

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13752

研究課題名（和文）導電性パターンイメージングに基づくチップレスRFID技術に関する研究

研究課題名（英文）Research on Chipless RFID based on Conductive Pattern Imaging

研究代表者

成末 義哲（Narusue, Yoshiaki）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：70804772

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：RFIDのさらなる低価格化のためにチップレスRFID技術が近年注目を集めている。本研究の目的は、市販のインクジェットプリンタで実装可能であり、かつ印刷後の即時使用および情報書き込みが可能なチップレスRFID技術の研究開発にある。本研究では、2次元模様の導電性パターンを用いてパターン形状自身に情報を載せ、コイルアレイを用いて情報の読み取りおよび書き込みを行うチップレスRFIDシステムを開発した。近傍磁界を用いてビット構造内に過電流を誘導することにより、導電性パターンの性能劣化を誘発し、非接触の情報書き込みが可能であることを示した点に最大の特徴がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RFID技術の確立は、物流管理や電子マネー、アクセスコントロールなど多くのものをデジタル化してきた。あらゆるモノに加えて、書類をその一枚一枚に至るまで管理するような時代がやって来ようとしている。本課題は、RFIDをより低コスト化するためのチップレスRFID技術において、単なる性能向上に取り組んだものではなく、これまでチップレスRFIDでは実現できなかった非接触情報書き込みを実現したものであり、チップレスRFIDの可能性を大きく広げる研究であると自負している。過電流を使用するという独創的なアプローチが本手法の実現につながった。

研究成果の概要（英文）：Chipless RFID technology has been attracting attention in recent years to reduce the RFID cost. The purpose of this research is to research and develop a chipless RFID technology that can be fabricated with a commercial inkjet printer, can be used immediately after printing, and has an information writing function. In this research, we developed chipless RFID that uses a two-dimensional conductive pattern to put information on itself and is readable and writable using a coil array. The most significant feature is non-contact information writing, which is realized with performance deterioration of the conductive pattern. Overcurrent in a bit structure induced by a near magnetic field can cause the deterioration.

研究分野：無線通信工学

キーワード：チップレスRFID 非接触書き込み 過電流 インクジェット印刷 銀ナノ粒子インク

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

RFID 技術の確立は、物流管理や電子マネー、アクセスコントロールなど多くのものをデジタル化してきた。あらゆるモノに加えて、書類をその一枚一枚に至るまで管理するような時代がやって来ようとしている。

RFID のさらなる低価格化のためにチップレス RFID 技術が近年注目を集めている。チップレス RFID 技術は、半導体チップを用いず RFID タグを実現する技術およびそのタグの読み取り技術を指す。従来のチップレス RFID 技術では、半導体チップがないため、振幅・周波数・位相を時間的に変化させることができない代わりに、低損失な導電性パターンを用いて実装した共振器構造によってタグ自身の周波数特性などに情報を載せる。

筆者は、従来のチップレス RFID 技術に関して、以下の問題が存在すると考えている。1 点目は低損失な導電性パターンで実装した  $Q$  値の高い共振器構造を必要とする点にある。電波を選択的に反射させるためには  $Q$  値の高い共振器構造が重要であるため、従来研究がなされてきたチップレス RFID 技術では、プリント基板を用いて実装しているものが大勢を占める。インクジェット印刷を用いてチップレス RFID 技術を実装した例も存在するが、高価な工業用プリンタでのみ印刷可能な高性能導電性インクを用いており、印刷後に凝固および焼結のプロセスが必要であるため、印刷後使用までに手間と時間を要する。2 点目として動作環境が非常に限定的であることが挙げられる。従来のチップレス RFID 技術では一般に入射波と反射波の区別に偏波を用いるため、タグの回転や伝播経路のマルチパスに対してロバストでない。また、共振器構造とアンテナを用いているために、人体などの誘電体物質が近接する環境下では特性が大きく変化する。3 点目は情報の書き込みができない点にある。チップレス RFID タグにはその名の通り半導体 IC が存在しないため、従来のチップレス RFID では情報の読み取りこそ可能であるものの、情報はタグ作成時に埋め込む他なく、非接触で情報を書き込むことは不可能であった。

