

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01357

研究課題名(和文) 磁気共鳴温度計測及びインシリコ解析による温熱療法の特性解明と体組成に対する最適化

研究課題名(英文) Characterization of Thermotherapy by Magnetic Resonance Temperature Measurement and In Silico Analysis

研究代表者

熊本 悦子 (Kumamoto, Etsuko)

神戸大学・情報基盤センター・教授

研究者番号：00221383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：小型RF誘電加熱装置を対象に有限要素法を用いた電磁界・温熱界の解析および解剖学構造に基づいた加熱シミュレーションによる特性解析を行った。また、呼吸動による変位・変形のある肝臓超音波治療において横隔膜に注目した3次元動的な動態解析を行なったのち熱伝導方程式に基づく加熱シミュレーションを行い加熱特性解析を行った。さらに、水と脂肪が混在する組織について、共鳴周波数とスピン・スピン緩和時間を用いた磁気共鳴温度分布画像化法を提案した。これらの成果により、体組織に基づいた適切な温熱治療法選択のための根拠および手法を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見を基にした温度分布画像化法の利用や計算機シミュレーションによりは、温熱治療の治療効果および安全性の向上に寄与すると考えられる。また、水と脂肪が混在する組織の温度分布画像化法について、脂肪組織の中で支配的なメチル基および水を分離し緩和時間分布を検出することで、動物性脂肪由来の9種類の成分を同時に考慮した温度分布画像化法を提案したことで、脂肪を含む組織に対する磁気共鳴温度分布の計測精度が向上し、これまで加熱モニタが困難であった脂肪を含む組織に対する温熱治療法の治療効果および安全性の向上という点においても優れた成果であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We analyzed the electromagnetic and thermal fields of a small RF dielectric heating device using the finite element method, and analyzed its characteristics by heating simulation based on anatomical structures. In addition, we performed a three-dimensional dynamic analysis focusing on the diaphragm in the focused ultrasound therapy of the liver with displacement and deformation due to respiratory motion, and analyzed the heating characteristics by heating simulation based on the heat transfer equation. Furthermore, we proposed a magnetic resonance temperature imaging method using resonance frequency and spin-spin relaxation time for tissues containing a mixture of water and fat. These results provide a basis and method for selecting appropriate thermal treatment methods based on body tissues.

研究分野：医用システム、画像工学

キーワード：温熱治療 加熱特性解析 集束超音波治療 RF誘電加熱 磁気共鳴温度分布画像化法 加熱シミュレーション 磁気共鳴診断装置

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

外部よりエネルギーを与えて温度を上昇させることにより変性し腫瘍の縮小・死滅に導く。このような温熱治療は、機能・形態を温存する療法として癌治療の一つの選択肢となっており、単独にまたは他の治療法と併用されて実施されている。その熱源には、その熱源には、レーザー光、マイクロ波、RF 波、超音波などがあり、それぞれ加温のメカニズムは異なる。また、同じ熱源を用いても電磁界の方向や体組成により温度上昇がことなることから、温熱治療の際には、加温のメカニズムを十分に理解し、その体組成に基づいて適切な温熱治療法を選択することが肝要である。

2. 研究の目的

本研究では、磁気共鳴温度分布画像化法と計算機シミュレーションにより、温熱療法の加温特性を解明し、体組成により異なる加温特性を最適化する。種々の温熱療法のうち電磁波および超音波を熱源とする温熱治療に関して、体組成による温度特性を詳細なヒューマンモデルを用いた計算機シミュレーションにより解析する。さらに、水と脂肪が混在する組織の磁気共鳴温度分布画像化法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 小型 RF 誘電加温装置の加温特性解析

長径 15cm、短径 10cm の楕円形電極と 15cm の正方形電極を対向させ、動作周波数 27.12MHz、楕円形電極電位を 60V、正方形電極電位を 0V として解析を行った。

また、RF 誘電加温のシミュレーションを個々の患者の CT 画像からモデルされた解剖学構造に基づいた加温特性解析を行なった。患者下腹部の CT 画像を脂肪、骨、前立腺、およびそれ以外の高含水組織に分類し、組織の電磁氣的・熱的特性はオープンデータベースより、血液灌流による熱輸送の温度依存性は文献に基づいてモデル化した。対向電極を下腹部の背腹に配置し、電磁界解析ソフトウェアにより解析した。

