



建築ストックの状況等から見た 民生部門排出削減への課題

2021.2.4

大阪大学 大学院工学研究科
環境エネルギー工学専攻

下田 吉之

本日の講演内容

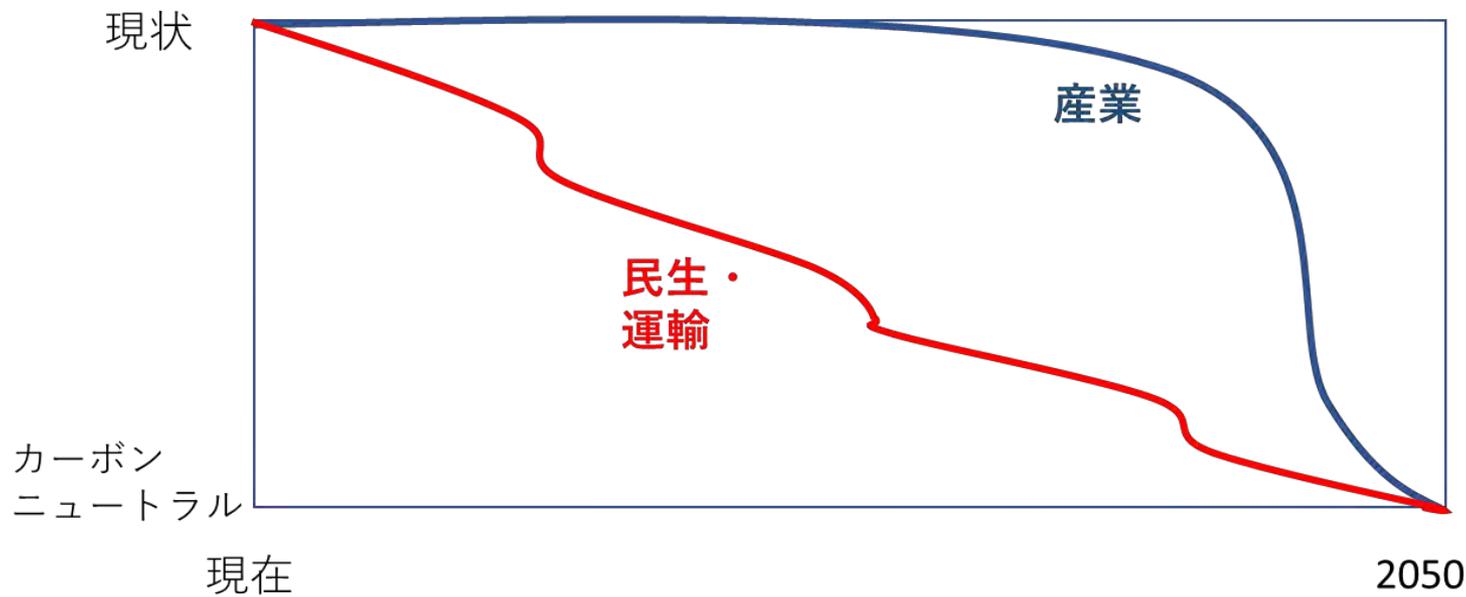
- **建築のエネルギー消費、温室効果ガス排出の特徴について**
- **建築の寿命と建築ストックの変化**
- **土地利用・まちづくりのあり方。**
- **建築におけるエネルギーの選択**
- **エネルギーマネジメント上の観点**

建築のエネルギー消費、温室効果ガス排出の特徴について

- **産業（ものづくり）と民生・運輸（まちづくり）は分けて論じるべし。**
- **産業**
 - 大幅な削減のためには、非連続なイノベーションが必要。
 - 無理な規制やコストアップは海外流出を招く。間接排出の問題を考えれば、世界全体の利益にもならない。
- **民生**
 - BATの着実な実行でエネルギー消費を半分くらいにできる。
 - 規制が海外流出につながることは無い。従来トップランナー制度や大気汚染規制で競争力を高めてきた実績。
 - 建設・住宅・家電は日本の得意な産業分野。カーボンニュートラルへの明確な方向を示して技術の優位性を保つ。
 - 対策が普及するまでの時間が長い。