### 2. 研究の目的

本研究は、市販のインクジェットプリンタで実装可能であり、かつ印刷後の即時使用および情報書き込みが可能なチップレス RFID 技術の確立を目的とする。市販のピエゾ型インクジェットプリンタで印刷可能であり、印刷後即時に使用可能な銀ナノ粒子インクもすでに市販されているが、この銀ナノ粒子インクはプリント基板と比べて損失が大きく、既存のチップレス RFID 技術が所望の動作を得ることは難しい。筆者は以前、銀ナノ粒子インクおよびインクジェットプリンタを用いて、既存研究をもとに共振器構造を用いたチップレス RFID タグの実装を試みたが、情報の読み取りは不可能であった。したがって、本研究では、高損失な導電性素材でも読み書き可能なチップレス RFID 機構について検討を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、バーコードや QR コードに類した 2 次元模様の導電性パターンを用いてパターン形状自身に情報を載せ、図 1 に示すようなコイルアレイを用いて情報の読み取りを行うチップレス RFID システムの開発を目指す。情報の読み取りには近傍磁界を用いることを想定している。具体的には、コイルアレイを用いてチップレス RFID タグに近傍磁界を入射し、それに応じて生じる渦電流および誘導電流の影響として、コイルアレイにおけるインピーダンス変化の位置依存性を観測することによって情報の読み取りを行う。また、近傍磁界を用いて読み取りを行うため、封筒の中など視認できない場面においても読み取りができるだけでなく、周辺に人体などの誘電体が存在する環境においても安定した動作が見込まれる。情報書き込みについても同様に近傍磁界を用いることで、チップレス RFID タグ内に特性変化を誘発し、非接触に情報書き込みを実現する機構の研究開発を検討する。

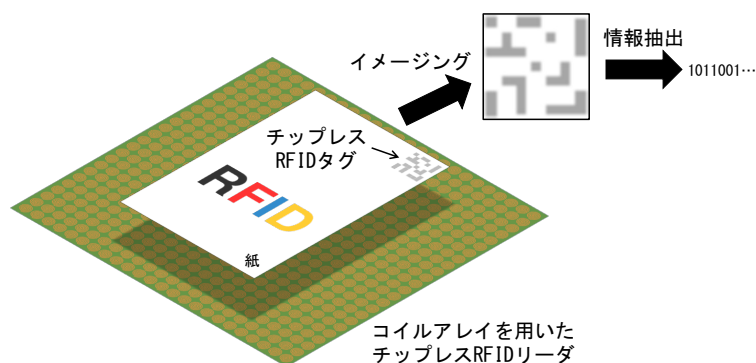


図 1 近傍磁界型チップレス RFID の利用イメージ

#### 4. 研究成果

2018年度には、ビットを表現する導電性パターンの形状に関して検討を行った。この導電性パターン形状がチップレス RFID の性能を左右する最も重要な技術である。本研究では、近傍磁界を用いてビット構造内に過電流を誘導することにより、導電性パターンの性能劣化を誘発することで、非接触の情報書き込みが可能であることを示した。さらに、コイルアレイを用いた情報の読み取り・書き込み性能と導電性パターン形状に関するパラメータとの関係性を評価し、図2に示すように、一部分だけ他より細い狭隘部を有するループ構造の性能が優れていることを明らかにした。これは図3のように狭隘部で電流密度が増加し局所的に性能劣化が誘発されることで、書き込み性能が向上すること、十分なリング幅をもたせることでリング全体としての抵抗値を下げるができることの2点によるものである。得られた導電性パターン形状を用いることで、非接触の情報書き込みが可能となることを実機実験により明らかにした。図4に読み取りコイルにおける入力抵抗値の計測値を示す。ここで実験のパラメータは読み取りコイルは1辺約5mmの正六角形であり、ビット形状は外径8.7mm、狭隘部は幅0.5mm・長さ1mmである。図5より、情報書き込み前後で読み取りコイルの入力抵抗値が低下しており、その前後を容易に判別できることが示されている。また、リング幅が大きいほど書き込み距離を担保できるものの、リング幅が大きいと情報書き込み前後の抵抗値変化量が小さくなるため、書き込み性能と読み取り性能の間にトレードオフの関係があることが明らかとなった。

