

【論文】

RFID リーダ・ライタの磁界放射特性の測定と講義出席調査への利用

松岡 剛志¹, 緒方 将人¹, 犬塚 尚恵¹, 藤崎 清孝²

Measurement of radiation characteristics of RFID reader/writer and application of RFID to students' attendance check

Tsuyoshi MATSUOKA¹, Masato OGATA¹, Naoe INUTSUKA¹ and Kiyotaka FUJISAKI²

Abstract: The technology of RFID have been rapidly growth and RFID have been widely used in many fields, such as physical distribution systems, measures of safety for kids, and so on. Hence, the RFID plays an important role in ubiquitous society. For the purpose of development of student study support system, this paper aims to make a program to take students' attendances in a class by using RFID. At first, the radiation characteristics of a RFID reader/writer have been investigated. And a RF tag has been distributed to each student in a class of one of the authors, and student attendance have been taken by using RFID. It makes us cut down the time for the check and manage the attendance data by a computer efficiently. Students also give us favorable comments to the attendance check.

Keywords: RFID, Student support system, Attendance check

1. はじめに

RFID(Radio Frequency IDentification) とは、「誘導電磁界又は電波によって、非接触で半導体メモリのデータを読み出し、書き込みのために近距離通信を行うものの総称」である [1]。RF タグに情報を格納でき、かつ非接触で読み書きできる、見えなくても通信できる、複数の RF タグに一括してアクセスできる 等の特長を有す。その反面、金属が通信に影響を及ぼす、コストが高いなど欠点がある。しかし前述の利点のため、JR 東日本の Suica やおサイフケータイ等ですでに利用されはじめており、社会インフラとして必要不可欠になりつつある。物流の分野ではバーコードに取って代わろうとしており、今後様々な分野での利用が期待されている [2, 3, 4, 5]。

RF タグは、各個人に配布することによって個人識別としても利用することができる。この性質を利用して、小学校や幼稚園に通う子供を対象とした安全確保システムが開発されている [6]。一方大学では、講義の出席調査に用いている例が報告されている [7, 8]。講義

の出席調査に RFID を用いれば、出席調査の手間が軽減される、出席状況を電子データで入手できるのでコンピュータでのデータ管理が容易になる。さらにネットワーク接続されたセキュアなデータベースと連携させれば、様々な観点からデータを活用できるため、学生の修学指導にも利用可能となる。

本論文では、修学指導のための ネットワークデータベース と RFID を連携させた学生修学情報管理システムを構築することを見据え、RFID を用いた出席調査プログラムの開発を目的としている。まず利用する RFID リーダ・ライタの磁界放射特性およびタグの読み取り特性を評価する。次に、出席調査用のプログラムを作成し、実際の講義で試験運用・評価することにより、RFID による出席調査について検討する。

2. RFID の概要

RFID の歴史は比較的古く、1940 年代の第二次世界大戦中に航空機の敵味方を区別するために初めて用いられたとされている [9]。その後、1980 年代に電子的なメモリを非接触で更新する技術を用いた最初の製品が登場した。しかし複数同時読み取りができないこと、

¹電気工学科²九州大学大学院システム情報科学研究院

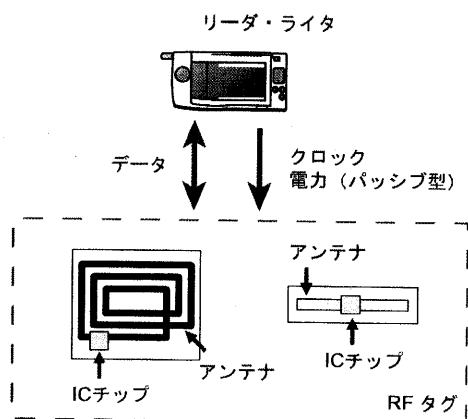


図 1: RFID system

表 1: Specification of RFID system

周波数	125 KHz	13.56 MHz	2.45 GHz
通信距離	~ 1m	~ 1m	~ 2m
方式	電磁誘導		マイクロ波
応用	入退出管理	物品管理	物流管理

