

包囲型マイクロホンアレイを用いた 室内音源特性の高精度推定法

東北大学 大学院情報科学研究科

システム情報科学専攻

A6ID2004

岡本 拓磨

研究背景：次世代音空間提示システムの実現

■ レンダリング型音空間提示システム

- (5.1 ch)サラウンドシステム

- ヘッドホンなどを用いた聴覚ディスプレイ技術

➡ 原音を加工し，様々な空間属性を付加して臨場感の高い音を耳元で合成するシステム

■ 収音再生型音空間提示システム (音場再現)

- 波面合成法 Fletcher *et al.* 1934

- 境界音場制御 S. Ise 1997

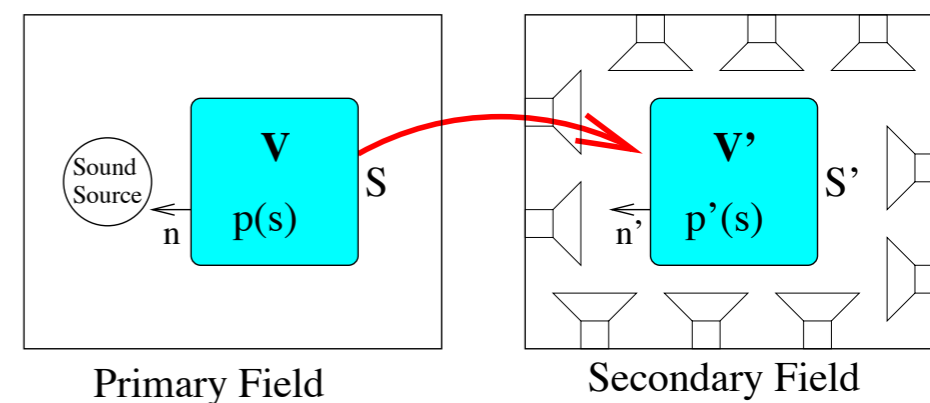
- ✳ 閉領域内の境界の音情報を制御

- ➡ 領域内の音場を再現可能

➡ 音場を空間ごとと忠実に再現 → 臨場感を創出

閉領域の音場再現

➡ 多様性に富んだ臨場感創出音空間提示システムの構築



音空間を構成する5つの属性

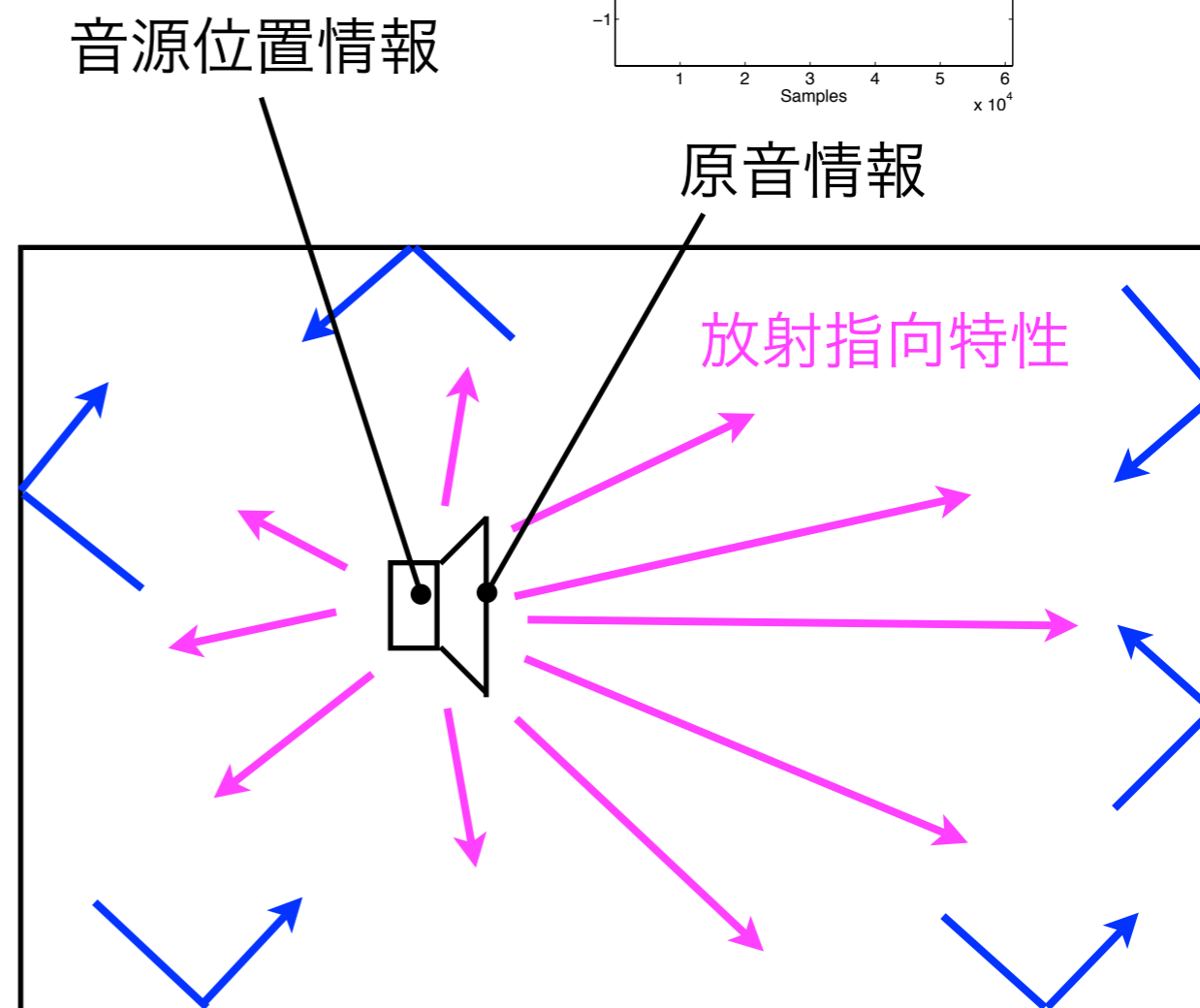
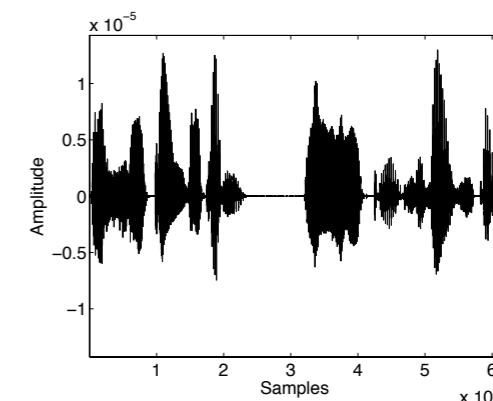
■ 室内音空間を構成する5つの属性

■ 音源の属性

1. 音源位置情報
2. 原音情報
3. 放射指向特性
…包囲による伝達特性の違い
(例：話者やスピーカの向き)

■ 空間 (=室内)の属性

4. 反射音情報
5. 後部残響特性
…反射や散乱等を繰り返して
方向性を失った波面の特性



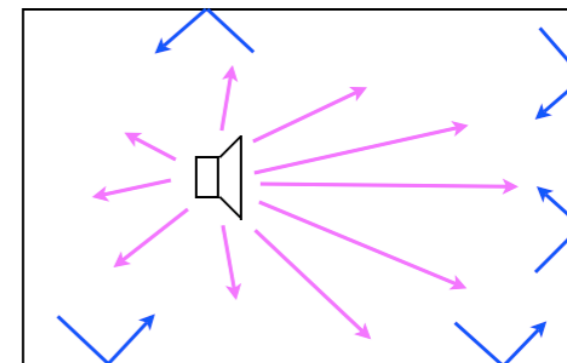
➡ 各音源ずつ存在, 極めて複雑な室内音場

次世代音空間提示システムの構築

■ 従来の音空間提示システム

- 実空間全体の音空間の提示 (音場再現)

➡ 属性ごとへの分解や提示は不可能



音空間全体

■ 次世代音空間提示システム

- 音空間から各属性ごとの完全な抽出

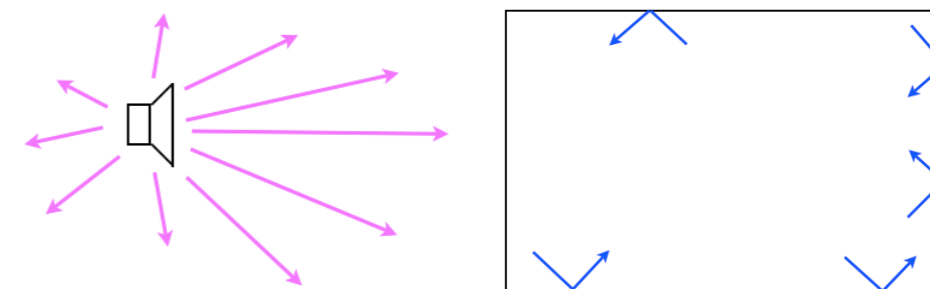
+

- 各属性ごとのレンダリング技術の確立

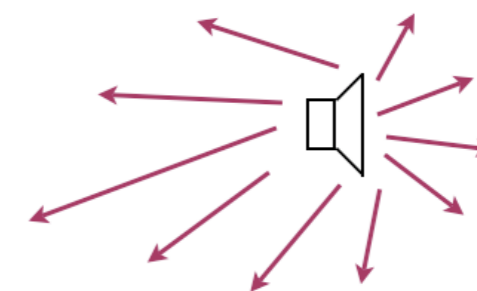
- ✳ 音場全体の提示
- ✳ 特定の属性ごとの選択的な提示
- ✳ 他イベントの属性の入れ替えや編集も可能

➡ これまでにはない新たな提示方法

➡ 多様性に富んだ臨場感通信技術へ



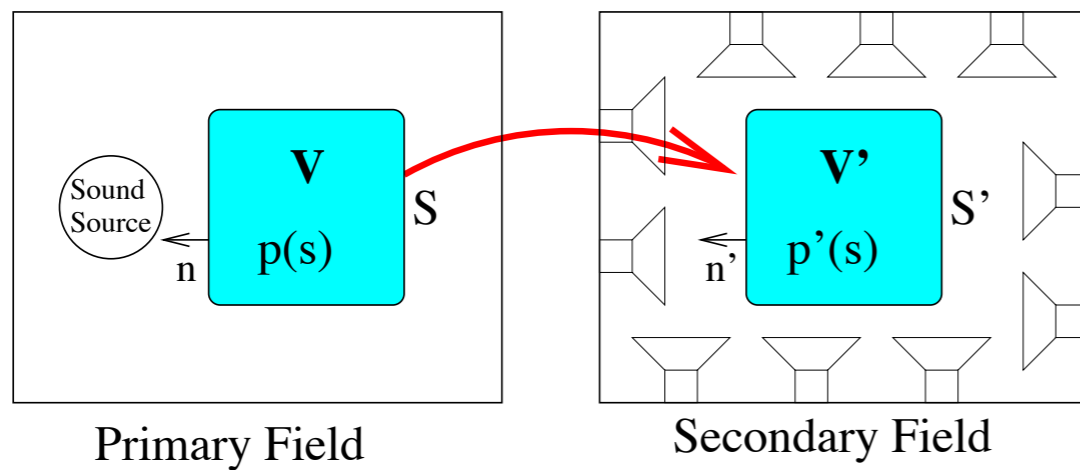
属性ごとの抽出と提示



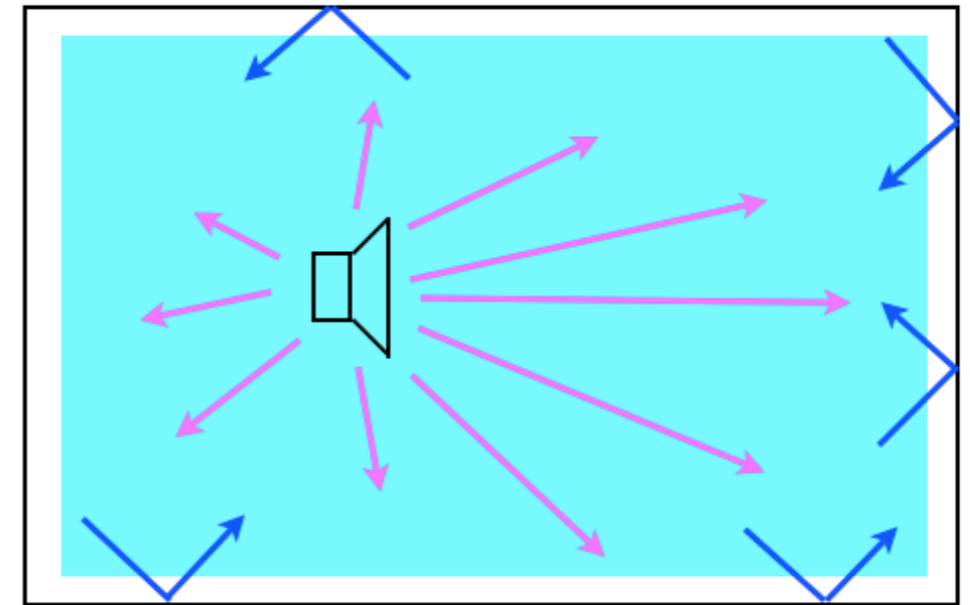
属性の入れ替え・編集

音空間全体の記録と音源特性の高精度抽出

■ 音空間全体の記録



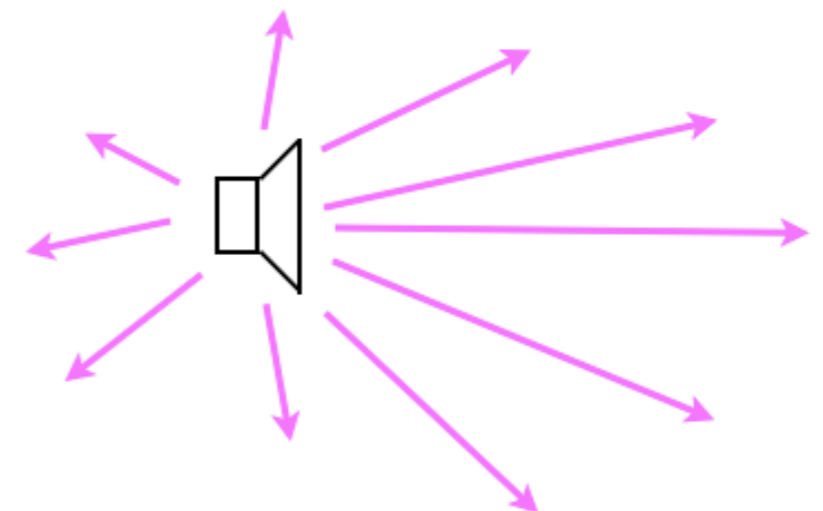
従来法：音場内の数点における收音



音空間全体の記録：音源を囲む

■ 放射指向特性を含む音源特性の抽出

1. 音源位置情報
2. 原音情報
3. 放射指向特性
 - ✳ 実環境の音源は点音源ではない
 - ✳ 従来法では抽出不可能



室内における音源特性のモデル化

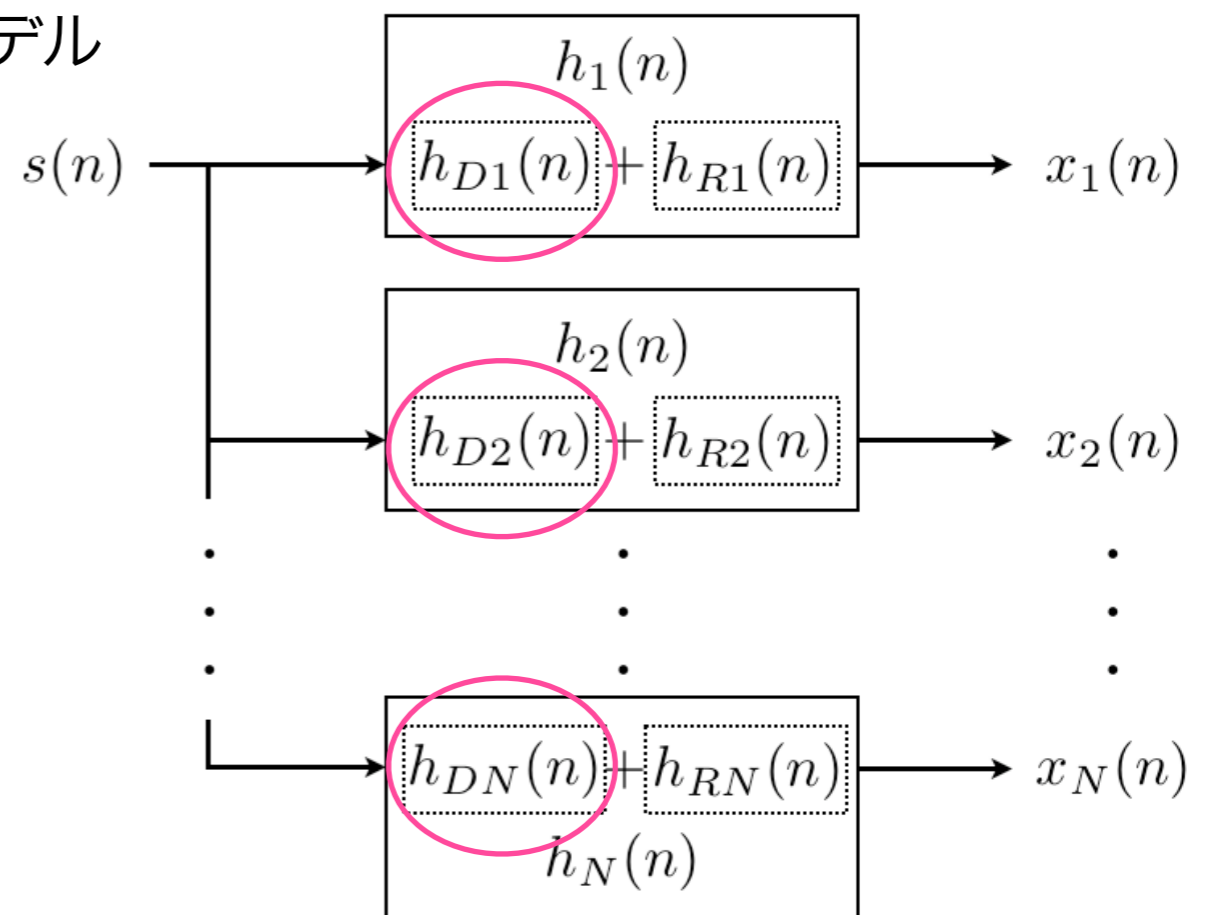
■ 室内音源特性情報のモデル化

- 室内に音源が1つであると仮定
- Single-Input Multiple-Output(SIMO)モデル

- ✳ 音源波形信号： $s(n)$
- ✳ 各観測点での観測信号： $x_i(n)$

- 音源の方向による放射指向特性を伝達関数として定義 (オリジナル)

- ✳ 放射指向特性： $H_{Di}(z)$
 - ✳ 室内伝達特性： $H_{Ri}(z)$
- } $H_i(z)$



SIMOモデル(放射指向特性あり)

