建築鋼構造のリユースシステムに関する研究

－ IC タグを利用したリユースビジネスモデルの提案－

REUSE SYSTEM OF BUILDING STEEL STRUCTURES

－ Reuse business model using integrated circuit tag－

藤田正則*, 岡本康司**, 中村裕幸***, 岩田 衛****

*Masanori FUJITA, Kouji OKAMOTO, Hiroyuki NAKAMURA
and Mamoru IWATA*

The reuse system mentioned in this paper is an overall system for realizing a reuse business in a cyclic of process in a reuse flow, namely, design, fabrication, construction, maintenance, dismantling, and storage. Here, we take up Rolled H-section steels. It is easy to handle them as reusable members because of manufactured in accordance with Japanese Industrial Standard. We propose reuse business model in order to circulate reusable members called securitization and asset based lending using integrated circuit tag in the view point of fund procurement. Then, economic condition of reuse business model is evaluated through cost simulation.

Keywords : *Environmental burden, Building steel structure, Reusable member, Rolled H-section steel, Integrated circuit tag, Business model, Securitization, Asset based lending*

環境負荷, 建築鋼構造, リユース材, 圧延H形鋼,
IC タグ, ビジネスモデル, 証券化, 動産担保融資

1. 序論

リユース材は環境負荷削減の一つの手法であるものの、それが既存の流通と同様に循環するためには、従来の生産・製品の供給という「動脈産業」に対して、その処理、再生、再利用を行う「静脈産業」の確立が必要である^{1)~10)}。著者らは、廃棄物重量とLCCO₂量に着目した建築鋼構造における環境負荷の評価に関する研究や情報技術を利用した建築鋼構造のリユースシステムに関する研究を行っている^{11)~14)}。

リユースシステムの基本検討項目として、1) リユースビジネス調査¹⁵⁾¹⁶⁾、2) データベースの構築方法¹⁷⁾¹⁸⁾、3) スtockヤードの設置方法¹⁹⁾、4) リユース材の加工方法²⁰⁾、5) リユース材の性能評価²¹⁾²²⁾、6) 丁寧な解体方法²³⁾、等が挙げられる。

このうち、1) では、リユースビジネスモデルの提案並びに工場・作業場等に使用されている無耐火被覆のリユース材のストックの統計データを基に調査し、その種類と量を推定している。2) では、リユース材のデータベース構築方法の提案、ストックとして低層鉄骨造に使用されている圧延H形鋼の中高層ビルへの適用シミュレーションについて検討している。3) では、リユースフローにおいて重要な部材等のモノの動きに注目し、リユースシステムの合理性を追求するためのストックヤードの設置方法を提案している。4) で

は、リユース材の性能評価方法を基に解体材から得られた部材を加工し、リユース材としての性能評価を行っている。5) では、リユース材を想定して部材継溶接や孔埋め溶接を有する部材の性能を構造実験によって明らかにしている。また、リユース材の性能評価方法に基づき、そのストック診断について検討している。6) では、低層鉄骨造において丁寧な解体方法(以降、リユース解体という)を提案し、部材継手における高力ボルトを逆回し、または溶断によって切除された解体材の損傷の程度を基礎実験及び実施例により評価している。これらは並行して検討している課題であるが、ここでは、1) 及び2) に該当するリユースビジネスモデルを取り上げる。

ここで想定するリユース材(将来、リユースされる予定の部材を以降、リユース用部材という)は、主に鉄鋼メーカーによりプレハブ化された無耐火被覆の工場・作業場、倉庫等に使用されている低層鉄骨造の主要構造部材のうち、その大部分を占めるJIS規格品の一般構造用圧延鋼材や溶接構造用圧延鋼材である^{24)~26)}。

ユビキタスネットワーク社会の構築が進展していく中で、ICタグシステム(Integrated Circuit Tag System)が重要な基盤ツールとしてネットワークと接続した高度利用が期待されている^{27)~30)}。ICタグはバーコードに代わる次世代情報管理システムとして位置づけられており、電子荷札と呼ばれている^{31)~38)}。既に、JR東日本の自動出改

* 山口大学大学院理工学研究科 教授・博士(工学)

** 神奈川大学大学院 博士前期課程

*** DCMC(株) 代表

**** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

Prof., Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Dr. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

DCMC

Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University, Dr. Eng.

