

共同研究(共同研究機関：東北大学電気通信研究所)

**電子透かし技術を応用した
障害者のための情報補償システムの開発
－音響の情報バリアフリー化に向けて－
(平成16年度～18年度)**

研究報告書

平成 19 年 3 月

独立行政法人
国立特殊教育総合研究所

共同研究(共同研究機関：東北大学電気通信研究所)

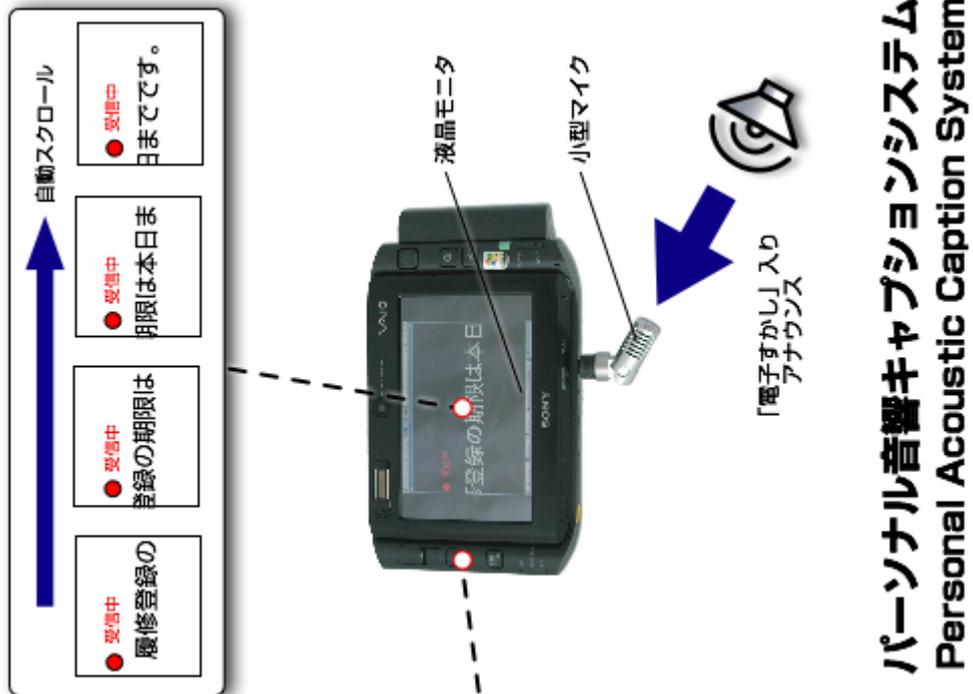
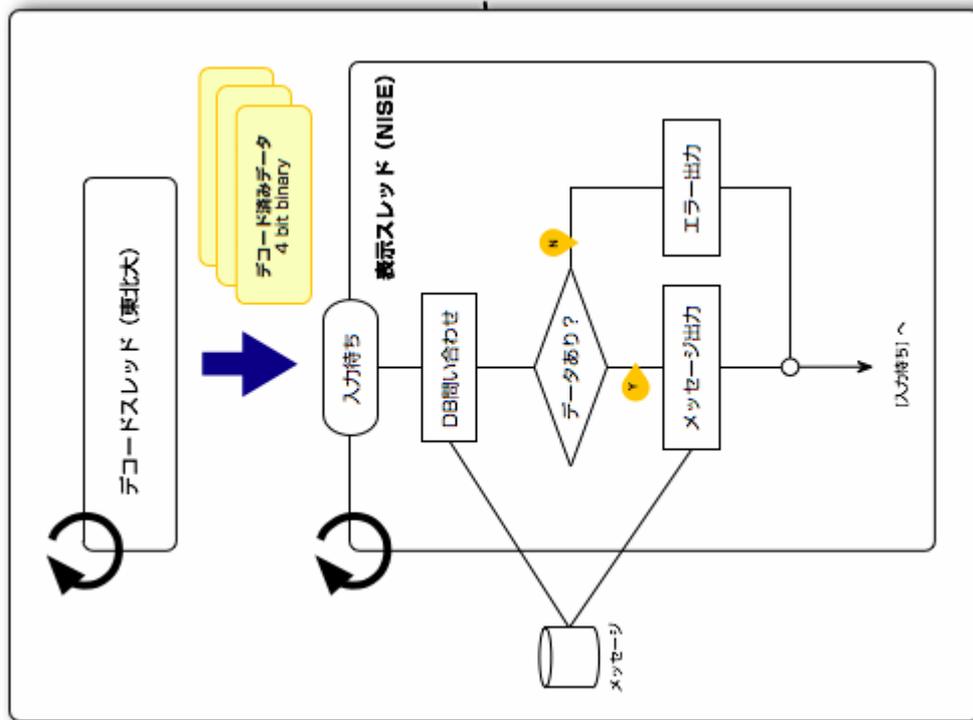
**電子透かし技術を応用した
障害者のための情報補償システムの開発
—音響の情報バリアフリー化に向けて—
(平成16年度～18年度)**

研究報告書

平成 19 年 3 月

独立行政法人
国立特殊教育総合研究所

パーソナル音響キャプションデコーダ(概念図)



パーソナル音響キャプションシステム
Personal Acoustic Caption System

パーソナル音響キャプションデコーダ



パーソナル音響キャプションデコーダ(本文p.19)

まえがき

本研究は、障害者基本法に書かれた情報の利用におけるバリアフリー化を目指す一環として聴覚障害者を主な対象とした情報補償システムの開発を目指したものであり、音の電子透かし技術に関する特許と研究実績のある東北大学電気通信研究所と国立特殊教育総合研究所の共同研究*として行われたものである。

本書は、音声情報のバリアフリーの1つとして公共の場所等における音声によるアナウンスを文字情報として伝えるシステムの実用化に向けて行った上記の研究成果について報告するものである。

本共同研究の成果として開発された「パーソナル音響キャプションデコーダ」はPDAタイプの携帯コンピュータ(165mm×95mm, 600g, 重さは補助バッテリー含む。)を本体として動作するもので、スピーカから発せられる音に埋め込まれた電子透かしを解読して、聾学校の校内文字放送システムで用いられるメッセージを表示することが可能となっている。

評価実験では屋内で最小40dB程度という、図書館内の騒音レベルとされる程度の小さな音圧のデータから電子透かしを認識しており、音源からの距離は77mを記録した。屋外では50-55dB, 音源から32mの距離で認識が可能であった。音電子透かしの空気伝搬の耐性に関する当初の予想を大きく上回っており、今後さらに精緻な実験が必要であるが、現時点において、実用範囲となる成果を上げたものと考えている。

今後は、メッセージデータをWeb上に配置することで常に新しい情報を参照可能にすること、現在PDA上で動作するシステムを普及型の携帯電話上のアプリケーションとして利用することなど、本システムの完全実用化への取り組み、さらに一般ユーザも便利に利用可能であることを踏まえて、学校内での利用を越え、緊急公共放送や駅の構内などにおける音声データへの電子透かしの応用など視野に入れた音響のバリアフリーの規格化など、今回の開発が進んだことで見えてきた発展的な課題に取り組む必要があると考えている。

独立行政法人国立特殊教育総合研究所
総括研究員 棟方哲弥

国立大学法人東北大学電気通信研究所
教授 鈴木陽一

*「共同研究」とは、障害種別等に係る専門的研究に関し、研究所の研究員等又は研究員等のチームと外部機関等とが、共通の課題について共同して行う研究であって、研究所の実際の・総合的研究と外部機関等における基礎的・理論的研究を融合し、障害のある子どもの教育の充実に資するものをいう(独立行政法人国立特殊教育総合研究所共同研究実施規則より)。

研究体制

本共同研究は、以下の研究体制で行われた（なお、甲と乙の記述は共同研究契約書による）。

(甲)独立行政法人国立特殊教育総合研究所

総括研究員 棟方哲弥

(乙)東北大学電気通信研究所

教授 鈴木陽一

助教授 西村竜一

大学院情報科学研究科 カクノウ（16年度～17年度）

工学部情報工学科 半田浩規（18年度）

国立特殊教育総合研究所の研究協力者、研究協力機関は以下のとおりである。

研究協力者

筑波大学附属聾学校・教諭 板橋安人

筑波大学附属聾学校・教諭 武林靖浩（平成8年度）

筑波大学附属聾学校・教諭 竹村 茂（平成8年度）

筑波大学附属聾学校・教諭 横山知弘（平成8年度）

東京都立葛飾ろう学校・教諭 伊藤 守

研究協力機関

筑波大学附属聾学校

東京都立葛飾ろう学校

上記の他に、元国立特殊教育総合研究所科学研究支援員山口俊光氏には、同支援員期間終了後よりシステムの実装ならびに研究資料作成を担当いただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

目次

まえがき	i
研究体制	ii
研究の経緯	iv
研究成果物	v
1. パーソナル音響キャプションデコーダ	v
2. 報告書等	v
3. 関連発表等	vi
第 I 章 システムに実装するメッセージの内容と種類の検討	3
1. はじめに	3
2. 目的	4
3. 検討課題 1	4
4. 検討課題 2	10
5. 結論	13
第 II 章 パーソナル音響キャプションデコーダの開発	17
1. はじめに	17
2. 研究の経過	18
3. パーソナル音響キャプションデコーダ	18
4. 評価実験	24
5. 結論	27
第 III 章 まとめ	31
1. まとめ	31
2. 今後の課題	32
3. 参考文献	34
第 IV 章 研究資料	35
第 V 章 参考資料	79

研究の経緯

障害者基本法では、情報機器等における障害者の利便の確保を国と地方自治体の責務としており、参議院内閣委員会の同法の付帯決議には、情報機器等のみならず、コンテンツや通信サービスについてのバリアフリー化の実現に向けて万全を期すことが明記された。

すでに、国立特殊教育総合研究所では、プロジェクト研究等において、障害のある子どもが情報機器、メディア及びコンテンツを活用するための開発研究等を行ってきているが、これらの高度な技術に関するバリアフリーに焦点を当てた研究開発では、電気通信分野の基礎的・理論的研究との融合が必須となると思われた。そこで、音の電子透かし技術（第IV章研究資料を参照。）に関する特許と研究実績のある東北大学電気通信研究所（以下、通研）との共同研究を開始した。

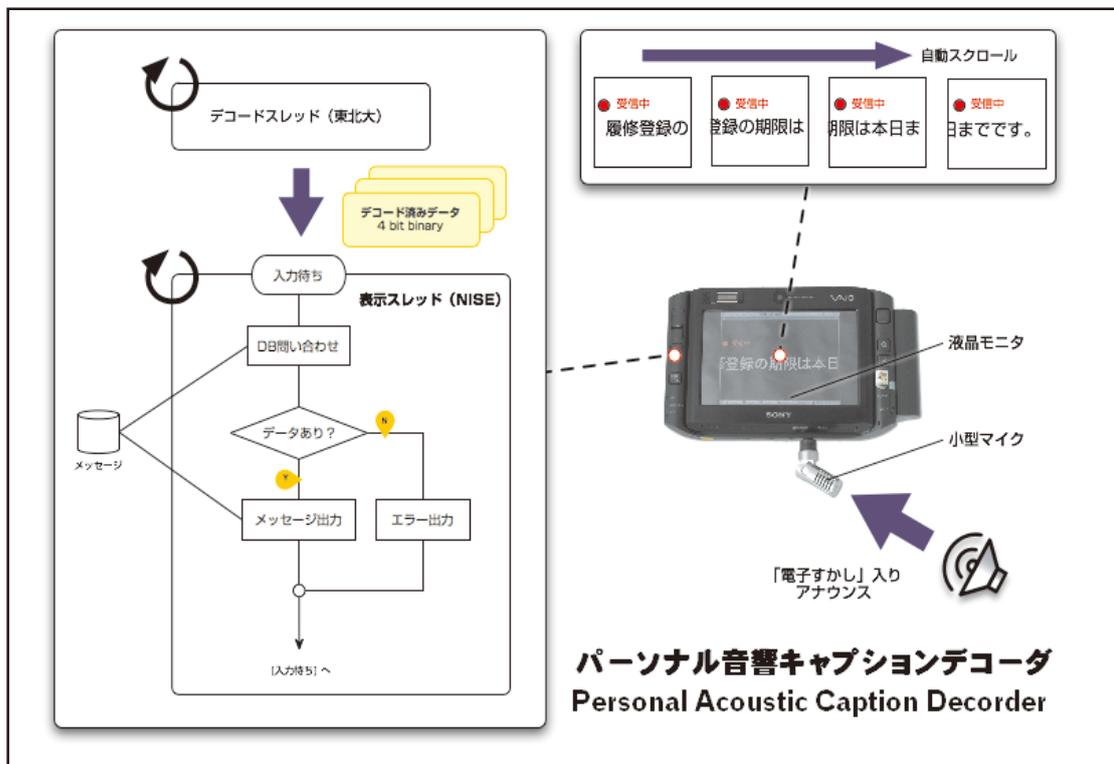
研究の開始当時において、通研における電子透かしの解読のためのリアルタイム処理は、高性能なCPU（演算装置）を搭載したデスクトップコンピュータで実行されており、さらに空気伝搬させた音の電子透かしの解析は未知の領域であった。平成16年から平成17年度においては「LDPC符号による音電子透かしの耐性強化に関する研究」として、当時修士課程に在籍していたカクトウ氏により、透かし情報の解読精度の向上方法が明らかにされた。この間、国立特殊教育総合研究所では、実証機に搭載可能なプログラムの完成を待ちながら、東北大学電気通信研究所とのデータ互換を行うためのシステムの準備と合わせて、その応用方法について研究協力校である筑波大学附属聾学校と検討を進めた。とりわけ同校が独自に運用を始めていた「校内文字情報表示端末システム」（廊下と教室に電光掲示板が固定設置されたタイプ）の利用状況の聞き取りを含めて提示すべきメッセージについて検討を行ってきた。

このような状況の中、通研において、空気伝搬させた電子透かしデータのリアルタイムの解読処理を行う実演が公開されたのは平成18年10月であった。同研究所において、左右のスピーカから出力される別々の電子透かしデータを、一般的なノートパソコンによって解読することに成功した。そこでは多くの人が入り出す実用に近い状況で電子透かし情報の解読に成功した一方で、その段階で、常に動作が安定していたわけではなかった。このソースプログラムとCライブラリの提供を受け、国立特殊教育総合研究所ではPDAへの実装とデータを受信した際に、校内文字放送に使われるメッセージを表示させる実証機の開発と評価に取り組んだ。

研究成果物

1. パーソナル音響キャプションデコーダ

以下に「パーソナル音響キャプションデコーダ」を示す。本デコーダは開発時点で写真にみえる SonyVGN-UX90S (165mm × 95mm, 600g, 重さは補助バッテリー含む。)とマイクロホン ECM-DS30P を用いて実装されている。システムの詳細は後述する。



2. 報告書等

- (1) 報告書名称:「共同研究:電子透かし技術を応用した障害児者のための情報補償システムの開発—音響の情報バリアフリー化に向けて— (本報告書) , 平成 19 年 3 月 .
- (2) エコーに基づく音電子透かしの空気伝搬耐性に関する検討 (東北大学卒業論文:半田浩規) , 平成 19 年 3 月 .
- (3) LDPC 符号による音電子透かしの耐性強化に関する研究 (東北大学審査修士学位論文:カクトウ) , 平成 18 年 2 月 .
- (4) 音響電子透かしの空気伝搬耐性に関する検討 (平成 17 年東北地区若手研究者研究発表会:カクトウ, 西村竜一, 鈴木陽一) , 平成 17 年 3 月 1 日 .

なお、「パーソナル音響キャプションデコーダ」については今後、学会等で発表し、アンケート調査結果等を含めて、研修等において活用する予定。

3. 関連発表等

音響を活用した障害者支援バリアフリー技術に関して以下の関連する論文発表等を行った。

- (1) 大内誠・岩谷幸雄・鈴木陽一・棟方哲弥：汎用聴覚ディスプレイ用ソフトウェアの開発と音空間知覚訓練システムの応用, 日本音響学会誌 62 巻 3 号, 224-232, H18.
- (2) M.Ohuchi, Y.Iwaya, Y.Suzuki, T.Munekata : Training Effecton Ability of Sound Localization Using Virtual Auditory Game for Visually Impaired Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meetong of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland, 6-9, H17.7.
- (3) 大内 誠・岩谷幸雄・鈴木陽一・棟方哲弥：視覚障害者の認知地図形成訓練を目指した3次元音響ゲーム様コンテンツ開発 視覚障害, 第6回日本ロービジョン学会学術総会・第14回視覚障害リハビリテーション研究発表大会, 97, H17.
- (4) Training Effect of a Virtual Auditory Game on Sound Localization Ability of the Visually Impaired (○大内 誠, 岩谷幸雄, 鈴木陽一(東北大), 棟方哲弥(独立行政法人国立特殊教育総合研究所)) 「音空間・HRTF ワークショップ」(主催: 文部科学省知的クラスター創成事業 サイバーフォレスト計画、共催: 東北大学電気通信研究所音響工学研究会・東北大学情報科学研究科), H16.7.
- (5) Makoto Ohuchi, Yukio Iwaya & Yôiti Suzuki (Tohoku University); Tetsuya Munekata (National Institute of Special Education): Cognitive-map forming of the blind in virtual sound environment, ICAD: International Conference on Auditory Display, Queen Mary, University of London, Mile End Road, LONDON, 2006.
- (6) Makoto Ohuchi, Yukio Iwaya, Yoiti Suzuki, Tetsuya Munekata, A comparative study on sound localization acuties of congenital blind persons and sighted subjects, Acoust. Sci. & Tech, 2006., Vol. 27, No.5, pp.290-241, 2006.

第 I 章

システムに実装するメッセージの内容と種類の 検討

—聾学校で利用されている校内文字情報表示システムの実際
とその評価を通して—

第 I 章 システムに実装するメッセージの内容と種類の検討

—聾学校で利用されている校内文字情報表示システムの実際とその評価を通して—

1. はじめに

本研究では、障害者基本法における情報機器のバリアフリーと参議院の付帯決議などを受けた課題設定の1つとして、音響のバリアフリーに焦点をあて、公共の場などにおける音声アナウンスをリアルタイムに文字情報に変換する機能を有する携帯可能なシステムの開発を目指している。

共用品推進機構（2003）は、聴覚障害者のニーズを11種類にグルーピングしている。これに基づくと本研究は「施設内外の放送・案内・呼び出しを理解、対応したい（グルーピング項目の5）」、「（家庭や職場、学校の）機器の報知音、通知音を知る（同6-1）」、「事故災害時の情報がいつでもどこでも欲しい（同7）」、「ラジオの音声を理解する（同8-2）」、「わかりやすさ、見やすい表示を充実させてほしい（同9）」に対応する重要な課題と考えられる。

例えば、学校においては、校内放送がこの1例であり、前田（2005）は、筑波大学附属聾学校と東京都立葛飾ろう*学校が、既に、文字表示システムを用いて校内文字放送を開始したことを紹介している。国立特殊教育総合研究所（2006）が行った特別支援教育に必要な教育設備整備の在り方に関する調査研究では「フラッシュライト付き電光掲示板」を聾学校の15.2%が保有し、83.3%が必要な設備に上げていた。さらに、今後必要な設備として「校内放送文字表示システム」を回答した学校のあることが示されていることなどから、さらに普及が求められる分野であり、先の2校の実践が先駆的であることが伺われる。

火災発生など、緊急時の警報を第一の目的として整備されたシステムを一般の校内放送の利用へと発展させた事例（横山、武林、2005）、一般的な内容の情報提供の例として校内LANにWebの掲示板を設置して情報を校内で共有する試み（加藤、2005）や、携帯電話で閲覧可能なホームページを利用する試み（同じく、加藤、2005）が始まっている。

研究協力校は2校ともに、校内LANに接続し、廊下や教室等、校内に配置された表示装置にメッセージが配信されるシステムを有している。東京都立葛飾ろう学校では、プラズマディスプレイ

*正式名称を使用

プレイを用いた「見える校内放送」(例えば, 伊藤, 2006 など)であり, 筑波大学附属聾学校では, 表示装置としてLEDや蛍光表示管(例えば, 横山, 武林, 2005; 横山, 武林, ほか2006)を用いている。

筑波大学附属聾学校は2004年4月よりシステムを稼働させている。当該システムは固定式の文字表示装置が廊下と教室に設置されており, メッセージの内容によって, その配信場所と配信時間帯を事前に設定可能な機能を有している。また, 継続して生徒へのアンケート調査が行われており, 3年間にわたる配信メッセージの記録実績がある。

本研究が目指すものは, 個人が携帯し, アナウンスなどの音声が健聴者にとって聞こえる範囲にいる場合に, 健聴者と同等な情報が保障(補償)されることを目的としたシステムである。このためには, 固定式のシステムで実際に用いられた内容を分析することによって, そこに実装されるべき基本的な情報が得られるものと考えた。

2. 目的

本章では, 以下の2つを目的とする。

第1に, 廊下や教室の固定式の文字放送表示システムに対するアンケート調査から利用者の満足度や改善への期待を明らかにすることで開発に必要なニーズに関する資料を得ること(検討課題1)。第2に, 聾学校における文字放送表示システムにおいて過去3年間に配信されたメッセージを分析することで, 開発されるシステムが実装すべき実用的な配信メッセージの種類や数について明らかにすること(検討課題2)。

3. 検討課題1

3.1 目的

廊下や教室の固定式の文字放送表示システムに対するアンケート調査から利用者の満足度を明らかにする。具体的には, 筑波大学附属聾学校における校内文字放送システムに対する生徒へのアンケート調査により固定式の文字放送表示器を用いたシステムの特徴を捉え, 利用者の満足度や改善への期待を明らかにする。これにより, 本研究が目指す「個人が携帯し, アナウンスなどの音声で健聴者にとって聞こえる範囲にいる場合に, 健聴者と同等な情報が補償される」ことを目的としたシステムへのニーズが同定される。

3.2 方法

ここでは, 筑波大学附属聾学校横山知弘教諭によって実施された「文字放送表示システム評

価アンケート調査」について、本システムの開発のために必要な観点に項目を絞り、新たに分析を行うものである。

今回のアンケートの対象である高等部と専攻科に関して、文字表示装置は、各階の廊下、高等部普通科教室に設置されており、専攻科の教室（ホームルーム）には設置されていない。

