

# MR I 被験者のための骨伝導素子による音声通信システム

## A voice communication system by use of bone conduction elements for subject in MRI examination

武藤 憲司<sup>1)</sup>, 山根 祐貴<sup>2)</sup>, 汲田 雅一郎<sup>2)</sup>, 八木 一夫<sup>3)</sup>,

高野 邦彦<sup>1)</sup>, 陳 国躍<sup>4)</sup>, 柴山 秀雄<sup>2)</sup>

Kenji Muto<sup>1)</sup>, Yuki Yamane<sup>2)</sup>, Masaichiro Kumita<sup>2)</sup>, Kazuo Yagi<sup>2)</sup>,

Kunihiko Takano<sup>1)</sup>, Guoyue Chen<sup>4)</sup>, Hideo Shibayama<sup>2)</sup>

Keywords: Bone conduction speaker, Bone conduction microphone, Voice communication, Noise, MRI equipment

### 1. はじめに

MRI 検査は必要不可欠であるが、被験者は磁気遮蔽のための厚い壁の閉鎖空間に 15 分から 60 分程度おかれ、MRI 装置が生じる駆動音はとてつもないため、被験者から装置が発生する騒音の不満などが指摘されている。その音圧レベルは 100dB を越えることもある[1,2]。耳栓とイヤマフを併用することで MRI 駆動音の影響をある程度低減できる。圧電素子を用いた骨伝導素子の MRI 検査利用は利用されつつある[3,4]。我々はこのような環境下で動作する音響通信システムを骨伝導素子を用いて構築している[5,6]。骨伝導スピーカを用いることで、耳栓を使用した状態でもオペレータの音声を被験者に伝送できる。また、MRI 駆動音は検査中の被験者が発する体調の急変を訴える声などをかき消してしまう問題がある。提案する手法は骨伝導マイクロホンを利用して被験者の音声を伝送する手法でもある。

本報告では、MRI 検査中の被験者とオペレータの音声による骨伝導通信システムについて提案し、音声通信実験及び単語聴取試験を行った結果について示す。

### 2. MRI 駆動音について

これまで、1.5T の MRI 装置の特定の機種について駆動音を測定した結果を示してきた。ここでは、GE 横河メディカルシステムの SIGNA HORIZON 1.5T の A 特性の音圧レベル結果を図 1 に示す。代表的な 5 種類の撮像法(T1W, T2W, FLAIR, MRA, DW)の駆動音についての測定結果である[2]。ガントリ中央部の 0m とガントリ開口部付近の 1.2m でレベルが高く、また、撮像法によっては 100dB を超える場合もある。大人にはいかなる場合でも音は 140dB を超えるべきではない、子供にいたってはいかなる場合でも音は 120dB を超えるべきではないと WHO は示している[7]。耳栓やイヤマフなどの防音保護具の使用が重要である。

### 3. 骨伝導素子による音声通信システム

MRI 検査において被験者は大きな駆動音の生じる空間におかれて検査を受けることになる。そこで、我々は防音保護具を利用し

<sup>1)</sup> 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科, <sup>2)</sup> 芝浦工業大学 工学部 通信工学科, <sup>3)</sup> 首都大学東京 健康福祉学部 放射線学科, <sup>4)</sup> 秋田県立大学 システム科学技術学部 電子情報システム学科

た状態で使用できる圧電素子を用いた骨伝導素子による音声通信システムを提案した[6]. このシステムを図2に示す. このシステムによる音声通信の有効性を検証するため, MRI装置の駆動時における通信実験及び単語聴取試験を実施した.

