

手壊し解体工法による古材の有効利用に関する研究

—モデル解体工事に基く実証的研究—

主査 宮崎 博文^{*1}

委員 田中 圭^{*2}, 井上 正文^{*3}, 高梨 啓和^{*4}, 平田 誠^{*5}, 羽野 忠^{*6}

木造住宅の解体工事から発生する廃木材の効率的な再資源化を図るため、柱、梁などの主要な部材を生かし取りし、再び建築用材等に使用する手壊し解体工法を考案した。実際に手壊し解体工法により工事を行い、発生する廃棄物の種別と数量、特に、廃木材の性状と数量を調査し、手壊し解体工法と現在一般に行われている機械併用分別解体工法とを、解体工事、廃棄物処理、再資源化の各過程において環境及び経済的側面から比較検討した。手壊し解体工法は、分別解体工法と比較して全過程を通してエネルギー消費、所要経費ともに少なく、得られた木材は、古材、再製材、集成材へ修整・加工し、建築用材として再び住宅建築に有効利用できることがわかった。これらは、建築材料として住宅中に再びストックされることから、CO₂の発生抑制に一定の効果を有する。

キーワード: 1) 解体廃木材, 2) 再資源化, 3) 手壊し解体, 4) 分別解体, 5) 在来軸組構法,
6) 環境効率性, 7) 経済効率性, 8) CO₂発生抑制

A STUDY OF THE EFFECTIVE REUSE OF WOODEN WASTES BY HAND-DEMOLITION METHOD

—Empirical study based on the model demolishing work—

Ch. Hirofumi Miyazaki

Mem. Kei Tanaka, Masafumi Inoue, Hirokazu Takanashi, Makoto Hirata, Tadashi Hano

For the effective reuse of wooden wastes discharged from demolishing work of wooden houses, the hand-demolition method was proposed so that the main parts such as columns, beams and others were recovered and reused for building lumbers after appropriate processing. The demolition of houses was performed actually by hand-demolition method and the quality and amount of wooden wastes discharged were investigated. Based on these results, the hand-demolition system proposed was compared with the present machines-based classifying demolition one concerning house demolition works, construction wastes treatment required, and recycling from the viewpoints of environmental and economic aspects. In all operations, the hand-demolition system required less energy and cost than the machine-based classifying one and the woods recovered could be effectively reused as house-building lumbers converting to the recycled lumbers and laminated lumbers. The wooden wastes could be stocked as house-building lumbers without burning or landfilling, and they could contribute to a certain extent to decrease the generation of CO₂.

1. はじめに

今日、循環型社会の生産及び生活様式をめざした廃棄物の再資源化が盛んに行われるようになったが、個別に検証していくと様々な問題点を内在している。一例をあげると、有機物性残渣のコンポスト化—農地還元は、過剰の受入れにより地下水の富栄養化を引き起こしかねない状況にあり、廃プラスチック類のリサイクルは、繰返し再生することにより材料の品質劣化が進み、短いライフサイクルで廃棄されてしまう宿命を抱えている。これらは、従来の大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会経済システムの根幹を変えない限り、再資源化の意図に反

してエネルギー消費や環境負荷がかえって増大する可能性すらある^{文1)}。

建設業から発生する産業廃棄物は、全産業から発生するその約20%を占めているが、これまでに、廃棄物の発生抑制や有効利用の促進などの施策が講じられ、最終処分量は、平成12年度までの5年間で約3分の1に減少している。しかしながら、建設発生廃木材は、その大半が焼却処分^{文2)}され、そのリサイクル率は、建設副産物の中でもアスファルト・コンクリート塊の98%、コンクリート塊の96%と比較して低く38%にとどまっている^{文2)}。

^{*1}大分県衛生環境研究センター 主幹研究員

^{*2}大分大学 助手

^{*3}大分大学 教授

^{*4}鹿児島大学 助教授

^{*5}大分大学 助教授

^{*6}大分大学 教授

表 1-1 分別解体の工法

順序	解体工事の工程	工 法
1	建築設備、内装材その他の建築物の部分（屋根ふき材、外装材及び構造耐力上主要な部分を除く。）	手作業
2	屋根ふき材	手作業
3	外装材、構造耐力上主要な部分	手作業 機械作業
4	基礎及び基礎ぐい	手作業 機械作業

（表注）建設リサイクル法に規定する工法

建設発生廃木材の大半は、木造住宅の解体により発生することから住宅解体の実態が調査され、発生物の種別ごとの数量や、解体に要した手間数等が明らかにされている^{文3～7)}。しかしながら、これらの調査が廃棄物発生量の把握や分別方法の検討を目的に行ったものが多く、再資源化を促進するための知見を得るためには、さらに別の角度からの調査が必要である。

2002 年 5 月に本格施行された「建設資材再資源化法（建設リサイクル法）」により、廃木材についても再資源化が義務付けられたため、業界では木造住宅の解体に分別解体工法（以下、「分別法」と言う。）を取り入れた^{文8,9)}。この工法は、同法施行規則第 2 条第 2 項の規定に基づくもので、表 1-1 に示すとおり瓦、建具、石膏ボード、内部造作などをあらかじめ手壊しで除去した後、躯体となる外壁、軸組を重機で解体するもので、廃木材をガレキから分別するのはある程度可能となったが、柱や梁などの主要部材が重機により取り壊されるため破損してしまい、建築用材としてリサイクルすることが困難なため、もっぱら木材チップに加工され紙パルプ、木質ボード、コンポスト、燃料用等に有効利用されてきた。近年、これらの製品の需要が低迷しているところに加え、建設リサイクル法の施行に伴い多くの廃木材が木材チップに再資源化されて供給過剰になっていることから、新たな用途開発が求められている。

一方、住宅の移築や再生などの目的で行われる手作業で行う丁寧な解体法は、軸組の仕口、継手の構造を保存し、欠損の無い完全な部材を得ることができるため、これらの部材をそのまま使用して新たに住宅を建築することができるが、解体作業には高度な技術と多くの手間数を要するため、現在では歴史的に保存する価値のある建築物などに限定して行われている。

