

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月31日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656092

研究課題名（和文） 磁気共鳴画像診断装置MRIで励磁する癌温熱治療用小型共振回路の設計試作

研究課題名（英文） Design and fabrication of resonant circuit for hyperthermia excited by magnetic resonance imaging (MRI)

研究代表者

竹村 泰司 (TAKEMURA YASUSHI)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：30251763

研究成果の概要（和文）：癌の温熱治療（ハイパーサーミア）は、傷跡や副作用などの患者負担が軽減される治療方法として期待される。発熱インプラントとして提案する共振回路の構造は、コイルとコンデンサを閉接続しただけの単純な構造であり、小型化に適している。インプラント式ハイパーサーミアにおける発熱体として、18ゲージ注射針で体内輸送可能なコアコイル共振回路の有用性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Hyperthermia is a therapeutic treatment of raising body temperature for cancer. It is expected to minimize risks of scar and harmful side effects. Resonant circuits consisting of a closed connection of an inductor and a capacitor are promising for a hyperthermia implant. The resonant circuit implant which can be delivered through 18G needle is successfully prepared.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	0	1,600,000
2010年度	800,000	0	800,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	240,000	3,440,000

研究分野：電子工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：共振回路、磁気共鳴画像診断装置（MRI）、癌温熱治療

1. 研究開始当初の背景

傷跡や副作用などの患者負担が軽い癌治療法として癌の温熱療法（ハイパーサーミア）が期待されてきた。しかし深部の腫瘍を局所的に加温することは容易ではない。磁性微粒子は国内外で精力的に研究されているが、そのサイズ故、十分な発熱容量を確保することが容易ではない。

コイルとコンデンサを閉接続した6～12mmサイズの共振回路が、外部交流磁界により高い発熱を示すことを実験で検証した。一

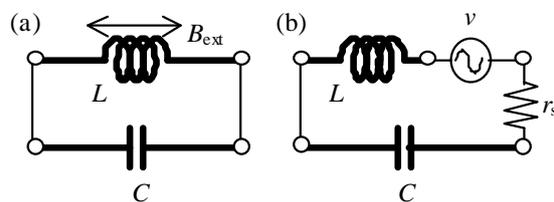
方で、磁気共鳴画像診断装置（MRI）診断を受けた患者の金属治療歯が発熱する事故が報告されていることを知り、ハイパーサーミアへの応用を着想した。MRI装置は超伝導コイルにより直流の強磁界を発生させており、磁束密度1.5Tのものが病院に普及している。同時にプロトンの共鳴周波数に同調させた高周波交流（RF）磁界を発生させる。この強度は地磁気の程度と微弱であるが、癌組織殺傷に十分な発熱を誘発できるとの試算を得た。

2. 研究の目的

臨床用 MRI を用いて癌組織の殺傷に十分な発熱を生じる共振回路を試作し、小型化の限界を明らかにすることを研究目的とした。人体への影響を考慮して、診断中に印加する磁界強度は比吸収率 SAR の指標で制限されている。通常の診断に用いる磁界強度と磁界印加の時間シーケンスの範囲内で、ハイパーサーミア治療を可能にする共振回路を設計した。

3. 研究の方法

発熱インプラントとして提案する共振回路の構造を下図(a)に示す。コイルとコンデンサを閉接続しただけの単純な構造である。このコイルを鎖交するように交流磁界を外部から印加した場合の等価回路が同図(b)である。



共振回路の構造 (a) 実際の接続
(b) 交流磁界下での等価回路

コイルには励磁磁界と同じ周波数の交流起電力が誘導され、交流電源を挿入したのと等価となる。この誘導起電力により回路には電流が流れ、残留抵抗 r_s が発熱する。この r_s はコイルの残留抵抗が支配的である。

共振回路の基礎特性としてインピーダンスアナライザによる評価を、また発熱特性として、交流磁界印加時の発熱温度を光ファイバ温度計にて評価した。さらに病院に設置されている臨床診断用 1.5 T タイプの MRI 実機を用いた発熱実験も実施した。

