九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

[010] 九州大学附属図書館研究開発室年報 : 2005/2006

https://doi.org/10.15017/3226

出版情報：九州大学附属図書館研究開発室年報. 2005/2006, pp.1-77, 2006-06-01. 九州大学附属図書館研究開発室
バージョン：
権利関係：

論　文

図書館用RFIDシステムの開発Ⅰ
－13.56MHz RFIDタグの共振周波数の評価－

藤崎　清孝*

〈抄　録〉

RFIDタグはリーダ・ライタと電磁界の結合を利用して電力並びに信号のやりとりを行う。非接触で情報交換が可能なことから、図書館においても蔵書管理をはじめとする様々な利用が期待されている。しかしながら、この技術は万能ではなく、タグとリーダ・ライタが交信する際に重要となるタグの共振周波数が大きくずれると交信性能が低下する、あるいは交信できないという状況を生じやすい。この周波数は、タグの周りの環境に左右され、単にタグを貼付対象である物に貼り付けるだけでも変動する。本報告では、13.56MHz帯RFIDタグを図書の管理に用いることを想定し、その共振周波数に、図書を構成する基本素材である紙が及ぼす影響と図書を並べた場合に起こる近接する他のRFIDタグが与える影響を実験により評価した結果を報告する。

Development of RFID System for Library Part Ⅰ
－ Evaluation of the Resonance Frequency of 13.56MHz RFID Tag －

FUJISAKI Kiyotaka*

1. はじめに

無線技術の飛躍的進歩により、テレビやラジオだけではなく、携帯電話、無線LANなど、我々に身近な無線によるサービスがつぎつぎと実用化されている。最近では、人と人との通信だけでなく、様々な物からも非接触で情報を読みだそうという、RFID（Radio Frequency Identification）技術にも注目が集まっている[1]。

身近な存在と成りつつあるこの技術は、非接触でRFIDタグ内の情報を読み出したり、タグに情報を記憶したりする技術であり、図書館業務の電子化、自動化を進めていく上で鍵となる。すなわちRFIDタグを蔵書に貼り付けることにより、非接触で蔵書の情報を読み書きでき、タトルテープによる盗難防止機能とバーコードによる蔵書情報の管理の２つの機能を、このタグ１つで実現することも可能となる。この結果、（１）図書貸出／返却窓口の作業の効率化、（２）図書検索時間の短縮、（３）無人ゲートによる入退館管理、（４）蔵書管理の効率化やこの技術を利用した新たなサービスの実現などが期待できる。

九州大学附属図書館では、早い時期からこの技術に着目し、平成12年度からRFIDシステムを用いた図書館運用に関する調査・研究を始めている。具体的には、RFIDシステムを導入した図書館の視察並びに意見交換、メーカーからの情報収集を行い、平成14年度には、市販されているシステムの実用性を大学図書館の実運用の中で評価し、より最適な図書館システムへと改良すべく、株式会社チェックポイントジャパンおよび三菱マテリアル株式会社との共同研究として、筑紫分館に13.56MHz帯のRFIDシステムを実験的に導入している[2]。

これまでの実験により、図書によって読み取り性能にばらつきがある、薄い図書が複数重なっている場合に読み取り性能が大きく低下しやすいなどの問題点が指摘されている。これは読み取り対象のタグに対して、図書自体が、あるいは近接したタグが、性能の低下につながる影響を与えているためである。より高性能なシステムへと拡張するためには、これらの影響を把握し、問題点を解決する仕組みを開発することが必要となる。

*ふじさき　きよたか　システム情報科学研究院情報工学部門・助教授　E-mail: fujisaki@csce.kyushu-u.ac.jp

本報告では、まずこの検討の初段階として、13.56MHz帯のRFIDタグが、図書や近接するタグから受ける影響について調査した結果を報告する。

２．RFIDとは

RFIDとは、自動認識技術の１つで、無線技術により非接触でデータを送受できる半導体チップをつかった個体識別技術である。自動認識技術とは、「人間を介さず、ハード、ソフトを含む機器により自動的にバーコード、磁気カード、RFIDなどのデータを取込み、内容を認識する（社団法人 日本自動認識システム協会）[3]」技術であり、この技術には、RFID以外にもバーコード、バイオメトリクス、磁気ストライプ、OCR、マシンビジョンなどがある。