そこで筆者らは、解体廃木材を建築用材等に活用するための適切な解体工法を見出すため、建築様式や解体工法の異なる実際の解体工事をいくつか調査し、排出され

る廃木材の性状及び作業効率が解体工法の違いにより大きく関係付けられていることを知ることができた。

この調査の成果をもとに、建築廃木材のうち半分近くを占める柱、梁等の主要な部材（以下「主要部材」と言う。）のみを丁寧に取り外し建築用材としてリサイクルするかたちの、すなわち、分別解体の作業効率性と移築解体の部材保存性という両方の優れた点を取り入れた独自の解体法（以下「手壊し法」と言う。）を考案した。^{文10)}

手壊し法と分別法との比較を行うために、建築様式、規模、築後年数のほぼ同等な 2 棟の住宅をそれぞれ別々の工法を用いて解体し、主要部材の性状や作業手間数等の調査を行った。

さらに、建築様式や築後年数の異なるいくつかの住宅解体を手壊し法で行い、発生する主要部材の種別、寸法、数量、性状、力学的強度等を計測するとともに、その一部について集成材に試験加工し構造用製材としての規格試験を行った。

その結果、解体作業、廃棄物処理、再資源化の全過程の総合評価において、手壊し法が分別法に比較してエネルギー消費、所要経費ともに少なく、環境面及び経済面において優れた有効利用システムであることがわかった。また、手壊し法で得られた主要部材は、ごく少数の腐朽材を廃棄し釘等の付着金物を除去すれば、建築用材にリサイクルするに当たり木質材料的に支障がないことがわかった。

2. 木造住宅の解体工法

2.1 解体工法の現状と問題点

木造住宅を解体して得られる廃木材は、1960 年頃までは木材資源も少なく、主要部材は、そのまま建築用材として、残りの端材も燃料等として余すことなく使用されていた^{文11,12)}。その後、社会経済の発展を背景に、より迅速な住宅建設が要請され、機械を多用する解体が主流となり、木材資源も建設ラッシュの需要を満たすために海外から大量に供給されるようになった。このため廃木材は、資源としてほとんど省みられることなく、分別可能なものがろうじてチップ材等に再資源化されるだけで、残りの多くは焼却処分されてきた。

近年、全国的に廃棄物の不適正な処分があとをたたず、中でも建設解体廃棄物の占める割合が高く社会問題になったことから^{註2)}、廃棄物の適正処分と発生量の削減、すなわち解体発生物の再資源化率の向上が求められ、建築物の解体工事に際し木材やコンクリート塊を分別し、可能な限り再資源化する分別解体が定着してきた。

わが国の住宅建築様式の最も典型的な工法は、写真 2-1 に示す構造の木造軸組構法（在来工法と呼ばれている。）によるもので、図 2-1 のとおり平成 12 年着工戸数の比率で木造住宅の 80%、全住宅の 36%を占めており、



写真 2-1 木造軸組構法の解体工事

鉄筋コンクリート造、鉄骨造等の工法の住宅と比較すると、使用されている建築材料は、木材主体で種類が少なく、本来、リサイクルに適した設計であったが、近年、異種材料が複雑に組み合わせられた造りになっており、リサイクル率を高めるためには、解体や分別の仕方を工夫する必要がある。

全国の木造住宅の解体戸数は、住宅・土地統計調査及び建築動態統計調査の結果から、秋山^{文13)}の方法などにに基づき推計すると1998年現在において459(千戸)となり、これを元に木造住宅の解体から発生する廃木材の数量を求めると約500万トン/年に達し、再資源化の促進は急務となっている。

木造住宅の解体の仕方やその呼称については、現在のところまだ統一されたものがないため、社団法人全国解体工事業団体連合会、本多ら、建設リサイクル法の呼称

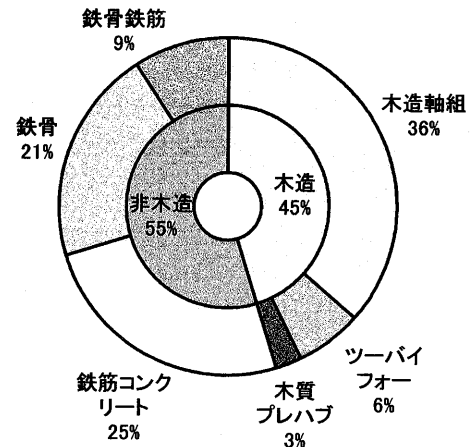


図2-1 住宅の構造別工法別着工戸数
(平成12年「住宅着工統計」から)

や分類を参考にしようとして、本稿においては、解体工法の種別とその内容について表 2-1 にまとめた。表中で手壊し解体とあるのが筆者らの考案した手壊し法であり、分別解体とあるのが現行の分別法で本調査において比較対象とした工法である。

2.2 新たな解体工法の考案

前述の解体工法を見出すために行った解体工事の調査及びその後に行った詳細にわたる調査をもとに、従来から行われてきた機械を使用した解体工法及び現行の分別解体工法において、廃木材の建築用材への有効利用

表 2-1 木造住宅の解体工法の比較

種 別	解体工法の特徴	発生する廃木材の状態
機械解体	全工程を機械により解体する。解体発生物はほとんど混合状態で、ミンチ解体とも呼ばれる。解体作業は短時間で済むが、混合廃棄物の処分が困難で不適正処分の要因となる。	廃木材に折れ、裂け等の破損が見られる。混合廃棄物の分別は困難をきわめる。
分別解体	廃木材とガレキ類を可能な限り分別するため瓦、建具類、石膏ボード等をあらかじめ手壊しで除去した後、軸組を機械により解体する。建設資材再資源化法に規定する標準的工法	廃木材には破損が見られるが、チップ・ボード材等に有効利用できる。
手壊し解体 *	建物の大部分を手壊しで解体する工法。断面の大きな廃木材を付加価値の高い建築用材として有効利用するのが目的で、作業効率を考慮して適所に動力工具や機械を使用する。	柱、梁等の主要部材を生かし取りする。状態に応じてカスケードの有効利用ができる。
移築解体	住宅再生や移築を目的とした解体工法。使用可能な部材をすべて、破損しないように丁寧に取り外し再使用するもので、高度な解体技術と相当な作業日数を要する。	再使用する部材は、仕口・継手の形状を保存し、健全な状態で取り出す。

* 手壊し解体は、筆者らが考案した解体工法のこと、本稿では、処理・処分、再資源化工程まで含めた一連のシステムを「手壊し法」と呼び、同じく分別解体に対応する「分別法」との比較を行っている。

