

## 高性能 RFID リーダ付き書架の性能評価と 新たな図書館サービスの提案

池田 大輔

九州大学 附属図書館

〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

Tel: 092-642-4422, Fax: 092-642-2330, E-Mail: daisuke@lib.kyushu-u.ac.jp

### 概要

本稿では RFID リーダを組み込んだインテリジェント書架の性能評価の結果を報告する。書架内の複数の本に貼付されたタグを高い精度で読み取ることが可能であり、何冊かの本を斜めや横置きにしても読み取ることが可能であることが分かった。読み取り範囲は書架内に限られているため、本を書架から抜いたことも検知できる。また、6mm 程度の厚さの雑誌の同じ位置にタグを貼った場合は極端に読み取り精度が落ちるが、4cm 程度位置をずらせば充分読み取り可能であった。効率化や省力化を目的として導入されてきた RFID システムだが、このような高精度なインテリジェント書架を前提にした場合に可能になる新しいサービスについても議論する。

### キーワード

電子図書館、RFID、IC タグ、無線タグ、インテリジェント書架

## Performance Evaluation Study of the RFID Intelligent Bookshelf and Its Applications to New Library Services

Daisuke IKEDA

Kyushu University Library

6-10-1, Hakozaki, Higashi, Fukuoka, 812-8581, JAPAN

Phone: +81-92-642-4422, Fax: +81-92-642-2330, E-Mail: daisuke@lib.kyushu-u.ac.jp

### Abstract

This paper presents performance evaluation results for an intelligent bookshelf equipped with RFID readers. The result shows that the bookshelf reads IDs from all tags attached to books within the bookshelf, even if some books are inclined or laid horizontally. The reader obtain information from *only* tags within the bookshelf, so we can see when a book is taken from it. When we attach tags to thin periodicals with around 6mm thick, the accuracy is quite low. However, the accuracy is increasing drastically, when we attach tags on two different positions of the periodicals alternately. Currently the RFID system is introduced into many libraries for the sake of laborsaving. The author believe, however, that such intelligent bookshelves enable library to provide new library services.

本論文は第29回デジタル図書館ワークショップの論文です。

## **Keywords**

Digital Library, RFID, IC tag, RF tag, Intelligent bookshelf

## 1 はじめに

電子図書館を実現する手段として、資料の電子化を中心としてネットワークによるサービスの提供や検索技術の充実などが行われてきた。一方で、図書館が保有する資料の大半は物理的なモノであり、その管理に大きな労力を割かねばならない。物理的なモノの管理の部分は効率化、省力化が可能であり、予算的・人力的な面からもこのような動きが望まれる。

図書館運用の効率化や省力化を実現する技術として RFID が注目されている。RFID (Radio Frequency Identification) とは近接無線通信を利用した認証技術であり、バーコードを置き換えるものとして特に流通・小売業界から期待されている。図書館においても、従来バーコードが本の ID 管理に用いられてきたため、バーコードを RFID タグに置きかえようという動きが出てくるのは自然なことである。RFID システムは数年前からアメリカ、シンガポール、韓国などで数多く導入されており、日本でも公共図書館を中心に導入され始めている [3]。

筆者の所属する九州大学附属図書館も、その分館の一つである筑紫分館に 2003 年 2 月よりチェックポイントシステムジャパン及び三菱マテリアルとの共同研究として RFID システムを導入している。筑紫分館における貸出処理の 9 割以上は RFID リーダを組み込んだ自動貸出機であり、蔵書点検もバーコードの場合と比較してスピードアップが可能である [5]。他館での RFID システムの報告 [2, 4] から RFID システムは図書館運営の省力化・効率化に大きく寄与していることが分かる。

RFID システムは図書館の省力化・効率化に寄与するとは言え、技術的な問題点もある。まず、タグとリーダ間の情報のやりとりは電磁波であるために、リーダとタグとの距離や遮蔽物などによってはタグの情報を読み落とすことがある。1 冊づつしか処理しない場合は読み落としを人が直ちに認識できる。しかし、RFID の長所は複数のタグを一度に処理できる点にあり、この場合どのタグを読んでどのタグを読んでいないかはすぐには分からず、最悪の場合は 1 冊づつ再点検する必要がある。特に、ハンディリーダによる蔵書点検と不正帯出防止ゲートで、この問題は顕在化しやすい。蔵書点検では、本に貼ったタグとリーダの電磁波が水平になるため、読み取り精度が落ちやすい。金属製の書架やブックエンドも読み取り精度を落とす要因となる。ゲートは車いすでも余裕を持って通れる幅を持つ必要があるため、リーダと本との距離が 40 ~ 50cm 程度になってしまい、読み取り精度が落ちやすい。さらに、利用者が本を持って通るため、電磁波とタグとが必ず垂直になるとは限らない。