RF タグが高価だったことからある特定の分野だけしか普及しなかった。しかし、近年の半導体技術、無線技術の発達により、比較的 low 価格で生産されるようになり、現在様々な分野で導入されはじめている。

RFID は、図 1 に示すように情報を読み書きするためのリーダー・ライターとこれを記録する RF タグで構成されている。RF タグには IC チップとリーダー・ライターとの通信を行うためのアンテナが装荷されている。

2.1 RFID の分類

RFID は動作で分類すると、内部電源を持つアクティブ型、持たないパッシブ型に分けることができる。パッシブ型はリーダーライターより起電力を受け取り動作する。よく知られた RFID の応用例である Suica や電子マネー Edy では、このパッシブ型が利用されている。

RFID を周波数で分類したものを表 1 に示す。周波数により電波伝搬の特徴が異なるため、タグとリーダーライターの結合 (通信) 方式が異なり、用途も異なっている。現在、表 1 にあげた周波数の他に UHF 帯 (950MHz 帯) で RFID が利用できるように法改正が進められている。

本研究では、13.56MHz 帯 (ISO/IEC 15693 に準拠) のパッシブ型 RFID を利用する。

2.2 RFID とタグの通信

ISO/IEC 15693 規格の RFID は、13.56MHz の電波を用いて電磁誘導方式でリーダー・ライターから RF タグに電力が伝送される。リーダー・ライターおよび RF タグ間の通信方式はいくつか規定されているが、どの通信方式を使うかはリーダー・ライターから RF タグに伝えられる。リーダー・ライターおよび RF タグ間の通信方式を以下に示す。

リーダー・ライターから RF タグ

- 変調方式：10% および 100% ASK
- データ符号化：パルス位置変調で 256 中 1 (1.65kbps) および 4 中 1 (26.48kbps)

ここで、256 中 1 とは、8 ビット伝送時間 (4.833ms) を 256 に分割し、8 ビットの値によってこの 256 箇所の中の一つの位置にパルスを発生する、パルス位置変調である。同様に、4 中 1 とは、2 ビットの値により 2 ビット伝送時間 (75.52 μ s) 内で 4 箇所の中の一つの位置にパルスを発生する方式である [10, 11]。

RF タグから リーダー・ライター

- 変調方式：副搬送波で負荷変調方式
- 副搬送波：単一副搬送波 (423.75kHz) および双副搬送波 (423.75kHz, 484.28kHz)
- 伝送速度：単一副搬送波 (低速：6.62kbps, 高速：26.48kbps), 双副搬送波 (低速：6.67kbps, 高速 26.69kbps)
- ビット符号化：マンチェスタ符号

2.3 リーダー・ライターからのコマンド

パッシブ型の RF タグは、リーダー・ライターからのコマンドを受けて動作する。コマンドには必須コマンドと任意コマンド、製造者設定コマンドおよび専用コマンドの 4 種類がある。必須コマンドには、RF タグが UID を返答する受付コマンド (Inventory コマンド)、RF タグが静止状態にとどまり返答しない静止コマンド (Quiet Stay コマンド) がある。任意コマンドとしては、内蔵メモリへの書き込みコマンド、読み取りコマンドなどがある。

