

論文 RFID 技術を活用した PCa 部材の出荷・受入管理システムの開発とシミュレーション実験

松本 慎也*1・大久保 孝昭*2・宮丸 史江*3・中島 史郎*4

要旨: 本研究は、建築生産を合理化・高度化するために RFID 技術(無線 IC タグ)を活用することを検討するものである。建築生産の現場においては、システム構築において現場で用いるツール機器の選定が重要となる。本研究では、Personal Data Assistance (PDA) を用いた、PCa コンクリート部材の出荷・受入検査を対象としたシステムを構築し、その検討を行った。この PDA システムを用いたシミュレーション実験を行った結果を報告するとともに、今後のシステム開発に有用となる建築生産実務者の意見を纏めた。

キーワード: PCa 部材, RFID, IC タグ, 出荷検査, 受入検査, トレーサビリティ

1. はじめに

近年、RFID(Radio Frequency IDentification)技術の開発が進み、2004年6月には「RFID技術(無線ICタグ)の国際標準方式(ISO/IEC18000シリーズ)」が成立した¹⁾。これを受け、各種生産・流通分野においてはその活用手法の検討が活性化してきている²⁾。筆者らは建築材料・部材の出荷・受入検査工程での利用が、RFID技術の有効活用方策の一つと考えており、これまでにプレキャストコンクリート部材(以下PCa部材と記す)を対象としたRFID技術の活用に関する研究に取り組んできた³⁾。これまでの研究では、ICタグリーダ・ライタ専用機を使用デバイスとした管理システムを検討してきたが、ここでは実務者からの幅広いニーズを考慮できるように、操作機能が豊富で汎用性の高いPDAを用いたシステムの検討を行った。

本研究では、PDAを用いたPCaコンクリート部材の出荷・受入検査を対象としたシステム(13.56MHz帯ICタグ)を構築し、シミュレーション実験を実施した。本報では、建築生産および維持管理を合理化・高度化するためのRFID技術を活用することのフィージビリティを検討し、シミュレーション実験で得られた結果について報告する。

2. PCa 部材における工程管理

現状のPCaコンクリート部材の管理がどのように行われているかを把握するために、PCa工場においてヒアリング調査を行った。図-1にPCaコンクリート部材の製造から施工までの各工程における代表的な検査項目を整理した。図に示すように、PCaコンクリート部材の製造から施工までの検査項目は大きく、①製造前準備、②製

品製造、③製品の出荷、④現場受入、および⑤施工の5つに分類することができる。本研究では検査項目①から⑤に示す、製造から施工までのプロセスにおける無線ICタグの活用を検討しており、構築したシステムは、まだ“もの”ができあがる前の設計図面の段階では、表-1に示す「伝票タグカード」を用いて管理を行い、PCa部材が製造されてICタグが張り付けられる状態の“もの”ができた段階で、伝票タグカードに張ってあるICタグをPCa部材に貼りかえる手順を取る仕組みを提案している。

表-1 伝票タグカード

伝票タグカード																	
<基本情報> ①製品コード(ユニークID) : 600500001B57C3F ②製造メーカー名 : A建設 ③メーカー担当者 : 佐藤 ④メーカー連絡先 : 0334579248 ⑤製造工場 : SG工場 ⑥工場責任者 : 山田 ⑦工場連絡先 : 0323345873																	
<進行チェック表> <table border="1"> <thead> <tr> <th>製造</th> <th>検査1</th> <th>検査2</th> <th>検査3</th> <th>最終検査</th> <th>出荷</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						製造	検査1	検査2	検査3	最終検査	出荷						
製造	検査1	検査2	検査3	最終検査	出荷												
備考				タグ貼り付け場所													
納入予定日: 2006/04/01 出荷予定日: 2006/03/20																	

PCaコンクリート部材の製造工程は数多く複雑であり、工場でのヒアリング調査の結果、PCa工場の製造・製品管理者からは、下記の意見を得た。

- 無線ICタグを導入することで、例えば資材受入時では、リーダ/ライタをタグにかざすだけで鉄筋数や支給品の数などの情報をすぐに確認

*1 広島大学大学院 工学研究科社会環境システム専攻助教 博士(工学) (正会員)

*2 広島大学大学院 工学研究科社会環境システム専攻教授 工博 (正会員)

*3 広島大学大学院 工学研究科社会環境システム専攻 大学院生 (非会員)

*4 独立行政法人 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員 博士(農学) (非会員)



図-1 PCa 部材の検査項目

できれば効果が高い

2. 材料加工・コンクリート打設時では、各工程段階の検査記録をタグに残していくことで、製造状況を把握することも可能となる
3. 検査・保管・出荷する際にも、部材に直接情報を記すのは手間もかかるし、読みづらいなどの問題が生じてくるが、これをタグに代用すればスムーズに作業が行える

また、PCa 工場の意見では、工場のストックヤードは基盤目のように分割されており、それぞれに番地が付加されているので、こういったストック管理もタグで管理できるようになれば、製品の出荷作業はさらに効率的になるのではという意見があった。この場合、ストックヤードは屋外なため、屋外環境下で使用できるタグが必要である。

3. シミュレーション実験

3.1 IC タグで管理する情報、サーバで管理する情報の整理

シミュレーション実験を実施するために、IC タグへ記録して管理する情報とサーバに記録して管理する情報を整理した。本研究では、PCa 部材の製造から施工までの各検査項目において、PCa 工場側とゼネコン側のそれぞれの工程において管理すべき情報とその更新手順を実務技術者からの意見を基に検討し、図-2 に示す方式を提案した。PCa 部材に関するすべての情報は、PCa 工場のパソコン（以下、PC）とゼネコンの PC に分けて保管されている。IC タグは基本的に、各 PC にアクセスして保管された情報を呼び込むことや PC に必要情報を書き込むための ID として用いることとした。ただし、例えば製品コード、メーカー名および出荷担当者氏名など、工場や施工現場で PC とアクセスせずに容易に収集した情報は、IC タグに直接書き込む方式とした。図-2 (a) は PCa 工場における情報管理概要（製造・製品検査・出荷時）を示すもので、PCa 部材に関する情報のうち、「IC タグに記載する情報」は図中左側に示している。施工現場において受入検査・施工段階における PCa 部材に関する情報を示した図-2 (b) も同様である。以下に、図-2 に示した方式で、IC タグを介して PCa 部材に関する情報

が工場から施工現場（ゼネコン）に伝達される流れ（概要）を示す。なお、PCa 工場とゼネコンの PC には、基本情報、製品情報、工程情報の3つのフィールドに分かれて PCa 部材の各種情報が納められている。

1. **製造**：基本情報と工程情報（納入予定日、出荷予定日）が記載された IC タグ（伝票タグ）の情報をもとに PCa 部材を製造する。
2. **製品検査**：各製品検査の検査記録は IC タグの ID をもとに工場 PC の所定のフィールドに自動転送する。最終の製品検査では検査結果を伝票タグカードに入力した後、IC タグを伝票タグカードから取り外し、貼付タグとして製品自体に貼り替える。この IC タグには工場における検査日、検査者および検査結果を追記する。
3. **出荷検査**：出荷時には、IC タグを介して PC の情報を確認した上で、出荷責任者が出荷製品の検査を行い、貼付タグに検査日、検査者および検査結果を追記し、製品に IC タグを貼り付けて出荷する。
4. **受入検査**：施工現場では、IC タグに記載された基本情報および IC タグの ID よりアクセスした

