

人口減少・省エネ改修を与件とした農村域における地域内エネルギー自給ポテンシャルの評価

松田 陽平¹・中久保 豊彦²・東海 明宏³

¹学生会員 大阪大学大学院博士前期課程 工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail:matsuda@em.see.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学大学院助教 工学研究科 (同上)

³正会員 大阪大学大学院教授 工学研究科 (同上)

本研究では、兵庫県但馬地区を対象として将来のエネルギー需要減少を与件とした上で2030年度における新エネルギーでの地域エネルギー自給効果を推計した。世帯総数は2010年から2030年にかけて15%減少するとし、ケースBでは新エネルギー供給施策（間伐材からのペレット生産、ごみ処理施設での排熱発電、厨芥のメタン発酵によるガス供給、太陽光発電パネルの設置）が実施、ケースCでは新エネルギー供給施策に加え省エネルギー機器導入（民生家庭部門における高断熱住宅、高効率空調、高効率照明、高効率給湯機の導入）が実施されるとした。結果、エネルギー自給率はケースBで36%、ケースCで58%となった。新エネルギー政策の評価においては、単にポテンシャル推計の下に意思決定を行うのではなく、需要側のエネルギー削減も考慮した上での政策評価が必要視される。

Key Words : *energy independence, energy saving, bio-energy, solar panel, rural planning*

1. はじめに

低炭素社会の実現に向け温室効果ガス（GHG）排出抑制と化石燃料の使用削減が強く求められており、需要側における省エネルギー機器導入の促進と、供給側における低炭素型エネルギー源への更新の両方を着実に進めていくことが必要視される。本稿では、農村における低炭素政策を分析対象とし、エネルギー自給効果ならびにGHG削減効果を取り上げた。

エネルギー供給の側面では、バイオエネルギーの利活用の場として都市部よりも自然資本が豊富である農山村部が挙げられることが多い。温暖多雨な我が国のバイオエネルギー賦存量は約 530PJ（資源作物を除く）と試算されており¹⁾、多くの市町村がバイオマス利活用に積極的に取り組んでいる。しかしながら、総務省による事業評価²⁾では有効性や効率性の評価が十分ではないまま計画が策定され、結果として構想通りに進んでいない自治体も多く存在することが指摘されている。

エネルギー需要の側面では、佐藤ら³⁾や倉坂⁴⁾はそれぞれバイオエネルギー、新エネルギーの地域賦存量の把握を目的としているために供給ポテンシャルの推計に留

まっている。長期的な視点でエネルギー自給を分析するためには、人口推移、建物断熱改修、省エネ機器導入等によるエネルギー需要側の低減効果を考慮する必要がある。

そこで本研究では、農村地域において将来のエネルギー需要減少を与件とした上で、新エネルギー政策の導入によるエネルギー自給効果とGHG削減効果を評価することを目的とする。対象地域は兵庫県但馬地区、評価年次は2010年から2030年とした。

2. 評価ケースの設定

本研究では3つのケースを設けた（表-1）。

世帯数の減少は全ケースで共通とし、人口減少に伴うエネルギー需要の減少効果を考慮した。ケースAは世帯数の減少のみ考慮し、新エネルギーの導入、断熱仕様・省エネ機器の導入は行わない。ケースBは供給側の新エネルギーの導入を促進するが、需要側の断熱仕様・省エネ機器の導入は行わない。ケースCは供給側の新エネルギーの導入、需要側の断熱仕様・省エネ機器の普及、両

表-1 比較対象とするケースの設定 (2030年度値)

| | ケースA | ケースB | ケースC |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 世帯数 | 15%の減少 | 15%の減少 | 15%の減少 |
| 断熱仕様・省エネルギー機器の導入 | 2010年度基準を継続 | 2010年度基準を継続 | 断熱性能・機器効率の向上、給湯HPの使用 |
| 太陽光発電パネルの導入 | 未導入 | 55%の戸建住宅居住者が使用 | 55%の戸建住宅居住者が使用 |
| 森林管理施策の導入 | 未管理 | 高齢木の伐採・植林と連動したペレット利用事業 | 高齢木の伐採・植林と連動したペレット利用事業 |
| 一般廃棄物エネルギー利用施策の導入 | 厨芥の分別回収なし/全てのごみを焼却・排熱発電 | 厨芥由来のバイオガス供給事業とごみ焼却・排熱発電事業の併用 | 厨芥由来のバイオガス供給事業とごみ焼却・排熱発電事業の併用 |