表 2-2 廃木材の建築用材への有効利用を妨げる要因

解体法	材に欠損を生じ建築用材への再利用は不可 端材の多くは混合廃棄物となり分別が困難 野放図な解体、廃棄物処理が容認されてきた
木材の性状	金物、電線、塗料、モルタル等の異物の付着 表面の劣化・汚損及び材の腐朽・蟻害がある 仕口、継手、貫穴、切欠きなどの欠損がある 寸法（特に、長尺方向）が不揃い 材の欠損等に起因する強度不足がある 一時期の住宅建築に低質の木材が多用された
技術要因	健全材を得るには手壊し解体の技術が必要 廃木材の製材、集成材化技術が未開発 古材を再使用する伝統工法の継承がない 解体が困難な建築構造の増加
経済的要因	手壊し解体によると手間賃がかさむ 主な用途であるチップ材の需要が低迷 採算の採れるリサイクル用途がない 総合的な再資源化施設の投資額が過大

（表注）本表に示したほか、本多・山田^{※12）}による阻害要因の分析が参考になる。

表 2-3 手壊し法の要点

技術的側面	作業は、手順書に基づき画一化され、特別の技能を必要としない。 建設機械や動力工具を適宜使用し、作業効率を高める。 主要部材を無傷で取り出し、付加価値の高い有効利用を行う。 解体作業と並行して発生材を区分けし、運搬・処分効率化を図る。 釘・付着物の除去、汚損・腐朽の点検を行い、品質を確保する。
経済的側面	有用材の数量、廃棄物の処分費用を考慮し、本工法の採否を判断する。 主要部材の品質を評価し、最も費用対効果の高い用途を選択する。 古材の一時保管場所を確保し、現場作業の効率化を図る。

を妨げる要因をカテゴリ別に分析した結果を表 2-2 にまとめた。これら阻害要因のうち、技術的要因及び経済的要因によるものはさておき、木材の性状等を向上させる決め手となるのは解体工法の改善であることがわかった。

主要部材が建築用材として再利用されていた時代の解体工事は、解体職人による伝統的技術による手壊し解体が普通に行われていたが、今日の解体工事に従事する作業員は、伝統的技術に通じておらず、手壊し法を導入するに当たっては、工事の段取り、作業の安全衛生、生かし取りする主要部材の種別、その取出し方法等について、工事設計書や作業手順書による的確な指示が必要となる。分別法については、先に述べたように建設リサイクル法に準拠した作業手引書が示されており、手壊し法においても同様の工事手順書を新たに作成する必要がある。

筆者らは、表 2-2 に示した阻害要因を解体作業の過程において排除するとともに、熟練した技術を持たない一般作業員が安全、容易、効率的に作業が行えるような 25 工程 69 項目にわたる実用的な工事手順書を考案した。また、この手順書には、工事に必要な資機材とそれらの使用法の一覧を添付した。表 2-1 に示した手壊し解体は、この手順書に従って行う工事であり、表 2-3 は、その要点を整理したものである。また、表 2-4 は、分別法と対比し全 25 工程に通し番号を付けて示した。

手壊し法が、分別法と異なる点は、次のとおりである。手壊し法が、有用な部材が一定以上得られ手間数が比較的少ない住宅を対象とするのに対し、分別法はすべての住宅を対象とする。また、木材の有効利用法は、手壊し法が、主要部材を建築用材に再利用し、残りをチップ材に回すのに対し、分別法では、主としてチップ材として再生利用する。使用機材は、手壊し法が、全工程で手持ち工具を使用し、適宜、省力化のために動力工具、重機を使用するのに対し、分別解体では、内装ばらしを手持ち工具で行い、躯体は重機を使用する。

3 調査方法

調査は、解体工事業者の請負工事から調査の目的に合致するものを選択し、手壊し法については、筆者らが考案した工法により、また、分別法については、日本建築学会の解体工事施行指針及び（社）全国解体工事業団体連合会の手引書に基づき作業員が工事を行い、筆者らの指揮のもと 5～6 人の学生、大学院生が計測等を行った。

また、これらの調査に先立って行った解体工法を検討する目的で行った調査については、特に、工事の仕方に条件を付けることなく、実際に行われている住宅解体の現状についてありのままを調査した。調査対象住宅の概要を表 3-1 に示した。

3.1 手壊し法と分別法との比較

隣接する A、B 2 棟の建築様式、規模、築後年数の等しい公営住宅について、それぞれ手壊し法及び分別法による調査を行った。

表 2-4 手壊し法の作業手順

区 分	工 程	手壊	分別
調 査	①事前調査, ②工事設計, ③作業打合 せ	共通	
準 備	④車寄せ整備, ⑤付帯設備撤去, ⑥生 活用具搬出, ⑦足場工事, ⑧養生シー ト工事		
内 部	⑨家具, 建具, ⑩内壁, 石膏ボード	手作業	
	⑪胴縁, 間柱, ⑫天井, 造作	手作 業 (*)	機械 使用
外 壁	⑬モルタル, ⑭サイディング, ⑮ラス 板 ⑯建具枠, 庇, 戸袋		
屋 根	⑰瓦, 屋根材	手作業	
	⑱ルーフィング, 野地板, ⑲垂木	手作 業 (**)	機械 使用
軸 組	②①小屋組み, ②②梁, 桁, ②③柱, 鴨居		
床 組	②④床板, 根太, ②⑤大引き, 土台	機械使用	
	②⑥基礎コンクリートばらし, 整地		

