

再生可能エネルギーの導入に向けた地域土地利用の検討

環境システム学専攻 島田研究室

66752 今野 高宏

指導教員：島田 莊平 准教授

修了年月：2008年3月

キーワード

再生可能エネルギー 土地利用 蓄電池 最適化

1. 緒言

近年の地球温暖化問題やエネルギーセキュリティの観点から太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーの利用拡大が世界的に進んでいる。再生可能エネルギーは既存の化石燃料代替による枯渇性資源の節約や環境負荷の削減、エネルギー自給率向上への貢献といったメリットが存在する一方、再生可能エネルギーの種類や資源量には地域偏在性があり、システムの一般化が困難であること、風力発電や太陽光発電は気象条件の影響を大きく受けるためエネルギー出力が不安定で

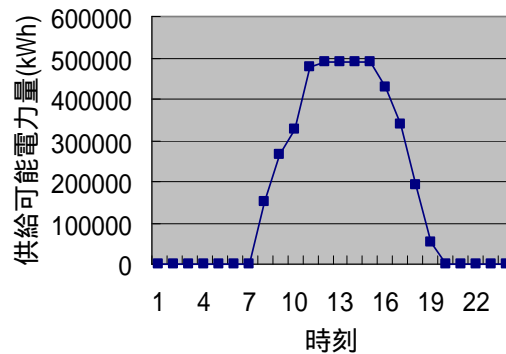


図1 電力総供給曲線

制御が困難であることなどが課題として挙げられている。そのため、複数の再生可能エネルギーや新エネルギーを組み合わせ活用した電気・熱エネルギー供給システムに関する研究開発が盛んに行われるようになった。これらの既往研究としては不安定電源からの出力安定化を目的とした電力制御システムモデルの構築を対象としたもの、対象地域を設定し、熱・電力需要にあわせた再生可能エネルギーのベストミックスを検討したものなどがある。しかしながら、再生可能エネルギーにより得られるエネルギー出力形態と設定地域におけるエネルギー需要形態には季節や時間によって量・質ともに相違が生じる(図 1,2)ため、安定したエネルギー供給を追及する場合、相違を埋めるための過剰な設備投資が不可欠となり、エネルギー利用効率の低下や経済性の悪化は不可避となっている。

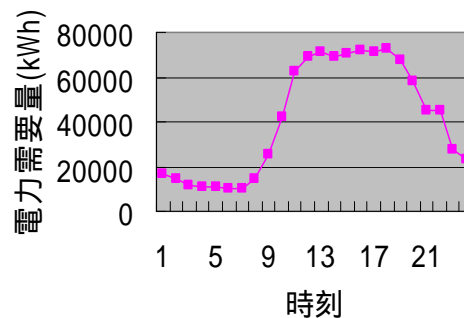


図2 電力総需要曲線

2. 本研究の目的

本研究ではこれまでの研究から発想を転換し、需要にあわせた再生可能エネルギー導入システムを検討するのではなく、再生可能エネルギー導入システムにあわせた需要のあり方(需要の最適化)をエネルギー需給モデルに基づくシミュレーションを実施することにより、できるだけ蓄電池を利用せずに再生可能エネルギーのみで成立する土地利用のあり方やまちの姿を検討することを目的とする。本研究では電力供給のみを対象とし、既存の系統電力との連系は考えず、エネルギー供給は再生可能エネルギーのみで賄うものとする。

3. エネルギー需給モデルの作成

需要の最適化の検討を行うにあたり、本研究で考慮するエネルギー需給モデルを作成した。本研究におけるエネルギー需給モデルを図3に示す。本研究ではエネルギー供給源として太陽光、廃棄物、木質バイオマスの3つを考え、供給形態は電力のみとする。風力発電については時間ごとの風速が気象条件により不規則に大きく変動し、得られる発電量も日によって大きく変動することより、安定供給の観点から不適なため本研究の対象からは削除した。一方、エネルギー需要サイドとしては用途として「人が住む」ということに着目したモデルにするという

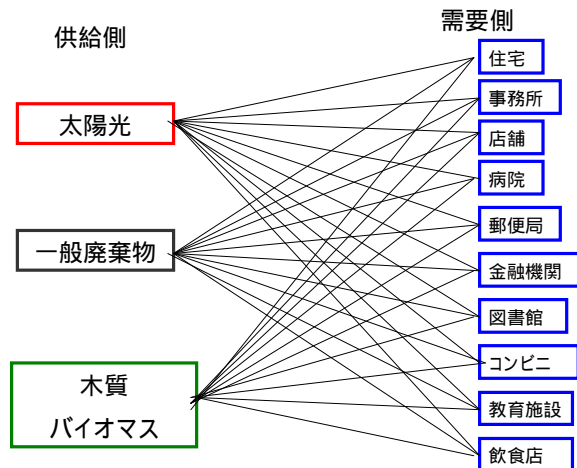


図3 本研究で考えるエネルギー需給モデル

ことで民生部門への供給を考え、まちの中に普遍的に見られ、時間ごとのエネルギー需要形態が把握可能な10の用途の建物・施設(住宅、事務所、店舗、病院等医療機関、郵便局、金融機関、コンビニエンスストア、図書館、学校等教育機関、飲食店)に対して供給を行うものとする。住宅は集合住宅と戸建住宅に分ける。

4. 需要側と供給側の調査

需要側と供給側の双方について、1時間の供給可能電力量と需要量をそれぞれ求めた。供給側について、1時間の総供給電力量を $S(t)$ とすると、

$$S(t) = A(t) \times X_a + B + C$$

$A(t)$: ある時刻における太陽光発電量(kWh/m²)

X_a : 太陽光パネルの面積(m²)

B : 1時間あたりの廃棄物発電量(kWh)

C : 1時間あたりの木質バイオマス発電量(kWh)

で表す。一方、1時間の総電力需要量を $D(t)$ とすると、

$$D(t) = \sum_i a_i(t) \times X_i$$

$a_i(t)$: ある時刻における各需要種の単位面積あたりの電力需要量(kWh/m²)

X_i : 各需要種の面積(m²)

で表す。本研究で考える需要種1つ1つについて時刻ごとの単位面積あたりの電力需要量を夏季・冬季に分けて求め、これらのデータをもとに図4に示すような各需要種別の日負荷曲線(時刻ごとの電力需要量の変化を表すグラフ)を作成した。本研究で需要・供給の対象とする建物の数と延床面積については現実のまちに即した値を設定しており、本研究で考えた需要種ごとの建物の数と延床面積はまちの人口に比例したものとなっている。

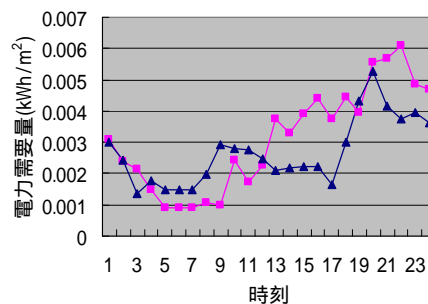


図4 戸建住宅の電力日負荷曲線

5. 蓄電量最小化シミュレーションの実施

需要と供給のピークの時間帯は異なり、また、夜間は需要過剰で昼間は供給過剰である。このことから、蓄電池を用い、供給過剰な昼間電力を溜め、需要過剰な夜間に放電することによってこれらを是正し、より多くの需要に対して安定供給を行うことができる。しかし、エネルギー効率の観点から、むやみに蓄電量を増やすのは望ましくない。そこで、蓄電量をできるだけ少なくしつつ、対象地域に安定に電力供給が可能な地域の土地利用とはどのようなものであるかを探るため、行うシミュレーションを試みた。対象とする地域の面積は 100km² とし、目的関数は上記の D(t)、S(t) を用いて、

$$X = \int_t \{D(t) - S(t)\}$$

とし、目的関数を最小化することにより蓄電池容量を最小化した際の必要蓄電量とそのときの森林面積を求める。この方法を基本とし、条件をいろいろと変化させたときに蓄電量や土地利用にどのような変化が見られるかを検討した。具体的には(a)建物の高層化を図る(建物の 25%、50%を高層化する)、(b)夏季と冬季の特性の違いを検討する、(c)夏季・冬季それぞれについて曇りや雨の場合の違いを検討する、(d)廃棄物発電をガス化溶解方式に変える、(e)緑地公園面積を増やす(対象地域の 20%)、(f)人々の行動パターンを変化させる(需要のピークを変える)のように条件を変化させた。

6. 結果と考察

まず、前述のように最適化シミュレーションを行い、最適化したときの必要蓄電量と対象地域の森林面積を求めた。対象地域の面積は 100km²、人口は 10 万人、再生可能エネルギーを供給する建物はすべて平屋であり、建物の屋根一面に太陽光発電用パネルを設置するものとする。天候は特に断りのない場合夏季・晴天を想定し、また、ごみの焼却方式はストーカ炉を用いた焼却方式とし、人口 10 万の時の発電効率は 10%である。この条件におけるシミュレーション結果は森林面積 4.59 × 10⁷m²、必要蓄電量は 2.91 × 10⁵kWh であった。対象地域に占める森林の割合は 45.9%であった。同様に、面積人口を 20 万、40 万人に変えて蓄電量最小化シミュレーションを行った。人口が増えるにつれて土地利用としては人口が増加するにしたがって森林の割合を小さくする必要があることがわかった。また、人数が多くなるにしたがって単位人口当たりの蓄電量が少なくなることが分かった。

本研究において需要対象建物の面積は人数に比例して増加するようになっているので、それに比例して電力需要も増加する。よって、単純に 2 倍した値からのずれは廃棄物発電の発電効率がごみ処理量の増加、すなわち人口が増加するにつれて高くなるため、発電効率の増加によるものであると考えられる。

次に、さまざまな条件を変化させていった場合のシミュレーション結果を示す。まず、(a)建物の高層化を図る(建物の

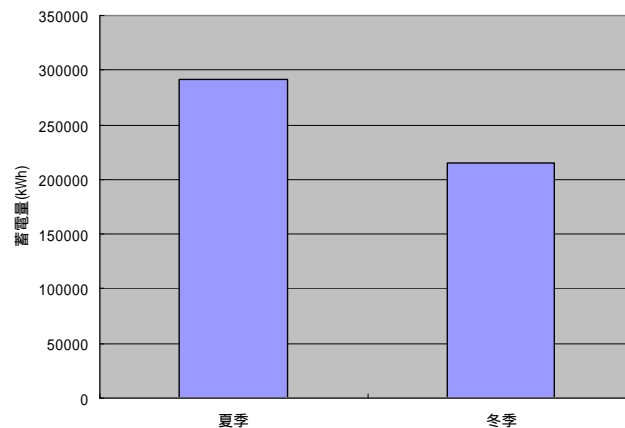


図5 夏季と冬季の蓄電量の違い

25%、50%を高層化する)には平屋の場合よりも蓄電量・森林面積のいずれも増加すること

が分かる。これは、太陽光からの供給が行われているにもかかわらず需要過剰に陥っている時間帯があることに起因すると考えられる。

(b)夏季と冬季の特性の違いについては、図5(左側の棒グラフが夏季の蓄電量、右側が冬季の蓄電量)のように冬季のほうが日射量が少ないにもかかわらず蓄電量が少なくすむことが分かった。これは夏季と冬季の需要特性の違いによるもので、冷房需要による影響が最も大きいと考えられる。

(c)曇りや雨の場合の違いについては、夏季・冬季ともに曇りの場合の方が大きく必要蓄電量が増加する。これは天候による日射量の違いによるものと考えられるが、平屋の場合は1日の総供給量と総需要量の値を比較すると、夏季・冬季ともに総供給

量の方が上回るため、曇りの場合でも再生可能エネルギーのみでの電力の安定供給が可能である。しかし高層化した場合や雨の場合は夏季・冬季ともに1日の総供給量が1日の総需要量を下回るため、再生可能エネルギーのみでのエネルギー供給は不可能である。

(d)廃棄物発電を発電効率の高いガス化溶融方式に変えた場合、図6に示すようにガス化溶融方式の少ない蓄電量ですむことがわかった。

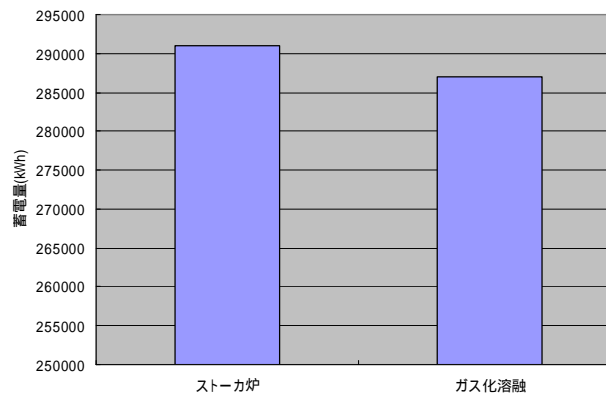


図6 廃棄物発電方式の違いによる蓄電量の変化

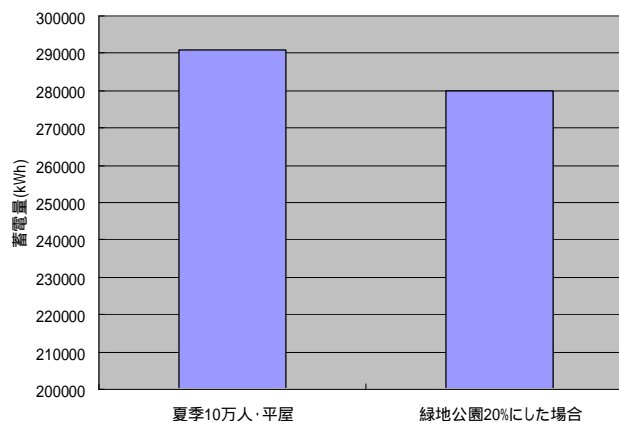


図7 緑地公園面積を増やした場合の蓄電量の変化

(e)緑地公園面積を対象地域の20%に増やした場合、図7に示すように必要な蓄電量も減少し、また、緑地公園が多い場合森林面積が少なくすむことより森林割合の低い地域にも導入可能性が広がると考えられる。
 (f)人々の行動パターンを変化させる(需要のピークを変える)、本研究ではすべての需要を2時間前倒した場合、検討よりも大きな必要蓄電量の削減につながった。このことより、サマertime導入のような政策は蓄電量最小化の観点からは非常に有効であるといえる。

7. まとめ

本研究により蓄電量をできるだけ少なくするという観点から再生可能エネルギーのみでまちの中に普遍的に見られる代表的な施設・建物への電力供給を行うために必要な地域の森林の割合、蓄電量と条件をいろいろと変化させたときの蓄電量の変化が示された。今後の課題として、本研究で扱っていない需要対象の電力需要特性を把握し実際のまちの構成により近いものとし、その組み合わせによってより効率的な供給方法を見出していくことや、実際どのような地域ならば本研究で示した土地利用が当てはまるのかを調査する必要がある。