

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年 5月18日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360193

研究課題名（和文） 放射線治療用ワイヤレス磁気マーカ追尾システムの開発

研究課題名（英文） Development of Motion Capture System of Wireless Markers for Irradiation

研究代表者

藪上 信（YABUKAMI SHIN）

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号：00302232

研究成果の概要：

定位放射線治療では患者の呼吸等による腫瘍位置のずれを極力低減し、正常細胞への被曝を抑制することが重要である。研究代表者は生体内部や生体表面の部位の位置を精密に計測する場合を想定し、電氣的引き出し線やバッテリーをもたない微細なワイヤレス磁気マーカにより、高周波磁界を媒体とした位置検出方法をすでに提案した。本研究ではこのワイヤレス磁気マーカの位置をリアルタイムに計測するシステムを開発し、これを放射線治療用マーカとして開発することを目的とした。開発したワイヤレス磁気マーカは直径1.5mm、長さ10mmであり、注射針の内部へ挿入可能なサイズである。このマーカの位置を精密計測するために、励磁コイルおよび40チャンネルの検出コイル、高速DAコンバータおよびADコンバータからなるリアルタイムモーションキャプチャシステムを開発した。マーカにはバッテリー、処理回路、電氣的引き出し線を必要とせず、人体内部を想定した約300mm立法体内部であれば、1mm程度の相対位置精度でマーカ位置が計測可能であることを示した。さらに本システムを東北大学附属病院の放射線治療装置（ライナック）のアイソセンター位置に励磁コイル、検出コイル、マーカを配置し、放射線照射システムと連動しつつ、実際の放射線照射時のノイズ環境下で正確に位置検出が可能であることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,700,000	0	5,700,000
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	12,400,000	2,010,000	14,410,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学（5106）

キーワード：放射線治療、位置検出、ワイヤレス磁気マーカ

1. 研究開始当初の背景

生体内部における放射線被曝のリスクのないリアルタイムの高精度位置検出については超音波、光学的手法、マイクロ波あるいは磁気的手法など様々な方法が提案されているが、すべての部位に対応可能な方法はまだ確立されていない。これは生体内部が水分、空洞、血液、臓器、固体等複雑な部位から構成されているためと考えられる。提案するワイヤレス磁気マーカの位置検出方法は、マーカがワイヤレス、バッテリーレスで動作し、生体内部における空洞、水分、固体等の環境下でも正確にマーカの位置および方向が計測可能と考えられる。さらにこの方法ではカテーテルや注射器で挿入可能な微細マーカを用いて生体内部のほぼ全域を1mm程度の位置精度で計測可能である。これは生体内部における放射線被曝のリスクのない高精度リアルタイム位置検出法である。

2. 研究の目的

本研究では微細なワイヤレス磁気マーカの位置をリアルタイムに計測し、その位置へ放射線を照射する放射線治療用マーカ追尾システムを開発することを目的とする。提案するワイヤレス磁気マーカは直径1mm程度の微細なLC共振器から構成され、バッテリー、処理回路、電気的引き出し線を必要とせず、その位置を1mm程度の位置精度で計測可能である。これを悪性腫瘍等の患部に注射器等により挿入し、その位置へ放射線治療を施すことを目指す。本申請ではすでに試作した基本システムをベースに、データ取得のサンプリング周波数を20倍向上させることで、検出範囲を現行の約200mmから約1.5倍の300mm程度へ拡大する。さらに実際の放射線治療装置と組み合わせ、1mm程度の位置精度が得られるようなセンサシステムを設計および試作する。

3. 研究の方法

(1) センサアレイの設計および放射治療部との位置関係

放射線照射装置の治療台に人体を模擬したファントムを配置することを想定し、上下にセンサアレイをそれぞれ20個程度配置し(図5)、ファントム内の任意位置におよび任意方向に磁気マーカが配置されている場合において、1mm程度の絶対位置精度を得るように設計する。センサアレイは格子状に配置し、間隔は100mm程度となる。励磁コイルはマーカが任意方向を向いている場合でも必要な誘導磁界を発生させるよう、3軸構造とする。ファントム用の空間は半径約300mmの円筒状を想定する。位置検出システムは放射線治療装置の移動、回転を妨げないように、配置する。

(2) 信号取得部の高速化および検出範囲の拡大

マーカの検出範囲を1.5倍(深さ200mm程度を300mm程度へ)に拡大することを意図して、マーカの動作周波数を現在の100kHzから2MHzに高めるための信号取得部を開発する。センサの個数(検出コイルの個数)は40個程度を想定する。信号処理部はPCI(Peripheral Component Interconnect)により構成し、すべての検出コイルを高速ADコンバータに並列接続し、高速に処理する。動作周波数を約20倍高速化することで、ノイズレベルを約1/4.5に低減できるため、SN比が4.5倍になることが見込まれる。磁界強度は大まかには距離の3乗に反比例するため、1mm程度の位置精度で検出できる範囲は現行の200mmから300mm以上へ拡大できると考えられる。

(3) 位置検出システムの作製と評価

作製した高速データ処理部と上記で試作したマーカ位置検出システムを組み合わせ、全体を通して信号計測、逆問題演算、マーカの表示等、放射線照射を除いた一連の動作をリアルタイムで計測する。試作した位置検出システムにおけるマーカの絶対位置精度を評価し、1mm程度の位置精度とリアルタイム位置計測が可能であること、および計測範囲が放射線治療に必要な領域を網羅していることを示す。

(4) 放射線照射装置との組み合わせ

東北大学附属病院の放射線照射装置システム(ライナック)へ磁気マーカの位置をリアルタイムに送信するための、信号送受信部分を開発する。ファントム内にマーカを設置し、マーカを放射線照射装置のアイソセンターへ配置して、マーカ位置を開発したシステムにより計測して、放射線照射装置へ送信し、一連の動作を計測し、相対位置精度を評価する。

4. 研究成果

ワイヤレス磁気マーカの位置をリアルタイムに計測するシステムを開発し、これを放射線治療用マーカとして開発することを目的とした。開発したワイヤレス磁気マーカは直径1.5mm、長さ10mmであり、注射針の内部へ挿入可能なサイズである。このマーカの位置を精密計測するために、励磁コイルおよび40チャンネルの検出コイル、高速DAコンバータおよびADコンバータからなるリアルタイムモーションキャプチャシステムを開発した。マーカにはバッテリー、処理回路、電気的引き出し線を必要とせず、人体内部を想定した約300mm立法体内部であれば、1mm程度の相対位置精度でマ

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

一カ位置が計測可能であることを示した。さらに本システムを東北大学付属病院の放射線治療装置（ライナック）のアイソセンター位置に励磁コイル、検出コイル、マーカを配置し、放射線照射システムと連動しつつ、実際の放射線照射時のノイズ環境下で正確に位置検出が可能であることを示した。

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 15 件）

① S. Yabukami, Measurement of thin film permeability by direct contact and optimization, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 105, 2009、査読有

② S. Yabukami, K. Kato, Y. Ohtomo, T. Ozawa, K. I. Arai, A thin film magnetic field sensor of sub-pT resolution and magnetocardiogram (MCG) measurement at room temperature, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 321, 675-678, 2009、査読有

③ 藪上 信, 加藤和夫, 加茂芳邦, 小澤哲也, 荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いた心磁界測定、Journal of the Magnetism Society of Japan, vol. 32, No. 4, 483-486, 2008、査読有

④ S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, H. Kanetaka, Wireless magnetic motion capture system using multiple LC resonant magnetic markers with high accuracy, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 142, No. 2, 520-527, 2008、査読有

⑤ 藪上 信, 小笠原浩太, 齋藤秀樹, 栢 修一郎, 豊田征治, 岡崎靖雄, 荒井賢一、多点ワイヤレス磁気マーカによる指先のモーションキャプチャシステム、Journal of the Magnetism Society of Japan, Vol. 31 No. 6, 439-444, 2007、査読有

⑥ S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, Wireless Magnetic Motion Capture System-Compensatory Tracking of Position Error Caused by Mutual Inductance, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 43, 2364-2366, 2007、査読有

⑦ S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, M. Ohya, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, Development of magnetic motion capture system for multi-position detection, Sensor Letters, Vol. 5 no. 1, 300-303, 2007、査読有

⑧ S. Hashi, S. Yabukami, A. Maeda, N. Takada,

S. Yanase, Y. Okazaki, High-frequency magnetic properties of ferrite particulate films, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 316 No. 2, 465-467, 2007、査読有

⑨ 村山芳隆, 小澤哲也, 藪上 信, 石山和志, 荒井賢一、 10^{-13} T 台の磁界検出分解能を有する高周波伝送線路型薄膜磁界センサ、日本応用磁気学会誌、Vol. 31, 17-22, 2007、査読有

⑩ 村山芳隆, 小澤哲也, 堀越 直, 藪上 信, 石山和志, 荒井賢一、熱処理温度制御による高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化、日本応用磁気学会誌、Vol. 30, 237-242, 2006、査読有

⑪ 仙道雅彦, 中居倫夫, 橘 奈緒子, 星 則光, 鈴木秀夫, 堀越 直, 藪上 信, 石山和志, 荒井賢一、端部磁性体を配置した高周波キャリア型磁界センサの感度向上に関する研究、日本応用磁気学会誌、Vol. 30, 225-228, 2006、査読有

⑫ 豊田征治, 栢 修一郎, 藪上 信, 大矢雅志, 石山和志, 岡崎靖雄, 荒井賢一、複数LC共振型磁気マーカを用いた多点位置検出システム、日本応用磁気学会誌、Vol. 30, 391-395, 2006、査読有

⑬ 中居倫夫, 仙道雅彦, 藪上 信, 石山和志, 荒井賢一、反射信号を用いた高周波キャリア型磁界センサによる微小交流磁界計測に関する研究、日本応用磁気学会誌、Vol. 30, 550-554, 2006、査読有

⑭ S. Hashi, Y. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki and K. I. Arai, Wireless Magnetic Motion Capture System for Multi-Marker Detection, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 42, 3279-3281, 2006、査読有

⑮ 藪上 信, 加藤智紀, 栢 修一郎, 荒井賢一, 岡崎靖雄、位相計測による微細なLC共振型磁気マーカの位置・方向検出システム、日本応用磁気学会誌、Vol. 30 No. 2, 218-224, 2006、査読有

〔学会発表〕（計 33 件）

① S. Yabukami, Rough measurement of thin film permeability by contacting probes, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2008. 11. 12 アメリカ・オースティン

② S. Yabukami, Y. Ohtomo, K. Kato, T. Ozawa, K. I. Arai, Magnetocardiogram (MCG) measured by highly sensitive thin film sensor, Moscow International Symposium on Magnetism (Invited), 2008. 6. 23, モスクワ

③ 神坂文康, 栢 修一郎, 金高弘恭, 石山和志, 藪上 信, 荒井賢一、位置検出システ

ム用アモルファスリボン積層薄型磁気マーカに関する検討、平成 21 年電気学会全国大会、2009. 3. 18、北海道大学

④ 藪上 信、プローブにより通電させた磁性薄膜の透磁率計測、平成 21 年電気学会全国大会、2009. 3. 18、北海道大学

⑤ 大友祐一、藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、荒井賢一、CoNbZr 薄膜を用いた薄型磁界センサによる心磁界計測、平成 21 年電気学会全国大会、2009. 3. 17、北海道大学

⑥ 藪上 信、金高弘恭、栢修一郎、荒井賢一、佐藤忠邦、ワイヤレス磁気マーカによる顎運動計測システム、平成 21 年電気学会全国大会、2009. 3. 17、北海道大学

⑦ 藪上 信、直接通電による磁性膜透磁率測定を試み、電気学会マグネティックス研究会、2008、東北大学

⑧ 藪上 信、栢修一郎、金高弘恭、荒井賢一、ワイヤレス磁気マーカによる位置検出精度向上の検討、第 32 回日本磁気学会学術講演会、2008. 9. 15、東北学院大学

⑨ 小林伸聖、藪上 信、大友祐一、白川 究、荒井賢一、アモルファスCoFeSiB軟磁性薄膜の高周波キャリア型磁界センサへの適用、第 32 回日本磁気学会学術講演会、2008. 9. 14、東北学院大学

⑩ 栢修一郎、神坂文康、藪上 信、金高弘恭、石山和志、荒井賢一、励磁コイル及び検出コイルアレイ一体型位置検出システムの検討、第 32 回日本磁気学会学術講演会、2008. 9. 14、東北学院大学

⑪ 大友祐一、藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサによる心磁界計測、第 32 回日本磁気学会学術講演会、2008. 9. 12、多賀城市

⑫ 大友祐一、藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、荒井賢一、アモルファスCoNbZr薄膜を用いた磁界センサによる心磁界計測、電気関係学会東北支部連合大会、2008. 8. 22、福島県郡山市

⑬ 藪上 信、大友祐一、加藤和夫、小澤哲也、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサによる心磁界計測の試み、電気学会マグネティックス研究会（招待講演）、2008. 8. 4、仙台市

⑭ 藪上 信、栢修一郎、金高弘恭、荒井賢一、ワイヤレス磁気マーカの位置検出システムにおける位置精度向の検討、電気学会マグネティックス研究会、2008. 7. 31、富山県

⑮ 藪上 信、高感度磁気センサ、モーションキャプチャ、寺子屋せんだい（招待講演）、2008. 7. 24、仙台市

⑯ S. Yabukami, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, K. I. Arai, High-frequency Carrier-type Thin-film Sensor with a sub-pT resolution at room temperature、MMM/Intermag Joint Conference、2007

⑰ S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki and K. Arai, Wireless magnetic motion capture system - compensatory tracking of positional error caused by mutual inductance、MMM/Intermag Joint Conference、2007

⑱ Dong Young Kim, C.G. Kim, C.O. Kim, M. Tsunoda, S. Yabukami, M. Takahashi, Magnetic viscosity phenomena in exchange coupled CoFe/MnIr bilayers、MMM/Intermag Joint Conference、2007

