

建築物の維持管理への無線 IC タグの活用技術の開発



所属名： 広島大学大学院
工学研究科
発表者： 大久保 孝昭

1. 研究の背景と目的

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(Computer Integrated Manufacture)や CALS(Continuous Acquisition and Life-Cycle Support)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、IC タグ技術の開発が進み、2004 年 6 月には「無線 IC タグ(RFID)技術の国際標準方式 (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^{1), 2)}。

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した上で、建築生産情報を保管して維持管理に活用するための基礎的な検討を行った。すなわち本研究は「建築生産過程における合理的な情報伝達」の達成により、「維持管理のための情報を合理的に保管する」というスタンスで開発研究を実施している。

本報告では、建築生産を合理化・高度化するために IC タグを活用することのフィージビリティを検討し、簡単な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、特にプレキャスト部材（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. IC タグの活用方策

2.1 IC タグの種類と特徴

現在、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、表-1 に建築生産分野で活用実績のあるバーコードと代表的な IC タグとの比較を行った。またタグは下記 a)~h) に示すような特長を有しており、建築生産においてはこれらの中で「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ことが推察される。

表-1 各種 IC タグの特徴（バーコードとの比較）

方式	RFタグ				光学的情報媒体	
	電磁誘導		電波		1次元シンボル	2次元シンボル
項目	~135KHz	13.56MHz	433MHz 900MHz	UHF マイクロ波		
交信周波数	~135KHz	13.56MHz	433MHz 900MHz	2.45GHz	— LED レーザー	— LED カメラ
交信距離 (原理上の実力値)	~10cm	~30cm	~5m	~2m	~1m	~1m
データの書き込み	◎	◎	◎	◎	×	×
データ量(バイト)	~4K	~4K	~4K	~4K	~20	~2K
耐光ノイズ性	◎	◎	◎	◎	△	△
耐汚れ・耐水性・耐油性	◎	○	○	△	×	×
遮蔽物の影響	◎	◎	△	○	×	×
価格	△	○	○	○	◎	◎

- a) 非接触でデータの読み出しと書き換えが可能
- b) タグとリーダー/ライタの間に遮蔽物があっても認識可能
- c) タグサイズ・加工形状のバリエーションが豊富
- d) チップ単体が個別のユニーク ID を持つため、物を個別に認識可能
- e) 汚れ、振動に強く経年劣化が少ないため、長期期間使用可能
- f) 一度書き込んだ情報に新たな情報を加えるなど、書き換えが可能
- g) 移動中でも読み書きが可能
- h) 複数のタグを一度に認識することが可能

2.2 建築生産・維持管理における IC タグ活用方策の抽出

IC タグの特長を活かし、今後の建築生産に活用する方策を最初に WG 内で建築生産実務に携わる技術者により抽出した。図-1 および図-2 には建築生産において IC タグが効果的と考えられる業務およびその活用効果に関する建築生産実務者へのヒヤリング結果を示す。これらの結果から、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のための期待が高いことが伺える。

3. IC タグを用いた情報伝達システムの想定

建築生産分野において、本研究で想定している将来の IC タグを活用した情報伝達のフローと全体システムのイメージを図-3 に示す。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-3 では LTC と示す）で共有化を行うことをイメージしている。すなわち 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。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ではないことを基本方針としている。

