

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18360184  
 研究課題名（和文） 心拍、呼吸、体温計測機能を有する超小型スマート RFID 能動タグ回路の開発  
 研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF A SMALL-SIZE ACTIVE SMART RFID TAG WITH SENSING FUNCTIONS OF HEART RATE, RESPIRATION, AND BODY TEMPERATURE  
 研究代表者  
 井上 高宏（INOUE TAKAHIRO）  
 熊本大学・自然科学研究科・教授  
 研究者番号：70093987

## 研究成果の概要（和文）：

人の健康管理や医薬品開発用実験用動物の生体情報モニタリングへの応用をめざして、人あるいは動物の個体識別符号（IDコード）を識別し、その心拍、呼吸、体温の情報をオンデマンドでかつリアルタイムに計測し、それらをデータ読み取り装置へ無線で送信できる超小型のRFIDタグ（無線個体識別ICタグ）を研究開発し、そのICチップと実装基板のプロトタイプを試作して、所望の諸機能を実験で確認した。

## 研究成果の概要（英文）：

For applications to human health care or biomedical information monitoring of experimental animals, a small-sized RFID(Radio Frequency Identification) tag with functions of on-demand real-time measurement of heart rate, respiration, and body temperature has been developed. The desired performances have been confirmed through experiments of test-fabricated IC chips and printed boards.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,000,000	0	3,000,000
2007年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	9,700,000	2,010,000	11,710,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：電子デバイス・機器、先端機能デバイス、スマートセンサ情報システム

## 1. 研究開始当初の背景

RFID タグは「ゴマ粒チップ」とも呼ばれ、個体識別符号（IDコード）をRFで発信する数ミリ以下の超小型集積回路である。このRFID タグは、物流のトレーサビリティ、紙幣やカードの偽造防止、図書あるいはカル

テなどの書類や物品・商品の管理、障害者支援、盗難防止・セキュリティ管理など、さまざまな分野での応用が期待されている。通常、RFID タグは、メモリ、ロジック回路、RF回路からなる簡単な構成のミクスト・シグナル集積回路である。

本研究課題は、ヒト、ラット、マウスなどの生体の心拍、呼吸、体温といった生体情報を計測し、無線でそれらを送信できる機能をもった小型のスマートRFIDタグ(生体情報計測・無線個体識別 IC タグ)の実現をめざしたものである。類似の機能を有する生体用RFIDタグとしては、米国 BioMedic Data Systems 社のラット用体温センサー付 RFID タグ(スマート・ミュッチップ)、米国 MINI MITTER 社のラット用心拍・体温テレメトリーセンサー(E-mitter)、米国 AVID Systems 社の実験動物管理用 RF タグ(Microchip)等々が既に商品化されている。しかし、いずれも心拍数、呼吸数、体温といった3種類以上の生体情報を同時に計測し無線送信できる機能や、指令発信/返信データ読み取り装置(リーダー)からの無線によるオンデマンドの指令により生体の情報の種類や計測時間を選択できるなどの機能は実現できていなかった。

## 2. 研究の目的

生体の個体識別機能に加えて、心拍、呼吸、体温の同時計測機能をもったスマートRFIDタグの実現を目標に、それを可能にするため、申請者の研究グループで独自に考案・開発中の個体識別符号(IDコード)生成回路、センサ信号処理回路、ワイヤレス電源回路などの最新のCMOS回路技術を利用して、スマートRFIDタグのためのミクストシグナル・システムLSI回路とその実装回路基板を開発することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

(1)心拍、呼吸、体温の計測機能を有するRFID能動タグ回路(電池駆動型タグ回路)について、ヒトの心拍、呼吸、体温を計測できるベルト実装型スマートRFIDタグを試作し、タグとリーダー間を微弱無線の303MHzで交信させて性能評価実験を行い、動作を確認する。この回路では、IDコード照合用には2値パルス幅変調(BPWSK変調)方式を、生体信号用にはパルス位置/パルス幅変調方式を利用し、IDコードと生体情報からなる信号パッケージを無線でリーダーに返信できることを試作器による実験で確認する。この試作器のための特定仕様ICチップはTSMCの0.25 $\mu\text{m}$ ミクストシグナルCMOSプロセスで試作し、動作確認を行う。また、3つ生体情報の同時リアルタイム送信を可能にする符号化回路を設計し、そのICチップを試作し評価実験する。

