

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 31日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760555

研究課題名（和文） 環境面から見た木質バイオマスの有効利活用方法の提案 -炭素固定評価手法の提案を通して

研究課題名（英文） Study on utilization of woody materials for a resource recycling and low carbon economy

研究代表者

小林 謙介（KOBAYASHI KENSUKE）

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：30581839

研究成果の概要（和文）：資源循環・低炭素社会を構築するための木材の利活用方法を提案することを目的とした。はじめに固定期間を考慮した炭素固定評価手法を提案した。次に、建築で利用される木材のマテリアルフロー・炭素フローを構築するとともに、環境影響評価を行って現状分析を行った。更に、提案手法による炭素固定効果の試算を行った。加えて木材ライフサイクルの各プロセスを対象に実態調査を行い、課題整理を行った。これらの成果をもとに、木材の利用方法の提案を行った。

研究成果の概要（英文）：This study was aimed to propose practical and effective utilization of woody materials for resources-recycling and carbon society. First, a method with which carbon-related impacts from the subject materials were evaluated with consideration given to carbon-fixation periods of years was developed. Subsequently, the present environmental loads from these materials were analyzed along the flowcharted life-cycle paths developed by the material and the carbon content. Third, actual issues were surveyed on the spot of each life-cycle stage. Based on these study activities and the results gained from them, future utilization of woody materials was discussed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：工学

科研費の分科・建築学

キーワード：地球・都市環境、ライフサイクルアセスメント

1. 研究開始当初の背景

(1) はじめに

課題申請時点の内閣の施政方針演説でも大きく採りあげられていたように、森林資源の活用が大きな注目を集めている。その理由は、大別すると二つある。

(ア) カーボンニュートラルな資源であることや、炭素の固定効果も評価されるようになってきており、低炭素社会に大きく貢献し得る材であること

(イ) 国内で植林されてきたスギやヒノキなどの木材が大量に成木となっており、国産材需要の3倍程度（約5000万m³）の供給可能量があること

(2) 急速に動く社会情勢

本件は、近年急速に議論が進んできている。その中でも、主要な内容に以下の2点がある。

(ア) カーボンニュートラルの考え方、また炭素の固定の考え方は、現状で様々な評価手法が提案されてきている。近い将来、気候変動に関する国際連合枠組条約（COP）の締約国会議でも話題になることが予想されている。

(イ) 木材利用では、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律など、木材を積極的に利用することを促す法令が出てきている。

(3) 問題意識

こうした動きがあるにもかかわらず、国内の木質バイオマスの活用による資源や炭素の削減効果などは定量的評価が殆どなされていない。しかし本来は定量的な評価をもとに利活用の方針を計画すべきと考える。

炭素固定等の評価手法には、建築物として利用した時点でその木材の炭素含有量を固定したとみなす考え方などがある。しかしこれでは、やみくもに伐採され、建築物などへ利用されてしまう可能性がある。木材は循環利用可能な資源といわれる。少なくとも伐採した山林が、植林されて成長するまで（原状回復するまで）に廃棄してしまっものは循環とは言えず、単に森林資源を食いつぶしているだけである。木質バイオマス資源を利用して低環境負荷に貢献するためには、その成長速度を踏まえた評価手法を構築する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、建築分野を中心とし、資源循環・低炭素社会を構築するための木質バイオマス資源の利活用方法を提案することを目的とする。具体的に、以下の点に主眼を置いた研究を行う。

- (a) 炭素固定に関する評価手法の提案
- (b) 木質バイオマスのマテリアルフロー・炭素フローの構築
- (c) 効率的な資源循環・炭素固定（低炭素化）を実現するための木材利活用方法の提案
- (d) 現状の森林資源量から見た建築における利用可能性

3. 研究の方法

(1) 炭素固定に関する評価手法の提案

本研究では、建物の設計プロセスに主眼を置き、特に建物を設計する立場からより多く、長期間固定するための評価手法を検討した。

(2) マテリアルフロー・炭素フローの構築

2000、2005、2010年における建築を中心とした木材のマテリアルフローの構築を行った。特に建築での利用用途ごとにまで落とし込んで構築されたフローはなかった。そのため、木材需給報告書、建設部門分析用産業連関表、建設副産物実態調査などの統計資料や、研究代表者のこれまでの研究成果を活用してマテリアルフローを構築した。更に、これらの情報をもとに炭素量についても分析した。

