

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560280

研究課題名(和文)MRI騒音低減のためのヘッドマウント型アクティブ消音システムの開発

研究課題名(英文)Head-Mounted Active Noise Control System for Reducing MRI Noise

## 研究代表者

梶川 嘉延(Kajikawa, Yoshinobu)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：30268312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：MRI(Magnetic Resonance Imaging)は医療現場において、検査、手術、リハビリなどに利用できる非侵襲の医療診断装置として注目が集まっている。しかし、MRIは体内画像を取得する際に傾斜磁場コイルに緩急をつけたパルス信号を送るため、ローレンツ力に基づいて傾斜磁場コイルが振動することで最大で110dB SPL(音圧)以上の騒音を発生するという大きな欠点を有する。本研究課題では、MRI騒音を低減するためのヘッドマウント型アクティブ消音システムの開発を行った。本システムを利用することで、ユーザの耳元でMRI騒音を低減し、肉声による対話を円滑化させることができる。

研究成果の概要(英文)：MRI(Magnetic Resonance Imaging) is one of non-invasive medical devices and can be used for medical examinations, operations, rehabilitation, and so on. However, MRI generates loud acoustic noise of more than 110 dB in SPL(Sound Pressure Level) because the gradient coil inside MRI device vibrates due to Lorentz force, which is originated from on-off pulse signal into the gradient coil. In this research project, we have developed a head-mounted active noise control system. This system can reduce MRI noise around user's ears and realize verbal communication under loud acoustic noise environments.

研究分野：音響信号処理

キーワード：アクティブノイズコントロール MRI騒音 ヘッドマウント型ANC オーバーサンプリング

## 1. 研究開始当初の背景

(1) MRI (Magnetic Resonance Imaging) は医療現場において近年普及が広がっている医療診断装置のひとつであり、非侵襲で放射線被曝のない有望な医療診断装置として注目が集まっている。特に近年では医療診断での利用だけでなく、リアルタイムのMRI画像を利用して手術を行ったり、患者のリハビリを行ったりするという取り組みがなされている。しかし、MRIはその動作原理上、体内画像を取得する際に傾斜磁場コイルに緩急をつけたパルス信号を送ることで駆動するが、その際、ローレンツ力に基づいて傾斜磁場コイルが振動することで最大で110dB SPL (音圧)以上の騒音を発生するという大きな欠点を有する。よって、検査中の患者は高騒音下に曝されることから精神的な苦痛を受け、また術者(医師)は高騒音下の過酷な環境で手術を行うとともに、スタッフ間の意思疎通も阻害されることから重大な医療事故にも繋がりかねないという憂慮すべき状況にあるのが現状である。

(2) よって、MRI騒音の低減は医療現場においては急務の研究課題となっていることからこれまでもさまざまなアプローチでの騒音低減が試みられている。これまでのアプローチは受動騒音制御に位置づけられるものがほとんどである。その中でも代表的なものが耳栓やイヤパッドによる騒音低減である。しかし、これらの受動的な方法においては耳への圧迫があるとともに肉声による対話が阻害されるという致命的な欠点を有する。特に術者への装着は医療行為の妨げとなることから不可能である。

(3) また、別のアプローチとしては騒音の元から絶つという意味で傾斜磁場コイルへのシーケンス信号を制御することでできるだけMRI騒音が発生しないような工夫も取り入れられている。しかし、この方法では大きな低減効果を得るためにシーケンス信号が長大となるため検査時間が延びる、リアルタイムでの画像取得が困難という問題がある。さらに、傾斜磁場コイルを真空中に配置し、支持系を独立化することで大幅な騒音低減を実現した東芝メディカル(株)によるPiannissimo技術を搭載したMRIも実用化され、従来のMRIシステムに比べてMRI騒音を低減した装置も発売されているが、十分に普及も進んでおらず、既に多くの医療機関に備えられているMRIシステムを置き換えるにはコスト面や時間面でも現実的ではない。

(4) また、受動的騒音制御では高周波音には効果があるが低周波での効果が低いのも問題である。MRI騒音はシーケンスの種類にも依存するが500Hz付近にもピークがあるため受動的制御では十分な低減が困難である。よって、低周波数帯域での騒音低減に威力を発揮するANC (Active Noise Control) システ

ムの導入が有効であると考えられる。これまでもMRI騒音に対するANCシステム導入の検討がなされてきたが、いずれも実際のMRIシステムの現場での実験ではなく、シミュレーションにとどまっているのが現状である。その主な理由はMRIが強磁場を発生するため、通常のスピーカやマイクロホンをANCシステムに使用できないからである。

