

任意のスピーカ配置に対応した 複数領域音場制御技術

国立研究開発法人情報通信研究機構
先進的音声翻訳研究開発推進センター
先進的音声技術研究室

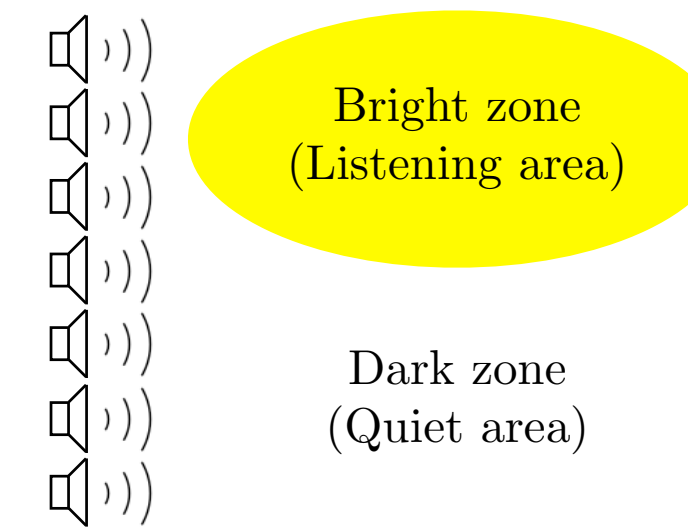
主任研究員 岡本 拓磨

研究背景

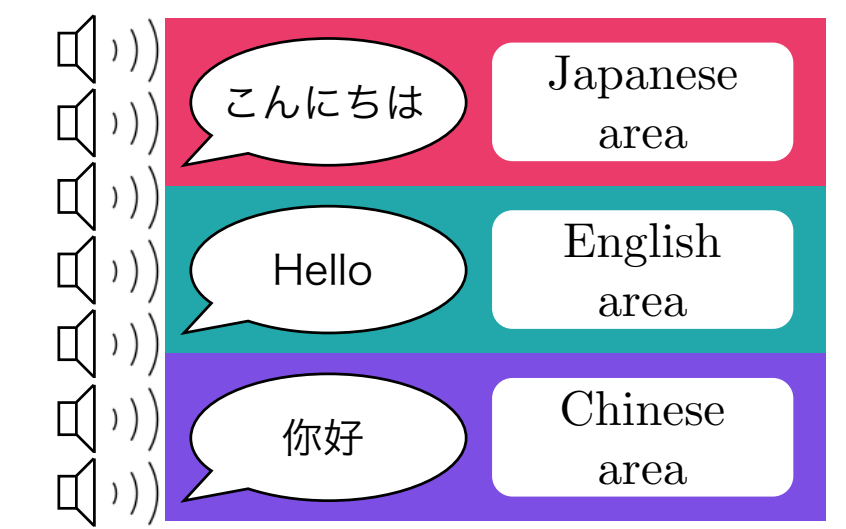
■ 多チャンネルスピーカ(=スピーカアレイ)を用いた局所再生・マルチスポット再生・マルチ音場制御

■ (1) 局所再生：音圧のみを制御

- ✳ ある領域にのみある特定の音が聞こえ
他の場所では聞こえない



(a) 局所再生



(b) マルチスポット再生

■ (2) マルチスポット再生：音圧のみを制御, (a)の重ね合わせ

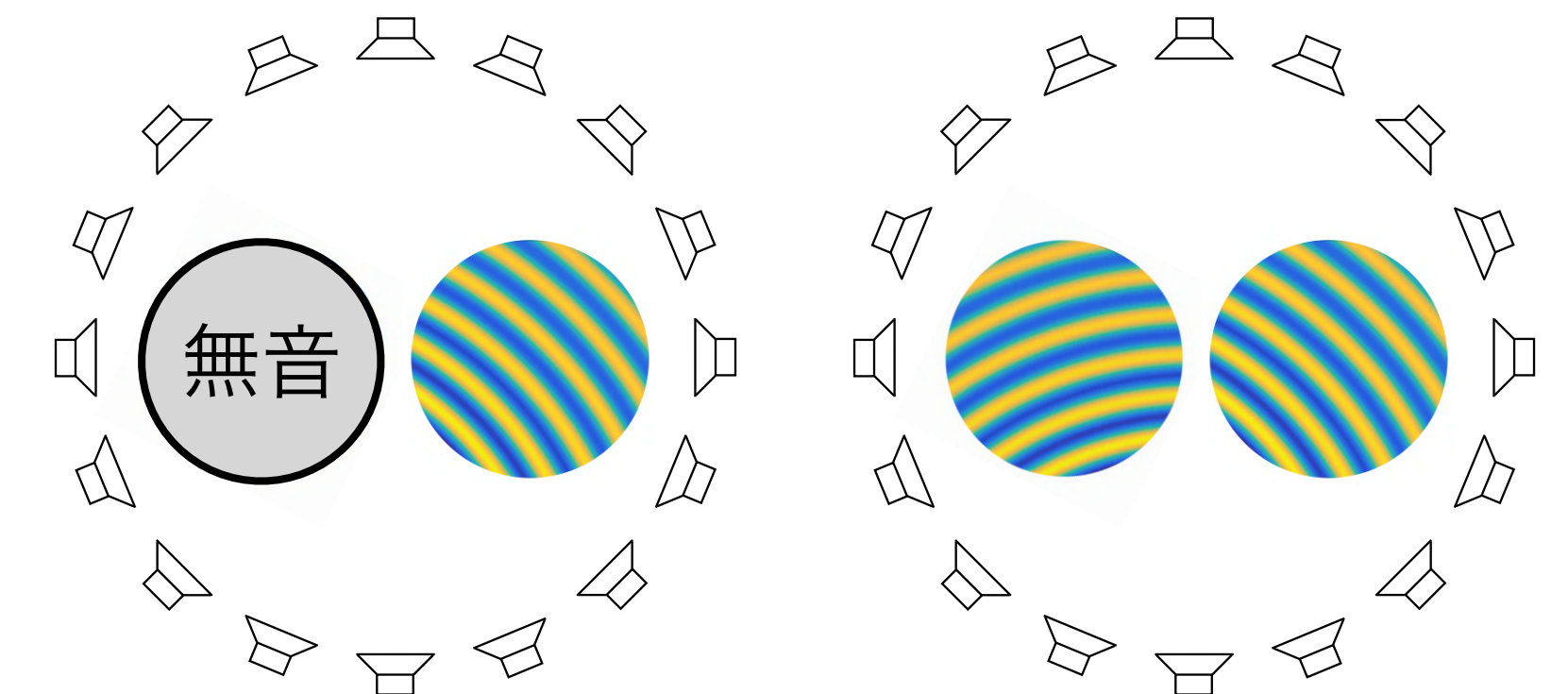
- ✳ それぞれの領域にそれぞれ別の音が聞こえる

■ (3) マルチ音場制御：音圧だけでなく波面そのものを制御

- ✳ それぞれの領域で別々の音場を同時に再現

届けたい人だけに必要な音を届ける技術

如何に「音が聞こえない領域」を形成するか



(c) マルチ音場制御

類似技術との比較

■ ヘッドセット

- メリット：他への音漏れがない，音質がよい
- デメリット：人数分を用意する必要がある，接触型であるため感染対策的に懸念あり

■ 超音波スピーカ

- メリット：個人ごとのデバイス不要，鋭い指向性，非接触
- デメリット：音質が悪い，超音波領域では150 dB以上の音圧レベル(健康被害への懸念)

■ スピーカアレイを用いた局所再生・マルチスポット再生

- メリット：個人ごとのデバイス不要，鋭い指向性，非接触，健康被害なし，音質がよい
- 研究課題：制御精度向上，小型化，実用化

ヘッドセットや超音波スピーカに変わる
新たな音提示システムとして重要な研究課題

本日の発表の概要

■ 研究背景・類似技術との比較

■ 研究段階の研究成果

■ (A) 内部外部同時制御に基づくマルチ音場制御

✳ 特願2021-121174

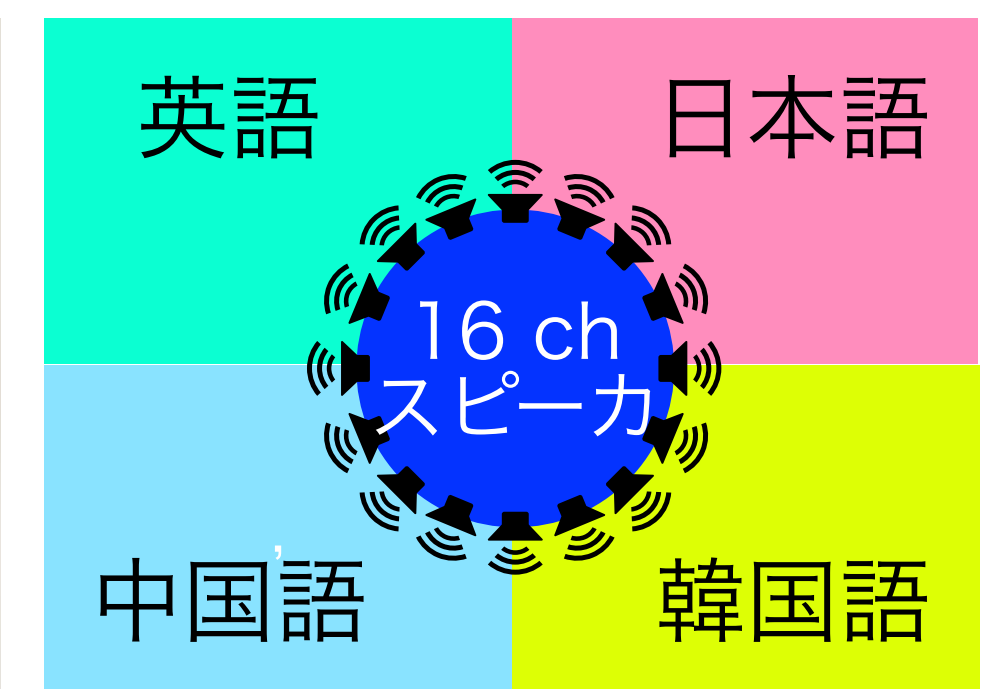
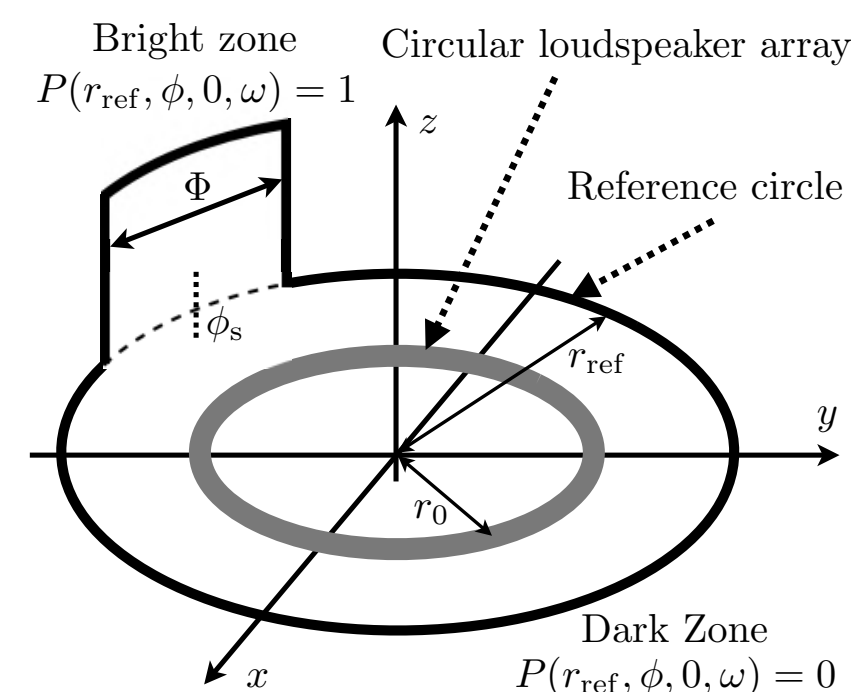
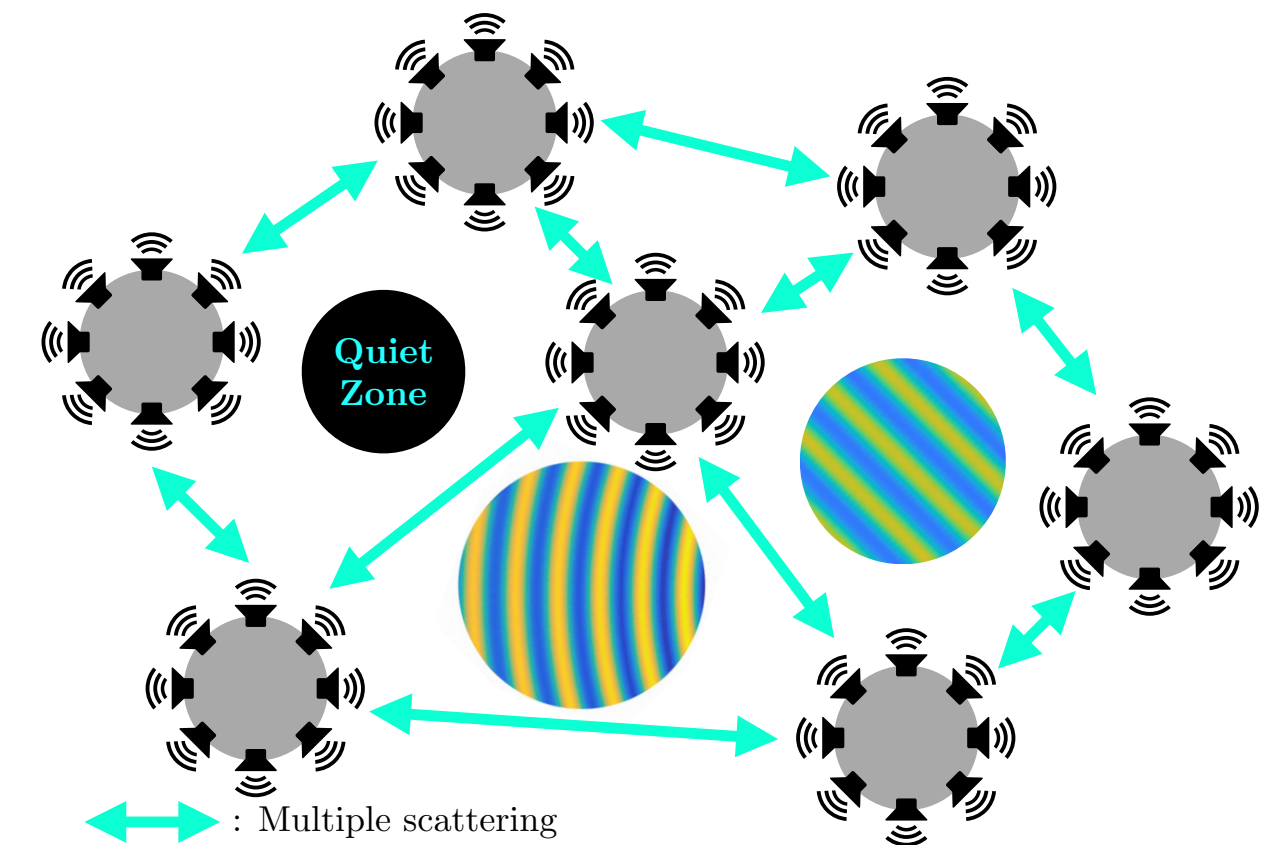
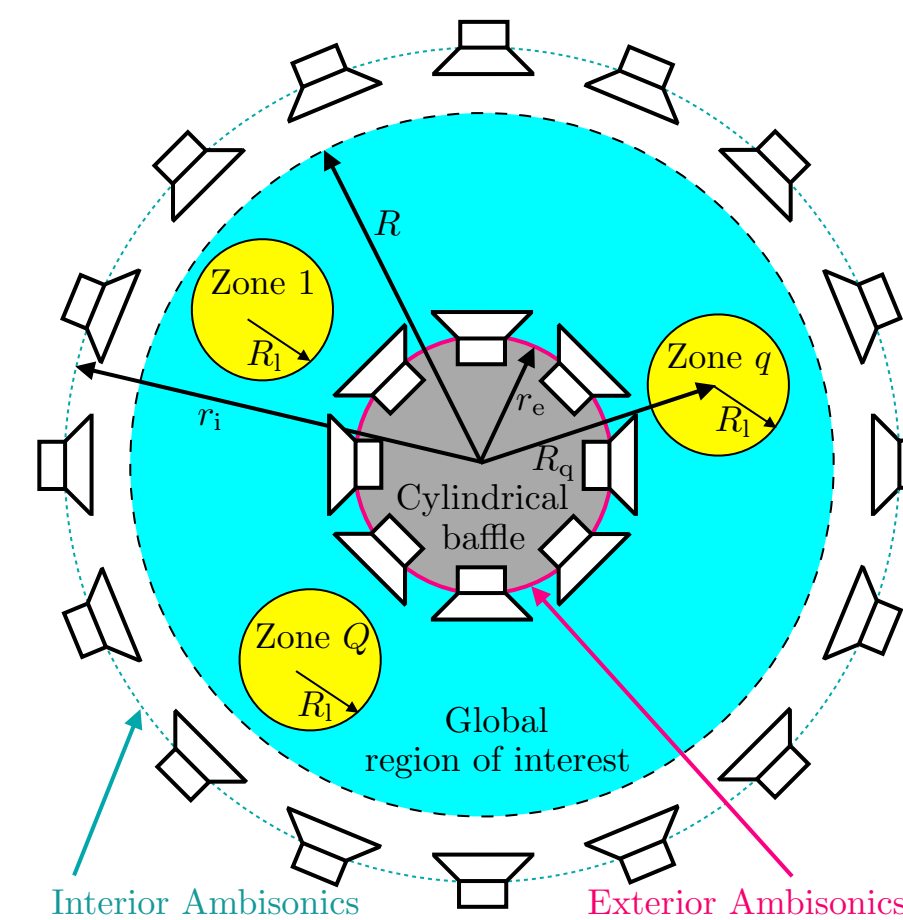
■ (B) 任意のスピーカ配置に対応したマルチ音場制御

✳ 特願2022-007150

■ 社会展開中の研究成果

■ (C) 空間フーリエ変換に基づく
マルチスポット再生

✳ 特許第6386256号



研究段階の研究成果(A)

■ 内部外部同時制御に基づくマルチ音場制御

■ 学会発表

- ✳ T. Okamoto, "2D multizone sound field synthesis with interior-exterior Ambisonics," WASPAA 2021
- ✳ 岡本, "音場分離と内部外部同時制御に基づくマルチ音場制御", 日本音響学会2021年秋季研究発表会

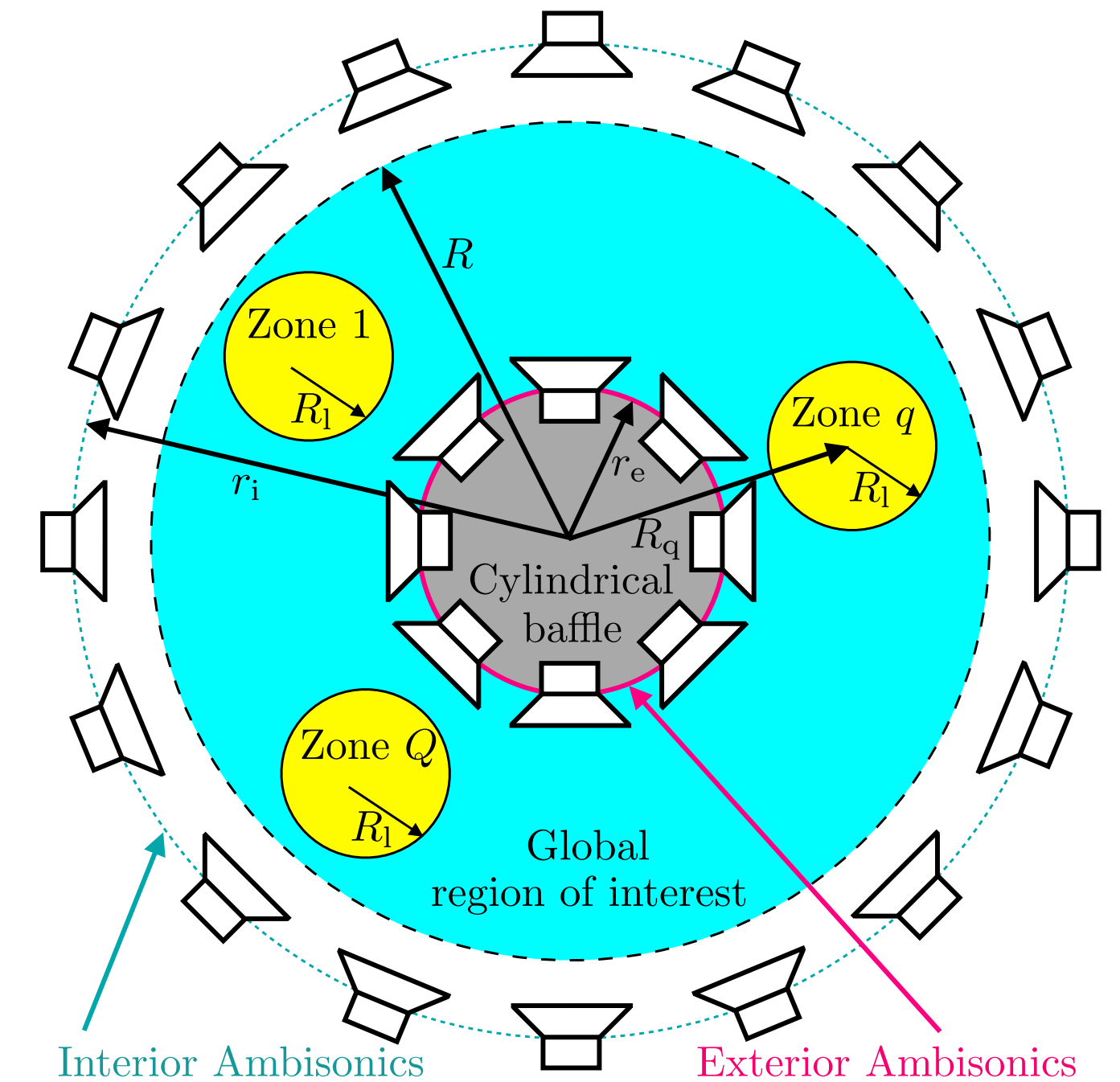
■ 本技術に関する知的財産権

発明の名称：音場制御装置, 音場制御システム, 音場制御方法およびプログラム

出願番号：特願2021-121174

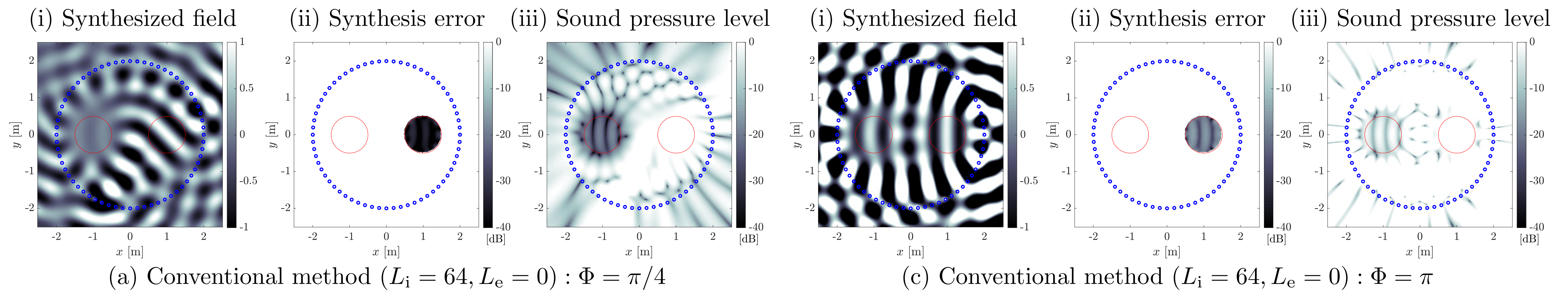
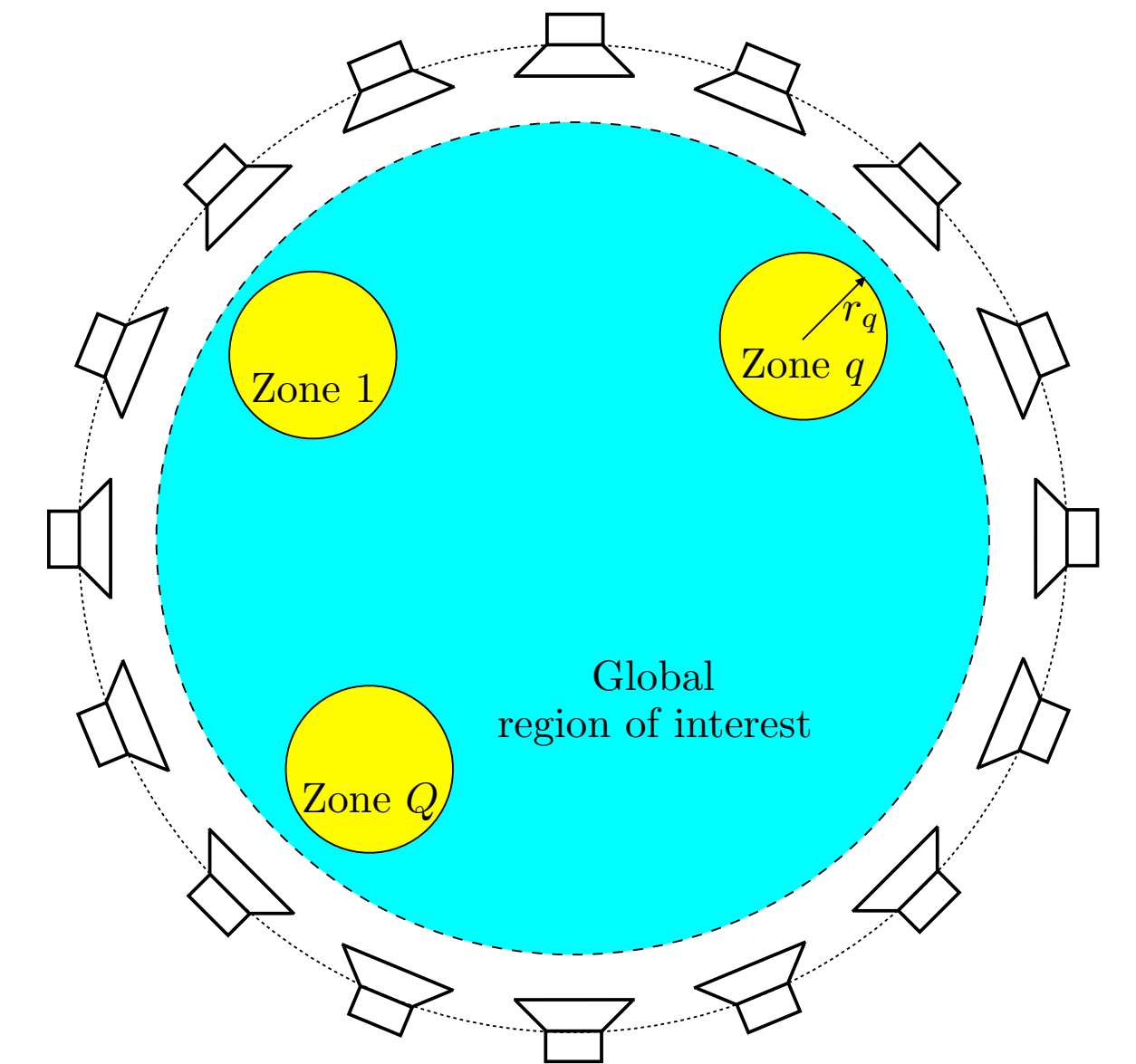
出願人：国立研究開発法人情報通信研究機構

発明者：岡本拓磨



従来技術とその問題点(A)

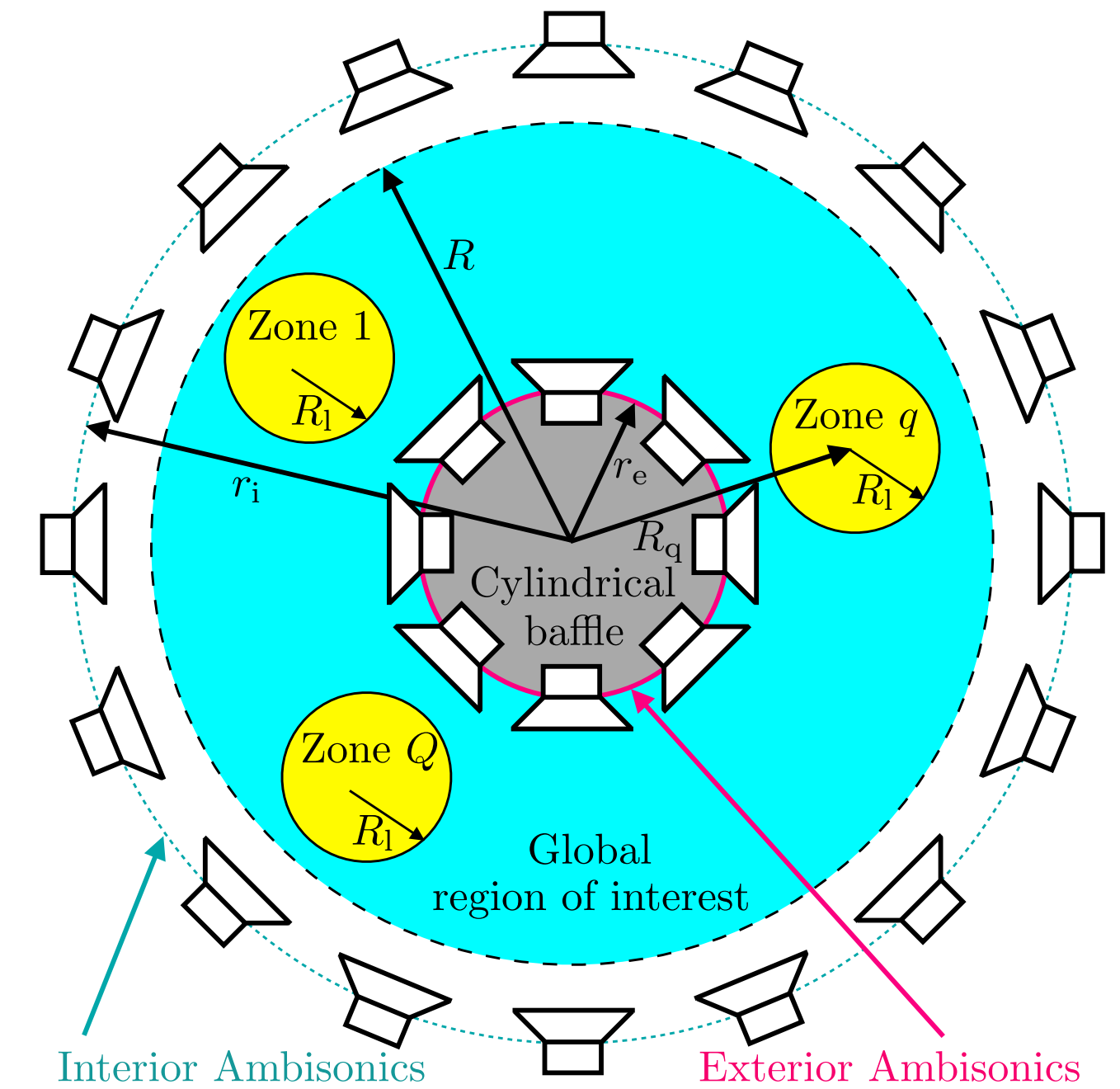
- 従来技術(e. g. Y. J. Wu et al., IEEE TASLP 2009)
 - 再生したい複数のローカル音場を定義し, グローバル音場へと変換
 - 変換されたグローバル音場を包囲型のスピーカアレイで再現
- 問題点
 - 無音領域の位置と有音領域の音波の進行方向との位置関係により制御性能が変わってしまう
 - 無音領域と並行な音波は実現が困難
 - そもそもグローバル音場への変換時点で物理的に無理がある



新技術の特徴(A)