- (3) 効率的な資源循環・炭素固定（低炭素化）を実現するための木材利活用方法の提案
木材の利活用を考えるうえでは、木材ライ

フサイクルの各プロセスで発生する環境負荷を削減しつつ、炭素の固定量も増やすことが重要となる。そこで、構築したフローをもとに、木材ライフサイクルにおける各プロセスで発生する環境負荷について、インベントリデータベース IDEA を用いての CO2 排出量評価、および LIME2 によるインパクト評価を行った。

環境影響評価の分析結果を踏まえつつ、育林・伐採、木材加工（製材、合板など）、木くず処理など木材ライフサイクルにおける各プロセスの実態調査を行った。研究代表者が過去に実施した調査結果も含め、20以上の施設を対象として、各施設のフローおよび課題を捉えた。また、データを得られた施設は CO2 排出量の分析も行った。

次に、(1)で提案した炭素固定評価手法に基づいて、ある年に建築へ投入された木材の利用方法を想定し、その固定量を試算した。更に、木材の利活用方法ごとのケーススタディを実施し、固定効果増大の可能性について検討した。

(4) 現状の森林資源量から見た建築における利用可能性

現状における我が国の山側の供給可能性と、建築における現状の木材使用量との関係について試算した。

4. 研究成果

(1) 炭素固定に関する評価手法の提案

図1に構築した炭素固定効果の評価概念図を示す。本図は、木が植林されてから、建材等として利用され、処理に至るまでの、ライフサイクルを通じた炭素含有量の推移を示したものである。現在提案されている評価手法では、建材等として利用した時点での固定量を評価するものであり、長期にわたって固定しても定量的に評価される手法がない。そこで、木の成長年数や建築での固定期間を評価できる手法を構築した。“山側の固定量”は植林から伐採までの各年の炭素含有量の積算値で、“建築側の固定量”は建物が建てられてから解体されるまでの積算値、及び再資源化されてから廃棄されるまでの積算値で評価した。

