

# 環境・レジリエンス導入政策立案のための時系列定量 評価手法の開発

所属：筑波大学 システム情報系

助成対象者：秋元 祐太朗

共同研究者：神場 千穂（指導学生）

## 概要

これまで環境性の観点から太陽光発電と蓄電池システムが導入されており、その経済性とレジリエンスの評価は研究されてきた。しかし、建物レベルでの時系列かつ複数指標に基づくレジリエンス評価が求められている。本研究では、エネルギーシステムのレジリエンスを5つのレジリエンス指標により定量的に技術評価する手法を提案する。季節の変化、日数に対する評価を行い、太陽光・蓄電池容量の感度分析による最適化を行った。冬季においては暖房需要により太陽光発電、蓄電池だけでは不十分であり、代替する必要性が示された。日数を変化させることによって、1日とは指標が異なることを示し、想定する時間に応じて分析する必要があることを示唆した。容量の感度分析により指標に基づく適切な容量を示した。

## abstract

This study proposes a method for quantitatively evaluating the resilience of energy systems using five resilience indicators. Seasonal changes and evaluations over multiple days were conducted, and optimization was achieved through sensitivity analysis of solar power and battery storage capacity. In winter, installed solar power generation and battery storage are insufficient to meet heating demand, highlighting the need for alternative solutions. By varying the number of days, we simulated that the indicators differ from those for a single day, indicating the necessity of analysis to the assumed timeframe. Through capacity sensitivity analysis, we showed appropriate capacities based on the indicators.

## 研究内容

### 「背景、目的」

近年、化石燃料の大量消費に伴う温室効果ガスの排出増加により、地球温暖化やエネルギー

ギー資源の枯渇が問題となっている。また、日本では、大規模地震や大豪雨などの自然災害が頻発化し、その度に被災地における停電といったエネルギー供給途絶が問題となっている。そこで、これらのリスクに対処する能力としてレジリエンスの考え方が注目され始めている。レジリエンスは、環境から加えられる擾乱に対してシステムが適応し、平常状態をどれだけ継続できるかという能力のことである。太陽光発電と蓄電池システムのインフラとの併用における経済性とレジリエンスの評価は、広く研究されている。しかし、インフラから完全に断絶されることを想定した建物レベルでのレジリエンス評価も必要である。エネルギーのレジリエンスには様々な評価側面が含まれることから、太陽光発電や蓄電池の設置におけるレジリエンスを包括的に定量評価するために、複数の指標を採用することの重要性が高まっている。