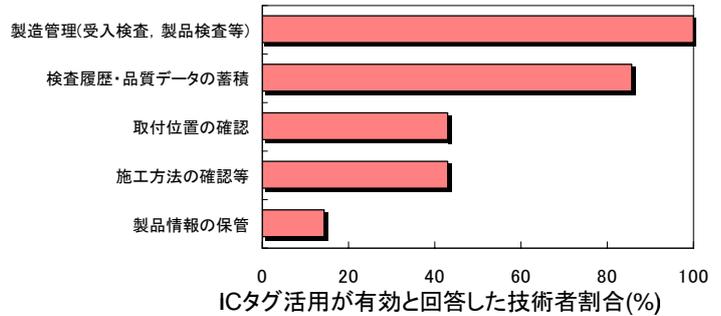


図-1 IC タグ活用が有効と考えられる業務と回答割合

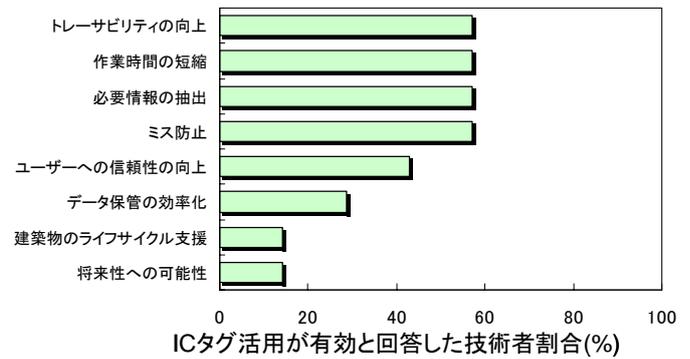


図-2 IC タグの活用効果と回答割合

4. 実験内容

実験は下記の 3 シリーズについて実施した。

- シリーズ 1 (S1) : PCa 部材貼付タグの通信性能に関する実験
- シリーズ 2 (S2) : 専用 R/W を用いた PCa 部材の製造情報伝達に関する実験
- シリーズ 3 (S3) : PDA システムを用いた情報伝達・保管実験

S1、S2 の実験では各種流通分野で一般的に活用されている電磁誘導方式の IC タグ R/W (W 社製

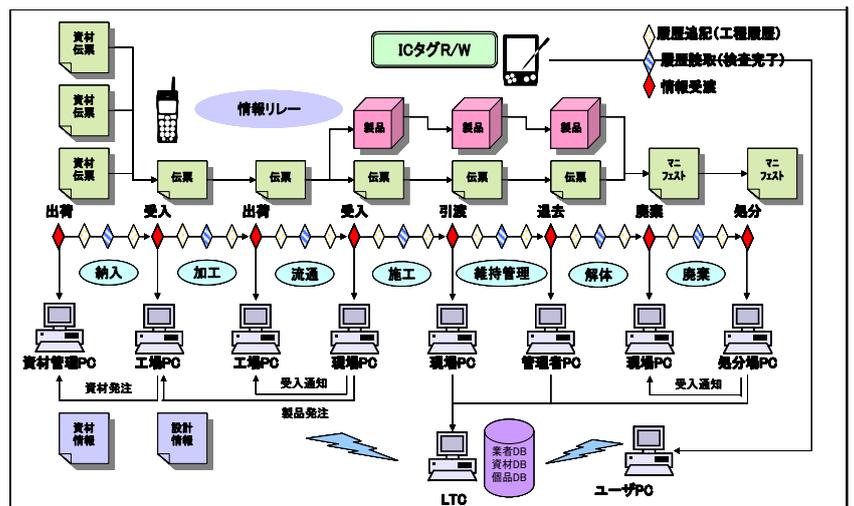


図-3 IC タグを活用した情報伝達フローと全体システムのイメージ

13.56MHz帯)とD社製のタグを用いた。S3の実験ではPDAシステム(13.56MHz帯)を用いた。

S1の実験は、PCa部材に貼付したタグ情報をICタグR/Wにより読み込み・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)。



写真-1 ICタグの通信性能実験

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。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。

S3の実験では、PDAを活用した情報管理システムを新たに開発して、情報伝達実験および情報管理実験を行った。この実験は本研究の総括に相当するものであり、下記のような実験計画を立案した。(S3に関する実験計画)

S2で使用したR/W専用機による情報管理実験では、検査者、日付、検査結果程度の情報量しか管理することができなかったが、本実験ではPDA版R/WとD社製の1024バイトのタグを採用することにより、さらに多くの情報量を管理することを試みた。写真-2に今回使用したR/Wとタグを示す。



写真-2 PDA版R/Wとタグ

今回、実験計画段階でPCa部材の工程管理の流れにおいて、タグとパソコンのそれぞれで管理する情報について、企業の実務家の方々に実施したヒアリング調査を基に、タグへ書き込む情報の活用方法として“書換方式”と“追記方式”の2パターンを整理し、それぞれの流れに沿って実験を行った。図-4には、各工程検査終了後に“工程情報”と呼ばれるフィールドに検査履歴が書き加えられていく“追記方式”による実験計画について、その一部をまとめたものを示す。また、構成部材の詳細情報等が納められている“製品情報”は、タグには書き込まず常に工場パソコンで管理されているものとする。

5. 実験結果

5.1 タグの通信性能に関する実験結果(S1)

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を表-2に示す。なお、この実験ではICタグR/Wによる読み書きはすべてPCa部材表面側からおこなった。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、すべて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部材を透過して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、実験に用いたタグについては、コンクリートの含水率の影響をほとんど受けないことがわかった。また、タグ形状が大きく、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、特にタグと