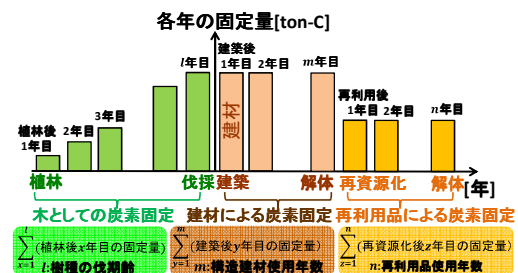


図1 炭素の固定に関する評価概念

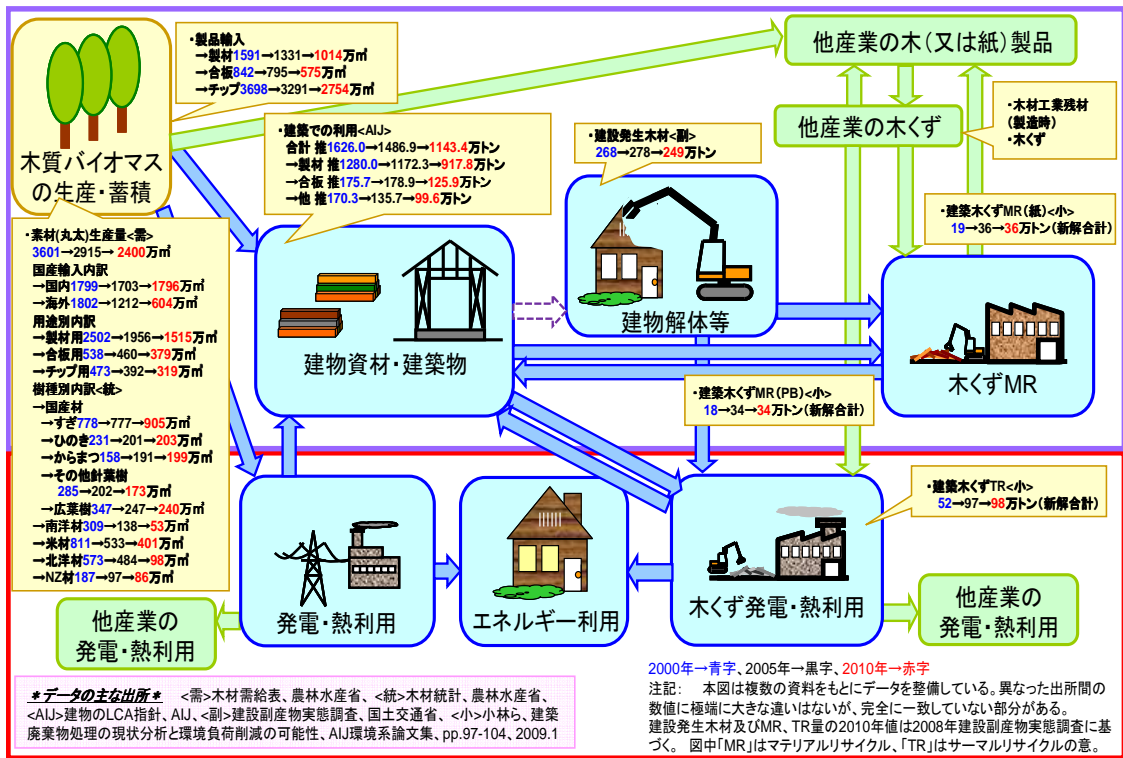


図2 建築に関わる木材のマテリアルフロー (2000年→青字, 2005年→黒字, 2010年→赤字)

(2) マテリアルフロー・炭素フローの構築

2000、2005、2010年の建築に関わる木材のマテリアルフローを構築し、年次変化分析を行った(図2)。複数の統計資料を基にデータを整備したため、異なった出所間の数値に極端に大きな違いはないが、完全に一致していない部分がある。なお、炭素フローはマテリアルフローをもとに炭素含有量を算出したものなので、ここではマテリアルフローのみの結果を示す。

図3に利用・処理量推移を示す。1995年頃を境に素材供給量は減少傾向にあり、利用量でも2000年から2010年の10年間で約7割に減少していた。内訳はほぼ変わらないまま推移しており、製材の利用量が約8割を占めていた。処理量は再資源化が急激に増加し、2000年から約2倍に増加した。

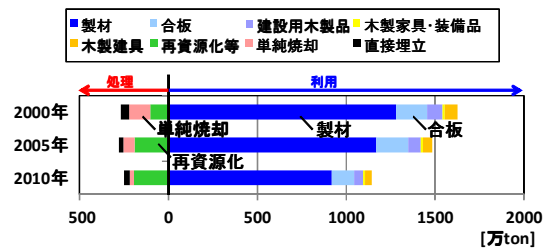


図3 建築用木材利用・処理量推移

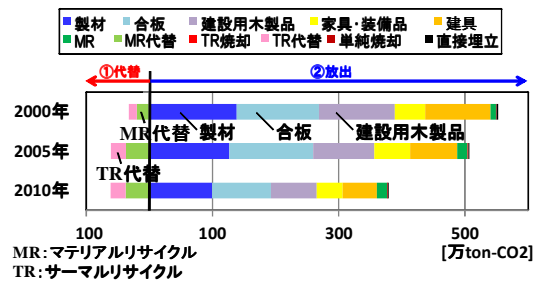


図4 CO2排出量・代替効果

れぞれ放出量の2~3割を占めており、これらの負荷削減が効果的であるとわかる。

図5に環境影響評価結果を示す。製品別の内訳はCO2排出量の結果とほぼ同様であった。影響別の内訳ではCO2が各製品で大きな割合を占めていた。次いで原油や天然ガスの消費、SO2やSOxの放出による影響が大きかった。これらは、ほとんどが化石燃料の燃焼によって発生するものであり、化石資源の消費抑制が負荷削減に効果的であると指摘できる。

②資源循環に関する実態調査

国内各地の施設を対象として、各プロセス

(3) 効率的な資源循環・炭素固定(低炭素化)を実現するための木材利活用方法の提案

①木材ライフサイクルの環境影響分析

インベントリデータベースIDEAを用いてCO2及び、CO2以外まで含めた全環境影響物質の評価を行った。全環境影響は、日本版被害算定型環境影響評価手法(LIME2)を用いて評価した。評価範囲は木材の製造、処理による負荷、マテリアルリサイクル(以下、MR)、サーマルリサイクル(以下、TR)による代替効果とした。

