

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00376

研究課題名(和文)スピーチセキュリティを保護するための局所的サウンドマスキングシステムの開発

研究課題名(英文)Development of sound masking system for speech security

研究代表者

為末 隆弘 (TAMESUE, TAKAHIRO)

山口大学・大学情報機構・准教授

研究者番号：00390451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、オープンスペースでスピーチプライバシー・セキュリティを保護するための方法のひとつとして、会話音声をそれとは異なる音でマスクする方法に着目し、無意味な定常雑音を用いてスピーチプライバシー・セキュリティのレベルをコントロールするためのサウンドマスキングシステムについて考察している。スピーチプライバシー・セキュリティに関する心理実験で得られた実測データをもとに、本システムの有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on a way to mask meaningful speech with some other sound achieving speech privacy/security, the masking sound system was considered for setting speech privacy/security levels using a meaningless steady masking. From the result of psychological experiments, effectiveness of the masking sound system for speech privacy/security protection was confirmed.

研究分野：情報学

キーワード：スピーチセキュリティ サウンドマスキング 心理評価

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 情報漏洩の防止や個人情報の保護といった時代的要求の高まりを受け、個人情報が話題になる会話の秘話性に注意が払われるようになった。これはスピーチプライバシーと表現されており、医療施設や金融機関、オフィスなどでスピーチプライバシーの保護が重要視されている。情報漏洩防止や個人情報保護に注目が集まる中、従来には存在しなかった設計要求が生じており、「単語は聞き取れない」や「単語が聞こえる場合はあるが文全体は理解できない」といったものに加えて、「何か聞こえる」、「音声であるとわかる」、「男女の性別がわかる」、「誰が話しているかわかる」といったようなより厳しいセキュリティレベルとなっている。

(2) スピーチプライバシーに関する心理評価に対応する物理指標として、明瞭度指数 AI や音声明瞭度指数 SII、スペクトル距離 SPD などが用いられてきたが、より厳しいセキュリティレベルの領域では、これらを用いてコントロールすることが可能であるかどうか、最適な物理指標を見出す必要がある。

(3) マスキング音が広範囲に放射されることで、遠方の他者に不必要な騒音としての影響を及ぼす可能性がある。音声とマスキング音の到来方向の違いによるマスキング効果の差異について検討されておらず、複雑な空間音響条件でのスピーチプライバシー・セキュリティの保護が困難である。

## 2. 研究の目的

(1) スピーチプライバシー・セキュリティに関する心理評価方法の確立のため、設計要求事例を分析し、どのような心理評価をどのような言語表現で行えばよいかを明確にする。音声とマスキング音の関係がどのような状態であればどのような心理評価となるかについて、心理実験をもとに調査する。

(2) スピーチプライバシー・セキュリティを保護するために最適な物理指標を見出す。スピーチプライバシー・セキュリティをよりコントロールしやすくなるよう、従来のスピーチプライバシーの指標として用いられている明瞭度指数 AI、音声明瞭度指数 SII、スペクトル距離 SPD などの様々な物理指標を導入し、周波数荷重特性の改良等を検討する。

(3) 様々な方向からマスキング音を放射した場合、どのような音声とマスキング音の到来方向であればどのようなスピーチプライバシー・セキュリティに関する心理評価となるか心理実験をもとに調査する。

(4) サウンドマスキングシステムを設計・試作・構築する。システムの有効性について、心理実験をもとに評価する。

## 3. 研究の方法

(1) スピーチプライバシー・セキュリティに関連する言語表現を洗い出して、カテゴリ評価尺度を構成するための心理実験を行った。

実験場所: 縦 4.4[m] × 横 3.6[m] × 高 2.5[m] の容積を持つ山口大学工学部防音室で実験を行った。暗騒音の音圧レベルは約 38[dB] で A 特性音圧レベルでは約 21[dB] であった。