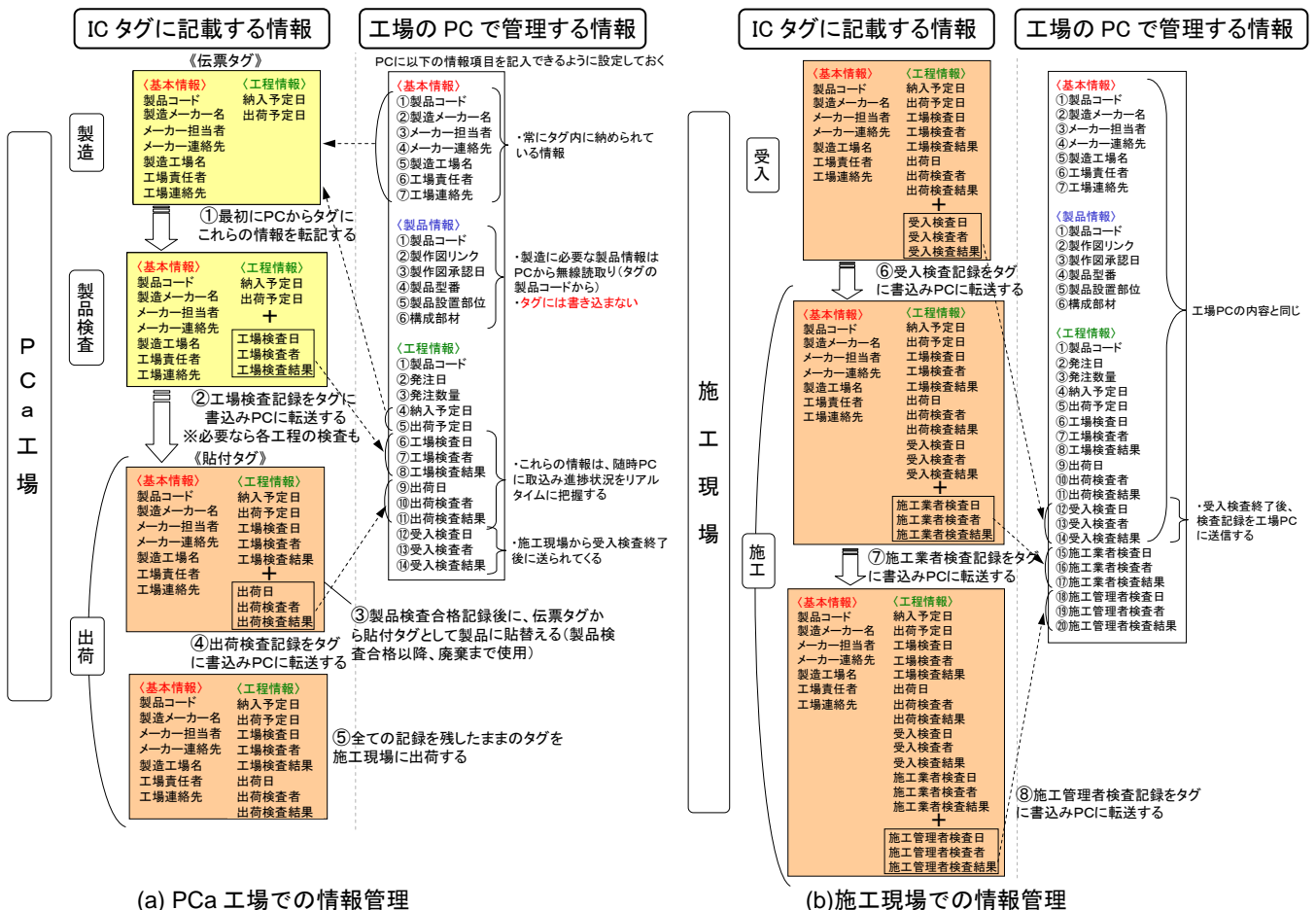


図-2 各工程で扱われる情報とその流れ

PC の情報により、PCa 部材の情報を確認する。受入検査結果をタグに書き込んだ後、IC タグをもとに得られた場内搬送リストに基づき場内で搬送する。

5. **場内搬送・施工**：搬送された製品は専門工事業者に渡り、施工が完了すると、施工管理者により最終検査確認が行われ、検査記録が書き込まれる。
6. **竣工・引渡し**：建築主に引き渡す際は、タグに基本情報及び最終検査履歴のみを残して（残りは消去）引き渡す。なお、PC 内の情報に関しては、必要データのみを引き渡すか、もしくは共有サーバ等へ保存する。

