

居住者の行動変容が戸建住宅における再生可能エネルギー利用に
与える影響と将来予測に関する研究

(A Study on the Influence of Residents' Behavior Changes on Renewable Energy Use in
Detached Houses and Future Projections)

小島 昌幸

(KOJIMA, Masayuki)

名古屋大学大学院環境学研究科 博士（工学）

2023 年

目次

第1章 研究背景と目的	1
1-1 研究背景（低炭素社会における戸建住宅の役割）	2
1-1-1 家庭からの二酸化炭素排出量	2
1-1-2 戸建住宅の再生可能エネルギー自家消費における国際比較	5
1-2 ZEH（ネット ゼロ エネルギー住宅）の電力自家消費における課題	7
1-2-1 ZEH の定義と国策としての普及促進	7
1-2-2 ZEH の再生可能エネルギー自家消費における課題	8
1-3 研究の目的	10
1-3-1 行動変容の本研究における定義	10
1-3-2 暮らしの行動変容を引き起こす内的・外的要因	11
1-3-3 行動要因を引き起こす要因の発生と経路	12
1-4 本論文の構成と社会的意義	14
1-4-1 本論文の全体構成	14
1-4-2 研究の独自性と社会的な意義	15
参考文献（第1章）	16
第2章 偶発的社会要因に対応した暮らしの行動変容（COVID-19 感染症対策）	17
2-1 背景と既往の研究	18
2-1-1 本章の目的	18
2-1-2 感染症蔓延下の住宅消費電力に関する既往の研究	19
2-2 世帯別の消費電力量の実測と分析結果	21
2-2-1 消費電力量データの取得	21
2-2-2 電力データの取得とデータ構造	23
2-3-1 消費電力量（暖冷房以外）への影響	24
2-3-2 暖冷房消費電力量への影響	27
2-3 対象世帯への居住者アンケート調査結果と考察	34
2-3-1 アンケート調査手法	34
2-3-2 居住者へのアンケート調査結果とその他消費電力量増加要因の抽出	36
2-3-3 増加要因の影響明確化における課題	38
2-4 増加要因が再生可能エネルギーの自家消費に与える影響	39
2-5 小括	42
参考文献（第2章）	43
第3章 温暖地における高性能住宅での暮らしの行動変容（暖冷房の使い方）	47

3-1 背景と本章の目的.....	48
3-1-1 本章の目的	48
3-1-2 戸建住宅の暖冷房の使い方に関する既往研究.....	49
3-2 暖冷房利用実態調査の手法	51
3-3 暖冷房の使い方に関する結果と考察	52
3-3-1 月積算冷房利用時間と月積算冷房消費電力量の関係.....	52
3-3-2 冷房同時利用台数と時刻の関係	52
3-3-3 世帯別冷房消費電力量の短期的予測の提案	57
3-3-4 月積算暖房利用時間と月積算暖房消費電力量の関係.....	60
3-4 暖冷房の使い方の変動要因	64
3-4-1 既存住宅の暖冷房空間・時間に影響を及ぼす行動変容	64
3-4-2 今後の新築戸建住宅における暖冷房消費電力への影響要因	66
3-4-3 暖冷房の使い方の多様性.....	68
3-5 小括	69
参考文献（第3章）	70
第4章 計画的社会要因に対応した暮らしの行動変容（再エネ自家消費型住宅の推進）	71
4-1 背景と本章の目的.....	72
4-1-1 電力自家消費行動への道のりと本章の目的	72
4-1-2 計画的社会要因と行動変容に関する既往研究.....	73
4-2 多数世帯の消費電力量実測データに行動変容を反映する手法.....	75
4-2-1 電力データの取得.....	75
4-2-2 評価指標の算出（再エネ自家消費率、電力自給率、年間電気代）	76
4-2-3 行動変容が再エネ自家消費に与える影響の可視化.....	79
4-2-4 検討に用いる暮らしの行動変容	81
4-3 行動変容が再エネ自家消費率と電力自給率に与える影響	82
4-3-1 行動変容①在宅勤務の定着	82
4-3-2 行動変容②EVへの乗り換え（自宅での基礎充電の開始）	84
4-3-3 行動変容③ヒートポンプ給湯器昼沸き上げへのリプレース	88
4-3-4 行動変容④家庭用定置型蓄電池の導入	90
4-3-5 行動変容⑤V2H 日常エネマネの導入.....	94
4-3-6 行動変容⑥断熱リフォーム（等級4→等級7相当）	97
4-3-7 行動変容⑦PV容量の増設（PVモジュールの増し張り）	99
4-4 再エネ自家消費率と電力自給率の試算結果に対する考察.....	101
4-4-1 逆潮流量と再エネ自家消費の関係.....	101
4-4-2 組み合わせの影響（交互作用）	103
4-4-3 再エネ自家消費のための家庭用定置型蓄電池の最適設備容量.....	104

4-5 小括	107
参考文献 (第 4 章)	108
第 5 章 暮らしの行動変容を反映した再エネ自家消費率・電力自給率の将来予測	109
5-1 本章の目的	110
5-1-1 2035 年までの電力自家消費の予測	110
5-1-2 暮らしの行動変容の意思決定プロセス	111
5-2 再エネ自家消費の予測手法	112
5-2-1 行動変容の採用確率と水準	112
5-2-2 4つの行動変容の採用確率と負荷水準の設定	114
5-2-3 計算プロセス	117
5-3 結果と考察	118
5-3-1 世帯別の評価・予測式	118
5-3-2 全世帯平均の評価・予測式	120
5-3-3 ケース比較	122
5-3-4 世帯からの二酸化炭素排出量による評価	126
5-3-5 2035 年に向けた再エネ自家消費の方策に関する考察	128
5-4 小括	130
5-4-1 2035 年の姿を予測して必要な対策	130
5-4-2 予測モデルへの将来的な追加性と削減性について	131
参考文献 (第 5 章)	132
第 6 章 総括	133
6-1 総括と今後の展望	134
6-2 2035 年以降の再生可能エネルギー自家消費についての展望	136
6-2-1 本格普及期を迎える BEV (バッテリーEV) の活用	136
6-2-2 EV 充電と放電による再エネ自家消費の更なる改善	138
参考文献 (第 6 章)	142
研究業績一覧	143
謝辞	147
付録	149
1. 機械学習による時系列データのクラスタリング (第 2 章)	150
2. 多数世帯電力データの整備手法 (手順と主要 Excel VBA コード、第 2~5 章)	153
3. 暮らしアンケート調査票	189

第1章 研究背景と目的

1-1 研究背景（低炭素社会における戸建住宅の役割）

1-1-1 家庭からの二酸化炭素排出量

地球温暖化の支配的な要因は、ヒトの活動起源である可能性が極めて高いと考えられており、IPCCの第6次評価報告書では「疑う余地がない」と強く断定した¹⁻¹⁾。これを受け世界各国が続々と2050年カーボンニュートラル達成目標を宣言する中、日本も2020年10月26日の菅内閣総理大臣所信表明演説で2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。先進国ではやや遅れをとった形で最後発の宣言であるが、以降の国内の脱炭素へのアクションを大きく加速するものとなった。

図1-1 日本国内の部門別温暖化ガス排出量の部門別内訳（引用）¹⁻²⁾をみると、家庭部門は15%と多くを占めている。加えて、運輸のうち家庭の自家用車は5%、家庭からの一般廃棄物が1%のため、合計約2割が家庭起源である。自家用車のEV普及が進むと、ガソリン・軽油から基礎充電（自宅充電）にエネルギー転換が見込まれ、宅内電力需要が増加する。

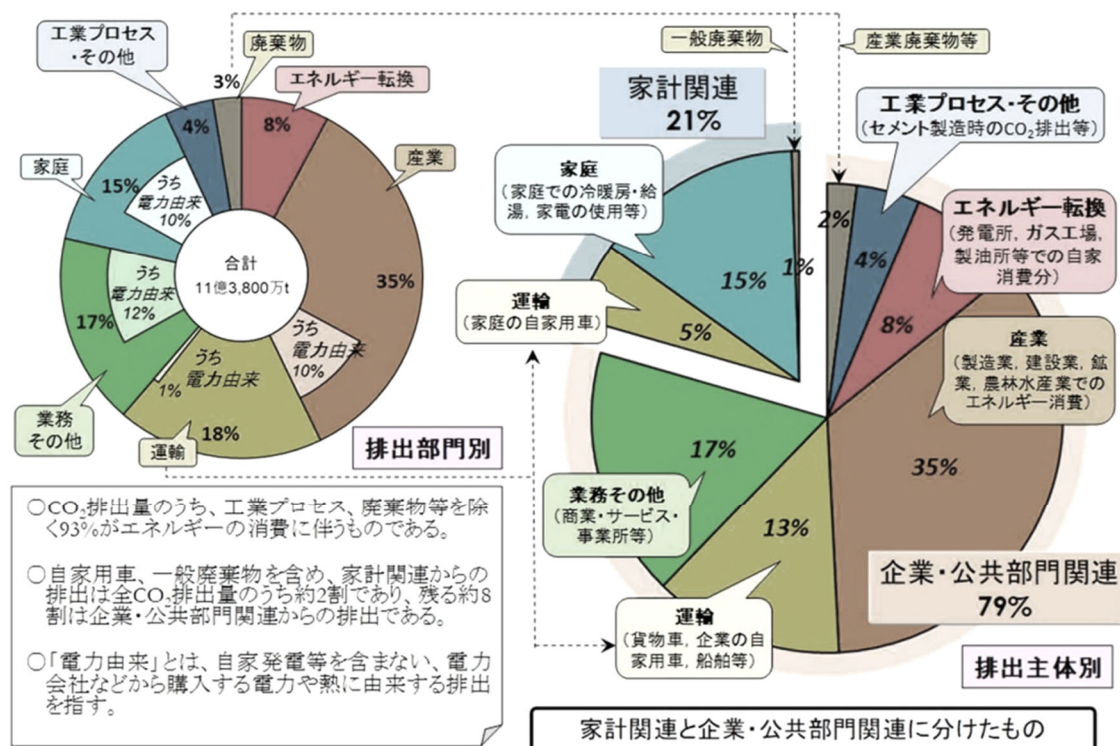


図1-1. 日本国内の部門別温暖化ガス排出量の部門別内訳（引用：経産省 HP）

図 1-2 に示すように、国内の世帯あたり消費電力量（月平均値）（引用）¹⁻³⁾は 1970 年代高度成長期とともに快適と豊かさを求めて増加し続けたが、2000 年代をピークに減少傾向にある。これは住宅の省エネルギー化（断熱・気密）と住宅設備・家電の高効率化があわせてすすんだ結果である。図 1-3（引用）¹⁻⁴⁾のように諸外国と同様に、一定の文化・技術水準に達すると世帯あたりエネルギー消費量は増加から減少に向かう。技術革新による変化は、例えば 2000 年代の電気温水器から自然冷媒給湯機への置換、2010 年頃の蛍光灯照明器具から LED 照明器具への置換など省エネルギー技術は確実に進展してきた。その一方で居住者が求める快適性の志向、例えば 1970 年代以降のルームエアコンの普及によって冷房消費電力量が世帯に定着するなど、住まい方の変化によって消費電力量は影響を受ける。技術革新／居住者の嗜好／気候変化が重なり、2005 年をピークに国内の世帯あたりエネルギー消費量が減少に転じた。これについては単身世帯数増加による世帯平均消費減少の俗論があるが明確な根拠に乏しい。



図 1-2. 一世帯あたりの電力消費量推移（引用）

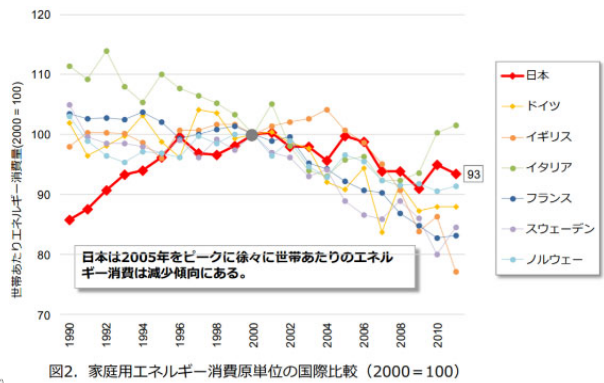


図 2. 家庭用エネルギー消費原単位の国際比較（2000 = 100）

出所：ODYSSEE-MUREによる各国のデータベース及び家庭用エネルギー統計年報（住環境計画研究所）より作成

図 1-3. 家庭用エネルギー消費の国際比較（引用）

第 6 次エネルギー基本計画¹⁻⁵⁾で、「家庭部門の脱炭素化に向けて太陽光発電などの再生可能エネルギー（以下、再エネ）の最大限の活用や、脱炭素化された電源・熱源によるエネルギー転換が求められる」と示すとおり、新築戸建住宅への太陽光発電システム（以下 PV）の採用は施主・住宅供給事業者の責務となりつつある。さらに、「最大限の活用」とは、単に発電量を増やすだけでなく、PV 再エネ（グリーン電力）を地産地消する電力自家消費型住宅の推進を意味している。その理由は、わが国の電源構成における再エネ比率は現在 18%、2030 年予測 30%、2050 年楽観シナリオでも 50%に過ぎず（総合資源エネルギー調査会基本政策分科会）¹⁻⁶⁾、日本国内の系統電力を完全にグリーン化することは非現実的なためである。したがって、社会全体のカーボンニュートラルに貢献するためには受動的に系統電力の脱炭素に期待するだけでなく、住宅単位、世帯単位でできることを積み上げることが生活者の視点からも必要となる。例えば、地方自治体の主体的な政策として、東京都は、「電力をつくる、ためる、へらす」を略し HTT と標語化して生活者に訴求するキャンペーンと導

入補助事業を推進している¹⁻⁷⁾。

集合住宅と比較すると、戸建住宅は気候区分や文化的背景にもとづく多様な地域性を反映する。さらに住宅ストック（既存住宅）は築年数と管理履歴に応じて状況が多様であるが、住宅品質確保促進法（品確法）が2000年に施行されて以降、品確法に準拠した住宅は一定の性能・品質が担保されており、優良な社会資産が形成されつつある。さらに2010年頃からPVの採用が一般的となり太陽光固定価格買取制度（FIT）の導入が搭載率向上を後押しし、省エネルギーと創エネルギーを兼ね備えた住宅ストック形成が実現しはじめた。住宅のライフサイクルが数十年にわたることを考慮すると、良質なストックは社会インフラそのものであり、重要である。

図1-4 戸建住宅の二酸化炭素排出量内訳（全国平均、環境省 H29、引用）¹⁻⁸⁾をみると、コンセント・照明等、暖冷房、給湯の順に大きい。図1-5¹⁻⁹⁾は今後の電力国内需要予測であるが、需要の伸びが頭打ちとなることを示しており、電力系統への再エネ大量投入社会における需給均衡の困難さを伺うことができる。再エネの電力需給における一般的な弱点は、時間変動と貯めづらいためであるが、住宅も同様である。戸建住宅で無理なく屋根に搭載可能な太陽光発電システム容量は4~5kWほどであり、省エネルギー地域区分6地域では南面 仰角30度の理想的な設置であれば年間4,400kWh~5,500kWhの再エネが期待できる。しかし、何の対策もなければ、このうち6~7割ほどが電力網に逆潮流される。これは電力需給の不一致によるもので、一日における時間単位、あるいは季節単位など短期・長期での差異が原因である。さらに、再エネの固定価格買い取りの買電単価は計画的に年々押し下げられており、2030年代後半には制度からの自立が求められている。経済合理性からも、自家消費型住宅への転換が求められている。そこで本研究は1日のうちの時間単位の需給不均衡に着目する。

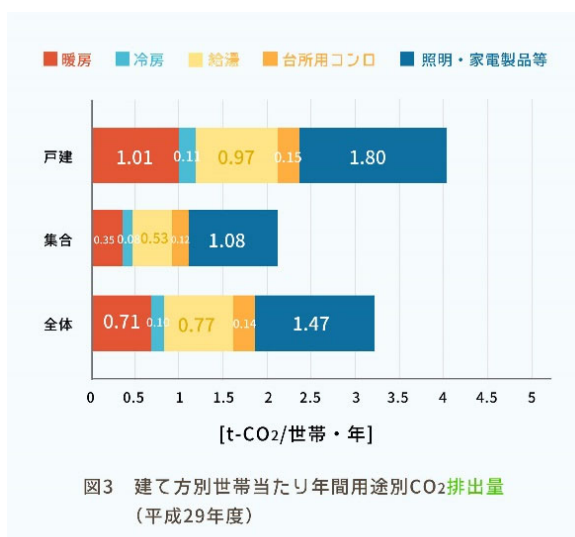


図3 建て方別世帯当たり年間用途別CO₂排出量 (平成29年度)

図1-4. 用途別年間 CO₂ 排出量 (引用)

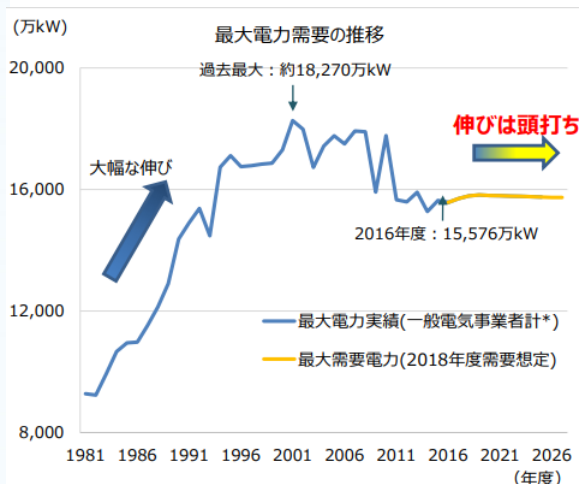


図1-5. 国内電力需要の今後の推移予測 (引用)

1-1-2 戸建住宅の再生可能エネルギー自家消費における国際比較

環境先進国のドイツ連邦共和国（以下ドイツ）と比較すると、日本の戸建住宅における再エネ自家消費の必要性がより鮮明になる。

第一の観点として、電力系統の安定性を比較すると、ドイツは国土が欧州大陸の中心に位置するため電力網が他国とメッシュ状に連携されており、再エネ大量投入による電力系統の安定性は予め担保されている。そのため、一部の例外（北部の風力発電）を除き、ドイツ国内の地域毎に時間変動する再エネ需給調整の必然性が小さい。現時点では地域内の需要家に再エネ自家消費をさせるよりも、再エネの投入量の拡大を重視した政策である。日本は島国であり周辺諸国と系統連携は無く電力融通はできないため、再エネ投入社会における系統安定化には不利な国土である。さらに国内に電源周波数 50/60Hz が併存するだけでなく、国内地域間の広域送電網の連携線が弱い。2050 年カーボンニュートラル社会実現に向け洋上風力発電が本格的に発電開始すると、送電元の北海道・東北・九州から電力需要の関東・中部・関西への連携線の増強が必要になる。本研究がスコープとするカーボンニュートラルまでの移行期である 2035 年においては、現在と同様に国内地域単位での系統安定性が求められ、その構成要素としての戸建住宅でも再エネ自家消費がより重要になる。

第二の観点として、系統電力の脱炭素化を日独で比較する。ドイツは系統電力の再エネ率は太陽光発電、風力発電、水力発電の積極導入により、脱原発を実現したうえで 2022 年実績 50%に達し、2030 年 80%と非常に高い目標を掲げている。系統電力の再エネ比率が高いため、買電しても家庭由来の二酸化炭素排出量は少ない。日本は電力系統の再エネ率は 18%、2030 年目標は 30%であり、系統電力の脱炭素化がすすんでおらず二酸化炭素排出量原単位がドイツに比較して大きい。よって、戸建住宅での再エネ自家消費は脱炭素の観点から有効である。

第三の観点として、家庭用電気料金単価から再エネ自家消費の経済合理性を独日で比較する。ドイツの家庭用電力料金は年々上昇しており、ドイツ連邦エネルギー・水道事業連盟によると 2023 年前半期は 46.91 ユーロセント/kWh¹⁻¹⁰⁾ (1 ユーロ=150 円換算で 70 円/kWh、税込み)であり、欧州ではデンマークと並んで最も高い電力単価となった。一方で再エネ余剰電力の買取価格は政策的に押し下げられグリッドパリティが実現しているため、再エネ自家消費は買電を控えて世帯の電気代を削減する経済的な方策である。日本も同様に家庭用電力量料金は年々上昇しており、2023 年 6 月時点で、従来型の規制料金である従量電灯 B について、東京電力エナジーパートナーを事例とすると 40 円 69 銭/kWh(第三段階料金)である。再生可能エネルギー発電促進賦課金は 3.45 円/kWh と消費税 10%を加算すると、約 48 円/kWh である。FIT 買取期間満了後の売電価格は概ね 8 円/kWh 程度のため差額は大きくなり、再エネ自家消費の経済合理性は拡大傾向にある。よって、家庭用電気料金の比較からは、再エネ自家消費による電気代削減効果においては、ドイツと日本の戸建住宅は類似した状況にある。

このように、日本はドイツと比較して戸建住宅に求められる再エネ自家消費への社会的

役割が大きく、国策として地産地消モデルの政策を推進する理由である。本研究は需要家である戸建住宅の視点で検討をすすめるが、電力系統側からの視点でも戸建住宅の電力自家消費メリットは大きい。再エネ大量投入社会の系統安定化においては、発電規模の差はあるがメガソーラーや洋上風力発電なども同様の課題に面している。今後、不安定な再エネは増加するが、人口減少や省エネルギーの進展により電力需要（順潮流）は頭打ちと予測されているため非対称性が顕著となる。それを裏付けるように、大規模発電事業者への再エネの出力制御（一時的な発電停止）が各配送電事業者で発令されはじめた¹⁻¹¹⁾。大規模発電事業者だけでなく、将来的には出力 10kW 未満の小規模発電事業者（戸建住宅の屋根置き PV 等）においても制度的には出力制御が発令可能であり、再エネが一時的に無駄になる懸念もある。これを避けて電力系統の安定化を図るための容量増強は設備投資維持コストとして社会的負担になる。したがって、戸建住宅が系統への依存度を下げ、暮らしの最小単位で再エネを地産地消できるのであれば、低炭素社会実現への貢献は大きい。

ドイツにおける戸建住宅の系統連系の柔軟性の高さを示す事例として、ゾネン社¹⁻¹²⁾はゾネンコミュニティーに PV と同社の家庭用定置型蓄電池を組み合わせると、世帯単位での再エネの需給不均衡に関わらず、コミュニティー全体の仮想電力網と分散化電源で再エネ供給されたものとみなし、さらにフラットで安定した電力単価を契約するサービスを提供している。同社の提供する大容量家庭用定置型蓄電池（50kWh）は世帯単位では到底使い切れる容量ではないが、地域の電力網に分散化電源としての仮想発電所（VPP）とデマンドレスポンス（DR）を実現する構成要素である。対して日本の戸建住宅の系統連携は硬直的であり、VPP や DR は実証実験の段階であり商用サービスは始まっていない。

日本の戸建住宅が優れている点は、先進的な家庭用エネルギー設備（定置型蓄電池、ヒートポンプ式給湯器、V2H、燃料電池コージェネ）の普及、HEMS を中心とする高度エネルギーマネジメント、といった世帯単位での省エネルギー・創エネルギー・エネルギーマネジメント技術である。これらの強みを活かして再エネの世帯単位での自家消費を向上するには、エネルギー設備の導入、EV への乗り換え、新しい生活様式など、暮らしの行動変容が再エネ自家消費に与える影響を定量化する必要がある。さらに世相の変化を受けた生活様式・行動変容が、宅内消費電力量、再エネ自家消費に影響を与えると想定されるため、予測手法を確立できれば、家庭部門での二酸化炭素排出量の年代毎に応じた効率的な施策を立案することができる。

1-2 ZEH（ネット ゼロ エネルギー住宅）の電力自家消費における課題

1-2-1 ZEH の定義と国策としての普及促進

前節で述べたように戸建住宅は民生部門でのエネルギー消費の多くを占めるが、戸建住宅の省エネルギー性能は 20 世紀までは外皮性能（断熱・気密）を除き、公的な性能表示制度が存在しなかった。2000 年品確法の施行と性能表示制度を経て、2010 年、低炭素住宅基準とともに一次エネルギー消費量と創エネ量の設計値を WEB ページから事業者自身が簡単に算定できるようになった。これが現在の「住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム」（通称 WEB プログラム）となった。図 1-6 に示す戸建住宅の ZEH（ネット ゼロ エネルギー住宅）の達成基準は年代によっても異なるが現在は以下の 3 点である。①創エネ量が宅内消費一次エネルギー量（家電等を除く）の 75%以上：Nearly ZEH、100%以上：「ZEH」 ②住宅外皮性能（断熱性能）が等級 5 以上 ③基準建物からの省エネルギー率を示す BEI が 0.8 以下

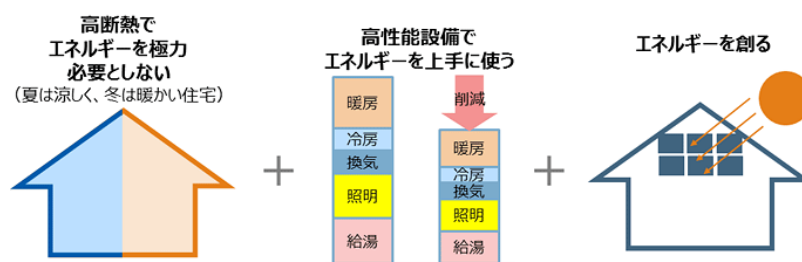


図 1-6. ZEH の定義（引用）¹⁻¹³⁾

2016 年、省庁の枠を超えた画期的な取り組みとして、三省合同 ZEH ロードマップ「低炭素社会に向けた住まいと住まい方の推進に関する工程表」¹⁻¹⁴⁾が作成され、ZEH 普及促進が国策として位置づけられた。本ロードマップは住宅購入者にとっては高性能住宅取得の補助事業に関連し、住宅供給事業者にとっては住宅開発・販売の行動理念となった。戸建住宅においては 2030 年に ZEH を標準的な新築住宅とし、2050 年は平均的な住宅で ZEH とすることが明言された。この時点では再エネの自家消費については触れられなかったが、2021 年、ZEH ロードマップが更新され¹⁻¹⁵⁾、ZEH の定義の補足事項として再エネの自家消費を念頭に以下の 2 点が盛り込まれた。

- ・エネルギー自立の観点から、再生可能エネルギーは全量買取ではなく余剰買取とすべき
- ・再生可能エネルギーを貯めて発電時間以外でも活用できるよう、蓄電池の活用が望まれる

2022 年 10 月、建築物省エネ法の施行により、外皮断熱性能は ZEH 基準である等級 5 に加え、先導的な高断熱基準として等級 6、等級 7 が整備された。等級 7 は旧 HEAT20 G3 レベルに相当する。外皮のイメージとして、戸建住宅の外壁総厚は等級 4・5 は 170mm 程度が一般的であるが、等級 7 であれば 250～300mm に達する。

このように、ZEH 普及促進は国策として補助事業とともに強力に推進されており、2030

年には新築住宅の平均が ZEH となるために、今後は PV 搭載の住宅が標準的となる。2050 年目標はストック住宅の平均が ZEH となり、社会全体のカーボンニュートラル達成を下支えする構図である。推進の中心が Nearly ZEH (75%削減) から「ZEH」(100%削減) に本格的にシフトすると、PV 搭載量は現状から 2 割程度大きくなり、再エネを自家消費できずに逆潮流量はさらに増加が見込まれるため、追加的な対策が必要になる。多数世帯が高密度に集約された新規住宅分譲地などではさらに顕著となる。

1-2-2 ZEH の再生可能エネルギー自家消費における課題

ZEH 普及における再エネ自家消費には 2 つの課題が存在する。第一の課題は、再エネの自家消費は現時点では ZEH の評価対象でないため、住宅計画段階でエネルギー設備を含む生活様式を自家消費型に誘導しないことである。この課題への対応のひとつとして、新築時の目安光熱費表示制度¹⁻¹⁶⁾が 2024 年に開始される。目安光熱費には定置型蓄電池などのエネルギー設備による再エネ自家消費が反映される。制度設計の都合から、売電は反映されない。居住者側の視点では、FIT 買取単価の計画的低減により売電の経済的メリットは小さくなっており、再エネの自家消費で順潮流の買電を控えることが月々の電気代の削減をもたらすため、目安光熱費表示制度により今後は住宅計画段階で再エネ自家消費の経済的便益を定量化して情報提供することができる。