文字放送全体のシステムについては横山，武林（2005），横山，武林ら（2006）が詳しい。ここでは文字表示装置について以下に述べる。

この分析では2種類の文字表示装置について検討する。1つは、文字の大きさが96mm角×12文字表示の可能なLED(赤，緑，オレンジ)方式（以下，Aタイプと呼ぶ。）と，もう1つは，文字の高さが35.7mm×11文字表示の可能な「青緑発光」の蛍光表示管（以下，Bタイプと呼ぶ。）方式である。それぞれが校内LANに接続されて，教員などが入力する配信内容，配信スケジュールにより，指定された場所，時間帯に正確に配信・表示される。

なお，分析データの基になったアンケート調査の各項目の概要は表1の通りである。

表1 筑波大学附属聾学校で行われたアンケート調査の各項目の概要

Table 1 List of items described in the questionnaire

項目1	学年と所属
項目2	あなたのホームルーム教室には校内文字放送端末がありますか
項目3	あなたは校内文字放送端末をどんな時に見ますか
項目4	あなたの校内文字放送端末の見方は，（ア. 全ての文を最後まで読む。イ. 自分には関係ないとわかった時点で読むのをやめる）
項目5	あなたは校内文字放送端末からどんな情報を入手していますか
項目6	校内文字放送端末が設置されてからどんなことが便利になったと思いますか
項目7	あなたが校内文字放送端末から入手したい情報にはどんなものがありますか
項目8	校内文字放送端末は高等部の建物の中では、十分な数が配置されていると思いますか
項目9	校内文字放送端末を増設するとしたらどこが良いと思いますか
項目10	校内文字放送端末の読みやすさ（この装置の文字の大きさ，表示1行あたりの文字数，1つのメッセージの文字数，文字が流れる速度）について

表1（つづき）筑波大学附属聾学校で行われたアンケート調査の各項目の概要

Table 1 (continued) List of items described in the questionnaire

項目 11	校内文字放送端末のスクロール表示機能（「表示している」ことがわかりやすい、情報量を増やすために適切な方法である、読み取るのに苦労はしない、情報量を減らしても良いので固定表示に換えた方が良い）について
項目 12	自由記述

3.3 結果と考察

分析の目的は、文字放送表示装置を用いたシステムの特徴を捉え、利用者の満足度や改善への期待を明らかにすることであった。この目的のために、後述するように、利用者を二つの属性によって分類し、それぞれについて、各アンケート項目の回答とクロス集計を行った。まず、回答者の背景を理解するために単純集計の結果を示し、次いで、 χ^2 検定の結果が有意なもの、あるいは有意傾向であった場合について記述し、考察を行う。

3.3.1 利用者属性

ここでの目的のため、利用者を以下の属性でタイプ分けすることとした。①教室（ホームルーム）に文字表示装置が設置されているか（実際には、高等部普通科と専攻科の分類と同じとなる。）。②文字表示装置（校内文字放送端末）への満足の有無（文字表示装置の文字の大きさやスクロールの速さ、文字数などの問いについて、アンケートに「適切」と回答しなかった項目が1つ以上あったグループ）。なお、教室にはBタイプ（Aタイプに比べて文字が小さい蛍光管仕様）が設置されていることから、①の属性では、普段から配信される文字を読み慣れている、自分たちの所有物として身近に感じている場合と、そうでないグループの回答の違いが明らかになると思われた。また、②の属性からは、文字表示装置が読みづらい、あるいは改善の余地があると感じている場合と、現状に満足している場合における回答の違いが明らかになると思われた。なお、Bタイプが設置されている回答者は78名（表3）であった。

3.3.2 回答者について

回答者112名のうちわけは、表2の通りであった。

表2 回答者の学年（専攻科は高等部修了者）

Table 2 Number of participants per their grade levels

	普通科1年生	普通科2年生	普通科3年生	専攻科1年生	専攻科2年生
回答者数	27	25	26	18	16
割合（%）	24.1	22.3	23.2	16.1	14.3

ここで、普通科と回答している生徒の教室には文字表示装置が設置されており、専攻科と回答している場合には、それが無い場合である。なお、専攻科はさらに、造形学科とビジネス学科の2つの学科から構成される。本来、問題とする属性以外は条件統制が必要であるが、ここでは、回答者の聞こえの状態がグループ間でそれぞれ均等に分散すると仮定して、上記の②にある文字表示装置に読み取りにくさを感じているか否かについて分析を進めた。

なお、造形学科とビジネス学科とした回答数は、それぞれ18人、16人であった。

3.3.3 ①の属性について（教室《ホームルーム》に文字表示装置が設置されているか。）

結果は表3の通りであった。3.3.2で述べたように、普通科と専攻科の割合と数字と同じ値である。教室への文字表示装置導入は2004年12月（横山ら，2006）であり、この時点において、普通科1年生で8ヶ月、同2年生と同3年生は、1年11ヶ月の期間において、このような環境にあったことになる。

表3 教室《ホームルーム》の文字表示装置設置の有無

Table 3 Use of the character display in the Home-Room

度数	設置されている	設置されていない
回答者数	78	34
割合（%）	69.6	30.4

3.3.4 ②の属性について

文字表示装置の文字の大きさやスクロールの速さ、文字数などの問いに対する回答として「適切」以外と回答した項目を図2に示す。縦軸が、「適切」以外と回答のあった項目数であり、横軸は個々の回答者を示す番号で、項目数の少ないものから昇順にソートしたグラフである。

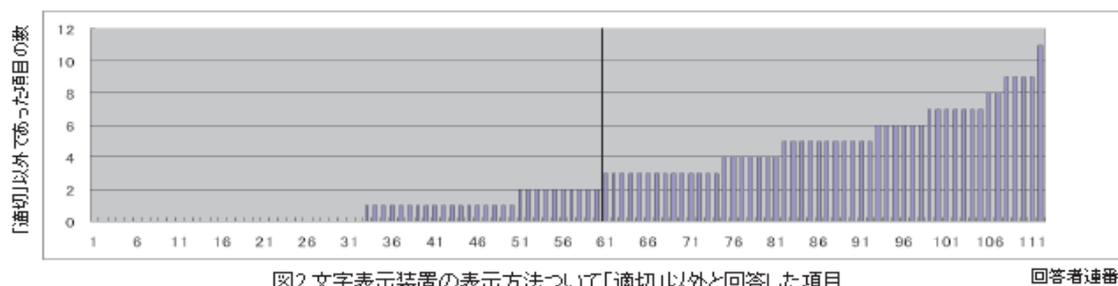


図2に示すように、文字表示装置の属性について全てに「適切」と回答している者は、32名（28.5%）であった。そこで、回答者を、ほぼ満足している回答者群と、なんらかの改善を期待する回答者群に分けることにした。図2より、「適切」以外を選択した質問項目数が3項目を境として群を分けることで両方の群の数がほぼ同数になると思われた。図2の縦の棒線は、その位置を示している。

表4は、上記の群に分けた結果である。

表4 表示装置の属性についての満足度（「適切」以外を選択した質問項目数が3項目を境として）
Table 4 Number of participants who agree/disagree with all the characteristic features of current display system

	3項目未満（ほぼ満足）	3項目以上（なんらかの改善を期待）
回答者数	60	52
割合（%）	53.6	46.4

以降にクロス集計の結果を述べる。

3.3.5 ①教室（ホームルーム）における文字表示装置の設置有無による回答の違いについて

教室における文字表示装置設置の有無で、有意な差が得られた項目は以下の通りであった。なお、複数回答項目は処理から外している。

表5 教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の有無×表示装置（端末）数への満足
Table 5 Students who have a display terminal in the classroom or not × Expectation of having additional displays in the school building

	有り	無し
十分な数が 配置されていると思う	72	17
	3	15

観測度数が5を下回るため、直接確率計算を行った結果、人数の偏りは有意であった（両側検定： $p < .05$ ）。表によれば、教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の無い場合には、端末を増設する必要があると回答して、そうである場合には、十分に配置されていると回答する傾向があるといえる。

表6 教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の有無×Aタイプ（96mm×12文字表示）に一度に表示される文字数（一行あたりの文字数）

Table 6 Students who have a display terminal in the classroom or not × agree with maximum number of characters of of A-type terminal

	有り	無し
適切	70	26
要改善	8	8

χ^2 検定の結果、人数の偏りは有意傾向であった（ $\chi^2(1)=3.41$, $p < .10$ ）。表6によれば、教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の無い場合には、Aタイプの端末に表示される

文字数が適切でない」と回答して、文字表示装置設置のある場合には、適切であると回答する傾向があるといえる。

表7 教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の有無×校内文字放送端末の文字のスクロールについて

Table 7 Students who have a display terminal in the classroom or not × agree with scrole function of the terminal display

	有り	無し
適切	62	22
要改善	11	10

χ^2 検定の結果、人数の偏りは有意傾向であった ($\chi^2(1)=3.64$, $p<.10$)。表によれば、教室（ホームルーム）における文字表示装置設置の無い場合には、校内文字放送システムの文字スクロールの方式に改善の余地があると回答し、文字表示装置設置のある場合は、適切であると回答する傾向があるといえる。

表5に示したことに関連して、アンケート調査では「校内文字放送端末を増設するとしたらどこが良いと思いますか」を聞いている。これに関して、回答は53件あった。そのうち教室に設置されていない群（専攻科）の23件中18件が「専攻科教室」と予想通りであった。他に「トイレ」7件、「体育館」17件、「グラウンド」や「プール」という記述があった。さらに、自由記述部分には「学校は広いので災害が起こった時に、人がトイレや実習室など、表示装置のない場所にいた場合に、耳が聞こえないので何があったかわからない」との記述が見られた。音声による緊急放送が校庭を含めて、校舎の隅々まで伝搬する特質があることを考えると、文字表示器の視覚情報による警報の限界について検討する必要があることを示唆している。

3.3.6 文字表示装置の文字の大きさやスクロールの速さ、文字数などの問いに、「ほぼ満足している回答者群」と、「なんらかの改善を期待する回答者群」による違い

校内文字端末の読みやすさに関する項目10と項目11は、この群の特徴の実体であるので、表8に1例のみを示す。

表8 表示方法に「ほぼ満足」/「なんらかの改善を期待」×Bタイプ（36mm×14文字表示）に一度に表示される文字の大きさ

Table 8 Students who agree with specification of the terminal or not × agree with hight and width of the characters of B-type terminal

	有り	無し
適切	49	6
要改善	27	18

χ^2 検定の結果、人数の偏りは有意傾向であった ($\chi^2(1)=11.48, p<.10$)。表によれば、表示方法に「ほぼ満足している」場合には、文字表示システム (Bタイプ) の文字の大きさが適切であると回答し、そうでない場合には、改善の余地があると回答する傾向があるといえる。

なお、上記の他に、“あなたの校内文字放送端末の見方は、(7. 全ての文を最後まで読む。1. 自分には関係ないとわかった時点で読むのをやめる)”において、改善を期待する群において、途中で読むことを止める傾向がやや ($p=.177$) みられた。

自分に関係のない情報を読まないということは、ある意味でリテラシーが育っているとの解釈が可能である一方で、校内放送は、自分のことばかりでなく、その放送を知った人が、対象となる人に伝えるべきものでもある。読み取ることが辛いため、読むことへの意欲が弱くなった可能性は否定できない。また、音声のアナウンスが、“自然に耳に入る”ことに比べて、文字表示装置を見続ける必要があることから、不要と理解された時に、意識的に、早めに、読む作業を中断するという理由も考えられよう。

総合すると以下のようなことが示唆される。

まず、図2において明らかのように、文字表示方法について全てに満足していた者（「適切」と応えた回答）は全体の1/3以下であったこと、さらに、表示方法にほぼ満足していると思われた群における自由記述に「文字の色を変えて表現できるように」、「文字を大きくして欲しい」、「設置位置が高く、わかりづらい」などの改善案が記述されており、全員に1つの最適なサイズや表示方法を提供することの難しさから、個別化された情報提示方法の実現が重要であることが伺われた。なお、 χ^2 検定の結果は、偶然に有意になる項目があることに留意しなければならないが、教室に端末が設置されている場合とそうでない場合に差異のあることが示唆された。

4. 検討課題 2

4.1 目的

本研究の研究協力校である筑波大学附属聾学校の校内文字表示システムにおいて2004年4月から2006年12月までの間に実際に配信されたメッセージについて分析を行うことで、システムに実装すべきメッセージの内容と種類と数を把握する。

4.2 方法

分析の対象は、目的に述べた配信内容のデータであり、800件あった。校内文字放送システムの配信データは、表計算ソフトであるエクセルをベースとして作られておりエクセルのデー

タとしてファイルに保存される。

この情報には、①配信データ番号、②配信表タイトル、③配信内容、④配信期間、⑤配信時間帯、⑥配信場所、⑦フラッシュ（視覚的警告）が記録されている。

図4 筑波大学附属聾学校校内文字放送システム配信予定表入力フォーム (横山ら, 2006)

分析には、自由記述の分析機能を行うためにF A分析機能のある統合型アンケート集計・分析ソフトであるSSRI社の「秀吉」を用いた。その際に、配信場所データをアンケートソフトウェアの複数回答用のデータ形式に変換するなどの処理を行った。

なお、配信タイトルは配信内容を簡略化したものとなっているため、分析の対象としない。また、非常警戒放送や緊急放送といった火災報知器と連動した放送や天気予報やニュースなどの配信内容を利用者が指定しない内容は入っていない。

4.3 結果と考察

4.3.1 配信時間帯

配信の時間帯は、図4にあるように①始業前、②1時間目休み時間、③2時間目休み時間、④3時間目休み時間、⑤昼休み、⑥5時間目休み時間、⑦清掃時間、⑧15:35-17:45、⑨17:45-18:00、⑩18:00以降となっている。ここでは、始業前のみ、午前中、昼休み、午後と放課後、全時間帯を指定の5つの時間帯に分けて集計した。複数設定が可能のため、重複がある。

表9 時間帯による配信メッセージ数 (2004年4月から2006年12月)

Table 9 Number of delivered messages at the school from 04/2004 to 12/2006 (time line based)

n=800	始業前のみ	午前中	昼休み	午後と放課後	全時間帯を指定
配信メッセージ数	20	785	5	466	94
割合 (%)	2.5	98.1	0.6	58.3	11.8

4.3.2 配信場所

配信場所は、校内文字放送システムが固定された表示装置で構成されることから、場所は限定されており、①1階、②2階廊下、③3階廊下、④4階、⑤1年生教室、⑥2年生教室、⑦3年生教室、⑧職員室、⑨事務カウンタ、⑩中学部玄関となっている。ここでは教室と教室以外に分類しなおして集計した。

表 10 場所による配信メッセージ数（2004年4月から2006年12月）

Table 10 Number of delivered messages at the school from 04/2004 to 12/2006 (location based)

n=800	教室以外	教室
配信メッセージ数	101	699
割合 (%)	12.6	87.4

4.3.3 配信期間

これは同じ配信内容をどれだけの期間内において継続して配信するのを示すものであり、例えば、下校を促す内容などであれば、年間を通して設定される。表 11 に示したデータは、図 4 に示された配信終了日から配信開始日を減じて 1 を加えて算出したものである。したがって、当日のみの配信の場合には計算上 1 となる。期間を 1 日間、2 日間、3 日間、4 日間、5 日間～1 週間、8 日間～1 ヶ月、32 日間～1 年、1 年以上に分類したものである。

表 11 指定された配信期間（2004年4月から2006年12月）

Table 11 Number of delivered messages at the school from 04/2004 to 12/2006 (duration based)

n=799	1日	2日	3日	4日	～1週間	～1ヶ月	～1年	1年以上
配信メッセージ数	408	44	29	26	191	95	4	2
割合 (%)	51.1	5.5	3.6	3.3	23.9	11.9	0.5	0.25

具体的な内容以下のとおりである。1 年程度以上の内容は、”まもなく下校時間です。18:00 までには下校しましょう”(1 年程度)と”昼休みの体育館利用は 13 時 15 分までです”(536 日間)であった。また、”マラソン大会承諾書⇒早めに出してください【担任の先生まで】”(30 日), ”英語検定申し込み手続きの締め切り日は 5 月 9 日(火)です。”(23 日間)などが見られる。一方、1 日のものは、”本日 5 日お昼休み体育館使用種目はバスケットボールです。”などの情報であった。

4.3.4 配信内容分析

配信内容について分類を検討した。

内容を一読すると、まず「何時(いつ)」を表す“本日”“今週”“今月”“～日”“～曜日”，そして、「場所(どこ)」を表す“体育館”など、「誰は」あるいは「誰に」では固有名詞があっ

た。さらに、メッセージの語尾に注目したところ① “です。” ② “します。” ③ “しましょう。” ④ “お願いします。” ⑤ “～となります。” となっており、例外として⑥ “～おめでとうございます。” となどがみられた。

これらを入江 (2004) などによる発話に関する分類 (発話内行為の分類) に対応させることができると考えた。すなわち、断定→②, 行為指示 (懇願、依頼、命令、要求、勧誘、許可、助言、など) →③④あるいは②, 行為拘束 (話し手がある行為を約束するもの) →②, 表出 (お祝い、陳謝、お悔やみ、嘆き、歓迎、など) →⑥, 宣言→②に分類される。ここで②の“します”が複数の分類に当てはまるために、この扱いに注意が必要と思われたが、便宜的に、上記の語尾によって分析を行うこととした。

上記の「何時 (いつ)」「場所 (どこ)」「誰」に加えて、語尾に注目してFA分析を行った。その一覧を表に示す。(*割合の合計は、便宜的に単純な和として計算した。)

表 12 発話に関する分類による配信内容 (2004年4月から2006年12月)

Table 12 Number of delivered messages at the school from 04/2004 to 12/2006 (illocutionary act based)

n=800	断定	行為指示	行為拘束	表出	宣言	合計
配信メッセージ数	574	76	124	4	4	782
割合 (%)	71.8	9.5	15.5	0.5	0.5	97.8

表 13 何時 (いつ)に関わる表現 (2004年4月から2006年12月)

Table 13 Words regarding time (04/2004-12/2006)

n=800	本日	明日	昨日	今週	今月	n日	x曜日	朝	昼	合計
配信メッセージ数	302	11	0	192	0	65	33	0	150	753
割合 (%)	37.8	13.8	0	24	0	8.1	4.1	0	18.6	106.4*

表 14 場所 (どこ)に関わる表現 (2004年4月から2006年12月)

Table 14 Words regarding place (04/2004-12/2006)

n=800	学校	教室	体育館	職員室	n階	事務室	廊下	合計
配信メッセージ数	4	11	278	21	269	2	41	626
割合 (%)	0.5	1.4	34.8	2.6	33.6	0.3	5.1	78.3

5. 結論

以上から以下のことがらが示唆される。

第一に、個別化された情報提示の必要性についてである。これは、3.3.2から3.3.4までにおいて、文字表示方法について全てに満足していた者（「適切」と応えた回答）は全体の1/3以下であったこと、さらに、表示方法にほぼ満足していると思われた群における自由記述に「文字の色を変えて表現できるように」、「文字を大きくして欲しい」、「設置位置が高く、わかりづらい」などの改善案が記述されていることによる。

固定され、”平均化された”最適なサイズや表示方法が否定されているわけではない。その一方で、個別化された情報提示方法の実現が望まれていることが示唆される。

第二に、メッセージの数についてである。メッセージをそのまま利用する場合であれば、配信されたメッセージ数が800件であり、10bitのデータを正確に送ることができれば、最大で1024種類のメッセージを選択することが可能となる。

第三に、メッセージの構成要素についてである。メッセージを要素から構成する場合には、発話に関する分類については5種類（3bit）で98%程度をカバー可能である。時間帯に関する分類であれば6種類（3bit）で、全体のカバーが可能となる。これに日数の30種類（5bit）、曜日の7種類（3bit）、場所については7種類（3bit）で8割程度をカバーするとすれば、18bitが必要となる。さらに人の指名についての情報量が加わる。これについては、在籍生徒数を256名、8bitとすれば、合計で26bitとなる。

将来的には、Web上にある、常に更新されるデータを読み込むようなシステムが考えられる。この場合には、より少ない12bitの情報があれば、特定の16種類のWebサイトのアドレスを記憶し、それぞれのURL毎に16ページの中から、1ページにある16項目のメッセージテーブルの1つを利用するシステムが構築可能である。

これらについて、次の章で明らかになるが、現状では4bps（1秒間に4bit）の情報を音に載せることが可能である。実際には、通信のエラー処理を含めて必要なbit数は増加すると考えられるが、単純計算で、放送時間が3秒間あれば、上記の情報を送信することが可能となる。3秒のメッセージは音声で言えば、例えば「メッセージをお伝えします。」程度の長さの文章を話すことである。

第Ⅱ章

パーソナル音響キャプションデコーダの開発

第Ⅱ章 パーソナル音響キャプションデコーダの開発

1. はじめに

障害者基本法では、情報機器等における障害者の利便の確保を国と地方自治体の責務としており、参議院内閣委員会の同法の付帯決議には、情報機器等のみならず、コンテンツや通信サービスについてのバリアフリー化の実現に向けて万全を期することが明記された。

本研究が対象とする音響のバリアフリーの実現のためには、さまざまな情報補償の方法が考えられよう。例えば、電波を利用した聴覚障害者支援システムに関する調査研究部会（2006）は、音声情報の代わりに、電波を使って、PDAに情報配信を行うシステムの“構想例”を述べている。実現に至っていないシステムについて意見を述べることは控えるが、当該構想が音とは別の電波という媒体を用いること、基本的に、伝える相手が特定できると仮定しているところは、本研究と本質的に異なると考えている。本研究の着眼点は、大変にユニークである。それは、音による情報伝達の特性、すなわち、音が聞こえる範囲にのみ伝わる特性に着目した点である。一般に、情報は、人を特定して伝達されるものであると考えられる。しかしながら、これは、所在に関係なく常にそのPDAを持つ者に何かを伝える、ということではない。

その一例として、ある浜辺の防災用スピーカから流れる津波注意報を考えると、この警報の伝えられるべき相手は、その時間帯に、その場所にいる不特定多数の人となる。音声の警報は、空間を広がることで、視覚情報とは異なり、特定の位置に常に注意を払っている必要なく、その音声の聞こえる範囲の人に向けて発せられる。