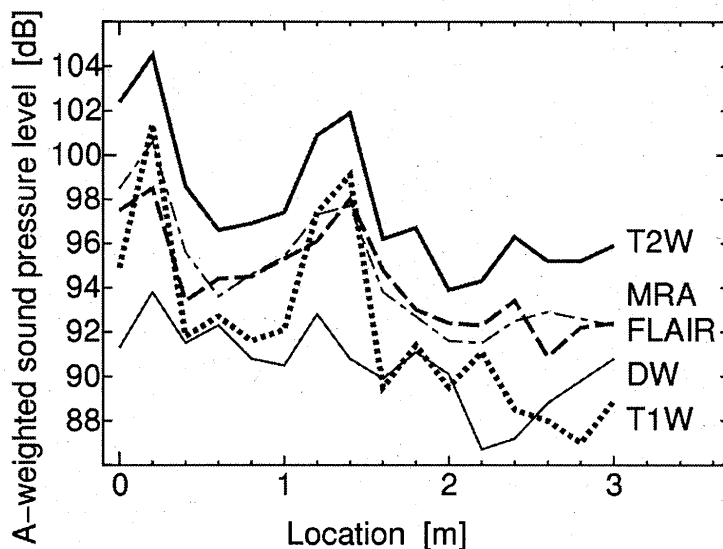


図1 さまざまな撮像シーケンスのMRI駆動音

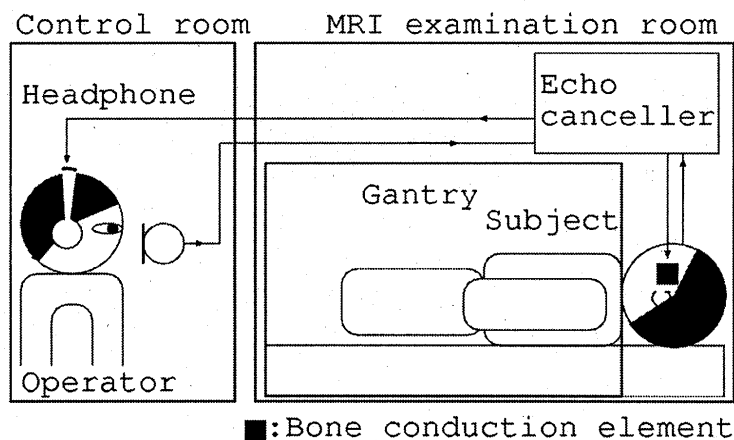


図2 音声通信システムの構成

### 3.1 聴取試験信号と骨伝導音声通信システム

MRI 被験者が高磁場のMRI検査室に,オペレータが隣室の操作室にいることを想定し,図3に示す構成で単語聴取試験を行う. また, MRI 被験者に対する素子の配置を図4に示す.

耳栓とイヤマフを装着した被験者の左右の頬骨に,骨伝導スピーカと骨伝導マイクロホンゴムバンドで3.5Nで圧着した. MRI被験者は音声骨伝導スピーカによって聞くことができ,骨伝導マイクロホンによって音声を伝えることができる.そして,骨伝導マイクロホン信号とコンデンサマイクロホン信号を用いて,操作室側のオペレータを模擬した被験者に聴取試験を行う.さらにMRI被験者の口元から5cmの距離にマイクロホンを配置する.骨伝導スピーカの振動が骨伝導マイクロホンで得る被験者の音声信号に重畳するため[6],提示音声部分を検出し,その間の信号を抑圧して聴取試験に用いる信号とする.

使用した音声データはNTTアドバンステクノロジーの親密度別単語理解度試験用音声データベース(FW03)の男性話者の単語音声で、その親密度は1.0から2.5である[8]。例えば、「アマグモ」、「イマフウ」、「ウチガワ」、「オシダシ」などが親密度の高い単語であり、「アイキヤク」、「イチハツ」、「ウラジャク」、「エラブツ」などが親密度の低い4モーラの単語である。新密度が高い単語の正答率は、低い単語の正答率に比べてSN比に影響を受けない特徴を持つ[9]。そのため、新密度の高いものを使用すると、雑音環境下でも聞き取れない部分が生じて、知識で欠落箇所を補完して回答してしまうため高い正答率となってしまう、雑音の影響を調査できない。そこで親密度の最も低いデータベースの単語50語の単語間に3秒の無音区間を挿入し、DATに録音し、これを聴取試験に用いた。被験者にはテープレコーダから再生された単語を復唱するように指示する。

