

木質バイオマスのエネルギーシステム導入 による環境負荷削減効果の評価

田畑 智博¹・玄地 裕²・奥田 隆明³

¹正会員 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門 (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

E-mail: tabata.tomohiro@aist.go.jp

²非会員 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門 (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

³正会員 名古屋大学教授 エコトピア科学研究所 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町F3-4(670))

本研究では、岐阜県における木質ペレットの家庭での暖房利用を想定し、一般廃棄物処理事業との連携によるエネルギー利活用システムを提案した。この際、バイオマスのエネルギー利活用システムを県内に導入した場合の環境負荷削減効果を、既存エネルギーシステムの転換効果も含めて試算した。まず、燃料製造から利用までに係るライフサイクル環境負荷排出量と県内の木質バイオマス発生場所や燃料需要先等の地理データを組み合わせ、直接的な環境負荷削減量を算出した。次に、バイオマス燃料利用による経済波及に伴うエネルギーシステムの構造変化を環境負荷変化量として捉え、間接効果とした。これらを足し合わせ、エネルギー利活用に係る直接的・間接的な環境負荷排出量を試算した。

Key Words : *woody biomass, energy recovery, business collaboration, life cycle inventory, economic ripple effect*

1. はじめに

地域に賦存するバイオマスをエネルギー利活用(以下、エネ利活用)することの本質的な目的は、化石燃料の使用量削減、地球温暖化の抑制である。この命題に対し、自治体は、既存のエネルギーシステムを、バイオマスの発生およびエネルギー需要を加味して環境負荷を効果的に削減可能なシステムに転換することが求められている。現在、多くの自治体でエネ利活用に関する施策の検討や事業展開が活発に行われている。しかし、事業の多くは産業振興や雇用対策等の目先の対策を目的としており、地域のエネルギーシステムにバイオマスをどのように組み込むべきかという議論は不十分である。社会的・経済的側面から事業が実施されるのは当然であるが、必ずしも環境負荷削減に寄与していない事業があるのも事実である。

そこで、本研究では、木質バイオマスによるエネ利活用システムの転換に伴う環境負荷削減可能性を評価することを目的とする。木質バイオマスを用いたエネ利活用システムとして、本研究では、環境負荷を効率的に削減可能なエネルギー需要先の選定、事業連携によるエネルギー回収効率の向上を目的としたシステムを提案した。

また、環境負荷削減効果の評価方法として、直接的・間接的な側面からその効果を試算した。なお、本研究では、原料収集からエネルギー製造、利用による化石燃料代替までをエネ利活用システムとし、一連のライフサイクルでの環境負荷削減効果を直接効果とする。また、バイオマスのエネ利活用事業の導入により既存のエネルギーシステムの一部が転換されると想定し、経済波及効果による構造変化量を、間接的な環境負荷変化量として換算する。以上の評価および検討を通じて、自治体がバイオマスのエネ利活用事業を展開する際の検討点を論じた。

なお、木質バイオマスのエネ利活用に関する技術開発やコストに関する検討は、たとえば、北海道¹⁾や山口県²⁾等、多くの自治体で実施されている。また、エネ利活用システムにおける輸送やエネ利活用技術の選定や最適化に関する研究は、Akella *et al.*³⁾、Heller *et al.*⁴⁾、久保ら⁵⁾、森岡ら⁶⁾、山本ら⁷⁾等、多く行われている。しかし、環境負荷の削減を目的としたエネルギー需要先の選定や、エネルギー回収効率の向上を指向したシステムは、殆ど検討されていない。また、エネルギーシステムの転換に、環境的側面からバイオマスがどれだけ貢献できる可能性があるかということも殆ど検討されていない。

本稿では、以上を踏まえ、木質ペレットを利用した家庭へのエネルギー供給を想定し、一般廃棄物処理事業との連携を考慮したエネルギー活用システムを提案した。次に、岐阜県を対象とし、LCA手法を用いて木質バイオマスの伐採、発生、輸送、加工、消費の各段階におけるインベントリデータの作成、分析を行った。以上を踏まえ、岐阜県にエネルギー活用システムの導入を想定した場合の、エネルギーシステム転換に伴う直接的・間接的な環境負荷削減可能性を評価した。