(2) 集束超音波治療装置の加温特性解析

呼吸動による変位・変形を伴う肝臓を対象とした集束超音波治療における加温特性を解析するため、肝臓の動体解析手法 について検討した。術前に撮像した矢状断面 MR 像から時系列 3 次元モデルを作成、そのモデルに対して周囲の血管影と焦点の相対位置関係は変化しないという過程に基づき、焦点位置をあらかじめ推定しておく。術中は術前と同様の撮像条件により単スライス矢状画像を取得し、術前の画像とマッチングを行い、マッチした画像との関連性により焦点位置を推定する。この手法を、3 名の健常ボランティアのゆっくりとした呼吸下の肝 MR 画像に適用し、肝臓の動態に伴う焦点の位置推定を行った。

さらに、呼吸動に伴う肝臓移動変形による焦点の推定位置における温度上昇について熱伝導方程式 を用いて推定し、焦点位置推定誤差と治療効果の関係について検証を行った。

また、術中の磁気共鳴温度画像化のための MR データ取得の高速化について検討した。複素 MR 信号を格納する k 空間の特徴と MR 画像のスパース性に着目し、術前に収集した MR データより元画像との誤差が最小になるように位相エンコードの回数を削減し、撮像時間を縮小、また信号復元の反復計算を最適化問題として定式化し反復回数を削減した。

(3) 水と脂肪が混在する組織の磁気共鳴温度分布画像化法の検討

脂肪組織においては、共鳴周波数が温度依存しないため緩和時間による温度分布が増加が有望だが、脂肪は 9 つ程度の化学シフト成分からなり(図 1)、それらの緩和時間の温度係数が異なる。これらの成分の中から、信号強度の強い鎖状メチレン基(CH₂)と末端メチル基(CH₃)に着目した。水および水に近い共鳴周波数を有する脂肪酸成分を化学シフト洗濯パルスにより抑制し、CH₂とCH₃の成分比率を加味した緩和時間(T₂)の温度依存性から脂肪組織の温度上昇を求めた。また、高含水組織の温度上昇は水以外の信号を選択的に抑制することにより PRF から求めた。

この方法をレーザー加温下のウシ筋肉・脂肪混在組織に適用し 9.4T の実験用 MRI 装置で温度分布を求めた。

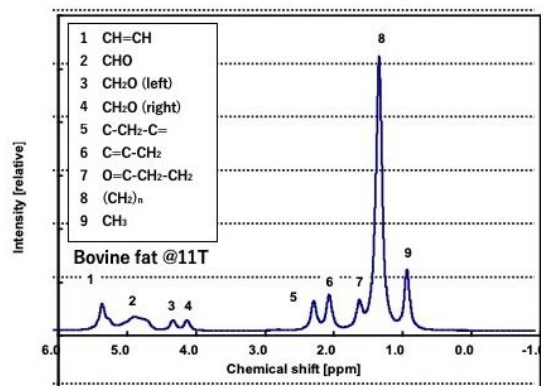


図1 牛脂の磁気スペクトル

4. 研究成果

(1) 長径 15cm, 短径 10cm の楕円形電極と 15cm の正方形電極を対向させた小型 RF 誘電加温装置について解析を行った結果, 8 分加熱で体深 2cm において, 5.6 の温度上昇が見られた. また, 患者下腹部の前立腺の CT 画像を用いたシミュレーションによる加温到達温度は 38.0 であり, 実測値 40.8 に近い温度まで加温された. これらの結果より, CT データに基づく個々の患者に対する治療シミュレーションが可能となった.

(2) 呼吸動にともなう肝臓移動変形に焦点を追従する焦点追尾手法を 3 名のボランティアに適用した結果, 術前の焦点位置推定について約 80%において誤差 5mm 以下となった. また, 術中のマッチングについてはほぼ全ての入力画像について, 肝臓の位置を正しく捉えることができた. これにより, 呼吸動にともなう肝臓移動変形に焦点を追従する焦点追尾手法の動的な評価が可能となった.

肝臓の深部体温を 37.5 °C とし, 加温 150 秒, 腫瘍の灌流値 0.0083g/cm³/sec とした時の温度上昇を図 2 に示す. 焦点推定誤差が 5mm を超えると温度上昇は, タンパク質の変性を促し腫瘍を死滅させる 60 を下回るため, 焦点追尾に許容される誤差は 5mm 以下に止める必要があることが示された. また, MR データ取得の高速化検討について, 健常ボランティアの腹部 MR 画像に適用したところ, 収集率 50%で, k 空間の低周波領域の収集割合を多くしたもので, 温度誤差の平均が 0.22, 画像取得時間の平均が 1 枚あたり 1.52 秒となった. また, 矢状断 MR 画像を用いて超音波照射位置追尾を行なった結果, 加温位置の追尾誤差を平均 2.30mm であった.