札システムを初めとして販売・流通分野等で実施されている。

本論では、リユースフローにおけるICタグの利用領域について概観すると共に資金調達の観点からリユースビジネスモデルを提案し、そのフローにおけるICタグの情報について検討する。さらに、リユース用部材を使用した中層鉄骨ビル構造（共同住宅）を例に取り上げてコストシミュレーションを行い、リユースビジネスモデルの事業採算の基準について考察する。

2. リユース用部材とICタグ

2.1 ICタグ

ICタグはタグにメモリ機能を持つICチップと小型アンテナを埋め込み、専用のリーダー/ライター(Reader/Writer:読み取り機器/書き込み機器)を用いて多くの情報を読み書きするものである(図1(a))。無線を利用して個別の情報を自動識別・認識するもので、RFID(Radio Frequency Identification:無線認証)を用いたシステムである。アンテナ部分にリーダー/ライターから電波を当てると微小な誘導電力が発生して電子回路を動作することにより内部にデータを格納する。ICタグは0.3～0.4mm角程度のICチップの大きさを有しており、格納できる情報が多く、障害物があってもデータを非接触で通信できる。この特性を活かし、ICタグは動くモノまたは動かされるモノにて取り付けることで、多くの製品から固有の製品を瞬時に抽出できる長所がある。現在の鋼材の流通においてはICタグは使用されておらず、製品にバーコードを添付してミルシートとの整合性を図っている(図1(b))。ICタグとリーダー/ライターの無線通信技術は国際標準方式(ISO/IEC 18000 シリーズ)で規定されている。

2.2 ICタグの利用領域

設計・加工・施工・維持管理・解体・保管の一連のリユースフローへのICタグの適用の模式図を図2に示す。建物の解体後、解体現場またはストックヤード等において部材にICタグを取り付け、保管・加工・施工の各段階でそれらの情報を管理する。最終的には施工が終了するとICタグの付与されたモノは建築主に移動する。このようにリユースフローを管理するデータベースとリユース用部材をICタグを介して関連付けることで、リユース用部材の情報管理が可能となり、鉄骨所有者からエンドユーザーまでのトレーサビリティを担保することができる。すなわち、ICタグを利用してソフトとハード(リユース用部材)を同定することで、リユースビジネスモデルを成立させるための資金調達の担保とする。

1) 解体

リユース解体・分別により回収された解体材は劣化状況に応じてリユース、リサイクル、廃棄のいずれかのフローを選択する。損傷の少ない解体材は解体現場あるいはストックヤードにて部材の性能を評価・判定し、リユース用部材としての可否を決定する。リユース用部材の決定後、ICタグの識別番号とその関連情報をデータベー

スに登録する。

2) 保管

保管段階において現品管理で行われている出荷、入荷、棚卸における目視確認・手書き作業をICタグに代替することでリユース用部材のトレーサビリティを図る。この場合、鋼材規格証明書や原品証明書を合わせてICタグに代替し、品質管理を行う。ICタグはその情報をリアルタイムに利用できるため、作業を効率化できる³⁰⁾。

3) 加工

加工段階において既にICタグに登録されたデータを入荷時に読み取り、加工に伴って生じる新しい情報を追加する。これらの情報管理により、鉄骨加工の進捗管理や製品発送段階で製品記号と員数等を確認する。また、工場の屋内や屋外のストックヤードにICタグの読み取り装置を設置することで、製品の一元管理も可能である。製品の分割や組立により製品単位が定まらない段階でのICタグの使用はその運用が複雑であるため、工場出荷単位や現場建方単位である柱・梁等の製品を1単位とした情報管理の実証実験が報告されている³⁰⁾。

4) 施工

建設現場におけるICタグの読み取り装置の設置により、製品受け入れ、建方合番等に利用する。また、建設現場のストックヤードでの製品の所在の把握並びに建方の進捗管理にも利用する。

5) 維持管理

鉄骨部材の鋼材規格証明書等の性能に関する情報をICタグに登録しておけば、耐震改修等のメンテナンス工事に利用できる。また、エネルギー吸収部材に歪センサー等を付帯させたICタグを利用すれば、地震後に仕上げ材等を壊すことなく履歴データを採取できる。その他、ICタグが位置情報を有していることから、建物を利用するヒトの利便性を向上させる応用例もある³⁰⁾。

