

## B-60 京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究

## (1) 森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発

## 4) 木材利用部門における炭素貯蔵量評価モデルの開発

独立行政法人森林総合研究所

木材特性研究領域

外崎真理雄

構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室

恒次祐子

宮崎県木材利用技術センター

有馬孝礼

愛媛大学農学部

林和男

平成16～18年度合計予算額 32,678千円  
 (うち、平成18年度予算額 7,067千円)

※上記の予算額には、間接経費 7,528千円を含む

[要旨] 木材利用による温暖化軽減の働きを分析し、木材を利用した温暖化対策方策を提案した。具体的には、以下の3つの研究を実施した。

二酸化炭素削減効果の将来シミュレーションを行うモデルを開発し、建築・家具・紙部門の製品炭素貯蔵量について、2013年以降の伐採木材評価3手法の結果を解析した。製品ストック一定で木材利用が現状のまま推移した場合、ストックチェンジ・プロダクション法とも吸収は期待できず、大気フロー法では1,000万t-C以上の排出となる。このモデルに「省エネ効果」と「化石燃料代替効果」の評価プログラムを組み込んだ。建築の木造率を70%に上昇させた場合の「省エネ効果」と、さらに家具木製率も70%として廃紙も含めた残廃材エネルギー利用を行った場合の「化石燃料代替効果」を解析したところ、2013年から2017年の炭素排出削減量は約1,200万t-C/年となりうるということが分かった。つぎに、建築用材として一般的に用いられている資材から木製へ代替することによる炭素排出削減効果や炭素貯蔵効果について検討を行い、炭素ストックと二酸化炭素排出を表示することによって寄与の大きさを定量的に表示することが可能となった。とくに製材製造エネルギーの数値（すなわち、二酸化炭素排出原単位）については、その前提条件、算出方法によってかなりの差異が生じることが解った。

木材のエネルギー利用について、各種残廃材の発生量の推計を行い、基準年比3%程度の削減ポテンシャルがあることが分かった。また混焼・ガス化・液化など、エネルギー化手法の比較検討を行った。木質ペレットの発熱量は元素分析結果から推計できることを示した。各種木質材料のガス化実験を行い、スギのガス化率が高いこと、蒸気(H<sub>2</sub>O)も用いたガス化によりガス化率が向上することなどを明らかにした。

[キーワード] 炭素貯蔵効果、省エネ効果、化石燃料代替効果、伐採木材製品、2013年以降

注：このサブサブ課題では、つぎの3つのサブサブサブ課題が実施された。

- a. 木材の炭素貯蔵能力の評価（独立行政法人森林総合研究所）
- b. 建築解体材のエネルギー利用（宮崎県木材利用技術センター）

c. 木材利用による省エネルギー効果に関する研究（愛媛大学農学部）

それぞれ、独立しているのので、サブサブサブ課題ごとにまとめて、要旨から、6. 引用文献までを記載し、最後に7. 国際共同研究等の状況、8. 研究成果の発表状況は、3つを一緒にまとめて、記載した。

a. 木材の炭素貯蔵能力の評価（独立行政法人森林総合研究所）

〔要旨〕木材利用による二酸化炭素削減効果の将来シミュレーションを行うモデルを開発した。寿命解析手法により、建築・家具・紙部門の製品炭素貯蔵量について、2013年以降の伐採木材評価3手法の結果を解析した。製品ストック一定で木材利用が現状のまま推移した場合、ストックチェンジ・プロダクション法とも吸収は期待できず、大気フロー法では1,000万t-C以上の排出となる。このモデルに「省エネ効果」と「化石燃料代替効果」の評価プログラムを組み込んだ。建築の木造率を70%に上昇させた場合の「省エネ効果」と、さらに家具木製率も70%として廃紙も含めた残廃材エネルギー利用を行った場合の「化石燃料代替効果」を解析した。ストックチェンジ法の「炭素貯蔵効果」も含め、2013年から2017年の炭素排出削減量は約1,200万t-C/年となりうることが分かった。

3階建て以下の住宅、非住宅建築物、事務系家具、アルミサッシの各製品について、現在、一般的に用いられている資材から木製へ代替することによる炭素排出削減効果や炭素貯蔵効果について検討を行った。炭素ストックと二酸化炭素排出を表示することによって寄与の大きさを定量的に表示することが可能となった。とくに製材製造エネルギーの数値（すなわち、二酸化炭素排出原単位）については、その前提条件、算出方法によってかなりの差異が生じている。そのちがいでによって算出結果がどのようなレベルで生じるかをあわせて検討した。

1. はじめに

来年から京都議定書第一約束期間が始まり、我が国でも化石燃料等からの温室効果ガス排出6%削減の達成を目指すことになる。しかしながら長期的に温暖化対策を有効なものとするためには、2050年に世界全体の排出を50%削減する必要があることが示されている<sup>1)</sup>。そのためには資源利用戦略の根本的見直しが必要である。

森林の面積および蓄積、木材製品による炭素貯蔵量の増大が大気中の二酸化炭素の純減をもたらすこと、カーボンニュートラルという言葉が示すように木材が循環型資源であることは、少しずつではあるが理解が広まってきているかもしれない。しかしながら今の日本社会で木材利用に関して生じていることは、燃料用木屑の取り合いしかない。

未だに2013年以降の枠組みは不透明ではあるが、森林吸収源が評価対象になれば伐採木材製品を含むフルカーボンアカウンティングとなろう。そのための評価手法の選択時期はここ数年に迫っている。我が国にとって手法の選択により森林吸収量に匹敵する結果の差異が生じることを明らかにしてきた。これは我が国の木材貿易・林業・木材産業に甚大な影響をもたらすことになり、一刻も早い政策方針の決定が必要である。

2. 研究目的

木材利用による二酸化炭素排出削減効果には、循環する木材炭素を系外に隔離することによる

「炭素貯蔵効果」、エネルギー集約的な他材料を代替することによる「省エネ効果」、カーボンニュートラルな木材エネルギー利用による「化石燃料代替効果」がある。この内根本となるのが「炭素貯蔵効果」である。この効果が生じるということは、木材製品量が増大しているということであり、他材料代替が進められており、エネルギー利用すべき残廃材量も増えるからである。

本課題ではまず、この「炭素貯蔵効果」の定量的解析モデルを開発することを目的とした。また評価が開始されるのは2013年以降であるため、将来シミュレーションが可能なものである必要がある。また現在選択を待つ3評価手法に対応できるものとする。このモデルは物量を解析するものであることから、生産量の増加に伴う「省エネ効果」と残廃材量予測による「化石燃料代替効果」の定量評価を可能とし、第一約束期間においても木材利用の二酸化炭素排出削減への貢献を評価できるものとする。

### 3. 研究方法

#### (1) 木材利用による「炭素貯蔵効果」解析モデルの開発

本課題では前述のようにまず基本となる「炭素貯蔵効果」を定量的に評価することができるモデルを開発した。開発にあたっては、伐採木材製品が評価の対象となる可能性のある2013年以降の炭素吸収・放出量を、IPCCで提案されている3つの評価手法(ストックチェンジ法、プロダクション法、フロー法)で算出することを最終目的とした。

毎年伐採される木材は各種用途に投入され社会にストックされる。本研究にて開発したモデルでは、木材の用途のうち「建築」「家具」「紙」を対象とした。これらで国内の木材による炭素吸収・放出の約80%を占めている<sup>2)</sup>。以下にモデルの概要を示す。

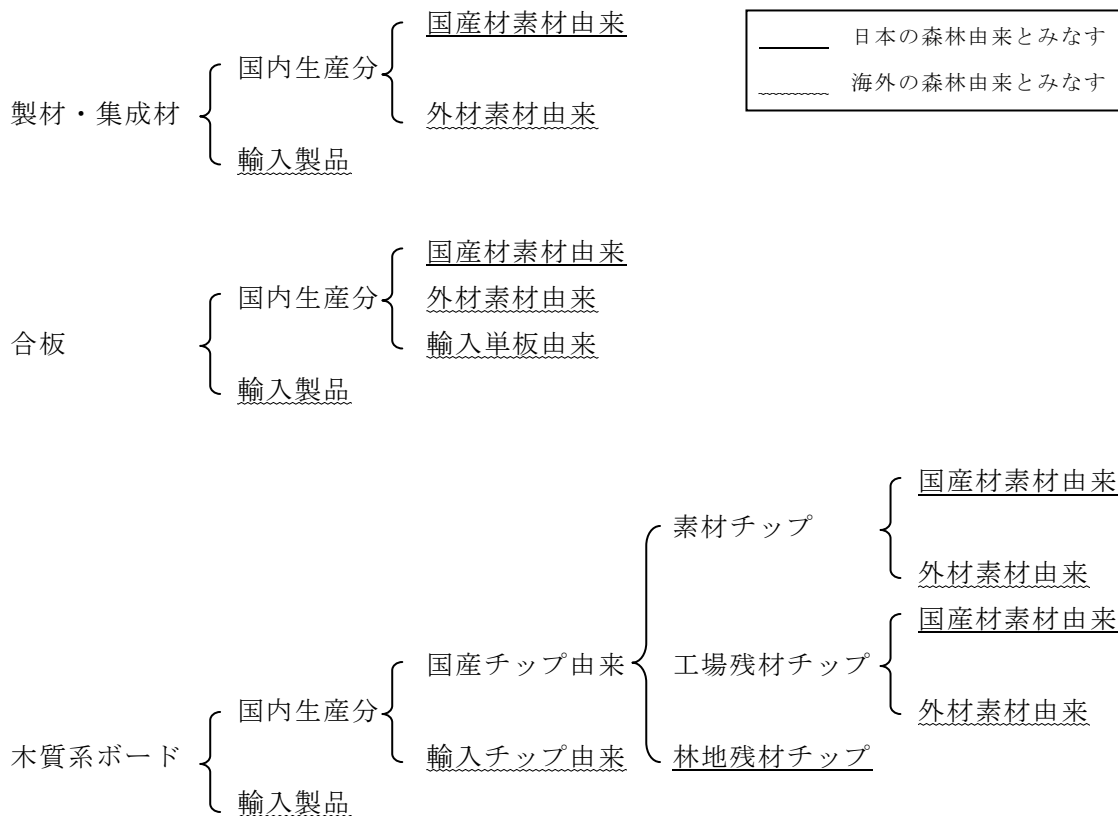
#### 1) モデルの基本構造

ある年、 $n$ 年に、「建築」「家具」「紙」の各部門に投入された木材量を算出し、それら木材の翌年からの残存率を関数で与えることとした。 $n+1$ 年、 $n+2$ 年・・・ $x$ 年の投入についても同じように関数で与えられる残存率に従い残存していく(残存量を残して廃棄されていく)とすると、 $x$ 年における木材ストック量は、 $n$ 年から $x$ 年に投入された木材のうちの残存量の総計となる。このようにして3部門における年々の木材ストック量を算出し、これを後述の方法で炭素量に換算することにより、3部門における木材利用による炭素吸収・放出量を評価した。

#### 2) 「建築」部門モデルにおける各数値の設定・算出法

##### i. 建築に投入される各種伐採木材製品量

本モデルでは、建築に投入される伐採木材製品を、製材、集成材、合板、木質系ボードの4種類に分けて取り扱った。IPCCで現在提案されている伐採木材製品の評価手法のうちプロダクション法では、製品が自国の森林由来であるかどうかを考慮しなければならないため、これら4種類の製品についても、日本または海外の森林から伐採された木材由来の量をそれぞれ算出しなければならない、各製品の製造過程を考慮し、それぞれ以下のような構成とした。



各製品の建築への投入量およびその内訳は以下のように決定した。

製材・集成材、および合板について、建築への投入量は各年の建築着工面積<sup>3)</sup>に、表1にある昨年度の成果である木材投入原単位を乗じることにより算出した。投入は1951年を起点としたが、1950年以前に建てられた木造建築物の、1951年時点でのストック量を16億m<sup>2</sup>とした。製材の日本由来、海外由来の内訳については、

