

分散型エネルギーシステムを有する集合住宅の 非常時におけるエネルギー供給持続性評価

Evaluation of sustainable energy supply for an apartment with distributed energy systems in emergencies

竹下 紀之^{*1} 秋澤 淳^{*2} 上田 祐樹^{*3}
Noriyuki TAKESHITA Atsushi AKISAWA Yuki UEDA

Abstract

The objective of this study is to evaluate technological combination to attain sustainable energy supply for an apartment of one hundred households equipped with distributed energy system. The distributed energy system consists of photovoltaic cells, batteries, solar water heating system, storage tank, gas engine and gas tank. Because it is difficult to predict when energy outage happens, the timing of 8760 cases of the outage, which implies it occurs every hour, were examined to calculate the probability of sustainable energy supply for one year. Sensitivity analysis was conducted to discuss the effect of the technologies on the sustainable energy supply. The results indicate that either electricity or heat is difficult to sustain supply for seven days unless the system has quite large size of renewable energy facilities. It implies that gas engine and gas tank are necessary to improve sustainable energy supply significantly in the case with restricted capacity of photovoltaic cells.

キーワード：分散型エネルギーシステム，太陽エネルギー，コージェネレーション，エネルギーセキュリティ

Key Words: Distributed Energy System, Solar Energy, Cogeneration, Energy Security

1. 序論

東日本大震災の影響を受け内閣府では首都直下型地震の被害想定の見直しを行った⁽¹⁾。震度 6 弱の東京湾北部地震が発生した場合、東京都区部の停電率は最大で 25 %，都市ガス支障率は 89 % と想定されている。ライフラインが途絶すると被災者はエネルギー供給のない生活を余儀なくされることになる。これを受けて非常時に途絶からライフラインが復旧するまでの間、エネルギーの供給を維持可能な分散型エネルギーシステムが求められている。分散型エネルギーシステムとは小規模なエネルギー供給設備を消費地近くに分散配置して、地区ごとで利用するシステムである。過去研究では富田ら⁽²⁾が避難所を対象とし、集光型太陽電池、蓄電池容量、供給途絶時に蓄電池が蓄えている初期蓄電量を変化させ、導入の有効性と電力供給が維持できる条件、確率の推定を行った。富田らの研究では電力供給の維持のみを考慮しているが、非常時では給湯、暖房需要といった熱供給も必要となる。そのため熱の供給維持についても考慮する必要がある。

本研究では分散型エネルギーシステムを有する集合住宅を想定し、各種エネルギー技術の導入量が電力と熱負荷を同時に満足させる供給維持日数に与える効果を感度分析することを目的とした。1 年間を通した途絶開始時点に対する評価に基づき、供給維持可能性を表す指標を提案する。

2. 評価方法の考え方

2.1 分散型エネルギーシステムの構成

電力供給技術として、太陽電池(以下 PV)、蓄電池を、熱供給技術として太陽集熱器(以下 SWH)、貯湯槽の利用を想定した。加えて、非常用ガス燃料を保持して、そのガス燃料を用いて発電を行うことができるガスエンジンの設置も想定した。ガスエンジンは発電と同時に熱を生じるため、熱供給にも貢献できる技術である。再生可能エネルギーだけでは供給維持ができない場合、非常用ガスタンクからガス燃料をガスエンジン、補助熱源機であるガスボイラに供給する。電力が不足した場合はガスエンジンの発電で不足分を補う。発電の際生じた排熱は貯湯槽温水と熱交換をして貯湯槽温度を上昇させる。貯湯槽温水温度が需要側の設定温度に達しなければガスボイラを起動させ、設定温度まで上昇させる。システム構成の概約を Fig.1 に示す。

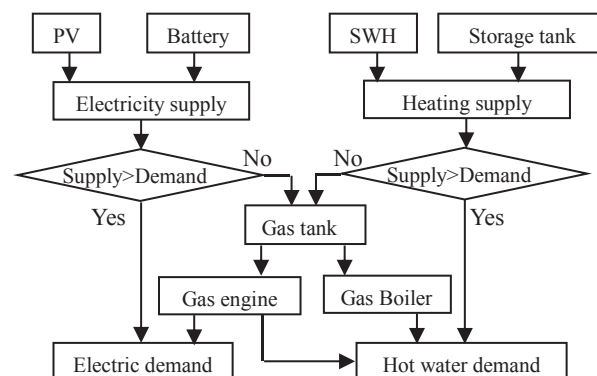


Fig.1 Energy supply systems in emergencies

*1 東京農工大学大学院生物システム応用科学府
(〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16)
e-mail: akisawa@cc.tuat.ac.jp

