

## 論文 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

松本 慎也<sup>\*1</sup>・大久保 孝昭<sup>\*2</sup>・森 達哉<sup>\*3</sup>・小山 至<sup>\*4</sup>

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。建築施工において，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いる。本報告では，PCa コンクリート部材の出荷・受入検査における RFID 技術の有効活用方策のための業務フローを提案し，シミュレーション実験を行った結果を報告する。今後の活用のためにシミュレーション結果に関する建築生産実務家の意見を纏めるとともに，PCa コンクリート部材に対する読み込み・書き込みに関する無線透過性の実験結果も併せて示している。

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

飛躍的に進歩しつつある電子情報交換技術は各種生産分野において生産情報の円滑な伝達および統合を可能としてきた。建築生産は単品生産であり，生産する建築物ごとに企業や技術者の組合せが変化するため汎用的な情報伝達技術の構築が困難と言われている。しかし電子情報交換技術の活用により建築生産システムが合理化される可能性があることには議論の余地はない。我国の建設業界でも，CIM や CALS など，情報化技術による建築生産の合理化に取り組んできた。

近年，RFID 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。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<sup>1)</sup>。

本研究は，建築生産における技術者間・組織間および企業間(ユーザー含む)で建築生産情報の伝達を円滑にするための一つの方法として RFID 技術を活用することを検討している。

本報では，建築生産および維持管理を合理

化・高度化するために RFID を活用することのフィ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を報告する。なお，シミュレーション実験は施工を中心とした業務プロセスにおいて，特に PCa コンクリート部材(以下 PCa 部材と記す)の出荷と受入検査工程に的を絞って実施した。

## 2. RFID の活用方策

## 2.1 IC タグの種類と特徴

開発が進んでいる IC タグはその使用周波数によって電磁結合方式，電磁誘導方式，電波方式および光方式に分類される。それぞれ周波数ごとに特徴を有するが，本研究では電磁誘導方式で 13.56MHz の周波数帯の IC タグを利用することとした。これはこのタグの汎用性が高いことと，無線読み書き性能に関する水分の影響が少ないためである。RFID 技術は様々なメリットを有しているが，建築生産の受入検査では「非接触での書換え可能」と「複数同時認識」が特に有効な技術となると考えている。

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

\*3 五洋建設株式会社 建築本部 建築エンジニアリング部

\*4 安藤建設株式会社 首都圏事業本部 事業企画部 技術企画室 室長

## 2.2 建築生産におけるRFIDの活用方策のフィージビリティ

建築生産のプロセスの中でRFID技術を活用する項目を企業にヒアリングをすることで調査し、その特長を活かすことのできる業務とその活用方策を最初に抽出整理した。表-1に提案内容を一括して示す。同表のRFID技術には無線ICタグと無線センサータグの活用方策も併せて示しているが、ICタグ活用に関しては、建築材料・部材の受入検査や品質管理において、ミス防止やトレーサビリティ確保などを期待している。

## 2.3 PCa部材の出荷・受入れ検査におけるRFID技術を活用した情報伝達業務フローの提案

ここでは、RFIDを活用した情報伝達のイメージとして、PCa部材工場と施工業者との間の情報伝達に関する検討結果を示している。

図-1には建築生産分野において、本研究で想定しているRFIDを活用した情報伝達の業務フローと全体システムのイメージを示す。生産データは基本的に各工程のパーソナルコンピュータ(以下PCと記す)で管理し、企業間・組織間の垣根を超えるデータはプロジェクト全体のデータフローを管理するサーバー(図-1では