国内森林由来：海外森林

由来(製材)

= (国産材素材製材用生産量<sup>5)</sup>) : { (外材素材製材用生産量<sup>5)</sup>) + (輸入製材製品建築用途向け量<sup>6)</sup>) }

表1 各製品投入原単位<sup>4)</sup> (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

構造	木造	SRC造	RC造	S造	CB造	その他
製材・素材	0.1663	0.0125	0.0204	0.0225	0.0480	0.0531
合板	0.0160	0.0040	0.0044	0.0041	0.0032	0.0067
計	0.1823	0.0165	0.0248	0.0267	0.0511	0.0597

として比を決定し、前述の

投入量を振り分けた。ただし輸入製材の建築用途向けの量は不明であるので、仮に米材・北洋材・南洋材の針葉樹の輸入量とした。集成材については、国産材ラミナ由来を全量の10%とした。合板については、

国内森林由来：海外森林由来(合板)

= (国産材素材合板用生産量<sup>5)</sup>) : { (外材素材合板用生産量<sup>5)</sup>) + (单板輸入量<sup>7)</sup>) + (製品輸入量<sup>7)</sup>) }

として比を決定し、前述の投入量を振り分けた。ただしそれぞれの建築用途向けの量は不明であるので、全量の比率で割り振った。

木質系ボードについては、建築向けの投入量を、国産・輸入別用途別出荷量<sup>6)</sup>から得た。国産出荷量を、国産ボード・パルプ用チップ生産量<sup>5)</sup> : ボード・パルプ用チップ輸入量<sup>7)</sup>の比を用いて国

産チップ由来と輸入チップ由来に振り分けた。次に国産チップ由来分をボード・パルプ用チップの原料入手区分生産量<sup>5)</sup>における素材(原木)：工場残材：林地残材の比で振り分けた。このうち林地残材由来として分けられたものは、国内の森林由来となる。素材由来として分けられたものを、さらに国産材・外材別チップ用素材生産量<sup>5)</sup>の比で振り分けた。工場残材由来として分けられたものは、国産材・外材別製材用素材生産量<sup>5)</sup>の比で振り分けた。

#### ii. 残存率を決定する関数

建築物中の木材が各年にどのような割合で残存していくかということは、建築物の残存率による。既往の研究では建築物(住宅)の寿命はロジスティック関数や対数正規分布に従うとされている<sup>9)、10)</sup>。本モデルではロジスティック関数で残存率を与えることとした。

$$Snt = In \cdot \frac{Exp\{-r(t-a)\}}{1 + Exp\{-r(t-a)\}}$$

ただし、 $Snt$ ：n年に投入された量のt年後の残存量、 $In$ ：n年における投入量、 $r$ ：減少割合、 $t$ ：年数、 $a$ ：使用年数

ここでは $r=0.2$ とした<sup>9)</sup>。また $a$ は建物の半減期に相当するパラメータであり、ここではモデルで算出した木材ストック量が、固定資産の概要調書を用いて算出した現状でのストック量に近くなるように、木造建築物で35年、非木造建築物で30年とした。

### 3) 「家具」部門モデルにおける各数値の設定・算出法

#### i. 家具に投入される各種伐採木材製品量

各種木製家具の生産量<sup>11)</sup>に対して家具における木材使用原単位<sup>12)</sup>(1台あたりに使用されている木材量)を乗じ、家具に用いられている木材の量を算出した。ただし家具生産量に関する統計資料のない1984年以前については、建築着工面積と家具生産量の相関性を利用して、推計を行った。なおプロダクション法では、使用木材が国産材か外材かが問題となるため、国内生産分については木製家具メーカーを対象とした調査結果<sup>12)</sup>より、製材、合板、木質系ボード類といった木材製品別使用量を算出し、建築部門と同じ要領で統計より推計したそれぞれの製品における国産材率から、木製家具における国産材使用量を推計した。輸入木製家具については、全て外材を使用しているものとした。

#### ii. 残存率を決定する関数

家具モデルにおいては、家具の平均寿命を20年としたロジスティック曲線を寿命関数とした。

### 4) 「紙」部門モデルにおける各数値の設定・算出法

#### i. 紙・パルプに投入される伐採木材製品量

基本的な構造は建築、家具モデルと同様である。1961年以降の紙、パルプの生産、輸出、輸入量をFAOSAT<sup>13)</sup>より得た。なお、衛生紙ならびに回収故紙はストックとならないと考え除いた。プロダクション法による計算のために、パルプの国産、輸入比、パルプ用チップ用材の国産材比<sup>5)</sup>などから、紙製品用材の国産材比を決定した。

#### ii. 残存率を決定する関数

紙モデルでは、半減期を3年とする指数関数を寿命関数として用いた。

### 5) 各伐採木材製品中の炭素ストック量

製品量(体積)に比重と絶乾重量中の炭素の比率を乗じることにより炭素量(重量)を得ることができる。製材・集成材、合板、木質系ボードの比重をそれぞれ0.45、0.6、0.7とし、絶乾重量中

の炭素の比率を0.5、0.5、0.45とした。

#### 6) 将来推計のための設定

伐採木材製品が評価の対象となる可能性のある2013年以降の建築、家具、紙部門における木材ストック量の変動を推計するために、以下のように仮定した。

- ・2003年以降の建築、家具、紙の総ストック量は一定とする。このため2003年以降の建築着工量、家具製造量、紙生産量は、前年の建築解体量、家具廃棄量、紙廃棄量とそれぞれ等しくなる。2002年における解体/廃棄量を起点とし、2003年以降の着工/製造/生産量を順次決定した。

- ・着工建築物における木造率は、35%(現状)、50%、70%(3階建て以下の建築物を全て木造とした場合)とした。

- ・本モデルでは木製家具のみを扱っているため、製造家具における木製率は現状(約35%)と製造量を倍にした場合(木製率70%)を比較した。

- ・国産材利用を振興した場合を考え、建築、家具における製材・集成材の国産材利用率を変化させて比較を行なった。

#### (2) 木材利用による「省エネルギー効果」解析

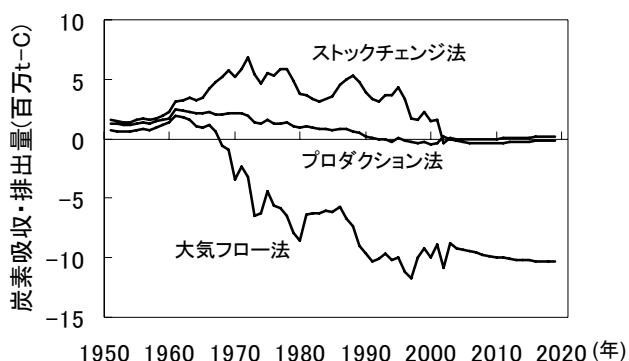
建築物建設のための資材生産エネルギーはその構造によって異なっており、木造の場合には他構造に比較して生産エネルギーは低くなる。開発した「炭素貯蔵効果」解析モデルにおいて着工建築物のうちの木造率を増加させた際にどのぐらいの省エネルギー効果があるかを表2の数値を用いて算出した。

表2 建築物建設のための資材生産エネルギー(t-C/m<sup>2</sup>)<sup>14)</sup>

構造	木造	SRC造	RC造	S造	非木造*
エネルギー	0.059	0.156	0.133	0.085	0.108

\*非木造の数値は2002年のSRC造、RC造、S造の着工比率で重み付けしたもの

#### (3) 木材利用による「化石燃料代替効果」解析



「炭素貯蔵効果」評価モデルから毎年の建築着工量・解体量、家具生産量・廃棄量、紙廃棄量を得ることができる。これらより、建築物の着工時に排出される新築残材、建築解体材、家具製造残材、家具解体材、廃棄紙の量を算出し、全量を化石燃料に替わって燃料利用する場合削減することのできる化石燃料由来の炭素排出量を推計した。なおエネルギー効率は50%とした。

図1 伐採木材製品利用による炭素吸収・放出量の推移

## 4. 結果・考察

### (1) 木材利用による「炭素貯蔵効果」の解析

図1に、建築部門、家具部門、紙部門の3モデルの結果を統合し、この3部門における伐採木材製

品利用による炭素吸収・放出量の推移を算出した結果を示す。3部門とも、2003年以降は前年に廃棄した量と同量の生産を行い(ストック量一定)、国産材率、木造率(建築における新規着工中の木造建築物の割合)等も現状のままとして試算を行っている。どの部門でも木材利用の状況が現状のままとするとストックチェンジ法、プロダクション法では吸収・放出がゼロに近く、フロー法では大きな放出となるため、3部門の合計もそのような結果となっている。

図2に2013年～2017年における炭素吸収量・排出量について、建築、家具部門における木造・木製率を現状の35%と、50%、70%とした際の試算値を示す。ストックチェンジ法、プロダクション法では木造・木製率が上昇すると吸収量が増加し、70%のときにはストックチェンジ法で約380万t-Cの吸収、プロダクション法では約82万t-Cの吸収となった。一方フロー法ではわずかではあるが木造・木製率の上昇に伴って排出量が大きくなった。これは家具の製造量の増加に伴って輸入木材が増加するため、フロー法の計算式( $AF = \Delta C_D + \Delta C_{IM} - IM + EX$  ここで $\Delta C_D$ は国産製品中の炭素貯蔵量の変化、 $\Delta C_{IM}$ は輸入製品中の炭素貯蔵量の変化、 $IM$ は日本に輸入される外材丸太、外材由来一次製品中の炭素量を表す。輸出量 $EX$ は本研究におけるモデルではどの部門でも無視している)で $IM$ 分が大きくなるためである。

図3に2013年～2017年における炭素吸収量・放出量について、建築、家具、紙の3部門における国産材利用率を35%、50%、70%とした際の試算値を示す(なお、ここでの「国産材率」は、建築、家具部門においては製材・集成材に占める国産材由来製品の割合であり、紙部門においてはチップ由来国産製品中の国産材由来製品の割合を表している。建築、家具部門で利用されている他製品(合板、木質系ボード等)の国産材率は現状のままとしている)。プロダクション法では国産材率35%の場合22万t-Cの放出、50%

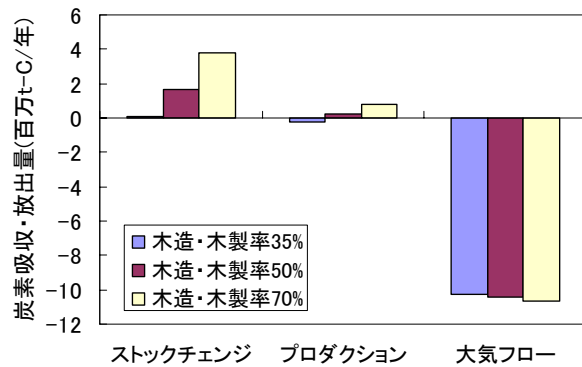


図2 建築物・家具における木造・木製率と2013年～2017年の炭素吸収・排出量

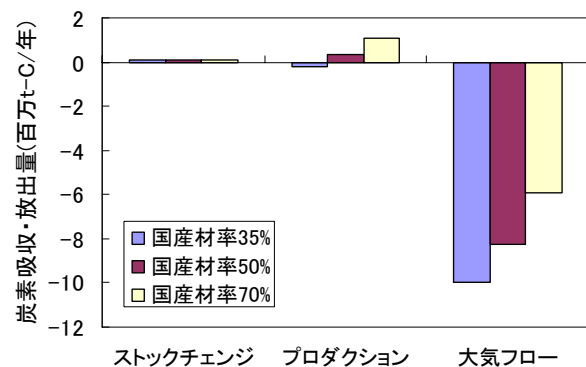


図3 建築物・家具・紙における国産材利用率と2013年～2017年の炭素吸収・排出量

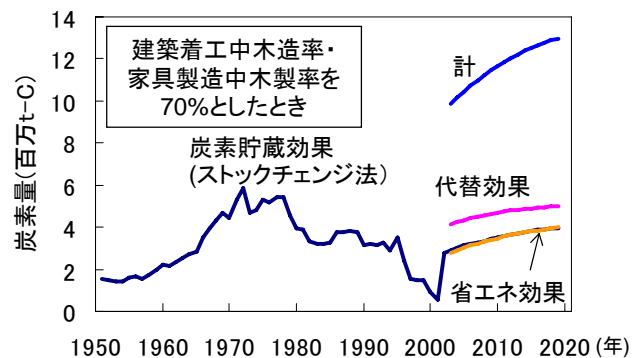


図4 積極的に木材を利用した際の「炭素貯蔵」「省エネ」「化石燃料代替」効果

34万t-Cの吸収、70%とした際には約110万t-Cの吸収となった。プロダクション法が採用された際には国産材利用の振興は有効な政策となると考えられる。一方フロー法では、国産材率の増加とともに放出量は減少するが、吸収に転じるほどの効果はないと考えられた。

