

発泡スチロール系漂着ゴミの資源循環システムのための 経済性評価基礎モデル

石田武志^{1†}, 石田雅照¹, 津田稔¹, 生駒信康²

Economy-evaluation model for a resource circulation system of polystyrene foam from marine debris

Takeshi Ishida¹, Masateru Ishida¹, Minoru Tsuda¹, and Nobuyasu Ikoma

This study developed a basic model to evaluate the economic efficiency of fuel recycle of polystyrene foam from marine debris. This model was developed using spreadsheets and the optimization calculation tool in Microsoft Excel. In this model, a resource - energy circulation system comprising three units was assumed: (i) a polystyrene foam liquefaction system, (ii) an industrial cogeneration system (CGS) of small scale factory, and (iii) a photovoltaic (PV) power generation of residential house. The developed model deduces the most economically efficient plan involving energy exchange between an industrial CGS plant and residential PV systems. The optimization results show the possibility of additional economic benefit of PV while keeping investment payback period of CGS and PV within a certain range. The economic benefit from implementing this energy exchange can also be reinvested to produce recycled oil from polystyrene foam or to collect coastal marine waste. The developed model showed the possibility of an economically viable recycle system of polystyrene foam from marine debris.

Keywords : Polystyrene foam, Marine debris, Cogeneration system, Photovoltaic, Microgrid

緒 言

沿岸部の漂着ゴミの状況と対応

日本全国に漂着する漂着ごみの総量は、環境省の推計では、約19万t~36万t(2014年時)であり、実際に回収されたゴミは5万tほどである¹⁾。特に九州東シナ海側や北海道東部は、周辺国からの漂着ゴミも多く、長崎県対馬市などの離島では、沿岸部が大量のゴミで埋まる状況も見られる。対馬市では沿岸部の事業系ゴミが多く、その中でも漁具として使用されている発泡スチロールが多く含まれている²⁾。沿岸部に漂着した発泡スチロールは、波力などで破碎され、そのプラスチック片が沿岸部岩場の間に堆積し、貝類やゴカイ類の生育環境を脅かしている³⁾ ことに加えて、このプラスチック片の破碎が進むと、5mm以下のマイクロプラスチックとなると考えられている。近年、マ

イクロプラスチックによる生態系への影響が懸念されるようになり、その実態調査などが進みつつある。このように、漂着ゴミは必ずしも景観だけの問題ではなく、生態系への影響も考えていく必要がある課題となっている。

このような中で、2009年7月に「美しく豊かな自然を保護するための海岸における良好な景観及び環境の保全に係る海岸漂着物等の処理等の推進に関する法律」(海岸漂着物処理推進法)が施行され、漂着ゴミの発生抑制や回収処理がすすめられている⁴⁾。対馬市では2009年度に環境省が設けた地域グリーンニューディール基金により、2010年度には約3億円の回収費用を投じて、約1万5千立方メートルの漂着ゴミを回収し、2011年度は約2億円の回収費用で約9千立方メートルを回収している⁵⁾。しかしゴミの回収は行政からの補助金を利用したボランティア活動により支えられており、予算不足から回収が進まない自治体も多い。

¹ 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University)

² NPO森里海再生協議会 (NPO Council for Environmental Revitalization of Forests, Villages and the Sea)

[†] 別刷り請求先 (corresponding author): ishida@fish-u.ac.jp

さらに、回収された漂着ゴミの処理についても課題が残されている。特に離島においては島内処分施設の不整備のため島外処理を行う必要があり、島外への運搬費が非常に高くなる。対馬市の事例では、 1.05m^3 の袋1袋当たり、島外への運搬費が約1万円と報告されている⁵⁾。このように、漂着ゴミの回収・処理において、補助金に頼る部分が多く、事業の継続性は、補助金の規模により決まる形となる。補助金が少なくなった場合、回収が進まなくなるとともに、回収されたゴミについても、最も費用がかからない山間地への埋立て処分方式になってしまうことが危惧されている。漂着ゴミは塩分や化学物質を吸着している場合が多く、そのまま山間地に埋立て処分を行うと、土壤汚染などの2次汚染につながる可能性も懸念される。

このため今後は、浮遊状態も含めた漂着ゴミの効率的な捕捉・回収技術と、事業採算性を踏まえた処理システムを検討していくことが必要である。回収については、池上⁶⁾によるゴミの補足・回収システムの開発などが進められたが、実用化には至っていない。また回収された漂着ゴミの再資源化については、発泡スチロールの油化装置の導入などが対馬市や沖縄県鳩間島などで試みられている⁷⁾。油化されたスチレン油は、油化装置の燃料に用いられるとともに、重油などと混焼して燃料として利用できる。また輸送費がかさむ発泡スチロールは、植物油を用いた脱塩・減容化技術の開発が川原、山口ら^{8,9)}により行われ、容積を1/50程度にできると報告されている。生駒¹⁰⁾は海洋浮遊ゴミの処理システムの省エネ・省力化の検討を行い、地域でゴミを処理して利用するミニエコ経済圏を提案している。

一般に漂着ゴミを回収・処理するためには、コストとエネルギーが必要である。しかし、現在の社会経済の枠組みや技術の選択肢の中では、必ずしも直接的な利益が得られ

ない漂着ゴミの再資源化を行う経済主体は、自発的には表れないことは明らかである。石田ら¹¹⁾は、太陽光発電などの分散エネルギーを地域内で連携して、エネルギー的に自立した「分散エネルギー・クラスター」を構築し、このクラスターが、資源を永続的に移動させる余剰エネルギーを生み出すことで、ゴミの再資源化を促進させる「資源循環エンジン」を提案している。このように、回収・資源化にかかるエネルギーは自然エネルギーを利用していくことが有効と考えられ、金子^{12,13)}らは、発泡スチロール減容化装置をオンサイトで使用するための、小型の垂直軸型風力発電機を作製している。この風力発電機により、漂着ゴミの回収現場で減容化を行うことができ、輸送費用の大幅な低減が可能となる。近年、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーは低価格化が進み、事業収益性が向上しており、ゴミ処理技術などと組み合わせても、採算性がとれる可能性が出てきていると考えられる。

