

使用済み衛生陶器の発生量予測と リサイクルの可能性評価

新谷亮介¹・松本 亨²・櫻井利彦^{3,4}・犬丸かおり⁴・志賀正敬⁵・長谷川義之⁵

¹非会員 北九州市立大学博士前期課程 大学院国際環境工学研究科
(〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1)

²正会員 博(工)北九州市立大学助教授 国際環境工学部

³非会員 北九州市立大学博士後期課程 大学院国際環境工学研究科

⁴非会員(財)福岡県リサイクル総合研究センター

⁵非会員 東陶機器株式会社

建設混合廃棄物のリサイクル率は大幅に低い状況にある。中でも、衛生陶器類は具体的な活用方法が見出せておらず、ほとんど埋立処分されている。本研究では衛生陶器の再資源化の可能性評価を行うため、北九州市を事例として使用済み衛生陶器類の発生量予測と分別・リサイクルのコスト評価及び LCCO₂ の推計を行った。衛生陶器発生量の予測は、2003 年から 2020 年までとし、解体と増改築・改装に分けて推計を行った。可能性評価については、①月間発生量を 40 t, ②分別・リサイクルの処理施設場の設置場所は実現性を考慮して同市若松区, ③再資源化製品としてコンクリート骨材, 透水ブロック, 樹脂用混合材の 3 品目を想定して検討した。

Key Words: *used sanitary chinaware, mixed construction waste, dismantled floor space, feasibility of recycling*

1. はじめに

最終処分場の逼迫などにより、発生抑制、リサイクルの促進が急務となっている。2000 年には、建設リサイクル法が制定され、現在分別・リサイクルが義務づけられているのは、コンクリート塊、アスファルト、建設発生木材のみである。これら 3 品目は、建設廃棄物の大部分を占め、リサイクルによる減量効果が高いこと、分別・リサイクル手法が確立していることから対象となっている。

一方、建設混合廃棄物のリサイクル率は 9% にすぎず、建設廃棄物全体のリサイクル率が 8 割であるのに対し、大幅に低い状況にある。また、建設混合廃棄物に含まれる衛生陶器類は、コンクリート、ガラスと比較して粉砕費用が高く、具体的な活用方法が見出していない。そこで本研究では、まず、解体、増改築・改装によって発生する使用済み衛生陶器の発生量予測・将来推計を行う。これは、今後建設混合廃棄物の分別・リサイクルの実現可能性を詳細に分析していくために欠かせない情報である。これをもとにコスト評価及び LCCO₂ により、リサイクルの実現可能性評価を行う。

2. 推計方法

(1) 推計フロー

本研究における推計フローを、図-1 に示す。推計の対象地域を、北九州市全域とする。

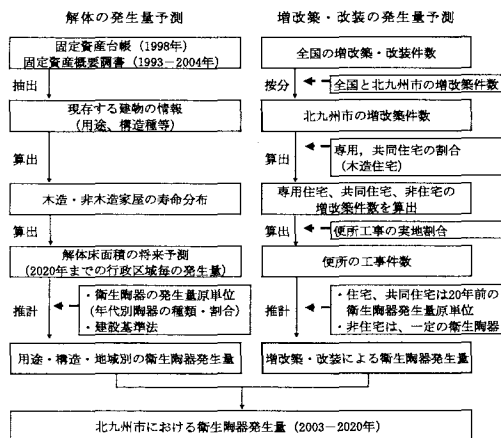


図-1 建設混合廃棄物の発生量の将来推計フロー

(2) 解体による衛生陶器発生量の推計方法

北九州市の解体床面積の予測の際、最も詳細な個別データとして固定資産台帳(1998)があるが、経年変化情報がとれない。そこで、固定資産概要調査(1993~2004)により、滅失床面積の経年統計データを用い、構造種別、用途別の寿命分布を求める¹⁾²⁾。そして得られたデータを使い、残存床面積・棟数を推測する³⁾。

