

Evaluation of the Effects of Large Capacity Storage Batteries, Daytime Operation of Heat Pump Water Heater and Electricity Sharing on Improving the Electricity Self-Sufficiency Rate of Detached Houses

Takuya FUJIMOTO^{*1‡} Shintaro MURAKAMI^{*2} Masayuki KOBAYASHI^{*3} Masahiro HARADA^{*4}

大容量蓄電池・昼間運転ヒートポンプ給湯機や電力融通による戸建住宅の電力自給率向上効果の評価

藤本 卓也^{1‡}

村上 伸太郎²

小林 雅之³

原田 真宏⁴

Abstract

To achieve net zero energy houses, it is necessary to install PV on the roof of houses. However, the electricity generated by photovoltaics have been required to be consumed in their houses. In this paper, we conducted an actual measurement survey of energy self-sufficient house installed with large-capacity storage batteries and daytime operation of heat pump water heater. Furthermore, we evaluated of electricity self-sufficiency rate on electricity sharing district which sharing electricity among multiple houses. As a result, the electricity self-sufficiency rate of energy self-sufficient house was 58%. In addition, the electricity self-sufficiency rate of electricity sharing district were 45-53%. These results cleared that half of the electricity consumption could be covered by photovoltaics generation.

Keywords: Electricity self-sufficiency, Heat pump water heater, Electricity sharing, Battery.
キーワード：電力自給，ヒートポンプ給湯機，電力融通，蓄電池

1. 緒言

我が国の第6次エネルギー基本計画¹⁾において、「再生可能エネルギーの主力電源化」が求められており、住宅においては「2030年度以降新築される住宅について、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（以下、ZEH）基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指す」、「2030年において新築戸建住宅の6割に太陽光発電（以下、PV）設備が設置されることを目指す」とされていることから、ZEH普及に向けた取り組みを行っていく必要がある。その中で、これまで住宅におけるPVの発電電力のうち、住宅内で消費できない余剰電力は、固定価格買取制度（以下、FIT: Feed in Tariff）により購入する電力単価よりも高いFIT単価で

電力会社への売電が行われてきた。しかしながら、近年はFIT単価の低下や電気代の高騰により、電力会社へ売電するよりも住宅内で自家消費することが推奨されている。

戸建住宅において、PVの発電電力を自家消費する手法として、蓄電池の導入やPVの発電時間帯への電力需要の移行が挙げられる。電力需要の移行手段として、時間依存性の低いヒートポンプ給湯機の運転時間を深夜時間帯から昼間時間帯に移行する手法が注目されており、2022年以降、昼間運転に対応したヒートポンプ給湯機が商品化され、その商品向けの電気料金プランが設定されている²⁾。

戸建住宅における自家消費化のための既往研究として、山田ら³⁾は、189世帯の実績データを基に、PV及びLIBの導入による電力自給率向上効果の分析をシミュレーションにて実施している。その結果、PVのみでは電力自給率は平均29%に留まるが、4.0kWhの蓄電池を導入すること

*1 Researcher, Central Research Laboratory, Daiwa House Industry Co. Ltd., 6-6-2, Sakyo, Nara, 631-0801, Japan
‡e-mail: m322512@daiwahouse.jp

*2 Senior Research Engineer, Central Research Laboratory, Daiwa House Industry Co. Ltd.

*3 Central Research Laboratory, Daiwa House Industry Co. Ltd.

*4 Manager, Central Research Laboratory, Daiwa House Industry Co. Ltd.

Received: August 19 2024, Accepted: November 13 2024

*1 大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所 研究員
(〒631-0801 奈良市左京六丁目 6-2)

‡e-mail: m322512@daiwahouse.jp

*2 大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所 主任研究員

*3 大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所

*4 大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所 グループ長
(原稿受付：2024年8月19日、受理日：2024年11月13日)

で平均 46%まで向上させることができ、また蓄電池容量を 10.8kWh に増加することで電力自給率を平均 68%まで向上させることが可能であることを示した。またヒートポンプ給湯機の有効活用検討会のシミュレーション評価⁴⁾によれば、ヒートポンプ給湯機を昼間に運転させることで、高い外気温での運転や貯湯損失の減少により、消費電力量を 4.7%削減可能であり、PV 自家消費率が 44%から 59%へ向上させることができ、さらに、6kWh の LIB を併用することで、PV 自家消費率を 73%まで向上可能であることを示した。水谷⁵⁾は、ヒートポンプ給湯機の昼間運転による自家消費等への影響評価を実測にて実施しており、昼間運転により COP が 12%向上することを示した。

また、更なる PV の自家消費化のため、複数の戸建住宅間で PV の余剰電力を融通することが検討されている。小嶋ら⁶⁾は、電気自動車や LIB を用いた 50 戸程度の戸建住宅における電力融通システムのシミュレーション評価を行っており、電力融通により自家消費を促進可能であることを示した。電力融通の事例として、「スマートシティ潮芦屋」(兵庫県芦屋市)や「むつぎわスマートウェルネスタウン」(千葉県陸沢町)、「浦和美園 E-フォレスト」(埼玉県さいたま市)において、戸建住宅間に自営線を敷設し実施されている⁷⁾。しかしながら、これらの大規模な電力融通を実施するためには、高圧受電等の設備投資や特定供給のための特区認定等が必要となることから、導入のハードルが高く、事業として成立させることが難しいため、広く全国に展開が出来ていない。

以上のように既往論文にて、蓄電池の容量増加、及びヒートポンプ給湯機の昼間運転、複数の戸建住宅における電力融通は、PV の自家消費に効果的であることが明らかにされた。一方、既往研究の多くがシミュレーションに基づくものであり、実際に一般の方が居住されている実使用環境での評価は十分にされていない。

そこで本稿では、実際に一般の方が購入し、居住されている戸建住宅における実使用環境での PV の自家消費化効果を定量化することを目的とする。まず戸建住宅単体における取組みとして、愛知県豊田市に建設した PV、蓄電池(以下、LIB (Lithium Ion Battery))及び昼間運転の自然冷媒ヒートポンプ給湯機(以下、CO₂HP)を導入したエネルギー自給住宅について実使用環境での実測結果を分析することで、LIB の容量増加及び CO₂HP の昼間運転による PV の自家消費化効果を評価する。また、まちづくりでの取組みとして、千葉県船橋市にて LIB を活用した複数戸建住宅間での電力融通を実施している。構築した電力融通街区は、構築に伴う費用抑制のため、低圧受電が可能な規模での電力融通街区とすることで、大規模な設備投資を不要としている。本稿では、LIB を用いた電力融通街区の構成、制御方法について述べ、電力融通による PV の自家消費化効果について実使用環境での実測結果を基に分析及び評価する。

2. エネルギー自給住宅の概要

本稿で対象とするエネルギー自給住宅(以下、House A)の概要を Fig. 1 及び Table 1 に示す。House A では、PV (6.16 kW)、LIB (6.2 kWh を 2 台)、CO₂HP (給湯製造能力: 4.2 kW、貯湯容量: 370 L) を搭載した。PV による発電電力は自家消費し、余剰電力は LIB に充電する。LIB へ充電しきれない場合は、電力系統へ逆潮流する。この時、電力系統からの購入電力は LIB に充電はしない。LIB に充電した電力は、PV の発電が得られない時間帯の電力需要に対し放電する。また CO₂HP は、PV の発電電力を直接活用するため、主に昼間に動作を行う仕様とした。具体的には、通常 23 時~7 時に設定される CO₂HP の主要な動作時間帯を、House A では PV の余剰電力が多く得られる 8~16 時に設定した。

上記の他、特に冷暖房負荷の削減を目的に、断熱性能を住宅の品質確保の促進等に関する法律における断熱等性能等級の等級 5 相当とし、設備として、全熱交換型 24 時間換気システムや、中間期は自然換気、夏期は強制換気により室内の熱の排出を促進する換気システム、床下に設置した熱交換器にて床下の冷気と室内空気を熱交換させ夏期に床下の冷気を活用する床下熱交換システムを導入した。またパッシブデザインとして、吹抜けや輻射熱の低減が可能な遮熱平板舗装等をテラスに採用した。空調設備としては、エアコン及びヒートポンプ式床暖房が導入されている。

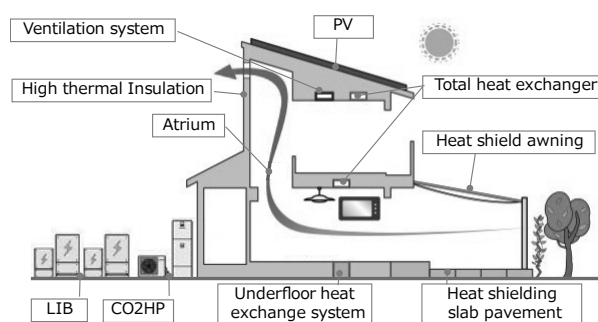


Fig. 1 Concept of energy self-sufficient house

Table 1 The outline of energy self-sufficient house

Location	Toyota City, Aichi Prefecture
Floor area	126.28 m ²
Insulation level	Level 5
Household composition	Single-income couple with kid
PV capacity	6.16 kW
LIB capacity	12.4 kWh (6.2 kWh × 2)
Water heater	CO ₂ HP operated on day-time (4.2 kW, 370 L)

3. エネルギー自給住宅の評価

3.1 エネルギー自給住宅の評価方法

PV 及び LIB の容量増加, CO₂HP によるエネルギー自給効果への影響を評価するため, エネルギー自給住宅と同一地域の戸建住宅 2 戸 (以下, House B, House C) を比較対象とした. House B, C の概要を Table 2 に示す. PV 及び LIB の容量は, House A の概ね半分である. LIB については, 深夜 23 時~7 時に充電し, PV の発電電力は充電しない. また, 給湯器として CO₂HP を導入しているが, 比較対象住宅では, 深夜 23 時~7 時に運転する. また, 断熱性能等級は等級 4 相当であり, 空調設備としてはエアコン及びヒートポンプ式床暖房が導入されている.

Table 3 に各住宅に設置したホームエネルギーマネジメントシステム(以下, HEMS: Home Energy Management System) により測定した項目を示す. 測定期間は, 2018 年 4 月から 2020 年 3 月までの 2 年間とし, 測定間隔は 1 時間とした. House A での消費電力量 (E_d) 及び自宅内での自家消費量 (E_{self}) については, 式(1), (2)により算出した. CO₂HP の消費電力量は, House A のみ測定した. また本稿では, PV 発電電力の自家消費の最大化を目的としているため, 消費電力量に対する自家消費量の割合を電力自給率 (R_{self} , 式 (3)), PV 発電量に対する自家消費量の割合を PV 自家消費率 (R_{PV_self} , 式 (4)), PV 発電量と消費電力量の比を正味自給率 (R_{net_self} , 式 (5)) とし, 評価指標に採用した.

$$E_d = E_p + (E_{PV} - E_s - E_c) + E_{dc} \quad \dots(1)$$

$$E_{self} = (E_{PV} - E_s - E_c) + E_{dc} \quad \dots(2)$$

$$R_{self} = E_{self} / E_d \times 100 \quad \dots(3)$$

$$R_{PV_self} = E_{self} / E_{PV} \times 100 \quad \dots(4)$$

$$R_{net_self} = E_{PV} / E_d \times 100 \quad \dots(5)$$

Table 2 The outline of comparison houses

	House B	House C
Location	Toyota City, Aichi Prefecture	
Floor area	125.30 m ²	138.61 m ²
Insulation level	Level 4	
Household composition	Single-income couple with kid	Double-income couple with 2 kids
PV capacity	3.04 kW	3.65 kW
LIB capacity	6.2 kWh	
Water heater	CO ₂ HP operated on mid-night (4.2 kW, 370 L)	

Table 3 Measurement item

Category	Measurement item
House	<ul style="list-style-type: none"> Purchased electricity (E_p) Sold electricity (E_s)
PV	<ul style="list-style-type: none"> PV generation (E_{pv})
LIB	<ul style="list-style-type: none"> Charge electricity (E_c) Discharge electricity (E_{dc})
CO ₂ HP	<ul style="list-style-type: none"> Electricity consumption (E_{HP}) (only House A)

3.2 時系列データの評価

Fig. 2 に代表日 (2019/11/15) の House A の時間帯別消費電力量及び PV 発電量, 充電量, 放電量を示す. 放電量は負の値で表し, 消費電力の一部を賅っている. House A のみ CO₂HP の消費電力を別途測定しており, その他の消費電力量「Other Demand」と分けて示している. Fig. 2 より, CO₂HP を昼間に運転することで, PV の発電を直接 CO₂HP で消費している. また LIB は, PV 発電の余剰電力を充電し, PV の発電が得られない夜間等に放電している.

Fig. 3 に代表日 (2019/11/15) の House B 及び C の各種電力測定結果を示す. 比較対象住宅の CO₂HP の消費電力量は図中の消費電力 (Demand) に含まれ, 23 時~7 時の深夜電力時間帯に主に稼働する. また, LIB の充電も 23 時~7 時の深夜電力時間帯に発生している. CO₂HP 及び LIB の運転方法の違いから, House A と比較して余剰電力量が多いことが分かる.

3.3 年間電力量の評価

Fig. 4 に House A 及び B, C における 2018 年 4 月から 2020 年 3 月の 2 年間の年間消費電力量及び発電量を示す. 消費電力量は正の値で, PV 発電量は負の値で示す. House B 及び C の CO₂HP の消費電力量は「Demand」に含む. Fig. 4 より, House A の CO₂HP の年間消費電力量は平均 804 kWh/年であった. House A において, 年間発電量が年

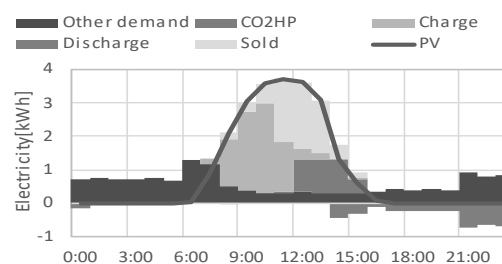


Fig. 2 Average hourly electricity on self-sufficient house

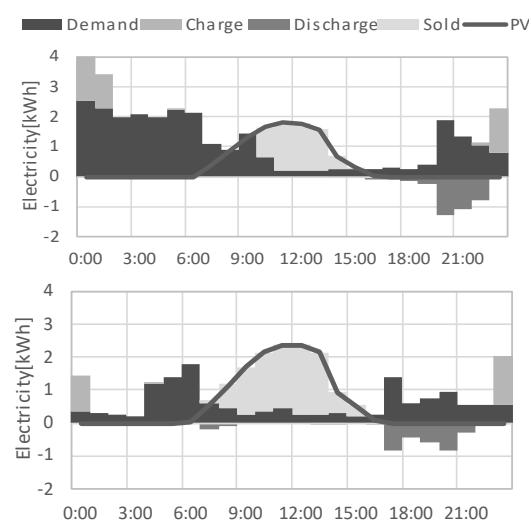


Fig. 3 Average hourly electricity on comparison houses (top: House B, bottom: House C)

間消費電力量を上回り、正味自給率は平均 112%であった。一方、House B 及び House C では、年間発電量よりも年間消費電力量が多く、正味自給率は House B で平均 36%、House C で平均 98%であった。特に House B の空調及び家電の消費電力量が大きく、House A との差異が大きいことから、以下では House A と House C を中心に比較する。

3.4 自給率の評価

Fig. 5 に House A 及び B, C における 2018 年 4 月から 2020 年 3 月の 2 年間の電力自給率の実測結果を示す。図中の棒グラフは消費電力量であり、PV 発電量の自家消費量と購入電力量の内訳を示す。また、図中の折れ線グラフは電力自給率を示す。Fig. 5 より、House A では年間消費電力量の多くを自家消費量が占め、電力自給率は平均 58%であった。House A において、CO₂HP による自家消費及び LIB による PV 充放電を加味しない場合、電力自給率は平均 23%であり、CO₂HP の昼間運転及び LIB による PV の充放電により、電力自給率が平均 35%向上したと言える。この時、CO₂HP による電力自給率向上効果は平均 9%、LIB による PV の充放電効果は平均 26%であった。一方、House C の消費電力量は House A と同程度であり、CO₂HP の稼働時間及び LIB の充電が夜間であるため、電力自給率は平均 24%であった。これは、House A において CO₂HP による自家消費及び LIB による PV の充放電を加味しない場合と同程度である。House B は消費電力量が多いことから、購入電力量の割合が多く、電力自給率は平均 13%と低い。以上の結果より、House A では比較対象に比べ電力自給率を 30%以上向上させ、消費電力の半数以上を PV の発電電力で賄うことが可能であることが示された。

