

未来開拓学術研究推進事業

# 環境負荷低減化を目的とした 新しい自律分散型都市エネルギーシステム

特集 プロジェクト研究

辻 毅 一 郎\*

Distributed Autonomous Urban Energy Systems for  
Mitigating Environmental Impact (JSPS-RFTF97P01002)

Key Words : Urban energy system, ESCO, End-use demand, Cogeneration,  
Distributed autonomous system

## 1. はじめに

周知の通り、わが国においては産業部門におけるエネルギー消費の伸びが抑制されている一方で、民生部門の消費は顕著に伸び続けている。民生用エネルギー需要の伸びの主たる要因が生活水準の向上であり、いまだ十分ではない住宅事情などを考えるとき、ある程度の需要の伸びはやむを得ないと考えられる。しかしながら、わが国がエネルギー資源の有効な利用を図り、1997年の京都会議で大いに議論となった二酸化炭素の削減目標の達成に向かって邁進するためには民生部門において抜本的な省エネルギーを図ることが不可欠である。

このような背景のもとで本研究プロジェクトではとくに「都市のエネルギーシステム」に焦点を当てている。都市の施設は年々変化して行く。地球規模での資源・環境容量の制約のもとで持続可能なエネルギーシステムの構築を考えるとき、我々にも身近な「都市のエネルギーシステム」の改善から考え、これを望ましいシステムの方角へ導いて行くという

視点は重要である。望ましいシステムの一つの形態として、地域に適合した小規模で自律分散型のシステムが挙げられる。それは、アメニティ水準の向上、経済性、セキュリティの確保に留意しながら、エネルギーの有効利用を図り、環境への影響を軽減したいわゆる環境低負荷型の都市であるといえる。それが具体的にどの様な都市で、どの様な意味でそれが望ましいのかを明らかにすることが本研究プロジェクトの大きな目的である。

平成9年度から開始された本研究プロジェクトは、大阪大学、京都大学をそれぞれ中心とする二つの研究グループから構成されており、前者は都市エネルギーシステムについて主としてインフラ整備の面から、後者は環境負荷評価の面から研究を遂行している。それぞれのグループの研究テーマとそれらの相互関連を示したものが図1である。本稿では、とくに筆者が主として担当する前者について各研究テーマごとに紹介する<sup>1)</sup>。

## 2. 総合エネルギーサービス・システムの開発

民生用のエネルギー消費の増加を抑制し、環境への影響を緩和するためには、ある広がりを持った比較的小さな「地域」ごとに、その地域に最も適合したエネルギーシステムを構築して行くことが有効な方策の一つである。このためには、従来から行われている電気事業、都市ガス供給事業、熱供給事業と言ったエネルギー供給事業をさらに一歩進め、「地域」のエネルギー供給全般を担う、総合的なエネルギー供給の事業の可能性を探る必要がある。この事業はいわば「総合エネルギーサービス事業」とも言うべきもので、エネルギー・資源の有効利用、環境



\*Kiichiro TSUJI  
1943年9月18日生  
1966年3月大阪大学工学部電気工学科卒業、1968年3月大阪大学大学院修士課程修了、1973年ケースウェスタンリザーブ大学大学院博士課程修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科・電気工学専攻、教授、Ph.D.(ケースウェスタンリザーブ大学)、電力・エネルギーシステム工学  
TEL 06-6879-7709  
FAX 06-6879-7713  
E-Mail tsuji@pwr.eng.osaka-u.ac.jp

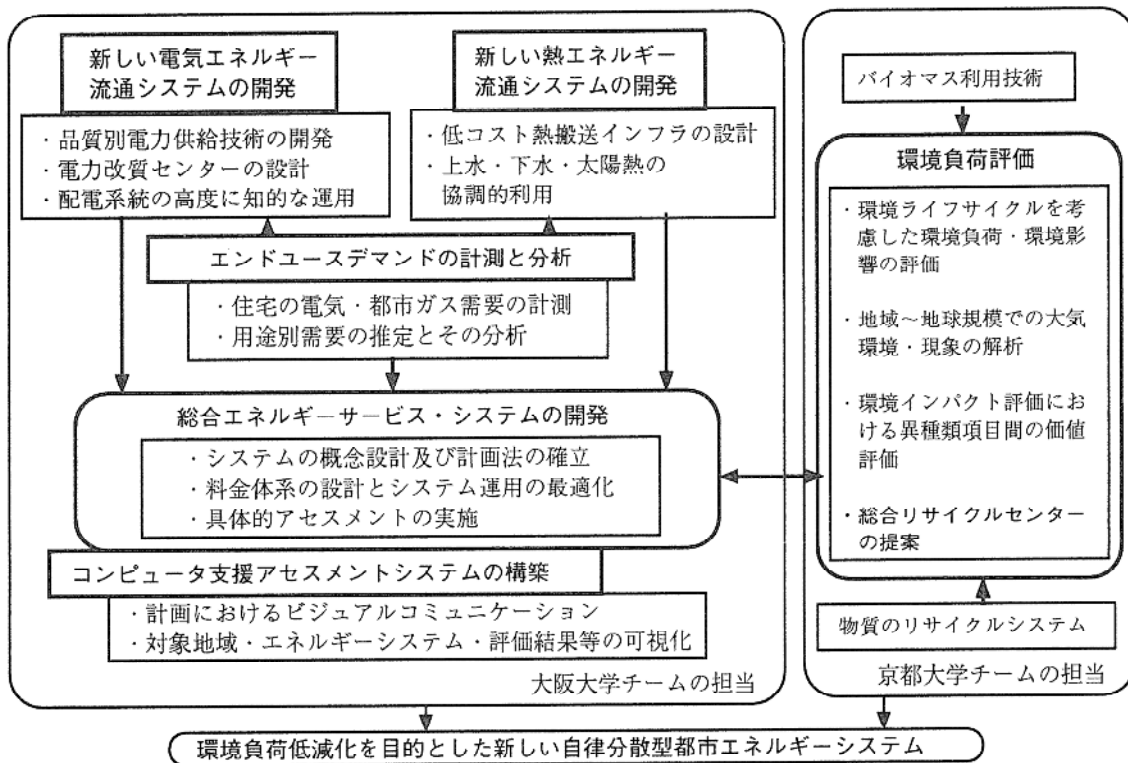


図1 研究テーマとそれらの相互関連

負荷低減化, ひいては経済性の向上, セキュリティの確保(災害時のライフライン確保), アメニティの向上に, これまで専門知識の乏しいエネルギー消費者にすぎなかった住民が直接参加できる形で積極的に取り組む体制を整える上でも有効である。

本研究プロジェクトでは, 総合エネルギーサービス事業が行えるという想定の下で, 地域特定型の「総合エネルギーサービス・システム」を計画立案するための方法を明らかにし, 現実の都市に適用して, 従来システムとの比較の上での優位性を検証することを目的とする。具体的には, 先ず, 「総合エネルギーサービス・システム」を計画するための方法論(ヒューリスティック/数理計画モデル)の確立を行う。一次エネルギー消費, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>などの環境排出, 商用電力の負荷平準化, コスト, セキュリティ, アメニティ等の評価の指標を明確にする。さらに, エネルギーサービス料金体系ならびに運用方策の計画のための方法論についても検討する。

次に, 適当な特定地域について上記方法論を適用して具体的なアセスメントを実施する。得られた複数の「総合エネルギーサービス・システム」代替案の現状システムに対する優位性を実証する。具体案

を複数としたのは, 上記の評価指標の間にトレードオフが存在し, 視点を変えることによりいずれのシステムも望ましいシステムとみなせる場合があり得ると予想されるからである。

### 3. 新しい電気エネルギー流通システムの開発

従来, 配電システムは既成のものとし, 研究の対象とはなり難かったが, 本研究プロジェクトでは, 総合エネルギーサービス・システムのインフラの一つとして電気エネルギー流通システムにも着目している。今後, エネルギーの有効利用を進め, 環境への負荷を低減するのに効果的であるという理由から, 太陽光発電システムやコージェネレーションシステムなどの分散電源の普及が進む。一方, 需要家側でも, パソコンなど高品質電源を要求する負荷や, 電気自動車充電用のようなエネルギー源としての電源が増加する, すなわち電力供給への多様な要求が現れる。このような状況でエネルギーの有効利用, 環境負荷低減に柔軟に寄与し得る新しい電気エネルギー流通システムを構築しなければならない。

既に, アメリカからはカスタムパワー団地(Custom Power Park), 我が国からは FRIENDS(Flexi-

ble, Reliable, Intelligent, Electric eNergy Delivery System)の構想が打ち出され、国際会議などで注目されている<sup>2)</sup>。しかし、これらはいずれもまだ構想の段階で、具体的なハードウェア構成ならびに運用方策に関する集中的な研究が必要である。これらの構想に共通するのは、i) 電力の品質別供給を可能にすること、ii) DSM(デマンドサイドマネジメント)の実施を念頭においていること、の2点である。そして、これらの機能は経済的に実現されなければならない。事故時でも、重要度の高い電源だけは供給継続を保證できるというセキュリティに関連する機能も品質別供給の方法を考えることにより実現できる。DSMも品質別供給の枠組みに入れて考えることができる。

