

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 4 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560384

研究課題名（和文） 高度人体電磁ファントムによる人体埋め込み型アンテナの開発

研究課題名（英文） Development of implantable antennas in the advanced electromagnetic human phantom

研究代表者

高橋 応明（TAKAHASHI MASAHARU）

千葉大学・フロンティアメディカル工学研究開発センター・准教授

研究者番号：70267342

研究成果の概要（和文）：本研究では、インプラントブルアンテナを体内に植え込んだ時に、埋め込み部位の組織構造がアンテナの特性へ与える影響について検討を行った。周波数 400MHz および 950MHz, 2.45GHz において、胸部、腕部の組織構造を表現した高精細人体ファントムを用いて解析し、従来の均一組織での検討では適切でないこと、層構造の解析が必要であることを確認した。また、それぞれの周波数に適したインプラントブルアンテナの提案を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the influence that human tissues around implantable antennas gave to the antenna characteristics. The high-resolution human phantom that expressed the constitution of the chest and the arm was used and analyzed. As a result, it was confirmed that the study of uniformity in the organization is not appropriate, that it is necessary to analyze the layer structure. In addition, we proposed implantable antennas for each frequency.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：移動体通信, 医療・福祉, 先端的通信, 人体電磁ファントム, 人体埋込型アンテナ, 医療モニタ, インプラントブルアンテナ, 多層構造

1. 研究開始当初の背景

現在の無線通信機器は小型化, 低消費電力化に伴い, 無線 LAN や電子マネーなどへの対応とより身近な存在となってきている。特に携帯電話には, 電話としての機能の他, 電子マネーや無線 LAN, Bluetooth, TV などの様々な無線装置が掌にのる端末に組み込まれるようになってきている。近い将来には, さらに通信端末の小型化が進み, 携帯して持ち運ぶだけではなく, 人

体に装着するウェアラブルや, 人体へ埋め込むインプラントブルへと発展していくと考えられる。現在, このインプラントブル(植え込み可能)機器の応用例としては医療応用や買い物, 更にセキュリティの強化や防犯対策などに用いることが想定されている。

インプラントブルアンテナとして, 400MHz 帯, 2.45GHz 帯のアンテナを申請者らは提案してきたが, 本研究では, さらに進めて層構造の人体

電磁ファントムを開発するとともに、人体の各部位に植え込んだ状態での通信伝送効率について明らかし、実用的な人体植え込み型アンテナを開発することを目的とする。

現在、このインプラントブル機器の応用例として、まず、医療用の心臓ペースメーカーや心拍、血流情報をモニタする装置が考えられている。高齢化社会の現状を鑑みると、「寝たきり」や「徘徊」といった問題や、独り暮らしの高齢者の安否の確認など様々な問題がある。「寝たきり」の問題は、足腰など身体的な機能の障害に因るだけではなく、心電モニタなどの医療装置を装着しているために動けない場合も数多く存在している。このような高齢者や入院患者のクオリティオブライフを向上させるために、心電モニタや血圧などを無線で通信することにより、彼らをベッドから解放することを目標として研究を行う。また、総務省が2005年に体内植込型医療用データ伝送システムとして、心臓ペースメーカーのプログラミングに無線方式を使用する構想や、2007年に電波を利用する体内植込型医療用データ伝送システムとして在宅医療にインプラントブル機器を使用する構想を打ち出している。

2. 研究の目的

インプラントブルアンテナを体内に植え込んだ時には、植え込み部位の組織構造が、アンテナの特性及び通信品質に非常に大きな影響を与えることが、今までの研究で分かっている。そこで、本研究では、まず、テレメトリーに使われる400MHz帯およびISM帯の2.45GHzにおける胸部、腕部の必要不可欠な組織構造を確定する。それぞれの部位にインプラントブルアンテナを植え込み時の最適なアンテナ設計を行い、シミュレーション及び実験において、通信品質の評価を行うことにより、インプラントブル機器の物理レイヤーのシステムを確立する。

