

広域低炭素社会に向けた地域分散型エネルギーシステムの構築に関する研究

北九州市立大学・国際環境工学部・建築デザイン学科・エンジニアリング・アドバイザー 任 洪波

1. 研究の目的

本研究では、中国におけるパイロットモデル事業の提案、分析を通じて、地域性を考慮した国内地域間の連携によるローカルな低炭素化および日中両国間の連携による広域的低炭素化社会の実現可能性について実証し、国際互惠補完型広域低炭素社会モデルを構築することを目的とする。具体的には、パイロットモデル地域におけるエネルギー・資源システムの基礎情報を収集し、分析を行うことにより、地域のエネルギー需要に応じた低炭素エネルギー・資源システムの導入支援ツールを開発する。具体的には、収集・整理したモデル地域におけるエネルギー・資源技術及び地域特性等をベースに、モデル地域における各種自然エネルギーの電力への変換ポテンシャルと廃棄物、バイオマスなどのエネルギー供給ポテンシャルの評価を行い、再生可能な自然エネルギーとバイオマスからのエネルギーを対象として地域エネルギー・資源の最適化を行った。これらの利用可能なエネルギーと地域でのエネルギー消費構造の特性に基づいて、小規模分散型エネルギーシステムの可能性を検討すると共に、地域エネルギー統合モデルを構築し、市内各地域でのローカルなエネルギー供給システムの設計とその最適化を目指し、省エネルギー性、環境保全性及び経済性の面からその導入可能性と効果を総合的に評価できる手法を開発した。以上の解析ツールを用いて、パイロットモデルとして湖州市における地域分散型エネルギーの最適導入及び運用を検討する。また、途上国の自助努力には限界があると考え、技術移転及びクリーン開発メカニズム（CDM）の活用などを通じて、日中互惠関係によるパイロットモデル事業を推進するための方策について検討する。これにより、中国における中長期エネルギー戦略を提示し、日中に跨るアジア地域の低炭素社会建設を誘導する政策提言などが期待される成果として挙げられる。また、政策提言への強い意識を持つ本研究は、社会変化の動向を的確に捉え、詳細な定量分析を行い、的確な対策の立案と施策提言を行う。

2. 研究の内容(手法、経過、評価など。)

本研究では、下記①～④の具体的な研究内容がある。

① 地域エネルギー資源のデータベースシステムの構築

アンケートとヒアリング等により、日本における地域分散型エネルギーシステムの実態を調査し、日本における分散型エネルギーシステムと技術の問題点を明らかにしたうえで、関連技術と評価手法を収集する。

また、既存の都市統計年鑑、都市計画図、エネルギー統計などの関連資料を基に、中国のモデル地域における分散型エネルギー技術導入のためのデータベースの枠組みを確定する。さらに、現地調査を通じて、現状のエネルギーシステム、エネルギー消費の特性、エネルギー価格等をより詳細に把握したうえで、地域におけるエネルギーマップの作成を行う。

② 地域分散型エネルギー技術導入支援ツールの開発

収集・整理した日本における分散型エネルギー技術及びその評価手法をベースに、中国における分散型エネルギー技術導入支援ツールを開発し、省エネルギー性、環境保全性、経済性の面からその導入可能性と効果を総合的に評価できる手法も開発した。

図1に示すように、地域における電気、ガスなどエネルギー供給料金システム、デマンドサイドの熱、電負荷、分散型エネルギー利用の技術情報を整備する。その上でモデルの最適化を行ない、最適な設備構成と容量を求める。最適化の目標として、設備コストと運用コストを含んだトータルコストを最小にすることとした。また、エネルギー資源の供給と需要のバランスを考慮して、設備容量、供給価格、供給内訳及びコストを解析して、複合要素から成り立つエネルギーシステムの運用特性を検討する。解析の対象期間は、計算時間刻みを1時間として、計1年間（8,760時間）としている。

2. 研究の内容(続き)(書ききれない場合には、同一形態のページを追加しても結構です。)

$$\text{Min } C_{\text{Total}} = C_{\text{Elec}} + C_{\text{Fuel}} + C_{\text{Inv}} + C_{\text{OM}} + C_{\text{Ctax}} - C_{\text{Sal}} \quad (1)$$

ここに、 C_{Total} = トータルコスト、 C_{Elec} = 商用電力からの買電費用、 C_{Fuel} = ガスなどの燃料購入費用、 C_{Inv} = 分散型エネルギー技術の初期投資費用、 C_{OM} = システムの運転維持費用、 C_{Ctax} = 炭素税費用、 C_{Sal} = 分散型エネルギーシステムの売電収入。

$$C_{\text{load}}_{m,d,h,u} = \sum_i EGen_{i,m,d,h,u} + PElec_{m,d,h,u} + \beta_u \cdot PFuel_{m,d,h,u} + \sum_i (\gamma_{i,u} \cdot RHeat_{i,m,d,h,u}) \quad \forall i, m, d, h \quad (2)$$