得られた解体床面積または棟数を基に、衛生陶器の発生量原単位の値を乗算し衛生陶器発生量(2003-2020年)を求めた。

専用住宅は解体棟数を使用、共同住宅は解体床面積により一世帯当たりの数を算出し使用、非住宅においては解体床面積に、建設基準法・施行⁴⁾より用途別床面積を乗算した値を使用する。発生量を算出し将来予測を行う。

(3) 増改築・改装による衛生陶器発生量の推計方法

増改築・改装全国件数(住宅、非住宅)⁵⁾をもとに、増改築・改装による衛生陶器発生量を求めていく。まず、全国・北九州市の居住の増改築件数⁶⁾を使用し、北九州市の増改築・改装件数を求めた。

また、住宅を専用住宅と共同住宅に分けるために、木造住宅における一戸建と共同住宅の割合⁶⁾を使用し、住宅、共同住宅、非住宅の増改築・改装の件数を算出した。共同住宅は木造家屋の種類別棟数および床面積⁷⁾より、一棟あたりの世帯数を3.605世帯とすることで共同住宅の世帯数を算出した。

こうして求めた各増改築・改装件数を、北九州市における便所の改装件数⁶⁾によって按分することで、北九州市の便所の工事件数を求めた。

次に求めた便所の工事件数に、各衛生陶器発生原単位を乗じることで、北九州市における増改築・改装における衛生陶器発生量の算出を行った。

全建築物の増改築・改装は築20年の住宅からみられたため⁵⁾、住宅、共同住宅においては20年前の衛生陶器重量を使用。また、非住宅は建物用途に分けることが困難であったため同一の値を使用した。

3. 解体床面積の将来推計

(1) 手法

小松ら¹⁾により、正規分布・対数正規分布・ワイブル分布などの残存率の分布モデルが示されているが、対数正規分布が最も実測値に近いと報告されているためそれを採用した。残存率関数 $R(t)$ を求める際、固定資産概要調査により区間残存法にて現存床

面積を算出する¹⁾。次に、 $R(t)$ と故障密度関数 $f(t)$ の値を、橋本ら³⁾により示されている(1)式に代入し、将来の解体床面積を推測する。今回、1998年の固定資産台帳のデータを使用しているため $k=1998$ とする。 $R(t)$:残存率関数、 $f(t)$:故障密度、 $D(i)$: i 年の解体床面積、 $G_k(j)$: k 年における j 年築の現存床面積、 $e(j)$: j 年の新築床面積)

$$D(i) = \sum_{j=i-1} \left\{ \frac{G_k(i)}{R(i-j)} \times f(i-j) \right\} + \sum_{k=j-i-1} \{ e(j) \times f(i-j) \} \quad (1)$$

上式の右辺第一項は $(k-1)$ 年以前に建てられた建物の除去量を表しており、 k 年における建築別現存床面積と建築寿命分布関数が既知であれば、 k 年以前の着工床面積の統計資料は不必要となる。右辺第二項は、 k 年以前に建てられた建物の除去量を表している。ただし、今回は第二項の部分の推計を行っていない。

(2) 推計結果

式(1)で得られた結果を、以下に示す。

図-2は、北九州市の木造家屋の生存率関数と非木造家屋の生存率関数を示している。

パラメータはそれぞれ、木造家屋($\mu=4.258$, $\sigma=0.726$, 平均寿命=70)、非木造住宅($\mu=4.317$, $\sigma=0.921$, 平均寿命=74)である。この図から、木造、非木造ともに平均寿命が70年以上となっており、全国平均30~40年¹⁾という数字と比較すると、北九州市の建築物の寿命が長い結果となった。次に、図-2の生存率関数を用いて、固定資産台帳により専用住宅・共同住宅・非住宅の別に解体床面積を求めた結果を図-3に示す。