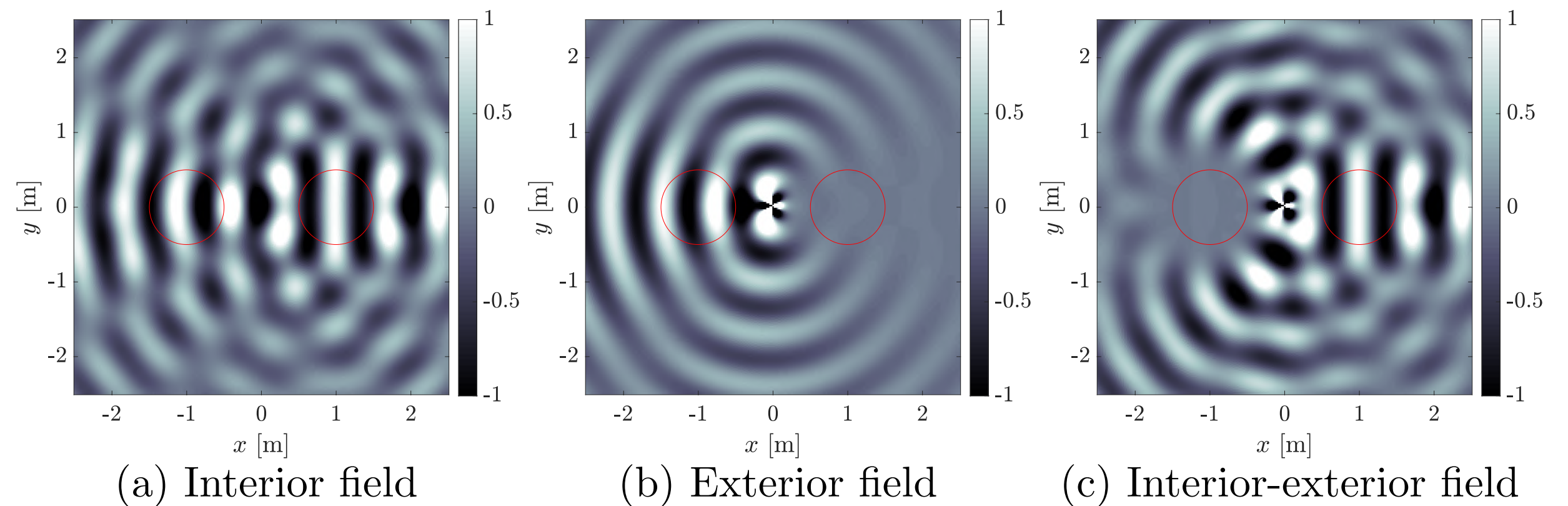
■ 原理

- 包囲型アレイの内側に放射型アレイを追加
- 複数のローカル音場を包囲型アレイ用のグローバル音場と放射型アレイ用のグローバル音場へと変換
- それぞれのグローバル音場をそれぞれのアレイで再生



■ 特徴

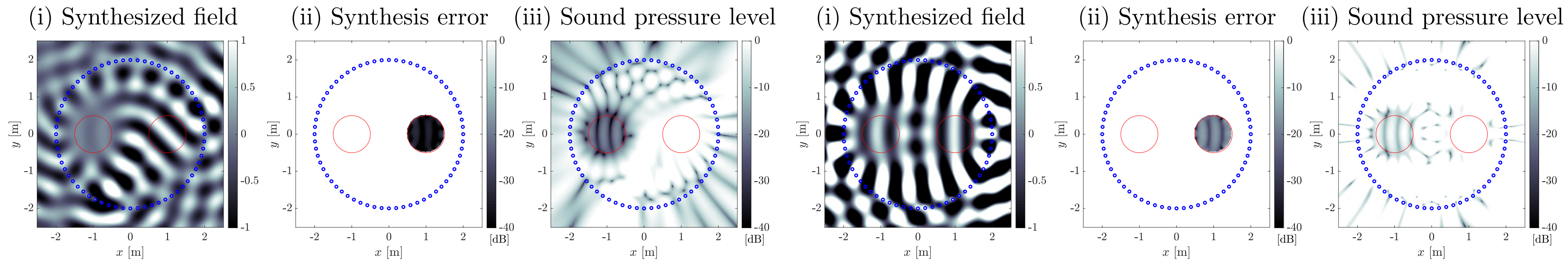
- 音波の進行方向へ依存せず分解が可能



従来技術との比較(A)

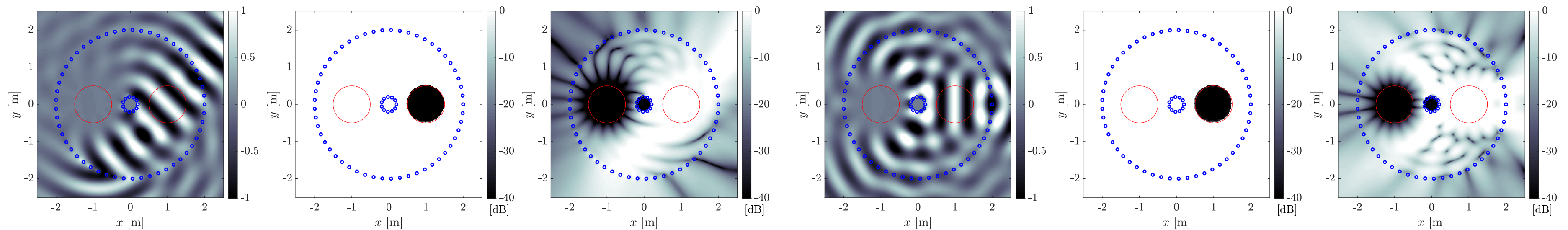
64チャンネルスピーカアレイを用いた計算機シミュレーション結果

- すべての音波の方向に対して提案法が高精度な波面を再現
- すべての音波の方向に対して提案法が高い音圧コントラストを実現



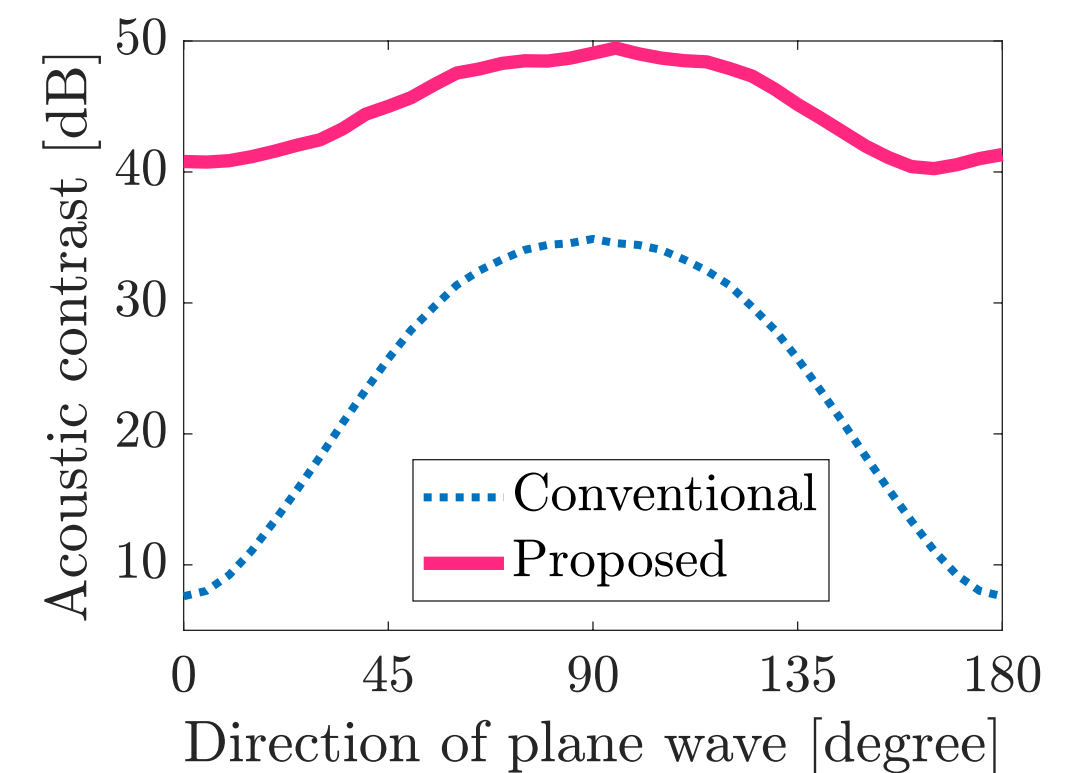
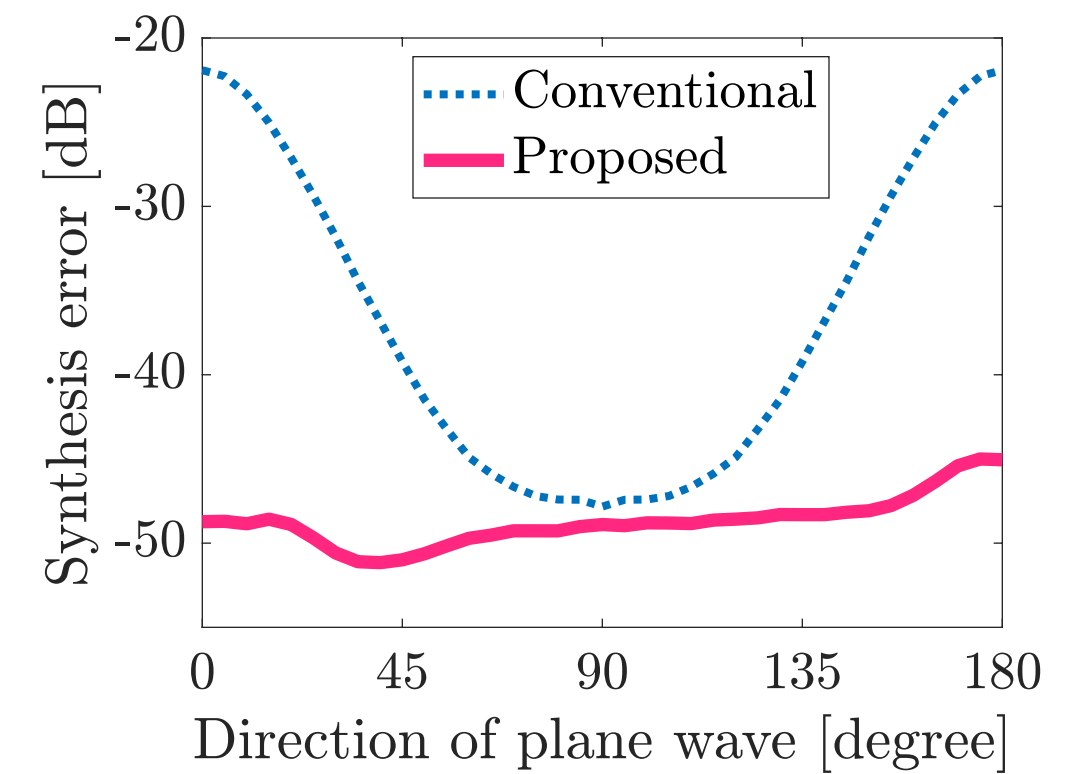
(a) Conventional method ($L_i = 64, L_e = 0$): $\Phi = \pi/4$

(c) Conventional method ($L_i = 64, L_e = 0$): $\Phi = \pi$



(b) Proposed method ($L_i = 53, L_e = 11$): $\Phi = \pi/4$

(d) Proposed method ($L_i = 53, L_e = 11$): $\Phi = \pi$



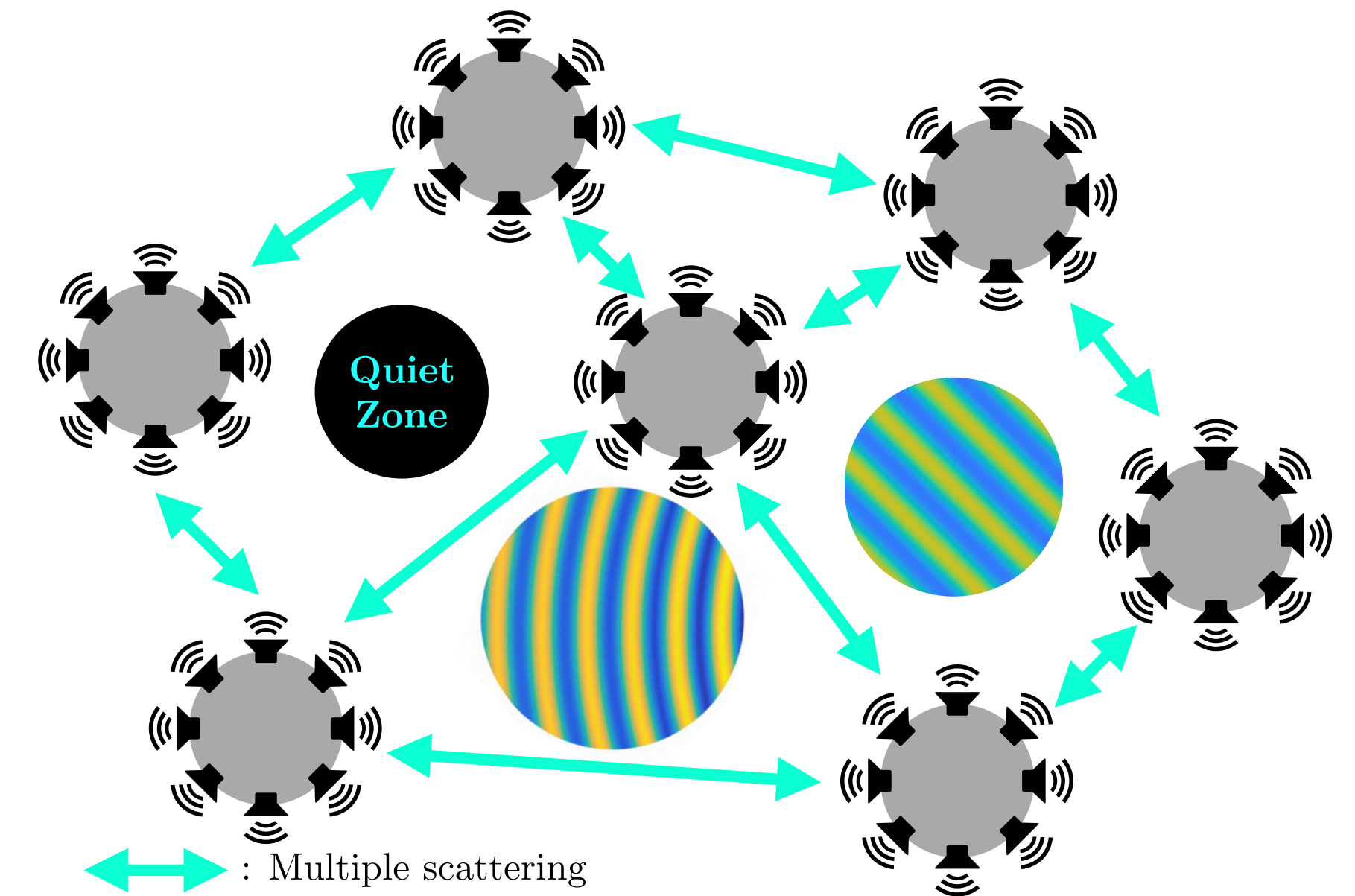
500 Hzの結果

研究段階の研究成果(B)

■ 任意のスピーカ配置に対応したマルチ音場制御

■ 学会発表

- ✳ 岡本, "複数バッフル型円形アレイを用いた多重拡散を考慮した音場制御", 日本音響学会2022年春季研究発表会



■ 本技術に関する知的財産権

発明の名称：音場制御装置, 音場制御システム, 音場制御方法およびプログラム

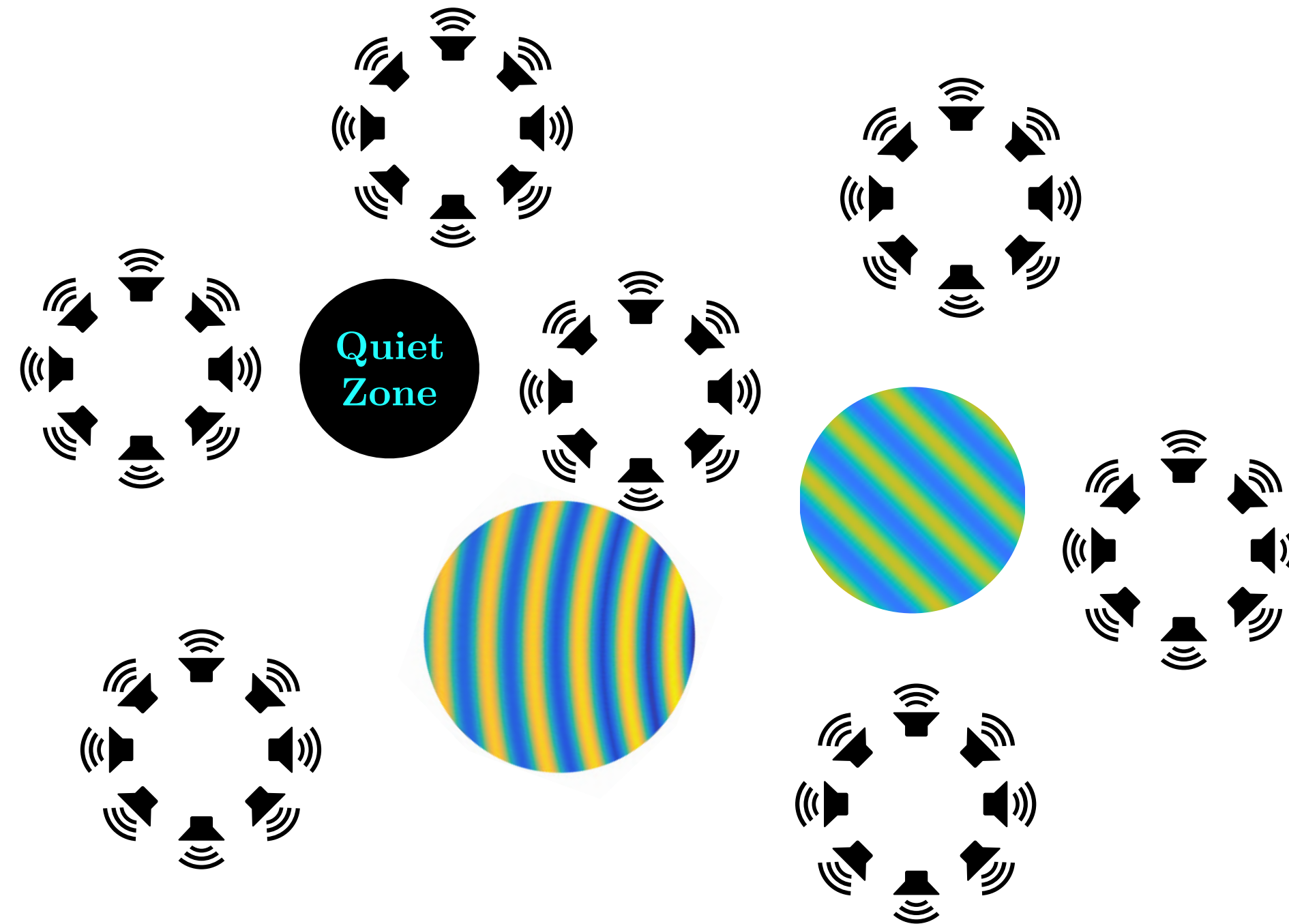
出願番号：特願2022-007150

出願人：国立研究開発法人情報通信研究機構

発明者：岡本拓磨

従来技術とその問題点(B)

