

二酸化炭素削減のためのマイクログリッドの最適構成に関する研究

Research on Optimal Microgrid System Configuration for Mitigating Carbon Dioxide

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 地球環境工学研究室 56736 薄井由紀

1. 背景

京都議定書が発効され、二酸化炭素排出量削減対策の一環として、さらなる新エネルギーの導入促進が求められる。しかし、出力変動のある自然エネルギーの大量導入は、電力系統全体の安定化を困難にすると報告されている。また、燃料電池や天然ガスコジェネレーションの総合エネルギーは高効率であるにもかかわらず、電熱需要のピークの違いや熱需要の低さから、有効に利用されていない場合が多い。以上のような課題に加え、小規模で散在していることの多いこれら新エネルギーを大量導入するためには、分散型エネルギーシステムの構築が重要と考えられる。そこで本研究では、地域内で複数の分散型電源や需要施設を適切に組み合わせて制御するマイクログリッドコンセプトに注目した。電力と熱の配給システムであるマイクログリッドは、効率的なコジェネレーションが行えるとともに、その内部で電熱バランスを維持し電力系統から独立した運転もできると考えられている。そして一つの安定した集合体としてマイクログリッドが複数電力系統と連結することで、電力系統側の負担の軽減やピーク電力への対応が期待されている。特に新エネルギーを中心としたマイクログリッドに関しては、青森県を初め、北九州や神奈川県など多くの自治体が地域エネルギービジョンに含めるなど関心を寄せている。

2. 研究目的

実証実験段階にあるマイクログリッドコンセプトをより現実的なものにするにあたり、システム制御ロジック構築、制御装置や遮断装置の開発とともに、経済的なシステム設計に関する研究も必要とされている。既往の研究ではシステム総コスト・需要家コストを最小化する機器選択・運転計画モデルの開発や、炭素税の影響評価などがある。これら多くの研究はマイクログリッドの構成機器とその運転計画を最適化するものであり、マイクログリッドを構成する需要に言及しているものは少ない。しかし、複数の建物を適当に組み合わせることで電力変動を緩和し大きな熱需要を創出することは、システムの経済性や二酸化炭素排出量削減に大きく貢献できると考えられる。また、既存の建物を組み合わせるよりも、市街地再開発事業を契機に、マイクログリッドに適した建物配置を行うと共に、インフラの一体的な整備を図るほうが容易であると考えられる。そこで本研究では、天然ガスコジェネレーション主体のマイクログリッドを再開発地域に構築する際、温暖化対策に有利な需要施設構成を明らかにすることを目的とする。

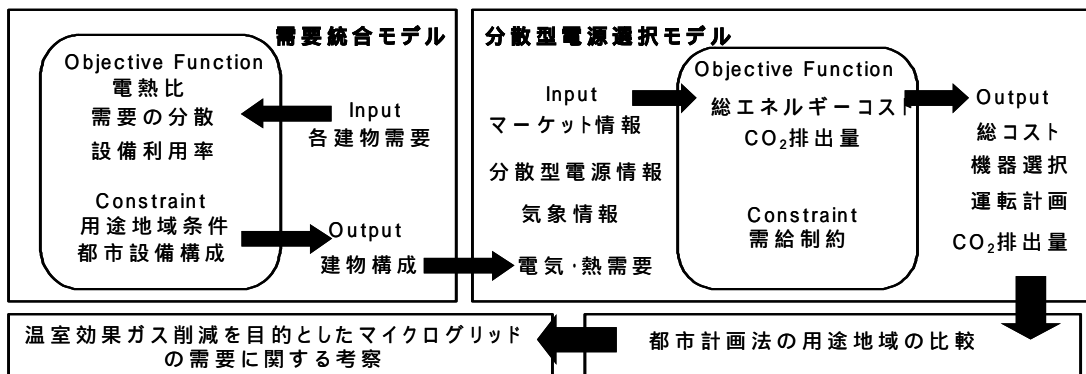


Fig. 1 研究方法

3. 研究方法

研究方法をFig. 1 に示す。まず需要統合モデルを作成し電力需要が平らで熱需要の多い建物構成を導く。この際都市計画法における用途地域条件を制約条件とする。次に経済制約のもと二酸化炭素排出量を最小化する分散型電源選択モデルをDERCAM¹を元に構築する。需要統合モデルの結果を分散型電源選択モデルのインプットとし、二酸化炭素排出量最小化の観点から最適な建物構成を分析する。