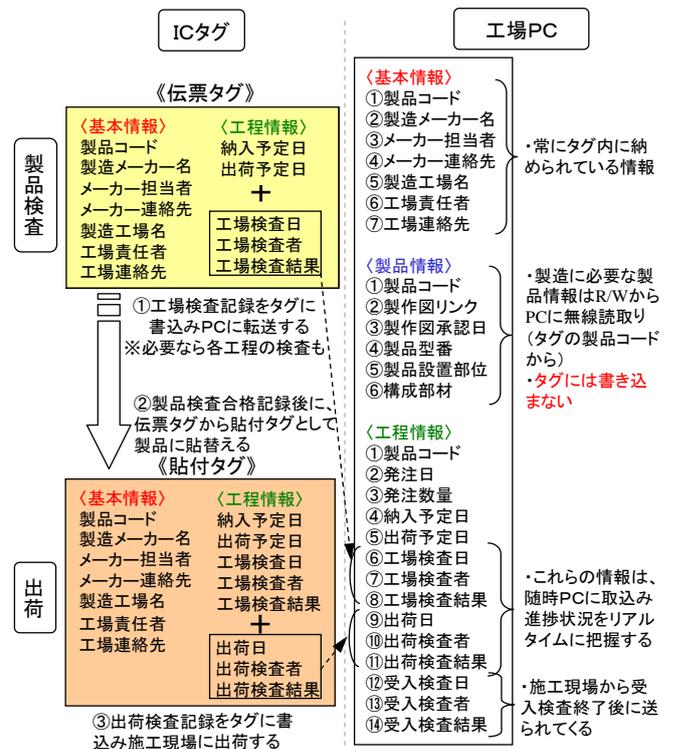


図-4 工程管理フローの実験計画(追記方式)

PCa 部材を全面で強固に接着すると通信性能が低下した。

表-2 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)	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—

5.2 専用R/Wを用いたPCa部材の製造情報伝達に関する実験結果(S2)

シミュレーション実験で管理する情報内容はPCa工場でのヒアリング結果を考慮し設定した。代表的な情報内容を下記に示す。
工場管理情報：製品コード／製造者名／工場名／製品名／形状分類／発注数／出荷検査／納期

施工業者管理情報：受入検査結果／納入日／施工時期／場内搬送位置／施工場所／施工部位など

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は図-5に示す通りである。図-5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より実験参加者から出された課題と提案を表-3に一括して示している。ほとんどの参加者の意見として、「ICタグで管理する内容の簡便化」が挙げられた。すなわち、建築生産現場で、ICタグによる情報を複雑にするほど、ICタグR/W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。

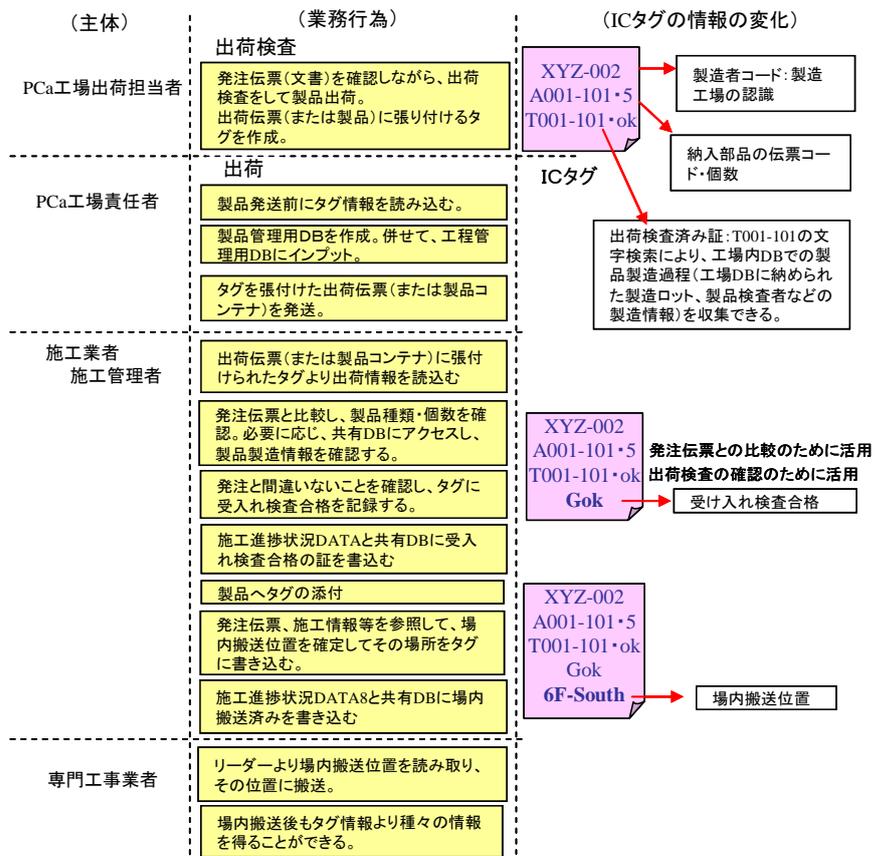


図-5 情報伝達シミュレーション実験結果

表-3 シミュレーションから得られた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特定できるようにする
	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)のチェック困難
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。	