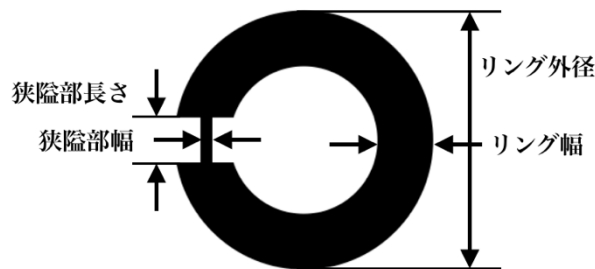
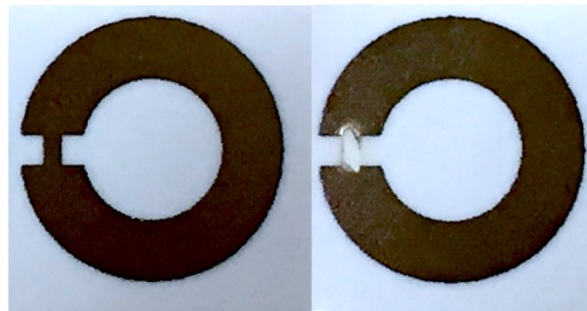


図2 近傍磁界型チップレス RFID のビット構造とパラメータ



(a) 書き込み前 (b) 書き込み後

図3 狭隘部による情報書き込み性能の向上

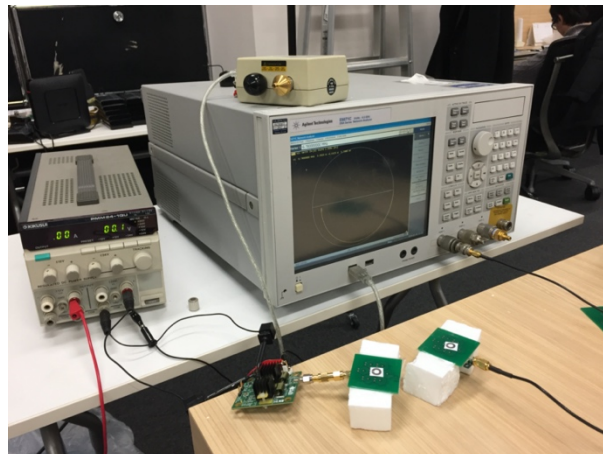
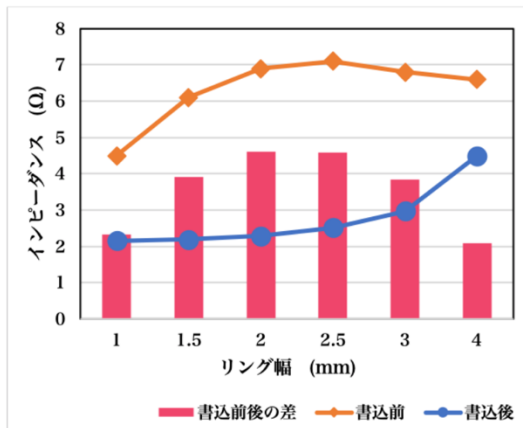
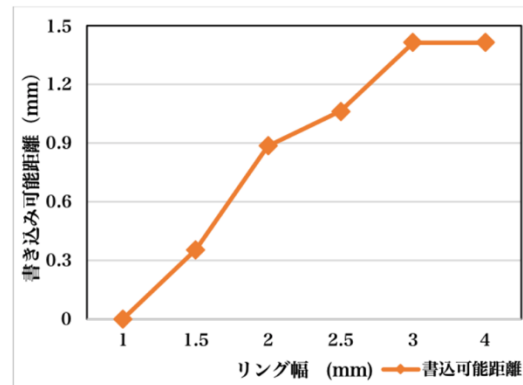