本研究では、エネルギーシステムのレジリエンスを定量的に技術評価する手法を提案する。

図 1 に本研究にて提案する 5 つのレジリエンス指標を示す。

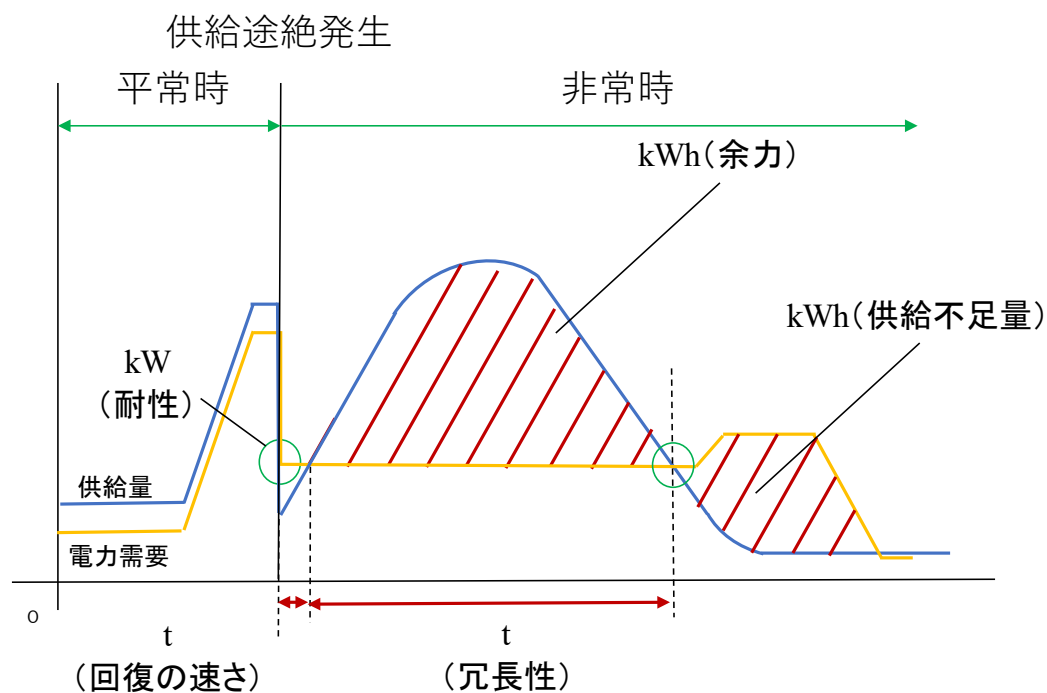


図 1 本研究で提案するレジリエンス指標

- ① 「耐性」：供給途絶が発生した後に停電が発生した回数
- ② 「回復の速さ」：供給途絶による停電が発生してから需要を賄えるだけの供給量が復旧するまでの時間[s]
- ③ 「冗長性」：供給途絶時刻以降での停電復旧時刻からの電力供給可能時間[min]
- ④ 「余力」：停電後のある時間範囲で、供給量が上回っている区間の需要量と供給量の差[kWh]

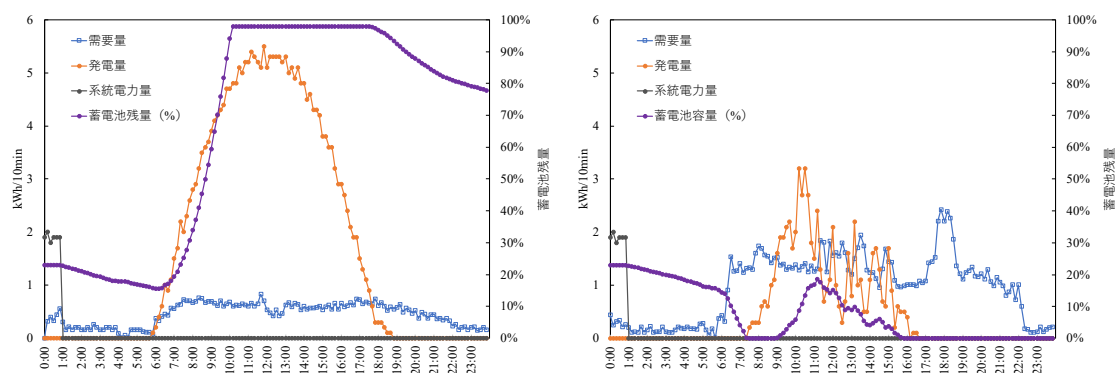
⑤ 「供給不足量」：停電時に電力供給量が需要量を下回っている分の電力量[kWh]

提案する指標に関して、すでに論文化している内容<sup>1)</sup>に加え、本研究では季節の変化、日数に対する評価を行った。また、太陽光・蓄電池容量の感度分析による最適化を行った。

## 「結果」

(季節の変化) 図 2(a)では、ケース 4-1 (5 月) で供給途絶を 1 時に発生させた場合の需要量、太陽光発電量、系統電力量、蓄電池残量を時系列の評価結果として示している。この図では、10 分値の需要量、太陽光発電量、系統電力量の入力に対する、蓄電池残量の出力値がわかる。1 時に系統電力が 0 になり、そこから太陽光発電が開始するまで蓄電池残量から需要が賄われていることがわかる。十分な太陽光発電量により、正午より前に蓄電池残量は 100%近くに達し、余力が存在していることが確認できる。1 年の中でも少ない需要であるため、十分な太陽光発電・蓄電池容量であることがわかる。

一方、図 2(b)にケース 4-4 (12 月) で供給途絶が 1 時に発生した場合の時系列の評価結果を示す。7 時 30 分に蓄電池の残量が 0 になると同時に停電が発生している。そこからわずかな太陽光発電量により、9 時 00 分から 15 時 40 分まで電力需要を賄うことができているが、それ以外では供給不足が生じている。対象日は 12 月の最大発電量の日ではあるが、冬季は需要が大きいことや、日照時間や強度の不足により発電量の不足が発生することがわかる。そのため、冬季においては災害が生じたときのために、従来のディーゼル発電機や EV による外部からの電力供給など別の対策が必要であることがわかる。



(a) ケース 4-1 (5 月) (b) ケース 4-4 (12 月)

図 2 時系列評価結果

図 3 はケース 4-1 からケース 4-4 までの空調需要が余力、供給不足量に与える影響を示したものである。「減少分」は、空調需要を含めずそれ以外の需要によって残る余力から、空調需要を含めた全需要によって残る余力を差し引いた幅になる。「余力」は最終的にレジ