2.3 ICタグとビジネスモデル

既に、著者らは木材の分野において住宅用として国産の木材を利用して日本の林業を再生すると共に、温室効果ガスの森林吸収に貢献することを目的としてICタグを活用した山林から建設現場までのトレーサビリティを向上させる実証実験を実施している³⁹⁾⁻⁴⁴⁾。森林を構成する立ち木にICタグを付与することで、立ち木の個体管理を行い、産地証明及び品質管理(含水率・ヤング係数等)並びに山元からエンドユーザーまでトレーサビリティを構築するものである。ユーザーはこれらの情報を閲覧でき、木材の品質を知ることができる。このICタグを利用したトレーサビリティにより立ち木を証券化するビジネスモデルが試行段階に入っている。

図1 情報技術のツールの例

図2 ICタグを利用したリユースフロー

3. リユースビジネスモデル

2. で示したリユースフローに基づいて、IC タグを利用したリユースビジネスモデルの提案並びに IC タグの情報について検討する。

3.1 リユースビジネスモデルのタイプ

IC タグの利用領域において資金調達のためのリユースビジネスモデルには下記があげられる。

1) タイプ1：リユース用部材の証券化

投資家から事業資金や運転資金を調達するため、IC タグを利用してリユース用部材を証券化したビジネスモデルを図3(a)に示す。これは、鉄骨所有者が建物の解体までの期間、リユース用部材を含む設計図書の情報を管理し、電子的に債権登録するものである。登録債券として建物の一部として使われているリユース用部材を管理会社の所有資産として分離する。これは発注者からの利用料により収益を確保する点で、テナント料や不動産機能の更新による売却益を得る不動産証券化と類似している。既に、不動産の証券化は自社ビル等の資産の賃貸において多く実施されている。

一定の期間の建設時期に該当するリユース用部材をまとめ、証券発行を目的として設立した特定目的会社（以降、SPC という）に譲渡し、リユース用部材の利用料等により得た収益の配当及び償還時分配金による証券を発行し、投資家に販売する。これらによって調達した資金によりリユース用部材を運用・管理する。

2) タイプ2：リユース用部材による動産担保融資

IC タグを利用した動産担保融資(ABL:Asset Based Lending)のリユースビジネスモデルを図3(b)に示す。動産担保融資は金融機関が在庫商品や売掛債権など、流動性の高い資産を担保として、事業主に資金を貸出す制度である。事業主には鉄骨所有者も含まれ、建物の建設ごとに動産担保融資を得る。事業主が建物の建設発注後、ビジネスマネジメント¹⁵⁾はSPCと利用契約を締結し、利用するリユース用部材が決定した段階で、金融機関において動産担保融資の対象として登記する。この登記をもとに金融機関より融資がビジネスマネジメントに実行され、リユース用部材の加工費や輸送費等が支払われる。事業主の決済が実行されると動産担保融資の登記が抹消される。

3) タイプ3

リユース用部材の証券化と動産担保融資を併用したリユースビジネスモデルである。

3.2 リユースビジネスモデルの考察

建物に使われる鋼材は、発注者の所有物であるため、建設時のコスト、運用時のCO₂排出の抑制等の経済的あるいはCSR(社会的責任:Corporate Social Responsibility)上のメリットが明らかでないとリユース用部材として使われにくい状況にある。これに対して、IC タグを利用することでモノとソフトの情報を同定認証し、電子記録債権法に沿ったビジネスモデルとすることができる。

タイプ1の場合、リユース用部材を証券化することで、発注者には上記のメリットを明示できなくても投資家より事業資金や運転資金を調達できる。これにより建設時の投資を減少させ、固定資産税や取得税の減額メリットを享受できる。資金調達の観点から建物の建設時にはその費用を設計見積等により把握できるものの、短期間に必要とするため、事業リスクが大きい。これに対して、保管・維持管理時には固定費の占める割合が大きいものの、事業リスクが小さいと言える。SPC・利用者・ビジネスマネジメント等においてIC タグによる情報を共有化することで、市場価格に左右されにくい安定的なリユース用部材の供給を図り、事業収益が向上すれば、投資家に対して配当金・分配金として還元する。リユース用部材に取り付けたIC タグまたは設計図書の情報をデータベースとして登録することで、事業化にあたって資産価値として代替する。