この情報伝達における IC タグを活用するメリットとして下記を想定した。

- ① **作業の進捗状況**
資材の受入から各作業工程の進捗状況を確認する。
- ② **作業履歴の管理**
作業工程の遅延や、不具合が発生した時の原因を特定することができる。また、行為者・日時等の情報を残すことで、責任所在の明確化・透明化を図ることができる。
- ③ **物品・伝票の管理**
物品や伝票の管理を電子化することで、現場のタグとパソコンとを連携させてリアルタイムで物品管理を行うことができる。
- ④ **検査履歴管理**
検査工程ごとに履歴を記録することで、ISO 等の情報管理の現地化を推進したり、検査履歴の把握を容易に行うことができる。
- ⑤ **ライフサイクル情報の管理**
ライフサイクル情報を一元化して管理することで、ユーザーに対するサービスの向上や、さらには、マーケティングや販売ツールとして活用することができる。

3.2 PCa 部材における工程管理システムの構築

3.2.1 PDA システムの開発環境

前節までに示した情報の流れを管理するシステムとして、図-3 に示すような Windows 環境によるシステムを構築した。このとき、PDA や IC タグ R/W、ルータ等の使用機器は、手軽に入手できる機器を重視して選定し、システム構築を行った。PDA におけるユーザーサイドのアプリケーションは、C#言語を用いて開発を行い、データベースのプログラミングに関しては、機能の充実化の

要求に伴い逐次プログラム更新が容易に行えるようにするために、サーバサイドスクリプト言語である PHP 言語を用いることで開発を行い、サーバ側のプログラム更新のみで利用機能の更新を可能にしたシステムを採用した。