表-1 ICタグ・センサータグの建築生産への活用方策の抽出

段階	項目	データ利用・保管のイメージ	フィージビリティ
企画・設計	設計図・仕様書・設計説明書などの重要書類の管理	タグにはIDのみを保管 データはサーバで管理	利用履歴の確認 盗難・不正持出の防止 効率的な管理業務 企業情報のセキュリティ管理
	建物情報(構造・階数・面積等)の建物自体への保管	各種、数値データで保管 玄関などにタグを添付	維持管理における 建築情報のフィードバック
	部屋の情報(仕上材料・施工者・工法等)の部屋自体への保管	タグにはIDのみを保管 データは自宅PCで管理	使用材料の安全性確認 維持管理・補修改修 における業務の効率化
施工準備・施工	資材に取り付けたICタグの読取りによる受入れ検査	タグのIDを読取り、 PCにデータを転送して照合 ICタグリーダに納入伝票を転送し、 照合。結果をサーバで保管	工期短縮 省人化 トレーサビリティ ミス防止
	コンクリートの品質管理	アジテーター車にタグを添付 打設時に情報を追加	製品情報・搬入履歴 管理による高品質 コンクリートの打設 入出庫管理による生産性向上
	3軸加速度センサーの利用	建方での施工精度管理 居住者マナー管理	リアルタイムでの 水平・垂直確認 振動管理による、近隣居住者 間でのトラブル防止
	施工履歴の保管	タグのIDからサーバにアクセス 追加情報を随時更新	材料名・工法・工事会社名 など施工に関する記録管理 温度環境・下地処理・ 接着材など品質に関する 補足情報の管理
竣工・検査 引渡し	施工品質検査	タグの情報を読取り、 サーバの情報と照合 検査結果の精度向上	生産性向上 省人化 ミス防止 トレーサビリティ
	竣工図書などの重要書類の管理	タグにはIDのみを保管 データはサーバで管理	盗難・不正持出の防止 維持管理段階での 業務の効率化
維持管理	センサータグを利用した 居住環境モニタリング	居住者の快適性確認 結露検知	リアルタイムでの確認 居室内環境の数値確認 家電製品との連動 内装材の劣化低減
	居室情報(仕上材料・ 施工者・改修履歴等)の 部屋自体への保管	IDから、製品情報、品質の確認 補修改修時の資材調達と工法確認	資材調達時間の短縮 工法選定・確認の簡易化 劣化原因の特定 トレーサビリティ
	解体後の部材のリユース	使用年月・使用状況の確認 付加価値の設定	環境問題 建設産廃の削減 不法投棄の原因特定 トレーサビリティ