図4 証券化と動産担保融資の組み合わせの模式図

(a) リユース用部材の証券化

注*1) SPC は特定目的会社をいう。

(b) リユース用部材による動産担保融資

注*2) 書込はデータベースへの情報の登録・更新をさす。

図3 IC タグを利用したリユースビジネスモデル

タイプ2の場合、事業主は発注の段階で、リユース用部材を使用することを前提に借入申し込みを行う。IC タグを利用したリユース用部材の動産登記によりSPC からビジネスマネジメントへその所有権は移転される。動産担保融資にあたってはリユース用部材の個体識別のIC タグを付与条件とする。ビジネスマネジメントはIC タグを基に動産担保融資により金融機関から資金を調達する。この場合、不動産担保や個人保証に依存する必要がなく、資金回収リスクによる受注機会の損失を回避できることになる。建設時の利用金利は高いものの融資期間が証券化に比べて短期間である。また、IC タグを利用したリユース用部材の保管・加工等の効率化によりコスト低減を図ることができる。なお、事業主が鉄骨所有者の場合、発注の際にリユース用部材の使用を前提とすることもできる。

タイプ3の場合、資金調達にあたってリユース用部材の証券化において長期で低金利、動産担保融資において短期の高金利となるように組み合わせることで、お互いの長所を享受できる(図4)。これにより、リユース用部材のストックが充分でない場合、新材と併用するものの、新材をリユース用部材に段階的に置き換え、リユース用部材の比率を高めることができる。

3.3 IC タグと情報技術

ストックヤードまたは解体現場において解体材の性能評価によりリユース用部材としての可否を決定後、IC タグに情報を書き込まれる。IC タグの情報には、解体材の製鋼番号・製品番号・製造箇所・保管場所・建築主・解体日・建設地等に該当する管理情報、機械的性質・化学成分・履歴・等級等に該当する性能情報、塗装仕様・規格・寸法等に該当する検査情報がある。リユース用部材の加工においては、部材の切断、部材継溶接、孔埋め溶接、開口部の補強、スチフナや取付金物の切除等があり、それらの情報が変化する。この場合、IC タグは工場出荷及び現場施工の単位である柱・梁等の製品を1単位として取り付ける。リユース用部材の1本あたりのデータの総数 N_t は、管理情報・性能情報・検査情報とガセットプレート・

スチフナ・取付金物・ボルト孔・部材継溶接等の位置情報で構成され、1) 式で示される。

$$N_t = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^n b_{ik} y_{ik} \tag{1}$$

- a_{ij} : i 番目の部材における j 個の管理情報・性能情報・検査情報
- x_{ij} : i 番目の部材における j 個の管理情報・性能情報・検査情報を示す変数
- b_{ik} : i 番目の部材における k 個の位置情報
- y_{ik} : i 番目の部材における k 個の位置情報を示す変数
- I : リユース用部材の数
- m : リユース用部材の管理情報・性能情報・検査情報の数
- n : リユース用部材の位置情報の数(ガセットプレート・スチフナ・取付金物・ボルト孔・部材継溶接等)

2 個の解体材を部材継溶接して 1 個のリユース用部材にする場合、管理情報・性能情報・検査情報は変わらないものの位置情報は異なる。例えば、図5に示すように解体材Aの位置情報はガセットプレートの位置 l_1 、 l_2 において変わらないものの、解体材Bの位置情報は l_3 、 l_4 において各々 l_5 、 l_6 に転移する。スチフナ、取付金物、ボルト孔埋溶接等の位置情報も同様である。解体材のガセットプレートや取付金物があらかじめ全て切除されている場合には、部材継溶接の位置情報のみを更新するが、解体材の部材継溶接が不要なものは、位置情報の変動は無い。これらの情報はメモリを有するIC タグを使用するものの、現段階ではメモリ容量の制約及び耐久性の観点よりデータベースに登録し、IC タグの識別番号と1対1の関係に対応させる方が望ましいと言える。また、建設時のリユース用部材と新材の併用を考慮し、IC タグを利用した情報技術はリユース用部材だけではなく、新材にも利用する。さらに、IC タグの識別番号を施工段階で読み込むことで製品の受入検査や建方進捗管理に利用