これらの問題点のうち、本稿では蔵書点検の問題点を取り上げ、RFID リーダを書架に組み込むことのできるインテリジェント書架による解決方法について考察する。インテリジェント書架のアイデアとしては以前からあるが [8]、実現には後述する RFID の原理に深く根差した困難が存在する。筆者らの研究グループでは、セントラルエンジニアリング社が持つ高精度な複数タグの一括読み取り技術に着目し、これを書架に組み込んだインテリジェント書架のプロトタイプ [7] を実現した。

本稿では、まずインテリジェント書架に必要な要件について考察する。次に構築したインテリジェント書架の仕組みを紹介する。その後、その読み取り精度の性能評価を行い、複数一括読み取りの精度と読み取り範囲を明確にする。実験から、複数の本に貼付されたタグを高い精度で読み取ることが可能であることが分かった。本のうち何冊かは斜めや横置きにしても問題なく、この点は実際の利用を考えた場合に重要である。読み取り範囲は書架内に限られているため、本を書架から抜いたことも検知できる。

タグ同士が重なるくらいに近い位置にある場合は、原理的に読み取り精度が落ちることが知られている。つまり、薄い本の同じ位置にタグを貼ると読み取り精度が落ちやすい。インテリジェント書

架においても、6mm 程度の厚さの雑誌を用いて読み取り実験を行った場合、読み取り精度が極端に落ちることが分かった。しかし、タグの位置をある程度ずらせば読み取り可能であった。また、左右の読み取り範囲が書架の外まで広がってしまっている、タグが書架の金属部分に近い場合は読み取り精度が落ちる場合がある、などの問題点も明らかになった。

最後に、このような高精度なインテリジェント書架を前提にした場合に可能になる新しいサービスについても議論する。これらのサービスは、効率化や省力化と比較して、利用者に直接利便性を向上を感じてもらえるものである。例えば、上述したリアルタイム蔵書点検は利用者に直接サービスするわけではないが、この機能を利用して館内閲覧された本が戻ってきた時にポケベルやメールアドレスを登録した携帯電話に知らせるサービスが可能になる。

## 2 RFID の仕組み

本節では、RFID の仕組みを説明した後、現在図書館に導入されている一般的な RFID システムの概略を紹介する。

RFID システムは、バーコードに相当するタグ（RFID タグ、IC タグ、RF タグなどとも呼ばれる）と、バーコードスキャナに相当するリーダからなる。卓上のリーダはタグに情報を書き込むライタの機能も持つものも多い。タグは小型の IC チップとアンテナからなり、チップ内にユニークな ID 番号を持つ。アンテナはリーダ/ライタから電磁誘導などによりエネルギーを受けるためと通信のために用いられる。タグが十分なエネルギーを受けると動作を開始し、ID 番号をリーダに送る。

図書館における典型的な RFID システムの利用方法は次のようになる。利用シーンに応じてリーダが様々な形に変形して用いられる。

- ラベルプリンタでタグを作り、ライターで本の情報をタグに書きこみ、これを本に貼付する。この場合のライターは卓上型であることが多い。
- 利用者は借りたい本をカウンターに持ってくると、カウンターに埋めこまれたリーダがタグに書かれた本の ID 番号を読む。同時に、タグのチップ内の特定ビットを使って、貸出モードに切り替える。その後の処理は図書館システム側で行われるため、バーコードの時と同様である。
- 利用者自身で貸出や返却処理を行う自動貸出機や返却機もある。こちらもリーダが埋めこまれていて、利用者が行うことは本のタグがきちんと読まれたかどうかを、表示された本のタイトルや著者情報などで確認するだけである。
- 蔵書点検には小型のハンディリーダが用いられる。これと、本のリストを格納したノートパソコンや PDA をつなぎ、リーダが読んだ ID と照合していく。バーコードと異なり本を棚から引きだす必要がないため大幅な効率化が可能である [5]。
- 不正帯出防止ゲートも巨大なリーダであり、そのゲートを通過する本の特定ビットの情報を読み、貸出モードになっていない本があれば警告音などを発する。磁気タグと異なり、誤検出は原理的にないが、読み落す可能性は存在する。