被験者: 聴力正常な 20 歳代の男子学生 7 名、女子学生 1 名の計 8 名であった。

### 提示音

(A) 音声: 市販の講演テープに納められている講演音声から、男性 2 名、女性 2 名の計 4 種類の音声を選定した。音声ピークスペクトルのオーバーオール値を被験者の耳の位置で約 62[dB] になるよう調整した。

(B) マスキング用雑音: 周波数帯域幅 [44.5, 11313.6] で帯域制限したピンクノイズを用いた。被験者の耳の位置で時間平均音圧レベル値を約 50 ~ 80[dB] まで 1[dB] 刻みで変化させた場合について検討した。

### 測定方法

(I) 音声とマスキング用雑音をミックスしたものを 2 本のスピーカから提示した。スピーカから約 1.5[m] 離れた位置に着席した 8 名の被験者は、音声とマスキング用雑音を 30 秒間聴取した後、音声に対してどのように感じたかを自由に記述した。男性および女性の 4 種類の音声について、マスキング用雑音の音圧レベル値を約 80[dB] から 50[dB] まで変化させて実験を行った。上記の実験を 2 回繰り返した。

(II) 被験者は音声とマスキング用雑音を 30 秒間聴取した後、測定方法 (I) で得られたカテゴリ評価尺度のそれぞれについて、カテゴリに属するか否かを YES または NO で判断した。男性および女性の 4 種類の音声について、マスキング用雑音の音圧レベル値を約 50 ~ 80[dB] まで 1[dB] 刻みでランダム順に設定して実験を行った。上記の実験を 10 のカテゴリごとに 2 回繰り返した。

(2) スピーチプライバシー・セキュリティを保護するための最適に物理指標を見出すための心理実験を行った。

実験場所: 縦 4.4[m] × 横 3.6[m] × 高 2.5[m] の容積を持つ山口大学工学部防音室で実験を行った。暗騒音の音圧レベルは約 38[dB] で A 特性音圧レベルでは約 21[dB] であった。

被験者: 聴力正常な 20 歳代の男性 8 名であった。

### 提示音

(I) 音声を様々な遮断周波数をもつローパスフィルタに通したものをを用いた。

(II) 音声をマスキング用雑音によりマスクした。

(III) ローパスフィルタに通過させた音声をマスキング用雑音によりマスクした。

(A) 音声: 市販の講演テープに納められている講演音声から、男性 2 名と女性 2 名の計

4種類の音声を選定した。音声ピークスペクトルのオーバーオール値を被験者の耳の位置で約 62 [dB] となるように設定した。

(B) ローパスフィルタ：遮音システムの例として一重壁に着目した。具体的には 500[Hz]において 1[dB] 刻みで 1~35[dB]減衰するデジタルフィルタを作成した。

(C) マスキング用雑音：周波数帯域幅 [44.5, 11313.6]で帯域制限したピンクノイズを用いた。音圧レベル値を 1[dB]刻みで約 50~80[dB]となるように設定した。

測定方法：被験者の前方 2.5 [m] 先に設置されたスピーカから提示音を放射した。被験者は提示音を聴取した後にスピーチプライバシーが保護されている程度を 10 段階にカテゴリ化された評価尺度(F1: 何も聞こえない, F2: 何か聞こえる, F3: 音のリズムが聞こえる, F4: 音の抑揚が聞こえる, F5: 音声であるとわかる, F6: 話している人の性別がわかる, F7: 誰が話しているかわかる, F8: 単語が聞こえることがある, F9: 話の内容がある程度わかる, F10: 話の内容が全てわかる)の中から 1 つを選び、記入用紙に記入した。また、マスキング用雑音に対するうるささの評価を 7 段階の評価尺度(A1: まったく気にならない, A2: 気にならない, A3: あまり気にならない, A4: 少しうるさい, A5: うるさい, A6: かなりうるさい, A7: 非常にうるさい)の中から 1 つを選び、記入用紙に記入した。

(3) 音声とマスキング用雑音を様々な方向から提示した場合の、到来方向とスピーチプライバシー・セキュリティに関する心理評価の関係を調査するための心理実験を行った。

