

社会的厚生と地域の観点に基づく多品質エネルギーネットワークの研究

環境システム学専攻 環境システム情報学分野

56741 河野孝史

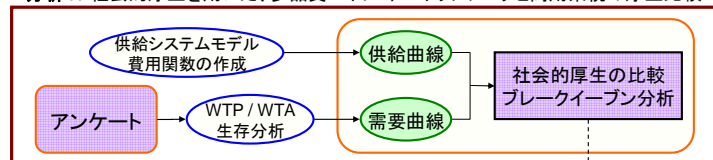
1. 序論

2005 年度、我が国の民生部門のCO₂排出量は 1990 年度比で 40.5%増加しており、石油危機以降対策を進めてきた産業部門の-3.2%と比較して急激な拡大を続けている。近年その対策として新エネルギーをはじめとする分散型エネルギーシステムが注目されており、分散型電源の特徴(低品質かつ低密度)に焦点を当てた普及促進策が望まれている^[1]。

既往研究の動向としては、システムコストの最小化分析や個別具体事例への適用結果の分析等が目立つ。しかしながら、より低い品質のエネルギーへの需要の存在を確かめるといふ点と個別解だけでなく地域(需要家集団)を一般的に論じるという点において、それが焦点となっている研究事例はほとんど存在しない。

本研究の目的は、民生部門のエネルギー高効率利用を促進するため、多品質需要の定量化と地域の一般化の観点から、多品質エネルギーネットワークを総合的に研究することである。具体的には、需要の定量化のためにアンケートを実施する。また社会的厚生に基づき供給システムの選択問題を解く。さらに地域別品質別に需給モデルを作成し多品質エネルギーネットワークの効果を地域差の観点から比較検討する。

分析1. 社会的厚生を用いた、多品質エネルギーネットワークと商用系統の厚生比較



分析2. 多品質エネルギーネットワークの経済的・環境的効果の、地域別定量評価

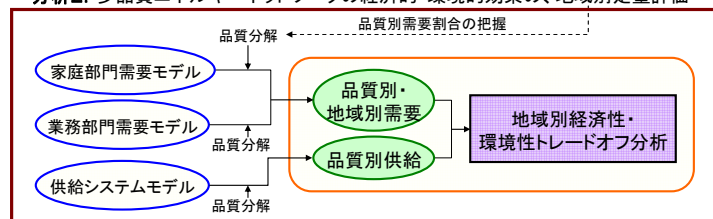


図1 本研究の全体像

2. アンケート

アンケートを用い、家庭部門需要家が有する多品質電力に対する支払意思額分布を調査する。調査結果を、社会的厚生分析に用いる需要曲線算出のための基礎データとする。

2.1. アンケートの準備

アンケートでは、停電頻度別に定義した5つの電力品質(高品質:現状品質に比べ停電頻度が1/2、中品質:同10倍、低品質:同100倍、環境中品質:中品質をもたらす原因が自然エネルギーの導入による場合、環境低品質:低品質をもたらす原因が自然エネルギーの導入による場合)を、5つの家電(テレビ、エアコン、冷蔵庫、照明、PC)に対して適用する場合に、どの程度電気料金が下がれば(上がっても)許容できるかを尋ねる。ここでの停電の定義は、「10秒以上10分未満程度の、不意に起こる、電力供給途絶状態」とした。

使用したアンケート理論は、支払意思額・受入補償額の分布が再現できるCVMとし、バイアスを極力避けるために2段階2肢選択方式をとった。

2.2. アンケートの実施と結果の分析

NOAAガイドラインに従いプレテストを実施し、楽天リサーチ株式会社にアンケート調査を委託した。2006年9月4日～同年9月21日にインターネット調査が実施され、各家

電について約 600 の有効回答数を得た。

ここで支払意思額・受入補償額の分布を関数として表現するため、特定の分布関数にて近似する。精度よく近似するため最尤法を用い、候補の分布関数としては対数ロジスティック分布、ワイブル分布、そしてこの分野では比較的新しいトービットモデルを考慮した。トービットモデルの数式と尤度関数は図 2 の通り示される。

最尤法を適用した結果、ロジットモデル

が最も当てはまりが良かった。図 3 左に分布関数での近似結果例を示し、図 3 右に各家電・各品質についての支払意思額・受入補償額の中央値を示す。特徴ある結果として、エアコンは低い品質を比較的許容し、PC は低い品質を比較的嫌うことが示された。