3. 研究の方法

インプラントブル機器を人体に植え込む時に、特性に大きな影響を与えるのは、人体の電気的な特性である。アンテナの開発には一般に2/3筋肉等価媒質の均一モデルを使用して行われていたが、人体の組織構造、皮膚、脂肪、筋肉、骨など、部位により電気特性が大きく異なり、その影響が大きいことが分かってきた。そのため、組織構造を模擬した数値モデルおよび実験モデルの開発を行うとともに、それに合わせたインプラントブルアンテナの開発を行う。その後、インプラントブル機器を人体に植え込んだ時の、外部通信機との通信における伝送エリアおよび伝送速度の評価を行う。

インプラントブル機器を人体に植え込んだ時に、電気的特性に大きな影響を与えるのは、人体の各組織固有の電気定数である。インプラントブル機器の使用が想定される周波数に応じた、人体の電気定数の調査、および、各部位の組織ごとの寸法の調査を行う。次に、人体の組織

構造、皮膚、脂肪、筋肉、骨、必要に応じて他の組織も含めた必要に応じた簡略化された人体モデルの構築を行う。そのために、下記2つの検討を行う。

(a) リアル人体モデルを用いた数値解析

日本人成人男女の解剖学的数値人体モデルを用いて、リアル構造を用いた大規模数値解析を行う。これによりインプラントブル機器を使用した場合の伝送特性を解析できる。

(b) 実験モデル

インプラントブルアンテナの有用性を確認するためには、シミュレーションだけではなく、実証実験を行う必要がある。筋肉や脳などの主要な組織のファントム(実験モデル)は存在するが、皮膚や脂肪、骨といった組織のファントムは、開発がなされていない。そのため、インプラントブル機器の伝送評価に必要な実験用人体モデルの構築を行う。

コンピュータシミュレーションによる結果に基づいて、インプラントブルアンテナの設計を行い、アンテナの試作を行う。この際には、このアンテナの性能を実験的に検証することを前提に、実用的側面から給電方法やアンテナの被覆(アンテナ特性に影響をあたえる可能性がある)についても検討を行う。さらに、試作したアンテナを用いて、実験的に性能評価を行う。数種類の組織(皮膚、脂肪、筋肉、骨など)を模擬した生体等価ファントムを開発し、試作したアンテナを植え込み、アンテナ入力インピーダンス、放射パターン、利得などの測定を行う。それらの結果から、伝送速度、通信エリアなどの算定を行う。

4. 研究成果

体内植込み型心臓ペースメーカーの電気刺激は、ペースメーカーに記録されたプログラムに従って行われるため、患者の症状に合わせて、定期的に外部機器と通信を行いプログラムの書換えが必要である。従来のペースメーカーは、主に100kHz程度の低周波の電磁結合により、外部機器と通信を行う。電磁結合による通信距離は数cm程度のため、外部機器を患者の皮膚に密着させて使用する必要がある。通信速度も数kbit/sと低いため、通信時間がかかる。そのため、医師と患者双方の拘束時間の短縮、及び通信時における患者の自由度向上が望まれ、体内植込み型アンテナを用いた高速データ伝送システムが考案されている。米国や我が国の総務省において、403.5 MHz帯を用いた無線方式による通信規格整備が進められている。

これまで、体内植込み型医療用データ伝送システム(Medical Implant Communications Services : MICS)に割り当てられている402 ~ 405 MHz帯を使用するアンテナとして、スパイラルアンテナやメアングアンテナなど数例の報告がなされている。