2. 研究の方法

(1) バイオマスエネルギー活用システム

バイオマスのエネルギー活用システムを検討する際において、環境負荷の削減を第一の目的とした場合、環境負荷を削減可能なエネルギー需要先の選定や、エネルギー回収効率の向上方法を検討することが重要である。前者については、たとえば家庭に着目すると、我が国の排出主体別CO₂排出量のうち、家庭からの直接排出分は約20%⁸⁾である。一方、Ihara *et al.*⁹⁾は、家庭で消費される財・サービスに由来する間接排出分を合計すると、全体の48.4%を占めると試算している。特に、寒冷地では、温暖地に比べて住宅の暖房需要が高く、この一部をバイオマスで代替するだけでも、家庭や産業を含めた環境負荷削減に繋がるといえる。後者については、木質ペレットやバイオエタノール等は保存性や汎用性が高い燃料であるが、製造時のエネルギー消費が多く、正味のエネルギー回収量は少なくなる傾向にある。これに対し、たとえば一般廃棄物処理事業等とエネルギーを融通し合うことで改善可能である。

以上を踏まえ、本稿では岐阜県をケーススタディとして、県内の未利用木材(間伐材、林地残材等)から木質ペレットを製造する事業を導入し、寒冷地の家庭で暖房利用する一連のシステムを検討した。

(2) ケーススタディ

岐阜県は、県土面積に占める森林の割合が82%¹⁰⁾と木質バイオマス資源が豊富である。また、岐阜県の家庭におけるエネルギー由来のCO₂排出量のうち、暖房・給湯需要に伴う灯油起源の分は39%¹¹⁾を占めているが、これは、全国値と比較して2.3倍大きい。原因としては、岐阜県の中北部は寒冷地であることに起因していると考えられる。以上のことから、本県において発生する木質バイオマスの家庭での利活用を想定したシステムの提案は、

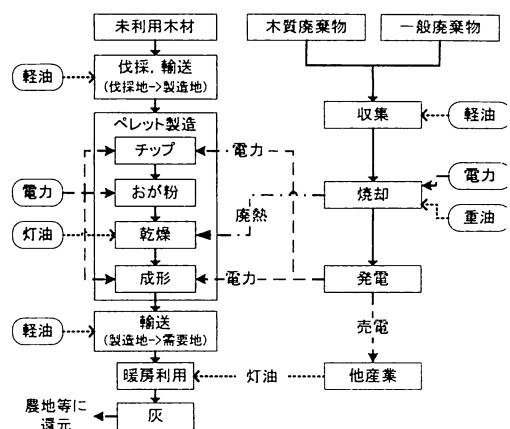


図-1 評価範囲

意義があると考えた。また、本県では、2009年度より、森林資源のエネルギー活用が活発化する予定¹²⁾であり、本研究が計画推進の際の指針となるものと考えた。

(3) 評価範囲

評価範囲を図-1に示す。未利用木材は、伐採・収集から木質ペレット製造、家庭での暖房利用までを対象とする。ここでは、木質ペレットを利用するためのペレットストーブの製造、および焼却灰の農地等への還元についても考慮する。木質廃棄物は、一般廃棄物として排出される本草類、建設廃棄物等として排出される木くずを対象とする。現状では、排出された本草類は自治体で処理されているが、自治体によっては単純焼却されているため、全量を分別収集し発電の対象とした。また、木くずのうち、約24%は有効利用されずに直接埋立・単純焼却されている¹³⁾が、ここではこの有効利用されていない分を対象にして、可燃ごみとの混焼、発電を想定する。また、具体的な事業連携の方法として、ごみ発電の電力をチップおよび木質ペレット製造時の系統電力代替に、また、焼却排熱をおが粉の乾燥時の灯油代替に、それぞれ割り当てることを想定する。また、エネルギーの代替に伴う、石油製品製造業や電力業等、関連する産業での活動変化も考慮する。

(4) 評価の方法

まず、図-1に示した各プロセスについて、インベントリデータを作成する。機能単位は、未利用木材については、1kgの木質ペレットの輸送、木質ペレット製造、暖房利用に係る環境負荷とする。また、木質廃棄物については、1kgの木質廃棄物の輸送・焼却に係る環境負荷とする。評価対象とする環境負荷は、CO₂、NO_x、SO_x、最終処分量とする。