トービットの数式:

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad Y_i = \begin{cases} Y_i^* & Y_i^* > 0 \\ 0 & Y_i^* \leq 0 \end{cases}$$

s.t. $\begin{cases} Y^*: \text{潜在変数} \\ Y: \text{観測値} \end{cases}$

尤度関数:

$$L(\beta, \sigma^2) = \prod_{Y_i=0} \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{\beta_0 + \beta_1 x_i}{\sigma} \right) \right\} \cdot \prod_{Y_i>0} \left\{ \sigma^{-1} \phi \left(\frac{Y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)}{\sigma} \right) \right\}$$

s.t. $\begin{cases} \varepsilon_i: \text{各々独立で平均0・分散}\sigma^2\text{の正規分布に従う誤差項} \\ \phi: \text{標準正規分布の密度関数} \\ \Phi: \text{標準正規分布の分布関数} \end{cases}$

図 2 トービットモデルの数式と尤度関数

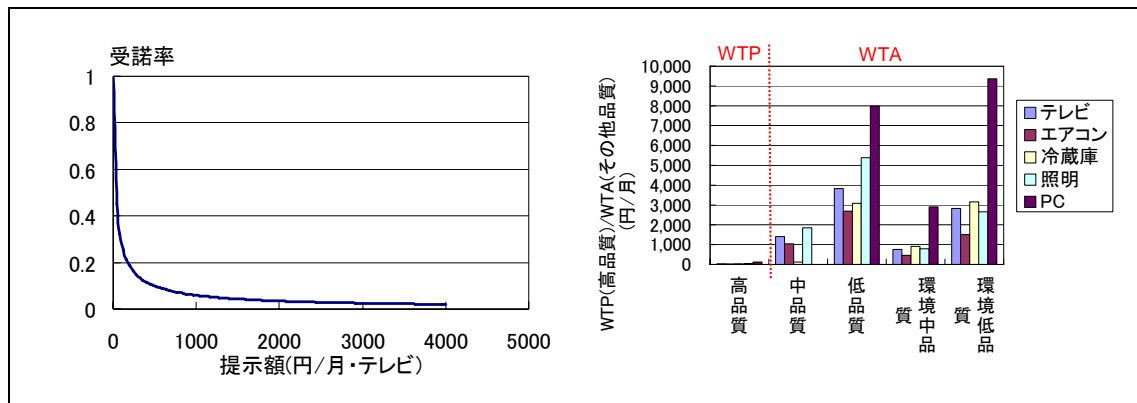


図 3 テレビ・高品質の支払意思額分布曲線(左)、支払意思額・受入補償額の中央値(右)

3. 社会的厚生分析

エネルギー供給システムを選択問題における判断基準として、従来はコスト最小化が多く用いられてきたが、ここでは社会的厚生とすることを提案する。需要曲線と供給曲線を具体的に算出し、系統と多品質エネルギーネットワークの競争を定量化する。また、多品質エネルギーネットワークにおいて環境機器が導入された場合の厚生変化も分析する。

3. 1. 社会的厚生とは

社会的厚生(social welfare)とは、厚生経済学において消費者余剰と生産者余剰の和で表現され、社会全体の満足度を表す。消費者余剰とは消費者の最大留保価格から取引価格を引いた値であり、その取引から消費者が得る便益を表す。生産者余剰とは取引価格と生産者の限界費用との差額の和であり、取引から得られる企業の便益を表す。この社会的厚生がより大きくなることが、社会的には望ましいとされている。また、ここで考える「量」は取引(需給)される電力量を示し、具体的にはアンケートをとった 5 家電についての月あたり使用電力量を指す。「価格」は電気料金単価を示す。

3. 2. 需要曲線の算出

需要曲線は、アンケート結果を 5 家電について足したものである。現状の電気料金を 22 円/kWh とし、高品質はそこからの上乗せ額として、その他品質はそこからの差し引き額として電気料金の支払意思額を算出した。アンケート時点では家電毎に母数が異なっていたがそれを調整し、2000 世帯分の需要電力量を横軸にとる需要関数を作成した。

