

災害時のエネルギーレジリエンスを定量的に評価する手法を開発

近年、地球温暖化や自然災害の頻発化に伴い、低炭素かつ災害に対してレジリント（回復力のある）なエネルギーシステムの導入が重要となっています。本研究では、建物ごとのエネルギーシステムに対して、災害時におけるレジリエンスについて、複合的な定量評価手法を開発しました。

地球温暖化に伴い、太陽光発電等の分散型再生可能エネルギーシステムの導入が進んでいます。一方、自然災害や豪雨による大規模停電の頻度も増加しており、災害に強いエネルギーシステムの開発が求められています。近年、太陽光発電や蓄電池システムの経済性や耐障害性は広く研究されていますが、建物レベルでのエネルギーシステムの回復力（エネルギーレジリエンス）評価はあまり進んでいません。エネルギーレジリエンスには、停電時間やその量、回数等の多様な側面があるため、包括かつ定量的な評価には、複数の指標を採用することが必要です。

本研究では、複数のレジリエンス指標により、太陽光発電と蓄電池を備えたポジティブ・エネルギー・ビルディング（PEB；発電量と電力消費量の差がプラスになる建物）の停電シナリオをシミュレーションし、エネルギーレジリエンスを定量的に評価する手法を開発しました。さらに、さまざまな気象条件がレジリエンスに与える影響を分析した結果、エネルギーレジリエンスは、停電発生時間が日照時間と重なる場合に最も高くなることが定量的に明らかになりました。

本研究結果から、エネルギーレジリエンスを評価する際、複数の指標を組み合わせることで、災害時の電力需給状況を詳細に把握し、比較できることが示されました。この手法は、今後のエネルギーシステムの設計や災害対策において有用であると考えられます。

研究代表者

筑波大学システム情報系

秋元 祐太郎 助教

研究の背景

近年、大規模地震や豪雨などの自然災害の発生頻度が世界的に増加しています。これらの災害は、しばしば被災地での広範囲で長期にわたる停電を引き起こします。これまで、避難所の電力需要を満たすために、主にディーゼル発電機が使用されてきました。しかし、ディーゼル発電機は、温室効果ガス排出の原因となる化石燃料に依存しているため、十分な燃料確保ができなければ、適切に運用することが困難になります。そこで、太陽光発電および蓄電池システムなどの、災害時にも電力を安定供給でき、低炭素（二酸化炭素排出が少ない）でレジリエント（回復力のある）なエネルギーシステムへの転換が求められています。しかし現状では、エネルギーシステム導入の際に、災害への対応力としてのレジリエンスを複合かつ定量的に評価する方法がありません。そこで、本研究では、エネルギーシステム導入時の判断基準の一つにレジリエンスを取り入れることを目指し、エネルギーシステムのレジリエンス（エネルギーレジリエンス）を複数の指標によって定量的に評価する手法を開発しました。

研究内容と成果

本研究では、災害発生前後に想定される電力の需給関係から3つのレジリエンス指標「冗長性 R_r (Redundancy、電力供給可能な時間の長さ)」「余力 R_s (Surplus power、非常時において電力供給可能な時間に供給量が需要量を上回っている量)」「供給不足量 R_i (Insufficient supply、非常時において供給不足が発生している際の供給量が需要量を下回っている量)」を定め(図1)、これらを用いてレジリエンスの定量化を行いました。特定の1週間について、晴天の日と曇りの日に分けて、それぞれ、エネルギーシステム全体の電力が遮断される時刻を1時、7時、12時、17時で想定し、システムのエネルギー量の時系列変化についてシミュレーションを行い(図2)、それぞれのレジリエンス指標を算出しました。その結果、ケースごとのレジリエンス指標の結果を視覚的に示すことができ(図3)、レジリエンス特性の弱点を把握することが容易になり、今回の対象施設については、1時などの朝方、あるいは17時などの夕方に停電が生じた場合には、蓄電池から放電ができなくなることが分かりました。以上のことから、冗長性 R_r 、余力 R_s 、供給不足量 R_i の3つの指標を合わせることで、どの程度の停電が発生するのか、蓄電池が十分に活用されているのかを明確に示すことが可能となりました。