ここに、 $C_{\text{load}}_{m,d,h,u}$ = 月 (m)、時間帯 (日 d、時刻 h) 及び最終用途別 (u = 電力・冷房・暖房・給湯) のエネルギー消費量、 $EGen_{i,m,d,h,u}$ = 分散型エネルギー技術 (i) の月・時間帯・用途別の発電量の自家消費量、 $PElec_{m,d,h,u}$ = 月・時間帯・用途別の買電量、 $PFuel_{m,d,h,u}$ = 月・時間帯・用途別の燃料購入量、 $RHeat_{i,m,d,h,u}$ = 技術別・月・時間帯・用途別の熱回収量、 β_u = 購入された燃料から有効な利用熱量の割合、 $\gamma_{i,u}$ = 技術 (i) から回収された排熱の有効な利用熱量の割合。

$$\sum_u EGen_{i,m,d,h,u} + ES_{i,m,d,h} \leq DERMaxp_i \quad \forall m, d, h \quad (3)$$

ここに、 $ES_{i,m,d,h}$ = 技術別・月・時間帯・用途別の分散型エネルギー技術の発電量の売電電力量、 $DERMaxp_i$ = 技術 (i) の定格発電容量。

モデルの構築には汎用最適化ツール LINGO を利用し、目標関数及び制約条件によって混合整数線形最適化を行う。

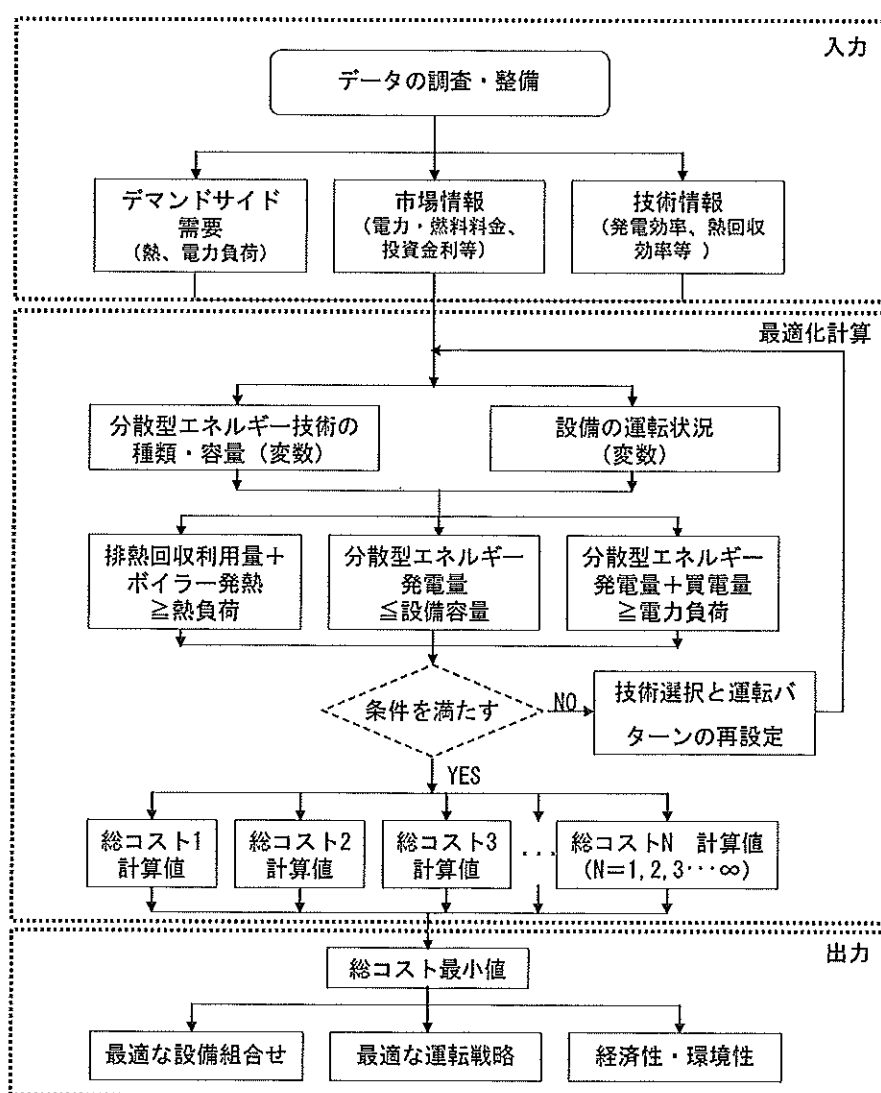


図1 導入支援ツールの計算フロー

③ 国際互惠型パイロットモデル事業の仕組みの構築

中国などのアジア発展途上国において酸性雨等のローカルな環境問題と地球温暖化等のグローバルな環境問題の両者の解決を図るためには、日本などの先進国の有する優れた省エネルギー技術及び新エネルギー技術を導入することが有効であると考えられる。しかし、民間企業が所有する技術の移転は移転国の国際競争力の低下、産業・技術の空洞化を招きかねない、という問題がある。さらに、途上国の知的所有権の適切な保護や資金供給の体制不備など障害要因が多く、技術移転はあまり進んでいないといわれている。

そこで、技術移転を促し、また移転された技術を効率よく活用するには、市場経済メカニズムを活用し、国際互惠型の実施の仕組みを構築すべきである。図2に示すように、先進国は技術及び蓄積したノウハウを移転し、双方が途上国の実態に即した技術や装置及び管理システムなどを共同開発する。ここでは、技術移転費用は双方が負担し、移転後の便益も双方が享受する。この便益には、エネルギー利用効率の向上によるエネルギー費用の削減（経済性の改善効果）とSOx、NOxなどの大気汚染物の削減（地域環境の改善効果）及びCO₂排出の削減（地球環境の改善効果）が含まれる。便益が費用を上回れば、市場経済原理によっても技術移転が可能となるはずである。具体的には、先進国側は同プロジェクトに対する資金・技術面での貢献度合いによりCO₂などクレジットを獲得できる。一方、途上国は温室ガス削減目標を持たないため、CO₂クレジットに無関心ではあるが、SOx、NOxなどの削減から環境利益をもらい、更に国内SOx排出権取引により、効率的にSOxなどの排出量を削減することを目指す。また、先進国からの資金・技術の投入による省エネ効果などによる経済利益も環境利益と同様に双方が分け合うことができる。

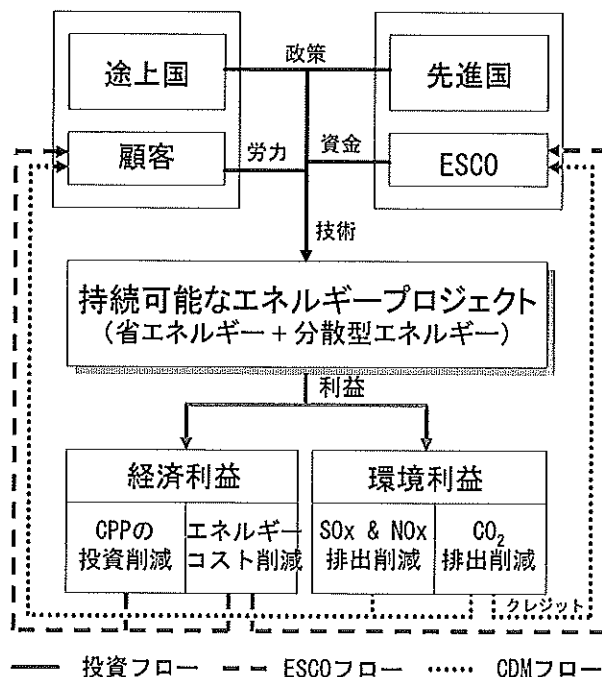


図2 国際互惠型パイロットモデル事業を実施する場合の資金と利益の流れ

④ パイロットモデル地域への適用

パイロットモデル地域である中国浙江省・湖州市において、基礎データの収集・整理を行った上、地域分散型エネルギーシステムを提案した。また、提案した地域分散型エネルギーシステムにおいて、開発した導入支援ツールを用いて、パイロットモデル地域を対象に、効率的な地域分散型エネルギー技術導入のケーススタディを行い、その効果を検証する。更に、技術移転及びCDMの活用などを通じて、日中互惠関係によるパイロットモデル事業を推進するための方策について検討した。

3. 研究の結論、今後の課題

本研究では、今後の地域インフラとして定着しつつある分散型エネルギー資源の導入による大きな省エネルギー・環境効果に着目し、それらのシステムの導入及び計画設計を支援するツール開発を行った。具体的に、地域における電気・ガスなどエネルギー供給料金システム、デマンドサイドの熱・電負荷、分散型エネルギー利用の技術情報を整備する。その上でモデルの最適化を行ない、最適な設備構成と容量を求める。最適化の目標として、設備コストと運用コストを含んだトータルコストを最小にすることとした。この解析ツールを利用して、中国湖州市のモデル地域に適用するケーススタディを行ない、民生部門への分散型エネルギーの最適導入及び運用について分析を行った。

