

# 誤差逆伝搬法を用いた 音場制御およびマルチスポット再生方式

---

2025年10月2日

国立研究開発法人情報通信研究機構  
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  
先進的音声技術研究室

研究マネージャー 岡本 拓磨

# 技術再生動画(3:24)

## ■ 音声マルチスポット再生技術

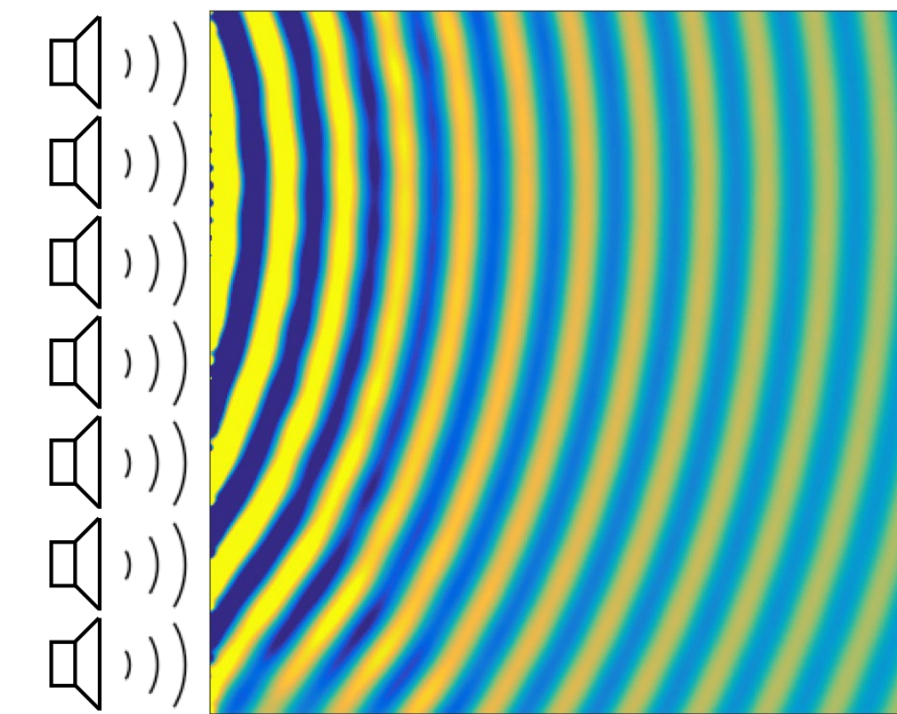
■ <https://youtu.be/fTyYs6AqtNM>

42万 回視聴



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

- (1)音場制御：波面を制御
  - ＊ ある場所の音場を別の場所で再現：音場再現



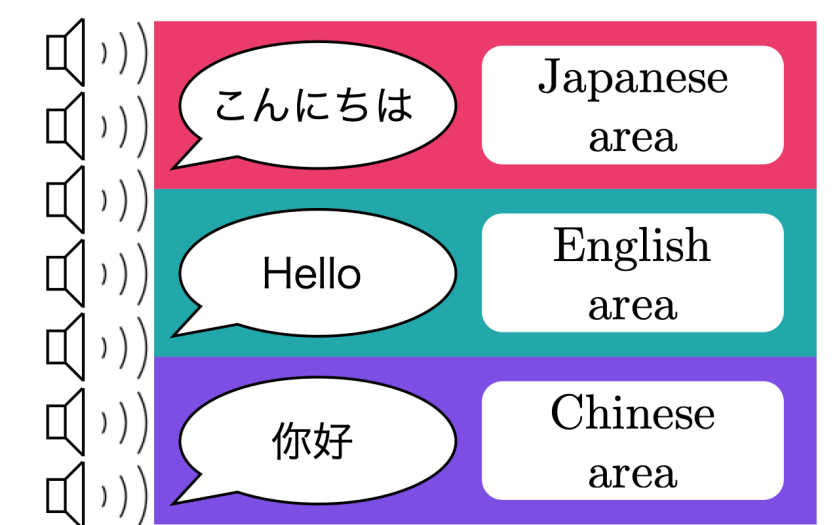
(1) 音場制御

- (2) 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
- (3) マルチスポット再生：(2)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