方が促進されるとした。

a) 世帯数の設定

本稿では兵庫県⁵⁾に従い、兵庫県但馬地区は2030年までに2010年度比で15%の世帯数が減少するとした。

b) 民生家庭省エネルギー機器の設定

対象とする省エネルギー対策は、前田ら⁶⁾を参考に建物(断熱仕様)、照明機器、OA機器、冷暖房機器、給湯機器を選定した。ケースA・Bでは2010年度基準のまま2030年度まで推移する一方で、ケースCでは、改築された建物の断熱性能が向上するとともに、4つの機器の効率が改善されると設定した。なお、現状で電気給湯及び灯油給湯を使用している世帯には、2030年度にすべての世帯に給湯HPが導入されると設定した。

c) 太陽光発電パネルの設定

ケースB・Cでは戸建住宅への太陽光発電パネルの普及が進むとした。太陽光発電パネルに関しては低炭素社会づくり行動計画⁷⁾を参考に、住宅データ⁸⁾より取得した現状値(1.4%)の40倍の導入量(55.0%)が実現されるとした。集合住宅における太陽光発電パネルは、本研究では導入されない設定とした。

d) 森林管理施策の設定

ケースB・Cでは円山川森林計画書⁹⁾を基に高齢木への伐採を行い、伐採した面積と同量の面積に対して植林を行うこととした。15齢級以上の水土保持林の針葉樹を対象に、10年に1回面積の30%を間伐し、産出された間伐材全量を木質ペレット生産用途に利用するとした。

e) 一般廃棄物エネルギー利用施策の設定

全ケースで、ごみの全量は各自治体から豊岡市豊岡清掃センターに輸送・集約され、広域処理化が実施される

とした。ケースB・Cでは、厨芥のメタン発酵から産出されるバイオガスと、ごみ焼却炉から産出される排熱発電(場内消費を差し引いた余剰分)が供給されるとした。

3. 評価方法

(1) 民生家庭エネルギー需要の推計

a) エネルギー消費・負荷原単位の算出

本研究では、世帯数にエネルギー消費原単位、技術係数改善率を乗じて、民生家庭部門におけるエネルギー消費量を推計する。エネルギー消費原単位については、気候ネットワーク¹⁰⁾が作成した世帯構成類型(7類型)ごとに設定された用途別(冷房、暖房、給湯、厨房、照明、家電)・エネルギー種別(電力、ガス、灯油)の値を採用した。

b) 建て替え・改修時期の設定

戸建住宅の建替・改修時期に関して、及川・占部¹¹⁾の方法を参考に建築の残存率関数 $R(t)$ を式(1)のように設定した。

$$R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^m\right\} \quad (1)$$

t : 経年数

α, m : パラメータ

パラメータは、及川・占部¹¹⁾が東京都を対象に調査し整備した建築構造別のデータを兵庫県住宅統計⁸⁾より得られる構造別戸数(木造・非木造)で重みづけした値($\alpha=51.75$, $m=2.361$)を用いた。これより、およそ44年で残存率が0.5(新設建物の半数が建て替え)となった。

ただし、今回対象とした但馬地区には、築年数が50年以上の建物が多く存在し、式(1)を一律に適用すると2010年に建て替え(または改修)される住宅が非常に多くなることが確認された。よって、式(1)の適用は築年数が50年未満の戸建住宅に限定し、築年数が50年以上の戸建住宅は前田ら⁶⁾に従い5年で20%ずつ建て替え(または改修)が進むと設定した。

また、対象地域内の集合住宅に関しては、式(1)の残存率関数を適用し推計した結果、現状の集合住宅数が少ないことや今後の世帯数減少が影響し、集合住宅における建て替え(または改修)される住宅は生じなかった。将来的には農村地域においても戸建住宅から集合住宅への居住変更が起こり、集合住宅世帯数が増加する可能性も想定されるが、本研究では現状の戸建住宅・集合住宅比率は変化しないとし、集合住宅については建物更新が起こらず、断熱性能は現状のまま2030年度まで推移するとした。

表-2 技術係数改善率の設定値

| | | 将来の設定値 | | |
|------------------------|----------|-----------------|-------|----------|
| | | 2010年 | 2020年 | 2030年 |
| 建物の断熱性能（基準の建物が建設される割合） | | 新基準：次世代＝50%：50% | | 次世代＝100% |
| 照明機器 [lm/W] | | 100 | 150 | |
| OA機器（現状を1とした際の比率） | | 1 | 3/4 | 1/2 |
| 高効率HP (OOP) | 冷暖房 | 4.50 | 5.45 | 6.36 |
| | 冷房 | | | |
| | エアコン | 5.00 | 6.00 | 7.00 |
| | 給湯ヒートポンプ | 3.00 | 3.50 | 4.00 |
| 太陽光発電パネル（モジュール変換効率[%]） | | 10.0 | 12.5 | 15.0 |