4. 研究成果

(1) コイルとコンデンサを閉接続した 6~12 mm サイズの共振回路が、外部交流磁界により高い発熱を示すことを実験で検証した。実用化のためにはカテーテルで体内輸送を行うことから、1~2mm 径まで小型化したい。このための、コイル構造の最適化や、回路パラメータの最適化を行った。

これまでの研究では共振回路に印加する磁界は交流連続波であった。しかしながら、MRI から発生される磁界はシンク波が重畳したパルス (RF パルス) であるために、MRI 実機での実験が不可欠である。病院に広く普及している 1.5 T 型の MRI を用いて、RF パルスがコイル断面に鎖交するように設置した場

合のみ、共振回路インプラントの発熱が得られることを確認するとともに、その発熱温度が MRI 診断シーケンスで変化すること、さらに MRI 内の設置位置により励磁周波数を調整して、発熱温度を制御できることなどの新たな知見を得た。

(2) 0.6mm 径、10mm 長のフェライトコアにより、誘導起電力増大が確認され、その実効的な比透磁率が 8.5 倍となることを明らかにした。このコアコイルとコンデンサを組み合わせた共振回路では、空芯コイルを用いた共振回路と比較して約 50 倍の発熱を示すことを見いだした。

(3) コアの高周波特性は、磁気共鳴画像診断装置 MRI の RF 周波数 64 MHz での共振回路の発熱を見積もるうえで重要となる。そこでコアコイルの高周波領域でのインピーダンス特性とインダクタンス特性から共振回路のパラメータを最適化することにより、MRI 励磁下で高い発熱を示す共振回路の設計が可能との知見を得た。

(4) コアコイル共振回路の温度制御方法として、磁性体コアの移動による温度制御を提案した。磁性体コアの移動によるコアコイル共振回路の共振周波数の変化を確認し、回路の温度制御の実現性を示した。

以上より、本研究で試作に成功したハイパーサーミア用共振回路インプラントは、18 ゲージ注射針やカテーテルによる低侵襲な体内輸送が可能であるとの有益な結果を得た。さらに、温度制御が可能な共振回路構造を提案、その原理検証により、癌温熱治療用インプラントとしての有用性が明らかになった。

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 2 件)

- ① K. Watabe, K. Kumagai, R. Matsumura, T. Yamada, T. Sato, Y. Takemura, Hyperthermia implant consisting of resonant circuit delivered to tumor through 18 G needle, IEEE Transactions on Magnetism, 査読有, 47, 10, pp. 2887-2889. DOI: 10.1109/TMAG.2011.2158192
- ② Y. Takemura, Resonant circuit as magnetic device for cancer therapy, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 263, 012001, 2011, pp. 1-5. DOI: 10.1088/1742-6596/263/1/012001.

[学会発表] (計 18 件)

- ① 三宅祥徳、熊谷一弥、渡部和彦、松村亮、山田努、竹村泰司、MRI の RF パルスで発熱するがん温熱治療用小型共振回路、電

- 子情報通信学会 2012 年総合大会、C-6-10、岡山、2012 年 3 月 20 日。
- ② 山田外史、柿川真紀子、竹村泰司、松下伸広、松木英敏、藪上信、医療技術における磁気応用研究の動向 (5) - 生体内へのエネルギー・信号伝達の磁気応用技術一、電気学会マグネティックス研究会、MAG-12-016、金沢、2012 年 2 月 22 日。
- ③ Yasushi Takemura, Thermal therapy for cancer: from magnetic nanoparticles to excitation by MRI, BIT Life Sciences' 2nd Annual NanoMedicine-2011 Conference, Session 318: Practical Instrument and Analytical, Technology in Nanostructure Characterization, INVITED, Digests Book pp. 129, Shenzhen, China, Nov. 3, 2011.
- ④ 熊谷一弥、渡部和彦、松村亮、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、18G 注射針サイズ共振回路インプラントの磁性体コアの効果、2011 年第 35 回日本磁気学会学術講演会、27pF-15、新潟、2011 年 9 月 27 日。
- ⑤ 松村亮、熊谷一弥、渡部和彦、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、18 ゲージ注射針で体内輸送可能な小型共振回路インプラントの発熱特性、日本ハイパーサーミア学会第 28 回大会、一般演題 40、名古屋、2011 年 9 月 10 日。
- ⑥ Kazuhiko Watabe, Kazuya Kumagai, Ryo Matsumura, Tsutomu Yamada, Tadakuni Sato and Yasushi Takemura, Hyperthermia implant consisting of resonant circuit delivered to tumor through 18G needle, 2011 International Magnetism Conference (INTERMAG 2011), BW-13, Taipei, Taiwan, April 26, 2011.
- ⑦ 渡部和彦、熊谷一弥、松村亮、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、18 G 注射針で体内輸送可能なハイパーサーミア用小型共振回路、平成 23 年 電気学会全国大会、C403-A4、大阪、2011 年 3 月 16 日。
- ⑧ 熊谷一弥、渡部和彦、松村亮、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、ハイパーサーミア用共振回路のコアコイルのインダクタンスと高周波抵抗の評価、平成 23 年 電気学会全国大会、C403-A4、大阪、2011 年 3 月 16 日。
- ⑨ Ryo Matsumura, Kazuya Kumagai, Kazuhiko Watabe, Tsutomu Yamada, Tadakuni Sato and Yasushi Takemura, Heating Characteristics of Core-coil Resonant Circuit for Hyperthermia Implant, International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS), IS04, Abstracts Book pp 265, Jeju, Korea, Dec. 8, 2010.
- ⑩ Yasushi Takemura, Resonant Circuit as Magnetic Device for Cancer Therapy, The First International Symposium on Spintronics Devices and Commercialization (ISSDC2010), INVITED, Abstract Book pp. 29, Beijing, China, Oct. 22, 2010.
- ⑪ 熊谷一弥、松村亮、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、ハイパーサーミア用共振回路における素子の発熱と温度分布、平成 22 年電気学会基礎・材料・共通部門大会、VIII-6、沖縄、2010 年 9 月 14 日。
- ⑫ 渡部和彦、熊谷一弥、松村亮、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、ハイパーサーミア用共振回路の小型化とコイルコアの効果、平成 22 年電気学会基礎・材料・共通部門大会、P-19、沖縄、2010 年 9 月 13 日。
- ⑬ 松村亮、熊谷一弥、渡部和彦、山田努、佐藤忠邦、竹村泰司、ハイパーサーミア用インプラントとしてのコアコイル共振回路の発熱特性、2010 年第 34 回日本磁気学会学術講演会、4pF-3、筑波、2010 年 9 月 4 日。
- ⑭ 松村亮、熊谷一弥、山田努、竹村泰司、佐藤忠邦、コアコイルによるハイパーサーミア用共振回路の発熱向上、平成 22 年電気学会全国大会、1144-B2、東京、2010 年 3 月 18 日。
- ⑮ Masato Shimizu, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Tetsu Niwa and Tomio Inoue, Temperature control of hyperthermia implant resonant by changing excitation frequency of MRI, The 11th Joint Magnetism and Magnetic Materials (MMM)-International Conference on Magnetism (INTERMAG) Conference, GR-04, Washington DC, USA, Jan. 23, 2010.
- ⑯ 神尾啓仁、松村亮、清水正人、山田努、竹村泰司、癌温熱治療用共振回路の励磁周波数制御とコアコイルの効果、電気学会 マグネティックス研究会、MAG-09-164、金沢、2009 年 11 月 7 日。
- ⑰ 清水正人、山田努、竹村泰司、丹羽徹、井上登美夫、MRI の RF 照射位置に依存した共振回路の励磁周波数変化、第 33 回日本磁気学会学術講演会、12aD-10、長崎、2009 年 9 月 12 日。
- ⑱ 清水正人、山田努、丹羽徹、井上登美夫、竹村泰司、1.5T-MRI で励磁したハイパーサーミア用共振回路の評価、電気学会平成 21 年基礎・材料・共通部門大会、0-31-I、浜松、2009 年 9 月 10 日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹村 泰司 (TAKEMURA YASUSHI)
横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号 : 30251763

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし