

木質バイオマス資源からみる 温室効果ガス削減の可能性に関する研究

Potential Utilization of Forest Biomass as an Option for Carbon Emission Reduction

江藤 寛子・佐々木 ノビア

Etoh, H. & Sasaki, N.

キーワード: 兵庫県, 木質バイオマス資源, バイオマスエネルギー, 二酸化炭素吸収,
京都議定書

要約: 地球温暖化問題が顕在化している。大きな要因として、温室効果ガスの増加が挙げられ、その対策のひとつとして、化石燃料の代替エネルギーであるバイオマス資源の導入促進が求められている。本稿は、県土に占める森林の割合が67%という広大な森林面積を有する兵庫県の木質バイオマス資源に着目している。兵庫県統計書の1971年度から2003年度までの木材生産量の統計データを用いて、木質バイオマス資源の利用可能性を推計するとともに、木質バイオマス資源の利用による温室効果ガス削減量を予測し、今後の展望を考察することを目的としている。さらに、木質バイオマス資源を利用し、発電を行っている兵庫県内の企業事例を挙げ、利活用の可能性を検証する。以上のことから、木質バイオマス資源の利活用による循環型社会の実現に向けた取り組みに関する提言について述べる。

Abstract: This research focused on the role of forest biomass power generation as a new alternative source of bioenergy replacing the utilization of high CO₂ emitting fossil fuel and natural gas. Hyogo prefecture is chosen as a case study. According to Japan's "the forest and the forestry master plan", forest resources should be managed for maximum growth as a means to sequester atmospheric carbon, and forest biomass should be utilized as an option for carbon emission reduction. This paper aims at estimating forest biomass and its potential utilization as source of bioenergy in Hyogo prefecture. Data of forest production from natural and plantation forests in Hyogo from 1971 to

2003 were analyzed. Forest biomass is classified to onsite and offsite biomass. Onsite biomass includes branches, foliages and stumps, while offsite biomass includes industrial waste wood. Energy generation using onsite and offsite biomass as source is estimated. Lastly, this research estimates carbon emissions resulting from energy generation under two scenarios. Potential carbon reduction during the first commitment period between 2008 and 2012 of the Kyoto protocol was conducted. Additionally, a case study of bioenergy in a local company in Hyogo was conducted. Our results suggest that Hyogo prefecture could potentially reduce its emissions about 356,000 to 726,000 ton CO₂ during the first commitment period depending on chosen management scenarios. This potential emission reduction accounts for 5.4 to 11.0% of the prefecture's commitment reduction. This paper is concluded by providing a framework for possible utilization of forest biomass as an option for carbon emissions reduction in Hyogo prefecture.

Keywords: Hyogo prefecture, forest biomass, bioenergy, carbon emissions, Kyoto Protocol

1. はじめに

産業革命以降、世界のエネルギー需要量と消費量、人口は依然として増加傾向にある。経済産業省 資源エネルギー庁 (2006) 「日本のエネルギー2006」によると、世界で消費しているエネルギー資源の 89 %が化石燃料であり、石油の確認可採埋蔵量は 1 兆 1,886 億バレル、利用可能な年数は約 40.5 年間、天然ガス 180 兆立方メートルで約 66.7 年間、石炭 9,091 億トンで約 164 年間となっている。今後もエネルギーの増加が進めば、近い将来、枯渇の危機にある。また、化石燃料の大量消費は、地球規模の環境問題を発生させる原因となっている。そのうち、対策が最も困難とされているのが、大気中の温室効果ガス (二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、HFC、PFC、SF₆) 濃度の上昇による地球温暖化である。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル) の第 4 次評価報告書 (IPCC, 2007) によると、今後対策がなされなければ、温室効果ガスによる地球温暖化により、今世紀末の平均気温が、 20 世紀より最大で 6.4 度、海面が 59 センチ上昇すると報告している。日本においても、地球温暖化に及ぼす影響が最も大きな温室効果ガスである二酸化炭素排出量が、年々増加傾向にある。

京都議定書は、1997年12月に京都で開催されたCOP3で採択され、2005年2月16日に発効された。この議定書は、2008年から2012年までの第一約束期間において、対象となる温室効果ガスを、排出の抑制及び削減に関する各国ごとの法的拘束力のある数量化された約束として定めており、日本は6%の削減目標と、森林による炭素吸収源として1,300万炭素トンの算入が認められている。