バーコードの場合は、印字面をスキャナにあてる必要があるが、RFID はリーダの近くにタグがあればよく、タグは見えている必要はない。さらに、複数のタグを一括して読み取り可能なため、複数の本を同時に処理できる。一方で、金属でタグが覆われると情報を全く読むことができない、といった原理的な欠点がある。また、全く読めないわけではないが、リーダとタグの距離が離れたり、電磁波の方向に対しタグ（より正確にはアンテナ）の方向が水平になったり、複数のタグが重なるくらいに近い位置になると極端に読み取り精度が落ちてしまう。最初の二つは、不正帯出防止ゲートにおいて実際に頻発する。最後の一つは、論文誌など非常に薄い資料の同じ位置にタグを貼ると発生する。

### 3 インテリジェント書架

本節では、最初にインテリジェント書架に必要な要件について考察する。その後、セントラルエンジニアリング社の高精度のタグ一括読み取り技術を用いたインテリジェント書架 [7] を紹介する。

#### 3.1 インテリジェント書架への要求要件

インテリジェント書架に求められる最も基本的な要件は、書架内にある本に貼付されたタグの情報を過不足なく読むことである。書架内の本を読み落とすことは当然問題だが、横や裏の書架に配架されている本のタグを読み取ることもしてはならない。

一つの書架は通常数段の棚から構成される。より詳細な情報が提供できるようにするためには、書架 1 本を単位とするのではなく、棚ごとに独立にタグの情報が取得できることが望ましい。標準的な書架の横幅は 90cm 程度であるので、この空間内に配架されている本を全て読む必要があり、数十個のタグを同時に読み取る能力が必要である。また、書架単位の場合と同様に、一段上や下の棚の本や利用者が手に持っている本のタグを読みとってはならない。

さらに現実的な配架の状況を考えると、以下のような要件も満たす必要がある。まず、図書館の書架にはブックエンドとの間にできた空間内で斜めになった本も多くあるし、さらに広く空間が空いている場合は完全に横になった本もある。本の大きさによっては意図的に横にして置いてあるものもある。つまり、タグの方向はバラバラになっているが、これらを方向に関係なく同時に読める必要がある。

また、図書は通常ある程度の厚さがあるため、図書に貼付したタグ同士の距離は充分にあると考えてよい。しかし、図書館には薄い本もたくさんあるし、製本する前の雑誌は非常に薄いものが多い。これらの資料にタグを貼付する場合、もし同じ位置にタグを貼り続けると、配架した時にタグ同士の距離が非常に近くなる。このように近接した複数のタグも読める必要がある。

これらが実現できれば、本が書架から抜かれたことをリアルタイムで検知できるし、誤配架があっても棚の単位であれば検出できる。さらに、現在の技術ではまだ不可能であると考えられるが、タグ同士のより詳細な位置の把握が可能になれば、本の順番まで含めての配置をリアルタイムに把握できるようになる。



図 1: RFID リーダ付き書架。サイズは 900(W) × 312(H) × 290(D) である。固定された 4 つのブックエンドが RFID リーダである

### 3.2 RFID 書棚型アンテナを用いたインテリジェント書架

前節で述べたように、インテリジェント書架には同時に数十個もの方向の違うタグを読み取る精度が要求される。これを満すものとして、筆者らの研究グループではセントラルエンジニアリング社の RFID 全方位一括リーダー MR04A [1] に注目した。これはトンネル型のリーダーで、ベルトコンベア等で運ばれてくる品物のタグを一度に読み取るものである。トンネル内には複数のリーダーが組み込まれており、これらから得られる情報をコントロールユニットが処理してタグの読み取りを行う。タグには特に細工はなく 13.56MHz の一般的なタグを扱える。

MR04A はパラバラの方向を向いている数十個のタグを同時に読み取ることが可能であり、書架への応用も可能であると考えられた。書架の場合はトンネル型にすることは困難であるが、同社によると、コントロールユニットによる信号処理が重要であり、リーダーを組み込む形状はトンネル型である必要はない。

図 1 がセントラルエンジニアリング社の RFID リーダ付き書架である。サイズは横 90cm、縦 31.2cm、奥行 29cm である。固定された 4 つのブックエンドが RFID リーダであり、幅はそれぞれ 2cm である。この書架に、コントロールユニットを接続して用いる。