*一部機械使用, **クレーン使用

1) 解体発生物の調査

いずれの方法においても分別され計測可能な木くず, コンクリート片, 瓦, 石膏ボード, 金属・廃プラスチック

ク類, 混合廃棄物の6種類について, 発生量及び再資源化量を計測した。また, これらについて種類ごとの廃棄物処分費用を調査した。

2) 解体手間数の調査

作業工程ごとに従事した作業員の人数及び作業時間の計測を行った。

3.2 主要部材の数量及び性状等の調査

前述のA及び標準的な建築様式, 規模の2階建住宅C, D, Eについて, 手壊し法により得られた主要部材の種類, 寸法, 数量及び性状等の調査を行った。

1) 目視による材質の判定

発生した主要部材の全てを対象に, 構造用製材の日本農林規格(JAS)の目視等級区分製材規格に基づき, 貫通割れ及び腐朽の程度について目視による材質判定を行った。

2) 材の欠損部分の計測

D, Eの主要部材の全数, それぞれ184, 181本についてほぞ, ほぞ穴, 切欠き等の欠損箇所数の計測を行った。

3) 付着金物類の計測

D, Eの主要部材の全数について釘等の付着金物の計測を行った。釘については, 大きさをそれぞれ30ミリ以下, 30~90ミリ, 90ミリ以上に分けて計数した。

特に, Dの主要部材の中から単純無作為抽出法より, 各10本ずつ5群の釘抜き作業供試体を選び, 各群ごとに異なる作業員による釘抜き手間の計測を行った。

表 3-1 調査対象住宅の概要

記号	解体工法	築後年数	階数	延床面積 (㎡)	屋根材	外壁構造	調査項目								
							主要部材	発生物	手間数	欠損部	釘等本数	釘抜手間	部材強度	含水率	工法検討
A	手壊	30	1	67	和瓦	モルタル	◎	◎	◎		○				
B	分別	30	1	84	和瓦	モルタル	◎	◎	◎						
C	手壊	15	2	97	和瓦	サイディング	◎	◎	◎			◎	◎	◎	
D	手壊	28	2	120	S*	モルタル	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	
E	手壊	63	2	128	和瓦	モルタル	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	
F	分別	44	1	42	和瓦	板	◎		○						◎
G	分別	30	1	55	和瓦	板	◎		○						◎
H	機械	50	2	101	和瓦	土漆喰	◎		○						◎
I	機械	48	2	152	和瓦	土漆喰	◎		○						◎

◎印は, 全数調査 ○印は, 部分調査 *屋根材のSは, スレート瓦

4) ヤング係数及び含水率の計測

C, D, Eの主要部材の全数 156, 184, 181 本について、タッピング法（木材の小口に木槌で衝撃を加え、反対側の小口においてマイクロホンで衝撃音を測定し、FFT 周波数分析法でヤング係数を求める計器を使用する。）によりヤング率を、高周波含水率計により含水率の測定を行った。

5) 解体工法の検討のための調査

F, G, H, I の4棟について、解体前に建築様式、使用部材等についての詳細な調査を行い、続いて解体工事の一部始終を観察し、発生物の性状や解体作業の手順等を調べ検討のための資料とした。

4 調査結果及び考察

4.1 手壊し法と分別法との比較

1) 発生物量及び有効利用量の比較

A, Bについて、発生物量と有効利用量との比較を表4-1に示した。分別法では混合物となって廃棄処分されていたものの中から、手壊し法により木くずの26%、コ

ンクリート片の69%を新たに資源として分別回収することができ、処分すべき混合廃棄物の比率は、39%から10%へほぼ4分の1に減少した。また、有効利用率は、分別法の25%に対し、手壊し法では、50%となり、特に、木材においては、3%から12%へ増大した。

2) 廃棄物処分費用の比較

有効利用できずに処理処分する廃棄物について、表4-2に示すとおり種別ごとの処分単価を乗じることにより処分費用の比較を行った。この結果手壊し法は、分別法に比較して単位床面積当りで3.3（千円/㎡）だけ処分費用が少なくて済み、手壊し法は、分別法に比較して、処分量で約50%、処分費用で約40%少なくなることがわかった。

3) 解体手間数の比較

解体手間数の計測結果を表4-3に示した。この結果をもとに、単位床面積当りの人工数を求めると、手壊し法、分別法の手間数はそれぞれ0.18, 0.03（人・日/㎡）となり、手壊し法は分別法に比較して、0.15人・日/㎡多く要する結果となった^{注3)}。

表4-1 解体発生物の数量と有効利用量

（単位：左欄 kg/㎡ 床面積，右欄 発生物量合計に対する%）

種 別	手壊し解体 (A)				分別解体 (B)			
	発生物量		有効利用量		発生物量		有効利用量	
木くず	78	13.9	64	11.5	49	11.0	13	3.0
CO片	347	62.5	210	37.8	165	36.9	95	21.3
瓦	58	10.5	0	0	45	10.1	0	0
石膏B	10	1.9	0	0	9	2.1	0	0
金属等	9	1.6	4	0.8	4	0.9	2	0.5
混合物	54	9.6	0	0	174	39.0	0	0
計	556	100	278	50.1	446	100	110	24.8

表4-2 廃棄物処分費用の比較

（単位：単価，費用：千円，処分量：ton）

種 別	単 価	住宅 A		住宅 B	
		処分量	費 用	処分量	費 用
木くず	15	0.9	13.5	3.1	46.5
瓦	5	3.9	19.5	3.9	19.5
CO片	5	9.3	46.5	5.6	28.0
石膏B	10	0.7	7.0	0.7	7.0
金属等	5	0.3	1.5	0.2	1.0
混合物	20	3.6	72	14.1	282
計	—	18.7	160	27.6	384

表4-3 工程ごとの解体手間数の比較

（単位：人・時）

区分	工 程	住宅 A	住宅 B
内部	家具・建具、内壁・石膏 B	共通（手作業）	
	胴縁・間柱、天井・造作	12.4	機械
外壁	モルタル壁、庇・戸袋	20.2	
屋根	瓦・屋根材	共通（手作業）	
	野地板・垂木	6.6	機械 計 16
軸組	小屋組、梁・桁、柱・鴨居	23.8	
床組	床板・根太、大引・土台	7.7	
基礎	基礎コンクリート、整地	共通（機械）	
計		70.7	16

4.2 主要部材の種別ごとの数量

1) 主要部材及び端材の発生量

調査対象住宅A～Iについて柱、梁等の主要部材の種別ごとの数量を調査した。解体を手壊し法で行ったものについては、発生した主要部材の全数の寸法から材積を求めた。また、機械解体や分別法で行ったものについては、解体前に建築物の主要構造部を詳細に調査し、使用されている主要部材を積上げて数量を推定した。結果を表4-4に示した。

本調査においては、主要部材以外の廃木材、すなわち垂木、胴縁、板、化粧合板等の端材については、生かし取りを行わず、チップ材、燃料材等に有効利用する目的で大部分は手作業で行うが、主要部材を損傷しない程度に動力工具、重機を使用して作業を行った。

これらの排出量の測定は、A、Cについては、現場で嵩を計測し材積を概算で求め、D、Eについては、搬出車両への積み込み数量から材積を推計^{註4)}し、これらの値を元に主要部材の廃木材に占める割合を求め表4-5に示した。