経済産業省(2004)「新エネルギー産業ビジョン 本編 第4章 バイオマス・エネルギー」によると、日本の一次エネルギー総供給に対する再生可能エネルギー導入比率のうち、バイオマスエネルギー導入比率は、米国やEU全体と比べると、低い状況であると報告されている。また、再生可能エネルギー導入比率が最も多いスウェーデンと比較すると、日本は約1/6程度の導入率であるが、日本においても、化石燃料の代替エネルギーとして、再生可能でクリーンな新エネルギーの導入が求められている。なかでも、2002年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」(農林水産省、2002)が閣議決定されるなど、生物に由来する再生産可能な資源であるバイオマスエネルギーは、地球温暖化防止と京都議定書の目標達成のための対策として、その利活用が重要視されている。

本稿では、県土に占める森林の割合が67%という広大な森林面積を有している兵庫県に着目し、木材生産量の統計データをもとに、木質バイオマス資源の利用可能量を推計するとともに、温室効果ガス削減の可能性に関する考察を述べる。

2. バイオマス資源

経済産業省資源エネルギー庁(2003)「バイオマスエネルギー開発・利用戦略の検討状況」によると、化石燃料と同様、燃焼させると二酸化炭素を発生させるが、成長過程で光合成により二酸化炭素を吸収していることから、ライフサイクル全体で見ると、二酸化炭素の増減に影響を与えない「カーボンニュートラル」という性質を持つとされている。

経済産業省(2002)「平成14年度(2002年)新エネルギー等導入促進基礎調査」によると、日本における主要バイオマス資源の賦存量は、未利用材や製材

残材などの木質バイオマス資源が最も多い。IPCC の第 2 次評価報告書(2001)においても、森林が永続的に地球温暖化の軽減に貢献できる方法として、バイオマス資源をエネルギー源として活用することが推奨されている。また、「森林・林業基本計画」(林野庁, 2001)では、林地残材や建設発生木材等を木質バイオマスエネルギーとして活用することにより、化石燃料の使用を抑制することから、その多角的利用は、地球温暖化の防止に貢献するものであるとされている。兵庫県においても、地球温暖化対策として、「新兵庫県地球温暖化防止推進計画」(兵庫県, 2006)において、2010 年度における温室効果ガスの要削減量を 1990 年度に比べて 9.1 %と定めており、温室効果ガス吸収源対策の重点施策として、木質バイオマス資源の利用推進が掲げられている。このように、各政策において、温室効果ガスの吸収源としての木質バイオマス資源の利用促進が明らかにされており、重要視されている。

3. 方法

3.1. 用いたデータと分類方法

「兵庫県統計書 平成 16 年 第 4 章 林業」(兵庫県, 2004)における 1971 年度から 2003 年度までの木材生産量の年次データを用いて、木質バイオマス資源の利用可能量に関する推計と予測を行う。図 1 のとおり、木質バイオマス資源を、伐採された際に廃棄されている枝や葉などのオンサイト・バイオマス資源(乾性)と、製材所から排出される木屑・樹皮(バーク)・破砕片(チップ)・端材などのオフサイト・バイオマス資源(乾性)に分類する。ただし、広葉樹のオフサイト・バイオマス資源は、丸太を取り除いた部分のうち、樹皮以外はチップ化され、パルプ原料として利用されるため、パルプ原料分を除いた樹皮の部分が木質バイオマス資源となる。

3.2. 木材生産量の推移

兵庫県における 1971 年度から 2003 年度までの木材生産量の推移は、図 2 のとおりである。この図より、木材生産量の樹種は、広葉樹より針葉樹の方が多いことがわかる。総計における平均値は $353,962\text{m}^3$ であり、最大値が 1971 年度の $505,000\text{m}^3$ 、最小値が 2003 年度の $163,000\text{m}^3$ であることから、全体の推移でみると、序々に減少傾向であることがわかる。