図1に、人体の組織構造を考慮して定めた多層媒質直方体モデルを示す。本モデルは直方体で人体を模擬し、体表面から皮膚、脂肪、筋

肉の 3 組織により構成されている。人体の皮膚の厚さの平均値が 2 mm であることを考慮し、直方体の 6 面すべての表面から 2 mm の深さまでを皮膚層、その下 6 mm は脂肪層とし、脂肪層の内部は全て筋肉とした。ペースメーカが脂肪層と筋肉層の間に植え込まれることを考慮し、アンテナの放射板を覆う誘電体の表面が、脂肪層と筋肉層の境界面と一致するようにペースメーカモデルを配置した。提案したアンテナと解析に用いるペースメーカモデルを図 2 に示す。ペースメーカのきょう体部は実際の寸法を考慮し、直方体の導体により模擬し、ペースメーカに付属しているリード線及び電極もモデル化している。ペースメーカに装着するアンテナは、PIFA であり、その構造を図 2 下に示す。研究代表者らが行った先行研究を基に、アンテナの放射板、給電ピンと短絡ピンの間隔、短絡ピンの半径を、多層媒質モデルにおいて 50 Ω で整合がとれるように文献を参考に調整した。アンテナの放射板は 32.4 mm × 23.2 mm の導体とし、放射板の周囲を厚さ 3.2 mm、比誘電率 9.8 の人工骨などにも使用されるセラミックを想定した誘電体で覆った。ここで、誘電体を装荷した理由は、誘電体により素子の表面を流れる電流波長を短縮させ、アンテナを十分に小形化するためと、構造的に強度を持たせ生体から保護するためである。給電ピン及び短絡ピンは半径 0.255 mm の円柱の導体とし、これらのピンの間隔は 4 mm とした。

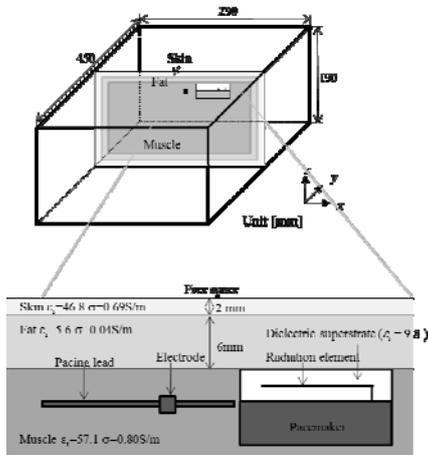


図 1 多層媒質直方体ファントム

図 3 に多層媒質中におけるアンテナの反射特性を示す。体内植込み型アンテナの評価指標については確立されていないため、ここでは、一般的に用いられる -10 dB 以下を、アンテナ動作に関する一つの評価指標とした。反射係数が -10 dB 以下となる範囲は 398~407MHz であり、目標周波数帯である 402~405MHz を十分に満たしている。また、参考のため均一な 2/3 筋肉等価媒質で最適化したアンテナを、この多層媒質中に設置した際の入力特性も合わせて示す。多層媒質内では、共振周波数が 431MHz と高周

波化し、目標周波数では整合がとれない。この結果より、人体植込み型機器の設計においては、人体を 2/3 筋肉等価均質媒質として扱うのではなく、多層媒質として扱いアンテナを最適化する必要があることがわかる。

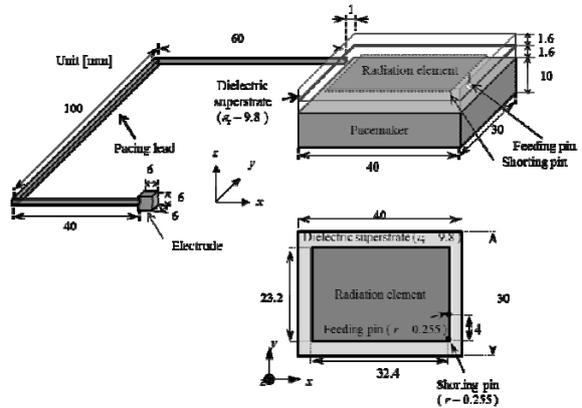


図 2 ペースメーカモデル

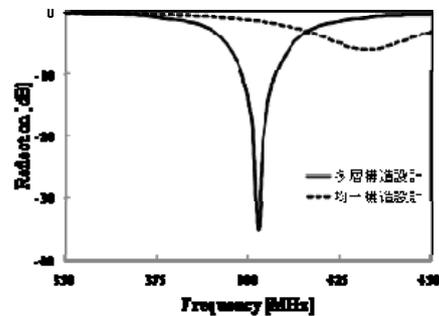


図 3 多層媒質モデルの反射係数

本アンテナは、病室内での通信を主目的としているため、通信距離を 8 m と想定している。総務省などの無線規格では、MICS に使用するアンテナの空中線電力が 25 μW 以下と規定されている。本研究では、人体植込み型アンテナへの入力電力を 25 μW、受信アンテナ利得を 0 dBi、伝送速度 800kbit/s の場合、送信アンテナ利得が -33 dBi のとき、マージン 4.4 dB を確保できる。そのため本研究では、この回線設計に基づき、人体植込み型アンテナ利得が人体正面方向において、-33 dBi 以上を確保していることの確認を行う。