図4にCO2排出量推計結果を示す。利用量では製材が大きな割合を占めていたが、CO2排出量では製材、合板、建設用木製品が、そ

における負荷削減技術及び課題を調査した。表1には研究代表者がこれまでに実施した調査結果をプロセスにおける課題、環境負荷削減技術の2つの視点で再整理した内容、表2には、本研究で新たに調査した結果を示す。

・育林・伐採

負荷削減技術として、葉枯らし乾燥による乾燥プロセスの省エネルギー化、また、林地残材(枝葉や間伐材等)の活用による省資源化が挙げられた。一方で、葉枯らし乾燥は時間を要すること、林地残材の活用はコスト面で採算が合わないことが課題であった。さらには、植林が継続的に行われておらず、安定的な供給が出来なくなる恐れや、間伐が適正に行われておらず、利用価値が低い曲がり材が増加しているという課題も挙げられた。

・製材製造

負荷削減技術として、木くずの燃料利用が挙げられた。木材の機械乾燥の際、木くずボイラーを利用し、重油消費を削減していた。一方、木くずボイラーは有人稼働が条件であり、昼間は木くずボイラーを利用し、夜間は重油炊きボイラーを利用する施設もあった。

・合板製造

負荷削減技術として、木くずボイラーの利用が挙げられた。C合板工場では、工場内で発生した木くずのみで乾燥に要するエネルギーを全て賄えているとのことだった。また、省資源の観点から歩留まりの向上が考えられるが、技術的には歩留まりを100%にすることは可能だが、敢えて低く留め、出てきた芯材をMR・TR用チップや土木用材として有効活用しているとのことだった。

・再資源化処理

異物の混入程度により処理方法が限定され、除去するにも負荷を押し上げてしまうため、高品位な木くずの回収が負荷削減技術として挙げられた。一方で、受入条件を厳しくするとMR可能な木くずが焼却施設へ搬送されてしまうとのことだった。その他課題として、行きはトラックに製品を積んでいるが、帰りは空のことが多いとのことで、輸送負荷の削減余地があることもわかった。

③環境負荷分析

B製材工場及びD処理施設に関してはCO2排出量を推計し、負荷削減技術実施時における効果を定量的に評価した。

図6にB製材工場のCO2排出量推計結果を示す。人工乾燥材は木くずボイラーを利用することで、約70%負荷を削減していた(カーボンニュートラルを考慮した場合)。また、天然乾燥材は人工乾燥材に比べ約13%負荷が小さかった。内訳では乾燥負荷が最も大きかった。

図7にD処理工場のCO2排出量推計結果を示す。D処理工場では乾燥に木くずボイラー

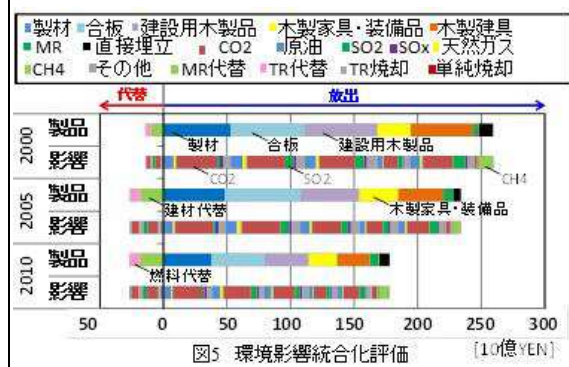


表1 木材関連施設への実態調査(過去の調査の再整理)