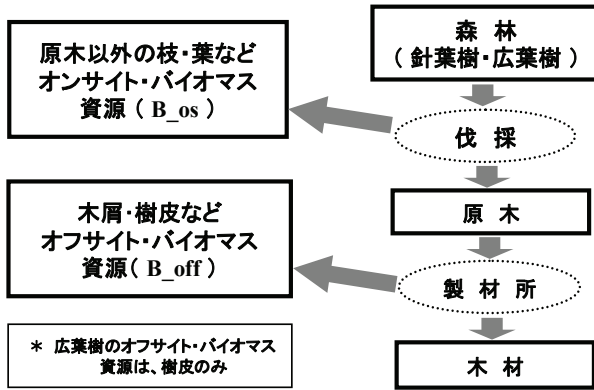


図 1. 木質バイオマス資源の概略図

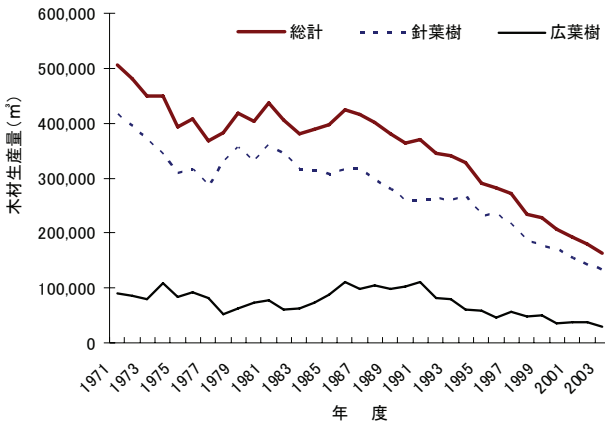


図 2. 兵庫県における木材生産量の推移
Source: 「兵庫県統計書 平成16年 第4章 林業」

3.3. 推計方法

3.3.1 オンサイト・バイオマス資源の利用可能量の推計

オンサイト・バイオマス資源（乾性）の利用可能量を、以下の [1] から [4] の式により、推計する。

$$[1] \quad B_{os} = B_{total} \times B_{stem}$$

B_os : 木質バイオマス資源量 (原木以外の枝や葉など)

B_total : 木質バイオマス資源の総量

$$[2] \quad B_total = B_stem \times BEF$$

B_stem : 木の幹のバイオマス資源量

$$[3] \quad B_stem = WP \times WD$$

WP : 木材の体積 (兵庫県, 2004)

WD : 木材の密度 (針葉樹 = 0.3372; Yoshimoto and Marušák, 2007; 広葉樹 = 0.6; 北海道, 2004)

[1] 式に [2] と [3] の式を代入したものが, [4] の式である.

$$[4] \quad B_os = (BEF - 1) \times B_stem$$

BEF : 拡大係数 (針葉樹 = 1.7, 広葉樹 = 1.9; Yoshimoto and Marušák, 2007)

3.3.2 オフサイト・バイオマス資源の利用可能量の推移

オフサイト・バイオマス資源 (乾性) の利用可能量を, 以下の [5], [6] 式により算出する.

$$[5] \quad Bark = B_stem \times (1 - a) \times b$$

$Bark$: 樹皮の部分 (広葉樹)

a : 木材加工率 ($a = 0.65$; Yoshimoto and Marušák, 2007)

b : 木材体積あたりの樹皮の割合 ($b = 0.0625$; (株)菊川鉄工所, 2004)

$$[6] \quad B_off = (1 - a) \times B_stem + Bark$$

B_off : 製材所から排出される木屑・破砕片 (チップ)・端材など

3.3.3 木質バイオマス資源の利用可能量から得られる電力量の推移

木質バイオマス資源 (乾性) の利用可能量から得られる電力量を, [7] の式により算出する.

$$[7] \quad Energy = f \times (B_os + B_off)$$

f : 電力の係数 ($f = 1.118 \text{ MWh/t}$; 兵庫パルプ工業 (株), 2004)

3.3.4 温室効果ガス削減量の解析シナリオ

電力 1MWh あたりの石炭, 天然ガス, 木質バイオマス資源の温室効果ガス排出量と, 石炭・天然ガスをそれぞれ木質バイオマス資源で代替利用した場合の温室効果ガス削減量を, 以下の式により算出し, 比較する.

石炭の場合:

$$[8] \quad E_fossil = Energy \times (C_fossil - E_biomass)$$

天然ガスの場合：

$$[9] \quad E_Natural\ gas = Energy \times (C_Natural\ gas - E_biomass)$$

木質バイオマス資源の場合：

$$[10] \quad E_biomass = Energy \times C_biomass$$

C_fossil : 石炭の温室効果ガス排出量の平均値

$$= 0.0986 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh} \text{ (} 0.0790\text{-}0.1182 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh; NEI, 2006)}$$

$C_Natural\ gas$: 天然ガスの温室効果ガス排出量の平均値

$$= 0.0450 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh} \text{ (} 0.0389\text{-}0.0511 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh; NEI, 2006)}$$

$C_biomass$: 木質バイオマス資源の温室効果ガス排出量の平均値

$$= 0.0058 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh} \text{ (} 0.0015\text{-}0.0101 \text{ 万t-CO}_2/\text{MWh; NEI, 2006)}$$

3.3.5 森林吸収源対策による温室効果ガス削減量の予測

京都議定書の第一約束期間（2008年～2012年）において、森林整備などの森林吸収源対策への取り組みを行わなかった場合と、積極的に取り組んだ場合の温室効果ガス削減量を予測し、比較する。

先に述べたように、京都議定書において、日本は1990年度に比べて6%の温室効果ガス削減（うち森林吸収源として1,300万炭素トン）が定められていることを受け、「京都議定書目標達成計画」（環境省、2005）では、2010年度における要削減量を12%と定めており、兵庫県においても、「新兵庫県地球温暖化防止推進計画」（兵庫県、2006）において、2010年度における温室効果ガスの要削減量を1990年度に比べて9.1%と定めている。そこで、今後対策がなされず、温室効果ガスが増加し続け、2010年度には3.1%増加した場合と、石炭や天然ガスの削減対策として、木質バイオマス資源を代替利用した場合の温室効果ガス削減量を予測する。

森林吸収源対策への取り組みを行わなかった場合の予測は、温室効果ガス削減量から求めた以下の図3に示す予測式を用いる（温室効果ガス削減量をy、年度をxとした予測式を最小二乗法で予測、R2は分数を示す。）。

一方、積極的に対策への取り組みを行った場合については、1971年度～2003年度までの平均値を用いて予測する。平均値を用いた理由として、日本は京都議定書により、森林吸収源として3.9%の算入が認められており、兵庫

県においても、2006年度より県民緑税を導入し、1年あたり3,140haの森林整備を実施していることから、森林経営による具体的な森林吸収源対策に取り組む傾向にあると考えられることが挙げられる。

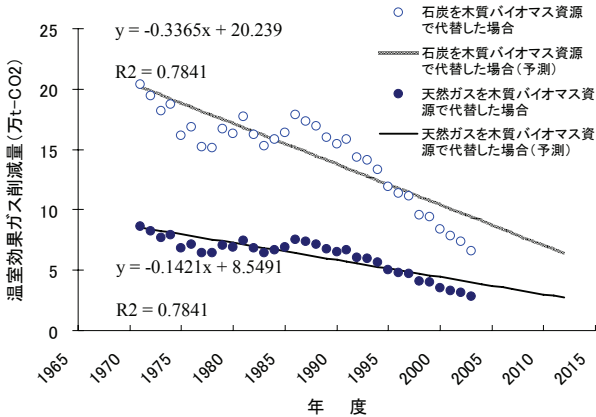


図 3. 石炭・天然ガスを木質バイオマス資源で代替利用した際の予測と予測式

4. 結果

推計結果は、以下のとおりである。兵庫県における木質バイオマス資源の利用可能量の平均値は、オンサイト・バイオマス資源（乾性）が 105,854 トン、オフサイト・バイオマス資源（乾性）が 34,077 トンであり、総計 139,931 トンである（表 1 参照）。

表 1. 兵庫県における木質バイオマス資源の利用可能量の推移

年 度	オンサイト・バイオマス 資源量(t)	オフサイト・バイオマス 資源量(t)	総 計(t)
1971	146,245.6	50,266.9	196,512.5
1976	123,728.6	38,488.7	162,217.3
1981	127,161.9	43,472.3	170,634.2
1986	133,597.5	38,575.6	172,173.1
1991	120,534.4	32,010.9	152,545.3
1996	80,849.4	28,351.6	109,201.0
2001	56,566.2	18,778.7	75,344.9
2003	47,593.3	16,090.4	63,683.7

それぞれの利用可能量から得られる電力量の平均値は、オンサイト・バイオマス資源が 118,345MWh、オフサイト・バイオマス資源が 38,098MWh であり、総計で、156,443MWh である（表 2 参照）。

表 2. 兵庫県における木質バイオマス資源から得られる電力量の推移

年度	オンサイト・バイオマス 資源の電力量(MWh)	オフサイト・バイオマス 資源の電力量(MWh)	総計(MWh)
1971	163,502.6	56,198.3	219,700.9
1976	138,328.6	43,030.4	181,359.0
1981	142,167.1	48,602.0	190,769.1
1986	149,362.0	43,127.6	192,489.6
1991	134,757.4	35,788.2	170,545.6
1996	90,389.6	31,697.1	122,086.7
2001	63,241.0	20,994.6	84,235.6
2003	53,209.3	17,989.1	71,198.4

電力 1MWh あたりの温室効果ガスの年間排出量の平均値は、石炭 15.4 万 t-CO₂、天然ガス 7 万 t-CO₂ に対して、木質バイオマス資源は 9,000t-CO₂ であることから、木質バイオマス資源の排出量が極めて少ないと考えられる (図 4 参照) .

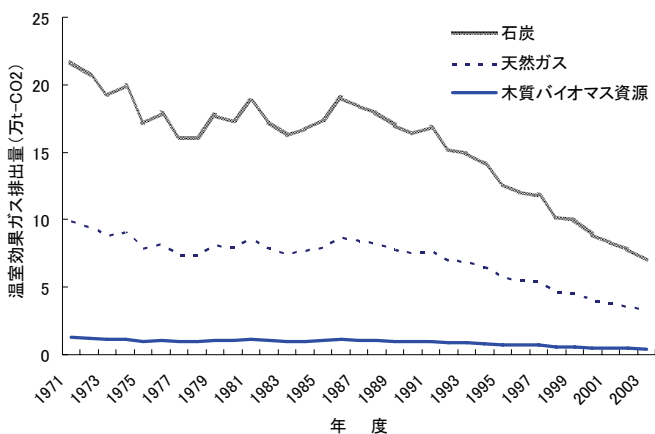


図 4. 兵庫県における石炭・天然ガス・木質バイオマス資源の温室効果ガス排出量の推移

また、上記の結果から、石炭を木質バイオマス資源で代替利用した場合、14.5 万 t-CO₂、天然ガスを木質バイオマス資源で代替した場合、6.1 万 t-CO₂ の温室効果ガスが削減可能であると推計された (図 5 参照) .

さらに、京都議定書の第一約束期間中において、森林整備などの森林吸収源対策への取り組みを行わなかった場合と、積極的に行った場合の予測結果は、次のとおりである。

森林吸収源対策への取り組みを行わなかった場合、5 年間の温室効果ガス

削減可能量は、石炭から木質バイオマス資源への代替利用により、35.6 万 t-CO₂、天然ガスから木質バイオマスへの代替利用により、15 万 t-CO₂ である。なお、この予測結果は、兵庫県の温室効果ガス削減目標のそれぞれ 5.4 %，2.3 % にあたる（表 3 参照）。

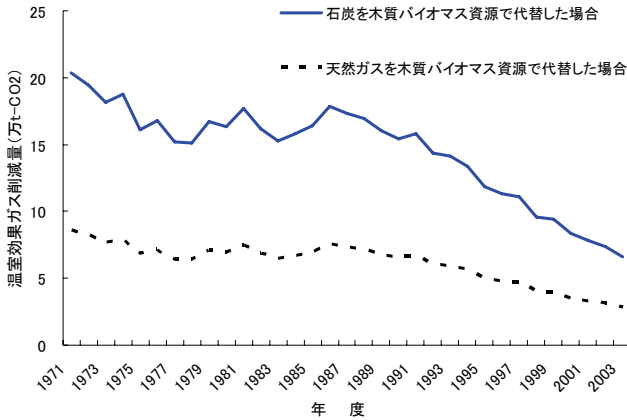


図 5. 兵庫県における石炭・天然ガスを木質バイオマス資源で代替利用した場合の温室効果ガス削減量の推移

表 3. 兵庫県において森林吸収源対策を行わなかった場合の木質バイオマス資源による温室効果ガス削減量・削減率 (単位: 万 t-CO₂)

年 度	石炭を木質バイオマス資源で代替利用した場合(削減率%)	天然ガスを木質バイオマス資源で代替利用した場合(削減率%)
2008	7.8	3.3
2009	7.5	3.1
2010	7.1	3.0
2011	6.8	2.9
2012	6.4	2.7
合 計	35.6(-5.4)	15.0(-2.3)

一方、森林吸収源対策への取り組みを積極的に行った場合、5年間の温室効果ガス削減可能量は、石炭から木質バイオマス資源への代替利用により、72.6 万 t-CO₂、天然ガスから木質バイオマス資源の代替利用により、30.7 万 t-CO₂ である。これは、兵庫県の温室効果ガスの削減目標のそれぞれ 11.0%，4.6% にあたる（表 4 参照）。

表4. 兵庫県において積極的に森林吸収源対策への取り組みを行った場合の木質バイオマス資源による温室効果ガス削減量・削減率 (単位: 万 t-CO₂)

年 度	石炭を木質バイオマス資源で代替利用した場合 (削減率%)	天然ガスを木質バイオマス資源で代替利用した場合 (削減率%)
2008	14.5	6.1
2009	14.5	6.1
2010	14.5	6.1
2011	14.5	6.1
2012	14.5	6.1
合 計	72.6(-11.0)	30.7(-4.6)

5. 考察

上記の結果から、木質バイオマス資源の利活用は、温室効果ガス削減に大きく貢献すると考えられるとともに、適正な森林整備を行う必要性が明らかとなった。

しかし、木質バイオマス資源の利活用は、困難であると報告されている。その理由として、森林の間伐材や家屋解体材などの発電用燃料の回収が効率的ではない、発電効率が低いといった様々な課題が山積していることが挙げられる。

そこで、実際に木質バイオマス資源により発電を行っている兵庫県内の企業にヒアリングを行った。その結果、これまで利用不可能であると報告されていた林地残材、間伐材、風倒木などの木質廃棄物を燃料として発電を行っており、年間 122,860 トンの温室効果ガスが削減可能であることが明らかとなった。このことから、木質バイオマス資源の利用は、必ずしもデメリットばかりではなく、実際に利活用が可能であり、環境負荷を軽減し、地球温暖化防止にも貢献することが立証された。

6. まとめ

兵庫県においても、林業・木材産業における担い手不足や高齢化、外材製品輸入の増大、代替品の増加、木材価格の低迷等の要因から、木材生産量が減少傾向であり、県内の森林面積のうち、75%を占める人工林は、45年生以下の間伐の手入れが必要であるにも関わらず、放置されたままの状態になっている。

この現状は、森林を健全に維持造出するための間伐をはじめとする育林施業の遅れ、再生林の放棄を招いている。また、林業・木材産業の衰退という問

題に留まらず、二酸化炭素を吸収・固定する機能の低下による地球温暖化への加速など、我々の生活を脅かす問題でもある。

このような森林資源の機能を生かすためにも、継続的な森林整備計画を策定し、健全な森林の保全を目的とした、適正な伐採と間伐材の利用により、森林の持つ公益的機能の向上や、森林資源のバイオマスエネルギーとしての循環的な資源の利用を促進すべきであると考える。

そのためには、森林整備や、木質バイオマス資源の燃料としての利用促進のための政策的措置の導入や、市民団体への具体的な支援など、行政を中心とした循環型社会の実現に向けた具体的な対策に、今後継続して取り組むべきであると考える。

謝辞

本研究は、一部「財団法人ひょうご科学技術協会」の助成を受けた。

引用文献

- 北海道 (2004) 「平成16年度 北海道林業統計」, pp.3-4.
- 兵庫県 (2004) 「兵庫県統計書 平成16年 第4章 林業」, p.43.
- 兵庫県 (2006) 「新兵庫県地球温暖化防止推進計画」, p.5.
- 兵庫パルプ工業 (株) (2004) 「バイオマス発電設備竣工」
- IPCC (2001) 第3次評価報告書 第3作業部会報告書 気候変化2001: 緩和対策
政策決定者向け要約 (翻訳: 経済産業省・財団法人 地球産業文化研究所),
p.5.
- IPCC (2007) 第4次評価報告書 第1作業部会報告書 概要及びよくある質問と
回答 第10章 世界的な気候の予測 (気象庁訳), pp.80-83.
- (株)菊川鉄工所 (2004) 「省エネ・低発熱型ペレットの開発」
- 環境省 (2005) 「京都議定書目標達成計画」, p.9.
- 経済産業省 (2002) 「平成14年度 (2002年) 新エネルギー等導入促進基礎
調査」, p.4.
- 経済産業省 (2004) 「新エネルギー産業ビジョン 本編 第4章 バイオマス・
エネルギー」, p.64.

経済産業省 資源エネルギー庁 (2003) 「バイオマスエネルギー開発・利用戦略の検討状況」, p.2.

経済産業省 資源エネルギー庁 (2006) 「日本のエネルギー2006 我が国のエネルギーを巡る状況」, p.7.

NEI (2006) Life-Cycle Emissions Analysis, Emissions Produced by 1 Kilowatt-Hour of Electricity Based on Life-Cycle Analysis, p.1.

農林水産省(2002) 「バイオマス・ニッポン総合戦略」, 28p.

林野庁 (2001) 「森林・林業基本計画」, p.3.

Yoshimoto, A. and Marušák, R. (2007) Evaluation of carbon sequestration and thinning regimes within the optimization framework for forest stand management, *Eur. J. For. Res.* **126**: 315-329.