第二の課題は、居住段階の実態を反映しないことである。ZEH は住宅計画時(新築時)の計画段階での評価であり、消費と発電のつり合いを計算し、低炭素な住まいの形成を目的とするため、居住段階での実態(住まい方)は別に理解する必要がある。居住者依存の大きい家電・コンセント等の消費電力量が ZEH の定義に含まれないことも、それを示している。居住段階の住まい方は、居住者の判断に委ねられるため、住宅計画時点では世帯単位での予測がしづらく、複数世帯を扱う群としても将来的な展望が描きづらい。したがって、新築時に PV を搭載する住まいにおいて、居住段階を想定して再エネ自家消費を定量化する機会は行政にも住宅供給事業者の実務的にも無く、脱炭素の観点から居住段階における行動変容を誘導することにどの程度の価値があるのかも現状では理解されていない。電力系統に逆潮流した再エネは、地域単位で見れば結果的には近隣の需要家が消費するため電力系統全体の脱炭素に間接的に寄与するが、特定の需要家にグリーン電力を提供したとはみなされないため、再エネの価値が配賦された状態にある。電力自由化以降の需要家の電力契約は多様のため、逆潮流した再エネは一般配送電事業者毎の電力系統の再エネ率には寄与するが、需要家単位での脱炭素には寄与しない。再エネ需給バランスを世帯ではなくマイクログリッド等の地域単位で調整する考え方もあるが、地域の特性やコスト課題から本研究が対象とする 2035 年までには一般的な方策にはなりづらいものと推察される。よって本研究では 2035 年までに実効力を伴う解決策として、暮らしの最小単位として世帯単位での再エネ自家消費の促進を検討する。

図 1-7 に、ある世帯の 2020 年 4/1 の消費電力量 1 時間値の 24 時間推移実測値を例示す

る。太陽光発電による日積算発電量は 22.1kWh/日、日積算宅内消費電力量は 37.4kWh/日であり、PV 再エネと消費電力量の比率は 2：3 のため、概ね釣り合っているように見える。しかし実際には、時間単位での需給不均衡により、発電量のうち 13.2kWh(発電量の 60%) は宅内で利用できず、逆潮流していることが分かる。

このように、新築住宅の計画段階においては様々な施策が検討されるが再エネの自家消費を意図したものではなく、その後の居住段階においては PV の再エネは成り行きで一部が自家消費されるのみである。したがって、住宅の計画段階には生活様式を誘導し、居住段階には暮らしの行動変容によって再エネ自家消費を向上する余地があるものと考えられる。

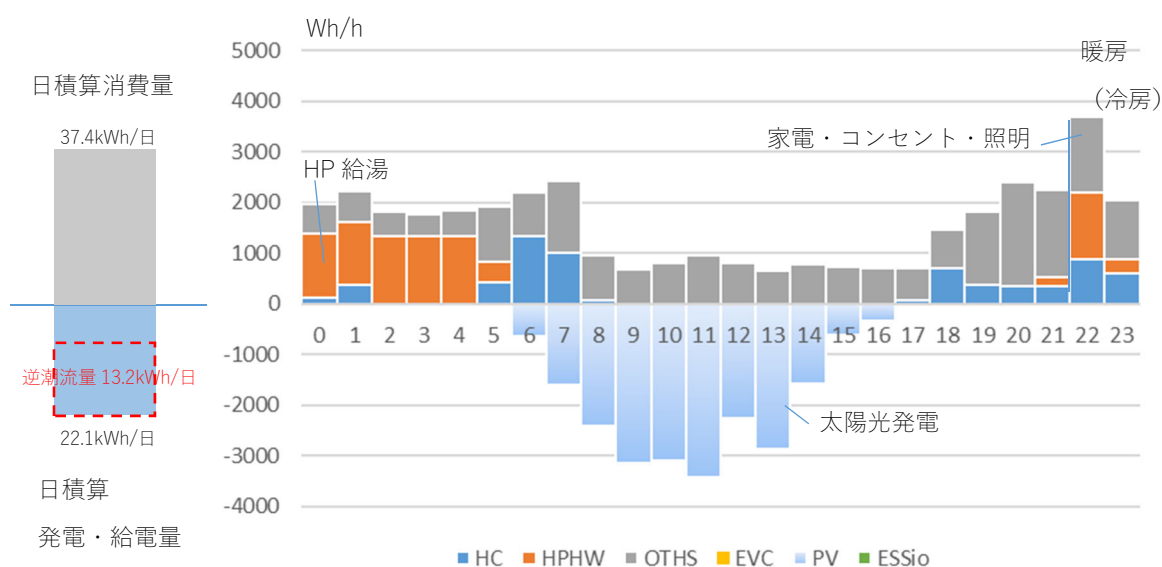


図 1-7. 消費電力量の 1 日の経時変化 (実測値、A 邸、4/1 晴天日)

1-3 研究の目的

国策の ZEH 普及推進が戸建住宅への PV 搭載を標準的としたので、電力系統安定化と世帯からの二酸化炭素排出量削減の観点から、今後の戸建住宅にはエネルギー地産地消により再エネ自家消費型住宅に向かうことが社会的役割として期待される。

戸建住宅の新築段階においては、前述した目安光熱費表示制度などによりエネルギー地産地消型の住宅へと誘導されつつある。一方で、居住段階においては、有効で画一的な方策は示されていないが、その理由は居住段階の意思決定は居住者に委ねられるためである。結果として消費電力量と再エネ自家消費は世帯毎に成り行きとなり改善が見込まれないが、仮説として世帯毎の暮らしの行動変容がこの課題を解決する可能性がある。

本研究の目的は、暮らしの行動変容による消費電力量と再エネ自家消費の変化を予測し、2035 年までの年代毎に推進すべき方策を導くことである。そのため、次の 4 つのプロセスが必要である。

- ①暮らしの行動変容が引き起こされた直近の事例から、消費電力量増減の実態把握
- ②戸建住宅のエネルギー消費の多くを占める用途について、行動変容の影響の分析
- ③再エネ自家消費に影響を及ぼす行動変容の抽出と定量化手法の確立
- ④上記①②③を踏まえ、世相の変化を反映した再エネ自家消費の将来予測と、住まいのライフサイクルにあわせた効率的な再エネ自家消費施策の立案

1-3-1 行動変容の本研究における定義

住まいと住まい方を対象として、個人・家族にとっての行動と行動変容は第三者からみると価値観や経済事情の違いから合理的でない場合もある。例えば、計画段階における住宅設備の選択、居住段階における暖冷房の使い方には一律に正しい解は無い。それに対し、行動科学領域、特にヒトの健康維持増進における「望ましい行動」は客観的事実にもとづき確立している。津田ら¹⁻¹⁷⁾によると健康維持増進における「行動」と「行動変容」は次のように定義されている。

行動科学での健康行動は、「健康の維持と病気の予防を促す活動」として、また行動変容は、「健康の維持と増進のために行動を望ましいものに改善する」こととして広く定義づけられている。具体例としては、1) 今までに経験したことのない行動を新たに始める。2) かつて経験したことのある行動を再開する。3) 好ましくない行動をやめる。4) 行動を修正する。5) これら 4 つを継続する。行動変容には、種々の多要因が複雑に影響しあっており、表 1 (省略) に要約するように、行動変容の事象や状況を説明し、予測する概念が抽出されている。

これを参考とし、本研究の主旨を踏まえて暮らしの行動変容を以下に定義した。

「暮らしの行動変容とは、暮らしの維持と質向上のために行動を改善し、定着すること」

・暮らしとは、生活全般のうち宅内での活動であり、働き方にも影響を受ける。

- ・行動とは、住まい方・生活様式の日々の選択や、住まいの改修、住宅設備の導入・入替である。
- ・住まいの改修や住宅設備の導入・入替の頻度は小さいが、エネルギー消費を改善する意思決定の貴重な機会のため、行動として扱う。
- ・試行錯誤の結果、非合理のため取りやめ、あるいは見直しするものを含む。
- ・健康行動は医学的な客観性をもって正誤が明確に区別されるが、暮らしの行動は社会背景や世帯の価値観、あるいは世相の変遷に左右される。

1-3-2 暮らしの行動変容を引き起こす内的・外的要因

図 1-8 にイメージとして示すように、様々な内的・外的要因が居住者の暮らし行動変容を促す圧力となる。要因を居住者が認識すると、自らの生活への影響の有無を判定し、影響があると判断すれば暮らしの維持・より良い暮らしの質を求めて行動する。行動変容の結果が納得ゆけば定着し、納得いかない場合は見直しや行動そのものを取りやめる。強制力を伴う外的要因に対しては、居住者の意思が介在しないこともある。判断基準は一概には言えないが、エネルギーに関する限りは経済性が優先されるように考えられる。今後、居住者の価値観の変化により、環境性の代用特性としてのカーボンフットプリントや二酸化炭素排出量そのものが行動変容の判断基準となる可能性はあるが、現時点では限定的である。例えば、暖冷房の使い方は外気象条件を背景とした宅内に快適性を求める行動である。このような暮らしの行動変容は、間接的・直接的に宅内消費電力量や再エネ自家消費に影響を与えるものと推察される。

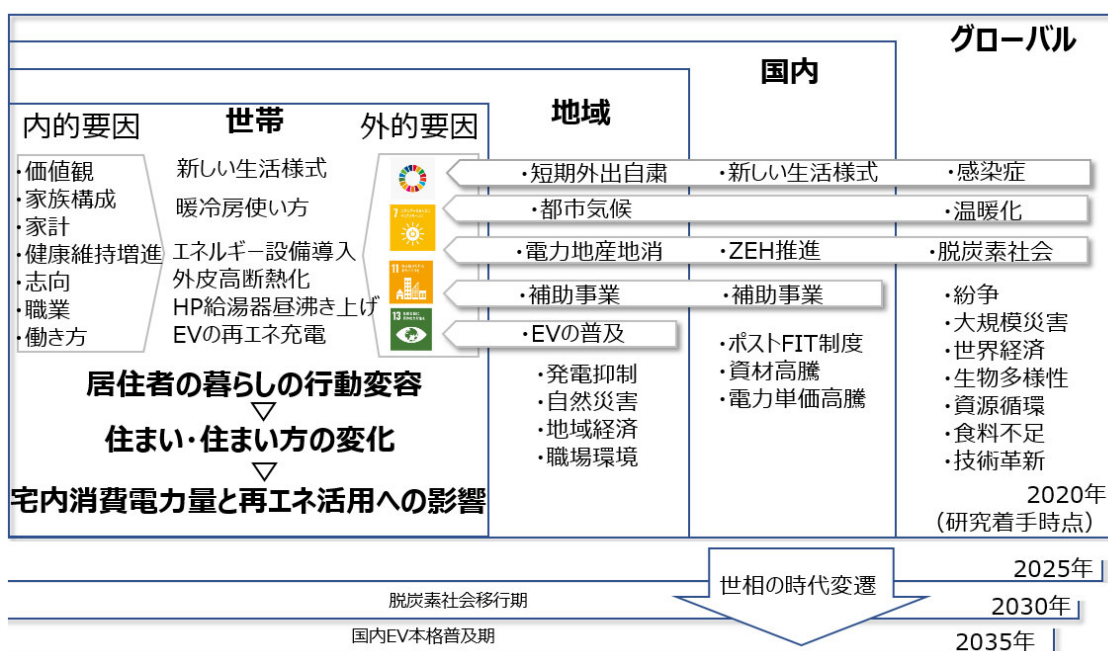


図 1-8. 居住者の行動変容を引き起こす内的・外的要因

1-3-3 行動要因を引き起こす要因の発生と経路

図 1-9 は、暮らしの行動変容を引き起こす要因の発生領域と、発生から行動変容に至る経路を構造化したものである。横軸は要因の私的・公的での分類、縦軸は要因が計画的か偶発的かでの分類であり、4つの象限で整理する。第1、4象限（外的、社会的）に発生した要因は、居住者の価値観に照らしあわせて解釈され、第2、3象限（内的、私的）の要因に置き換わる。第2、3象限の要因は、居住者の暮らしの行動変容を直接的に引き起こす。この暮らしの行動変容は宅内消費電力量を増減させるだけでなく、再生可能エネルギーの自家消費に影響を及ぼすものと推察されるが、これまで定量化されることは無かったため、本研究で明らかにする。逆に第2、3象限（内的、私的）で発生した要因が、第1、4象限（外的、社会的）に遡及することはない。

第1象限「公的」「計画」で発生する要因は、FIT制度や電力単価などの社会制度である。技術革新も産官学いずれかの主体者が計画的に推進する意味でこの象限に含む。

第2象限「私的」「計画」で発生する要因は、世帯毎の暮らし方を反映して予測可能なもの、例えば給湯器の製品寿命交換、FIT買取期間満了などである。

第3象限「私的」「偶発」で発生する要因は、居住者の価値観の変化や日中の在宅人数の増減などであり群としての予測は困難である。

第4象限「公的」「偶発」で発生する要因は、感染症蔓延や災害などの自然発生的な要因のほか、系統電力需不均衡によるPV発電抑制を含む。

第2・3象限で発生する私的な要因が、居住者や家族の生活に起因する暮らしの行動変容を引き起こす。第3象限は世帯ごとの事情を反映して千差万別のため、一律の試算での扱いは困難である。そのなかでも群として予測が可能なものがあり、例えば、日中に在宅人数が増加する住まい方となる要因であれば、本研究の主題となる再生可能エネルギーの自家消費に資する可能性がある。第2象限の戸建住宅の新築、既存住宅の取得と住宅設備はそのライフサイクルにおいて修繕・リプレースなどを入居からの年次含めて予測できる。

図 1-9 に代表的なパスとして①～⑤を例示する。同じ象限に発生した要因であっても、単一のパスではなく、紙面右から左への方向性をもったマルチパスとなることがわかる。

パス①は予期しない自然災害等が、直接的に住まい・住まい方に居住者自身でも制御しづらい影響を及ぼす経路である。現実にはこのような経路もあるが定量的な扱いが困難な側面がある。パス②は予期しない自然災害・感染症蔓延等が、社会的な解釈のもと対応が策定されたうえで、第2象限「私的」「計画」の行動変容を引き起こす直接的な要因となる経路である。具体的事例として2012年東北震災では、第4象限の震災が一次要因、これにもとづく第1象限の政府からの節電要請が二次要因となる。2020年COVID-19感染症蔓延も同様の経路となる。パス③はこれらの予め計画された要因が個人の住まい・住まい方のうち計画的に行動変容できる要因に影響を及ぼす経路である。太陽光FIT買取期間満了とその対応が事例として挙げられる。パス④は予期せず発生した私的な一次要因が、居住者の暮らしで解釈され二次要因となる。一次要因となる生活シーンとして、子供の誕生などが考えら

