

複数家庭に向けた ZEH 実現のための 電力融通手法の検討

野村朋生¹ 福田瑛次¹ 宮島誠治² 齋藤正史¹

概要: 本研究では、太陽光発電・蓄電システムの導入量や導入コストなどをパラメーターとする ZEH の経済性評価シミュレーターを開発した。このシミュレーターは住宅に太陽光発電・蓄電システムを導入する際の検討材料として有用である。開発したシミュレーターを用いて太陽光発電システム 3, 5, 10, 20kW と蓄電システム 0, 5, 10, 20, 40kWh の組み合わせの経済性を評価する。太陽光発電システム 3kW のみ導入することで最低損失 3.5 万円であった。しかし、電力量単価が 10%高騰したとき、同様のシステムで 3.6 万円の利益を得られる。また、シミュレーターを複数同時に運用し、複数家庭での電力を融通することにより高い経済性を得られる手法についても検討を行った。

キーワード: ネットゼロエネルギーハウス, エネルギーマネジメント, 太陽光発電, 蓄電池,

A Study of Electricity Distribution Methods to Realize ZEH for Multiple Households

Tomoki NOMURA¹ Eiji FUKUDA¹ Seiji MIYAJIMA²
Masashi SAITO¹

Abstract: In this research, we have developed a simulator to evaluate the economic efficiency of ZEH for one year, using the amount of storage batteries and PV equipment installed as parameters. This simulator is useful in determining the amount of storage batteries and PV equipment needed for constructing ZEH. We evaluate the economic efficiency with combinations of storage battery capacities, 0 to 40 kWh and PV power generation of 3 to 20 kW. 35 thousand yen is the minimum loss when only 5 kW of PV is installed. Although in case of 10% increase unit price of electricity, profit becomes 36 thousand yen. We have also studied methods to obtain higher economic efficiency by operating multiple simulators at the same time by accommodating electric power.

Keywords: Net Zero Energy House, Energy Management, Photovoltaic, Storage Battery

1. はじめに

日本では 2009 年 11 月から開始した固定価格買取制度(以降 FIT)をきっかけに再生可能エネルギーの導入が急速に進んだ。FIT は再生可能エネルギー(太陽光, 風力, 水力, 地熱, バイオマス)によって発電された電気を電力会社が国の定める価格で一定期間買い取ることを義務付けた制度である。10kW 未満の住宅用 PV(住宅用太陽光発電)については自家消費した後の余剰電力が 10 年間買取対象となっている。制

度は 2019 年 11 月から順次満了してゆく。資源エネルギー庁によると FIT を満了する住宅用 PV の推移は 2020 年には累計 73 万件(282 万 kW), 2023 年には 165 万件(670 万 kW)とされている。FIT 後における余剰電力の使い道が課題である¹⁾。

FIT 期間内の売電価格は、2009 年度に 48 円/kWh を付けていた。以降、価格は年々減少し続け 2020 年度には 21 円 kWh と半額以下になった。FIT 終了後は 8 円/kWh ほどの価格で取引することとなり、購入価格 約 20 円/kWh と比較し

¹ 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology, Nonouchi, Ishikawa 921-8501, Japan

² 米沢電気工事株式会社
Yonezawa Electrical Engineering Co., Ltd, Kanazawa, Ishikawa 921-8588, Japan

た場合、発電した電気を自家消費したほうが経済的であると考えられている。そのため、太陽の昇っている日中に発電し、発電余剰を系統に売電せずに蓄電池に貯めておき、夜間に貯めた電力を放電する自家消費型の住宅が注目される。

自家消費に焦点を当てた住宅はネットゼロエネルギーハウス(以降 ZEH)に近い。ZEH は、自家発電・断熱性・省エネという 3 つの特徴を持ち、1 次エネルギー消費量ゼロを目指した住宅のことである^[2]。住宅の断熱性能を向上させることでエアコンの使用量を削減し、高効率機器や HEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム)によって住宅全体を省エネ化している。電力消費量が少ないため、太陽光発電と蓄電池を併用することで効果を期待できる。