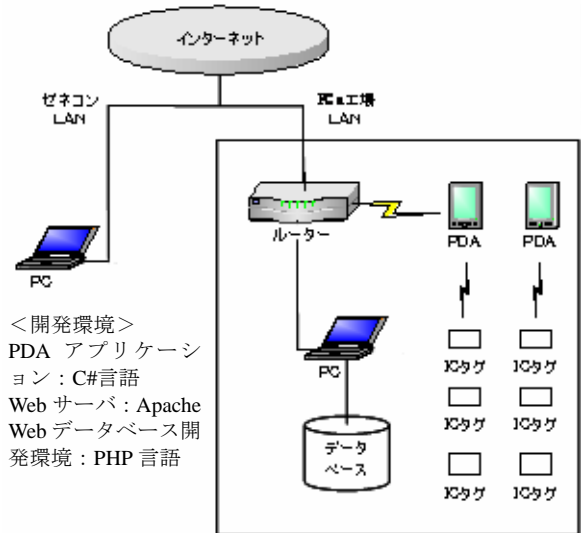


図-3 システム概要図

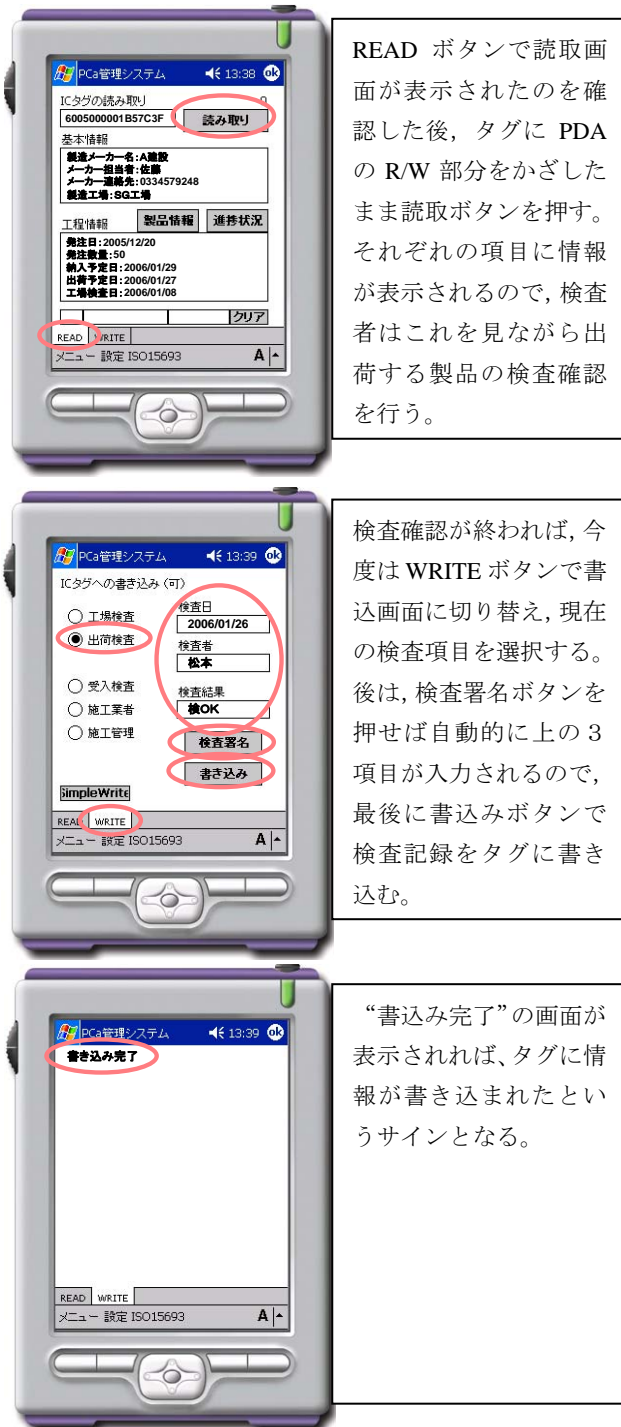
本システムでは、図-3 に示すように、ユーザー端末である PDA から IC タグに情報を書き込むと、IC タグに情報が書き込まれると同時に、あらかじめ作業エリアに設置されている無線ルータを経由してサーバに自動的にデータが送信され、サーバに情報が書き込まれ蓄積される仕組みとなっている。このとき、PCa 工場への部材の発注者であるゼネコン側はインターネットを介してサーバにアクセスすることで、PCa 工場側の情報（検査の進捗情報）をリアルタイムに閲覧できるシステムとなっている。写真-1 に実際に使用した PDA 版リーダー/ライター（以下、R/W）と IC タグ（カードタイプ：寸法 85mm × 55mm）を示す。



写真-1 PDA 版 R/W と IC タグ

3.2.2 PDA の操作画面

システムの使い勝手の良さは、PDA 端末機の操作入力の容易さが非常に重要な要因となる。本研究では、画面の見やすさや情報入力の操作性を重視して、IC タグへの情報の読み書き用の機器としては、大きなカラー画面でタッチパネルによる入力操作が可能である PDA を採用し、システム開発を行った。本システムでは、特に現場での作業への操作入力の容易性に重点を置き、プログラム開発を行った。図-4 にその操作画面の例として、PCa 工場における出荷時の製品検査の操作方法を示す。



READ ボタンで読取画面が表示されたのを確認した後、タグに PDA の R/W 部分をかざしたまま読取ボタンを押す。それぞれの項目に情報が表示されるので、検査者はこれを見ながら出荷する製品の検査確認を行う。

検査確認が終われば、今度は WRITE ボタンで書込画面に切り替え、現在の検査項目を選択する。後は、検査署名ボタンを押せば自動的に上の 3 項目が入力されるので、最後に書き込みボタンで検査記録をタグに書き込む。

“書き込み完了”の画面が表示されれば、タグに情報が書き込まれたというサインとなる。

図-4 PDA(IC タグ R/W)の操作画面

3.2.3 実験

PCa コンクリート部材の出荷・受入検査を対象に構築した本システムの情報の流れを詳細に検討するために、シミュレーション実験を、実務技術者を交えて実施した。このとき、情報の受渡しを行う際に、実験を検討するメンバーを、PCa 工場側の技術者と施工業者側の技術者の 2 つのグループに分け、2 者間の情報伝達実験を行った。写真-2 に実験における情報の流れおよび実験風景を示す。