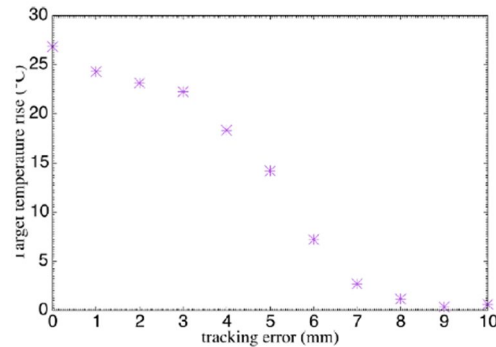


図2 焦点における温度上昇

(3) 脂肪における温度上昇を CH2 と CH3 の合成 T2 から画像化できるとともに, 水における温度上昇を共鳴周波数から求めることができ, 水・脂肪混在組織のための MR 温度分布画像化法として CH2 と CH3 の合成 T2 と水の PRF を用いた方法が有用であることが示唆された.

電磁波に関しては, 主に RF 誘電加温について有限要素法を用いた電磁界・温熱界の解析および解剖学構造に基づいた加温シミュレーションによる特性解析を行った. 超音波については集束超音波治療装置を対象とした熱伝導方程式に基づく加温シミュレーション, 磁気共鳴温度分布画像化法のための MR 画像取得の高速化. さらに, 呼吸動などによる変位・変形のある肝臓超音波治療における温度上昇計測の精度向上を目指し, 血管や, 横隔膜に注目した 3 次元動的な動態解析を行なった. また, 水と脂肪が混在する組織について, 共鳴周波数とスピン・スピン緩和時間を用いた手法を提案した. 本研究課題における種々の解析, 水と脂肪が混在する組織に対する磁気共鳴温度画像化法の提案により, 適切な温熱治療法選択のための一種の知見を得た.

< 引用文献 >

- Kumsmoyo, Proc. of ISMRM ' 17, pp.5436, 2017
- Cheng and B.Plewes. Tissue Thermal Conductivity by Magnetic Resonance Thermometry and Focused Ultrasound Heating. Magnetic Resonance Imaging, pp. 598-609, 2002
- Kuroda, Magn Reson Med Sci, 10(3), pp.177-83, 2011