本研究の結果により、中国における分散型エネルギーの導入は良い環境性を持っているが、経済的なメリットは限定的である。分散型エネルギー技術の初期投資は高いため、現段階において最も現実的な技術は天然ガスコージェネレーションシステム（CGS）などの成熟技術である。また、分散型エネルギーの導入により、CO₂排出量はある程度削減できるが、費用対効果の視点から見ると、天然ガス CGS は現行の最適な選択である。太陽光発電・バイオマスなどの再生可能エネルギーを導入すると、CO₂削減コストは全て高いレベルになっている。更に、シナリオ分析によって、国際互恵の一環としてのクリーン開発メカニズム（CDM）などの活用により、当地域への分散型エネルギーの導入を促進することができることを明らかにした。

今後の課題として、今回検討する都市の個別改善努力では限界に達している現状を打破し、エネルギーと資源の地域内循環を生む都市・農村の有機的連携による地域の低炭素エネルギーシステムへの道筋を示すことである。また、本文では、線形計画手法を用いており、部分負荷により発電効率の変化には対応しておらず、今後本文の手法を改善し、非線形型のモデルにも適用できるように研究していくことが望まれる。

4. 成果の価値(とくに判りやすく書いてください。)

4. 1. 社会的価値

本研究の実施により、従来のエネルギーシステムに比べ、地域の一次エネルギー消費は約3割、CO₂排出量は2割以上の削減効果が予測される。また、本研究は中国における省エネルギーと環境改善に寄与するのみならず、日本の優れた技術やノウハウを中国に適用することによって、日本のエネルギー安定供給や環境への影響を最小限に抑えることが期待される。さらに、CO₂の排出量が世界第1位の中国に対して、省エネルギー化支援を通じて、地球環境問題の改善にも寄与できるものである。

4. 2. 学術的価値

日本での中国における分散型エネルギーに関する研究は、分散型エネルギー技術(太陽光・風力などの再生可能エネルギー)を考慮した研究は極めて少ない、一方、中国では、分散型エネルギーに関する研究は未だ定性分析に留まって、分散型エネルギー導入の必要性や制約要因などの政策課題に関する検討が多く、現実的に需要家にとって最適なシステム構成や運用戦略に関する評価はまだ十分ではない。特に都市・農村連係と国際互惠の視点を取り入れた研究、また地域のエネルギー安定供給と低炭素社会実現の視点からの検討は、皆無である。本研究成果は、中国における地域分散型エネルギー技術導入支援ツールを開発し、日本の優れた技術やノウハウを中国に適用する可能性を検討し、炭素税やCDMなどの導入促進策を分析したもので、低炭素パイロットモデルの構築を通じて、理論的、実証的両面から国際互惠型広域低炭素社会の構築に寄与できるものである。

4. 3. 成果論文(本研究で得られた論文等を年代順に書いてください。未発表のものは公表予定を書いてください。)

- 1) Hongbo REN, Weisheng ZHOU, Ken'ichi NAKAGAMI and Weijun GAO, Integrated design and evaluation of biomass energy system taking into consideration demand side characteristics, Energy, Vol.35(5), pp 2210-2222, May. 2010
- 2) Hongbo REN, Weisheng ZHOU, Weijun Gao and Qiong Wu, Transition to an International Reciprocal Energy System through the Combination of ESCO and CDM: A Case Study of Introducing Distributed Energy Resources in Chinese Urban Areas, 9th International Conference on Sustainable Energy Technologies: Shanghai, China, Aug. 2010
- 3) 周瑋生, 仲上健一, 蘇宜銘, 任洪波, 「東アジア低炭素共同体」構想の政策フレームと評価モデルの開発. 環境技術(環境技術学会). Vol. 39(9), pp. 536-542, 2010年9月
- 4) 任洪波, 小泉國茂, 周瑋生, 仲上健一, 加藤久明. 都市農村連携による分散型エネルギーシステムと国際資源循環. 環境技術(環境技術学会). Vol. 39(9), pp. 543-548, 2010年9月
- 5) Hongbo REN, Weisheng ZHOU, Ken'ichi NAKAGAMI, Weijun GAO and Qiong Wu, Feasibility Assessment of Introducing Distributed Energy Resources in Urban Areas of China, Applied Thermal Engineering, Vol.30(16), pp 2584-2593, Nov. 2010
- 6) Hongbo REN, Weisheng ZHOU, Ken'ichi NAKAGAMI, Weijun GAO and Qiong Wu, Multi-objective Optimization for the Operation of Distributed Energy Systems Considering Economic and Environmental Aspects, Applied Energy, Vol.87(12), pp 3642-3651, Dec. 2010