FRIENDSの構想では、

- 1) 分散電源、電力貯蔵装置、電力変換装置などを主要構成要素とする「電力改質センター」の需要家の近辺への設置、
  - 2) パワーエレクトロニクス技術を駆使した静止型開閉装置の活用による系統構成変化の自由度を高めた配電システムの構成、
  - 3) 高度の知的運用による電力の品質別供給ならびにDSMの実現、
- が骨子となっている。

本研究プロジェクトでは、特定地域を対象に、太陽光発電やコージェネレーションなどの分散電源、さらには電力貯蔵の存在の下で、品質別電力供給/DSMを可能とする全く新しい電気エネルギー流通システムのコンセプトの確立、概念設計、計算機シミュレーション及びプロトタイプモデル実験による動作の検証を行うことを計画している。

#### 4. 新しい熱エネルギー流通システムの開発

総合エネルギーサービス・システムのもう一つのインフラとしての熱エネルギー流通システムについても今後まだ様々な形態を考える余地があり、研究が必要である。例えば熱の供給は、低品質で、たとえ間欠的であっても温度の制御は末端でも行えるため、その方が経済性・制御性で優れている可能性がある。とくに住宅では低品質の熱エネルギーでも利用可能である。

総合エネルギーサービス・システムの重要な構成要素の一つとなる地域発電所からの排熱利用を考えると、熱供給の対象に住宅をも含めるならば熱需

要を電力需要に比較して大きくできるので、地域発電所のエネルギー利用効率を十分に高めることが期待できる。また、特定した「地域」に賦存する各種の未利用エネルギーを最大限に活用する方法についても検討する必要がある。とくに下水は温熱源として考え積極的な熱回収を考慮するべきである。また、低コストの熱搬送インフラとして上水配管の利用も考えられる。以上のように、熱エネルギー流通システムに関してはアイデアの創出と整理、ならびにそれらをより具体的計画にまで展開するための基礎研究を推進する必要がある。

以上の背景の下で本研究プロジェクトでは、特定地域を対象に、太陽熱温水利用、コージェネレーション、下水の熱利用、その他の未利用エネルギー源さらには蓄熱装置等の存在を考慮して、上水配管の利用も視野に入れた低コスト熱供給/DSMを可能とする新しい熱エネルギー流通システムのプロトタイプ設計、及び計算機シミュレーションによる有効性の検証を行うことを計画している。

#### 5. エンドユースデマンドの計測と分析

総合エネルギーサービス・システムを創出するためには、冷房、暖房、給湯、厨房、照明、電力特定などのエンドユースデマンド(用途別最終エネルギー需要)の実態ならびに将来値を知ることが必要である。とくに、総合エネルギーサービスとして電気エネルギーと熱エネルギーの完全な協調を考えると、これらのエンドユースデマンドの日負荷パターンが基礎データとして必要である。また、需要の実態を把握することは、それ自体が民生部門におけるエネルギーの有効利用、環境負荷低減へ向けての様々なアイデアを生み出す上で、極めて重要な意味を持つ。いわゆるデマンドサイドマネジメント(DSM: 需要家側管理)の効果を知る上での基礎データとしても有用である。

本研究プロジェクトでは、一戸建て住宅40件について、電力・都市ガス需要の自動計測を本年10月より14ヶ月にわたって実施中である。計測対象地域は比較的新しいベッドタウン(関西文化学術研究都市内の住宅地)で、住宅全体の有効・無効電力量、都市ガス消費量、ならびに主要な電力使用機器(同時計測最大8種類)について30分ごとの積算値の計測を行っている。計測システムの概要を図2に示す。これらのデータは屋内配電線を介してネット

