

38. 木質系バイオマスを対象とした循環利用技術インベントリの評価

THE INVENTORY ANALYSIS

OF CIRCULATION TECHNOLOGIES FOR WOODEN BIOMASS

村野 昭人*・藤田 壮**・鎌田 みゆき***

Akito MURANO*, Tsuyoshi FUJITA**, Miyuki KAMATA***

ABSTRACT; In 2005 the greenhouse gas emissions in Japan increased by 8.1% from 1990 levels. The achievement of the target required in the Kyoto Protocol is a difficult situation. As the CO₂ absorption function of the forest is accepted to be counted in to the greenhouse gas reduction, the forest maintenance through afforestation, conservation, and deforestation is requested. The construction of the system that controls the discharge in the atmosphere is requested with CO₂ stock for a long term by making wood building materials, and then the energy recovery. In this study the inventories of circulation technologies for wooden biomass was investigated. And the system is constructed that evaluates the effect of the carbon absorption, the carbon stock, and the fossil fuel reduction of the regional circulation. As a result of the case study for Saitama Prefecture, to maintain a current amount of the CO₂ absorption, it was necessary to use local wood also for the usages other than construction. And the circulation use for a wooden biomass had the big potential in CO₂ reduction.

KEY WORDS ; *Wooden Biomass ,Circulation Technology, Carbon Absorption, Life Cycle CO₂*

1 はじめに

2005 年度に日本で排出された温室効果ガス排出量は、基準年(1990 年)比で 8.1%増加しており、京都議定書で義務付けられた目標の達成が困難な状況となっている。温室効果ガスの 90%以上を二酸化炭素が占め、さらにその排出量の 90%以上が化石燃料の燃焼に伴うエネルギー起源である状況の中、再生可能であるとともに燃焼させてエネルギーを回収しても、トータルとして大気中の二酸化炭素濃度を上昇させない「カーボンニュートラル」の性質を持っているバイオマスが注目されている。2002 年末にはバイオマスの活用推進を狙いとするバイオマス・ニッポン総合戦略が閣議決定され、有機系廃棄物を含めたバイオマスの利活用に関する総合的な施策が定められた。バイオマスの利活用目標として 2010 年を目処に炭素量換算で廃棄物系バイオマスは 80%以上、未利用バイオマスは 25%以上を掲げている。

また、温暖化ガス削減目標の中に森林の CO₂ 吸収機能を算入することが認められており、日本は基準年の排出量の 3.9%にあたる 1300 万トン相当の炭素を森林吸収によってまかなう計画である。その目標を達成するためには、植林・伐採・利用を通じた CO₂ を吸収する森林整備が不可欠となっている。

* 東洋大学 工学部 環境建設学科 〒350-8585埼玉県川越市鯨井2100 E-mail:murano-a@eng.toyo.ac.jp

Toyo University, Faculty of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering
Kujirai 2100, Kawagoe-shi, Saitama, Japan 350-8585

** (独) 国立環境研究所 環境技術評価システム研究室, 東洋大学 工学部 環境建設学科 (兼任)

National Institute of Environmental Study, Environmental Technology Evaluation System Team

*** 株式会社 藤和設計, Towa Plan Company

以上の背景をもとに、本研究では、森林が生み出す木材を建築物として都市空間で利用して CO₂ を長期間にわたり貯蔵し、その後エネルギー回収を図ることで、大気中への CO₂ の放出を抑制する社会システムを構築を目的とする。

具体的には、第一に、木質系バイオマスの地域循環利用による環境改善効果を評価するシステムの全体フレームを構築した。第二に、木質系バイオマスを対象とした循環利用技術について、歩留まり率、エネルギー投入量、廃木材の品質の影響といった項目の調査を行い、それぞれの技術インベントリを構築した。最後に、埼玉県を対象として木質系バイオマスの地域循環利用を促進した際の、植林による炭素吸収効果の推移を分析した。

2 木質系バイオマスの地域循環利用を評価するシステム

木質系バイオマスの地域循環利用を評価するシステムの全体フレームを図-1に示す。まず、バイオマス利用技術について、その制約条件を明らかにするとともに、エネルギー投入量、エネルギー回収量、残渣発生量などを調査し、技術インベントリを構築する。次に、対象地域の木質系バイオマスの賦存量のデータベースを構築する。最後に、技術導入ケースの設定を行い、技術インベントリとバイオマス賦存量データベースを組み合わせることによって、地域循環利用の環境負荷削減効果を評価する。