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kokuryo Daisuke, Kumamoto Etsuko, Kuroda Kagayaki	4. 巻 163-164
2. 論文標題 Recent technological advancements in thermometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Drug Delivery Reviews	6. 最初と最後の頁 19 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addr.2020.11.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohguri Takayuki, Kuroda Kagayaki, Yahara Katsuya, Nakahara Sota, Kakinouchi Sho, Itamura Hirohide, Morisaki Takahiro, Korogi Yukunori	4. 巻 13
2. 論文標題 Optimization of the Clinical Setting Using Numerical Simulations of the Electromagnetic Field in an Obese Patient Model for Deep Regional Hyperthermia of an 8 MHz Radiofrequency Capacitively Coupled Device in the Pelvis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cancers	6. 最初と最後の頁 979 ~ 979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cancers13050979	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田 輝	4. 巻 40
2. 論文標題 MRIの安全性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 画像診断	6. 最初と最後の頁 220-230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Nakagawa, Daisuke Kokuryo, Toshiya Kaihara, Nobutada Fujii, Etsuko Kumamoto	4. 巻 supl.
2. 論文標題 Image reconstruction method with compressed sensing for high-speed MR temperature measurement of abdominal organs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)	6. 最初と最後の頁 2731-2735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田輝	4. 巻 33
2. 論文標題 研究開発の立場から見た ISMRM2018のトピック	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Innervision	6. 最初と最後の頁 76-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuroda Kagayaki	4. 巻 47
2. 論文標題 MR techniques for guiding high-intensity focused ultrasound (HIFU) treatments	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Magnetic Resonance Imaging	6. 最初と最後の頁 316 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jmri.25770	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Kagayaki Kuroda, Satoshi Yatsushiro, Anju Satoh, Kanta Mukai, Daiki Endoh
2. 発表標題 能動型体内植込みデバイスの遺残リード線のRF発熱における絶縁皮膜の影響
3. 学会等名 第48回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Etsuko Kumamoto, Shigeto Hayashi, Ari Shinojima, Koshi Yokota, Eiji Kohmura
2. 発表標題 Analysis of Physiological Brain Shift and Optic Chiasm in the Closed Cranium due to Postural Position
3. 学会等名 ISMRM 28th Scientific Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kuroda K, Qinyu L, Werawat C, Imai Y
2. 発表標題 MR Thermometry of Fat-water mixed tissues based on Methylene and Methyl T2 in conjunction with Water Proton Resonance Frequency
3. 学会等名 1st Annu Meeting Asian Soc Magn Reson Med (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuroda K, Kurihara K, Nakata Y, Imai Y
2. 発表標題 MR Thermometry of Fat based on Synthesized Temperature Property of Methylene and Methyl Signals
3. 学会等名 36th Annual Meeting of Society for Thermal Mecine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuroda K
2. 発表標題 Magnetic Resonance Imaging of Heat and Mass Transfer
3. 学会等名 The 12th Biomedical Engineering International Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuroda K
2. 発表標題 Heat and Mass Transfer Imaging
3. 学会等名 1st Annu Meeting Asian Soc Magn Reson Med (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuroda K
2. 発表標題 Temperature Measurement
3. 学会等名 The 27th Annu Meeting Int Soc Magn Reson Med (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuroda K
2. 発表標題 Latest Trend of MR Safety with a Focus on Implantable Medical Device
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田輝
2. 発表標題 デバイス患者のMRI撮像～現状と今後を考える～安全性評価の立場から
3. 学会等名 日本不整脈心電学会第12回植込みデバイス関連冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田輝, 斎藤一幸, 上村佳嗣, 進藤康弘, 伊藤公一
2. 発表標題 温熱療法の数値シミュレーションの QA のためのベンチマークテスト
3. 学会等名 日本ハイパーサーミア学会 第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田輝, 劉沁雨, 平信勇太, 渡辺拓也, 丹羽 徹, 今井 裕
2. 発表標題 脂肪混在組織のための共鳴周波数とスピン・スピン緩和時間を用いた MR温度分布画像化法
3. 学会等名 日本ハイパーサーミア学会 第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲川 侑介, 國領 大介, 貝原 俊也, 藤井 信忠, 熊本 悦子
2. 発表標題 腹腔臓器を対象とした高速MR温度計測のための圧縮センシングを用いた画像再構成手法の検討
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morita Tomoki, Kumamoto Etsuko, Kokuryo Daisuke, Kuroda Kagayaki
2. 発表標題 A Three-dimensional Template Matching Technique in Target Tracking Technique of MRgHIFU for liver
3. 学会等名 International Society for Magnetic Resonance in Medicine 26th Annual Meeting and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仲川侑介, 國領大介, 貝原俊也, 藤井信忠, 熊本悦子