- 本研究では、観測信号 $x_i(n)$ のみから位置情報 (x, y, z) 、原音 $s(n)$ 、放射指向特性 $H_{Di}(z)$ を抽出

音源特性の属性値の抽出と課題

■ 放射指向特性抽出と課題

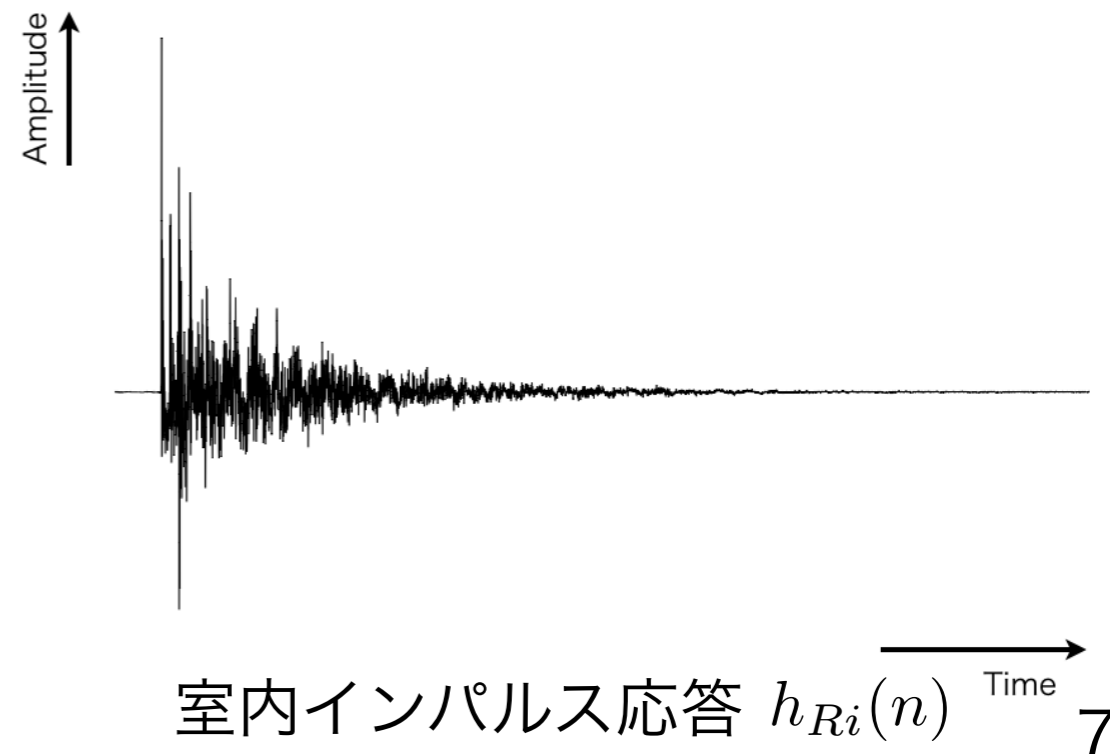
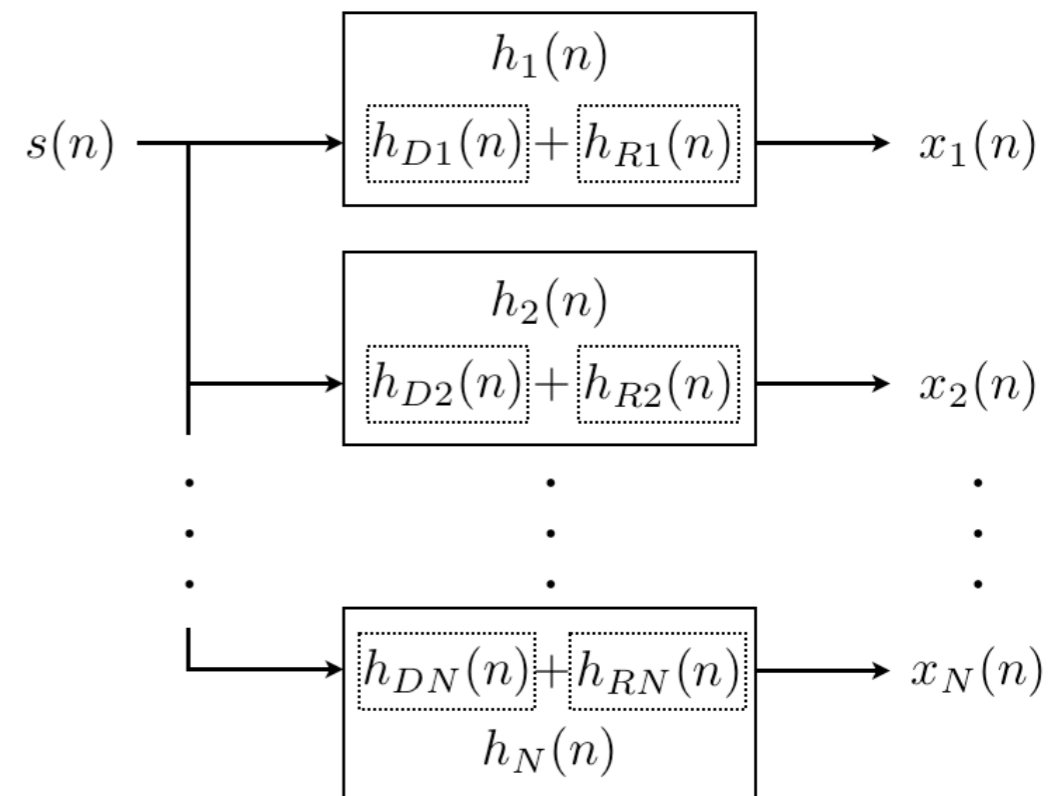
- 放射指向特性と室内伝達特性の分離
- 室内インパルス応答は非常に長い
 - ✳ 観測信号から直接 $h_i(n)$ 抽出は困難
 - ➡ 最初に位置情報と原音を抽出
 - ➡ 放射指向特性の分離と抽出

■ 原音抽出(=残響除去)と課題

- 直接逆特性を求めるブラインド残響除去
 - ✳ 広帯域では残響除去精度の劣化
 - ➡ 広帯域での残響除去が課題

■ 音源位置情報の抽出と課題

- 室内での音源位置推定
 - ✳ 反射音により精度が劣化
 - ➡ 音源位置推定では未検討課題

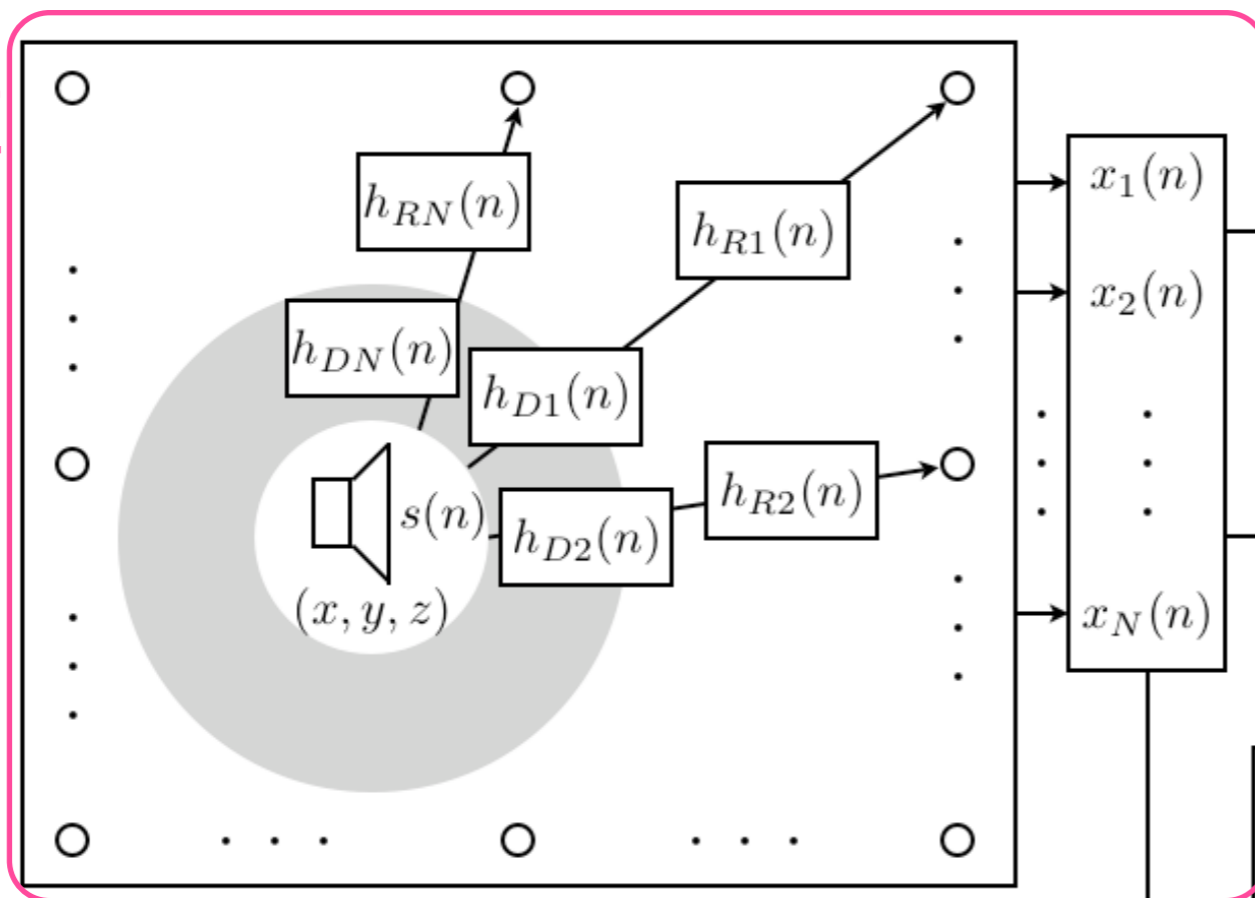


本研究の目的と章構成

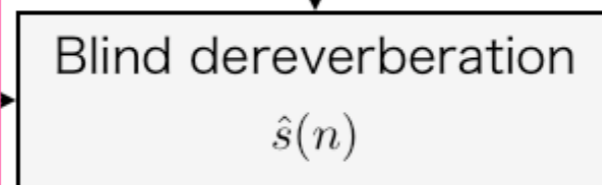
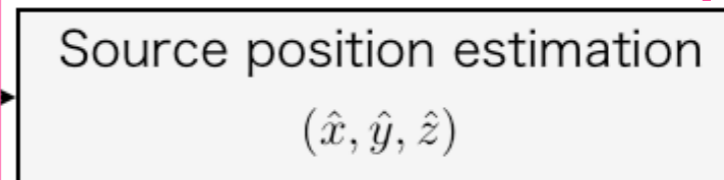
- 音空間の記録と音源特性の属性値としての高精度抽出
 - 音空間全体を記録する收音システムの構築 (第2章)
 - ✱ 課題：音空間全体を記録する包囲型マイクロホンアレイの構築
 - 高精度な音源位置情報の抽出 (第3章)
 - ✱ 課題：室内反射音に頑健な高精度位置推定法の開発
 - 原音の高精度抽出 (第4章)
 - ✱ 課題：残響除去アルゴリズムの広帯域化
 - 音源の放射指向特性抽出 (第5章)
 - ✱ 課題：室内音響特性と放射指向特性の混合された伝達関数からの放射指向特性成分の分離

音源特性の属性値抽出と章構成

第2章



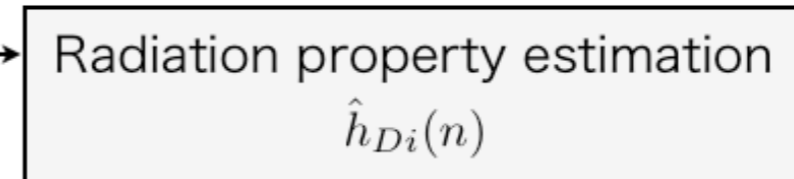
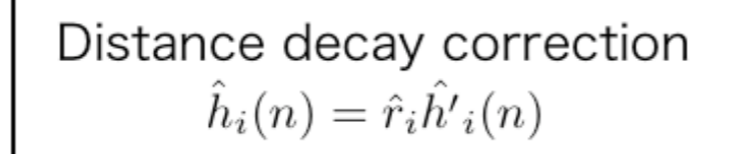
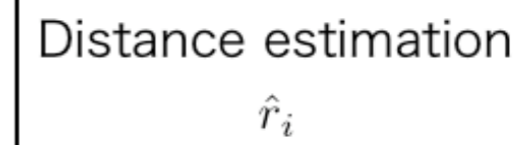
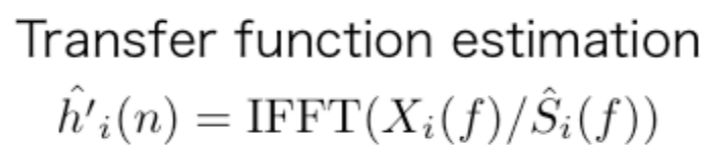
第3章



第4章

Radiation property estimation

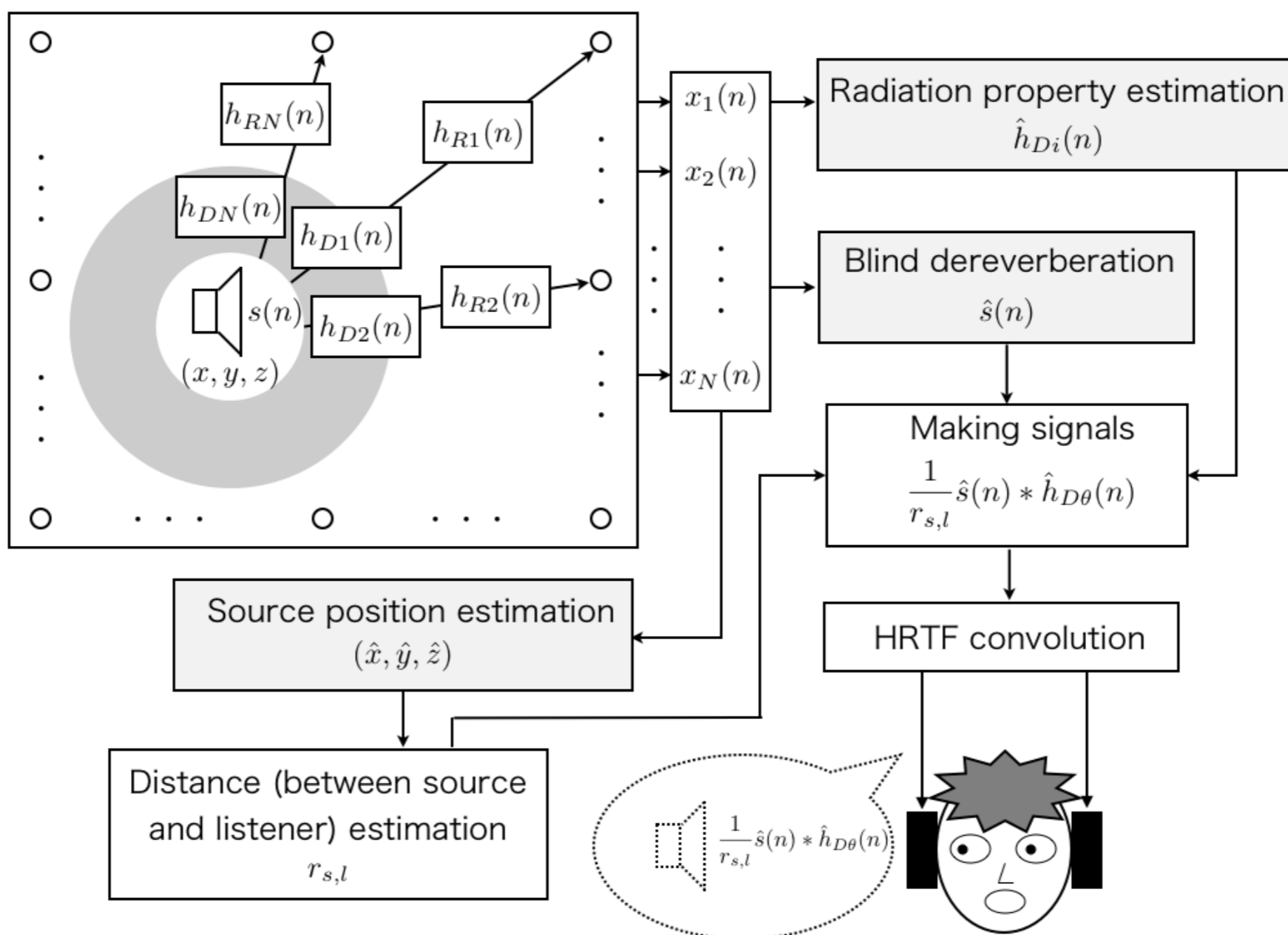
第5章



抽出した属性値を用いた具体的な提示方法

予備審査でのご指摘事項

■ 放射指向特性を含んだ実音源レンダリング



第2章

音空間全体を記録する収音システムの構築

■ 目的

- 室内の音源特性や室内特性を余すところなく収音可能である収音システムの構築

空間全体を保存するために構築したシステム

■ 包囲型マイクロホンアレイ

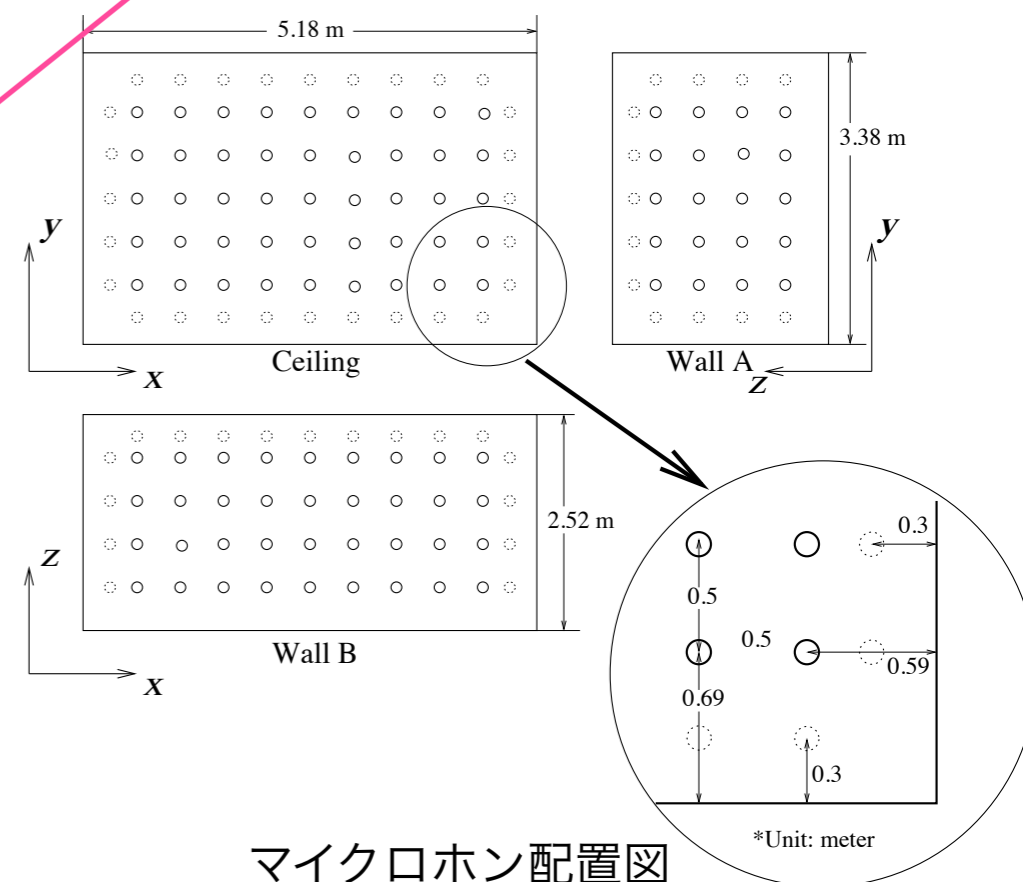
- 天井と壁4面にマイクロホンを格子状に配置
- 壁面から30 cm, 50 cm間隔にて格子状に配置
 - ✳️ マイクロホン： B & K Type 4951 × 157 ch
 - ✳️ マイクロホンアンプ： B & K Type 2694 × 10



