

資料-1

シンポジウム（第8回CITフォーラム）開催概要（開催案内）

第8回 CIT音響フォーラム

シンポジウム

「安全・快適性のための音響情報伝達」

日時：2015年6月13日(土) 13:00 - 17:15

会場：千葉工業大学・津田沼キャンパス
7号館 7階 ネットワーク・メディア実験室

- 13:00-13:05
開会の挨拶
小宮 一仁
(千葉工業大学・学長)
- 13:05-13:15
趣旨説明
矢野 博夫
(千葉工業大学・情報工学科)
- 13:15-13:40
残響下において聞き取りやすいアナウンス音声合成法
木幡 稔
(千葉工業大学・情報ネットワーク学科)
- 13:40-14:05
音声単語親密度、話速、ポーズ長が文章理解に与える影響
世木 秀明
(千葉工業大学・情報工学科)
- 14:05-14:30
音線法を用いた数値実験による
指向性スピーカを用いた非常放送の明瞭性改善
矢野 博夫
(千葉工業大学・情報工学科)
- 14:30-14:55
広域放送の明瞭性改善に関する研究
—子局の数を非常に多くした場合の検討—
佐藤 史明
(千葉工業大学・建築都市環境学科)
- 14:55-15:20
気象条件が防災放送の了解度に及ぼす影響
—無響室での音場再生とバイノーラルシミュレーションの比較—
飯田 一博
(千葉工業大学・電気電子情報工学科)
- 15:35-16:00
視聴覚情報を手掛かりとした移動における「迷い」と残響の関係
山崎 治
(千葉工業大学・情報ネットワーク学科)
- 16:00-16:25
モノラル信号の物理特性と音像の幅
柳川 博文
(千葉工業大学・情報ネットワーク学科)
- 16:25-16:50
快適コミュニケーションのための残響可変装置を用いた音環境デザイン
大川 茂樹
(千葉工業大学・未来ロボティクス学科)
- 16:50-17:15
スマートホン・タブレットによる簡易音場シミュレータ
須田 宇宙
(千葉工業大学・情報ネットワーク学科)
(敬称省略)

主催：千葉工業大学・音響情報研究センター

協賛：一般社団法人 日本音響学会
公益社団法人 日本騒音制御工学会

問い合わせ先

千葉工業大学 情報ネットワーク学科 山崎 治
TEL : 047-478-0282
E-mail : yamazaki@net.it-chiba.ac.jp

資料-2

シンポジウム（第8回CITフォーラム）講演梗概集（冊子内容）

千葉工業大学
第8回CIT音響フォーラム

安全・快適性向上のための音響情報伝達

(安全・快適性のための音響情報に関する総合研究・中間報告)

2015年6月13日

千葉工業大学・津田沼キャンパス

主催：千葉工業大学 音響情報研究センター

協賛：（一社）日本音響学会 （公社）日本騒音制御工学会

第8回 CIT 音響フォーラム

安全・快適性向上のための音響情報伝達

目 次

CIT 音響フォーラムの概要

陶 良（千葉工業大学・音響情報研究センター・代表）…………… 1

趣旨説明

矢野博夫（千葉工業大学・情報科学部情報工学科）…………… 3

残響下において聞き取りやすいアナウンス音声合成法

木幡 稔（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）…………… 5

音声単語親密度，話速，ポーズ長が文章理解に与える影響

世木 秀明（千葉工業大学・情報科学部情報工学科）…………… 12

音線法を用いた数値実験による指向性スピーカを用いた非常放送の明瞭性改善

矢野博夫（千葉工業大学・情報科学部情報工学科）…………… 20

広域放送の明瞭性確保のための幾つかの検討

佐藤 史明（千葉工業大学・工学部建築都市環境学科）…………… 28

気象条件が防災放送の了解度に及ぼす影響 – 無響室での音場再生と

バイノーラルシミュレーションの比較 –

飯田 一博（千葉工業大学・工学部電気電子情報工学科）…………… 37

視聴覚情報を手掛かりとした移動における「迷い」と残響の関係

山崎 治（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）…………… 44

モノラル信号の物理特性と音像の幅

柳川 博文（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）…………… 52

快適コミュニケーションのための残響可変装置を用いた音環境デザイン

大川 茂樹（千葉工業大学・工学部未来ロボティクス学科）…………… 59

スマートフォン・タブレットによる簡易音場シミュレータ

須田 宇宙（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）…………… 67

CIT 音響フォーラムの経緯と概要

千葉工業大学では、音声、音響機器、聴覚、音響心理、超音波、建築音響、交通および機械騒音など多岐にわたる音響分野を専攻する研究者が多数在籍している。これらのスタッフが有機的に連携し、協力・共同研究を推進することによって有用な研究成果を効率的かつ継続的に生み出すために、学内に音響研究グループ（平成 26 年度より「音響情報研究センター」）を組織している。

この研究グループの活動としては、平成 17 年度から平成 21 年度の 5 年間にわたって、文科省・学術フロンティア推進事業による研究プロジェクト「快適音環境の創生」を遂行した。また平成 22 年度から平成 24 年度の 3 年間にわたって、科学研究費補助金（基盤研究 A）による「公共空間における安全確保のための音響情報伝達に関する研究」を実施した。

これらの研究を中心として、関連する音響研究を進めるに当たり、研究成果を学外への発信することによって広く意見交換を行い、また外部評価をいただくために、下記のとおり「CIT 音響フォーラム」と題する公開の研究会を継続的に実施してきた。この企画に対しては、一貫して日本音響学会並びに日本騒音制御工学会の協賛をいただいている。

- 第 1 回（平成 21 年 2 月 28 日）：千葉工業大学・学術フロンティア研究プロジェクト「快適音環境の創生」研究報告会・シンポジウム
- 第 2 回（平成 21 年 10 月 31 日）：シンポジウム「音響計測技術に関する最新情報」
- 第 3 回（平成 22 年 2 月 26 日）：「快適音環境の創生」研究成果報告会
- 第 4 回（平成 23 年 2 月 25 日）：「超音波の応用－映像化技術」
- 第 5 回（平成 23 年 10 月 22 日）：「音声の情報性」
- 第 6 回（平成 25 年 3 月 2 日）：「公共空間における安全確保のための音響情報伝達に関する研究」
- 第 7 回（平成 26 年 3 月 1 日）：「環境問題としての風車騒音」

これらの研究を基礎として、平成 25 年度より私立大学戦略的研究基盤形成支援事業による研究プロジェクト「安全・快適性のための音響情報に関する総合研究」（5 年計画）を立ち上げた。この研究プロジェクトについて、実施 2 年間余りの成果をまとめ、中間報告として、今回の第 8 回 CIT 音響フォーラムの企画に至った。

さらに、平成 27 年度から科学研究費補助金（基盤研究 A）による「公共空間の安全性確保を目指した可聴型音響設計システムの構築」（3 年計画）を開始した。CIT 音響フォーラムとしては、来年度以降も、これら研究プロジェクトの進展に応じて情報発信・意見交換の機会を設ける所存である。

平成 27 年 6 月 13 日

千葉工業大学 音響情報研究センター

代表 陶 良

千葉工業大学・音響情報研究センター 構成員

氏名	職名	所属	関連する活動状況
飯田 一博	教授	工学部・電気電子情報工学科	空間音響, 聴覚, 音響伝搬系
大川 茂樹	教授	工学部・未来ロボティクス学科	音響感性, 音声認識, 環境音
木幡 稔	教授	情報科学部・情報ネットワーク学科	音声符号化, 音声合成, 音声福祉
佐藤 史明	教授	工学部・建築都市環境学科	建築音響, 騒音制御, 音響教育
須田 宇宙	准教授	情報科学部・情報ネットワーク学科	マルチメディア, 音響シミュレーション, 音響教育
世木 秀明	准教授	情報科学部・情報工学科	音響心理, 音声知覚, 聴覚認識
橘 秀樹	名誉教授	東京大学	音響環境, 騒音制御, 音響伝搬系
陶 良	教授	工学部・電気電子情報工学科	環境認識, 超音波映像化, 材料評価
藤江 真也	准教授	工学部・未来ロボティクス学科	音響感性, 音声認識, 環境音
柳川 博文	教授	情報科学部・情報ネットワーク学科	空間音響, 音響心理, 音声コミュニケーション
矢野 博夫	教授	情報科学部・情報工学科	建築音響, 音響計測, 音響環境
山崎 治	准教授	情報科学部・情報ネットワーク学科	音響認知, 音響心理, 音響感性

趣旨説明

矢野博夫（千葉工業大学 情報科学部 情報工学科）

千葉工業大学では学内に多数在籍する音響分野を専攻する研究者によって音響研究グループを組織しており、これを母体として、平成 25 年度より私立大学戦略的研究基盤形成支援事業による研究プロジェクト「安全・快適性のための音響情報に関する総合研究」(5 年)を開始した。今回の CIT 音響フォーラムの企画は、これまでのおよそ 2 年間にわたる成果を中間報告としてとりまとめ、学外へ発信することによって広く意見交換を行い、また外部評価をいただくために企画された。

「安全・快適性のための音響情報に関する総合研究」の概要

公共空間や広域放送においては、平常時の案内アナウンスなどの明瞭な音声情報伝達はもとより、非常災害時には、音声あるいはサイン音による警報・避難誘導情報の的確な伝達が必要である。しかしながら、実際には音響情報による伝達が困難となっているケースも少なくなく、東日本大震災の際には、一段とその重要性が認識された。そこで本研究では、音声科学、電気音響工学、建築・環境工学、認知科学の各学問分野を総合して、さまざまな公共空間を対象とした音響情報伝達システムの性能向上を目的とし、これらの音響情報分野における研究拠点としての確立を目指すものとする。

本研究の内容を音響情報の伝達に関して大別すると、以下の4項目となる。

- (1)音源の設計：公共空間における非常時の避難誘導アナウンスは、その状況に応じて内容を適宜変更する必要がある。その制御や内容の即時的更新には、自然性の高い音声合成であるテキスト音声合成(TTS)が適している。この技術を適用して空間の特性ごとに適応的に聞き取りやすいアナウンスを合成する具体的手法について検討する。サイン音については、音声伝達が不可能な状況下での情報伝達手段として研究の対象として取り入れる。
- (2)電気音響システム：残響時間が長大、あるいはロングパスエコーが著しい巨大空間・屋外において、音響情報伝達の明瞭性を確保する手法として、既に連続的時間遅延方式を用いた基本システムを提案している。この方式で用いる最適なスピーカの特長や配置について空間伝搬系を考慮した検討を行う。
- (3)音環境・空間伝搬系：多様な公共空間(駅、空港、アトリウム、トンネル、地下街、市街地など)を対象とし、音環境の実態調査、音響計測、数値シミュレーション(幾何音響法と波動解析法)、ならびに3次元音環境シミュレータによる音場の可聴化と聴感評価手法の確立を目指す。また、対象とする周波数領域を低周波数まで拡張することを検討する。
- (4)聴覚・認識：公共空間における聴覚に基づく位置情報や意味情報の理解を促進するための視覚的な情報の効果について検討する。また、人間の聴覚特性や単語の親密度を考慮した音源信号の生成方法について検討を行うとともに、到来方向や距離知覚など避難誘導に必要な情報の伝達方法についても検討する。

以上のように広範な内容について“音の明瞭性・了解性・快適性”の追求を目的に、次ページの構成メンバーにより、役割分担を行い活動している。

安全・快適性のための音響情報に関する総合研究

研究代表者：矢野 博夫（千葉工業大学・情報科学部情報工学科）
 研究分担者：飯田 一博（千葉工業大学・工学部電気電子情報工学科）
 大川 茂樹（千葉工業大学・工学部未来ロボティクス学科）
 木幡 稔（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）
 佐藤 史明（千葉工業大学・工学部建築都市環境学科）
 須田 宇宙（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）
 世木 秀明（千葉工業大学・情報科学部情報工学科）
 柳川 博文（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）
 山崎 治（千葉工業大学・情報科学部情報ネットワーク学科）
 藤江 真也（千葉工業大学・工学部未来ロボティクス学科）27年度より
 橘 秀樹（東京大学、名誉教授）

研究の背景・目的 公共空間におけるアナウンス



改札



ホーム

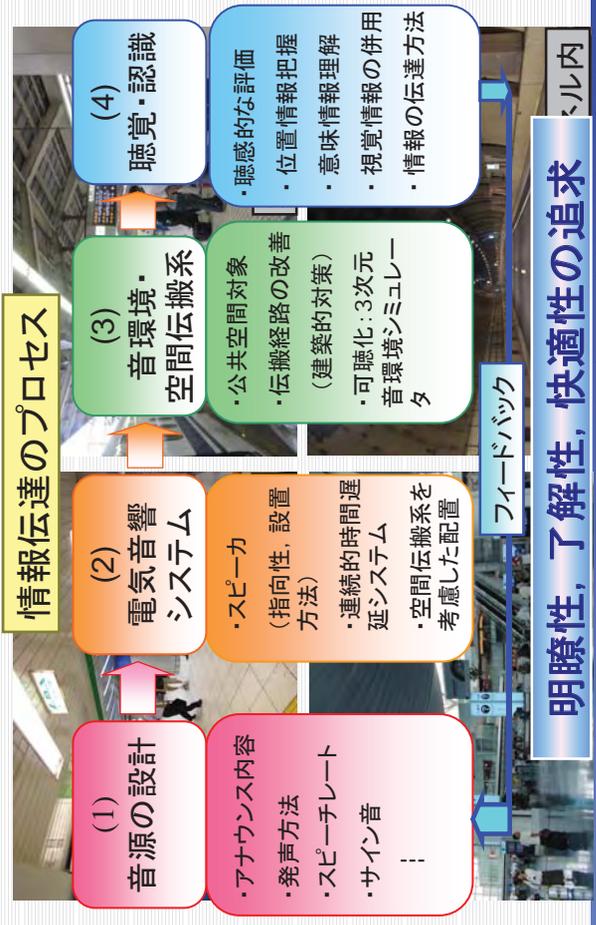


空港



道路トンネル内

音響情報の伝達



明瞭性, 了解性, 快適性の追求

安全・快適性のための音響情報に関する総合研究

研究課題	研究分担	研究内容の概要
(1)音源の設計(音声合成、サイン音設計)	木幡 稔	テキストによる音声合成手法の開発
	柳川 博文	サイン音(警報・非音声信号)の開発
(2)電気音響システム	矢野 博夫	避難誘導放送システム、音響計測3次元音場シミュレータの開発、
	飯田 一博	バイノーラル音場再生システムの高精度化、音場の距離感の制御方法の検討
(3)音環境・空間伝搬系	佐藤 史明	音環境の実態調査、数値シミュレーション、空間の音響処理
	橘 秀樹	公共空間の実態調査、音響設計手法
(4)聴覚・認識	大川 茂樹	雑音・残響環境下での音声認識
	世木 秀明	音声知覚に与える視覚刺激の影響
	山崎 治	聴覚と視覚の相互作用
	須田 宇宙	聴覚と視覚の相互作用
	藤江 真也	音響感性, 音声認識, 環境音

残響下において聞き取りやすいアナウンス音声合成法

木幡 稔 (千葉工業大学 情報科学部 情報ネットワーク学科)

【研究の背景】 空港やトンネルなどの公共空間において、拡声器によりアナウンス音声を呈示する場合、残響の影響により聞き取りにくくなる。これはアナウンス音声自体の残響が後続の音声をマスクする（オーバーラップマスク）現象により生じる障害である。結果として、情報が利用者に全く伝わらなかったり、齟齬が生じるなどの問題がある。本研究ではこの問題を解決することを目的とする。

【研究の目的】 この問題を解決する手段の1つとして、耐残下でも聞き取りやすい音声、すなわち残響により明瞭度が低下しにくい音声をアナウンス音声として利用することが考えられる。しかし、予めで肉声により発話された音声を録音し、これを信号処理技術を用いて加工することは、試行錯誤的な要素を多く含み、また様々な残響の条件を想定しなければならないことから、非常に困難である。そこで、本研究においては、音源として合成音声を利用し、さらに残響特性をインパルス応答として予め測定したものを利用することにより、音声合成器に与える種々のパラメータを制御したり、発話内容に応じた適応信号処理を行うことが可能な「残響下で聞き取りやすいアナウンス音声合成法」を開発することを目的とする。

【本研究で提案する方式のコンセプト】 本研究において提案する方式は、残響空間におけるインパルス応答が既知であることを前提とし、以下の手順で実行される。

- ・アナウンス用音声を「文」とし、これが数個の「文節」から成ることを仮定する。
 - ・文節単位で音声合成を行う。
 - ・発話される文節はオーバーラップマスキングの影響を受けるが、この影響を、インパルス応答と、客観評価尺度である信号対残響比（SR比）により評価する
 - ・客観評価尺度が閾値以上（客観評価尺度が大きいほど聞き取りやすい）となるように、音声合成のパラメータ（文節間ポーズ、話速、振幅など）を適応的に制御し、音声合成を行う。
- これらの処理により最終的に明瞭度が基準値以上になるような合成音声を合成するのが提案方式のコンセプトである。客観的評価尺度である「明瞭度評価尺度」にどのような尺度を用いるか、また音声合成パラメータには様々なものがあるが何れを制御することが効果的か、についても実験的に検討を行った。

【明瞭度評価尺度について】 明瞭度評価尺度については様々なものが考えられるが、本研究では、音声合成パラメータとして文節間に挿入するポーズ長、話速、文節ごとの振幅を制御する目的でSR比を導入し、上記パラメータの制御の実験を行った。その結果、条件に依存するものの明瞭度を向上する効果が得られた。

【各種音声合成パラメータの耐残響性への影響に関する実験的考察】

ポーズ等の音声合成パラメータを制御することを目標として、各種音声合成パラメータが耐残響性に与える影響について単音節を提示し、回答させる明瞭度試験により実験的に考察した。そして、音声合成パラメータを変化した場合に残響下でどのように明瞭度が変化するかを調査した。報告においては、その結果について詳細に述べる。

第8回 CIT音響フォーラム

残響下において聞き取りやすい アナウンス音声合成法

平成27年6月13日
千葉工業大学・情報ネットワーク学科
木幡 稔

残響のある公共空間での音声伝送

- オーバーラップマスキングにより明瞭度が著しく低下
- 緊急時、災害時のアナウンス音声が正確に伝達できない問題が顕在



2

研究の概要と発表内容

- 【目的】 合成音声を制御することで、残響のある空間においてアナウンス音声の明瞭度を改善する
- 【利点】 肉声では制御困難な処理でも、合成音声ならば可能
(適切なポーズの挿入や話速の制御など)

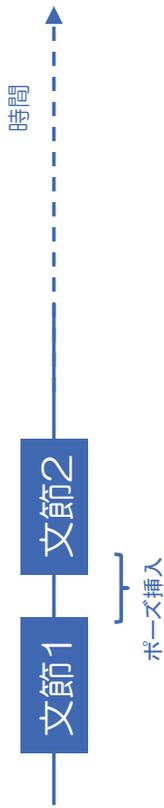
3

これまでの研究概要[6]

- 残響の影響をSR比により定量化
 - 残響の大きさは発話内容により変わる
 - 先行音声による残響が、後続音声に与える歪をSR比として定量化
- SR比を用いて、文節間のポーズを制御
- SR比を用いて、話速を制御
 - SR比が閾値以下にならないように（歪が閾値以上にならないように、ポーズ、話速を制御）

4

合成音声のポーズ制御の例

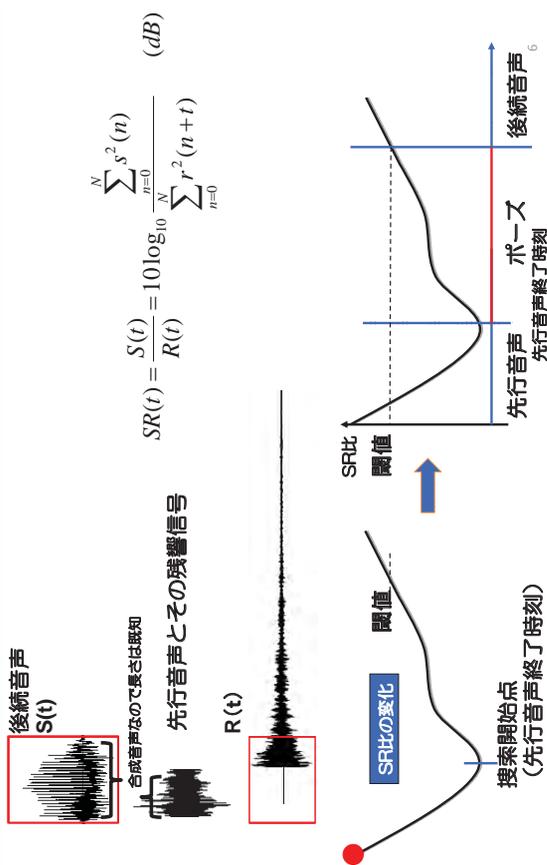


文節1による残響のパワーと文節2のパワー比をSR比として計算

- ⇒残響が十分に減衰（SR比が閾値を超過）したら文節2を音声合成
- ⇒話速制御，振幅制御等により同等の効果が期待できる

5

SR比の算出方法



ポーズ自動挿入の実験

実験条件

実験内容	音節明瞭度試験
残響時間 (RT60, 500Hz)	12.45s
発話内容	無意味3連鎖音節×4
音声合成器	HOYA製 VoiceText
SR比閾値設定範囲	1~6dB
被験者	12人

(無意味3連鎖音節×4の例)

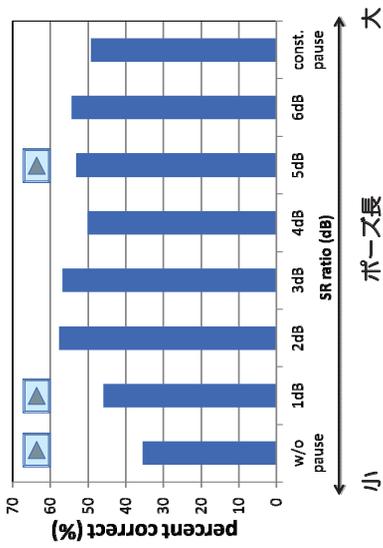
SR比による方法によりポーズを自動挿入

くげな えそど むさい ひでぶ

7

挿入ポーズ長と明瞭度の関係

単音節正解率とポーズ長制御用SR比の関係

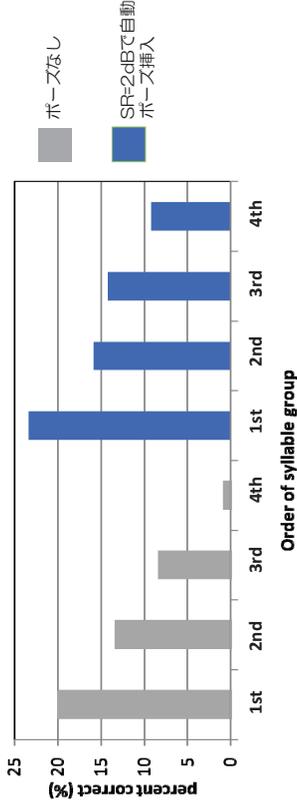


- ポーズ挿入なし(w/o pause)と比較して正解率向上. SR=2dBで飽和.
- SR=2dBで自動挿入したポーズの総和を均一長のポーズとして挿入した場合 (const. pause) よりも正解率は高い

8

音節群ごとの明瞭度分析結果

3連音節正解率と3連音節の順番の関係



- ポーズ挿入なしと比較して、後続音素群の明瞭度が向上している
- ポーズ長を、発話内容に応じて適応的に制御することが明瞭度向上に有効

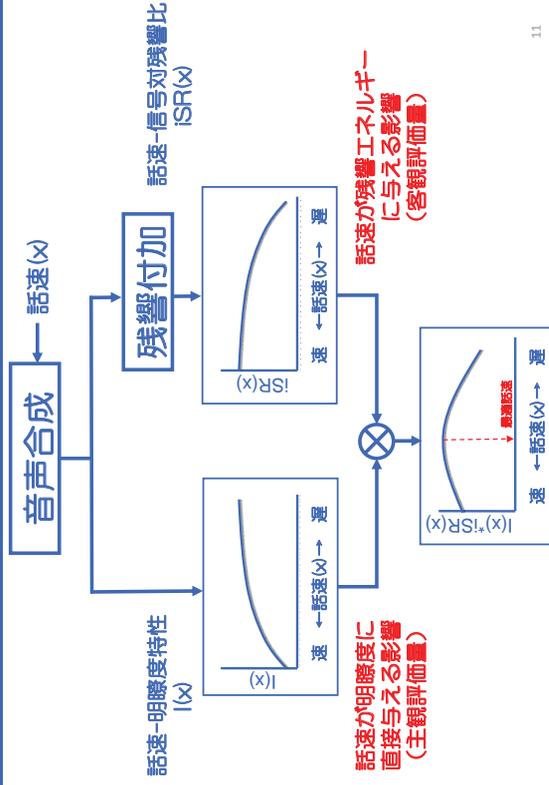
9

SR比による話速変更法

- 残響のない環境では話速を遅くすると明瞭度が向上
- 残響環境下では、話速を遅くするとオーバーラップマスキングの影響が増大し明瞭度低下
- 音声合成においては有声部の伸長により話速を制御することが原因  標準話速  話速1/2
- 残響環境下では話速は速すぎても、遅すぎてもダメ→最適話速が存在するのでは？

10

提案方式（最適話速予測法）



11

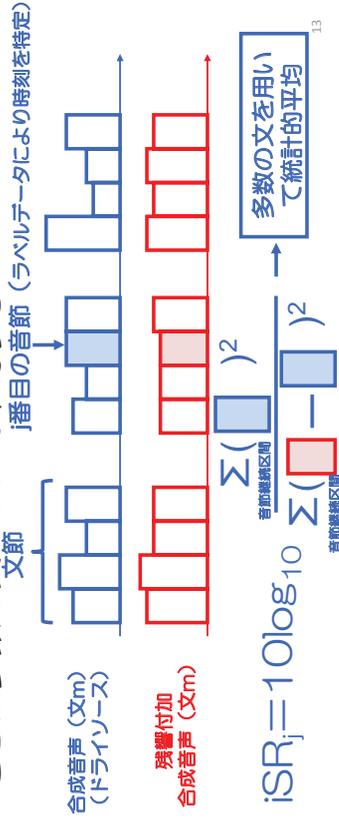
提案方式の原理・利点

- 話速が明瞭度に及ぼす影響と、残響エネルギーが明瞭度に及ぼす影響が独立であると仮定
- 話速-明瞭度特性(x)は多くの日本語発話データを基に合成した音声について明瞭度試験により事前に測定しておく（話者のみに依存するので一度だけ測定すればよい）

