

UHF 帯 RFID センサータグ —RFID タグアンテナの設計—

落合 紗弥[†] Jasmin Grosinger^{††} 陳 強[†]

[†]東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: ochiai.saya.t5@dc.tohoku.ac.jp, ^{††}jasmin.grosinger.e5@tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

あらまし 超高周波無線周波数識別 (RFID) トランスポンダ (タグ) アンテナの設計とパラメータ解析結果を示す. RFID タグはアンテナとバッテリーレスチップから構成される. 電力伝送効率を向上させるためには, アンテナとチップのインピーダンス整合が必要である. 本報告では, ダイポールアンテナに整合部を接続することでインピーダンスを変化させ, 電力伝送効率を向上させる.

キーワード RFID, UHF, インピーダンス整合

UHF RFID Sensor Tags —RFID Tag Antenna Design—

Saya OCHIAI[†] Jasmin Grosinger^{††} and Qiang CHEN[†]

[†]Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579 Japan

E-mail: [†]ochiai.saya.t5@dc.tohoku.ac.jp, ^{††}jasmin.grosinger.e5@tohoku.ac.jp, ^{††}qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

Abstract The design and parameter analysis results of an ultra-high frequency radio frequency identification (RFID) transponder (tag) antenna are shown. RFID tags consist of an antenna and a battery-less chip. Impedance matching of the antenna and chip is necessary to improve the efficiency of power transmission from the antenna to the chip. In this work, we change the impedance by connecting a matching part to the dipole antenna, known as T-matched dipole, to improve the efficiency of power transmission.

Keywords RFID, UHF, Impedance matching

1. まえがき

超高周波(UHF)帯域で用いられる無線周波数識別(Radio Frequency Identification, RFID)は, 電力及びデータ転送に使用される非接触 ID システムである[1]. その構成はリーダーとトランスポンダ(タグ)からなり, リーダーからの電力及びデータの転送は電磁場から無線通信により行われている[2]. 特にパッシブ RFID は, タグが独自の電源を持たず, 動作の際の全電力はリーダーから放射された電磁場により供給される必要がある. RFID タグはセンサーアンテナとチップで構成される. チップは, 入力インピーダンスを二通りに変化させアンテナとの整合状態を切り替えるスイッチの機能を持つ[3]. チップに実装されているシャントトランジスタがオフの状態であると, アンテナとのインピーダンス整合がとれリーダーから受信した電力が吸収される. オンにすると整合が取れなくなり, 電力は反射される. これらのモードを制御し後方散乱変調を行っている. すなわち, タグにおける吸収状態のチップと

アンテナのインピーダンス整合はリーダーとタグ間の通信性能に大きく影響を与える. チップの内部回路に流れる電力を最大化するためには, 以下の式で与えられるアンテナチップ電力伝送係数 τ [4]を動作周波数にて 1 に近づける必要がある.

$$\tau = \frac{4R_{chip}R_{ant}}{|Z_{chip}+Z_{ant}|^2} \quad (1)$$

ここで, Z_{chip} , Z_{ant} はチップあるいはアンテナのインピーダンス, R_{chip} , R_{ant} はチップあるいはアンテナのレジスタンスである. チップのインピーダンスは技術的制約により任意に選択できないため, チップのインピーダンスを考慮したアンテナの設計が求められる. 本報告では, T マッチダイポール[5][6]を用い, τ が動作周波数にて 1 に近づくようなアンテナを設計した.

2. T マッチダイポールの原理

T マッチダイポールは、図 1 のようなモデル及び等価回路で示されるダイポールアンテナの中央部に整合部を取り付け、伝送線路理論とアンテナを掛け合わせることでインピーダンスを調整する[7][8]。このとき、等価半径 $r_1 = w_1/4$, $r_2 = w_2/4$, を用いて電流分割係数 α を

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{d}{r_1}\right)}{\left\{\ln\left(\frac{d}{r_1}\right) - \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)\right\}} \quad (2)$$

とおくと、このアンテナの入力インピーダンス Z_{ant} は以下の通りとなる [8]。

$$Z_{ant} = \frac{2Z_t\{(1+\alpha)^2Z_a\}}{2Z_t + (1+\alpha)^2Z_a} \quad (3)$$

ここで、 Z_t は伝送線路に起因するインピーダンスであり、 r_1, r_2, d に依存する特性インピーダンス Z_0 を用いて $Z_t = jZ_0 \tan\left(k\frac{l_1}{2}\right)$ と表せる。また Z_a は整合部がない状態でのダイポールのインピーダンスであり、 l_2, r_2 , 及び t 周波数に依存する。すなわち、 Z_{ant} は T マッチダイポールのパラメータ w_1, w_2, l_1, l_2, d . により固有の周波数特性を示すといえる。