MR04A はベルトコンベアと同時に用いることから、流通業界における利用を想定しているものと考えられる。しかし、この業界においてはアイテム単位でのタグgingは一般的ではないことと、流通の途中においてアイテムは整頓された状態で扱われるためこれだけの高性能な一括読み取り精度は要求されない。逆に、図書館においては上述のように様々な方向を向いたタグを読む必要があり、この技術を用いる場所としては、図書館業界のほうがより適当であるとも言える。



図 2: タグ読み取りプログラムの画面表示例

## 4 性能評価実験

### 4.1 実験方法

読み取り精度を調べるために用いたタグは、フィリップス製のチップを持ち 13.56MHz (ISO 15693 準拠) で動作する。ラミネート部分も含んだ幅は 5.8cm だが、アンテナ部のみの幅は 4.6cm である。

計測するソフトウェアはセントラルエンジニアリング社製で、読み取ったタグの数が画面中央付近の“蔵書数”の欄に、各タグの ID が画面右側の“UID”の欄に表示される(図 2 参照)。蔵書数の数字があらかじめ設定した設定数と等しければ一番上の“OK”が表示され、多かたり少なかったりすると“LESS”や“OVER”が表示される。

タグの読み取り方に“自動読取”と“試験読取”の二つの読み取りモードがある。自動読取モードでは、10 秒ごとに自動的にタグを読み、読み取った ID のリストをテキストファイルとして書き出す。ファイル名は読み取った時の日付と時間から自動的に生成され、例えば 2005 年 11 月 2 日の 11 時 22 分 33 秒の場合は、“20051102112233.txt”となる。試験読取モードは連続的に同様の操作を行う。今回は自動読取モードで作業を行った。

### 4.2 実験結果：複数一括読み取り

まず、通常の書架のように複数の本を配架した状態でのタグの読み取り精度について調べる。用いる本は 30 冊である。タグを貼る位置は、本の背を左にして置き、表紙または裏表紙をめくった右側のページで、背の部分に沿うように中央に配置した(図 3 参照)。この位置は筑紫分館に置けるタグの位置と基本的に同じである。

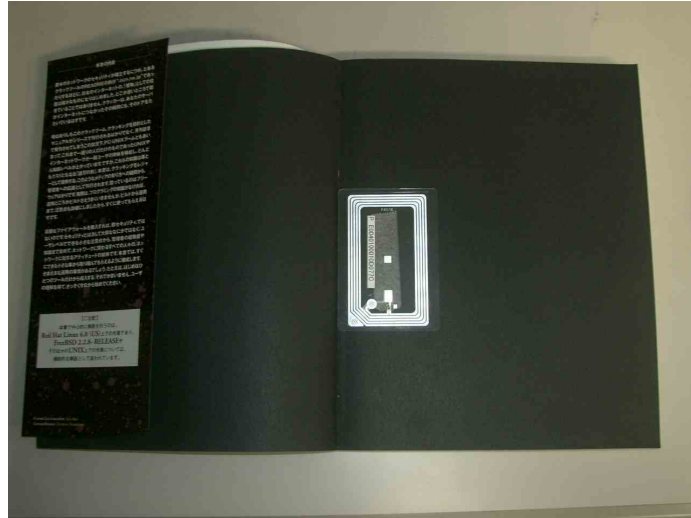


図 3: タグを貼付した場所。本を立てたときに右側にくるように貼付した



図 4: 複数タグの一括読み取り実験。多少傾いた本もあるが、基本的に自然に直立した状態で配架している





図 5: 複数タグの一括読み取り実験。2冊を横にした状態で配架、中央の2冊を極端に倒した状態で配架、さらに1冊を手前に置いている

図 4 が実験に使用した配架状況である。あまり窮屈にならないよう配架し、通常通り直立した状態で配架している。ただし、多少の空白があるため、自然に傾いたものもあるが、そのままの状態を計測した。計測は 10 秒毎に計 100 回行い、30 個全てのタグを 100 回とも問題なく読み取った。

次に、2冊の本を取りだし、これらを他の本の上に横にした状態で配架し、隙間のできた中央部分の2冊を極端に倒した状態で配架した（図 5 参照）。さらに1冊を書架の手前に置いている。この状態で、10 秒毎に計 100 回計測し、手前に置いた一つを除いた 29 個を 100 回とも問題なく読み取った。