２．１　原理

RFIDシステムは、図１に示すように情報を読み書きするためのリーダ・ライタとこれを記録するタグにより構成される。通常、タグは電源を持っておらず、データの交換だけでなく、タグを駆動するための電力およびクロックの供給もリーダ・ライタから非接触で実現される。具体的には、磁界または電磁波を用いて行われるため、タグ上のICチップには、図２に示すようにリーダ・ライタとの交信用のコイルあるいはアンテナの装荷が必要となる。図３は実際の13.56MHz帯RFIDタグの例である。この写真の左側中央付近にある黒く小さな正方形の部分がICチップ、その周辺が電磁結合を行うためのコイルである。このRFIDタグの形状は様々であり、ラベル型以外にもカード型、ボタン型、スティック型などがある。

RFIDシステムで利用可能な周波数帯は国際的に幾つか規定されているが、現在日本国内で利用できる主なものに、135 kHzや13.56 MHz、2.45 GHzがある。最近では、UHF帯（900MHz帯）のものの導入に向けた検討なども行われている。システムで使用する交信周波数や結合方式によって、リーダ・ライタとタグの間の交信可能な距離や通信速度には差が生じるため、用途に応じてRFIDシステムの周波数を使い分けることになる。

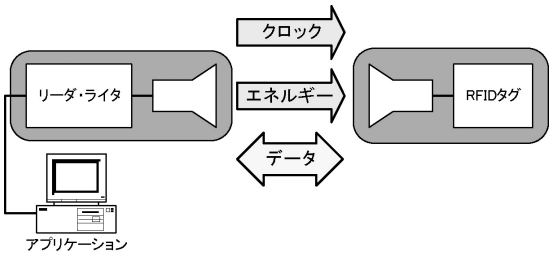

図１　RFIDの基本概念

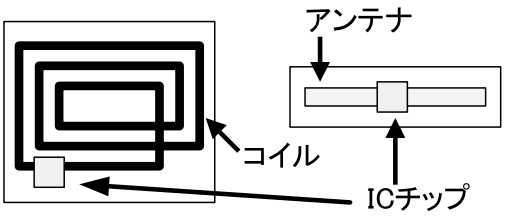

図２　RFIDタグの基本構成

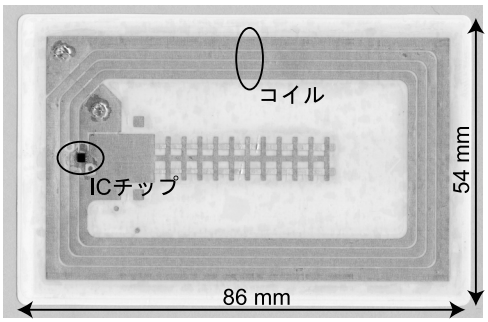

図３　RFIDタグの例

３．13.56MHz帯RFIDタグの特性評価

RFIDタグとして、広く知られているのは13.56MHz帯のものである。最近、RFIDタグを用いて蔵書管理を行う図書館が増えてきているが、ほとんどの場合において、この周波数帯のタグが用いられている。九州大学附属図書館筑紫分館に導入しているシステムも、この周波数帯のものである。

13.56MHz帯のタグを製造しているメーカーは多く、様々な製品があるが、ほとんどのメーカーはタグの規格としてISO15693の国際標準を採用している。このため異なるメーカー間の製品であっても、基本的に相互に製品の利用が可能となる。勿論、その規格に沿っていない製品もある。本報告では、RFIDシステムを導入した図書館の多くで用いられているカードサイズ（W86mm×H54mm）のタグを元に、その基本特性を評価した。多数あるサンプルの中から今

表１　評価した主なタグの構成

	サンプルA	サンプルB	サンプルC	サンプルD	サンプルE
規格	独自	ISO15693	ISO15693	ISO15693	ISO15693
サンプル数	32	10	22	4	4
形態	シール	タグインレット	ラミネート	シール	シール