プロセス	調査施設の概要
育林→素材(丸太)	<p>プロセス内の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 林道の設置(林道を整備すること自体に多額な費用) 丸太として不適な材はバイオマス利用できるが山から下ろすのにコストがかかるため難しい 伐採現場まで大型車を搬入できない <p>環境負荷削減技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 葉枯らし乾燥による乾燥プロセスの省エネルギー化(3ヶ月の乾燥で4割重量が減少、含水率200%超を70~120%に) 林地残材を山から下ろせば15%は合板、15%はチップ(製紙用)、10%はペレットとして利用可、燃料としても活用可
素材(丸太)→製材	<p>プロセス内の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 木くずボイラーは人がついていないと稼働できないため、夜間は無人でも可能な重油ボイラーを使用 <p>環境負荷削減技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 24時間バイオマス利用による乾燥(熱(蒸気)は他工場にも)、また発電も実施し重油を大幅に削減 小径木は土木用材に、パークは堆肥に、チップはボード・製紙・燃料等として有効活用
素材→合板、チップ	<p>プロセス内の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 単板の製造工程(かつらむきの工程)で芯材が残る <p>環境負荷削減技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 芯材を使い切る技術開発が開発されてきており、合板の歩留まりの向上が期待できる 自社で発生した木くずをMR原料やバイオマス燃料として利用
木くず→チップ→パーティクルボード	<p>プロセス内の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 異物混入除去には多大な労力、処理機器の破損や再生品の品質低下 木くずの燃料利用への注目でサーマルリサイクル(TR)量増加、マテリアリサイクル(MR)量低下の可能性 機械で選別しきれない異物は人手による除去が必要

表2 木材関連施設への実態調査(本研究で新たに実施)

名称	プロセス	プロセス内の課題	環境負荷削減技術
A森林組合	植林→素材(丸太)	<ul style="list-style-type: none"> 葉がらし乾燥は時間がかかる 林地残材活用はコスト面で採算が合わない 植林が継続的に行われておらず、安定的な供給が出来ない恐れ 間伐が適正に行われておらず、利用価値が低い曲がり材が増加 	<ul style="list-style-type: none"> 葉枯らし乾燥による乾燥プロセスの省エネルギー化 林地残材を山から下ろせば、製品や燃料として活用可
B製材工場	素材→製材	<ul style="list-style-type: none"> 木くずボイラーは有人稼働が条件 	<ul style="list-style-type: none"> 木くずボイラーによって乾燥し、重油消費を削減
C合板工場	素材→合板、LVL	<ul style="list-style-type: none"> 丸太をかつらむきして単板を製造する過程で、かつらむききれない芯材が発生 	<ul style="list-style-type: none"> 木くずボイラーの利用(工場内で発生した木くずのみで24時間稼働) 歩留まりの向上(技術的に可能) 芯材をパルプ、ボード、MDFとしてMR。太く残して土木用材として活用する事例もある。
D処理工場	木くず→チップ→パーティクルボード	<ul style="list-style-type: none"> 異物混入による再生製品の品質低下 行きはトラックに製品を積んでいるが、帰りは空のことが多く、必要以上の輸送負荷が発生 	<ul style="list-style-type: none"> 高品位な木くずを受入対象 木くずの熱利用、機械からの排熱利用

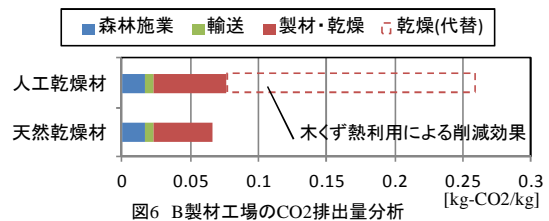


図6 B製材工場のCO2排出量分析

を利用しており、約 4%負荷を削減していた。また、統計データを用いて作成された平均的なデータ (IDEA) と比較すると、約 39%小さかった。その原因は、D 処理工場では既に乾燥された廃木材を原料としており、新規材から製造するよりも乾燥負荷が小さいためである。また、内訳では接着剤製造負荷が約 70%を占めており、接着剤の製造負荷削減など、上流まで遡った負荷削減対策が重要である。

④固定量に関するケーススタディ

本研究で提案した評価手法をもとに、固定量に関するケーススタディを実施した。

・現状分析

2000、2005、2010年の各年に建築で利用された木材のライフサイクルを表3に示すような条件を想定し、その炭素固定量を評価した。伐期齢は各都道府県の森林計画書を基に設定した。また、耐用年数は木造を35年、非木造を30年、再資源化製品を20年とし、建材の50%が再資源化されるものとした。

図8を見ると、評価におけるベースの考え方にもよるが、山側 (成長時) で固定してきた分以上に建築側で固定することを最低条件と考えた場合、本想定条件下では、いずれの年次においても山側での固定分以上に建築側で固定できていることになる。