れる。パス⑤は計画的な社会要因が、世帯や個人の生活のうち制御しづらい要因に直接的に影響を及ぼす経路である。事例として、第一象限で発生した新しい生活様式がテレワークなど企業の働き方を変えることなどが挙げられる。

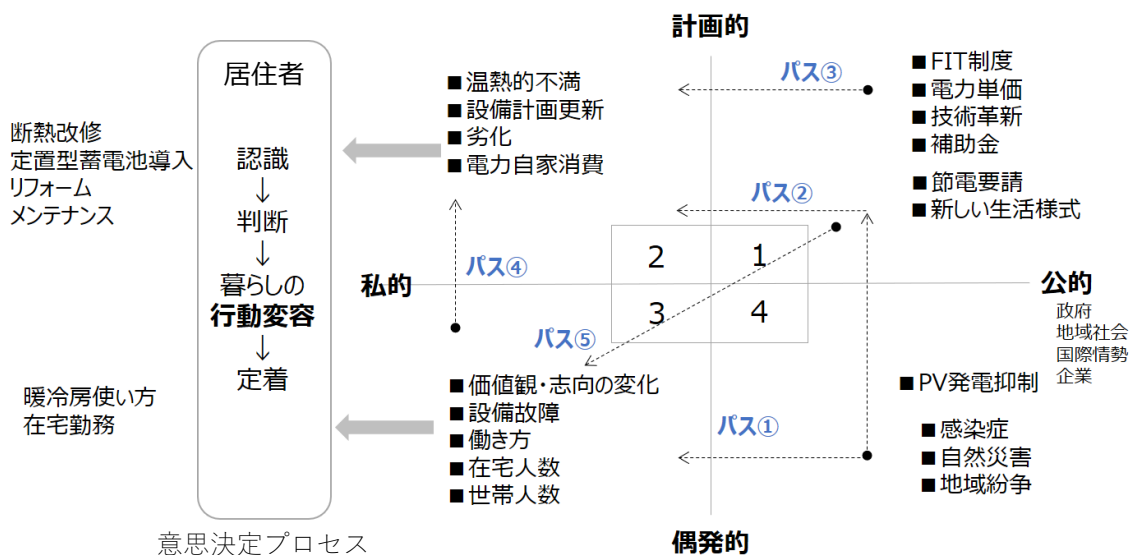


図 1-9. 暮らしの行動変容を引き起こす要因の発生領域と経路

1-4 本論文の構成と社会的意義

1-4-1 本論文の全体構成

居住者の暮らしの行動変容を引き起こす内的・外的要因は様々であり、時代により世相の変化を受けて変遷する。すべての内的・外的要因を考慮することは不可能であるが、本研究では図1-10に示す戸建住宅のPV再エネの自家消費に一定の影響が想定される要因を扱う。

第2章では、社会的偶発要因の事例としてCOVID-19感染症対策の暮らし方を取り上げ、行動変容がエネルギー消費量と再エネ自家消費に与える影響を定量化する。図1-9の行動変容を引き起こす要因と経路は、第4象限で発生し、パス②に該当する。COVID-19を題材とした理由は直近で発生した事象であり、暮らしへの影響と定着を明らかにする。

第3章では、内的要因として暖冷房の使い方を取り上げる。戸建住宅の一次エネルギー消費の1/3を占める暖冷房消費電力量に着目し、世帯別の消費電力量予測手法を提案する。図1-9の第3象限の要因であり、パス④に該当する。

第4章では、脱炭素社会実現のため電力自家消費型住宅が推進される社会背景のもと、電力自家消費の暮らしの行動変容を抽出し、評価指標を定義して影響を定量化・可視化する。分析の一部に第2章、第3章の結果を適用する。図1-9の第1象限の要因であり、パス①に該当する。

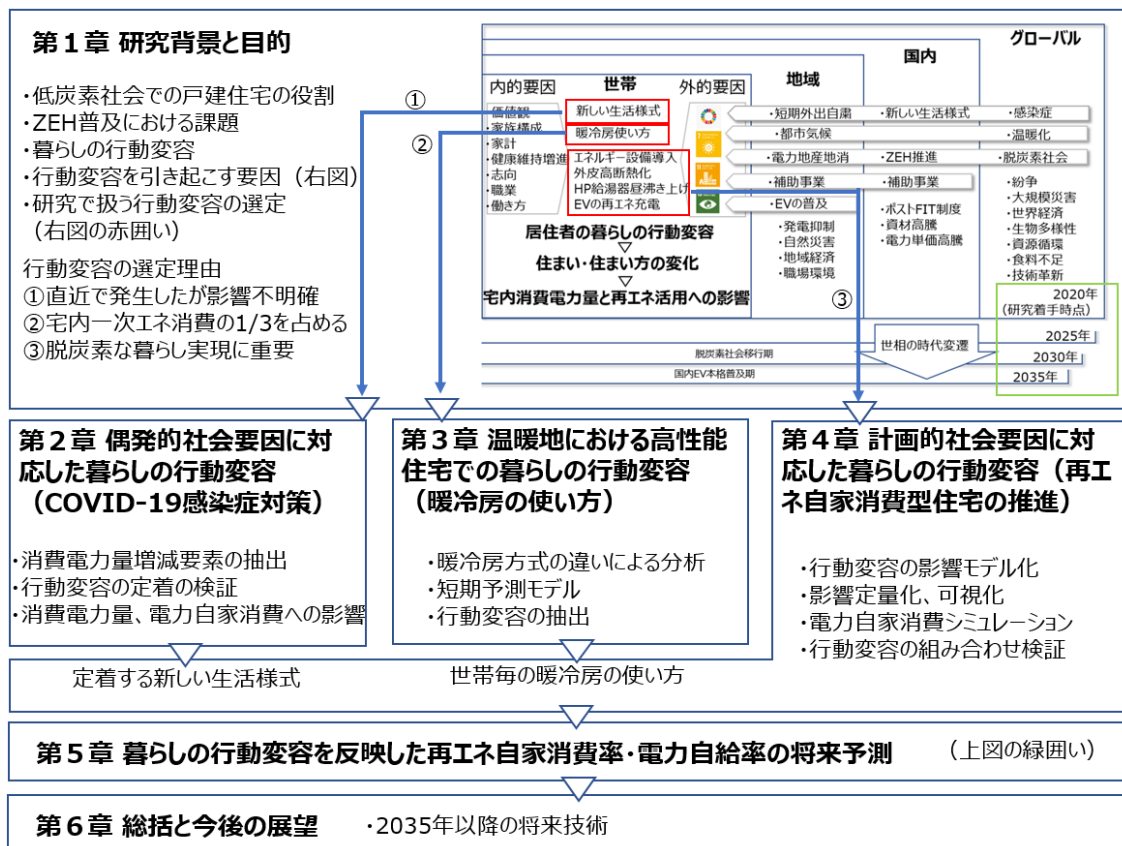


図1-10. 研究のフレームワーク

第5章は第1～4章で取り上げた暮らしの行動変容を踏まえ、対象世帯の2035年までの消費電力量と再エネ自家消費、二酸化炭素排出量を世帯単位、群全体で予測する。2050年カーボンニュートラル社会への中間地点である2035年までの予測モデルを立案する。また再エネ自家消費に貢献の大きい施策を年代毎に示す。

第6章は総括と今後の展望として、2035年以降のEV本格普及社会を見据えた再エネ自家消費最大化の方策について述べる。

1-4-2 研究の独自性と社会的な意義

(1) 研究の独自性・新規性

本研究の独自性・新規性を以下にまとめる。

- ・本研究で分析対象とするデータは、2015～16年に竣工した1339世帯の戸建住宅における長期間かつホーム分電盤回路レベルの消費電力およびPV発電に関する時刻別実データであり、従来の日単位・月単位あるいは仮想的・平均的データの分析に対して多数世帯かつ高精細な点に独自性を有する。
- ・本研究の解析手法は、居住者の暮らしの行動変容をモデル化して、各世帯の消費電力と再エネ自家消費に与える影響を世帯の多様性を反映しつつ定量化する点に独自性を有する。
- ・本研究の成果は、EVシフト等の重要な世相の変化を反映した2035年までの居住段階について、再エネ自家消費の世帯単位・群単位の予測手法を確立し、年代毎に再エネ自家消費の効率的な改善策を立案可能とする点に新規性がある。

(2) 研究の社会的な意義

本研究の社会的な意義は以下のとおりである。

- ・多数世帯での行動変容の詳細な実態把握は今後の戸建住宅における再エネ自家消費推進の規範になる。
- ・居住者には経済合理性と環境性を両立する低炭素な暮らしの実現を提案できる。
- ・住宅供給事業者には、図1-11に示すような住宅のライフサイクルにおける主要イベントに対し、事業機会の創出と再エネ自家消費型住宅への誘導が提案できる。
- ・戸建住宅の再エネ自家消費推進は再エネ大量導入社会における系統安定化に貢献できる。

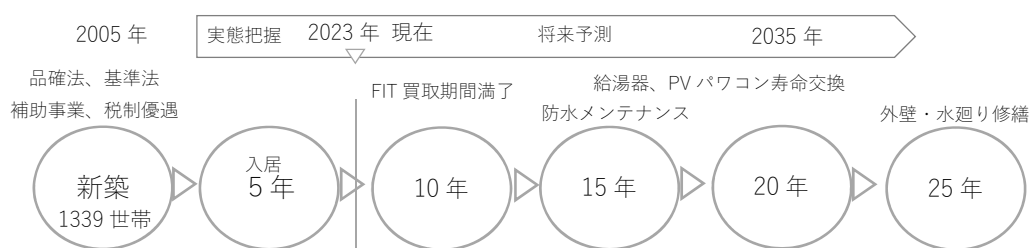


図1-11. 戸建住宅ライフサイクルの主要イベントと研究対象期間

参考文献（第1章）

- 1-1) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), IPCC Sixth Assessment Report Working Group 1: The Physical Science Basis, 2021,<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- 1-2) 経産省, 産業技術環境分科会, 2018 年度温室効果ガス排出量分析 (CO2 全体),
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_wg/pdf/003_s03_02.pdf
- 1-3) 電気事業連合, 一世帯あたりの電力消費量の推移,
<https://www.fepec.or.jp/smp/enterprise/jigyuu/japan/index.html>
- 1-4) 経産省, 住宅・建築物の省エネルギー性能の実態に関する研究会 (第5回) H30
<https://www.mlit.go.jp/common/001223583.pdf>
- 1-5) 経産省, 第6次エネルギー基本計画 (閣議決定),
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>, 2021、WEB 閲覧 2022 年 12 月
- 1-6) エネ庁, 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会, 2050 年カーボンニュートラルのシナリオ分析 (中間報告), 2021.05,
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf
- 1-7) 東京都, 都政情報, HTTP(減らす・創る・蓄める)を進めよう!, 2022.05,
<https://www.koho.metro.tokyo.lg.jp/2022/06/01.html>
- 1-8) 環境省, 家庭からの CO2 排出量を知る (全体概況),
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/kateico2tokei/2017/result2/detail3/index.html>
- 1-9) ドイツ連邦エネルギー・水道事業連盟, BDEW 電気料金分析 (家庭の平均電気料金)
<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>
- 1-10) 電力・ガス取引監視等委員会, 託送料金制度 (レベニューキャップ制度) の検討状況について, 2021.05
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/system_kouchiku/011/011_04.pdf
- 1-11) エネ庁, 出力制御の実施実績について,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/04_01.html
- 1-12) sonnen, sonnenCommunity, <https://sonnen.de/sonnencommunity/>
- 1-13) エネ庁, ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス) に関する情報公開について
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html
- 1-14) 国交省, 低炭素に向けた住まいと住まいかたに関する工程表,
<https://www.mlit.go.jp/common/000216966.pdf>
- 1-15) 国交省, 脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会, 2021.08,
https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000188.html
- 1-16) 国交省, 目安光熱費表示制度について(draft),
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001579695.pdf>
- 1-17) 津田 彰、石橋 香津代, 「行動変容」, 日本保険医療行動科学会雑誌 34, 2019, p49-59
- ※WEB 掲載資料・文献の閲覧日は特記無き場合はすべて 2023 年 6 月時点である

第2章 偶発的社会要因に対応した暮らしの行動変容（COVID-19 感染症対策）

2-1 背景と既往の研究

2-1-1 本章の目的

2020年4月COVID-19のパンデミックに伴うロックダウンまたは在宅指示により、世界各国・都市における住宅のエネルギー消費量増加が多く、既往研究で報告されている。これは感染症蔓延という偶発的な外的要因により、暮らしの行動変容が引き起こされたためと考えられる。仮に日中の消費電力量の増加要因となる行動変容が定着すれば、今後の再エネ自家消費にも影響を及ぼす。

そこで本章では、日本の戸建住宅1339世帯の過去3か年とパンデミック後の1年間の消費電力量を比較し、さらに居住者へのアンケート調査を組み合わせた分析により以下を明らかにすることを目的とする。

- ①パンデミック後12カ月間の消費電力量の増加率
- ②暮らしの行動変容の推移を明確化し、世帯別消費電力量の増加要因
- ③増加要因が再エネ自家消費に与える影響

2-1-2 感染症蔓延下の住宅消費電力に関する既往の研究

2020年4月に新型コロナウイルス（COVID-19）感染症が世界的に流行し、WHOはパンデミックを宣言した²⁻¹⁾。2022年9月にWHOの局長 Director-General は”ワクチンの適用で The end of the COVID-19 pandemic is insight”と述べた²⁻²⁾。2020年4月当時は感染症への適切な対応策が限られていたので、ヒトの社会的接触を強制的に避けるため、世界各都市で強制力を伴うロックダウンが実施された。日本国政府は強制力をもつ都市単位でのロックダウンや stay-at-home order は実施せず、代わりに全国一律の緊急事態宣言により感染爆発と医療崩壊を避けるための、新しい生活様式と行動指針を示した²⁻³⁾。行動指針には、在宅勤務、休校・オンライン授業、移動の抑制、帰省・旅行見送り、外出自粛、宅内余暇志向などが例示された。このような暮らしの行動変容の多くは在宅率・在宅人数を増やし、宅内活動を活性化するため、住宅のエネルギー消費が増加したと多くの先行研究が示した。例えば、Krarti と Aldubyan はロックダウン中または stay-at-home order 中の住宅セクターの消費電力量は国と地域により異なり、11～32%増加と報告している²⁻⁴⁾。

国や地域によって行動制限の硬軟、感染症の蔓延状況は異なっただけで、異文化圏での住環境について住宅のエネルギー消費量の直接比較はできないが、以下に既往の研究を整理する。ただし、世帯数、調査期間、エネルギー消費量の把握手段、居住者調査の有無、住居形態（戸建・集合）はそれぞれの研究対象とアプローチによって異なる点に注意が必要である。

日本国内では、高瀬ら²⁻⁵⁾は2020年4、5月緊急事態宣言下で新型コロナウイルス感染症予防を目的とした行動変容が集合住宅の消費電力量に与える影響を迅速に分析し、全電化集合住宅中の124世帯の実測値から平日終日で2019年比30%程度の消費電力量の増加を示した。内閣府による大規模インターネット調査²⁻⁶⁾では新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の経時変化を把握した。総務省統計局の家計調査報告²⁻⁷⁾によると、2020年6月～2021年3月の2人以上世帯の電気代は10カ月連続増加した。

Krarti らは、2020年4月にCOVID-19蔓延防止対策としてロックダウン中の米国テキサス州オースティン市において、113世帯の戸建住宅の電力需要を過去3か年のデータと比較分析した。その結果、例年比の冷房・換気の消費電力量が25%増加、それ以外の照明・家電等の消費電力量は16%増加したことを示した。照明・家電等の消費電力量は日中～夜間の時間帯に顕著な増加が確認され、就寝時間帯での増加は見られなかった²⁻⁴⁾。Rouleau と Gosselin はカナダの40世帯の戸建て住宅への調査で、消費電力量（給湯を除く）はロックダウン開始のはじめの一か月（3/25- 4/25）では前年比で+17.5%、それ以降のロックダウン中には増加がみられず、影響はロックダウン対策レベルが厳格な期間だけに現れたと報告した²⁻⁸⁾。Chinthavali らは、米国の62世帯のスマートホームについて住宅設備単位の詳細な消費電力量を調査し、2020年4、5月の前年比較により、電力ロードカーブのピークが夕方から昼にシフトしたと示した²⁻⁹⁾。Edomah と Ndulue は、ナイジェリアのラゴスでのロックダウン中に配電網の259の電力供給ポイントから電力データを取得し、民生部門では7.8%の増加を示した²⁻¹⁰⁾。Abdeen らはカナダのオタワにおける500世帯のメータ

ーレベル消費電力量 1 時間値を時系列クラスタリングで分析し、2020 年夏期には消費電力量のプロファイルパターンは前年と同じに戻ったが、消費総量はいままであったと報告した²⁻¹¹⁾。Santiago らは、スペイン南部の都市の 1 世帯の消費電力量を 2 カ月間(3/14-4/30) 調査し、2019 年と比較して 2020 年は 6.74%の増加し、これは主に居住者の在宅時間が延長されたためと結論した²⁻¹²⁾。Li らは米国ニューヨーク市の 390 世帯のアパートメントの消費電力量を調査とシミュレーションから、将来のステイアットホームオーダーにおける消費電力量増加を 15%—24%増加と見積もった²⁻¹³⁾。Snow らはオーストラリア ブリズベンの 17 世帯の分岐回路毎の詳細な消費電力と、400 世帯のメーターレベルでのデータ分析に加え、17 世帯の居住者へのディープインタビューで暮らしの行動変容を明らかにしようとした²⁻¹⁴⁾。Palladino らは、イタリアローマ近郊の住宅でロックダウンなどのソーシャルイベントが夏、冬、中間期に発生したと仮定した場合の住宅消費電力量への影響をシミュレーションした²⁻¹⁵⁾。Chen らはパンデミック下で家庭の消費電力量増大と時刻別電力需要のシフトが電力料金に与える影響に着目し、米国ニューヨーク州での 632 人へのヒアリング調査から HEMS の導入意向を分析し、30%がエネルギーマネジメントに US\$5/月を支払うと結論づけた²⁻¹⁶⁾。Cvetković らは、COVID-19 感染症蔓延の緊急事態宣言下のセルビア共和国 Kragujevac 市において、戸建住宅を対象として生活行動変容が住宅のエネルギー・水需要に与える影響を外出自粛の程度に応じた 4 つのシナリオでシミュレーションし、2020 年 3 月の実測値と比較した。その結果、消費電力量は最大シナリオで例年比 50.3%の増加を示したが、実測値は最小シナリオに近い例年比 20.5%増加であった²⁻¹⁷⁾。Qarnain らはロックダウン(都市封鎖)が実施されたインド 5 都市の 1000 世帯を調査し、住宅の消費電力量が平均 15%増加と報告した²⁻¹⁸⁾。

既往研究では、多数世帯を短期実測した主幹電力レベルのデータか、あるいは少数世帯を数か月間実測したホーム分電盤分岐回路レベルの詳細データに大別されるため、需要家それぞれのエネルギー消費構造の変化を追うことができず、居住者による暮らしの行動変容の実態に迫ることができていない。また、居住者へのインタビューやアンケートによる生活実態を調査した研究は無い。よって、本章では 4 年間にわたる多数世帯の高精細な消費電力量データと、コロナ禍の 1 年間における 2 度の居住者アンケートにより、暮らしの行動変容を特定する。さらに暮らしの行動変容を抽出し、消費電力量の増減の定量化を試みる。最後に行動変容の 1 年間の経時変化を確認し、今後の日本社会への定着可能性について考察を加える。

2-2 世帯別の消費電力量の実測と分析結果

2-2-1 消費電力量データの取得

図 2-1 に本研究の調査期間（世帯別消費電力、アンケート）と日本政府の緊急事態宣言の発令期間（1 度目、2 度目）を示す。世帯別消費電力の調査対象 1339 世帯は 2017 年 4 月から継続的にホーム分電盤の回路単位での高精度な消費電力量（1 時間値）を測定している。居住者は研究目的の消費電力量の提供と分析に同意している。

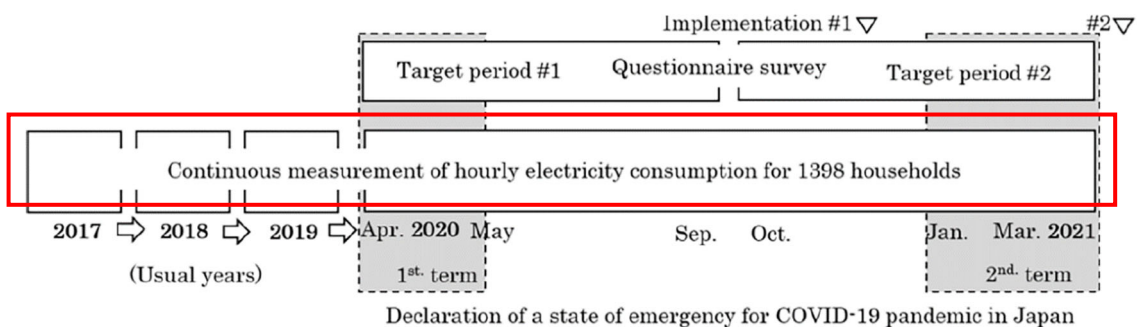


図 2-1. 調査期間と日本国内での緊急事態宣言発出時期の整理

調査対象住宅を表 2-1 に示す。住宅の断熱性能について、1339 世帯はすべて 2013 - 2015 年の期間に新築され、断熱性能等級 4, 5 を満足している^{※1}。そのうち 1038 邸が日本国内でも比較的温暖な地域に属する（省エネルギー区分 6 地域）^{※2}。住宅設備は全 1339 邸が太陽光発電システムを搭載し、電力モニタリング機能を備えたスマートホームである。暖冷房はルームエアコン（以下 RAC）またはセントラル空調（以下 CAC）による。いずれも一種熱交換型ダクト式換気システムを備える。また、給湯の約 6 割が自然冷媒ヒートポンプ給湯器、残りはガス給湯器である。住宅内の CT センサー付きホーム分電盤から分岐回路毎の消費電力量 1 時間値（ $\Delta Wh/h$ ）を測定し、HEMS 機器で実測データを収集してインターネット経由でデータセンターに 4 年間にわたり継続的に蓄積した。分析にあたり、世帯別電力データは CSV ファイル形式でダウンロードした。1339 世帯の電力データ処理にあたっては、Microsoft Excel VBA ならびに Python の独自プログラムを用いた。分岐回路名称をもとに住宅全体の消費電力量を「暖冷房消費電力量」と、それを除く「消費電力量（暖冷房を除く）」に分けて分析する。

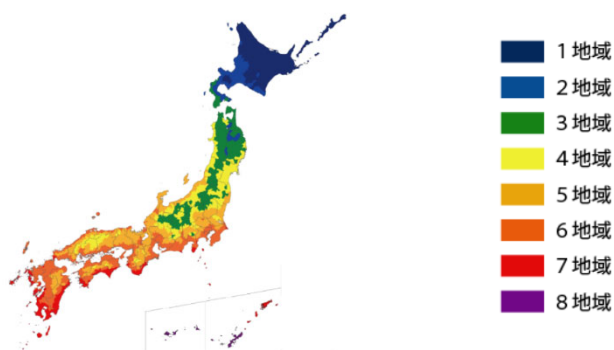
Table 2-1. Target houses (n=1339)

Year of construction	2013 – 2015
U _A value *	0.6 W/m ² K (avg.) ± 0.1 (SD) *skin area averaged heat transfer coefficient
Floor space	128 m ² (avg.) ± 25 (SD)
Structure	Lightweight steel structure
Number of floors	One story: 66, two story: 1273
Heating and cooling	RAC(room air conditioner): 830 households CAC(centralized air conditioner): 509 households
Construction site	Greater Nagoya area (Aichi pre., Gifu, Mie): 738 Tokyo metropolitan area (Tokyo, Kanagawa, Chiba, Saitama): 107 Greater Osaka area (Osaka, Kyoto, Hyogo, Nara): 53 The other area (Except for the above prefectures): 441

※1 断熱性能等級 (引用 国交省) <https://www.mlit.go.jp/common/001585664.pdf>

表示方法基準				
表示事項	適用範囲	表示方法	説明事項	説明に用いる文字
5-1 断熱性能等級	一戸建ての住宅又は共同住宅等	等級 (一戸建ての住宅にあっては1、2、3、4、5、6又は7 (7は地域の区分が8地域以外の地域である場合に限る。)、共同住宅等にあっては1、2、3、4又は5) による。この場合においては、地域の区分を併せて明示する。また、一戸建ての住宅にあっては等級7 (地域の区分が8地域である場合にあっては等級6)、共同住宅等にあっては等級5の場合に、外皮平均熱貫流率 (単位をW/(m ² ・K)とし、地域の区分の8地域を除く。)及び冷房期の平均日射熱取得率 (地域の区分の1、2、3及び4地域を除く。)を併せて明示することができる。	等級7	熱損失等のより著しい削減のための対策が講じられている
			等級6	熱損失等の著しい削減のための対策が講じられている
			等級5	熱損失等のより大きな削減のための対策が講じられている
			等級4	熱損失等の大きな削減のための対策 (建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令に定める建築物エネルギー消費性能基準に相当する程度) が講じられている
			等級3	熱損失等の一定程度の削減のための対策が講じられている
			等級2	熱損失の小さな削減のための対策が講じられている
			等級1	その他

※2 省エネ地域区分 (引用 マグイゾバール HP) <https://www.isover.co.jp/region-by-climate>



2-2-2 電力データの取得とデータ構造

多数世帯の消費電力量データを一括して取得、保管、分析するため、図 2-2 に示すようなクラウドサーバーとオンプレミスサーバーを組み合わせたデータ管理システムを用いた。世帯別に HEMS 機器を経由してデータセンターに保存した消費電力量データは、情報セキュリティの観点からすべての顧客情報と分離されているため、HEMS 機器 ID により紐づけし、さらにデータクレンジングを経て 1339 世帯の邸別データ（4 年間分）が分析可能な状態となった。