このことは警報に限らない。ある本を読んだことがある。そこには、聴覚障害の人が大人になって初めて気がついたことが書いてあったと記憶している。その人が子どもの頃、周りの健聴の子どもたちは、夕方の5時になると、誰に言われるわけではなく、家に帰って行くことが不思議で仕方がなかった。それが夕方のサイレンであり、あるいはサイレンの代わりに「七つの子」の曲であったことを、大人になって、はじめて知ったというものであった。

この音の情報伝達の媒体としての特性を、そのままに活かして、さらに聴覚障害のある場合などの情報補償を行うことが、本研究の主眼である。このための手法として構想したものが音の電子透かし技術である。しかしながら、研究の開始時点において、空気伝搬させた音の電子透かしの解析は未知の領域であった。

2. 研究の経過

研究の開始当時において、東北大学電気通信研究所（以下、通研）における電子透かしの解読のためのリアルタイム処理は、高性能のCPU（演算装置）を搭載したデスクトップコンピュータで実行されており、主には音楽CDなどの著作権データを扱う技術として研究されており、空気伝搬させた音の電子透かしは行われていなかった。

研究を開始した平成16年から平成17年度においては「LDPC符号による音電子透かしの耐性強化に関する研究」として、当時修士課程に在籍していたカクトウ氏により、透かし情報の解読精度の向上方法が明らかにされた。この間、国立特殊教育総合研究所（以下、特殊研）では、実証機に搭載可能なプログラムの完成を待ちながら、通研とのデータ互換を行うためのシステムの準備と合わせて、その応用方法について研究協力校である筑波大学附属聾学校と検討を進めた。第1章に述べた通り、同校が独自に運用を始めていた「校内文字情報表示端末システム」（廊下と教室に電光掲示板が固定設置されたタイプ）の利用状況等から、提示すべきメッセージ等について検討を行ってきた。

このような状況の中、通研において、空気伝搬させた電子透かしデータのリアルタイムの解読処理を行う研究室実演が公開されたのは平成18年10月であった。同研究所において、左右のスピーカから出力される別々の電子透かしデータを、一般的なノートパソコンによって解読することに成功した。そこでは多くの人が入り出す実用に近い状況で電子透かし情報の解読に成功した一方で、その段階で、常に動作が安定していたわけではなかった。このソースプログラムとCライブラリの提供を受け、特殊研においてPDAへの実装に取り組んだ。

次節では、プログラムが実装された「パーソナル音響キャプションデコーダ」の仕様、機能について述べ、認識率などの機能評価について報告する。

3. パーソナル音響キャプションデコーダ

3.1 システム概要

本共同研究の成果として開発された「パーソナル音響キャプションデコーダ」はPDAタイプの携帯コンピュータ（165mm×95mm、600g、重さは補助バッテリー含む。）を本体として動作するもので、スピーカから発せられる音に埋め込まれた電子透かしの解読して、聾学校の校内文字放送システムで用いられるメッセージを表示することが可能となっている。

図3と図4はシステムの外観を示す。



図3 システムの外観



図4 システムの外観 (寸法)

VGN-UX90S は、ハードディスクドライブ等の可動部品を持たない PC である。よって、バッテリーによる連続駆動時間が長く、衝撃に対しても比較的ロバストであるという特徴をもっている。

音電子透かし入りのアナウンスを効率よく得るため、PC 本体のマイク端子には小型マイクロフォンである ECM-DS30P (SONY 製) が装備されている。これには、マイクロフォンとしてバッテリーを必要とせずメンテナンス性に優れているという特徴がある。オペレーティングシステムとしては Linux を採用している。

本システムは、電子透かしの入った音声をデコードする部分と、デコード結果をメッセージとしてが面に表示する部分の 2 つからなる。

デコード部分、表示部分ともに C 言語で記述されている。これは、特に音声すかしのデコードにおいて高速な演算性能が求められるためである。それに合わせ、表示部も C 言語で開発することとした。

これら、2 つの部分はそれぞれ独立したスレッドとして動作し、どのようなタイミングでアナウンスが流れてももれなく情報を取得できるように工夫されている。

それぞれ部分についての詳細は以降の節で述べる。

3.2 デコードスレッド

デコードスレッドは、入力された音声から電子透かしを抽出する機能を持っている。デコードスレッドでは、エコー法のアルゴリズムに基づき電子透かし (8 ビット) を抽出する。今回は 8 ビット中の 4 ビットを使ってメッセージを表現することとした。

残りの 4 ビットをメッセージコードとして表示スレッドに伝達する。ちなみに、この 4 ビットは、将来の拡張用—メッセージ種類の追加、メッセージの優先度の表現、部分的な点滅や色の変更などの装飾—に使用することができると考えている。特殊研は通研よりソースコードの提供を受け、今回の成果物作成のため一部を改変して使用している。

3.3 表示スレッド

デコードスレッドから送られた電子透かし情報は、一度キューに収められる。キューからデコードされた 4 ビットの電子透かしを順に取り出して、表示処理を行う。

この仕組みにより、一度に大量の情報が伝送されてきた場合でも、メッセージを確実に表示できるように工夫してある。4 ビットの電子透かしに対応するメッセージをデータファイルか

ら探し出して画面に表示する。

画面表示は、大きく分けて2つの領域からなる。図4の画面で「受信中」と赤字で表示されている部分は、音電子透かしが付与されたアナウンスを、受信していることを利用者に知らせるためのインジケータである。

受信中は赤く表示され、非受信中は何も表示されない。もう一方の領域が、メッセージ表示部である。この部分に放送の内容が表示される。メッセージは、右から左に向かってスクロールするようになっている。

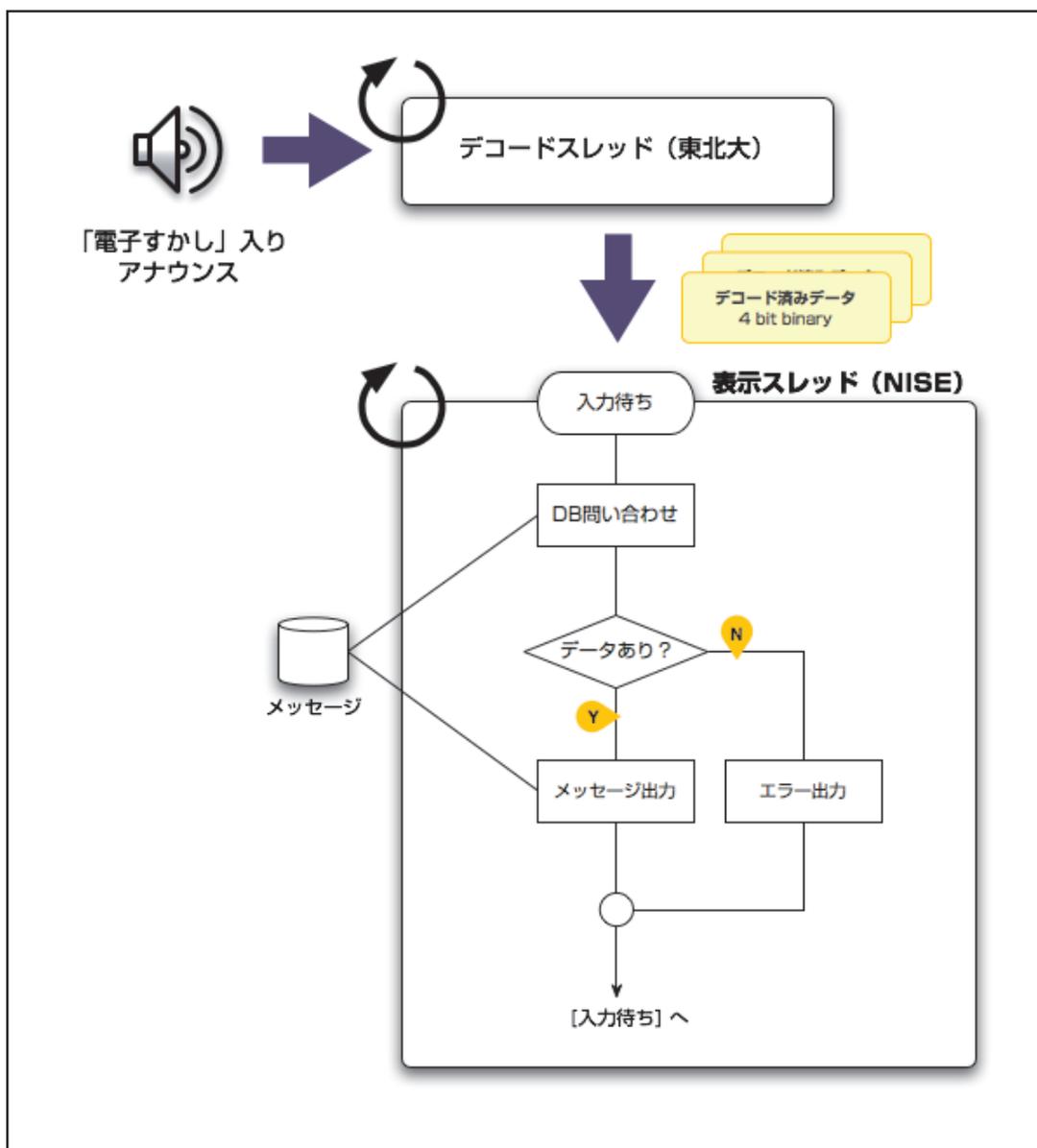


図5 動作説明図(フローチャート)

3.4 本システムの動作について

前のページの図5と、図6は、本システムの動作を説明したものである。

スピーカから流れる「電子透かし」は、現在のところ、エコー法という方式を用いて音声信号に組み込んでいる。

図5のスレッドと書かれている部分は、デコード処理と表示処理を平行して（マルチスレッド）処理を行うことでビット認識のタイミングを逃さないように工夫した。デコードスレッドと書かれている部分のリアルタイム処理部分は東北大学大学院阿部俊一郎氏によるものであり、表示スレッドのプログラムは国立特殊教育総合研究所の山口俊光によるものである。



図6 動作説明図（操作）

現在は4bps（1秒間に4ビットの情報）で電子透かし情報が組み込まれており、本デコードシステムは、このデータを読み取って、対応するメッセージを画面上に表示する仕様になっている。

第1章で明らかなように、表示する文字の大きさや、色、表示する文字の個数など、それぞれの利用者に個別化して提供することが望まれる。本システムは、個人が利用する端末であり、それらの個別化が可能な構成となっている。

エコー利用型の電子透かしは、人間が、直接音と反射音（エコー）の時間差が短い場合に、両方が融合して聞こえることを利用しており、図7に示すように、直接音と反射音の時間差を変えることで情報を埋め込む手法である。詳細は、第IV章に説明を行う。

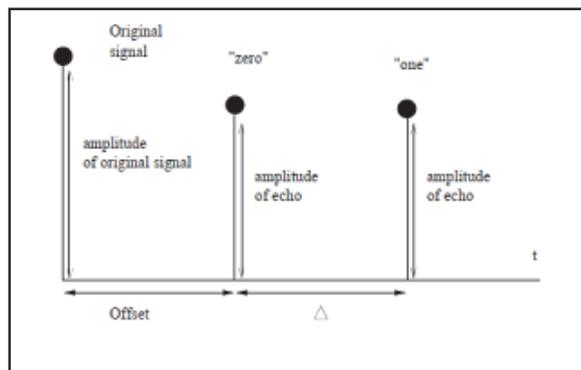


図7 エコー法によるビット表現

(カクトウ氏の修士論文より引用)

4. 評価実験

4.1. 目的

本システムが音電子透かしの受信ならびに埋め込まれたコードの実用に耐える解読機能を有することを、学校等の実際の建物や、グラウンドなどを想定した状況で行う評価実験により明らかにする。

4.2 方法

エコー法にて電子透かしを埋め込んだホワイトノイズをデータとして使用した。サンプリング周波数は44.1kHz、ビットレートは1,411kbpsのwav形式のファイルであり30秒間でファイルサイズが5.05MBである。これを繰り返しモードで再生して用いた。

データは、4bpsでデータが埋め込まれており、8bitを1単位として読み込み、その中の4bit部分にあるデータが8回正しく認識できた場合を“正しく認識”したと判断した。



図8 音源として使用したスピーカと音楽プレーヤ



図9 音圧を測定した精密騒音計

図8は音源である。実験における装置の可搬性を考慮してスピーカは単3電池4本で駆動する携帯可能な製品（Sony製SRS-T77）とした。また、同様な意図により、ホワイトノイズの再生はSony Walkman NW-E40Sを用いた。

音圧レベルの測定は、図9にある小野測器製精密騒音計LA-500を用いた。測定範囲は27～130dBであり、周波数範囲は20～12500Hzである。

4.3. 結果と考察

4.3.1 屋内における評価

国立特殊教育総合研究所の実験室と無響室においてシステムの動作を確認した後、屋内における評価実験の場所として、国立特殊教育総合研究所研究管理棟 1F を選定した。これは直線距離で70mを越える廊下があることに加えて、大きさの異なる大小の部屋があること、数カ所の曲がり角があるなど、実用化に向けて、様々な条件を確認することが出来ると判断したからである。平面図は、図10のとおりであった。

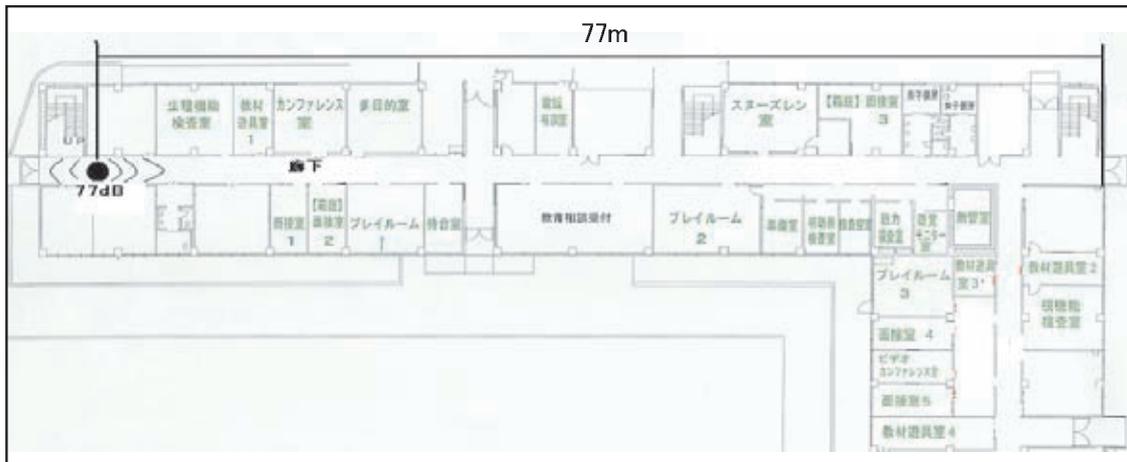


図10 屋内での評価実験場所（国立特殊教育総合研究所研究管理等1F）

図10の左端に見える黒丸を音源の場所として、図に示した位置において、音圧と認識率を確認した。結果は、図11のとおりである。赤い楕円は、電子透かしを正しく認識した測定場所であり、数字は、そのときの音圧レベルであり、赤い×印の入った四角は認識不能領域である。なお、青色に塗ってある部屋はドアを閉めて壁と同様としたものである。

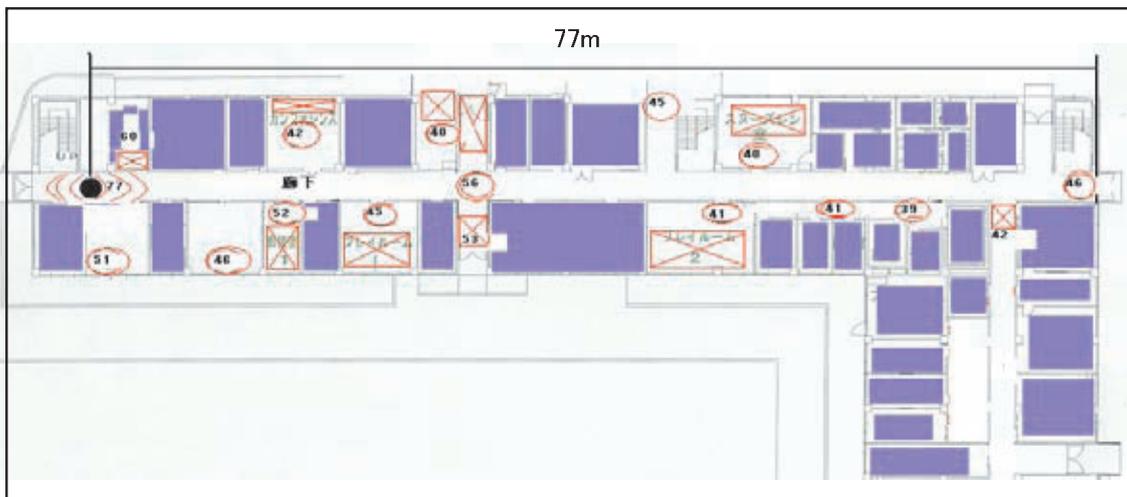


図11 屋内での評価実験結果

右端にある“46”と書いてある場所は音源から77mの距離が最大値であったが、実際には、物理的に、その先に進むことができない限界値であった。

結果から、40dB程度までは電子透かしを正しく認識することが観測された。一方、図にあるように60dBを越える音圧において、認識が行われない場所があった。その拡大図が図12である。図に書かれた60と52は、それぞれ音圧であり60dBと52dBの音圧があったことを考えると十分に認識可能な音圧レベルを思われた。エコー法は人工的に作成したエコーを透かしとして埋め込む手法であるため、実際の壁などにより生成される現実のエコーと干渉が起きていると考えられた。

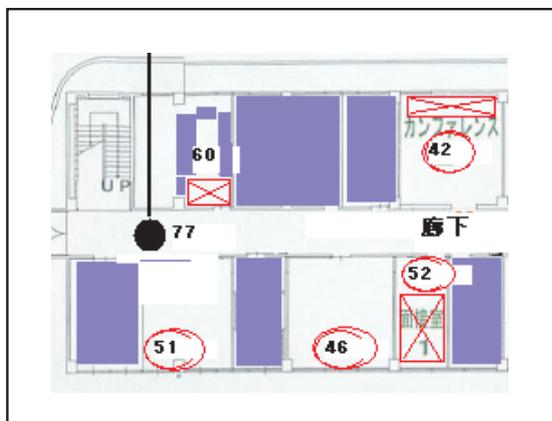


図12 屋内での評価実験結果（一部拡大）

より生成される現実のエコーと干渉が起きていると考えられた。

このことから、屋内において認識を行うためには、認識を行わせようとする部屋の大きさによる現実のエコーと、電子透かしとして人工的に付加するエコーの特徴に配慮する必要があると考えられた。

4.3.2 屋外における実機評価

屋外での評価は研究所の南庭で行われた。図13は、南庭の様子である。南庭は草などが生え、また、煉瓦の歩道が作られていることなどから、ここでは、実地の様子を説明する目的で、Google Earthによる研究所の写真を利用した。

図13に四角に囲った部分は1辺が32mの部分である。音源が90dBのときに、この領域は40～50dB程度の音圧が届く範囲であった。その一方で、音源を止めた際の音圧レベルは、35～60dBであり、実験者の耳にはホワイトノイズの存在が確認されていたが、音圧レベルからするとホワイトノイズのレベルと殆ど同程度の雑音があったことになる。



図13 屋外での評価実験場所（国立特殊教育総合研究所南庭）

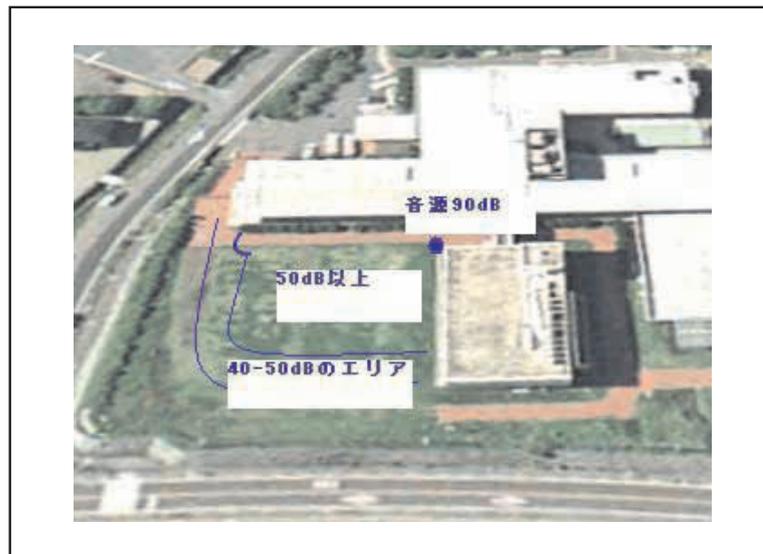


図 14 屋外での評価実験結果

実験結果を、図 14 で説明する。電子透かしが正しく認識された部分は、図 14 に示した 50dB 以上のエリアにおいてであった。40～50dB のエリアでは認識のエラーが生じた。また、図 14 の緑色の部分は草地であり、すこし赤茶色に見える部分は煉瓦の床である。この煉瓦の部分では、40～50dB のエリアにおいても、電子透かしが正しく認識された。

5. 結 論

屋内の実験では最小で 40dB 程度という、図書館内の騒音レベルとされる程度の小さな音圧のデータから電子透かしを認識し、46dB の音圧では、音源からの距離が直線ではあったが 77m を記録し、廊下の長さの限界が無ければ、最小で 40dB の音圧で認識していることから、さらに大きな距離での認識が可能であったのではないかと考えられた。

その一方で、屋内での利用にあたっては、人工的に付加したエコーと部屋の大きさを考慮すべき事が明らかになった。

屋外では 50-55dB、距離として音源から 32m の位置で認識が可能であった。このことは、学校であれば、グラウンドの屋外放送への適用や、サイレンなどの警報への適用の可能性を示した結果と考えられる。