多層媒質直方体モデルを用いた心臓ペースメーカ装荷型アンテナの設計の妥当性を検証するために、高精細人体モデルを使用して解析を行った。本研究において使用した高精細数値人体モデルは、2 mm × 2 mm × 2 mm の均一セルにより構成させる。人体を 58 組織から構成し、各セルにはそれぞれの組織 ID が与えられている。本研究では、各組織の電気定数として、400 MHz における比誘電率及び導電率を使用した。男性モデル及び女性モデルがあり、それぞれ日本人の男性及び女性における平均体型を有している。

一般的に、ペースメーカは人体胸部の脂肪層と筋肉層の間に植込まれる。そのため、ペースメ

一カが植込まれた患者の胸部には、ペースメーカによる膨らみが生じる。そこで、人体モデルの胸部をペースメーカの植込みを想定し、膨らみをもたせるように修正した。図 4 に、男性モデルにペースメーカ装荷型アンテナを設置した際の、アンテナ中心を通る x - z 面の断面図を示す。アンテナは、皮膚層の内側表面からアンテナの誘電体表面までの距離の最大値が 6 mm となるよう設置した。

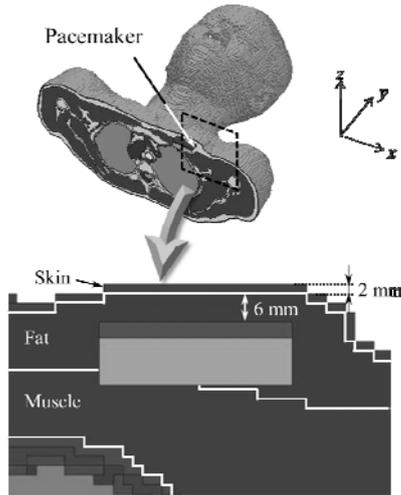
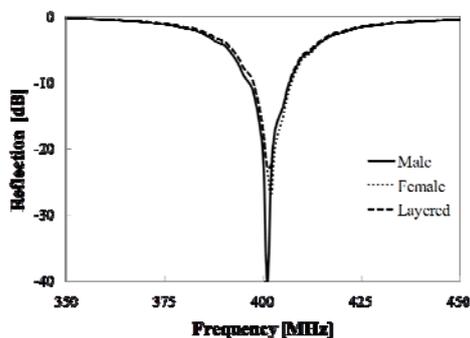


図 4 ペースメーカの植込み位置

図 5 に、男女各モデル内に設置したアンテナの反射特性を示す。また、図 2 で示した多層媒質直方体モデルで設計したアンテナを男性モデルに植込んだ結果も合わせて示す。反射が -10 dB 以下となる範囲は、男性モデル内に設置したアンテナで 397 ~ 406 MHz、女性モデル内に設置したアンテナで 398 ~ 407 MHz であり、比帯域は共に 2.3% であった。目標とする 402 ~ 405 MHz を満たしている。多層媒質直方体モデルで設計したアンテナを男性モデルに植込んだ場合は、反射特性は多少悪化するものの、周波数は変動することなく -10dB 以下を満たして



いる。

図 5 人体モデル植込み時の反射特性

以上の結果より、男女各モデルで反射特性の差異はなく、さらに多層媒質直方体モデルで設計したペースメーカ装荷型アンテナを人体モデルに植込んだ場合でも同様の特性が得られるこ