実験場所：縦 4.4[m] × 横 3.6[m] × 高 2.5 [m]の容積を持つ山口大学工学部防音室で実験を行った。暗騒音の音圧レベルは約 38[dB]で A 特性音圧レベルでは約 21[dB]であった。

被験者：聴力正常な 20 歳代の男性 8 名であった。

提示音

(A) 音声：市販の講演テープに納められている講演音声から、男性 1 名、女性 1 名の計 2 種類の音声を選定した。

(B) マスキング用雑音：周波数帯域幅 [44.5, 11313.6]で帯域制限したピンク雑音を用いた。被験者の耳の位置で音圧レベル値を約 50, 53, 56, 59, 62, 65, 68, 71, 74, 77, 80[dB]となるように設定した。

測定方法

(1) 円周上に等間隔で 8 個のスピーカを配置した。スピーカの位置が被験者にわからないよう黒い布で覆った。被験者はその中心に位置する椅子に座り、頭部をヘッドレストにより支持した。音声を 8 箇所のスピーカの中のひとつから提示すると同時に、マスキング用雑音を 8 箇所のスピーカの中のひとつから放射した。音声とマスキング用雑音の音圧レベル値および提示方向をランダム順に設定

して実験を行った。被験者は音声を 30 秒間聴取した後、音声に対してどのように感じたか、前述の 10 段階にカテゴリ化された評価尺度の中から 1 つ選んで判断した。また、マスキング用雑音に対するうるささについて、7 段階にカテゴリ化された評価尺度を用いて調査した。

(11) 測定方法は実験(1)と同様であるが、音声を 8 箇所のスピーカの中のひとつから提示すると同時に、その周辺の 3 箇所、5 箇所、または 7 箇所からマスキング用雑音を放射した。

(4) 実現場を模擬した音環境でのシステムの有効性を検討するため、心理実験を行った。

実験場所

(1) 縦 7.1[m] × 横 4.8[m] × 高 2.5[m]の容積を持つ山口大学メディア基盤センタースタジオで実験を行った。暗騒音の音圧レベルは約 50[dB]で A 特性音圧レベルでは約 30[dB]であった。

(11) 縦 9.5[m] × 横 8.9[m] × 高 2.9[m]の容積を持つ山口大学工学部 D33 番教室で実験を行った。暗騒音の音圧レベルは約 52[dB]で A 特性音圧レベルでは約 34[dB]であった。

被験者：聴力正常な 20 歳代の男性 8 名であった。

提示音：遮音システムを設置し、会話音声をマスキング用雑音によりマスクした。

(A) 音声：2名の会話者が会話例文集を読み上げた。音声ピークスペクトルのオーバーオール値は約 62~64[dB]であった。

(B) 遮音システム

(B-1) ローパーティション：市販のローパーティション(高さ 1.5[m])を設置した。

(B-2) 吊り下げ式パーティション：天井に吊り下げられたパーティションを使用した。

(C) マスキング用雑音：マスキング用雑音としてピンクノイズを用いた。音圧レベル値を 1[dB]刻みで約 46~75[dB]となるように設定した。

(D) 背景騒音：市販の効果音 CD に納められている効果音から、ざわめき音を選定した。音圧レベル値を約 50, 60[dB]となるように設定した。

測定方法：6名の聴取者はスピーカから約 2[m]離れた椅子に座り、会話を 30 秒間聴取した後、前述の 10 段階にカテゴリ化された評価尺度とマスキング用雑音のうるささに関する心理的印象を判断した。

4. 研究成果

(1) 心理実験における被験者全員の自由記述からスピーチプライバシー・セキュリティの評価に関連する言語表現を洗い出した。さらに、被験者間で共通する言語表現をまとめて、カテゴリ(何も聞こえない, 何か聞こえる, 音のリズムが聞こえる, 音の抑揚が聞こえる, 音声であるとわかる, 話している人の性別がわかる, 誰が話しているかわかる, 単