Fig. 6 に House A 及び B, C における PV 自家消費率の実測結果を示す。図中の棒グラフは PV 発電量であり、PV 発電量の自家消費量と余剰電力量の内訳を示す。また、図中の折れ線グラフは PV 自家消費率を示す。Fig. 6 より、House A では、PV 発電量の多くを自家消費量が占めており、PV 自家消費率は平均 54%であった。House A において、CO₂HP による自家消費及び LIB による PV の充放電を加味しない場合、PV 自家消費率は平均 21%であり、CO₂HP の昼間運転及び LIB による PV の充放電により、PV 自家消費率が平均 33%向上したと言える。この時、CO₂HP による PV 自家消費率向上効果は平均 8%、LIB による PV の充放電効果は平均 24%であった。一方、House C は House A に比べ PV 発電量がおよそ半数であるが、PV 自家消費率は平均 24%に留まった。また、House B は House A と比較して PV 発電量が少なく、消費電力量が多いことから、PV 発電量を直接自家消費可能な割合が大きく、PV 自家消費率は平均 45%となった。以上の結果より、House A では、CO₂HP の昼間運転及び LIB による PV の充放電により PV の自家消費化を促進することで、PV 発電量の半数以上を活用することが可能であることが示された。

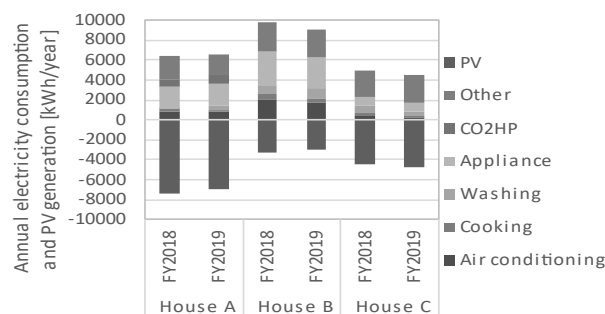


Fig. 4 Annual electricity consumption and generation

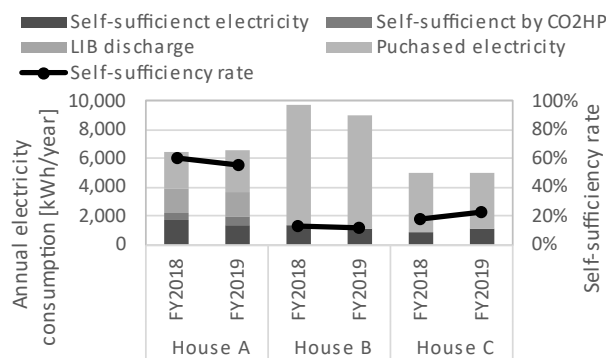


Fig. 5 Electricity self-sufficiency rate

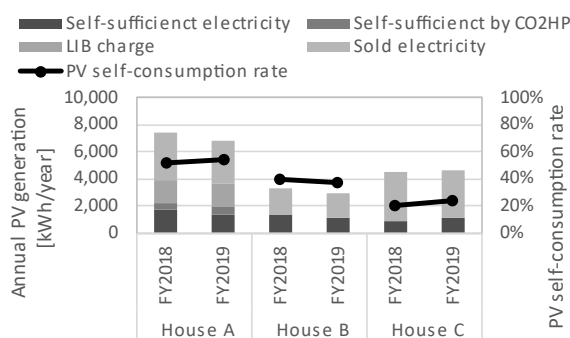


Fig. 6 PV self-consumption rate

4. 電力融通街区の概要

4.1 電力融通街区の構成

PV 自家消費化のため、戸建住宅間での電力融通を実施した。本稿で対象とする電力融通街区は、電力融通街区の構築にかかる設備投資を抑制するため、変圧器等の設置が必要となる高圧受電ではなく低圧受電とし、各融通街区の電力容量を低圧受電の容量である 50 kVA 未満となるように構成した。Fig. 7 に構築した電力融通街区を示す。全 26 戸を 5 戸または 6 戸に分割し、A~E までの 5 つの電力融通街区を構成した。Table 4 に電力融通街区を構成する戸建住宅の概要を示す。各戸建住宅には 3.045 kW の PV パネル、5.4 kWh の LIB が搭載されている。また、断熱等性能等級は等級 4~5 相当であり、空調設備としてはエアコン及びガス温水式床暖房が導入されている。

また Fig. 8 に、各電力融通街区の家族構成を示す。街区

Aは、昼間に不在となる共働世帯が多く、街区B~Eは共働世帯と昼間に在宅する片働世帯や高齢世帯が混在しており、街区により家族構成の分布に偏りがある。

4.2 電力融通制御方法

Fig. 9 に電力融通システムの概要を示す。各住宅のPVの発電電力及びLIBの放電電力はアグリゲータが買い取り、その後各住宅へ供給される。この際、余剰電力が発生した場合はLIBで充電を行い、LIBで充電しきれない場合は電力会社に逆潮流することになる。したがって、本電力融通の仕組みは、住宅間で余剰電力を融通するのではなく、街区内で発電した電力やLIBに充電した電力を街区内で再分配する形式としている。