2) 廃木材の発生量に係る検討

本調査における全木材発生量は、表4-5に示したとおりA、C、D及びEについて計測した結果、それぞれ0.156, 0.189, 0.148, 0.140 m³/m²、平均すると0.158 m³/m²であった。これらの値は、ほかのいろいろな研究調査^{註5)}の結果に近いものであった。また、主要部材の発生量及び主要部材の全木材に対する発生量の比率は、それぞれ平均すると0.060 m³/m³及び38.0%であった。主要部材の発生量の比率は、同様に別の調査^{註6)}では、51.6%という結果が示されており、本調査の値が小さくなっているが、本調査では主要部材のうち木口の一辺の寸法が90 mm以上、長さが2メートル以上の部材のみを有効利用が可能な部材として生かし取りし計量したことによるものである。

しかしながら、手壊し法においては、建築用材への有効利用が可能な主要部材が得られる割合が重要となり、この値が低い場合には手壊し法を採用しても経済的に採算が取れないことになる。解体前の確実な調査により、いずれのシステムを採用するかを判断する必要がある。

表4-4 主要部材の種別ごとの数量

(単位：材積はm³、延床はm²、数は本)

記号	延床	階数	柱		梁		桁		母屋		大引		土台		合計	
			材積	数	材積	数	材積	数	材積	数	材積	数	材積	数	材積	数
A	67	1	1.244	44	0.763	10	0.735	13	0.596	18	0.368	14	0.579	17	4.285	116
			0.019		0.011		0.011		0.009		0.005		0.009		0.064	
B	84	1	1.244	44	0.916	12	1.131	20	0.896	27	0.368	14	0.613	19	5.168	136
			0.015		0.011		0.013		0.011		0.004		0.007		0.062	
C	97	2	1.896	64	0.973	11	2.371	33	0.5	18	0.304	11	0.658	19	6.702	156
			0.02		0.01		0.024		0.005		0.003		0.007		0.069	
D	120	2	2.505	66	1.589	27	1.402	33	0.53	26	0.475	18	0.452	14	6.953	184
			0.021		0.013		0.012		0.004		0.004		0.004		0.058	
E	128	2	1.76	66	1.497	32	1.09	34	0.5	17	0.565	17	0.52	15	5.932	181
			0.014		0.012		0.009		0.004		0.004		0.004		0.046	
F	42	1	0.891	27	0.624	6	0.576	6	0.32	10	0.352	8	0.396	9	3.159	66
			0.021		0.015		0.014		0.008		0.008		0.009		0.075	
G	55	1	1.122	34	0.922	9	0.648	8	0.543	12	0.373	15	0.539	17	4.147	95
			0.02		0.017		0.012		0.01		0.007		0.01		0.075	
H	101	2	1.881	57	2.88	24	0.704	16	0.416	13	0.64	20	0.528	12	7.049	142
			0.019		0.029		0.007		0.004		0.006		0.005		0.07	
I	152	2	3.251	94	3.26	20	1.967	40	1.234	28	1.235	28	1.544	35	12.49	245
			0.021		0.021		0.013		0.008		0.008		0.01		0.082	
平均	94		0.019		0.015		0.013		0.007		0.006		0.007		0.067	

(注記) 材積の下段は、単位床面積当りに換算した数値 (m³) で、最下段に全体の平均値を示した。

表 4-5 主要部材の廃木材に占める比率

(単位: m³/床面積 1 m²)

項目	A	C	D	E	平均
廃木材	0.156	0.189	0.148	0.140	0.158
主要部材	0.064	0.072	0.058	0.046	0.060
比率(%)	41.0	36.4	39.2	33.1	38.0

4.3 主要部材の性状等について

1) 目視による腐朽、蟻害、割れ、裂けの判定

手壊し法で解体したものについて目視により腐朽、蟻害の状況を判定した結果、築後 30 年の A で柱の 16%、土台の 24% に、築後 15 年の C で柱の 5%、土台の 21% に軽微な又は顕著な腐朽が見られた。また、D 及び E については、顕著な腐朽、蟻害のみについて判定を行った結果、築後 28 年の D で腐朽が 1%、蟻害が 2%、築後 63 年の E で腐朽、蟻害がそれぞれ 3% ずつ見られた。これらの結果から、腐朽、蟻害の顕在率は、住宅の築後年数よりもむしろ住宅の環境や管理状況に依存するようと思われる。

日本農林規格 (JAS) に規定する目視による腐朽の評価法を住宅解体廃木材に適用する場合、次の点において問題点があった。

① 廃木材の表面に変色、劣化、塗装、カビなどがあるものの判定 ② 評価のレベルである「なし」、「軽微」、「顕著」の客観的な判定 ③ 材の表面には目立たなくても被害が材の深部に広がっているものの判定

この問題に対処するため、木材用の表面硬さ計 (一定の圧力の強さで針状の突起を材面から嵌入させその深さを測定し硬さの評価を行う計器) を用いて E の主要部材の全数について、材の両端及び中央の 3 点を測定し結果を検討して見たが、測定する部位が材全体からするとあまりに局所的であること、材種や材の含水率による影響が支配的であることなどの理由により腐朽、蟻害の評価指標に採用するに至らなかった。

2) 仕口、継手等の加工による欠損部位の計数

住宅解体廃木材の性状で最も大きな特性となるものは、建築時点における切込み加工痕の欠損が存在することである。D 及び E について部材ごとの欠損の種別及びそれらの数を計測した。結果を表 4-6 に示した。

また、手壊し法によっても解体工事の過程で部材が損傷を受けることがあるため、D の全ての主要部材について損傷の有無を調べた結果、184 本中、折れが 4 本、裂け (割れ) が 14 本、欠けが 6 本あり、解体により何らかの損傷を生じた部材は、全体の 18% を占めた。

3) 釘等の付着金物類の計測

D 及び E の主要部材の全数を対象に、部材の種別ごと

表 4-6 部材の単位長さ当り欠損の箇所数

(単位: 箇所/m)

部材	ほぞ		ほぞ穴		切欠き		計	
	D	E	D	E	D	E	D	E
柱	0.64	0.67	0.5	0.36	1.58	0.95	2.07	1.42
梁	0.49	0.56	0.71	0.61	0.69	1.82	1.15	2.58
桁	0.61	0.66	1.09	0.69	1.33	1.63	2.56	2.37
母屋	0.45	0.57	0.9	0.5	1.33	1.12	1.98	1.45
大引	0.62	0.51	0.2	0	1.49	1.07	1.48	1.15
土台	0.42	0.53	0.7	0.76	1.83	0.92	2.4	1.95
平均	0.54	0.58	0.68	0.49	1.38	1.25	1.94	1.82