*2 東京農工大学大学院工学研究院教授

*3 東京農工大学大学院工学研究院准教授

(原稿受付: 2014年 3月 25日)

2.2 供給維持性能評価方法

各種エネルギー機器を導入することで、電力、熱の供給が維持可能な時間を評価する。過去の災害で電力途絶が最も長い7日間を供給維持が必要な日数の最大値とする。

(1) 供給維持確率 本研究ではPV、SWHを用いているが、これらの出力は日射量に依存するため供給途絶が生じる時間によってエネルギー供給が維持可能な期間が異なる。いつの時点で供給途絶が発生するか予測できないため、供給途絶が発生するケースを1月1日0時から12月31日23時まで1時間毎の8760ケースをシミュレーションする。8760ケースのうち、 i 日間の供給が可能なケースの割合を i 日間供給維持確率として(1)式に示す計算式で算出する。3日間供給維持確率が80%だとすると、年間を時間換算した8760時間の80%の時間帯に供給途絶が生じたとしても、3日間以上は供給維持が可能であることを示す。

$$P_i = \text{Day}_i / 8760 \times 100 \quad (1)$$

ただし、

Day_i : i 日間の供給維持が可能なケース数 [-]

P_i : i 日間供給維持確率 [%]

(2) 評価シナリオ 次の3つのシナリオを想定した。

- ・電力のみを対象とした供給維持を考慮する場合
- ・熱のみを対象とした供給維持を考慮する場合
- ・電力と熱の両方を対象とした供給維持を考慮する場合

電力のみ考慮した場合では、電力供給が需要に対して不足すると供給維持は終了となる。熱のみ考慮した場合では供給側の温水温度が需要側の設定温度に達しなくなると供給維持終了となる。電力と熱の両方を考慮する場合は上記のどちらかの条件が成立すれば供給維持終了となる。

3. 集合住宅のモデル化

3.1 集合住宅の設定

本研究では東京都の100世帯集合住宅を対象とする。集合住宅の概要をTable.1に示す。専用部の間取りは日本建築学会標準間取りを用い延床面積を81.05 m²/戸とした。建物の断熱性能は新基準とする。共用部の設定は集合住宅全体のエネルギー消費量を推定している既存文献⁽³⁾を基に設定し屋上面積を1000 m²とした。家族構成は、H17年国勢調査⁽⁴⁾、第13回出生動向基本調査⁽⁵⁾より家族構成別の世帯数割合を用いて決定した。家族構成をTable.2に示す。

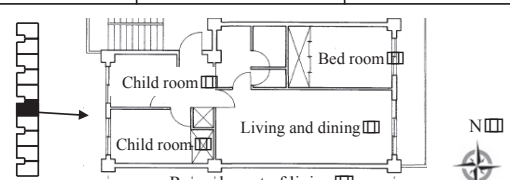
3.2 非常時エネルギー負荷データの想定

(1) 専用部エネルギー負荷 非常時は家族全員が居間に集まって常に在宅し生活するものとする。非常時の使用家電は参考文献⁽⁶⁾に基づき設定した。各家電機器の消費電力は2010年に行ったメーカーのカatalog調査に基づいて設定した。非常時に使用する家電機器の消費電力をTable.3に示す。炊飯機は起動1回当たりの消費電力を示している。

テレビは情報収集のため常時使用する。入浴は高齢者のみ行う。暖房は全世帯が床暖房を使用する。冷房は高齢者のいる世帯のみ使用し、他の世帯は扇風機を使用する。非常時の暖房設定温度は18℃、冷房設定温度は28℃とした。居住者の行動パターンは国民生活時間調査⁽⁷⁾から起床、食事時間等、非常時の行動に該当する項目の行動確率を抽出して作成した。ここから各機器の使用時間を決定し、1時間毎の負荷データを推定した。給湯負荷は用途別の使用水量、使用温度、水道水温度より算出する。Table.4に給湯の設定を示す。冷暖房負荷は建築のエネルギー計算ソフト「Energy Plus⁽⁸⁾」を用いて推計した。

Table.1 The outline of the apartment⁽³⁾

Living space		
Spot	Structure	Building type
Tokyo	RC-10 floor	Balcony type



Communal Space [m ²]		
Elevator hall	Stair hall(indoor)	Stair hall(outdoor)
50	100	100
Entrance	Corridor	Car park
80	1000	1000
Bicycle park	Assembly room	Manager room
50	80	10

Table.2 Family profile^{(4),(5)}

Type	Inhabitant			Number of Households
	Child	Adult	Senior	
1		1		34
2			1	6
3		2		14
4			2	4
5	1 or 2	1		8
6	1 or 2	2		30
7	3	2		3
8	2	2	1	1

Table.3 Power consumption of home appliance

Home appliance	Power consumption
Rice cooker	180 Wh
Electric pot	475 W
Refrigerator	64 W/72 W/86 W (winter/period/summer)
TV(32 inch)	130 W
Room ventilator	50 W
Room light	5 W/m ²

Table.4 Set value of hot water

Use	Quantity [L] (winter/middle/summer)	Temperature [°C] (winter/middle/summer)
Face wash	13.9/ - / -	38/ - / -
kitchen	14.6/ - / -	39/ - / -
Fill the tub	200/200/200	44/43/42
bath	15.2/16.5/18.5	39/39/38

(2) 共用部エネルギー負荷データ 非常灯は共用廊下、階段室照明の60%として共用部照明は非常灯のみ使用する。共用部照明の原単位、照明点灯時間は既存文献⁽³⁾を基に設定した。共用部照明の設定値をTable.5に示す。エレベータは災害時では使用不可とする。本研究では電力、熱の供給のみ考慮し水道の途絶はないものとする。給水方式は高置水槽方式として揚水ポンプ動力を算出する。ポンプ動力はポンプの仕様を設定し、タンク水量が低水位に達するとポンプ起動、満蓄になると停止するものとして算出した。

(3) 平常時と非常時の比較 作成した非常時の負荷データの例として、冬期1日の電力、給湯負荷をFig.2に示す。

Fig.2の棒グラフに注目すると非常時の電力負荷の40%はテレビの消費電力である。朝の炊飯器の起動や、夜間の照明を除けば、非常時の電力負荷はピークが小さく平準化されていることが分かる。共用部負荷は全体の電力負荷の7%程度である。実線の折れ線グラフに注目すると居住者が起床する時間帯に床暖房による給湯負荷が大きく生じるため、給湯負荷のピークは朝に発生することが分かる。

同様な方法で作成した平常時の負荷データと非常時負荷データの月ごとの比較をFig.3に示す。

Fig.3の2つの棒グラフに注目すると電力負荷は平常時が常に上回っている。非常時の電力負荷は平常時の65%と推定された。一方、2つの折れ線グラフに注目すると給湯負荷は冬期である1,2,3,12月では非常時が上回っている。これは非常時に全世帯が常に在宅して生活して床暖房を使用しているため、床暖房による給湯負荷が大きくなるのが原因である。

3.3 分散型エネルギー供給設備の技術的パラメータ

各種エネルギー技術のパラメータを既存機器の性能を用いて設定した。各パラメータの設定値をTable.6に示す。本研究では蓄電池の充電時の損失は微量であるため無視可能として、放電時の損失のみ考慮している。SWH循環水流量はシミュレーション解析により太陽熱温水器の性能評価を行った文献⁽¹¹⁾から0.05 m³/hourとした。ガスエンジンは起動時に使用する冷却ファンの消費電力を考慮している。

4. 電力のみを対象とした供給維持確率の評価

4.1 電力供給シミュレーションモデル

毎時のPV発電量はMET-PV3⁽¹⁴⁾から東京の傾斜面日射量の平均年データを用いて算出する。PV発電量の計算式を式(2)に示す。システム出力係数とはパワーコンディショナーの変換の際に生じる損失を考慮した係数である。温度損失係数とはパネル温度上昇による発電出力低下を考慮した係数である。本研究では簡易的に季節毎にその値を設定した。PV発電量が需要より大きいと余剰分を蓄電池に蓄電、小さいと不足分を蓄電池から放電する。毎時の蓄電残量を計算し、蓄電残量が需要に対して不足した場合電力供給維持終了となる。

$$E_{PV} = IW_{PV}STAPV \quad (2)$$

ただし、

A_{PV} : PV パネル面積 [m²]

E_{PV} : PV 発電量 [kW]

I : 傾斜面日射量 [kW/m²]

S : システム出力係数 [-]

T : 温度損失係数 [-]

W_{PV} : モジュール変換効率 [-]

Table.5 Set value of hot water

Use	Basic unit[W/m2]	Lighting time(winter/period/summer)
Stair hall(indoor)	6	Full time
Stair hall(outdoor)	6	17-07/18-07/19-06
Corridor	5	17-07/18-07/19-06