3. 3. 供給曲線の算出

供給曲線は、系統と多品質エネルギーネットワークについて求めた。

系統については、その設備等の複雑さから、高品質電気料金を現状品質電気料金の 1.3 倍、中品質を同 0.9 倍、低品質を同 0.8 倍として簡単に設定した。この電気料金は電力量にかかわらず一定であるとした。

多品質エネルギーネットワークについては、費用関数を作成しそれを微分することで供給曲線を求めた。費用関数を作成するため、具体的な需給システムをモデル化し、コスト最小化シミュレーションを行った。想定した多品質エネルギーネットワークは、発電機はガスエンジン、太陽光発電、風力発電から構成され、需要家は家庭部門一般生活者を想定した。5 家電についての供給曲線を作成するため、需要データは 5 家電のみについて河野²⁾を用い再現した。算出した供給曲線の例を図 4 に示す。

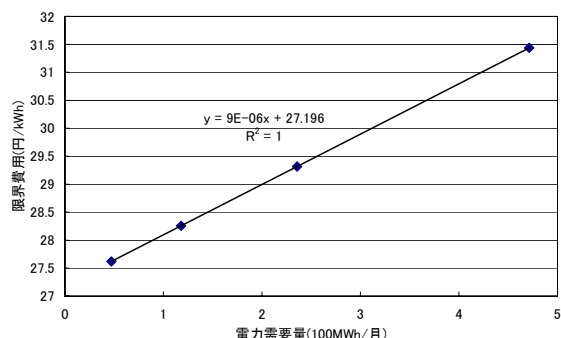


図 4 算出した供給曲線(高品質)

3. 4. 分析結果

以上で求めた需要曲線・供給曲線を用いて、2通りの分析を行った。まず系統と多品質エネルギーネットワークについて社会的厚生に基づいた比較分析を行った。右図 5 が高品質について両システムを比較分析した結果の一部である。水性線が系統の供給曲線、右下がり曲線が需要曲線であり、右上がりの直線が多品質エネルギーネットワークの供給曲線である。系統の方が社会的厚生は大きく、社会的にも選択されやすい供給システムであることが分かる。ここから「BE(ブレイクイーブン)分析」を行い、多品質エネルギーネットワークが導入を開始する点(両供給曲線が接し始める点)、社会的厚生が系統と同等となる点(図 5 の点)、独占的に供給できる点(系統の供給曲線と需要曲線が交わる点)を求め、各品質についてそれら 3 点を満たすために必要な限界費用削減率を求めた。結果は右表 1 の示す通りである。

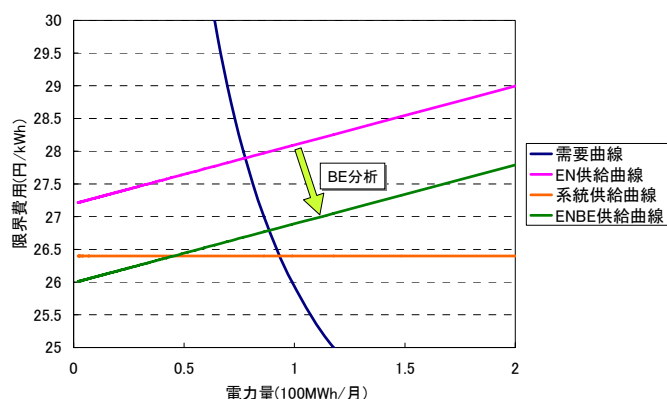


図 5 需給均衡点と BE 分析(社会的厚生同等点)(高品質)

次に、環境機器(太陽光発電と風力発電)を導入することによる社会的厚生の変化を分析した。結果、環境機器の導入に対しては支払意思額の増加分が供給費用の増加分を上回り、環境中品質では 15.71%、環境低品質では 29.19%だけ社会的厚生が増加した。この結果から、環境機器を含む供給システムの総費用が、環境中品質ではあと 0.87%、環境低品質ではあと 3.51%だけ増加してもそれは許容されることが出来る。

表 1 品質別 BE 分析結果

	導入開始点を満たすために必要な限界費用削減率	社会的厚生同等点を満たすために必要な限界費用削減率	独占供給点を満たすために必要な限界費用削減率
高品質	2.93%	4.43%	6.02%
中品質	24.39%	25.92%	27.57%
低品質	30.71%	32.53%	33.63%