ZEH を実現するためには蓄電池が重要な役割を担っている。蓄電池の価格は下落傾向にあるが、リチウムイオン電池の原料費の受給を考えると価格低下は減速する。家庭用蓄電池を導入するのではなく、EV に搭載されている蓄電池を家庭用蓄電池として使用することも考えられる。普段使いの自動車が EV であるならば EV と住宅を連携させる V2H(Vehicle to Home)がある^[3]。寿命を迎えた EV の蓄電池を家庭用蓄電池の代替とすることも考えられる。中古 EV に関して言えば、2010 年ごろに発売が開始された EV が寿命を迎えて市場に出回り始めている。

本研究では、ZEH の実現に向けて住宅に太陽光発電・蓄電システムの導入を想定したシミュレーターを開発し、システム導入量・コストの変化による経済性を評価する。また、シミュレーターを複数同時に運用することによってより効率的に電力融通を行う手法についても検討する。

2. 関連研究

石川ら^[4]は FIT 満了後住宅の PV 設備への蓄電池導入による一次エネルギー削減量と経済性を評価する蓄電池容量、接続方法および充放電制御方法、給湯器の沸上時間をパラメーターとしたシミュレーションを行った。最も良い結果となったのは、蓄電池システムを導入せずヒートポンプ式給湯器の沸上時間をシフトするという条件であり、年間 0.37 万円の利益と一次エネルギー消費量 14MJ(3.9kWh)削減できることを示した。売電単価 8 円/kWh で蓄電池 3kWh を導入した場合、蓄電池導入コストが 15 万円以下、耐久年数が 28 年まで伸びる、電力料金が現在価格の 186%に高騰することのいずれか一つを満たす必要があることも論じている。

矢部ら^[5]は、全国太陽光発電付き住宅と業務用の電力需要データ・太陽光発電実測データをもとに需要家ごとに蓄電池導入前後の自家消費率や経年費の変化を求め、経済性を評価した。住宅に 6 万円/kWh の蓄電池 5kWh を導入する場合、15 年程度で投資回収は可能であるとした。深夜料金の開始時刻が遅い電力料金を選択する場合、回収年数は 11 年程度であり、需要特性等によってばらつく。業務用需要家については、6 万円/kWh の蓄電池を太陽光発電出力の 30 分間

分程度併設すると 8 年程度で回収できるという結果を得ている。

本研究で開発したシミュレーターは、太陽光発電・蓄電システムの導入量およびコストなどをパラメーターとして家庭ごとに設定可能とし、住宅が ZEH に向けてシステムを導入したときの経済性評価を短時間に実行する。次に、シミュレーターを複数稼働させ、家庭間での電力融通を行うことによって、マイクログリッド内での経済性・環境性の評価を行う。また、今後導入が加速される EV による蓄電池の代替についても検討・評価するとともに、シミュレーターの操作が容易なインターフェースを提供している。

3. 単一家庭用 ZEH 経済性評価シミュレーター

3.1 ZEH モデル

太陽光発電システムと蓄電システムを導入する住宅を取り上げる。住宅への電力供給は、太陽光発電による発電量から供給される。消費量が発電量を超過する場合、蓄電池から放電することで不足電力を補填する。発電量供給と蓄電池放電を行ったとしても不足する場合、系統から残りの不足電力を買電することで消費量を満たす。太陽光発電の余剰電力は蓄電池に充電され、充電しきれない余剰電力は系統へ売電する。これらの電力授受は HEMS を通して制御される。

電力消費量予測と PV 発電量予測の活用についても考える。スマートメーターが住宅電力消費量、PV 設備のセンサーが発電量・日射量を計測している。HEMS は収集データを用いて電力消費量予測と PV 発電量予測を行う。電力消費量予測、PV 発電量予測、蓄電池残量によって、未来の電力の過不足を予想し、電力料金が最小になるような電力制御が可能である。

想定する ZEH を図 1 に示す。単一家庭用のシミュレーターは、図 1 を模擬して実装を行った。

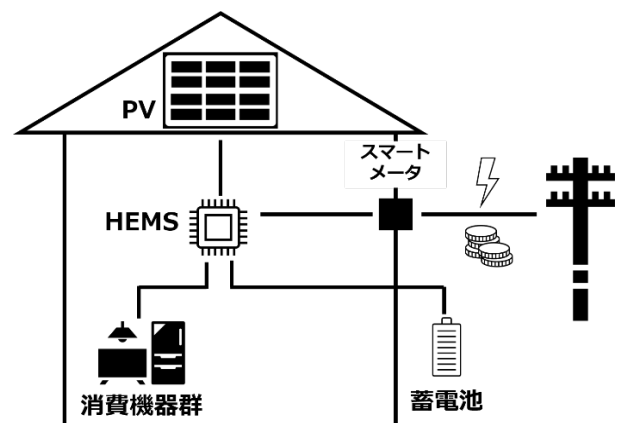


図 1 ZEH モデル

3.2 シミュレーターの概要

電力消費量や太陽光発電量などのシミュレーションに使用するデータは CSV・DB の形式で記録されている。シミュレーターに太陽光発電・蓄電システムの導入量や導入コス

トなどのパラメーターを入力し、実行するとデータを読み込み、電力授受シミュレーションが開始される。電力授受の計算は1年間を30分刻みで実施する。シミュレーション完了後、電力授受の推移や損益に関するグラフが描画される。結果のデータはCSV形式でダウンロードすることができる。

本研究で開発する単一家庭用シミュレーターの機能と構成について図2に示す。

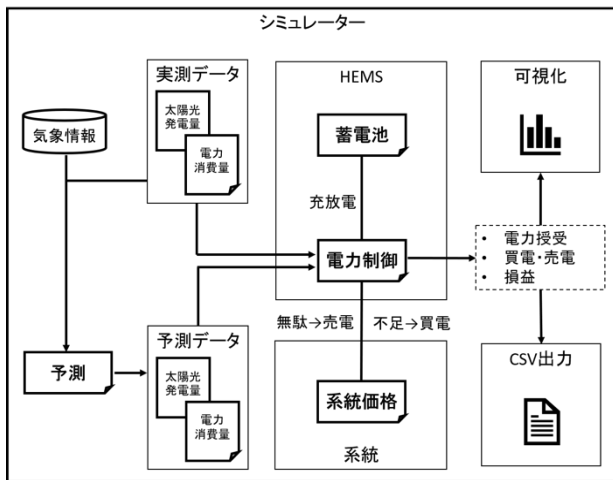


図2 シミュレーションシステムの構成

3.3 太陽光発電電力量データ

金沢工業大学白山麓キャンパスにて分散型エネルギーにむけたエネルギーマネジメント実証実験が行われており、実験の一環としてエネルギー関連データを収集している^[6]。電力授受シミュレーションには2020年の太陽光発電電力の実測値を使用する。データは2秒間隔で計測されているため、30分毎の平均値を発電電力として電力量を計算した。

3.4 電力消費量データ

日本建築学会^[7]が公開しているエネルギー消費量データから、北陸地方(新潟県)の戸建て住宅8件の電力消費量を使用して電力消費量を作成する。8件の電力消費量を時間ごとに平均集計し、3つに分類した。

電力消費と住宅の割り当てを表1に示す。

表1 電力消費量モデルの定義

Model	House ID
日中不在で夜間・深夜に集中使用, 深夜給湯	1,2,6
常時在宅で夕方によく使用	4,5
常時在宅で朝・夕によく使用	3,7,9

分類したデータを週、曜日、時間で平均集計し、最大値を1としてスケーリングしたものをシミュレーションに使用する。シミュレーションでは、月平均電力使用量料金というパラメーターに応じて、サイズを調整することで、世帯に応じた電力消費量を再現している。電力量料金は従量電灯Bの電力量料金に従っている。