表-3 戸建住宅暖房負荷原単位の減少率（2010年比）

| 建て替え時期 | 減少率 |
|-------------|-------|
| 2010年～2020年 | 0.460 |
| 2020年～2030年 | 0.268 |

c) 個別機器・建物断熱性能の技術係数改善率の設定

個別機器については、導入ケースでは 2030 年時点で全家庭で高効率個別機器への買い替えが行われていると設定した。本稿では前田ら⁹⁾の研究を参考に設定した機器効率の改善値（表-2）を用いることとした。

建物断熱性能については、建築・改修時期に応じた仕様が導入されるとした。2020 年までは新基準の建物が 50%、次世代基準の建物が 50%の割合で新設（改修）され、2020 年以降は次世代基準の建物が 100%新設（改修）されると設定した。断熱改修により、現状ストックの断熱性と比較すると、暖房負荷原単位は表-3 に示すように減少した。このとき、負荷原単位の従来型に対する削減率は、深沢ら¹²⁾の地域区分別の値のうち、IV地域（温暖地域）における値を用いた。深沢ら¹²⁾では本研究の対象地域の一部分はIII地域（準寒冷地域）に指定されており、より高度な断熱が望まれるが、その多くが山麓地域であり、人口の占める割合も少ないことから、IV地域の削減率を一律で用いた。

(2) 太陽光発電によるエネルギー供給量の推計

まず、高橋¹³⁾の方法を参考に、式(2)を用いて建物の屋根に設置した太陽光発電の月別・時刻別の出力を天候別（晴れ、曇り、雨）・月別に算出した。

$$Out = H_A(h) \times \eta \times S \times \eta_{pc} \times K_{pt} \times K \quad (2)$$

Out：太陽光発電出力[MJ]
 $H_A(h)$ ：時間 h における斜面日射量[MJ/m²]
 η ：モジュール変換効率[-]
 η_{pc} ：パワーコンディショナー運転効率[-]
 K_{pt} ：月別温度補正係数[-]
 K：その他システムの出力係数[-]

S：設置面積 [m²]

斜面日射量 $H_A(h)$ は、太陽光発電用標準データ¹⁴⁾ (METPV-3) を用い、豊岡市の天候（3パターン）、月（12パターン）ごとの36パターンの計算を行った。太陽光発電パネルの向き（方位角）は70°、パネル傾斜角は戸建住宅で受光量が最大となる30°とした¹⁵⁾。

モジュール変換効率 η （日射量に対するエネルギー変換効率）については、表-2に示すように効率が向上することとした。

太陽光パネルの設置面積Sは、式(3)より計算する。設置率（建物屋根面積に対する太陽光パネル設置面積）は屋根面積に占める南面の割合¹⁶⁾より0.35、 θ はパネル傾斜角30°である。

$$\text{パネル設置面積} = \text{建物屋根面積} \times \text{設置率} \times 1/\cos\theta \quad (3)$$

ここで、建物屋根面積は一階床面積と等しいとして式(4)より算出した。

$$\text{建物屋根面積} = \text{着工床面積} \div \text{容積率} \times \text{建蔽率} \quad (4)$$

月別の太陽電池出力の温度補正係数 K_{pt} は式(5)より算定した。

$$K_{pt}(h) = 1 - 0.004 \times (Tm(m) + 2 + \Delta T(m) - 25) \quad (5)$$

月別の平均気温（℃）は豊岡市の2005年における平均気温データ¹⁷⁾の値を用いた。 ΔTm は太陽電池作動時の温度上昇幅（℃）であり、5~10月は15℃、11~4月は10℃とした。

なお、年間の太陽光発電の利用可能量を算定するためには、月別に晴れ・曇り・雨の天候別の日数を設定する必要がある。そこで、気象庁ホームページ¹⁷⁾より得られる気象データから、豊岡市の2005年の天候をもとに月別に天候別の日数を求め、2030年値も同値に従うとした。

太陽光発電パネル製造・輸送時に必要なエネルギーについては、今村・長野¹⁸⁾より得られたPV設置面積1m²あたりの消費原単位より軽油消費33[MJ/m²]、電力消費224[MJ/m²]とした。

(3) 森林管理によるエネルギー供給量の推計

対象地の森林計画⁹⁾より森林計画区内の水土保全用途針葉樹林における齢級別単位面積当たり材積成長量を作成した（図-1）。式(6)、(7)より5年ごとに各齢級面積の変化を推計し、式(8)、(9)より材積の変化を推計した。そして式(10)より2030年度における間伐材積を求めた。本研究では年間間伐率として3%を採用し、15齢級以上の森林を間伐対象とした。齢級別面積・材積量を図-2に示す。

$$S_t(C) = S_{t-5}(C-1) \quad (C \leq 15) \quad (6)$$

$$S_i(C) = S_{i-5}(C-1) \times (1-5k) \quad (C > 15) \quad (7)$$

$$V_i(C) = V_{i-5}(C-1) + S_{i-5}(C-1) \times W(C-1) \quad (C \leq 15) \quad (8)$$

$$V_i(C) = V_{i-5}(C-1) \times (1-5k) + S_{i-5}(C-1) \times W(C-1) \quad (C > 15) \quad (9)$$

$$U_i = \sum_{C=15}^{\infty} V_i(C) \times k \quad (10)$$

$S_i(C)$: t年度におけるC齢級森林面積

$W(C)$: 単位面積当たりC齢級材積成長量

$V_i(C)$: t年度におけるC齢級材積量

k : 年間間伐率

U_i : t年度における間伐材積量

式(10)より間伐される2030年度の材積量は202千 m^3 であり、森林計画⁹⁾の1年間に間伐する材積の目標値210千 m^3 と比較しても妥当な数値である。

求めた間伐材積量に木材比重ならびに枝葉除去率を乗じることで木質ペレット産出量を推計した。木材比重は0.31[kg/ m^3]¹⁹⁾、枝葉除去率は0.77[-]¹⁹⁾とした。木質ペレットは、①厨房用メタン発酵槽の加温用途(ガス化・コジェネレーション設備で燃焼)、②民生家庭部門の暖房用途(ペレットストーブで燃焼)、③ごみ焼却施設での焼却・排熱発電利用(家庭ごみと混焼)の順に配分されるとした。民生家庭部門の暖房用途では灯油、LPG、ガス、電力の順にそれぞれ充填されるものとした。

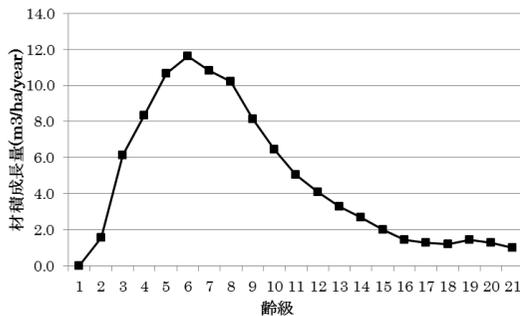


図-1 但馬地区齢級別材積成長量

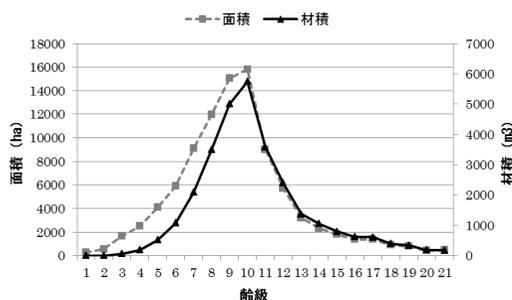


図-2 但馬地区森林齢級別面積・材積量
(水土保全用途針葉樹林)

ペレット発熱量は0.02²⁰⁾[TJ/ton]、木質ガスコジェネにおける熱効率、発電効率はそれぞれ0.25[-]²¹⁾、0.17[-]²¹⁾とした。森林の間伐ならびに木質ペレット生産プロセスにおけるエネルギー消費原単位に関しては、土屋・天野²²⁾を参考に、木材伐採用軽油消費: 2.74[TJ/ペレット千ton]、ペレット製造用電力消費: 2.30[TJ/ペレット千ton]、ペレット輸送用軽油消費: 0.17[TJ/ペレット千ton]とした。

(4) 廃棄物利用によるエネルギー供給量の推計

メタン発酵によるバイオガス発生量は日本有機資源協会²³⁾を参考に式(11)より算出した。

$$\text{バイオガス産出量} = \text{厨芥投入量} \times \text{TS比} \times \text{VS比} \times \text{VS分解率} \times \text{バイオガス発生原単位} \times \text{バイオガス熱量} \quad (11)$$

厨芥投入量は、環境省²⁴⁾の市町村別データより得た対象地の1人あたりの生活系ごみ発生量(将来変化なしと設定)に人口(本研究推計値)、ごみ組成²⁵⁾を乗じて算出した。本研究では、厨芥は各家庭において100%分別された状態で回収可能とした。TS比は0.2[-]²²⁾、VS/TS比は0.9[-]²²⁾、VS分解率は0.78[-]²²⁾とした。バイオガス発生原単位は881[m³/t-VS]²²⁾、消化工程に要する消費電力は86[kWh/t-厨芥]²⁶⁾、バイオガス熱量は22[MJ/m³]²²⁾、加温用途に使われるメタンガスの割合は産出量の30%²⁶⁾として、加温必要熱量を6.6[MJ/m³-メタンガス]と設定した。

本研究では、メタン発酵槽の加温に必要な温水は発酵槽に併設される木質ペレットのガス化・コジェネレーション設備によって賄われるとし、同時にコジェネによって生成された電力はメタン発酵設備での使用後、余剰分は民生家庭部門に供給されるとした。

厨芥以外の家庭ごみはごみ焼却炉で焼却し、排熱発電を行う。またメタン発酵後の残渣もごみ焼却炉に投入されるとした。電力産出量は式(12)より推計した。

$$\begin{aligned} \text{電力供給量} = & (\text{ごみ投入量} + \text{厨芥発酵残渣投入量}) \\ & \times \text{低位発熱量換算係数} \times \text{排熱発電効率} \\ & - \text{ごみ投入量} \times \text{焼却炉電力消費原単位} \quad (12) \end{aligned}$$

ここで、 i はごみの種類を示す。厨芥の発酵残渣は含水率62%²⁵⁾、有機分(可燃分)が78%²²⁾減少した成分でごみ焼却炉へ投入される。ごみの種類別低位発熱量換算係数は松藤²⁴⁾より引用し、排熱発電効率は0.149[-]²⁶⁾、焼却炉電力消費原単位は120[kWh/t-ごみ]²⁹⁾とした。

2030年におけるごみの収集は、両ケースとも各市町におけるごみ処理場(4ヶ所)に収集した後、豊岡市の処理場に集約される。各処理場間の輸送距離を算定し、各市町のごみ発生量を基に軽油使用量を推計した。その際藤井ら³⁰⁾よりごみ収集車の積載容量は4m³、燃費は4.0[km/L]、各家庭から各市町処理場までの単位収集距離は20kmとした。また焼却灰の輸送には積載重量4t³¹⁾、燃費

4.7[kmL]³¹⁾のトラックを設定し、輸送距離は実際の埋め立て地との距離より往復2kmとした。

(5) エネルギー自給率の推計

新エネルギーによって民生家庭部門エネルギー需要（ごみ処理使用エネルギーを含む）をどれだけ賄うことが可能かをエネルギー自給率で評価する。本研究では生産時エネルギー使用量として、製造・運用（太陽光パネル・ペレット・メタンガスの製造、ごみ処理及び発電）及び輸送（太陽光パネル・ペレットの輸送、ごみ収集）に関して勘定し、施設建設、断熱改修・省エネ機器の更新に要するエネルギーは勘定対象外とした。エネルギー自給率は式(13)により算出する。

$$\text{エネルギー自給率} = (\text{新エネルギー供給量} - \text{生産時エネルギー使用量}) / (\text{民生家庭部門エネルギー需要量} + \text{ごみ処理使用エネルギー使用量})$$

(13)

ここで、電力は二次エネルギー換算（1kWh=3.6MJ）で積算した。

(6) CO₂排出量の推計

CO₂排出量は前項で算出するエネルギー消費量にCO₂排出原単位²⁸⁾を乗じることで算出する。系統電力については、全電源平均原単位の全国平均³²⁾より0.360[kg-

CO₂/kWh]とした。

ごみ焼却施設においてエネルギー使用に伴うCO₂排出に加えて一般廃棄物の焼却に伴うCH₄・N₂O排出量、プラスチックの焼却、合成繊維類の焼却、水・薬品使用に伴うCO₂排出量をそれぞれ0.017[t-CO₂eq/t]³³⁾、2.69[t-CO₂-dry]³³⁾、2.29[t-CO₂-dry]³³⁾、0.005[t-CO₂/ごみ投入量ton]³¹⁾とカウントした。

カーボンニュートラルの考えの下で、生物資源に含有する炭素由来のCO₂排出は0とカウントする。森林管理施策に伴うCO₂吸収量（生体バイオマスによる炭素固定量）の変動については、材積（生体バイオマス）の林齢ごとの成長速度が異なることから、短期的にはCO₂排出量が増加する可能性が指摘されており³⁴⁾、短期的なCO₂収支を推計する際には留意する必要がある。そこで本研究では、間伐・植林を実施（ケースB・C）・未実施（ケースA）の2パターンにおける2010年から2030年までの森林材積成長量よりCO₂吸収量を計算し、比較をすることで森林利用に伴うCO₂吸収量の増減を推計した。5年あたりの森林CO₂吸収量は式(14)より算出した。

5年あたり森林CO₂吸収量=

$$\sum_{t=1}^{t=5} \sum_{\text{森林}} S_i(C) \times W(C) \times \text{容積密度} \times \text{地下部補正係数} \times \text{炭素含有率} \times 44 / 12$$

ここで、容積密度は0.31[t-dm³]¹⁸⁾、地下部補正係数は1.25[-]¹⁸⁾、炭素含有率は0.5[t-C/dm]¹⁸⁾とした。

4. 算定結果

(1) 地域内エネルギー需給の推計結果

図-3 にエネルギー需給バランスの推計結果を示す。民生家庭エネルギー需要（ごみ処理使用エネルギー含む）は2010年の3,102TJに対し、2030年はケースAで2,661TJ、ケースBで2,668TJ、ケースCで1,505TJとなった。ケースAでは2010年値と比較して人口減少により14%のエネルギー需要の減少となった。ケースCでは、さらに省エネ・断熱改修の効果を加味することで2010年比48%の需要減少となった。また、ケースB、ケースCにおける新エネルギー導入量はペレットの排熱発電への融通の有無によって異なり、それぞれ1,108TJ、1,087TJと推計され、エネルギー自給率はそれぞれ36%、58%と異なる値を取った。新エネルギー政策の評価においては、単にポテンシャル推計の下に意思決定を行うのではなく、需要側のエネルギー削減も考慮した上での政策評価が必要視される。

ケースCにおける新エネルギー導入量1,087TJの内訳は、木質ペレットによる民生家庭用暖房熱供給が568TJ（52%）、太陽光発電が416TJ（38%）、ごみ処理施設における排熱発電52TJが（5%）、厨芥由来バイオガス

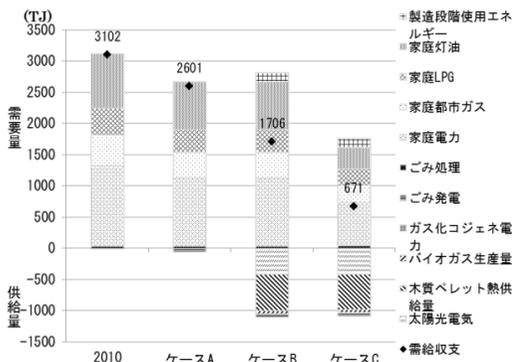


図-3 エネルギー需給バランスの推計結果

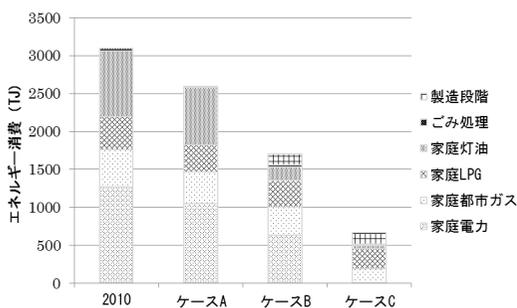


図-4 用途別・燃料種別エネルギー消費の推計結果

供給が 47TJ (4%)，木質ペレットのガス化コージェネ産出電力の融通が 4TJ (0.3%) である。

エネルギー需要量から供給量を差し引いた用途別・燃料種別エネルギー消費を図4に示す。内訳では LPG・都市ガスの自給率が低く，地域エネルギー自給という観点ではガス供給システム，もしくは使用燃料種の転換が必要である。

(2) 地域内エネルギー自給政策導入下におけるCO₂排出量の推計結果

図5にCO₂排出量の算定結果を示す。推計されたCO₂排出量は2010年，2030年のケースA，ケースB，ケースCでそれぞれ260kt-CO₂，216kt-CO₂，147kt-CO₂ 60kt-CO₂と推計され，CO₂排出量は2010年と比べてケースAで17%減，ケースBで43%減，ケースCで77%減となった。ケースA，ケースC間の差60%に対し，木質ペレットの民生家庭用暖房利用によるCO₂削減への寄与分が29%を占め，森林管理施策がとりわけ貢献する結果となった。

ただし，本研究で設定した間伐・植林実施下では，伐採後植林した生体バイオマスの成長量が向上するまでは，短期的に森林材積の増加量が減少するため(図-1参照)，材積に固定される炭素量は減少する。2010年から2030年までの森林CO₂吸収量を間伐・植林時と未実施時と比較すると，それぞれ6824[kt-CO₂/20年]，7922[kt-CO₂/20年]であり，ケースB・CはケースAと比較して2010年から2030年の年平均で55kt-CO₂の森林CO₂吸収量の減少となった。