今回の実験では、音電子透かしの空気伝搬の耐性に関する当初の予想を大きく上回って、実用化に迫る成果を上げたものと考えている。

第三章 まとめ

第Ⅲ章 まとめ

1. まとめ

本研究は、障害者基本法に盛り込まれた情報の利用におけるバリアフリー化を目指す一環として聴覚障害者を主な対象とした情報補償システムの開発を目指したものであり、音の電子透かし技術に関する特許と研究実績のある東北大学電気通信研究所と国立特殊教育総合研究所の共同研究として行われたものである。

研究協力校である筑波大学附属聾学校における校内LANを活用した文字放送システムの運用において明らかになった知見を盛り込みながら、システムが実装すべきメッセージの内容と必要な情報量について検討した。

その結果、東北大学で開発された電子透かしの技術を実装することで、実用性の高いシステムの試作に成功した。

本共同研究の成果として開発された「パーソナル音響キャプションデコーダ」はPDAタイプの携帯コンピュータを本体として動作するもので、校内放送などのスピーカから発せられる音に埋め込まれた電子透かしを解読して、聾学校の校内文字放送システムで用いられるメッセージを表示することが可能となっている。

屋内では、最小40dB程度という、図書館内の騒音レベルとされる程度の小さな音圧のデータから電子透かしの認識しており、46dBの音圧において、音源からの直線距離では77mを記録した。この実験では、実験した廊下の長さが足りないという物理的な限界による数値であり、この実験では最小で40dBの音圧において電子透かしの認識していることから、さらに大きな距離での認識が可能であったのではないかと考えられた。

屋外では50-55dBの音圧、距離として音源から32mの位置で電子透かしの認識することが確認された。

音電子透かしの空気伝搬の耐性に関する当初の予想を大きく上回って、実用範囲となる成果を上げたものと考えている。

これらの成果を活用すると図15に示すような活用場面が現実味をもってくるように考えている。

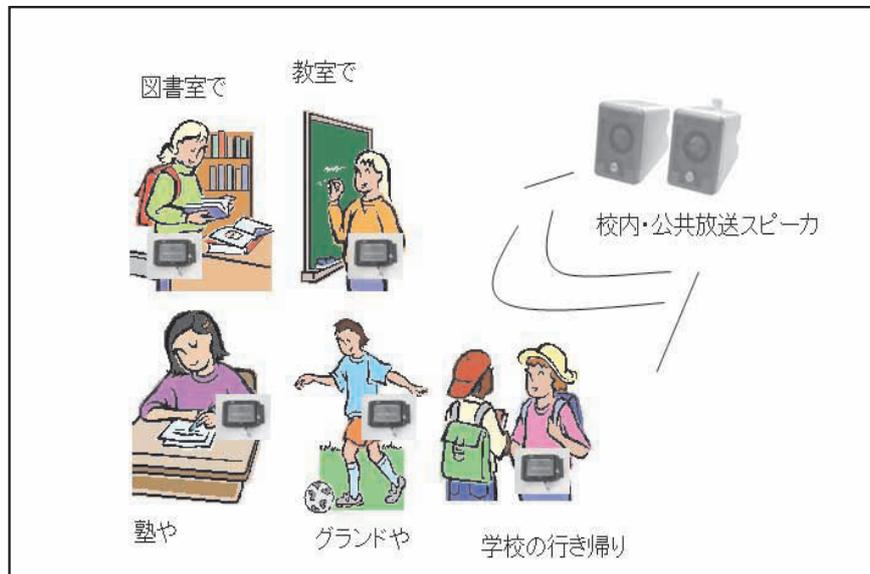


図 15 期待される活用場面

2. 今後の課題

本研究では、音電子透かしのデコードに主眼をおいて研究を進めることで、「パーソナル音響キャプションデコーダ」の開発に至った。現在用いているエコー法に代えて、より空気伝搬耐性の強いエコー拡散法の導入が1つの課題である。これに関して、東北大学での本年度後半の研究成果により、エコー法を発展させたエコー拡散法による電子透かしによって空気伝搬耐性が向上する（東北大学半田浩規氏による東北大学卒業論文）ことが示されており、今後、より一層の性能改善がはかれるものと期待している。

さらに、これを通常の携帯電話において実現させる JAVA アプリケーションが実現することで、本研究が望んできた音響のユニバーサルデザインに関する製品を世に送り出すことにつながると思っている。これについて、現在は PDA の CPU パワーの 10～20% がデコード処理に当てられているようであるが、携帯電話の処理速度の向上への期待と、実際に、どこまで効率の良いプログラムが組めるのかが今後の重要な点となると思われる。

次いで、音電子透かしのエンコード過程の自動化とリアルタイム化を検討である。現在は、送信可能なデータ量に制限があり、登録した内容へのインデックスとして必要最小限のデータを生成して送信することを考えている段階であるが、さらに多くの情報を埋め込むことが可能

になれば、リアルタイムの音声認識システムとの連携が視野に入ってくる。電波を利用した聴覚障害者支援システムに関する調査研究会（2006）が提案している電波を利用したシステムの構想においても、アナウンス側の音声認識の容易さを利用したシステムの構築が提案されている。全く同感である。

図16は、本研究における音響のバリアフリー技術の概念図と音電子透かし技術の位置付けのイメージ図である。電波利用方式によれば、大量のデータを正確に伝達することが可能である反面、「音」を媒体にするというメディアの同一性は、完全に損なわれる。一方、公共放送などをリアルタイムで音声認識することは、実用に耐えるデータの正確性を確保することが難しい。このように、現状においてさまざまな技術のある中で、健聴者の聞く音と同じメディアを使うこと、すなわち、音のユニバーサルデザインを目指す意味で、メディアの同一性は我々にとって重要な目標であった。今後、さらに音質を落とさずに、搬送可能なデータ量や正確さを増すことにより、現状のメディアの同一性とデータの正確性のギャップを埋める手法になると考えられる。

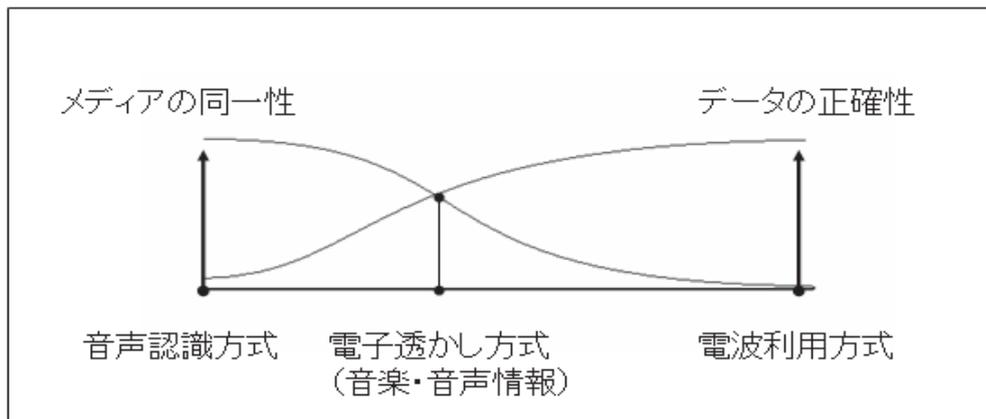


図16 音響のバリアフリー技術の概念図と音電子透かし技術の位置付け

今後は、当然のことながら、実際に校内文字放送システムとの長期的な使用を経た比較実験を行うことは重要である。新技術は、生態学的な妥当性を探ることが大切であり、普段の活用を継続してモニターすることで、次に必要な目標が見出させるものと考えられる。実際に聾学校などにおいて活用が始まれば、メッセージデータをWeb上に配置することで常に新しい情報を参照可能にすること、現在PDA上で動作するシステムを普及型の携帯電話上のアプリケーションとして利用することなど、本システムの完全実用化への取り組みに合わせ、一般ユーザも便利に利用可能であることを踏まえて、学校内での利用を越え、緊急公共放送や駅の構内などにおける音声データへの電子透かしの応用など視野に入れた音響のバリアフリーの規格化など、新たな課題が見出されるものと期待している。

3. 参考文献

- (1) 電波を利用した聴覚障害者支援システムに関する調査研究会：電波を利用した聴覚障害者支援システムに関する調査研究会報告書，2006.
- (2) 半田浩規：エコーに基づく音電子透かしの空気伝搬耐性に関する検討，東北大学卒業論文，東北大学工学部情報工学科，2007.
- (3) 入江幸男：2004年度1学期「問答の意味論的分析 1」 <http://www.let.osaka-u.ac.jp/~irie/kougi/tokusyuu/2004ss/2004ss02introduction.htm>，2004.
- (4) 伊藤 守：ろう学校におけるITの活用について，平成17年度Eスクエア・エボリューション成果発表会分科会G資料，2006.
- (5) カノウ：LDPC符号による音電子透かしの耐性強化に関する研究，東北大学審査修士学院論文，東北大学大学院情報学研究科システム情報科学専攻，2006.
- (6) 加藤友仁：生活に生かせる視覚情報の活用能力を育成する，聴覚障害，Vol.60, No.649, 17-27, 2005.
- (7) 国立特殊教育総合研究所：文部科学省委託研究「特別支援教育に必要な教育設備整備の在り方に関する調査研究」の盲・聾・養護学校における特殊教育設備整備のあり方に関する調査研究 研究報告書，2006.
- (8) 前田直弘：井戸端会議のメーリングリスト－the Teachers of School for the Deaf 2-mailing list－，聴覚障害，Vol.60, No.650, 28-36, 2005.
- (9) 横山知弘：校内LANを活用した文字放送システムの導入について，聴覚障害，Vol.60, No.649, 28-34, 2005.
- (10) 横山知弘，武林靖浩：校内LANを活用した文字放送システムの導入について，筑波大学附属聾学校紀要第27巻，121-128, 2005.
- (11) 横山知弘，武林靖浩，三好博文，梶川雄司：校内LANを活用した文字放送システム(L-CAST)の運用について，筑波大学附属聾学校紀要第28巻，(web: <http://www.deaf-tsukuba.ac.jp/ceremony/kiyo2005.pdf>)，2006.

第Ⅳ章 研究資料

1. 半田浩規：エコーに基づく音電子透かしの空気伝搬耐性に関する検討，東北大学卒業論文，東北大学工学部情報工学科，2007

本論文は，カクトウ氏の修士論文「LDPC符号による音電子透かしの耐性強化に関する研究」に続いて東北大学において取り組まれた研究の1つであり，空気伝搬を目的とした音電子透かしの組み込み方式としてエコー法よりも，エコー拡散法（PN系列が2⁵）が優れていることを実験的に明らかにするなど，今後の音響のバリアフリー技術開発に重要な貢献が期待されるため研究資料として掲載する。

東北大学卒業論文

エコーに基づく音電子透かしの
空気伝搬耐性に関する検討

2007年3月27日
東北大学工学部
情報工学科
半田 浩規

目次

第 1 章 序論	41
1.1 研究背景	41
1.1.1 はじめに	41
1.1.2 ユニバーサルデザイン	41
1.1.3 聴覚障害者補助システム	42
1.2 電子透かし	43
1.3 本研究の目的	43
第 2 章 エコーに基づく音電子透かし	45
2.1 はじめに	45
2.2 埋め込み手法	45
2.2.1 エコー法	45
2.2.2 エコー拡散法	46
2.3 空気伝搬実験	49
2.3.1 実験方法	49
2.3.2 提示音圧レベル	49
2.3.3 エコー法	52
2.3.4 エコー拡散法	54
2.4 雑音耐性実験	55
2.4.1 はじめに	55
2.4.2 エコー法	55
2.4.3 エコー拡散法	57
2.5 拡散長の変化による検出性能の優劣に関する検討	58
2.5.1 はじめに	58
2.5.2 評価指標 d'	58
2.5.3 実験方法	59
2.5.4 空気伝搬	60

2.5.5	雑音耐性	61
2.6	まとめ	63
第 3 章	エコーに基づく音電子透かしの空気伝搬による性能劣化に関する検討	65
3.1	はじめに	65
3.2	劣化要因	65
3.3	劣化量に関する検討	67
3.3.1	デジタル・アナログ変換	67
3.3.2	妨害音	68
3.4	チップレートに関する耐性強化	69
3.4.1	はじめに	69
3.4.2	実験方法	69
3.4.3	検出性能評価実験	70
3.5	雑音耐性に関する検討	70
3.6	まとめ	72
第 4 章	結論	73
	謝辞	75
	参考文献	77

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 はじめに

視覚障害者のための点字ブロックや、車椅子生活者のためのスロープ等、我々は日常生活の中でいたるところで、日常生活に何らかの障害をもった人のための設備というものを目にする。このような「障害者に対してより快適な生活を提供する」、「障害者に対するバリアを減らす」ことを目的とした運動のことをバリアフリーデザイン、または単にバリアフリーと呼ばれる。しかし、近年の米国においては「バリアフリー」という言葉は、障害者のみが使う仕様を意味するものとして否定的に捉えられており、肯定的な用語として「ユニバーサルデザイン」が用いられている。これは、機会均等の議論における「分離されているは平等ではない」という概念に起因する。欧州および日本では、バリアフリーは肯定的で幅広い表現であるユニバーサルデザインを意味する用語として用いられていたものの、欧州では1967年以降、「デザインフォーオール (design for all: すべての人のためのデザイン)」のほうが一般的となっており、日本でも、「ユニバーサルデザイン」が広く使われている。

1.1.2 ユニバーサルデザイン

ユニバーサルデザインという言葉は、米国で RonMace(1985) によって初めて使われた。意味は、デザインにおける機会平等と社会公正を示すというものである。つまり、製品、建築物、環境を、障害、年齢、性別等、人が持つそれぞれの個人の特性というものを超えて、できるだけすべての人があらかじめ使えるようにデザインしようとする概念である [1]。この用語は障害者に限定しているという差別的でなく、幅広い用語として用いることができる。

文字が大きく書かれた道路標識はこの一例で、視力が低下した人に対してという側面はあるが、誰もが分かりやすく、認識しやすいという理由から、文字の大きい道路標識

が設置されている。他にも、車椅子利用者だけでなく妊婦やお年寄りなど誰でも安心して使える多目的トイレなどが例として挙げられる。つまりユニバーサルデザインという考え方を適用すると、はじめから様々な個人の特性を考慮してデザインすることによって、あらゆる人が快適に暮らせるようになるだけでなく、個々の特性に応じたモノを新たに作る必要がなくなる。

1.1.3 聴覚障害者補助システム

聴覚障害者にとって、公共の場にて流れる公共放送(アナウンス音)は聞き取りにくい、あるいは聞き取ることができないものである。すなわち聴覚障害者は、音声など日常に存在する音による情報を得ることができないということが出来る。例としては、駅のホームにおける電車の到着を知らせるアナウンス音が挙げられる。ユニバーサルデザインの考え方に基づいて、聴覚障害者にも報知内容を届ける場合、次の2種類の方法が考えられる。方法のうち1つはアナウンスされる情報を電子メールのような形で無線にて知らせるという方法である。しかし、これでは、アンテナの設置などの施設設備が必要である。また、聴覚障害者が聞くことができないアナウンス音が存在するのは駅のホームだけではなく、日常で数多く存在し、さまざま場所で、このシステムを適用させるとなるとコスト面の負担はなおのことである。つまり、技術的には正確に伝達することができるかもしれないが、コストの面で現実的ではない。

もう1つの方法は、公共放送の音信号自体に、情報を付加し、聴覚障害者の持つ携帯端末などで情報を抽出することで、音声による情報をディスプレイ上に視覚的に提示する方法である。この場合、アンテナ等の新しい通信機器が必要とならないのに加えて、情報の伝達手段として音を用いていることで、よりユニバーサルデザイン環境が実現可能である。また、この方法を用いると、聴覚障害者のためだけでなく、例えば外国において、外国語のアナウンス音の意味が分からない場合、付加情報により母国語に翻訳されて画面に表示されるといったことにも応用可能である。さらに、この方法が発展した場合、日常に存在するありとあらゆる音を携帯電話等の端末に取り込むだけで、音声で伝達されている情報と同一の情報を得ることが出来るというユビキタスな環境を実現できる可能性もある。

情報を付加する方法として、人間には聴くことのできない高周波数帯域を用いて情報の伝達をすればよいということも考えられるが、駅のプラットホーム等公共施設に設置されている市販のオーディオ機器では超音波を再生録音できるものは少なく、結局新し

い通信デバイスを設置する必要が出てくる。つまり、一般のスピーカ・マイクでも扱うことができる可聴域に、情報を付加しなくてはならない。この条件を満たす技術として音電子透かしがあり、本論文では、ユニバーサルデザインに向けた聴覚障害者補助システムを起因とした、よりユビキタスな環境の実現のための音電子透かしの検討を行う。

1.2 電子透かし

紙幣の本物か偽物かを見分けるのに、色合いやインク、紙質などの印刷条件と紙幣番号、透かしなどの付加条件がある。特に自動販売機などにおいて本物か偽者かを機械的に判定するうえで、この透かし模様は必要不可欠な情報となっている。この概念をマルチメディアに応用したものが電子透かし (digital watermark) である [2]。

つまり電子透かしとは、画像や動画、音声などのマルチメディアデータに、画質や音質にほとんど影響を与えずに透かしとして付加情報を埋め込む技術である。現在用いられている主な電子透かしの利用目的は、著作権保護であり、埋め込む情報として、コンテンツの著作権を所有しているということを記録する著作権情報や、コンテンツの所有者が不正コピーを行った場合のそのコピーをした人を特定するために利用される購入者情報、コンテンツを人から人、コンピュータからコンピュータに受け渡されるたびに、そのユーザの識別符号を記録し、不正コピーされたコンテンツの流通経路を調査するために利用される利用者情報などがある。

このような利用法において、音電子透かしに求められることは、著作権情報などの埋め込まれた透かし情報が欠落しないまま永久に保存されることである。そのためには、コンテンツの編集、圧縮、切り出し等デジタルデータを扱う上で行う操作に対して情報が失われないこと、改ざん、消去などの悪意ある攻撃に対しても情報が失われないことが必要となる。

1.3 本研究の目的

音電子透かしの聴覚障害者補助利用を考えたとき、音電子透かしの特性として、以下のことが重要となる。

1. 空気中を伝搬しても、透かし情報が正しく検出されること。
2. 埋め込み前の原信号を必要としない検出ができるブラインド、セミブラインドな音電子透かしである。

3. 情報を提示するのに十分なビットレートで伝送できること.

ここで、ブラインドな音電子透かしとは、透かしを検出する際に原信号や鍵を必要としない音電子透かしであり、セミブラインドな音電子透かしとは、原信号は必要としないが、秘密鍵を必要とする音電子透かしのことをいう。

つまり、著作権保護技術のための電子透かしの場合とは異なり、以上の3つに適した音電子透かしが必要となる。もちろん電子透かしを埋め込んでも知覚されないようであればよりよい埋め込み手法ということができる。本研究の目的は、提案されている音電子透かしの中で、上記の条件を考慮した上で適していると考えられるエコーに基づく音電子透かしを用いて、どの程度の検出性能を有しているのかの検討を行うことと、その空気伝搬過程における検出性能の劣化要因を探り、その改善策の検討を行うことである。本論文の構成は以下のようである。

第1章は序論である。ここでは、本研究の背景および電子透かしについて述べる。第2章では、エコーに基づく音電子透かしの埋め込み手法について述べ、どの程度空気伝搬に対する耐性の検討を行う。第3章では、空気伝搬時における具体的な劣化要因を挙げ、どの程度影響するのかという検討を行い、その改善策について検討を行う。第4章は結論である。

第2章 エコーに基づく音電子透かし

2.1 はじめに

エコーに基づく音電子透かしとは，時間軸方向へのマスクング効果 (temporal masking) を利用した電子透かし埋め込み手法である。人間は，強い音の前後に存在する微弱な音を人間は知覚できない。この効果を継時マスクングという。また，強い音の直前におけるマスクングのことを逆向性マスクング (backward masking)，強い音の直後におけるマスクングのことを順向性マスクング (forward masking) といい，逆向性マスクングは5～20 ms 以内で発生し，順向性マスクングは直後の 50～200 ms 程度において発生する [2]。エコーに基づく音電子透かし埋め込み手法とは，この知覚されない時間帯に人工的にエコーを付加し，情報を埋め込む手法のことを指す。本章では，エコーに基づく音電子透かしの基本的な埋め込み手法であるエコー法と，エコー法を発展させた埋め込み手法として，エコー拡散法について説明するとともに，これらの埋め込み手法に関して実際に空気伝搬を行った場合，どのような特性を示すのかについて検討した。

2.2 埋め込み手法

2.2.1 エコー法

Bender らは，順向性マスクングを利用してエコーを埋め込む電子透かし埋め込み手法を提案した [3]。原音の微小時間後にエコー信号を挿入したとき，その原音信号とエコー信号の間隔が減少するに従って人間の耳にはそれが同一のものとして感じられ，その区別ができなくなる。

このエコー法を用いて情報を埋め込む際に必要となるパラメータは，図 2.1 のようにエコー信号の初期振幅とオフセット時間である。初期振幅は”0”及び”1”を表すエコー信号の振幅，オフセット時間は原信号からエコー信号までの時間差である。ここで，”0”を

表すエコー信号と”1”を表すエコー信号の時間幅を Δ とする。すなわち、オフセットで表す時間間隔を透かし情報によって切り替えることにより、エコーによって透かし情報を埋め込むことが可能となるのである。また、図 2.1 のような原音とエコー信号でできるエコーカーネルと、原音信号との畳み込み処理によって、透かしの入った音信号が作られる。

エコーを埋め込む際に、原信号をある小区間に分割し、それぞれの区間に”0”と”1”のどちらを埋め込むか決定する。その小区間の量が透かしの情報量となる。例えば、1秒間に小区間が5つであれば(0.2秒の各小区間)、1秒間で5ビットの情報を伝送することができる。

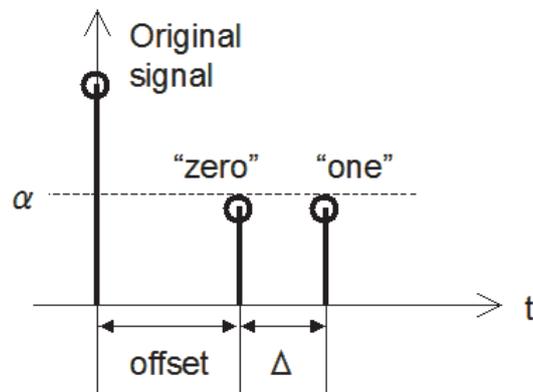


図 2.1: エコー法におけるエコーカーネル

また、埋め込まれている透かしを検出する方法としては、ケプストラム変換 (FFT \rightarrow log \rightarrow IFFT) を用いる。情報を埋め込んだ信号のケプストラムを求めると、ある時間間隔でインパルスが立つ。その時間間隔によって”0”と”1”のどちらのエコー信号に対応する間隔なのかを判断し、埋め込んだ透かし情報を検出する。