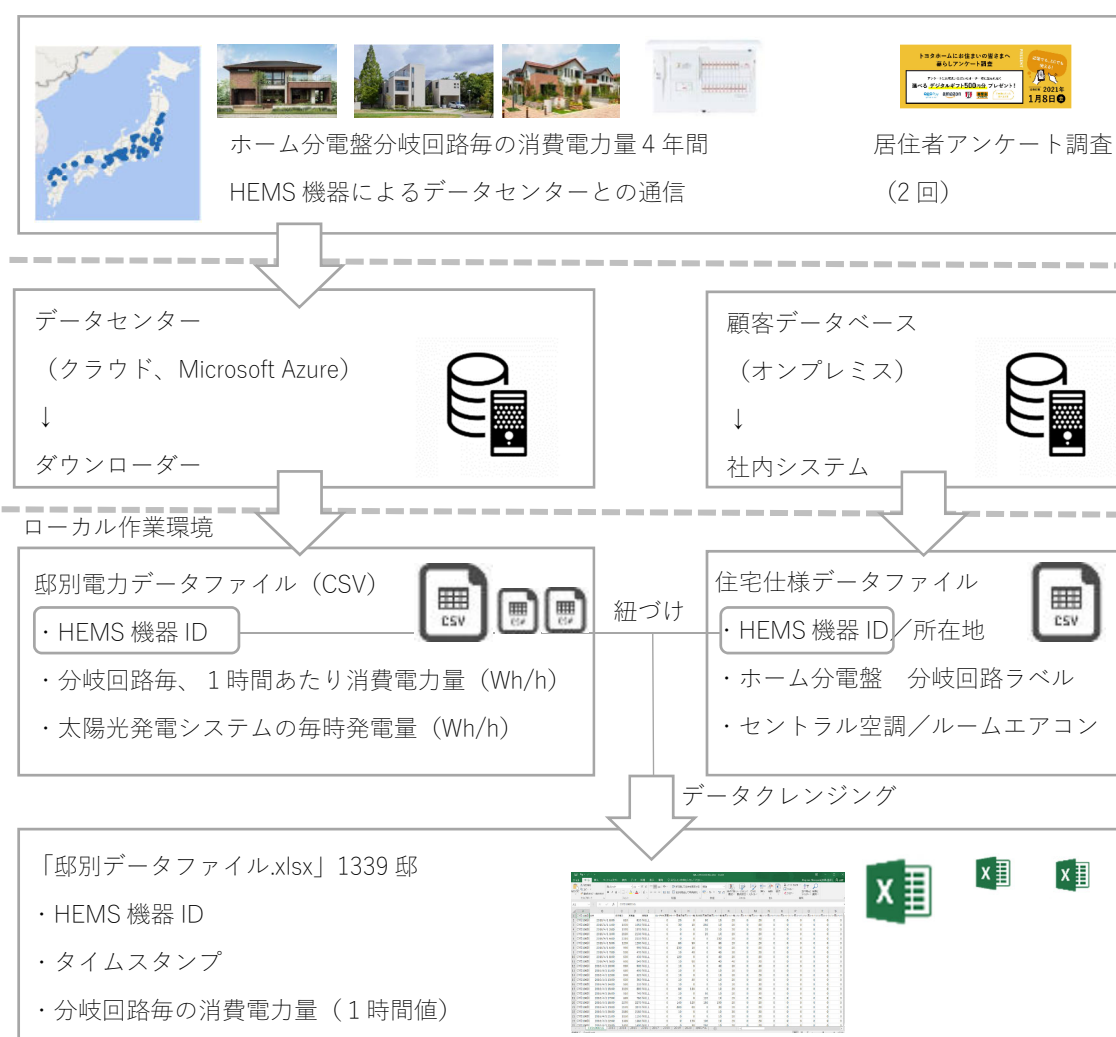


図 2-2. 各世帯から得られる消費電力量データ

2-3-1 消費電力量（暖冷房以外）への影響

暖冷房を除く「その他消費電力量」の月別全世帯平均値を図 2-3 に示す。4 か年で比較すると、新型コロナウイルス感染症影響下の 2020 年 4 月～2021 年 3 月のいずれの月もその他消費電力量が増加した。2020 年 3 月は緊急事態宣言発出の前月であるがすでに増加傾向がみられ、2021 年 3 月と同程度であった。諸外国で先行するパンデミックが日本国内で報道されたはじめた時期であり、居住者は自主的に行動変容したことが分かる。各年次とも冬期にその他消費電力量の増加する理由は、市水温と外気温低下によるヒートポンプ給湯器の消費電力量増加に加え、補助暖房（電気式ヒーター、電気カーペット、こたつ等）の利用が考えられる。図 2-3 にその他消費電力量の月別全世帯平均値の例年比増加率(%)を示す。2020 年 4 月を最大 119%として徐々に平年値に戻りつつあり、2021 年 3 月には 104%まで低下した。2020 年 4、5 月は初の緊急事態宣言の発出、大型連休の外出自粛、休校、在宅勤務の要請などが重なり、増加率が大きくなったものと考えられる。増加要因については、居住者へのアンケート調査で暮らし方の変化を検証する。日本国内ではロックダウンは実施されなかったが、初の緊急事態宣言が発出された 2020 年 4 月にはロックダウンと同程度の大幅な増加を示しており、居住者は相応の危機感をもって外出を控えて自宅でも過ごしていたといえる。2020 年 5 月以降はおおよそ減少傾向にあり、2021 年 1 月の二度目の緊急事態宣言の再発出においてもこの減少傾向は変わらなかった。

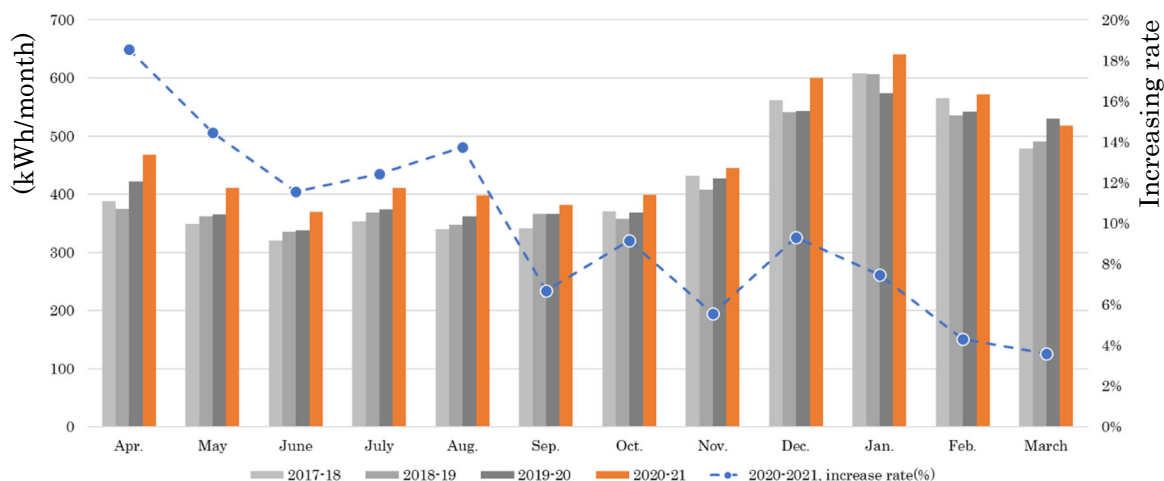


図 2-3. 4 年間の月積算消費電力量の推移（全世帯平均、暖冷房を除く）

図 2-4 に都市圏別でのその他消費電力量の例年比増加率月別世帯平均値を示す。都市圏の都道府県の分類は内閣府調査²⁻¹⁹⁾を引用した。図 2-3 と同様に都市圏別にみても、2020 年 4 月が最大、2021 年 3 月が最小であった。東京圏の調査世帯は変動幅が最大であり、12 か月経過時点で例年比増加がみられなくなるまで低下した。名古屋圏の調査世帯は比較

の高い増加率を維持した。また、大阪圏と地方圏の調査世帯は類似した傾向となった。これらは各都市圏全体の傾向とはいえないが、居住地域が異なるとウイルス感染症予防の暮らし方変化には地域差が存在することを示唆している。

図 2-5 に外部データ²⁻²⁰⁾を集計して都市圏別月積算新規陽性者数の経時変化と政府の緊急事態宣言の発出時期²⁻²¹⁾を示すが、図 2-3 のその他消費電力量の例年比増加率とは明らかに関係が無い。居住者は日々の新規陽性者数の推移を報道や各種オープンデータで情報収集したとしても、それに連動して暮らし方を容易には変化しないか、あるいは変化できないため、このような不一致となった可能性がある。COVID-19 が未知のウイルスであり明確な治療方法もワクチンも無かった 2020 年 4 月の不安と危機感が最大の行動変容を引き起こしたと言える。

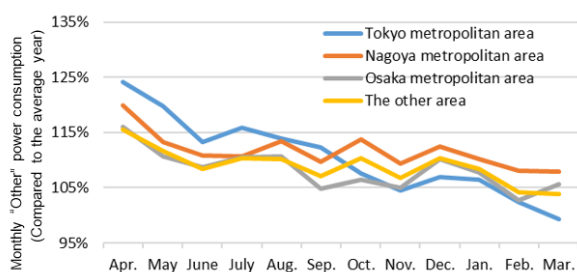


図 2-4. 月積算消費電力量（例年比）の都市圏別比較

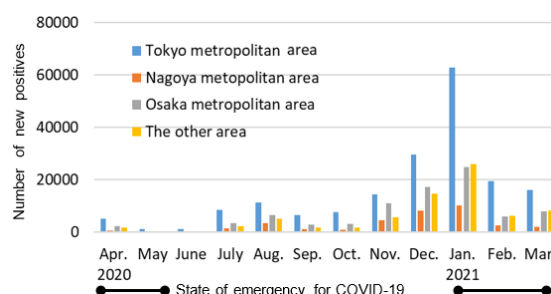


図 2-5. 新規陽性者数の推移

次に、その他消費電力量の時刻別全世帯平均値（4 か年の 12 カ月間）を図 2-6 に示す。2020 年 4、5 月のみ、日中(7-17)の時間帯に明確な増加がみられたが、これは一回目の緊急事態宣言の時期に重なる。夜間(18-1)の増加は 7 月以降、徐々に不明確になっていくが、2020 年 12 月、2021 年 1 月に再びわずかに増加した。図 2-6(l)の 3 月に注目すると、2021 年 3 月よりも前年 2020 年 3 月の消費電力量が上回る時間帯がある。初の全国への緊急事態宣言発出は 2020 年 4 月であったが、その前月 2020 年 3 月にすでにその他消費電力量の日中時間帯における増加が認められ、これは図 2-3 に示したとおりである。深夜 1~5 時まではすべての年次間でばらつきがみられるが、これはヒートポンプ給湯器の深夜時間帯に指定された湯沸かしに伴う消費電力量が外気温に左右されるためである。曲線の形状やピークの現れ方は 4 か年とも似通っており、全 1339 世帯の多数世帯としてマクロにみることでその他消費電力量の平均値には年周期での反復性を見出すことができる。図は省略するが RAC 群と CAC 群に分類して同様に比較したところ、両者に差異は認められなかったため、その他消費電力量は暖冷房方式には関係が無いことが分かった。

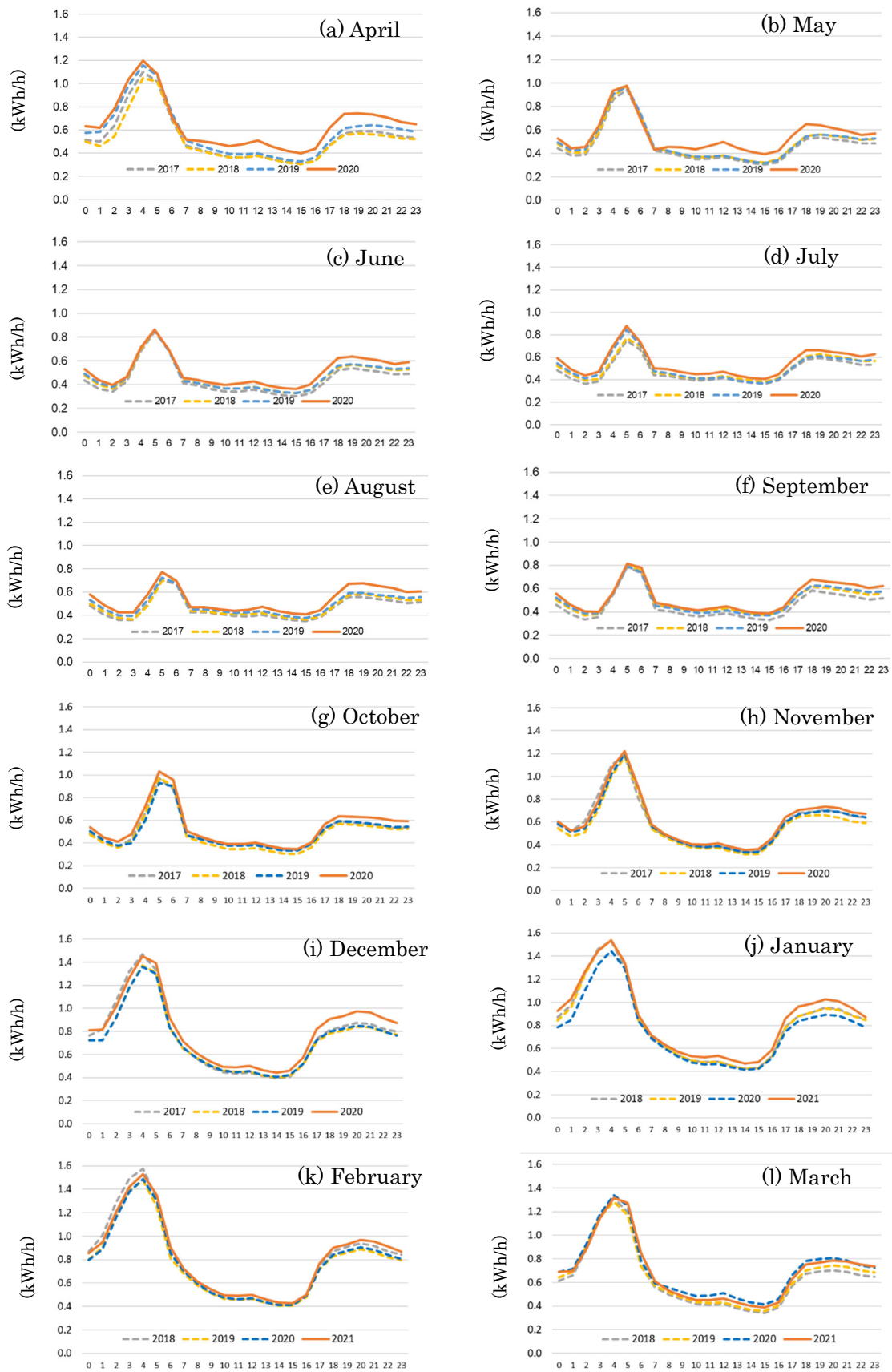


図 2-6. 4 年間の消費電力量の時刻別比較 (全世界平均、暖冷房除く)