回の評価に利用したのは、表１に示すものである。

３.１　RFIDタグの共振周波数

13.56MHz帯のシステムは、電磁界の結合により電力の供給並びに情報の交換を行う。タグは、交信に用いられる周波数で共振することで結合し、リーダ・ライタから転送される電力の一部がタグ側に供給される[4,5]。通常RFIDタグは、図４に示すような電圧－周波数特性を持つ。この図において、f_0がタグの最も強く共振する周波数（リーダ・ライタからの電力をもっとも効率よく受信できる周波数）、f_cがリーダ・ライタ側の発信周波数を示している。また、Vminは、タグを駆動するために必要な最低電圧を表しており、周波数f_cで交信しているときに発生する電圧が、この値より小さくなるとタグは必要な電力が得られず機能しない。この例では、f_cにおける電圧がVminを上回っており、タグは機能することになる。実際の利用状況下でのRFIDタグの共振周波数を把握することが、タグを用いたシステムの開発には必要となる。

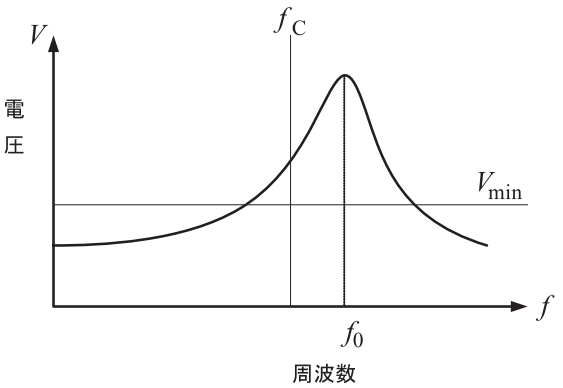

図４　RFIDタグの周波数特性のイメージ

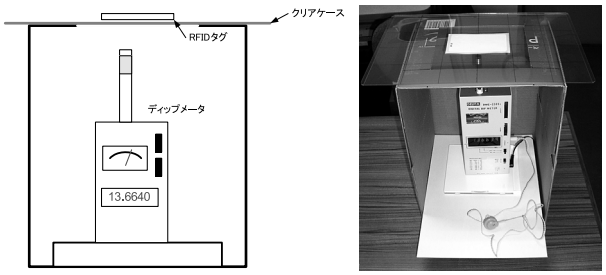

図5　共振周波数測定方法

表２　RFIDタグの共振周波数　［MHz］

	サンプルA	サンプルB	サンプルC	サンプルD	サンプルE
平　均	14.040	14.333	14.010	14.221	13.521
最　大	14.212	14.460	14.252	14.350	13.546
最　小	13.992	13.380	13.840	14.100	13.483
分　散	0.0025	0.0399	0.0178	0.0723	0.1542

今回、DELICA製のディジタルディップメータDMC-230S2を用いて、RFIDタグの共振周波数（図4のf_0）を測定した。測定は、図５に示す様な実験台を用意して行った。表１に示す5つの製品に対する測定結果を表２に示す。

結果の誤差を少なくするために、すべてのタグに対して４回の測定を行った。この結果より、共振周波数は製品の構造によって若干の差があるが、今回評価したものについては、サンプルEをのぞいて、ほぼ14MHz辺りに設定されていることが分かる。なお、サンプルBにおいては、共振周波数が平均と約１MHzの差があるものが見られた。これについては、タグの不良も考えられるが、今回の実験では動作確認までは行っていない。

RFIDタグは図４に示すような周波数特性を持っており、一般にリーダ・ライタとの交信周波数にタグの共振周波数が近いほど効率よく駆動電圧を得ることができる。すべてのタグが、この周波数特性と同じ傾向をもつと考えると、この段階では、サンプルEが最も効率よく電力を取得できるタグであると考えることができる。しかしながら、実際には、タグを物に取り付けて運用することになり、物からの影響をうけ共振周波数にずれが生じてくる。タグに対して、物や周りの環境は寄生容量として作用するため、その構造上これらは共振周波数を下げるように働く。

表３　RFIDタグの共振周波数　［MHz］

	サンプルA	サンプルB	サンプルC	サンプルD	サンプルE
平　均	14.112	14.429	14.061	14.311	13.629
最　大	14.262	14.498	14.295	14.430	13.651
最　小	14.042	14.185	13.891	14.234	13.601
分　散	0.0018	0.0082	0.0180	0.0081	0.0004