製造者コマンドは製造者固有の機能を組み込むためのコマンド、専用コマンドはテスト用として使用されるが、特に規定されていない。

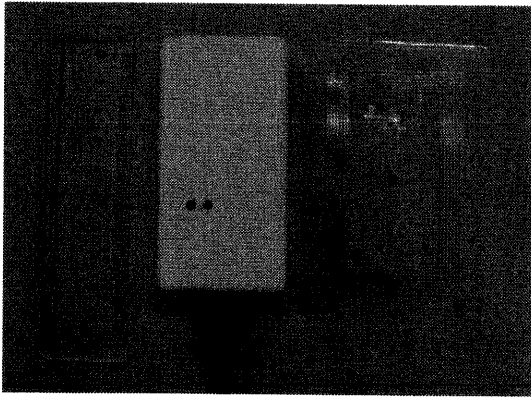


図 2: RFID reader/writer and RF tag

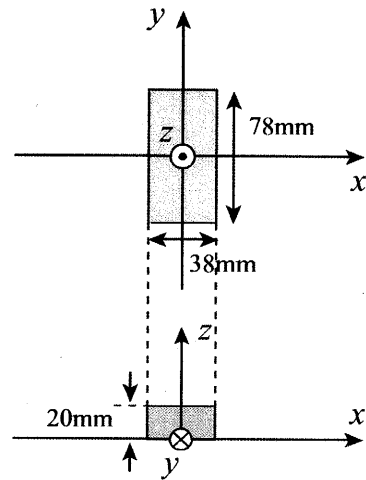


図 3: Geometry of the experiment

3. RFID の磁界放射特性の測定

3.1 利用機器仕様

本研究で利用した RFID リーダ・ライタ, RF タグの仕様は次の通りである.

リーダ・ライタ (ソフエル社製, ST-RW01-U)

- インターフェース: USB
- タグへの送信: 26.48kbps, 100% ASK, 4中1.
- タグから受信: 26.69kbps, 高速, 双副搬送波
- 交信周波数: 13.56 MHz

RF タグ (日本 Ti, 社製, RI-I02-110A)

- 寸法: 45 × 76mm
- UID: 8 バイト
- ユーザメモリ: 256 バイト

研究に用いたリーダ・ライタ及び RF タグの外観を図 2 に示す. タグはインレット状のものをラミネート加工して補強している. 磁界放射特性の評価は, 実際の利用環境を想定し, 研究室で行った.

3.2 信号のスペクトル

リーダ・ライタから放射されている磁界のスペクトルをスペクトルアナライザ (MICRONIX MSA338) で観測した. 測定の座標系を図 3 に示す. リーダ・ライタおよび RF タグからの信号は, 直径 6cm の磁界プローブの中心を (0, 0, 3cm) に設置し, 磁界の z 成分 H_z を観測した.

何もコマンドを発信していない時のリーダ・ライタからの信号のスペクトルを図 4(a) に示す. 規格通り周波数 13.56MHz 付近にピークがあることがわかる.

RF タグ動作磁界領域にない状態で, リーダ・ライタから Inventory コマンドを連続的に発信しているときの信号のスペクトルを図 4(b) に示す. 図 4(a) に加えて, Inventory コマンドを ASK 変調して送信しているため, 搬送波の 13.56MHz の周りに側波帯が現れていることがわかる.

次に, RF タグの中心を (0, 0, 2cm) におき, Inventory コマンドに対して RF タグが応答している状況の磁界のスペクトルを図 4(c) に示す. 図 4(b) のスペクトルに, タグからリーダ・ライタへの応答分である双副搬送波で負荷変調した信号成分が現れている. この信号成分は上側波帯では 13.98, 14.04 MHz, 下側波帯では 13.08, 13.14 MHz 付近に確認できる.

3.3 リーダ・ライタ磁界放射特性

リーダ・ライタの周りの磁界分布を測定するために, 図 3 の座標系で各地点の磁界強度をスペクトルアナライザを用いて測定した. 実際に利用するときには, 図 3 で xy 平面に平行にタグをかざすことを想定し, 磁界の z 成分 H_z を測定した. 磁界の測定には直径 1cm の磁界プローブを用い, 32 回測定し, その平均値を測定値とした.