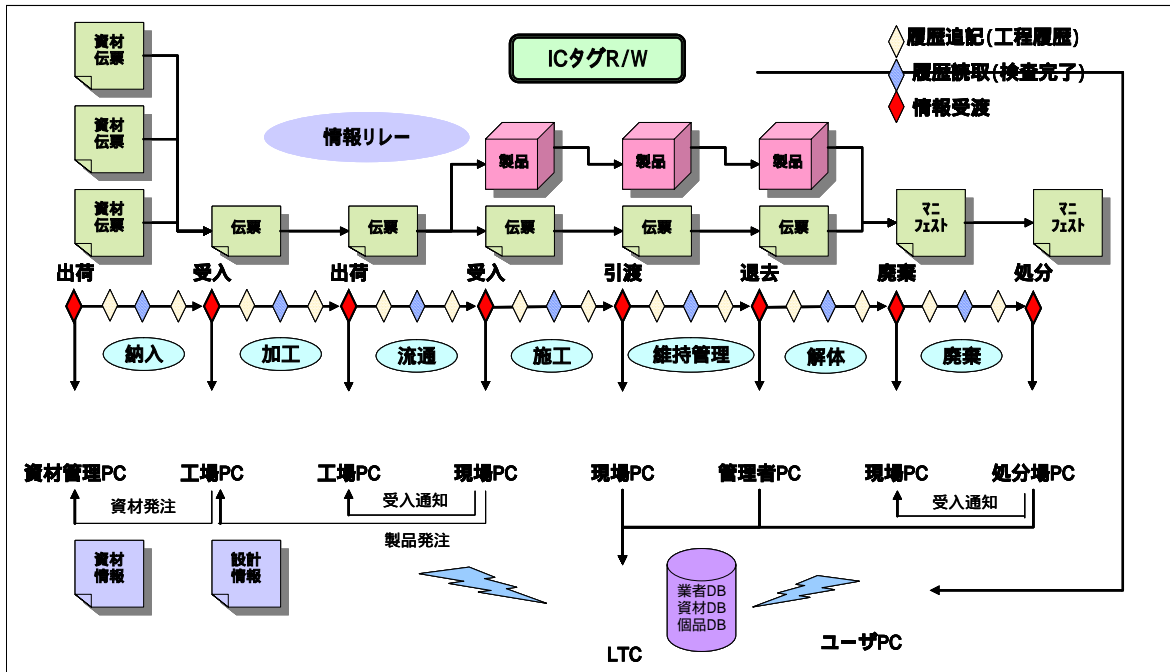


図 - 1 ICタグを活用した情報伝達フローと全体システムのイメージ

LTC と示す) で共有化を行うことを想定している。この方法は現在の情報管理システムで十分達成可能なものであり、IC タグで管理する生産情報、PC で管理する生産情報および LTC で管理する情報の分類とそれらの連携が本システム構築の重要な鍵となる。なお、IC タグは生産情報の伝達合理化のための情報管理タグとして活用するものであり、生産情報内容を保管するもの(データベース)ではない。また、IC タグは図 - 2 に示すように、建築材料・部品に関する製品名や型式を表す。

基本情報(固定データ)と工程の進捗状況を管理する時系列データ(書換えデータ)からなるデータ構造を持つことを想定している。

#### 2.4 PCa 工場における IC タグ活用の効果

PCa 部材の情報管理を行う場合、IC タグを最初に作成して添付するのは PCa 工場である。そこで実験の実施に先立ち、RFID の活用の可能性について PCa 工場では調査およびヒヤリングを行った。ヒヤリング結果より PCa 工場における部材の製造・保管・出荷工程において、IC タグの活用が有効になると期待できる情報管理項目を表 - 2 に示した。また、IC タグの活用に関し、

製品情報・文字記入中心	製品	1 製造者コード				
		2 製造者名				
		3 製品コード				
		4 製品名				
		5 製品分類コード				
		6 メーカ品番				
		8 製品仕様				
		9 個品コード				
		10 ロット#				
		11 保証期間				
		12 備考				
		製品情報・文字記入中心	構成部材	1 製造者コード		
2 製造者名						
3 製品コード						
4 製品名						
5 製品分類コード						
6 メーカ品番						
8 製品仕様						
9 個品コード						
10 ロット#						
11 保証期間						
12 備考						
製品情報・文字記入中心	部品			同上		
		同上				
		同上				
		同上				
		工程情報・数字記入中心	製品	1 行為		
				2 行為		
				...		
				n 行為n		
				工程情報・数字記入中心	構成部材	1 行為
						2 行為
						...
						n 行為n
自由使用	自由使用					同上
						同上
						同上
						同上
		同上				
		同上				
		同上				
		同上				
		同上				
		同上				
		同上				

図 - 2 想定したICタグのデータ構造

PCa 工場サイドから提案された期待できる用途を以下に示した。

- ・工場のストックヤードは、碁盤面のように分割され、番地が付加されているので IC タグによる保管管理は合理化が期待できる。ただし、雨ざらしで使用できるタグの必要がある。
- ・製品に IC タグを貼付し、製品の出荷作業を効率化できると良い。
- ・施工現場内でも仮ストックがなされるので、IC タグを貼付することで、上記と同様の効果が期待できる。

### 3. シミュレーション実験

#### 3.1 実験方法

実験は下記の 2 シリーズについて実施した。これらの実験では電磁誘導方式（13.56MHz）の U 社製のハンディタイプタグリーダー/ライター専用機（以下タグリーダーと記す）と D 社製の IC タグを用いた。

S1: PCa 部材貼付タグの通信性能に関する実験

S2: PCa 部材の製造情報伝達に関する実験

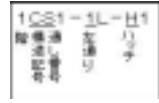
S1 の実験は、PCa 部材に貼付したタグ情報をタグリーダーにより読み込みまたは書き込みの実験を行い、通信に及ぼす鉄筋や材齢（PCa 部材の含水率）の影響、PCa 部材に対する透過通信性に関する実験を実施した（写真 - 1 参照）。

S2 の実験では PCa 部材を工場から出荷し、施工業者が現場で受取検査を行い、場内搬送する工程について、IC タグを活用したシミュレーションを行った。この工程間で、PCa 部材に関して管理する情報内容は表 - 3 に示す項目とした。また、シミュレーションでは先の図 - 1 に示す想定でシステムを構築し、シミュレーション参



