

平成22年 5月19日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300201

研究課題名（和文） 運動機能サポートシステムの開発

研究課題名（英文） Development of the human motor function support system

研究代表者

栢 修一郎（HASHI SHUICHIRO）

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：90324285

研究成果の概要（和文）：LC共振型磁気マーカを用いた位置検出システムを用いて、手指や腕の動きに従って、ロボットアームの直観的な制御を可能にする基盤技術を確認し、プロトタイプのシステムを作製した。本研究開発技術の最大の特長は、ストレスフリーかつフォースフリーで、生体動作の高精度なワイヤレス検出が可能なことである。これは、機器の操作性・制御性を、飛躍的に向上できる画期的な制御技術であり、様々な分野への応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Basic way for controlling robot arms from wireless motion capture system using LC resonant magnetic marker was established. The prototype system was also developed. A remarkable feature is that the developed technique can detect the motion of a living body without stress and pain. The technique, which will bring about progress on controllability and operability of a machine, is considered to be useful for various technical fields.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2008年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：モーションキャプチャー、LC共振型磁気マーカ、作業支援、運動機能障害

## 1. 研究開始当初の背景

医療・福祉分野において、事故による脳・脊椎損傷患者や長寿化に伴う高齢者の筋力低下による運動機能障害者等の介助は重要な課題である。これに対し、他人の介助無しに障害者が自らの意志で所望の動作を行えるように、食事補助、運動機能の回復・支援

を目的とした様々な介助装置（ロボット）に関する研究が行われている。このとき重要となるのは、障害者の限られた四肢の動作を基にした、必要十分な作業支援であり、そのためには障害による四肢の限られた動作を正確にトレースできる計測技術が必須である。

手先や腕の動きを検出してデータ化し機

器の遠隔操作や仮想空間内で再現する技術としては、光ファイバやペンダ（歪み・圧電）センサを利用した現在の主流であるデータグローブ、また光学マーカの位置を検出する光学式、角度センサを用いた機械式、磁気センサを用いた方法などが提案・実用化されている。しかし、位置・方向の検出位置精度、小型・軽量かつワイヤレスマーカの実現、検出死角が無いといった項目全てを克服できるものはない。特に、上記で述べた医療・福祉分野での応用に強く求められる、ストレスフリーおよびフォースフリーな状態での高精度計測と、リアルタイム性を同時に実現可能な技術はまだ確立されていない。

一方、モーションキャプチャー等に代表される3次元空間内での位置検出手法には、光学式、機械式、磁気式など古くから様々な手法が考案され、実用化されてきた。それらの中で生体表面部位など、目標物の自然な動作を正確にトレースすることが望まれるような状況下では、光学的死角の無い磁気式が有効であると考えられる。磁気式の位置検出法には、永久磁石をマーカとする方式や、マーカに電池等を搭載して電力を供給し、交流磁界を発生させる方式がある。前者の方式では、直流磁界を計測の対象としているため、地磁気等の外乱ノイズに対する耐性が低く、磁気シールド内での使用が必要条件となる。後者の交流磁界を用いる方式では、外乱ノイズに対する耐性はあるが、電池の寿命により使用期間が限られ、また少なからず電子回路の搭載が必要になるため、マーカの小型化が困難であった。

そこで我々は、外部交流励磁界でワイヤレス駆動可能な磁心を含むコイルとコンデンサのみからなる LC 共振回路型磁気マーカ（LC マーカ）を用いた位置検出システムを提案・開発し、磁気シールドなしで2 mm程度の位置精度で、位置および方向の検出が原理的に可能であること、またその設計指針を示した。本システムをベースにして、用途に応じた運動機能補助機器が実用化されれば、運動機能障害者に対して効率的な自立支援が行えるだけでなく、介助者の負担減など QOL（Quality of Life）の向上が期待できるものと思われる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、脳障害患者や脊椎損傷患者に代表される手や腕の運動機能障害者を対象として、被験者の手や腕などに貼付した複数の小型・軽量ワイヤレス磁気マーカの位置・方向を、手や腕の動きに応じて、ストレスフリーおよびフォースフリーな状態で正確かつリアルタイムにトレースし、自立支援用ロボットアーム等により食事や手作業をする際の動作支援に適用可能な運動機能サ