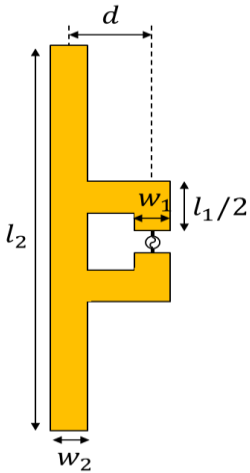


図 1. T マッチダイポールのモデル

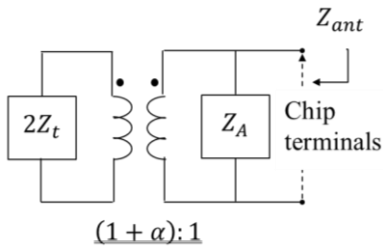


図 2. T マッチダイポールの等価回路

3. T マッチダイポールの設計と解析

3.1. タグチップのインピーダンス

本報告では、RFID タグチップに Impinj 社の M700 シリーズ[9]を使用する。チップの寸法及び等価回路を以下に記す。

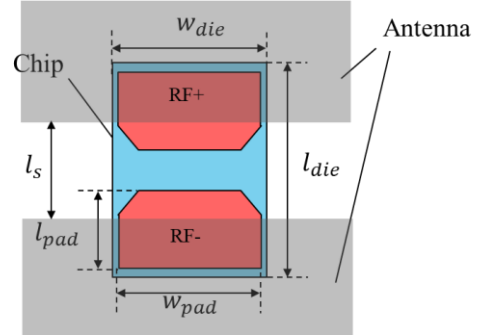


図 3. Impinj M700 シリーズチップのモデル

表 1. チップの寸法(Unit:μm)

w_{die}	l_{die}	w_{pad}	l_{pad}	l_s
309.2	396.7	277.2	126.9	137.3~356.7

また、チップのインピーダンスを等価回路モデルに起こすと、図 4 の通りとなる。このモデルは、広い周波数帯域でチップのインピーダンスとよく一致しており、その周波数特性を計算すると図 5 の通りとなる。 $f_0 = 864$ MHzでは、チップのインピーダンスは $Z_{chip} = (11.2 - j176.5) \Omega$ である。

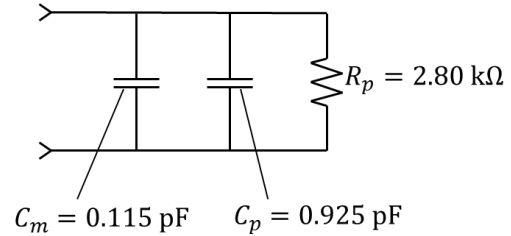


図 4. チップの等価回路

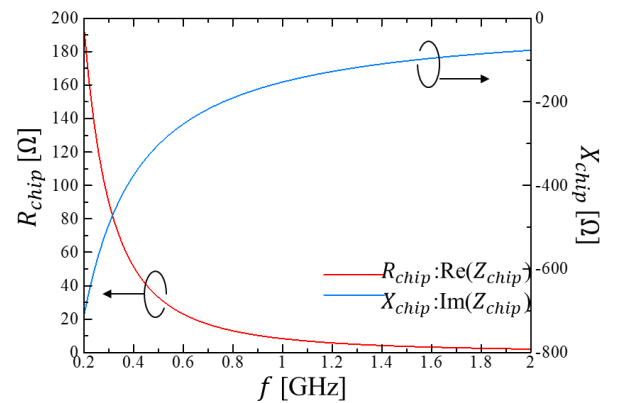


図 5. Z_{chip} の周波数特性

3.2. T マッチダイポールの設計と解析

前節で示したチップのインピーダンスと $f = 864 \text{ MHz}$ で共役整合となるインピーダンスをもつ T マッチダイポールを Ansys 社の三次元高周波電磁界シミュレーター (HFSS) にて設計し、解析した。厚さ 1.6 mm の FR-4 基板 (比誘電率 $\epsilon_r = 4.6$) に図 6 の寸法の T マッチダイポールをプリントした。このインピーダンス Z_{ant} をシミュレーションにより計算すると、図 7 の通りとなった。図 7 より、 $f_0 = 864 \text{ MHz}$ では $Z_{ant} = (13.8 + j178.6) \Omega$ であった。