本電力融通街区では、全住宅の電力需要の上流側に各住宅のPV及びLIBを直列で接続しており、各住宅のLIBは連系点の上流部をCTセンサにて監視し、充放電制御をすることになる。この方法だけでは、各LIBは電力融通街区区内全体の電力需要・発電電力・余剰電力・購入電力等を把握できないことから、電力需要に近いLIBほど放電しやすく、電力需要から遠いLIBほど充電しやすい環境となり、LIB間で稼働率に偏りが生じる。また、電力融通街区区内の全体の発電電力や余剰電力を把握できないことで、LIBの放電により他の住宅の余剰電力を押し上げることになり、電力自給率やPV自家消費率を高める動作ができない。そのため、電力融通街区において電力自給率やPV

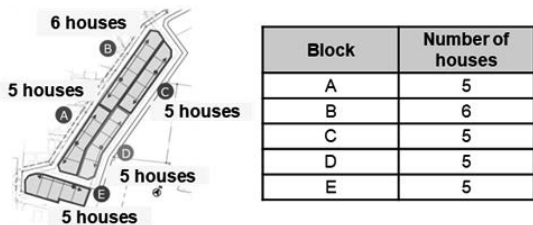


Fig. 7 Blocks of sharing electricity

Table 4 The outline of measured data

Location	Funabashi City, Chiba Prefecture
Number of houses	26 households
Floor area	99.55~135.13 m ²
Insulation level	Level 4~5
PV capacity	3.045 kW / household
LIB capacity	5.4 kWh / household
Water heater	Latent heat recovery water heater

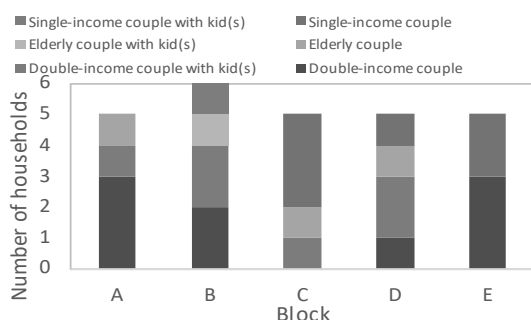


Fig. 8 Household composition for each block

自家消費率を向上させるには、電力融通街区全体の電力を監視し、各設備機器を適切に制御するエネルギーマネジメントシステム（以下、EMS: Energy Management System）が必要となる。最適な制御を実現するため、インターネット上のクラウドにあり電力融通制御のパラメータの配信及びデータ収集を行うEMS（以下、クラウドEMS）と、配信されたパラメータに応じて各住宅に設置されたLIBに電力融通制御指示を行うEMS（以下、融通EMS）の2つのEMSで電力融通システムを構成している。

Fig. 10 に融通EMSでの制御フローを示す。融通EMSは、各電力融通街区の引込分電盤に設置され、街区内の各住宅の電力需要の合計である「総電力需要」と各住宅のPV発電の合計である「PV総発電電力」の値を基に、各LIBに対し充電・放電・待機のいずれかの指示を行う。制御間隔は1分としているが、街区内の全LIBを融通EMSの指示に応じて運転した場合、電力需要や発電電力の急変に追従しない可能性がある。そのため、系統電力から見て最上流のLIBについては、電力融通制御から独立してLIB自身の運転モードに従って動作する「負荷追従LIB」、その他のLIBについては融通EMSの指示に応じて運転する「融通LIB」と設定した。負荷追従LIBは、PV発電及び

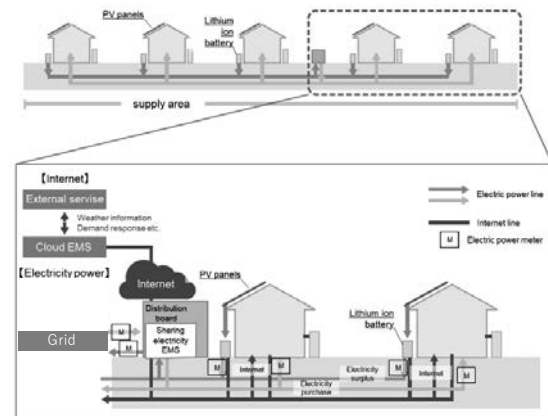


Fig. 9 Schematic diagram of sharing electricity system

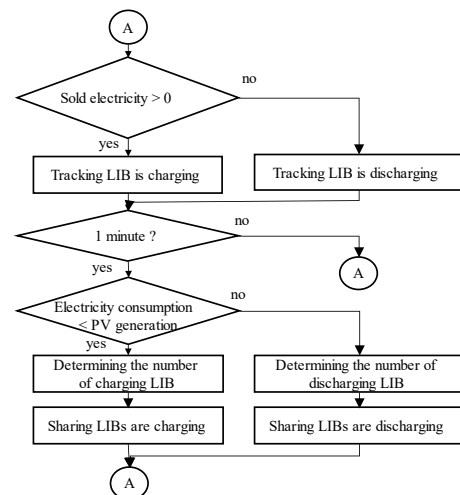


Fig. 10 Flowchart of sharing electricity system

下位の LIB の放電で電力需要を賄えない場合には放電，余剰電力がある場合に充電を 1 ミリ秒単位で判断する。これにより 1 分毎の電力融通制御では追従できない電力需要・PV 発電の変動による購入・売却電力の増加を抑制する。また電力融通制御で充電・放電・待機指示を行う際は，充電及び放電の優先順位を都度変更しており，充電時は蓄電残量が少ない LIB から必要な充電台数だけ充電指示，放電時は蓄電残量が多い LIB から必要な放電台数だけ放電指示を行う。