ポートシステムの基盤となる技術を開発することである。

## 3. 研究の方法

- (1) 指や腕に貼付してもストレスフリーな小型サイズ（直径 or 厚さ 1mm 程度、長さ 5～10mm）の磁気マーカを設計・試作する。
- (2) マーカの検出範囲を現行（200mm 立方）の 1.5 倍の 300mm 立方へ拡大させるため、検出コイルアレイの再構築を行う。
- (3) 設計・試作した検出コイルアレイ、計測器およびインターフェース部、制御・データ処理用 PC を組み合わせて、位置・方向検出システムとして総合的に動作させるソフトウェアを作成する。
- (4) 上記で試作した位置・方向検出システムについて、0.1mm 程度の移動精度を持つ 3 軸ステージを用いて、複数の磁気マーカの同時検出を行い、各マーカの絶対位置および方向精度を評価する。
- (5) 構築した位置・方向検出システムからの磁気マーカの位置・方向データを、汎用（試験・研究用途）のロボットアームに送信し遠隔動作制御するためのインターフェース部（ソフトおよびハードを含む）を開発する。
- (6) 実際に指や腕の各部位に貼付した磁気マーカの位置・方向を計測し、(5)で開発したインターフェースを介してロボットアームの動作試験および性能評価を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 小型 LC マーカの設計・試作

本研究で構築した位置・方向検出システムの模式図を図1に示す。システムは大きく分けて、励磁コイル、検出コイルアレイからなるコイル部（図1中の左側）と、計測、制御部（図1の右側）から構成されている。

被験者の手や腕に貼付しても違和感のない LC マーカ作製に関して、厚さ 0.5mm のフェライト板（寸法 5×4mm）と、厚さ 20 $\mu$ m のアモルファスリボンを絶縁積層した磁心を用いてマーカの小型・薄型化を試みた。図2に

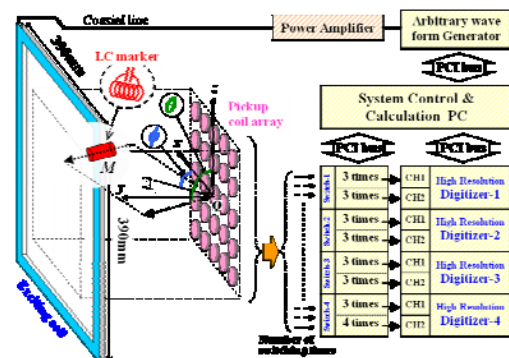


図1 位置・方向検出システムの模式図

試作した LC マーカを示す。

まず寸法 5×4mm、厚さ 0.5mm の板状の Ni-Zn フェライト磁心に、直径 0.1mm の銅線を 100 回巻きマーカ用コイルとした。次に高周波域でも高透磁率を示す金属磁性材料として日立金属社製 Co 系アモルファスリボン (Metglas 2705M) を用意した。アモルファスリボンを積層する際に、厚さ 10 $\mu$ m の極薄両面テープを接着・絶縁層に使用した (図 3 参照)。両面テープで絶縁することにより、層間を流れる渦電流を抑制することができる。リボンを、2 枚刻みで 16 枚まで積層させ

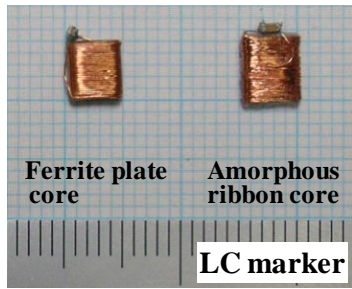


図 2 試作した LC マーカ (左: フェライトコア, 右: アモルファス積層コア)

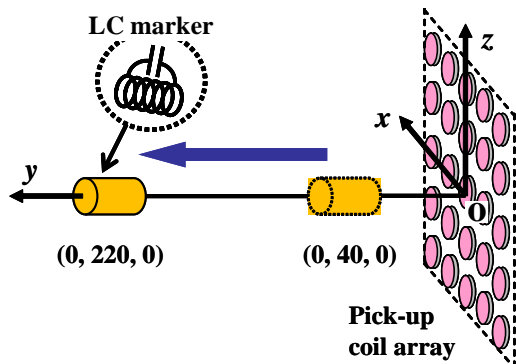


図 3 LC マーカと検出コイルの配置図

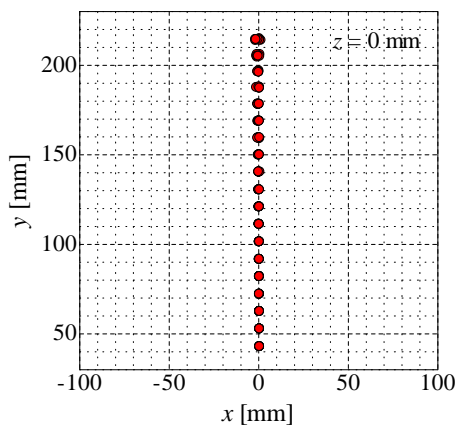


図 4 LC マーカ 1 個を用いた位置検出性能評価結果

たコアを作製した。次に、コアを非磁性のプラスチック板製空心コイル枠 (100 回巻き) に挿入し、ベクトルネットワークアナライザで周波数特性を測定しコイルの Q 値を算出した。Q 値を上げるためには、アモルファスリボンの積層枚数を増やすか、コイルの銅線の巻き数を増やす 2 通りがある。コイル部の積層枚数と銅線の巻き数の最適条件を考えると、5mm 幅に巻ける銅線は 1 層あたり 40 巻き程度であり、1 層巻くと線径 0.1mm×2 程度の厚みが増すことになる。本検討では 16 枚の積層コアに銅線を直接 100 回巻いたところ、厚さは約 1.1mm となった。

マーカの共振周波数設定にあたっては、各マーカコイルの Q 値が最も高くなる周波数帯域を考慮して 398kHz (Q=37) とした。

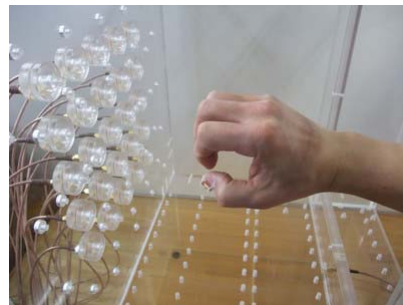
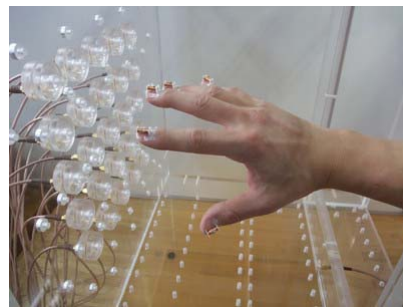


図 5 LC マーカを指先に添付した状態での計測

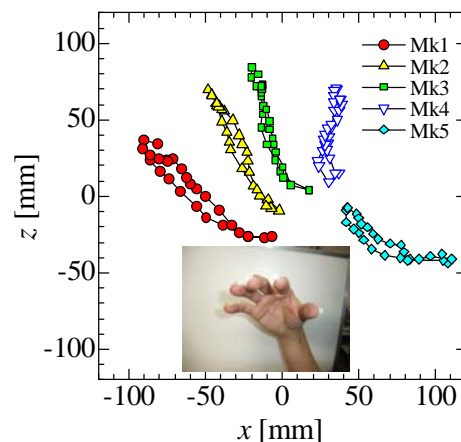


図 6 指先の動きを計測した結果

## (2) 検出空間の拡張化と検出性能の評価

検出空間の拡張化を図るため、励磁コイルおよび検出コイルアレイの再構築を行い、これを用いて LC マーカの位置検出性能の評価を行った。LC マーカの移動には、レーザ変位計と三軸ステージを組み合わせたシステムを用いた。この位置決めシステムは、LC マーカを移動精度 0.1 mm 以下での精度で位置決めが可能である。座標 (0, 40, 0) から y 軸方向へ 10mm 刻みで (0, 220, 0) まで LC マーカを移動させ (図 3 参照)、各座標においてそれぞれ 10 回の位置検出を行った。その際、励磁コイルには 60V を印加した。励磁コイルのインピーダンスを考慮すると、励磁電流値は約 0.3 A 程度である。

図 4 に 1 個の LC マーカを用いた位置検出システムの検出結果を示す。図 4 は z 軸方向から見た x-y 平面を表している。y=170mm までのばらつきは 1mm 以下となったが、さらに検出コイルからの距離が大きくなるにしたがって検出位置のばらつきが大きくなっていき、y=220mm では 2mm 程度のばらつきとなった。これは S/N 比の極端な低下によるものであり、励磁磁界を大きくすることで、位置精度の改善は可能であると考えられるが、検出可能距離の目標値である 300mm を実現するためには、検出コイルの仕様など、さらなる検討が必要である。

次に、図 5 に示すように、指先に 5 個の LC マーカをそれぞれ貼付して、指の動きの検出を試みた。x-z 平面上で表した結果を図 6 に示す (検出コイルアレイ側から指先を見た状



図 7 手首の動きの検出と、その動きを反映させるためのロボットアーム

態)。複雑な動きにも関わらず、5 個の LC マーカの検出結果は、指先の動きを忠実にとらえて (トレースして) いることがわかる。

## (3) 位置検出システムによるロボットアームの制御

位置検出システムとロボットアームを、作製したインターフェースを介して接続した後、前述のように手に貼付した LC マーカの動きを検出し、その計測データを用いて、ロボットアームの制御を試みた。図 7 に、LC マーカを貼付した腕と、制御対象のロボットアームを示す。具体的には、LC マーカを、手の甲と手首にそれぞれ貼付し、手首を上下に動かした状態で位置検出を行い、実際の手首の動きによって、ロボットアームの手首の制御を試みた。その結果、手首の上下運動に従って、ロボットアームの手首も同様に上下運動することが確認された。また、そのときに検出された 2 つの LC マーカの計測データについて、手首側の LC マーカを基準にした、手の甲側の LC マーカの相対的な軌跡を、3 次元表示のグラフとして図 8 に示す。グラフ中に示されている、3 往復分の軌跡は、LC マーカが貼付された部位の皮膚のわずかな動きの分を考慮すれば、ほぼ同じ経路をたどっていると考えられ、指先の動きのトレース時と同様に、手の動きを忠実にとらえていることが確認された。これらの高精度な計測データに基づいた制御信号により、簡易的ではあるが、ロボットアームによって腕の動きを忠実に再現することが可能となった。

## (4) まとめ

以上の結果より、LC 共振型磁気マーカを用いた位置検出システムを用いて、手指や腕の動きに従って、ロボットアームの直観的な制御を可能にするための基盤技術が確立できた。本研究開発技術の最大の特長は、ストレスフリーかつフォースフリーで、生体動作の

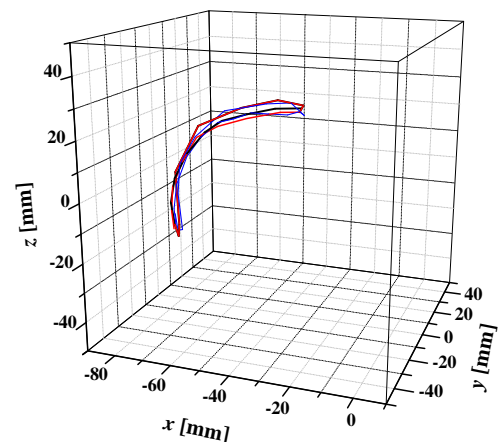


図 8 手首の動きを計測した結果

高精度なワイヤレス検出が可能なことである。よって、これは、機器の操作性・制御性を、飛躍的に向上できる画期的な制御技術であり、様々な分野への応用が期待できる。

今後は、このプロトタイプを用いて、さらに詳細な検討を行い、具体的な運動機能障害者用の作業支援機器の開発を推進していく予定である。

#### 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 6 件)

- ① S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Analysis and improvement of detection accuracy for a wireless motion sensing system using integrated coil component," Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 107, No. 9, 2010, pp.09E701-1-3.
- ② S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Study on the LC marker composed of laminated amorphous ribbon core for a wireless magnetic motion capture system," Journal of Physics: Conference Series, 査読有, Vol. 200, 2010, p.092008.
- ③ S. Yabukami, H. Kanetaka, S. Hashi, K. I. Arai, T. Sato, "Jaw Tracking System Using Resonated Wireless Markers," IEEE Transactions on Magnetics, 査読有, Vol. 45, No. 10, 2009, pp. 4880-4883.
- ④ S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Numerical Study on the Improvement of Detection Accuracy for a Wireless Motion Capture System," IEEE Transactions on Magnetics, 査読有, Vol. 45, No. 6, 2009, pp. 2736-2739.
- ⑤ 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, 査読有, Vol. 142, No. 2, 2008, pp. 520-527.
- ⑥ 藪上信、小笠原浩太、齋藤秀樹、柁修一郎、豊田征治、岡崎靖雄、荒井賢二、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、日本応用磁気学会誌、査読有、Vol. 31, No. 6, 2007, pp. 439-444.

[学会発表] (計 10 件)

- ① S. Hashi, et al., "Analysis and improvement of detection accuracy for a wireless motion sensing system using integrated coil component," 11th Joint MMM-Intermag, FW-05, 平成 22 年 1 月 20 日, ワシントンDC (米国)
- ② 柁修一郎、他、位置検出システムのコイル配置と検出精度に関する検討、電気学会マグネティックス研究会、MAG-09-207、平成 21 年 12 月 16 日、仙台
- ③ S. Hashi, et al., "Study on the LC marker composed of laminated amorphous ribbon core for a wireless magnetic motion capture system," International Conference on Magnetism (ICM2009), Mo-D-9.1-08, 平成 21 年 7 月 27 日, カールスルーエ (ドイツ)
- ④ S. Yabukami, et al., "Jaw tracking system using resonated wireless marker," International Magnetics Conference (INTERMAG09), GB-09, 平成 21 年 5 月 8 日, サクラメント (米国)
- ⑤ K. Ishiyama, et al., "Integration of excitation coil and pick-up coil array for wireless magnetic motion sensing system," International Magnetics Conference (INTERMAG09), CR-10, 平成 21 年 5 月 6 日, サクラメント (米国)
- ⑥ 柁修一郎、他、位置検出システム用アモルファスリボン積層型磁気マーカに関する検討、平成 21 年電気学会全国大会、講演番号: 2-158、平成 21 年 3 月 18 日、札幌
- ⑦ S. Hashi, et al., "Numerical Study on Improvement of Detection Accuracy for Wireless Magnetic Motion Capture System," Asian Magnetics Conference (AMC08), AQ11, 平成 20 年 12 月 10 日, 釜山 (韓国)
- ⑧ 柁修一郎、他、ワイヤレス磁気マーカを用いた位置検出システム、東北大学電気通信研究所工学研究会スピニクス特別研究会、08-2-10、平成 20 年 11 月 27 日、盛岡
- ⑨ 柁修一郎、他、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、14p1PS-83(E)、平成 20 年 9 月 14 日、多賀城
- ⑩ S. Hashi, et al., "Study on downsizing of LC marker for wireless magnetic motion capture system," European Magnetic Sensors and Actuators (EMSA2008), TuP16, 平成 20 年 7 月 1 日, カン (フランス)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

栢 修一郎 (HASHI SHUICHIRO)  
東北大学・電気通信研究所・助教  
研究者番号：90324285

### (2) 研究分担者

石山 和志 (ISHIYAMA KAZUSHI)  
東北大学・電気通信研究所・教授  
研究者番号：20203036

藪上 信 (YABUKAMI SHIN)

(H20→H21：連携研究者)

東北学院大学・工学部・教授  
研究者番号：00302232

荒井 賢一 (ARAI KEN ICHI)

(H20→H21：連携研究者)

電気磁気材料研究所・研究担当専務理事  
研究者番号：40006268