*温室効果ガスインベントリオフィス:http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2008/n001_6gas_2008-gioweb_J1.4.xls

次に、エネルギー活用システムの導入に伴う直接的・間接的な環境負荷排出量を算出する。直接的な排出量は、県内での未利用木材、木質廃棄物の年間発生量および輸送量を、評価範囲内の各プロセスのインベントリデータを乗じ、エネルギー活用に伴う直接的な環境負荷排出量の変化量を算出する。間接的な排出量は、エネルギーシステム転換に伴う経済波及効果を、環境負荷削減量に換算する。具体的には、エネルギー代替に伴う他産業の活動変化量を算出する。これに、産業連関表の逆行列係数を乗じて経済波及効果を算出し、環境負荷削減量として変換する。以上により、システム導入の有無による環境負荷排出量の変化を比較する。また、事業連携による環境負荷排出量の変化も合わせて評価する。

(5) インベントリデータ

表-1 に、木質ペレット製造に係る単位環境負荷排出量を示す。これを算出するため、各プロセスにおけるインベントリデータを収集し算出した。対象範囲は、機械・トラックの製造段階、輸送・処理・消費段階とする。但し、伐採プロセスで使用される林業機械は、現場によって投入される重機の種類が変わることが予想される。しかし、林業機械の利用形態に関する詳細な情報が現状では不足していること、また建設機械のライフサイクルCO₂排出量のうち、製造段階の負荷は概ね2割程度である¹⁴⁾ことから、全体の結果に大きな影響を及ぼさないと判断し、今回の評価では考慮しなかった。輸送プロセスとして、未利用木材の輸送では4tトラック、木質廃棄物および木質ペレットの輸送では10tトラックの使用を想定する。事業連携を行わない場合は、チップ、おが粉、ペレット製造機の動力源に系統電力を、おが粉の乾燥に灯油を、それぞれ使用すると想定した。

機械・トラックの製造段階の環境負荷は、メーカーのカタログ等から購入価格を抽出し、これを定額法にて減価償却費に変換(耐用年数、機械:10年、トラック:4年)した後に、3EID[†]の環境負荷原単位を乗じて算出した。

輸送・処理・消費段階の環境負荷は、既往研究^{15) 16)}、カタログ等より処理に係る灯油、軽油、電力の各消費量、処理費を抽出し、JEMA-LCA Pro ((社)産業環境管理協会)の環境負荷原単位を乗じて算出した。木質ペレット製造時の歩留まりは、カタログ等より63%と設定する。未利用木材の積載率は0.56¹⁾、木質ペレットは0.8¹⁶⁾と設定する。木質ペレット燃焼時のNO_x、SO_xは石坂ら¹⁶⁾を参考にし、CO₂はカーボンニュートラルとして取り扱った。また、木質ペレットの灯油代替効果は、灯油削減量にJEMA-LCA Proの環境負荷原単位を乗じ、環境負荷削減量として算出した。木質ペレットの焼却灰は、1kg 当た

表-1 木質ペレット製造に係る単位環境負荷排出量

※	CO ₂ NO _x SO _x		
	kg-CO ₂	kg-NO _x	kg-SO _x
木材伐採	0.013	7.56×10 ⁻⁶	4.92×10 ⁻⁶
輸送(伐採地→製造地)	0.0073	8.25×10 ⁻⁶	5.09×10 ⁻⁶
製造	チップ	0.00052	6.73×10 ⁻⁷
	おが粉	0.0082	7.33×10 ⁻⁶
	成形	0.012	1.57×10 ⁻⁵
輸送(製造地→需要地)	0.017	1.22×10 ⁻⁵	7.79×10 ⁻⁶
暖房利用	0.0027	8.00×10 ⁻⁵	3.44×10 ⁻⁵
代替効果	-1.45	-7.60×10 ⁻⁴	-5.21×10 ⁻⁴
合計	-1.38	-6.29×10 ⁻⁴	-4.54×10 ⁻⁴

単位: [※/kg-pellet]