これらの試算においては、2003年以降のストック量を一定と仮定しているが、今後人口が減少する傾向にあることを考慮するとストック量はむしろ減少していく可能性もあると考えられ、その場合には伐採木材製品は放出源となる。木材の炭素貯蔵効果という地球温暖化防止における優位性を発揮させるためには、国産材利用率よりもまず木材使用量の増加を図らなくてはならない。

#### (2) 「省エネルギー効果」「化石燃料代替効果」の試算

図4は今後作られる建築物や家具のうちの木造・木製率70%とした際の「炭素貯蔵効果」「省エネルギー効果」「化石燃料代替効果」を示している。3効果の中では代替効果が最も大きく、次に炭素貯蔵効果、省エネ効果の順になっている。3つの効果を足し合わせると約1,200万トンの炭素削減効果があることが明らかとなった。日本の森林吸収が1,300万トンであることを考慮するとかなりの効果があると考えられる。

### 5. 本研究により得られた成果

#### (1) 科学的意義

本課題参画者は、2006年4月に採択され、2007年10月に発刊された、2006年IPCC国別温室効果ガス目録ガイドライン、4巻農林業と他の土地利用、12章伐採木材製品の共同執筆者として、本成果を元に協力した。

木材利用の二酸化炭素排出削減3効果を同時にシミュレーションするモデルは、これまで発表されていない。

#### (2) 地球環境政策への貢献

本課題のモデルを用いて推計した我が国の伐採木材評価結果は、林野庁・環境省の協議の上、2005年8月条約事務局に提出され、12月のSBSTA23の協議で用いられた。19年度より地球環境総合「脱温暖化2050年」プロ第Ⅱ期に参画し、政策への貢献を進める。

### 6. 引用文献

- 1) IPCC第4次評価レポート、対策部門など
- 2) 環境省地球環境局研究調査室「地球環境研究総合推進費 平成17年度研究成果－中間成果報告集－(I)」、389-404
- 3) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課「建築統計」
- 4) 京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究 平成14年度報告書
- 5) 農林水産省経済局統計情報部「木材需給報告書」
- 6) 財務省「貿易統計」
- 7) FAO「FAOSTAT」(Plywood, Veneer sheets)
- 8) 日本繊維版工業会「木質パネル供給量」
- 9) 青井秀樹、有馬孝禮「新設住宅の耐用年数の延長と木造率の増加が新設住宅着工戸数および炭素固定に与える影響」木材工業56(12)：611-616、2001



10) 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集、439：31-40、1992

11) 経済産業省経済産業政策局調査統計部、雑貨統計年報／繊維・生活用品統計年報

12) (株) 矢野経済研究所、木材産業環境情報提供調査(木製家具・木製サッシ編)報告書

13) FAO「FAOSTAT」(Paper & Paperboard、Pulp for Paper)

#### b. 建築解体材のエネルギー利用 (宮崎県木材利用技術センター)

[要旨] 3階建て以下の住宅、非住宅建築物、事務系家具、アルミサッシの各製品について、現在、一般的に用いられている資材から木製へ代替することによる炭素排出削減効果や炭素貯蔵効果について検討を行った。炭素ストックと二酸化炭素排出を表示することによって寄与の大きさを定量的に表示することが可能となった。とくに製材製造エネルギーの数値(すなわち、二酸化炭素排出原単位)については、その前提条件、算出方法によってかなりの差異が生じている。そのちがいでによって算出結果がどのようなレベルで生じるかをあわせて検討した。

##### 1. はじめに

1997年12月に気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)「京都議定書」が、2005年2月に発効した。「京都議定書」の発効により、我が国は第1約束期間(2008年～2012年)において、1990年比6%の温室効果ガス排出削減義務を負った。しかしながら、2004年度の温室効果ガス総排出量は1,355百万t-CO<sub>2</sub>であり、1990年の1,255百万t-CO<sub>2</sub>と比較して、8.0%増加している。このうち、二酸化炭素の総排出量は、1990年が1,139百万t-CO<sub>2</sub>であるのに対して、2004年度は1,279百万t-CO<sub>2</sub>と12.3%も増加している。このように、削減義務の達成は非常に厳しい状況となっている。

一方削減義務6%のうち3.9%(現在3.8%、炭素換算では1300万tonC)は、1990年以降に間伐等の森林整備活動を行った森林におけるCO<sub>2</sub>吸収量として算入できているが、現状の森林整備水準からすると、ハードルは高い。森林整備を進めるためには、結果的に得られる木材を利用していくことが不可欠となる。その利用先は住宅などの建築物をはじめとして、家具、土木製品、梱包材、紙などが挙げられる。この中で、建築物はもっとも製品寿命が長く、家具もこれに次いで長いと考えられる。木造建築物や木製家具は大気中の二酸化炭素が木材に変換され長く固定貯蔵することを意味する。同時にきわめて重要なことは木材に代替したことにより他資材と比較して製造時の炭素排出量が少なくなることである。すなわち木材利用は森林吸収源対策ばかりでなく、資材代替による資材製造エネルギー差に伴う二酸化炭素排出削減と伐採木材の炭素貯蔵の効果を同時に生む意義が非常に大きい。

##### 2. 研究目的

本課題では、3階建て以下の住宅、非住宅建築物、事務系家具、アルミサッシの各製品について、現在、一般的に用いられている資材から木製へ代替することによる炭素排出削減効果や炭素貯蔵効果について検討を行った。とくに製材製造エネルギーの数値(すなわち、二酸化炭素排出原単位)については、その前提条件、算出方法によってかなりの差異が生じている。そのちがいでによって算出結果がどのようなレベルで生じるかをあわせて検討した。

### 3. 研究方法

資材生産に要するエネルギー量の算出には製造工程の積み上げによる分析、産業連関表による分析などいくつかの方法があるが、絶対評価の相互比較は前提が異なるので注意を要する。したがって、一つのレポート内での相対的な評価が一つの目安であり、他との比較ではその前提に留意しておく必要がある。表1の例に示すように、資料2の産業連関表の場合には輸入品の割合が多いものほど換算された炭素放出量が少なくなる傾向にある。コンクリートや鉄ではあまり差がないが、製材や合板、アルミニウムの炭素放出量原単位が小さく評価されている。当面、国別の評価が要求されているので、産業連関表をベースとした日本建築学会の試算、建築研究所のプロジェクトの数値をベースにすればよいとおもわれる。しかしながら、本来の目的は地球温暖化防止対策であるので、併せて資料Aのような積み上げ方式による評価を参照することが望まれる。

本報告では表4の数値を用いている。すなわち資料1(産業連関表による算出方式)および資料A(積み上げ算出方式)である。

調査対象とした3階建て以下の住宅、非住宅建築物、事務系家具、アルミサッシの各製品の資材量を求め、その資材量に、製造時炭素排出量の原単位を乗じてそれぞれのケースの炭素排出量を算出し、代替による削減効果を求めた。また、炭素貯蔵効果については木材中に貯蔵された炭素量について、木材の比重は0.5、合板の比重は0.55、木材重量の50%を炭素として算出した。

表3 各種資料の炭素放出量原単位とその比の例

	炭素放出量原単位 (kg-C/kg)					
	資料1	資料2	資料3	資料4	資料5	資料6
製材	0.0078	0.056	0.0078		0.0078	0.07924
合板	0.0443	0.218	0.0443		0.0443	0.50982
アルミニウム	0.6160	8.700	0.6160	1.380	0.6160	6.47000
コンクリート	0.0522	0.050	0.0810	0.188	0.2250	0.07000
鉄	0.5150	0.700	0.5150	0.581	0.5150	1.19000
<b>炭素放出量原単位比</b>						
製材	1	7.18	1.00		1.00	10.16
合板	1	4.92	1.00		1.00	11.51
アルミニウム	1	14.12	1.00	2.24	1.00	10.50
コンクリート	1	0.96	1.55	3.60	4.31	1.34
資料 鉄	1	1.36	1.00	1.13	1.00	2.31

1.省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発。報告書平成5年3月

2.地球温暖化防止と木材利用。住宅と木材 1991.4

3.ライフサイクルエネルギーに関する調査研究。科学技術庁 1979.4

4.JRCM NS部会資料。1991.8

5.建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定。大林組地球環境部 1991.1

6.Environment impact of the NZ building industry. 1992.7

出典：「住宅の資材量調査に基づく炭素放出量の評価」

小池真理、有馬孝禮、大熊幹章、森林文化研究17、1996

表4 用いた原単位の比較

	資料1 kgC/kg	資料A kgC/kg	資料A/資料1 比率
製材	0.0078	0.201	25.769 (人工乾燥材)
合板	0.0443	0.283	6.388
アルミニウム	0.6160	4.570	7.419 (回収率50%)
コンクリート	0.0522	0.050	0.958
鉄	0.5150	0.504	0.979 (回収率35%)

資料1 省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発報告書平成5年  
資料A 炭素ストック、CO2収支の観点から見た木材の利用評価、木材工業1998

#### 4. 結果・考察

##### (1) 3階建て以下の住宅における木造化による効果

3階建て以下の「居住専用住宅」と「居住専用準住宅」の床面積（平成15年度）は表5のようであるが、SRC造、RC造、S造の一部を木造に代替、0%、20%、30%、50%とした場合を想定した。資材量は、表6の着工床面積あたりの建設資材量（面積原単位）から算出し、資料Aによる原単位を用いて炭素排出量と炭素貯蔵量を求めた。木造建築物に代替した場合の炭素放出量と炭素貯蔵量は図5のようになった。SRC造、RC造、S造の50%を木造にした場合、全く代替しない場合と比較して、炭素放出量は526,141 (294,096) [t-C] 減少し、炭素貯蔵量は564,283 [t-C] 増加する。

( ) 内は資料Aによる積み上げ方式(以下同様)、

##### (2) 住宅以外の建築物の木造化による効果

「店舗」、「工場・作業所」、「倉庫」として着工された非木造建築物を対象として同様に算出した結果は図6～8である。

SRC造、RC造、S造の50%を木造にした場合、「店舗」では全く代替しない場合と比較して、炭素放出量は264,740 (154,591) [t-C] 減少し、炭素貯蔵量は266,013 [t-C] 増加する。「工場・作業所」では炭素放出量は295734 (216,550) [t-C] 減少し、炭素貯蔵量は182,369t-C増加する。