2. 発表標題 高速MR温度計測のための圧縮センシングを用いた画像再構成手法の検討
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuroda K, Sunohara S, Yatsushiro S, Saito T, Shimizu S, Kajiwara N, et al
2. 発表標題 Imaging Conditions and Image Quality for Patients with MR-conditional Cardiac Devices: Normal Volunteer Study
3. 学会等名 International Society for Magnetic Resonance in Medicine 26th Annual Meeting and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okuda Y, Sagae M, Sekiguchi T, Nomura T, Tsujiguchi M, Kuroda K
2. 発表標題 Feasibility of MR-guided RF capacitive hyperthermia operating at 8MHz
3. 学会等名 7th Asian Con Hyper Onc (ACHO) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sagae M, Okuda Y, Oguri T, Sekiguchi T, Nomura T, Tsujiguchi M, et al
2. 発表標題 Numerical simulation of properties of RF capacitive hyperthermia analyzed based on patients' X-ray CT images
3. 学会等名 7th Asian Con Hyper Onc (ACHO) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寒河江真生, 大栗隆行, 関口哲也, 野村哲司, 黒田輝
2. 発表標題 患者のX線CT画像から構築した数値人体モデルに基づくRF誘電加温特性の解析
3. 学会等名 第22回関東・全身ハイパーサーミア研究会合同学術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田祐希, 寒河江真生, 関口哲也, 野村哲司, 黒田輝
2. 発表標題 MRガイド下RF誘電加温のための電磁干渉シミュレーション
3. 学会等名 第22回関東・全身ハイパーサーミア研究会合同学術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寒河江真生, 大栗隆行, 関口哲也, 野村哲司, 黒田輝
2. 発表標題 患者のX線CT画像から構築した数値人体モデルに基づくRF誘電加温特性の解析
3. 学会等名 日本ハイパーサーミア学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuroda K, Sunohara S, Yatsushiro S, Saito T, Shimizu S, Kajiwara N, Horie T, Kazama T, Niwa T, Imai Y.
2. 発表標題 Comparison of Imaging Conditions for Patients with MR-conditional Cardiac Devices: Normal Volunteer Study.
3. 学会等名 ISMRM Workshop on Ensuring RF Safety in MRI: Current Practices & Future Directions (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小松巧実, 奥田祐希, 石黒誠也, 竹澤慎太郎, 黒田輝
2. 発表標題 体内植込み型医療機器の発熱特性の解析
3. 学会等名 第10回医用生体電磁気学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田祐希, 寒河江真生, 関口哲也, 野村哲司, 黒田輝
2. 発表標題 MRガイド下RF誘電加温のための電磁干渉シミュレーション
3. 学会等名 第22回関東・全身ハイパーサーミア研究会合同学術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寒河江真生, 大栗隆行, 関口哲也, 野村哲司, 黒田輝
2. 発表標題 患者のX線CT画像から構築した数値人体モデルに基づくRF誘電加温特性の解析
3. 学会等名 第22回関東・全身ハイパーサーミア研究会合同学術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊本悦子, 國領大介, 黒田輝
2. 発表標題 肝MRgFUSにおける3次元焦点トラッキング
3. 学会等名 第34回日本ハイパーサーミア学会第32回大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村智也, 瀧澤大佑, 高橋謙治, 黒田輝
2. 発表標題 スピン格子緩和時間による膝関節軟骨の非侵襲絶対温度分布画像化における定量性の検討
3. 学会等名 第34回日本ハイパーサーミア学会第30回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小澤恭之, 黒田輝, 寒河江真生
2. 発表標題 民間治療器による人体加温時の電磁界及び温熱界の数値解析
3. 学会等名 第34回日本ハイパーサーミア学会第31回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寒河江真生, 黒田輝, 関口哲也, 野村哲司
2. 発表標題 RF誘電加温装置と磁気共鳴画像化装置の組み合わせに関する基礎検討
3. 学会等名 第34回日本ハイパーサーミア学会第32回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大脇陽介, 栗原賢一朗, 黒田輝, 裕 今
2. 発表標題 磁気共鳴画像化法による乳がんの温度分布画像法の撮像シーケンス最適化
3. 学会等名 第34回日本ハイパーサーミア学会第33回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒田輝
2. 発表標題 MRによる温度計測法の基礎と応用
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒田輝
2. 発表標題 MRIガイド下医療を支える技術の原理
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田友基, 熊本悦子, 國領大介, 黒田輝
2. 発表標題 肝MRガイド下集束超音波治療における三次元照射位置追尾のためのテンプレートマッチング法の検討
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Owaki Y, Kurihara K, Kuroda K, Imai Y.
2. 発表標題 温熱による膝関節軟骨の疼痛緩和のためのT1による絶対温度分布画像化における定量性改善
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Okuda Y, Kuroda K
2. 発表標題 人工股関節使用患者のMRI検査時の発熱に関する基礎的検討
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kimura T, Takizawa D, Takahashi K, Kuroda K.
2. 発表標題 温熱による膝関節軟骨の疼痛緩和のためのT1による絶対温度分布画像化における定量性改善
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumamoto E. Kokuryo D. Kuroda K.
2. 発表標題 A Three-dimensional Target Tracking Technique for MRgHIFU using an Image Matching Method with Liver Deformation Volumes Obtained via Time-Resolved Volume Acquisitions
3. 学会等名 International Society for Magnetic Resonance in Medicine 25th Annual Meeting and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 黒田 輝	4. 発行年 2017年
2. 出版社 日本放射線技術学会	5. 総ページ数 422
3. 書名 笠井俊文・土井司編, MR撮像技術学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	黒田 輝 (Kuroda Kagayaki) (70205243)	東海大学・情報理工学部・教授 (32644)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	國領 大介 (Kokuryo Daisuke) (20508543)	神戸大学・システム情報学研究科・助教 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関