

200712028A

様式A-1 (5)

厚生労働科学研究費補助金研究報告書

平成20年 4月 1日

厚生労働大臣

(国立がんセンター総長)

(国立精神・神経センター総長)

(国立医薬品食品衛生研究所長)

(国立保健医療科学院長)

殿

住 所 〒606-0832 京都市左京区下鴨萩ヶ垣内町40-3

フリカナ フクヤマ ヒデナオ

研究者 氏 名 福山 秀直

(所属機関 京都大学)



平成20年度厚生労働科学研究費補助金(医療機器開発推進研究事業:ナノメディシン研究)に係る研究事業を完了したので次のとおり報告する。

研究課題名(課題番号): 超高解像度MRI顕微鏡の開発 (H19-ナノ一般-002)

国庫補助金精算所要額 : 金 60,650,000円也(うち間接経費 13,996,000円)

1. 厚生労働科学研究費補助金研究報告書表紙 (別添1のとおり)
2. 厚生労働科学研究費補助金研究報告書目次 (別添2のとおり)
3. 厚生労働科学研究費補助金総括研究報告書 (別添3のとおり)
4. 厚生労働科学研究費補助金分担研究報告書 (別添4のとおり)
5. 研究成果の刊行に関する一覧表 (別添5のとおり)
6. 研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況
(総括研究報告書、分担研究報告書の中に、書式に従って記入すること。)
7. 健康危険情報
 - ・研究の結果、得られた成果の中で健康危険情報(国民の生命、健康に重大な影響を及ぼす情報として厚生労働省に報告すべきものがある場合や、研究過程において健康危険情報を把握した場合には、国民の生命、健康に重大な影響を及ぼすと考えられる内容と理由を簡潔に記入するとともに、その情報源(研究成果、研究者名、学会発表名、雑誌等の詳細)について記述すること。
 - ・既に厚生労働省に通報した健康危険情報であっても、本研究報告書の提出の時点において健康危険情報に該当すると判断されるものについては記述すること。
 - ・分担研究者、研究協力者の把握した情報・意見等についても主任研究者がとりまとめ、一括して総括研究報告書に記入すること。
 - ・なお、交付基準額等決定通知の添付文書において、健康危険情報を把握した際には、一定の書式で速やかに厚生労働省健康危機管理官まで通報していただくよう協力をお願いしているため、本件とともに留意すること。

別添 1

厚生労働科学研究費補助金研究報告書表紙

別添 2

厚生労働科学研究費補助金研究報告書目次

別添 3

厚生労働科学研究費補助金総括研究報告書

別添 4

厚生労働科学研究費補助金分担研究報告書

別添 5

研究成果の刊行に関する一覧表

厚生労働科学研究費補助金

医療機器開発推進研究事業：ナノメディシン研究

超高解像度MRI顕微鏡の開発

平成19年度 総括研究報告書

主任研究者 福山 秀直

平成20（2008）年 4月

目 次

I. 総括研究報告		
超高解像度MRI顕微鏡の開発	-----	1
福山秀直		
II. 分担研究報告		
1. MRI顕微鏡室の施工	-----	2
上野智弘 広瀬量一		
2. 14.1テスラ静磁場コイル開発	-----	3
上野智弘 広瀬量一		
3. 600MHzNMRスペクトロメータ開発	-----	4
上野智弘 松原明 土井信昭		
4. 超小型プリアンプ開発	-----	5
上野智弘 浦山慎一		
5. 人用3テスラ装置内でのex vivo環境の構築	-----	6
浦山慎一 上野智弘 澤本伸克 高橋良輔		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	7
IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	8

超高解像度MRI顕微鏡の開発

主任研究者 福山 秀直 京都大学大学院医学研究科 教授

研究要旨

生検組織の病理観察や摘出組織内へのDDSの薬剤分布の検査等を、摘出後即座に凍結せず非破壊で行うための、超高解像度、超高感度MRI顕微鏡を開発する。

主な特徴は、最大空間解像度10ミクロン（細胞サイズ）以下、感度は一般臨床機の十万倍以上、ex vivo撮像を可能とする緩衝液循環システムを有し、厚生労働行政が力を注いでいる幹細胞による再生治療診断や分子イメージングなどに有用である。