語が聞こえることがある、話の内容がある程度わかる、話の内容が全てわかる)に分類した。また、これらのカテゴリの順序を確認して、次のようなカテゴリ順序尺度を構成した。

- ・F1: 何も聞こえない
- ・F2: 何か聞こえる
- ・F3: 音のリズムが聞こえる
- ・F4: 音の抑揚が聞こえる
- ・F5: 音声であるとわかる
- ・F6: 話している人の性別がわかる
- ・F7: 誰が話しているかわかる
- ・F8: 単語が聞こえることがある
- ・F9: 話の内容がある程度わかる
- ・F10: 話の内容が全てわかる

さらに、心理実験で得られた実測データを用いて、構成したカテゴリ順序尺度が等間隔距離尺度として扱うことができるかどうか検討した。系列範ちゅう法により求めたカテゴリ尺度値とカテゴリ順序尺度をそのまま等間隔距離尺度とした場合の尺度値の間の相関係数が0.999となっており、ほとんど1に近い値を示したことから、カテゴリ尺度値をそのまま等間隔距離尺度として取り扱っても大きな問題は生じないと思われる。

(2) スピーチプライバシー・セキュリティをコントロールするための物理指標として、従来より提案されている明瞭度指数AI, 会話妨害レベルSIL, 信号対妨害雑音比SI, 音声明瞭度指数SII, スペクトル距離SPDに加えて、新たな指標S1, S2を導入し、音声とマスキング用雑音の振幅・周波数特性に関する相対的關係のみでなく、遮音システムの周波数特性を加味できるように指標の改良を試みた。さらに、指標に用いるための周波数荷重についても検討した。心理実験で得られた実測データを用いて、指標とカテゴリ評価との関係を求めた。これらの関係を捉えるためのモデルとしてロジスティック関数、修正指数関数およびゴンペルツ関数を用いた。結果の例として、SPDcの場合を図1に示す。図中には、AICの値を最小にするという意味で最適な回帰関数を併せて示している。

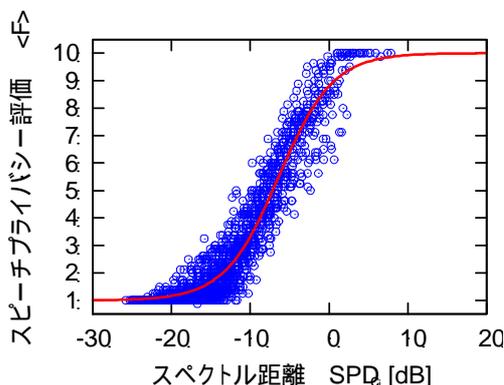


図1: 指標と心理評価の関係

指標として、SPDcを用いた場合に、AIC値が

最も小さくなり、スピーチプライバシー・セキュリティの保護に最適な指標であることがわかった。

(3) 心理実験で得られた実測データを用いて、音声およびマスキング用雑音の到来方向とスピーチプライバシーに関する心理評価の関係を求めた。結果の例として、音圧レベル値が約68[dB]のマスキング用雑音を提示した場合を図2に示す。同図には男性音声及び女性音声を提示した場合の結果を合わせて示している。図2より、音声とマスキング用雑音の到来方向が近づくにしたがって、スピーチプライバシーに関する心理評価が低下しており、マスキング用雑音の影響が強まることわかる。また、音声とマスキング用雑音の到来方向が前後対称となる場合もスピーチプライバシーを保護しやすくなっている。

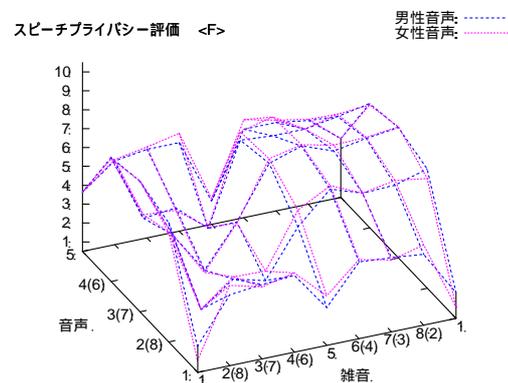


図2: 音声及びマスキング用雑音の到来方向と心理評価の関係( $L_n=62$ [dB])

