

ZEB・ZEH と再生可能エネルギーの需要家サイドでの制御

名古屋産業科学研究所 上席研究員 奥宮正哉

1. はじめに

2020年10月の菅総理の所信表明演説において「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。そして、「省エネルギーを徹底し、再生可能エネルギーを最大限導入する」としている¹⁾。2020年12月25日に発表された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」²⁾では、徹底した省エネルギー、電化、熱需要に対する水素での対応、電力部門における再生可能エネルギーの最大導入を含む脱炭素化、CO₂固定、回収、利用が示されている。また、「成長戦略」において、「住宅・建築物分野は家庭・業務部門のカーボンニュートラルに向けて鍵となる分野であり、一度建築されると長期ストックとなる性質上、早急に取り組むべき分野」とし、ZEB (net Zero Energy Building)、ZEH (net Zero Energy House) の普及、省エネ改修の推進、高性能断熱材や高効率機器、再生可能エネルギーの導入を進めるとしている。

2015年12月、COP21「パリ協定」の採択以降、「温室効果ガス排出削減」が国際的な枠組みになり、日本は2030年度に2013年比で温室効果ガスを26%削減する約束草案を提出し、業務・家庭部門の排出量について約40%の削減目標を掲げた³⁾。さらに米国主催気候サミットにおいて、2050年カーボンニュートラルと整合的で野心的な目標として、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指すこと、さらに50%の高みに向け挑戦を続けることを表明し⁴⁾、その後2021年10月22日に地球温暖化対策推進本部において新たな約束草案決定し国連へ提出した。そしてこの約束草案では業務部門において51%、家庭部門において66%削減という非常に高い目標になっている⁵⁾。

令和3年9月に発表された「2030年度におけるエネルギー需給の見通し（第6次エネルギー基本計画関連資料）」⁶⁾では、2030年度の電源構成において再生可能エネルギーは36~38%（太陽光発電（以下PV）は14%~16%）としており、2019年度の18%程度からかなりの増加である。

このような背景のもとで、PVのような出力が変動する再生可能エネルギー（Variable Renewable Energy (VRE)：変動電源）の割合の拡大により、VREが電力系統に及ぼす影響について、いわゆる需要サイドにおいても十分に考えておく必

要がある。

そこで、本稿では建築における需要家側での再生可能エネルギーリソースの制御の例として、以下の2つについて述べる。まず、余剰再生可能エネルギーへの対応として、余剰電力を熱変換して蓄熱をすることにより電力グリッドへの負担を軽減する方策であるセルフデマンドレスポンスについての検討をシミュレーションと実建物での実証試験によって行った結果を述べる。次に、スマートグリッドの中でも電力系統に接続されたEVのバッテリーを系統制御のために活用するVehicle-to-Gridの概念に着目し、PVの導入拡大時の系統安定化対策としてEVの蓄電機能を用いた場合の影響を名古屋市という実都市空間を対象に評価を行った。

これらは、エネルギーを別のセクターに変化させて利用する「セクターカップリング」の概念⁷⁾を意識したものである。PVの余剰発電を電力ではなく冷水・温水という熱に変換して貯蔵し使用する「電気⇒熱」のカップリング、また余剰電力をEVのバッテリーに貯蔵、また水素に変換して燃料電池自動車で利用する「電気⇒交通」のカップリングなどである。

筆者は大学院入学以来、建築・地域の省エネルギー、再生可能エネルギー利用の研究を進めてきた。今回、本研究報告を執筆する機会をいただいたので、そのうちの最近とても重要視されている建築における需要家側エネルギーリソースの制御についての内容を報告させていただくこととした。なお、本研究報告の内容は、筆者が2006年4月に名古屋産業科学研究所所員に登録された以降に、日本建築学会大会、空気調和・衛生工学会大会で口頭発表した論文をもとに編集したものである。