12

iSR比の算出方法

- iSR比 (文節内信号対残響比) による残響エネルギーの測定
- 文節を構成する音節単位で、信号電力と (信号-残響付加信号) のエネルギー比を求め (iSR_j)
- 文 (m) 中の全音節について iSR_j を平均 (iSR_j^m) , さらに多数の文について平均する



13

提案方式の原理・利点

- 話速-明瞭度特性を事前に測定しておく
- 話速-iSR比特性は、残響空間のインパルス応答が得られれば、計算により求めることが可能
- インパルス応答の測定のみで、(明瞭度試験を行わずに) 当該残響空間での最適話速を予測可能

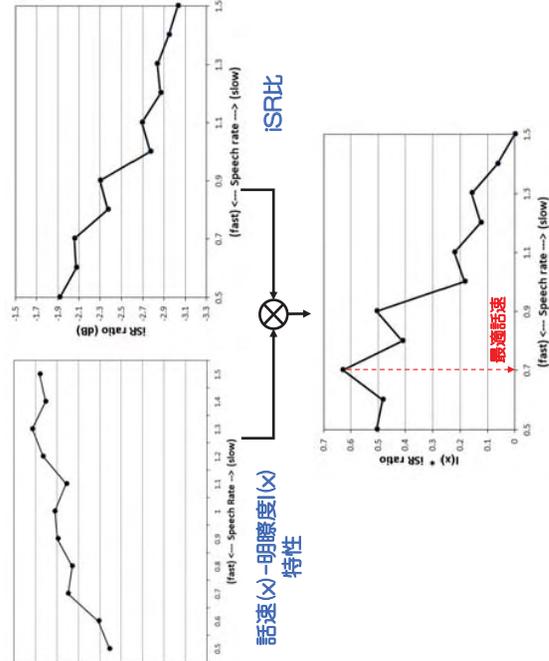
14

実験条件

音声合成器	VoiceText (男性話者RYO)
サンプリング周波数	8kHz
話速制御法	STRAIGHT
話速範囲	(速い) 0.5~1.0 (標準) ~1.5 (遅い)
音源	無意味3連音節×4 (ポーズを挟んで連結)
音節種類数	日本語67音節
文章数	5 (話速-明瞭度特性(iSR)測定用)
	100 (iSR比測定用)
文節間ポーズ長	10 (予測結果検証の明瞭度試験用)
	1.25s
被験者数 (明瞭度試験)	日本人男性12名
残響時間 (RT60 500Hz)	12.45s

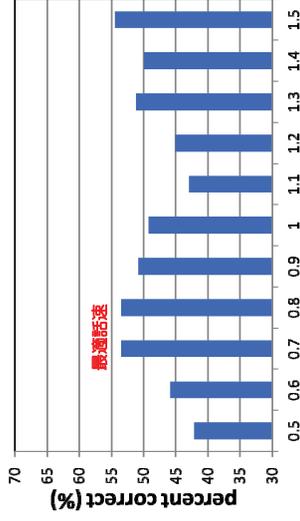
15

話速変更の予測結果



16

話速変更の実験結果



fast ←--- speech rate →→ slow

- TD-PSOLA法では有声部を削ることで話速調整をするため、話速を早めると後続音声への影響を軽減されるため、正解率が向上
- 話速を極端に遅くすると、残響音が直接音と同じ音韻になることにより、残響でマスクされ難くなるため、正解率が向上したと考えられる (/a/が/a/をマスクしても/a/として聞き取れる)

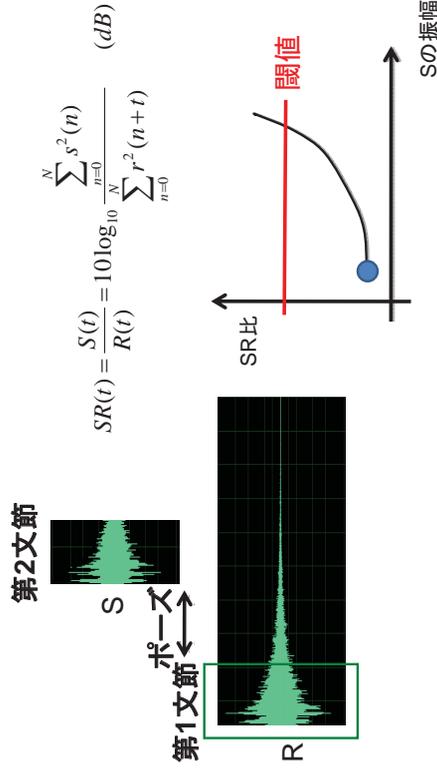
17

合成音声の振幅制御

- ポーズ制御と同じ原理により、第2文節以降の振幅を相対的に増加させることで、耐残響化が可能
- SR比を算出して、既定の閾値以上になるように、振幅を制御する
- 話速制御と同様に単に振幅を大きくすればよい、というわけではない (より大きな残響が後続文節に加わるため明瞭度が逆に低下する)

18

振幅制御法



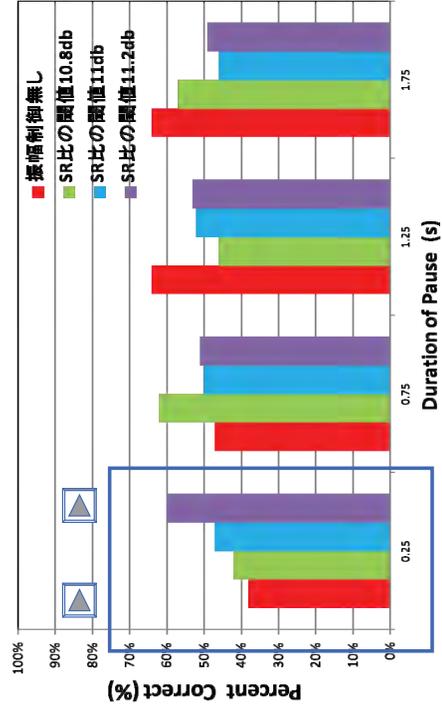
19 4

振幅制御実験条件

音声合成ソフト	Voice Text話者 (RYO)
発話内容	無意味3連鎖音×4
ハイパスフィルタ	400Hz以下カット
残響時間 (RT160 500Hz)	12.45s
サンプリング周波数	8kHz (16bit/sample)
文節間のポーズ長 (秒)	0.25, 0.75, 1.25, 1.75
SR比の閾値 (db)	10.8, 11, 11.2
被験者 (人)	6
実験方法	明瞭度試験

20

振幅制御実験結果



ポーズが短い場合に有効

21

まとめと今後の課題

- 残響下でのアナウンス音声に音声合成を用い、これを制御することは明瞭度向上において **有効**
- ポーズ長の制御
- 話速の制御, 最適話速の予測
- 振幅制御 **条件付きながらも効果あり**
- SR比以外の客観評価尺度 **今後, 検討の余地あり**

22

音声単語親密度, 話速, ポーズ長が文章理解に与える影響

世木 秀明(千葉工業大学 情報科学部情報工学科)

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「安全・快適性のための音響情報科学研究センター」における研究内容で設定されている4領域の研究テーマのうち、(4)聴覚・認識領域における研究テーマの一つである理解しやすく聞き取りやすい公共放送文に関する検討を行った。

具体的には、1.単語親密度と連想語が文理解に与える影響に関する検討と2.話速、ポーズ長が文理解に与える影響に関する検討である。

前者では、公共放送の指示内容を聴取し、その指示内容を理解し、行動するためはどのような単語(動詞)を使用すれば分かりやすいのかについて単語親密度と文脈や聴取状況における連想語が文章理解に与える影響について検討を行なった。後者では、発話者の話速やポーズ時間はどのように設定すれば聞き取りやすくなるのかについて雑音がある条件下で20代健聴者と65歳以上の高齢者を対象に聴取実験を行い検討した。さらに、合成音声を使用した実験により句読点に対するポーズ時間が聞き取りやすさや理解しやすさに与える影響についての検討を加えた。以下にそれぞれの検討結果について述べる。

1.単語親密度と連想語が文理解に与える影響に関する検討

地方自治体が作成し、Webで公開されている非常放送文を収集し、非常放送文の指示内容を聞き手に理解させ、行動させるためにどのような単語(動詞)が使用されているのかについて調査した。調査結果から、使用されている単語(動詞)の多くは、音声単語親密度が6以上か6に近いものであることがわかった。さらに、収集した非常放送文を理解するために重要であると考えられる単語(動詞)を空欄にしてどのような動詞が想起されるのかについての語想起調査を行った。調査結果から、必ずしも音声単語親密度が高い単語が想起されやすいとは限らないことが示唆された。

次に、収集した非常放送文に使用されている単語(動詞)と語想起調査で想起されやすいと考えられた単語(動詞)を用いて作成した非常放送文を音声合成プログラム(VoiceText)により約330モーラ/分で読み上げた音声を刺激材料とし、これにマルチトーカーノイズを重畳させたものを実験用刺激として聴取実験を行った。被験者は、健康な聴力を持つ20代男女である。

聴取実験の結果、音声単語親密度が高い単語が必ずしも刺激文の理解向上に貢献するとは考えにくく、文脈や状況から連想されやすい単語が刺激文の理解向上に貢献すると考えられた。

2.話速、ポーズ長が文理解に与える影響に関する検討

2文からなる文章を女性アナウンサーが約330モーラ/分の話速で読み上げたものを音声分析再合成プログラムで発話時間を伸縮することにより話速を0.7倍～1.2倍に変更した音声と文中に含まれる句読点に対応するポーズ時間のみを変更することにより話速を0.7倍～1.2倍に変更した音声にマルチトーカーノイズを重畳させたものを実験用刺激として聴取実験を行った。被験者は、健康な聴力を持つ20代男女と加齢による聴力低下以外に聴力に異常が認められない65歳以上の高齢者である。

聴取実験の結果、20代男女では話速変化方法の違いによる文章理解度にほとんど差が認められなかったが、高齢者では話速を遅くするよりも句読点に対応するポーズ時間の長さを適切に設定することが聞き取りやすさや理解の向上につながることを示唆された。

さらに、上記聴取実験と同一文章を音声合成プログラム(VoiceText)で約330モーラ/分の話速で句読点に対応するポーズ時間のみを変更して読み上げた音声にマルチトーカーノイズを重畳させた実験用刺激を用いた聴取実験を行った。被験者は、健康な聴力を持つ20代男女である。

聴取実験の結果、合成音声に関しても句読点に対応するポーズ時間が聞き取りやすさや理解のしやすさに影響を与えることが示唆された。

第8回 CIT 音響フォーラム

音声単語親密度, 話速, ポーズ長が 文章理解に与える影響

情報科学部 情報工学科

世木 秀明

聞き取りやすく理解しやすい公共放送文に関する研究

- 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
安全・快適性のための音響情報科学研究センター

- 聞き取りやすく理解しやすい公共放送文に関する検討
 - ✓ どのような単語が理解しやすいのか
 - ✓ どのような文体が理解しやすいのか
 - ✓ 1文中に入れる情報量はどれくらいが適切なのか
 - ✓ 発話者の話速やポーズ時間は聞き取りやすさや理解しやすさにどのような影響を与えるのか
 - ✓ 繰り返しアナウンスの効果
 - ✓ 合成音声の利用

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

- 連想語が文章理解にどのような影響を及ぼすのかについて音声単語親密度を考慮に入れて検討する
- 実験1: 放送文の収集と語想起調査
- 実験2: 連想語を使用した文章とそうでない文章の理解度比較

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

- 実験1: 非常放送文の収集と語想起調査
 - ✓ Webから非常放送文約130文章を収集し、理解するために重要であると考えられる単語(動詞)の頻度、音声単語親密度を調査

収集した文章使用されている単語(動詞)の頻度と音声単語親密度の例

単語	頻度	音声単語親密度
避難する	50	5.69
注意する	15	6.17
始末する	15	5.56
行動する	11	6.06
逃げる	10	6.13
急ぐ	8	6.38

使用されている多くの単語は、音声単語親密度が6以上か6に近い物であった

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 語想起調査

✓ Webから収集した非常放送文について聴取者が理解するため
に重要であると考えられる単語(動詞)を空欄にして自由筆記
で埋める記述式調査

● 調査文章の例

地震がありました。

外へ()ください。

→ オリジナル文章: 避難して

地震がありました。

垂れ下がった電線には絶対に()ください。

→ オリジナル文章: 近づかない

✓ 被験者: 20代男女23名

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 語想起調査結果

表2 語想起調査結果の一例

単語	語想起率	単語親密度
避難して	87%	5.69
逃げて	13%	6.13
触れない	74%	5.63
近づかない	26%	6.03

必ずしも、音声単語親密度の高い単語が
想起されるわけではない

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 聴取実験

✓ 実験用刺激文章

語想起調査から得られた語想起率の高い単語と、語想起率は
低い親密度の高い単語をキーワードとする2文からなる文章
を作成

□ 刺激文章の例

● 親密度の高い単語を用いた文章例

地震がありました。
しばらくその場で動かないでください。

音声単語親密度 : 6.19
語想起率 : 17%

● 想起されやすい単語を用いた文章

地震がありました。

しばらくその場で待機してください。

音声単語親密度 : 5.34
語想起率 : 61%

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 実験用刺激

✓ 刺激材料

□ 地震に関する非常放送文25文章

□ 火災に関する非常放送文12文章

→ 音声合成プログラムVoiceText女声により約330モーラ/分
の話速で合成

✓ 実験用刺激

□ マルチトーンノイズを刺激材料にラウドネスバランスから
6dB減じたレベルで重畳

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 聴取実験方法

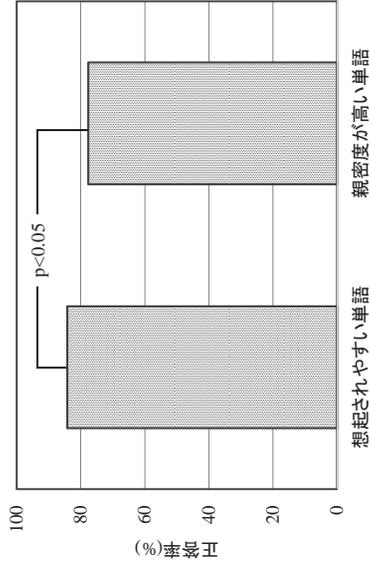
- ✓ 静かな部屋で被験者前方約150cmに設置したスピーカーより実験用刺激を至適レベルで提示
- ✓ 提示後、「放送を聞いてどうすればいいですか」という質問に筆記により解答

■ 被験者

- ✓ 20代男女41名

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ 聴取実験結果



想起されやすい単語と親密度が高い単語の平均正答率

1. 単語親密度と連想語が文理解に与える影響

■ まとめ

- ✓ 非常放送では親密度の高い単語が必ずしも放送文理解に貢献するとは考えにくい
- ➡ 単語親密度は文脈や単語間の関係性は考慮されていない
- ✓ 聴取する環境や状況から想起しやすいキーワード単語が放送文理解に貢献すると考えられる。

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

- 聴覚能力の低下した高齢者や日本語を習い始めた外国人に對して分かりやすい話し方はゆっくり話すことが有効な方法の一つであることが知られている

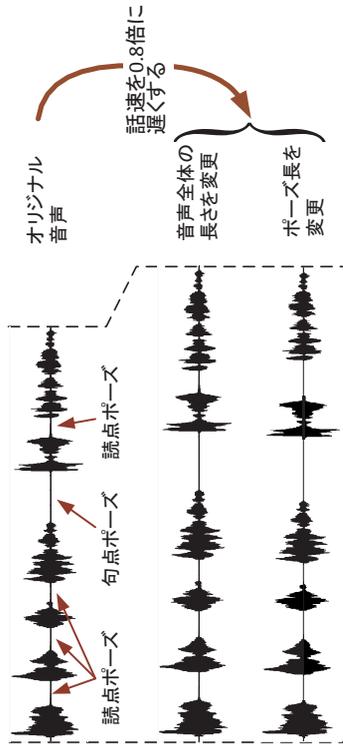


- ゆっくり話す ← 話速を遅くする
 - ✓ ひとまとまりになっている単語は、ゆっくり話すと逆にわかりにくくなる
 - ✓ ゆっくり話すよりポーズ時間を十分にとったほうがわかりやすい

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 話速とポーズ長

- 一般に、話速は発話のモーラ数をその発話の持続時間で割った値が用いられる
- アナウンサーがニュース原稿などを読み上げる場合の話速は、1分間のモーラ数によって定義されることが多い
- ✓ NHKのニュースアナウンサーの話速は、約330モーラ/分



2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験1

- ✓ 女性アナウンサーが読み上げた音声を用いて文章全体の長を変更することにより話速を変更した実験用刺激の聴取実験
- ✓ 女性アナウンサーが読み上げた音声を用いて句読点に対応するポーズ時間を変更することにより話速を変更した実験用刺激の聴取実験

■ 実験2

- ✓ 女声合成音、素人女性、女性アナウンサーが読み上げた音声を用いて句読点に対応するポーズ時間の検討を行う聴取実験

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

● 実験1

■ 刺激材料

- ✓ 2文からなる文章13文章を約330モーラ/分で女性アナウンサーが読み上げた音声

□ 文章例

- カレーには、人参、玉葱、じゃがいもが必要です。甘口が私の好きなカレーの味です。
- 質問例
 1. カレーに入れる野菜は人参、玉葱と何ですか？
 2. 私の好きなカレーはどのような味ですか？

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験用刺激

- ✓ 刺激材料を分析再合成プログラムで発話時間を伸縮することにより話速を0.7倍、0.8倍、1.0倍、1.2倍に変更した刺激
- ✓ 刺激材料のポーズ長のみを変更して話速0.7倍、0.8倍、1.0倍、1.2倍の発話時間と同一の発話時間とした刺激

+

- 20代健聴者：刺激音とのラウドネスバランスより6dB減じたマルチトーカーノイズ
- 高齢者：刺激音とのラウドネスバランスより12dB減じたマルチトーカーノイズ

20代健聴者と高齢者間で単音節受聴明瞭度がほぼ等しいレベル差

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 聴取実験方法

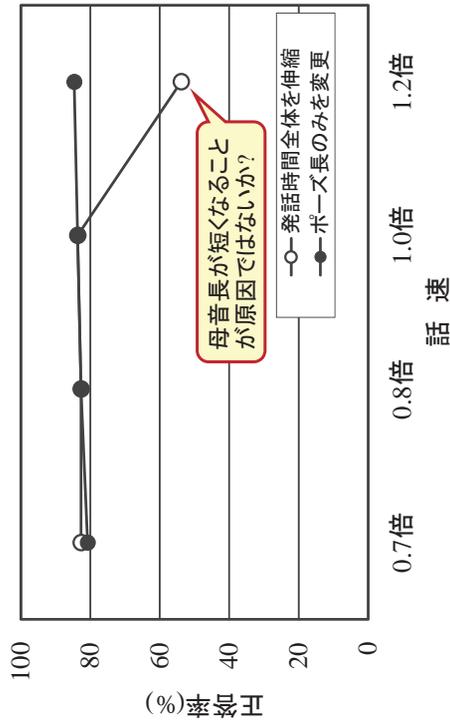
- ✓ 静かな部屋で被験者前方約150cmに設置したスピーカーより至適レベルで実験用刺激を呈示し、刺激内容に関する質問に筆記で答えさせる

■ 被験者

- ✓ 健康な聴力を持つ20代男女15名
- ✓ 健康な聴力を持つ65歳から77歳の高齢者9名 (平均69歳)

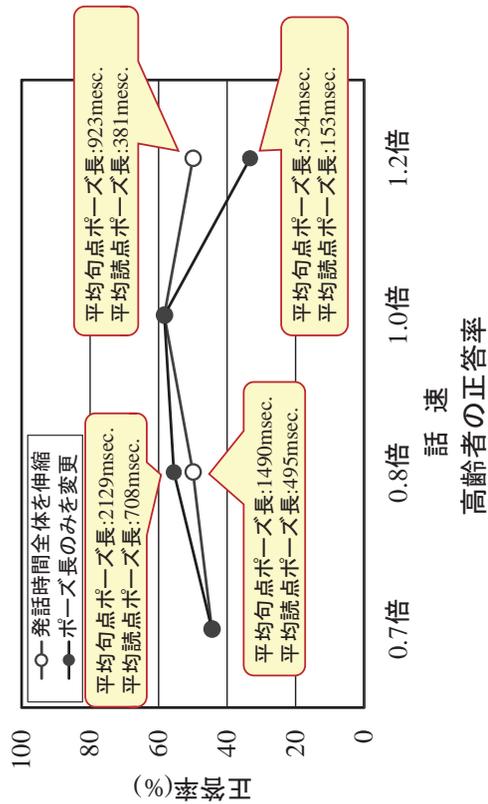
2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験1結果1



2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験1結果2



2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

● 実験2

■ 刺激材料

- ✓ 2文からなる文章13文章を約330モラ/分で女性音声合成プログラム(VoiceText)、素人女性、女性アナウンサーが読み上げた音声

□ 文章例

- カレーには、人参、玉葱、じゃがいもが必要です。甘口が私の好きなカレーの味です。

□ 質問例

1. カレーに入れる野菜は人参、玉葱と何ですか?
2. 私の好きなカレーはどのような味ですか?

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験用刺激

- ✓ 2文からなる文章13文章を約330モーラ/分で女性音声合成プログラム(VoiceTEXT)、素人女性、女性アナウンサーが読み上げた音声刺激
- ✓ 2文からなる文章13文章を約330モーラ/分で女性音声合成プログラム(Voice TEXT)読み上げた音声の句読点に対応するポーズ時間を素人女性音声と同程度に変更した音声刺激



- 刺激音とのラウドネスバランスより6dB減じたマルチトーカーノイズ

2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 聴取実験方法

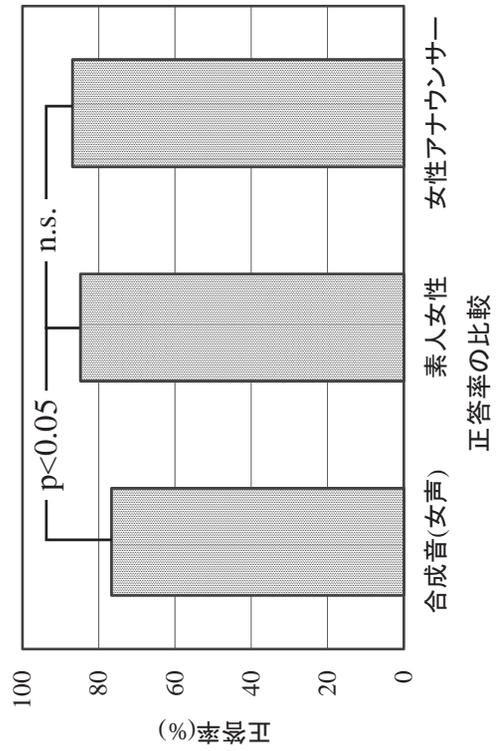
- ✓ 静かな部屋で被験者前方約150cmに設置したスピーカーより至適レベルで実験用刺激を呈示し、刺激内容に関する質問に筆記で答えさせる
- ✓ 提示した実験用刺激に対する聞き取りにくさの4段階評価

■ 被験者

- ✓ 健康な聴力を持つ20代男女15名

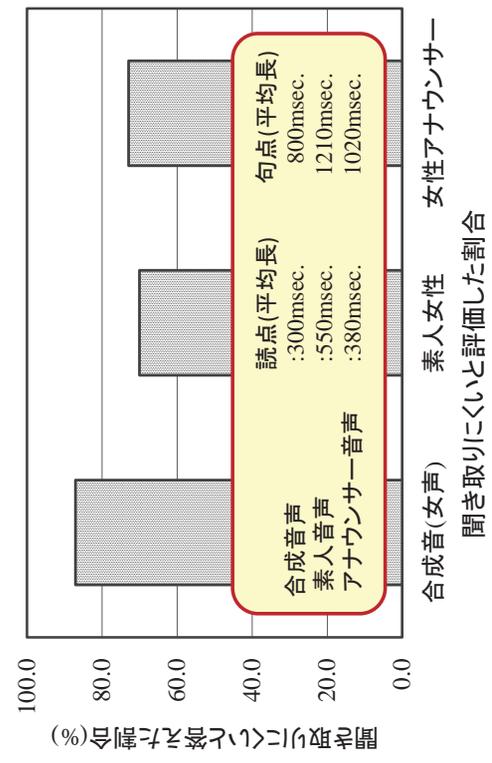
2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験結果1



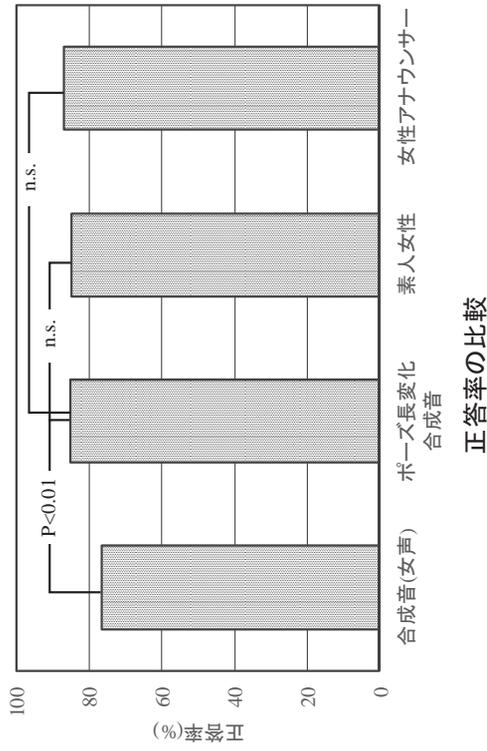
2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験結果2



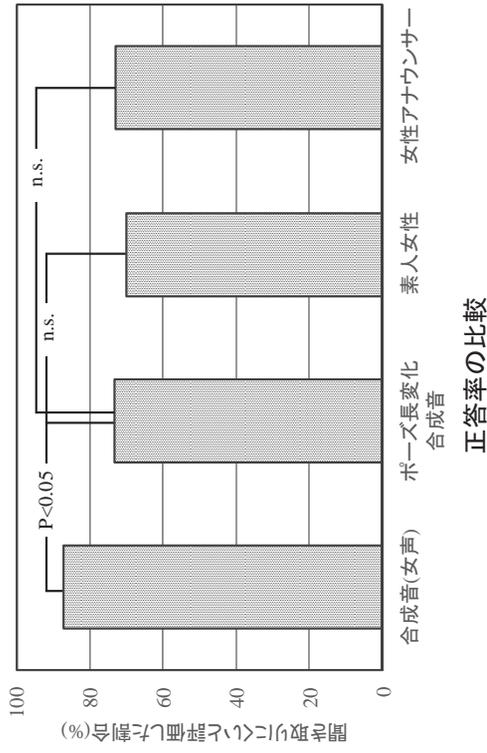
2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験2結果3



2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ 実験2結果4



2. 話速、ポーズ長が文理解に与える影響

■ まとめ

- ✓ 高齢者では、文章全体の話速を遅くするよりもポーズ時間が長いほど聞き取りやすく理解しやすくなる。
→ 20代健聴者ではほとんど影響なし
- ✓ 330モーラ/分以上になると理解度が低下傾向が高齢者に見られた。
- ✓ 話速よりもポーズ時間が聞き取りやすさや理解のしやすさに大きく影響を与える。

音線法を用いた数値実験による指向性スピーカを用いた 非常放送の明瞭性改善

矢野 博夫 (千葉工業大学 情報科学部 情報工学科)

本プロジェクト研究の大きな流れを大別すると、音源の設計 (①音声合成, サイン音設計), 伝送系に関する検討 (②電気音響システム, ③音環境・空間伝搬系) 及び情報を受容する人間の聴覚・心理に関する検討 (④聴覚・認識) となる. このうち伝送系の電気音響システムについて、公共空間におけるアナウンス放送の明瞭性を改善するためのスピーカシステムについての検討を行っている. スピーカシステムには設置される空間の規模や形状, 放送の目的に応じて、適切な指向特性を持たせる必要があるが、設置される空間特性を含めて検討する必要がある. そこで、種々の指向特性を持つスピーカシステムを道路トンネル内に設置した場合について、幾何音響理論に基づく数値計算手法により、各受音点のインパルス応答を計算した. それらの結果から明瞭性に関する物理指標としてSTIに着目し、各スピーカシステムに時間遅延を行った場合の明瞭性について検討を行った.

数値計算に用いるスピーカ指向性の確認

公共空間内で用いられるスピーカは設置される空間, 取付場所, サービスエリアの多様性から様々な指向特性のものが用いられる. ここでは道路トンネル内で多数配置され時間遅延システムの基で使用される場合を考慮して、3種類の指向性の異なるスピーカ (ホーン型, ラインアレイ型, 平板型) を選んだ. これらについて無響室内で指向特性の測定を行い、その結果を数値計算の音源特性として用いた.

数値計算によるトンネル内音場のシミュレーション

大空間・公共空間においては残響が過大となりやすく、拡声放送の明瞭性を確保することが困難な場合がある. このような場合に、スピーカに適切な指向性を持たせることにより明瞭性の改善を行える可能性があるが、設置位置や台数など多様な条件について現場実測によって検討を行うのは困難が伴う. そこでスピーカをトンネル内音場に設置した場合のシミュレーションを音線法による数値実験により行った. トンネル形状は箱形直線状とし、吸音特性として道路路面は排水性舗装の吸音率 ($\alpha=0.3$, 500Hz) を、それ以外の部分はコンクリート ($\alpha=0.02$, 500Hz) として設定した. 音源を設置した. 受音点はスピーカより100mまでは25m毎に、400mまでは50m毎に配置した.

ホーンスピーカを音源とした場合のトンネル内における25mから400mまでの距離減衰特性について、実測結果と音線法による数値計算結果について比較した. その結果はほぼ一致した減衰傾向が得られたが、スピーカ後方の2kHz帯域で最大4.5dBの誤差となった.

道路トンネル内における明瞭性の改善

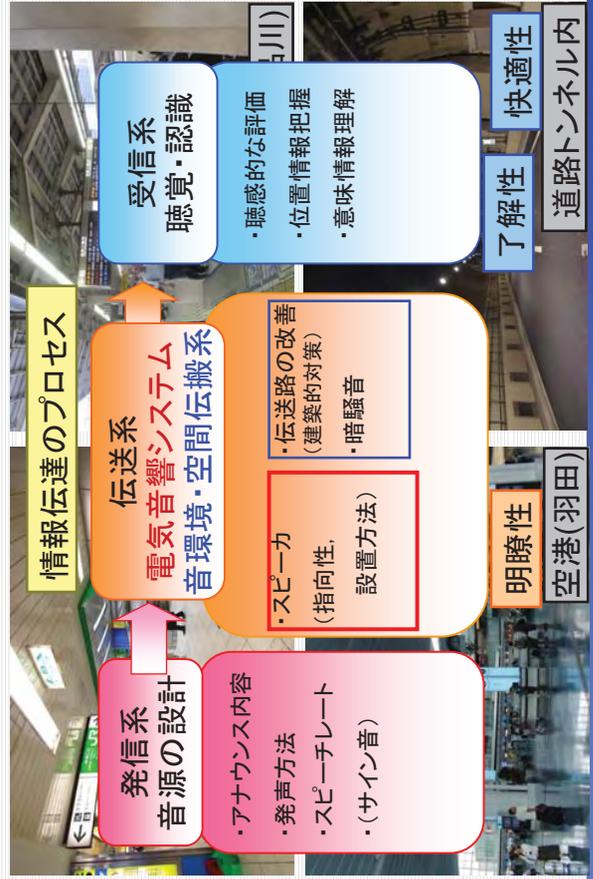
トンネル内の避難誘導システムでは、マルチパスエコーを避けるために連続時間遅延システムを用いている. ここでは各スピーカ形式について、計算結果から得たインパルス応答を合成して用い、25m点から100m点までの明瞭性に関する物理指標としてSTI値を求めた. それによれば、いずれのスピーカについても時間遅延を行うことで明瞭性が改善されること、ホーン型, ラインアレイ型, 平板型の順で明瞭性が改善される結果となった.

音線法を用いた数値実験による 指向性スピーカを用いた非常放送の明瞭性改善

矢野博夫
千葉工業大学・情報科学部情報工学科

Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究の背景・目的



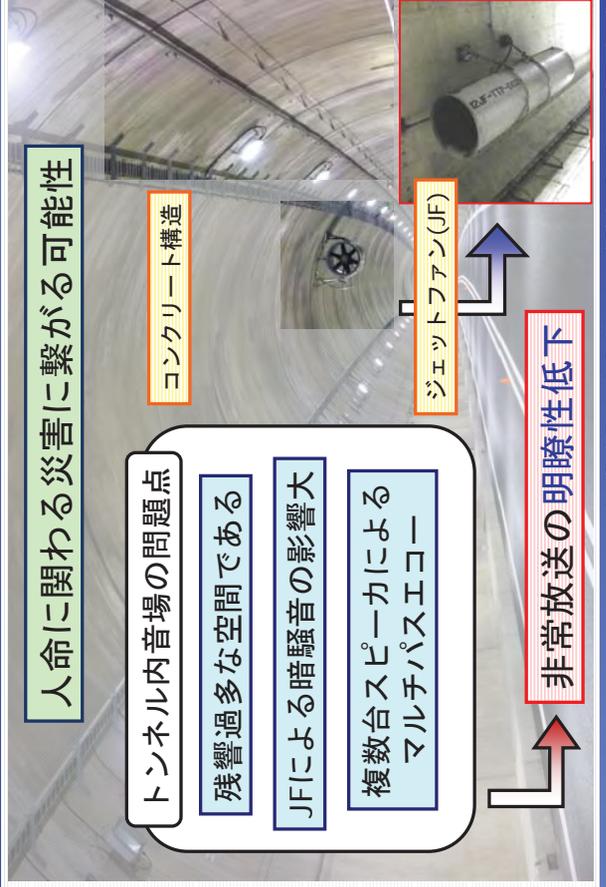
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究の背景・目的 公共空間におけるアナウンス



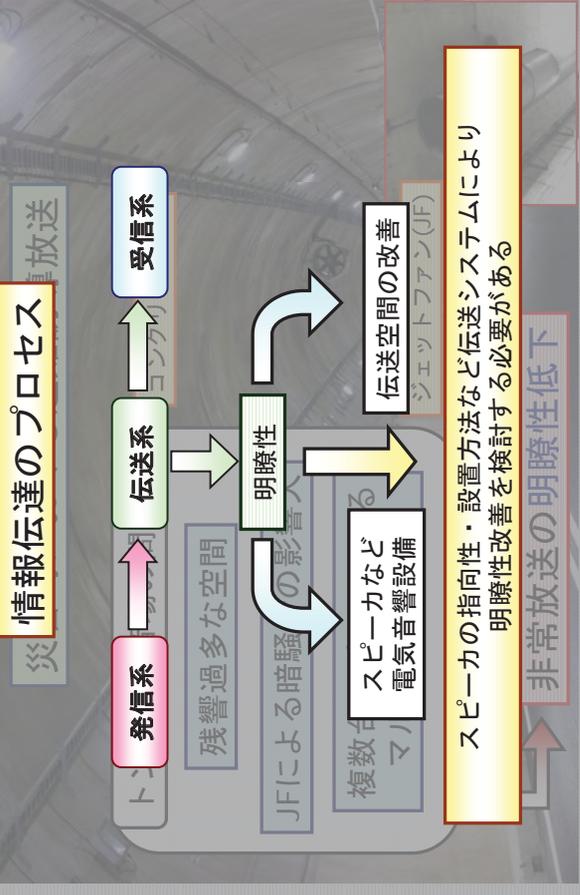
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究背景・目的



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究背景・目的



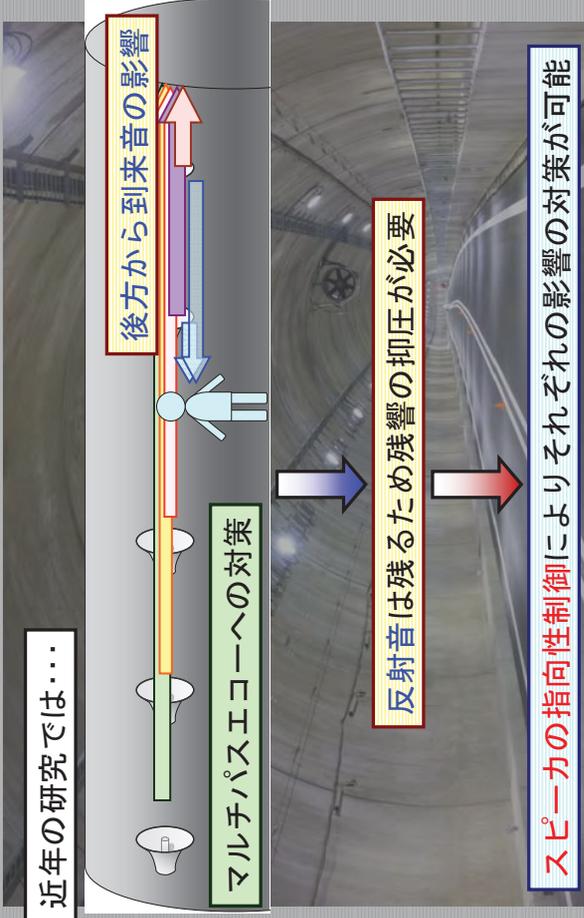
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

トンネル内非常放送の明瞭性改善 研究の流れ

- ・背景・目的
- ・指向性スピーカの指向特性の把握
- ・トンネル内における数値実験
- ・実測と数値計算結果の対応性
 - ・距離減衰特性の比較
 - ・残響時間特性の比較
- ・明瞭性評価 ⇨ 物理指標(STI)による

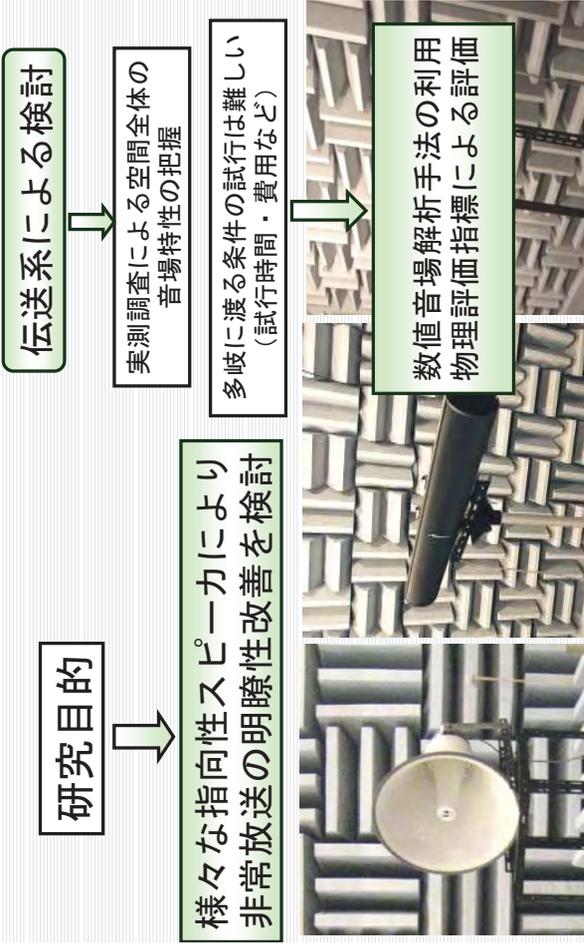
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究背景・目的



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

研究背景・目的



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

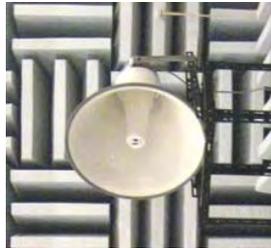
指向性スピーカの音圧指向性測定

Swept-sine信号の測定

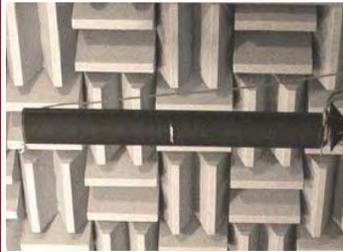
測定した指向性スピーカ

インパルス応答の算出

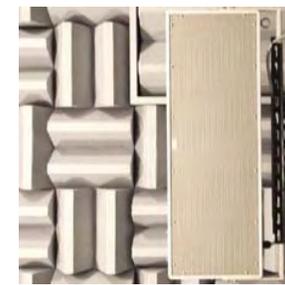
ホーンスピーカ



ラインアレイスピーカ

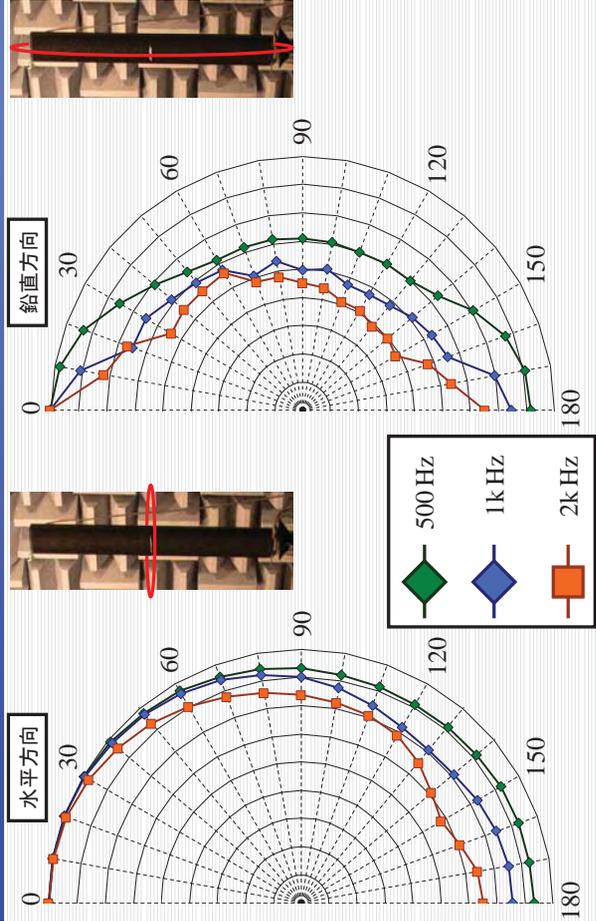


平板スピーカ



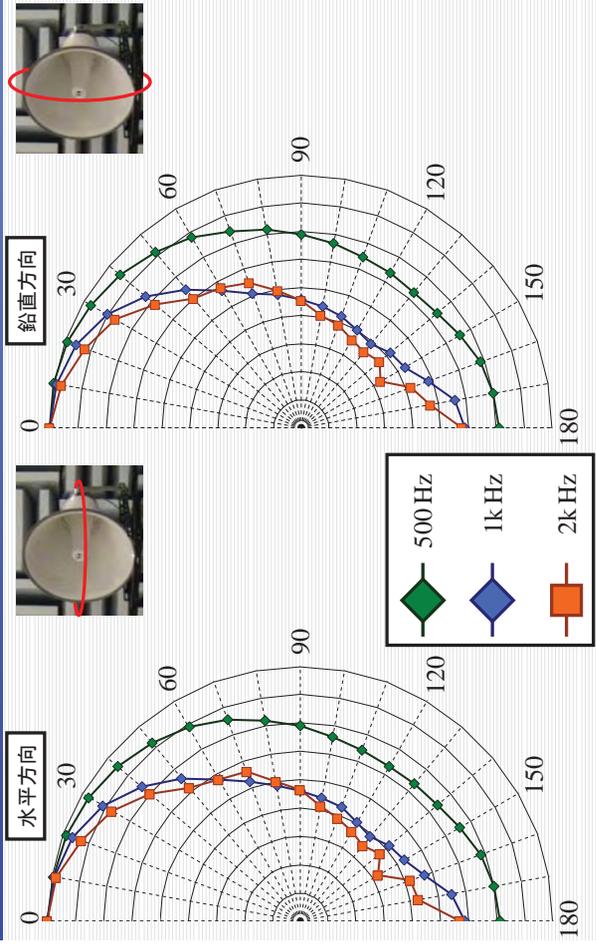
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカの音圧指向性—ラインアレイスピーカ—



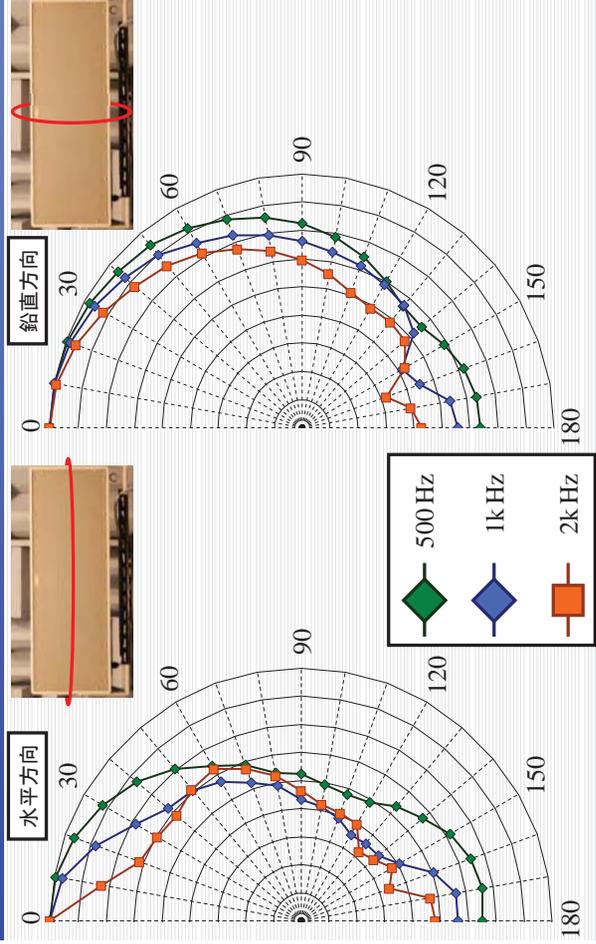
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカの音圧指向性—ホーンスピーカ—



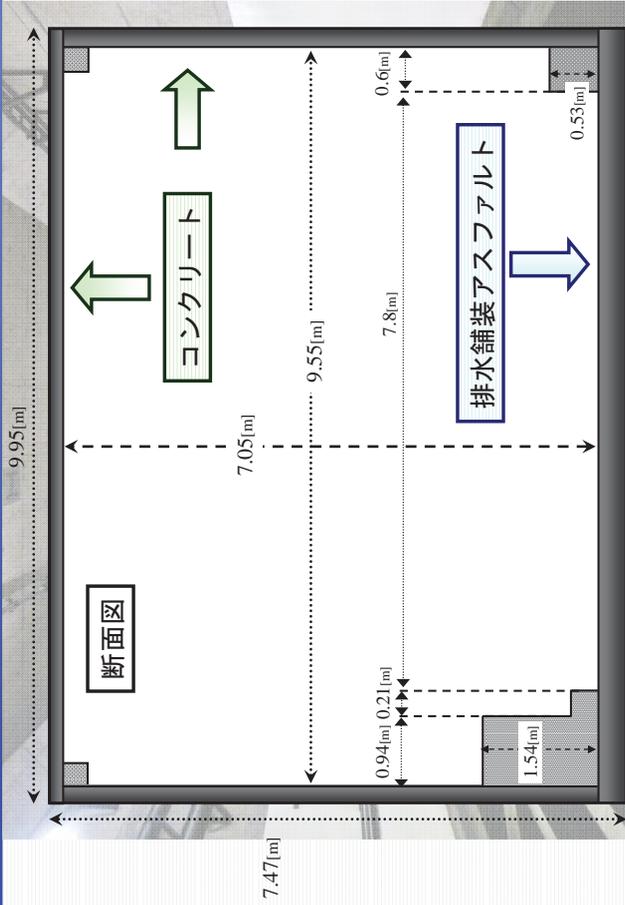
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカの音圧指向性—平板スピーカ—



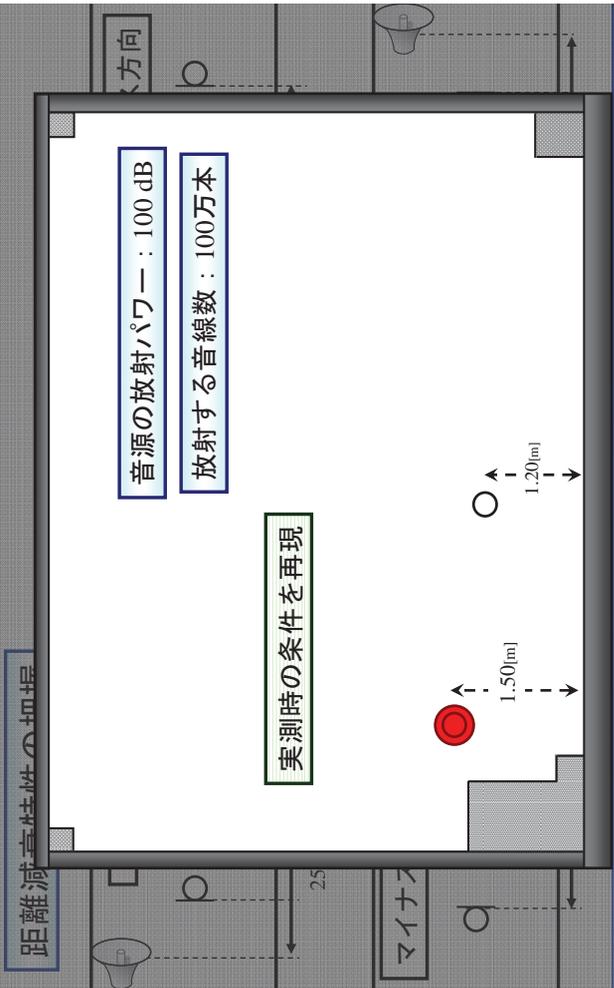
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

計算対象としたトンネル



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

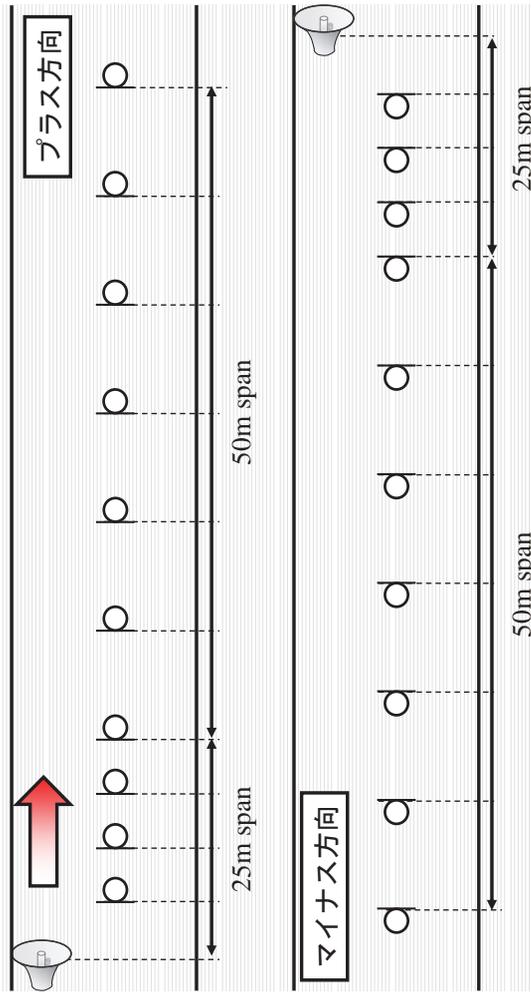
音源・受音点の設定



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

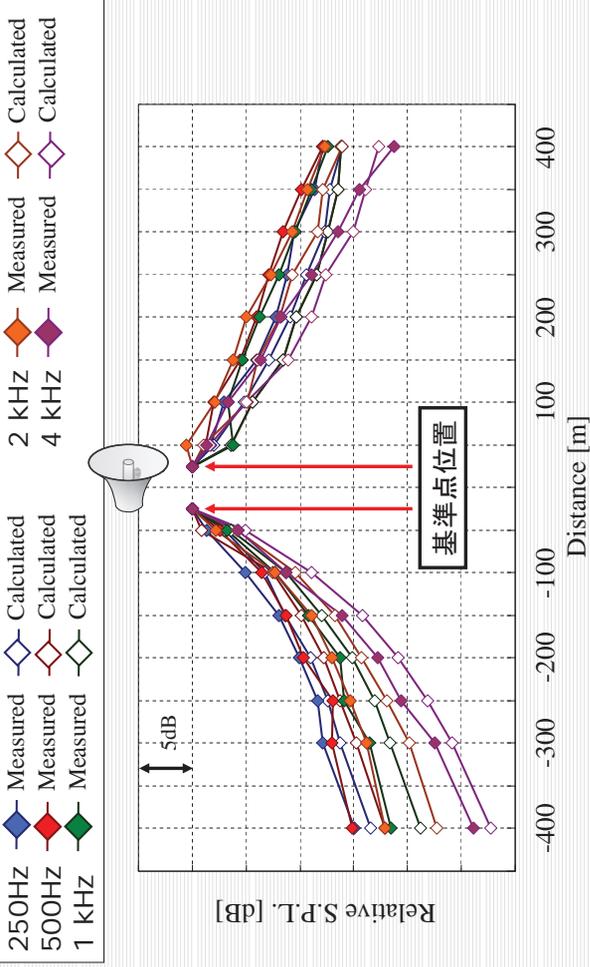
音源・受音点の設定

距離減衰特性の把握



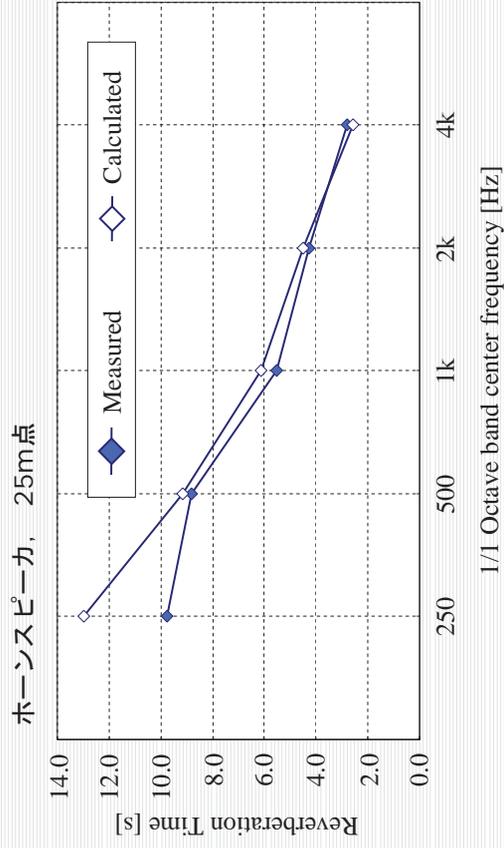
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

実測と数値計算の距離減衰特性



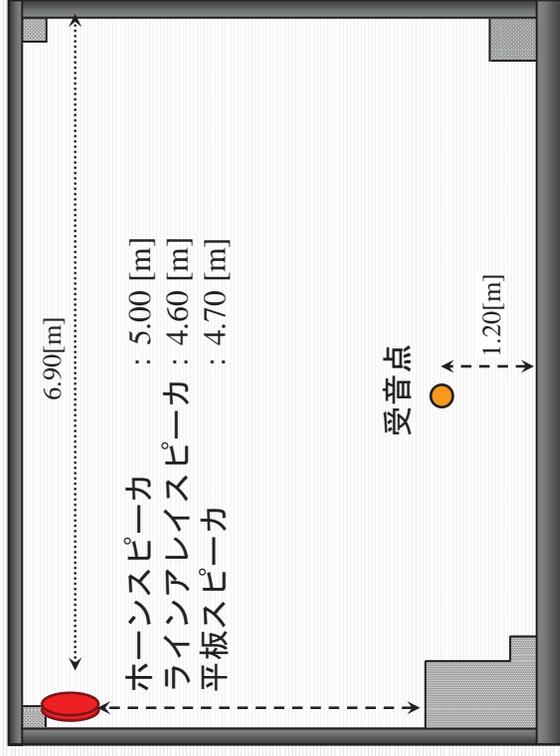
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

実測と数値の残響時間の比較



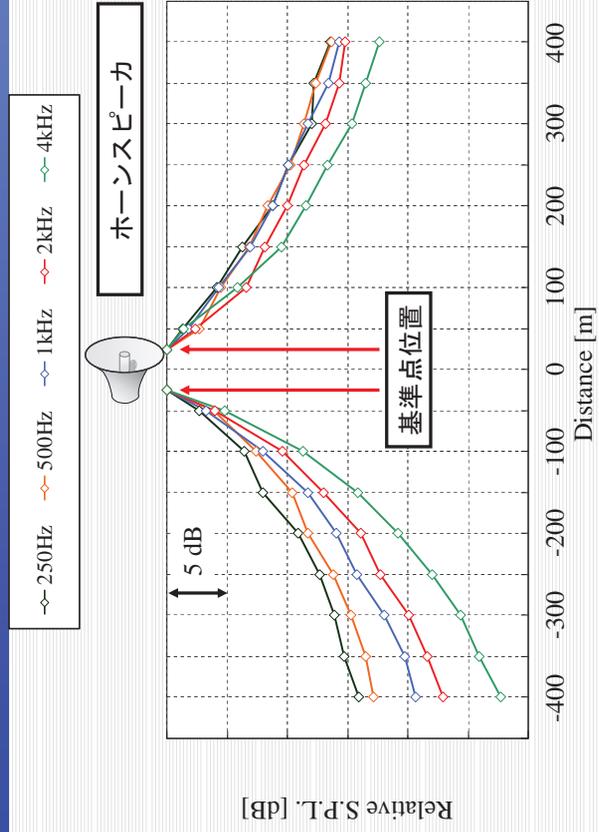
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

受音点・音源配置



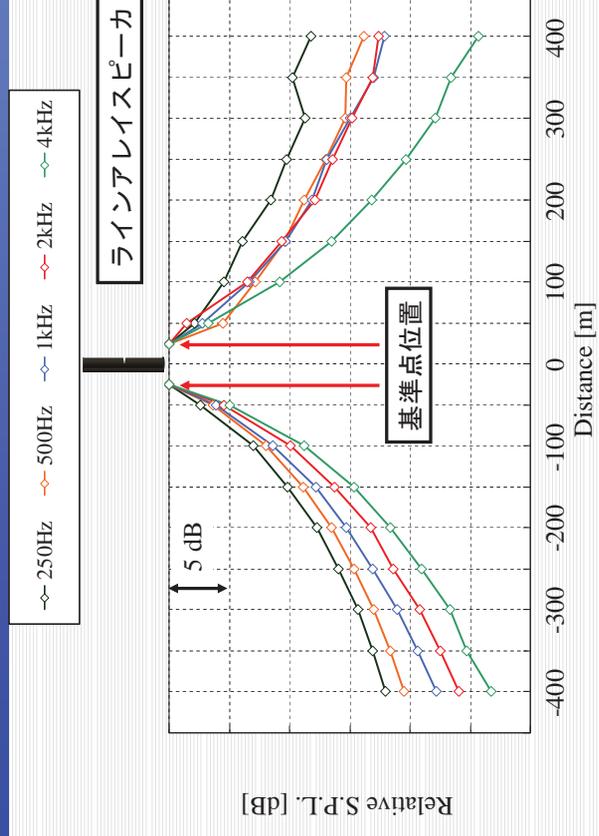
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカの距離減衰特性



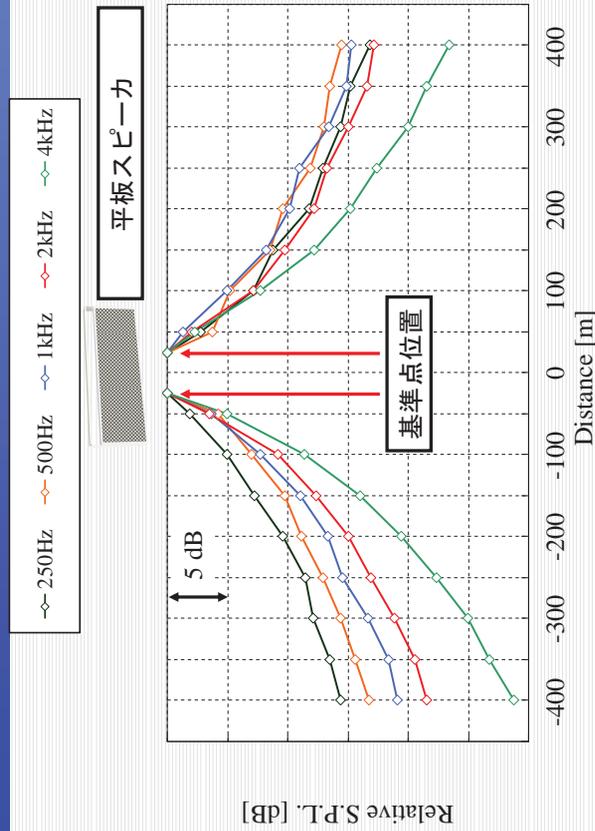
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカの距離減衰特性



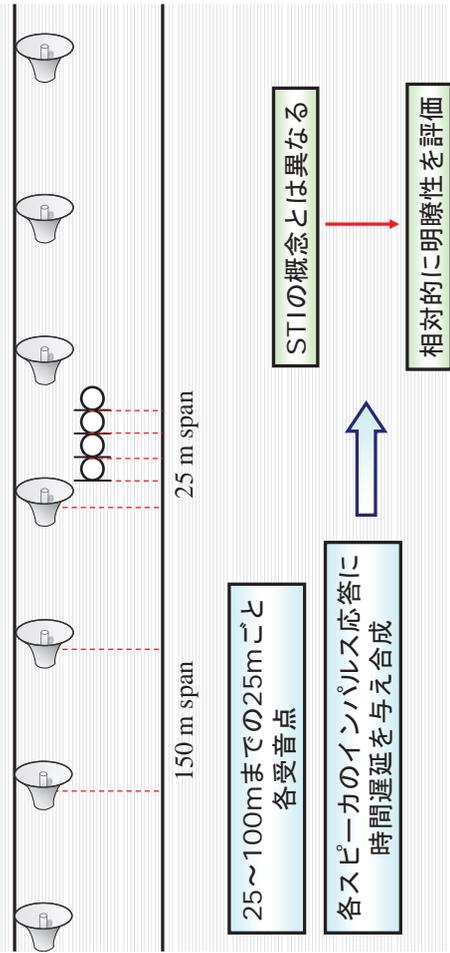
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

各スピーカ距離減衰特性



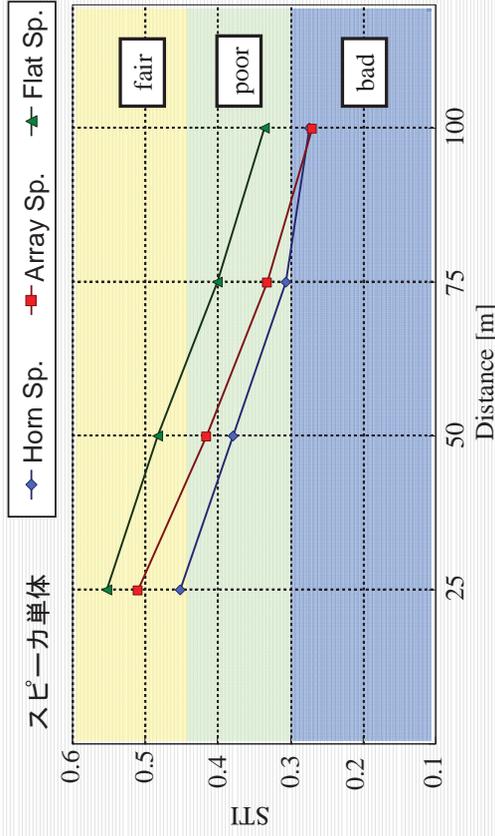
Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

複数台のスピーカ設置—時間遅延の影響—



Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

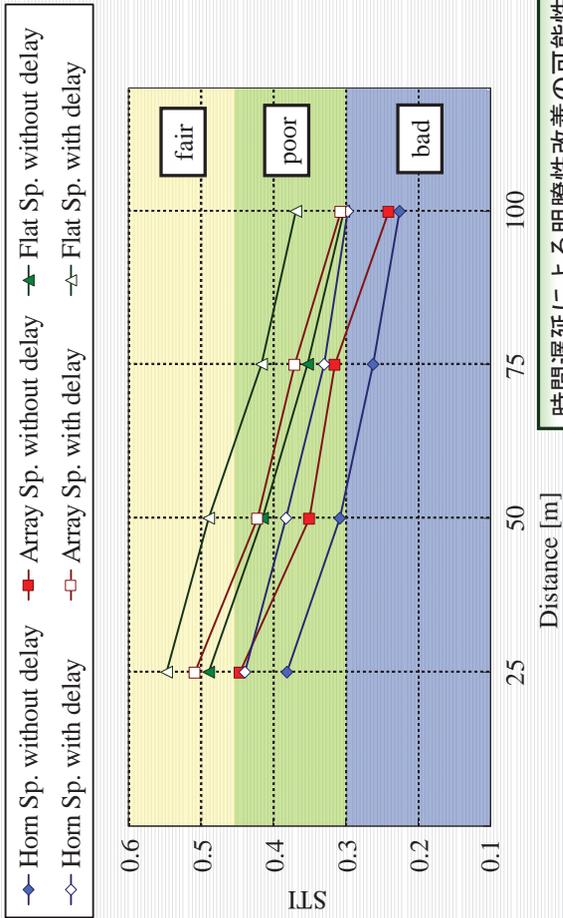
各スピーカの明瞭性評価—STI値の比較—



「poor」から「fair」
明瞭性が良いとされる基準をクリア

Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

時間遅延によるSTI値の比較



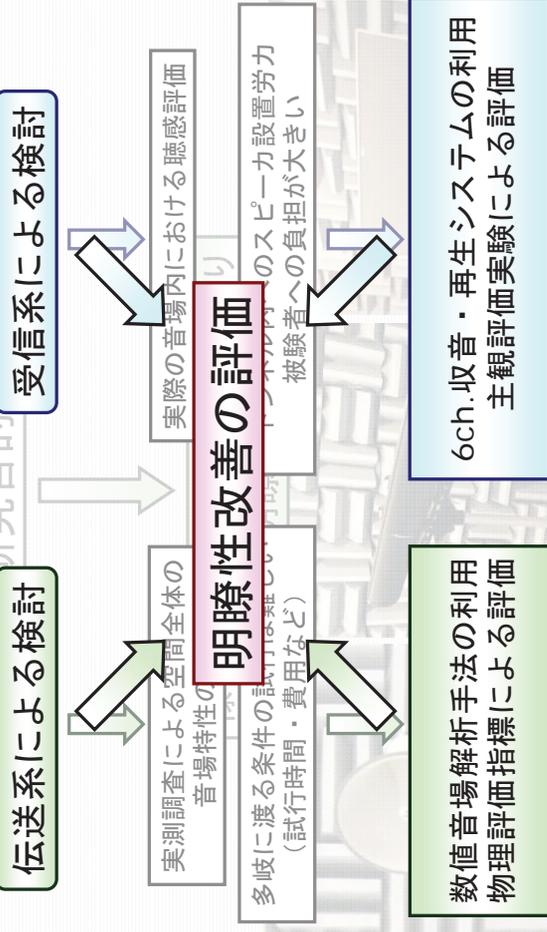
時間遅延による明瞭性改善の可能性

Applied Acoustic Laboratory / Chiba Institute of Technology

まとめ

- トンネル内の非常放送の明瞭性について、様々な指向性を持つスピーカにより検討を行った。
 - スピーカ3種類について指向特性の把握
- 幾何音響理論に基づく数値計算手法により、トンネル内におけるスピーカ前後のインパルス応答の計算を行った。
 - 距離減衰特性について実測結果と比較したところ、減衰傾向はほぼ一致した
 - 残響時間は250Hz帯域を除いてほぼ一致した。
- 時間遅延システムを適用した場合について、明瞭性に関する物理評価指標 (STI) による評価を行った。
- 各評価において、既存のホーンスピーカに比べより鋭い指向性のスピーカを用いることで明瞭性の改善を確認した

今後の課題



今後の課題

- 数値計算条件・設定に関して
 - 車など障害物が多く存在する場合の検討
 - ジェットファーンや自動車等による暗騒音の影響に関する検討
- 評価指標に関して
 - 暗騒音の影響
- 聴感実験による明瞭性改善の確認
- 実際のトンネル内に設置し明瞭性の改善を確認

広域放送の明瞭性確保のための幾つかの検討

佐藤 史明（千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科）

災害の発生の通報、避難命令、防犯の呼びかけ等に使用されている広域放送システムは、そのアナウンス音が、正確に明瞭性よく伝えられなくてはならない。しかし現状では、周辺建物からの反射音や他の地域をカバーするスピーカシステムからの伝搬音など、ロングパスエコーの影響を受け、高い明瞭性が確保されているとは言い難い。このような問題を解決するために、筆者の研究室では、空間伝搬系に関する研究を主として進めてきている。ここでは、設計支援ツールとしての完成を目指している可聴型シミュレーションシステムの精度に関する空間伝搬系の研究に加え、拡声スピーカの配置に関する研究、アナウンスの話速やポーズ長等をパラメータとした研究について報告する。

(1) 可聴型シミュレーションの精度に関する検討 広域放送システムの現状や新システムの設計確認のためのツールとして、幾何音響シミュレーション（虚像法）と6ch.收音-再生システムを組み合わせた可聴型シミュレーションシステムに関する研究を進めてきた。ここでは、6ch.收音-再生システムの音像の定位精度について、正中面内下方向についての実験を行った。この定位実験については、被験者に手かかりを与えた場合の実験も行った。手かかりを与えることで音像定位の正確性が改善された。また、マルチパスエコーのような複数の方向から卓越した音が到来する屋外音場を想定した聴感的対応の検討を行った。ここでは、無響室内にマルチパスエコーを模擬した様々な音圧や遅れ時間を持って音の到来する音場（仮想実音場）を作成し、6ch.收音-再生システムとの明瞭性評価の直接比較を行った。あわせてモノラル再生方式における検討も行った結果、広域防災放送システムからのアナウンス音の明瞭性評価に関しては音の方向情報が極めて重要であることが示唆された。

(2) 子局スピーカのサービスエリアを狭くした場合の検討 電気音響システムに関する検討として、拡声スピーカシステムの配置に関する検討を行った。これまでの一般的な拡声方式は、複数のホーンスピーカで構成されたスピーカシステム（子局）を離散的に配置し、アナウンス音は高位置から大音量で放送されており、日常の試験放送においては騒音問題も発生している。ここでは、子局の数を増やす方式について検討を行った。虚像法による幾何音響シミュレーションの結果、インパルス応答波形からエコー障害が軽減される効果を確認し、また音圧分布からはその分布がより均一に改善されていることを確認した。さらに明瞭性に関する聴感実験を行った結果、聞き取りやすさが有意に悪化した評価点はなかった。

(3) 話速やポーズ長等をパラメータとした聴感実験 話速、ポーズ長、STIr、単語親密度をパラメータとして、アナウンスに含まれるターゲット語を記述形式で回答する単語了解度試験と、アナウンスの聞き取りにくさについての明瞭性評価実験を行った。放送システムのアナウンスの了解性を評価するのであれば、正答が容易に連想できる高親密度単語は避けるべきとの結果が示唆された。また、話速、ポーズ長、STIrでは、特に了解性や明瞭性を説明できる結果は得られなかった。

以上、現段階で広域放送システムを設計する場合には、可聴型シミュレーションシステムを設計支援ツールとして用い、実際に聴いて確認しながら設計を進める方法が一策であると考えている。



広域放送の明瞭性確保のための幾つかの検討

Various studies for securing intelligibility in municipal public address system

佐藤 史明 (工学部 建築都市環境学科)

防災行政無線システム

【放送される音源信号】

アナウンス信号…災害の発生、避難命令、防犯の呼びかけ等
サイン音 ……時報の音楽、津波警報サイレン等



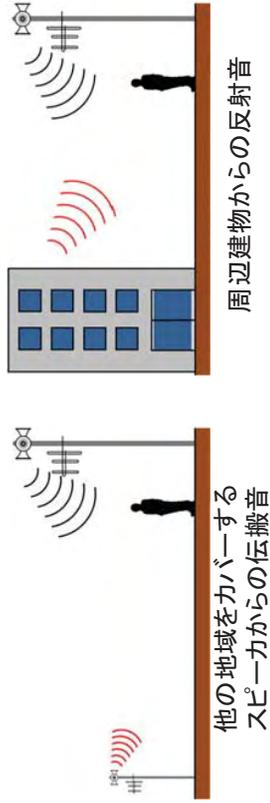
広域放送の明瞭性確保のための一連の研究・屋外音場の予測・測定・可聴化

防災行政無線システム

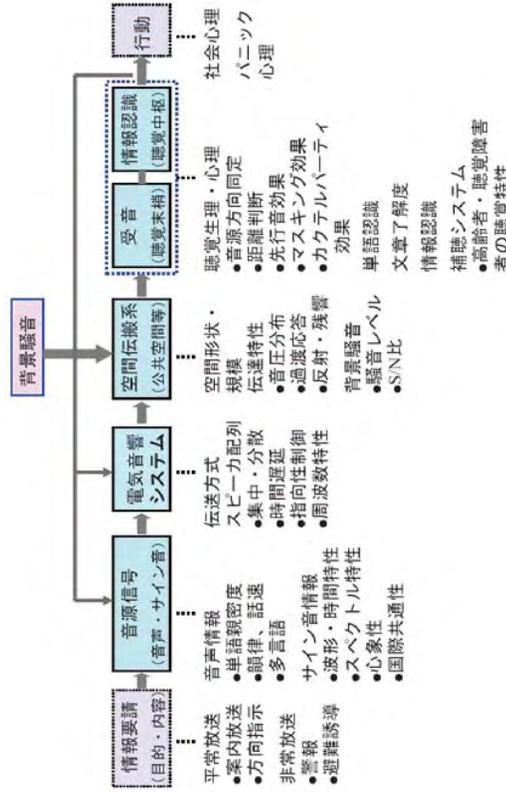
【放送される音源信号】

アナウンス信号…災害の発生、避難命令、防犯の呼びかけ等
サイン音 ……時報の音楽、津波警報サイレン等

長い遅れ時間を持つマルチパスエコーによる明瞭性低下



広域放送の明瞭性確保のための一連の研究・屋外音場の予測・測定・可聴化



情報伝達の流れ

ISHACOUSHO LAB

■これまで(特に空間伝搬系)

- ✓ 音響伝搬(エコーダイアグラム)の測定法
 - 現況や新システム導入後の把握
 - クロススペクトル法(放送中のアナウンス音の使用)
 - 3次元方向情報(6ch收音システム)
- ✓ 予測
 - 幾何音響シミュレーション(虚像法)
 - 3次元方向情報(6ch收音システム)
- ✓ 可聴型シミュレーションシステムの開発
 - 虚像法+6ch收音-再生システム
 - 設計の支援ツール(聴いて確認)
 - 各種評価実験のために

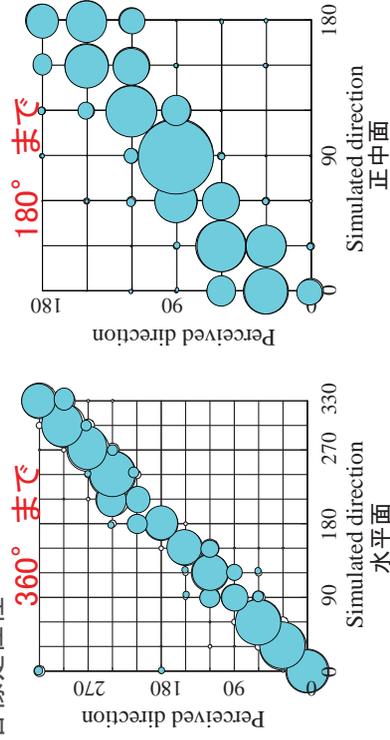
■ 昨今(電気音響システムや音源信号も)

- ✓ 可聴型シミュレーションシステムの精度
 - 6ch收音-再生システムの音像定位実験
 - 実音場とシミュレーション音場の聴感的対応
- ✓ スピーカの配置の検討
 - 虚像法による検討
 - 聴感実験による検討
- ✓ 音源信号
 - 話速やポーズ長等をパラメータとした聴感実験

6チャンネル收音・再生システム

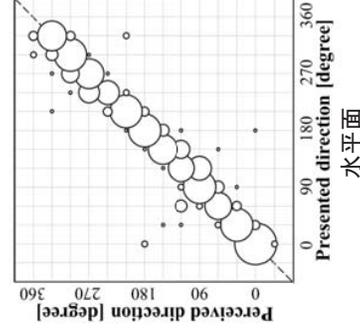
・シミュレーション精度

横山らによる報告:
音像定位性



音像定位性に関する検討

・結果



音像定位性の確認

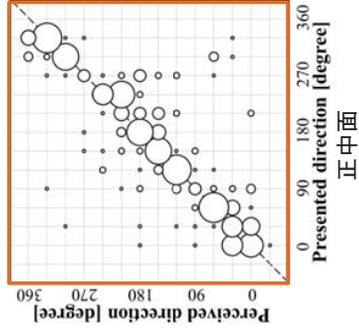
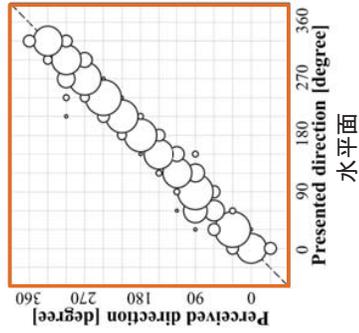
※円の直径は回答数に比例

音像定位性に関する検討

手がかりを与えた場合

結果

※円の直径は回答数に比例



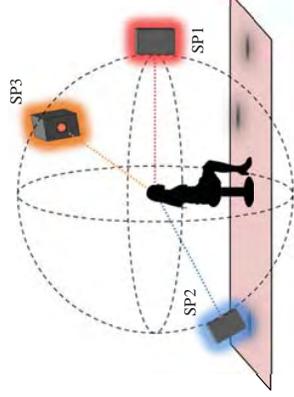
6チャンネル収音・再生システムの高精度に関する研究

明瞭性に関する検討

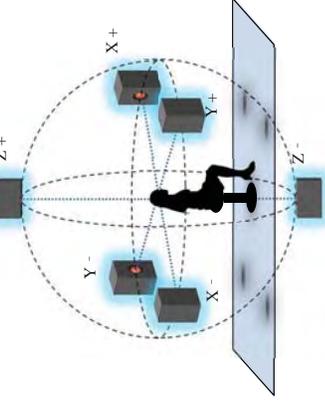
実音場との直接的な比較

仮想実音場の作成

仮想実音場



6チャンネル
収音・再生システム



同実験室内で明瞭性評価の直接比較が可能

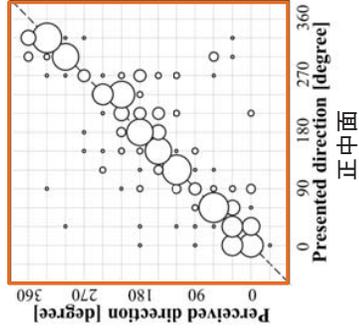
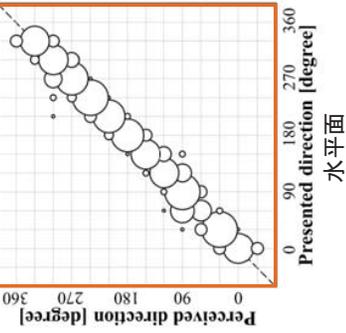
6チャンネル収音・再生システムのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

仮想実音場の作成

既往研究の実測データ
3種類



6チャンネル収音・再生システムのシミュレーション精度に関する研究

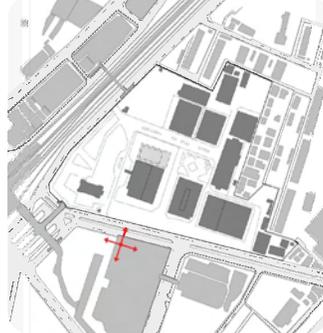
明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

仮想実音場の作成



既往研究の実測データ
3種類



幾何音響シミュレーション
10種類

計13種類の仮想実音場

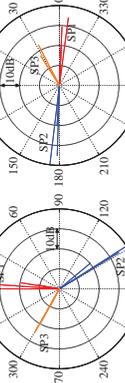
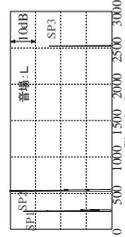
6チャンネル収音・再生システムのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

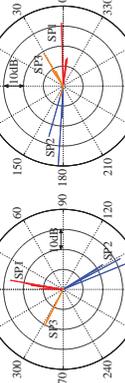
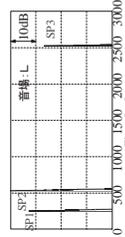
実音場との直接的な比較

物理的な対応の確認

仮想実音場



6チャンネル再生システム



エンコーダグラム

水平インテンシティ

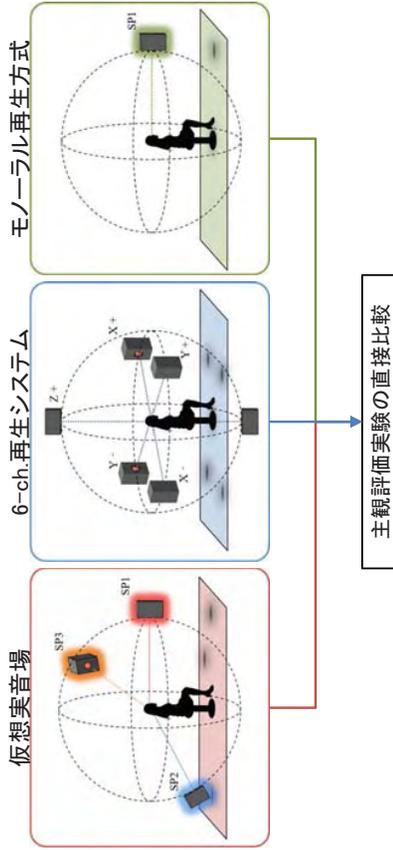
仰角インテンシティ

6チャンネル収音・再生システムのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

・聞き取りにくさの主観評価実験



6チャンネル収音・再生システムでのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

・聞き取りにくさの主観評価実験

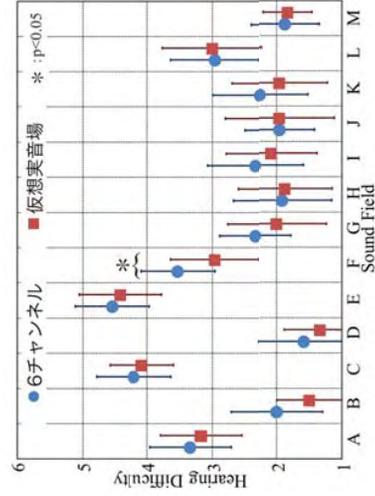
評価方法	6段階のカテゴリ
評定尺度	6. 全く聞き取れない 5. 非常に聞き取りにくい 4. だいぶ聞き取りにくい 3. 多少聞き取りにくい 2. それほど聞き取りにくい 1. 全く聞き取りにくい
施行回数	2施行
音場	仮想実音場、6-ch、モノラル
呈示順序	ランダム
呈示レベル	最大到来音：65dB(A(Laeq,3s))
被験者	12名

6チャンネル収音・再生システムでのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

・6チャンネルと仮想実音場の明瞭性評価結果



評定尺度	6. 全く聞き取れない 5. 非常に聞き取りにくい 4. だいぶ聞き取りにくい 3. 多少聞き取りにくい 2. それほど聞き取りにくい 1. 全く聞き取りにくい
------	---

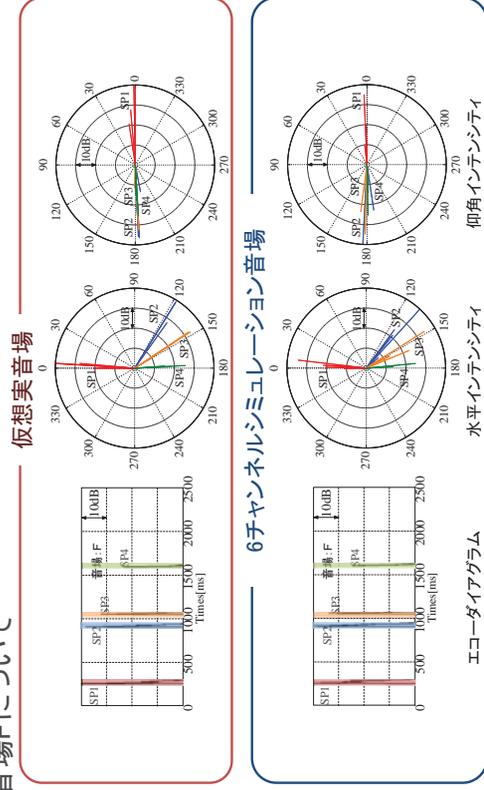
13音場中12音場で有意差が認められなかった

6チャンネル収音・再生システムでのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

実音場との直接的な比較

・音場Fについて



エコーダイアグラム 水平インテンシティ 仰角インテンシティ

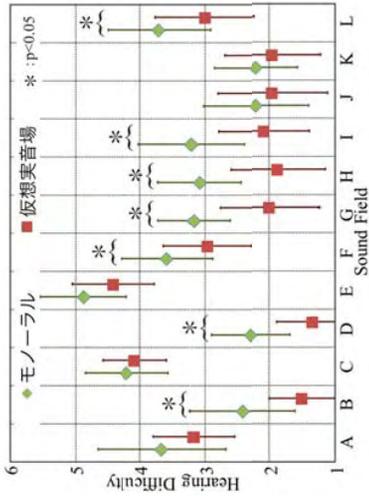
6チャンネル収音・再生システムでのシミュレーション精度に関する研究

明瞭性に関する検討

方向情報がない場合

モノラルと仮想実音場の明瞭性評価結果

評定尺度	6. 全く聞き取れない
	5. 非常に聞き取りにくい
	4. だいたい聞き取りにくい
	3. 多少聞き取りにくい
	2. それほど聞き取りにくい
	1. 全く聞き取りにくい

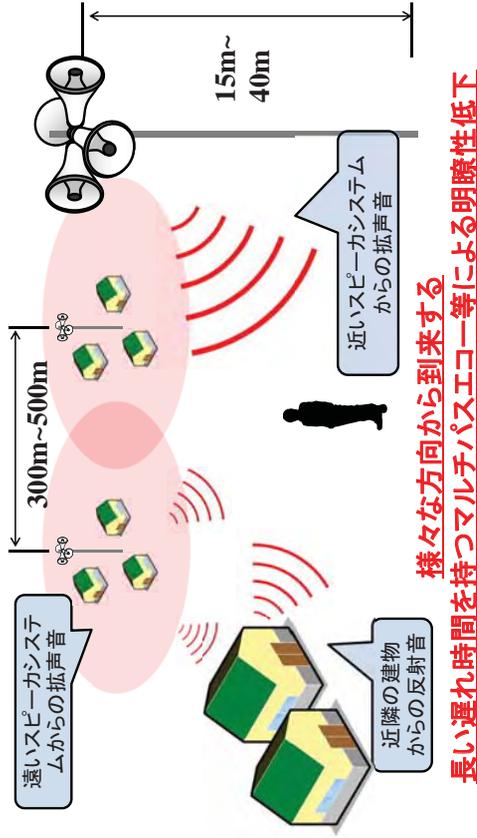


12音場中7音場で有意な差が認められる

6チャンネルの仮想音場、車生システムとのシミュレーション精度に関する研究

スピーカーシステムの拡声方式

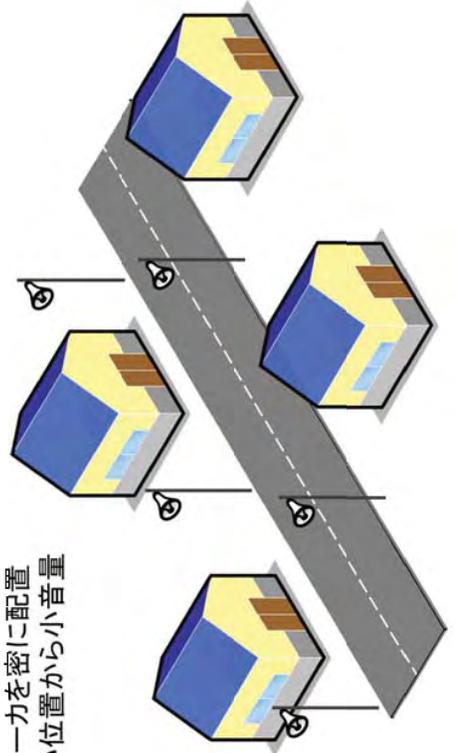
従来の拡声方式における問題点



スピーカーシステムの拡声方式

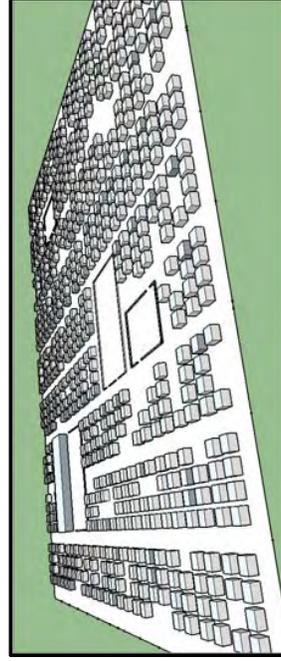
検討案の拡声方式

- スピーカーを密に配置
- 低い位置から小音量



幾何音響シミュレーション

モデル化した空間



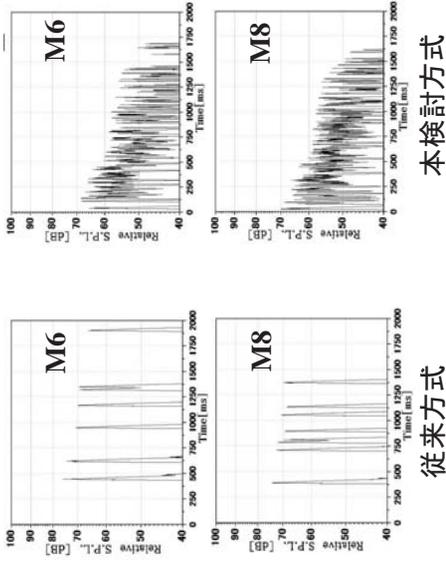
- 建物の高さ : 低層建物 一律 6m
- : 学校 10m
- : 広場の塀 1m

幾何音響シミュレーション

各拡声方式の配置条件

スピーカー間隔	従来方式	本検討方式
スピーカー高さ	300m	約30m
指向性	15m	5m
		

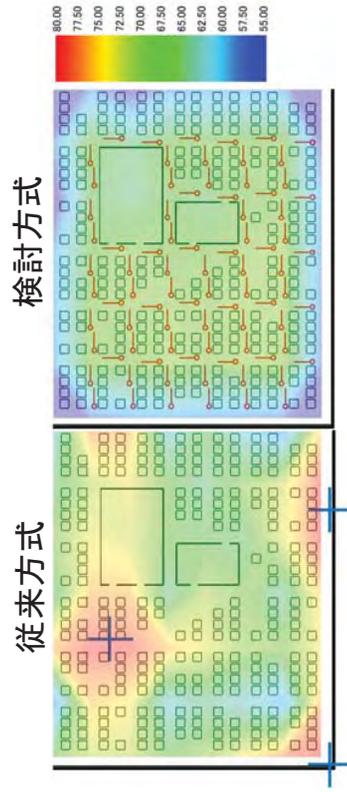
•受音点：高さ1.5m



虚像法による算出結果(物理的な指標) インパルス応答

虚像法による算出結果(物理的な指標)

音圧分布図



従来方式は音圧が不均一
本検討案は音圧が均一

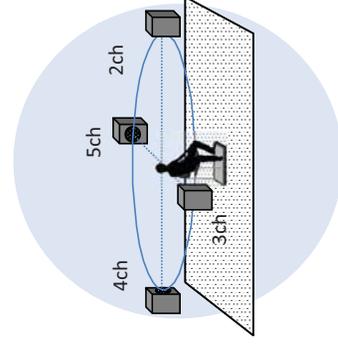
主観評価実験

震災の発生を伝える男性の音声

- ・“Voice text Japanese editor”で作成
- ・継続時間: 約 19.3 s
- ・モーラ数: 約 3.06 mora/s

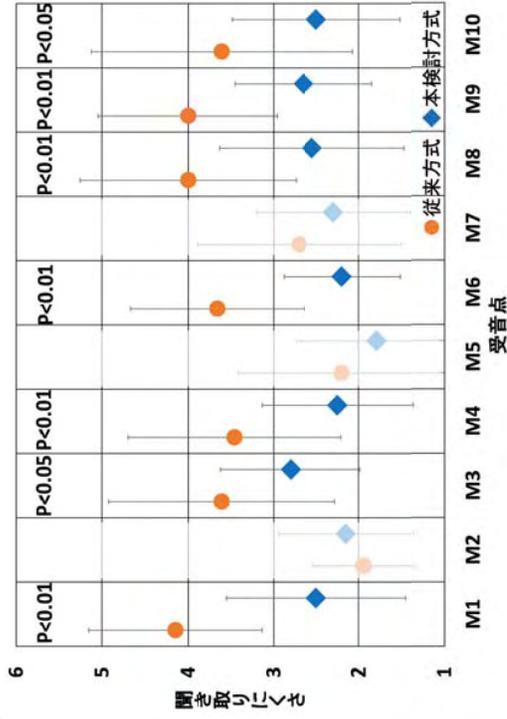
呈示方法 : ランダムな順序で2回呈示
被験者 : 本学学生10名
評価方法 : 6段階のカテゴリ尺度

- | | |
|---|-------------|
| 6 | まったく聞き取れない |
| 5 | 非常に聞き取りにくい |
| 4 | たいぶ聞き取りにくい |
| 3 | 多少聞き取りにくい |
| 2 | それほど聞き取りにくい |
| 1 | まったく聞き取りにくい |



主観評価実験

結果

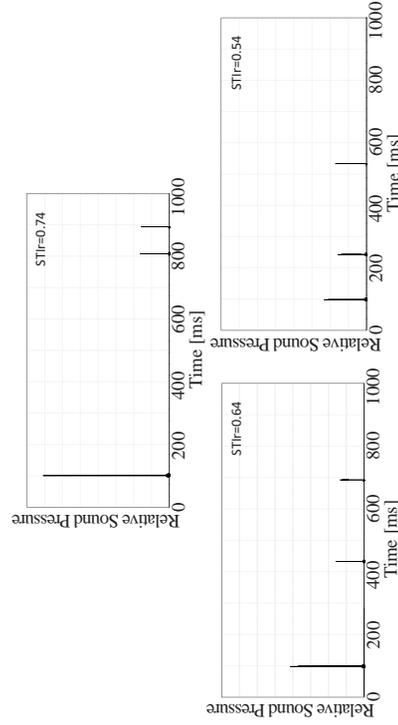


話速、ポーズ長、STIr、単語親密度をパラメータとした、了解度と明瞭性の聴感実験

評価方法		5段階のカテゴリ	
評定尺度		5. 非常に聞き取りにくい	
		4. たいは聞き取りにくい	
		3. 多少聞き取りにくい	
		2. それほど聞き取りにくい	
		1. 聞き取りにくい	
パラメータ		高低	
親密度		4 mora/s	5 mora/s
話速		0 ms	375 ms
ポーズ長		750 ms	1500 ms
条件名		A	B
STIr		0.74	0.64
		C	D
		E	

被験者聴取実験-試験音の条件-

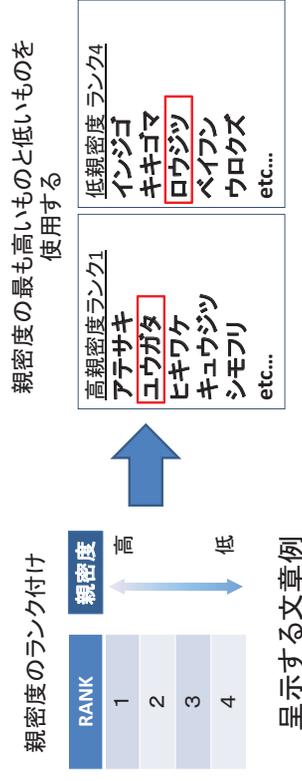
- STIr 3条件



数値が1に近づくほど聞き取りやすい

被験者聴取実験-試験音の条件-

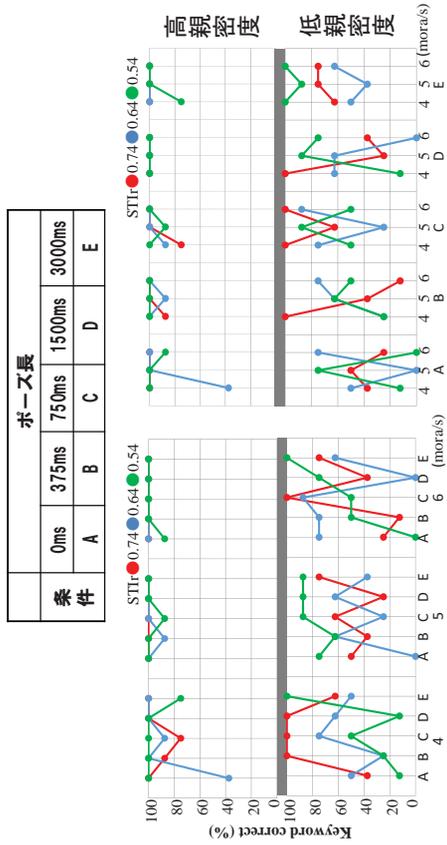
単語親密度リスト



日のしずむころを **ゆうがた** という

一年の最後の日のことを **ろうじつ** という

被験者聴取実験-実験結果-



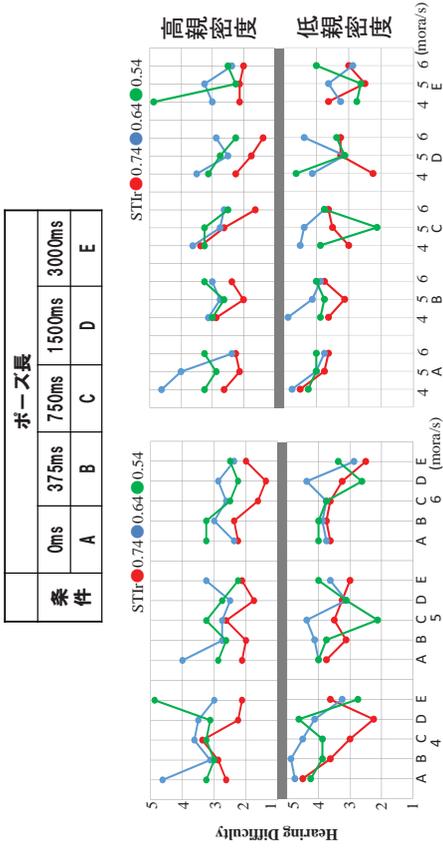
高親密度単語は正答が容易に連想でき危険では？

■まとめ

- ✓ 可聴型シミュレーションシステムの精度
 - 6ch收音-再生システムの音像定位性能を再確認
 - 実音場とシミュレーション音場の聴感的対応性を確認
 - 方向情報の重要性を確認
- ✓ スピーカの配置(子局の数を増やす)の検討
 - エコー障害軽減の効果を確認(波形より)
 - 音圧分布の均一化の効果を確認
 - 聴感実験により改善の効果を確認
- ✓ 音源信号
 - 高親密度単語は正答が容易に連想できてしまう
 - 話速、ポーズ長、STIrでは限界あるのでは？

以上、現段階では可聴型の設計支援ツールが有効と考える

被験者聴取実験-実験結果-



話速、ポーズ長、STIr値では特に説明はできない

気象条件が防災放送の了解度に及ぼす影響

- 無響室での音場再生とバイノーラルシミュレーションの比較 -

飯田一博 (千葉工業大学 工学部 電気電子情報工学科)

1. はじめに

屋外拡声システムによる防災放送の了解度の向上が防災や減災のための重要な研究課題であることは論を俟たない。一般に、防災放送は複数の地点に設置されたスピーカ(以降、子局と呼ぶ)から放射されるので、受聴点には複数の音波が入射する。入射音の時間差はしばしば数百ミリ秒あるいは秒のオーダーとなり、後続入射音がロングパスエコーとなって音声の了解度を低下させる。

このような問題を解決するため、さまざまな検討が進められてきた。例えば、1)ロングパスエコー環境下の了解度の予測および改善方法、2)気象条件が物理的な音声伝搬特性に及ぼす影響、3)音場の可聴化方法、4)子局の位置や放射タイミングを制御した拡声方法などである。

本稿では、2) および 3) に関して、以下の目的で実施した実験の概要を報告する。

目的1: 同一地点で長期間に亘って収録した屋外防災放送を無響室内で再現し、気象条件が音声了解度に及ぼす影響を明らかにする。

目的2: 無響室などの特別な設備を必要としないバイノーラル再生に着目し、屋外防災放送の音声了解度の再現精度を検証する。

2. 気象条件が音声了解度に及ぼす影響

7ヶ月間に亘り小金井市で定点収録した定時放送音(ピアノ曲「小さな世界」)から気象条件の異なる3日分を選び、入射音の時間的構造をクロススペクトル法で、空間的構造(入射方向)を到達時間に対応する子局を地図から読み取るにより求めた。

無響室において、各入射音方向にスピーカを設置し、親密度5.5-7.0に属する4モーラの単語を1.5モーラ(281.25 ms)間隔で4つ繋げた4連単語を提示した。各入射音の到来方向、遅れ時間および音圧レベルに加えて、周波数特性も再現した。すなわち、各入射音に子局と同タイプのスピーカの方向別インパルス応答を畳み込み、さらに100 Hz以上の1/3オクターブバンドにおいて、観測時の気温、相対湿度および伝搬距離より求めた空気吸収による減衰量を反映した。また、観測時に収録した暗騒音を $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 135^\circ$ に設置した4つのスピーカから無相関で提示した。

このような音場において、20代学生8名(男性7名、女性1名)を被験者として4連単語の単語了解度と聴き取りにくさを求めた。その結果、同一観測点でも気象条件により単語了解度に統計的有意な差が生じ、聴き取りにくさも顕著に変化することが明らかになった。

3. バイノーラル再生による音声了解度の再現精度

上記無響室再生の音場を原音場としてバイノーラル再生実験を行った。ただし、屋外防災放送の評価に利用するという目的に照らし、以下の2つの制限を加えた: 1) 受聴者は一般市民であり本人の頭部伝達関数を持たない、2) 実験用の特殊なヘッドホンを使用しない。このような制限の下、各被験者(上記20代学生8名)の耳介形状から推定したbest-matching HRTFと市販のオープンタイプヘッドホンを用いたバイノーラル再生を行い、4連単語の単語了解度と聴き取りにくさを求めた。その結果、無響室再生と統計的有意な差が認められない精度で単語了解度を再現できることがわかった。 また、聴き取りにくさ(4段階)の差は最大で0.3であった。

気象条件が防災放送の了解度に及ぼす影響

- 無響室での音場再生とバイノーラルシミュレーションの比較 -

千葉工業大学 工学部
電気電子情報工学科
教授 飯田 一博
<http://www.iida-lab.it-chiba.ac.jp>

研究の目的

屋外拡声システムの了解度向上は防災・減災の重要な研究テーマ

- 最近の研究例
 - ・ ロングパスエコー環境下の単語了解度[宮下他, 2014]
 - ・ 気象が物理的な音声伝搬に及ぼす影響[大島他, 2014]
 - ・ 音場の可聴化方法[森他, 2014]
 - ・ 放射タイミングを制御した拡声方法[小野口他, 2014]
- 本研究の取り組み
 - 1) 気象条件の違いが音声了解度に及ぼす影響(無響室再生)
 - 2) バイノーラル再生による防災放送の了解度評価の可能性(無響室再生との比較)

気象条件が単語了解度に及ぼす影響

大島らによる7ヶ月間の防災放送の定点観測(小金井市)のうち、
気象条件の異なる3日分を無響室で再現



気象条件が単語了解度に及ぼす影響

- 音場の特性の求め方
 - ・ 時間的特性: 定点収録音をクロススペクトル法で分析
 - ・ 空間的特性: 到達時間に対応する子局を地図から読み取り
 - ・ 周波数特性: 子局と同種のスピーカのインパルス応答を畳込み空気吸収[ISO9613-1]を反映
- 受聴者の向き
 - ・ バイノーラルマスキングリリース(BMR)が小さい(入射音間で両耳間位相差の差が小さい)方向.
 - ・ さらに、受聴者の向きが異なる(BMRが大きい)音場を1つ追加

音場1: 曇り北東の風 1.6m/s

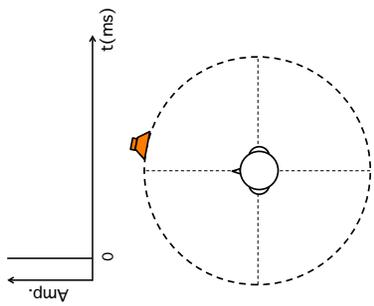
5

音場の入射音構造

音場番号/受聴者の向き/測定日/気象			
1	2	3	4
22°	22°	22°	71°
2013.9.7	2013.12.19	2013.9.10	
曇り	雨	曇り	
北東	北西	南東	
1.6 m/s	1.1 m/s	1.9 m/s	

入射音	
1	2
22°	22°
2013.9.7	2013.12.19
曇り	雨
北東	北西
1.6 m/s	1.1 m/s

相対遅れ時間 (ms)	
0	0
1.00	1.00
11	11
941	443
0.81	1.00
345	178
564	129
0.98	0.98
101	52
745	745
0.81	0.81
322	273



Spatial Hearing Laboratory

音場2: 雨北西の風 1.1m/s

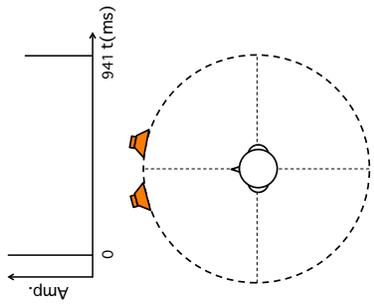
6

音場の入射音構造

音場番号/受聴者の向き/測定日/気象			
1	2	3	4
22°	22°	22°	71°
2013.9.7	2013.12.19	2013.9.10	
曇り	雨	曇り	
北東	北西	南東	
1.6 m/s	1.1 m/s	1.9 m/s	

入射音	
1	2
22°	22°
2013.9.7	2013.12.19
曇り	雨
北東	北西
1.6 m/s	1.1 m/s

相対遅れ時間 (ms)	
0	0
1.00	1.00
11	11
941	443
0.81	1.00
345	178
564	129
0.98	0.98
101	52
745	745
0.81	0.81
322	273



Spatial Hearing Laboratory

音場3: 曇り南東の風 1.9m/s

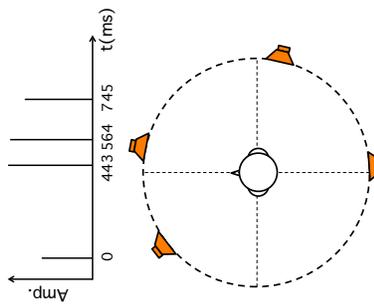
7

音場の入射音構造

音場番号/受聴者の向き/測定日/気象			
1	2	3	4
22°	22°	22°	71°
2013.9.7	2013.12.19	2013.9.10	
曇り	雨	曇り	
北東	北西	南東	
1.6 m/s	1.1 m/s	1.9 m/s	

入射音	
1	2
22°	22°
2013.9.7	2013.12.19
曇り	雨
北東	北西
1.6 m/s	1.1 m/s

相対遅れ時間 (ms)	
0	0
1.00	1.00
11	11
941	443
0.81	1.00
345	178
564	129
0.98	0.98
101	52
745	745
0.81	0.81
322	273



Spatial Hearing Laboratory

音場4: 受聴者の向きだけが音場3と異なる

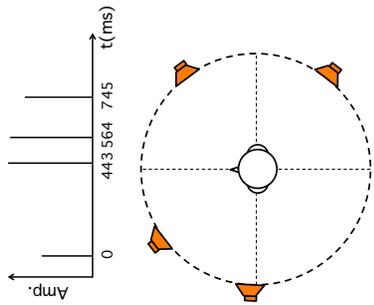
8

音場の入射音構造

音場番号/受聴者の向き/測定日/気象			
1	2	3	4
22°	22°	22°	71°
2013.9.7	2013.12.19	2013.9.10	
曇り	雨	曇り	
北東	北西	南東	
1.6 m/s	1.1 m/s	1.9 m/s	

入射音	
1	2
22°	22°
2013.9.7	2013.12.19
曇り	雨
北東	北西
1.6 m/s	1.1 m/s

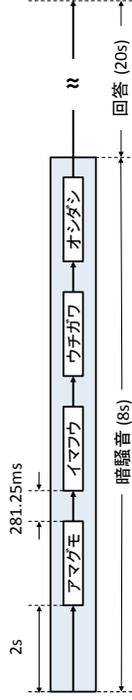
相対遅れ時間 (ms)	
0	0
1.00	1.00
11	11
941	443
0.81	1.00
345	178
564	129
0.98	0.98
101	52
745	745
0.81	0.81
322	273



Spatial Hearing Laboratory

実験方法

- 音声: 4連単語
 - 親密度 7.0-5.5 の 4 モーラの単語 4 個を 1.5 モーラ間隔で提示
- 暗騒音:
 - 定点観測時の収録音
 - $\pm 45^\circ$, $\pm 135^\circ$ に設置の 4 個のスピーカから遅延を付加して提示
- 呈示音圧レベル: 収録時のレベルを再現



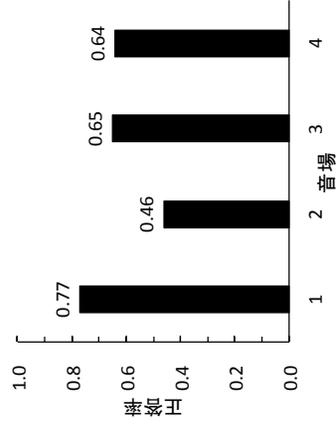
実験方法

- 回答方法
 - 聴き取れたすべての単語を回答用紙に記入
 - 聴きとりにくさを 4 段階で回答
 - 各音場 10 回ずつ回答
 - 被験者: 20 代学生 8 名 (男性 7 名, 女性 1 名)
 - 回答に必要な手元灯を除き消灯

実験風景

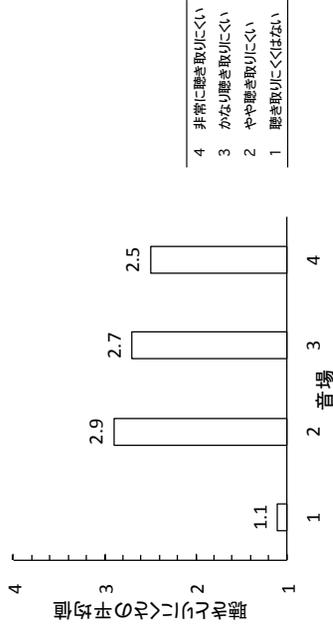


正答率



- 音場 1 で最大 (0.77), 音場 2 で最小 (0.46)
- 音場 3 と 4 はほぼ同じ値
- カイ 2 乗検定: 音場 3-4 間を除く全ての音場間に有意差 ($p < 0.01$)

聞き取りにくさ(回答の平均値)



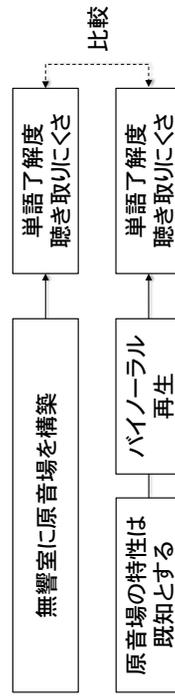
- 音場1で最小(1.1),音場2で最大(2.9)
- 「聞き取りにくくはない」と「かなり聞き取りにくい」に相当する違い

ここまでのまとめ

- 同一観測点であっても,
気象条件により単語了解度に統計的有意な差が生じた。
防災放送の単語了解度の評価には気象条件を考慮する必要がある。
- 聞き取りにくさの平均値も顕著に変化。
- 受聴者の向きだけが異なる音場3と4には,ほとんど差はなし。
→ 単語了解度の可聴化に3次元再生は必要なのか?
入射方向が単語了解度に与える影響を検証する必要がある。

バイノーラル再生による防災放送の了解度評価の可能性

- バイノーラル再生で原音場を精度よく再現できれば,
無響室などの特別な設備なしで,音声了解度を評価できる。
- 無響室再生と同じ4音場をバイノーラル再生し,
単語了解度と聞き取りにくさの再現精度を検証する。



バイノーラル再生の問題点(1)

- 他人やダミーヘッドのHRTF:
 - 音像方向の前後誤判定や頭内定位,音色の変化が発生。
音声了解度の再現精度が低下する危険性。
 - 住民や防災担当者は自らのHRTFデータを持たない。
受聴者に適合するHRTFを提供する方策が課題。
- best-matching HRTF [Iida et al., 2014]:
 - 受聴者の耳介寸法より重回帰式でノッチ周波数を推定。
それに最も近いHRTFをデータベースから選出。
 - 本人HRTFと同等の前後方向の定位精度。

バイノーラル再生の問題点(2)

■ ヘッドホン:

- FECヘッドホン*は精度は高いが非実用的
- 市販のオープンタイプヘッドホンの可能性を検証



再生方法	HRTF	ヘッドホン	
1	本人(own)	FEC	○
2	本人(own)	OPEN	×
3	best-matching(bm)	OPEN	×
4	HATS	OPEN	×

*外耳道入口からヘッドホンを見込む音響インピーダンスが自由音場のそれと等しい

正答率

音場	無響室	バイノーラル再生			
		own_FEC	own_OPEN	bm_OPEN	HATS_OPEN
1	0.77	0.80	0.83	0.81	0.84
2	0.46	0.51	0.54	0.47	0.50
3	0.65	0.66	0.70	0.70	0.71
4	0.64	0.65	0.71	0.70	0.74

- 無響室再生 < バイノーラル再生. 危険側.
- 音場間の違いは無響室再生と同様の傾向. 音場2 < 音場3≒音場4 < 音場1

無響室との差のカイ2乗検定(正答率)

音場	無響室	バイノーラル再生			
		own_FEC	own_OPEN	bm_OPEN	HATS_OPEN
1	0.77	0.80	0.83	0.81	0.84*
2	0.46	0.51	0.54*	0.47	0.50
3	0.65	0.66	0.70	0.70	0.71
4	0.64	0.65	0.71	0.70	0.74**

*, **: 無響室再生との間に有意な差 ($p < 0.05$, $p < 0.01$)

- own_FEC および bm_OPEN では, 無響室再生と有意な差はない

聴き取りにくさ(回答の平均値)

音場	無響室	バイノーラル再生			
		own_FEC	own_OPEN	bm_OPEN	HATS_OPEN
1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
2	2.9	3.2	3.1	3.2	3.2
3	2.7	2.5	2.6	2.5	2.4
4	2.5	2.6	2.7	2.4	2.3

- バイノーラル再生と無響室再生との差は最大で0.3.
- 音場間の違いは無響室再生と同様の傾向. 音場1 < 音場3≒音場4 < 音場2

結論

- 1) 同一観測点でも、気象条件により単語了解度**に統計的有意な差が生じ**、聴き取りにくさも顕著に変化した(無響室再生)。
- 2) バイノーラル再生による単語了解度は、無響室再生と比べてやや値が高くなる傾向があるが、**統計的有意な差はない**。
- 3) バイノーラル再生と無響室再生の聴き取りにくさ(4段階)の差は最大で0.3。音場間の違いは無響室再生と同様の傾向。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、以下のみなさまにご協力いただきました。記して感謝いたします。

大島俊也さん (リオン)
 内藤大介さん (リオン)
 野村宗弘君 (千葉工大)
 石井要次君 (千葉工大)

END

視聴覚情報を手掛かりとした移動における「迷い」と残響の関係

山崎 治 (千葉工業大学 情報科学部 情報ネットワーク学科)

本研究の大目的は、公共空間における快適性や安全性を確保することを目指し、目的地までの移動において「迷い」を少なくするために、どのような工夫を行うべきかを提案することにある。「迷い」を少なくすることにより、公共空間の利用という面からの快適性と、災害時の避難誘導の面からの安全性の両面にアプローチすることが可能となる。この提案のためには、公共空間内で「迷い」が発生するポイントおよびその原因を調査し、その解決手段を検討することが必要である。

本研究では、音響情報の観点から、地下街やビル内などの「閉じられた公共空間」で発生する「迷い」のポイントについて、シミュレーションを用いた調査の試みを紹介する。公共空間における「迷い」に着目した研究の多くでは、看板、掲示板などのサインや、設置物などの視覚的要素、見渡しや見通しなどといった空間的な情報との関係について検討が行われてきた(e.g. 山内 2012)。研究方法としては、主に、実際の公共空間を利用した経路探索の実験や観察調査といった手法がとられてきた。しかし、「聴覚的な要素(音響情報的な要素)」に着目した経路探索実験や観察調査は、実空間で実施することが困難である場面も考えられる。そこで、本研究では、仮想的な公共空間(地下街)の上で経路探索の実験や観察調査を行うシミュレーションベースのアプローチをとる。

本研究で構築した地下街シミュレータ(Sound Maze)は、公共空間である地下街を仮想的に再現した疑似3D迷路である。地下街内の特定の地点で発せられた誘導用のサイン音に対して、地下街内の各地点での聴こえを音響シミュレーション(ODEON)により再現した(聴覚刺激)。また、3DCGソフトでレンダリングされた地下街内の各地点からの見えのイメージを作成した(視覚刺激)。これらの聴覚刺激と視覚刺激をあわせて、地下街内を移動して音源位置を特定することを課題とするシミュレータ環境を構築した。

大学生20名(男性17名/女性3名)を参加者とし、予備的な実験を行った。Sound Mazeはノートパソコン上で実行され、聴覚刺激の提示はヘッドホンで行われた。音源位置として地下街空間の3カ所の地点を設定し、各試行において3カ所の地点の中からランダムに音源位置が決定されるようにした。また、探索の開始位置となる地点および向きも、各試行でランダムに決定されるようにした。参加者には、仮想的な地下街内で、移動するたびに提示される誘導サイン音を手掛かりに音源位置を特定するように教示した。音量調整および練習試行を1試行行ったあと、前半5試行と後半5試行の計10試行の経路探索課題を実施した。

予備的な実験の結果、正しい音源位置を特定した「到達率」は54.5%であった。この結果は、本課題の難易度が高いことを示している。今後、シミュレーションの精度や提示方法などの再検討も必要だと考えられる。また、経路探索の過程で、同一の地点において連続して2回以上方向を転換した行動を「迷い」行動と定義し、地下街内の各地点における「迷い」の生じやすさを算出した。その結果、音源位置によって「迷う」地点にずれが生じることが確認された。

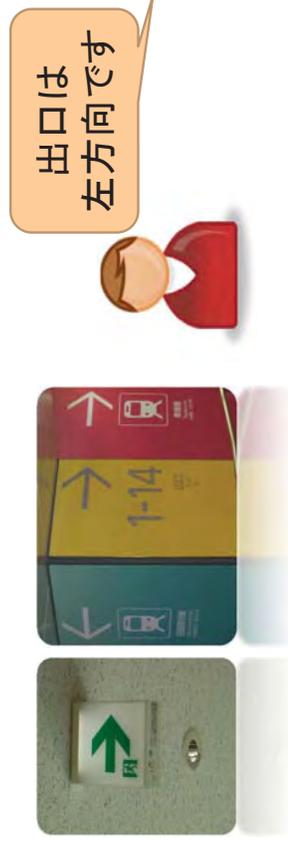
今回構築した地下街シミュレータを用いた経路探索課題では、シミュレーション精度などが問題となり、実空間との違いが大きいことが予想される。今後、これらの修正をすることが求められる。他方、音響情報の観点からの「迷い」ポイントの特定やその原因解明に対して、シミュレーションによるアプローチを今後も継続して行っていくことが期待される。

視聴覚情報を手掛かりとした 移動における「迷い」と残響の 関係

千葉工業大学情報科学部
情報ネットワーク学科
山崎治

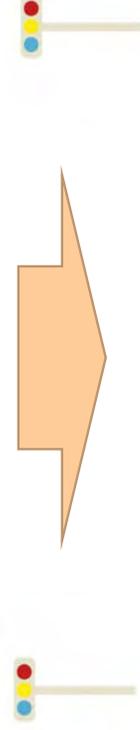
背景

人間は目的地へ向かうとき
歩きながら目や耳などの感覚器を通し
周囲の環境から情報を得ている



背景

人間は目的地へ向かうとき
歩きながら目や耳などの感覚器を通し
周囲の環境から情報を得ている



公共空間における移動において
「迷い」を少なくするための工夫

背景

音響情報の面からの

「迷い」を少なくする工夫

災害時における
避難のしやすさ
「安全性」

利用しやすい
公共空間
「快適性」

安全・快適性向上のための音響情報伝達

背景

■ 「迷い」を少なくする提案には……

- 「迷い」が発生するポイント(地点)は？
- 「迷い」が発生する原因は？



「原因」の特定・解消

本研究の目的

- 閉じられた公共空間(地下街やビル内)で発生する「迷い」について、音響情報の面に着目し、その原因の特定および、解消のための提案を行う

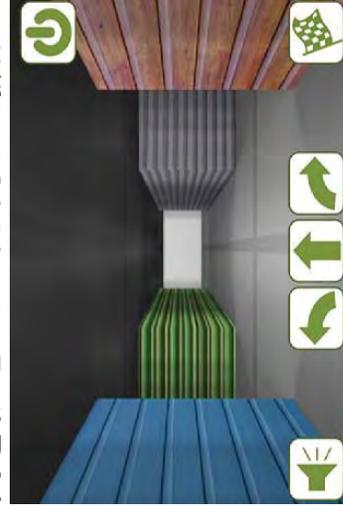
その一歩として……

「迷い」の行動を観測するための
シミュレーションベースのアプローチ

その一歩として……

「迷い」の行動を観測するための
シミュレーションベースのアプローチ

- 地下街を仮想的に再現した擬似3D迷路



先行研究

- 公共空間における「迷い」の観測
 - 実空間(実際のビル内／駅内など)を利用した経路探索の実験や観察
 - 視覚的な要素(空間の要素や案内サイン、見渡し・見通し)に注目

聴覚的な要素(音響情報)に着目し
同じようなことができないか？

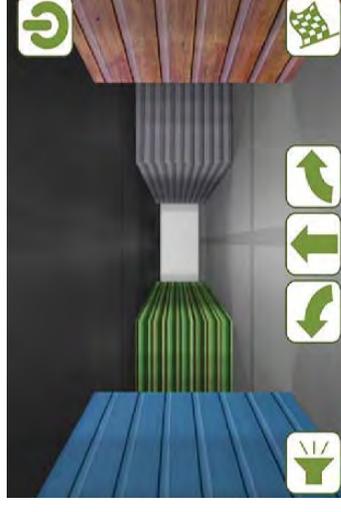
本研究のアプローチ

- 公共空間における「迷い」の観測
 - 仮想的な公共空間(地下街)を構築し、そこで経路探索の実験や観察
 - 聴覚的な要素(閉じられた空間による残響)に注目

シミュレーションベース
アプローチ

地下街シミュレータ(Sound Maze)

- 公共空間である地下街を擬似的に再現(擬似3D迷路)



Sound Mazeによる「迷い」の検討

- Sound Mazeの構築
 - 視覚刺激／聴覚刺激の作成
 - Sound Mazeのデモ
- Sound Mazeを利用した経路探索実験の試行と分析
 - 経路探索実験の方法
 - 「迷い」の分析

地下街モデル作成

レンダリング
疑似3D地下街

ODEONによる
音響シミュレート
(インパルス応答)

心理評価を考慮した
誘導サイン音
(柳川研)

畳み
込み

視覚刺激

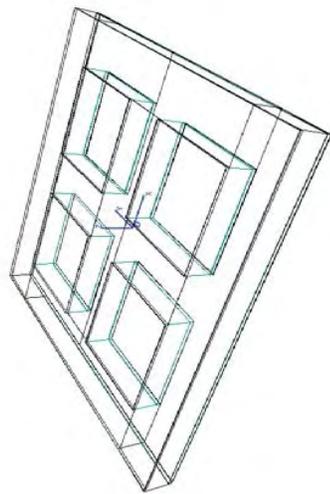
聴覚刺激

地下街モデル作成

通路幅: 5m

柱幅: 10m
(仮想店舗
ブロック)

天井の高さ: 3m

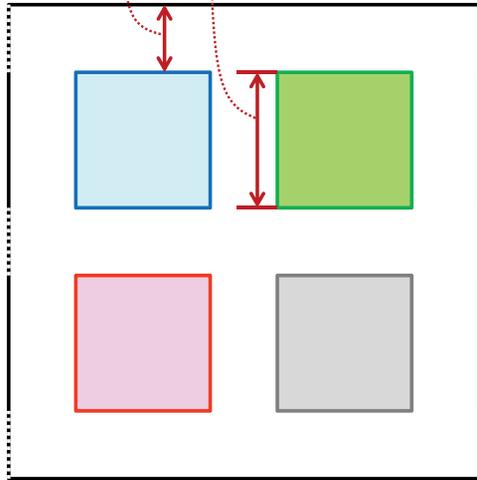


レンダリング
疑似3D地下街

通路幅: 5m

柱幅: 10m
(仮想店舗
ブロック)

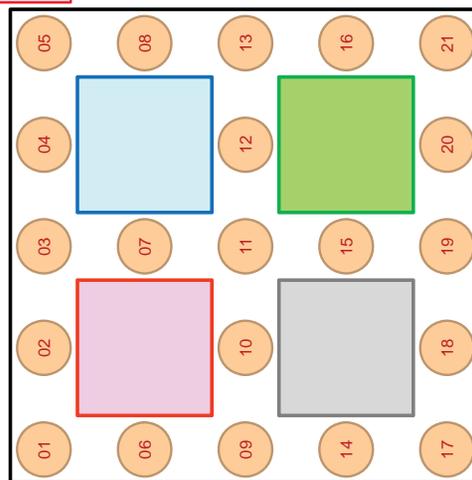
位置把握の
手がかりに
壁面に彩色



レンダリング
疑似3D地下街

カメラ位置:
21カ所
床から150cm

各位置で
カメラの角度
を90度ずつ
回転し撮影



地下街モデル作成

レンダリング
疑似3D地下街

ODEONによる
音響シミュレート
(インパルス応答)

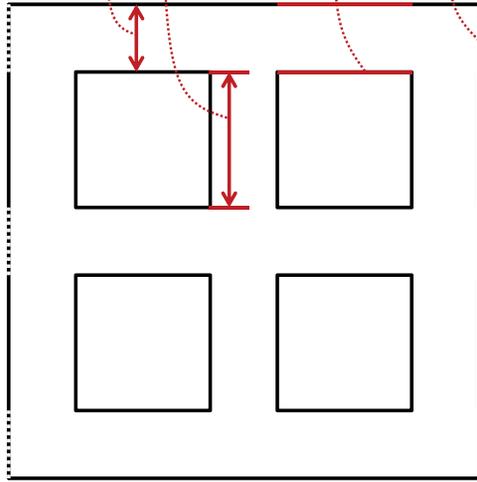
心理評価を考慮した
誘導サイン音
(柳川研)

畳み
込み

聴覚刺激

視覚刺激

ODEONによる
音響シミュレート
(インパルス応答)



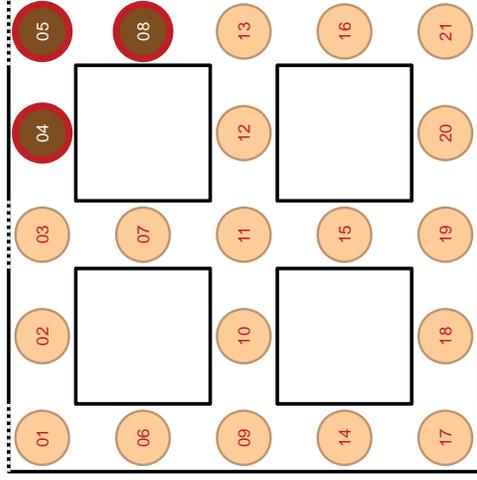
通路幅: 5m

柱幅: 10m
(仮想店舗
ブロック)

壁面吸収率:
コンクリート

吸収率:
100%

ODEONによる
音響シミュレート
(インパルス応答)



受音点:
21カ所

ダミーヘッド
モデル
床から1.6m

スピーカ:
3カ所
天井から下方
半球状に放射

Sound Maze

- 仮想的な地下街でゴール位置を探す
- ゴール地点で鳴るサイン音を手掛かりに進む
- 行動する度にサイン音が鳴る
- ゴールと思った地点で確認



Sound Maze

- 行動ログ取得
 - アイコンのクリックを記録し、ログを生成

地点	角度
13	180
13	270
12	270
11	270
11	180
15	180
19	180
19	90
20	90
20	0
20	270
19	270
18	270

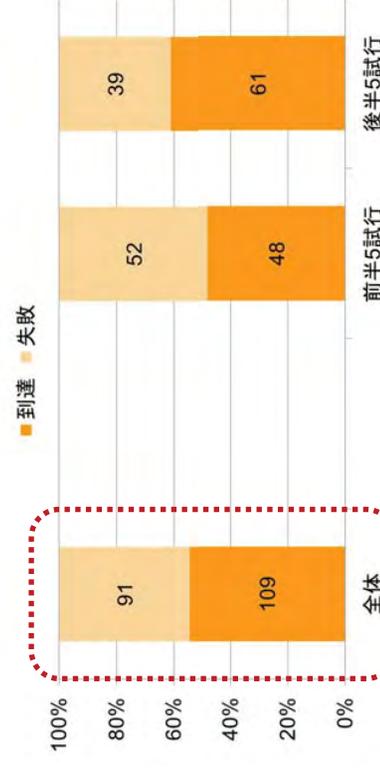
経路探索実験の試行(方法)

- 参加者
 - 大学生20名(男性17名／女性3名)
 - 刺激の視聴に問題はなし
- 装置・環境
 - ヘッドホン聴取
 - ノートパソコン上のGoogle chromeでシミュレータのサーバへアクセス

経路探索実験の試行(方法)

- 手続き
 - 説明および音量調整
 - 練習試行1試行
 - 前半5試行／後半5試行の計10試行
 - スタート位置および音源位置はランダム
 - ゴールと思った地点で「確認」を行う
 - 当たっていても、はずれていても次の試行へ

結果(ゴールへの到達率)



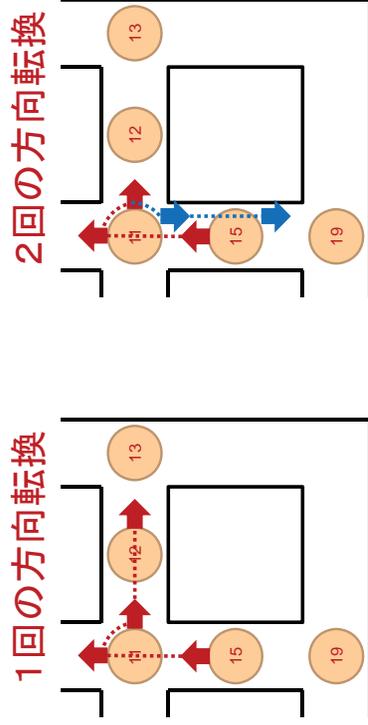
到達率が約55%で難しい課題

経路探索における「迷い」の定義

- 音源位置を探索する過程
 - 「方向」の変更
その場でぐるぐると向きを変える
 - 「経路」の変更
音源から離れた方向へ移動をする

「方向」の迷い

- 同一地点での2回以上連続する方向転換



「迷い」の分析

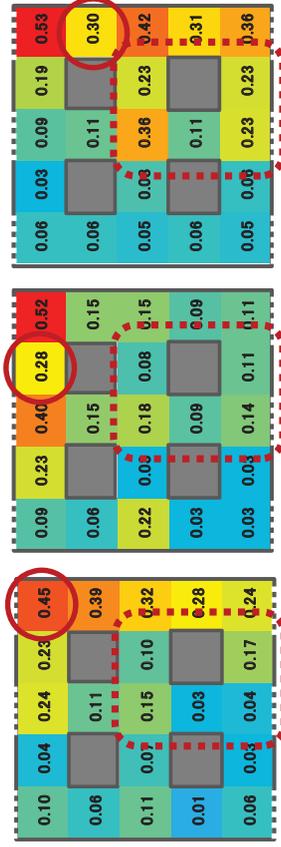
- 集計
 - 音源位置ごとに分類し、各参加者の「迷い」の回数を集計(地点ごと)
 - 試行数で除算し割合を求める

各地点で迷う1試行あたりの割合



音源位置ごとにヒートマップ表示

結果(「方向」の迷い)



音源位置によって「迷う」ポイントが
ずれる可能性あり

まとめ

- 公共空間における「迷い」の観測
 - 仮想的な公共空間(地下街)を構築し、そこで経路探索の実験や観察
 - 聴覚的な要素(閉じられた空間による残響)に注目

シミュレーションベースアプローチ
「Sound Maze」の開発と予備的検討

モノラル信号の物理特性と音像の幅

柳川 博文 (千葉工業大学 情報科学部 情報ネットワーク学科)

これまで、残響時間の長い空間において音響的に避難誘導を図るためのサイン音の特性について調べてきた。その結果、信号持続時間、繰り返しの間の無音区間長さ、波形包絡線形状、パワースペクトルの形状などの最適条件を見いだした。これらは音像の大きさが小さいほど音源位置を知覚しやすいことを示している。そこで、音像の幅に着目し、各種実験を行った。その結果、残響下では白色雑音の持続時間が短いほど音像の幅が狭くシャープであることがわかった。白色雑音停止時の過渡的両耳間相関関数の極大値TRICCは白色雑音の持続時間が長いほど小さくなる。両耳間相関係数と拡がり感の関係の類推からこの値が音像の幅に密接に関係していると思われる。また、反射音や残響音による音像の幅の変化は単に室内音場の特性によるだけでなく信号持続時間も関係していることも示している。さらに提示白色雑音に残響付加、すなわち両耳インパルス応答を畳み込む前に白色雑音そのものの音像の大きさを比較したところ、音像の幅が持続時間、振幅により変化することがわかった。

本研究では、サイン音の研究においてパワースペクトルの高域成分が大きいほど、音源位置が聞き取りやすいという結果を踏まえ、残響付加してないモノラルの白色雑音のパワースペクトル形状と音像の幅の関係について調査した。ここで音像の幅には信号振幅も関係し、振幅が大きいほど音像の幅は大きくなる。そこで、極限法により基準音と比較音のラウドネスが等しくなる基準音に対する比較音の振幅レベルと、同じく音像の幅が等しくなる基準音に対する比較音振幅レベルという2つの主観的等価値 PSE_L と PSE_W を求めた。基準音は150 Hzから8,000 Hzに帯域制限した白色雑音で持続時間は50 msと400 msの2種とした。比較音はローパスフィルタにより基準音の高域をカットした白色雑音と、同様にハイパスフィルタにより低域をカットした白色雑音である。カットオフ周波数はローパスでは1,000 Hz, 1,414 Hz, 2,000 Hz, 2,828 Hz, 4,000 Hzであり、ハイパスでは250 Hz, 353 Hz, 500 Hz, 707 Hz, 1,000 Hzである。ヘッドホンによるダイオティック受聴により被験者5名の結果は以下ようになった。(1) PSE_L はローパスではカットオフ周波数に対し-1から1dB程度の緩やかな変化、ハイパスではカットオフ周波数の上昇とともに2 dBから7 dBへと大きく変化した。一方、(2) PSE_W はローパスではカットオフ周波数に対し-1から1dB程度の緩やかな変化、ハイパスではカットオフ周波数の上昇とともに4 dBから10 dBへと大きく変化した。(3) ローパスでは PSE_L と PSE_W の変化は類似したものの、若干 PSE_W の方がカットオフ周波数の上昇に対し値が増加する傾向が見られた。ハイパスではカットオフ周波数の上昇とともに PSE_W の方は増加するが、 PSE_L と比較して約3 dB程度大きくなった。この結果よりローパスでは明確に見られないが、ハイパスでは明らかに PSE_L と PSE_W が異なり、スペクトル変化の影響が振幅変化とは別に現れていることがわかる。(4) 持続時間の違いはほとんど無く、各 PSE ともに ± 1 dB以内の差であった。

以上の結果はヘッドホン受聴によるものであるが、この場合モノラル音像は頭内定位してしまうことと、普段、人が物音を聞いている状況と比べ、音源から鼓膜への伝達関数も異なっていることの2点が懸念材料となる。そこで、音響中心がスピーカを中心軸上にある同軸型スピーカを用い、簡易無響室にて同一の聴取実験を行った。結果はヘッドホン受聴とほとんど変わらず、同様な傾向を示すことが確認できた。

モノラル信号の物理特性と音像の幅

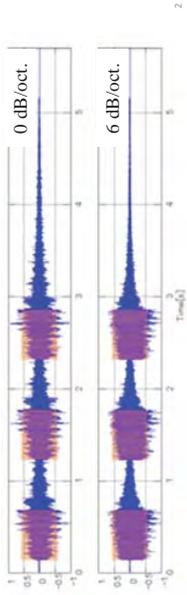
千葉工業大学情報科学部
情報ネットワーク学科
柳川 博文

研究の動機



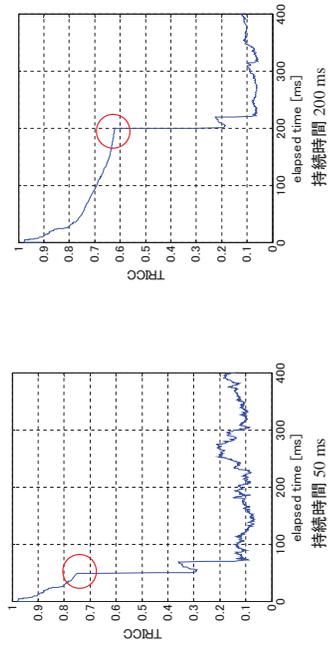
これまで残響下で避難誘導に適したサイン音を調査

信号持続時間, 繰り返し間の無音区間長さ, 波形包絡線形状, パワースペクトルの形状などの最適条件を見いだした



音像の幅が狭いほど音源位置を聞き取りやすい
そこで残響下の音像の幅を調査

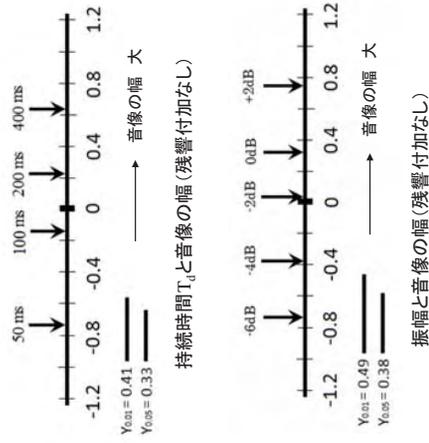
結果: 信号の持続時間が長いほど音像の幅は増大



同時に過渡的両耳間相関の極大値TRICCの音源停止時の値も減少

音像の幅は音場の両耳相関関数だけでなく信号持続時間も関係する

このとき残響付加(音場の両耳インパルス応答のたため込み)
以前の白色雑音そのものの音像の幅も持続時間, 振幅などに
より変化することが判明



振幅と音像の幅(残響付加なし)

本研究の目的

白色雑音のパワースペクトルの特に低域成分と高域成分の割合の変化が音像の幅に影響するか実験的に明らかにする

方法

白色雑音の帯域をローパスフィルタあるいはハイパスフィルタを用いて、それぞれ高域および低域をカットし、帯域制限することによりパワースペクトルを変化させる

基準音を広帯域(150 Hz~8,000 Hz)の白色雑音、比較音を帯域制限した白色雑音とし、比較音の振幅を変化させて同じラウドネスになる比較音の振幅と同じ音像の幅となる比較音の振幅を求め、帯域変化によるラウドネスあるいは音像の幅の変化を振幅に置換させて表現するいわゆる主観的等価値を求める

5

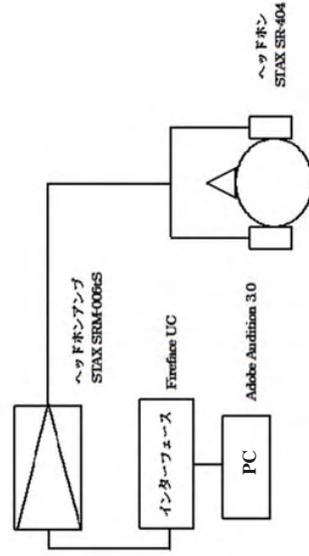
ローパスフィルタのカットオフ周波数は4,000 Hzから1/2オクターブ刻みで1,000 Hzまでとし、ハイパスフィルタは250 Hzから1,000 Hzまで同じく1/2オクターブ刻みとした。

カットオフ周波数 (Hz)

ローパス	ハイパス
1,000	250
1,414	353
2,000	500
2,828	707
4,000	1,000

6

提示方法1: ヘッドホンによるダイオタイク受聴

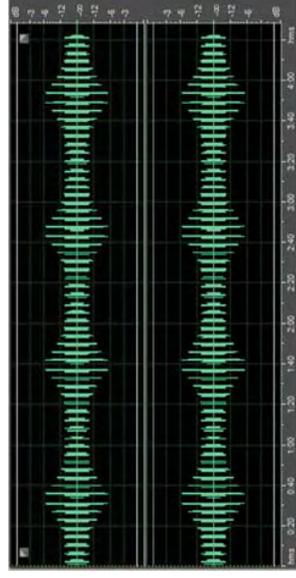


提示方法2: 同軸型スピーカ1個を用いたスピーカ受聴

比較方法: 極限法

被験者のタスク: 基準音に対して比較音の感覚量の大小を回答する

7



提示音の波形

提示音: 基準音の後に比較音が続き、比較音の振幅が2 dB ステップで変化

比較項目: ラウドネスと音像の幅の2種、ただし実験は個別に行う

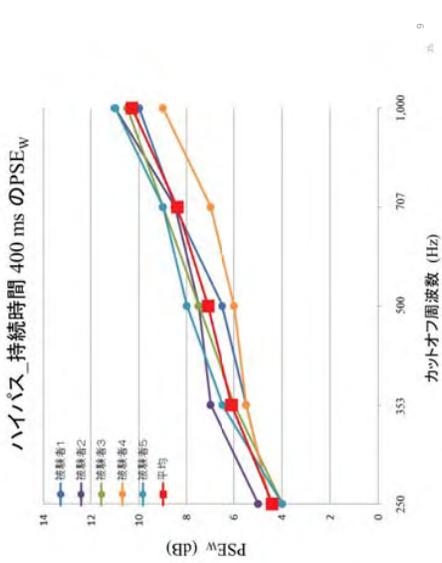
計測値: ラウドネスの主観的等価値 PSE_L と音像の幅の主観的等価値 PSE_W

8

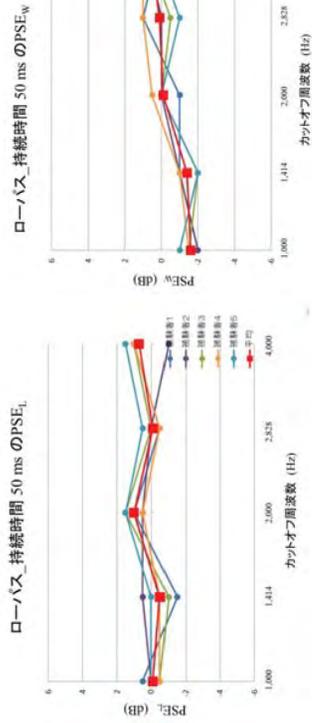
実験結果

各比較音についての結果を横軸カットオフ周波数、縦軸を主観的等値 PSE_L あるいは音像の幅の等価値 PSE_W として図示

結果の一例



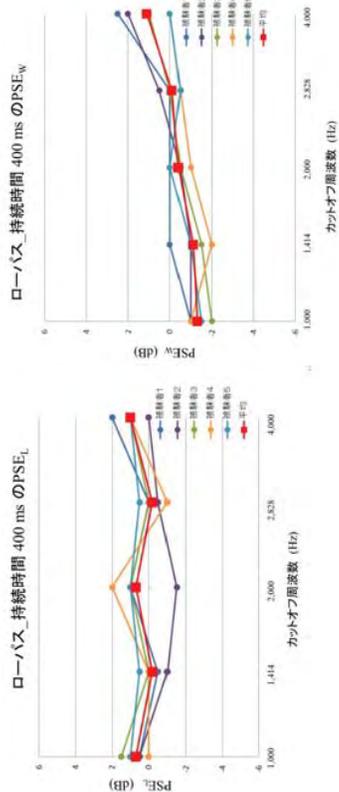
PSE_L と PSE_W の比較 50 ms



PSE_L は 0 dB から 1 dB の間で変動

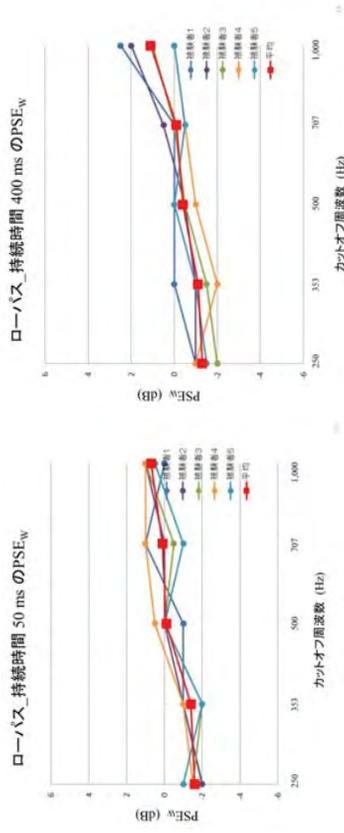
PSE_W は 1 dB から 2 dB と、カットオフ周波数が下がり高域成分が減少するほど、低下する傾向が見られる

PSE_L と PSE_W の比較 400 ms



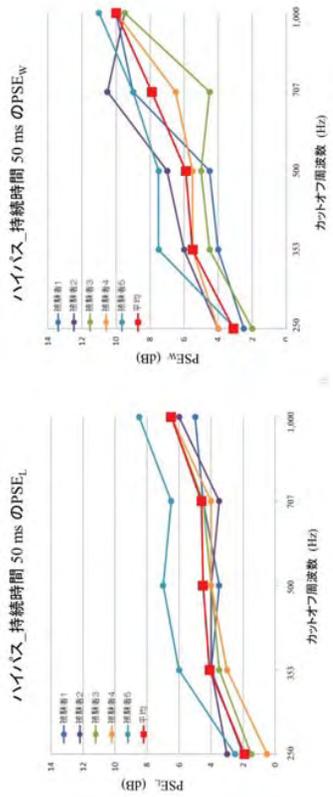
信号持続時間 50 ms とほぼ同様な変化

持続時間の比較 PSE_W



持続時間 50 ms、400 ms とともに、カットオフ周波数が低下すると、 PSE_W が減少し負の値になる

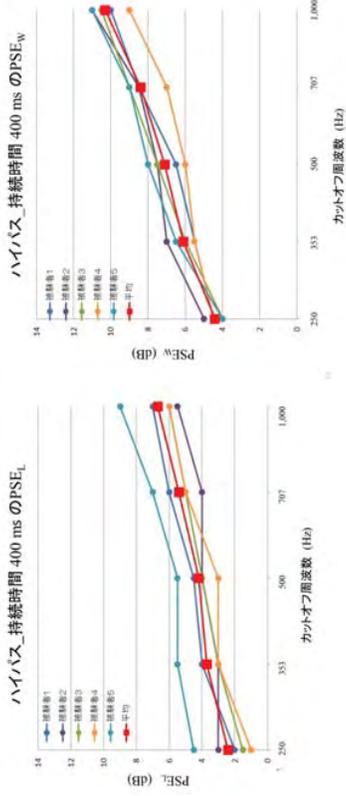
PSE_LとPSE_wの比較 50 ms



PSE_Lは2 dBから6 dBの間で変動

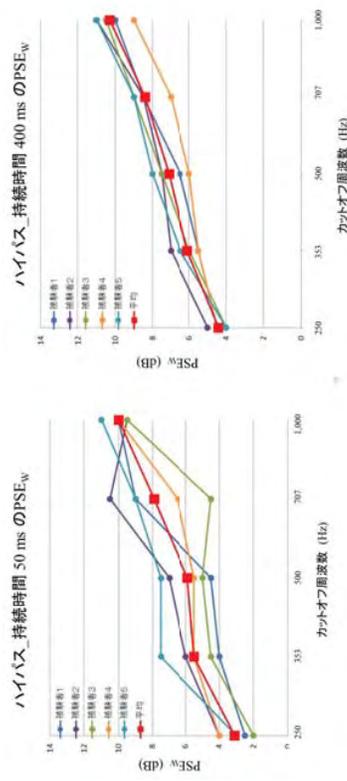
PSE_wは3 dBから10 dBと、カットオフ周波数が増えれば高域成分の割合が増加するほど増加し、PSE_Lより大きな値を示した

PSE_LとPSE_wの比較 400 ms



信号持続時間50 msとほぼ同様な変化

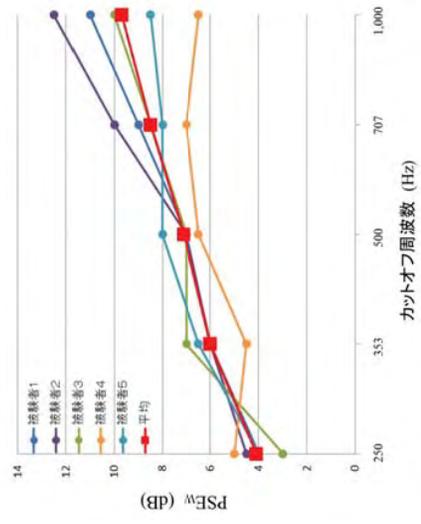
持続時間の比較 PSE_w



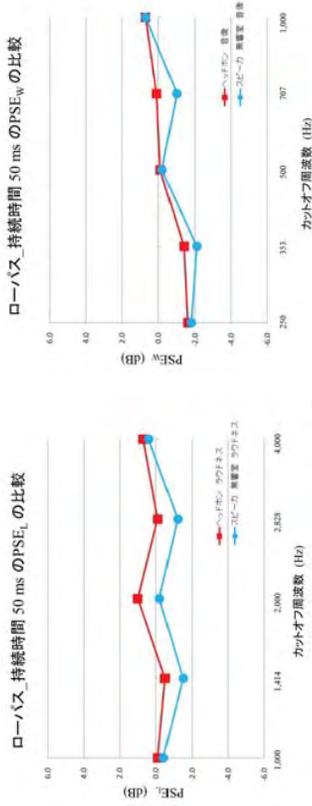
持続時間50 ms, 400 msともに、カットオフ周波数の上昇とともに、PSE_wが正の値で増加

スピーカ受聴の結果の一例

ハイパス_持続時間 400 ms の PSE_w (スピーカ)

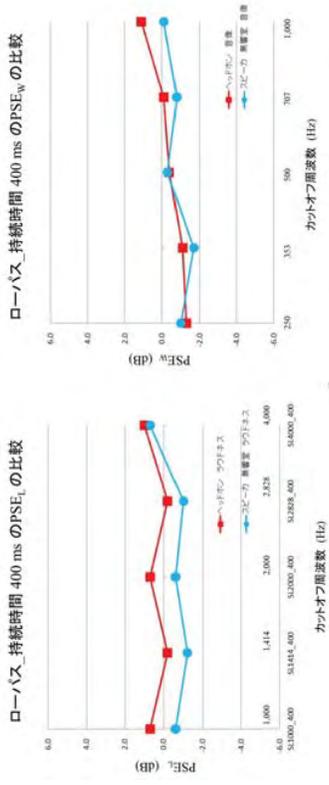


ヘッドホン受聴とスピーカ受聴のPSE_LとPSE_Wの比較 50 ms

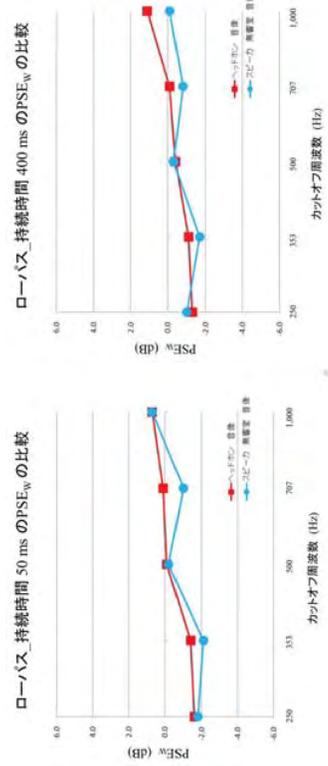


スピーカ受聴の結果はヘッドホン受聴とほぼ一致した

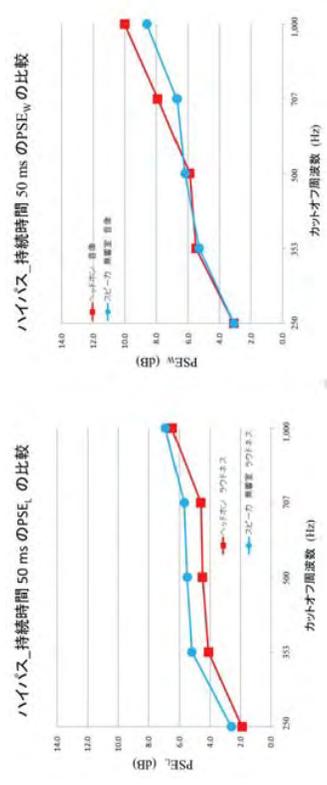
ヘッドホン受聴とスピーカ受聴のPSE_LとPSE_Wの比較 400 ms



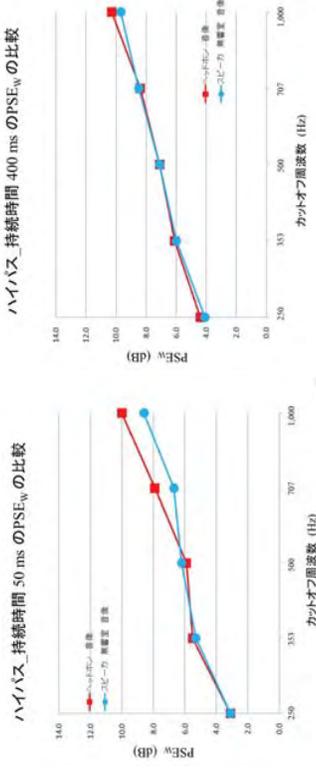
持続時間の比較 PSE_W



ヘッドホン受聴とスピーカ受聴のPSE_LとPSE_Wの比較 50 ms

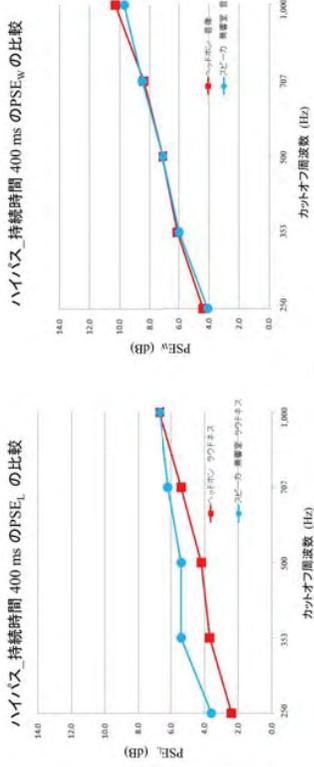


持続時間の比較 PSE_w



21

ヘッドホン受聴とスピーカ受聴のPSE_LとPSE_wの比較 400 ms



まとめ

PSE_LとPSE_wは特にハイパスフィルタを通した白色雑音で異なった

ローパスフィルタを通した方は、カットオフ周波数が減少し低域成分の割合が増加するほど、等ラウドネスとなる振幅より小さくしないと、同じ音像の幅とならないという傾向が見られた

ハイパスフィルタを通した方は、カットオフ周波数が増加し高域成分の割合が増加するほど、等ラウドネスとなる振幅より大きくなると、同じ音像の幅とならない

スペクトルの変化はラウドネスによる変化以上の影響をPSE_wに与える

スピーカ受聴はヘッドホン受聴と同様な結果となり、拡声への応用ができることを確認できた

23

快適コミュニケーションのための残響可変装置を用いた音環境デザイン

大川 茂樹 (千葉工業大学 工学部 未来ロボティクス学科)

太古の昔から、音が人間の生活と密接なつながりを持ってきたことは言うまでもない。音の工学的な利用（音響工学）に限っても、音声、音楽、電気音響（オーディオ）、建築、騒音制御、超音波など、種々の形態・用途での研究が行われてきた。近年、音が伝わる環境あるいは音それ自体を能動的に「デザイン」することにより、ただ音を便利に利用することに留まらず、人間の生活にとって快適な「音のある世界」を作るための研究が、特に盛んに行われるようになってきている。

音を聴くための空間、たとえば音楽用コンサートホールの設計は、建築音響学における重要なテーマの1つである。また、迷惑な音、たとえば航空機や鉄道がもたらす騒音の低減は、騒音制御分野での大きな研究トピックとなっている。「音デザイン」や「音環境デザイン」は、これらの旧来からのテーマをさらに推し進め、音を聴くことが主目的でない空間での音の伝わり方を工夫したり、迷惑な音を迷惑と感じないように工夫したりすることで、人間の快適性を追求する技術や考え方の総称である。

本日の報告では、「快適性向上のための音響情報伝達」の観点から、人間のコミュニケーションをより快適化・活性化するための音にまつわる工夫や、快適コミュニケーションを阻害するような音と向き合うための技術を、我々の研究成果と合わせて紹介する。

まず、音デザインや音環境デザインが必要な理由について、国内・国外での種々の事例を挙げて説明する。特に、子供や高齢者、病人や被介護者など、周囲の環境に対して特別の配慮が必要な人々への対策を取り上げる。次に、極端な音環境の事例として、病院等に設置されているMRI（磁気共鳴画像）検査装置の静音化について、その背景と実測結果を紹介する。最後に、我々が取り組んでいる小規模音響空間を対象とした残響可変装置についての研究経過および成果（下記）を報告する。

我々の研究室では、文化施設としてのホールなどに比べて小規模な空間（個人の部屋、学校の教室、会議室など）での利用を前提とした「残響可変装置」の開発を目指し、その設計開発や数値シミュレーションを行っている。装置は、軸に共鳴管を用いた回転式可変吸音体を5本横に並べた構造とし、共鳴管は、それぞれの吸音ピーク周波数が変わるよう開口部位置を決定している。

この残響可変装置をロボット（ロボティクス）技術と組み合わせることにより、周囲の音環境やユーザの希望・嗜好に応じて自動的に残響を調整するシステム（残響調整ロボット）が提案できる。センサ、アクチュエータ、制御部を装置に組み込むと共に、複数の残響調整ロボットを同時協調的に用いることで、音場に働きかけるロボットあるいはロボット群を実現する。特に複数ロボットを用いる場合、制御のための変数が非常に多くなるため、最適化にあたっては、たとえば遺伝的アルゴリズム(GA)などの知的制御が有効と考えられる。