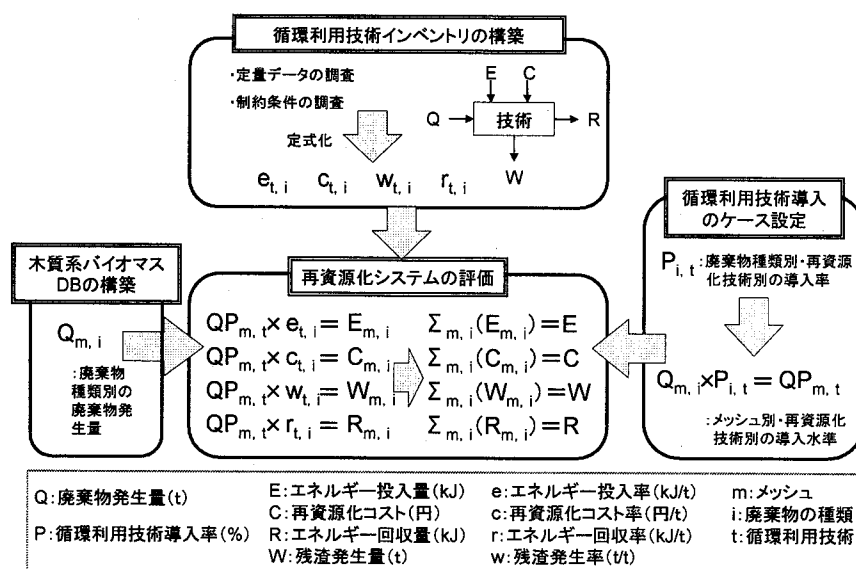


図-1 木質系バイオマスの地域循環利用の評価フレーム

3 木質系バイオマスの循環利用技術の調査

3.1 バイオマス循環利用技術の概要

バイオマス循環利用技術は、燃焼、熱化学的変換、生物化学的変換に大別できる¹⁾ (図-2)。燃焼は、直接燃焼、混焼、固形燃料化に分別することができる。既に広く利用されている技術であるが、エネルギー回収効率の向上が技術的な課題として残されている。熱化学的変換は、ガス化、液化、炭化、エステル化に分別することができる。熱を加えることによって熱分解や酸分解、加水分解などの反応を進行させる技術で

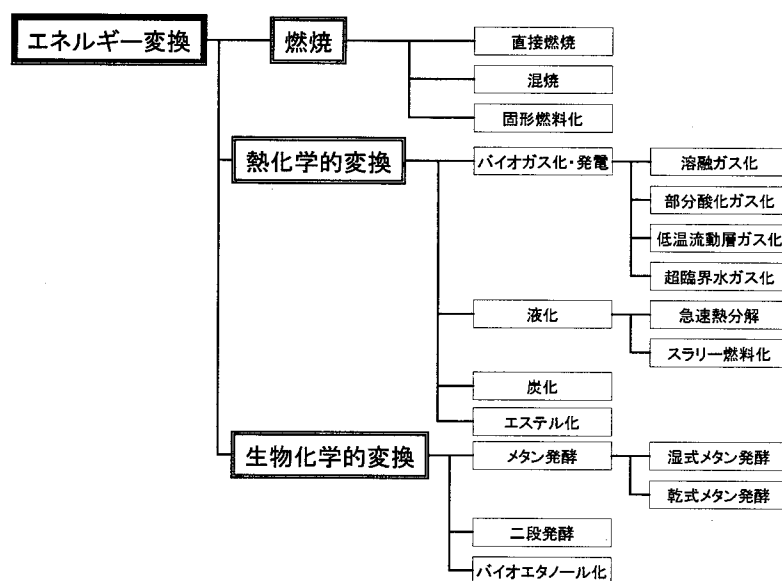


図-2 バイオマス循環利用技術の体系

ある。生物化学的変換は、メタン発酵、二段発酵、エタノール発酵に分別することができる。微生物の働きを利用してバイオマスを分解し、エネルギーを生成する。反応時間がかかり、微生物が対象とする基質以外は分解できないため、原料が限定されるという欠点があるが、比較的常温常圧に近い条件で反応を進行させることが可能であるという特色を持つ。

本研究では、これらの中からバイオエタノール抽出技術、バイオガス化・発電技術、チップボイラ技術について、実証実験事例を中心に調査する。

3. 2 木質系バイオマスを対象とした循環利用技術

セルロース系バイオエタノール抽出技術の転換フローを図-3 に示す

2) . バイオエタノールは、前処理、加水分解、発酵、蒸留の過程を経て生成される。木材の成分は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンに大別される。従来は、セルロースのみがエタノール化されていたが、ヘミセルロースもエタノール化することが可能な技術など、様々な技術

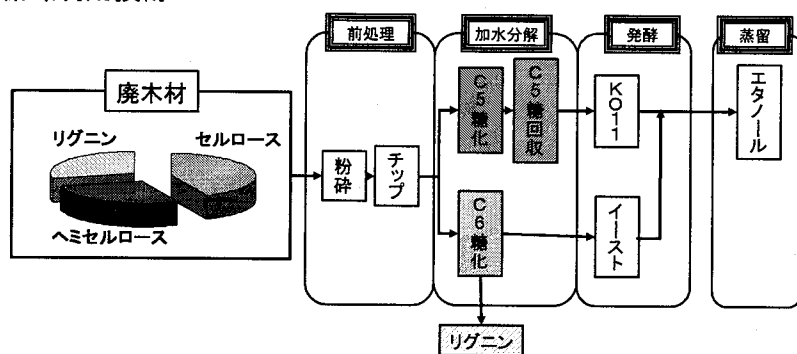


図-3 バイオエタノール抽出技術の転換フロー

が近年開発されつつある^{3)・4)}。2007年1月には、廃木材を主原料として年間1,400キロリットルのバイオエタノールを製造する、世界初の施設が堺市に完成した。平成20年度には年間製造量を4,000キロリットルまで引き上げる予定となっている。

バイオガス化・発電技術は、酸素を絶った状態で高温にすることで熱分解・ガス化により可燃性ガスである水素、一酸化炭素、メタン等を生成する技術である。CCA防腐剤を含む木材は原料として適さない他、ガス化する際に発生するタールが機器や配管の閉鎖等の問題を起こすため、いかにしてタールを除去するかが課題となっている⁵⁾。

チップボイラ技術は、ボイラの燃料としてチップ及びペレットを直接燃焼させることで温水や蒸気を取り出す技術であり、木質資源の再資源化方法として広く行われている。再資源化に必要な工程が粉砕や分別のみであり、エネルギー投入量が比較的少ないという長所があるが、燃焼効率の向上や需給バランスの調整が課題となっている⁶⁾。

4 木質系バイオマスの循環利用に伴う環境負荷削減効果の推計

木質系バイオマスの循環利用による環境負荷削減量の算出フローを図-4 に示す。各技術のエネルギー取得量の値と原油発熱量⁷⁾の値から、1トンあたりの原油削減量を算出した。その値に原油の二酸化炭素排出量原単位を乗じ、製造時に発生する二酸化炭素排出量を引くことで、二酸化炭素削減量を求めた。バイオエタノール化のエネルギー回収効率を求めるために、エタノール製造量にエタノール発熱量を乗じてエネルギー回収量を算出した。次にバイオマス投入量に木材の発熱量を乗じて、投入バイオマスの発熱量を算出し、エネルギー回収量の値を除することでエネルギー回収効率を求めた。バイオガス化・発電、チップボイラのエネルギー回収効率を求めるために、バイオマス投入量の値に木材発熱量を乗じて、投入したバイオマスの持つ熱量を算出した。次に、発電における熱量を算出し、投入バイオマスの熱量で除することによってエネルギー回収効率を求めた。

埼玉県で発生する木質系バイオマスを対象として、循環利用に伴う環境負荷削減効果を算出する。寿命関数を考慮して、2003年に埼玉県で解体される木造住宅の延床面積を推計した結果、約172万

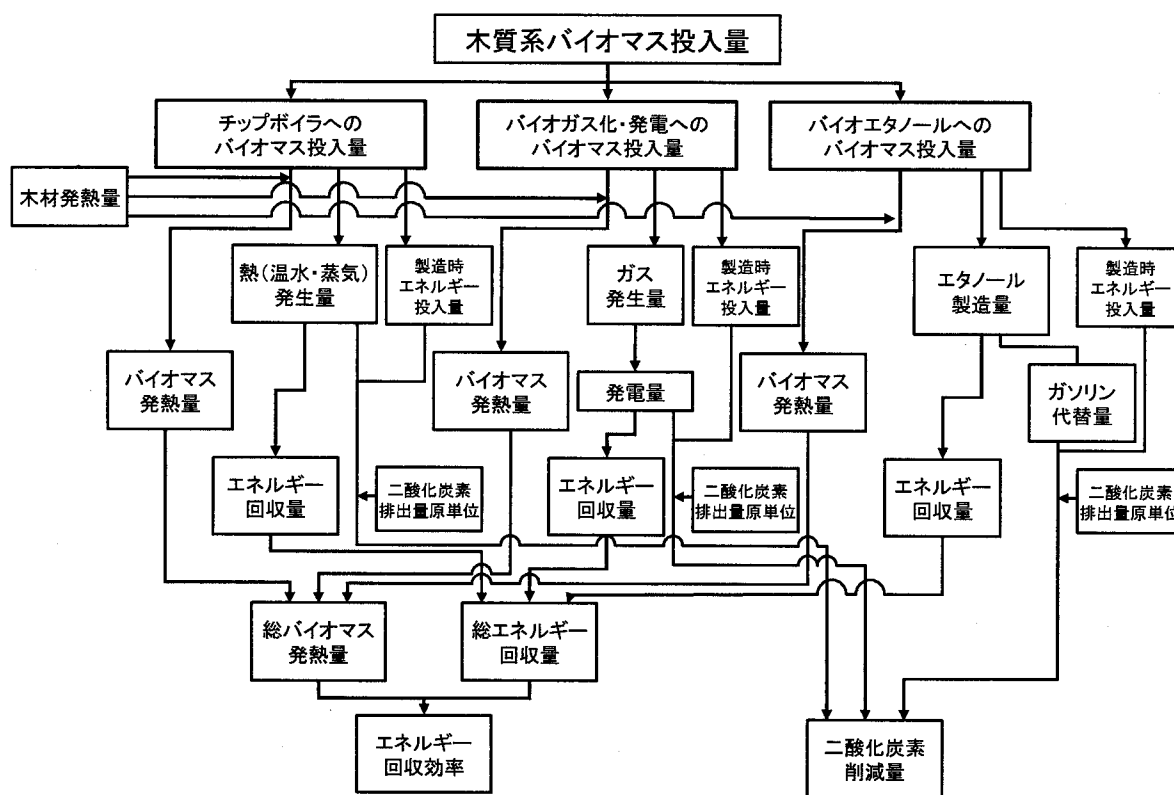


図-4 木質系バイオマス利用に伴う環境負荷削減量の算出フロー

m²となった。この値に木材投入量原単位⁸⁾ および木材比重を乗じることで解体廃木材発生量を算出した。さらに、NEDOが公開している木質系バイオマスの賦存量推計データ⁹⁾ を基に、埼玉県における林地残材、製材所廃材等の発生量を求め、各循環利用技術を導入した場合のCO₂排出量削減効果を推計した結果、2.9～13.2万t-CO₂となった。これは、2003年における埼玉県全体の温室効果ガス排出量4,362万t-CO₂¹⁰⁾ の0.07～0.30%に相当し、大きなポテンシャルを有することが明らかとなった。

5 森林における二酸化炭素吸収量の推計

前章では、木質系バイオマスの循環利用による化石燃料代替効果について算出した。本章では、埼玉県の森林における二酸化炭素吸収量の推移を算出することで、木質系バイオマスの循環利用の促進が及ぼす影響について分析する。二酸化炭素吸収量は、樹木の成長量に、拡大係数、密度、炭素含有量を乗じて求める。文献調査¹¹⁾ に基づき、拡大係数を1.7、密度を0.4 (t/m³)、炭素含有量 (t-C/t) を0.5と仮定して算出した。

埼玉県の地域森林計画対象森林における齢級別面積・材積量・成長量の値から、齢級別の樹木の成長率を算出した結果を図-5に示す。1齢級とは、樹齢が1～5樹木を意味し、以下2齢級は樹齢6～10、3齢級は樹齢11～15となる。樹木は最初の10年間はほとんど成長せず、その後急激に成長し、30年を経過した頃から徐々に成長率が下がり、80年を経過するとほぼ成長しなくなることが分かる。すな

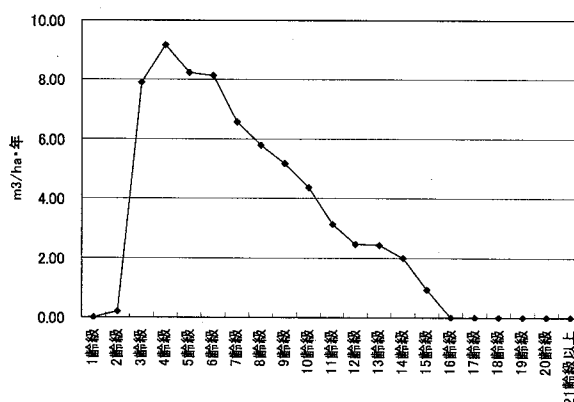


図-5 埼玉県における齢級別の成長率

わち、森林における二酸化炭素吸収効率を高めるためには、30 年程度成長させた後に、すぐに伐採することが効果的である。

埼玉県農林部森づくり課へのヒアリング調査にもとづき、8 齢級以上の樹木を伐採の対象とすると仮定した。樹木が 8 齢級になるまでの 1 ha あたりの成長量を求め、木材を得るために必要な森林面積を算出する。伐採の対象とする森林面積の合計は、植林面積と等しい面積とし、さらに樹級別の森林面積に応じて按分されると仮定した。

二酸化炭素吸収量の推移の算出対象としたケースは、埼玉県における県産材の利用分を伐採・植林するケース、埼玉県における国産材の利用分を伐採・植林するケース、埼玉県における木造住宅への利用分を伐採・植林するケースである。さらに比較対象として、植林を一切行わないケース、現状の植林面積分を継続して伐採・植林するケース、埼玉県における木造住宅への利用分の 2 倍を伐採・植林するケースについて算出した（図-6）。この結果、埼玉県における現状の二酸化炭素吸収量は約 57 万 t-CO₂ であり、県全体の排出量の約 1.3% に相当する。

時系列変化を見ると、二酸化炭素吸収量は年の経過とともに減少する傾向にあることが分かる。これは埼玉県における森林が、成長率のピークを過ぎた 7 齢級から 12 齢級の間に偏っていることに起因すると考えられる。また、植林を一切行わない場合には、約 50 年後には二酸化炭素吸収量がほぼ 0 となり、現状水準の植林を継続した場合や、県産材利用分を植林した場合、国産材利用分を植林した場合も、約 50 年後には現在の吸収量の 10~20% にまで減少する結果となった。一方で、埼玉県における木造住宅への木材利用量をすべて県産材でまかなえるだけの植林を行った場合には、現在の吸収量の約 60% の吸収量を維持できることが分かった。現在の吸収量を維持していくためには、埼玉県における木造住宅への利用分の 2 倍に相当する樹木の伐採・植林が必要であり、その実現のためには建材以外の用途に需要を確保することが不可欠である。

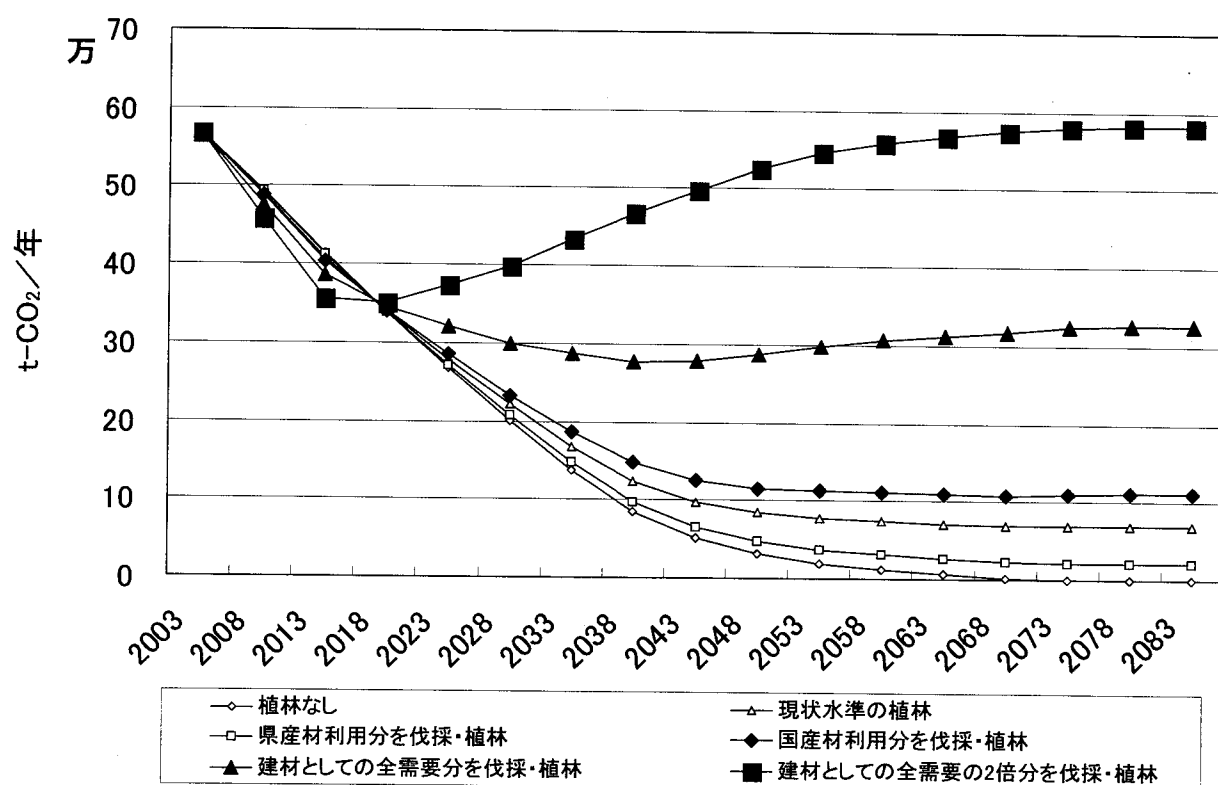


図-6 埼玉県の森林における二酸化炭素吸収量の推移

6 まとめ

本研究では、森林が生み出す木材を建築物として都市空間で利用することによってCO₂を長期間にわたり貯蔵し、さらに、その後エネルギー回収を図ることによって、大気中へのCO₂の放出を抑制することを目的として、木質系バイオマスの地域循環利用による環境負荷削減効果の評価システムを構築して、循環利用技術のインベントリ評価を行った。さらに、木質系バイオマスの利用によってもたらされる炭素吸収効果を推計した。

埼玉県における木質系バイオマス賦存量を対象として、木質系バイオマスの循環利用によるCO₂削減効果を算出した結果、大きな削減ポテンシャルを有することが明らかとなった。また、埼玉県を対象として森林のCO₂吸収量の推移を分析した結果、現状の水準を維持するためには、建築以外の用途にも県産木材を利用することが必要であることが分かった。

今後の課題として、循環利用技術の導入における制約条件を考慮した評価が必要となる。また、循環施設の建設コスト、運用コスト、代替製品の価格などを考慮した経済性についてシミュレータソフト等¹²⁾を用いた評価を行うことが挙げられる。

謝辞：本研究は、文部科学省・私立大学学術研究高度化推進事業「東洋大学地域産業共生研究センター」（平成16年度～平成20年度、研究代表者：藤田壮）および同省科学研究費補助金 若手研究（B）（平成18年度～平成19年度、研究代表者：村野昭人）の一部として行われた。

参考文献

- 1) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO):バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第2版), 2005
- 2) 月島機械株式会社 HP:<http://eco.goo.ne.jp/business/keiei/keyperson/45-1.html>
- 3) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 平成14年度成果報告書:バイオマスエネルギー高効率転換技術開発/セルロース系バイオマスを原料とする新規エタノール醗酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発, 2003
- 4) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 平成15年度成果報告書:バイオマスエネルギー高効率転換技術開発/セルロース系バイオマスを原料とする新規エタノール醗酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発, 2004
- 5) 中外炉工業(株)HP, <http://www.chugai.co.jp/>
- 6) 小玉祐一郎, 岡健雄, 河合誠, 野口貴文, 服部順昭, 山畑信博, 清野新一, 中島史郎:木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発 その1 木造建築物の物質循環算定手法の開発, 建築研究報告 No. 140, 2004
- 7) 南齋規介, 森口祐一, 東野達:産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) -LCAのインベントリデータとして-, (独)国立環境研究所 地球環境研究センター, 2002
- 8) (財)日本住宅・木材技術センター:木造軸組工法住宅の木材使用量(平成13年度調査)
- 9) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) <http://biomass.denken.jp/kinds/index.html>
- 10) 埼玉県 HP 埼玉県における2003年(平成15年度)「温室効果ガス排出量」(詳細版)
<http://www.pref.saitama.lg.jp/A09/BE00/ondanka/CO2/h15.pdf>
- 11) (社)日本エネルギー学会:バイオマスハンドブック, オーム社, 2002
- 12) (独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター:<http://unit.aist.go.jp/btrc/ci/index.html>