また経済性に関してのもう一つの障壁は人件費である。漂着ゴミの回収・資源化事業においても人件費を考慮した場合、事業が成立しない状況であり、従来はボランティアに頼る部分が大きかった。しかし、事業の持続性を考えると、今後はIT技術による自動化や無人化を進めるとともに、仮にボランティアに依存する部分においても、その経済的なインセンティブを制度化していく必要がある。

漂着ゴミの資源循環のための経済性評価基礎モデル

本研究は、漂着ゴミの再資源化が事業として成立するための技術的条件、制度的条件および経済的条件を総合的に検討し、漂着ゴミの回収・利用が成立するための条件を明らかにする基礎モデルを開発することが目的である。具体的な評価対象は、発泡スチロール系の漂着ゴミに注目し、

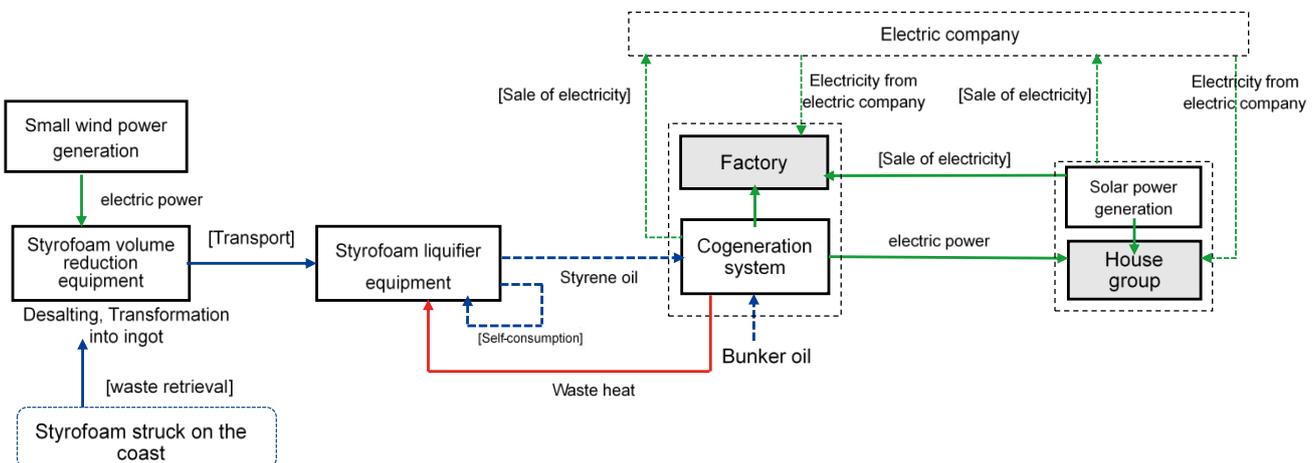


Fig.1 Outline of assumed waste collection and energy system

Fig.1に示すような発泡スチロール油化装置とコージェネレーションシステム (CGS)、太陽光発電 (PV) を組み合わせたものである。発泡スチロール系の漂着ゴミが沿岸部で回収・減容化 (同時に脱塩) され、収縮・固化した発泡スチロールを一か所に収集し、油化装置によりスチレン油を生成する。さらに、近隣に所在する事業所に設置されたA重油を燃料とするCGSと、PVが導入された住宅群の組み合わせを想定した。油化装置でつくりだされたスチレン油は、油化過程で自己消費されるとともに、余剰分はCGSの燃料として使用する。さらにCGSによる発電のうち余剰電力分は、住宅に供給されるとともに、PVによる余剰電力も事業所へ融通するシステムを考えた。廃プラスチック由来のスチレン油によるディーゼルエンジンの稼働については、溝口ら¹⁴⁾により、軽油とスチレン油の混合油で使った場合、スチレン油の混合割合で20 wt%まではディーゼル機関の燃料として使用可能であるとの報告がある。

今後、住宅用PVの固定価格買取制度が徐々に終了して行くことが想定され、住宅PVでの余剰電力を適切に地域内で消費することが求められていくと考えられる。Fig.1のような事業所のCGSと住宅PV間でのエネルギーの相互融通を考慮した最適化モデルによる評価で、より大きな省エネルギーが確保できることは石田¹⁵⁾の研究などにも報告されている。また、漂着ゴミなどから得られたスチレン油を用いることで、CGSの経済性をより向上することが可能となれば、その余剰利益を漂着ゴミ回収へと投じることができ、補助金などに頼らない資源循環が成立できる可能性があると考えられる。

本研究では、このような電力融通により採算性が成り立つ条件を明確にする基礎モデルをマイクロソフトEXCELベースに作成した。EXCELで作成することにより、最適化計算などを容易に実施できると共に、計算式を追っていくことで誰にでもわかりやすいツールとしても用いることができるモデルにすることができる。また、現状の国内の電力事業に係る法制度では、Fig.1に示すような住宅と事

業所の相互の電力融通と電力事業者からの電力購入を時間帯別に区切って利用することはできない状況であるが、今後固定価格買取制度が縮小し、小口電力においても自由売買市場へと移行することとなれば、時間帯別に任意の電力売買を行うことも可能になっていくと考えられる。本モデルでは、現状の電力価格体系に基づく経済性の評価のみならず、電力供給の制度変更により個別の電力融通が可能となった場合の経済性も考慮できるものであり、漂着ゴミの資源循環が経済的に成立する最適ポイントの探索を行い、その制度的条件も明確にできるツールとなるものである。

計算モデル

モデルの構成

Fig.1のエネルギーシステムを構成する要素のうち、Fig.2のシステムフローに示す範囲を最適化モデルの計算対象とした。計算対象としては、沿岸部の小型風力発電、発泡スチロールの減容化装置や油化装置を外して考えた。これはこの3つについては、価格などの情報が少なく、また経済性の評価も困難な状況であるためである。Fig.2におけるそれぞれの設備要素でのエネルギー及び資源の入出力をモデル化した。EXCELのシートの構成はFig.3のようになり、エネルギー設備間のエネルギーフローの最適値を求める総括シートの下に、計算に必要なエネルギー需給量 (事業所及び住宅)、電力・燃料単価、経済性を求めるシート群が作成されている。エネルギー需給については、季節別 (夏期、冬期、中間期別) 24時間値の区分で計算を行った (PVについてはこれに加え、晴れ・雨・曇りの気象別区分を導入している)。