「倉庫」では炭素放出量は227,446 (172,949) [t-C] 減少し、炭素貯蔵量は124,651 [t-C] 増加する。

表5 3階建て以下の「居住専用住宅」及び「居住専用準住宅」の着工床面積（平成15年度）

構造	単位:m <sup>2</sup>		
	居住専用住宅 (3階建て以下)	居住専用準住宅 (3階建て以下)	居住専用住宅+ 居住専用準住宅
木造	51,962,655	213,122	52,175,777
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	75,479	1,805	77,284
鉄筋コンクリート造(RC造)	4,122,034	122,254	4,244,288
鉄骨造(S造)	15,149,616	304,618	15,454,234
コンクリートブロック造(CB造)	37,552	313	37,865
その他	172,618	1,661	174,279
総計	71,519,954	643,773	72,163,727

表6 セメント、木材、合板、鋼材の建設資材面積原単位（平成15年度調査値）

**セメント合計** 単位:t/10m<sup>2</sup>

構造	居住専用	居住専用準	居住産業併用	事務所	店舗	工場・作業場
木造	0.73059	0.51956	0.72883	0.85741	1.13869	1.19223
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	2.99255	-	2.76730	3.22873	1.82484	1.92037
鉄筋コンクリート造(RC造)	2.94110	2.76043	2.83712	3.06290	2.11985	2.81237
鉄骨造(S造)	1.16858	0.96540	1.72397	1.20661	1.17760	1.40613

構造	倉庫	学校	病院・診療所	その他	用途総合
木造	0.74025	1.34641	1.18569	1.14145	0.74978
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	2.57462	3.00299	2.09868	3.16509	2.87465
鉄筋コンクリート造(RC造)	2.83824	3.21099	3.20960	3.24814	2.99518
鉄骨造(S造)	1.44207	1.98525	1.60719	1.67662	1.36130

**木材合計** 単位:m<sup>3</sup>/10m<sup>2</sup>

構造	居住専用	居住専用準	居住産業併用	事務所	店舗	工場・作業場
木造	2.28683	2.05785	4.54702	2.52067	1.99477	1.33793
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	0.24391	-	0.12722	0.14055	0.07581	0.06214
鉄筋コンクリート造(RC造)	0.20127	0.13123	0.16913	0.35718	0.08422	0.11534
鉄骨造(S造)	0.09939	0.04467	0.25100	0.04669	0.07224	0.04490

構造	倉庫	学校	病院・診療所	その他	用途総合
木造	1.34789	2.52605	2.83262	2.15300	2.32440
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	0.04511	0.19345	0.05273	0.21901	0.19568
鉄筋コンクリート造(RC造)	0.37532	0.25754	0.65913	0.17128	0.22310
鉄骨造(S造)	0.03300	0.22490	0.05979	0.12060	0.08549

**合板合計** 単位:m<sup>3</sup>/10m<sup>2</sup>

構造	居住専用	居住専用準	居住産業併用	事務所	店舗	工場・作業場
木造	0.21974	0.28794	0.20531	0.25549	0.18225	0.23533
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	0.15087	-	0.12052	0.13964	0.07581	0.03701
鉄筋コンクリート造(RC造)	0.16972	0.12861	0.15422	0.14157	0.05583	0.10463
鉄骨造(S造)	0.09689	0.04158	0.11405	0.01922	0.02336	0.03199

構造	倉庫	学校	病院・診療所	その他	用途総合
木造	0.18759	0.20819	0.24699	0.19029	0.21852
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	0.04511	0.10720	0.05273	0.08768	0.12114
鉄筋コンクリート造(RC造)	0.10321	0.17224	0.16998	0.15036	0.16227
鉄骨造(S造)	0.03090	0.08524	0.05076	0.05658	0.05535

表6(つづき) セメント、木材、合板、鋼材の建設資材面積原単位 (平成15年度調査値)

鋼材合計		単位:t/10m <sup>2</sup>				
構造	居住専用	居住専用準	居住産業併用	事務所	店舗	工場・作業場
木造	0.11647	0.07522	0.11660	0.20110	0.17093	0.27210
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	1.58934	-	1.50031	2.00998	1.60591	2.69480
鉄筋コンクリート造(RC造)	1.09114	0.95709	1.20609	1.26432	1.43175	1.09590
鉄骨造(S造)	1.08386	1.02642	1.25324	1.19587	1.16010	1.43914

構造	倉庫	学校	病院・診療所	その他	用途総合
木造	0.21483	0.26257	0.19765	0.18093	0.12039
鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)	1.86034	1.76185	2.06220	1.70113	1.69798
鉄筋コンクリート造(RC造)	1.25709	1.23454	1.30261	1.33096	1.15630
鉄骨造(S造)	1.42906	1.77084	1.41517	1.54260	1.29483

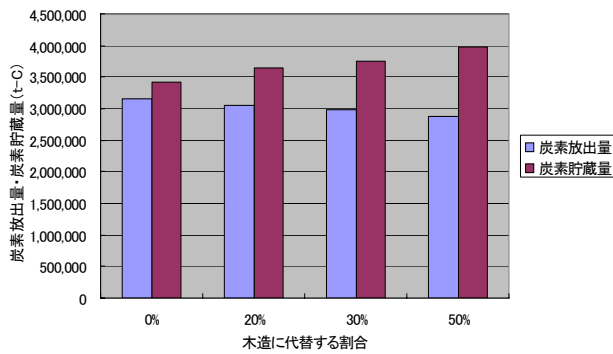


図5 3階建て以下の「居住専用住宅」と「居住専用準住宅」の床面積 (平成15年度) SRC造、RC造、S造の一部を木造に代替した場合の炭素放出・炭素貯蔵量

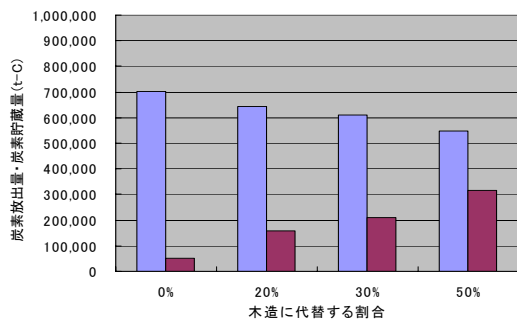


図6 「店舗」を木造に代替した場合

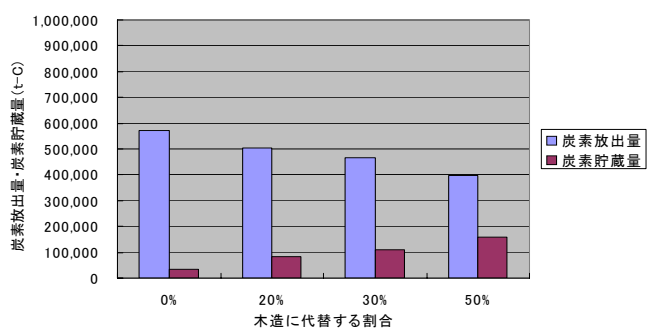


図7 「工場・作業所」を木造に代替した場合

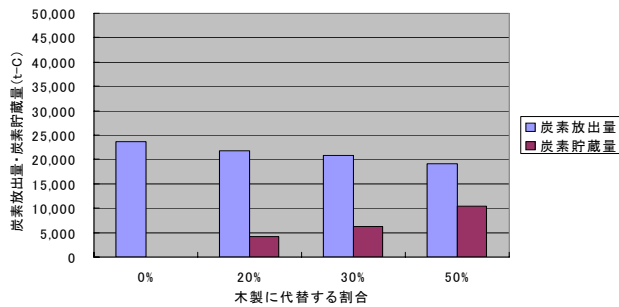


図8 「倉庫」を木造に代替した場合

(3) オフィス事務所で用いられているスチール製の棚や収納庫を対象とし同様に試算した結果は表7、図9である。

生産数量の50%を木製に代替した場合、棚類では炭素放出量は11,173 (4,619 [t-C]) 減少、炭素貯蔵量は10,498 [t-C] 増加し、金属製保管庫から木製収納家具への代替で炭素放出量23,040 (10,377) [t-C] 減少、炭素貯蔵量20,248 [t-C] 増加となる。

表7 家具1個当たりの製造時炭素放出量と炭素貯蔵量 (単位: t-C)

		製造時炭素放出量	炭素貯蔵量
棚	金属製	0.0141	0
	木製	0.0086	0.0125
保管庫・収納家具	金属製	0.0192	0
	木製	0.0110	0.0160

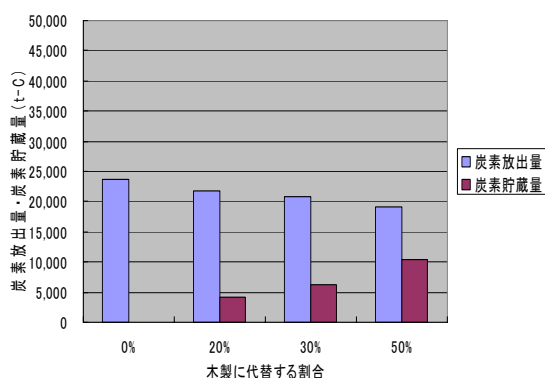


図9-1 金属製家具（棚）を木製に代替

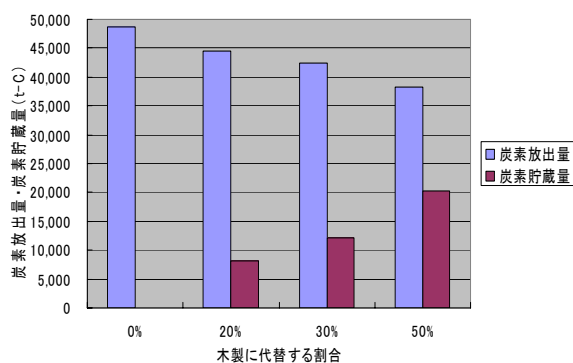


図9-2 金属製家具（保管庫）を木製に代替

(4) 木造住宅用のアルミ製サッシを対象として、同様に試算した結果は表8、図11である。アルミサッシの生産数量は、「建材・窯業統計年報（経済産業省）」に生産数量、出荷数量、在庫数量などの統計が掲載されている。その生産量は木造住宅着工床面積とほぼ連動して増減し、平成17年の生産数量は、148,076tとなっている。生産数量の50%を木製サッシに代替した場合、製造時の炭素放出量が86 (622) [t-C] 減少し、炭素貯蔵量が37 [t-C] 増加が見込める。

表8 サッシ1kg当たりの炭素放出量と炭素貯蔵量 (単位: t-C)

	製造時炭素放出量	炭素貯蔵量
アルミサッシ	0.0087	0.0000
木製サッシ	0.0003	0.0005

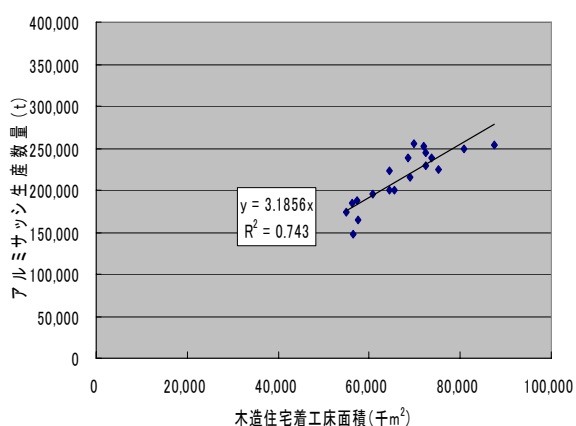


図10 木造住宅着工床面積とアルミサッシ生産数量の関係 (1987年～2005年)