4. 民生部門統合分析

以上の分析はアンケート対象者のみを需要家として想定した場合であった。ここでは実際に多品質エネルギーネットワークが導入される場合を想定し、地域により発揮される効果の違いを分析する。想定する需要家は民生部門の需要家(家庭部門と業務部門)である。

4. 1. 品質別需要モデル・供給モデルの作成

家庭部門需要モデルは、河野²⁾と熱負荷シミュレーションソフトSMASHを用いて求めた需要値を社会的厚生分析で得られた家電別品質別需要割合を元に品質分解した。業務部門需要モデルは55種類(大分類は10種類)の需要家を想定し品質分解した。供給モデルは社会的厚生分析で使用した需給システムモデルを用いた。地域分類は、都市計画法第8条用途地域に基づき9種想定した。地域別需要家割合は右表2の示す通りである。

表2 地域別需要家割合

面積割合(%)	家庭部門→		業務部門→										計(=100)
	核家族	単身世帯	会社事務所	小売業	飲食店	宿泊施設	サービス業	教育機関	集会所等施設	医療機関	製造小売業	その他	
用途地域の種類													
①第一種低層住居専用地域	25	20	0	0	0	0	0	50	5	0	0	0	100
②第二種低層住居専用地域	20	20	0	5	5	0	5	35	5	0	0	5	100
③第一種中高層住居専用地域	20	15	0	15	5	0	0	20	0	25	0	0	100
④第二種中高層住居専用地域	20	25	30	10	10	0	5	0	0	0	0	0	100
⑤第一種住居地域	15	15	10	5	5	35	5	0	0	0	0	10	100
⑥第二種住居地域	10	15	10	5	15	10	15	10	5	0	5	0	100
⑦準住居地域	5	5	25	25	20	10	5	0	0	0	5	0	100
⑧近隣商業地域	0	10	5	15	0	0	15	0	20	15	20	0	100
⑨商業地域	0	0	15	0	25	15	20	0	10	0	10	5	100

4. 2. シミュレーション結果

地域別に系統と多品質エネルギーネットワークの環境的・経済的效果を比較分析した。結果の一例として、環境性(CO₂排出量)についての比較分析結果を右図6に示す。縦軸上側に行くほど、環境性において多品質エネルギーネットワークが勝ることを示す。地域により規模の差はあるが、地域5・6で効果が特に高く、地域7・9で効果が特に低いことが示された。地域5・

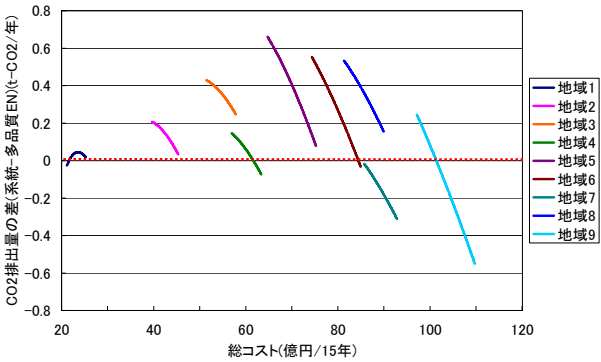


図6 地域別CO₂排出量の差(系統－多品質EN)

6では地域を構成する需要家の種類や需要品質が多様であるという一定の特徴が確認でき、地域7・9では電熱需要の時間別バランスが不均一であることが確認できた。

5. 結論

本研究では、現状の単一品質エネルギー需給構造には無駄が含まれているとの前提のもと、多品質エネルギーに対する需要の存在をアンケートで定量化し、系統と多品質エネルギーネットワークの競争を社会的厚生の観点から分析した。また多品質エネルギーネットワークがもたらす環境的・経済的效果を地域別に分析した。結果、特に高品質については多品質エネルギーネットワークの導入に必要な限界費用削減率が低かった。また、需要品質や需要家がばらついており電熱需要の時間別増減が似た挙動である地域ほど多品質エネルギーネットワークはその効果をより発揮することが示された。

参考文献

- [1] 地球温暖化対策推進本部；京都議定書目標達成計画の進捗状況，(2006)
- [2] 河野孝史；一般生活者の行動パターンに基づく住宅用エネルギーシステムの研究，東京大学工学部卒業論文，(2005)