(a) 圧延H形鋼とIC タグ

(b) 部材の加工におけるIC タグの位置情報の推移

図5 IC タグを利用した圧延H形鋼

表1 工事費

工事費		新材料 使用時 千円/ton	リユース時 (加工有) 千円/ton	リユース時 (加工無) 千円/ton
内訳	鋼材費	70	35	35
	保管費	0	10	10
DB構築費		0	10	10
	メーカーから加工者へ	5	—	—
輸送費	保管場所から加工者へ	—	5	0
	加工者から現場へ	10	10	—
保管場所から現場へ		—	—	10
	加工費	65	45	0
建方・組立費		25	25	25
	現場仮設費	25	25	25
合計		200	165	115

- 注1) 輸送費はストックの量、地域性、保管場所によって異なるものの、ここでは遠距離及び近距離の平均的な数値とする。
- 注2) リユース用部材の加工費は加工の程度により異なるものの、ここでは平均的な数値とする。

表2 実質解体費

実質解体費		リユース解体 千円/ton	従来の解体 工法 千円/ton
内訳	現場仮設費	25	12.5
	解体費	25	12.5
現場から保管場所へ		5	—
	鋼材の売却による費用	—	-10
合計		55	15

する。

このようにICタグの情報は、管理情報・性能情報・検査情報と加工に伴い転移される位置情報に分類できる。これらの情報はメモリを有するICタグの識別番号とそれに対応したデータベースと1対1の関係に対応させる方が望ましい。

4. コストシミュレーション

リユースビジネスモデルの経済性を検討するために、リユース用部材を使用した中層鉄骨ビル構造（共同住宅）の例を取り上げてコストシミュレーションを行う。ただし、3. で提案したビジネスモデルにより資金調達が可能であると仮定する。

4.1 対象モデルと工事費

建設時にリユース用部材を使用した対象モデルは中層鉄骨ビル構造に使用した2方向ラーメン構造である（建築面積：588m²、床面積：4,029m²、階数：7階）。構造用部材は、柱材（H-350～800）、梁材（H-250～500）を使用している¹⁵⁾。解体材は低層鉄骨造（平屋）より採取すると仮定する。工事費は参考文献¹⁵⁾に基づき、表1、表2に示すように設定する。ここで、リユースビジネスマネジメントがデータベースを管理・運用し、リユース用部材の加工者またはストックの保管者等がICタグを貼付する。コストシミュレーションのパラメータは、解体材から採取できるリユース用部材の割合、建設時に使用するリユース用部材及び新材の使用割合、リユース加工の程度である。解体材から採取できるリユース用部材の割合、加工の程度、建設時のリユース用部材の使用割合を各々10%刻みとしたモデル（1221ケース）の組み合わせとする。ここで、新材は高炉または電炉で製造されたもので、リサイクル材を含む。解体時には部材の全量

（100%）をリサイクルに、建設時には部材の全量（100%）をリユースすることは、循環的に存在しないものの、コストシミュレーションにおいてはこれを含むモデルとして設定する。ただし、パラメータとコストの関係は複合的であるものの、線形と仮定する。現在の流通においては、リサイクル材として鉄骨造を解体し、スクラップとして売却されている。この場合、スクラップ等から粗鋼を生産する段階で銅やスズ等の循環性元素が含まれるため、同じ材料のリサイクル回数の増加による品質低下等が指摘されているものの^{45) 46)}、ここでは、リサイクルされた部材の品質低下は無いものとする。

（共通条件）

- 1) リユース解体により損傷の少ない部材を入手する。
- 2) リユース用部材は十分な防錆対策により、部材の性能を維持できるものとする。
- 3) リユース用部材の加工段階における溶接や切断などで長さや自由に変更できる。
- 4) リユース用部材の使用回数はICタグの耐久性、事業創出期間等を考慮して1回とする。ただし、建設時のリユース用部材のコストの変動、並びに解体時の解体材のコスト変動の影響は除く。