$z = 2, 4, 6$ cm の xy 面内の磁界分布を図 5 に示す. なお, 磁界強度は最大磁界強度で正規化している. 予想通り, リーダ・ライタの近いところで強度分布がはっきりしており, リーダ・ライタから離れるに従って強度

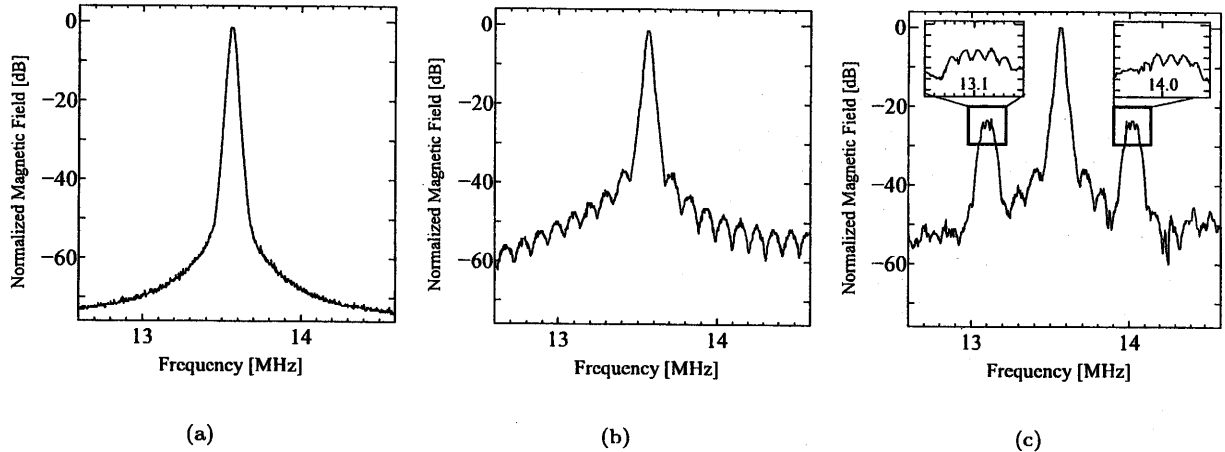


図 4: Spectrum of the radiated signal when a RFID reader/writer takes (a) no command and (b) Inventory command, and (c) communicates with a RF tag

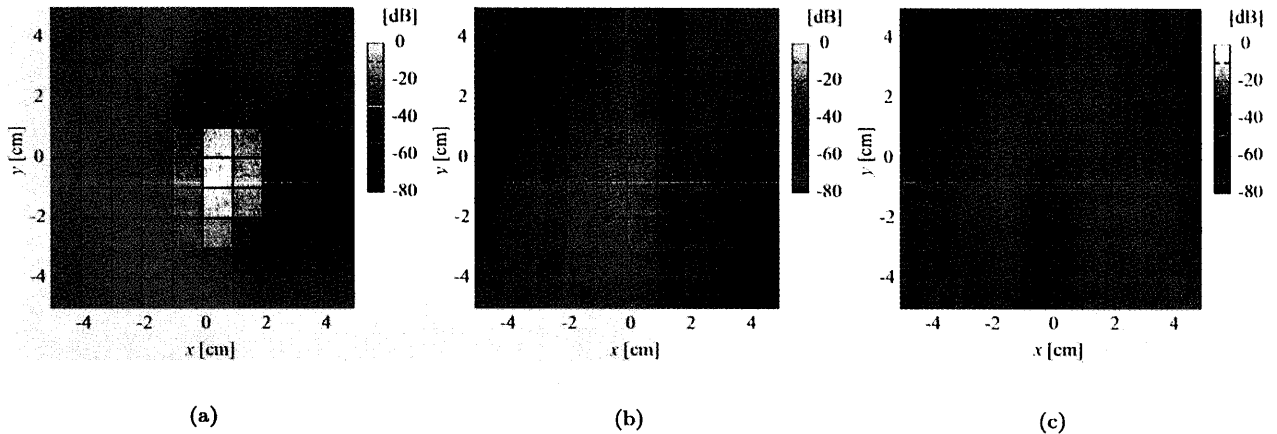


図 5: The distribution of normalized magnetic field H_z above RFID reader/writer at (a) $z = 2$ cm, (b) $z = 4$ cm, and (c) $z = 6$ cm