産業と民生・運輸の排出削減パスは違う？



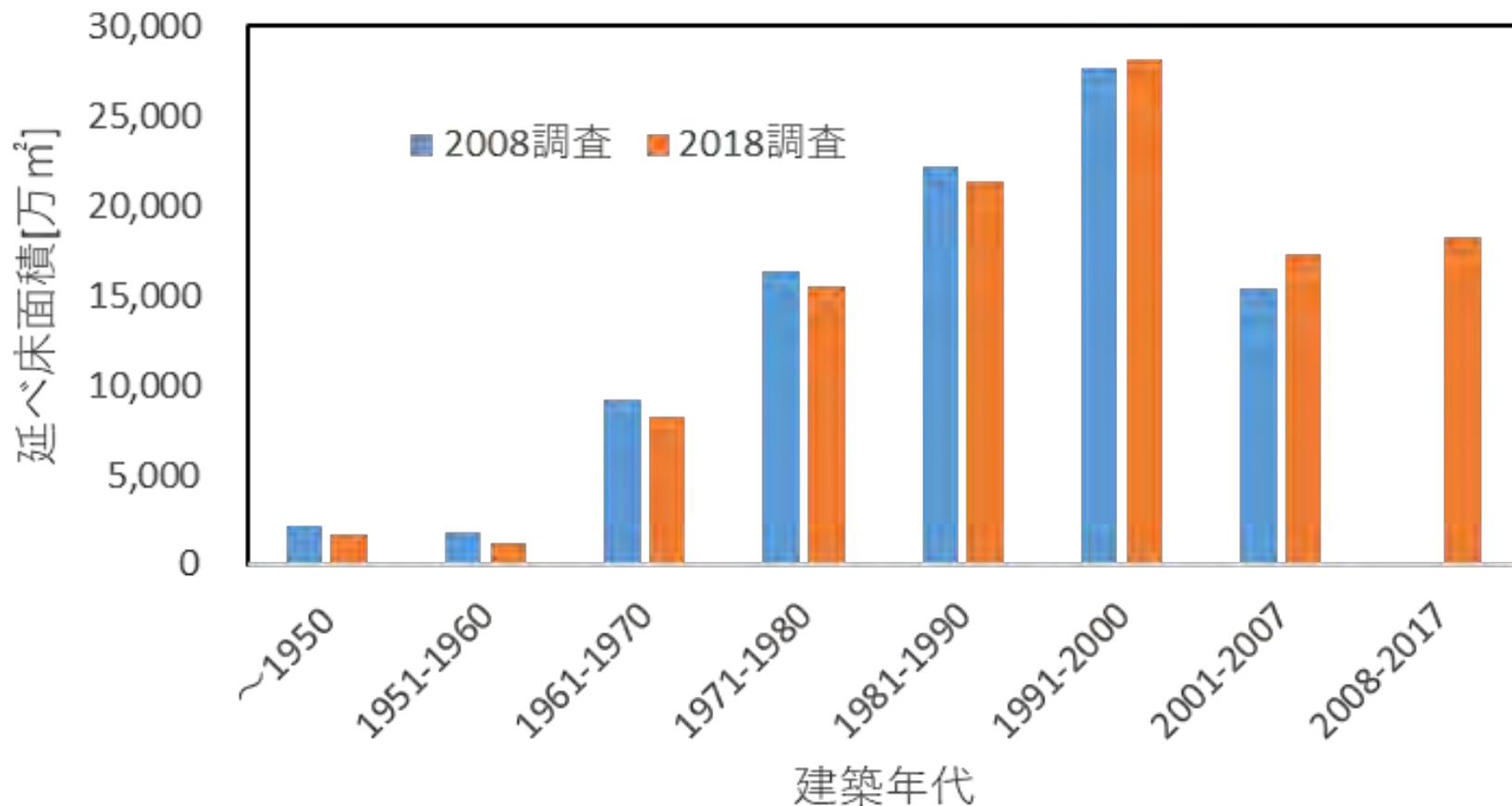


(1) 建物の寿命と建築ストックの変化

- 以前は日本の建築の寿命は短いと言われていた。今は資源保全の必要性もあり長寿命化している。
- 2050年の風景の半分以上は既にできている？ 設備更新も20年程度と考えればあと1回程度。
- 設備更新では冷暖房効率、照明効率が上がる。しかし**建物の駆体(窓や外壁)が変わらないと冷暖房負荷、照明負荷が減らない。現在LED照明の普及や情報機器の省エネルギー化により冷房主体→暖房主体への移行が起こっている。建築が変わらないことによる技術のロックインがある。**
- 次ページ以降国土交通省「建築物ストック統計」より2050年の建築ストックの姿を予測し、ZEB/ZEH化のポテンシャルを評価。



非住宅建築（工場・倉庫・公共建築除く）



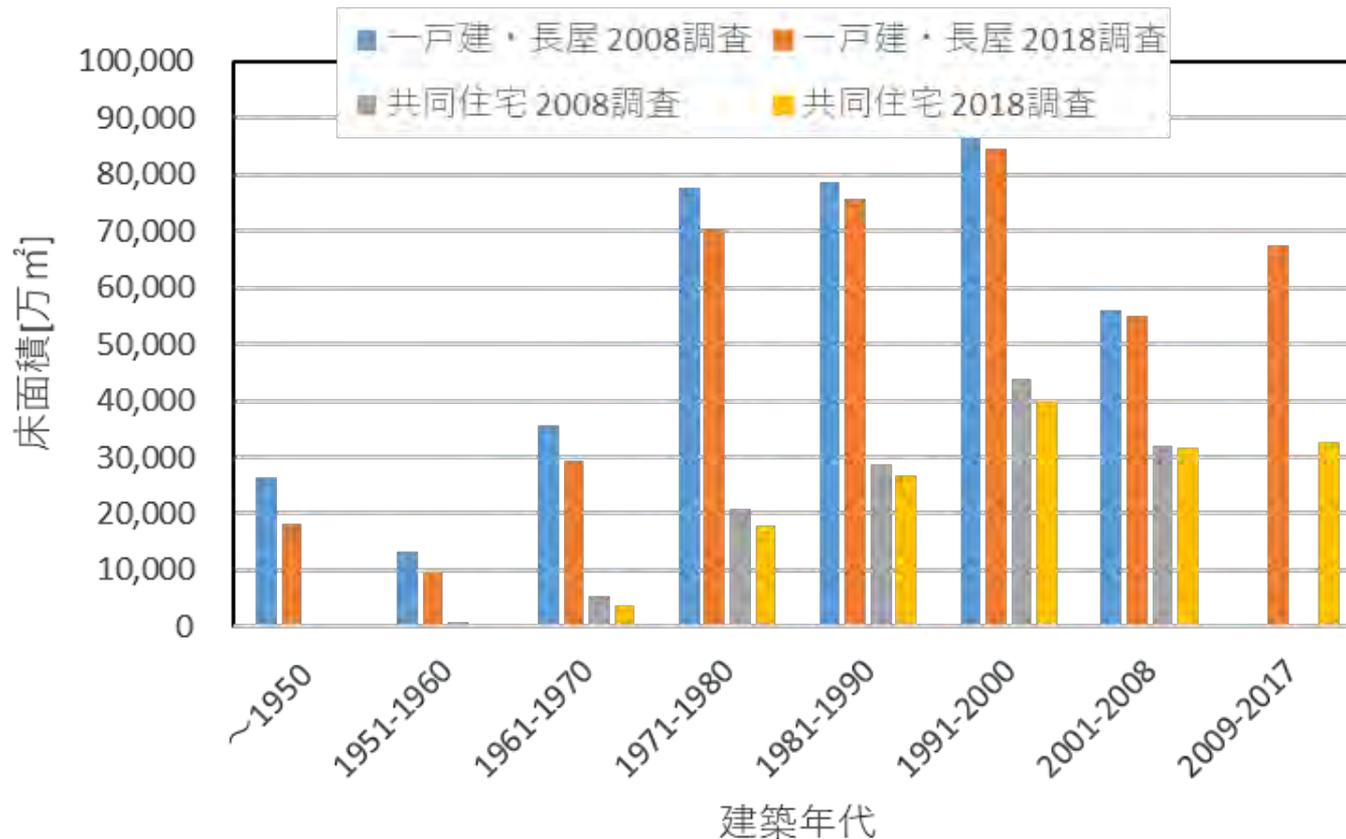
総延べ床面積は10年間で9億4500万m²から11億1500万m²に約18%増加
古い建築は1950年代の建物で32%が減少しているが、1960年代では10%、1970年代では5%と、築50年までの建物はほとんど残存。

2050年には1991年以降の建築はほとんどが残存

現在のストックは寿命50年で32%、寿命60年で57%、寿命70年で76%が残存。



住宅建築 (2008.10.1と2018.1.1の比較)



総延床面積は50億6300万 m^2 から56億2800万 m^2 へと11%増加。

一戸建・長屋の比率は2008年の74%から2018年は73%。徐々に共同住宅の比率が高く、最近9年での除却率は1970年代で10%程度、80年代~90年代で5%であり、寿命が50年程度に延長されている

2050年時点で考えると、寿命50年で現在のストックの33%、寿命60年で55%、寿命70年で73%に相当する建物が残存。



建築の寿命の長さ

- 以前は住宅40年(一代所有)、事務所30年



Only Yesterday 1992

- 時間の長さを実感する。2021年の29年前は1992年
- ボスニア・ヘルツェゴビナ紛争、クリントン大統領当選。宮沢首相、日本新党、カンボジアPKO
- 環境と開発に関する国際連合会議（リオサミット）、気候変動枠組み条約
- 育児休業法、公務員週休2日、就職氷河期の始まり
- 新幹線のぞみ運転開始、ハウステンボス開業、Gコード
- （WWWが1990年、Windows95は1995年）
- 新築建物：聖路加国際病院、天王洲アイルシーフォートスクエア、阪急茶屋町アプローチ、愛知芸術文化センター、直島コンテンポラリーアートミュージアム
- 新築建物(既に無いもの)：大手町フィナンシャルセンター→大手町タワー、首里城
- 大飯原発3号1991年,4号1993年
- 日本のCO2排出量は11086Mtで現在とほぼ変わらず。

(2) 地域・まちづくりのあり方

- もう、2050年までにまちの形態をはじめから作り直すことは無理。（本当は建物の規模・オープンスペースに配慮し、脱炭素で健康・快適・安全安心にも良い、モビリティを含めたbeyond 2050の街作りが必要）
- ZEH(住宅)化により戸建住宅のカーボンニュートラルは容易。集合住宅も省エネが進めばゼロカーボン可能。また業務の低層街区はZEB（屋根置き太陽電池）でカバー。中心市街地のモデルが無い。
- ポストコロナの「分散居住」の具体的姿は何か。郊外住宅地を維持するとすれば「コンパクトシティ」では無い？
- **民生・運輸部門の自家用自動車は市民(家計)が担い手。** 魅力ある都市と農漁村のモデルが必要。SDGs全体を俯瞰する。レストランのメニューのカロリー表示にしない。

ゼロエミッション達成のための街区形成

- 新築が現在のペースで続き、建物床面積の総量が増加しつづけるならば、どのような省エネルギー対策を取ったとしても民生部門ゼロエミッションの達成は困難
- 老朽化してエネルギー効率の低い建物の除却と、ZEBの新築による置き換えを進めつつ、総床面積を抑制する対策が必要
 - テレワークとテレショッピングによるオフィスと小売店の削減
- ネット・ゼロ・エネルギービル (ZEB) 達成のためには、徹底した省エネルギーとともに、十分な再生可能エネルギーの容量を必要とし、太陽光発電を用いる場合には、コストの制約を別にしても延べ床面積に対して十分な屋上面積が無ければ達成できない。
 - 空気調和・衛生工学会の先進事例集では、ゼロエネルギーあるいはプラスエネルギーを達成している建物は全て3階建て以下。
 - 日影を考えれば十分広い敷地の確保や建物の高さを揃えるなど土地利用面での対策を整備する必要

出典：空気調和・衛生工学会



ZEB（ゼロエネルギービル）の評価方法

ゼロエネルギーを達成している建築は低層

出典：空気調和・衛生工学会



中央環境審議会地球環境部会 「長期低炭素ビジョン」の「建物・暮らし」

- 徹底した**省エネ**、**電力の低炭素化**、**電化・低炭素燃料**への利用転換、ICTを利活用し、ストック平均でもゼロエミッションに近づく。
- 断熱性の高さやパッシブ設計、省エネ機器の評価・選択・一般化
- 健康性・快適性・災害時の強靱性等の**コベネフィット**。
- 新築建物は**早期のゼロエミッション達成**、**ライフサイクル・カーボン・マイナス**住宅の普及。
- 既築建築では断熱や省エネ機器・創エネ機器の導入
- エネルギーは再生可能エネルギーを主とし、**エネルギー需要の大きな建築物では、低炭素化された電力、近接する建築物からの低炭素化した電気や熱、水素が融通される**
- **エネルギーマネジメント**；HEMS, BEMSおよび情報通信技術の普及、電力需給調整に電気自動車やヒートポンプ式給湯器等を使用
- **ZEB, ZEH**の普及と電力需給の不安定対策としてのスマートグリッド技術でゼロエミッションを達成する。



「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の「地域・暮らし」

- カーボンニュートラルな暮らしへの転換
 - 住宅・建築物での取り組み：極限まで**省エネルギー化を進めた設備・機器、ICT活用、ZEB, ZEH**
 - **ライフスタイルの転換**：サービサイジング、シェアリングエコノミー、**テレワーク・オフィスのフリーアドレス化**、行動科学、AI, IoT
- カーボンニュートラルな地域づくり
 - 地域における**自立・分散型社会づくり**（再生可能エネルギー・分散型グリッド）、**災害時にも自立的な電源の活用。再エネのためのDR、需要の地理的転換、プロシューマに対応した情報システム**
 - **都市部地域のカーボンニュートラルなまちづくり**：電気・熱の融通、エネルギーの面的利用、未利用再生可能エネルギー熱、徒歩や自転車の増加
 - **カーボンニュートラルな農山漁村づくり**：再生可能エネルギー・バイオマス資源の地産地消、スマート農林水産業
- 地域における物質循環
- 可能な地域・企業等からのカーボンニュートラルの実現
- 福島の復興と脱炭素社会の拠点構築



脱炭素に関する地域作りのコンセプト

- エコポリス
 - 環境共生都市
 - 環境調和型都市
 - 低炭素都市（都市の低炭素化に関する法律）
 - スマートコミュニティ、スマートシティ
 - ゼロカーボンシティ
 - Positive Energy District
 - 地域循環共生圏
-
- いろいろな名前が出ては消えていくのは、人々の心をつかみ切れていない証拠。「クールビズ」レベルのインパクトのあるブランディングが必要。

(3) エネルギーの選択

- 建築部門は電化が中心になると思われるが、水素や燃料は不要か？
- 水素の建物への供給形態・配管ネットワークは
どうなるのか？
- サービス上の問題点
 - 高温の加熱
 - 電力のピークカット
 - 災害時・非常時のバックアップ機能



燃料消費が民生部門で果たす独自のサービス

① 高温の加熱

- 民生部門において特に高温を必要とするのが調理。
- 必要とされる温度レベルや熱量は調理内容によって大きく異なるが、調理者の嗜好も含め、完全な電化の障壁となっている。
- 暖房においても、部屋が冷えている状態で快適な熱環境を得ようとするれば強い暖房出力が必要となる。建物の断熱気密化が進展すればこのような状況は少なくなるが、日本では間欠暖房が主体であり、ヒートポンプのような比較的出力の低い暖房システムを考えると、暖房システム自体の転換を考えていく必要がある
- 給湯においてはヒートポンプ利用では蓄熱が前提となり、更なる普及のためには建物に蓄熱槽のためのスペースを用意する必要がある。



燃料消費が民生部門で果たす独自のサービス

② ピーク電力の削減

- 日本の多くの地域で現在ピーク電力を形成しているのは冷房用の電力消費。
- 業務用建物の冷房には、吸収式冷凍機による都市ガスや石油をエネルギー源とした空調システムが一部採用されており、現状ではピーク電力の一定部分を削減し、電力負荷の低減に寄与している。これらが無くなれば、夏期の電力ロードカーブは更に急峻なものになる。
- 太陽光発電が更に普及すれば、冷房負荷の多い時間は一般的に太陽光発電も多くなるので、その差を埋めてくれる可能性があるが、冷房負荷の時間変化は太陽光発電の変化に比べてなだらかな変化となることや、曇天時でも発生することから、完全な代替とはならない。
- 将来的には暖房期がピークを形成するが、どのようにして削減するか？（後述）



燃料消費が民生部門で果たす独自のサービス

③電力システムのバックアップ機能

- 災害時、電力システムからの電力供給が受けられなかった場合のために、一定規模以上の建物では貯蔵した燃料を活用する非常用発電機を設置することが義務づけられているほか、近年ではBCP(Business Continuity Plan)として、災害時においても必要な事業活動が長期間遂行されるよう、中圧ガス管など安定した都市ガス供給がおこなわれる環境下で、ガスコージェネレーションシステムによる電力供給をおこなっている建築も多い。
- このような機能を燃料の供給網無しに実現しようとするれば電池と太陽電池を利用することになるが、現状の技術レベルでは供給可能な電力量と継続時間の面で問題あり。住宅であればEVの蓄電池が利用可能。

(4) エネルギーマネジメント上の観点

- 日本の民生部門では、脱炭素化したときの電力需給が、暖房の電化とPV電力の悪天候による影響で冬に足りなくなる恐れがある。
- 家庭部門では50%程度の省エネは現在利用可能な技術で実現可能。業務部門でもほぼ同様。
- 脱炭素化で減らした需要で需給調整力は提供できるのか？HP給湯機、燃料電池、EV充放電の使用。業務部門では蓄熱・駆体蓄熱か？
- 研究室での家庭部門に関するシミュレーション結果のご紹介
 - 杉山他：日本建築学会環境系論文集、770、2020-4
 - 下田他：エネルギー・資源学会研究発表会，2020-7

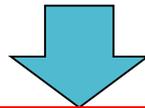


脱炭素社会とは

RE100なら脱炭素？

茅恒等式

$$\text{CO2排出量} = \frac{\text{CO2発生量}}{\text{エネルギー消費}} \times \frac{\text{エネルギー消費}}{\text{総生産}} \times \frac{\text{総生産}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$



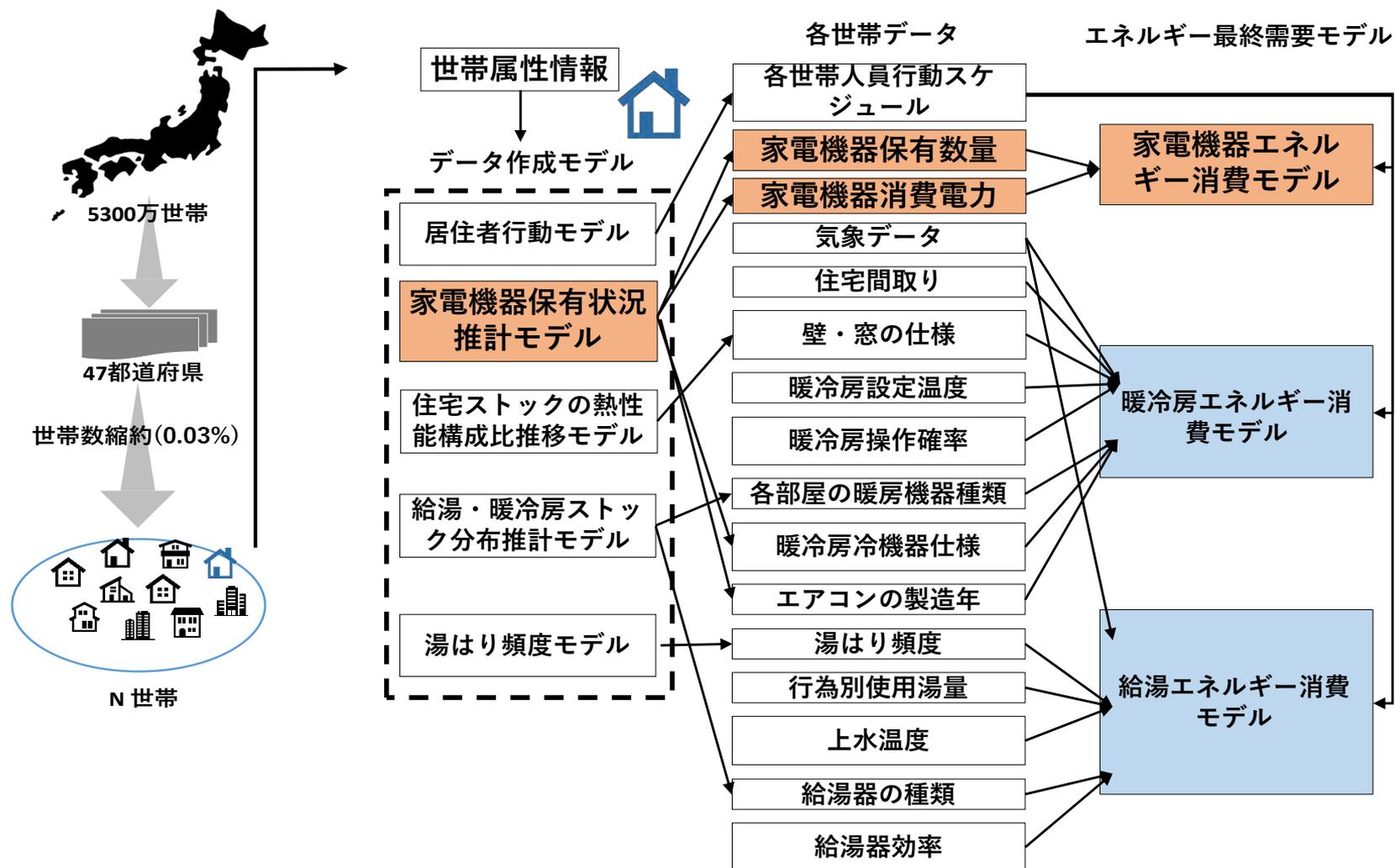
$$\text{カーボンフリーエネルギー} \geq \frac{\text{エネルギー需要}}{\text{サービス}} \times \frac{\text{サービス}}{\text{充足度}} \times \frac{\text{充足度}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

- 上の式は脱炭素社会に2つの課題があることを示す。
- 年間ベースで 脱炭素条件の達成
- 瞬時ベースで 電力における需給バランス



TREES (家庭部門エネルギー最終需要モデル) の開発

Total Residential End-use Energy Simulation





Total Residential End-use Energy Simulation (TREES) モデル

データプレパレーションモデル

世帯属性・住宅仕様情報の決定

エネルギー消費決定要因の決定

家庭部門エネルギーエンドユースモデル

居住者行動
モデル

家電機器モデル

暖房モデル

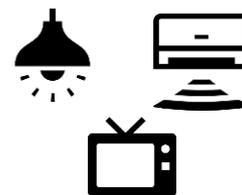
給湯モデル

世帯のエネルギー消費量の推計

全国のエネルギー消費量の推計



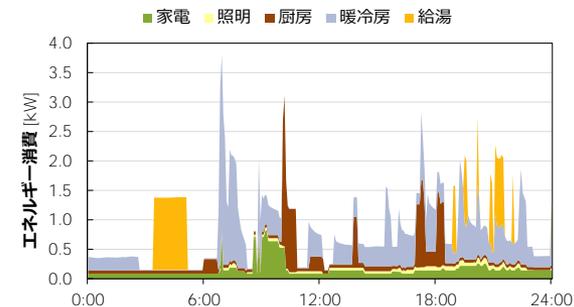
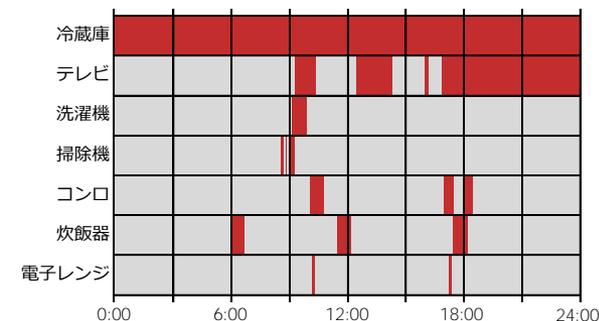
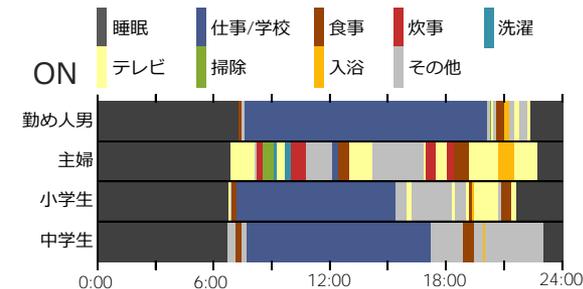
居住者行動



機器の稼働



エネルギー消費



③ 対策の実施による時刻別のエネルギー需要の変化を出力可能



2050年ゼロエミッションシナリオの構築

■ 2050年BAUケース :

- 現状以上の追加対策をせずに、ストックの更新によって高効率な住宅・機器が普及したケース
- 全戸建住宅に太陽電池設置(集合住宅設置と集合住宅の共用部消費は非考慮)

■ 2050年対策ケース :

A) エネルギー効率の改善

- A-1)全住宅ストックの最新の断熱基準の適合
- A-2)ヒートポンプ機器のCOPの向上

B) サービス量の変更

- B-1)機器保有数量の上限を1台に
- B-2)昼光利用による日中の照明使用の減少

C) 太陽電池の増設

- C-1)戸建住宅の太陽電池を5kWまで増設

D) マクロフレームの変更

- D-1)同居の促進による世帯数の減少
- D-2)戸建住宅の比率を75%に
- D-3)集合住宅の比率を75%に

2050年予測のポイント

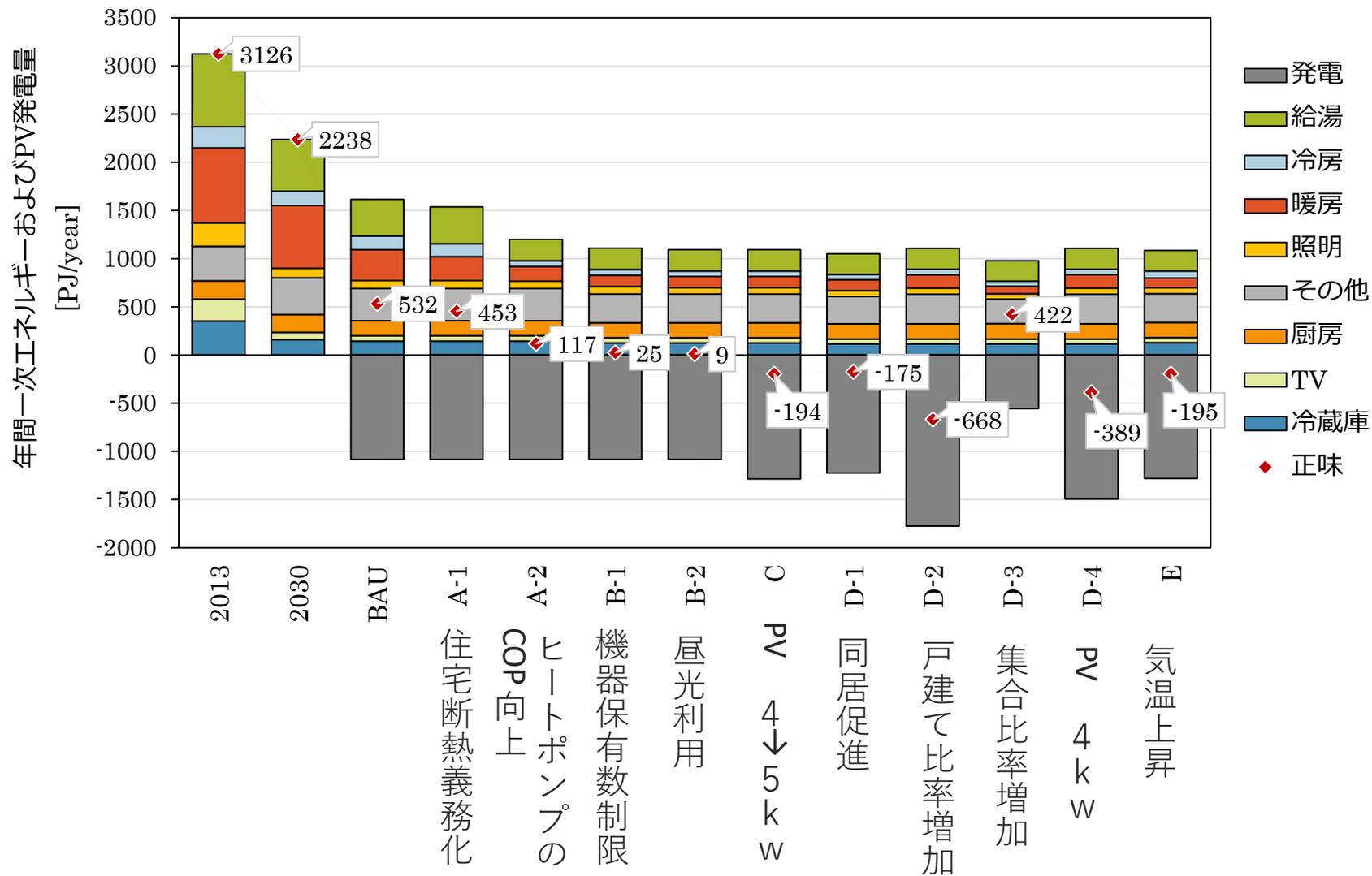
- ✓ 具体的な方針が未定
- ✓ 住宅・機器の分布の変化だけでなく、世帯数の変化も不確定

住宅・機器の効率向上だけでなく世帯数も操作可能



ゼロエミッション到達のために必要な要因

■ 対策による年間一次エネルギー消費量とPV発電量の変化



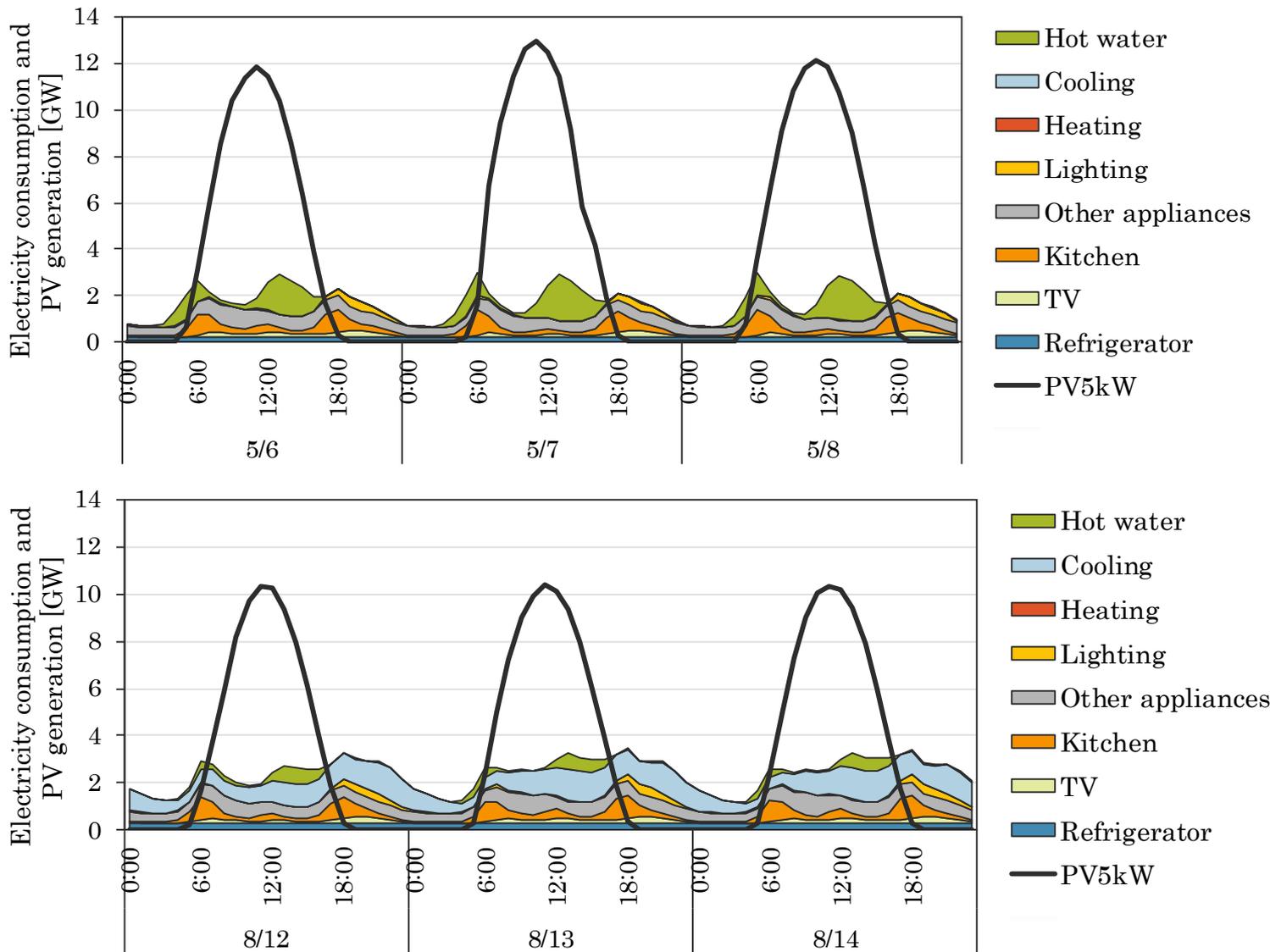


結果の考察

- **住宅断熱義務化の効果は意外と小さい**
 - 現状のトレンドで1999年基準は8%（2013年）→60%、1段階低い1992年基準も加えれば86%まで伸びる。
 - 更に高い断熱にしてもそれほど大きい効果はない。
- **ヒートポンプのCOP向上は大きな効果**
 - ただし技術的に現在到達できていない。
- **2013年→シナリオCの変化2033PJのうち、冷暖房が822PJ、給湯が537PJと67%を占める。**
 - 現在から見るとゼロエミッションへの大きな鍵は冷暖房給湯対策。
- **シナリオCで冷暖房給湯は36%となり、更なる削減は困難（COPの物理的限界）**
- **太陽光発電の容量を上げる戸建増加政策（コンパクト化の逆？）が最も有効。コンパクト化の一つの根拠である人間の移動については自動運転の電気自動車が解決（1日10kmの移動であれば、およそ0.4kWのPV増加でまかなえる）**

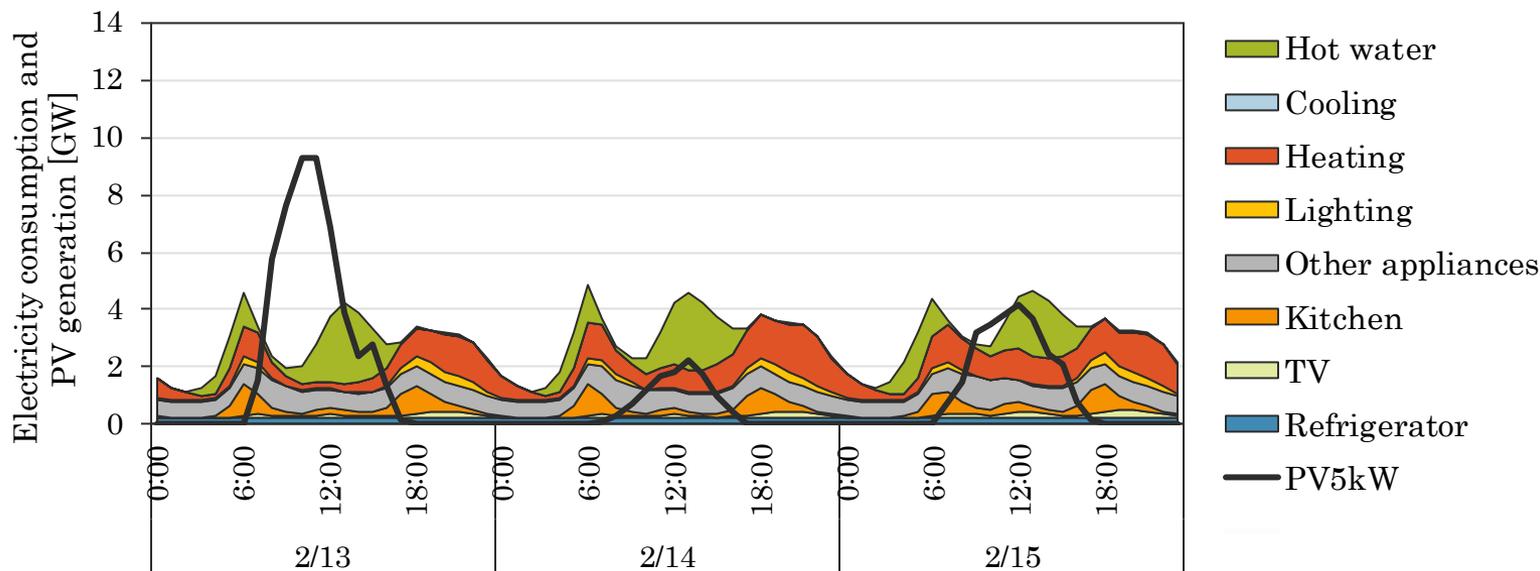


ゼロエミッション達成時のエネルギーマネジメント 関西地方の時刻別電力需要とPV発電量（春夏）





関西地方の時刻別電力需要とPV発電量 (冬)



ピーク電力は冬に出る。

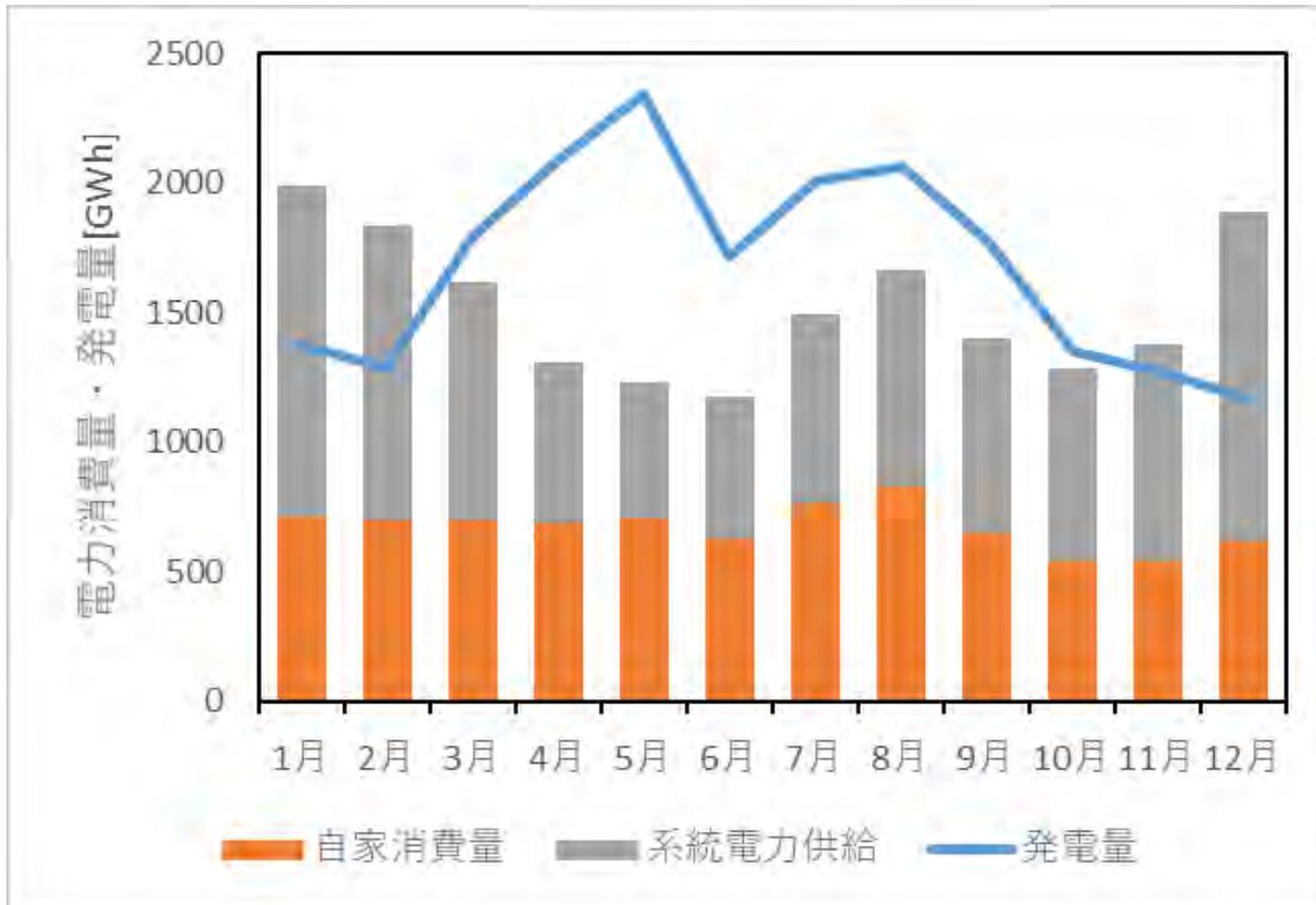
PV余剰は5月最大、2月に最小

昼→夜の蓄電の他、晴天日→曇天・雨天日、初夏→冬の蓄電が必要。

(過積載すればギャップは小さくなるが)



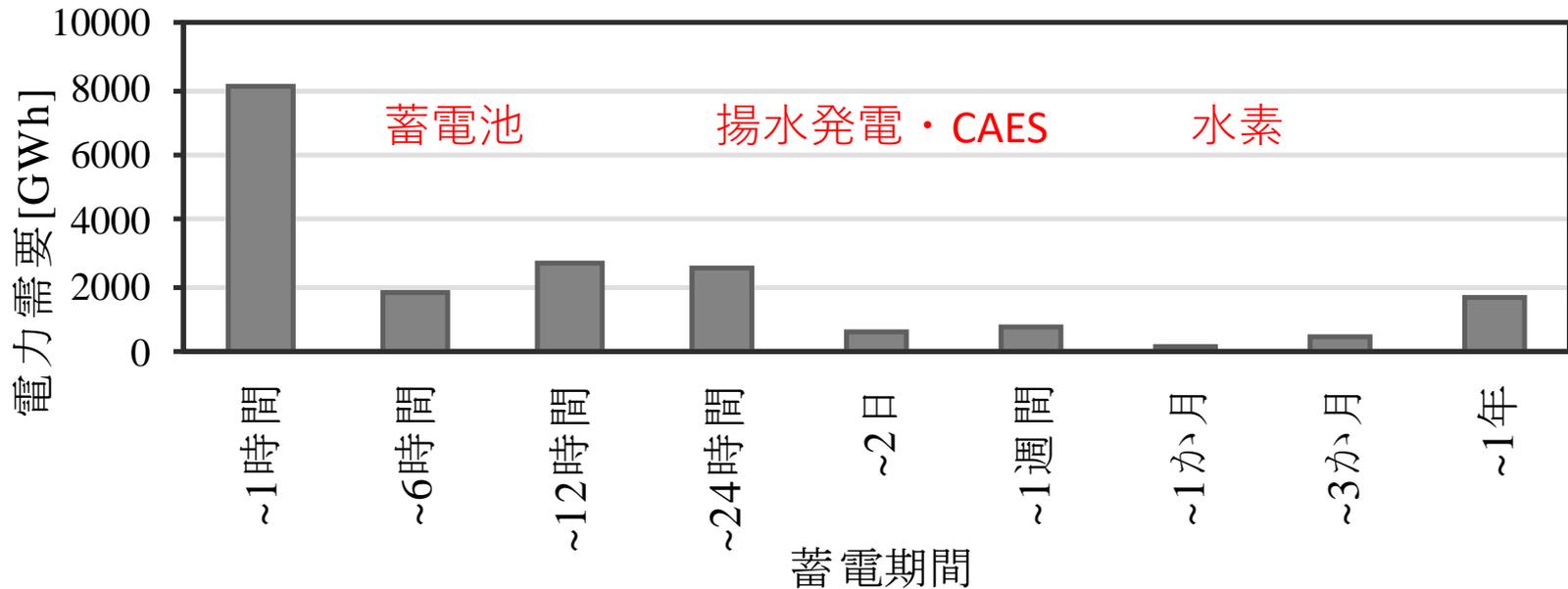
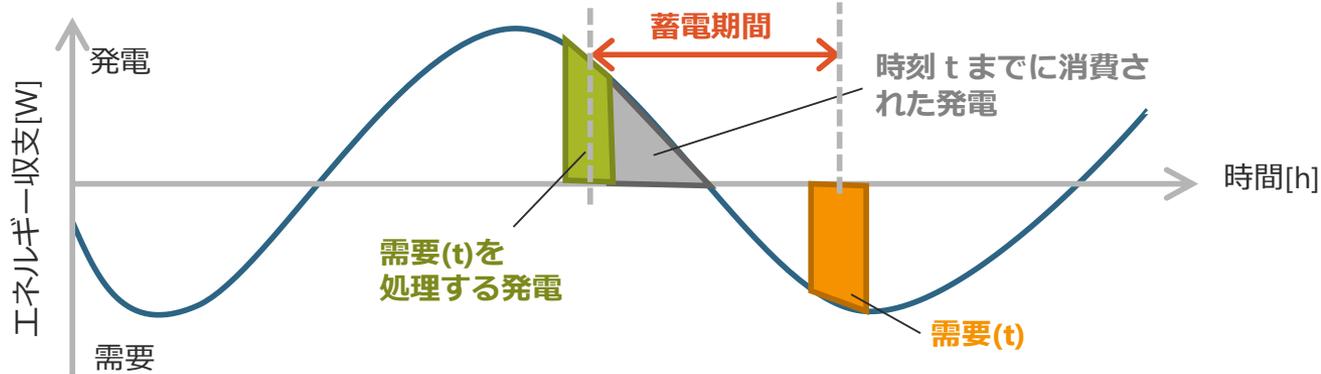
関西地方の月別電力収支



民生家庭部門内でリアルタイムで消費できる発電電力は需要の44%



蓄電時間の計算結果



24時間までが37%、1週間までが6%、それ以上が12%



まとめ

- 民生部門の転換には時間がかかるが、今実用可能な技術を普及させればある程度カーボンニュートラルに近づけることは可能。対策を早く取る必要。
- 対策を進めていくためには魅力あるまちづくりのコンセプトの提示が重要。
- 住まい手の視点からは電化について解決しなければならないポイントがある。

- 太陽光発電に依存すると冬にエネルギーが足りなくなる。長期間蓄電が必要に。



ご清聴ありがとうございました。

連絡先 : shimoda@see.eng.osaka-u.ac.jp