表-2 木質廃棄物の混焼に係る単位環境負荷排出量

※	CO ₂	NO _x	SO _x	焼却灰
	kg-CO ₂	kg-NO _x	kg-SO _x	kg
焼却	-0.062	1.10×10 ⁻⁵	2.88×10 ⁻⁵	0.064

単位: [※/kg-waste]

り約8%排出する¹⁷⁾と設定した。焼却灰は農地等への還元を想定し、化学肥料代替による環境負荷削減量を計上した¹⁸⁾。

表-2 に、木質廃棄物の混焼に係る単位環境負荷排出量を示す。これを作成するためのインベントリデータは、施設の建設段階、輸送・処理段階を対象とする。ただし、後述するが、木質ペレット製造施設の併設対象とする焼却施設は、現状ではいずれもごみ発電を実施していない。そこで、平成18年度ごみ焼却施設台帳¹⁹⁾より、岐阜県内の焼却施設を抽出し、県内で売電を最も多く実施している施設と同等の施設に、既存の施設を更新するものと仮定した。なお、混焼に伴い新たに生じるごみ発電量と環境負荷排出量は、木質廃棄物に由来する分のみを対象とした。一般廃棄物に由来する分は、通常のごみ処理で既に生じていると仮定し、新たに追加する必要はないと判断した。木質廃棄物に由来するごみ発電量と環境負荷排出量は、混焼により生じる合計分を、木質廃棄物と一般廃棄物の各投入量の割合で配分した。本来ならば混焼によるごみ質の変化も考慮する必要があるが、木質廃棄物の投入量は一般廃棄物の約8%と少なかったため、ごみ質に大きな影響を及ぼさないと判断した。

建設段階においては、同上¹⁹⁾より岐阜県内の焼却・直接溶融施設の建設費を抽出し、これを定額法にて減価償却費に変換(耐用年数:21.5年)した後に、3EIDより該当する部門の原単位を乗じて算出した。

処理段階においては、同上¹⁹⁾より設計値および年間のユーティリティ(燃料、電力、水)使用量、売電量を抽出し、これらにJEMA-LCA Proの環境負荷排出原単位、お

[†]3EID: <http://www-cger.nics.go.jp/publication/D031/>

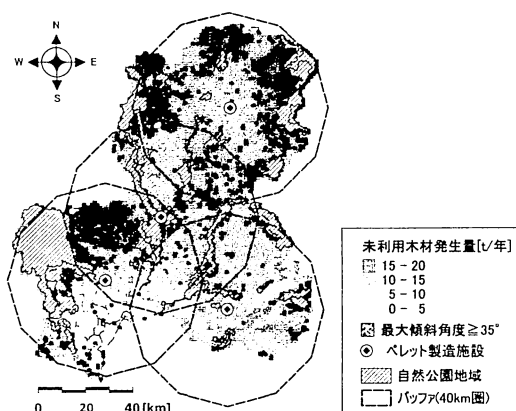


図-2 未利用木材の発生空間分布

よび系統電力使用時の環境負荷排出原単位[‡]を乗じて算出した。輸送条件は未利用木材、木質ペレットと同じとし、木質廃棄物の積載率を 0.56^{†)}と設定する。焼却時に副産物として発生する熱、電力については、ごみ 1kg 焼却あたりの発生量を算出した。なお、ごみ焼却時の排熱は、温水プールや地域冷暖房等の用途が多いが、汚泥乾燥に使用している自治体³⁰⁾もあることから、おが粉の乾燥も可能であると考えた。ごみ発電の余剰電力は、地域内で消費されると仮定し、系統電力代替による環境負荷削減量を計上した。

(6) 木質バイオマスおよび施設設置場所の空間分布

県内の未利用木材発生量は、針葉樹の年間成長量、未利用木材発生比率等のデータ¹⁰⁾から推計し、1km メッシュで発生空間分布を作成した(図-2)。なお、35°以上の急傾斜地や国立公園等、伐採が困難であろう場所は対象外とした。これより、現状での間伐材のエネルギー活用量を除外した分(12,400[t/年][‡])を、木質ペレット製造可能量とした。木質廃棄物は、岐阜県³¹⁾、環境省³²⁾の市町村別の排出量から現状でのエネルギー活用量(中環審¹³⁾より、36,600[t/年](木草類: 32.6%, 木くず: 21%)と推計)を除外した分を、一般廃棄物処理施設での混焼の対象とした。