(5) 以上のような背景から、MRI装置から発生する騒音の低減をANCシステムにより実現するにはさまざまなクリアすべき課題が存在した。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究課題では、MRI騒音のためのアクティブ消音システムの開発が大きな目標となっている。この目標を達成するために、まず、ユーザの耳元でMRI騒音を低減し、肉声による対話を円滑化させることができる耳介近傍放射スピーカヘッド(ヘッドマウント型ANCシステム)の開発を行った。このシステムではユーザの耳元に耳を覆わないような形で配置し、マイクロホンを外耳道の入り口付近に自然に設置されるような構造となっている。そのため、このシステムを利用するユーザはMRIからの高い音圧の騒音が放射されているような環境の中で、静かな音空間を享受できるだけでなく、同じ環境にいる別の人からの肉声を聴くことができるようになる。

(2) また、このシステムの有効性を評価するために、定量的な評価としては、誤差マイクロホン地点での騒音低減効果を時間波形とシステム利用前後のスペクトルを比較し、主観的な評価としては、単音節の音声をMRI騒音下で再生し、それをどの程度聴きとることができるか明瞭度を求めた。さらに、実際のMRI室においてその効果を検証するとともに、実際に医療従事者に体験してもらい、その評価を得た。また、医療従事者が手術中に使用できるように環境変化にロバスタなANCシステムの実現法についても検討した。

## 3. 研究の方法

(1) 研究目的を達成するために以下のような項目について順次検討を進めた。

- ・耳介近傍放射圧電スピーカによるANCシステム(ヘッドマウント型ANCシステム)の検討
- ・オーバーサンプリング技術による高速デジタルハードウェアの実現
- ・適切なANC向け適応アルゴリズムの検討

(2) MRIからの騒音を大空間で消音することは困難であるため、音声対話を阻害せずに必要な騒音のみを低減できるヘッドマウント型のシステムについて、フィードバック型の実装を試みた。また、実際のフィールド実験



#### 4. 研究成果

(1) 実際にMRI室内において消音実験を行った。図2に開発したヘッドマウント型ANCシステムを示す。また、結果として、誤差マイクロホン地点における誤差信号波形を図3に、システム収束後の誤差信号スペクトルを図4に示す。まず図3より、本システムは磁界中においても安定に動作していることがわかる。次に図4より、本システムが誤差マイクロホン地点においてMRI騒音の500-2500 Hzの帯域における周期的なピークを30 dB以上大きく低減できていることがわかる

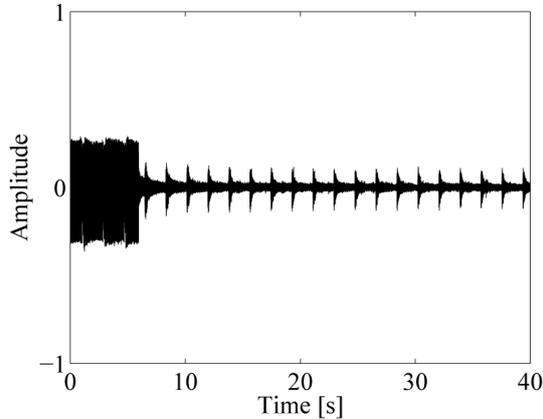


図3 誤差マイクロホン地点の時間波形

(2) しかしながら、図3を見てもわかるようにインパルス状の騒音が残っていることがわかる。これはフィードバックANCシステムが周期騒音や狭帯域騒音などの低減に特化しているためである。すなわち、インパルス状の騒音をフィードバックANCは低減することができないからである。したがって、インパルス状の騒音を低減可能な新たなANCシステムの検討が重要である。しかしながら、実際のインパルス音を低減するためには信号処理のみならず、スピーカなどの音響系が対応可能である必要があるため、今後のさらなる検討が求められる。

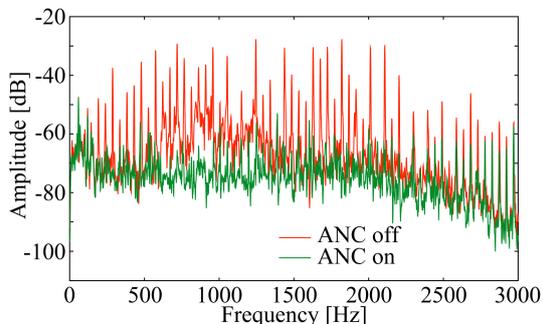


図4 ANC起動前後のスペクトル比較

(3) また、ANCシステムは誤差マイクロホン位置において消音を行うため、実際に消音したい地点、例えば本システムではユーザの鼓膜位置で消音効果が低減する可能性がある。そこで、この問題を解決するためにバーチャルセンシング技術を導入した手法を検討する必要がある。さらに、MRI装置の操作はMRI装置がある部屋の外から行われるため、部屋

の内外での音声通信が必要となる。すなわち、ANCシステムに音声通信の機能を付加したオーディオ統合ANCが必要とされる。

(4) 最後に本システムの有効性を主観評価実験を通じて実証する。主観評価実験としては明瞭度試験を行った。具体的には、MRI騒音を音圧95 dBでスピーカから放射し、それと同時に20個の単音節を音圧75 dBで再生し、ユーザはヘッドマウント型システム装着した場合としない場合において、提示された単音節を書き取るというタスクを行った。実験者数は20名である。結果を表1に示す。

表1 明瞭度試験の結果

	ANC OFF	ANC ON
A	7	13
B	8	11
C	0	13
D	8	12
E	8	11
F	8	11
G	9	13
H	8	12
I	8	11
J	8	13
Total	72	120
明瞭度	36 %	60 %

(5) 表1より、提案システムを使用することで全体的に正確に聴き取れた数が改善されていることがわかる。明瞭度としては24%改善されている。この実験では聴き取りたい音声はMRI騒音よりも25dBも音圧が低いという非常に過酷な環境であること、ならびに提示された音声が無意味な単音節の羅列であることを考えると、60%の明瞭度は十分な値であると考えられる。よって、本システムを利用することでMRI騒音下においても肉声による対話が可能になるということが示された。実際に医療従事者に利用してもらったところ、明瞭度が改善されたというコメントを得ることができた。以上から、本研究課題が目的とする、MRI騒音の低減と肉声による対話の実現を達成することができたといえる。

#### 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] (計3件)

- ① N. Miyazaki, Y. Kajikawa,  
“Head-Mounted Active Noise Control System with Virtual Sensing Technique,” *Journal of Sound and Vibration*, 査読有, vol. 339, pp. 65-83, Mar. 2015,  
doi:10.1016/j.jsv.2014.11.023
- ② N. Miyazaki, Y. Kajikawa,  
“Modified-Error Adaptive Feedback Active Noise Control System Using

Linear Prediction Filter,” IEICE Trans. on Fundamentals, 査読有, vol. E97-A, no. 10, pp. 2021-2032, Oct. 2014,

<http://ci.nii.ac.jp/lognavi?name=rossref&id=info:doi/10.1587/transfun.E97.A.2021>

- ③ Y. Kajikawa, W.-S. Gan, S. M. Kuo, “Recent Advances on Active Noise Control: Open Issues and Innovative Applications,” APSIPA Trans. on Signal and Information Processing, 査読有, vol. 1, issue 1, Aug. 2012, <http://dx.doi.org/10.1017/ATSIP.2012.4>

[学会発表] (計31件)

- ① K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, “Multi-channel Active Noise Control Using Parametric Array Loudspeakers,” Proc. of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2014 Annual Summit and Conference (APSIPA ASC 2014), Siem Reap, Cambodia, 2014/12/11
- ② Y. Kajikawa, “Integration of Active Noise Control and Other Acoustic Signal Processing Techniques,” 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS2014), ANA International Ishigaki Resort (Okinawa), 2014/11/19
- ③ S. Hase, Y. Kajikawa, L. Liu, S. M. Kuo, “Noise Source Localization for Active Noise Control,” 2014 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2014), Ho Chi Minh City, Vietnam, 2014/10/09
- ④ K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, “Study on Active Noise Control System Using Parametric Array Loudspeakers,” Forum Acusticum 2014, Krakow, Poland, 2014/09/09
- ⑤ N. Miyazaki, Y. Kajikawa, “Head-Mounted Active Noise Control System to Achieve Speech Communication,” Proc. of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2013 Annual Summit and Conference (APSIPA ASC 2013), Kaohsiung, Taiwan, 2013/10/30

[図書] (計1件)

- ① 梶川 嘉延, 他, S&T 出版, 製品音の快音技術～感性にアピールする製品の音作り～, 東京, 2012, 490-499

[その他]

ホームページ等

- ① 読売新聞, 2015年1月29日, 夕刊11面

- ② 高知新聞, 2013年12月9日, 朝刊22面  
③ 東京新聞, 2013年12月8日, 朝刊4面  
④ 日刊工業新聞, 2013年7月26日, 朝刊34面

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梶川 嘉延 (KAJIKAWA, Yoshinobu)  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号: 30268312

### (2) 研究分担者

棟安 実治 (MUNEYASU, Mitsuji)  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号: 30229942