B & K Type 4951



包囲型マイクロホンアレイ



マイクロホン配置図

- 48 kHzサンプリング157 chの同時収録 (世界トップレベルクラス)
- 音源特性を余すところなく収録可能

第3章

反射音に頑健な 音源位置情報抽出に関する検討

■ 目的

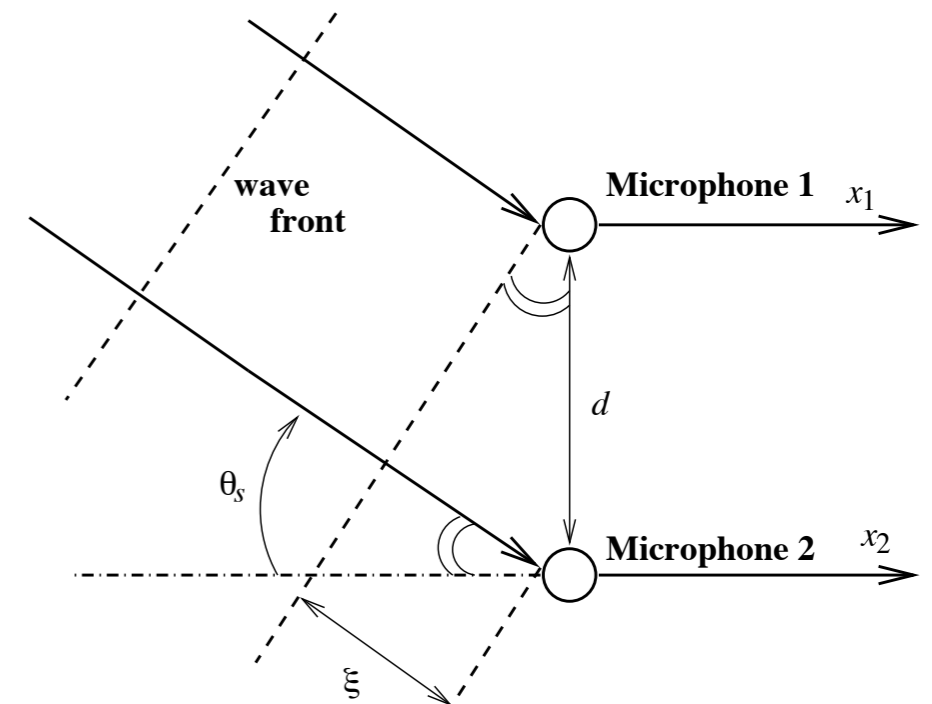
- 反射音が存在する環境においても高精度な音源位置情報抽出法の開発

マイクロホンアレイによる音源位置推定

■ 音源位置推定の基本原理

■ 例) Delay-and-Sum

- ✳ 各観測点間で時間差をつけて各観測信号を加算
- ✳ 最も大きな値を取る時間差に対応する位置を推定値



マイクロホン間の到来時間差

■ マイクロホン間隔と音源位置推定精度

■ 空間的なフーリエ変換に基づく方法 (Delay-and-Sum *etc.*)

- ✳ 観測点の間隔に依存して空間的折り返し歪み (サイドローブ) を発生
- ➔ 高周波数では推定精度の劣化

■ 空間相関行列の固有空間構造に基づく Multiple Signal Classification (MUSIC)

- ✳ 空間的折り返し歪みがなく高精度な位置推定が可能

R. O. Schmit 1986

MUSICの特徴と問題点

MUSICの特徴

- 観測信号から計算する空間相関行列を特異値分解
→ 音源信号と直交する固有ベクトルを算出
- 音源位置を探索した時のみ, 固有ベクトルの直交性により鋭いピークを形成

メリット

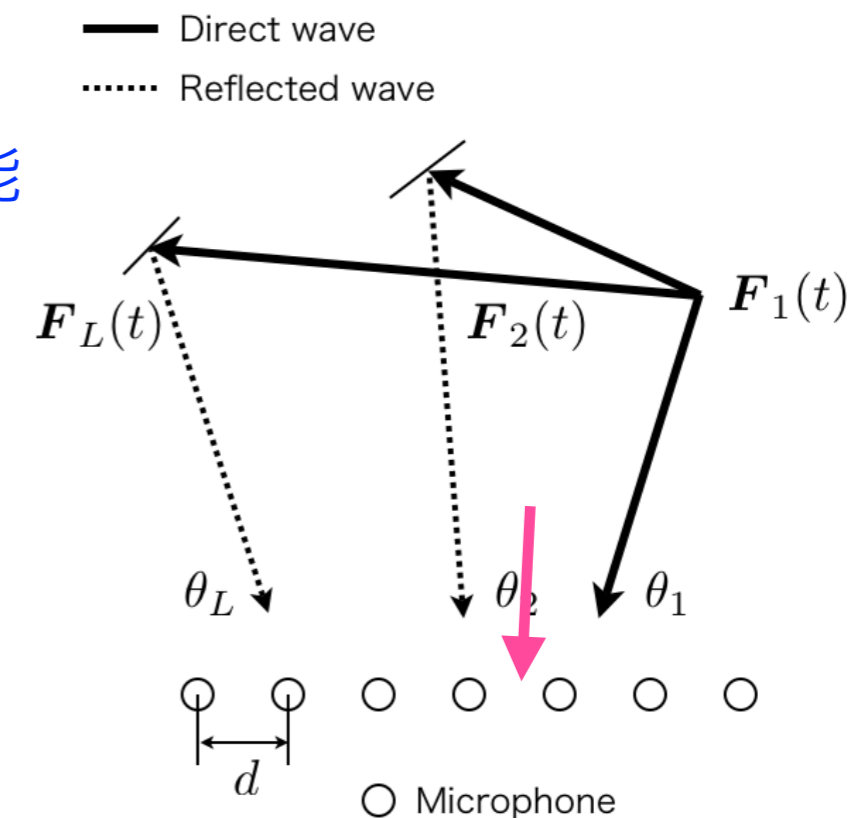
- ✳ 観測点の間隔に依存しない高精度な推定が可能
- ✳ 音源数が既知 → 複数音源でも推定可能

デメリット

- ✳ 複数音源が相関のある場合精度が劣化
- ✳ 反射音は音源波形と相関が高い
- ✳ 室内環境では推定精度が劣化



反射音対策が必要



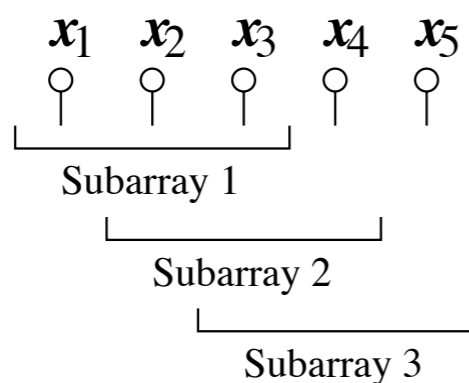
等間隔直線アレイとコヒーレント波

反射音抑圧の従来手法

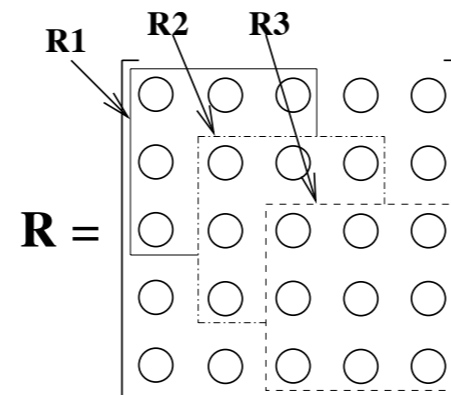
■ 空間平均化法 T. Shan *et. al.* 1958

■ サブアレイの相関行列を平均化

- ✳ 直接音の到来方向 → サブアレイも共通
- ✳ 反射音の到来方向 → サブアレイごとに異なる
- ✳ 相関行列の反射音成分だけが約 $1/N$ に平均化 → 推定精度向上



サブアレイに分割



空間相関行列を平均化

$$\mathbf{R} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathbf{R}_n$$

■ 不規則な形状のアレイや3次元位置推定には適用不可能

➡ 不規則形状アレイ：補間処理で仮想チャネルを生成

B. Friedlander *et. al.* 1992 M. Wax *et. al.* 2004

➡ 3次元位置推定：探査点ごとに仮想チャネルを再計算 (提案法)

RAP-MUSICの提案

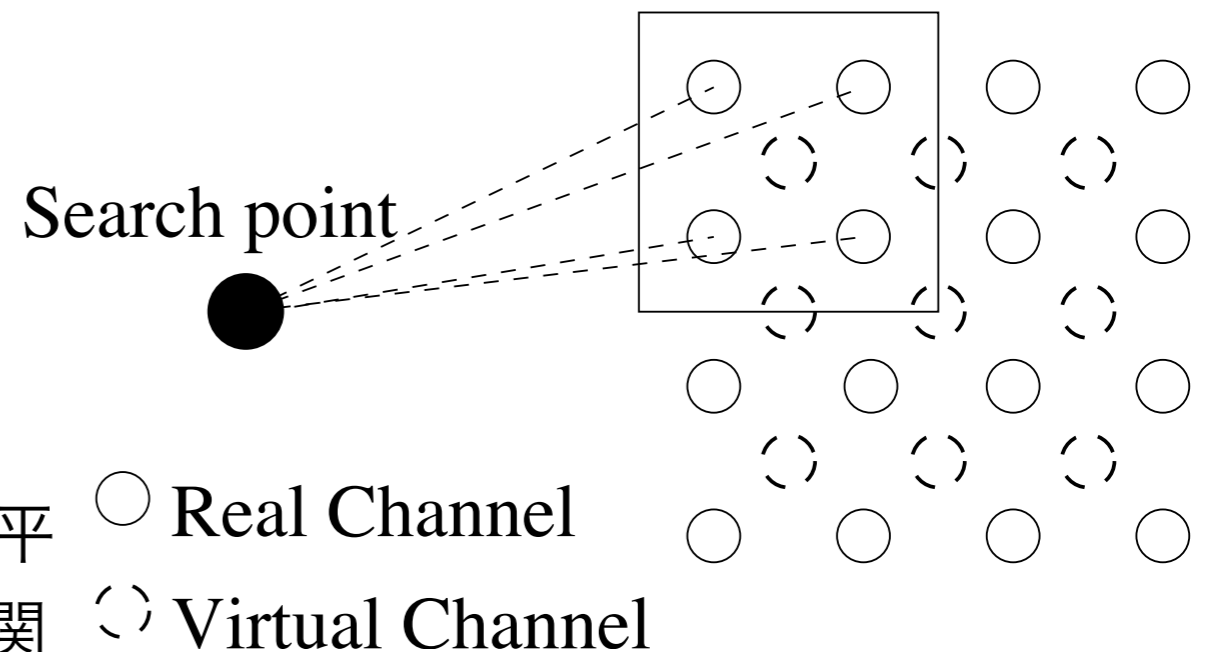
■ RAP-MUSIC (Re-Arrangement and Pre-smoothing for MUSIC)

■ 空間平均化法 (従来法)

- ✳️ 相関行列を平均化
- ➡️ 反射音成分：約 $1/N$

■ RAP-MUSIC (提案法)

- ✳️ 同相化した仮想チャネルの信号を直接平均した信号(=Delay-and-Sum)から相関行列を算出
- ➡️ 反射音はDelay-and-Sumにより約 $1/N$
- ➡️ 相関行列にすると反射音成分：約 $1/N^2$



反射音の影響をさらに抑制

実験による性能評価

■ 実験条件

■ 音源：ホワイトノイズ 64.1 dB

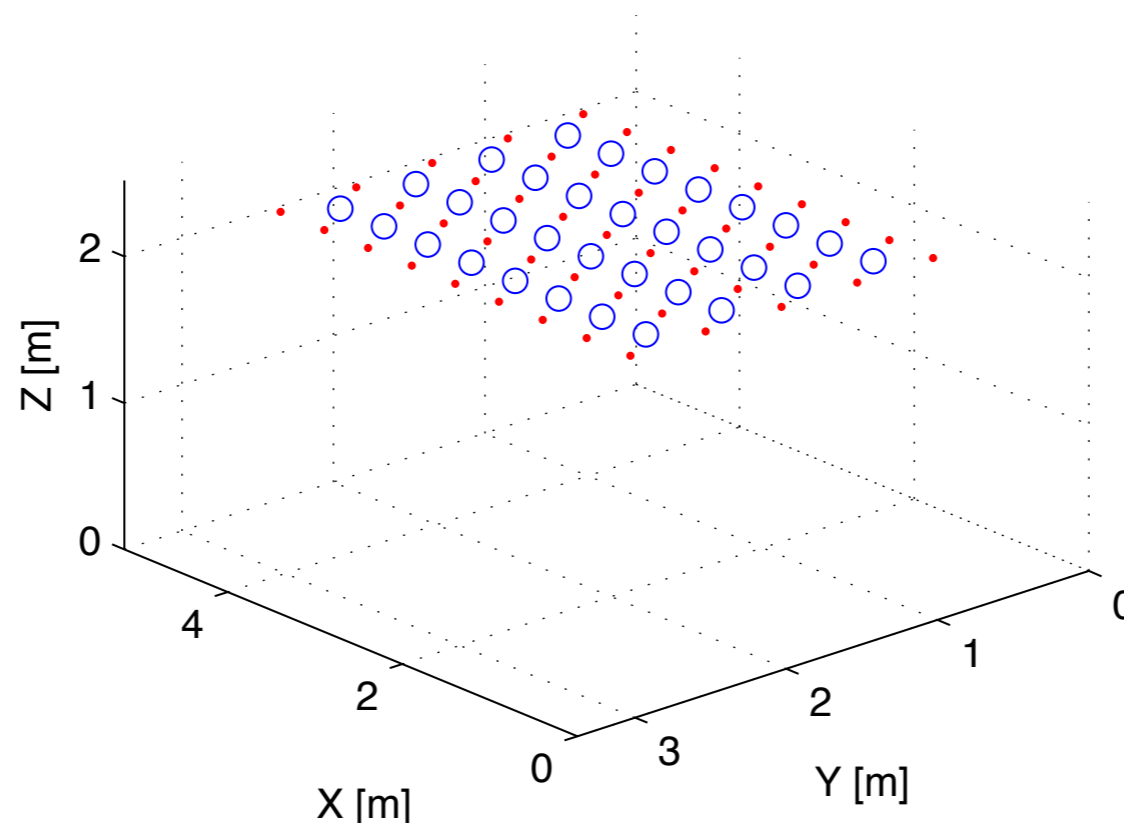
✱ 音源位置：(1.50, 2.30, 1.40)

■ 妨害音源：女性音声 57.9 dB

✱ 妨害音源位置：(3.10, 1.65, 1.20)

■ 評価指標： $k = \frac{\text{各Search Pointにおける } P}{\text{音源位置における } P}$

音源位置で1, その他の位置では0に近い値であるほど鋭いピークを持つ



● : 実チャンネル
○ : 仮想チャンネル

マイクロホン配置：天井1面

実験結果

■ 各方法の探査性能結果

■ x, y, z : 推定位置座標 (m) Pの大きな順(=推定結果順)に上から羅列 k : 正しい音源位置のPとの割合

空間平均化法

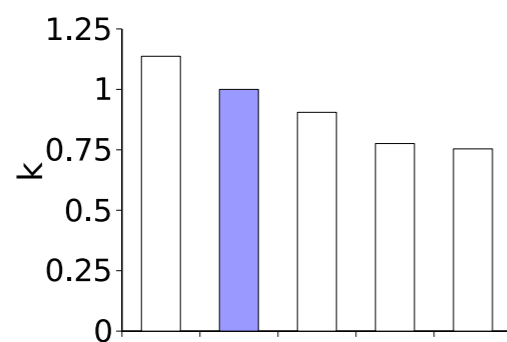
探査ミス →

x	y	z	P	k
1.5	2.2	1.3	12.7	1.1
1.5	2.2	1.4	11.1	1.0
1.5	2.2	1.2	8.3	0.7
1.5	2.2	1.5	6.6	0.6

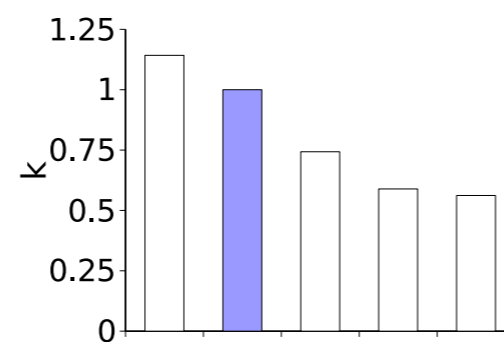
RAP-MUSIC

x	y	z	P	k
1.5	2.2	1.4	13.7	1.0
1.5	2.2	1.3	13.4	0.9
1.5	2.2	1.2	9.2	0.7
1.5	2.2	1.5	9.0	0.7

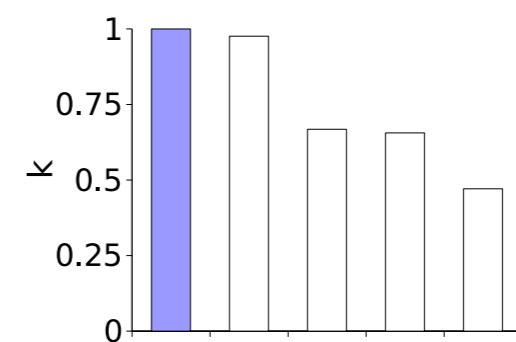
MUSIC



空間平均化法



RAP-MUSIC



縦軸 : kの値 横軸 : 探査結果のkを大きい順に並べたもの
理想の形 : 一番左が正解位置でk=1, それ以外は0に近い

青いバーが正解位置のk=1

第3章のまとめ

■ 目的

- 反射音に頑健な高精度音源位置情報抽出法の開発

■ 結果

- 従来法である空間平均化法を3次元位置推定に適用
- Delay-and-Sumにより反射音を低減後、MUSICにより高精度な音源位置推定を行うRAP-MUSICを提案

➡従来法よりも高精度な音源位置情報抽出が可能

第4章

室内残響下における原音の 高精度抽出に関する検討

■ 目的

- ブラインド逆畳み込みによる残響除去の広帯域化
 - ✳ 音声信号などの周波数軸上でエネルギーがまばらな観測信号における精度の劣化を改善

基本原理：逆フィルタによる音源抽出の原理

■ MINTによる逆フィルタの算出と直接音の抽出

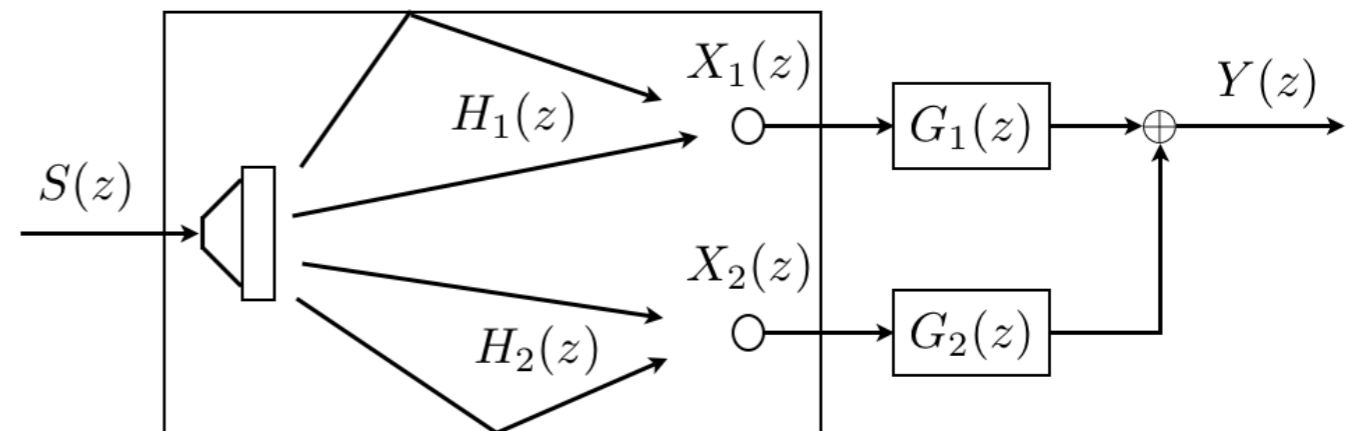
✱ 室内インパルス：最小位相系のため1 chでは近似的な逆フィルタ

■ Multiple input-output INverse theorem (MINT) M. Miyoshi *et al.* 1988

✱ 入力や出力を複数にすることにより厳密な逆フィルタを算出可能

※各インパルス応答が共通零点を持たないこと

$$G_1(z)H_1(z) + G_2(z)H_2(z) = 1$$



Sound Field in a Room

■ 逆フィルタから原音を抽出可能

$$S(z) = G_1(z)X_1(z) + G_2(z)X_2(z)$$

MINTの例 (1入力2出力)