木質ペレット製造施設は、一般廃棄物焼却施設(図-2、計 4 か所)に併設を想定する。各メッシュで発生する未利用木材は、最短距離となる製造施設に輸送する。未利用木材の輸送範囲は、施設で加工する場合は 40km 以内が適当との報告³⁾があることから、半径 40km 圏内の森林をカバー可能な場所に設置すると想定した。木質廃棄物は、各市町村の役所の位置を起点として、最短距離となる 4 施設のいずれかに輸送する。木質ペレットの利用

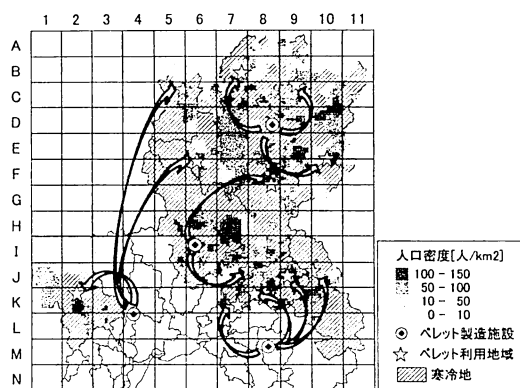


図-3 木質ペレットの輸送先

先を選定する際、ペレットストーブ利用に伴う煙害や大気汚染物質の問題のため、市街地での使用は困難と想定される。ペレットストーブが広く普及している国々においても、前述の理由から、居住地での使用に対して勧告を出している国³³⁾もある。そこで、国内でペレットストーブに対する助成実績がある複数の自治体の平均人口密度から勘案し、150 人/km²以下の地域であれば問題は少ないと判断した。製造した木質ペレットは、寒冷地に属する 150 人/km²以下のメッシュ群の近隣の役所(計 12 ヶ所、合併前の旧役所を含む)まで輸送すると想定した(図-3)。また、6-I(図-3)に位置する施設は、周辺への木質ペレット供給時の輸送は発生しないと想定した。なお、各地への木質ペレットの輸送量について、ペレットストーブは、1 世帯につき 1 台使用すると想定した。寒冷地である岐阜県高山地方で、月平均最低気温が 12 度を下回る月数(8 ヶ月、243 日²²⁾)を参考とし、この期間内はペレットストーブを使用すると仮定した。ペレットストーブを製造しているメーカーのカタログより、8 時間の使用で木質ペレットを 12[kg/日]消費するものとし、ペレットストーブ 1 台当たりの年間木質ペレット必要量を 2.9[t/年]と設定した。木質ペレット製造量より、木質ペレットの供給可能世帯は約 25,000 世帯となったが、これは、岐阜県全体の世帯数の 3.6%であり、輸送先の地域の世帯数を勘案して、木質ペレットを消費可能と判断した。

未利用木材、木質廃棄物、木質ペレットの輸送距離の算出においては、Google Maps API と MappleX Ver. 9 ((株) 昭文社)を組み合わせて、発生場所と施設間、施設と需要地間での実道路距離より最短距離を算出した。上述した圏域について、ある森林メッシュが複数の圏域にまたがる場合は、輸送距離が最短となる施設に、未利用木材を輸送すると考えた。

[‡]中部電力: http://www.chuden.co.jp/corpo/csr/report/pdf/2007_all.pdf

[†]岐阜県への聞き取り調査による

³²⁾環境省(H16 年度): http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h17/

³³⁾US EPA: <http://www.epa.gov/air/community/details/woodstoves.html>

Enviroment Canada: <http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/default.asp>

(7) エネルギーシステム転換に伴う経済波及効果

ここでは、エネルギーシステム転換による灯油および系統電力が代替された分だけ、関連産業(石油製造業、電力業)の活動量が変化し、これが経済波及すると考える。代替効果を金額換算して産業連関表²³⁾における上記産業の生産額から差分するとともに、逆行列係数、3EID の環境負荷原単位を乗じることで、経済波及効果に伴う構造変化分を環境負荷変化量として換算した。