Fig. 11 に電力融通動作の具体例を示す。総電力需要が 4.5 kW，PV 総発電電力が 2.5 kW の場合，総電力需要と PV 総発電電力の差である 2.0 kW を LIB から放電する。LIB1 台で最大 2.0 kW まで放電できるため，この場合，放電指示を受けるのは 1 台となり，他の LIB は待機指示を受ける。この時，次の制御指示を受けるまで前回受けた指示動作を継続する。ただし，放電時に放電対象（総電力需要と PV 総発電電力の差）が最大放電能力以下となった場合，LIB は必要に応じて放電電力を変動できるため，放電する必要がない場合は待機状態となる。また，次の制御指示を送るまでの間に総電力需要が変動し 5.0 kW になった場合，不足分 0.5 kW は負荷追従 LIB から瞬時に放電されることで購入電力を抑制できる。一方，総電力需要が 1.0 kW まで減少した場合，PV 発電だけで賄えるため融通制御をしていた LIB が待機状態となり，1.5 kW の余剰電力が生じる。この余剰電力については，負荷追従 LIB で充電することで売却電力を抑制でき，PV 発電電力を街区内で消費することが可能となる。以上のことから，「負荷追従 LIB」と「融通 LIB」を組み合わせた電力融通制御により，電力自給率と PV 自家消費率の向上に寄与する。

5. 電力融通の評価

5.1 電力融通街区の評価方法

Table 5 に電力融通街区における各住宅に設置した HEMS や電力融通街区ごとに設置した融通 EMS により測定した項目を示す。測定期間は，2021 年 4 月から 2022 年 3 月の 1 年間とし，測定間隔は 30 分とした。電力融通街区では，各住宅の PV 発電及び LIB 放電をアグリゲータが再分配するため，各住宅の消費電力量 (E_{id}) はアグリゲータからの購入電力量 (E_{ip}) と一致する。電力融通街区における電力自給率 (R_{self}) 及び PV 自家消費率 (R_{PV_self}) は，式(6)及び式(7)に示すように，街区での購入電力量及び余剰電力量をそれぞれ街区全体の消費電力量及び PV 発電量で除した値を基に算出する。また，電力融通による電力自給率の向上効果を評価するため，街区ごとの電力自給率について，電力融通を実施しない場合及び LIB を導入しない場合のシミュレーションを実施した。電力融通を実施しない場合の LIB の運用方法は，電力自給率向上を目的に，PV の余剰電力量を LIB に充電するものとした。シミュレーションに際しては，30 分間隔の各住宅の消費電力量（電

力融通街区の各住宅の購入電力量に相当）及び PV 発電量を用い，30 分毎の充電量，放電量を算出することで，電力融通しない場合の購入電力量及び売電量を算出した。各住宅の自家消費量の合計を電力融通街区全体の消費電力量または発電量で除すことで，電力融通を実施しない場合及び LIB を導入しない場合の電力自給率及び PV 自家消費率を算出した。

$$R_{self} = 1 - E_p / \sum_i E_{id} \quad \dots(6)$$

$$R_{PV_self} = 1 - E_s / \sum_i E_{ipv} \quad \dots(7)$$

5.2 電力融通効果の評価

Fig. 12 に各住宅の電力消費量及び「PV のみ」（LIB 及び電力融通無し）の場合の PV の自家消費量の推計結果を示す。年間電力消費量は，2,270~8,065 kWh/年と世帯によるばらつきが大きい。電力消費量が大きいほど，自家消費量も増加する傾向にあるが，同様の電力消費量であっても自家消費量にばらつきがある。これは，特に PV の発電時間帯である昼間に在宅している世帯ほど，自家消費量が増加するためである。街区ごとの電力消費量及び自家消費量

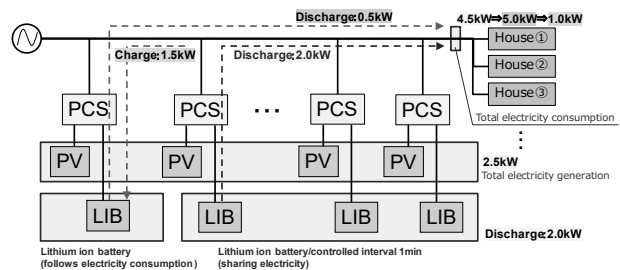


Fig. 11 Flow of electricity at sharing electricity

Table 5 Measurement item on sharing electricity block

Category	Measurement item
House i ($i=1\sim 26$)	• Purchased electricity (E_{ip})
	• PV generation (E_{ipv})
	• Charge electricity (E_{ic})
	• Discharge electricity (E_{idc})
Block	• Purchased Electricity on block (E_p)
	• Sold Electricity on block (E_s)

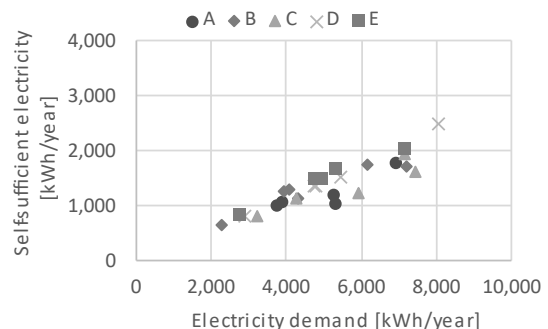


Fig. 12 Self-sufficient electricity with only PV

のばらつきに着目すると、街区 A, B, D, E では、似通った傾向の世帯が街区内に存在するため、街区 C が最も多様な消費電力パターンを含んだ街区であると言える。