2.2.2 エコー拡散法

エコー拡散法は、高らによって提案されたもので、前節で説明したエコー法による電子透かしを発展させ、耐攻撃性および秘密性を高めた手法である [4]。エコー法の問題点は、検出する性能を高く保つためにはエコー信号の振幅をある程度大きくしなければならず、聴感上の音色に影響を与えてしまう可能性があることや、ケプストラム変換を行うことで透かし情報を得ることができ、攻撃者にとって検出が容易であることが挙げられる。この欠点を改善するために、図 2.2 のように透かし情報である振幅 α のエコー信

号を PN 系列を用いて時間軸で拡散させることを考える。長さ L の PN 系列にて拡散された拡散エコー信号の振幅は、PN 系列と相互相関をとることによる逆拡散処理により、従来のエコー法におけるエコー信号と同じ振幅に復元されるため、単発エコーの振幅の $1/L$ の大ききで同等の検出性能を見込むことができる。つまり、エコーを埋め込む際の総エネルギー量は、埋め込み強度と拡散長で表すことができる。例として、エコー法において埋め込み強度： α 、エコー拡散法において拡散長： L のときの埋め込み強度： β 、とし、埋め込む総エネルギーが等しい場合、式 (2.1) のように表せ、埋め込み強度の 2 乗に拡散長 L をかけたものと等しくなり、同等の検出性能を見込んだ場合、全体的に埋め込む総エネルギー量を小さくすることができる。

$$\alpha^2 \approx \beta^2 \cdot L \quad (2.1)$$

このような埋め込み手法のことをエコー拡散法といい、従来のエコー法に比べ全体的に埋め込むエネルギーを小さくでき、聴感上の音色に対する影響を少なくすることができる。また、検出は、エコー法と同様に信号に対してケプストラム変換を行った後、埋め込みの際に拡散させた PN 系列と同じ PN 系列との相互相関をとることにより埋め込んだ透かし情報を得る。つまり、使用された PN 系列は、透かし情報を音信号から検出するための秘密鍵となっており、エコー法よりも耐攻撃性および秘密性を高めた手法であるといえる。

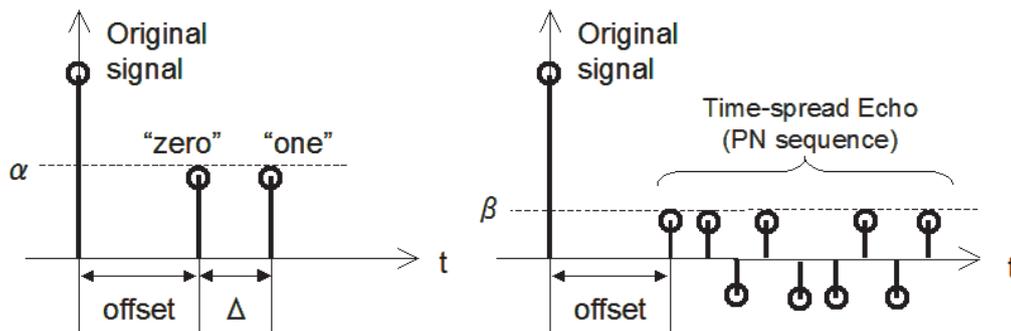


図 2.2: エコー法におけるエコーカーネルとエコー拡散法におけるエコーカーネル

以下では、エコー拡散法の埋め込み、および検出の原理を数式を用いて説明する。まず、エコーを生成するためのエコーカーネル $k(n)$ は、PN 系列 $p(n)$ 、拡散エコーの振幅 β 、拡散エコーの遅延量 Δ を用いて式 (2.2) のように表される。

$$k(n) = \delta(n) + \beta p(n - \Delta) \quad (2.2)$$

また、透かしの埋め込み処理は、このエコーカーネルと原信号との畳み込み処理によって行われるので、原信号を $s(n)$ とすると、透かし入り信号 $w(n)$ は式 (2.3) で表される。

$$w(n) = s(n) * k(n) \quad (2.3)$$

また、検出の際には、透かしの埋め込まれた信号に対しケプストラム変換を行う。フーリエ変換 $F[\cdot]$ 、および逆変換 $F^{-1}[\cdot]$ を用いて、式 (2.4) と書けるとする。

$$W(\omega) = F[w(n)], \quad S(\omega) = F[s(n)], \quad K(\omega) = F[k(n)] \quad (2.4)$$

ω は角周波数である。まず、式 (2.3) をフーリエ変換すると、畳み込み演算が乗算演算となり、式 (2.4) を用いて式 (2.5) になる。

$$W(\omega) = S(\omega)K(\omega) \quad (2.5)$$

次に対数をとることにより、乗算演算がさらに加算演算となり、式 (2.6) になる。

$$\log W(\omega) = \log (S(\omega)K(\omega)) = \log S(\omega) + \log K(\omega) \quad (2.6)$$

最後に逆変換を行うことにより、式 (2.7) となる。

$$F^{-1}[\log W(\omega)] = F^{-1}[\log S(\omega)] + F^{-1}[\log K(\omega)] \quad (2.7)$$

このとき次元は、ケプストラム変換の前後で変化しないが、対数演算の非線形演算が行われているため、ケフレンシと呼ばれる軸になる。

ここで、 $K(\omega)$ は、式 (2.2) のようなインパルス列のフーリエ変換であることから、式 (2.8) となる。また、 $K(\omega)$ の対数をとったものを $K_l(\omega)$ とすると式 (2.9) と表せる。

$$K(\omega) = 1 + \beta e^{-j\omega\Delta} P(\omega) \quad (2.8)$$

$$K_l(\omega) = \log(K(\omega)) = \log(1 + \beta e^{-j\omega\Delta} P(\omega)) \quad (2.9)$$

$P(\omega)$ は、エコーカーネル中の PN 系列のフーリエ変換を表す。よって、 $K(\omega)$ の対数をとると、 $P(\omega)$ が 1 より十分小さいことから、 $|\beta e^{-j\omega\Delta} P(\omega)|$ は 1 より十分小さくなる。よって、 $K_l(\omega)$ は Taylor 展開によって、式 (2.10) に近似展開できる。

$$K_l(\omega) \sim \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{(\beta e^{-j\omega\Delta} P(\omega))^{i+1}}{i+1} \approx \beta e^{-j\omega\Delta} P(\omega) \quad (2.10)$$

2 項目以上の高次項の寄与は小さいとみなすと、式 (2.10) のように 1 項目のみに近似される。つまり式 (2.7) は、透かし入り信号 $w(n)$ のケプストラム $\hat{w}(n)$ 、原信号 $s(n)$ のケプストラム $\hat{s}(n)$ を用いて式 (2.11) のように近似することができる。

$$\hat{w}(n) = \hat{s}(n) + \beta p(n - \Delta) \quad (2.11)$$

つまり、この信号 $\hat{w}(n)$ と埋め込みに用いた PN 系列 $p(n)$ との相互相関関数を計算することによって逆拡散され、埋め込んだエコーカーネルに対応する時間 $\tau = \Delta$ に明らかなピークが立ち、どの時間差 Δ を用いた透かしなのかを検出することができる。以上がエコー拡散法の埋め込み、および検出手法の原理である。

2.3 空気伝搬実験

2.3.1 実験方法

2.2 節で、エコーに基づく音電子透かしの埋め込みおよび検出手法について述べた。これらの音電子透かしが、スピーカとマイクを用いて空気を伝搬したときに、どのような影響を受けるのかという検討を行うために実際に空気伝搬実験を行った。実験は無響室にて行った。音源は RWC 研究用音楽データベース [5] より選出したジャズ音楽 (RWC-MDB-G-2001-M03-Tr.04, 曲名: Azure) の開始時間より 30 s を用いた。埋め込むビットレートは 4 bps とし、オフセットの長さを 1 ms および 1.2 ms とした。スピーカは SRS-200(SONY)、マイクは精密騒音計 NL-32(Rion) を用い、スピーカとマイクとの距離を 3 m とした。

2.3.2 提示音圧レベル

音圧レベルとは、計測可能な音の基本量であり、他の量も、音圧レベルの計測を基礎として求められているのが現状である [6]。本検討では、暗騒音による雑音等、電子透かしを検出する要因が伝搬する信号に対してどのくらいの強さであるのかを知る必要が

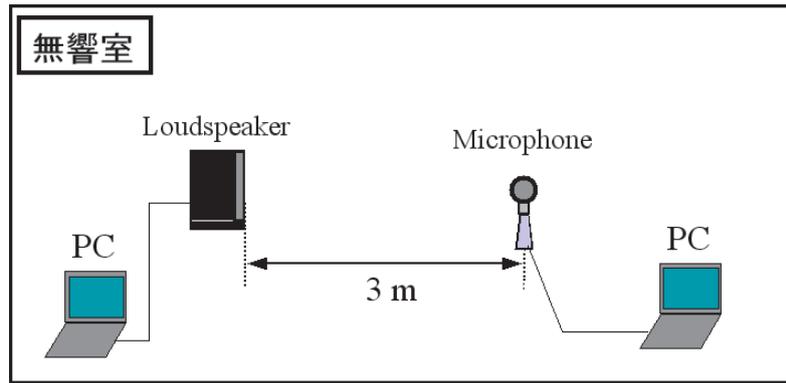


図 2.3: 実験環境

ある。したがって、信号の音圧レベルおよび暗騒音等の雑音の音圧レベルは知っておかなければならない。音圧レベル L_A (A-weighted sound pressure level) は次式で定義される。

$$L_A = 10 \log_{10} \left(\frac{p_A^2}{p_0^2} \right) \quad (2.12)$$

ここで、 p_A はA特性で重みづけられた音圧の実効値 (A特性音圧)、 p_0 は基準音圧 (20 μ Pa) である。人間の耳は全ての周波数に対して感度が一定ではないので、音圧レベルは人間の感覚に合うように周波数毎に重みづけされることが多い。A特性で重みづけを行うと、各周波数における雑音に対する感度が一致する。

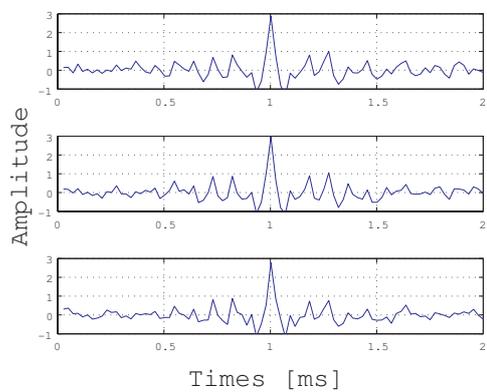
また、音圧レベルが時間とともに変化する場合は、測定時間内でこれと等しい平均2乗音圧を与える連続定常音の騒音レベルで表す。これを等価騒音レベル L_{Aeq} (equivalent continuous A-weighted sound pressure level) といい、次式で定義される。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right\} \quad (2.13)$$

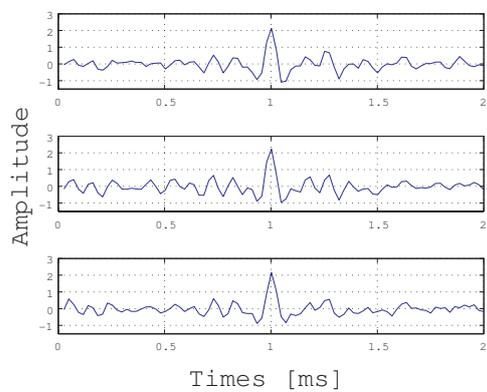
本検討では、音圧レベルが時間とともに変化する音源を用いているので、音圧レベルの指標として等価騒音レベル L_{Aeq} を用いる。

なお音圧レベルの測定には、音圧レベル計 (騒音計) を用いる。本検討においては、精密騒音計 (Rion, NL-32) を用いた。

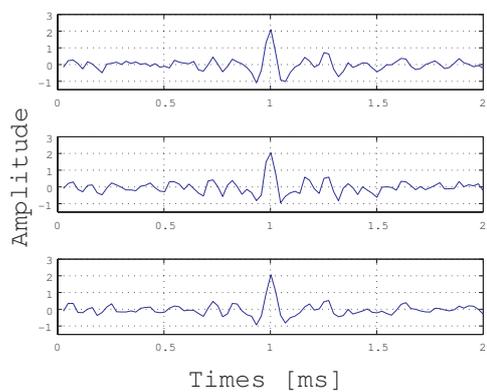
図 2.4 は無響室 (暗騒音: 18 dB) における、マイクの位置の音圧レベルと、処理後のケプストラム波形の関係を表している。ソースとは、空気伝搬などの透かしが劣化する処理を全く行わないときの結果である。また、図 2.4 の検出波形のピークの平均値を各



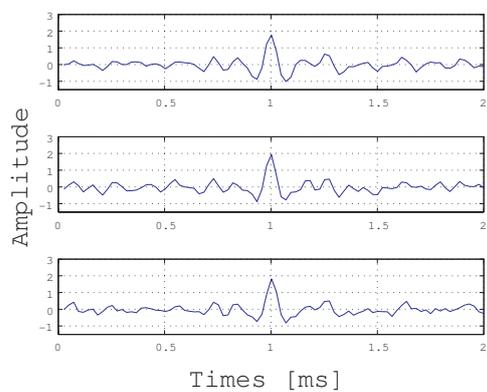
(a) ソース



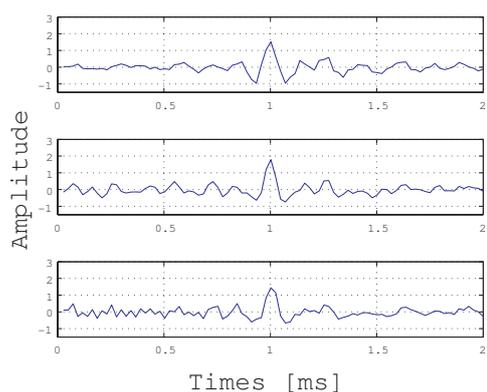
(b) 60 dB



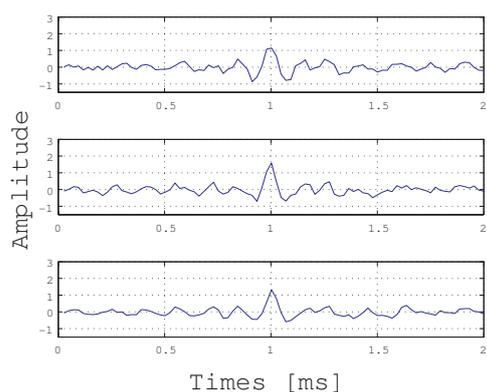
(c) 55 dB



(d) 50 dB



(e) 45 dB



(f) 40 dB

図 2.4: 音圧レベルによるケプストラム波形の変化 (無響室, 暗騒音: 18 dB)

音圧レベルごとにプロットした図が、図 2.5 である。図 2.5 をみると、音圧レベルが強くなるに従い、SNR が高くなり、検出波形のピークが高くなっている。つまりこれは、各実験において、音圧レベルをそろえる必要があるということを意味している。よって本検討では、マイクの位置の音圧レベルを 55 dB に統制して空気伝搬実験を行う。

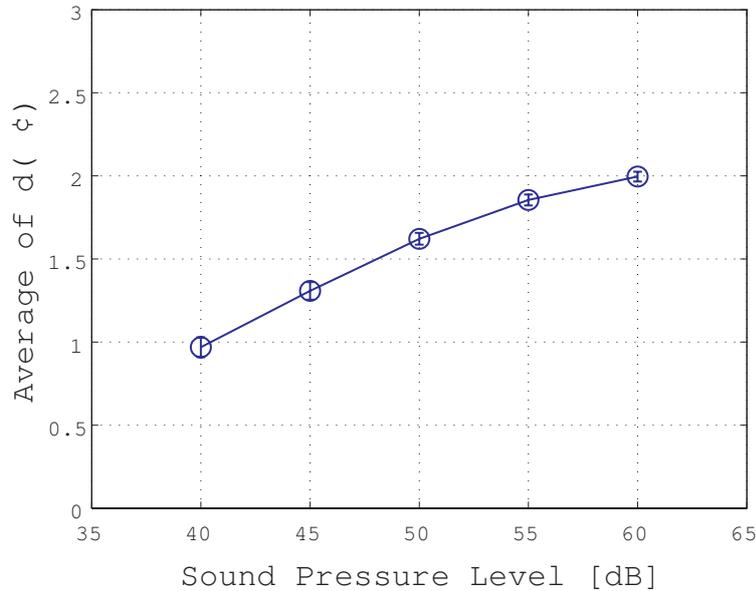
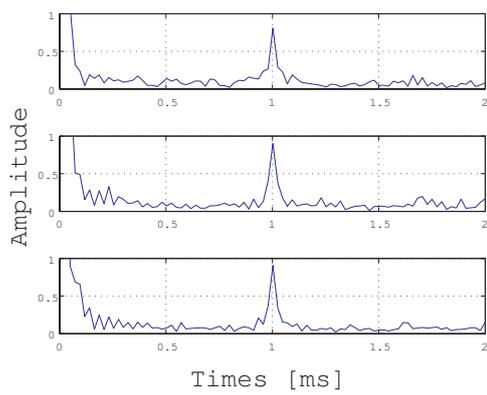


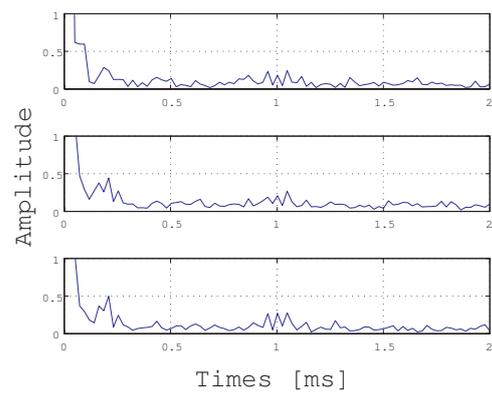
図 2.5: 音圧レベルと検出波形のピーク値

2.3.3 エコー法

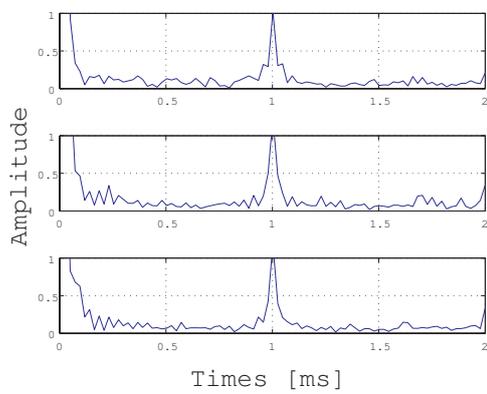
エコー法における空気伝搬前と、空気伝搬後のケプストラム波形の変化を表したグラフが図 2.6 である。ここで、ソースとは、空気伝搬などの透かしが劣化する処理を全く行わないときの結果である。図 2.6 をみると、空気伝搬後のケプストラム波形はあまり高くなっていない。つまり、このケプストラム波形におけるピークの高さが小さくなっていることが空気伝搬による影響であるといえる。また、埋め込み強度の違いを観察すると、埋め込み強度を強くすると、ケプストラム波形のピークの高さが増していることが分かる。



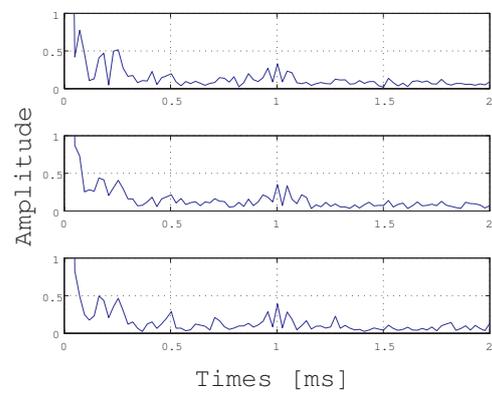
(a) ソース (強度 $\alpha : 0.48$)



(b) 3 m 空気伝搬 (強度 $\alpha : 0.48$)



(c) ソース (強度 $\alpha : 0.64$)



(d) 3 m 空気伝搬 (強度 $\alpha : 0.64$)

図 2.6: 空気伝搬におけるケプストラム波形の変化

2.3.4 エコー拡散法

エコー拡散法における空気伝搬前と空気伝搬後のケプストラム波形の変化を表したグラフが、図 2.7 である。ソースとは、空気伝搬などの透かしが劣化する処理を全く行わないときの結果である。図 2.7 をみると、エコー法の場合と同様に、空気伝搬後のケプストラム波形のピークの高さが小さくなっていること、および、埋め込み強度を強くすると、ピークの高さがより高くなっていることが分かる。

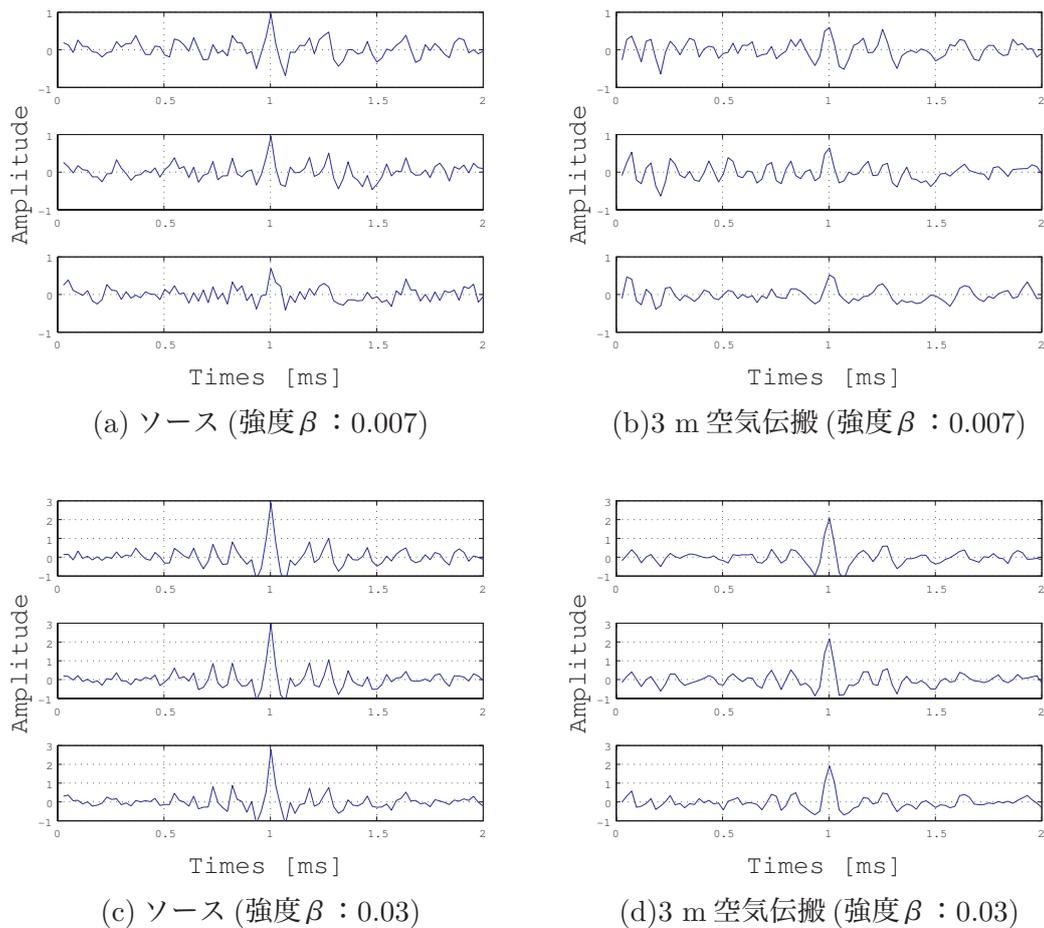


図 2.7: 空気伝搬におけるケプストラム波形の変化 (拡散長 L : 255)

図 2.6 と図 2.7 を比べると、エコー法よりもエコー拡散法による埋め込み手法の方がケプストラム波形のピークの減り具合が小さい。また、式 (2.1) より、エコー法における埋め込み強度 α : 0.64 のときとエコー拡散法における拡散長 L : 255 における埋め込み強度 β : 0.03 のときは原信号に埋め込む総エネルギーが同程度となる。しかし、そのときのケプストラム波形のピークの平均値を比べると、空気伝搬などの透かしが劣化する処理を全く行わないときのソースの結果 (エコー法 : 1.055, エコー拡散法 : 2.831), お

よび空気伝搬後の結果 (エコー法：0.355, エコー拡散法：1.788) とともに, エコー拡散法の方が明らかに高い, つまり埋め込む総エネルギーが音質の劣化具合を決めるとすると, 音質の劣化具合で埋め込み強度を決定した場合, エコー拡散法は, エコー法よりもより空気伝搬耐性を有した埋め込み手法といえる.