3. 結果および考察

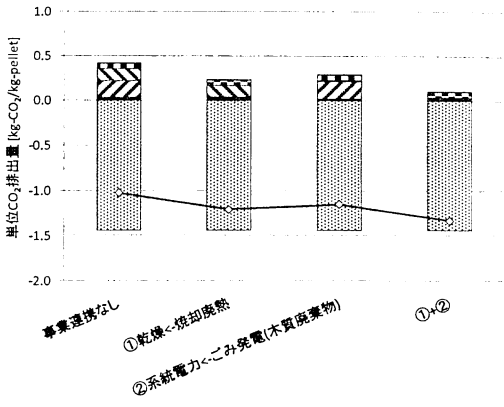
(1) 単位 CO₂ 排出量からみた結果

図-4に、木質ペレットの製造から利用部分を対象として算出した、単位CO₂排出量の結果を示す。プラスとなる分は、事業連携を行わない場合ではおが粉と成形が排出量の77%を占めている。輸送(製造地→需要地)も15%を占めているが、他プロセスの寄与分は少なかった。但し、正味でみると代替効果によりマイナスとなる。事業連携を行った場合、焼却廃熱のおが粉の乾燥、木質廃棄物に由来するごみ発電の電力を用いた木質ペレット製造時の電力代替により、削減効果を18~30%まで高めることが可能である。

(2) 木質エネルギーシステムの導入効果

表-3に、各施設での木質ペレット製造量および各地域への輸送量を示す。岐阜県内での未利用木材発生量は104,410[t/年]、木質ペレット製造量は65,780[t/年]と推計された。また、木質廃棄物発生量は38,800[t/年]と推計された。これらをエネルギー活用するものと想定した場合の直接的・間接的な環境負荷排出量を図-5に示す。事業連携せずに木質バイオマスのエネルギー活用を実施した場合(図-5①)、CO₂を現状に比べて63,500[t-CO₂/年]が削減される。また、事業連携をした場合(図-5②)103,200[t-CO₂/年]まで削減可能である。間接的なCO₂削減量は、①、②ともに16,400[t-CO₂/年]である。これは、岐阜県¹¹⁾の廃棄物処理部門でのCO₂削減目標値とほぼ同じである。大きな削減量ではないが、木質ペレットの利用方法を変更したり、他のバイオマスのエネルギー活用システムを追加していくことで、より大きなエネルギーシステムの転換効果が見込めるといえる。

NO_x、SO_xについても同様に、事業連携を行わない場合は、現状に比べて39[t-NO_x/年]、35[t-SO_x/年]が削減可能である。また、事業連携により、NO_xは55%、SO_xは42%の削減向上が可能となる。最終処分量は、木質廃棄物由来の焼却灰が2,140[t/年]増加するが、単純焼却・埋立分



④代替効果	①②暖房利用	③輸送(製造地→現地)
⑤ペレット成形	⑥おが粉製造	⑦チップ製造
⑧輸送(伐採地→製造地)	⑨木材伐採	⑩合計

図-4 木質ペレットの製造から利用に係る単位CO₂排出量

表-3 木質ペレット製造量、輸送量等

座標	未利用木材	木質ペレット		木質廃棄物
	輸送量*1	製造量	輸送量*2	輸送量
8-D	23,970	15,100		1,550
7-B			4,450	
9-C			6,180	
10-F			4,470	
6-I	26,350	16,600		1,070
6-I			8,450	
8-G			3,790	
7-J			4,360	
4-L	36,710	23,130		25,030
2-K			12,220	
5-C			2,910	
6-F			8,000	
8-M	17,380	10,950		11,150
7-K			2,400	
8-K			2,750	
9-J			3,320	
10-J			2,480	
合計	104,410	65,780	65,780	38,800