図５に示した測定環境では、タグとディップメータの間にクリアケースを挟んでおり、これがわずかではあるが共振周波数に影響を与えていると考えられる。そこで、このクリアケースを取り除き、周りの影響をさらに少なくしてタグの共振周波数を測定した結果を表３に示す。この結果を表２と比べると、共振周波数がすべて高くなっていることが分かる。すなわち予想通り、クリアケースがタグに影響を与え、共振周波数を若干低い方にシフトさせていたことが確認された。

３．２　貼付対象物が共振周波数に与える影響

前節では、タグ自身の共振周波数について調査したが、実際の運用では、タグを物に貼付して使用することになり、貼付対象物がタグの特性に与える影響を考える必要がある。ここでは、図書がタグに与える影響を考える。参考として、サンプルA のタグの１つ（共振周波数14.141MHz）を手元にあったいくつかの図書に挟んで、このタグの共振周波数を測定してみたところ、表４の結果を得た。

これら結果が示すように、本の影響により共振周波数が低くなっているが、その大きさは一定ではないことがわかる。特に音楽CDにおいては、明確に共振周波数を観測することができなかった。これはCDに蒸着しているアルミニウムが大きく影響していると考えられる。

タグの貼付対象である物は、寄生容量として作用することでタグの共振周波数を下げるように働くが、その影響は対象物の大きさや構造によって異なる。ここでは、図書の主な構成物で

表４　図書に挟んだRFIDタグの共振周波数の例

形態	ハードカバー	ハードカバー	ハードカバー	雑　誌	音楽CD
サイズ	B5	A4	B5	A4	標準ケース
ページ数	300	650	175	80	－
共振周波数	13.628HMz	13.648MHz	13.717MHz	13.902MHz	測定できず

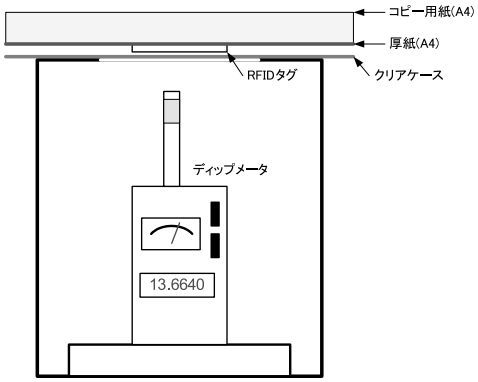

図６　紙がRFIDタグの共振周波数に与える影響の測定

ある紙に対して、その容量が共振周波数の変位に与える影響を調査するために、図６に示す様にタグの上に表紙を想定したA４規格の厚紙を置き、さらにA４規格のコピー用紙を積み上げ、その量を変えながら共振周波数を測定した。

まず、サンプルAとCの中からそれぞれタグを1つ選び、そのタグを対象に紙の影響を評価した結果と最小二乗法により共振周波数を対数関数で近似した結果を図7に示す。重ねる紙を増やすにつれて共振周波数が低くなっていくことが分かる。次に、サンプルを追加して同様に評価し、得られた近似曲線を図8にまとめた。この結果より、同じ構造のタグであれば、製造時の共振周波数のずれには関係なく、紙の量に応じた共振周波数の変位はほぼ同じであることが分かる。すなわち、この変動の仕方はタグの構造に依存することになる。また、これらの結果より、紙がタグの共振周波数に与える影響は大きいことも分かる。なお、紙の量がある程度以上に増えるとその変位はだんだん小さくなり飽和していく。