一方で、Fig.2に示すシステムにおいて、経済性が成立し、余剰利益が確保できることがわかれば、その利益を回収・減容化・油化の各装置や作業に充てることが可能となり、補助金を削減しても活動が継続される環境を構築していくことが可能となると考えられる。

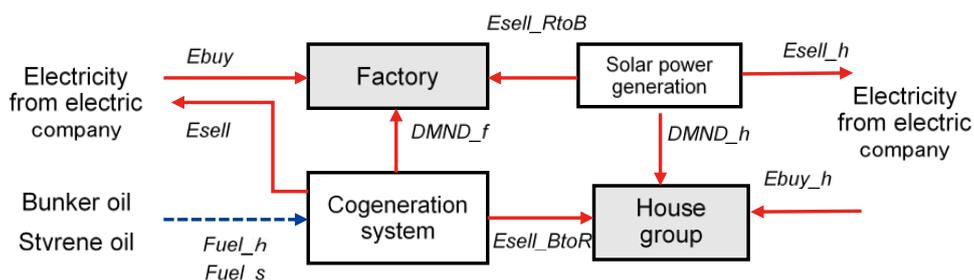


Fig.2 System flow of optimization calculation

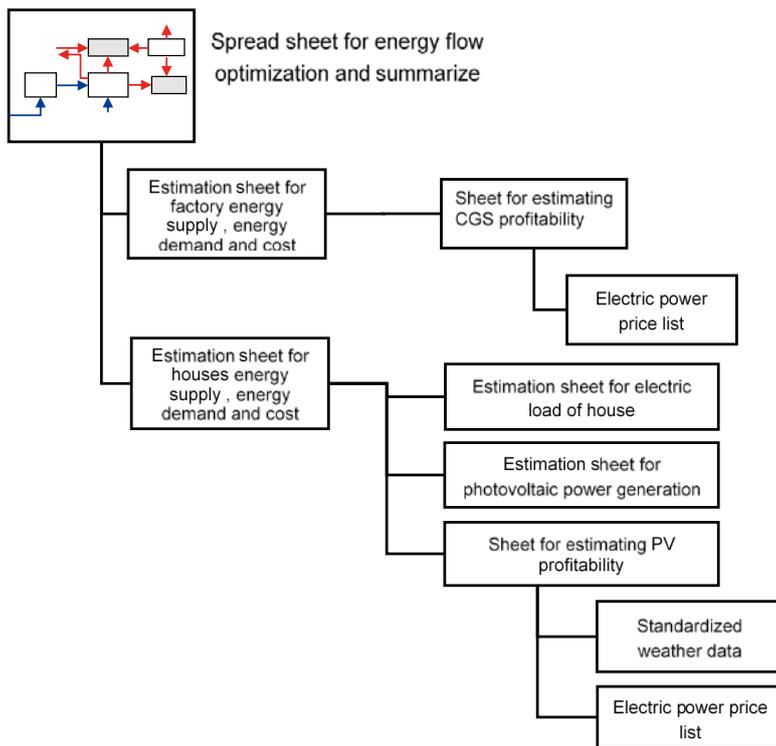


Fig.3 Spreadsheets constitution of optimization model

計算条件の設定

各シートでの計算内容と設定条件は以下のとおりである。

(1)エネルギーフロー最適化・総括シート

「エネルギーフロー最適化・総括シート」は、発泡スチロールの投入量、事業所CGSの発電容量、住宅PVの発電容量、住宅戸数、CGS電力の売電単価、PV電力の（事業所への）売電単価を入力すると、CGS及びPVの経済性（投資回収年数）が表示されるシートである。また、各要素間のエネルギーフローの計算値が表示されるようになっており、全体のエネルギーフローの状況が把握できるようになっている。Fig.4にシート画面の例を示す。黄色いセルが設定値であり、ピンク色のセルが経済性の計算結果が表示されているセルである。緑色のセルは、途中の計算値を示している。

また、EXCELの最適化計算ツール（GRG非線形モデル）を用いて、事業所のCGSの発電容量、住宅戸数、CGS電力の売電単価、PV電力の（事業所への）売電単価の4つを変数として、一定の回収年数の範囲内で、電力コストの削減（＝余剰利益）が最大になる最適値の計算も同時に実施できるツールとなっている。CGS回収年数は10年以内、PV回収年数は20年以内という制約のもとで計算を行っている。最適化計算のモデル式は付録に添付している。

また計算の前提となる発泡スチロールの回収量は、漂着

ゴミ量×発泡スチロール比率×回収率により算定した。本報告では、漂着ゴミ量365 t/年、回収率20%、発泡スチロール比率40%と想定し、減容化する量を1日80kgと仮定した。また再生されたスチレン油のうち、40%は油化装置で自己消費されると設定したため、CGSへのスチレン油投入量は32kg/日となる。

(2)事業所のエネルギー需給・コスト推計シート

このシートで事業所の1日24時間の電力需要を設定（季節変動がないと想定）するとともに、CGSの発電量、余剰発電の売電量、不足電力の購入量を推計した。またこれらの数値から、CGSの燃料消費量、購入電力料金、売電収入などを計算し、全ての電力を電力事業者から購入した場合と比較したエネルギーコストの低減額およびCGSの回収年数を計算している。現状の電力供給制度では、時間帯別に異なる電力事業者から電力を購入することはできないが、本推

計シートでは電力供給制度の提案も行うことを目指しているため、余剰電力が生じた時間帯のみ、住宅への電力の独自供給を検討できる設定とした。このときの電力の託送料金は考慮していない。

さらにCGS燃料については、油化装置からのスチレン油を無償で受け入れるとしている。CGSの熱は事業所内の生産設備や油化装置などで全て使い切れると想定した。小型のディーゼル発電CGSを想定し、発電効率は低位発熱量基準で40%、排熱回収効率は32%とした。事業所の電力需要は、昼間のみ稼働する中小規模の事業を想定し、以下のように設定し、事業所の需給の季節別変動はないとした。

事業所の電力需要（季節変動無し、365日稼働と想定）

昼間（8～18時）： 毎時200kWh

夜間（18～翌8時）： 毎時10 kWh

(3)住宅のエネルギー需給・コスト推計シート

住宅の1日24時間の電力需要値を基礎として、季節別（夏期、冬期、中間期）、天候別（晴れ、曇り、雨）に、PV発電量、余剰発電の売電量、不足電力の購入量を推計した。またこれらの数値から、購入電力料金、売電収入などを計算し、全ての電力について電力事業者と売電した場合と比較したエネルギーコストの低減額を計算した。また事業所と電力融通する住宅数は最適化計算により求めた。

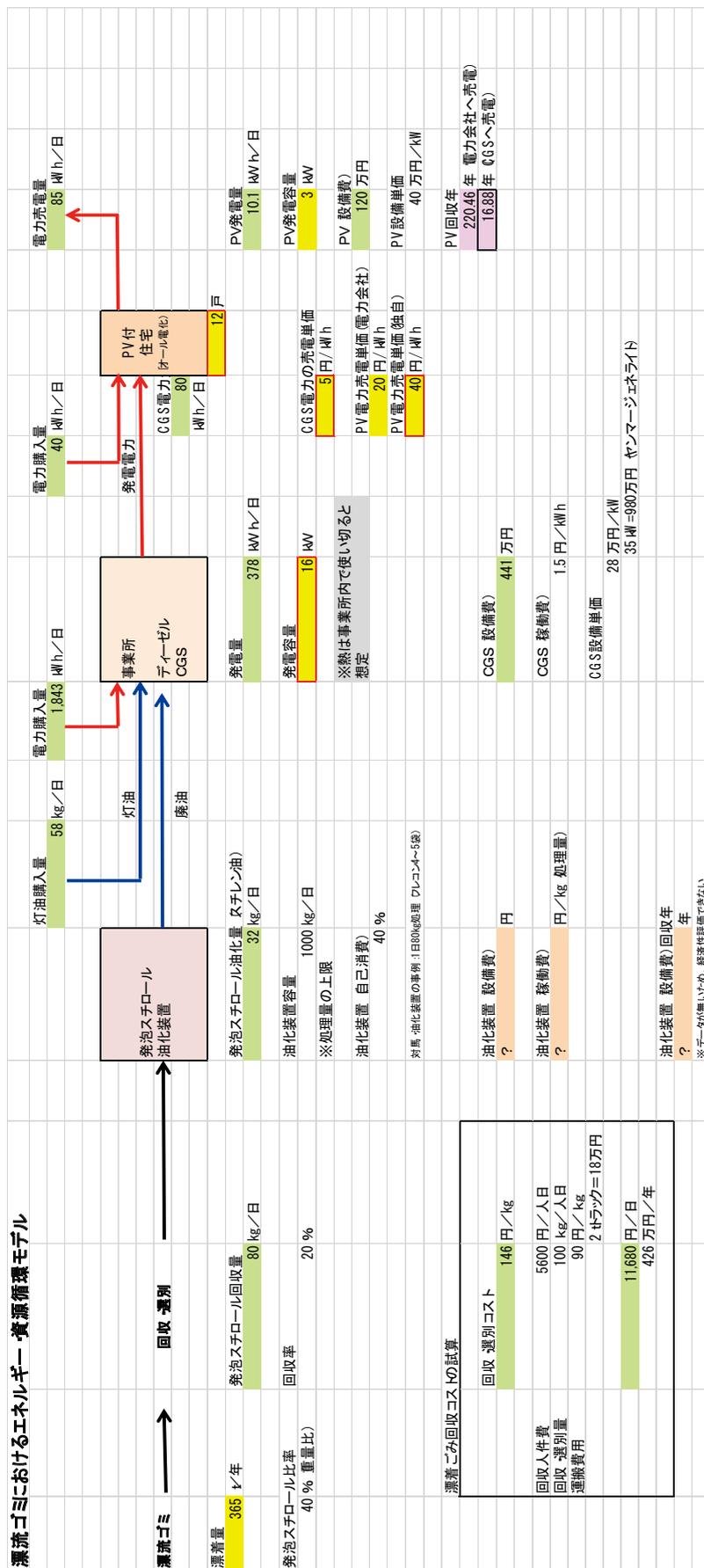


Fig.4 Screen Shot of energy flow summary sheet

(4)住宅負荷および電力需要量推計シート

本モデルでの住宅にはPVが設置されているものとし、都市ガス等を用いないオール電化住宅を想定した。住宅のエネルギー負荷は、住宅の床面積を100m²として、空調和・衛生工学会の原単位データ¹⁶⁾を用いて、季節別24時間値を空調用、給湯用、その他電力用として求めた。この負荷をベースに、空調用エネルギー負荷からCOP3.0の想定で割り戻し空調用消費電力量を求め、給湯用負荷からCOPが3.0の想定で給湯用消費電力量を求めた。そしてこれらを、その他電力負荷と合わせ住宅全体の電力需要量とした。Fig.5に本推計で用いた住宅のエネルギー需要量を示す。

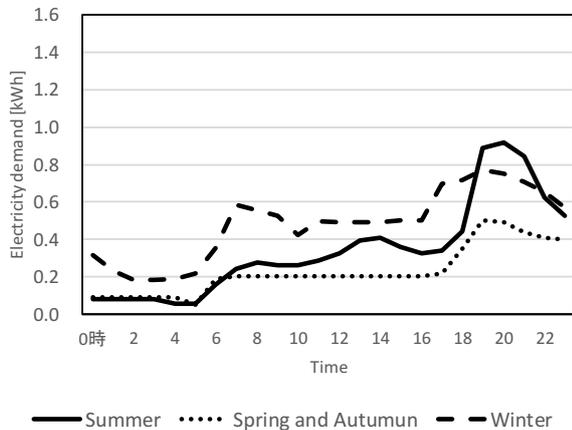


Fig.5 Assumed electricity demand of House

(5)PV発電量推計シート

日本建築学会 拡張アメダスデータにおける標準気象データ (365日別24 時間値, 福岡) の日射量データを用いて、PV発電量を時刻別に推計した。このときPVパネルは正南に向けて、水平から30°の角度で設置するとし、発電効率を14%として計算した。住宅用電力需給は季節別に計算を行うため、365日データの時刻別値から季節別・天候別の代表的な発電量を選定した。天候の出現率は、福岡管区気象台の天気出現率 (1980~2010年の月別平均) より、季節別の晴れ・曇り・雨の出現日数を求めた。

(6)CGS経済性推計シート

CGSの設備諸元と稼働状況より、購入電力+従来型ボイラーによるシステムと比べた場合の投資回収年数を推計した。計算条件は以下のとおりである。

・機器効率

CGS発電効率：0.40

CGS熱回収効率：0.32

年間稼働時間：8760h

従来型ボイラー効率：0.80

・経済単価

CGS 初期コスト = 280,000 円/kW

CGS 運転コスト = 1.5 円/kWh

燃料費 (A重油) = 52 円/ℓ

・事業用電力単価は、九州電力の離島供給約款の料金メニュー (低圧電力) を用いて、想定した事業所の電力需要より平均単価を推計し15.6円/kWhを用いた。

・CGSにより発電した電力の電気事業者への売電単価は5円/kWhとした。また、CGSから住宅に独自に電力を供給する電力単価は、最適化計算の変数として求めた。

(7)PV発電経済性推計シート

PVの設備諸元と稼働状況より、従来住宅の電力料金と比べた場合の投資回収年数を推計するシートを構築した。計算条件は以下のとおりである。

・PV発電容量 : 3kW/住宅

・PV初期コスト : 400,000円/kW

・電力事業者から従来住宅が購入する電力単価は、九州電力の離島供給約款の料金メニュー (電灯電力B) に基づき、住宅の電力需要より平均単価を推計し24円/kWhを用いた。

・電力事業者からPV住宅が購入する電力単価は、オール電化住宅用のメニューである、九州電力の離島供給約款の料金メニュー (季節別電灯) に基づき、昼間 (10~17時) 30円/kWh, 朝・夜 (8~10時, 17~22時) 23円/kWh, 深夜 (23~7時) 10円/kWhを用いた。

結 果

Table.1に最適化計算結果を示す。この結果から、CGSとPVの回収年数を一定以内に抑えながら、相互に電力を供給することで、PV住宅の電力削減による利益を最大にできるパラメータの組み合わせが存在することが分かった。本モデルでの設定の条件下においては、最適CGS容量が16kWと比較的小規模となっている。Fig.6には事業所における時刻別の電力需給状況を示している。図中の折れ線が事業所に電力需要であり、CGSの発電は昼夜を通じたベース電力となっており、昼間の電力不足分をPV住宅からの余剰電力で補い、夜間の余剰CGS電力をPV住宅に供

給していることがわかる。

Fig.7に最適値を中心にCGS容量を変化させた計算結果を示す。図中の赤線が容量の最適値を示している。年間

Table.1 Optimization calculation result

CGS capacity [kW]	16
Number of houses	12
Electricity selling unit price from CGS to house	5
Electricity selling unit price from PV to factory	40
Investment recovery year of CGS [year]	10.0
Investment recovery year of PV [year]	16.9
Annual profit [10,000yen]	79.6

の利益は、CGS容量が大きくなるほど向上するが、一方でCGS回収年数も増大していく。逆にPV回収年数は、CGS容量が大きくなるほど小さくなる。CGS容量が大きくなるほど、住宅へ供給する電力が大きくなり、PV回収年の低減につながっていると考えられるが、逆にCGS回収年数は増大してしまう形となる。これらの制約により最適値が定まっていることがわかる。Fig.8に最適値を中心に住宅戸数を変化させた計算結果を示す。図中の赤線が住宅数の最適値を示している。年間の利益は住宅数が最大の12戸で最大化されている。住宅数がこれより大きくなるとCGS回収年数が10年を超えてしまっていることがわかる。

Fig.9に最適値を中心に、事業所から住宅へのCGS売電

単価を変化させた計算結果を示す。図中の赤線がCGS売電単価の最適値を示している。年間の利益はCGS売電単価を低くすれば、それだけ住宅側の経済性が有利になり、年間の利益も最大化されるが、逆にCGSの経済性が悪化することがわかる。CGS回収年数の制約により、5円/kWhが最適値となっている。

Fig.10に最適値を中心に、住宅から事業所へのPV余剰電力の売電単価を変化させた計算結果を示す。図中の赤線がPV余剰電力売電単価の最適値を示している。年間の利

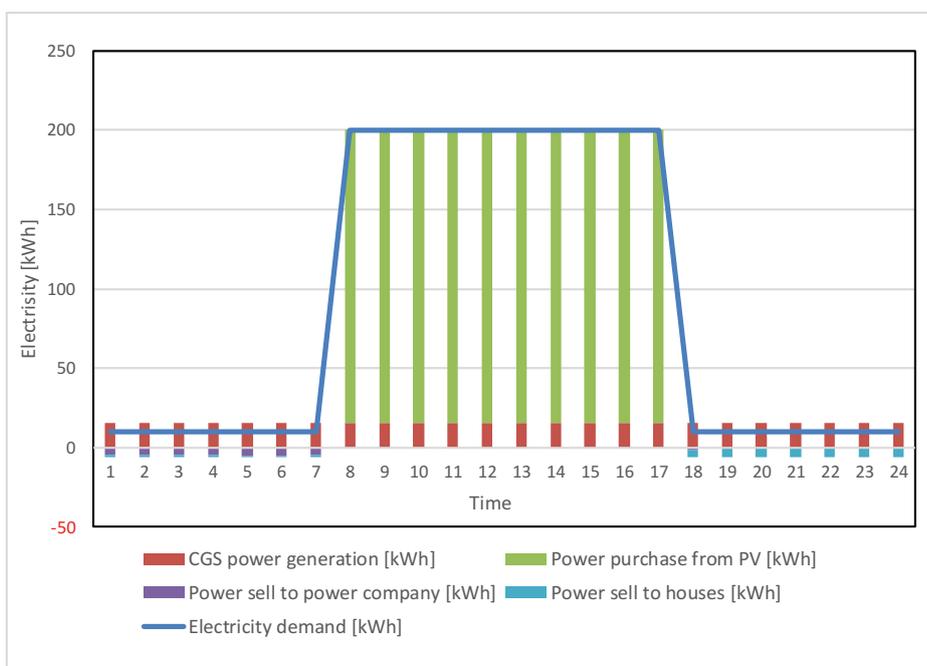


Fig.6 Calculation results of electricity supply and demand of factory

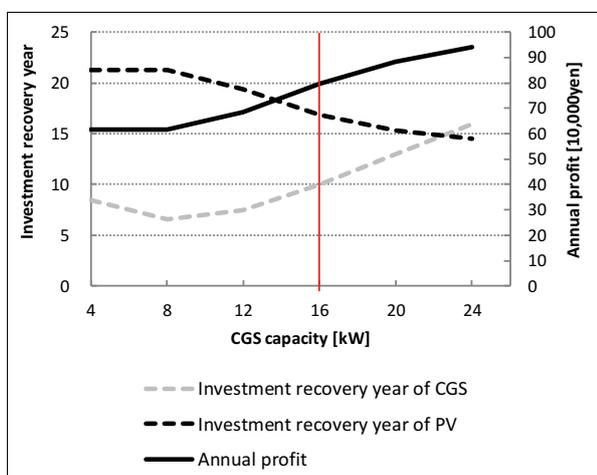


Fig.7 CGS and PV investment recovery years and annual electricity profit for CGS capacity

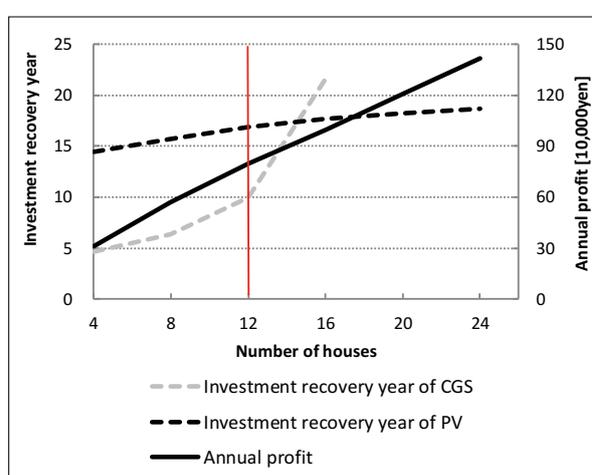


Fig.8 CGS and PV investment recovery years and annual electricity profit for number of house

益はPV電力の売電単価を高くすれば、それだけ住宅側の経済性が有利になり、PVの回収年数も短縮され、年間の利益も最大化されるが、CGS回収年数の制約により、40円/kWhが最適値となっている。売電単価としての40円/kWhは現状の住宅用電力単価の水準からみても非常に高い価格であり、事業所にとっては不利であるが、無償のステレン油の受け入れや、住宅への電力売電による稼働率の向上などにより、経済性を確保できている形となっている。

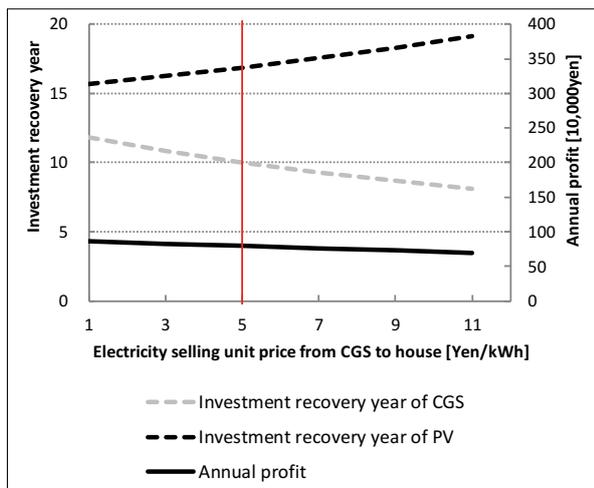


Fig.9 CGS and PV investment recovery years and annual electricity profit for electricity unit price from factory to houses

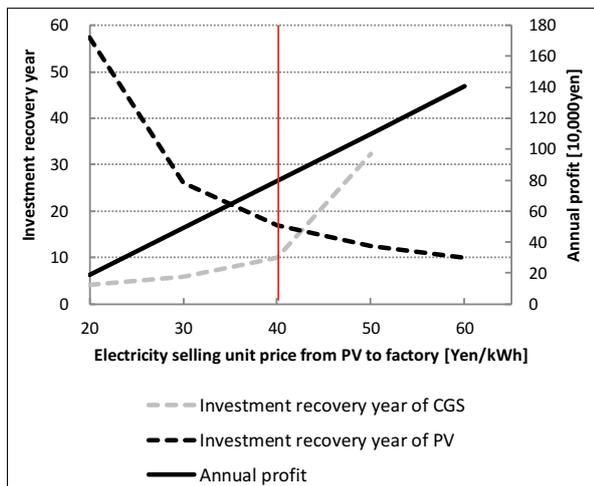


Fig.10 CGS and PV investment recovery years and annual electricity profit for electricity unit price from houses to factory

考 察

現状の再生可能エネルギーの固定価格買取制度のもとでは、電力事業者によるPV余剰電力の買取単価が高く設定されており、PV余剰電力を工場等の事業所に安く売電する選択は通常ではされない。しかし、固定買取価格は順次引き下げられてきており、今後は電力の市場取引価格に取れんしていくことが考えられる。市場取引価格が一定以下の安価な状況になれば、本モデルで計算した条件のほうが有利になり、事業所への電力融通による経済性の確保が現実的になっていくと考えられる。また電力自由化が進んでいるものの、夜間のみなど時間帯別に異なる電力事業者から電力を購入することは現在の制度ではできない。しかし、仮に時間帯別に工場等の事業所と住宅が電力を融通しあうことが制度的に可能になった場合、本報告で示したように、売電単価のバランス次第で採算が合い、さらに経済的な余剰を生み出す条件が実現できる可能性があると考えられる。

事業所のCGSの経済性については、ステレン油を無償で受け入れることができれば、経済性が向上することは明らかである。この経済性が向上した分を含めることで、Table.1に示すようにCGSの投資回収年数を10年以内と抑えつつ、同時にPVの投資回収年数も20年以内と、現状の電力事業者への売電と大きく変わらない条件を保つことができる条件が存在し、PV住宅の電力費削減をさらに上乗せさせることが可能であることがわかる。この電力費削減分を住宅側の利益としてもよいが、この利益を漂着ゴミの回収費用や、減容化装置、油化装置の初期コストの償却に用いることも有効であると考えられる。例えば、漂着ゴミの回収のボランティアに参加した住宅は、CGSから夜間安い電力を購入する権利が得られるなどの制度が仮にできれば、補助金に頼らない漂着ゴミ回収・再資源化サイクル事業の経済的な確立の道筋が見えてくると考えられる。本報告では、基本モデルの構築が主眼であったため、計算事例として1つの最適化結果のみの報告であったが、今度、様々な条件での計算を継続して行っていく必要がある。

現状の自然エネルギーに対する高い単価での買取制度は、一般の需要家の電力料金にその負担が付加されており、今後永続的に続くことは考えにくい。いずれは、自然エネルギーによる余剰電力も、電力の自由市場のもとでの価格で売買されることになると考えられ、本報告で検討したような電力融通が経済的に選択される可能性も高くなっていくと考えられる。また、時間帯別に電力事業者を選択する

などについては、スマートメーターの普及により可能となり、時間帯別の売買決済などは、ブロックチェーン技術やフィンテック（Fintech）技術の普及などにより、技術的には将来可能となると考えられる。このように電力市場の制度の工夫により、漂流ゴミなどの資源循環の経済性が成立する可能性があると考えられる。

結 論

本報告では、漂流ゴミを評価対象とした資源・エネルギー循環モデルの基礎を構築し、比較的簡易に最適化計算を実施できるEXCELツールとして実装した。現状の制度では、事業所とPV住宅間での個別の電力融通は困難であるが、今後の法制度の変更、小口電力市場の創設などにより、漂流ゴミの回収・再資源化という資源循環が経済的に成立する可能性があることを示すことができた。本報告でも明らかになったように、再生可能エネルギーの導入政策にお

いては、単に発電設備の普及を目指しただけの価格設定ではなく、資源循環全体を考慮して、余剰電力などのエネルギー融通に対する価格設定や補助制度などの制度設計を行っていく必要があると考えられる。

また本モデルでは、発泡スチロールの減容化装置や油化装置の初期コストの設定については、情報不足のため考慮していないが、住宅において一定の電力代削減効果が得られれば、その利益を用いることで、ゴミ処理システムの経済性を確保していくことが可能であり、今後より詳細なケーススタディを検討していく必要がある。

さらに、漂流ゴミの資源循環システムとしては、減容化した発泡スチロールや漂流木材をバイオマス発電の燃料として利用する方法もあり、多様な再資源化システムを考えることができる。このため本モデルを多様なシステムを検討できるものに拡張し、様々な経済性の検討、加えてその経済性を実現するための法制度等の提言をしていくことを考えている。

付 録

(最適化モデル式)

(添字)

i : 季節 (夏期, 冬期, 中間期), j : 時刻 (1-24時), k : 天候 (晴れ, 曇り, 雨)

(気象変数)

$Sun_{i,j,k}$: 日射量

(エネルギー負荷変数)

$DMND_{f_{ij}}$: 事業所の建物電力負荷

$DMND_{h_{ij}}$: 住宅の電力負荷

(機器の変数)

n : 住宅数

Pv_{ij} : 太陽光発電量 (一戸当たり)

PV_CAP : 太陽光発電容量

CGS_{ij} : CGS発電量

CGS_CAP : CGS容量

(エネルギー融通量の変数)

$Esell_BtoR_{ij}$: 事業所から住宅群への売電

$Ebuy_RtoB_{ij}$: 住宅群から事業所への売電

(エネルギー購入量の変数)

Ebuy_{ij} : 系統からの電力購入量 (事業所)

Esell_{ij} : 系統への売電量 (事業所)

Fuel_{h_{ij}} : 重油消費量合計 (事業所)

Fuel_{s_{ij}} : スチレン油消費量合計 (事業所)

Ebuy_{h_{ij}} : 系統からの電力購入量 (住宅)

Esell_{h_{ij}} : 系統への売電量 (住宅)

Ebuy_{cost_{ij}} : 系統から事業所への買電単価

Esell_{cost_{ij}} : 事業所から系統への売電単価

Ebuy_{h_{cost_{ij}}} : 系統からPV住宅への買電単価

Esell_{h_{cost_{ij}}} : PV住宅から系統への売電単価

Esell_{BtoR_{cost_{ij}}} : 事業所から住宅群への売電単価

Ebuy_{RtoB_{cost_{ij}}} : 住宅群から事業所への売電単価

CGS_{payback} : CGS投資回収年

PV_{payback} : PV投資回収年

(係数)

c_{cgs_eff} : CGS発電効率

c_{cgs_h} : CGS熱回収率

pv_eff : PV発電効率

c_{cgs_cost} : CGSの初期コスト

pv_cost : PV初期コスト

fuel_cost : 重油単価

styrene_cost : スチレン油コスト (=0)

(事業所のエネルギー機器のエネルギー入出バランス式)

$$CGS_{ij} \leq CGS_CAP$$

$$CGS_{ij} = Fuel_{ij} \times c_cgs_eff$$

$$Ebuy_{ij} + CGS_{ij} - Esell_{ij} - Esell_BtoR_{ij} = DMND_f_{ij}$$

(住宅のエネルギー機器のエネルギー入出バランス式)

$$PV_{ij,k} \times n \leq PV_CAP \times n$$

$$PV_{ij,k} = Sun_{ij,k} \times pv_eff$$

$$\sum_k (Ebuy_h_{ij,k} + PV_{ij,k} - Esell_h_{ij,k} - Esell_RtoB_{ij,k} + Esell_BtoR_{ij,k}) \times n = DMND_h_{ij} \times n$$

(CGSの経済性の制約式)

$$\text{CGS_payback} = \text{c_cgs_cost} / \sum_{ij} ((\text{DMND}_{f_{ij}} \times \text{Ebuy_cost}_{ij}) - (\text{Ebuy}_{ij} \times \text{Ebuy_cost}_{ij} - \text{Esell}_{ij} \times \text{Esell_cost}_{ij} - \text{Esell_BtoR}_{ij} \times \text{Esell_BtoR_cost}_{ij} + \text{Fuel}_{h_{ij}} + \text{Fuel}_{s_{ij}}))$$

$$\text{CGS_payback} \leq 10 \text{ (年)}$$

(PVの経済性の制約式)

$$\text{PV_payback} = \text{pv_cost} / \sum_{ijk} ((\text{DMND}_{h_{ij}} \times \text{Ebuy_h_cost}_{ij}) - (\text{Ebuy}_{h_{ijk}} \times \text{Ebuy_h_cost}_{ijk} - \text{Esell}_{h_{ijk}} \times \text{Esell_h_cost}_{ijk} - \text{Esell_RtoB}_{ijk} \times \text{Esell_RtoB_cost}_{ijk} + \text{Esell_BtoR}_{ijk} \times \text{Esell_BtoR_cost}_{ijk}))$$

$$\text{PV_payback} \leq 20 \text{ (年)}$$

(目的関数) 住宅における電力コスト削減 (=利益) の最大化

$$\text{Max} \sum_{ijk} ((\text{Ebuy}_{h_{ijk}} \times \text{Ebuy_h_cost}_{ijk} - \text{Esell}_{h_{ijk}} \times \text{Esell_h_cost}_{ijk} - \text{Esell_RtoB}_{ijk} \times \text{Esell_RtoB_cost}_{ijk} + \text{Esell_BtoR}_{ijk} \times \text{Esell_BtoR_cost}_{ijk}) - (\text{A}_{ijk} + \text{B}_{ijk}))$$

$$\text{if } (\text{PV}_{ijk} - \text{DMND}_{h_{ij}}) \geq 0 \text{ then } \text{A}_{ijk} = (\text{PV}_{ijk} - \text{DMND}_{h_{ij}}) \times \text{Esell_h_cost}_{ij}, \text{ else } \text{A}_{ijk} = 0$$

$$\text{if } (\text{DMND}_{h_{ij}} - \text{PV}_{ijk}) \geq 0 \text{ then } \text{B}_{ijk} = (\text{DMND}_{h_{ij}} - \text{PV}_{ijk}) \times \text{Ebuy_h_cost}_{ij}, \text{ else } \text{B}_{ijk} = 0$$

謝 辞

本論文のテーマについて考える契機を与えていただき、また様々な情報をお教えいただきました、日本マリンエンジニアリング学会「沿岸域廃棄物の再資源化に関する調査研究委員会」の川原秀夫委員長(大島商船高等専門学校教授)、および委員の皆様へ感謝申し上げます。

文 献

- 1) 内外地図株式会社「環境省委託業務 平成27年度漂着ごみ対策総合検討業務報告書」(2016)
- 2) 片岡 孝次, 生駒 信康: 発泡スチロール製品の国内需要とリサイクルおよび漂着発泡スチロールのリサイクルの可能性, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 574-578 (2017)
- 3) 三原 伊文: マイクロプラスチック, ミリプラスチック, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 566-568 (2017)
- 4) 石田 雅照, 三原 悠, 三原 伊文: 漂着ゴミに関する規制の動向, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 560-565 (2017)
- 5) 脇本啓喜, 三原伊文, 三原叶也: 対馬市における海洋・海岸汚染の現状と課題及び展望について, 日本マリンエンジニアリング学会誌 49, 2, 170-172 (2014)
- 6) 池上国広, 平山完, 利光一紀, 海洋浮遊ゴミの補足・回収システムの開発, 日本マリンエンジニアリング学会誌 49, 2, 179-184 (2014)
- 7) 宇野秀敏: 発泡スチロールから燃料 ~宝の島を夢みて~, 食品と容器, 52, 8, 496-501, (2011)
- 8) 川原 秀夫, 山口 伸弥, 三原 伊文: オイルバスを利用した発泡ポリスチロール廃棄物の脱塩・減容化特性, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 569-573(2017)
- 9) 山口伸弥, 他: 地産地消を目指す発泡ポリスチレンの減容化について, 日本マリンエンジニアリング学会誌 49, 2, 185-187 (2014)
- 10) 生駒信康: 海洋浮遊ゴミの処理システムにおける省エネ・省力化の検討, 日本マリンエンジニアリング学会誌 49, 2, 196-199 (2014)
- 11) 石田 武志, 石田 雅照: エクセルギー・エントロピー

過程から考える海洋ゴミの再資源化 - 分散エネルギーで駆動する“資源循環エンジン”の提案, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 579-584 (2017)

- 12) 金子 憲一, 朴 忠植: 再生可能エネルギーを利用した資源化处理 - FGV付垂直軸型風車性能と浮体構造型電源の提案, 日本マリンエンジニアリング学会誌 52, 5, 585-589 (2017)
- 13) 岡田怜, 金子憲一: 垂直軸型風力タービンの応用と性能改善に関する研究, 日本マリンエンジニアリング学会誌 49, 2, 191-193 (2014)
- 14) 溝口弘泰, 長谷川勝男, 古川秀雄, 宇野秀敏, 大貫 伸: 「漂着ゴミ」由来の廃プラスチック混合油を使用したディーゼル機関の燃焼特性, 水産技術, 3, 1, 27-36 (2010)
- 15) 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, エネルギー資源学会論文誌, 29, 1 (通巻167), 8-14 (2008)
- 16) (社) 空気調和・衛生工学会: 「都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価」 (1994)