2.4 雑音耐性実験

2.4.1 はじめに

音が空気を伝搬することを考えたとき, 一番影響すると考えられるものが雑音である. つまり電子透かしを空気伝搬させることを考える場合, 雑音による影響は考えなければならない事項であり, 本節では, どの程度雑音が透かし検出に影響を与えるのかの検討を行う.

実験条件は, 2.3.1 項で述べた条件と同じとし, 加える雑音は実環境に近いものとしてピンクノイズを用いた. また, ピンクノイズの音圧レベルは透かし入りの信号の音圧レベル (L_{Aeq}) との SNR が 20 dB, 10 dB, 5 dB となるように調節した.

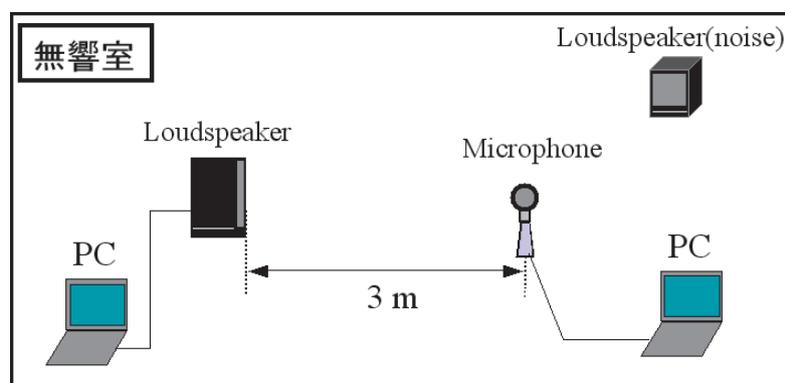


図 2.8: 実験環境

2.4.2 エコー法

図 2.9 がエコー法を用いた場合のケプストラム波形である. 図 2.9 をみると, 雑音の存在していない状況下においてもケプストラムのピークが高くないこともあり, ピークの低下具合が顕著にみてとれる.

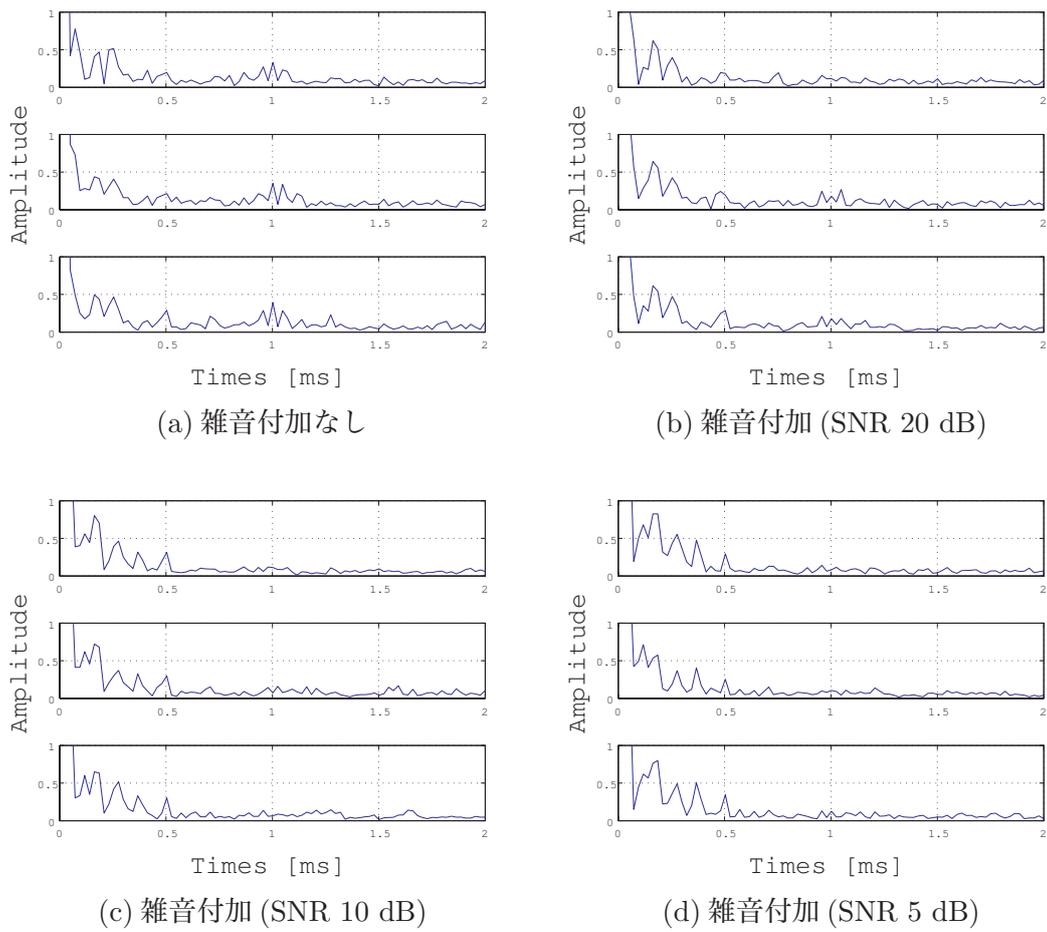


図 2.9: 雑音下でのケプストラム波形の変化 (強度 $\alpha : 0.64$)

2.4.3 エコー拡散法

図 2.10 がエコー拡散法を用いた場合のケプストラム波形である。図 2.10 をみると、エコー法の場合とは異なり、SNR が 10 dB の状況下でもケプストラム波形のピークをある程度観察できる。これは雑音のない状況における元々のピークの高さに起因している可能性もあるが、雑音の存在する状況下においてもエコー法よりもエコー拡散法の方がより高いピークを有しているといえる。この観点からも、エコー法よりもエコー拡散法の方がより雑音耐性のある埋め込み手法といえる。

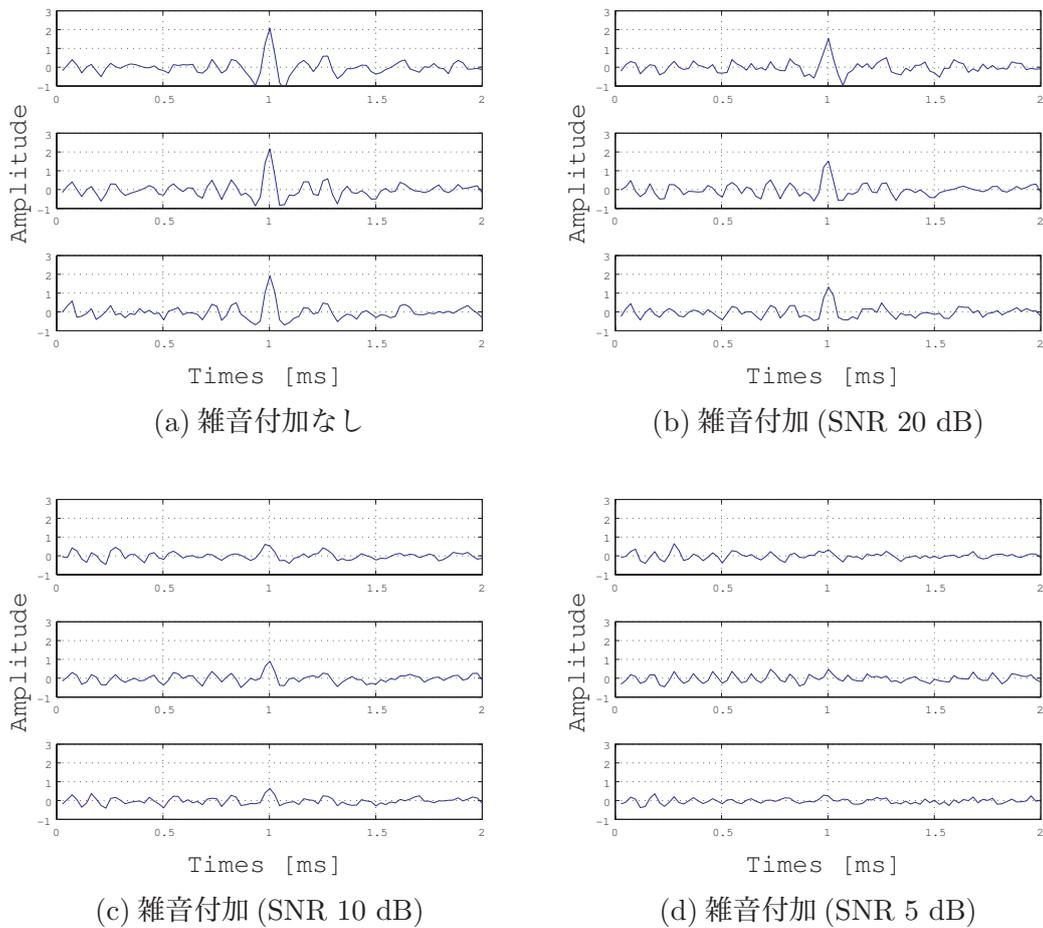


図 2.10: 雑音下でのケプストラム波形の変化 (拡散長 L : 255, 強度 β : 0.03, 雑音: ピンクノイズ)

2.5 拡散長の変化による検出性能の優劣に関する検討

2.5.1 はじめに

エコー拡散法の利点として、埋め込むエコーを時間軸で拡散させることにより全体的に埋め込むエネルギーを小さくすることができるのと述べた。それにより、聴感上の音色に対する影響を減らすことができるのであるが、逆を考えると、音質劣化に直接の関係があると思われる埋め込むエネルギーを一定にした場合、拡散長が長いほうが、電子透かしとして逆拡散後の検出波形のピークの高さがより大きくなることが見込める。図2.2を例とすると、エコー法における埋め込み強度を α 、エコー拡散法において拡散長が L のときの埋め込み強度を β としたとき、これらのエネルギーが同一となるのは式(2.1)のようなときである。

つまりエコー拡散法においては、各拡散長において、埋め込む総エネルギーを同一にするためには、埋め込み強度をこの式(2.1)により決定すればよいことになる。本節では、埋め込む総エネルギーを同一としたときに、エコー法およびエコー拡散法における拡散長を変化させたときの空気伝搬後の検出性能の変化について評価指標 d' を用いて検討を行う。

2.5.2 評価指標 d'

検出性能を評価する指標には、主に信号検出理論において用いられている d' という指標がある[7][8][9][10]。 d' とは、“信号プラス雑音”と“雑音”との感覚的弁別力を表す指標[11]であり、エコーに基づく音電子透かしにおいては、この d' の値が大きくなる程、よりケプストラム波形のピークを検出しやすくなるといえる。

まず、信号検出理論とは、ある期間に生起する事象について観測し、その期間に雑音だけしか存在しないか、あるいは雑音の他に信号が存在するのかの判断機構を、確率的モデルに従って説明するものである。この理論では、特定の観測を、感覚的連続体上での感覚の興奮の度合いを表す数値 x によって表す。また、観測期間中に信号と雑音とが含まれている確率、あるいは雑音だけしか含まれていない確率と、この観測値 x が結びついていると仮定する。“妨害雑音”の確率密度関数 $f_n(x)$ は正規分布すると考え、雑音に信号が付加された場合、図2.11に示すように“信号プラス雑音”の確率密度関数 $f_{sn}(x)$ は、付加された信号エネルギー分だけ、図2.11における左図から右図のように位置が上方にずれるとする。

観測者は感覚連続体上で、図2.11のようにある値に判定基準 C を設定する。信号あるいは信号を含むらしい観測値がこの基準を超えると、「信号が観測期間中に存在する」と

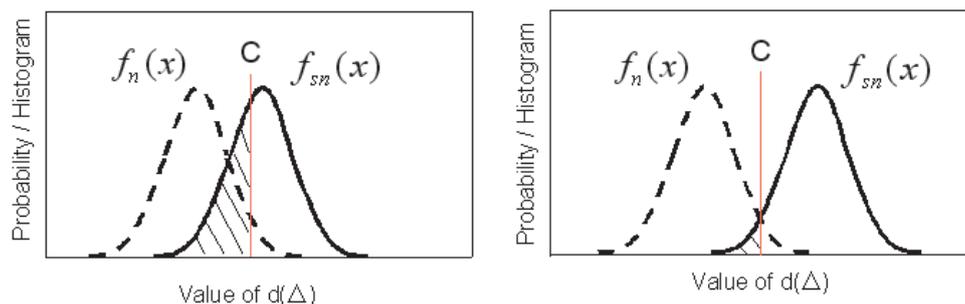


図 2.11: 検出信号の確率密度分布

の判断が生じる。

この d' を算出するためには、“信号プラス雑音”および、“雑音”のみの、確率密度関数が必要となる。しかし、これは、信号検出理論においてのことであり、電子透かしに当てはめて考えると、“信号プラス雑音”の場合は、透かし入りの検出信号 $d(n)$ の確率密度関数 $f_{sn}(x)$ ，“雑音”のみの場合は、透かしの入っていない原信号における検出信号 $d(n)$ の確率密度関数 $f_n(x)$ が必要ということになる。また、図 2.11 において透かし入りの検出信号 $d(n)$ の確率密度関数 $f_{sn}(x)$ において斜線で囲まれた部分、つまり「透かしの信号が観測期間中に存在する」判断がなされる基準 C に観測値が達しないとき、「透かしの信号が検出できない」となる。 d' は式 (2.14) によって表される。 d' は式 (2.14) からわかるように、“信号プラス雑音”と“雑音”との感覚的弁別力を表すが、これは判定基準 C とは独立に定められる。信号検出理論では、この判定基準 C と、これとは独立に定まる感覚的弁別力を表す d' を分離した点に大きな特徴がある。

$$d' = \frac{\mu_s - \mu_n}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}} \quad (2.14)$$

μ_s および μ_n はそれぞれ透かしの埋め込まれた信号と透かしの埋め込まれていない原信号の透かしの埋め込んだ時間差 Δ における検出信号 (ケプストラム波形) の値 $d(\Delta)$ の平均値であり、 σ_s および σ_n はそれぞれの埋め込んだ時間差 Δ における検出信号の値 $d(\Delta)$ の標準偏差である。

2.5.3 実験方法

実験環境に関しては、2.3.1 項で述べたものと同様に行った。ここで、音圧レベルを大きくすると、図 2.12 のように、 d' の数値も大きくなる。よって 2.3.1 項と同様に音圧レベルを 55 dB に統制する。また、エコー法は、エコー拡散法において、拡散長 $L:1$ のも

のとして扱った。また、各拡散長によって異なる PN 系列を用いることになるので、各拡散長ごとにそれぞれ5つの PN 系列を用いて、 d' の値の平均値を算出し、検出性能について比較を行った。

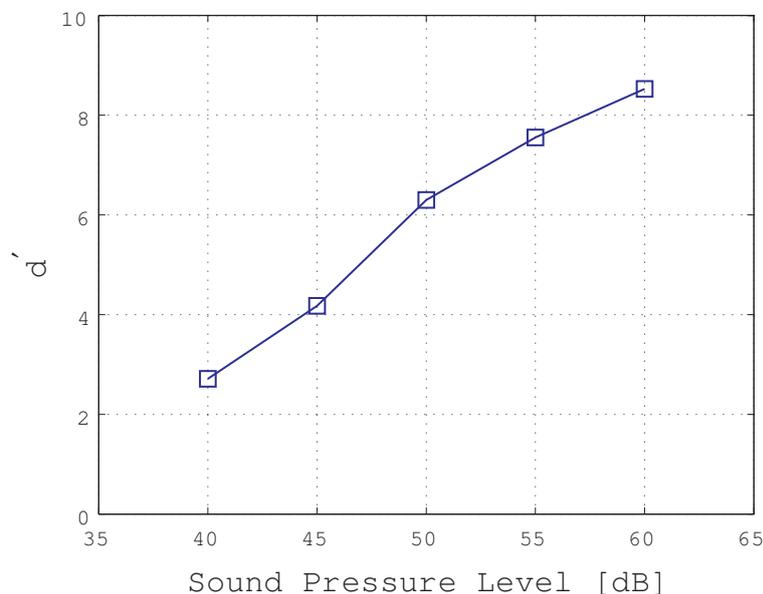


図 2.12: 音圧レベルと d' の値

2.5.4 空気伝搬

図 2.13 は埋め込むエネルギーをそれぞれエコー法における埋め込み強度 $\alpha : 0.112$ および 0.48 にそろえた場合の検出性能の推移である。結果は d' の平均値で表し、誤差棒は標準偏差を表している。

図 2.13 をみると、それぞれ、拡散長 $L : 2^6$ のときに検出性能がピークになっている。また、エコー拡散法において $L : 2^3$ よりも長い拡散長の場合、エコー法の検出性能よりもよい結果となった。これは、拡散長が短いエコー拡散法の場合、ケプストラム波形と PN 系列との相互相関を行う逆拡散過程において、拡散長が短いことにより、安定的にピークを高くすることができないことが考えられ、その結果、検出性能がよくないということが起こっていると考えられる。また、拡散長が長くなるにつれて、徐々に安定的にピークを高くすることができるようになり、検出性能が上がっているのではないかと考えられる。また、検出性能にピークが出る理由、つまり、拡散長を $L : 2^6$ よりも長くすると検出性能が徐々に下がっていく原因としては、後で詳しく述べるが、空気伝搬時に、「計算機の中で表現可能な離散データとしての音楽 (Digital)」をスピーカにて再生するた

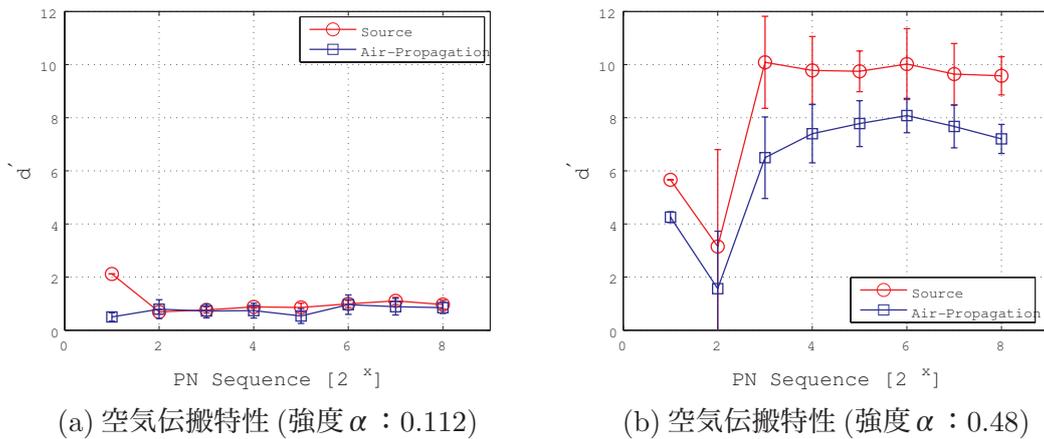


図 2.13: 空気伝搬における検出性能評価

めに「音圧の連続変化として物理的に実現された音楽 (Analogue)」に変換する (D/A 変換)・マイクで收音した「音圧の連続変化として物理的に実現された音楽 (Analogue)」を「計算機の中で表現可能な離散データとしての音楽 (Digital)」に変換する (A/D 変換) 必要があるのだが、これらを異なる計算機で行うと、クロック周波数がずれることによってサンプリング周波数に定常的なずれが生じているためではないかと考えられる。