4. 需要統合モデル

一般的にコジェネレーションに適した需要の特徴としては、年間を通じて安定した電力負荷・熱負荷をもっていることがあげられる。さらに独立型マイクログリッドを考慮すると、そのシステム内で需給調整を行うため、ピーク電力を抑えることで設備投資を軽減できると考えられる。これらをもたえて電力変動を押さえ熱需要を大きくする需要構成を求めるモデルを構築した。数値計算ソフトGAMS(General Algebraic Modeling System)を使用し、Fig2 の目的関数を線形計画法(CPLEXLP ソルバー)により最小化することで目的の建物構成を求めた。

input	建物別電気需要/時間	$load_{bemh}$	建物種	b
	用途地域別建物制限	$restriction_{ab}$	需用種電力	e
	合計統合電気需要	$loadsum_{ae}$	用途地域種	a
			時間	h
variable	建物面積	num_b	月	m
	統合電気需要/時間	$agload_{aemh} = \sum (load_{bemh} \cdot num_{ab})$		
	平均統合電気需要	$aveload_{ae} = \sum_{mh} (agload_{aemh} / 288)$		
constraint	用途地域制約	$num_{ab} \leq restriction_{ab}$		
	合計統合電気需要	$loadsum_{ae} = \sum_{mh} agload_{aemh}$		
objective	目的関数	$F_{ae} = \left(\sum_{mhh} agload_{abemh} - aveload_{ae} \right) / loadsum_{ae}$		

Fig. 2 分散最小化モデルの目的関数と制約式

まずは制約なしの条件で分析を行い、実際に電力需要が平らになるかどうかを確かめた。原単位の建物需要約 50 種類をインプットデータとし、上記の目的関数を最小化する建物構成を求めた。結果、銭湯一種類が選択された。Fig3 に銭湯の一年間の電力、冷房、暖房、給湯の需要を示す。年間をとおして電力需要が平らになり、給湯需要が多く、期待通りの結果となった。よって、本モデルを用いて電力が平らで熱需要の多い建物の組み合わせを導くこととする。制約条件には都市計画法で定められた用途地域の建物制限と一般的な構造割合を用いた。Fig4,5 に主に住宅からなる第一種低層住居専用地域と商業地域における建物構成結果を示す。また、Fig6,7 にそれぞれの組み合わせの年間のエネルギー需要を示す。