これら 2 つの実験から、通常の配架で問題なく一括読み取りが可能であること、また、書架から出された本のタグを読み取らないことが確認できた。

#### 4.3 実験結果：読み取り範囲と薄い雑誌

本節では、まずインテリジェント書架の読み取り範囲について調べる。書架の床と奥の部分、左右の仕切りは金属で出来ており、これが書架範囲外のタグを読ませないシールドの役目を果たしている。しかし、金属であるため、その近くにあるタグは読めなくなる。そこで、どこまで近づけると読めなくなるのかを調べる。

本稿では、奥側と床側の金属に近づけたタグを貼り、様々な条件で実験を行った。つまり、タグの位置が一番奥の下に固定した。予備実験から、タグが金属に近い場合でも、リーダにも近い場合にはよい精度でタグを読み取れることが分かった。実際、両方をリーダに囲まれた範囲では、リーダからの距離を遠くしても 100%（10 秒ごとに 100 回）タグの情報を読み取ることができた。一方、両端にはリーダがないため、タグの位置がリーダから離れるに従い、読み取り精度も落ちていった。

精度とリーダとの距離の関係を表 1 に示す。リーダから離れるに従い極端に読み取り精度が低下することが分かる。しかし、タグの位置を奥の金属から 2cm 離す、つまり、本の中央方向に 2cm 移動すると、78mm 程度リーダから離れていても 98%の精度で読める。同様に、タグの位置が奥の金属から離れるに従いリーダから離れても問題なく読めることも分かった。

表 1: 薄い雑誌を用いた近接タグ同士の読み取り実験結果 (10 秒ごとに 100 回計測)

距離 (mm)	読取個数 (個)
0	100
6	99
12	100
18	77
24	35
30	7
36	10

表 2: 薄い雑誌を用いた近接タグ同士の読み取り実験結果 (10 秒ごとに 100 回計測)

実験名	タグ間距離	タグ位置	読取個数	精度
実験 (1)	12mm	同じ位置	600 個	100%
実験 (2)	6mm	同じ位置	100 個	16.7%
実験 (3)	6mm	2cm 違い	437 個	72.8%
実験 (4)	6mm	4cm 違い	599 個	99.8%

次に、薄い雑誌を用いた実験を行う。この場合、貼付したタグ同士が非常に近接してしまい、読み取りにくいことが知られている。そこで、どの程度の厚さがあれば読むのかを明らかにすることが目的である。

実験に使った雑誌は「シティ情報ふくおか」という情報誌で、平均の厚さは 6mm である。実験に用いた 11 冊のほとんどはほぼ 6mm であり、時折 5mm や 7mm 程度のものがあった。これらのうち 6 冊のみに以下のようにタグを貼る。(1) 同じ位置にタグを貼った雑誌の間にタグを貼らない 5 冊を挟んで並べた場合、(2) 同じ位置にタグを貼った 6 冊を並べた場合、(3) 交互に 2cm づつ位置をずらしてタグを貼った 6 冊を並べた場合、(4) 交互に 4cm づつ位置をずらしてタグを貼った 6 冊を並べた場合、の 4 つの場合について読み取り精度を調べた。どの場合においてもタグの個数は 6 個であり、これを 10 秒ごとに 100 回計測した。

結果を表 2 に示す。まず、タグの間隔が約 12mm の場合は完全にタグを読んでいることが分かる。一方、6mm 間隔にした場合、1 回の計測で平均 1 個のタグしか読まずに、実用的とは言えない。同じ 6mm 間隔であっても 2cm 程度位置をずらせば、読み取り精度は格段に向上する。しかし、読み落としが 1/4 以上あるため、やはり実用的とは言えない。4cm 程度ずらせば問題なく読めると言ってよいであろう。そのため、現状における厚さに対する精度では、薄い雑誌の場合は貼る位置をかなりずらす必要がある。

## 5 新たなサービス

インテリジェント書架を構築した当初の目的はリアルタイムの蔵書点検であったが、これだけの精度が保証できれば様々なユーザーサービスに利用することが考えられる。本節ではこのようなサービスについて考察する。

リアルタイムに蔵書をチェックできることから、OPAC などの検索サービスにより粒度の細かい位置情報を提供することが考えられる。例えば、「 番の棚の上から 2 番目にある」という具合であ

る。さらに、筆者らの研究グループで行っている仮想書架のインターフェイス [6] と共に用いれば、利用者は配架されたイメージを持って求める資料を探すことができるので、容易に求める資料を探すことができる。