- 従来技術(N. Ueno et al., IEEE TASLP 2019)
 - 重み付きモード制御法により任意のスピーカ配置のマルチ音場制御が可能



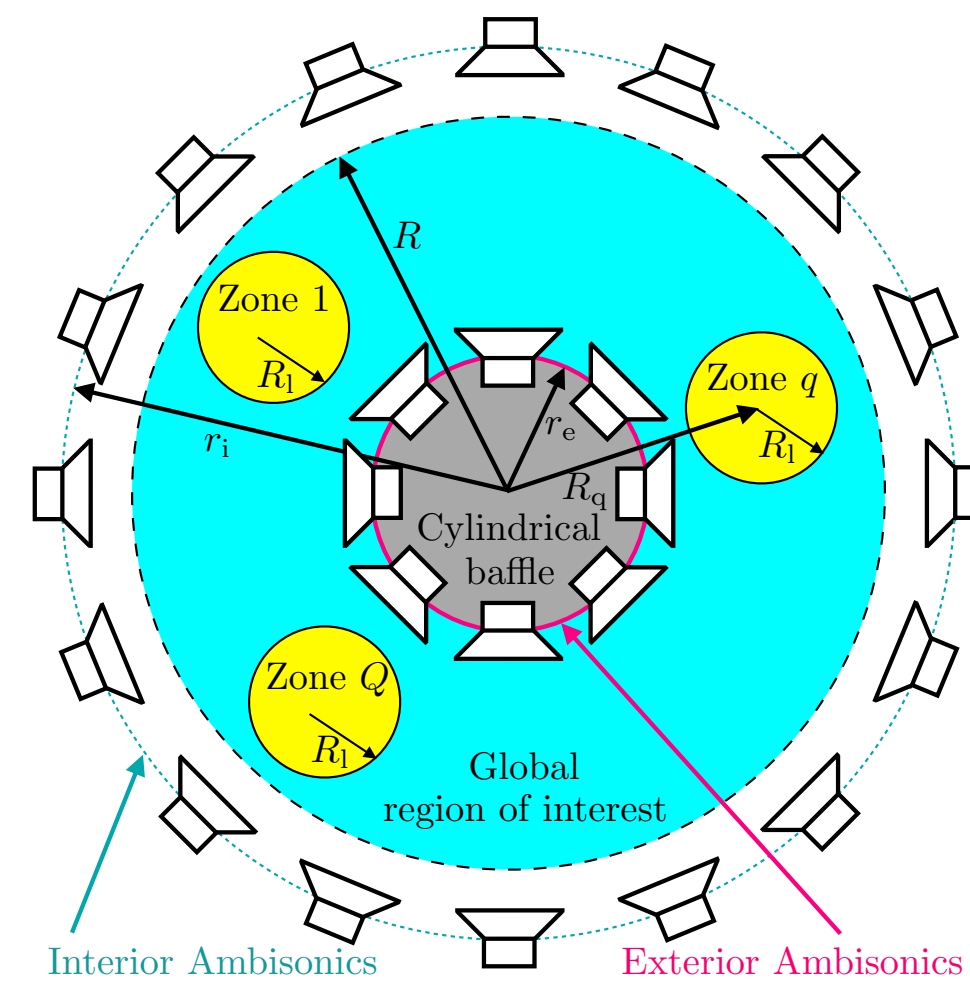
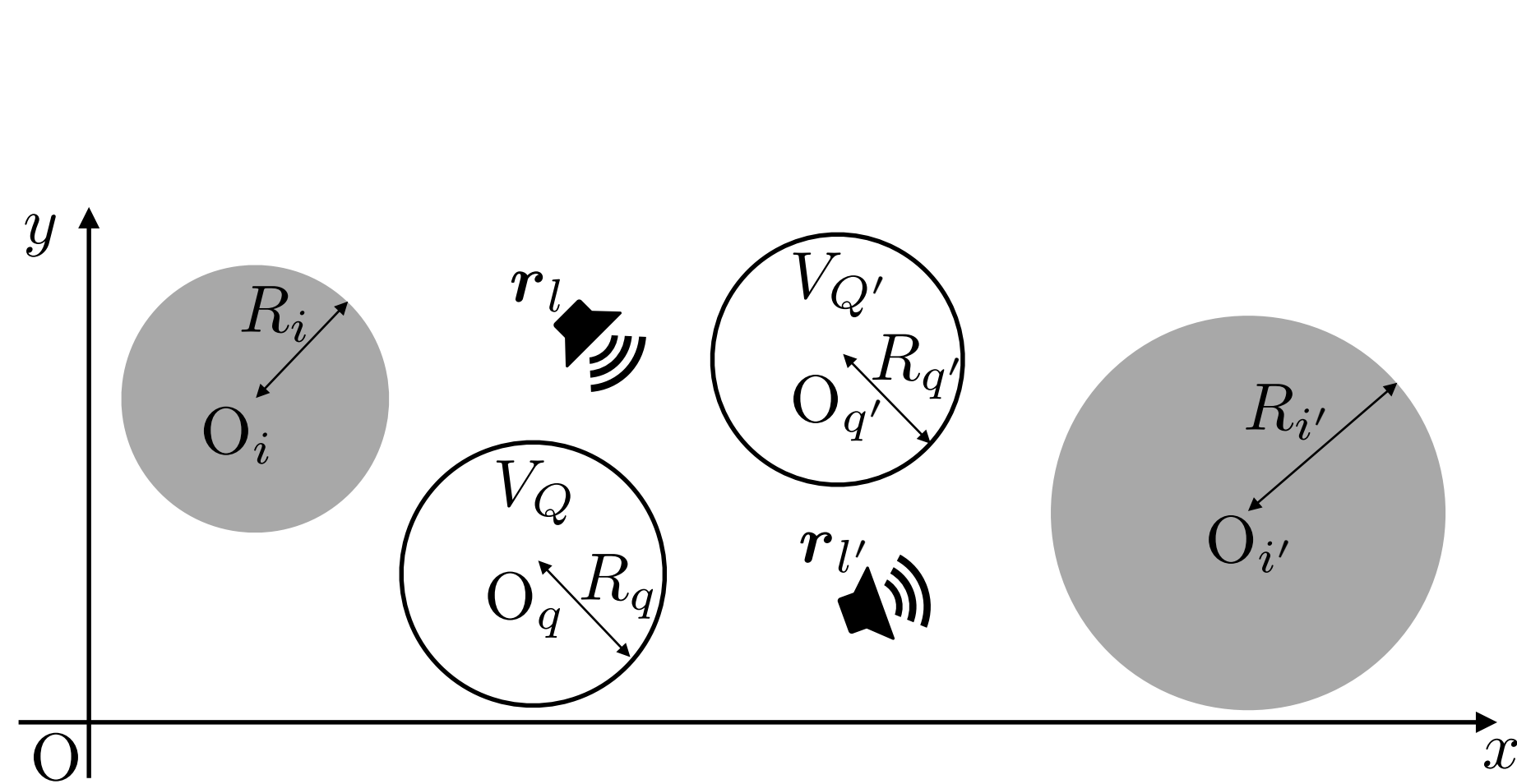
■ 問題点

- 再生領域内部に多数の円筒バッフル(=柱)がある場合(=多重拡散あり)にも対応したい

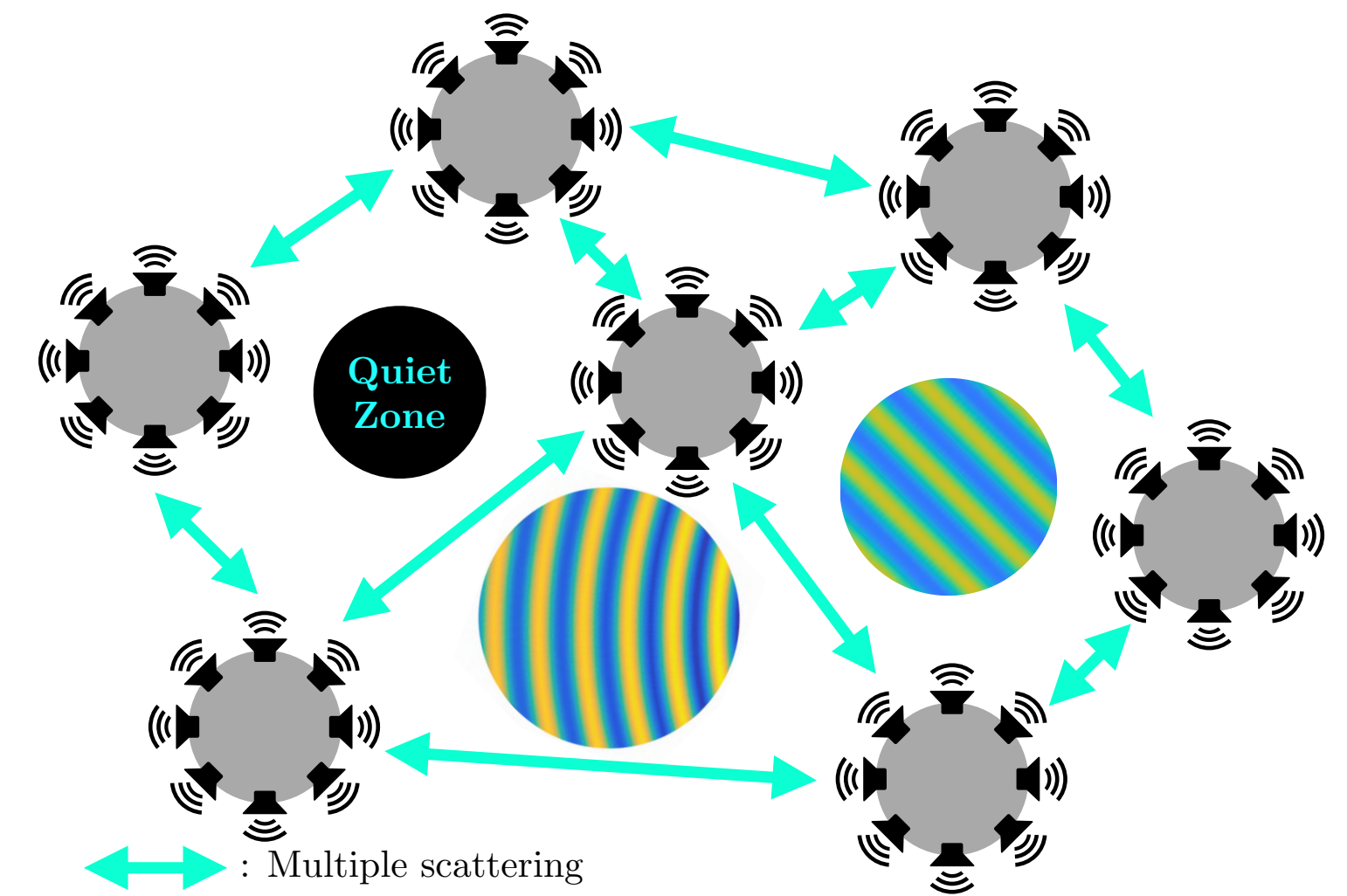
新技術の特徴(B)

■ 原理

- 複数円筒バッフルの多重拡散を考慮したスピーカと制御点間の伝達特性を解析的に導出
- 導出した伝達関数を用いた重み付きモード制御法により各スピーカの再生信号を算出



バッフルが1つの場合の特殊解



一般解

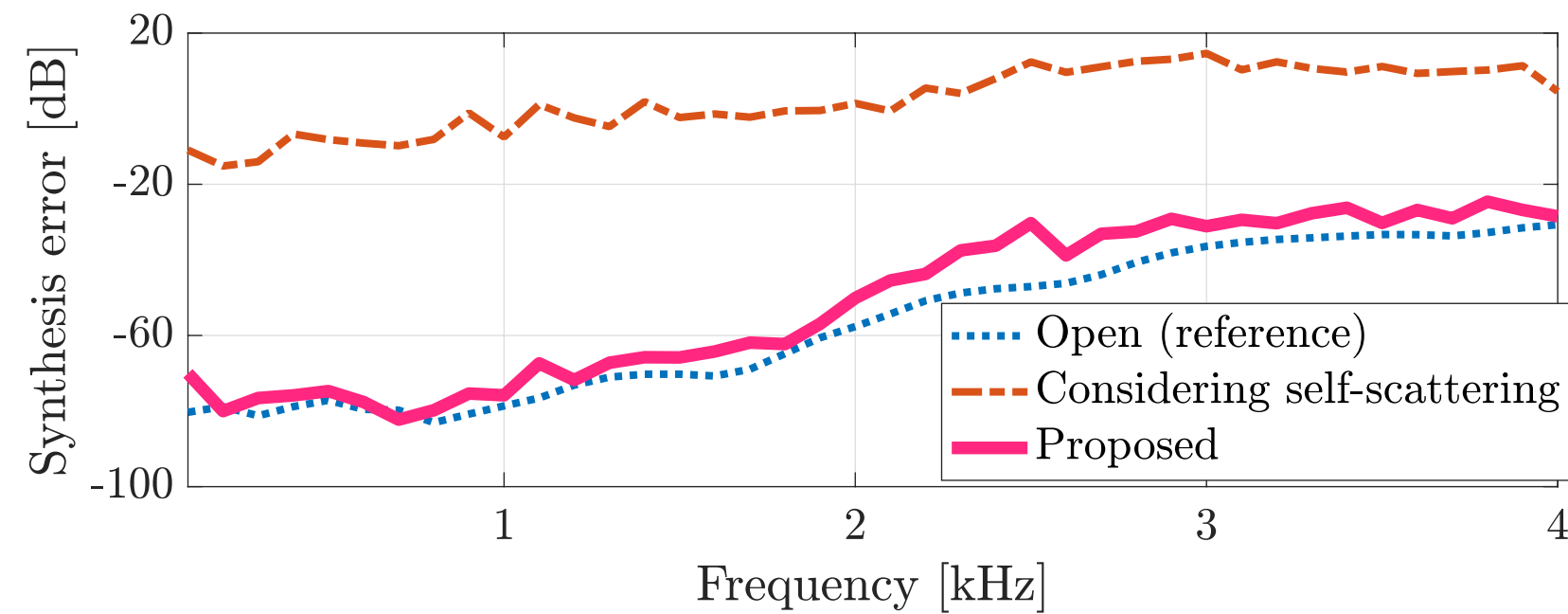
■ 特性

- 従来方式および新技術(A)を含む任意のスピーカ配置での一般解として導出

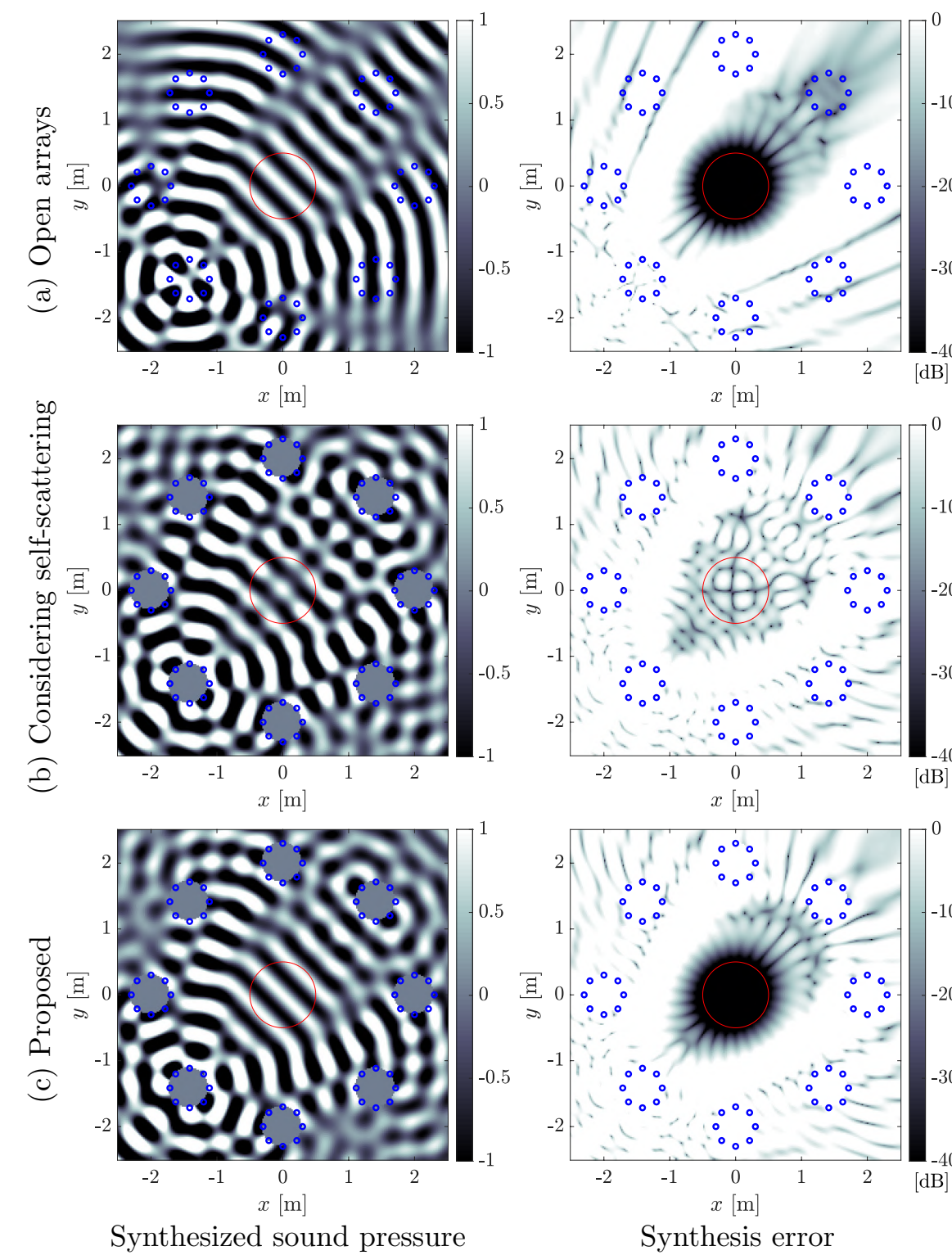
従来技術との比較(B)

■ 64チャンネルスピーカアレイを用いた計算機シミュレーション結果

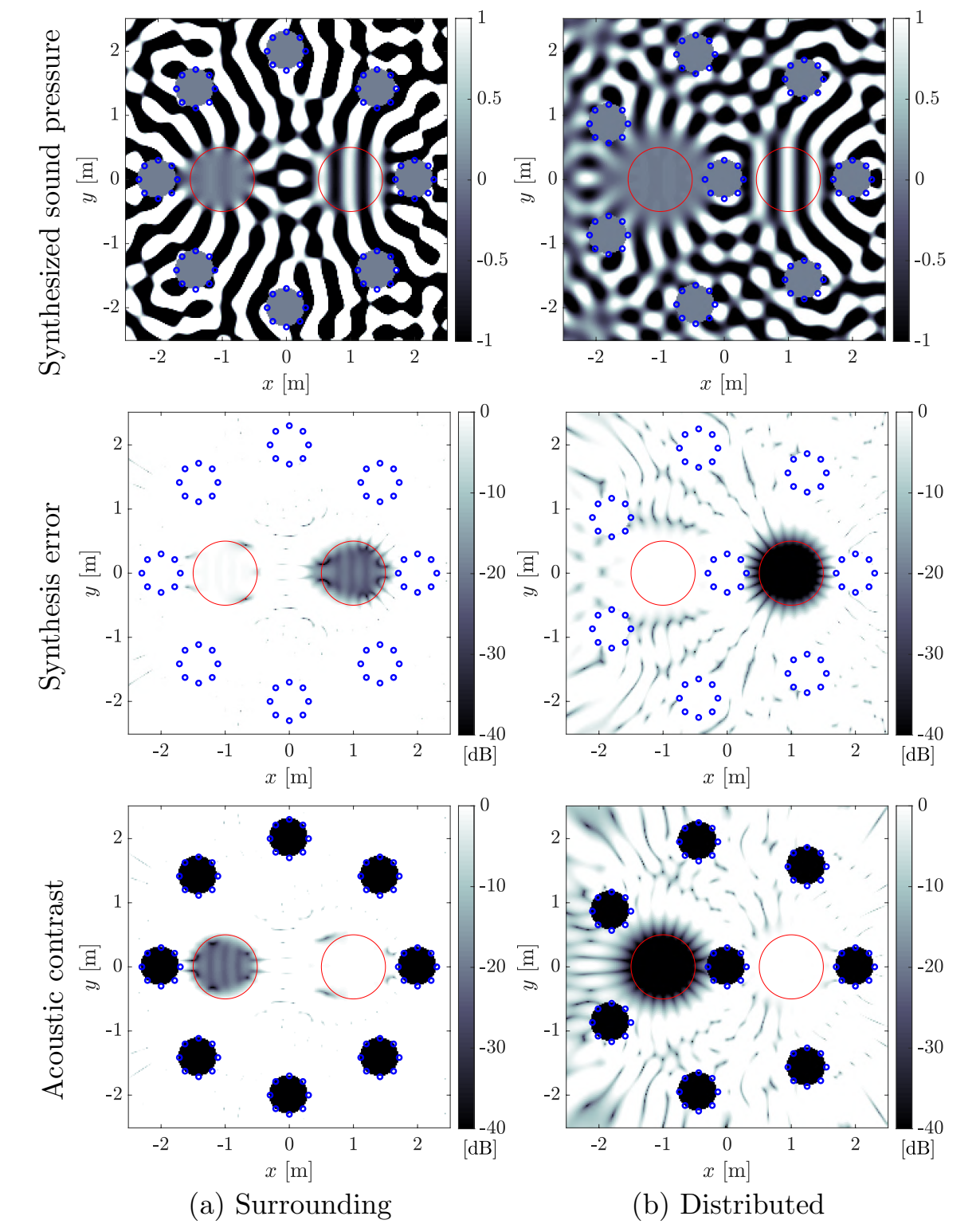
- 多重拡散を考慮していない
モデルよりも高精度
- 新方式(1)と同様無音領域と並行な音波の再現も可能



単一音場制御における再現誤差



単一音場制御 (500 Hz)



マルチ音場制御 (500 Hz)

実用化に向けた課題(A)(B)

■ 実環境での性能評価

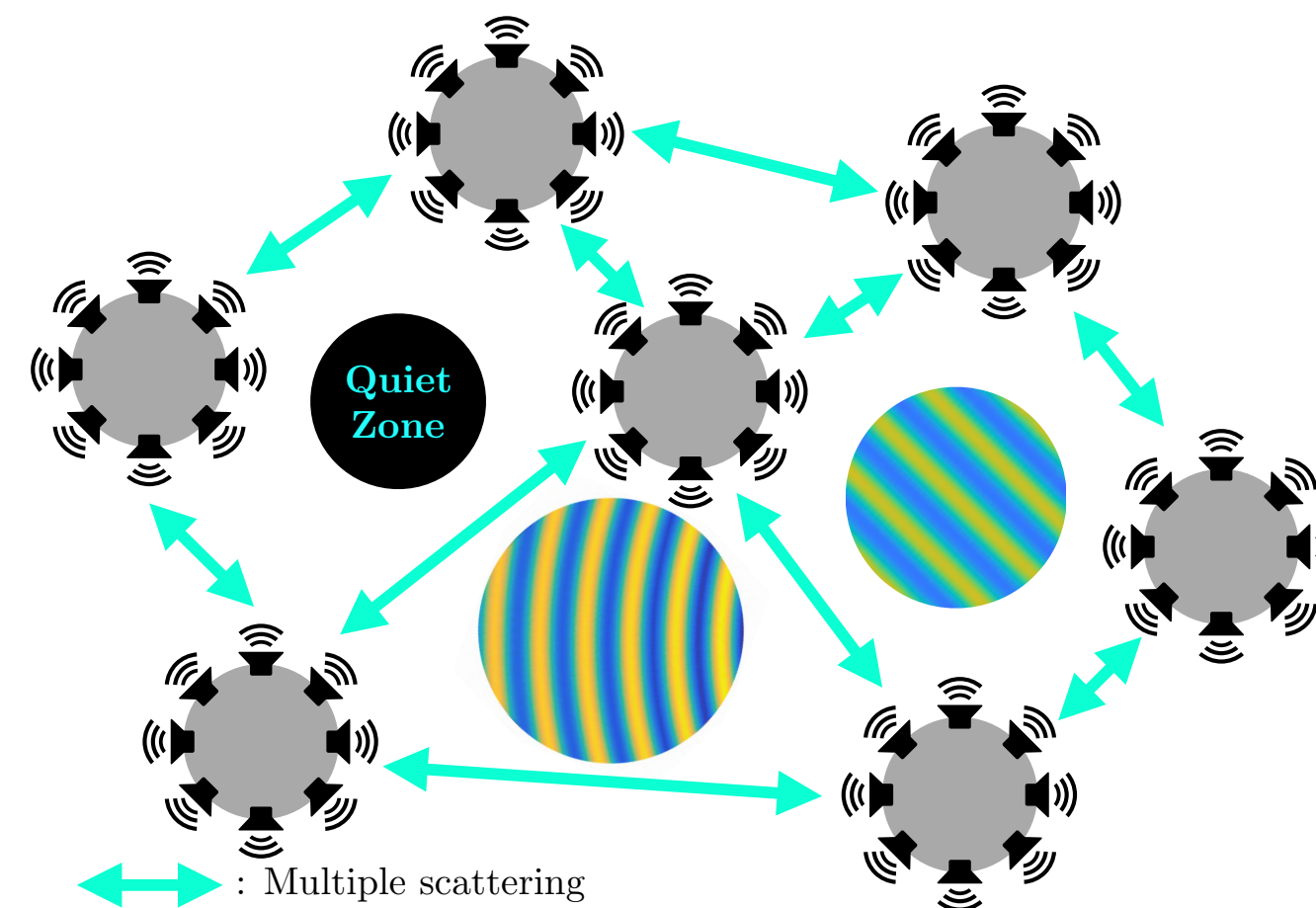
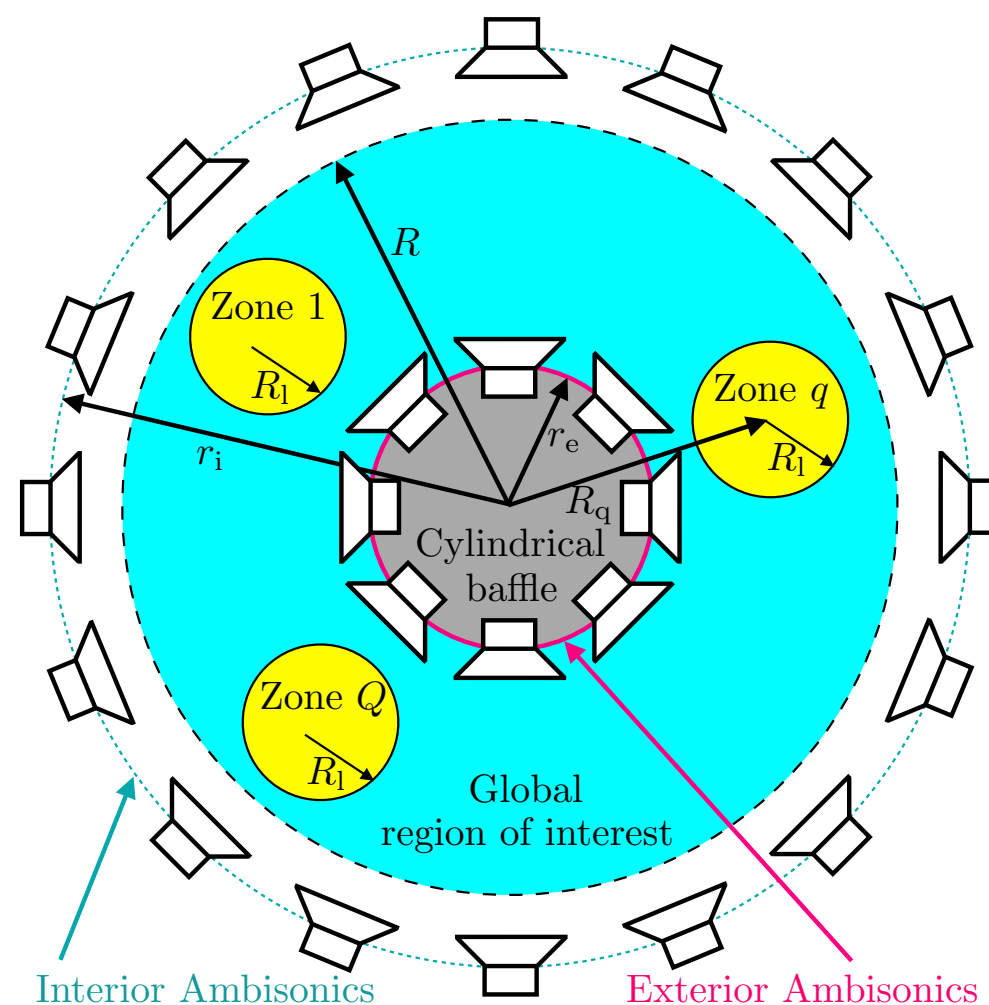
■ 共に定式化は2次元音場かつ自由音場

→ 実環境である3次元音場かつ反射音等を考慮した実環境での性能評価

■ スピーカチャンネル数の削減

■ 共に計算機シミュレーションでは64チャンネルのスピーカを使用

→ 実装のためにはチャンネル数の削減の検討が必要



社会展開中の研究成果(C)

■ 空間フーリエ変換に基づくマルチスポット再生

■ 主要な学術論文, 査読付き国際会議

✳ T. Okamoto and A. Sakaguchi, “Experimental validation of spatial Fourier transform-based multiple sound zone generation with a linear loudspeaker array,” J. Acoust. Soc. Am. 2017 (直線スピーカアレイ)

✳ T. Okamoto, “Analytical methods of generating multiple sound zones for open and baffled circular loudspeaker arrays,” WASPAA 2015 (円形スピーカアレイ)

■ 本技術に関する知的財産権

発明の名称：局所音響再生装置およびプログラム

登録番号：特許第6386256号

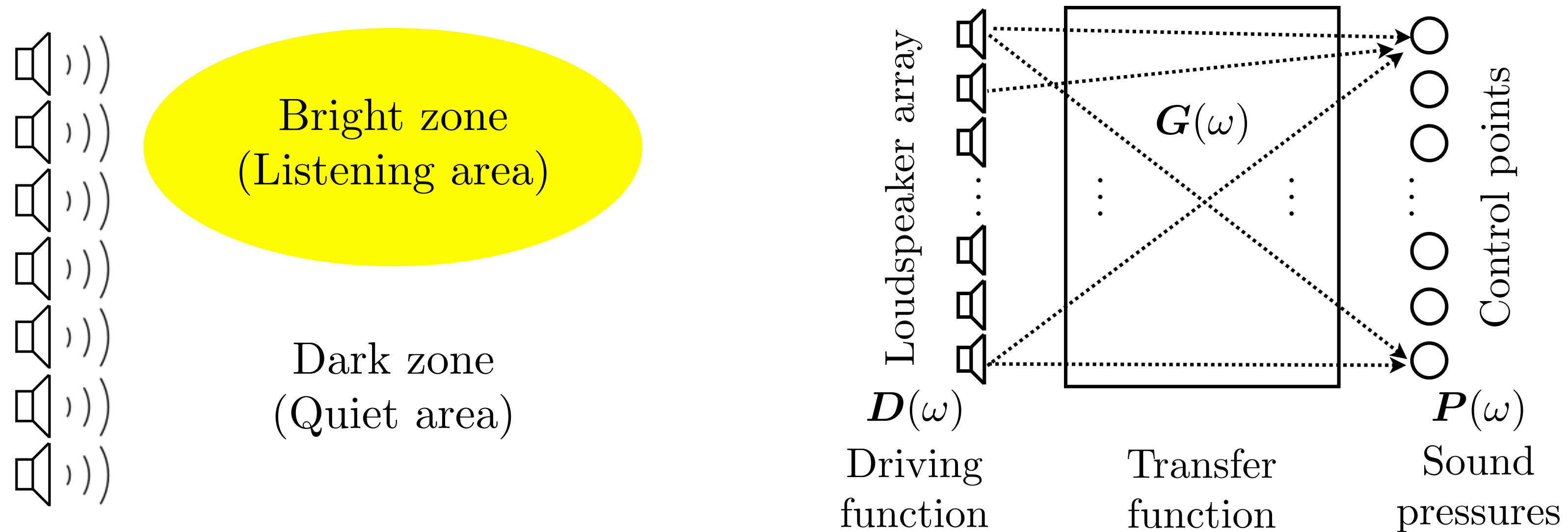
出願人：国立研究開発法人情報通信研究機構

発明者：岡本拓磨

従来技術とその問題点(C)

■ 従来技術(e. g. J. Choi et al., J. Acoust. Soc. Am. 2002)

- 多点制御に基づく方式：各スピーカと制御点間の伝達関数の逆行列演算に基づく



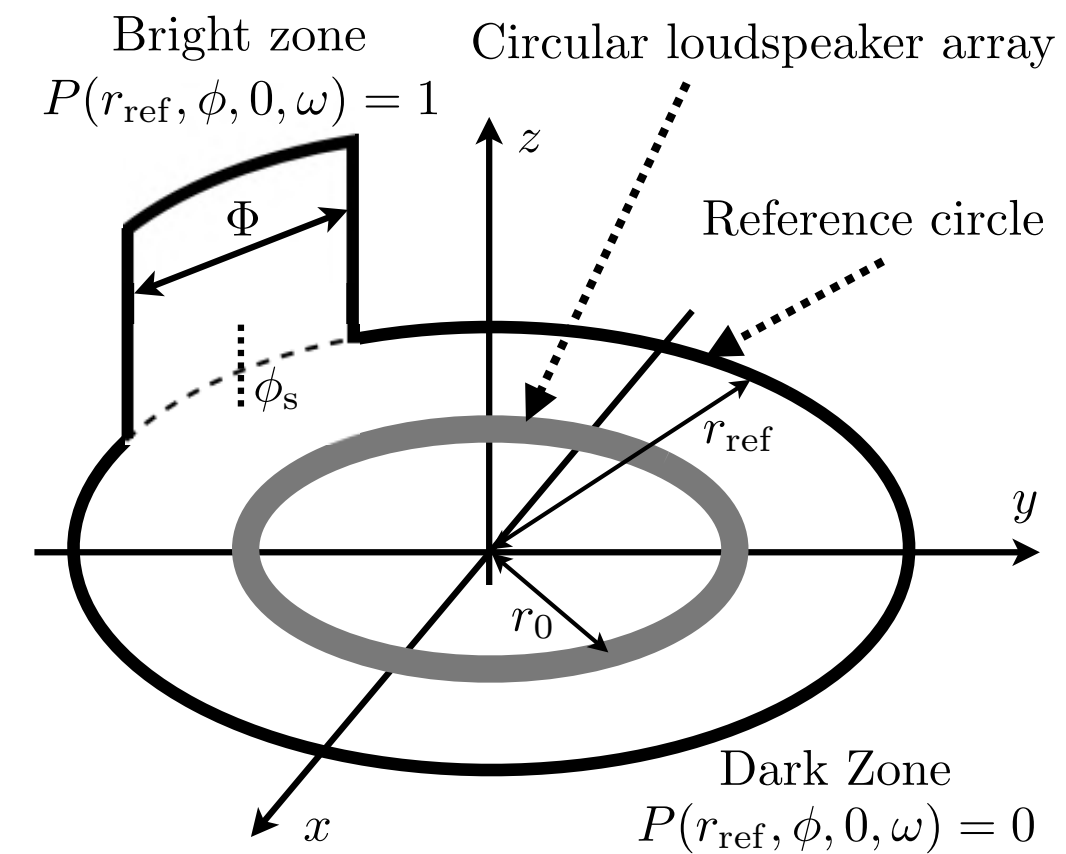
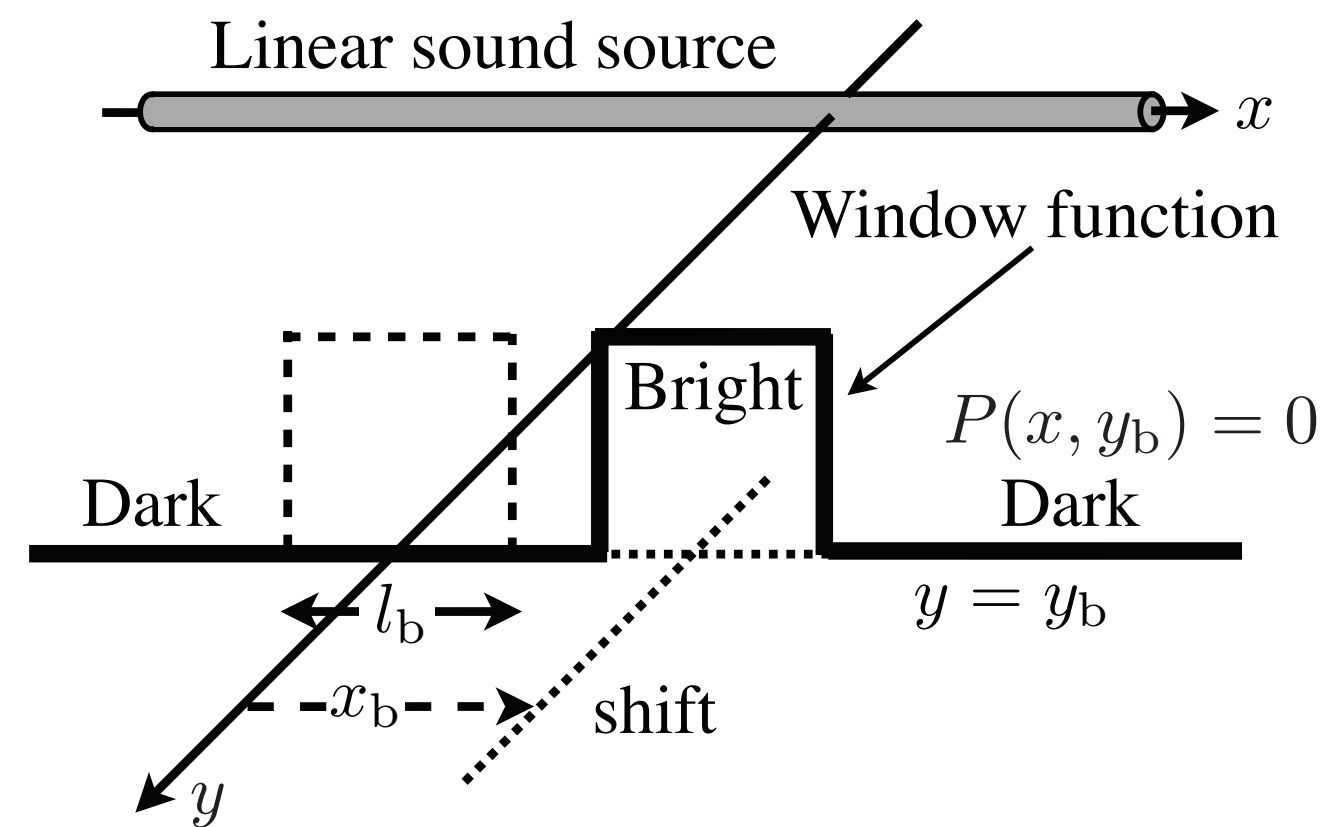
■ 問題点

- 各スピーカと制御点間の距離情報しか考慮していない→位置関係を陽に考慮していない
- 逆行列演算は非常に不安点→正則化が必要

新技術の特徴(C)

■ 原理

- 音の聞こえる領域の音圧を1，聞こえない領域の音圧を0→矩形窓として連続的にモデル化
- 矩形窓の空間フーリエ変換=Sinc関数として解析的に導出可能
- 直線や円形のスピーカレイ場合は伝達特性の空間フーリエ変換も解析的に導出可能



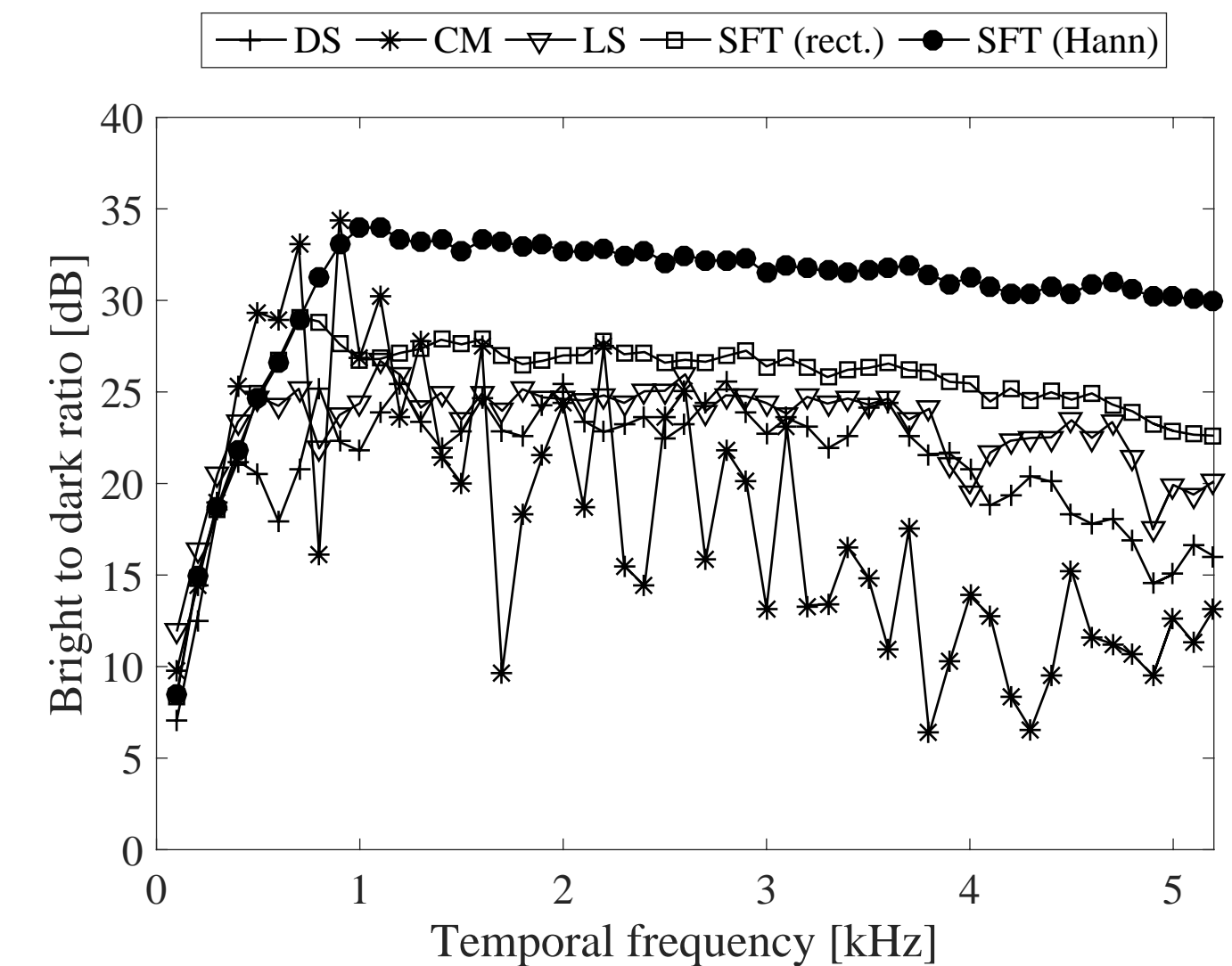
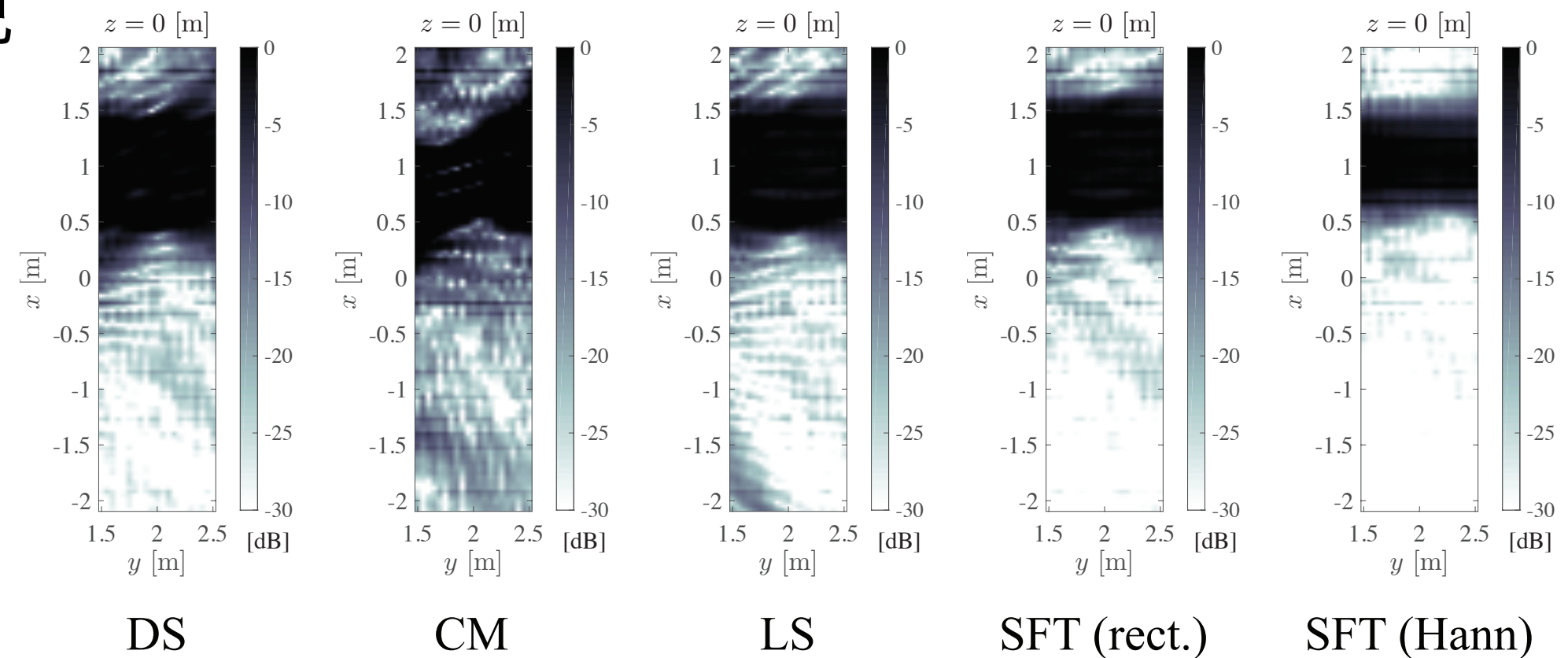
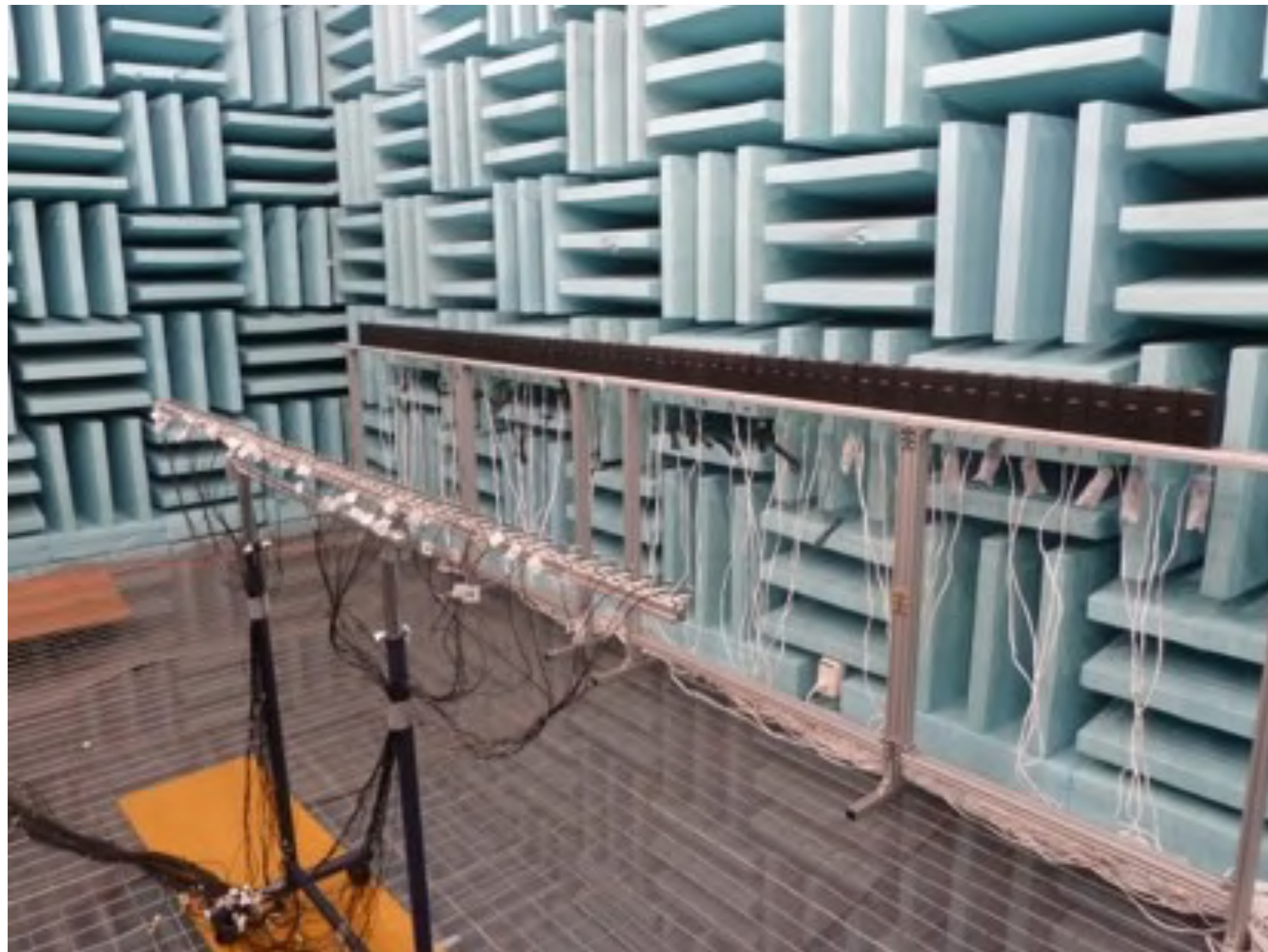
■ 特性

