

マスキングを用いた医療空間におけるスピーチプライバシー向上 Improvement of Speech Privacy in Medical Space by Using Masking Sound

精密工学専攻 43号 藤沼 潔
Kiyoshi Fujinuma

1. はじめに

近年、病院内の音環境は、人の声や作業音に加え、医療機器の増加に伴う各種医療機器の発生音がある。これまでの研究では、絶え間無い呼び出しアナウンス音の報告があり、多種音源が存在することが確認されている。また、医療空間において、患者は騒音問題に加えて「病状や名前などの会話が他人に聞こえる」といったスピーチプライバシーの問題に対して不快に感じていることが確認され、各国で個人情報保護に関心が高まっている⁽¹⁾。医療空間ではスペースやコストの問題から、会話の個人情報を守る対策として遮音物を設けるなど建築的な対策が困難である。このような場合、サウンドマスキングシステムが有効であると考えられるが、遮音物のない空間では隣席からもれてくる会話音の音圧レベルが大きくなってしまったため、マスキング音の音圧レベルも大きくする必要があり、そのため、会話領域でのアノイアンス(うるささ)も高くなってしまふ。

そこで本研究では、医療空間における音環境アンケートに基づき、問題点を把握する。また、フィルム状の薄型静電型平面スピーカ(以下、指向性スピーカ)を用いてマスキング音を再生することで、隣席に対して漏れ音を抑えたマスキング再生手法について検討する。さらに、マスキング音(以下、マスカ)の最適音圧レベルの検討、必要な周波数成分について把握する。最後に、湾曲スピーカを用いたマスキングシステムを医療空間に適用することで本システムの有効性について検討する。なお、被験者には以降のすべての評価において十分なインフォームドコンセントを実施している。

2. 医療空間における音環境問題点の抽出

本章では、医療空間における音環境アンケートを実施し、医療空間における音環境の問題点を抽出する。調査対象者は、大学病院内の外来または入院患者(以下、患者)478名および医療従事者543名の合計1021名である。患者、医療従事者ともに約20の各部門で、均等な人数になるように音環境アンケートを実施し、偏りが起きないように病院全体の音環境を把握する⁽²⁾。

2.1 質問項目

まず患者に対しては以下に示す4項目で構成し、①性別、年齢、通院頻度、通院目的等の回答者の個人属性、②音に関する意識、③待合室における音環境、④最も滞在時間の長い部屋の音環境、について質問を実施する。次に医療従事者に対しては、5項目で構成され、①性別、年齢、医療従事歴、職務、勤務時間等の回答者の個人属性、②音に関する意識、③作業空間における音環境、④音が作業に与える影響、⑤色環境を含む作業空間の快適性、について質問を実施する。

さらに、患者、医療従事者双方のアンケートに回答日時の記述や自由記述欄を設け、時間帯別の音環境変化の把握、および現状の音環境に関する意見を得る。

2.2 患者用アンケート集計

患者が最も長く滞在した部屋は、滞在時間順でA)治療室、B)待合室、C)診察室、D)処置室、E)採血室の5つに分けることができ、全体の9割を占める。この結果を基に各部屋

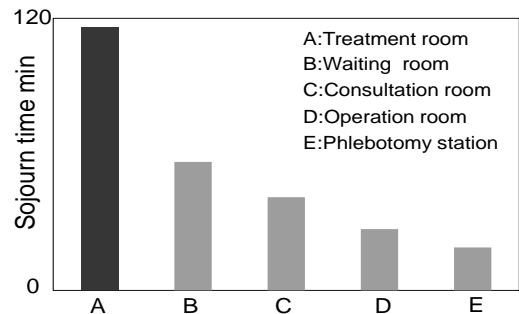


Fig. 1 Average of sojourn time

の平均滞在時間を Fig. 1 に示し、治療室を利用する患者の滞在時間が最も長いことがわかる。また治療室を利用した患者の約50%が化学療法室を利用しており、化学療法室の患者が最も長時間滞在していると推察でき、その平均滞在時間は130分である。化学療法室において「他人が発する声や音」が気になると答えた患者が44%、「機械が発する音」が気になると答えた患者が20%であり、機械の音よりも他人が発する騒音のほうが患者に影響を与えることがわかる。さらに、約20%の患者が、「気が散る」または「医師や看護師の声が聞き取りにくいときがある」と回答した。自由記述欄には、近くで診察する声が聞こえることが不快である、または自らの問診の内容が外に漏れることが不快である、の意見があり、スピーチプライバシーの問題に対する配慮の必要性が示唆された。