音をとりまくデザイン

1. 音デザイン

- 音そのものを設計・作成
- 音の特性,使われる環境,人間の感じ方
- ex. 発車メロディ,緊急地震速報チャイム

2. 音環境デザイン

- 音が伝わる空間の設計
- 遮音・吸音,残響の工夫
- 能動的な音の利用

3. デザインの技術

2015/6/13

OKLAB@CIT 2

快適コミュニケーションのための 残響可変装置を用いた音環境デザイン

大川 茂樹
(工学部 未来ロボティクス学科)

本日の話題

- 音デザイン・音環境デザインの事例紹介
- MRI検査室内の静音化
- 残響可変装置の開発
- 残響可変装置のロボティクスとの融合

2015/6/13

OKLAB@CIT 3

事例紹介

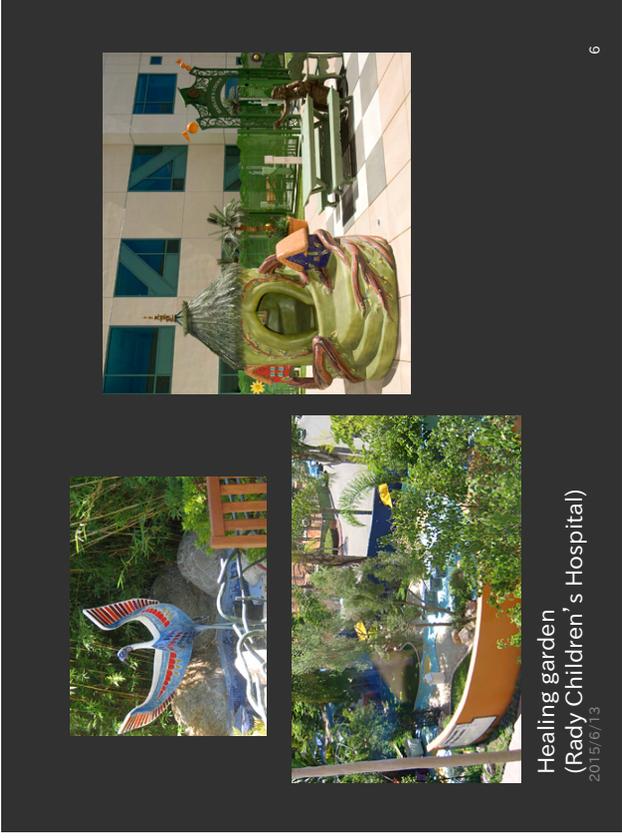
2015/6/13

OKLAB@CIT 4



Interior design & garden
(Griffin Hospital)

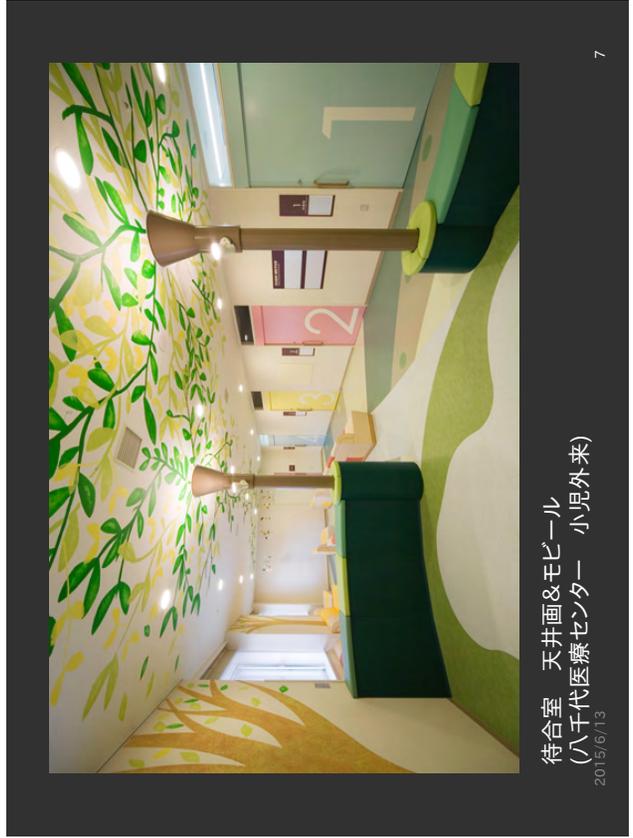
5



Healing garden
(Rady Children's Hospital)

2015/6/13

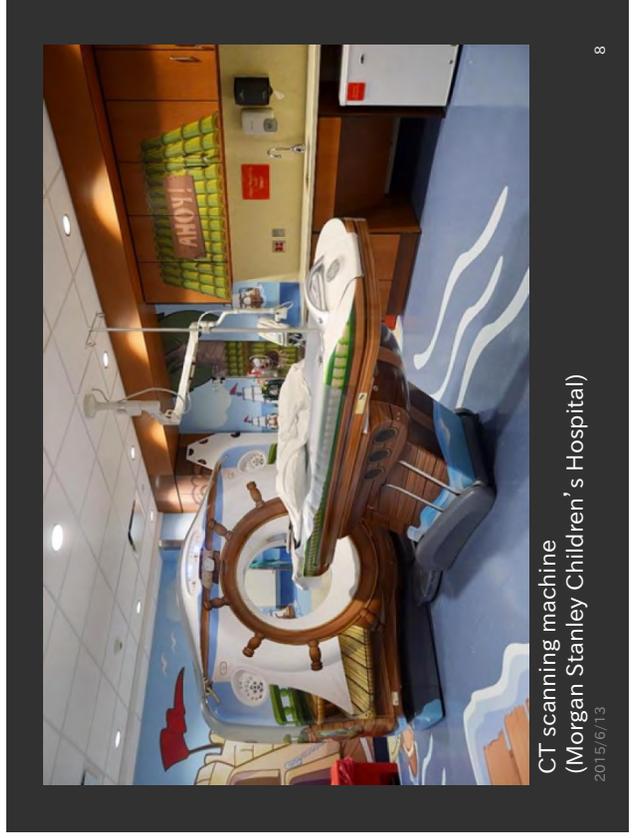
6



待合室 天井画&モビール
(八千代医療センター 小児外来)

2015/6/13

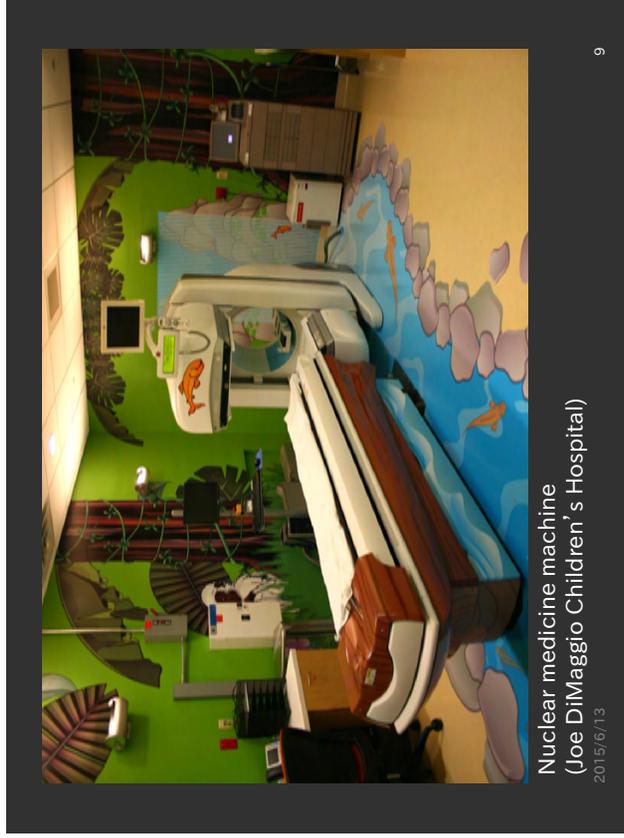
7



CT scanning machine
(Morgan Stanley Children's Hospital)

2015/6/13

8



Nuclear medicine machine
(Joe DiMaggio Children's Hospital)

2015/6/13

9

医療施設における音の問題

- 騒音
 - 機器の音, 話し声・泣き声, 屋外の音
 - $L_{max} = 80 \sim 90\text{dB}$
 - 病室の騒音指標 (WHO)
 - 日中35dB, 夜間30dB
- 音声の明瞭度
- スピーチプライバシー
- BGM

2015/6/13

OKLAB@CIT 11



フアブリックパネル
(AURAL SONIC)

Acoustic Panels
(Audimute)

2015/6/13

10

医療施設における様々な工夫

- 癒しや遊びを取り入れた環境
 - 「病院っぽさ」を感じさせない
 - 自然を取り入れる
- 音環境改善
 - 聴覚過敏
 - 単なるパネルでなく絵画の代わりに

2015/6/13

OKLAB@CIT 12

MRI室における ファブリックパネルの静音効果の測定

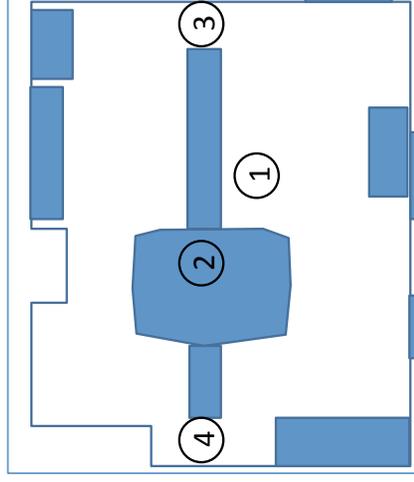


加須市医療診断センターにて

2015/6/13

OKLAB@CIT 13

平面図 マイク位置



1. 付き添い人位置
2. ガントリー内
3. 足元
4. 装置背面

2015/6/13

OKLAB@CIT 14

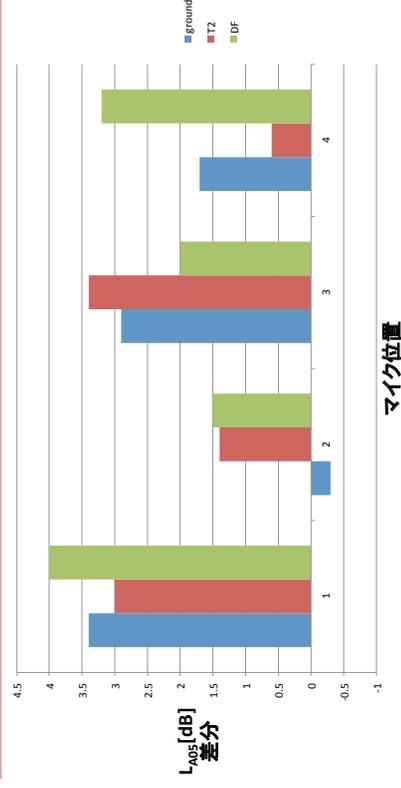
MRIシーケンス

- Ground
 - スタンバイ中の音
- T2
 - 高い頻度で使用される
- DF(ディフュージョン)
 - 最も大きい音が出る

2015/6/13

OKLAB@CIT 15

MRI室における ファブリックパネルの静音効果の測定



2015/6/13

OKLAB@CIT 16

小規模音響空間における残響可変装置の開発：
研究のねらい

自動的・自律的に残響を調整

残響可変装置

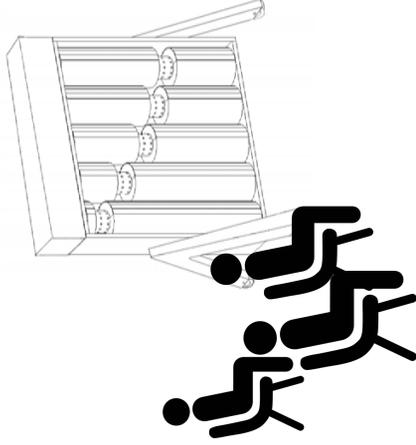


ロボティクス

2015/6/13

OKLAB@CIT 17

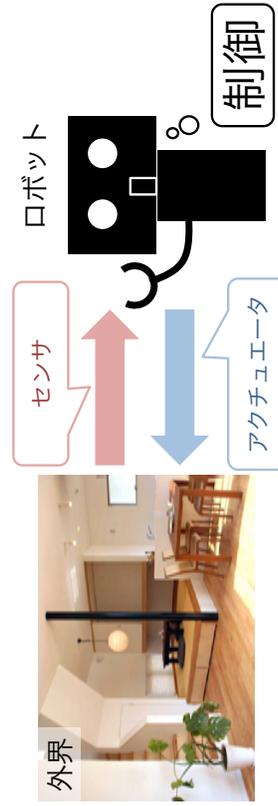
提案 残響調整ロボット



2015/6/13

OKLAB@CIT 18

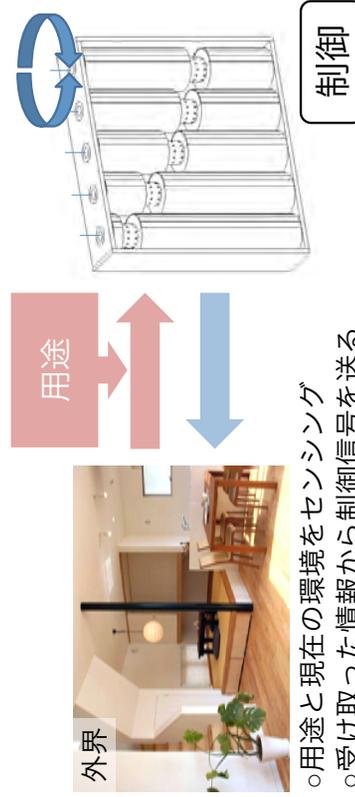
ロボティクスの考え方



2015/6/13

OKLAB@CIT 19

音場に働きかけるロボット



- 用途と現在の環境をセンシング
- 受け取った情報から制御信号を送る
- アクチュエータを駆動，外界へ働きかけ

2015/6/13

OKLAB@CIT 20

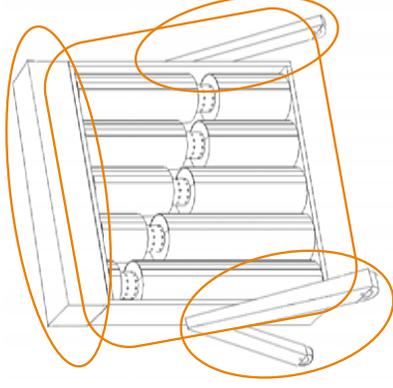
残響調整ロボットの動作の流れ

1. 外界の情報を受け取る
 - 動的な変化を察知
 - ex. ある範囲内の人の数や位置
2. 受け取った情報をもとに制御内容を決定
 - リアルタイムでの制御
3. 外界へ働きかける
 - 残響に影響

2015/6/13

OKLAB@CIT 21

構成



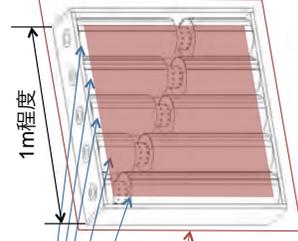
1. 調節部アクチュエータ群
2. 移動用アクチュエータ群
3. 制御部
4. センサ群
5. 装置本体

2015/6/13

OKLAB@CIT 22

装置概要

- 回転式可変吸音体
 - 共鳴管・吸音面・反射面で構成
 - 5本
- 外枠部



2015/6/13

OKLAB@CIT 23

ハイブリッド吸音

- 共鳴管 + 多孔質材
 - 共鳴管: 低音吸音
 - 多孔質材: 中・高音吸音

広帯域での吸音

共鳴管

- ・どの角度でも等しく吸音
- ・ブーミング対策
- ・1/3オクターブ周波数を基準

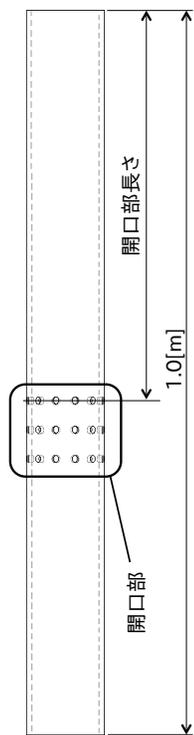
多孔質

- ・可変吸音
- ・残響時間の調整
- ・ポリエステル繊維系

2015/6/13

OKLAB@CIT 24

共鳴管設計



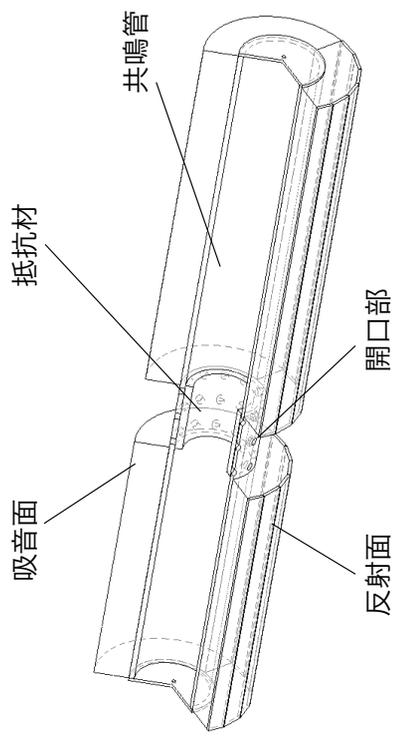
目標(付随) 吸音ピーク[Hz]	対応開口部長さ[m]
100(1700)	0.850(0.050)
125(386.4)	0.680(0.220)
160(230.4)	0.531(0.369)
200(178.9)	0.425(0.475)
250(151.8)	0.340(0.560)

内径:100[mm]
外径:114[mm]

2015/6/13

OKLAB@CITI 25

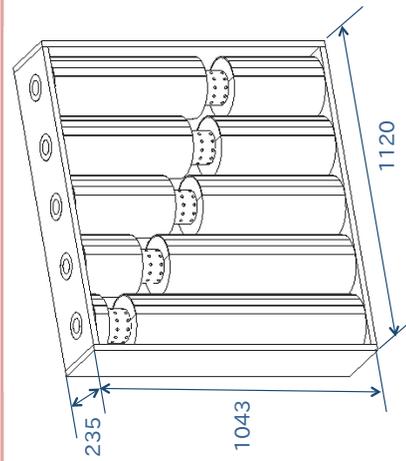
可変吸音体詳細



2015/6/13

OKLAB@CITI 26

装置全体



単位はすべて[mm]

2015/6/13

OKLAB@CITI 27

装置写真(可変吸音体)



2015/6/13

OKLAB@CITI 28

スマートホン・タブレットによる簡易音場シミュレータ

須田 宇宙 (千葉工業大学 情報科学部 情報ネットワーク学科)

音響工学の教育分野では、媒質中の波動現象のように不可視現象が多数取り扱われている。また、物理学だけでなく、聴覚や心理学など様々な学問と結びついており、学習者は広範囲の基礎学力が求められている。一方、学生の学力多様化や学習意欲の衰退から、実際の現象と理論や数式を結びつけて考えることを前提とした、板書と教科書による教育方法では十分な理解が得られておらず、新しい学習支援が求められている。

一方、高等教育の「教育の質の保証」のために、対面授業と事前事後学習、質疑応答の学習サイクルを確立することが必要となる。これに対して、反転授業やアクティブラーニングの試みが進められている。また、JMOOCなどのように講義動画を公開して、オープンな教育体制を確立する動きが世界中で広がっている。しかし、理工系の学問分野では講義を聴講するのみでは十分に理解し難い事象が取り扱われるため、実験や実習が求められている。

これらのことから筆者らは、急速に発達したコンピュータおよびソフトウェア開発環境をベースとして、可視化技術や音響合成技術などのパラメータ変更を可能とした、音響現象を体感的に学習できるインタラクティブなシミュレータ教材を開発した。さらに、関連する動画像や映像、音声をプレゼンテーションソフトウェアで統合する教育手法を構築し、極めて密度の高い教育を実現してきた。シミュレータ教材を用いることにより、学習者がパラメータを自由に変更して仮想体験を行なうことができ、納得のゆくまで繰り返し模擬実験を行える。これらの教材は、当初MS-Windows用のアプリケーションとして開発してきた。

しかし、近年のスマートホンやタブレット端末の台頭により、これらのデバイス上で動作するシミュレータ教材が望まれるようになった。それと前後して、Web技術をベースとしたe-Learning環境が急速に普及し、端末のCPU性能が格段に向上したことや、ソフトウェアの実行時最適化などが進んだこと、WebブラウザのAPIが充実したことなどを受け、本研究では2012年以降に公開したすべてのコンテンツをHTMLとJavaScriptで開発して、Webブラウザ上での実行を可能としてきた。

端末のCPU性能の向上とAPIの充実により、以前では実行速度的に難しいと考えられてきた演算をリアルタイムに行なうことが可能となった。そのような例に音場のシミュレーションが存在する。そこで本研究では、あらかじめ録音した音声だけでなく、プログラム中で合成した音声や、マイクから入力した音声に対して、リアルタイムに音源位置の変更や畳み込み演算を行い、即座に学習者に提示するシミュレータ教材を開発した。これらの教材を使用して音響教育分野に寄与すると共に、開発過程で得られた技術や知見を学内外に公開して、シミュレータ教材のさらなる充実を図ることを目的としている。

スマートフォン・タブレットによる 簡易音場シミュレータ

須田 宇宙(千葉工業大学)
suda@net.it-chiba.ac.jp

◇ 理工系教育におけるシミュレータ教材の必要性

2

◆ 教育の質の向上



◆ 理工学教育

対象のモデル化
現象を数理化
数理に基づく現象解析、把握
実験、演習で確認

e-Learningとして提供

- 講義動画像
 - iTunes U (800大学)
 - YouTube EDU (約100講義) など
- 講義動画像 + 講義資料
 - School of Internet (27大学) など

シミュレータ
双方向性
定量的計測
現象の可視化、音像化
時間、空間軸伸縮
任意の仮想実験

◇ シミュレータベースの教育教材の構造

3

解説用スライド

2-1. String vibration

Force at a small part of string dx
 $F = T \sin \theta' - T \sin \theta$
 $\approx T(\theta' - \theta) = T \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx$

Equation of motion for dx
 Force = Mass x Acceleration
 $T \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx = \rho dx \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$

$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$... Equation of vibration
 $c = \sqrt{T/\rho}$

General solution
 $z = \sum_n A_n \sin \frac{n\pi x}{l} e^{j \frac{n\pi c t}{l}}$

Boundary condition $z = 0$ at $x = 0, l$
 $n : \text{Integers}$

Force at a small part of string dx
 $T \sin \theta'$
 $T \sin \theta$
 T
 x
 dx
 θ'
 θ

Force at a small part of string dx
 $\theta' = \theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx \approx \theta + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx$

Vibration mode of string
 $n=1$
 $n=2$
 $n=3$
 Nodes

スライドから

関係スライド (一般解導出過程記述等)

参考動画、写真、サウンド

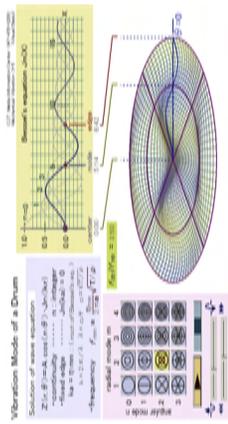
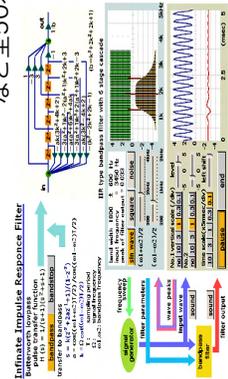
シミュレータ (インタラクティブ、リアルタイム処理)

◇ シミュレータの種類と利用風景

4

- 分野名
- ◆ 弦の振動
 - ◆ 減衰振動
 - ◆ 膜の振動
 - ◆ 振動音の差異
 - ◆ 一次元共鳴
 - ◆ 立方体の共鳴
 - ◆ ファイルタ
- シミュレータの一例
- ◆ フーリエ展開
 - ◆ 差分近似法
 - ◆ 円形振動膜
 - ◆ 倍音と音色
 - ◆ 篠笛と太鼓
 - ◆ 扁平立方体
 - ◆ 帯域フィルタ
- など全50本

授業の様子



◇ 本研究の目的

5

音響分野：目で見えて確認することが難しい領域

- ◆シミュレータ教材を利用することで学習効果向上
- ◆カバーする分野の拡大が望まれる
- ◆スマートフォン、タブレットの性能向上
- ◆HTML5とAPIの進化

モバイルでも利用できる、
簡易音場シミュレータの開発

◆アプリケーション実行環境としてのWebブラウザ

6



HTML5によりアプリケーションの
統一プラットフォームへと進化

◆HTMLとAPIの進化

7

技術名	説明
Video要素	ビデオの再生、制御、時間取得
Canvas要素	ビットマップ画像
SVG	ベクター画像
Web Audio API	サウンド再生・合成
getUserMedia	映像・音声入力
WebRTC	ブラウザ間の映像・音声通信
Web MIDI API	外部MIDIデバイス制御
WebGL	3Dグラフィック
WebCL	汎用並列計算
MathML	数式記述
GeoLocation API	位置情報取得
Web Workers	並列処理
Device API	デバイスの傾きなどを取得

◆Web Audio API

8

録音された音声の再生、音声の合成・加工を行なうAPI



◆簡易音場シミュレータの例1

9

リアルタイムに音源位置を移動させ、
学習者は音源の位置or方向を確認



◆簡易音場シミュレータの例2

10

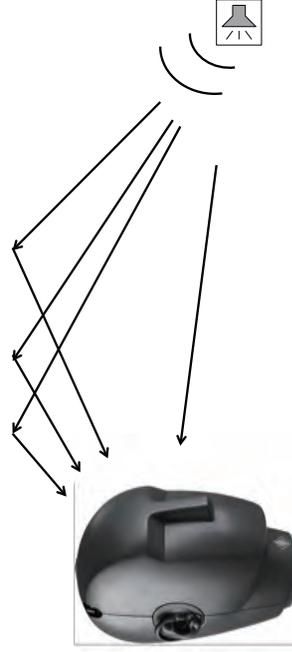
複数の音源を配置してそれぞれ別の楽器音を鳴らし、
学習者は音色と音の広がりを経験



◆簡易音場シミュレータの例3

11

再生音にリアルタイムに畳み込み演算を行い、
学習者は音の反射を経験的に学習



◆まとめ

12

モバイルでも利用できる簡易音場シミュレータの開発

- ◆音源位置、音の広がり、音の反射を経験的に学習可能
- ◆事前に録音してある音源、数式による合成音声、リアルタイムにマイク音を処理可能

他のシミュレータ教材と併せて、学習効果が期待できる

今後：シミュレータを配布し、音響教育に寄与していく予定

第8回CIT音響フォーラム

安全・快適性向上のための音響情報伝達

2015年6月13日

編集・発行：千葉工業大学 音響情報研究センター

連絡先：〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1

千葉工業大学 情報科学部 情報工学科 矢野博夫

Tel: 047-478-0545 E-mail: yano@acoust.cs.it-chiba.ac.jp

無断転載・複製を禁ずる