図-6に5年あたり森林CO₂吸収量の推計結果を示す。短

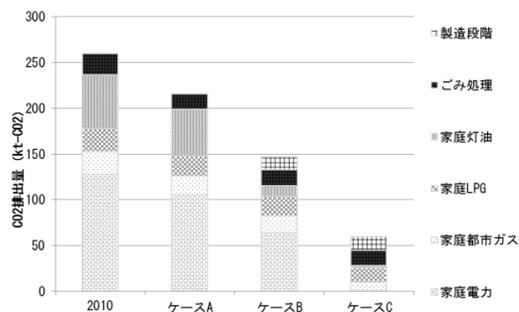


図5 民生家庭部門におけるCO₂排出量の推計結果

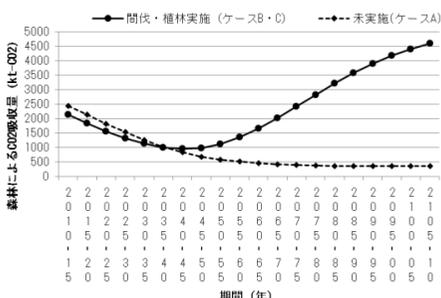


図6 森林によるCO₂吸収量の推計結果 (5年毎)

期的には生体バイオマスによる炭素固定量は減少する。しかし，長期的に見ると植林した樹木の年間成長量が増加し，炭素固定量は増加する。つまり，長期的にみると高齢木を伐採し植林することでCO₂固定量は増加することとなるため，長期的な管理の下では更なるCO₂吸収効果が望まれる。森林の成長速度を踏まえた間伐の実施と長期的な視点での炭素固定効果の評価が重要である。

5. おわりに

本論文では農村地域において将来のエネルギー需要減少を与件とした上で，新エネルギー政策の導入によるエネルギー自給効果とGHG削減効果を評価した。得られた結果を以下に示す。

- ・ 人口減少や断熱性能向上・省エネ効果を踏まえれば，新エネルギーで民生家庭部門の58%のエネルギー自給が達成でき，CO₂排出量も77%まで削減可能となる算定結果を得た。
- ・ エネルギー自給に寄与する供給側施策は森林管理による木質ペレット生産だが，間伐・植林に伴うCO₂吸収効果(炭素固定効果)は短期的には負の影響として現れる点に注意が必要である。

今後の課題としては経済性を含んだ評価，技術係数の不確実性を考慮した評価が挙げられる。

謝辞：本研究は，科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究22651015の支援を得て実施された。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 農林水産省バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議：国産バイオ燃料の大幅な生産拡大，2007。
- 2) 総務省：バイオマスの利活用に関する政策評価，2011。
- 3) 佐藤寿樹，辻宜行，田中教幸，大崎満：農畜林業バイオマスを基礎とした食料・エネルギー自給ポテンシャル解析：北海道富良野市を事例として，システム農学，Vol.26，No.1，pp.17-25，2010。
- 4) 倉坂秀史：sustainable zone. <http://sustainable-zone.org/> (2012.8.31 参照)
- 5) 兵庫県：兵庫県将来推計人口，2008. http://web.pref.hyogo.jp/ac06/ac06_000000956.html (2012.8.16 参照)
- 6) 前田秀人，中久保豊彦，東海明宏：低炭素都市の実現に向けた都市計画と省エネルギー計画の統合マネジメントモデルの開発，土木学会論文集 G(環境)，Vol.68，No.1，pp.21-38，2012。
- 7) 環境省：低炭素社会づくり行動計画，2008。
- 8) 兵庫県：平成20年度住宅・土地統計，2010. http://web.pref.hyogo.jp/ac08/ac08_5_000000049.html (2012.8.31 参照)
- 9) 兵庫県：円山川森林計画書，2010。
- 10) 気候ネットワーク：2020年の30%削減社会ビジョン

- を描く～家庭・業務部門の削減シナリオと政策提案～, 2006.
- 11) 及川智, 占部武生: 建設廃棄物の発生抑制に関する研究 (その 1) - 東京 23 区の建築ストック量と建築物の寿命, 解体建築物床面積の将来予測 -, 東京都環境科学研究所年報 2002, pp.182-190, 2002.
 - 12) 深沢大樹, 村橋善満, 外岡豊, 三浦秀一: 日本の住宅部門における温室効果ガス排出削減対策の検討 その 2 断熱性能向上と高効率家電機器の普及による地域別対策効果の算定, エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, Vol.20, pp.293-296, 2004.
 - 13) 高橋伸英: 脱温暖化 2050 研究プロジェクト (地球環境研究総合推進費 S-3-3(4)), H19 年度成果報告書. [http://2050.nies.go.jp/report/file/interim/H19_S-3-3\(4\).pdf](http://2050.nies.go.jp/report/file/interim/H19_S-3-3(4).pdf) (2012.8.31 参照)
 - 14) (財)日本気象協会 HP. <http://www.jwa.or.jp/content/view/full/1954/> (2012.8.31 参照)
 - 15) 石川島播磨重工業: 地域エコエネルギーウェブシステム (自然エネルギーを中心としたエネルギーの相互利用システム) のための制御方法に関する技術開発業務報告書, 2005.
 - 16) 大塚薫, 森俊介, 大蔵将史: 家庭用エネルギー需要に対する太陽エネルギー利用技術の導入効果, エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集(CD-ROM), 2008.
 - 17) (財)日本気象協会 HP. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2012.8.31 参照)
 - 18) 今村栄一, 長野浩司: 日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価 - 2009 年に得られたデータを用いた再推計 -, 電力中央研究所報告, Y09027, 2010.
 - 19) 国立環境研究所地球環境センター: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, 2008.
 - 20) (財)日本住宅・木材技術センター: 木質ペレット品質規格原案, 2007.
 - 21) 谷口美希, 西山明雄, 笹内謙一: 小型バイオマスガス化発電装置の開発, バイオマス科学会議発表論文集, Vol.5, pp.14-15, 2010.
 - 22) 土屋陽子, 天野治: 木質ペレット製造のエネルギー収支分析, 電力中央研究所報告, V09014, 2010.
 - 23) 日本有機資源協会: バイオガス化マニュアル, 2006.
 - 24) 環境省: 廃棄物処理技術情報. http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/index.html (2012.8.31 参照)
 - 25) 松藤敏彦: 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価, 技報堂出版, 2005.
 - 26) 酒井伸一, 平井康宏, 吉川克彦, 出口晋吾: バイオ資源・廃棄物の賦存量分布と温室効果ガスの視点からみた厨芥利用システム解析, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.173-187, 2005.
 - 27) 下水道新技術推進機構: 下水処理場へのバイオマス (生ごみ等) 受入マニュアル, 下水道新技術推進機構, 2011.
 - 28) 環境省: 高効率ごみ発電施設整備マニュアル, 2010.
 - 29) 矢野順也, 平井康宏, 酒井伸一, 出口晋吾, 中村一夫, 堀寛明: 都市ごみ中の厨芥類および紙類の利用システムによる温室効果ガスの削減効果, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.22, No.1, pp.38-51, 2011.
 - 30) 藤井実, 南齋規介, 橋本征二, 森口祐一, 村上進亮, 中村卓也, 越川敏忠: 家庭系ごみの分別収集に係わる収集車の走行距離・台数等の調査, 廃棄物学会論文誌, Vol.18, No.6, pp.443-453, 2007.
 - 31) 産業環境管理協会: MiLCA (LCA ソフトウェア)
 - 32) 環境省: 電気事業者別の CO₂ 排出係数 (2009 年度実績), 2010.
 - 33) 環境省: 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル, 2008.
 - 34) Jon M., Steve C., Jiaxin C., Warren M., and Heather L. M.: Forest Bioenergy or Forest Carbon? Assessing Trade-Offs in Greenhouse Gas Mitigation with Wood-Based Fuels, *Environmental Science and Technology*, Vol.45, pp789-795, 2011.

(2012.7.18 受付)

ESTIMATING ENERGY SELF-SUFFICIENCY POTENTIAL IN RURAL AREA BASED ON FUTURE POPULATION PROJECTION AND DIFFUSION OF ENERGY-EFFICIENT RENOVATIONS

Yohei MATSUDA, Toyohiko NAKAKUBO and Akihiro TOKAI

This study evaluated the potential supply of new energy and the regional energy self-sufficiency rate in 2030 based on future reduction on final energy use due to the decreasing population and the penetration of energy-saving technology. We applied our calculation models for Tajima area in Hyogo prefecture as a case study and we set the population in the area would decrease by 15% relative to 2010 in 2030. The new energy supply policy covered wood pellet utilization, waste power generation, biogas energy derived from food waste, solar power installation. The energy saving promotion policy is done by promoting the super-insulated renovation and the high-efficiency in households appliances (air conditioning, lighting, water heater). We compare case B and case C, case B is the implementation of the new energy supply policy, while case C is implementation of the two policies. The estimation of the regional energy self-sufficiency rate for case B and case C were 36% and 58% respectively. Our results showed that decision making in light of energy reduction effect on the part of demand sector was crucial in evaluating new energy policy.