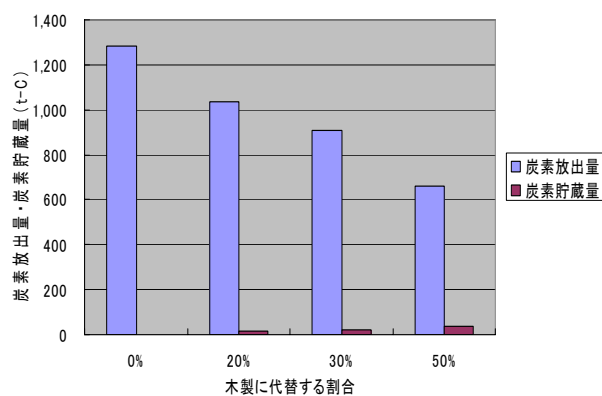


図11 アルミサッシを木製サッシに代替した場合の炭素放出量・炭素貯蔵量

以上の結果をまとめると表9、10となる。木製に代替することによって生じる炭素排出量の減少、炭素貯蔵量の増加については絶対量では、資材使用量が大きい3階建て以下の住宅で大きな効果が出ている。減少割合で比較してみると、アルミサッシで顕著な効果が見られ、次いで非木造建築物(店舗、工場・作業所、倉庫)で大きな効果が出ている。3階建て住宅(SRC造、RC造、S造)の50%を木造に代替した場合、炭素貯蔵量が約56万[t-C]増加することになるが、これは森林吸収源対策で増加の見込まれる伐採量500万m<sup>3</sup>の炭素換算値の約45%に相当し、きわめて大きいボリュームとなる。排出原単位の異なる資料1と資料Aで、製材や合板、アルミニウムの炭素排出量の原単位が小さく評価されているものほど、木製代替による炭素排出量の削減効果が大きく表れる。

表9 各製品の木製代替による炭素放出量及び炭素貯蔵量

各製品の木製代替による炭素放出量

単位:t-C

代替する割合(%)	0%	20%	30%	50%	50%代替時に0%時と比較して	
					減少する放出量	減少する割合(%)
3階建て以下の住宅	3,165,446	3,047,808	2,988,989	2,871,350	294,096	9
非木造建築物(店舗)	703,412	641,576	610,657	548,821	154,591	22
非木造建築物(工場・作業所)	797,254	710,634	667,324	580,704	216,550	27
非木造建築物(倉庫)	571,286	502,106	467,516	398,336	172,949	30
金属製家具(棚)	23,683	21,835	20,912	19,064	4,619	20
金属製家具(保管庫)	48,595	44,444	42,369	38,218	10,377	21
アルミサッシ	1,282	1,033	909	660	623	49

各製品の木製代替による炭素貯蔵量

単位:t-C

代替する割合(%)	0%	20%	30%	50%	50%代替時に0%時と比較して	
					増加する貯蔵量	増加する割合(%)
3階建て以下の住宅	3,419,753	3,645,467	3,758,323	3,984,036	564,283	17
非木造建築物(店舗)	51,164	157,569	210,772	317,177	266,013	520
非木造建築物(工場・作業所)	31,090	104,038	140,512	213,459	182,369	587
非木造建築物(倉庫)	33,806	83,666	108,596	158,457	124,651	369
金属製家具(棚)	0	4,199	6,299	10,498	10,498	-
金属製家具(保管庫)	0	8,099	12,149	20,248	20,248	-
アルミサッシ	0	15	22	37	37	-

表10 各製品の木製代替による炭素放出量（資料1の炭素放出量原単位を用いた場合）

代替する割合(%)	単位:t-C					
	0%	20%	30%	50%	50%代替時に0%時と比較して	
					減少する放出量	減少する割合(%)
3階建て以下の住宅	1,860,725	1,650,268	1,545,040	1,334,583	526,141	28
非木造建築物(店舗)	699,142	593,246	540,298	434,402	264,740	38
非木造建築物(工場・作業所)	802,972	684,678	625,532	507,238	295,734	37
非木造建築物(倉庫)	570,807	479,828	434,339	343,360	227,446	40
金属製家具(棚)	24,200	19,731	17,496	13,027	11,173	46
金属製家具(保管庫)	49,656	40,440	35,831	26,615	23,040	46
アルミサッシ	173	139	121	87	86	50

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

建築用材としての木材の炭素貯蔵量を明らかにすると共に、製造時に多くの二酸化炭素を排出する資材を木材の着替えた場合の炭素放出削減量を明らかにした。

### (2) 地球環境政策への貢献

木材利用による地球温暖化軽減能力の推定に関連する情報を提供できた。

## 6. 引用文献

なし（図表に用いた数値の出典については本文中に記載）

### c. 木材利用による省エネルギー効果に関する研究（愛媛大学農学部）

〔要旨〕木材のエネルギー利用について、各種残廃材の発生量の推計を行い、基準年比3%程度の削減ポテンシャルがあることが分かった。また混焼・ガス化・液化など、エネルギー化手法の比較検討を行った。木質ペレットの発熱量は元素分析結果から推計できることを示した。各種木質材料のガス化実験を行い、スギのガス化率が高いこと、蒸気(H<sub>2</sub>O)も用いたガス化によりガス化率が向上することなどを明らかにした。

#### 1. はじめに

森林は本来排出源でもなく吸収源でもないというのが理想的な状態であり、森林が吸収源であるということは、森林が成長中であることを示している。その意味では現在、先進国の森林が吸収源であるということはそれだけ成熟しておらず、修復再生中であると言えよう。そして今後も相当長い間この状態が続くものと考えられる。やがて森林が修復再生された後では、森林セクターで二酸化炭素排出削減を担うのは木材利用が主となる。この木材を安定的にしかも豊富に供給するためには、森林の蓄積をまず大きくすることが重要課題で、前提である。

#### 2. 研究目的

木材利用による温暖化ガス排出削減は、二酸化炭素固定効果と省エネルギー効果のほかに、化石資源の代替効果がある。この項では石油資源の代替効果について考えてみる。はじめに、エネ



ルギーとして利用可能な木材量について調べた。つづいて、エネルギー利用の基本である木質バイオマスの発熱量について調べ、温暖化ガス排出削減ポテンシャルについて試算した。またエネルギー変換技術の現状を実証も含めて報告するとともに、輸送用燃料を目指した、ガス化についての基礎研究について触れる。

### 3. 研究方法

#### a) 木質バイオマス資源量

木質バイオマス資源としては、林業・木材加工系と廃棄物系に分かれる。前者には製紙副産物、製材廃材、林地残材および除間伐材があり、後者には建築廃材がある。このうち製紙副産物はすでに大部分が使用されており、新たな資源とはなりにくい。また製材廃材もバークを除き多くが使用されている。したがって、今後新たな資源となりうる主体は、林地残材、除間伐材、建築廃材およびバークである。これらの量に関してはその性格上、今までデータが無く把握することが難しかったが、徐々にではあるがデータが集まりつつある。しかし、データが出ても利用が進んでいるわけではなく、これらをエネルギー化するためには、技術開発だけでなく、自然エネルギーを使うという国民のコンセンサス、行政の支援、法的な整備なども重要になると思われる。

#### i) 林地残材

「伐採後の造材による枝条、末木の残材」

いわゆる林地残材である。これを求めるためには、丸太生産量と丸太材積にたいする立木材積の比である拡大係数から求める方法と一部の実測例から推定する方法がある。

林業データから見ると平成13年の丸太生産量は1577万 $m^3$ で針葉樹が1285万 $m^3$ 、広葉樹が293 $m^3$ となっている。松本によれば<sup>1)</sup>、35- 50年生の樹木の拡大係数は針葉樹では1.55、広葉樹では1.6となっており、林地残材は針葉樹で707万 $m^3$ 、広葉樹で176万 $m^3$ と計算される。容積密度を針葉樹で0.38ton/ $m^3$ 、広葉樹で0.49ton/ $m^3$ とすれば、林業による林地残材は絶乾ベースで355万tonとなる。発熱量を16.75MJ/kgとすれば\*、林地残材のエネルギーポテンシャルでは、59.5PJとなる。平成10年の丸太生産では1806万 $m^3$ で針葉樹が1410万 $m^3$ 、広葉樹が396万 $m^3$ であり林地残材は絶乾ベースで400万ton、エネルギーポテンシャルで67PJである。一方、林野庁が調査し推定した<sup>2)</sup>平成10年度の林地残材量は373万ton、62.5PJであり、かなり良い一致を見ている。したがって、林地残材量を求めるには、松本らの拡大係数を使用して計算しても、若干過大になるが大きな問題はないと思われる。林地残材量は次式で表すことができる。なお、若干の差は、集材方法の差であるが、実際には間伐か皆伐といった伐採方法によっても大きく異なると思われる。

林地残材(tf)= $\Sigma$ (丸太生産量×(拡大係数-1)×容積密度)

1PJは石油換算すると約2.4万tonになる<sup>3)</sup>ので、林地残材は160.8万ton又は150万ton程度の石油を代替出来るポテンシャルを有する。我が国が使用するエネルギーは石油換算で5億3000万tonであるので、林地残材は総エネルギーを0.28%削減できるポテンシャルを有することになる。森林の吸収を3.9%確保するためには丸太生産を2700万 $m^3$ にする必要があるそうであるが、この場合では林地残材は単純に比例すると557.6万ton、93.4PJになる。この場合の削減ポテンシャルは0.42%となる。

\*：含水率を100%とし、絶乾状態の発熱量を19.2MJ/kg、水の蒸発熱を2.45とした。

「除間伐」

毎年7500万 $m^3$ の幹材積の増加があるとされている。平成10年の伐採量が1806万 $m^3$ であるので、計算上はあと5694 $m^3$ 伐採しても蓄積は減少しないことになる。これを立木材積にすると8825.7 $m^3$ になり、これをポテンシャルと考えることにする。すべてを針葉樹とし先ほどと同じように容積密度を0.38ton/ $m^3$ 、発熱量16.75MJ/kgとすると561.8PJとなり削減ポテンシャルは2.5%となる。木材伐採は排出と見なされるので、それも考慮しながら健全な森林を維持するための間伐計画を立てなければならないが、除間伐材の量をデータ化しエネルギー資源と見なす議論をもっと進めるべきであろう。

以上のバイオマスは地域で発生するが、収集コストが高く、なかなか資源になりにくいのが現状である<sup>4)</sup>。エネルギー資源と考える場合、エネルギー密度が低いため長距離運搬をすべきものではなく、それが発生する場所で消費することが得策である。

#### ii) 建築系木質廃棄物

住宅や建築物の解体量が明確になっていないので、建築系木質廃棄物を評価する方法は難しいが、外崎らが固定資産概要調書から推定した量は西暦2000年で約1200万 $m^3$ である<sup>5)</sup>。密度を0.4ton/ $m^3$ とすると、480万トンとなる。これらの資源は出来るだけマテリアルリサイクルをすべきと考えられるが、それでも少なくとも50%に相当する240万トン程度は木質燃料に振り向けられる可能性はある。これらは乾燥しているので、発熱量を18.8MJ/kgとすると、45PJとなる。建築解体材は人口密集地ほど多いと思われるので、大都市周辺の木質バイオマス資源となりうる。資源の特徴としては乾燥していることであり、エネルギー利用には有利に働く。現在解体材は、工場での発電に積極的に使用されている。建築解体材のような廃棄物は都市型資源でありしかも有害な不純物が混入している可能性があるため、大量に処分でき、残渣を安全に廃棄することが可能なシステムを作る必要があり、その方向で動いていることがわかった。

#### iii) バーク

2001年度の国産材供給は1676万 $m^3$ であった。原木量の5%がバーク（樹皮）とすると、バークの量は83.8万 $m^3$ 。また製材用輸入原木は約1100万 $m^3$ であるのでこれにもバークが付いているとするとほぼ55万 $m^3$ となり合計138.8万 $m^3$ となり、容積密度を0.3ton/ $m^3$ とすると42万トンになる。発熱量を16.75MJ/kgとすれば、7PJとなる。現在バークは一部燃料、堆肥などに使用されているが、ほとんど利用されていない。

以上新たにエネルギー資源となりうる木質バイオマス量の化石資源代替ポテンシャルは約3%程度であり、すでに黒液などで1%強の代替をしている<sup>3)</sup>ので、木材利用系で4%以上の代替ポテンシャルがあることになる。

