

MRI騒音下における新通話システムの開発

Development of New System Using Bi-directional Voice Communication in the MRI Noise Environment

著 者：中島 潤也¹⁾²⁾

共著者：加藤 京一¹⁾²⁾ 高橋 俊行¹⁾³⁾ 本寺 哲一²⁾ 小林 興弘⁴⁾ 濱本 保⁵⁾ 中澤 靖夫¹⁾⁶⁾

1) 昭和大学大学院 保健医療学研究科 教員, 2) 昭和大学藤が丘病院 放射線室 診療放射線技師
3) 昭和大学江東豊洲病院 放射線室 診療放射線技師, 4) コバテル株式会社 会社役員
5) 株式会社Sansei 会社員, 6) 昭和大学統括放射線技術部 診療放射線技師

Key words: MRI noise, noise reduction, bi-directional voice communication

[Abstract]

It is difficult to recognize the patient's voice via ordinary microphones in the operation room during MRI scanning due to the generated noise. It totally interrupts the voice communication between MRI operator and the patient. Today, we have developed the bi-directional voice communication system with the noise reduction feature against MRI generated noise. This study reports the usability of this newly developed bi-directional voice communication system between MRI operator and the patient by monitoring the patient's condition via voice for safe scanning operation. Specialized components of this system (soundproof headphones, and optical microphone pads activated by neck vertebrae conduction) were used for the testing environment. At maximum, the equivalent continuous A-weighted sound pressure Level (L_{Aeq}) was reduced to 27.6 dB by soundproof headphones, and was reduced to 23.3 dB by optical microphone pads activated by neck vertebrae conduction. We have evaluated the effectiveness of bi-directional communication between patients and the MRI operator by giving questionnaires to 60 patients, who agreed with this study purpose. According to the results collected from the patients, the evaluation point (EP) of new system was significantly higher for the noise tolerance level, compared to the point of current system (new: 3.27 EP, current: 2.43 EP by 4-point LICKERT scale, $P<0.01$). Regarding to the evaluation of the insecure feeling level, new system was significantly lower, compared to current system (new: 3.60 EP, current: 2.73 EP by 4-point LICKERT, $P<0.01$).

[要旨]

MRI 撮像中は、従来のマイクロホンでは患者からの音声を操作室で認識することは困難であるため、操作者と患者間の会話を妨げ、双方のコミュニケーションを図る上で障害となる。今回、騒音を低減し、双方向の音声通話を可能とする新通話システムを開発した。等価騒音レベル (L_{Aeq}) は、防音ヘッドホンにより最大 27.6dB 低減され、頸椎接触型骨伝導式光マイクロホンパッドにより最大 23.3dB 低減された。患者アンケートを実施し、騒音に対する許容性や不安感に関して 4-point LICKERT 法による評価の結果、本システムは従来のシステムに比較して有意に高い結果であった ($P<0.01$)。

緒 言

Magnetic Resonance Imaging (MRI) は核磁気共鳴現象を用いて体内の情報を画像にする手法であり、近年では高精細な画像取得により高精度の診断が

可能となり、広く普及している。しかし、MRI装置は撮像時において静磁場の傾斜磁場コイルに流す電流を高速に ON-OFF 制御するため、傾斜磁場コイルが振動することによって非常に大きな騒音が発生する。MRI の騒音は 80~120dB の音圧レベルに達し¹⁾、一般騒音の中でも最上位に位置するが、一般環境における騒音では、騒々しい街頭、電車のガード下、飛行機離着陸直下などと同程度の騒音レベルである²⁾。この騒音は、一時的な聴力障害や精神障害などの健康被害に影響を及ぼす可能性があるため、国内外の各種機関において 140dB を超えないように規制されている³⁾。さらに等価騒音レベルが 99dB を超える可能性がある場合には、耳栓などにより 99dB 以下にすることが義務付けられており、騒音を低減させる必要がある⁴⁾。

現在、騒音を低減する各種の手法が実用化されている。騒音の発生自体を抑える手法として、傾斜磁場コイルに流れる電流を最適化して高周波数成分を抑える静音化技術がある⁵⁾。また騒音の伝播経路を遮断する手法として、傾斜磁場コイルを真空槽に入れて MRI

Junya Nakashima¹⁾²⁾

Kyoichi Kato¹⁾²⁾, Toshiyuki Takahashi¹⁾³⁾,
Tetsuichi Hondera²⁾, Okihiro Kobayashi⁴⁾,
Tamotsu Hamamoto⁵⁾, Yasuo Nakazawa¹⁾⁶⁾

- 1) Graduate School of Nursing and Rehabilitation Sciences, Showa University
- 2) Department of Radiological Technology, Showa University Fujigaoka Hospital
- 3) Department of Radiological Technology, Showa University Koto Toyosu Hospital
- 4) KOBATEL Corporation
- 5) Sansei Corporation
- 6) Department of Radiological Technology, Showa University