共同住宅では、世帯ごとに衛生陶器が発生するため、解体棟数ではなく世帯数から導出した。なお、共同住宅における解体される世帯数の算出は、解体棟数を国勢調査による世帯あたりの平均床面積(47.3m²)で除することで算出した。

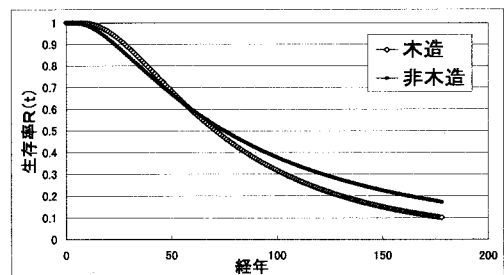


図-2 木造家屋、非木造家屋の生存率関数の推計結果

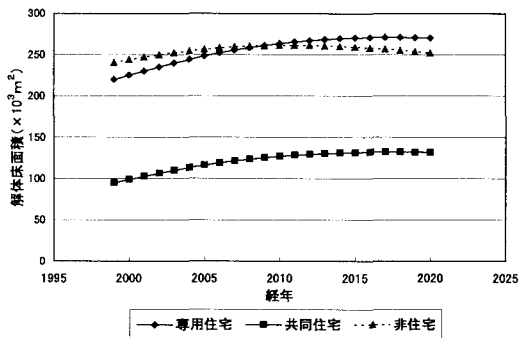


図-3 解体床面積の推計結果

(3) 使用済み衛生陶器の発生原単位

次に、解体床面積または棟数を用い、使用済み衛生陶器発生量の将来予測を行う。図-4は住宅における世帯あたり衛生陶器出荷量の変遷である。1993年までの洋風便器1セットあたり37.4(kg)、1994年からは42.3(kg)とする。また、専用住宅において1994年以降の洋風便器設置世帯の6割を、衛生陶器の設置数2個としており、1984年から徐々に増加することにした。

非住宅における床面積あたり衛生陶器発生原単位に関しては、用途分類をそれぞれ、事務所(業務、官公庁施設、運輸倉庫、重工業・軽工業、サービス工業・家内工業・林業、危険物貯蔵・処理施設・その他)、百貨店(商業、娯楽・遊戯施設)、寄宿舎(宿泊施設)病院(文教)として、給排水衛生設備基準解説書をもとに求めた。なお、非住宅においてはデータの入手困難性により発生原単位を時間に依存しない固定値として扱った。

これらのデータを、住宅の解体棟数あるいは解体世帯数に、専用住宅・共同住宅の発生原単位、あるいは非住宅の原単位を乗じることで、衛生陶器発生量を求める。

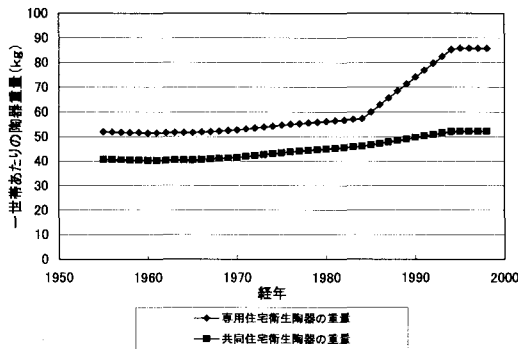


図-4 世帯あたりの出荷年別衛生陶器重量の経年変化

4. 解体、増改築・改装による衛生陶器発生量

(1) 北九州市における衛生陶器発生量

北九州市における解体と増改築・改装による衛生陶器発生量の合計は、図-5に示すとおりである。年間490~570tという値で推移している。月・日割り(実質稼働日数を250日で計算)でそれぞれ見ると、月間約40~47t、1日あたり約2~2.3tという結果となった。

解体による衛生陶器発生量の推計結果をみると、専用住宅と共同住宅の衛生陶器発生量はほぼ同程度となっている。これは、世帯あたり衛生陶器重量が、専用住宅の方が大きいことが影響している。なお、非住宅の衛生陶器発生量の割合の中で「重工業、軽工業」が大きくなったが、これは用途区分別衛生陶器発生原単位データに工場がなく「事務所」を用いたためであり、この用途区分の推計結果は現実より過大評価になっていると考えられる。