分担研究者氏名・所属機関名及び所属機関における職名

上野智弘・京都大学大学院医学研究科
・助教

浦山慎一・京都大学大学院医学研究科
・助教

松原明・京都大学低温物質科学研究センター・准教授

土井信昭・株式会社サムウエイ・課長

広瀬量一・株式会社ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー・部長

澤本伸克・京都大学大学院医学研究科
・助教

高橋良輔・京都大学大学院医学研究科
・教授

A. 研究目的

本研究では、細胞レベルの空間分解能でのex vivo撮像を可能とする超高解像度MRI顕微鏡を開発することを目的とする。具体的には、静磁場強度14.1テスラの小径ボア内に、傾斜磁場強度10T/mの傾斜磁場コイル、高感度ソレノイド型受信コイル、緩衝液を循環させ5ミリ角程度までの摘出細胞塊を生きた状態で固定できるガラス管、などを用い、空間分解能10ミクロン以下を目指す。これは、国内外において最先端レベルである。

B. 研究方法

本年度は、開発初年度として、MRI顕微鏡室の施工、横置き14.1テスラ静磁場コイルの開発、600MHzNMRスペクトロメータの開発、超小型600MHzプリアンプの開発、高磁場MRI装置内での調整

ex vivo環境の構築、等を重点的に行っている。

（倫理面への配慮）

倫理委員会、動物委員会の認可をとり、そのプロトコルに従って研究を進める。

C. 研究結果

分担研究報告書に詳述してあるように、MRI顕微鏡室の施工、14.1テスラ静磁場コイル開発、600MHzNMRスペクトロメータ開発、超小型プリアンプ開発を完了し、MRI顕微鏡の開発基盤の整備を終えた。

D. 考察

ex vivo環境の構築に関し、検討をさらに加え、MRI顕微鏡の用途として期待される非凍結病理検査を行なうにあたっての指針となるようにする必要がある。

E. 結論

開発初年度において、MRI顕微鏡の開発基盤の整備を終えた。次年度以降に傾斜磁場コイル開発、送受信コイル開発シーケンス開発環境の開発を行なう。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

上野智弘、福山秀直 「超高感度MRI顕微鏡」炎症と免疫 Vol.16 no.1 4-8 2007

2. 学会発表

なし

（発表誌名巻号・頁・発行年等も記入）

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業：ナノメディシン研究）
分担研究報告書

MRI顕微鏡室の施工

分担研究者 上野 智弘 京都大学大学院医学研究科 助教
分担研究者 広瀬 量一 株式会社ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー 部長

研究要旨

京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻の北棟地階041号室にMRI顕微鏡開発のためのスペースとして、新たな実験室を施工した。MRI装置設置のための部屋の拡張、全重量3トン前後を支えるための床の強化、Heガス放出ダクトの敷設、MRIシステム安定化のための空調設備の新設、など、MRI室としての整備を行った。

A. 研究目的

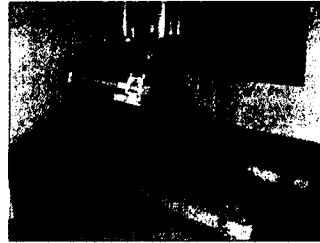
MRI顕微鏡の構成は、静磁場コイル、NMRスペクトロメーター、傾斜磁場コイル、RF送信コイル、RF受信コイルに大別できる。それぞれの部分を安全に開発・試験・調整を行なうことのできる場所の整備を行う。また、完成したMRI顕微鏡の研究・診断機器への応用を図れるように場所を整備する。

B. 研究方法

京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻の北棟地階に、建物の耐震補強工事に合わせ、MRI顕微鏡室としてスペースの拡張をし、必要とされる室内の整備も行なった。耐震補強工事の本来の終了予定は、平成20年2月末であったため、開発に遅れが生じないよう大学施設部と交渉し、MRI顕微鏡室のみ他の工事予定より完成を早める必要があった。静磁場コイルの3トンの重量を支えるための床の強化が必要であった。また、静磁場コイルは超伝導コイルであり、冷媒として液体ヘリウム/液体窒素を必要とする。静磁場コイルがクエンチした場合に、大量のヘリウムガスが部屋に放出され、窒息の恐れが生じる。そこで、クエンチ時の大量のヘリウムガスを室外へ放出するためのクエンチダクトの設置が必要とされた。測定機器の安定化のために、安定度の高い室温制御がなされる必要があった。その際に、静磁場コイルを揺らすことのないよう、風向きに注意する必要があった。開発機器や測定機器のための電源（単相3線100V/200V、3相4線200V）の新設を行なう必要があった。
(倫理面への配慮)
特に無し