本体と分離し、音の伝達を抑える機構がある⁶⁾。近年の最新技術では、特殊なグラディエント波形を用いてデータ収集を行うことにより、傾斜磁場コイルに流れる電流の切り替えを最小限にし、コイルの振動を抑える技術が開発されており、大幅な騒音低減を実現している。しかし、特定の最新装置に限定されることや、パルスシーケンスに依存し全ての撮像を静音化することが困難であり、汎用性^{はんよう}において大きな制約を受けざるを得ない⁷⁾。エアー伝達方式の消音システムが提案されているが⁸⁾、マイクが口元から離れており、また音声が入ったエアーチューブを介するため、MRI撮像中の会話では同時にMRIの騒音も拾うことになり、MRI操作室側の診療放射線技師（以下、技師）にとっては患者からの音声を認識することが困難である（本研究においてはMRI操作室側のオペレーターを技師とする）。一方、発生した騒音を制御する手法として、騒音と同振幅・逆位相の疑似音を発生させて騒音を打ち消すActive Noise Control (ANC)の技術があり、術中MRIにおける医療スタッフ間の会話支援に関して報告されているが⁹⁾、操作室側の技師と検査室側の患者との通話に関しての報告はない。

今回、われわれは従来のMRIシステム本体に備わっている通話システム（マイクおよびスピーカー）やエアー伝達方式の消音システムのように、MRI撮像中（騒音発生中）、一方向性のコミュニケーションであり、患者を不安にさせる要因となっていたことに着目した。本研究は、MRI撮像中（騒音発生中）、MRIの騒音を低減し、操作室側の技師と検査室側の患者間において常時双方向で通話を行い、コミュニケーションを通じて患者にとって安心・安全にMRI検査を行うことができる新通話システム（防音ヘッドホンと頸椎接触型骨伝導式光マイクロホンパッドを組み合わせた）を開発したので、その有用性を報告する。

1. 方法

1-1 使用機器

MRI装置はSigna HDe Ver.15 (GEヘルスケア・ジャパン社製)、コイルは8ch HDNV array coil (medrad社製)を使用した。MRI騒音測定において、ファントムは人体頭部を模擬した0.014mol/l硫酸銅溶液封入球体ファントム（直径170mm）を使用し、騒音計はSOUND LEVEL METER TYPE 6236（アコー社製）を使用した。

1-2 新通話システムの概要および原理

本システムは、MRIの騒音を低減し、検査室の患者が発声する音声を頸椎接触型骨伝導式光マイクロホン（以下、光マイクロホンパッド）により検知して操作室のモニタースピーカーで音声を出力し、検査室の患者は操作室の技師からの音声を、新しい薄型の防音ヘッドホンにより受信することができる新通話システムである。

新通話システムの構成は、

- ①操作室側の技師から検査室側の患者への送話として、技師（音声）→光変換（Transmitter）→光ケーブル→音声変換（Receiver）→ヘッドホン
 - ②検査室側の患者から操作室側の技師への送話として、患者（音声を光信号として）→光ケーブル→音声変換（Optical device）→スピーカー
- である。①と②の回路が完全に独立しており、MRI撮像中（騒音発生中）でも同時通話を行うことができる。

音声は入力として電源部を介し、光発光素子から発した光は光ファイバーを通して振動板に照射される。そこで反射した光を反射光として、もう1本の光ファイバーを通して光受光素子に照射され、光を電気信号に変換し音声信号としてスピーカーへ出力される。音声・騒音は、骨伝導式光マイクロホンについての中山らの報告¹⁰⁾では、骨伝導式光マイクロホンから出力される骨導音を減算処理手段によりフィルター処理を行い騒音減算する方式であるが、われわれの方式は、光マイクロホンセンサーを特殊キャビティーで構成された骨伝導式光マイクロホンに収め、さらに特殊キャビティーに騒音が伝達しない物理的絶縁を施した。また光信号による骨導音の周波数成分を人間の耳の感度の高い3kHz周辺に合わせ、骨伝導の欠点である低周波数帯域をフィルターで減衰させ、高周波数帯域を相対的に増幅する方式を開発した。この方式により、MRIの騒音低減とフィルターによる騒音成分の減衰の両面から処理を施し、MRI撮像中（騒音発生中）でも聞き取りやすい音声を操作室のスピーカーから出力させることを可能とした。

振動波として振動板に照射されるが、振動板の微小な振動によって光が変調波となり、その変調波が電気信号としてアンプで増幅され音声制御が行われる。

薄型防音ヘッドホンは、低振動伝達のウレタン製の材質を使用し、ヘッドホンのハウジングにおいて、使用するコイルとの接触によるコイルからの振動の影響を極力受けないように設計したものである。またヘッドホン内部のキャビティーにも同じくMRIの騒音伝

達を低減するウレタン製の防音材を使用した。

なお、この光マイクロホンはセンサー部・光ファイバーおよびその接続部は非導電体のみで構成されている。従ってMRI装置の強磁界の影響を受けることがなく、Radio Frequency (RF) パルスによるノイズが混入する可能性が原理的に存在しない。また撮像画像への影響もない。光マイクロホンを用いたMRI騒音測定については、その有用性が報告されている¹¹⁾。