位置情報の提供だけでなく、配架情報を継続的に取れば時間的な情報も有用となる。例えば、ある本を検索した時に、「その本は貸し出されていないが、5分前まで書架にあり、現在はない」などという情報が提供できれば、求める資料が館内閲覧されているであろうと推測できる。さらに、このように館内閲覧されている資料が書架に戻ってきたら利用者の携帯電話に知らせるサービスも考えられる。

また、位置情報や時間情報はユーザにとって便利なだけでなく、図書館側にとっても有用である。書架内の棚の単位で誤配架が検出できるし、館内閲覧されたまま書架に戻ってこない資料は、盗まれたか貼付したタグの故障であろうと推測することができる。特に、タグはバーコードより壊れやすいため、タグの故障を統計的に検出できる利点は大きい。

全部の書架に用いることはコストがかかるだろうが、少数のインテリジェント書架を用いるだけでも十分に有用である。具体的には、館内の特別な場所に特定のテーマや関連性で図書を展示する時の棚に使えば、特定の分類に従った並べ方をしなくても、どの棚の上から何番目にあるかが分かる。他にも、新刊本のコーナーや返却された本を載せておくラックとして使うことが考えられる。返却用のラックは、返却処理もこの棚ですることが可能であり、一層の省力化にも寄与する。

## 6 まとめ

本稿では、インテリジェント書架に必要な要件について考察した後、インテリジェント書架のプロトタイプを紹介し、その性能評価を行った。プロトタイプということで、リーダの厚さや色など実際の書架としてはまだ改良の余地がある。また、両端における読み取り精度の低さや薄い雑誌に貼付したタグの読み取り精度の低さなども改善すべき点である。さらに、現在ベースにしている技術では、インテリジェント書架内のリーダの位置は固定であり、実用上大きな欠点である。しかし、そのタグの方向に依らない読み取り精度は、実用化が間近かであることを期待させるものである。

本稿では、1段分の書架でしか性能評価を行っていない。今後は、数段を1架として、複数の書架による評価を行い、隣接する書架のタグ情報を読まないことを確認する必要がある。

RFID 関連の業界は、現在非常に活況であり、新たな技術も次々に開発されている。例えば、今年の自動認識総合展では、タグ同士が位置が近い問題に対して、タグ間の距離が 4mm 程度であっても読める RFID リーダや、重ねても読める積層タグなどが出展されていた。このように技術の進展は目覚ましいものがあるので、今後図書館側は実現したいサービスを明確に示していく必要があるだろう。

## 謝辞

インテリジェント書架に関する様々な情報提供をしてくださったセントラルエンジニアリング社の高野様に深く感謝します。なお、本研究の一部は科研費（基盤研究 (B)(2)16300078）と九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト（Dタイプ「ユビキタス社会における電子図書館のソフト面高度化に関する研究」）の補助を受けて実施されました。

## 参考文献

- [1] セントラルエンジニアリング株式会社. RFID 全方位一括リーダー MR04A. <http://www.central-eng.co.jp/products/rfid.htm>.
- [2] 白根. 町立図書館をつくった！青弓社, 2005.
- [3] 図書館流通センター. 図書館 IC システム ご導入館一覧. [http://www.trc.co.jp/ic/list\\_ic.html](http://www.trc.co.jp/ic/list_ic.html).
- [4] 高橋. 非接触型無線 IC タグ (RFID) の導入効果とこれからの課題について. 現代の図書館, 41(1):39-44, 2004.
- [5] 池田, 宮岡, 南. 図書館における RFID システム～九州大学附属図書館の取り組み～, 第 2 編第 5 章. 電子ジャーナル, 2005. (印刷中).
- [6] 宮川, 山口, 大森, 池田. Web 上における仮想書架の試作と評価. デジタル図書館, No. 27&28, pp. 27-39, 8 2005.
- [7] 日経 BP. 書棚内の蔵書をリアルタイムに調べられる新型リーダー発売、九大図書館が試験導入. 日経 RFID テクノロジ Express, 2005. [http://itpro.nikkeibp.co.jp/rfid\\_express/members/RFIDNEWS/20050523/1613%24/](http://itpro.nikkeibp.co.jp/rfid_express/members/RFIDNEWS/20050523/1613%24/) (全文閲覧には要会員登録).
- [8] 山崎. RFID タグの IT 図書館への応用. 情報の科学と技術, 52(12):609-614, 2002.