C. 研究結果

北棟地階のみ建物の耐震補修を早めて、平成19年8月末に部屋の補修工事を終了させた。床の強化は建物の構造梁に対し、静磁場コイルの荷重を載せるための架台を室内に設置することで行なった（写真参照）。



クエンチダクトを北側窓上部に取り付け、ドライエリアにガスを放出するようにした。また、空調の向きは静磁場コイルのある北側を避け、東西と南のみとした。単相3線100V/200V 3相4線200Vの新設を行なった。

D. 考察

MRI顕微鏡室の竣工自体は平成19年8月末であったが、北棟の竣工が平成20年3月末までずれこみ、機材の搬入等に支障が生じた。また、室外で補強工事が行なわれていたため、室内への埃の進入が大きくコイルの使用に支障があった。

E. 結論

平成19年度に支障なく使用できるMRI顕微鏡室が施工できた。

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)
なし

14.1テスラ静磁場コイル開発

分担研究者 上野 智弘 京都大学大学院医学研究科 助教
分担研究者 広瀬 量一 株式会社ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー 部長

研究要旨

撮像対象の生理学的状態を通常時と同等に保ち、緩衝溶液の流れをスムーズにし、また試料等の出し入れが便利となるよう、緩衝液循環システムを水平に設置しなければならないため、14.1テスラ縦置きNMR用静磁場コイルを、横置き用に設計し直した。傾斜磁場コイルによる渦電流を防ぐため、使用する部材を金属から強化プラスチックに変更し、漏れ磁場を押さえるためにスーパーセルフシールドを使用した。

A. 研究目的

非凍結病理検査などのMRI顕微鏡の臨床応用や細胞レベルでの生体機能の非侵襲可視化などの研究応用を考える上で、撮像対象である細胞・組織の生理学的状態を保つことは必要不可欠である。そのため、撮像時においても穏やかに緩衝溶液を流すなどにより、生理学的状態の維持を行わなければならない。また、試料の取り替えがスムーズに行なえなければ、生理学的状態が乱されることになる。そこで、生理学的状態の維持が可能となるような静磁場コイルの開発が必要となる。

静磁場コイルの中に挿入して用いられる傾斜磁場コイルのパルスの磁場の変動により、金属部分には渦電流が誘発される。この渦電流により磁場のエネルギー損失が起り、傾斜磁場において、オーバーシュートや磁場プロファイルに高次の項が出現することになる。この渦電流の発生を抑えるように静磁場コイル側を設計しておく必要がある。

B. 研究方法

通常、高磁場NMRのための静磁場コイルは縦型であり、ボアが鉛直方向となっている。高磁場を形成するために、ボアが細長くなっており、試料に緩衝溶液を流す際、重力の影響を強く受ける。そこで、通常の縦型の静磁場コイルを横置きに設計変更し、緩衝溶液の流れを制御しやすくした。同時に、水平ボアを用いることで、緩衝溶液を抜くことなく、試料の取り替えのできるシステムの構築が可能となった。

傾斜磁場コイルによる渦電流の発生

を抑えるため、通常SUSから強化プラスチック（FRP）に変更を行った。

静磁場コイルを横置きに室内の架台上に設置を行うため、振動防止のエアダンパー、冷媒の保持のためのデュワーの設計変更、架台の設計を行なった。また、静磁場コイルの漏れ磁場による他の実験室との干渉を抑えるため、スーパーセルフシールドを採用した。

（倫理面への配慮）
特に無し

C. 研究結果

試験結果を以下に示す。

<定格磁場>14.09T (600MHz 1H) 到達（クエンチせず）<磁場安定度>：0.02ppm/hr以下<磁場均一度>： ΔB peak to peak \pm 0.4ppm <LHe蒸発量>：25ml/hr <LN2蒸発量>：200ml/hr。ボア内に若干の結露が発生した。

D. 考察

水平ボアで、部材をFRPに変更したため、熱の流れが悪くなり、結露が発生したと考えられる。傾斜磁場コイルからの熱により、使用時には解消されると考えられる。耐震補強工事における磁場調整であったため、磁場均一度の再調整が必要と考えられる。

E. 結論

磁場の再調整が必要であるが、静磁場コイルの開発/設置が完了した。

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業：ナノメディシン研究）
分担研究報告書

600MHzNMRスペクトロメータ開発

分担研究者 上野 智弘 京都大学大学院医学研究科 助教
分担研究者 松原 明 京都大学低温物質科学研究センター 准教授
分担研究者 土井 信昭 株式会社 サムウエイ 課長

研究要旨

RFパルスとして送受信する電磁波を制御するための600MHzNMRスペクトロメータを設計/開発した。本研究では、撮像対象付近での磁場強度変化測定や温度測定もリアルタイムで行うため、送受信コイルや傾斜磁場コイルの他に、24のハードウェア制御チャンネルを追加した。これらチャンネル数追加その他のため、予算の都合上、検出核種はプロトンのみに変更した。

A. 研究目的

NMRスペクトロメータは、RFパルスの送受信を行なうとともに、撮像シーケンスにおける傾斜磁場の時間同期を図る役目をもつ。また、送信コイルと受信コイルのアクティブデカップルを実現するためのピンダイオードの制御も合わせて行なう必要がある。また、MRI顕微鏡においては、撮像対象付近での磁場強度変化測定や温度測定を撮像シーケンスに同期して行なう予定である。さらに、周波数空間においても実空間においても、送信RFパルスの強度分布が均一である条件を作るようにするため、1 kW程度の出力が必要とされる。600MHzの高周波（磁場強度14.1 Tにおけるプロトンの共鳴周波数）において、これらの条件を満たすNMRスペクトロメータを設計/開発しなければならない。

撮像シーケンスの開発環境を自由度高く構築できる必要がある。

B. 研究方法

要求される様々な時間同期を位相のずれなどを排除した形で行なうためには、信号のアナログ処理部とデジタル処理部が完全にコヒーレントである必要がある。そこで、デジタル処理部のADボードとパルサーボードにアナログ処理部の基準クロック（20MHz）を外部入力できるようにして、基準クロックを合わせた。さらに、基準クロックに時間同期させたパルサーボードを追加することにより、必要とされるタイミングをTTL出力させた。オールソリッドステート化して、電力増幅を行なうことで600MHzの高周波においても高速

パルス増幅器として高直線性・低歪みをもたせた。さらにハイブリット方式により、1kWの高出力を達成した。

RF出力側にADボードを設置することで、種々のパルス波形の出力を可能とさせた。

開発環境として、VisualBasicを用い、GUIの実現を可能とさせた。

（倫理面への配慮）

特に無し

C. 研究結果

アナログ処理部の基準クロック（20MHz）を外部入力させて時間同期を行なうことで、ボードにおけるジッタのずれ程度の範囲（数10ns）で時間同期がとれることになった。ボードを増やすことにより、24チャンネルのTTL出力を外部測定機器の撮像シーケンス同期として用いることができた。

安定に1kWのパルス出力が行なえる。

D. 考察

24チャンネルのTTL出力により、撮像シーケンス同期が可能となったが、タイミングだけでなく、値制御が必要となる。同期したD/Aボードを加えることで解決できると考えられる。

E. 結論

MRI顕微鏡のための条件を満たすNMRスペクトロメータが開発できた。

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

（予定を含む。）

なし

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）
分担研究報告書

超小型プリアンプ開発に関する研究

分担研究者 上野智弘 京都大学大学院・医学研究科・人間健康科学系専攻・助教
分担研究者 浦山慎一 京都大学・医学研究科附属高次脳機能総合研究センター・助教

研究要旨

MRI 顕微鏡の信号強度を上げるため、48 mm のボア内で設置可能な、600MHz 対応超小型プリアンプを製作を試みた。その結果、作製したプリアンプは、大きさ 15x15x10 mm という MRI 装置に使用されているものとしては世界最小レベルとなり、雑音指数 0.3~0.5 dB、利得 23~26 dB とその性能も十分であった。今後は、これを MRI 顕微鏡内に組み込み、実際の使用を試みる。

A. 研究目的

本研究では、最高空間解像度 10 μ m を目指しているが、この時のボクセルサイズは通常の MRI 撮像と比較して百万分の 1 程度であるため、得られる信号は非常に微弱となる。その微弱な信号強度を、信号処理機器が取り扱える電圧レベルまで増幅するのがプリアンプである。