3.5 電力授受シミュレーション

通常の電力授受シミュレーションと電力需給予測を活用した電力授受シミュレーションを実装する。図3はシミュ

レーションの処理概要である。まずは、実データを用いたシミュレーターを開発し、のちに電力需給予測を考慮したシミュレーションと蓄電池をEVで代替したシミュレーションを実装する。

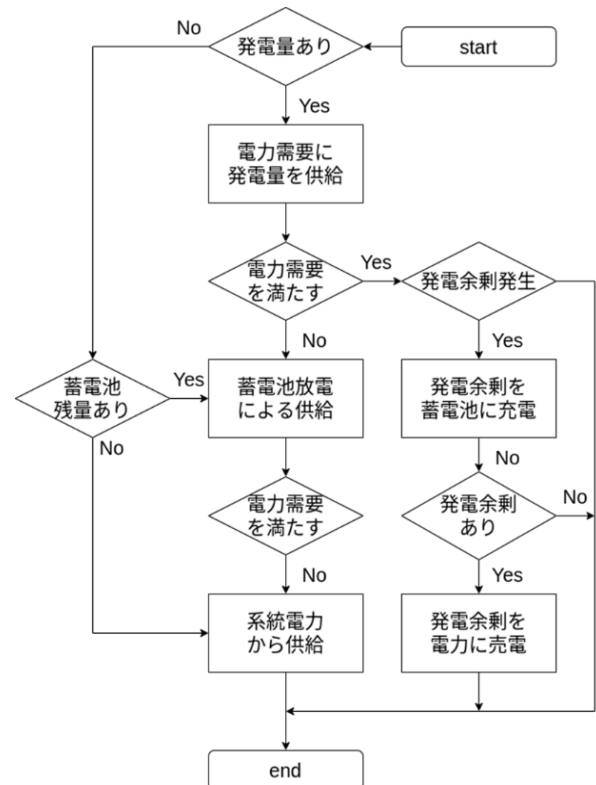


図3 シミュレーションアルゴリズム

3.6 入出力データ

シミュレーションの入出力のためのWebインターフェースを作成する。Webインターフェースを通してシミュレーションのパラメーター設定ができる。パラメーターを設定し、シミュレーションを実行すると電力授受の計算が開始される。計算が完了すると、同じWebインターフェースに電力授受の経過や損益についてのグラフが描画される。シミュレーションの結果はそれぞれCSV形式でダウンロードすることができる。

4. シミュレーションの設定

4.1 電力消費量

各電力消費モデルに月平均電力使用量料金1万円として電力消費量のサイズを調整したものをシミュレーションに使用する。調整後の電力消費量について、図4に月間電力消費量、図5に1日の平均的な電力消費の推移を示す。

年間電力消費量は5,621kWhであった。北陸の1世帯当たりの年間電力消費量は6,333kWhであるため11%ほど少ない。いずれも冬季の電力消費量が多く、春・秋季は少ない。

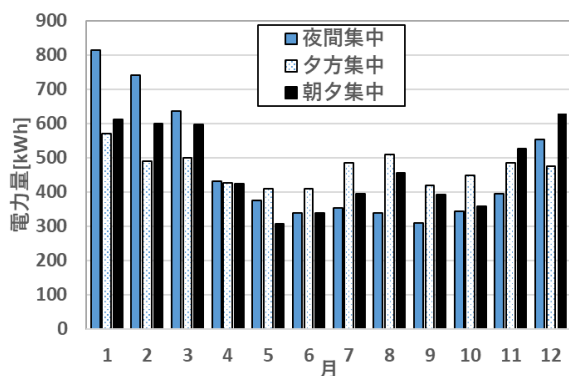


図4 月ごとの合計電力消費量

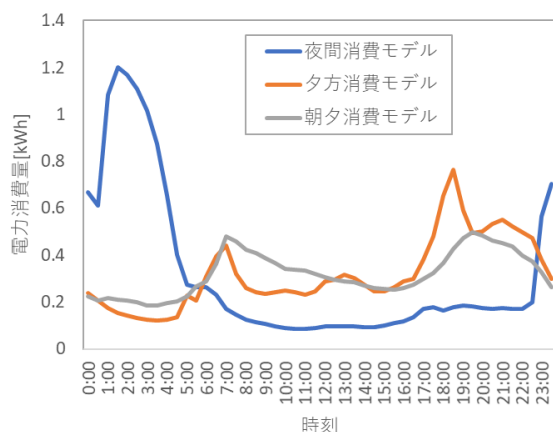


図5 一日の平均電力消費量

4.2 太陽光発電・蓄電システムの設定

太陽光パネルの出力3, 5, 10, 20kWと蓄電容量0, 5, 10, 20, 40kWhの組み合わせをそれぞれシミュレーションする。蓄電容量20kWhおよび40kWhはEVを蓄電池として使用した場合である。本稿では、発電・蓄電システムの劣化は考慮していない。導入システムの設定を表2に示す

表2 システム設定パラメータ

Parameter	Value
電力変換効率	95%
最大充放電効率	95%
最大充放電電力	3kW

4.3 各種価格設定

太陽光発電システムの導入コストは33.6万円/kW、定置型蓄電池の本体コスト14万円/kWh、V2Hの本体コスト49.3万円^[8]とした。EV本体のコストは含まない。蓄電システムの工事費33.6万円/件とした。定置型蓄電池・太陽光発電・蓄電システムの導入単価について表3、本稿におけるシステム導入コストについて表4に示す。

表3 システム導入単価

System	Cost
太陽光発電	33.6万円/kW
定置型蓄電池	14万円/kWh
V2H(EV)	49.3万円/台
蓄電システム工事費	33.6万円/件

表4 システム導入コスト

太陽光発電		蓄電システム	
導入量	価格	導入量	価格
3kW	90.9万円	0kWh	0万円
5kW	168万円	5kWh	103.6万円
10kW	336万円	10kWh	173.6万円
20kW	672万円	(※EV)20,40kWh	82.9万円

蓄電システムにEVを用いる場合のコストは容量に関係なくV2H49.3万円に工事費33.6万円を足した金額となる。

電力消費量は昼間に少なく、夕方から夜間にかけて増大する傾向にあるため、北陸電力のくつろぎナイト^[9]をシミュレーションの電力料金プランに適応した。くつろぎナイト12は夜間(20:00~8:00)の電力量料金が安価な料金プランである。本稿では、基本料金(1,650円/月)と電力量料金のみを考え、再エネ賦課金と燃料調整単価は含んでいない。売電単価は8円とした。

5. 単一家庭におけるシミュレーション結果

5.1 1年間の電力売買損益

シミュレーションによる電力売買損益と従来の電力量料金(12万円)の差額を計算し、1年間の損益とした。基本料金とシステム導入コストは含んでいない。

夕方集中モデルの1年間の電力売買損益を図6に示す。

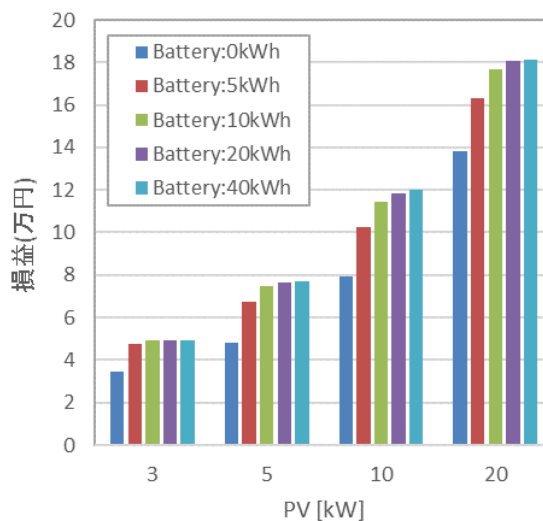


図6 1年間の電力売買損益
(夕方集中モデル)

太陽光発電20kW、蓄電容量40kWh、夕方集中モデルにおいて最大利益18.2万円となった。太陽光発電の出力が大きくなるほど利益は増加するが、蓄電容量が大きくなるほど利益が増加するとは限らない。

5.2 初期費用込み15年間損益

太陽光発電3kWのみ、夜間集中モデルの場合に最小損失3.5万円、太陽光発電20kW、蓄電池10kWh、朝夕集中モデルの場合に最大損失517.6万円を計上した。初期費用を含めて利益を得ることはできなかった。

夜間集中モデルの15年間の損益を図7に示す。

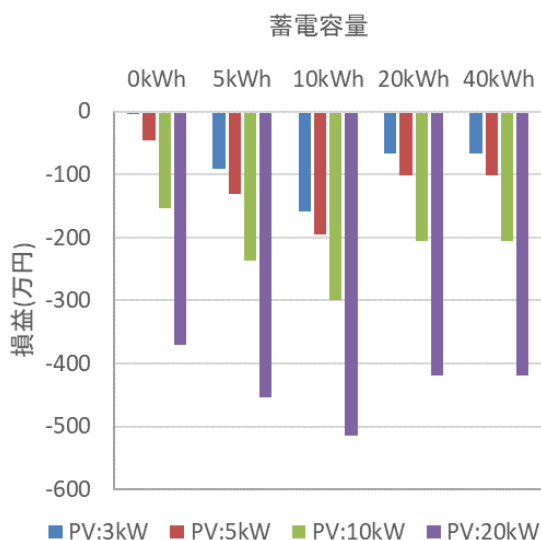


図7 15年間の損益 (夜間集中モデル)

本稿の条件では導入しないほうが経済的である。太陽光発電システムの導入単価が 33.0 万円になれば、太陽光発電 5kW のとき夜間集中モデルにおいて従来の電力料金+基本料金から 0.4 万円削減することができる。

5.3 1年間の自家消費率

現時点での電力量単価では、経済面においてシステム導入はしないほうがよいという結果であったが、環境負荷低減への貢献を考えるのであれば、電力消費量に対して自家発電量でどの程度賄えるかをシステム導入の判断材料にできる。

太陽光発電と蓄電池放電による 1 年間の自家消費率を式 (1) で計算した。システム導入量の変化による自家消費率を図 8 に示す。

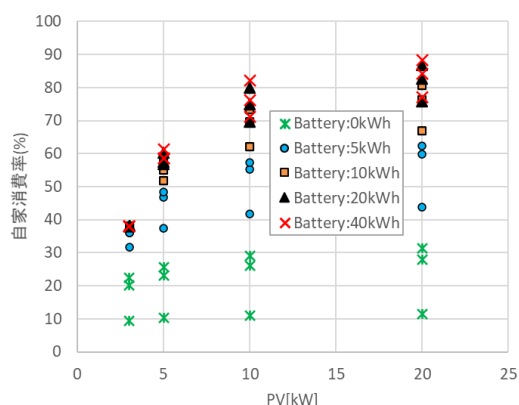


図8 自家消費率

太陽光発電・蓄電システムを組み合わせることにより自家消費率は向上する。特に、蓄電池容量を増やすことで自家消費率を大幅に向上できる。システム導入コストが増大するため、環境負荷低減を考慮するなどの程度の経済的損失を受け入れるかは導入者検討となる。

5.4 電力量料金高騰時の損益

将来的に化石燃料の価格高騰によって電力量単価の引き

上げが予想されている。

本節では、電力量単価が 10, 30, 50, 100%まで高騰すると想定したシミュレーション結果を示す。以下にシステム導入なしよりも損失が少ない場合に利益となったシステムの組み合わせを示す。

10%の高騰で太陽光発電 3kW のみ導入の際に利益が出る。30%および 50%の高騰でも利益の出るシステム導入の組み合わせに変化はなく利益が上昇していた。70%の高騰で太陽光発電 3kW と蓄電池 40kWh を組み合わせただけの場合にも利益が出た。100%の高騰で太陽光発電 3kW のみ導入、太陽光 5kW のみ導入に加えて、太陽光発電 3kW と蓄電池 5kWh の組み合わせ、太陽光発電 3kW と蓄電池 20kWh もしくは 40kWh の組み合わせの場合においても利益が出る。表 5 に電力量単価上昇によって夜間集中モデルにおいて利益が出たシステムの組み合わせを示す。

表 5 利益の高いシステムの組み合わせ

上昇率	システム	導入コスト	利益
10%	PV3kW	90.9万円	3.6万円
30%	PV3kW	90.9万円	17.9万円
50%	PV3kW	90.9万円	32.3万円
70%	PV3kW	90.9万円	42.8万円
	PV5kW	151.5万円	4.9万円
	PV3kW+BT40kWh (EV)	173.8万円	9.8万円
100%	PV3kW	90.9万円	68.1万円
	PV5kW	151.5万円	26.8万円
	PV3kW + BT5kWh	194.5万円	12.8万円
	PV3kW+BT40kWh (EV)	173.8万円	42.7万円
	PV5kW+BT40kWh (EV)	234.4万円	31.6万円

100%まで電力量単価が高騰したことを想定すると、太陽光発電 3kW のみを導入することが最も効果的である。

6. 複数家庭を想定したシミュレーターの拡張

6.1 複数家庭による融通モデル

単一家庭用 ZEH 経済性シミュレーターを複数同時に稼働させ、それぞれの家庭の電力不足を補える形の電力融通形態を構築する。

複数のシミュレーターを同時に稼働させることによって、単一家庭用シミュレーターで行われていた蓄電池からの放電・電力会社からの買電に加えて、他の家庭から余剰電力の買電、売電を行うことができるようになり、より高い利益・環境性を得ることができると予測している。

複数家庭における電力売買モデルを図 9 に示す。一家庭の蓄電池残量が電力消費量を下回ってしまった場合、他の家庭に電力を購入してもらえるよう通信する。蓄電池残量が充足している家庭は、希望電力価格・取引可能電力量を電力不足家庭に提示する。提示を受けて、最適な価格・電力量の取引内容を選択し、電力融通を行う。また、太陽光発電量が蓄電池容量を超えてしまった際にも、同様に蓄電池残量が不十分な家庭と通信して売電を試みる。

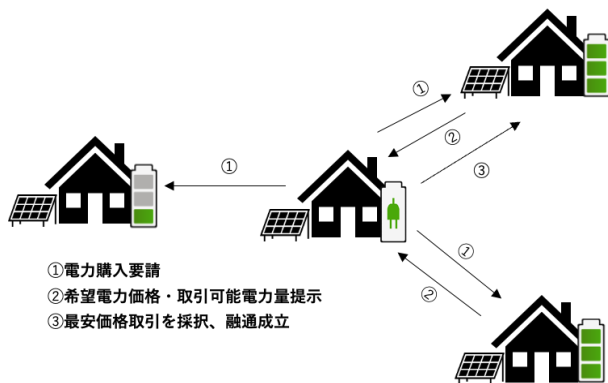


図9 複数家庭電力融通モデル

6.2 家庭同士の通信

表6 電力融通における家庭同士の通信

電力不足家庭	他の家庭
A-1 電力売却要請を発信 希望売却電力量	B-1 電力売却要請を受信 蓄電池空き容量を確認 希望価格・売却可能電力量の計算
A-2 売却希望価格の中で最も安いものを採択	B-2 売却希望要請(希望電力価格・売却可能電力量)
A-3 取引要請を送信	B-3 取引要請を受信
A-4 取引許諾通知を受信	B-4 取引許諾通知を送信
A-5 電力輸送を実行 ステータスを更新	B-5 電力輸送を実行 ステータスを更新

本シミュレーターにおいて電力融通を行う際の通信内容を表6に示す。現在の実装では、各個の家庭が一定の間隔で蓄電池が不足状態に陥っていないかをチェックし、電力不足が発生していた場合は表6に記された通信・計算を行なって家庭同士による電力融通を実行する。通信に失敗した場合や取引に応じる家庭が存在しなかった場合は、電力会社から買電を行い、電力不足を解消する。

6.3 現在の実装状況

シミュレーター2台を同時に稼働させ、互いに状態データの通信を行うことによって電力の受け渡しはシミュレーター上で実行することができるようになっている。但し、取引を行う際の電力料金や電力量を求めるアルゴリズムは実装しておらず、それぞれ電力不足・過剰が発生した際に固定価格・固定量での取引を行う単純な通信を行っている。

6.4 拡張実装予定項目

まず電力融通を行う際に融通する電力料金や電力量、取引の採択に関わるアルゴリズムを構築する。アルゴリズムには、各家庭の意思決定と相互作用を考慮した上でナッシュ均衡を求めることができるゲーム理論を用いる。また、目的変数を損益ではなく電力会社からの買電量に設定し、環境性をより考慮に入れたシミュレーションを行う。

その後、シミュレーターの稼働台数を増加させ、経済性や

環境性を検証していく予定である。

7. おわりに

本研究ではZEHの経済性を評価するためのシミュレーターを開発した。シミュレーターは各家庭が設備導入検討するために有用である。シミュレーターが具備する、Webインターフェースを通して操作することができるため、多くの人が操作できる。

太陽光発電システムと蓄電システムを導入するにあたって、経済性のみを考えるのであれば、太陽光発電・蓄電システムの導入は控えたほうがよい。損失を受け入れる前提で導入をする必要がある。ただし、電力量料金が高騰した場合にはPVやEVの導入により利益を得ることも可能となることを示した。

現時点では、太陽光発電・蓄電システムの経年劣化を考慮していないため、劣化を含めた実装が必要である。また本研究では、電力需給予測の活用までを目標としていたが実装には至っていない。実際のZEHのデータとの検証も必要である。加えて、複数家庭間での電力融通までを想定した実装は完了しておらず、アルゴリズムを用いた最適な電力融通手法やシミュレーター数を増やした通信・取引を今後実装し、複数家庭に向けたZEH実現のための電力融通手法を提案して行く。

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁, “住宅用太陽光発電設備のFIT買い取り期間終了に向けた対応”, 2019.
- [2] 資源エネルギー庁, ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス) に関する情報公開について - 省エネ住宅, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html, (2021.07.26アクセス).
- [3] 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, “再生可能エネルギー技術白書 第2版”, 2014.
- [4] 石川廉, 松尾廣伸, “FIT満了後の住宅用PVシステムへの蓄電池システム導入におけるエネルギーと経済性の評価”, 日本太陽エネルギー学会, 2020, Vol.46, No.5, pp.63-70.
- [5] 矢部邦明, 林泰弘, “蓄電池による太陽光発電出力の自家消費増加の経済性評価”, 電気学会論文誌B (電気・エネルギー部門誌), 2020, Vol.139, No.5, pp.363-371.
- [6] 福田瑛次 他, “エネルギーIoTデータ収集システムの構築(2)”, 情報処理第82回全国大会, 2020.
- [7] (社)日本建築学会 住宅内のエネルギー消費量に関する調査研究委員会, 住宅におけるエネルギー消費量データベース, <http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/database/index.htm>, (2021.07.01アクセス).
- [8] ニチコン株式会社, 製品仕様 | EVパワー・ステーション | 系統連系型V2Hシステム, <https://www.nichicon.co.jp/products/v2h/about/specs/>, (2022.1.10アクセス).
- [9] 北陸電力, ご家庭でお使いいただくお客さま (電気料金単価), <https://www.rikuden.co.jp/ryokin/minsei.html>, (2021.12.3アクセス).