2. ZEB化建物のセルフデマンドレスポンス

電力会社からの要請に応じて、電気料金ベースまたはインセンティブベースによって需要家の電力の使用量を削減することを一般に「デマンドレスポンス」という。「セルフデマンドレスポンス (以下セルフDR)」とは、『ZEBのように、供給側と需要側が同一の場合に、自ら電力需給、空調や給湯のための熱需給、または熱電変換を最適にコントロールし、電力送電網に対しての負荷を最小限にし、エネルギーを自立に近い状態で運用する手段』と定義する。

2.1 検討対象のZEB化建物

東京都郊外に位置し、事務用途で使用されているO社技術研究所本館を対象にセルフDRの運転検討を行った。本建物は、地上3階、搭屋1階で延べ床面積

5,535m² である。本建物は 430m³ の連結完全混合型の冷水蓄熱槽、57.2kW の空冷チラーを最大 6 台運転とし、6°Cの冷水を製造し、13°Cで返す熱源システムを既に有している。図 1 に熱源システム図を示す。

2.2 セルフ DR に向けた対策

(1) 蓄電池による対策

太陽光発電による昼間の余剰電力のバッファーとして蓄電池を用いた場合の電力収支を検討した。既設置のリチウムイオン電池(10kWh)の効率は夏期 72%(2011 年 8 月実測データの平均値)、冬期 64% (2011 年 1 月実測データの平均値) であり、蓄熱槽及びシステム構築のコストまたは蓄熱量に相当する容量として、仮想的に 100kWh、750kWh の蓄電池が設置されたものとして検討を行った。(充放電電力はそれぞれ 100kW と 750kW とする。)

(2) 蓄熱による対策

蓄熱は余剰電力を熱変換することで、蓄電池と同じようにバッファーとして機能する。また、一般的に蓄電池と比べて蓄熱の方がエネルギー損失を小さくできることからセルフデマンドレスポンスの運転検討を行ううえで重要な要素である。

本検討では、夜間電力を利用する夜間蓄熱は行わず、日中の発電時、リアルタイムに蓄熱を行なう「昼間蓄熱」と負荷が小さい土、日曜日に蓄熱する「土日蓄熱」を加える運転について検討した。

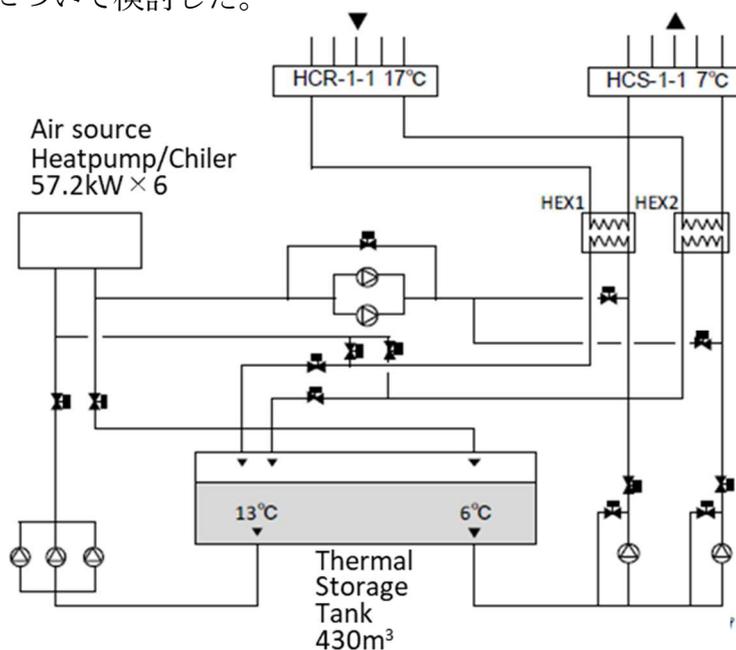


Figure 1 Heat source system of the building to be examined
(temperature in the figure is the condition during cooling operation)

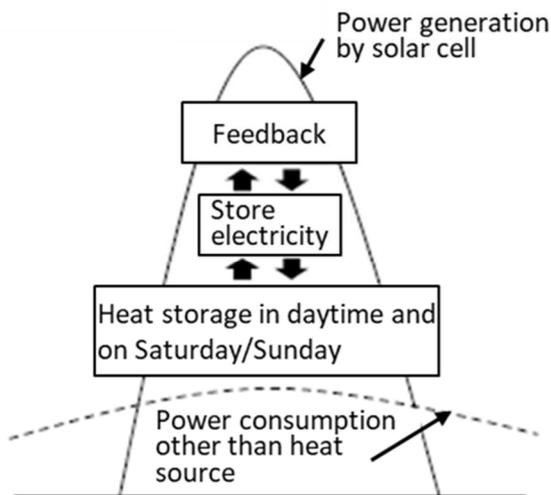


Figure 2 Heat source system of the building to be examined (temperature is cooling condition)

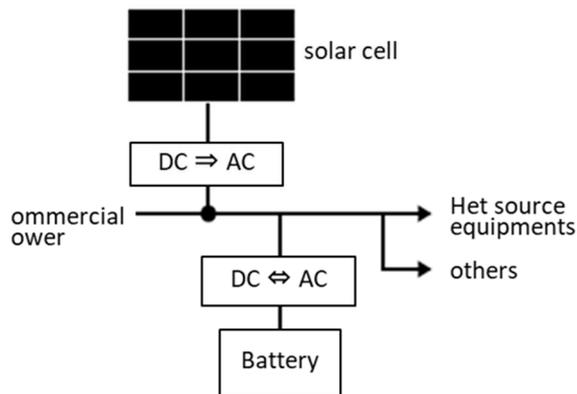


Figure 3 Operation of self-demand response

(3) 運転概要

図2にセルフ DR の運転パターンの概要を示す。発電量と使用電力量（熱源以外）より、余剰電力を計算する。余剰電力がある場合には熱変換して蓄熱する。つまり平日で負荷がある場合には蓄熱しながら放熱することになる。また余剰電力を蓄電池に充電して利用することも検討した。さらに余剰電力が発生する場合は系統に逆潮流するとする。図3に電力システムシステム構成図を示す。

2.3 シミュレーションによる検討結果

本検討では、セルフデマンドレスポンスの検討スタディとして以下の4つのケースを想定し、夏期の運転シミュレーションを行った。

Case1：蓄熱も蓄電池もなし

Case2：蓄熱のみ（430m³）

Case3：は蓄電池のみ（100kWh、750kWh）

Case4：は蓄熱（430m³）と蓄電池（750kWh）

また、シミュレーションでは空調負荷や電力使用量は対象建物の2012年7/28～9/28の実測値を利用し、9時から13時まで蓄熱、蓄電運転を行うものとした。

（8/11～8/17の夏期休暇は建物特有の運転となることから考慮していない。）

シミュレーション結果（9/8～21）を表1に示す。蓄熱を活用したCase2が逆潮流量のピーク値をかなり下げることができているが、蓄電池を用いた場合には期間中の逆潮流量の総量は削減できるが、ピーク値を下げることはできていない。そして、蓄熱と蓄電を組み合わせたCase4は総量、ピーク値ともかなり削減ができ

Table 1 Results of simulation

		Case1	Case2	Case3-1	Case3-2	Case4
Thermal storage (430m ³) (heat loss 0.2%/h)		—	○	—	—	○
Battery [kWh] (Charging / discharging efficiency 72%)		—	—	100	750	750
Feedback	Total [kWh]	69,487	58,652	58,431	34,787	31,718
	Peak [kWh/h]	463	366	463	455	337
Amount of electricity purchased [kWh]		56,048	50,248	52,374	34,477	30,042
Self-consumption rate [%]		50	58	58	75	77
Power consumption [%]		124,922	129,957	132,303	138,050	136,685
Primary energy consumption [MJ]		-131,162	-82,025	-59,122	-3,031	-16,358
Percentage of energy loss [%]		—	4.0	5.9	10.5	9.4

ている。シミュレーション結果より詳細な挙動を分析すると、蓄熱を活用した場合は、負荷の小さい土日に蓄熱を行うことで逆潮流量をピークカットし、平日では蓄熱しながら放熱運転をすることで負荷に対応し、土日で溜めた蓄熱量を翌週の土曜日までに使い切り、再び土日で十分に蓄熱するというサイクルで運転している。また、100kWh の蓄電池をもつ Case3-1 では蓄電池容量が逆潮流のピークを迎える前に満充電され、ピークカットできていない。蓄電池容量を 750kWh に変更した場合には、ピークカット効果はあるが、充電スピードが蓄熱と比較して速いことからピークカットできてない時間もみられた。

2.4 セルフデマンドレスポンスの実証試験

セルフデマンドレスポンスの実証試験を 2014 年 8 月 2 日(土)~8 月 8 日(金)に行った。対象建物では従来は電力単価の安い夜間に蓄熱を行っていたが、逆潮流を極力減らすために日中の時間帯に蓄熱することとした。図 4 に試験結果を示す。電力需要の小さい土日に太陽電池発電電力を利用して熱源機器を稼働させて蓄熱した。平日の日中は蓄熱しながら放熱し、土日で蓄熱した分は火曜日の 18 時に放熱完了した。放熱完了した火曜日以降は、次の日の日射量予測から日中の運転台数を決定し、朝の立ち上がり運転で支障がない程度に蓄熱運転を行った。また、8/8(金)は 9 時前後で雨模様となり、PV 発電電力の低下が予測されたので一時的に熱源機器を停止している。

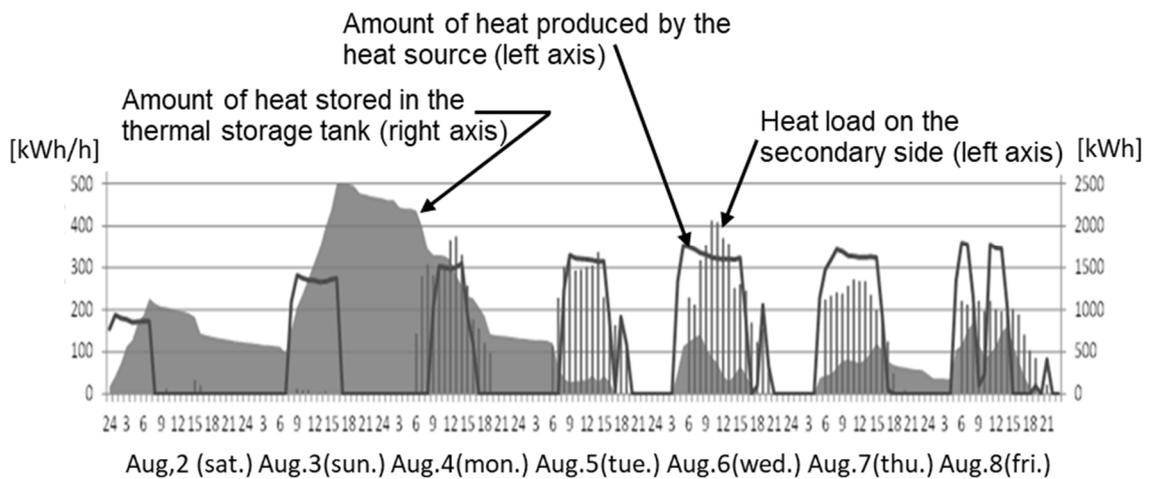


Figure 4 Demonstration test of self-demand response

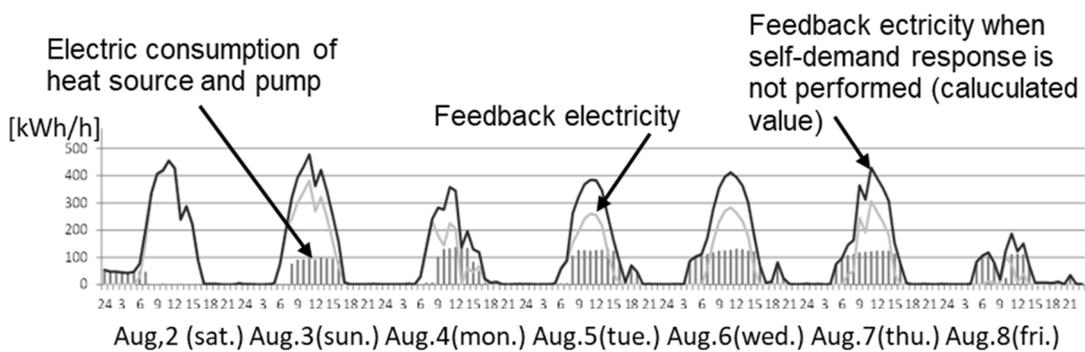


Figure 5 Reduction of reverse power flow by self-demand response

図5に、対象建物におけるセルフデマンドレスポンスによる逆潮流電力量の実績値と、セルフデマンドレスポンスをせず夜間蓄熱運転したと想定した場合の逆潮流電力量（計算値）との比較を示す。両者の差が、対象建物における逆潮流電力量の削減分となる。熱源機器を土日及び平日の昼間に稼働させることで、対象建物における逆潮流電力ピークを約 100kWh/h 低減し、ピークカット効果も確認できた。

3. 再生可能エネルギー利用の観点から見た EV 活用

スマートグリッドの中でも電力系統に接続された EV のバッテリーを系統制御のために活用する Vehicle-to-Grid の概念に着目し、PV 導入拡大時の系統安定化対策として EV の蓄電機能を用いた場合の影響を名古屋市という実都市空間を対象に評価を行った。

3.1. EV と定置型蓄電池の設定条件

本研究では、EV 保有者の活動・交通行動軌跡として金森らの統合型交通需要予測モデル⁸⁾⁹⁾を使用した。この予測モデルにより、ある時間帯における EV の 1 台毎の利用状況を把握出来る。図 6 に評価領域と交通行動の概念図、図 7 に名古屋市内 (N-Area) の時間帯別 EV 駐車台数、表 2 に EV の蓄電池の性能条件を示す。

交通行動の分析対象地域は N-Area を中心とした約 40 km 圏内とし、EV 保有率は自動車運転免許・自動車保有者の 10%(全て個人所有)とする。予測モデル上で想定される全 EV 保有台数は約 47 万台であるが、この値は複数台を保有する保有者を考慮しており、本研究では簡単のために 1 人 1 台の保有を仮定した。その結果、シミュレーション開始時点で N-Area 内に駐車されている EV 台数は 87,488 台 (都市圏 369,312 台)であり、図 7 より N-Area には各時間帯 80,000 台前後の EV が駐車されている。