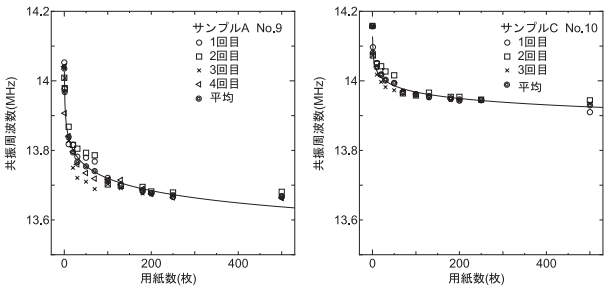

図７　A４規格のコピー用紙の数に対する共振周波数の変化

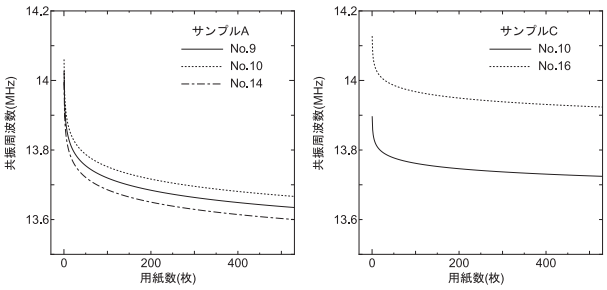

図８　A４規格のコピー用紙の数に対する共振周波数の変化
－同一サンプル中のタグ間の差の例－

３.３　タグ間距離と共振周波数の関係

交信対象のタグに近接して別のタグがあると、これが交信対象のタグの共振周波数に影響を与える。この影響は、タグの貼付対象の物が与える影響より大きく、交信不能に陥る最も大きな原因となる。ここでは、近接するタグが共振周波数に及ぼす影響をみるために、図９に示すように２つのタグの間にコの字に折った厚紙をスペーサーとして挿入し、タグ間の距離に対する共振周波数を評価した。結果を図10に示す。これらの結果より、タグの種類にかかわらず、タグの間隔が狭くなるほど共振周波数が大きく変動することが示された。実際には、この結果に図書の影響が加わることになる。このことを確認するために、次に図11に示すようにタグが本に装備されている状況を想定し、サンプルAのタグに紙を積んだものを２つ重ねて共振周波数を測定した。結果を図10の左図に加えている。この結果から明らかなように、紙の影響が加わって、さらに共振周波数が低くなっていることが分かる。

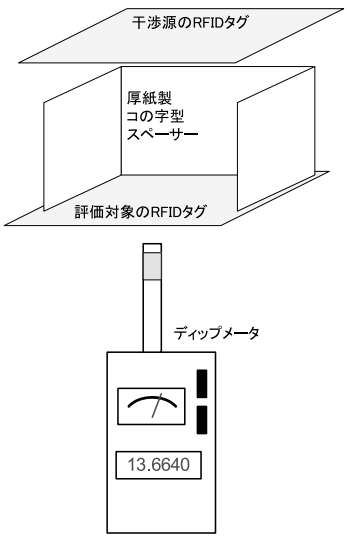

図９　タグ間干渉の測定方法

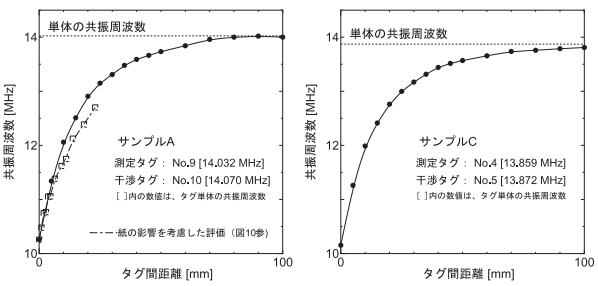

図10　タグ間距離と共振周波数の変化

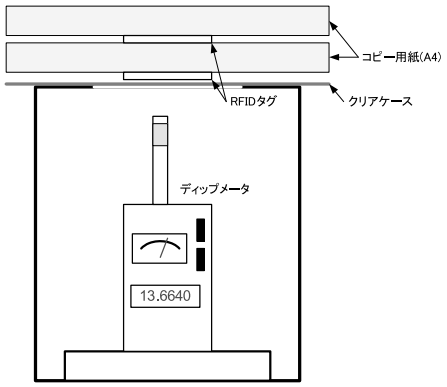

図11　タグを貼付した2つの図書が重なっているときの共振周波数測定

４．まとめ

本報告では、まずRFIDタグの共振周波数をディップメータを用いて実測し、ほとんどの場合RFIDタグは交信周波数とは若干ずれた高い共振周波数に設定されていることを確認した。次に貼付対象物として紙がRFIDタグの共振周波数に与える影響を評価した。また、近接するタグが測定対象のタグに与える影響も示した。貼付対象物を含め、タグに近接するものは共振周波数を低い方にずらす作用をもつことが明確に示された。