(表注) 調査部材数は、D184 本、E181 本

表 4-7 部材の単位長さ当り釘の付着数

(単位: 本/m)

部材	< 30		30-90		90<		計	
	D	E	D	E	D	E	D	E
柱	8.5	9.8	2.5	3.0	0.9	1.6	10.2	9.7
梁	6.7	7.1	1.8	2.3	1.1	1.3	3.3	3.2
桁	4.0	7.5	1.3	2.9	1.2	1.6	2.9	4.0
母屋	2.5	12.3	1.4	2.1	1.2	1.3	2.6	7.5
大引	2.5	2.6	2.1	1.3	1.1	1.0	3.5	1.5
土台	2.5	16.0	1.7	2.8	1.3	1.3	3.7	10.2
平均	4.4	9.2	1.8	2.4	1.1	1.3	4.4	6.2

(表注) 最上段は、釘の長さの区分で単位は、ミリメートル

調査部材数は、D184 本、E181 本

に付着している釘を長さで <30, 30-90, 90< (単位: mm) の 3 区分について計数した。結果を表 4-7 に示した。

また、D の釘以外の付着金物等について計数した結果、ステーブルが最も多くラス金網用が 184 本中 24 本に電線用が 15 本に見られ、続いてかすがいが 9 本、ドア金物が 6 本、カーテン金物が 6 本、ボルトが 5 本、樋金物が 5 本、羽子板金物が 4 本の部材にそれぞれ付着していた。

なお、複数の金物等の付着している部材は、重複して計数した。

4) 釘抜きの手間数の計測

C の主要部材 156 本について、全数の釘仕舞い作業 (ステーブル、かすがい等の付着金物を含む) を行った結果、手間数は、1 人・日で、解体作業全体の手間数の 5% であった。

また、D の主要部材について 5 人の調査員が、各自無作為に抽出した 10 本ずつの部材に付着している釘の全数を抜く作業手間数 (休憩時間を含まない正味の時間)

を計測した。この結果、平均して34分を要し1分当りの抜釘数は、7本であった。この結果をCの結果と比較するため、156本当りに換算すると8.84時間となり、休憩時間を考慮した実作業時間を1日6時間とすると約1.5人・日となり、ほぼCの結果と同様であった。

5) 部材の強度及び含水率の測定

Cの主要部材156本について、曲げヤング係数の測定を行った結果、全ての部材において、機械等級区分製材の規格(JAS)における曲げ性能基準の40 ton f/cm²以上を満たしていた。

また、C、Dの主要部材の全数それぞれ156本、184本について含水率(全乾重量に対する水分量の百分率)を測定した。結果を表4-8に示した。部材の種別により乾燥の度合いは異なるが、部材ごとの平均値は、日本農林規格(JAS)に規定する乾燥材の乾燥区分であるD15(15%以下)、D20(20%以下)、D25(25%以下)のいずれかに該当し良好な乾燥状態にあった。

表4-8 主要部材の含水率

(単位: %)

部材	C		D	
	含水率	区分	含水率	区分
柱	14.6	D15	15.4	D20
梁	14.5	D15	18.2	D20
桁	14.7	D15	13.4	D15
母屋	9.7	D15	11.3	D15
大引	17.5	D20	22.4	D25
土台	16.8	D20	17.5	D20
平均	14.5	D15	16.4	D20

(表注) 調査部材数は、C184本、D181本

5 有効利用システムの評価

5.1 環境及び経済的側面

A、Bにおける調査結果をもとに、手壊し法と分別法とを解体作業、廃棄物処理、再資源化の各過程に分け、環境、経済の両側面から表5-1に示す項目及び指標について評価を行った。比較は、手壊し法と分別法の両法が、解体作業、廃棄物処理、再資源化の各過程で異なる取扱がなされた部分のみを抽出して行った。

なお、積上げに用いた燃料・電力についてのLC-CO₂排出原単位は、軽油0.779 kg-C/l、A重油0.705 kg-C/l、電力0.129 kg-C/kwh(日本建築学会の公表データ)である。また、使用する資機材及び生産設備を製造する場合に必要なエネルギーは、これらを使用する際のエネルギーに比較すると十分小さいことがわかったので、ここでは積上げの項目から除外した。

評価の指標は、環境については、CO₂換算のエネルギー

消費量(kg-C)を、経済については、経費と売上の合算額(千円)を用い表5-2にそれらの結果をまとめた。

環境側面から見ると手壊し法は、資源回収においてエネルギー消費が多いが、解体工事、廃棄処分過程においては少なく、総合評価では、分別法に比較して優れていた。経済側面から見ると手壊し法は、解体には手間数が必要経費が多くかかるが、廃棄処分費用が少なく、資源回収では再生品の価格が高く、総合評価では、分別法に比較して優れていた。

このように解体作業、廃棄物処理、再資源化の全てにわたり総合的な評価を行うと、手壊し法が分別法に比較して環境側面でのエネルギー消費及び経済側面での所要経費がともに少なく、優れた有効利用システムであることがわかった。

表5-1 各過程ごとの評価指標

過程	評価指標	
	環境面	経済面
解体作業	重機、車両の燃料(軽油)使用量	作業手間数(賃金)、機械、車両のリース料金
廃棄物処理	廃棄物処分場の設備、重機の燃料使用量	廃棄物処分料金
再資源化	各生産設備の電力使用量	製造の経費(売上額の50%相当)、製品の売上額

5.2 古材の建築用材への加工

古材をチップ材に再資源化する限りでは、多少の材質の劣化・腐朽、欠損、付着金物等は支障にならないが、建築用材として再資源化するに当たっては一定の要件をクリアしなくてはならない。

A、C、D及びEについて手壊し法で得られた主要部材の測定結果から判断する限り、ごく少数の著しい腐朽のある部材を除き、釘等の付着金物を除去すれば木質材料としての観点からは古材、再製材、集成材の用材として十分価値があり、含水率は、各部材ともほぼ気乾平衡状態にあり、これらの用材としては理想的であった。

5.3 木材資源の循環

建築解体廃木材の再資源化は、世界的に枯渇が懸念されている森林資源の保全に重要な役割を担っている。同時に、木材資源は、地球環境における炭素循環に大きく係わっており、建築用材として住宅中に再ストックすることにより大気中のCO₂を一定期間固定することが可能で、地球環境保全の見地からも効果を期待できる。^{14,15)} 手壊し法により主要部材の全てを建築用材として

表 5-2 手壊し法と分別法との環境、経済面における評価

評価項目	環境側面：エネルギー消費量 (kg-C/m ² 床面積)		経済側面：経費，売上額 (千円/m ² 床面積)	
	手壊し	分別	手壊し	分別
解体工事	1.15	1.72	2.70	1.39
廃棄処分	0.19	0.62	2.39	4.70
資源回収	0.55	0.30	△1.13	△0.09
総合評価	1.89	2.64	3.96	6.00

(注) 資源回収の△印は資源化製品の製造経費を差し引いた売上額を示す。経費としてはマイナス表示となる。

住宅中に再ストックできたと仮定して計算すると、炭素量に換算して 15.6 kg/床面積 1 m² となった。手壊し法による木材の循環モデルを図 5-1 に示した。図中黒い矢印で示した循環のサイクルが本システムの炭素循環効果を示している。

5.4 事業化の要件及び可能性

本調査研究の当初の目的は、住宅解体廃木材を建築用材等に有効利用するための実証試験及びシステム開発であったが、最終目的は、住宅解体廃木材の有効利用の事業化に向け本システムの完成をめざすものである。今後、古材製品を使用した建築の施工など本システムの普及に当たっての社会経済的な課題を抽出し、それらの解決方法等について検討してみた。

1) 解体工法の普及

住宅解体業者には、従来、廃棄物処理業やとび土工業を営んでいた者が多く建築についての経験が少ない。したがって、建築の知識が必要となる手壊し解体工事については、建築士などが作業監督者になり作業を統括する必要がある。このためには、手壊し解体工事の手引き書を作成しこれに基づき作業監督者及び作業従事者に対する教育訓練を行う必要がある。

2) 手壊し法の適用に係る評価法

これまでの調査結果から、本システムを採用するに当たっては、建築用材となる主要部材の発生する割合が一定以上の値であることが経済的に採算の取れる要件となるため、事前調査のデータを解析し、何れのシステムを採用するかを判断する客観的な評価法を作成する必要がある。

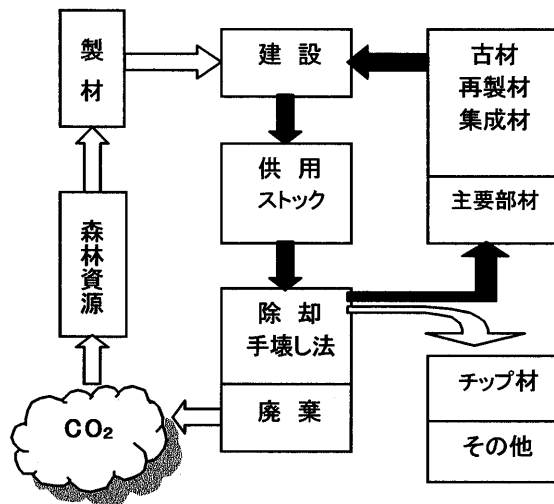
3) 古材及び古材加工製品の品質規格

主要部材の付着金物を除去し表面を清浄した古材製品、表面を削ぎ取った再製材品及び廃木材のラミナーから加工した集成材品等の建築用材については、新材にあるような構造用製材の日本農林規格 (JAS) の定めが無い場合、これらの品質水準を確保するために、JAS を準

用した新たな規格を制定し、ユーザーに対する信頼と便宜を図る必要がある。

4) 古材の流通販売のための施策

現在ではすでに過去のものとなっている、古材を新築の建築用材に再利用する伝統技術を復活させ、古材の需



要拡大を図る必要がある。また、古材やそれらを加工した製品の流通を促進するため、製品倉庫や直売場等を含めた流通販売システムを整備する必要がある。これには、流通の中心となる古材流通センターがネットワークを通じて、住宅解体情報を収集するとともに、古材加工所、再製材工場、集成材工場等の生産部門及び小売店やユーザーとの連携を図ることが重要である。このような流通販売の概念図を図5-2に示した。

6 まとめ

循環型社会の形成へ向けて解決しなくてはならない問題の一つとして廃棄物問題がある。廃棄物問題の対策については、これまでに法律などの社会制度の確立や適正処理技術などが開発されてきた。しかしながら、これまでの対策が廃棄物となってしまった後の対策、すなわちエンド・オブ・パイプ (end-of-pipe) 対策であり根本的な解決には至らなかった。

廃棄物問題の解決は、廃棄物の処理・処分を徹底するだけでは限界があるとのこれまでの経験に基づき、経済活動の中における物質収支を考慮に入れるとともに持続可能な発展を指向する「循環型社会」の実現をめざす方向性が提案された。平成12年6月に、循環型社会の形成に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本法として循環型社会形成推進基本法（循環基本法）が制定された。

本研究調査のテーマである手壊し法による住宅解体廃木材の有効利用は、物質循環のサイクルを上流側にさかのぼり、廃棄物の発生段階である住宅の解体工法のあり方に注目したものである。本研究主査らは、廃棄物問題を解決するために最も適切と考えられる解体工法を開発し、実際の住宅解体に適用する実証試験を行った。

手壊し法を用いた解体工事の調査や得られた古材の集成材等への試験加工などから次のことが明らかになった。

- ①解体作業、廃棄物処理、再資源化の全て過程にわたり総合的な評価を行うと、手壊し法が分別法に比較して環境側面でのエネルギー消費及び経済側面での所要経費がともに少なく優れたシステムである。
- ②生かし取りで得られた主要部材は、少数の腐朽材を廃棄し付着金物類を除去すれば、古材、再製材、集成材等に整備・加工したものが建築用材として有効利用することが可能である。
- ③本システムを取り入れて環境効率性の高い住宅解体として事業化を行うに当たっては、解決しなければならない解体工法の普及活動、古材及びその加工製品に係る品質規格の制定、古材の流通販売システム確立等いくつかの課題がある。

今後、手壊し法が広く普及されるためには、解体技術

の普及を図ると同時に、古材製品の供給先となる木造建築において、古材を建築用材として活用するための伝統工法の継承が確実に行われるよう建築技術者を養成することが重要になるものと思われる。