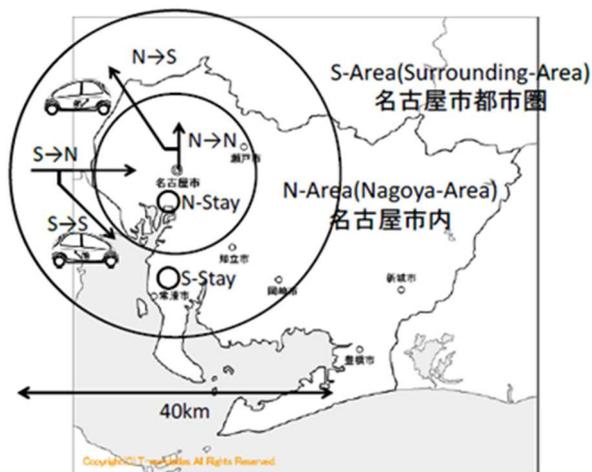


Figure 6 Areas for vehicle movement analysis and grid stabilization evaluation

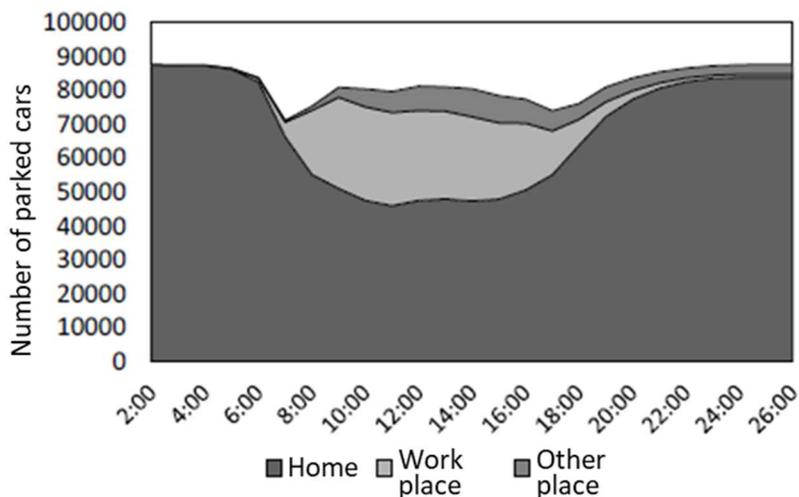


Figure 7 Change of the number of parked cars in N-Area

Table 2 Performance characteristics of EV storage batteries

Battery capacity	20kWh (Charge and discharge in the range of 6kWh to 18kWh)
Charge / discharge speed	1.5kWh/h
Power consumption while driving (No air conditioning)	0.1kWh/km
Power consumption while driving (Use air conditioning)	Heating : 0.167kWh/km Cooling : 0.143kWh/km

3.2. 時間帯別電力需要量の算出

N-Area の時間帯別電力需要量は、建物用途別に設定されている単位延床面積あたりの年間電力需要原単位と季節・時間変動比率に延床面積を乗じて算出する。住宅は 1 戸あたりの電力消費パターンを把握するため、単位戸数あたりの年間電力需要原単位と戸数の積から算出する。

3.3. PV 設置住宅数・PV 発電量の設定

対象となる PV 設置住宅数は EV 台数と同数とし、全て EV 保有者宅(都市圏 369,312 戸/市内 87,488 戸)に設置されていると仮定する。設置される PV 面積は 30(m²/戸)で、傾斜角は 30°、南向きとする。PV 発電量の算出に用いる日射量データは NEDO の年間特別日射量データベース(METPV-11)¹⁰とし、天候の影響を評価するために天候別(晴天日・曇天日・雨天日)の発電量を算出したが、ここでは以下に晴天日の結果を示す。

3.4. 太陽光電力の蓄電利用

(1) シミュレーション条件及び検討ケース

PV の導入拡大による逆潮流は系統の電圧上昇につながる可能性がある。PV 電力の蓄電利用による逆潮流の抑制(自家消費の増加)という観点から、太陽光発電を蓄電するシナリオを対象とした EV 保有者の充放電行動を評価する。このシナリオは逆潮流の抑制を目的とした充放電行動であるため、EV からの放電は V2H (Vehicle to home) とする。ただし PV 電力を自家消費と蓄電を行ってもさらに余剰電力が発生する場合には逆潮流を行う。図 8 にこのシナリオの概念図を示す。図 8 に示すように、日中の走行時や自宅以外の駐車時には PV 電力を充電出来ない。充電は主に余剰 PV 電力によるものとするが、走行用電力を確保するために 6kWh を下回る場合には系統からもその都度充電を行う。

表3に検討ケースを示す。CasePVはPV導入があるがEV利用をしないケース、CaseDSOL-1はEVの走行利用を想定しないケースであり、EVの走行による影響を比較するために設定した。