2.3 医療従事者用アンケート集計

部屋別の作業に対する騒音の影響を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より化学療法室において45%の医療従事者が、騒音が作業に支障をきたすと回答し、次いで心臓血管疾患集中治療部(CCU)や高度救命救急センター(CCM)といった集中治療室において作業に支障をきたすと回答していることがわかる。そこで本研究では、患者の滞在時間の観点からも化学療法室、集中治療室を対象領域とする。

Fig. 3 に化学療法室、集中治療室の音源について示す。化学療法室の医療従事者は気になる音として、タイマ音やポンプ音に加えて患者と同様に他人の話し声が挙げられ、医療従事者の観点からもスピーチプライバシーの重要性が確認された。一方、集中治療室は心電を表すモニタ音やアラーム音、機器が発する音などが挙げられ、部屋ごとに騒音源が異なることが確認できる。

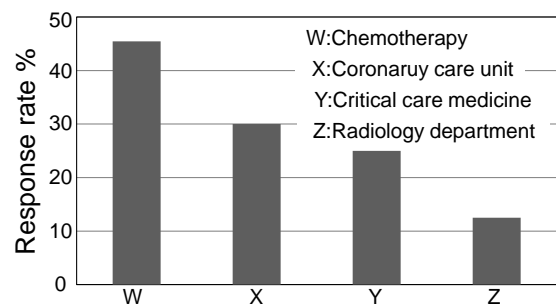


Fig. 2 Bad influence of sounds

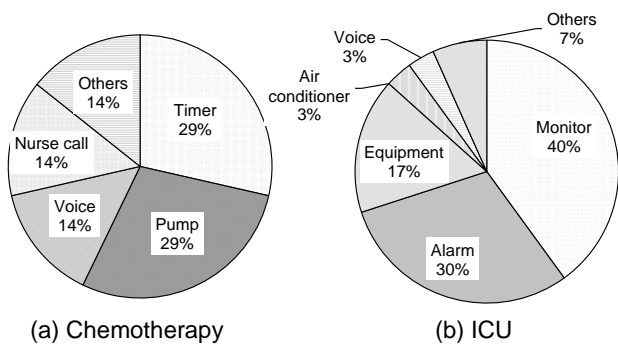


Fig. 3 Kinds of sound sources

3. マスキング音の検討

本章では、前章で明らかとなった化学療法室におけるスピーチプライバシの問題点に対してマスキングによる対策案の検討を行う。まず、非会話領域にマスキングを集中させることで、漏れ音を抑えた再生手法の検討を行う。次に、主観評価によりマスキングに必要なマスキングの音圧レベルの把握、マスキングに必要な周波数成分について検討を行う。また、単語の書き取り試験を用いて音圧レベルと正答率を近似曲線で近似することでマスキング効果を定量的に表す。

3.1 再生手法の検討

非会話領域にマスキングを集中させることで、会話領域での漏れ音を小さくするため、長編方向に湾曲させた指向性スピーカ(以下、湾曲スピーカ)による再生手法を検討する。

3.1.1 曲率による音圧集中

まず、指向性スピーカの湾曲有無による音圧分布を測定する。本研究での指向性スピーカは縦 68 cm、横 46 cm のものを用いる。指向性スピーカ正面の 0.7 m 地点にマイクロフォンを 0.1 m 間隔で横 8 ch、高さ 6 ch、合計 48 ch 設置することで音圧分布を測定する。なお、湾曲スピーカでは曲率の凹からの距離を 0.7 m としている。実験は完全無響室で行い、音源は 100-4000 Hz のホワイトノイズを用いて行った。指向性スピーカに湾曲を与えていない場合の音圧分布を Fig. 4(a)、湾曲スピーカの音圧分布 Fig. 4(b)に示す。Fig. 4(a)、(b)から湾曲スピーカを用いることで、音圧を線上により強く集中させられていることが確認できる。また、湾曲スピーカの短編に対する中心線の応答を見るとスピーカ端部(B)とスピーカ中心部(A)の応答点で 17.6 dB 音圧レベルの差をつけることができることを確認した。さらに、湾曲スピーカでは、端部と中心部との音圧差が湾曲をつけていない状態に比べて 4 dB 大きくできることを確認した。

3.1.2 遮音材による背面音対策

本節では指向性スピーカから背後への放射音が天井に反射し、会話領域に漏れることを防ぐために、背面の遮音を検討する。指向性スピーカから 100-4000 Hz のホワイトノイズを再生し、指向性スピーカに対して遮音材の設置の有無による出力特性の変化を把握することで漏れ音低減レベルを確認する。

Fig. 5 に示す実験結果より、遮音材を用いることで 1000 Hz

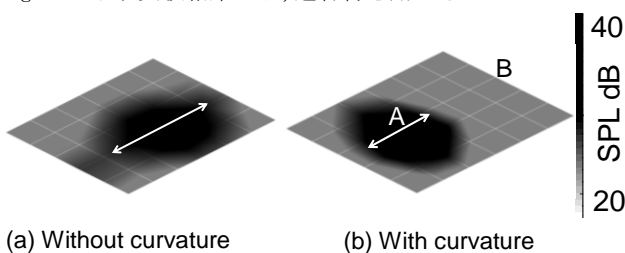


Fig. 4 Sound pressure distribution

で約 10 dB、4000 Hz で約 20 dB 音圧レベルが低下していることを確認でき、遮音材としての効果を確認した。

3.2 マスキング検討

3.2.1 マスキング最適音圧検討

本研究では 3 種類のマスキングを使用する。マスキング-1 は音声マスキングおよび川のせせらぎや鳥等の混合音、マスキング-2 は音声マスキングおよび空調音の混合音、マスキング-3 はピンクノイズ加工音である。評価音源は、単語の音圧レベル 45 dBA、50 dBA、55 dBA に対し、3 種類のマスキングを +5 dBA、+10 dBA、+15 dBA で混ぜた音源を用いる。

評価は無響室で行い音声の提示はヘッドフォンで行う。評価は単語の書き取り試験形式で行い、単語理解度をその正答率として評価する。単語は 1 つの条件につき 2 単語を用い、各単語音圧レベルに対して 18 単語ずつ使用し、単語の重複はないものとする。タイムプロトコルを Fig. 6 に示す。被験者は 20 代前半 12 名である。

式(1)に示すロジスティック回帰分析によって求めたマスキングの音圧レベルと単語理解度の関係を Fig. 7 に示す⁽³⁾。低いマスキング音圧レベルで単語理解度が低い結果を示すものがマスキング効率の高いマスキングでありアノイアンスを与えにくいマスキングであると言える⁽⁴⁾。

$$y = \exp(b+ax) / (1 + \exp(b+ax)) \quad (1)$$

y: Percentage of correct answer x: Masker SPL

a: Partial regression coefficient b: Intercept

Fig. 7(a)に単語音圧レベルが 45 dBA, Fig. 7(b)に 50 dBA, Fig. 7(c)に 55 dBA の場合を示す。横軸はマスキングの音圧レベル、縦軸は単語理解度である。マスキング毎のマスキング効率を比較すると、単語の音圧レベルによらずマスキング-1 がマスキング効率が最も高いことが確認でき、マスキング-2 とマスキング-3 ではマスキング効率では差がないことが分かる。また、マスキング効率は単語音圧レベルに依存する。Fig. 7(a)に示す単語音圧レベルが低い場合には、マスキングの種類によらず単語音圧レベルに対して +10 dBA のマスキングを混ぜることによって正答率が約 20 % に下がることが確認でき、+15 dBA では正答率が 0 % に近づく。一方、Fig. 7(c)に示す単語音圧レベルが高い場合には、マスキングの性能によるマスキング効率の違いが大きくなる。マスキング効果が最も高いマスキング-1 では単語音圧レベルによる変化はほとんど見られないが、マスキング-2 およびマスキング-3 は単語音圧レベルが高い場合には単語音圧レベルに対して +10 dBA では正答率が 50 % 以上であることが確認された。

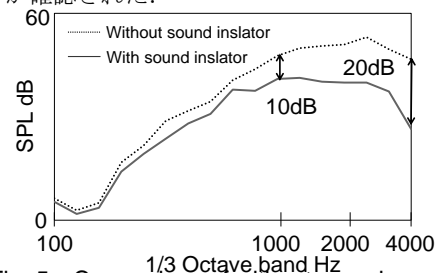


Fig. 5 Comparison of without sound insulator and with sound insulator

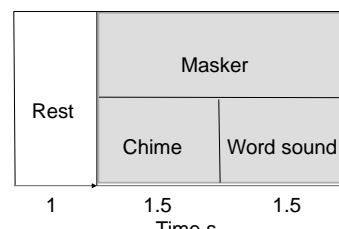


Fig. 6 Time protocol for subject assessment

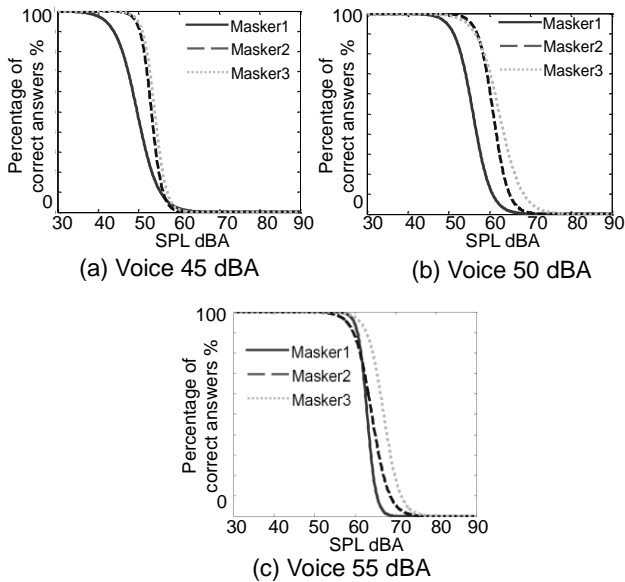


Fig. 7 Relation between correct percentage and SPL

3.2.2 マスキングに必要な周波数成分把握

スピーカ再生時に耳位置での周波数特性が変化することを考慮し、マスキング効率と周波数特性の関係性を把握して周波数補正を行う。3.1節で最もマスキング効率が高いと判断されたマスクー1に4種類のハイパスフィルタ (HPF) をかけた音源を用いて同様の書き取り試験を行う。音源は Table 1 に示す 12 音源を用いる。

Fig. 8 より、低域成分を削除するとマスキング効率が低下する傾向が確認できる。特に、HPF 600 Hz ではマスキング効率が著しく低下する。単語音圧レベルに対して +10 dBA では Default のみ低い正答率であり、+15 dBA では Default と 200 Hz が同等の正答率である。以上より、スピーカ再生時は非会話領域において 200 Hz 以上の出力が低下しないよう周波数補正を行う。

4. 医療空間での適用

本章では、第4章で行ったマスクー再生手法の検討とマスクー最適音圧レベルの結果を用いて医療空間へ適用しその実用性を確認する。

Table 1 Subject sound SPL

Voice SPL dBA	Masker1 SPL dBA	HPF cut off frequency Hz	
50	+	55	0
		57.5	200
		60	400
		60	600

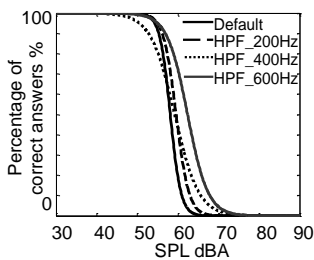


Fig. 8 Relation between correct percentage and SPL with HPF

4.1 模擬医療空間での書き取り試験

4.1.1 漏れ音比較

3章で提案した湾曲スピーカの優位性を確認するため、Fig. 9 に示す模擬医療空間において非会話領域にマスクーを再生した際の会話領域での漏れ音比較を行う。再生手法は、コーンスピーカを頭上に設置した場合、コーンスピーカを耳元に2つ設置した場合、湾曲スピーカを頭上に設置した場合の3パターンを用いる。各領域でダミーヘッドを用いてそれぞれのスピーカから再生されるマスクー1を録音し、ダミーヘッドの両耳平均値を比較することで漏れ音比較を行う。

評価結果は、頭上にコーンスピーカを設置した場合では、非会話領域と会話領域の OA 値の差分は 9.1 dBA であった。次に、耳元にコーンスピーカを設置した場合では、OA 値の差分は 15.7 dBA であった。さらに湾曲スピーカを頭上に設置した場合は、OA 値の差分は 20.5 dBA であった。Fig. 10 に湾曲スピーカで再生した際の結果を示す。人間の感度の高い 630 Hz から 4000 Hz において音圧レベルが大きく下がっていることが確認できる。