### b) バイオマスのエネルギー変換技術

前項で新たな今後重要になると思われる木質バイオマス資源のエネルギーポテンシャルについて触れたが、実際にエネルギーに変換する技術について触れる。

#### i) 直接燃焼による発電

すでに完成された変換技術で、ボイラーでバイオマスを燃焼させ蒸気を作り蒸気タービンで発電する方式で基本的に火力発電と何ら変わらない。規模が大きいほど効率が良くなることが分かっている。現在、バイオマスの直接燃焼発電を行っている効率を計算してみても、0.6-3MWの発電量で10-16%であり、15MWで22%程度となっている。燃焼させるボイラーもバイオマスの形状に

よって適した方法があるので出来るだけ効率のいい方法を選択すべきである。いずれにしても、この程度の効率では、バイオマスのポテンシャルを活かしているとは言えない。規模を大きくすればバイオマスの収集保管に問題が出てくるため、ポテンシャルを活かすには、やはり従来言われているように熱の利用の開拓が必要である<sup>5)</sup>。

#### ii) 混燃

直接燃焼の一種である。しかし、従来の火力発電所で二酸化炭素排出量を減らすという、大規模発電の中での試みであるため、別枠で述べる。この方法ではまずバイオマスを微粉にする必要がある。ボイラー効率を下げないためにはバイオマスの混合率は最大で3%との報告がある<sup>24)</sup>。混焼の問題は大規模であるのでどこにでもあるわけではないので、輸送が問題になることと、微粉炭と混焼するためバイオマス自体も微粉にする必要がある。この点に関しては、バイオマスのエネルギーロス（輸送、破砕）として計算されており、100km運搬してもバイオマスのエネルギー量の8%であるため、実証実験では可能性があるとされている。問題点としては、対象が大規模だけに安定供給が可能にする体制づくりが必要になる。例えば50万kWの石炭火力発電所に3%のバイオマスを混焼させると、約8.4万ton/年のバイオマスが必要になる。体積にして22万m<sup>3</sup>が必要になる。これを安定供給する必要がある。3項で述べた資源を半径50kmくらいの地域からこの量を集める必要がある。

#### iii) ガス化

ガス化の特徴として発熱量の低い原料からでも高い冷ガス効率が得られることである<sup>24)</sup>。冷ガス効率とは、バイオマスが持っている発熱量に対する合成ガスの発熱量の比率のことである（二酸化炭素の生成が多いと冷ガス効率は低下する）。このガスを燃料としてガスタービンやガスエンジンで発電する方法が小規模で効率がよいとされており、広く薄く賦存するバイオマスの有効利用に期待されている。この変換技術が実証段階になっている。現在実証運転されているプラントでは、1日5トンのバイオマスを燃料で名目発電効率20%、蒸気利用30%で総合50%の効率である<sup>25)</sup>。直接燃焼による発電量の1/10程度の規模であるが、効率がよいことを示している。それでもやはり熱の利用が必要になる。

ガス化発電の効率についてももう少し詳しく述べると次のようである。

ガス化発電は、50から500kWの比較的小型の装置が主で、ガスエンジン型である。発電効率は20%前後で、大きくなると若干高くなるようであるが、それほど差がないようである。しかし、熱利用と比べ、もったいない使い方であるため、いわゆるコージェネレーションが必要になる。装置としては熱利用も可能であるが、実証段階では熱としての利用はまだ十分されているとはいえない状態である。熱の利用は、50-55%であるとされており、トータルのエネルギー利用で70-75%が可能とされている。

問題は、出力125kWでも1日フルに稼働させると6トンの木材を必要とする。針葉樹であれば、15m<sup>3</sup>程度になると思われる。これをできるだけ安く供給し、しかも電気と熱の利用を考えれば、製材工場となるが、木材としての利用、パルプとしての利用が9割あるとすれば、30000m<sup>3</sup>程度の製材能力がないと供給できないことになる。また3交代性を取っている工場は少なく、夜間電力は10円以下でしか引き取ってくれない電力会社に売却しなければならないことも問題である。

#### iv) 液化

木材を糖化した後、発酵によってエタノールを生成し、化石燃料の代替することが考えられて

いる。農作物からの商業例はあるが、木質バイオマスからの例はない。文献によれば、収率は0.11から0.38であり、平均0.22である<sup>26)</sup>。また、エタノール1トンを得るのに必要なエネルギーは平均10.6GJであり、エタノールの発熱量は29.7(GJ/トン)である。

現在のところ、液化燃料で発電をすれば、変換に多くのエネルギーを必要とするため、二酸化炭素削減効果は燃焼やガス化に比べ1/3から1/5であるとされている。しかし、液体という扱いやすい形状のため自動車燃料や化学原料としても考えられるため、輸出入の戦略物質にもなりうるかもしれない。いずれにしても液化に必要なエネルギーを今後吟味し明らかにする必要がある。

#### c) 木質ペレットの発熱量

燃焼によるエネルギー化はすでに木材工業や、製紙産業ではよく使われており新しいことではない。また木質バイオマスの発熱量については古くから沢山のデータであるので新しいものではないが、ここでは今後民生用に使用が期待される木質ペレットの性質と発熱量の基本になる元素組成も調べ両者の関係を調べた。

##### i) 実験方法

###### 「試験材」

木質素材は心材、辺材、樹皮の部位別に木粉にし、ハンドプレスでペレットに押し固めたものを試験材とした。含水率の調整は各種飽和溶液上で行った。木質材料、市販ペレットに関しては木粉にせず、約1gをとった。

###### 「発熱量測定」

カロリメーターIKA C5000、C7000を使用し、高発熱量を一種類につき5回測定した。含水率の影響を見るとき以外は全乾で測定した。

###### 「元素分析」

試験材の一部は、愛媛大学総合科学研究支援センターに依頼して、炭素、水素、窒素、残留灰分の分析を行った。酸素量は計算により求めた。

## 4. 結果・考察

### (1) バイオマスのエネルギー変換

バイオマスをエネルギー変換するための問題点は、体積当たりの発熱量が低いこと、広い範囲から収集する必要があること、水分を多く含んでいること等が考えられる。

発熱量が低いことに対しては圧縮処理による緻密化、収集に対しては林業や解体材の回収の組織化が是非必要である。また含水率の低減には低位の廃熱の徹底利用が重要である。広域からの収集では輸送時のエネルギーを考える必要があるが、4トン車で3km/L-軽油の燃費とすると30km運ぶのに340MJ/トン-木材のエネルギーを使うという報告<sup>27)</sup>や10トンのバイオマスを50km運ぶのに必要な輸送エネルギー1720MJという報告<sup>24)</sup>もあり、トラックの大きさでかなり異なる。後者の場合、輸送エネルギーはバイオマスの持つポテンシャル17MJ/kg×104kg=17×104MJの約1%であり、50km圏内ではそれほど問題では無いと思われる。

今回は発電を取り上げているが、発電だけではバイオマスのポテンシャルを活かし切れないので、今まで盛んに言われている熱利用とセットで考える必要がある。そのために熱需要をバイオマスに転換していく努力が必要である。

今回は触れていないが、発電とは別に小さなレベルでも数多く、石油の代替を進めていくことが必要で、その意味では今後さらにペレットの燃焼機器の開発・普及を進める必要がある。

バイオマスを安定的に集めることが困難な理由の一つに林業を担う事業者が弱小である事があり、供給体制を整える事が特に必要となる。

カロリーメーターでは高発熱量を測定する。ただし実際には水蒸気は排出されるため潜熱は利用できない。従って実際に利用できるのは高発熱量 $H_g$ から潜熱を差し引いた低発熱量 $H_n$ となり、

$$H_n = H_g - H_e(9h + w) / 100$$

( $H_n$ 、 $H_g$ :低、高発熱量(J/g)、 $H_e$ :水の蒸発潜熱 2440J/g、 $h$ (%):木材の水素割合、 $w$ (%):湿量基準含水率)で計算される。含水率 $U$ と発熱量 $H_n$ の関係は

$$H_n = (100a - Ub) / (100 + U)$$

( $a$ :全乾時の発熱量、 $b$ :水の蒸発潜熱)で表せる。この式は直線ではないが低含水率の範囲では直線とみなし $a$ を求め、 $a=19710$ J/gを得た。 $b$ は2440J/gなので広範囲での含水率と発熱量の関係は

$$H_n = (1971 \times 103 - 2440U) / (100 + U)$$

となる。 $U=100$ を代入すると $H_n=8635$ となり発熱量は半減以下となり(図12)、バイオマスをエネルギー利用するときには含水率を小さくする必要がある。

続いて注意をしなければならない問題は、灰分量である。表12は市販ペレット(外国製も含む)の発熱量と成分を示す。極端に発熱量の低いものがある。これは残留灰分が極端に多いためである。このようなペレットを供給すれば、予定の発熱量は得られないし、灰の処理にも問題を起こし、バイオマスの信頼性を失墜させることになるので注意が必要である。このことは、バイオマス燃料供給側のモラルを問われる一大事である。市販ペレットの表12のうち一番下のものは、外国産で家庭用に供給しているペレットで、灰が出ないといううたい文句のものである。

表11は木質材料の発熱量と成分分析の結果である。木質材料は素材に比べ灰分量がおおいものがおおく、燃料にするときには心しておかなければならない。図13は木材素材と木質材料の元素分析の結果と発熱量の関係を統計的に示したものである。各元素の係数は理論的に求められた値とはことなるが、プラスマイナスは合致している。すなわち、炭素、水素の酸化は発熱であり、窒素は吸熱である。このことは元素組成と発熱量は統一的に考えることができることを示している。しかし炭を加えると、窒素も発熱的に表現されてしまい、統一的に考えられなかった。理由は現在の処不明である。

表11 木質材料の実測発熱量と元素分析

	発熱量(J/g)	C(%)	H(%)	N(%)	O(%)	残留灰分(%)
MDF	19992	47.92	6.22	3.27	42.59	0.00
OSB	20661	49.23	6.10	0.50	40.48	3.69
ストラッドボード(スギ)	21277	49.73	6.10	0.70	34.76	8.71
ストラッドボード(ヒノキ)	21199	49.74	6.17	0.67	36.12	7.31
パイン集成材	20530	48.52	6.24	0.00	44.49	0.75
合板	19420	48.62	6.17	1.49	43.72	0.00
M-WOOD	33001	66.91	9.82	0.31	22.17	0.799

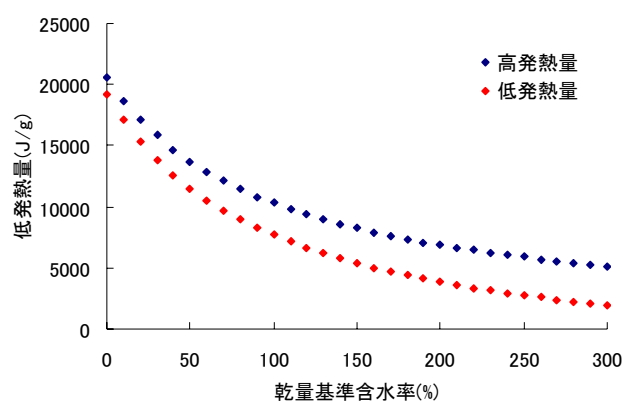


図12 広域含水率と発熱量の関係

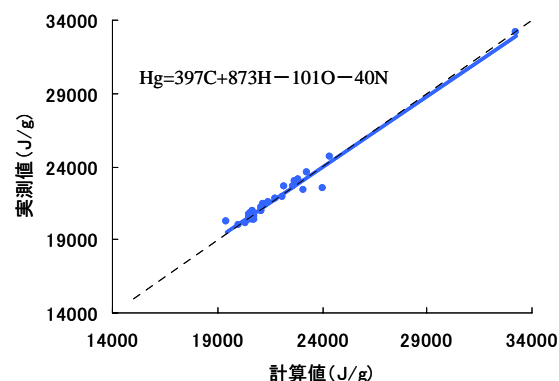


図13 発熱量の計測値と実測値

炭素削減量評価モデルの精度を上げるための、炭素含有量、発熱量について基礎データの集積を行った。

- ・ 炭素含有量は0.5と計算して間違いはない。
- ・ 発熱量は元素分析の結果から計算でき、例を示した。
- ・ 発熱量は含水率の影響を受け、大きく減少する。
- ・ ペレット製造時の不注意や木質材料を使うことによって残留灰分が増加する。