とから、多層媒質直方体モデルでの設計の有効性が示された。

図 6 に、設計したアンテナを男女各モデル内にそれぞれ設置した際の、放射特性の数値解析結果を示す。図 6 (a) は x - z 面における E_0 、同図 (b) は y - z 面における E_0 である。なお、比較のため、図 1 で示した多層媒質直方体モデルの結果も合わせて示す。図 6(a) より、 x - z 面における放射特性は、男女各モデルにおいて概ね同様の傾向を示しており、人体正面方向に強く放射していることが確認できる。また、多層媒質モデルで設計したアンテナの結果と比較すると、 x - z 面ではほぼ変わらない指向性を示している。人体の横方向である $\pm x$ 方向において、男性モデルのアンテナ利得が、女性モデルのアンテナ利得に比べて、やや低い値を示している。これは、男性の体は女性と比較して、比誘電率が高い筋肉の量が多いため、電磁波の減衰量が大きくなるのが原因である。図 6(b) より、 y - z 面においては、頭方向である $+y$ 方向の放射特性が男女間で概ね一致していることが確認できる。 $-y$ 方向において、女性モデルの場合の利得が、男性モデルの場合より若干高くなっている。これは、ペースメーカの $-y$ 方向には胸部が存在しており、女性の胸部の内部には、比誘電率が低い乳房脂肪の体積が男性と比較して大きいので、脂肪層を導波路として電磁波が胸部から人体の足方向である $-y$ 方向に伝搬しやすいことが原因と考えられる。また、男女間において身長や体格が異なるため、電磁波の経路長に差が生じることも一因である。

人体正面方向 ($\theta = 0^\circ$) におけるアンテナ利得は、男女各モデル共に -25.1 dBi であった。アンテナ利得が回線設計において通信可否の基準とした -33 dBi を上回る範囲は、 x - z 面においては、男性モデルで $\theta \leq 127^\circ$ 、女性モデルで $\theta \leq 128^\circ$ であった。 y - z 面においては、男性モデルで $\theta \leq 93^\circ$ 、女性モデルで $\theta \leq 106^\circ$ となった。また、2/3 筋肉等価均質媒質内にアンテナを設置した際の、人体正面方向における利得は -30.7 dBi であり、人体モデル内にアンテナを植込むことにより、アンテナ利得が高くなり、通信角度範囲も広がる。

以上の結果より、多層媒質直方体モデルを用いて設計したアンテナと高精細人体モデルで設計したアンテナは、高精細人体モデルに植込み時の特性はほぼ同じであり、多層媒質モデルを用いた設計の有効性が示された。また、MICS として通信に必要な利得を十分に確保できることを確認した。さらに、男女のいずれに植込んでも、ほぼ同じ特性が得られることを確認した。また、提案したアンテナが 403.5 MHz 帯無線規格において利用可能であることを確認した。

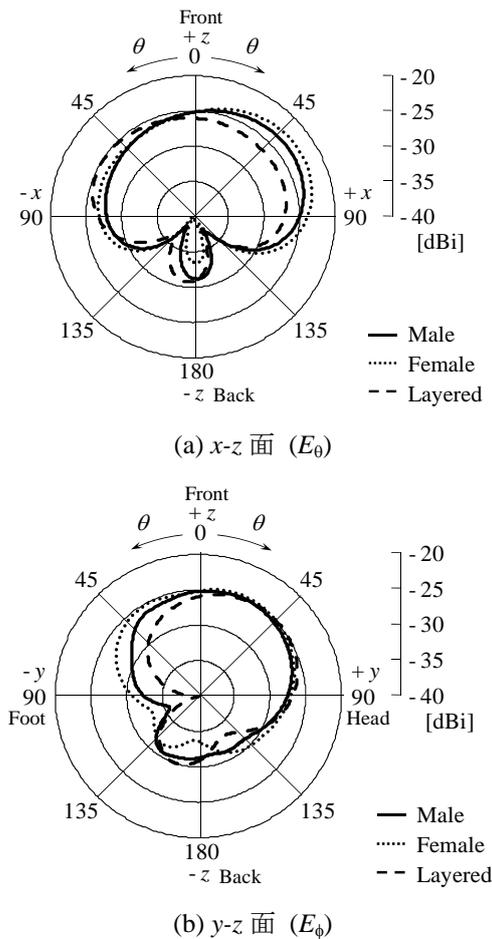


図 6 放射指向性

また、患者の腕などに植え込み医療情報を伝送するシステムのため、RFID で使用される 950MHz 帯および 2.45GHz 帯における検討を行った。人体に植え込み可能な構造のアンテナを提案し、多層構造ファントムを用いて、計算通りのアンテナ特性が実現できることを確認し、従来より利得の向上を実現した。