➡ 観測信号からのインパルス応答の推定が必要

ブラインドシステム同定とブラインド残響除去

■ ブラインドシステム同定

- 観測信号のみから先験的知識なしで系のインパルス応答を推定

- ✱ インパルス応答長の知識が必要

- ✱ 室内残響は数千タップと非常に長い

→ 音響分野では困難な課題

■ ブラインド残響除去

- 観測信号のみから系の逆フィルタを直接推定

- ✱ インパルス応答長が不明 → それより長い逆フィルタにより解決

- ✱ 音源が白色雑音を仮定 → 音声のような有色信号では出力結果が白色化

- 線形予測を用いたブラインド残響除去

Linear-Predictive Multi-input Equalization (LIME) M. Delcroix *et al.* 2005

- ✱ 白色化問題を解決 → 良好な残響除去

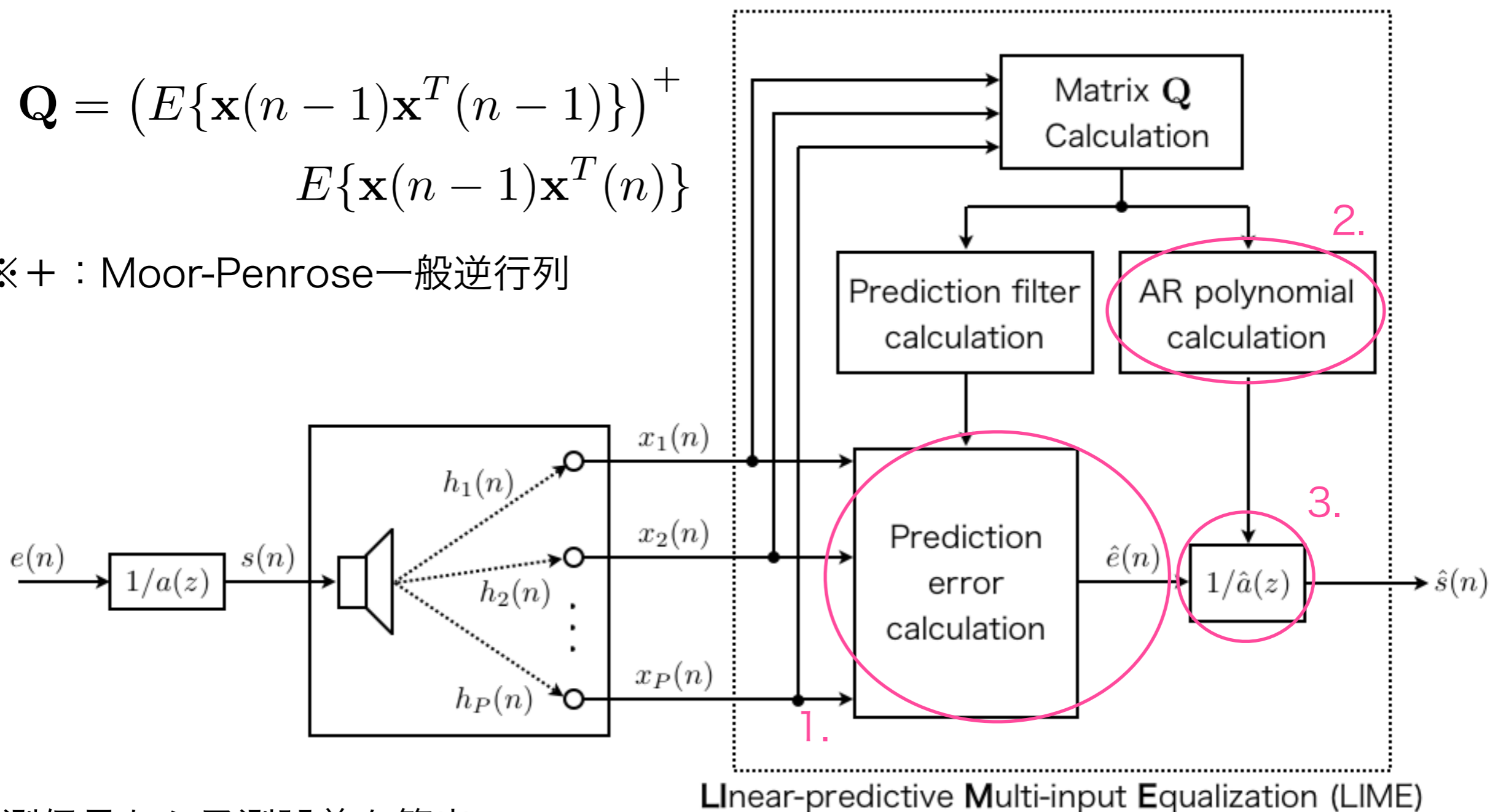
- ✱ 高サンプリングレート → 残響除去精度が劣化

➔ LIMEアルゴリズムの広帯域化

LIMEアルゴリズム

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} E\{\mathbf{x}(n-1)\mathbf{x}^T(n-1)\} \\ E\{\mathbf{x}(n-1)\mathbf{x}^T(n)\} \\ E\{\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n)\} \end{pmatrix}^+$$

※ + : Moor-Penrose一般逆行列

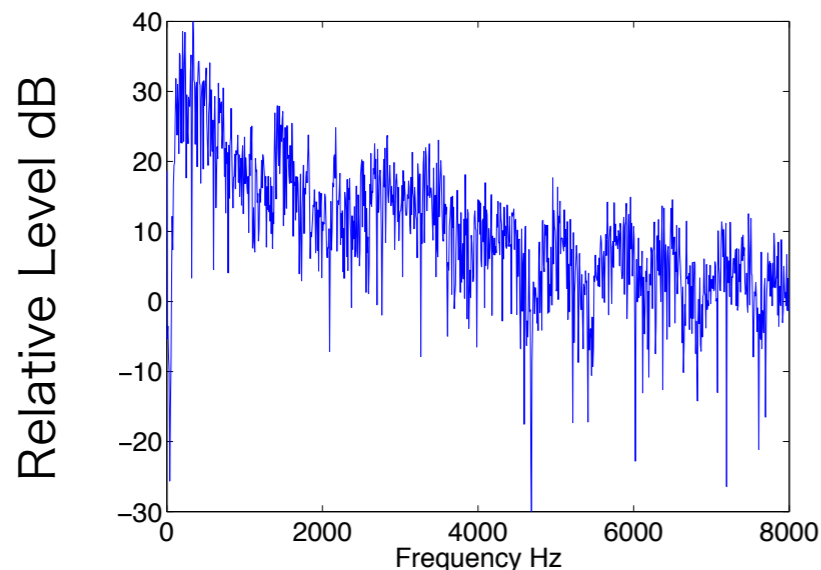


1. 観測信号から予測誤差を算出
2. 原音信号の平均スペクトル(=AR係数 $a(z)$)を特性多項式の係数として推定
3. 推定したAR係数を逆畳み込み → 逆フィルタによって白色化された信号 $\hat{e}(n)$ を回復

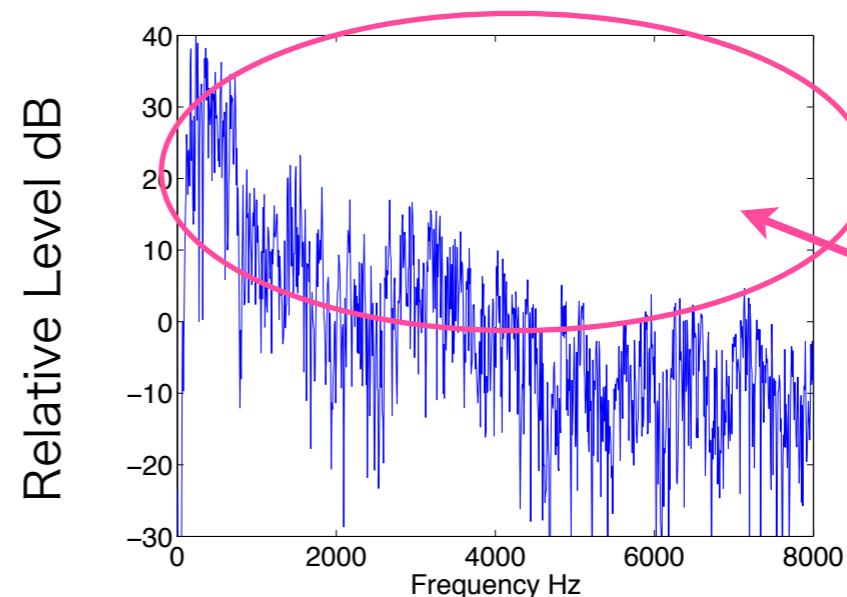
LIMEの高サンプリング時における不安定性

■ 観測信号の周波数領域におけるスパース性

- 実環境での信号：時間軸方向，周波数軸方向に対して パワーがまばらに存在



音声の振幅スペクトル



観測信号の振幅スペクトル

スパース性

■ LIMEアルゴリズムの高サンプリング時における不安定性

- $\mathbf{x}(n-1)\mathbf{x}^T(n-1)$ ：高サンプリングレートでは観測信号のスパース性が顕著となり，条件数が増加 → 一般逆行列の精度が低下

※実対称行列の条件数 = | 最大固有値 | / | 最小固有値 |
1に近いほど数値誤差少

Pre-Whiteningフィルタを用いた LIMEアルゴリズムの高精度化

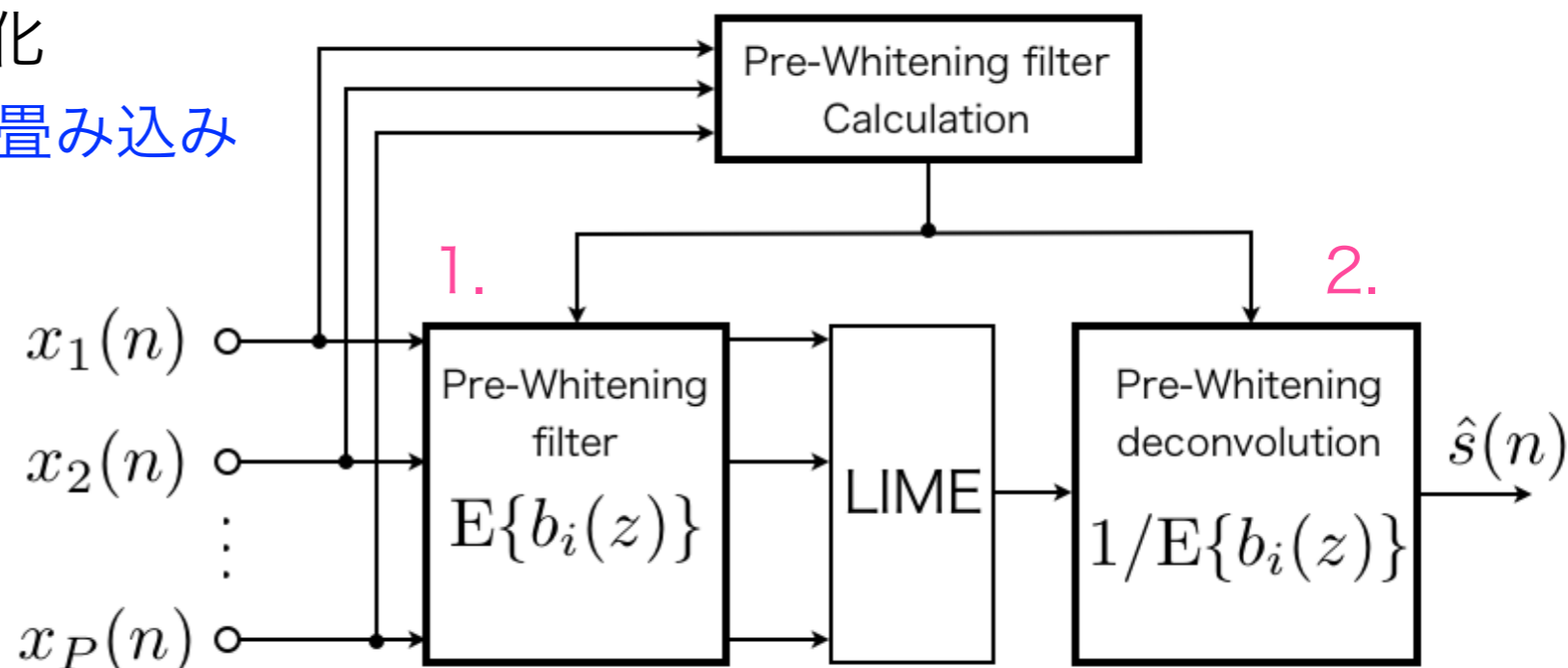
■ White-LIMEの提案

1. 全チャンネルに共通の白色化フィルタ

➡ 観測信号のスパース性を緩和 → 安定した $(E\{\mathbf{x}(n-1)\mathbf{x}^T(n-1)\})^+$ を算出

2. LIMEからの信号は白色化

➡ 白色化フィルタで逆畳み込み



■ 使用するPre-Whiteningフィルタ

■ 各チャンネルをから求めたAR係数を平均化 N. D. Gaubitch *et. al* 2003

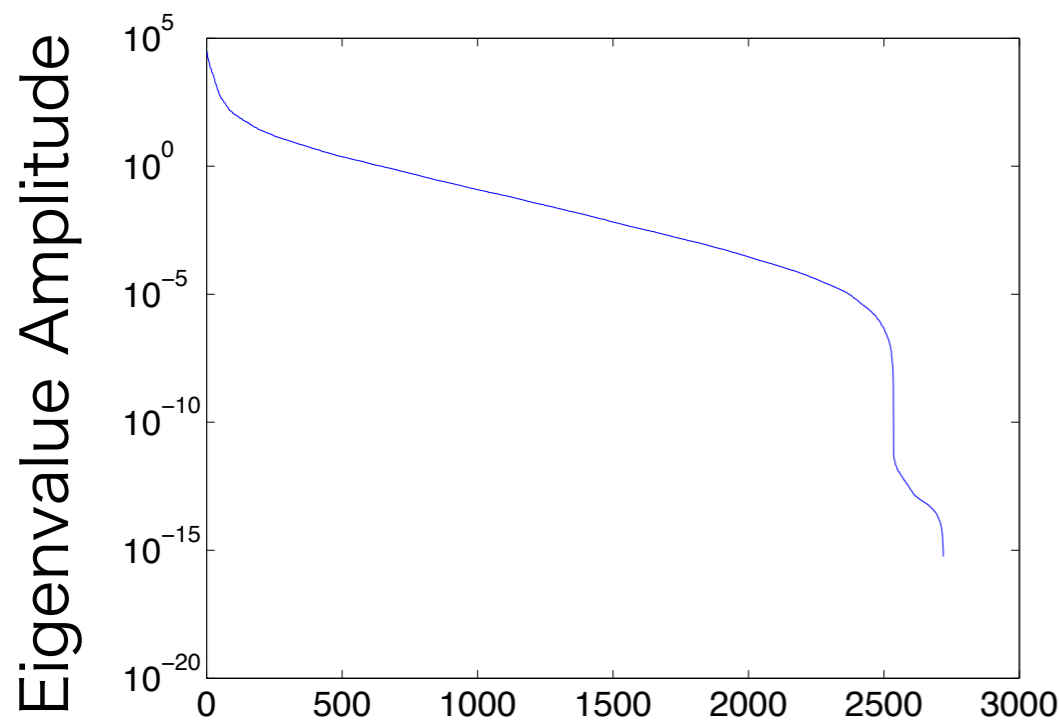
$$E\{b_i(z)\} = 1 - \{E\{b_{1i}\}z^{-1} + \dots + E\{b_{Ni}\}z^{-N}\} \quad x_i(n) = \sum_{k=1}^N b_{ki}x_i(n-k) + e_i(n)$$

White-LIMEの有効性の検討

■ Pre-Whiteningフィルタによる固有値分布改善の効果

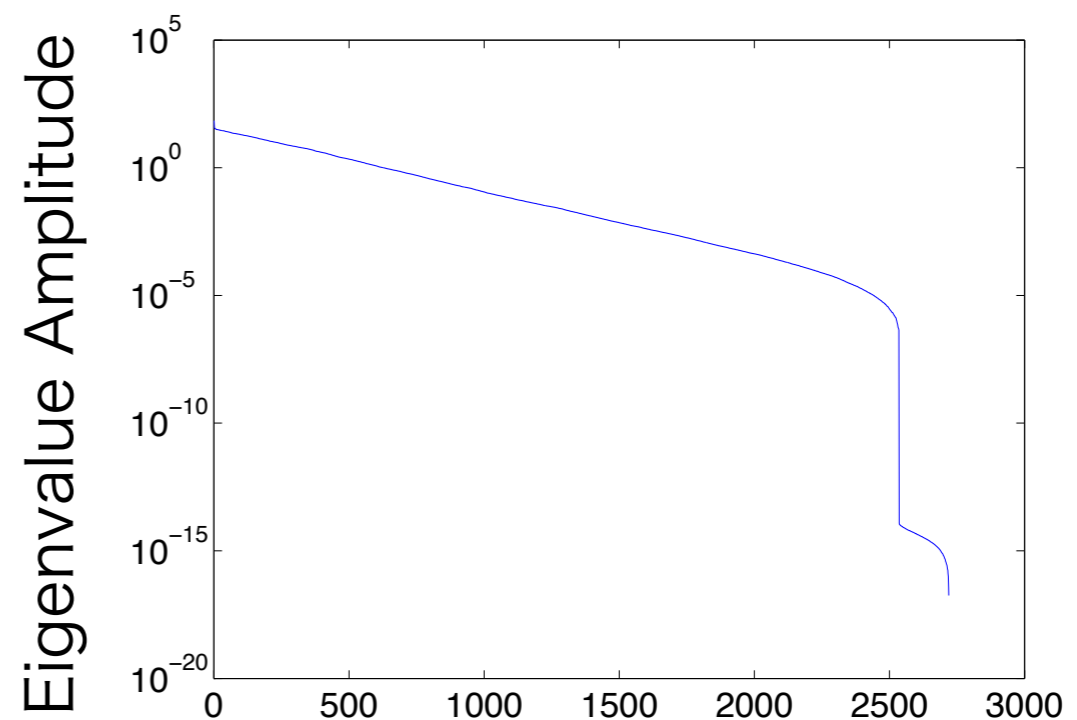
■ ex.) 16 kHzサンプリング残響時間0.15 s = 2400 tap, 20 ch

✱ $\mathbf{x}(n-1)\mathbf{x}^T(n-1)$ の固有値分布 (男性音声 2 sを畳み込んだ信号)



LIMEの固有値分布

LIMEの条件数：7.8e+19



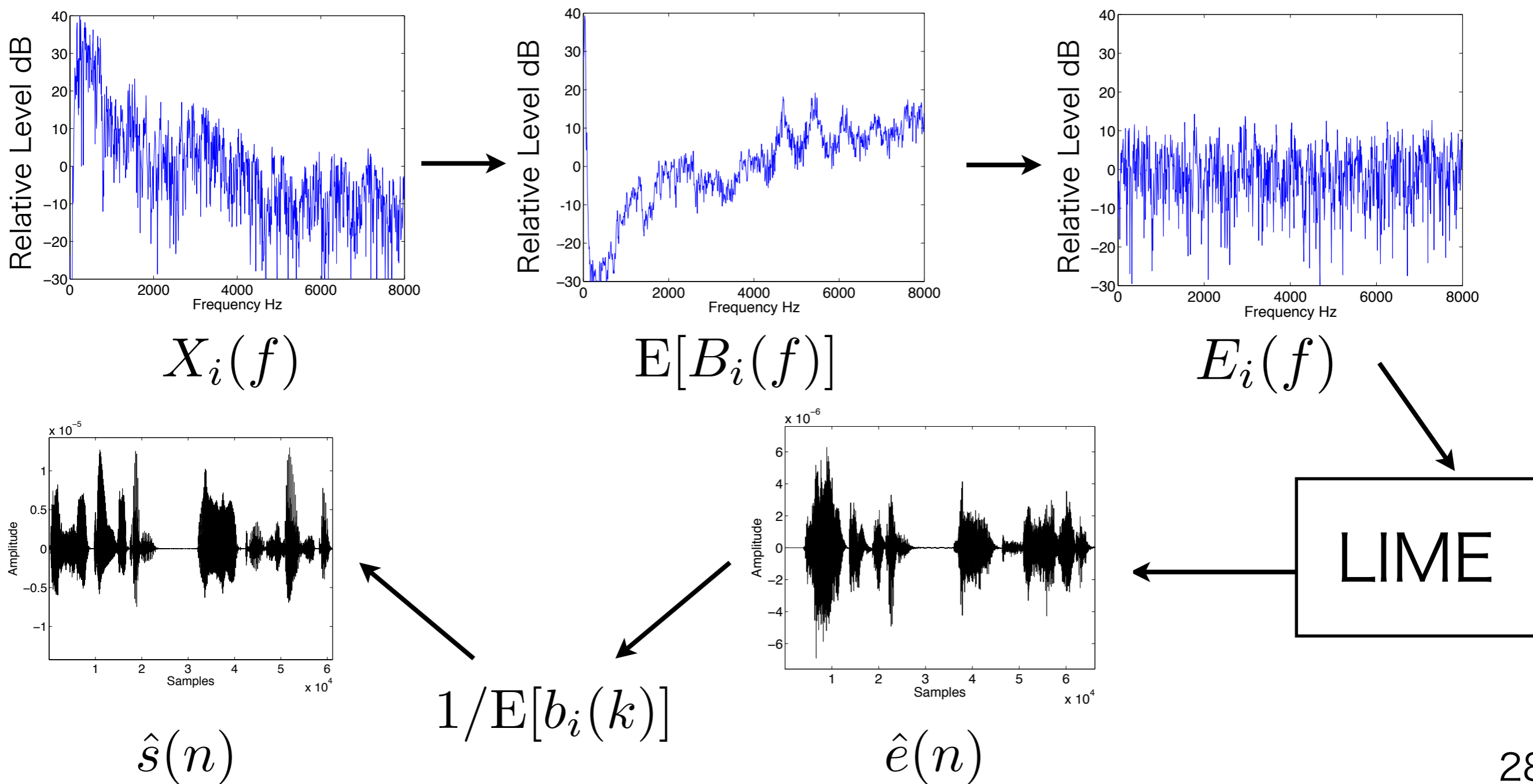
White-LIMEの固有値分布

White-LIMEの条件数：4.8e+18

Pre-Whiteningフィルタのより固有値分布改善

White-LIMEの流れ

■ 高サンプリングの例 (24 kHz, Pre-Whiteningフィルタ長 1024 tap)



White-LIMEの性能評価

■ Pre-Whiteningフィルタによる残響除去精度の向上

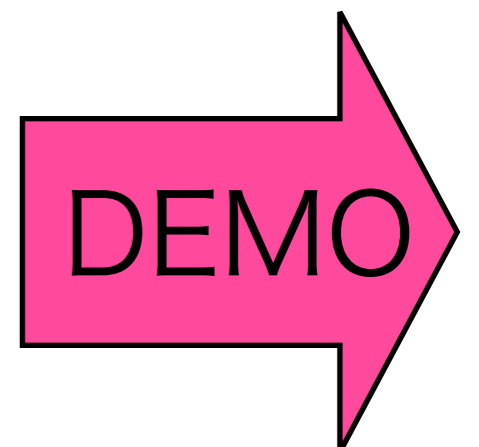
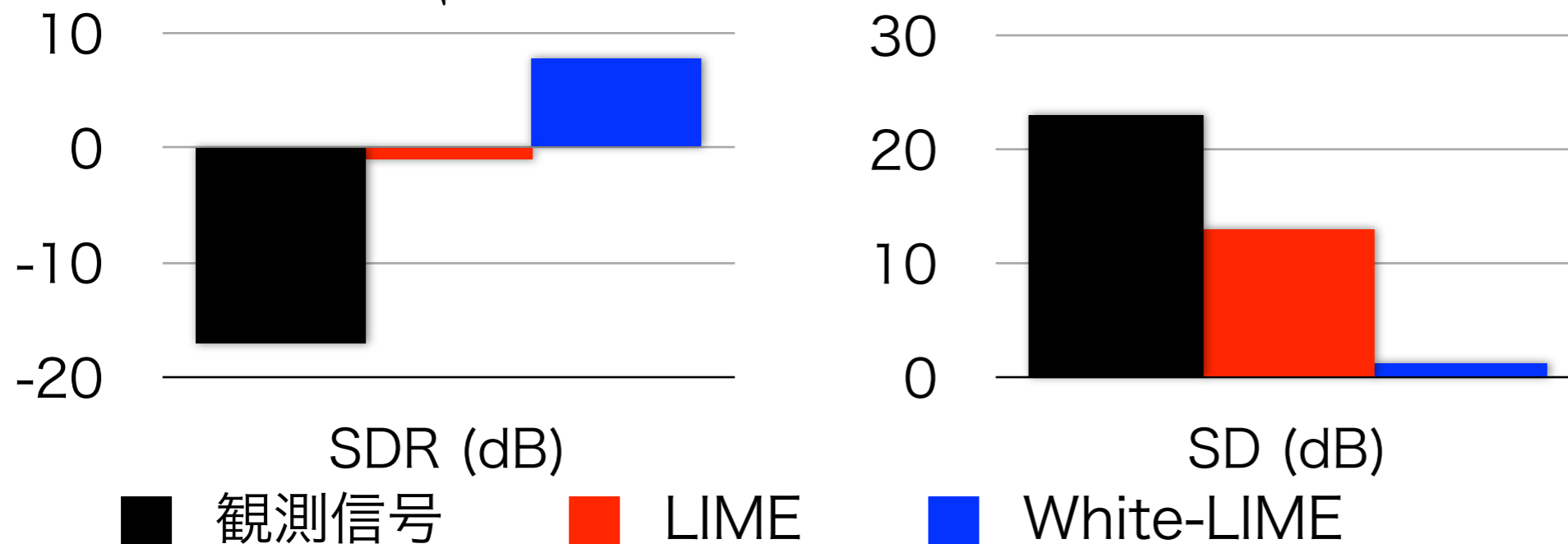
■ 16 kHz, 2400 tap, 20 chにおける残響除去結果

✳ 評価指標1：Signal to Distortion Ratio (SDR) …値が大きいほど原音に近い

$$\text{SDR} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum |s(n)|^2}{\sum |s(n) - \hat{s}(n)|^2} \right) \quad [\text{dB}]$$

✳ 評価指標2：Spectral Distortion (SD) …値が小さいほど原音に近い

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{1}{F} \sum_{f=0}^{F-1} \left(20 \log |P(f)| - 20 \log |\hat{P}(f)| \right)^2} \quad [\text{dB}]$$



第4章のまとめ

■ 目的

- 広帯域なブラインド残響除去において、従来法では音声信号のような周波数軸上でスパース性の高い観測信号の場合精度が低下する問題の解決

■ 結果

- スパース性のある観測信号にPre-Whiteningフィルタを導入し、相関行列の条件数を緩和するWhite-LIMEを提案
 - ✳ スパース性のある観測信号に対しても高精度な残響除去が可能
 - ✳ 従来よりも広範囲な音信号に対する残響除去が可能
- ➡ 高品質な原音の抽出が可能

第5章

音源の放射指向特性抽出に関する検討

■ 目的

- 室内音響特性と音源の放射指向特性が混合された系から音源の放射指向特性成分の抽出

音源の放射指向特性

■ 音源の放射指向特性

- 実環境の音源は振動パターンや音源自体に大きさ
- 点音源の球面波の伝達特性とは異なる
- 音源からの距離が等しくても方位によって伝達特性が異なる

■ 大半の研究：人の顔やスピーカの正面方向の音を収録

- 伝達関数を平面波や球面波と仮定 → 放射指向特性は考慮なし

■ 放射指向特性推定に関する先行研究

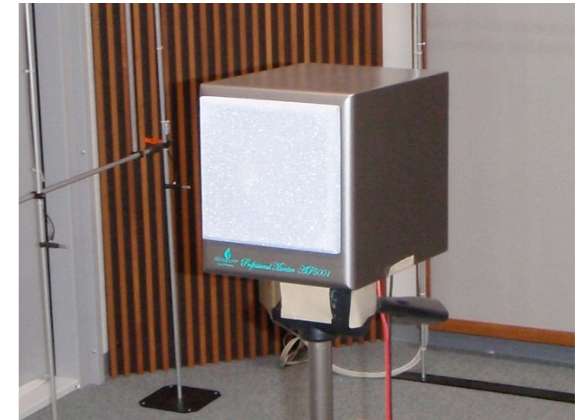
- 音源位置と方向の同時推定 K. Nakadai *et al.* 2005
 - 正面は音圧レベルが強い, 後方は弱いといった大雑把な仮定の推定
 - 厳密な推定ではない

放射指向特性抽出は未開拓の問題

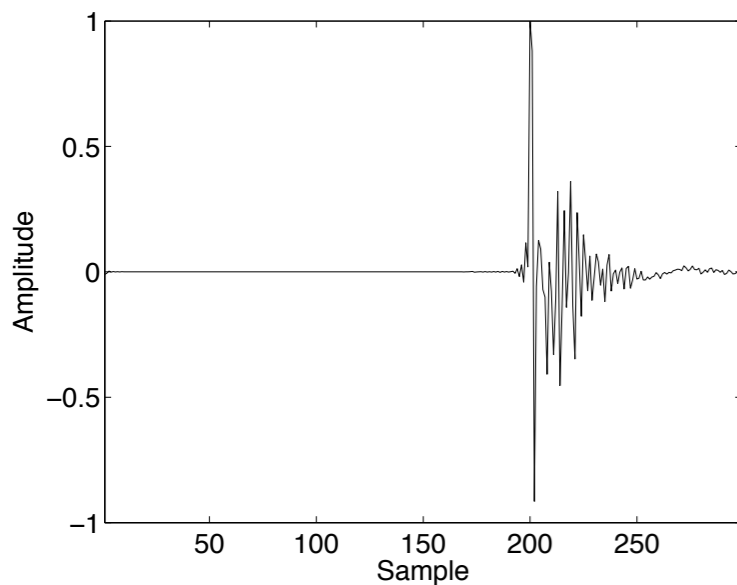
放射指向特性の測定

■ 放射指向特性のインパルス応答測定

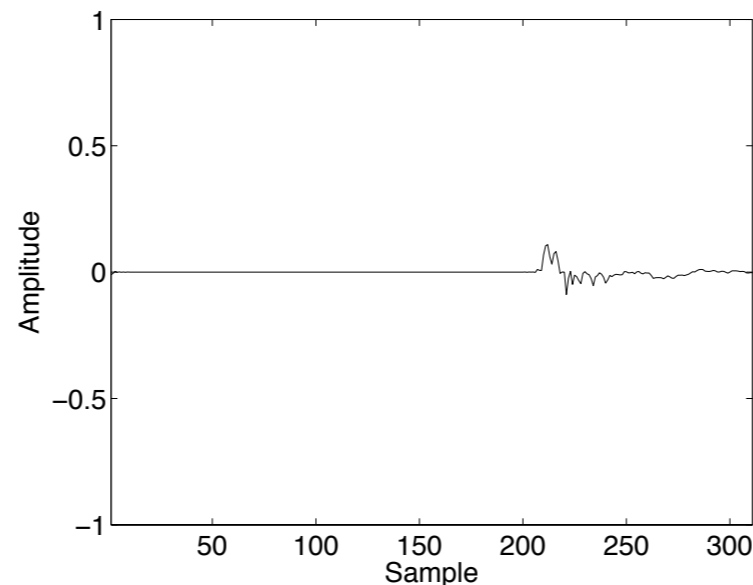
- 1ウェイスピーカの放射指向特性を測定
- スピーカ正面を0 deg. : 15 deg.間隔 ~ 180 deg.
- スピーカとの距離 : 1.5 m



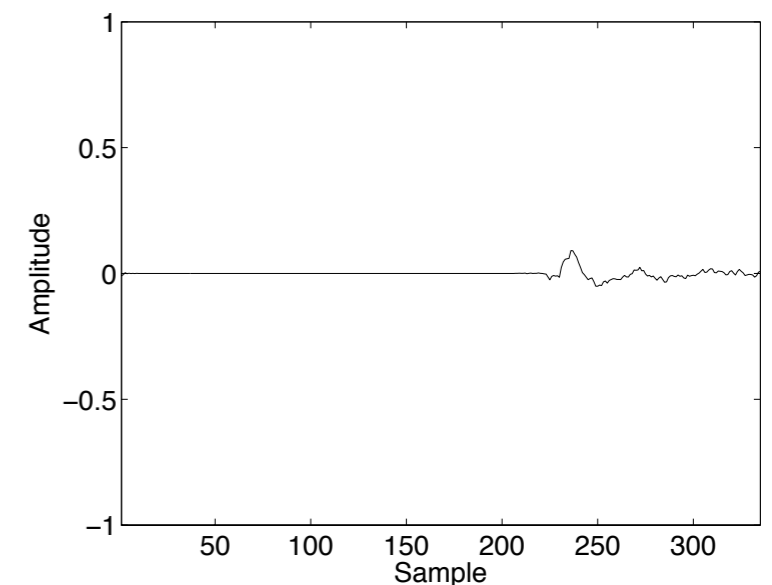
Micropure AP5001



0 deg.



90 deg.



180 deg.

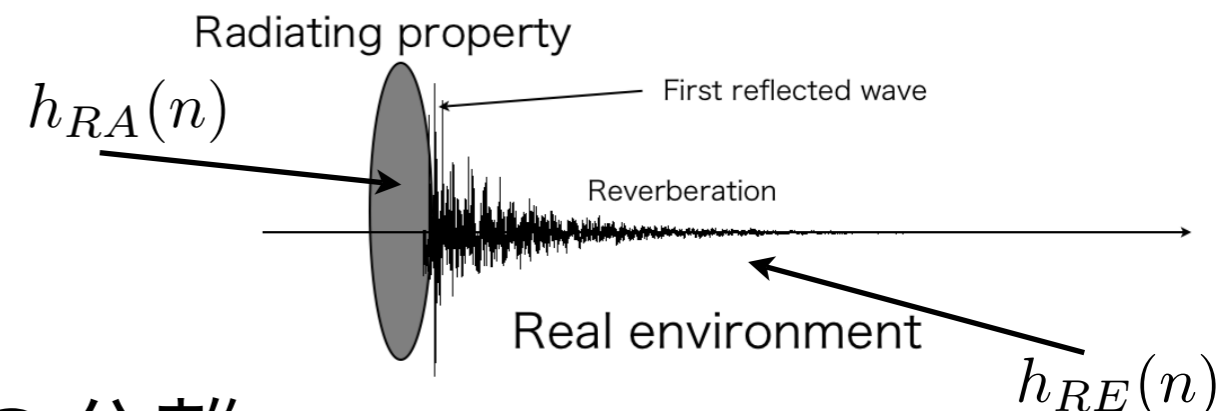
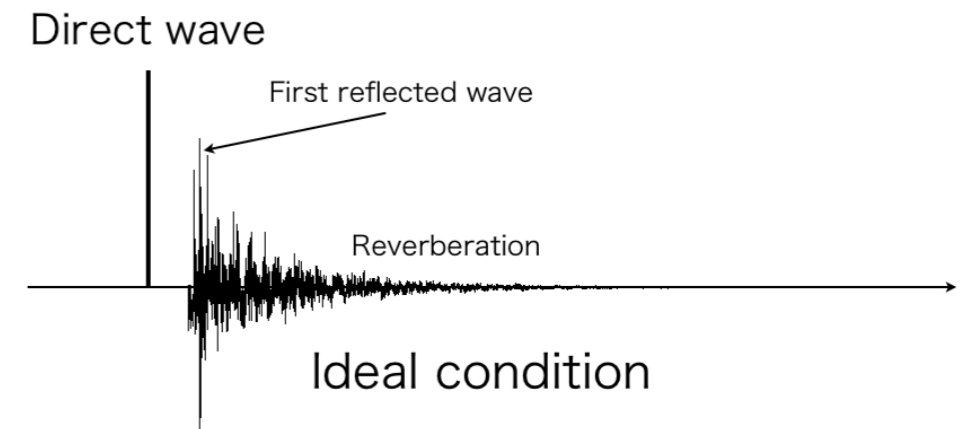
方向ごとの特性の違い

放射指向特性と室内残響の分離

放射指向特性と室内残響の関係

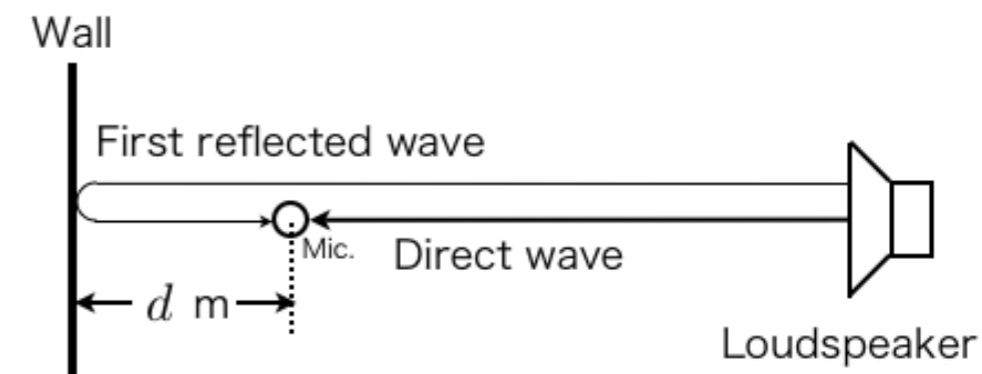
- 点音源 … 直接音はインパルス応答の最初の応答
- 放射指向特性 … ある一定時間の応答
 - ✳ 放射指向特性： $h_{RA}(n)$
 - ✳ 室内残響特性： $h_{RE}(n)$
- 観測点でのインパルス応答： $h(n)$

$$h(n) = h_{RA}(n) + h_{RE}(n)$$



放射指向特性と室内残響特性の分離

- 直接音と初期反射音到来までの時間差を利用
- $t = 2d/c$ までは直接音(=放射指向特性)のみの応答
- ↓
- 初期応答から $t = 2d/c$ までの応答を切り出し



→ 放射指向特性を抽出

原音情報を用いたインパルス応答の抽出

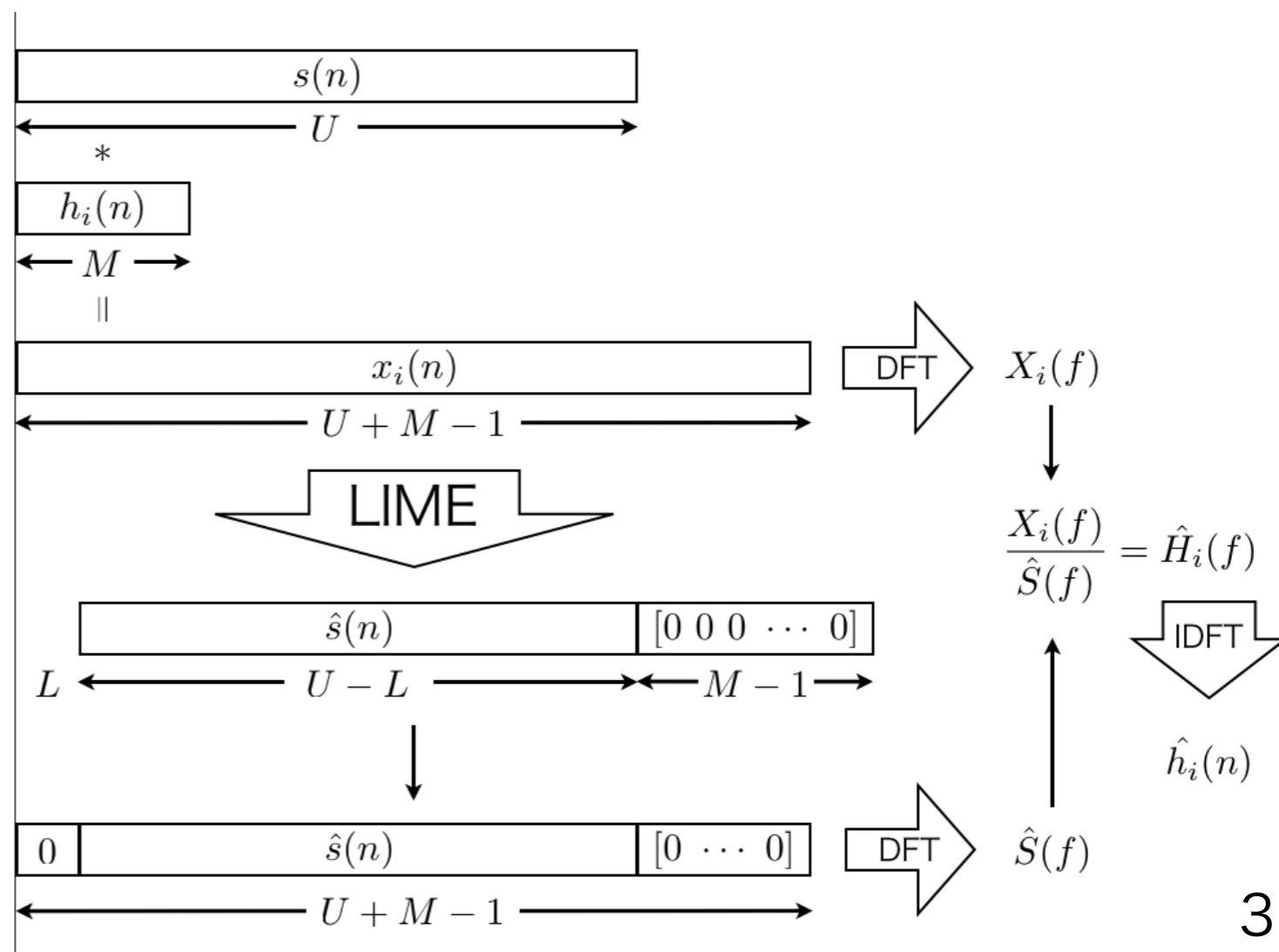
■ インパルス応答(Impulse Response:IR)の抽出

- ブラインドシステム同定は困難
- 4章によりWhite-LIMEを考案 → 原音情報を抽出可能
- 入力(原音)と出力(観測信号)から伝達関数(室内インパルス応答)を抽出

- 抽出した原音信号 : $\hat{S}(f)$
- 観測信号 : $X_i(f)$
- 抽出するIR : $H_i(f)$

$$\hat{H}_i(f) = \frac{X_i(f)}{\hat{S}(f)}$$

- 逆畳み込みにより抽出可能



インパルス応答の抽出シミュレーション

■ 原音情報を用いたインパルス応答の抽出

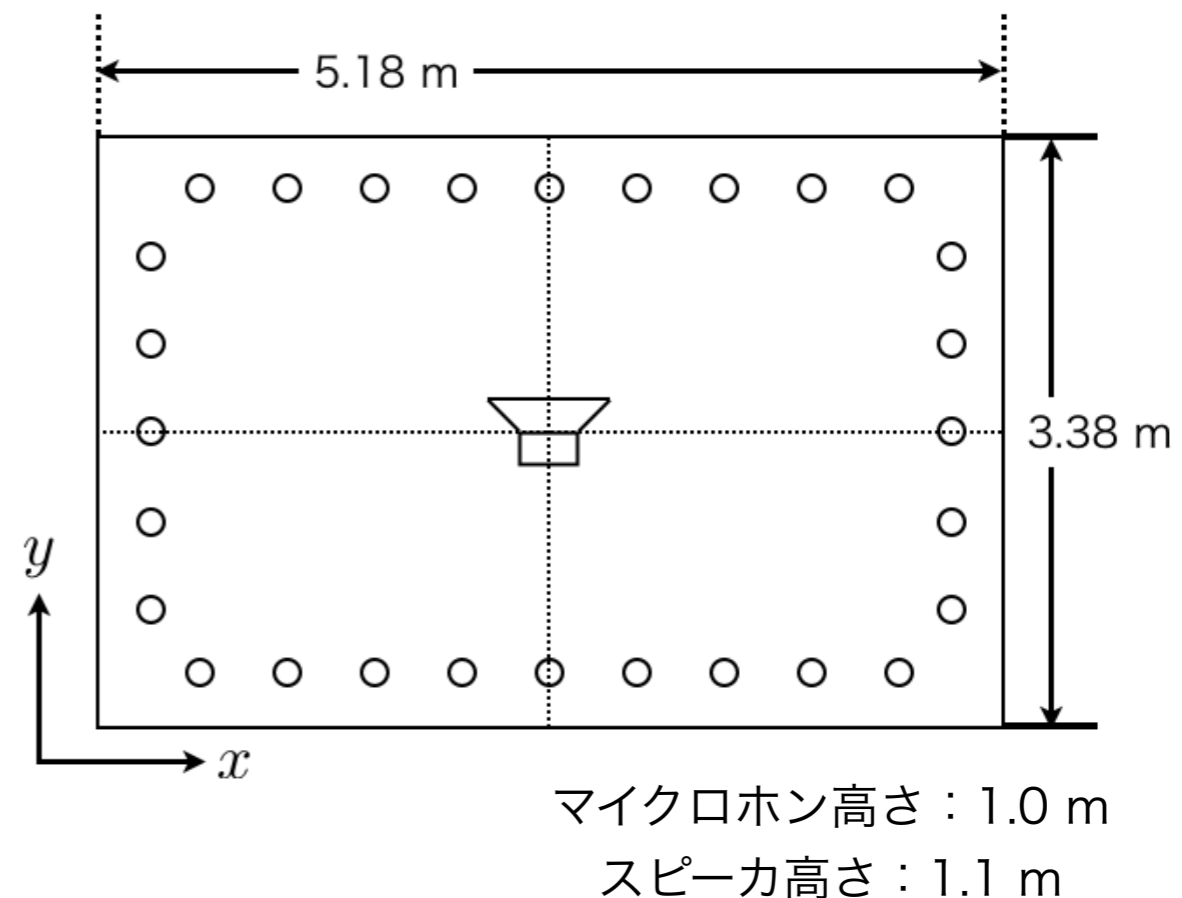
- 観測信号28 chから原音情報(44.1 kHzサンプリング音楽信号 2.6 s)を抽出
- 抽出した原音と観測信号の逆畳み込みからインパルス応答(6615タップ)を抽出

■ 抽出精度の性能評価

- Signal to Distortion Ratio (SDR)

$$\text{SDR} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum |s(n)|^2}{\sum |s(n) - \hat{s}(n)|^2} \right)$$

- 抽出された原音のSDR : 57.3 dB
- 抽出したインパルスのSDR : 62.6 dB
(28ch 平均値)



抽出した原音からインパルス応答を高精度に抽出可能

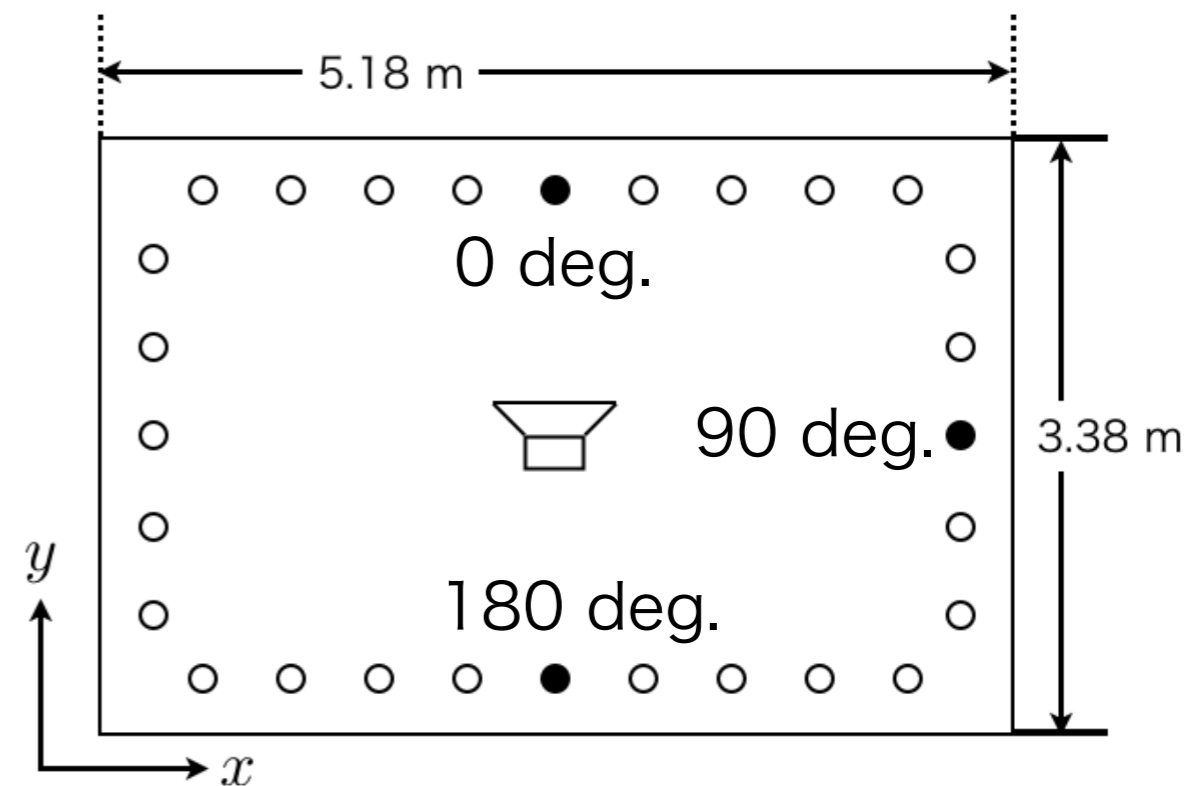
放射指向特性の抽出

■ インパルス応答の切り出し

- 抽出したインパルスの初期反射までの最短時間を放射指向特性として切り出し
- 観測点 \leftrightarrow 壁面：30 cm
- 44.1 kHzサンプリング：
 - $44100 \times 2 \times 0.3 / 340 \rightarrow 78$ タップ
- 初期応答から78タップを切り出し

■ 抽出精度の性能評価

- スピーカ正面, 真横, 背面での応答を無響室での応答と比較
- 方向ごとの周波数特性を1/3オクターブバンド解析した結果を比較
- 距離減衰は音源位置情報から補正

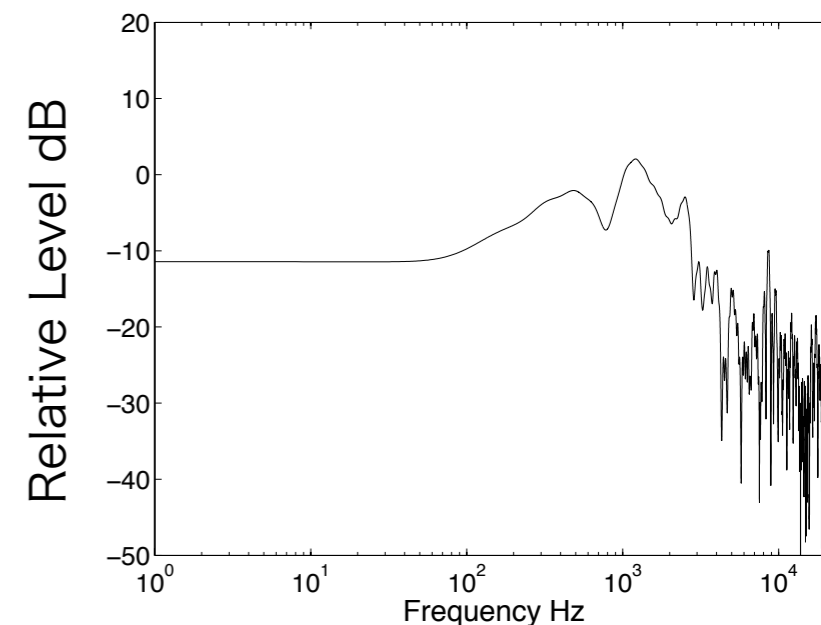
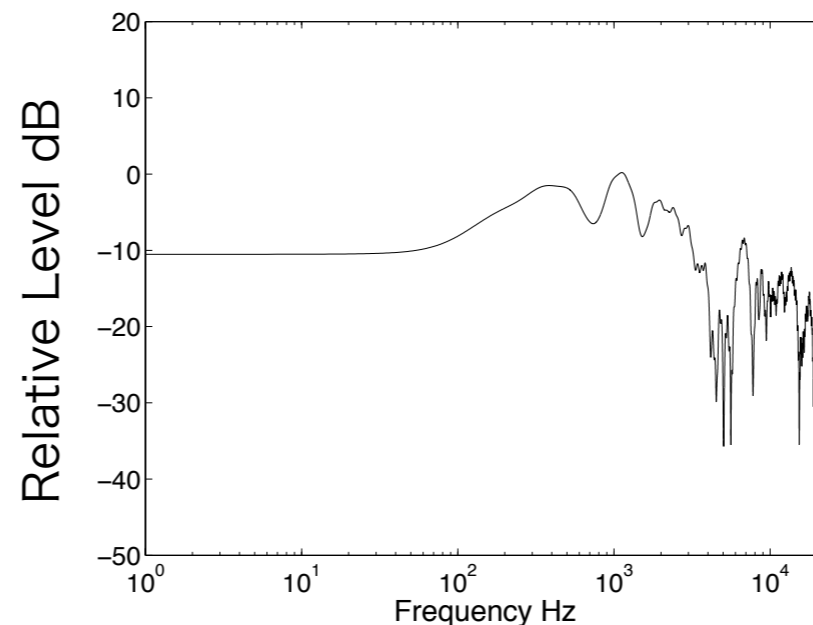
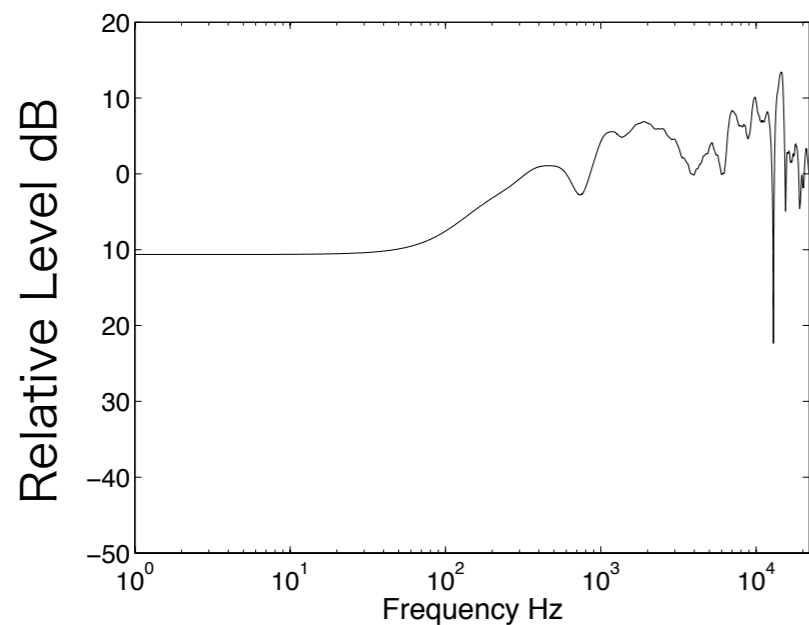


マイクロホン高さ：1.0 m

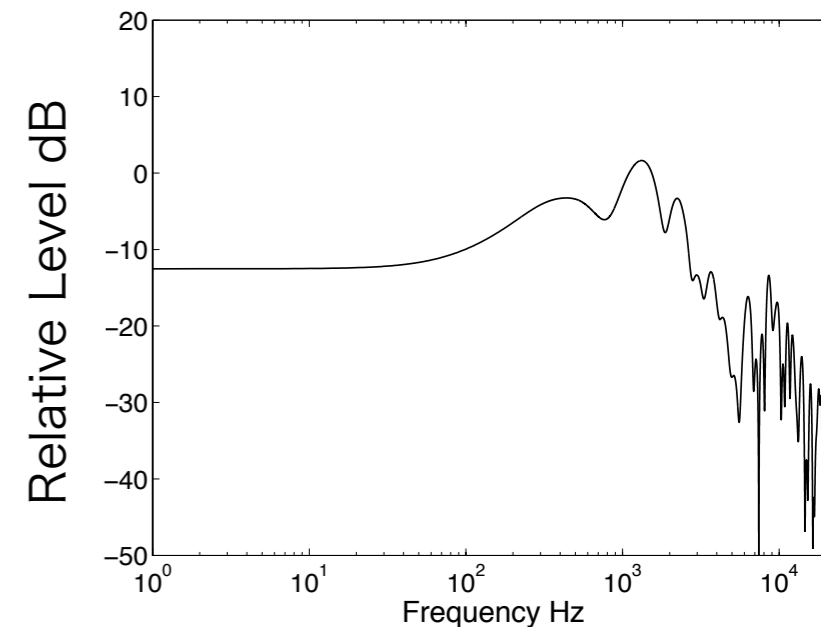
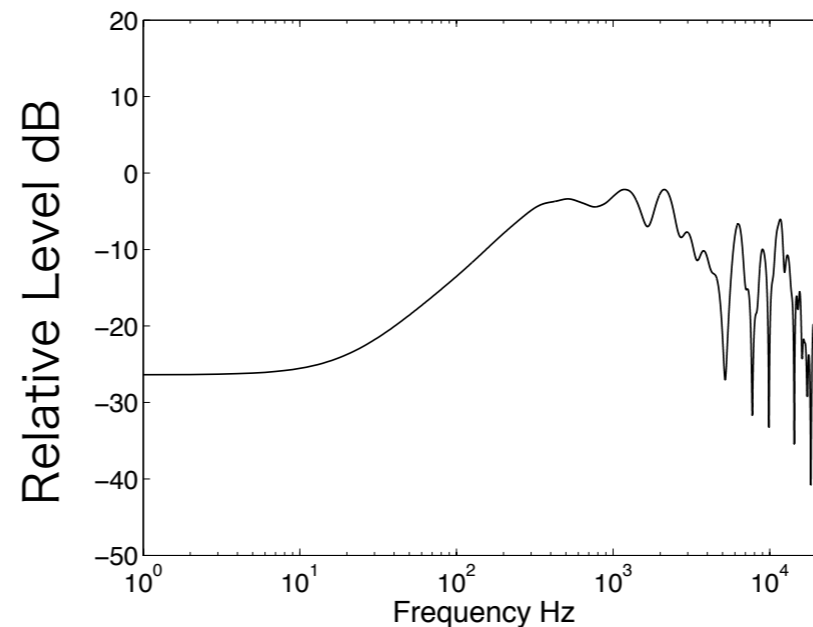
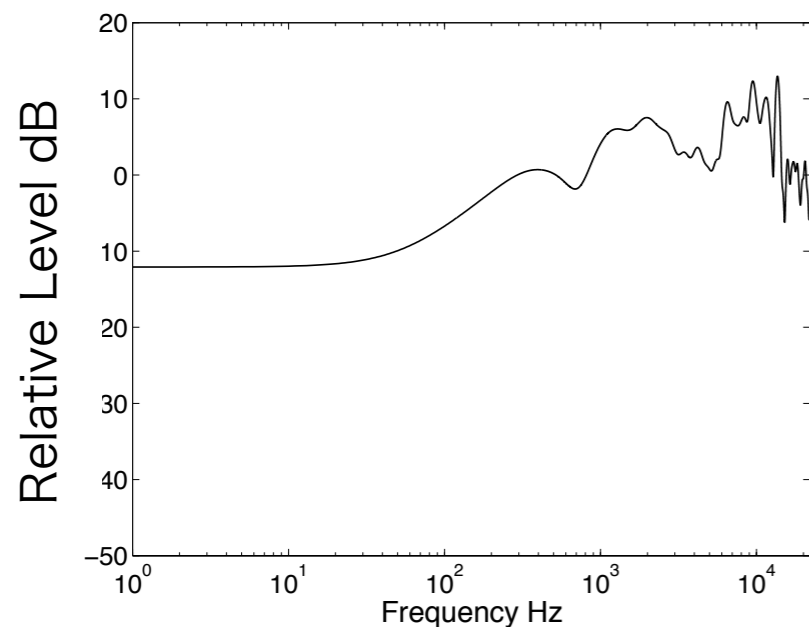
スピーカ高さ：1.1 m

結果比較(0, 90, 180 deg.の周波数特性)

無響室における測定結果の周波数応答 (logスケール)



抽出した結果の周波数応答 (logスケール)



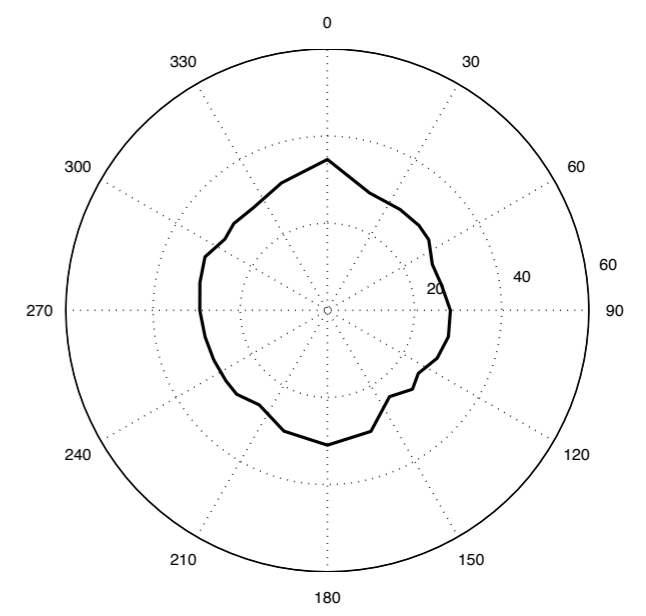
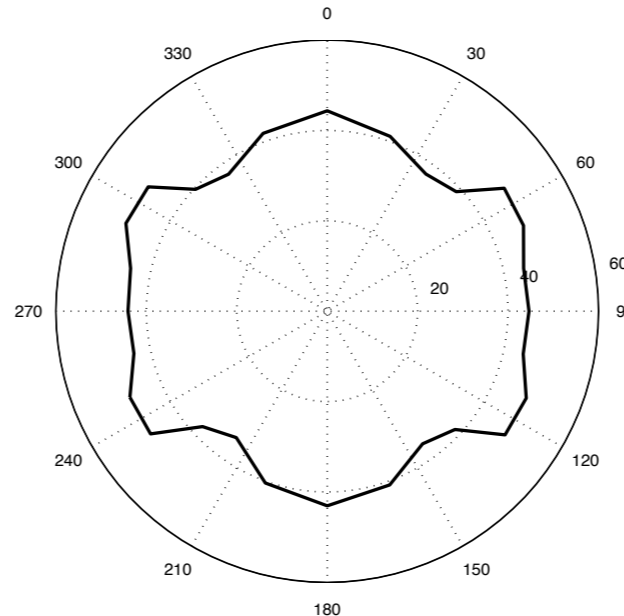
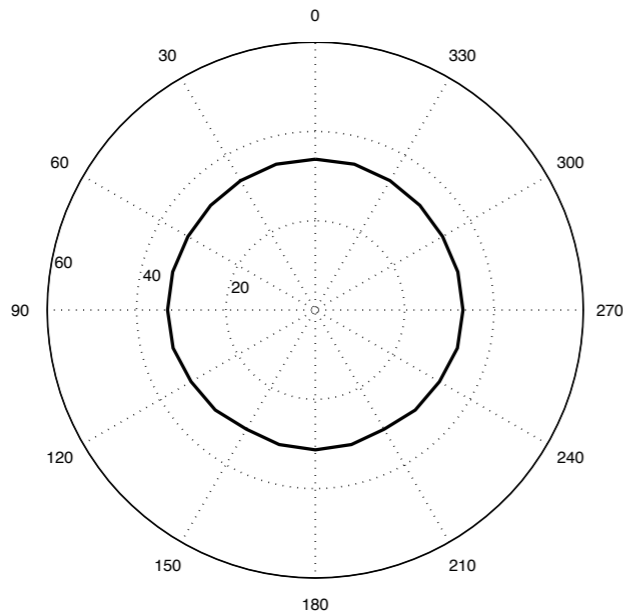
0 deg.

90 deg.

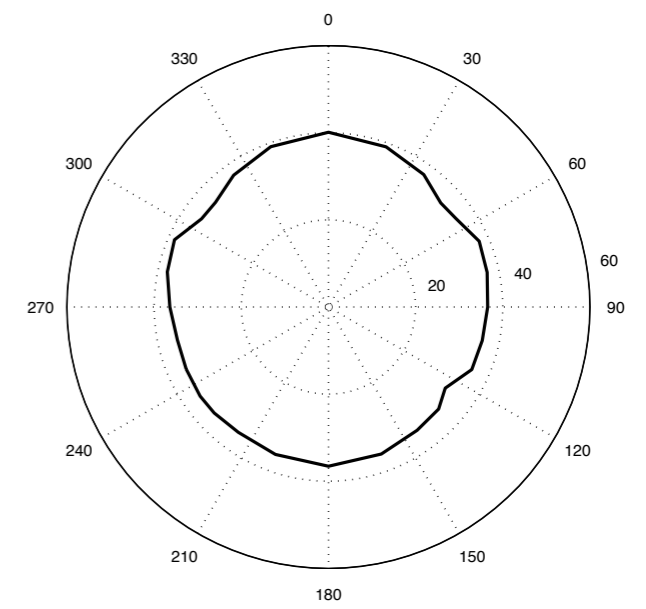
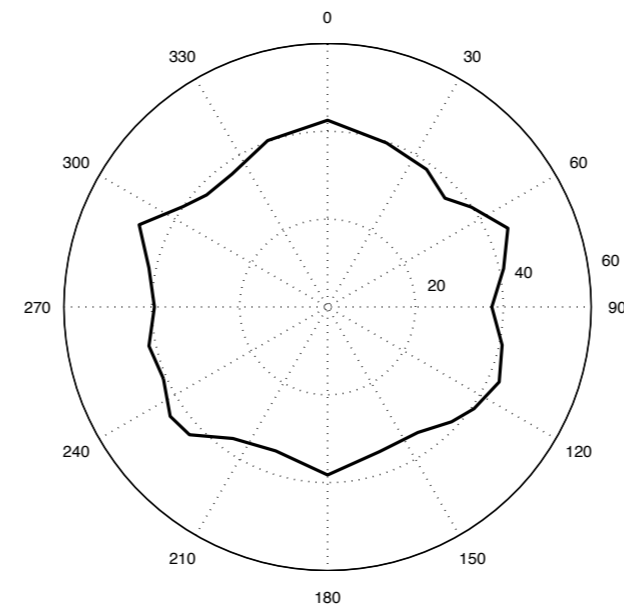
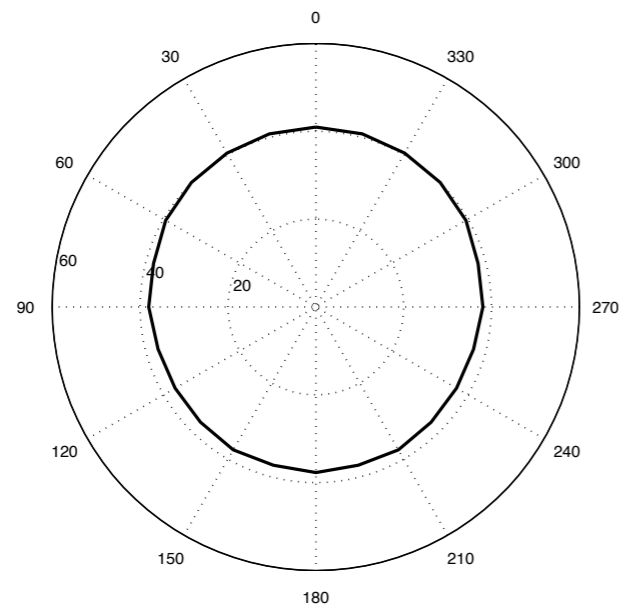
180 deg.

結果比較(125, 500 Hzの音圧レベル)

125 Hz



500 Hz



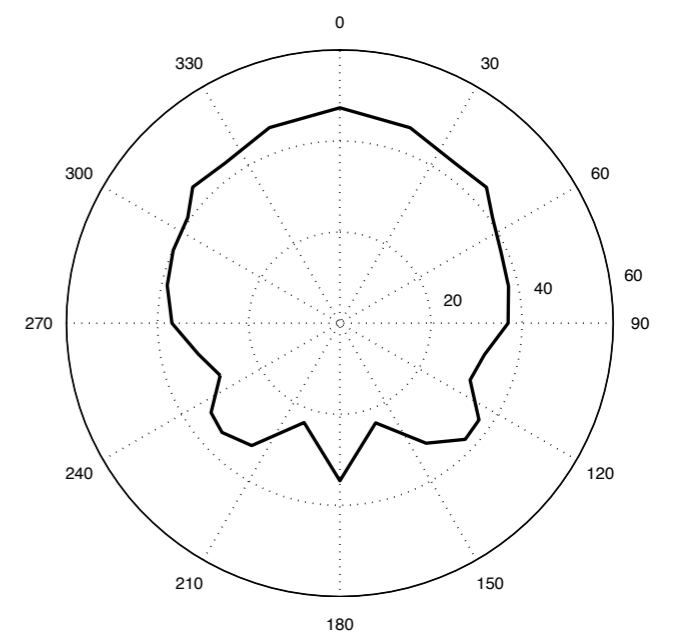
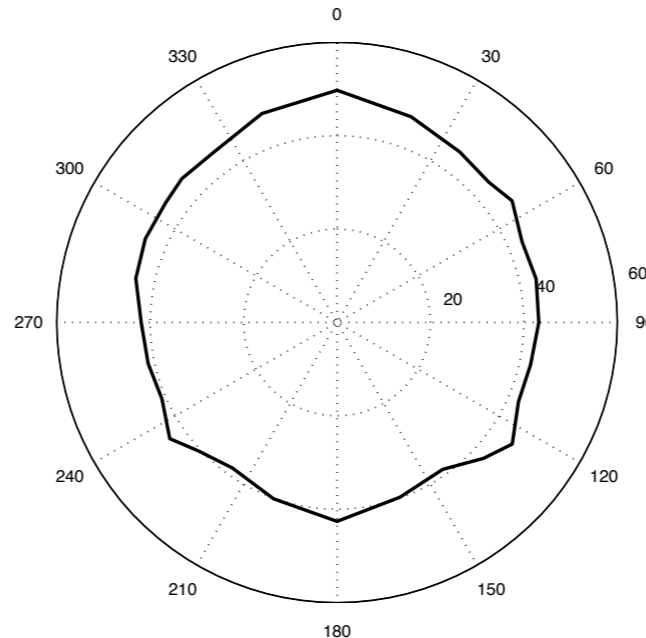
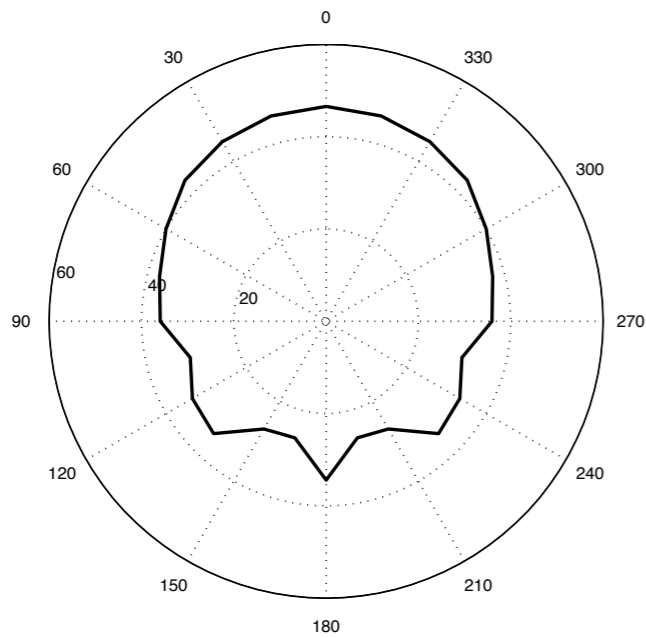
無響室測定の特徴

室内インパルスの特徴

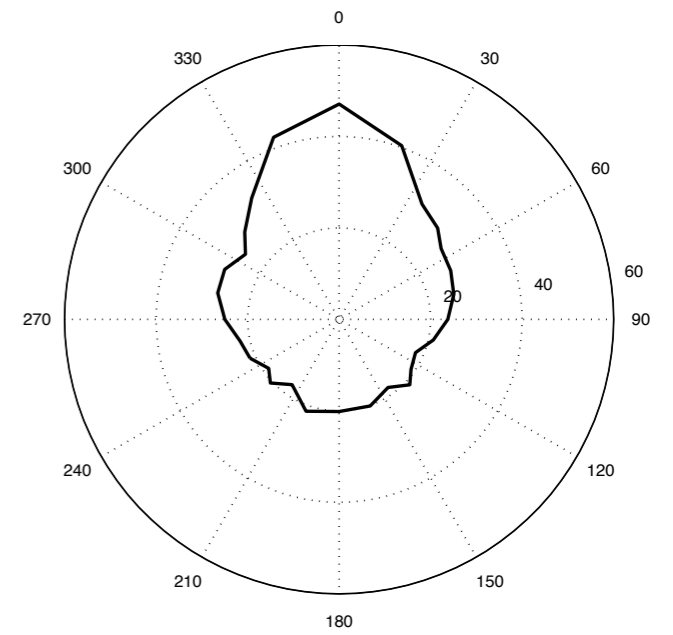
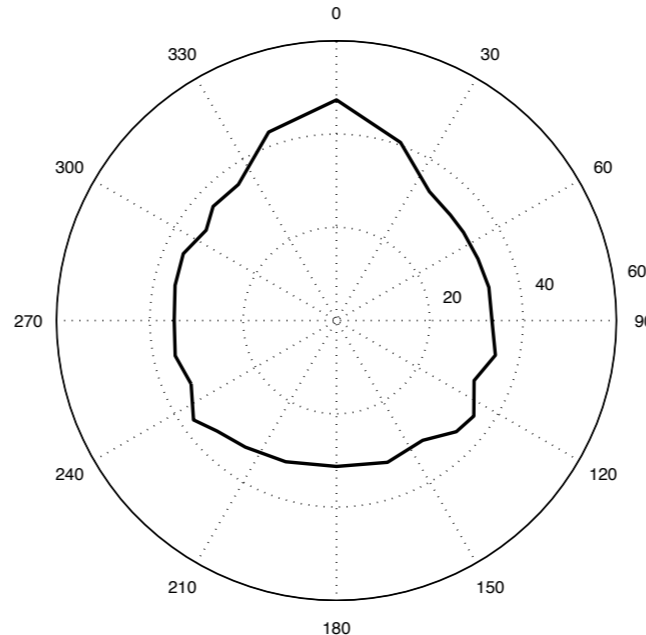
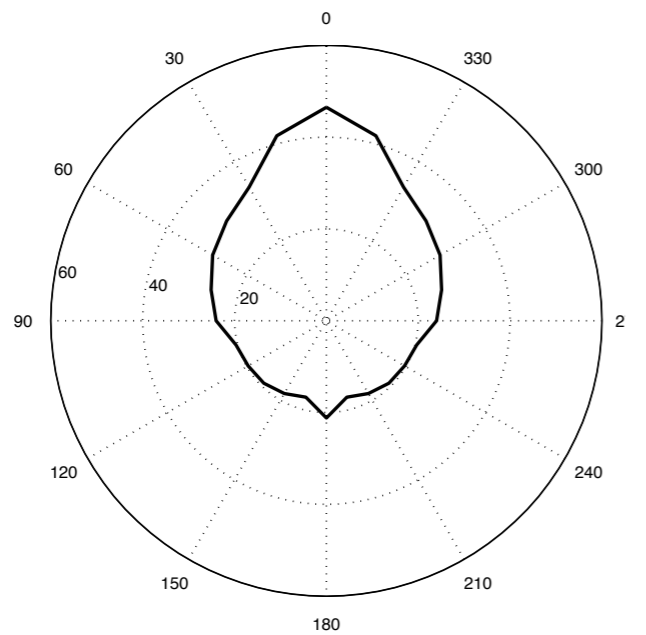
抽出した放射指向特性

結果比較(2, 8 kHzの音圧レベル)

2 kHz



8 kHz



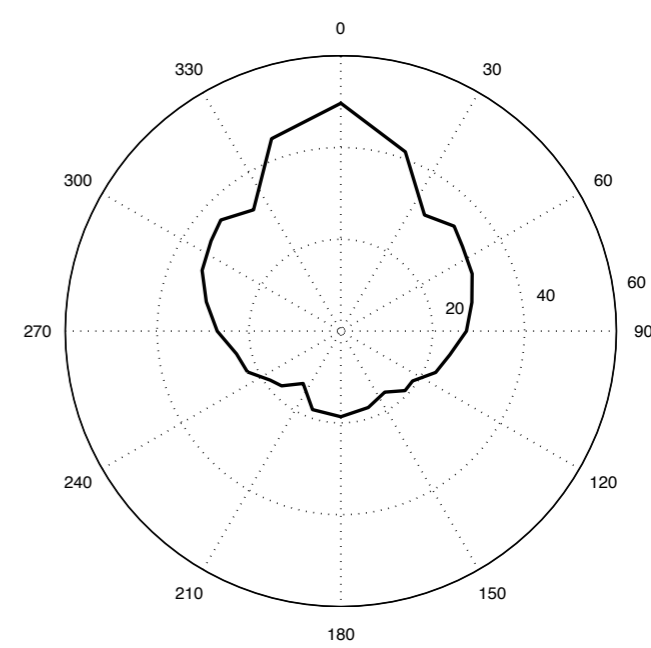
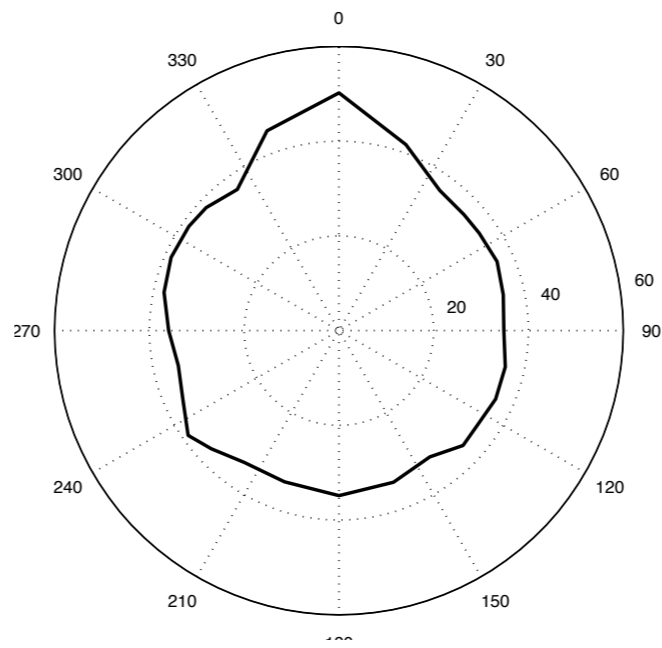
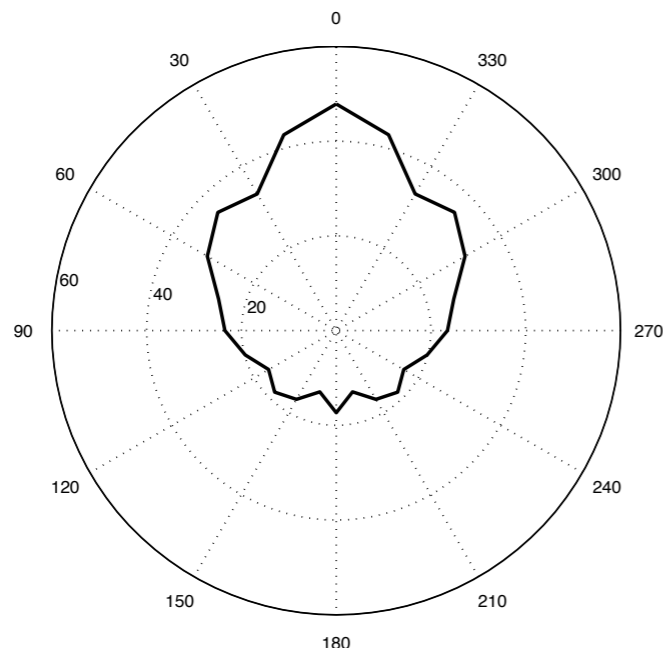
無響室測定の特徴

室内インパルスの特徴

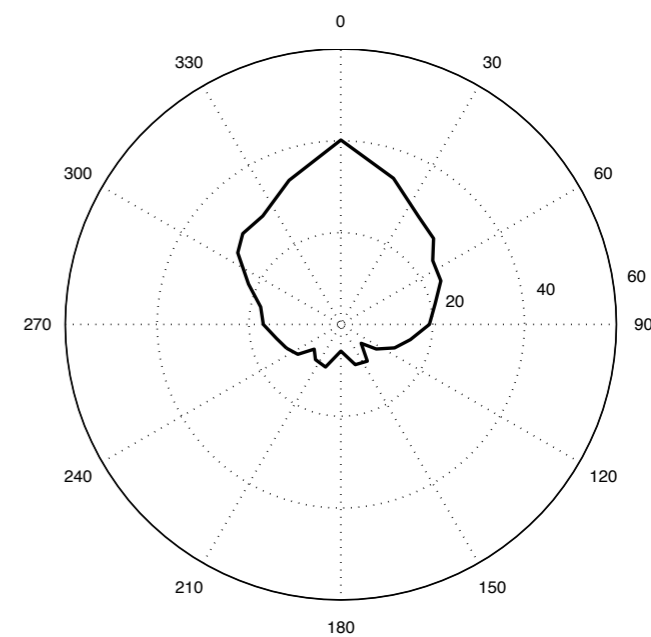
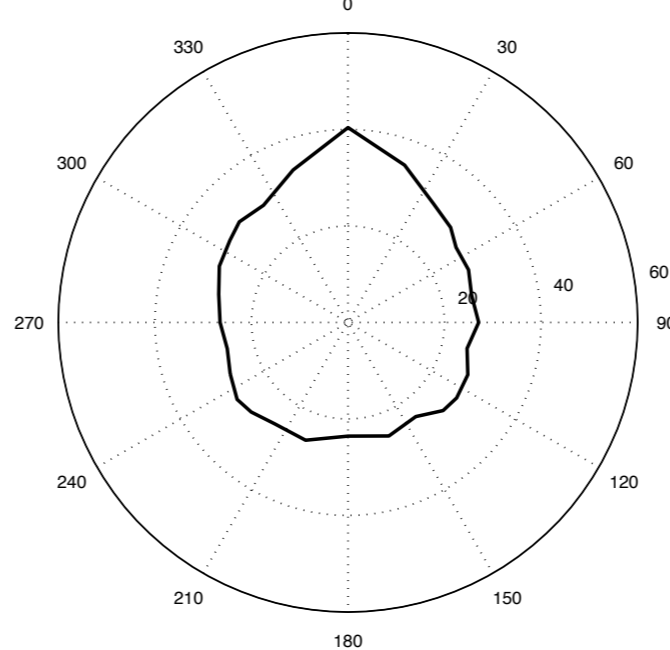
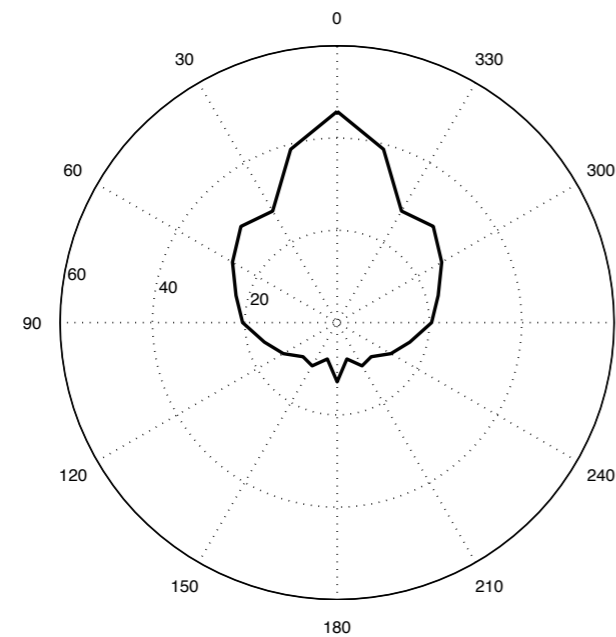
抽出した放射指向特性

結果比較(10, 16 kHzの音圧レベル)

10 kHz



16 kHz



無響室測定の特徴

室内インパルスの特徴

抽出した放射指向特性

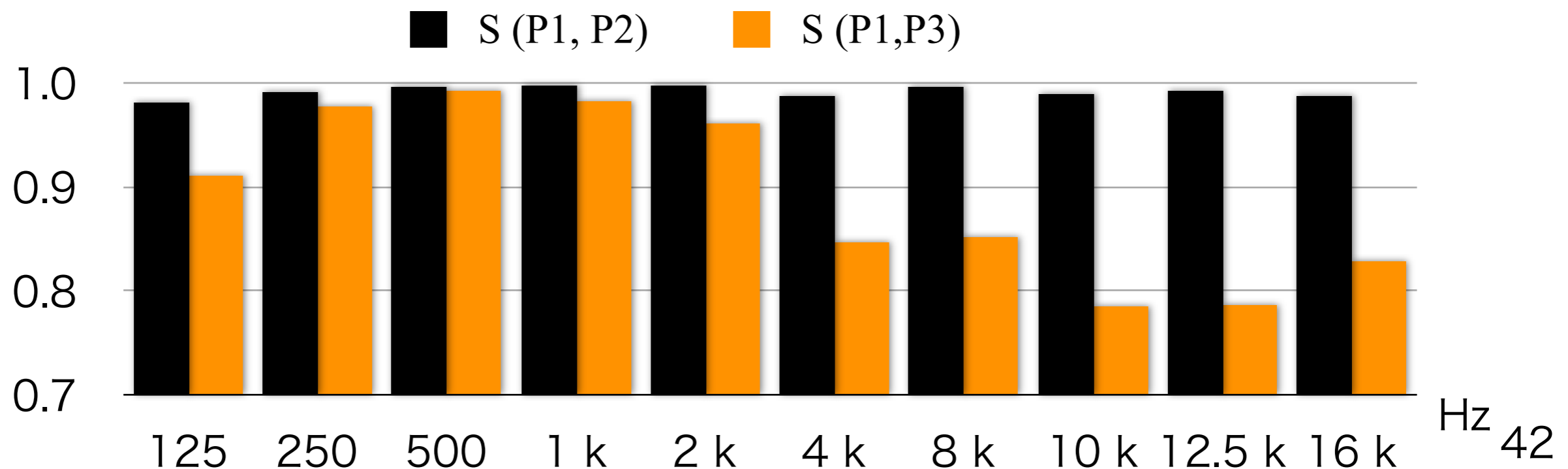
パターン照合における類似度を用いた評価

■ パターンベクトルを用いた類似度の比較

■ パターンベクトル $P(f) = (x_{\theta_1}(f), x_{\theta_2}(f), \dots, x_{\theta_N}(f))$

■ 類似度 $S(P_1(f), P_2(f)) = 1.0 - \frac{|P_1(f) - P_2(f)|}{|P_1(f)|}$

■ P1:無響室, P2:抽出した応答, P3:室内インパルス応答



評価結果について

■ 測定結果と抽出結果の比較

■ 正面(0 deg.), 真横(90 deg.), 背面(180 deg.)の結果：

- ✳ 真横の～300 Hz以外では測定結果と同様の傾向

■ 方向ごとの1/3オクターブバンド解析結果：

- ✳ 500 Hz以上では放射指向特性を抽出可能

■ パターン照合の結果：

- ✳ 室内インパルス応答そのものは(波長が短い)高周波帯域では反射音の影響により精度が悪い
- ✳ 抽出したものは高周波数でも精度よく放射指向特性を模擬

■ 結果

- インパルス応答の初期反射までの切り出しにより放射指向特性を抽出可能

第5章のまとめ

■ 目的

- 室内音響特性と音源の放射指向特性が混合された系から音源の放射指向特性成分の抽出

■ 結果

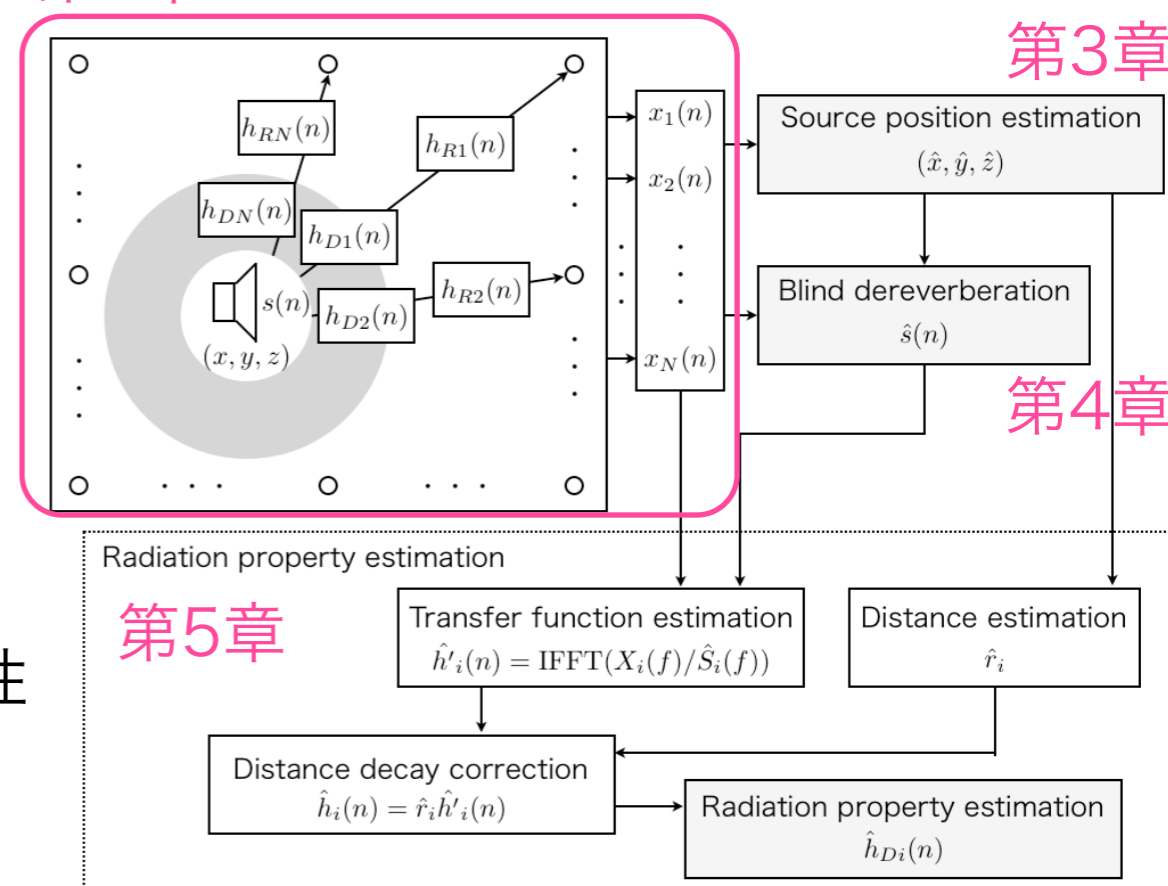
- 4章で考案したWhite-LIMEから抽出される原音情報を用いてインパルス応答を抽出
- 観測点と壁面との距離を規範として初期反射音が到来する直前までの応答を放射指向特性として切り出すことにより、音源の放射指向特性を抽出可能

結論 (1)

■ 次世代音空間提示システム実現のための室内音源特性の高精度抽出

- 第2章：包囲型マイクロホンアレイの構築
- 第3章：RAP-MUSICによる音源位置抽出
- 第4章：White-LIMEによる原音抽出
- 第5章：インパルス応答抽出と放射指向特性の切り出し

第2章



反射音の存在する室内環境における音源特性情報

(位置情報, 原音情報, 放射指向特性)の高精度抽出を実現

結論 (2)

■ 本研究成果に期待できる応用技術

■ 現状の音場再現を超える音空間創作システムの実現

- ✳ 音源位置情報(位置座標), 原音情報(波形情報), 放射指向特性(インパルス応答)を属性値として抽出可能



- ✳ 別イベントの情報との入れ替え, 属性値の編集が可能
 - ➡ 人の声を入れ替える
 - ➡ 人や楽器の向き(放射指向特性)を変更する

■ 放射指向特性を含んだ実音源レンダリングシステムの実現

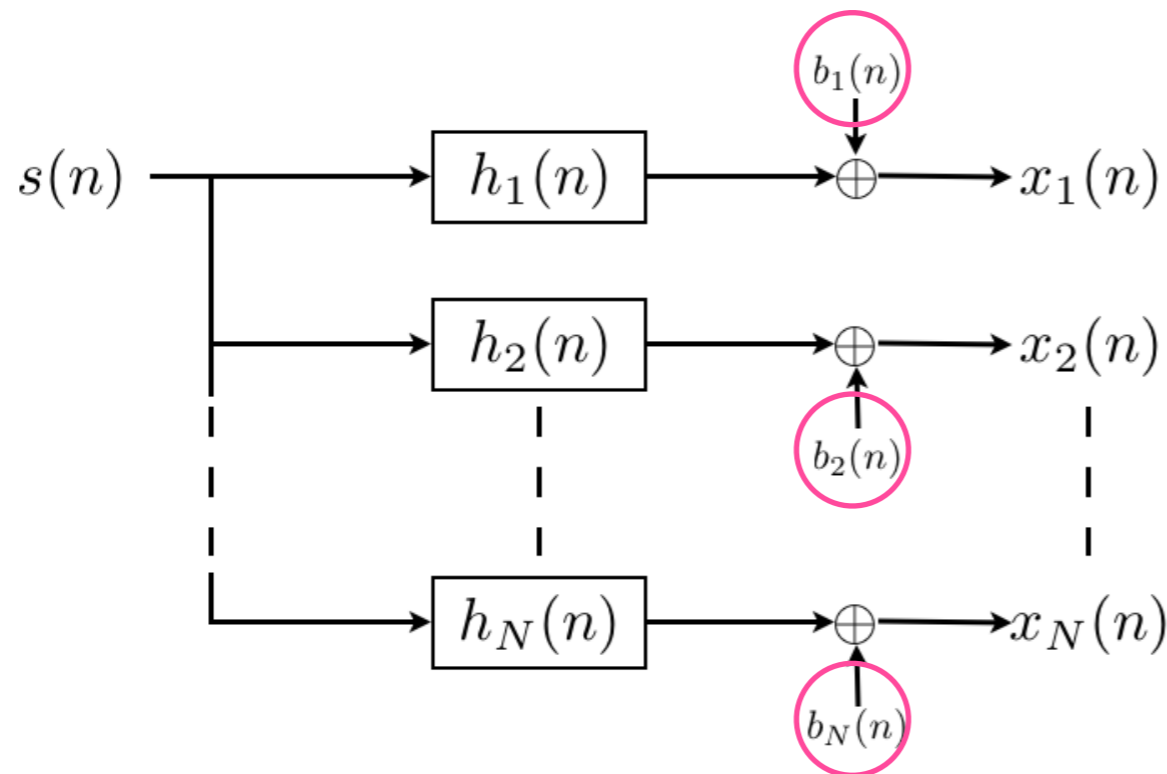
- ✳ 音源に近づく, まわりをまわることが可能
- ✳ 立体映像技術などとの統合: その場にいるかのような現実感を提示

多様性に富んだ臨場感提示システム実現に貢献

さらなる発展のために

■ 背景雑音耐性のある原音抽出法の検討

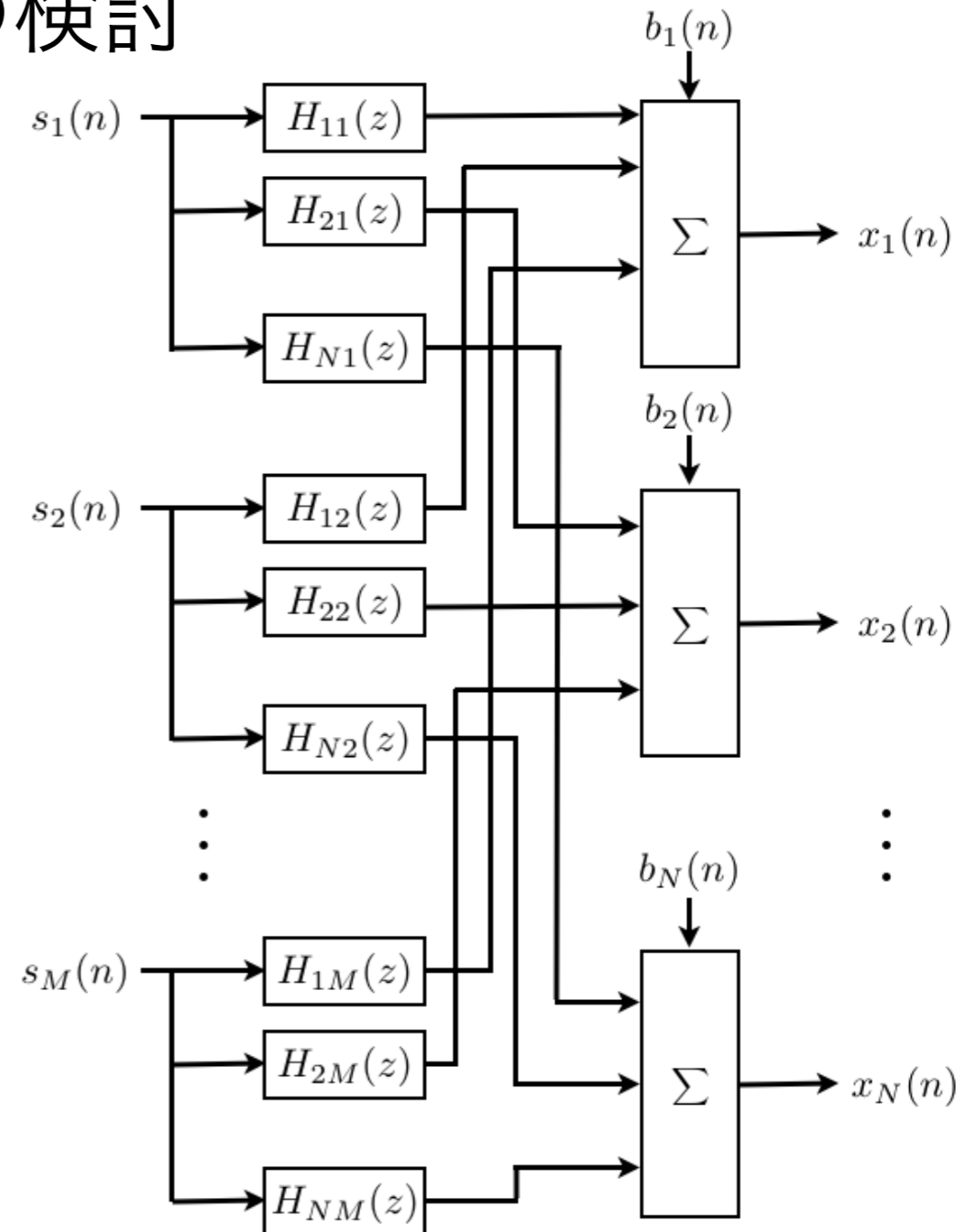
- LIMEアルゴリズム：背景雑音には非常に弱い
- 実環境に適用するには雑音対策は必須



SIMOモデル (背景雑音あり)

■ MIMO (Multiple Input Multiple Output) への適用

- マイクロホンアレイ信号処理の夢



MIMOモデル