製造開始時、

IC タグはゼネコンからの受注伝票に基づいて作成された伝票タグカードに貼り付けられ、各製造工程へと送られる。全ての工程が終了し、施工現場へ製品を出荷する際には、IC タグを伝票タグカードから剥し直接製品に貼り付け、出荷する方式を採用している。実験の流れを以下に示す。

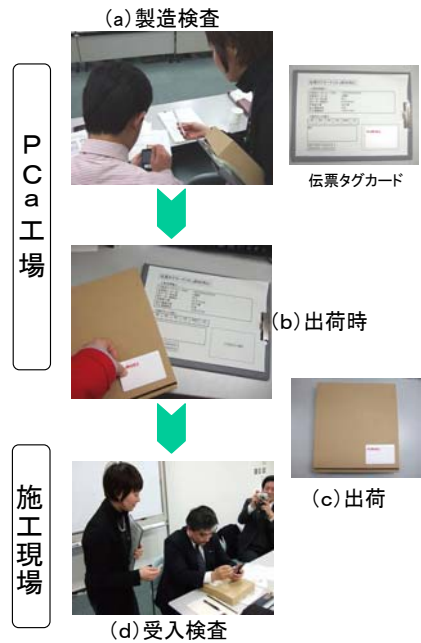


写真-2 実験の流れと様子

【実験の流れ】

1. 伝票タグカードに、既に基本情報、納入予定日、出荷予定日を書き込んだタグが貼り付けられ、製造工程に送られる。(写真-2 (a) 参照)
2. 製品検査では、伝票タグの情報を読み取り、伝票タグカードの製品であるかを確認した後、検査記録を IC タグに書き込み、次の検査へ伝票を送る。(写真-2 (b) 参照)
3. 出荷時は、伝票タグカードから IC タグをはずし、出来上がった製品にそのまま貼り付ける。その後、出荷検査記録を書き込み施工現場へ出荷する。(写真-2 (c), (d) 参照)
4. 施工現場サイドでは、製品を受け取ると、PDA 端末を用いて IC タグを読み取り、そのコードをキーにすることで、サーバにアクセスし、発注伝票で製品確認を行う。その後、受入検査記録を IC タグに書き込む。(写真-2 (e) 参照)

表-2 ヒアリング結果

	ICタグの活用効果を高めるために実施した主な工夫	意見(*課題、*感想)	改善案
実験全体	情報内容 ICタグに記録する情報とPCに記録する情報を区分した(図-2参照)	*タグ情報と配送品の整合をし忘れた時の対処 *データの処理・管理方法の検討 *エンドユーザーが期待する情報の検討 *トレーサビリティを確保していた *多くの情報をDBから読める可能性が見えた	*無線LANで伝票と整合された情報を入手する *業界サーバーの設置 *ユーザーへのアンケート調査が必要である
	システム(流れ) ICタグリーダー/ライターとサーバーの連携を効率化した(図-3参照)	*一括読取・書込みに対応できるシステムの検討 *実際の部材を使つてのサイクルの検討 *ICタグを導入するメリットがイメージできた *現場での作業をイメージし易かった	*シンプルなモデルや多機能モデルなどを数パターン組み合わせることで実際の使用シーンに適した使い分けができる *目視で何に付けられたタグか判断できるとよりレースしやすくなる(段階毎に色が変わる)
	作業性(PDA) PDA操作画面を可能な限り容易に工夫した(図-4参照)	*現場での動作保障(ホコリ、落下等)の検討 *読取距離、電波環境、サーバーとの通信感度の検討 *シンプルな画面で操作し易かった *文字が小さかったが機能は充実していた	*代替システムの検討 *アクティブタイプやUHFタグによるゲート据付読取の検討や携帯電話通信網の検討
フィージビリティ	トレーサビリティ 品質検査を誰がいつ行ったか、またその問い合わせ先がICタグを読むことで、現場で即座に分かるようにした	*長期と短期トレーサビリティとを分けて検討する *ニーズの把握に沿った実使用のモデルケースの検討 *メタルタグのように書換不可としてISO-9000の対応として検討する	*建物の長期トレーサビリティは別問題として検討する必要がある *部材毎のニーズ管理を具体化し実証してみる *入力ミスや偽装による書換えなのかの判断方法
	作業時間の短縮 現場や事務所で作業が重複しないように、ICタグリーダーからPCに情報を書き込めるように工夫した	*タグ故障時のリカバリ策の検討 *検査者固定の場合は検査の合否判定だけで済み、後はアクセスと同時に自動化できるシステムの検討 *記録や確認の省略化には効果大 *現状では作業面での負荷増加は避けられない	*2次元コード付タグの利用orタグ再発行(要検討) *ポップアップ画面やリストエリアを設定すれば、選択肢が使えるソフトになり更に入力しやすくなる
	必要情報の抽出 工事現場で即座に入手したい情報のみをICタグに記録し、それ以外の情報はサーバーに持たせるようにした	*タグに書き込む情報の再検討 *現場名称の記載の検討 *サーバー内にデータがあるので、アプリケーション次第で業務の合理化/効率化が可能	*ICタグは誰に対する(付加側、ユーザー側)付加価値なのかを検討する *工場PCからゼネコンPCへデータを転送するためのキーとなる
	作業ミスの軽減 現場で行った各種検査の結果がICタグリーダーを通じてPCに書き込み、その情報を即座に他の技術者が閲覧できるようにした	*作業ミスを作業者に知らせる方法の検討 *各工程では有効ではないが、最終検査情報の確実な受渡しと保管にはメリットになるのでは？ *ものの誤認がない *タグとサーバーの同期はデータの不具合に有効	*作業ミス時等、プザーで知らせる機能の検討 *作業ミスの軽減は現段階では目標としないほうがいい