写真 - 1 ICタグの通信性能実験

表 - 2 工場調査に基づくICタグの活用が期待できるPCa部材情報

製品情報と工程	情報項目	現在の情報伝達方法
製品	名称	下記の記号を製品に記載
	建築物での設置部位	 （上記記号の意味） ・1階の床スラブで1通りと2通り間に設置。 ・2枚のうちの左側部材 ・ハッチ付で奇数階
	製造記号	製品に記載
	製造工場	製品に記載
鉄筋工事	形状	縦×横、厚を検査シートに記載
	配筋	鉄筋種類、ピッチ、かぶり厚さを検査シートに記載
	インサート	埋め込み金物、個数、設置位置を検査シートに記載
コンクリート打設	仕上げ	型番チェック（メーカーリストと照合）を検査シートに記載
	型枠確認	検査シートに記載
	出荷保証強度	検査シートに記載
	製造年月日	検査シートに記載
保管	養生時間	検査シートに記載
	保管ヤード	工場内の図面
	出荷保証強度の確認	検査シートに記載
出荷	出荷時期	
	出荷検査結果	合格印（合）、合格の日付、打設日、工場名を製品の目視できる位置に明記
	検査シート	製品とともに添付

加者を PCa 工場の技術者と施工業者の技術者に

表 - 3 実験対象の工程で管理する情報内容

管理主体	管理データ名	具体的な情報内容
PCa工場が管理する情報	製造者情報	製造者コード 製造者名 工場名
	PCa工場の製品情報	製品コード 製品名 形状分類 主要用途
	施工業者からの発注伝票	納入部材（伝票番号） 製品コード 数量 設計図書（検索記号） 指定納入日
	発注伝票に基づく製品製作および管理要領	納入部材（伝票番号） 製作要領図（工場） 製造ロット# 出荷日 出荷検査
共有情報	製品製作情報	納入部材（伝票番号） 設計図書 製作要領図（工場） 製造ロット#（工場）
	製品の工程管理情報	納入部材（伝票番号） 製品コード 出荷（工場） 受入れ（施工業者） 保管（〃） 場内搬送（〃） 施工（〃） 検査（〃・監理者）
施工業者が管理する情報	発注書	納入部材（伝票番号） 製品コード 発注者工場 数量 指定納入日 施工予定日
	施工進捗状況	納入部材（伝票番号） 数量 施工階・部位 受入れ検査 保管 場内搬送 施工 検査 承認
	設計図書	納入部材（伝票番号） 設計図書（ゼネコン） 仕様書

分けて情報伝達実験を行った。基本的にICタグに記載した情報(記号)はPC内の必要な情報を取り出すキーワードとして活用するものであり、データ検索には市販のDB管理ソフトを用いた。

### 3.2 実験結果

#### (1) タグの通信性能に関する実験結果

PCa部材に貼付したタグの通信性に関する主要な実験結果(S1)を表-4に示す。なお、この実験はタグリーダによる読み書きはすべてPCa部材表面側から行った。PCa部材表面に貼付したタグは鉄筋、含水率の影響を受けずに、すべ

表 - 4 PCa部材の透過通信性に関する実験結果

PCa部材の厚さD (材齢)	タグの種類(13.56MHz)									
	プリントタグ(カードサイズ)		プラスチックタグ(カードサイズ)		薄シートタグ(カードサイズ)		薄シートタグ(1/2カードサイズ)		プラスチックタグ(小型)	
	読取	書込	読取	書込	読取	書込	読取	書込	読取	書込
75mm (41日)									×	×
130mm (3日)							×		×	
165mm (19日)		×		(端)		×	×	×	×	×
165mm (2日)							×		×	
180mm (83日)				(端)						
240mm (132日)			×							

は通信可能、×は通信不可能を表す。  
また、(端)はPca部材の端部のみ通信可能で、中央部は通信不可能を表す。

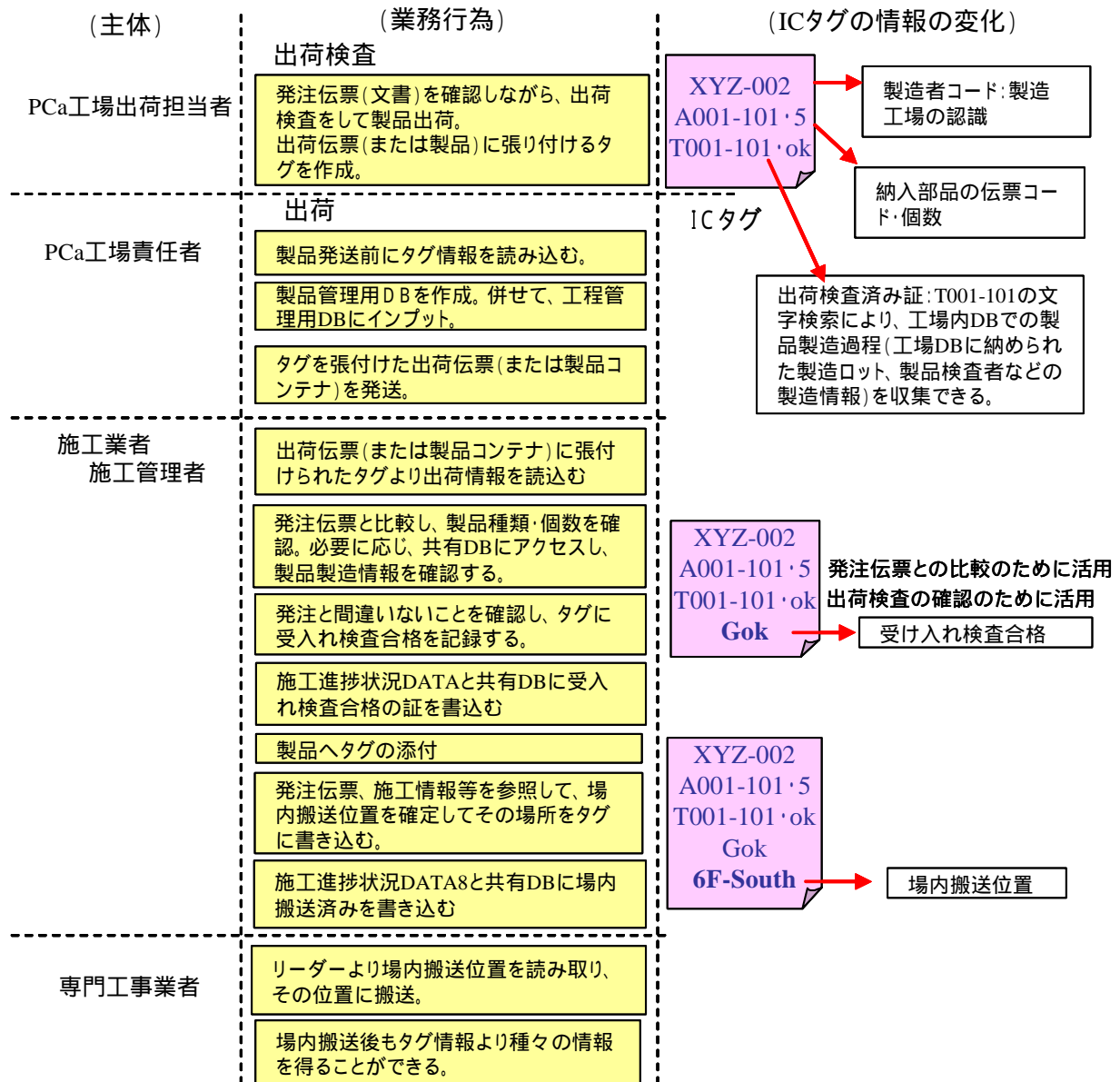


図 - 3 情報伝達シミュレーション実験結果



表 - 5 シミュレーションから得られた主要な今後の課題と改善の提案

		課題	改善案
実験全体	取扱データ (DB内容)	チェック者の名前が各段階で簡単に入力できる必要がある ICタグ取り付け単位としては個品とし、必要であれば伝票番号単位(複数製品)とした方がいいのではないか	PDAを使ってワンタッチで日付及び個人情報が入力できるようにする
	システム (データの流れ)	タグ書き込みデータとDBのデータ整合性が必要(システムとして連動、データ整合が不可欠では)	PC、DBとタグ入出力の一体化は不可欠
	作業方法 (作業性)	貼り付けのチェック等、人為的なミスを防ぐ方法が困難	文字による照合(版とタグ)のチェック
PCa工場	取扱データ (DB内容)	PCa工場側の生産管理のシステムとどう関連するかが不明確	PCa工場側のメリットを明確にする(電子発注など)
	システム (データの流れ)	一旦、ICタグ上で確認のチェックが抜けると(不具合やうっかり)、次工程に進めないことになるので、PC上でこれをバックアップするシステムが必要	パソコンサーバー上で対策システムを構築する
施工	作業方法 (作業性)	データを手で打ち込むのは困難 できるだけ簡単な作業にする	個人情報をタグリーダー/ライターに読み込み、手入力でインプットせずに確認者を書き込む。
その他		・トレーサビリティの検証ができることを明らかにすれば、当面は成績と思われる。 維持については、タグの書き替え・貼り付けでの対応にする。 ・材料毎に、流れとICタグ活用の目的があり、分けて考える必要がある。	

でのタグで通信が可能であった。また、PCa 部材の裏側に貼付したタグも RC 部材を透過して通信が可能であり、プラスチックカードタイプのタグでは部材厚が 180mm の PCa 部材裏側に貼付したタグ情報の読み込みが行えた。書き込みについては部材厚が 130mm まで透過通信が可能であり、実験に用いた 13.56MHz タグでコンクリートの含水率は通信性能にほとんど影響しないことがわかった。また、タグ形状が大きく、タグを構成しているアンテナが大きいほど透過する部材厚が大きくなった。ただし、PCa 部材の透過通信にはタグの貼付方法が大きく影響し、特にタグ全面を強固に接着する場合に比べ、PCa 部材とタグとの間に凹凸などの隙間がある方が、通信性能が向上する可能性があることが確認された。これはタグ接着面に空隙などの空間がある方がタグ周辺に構成される電磁場の乱れが生じにくいことによるものと推測される。これらの成果は今後 PCa 部材に対するタグの貼付位置や貼付方法の検討に有益な実験結果である。

#### (2) 情報伝達に関する実験結果

PCa 部材の製造情報伝達に関する実験 S2 におけるシミュレーション内容を図 - 3 に示した。なお、図 - 3 に示されたタグの情報内容は、PC 内のデータベースで検索して必要データを手元の(近くの)PC で閲覧できる仕組みを構築し、業務の効率化をはかった。

本シミュレーションを建築生産実務者を含め

て実施した。参加者により抽出した今後の課題と提案を表 - 5 に示している。ほとんどの参加者の意見として、RFID で管理する情報内容の簡便化が挙げられた。すなわち、建築生産現場で、RFID による情報を複雑にするほど、タグリーダー操作の手間が増える結果となり、これがむしろ建築生産の合理化に悪影響をもたらすという意見である。また、今回の実験では IC タグリーダー

ライター専用機を用いたが、最近では PDA や携帯電話にタグリーダー/ライター部を取り付ける機種も開発・市販されてきており、これらを使用することでさらに情報管理内容の高度化が期待できるという意見も多く出された。

#### 4. まとめ

本研究は建築生産において、IC タグ活用によるミス防止やトレーサビリティ確保等を目的としており、ここでは簡単なシミュレーションによりそのフィージビリティを検討した。建築生産において、生産現場に従来以上の作業負担を与えないことを念頭に置き、IC タグで管理する情報や伝達書式を整理することで IC タグ活用の効果が得られると考えている。現在、ここに示した実験結果を受けて、PDA や携帯電話を用いた実験を進めており、今後も検討を続ける予定である。

#### 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

【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実証実験WG」で検討した成果の一部を含んでいる。実験およびデータ整理には広島大学大学院生、宮丸史江さんの協力を得た。末尾ながら記して謝意を表す。