が小さくなり、分布が一様になっている。また 図 5(a)より、磁界強度は、 $0 \leq x \leq 1, -3 \leq y \leq 1$ の中に集中しているため、この部分にリーダ・ライタのアンテナコイルが存在していることが予想される。

3.4 読み取り特性

図 3 の座標系において、RF タグの読み取り実験を行った。RF タグの中心を座標点とし、その点で RF タグの情報を読み取ることができる最大高さを評価した。その際、リーダ・ライタから Inventory コマンドを連続発信し、5 回以上連続で RF タグの UID が取得できれば読み取り可能、できなければ読み取り不可とした。実験の内容を以下に示す。

1. 人間が RF タグを持ち、各座標 (x, y) 上で z 軸に

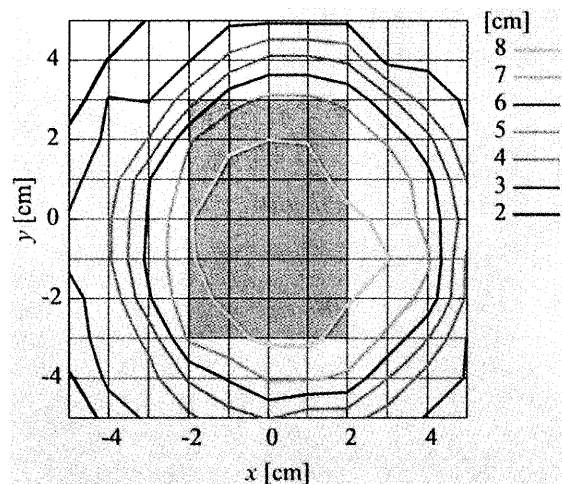


図 6: Average maximum height where RFID reader/writer can communicate with RF tag.

平行にリーダ・ライタ近づけ、読み取り可能な最大高さを測定

2. 各座標において、RF タグの角度を xy 平面内で 45 度 刻みで測定
3. 測定には 5 枚の RF タグを利用

各座標での読み取り可能高さの平均値を示したものを図 6 に示す。灰色の部分がりーダ・ライタの位置である。図 6 より、アンテナコイルが存在すると予想される領域 ($0 \leq x \leq 1, -3 \leq y \leq 1$) を中心に読み取り可能高さが同心円状に分布していることがわかる。また RF タグの中心がりーダ・ライタの真上に来るようにかざせば、 $z = 5 \text{ cm}$ 程度の高さでも十分読み取ることができることがわかる。

高さ 6cm 以上の読み取り可能領域は、図 5(c) では、中心磁界の大きさの -40 [dB] のところにほぼ一致している。これは、その地点の磁界は弱い、利用した RF タグの広い断面積で動作電源を確保しているためである。逆に、この広い断面積が負に働く場合がある。リーダ・ライタ近辺に、RF タグを横切る磁界が上向き、下向きの両方存在する場所がある。その場所では、両磁界が誘起する起電力がお互いに打ち消し合い、RF タグの動作に必要な電源を確保できない。この領域は「コミュニケーションホール」と呼ばれており [12]、本実験でも数カ所確認できた。

4. 出席調査プログラムの作成と評価

出席の調査法には、(1) 出席カードを利用する方法、(2) 点呼による方法、(3) 演習とリンクさせる方法、など各教員が工夫して行っている [13]。どの方法を用いても、出席調査およびその後のデータ整理に時間がかかるのが教員の大きな悩みである。筆者の 1 人は従来、(3) の方法をとっており、演習とその演習用紙の回収に講義時間の約 10 分程度時間を割いていた。さらに演習用紙を整理して出席情報の電子データを得るまでに、約 1 時間程度の時間を要していた。これらの時間は受講生の数が増加すれば、当然増加する。RFID を用いることにより、これら処理の労力軽減、そして時間短縮するのが目的である。

4.1 出席調査プログラムの仕様

出席調査プログラムの開発は、Microsoft Visual C++ .NET を用いた。リーダ・ライタの制御は、販売元のソフエル社が提供しているライブラリを用いてい