2-3-2 暖冷房消費電力量への影響

(1) 冷房消費電力量への影響と外気温度補正

冷房消費電力量を4か年で年次比較するには、夏の暑さの程度が及ぼす影響を考慮する必要がある。夏の暑さが厳しく外気温度が高ければ、冷房消費電力量が増加することは容易に想定できる。そこで、夏の暑さの指標として、全1339世帯の4か年7、8、9月の月積算冷房デGREEアワー(度・時/月)(DH_{24-24})を算出し、対応する月積算冷房消費電力量(kWh/月)と比較した。冷房デGREEアワーの定義は、ある地点で観測された時刻毎の外気温度 θ ($^{\circ}$ CDB)が冷房需要の見込まれる最低の基準外気温度 24° CDBを上回るすべての時間帯において、この差($\theta - 24$) > 0 を月積算した。なお、暖冷房設備計画における概算の負荷算定手法として、冷房デGREEデーと暖房デGREEデーがある。これは日平均気温と設計室温の温度差を時間毎に暖冷房期間にわたり積算したものである。

$$DH_{24-24} = \sum_{t=1}^{24 \times 31} (\theta(t) - 24) \quad (2-1)$$

世帯別に分析すると、7、8、9月 \times 4か年の月積算冷房デGREEアワー(度・時/月)と月積算冷房消費電力量(kWh/月)には強い相関(全世帯平均 $r=0.88$)が見られた。RAC群全865世帯のうち543邸、CAC群全533世帯のうち402邸の回帰係数の有意性を確認した(傾きの危険率5%)。これらの世帯の回帰直線を図2-7(a)(b)に示す。同等の月積算冷房デGREEアワーに対し、CAC群はRAC群よりも月積算消費電力量が大きい。これは居室単位での在室時冷房のルームエアコンよりも、全館空調は非居室まで含めた連続冷房で優れた快適性を提供しているためである。冷房方式の違い(RAC、CAC)、気候区分によらず、回帰直線の傾きが世帯毎に固有な冷房需要を総合的に表しているものと考えられる。冷房需要は、①住宅外皮性能、間取り、冷房方式などの固定的な要素と、②在・不在、冷房利用頻度・設定温度・時間帯、冷房空間などの居住者自身が決定する要素からなりたつ。仮定として、後者②は居住者の暮らしの行動変容が無ければ、年をまたいで4年間での年周期の反復性があるものとする。そこに、COVID-19対応で何らかの暮らしの行動変容が発生するならば、影響を受けて冷房需要の一時的な増減が見込まれるので、この特徴を利用して冷房消費電力量の例年値からの外れ値を抽出する。RAC群から省エネルギー基準地域区分6地域のA邸、B邸、CAC群からC邸(5地域)、D邸を抜粋して図2-8(a)(b)(c)(d)に例示すると、月積算消費電力量を目的変数、月積算冷房デGREEアワーを説明変数とした回帰直線の決定係数は大きく、月積算冷房デGREEアワーと月積算消費電力量には4世帯それぞれに強い相関がある。C邸(5地域)はその建築地の気象条件から冷房負荷が他3邸と比較して小さいが、同様に強い相関がみられる。同一世帯であれば夏の暑さと冷房需要に複数年次をまたいで再現性があるが、異なる世帯間では冷房需要そのものを比較できない。したがっ

て、冷房消費電力量は世帯別・月別の分析が有効である。なお、日積算値での分析も試みたが相関は低く、日単位では外出、天候、その他の要因が吸収されないためと考えられた。ここで、B 邸、D 邸の 2020 年 8 月冷房消費電力量の予測値・観測値の標準化残差は 2 よりも大きく (2σ 、95%)、観測値は増加側の外れ値といえる (危険率 5%)。A 邸、C 邸には外れ値が見られない。

回帰係数が有意であった RAC 群 543 世帯、CAC 群 402 世帯の世帯別に求めた回帰式で個別に判断し、4 か年 7、8、9 月の冷房消費電力量実測値がはずれ値となった世帯数を図 2-9 に示す。図 2-9 には、図 2-8(b)(d)でははずれ値として例示した B 邸、D 邸を含んでいる。RAC 群の 2020 年 8 月は他の月と傾向が異なり、87 世帯の冷房消費電力量観測値が世帯別回帰式に基づく予測値を上回った (危険率 5%)。つまり、RAC 群の 16% (87/543) の世帯において冷房消費電力量が例年よりも増加し、残りは増えたとはいえなかった。コロナ禍による暮らしの行動変容による、例年以上の冷房消費電力量増加は全体の傾向ではなく、一部世帯での現象と考えられる。例年と比較した冷房消費電力量の増加 (予測値と観測値の残差) は 87 件平均値で 46kWh/月、増加率は 23%であった。

CAC 群では、2020 年 8 月は 21 件の標準化残差が 2 を超過し、増加側の外れ値となった (危険率 5%)。これは CAC 群の 5% (21/402) の世帯であり、RAC 群で増加を認めた 16% よりも少ない。冷房消費電力量増加量 (予測値と実測値の残差) は 21 件平均値で 132kWh/月、増加率は 20%であった。RAC 群と比較すると、CAC 群は冷房消費電力量が増加したといえる住宅は少ない。この理由はセントラル空調がルームエアコンと比較して長時間・大きな空間を冷房する特徴から、暮らし方の変化に伴う在宅人数・時間の増加の影響を受けづらいためである。本研究が扱うセントラル空調は 2 系統でフロア別にゾーンコントロール可能なシステムのため、1 系統で全館を連続的に冷房する方式であれば、この傾向はさらに強まるものと推察される。

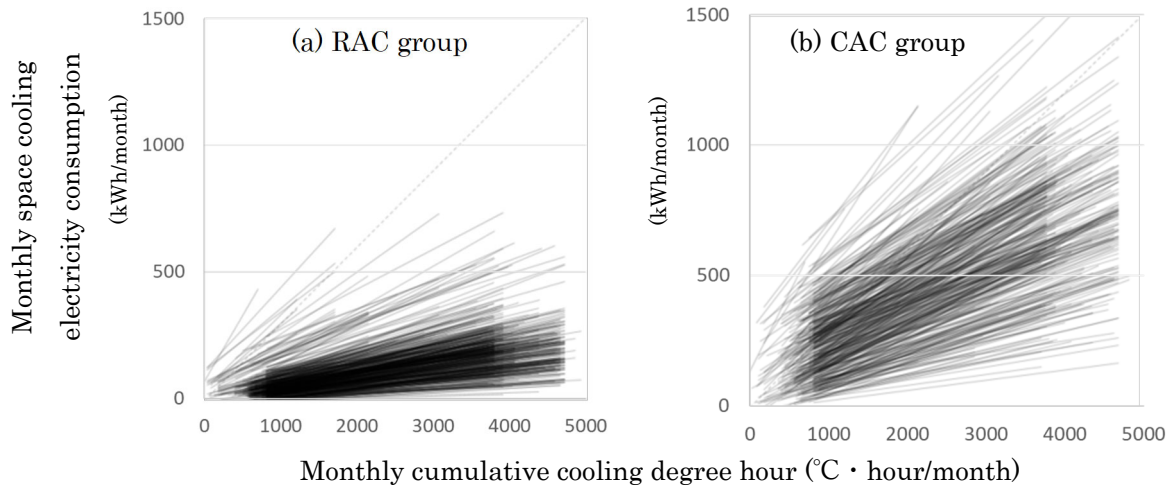


図 2-7. 月積算冷房消費電力量の世帯別回帰曲線

※世帯毎に住宅の延べ面積で除すと、冷房消費の原単位が得られる

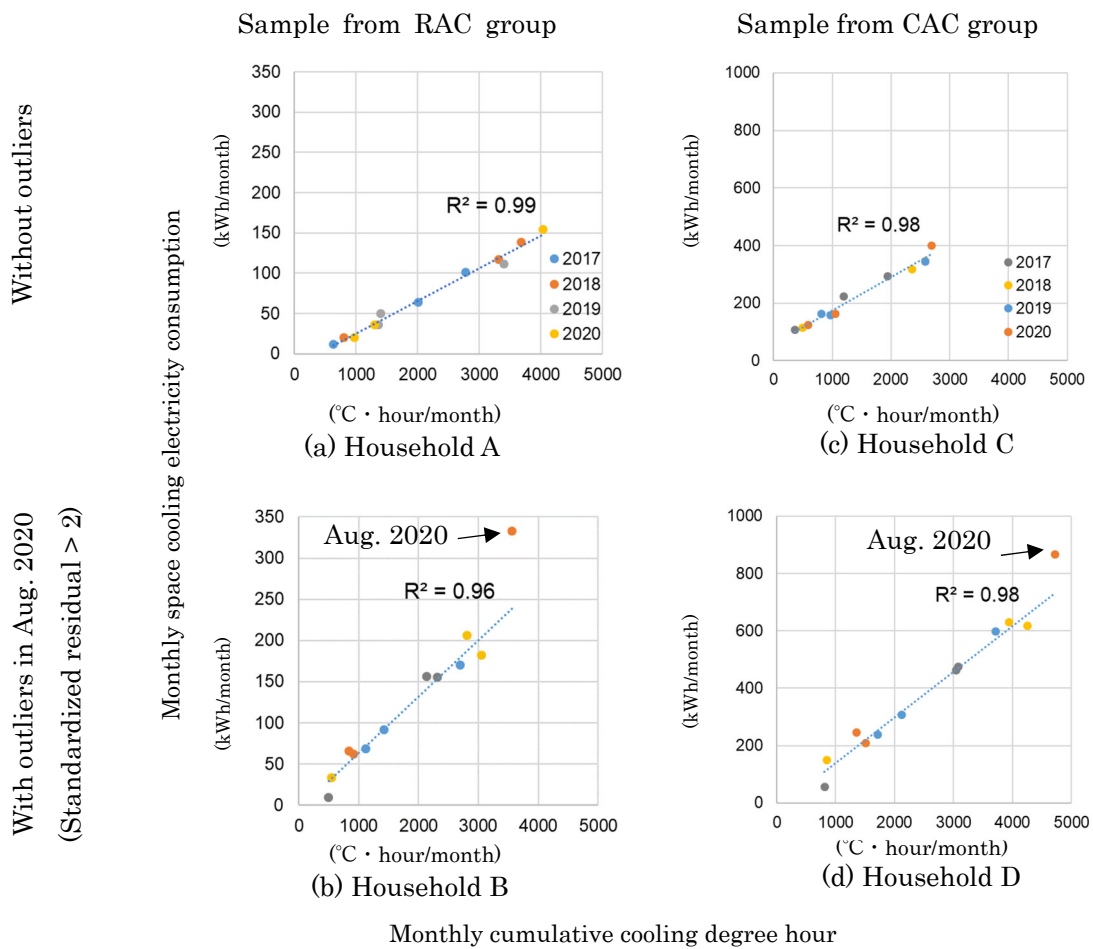


図 2-8. 4世帯の4か年の月積算冷房消費電力量

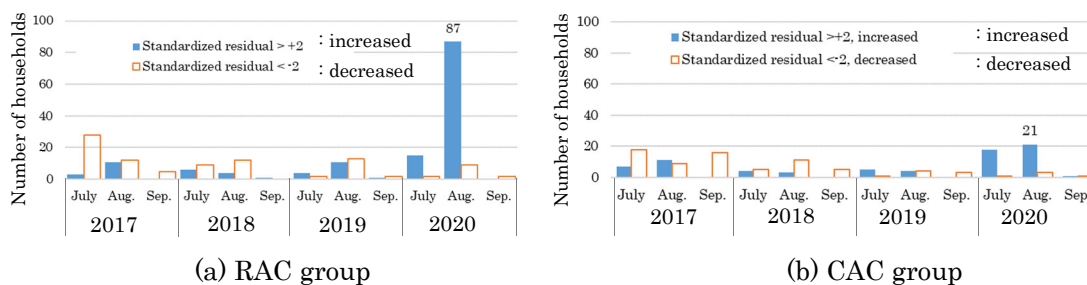


図 2-9. 月積算冷房消費電力量の外れ値

次に、RAC 群冷房消費電力量（2020 年 8 月）の増加要因について考察を加える。冷房消費電力量実測値が夏の暑さの程度を勘案した予測値よりも大きく、暮らし方の変化で例年より在宅人数・時間が増え、冷房の利用機会が高まったことが示唆されるが、実際のリアルタイムの在宅・不在の把握は困難である。

そこで、4 か年 8 月の日中 10 時～16 時の総消費電力量 1 時間値に基づく世帯別の時系列データをクラスタリングして暮らし方の特徴を見出すことで、在・不在を判断する。クラスタリングには Python の機械学習パッケージ tslearn を使い、time-series k-means 法²⁻²²⁾を適用した。クラスタリングに用いたデータは、図 2-7 に示した回帰係数が有意な RAC 群のうち 543 世帯の日中の 10 時～16 時の総消費電力量実測値である。つまり、543 世帯×8 月 31 日間×4 か年=67332 セットの時系列データを用いた。外気象や外気温での補正は実施せず、消費電力量の実測値をそのまま適用した。クラスター数の決定はエルボー法²⁻²³⁾により、誤差指標 (distortion) が十分小さくなったといえるクラスター数=5 とした。

図 2-10 に示すように、5 つのクラスターに分類した。(a)クラスター 1 は、10～16 時を通じて赤色の線で表す平均値が戸建住宅のベース電力として一般に知られている 300W～400W に近いいため、冷房やその他の消費が無いことを根拠として、日中を通じて家族全員が外出しているものと解釈できる。それ以外のクラスター 2～5 は、日中のいずれかの時間帯に在宅が確認できる。電力消費の傾向から、(b)クラスター 2 は午前外出しているが、午後に在宅すると判断できる。(c)クラスター 3 は、午前・午後とも在宅が伺えるが、消費電力量が小さい。(d)クラスター 4 は、午前・午後とも在宅し、消費電力量は中程度。(e)クラスター 5 は、午前・午後とも在宅し、消費電力量が大きい。