4.2 シミュレーション結果と考察

コストシミュレーション結果を図6に示す。横軸は建設時ににおけるリユース用部材の使用割合、縦軸は建設から解体までの1サイクルにかかるコストを示している。例えば、リユース用部材と新材を各々50%使用する場合、1サイクル当たりのコストは従来の解体工法において約180千円/t、リユース解体において約240千円/tである。従来の解体工法を行い、建設時に新材100%を使用する場合のコストは215千円/tである。図6の線分①は解体時にリユース用部材100%を採取する場合の1サイクルあたりのコストで、建設時にリユース用部材を使用しない場合のコスト（255千円/t：新材料費200千円/tと従来の解体費55千円/tの計）と建設時にリユース用部材を100%使用する場合のコスト（220千円/t：新材料費165千円/tと従来解体費55千円/tの計）と結んだものである。これに対して線分②は解体時にリユース用部材を採取しない（全てリサイクル材）場合の1サイクルあたりのコストで、建設時にリユース用部材を使用しない場合のコスト（215千円/t：新材料費200千円/tと従来解体費15千円/tの計）と、建設時にリユース用部材を100%使用する場合のコスト（130千円/t：新材料費115千円/tと従来解体費で15千円/tの計）を結んだものである。後者は、現在の鋼材の流通システムであり、既に事業が成立しているリサイクルビジネスである。図6においてハッチ部分が建設時に新材100%を使用する場合のコストより下回る領域に該当する「リユースビジネスとして成立する

図6 建設時のリユース用部材の使用割合とコスト

図7 リユース用部材の各使用割合と頻度

領域」を示している。これによると、その領域はリユース用部材を使用する割合が増加する程、大きくなっている。現在の鋼材の流通では、建設時に新材料を購入、解体時にはリサイクル材として売却することがほとんどである。リユースビジネスを成立させるためには、この領域に入るように建設時のリユース用部材と新材の使用割合、リユース加工の程度を設定する必要があることを示唆している。

建設時のリユース用部材の使用割合が10%、50%、100%の場合のヒストグラムを図7に示す。横軸は建設から解体までの1サイクルにかかるコスト、縦軸は対象としたモデル(1221 ケース)の中で、コストシミュレーションの結果より得られた事業モデルの頻度を示している。これによるとリユース用部材とリサイクル材の割合が各々50%を平均値とする正規分布に近似している。リサイクル材の全て使用に対して、リユース用部材の比率が大きくなるに連れて、その正規分布がリユースビジネス成立の採算基準より左側に移行している。すなわち、これはリユース用部材の使用割合を50%以上にする必要があることを示している。すなわち、リユースビジネスの持続性の観点からもリユース用部材の使用割合を増加させることで、事業採算性が向上することになる。さらに、建設時に使用するリユース用部材を安定的に供給するためには、資源確保の観点からも解体時にリユース用部材を多く生成することが望ましいと考える。

5. 結論

本論では、リユースフローに着目し、IC タグを利用したリユースビジネスモデルの経済性並びに情報について検討した結果、下記のこと が明らかになった。

- 1) IC タグを使用したリユース用部材の証券化及び動産担保融資のリユースビジネスモデルを提案した。
- 2) IC タグの情報は、管理情報・性能情報・検査情報と加工に伴い転移される位置情報に分類できる。これらの情報はメモリを有するIC タグの識別番号とそれに対応したデータベースと1対1の関係に対応させる方が望ましい。
- 3) リユースビジネスモデルに関するコストシミュレーションの結果、ビジネスとして成立する領域を示した。
- 4) リユースビジネスの持続性の観点からリユース用部材の使用割合を増加させることで、事業採算性が向上する。

本論では、木材分野において試行段階に入っているビジネスモデルを鉄骨造に応用した例を示した。リユース用部材の証券化にあたっては証券の償還期間、リユース用部材の資産評価、小口証券等の課題がある。また、リユース用部材による動産担保融資にあたっては、リユース用部材の利用における金融制限、建設時や解体時のリユース用部材のコストの変動の影響に加えてIC タグの耐久性、耐候性、耐熱性等の課題がある。現在、IC タグ及びそれに関連したシステム機器、データベース等ソフトウェアの寿命は建築物が30年程度で解体されているとしてもそれに達しておらず、技術革新に期待することが大きい。しかし、リユース用部材を採取してから使用するまでの期間は数年であり、実環境によるIC タグの検証を行えば、実際への適用も考えられよう。今後、リユースフローにおける

IC タグの実証実験を始めとしてこれらの課題を検討する予定である。一方、リユースビジネスは経済性原理に基づいたものであり、価格や市場動向等の影響を大きく受ける。今後、法規制や二酸化炭素排出量取引が運用されるとすればリユースビジネスにとってさらに追い風になるであろう。

謝 辞

本研究は、平成19～21年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B))の助成を受けた。本研究にあたり、神奈川大学学部学生(当時)下氏亮介氏の協力を得ました。記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：地球環境建築のすすめ，彰国社，2002.8
- 2) 日本建築学会構造委員会鋼構造運営委員会：建築鋼構造における環境性とは何か，日本建築学会大会（北陸）構造部門パネルディスカッション，2002.8
- 3) 日本建築学会地球環境委員会：「社会ニーズの変化と構造」，「環境と防災」，「地球環境のための新たなビジネスモデル創造の可能性」，日本建築学会大会（関東）パネルディスカッション，2006.9
- 4) 秋山宏，伊香賀俊治，木俣信行：地球環境問題への建築学会としての取り組みと展望，建築雑誌 Vol. 114, No. 1445，日本建築学会，1999.10
- 5) 日本建築学会材料施工委員会：循環型社会に向けた建築生産のあり方，2001.9
- 6) 国土交通省：建設白書2002，2002.4
- 7) 日本建築学会地球環境委員会：建築とCSR 企業は地域景観と建築物ストックの形成にどのような責任があるのか，2005.9
- 8) 伊香賀俊治，村上周三，加藤信介，白石靖幸：我が国の建築関連CO₂排出量の2050年までの予測 建築・都市の環境負荷評価に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第535号，pp. 53～58，2000.9
- 9) 日本建築学会：建物のLCA 指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール，2006.11
- 10) 佐土原聡：「地球環境」と「防災」の体系的整理と統合化の試み，総合論文誌 第6号「地球環境と防災のフロンティア」，日本建築学会，pp. 5～8，2008.2
- 11) Masanori FUJITA, Mamoru IWATA: Reuse System of Building Steel Structures, STRUCTURE & INFRASTRUCTURE ENGINEERING, Vol.4, No.3, Taylor & Francis, pp.207-220, June 2008
- 12) 岩田衛，堂野前等，久松雄治：建築鉄骨構造のライフサイクルにおける環境負荷削減のシナリオとその評価，日本建築学会構造系論文集，第533号，pp.167～173，2000.7
- 13) 山田哲，黒川礼子，會澤貴浩，岩田衛：廃棄物量とLCCO₂量に着目した鉄骨造建物における環境負荷の評価，日本建築学会構造系論文集，第554号，pp.131～137，2002.4
- 14) 岩田衛，竹内徹，藤田正則：建築鋼構造のシステム化，鋼構造出版，2001.2
- 15) 岩田衛，藤田正則，前田親範：情報技術を利用した建築鋼構造のリユースマネジメントモデルの提案，総合論文誌第1号「地球環境建築のフロンティア」学術論文，日本建築学会，pp.81～86，2003.2
- 16) 藤田正則，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 リユース材のストック，日本建築学会環境系論文集，第618号，pp.95～101，2007.7
- 17) 藤田正則，前田親範，小河利行，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 データベースの構築方法の提案，日本建築学会環境系論文集，第587号，pp.93～98，2005.1
- 18) 藤田正則，山下拓三，関戸宏幸，小河利行，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 リユース材の適用シミュレーション，日本建築学会環境系論文集，第612号，pp.111～116，2007.2
- 19) 藤田正則，前田親範，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 スtockヤードの設置方法の提案，日本建築学会環境系論文集，第579号，pp.105～110，2004.5
- 20) 藤田正則，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 リユース材の加工とその性能評価，日本建築学会環境系論文集，第620号，pp.97～102，2007.10
- 21) 藤田正則，前田親範，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 リユース材の構造性能，日本建築学会環境系論文集，第600号，pp.83～89，2006.2
- 22) 藤田正則，村井正敏，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステム

- に関する研究 リユース材のストック診断, 日本建築学会環境系論文集, 第630号, pp.1061～1067, 2008.8
- 23) 藤田正則, 田中繁樹, 岩田衛: 建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 低層鉄骨造の丁寧な解体方法, 日本建築学会環境系論文集, 第604号, pp.109～114, 2006.6
- 24) 藤本盛久: 構造物の技術史 構造物の資料集成・事典, 市ヶ谷出版社 2001.10
- 25) 鋼材倶楽部: 新しい建築構造用鋼材, 鋼構造出版, 2001.2
- 26) 岡松眞之, 橋本潔, 望月晴雄, 窪田藏郎: 建築構造用鋼材の知識, (株) 鋼構造出版, 1993.5
- 27) 山邊友一郎, 谷明勲, 河村廣: リカレント建築ネットワークに基づく循環型社会シミュレーションシステムの構築, 日本建築学会環境系論文集, 第624号, pp.253～260, 2008.2
- 28) 日本建築学会・ユビキタス建築都市特別研究委員会: 特別研究部門パネルディスカッション, 「21世紀の電腦都市論」, 2007.8
- 29) 谷明勲, 山邊友一郎, 河村廣: センサ付無線ICタグの応用のユビキタス建築構造ヘルスマニタリング構想, 総合論文誌 第4号 「情報化の視点からみた建築・都市のフロンティア」, 日本建築学会, pp.111～116, 2006.2
- 30) 社団法人 鉄鋼連盟 建設環境幹事会: 鋼構造物へのICタグの適用, 2007.10
- 31) 坂村健: ユビキタスコンピューティング技術, 建築雑誌 Vol.120 No.1527, 日本建築学会, 2005.1
- 32) 坂村健: 情報化と建築・都市・環境, 総合論文誌 第4号 「情報化の視点からみた建築・都市のフロンティア」, 日本建築学会, pp.19～22, 2008.2
- 33) 伊藤忠丸紅鉄鋼株式会社: KIDS TAG を利用した金属材料管理システムのご紹介, 2003
- 34) 谷明勲: 「環境」「防災」と情報システム, 総合論文誌第6号 「地球環境と防災のフロンティア」 学術論文, 日本建築学会, pp.41～44, 2008.2
- 35) NTT データ・ユビキタス研究会: ユビキタス社会を実現するRFID技術 ICタグって何だ, 三美印刷, 2003.11
- 36) 小林亜令, 上向俊晃, 井ノ上直己, 小池淳, 山田満, 坂村健: 統合PDA端末の開発(1)～(6), 電子情報通信総合大会, pp.712～717, 2005.3
- 37) 越塚登, 坂村健: 食の安全・安心を実現するためのユビキタスコンピューティング技術, 電子情報通信学会誌 Vol.88 No.5, pp.349～354, 2005
- 38) 越塚登, 坂村健: ユビキタスID技術とその応用, 電子情報通信学会誌 Vol.87 No.5, pp.374～378, 2005
- 39) 日本建築学会地球環境委員会: 地球環境ビジネスモデルワーキンググループ 2006年度活動報告書, 2007.3
- 40) 中村裕幸, 野城智也, 鈴木拓朗: 木材生産及び流通の情報システムに関する研究, 第58回日本木材学会大会研究発表要旨集, pp.427～428, 2008.3
- 41) 中村裕幸: 国内森林再生のためのサプライ/デマンド・チェーン・システムのデザイン, エコデザイン2006論文集, pp.535～540, 2006
- 42) 中村裕幸: 林業再生のための新たなビジネスモデル創造, 第7回・自然環境復元研究発表会 森林循環再生とバイオマスの利活用 自然環境復元学会, NPO法人自然環境復元協会, pp.17～22, 2006
- 43) 中村裕幸, 野城智也, 吉田敏, 村井一: 電子タグを用いた木材トレーサビリティ実証実験 その1 持続可能な森林経営のためのデマンド・プル型木材流通システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1149～1150, 2006.9
- 44) 村井一, 野城智也, 吉田敏, 中村裕幸: 電子タグを用いた木材トレーサビリティ実証実験 その2 実験内容および実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1151～1152, 2006.9
- 45) 日本建築学会地球環境委員会資源利用戦略小委員会: 建築材料のマテリアルフローと資源利用の課題, 2008.3
- 46) 社団法人 鉄鋼連盟 建設環境幹事会: 鉄の命は無限です, 2005.9

(2008年7月10日原稿受理, 2009年1月7日採用決定)