次に、増改築・改装による衛生陶器発生量推計結果を考察する。2003年から2020年にかけて、専用住宅640件、共同住宅2,600件、非住宅160件となる結果が得られた。これによると、共同住宅の衛生陶器発生量が大きな値となっている。住宅の衛生陶器発生量が増えているのは、解体による衛生陶器発生量と同様に、床面積あたり衛生陶器の原単位が増加するためである。

住宅(専用・共同住宅)、非住宅の内訳を見ると、共同住宅が大きな値を示しており、年間約220~260t、次いで専用住宅、非住宅の順となった。

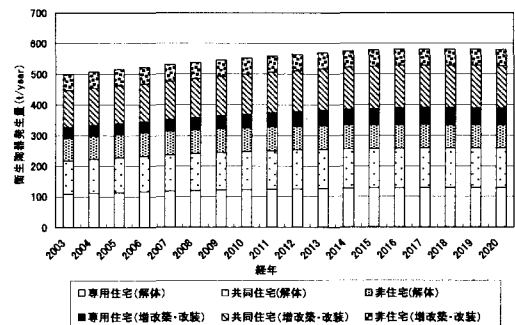


図-5 解体、増改築・改装による衛生陶器発生量

5. 分別・リサイクルの環境経済評価

(1) 評価のためのシステム境界の設定

図-6、図-7は、現状ケースとリサイクルを行うケースのシステム境界を示している。現状では、大型工事(共同住宅、非住宅)と小規模工事(専用住宅

宅、増改築・改装)から発生した衛生陶器は、そのまま最終処分場に運ばれている。また、リサイクルによる2次製品向け原材料がないため、リサイクルを行うケースと比較するために、コンクリートに使用される砂、あるいは樹脂製品に使用されるポリプロピレンを調達し、工場まで運搬するプロセスを含める必要がある。調達先は、工場のある県内と仮定した。なお、透水ブロックについては、現在すでに使用済み陶器を使用している製品を想定することとし、原材料調達をここでは省く。

リサイクルを行うケースでは、大型工事の場合は、指定集積所及び指定中間処理業者に運搬、する小規模工事の場合は一旦、工事店に持ち帰り、ある程度の量が集積した後、指定集積所及び指定中間処理業者に運搬する。その後、衛生陶器を分解処理施設において分解・粉碎・殺菌・分級を行った後、再生資源を再利用先まで搬送する。再利用先については、コンクリート二次製品、透水ブロック、樹脂製品の3工場のいずれかとする。

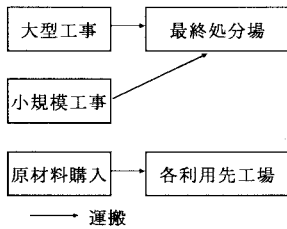


図-6 現状ケース

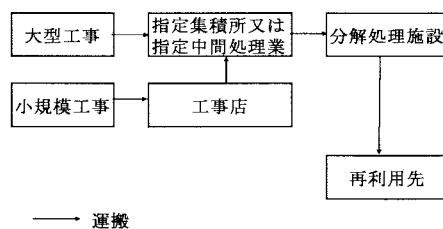


図-7 リサイクルを行うケース

(2) 総費用と総便益による比較

表-1に、リサイクルを行うことによる、総便益と総費用の項目を示す。なお、この表中で用いている「私的」費用・便益は、リサイクルに係わる業者のことを指している。

総費用としては、リサイクル業者による回収コスト、分別処理施設の設備、回収用コンテナ、分別処理場の動力費、労務、借地(集積所)、粉碎により発生する廃棄物の処理の他、分別コスト、回収コストを含む。一方、総便益としては、リサイクル業者の

再生資源の売却益(コンクリート二次製品、透水ブロック、樹脂製品のいずれか)の他、リサイクルを行うことによる処分場の節約、再生資源を使うことによる天然資源の節約がある。

なお、工事施工主から支払われる廃棄物処理費(リサイクル料金)については、システム内で相殺されるためカウントしない。また、社会的費用便益分析のためには、環境影響の経済評価を行い、それも含めて比較する必要があるが、ここでは含めない。

表-1 社会的費用及び社会的便益の評価項目

項目	既存事業(処理量2トン/日(40トン/月)と仮定する)			
	事業のコスト計算	単位		
総費用	・分別コスト(排出業者)	100個×556円/個・人×2人 1.43kW・7分/個×1.5kW・15分/個+ 0.5kW・22分/個×12円/kWh	111,200円/日(1) 280円/日(2)	
	・回収コスト	850kgトラックを使用: 100万円/台×84個÷3,805台番/線 ×70kg/850kg	346円/日(3)	
	・輸送(現場→集積所)	850kgトラックを使用: 100万円/台×38件×20kg/850kg	1,412円/日(3)	
	・回収コスト(集積所→リサイクル施設)	フレアレンタル(人件費):38,000円/日	38,400円/日(4)	
	・設備	①コンクリート用骨材、透水ブロック ②樹脂用混合材 ③コンテナ	24,488,000円/5年償却 62,886,000円/5年償却 4,500,000円/耐久5年:30台	20,405円/日 52,405円/日 3,750円/日
	・動力	①コンクリート用骨材、透水ブロック ②樹脂用混合材	37kW・12円/kWh・7時間 17kW・12円/kWh・7時間	3,108円/日 8,488円/日
	・労務	3人×10,000円/月(分解・粉碎・粗粉砕)	30,000円/日	
	・借地	800m ² ×3,000円/月	15,000円/日	
	・廃材によるごみ排出	4t/月×21,478円/トン	38,400円/日(5)	
	・輸送(リサイクル→再利用)	透水ブロック 樹脂製品	1小倉⇒岐阜市:125,000円/10車×4回/月 北小倉⇒大塚市:105,000円/10車×4回/月 北小倉⇒津山:75,000円/10車×4回/月 北小倉⇒吹上:55,000円/10車×4回/月 平均	25,000円/日(4) 21,000円/日(4) 15,000円/日(4) 11,000円/日(4) 15,867円/日(4)
総便益	・売却益(全体の比率の90%とする)	①コンクリート二次製品 ②透水ブロック ③樹脂製品	61,200円/月:36t/月 900,000円/月:36t/月 2,834,200円/月:36t/月	3,060円/日 45,000円/日 148,710円/日
	・処理費	278~3528円/個:100個/月	27,800円/日	
	・処分場節約	38t/月×21,478円/トン	92,800円/日(5)	
	・天然資源節約	①コンクリート二次製品:砂 ②樹脂製品:ポリプロピレン樹脂	2.5円/kg×38t/月 180円/kg×38t/月	4,500円/日(6) 288,000円/日(6)
	・売却益(コンクリート二次製品)	5小倉⇒北九州市:40,000円/10車	8,000円/日(4)	
	・売却益(全体の比率の90%とする)	①コンクリート二次製品 ②透水ブロック ③樹脂製品	61,200円/月:36t/月 900,000円/月:36t/月 2,834,200円/月:36t/月	3,060円/日 45,000円/日 148,710円/日
	・処理費	278~3528円/個:100個/月	27,800円/日	
	・処分場節約	38t/月×21,478円/トン	92,800円/日(5)	
	・天然資源節約	①コンクリート二次製品:砂 ②樹脂製品:ポリプロピレン樹脂	2.5円/kg×38t/月 180円/kg×38t/月	4,500円/日(6) 288,000円/日(6)
	・売却益(コンクリート二次製品)	5小倉⇒北九州市:40,000円/10車	8,000円/日(4)	