年次変化をみると、近年の木材利用量の減少に伴って、固定量も全体的に減少傾向にあった。一方、内訳の変化は殆どなかった。構造別では木造住宅が約6割、材種別では製材が約6割と大きな割合を占めた。このことから、建築設計者の立場からすると、これらの利用促進や長寿命化を行うことが固定効果を増大させるために効果的である。また、再資源化の占める割合が約2割と大きく、MRを中心とした再資源化促進も重要である。

・政策などの実施時における効果の試算

木造化促進、再資源化促進、長寿命化を行った際の効果を試算した。表4に設定条件を示す。図9には各ケース実施時における固定量を、図10には建物製造によるCO2排出量を耐用年数で除した結果を示す。

現状に対して全建築の木造化は約34%、住宅のみの木造化は約14%、建築側の固定量が増加していた。内訳では木造住宅が約6~7割を占めていた。CO2排出量は現状に対して約2~3割少なく、木造化することによってCO2排出量は増加しないことが確認できた。

再資源化促進時の建築側の固定量は、現状に対して約23%増加した。内訳では再資源化が約37%を占めており、再資源化促進による効果は大きいと指摘できる。CO2排出量も再資源化による代替効果によって減少した。

長寿命化時は建築側の固定量が約48%増加した。内訳では木造住宅の占める割合が最も大きく、約64%であった。CO2排出量は現状

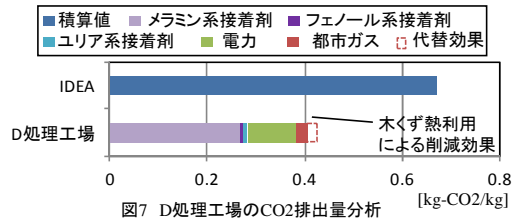


表3 現状の固定評価設定条件

項目	設定条件
評価範囲	1年間に建築物に利用された木材の植林から解体リサイクルまでの固定効果
伐期齢	あかまつ・くろまつ・すぎ・外材40年、ひのき45年、カラマツ35年 えぞまつ・とどまつ55年、その他50年、広葉樹25年
耐用年数	木造建築35年、非木造建築30年
リサイクル率	解体材の50%をマテリアルリサイクル

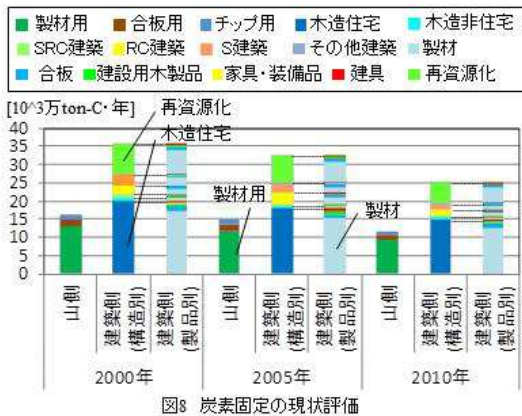
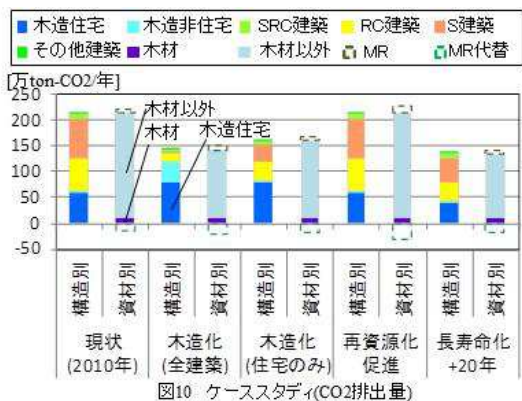
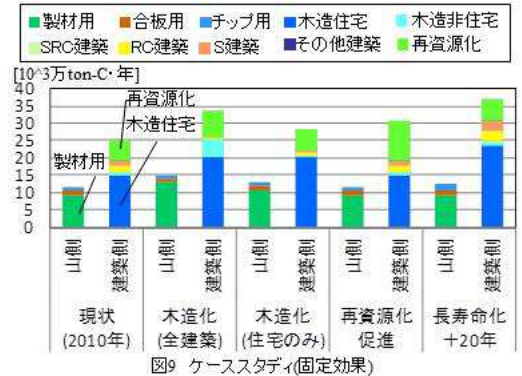