また、住宅の建築年代が新しくなるにつれ、接合金物の多用、金属・プラスチック等の複合材料の使用、ボードを釘打ちした構造等が増え解体作業に支障が出始めており、早急に住宅建築の易解体設計の導入を図る必要がある。この問題については、研究主査らの今後の研究課題としたい。

<注>

- 1) 建設リサイクル法第16条の規定によると、特定建設資材廃棄物（コンクリート、コンクリート及び鉄からなる建設資材、木材、アスファルト・コンクリート）については、再資源化が義務付けされているが、このうち木材については、50キロメートル以内に再資源化施設が無い等の理由がある場合には縮減（焼却処分を意味する）すれば足りるとされている。
- 2) 産業廃棄物の不法投棄量は、都道府県及び保健所設置市が把握した全国集計値によると、全排出量のほぼ1%に当たる約40万トンにのぼり、これらが、毎年、全国の至るところに投棄されている^{※16)}。産業廃棄物の不法投棄件数及び数量ともに建設系廃棄物の占める割合は極めて大きく、全体の3分の2を超えるほどである。これは、建設業が他の産業と比較して資源投入量が特に大きいことに関係している。また、不法投棄の現場の原状回復は、投棄実行者、土地所有者、排出事業者（実行者以外）、地方公共団体等により行われているが、当事者の資力不足、指導に従わない、行方不明等の理由による困難のため、平成12年度の実績を見ても不法投棄の約40%しか達成できておらず、年々、不法投棄廃棄物の蓄積量は増加の一途をたどっている。
- 3) これらの値は、野城の調査^{※17)}による移築解体の0.18～0.21人・日/㎡、除去解体の0.05～0.08人・日/㎡にそれぞれ近似した結果となった。
- 4) 端材（垂木、胴縁、板、化粧合板等）を車両（4トン車）のボディに高さ1メートルで整然と積込んだ場合、平均して1.2トンの重量があることが処分場のトラックスケールによる繰返し計測結果から求められている。
- 5) 木造住宅の建築時における木材使用量については、建設物価調査会が単位面積当たりの投入原単位を0.212㎡/㎡としており、一方、クリーン・ジャパン・センターは、この15%に当たる0.032㎡/㎡が工事中に発生する端材などの廃木材の原単位量に相当するとしている。^{※12)}したがって、建築物にストックされている木材量、すなわち解体廃木材は、その差をとって0.18㎡/㎡と見なすことができる。

また、財団法人日本住宅・木材技術センターの調査^{※18)}に

よれば、2階建ての在来工法住宅における単位床面積当たりの木材使用量を $0.191 \text{ m}^3/\text{m}^2$ としており、ほぼ近接した値となっている。なお、この数値は、全国の平均値で、都道府県ごとの木材使用量は、徳島県の $0.2718 \text{ m}^3/\text{m}^2$ から大分県の $0.1588 \text{ m}^3/\text{m}^2$ までかなりの幅がある。さらに、本調査と同様の手壊し解体を行い発生した木くずを計測したもののとしては、埼玉県解体業協会が行った単位床面積当たりの木くずの発生量 $0.202 \text{ m}^3/\text{m}^2$ がある。

- 6) 木造住宅で用いる各部材の全木材に占める使用割合について、製材工場から得た35件の木拾い表を元に集計した報告^{文19)}によると、柱11.1%、母屋5.3%、大引2.3%、土台4.6%、梁・桁28.3%（以下省略）とされており、主要部材の占める比率は、全木材の51.6%に相当するとある。

<参考文献>

- 1) 植田和弘、喜多川進：循環型社会ハンドブック，pp1-13，有斐閣，2001.4
- 2) 国土交通省：平成12年度建設副産物実態調査結果，2002
- 3) 建設省建設研究所：廃棄物の建設事業への利用可能性に関する研究，pp.5-10，1983. 同題，pp.4-6，1984
- 4) 渡部護弥，菊地雅史，紅谷裕，大島正明：住宅副産物の発生量等に関する調査研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），No.1406-1408，pp.811-816，1995.8
- 5) 埼玉県解体業協会：解体廃棄物の組成分析，pp.30-54，1996.5
- 6) 住宅産業解体処理業連絡協議会：資源循環型解体試験解体工事報告書，pp.1-16，1998
- 7) 橋本征二，寺島泰：建築解体廃棄物の原単位設定，廃棄物学会論文誌，Vol.10，No.1，pp.35-44，1999.11
- 8) (社)全国解体工事業団体連合会：木造建築物分別解体の手引き，2000.10
- 9) 社団法人日本建築学会：木造建築物等の解体工事施工指針（案）・同解説，丸善，2002.11
- 10) 宮崎博文，田中圭，井上正文，高梨啓和，平田誠，羽野忠：住宅解体廃木材の有効利用をめざした手壊し解体工法の提案，廃棄物学会論文誌，Vol.14，No.4，pp.219-227，2003.7
- 11) 社団法人全国解体工事業団体連合会：木造建築物解体工事の現場「木造（軸組）住宅解体組成分析調査報告」，pp.32-54，2000.3
- 12) 本多淳裕，山田優：建設副産物・廃棄物のリサイクル，省エネルギーセンター，pp.202-206，1994.8
- 13) 秋山俊夫ほか：木材のリサイクル，産調出版，pp.70-82，1998.8
- 14) 有馬孝礼：エコマテリアルとしての木材，材料，43，pp.127-136，1994
- 15) 大熊幹章：炭素ストック，収支の観点から見た木材利用の評価，木材工業，Vol.53，No.2，pp.54-59，1998
- 16) 環境省：平成15年版循環型社会白書，ぎょうせい，2003.5
- 17) 野城智也：解体される住宅の構造材の再利用のための工法システム開発に関する基礎的研究（1），住宅総合研究財団研究年報，No.20，pp.369-379，1993.3
- 18) 財団法人日本住宅・木材技術センター：在来工法木造住宅の木材使用量調査，pp.25-28，1994.3
- 19) 中谷浩，大森幹夫：富山県における在来工法住宅の木材使用実態調査，富山県林業技術センター研究報告，No.8，pp.43-48，1994.12

<研究協力者>

平成14～15年度

高松 隆太 大分大学大学院博士前期課程

庄司 俊文 大分大学大学院博士前期課程

藤野健太郎 大分大学大学院博士前期課程