

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：22303

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14158

研究課題名（和文）IoT機器信頼性向上のための理論モデルによる小形アンテナ動作メカニズムの解明

研究課題名（英文）A Theoretical Model of Radiation Mechanism of Small Antenna for Improving Reliability of IoT Devices

研究代表者

藤田 佳祐 (Keisuke, Fujita)

前橋工科大学・工学部・助教

研究者番号：90804857

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：このプロジェクトでは、IoTの進展に欠かせない小形アンテナの動作メカニズムを理論的観点と製作により解明した。特に、アンテナの機器搭載を考慮し、近接する物体からの影響に注目した。球ヘリカルアンテナを理論モデルとして用い、導体との近接効果を解析した結果、平行配置により複数の共振を引き出し、広帯域な動作を可能とすることが示された。安定した広帯域性と高放射効率を両立するため、新しい構造の小型アンテナを検討し、実装と計測によりその性能を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術及び社会的な意義は以下のように2つに分けられる。第一に、IoT技術への貢献である。この結果を用いることによって、これまで搭載可能でなかった機器への搭載が可能になる基盤を与えることができた。第二に、小形アンテナ動作の理論的な解明である。ここで得られた結果はアンテナの形状を工夫することによって高性能が得られる可能性を示唆しており、今後の高性能化に寄与する基礎的な結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this project, the operating mechanism of small antennas, which are crucial to the advancement of the IoT, was investigated from a theoretical perspective and fabrication. Focus was especially placed on the effect of proximity of the antenna to nearby objects. Using a spherical helix antenna as a theoretical model, we analyzed the effect of proximity to conductors, and found that a parallel arrangement of antennas can achieve multiple resonances and enable broadband operation. In order to achieve both stable broadband and high radiation efficiency, a compact antenna with a new structure was investigated, and its performance was confirmed by measurements.

研究分野：電磁波工学

キーワード：小形アンテナ IoT

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究における重要な背景は、IoT を含めた移動体通信の普及と通信機器の小型化に伴って小形アンテナの必要性が増大していることである。IoT をはじめとした通信機器では、利便性向上と応用範囲拡大のために小型化が進んでおり、機器に搭載するアンテナの小型化は重要な課題である。

しかしながら、アンテナを小型化していくとアンテナ性能が低下し、周囲物体の影響を受けやすくなってしまいう問題がある。例えば、物体の影響を考慮せず設計したアンテナに金属物体が近接した場合、インピーダンスが大きく変化するとともに放射効率が低下してしまう(図1)。結果として電磁波強度が低下し、通信距離が短くなることで IoT の利便性を著しく損なう可能性がある。

そこで、本研究では小形アンテナが物体近接によって影響を受けるメカニズムをふまえた、物体近接による性能低下を抑えたアンテナ設計を明らかにする。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の項目 ~ についての研究を行うことで、物体近接時でも性能が低下しにくい小形アンテナ設計の基本方針を明らかにすることである。

単純なアンテナと物体を近接させた状況におけるアンテナ性能を解析的にモデル化することにより、物体近接により性能が低下するメカニズムを説明できる理論モデルを構築

理論モデルに基づいて、近接物体によるアンテナへの影響を小さくする方法を検討

前述の方法によるアンテナの設計、試作、実測を通して物体影響による性能低下を抑えたアンテナの検証

3. 研究の方法

この研究では上記の目的を達成するために、以下のような研究方法を取った。まず、物体を近接させる前の小形アンテナのモデルとして、球ヘリカルアンテナ(SHA)を採用し、球面調和関数を用いて理論的な解析を行った。次に有限要素法の数値シミュレーションを用いて具体的なアンテナ特性を計算した。この計算から共振する物体を近接させると複数の共振が得られる。そこで、この共振によって帯域幅を拡大するためにアンテナのインピーダンス特性を等価回路としてとらえることによって最適化する。

4. 研究成果

この科研費プロジェクトにおいて得られた結果について説明する。結果は理論的なもの、数値

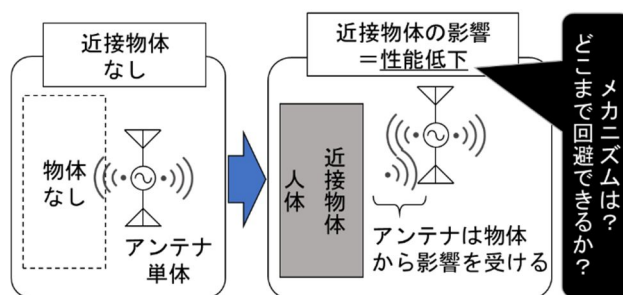


図1 近接物体によって小形アンテナの性能が低下する様子

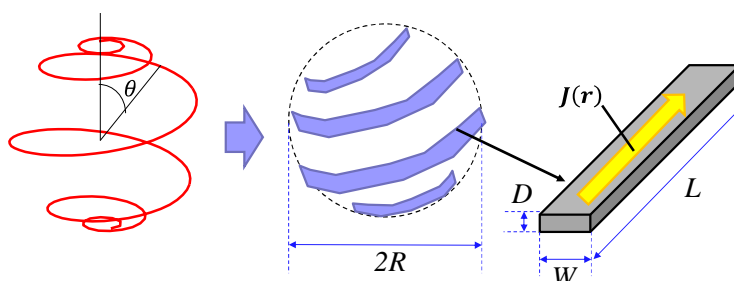


図2 球ヘリカルアンテナの性能に関する理論を構築するための仕組み

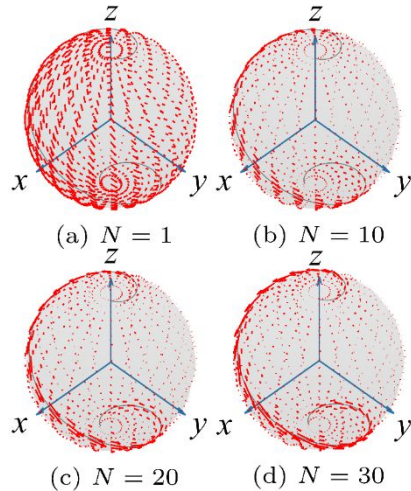


図 3 球面波展開を用いた球ヘリカルアンテナの電流を再構成する様子

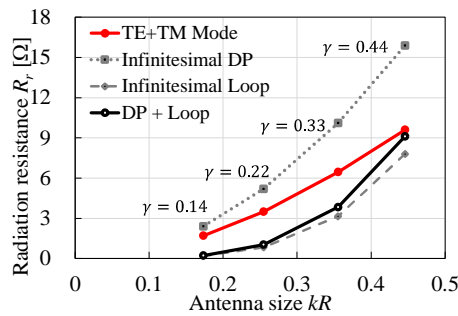


図 4 小型の球ヘリカルアンテナにおける放射抵抗の理論値

計算による設計を通じた新規アンテナ設計方針の開拓，新規アンテナの性能検証である．

理論的な成果について説明する．モデルとして選んだ SHA について，球面波展開を用いてアンテナの周りに生ずる近傍界，および放射抵抗について解析を行った．図 3 に示すようにアンテナ表面の球面上に球面波モードを仮定し，ワイヤ上の電流を近似していく．モード打ち切り数 N が大きくなると近似はより正確になっていく．電流を用いてアンテナ周辺の近傍界を解析した．その結果，ワイヤの端部において電界が非常に強くなることがわかり，物体からの影響を考える際に考慮すべきポイントが分かった．さらに，ワイヤ上の電流が作る電界を基に放射抵抗をもとめた．その結果，SHA の放射抵抗は単純な微小ループやダイポールとして近似することできず，独自の理論が有用であることが分かった．この結果を用いて物体近接の影響を考慮することができることを示唆する結果を得た．

モデルとなる SHA の近傍界がワイヤ周辺で非常に強力となることから，物体を積極的に近接させて複数の共振を起こすアンテナを設計した．このアンテナを折り返し球ヘリカルアンテナ (FSHA) と呼ぶ．アンテナは図 5 のように並行した 2 本の導体と短絡点から構成されている．このアンテナは近接した物体によって複数の共振を持ち，導体に励起された放射モードと伝送線路モードの 2 つの電流による複合モード励振と解釈することができる．SHA に近接物体を積極的に追加することによって FSHA を得ることができ，図 6 のように従来アンテナ (B-SHA, F-NHA) よりも広帯域な帯域幅を得ることができた．この広帯域な性能を説明するために等価回路を導入し，複数の共振が影響していることを示した．この広帯域な結果から物体近接時でも帯域幅という性能が低下しにくいアンテナとなったと考えられる．

明らかになった課題について述べる．このように複数の共振による広帯域による小形アンテナ性能が向上する一方で，形状が複雑となり製作する際の難易度が上がってしまうという問題を生じた．したがって，よりシンプルな形状で同等な性能を持つアンテナ動作原理について検討することが今後の課題である

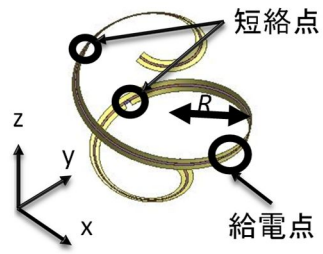


図 5 折り返し球ヘリカルアンテナの構造

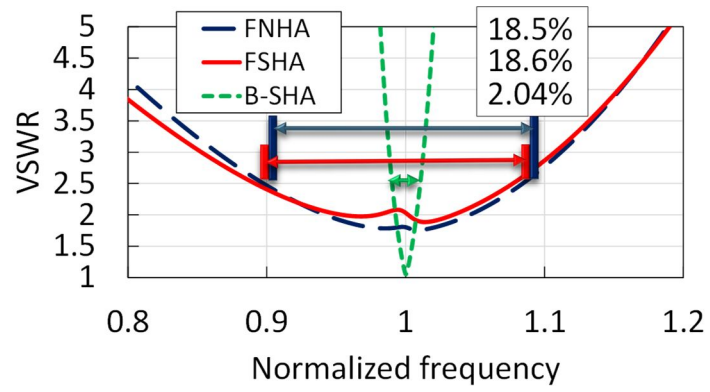


図 6 折り返し球ヘリカルアンテナの VSWR 特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6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 Keisuke FUJITA, Keisuke NOGUCHI	4. 巻 E106.B
2. 論文標題 Closed-Form Expression of Radiation Characteristics for Electrically Small Spherical Helix Antennas	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 459 ~ 469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2022EBP3094	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 藤田 佳祐、野口 啓介	4. 巻 J106-B
2. 論文標題 細線モデルの球面波展開を用いた球ヘリカルアンテナの近傍電界解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 146 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2022GWP0005	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 Keisuke FUJITA	4. 巻 -
2. 論文標題 Significance of the Higher-order Modes to the Near-field Calculation of the Spherical Helix Antennas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 2022 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APWC49427.2022.9899885	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 Keisuke FUJITA, Takuma SHIMADA	4. 巻 -
2. 論文標題 Calculation of Q Factor for Spherical Helix Antennas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 2022 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2022)	6. 最初と最後の頁 -
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 Keisuke FUJITA	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis on Near Field of Spherical Helix Antennas with Vector Spherical Harmonics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 3rd URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-AP-RASC)	6. 最初と最後の頁 -
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 K. Fujita	4. 巻 -
2. 論文標題 Radiation Efficiency Estimation for Spherical Helix Antennas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science	6. 最初と最後の頁 -
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 K. Fujita	4. 巻 -
2. 論文標題 A simplified expression on the radiation characteristics of small spherical helix antennas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 -
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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Keisuke Fujita
2. 発表標題 Significance of the higher order modes to the near field calculation of the spherical helix antennas
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (IEEE-APWC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke FUJITA, Takuma SHIMADA
2. 発表標題 Calculation of Q Factor for Spherical Helix Antennas
3. 学会等名 2022 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Fujita
2. 発表標題 Analysis on Near Field of Spherical Helix Antennas with Vector Spherical Harmonics
3. 学会等名 3rd URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-AP-RASC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 Radiation Efficiency Estimation for Spherical Helix Antennas
3. 学会等名 General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A simplified expression on the radiation characteristics of small spherical helix antennas
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田佳祐
2. 発表標題 IoT機器応用を目指した球及び円筒ヘリカルアンテナへの理論的アプローチ
3. 学会等名 URSI-C委員会 第25期 第1回公開研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田 佳祐, 野口 啓介
2. 発表標題 小形球ヘリカルアンテナの簡易な給電構造モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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

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