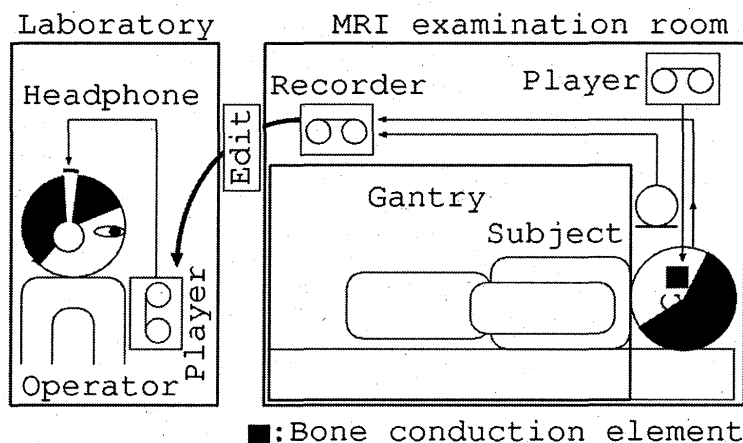


図3 実験時のシステム構成

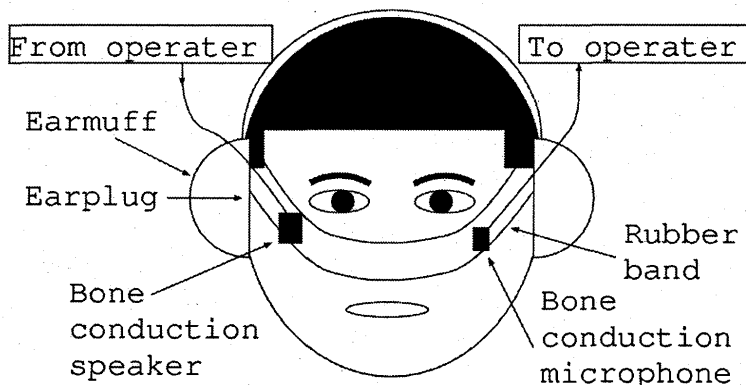


図4 MRI被験者に対する素子の配置

本実験で使用したMRI装置はGE横河メディカルシステムのSIGNA HORIZON 1.5T、撮像法はT1Wである。骨伝導スピーカはアツデンの35-198、これを駆動したアンプはヤマハのRP-U200である。骨伝導マイクロホンはアツデンの12-557シリーズ、コンデンサマイクロホンはアツデンの非磁性ECM 11-030シリーズであり、これらのマイクロホンアンプはオーディオテクニカのAT-MA2である。また、ヘッドホンはソニーのMDR-CD2000である。データレコーダはソニー・マニファクチャリングシステムズのSIR-1000、DATプレーヤはソニーのMDR-CD770であり、各サンプリング周波数は48kHzである。耳栓はNorthのDeciDampであり、イヤホンはフィリップスメディカルシステムズのMR-PATIENT-HEADSETである。

ここでは膝の検査を模擬して通信実験を行った。そのため骨伝導素子やマイクロホンはガントリ開口部付近に位置した。この位置の音はガントリ中央部の次に大きなレベルとなる位置である。また、本実験で使用したMRI装置の標準装備のマイクロホン位置は患者頭部とは反対側の開口部にあり、膝の検査時に被験者を逆向きに挿入して検査を行うことはMRI装置の構造上困難である。つまり、MRI装置標準マイクロホンで撮像時にMRI被験者の音声を聞き取ることは困難である。

### 3.2 音声通信実験と単語聴取試験の結果

まず、音声通信実験で得られた波形を図5に示す。図5(a)は提示音声波形である。図5(b)は骨伝導マイクロホンの波形である。1秒付近と5秒付近に骨伝導スピーカによる振動の影響があり、2秒付近と6秒付近でMRI被験者が発声した振動波形があり、さらにMRI装置の駆動に起因する振動が重畳していることが分かる。図5(c)は再生音声を抑圧した聴取試験用波形である。図5(d)は被験者の口から5cm離れたコンデンサマイクロホンの波形であり、MRI駆動音に被験者の声が埋もれていることが分かる。

次に、10名のMRI被験者による骨伝導スピーカを用いた聴取実験を行った。この結果を図6に示す。これらの被験者は20代の男女である。骨伝導スピーカの音量は検査前にサンプル音を聞かせて、大音量に過ぎない適切な音量を選択させた値とした。その結果、静寂な場所で骨伝導スピーカの親密度の低い50単語を聴取させた結果、正答率の平均は84.6%であった。また、MRI検査室で聴取試験を行った正答率の平均は72.6%であった。これは、MRI駆動音が雑音となったことが主な要因であると考えられる。

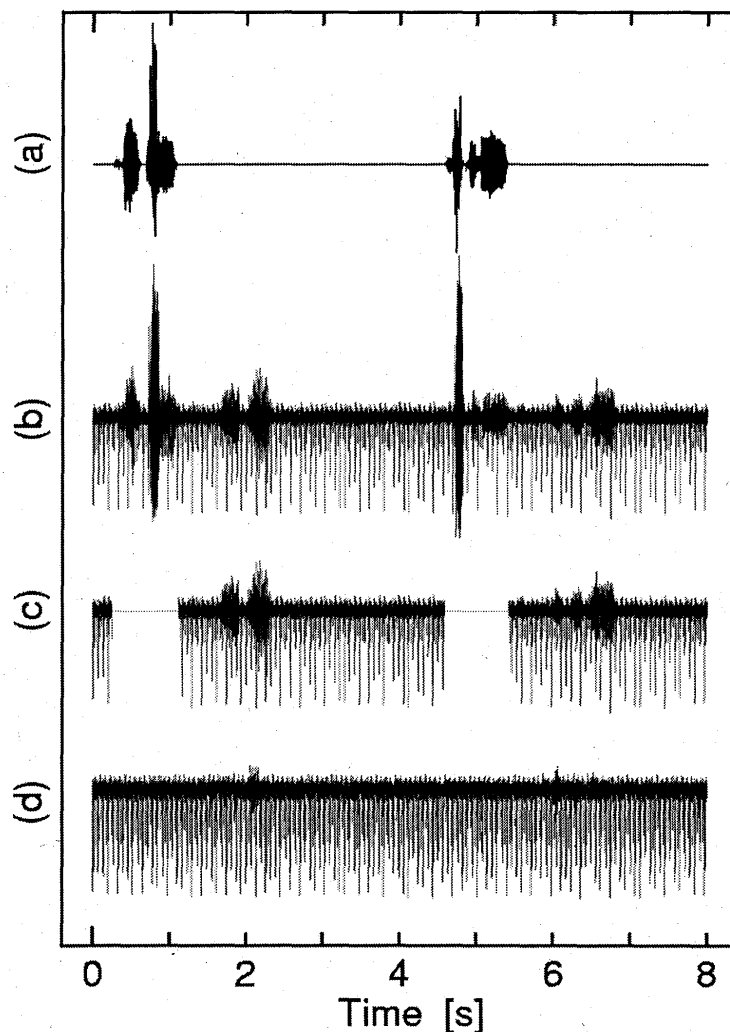


図5 音声通信実験で得られた信号波形，(a)提示音声波形，(b)骨伝導マイクロホンの波形，(c)聴取試験用信号波形，(d)コンデンサマイクロホンの波形

次に、2名のMRI被験者の音声を、各10名のオペレータを模擬した被験者に対して静寂な場所で聴取試験を行った。この結果を図7に示す。これらの被験者は20代の男性である。骨伝導スピーカの音量はMRI被験者に検査前にサンプル音を聞かせて、大

音量過ぎない適切な音量を選択させた値とした。コンデンサマイクロホンを使用した場合の正答率の平均はMRI被験者Aの場合2.2%、MRI被験者Bの場合7.6%であった。これに対し、骨伝導マイクロホンを使用した場合は、MRI被験者Aの場合14.6%、MRI被験者Bの場合15.4%であった。分散分析を行った結果、5%の有意水準で骨伝導マイクロホンの場合とコンデンサマイクロホンの場合の有意差があった。また、骨伝導素子を用いた場合のMRI被験者AとMRI被験者Bの間では有意差がなかった。骨伝導スピーカの音声はMRI被験者から聞き取れたという回答結果を得たことから、骨伝導マイクロホンの配置の検討やMRI被験者に対する振動対策という課題が明らかとなった。

これらの結果より、MRI検査中に、イヤマフと耳栓を防音保護具として装着した状態でオペレータの音声をMRI被験者に伝えることができることが確認できた。また、MRI装置標準装備のマイクロホンでは困難であったMRI被験者の音声を、提案システムはオペレータが認識可能となることができた。親密度が低い単語の正答率が15%は、親密度が高い単語の場合の正答率の約75%に相当し[9]、文章理解度は十分に得られると考えられる。これにより、MRI被験者はオペレータから検査の状況など聞くことができるとともに、MRI被験者の体調の急変による苦痛の訴えをオペレータは聞き取ることができると考えられる。