(2) シミュレーション結果

図9に冬期(1月)、中間期(4月)、夏期(8月)におけるPV発電量の使用状況(晴天日)を示す。CasePVと比べると、PV電力をEVに蓄電することにより逆潮流が抑制される。最も削減効果が高いCaseDSOL-1の逆潮流削減率(晴天日)は、冬期81.5%、中間期39.7%、夏期69.3%である。一方CaseDSOL-2においても逆潮流量をかなり削減することは可能であるが、その削減率は、冬期43.9%、中間期24.5%、夏期38.3%であり、走行により効果が低下する。

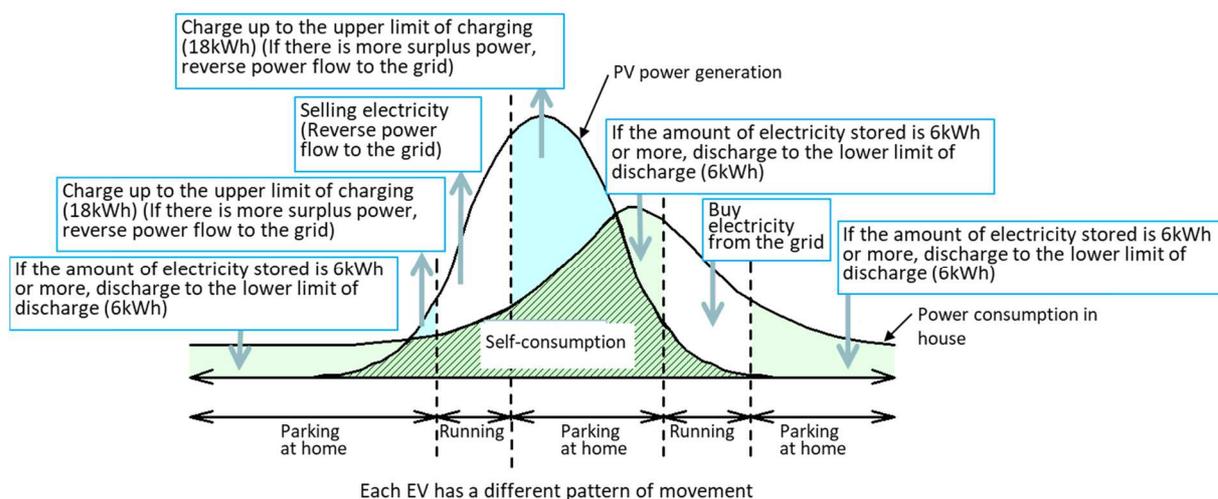


Figure 8 Scenario for EV battery charge /discharge, reverse power flow and power purchase

Table 3 Conditions of the cases examined

	PV	Vehicle	EV driving	Where to discharge
Case PV	Installed	Gas-powered		
Case DSOL-1		Electric	Do not use	Home
Case DSOL-2			Use	

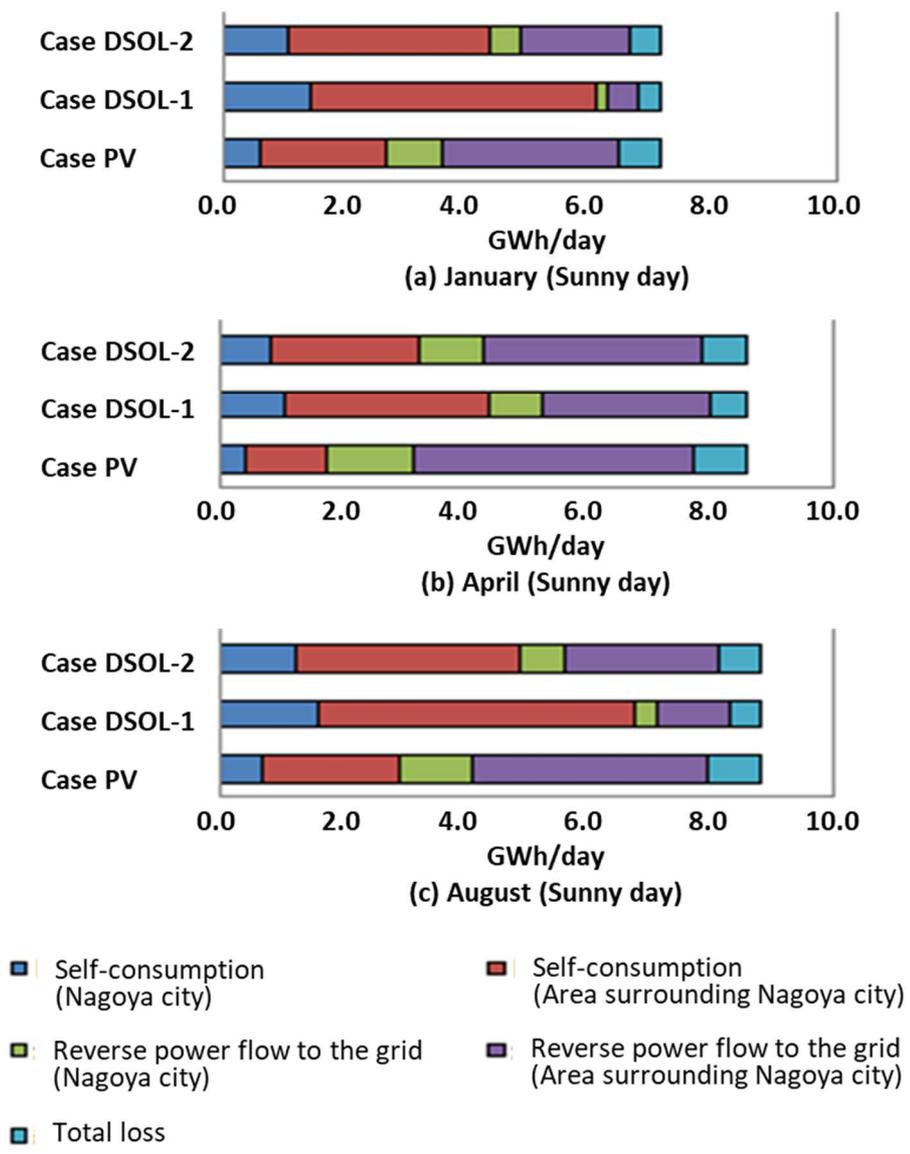


Figure 9 Simulation results of usage of PV power generation

4. おわりに

需要家サイドにおける再生可能エネルギー消費の制御の可能性を、太陽電池で発電された余剰電力を蓄熱を活用して制御するセルフデマンドレスポンスと、電気自動車を活用することにより逆潮流量を減らしグリッドの負担を軽減するという2つのケースについて検討した結果を示した。脱炭素社会に向けて、再生可能エネルギーの制御を自助・共助・公助といった視点で適正に負担していくことが必要であり、そのための要素として考えていきたい。

- 1) 官邸ホームページ、
https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html (2022年3月31日アクセス)
- 2) <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>
(2022年3月31日アクセス)
- 3) 日本の約束草案 平成27年7月17日 地球温暖化対策推進本部決定
- 4) https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page6_000548.html (2022年3月31日アクセス)
- 5) 日本の約束草案 令和3年10月22日 地球温暖化対策推進本部決定
- 6) 資源エネルギー庁、2030年度におけるエネルギー需給の見通し、令和3年9月
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/opinion/data/03.pdf (2022年3月31日アクセス)
- 7) <https://www.iea.org/reports/introduction-to-system-integration-of-renewables/planning-and-strategies> (2022年3月31日アクセス)
- 8) 金森亮、他：電気自動車の普及による都市交通と電力需要への影響分析
- 9) 森川高行：都市圏レベルの交通・都市システム評価モデル(活動・交通行動マシクロシミュレーション及び情報可視化)の開発
- 10) NEDO、年間特別日射量データベース(METPV-11)
<https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>
(2022年3月31日アクセス)