音声およびマスキング用雑音の到来方向ごとに指標SPDcと心理評価の関係を求めた。その結果の一例として、音声を前方から提示した場合を図3に示す。

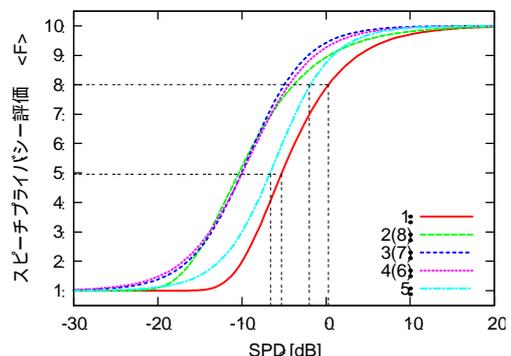


図3: 指標と心理評価の関係(音声を前方から提示した場合)

また、音声とマスキング用雑音の相対角度に対するSPDcの主観的等価値の差を補正値Sdとして求めた結果の例としてSPDcが-5[dB]の場合を図4に示す。

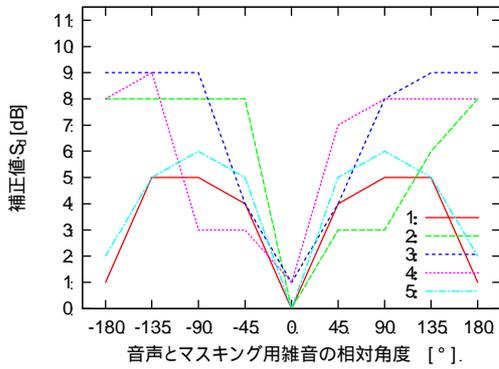


図 4: 音声及びマスキング用雑音の相対角度と補正值  $S_d$  の関係

さらに、次式によりスピーチプライバシー評価に関する予測値を算出した。

$$SPD = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (L_S(f_i) - L_N(f_i))$$

$$\approx \frac{1}{8} 10 \log_{10} \sum_{k=1}^8 10^{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 L_S(f_i) - S_d(j,k)} / 10$$

音声を 8 箇所スピーカの中の一つから提示すると同時に、その周辺の 3 箇所、5 箇所、または 7 箇所からマスキング用雑音を放射した場合の実測値と予測値を比較した結果を図 5 に示す。

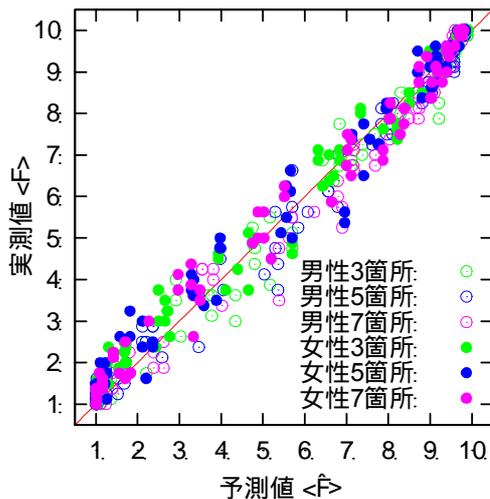


図 5: 心理評価の予測値と実測値の比較

(4) 試作したサウンドマスキングシステムのフローチャートを図 6 に示す。本システムでは、スピーチプライバシー・セキュリティに関するレベルを 10 段階から選択することができる。レベルに対応する指標の値に基づき、事前に収録した背景騒音及び過去 30[s] にわたって測定した会話音声のパワースペクトルを用いてマスキング用雑音のレベル地が変更される。この時間間隔は予め設定することができる。



図 6: フローチャート

心理実験で得られた実測データを用いて、評価の予測値を算定し、実測値と比較した。指標として SPDC を用いた場合を図 7 に示す。

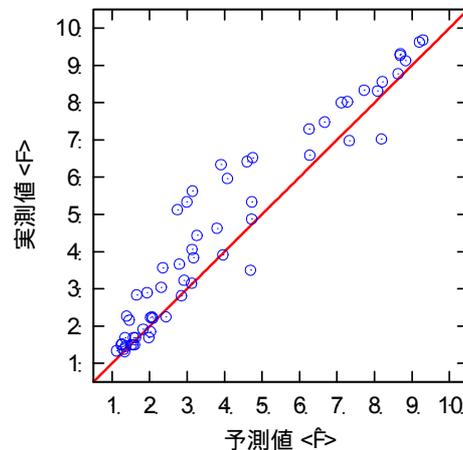


図 7: 心理評価の予測値と実測値の比較

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] システム制御情報学会誌(計 1 件)

為末 隆弘、佐伯 徹郎、有意味・無意味騒音が精神作業課題に対する選択的注意に及ぼす影響、査読有、Vol.30、No.7、2017、pp.293-295

[学会発表](計 16 件)

佐久間規彰、佐伯徹郎、為末隆弘、加藤裕一、音声とマスキング用雑音の到来方向を考慮した主観的等価値によるスピーチプライバシー評価、第 68 回電気・情報関連学会中国支部連合大会、2017

中村篤、佐伯徹郎、為末隆弘、加藤裕一、遮音システムとマスキングノイズを用いた

スピーチプライバシー保護のための評価指標、第 68 回電気・情報関連学会中国支部連合大会、2017

久保田将充、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、有意味・無意味騒音が精神作業時の選択的注意に及ぼす影響、日本音響学会 2017 年秋季研究発表会、2017

井上睦月、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、多変量解析に基づく耳鳴を表現するための擬声語に関する一考察、日本音響学会 2017 年秋季研究発表会、2017

Takahiro Tamesue, Investigation of selective attention to auditory cognitive task under meaningful or meaningless noise, 46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2017

Takahiro Tamesue, Effects of meaningful or meaningless noise on selective attention to auditory cognitive task, Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2017

宅見俊輝、森下翔、佐伯徹郎、為末隆弘、加藤裕一、遮音システムとマスキングノイズを用いたスピーチプライバシー保護のための評価指標に関する一考察、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、2017

Takahiro Tamesue, Effects of meaningful or meaningless noise on psychological impression for annoyance and selective attention to stimuli during intellectual task, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, 2016

田中洋一、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、有意味・無意味音が精神作業時の注意・集中に及ぼす影響、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016

Takahiro Tamesue, Effects of acoustical noise on selective attention to auditory stimuli during intellectual task, 2016 Joint 8th International Conference on Soft

Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2016

篠原久広、依一史、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、耳鳴を表現するための擬声語に対する音色分析、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016

森下翔、坂本惇平、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、遮音システムとマスキング用雑音を用いたスピーチプライバシー保護システムの構築、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016

Takahiro Tamesue, Effects of noise on selective attention to auditory stimuli and psychological impression for

annoyance, 12th Western Pacific Acoustics Conference 2015, 2015

坂本惇平、河村達也、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、音声とマスキング用雑音の到来方向を考慮した主観的等価値によるスピーチプライバシー評価の予測手法、日本音響学会 2015 年秋季研究発表会、2015

依一史、森下翔、為末隆弘、佐伯徹郎、加藤裕一、遮音システムとマスキング用雑音を用いたスピーチプライバシー保護のための実験的考察、日本音響学会 2015 年秋季研究発表会、2015

森下翔、坂本惇平、佐伯徹郎、為末隆弘、加藤裕一、遮音システムとマスキング用雑音を用いたスピーチプライバシー保護に関する一考察、第 59 回システム制御情報学会研究発表会、2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

為末 隆弘 (TAMESUE TAKAHIRO)

山口大学・大学情報機構・准教授

研究者番号：00390451