2.5.5 雑音耐性

妨害音には、2.4 節と同様に、実環境の雑音に近いものとして、ピンクノイズを用いた。また、SNR がそれぞれ 20 dB, 10 dB, 5dB となるように音圧レベルを統制して妨害音とした。図 2.14 が、埋め込むエネルギーをそれぞれエコー法の埋め込み強度 $\alpha : 0.48$ にそろえた場合における、各 SNR の妨害音が存在する条件での検出性能を表す d' の平均値の推移である。また、誤差棒は標準偏差を表している。図 2.14 より、検出性能のピークが妨害音の音圧レベルの増加とともに、拡散長が短いほうに推移している。これは雑音のない空気伝搬実験の結果と合わせて考えると、検出性能はピークの高さのみに決定されているというわけではなく、妨害音の音圧レベルの増加にしたがって、埋め込み強度の大きさの重要度が増すのではないかと考えられる。したがって今後の展望としては、埋め込み強度と音質の劣化とのトレードオフの中で、どの埋め込み強度が最適であるのかを選択するといったことが考えられる。

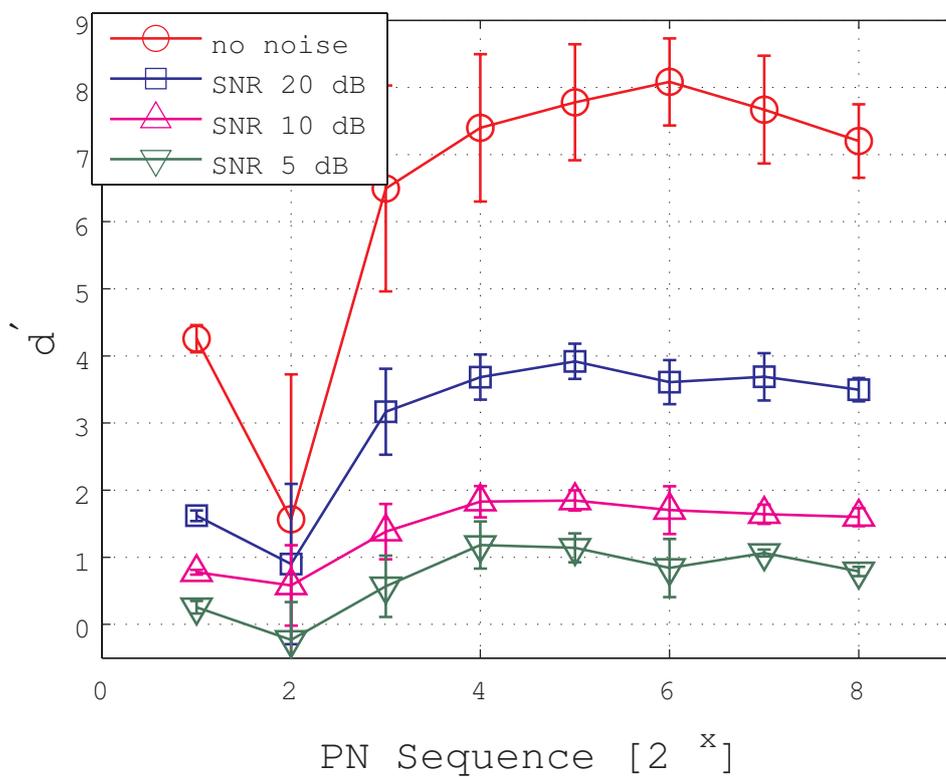


図 2.14: 雑音下における空気伝搬耐性 (強度 $\alpha : 0.48$)

2.6 まとめ

この章では、エコーに基づく音電子透かしの埋め込み・検出手法について述べ、実際に空気伝搬させた場合、および雑音下において空気伝搬させた場合の変化について検討した。その結果、エコーに基づく音電子透かしは空気伝搬させると検出性能が劣化することが分かった。また、雑音下においては、雑音の音圧レベルが強くなる程、検出性能が劣化することが分かった。

また、エコー法とエコー拡散法を比べたとき、埋め込むエネルギーを同程度とした場合、雑音のあるなしに関わらず、エコー拡散法の方がより高い検出性能を有していることが分かった。これは、エコー拡散法における逆拡散後の検出波形のピークの推定される値が、エコー法のピークの推定される値よりも高いということによると考えられる。

しかし、この章においては、雑音を考慮した上で空気伝搬を行っているだけで、検出性能が一体どのような理由で劣化しているのかが検討されていない。そこで、次章では、具体的な検出性能の劣化要因を挙げ、どのくらい劣化するのかの検討を行うとともに、その劣化要因に対する耐性強化について検討を行う。

第3章 エコーに基づく音電子透かしの空気伝搬による性能劣化に関する検討

3.1 はじめに

空気伝搬耐性のある音電子透かしを考案する場合、空気伝搬過程において何が劣化の要因であるかを把握しておく必要がある。なぜならば、空気伝搬過程における劣化要因を解明したうえで、その要因に対して対策をとることにより空気伝搬耐性のある音電子透かしの考案、もしくは耐性強化ができるからである。

3.2 劣化要因

エコーに基づく音電子透かしの劣化要因として考えられるものを以下にて示す。

- 同期

本検討では、エコーに基づく音電子透かしを情報伝達手段として考え、原音信号とエコー信号の時間間隔を変化させることによって異なるエコーカーネルを作成し、ある一定の時間幅(4 bps ならば 0.25 s)ごとに畳み込むエコーカーネルを変化させることで埋め込む情報を変化させる。つまり検出の際には、畳み込まれるエコーカーネルが変化する時刻を見つけなければならない。この畳み込まれるエコーカーネルが変化する時刻を見つけ、一定の時間幅において、埋め込んだ区間と検出する区間を同じにすることをフレーム同期と呼ぶ。このフレーム同期がずれると検出性能は劣化する。

本検討では、畳み込むエコーカーネルを終始変えないことで、このフレーム同期問題を解消しているが、実装を考える場合、このフレーム同期は正しく行われなければならない。

- 残響

エコーに基づく音電子透かしとは、簡略化すると、残響(エコー)を人工的に原

信号に付加し、その残響を検知することによって情報を得るというものであるが、そもそも残響とは、直接音に対する、物体に反射した反射音であるので、無響室など特殊な環境でない限りは存在する。つまりこの日常に存在する残響がエコーに基づく音電子透かしの検出性能に影響を及ぼすことは十分に考えられる。また、残響はエコーに基づく音電子透かし以外の埋め込み手法での空気伝搬にも妨害音(雑音)として影響を及ぼす。しかし、本検討では扱わないことにする。

- デジタル・アナログ変換

2.5.4 項で述べたように、空気伝搬を行うためには、「計算機の中で表現可能な離散データとしての音楽 (Digital)」をスピーカにて再生するために「音圧の連続変化として物理的に実現された音楽 (Analogue)」に変換する D/A 変換及び、マイクで収録した「音圧の連続変化として物理的に実現された音楽 (Analogue)」を「計算機の中で表現可能な離散データとしての音楽 (Digital)」に変換する A/D 変換が必要になる。この D/A 変換器、A/D 変換器それぞれの機器の内部クロックを同期させずに用いた場合、サンプリング周波数の定常的なずれが生じることも報告されている [12]。つまり本検討の実験系のように、この D/A 変換、A/D 変換を異なる計算機で行ってしまうと、各計算機でのクロック周波数が異なるため、内部クロックの同期が取れなくなり、検出性能が劣化してしまう可能性がある。しかし、本論文にて考えている聴覚障害者のためのシステムを考える場合、現状の設備を変えない限り、内部クロックの同期を取ることは困難であり、クロック周波数のズレが生じることは避けられない。よって、次節にて、その劣化具合に関して検討を行う。

- ゆらぎ

音とは、媒質の圧力が平均圧力の上下に振動的に変動する現象であり、その変化分を音圧という。音圧は音波として周囲に伝搬し、時間と空間座標の関数となる。音波が伝搬するときには、空間的な圧力の差によって、媒質を構成する粒子に密な部分と疎な部分とができる。すなわち、音波は疎密波である。つまり、音が空気中を伝搬する際、音は振幅や周波数に変調が生じている・ゆらぎが生じているといえる。このゆらぎが検出信号に影響を与え、検出性能が劣化する。

- 妨害音

2.5.5 節で述べたように、妨害音が存在する状況下において、検出性能が劣化する。

以上の項目以外にもスピーカの特性、マイクの特性等で検出性能が劣化する可能性がある。

3.3 劣化量に関する検討

3.3.1 デジタル・アナログ変換

2.3.1 項や 2.5.3 項で説明した，本検討で用いた実験系において，図 3.1 で表されるように，空気を伝搬させずにクロック周波数のずれが存在する計算機上で D/A 変換，A/D 変換を行った場合の検出性能の劣化について検討を行った．また，拡散長による変化も見するために拡散長は $L: 2^6, 2^7, 2^8$ を用い，埋め込む総エネルギーが揃うように埋め込み強度を決定した．すなわち，拡散長 $L: 2^6, 2^7, 2^8$ のときの埋め込み強度は $\beta: 0.06, 0.03 \cdot \sqrt{2}, 0.03$ となる．また，各拡散長によって異なる PN 系列を用いることになるので，各拡散長ごとにそれぞれ 5 つの PN 系列を用いて， d' の平均値，標準偏差を算出し，検出性能について比較を行った．



図 3.1: 実験環境

図 3.2 は，原信号を白色雑音とした場合における，空気伝搬も，D/A，A/D 変換も行わないソース信号，本検討における実験系にて用いた計算機で，D/A，A/D 変換のみを行った信号，および空気伝搬を行った信号それぞれの，検出信号のピーク値および d' である．誤差棒は d' の標準偏差である．

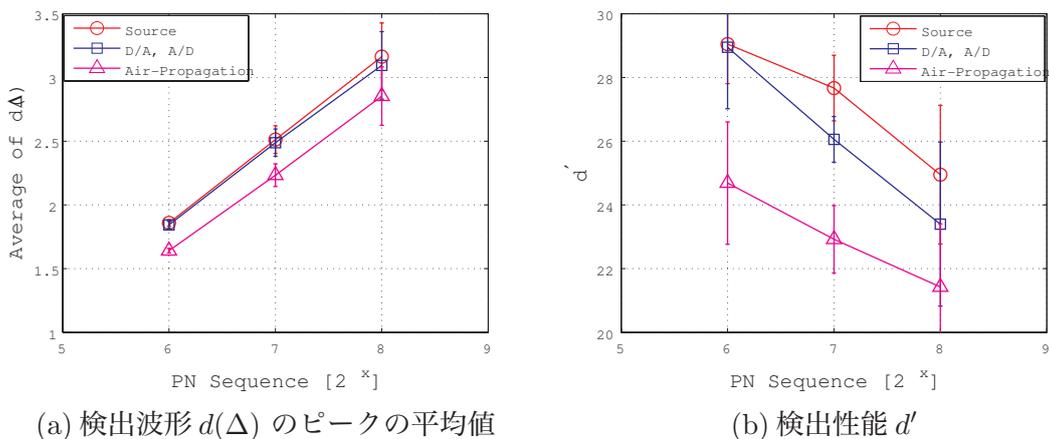


図 3.2: D/A, A/D 変換の性能劣化 (原信号：白色雑音)

図 3.2 を見ると、拡散長が長くなるにつれて、検出波形のピークは徐々に高くなっていくのに対し、検出性能を表す d' では、数値が減少している。それは、D/A, A/D 変換のみを行ったときにもいえ、ソース信号よりもその減少傾向は見てとれる。この減少は、クロック周波数の同期ずれがあるために、拡散長が長いほうがより長い時間幅を用いることから、より同期ずれの影響を受けやすくなるからだと考えられる。

また、図 3.3 は原信号をジャズ音楽とした場合における、空気伝搬も、D/A, A/D 変換も行わないソース信号、本検討における実験系にて用いた計算機で、D/A, A/D 変換のみを行った信号、および空気伝搬を行った信号それぞれの、検出信号のピーク値および d' である。誤差棒は d' の標準偏差である。

図 3.3 を見ると原信号が白色雑音の場合とほとんど同様の変化がみられるが、ただ 1 点、検出性能を表す d' において、D/A, A/D 変換を行うと d' の数値が上昇している。この現象の物理的な説明はできないが、図 3.2 の原信号が白色雑音の場合と比較して、D/A, A/D 変換した場合の内部クロックのずれの検出性能への影響は、高周波数領域のレベルが大きいとより大きな性能の劣化が生じるのではないかと考える。信号の振幅は高周波数成分に、より依存するので、音源の高周波数成分のレベルが大きい分だけ内部クロックのずれが生じたときに、より影響を与えてしまうと考える。

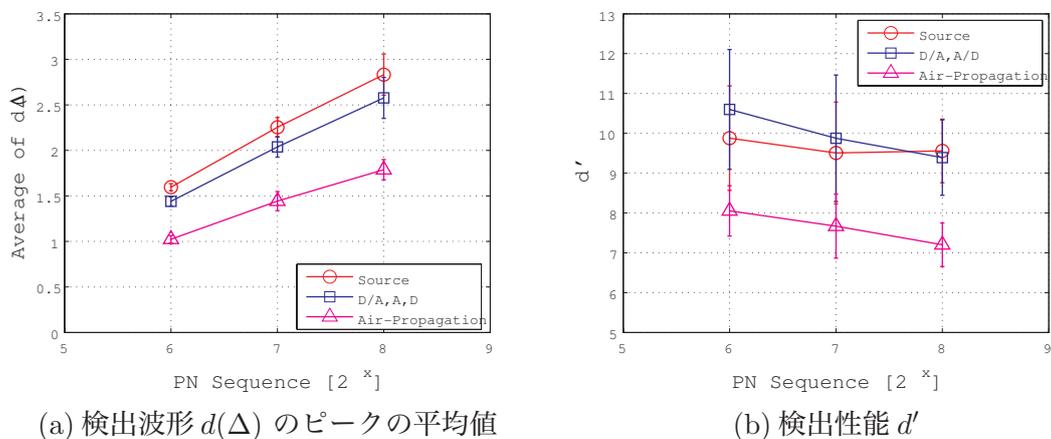


図 3.3: D/A, A/D 変換の性能劣化 (原信号：ジャズ音楽)

3.3.2 妨害音

2.4 節の実験系を用いたときの、検出性能の妨害音による影響を図 3.4 に示す。用いた PN 系列の拡散長は $L : 2^6$ であり、埋め込み強度は $\beta : 0.06$ とした。

図 3.4 より、明らかに雑音が検出性能に与える影響は極めて大きいといえる。

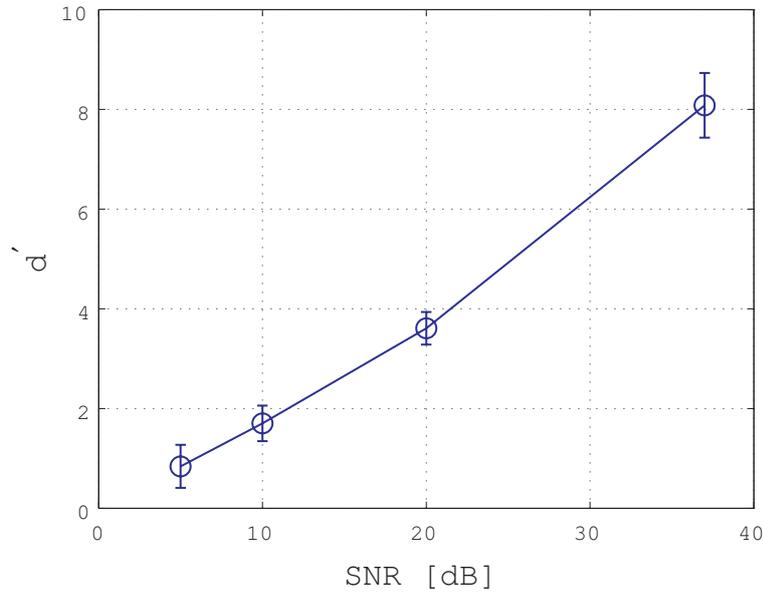


図 3.4: 雑音下の検出性能の変化 (拡散長: 2^6 , β : 0.06)

3.4 チップレートに関する耐性強化

3.4.1 はじめに

チップレートとは、1秒間あたりのPN系列の個数であり、cps(chip per second)で表現される。単位はHzである。PN系列の1パルスあたりのポイント数は「サンプリングレート/チップレート」で表現でき、1パルスあたりのポイント数を増やすことで音が空気伝搬する際の空気のゆらぎに対処できる。チップレートを適用する際のデメリットは、1パルスあたりのポイント数を増やすことで、拡散長を増やすことになり、埋め込むエネルギーが増すことである。また、検出時においては、逆拡散前に、パルス幅を増やした分だけ加算平均してパルス幅を元に戻す必要がある。つまり、この加算平均を行うことにより、雑音耐性も良くなるのではないかと考える。しかし、本検討では、雑音耐性について検討せず、雑音のない状況下で、パルス幅を増やしたときの検出性能の変化について評価し、チップレートを変更する有効性について検討する。

3.4.2 実験方法

実験環境は、2.3.1項で述べたものと同様に行った。また、チップレートを考慮する場合、単にチップレートを変更して拡散長を増すと、その分エネルギーも増すことになることから、埋め込むエネルギーを同一にするためには、埋め込み強度を統一し、1パルス

あたりのポイント数と PN 系列長を乗算したものを統制すればよいことになる。今回は、1 パルスあたりのポイント数と PN 系列長の乗算が約 2^8 になるように統制を行った。つまり、1 パルスあたりのポイント数が 1, 2, 4 のとき、用いる PN 系列の長さは 2^6 , 2^5 , 2^4 となる。すなわちチップレートに応じて異なる PN 系列が必要となり、各 PN 系列長に対してそれぞれ 5 種類の PN 系列を用いて d' の平均値、標準偏差を算出した。

3.4.3 検出性能評価実験

チップレートを 44100 [Hz], 22050 [Hz], 11025 [Hz] としたとき、つまり 1 パルスあたりのポイント数を 1, 2, 4 としたときの変化をみる。 d' の推移を図 3.5 に示す。誤差棒は標準偏差を表す。

図 3.5 より、1 パルスあたりのポイント数を増やすと、つまりチップレートを小さくすると、検出波形 $d(\Delta)$ のピークは小さくなっていくが、検出性能の観点では、パルス幅を 2 としたときに d' の値が大きくなっており、検出性能が向上しているといえる。つまりチップレートを検討することは、空気伝搬耐性向上のために有効であると考えられる。

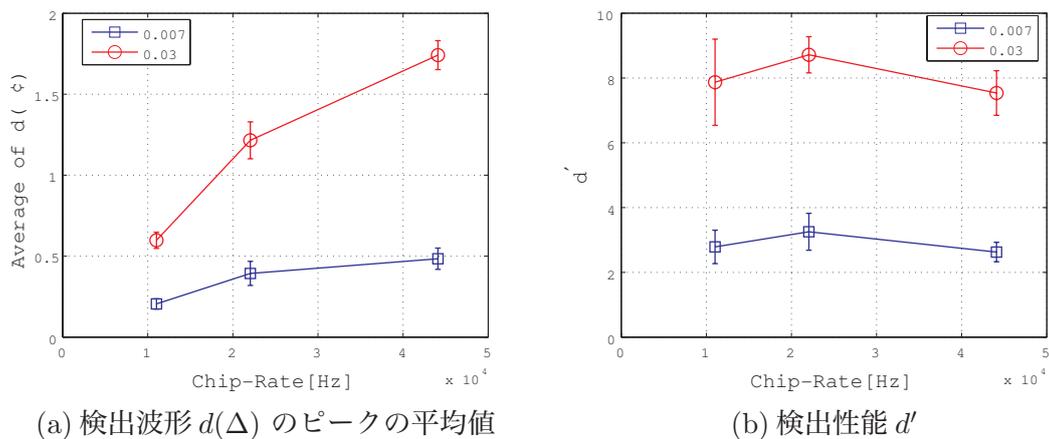


図 3.5: チップレートを考慮した際の変化

3.5 雑音耐性に関する検討

雑音耐性について検討を行う場合、まず図 3.6 のように電子透かしを埋め込む前の原信号の違いにより検出性能に大きな変化があることに注意する必要がある。図 3.6 は原信号が白色雑音とジャズ音楽、埋め込み手法が拡散長 $L: 2^6$ のエコー拡散法 (埋め込み強度 $\beta: 0.06$)、妨害音はピンクノイズを用い、SNR が 20 dB, 10 dB, 5 dB となるよう

に音圧レベルを調節した。誤差棒は、5種類のPN系列を用いたことによる標準偏差である。

図 3.6 をみると、原信号を白色雑音とすると原信号をジャズ音楽とした場合と比較して、強い雑音耐性を有している。この原因を考えると、白色雑音というものは、パワースペクトルが各周波数帯域で一定であるが、ジャズ音楽を含む一般的な音楽は高周波数になるにしたがってレベルが下がっていく。この下げ幅は、妨害音として用いたピンクノイズと比べても大きい。一方、信号の振幅は高周波数成分に、より依存するので、SNRが確保されていても、妨害音の高周波数成分のレベルが原信号の高周波数成分のレベルより大きい分だけ、より検出性能が劣化してしまうと考えられる。

つまり、妨害音の高周波数成分がより検出性能の劣化に影響するならば、高周波数成分をフィルタによって除去することで、検出性能が改善される可能性がある。すなわち、検出処理の前処理として、信号の高周波数成分を除去することで、性能が改善される可能性がある。また、信号の高周波数成分を除去することは、3.3.1 項における内部クロックのずれによる検出性能への影響も改善される可能性がある。この件に関しては、まだ検討を行なっておらず、今後の課題であるが、検出性能に雑音の与える影響が極めて大きいことから、検討する重要性はかなり高いと考える。

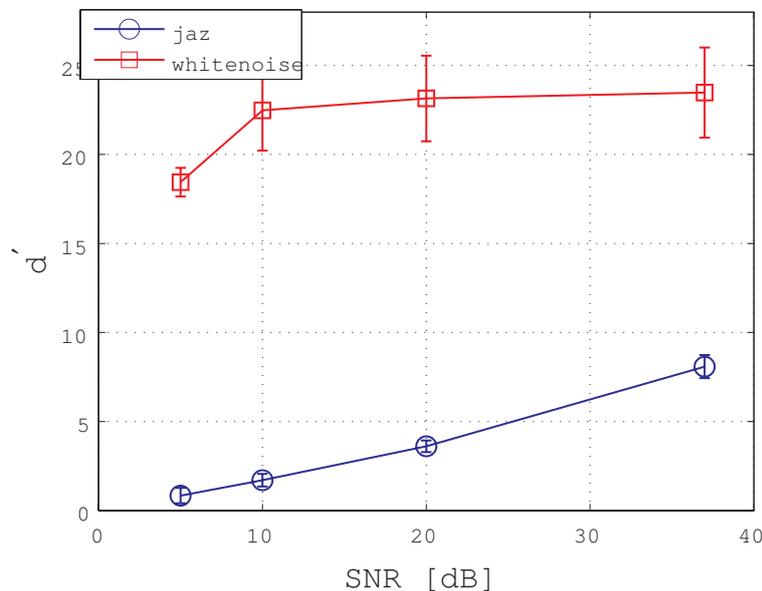


図 3.6: 音源が異なる場合の検出性能の変化 (拡散長 $L : 2^6$, $\beta : 0.06$)

3.6 まとめ

本章では、電子透かしが空気を介して伝達されたときの劣化要因について述べ、その劣化に対する耐性の強化の検討を行った。検討の結果、空気のゆらぎに対してはピッチレートの考慮、および雑音耐性に対しては高周波数成分の除去の検討は行う価値が十分にあると考える。

第4章 結論

本検討では、聴覚者障害者補助システムのための音電子透かしの空気伝搬を起因としたエコーに基づく音電子透かしの空気伝搬耐性に関する検討を行った。

2章では、エコーに基づく音電子透かしの埋め込み・検出手法について述べ、空気伝搬・雑音耐性に関する性能評価を行なった。その結果、エコー拡散法はエコー法より空気伝搬耐性のある埋め込み手法であり、またエコー拡散法において、エネルギーを統一した条件下で拡散長を変化させた場合、検出波形のピークの高さに関係なく、最適な拡散長が存在することがわかった。

また3章では空気伝搬にて生じる劣化要因について述べ、その劣化に対する耐性強化の検討を行った。その結果、ピッチレートの考慮、および高周波数成分の除去により、エコーに基づく音電子透かしの検出性能が改善される可能性があることを示した。

今後の検討課題としては、本検討では行なっていない、ビットレートによる性能評価が挙げられる。聴覚障害者補助システムやユビキタス社会へ向けた技術として実用化を考えた場合、ビットレートは重要なパラメータであるからである。

謝辞

本研究は、東北大学卒業論文として、以下にあげる方々のご指導、ご鞭撻、ご協力のもとに行われたものである。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所鈴木陽一教授には、研究の機会を賜り、また本研究を進めるにあたり終始一貫して有益なご指導と励ましをいただき、ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所西村竜一助教授には、本研究を進めるにあたって直接のご指導と多くのご助言を頂き、またそのために多大な時間を割いて頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所助手坂本修一博士には、ゼミ等の場にて有益なご助言を頂くとともに、研究室での生活においても様々なご助言を頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所技術職員齋藤文孝氏には機器の取り扱い方を直接ご指導頂くとともに、研究への取り組み方、姿勢についてご指導頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程前期1年阿部俊一郎氏には、本研究を進めるにあたって直接のご指導・ご助言を頂くとともに予稿の添削に多大な時間を割いて頂くなど言葉では言い表せないほどお世話になった。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所李軍鋒氏には研究に取り組む姿勢を示してくれたほか、海外のことについて色々と教えて頂いた。ここに深く感謝する。

やわらかい情報システム研究センター矢入聡博士には、研究から普段の生活まで様々な面でご助言を頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所技術補佐員小貫輝義氏には、研究に支障がなく円滑に行えるよう機器や環境の整備をして頂き、研究に対しても有益な助言を頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程後期1年岡本拓磨氏、姜大基氏、魏浩石氏には研究はもちろんのこと、日常生活において様々なご助言を頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程前期2年佐々木直哉氏には、電子透かしという共通の研究テーマを通じて様々なご指導・ご助言を年間を通じて頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程前期2年高崎政久氏には、同じ西村グループとして様々なご助言を頂くとともに、聴取実験について有益なお話をして頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程前期2年小笠原亮氏、門井涼氏には、研究室の先輩として様々な生活のアドバイスを頂くとともに、研究への姿勢について学ばせて頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学電気通信研究所博士課程前期1年佐々木愛氏、関本彩保氏、瀬戸幹生氏、沼畑俊氏、吉村美智子氏には研究・日常生活を問わず非常に細かな質問にも優しく対応して頂き、また、研究室生活を非常に楽しいものとさせて頂いた。ここに深く感謝する。

東北大学工学部情報工学科4年千葉武尊氏には、よき同輩として、楽しいこと辛いことを分かち合い、数多くの協力や励ましを頂いた。ここに深く感謝する。

秘書の小室まり氏、事務補佐員の今野亜未氏には、日常の生活において研究に専念できるよう、様々なご助力を頂いた。ここに深く感謝する。

実験、計算、論文、ブラウジング等、私の必要以上の処理要求に対し、時に凍結しながらも最後まで応えてくれたHiphopおよびredsに深く感謝する。

また、私の学に対する意に理解を示し、大学に快く送り出してくれた私の家族に心より深く感謝する。

最後に、本研究は、多くの方々のご指導、ご協力の下で行なわれたものであり、ここに名前を挙げることにできなかった方々も含め、重ねて感謝する。

参考文献

- [1] Wolfgang F.E. Preiser[編]:[秋山哲男ほか訳], ユニバーサルデザインハンドブック, 丸善, 2003
- [2] 松井甲子雄, 電子透かしの基礎, 森北出版, 1998.
- [3] D.Gruhl, A.Lu, and W.Bender, "Echo Hiding", *Information Hiding*, pp.295-315, 1996.
- [4] B.S.Ko, R.Nishimura, and Y.Suzuki, "Time-spread echo method for digital audio watermarking using pn sequences," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP)*, 2002.
- [5] 後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡隆一, "RWC 研究用音楽データベース:音楽ジャンルデータベースと楽器音データベース", 情報処理学会 音楽情報処理研究会研究報告, 2002-MUS-45-4, Vol.2002, No.40, pp.19-26, 2002.
- [6] 城戸健一編著, 基礎音響工学, コロナ社, 1990.
- [7] Kenneth R. Boff, Lloyo Kaufman, and James D. Thomas, *Handbook of Perception and Human Performance, Volume* , John Willey and Sons, 1986.
- [8] David Heeger, "Signal Detection Theory," *Teaching Handout*, Department of Psychology, Stanford University, November 12, 1997.
- [9] Thomas D. Wickens, *Elementary Signal Detection Theory*, Oxford University Press Inc., 2002.
- [10] David M. Green and John A. Swets, *Signal Detection Theory and Psychophysics*, Peninsula Publishing, 1988.
- [11] 境久雄著, 聴覚と音響心理, コロナ社, 1978.
- [12] 西村明, 小泉宣男, "AD/DA 変換器における時間ゆらぎを考慮に入れた波形比較による音質差測定法", 電子情報通信学会技術研究報告, EA2004-29,pp.15-22, 2004.

第V章 参考資料

共同研究契約書

(契約項目表)

1. 甲	独立行政法人国立特殊教育総合研究所		
2. 乙	東北大学電気通信研究所		
3. 研究題目	電子透かし技術を応用した障害児者のための情報補償システムの開発 －音響の情報バリアフリー化に向けて－		
4. 研究目的	障害者基本法に書かれた情報の利用におけるバリアフリー化を目指す一環として聴覚障害者を主な対象とした情報補償システムの開発を目指す。		
5. 研究内容	乙が開発した音響分野における電子透かし等の技術を用いて、音声情報に対して情報バリアフリーに必要な量の文字情報等を付加させるための手法、実用化に向けたシステムの研究を共同で行う。		
6. 研究分担	区分	氏名	所属部局・職名
	甲	※甲における責任者 棟方哲弥	企画部・ 総括主任研究官
	乙	※乙における責任者 鈴木陽一	人間情報システム研究部門・ 教授
7. 研究スケジュール	甲乙協議の上、推進する。		
8. 研究実施場所	独立行政法人国立特殊教育総合研究所・東北大学電気通信研究所		
9. 研究期間	平成17年4月1日 から 平成18年3月31日 まで		
10. ノウハウの秘匿期間	ノウハウが生じた時点より1年間		

甲と乙は、上記契約項目表記載の共同研究（以下「本共同研究」という。）を実施するにつき、次の各条のとおり共同研究契約（以下「本契約」という。）を締結し、この契約の締結を証するため、本契約書2通を作成し、甲、乙それぞれ1通を保管するものとする。

平成17年 4月 1日

(甲) 神奈川県横須賀市野比野比5丁目1番1号

独立行政法人国立特殊教育総合研究所

理事長 小田 豊



(乙) 仙台市青葉区片平2丁目1-1

東北大学電気通信研究所

所長 伊藤 弘昌



(様式 2) (規則第5条関係)

(定義)

第1条 本契約書において、次に掲げる用語は次の定義によるものとする。

- 一 「研究成果」とは、本契約に基づき得られたもので、実績報告書中で成果として確定された本共同研究の目的に係る発明、考案、意匠、著作物、ノウハウ等の技術的成果及び研究の過程で生じた有体物をいう。
- 二 「知的財産権」とは、次に掲げるものをいう。
 - イ 特許法(昭和34年法律第121号)に規定する特許権、実用新案法(昭和34年法律第123号)に規定する実用新案権、意匠法(昭和34年法律第125号)に規定する意匠権、商標法(昭和34年法律第127号)に規定する商標権並びに外国における上記各権利に相当する権利
 - ロ 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、商標法に規定する商標登録を受ける権利、並びに外国における上記各権利に相当する権利
 - ハ 著作権法(昭和45年法律第48号)第2条第1項第10号の2のプログラムの著作物及び同号の3のデータベースの著作物(以下「プログラム等」という。)の著作権並びに外国における上記各権利に相当する権利
 - ニ 技術情報のうち秘匿することが可能なものであって、かつ、財産的価値があるものの中から、甲乙協議の上、特に指定するもの(以下「ノウハウ」という。)
- 2 本契約書において「発明等」とは、次に掲げるものをいう。
 - 一 特許権の対象となるものについては発明
 - 二 実用新案権の対象となるものについては考案
 - 三 意匠権、商標権、及びプログラム等の著作権の対象となるものについては創作
 - 四 ノウハウを対象とするものについては案出
- 3 本契約書において、知的財産権の「実施」とは、特許法第2条第3項各号に規定する行為、実用新案法第2条第3項に規定する行為、意匠法第2条第3項に規定する行為、商標法第2条第3項に規定する行為、著作権法に規定する複製、上映、公衆送信、頒布及び翻案並びにノウハウの使用をいう。
- 4 本契約書において「専用実施権」とは、次に掲げるものをいう。
 - 一 特許法、実用新案法及び意匠法に規定する専用実施権、商標法に規定する専用使用権
 - 二 プログラム等の著作権に係る著作物について独占的に実施をする権利
 - 三 第1項第2号ニに規定するノウハウについて独占的に実施をする権利
- 5 本契約書において「通常実施権」とは、次に掲げるものをいう。
 - 一 特許法、実用新案法及び意匠法に規定する通常実施権、商標法に規定する通常使用権
 - 二 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、商標法に規定する商標登録を受ける権利の対象となるものについて非独占的に実施をする権利
 - 三 プログラム等の著作権に係る著作物について非独占的に実施をする権利
 - 四 第1項第2号ニに規定するノウハウについて非独占的に実施をする権利
- 6 本契約書において「研究担当者」とは、表記契約項目表 6. に掲げる者及び本契約第2条第3項に該当する者をいう。また、「研究協力者」とは、研究担当者以外の者であって本共同研究に協力する者をいう。

(様式 2) (規則第 5 条関係)

(共同研究に従事する者)

第 2 条 甲及び乙は、表記契約項目表 6. に掲げる者を本共同研究の研究担当者として参加させるものとする。

2 甲及び乙は、必要があると認めるときは、相手方の同意を得て、共同研究に従事する者を客員研究員等として相手方のもとに派遣するものとする。

3 甲及び乙は、甲又は乙に属する者を新たに本共同研究の研究担当者として参加させようとするときはあらかじめ相手方に通知し同意を得るものとする。

(研究協力者の参加及び協力)

第 3 条 甲又は乙のいずれかが、共同研究遂行上、研究協力者の参加又は協力を得ることが必要と認めた場合、相手方の同意を得た上で、当該研究担当者以外の者を研究協力者として本共同研究に参加させることができる。

2 研究担当者以外の者が研究協力者となるに当たっては、当該研究担当者以外の者を研究協力者に加えるよう相手方に同意を求めた甲又は乙（以下「当該当事者」という。）は、研究協力者となる者に本契約内容を遵守させなければならない。

3 研究協力者が本共同研究の結果、発明等を行った場合は、第 9 条の規定を準用するものとする。

(実績報告書の作成)

第 4 条 甲及び乙は、双方協力して、本共同研究の実施期間中に得られた研究成果について、実績報告書を甲乙協議して定める時期までにとりまとめるものとする。

<実績報告書の内容例>

- (1) 研究題目
- (2) 研究成果の概要
- (3) 研究成果の今後の活用方法
- (4) 研究経費の支出実績

(研究経費の分担)

第 5 条 共同研究の実施に係る費用は、共同研究の分担に応じ、甲及び乙がそれぞれ分担するものとする。ただし、共同研究を遂行するに当たり当事者の一方にとって著しく負担となる費用については、両者で協議して定める。

(施設及び設備の使用等)

第 6 条 甲及び乙は、本共同研究の用に供するため、それぞれの所有に係る施設及び設備のうち甲乙協議の上で指定するものについて、無償又は有償で使用させることができるとともに、共同研究に必要な研究機器の持ち込みを相互に認めるものとする。

(研究の中止又は期間の延長)

第 7 条 天災その他やむを得ない理由のため、共同研究の継続が困難となったときは、甲及び乙は協議の上、本共同研究を中止し、又は研究期間を延長することができる。この場合において、甲又は乙はその責を負わないものとする。

(様式 2) (規則第 5 条関係)

(知的財産権の帰属等)

第 8 条 共同研究の結果生じた発明等に係る知的財産権は、甲乙それぞれの貢献度を踏まえて、双方が所有するものとする。

2 共同研究の結果得られた研究成果の有体物等の所有権は、甲乙協議の上、その帰属等を決定するものとする。

(知的財産権の出願等)

第 9 条 甲及び乙は、本共同研究の結果、発明等が生じた場合には、迅速に、相互に通報するとともに、帰属の決定、出願等事務が円滑に行われるよう努めなければならない。

2 甲及び乙は、甲及び乙に属する研究担当者が共同研究の結果共同して発明等を行った場合において、当該発明等に係る出願等を行おうとするときは、当該知的財産権に係る甲及び乙の持分等を定めた共同出願等契約を締結の上、共同して出願等を行うものとする。ただし、甲又は乙が相手方から特許等を受ける権利を承継した場合は、甲又は乙が単独で出願等をするものとする。

3 甲又は乙はそれぞれ、甲又は乙に属する研究担当者が、本共同研究の結果それぞれ独自に発明等を行った場合においては、単独所有とし、単独で出願等の手続きを行うものとする。ただし、出願等に先立ち、それぞれ相手方の同意を得なければならない。

4 前二項の規定は、甲が発明者から発明等の権利を承継しない場合には甲に適用しない。

(ノウハウの指定)

第 10 条 甲及び乙は、本共同研究の結果生じた発明等に係る共有となった知的財産権（以下「共有に係る知的財産権」という。）のうち、ノウハウに該当するものについて、協議の上、速やかに指定するものとする。

2 ノウハウの指定に当たっては、秘匿すべき期間を明示するものとする。

3 前項の秘匿すべき期間は、甲乙協議の上、決定するものとし、原則として、表記契約項目表 10. に掲げる期間とする。ただし、指定後において必要があるときは、甲乙協議の上、秘匿すべき期間を延長し、又は短縮することができる。

(外国出願)

第 11 条 前条の規定は、外国における発明等に関する知的財産権（著作権及びノウハウを除く。）の設定登録出願、権利保全（以下「外国出願」という。）についても適用する。

2 甲及び乙は、外国出願を行うにあたっては、双方協議の上行うものとする。

(実施契約)

第 12 条 甲と乙は、本共同研究の実施により発明等が生じた場合には、速やかに相互に通知し、当該発明等の実施に関する実施契約（以下「実施契約」という。）を締結するものとする。

(実施の許諾等)

第 13 条 甲及び乙は、共有に係る知的財産権の自らの持分を譲渡し、それを目的として質権を設定し、又は専用実施権を設定し、若しくは通常実施権を許諾しようとする場合には、それぞれ事前に相手方の同意を得なければならない。

2 甲又は乙は、前項の規定における通常実施権の許諾については、正当な理由がない限り、相手方に同意す

(様式 2) (規則第5条関係)

るものとする。

(独占的实施)

第14条 実施契約において、甲は、本共同研究の結果生じた発明等に係る甲が承継した知的財産権（本条第3項に規定するものを除く。以下「甲に帰属する知的財産権」という。）を、乙又は乙の指定する者に限り、実施契約による一定期間、独占的に実施（甲が第三者への実施許諾を行わないことをいい、以下「独占的实施」という。）させることができるものとする。

2 実施契約において、甲は、甲乙協議の上、共有に係る知的財産権を、乙又は乙の指定する者に限り、実施契約による一定期間、独占的に実施させることができるものとする。

3 甲は、乙又は乙の指定する者から前二項に規定する独占的に実施できる期間（以下「独占的实施期間」という。）を更新したい旨の申し出があった場合には、更新の是非及び更新する期間について、甲乙協議の上、定めるものとする。

(第三者に対する実施の許諾)

第15条 甲は、前条の場合において、乙又は乙の指定する者が、独断的实施期間中、契約で定めた年次以降において正当な理由なく実施しないとき、又は当該知的財産権を独占的に実施させることが公共の利益を著しく損なうと認められるときは、乙又は乙の指定する者以外の者に対し、当該知的財産権の実施を許諾することができるものとする。

(実施料)

第16条 甲に帰属する知的財産権を乙又は乙の指定する者が実施しようとするときは、原則として、実施権者は実施契約で定める実施料を甲に支払わなければならない。

2 甲及び乙は、共有に係る知的財産権を実施しようとするときは、原則として、当該知的財産権に係る甲及び乙の持分に応じ実施契約で定める実施料を相手方に支払わなければならない。

3 共有に係る知的財産権を第三者に実施させた場合の実施料は、当該知的財産権に係る甲及び乙の持分に応じて、それぞれに配分するものとする。

(出願等費用)

第17条 甲及び乙は、共同研究の結果生じた発明等に係る知的財産権を共有する場合には、当該知的財産権の出願等及び権利保全に必要な費用（弁理士費用、出願料、維持費等）を、それぞれ持分に応じて負担するものとする。

(情報交換)

第18条 甲及び乙は、本共同研究の実施に必要な情報、資料を相互に無償で提供又は開示するものとする。ただし、甲及び乙以外の者との契約により秘密保持義務を負っているものについては、この限りではない。

2 提供された資料は、本共同研究完了後又は本共同研究中止後相手方に返還するものとする。

(知的財産権の放棄)

第19条 甲又は乙は、共有に係る知的財産権を放棄しようとする場合には、放棄する前に、その旨を相手方に報告しなければならない。

(様式 2) (規則第5条関係)

(物件に係る権利の帰属)

第20条 共同研究を行うために取得した物件に係る権利は、その費用を負担した者に帰属する。ただし、特別な事情のあるときは、この限りではない。

(秘密の保持)

第21条 甲及び乙は、本共同研究において知り得た一切の情報を秘密として扱い、相手方の事前の同意なしに、それらを第三者に開示してはならない。ただし、それらの情報が次のいずれかに該当するものである場合は、この限りではない。

- 一 開示を受け又は知得した際、既に自己が保有していたことを証明できる情報
- 二 開示を受け又は知得した際、既に公知となっている情報
- 三 開示を受け又は知得した際、自己の責めによらずに公知となった情報
- 四 正当な権限を有する第三者から適法に取得したことを証明できる内容
- 五 相手方から開示された情報によることなく独自に開発・取得していたことを証明できる情報
- 六 書面により事前に相手方の同意を得たもの

(研究成果の通知及び公表)

第22条 甲及び乙は、本共同研究の成果について相手方に通知しなければならない。

2 甲及び乙は、共同研究の成果の全部又は一部を発表しようとするときは、あらかじめ他の当事者の同意を得なければならない。

(契約の解除)

第23条 甲及び乙は、次の各号のいずれかの事実が生じ、かつ相当な期間を定めて催告後同期間内に是正されないときは本契約を解除することができるものとする。

- 一 相手方が本契約の履行に関し、不正又は不当の行為をしたとき
- 二 相手方が本契約に違反したとき

(損害賠償)

第24条 甲又は乙は、前条各項に掲げる事由によって、又は甲、乙、研究担当者もしくは研究協力者が故意もしくは重大な過失によって、相手方に損害を与えたときには、その損害を賠償しなければならない。

(契約の有効期間)

第25条 本契約の有効期間は、表記契約項目表9.に掲げる期間とする。

2 本契約の失効後も、第4条、第8条から第22条、第24条及び第28条の規定は、当該条項に定める期間又は対象事項が全て消滅するまで有効に存続する。

(協議)

第26条 この契約に定めのない事項について、これを定める必要があるときは、甲乙協議の上、定めるものとする。

共同研究（共同研究機関：東北大学電気通信研究所）
電子透かし技術を応用した
障害児者のための情報補償システムの開発
－音響の情報バリアフリー化に向けて－（平成16年度～平成18年度）
研究成果報告書

平成19年3月 発行
研究代表者 棟方哲弥（国立特殊教育総合研究所）・鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）
発行 独立行政法人国立特殊教育総合研究所
〒236-0841 神奈川県横須賀市野比五丁目1番1号
TEL 046-848-4121（代表） FAX 046-849-5563

