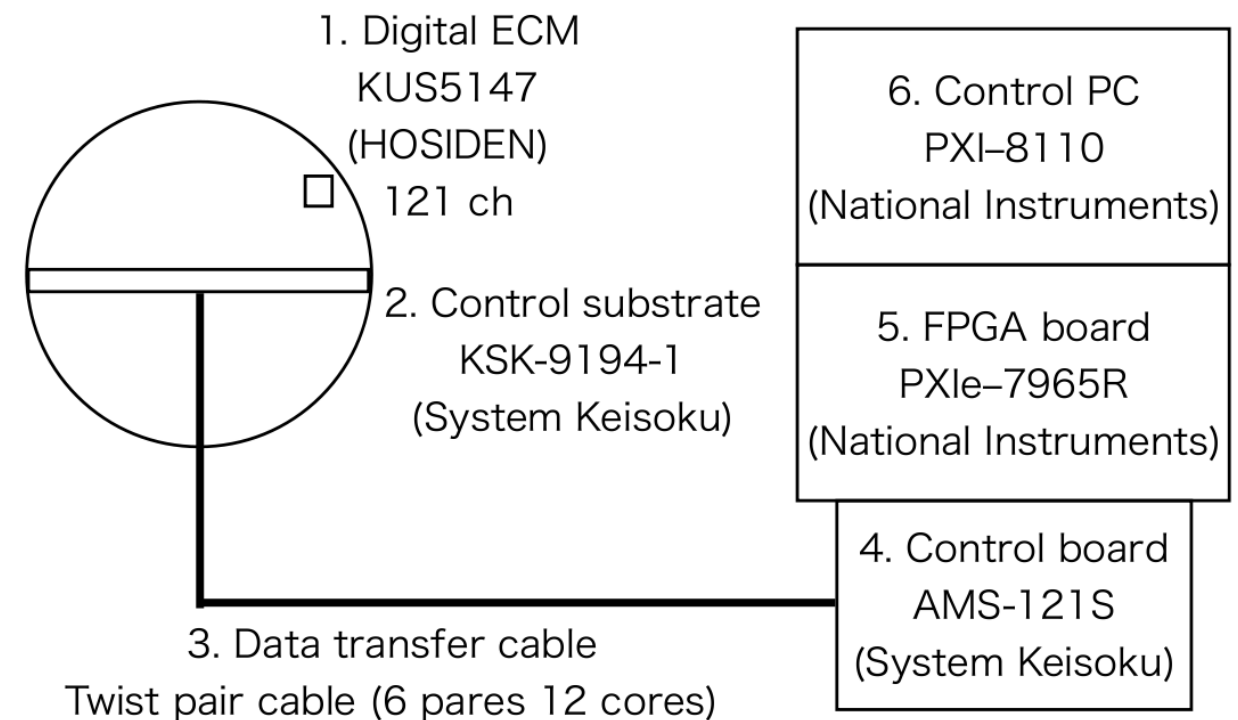


HOA型音空間収録システムの構築

岡本 他 信学技法 2010

■ HOA型音空間収録システムの構築

- 世界最大次数9次を実現する121 ch球状マイクロホンアレイの設計
- デジタルECMとFPGAシステムによるリアルタイム収録の実装

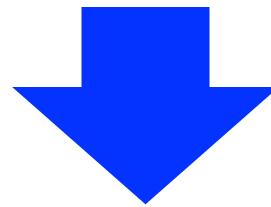


実環境の3次元音空間の収録→提示システムの実現

まとめと今後の予定

■ 3次元視聴覚ディスプレイの構築

- 包囲型157 chスピーカアレイを用いた5次Ambisonics3次元音空間提示システム
- 3つのMADIシステムを用いた157 ch完全同期再生を実現
- 立体視システムと融合し、視聴覚情報の時間ずれ1.1 msを実現