※仮定条件 処理時間:1セット(便器、タンク、洗面台)＝1日(7時間):100個/1名
粉碎処理時間=3.6t/h(25.2t/day)=1200個/日

1)厚生労働省「毎月勤労統計調査」都道府県別調査(平成15年)より、建設業:363,693円/月
2)出荷年齢層年変化:TOTO調べ
3)財政局環境部の整理と仮定
動力費については電気カッター(1.43kW)、ドリル(1.5kW)、簡易集塵機(0.5kW)を使用
4)財政局固定資産税課:本道家庭の埋却別棟数より床面積より3,805台番/機とした。
また、推計結果から小規模工事件数を30件・大規模工事を64件とした。
5)トラック運賃を調査。(荷役業者:上組)
北九州市については38,400円/2tトラックであることから、仮に40,000円/10tとした5)
6)福岡市環境型システム研究会:
「元気が持続する循環のまちふくおか」福岡式循環型システム平成13年より、21,478円/トンとした
7)透水ブロックは既存に衛生陶器を再利用した製品があるため、節約はなしとした。

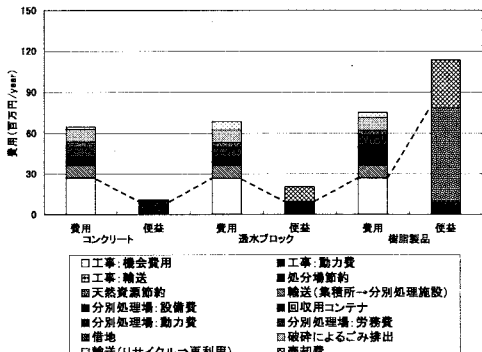


図-8 総費用と総便益による比較

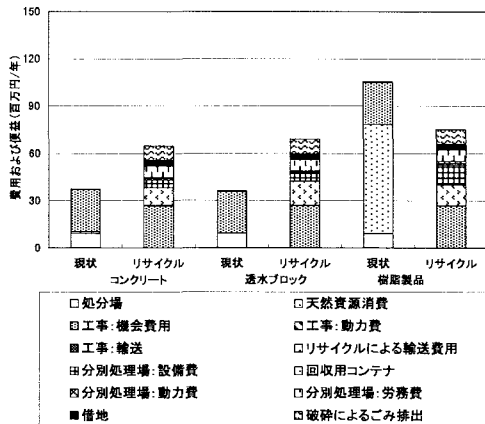


図-9 LCCによる比較

図-8に、リサイクルを行うケースの、総費用及び総便益の比較を行った結果を示す。総費用においては、機会費用（人件費）が占める高くなっている。総便益に関して、最終処分場節約効果と、特に樹脂製品に関しては天然資源節約効果が大きく利いていることがわかる。

この結果からは、衛生陶器から得られる再生資源の二次用途によって便益額が大きく異なることである。コンクリート二次製品と透水ブロックに関しては、総費用の方が総便益を大きく上回っているが、樹脂製品への利用を想定するケースでは、天然資源削減効果により費用と便益が拮抗している。

なお、リサイクル業者のみを想定した私的財務分析も可能である。その場合、施主からのリサイクル料金を考慮した評価を行うことになるが、現状で工事業者が支払っている処理費用（276円/個）から、施主への平均処理請求額（3,250円/個）の幅の範囲で設定することになる。

(3) ライフサイクルコスト及びCO₂による比較

図-9に、現状ケースとリサイクルを行うケースの、ライフサイクルコストの比較結果を示す。リサイクルにおいては、輸送費用が最も高いが、これは主に集積所→分別処理施設間の輸送コストである。また、樹脂製品に関して、天然資源（ポリプロピレンの材料コスト）の費用が高いことから、リサイクルケースはその消費削減効果により現状ケースより有利に働くことがわかった。