5.3 PDAシステムを用いた情報伝達・保管実験結果(S3)

5.3.1 PDAシステムの開発

今回の実験において、PDAとパソコンのWeb上でのデータベース管理について、図-6に示すようなWindows環境によるシステムを構築した。まず、PDAからICタグに情報を書き込むと、近くのルーターに無線で交信され、自動的にパソコンに情報が

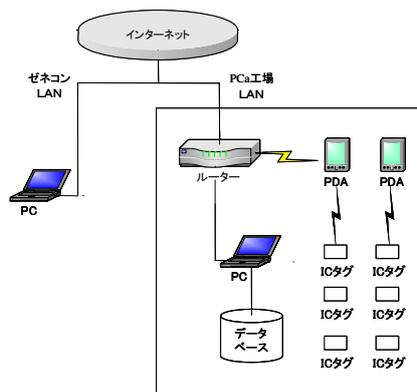


図-6 システム概要図



図-7 PDA (R/W) の操作画面

書き込まれ蓄積される。一方、ゼネコン側はインターネットを介してPCa工場側の情報を閲覧することができるというシステムである。

5.3.2 PDAの画面作成

タグへの情報の読み書きには、前節でも述べたように、建築生産用にPDAによるシステムを開発した。図-7にその操作画面一例を示す。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いて開発した。

ここで、PCa工場における出荷時の製品検査についてPDA版R/Wを用いた操作方法の一例を以下に説明する。

- ① 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。(図-7 左)
- ② 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、最後に書込みボタンで検査記録をタグに書き込む。(図-7 中央)
- ③ “書込み完了”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-7 右)

5.3.3 実証実験

先に示した図-4の流れを基に、役者をPCa工場側の技術者と施工業者側の技術者に分け、2者間の情報伝達実験を行った。製造開始時、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、タグを伝票から剥し直接製品に貼り付け、出荷することとした。

実証実験終了後、実験に参加していただいた企業の方々に、この実験に対するアンケート調査を行った。表-4にその結果をまとめる。

この実験結果より、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。今後はこのヒアリング結果を更に分析して、ICタグの活用方策を検討する予定である。特に、下記の5項目が急務の課題であると考えている。

- ・各場面における管理形態の検討
- ・R/Wの使用環境における動作保障
- ・タグ故障時の対応策
- ・検査入力時等のセキュリティ管理
- ・長期トレーサビリティの検討

6. まとめ

本研究で開発したICタグ情報管理のためのPDAシステムにより、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。今後は、現場での使用環境や管理形態など将来の実現を見据えた検討を行っていく必要があると考える。

表-6 実験参加者による課題と改善案

		・感想 / * 課題	改善案
実験全体	情報内容	<ul style="list-style-type: none"> *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 	<ul style="list-style-type: none"> *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の実施
	システム(流れ)	<ul style="list-style-type: none"> *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 	<ul style="list-style-type: none"> *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が判断できるとよりトレースしやすくなる(段階毎に色が変わる)
	作業性(PDA)	<ul style="list-style-type: none"> *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 	<ul style="list-style-type: none"> *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
フィジビリティ	トレーサビリティ	<ul style="list-style-type: none"> *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の対象として検討する 	<ul style="list-style-type: none"> *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 *入力ミスか偽装による書換えなのかの判定方法
	作業時間の短縮	<ul style="list-style-type: none"> *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可否判定だけで済み、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 	<ul style="list-style-type: none"> *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	<ul style="list-style-type: none"> *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 	<ul style="list-style-type: none"> *①IC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必要がある *②製品の写真を載せて部材の色や形の確認を行う *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	<ul style="list-style-type: none"> *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整合に有効 	<ul style="list-style-type: none"> *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

7. 終わりに

本研究は建築生産において、ICタグ活用による建築生産と維持管理の高度化を目的として実施したものであり、ここでは簡単なシミュレーションによりそのフィ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。

《謝辞》

本研究には(財)ベターリビングに組織された「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」の委員の方々の協力を得た。末尾ながら謝意を表す。

《参考文献》

- 1)RFID、 <http://en.wikipedia.org/wiki/RFID>
- 2)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