今後の展開

本手法により、ビルなどの建物ごとのエネルギーレジリエンスを評価できると考えられます。、今後は、本手法を用いて実際の建物に設置する太陽光発電・蓄電池の容量分析を行い、手法の妥当性を検討するとともに、さまざまなケースを考慮し、一般化されたエネルギーレジリエンス指標の開発に取り組みます。

参考図

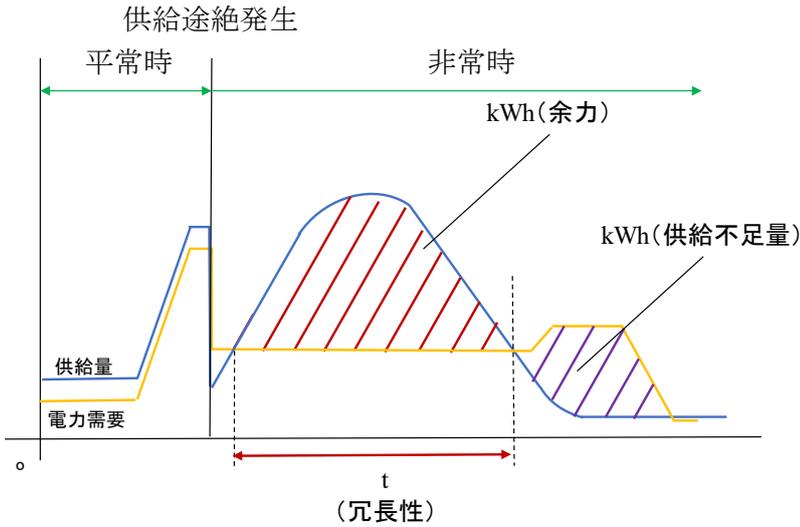


図1 レジリエンス指標の概念図

電力の供給途絶が発生する前を平常時、発生した後を非常時とする。冗長性は非常時における電力供給可能な時間の長さ（赤矢印）、余力は非常時において電力供給可能な時間において供給量が需要量を上回っている量（赤斜線部分の面積）、供給不足量は非常時において供給不足が発生している際の供給量が需要量を下回っている量（紫斜線部分の面積）、をそれぞれ評価した。