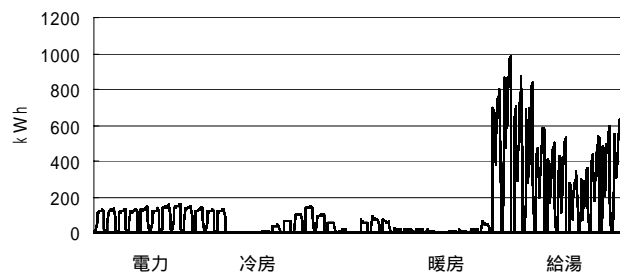


Fig3 銭湯の各種年間需要

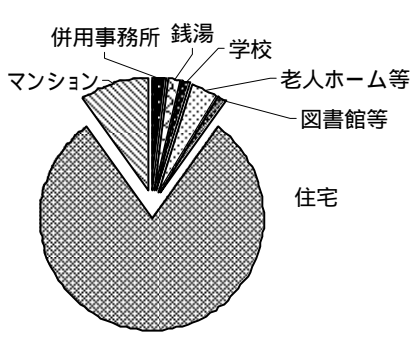


Fig.4 第一種低層住宅地における需要統合結果

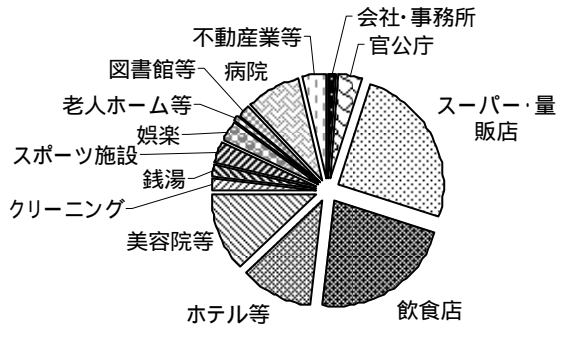


Fig. 5 商業地域における需要統合

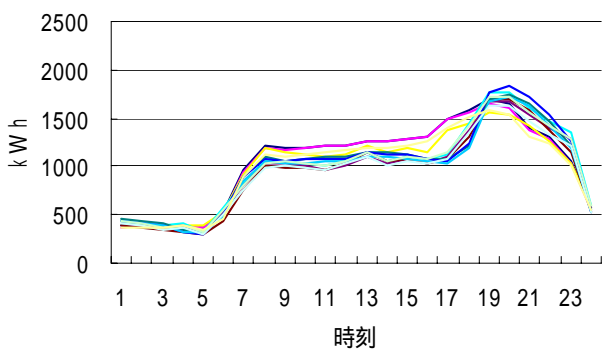


Fig. 6 第一種低層住宅専用地域

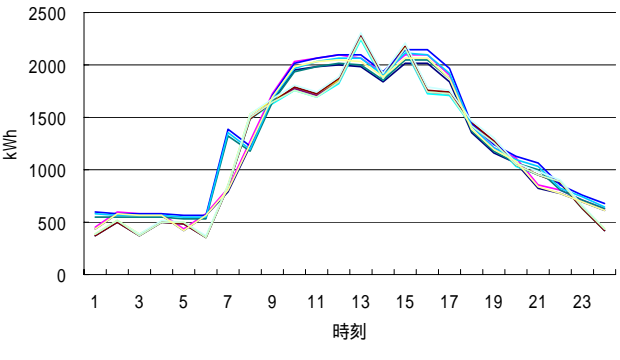


Fig. 7 商業地域

5. 分散型電源選択モデル

経済制約のもと二酸化炭素最小化する分散型電源選択モデルを DERCAM(Distributed Energy Resources Customer Adoption Model) [Lawrence Berkeley National Laboratory 開発]を参考に構築した。DERCAM は混合整数計画を用いて、総エネルギーコストを最小限にするための分散型電源の技術選択を最適化するモデルである。この目的関数を二酸化炭素最小化に変更し、夜間と昼間の二酸化炭素排出量の違い、部分負荷運転および稼働停止による燃料の損失も考慮するようモデルを改良した。需要統合モデルの結果を分散型電源選択モデルのインプットとし、システム効率及び二酸化炭素排出量削減割合から温暖化対策に有利となる建物構成とその規模を分析した。導入する分散型電源としては今後さらなる導入が予想される燃料電池、ガスエンジン、マイクロタービン、ガスタービンの天然ガスコジェネレーション及び太陽光発電とした。需要統合モデルで算出した第一種低層住居専用地域と商業地域の需要を分析し得られた運転計画を Fig8,9 に示す。

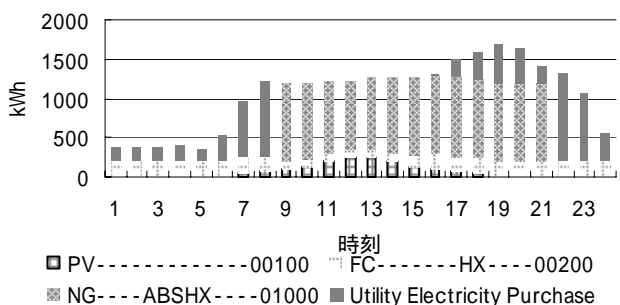


Fig. 8 第一種低層住宅専用地域計画(1月)