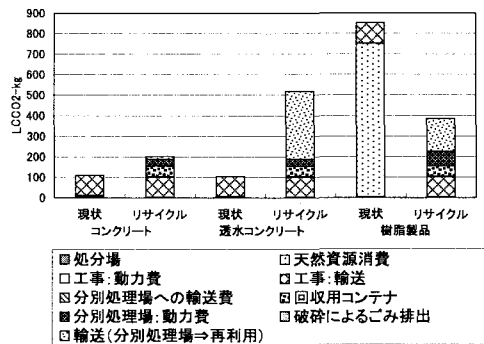


図-10 LCCO₂による比較

図-10に、LCCO₂の比較結果を示す。現状とリサイクルケースを比較したとき、コンクリートと透水ブロックで現状ケース、樹脂製品でリサイクルケースの方が優れた結果が得られた。これは、樹脂製品に用いる天然資源（ポリプロピレン）のCO₂排出原単位が大きいためである。

また、透水ブロック、樹脂製品の場合の輸送（分別処理場→再利用場）部分のCO₂の値が大きくなっているが、これは、想定している工場までの距離が大きいためである。

6. 今後の課題

今回使用した固定資産台帳のデータには、構造および用途のデータが欠落している割合が全体的に1割程度あり、補足率で割り戻すことで拡大推計した。なお、式(1)において今回は比較的短期の将来推計であるため第二項を省いたが、より正確を期すためには第二項を入れた推計を行う必要がある。

今回の推計結果によると、解体と増改築・改装を合算した衛生陶器発生量は約40t/月となったため、6章の分別・リサイクルの環境経済評価はその値をもとに評価した。これは、北九州市内から発生量の全量を分別回収することが前提となっているため、分別回収率の変化と回収エリアの設定により変動する。今後は、コスト分析あるいはLCAにおいても、衛生陶器のリサイクル対象量の変動と、それにとまう分別回収コストの上昇、回収エリアの拡大による輸送コストの上昇を扱った感度分析を行うことが課題である。

参考文献

- 1) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也: わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 439 号, pp. 91-99, 1992.
- 2) 加藤裕久, 小松幸夫: 木造専用住宅の寿命に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 363 号, pp. 20-26, 1986.
- 3) 橋本征二, 寺島泰: 建設ストック解体量の将来予測, 第 7 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 1996.
- 4) HASS 206: 給排水衛生設備基準解説書, 衛生器具の適正個数算定法
- 5) 国土交通省: 増改築・改装等の調査
- 6) 総務省統計局: 日本の住宅・土地-平成 10 年住宅土地統計調査-, 1999.
- 7) 財政局固定資産税課: 木造家屋の種類別棟数および床面積
- 8) 厚生労働省: 毎月勤労統計調査-賃金構造基本統計調査 (都道府県別・福岡県分), 2003.

GENERATION AMOUNT PREDICTION AND RECYCLING FEASIBILITY ASSESSMENT OF USED SANITARY CHINAWARE WASTES

Ryosuke SHINTANI, Toru MATSUMOTO, Toshihiko SAKURAI,
Kaori INUMARU, Masahiro SHIGA, Yoshiyuki HASEGAWA

The recycling rate of mixture of construction waste is at a greatly low level. Especially, the sanitary chinaware wastes are almost disposed by landfill because of lack of effective reuse method. To explore the feasibility of recycling of sanitary chinaware waste, the generation amount of sanitary chinaware wastes from 2003 to 2020 in Kitakyushu was predicted and the cost and LCCO₂ for separating and recycling was assessed in this paper. The generation amounts of sanitary chinaware wastes were separately estimated by source from dismantlement of wasted building and source from extension and redecorating of existing buildings. Probabilistic assessment for separating and recycling was executed based on the following assumptions: generation rate of sanitary chinaware waste is 40 tons per month; separating and recycling facility locates in Wakamatsu-ku; recycling products are aggregate of concrete, permeable block and mixture material for plastic.