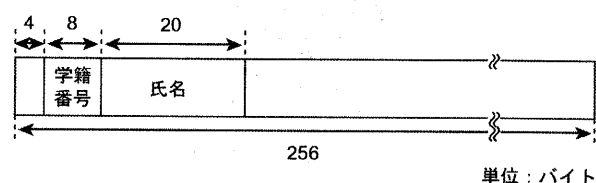


図 7: Information recorded in the memory of RF tag

る。学生に配布する RF タグには、図 7 に示すように、RF タグのメモリ領域に学生の学籍番号と名前を書き込んでいる。出席調査プログラムによりこの学籍番号を読み取る。

作成した出席調査プログラムのフローチャートを図 8 に示す。調査開始とともにスレッドを起動し、Inventory コマンドを連続して発信している。動作磁界領域に RF タグが存在すれば、RF タグの UID を取得する。UID の取得に成功すると、その UID がすでに出席登録されているものかどうかを確認し (UID check)、登録されていないならば RF タグに書き込まれている学籍番号を読み取る。読み取った学籍番号は画面に表示し学生本人に確認させるとともに、電子ファイルに保存する。同じ学生が複数回出席登録されることを防止するため、RF タグの UID もバッファに保存し、UID check の際に参照している。この出席調査プログラムにより、日付がファイル名で、出席した学生の学籍番号が列挙されている電子ファイルが得られる。電子ファイルの一例を図 9 に示す。

作成した出席調査プログラムの外観を図 10 に示す。図の例では、学籍番号 04TE000 の学生が出席登録をした場面を示している。

4.2 出席調査の試行と評価

出席調査の試行は筆者の一人が担当している講義の一つで行った。50 名弱の受講生全員に RF タグを配布し、RF タグの読み取りには、教員が持参した PC に接続されたリーダ・ライタを用いた。講義の最後に学生が演習用紙を提出する時に出席調査を行った。合計 11 回の講義で試行した。毎回の出席調査において、2, 3 回の読み取りエラーが発生し、スムーズに出席調査ができない場合が生じた。しかし、このエラーによる遅滞を含めても出席調査だけの時間は概ね 5 分程度で、演習時間を含めると従来の出席調査の時間とほとんど同じであった。読み取りエラーの問題を解決すれば、より遅滞なく調査を行うことが可能となる。