以上より、湾曲スピーカでマスクーを再生することにより、会話領域と非会話領域で大きな音圧差をつけることができ、マスキング環境として優位な結果を得ることができた。

4.1.2 書き取り試験による指向性スピーカの優位性確認

Fig. 9 に示した模擬医療空間の会話領域の横に単語発生用スピーカを設置し、3章と同様の書き取り試験を行う。マスキング再生用スピーカとして頭上にコーンスピーカ、指向性スピーカを設置することで指向性スピーカの優位性について検証する。単語発生用スピーカは女性の看護師の口位置を想定し、高さを 1.4 m とした。単語音声はささやき声を想定し、会話領域の両耳平均が 45 dBA になるように調整した。マスクー1は非会話領域の両耳平均が 55 dBA になるように調整した。また本評価は書き取り試験に加え、各領域でアノイズについても評価を行なう。会話領域では単語を聞き取る際にマスクーの音が許容できるかを4段階で評価し、非会話領域ではスピーチプライバシーが守られることを前提として、被験者がマスクーを聴く際にマスクーの音量が許容できるかを4段階で評価する。なお、被験者は20代6名である。

コーンスピーカを用いた場合の評価結果を Fig. 11、湾曲スピーカを用いた場合の評価結果を Fig. 12 にそれぞれ示す。

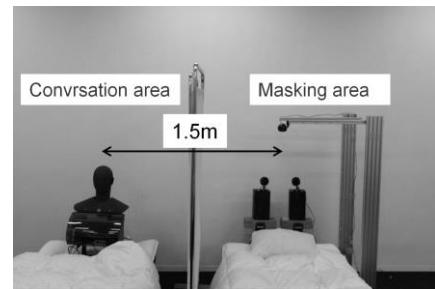


Fig. 9 Setup of experiment

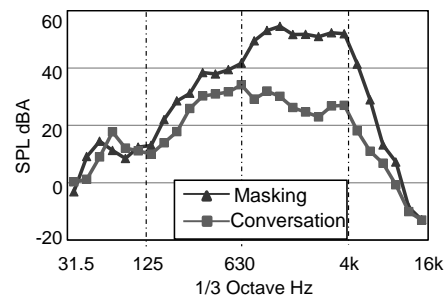


Fig. 10 Comparison between conversation area and masking area

横軸が被験者、縦軸が単語理解度を示す。コーンスピーカを設置した場合は会話領域での平均正答率が 97.5%，非会話領域で 12.0 %となった。また、アノイアンスは会話領域で 2.2 点、非会話領域で 2.4 点となった。

一方、頭上に湾曲スピーカを設置した場合は会話領域での平均正答率が 97.8%，非会話領域で 25.6 %となり、非会話領域でやや正答率が高くなっているが、アノイアンスは会話領域で 1.6 点、非会話領域で 2.0 点となり、コーンスピーカに対して不快感を抑えられていることが確認できる。また、湾曲スピーカでの非会話領域での正答率が高いのは、一人の被験者が 40 %と高い正答率を出していることが影響していると考えられる。

4.2 医療空間での書き取り試験

4.2.1 医療空間での書き取り試験

本章では実際の医療空間の化学療法室において4章と同様の書き取り試験を行うことで、非会話領域の頭上に湾曲スピーカを設置するマスキングシステムの実現性について検証する。本実験で使用した医療空間の概略図を Fig. 13 に示す。部屋に患者が滞在する椅子は 8 席あり、患者間の距離は約 0.7 m であり対面する患者の耳位置間の距離は約 3.6 m で患者間はカーテンのみで仕切られている。本実験では 1 番席を会話領域とし、2 番席を非会話領域とする。実験条件は 4.1 節と同様で行い、マスキング用スピーカはマスキング効果の高い湾曲スピーカのみで行う。

評価結果は、会話領域での平均正解率が 87.0 %であり、非会話領域での平均正答率が 9.3 %であった。また、アノイアンスも会話領域で 1 点、非会話領域で 1.6 点であり、不快感を与えていないことが分かる。

