

## 既存の $^1\text{H}$ -MRIを簡単に $^{23}\text{Na}$ -MRI対応にできる付加型動作環境を開発

人間の体の中にある水素などの原子核には、磁石の性質があります。こうした原子核を強い磁場の中に置き、特定の波長の電磁波を加えると、原子核が共鳴して微弱な電磁波が生じます。この電磁波を捉えて人体の内部などを画像化するのが磁気共鳴画像化（MRI）装置です。

人間の生体の約3分の2は水なので、臨床診断や医療研究に広く使われるMRIは、水に含まれる水素の原子核（ $^1\text{H}$ 核）を可視化することを目的としています。一方、X核と呼ばれるナトリウムやリン、カリウムなどの原子核も共鳴現象を起こします。 $^1\text{H}$ を対象とした従来のMRIでは検出できない生体内のイオンの代謝や恒常性に関する情報を可視化できるとして、臨床応用への新たな展開が期待されています。しかし、既存のMRIはほとんどが $^1\text{H}$ にしか対応していません。既存装置のハードウェアやソフトウェアをアップデートすればX核に対応できますが、装置全体あるいは大部分を交換する必要があるためコストが高く、実際にはほとんど普及していません。

そこで本研究チームは、 $^1\text{H}$ のみを対象とした既存のMRIシステムをほとんど変更せずに、ナトリウム原子核（ $^{23}\text{Na}$ ）のMRIを可能にするアドオン（付加）型の高周波プラットフォーム（動作環境）を開発しました。

開発した装置は、アマチュア無線で使われるクロスバンドレピータという技術を使うことで、既存の $^1\text{H}$ -MRI用の送受信装置をそのまま流用し、 $^{23}\text{Na}$ 用の信号を送受信できるようにします。

その検証として、磁場強度1.5テスラの四肢撮像用 $^1\text{H}$ -MRI装置に開発したアドオン型 $^{23}\text{Na}$ -MRI装置を装着し、マウス生体内の $^1\text{H}$ と $^{23}\text{Na}$ をMRIで画像化することに成功しました。

本プラットフォームにより、既存の $^1\text{H}$ -MRIに加えて $^{23}\text{Na}$ -MRIを低コストで実現できるようになります。既存装置へのハードウェア部分の脱着が簡単にできるため、複数の装置や施設間で使用可能です。さらに、変換周波数を変えることで他のX核のMRIの取得も可能で、広くX核のMRIの臨床応用を促進することが期待されます。

### 研究代表者

筑波大学数理物質系

寺田 康彦 准教授

新潟大学大学院自然科学研究科

佐々木 進 准教授

## 研究の背景

磁気共鳴イメージング (MRI) 装置は、生体組織中の  $^1\text{H}$  核を可視化するもので、臨床診断や研究に広く用いられています。一方で、近年のハードウェア技術の向上に伴い、 $^1\text{H}$  核以外の X 核 (非プロトン核) を使った MRI が注目されています。X 核 MRI <sup>注1)</sup> は、従来の  $^1\text{H}$ -MRI では検出できなかった生体内のイオンの代謝や恒常性に関する情報を得ることができるため、精密診断や生理的環境の解明のためのツールとして期待されています。 $^{23}\text{Na}$ -MRI の信号は、他の X 核に比べて高い感度で得られるため、 $^{23}\text{Na}$  イメージングを用いた基礎研究が数多く行われています。Na は人体に必要なミネラルの一種で、細胞の外の体液 (細胞外液) に多く含まれており、浸透圧を調整して細胞外液量を一定に保つなどの役割を持っています。癌などで正常な細胞機能が阻害されると、細胞内 Na 濃度の上昇が起こります。このため、 $^{23}\text{Na}$ -MRI は脳卒中、乳がん、脳腫瘍など、さまざまな病的状態に起因する組織内 Na 濃度の異常を検出するために使用されています。