(2)無線による電力供給型のRFID受動タグ回路の内蔵AC-DC電源回路に関し、実装基板上の小型平面スパイラル結合コイルを理論解析し、そのインダクタンスや1次コイルと2次コイル間の結合係数を計算する。また、

1mm角平面スパイラル結合コイルを実装した超小型AC-DC変換回路基板を試作し、実験でその特性を解析する。

(3)通信符号の設計に関しては、タグとリーダー間の通信に利用可能な非同期DS/CDMA通信用の負相関スペクトル拡散符号を設計し、これが線形フィードバックシフトレジスタで生成可能か、また従来符号よりも低いビット誤り率を達成できるかを解析し明らかにする。

## 4. 研究成果

(1)ベルト実装型スマートRFID能動タグ回路(心拍、呼吸、体温の計測機能を有するRFID能動タグ回路) :

リーダーからの無線によるIDコード呼び出し指令信号に応じて、呼ばれたRFIDタグがそれを装着している個体の心拍、呼吸、体温の情報をリーダーに返信するという機能をもったRFIDタグ回路チップを設計し、試作した。その結果、リーダーからの微弱無線のオンデマンドの指令により3種の生体情報の選択機能および2秒~16秒の4つの計測時間の選択機能が実現できていることを実験で確認した。

(雑誌論文 ~、~、~ ; 学会発表 ~、~、~)

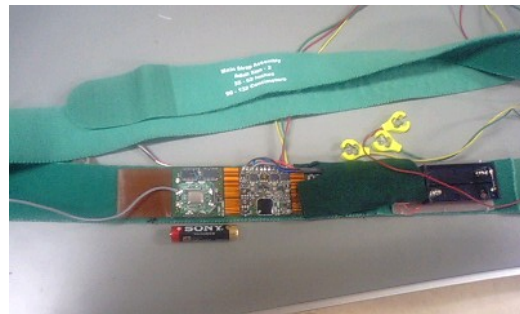


図1 試作したベルト型スマートRFIDタグ



図2 人体に装着した様子

回路全体の消費電流の削減 :

呼吸センサとしてベルト型静電容量センサ(最大容量342pF)を試作し、課題であった消費電力を歪ゲージセンサに比べて約1/10の2.54mW@3Vに低減できた。

(学会発表 )

複数の生体情報の同時実時間返信機能の実現：

心電 R 波信号、呼吸信号、体温信号を同時サンプリングし、それを一体として 2 値信号のパルス長に一括変換して、3 つの生体信号を同時実時間で無線によりリーダーへ返信できる機能をもったデジタル IC 回路（回路面積 = 0.74mm<sup>2</sup>, 消費電力 = 0.1mW）を開発し、動作を実験で確認した。これにより、生体情報計測において、遅れ時間 100 μ秒程度の高い実時間性が得られるようになった。

心電 R 波信号を検出する回路への検出判定レベル自動調節機能の付与：

R 波検出回路の R 波検出しきいレベルを自動調整する新しいミクストシグナル CMOS 回路を設計し、個別 IC によるブレッドボード回路を試作して所望の動作を実験で確認した。これにより、センサ装着者の個人差や体動による心電 R 波信号の波高変動に対して、自動適応した R 波計測が可能になった。

心電信号増幅用アンプへの自動利得調整機能の付与：

オンチップ可能な消費電力 0.13mW のスイッチトキャパシタ帯域通過フィルタ（通過帯域：0.5Hz ~ 200Hz）と自動利得調整機能付き増幅器（消費電力は 0.809mW）を設計し、SPICE による過渡回路解析によって、それぞれ所望の動作を実現できる見通しを得た。（学会発表）

(2)無線による電力供給型 RFID 受動タグ用内蔵電源回路

受動 IC タグのための AC-DC 変換電源回路の実現：

小型結合コイルとショットキーバリアダイオードとキャパシタを組み合わせたチャージポンプ型 AC-DC 変換回路を設計し、基板試作を行った。また、同回路の CMOS プロセスによる IC 化をめざし、受動 IC タグ用として小型の小電力（10mW@3V 程度）AC-DC 変換電源回路を設計して、その AC-DC 変換特性を解析した。その結果、1 次および 2 次コイル回路での直列共振の利用と、1 次コイルでのパワーオペアンプの利用が 1 次側励振電圧の低減への有効であることを明らかにした。（雑誌論文、；学会発表）