本システムの概要図をFig.1に、光マイクロホンの原理図をFig.2に示す。

1-3 MRI騒音測定

防音措置なし、防音ヘッドホンによる防音措置、光マイクロホンパッドによる防音措置をそれぞれ想定した3種類の測定環境を設置し (Fig.3), 暗騒音 (MRI撮像停止時の騒音) およびT₁ Weighted Spin Echo (SE), T₂ Weighted Fast Spin Echo (FSE), Fast Imaging Employing Steady State Acquisition (FIESTA), Echo Planar Diffusion Weighted

Imaging (EPI DWI), Time Of Flight Spoiled Gradient Echo (TOF SPGR), Fast Spoiled Gradient Echo (FSPGR) の6種類の撮像パルスシーケンスの撮像時の騒音を測定した (Table)。撮像方向はAxialである。

騒音値は、等価騒音レベル (Equivalent continuous A-weighted sound pressure level, L_{Aeq})・ピーク音圧レベル (C-weighted peak sound pressure level, L_{Cpeak})・周波数特性を測定した。騒音計の等価騒音レベルはA特性 (周波数重み特性) とし、動特性はFastを使用し1分間測定した。騒音計のピーク音圧レベルはC特性 (周波数重み特性) とし、動特性はFastを使用し1分間測定した。騒音計の周波数特性はA特性 (周波数重み特性) とし、動特性はFastを使用し2分間測定した。周波数帯域は12.5Hz~8kHzであり、1/3オクターブバンドフィルターを通して求めた。

なお測定に先立ち、音響校正器を用いて光マイクロホンの校正を行った。また今回の測定に用いた光マイ

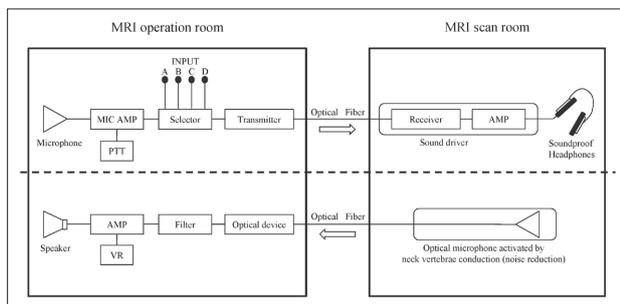


Fig.1 The schematic diagram of new MRI system using bi-directional voice communication.

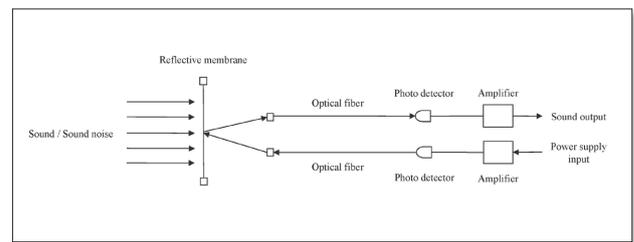
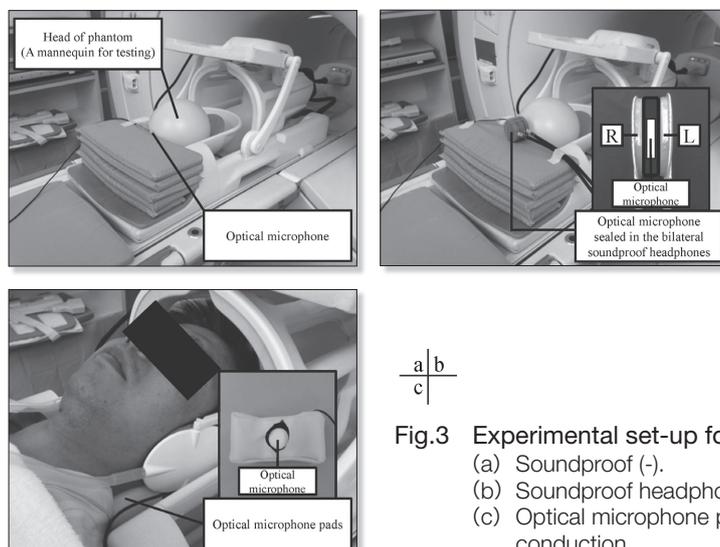


Fig.2 Principles of the optical microphone.



a | b
c |

Fig.3 Experimental set-up for acoustic noise measurement.
(a) Soundproof (-).
(b) Soundproof headphones.
(c) Optical microphone pads activated by neck vertebrae conduction.

Table MR imaging parameters.