さらに、カプセル内視鏡へ無線を用いて電力伝送する研究では、電力と共に画像情報なども通信することを想定し、UHF 帯での検討を行った。無線電力伝送に使用可能な周波数として 900MHz 帯、430MHz 帯が想定されるため、それぞれの周波数に適し、カプセル内視鏡に内蔵できる大きさのアンテナ設計を行った。その結果、430MHz 帯の方がアンテナの設計は困難だが人体での損失が少ないため、電力伝送効率が 3 倍以上高くなることが、シミュレーションで解明された。基礎実験として、多層構造ファントム内に試作アンテナ植え込み、電力伝送が実現できることを確認した。電力送信用アンテナを複数配置することにより、カプセル内視鏡の動きに応じて電力送信用アンテナを切り替えて使用するだけでなく、人体への電力吸収量 (SAR) も防護指針値以下に抑えられることが確認された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- 高橋応明, 中田智史, 齊藤一幸, 伊藤公一, “多層媒質モデルを用いたペースメーカー装荷型アンテナの特性解析”, 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J93-B, no.12, pp.1636-1643, 2010, 査読有り
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j93-b_12_1636&category=B&year=2010&lang=J
- 宇野由美子, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “2-10 GHz における人体の組織構造がアンテナ特性に与える影響評価”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J93-B, no.2, pp.278-285, 2010, 査読有り
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j93-b_2_278&category=B&lang=J&year=2010
- 中田智史, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “心臓ペースメーカーへの装荷を目的とした体内植込み型アンテナ”, 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J92-B, no.9, pp.1407-1415, 2009, 査読有り
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j92-b_9_1407&category=B&year=2009&lang=J
- W.Xia, K.Saito, M.Takahashi and K.Ito, “Performances of an implanted cavity slot antenna embedded in the human arm,” IEEE Trans. on Antennas & Propagation, vol.57, no.4, pp. 894-899, 2009, 査読有り
10.1109/TAP.2009.2014579

[学会発表] (計 22 件)

- 築瀬壮一郎, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “人工膝関節に植え込んだインプラントアンテナの特性評価”, 2012 年電子情報通信学会総合大会, B-1-107, p.107, 岡山大学, 2012 年 3 月 22 日
- 川崎皓平, 高橋応明, 齊藤一幸, 伊藤公一, “微小埋め込み機器用平面アンテナの設計”, 2012 年電子情報通信学会総合大会, B-1-81, p.81, 岡山大学, 2012 年 3 月 21 日
- 林合祐, 高橋応明, 齊藤一幸, 伊藤公一, “埋め込み型 RFID アンテナの設計および人体腕部の形による受信電力の比較”, 映像情報メディア学会放送技術研究会, BCT-2012-27, pp.75-78, NHK 広島, 2012 年 2 月 10 日
- 川崎皓平, 高橋応明, 齊藤一幸, 伊藤公一, “体内埋め込み型微小機器用のヘリカル型ダイポールアンテナの設計”, 2011 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-100, p.100, 北海道大学, 2011 年 9 月 15 日
- T.Kumagai, K.Saito, M.Takahashi and K.Ito, “A 430 MHz band receiving antenna for microwave power transmission to capsular endoscope,” XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, KP2.3, Istanbul,