実環境および仮想空間の3次元視聴覚情報の提示システムを実現

■ 今後の予定

- 視聴覚情報の完全同期
- 音空間提示の性能評価
- 本システムを用いた視聴覚情報の知覚実験
 - ✱ 音空間情報、映像情報を自由に制御可能

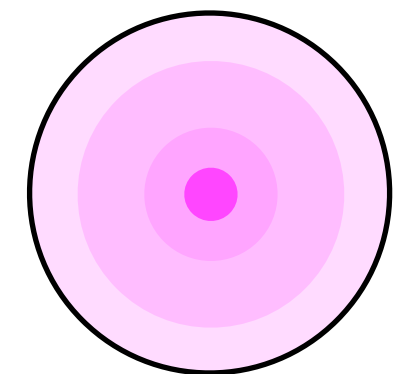
境界制御法と方向制御方法の比較(再生系)

■ 境界制御方式

- 波面合成法(Wave field Synthesis: WFS)
- 境界音場制御(Boundary Surface Control: BoSC)
 - ✳ 領域全体の制御が可能
 - ✳ 再生できる周波数は制御点間隔に依存
→制御点を増やすと上限周波数が拡大



WFS or BoSC

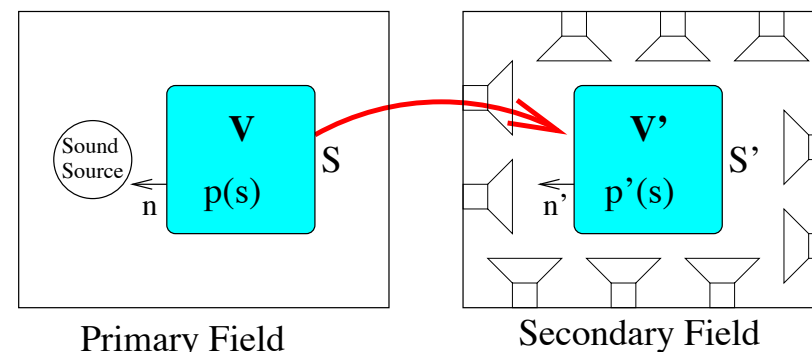
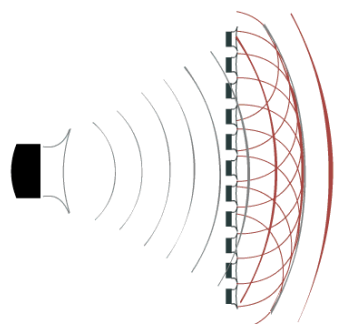


Ambisonics

再現領域と周波数の関係

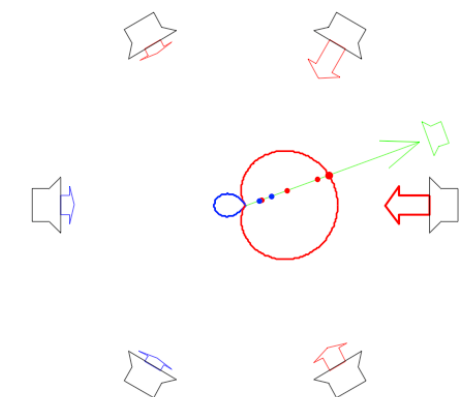
■ 方向制御方式

- Ambisonics, High-order Ambisonics (HOA)
 - D. H. Cooper *et al.* 1972
 - M. A. Poletti 2005
 - ✳ スピーカレイの中心とその近傍(=スイートスポット:SS)での高精細な音場制御が可能 → 制御点を増やすとSSが拡大



Primary Field

Secondary Field



Ambisonics

境界制御法と方向制御方法の比較(収録系)

■ 収録系での比較

■ 領域制御方式

- ✳ 領域境界の音情報を記録
- ✳ 領域境界を巨大なマイクロホンアレイによる収録
→大規模な収録システム

■ 方向制御方式

- ✳ 再現したいポイントでの音情報を記録
- ✳ 球状マイクロホンアレイによる収録
→コンパクト

■ HOAに基づく音空間の収録と再現に注目

■ 再生メリット

- ✳ スピーカ数が同じ場合、聴取者近傍では領域制御方式よりも高精細な音空間提示

■ 収録メリット

- ✳ 収録システムがコンパクト



157 ch包囲型マイクロホンアレイ
(大規模なシステムの例)



球状マイクロホンアレイ
(コンパクト)