	SE	FSE	FIESTA	EPI DWI	TOF SPGR	FSPGR
TR (ms)	580	6000	11.5	8000	30	8
TE (ms)	11	109.5	2.8	94.8	6.8	2.8
FA (deg)	90	90	65	90	20	12
FOV (cm)	22	22	18	24	20	24
slice thickness (mm)	6	6	0.8	6	1.2	0.8
matrix	320×256	512×256	384×256	160×192	320×224	512×256
number of slice	22	22	32	22	104	248

クロホンは全指向性のものである。

測定時の配置について、ファントムは磁場中心に、光マイクロホンのセンサー部はヘッドコイル中心に水平かつ体軸に垂直に配置し、光マイクロホンのLED・フォトディテクター・アンプなどの光変換デバイス、さらに光マイクロホン騒音計は光ファイバーケーブルにより接続し、操作室に設置した¹²⁾。

1-4 MRI検査アンケート調査

本システムの使用群 (New system) と未使用群 (Current system) において、操作室側の技師と検査室側の患者間において常時双方向で通話を行い、その効果についてアンケートを実施し、2群間の結果を比較し評価した。なお、Current systemとは従来のシステムであり、耳栓による防音措置を施し、呼び出し用ブザーを所持した状態である。対象は、2013年11月1日から調査を開始し、本研究について同意が得られたNew system, Current systemそれぞれ30例 (男性15例, 女性15例), 計60例を無作為に抽出した。撮像部位は頭部とした。

アンケートの質問は、年齢・性別・MRI検査経験回数・騒音に関する内容についてとした。騒音に関する内容について、アンケートの質問および提示した回答の選択肢を以下に示す。MRI検査の騒音に関する質問について、回答は (苦痛であった, なんとか我慢できた, 気にならなかった, いずれともいえない) の選択肢とした。装着した装置に関する質問について、回答は (苦痛であった, なんとか我慢できた, 気にならなかった, いずれともいえない) の選択肢とした。MRI検査中 (騒音発生中) における操作室側の技師とのコミュニケーションに関する質問について、回答は (よく取れた, 少し取れた, あまり取れなかった, 取れなかった) の選択肢とした。MRI検査中 (騒音発生中) における不安感に関する質問について、回答

は (とても不安だった, 少し不安だった, あまり不安ではなかった, 不安ではなかった) の選択肢とした。騒音に関するアンケートの回答は4-point LIKERT法による4段階評価とした。統計解析は、特に記載のない全てのデータは平均±標準偏差で表示した。またMann-Whitney U検定を用いて行い、P値5%未満をもって統計学的に有意と判断した。

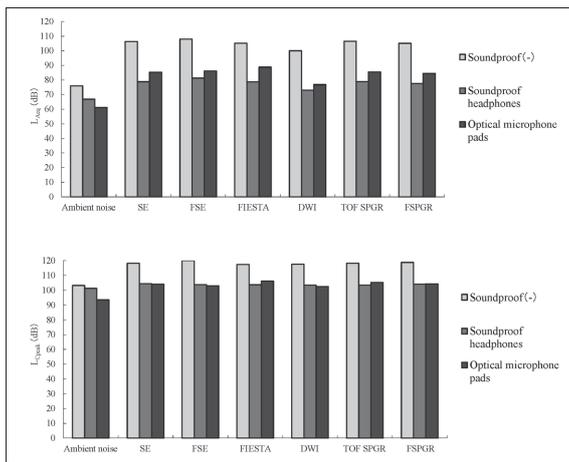
なお、本研究は昭和大学倫理委員会 (承認番号: 第249号) および昭和大学藤が丘病院倫理委員会 (承認番号: 2013024) の承認の下で行った。