図4 実験概要



(a) 書込前後のインピーダンス



(b) 書込可能なタグ-コイル間距離

図4 書き込み前後の読み取り値の比較

2019年度には、複数のビット構造から成るチップレス RFID タグを設計し、コイルアレイを用いた読み取りアルゴリズムを開発した。

チップレス RFID タグの設計においてはコイルアレイ型無線給電における知見を活用することで、ビット構造の半径  $R$ 、コイルアレイのコイル間距離  $d$ 、単位コイルの半径  $r$  が

$$R = r + d/\sqrt{3}$$

を満たすよう設計したとき、コイルアレイの中の少なくとも1つ以上の単位コイルがビット構造の内側に配置されるため、位置ずれに強い読み取りが可能となることを明らかにした。また、この検討過程でインピーダンス不整合による性能劣化を定式化し、この知見が逆に無線給電の理論を拡張することにも繋がった。

また、図5に示すようにビット構造間を導電性パターンで塗りつぶすことにより、チップレス RFID の読み取りコイルアレイのうち、ビット構造の内側に存在する読み取りコイルのインピーダンスが周囲の読み取りコイルの読み取り値よりも必ず小さくなることが表1のように明らかとなった。実験におけるパラメータは、読み取りコイルが1辺5mmの正六角形、ビット構造が外径21.7mm、幅3mm、狭隙部が幅0.1mm・長さ0.25mmである。上記の条件が成立するとき、コイルアレイを構成する多数のコイルから、周囲の読み取り値よりも小さいコイルの読み取り値だけを抽出し、それら各ビットの読み取り値として採用すればよい。この知見に基づき、軽量な読み取りアルゴリズムを開発した。

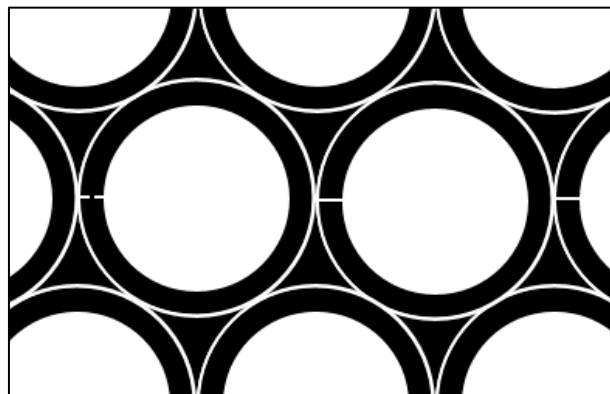


図5 ビット構造間の塗りつぶし構造

表1 入力抵抗値変化量の読み取りコイル位置依存性

|          | 1ビット構造<br>縁 | 1ビット構造<br>内部 | 0ビット構造<br>縁 | 0ビット構造<br>内部 |
|----------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 変化量平均[Ω] | 10.50       | 6.23         | 6.21        | 0.50         |
| 標準偏差[Ω]  | 1.87        | 1.43         | 3.86        | 1.37         |

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Narusue Yoshiaki, Kawahara Yoshihiro, Morikawa Hiroyuki  | 4. 巻<br>17        |
| 2. 論文標題<br>Load optimization factors for analyzing the efficiency of wireless power transfer systems using two-port network parameters | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>IEICE Electronics Express  | 6. 最初と最後の頁<br>1-5 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br><a href="https://doi.org/10.1587/elex.17.20200093">https://doi.org/10.1587/elex.17.20200093</a>             | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-         |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>成末義哲, 平井亨武, 森川博之        |
| 2. 発表標題<br>チップレスRFIDの書き込み技術に関する一検討 |
| 3. 学会等名<br>革新的無線通信技術に関する横断型研究会     |
| 4. 発表年<br>2019年                    |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

|                                     |                            |               |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>アンテナコイルの設計方法およびそのプログラム  | 発明者<br>成末義哲、藤城真祥、川原圭博、森川博之 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、PCT/JP2019/033009 | 出願年<br>2018年               | 国内・外国の別<br>外国 |

|                                     |                       |               |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>RFIDタグ                  | 発明者<br>成末義哲、平井亨武、森川博之 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、PCT/JP2020/016906 | 出願年<br>2019年          | 国内・外国の別<br>外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                           |                       |    |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 氏名<br>（ローマ字氏名）<br>（研究者番号） | 所属研究機関・部局・職<br>（機関番号） | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|