表4 ケーススタディの設定条件

名称	設定条件
現状(2010年)	2010年の固定効果
木造化(全建築)	「耐火時間による階数制限」に基づき、全建築の上層4階を木造化
木造化(住宅のみ)	「耐火時間による階数制限」に基づき、全住宅の上層4階を木造化
再資源化促進	木くずを100%マテリアルリサイクル
長寿命化+20年	全建築物の耐用年数(躯体部分迄)+20年



に対して約 37%の削減効果があり、長寿命化による負荷削減効果も大変大きかった。

(4) 現状の森林資源量から見た建築における利用可能性

森林総研の検討では、年間 5000 万 m³ 程度の素材が供給可能としている。一方、2010 年の製材使用量は 918 万 ton (歩留り 0.5 とすると丸太換算 3672 万 m³)、合板は 126 万 ton (歩留り 0.6 とすると 420 万 m³)、チップは 100 万 ton (丸太換算で 200 万 m³) となり、国産材のみでも十分に賄える計算となった。

環境負荷の観点では、輸入材と国産材の環境負荷を比較した場合、必ずしもどちらが大きくなるというわけではなく、製造プロセスでの燃料利用状況、輸送手段などで大小関係が異なる可能性もある。こうした状況を十分考慮し、利活用方法を検討すべきである。

(5) まとめ

環境面に着眼し、建築を中心とした木材の利活用方法を検討した。はじめに、木材に関わるマテリアルフロー・炭素フローを年別 (2000、2005、2010 年) に構築した。これをもとに、木材ライフサイクルにおける CO₂ 排出量および環境影響評価を行って、製材・合板・建設用木製品などのプロセスで発生割合が大きく、中でもエネルギー消費に伴う負荷が大きいことを示した。また、それぞれのプロセスにおいて実態調査を行い、環境負荷削減技術や課題を整理した。更に、本研究で提案した炭素固定評価手法を用いて、現状評価およびケーススタディを行った。その結果、建築設計者の立場からは、木材使用量の増加、長寿命化、解体後の再資源化による効果が大きいことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

なし

[学会発表] (計 8 件)

①久保村尠夫、野田潤、小林謙介、田原聖隆、兼松学、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 ～アロケーションの違いによる分析結果への影響～、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 pp. 1063-1064、2011. 8、東京

②野田潤、久保村尠夫、小林謙介、田原聖隆、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 ～炭素固定期間を考慮した評価手法の開発～、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 pp. 1065-1066、2011. 8、東京

③野田潤、木皿自然、柿澤奈々子、小林謙介、井上隆、田原聖隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 ～木質バイオマス利用実態の推移を踏まえた環境負荷削減策の検討～、第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 p. 366-367、2012. 3、千葉

④野田潤、柿澤奈々子、木皿自然、小林謙介、田原聖隆、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 その 1 木材マテリアルフローと炭素バランスの年次変化分析、日本建築学会大会学術講演概要集 A pp. 1083-1084、2012. 9、名古屋

⑤柿澤奈々子、野田潤、木皿自然、小林謙介、田原聖隆、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 その 2 環境負荷削減策の検討のための実態調査、日本建築学会大会学術講演概要集 A pp. 1085-1086、2012. 9、名古屋

⑥木皿自然、野田潤、柿澤奈々子、小林謙介、田原聖隆、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 その 3 炭素の固定期間を考慮した評価手法の提案と活用策の試算、日本建築学会大会学術講演概要集 A pp. 1087-1088、2012. 9、名古屋

⑦木皿自然、野田潤、柿澤奈々子、坂本泰行、加藤祐太、小林謙介、井上隆、田原聖隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 ～炭素固定期間を考慮した評価手法の提案と活用策の試算～、第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 p. 340-341、2012. 3、滋賀

⑧坂本泰行、木皿自然、柿澤奈々子、小林謙介、田原聖隆、井上隆：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 着工等に伴う環境負荷及び現状の国内における炭素固定量の試算、日本建築学会大会学術講演概要集、札幌

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

なし

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/~inoue-m2/kensuke/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 謙介 (KOBAYASHI KENSUKE)

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：30581839

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし