

日本学術会議主催学術フォーラム
「カーボンニュートラルに向けたエネルギー供給側と需要側の連携」
2026年7月15日

都市・建築とグリッド協調

電化時代における需要側柔軟性の活用

岩船 由美子

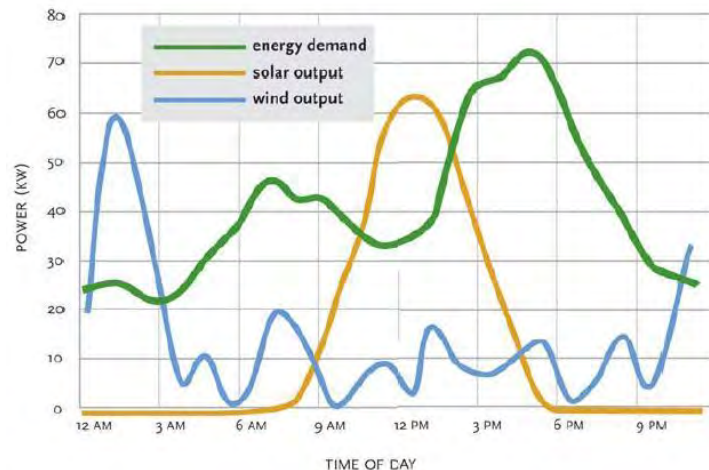
東京大学 生産技術研究所
エネルギーシステムインテグレーション（ESI）社会連携研究部門

なぜいま「都市・建築 × グリッド」か

- 電力はこれまで「大規模電源 → 受動的な建物」への一方向の流れだった
- 太陽光・風力が新設容量の主役となり、余剰の時間帯と不足の時間帯が生まれている
- 一方、建築部門は最終エネルギー消費の約4割を占める
- 電化（ヒートポンプ・EV（電気自動車）が進むほど、建物の「使い方」が系統の姿を左右する
- 制御・タイミング・蓄エネの工夫で、建物は需要をシフトし、余剰再エネを吸収し、系統を安定化できる

将来の電力システムの姿は、発電所ではなく「建物がどれだけ賢くふるまえるか」で決まる

背景① 変動性再エネの拡大と系統への影響

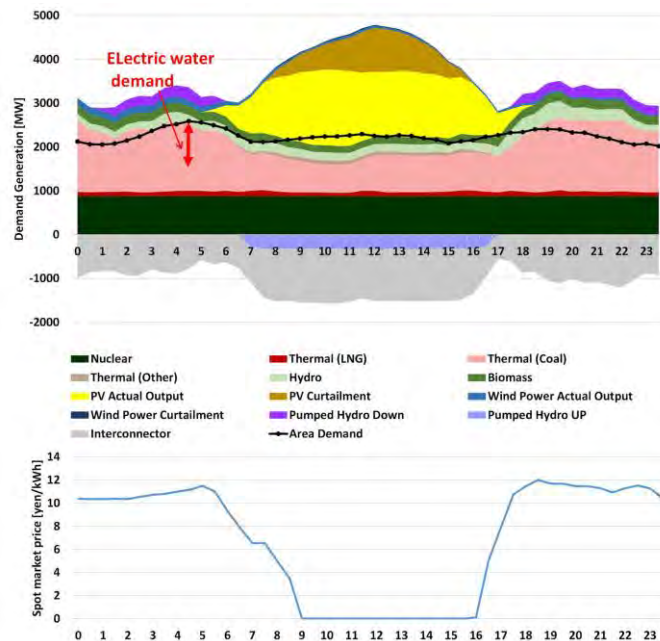


世界の発電電力量見通し（IEA, Stated Policies Scenario, 2024）

- 太陽光・風力が世界の新設容量の主役に
- 太陽光は昼に集中、風力は夜間に偏る：時間的なミスマッチが拡大
- 日本：第7次エネルギー基本計画で2040年に再エネ比率4～5割を想定
- 地域間連系線の制約、太陽光出力抑制の増加、配電網の混雑が顕在化

需要側の柔軟性なしには、再エネのポテンシャルの多くが無駄になる

背景② 出力抑制の現実と需要シフトの潜在力



四国エリアの需給バランスとスポット価格（2025年4月26日）

- 晴天の休日昼間には太陽光の出力抑制が常態化、スポット価格は0.01円/kWhに
- 給湯機はいまも夜間に沸き上げ：昼間運転への切替でPV余剰を吸収可能
- **全国の電気給湯機を昼間シフトすれば約20GWの柔軟性ポテンシャル（最大需要160GWの1割超）**
- 全国300万台超の電気温水器のヒートポンプ化は省エネ効果も大

グリッド協調型建築（Grid-Interactive Building, GIB）とは

省エネ建築の一步先：系統と動的に相互作用し、需要をシフト・削減・貯蔵する建物

特徴	内容	例
高効率	エネルギー使用の最小化	断熱、高効率空調・給湯
柔軟	負荷のシフト・削減	予冷・予熱、蓄熱、蓄電
制御可能	リアルタイムの管理	BEMS/HEMS（エネルギー管理システム）、センサ
接続	系統・市場との連携	DR*参加、VPP*、価格・CO ₂ 信号への応答

GIBは「建物に埋め込まれた分散型エネルギーリソース（DER）」としてふるまう

*DR（デマンドレスポンス）：価格や指令に応じて需要を増減させること
VPP（バーチャルパワープラント）：分散リソースを束ねて一つの発電所のように運用する仕組み

GIBの3つのアクション

01

イベント型DR

系統ひっ迫時の一時的な負荷削減

空調設定温度の+1～2℃調整、照明の減光、DR発動信号（OpenADR等）への応答

02

負荷シフト

低炭素・低価格の時間帯へ運転を移動

昼間太陽光（PV）での蓄電池充電と夕方放電、給湯・EV充電のスケジュールリング、躯体蓄熱（予冷・予熱）

03

アンシラリーサービス

高速・自動の系統支援

スマートインバータによる周波数・電圧調整、蓄電池の瞬時応答（秒以下）

GIBを構成する要素：設計 × デバイス × 制御

建物設計

- 躯体（断熱・蓄熱）
- 空調・給湯システム
- 蓄熱槽・貯湯槽
- センサ・計測

柔軟なDER

- ヒートポンプ給湯機
- 定置用蓄電池
- EV / V2H / V2B*
- スマートインバータ（PV）

制御・連携

- BAS・BEMS / HEMS
- クラウドAPI・遠隔制御
- 価格・CO₂・DR信号
- アグリゲータ・VPP

個々の機器ではなく「建物全体」がDR・負荷シフト・系統支援を提供する単位になる

*V2H/V2B：EVの電池から住宅（H）／業務用建物（B）へ給電し、非常用電源やピークカット・DRに使う仕組み

米国の実装例：GSA連邦建築のGIB化

- DOE(エネルギー省)とGSA(連邦調達庁)が全米100棟超の連邦建築でGIB戦略を展開(Grid-Interactive Efficient Buildings)
- センサ・高度制御による空調最適化、予冷・蓄熱・給湯タイミングによる負荷シフト、地域系統イベントへのDR参加、PV・蓄電池・スマートインバータの統合

20-30%

ピーク需要の削減

10-15%

エネルギーコスト削減

蓄電なしでも

DR参加を実現

背景：米国では1980年代からDSM(負荷管理・省エネ・DR)が系統計画の標準ツール。自由化市場が需要削減・シフトに直接の経済価値を付与。日本は総括原価方式の下で供給側の設備増強が優先され、需要側活用は限定的だった。

需要側柔軟性を引き出す2つの方式

	料金型	インセンティブ型
仕組み	時間帯別・市場連動料金による間接的な需要誘導	アグリゲータ等の遠隔制御による直接的な需要制御
導入コスト	低（既存スマートメーター活用可）	中～高（通信・制御機器が必要）
制御の確実性	低（需要家の行動に依存）	高（直接制御）
マネタイズ	難しい（間接的効果）	可能 （需給調整市場・容量市場等への参加）
適した用途	広範な需要シフトの誘導	即応性が求められる調整力

系統の特性と需要家の受容性に応じて、両方式の最適な組み合わせが必要

日本の現状① 制御できるリソースがまだ少ない

低圧DERのストック（2024年度推計）

1,000万台

ヒートポンプ給湯機

ただし既設の大半は遠隔制御不可

100万台

需要家側蓄電池

制御可能だが台数は限定的

約60万台

EV + PHEV

新車販売の約3%（HVが約6割）

PHEV：プラグインハイブリッド自動車

- 機器はあっても「つながって・制御できる」状態にない：DR READY化が出発点
- 導入補助の段階から「柔軟性資源としての活用」を前提とした設計が必要

日本の現状② 方式ごとのバリア

料金型のバリア

- 市場連動料金を提供する小売が少ない（完全連動型は新電力数社のみ）
- 旧一電は既存システム改修の面で動的料金の設定が困難
- 需要家は2021年の価格高騰の記憶もあり「安心な固定料金」を 선호
- 供給力確保義務等によりスポット価格シグナルが弱まる可能性

インセンティブ型のバリア

- マネタイズ困難：スポット市場の値差縮小、需給調整市場もルール変更で厳しい
- 系統用蓄電池が競合：導入拡大で柔軟性は「足りてしまう」可能性
- 給湯機・EVの制御は技術的にも契約的にもハードルが高い
- 結果として、アグリゲータが儲からず担い手が育たない

「制度・市場の設計」と「儲かる事業モデル」の両方が揃わないと柔軟性は動かない

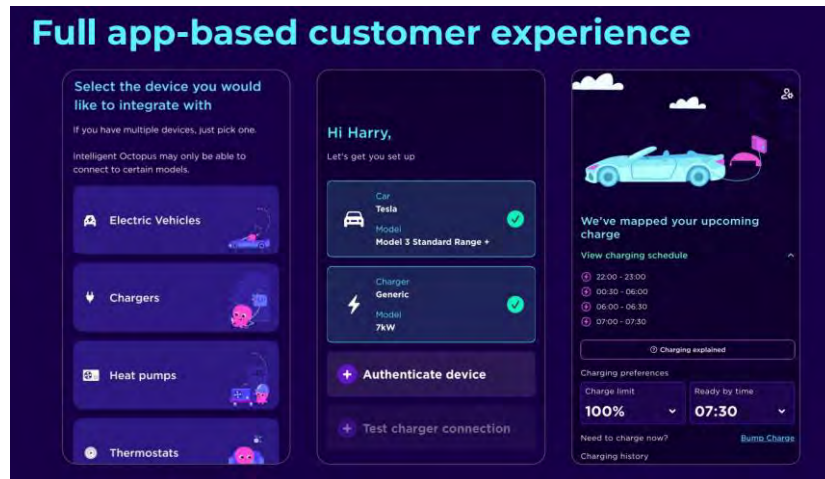
海外の先行事例：価格シグナルとプラットフォーム

■ デンマーク

- 5割超の消費者が市場連動型料金を契約（2024年）。1時間ごとの価格と消費を確認できるアプリ「Min Strøm」は100万DL（人口590万）。配電料金も変動制で値差がつきやすい

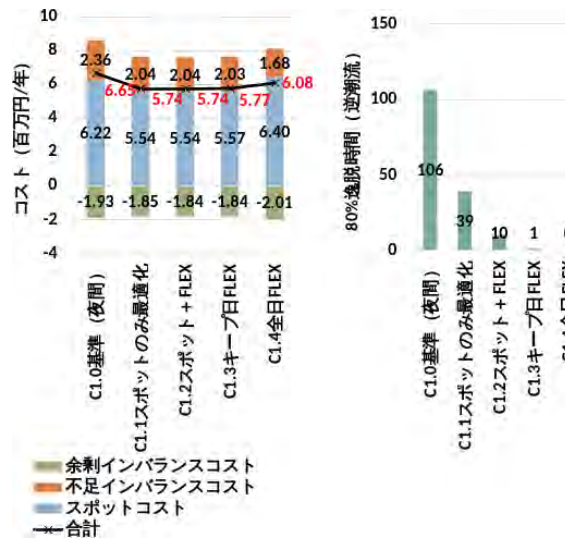
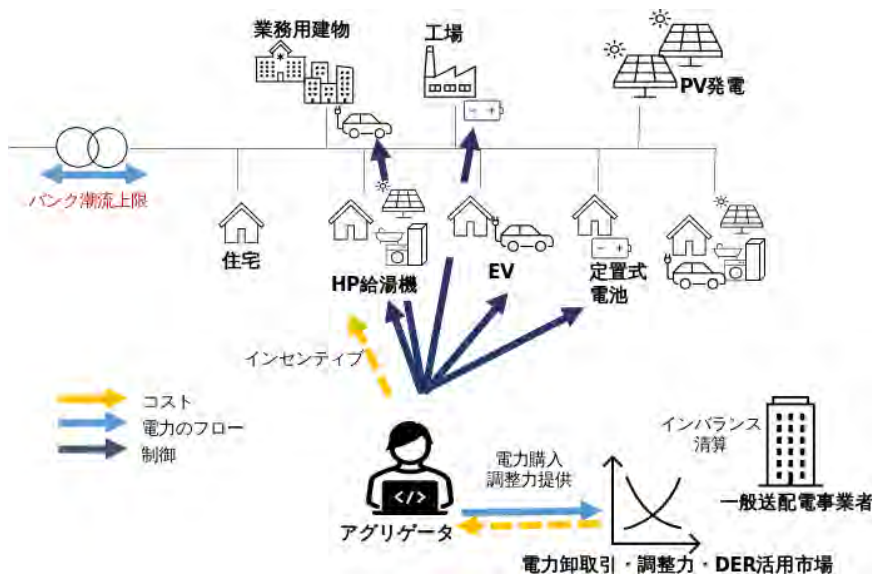
■ カリフォルニア（MIDAS）

- 時刻別・地域別の料金とGHG信号を配信する公共インフラ。料金DBから「信号の伝送・制御可能性を含むインフラ基盤」へ進化中



Octopus Energy（英国）：自社プラットフォームKrakenとメーカークラウドを連携し50万台以上を遠隔制御。再エネ余剰が予測される地域で無料の電力利用を促す地域限定DRも実現

研究紹介：配電網混雑を緩和する需要アグリゲーション（ESIAモデル）



給湯機の運用変化による年間経済性と混雑時間

ESIAモデル：小売・アグリゲータによる需要側リソースの最適運用

給湯機・EVの充放電最適化により、配電網の混雑削減と経済性を同時に評価（NEDO「電力システムの混雑緩和のための分散型エネルギーリソース制御技術開発」2022-2024年度）

需要側柔軟性の拡大に向けて必要なこと

1 リソースの裾野拡大

給湯機・EV・蓄電池の導入加速。補助と同時に「柔軟性資源」としての活用を前提に

2 DR READYの標準化・義務化

遠隔制御機能を機器の標準仕様に

3 価格シグナルの強化

市場連動料金の拡大、時間帯別託送料金による値差の拡大

4 制御手段の整備・標準化

メーカークラウドと共通API、次世代スマートメーターのIoTルータ活用

5 評価基盤・プラットフォーム

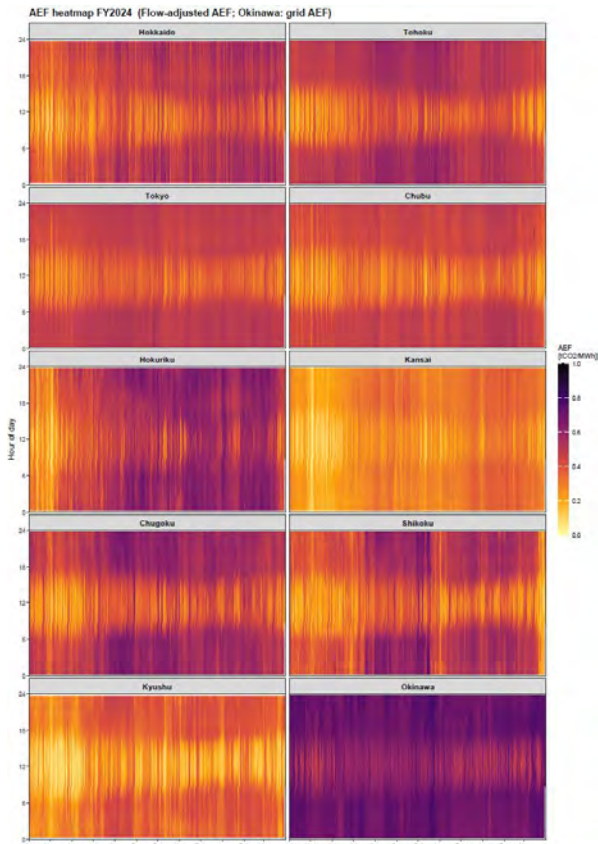
ベースライン・実績評価の標準化（特に上げDR）、価格・CO₂信号の提供

6 市場制度の安定化

アグリゲータが中長期の収益見通しを立てられる制度に

2026年度から低圧リソースの需給調整市場参入がスタート：実装フェーズへ

情報基盤：エリア別・時刻別CO₂排出係数の提供



- 機器や建物が系統の状態に応答するには「いつ電気がきれいで安いか」の信号が不可欠
- 全国10エリアの時刻別CO₂排出係数を算定・公開
- 価格だけでなくCO₂を指標とした需要シフト・環境価値評価に活用可能

<https://www.iwafunelab.iis.u-tokyo.ac.jp/sip2025/>

まとめ：都市・建築とグリッドの協調に向けて

- 建物は「受動的な消費者」から「能動的なエネルギー資産」へ：需要・貯蔵・シフトの機能をもつ地域のエネルギーリソースになる
- 需要対策は柔軟性が高い：調整力になりうるうえ、リソース追加のリードタイムが短い
- お湯も車も基本的に必要：効用を満たしつつ給湯機・EVを活用するのは「後悔の少ない」オプション
- 今後増える需要（データセンター・半導体）は、当初から柔軟性を織り込んだ増やし方を：系統増強コストの抑制と再エネマッチング
- ZEB/ZEHの先へ：設計と運用の両面から、グリッドと協調する建築を

電化の進展は、建築が電力システムの主役になるチャンスでもある