しかし、現在普及している MRI システムのほとんどが  $^1\text{H}$  のみを対象としたハードウェアで構築されています。既存の MRI 装置を使って X 核の MRI 画像を取得するためには、ハードウェアやソフトウェアを X 核に対応できるようにアップデートする必要があります。しかし、装置全体あるいは大部分を交換する必要があるため、コストが高く、実際には X 核 MRI はほとんど普及していません。

本研究チームはこの問題を解決するため、アマチュア無線技術であるクロスバンドレピータ (CBR) <sup>注2)</sup> と低周波数帯域の無線周波数 (RF) 送信機およびピックアップ/送信コイルからなる新しいアドオン型  $^{23}\text{Na}$ -MRI の高周波プラットフォームを開発しました。このプラットフォームは低コストであり、X 核 MRI の臨床応用を強く促進すると期待されます。

## 研究内容と成果

本研究では、ミニチュアサイズの  $^1\text{H}$ -MRI システムに変更を加えず  $^{23}\text{Na}$ -MRI を取得できるアドオン型高周波プラットフォーム (参考図上) を開発しました。開発の鍵となった CBR 技術は、異なる周波数帯を持つ無線機同士が通信するための中継局の原理を応用したもので、 $^1\text{H}$  と  $^{23}\text{Na}$  の共鳴周波数をアドオン装置内で往来させています。本プラットフォームは、高周波コイルセット (高周波シールド、 $^{23}\text{Na}$  用高周波コイル、 $^1\text{H}$  ピックアップコイル、 $^1\text{H}$  トランスミットコイル)、高周波アンプ、高周波スイッチ、 $^1\text{H}$ - $^{23}\text{Na}$  CBR から構成されます。本プラットフォームは、高周波コイルセットを既存  $^1\text{H}$ -MRI 装置のボア内 (患者や試料が入る空間) に挿入するだけで自動的に動作します。

通常の  $^1\text{H}$ -MRI 装置では、 $^1\text{H}$  の共鳴周波数を持つ高周波磁場を撮像対象に照射し、 $^1\text{H}$ -MRI 信号を取得します。これに本プラットフォームを装着すると、 $^1\text{H}$  の共鳴周波数をもつ高周波磁場が CBR によって自動的に  $^{23}\text{Na}$  の共鳴周波数を持つ高周波磁場に変換されます。これを撮像対象に照射することで、 $^{23}\text{Na}$ -MRI の信号を受信することができるようになります。