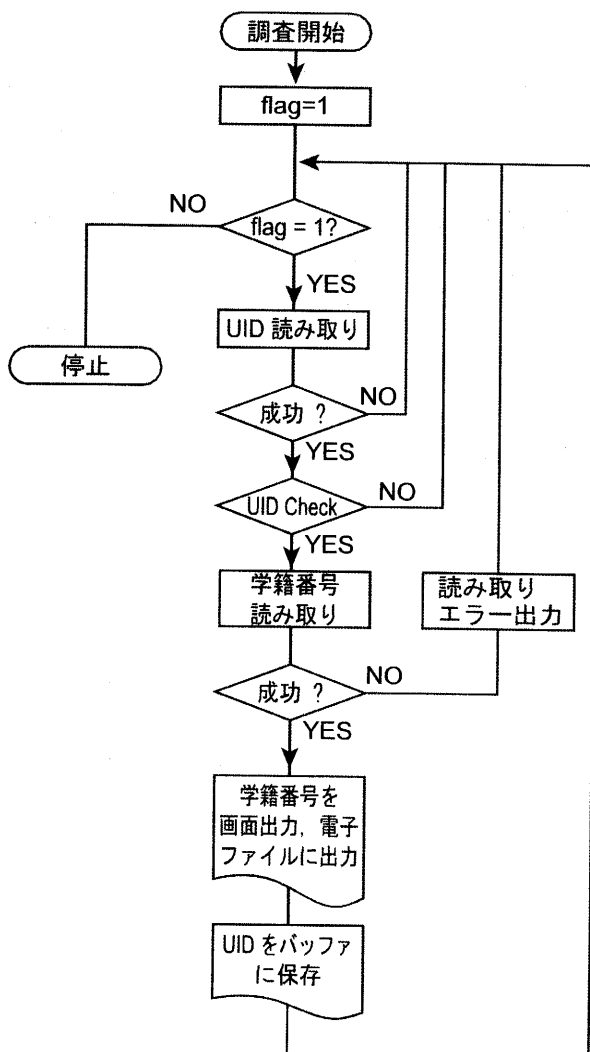


図 8: Flow chart of attendance check program

1	02TE017	○
2	02TE009	○
3	04TE051	○
4	04TE057	○
5	04TE068	○
6	04TE097	○
7	02TE018	○
8	04TE060	○
9	04TE103	○
10	04TE058	○
11	04TE037	○
12	04TE059	○

図 9: A data file obtained by attendance check



図 10: Screen shot of attendance check program

行	A1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	04TE000	○									
2	04TE004	○									
3	04TE011	○									
4	04TE012	○									
5	04TE018	○									
6	04TE020	○									
7	04TE021	○									
8	04TE022	○									
9	04TE028	○									
10	04TE036	○									
11	04TE037	○									
12	04TE040	○									

図 11: A data file after the attendance data were combined with registered student data

本プログラムで発生する読み取りエラーは、RF タグの UID の読み取りには成功したが、学籍番号の読み取りに失敗している時に発生する。今回の学生の試行状況と利用したリーダ・ライタの組み合わせでの出席調査では、RF タグの UID を読み取るのに平均約 30ms、学籍番号を読み取るのに約 80ms 程度かかっていることがわかった。従って今回の出席調査の方法だと 80ms 以上の読み取り時間を確保できない場合があることになる。逆にこの結果より、RF タグに保存された学籍番号ではなく UID を用いた個人識別による出席調査を行えば、読み取りエラーが生じず、迅速な調査ができることが予想される。この場合、RF タグには何も情報が格納されていないため、学生のプライバシー保護および RF タグの不正複製防止の観点からも有効である。その反面、事前に学生と UID の対応関係を把握しておく必要があるが、入学時もしくは年度初めに十分対応可能であろう。

調査後の出席データの処理用には別のプログラムを用いた。このプログラムでは、出席調査プログラムで得られた電子ファイルと受講登録データを読み込み、両方を照合して出席者の学籍番号には“○”、欠席者の学籍番号には“—”をつけることにより、出欠表を作成している。作成した出欠表の例を図 11 に示す。この作業はプログラムを起動し、両方のファイルを読み込むだけであるため、毎回 1 分以内でできる。この時間は受講学生が多くなってほとんど変わらないため、大幅なデータ処理時間の短縮が期待できる。

以上より、教員側から見た RFID を用いた方法の有効性が示された。しかし、最終の出席データを得るためには、出席調査プログラム、データ処理プログラムを別々に操作しなければならないこと、ユーザインター

フェースも決してわかりやすいものではない等、改良の余地がある。さらに今回は1つの講義だけだったが、修学指導にも利用するためには、複数の講義の情報も管理する必要がある。そのためにはデータベースとの連携が必須である。今後、出席調査プログラムとデータベースの親和性を高めること、そして多くの人が利用しやすいユーザインターフェースを開発することが課題となる。

4.3 学生の反応

出席調査は教員だけでなく学生に負担がかかるものであっては意味がない。今年度のRFIDによる出席調査を試行した講義の受講生に対し、今回の出席調査に関するアンケートを行った。アンケートでは、RFIDによる出席調査に関して、良い、悪い、どちらでもないの3段階で評価してもらい、その理由と感想を記述してもらった。

アンケートの結果、6割の学生がRFIDを用いた出席調査について肯定的にとらえてくれており、1割の学生が否定的であった。否定的であった学生とどちらでもない学生の理由は、講義の最後に出席を取ったために遅刻のチェックができていない、ということであった。出席調査の方法次第ではRFIDによる調査は学生にも受け入れられると考えられる。上記意見も含めた今回協力してくれた学生の意見を紹介する。