⑲ 藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いた心磁界測定、電気学会マグネティックス研究会、2007. 12. 21

⑳ 藪上 信、室温で動作する薄膜磁界センサ、ワイヤレス磁気マーカによるモーションキャプチャ、環境防災研究所・研究発表会、2007. 12. 1

㉑ 藪上 信、金高弘恭、栢修一郎、荒井賢一、平面型ワイヤレス磁気マーカの検討、第 31 回日本応用磁気学会学術講演会、2007. 9. 13

㉒ 藪上 信、室温で動作し 10^{-13} T 台の磁界検出分解能を有する薄膜磁界センサ、EMC 仙台ゼミナール、2007. 7. 24

㉓ 藪上 信、齋藤秀樹、渡邊 尚、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化、電気学会マグネティックス研究会、2007. 7. 12

㉔ 藪上 信、金高弘恭、栢修一郎、荒井賢一、生体への応用における磁気利用センシング技術の高度化、電気学会全国大会シンポジウム、2007. 3. 17

㉕ S. Yabukami, Y. Murayama, K. Ishiyama, K. I. Arai and H. Okuno, Chaotic Noise Increase in High-frequency Carrier-type Thin-film Sensor、International Magnetism Conference、2006

㉖ S. Yabukami, T. Kato, S. Hashi, K. Ishiyama, K. I. Arai and Y. Okazaki, Highly Accurate Position Sensing System for a slim LC Resonated Marker Using Phase Information、International Magnetism Conference、2006

㉗ S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki and K. I. Arai, Development of Wireless Magnetic Motion Capture System for Multi-Marker Detection、International Magnetism Conference、2006

㉘ 藪上 信、高感度磁界センサ、モーションキャプチャシステムの開発、せんだいコーデイナーター協議会IT分科会、2006. 12. 7

㉙ 藪上 信、齋藤秀樹、加藤智紀、栢修一郎、豊田征治、岡崎靖雄、石山和志、荒井賢一、多点ワイヤレス磁気マーカの位置検出システム、日本応用磁気学会学術講演会、2006. 9

㊀ 豊田征治、栢修一郎、大矢雅志、藪上 信、岡崎靖雄、石山和志、荒井賢一、多点検出可

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

能なワイヤレス磁気モーションキャプチャシステム、日本応用磁気学会学術講演会、2006.9

㉑小澤哲也, 藪上 信, 石山和志, 荒井賢一、位相変化型磁界センサの特性に関する検討、日本応用磁気学会学術講演会、2006.9

㉒藪上 信, 村山芳隆, 小澤哲也, 石山和志, 荒井賢一、共振を利用した高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化、日本応用磁気学会学術講演会、2006.9

㉓藪上 信、高周波磁気デバイス（高周波磁気計測技術・高周波キャリア型薄膜磁界センサ）、日本応用磁気学会サマースクール、2006.7.14

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：INSTRUMENT AND METHOD FOR MEASURING THREE-DIMENSIONAL MOTION IN LIVING BODY
発明者：Kanetaka H, Arai I K, Yabukami S
権利者：科学技術振興機構

種類：

番号：ドイツ特許出願番号 112005000700.6

出願年月日：

国内外の別：国外

○取得状況（計4件）

①名称：INSTRUMENT AND METHOD FOR MEASURING THREE-DIMENSIONAL MOTION

発明者：藪上 信, 金高弘恭, 荒井賢一

権利者：科学技術振興機構

種類：

番号：米国特許 第7402996号

取得年月日：2008年7月22日

国内外の別：国外

②名称：磁性膜の透磁率測定方法及び装置

発明者：藪上 信

権利者：東北テクノアーチ

種類：

番号：特願2008-224695

取得年月日：2008年9月2日

国内外の別：国内

③名称：磁界センサ

発明者：藪上 信, 加藤和夫, 荒井賢一

権利者：藪上 信

種類：

番号：特願2007-326108

取得年月日：2007年12月18日

国内外の別：国内

④名称：高周波キャリア型磁界センサの位相雑音抑圧方法及びその装置

発明者：藪上信, 荒井賢一, 山口正洋, 鈴木哲

権利者：科学技術振興機構

種類：

番号：第3822058号

取得年月日：2006年6月30日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.elec.tohoku-gakuin.ac.jp/yab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藪上 信 (YABUKAMI SHIN)

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号：00302232

(2) 研究分担者

高井 良尋 (TAKAI YOSHIHIRO)

東北大学・医学部・教授

研究者番号：50107656

金高 弘恭 (KANETAKA HIROYASU)

東北大学大学院・歯学研究科・准教授

研究者番号：50292222

(3) 連携研究者