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



(2) 局所再生



(3) マルチスポット再生



# 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代わる  
新たな音提示システムとして重要な研究課題

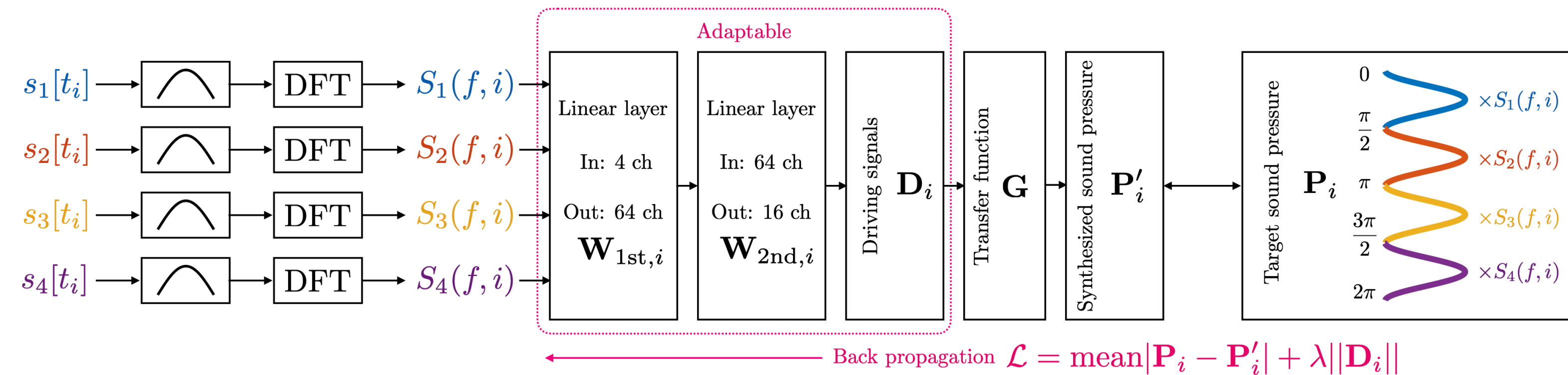


## ■ 研究背景・類似技術との比較

## ■ 研究成果

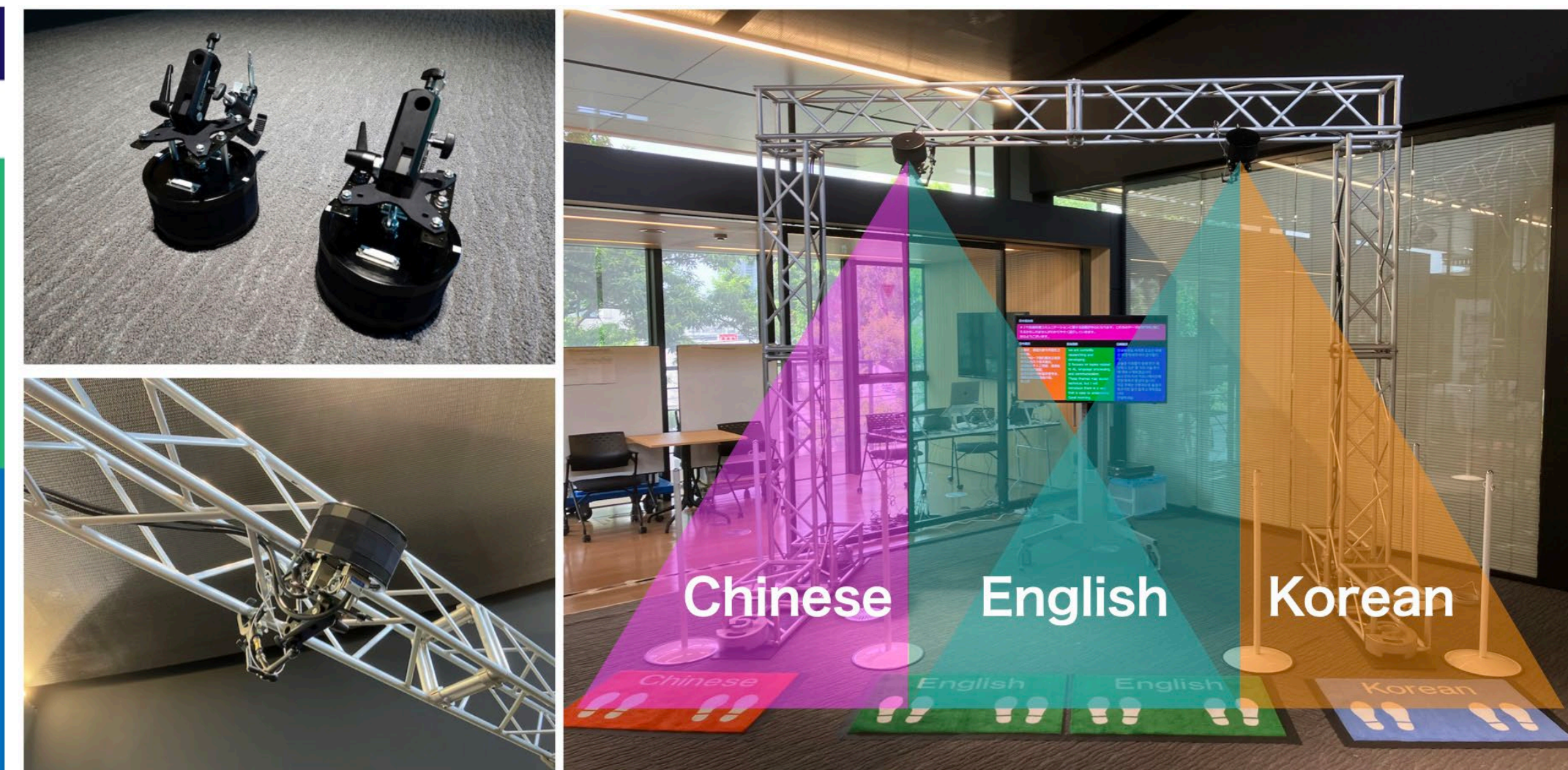
- 誤差逆伝搬に基づく音場制御
  - ・ マルチスポット再生

※ 特願2024-021120



## ■ 社会展開実施中

- マルチスポット再生技術

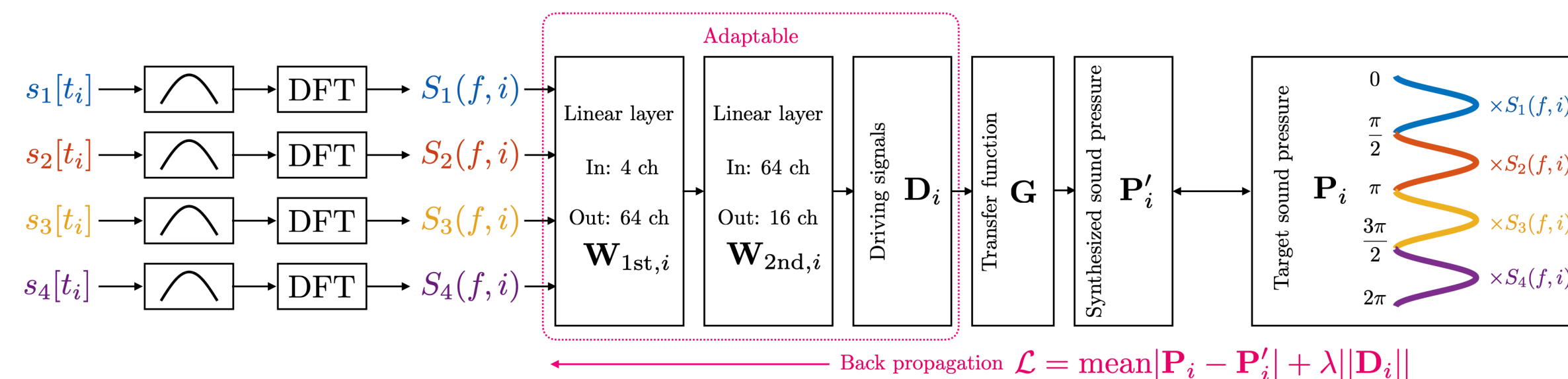
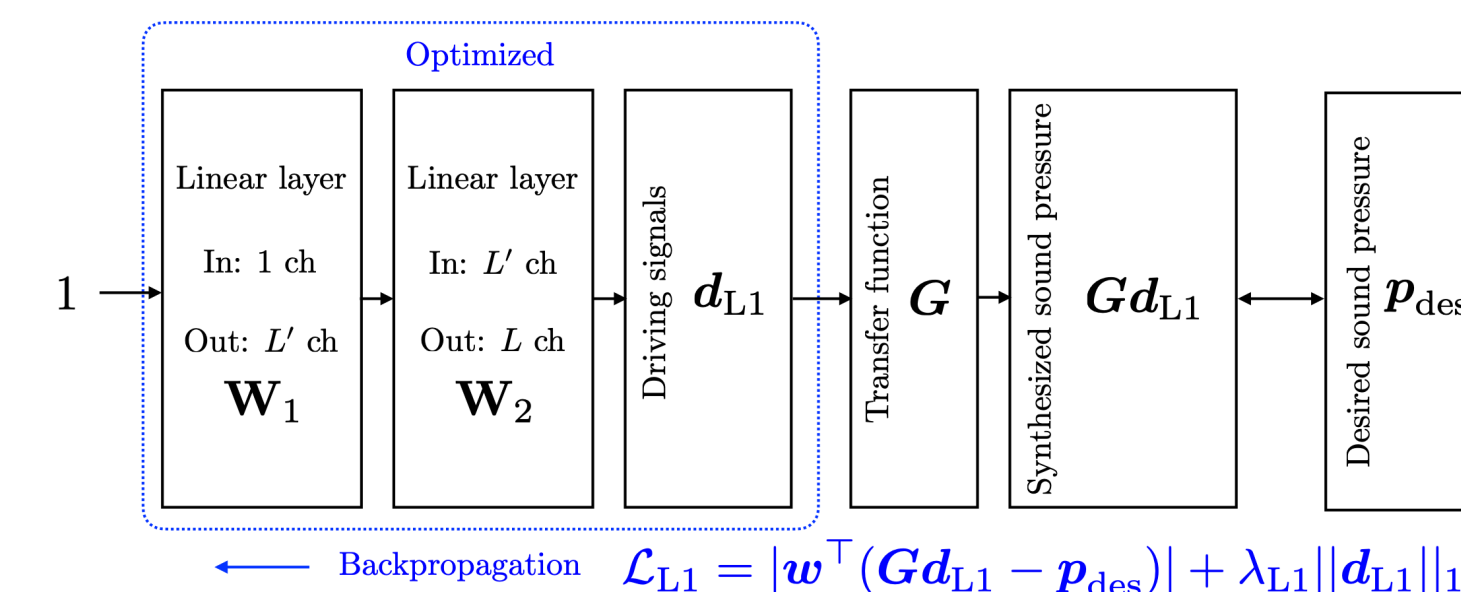




## ■ 誤差逆伝搬に基づく音場制御・マルチスポット再生

### ■ 学会発表

- ✳ T. Okamoto, "SFC-L1: Sound field control with least absolute deviation regression," WASPAA 2025
- ✳ 岡本, "再生信号適応型マルチスポット再生の最適化に関する検討", 日本音響学会2024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，音場制御方法およびプログラム

出願番号：特願2024-021120

出願人：国立研究開発法人情報通信研究機構

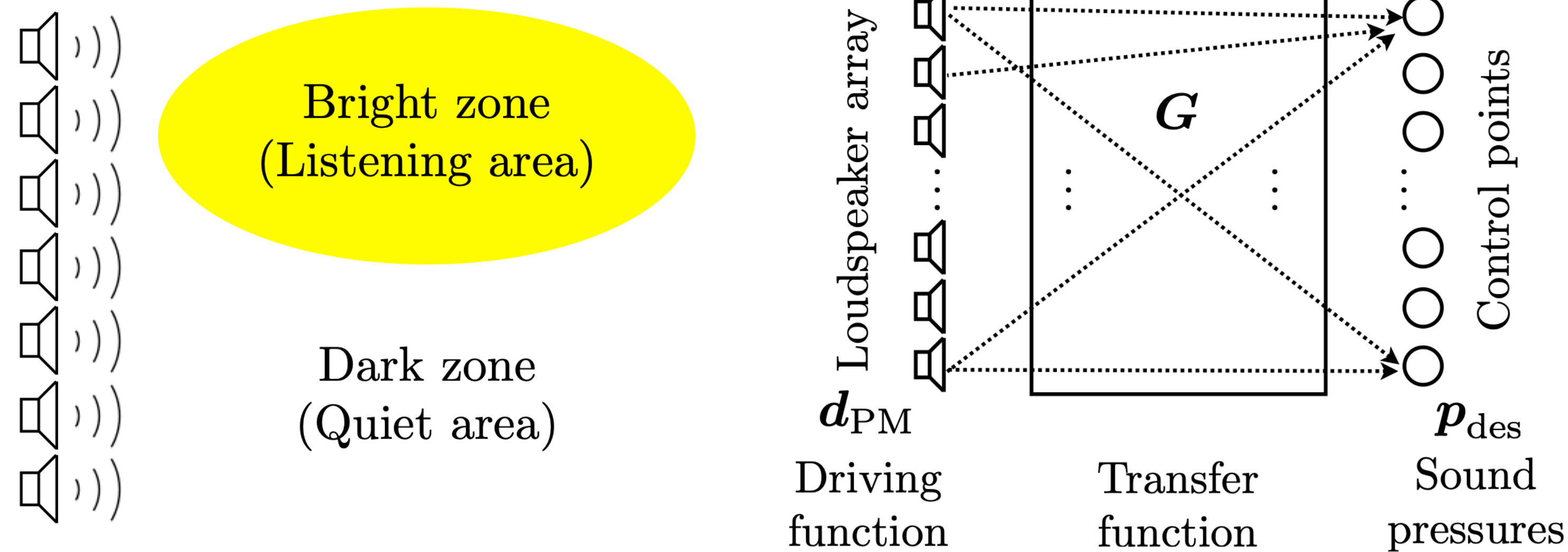
発明者：岡本拓磨，内元清貴

# 従来技術とその問題点

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

- 最小二乗誤差に基づく音圧制御方式：各スピーカと制御点間の伝達関数の逆行列演算

O. Kirkeby et al., J. Acoust. Soc. Am. 1993



$$p_{\text{syn}}(\mathbf{r}) = \sum_{l=1}^L d_l(\mathbf{r}_l) G(\mathbf{r}|\mathbf{r}_l) = \mathbf{g}(\mathbf{r})^\top \mathbf{d}$$

$$\underset{\mathbf{d}}{\text{minimize}} \quad \|\mathbf{G}\mathbf{d} - \mathbf{p}_{\text{des}}\|^2 + \lambda_{\text{PM}} \|\mathbf{d}\|_2$$

$$\mathbf{d}_{\text{PM}} = \left( \mathbf{G}^H \mathbf{G} + \lambda_{\text{PM}} \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{G}^H \mathbf{p}_{\text{des}}$$

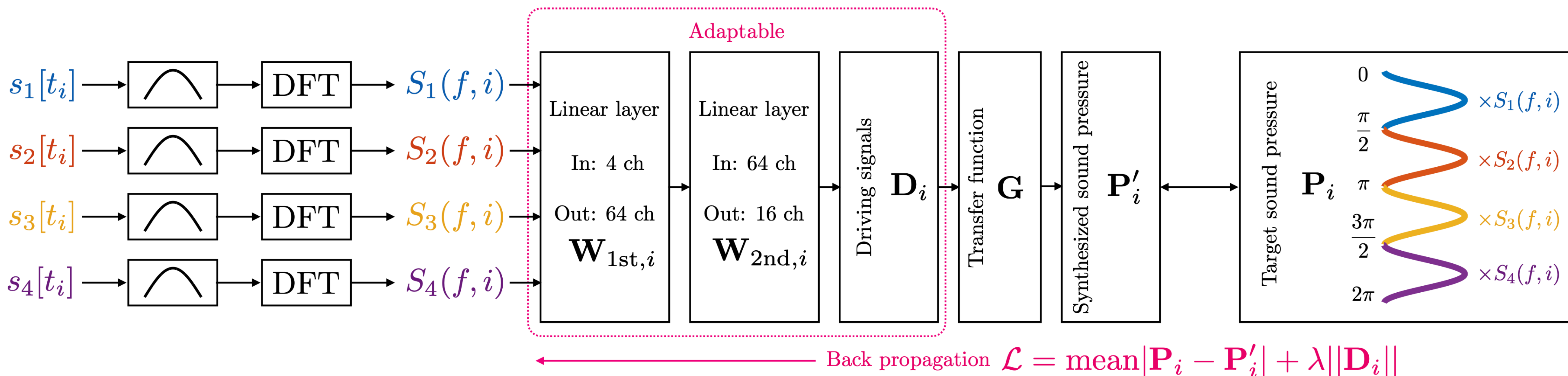
## ■ 問題点

- 逆行列演算は非常に不安定→正則化が必要
- 制御誤差はガウス分布に基づくと仮定



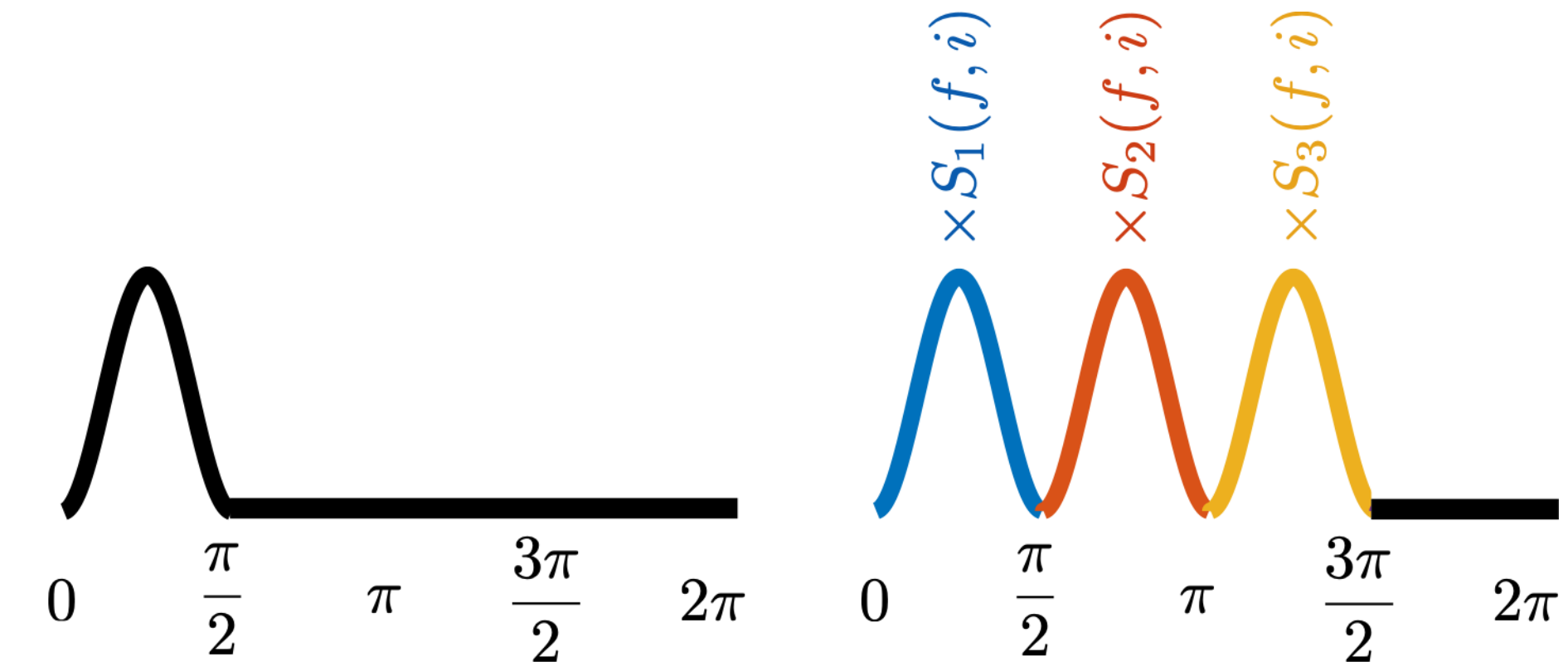
# 新技術の特徴

- 最小絶対誤差に基づく音場制御
  - 制御誤差はラプラス分布に基づくと仮定
  - ニューラルネットワークの学習に用いる誤差逆伝搬を用いて駆動信号を算出



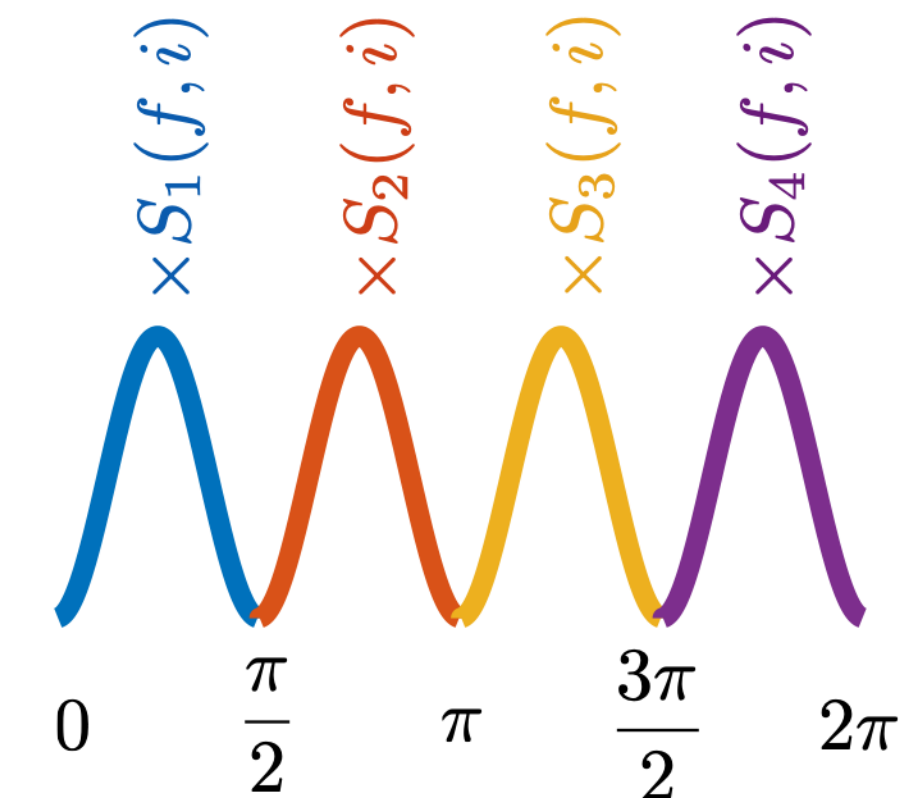
## ■ 計算機シミュレーション条件

- 空間窓：Hann窓
- 目的音場：1スポット，3スポット，4スポット
- 再生信号：複素ランダム信号
- 周波数帯域：100 Hz～8 kHz
- スピーカアレイ：16 ch剛球バツフル型円形アレイ
- アレイ直径：0.1786 m
- 制御点：半径0.5 m等間隔128点
- シミュレーション言語：PyTorch 2.1.0 on Python 3.8
  - ✱ 生まれて初めて音場制御のプログラムをPythonで記述
- 最適化アルゴリズム：Adam (更新回数500回)
- 計算機：Apple MacBook Air 15inch M2 2023
- 従来法：擬似逆行列を用いた音圧制御法



(a) 1-spot condition

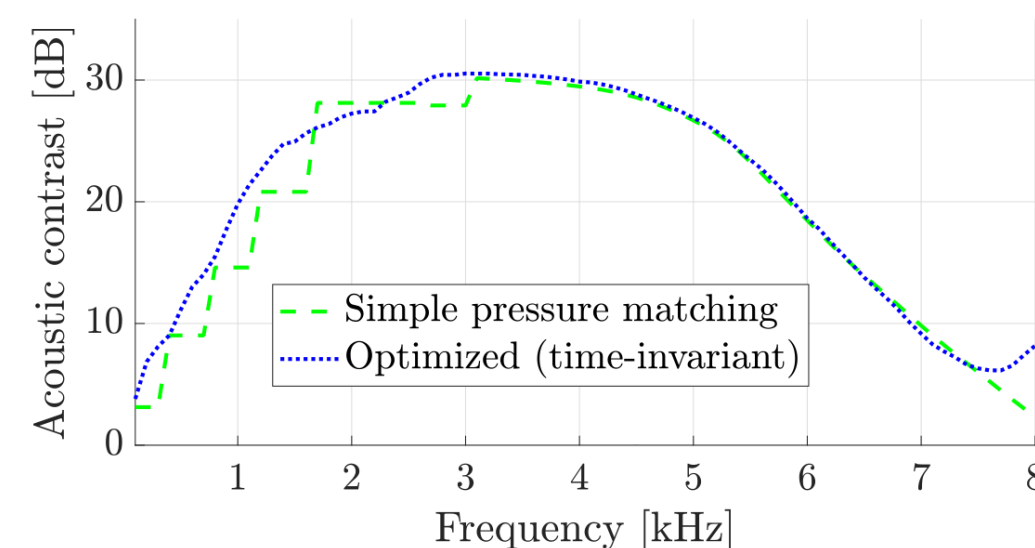
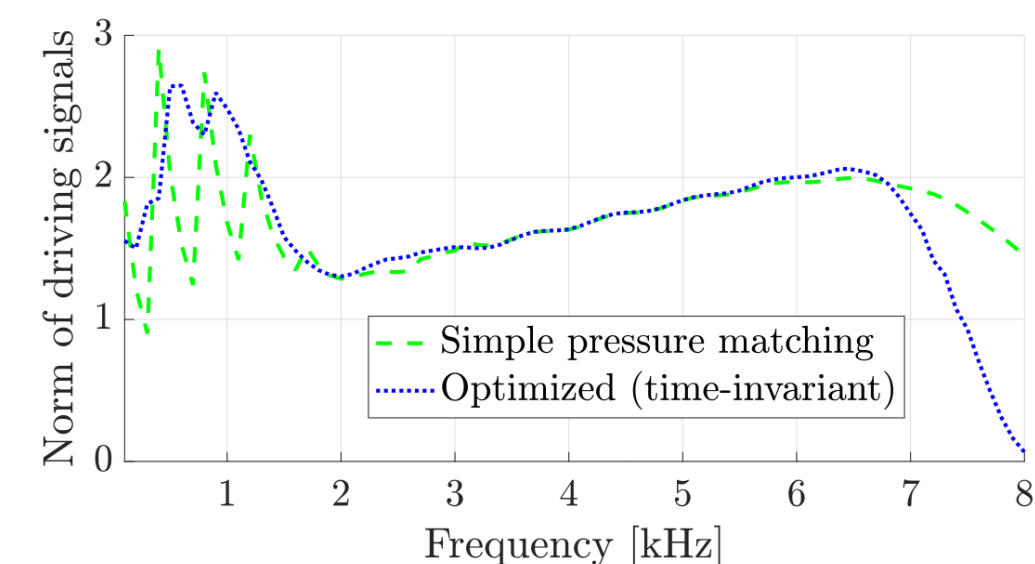
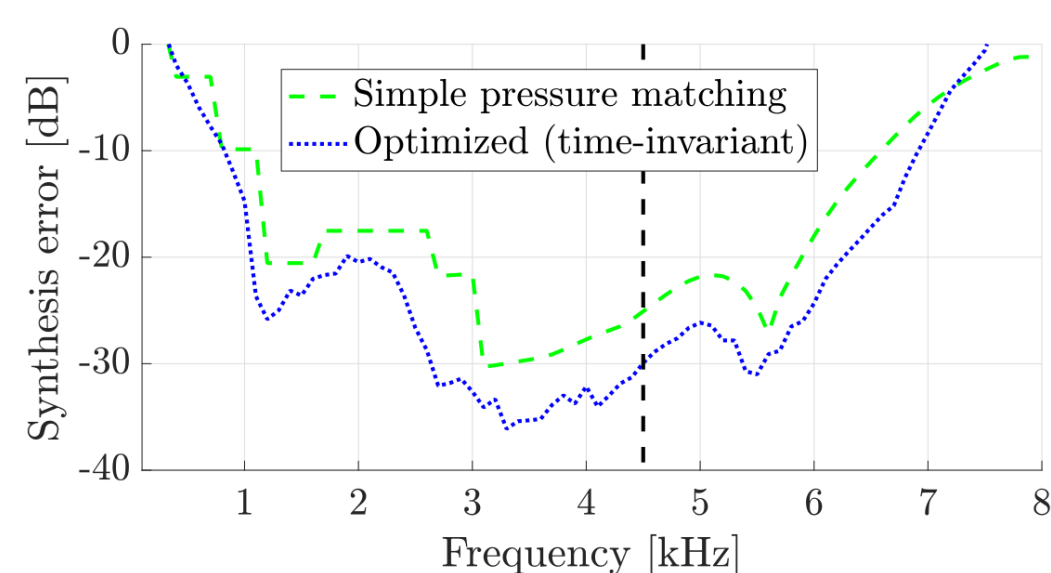
(b) 3-spot condition



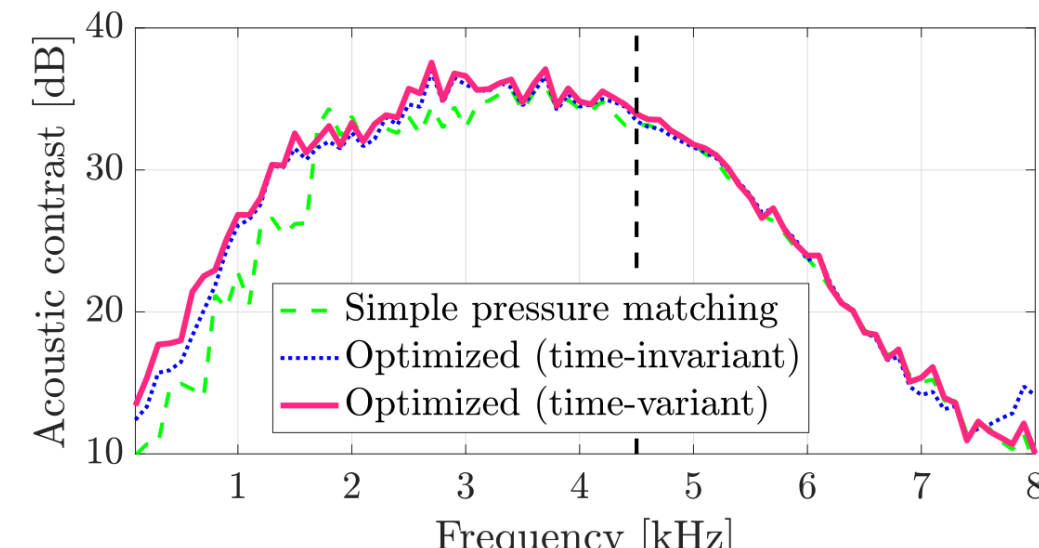
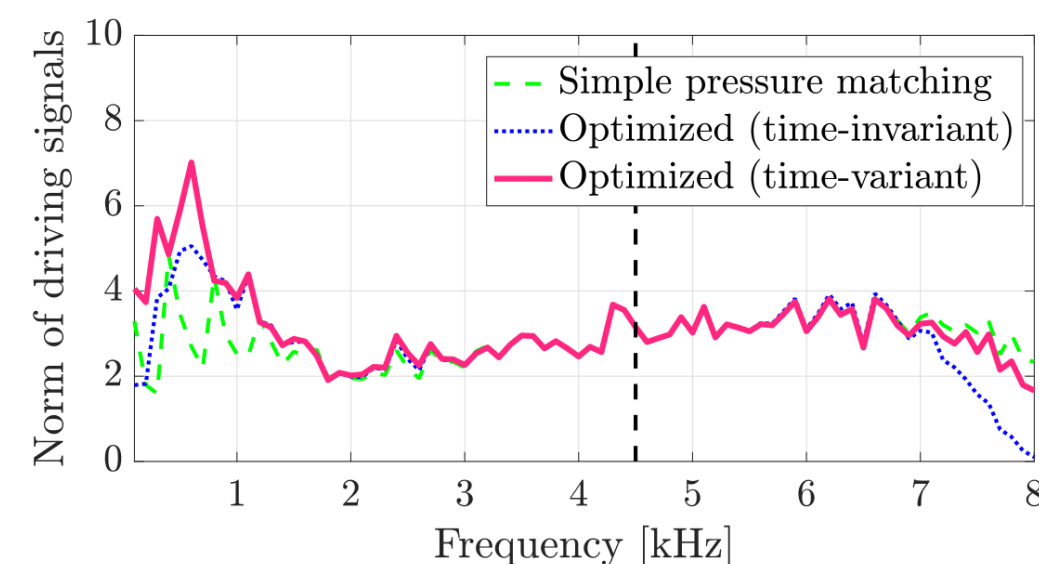
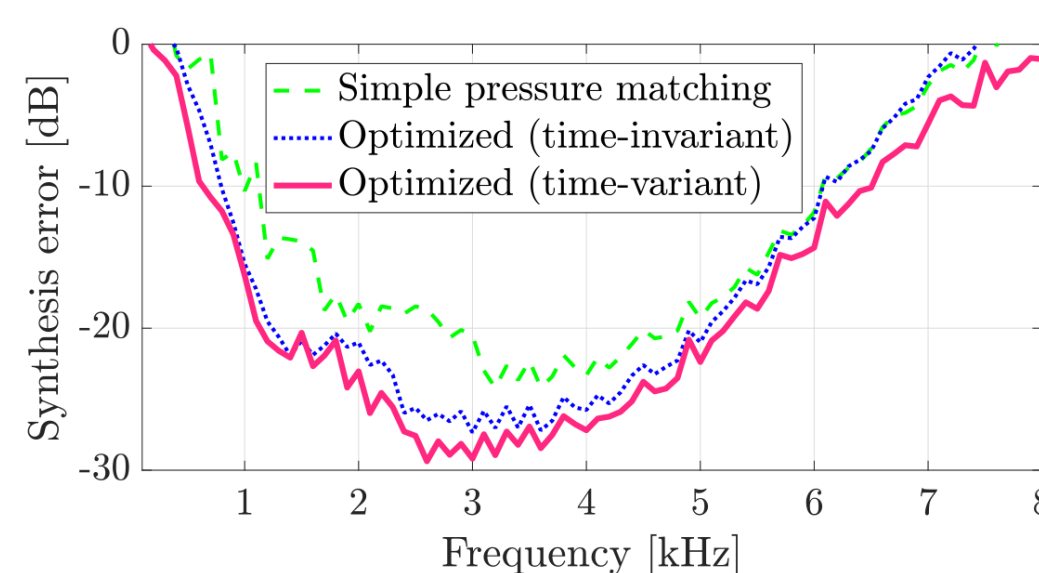
(c) 4-spot condition

岡本, 音講論(春) 2024

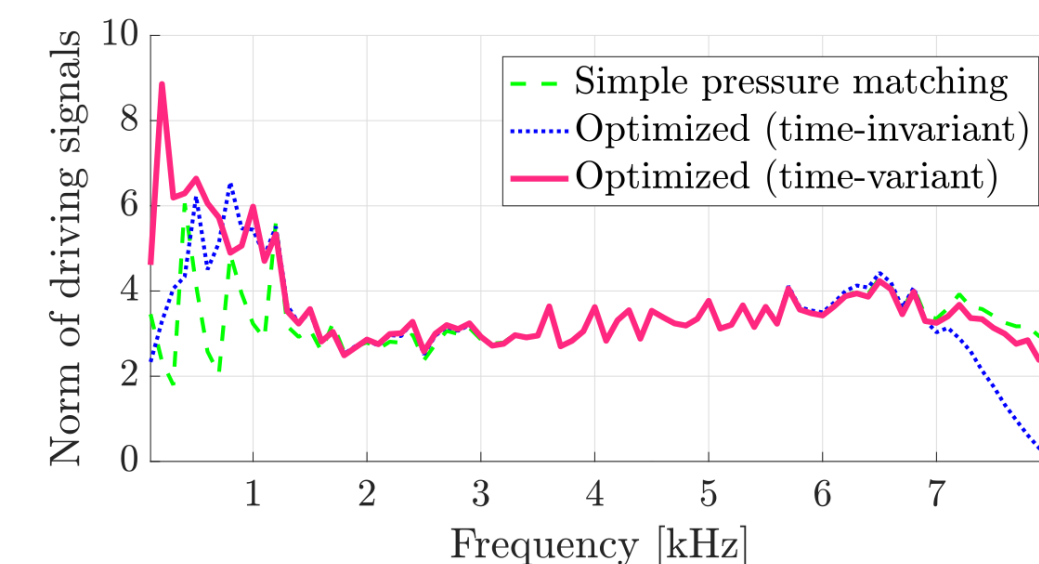
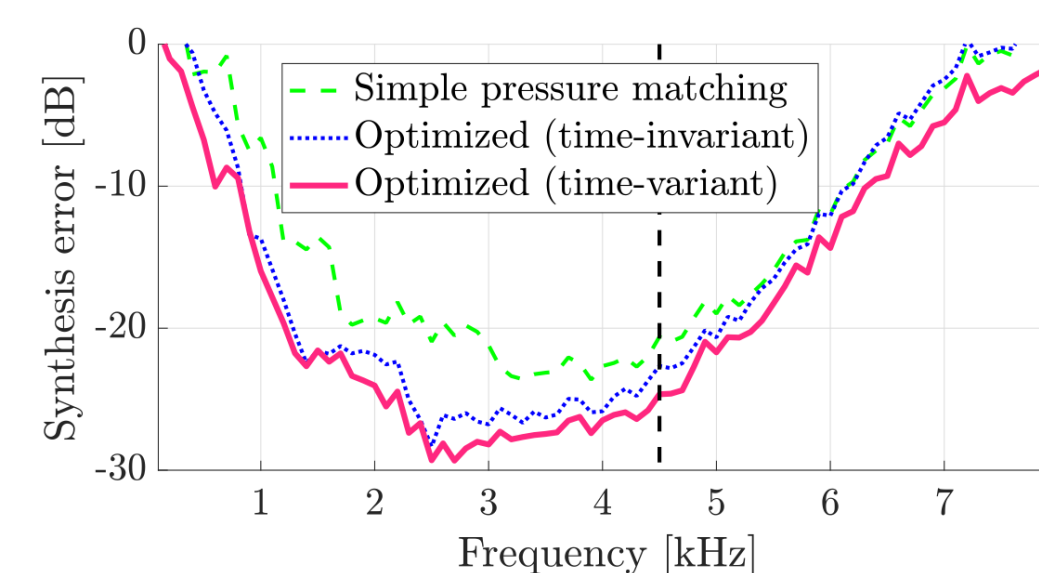
- 提案方式により再生領域における再生誤差を低減
- 誤差分布はガウス分布よりもラプラス分布に近い



(a) 1-spot condition



(b) 3-spot condition



(c) 4-spot condition



# 社会展開実施中

## ■ 円形スピーカアレイを用いたマルチスポット再生技術

### ■ 国際会議

- ✳ T. Okamoto, "Analytical methods of generating multiple sound zones for open and baffled circular loudspeaker arrays," WASPAA 2015
- ✳ T. Okamoto et al., "Improving portable multiple sound spot synthesis system with a baffled circular array of 16 loudspeakers," WASPAA 2023 Demonstrations
- ✳ T. Okamoto and M. Kono, "Simultaneous speech translation integrated compact multiple sound spot synthesis system on a laptop carried out with a backpack," Interspeech 2025 Show & Tell

### ■ デモ展示等

- ✳ デモ展示：CEATEC 2023, 2024, 2025, IGF 2023
- ✳ 実証実験：2022年12月 日本科学未来館, 2025年1月 大阪海遊館
- ✳ TV放送：2024年1月 日本テレビ「博士は今日も嫉妬する」
- ✳ 2025年9月16日～22日：大阪関西万博Future Life Experienceデモ展示出展

# 産学連携の経歴

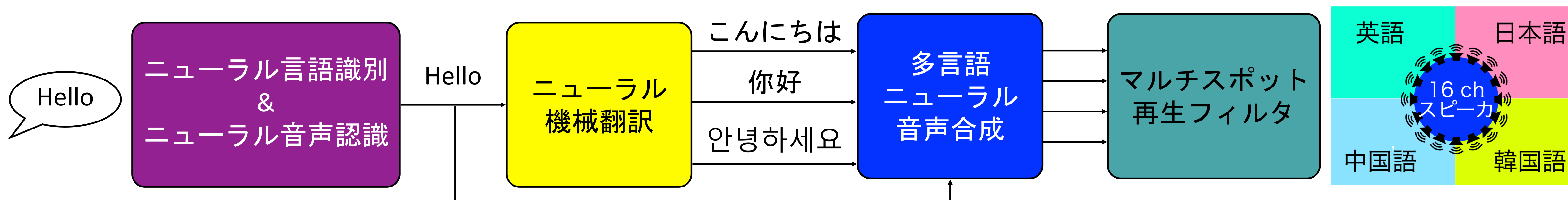
## ■ JST資金

- 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足田啓太)
  - ※ 16チャンネル小型円形スピーカアレイを北日本音響株式会社と実装
- 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)
  - ※ 北日本音響株式会社と事業化に向けた16チャンネル小型円形スピーカアレイの高精度化
  - ※ JST NEWS 2024年7月号：[https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2024/202407/pdf/2024\\_07\\_p12-13.pdf](https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2024/202407/pdf/2024_07_p12-13.pdf)



# 試作したデモシステム

- 16チャンネル小型円形スピーカアレイを用いた4言語音声マルチスポット再生システム
  - 翻訳された各言語の音声それぞれ違った場所で聞こえる音声翻訳の新たなUIとして実装





## ■ 音声翻訳同時通訳と音声マルチスポット再生システムの融合を展示

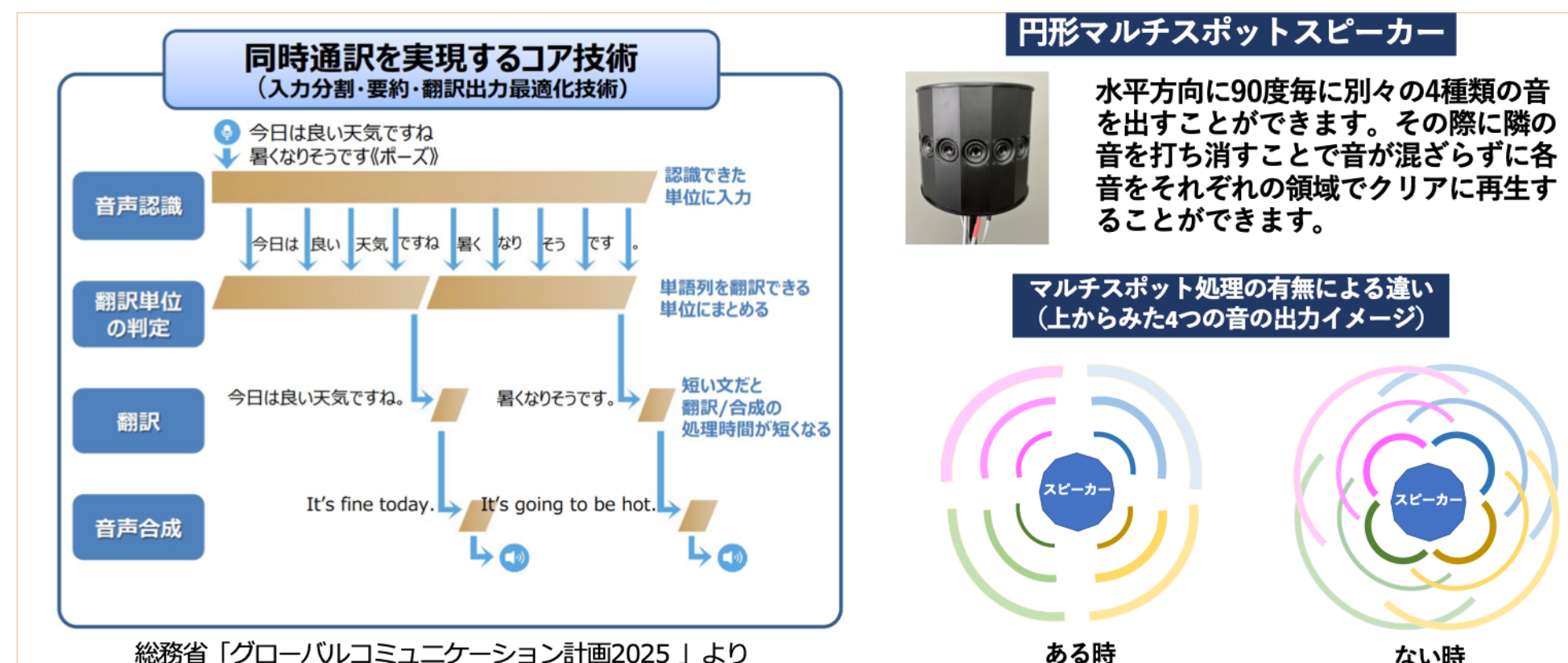
### 多言語会議システムのデモンストレーション

～多言語同時通訳技術とマルチスポットスピーカーの活用例～

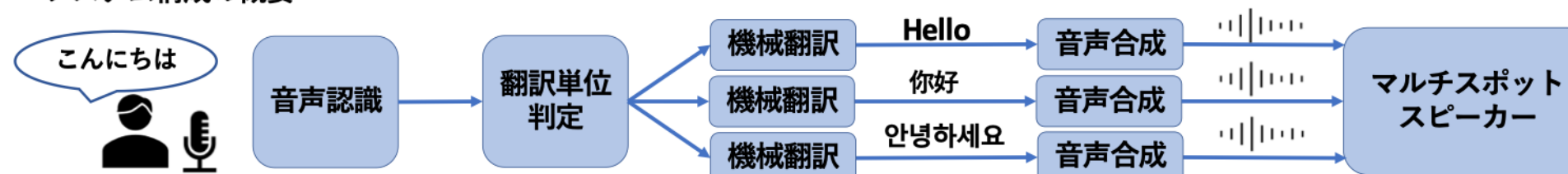


#### 概要

円形のマルチスポットスピーカーの周りに言語が異なる4名のデモンストレータが座り、それぞれの言語で会議を行います。発言内容は他の3言語に同時通訳されて同時にスピーカーから出力されますが、各言語の音声が入り合うことなくエリア毎に1つの言語が聞こえます。



<システム構成の概要>



※日本語が入力された場合に稼働するモジュールとデータの流れを表しています。

#### 特徴

- ・ 連続発話を同時通訳することができます
- ・ 多言語（20言語）に対応しています
- ・ 各エリア毎に1つの言語が聞こえるので、イヤホンを付けずに多言語会議ができます

#### ユースケース

- ・ 講演の多言語同時通訳
- ・ 多言語会議やビジネス分野での利用
- ・ 博物館や美術館での言語別ガイド
- ・ TV放送や動画への翻訳字幕付与

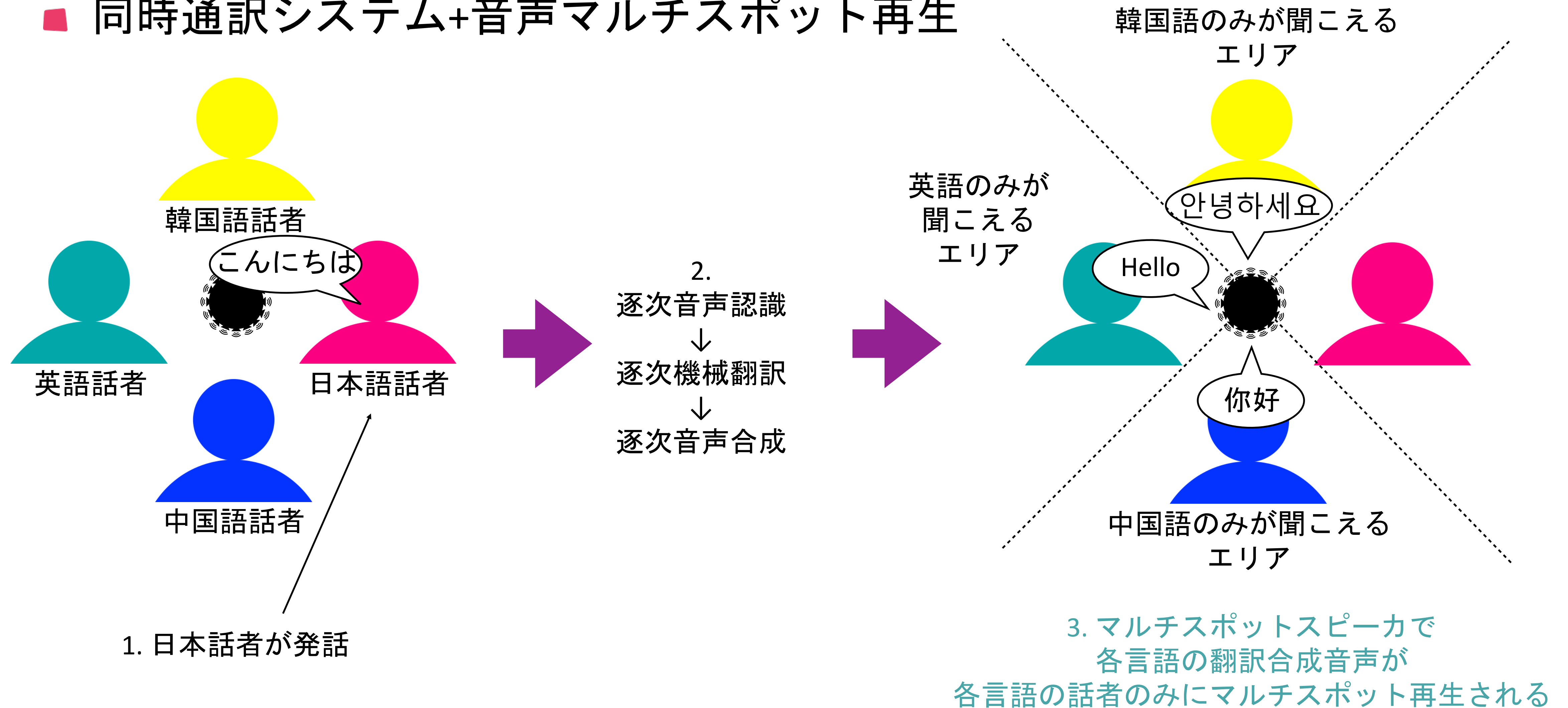
#### 今後の展開

同時通訳システムの実現を目指し、今後以下の研究開発を進めます。

- ・ 文脈処理による高精度化
- ・ 要約処理によるリアルタイム性の向上
- ・ 音声マルチスポット再生の高精度化および成果展開

# 4言語同時通訳会議

## ■ 同時通訳システム+音声マルチスポット再生





2023年6月23日(金)・24日(土) NICT小金井本部オープンハウスデモ展示

「多言語会議システムのデモンストレーション ～多言語同時通訳技術とマルチスポットスピーカーの活用例～」





# エリア分割数および言語数の拡張

## 4言語マルチスポット再生

手前の音声のみが強調して聞こえる



従来

拡張

## 8言語マルチスポット再生



新型

# 実用化に向けた課題

- 円形スピーカの周りを歩き回って聞くシチュエーションが少ない
  - 円形スピーカアレイを上方縦向きに配置して横移動によるマルチスポット再生を実現  
→ 海遊館実証実験, NICTオープンハウス2025, 大阪関西万博FLE, CEATEC 2025
- システムが大きい
  - 小型アンプを実装し, 同時通訳含めてリュックサック1つで持ち運び可能
- 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およびユニバーサルコミュニケーション研究所にてニーズ調査・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/>
    - ＊ 2025年7月招待講演スライド : <https://00m.in/QJRgy>
    - ＊ 日本音響学会論文誌解説記事(2025年10月号)

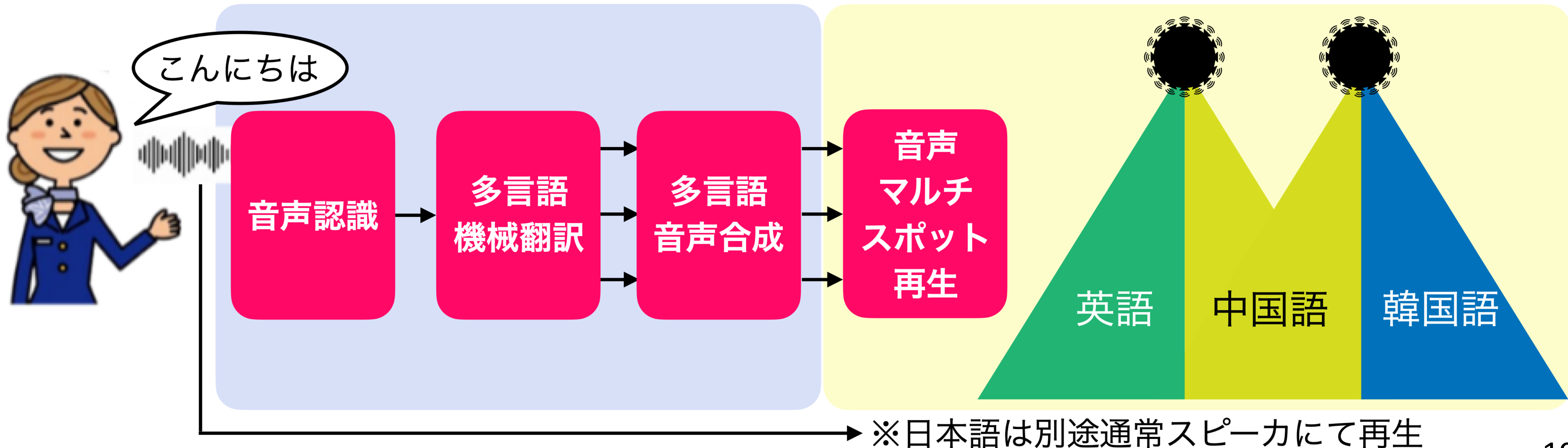


# 2025年1月大阪海遊館実証実験

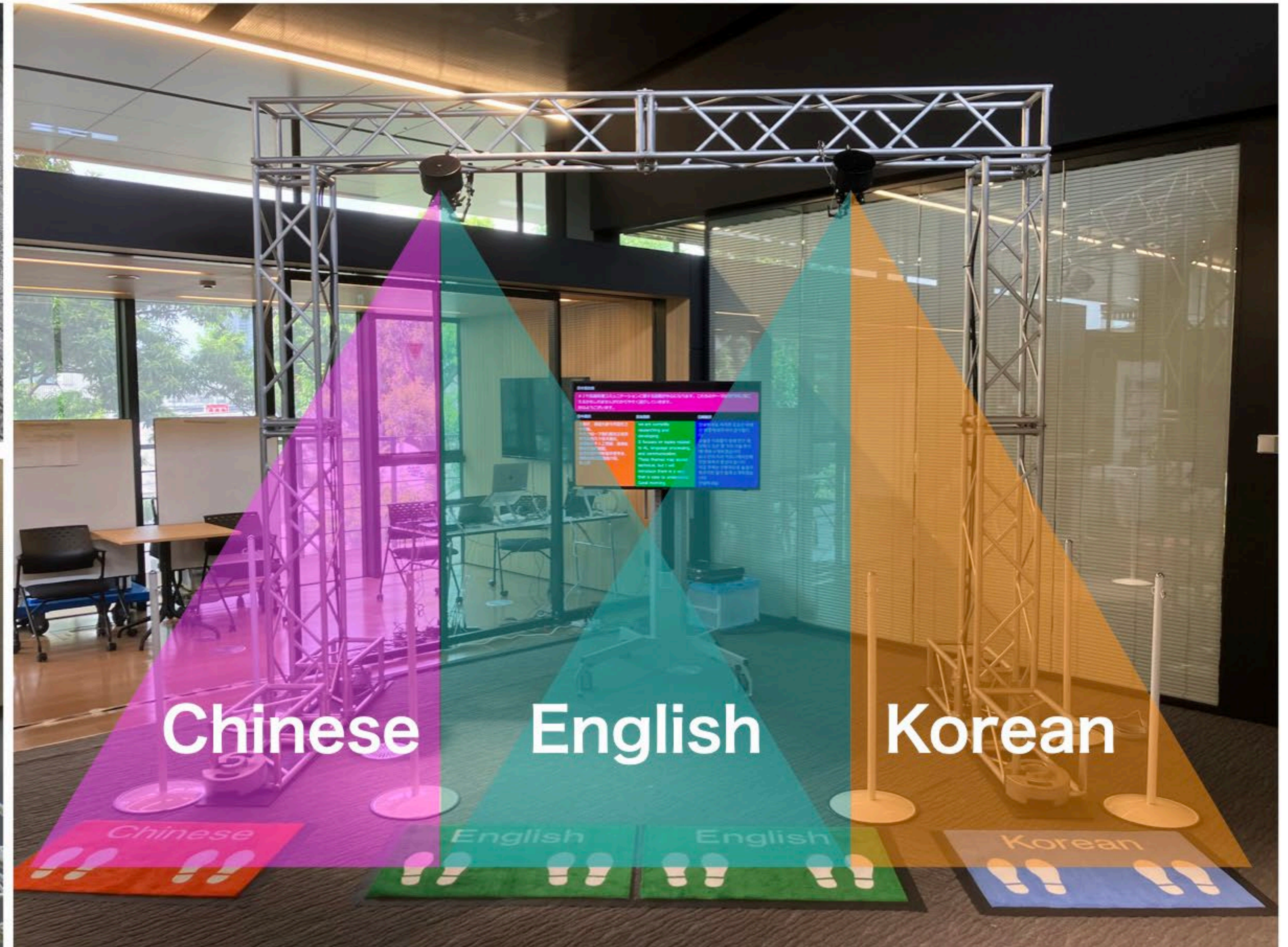
- 総務省委託実証実験
  - NTTデータカスタマーサービスにより実施
    - ＊ [https://www.nttdatacs.co.jp/news/post\\_29.html](https://www.nttdatacs.co.jp/news/post_29.html)

## 多言語同時通訳技術

## 音声マルチスポット再生技術

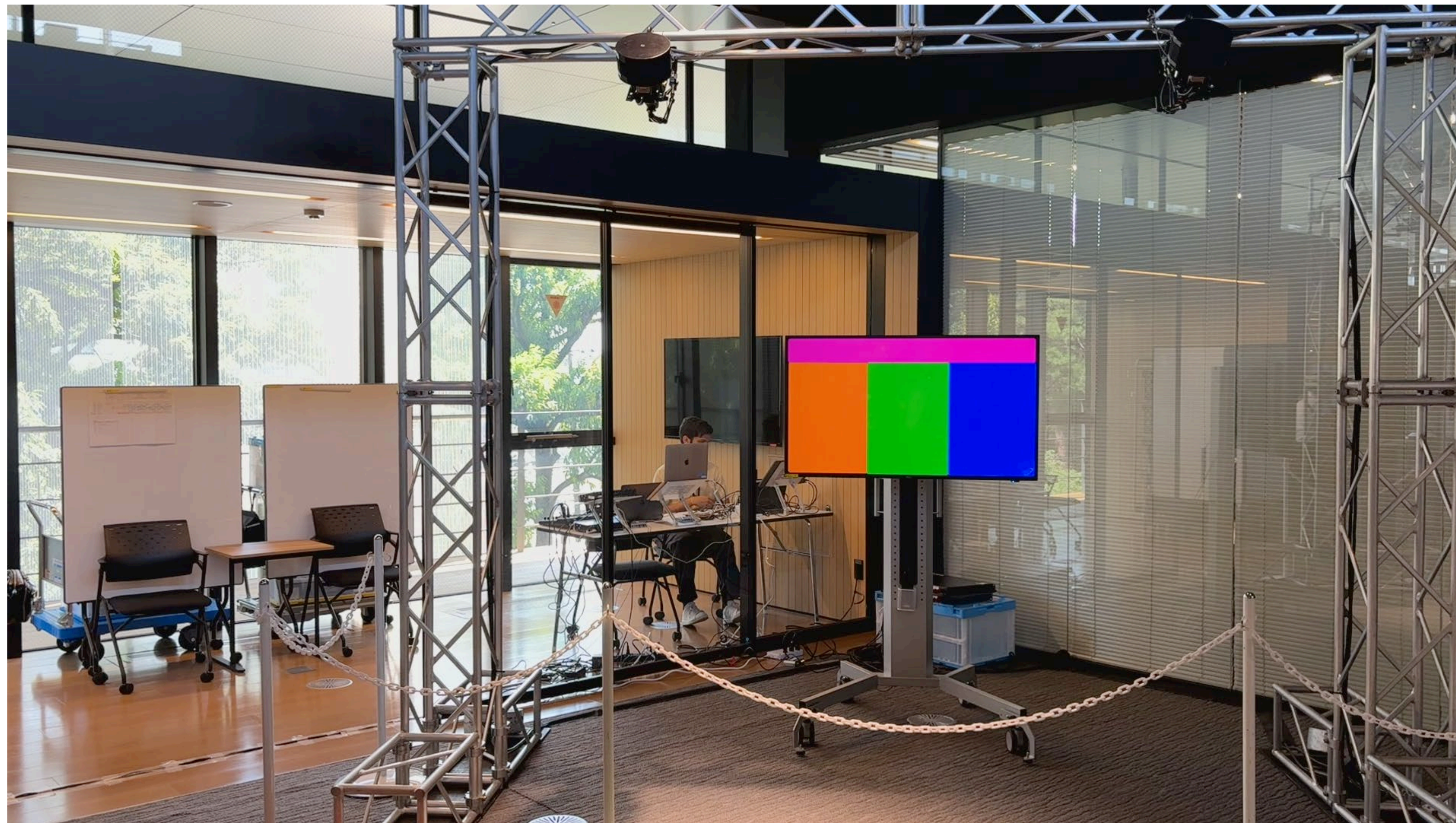








# NICTオープンハウス2025動画









# 大阪関西万博FLE動画

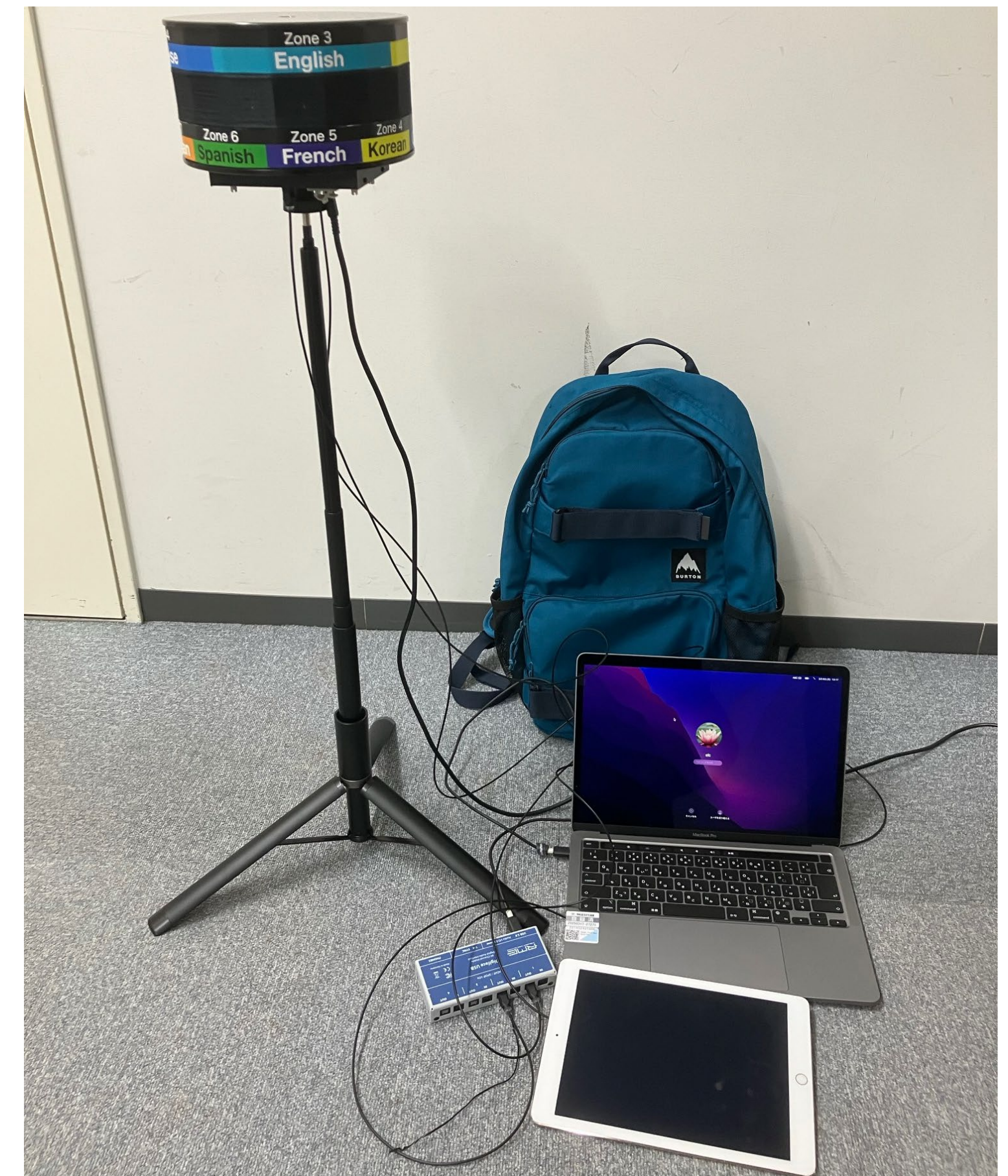
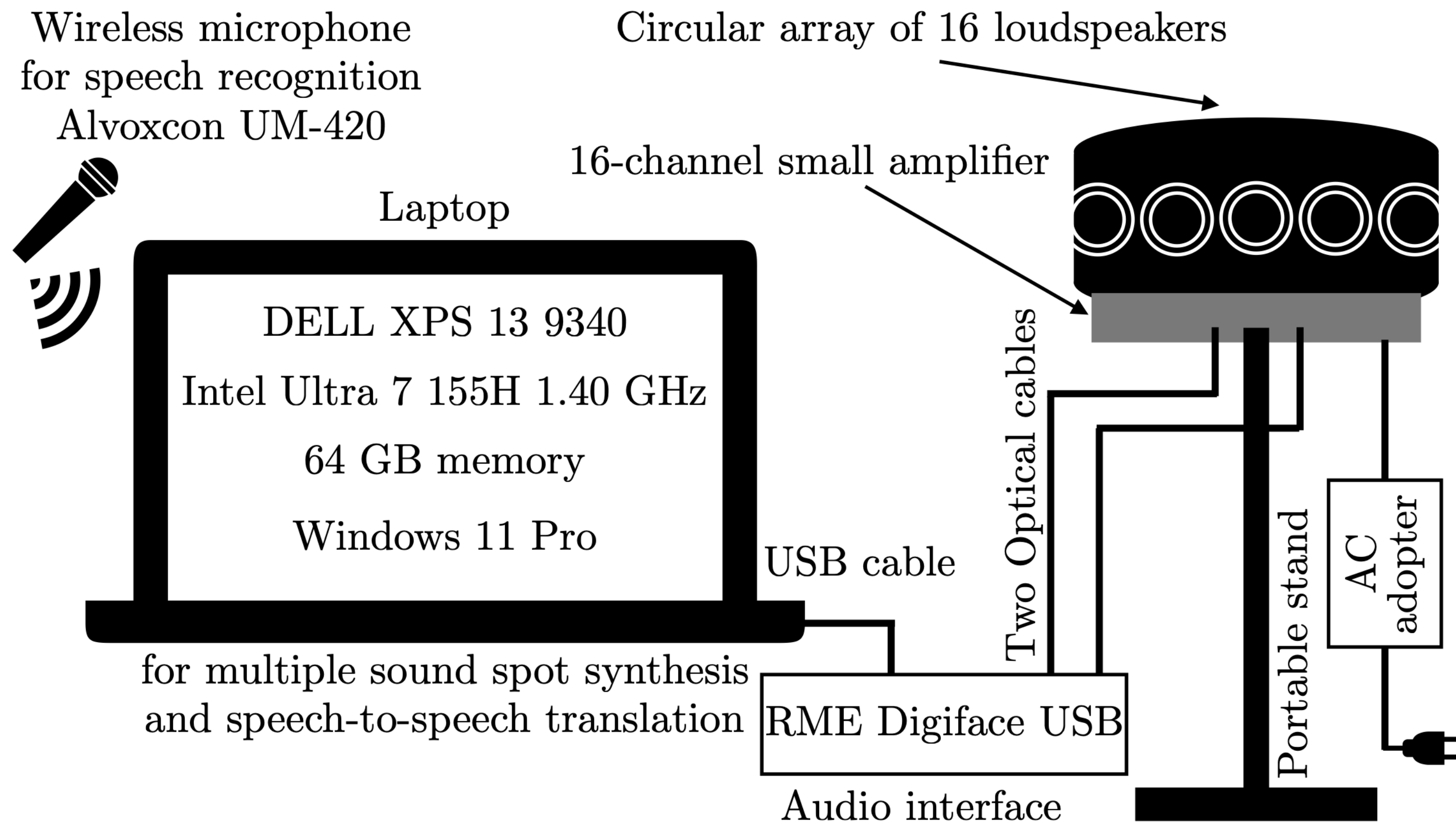




# デモシステムの小型化

T. Okamoto et. al., Interspeech 2025 Show & tell

- リュックサック1つで持ち運び可能なコンパクトデモシステム
- ノートPC1台で同時通訳(日→英中韓)もオンプレミス実装





- 音声マルチスポット再生の社会展開
- 実用化促進の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



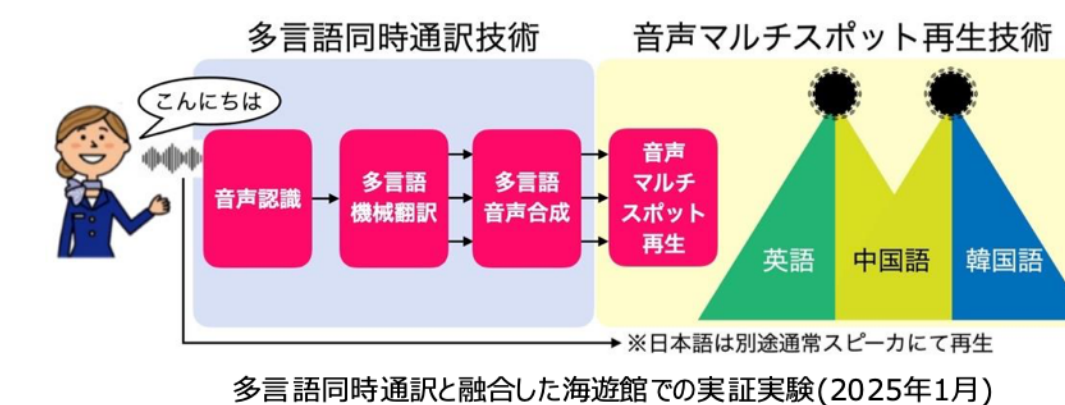
詳しくは技術紹介HPにて



## 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。

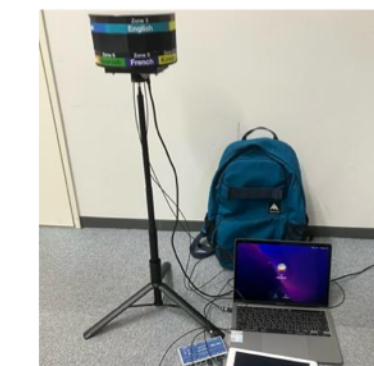


※日本語は別途通常スピーカにて再生  
多言語同時通訳と融合した海遊館での実証実験(2025年1月)

本技術を活用し、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。

T. Okamoto, K. Ueno, T. Okabe, K. Tani, Y. Yoshikata, M. Sudo, M. Kuwahara, and K. Hikita, "Improved portable multiple sound spot synthesis system with a baffled circular array of 16 loudspeakers," WASPAA 2023 (Demo session), New Paltz, NY, USA, Oct. 2023.  
T. Okamoto and M. Kono, "Simultaneous speech translation integrated compact multiple sound spot synthesis system on a laptop carried out with a backpack," in Proc. Interspeech, Aug. 2025, pp. 3539-3540. (Show & Tell)

## 音声マルチスポット再生スピーカ



リュックサック1つで持ち運び可能なコンパクトデモシステム

お問い合わせはこちらまで  
国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)  
イノベーションデザインイニシアティブ(IDI)  
音声マルチスポット再生プロジェクト  
sfc\_oi@ml.nict.go.jp

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**