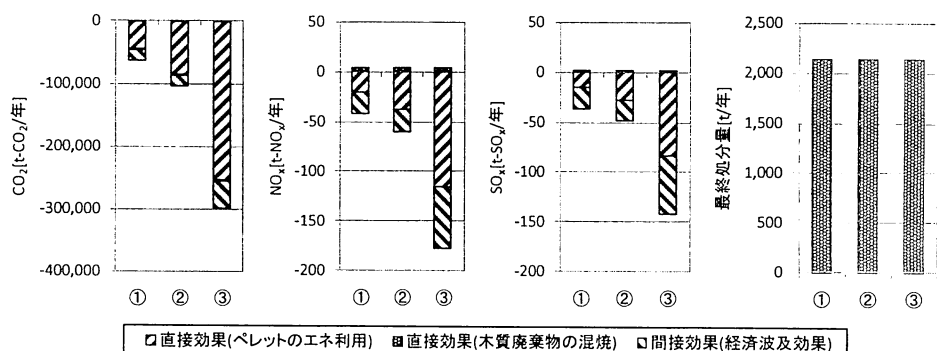
単位: [t/年]

*1: 伐採地→製造地。*2: 製造地→需要地。

を混焼の対象としているため、実際の増加量は少ない。

(3) 木質ペレットの利用による環境負荷削減ポテンシャル

次に、木材の地産地消を念頭に置き、岐阜県で毎年成長する木材を伐採、用材利用することを想定する。このとき、県内での用材需要を全て県産材で賄うと想定し、この需要を超過する用材を未利用木材と合わせてエネルギー活用すると仮定した。これを、木質ペレットの最大製造可能量と考える。その場合、利用可能量は300,740[t/年]、木質ペレット製造量は189,470[t/年]となる。これを、木質ペレット利用による環境負荷の削減ポテンシャルと考えた場合、事業連携の実施により(図-5③)、未利用木材のみの場合よりもCO₂を300,000[t-CO₂/年]、NO_xを173[t-NO_x/年]、SO_xを141[t-SO_x/年]削減可能となる。また、間接的な



①：事業連携なし，②：事業連携あり，③：県内需要を超過する用材をエネ利活用した場合（事業連携あり）

図-5 現状に対してエネ利活用システムを導入した場合の環境負荷排出量

CO₂削減量も、43,400[t-CO₂/年]まで増加する。但し、この場合は木質ペレットの供給量が未利用木材のみの場合の2.8倍となり、需要確保が問題となる。

4. まとめ

本研究では、木質バイオマスの発生と家庭での木質ペレットによる暖房需要を考慮し、一般廃棄物処理事業との連携を加味した木質バイオマスのエネ利活用システムを提案した。また、岐阜県に本システムを導入することによる、エネルギーシステム転換による効果も含めた、直接的・間接的環境負荷削減効果を試算した。以下に、得られた知見を記す。

- (1) 岐阜県内での未利用木材発生量は104,410[t/年]、木質ペレット製造量は66,780[t/年]であった。これらをエネ利活用することで、事業連携の有無により、CO₂を63,500～103,200 [t-CO₂/年]削減可能である。NO_x、SO_xについても同様の傾向がみられた。
- (2) エネルギーシステムの一部を転換した場合の経済波及効果を構造変化のCO₂変化量と考えた場合、16,400[t-CO₂/年]のCO₂削減効果が見込める。これは、岐阜県の廃棄物処理部門でのCO₂削減目標値にほぼ相当する。
- (3) 県内の用材需要を超過する木材を木質ペレット利用する場合、CO₂を300,000[t-CO₂/年]削減可能となる。但し、木質ペレットの需要確保が問題となる。

自治体が発行している新エネルギービジョン等の新エネルギーに関する計画では、利活用量とそれに伴う温室効果ガス削減目標が掲載されているが、目標のみが先行し、地域に賦存するバイオマスをどのようにに利活用すれば温室効果ガスを効果的に削減できるかという視点に欠

けている。しかしながら、環境的側面を優先するならば、このような視点をもって計画を策定すべきであると考えられる。そこで、本研究の成果より、予めエネルギーの需要先を選定しておくことや、他事業との連携を検討しておくことは、環境負荷削減の見地から有効であることを示した。今回対象とした木質ペレットは、直接的・間接的なCO₂削減効果はそれほど多くはないものの、他のエネ利活用技術をエネルギーシステムに組み込むことで、より大きな削減効果が期待できる。但し、今回の検討では、コストからみた評価や地域内の肥料の需要を加味した焼却灰の農地還元に関する検討が十分ではなく、今後の課題である。今後は、経済的側面からみたエネ利活用システムの評価、家庭の暖房需要以外に、効果的に環境負荷を削減できる需要先の選定、ガス化等の他の技術を考慮したエネルギーミックスによる環境・経済的評価を行う予定である。

謝辞：本研究，科研費(19510046，研究代表者：奥田隆明)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 北海道：北海道循環型社会推進基本計画，2005。
- 2) 山口県：森林バイオマス低コスト燃料化システム実証試験事業調査報告書，2003。
- 3) A. K. Akella *et al.*: Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems, *Renewable Energy*, Vol. 34, Issue. 2, pp. 390-396, 2009.
- 4) M. C. Heller *et al.*: Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass, *Renewable Energy*, Vol. 29, Issue. 7, pp. 1023-1042, 2004.
- 5) 久保一雄，中田俊彦：地域特性を考慮したバイオマス利用システムの構築，日本エネルギー学会誌，Vol. 83, No. 12, pp. 1013-1020, 2006。

- 6) 森岡泰樹, 中田俊彦: 技術特性および経済性を考慮した地域バイオマス利活用システムの最適設計, 電気学会論文誌 C, Vol. 128, No. 2, pp. 176-183, 2008.
- 7) 山本博巳ほか: 中四国の木質バイオマス残さの収集・発電利用のシステム分析, エネルギー・資源, Vol. 28, No. 4, pp. 257-262, 2007.
- 8) 中央環境審議会: 地球温暖化対策推進大綱の評価・見直しを踏まえた新たな地球温暖化対策の方向性について(第2次答申), pp. 22, 2005.
- 9) T. Ihara *et al.*: Study of CO₂ emissions directly and indirectly from consumers' lives, *Proc. 8th Int. Conf. on EcoBalance*, 2008.
- 10) 岐阜県: 岐阜県新エネルギービジョン, 2006.
- 11) 岐阜県: 岐阜県地球温暖化防止推進計画, 2007.
- 12) 岐阜県: 岐阜県長期構想(平成 21~30 年度), 2008.
- 13) 中央環境審議会: 第1回廃棄物・リサイクル部会廃棄物の区分等に関する専門委員議事資料, 2006.
- 14) 環境省: 平成 18 年度環境影響評価フォローアップ業務(温室効果ガス排出量に係る環境影響評価の検討)報告書, 2007.
- 15) 原田寿朗: 木質バイオマスのエネルギー利用に関わるエネルギー消費量, 木材工業, Vol. 57, No. 11, 2002.
- 16) 石坂和明ほか: ペレットストーブのライフサイクル環境影響評価, 日本 LCA 学会誌, Vol. 3, No. 1, pp. 45-51, 2007.
- 17) 山田敦: 北海道木質バイオマスを原料としたペレット燃料の燃料特性, 林産試験場報, Vol. 20, No. 2, pp. 24-28, 2006.
- 18) 高月紘: 都市内分散型エネルギー需給技術の温暖化抑制効果と都市環境影響に関する研究, 1999.
- 19) 廃棄物研究財団: ごみ焼却施設台帳, 2008.
- 20) 全国都市清掃会議: ごみ処理施設整備の計画・設計要領(2006改訂版), pp. 160, 2006.
- 21) 岐阜県: 平成 16 年度岐阜県産業廃棄物処理動向調査, 2004.
- 22) 岐阜県: 平成 19 年岐阜県統計書, 2008.
- 23) 総務省: 平成 12 年産業連関表, 2004.

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION EFFECT BY INTRODUCING BIOMASS FUEL INTO ENERGY RECOVERY SYSTEM

Tomohiro TABATA, Yutaka GENCHI and Takaaki OKUDA

In this study, we proposed an energy recovery system of woody biomass taking into account the business collaboration between woody biomass fuel production for residential heating and municipal solid waste management. We estimated direct and indirect environment load reduction effects of the energy recovery system in Gifu prefecture. As the direct effect, we calculated substitution effect by substituting fossil fuel energy for woody pellet fuel applying life cycle analysis. And We assumed that structural change of existed energy system is converted to the indirect one, and economic ripple effect introducing the woody biomass fuel in this prefecture was calculated.