- 波動方程式から導出される空間フーリエ変換により物理的な位置関係を考慮
- 再生信号を解析的に導出可能=逆行列演算不要

従来技術との比較(B)-1

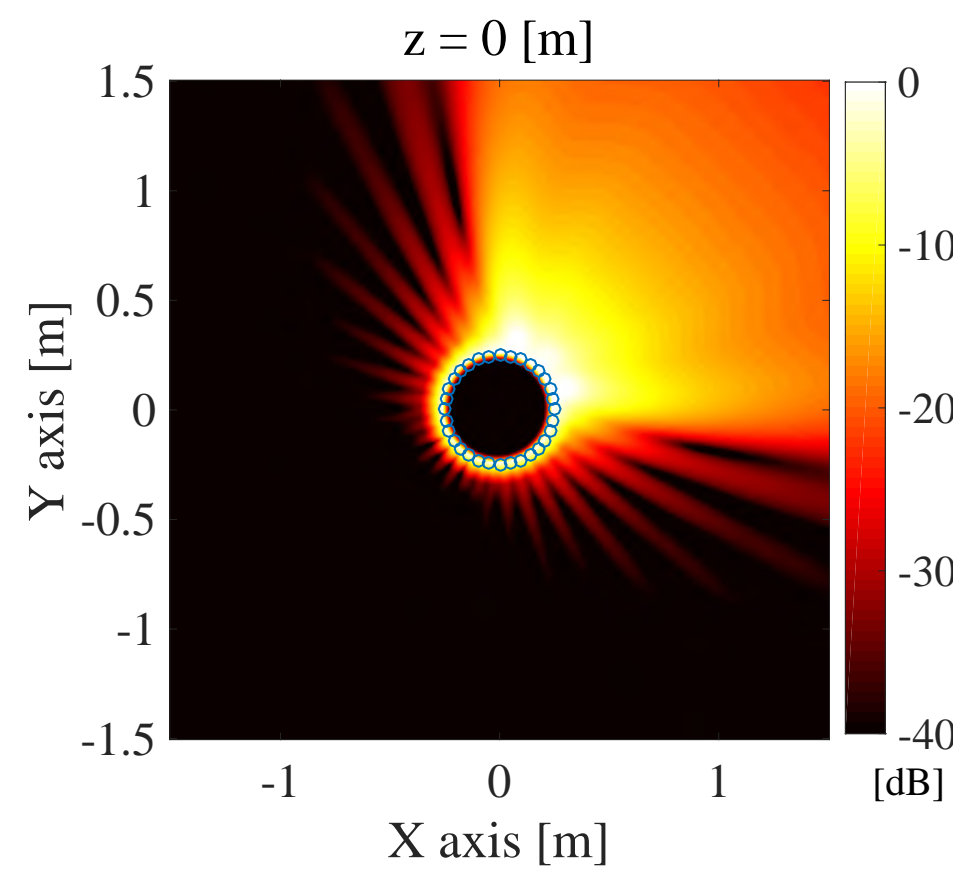
■ 実装した64チャンネル直線スピーカアレイを用いた実験結果

■ 従来技術を上回る制御性能を実現

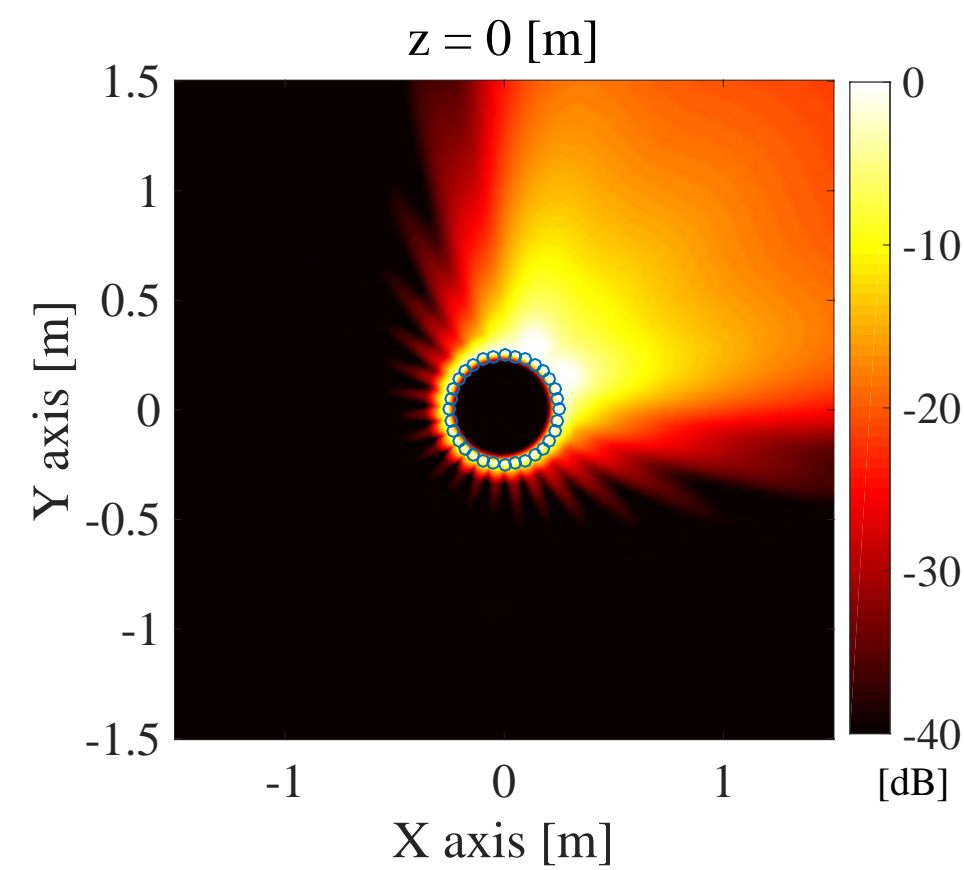


従来技術との比較(B)-2

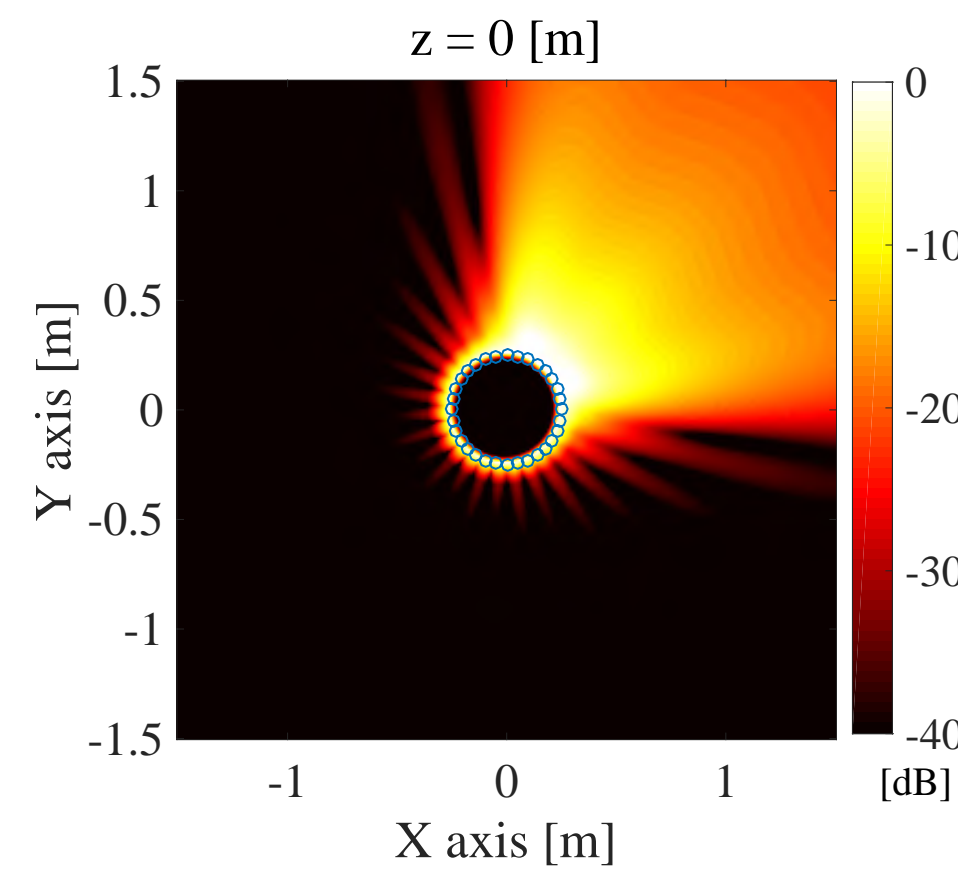
- 32チャンネル円形スピーカアレイを用いた計算機シミュレーション結果
- 従来技術を上回る制御性能を実現



多点制御(LS)