試作した 1mm 角平面スパイラル結合コイルの特性解析：

試作した 1mm 角平面スパイラル受電コイルとチャージポンプ型 AC-DC 変換回路の組み合わせについて回路解析し、10mW@3V 程度の電源の実現には、同受電コイルを 232 ガウス以上の交流磁束密度で励磁する必要があることを明らかにした。また、試作した 1mm 角平面スパイラル受電コイルについて、インダクタンスならびに結合係数を理論解析し、実

験によるインダクタンスの評価検証を行った。

（雑誌論文、；学会発表、、）

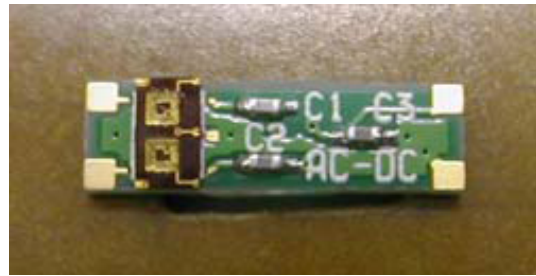


図 3 試作した 1mm 角平面スパイラル結合コイルと AC-DC 変換回路（基板寸法 3.5mmX12mm）

(3)RFID タグ用通信符号の設計：

タグとリーダー間の通信に利用可能な非同期 DS/CDMA 通信用の負相関スペクトル拡散符号を設計し、これが線形フィードバックシフトレジスタにより生成可能であること、ならびに従来符号よりも低いビット誤り率を達成できること等を明らかにした。（雑誌論文、；学会発表、）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 19 件)

Akira Nakajima, Takahiro Inoue, Akio Tsuneda, A Proposal of a Novel RFID Tag with Biomedical Signal Sensing Functions, IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, 査読有, Vol. 130-C, No.5, 2010, pp.790-798

Kei Eguchi, Sawai Pongswatd, Amphawan Julsereewong, Kitti Tirasesth, Hirofumi Sasaki, Takahiro Inoue, Design of a multiple-input SC DC-DC converter realizing long battery runtime, IEICE Transactions on Fundamentals, 査読有, Vol. E93-A, No.5, 2010, pp.985-988

Kei Eguchi, Sawai Pongswatd, Kitti Tirasesth, Hirofumi Sasaki, Takahiro Inoue, Synthesis and analysis of a versatile DC-DC converter designed by using switched-capacitor techniques, ECTI-EEC Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications, 査読有, Vol.8, No.1, 2010, pp.76-84

Kei Eguchi, Sawai Pongswatd, Kitti Tirasesth, Hirofumi Sasaki, Takahiro

Inoue, Optimal design of a single-input parallel DC-DC converter designed by switched capacitor techniques, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol.6, No.1(A), 2010, pp.215-227

中島晃、榊永大輔、井上高宏、常田明夫, 能動 I C タグのための高速スタートアップ特性をもつ電流再利用形 LC 共振回路, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol.129, No.12, 2009, pp.2239-2240

Kei Eguchi, Sawai Pongswatd, Hongbing Zhu, Kitti Tirasesth, Hirofumi Sasaki, Takahiro Inoue, A multiple-input SC DC-DC converter with battery charge process, 2nd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 査読有, 2009, pp.697-700

Kei Eguchi, Ichirou Oota, Shinya Terada, Takahiro Inoue, A design method of switched-capacitor power converters by employing a ring-type power converter, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol.5, No.10(A), 2009, pp. 2927-2938

Akio Tsuneda, Yasunori Miyazaki, Performance Evaluation of Spreading Sequences with Negative Auto-correlation Based on Chaos Theory and Gold Sequences, Proc. The Fourth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, 査読有, 2009, pp.169 ~ 172

Akira Nakajima, Takahiro Inoue, Akio Tsuneda, A digital circuitry for smart RFID tags with easy synchronization and anti-collision communication, The Proc. of ITC-CSCC 2009, 査読有, 2009, pp.1227-1229

Akira Matsushima, Makoto Matsuki, Filament Model for Computing Impedances of Conducting Wires and Transmission Lines, Proceedings of the 7th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, 査読有, 2008, pp.163-172

Toshitaka Yamakawa, Takahiro Inoue, Akio Tsuneda, Design and Experiments of a Novel Low-Ripple Cockcroft-Walton AC-to-DC Converter for a Coil-Coupled

Passive RFID Tag, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, 査読有, Vol.E91-A, No.2, 2008, pp.513-520

Kei Eguchi, Takahiro Inoue, Ichirou Oota, Hongbing Zhu, Fumio Ueno, A Cross-Coupled Type AC-DC Converter for Remote Power Feeding to a RFID Tag, WSEAS Transactions on Circuits and Systems, 査読有, Vol.11, No.6, 2007, pp.592-600

Toshitaka Yamakawa, Takahiro Inoue, Masayuki Harada, Akio Tsuneda, Design of a CMOS Heartbeat Spike-Pulse Detection Circuit Integrable in an RFID Tag for Heart Rate Signal Sensing, IEICE Transactions on Electronics, 査読有, Vol.E90-C, No.6, 2007, pp.1336-1343

〔学会発表〕(計 24 件)

島田博文, 井上高宏, 常田明夫, カップリングコイルを用いた電磁誘導型給電回路の一設計, 電気学会電子回路研究会, 電気学会電子回路研究会, 2009.10.30, ホテルメリージュ(宮崎)

桑原貴憲, 井上高宏, 常田明夫, スマート RFID タグ用呼吸検出回路の一設計, 電気学会電子回路研究会, 2009.10.29, ホテルメリージュ(宮崎)

相良泰三, 常田明夫, Gold 系列に基づいた負相関スペクトル拡散符号 ~ 符号数増大と相関特性 ~, 第 17 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2009.9.30, 九州工業大学

常田明夫, ベルヌイ写像に基づいたカオス 2 値系列の自己相関関数についての一考察, 第 62 回電気関係学会九州支部連合大会, 2009.9.29, 九州工業大学

Makoto Matsuki, Akira Matsushima, An efficient numerical technique for computing impedances of conductors with rectangular cross sections, 第 62 回電気関係学会九州支部連合大会(国際セッション), 2009.9.29, 九州工業大学

西牟田剛久, 井上高宏, 常田明夫, スマート RFID タグのための自動利得制御回路の一設計, 第 62 回電気関係学会九州支部連合大会, 2009.9.28, 九州工業大学

武 翼, 井上高宏, 原賀真也, 常田明夫, スマート RFID タグのための体温信号処理用

スイッチトカレント ADC の一構成，”  
第 62 回電気関係学会九州支部連合大会，  
2009.9.28，九州工業大学

松木 誠，松島 章，基板損失の影響を  
考慮した長方形断面導体のインピーダンス  
計算，電子情報通信学会マイクロ波研究会，  
2009.3.6，NHK 放送技術研究所(東京)

中島晃，井上高宏，常田明夫，生体情報  
計測機能を持った RFID タグ試作基板の実験  
と評価，電気学会電子回路研究会，2008.6.12，  
会津大学

山城昌雄，中島晃，井上高宏，常田明夫  
スマート RFID タグ用 BPWSK 個体識別信号受  
信回路の開発，電気学会電子回路研究会，  
2008.11.13，熊本大学

〔図書〕(計 1 件)

電子情報通信学会編，松島章(他 83 名)，  
オーム社，アンテナ工学ハンドブック(第 2  
版)，2008，pp.769-772

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：受動型無線識別タグ及びその受動電源  
回路

発明者：井上高宏

権利者：国立大学法人熊本大学

種類：特許

番号：特願 2008 - 021501

出願年月日：2008 年 1 月 31 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.anacas.cs.kumamoto-u.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井上 高宏 (INOUE TAKAHIRO)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：70093987

### (2) 研究分担者

松島 章 (MATSUSHIMA AKIRA)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：70157303

常田 明夫 (TSUNEDA AKIO)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：40274493

### (3) 連携研究者

江口 啓 (EGUCHI KEI)

静岡大学・教育学部・准教授

研究者番号：00321521