3.2.4 実務者へのヒアリング結果

前節で述べたシミュレーション実験において、ICタグとサーバとでそれぞれで管理すべき情報について実務技術者にヒアリング調査を実施した。表-2にその結果をまとめる。この実験により、PCa部材の流通にICタグを導入することのメリットや作業性に対するイメージの把握など、PDAシステムの更なる展開を示唆する結果が得られた。また、実用化に向けた今後の課題としては、次の意見があげられる。

1. 各場面における情報の管理形態の検討
2. R/Wの使用環境における動作保障
3. ICタグ故障時の対応策
4. 検査入力時等のセキュリティ管理
5. 長期トレーサビリティの検討

4. まとめ

本論文では、無線ICタグとPDAを用いて、PCaコンクリート部材の出荷・受入検査を対象としたシステムを構築し、シミュレーション実験を行うことで、建築生産および維持管理の合理化・高度化のためのRFID技術のフィージビリティについて検討を行った。

その結果、本研究で構築したPDAシステムでは、建築生産分野における無線ICタグ技術の物情一体管理システムの構築の見通しを得ることができた。また、ICタグを活用するメリットとして想定した下記の項目におけるRFID技術の有効性を確認した。

- ① 作業の進捗状況：正確な進捗がリアルタイムで確認可能
- ② 作業履歴の管理：トレーサビリティが容易となる
- ③ 物品・伝票の管理：入力手間を省力化とミス防止に役立つ
- ④ 検査履歴管理：責任を明確にできる
- ⑤ ライフサイクル情報の管理：情報入力の手間が削減可能

今後は、現場での使用環境や管理形態などさらに詳細な検討を行っていくことが必要と考えている。

参考文献

- 1) 渡辺淳, "無線ICタグの国際規格", 無線ICタグ活用のすべて, 日経BPムック
- 2) 日本電気株式会社著: 図解入門よくわかる最新無線ICタグの基本と仕組み, 秀和システム, 2005.8
- 3) 松本慎也, 大久保孝昭, 森達哉, 小山至: PCaコンクリート部材の施工におけるRFID技術の活用に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 第29巻, pp.253-258, 2007.7

【謝辞】: 本報告は(財)ベターリビングに組織された「ICタグ研究会-工業化住宅のライフサイクルモニタリング技術実証実験WG」で検討した成果の一部を含んでいる。末尾ながら記して謝意を表す。