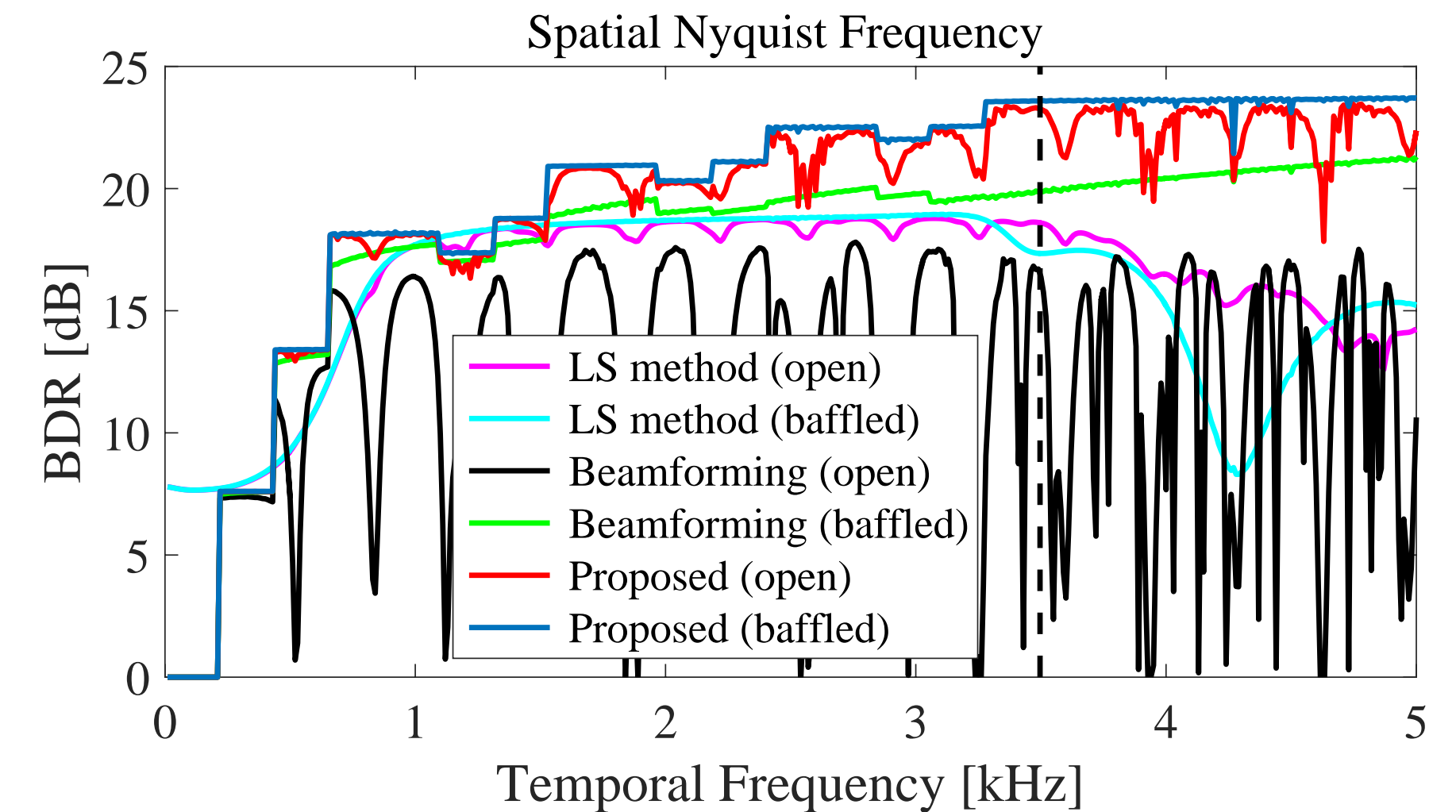


ビームフォーミング



提案法

3000 Hzの結果



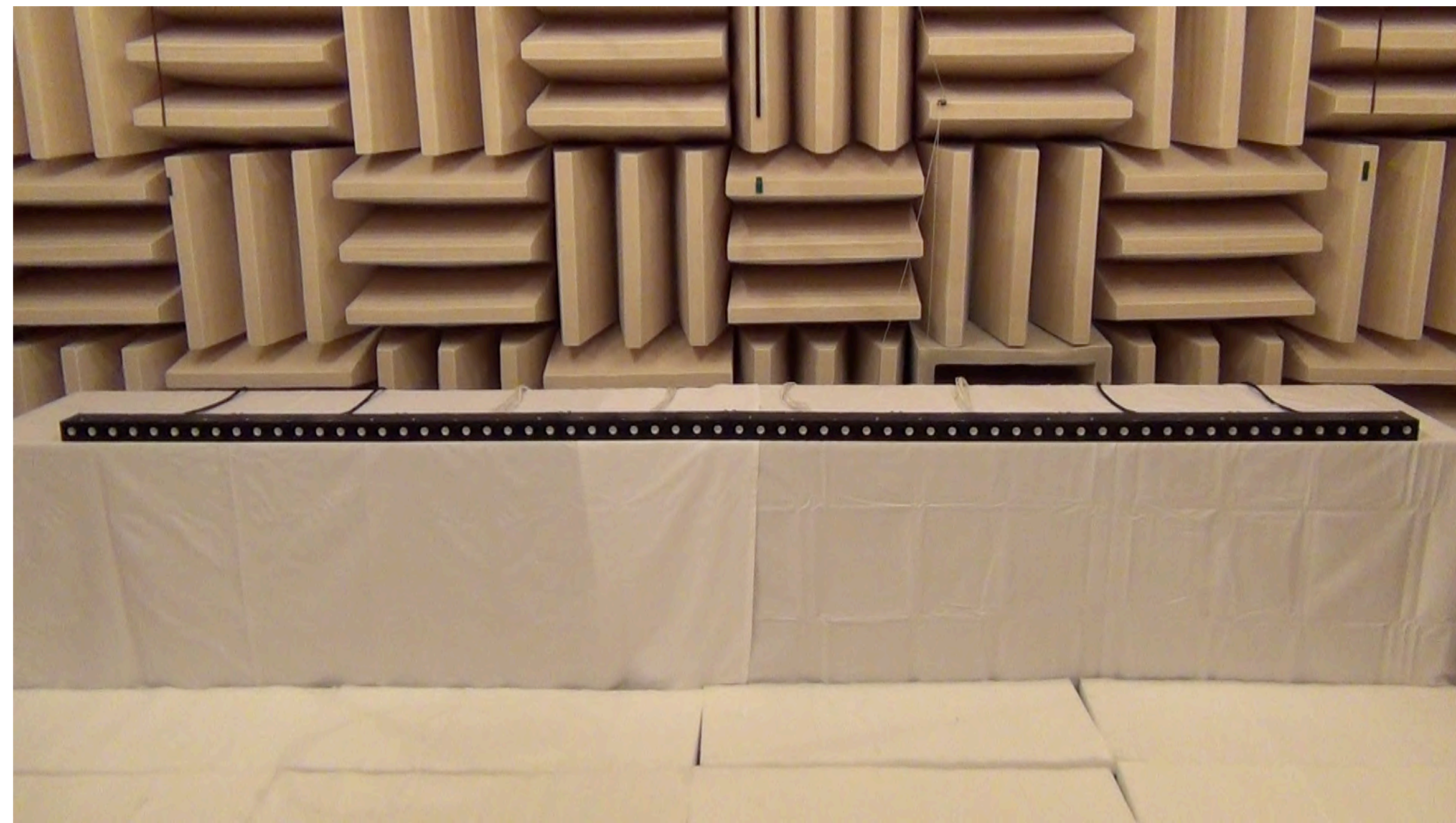
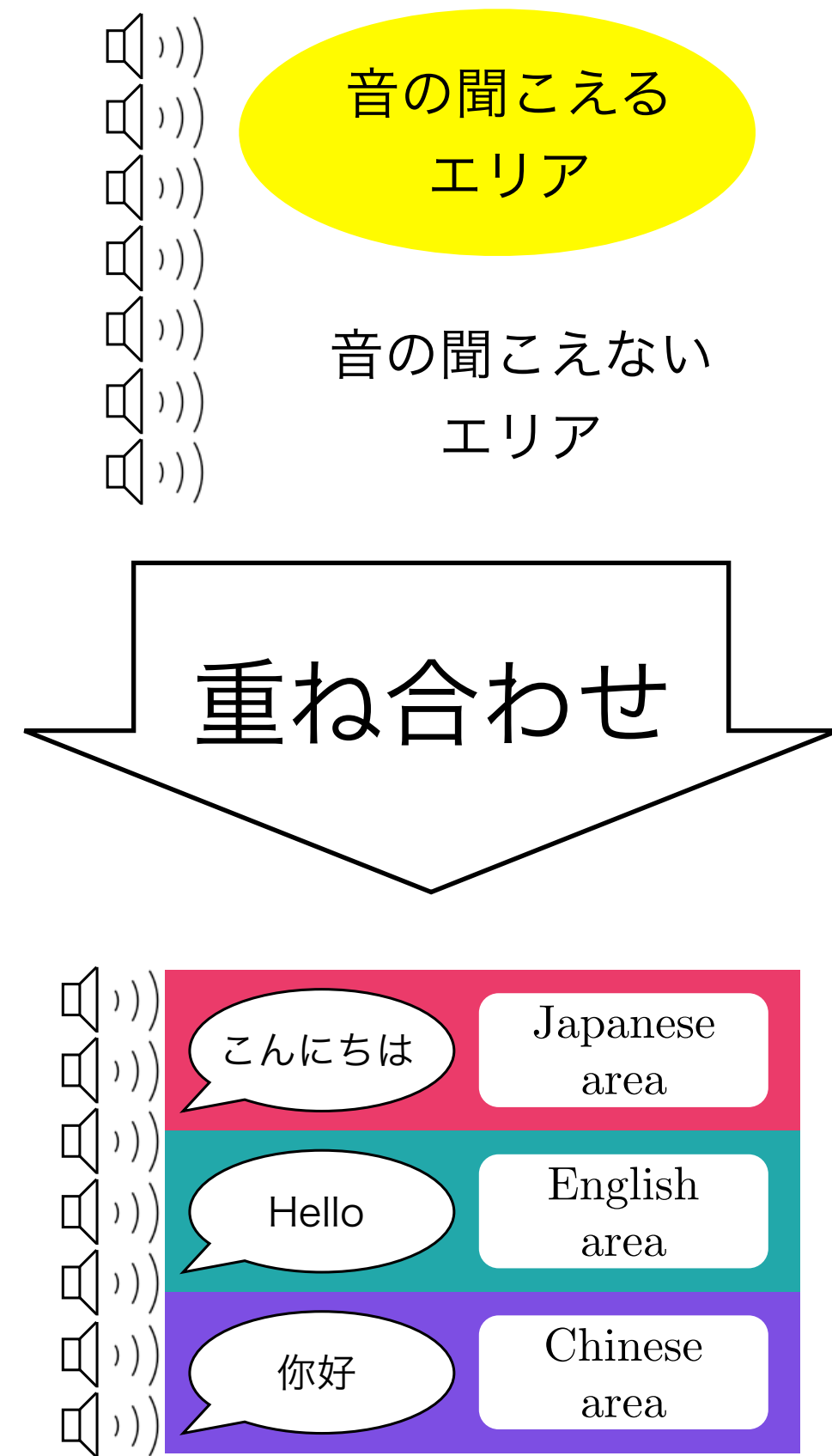
産学連携の経歴(C)

■ JST資金

- 2021年度-2022年度：JSTプログラムマネージャー(PM)の育成・活躍推進プログラム採択(実施代表者：NICT疋田啓太)
 - ✳ 16チャンネル小型円形スピーカアレイを実装
- 2022年10月-2024年3月：JST A-STEPトライアウト「音声信号に最適なマルチスポット再生スピーカシステムの開発」獲得(代表：岡本拓磨)
 - ✳ 事業化に向けた16チャンネル小型円形スピーカアレイの高精度化を実施中

構築したデモシステム(C)-1

■ 直線スピーカアレイを用いた音声マルチスポット再生システム

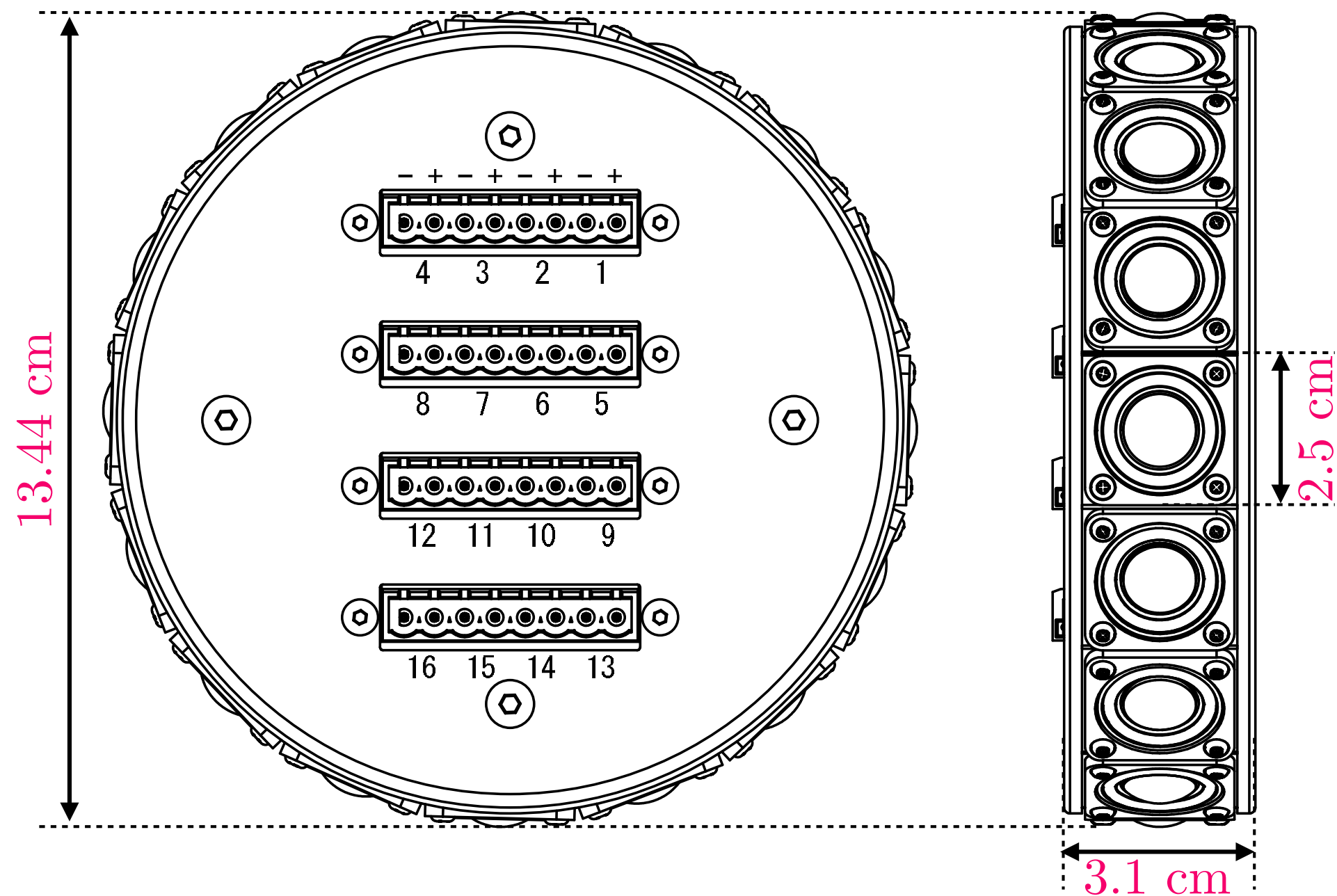


3.2 m

実用化のためには小型化が必須

ポータブルデモシステム(C)

- 16チャンネル小型円形スピーカアレイの実装：岡本ら，音講論，2022年9月
 - できるだけ小さく!! → 直径わずか13.44 cm
 - 16 chアンプ(RME Digiface USB同梱)・ケーブルを含めて出張デモ可能
 - タブレットでマルチスポット(音場)を回転可能：岡本ら，音講論，2012年9月



16 chアンプ



実用化に向けた課題(C)

■ 音声信号に最適なマルチスポット再生システムの実装

- これまでに実装した小型円形アレイは低域の音が出ない
→ JST A-STEP トライアウトにて改良版を開発中

■ 音声マルチスポット再生の社会展開

- NICTイノベーションイニシアティブ共創デザインプロジェクトにおける音声マルチスポット再生技術サブプロジェクトにてニーズ調査・社会展開を実施中，実証実験実施予定

※ 技術紹介HP：<https://ast-astrec.nict.go.jp/MultipleSoundSpotSynthesis/>

※ 技術紹介動画(日本語版)：<https://youtu.be/ILrm8KRxK30>

※ 技術紹介動画([ニューラル音声合成による]英語版)：<https://youtu.be/ln8AfVcoTC4>

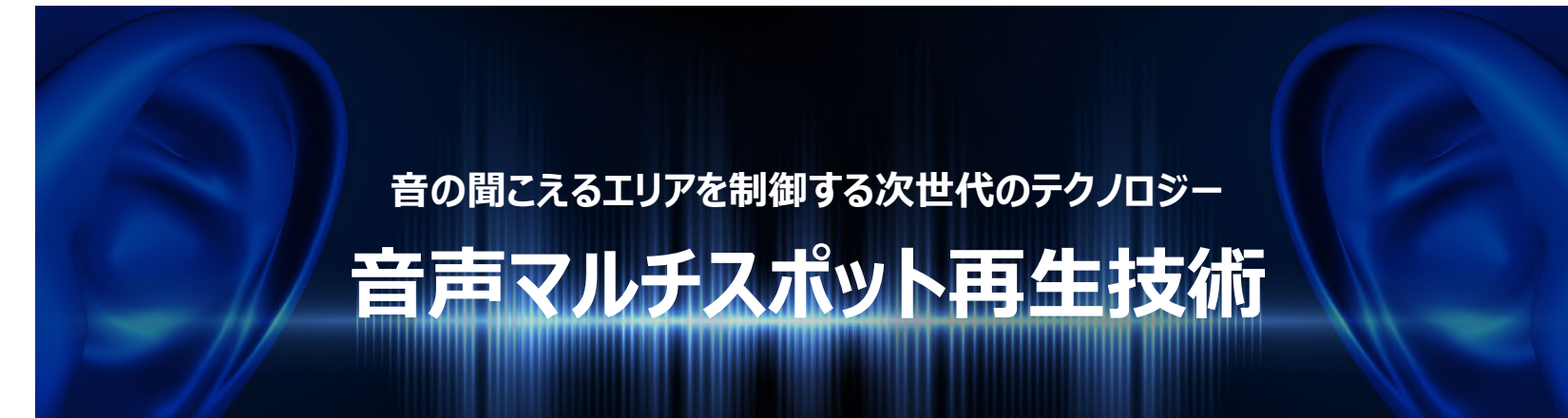
技術紹介動画再生

(2分48秒)

<https://youtu.be/ILrm8KRxK30>

企業への期待(C)

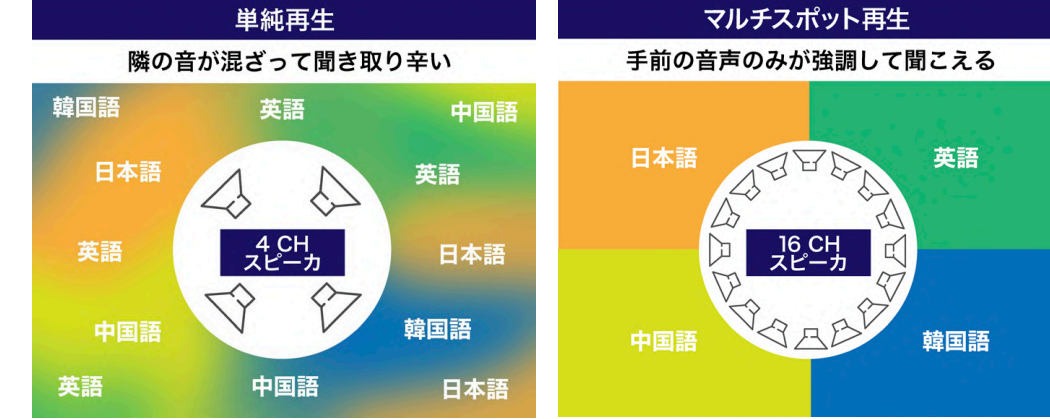
- 音声マルチスポット再生の社会展開
 - 連携企業およびニーズ募集中
 - ✳️ 音声翻訳モジュールを含めてライセンス可能



音声マルチスポット再生技術とは？

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が開発した、音が聞こえる場所と聞こえない場所を自由に作る、音空間制御技術です。

音波は通常、全方向に広がりますが、本技術では多数のスピーカを用いて不要な音波を打ち消して聞こえなくすることで、特定のエリアにだけ音を届けることができます。1つのエリアだけではなく、複数のエリアへ違う音声を出し分けることも可能です。



私たちが提案する音声マルチスポット再生技術で可能になること

局所再生 【実装済み】 ある領域でのみ、特定の音が聞こえる	マルチスポット再生 【実装済み】 複数の領域において別の音が聞こえる	近傍エリア再生 【研究中】 近傍でのみ音が聞こえ、離れると急激に減衰
--	---	---

本技術を応用し、展示会ブースやエンターテインメント施設、自動運転車、危険エリアなど様々な分野において、「新しい音空間」を創ることが可能です。

どこでも実演デモ

スーツケースで持ち運びができるほどの小型化を実現しました。実際に体験したい方はお気軽にご相談ください。

詳しくは技術紹介HPにて



この技術がもたらす「新しい音空間」を共に創り上げてくださる企業様からのご連絡をお待ちしております。お気軽に下記までお問い合わせください！

岡本 拓磨 (おかもと たくま) sfc_oi@ml.nict.go.jp
NICT ユニバーサルコミュニケーション研究所
先進的音声翻訳研究開発推進センター(ASTREC)
先進的音声技術研究室 主任研究員



Webページ公開中
ぜひアクセスください
<https://ast-astrec.nict.go.jp/MultipleSoundSpotSynthesis/>

お問い合わせ先

国立研究開発法人 情報通信研究機構
イノベーション推進部門
知財活用推進室

TEL 042-327-6950

e-mail ippo@ml.nict.go.jp