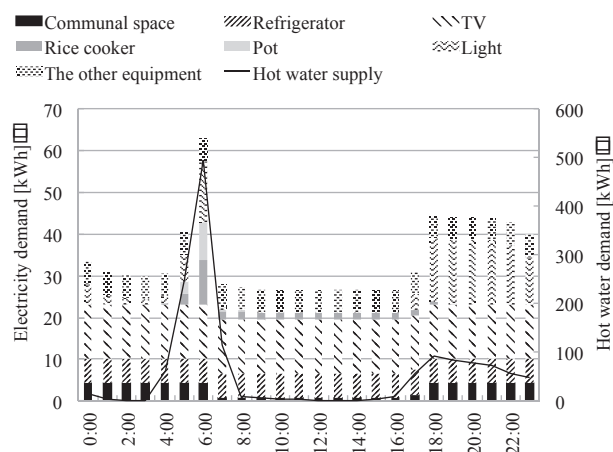


Fig.2 Energy demand in emergencies (winter)

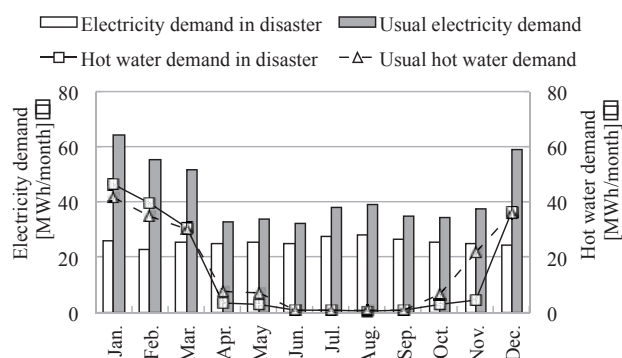


Fig.3 Energy demand in usual and emergency cases

Table.6 Parameters of each equipment ^{(9),(10),(11),(12),(13)}

PV(Tokyo, South, 30°)	SWH(pump circulated system)
Efficiency : $W_{PV}=0.16$ [-]	Solar collection efficiency : $\eta_a=0.78$ [-]
System coefficient : $S=0.74$ [-]	Heat loss rate : $U_{swh}=3.96$ W/(m ² ·K)
Temperature coefficient : $T=0.88/0.91/0.94$ [-] (winter/interim/summer)	Gas engine
Battery(Lead battery)	Electrical efficiency=32%
Discharging efficiency=0.87 [-]	Heating efficiency=53%
Storage tank	Fan running power=61 W/kW
Heat loss rate=1.0 W/(m ² ·K)	Waiting power=39 W/kW

4.2 設備導入量の感度分析

(1) PV 発電容量の影響 本論文では、式(2)の $I=1 \text{ kW/m}^2$ 、中間期の温度損失係数 $T=0.91$ 時の発電量 $E_{PV}=1 \text{ kW}$ とする PV モジュールを発電容量 1 kW と定義する。PV 発電容量を変化させた場合の供給維持時間と維持可能ケース数の関係を Fig.4 に示す。PV 発電容量 100 kW の曲線に注目すると、どの時間に途絶が開始しても 4 日間以上の供給維持は出来ないことが分かる。PV 発電容量 200 kW と 300 kW の曲線を比較すると供給維持日数が長いほど、その日数の供給維持が可能なケース数の差が大きくなることが分かる。つまり、PV 発電容量は長期間の供給維持に強い影響を与える。

(2) 初期蓄電容量の影響 初期蓄電容量を変化させた場合の供給維持時間と維持可能ケース数の関係を Fig.5 に示す。初期蓄電容量 800 kWh と 1000 kWh で供給維持可能ケース数に大きな違いはない。これは短期的には十分な量が蓄電されており、長期的には PV の発電で補充され、初期状態の影響は弱まるためと考えられる。初期蓄電容量 300 kWh と 500 kWh の曲線に注目すると供給維持日数が短いほどその日数の供給維持が可能なケース数の差が大きい。つまり、初期蓄電容量は短期の供給維持に強い影響を与える。

(3) 蓄電池容量の影響 蓄電池容量を変化させた場合の供給維持時間と維持可能ケース数の関係を Fig.6 に示す。蓄電池容量 1600 kWh 、 2000 kWh では供給維持可能ケース数に大きな違いはない。これは蓄電池容量を大きくしても非常時に使用しない容量があることを示す。蓄電池容量 1200 kWh と 1600 kWh の曲線を比較すると、供給維持日数が長いほど供給維持可能なケース数の差が大きいことが分かる。つまり、長期の供給維持に強い影響を与える。

4.3 各電力供給技術導入量の影響

PV 発電容量一定で蓄電池容量、初期蓄電容量を変化させたときの供給維持確率のコンター図を Fig.7 に示す。PV 発電容量 200 kW で 5 日間供給維持確率 40% の等高線に注目すると、初期蓄電容量 1200 kWh 、蓄電容量 1200 kWh の場合と初期蓄電容量 800 kWh 、蓄電容量 1600 kWh の場合はどちらも供給維持確率 40% である。つまり、 1200 kWh の蓄電池を満充電で用意する場合と、 800 kWh の満充電の非常用蓄電池と 800 kWh の常用蓄電池(空でもよい)を保有する場合は同じ確率を与える。これは、電気自動車などを日常的に使用していれば常用蓄電池とみなし、非常用蓄電池の容量を大幅に低減できることを示唆している。また、Fig.7 の PV 容量 100 kW での 5 日間供給維持確率を示す(a)右の図に注目すると蓄電池がどのような条件でも供給維持確率は 40% 未満であり、PV 発電容量 100 kW では 5 日間以上の供給維持は困難である。しかし、本研究で対象としている集合住宅は屋上面積 1000 m^2 であるため、屋上に $A_{PV}=1000 \text{ m}^2$ の PV を設置しても式(2)と 4.2 節の PV 発電容量の定義より、発電容量 107 kW までしか設置できない。よって 5 日間以上の供給維持をするためには追加の発電設備が必要となる。

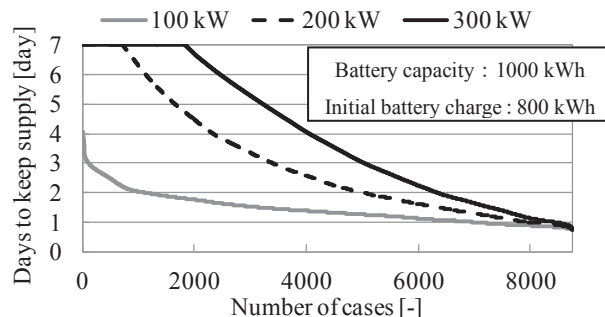


Fig.4 Probability of electricity supply by PV capacity

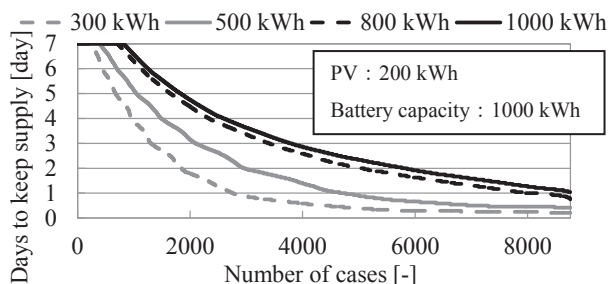


Fig.5 Probability of electricity supply by initial battery charge

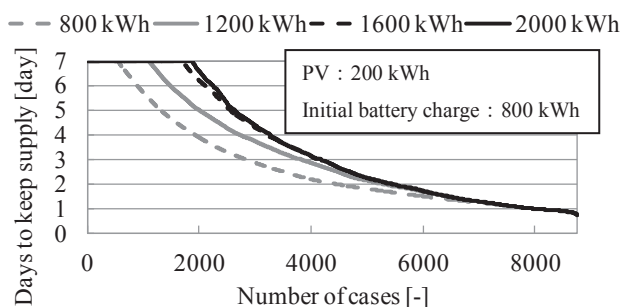


Fig.6 Probability of electricity supply by battery capacity

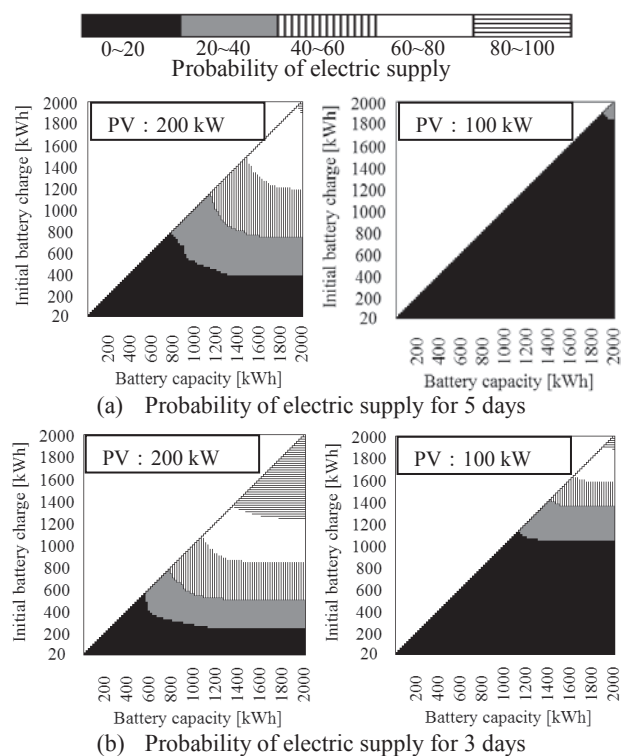


Fig.7 Probability of electric supply for each days

5. 熱のみを対象とした供給維持確率

5.1 熱供給シミュレーションモデル

MET-PV3⁽¹⁴⁾より東京の日射量データ、外気温データを用いSWHの循環水温度を算出する。算出式を式(3),(4)に示す。SWHで暖められた循環水と貯湯槽内の温水で熱交換を行い貯湯槽内の温水を上昇させる。貯湯槽温度がSWHからの循環水温度より高いと熱交換は行わない。給湯に使用した水量分は水道水から貯湯槽に給水される。貯湯槽内温度が給湯に必要な設定温度より低いと熱供給維持終了として供給維持確率を算出する。

$$T_{out} = T_m + [I\tau\alpha - U_{swh}(T_m - T_a)]A_{swh}/(\rho c M_{WT}) \quad (3)$$

$$T_m = (T_{in} + T_{out})/2 \quad (4)$$

ただし、

A_{swh} : SWH 集熱面積 [m²]

c : 循環水比熱 [kJ/(kg・°C)]

M_{WT} : 循環水流量 [m³/s]

T_a : 外気温 [°C]

T_{in} : SWH 循環水戻り温度 [°C]

T_m : SWH 内循環水平均温度 [°C]

T_{out} : SWH 循環水供給温度 [°C]

U_{swh} : 集熱板熱通過率 [kW/(m²・K)]

$\tau\alpha$: 最大集熱効率 [-]

ρ : 循環水密度 [kg/m³]

5.2 SWH、貯湯槽容量による影響

8760 ケースの熱供給維持可能時間を Fig.8 に示す。0 ケース目は1月1日0時に、8759 ケース目が12月31日23時に供給途絶が発生したケースを表す。0-2000,8000-8759 ケースでは1日以上供給維持はできないことが分かる。これは冬期の床暖房により大きな熱負荷が生じるため、太陽集熱だけでは需要を満足できないからである。一方、夏期では非常時の給湯負荷は高齢者の入浴以外はないため、全てのケースで7日間の供給維持が可能となっている。

貯湯槽容量、SWH 集熱板面積を変化させたときの1,3,5,7日間熱供給維持確率を Fig.9 に示す。どの条件でも供給維持確率は80%未満であることが分かる。これは、SWH、貯湯槽の導入量を大きくしても冬期の熱供給を満足できないことを示している。このため、冬期の熱供給維持のためには追加の熱供給設備が必要となることが分かる。

6. ガスエンジンとガスタンクによる供給維持性能の向上

6.1 ガスエンジン容量の影響

4.5 節より太陽電池、蓄電池だけでは長期の電力供給を維持できないことが分かった。そこでガスエンジンを導入し不足分を発電で補うことを考える。また、発電時の排熱を利用することで熱供給維持性能の向上も期待できる。ガスエンジンの起動条件は蓄電池の蓄電残量が設定値以下にな

ると起動するように制御するものとした。なお、ガスエンジンは定格出力の ON/OFF 運転を行うものとし、発電の余剰分は蓄電池に充電される。ガスエンジン発電容量を変化させた場合における7日間供給維持確率を Fig.10 に示す。ガスエンジンの起動条件を蓄電残量 1500 kWh, 500 kWh, 非常時電力負荷のピークである 60 kWh 以下それぞれについて行った。Fig.10 の3つの曲線に注目すると、ガスエンジンの起動条件がどの場合でもガスエンジン発電容量がある値で供給維持確率が最大となるピークが存在する。このピークの発電容量は、起動条件の蓄電残量が大きくなるほど小さくなる。これは、ガスエンジンが頻繁に起動するほど発電容量は小さくてすむことを意味する。この原因は、ガスエンジンが定格出力運転を行うことが影響している。発電容量が小さいと1回の起動で消費するガス燃料が少なく、頻繁に起動できる。一方、ガスエンジン発電容量が大きいと1回の起動で多くのガス燃料を消費するため、同量のガス燃料保持に対して供給維持確率は低下する。

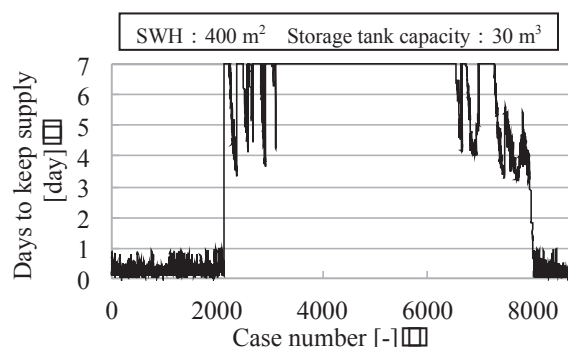


Fig.8 Days of keeping hot water supply

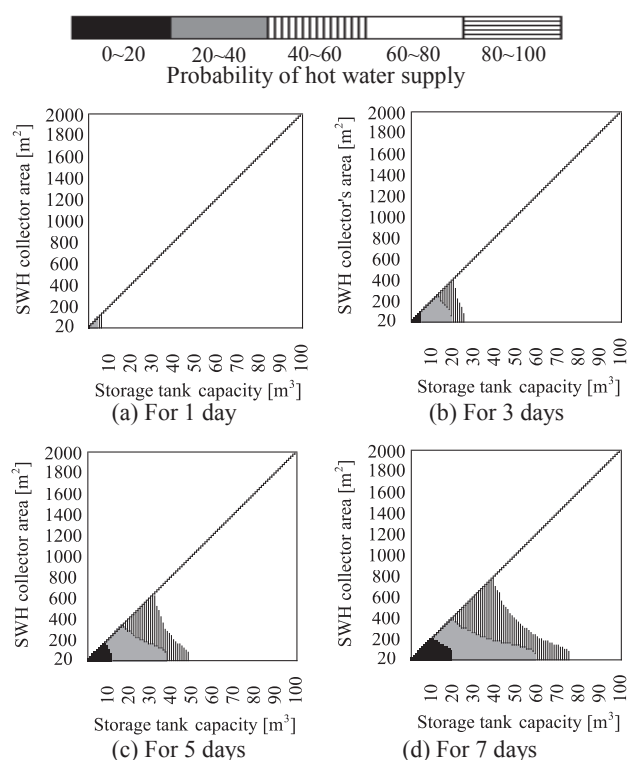


Fig.9 Probability of heat supply for each days

6.2 ガスタンク貯蔵エネルギー量の影響

電力のみ考慮した場合、熱のみ考慮した場合、電力と熱の両方を考慮した場合それぞれにおいて、ガスタンク貯蔵エネルギー量を変化させたときの7日間供給維持確率をFig.11に示す。電力のみ考慮した場合にはガス燃料をガスエンジンにのみ供給する。熱のみ考慮した場合には熱効率80%のガスボイラを用いて熱供給を行う。電力と熱の両方を考慮した場合には熱のみ不足した場合ガスボイラを使用する。ガスエンジンの起動条件は、Fig.10からガスエンジン導入量が35 kWの場合、供給維持確率が最大となる起動条件である蓄電残量が500 kWh以下とした。Fig.11の熱のみ考慮した場合の曲線に注目すると、ガスタンクエネルギー貯蔵量に伴って供給維持確率も緩やかに上昇し、40 GJで100%に達する。電力のみ考慮した場合の曲線に注目すると、ガスタンク貯蔵エネルギー量に伴い供給維持確率は急激に上昇し、40 GJで100%に達する。これは、床暖房を使用する一般家庭100世帯の平常時ガス消費量の約1.5日分に相当する量である。電力と熱両方を考慮した場合は電力のみ、熱のみ考慮した場合より10 GJ以上多くのガス燃料を保持する必要がある。ガスタンクを保持しない場合の供給維持確率は0%であったことに対して、40 GJ以上のガスタンクを保持してガスエンジン、ガスボイラを用いることで、7日間の供給維持確率を80%程度まで達成できることが分かる。このことから、太陽エネルギー技術に加えて非常用ガス燃料を保持することで、太陽エネルギー技術の出力不安定性を補い、供給維持確率を大幅に向上可能であることが示された。

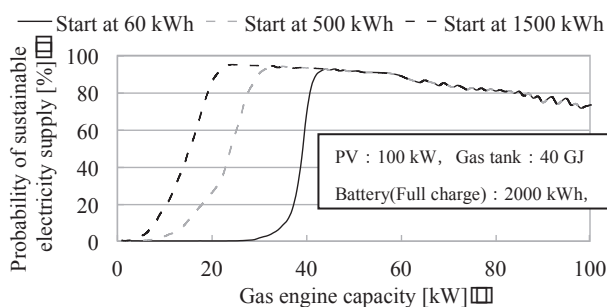


Fig.10 Probability of electricity supply with gas engine

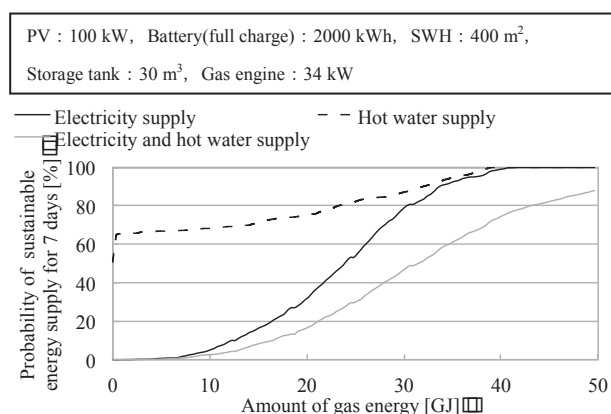


Fig.11 Probability of energy supply with gas tank

7. 結論

100世帯集合住宅を対象として外部エネルギー供給が途絶した非常時の電力および熱の供給について供給維持確率を指標として評価した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・ 長期の電力供給にはPV、蓄電池の容量が、短期の電力供給には初期蓄電量が強い影響を与える。
- ・ 発電容量200 kWのPVが設置可能な場合、電力供給維持確率80%以上達成可能である。一方、発電容量100 kWのPVでは、5日間を超える供給維持は困難である。
- ・ 非常時の熱供給は冬期の床暖房使用日を除けば、4日間以上の長期間の供給維持も可能である。一方、床暖房を使用する場合は補助熱源機器の使用が必要となる。
- ・ 電力と熱の両方を考慮した場合でも、非常用ガスタンクを保持してガスエンジン、ガスボイラを使用することで7日間供給維持確率を80%以上に達成できる。

分散型エネルギーシステムは平常時のエネルギー供給にも寄与する。その観点から非常時の供給維持効果と平常時の貢献の両方を含めた評価を行うことが課題である。

参考文献

- 1) 東京都防災会議，首都直下地震等による東京の被害想定，東京都総務局(2012)，1-108-1-131
- 2) 富田 達 他，集光型太陽光発電による電力供給途絶リスクの低減効果，日本太陽エネルギー学会日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集(2010)，493-496
- 3) 湯浅和博 他，住棟全体のエネルギー消費量の推定，日本建築学会環境系論文集，74-637(2009)，397-402.
- 4) 総務省統計局，国勢調査，世帯の家族類型(2006)
- 5) 厚生労働省，第13回出生動向基本調査(2006)
- 6) 朝野賢司 他，東日本大震災・被災地におけるエネルギー利用実態調査-震災後1カ月間の在宅被災者の対応行動-(2012)，電力中央研究所報告，15-22.
- 7) NHK放送文化研究所，データブック生活行動時間帯調査2005(2006)，NHK出版
- 8) Drury B. Crawley et al, Energy Plus, creating a new-generation building energy simulation program, Energy and Buildings 33-4(2001)
- 9) NEDO 技術開発機構新エネルギー開発部，PV環境技術の開発，太陽光発電システム共通基盤技術研究開発事後評価分科会説明資料(2009)，3-7.
- 10) 資源エネルギー庁，蓄電池技術の現状と取り組みについて，総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会配布資料(2009)
- 11) 大蔵将史 他，家庭部門エネルギー需要削減効果に与える太陽光発電および太陽熱温水器設置面積の影響，日本エネルギー・資源学会論文誌，31-2(2009)，10-17.
- 12) <http://www.beltecno.co.jp/>(株)ベルテクノホームページ，著作閲覧日：2011年10月)
- 13) 東京ガス，ジェネライトカタログ(2012)
- 14) <http://www.jwa.or.jp> (日本気象協会，太陽光発電用標準気象データを活用した解析，著作閲覧日：2011年9月)