2. 結果

2-1 MRI騒音測定

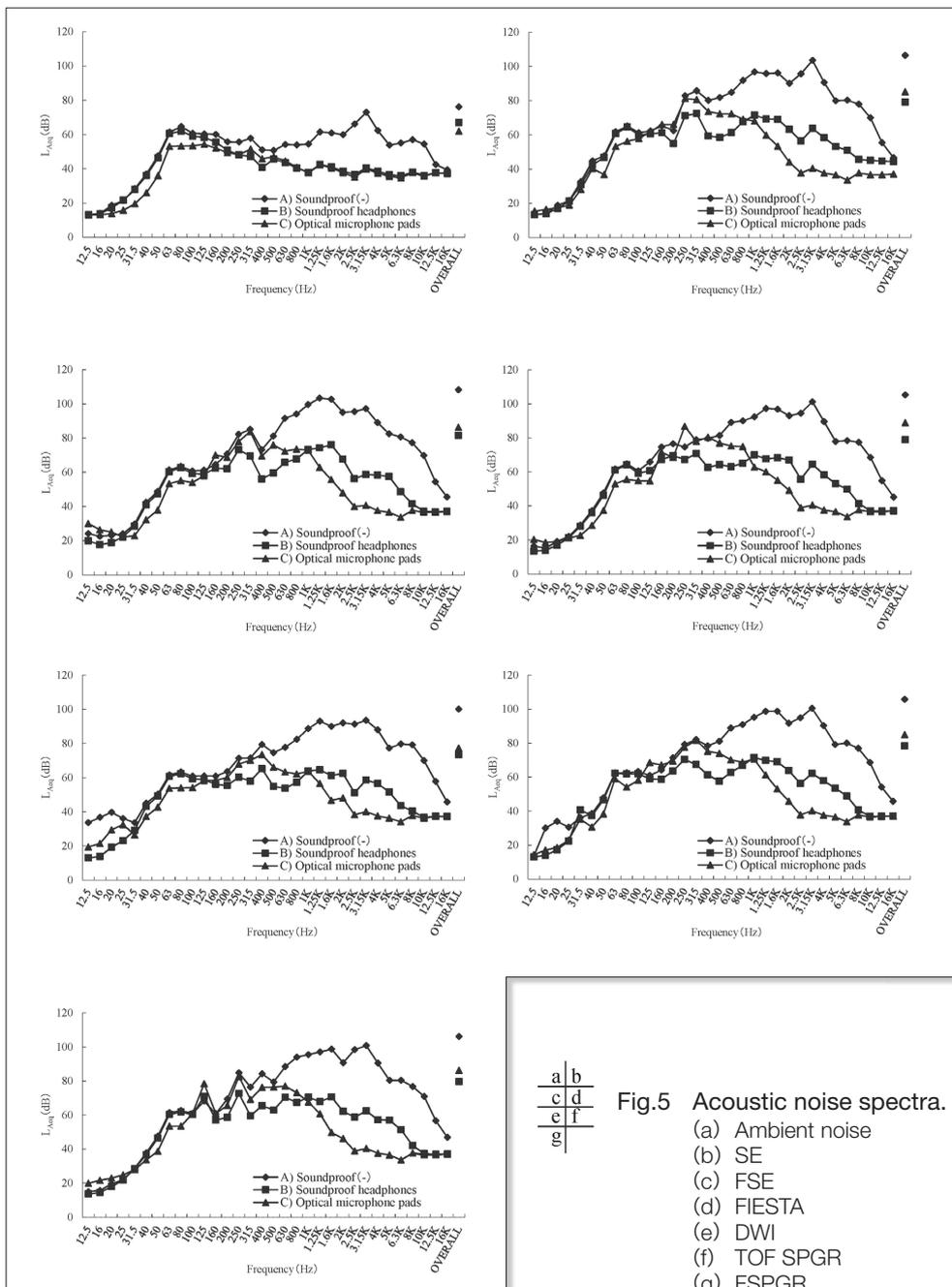
各パルスシーケンスにおける等価騒音レベル (L_{Aeq}) およびピーク音圧レベル (L_{Cpeak}) の測定結果をFig.4に示す。等価騒音レベル (L_{Aeq}) について、防音措置なしではFSEが最大 (108.0dB) を示し、DWIが最小 (100.1dB) を示した。防音ヘッドホンではFSEが最大 (81.3dB) を示し、DWIが最小 (73.1dB) を示した。光マイクロホンパッドではFIESTAが最大 (88.8dB) を示し、DWIが最小 (76.8dB) を示した。防音ヘッドホンにより、TOF SPGRとFSPGRで最大27.6dB低減された。光マイクロホンパッドにより、DWIで最大23.3dB低減された。FIESTAでは16.4dBで最も低減量が低かった。等価騒音レベル (L_{Aeq}) は、防音ヘッドホンにより最大27.6dB低減され、光マイクロホンパッドにより最大23.3dB低減された。ピーク音圧レベル (L_{Cpeak}) について、防音措置なしではFSEが最大 (120.0dB) を示し、FIESTAが最小 (117.5dB) を示した。防音ヘッドホンではSEが最大 (104.5dB) を示し、DWIとTOF SPGRが最小値103.5dBを示した。光マイクロホンパッドではFIESTAが最大 (106.3dB) を示し、DWIが最小 (102.6dB) を示した。防音ヘッドホンにより、FSEで最大16.1dB低減された。光マイクロホンパッドにより、FSEで最大17.0dB低減された。FIESTAでは11.2dBで最も低減量が低かった。ピーク音圧レベル (L_{Cpeak}) は、防音ヘッドホンにより最大16.1dB低減され、光マイクロホンパッドにより最大17.0dB低減された。

各パルスシーケンスにおける周波数特性の測定結果をFig.5に示す。全てのパルスシーケンスにおいて、低周波数領域では騒音レベルが低く、高周波数になるに従って高い騒音レベルになる傾向であった。



$$\frac{a}{b}$$

Fig.4 Acoustic noise levels.
(a) Equivalent continuous A-weighted sound pressure level (L_{Aeq}).
(b) C-weighted peak sound pressure level (L_{Cpeak}).



$$\frac{\begin{matrix} a & b \\ c & d \\ e & f \\ g \end{matrix}}{g}$$

Fig.5 Acoustic noise spectra.
(a) Ambient noise
(b) SE
(c) FSE
(d) FIESTA
(e) DWI
(f) TOF SPGR
(g) FSPGR

2-2 MRI検査アンケート調査

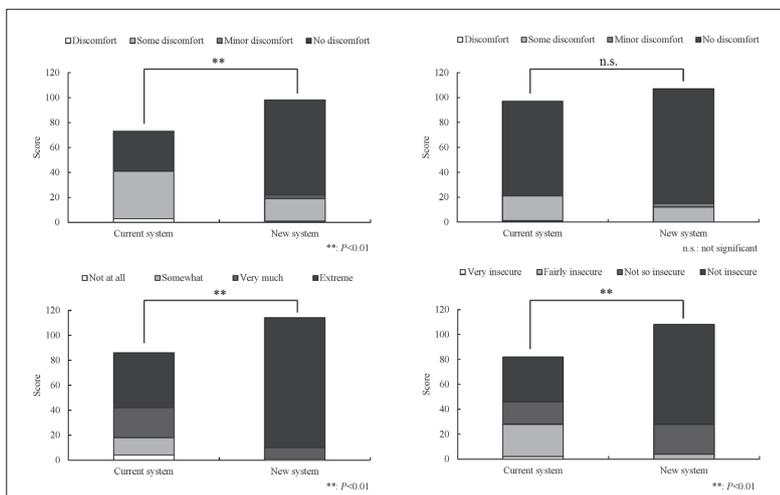
患者背景を以下に示す。平均年齢は、Current systemでは54.0 ± 10.9歳（40～79歳）、New systemでは58.5 ± 12.8歳（40～81歳）であり、New systemとCurrent systemとの間において有意差は認められなかった（ $P=0.198$ ）。平均MRI検査経験回数は、Current systemでは3.0 ± 1.2回（1～4回以上）、New systemでは3.3 ± 1.0回（1～4回以上）であり、New systemとCurrent systemとの間において有意差は認められなかった（ $P=0.127$ ）。

Fig.6に、騒音に関する内容についての結果を示す。MRI検査の騒音に関する質問への回答について、平均評価点は、Current systemでは2.43 ± 1.01、New systemでは3.27 ± 1.01であった。New systemはCurrent systemに比較して有意に騒音に対する許容性が高い結果であった（ $P<0.01$ ）。装着した装置に関する質問への回答について、平均評価点は、Current systemでは3.23 ± 1.04、New systemでは3.57 ± 0.82であった。New systemとCurrent systemとの間において有意差は認められなかった（ $P=0.205$ ）。MRI検査中（騒音発生中）における操作室側の技師とのコミュニケーションに関する質問への回答について、平均評価点は、Current systemでは2.87 ± 1.07、New systemでは3.80 ± 0.61であった。New systemはCurrent systemに比較して有意に操作室側の技師とのコミュニケーションがよく取れ、評価が高い結果であった（ $P<0.01$ ）。MRI検査中（騒音発生中）における不安感に関する質問への回答について、平均評価点は、Current systemでは2.73 ± 0.98、New systemでは3.60 ± 0.62であった。New systemはCurrent systemに比較して有意に不安が軽減され、評価が高い結果であった（ $P<0.01$ ）。

3. 考察

MRI騒音測定について、各パルスシーケンスにおける等価騒音レベル（ L_{Aeq} ）およびピーク音圧レベル（ L_{Cpeak} ）の測定結果より、MRI撮像中（騒音発生中）において、本システムの防音ヘッドホンと光マイクロホンパッドを使用することで、特にピーク音圧レベルについては暗騒音、すなわちMRI撮像停止時とほぼ同等の騒音レベルに低減できることが確認できた。これは、コールドヘッド音や室内空調音などのバックグラウンドの騒音レベルに近いレベルであることを示している。従来のマイクロホンでは、患者からの音声は操作室側で認識することが困難であったが、本システムでは、防音ヘッドホンにより検査室側の患者は操作室側の技師からの音声を認識でき、光マイクロホンパッドにより操作室側の技師は検査室側の患者が発声する音声を認識できる、双方向通話が可能となったシステムであるといえる。

次に、等価騒音レベルにおける防音ヘッドホンと光マイクロホンパッドの騒音低減効果の差異について、防音ヘッドホンはウレタン製、光マイクロホンパッドはAcrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 樹脂製であり、ウレタンの方がABS樹脂に比べて防音効果が大きく、両者の材質固有の音響振動伝達特性の違いが表れていると考えられた。また等価騒音レベルとピーク音圧レベルの測定値の差異について、等価騒音レベルでは防音ヘッドホンの方が光マイクロホンパッドより低減効果が大きく、光マイクロホンパッドとの差が4～10dBであったが、ピーク音圧レベルではほとんど差がなかった。これは、等価騒音レベルは一定時間内に変動する騒音をエネルギー平均とした値であり、防音ヘッドホンの方が撮像中の傾斜磁場の変動に



$\frac{a}{c} \frac{b}{d}$

Fig.6 Results of the questionnaire concerning MRI examination.
 (a) Noise tolerance level.
 (b) Devices to be worn.
 (c) Voice communication with the operator in the operation room.
 (d) Level of insecurity.

対する低減効果が大きいと考えられた。ピーク音圧レベルは、瞬時音圧の絶対値の最大値をレベル化して求めた値であり、音圧レベルの最大値について、防音ヘッドホンと光マイクロホンパッドは同等の低減効果があると考えられた。

各パルスシーケンスにおける周波数特性の測定結果から、全てのパルスシーケンスにおいて、低周波数帯域では騒音レベルが低く、高周波数になるに従って高い騒音レベルになる傾向であった。低周波数帯域ではA特性補正值が大きいため、A特性補正值に影響しやすい。一方、高周波数帯域のA特性補正值は、低周波数帯域に比べて補正量が小さいと考えられた。100Hz以下では暗騒音と大きな差はなく、同様の特性を示した。防音ヘッドホンでは100Hz以上になると騒音レベルが低減し、光マイクロホンパッドでは400Hz以上になると騒音レベルが低減した。さらに1kHz以下では防音ヘッドホンの方が光マイクロホンパッドに比べ騒音低減量が高いが、1kHz以上になると光マイクロホンパッドの方が防音ヘッドホンに比べて騒音低減量が高くなった。これは、先に述べたように材質の違いによるもので、ウレタンの柔らかい材質に比べて、ABS樹脂の硬い材質は特に高周波数帯域が高くなる。すなわち光マイクロホンパッドは、MRIの騒音に対して400Hz以下の低～中周波数帯域では騒音低減効果が低いが、400Hz以上の中～高周波数帯域では騒音低減効果が高く、特に1kHz以上の高周波数帯域では防音ヘッドホンに比べて騒音低減効果が高い特性があると考えられた。今回測定した条件においては、MRIの騒音は1～3kHz前後にかけて高いピークを有しているため、騒音低減効果がより発揮されることが示された。

従来、骨伝導式のマイクロホンはあまり普及していないが、その理由は周波数特性の問題である。マイクロホンが直接空気伝播により音声を感じた場合は最小のひずみで検知することができるが、途中で伝播抵抗を持った物質を伝播すると、その物質により音声周波数がフィルタリングされてしまう。また骨伝導伝播は特に低周波数帯域成分が強く、高周波数帯域成分にわたって音声ひずみ、人間の耳に聞こえやすい3kHz周辺の音声成分がなくなってしまう。これが骨伝導式の大きな問題点で、良好な音声を聞くことが困難となっていた。今回の光マイクロホンパッドは、MRI撮像中（騒音発生中）での音声を周波数フィルターと空気伝播を併用することにより、この問題点を改善し、良好な音声を再生することを可能とした。

一般的に、日常会話の周波数帯域は100Hz～6kHzであるが、騒音によって会話理解度は低下する。騒音中の会話については300Hz～3kHz前後が聞き取りやすいことから¹³⁾、MRI撮像中（騒音発生中）における操作室側の技師と、検査室側の患者との双方向の音声通話を可能としていることを示している。

MRI検査アンケート調査では、MRI検査の騒音に関して、New systemはCurrent systemに比較して有意に騒音に対する許容性が高く、Current systemでは2点の評価である「なんとか我慢できた」の回答は全体の63%であり、なんとか許容できる範囲であるとしながらも、New systemでは4点の評価である「気にならなかった」の回答は全体の63%であり、顕著な差として示された。Current systemでは耳栓またはスポンジによる防音対策を講じているが、New systemによって騒音が低減され、防音ヘッドホンの効果が高く評価できると考えられた。装着した装置に関して、4点の評価である「気にならなかった」の回答はCurrent systemでは全体の63%、New systemでは全体の77%であり、どちらにおいても良い評価であるといえる。統計学的にもNew systemとCurrent systemとの間において有意差は認められず、新しい防音ヘッドホンおよび頸椎接触型骨伝導式光マイクロホンパッドの使用において、接触時の大きな問題は特にないと考えられた。MRI検査中（騒音発生中）における操作室側の技師とのコミュニケーションに関して、New systemはCurrent systemに比較して有意に操作室側の技師とのコミュニケーションがよく取れ、評価が高かった。Current systemでは回答にバラツキが目立つが、New systemでは全体の87%で4点の評価である「よく取れた」の回答であり、操作室側の技師と検査室側の患者間の双方向で会話ができるためであったと考察した。MRI検査中（騒音発生中）における不安感に関して、New systemはCurrent systemに比較して有意に不安感を感じず、評価が高かった。3点の評価である「あまり不安ではなかった」と4点の評価である「不安ではなかった」の回答を合わせると、Current systemでは全体の50%、New systemでは全体の93%であり、New systemでかなり不安が軽減できており、操作室側の技師と検査室側の患者間の双方向で会話ができ、コミュニケーションがよく取れたことが、不安の軽減につながったと考えられた。

今回、開発した新通話システムは、MRIの騒音とコミュニケーションの障害が及ぼす患者側の不安の

声を参考にして、双方向での通話を支援し安心してMRI検査を施行できるように考案したものである。患者によって不安の度合いや内容は異なり、患者一人一人に応じた対応が必要であるため、直接患者に対してMRIの騒音に関する感想をアンケート調査し、その結果を評価した。患者の主観的な感想を評価した結果、従来のシステムに比較して有用性が高いことを示すことができたと考え。人間は周波数帯に関して2~4kHzが最も不快と感じるとの報告もあり¹⁴⁾、本研究の騒音低減効果の結果とほぼ一致していた。不安は不快の要素も含んでいる情動であり、本システムの有用性を示すことができたと考え。平均年齢および平均MRI検査経験回数は、New systemとCurrent systemとの間において有意差は認められなかったが、年齢による聴覚の感度や精度には差があると考えられるため、回答者を年齢層別に分類した上で、周波数特性を加味した単語もしくは会話文による会話理解度を評価する音声認識試験を追加することで、より具体性かつ信頼性を示すことが期待できると考える。

本システムは、機種やパルスシーケンスの制約を受けず、あらゆる部位においても使用可能であり、体幹部など呼吸停止が必要な検査においても、Auto voice機能など自動音声案内とも併用が可能である。さらに患者自らが体調の急変を訴える第一声をいち早

く察知することができるため、造影剤副作用の早期発見の一助となり、ダイナミック検査を含めた造影検査においてより有効になると考えられる。このように、患者の状態を正確かつ迅速に把握できることは、検査室側の患者にとって不快感や不安感を軽減できるだけでなく、操作室側の技師にとっても安心して患者管理が行えるため、医療安全上においても非常にメリットが大きいと考えられる。

4. 結 語

今回、MRI撮像中（騒音発生中）、MRIの騒音を低減し、操作室側の技師と検査室側の患者間において常時双方向で音声通話を可能とする新通話システムを開発した。

本システムは、従来のシステムに比較してより患者とのコミュニケーションが図れ、患者の不安感を軽減することができ、安心・安全にMRI検査を行うことが可能となった。

参考文献

- 1) 日本規格協会：日本工業規格 磁気共鳴画像診断装置-基礎安全及び基本性能。JIS Z 4951, 2012.
- 2) 末岡伸一, 他：「騒音の目安」作成調査結果について。全国環境研究会誌, 34 (4), 22-29, 2009.
- 3) International Electrotechnical Commission: Safety Standard for MR Systems. Third Edition, IEC 60601-2-33, 2010.
- 4) Shellock FG, et al.: MR procedures: Biologic effects, safety, and patient care. Radiology, 232, 635-652, 2004.
- 5) Goldman A, et al.: Reduction of sound levels with anti-noise in MR imaging. Radiology, 173, 549-550, 1989.
- 6) Katsunuma A, et al.: Quiet MRI with novel acoustic noise reduction. MAGMA, 13, 139-144, 2002.
- 7) Sedat Alibek, et al.: Acoustic noise reduction in MRI using Silent Scan: an initial experience. Diagn Interv Radiol, 20, 360-363, 2014.
- 8) スター・プロダクト株式会社ウェブサイト：iMag MRI室用オーディオシステム。http://www.atstar.jp/ja/index.html
- 9) 山川航平, 他：音声通信による対話を目的としたヘッドマウント型ANCシステム。電子情報通信学会技術研究報告, EA, 応用音響, 113 (27): 19-24, 2013.
- 10) 中山仁史：MRI撮影支援のための骨伝導マイクロフォンの開発。日本学術振興会, 若手研究 (B), 課題番号：22700189, 研究代表者, 2010-2011.
- 11) 北村達也, 他：光マイクロホンをを用いたMRI撮像時の騒音測定。日本音響学会誌, 62 (5), 379-382, 2008.
- 12) National Electrical Manufacturers Association: Acoustic noise measurement procedure for diagnostic magnetic resonance imaging devices. NEMA Standards Publication MS-4, 2006.
- 13) 平松幸三, 他 訳：環境騒音のガイドライン実務的抄録。1999. Berglund B, et al.: Guidelines for Community Noise. World Health Organization, Geneva. 1999.
- 14) Kim Krieger: Cover Your Ears! ScienceNOW. 2011.

表の説明

Table 撮像条件 (パルスシーケンス)

図の説明

- Fig.1 新通話システムの概要図
 Fig.2 光マイクロホンの原理図
 Fig.3 騒音測定時の構成
 (a) 防音措置なし
 (b) 防音ヘッドホンによる防音措置
 (c) 光マイクロホンパッドによる防音措置
 Fig.4 騒音レベル
 (a) 等価騒音レベル (L_{Aeq})
 (b) ピーク音圧レベル (L_{Cpeak})
 Fig.5 周波数特性
 (a) 暗騒音 (b) SE
 (c) FSE (d) FIESTA
 (e) DWI (f) TOF SPGR
 (g) FSPGR
 Fig.6 MRI検査に関するアンケート調査の結果
 (a) MRI検査の騒音について
 (b) 装着した装置について
 (c) MRI検査中（騒音発生中）における操作室側の技師とのコミュニケーションについて
 (d) MRI検査中（騒音発生中）における不安感について