リエンス指標の結果として得られた値である。空調需要が需要の季節特性に与える影響は大きい、ここでは空調需要が余力と供給不足量のレジリエンス指標に与える影響について分析する。図から、ケース 4-2 で空調需要が余力に与える影響は最も大きいことがわかる。空調需要を考慮するかしないかで、余力が 168.3 kWh も異なる。これは、ケース 4-2（9 月）は夏季にあたり、冷房による需要が大部分を占めている。さらに、ケース 4-4（12 月）では空調需要によって余力が生じなくなり、供給不足量が生じている。また、ケース 4-1（5 月）とケース 4-2（9 月）を比較すると、空調需要を含めた最終的な余力はほぼ同等である。しかし、空調需要を含めなかった場合、ケース 4-2 で余力が大きいことがわかる。以上のことから、季節特性によって異なる需要をそれぞれ考慮して分析を行うことで、同等の結果であっても、異なる因子によるものであることが明らかになる。

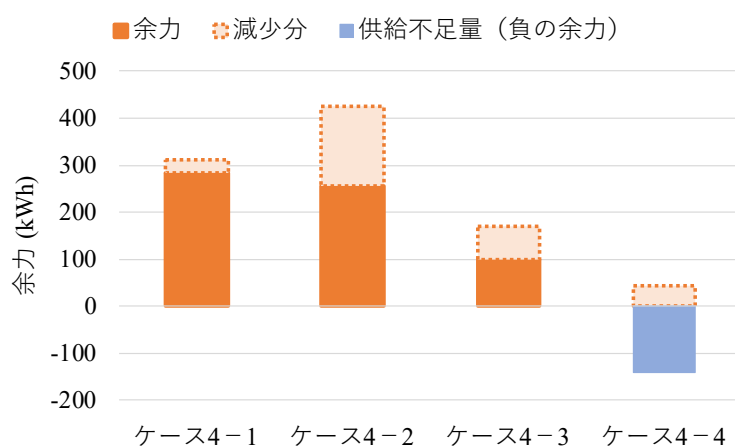


図 3 季節間の余力の比較

#### （日数による変化）

図 4 に 9/14-16 の 3 日間の時系列評価結果として示す。シミュレーション中に供給電力が不足するため、停電回数は 8 回という結果になった。冗長性は 1690 分、余力は 0、供給不足量は 332.01 kWh であった。3 日間の評価を行ったため、供給途絶が発生する 1 日目よりも後の方で蓄電池残量が少ない状態であることを明確にすることができた。この結果から、長期間の停電が発生した際に、2 日目のような 9 月の中程度の太陽光発電による発電量の日には、電力を完全に賄うことができないことがわかる。さらに、3 日目には電力不足が大きくなり、需要を満たせない時間が 1150 分となっている。最終的に、この日は 290 分しか電力を満たすことができていない。表 1 にレジリエンス指標の結果を示す。3 日間連続で評価を行った場合と、それぞれ単独で、その日の 1 時に供給途絶が発生した場合の結果も含めている。表から、15 のみと 16 のみのケースを比較すると、16 のみの方が、停

電回数は少ないものの、供給不足量は多いことがわかる。16のみでは停電している時間がほとんどであり、復電してから停電するタイミングが少ないためであることが図からもわかる。結果として、1日のみで評価を行うのに比べて、3日間連続の評価を行うことで、長期的な停電が発生した際に、太陽光発電による発電電力が十分でない場合に供給不足量が生じ、限られた時間しか供給できないということを定量的に示すことができた。

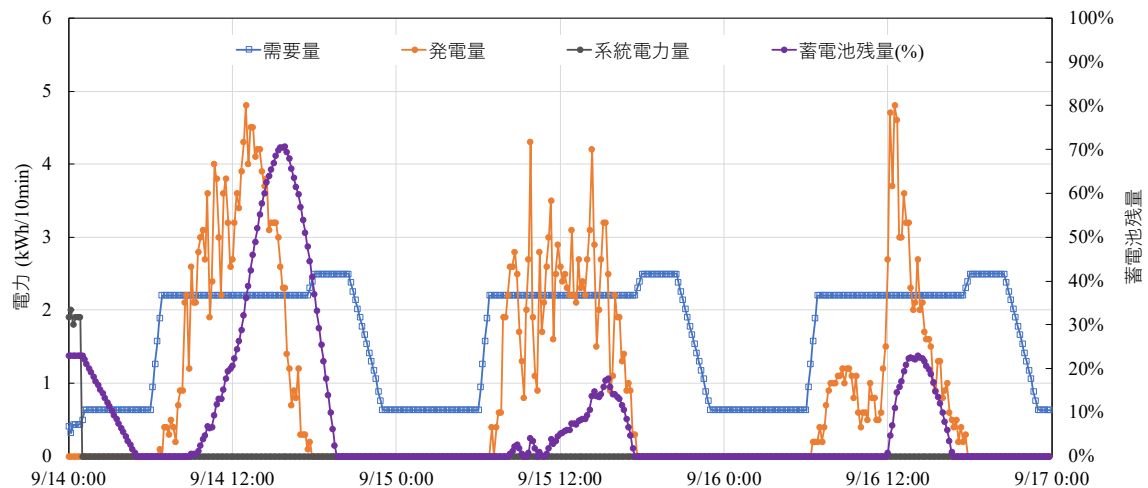


図 4 複数日における時系列評価結果

表 1 単独および複数日における指標の変化

|                      | 14-16  | 14のみ  | 15のみ  | 16のみ   |
|----------------------|--------|-------|-------|--------|
| 耐性 $R_1$ [回]         | 8      | 3     | 5     | 2      |
| 回復の速さ $R_2$ [s]      | 40     | 40    | 40    | 40     |
| 冗長性 $R_3$ [min]      | 1690   | 880   | 750   | 520    |
| 余力 $R_4$ [kWh]       | 0      | 0     | 0     | 0      |
| 供給不足量 $R_5$<br>[kWh] | 332.01 | 67.53 | 94.43 | 131.43 |

#### (太陽光発電、蓄電池容量の感度分析)

太陽光発電パネル／蓄電池容量の組み合わせが 220 枚／70 kWh、270 枚／55 kWh の場合についての結果をベースケースと比較した結果を示す。ベースケースの太陽光発電パネル枚数が最も多く、蓄電池容量は 220 枚／70 kWh の場合より約 5 kWh 小さい。すべてのケースにおいて、供給不足は発生していないため、耐性、供給不足量は 0 で、冗長性は最大値を示している。ベースケースの余力が他の 2 つのケースと比較して 200 kWh 以上も大きいことが図からもわかる。すなわち、ベースケースは他の 2 つのケースよりも余力が大きい。

いのみであり、今回の対象ケースに対しては過剰な容量であると判断できる。

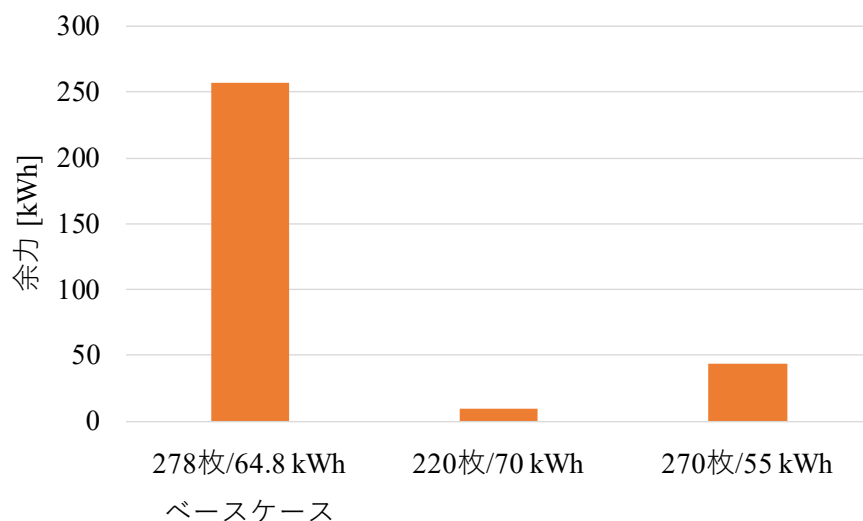


図 5 ベースケースの余力との比較

#### 「今後」

今後は 1 年間の分析を通じて、各設置者に応じた最適な太陽光発電、容量を評価できるツールを開発する予定である。

#### 引用文献

- 1) Chiho Jimba, Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, “Assessment Methodology for the Resilience of Energy Systems in Positive Energy Buildings”, e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy (Elsevier), Volume 11, 100908, pp.1-10, March 2025.

#### 本助成に関わる成果物

##### [論文発表]

- 1) 神場千穂, 秋元祐太郎, 岡島敬一「太陽光発電量の影響による複数指標のレジリエンス定量評価」, 『第 33 回日本エネルギー学会大会 講演要旨集』 pp.188-189, 2024 年 8 月

##### [口頭発表]

- 1) 神場千穂, 「太陽光発電量の影響による複数指標のレジリエンス定量評価」, 『第 33 回日本エネルギー学会大会』 pp.188-189, 2024 年 8 月 7 日
- 2) Yutaro Akimoto, "Study of the method for quantitative and multiple evaluation of energy resilience", 9th International Conference on Renewable Energy and Conservation (ICREC 2024), 23 November 2024.