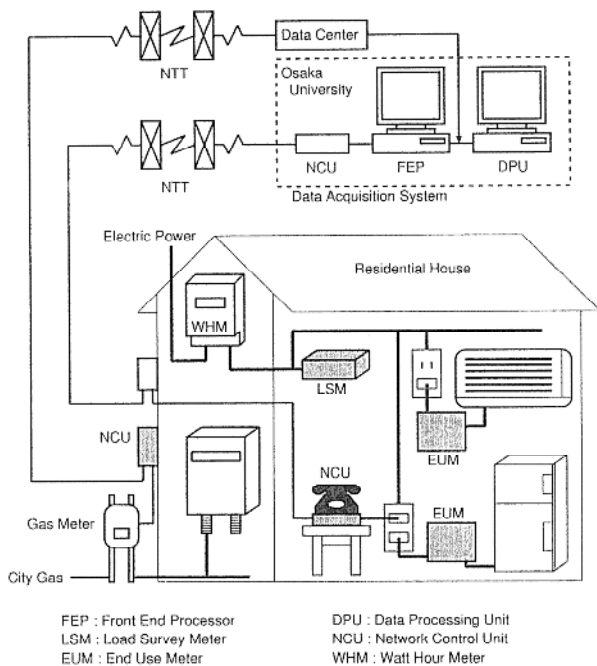


図 2 エネルギーデータ収集システム

ワークコントローラーへ一次蓄積された後、電話回線を通して大阪大学先導的研究オープンセンター内に設置されたデータ収集センターへ送られる。データ収集センターではこれらの実測データをデータベース化し、様々な角度からの分析を行う。このように電力・都市ガス需要を同時に計測する試みは、需要家の協力を取り付けることが通常困難であることなどから、ほとんど実施されたことはなく、ここで得られるデータは貴重でその有効利用が期待され、本研究プロジェクトの大きな特色の一つとなっている。

## 6. コンピュータ支援アセスメントシステムの構築

これまでに得られた知見に基づいて「総合エネルギーサービス・システム」のアセスメントの方法をシステム化し、コンピュータ援用計画支援システム(アセスメントシステム)の形にまとめ、確立した方法論の適用を容易にすることを狙いとする。対象地域の地図、鳥瞰図、配管図、エネルギーフロー図などを活用して計算結果の視覚化を図り、計画内容の疑似体験が可能となるよう工夫し、ユーザーフレンドリーなシステムを構築する。SIMCITYというコンピュータゲームが市販されているが、エネルギーシステムについてもこれに類するアイデアが取り入れられるものと考えている。このようなシステムの開発を積極的に進めることによって、既存あるいは

新規の都市における、適切なエネルギー需要システム計画あるいは望ましいシステムへの誘導方策の策定が系統的にかつ定量的に行えるようになるものと期待される。そして、このようなコンピュータシステムは、そのまま総合エネルギーサービス・システムが実現できたときの運用時にも利用できる。

コンピュータ科学・技術は著しい進展を見せており、複雑な、大量の計算も容易に実施でき(大規模な最適化も内点法・ヒューリスティック計画法の適用などで短時間で実行できる)、その結果の表示も極めて多彩な方法(仮想現実などの技術が利用できる)が考えられる。すでに関西新空港や、ローカル空港のアセスメントには、高度なグラフィック技術を駆使し、どのような方向からでもその景観がチェックできるようなコンピュータシステムが存在している。そして、新たな試みとして、都市の地下にある各種配管(上水、下水、都市ガス、電力、熱供給)のビジュアル化も進められている。こうした技術を「総合エネルギーサービス・システム」の策定、そしてゆくゆくは運用にも応用することができる。

アセスメントへの参加者は、地域住民、デベロッパー、自治体など立場も専門知識領域も大きく異なる複数の人々と予想される。このような状況で、どのようにエネルギーが生産され、配送され、廃棄され、回収されているかをビジュアルに示すことの有用性は極めて高い。この研究課題で意図するようなアセスメントシステムを利用すれば、立場あるいはバックグラウンドの異なる人々に、システムの実際の姿やオンラインでの定量評価結果が、工夫されたわかりやすい形で提示されることになり、開かれた形の計画の策定ならびに運用が実施できるものと期待している。

## 5. おわりに

本研究プロジェクトは、1) 電気と熱のシステム設計を従来のように独立に行うのではなく、互いに緊密な連絡を取りながら協調的に行うこと、2) 住宅における最終エネルギー需要の自動実測はこれまでに大学の研究者が実施した例はほとんどなく、全く新しい試みであること、さらに 3) 将来の情報可視化の流れを先取りした計画支援システムの構築を目標の一つに掲げていること、に大きな特色があり、その点ユニークな研究プロジェクトであると言える。

京都大学の研究者を中心とする研究グループは、

図1に示したように環境負荷評価に関する研究を実施している。このグループでは、低環境負荷型材料や再生型エネルギー資源に関する新技術の開発、リサイクルシステムを導入し、地域の規模に適合した低環境負荷型エネルギーシステムの提案、局地(例:沿道汚染)、地域(例:都市大気汚染)、広域(例:酸性雨)、地球規模(例:地球温暖化)別にみた各レベルでの大気環境影響事象や汚染機構の解明、ライフサイクル評価を通してのエネルギー利用に伴う環境影響や環境負荷の評価、ライフサイクルアセスメントの社会への受容法などに関する研究を行い、地域

の「総合リサイクルセンター」の提案を目標に掲げている。

#### 参 考 文 献

- 1) 環境負荷低減化を目的とした新しい自律分散型都市エネルギーシステム(JSPSRFTF97P01002)平成9年度研究成果報告書, 1998年3月
- 2) 奈良 宏一, 長谷川 淳:新しい柔軟な電気エネルギーシステム, 電気学会論文誌B, Vol.117, No.1, pp.47-53 (1997)