

義歯内蔵式 UHF 帯 RFID タグアンテナの設計

シュー ジュンイ, 佐藤 弘康, 本良 瑞樹, 末松 憲治, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科)
安井 一仁 (有限会社コスモテックス)

概要: UHF 帯を用いた義歯内蔵式 RFID タグアンテナを提案している. 人体等価溶液 (HBEL) 中のアンテナの入力インピーダンスおよびチップインピーダンスを測定し, 反射係数が最小となるアンテナ構造を設計している. また, 義歯で用いられる材料を用いて義歯内蔵式 RFID タグを製作し, 受信信号強度 RSSI を評価している. その結果, インピーダンスを用いて設計された構造において RSSI 値が最大となることが確認され, 提案構造の有効性を確認している.

キーワード: RFID, タグアンテナ, 義歯

1. まえがき

体内ヘルスケア用 In-body アンテナの開発が望まれており, アンテナの高効率化, バッテリーレス化が期待されている. 近年実用化された飲み込み型カプセル内視鏡では体内を撮影するための CCD カメラを駆動するためにボタン電池が内蔵されているが [1], 例えば体内温度のセンシングではセンサの駆動電圧が低いため無電源での動作も期待される. 頭皮にセンサを埋め込み脳の信号を検出・解析し, 人の意志を電気信号として読み取ることで, 体の一部が麻痺している人の運動機能の補助を目指す BMI(Brain-Machine Interface)技術では, 皮膚下の体表面に埋め込まれた電気刺激センサのワイヤレス化も試みられている [2].

無電源センシング技術のひとつとして RFID(Radio Frequency Identification)技術が知られている [3]. 近年は温度計測が可能な UHF 帯 RFID チップも市販されており, RFID タグを人体に挿入して動作させることができれば医療応用は飛躍的に広がるものと考えられる. 例えば, 認知症を患っている徘徊者の特定のため, 氏名をはじめとする個人情報と体内の RFID タグに記録する等の応用が考えられる. 本研究では RFID タグを義歯に埋め込み, 徘徊者の個人情報を非接触で抽出することを検討している.

920 MHz 帯 RFID タグの RFID チップのインピーダンスは概ね $Z_c=10-j140 \Omega$ 程度で設計されており, 義歯に埋め込むアンテナの入力インピーダンスとして共役整合するように $Z_a=10+j140 \Omega$ となる構造が必要となる. また, 人体口内から体外へ伝搬する際の伝送損失が大きい状況でもリーダ/ライタアンテナにおいて検出可能な受信電力が必要である.

本報告では, UHF 帯を用いた義歯内蔵式 RFID タグアンテナを提案し, 義歯の材料を用いて設計した構造を示すとともに, RFID タグ動作における評価を行った結果を示す. 人体等価溶液中の入力イン

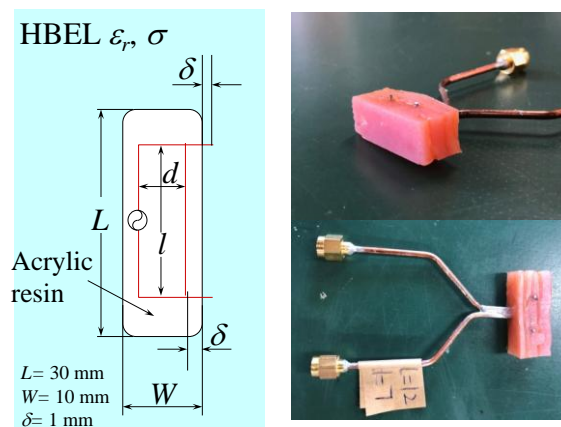


図1 義歯内蔵式 UHF 帯 RFID タグアンテナの構造

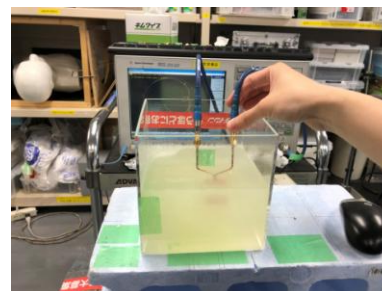
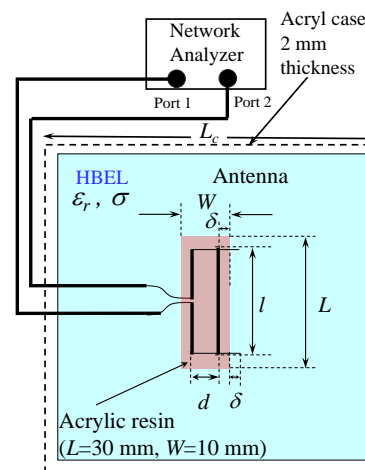
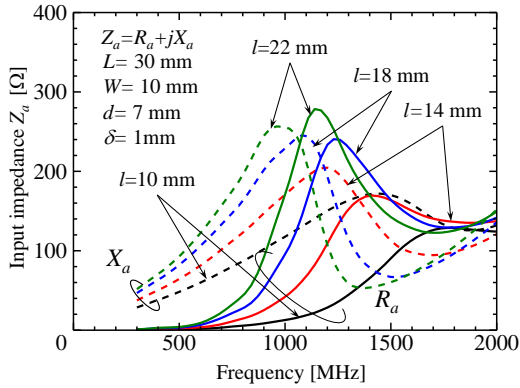
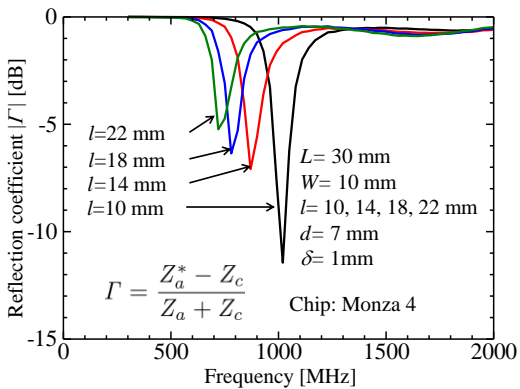


図2 入力インピーダンス測定の実験系

ピーダンスの広帯域測定では差動モード S パラメータ法 [4] を使用する. 設計したアンテナと RFID チップ双方のインピーダンスを測定し, 反射係数を算出して共役整合条件の評価を行う. また, 試作したアンテナに RFID チップを実装した RFID タグを試作し, 受信信号強度 (RSSI) を測定することに



(a) 入力インピーダンス Z_a



(b) RFID チップに対する反射係数

図3 共役整合の評価

より性能評価を行う。

2. 構造

義歯内蔵式 UHF 帯 RFID タグアンテナの構造を図1に示す。ガンマ整合型ダイポールアンテナのダイポール端を人体に $\delta=1$ mm 露出させた構造を有している[5]。アンテナ導体は銅線を使用し、体積 $(L \times W \times W) = (30 \times 10 \times 10) \text{ mm}^3$ のレジンブロックに挿入して固めている。折り曲げたダイポールとガンマ整合部の短絡線の長さを l 、短絡線とダイポール間の距離を d とし、主に l を変化させて整合を取る。ダイポールの露出長および短絡線とレジンブロック間の距離は $\delta=1$ mm とした。この露出部分 δ が無くアンテナがレジンブロックに囲まれた場合、共振を得るためにはアンテナ導体長をより長くする必要がある[5]。

3. 入力インピーダンスの測定

実験系を図2に示す。図1に示した RFID タグアンテナを 150 mm 角の立方体アクリル製ケースの中央に配置した。ファントムとして筋肉の複素誘電率を持つ SPEAG 社製人体等価液 (HBEL) を充填した。アクリルレジンと HBEL の複素誘電率は同軸プローブ法を用いて測定した。広帯域にわたるア

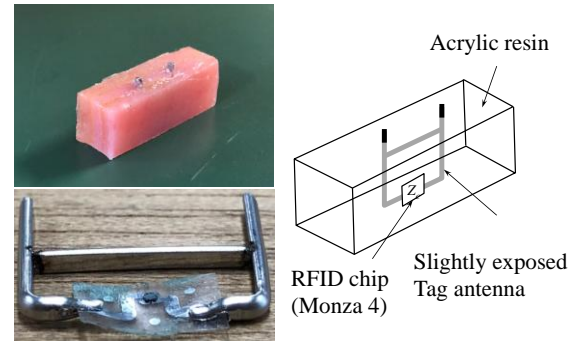


図4 試作した義歯内蔵式 RFID タグ

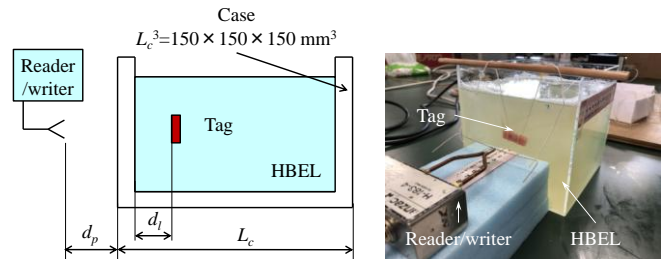


図5 RSSI 測定の実験系

ンテナの入力インピーダンスを評価するために、2ポート VNA (Agilent E5071C) を用いて差動モード S パラメータ法[4]を使用した。一方、RFID チップ Monza 4 (Impinj 製) [6]の入力インピーダンスの測定にはインピーダンスアナライザを使用した。920 MHz において入射電力-20 dBm の場合のチップのインピーダンスは $Z_c = 8.8 - j131 \Omega$ であった。

l を 10 mm から 22 mm まで変化させたときの入力インピーダンスの周波数特性を図3(a)に示す。1 GHz から 1.5 GHz の周波数において反共振と抵抗の増加が観測されており、 $l=10$ mm の場合 $Z_a = 7.6 + j105 \Omega$ 、 $l=14$ mm の場合 $Z_a = 27 + j152 \Omega$ であった。インピーダンスアナライザを用いて測定した RFID チップのインピーダンス Z_c の周波数特性を用いて計算した反射係数を図3(b)に示す。この結果から、 $l=12$ mm 程度において 920 MHz で共役整合が取れる見通しを得た。

4. 義歯内蔵式 RFID タグの評価

試作した義歯内蔵式 RFID タグの構造と写真を図4に示す。アンテナ導体は入れ歯の固定材である歯科用ステンレス線 (鉄, クロム, ニッケルが主成分) を使用し、入れ歯の材料であるレジンを用いて義歯内蔵式 RFID タグを作製した。アンテナ導体の短絡線はレーザー溶接を使用して折り曲げダイポール部に接着し、給電部にリユーターでスリットを開け、市販の RFID タグから線路を含めて切り出した RFID チップを装着した。レジンブロックの外に露出している導体部分は突起となっているが、実用上突起を折り曲げて口内を傷めない加工を加えることが可能である。

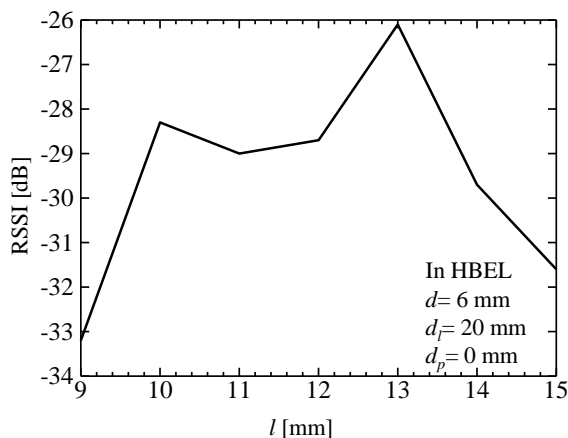


図 6 長さ l を変化したときの RSSI 特性

受信信号強度 (RSSI) を測定するための実験系を図 5 に示す。義歯内蔵式 RFID タグを HBEL で満たされた 150 mm 角アクリルケースの表面から距離 $d_i=20$ mm 離して配置し、リーダライタの受信アンテナとしてハイブリッド付折り曲げダイポールアンテナを距離 d_p だけ離して配置した。これらの値は、頬の厚さが約 20 mm と想定し、ハンディ型のリーダライタが頬の近くに配置されることを想定して選択した。リーダライタとして、日本インフォメーションシステムの JIS U524R 4CH UHF Multi Scanner を使用した。

長さ l に対する設計の妥当性を確認するため、 l を 9 mm から 15 mm まで変化させたときの受信信号強度 RSSI を測定した。 $d_i=20$ mm, $d_p=0$ mm のときの RSSI を図 5 に示す。 $l=13$ mm 付近において RSSI が大きく最もレスポンスが良い結果が得られた。 $l=13$ mm 付近において共役インピーダンス整合条件が成立しているものと考えられ、この値は 3 節において得られた長さ l の設計値 $l=12$ mm とほぼ一致した。

5. まとめ

UHF 帯を用いた義歯内蔵式 RFID タグアンテナを提案した。人体等価溶液 (HBEL) 中のアンテナの入力インピーダンスおよびチップインピーダンスの測定結果から求めた反射係数が最小となるアンテナ構造を設計した。また、義歯で用いられる材料を用いて義歯内蔵式 RFID タグを製作し、受信信号強度 RSSI を評価した。その結果、アンテナとチップのインピーダンスを用いた設計で得られた構造とほぼ等しい構造のときに RSSI 値が最大となることが確認された。

謝辞

本研究は COI STREAM (Center of Innovation Science and Technology based Radical Innovation and

Entrepreneurship Program) の支援を受けて行われた。
参考文献

- [1] G. Iddan, G. Meron, A. Glukhovsky, and P. Swain, "Wireless capsule endoscopy," *Nature*, vol.405, no.6785, p.417, May 2000.
- [2] E. Moradi, K. Koski, T. Bjorninen, L. Sydanheimo, J. M. Rabaey, J. Carmena, Y. R. Samii, and L. Ukkonen, "Miniature Implantable and Wearable On-Body Antennas: Towards the New Era of Wireless Body-Centric Systems," *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, Vol. 56, No. 1, February 2014.
- [3] Finkenzeller, Klaus. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. John Wiley & Sons, 2010.
- [4] H. Sato, Y. Li, J. Xu and Q. Chen, "Design of Inner-Layer Capsule Dipole Antenna For Ingestible Endoscope," 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), pp. 1-2., Oct. 2018.
- [5] H. Sato, Q. Chen, "Slightly Exposed Capsule Dipole Antenna in Lossy Liquid," *IEICE Society Conf.*, B-1-114, Sept. 2018.
- [6] Impinj, Inc: 'Monza 4 tag chip datasheet'. Available at <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202756908-Monza-4-RFID-Tag-Chip-Data-sheet>, accessed January 2015