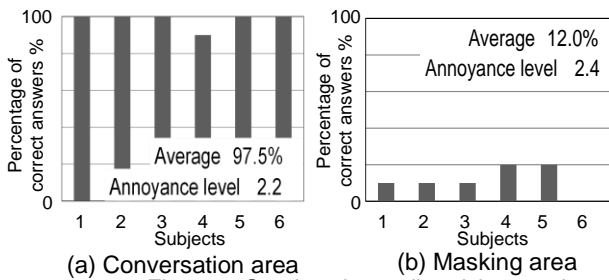


Fig. 11 Overhead non-directivity speaker

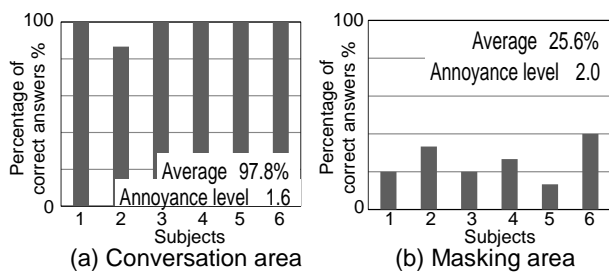


Fig. 12 Overhead directivity speaker

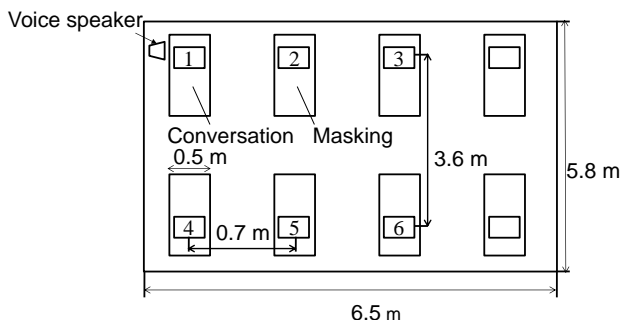


Fig. 13 Environment of Experiment

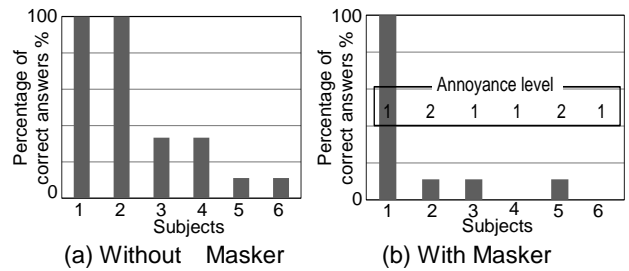


Fig. 14 Percentage of correct answer

4.2.2 各席に対するマスキングの影響

マスキングの有無による書き取り試験を行うことで、マスキングの効果と非会話領域へのマスキングの影響を把握する。4.2 節と同様のセットアップで評価を行ない、被験者を 1 番席から 6 番席まで座らせる。

Fig. 14(a)にマスキングを再生していない場合の評価結果、Fig. 14(b)にマスキングを再生した場合の評価結果を示す。これよりマスキングを再生していない場合では、1 番席(会話領域)、2 番席(非会話領域)で正答率が 100 %であり、3 番席(非会話領域)でも正答率が 30 %であることが分かる。マスキングを再生すると、会話領域ではマスキングを再生していない場合と変わらず 100 %であるが、2 番席では 10 %まで正答率が低下していることが確認できる。また、各席でのアノイアンスも低くほとんど不快感を与えていないことが確認できる。

以上より、本マスキングシステムを用いることによって、隣席にほとんど不快感を与えることなくスピーチプライバシーを保護できる可能性を示した。

5. 研究成果

- (1) 医療空間における音環境アンケートより、化学療法室において患者はスピーチプライバシーの問題に対して不満を感じていることを把握できた。
- (2) 指向性スピーカを用いることによって音を集中させることができ、コーンスピーカを用いる場合よりも隣席への漏れ音を小さくできることが分かった。
- (3) 模擬医療空間において単語の書き取り試験を行うことによって、会話領域では高い正答率、非会話領域では低い正答率を示すことから、十分なマスキング効果を実現できた。また、主観評価よりアノイアンスも小さいことを把握できた。
- (4) 実環境で単語書き取り試験を行うことによって、マスキング効果およびアノイアンス共に模擬医療空間と同様の結果を得られたことから、本マスキングシステムの有効性を示した。

参考文献

- (1) 清水寧, “北米の医療施設を対象としたスピーチプライバシーの建築・音響企画と動向”, 日本音響学会講演論文集 (秋), 1127-1128, (2013).
- (2) 藤沼潔 他, “医療施設における音環境アンケート”, 日本音響学会講演論文集 (春), 1533-1534, (2013).
- (3) 藤原 他, “薬局におけるサウンドマスキング評価方法の実験的検討”, 日本音響学会講演論文集 (秋), 1127-1130, (2011).
- (4) 岸征宏 他, “話声に対するマスキングノイズの許容レベル”, 日本建築学会, 21-24, (2011).
- (5) 藤沼潔 他, “マスキングを用いた医療空間におけるスピーチプライバシーの向上”, 日本音響学会講演論文集 (春), 1-6-5, (2015).