## (2) 木質バイオマスのガス化

近年、木質バイオマスのエネルギー利用として、直接燃焼だけでなくガス化、液化で発電や輸送用燃料も実証段階にきている。ここではガス化して合成ガス ( $H_2$ とCO) を得て、このガスから液体燃料を合成し輸送用燃料の目指しての「ガス化-間接液化」の一步として合成ガスの収率に及ぼすガス化条件と木質バイオマスの影響を調べた。

### 1) 実験

#### a. 試料

パーティクルボード (廃棄物バイオマス)、スギ (針葉樹)・ユーカリ (広葉樹) の計3試料を用いて、それぞれ元素分析、(サーモクエスト分析計) 工業分析 (Thermo plus TG8120 Rigaku) を行った。これにより得られた試料分析値を表13に示す。

表13 試料分析値

試料	元素分析/daf wt%					工業分析/wt%			
	C	H	O	N	S	Moist	VM	FC	Ash
スギ	49.4	6.3	44.2	0.0	0.1	3.5	76.3	19.6	0.6
パーティクルボード	50.9	5.7	38.7	4.1	0.6	8.6	67.6	22.9	0.9
ユーカリ	49.6	5.8	44.4	0.2	0.0	2.2	81.5	13.4	2.9

#### b. ガス化装置

ガス化装置はダウンドラフト型固定床流通式ガス化装置を使用し、試料はスクリーフィーダー、Airはマスフローコントローラー、 $H_2O$ は送液ポンプを使って規定量を供給できるように設定した。生成するガスは湿式ガスメーターにて体積を測定し、ガスバックにて補充する。

## c. 分析

ガス分析にはマイクロGC (Cerity 4-マイクロGC 3000A) を使用し、ガスバック中の成分同定と組成分析を行い、各ガス成分 ( $H_2 \cdot CO \cdot CO_2$ ) の生成量を算出した。また、試料供給量と元素分析の値から供給された炭素量 (C-mol) を計算し、ガス中の炭素量を求め、以下の式からガス化率を算出した。

$$\text{ガス化率 (\%)} = \frac{\text{ガス中のC (mol)}}{\text{試料中のC (mol)}} \times 100$$

またガス中の硫黄化合物については、ガスクロマトグラフ (Asilent 6890 GC) で検出器にFPDを用いて測定した。

## a. ガス化条件を一定

このセクションでは一定の条件のAir-Steamガス化 [ガス化温度 $900^{\circ}\text{C}$ 、 $H_2O/C=3$ 、 $O_2/C=0.3$  (mol換算)] で実験を行い、各ガス化に用いたサンプルの分析結果と生成したガス組成とガス化率を比較することを目的としている。

表14に生成したガスの組成とガス化率を示す、スギとユーカリはともに90%以上のガス化率であるが、そのガス組成は大きく異なっている。パーティクルボードはガス化率78%と低い結果になったが、主にガス組成のみを比較するとユーカリに近い組成になった。

まずスギとユーカリのガス組成を比較するに、スギとユーカリの化学的組成で大きく異なるものは、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの割合である。ガス化に関しては、リグニンが多いとタールに変換されやすいため、ガス化率としてはリグニンが多い針葉樹のスギよりも広葉樹のユーカリが有利であると考えられたが、結果としては、ガス化率、そして $H_2$ 発生率をともにスギが上回った。この原因として考えられることは、元素分析値でスギの $H_2$ 含有率が僅かながら高いことが挙げられるが、数%のものが大きな影響を及ぼすとは考えにくいいため更なる原因の究明が必要である。

次にガス化率の影響について、パーティクルボードは78%と他のサンプルに比べ低いガス化率となった。図14に原料中のS及びNとガス化率の関係を表しているが、今回使用したパーティクルボード中にS及びNの含有率が高かったことも、ガス化に悪影響を及ぼす可能性がある。ガス化剤として空気 ( $O_2$ ) と水蒸気 ( $H_2O$ ) を用いることで部分酸化 ( $C+1/2O_2 \rightarrow CO$ ) や水性ガス化 ( $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ )、シフト反応 ( $CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$ ) が起こるようにしていたが、原料中のSやNが空気や水蒸気と反応してしまい、(例:  $N+O_2 \rightarrow 2NO$ 、 $NO+O_2 \rightarrow 2NO_2$  や  $CO+S \rightarrow COS$ 、 $S+O_2 \rightarrow SO_2$  など)、Cとの反応する酸素や水が僅かながら少なくなり、ガス化率が低下してしまっただのではないかと考えられる。

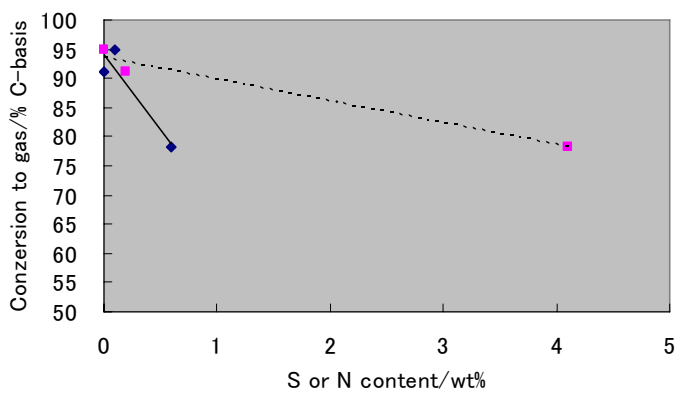


図14 N、Sとガス化率の関係

表14 ガス化率とガス組成

試料	生成ガス組成 (N2、O2 free) / mol%					ガス化率
	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> +H. C	C-mol%
スギ	32.2	26.7	31.9	6.7	2.4	95.0
パーティクルボード	26.2	27.7	38.9	7.2	0.0	78.3
ユーカリ	27.9	27.6	32.7	7.7	4.1	91.1

b. ガス化条件の比較

原料としてモデルサンプルとしてユーカリのみを用い、温度900℃で3つの実験条件 [Air (O<sub>2</sub>/C=0.3)、Air-Steam① (H<sub>2</sub>O/C=1、O<sub>2</sub>/C=0.3)、Air-Steam② (H<sub>2</sub>O/C=3、O<sub>2</sub>/C=0.3)] で実験を行い、主な生成ガス、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>の比較をおこなった。これはSteamがガス化反応にどの程度影響するのか調べることを目的としている。

図15のガス化条件変化によるガス組成の比較をみると、AirのみとAir-Steam①で比較をすると特にCOとH<sub>2</sub>が大幅に向上していることがわかる。Steam (H<sub>2</sub>O) の効果で主に水性ガス化 (C+ H<sub>2</sub>O→CO+ H<sub>2</sub>) が促進されたと考えられる。Air-Steam①とAir-Steam②では大きな差はなく、COの微減とH<sub>2</sub>の微増があった。(H<sub>2</sub> : 0.009 mol/g→0.010 mol/g CO : 0.017 mol/g →0.016 mol/g) Steamの量を増加させることでシフト反応 (CO+ H<sub>2</sub>O→CO<sub>2</sub>+ H<sub>2</sub>) が僅かながら進むことがわかった。

部分酸化&水蒸気ガスの比較

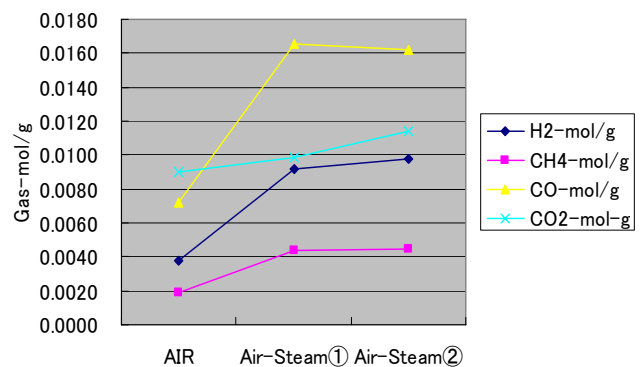


図15 ガス化条件変化によるガス組成

COS・H<sub>2</sub>Sのガス化条件比較

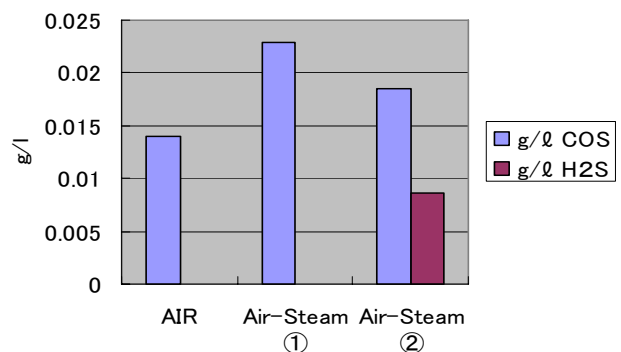


図16 ガス化条件変化によるCOSとH<sub>2</sub>S



### c. 硫黄化合物

bで生成したガス中の硫黄化合物を測定し、比較を行った。図16にそのグラフを示す。事前実験の結果では主にCOSが生成されていたことから、Steamをいれることで $[\text{COS}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{H}_2\text{S}+\text{CO}_2]$ の反応に狙いがある。硫黄化合物は液体燃料合成工程の触媒に悪影響を及ぼすためできるだけCOSや $\text{H}_2\text{S}$ は除去しなければならない。特にCOSは $\text{H}_2\text{S}$ に比べ除去が困難であるためできる限りCOSを減らすようにガスを生成する必要がある。

測定の結果、AirとAir-Steam①ではCOSのみが測定され、(Air:約0.014g/l、約COS=0.023g/l) Air-Steam②においてCOS(約0.018 g/l)と $\text{H}_2\text{S}$ (約0.008 g/l)も測定された。

$\text{H}_2\text{O}$ を用いたAir-Steam①の $\text{H}_2\text{S}$ が出ない原因として、 $[\text{COS}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{H}_2\text{S}+\text{CO}_2]$ の反応へ進むための水分が不足しているためと予想している。bでAir-Steam①とAir-Steam②の比較をしたが、 $\text{H}_2\text{O}$ を増やした(0.12ml/min→0.36ml/min)にもかかわらず、シフト反応が大きな効果を表していない。つまりAir-Steam②では水分が余分に存在した状態であるため、 $[\text{COS}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{H}_2\text{S}+\text{CO}_2]$ の反応がおこりやすく、Air-Steam①では $\text{H}_2\text{S}$ 反応できなかったと考えている。以上をまとめると

- ・ 生成されるガスの組成として、COについてはどのサンプルでも割合は変わらないが、 $\text{H}_2$ 発生割合はスギ(針葉樹)が僅かながら高い。しかしながらガス化率で見ると、スギ、ユーカリは高いガス化率を得られるため、ガス化が有効的手段になる可能性がある。また、ガス化に適するサンプルとしてはNやSを多く含まないことが重要で(ガス化率低下、不純物生成に影響するため)、スギ、ユーカリに比べ、それが多いパーティクルボードはガス化に使用するためには注意が必要であるといえる。
- ・ ガス化剤である $\text{H}_2\text{O}$ を有効的に使用することにより、ガス組成の向上に繋がることがわかった。つまり、適度な操作によりどのようなサンプルを用いても、一定の組成を持つガスを生成することが可能であるといえる。

また、 $\text{H}_2\text{O}$ を使用することで、除去が困難なCOSから比較的除去が簡単な $\text{H}_2\text{S}$ へ変化させる反応が起こりやすくなる。

2007年現在、化石燃料の価格が高止まりしているため、バイオマスをエネルギーとして利用することが考えやすい状況である。各種法律も整いつつあり、バイオマスのエネルギー利用も進んでいる。特に建築解体材などは、調査当初では考えられないほど利用が進んでいる。しかし、バイオマスの本来の特徴である、地域利用という意味ではなかなか進んでいないのが現状である。化石燃料がこのままの価格が維持されるかさらに高くなれば、バイオマスをエネルギーとして利用する機運が高まって来るが、バイオマスの利用拡大は、既に顕在化してきたような食料問題、飼料問題と密接な関わりがあることも考えておかなければならない。基となるバイオマス供給者の確保養成も重要事項である。

たとえバイオマスをエネルギー源として確保できたとしても、バイオマスなら何でもいいというわけではなく、便利さを知ってしまった人間にとっては、燃料の信頼性の確保と安定供給の維持が欠かせないことである。そのための人材を含めたシステム作り、また現在ほとんどが輸入に頼っているエネルギー変換するための機器の開発、コストダウンなど解決しなければならない問題は沢山ある。

さらに、目新しいことには予算を大幅に付けるが、バイオマスを根付かせるためにはあまり予

算が付かないシステムの見直しなど、バイオマスを地域に根付かせるためには根本的なことの変革が必要であるような気がする。例えば、なぜ私たちの地域だけがそんな苦勞しなければならないのかという単純な質問がある。それに対して、海外との間での排出権取引など国内での努力を放棄したような仕組みではなく、国内での排出権取引制度を取り入れ、化石エネルギーの利用を減少させるインテンシブなども考えられないであろうか。本当に技術だけでエネルギー問題が解決するのか、子孫にどのようなシステムを残すのかというところの問題はどうするのか、両輪でバイオマス利用の教育、広報活動を充実していくことも求められる。地域でバイオマスを根付かせる難しさをひしひしと感じる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

バイオマスエネルギーを利用することにより削減可能な二酸化炭素算出のための原単位を整理した。

### (2) 地球環境政策への貢献

地球温暖化対策として木質バイオマスを再生エネルギーとして活用するための問題点を明らかにした。

## 6. 引用文献

- 1) 松本光朗：林業統計から見た我が国の炭素蓄積量、環境省地球環境研究総合推進終了報告書「陸域生態系の吸収源機能評価に関する研究、平成11年度-平成13年度」、26、2002
- 2) 林野庁：バイオマス資源の利用手法に関する調査報告書、2001
- 3) 山地憲治編：『バイオエネルギー』、ミオシン出版、2000
- 4) 後藤純一：林業現場において発生する残材収集の現状とエネルギー利用の可能性、森林バイオマス利用セミナー、森林バイオマス利用学会、香川、2006
- 5) 外崎真理雄：私信

---

注：以下の7と8は、3つのサブサブサブ課題に共通した内容である。

## 7. 国際共同研究等の状況

なし。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 有馬孝禮：森林文化研究、23：101-110、2002  
「木質資源のリサイクルの二酸化炭素収支評価」
- 2) 杉森正敏、山田健二、林和男：木材工業、58、264-267、2003

## 「在来軸組み住宅の木材使用量」

- 3) 外崎真理雄：木材工業、58、531-533、2003、「地球環境問題と木材利用」
- 4) 杉森正敏、山田健二、林和男：木材工業、59、19-22、2004
- 5) 相馬智明、有馬孝礼：木材工業、59、113-118、2004  
「木造住宅の分別解体による木材使用量調査」
- 7) 恒次祐子：木材工業、60(1):8-12、2004、「木材利用における環境影響評価について」
- 8) 外崎真理雄、恒次祐子、小澤雅之、花岡憲司、日本エネルギー学会誌、84、p973-979、2005  
「日本林業のための木材利用」
- 9) 外崎真理雄、恒次祐子、小澤雅之、花岡憲司：日本エネルギー学会誌、84、p973-979、2005  
「日本林業のための木材利用」
- 10) Kim Pingoud, Kenneth E. Skog, Daniel L. Martino, Mario Tonosaki, and Zang Xiaoquan :  
2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 Agriculture,  
Forestry and Other Land Use, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme,  
Institute for Global Environmental Strategies, 2006, Chapter 12 Harvested Wood  
Products

## 〈その他誌上発表（査読なし）〉

- 1) 外崎真理雄：木材工業、57(6)、256-259、2002、「ニュージーランドの木質系廃棄物事情」
- 2) 外崎真理雄：木材工業、57(11)、476-479、2002、「利用可能な木質系残廃材量」
- 3) 山田健二、杉森正敏、林和男：愛媛大学演習林報告、Vol. 41、13-20、2002  
「木造住宅の分別解体の実践－木材データ集－」
- 4) 日本林業技術協会編：早わかり 循環型社会の森林と林業、103-118、2002  
「第6章 木材の利用（執筆担当：外崎真理雄）」
- 5) 日本エネルギー学会編：バイオマスハンドブック、オーム社、59-63、2002  
廃棄物－木質廃棄物（執筆担当：外崎真理雄）」
- 6) 有馬孝礼：木材の住科学、2003東京大学出版会（単著）
- 7) 恒次祐子、軽部正彦、外崎真理雄：日本建築学会環境系論文集、NO. 567、1-6、2003  
「木質系住宅解体材における再資源化率向上のシナリオとその評価」
- 8) 外崎真理雄：木材工業、59、31-35、2004、「伐採木材」に関する専門家会合」
- 9) 外崎真理雄：木材情報(11)、日本木材総合情報センター、p5-8、2004  
「伐採木材」の算出と評価について
- 10) 外崎真理雄、木材工業、60(7)、p364-366、2005「環境問題」
- 11) 外崎真理雄：森林技術、754号、p16-21、2005、「木材の利用とCO<sub>2</sub>削減効果」
- 12) 外崎真理雄、木材工業、60(4)、p175-180、2005、「『伐採木材』ワークショップ」
- 13) 外崎真理雄、伊神裕司、村田光司、恒次祐子：研究成果439、  
農林水産バイオリサイクル研究－林産エコチーム－、農林水産技術会議事務局p43-47、2006  
第3章 木材加工・利用における廃棄物再利用システムの構築
- 14) 外崎真理雄：季報 エネルギー総合工学、29(2)、p62-68、2006  
「木材利用の環境的意義とエネルギー利用のあり方」

- 15) 外崎真理雄：グリーンスピリッツ、グリーンスピリッツ協議会、2(2)、P.8-9、2006  
「伐採木材製品の炭素貯蔵効果」
- 16) Kazuo Hayashi：Proceedings of International Symposium on Wood and Biomass Utilization for the Carbon Uptake. Seoul, Oct. 1-17, 2005  
” Possibility of carbon dioxide emission mitigation by wood utilization in Japan.”
- (2) 口頭発表（学会）
- 1) 山田健二、杉森正敏、林和男：日本木材学会大会研究発表要旨集、52、451、2002  
「建築物における純木材使用量」
  - 2) 有馬孝礼：日本木材学会大会研究発表要旨集、52、452、2002  
「木材利用における炭素収支評価」
  - 3) 有馬孝礼：日本木材学会大会研究発表要旨集、53、532、2003  
「木質資源リサイクルの炭素収支評価」
  - 4) 恒次祐子、軽部正彦、外崎真理雄、原田真樹、林知行：日本木材学会大会研究発表要旨集、52、456(2002)、「木質系資源利用の現状とその循環利用に向けての提言」
  - 5) 新藤万里子、林和男、杉森正敏：日本木材学会大会研究発表要旨集、52、445  
「木材および木質材料の発熱量と元素分析」
  - 6) 山田健二、杉森正敏、林和男、：第11回日本エネルギー学会大会、東京、8月、198-199  
「建築物における木材の純粋使用量」
  - 7) 新藤万里子、杉森正敏、林和男：第14回日本木材学会大会中国・四国支部研究発表会、高知、9月、32-33、「木質バイオマスの発熱量」
  - 8) 相馬智明、有馬孝礼：日本建築学会大会、2003  
「建築用木材の出荷量による炭素貯蔵量の推定」
  - 9) 外崎真理雄、恒次祐子：日本建築学会大会、2003「木材の資源循環と建築」
  - 10) 恒次祐子、外崎真理雄：第54回日本木材学会、2004  
「建築における伐採木材製品利用による炭素貯蔵効果評価モデルの作成」
  - 11) Tomoaki SOMA, Takanori ARIMA：The 8th World Conference on Timber Engineering June 2004, “Carbon stock by domestic wood products and imported ones in Japan”
  - 12) 有馬孝礼：日本建築学会大会、2004、「木質材料の炭素収支評価」
  - 13) 恒次祐子、外崎真理雄：日本木材学会大会研究発表要旨集、54:440、2004  
「建築における伐採木材製品利用による炭素貯蔵効果評価モデルの作成」
  - 14) 有馬孝礼：日本木材学会大会研究発表要旨集、54:441、2004  
「木質資源利用の炭素収支評価」
  - 15) 池田景介、林和男、杉森正敏：日本木材学会大会研究発表要旨集、54:447、2004  
「解体木材からみた再利用の一考察」
  - 16) 有馬孝礼：平成16年日本建築学会大会（札幌）、2004、「木質材料の炭素収支評価」
  - 17) Tomoaki SOMA, Takanori ARIMA: The 8th World Conference on Timber Engineering (Lahti in Finland)、2004, ” Carbon stock by domestic wood products and imported ones in Japan”
  - 18) 池田景介、林和男、杉森正敏：日本木材学会大会研究発表要旨集、55:152、2005

## 「解体木材の現状と価値試算」

- 19) 有馬孝礼、平野陽子、中村亜弥子：日本木材学会大会研究発表要旨集、55:153、2005  
「木質資源利用の二酸化炭素収支評価」
- 20) 恒次祐子、外崎真理雄：日本木材学会大会研究発表要旨集、55:153、2005  
「伐採木材製品利用による炭素貯蔵効果評価モデルの作成(I)」
- 21) 林和男、杉森正敏、新藤万里子：木材加工技術協会年次大会、名古屋、2004  
「木質バイオマスのエネルギーポテンシャル—元素分析と発熱量—」
- 22) 有馬孝礼、平成17年日本建築学会大会（近畿）、2005  
「木材利用による二酸化炭素排出削減効果の炭素収支評価」
- 23) 有馬孝礼、平野陽子、中村亜弥子、平成17年日本木材学会年次大会（京都）、2005  
「木質資源利用の二酸化炭素収支評価」
- 24) 有馬孝礼、平成18年日本建築学会大会（関東）、2006  
「木材利用による二酸化炭素排出削減効果と炭素貯蔵」
- 25) 外崎真理雄：日本木材加工技術協会第24回年次大会講演要旨集、P.41-42、2006  
「伐採木材評価について」
- 26) 高木真由、平野陽子、有馬孝礼 平成18年日本木材学会年次大会（秋田）、2006  
「建築・土木資材等の二酸化炭素固定機能の比較」

## (3) 出願特許

なし。

## (4) シンポジウム、セミナーの開催

- 1) 林和男：木質バイオマスを使う意味、エコロジーエンタープライズ環境講演会、2005
- 2) 林和男：循環資源としての木材、専門高校教員を対象とした森林・林業教育研修会、2005
- 3) 林和男：木材利用と地球温暖化軽減、森と触れ合う高校生の集い、2005

## (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 林和男：内子環境講座、内子、2003  
「ともにつくる「エコロジータウンうちこ」の実現に向けてバイオマスを使う意味」
- 2) 愛媛新聞（2004年、地方版、小学校へのペレットストーブの導入）
- 3) NHK地方ニュース（2004年11月、木質燃料の普及について5分ほど紹介）