繰り返しになるが、通常RFIDタグは図12に示すような周波数特性を持っており、周辺の物の影響を受けたとき周波数が低い方にずれる。この特性をうまく活かし、RFIDタグの共振周波数を若干高めに設定しておくことで、周辺の影響を受けて共振周波数がシフトしたときに、単体の場合よりも高い性能を持たせることも可能となる。例えば、図12において交信周波数をf_{c1}に設定している場合、周波数のずれによりRFIDタグ単体の場合よりもタグに励起する電圧が高くなる。一方、f_{c2}を交信周波数に設定したとす

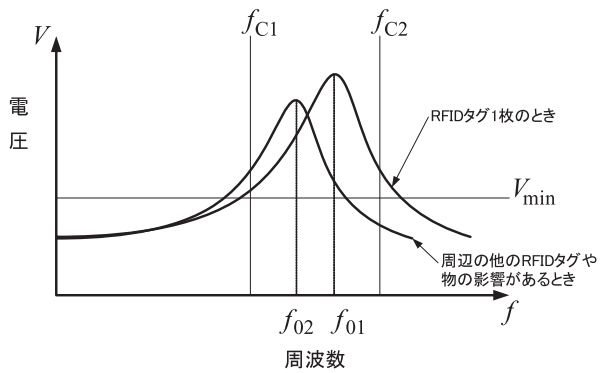

図12　タグの周波数特性に周辺の物が与える例

れば、RFIDタグの共振周波数が低周波側にずれることで、交信周波数でタグに励起する電圧は低くなる。この例の場合、タグを駆動するために要求される電圧Vmin以下になってしまう。RFIDタグの共振周波数をどこに設定するかは、タグを用いる対象に応じた検討が必要となる。今回、サンプルの数が１ないし２個程度しかないため本報告で示さなかったタグにおいても、ほとんどのものが14MHz辺りに共振周波数を持っていた、また一部が13.5MHz付近の値を持つという状況であった。ただ、数点で15MHz辺りの共振周波数をもっているものが確認されている。この高い共振周波数を持つタグは、共振周波数の変位が更に大きくなることを想定して用意されているものであると考えられる。これらのことから、図書がタグの共振周波数のずれに与える影響を詳細に調査し、この標準となる値などを得ることが出来れば、図書の管理に最適なタグの開発につながると考えられる。

今回の実験環境は、気温が22度程度、湿度が30%前後と比較的過ごしやすい状況であった。日本には四季があり、すべてがこの様な環境ではない、気温と湿度が非常に高い状況や、逆に低い状況もある。図書の基本素材である紙はこの環境の影響を受けやすく、このため同じ本であっても環境が異なればタグに与える影響も異なってくる。今後も様々な環境下に於いて同様の実験・評価を繰り返し行うことが必要である。

さらに、今回の調査は単純に共振周波数を評価しただけであり、実際に交信が出来る状況であるかどうかを確認していない。現在のリーダ・ライタが共振周波数のずれをどこまで許容できるのか、さらにタグの共振周波数を高くしたときに、図書の読み取りに対して性能の改善が見込めるのかなど、より実際的な評価も加えながら、図書館用のRFIDタグに要求される仕様を明確にしていきたい。

謝辞

図書館へのRFID技術適用の重要性に注目し、これを推進してこられた九州大学附属図書館の有川節夫館長に感謝します。また図書館の運用・管理や電子図書館に関する技術などについて日頃よりご教授いただく九州大学附属図書館の荒木啓二郎副館長、同研究開発室の池田大輔助教授ならびに九州情報大学の南俊朗教授、九州大学附属図書館の専門職員の皆様、RFID技術についてご議論いただく九州産業大学の松岡剛志講師に深く感謝します。

参考文献

［1］ Klaus Finkenzeller著 ソフト工学研究所訳：RFIDハンドブック第2版, 日刊工業新聞社, 2004.

［2］ 藤崎清孝：図書館におけるRFID技術の適応と電磁環境, 月刊EMC, No.183, pp.86-94, 2003.

［3］社団法人日本自動認識システム協会: http://www.aimjapan.or.jp/

［4］伊賀武, 森勢裕：よくわかるICタグの使い方, 日刊工業新聞社, 2005.

［5］苅部浩：非接触ICカード設計入門, 日刊工業新聞社, 2005.