Fig. 13 に代表日 (2021/5/12) の街区 A 及び街区 C における電力融通無しと電力融通有りの電力供給内訳を示す。また、Fig. 14 に代表日 (2021/5/12) の街区 C における電力融通無しと電力融通有りの電力供給内訳を示す。なお、凡例は Fig. 13 に示す。電力融通有りの場合、街区全体での電力消費及び発電量に応じて LIB の運用が決定されるため、LIB は順番に充電及び放電を実施する。一方電力融通無しの場合は、各住宅の電力消費及び発電量に応じて、各住宅で LIB が運用されるため、各時刻の LIB の充電量・放電量は小さくなる。街区 A では、電力融通の有無で一日の売電量及び購入電力量の差は小さい。一方街区 C では、電力融通無しに比べて電力融通有

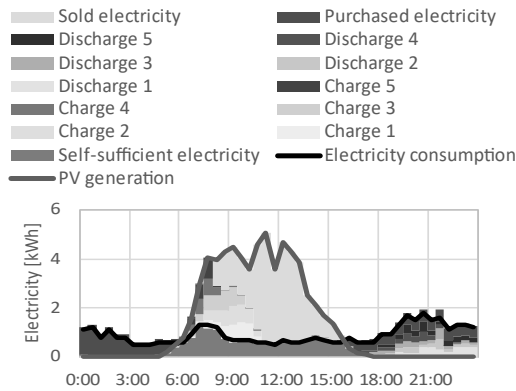


Fig. 13 Electricity classification on Block A (top: without sharing, bottom: with sharing)

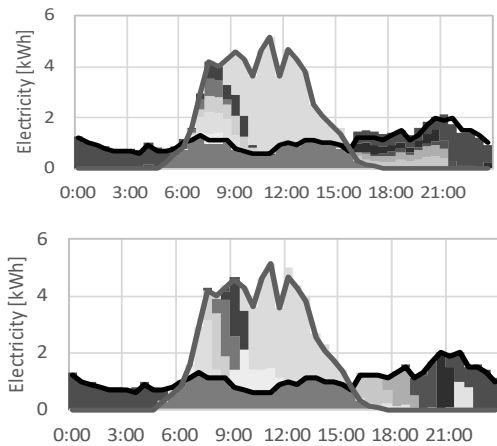


Fig. 14 Electricity classification on Block C (top: without sharing, bottom: with sharing)

りの場合に売電量・購入電力量ともに減少する結果となった。これは街区 C において、電力融通無しの場合、各住宅における LIB の稼働率に差が生じていたためである。特に、消費電力量の少ない住宅においては LIB の放電が十分にされず、それに伴い PV の余剰電力の充電量が減少するからである。一方電力融通を行うことで、各住宅の LIB を街区全体で活用することができるため、LIB の性能を最大限活用できることとなる。

Fig. 15 に A~E の各街区の電力自給率の実測及び推計結果を示す。各街区の系列は左から順に「PV のみ」(LIB 及び電力融通無し)、「LIB 有り」(電力融通無し)、「電力融通」を示す。なお、「PV のみ」及び「LIB 有り」は推計値、「電力融通」は実測結果である。Fig.15 より、PV のみでは、電力自給率が 25~31%に留まるのに対し、LIB 有りでは、41%~48%へ向上させることができる。更に、電力融通を行うことで、電力自給率を 45~53%まで向上させることができ、電力融通を実施しない場合 (LIB 有り) と比較して電力自給率が 1~7%向上した。また、電力自給率の向上効果は、A~E の 5 街区の中央値である街区 E が 3.0%であった。一方、街区 B 及び C の電力自給率の向上効果は 5.6%, 7.2%と高く、街区 A 及び D の電力自給率の向上効果は 1.8%, 2.3%と低い結果であった。これは、Fig. 12 に示したように、多様な消費電力量及び電力消費パターンの世帯を多く含む街区ほど電力融通による電力自給率の向上効果が高い結果であった。

Fig. 16 に A~E の各街区の PV 自家消費率の実測及び推計結果を示す。Fig. 15 と同様に、各街区の系列は左から順に「PV のみ」(LIB 及び電力融通無し)、「LIB 有り」

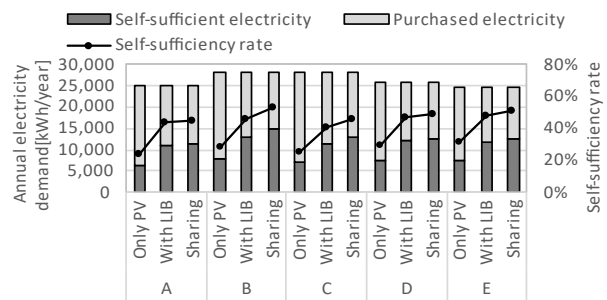


Fig. 15 Self-sufficiency rate for each block

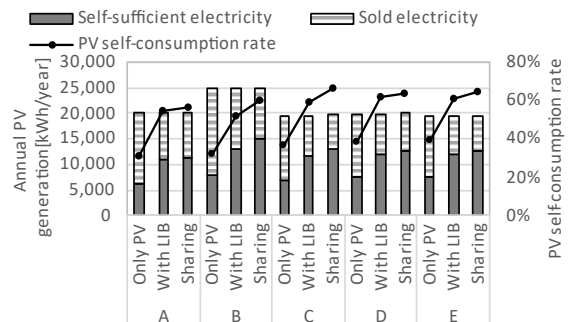


Fig. 16 PV self-consumption rate for each block

(電力融通無し), 「電力融通」を示す. Fig.16 より, PV のみでは, PV 自家消費率が 31~39 %に留まるのに対し, LIB 有りでは, 52%~62%へ向上させることができる. さらに, 電力融通を行うことで, PV 自家消費率を 56~67 %まで向上させることができ, 電力融通を実施しない場合 (LIB 有り) と比較して PV 自家消費率が 1~8 %向上した. PV 自家消費率の向上効果は, 電力自給率と同様に, 街区 B 及び C の PV 自家消費率の向上効果が 7.1 %, 8.4 %と高く, 街区 A 及び D の PV 自家消費率の向上効果は 1.6 %, 1.8 %と低い結果であり, 電力自給率と同様に, 多様な消費電力量及び電力消費パターンの世帯が混在する街区ほど電力融通による PV 自家消費率の向上効果も高い結果であった. なお, 街区 B については他の街区より 1 世帯多いため, 融通効果が高くなったと考えられる.

6. 結言

本稿では, 実際に一般の方が購入し, 居住されている戸建住宅の実使用環境において, 各種対策による PV 自家消費効果を定量化することを目的に, 2 台の LIB 及び CO₂HP の昼間運転を搭載したエネルギー自給住宅と LIB を活用した電力融通街区について分析を実施した. 本稿で得られた結果を以下にまとめる.

まず, 戸建住宅単体を対象として 2 台の LIB 及び CO₂HP の昼間運転を導入したエネルギー自給住宅では, 電力自給率が 58 %, PV 自家消費率が 54 %であることから, 消費電力量の半数以上を PV の発電電力で賄うことが可能であり, また, PV 発電量の余剰電力量の割合を半数以下に抑制することが可能であることを示した. また, 本稿の分析結果は既往のシミュレーション評価⁴⁾と同等の数値であることから, エネルギー自給住宅は, 系統電力へ影響が少なく, 電気料金等の外部影響を抑制可能な住宅であることが実測に基づき示されたと言える.

また, 複数の戸建住宅群での電力融通においては, 電力融通無しでは電力自給率が 41~48 %, PV 自家消費率が 52~62 %であったのに対し, 電力融通を行うことで, 電力自給率が 45~53 %, PV 自家消費率が 56~67 %まで向上させることが可能であることを示した. 1 戸あたりの PV 容量及び LIB 容量は, エネルギー自給住宅は 6.16kW, 12.8kWh に対し, 電力融通街区では 3.045kW, 5.4kWh と小さいが, ほぼ同等の電力自給率が得られたことから, 電力融通は電力自給率向上に有効な手段であることが実測に基づき示されたと言える. このことから, 電力融通により, 電力自給率向上に必要な PV 容量及び LIB 容量を削減できる可能性がある. また, 電力融通街区内に家族構成の異なる多様な世帯が含まれるほど, 電力融通による電力自給率及び PV 自家消費率の向上効果が高いことが示され

た.

最後に, 本稿の課題を述べる. まず LIB の容量及び CO₂HP の昼間運転について, 調査対象の物件が 1 戸であることに留意する必要がある. 地域, 床面積, 家族構成, 生活パターンにより, これら機器による PV の自家消費の向上効果が異なることが想定される. 特に生活パターンについては, 本稿では詳細に把握できておらず, また, エネルギー自給住宅以外の比較対象住宅について, CO₂HP の消費電力を測定できていないことから, 調査の際にこれらの情報を取得していくことが今後の課題の 1 つである. また, 電力融通街区について, 本稿では, 低圧受電可能な規模として, 5~6 戸を 1 つの電力融通街区として運用した結果を示した. 電力融通の効果は, 融通する住宅の数が多いほど, 融通可能な電力量が多くなり, PV 自家消費の向上効果が高くなることが想定されるため, 融通する住宅の数が PV 自家消費の向上効果に及ぼす影響の評価が必要である. また, 戸建住宅のみではなく, 集合住宅や商業施設との電力融通についても評価する必要がある. これらについて今後の課題とする.

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁, 第 6 次エネルギー基本計画, 33-46 (2021).
- 2) 東京電力エネジーパートナー株式会社, プレスリリース: カーボンニュートラル社会の実現に向けた新しい暮らし方のご提案について(accessed Oct.22 2024), https://www.tepco.co.jp/ep/notice/pressrelease/2022/1671377_8667.html
- 3) 山田愛花, 西尾健一郎, 岩船由美子, 自給自足住宅の多面的評価—PV・蓄電池の大容量化や運用高度化ポテンシャルの分析—, 電気学会論文誌 B, **143** (4), 226-238 (2023).
- 4) ヒートポンプ給湯機の有効活用検討会, 卒 FIT に向けた余剰電力の自家消費におけるヒートポンプ給湯機の有用性の評価報告書(accessed Oct.22 2024), https://www.jyuri.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2019/11/20191127_REPORT.pdf
- 5) 水谷傑, 実測によるヒートポンプ給湯機の昼間蓄熱運転による自家消費等への影響評価, 第 40 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集(2021 年 8 月), 410-415, オンライン.
- 6) 小嶋祐輔, 荒井綾希子, 阿部力也, 岩船由美子, 電気自動車・蓄電池を用いた戸建て住宅地域の電力融通システムの設計方法の確立およびその評価, エネルギー・資源, **42** (2), 50-57 (2020).
- 7) 住環境計画研究所, マイクログリッドの導入事例に関する調査報告書(accessed Oct.22 2024), https://www.j-lpgas.gr.jp/data/micro_grid_20210510.pdf