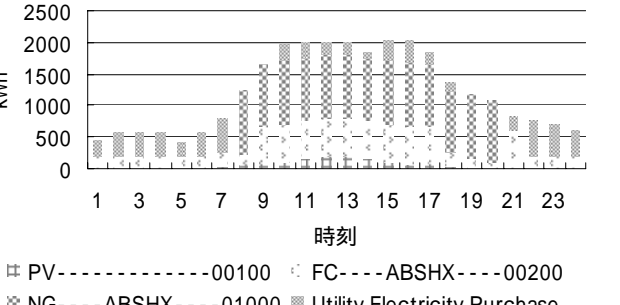


Fig. 9 商業地域の運転計画(1月)

6. 用途地域の比較

投資回収年制約下で、部分負荷運転さけるように分散型電源が選択されるため、一時的なピークをカバーするための余分な発電機の投資は行われない。一方、昼間の二酸化炭素排出原単位を夜間のものより大きく設定しているため、できるだけ昼間の売電を避けるように分散型電源の投資と運転計画が決定される。よって Fig8,9 で示した1月に限ってみれば、二つの地域のうち第一種低層住宅専用地域のほうが、余分な投資を抑えて二酸化炭素削減を目的としたマイクログリッドを構築できると考えられる。

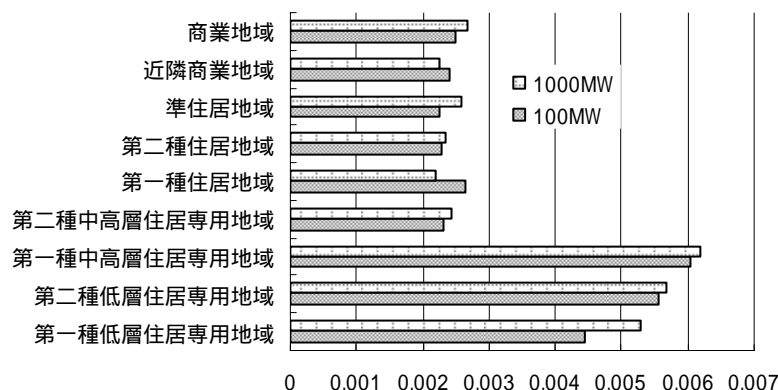


Fig. 10 用途地域と規模とコスト当たりの二酸化炭素削減量

7. 需要規模と二酸化炭素削減

需要統合モデルで得られた各用途地域の組み合わせで二種類の規模、1月から12月の1日あたりの需要を足した値が100MW及び1000MW規模の需要に最適な分散型電源の組み合わせと運転計画を分析した。系統電力と都市ガスから全てのエネルギーを購入した場合に発生する二酸化炭素排出量と、マイクログリッドを構築した場合の二酸化炭素排出量との差を総エネルギーコストで除したものを用途地域別・規模別に Fig10 に示す。第一種低層住宅専用地域においては1000MW規模の方がコスト当たりの二酸化炭素削減量が顕著に大きい結果となった。また近隣商業、第一種住居地域を除いては、みな1000MW規模の方が安く単位量当たりの二酸化炭素を削減できる結果となった。しかし、実際は需要がある一定以上増えると建て床面積も増加するため、熱輸送のロス及び送電線の建設に伴うコストを試算する必要があると考えられる。

8. まとめ

本研究では、電力変動が少なく熱需要が多い建物の組み合わせを都市計画法の制約のもとモデルを用いて最適化し、その運転計画を経済制約のもと二酸化炭素排出量最小化の観点から最適化した。実証実験を終えて本格的にマイクログリッドを導入して行くにあたり、経済的に二酸化炭素削減を達成する手法のひとつとして、需要の最適組み合わせ、及びその規模の算出はよい参考になると考えられる。

ⁱ Rubio et. al, CERTS Customer Adoption Model, DER-CAM basics Electricity Markets and Policy Group, 2001, <http://certs.lbl.gov/certs-pubs.html>