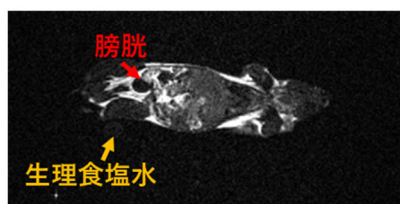
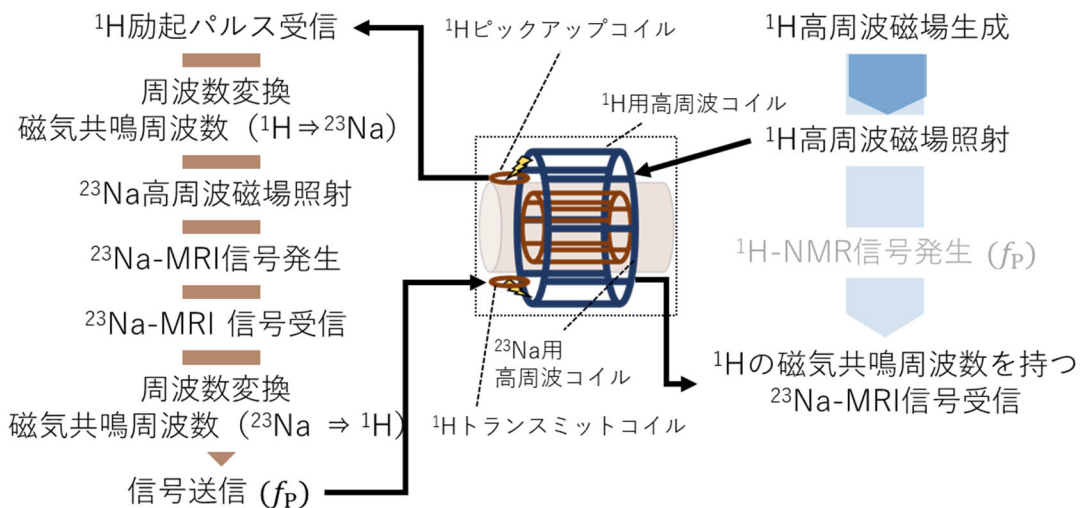
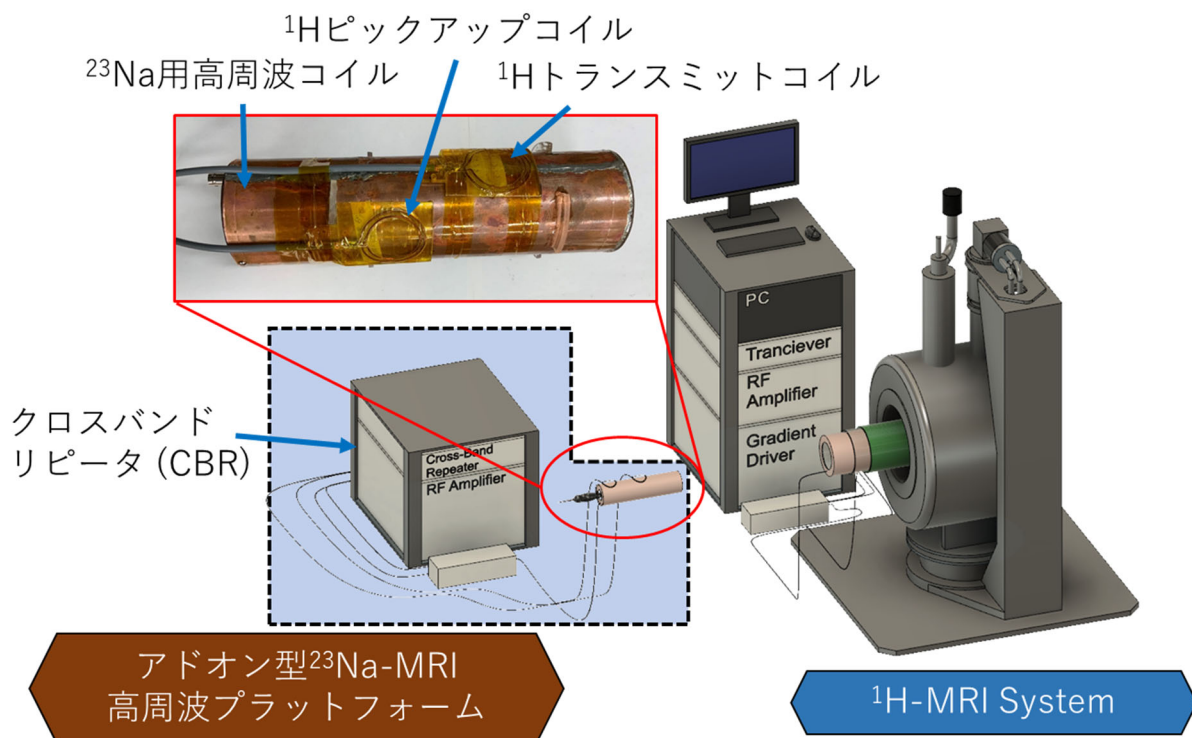
本研究では、この仕組みにより動作するプラットフォームを 1.5 テスラの  $^1\text{H}$ -MRI 装置に実装し、生きているマウスの  $^{23}\text{Na}$ -MRI 画像の取得に成功しました (参考図下)。腎臓や膀胱は、血液中の過剰な Na を体外に排泄し、血圧の調節を助ける機能を持っています。そのために、他の器官に比べて Na 濃度が高い傾向がありますが、この図で示されているように、腎臓や膀胱で強い  $^{23}\text{Na}$  の信号が得られていることが分かります。

## 今後の展開

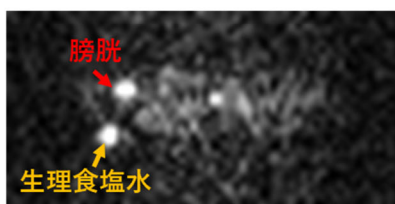
本プラットフォームは、低コストで  $^{23}\text{Na}$ -MRI を可能とするもので、さまざまな臨床用 MRI 装置への適用が可能です。一つのプラットフォーム装置で複数の装置間での共有も可能なため、施設全体でのコス

トを抑えることもできます。また、変換周波数を変えることで他の X 核の MRI の取得も可能で、広く X 核の MRI の臨床研究・応用が普及していくことが期待されます。

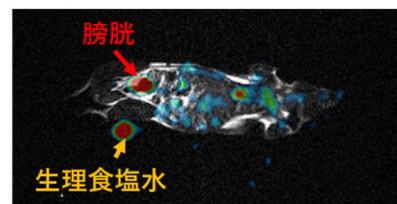
参考図



1H-MRI



23Na-MRI



1Hと 23Naの 重ね合わせ画像

図 開発したプラットフォームの模式図と生体マウスの MRI 画像

## 用語解説

### 注1) X核MRI

MRIで最もよく使われる核種は $^1\text{H}$ だが、それ以外の $^{13}\text{C}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{23}\text{Na}$ 、 $^{35}\text{Cl}$ 、 $^{31}\text{P}$ 、 $^{39}\text{K}$ などの核種を使ったMRIをX核MRIと呼ぶ。 $^{23}\text{Na}$ は細胞機能に極めて重要な役割を持っており、 $^{23}\text{Na}$ -MRIへの期待度は高い。

### 注2) クロスバンドレピータ

異なる周波数帯の信号を中継するための機器。アマチュア無線において、離れた小型無線局同士を中継する時によく使われる。

## 研究資金

本研究は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）の研究プロジェクトの資金を得て実施されました（プロジェクト番号JP20hm0102062）。

## 掲載論文

【題名】 Development of an add-on  $^{23}\text{Na}$ -MRI radiofrequency platform for a  $^1\text{H}$ -MRI system using a crossband repeater: proof-of-concept

（クロスバンドレピータを使った $^1\text{H}$ -MRIシステム向けアドオン型 $^{23}\text{Na}$ -MRI高周波プラットフォームの開発：コンセプトの実証）

【著者名】 Michiru Kajiwara<sup>1</sup>, Tomoyuki Haishi<sup>2,3,4</sup>, Dwi Prananto<sup>4,5</sup>, Susumu Sasaki<sup>4,5</sup>, Ryohei Kaseda<sup>4,6</sup>, Ichiei Narita<sup>4,6</sup>, and Yasuhiko Terada<sup>1\*</sup>

1 筑波大学数理物質科学研究科、2 国際医療福祉大学大学院医療福祉学研究科、  
3 株式会社 エム・アール・テクノロジー、4 日本医療研究開発機構(AMED)、  
5 新潟大学大学院自然科学研究科、6 新潟大学大学院医歯学総合研究科

【掲載誌】 Magnetic resonance in medical sciences

【掲載日】 2021年12月10日

【DOI】 doi:10.2463/mrms.tn.2021-0094

（利用可能となるまでに、論文公開から数日かかる可能性があります。）

## 問い合わせ先

【研究に関すること】

寺田 康彦（てらだ やすひこ）

筑波大学数理物質系 准教授

URL: <http://www.bk.tsukuba.ac.jp/~mrlab/>

佐々木 進（ささき すすむ）

新潟大学大学院自然科学研究科 准教授

TEL: 025-262-6766

Email: [susumu@eng.niigata-u.ac.jp](mailto:susumu@eng.niigata-u.ac.jp)

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

新潟大学広報室

TEL: 025-262-7000

E-mail: pr-office@adm.niigata-u.ac.jp