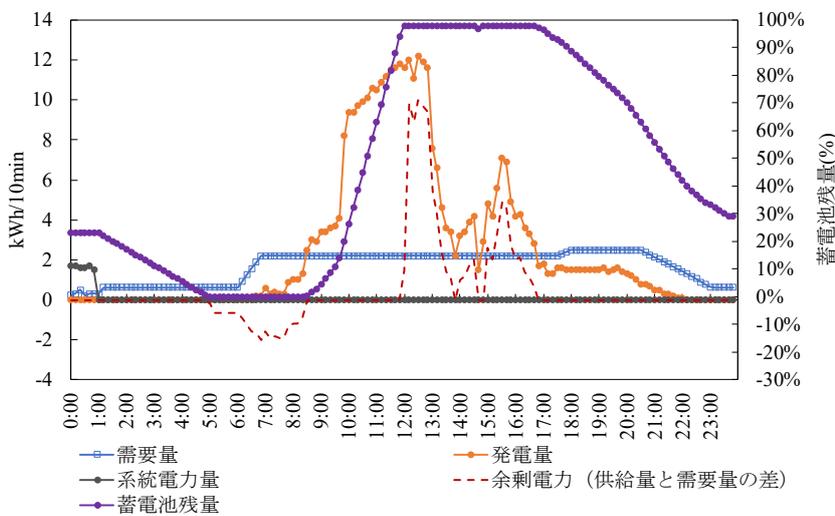


図2 時系列評価結果（晴天の日1時に供給途絶発生した場合）

電力の需要量、発電量、系統電力量を左軸で、蓄電池残量を右軸で示す。晴天の日の1時に供給途絶が発生しているため、1時に系統電力量が0になっている。

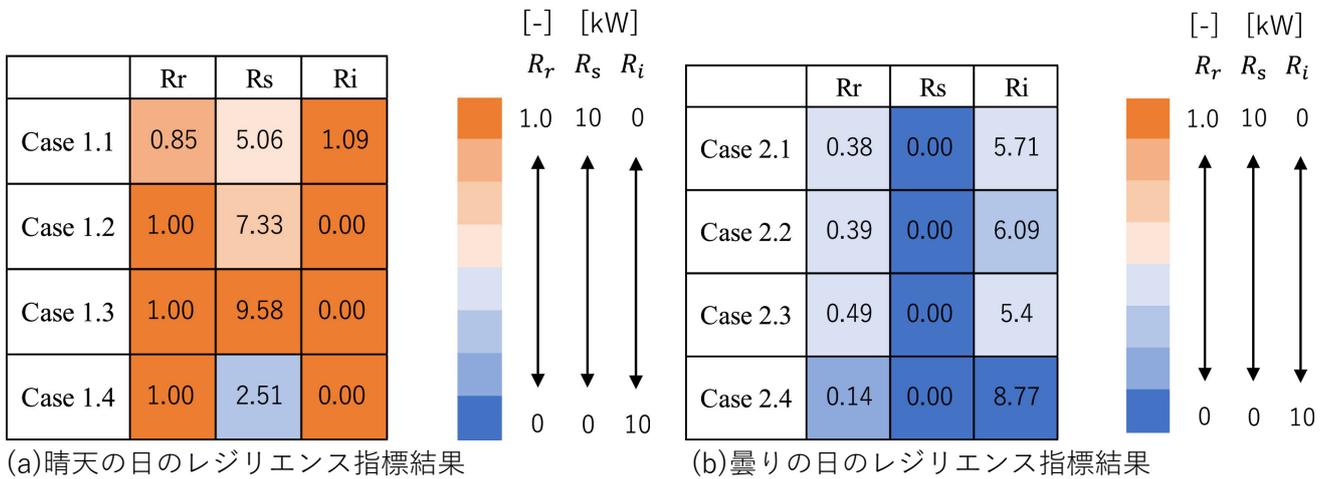


図3 シミュレーションにより得られたレジリエンス指標

電力の供給途絶発生時刻を1時、7時、12時、17時とした場合の、晴天の日（Case1.1-1.4、図a）および、曇りの日（Case2.1-2.4、図b）のレジリエンス指標。配色はレジリエンスの度合いを表し、オレンジが濃くなるほどエネルギーレジリエンスが高く、青が濃くなるほどエネルギーレジリエンスが低くなることを意味する。図aと図bの比較から、晴天時ではエネルギーレジリエンスの優れたシステムにおいても、曇りでは停電時に十分な電力を賄うことができないことが分かる。

研究資金

本研究は、日本学術振興会科研費（JP20H02677）の助成を受けて実施されました。

掲載論文

【題名】 Assessment Methodology for the Resilience of Energy Systems in Positive Energy Buildings

（ポジティブ・エネルギー・ビルディングにおけるエネルギーシステムのレジリエンス評価手法）

【著者名】 神場千穂、秋元祐太郎、岡島敬一

【掲載誌】 e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy

【掲載日】 2025年1月27日（オンライン先行公開）

【DOI】 10.1016/j.prime.2025.100908

問い合わせ先

秋元 祐太郎（あきもと ゆうたろう）

筑波大学システム情報系 助教

URL: <https://www.risk.tsukuba.ac.jp/~akimoto/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp