

住宅ストック再生・活用を想定した 分散型エネルギーシステム導入効果の試算

飯盛章太郎¹・松本 亨²・韋 新東^{3,4}・三島知行⁵

¹非会員 株式会社明電舎 (〒103-8515 東京都中央区日本橋箱崎町36番2号)

²正会員 博(工) 北九州市立大学准教授 国際環境工学部 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

³非会員 博(工) 吉林建築工程学院教授 環境工学部 (〒130021 中国吉林省長春市紅旗街1129号)

⁴日本学術振興会 外国人特別研究員 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

⁵非会員 北九州市立大学大学院博士前期課程 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: m66506@env.kitakyu-u.co.jp

近年、分散エネルギーネットワークの導入への期待が高まっている。それは、新エネルギーの導入促進、エネルギーの地産地消による送電ロスの削減と廃熱の効率的利用、大規模系統電力の電力設備投資の代替などの面において、多くのメリットがあると考えられているからである。しかし、電力安定化のためのエネルギー供給機器の組み合わせ条件、省エネルギーのための電力と熱のバランス、需要用途に応じた最適供給モデルなど、最適設計のための課題を克服することが必要であり、社会に普及させるに解決しなければならない課題も多く残されている。一方、公営住宅やUR賃貸住宅(旧公団住宅)を始めとした既存住宅ストックの再生・活用も、現在我が国が抱える課題の一つである。

以降、本研究では既存住宅ストックの有効活用を前提とした分散型エネルギーシステムを想定し、その環境面と経済面の評価と、実現のために必要な課題を明らかにすることを目的とする。

Key Words : housing stocks, distributed energy systems, photovoltaics (PV), cogeneration system (CGS), global warming

1. はじめに

近年、ますます分散エネルギーネットワークの高度制御実現への期待が高まっている¹⁾。それは、新エネルギーの導入促進、エネルギーの地産地消による送電ロスの削減と廃熱の効率的利用、大規模系統電力の電力設備投資の代替などの面において、多くのメリットがあると考えられているからである。しかし一方で、電力安定化のためのエネルギー供給機器の組み合わせ条件、省エネルギーのための電力と熱のバランス、需要用途に応じた最適供給モデルなど、最適設計のための課題を克服することが必要であり、社会に普及させるに解決しなければならない課題も多く残されている。

一方、公営住宅やUR賃貸住宅(旧公団住宅)を始めとした既存住宅ストックの再生・活用も、現在我が国が抱える課題の一つである。例えば、独立行政法人都市再生機構においても、住宅都市整備公団から継承した約77万戸の既存賃貸住宅ストックと約4,600の既存賃貸施設ストックについて、いかにして適切な活用を図るかが検討されている。都市再生機構が発表しているストック総合

活用計画²⁾では、「持続可能なまちづくり」を理念が掲げられ、具体的目標には安全・安心・快適な生活基盤整備に加え、少子・高齢化に対応した居住環境の整備、情報化(IT等)の進展への対応など、時代に即した内容が含まれている。しかし、環境配慮型の再生・活用に関する具体的な目標は示されていない。

以上のような背景のもと、本研究では、既存住宅ストックの有効活用を前提とした分散型エネルギーシステムを想定し、その環境面と経済面の評価と、実現のために必要な課題を明らかにすることを目的とする。

具体的な検討対象システムとしては、既存の賃貸集合住宅に太陽光発電システム(PV)とガスエンジン・コージェネレーションシステム(CGS)を導入した場合を考える。CGSについては、需要地から発生する生ごみを原料としたメタンガスを優先的に燃料として利用し、不足分を都市ガスで補うこととする。生ごみの分別回収にはディスポーザーを用いることで、エネルギー自給率向上とともに利便性・快適性の向上にも有効であり、住宅ストックの再生・活用に適していると考えられる。

2. 算定方法

(1) 需要地の概要

需要家である既存賃貸集合住宅の概要を表-1に示す。北九州市小倉南区の志徳団地（UR 賃貸住宅）の 70-5N-2DK 型標準設計図を用いた。実際は建設総戸数が 1,210 戸と大きな規模であるが、本研究では 90 戸を対象単位に設定した。30 戸の住宅が 3 棟という設定である。型式は 5 階建であり、全国各地に比較的多く存在する UR 賃貸住宅の一つである。家族構成人数は 3 名に設定した。

(2) エネルギー供給システムの概要

エネルギー供給システムの概要を図-1に示す。CGS については、電主熱従と熱主電従の両方について評価を行った。電主熱従の場合、まず電力需要は太陽光発電によって供給し、不足分を CGS が補う設定である。熱需要については CGS の排熱が供給され、その不足分を都市ガスが補う。CGS の燃料はバイオガスが優先され、不足分を都市ガスが補う設定にした。昼間の電力需要は太陽光発電によって賄われるため、CGS を移動させずボイラのみで熱需要に応じる。

一方、熱主電従の場合、まず CGS の排熱によって熱需要を賄う。ボイラは必要としない。その燃料については電主熱従と同様にバイオガスが優先される。そのとき CGS によって発電される電力と、太陽光発電によって電力需要を賄い、不足分を系統電力が補う設定である。推計した電熱の需給バランスの例を図-2~5に示す。なお、需要曲線を超えている供給領域は系統電力への売電を想定する。

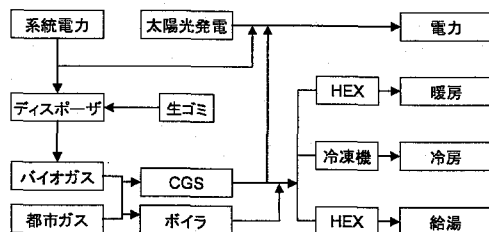


図-1 想定したエネルギー供給システム

表-1 需要地の設定
(旧公団住宅 70-5N-2DK 型標準設計)³⁾

型式	5 階建 3 階段
戸数/棟	30 戸×3 棟
延床面積	1302.48 m ² ×3 棟
住戸床面積	45.7099 m ²
屋上面積	260 m ² ×3 棟
平均家族構成員	3 名
全世帯数	30 世帯/棟×3 棟

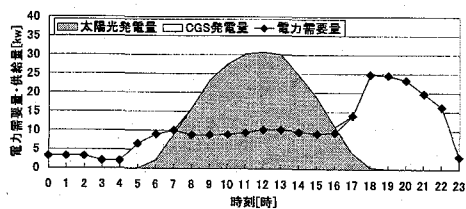


図-2 電力需給の推計 (8月, 電主熱従)

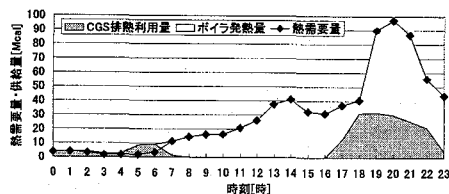


図-3 熱需給の推計 (8月, 電主熱従)

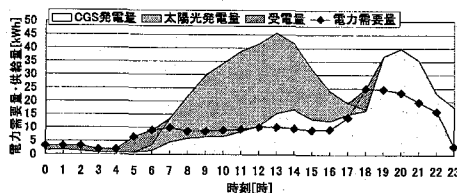


図-4 電力需給の推計 (8月, 熱主電従)

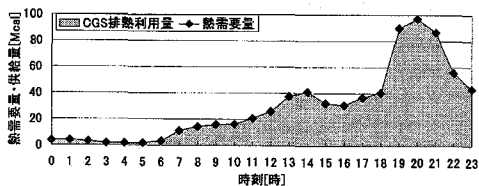


図-5 熱需給の推計 (8月, 熱主電従)

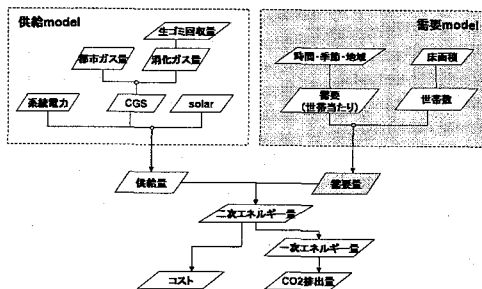


図-6 推計フロー

(3) 算定方法

算定フローを図-6に示す。対象需要地における需要モデルを作成し、時刻別・季節別エネルギー需要量データ⁴⁾を用いて推計した。それに応じた規模のエネルギー供給システムを想定し、二次エネルギー消費量を算定した。ランニングコストは、それに電力とガスの単価^{5),6)}を乗じて算出し、CO₂排出量は、二次エネルギーから一次エネルギーに換算し、燃料別 CO₂排出係数⁷⁾を乗じて

算出した。さらに、従来システムと想定システム間でのコストと環境負荷を比較することにより、それぞれの削減効果を算定した。エネルギー機器の仕様は、表-2, 3の通りである。

表-2 太陽光発電設備

形式	多結晶シリコン型
設備容量	59.4kW
発電効率	13.3%
パネル設置枚数	(132cm×89.5cm) 132枚×3棟

表-3 メタン発酵によるOGS発電設備

含水率	80%
ガス発生係数	0.74 m ³ /kg
メタン含有量	62%
メタン発熱量	37,180KJ/m ³
設備容量	34.58KW/日
発電効率	25%
排熱効率	45%

太陽光発電設備については、集合住宅1棟の屋上面積のうち、太陽光発電パネル設置可能面積を60%、設置不可能面積を40%と仮定した。給水タンクや階段、通路などのパネル設置不可能な面積を40%と見積もったからである。また、対象需要地における一人一日当たりの生ごみ発生量は150gとした。一般家庭で排出される一人一日当たりの生ごみの量は250gとされているが、実際にディスポーザーに投入される生ごみの量はより少ない値となることがわかっている⁷⁾。ディスポーザーの導入効果に関するいくつかの調査事例(表-4)から、本研究では、実際に期待できる回収量として150gを設定した。さらに、商用施設としてコンビニ1店舗からの生ごみ回収量も加える設定にした。コンビニ1店舗の一日当たりの生ごみ発生量は図7より平均値を用いた。

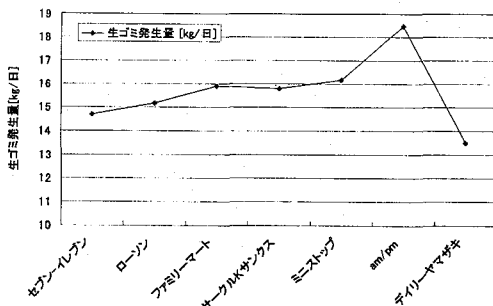


図-7 コンビニ1店舗一日当たりの生ごみ排出量⁸⁾

表-4 社会実験にもとづくディスポーザー投入厨芥量の推定結果⁷⁾

調査実施場所	歌登町	沖縄県	東京都世田谷区	東京都板橋区
ディスポーザー投入厨芥量 [g/人・日]	227	151	153	153

3. 推計結果

(1) エネルギー、CO₂削減効果

a) 電主熱従の場合

一次エネルギー削減効果を図-8に示す。想定システムにおける一次エネルギー消費は、ディスポーザーのみのため、系統電力需要は極めて小さい。その他を全てメタンガスおよび都市ガスによって賄っているため、想定システムにおけるガス需要量が比較的大きくなる。

CO₂削減効果を図-9に示す。図-8と同様に削減効果は大きい。CO₂についてはその効果がより顕著である。この差は、CO₂排出原単位は電力がより大きく、ガスがより小さいことが影響している。さらに、太陽光発電の売電による一次エネルギー削減効果を見ると、CO₂排出原単位は火力発電平均値を用いていることも大きく効いている。これは、売電によって系統で節約されるエネルギーとして、変動可能な火力発電を想定していることによる。よって、太陽光売電量による効果は、一次エネルギーと比べてCO₂の削減量が大きくなっている。

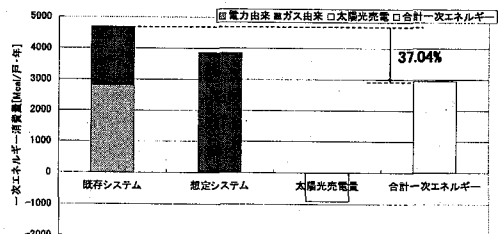


図-8 一次エネルギー削減効果(電主熱従)

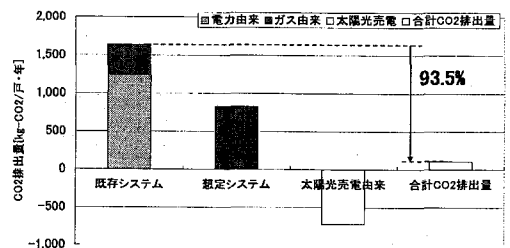


図-9 CO₂削減効果(電主熱従)

表-5 既存システムの料金契約^{5), 6)}

	基本料金[円]	単価[円/m ³ , kWh]	備考
ガス	1,092	193	西部ガス料金表B
電気	810	22	九州電力 従量電灯B, 30A

表-6 想定システムの料金契約^{5), 6)}

	基本料金[円]	単価[円/m ³ , kWh]	備考
ガス	1,502	179	西部ガス 料金表C
電気	270	15	九州電力 従量電灯B, 10A

b) 熱主電従の場合

同様に、一次エネルギー消費とCO₂削減効果について試算した。熱主電従の場合を図-10, 11に示す。図-8, 9と比較すると、想定システムでは電主熱従よりも熱主電従の方がより一次エネルギー、CO₂排出量ともに削減効果が大きいことがわかった。円グラフは、各削減量におけるシステム構成要素の寄与度を示す。一次エネルギー削減量については、太陽光発電とCGSがおおよそ半分ずつの割合で寄与しているが、CO₂削減量については、7割以上太陽光発電が寄与していることがわかる。

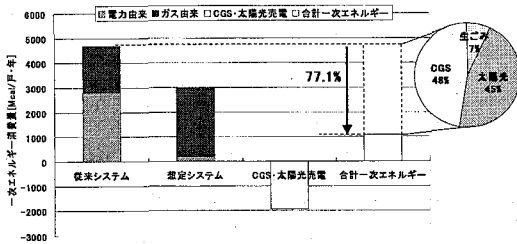


図-10 一次エネルギー削減効果 (熱主電従)

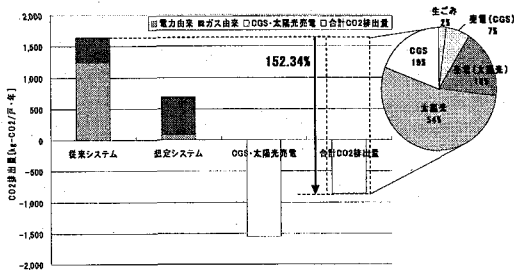


図-11 CO₂削減効果 (熱主電従)

(2) コスト削減効果

a) ランニングコストの比較 (電主熱従と熱主電従)

電主熱従と熱主電従、それぞれのケースのエネルギーコスト削減率を図-12, 13に示す。図-13の円グラフは、前節と同様に、削減効果における各システム要素の寄与度を示している。エネルギーコストにおいても、太陽光発電が7割以上寄与していることがわかる。電主熱従と熱主電従の場合を比較すると、熱主電従における効果が、電主熱従の場合に比べて約10倍大きいことがわかった。

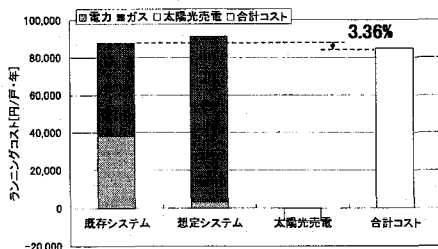


図-12 ランニングコスト削減効果 (電主熱従)

図-14は、想定システムにおける、一次エネルギー、CO₂、エネルギーコストの各削減率をまとめたものである。どの指標においても熱主電従が優れていることがわかる。以降、イニシャルコストの算出とその投資回収年数や、いくつかの感度分析を行うが、熱主電従についてのみ行う。

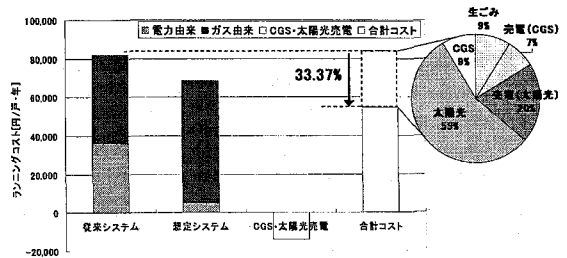


図-13 ランニングコスト削減効果 (熱主電従)

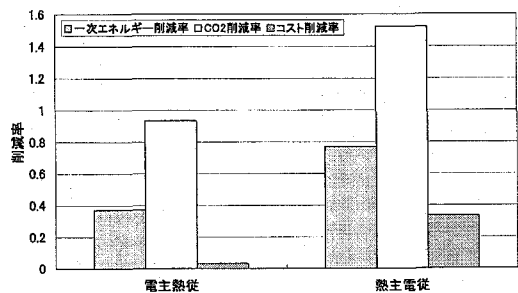


図-14 想定システムにおける電主熱従と熱主電従の比較

さらに、エネルギーコストだけでなく、各機器のメンテナンス費やごみ処理手数料等も含めたトータルのランニングコストについても分析した。表-7, 8は、算定根拠と結果である。図-15にも結果を示すが、メンテナンス費用等を含めた比較でも、18,000円/戸・年以上の削減効果があることがわかる。

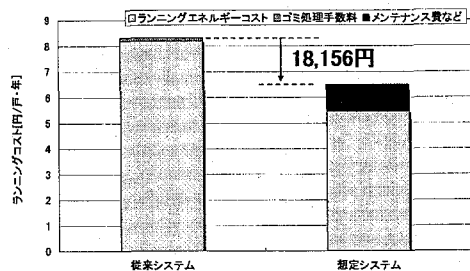


図-15 トータルのランニングコスト

b) 経済メリットの推計

機器導入のためのイニシャルコストの算出根拠及び結果を、表-9, 10, 図-16に示す。従来システム、想定システム双方ともに機器更新の時期であると仮定し、従来シ

システムの方は従来機器の更新、想定システムの方はバイオガスCGS設備、ディスポーザー、太陽光発電設備を導入する計算となる。給排水システムについては双方ともに必要であるとして計算には含めていない。また機器の耐用年数がまちまちであるので、20年間の使用を前提として、先に耐用年数来る機器については更新を考慮した。その結果、想定システムの方が約236,000円/戸ほど高くなった。

この結果と前節で求めたトータルのランニングコストの結果を用いて、ペイバックタイムを推計する。入居率100%でペイバックタイムを20年とした場合の、イニシャルコスト回収のための家賃上乗せ金額を試算すると、983円/月となった。一方、ランニングコスト削減効果から試算されるユーザーメリットは、1,513円/月と試算された。図-17で重なり合っている領域がユーザーである居住者と、オーナーである住宅設置者側の両者にメリットがあり、想定システムの導入が経済的に実現可能な領域である。なお、計算方法については著者らの既往研究¹²⁾を参照されたい。

表-7 ランニングコストの算定根拠（従来システム）

	[円/戸・年]	備考(出所など)
エネルギーコスト	81,989	
ゴミ処理手数料	1,139	5円/kg, 廃棄物学会論文誌 ⁹⁾
合計	83,128	

一般的に20年という投資回収年数は、民間企業にとっては非現実的かもしれない。一方で、環境負荷削減効果や居住者の利便性・快適性において優位なシステムならば、社会的に導入の価値があり、何らかの施策・対策によって普及を促進すべきであると考えられる。イニシャルコストに対する補助金もその1つであるが、長期の投資回収期間に耐える設置者（公的機関）による賃貸集合住宅への導入も可能性が大きいと考えられる。

表-8 ランニングコストの算定根拠（想定システム）

	[円/戸・年]	備考(出所など)
エネルギーコスト	54,629	
メンテナンス費など		
メタン発酵設備	7,000	3万円/t, 労務費込 ¹⁰⁾
CGS	3,343	3.5円/kw, 労務費は考慮せず, NEDO ¹¹⁾
ディスポーザー	0	なし
太陽光発電	0	なし
メンテナンス費小計	10,343	
合計	64,972	

表-9 イニシャルコストの算定根拠（従来システム）

項目	イニシャルコスト	単位	コスト(更新費含)	単位	備考(出所など)
ガス給湯器	328,720	円/戸	98,610	円/戸	ナショナル、リンナイ、ノーリツ3社の調査件での平均値(法定耐用年数6年(日本ガス協会))
ガス給湯器標準工事費	45,808	円/戸	19,626	円/戸	取付会社3社の同条件での平均費用
給排水リフォーム	0	円/戸	0	円/戸	なし
合計	374,528	円/戸	118,236	円/戸	

表-10 イニシャルコストの算定根拠（想定システム）

項目	イニシャルコスト	単位	コスト(更新費含)	単位	備考(出所など)
バイオCGS設備(メタン発酵設備+ジェネレーター+ジェネリング)	250,000	円/戸	50,000	円/戸	助成1/2(農林水産省), 発酵設備費は千葉県の特許事業, メタン発酵設備耐用年数15年(調査済), コージェネレーション(法定耐用年数15年)
ディスポーザー	200,000	円/戸	40,000	円/戸	国庫分譲設備と工賃含む, 住宅設備ナビ参照(耐用年数10年に設定(メーカーにより異なる), 5年7年~10年(以上))
太陽光発電設備	231,000	円/戸	46,200	円/戸	助成1/2(NEDO, 経産省), 耐用年数17年(産院?)
合計	681,000	円/戸	136,200	円/戸	

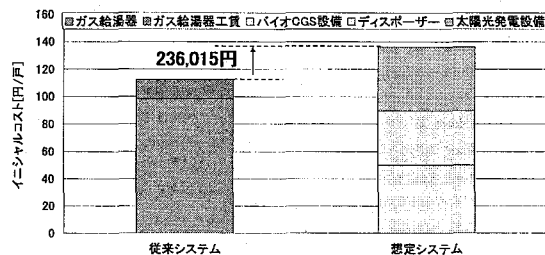


図-16 イニシャルコスト



図-17 入居者とオーナーのコストメリット

5. ストック再生・活用を想定した感度分析

(1) 住宅形態による感度分析

ここまで 30 戸 5 階建×3 棟の集合住宅を想定して評価してきた。太陽光パネルの設置は屋上面積に依存するため、住宅形態による感度分析を行った。図-18 に結果を示す。需要家である 90 世帯を固定し、住宅形態を変化させた場合の各種削減率を算出した。

X軸の右方向ほど低く平らな住宅形態となり、逆に左方向ほど細く高い住宅形態となる。平らな形態になるほ

ど、どの指標の削減率も大きくなることわかる。特に CO_2 の削減効果の増大は顕著である。これは、屋上面積が大きくなることによって、太陽光発電による削減効果がより効いてくるためである。つまり、需要家一戸当たりの屋上面積が大きいほど、太陽光発電のメリットを大きく得られる。図-11, 13 の円グラフから、想定システムにおいて、太陽光発電の寄与度が大きいことが確認できているため、屋上面積を拡げて太陽光発電設備を増やすことは、各削減効果を高めるために有効な対策であることが示された。

(2) 生ごみ回収量による感度分析

次に生ごみ回収量による感度分析を行った。生ごみ回収率は、対象需要地である90世帯とコンビニ店舗分の生ごみの回収量を100%とし、周辺地域から生ごみを収集して利用した場合、100%を超えることとなる。0%のとき、生ごみ回収は行わず、CGSは都市ガスのみで運転されることになる。

図-19 によると、生ごみの回収率が大きくなるにつれて、各削減率が大きくなっている。これは、生ごみ回収量が増えてメタンガスの利用量が増すことで、都市ガスを節約できることによる。なお、メタンガス利用による CO_2 排出量はカーボンニュートラルの概念により算入していない。

図-19 の「☆」マークは、回収率100%に加えて大手スーパー店舗分の生ごみ回収量を加えた場合の削減率を示す。大手スーパーが重要地の近くに存在し、そこで発生する生ごみを収集して利用すると、およそ900%の回収率に等しいメリットを得られることになる。

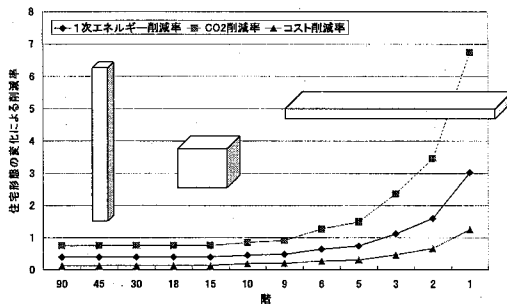


図-18 住宅形態による感度分析

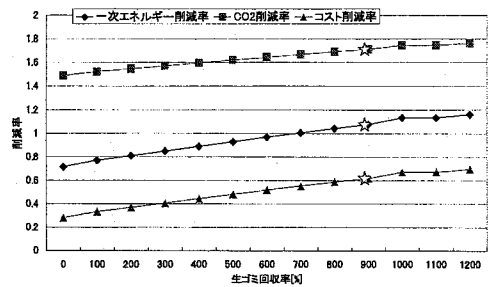


図-19 生ごみ回収量による感度分析

6. まとめと今後の課題

公的機関が設置主体となる集合賃貸住宅を想定して、太陽光発電システム (PV) と生ごみによるメタンガスを利用したガスエンジン・コージェネレーションシステム (CGS) を導入したエネルギー供給システムの評価を行った。その結果、以下のような結果が得られた。

- 1) 従来システムと比較して想定システムは、一次エネルギー、 CO_2 、コストのすべての指標において削減効果が表われた。
- 2) 一次エネルギー削減効果に対して、 CO_2 削減効果は、売電によって系統で変動可能な火力発電によるエネルギーの節約が見込めるため、火力平均の CO_2 排出係数を乗じることににより、相対的に効果が大きくなることがわかった。
- 3) コスト削減効果は、売電分により低い料金単価を乗じるために、相対的に効果が小さくなることがわかった。
- 4) 住宅のみを需要対象とした今回のケースでは、コージェネレーションシステムは熱主電従が電主熱従よりも各指標の削減効果が大きく表われた。
- 5) 住宅形態による感度分析の結果からは、住居形態 (屋上面積) の違いが太陽光発電の導入設置面積に大きく影響する様子を確認できた。
- 6) 生ごみ回収量による感度分析の結果からは、回収量の増加が CO_2 とコストの削減に大きく貢献することがわかった。また、大手スーパー店舗からの生ごみを回収し利用することは、900%もの回収率に等しい効果を得られることがわかった。
- 7) 投資回収年数を 20 年に設定した場合、家賃への上乗せ金額が 983 円から 1,513 円であれば、ユーザーとオーナーの双方メリットがあり、経済的には導入可能性があることがわかった。

今後の課題として、導入設備の規模による感度分析や、LCA 分析による環境負荷削減効果のより正確な値の検討、それによる最適システム設計等が挙げられる。

参考文献

- 1) 石田武志, 森俊介: 都市街区内におけるマイクログリッド等の分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築 第22回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, 2006.
- 2) UR 都市再生機構: ストック総合活用計画(2007年2月10日)
<http://www.ur-net.go.jp/press/udc/H13nendo/stock/index.html>.
- 3) 公団住宅 70-5N-2DK 型標準設計図, 日本住宅公団建築部
- 4) 尾島俊雄: 建築の光熱水原単位(東京版), 早稲田大学出版部, 1995.
- 5) 西部ガス(2007年2月2日):
<http://www.saibugas.co.jp/index.htm>
- 6) 九州電力株式会社(2007年2月10日):
<http://www.kyuden.co.jp/>
- 7) 環境省: 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(2007年2月10日)
<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>
- 8) 下水道研究部国土交通省都市・地域整備局下水道部: 国土技術政策総合研究所資料 ディスパーザー導入による影響判定に関する研究報告 No. 222, 2005.
- 9) 北口かおり, 清水康利, 豊貞佳奈子, 坂上恭助: 住宅用ディスパーザー導入による経済性評価 廃棄物学会論文誌 Vol. 17, No. 3, pp. 230-242, 2006.
- 10) 山本博巳, 藤野純一, 山地憲治, 岸田裕一, 横山伸也: バイオエネルギー利用技術の効率・コストに関する調査・分析, エネルギー・資源学会 18 回研究発表会講演論文集, 1999.
- 11) NEDO: 新エネルギー関連データ(2007年2月10日)
<http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>
- 12) 石崎美代子, 乙間末廣, 松本 亨: 太陽光発電システムの経済的成立条件に関する研究—全世帯太陽光発電付き賃貸マンションを事例として—, 環境システム研究論文, Vol. 34, pp. 193-198, 2006.

ESTIMATION OF EFFECT BY INTRODUCING DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM FOR REGENERATION AND UTILIZATION OF HOUSING STOCKS

Shotaro IIMORI, Toru MATSUMOTO, Xindong WEI, Tomoyuki MISHIMA

In this research, the objective is to assess from environmental and economical aspects, and to reveal issues for implementation of assumed distributed energy system for effective utilization of housing stocks. Concrete examination objective system was considered as introducing of photovoltaics system (PV) and gas cogeneration system (CGS). For CGS, methane gas produced by using the garbage from energy demand area would be prioritized used as fuels, and city gas would be used as compensation for the shortfall. The results shows, primary energy consumption, CO₂ emission and cost could be significantly reduced. Reducing effect of CGS mainly for heat is better than CGS mainly for electricity. Under assumptions that pay-back period is 20 years and occupancy rate is 100%, it is possible to set the price to make sure that the occupants and owners both could benefit from this system.