本研究では、14.1 テスラという超高磁場 MRI 装置に用いるために共鳴周波数が高くなり、受信コイルとアンプを接続するケーブルの伝送損失が大きくなるので、プリアンプは可能な限り受信コイルの側に接続する必要がある。そのため、48 mm のボア内に設置可能な超小型プリアンプを独自に開発した。

B. 研究方法

プリアンプの要求性能としては、1. コイルへの搭載が可能な程度に小型であること、2. 使用する周波数において雑音指数 (NF) が最小であること、3. すべての使用部品に強磁性体を含まないこと、の 3 点が挙げられる。

また課題としては、1. 使用する部品点数を最小化する・使用する部品を小型化する、2. 現在最も NF 特性の優れた増幅素子を調査し使用する、3. コンデンサ・抵抗器の電極に磁性体 (Ni 等) を含まないものを選択すること、4. 磁気コアを使用しないこと、が挙げられる。

上記を基に設計したプリアンプの回路図を図に示す。設計に当たって検討した点は以下の通りである。1. 回路部品点数を少なくするため、使用周波数において発振防止保証回路などの付属回路を要しない増幅素子を選定した。2. 電源回路は体積の大きな安定器素子を使用せず、ZenerDiode を応用した定電圧回路を設計した (MR 装置から供給されるプリアンプ用電源の安定性が高いことを前提に簡単な回路を用いることが出来る)。3. 増幅素子として現在最も低雑音で利得の高い HEMT (High Electron Mobility Transister) を用いた。4. 非磁性化を実現するためすべてのコイルを手巻きとし、磁気コアの使用を避けた。5. コンデンサ・抵抗器などはニッケル電極を用いていない部品を選定した。6. 入力回路に可変コンデンサを用い、入力回路のインピーダンスを調整して、HEMT が最も低雑音で動作する条件を実現できる構成とした。

ガラスエポキシ基板上に回路パターンを形成し、部品を搭載した。小型化を図り非磁性化を確実にするため、コネクタを用いず基板にケーブルを直接半田付けすることとした。シールドケースは錫メッキ銅板を板金加工して作成した。

C. 研究結果

作製したプリアンプは、大きさ 15x15x10 mm という、MRI 装置に使用されているものとしては世界最小レベルのものとなった。アジレント社製 N8973A 雑音指数アナライザを用いて雑音指数および利得を測定したところ、雑音指数が 0.3~0.5 dB、利得が 23~26 dB であった。この結果 MR 用プリアンプとして使用できることが確認された。

D. 考察

作製したプリアンプは、MRI 顕微鏡用としては十分な性能を持ったものであったが、高感度である分、開発途上で故障する可能性が高いという問題点がある。しかし本年度は 30 個作製したため、研究期間内は問題ないと思われる。

20 年度では、MRI 顕微鏡内に組み込み、実際の使用を試みる。

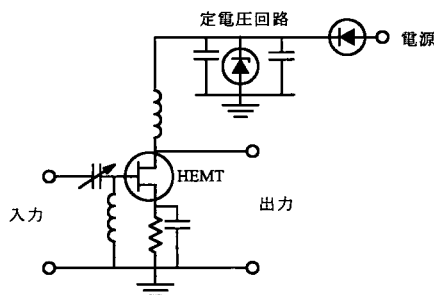
E. 結論

14.1 テスラ MRI 顕微鏡の直径 48 mm ボア内で使用可能な、超小型プリアンプを設計、開発した。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表 なし

H. 知的財産権の出願・登録状況 なし



作製したプリアンプの回路図とプリアンプ本体

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）
分担研究報告書

ヒト用3テスラ装置内での ex vivo 環境構築に関する研究

分担研究者 浦山慎一 京都大学・医学研究科附属高次脳機能総合研究センター・助教
分担研究者 上野智弘 京都大学大学院・医学研究科・人間健康科学系専攻・助教
分担研究者 高橋良輔 京都大学大学院・医学研究科・臨床神経学・教授
分担研究者 澤本伸克 京都大学・ナノメディシン融合ユニット・助教

研究要旨

MRI 顕微鏡内での ex vivo 環境構築のため、構築すべき顕微鏡のない今年度は、ヒト全身用3テスラ MRI 装置を用いてその初期検討を行った。幼弱マウスのスライス脳を撮像対象とし、それが納まる直径 20 mm のヘルムホルツ型送受信コイルと、組織を収納するための厚さ 8 mm のシャーレを作製した。その結果、送受信コイルからは十分な強度の信号を得られるようになった。しかし、ヒト用 MRI 装置の通常の撮像対象と比較して余りに小さいためにシミングなどの調整に時間がかかり、スライス脳の撮像はできなかった。今後は、調整時間を短縮するよう改良し、スライス脳を用いた ex vivo 実験を行う。

A. 研究目的

本研究で開発を試みている 14.1 テスラ MRI 顕微鏡では、ex vivo 撮像を行うことを想定している。しかしながら、MRI 装置内での ex vivo 撮像環境は、その目的と使用する機器環境によって異なる。また我々はその経験の有していない。3年間の研究期間で、MRI 顕微鏡で画像撮像が可能となるのは、早くも2年度目の後半であるため、平成19年度では、現有の3テスラ全身用 MRI 装置を用いて、MRI 装置内での ex vivo 環境構築のための初期検討を行った。

B. 研究方法

3テスラ全身 MRI 用に、直径 20 mm のヘルムホルツ型送受信コイルを作製した（図左、中）。また、ヘルムホルツ型の二つのリングコイルの間には 10 mm のギャップがあるため、部材の厚みを差し引いた 8 mm 厚の空間に隙間なく納まるシャーレを作製した。シャーレ設計時は、撮像対象組織をシャーレ内にできたコイル感度の均一な直径 10 mm、厚さ 5 mm の空間に入れ、信号収集を行うことを想定した。加えて、対象組織がシャーレ内でできるだけ長く生きながらえるよう、十分に酸素を溶解させたリングル溶液を毎分数 ml の割合でシャーレ内に流し込むこと、静磁場均一性を保つために、シャーレ内に気泡が生じないようにすること、などを考慮した。また MR 撮像時の大きな振動がコイルや撮像対象に影響を与えないため、木製の櫓を組んで、作製したコイルなどが MRI 装置と直接接触しないようにした。

撮像対象としては、細胞の viability を MR 信号の変化から推定することを想定して、幼若マウスのスライス脳（大きさ 5 mm 程度、厚み 0.1~0.5 mm 程度）を選択した。使用する 3テスラ装置では、開発する MRI 顕微鏡と比較して十分な信号ノイズ比が期待できないため、複数の脳スライスを1枚ずつネットに載せ、積み重ねることにより、信号ノイズ比の向上を図った。

C. 研究結果

全システムをくみ上げ、シャーレ内に蒸留水を密封して FID 信号を収集した結果、十分な強度の信号を得ることができた（図右）。ただし、画像撮像を試みはしたもの、その低い磁場強度と弱い傾斜磁場のため、明確な画像を得ることはできなかった。

現在のところ、撮像対象がヒト用 MRI 装置の通常のものよりも非常に小さいために、スライス脳をセットしてから撮像に入るまでに行う、シミング等の調整に非常に時間がかかり、活性度の高く保ったまま撮像を開始できていない。

D. 考察

受信コイルとしては、ソレノイド型コイルが最も信号ノイズ比が高いことが分かっているが、本研究の場合、サンプルに十分酸素の溶解したリングル溶液を供給するためのシャーレ作製が容易となるよう、ヘルムホルツ型を採用した。

20年度では、MRI 装置の調整に必要な時間を短縮するよう改良し、スライス脳を用いた ex vivo 実験を試みる。

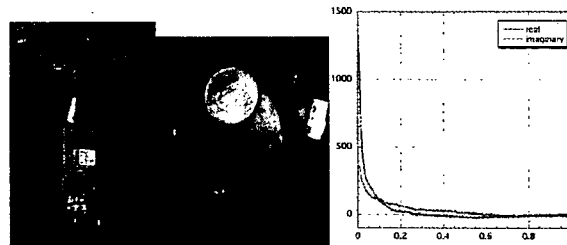
E. 結論

14.1 テスラ MRI 顕微鏡内での ex vivo 環境構築のため、直径 20 mm のヘルムホルツ型送受信コイルとその中に幼弱マウスのスライス脳を納めるシャーレを作製した。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表 なし

H. 知的財産権の出願・登録状況 なし



作製したヘルムホルツ型送受信コイル（上、中）とそれにより得られた FID 信号（右）。赤で囲んである隙間に、厚さ 8 mm のシャーレを挿入する。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
上野智弘、 福山秀直	超高感度MRI顕微鏡	炎症と免疫	16	4-8	2008