- Turkey, 2011 年 8 月 18 日
6. H.-Y.Lin, M.Takahashi, K.Saito and K.Ito, "Development of UHF implanted RFID antenna for medical/health-care applications," XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, K05.9, Istanbul, Turkey, 2011 年 8 月 17 日
 7. 林合祐, 高橋応明, 齊藤一幸, 伊藤公一, "2.45GHz帯体内埋め込み型RFIDアンテナの基本特性" 電子情報通信学会 アンテナ伝播研究会, AP2011-27, pp.1-6, 屋久島環境文化村センター, 2011 年 5 月 13 日
 8. T.Kumagai, K.Saito, M.Takahashi and K.Ito, "A study of wireless power transmission for capsular endoscope in consideration with the effect of human body," 2011 Asia Pacific EMC Symposium, S-Tu1-1, Jeju, Korea, 2011 年 5 月 17 日
 9. T.Kumagai, K.Saito, M.Takahashi and K.Ito, "Design of receiving antenna for microwave power transmission to capsular endoscope," IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications, IWPT7-3, pp.145-148, 京都大学, 2011 年 5 月 10 日
 10. H.Mizuno, M.Takahashi, K.Saito, N.Haga and K.Ito, "Design of a helical folded dipole antenna for biomedical implants," European Conference on Antenna and Propagation 2011, pp.3640-3643, Rome, Italy, 2011 年 4 月 13 日
 11. 熊谷俊宏, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "カプセル内視鏡用 430MHz帯受電アンテナ", 2011 年電子情報通信学会総合大会, B-1-2, p.2, 東京都市大学, 2010 年 3 月 17 日
 12. 遠藤雄大, 渡辺亮平, 齊藤一幸, 渡辺聡一, 高橋応明, 伊藤公一, "体内植え込み型心臓ペースメーカ周辺のSAR分布の評価", 2011 年電子情報通信学会総合大会, B-1-112, p.112, 東京都市大学, 2010 年 3 月 15 日
 13. 林合祐, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "体内埋め込みデバイス用小形ダイポールアンテナの設計", 2011 年電子情報通信学会総合大会, B-1-114, p.114, 東京都市大学, 2010 年 3 月 15 日
 14. 高橋応明, 齊藤一幸, 伊藤公一, "医療モニタ用インプラントブルアンテナ", 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, BS-1-4, pp.S-5 - S-6, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 16 日
 15. 熊谷俊宏, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "小型医療機器への無線電力伝送用受電アンテナの設計", 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, BS-1-2, p.S-2, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 16 日
 16. Y.Uno, K.Saito, M.Takahashi, and K.Ito, "Structure of cylindrical tissue-equivalent phantom for medical applications," International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications 2010, pp.406-409, Sydney Masonic Centre, Australia, 2010 年 9 月 20 日
 17. H.Mizuno, K.Ito, M.Takahashi and K.Saito, "A helical folded dipole antenna for implantable communication devices," 2010 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & CNC-USNC/URSI Radio Science Meeting, 201.6, CD-ROM, Sheraton Centre Hotel in Toronto, Canada, 2010 年 7 月 13 日
 18. 宇野由美子, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "層構造相当ファントムの電気定数の検討", 電子情報通信学会総合大会, B-1-189, p.189, 東北大学, 2010 年 3 月 18 日
 19. 中田智史, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "高精細人体数値モデルを用いた心臓ペースメーカ用アンテナの特性解析", 電子情報通信学会 マイクロ波研究会, MW2009-192, pp.77-82, 龍谷大学, 2010 年 3 月 4 日
 20. H.Mizuno, M.Takahashi, K.Saito and K.Ito, "Development of an Implanted Helical Folded Dipole Antenna," International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures and Materials, PS3.5, IST Congress Centre, Lisbon, Portugal, 2010 年 3 月 3 日
 21. S.Nakata, K.Saito, M.Takahashi and K.Ito, "Characteristics of a PIFA mounted on a cardiac pacemaker," 2009 International Symposium on Antennas and Propagation, FD3.5, pp.1039-1042, Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand, 2009 年 10 月 23 日
 22. 水野逸人, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "体内埋め込み用ヘリカル型折り返しダイポールアンテナの設計", 2009 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-102, p.102, 新潟大学, 2009 年 9 月 17 日
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
高橋 応明 (TAKAHASHI MASAHARU)
千葉大学・フロンティアメテical工学研究開発センター・准教授
研究者番号：70267342
 - (2) 研究分担者
伊藤 公一 (ITO KOICHI)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90108225
齊藤 一幸 (SAITO KAZUYUKI)
千葉大学・フロンティアメテical工学研究開発センター・准教授
研究者番号：80334168