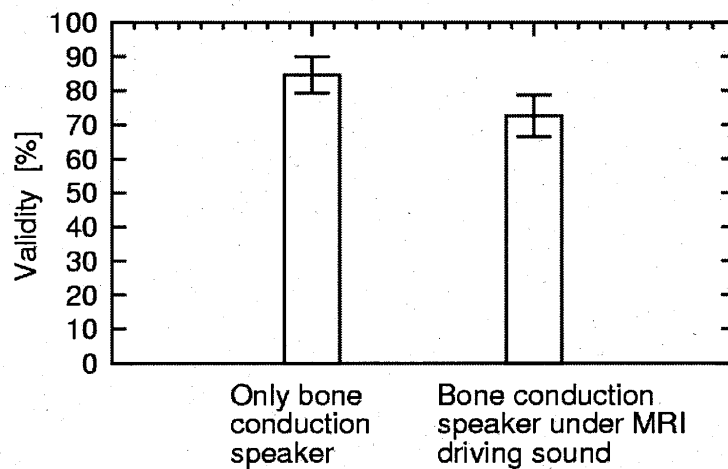


図6 骨伝導スピーカによる聴取試験の平均正答率と95%信頼区間

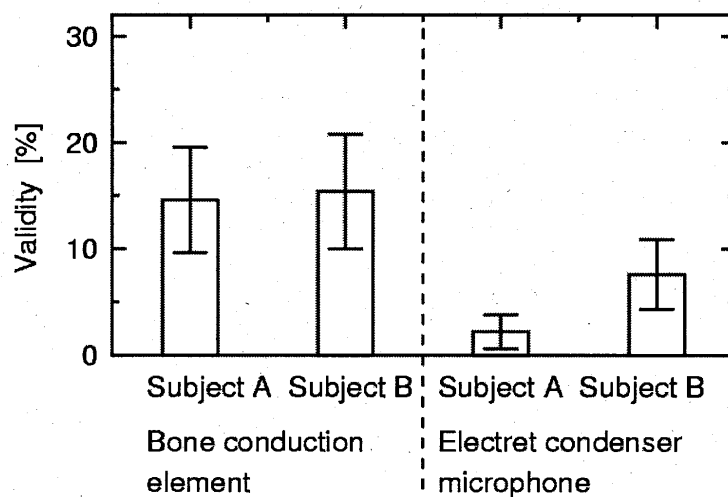


図7 骨伝導マイクロホンやコンデンサマイクロホンによる聴取試験の平均正答率と95%信頼区間

#### 4 むすび

提案していた骨伝導素子を利用した音声通信システムに対し、MRI 検査室において撮像時の音声通信実験と単語聴取試験を行った。そして、骨伝導スピーカと骨伝導マイクロホンを利用した音声通信システムによる音声伝達の可能性が得られた。これは、オペレータが MRI 検査中の被験者が発する体調の急変を訴える声を聞くためなどの装置開発の一助となると考えられる。今後は、単語聴取試験の正答率向上のための雑音混入の要因の検討と対策を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] A. Moelker, R.A.J.J. Maas, P.M.T. Pattynama: Verbal communication in MR environments: effect of MR system acoustic noise on speech understanding, *Radiology*, vol.232, no.1, pp.107-113, 2004.
- [2] 武藤憲司, 八木一: MRI 検査室内における騒音レベルの測定, *日本音響学会誌*, vol.61, no.1, pp.5-13, 2005.
- [3] 能田由紀子, 北村達也, 平田宏之, 本多清志: MR I 装置内における骨導音による聴覚刺激法, *日本音響学会講演論文集(春)*, 3-2-10, pp.385-386, 2005.
- [4] 関本狂太郎, 加我君考: fMRI 実験用イヤホンの検討," *日本音響学会講演論文集(春)*, 3-2-11, pp.387-388, 2005.
- [5] 山根祐貴, 武藤憲司, 柴山秀雄, 八木一夫, 白石幸司, 田川秀和: MR I 検査中における双方向の意思伝達評価方法の検討, *平 17 年度電気関係学会東北支部連合大会*, 2F12, p.219, 2005.
- [6] 武藤憲司, 八木一夫, 江口健太郎, 高野邦彦, 陳国躍: MR I 用骨伝導通信のためのエコーキャンセラ, *日本音響学会講演論文集(春)*, 3-5-1, pp.967-968, 2005.
- [7] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/>
- [8] 坂本修一, 鈴木陽一, 天野成昭, 近藤公久: 親密度と単語の音韻バランスを考慮した単語理解度試験用リストの構築, *日本音響学会誌*, vol.54, no.12, pp.842-849, 1998.
- [9] Shuichi Sakamoto, Naoki Iwaoka, Yoiti Suzuki, Shigeaki Amano, Tadahisa Kondo: Complementary relationship between familiarity and SNR in word intelligibility test, *Acoustical Science and Technology*, Vol.25, No.4, pp.290-292, 2006.