良かった点

- 初めての体験で新鮮だった。
- 出席調査のミスが少なく、自分の目で確認できた。
- 名前等を書かなくて良いので出席カード等に比べて楽だった
- 代返ができないのが良い。
- 現在の身の回りの技術にふれることができた。

悪かった点

- 出席調査を講義の最後にするので、遅刻の確認が不十分
- 本人確認ができていない
- 読み込みエラーがたびたび生じたので調査がスムーズにいかない場合があった。
- カードに学籍番号を書くのは個人情報の面で問題がある。

- 学生証についていけば、ほかの講義でも利用できる。

上記意見を見る限り、学生にとってもメリットが大きいと考えられる。学生からの意見の中で、(1) 自分の目で確認できる、(2) 個人情報の問題、(3) 遅刻確認の方法、(4) 本人確認、については今後のプログラム改良の際に大いに参考にしたい。

今回、RFIDを用いた出席調査の便利さだけでなく、その技術に目を向けてくれた学生も数名いた。また出席調査の様子を見てみると、RFタグを財布や定期入れに入れたまま試す学生も目についた。RFIDの導入による出席調査の効率化だけではなく、学生の興味を引く意味でも有意義であったと思う。

5. おわりに

本論文では、修学指導のためのネットワークデータベースとRFIDを連携させた学生修学情報管理システムを構築するための準備として、RFIDを用いた出席調査プログラムの開発を行った。まず利用する機器の基本電気特性を明らかにした。次に出席調査プログラムを開発し、実際の講義で試行しその評価を行った。その結果、出席調査に要する時間を短縮できる可能性があること、出席データの処理が大幅に軽減されることが明らかになった。さらに学生からも好評を得た。

しかし修学情報管理システム構築につなげるためには様々な課題が残った。(1) 複数の講義で利用を可能とするためのデータベースとの親和性の向上、(2) 個人識別にUIDの利用による処理の高速化及びプライバシー問題への対応、(3) 不正(遅刻および不正複製)への対応、(4) 任意の時間帯での出席調査、等に今後取り組む必要がある。

謝辞

RFIDによる出席調査の試行そしてアンケートに協力してくれた本学電気工学科の学生諸君に感謝する。

参考文献

- [1] JIS X 0500:2000 (AIMJ/JSA)
- [2] 藤沢 修, RFIDはどう使われるのか, MWE2005 Microwave Workshop Digest, pp. 467-472, 2005.
- [3] NTT データ・ユビキタス研究会, 改訂版 IC タグって何だ?, カットシステム, 2003.

- [4] 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.
- [5] 藤崎清孝, 喜田拓也, 南敏朗, RFID 技術を用いた図書館運用—附属図書館筑紫分館への RFID 技術の導入報告, 平成 15 年度電気関係学会九州支部連合大会, 01-2A-16, 2003.
- [6] ブロードバンド回線と無線 IC タグを利用した映像配信システムの提供について <http://www.ntt-west.co.jp/news/0404/040419.html>
- [7] 若原 俊彦, 無線タグを用いた出席管理の一検討, 信学技報, OIS2003-75, pp.31-35, 2004.
- [8] Toshihiko Wakahara, A Lecture Support System using RFID tags, Proc. ISMOT 2005, pp. 143-146, 2005.
- [9] 岸上 順一 監修, RFID 教科書, ASCII, 2005.
- [10] JIS X 6323-2:2001 (ISO/IEC 15693-2:2000) (JICSAP/JSA)
- [11] Klaus Finkenzeller, RFID ハンドブック (第 2 版), 日刊工業新聞社, 2004
- [12] 刈部 浩, 非接触 IC カード設計入門, 日刊工業新聞社, 2005.
- [13] 黒崎 義邦, 刈谷 丈治, 田中 稔, 携帯電話の QR コードリーダー機能を用いた出席システム, 信学技報 ET2005-70, pp. 75-80, 2005.
- [14] 大塚 修 監修, RFID 入門テキスト, 日本工業出版, 2005.