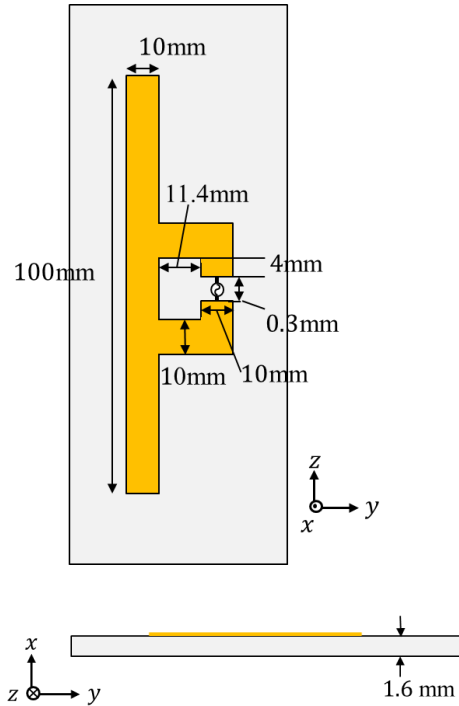


図 6. 設計した T マッチダイポールのモデル

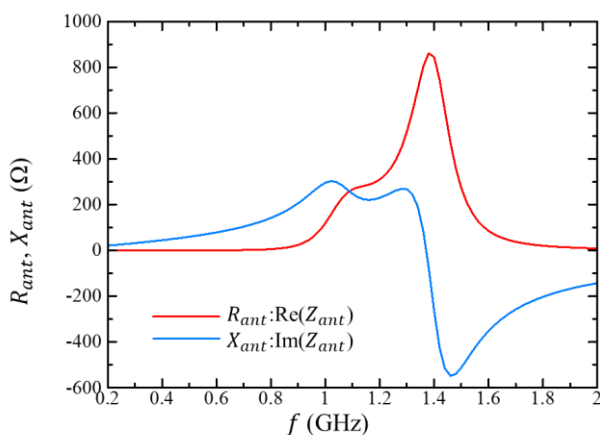


図 7. 設計した T マッチダイポールのインピーダンス

図 7 をもとに τ の周波数特性を計算すると、図 8 の通りとなった。 $f_0 = 864 \text{ MHz}$ では、アンテナチップ電力伝送係数 $\tau = 99.2 \%$ であった。よって、動作周波数 f_0 にてチップの内部回路に流れる電力を十分最大化することができたといえる。

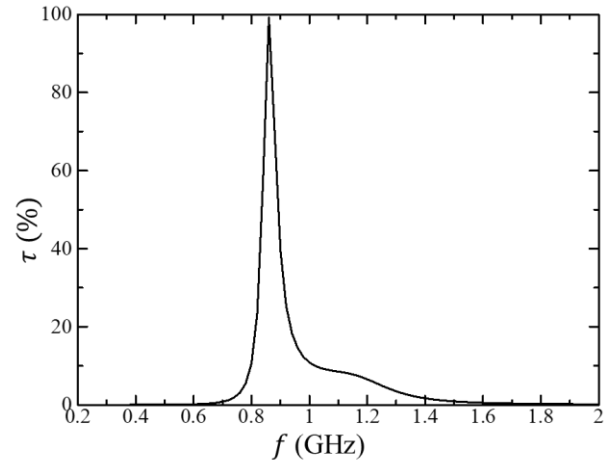


図 8. 設計した T マッチダイポールのアンテナチップ電力伝送係数

周波数 $f_0 = 864 \text{ MHz}$ にて 50Ω の負荷を装荷した際の xy 面, xz 面の実現利得を計算すると図 9, 10 のようになった。続いて周波数 $f_0 = 864 \text{ MHz}$ にてチップを装荷した際の xy 面, xz 面の実現利得を計算すると図 10, 11 のようになった。 50Ω の負荷を装荷した際の利得の最大値は $G_{max} = -9.21 \text{ dBi}$ となり、チップを装荷した際の利得の最大値は $G_{max} = 1.639 \text{ dBi}$ となった。この結果より、アンテナとチップのインピーダンス整合をとることで、リターンリンクの性能が向上したといえる。

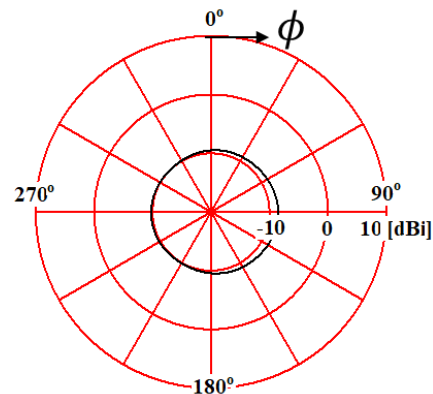


図 9. 50Ω を装荷した際の実現利得 (xy 面)

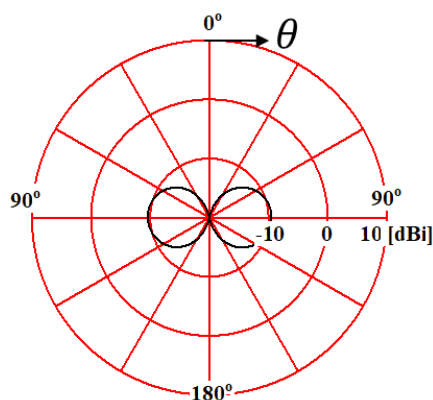


図 10. 50Ωを装荷した際の実現利得(xz 面)

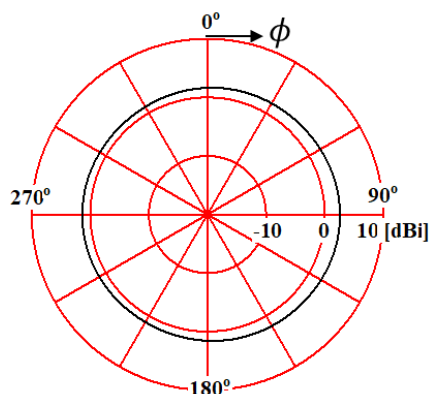


図 11. チップを装荷した際の実現利得(xy 面)

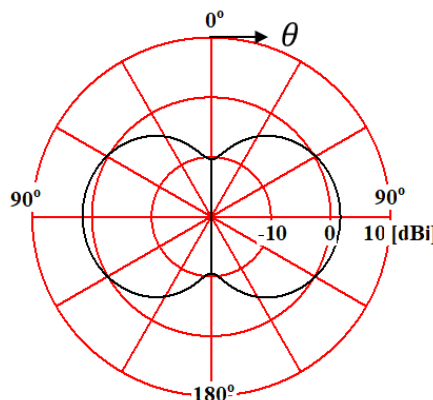


図 12. チップを装荷した際の実現利得(xz 面)

4. まとめ

本報告では, RFID タグの性能向上に向けたチップとアンテナのインピーダンスの関係を示し, T マッチダイポールの設計を検討した. 結果, 動作周波数 $f = 864 \text{ MHz}$ においてアンテナ-チップ電力伝送係数 $\tau = 99.2\%$ と整合損失の小さい T マッチダイポールを設計し, 利得の最大値が $G_{\max} = 1.639 \text{ dBi}$ となったことを確かめることができた.

文 献

- [1] J. Curty, M. Declercq, C. Dehollain, and N. Joehl, "Design and Optimization of Passive UHF RFID Systems", Springer, 2007.
- [2] K. Finkenzeller, "RFID Handbook, Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications Third Edition", John Wiley & Son Ltd, Chichester, 2010.
- [3] Grosinger, J., Mecklenbräuer, C., and Scholtz, A. L. (2010). "UHF RFID Transponder Chip and Antenna Impedance Measurements" In Proc. Third International EURASIP Workshop on RFID Technology, pp.43–46.
- [4] K. Rao, P. Nikitin, and S. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 12, pp. 3870–3876, 2005.
- [5] G. Marrocco, "The art of UHF RFID antenna design: impedance-matching and size-reduction techniques," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no. 1, pp. 66-79, Feb. 2008
- [6] J. Xi and H. Zhu, "UHF RFID impedance matching: T-match-dipole tag design on the highway," *2015 IEEE International Conference on RFID (RFID)*, San Diego, CA, USA, 2015, pp. 86-93
- [7] 内田英成, 虫明康人, "超短波空中線"pp.157-173, コロナ社, 1970
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, Third Edition, New York, John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [9] IMPINJ, "IMPINJ M700 SERIES: Tag Chip Datasheet, v.6.3", pp11-13, 2023