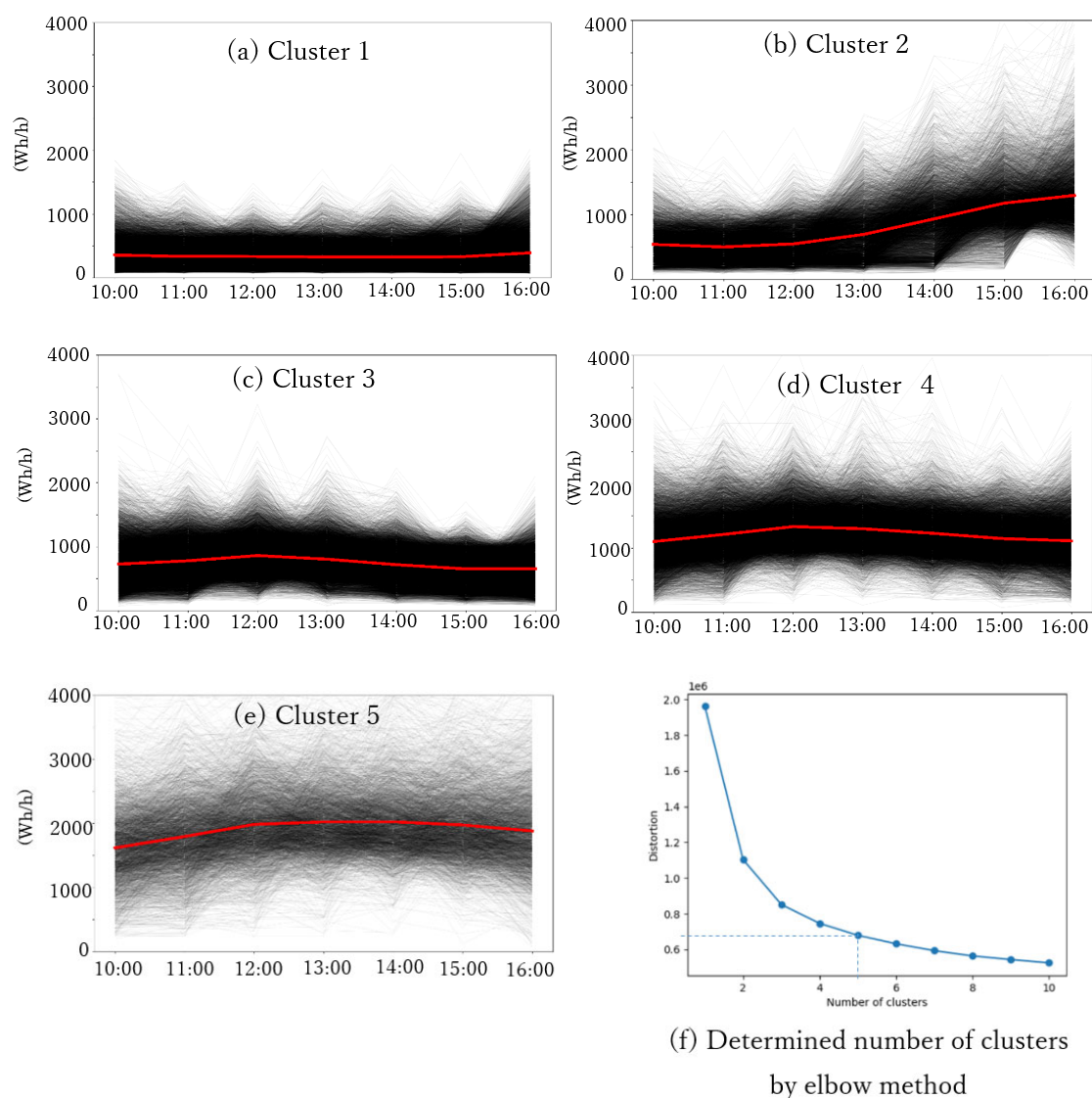


図 2-10. 日中時間帯の宅内総消費電力量を対象とした時系列クラスタリング (8 月、10:00-16:00)

図は省略するが、4 か年の時系列データを年ごとにクラスタリングしても 5 つの同様なクラスターに分類できた。そこで、年次ごとにクラスターに所属する要素数を比較すると、図 2-11 になる。2020 年 8 月のクラスター 1 (日中の不在) に属するデータは他 3 か年と比較して明らかに少なく (カイ二乗検定、危険率 0.1%)、日中を通じての家族全員の外出が減少したといえる。相対的に在宅を示すクラスター 2~5 に含まれる世帯数が増加した。

一般的な風習として 8 月は里帰りや夏期休暇を取り長期外出する機会が多いが、コロナ禍で休暇日数が例年対比で増加したかは不明である。しかし、後述するアンケート調査から 2020 年 8 月は「夏期休暇中の帰省・旅行を控えた」と 8 割が回答したことから、例年と比較して家族全員が不在の時間が減り、追加の冷房需要が発生したため冷房利用頻度と宅内消費電力量が高まったと考えられる。同時に、図 2-9(a)において 2020 年 7、9 月に外れ

値が少ないことも説明できる。

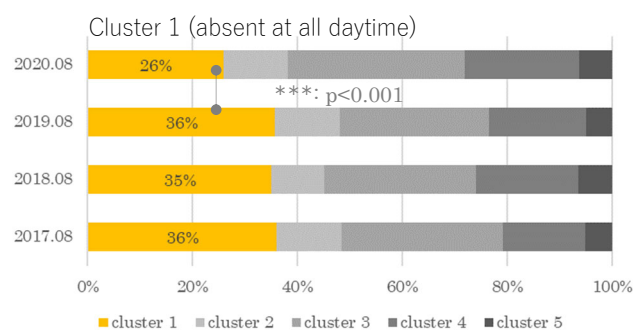


図 2-11. クラスターに含まれる世帯数の比率（4 か年での比較）

(2) 暖房消費電力量への影響と外気温度補正

冬の寒さの程度も暖房エネルギー消費に影響を与えるため、年をまたいでの比較には注意が必要である。そこで、冷房の分析と同様に、外気温 12°C を基準^{*}とした月積算暖房デグリーアワー DH_{12-12} と月積算暖房消費電力量を算出した。RAC 群全 865 世帯のうち 140 邸、CAC 群全 533 世帯のうち 178 邸の回帰係数の有意性を確認した（傾きの危険率 5%）。これらの世帯の回帰直線を図 2-12(a)(b) に示す。同等の月積算暖房デグリーアワーに対し、CAC 群は RAC 群よりも月積算消費電力量が大きい。これは居室単位での在室時暖房のルームエアコンよりも、セントラル空調は非居室まで含めた連続暖房で優れた快適性を提供しているためである。しかしながら暖房方式の違い（RAC、CAC）、気候区分によらず、回帰直線の傾きが世帯毎に固有な暖房需要を総合的に表すものと考えられる。

暖房についても冷房と同様に、回帰直線からの外れ値を世帯別に抽出し、図 2-13 に示す。RAC 群、CAC 群とも 2020 年 12 月から 2021 年 2 月の暖房消費電力量が増加したといえる世帯は例年並みであり、緊急事態宣言下にも関わらず特別な傾向は見られなかった。図 2-3 に示したように「その他消費電力量」はこの時期にはほぼ例年なみに戻ったことを根拠として、暖房についても概ね例年とおりの使い方であったと解釈できる。

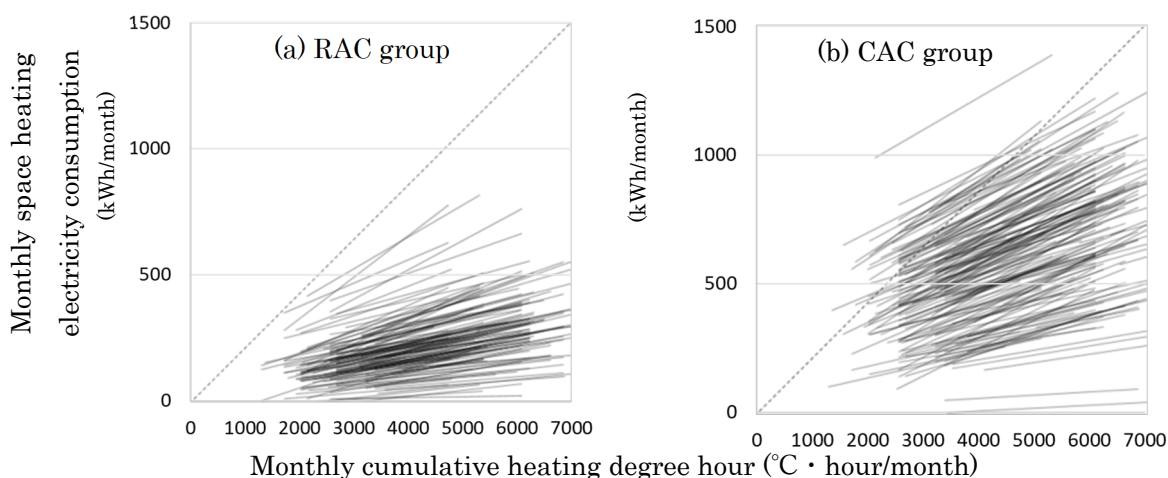


図 2-12. 月積算暖房消費電力量の世帯別回帰曲線

^{*}非住宅では 18°C 基準が一般的だが、住宅における適用例が無かったため、10~20°C の範囲でもっとも回帰係数の有意性が大きくなる基準温度として 12°C を選定した

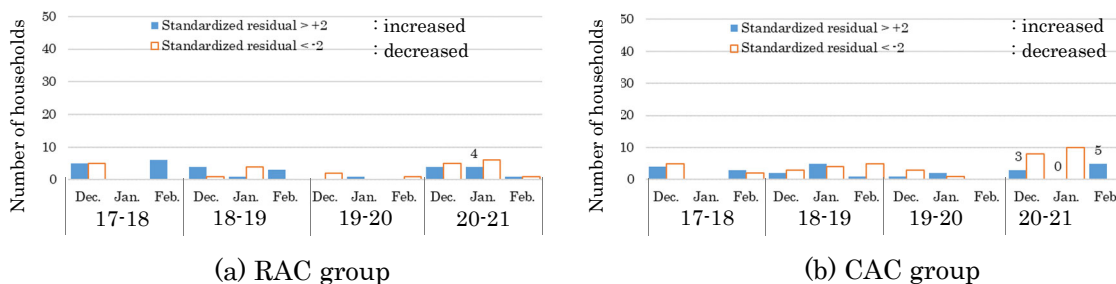


図 2-13. 月積算暖房消費電力量の外れ値

2-3 対象世帯への居住者アンケート調査結果と考察

2-3-1 アンケート調査手法

図 2-14 に示すように、消費電力量を取得した同じ世帯に対し、COVID-19 パンデミック後の 2020 年 4-9 月と 10-2021 年 3 月を対象とした居住者の暮らし方の変化についてのアンケート調査を 2 度実施した。居住者は研究目的のアンケート調査に同意している。

上記住宅の居住者へのアンケート設計において、前年を通常の暮らし方とし、調査期間に新型コロナウイルス感染症対策のため回答者自身と家族の暮らし方が月ごとにどのように変わったかを質問した。表 2-2 に回答者属性、表 2-3 にアンケート項目を示す。2020 年 4 月から 9 月を調査期間としたアンケート調査 # 1 に対し、1253 世帯にアンケート調査の依頼を電子メールで 1 回送り（2020 年 12 月）、WEB 回答フォームから有効回答 572 件を得た。同様に、2020 年 10 月から 2021 年 3 月を調査期間としたアンケート # 2 に対し、有効回答 505 件を得た（2021 年 5 月）。アンケート項目は 5 段階尺度で回答され（5: とても当てはまる～1: 全く当てはまらない）、一部に自由記述を含んだ。回答データはデータセンターに蓄積され、分析にあたって CSV ファイル形式でダウンロードした。統計処理は Microsoft Excel 統計パッケージを用いた。

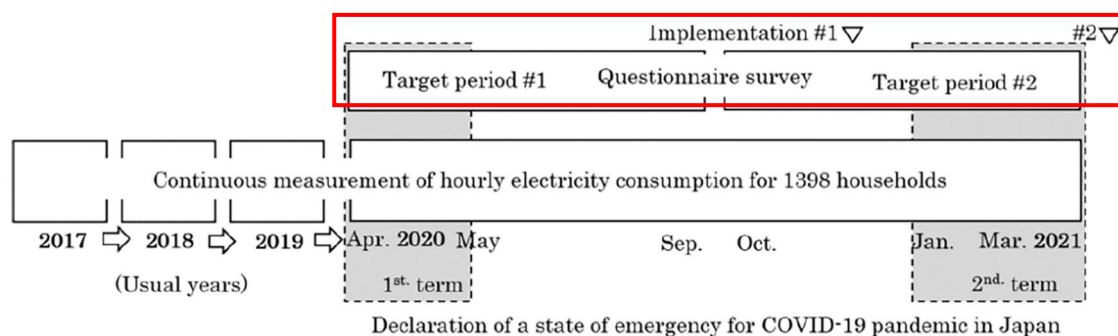


図 2-14. 調査期間と日本国内での緊急事態宣言発出時期の整理（再掲）

Table 2-2. Respondent attributes of residential questionnaire surveys

	Survey #1	Survey #2
Valid answer(total number)	572 (1253)	505 (1253)
Age of respondent	42.8 year old (avg.) ± 8.5 (SD)	43.1 year old (avg.) ± 8.4 (SD)
Number of families	3.3 persons (avg.) ± 1.6 (SD)	3.6 persons (avg.) ± 1.1 (SD)
Target period	Apr. 2020 – Sep. 2020	Oct. 2020 – March. 2021
Implementation date of survey	Dec. 2020	May. 2021

Table 2-3. Questionnaire items

1	Did you spend more time with your family?
2	Did you use more rooms during the day?
3	Did you spend more time at home on weekdays?
4	Did more people stay at home on weekdays?
5	Did you spend more time at home on the weekends?
6	Did more people stay at home on holidays?
7	Did your child stay at home on a closed day? For how many days?
8	Did you work from home? For how many days?
9	Did you exercise in the room? If yes, What did you do?
10	Did you have fun in the garden? If yes, What did you do?
11	Did you find any recreational activity in your neighborhood? If yes, What did you do?
12	Did you forgo your homecoming / travel during vacation?
13	Did you do more online shopping?
14	Did you buy furniture and appliances to improve your time at home? If yes, What did you do?
15	Did you refrain from going out for meals?
16	Please tell us if there are any other changes in your lifestyle that you can think of.

2-3-2 居住者へのアンケート調査結果とその他消費電力量増加要因の抽出

前節の図 2-3 に示したように、その他消費電力量（暖冷房以外）の多数世帯平均値は暮らし方変化の影響について年次比較が可能である。表 2-4 は、世帯別・月別に、月積算その他消費電力量（2020 年、2019 年）の差を目的変数、アンケート各設問の回答を説明変数とし、重回帰分析でその他消費電力量の増加に寄与したといえる説明変数を抽出した。表中の「*」等は、偏回帰係数の有意水準を表す（ $p<0.01$: **, $p<0.05$: *, $p<0.10$: †）。

2020 年 4、5 月の増加要因は多く、2021 年 3 月に向け少なくなったと解釈できる。10～3 月においては、「在宅勤務日数」のみを増加要因として抽出した。前節の図 2-3 に示したその他消費電力量の例年比増加率の低下傾向との類似が確認できる。つまり、新型コロナウイルス感染症に対応した暮らし方の変化はそのほとんどが一時的なものであり、日本国内に定着する可能性がある暮らし方の変化は「在宅勤務」のみと考えられる。また、本調査が扱わなかった潜在的増加要因については、その他消費電力量がほぼ例年並みに戻りつつあることを考慮すると、仮に存在したとしても増加量への寄与が少ない要因といえる。

表 2-4. その他消費電力量（暖冷房以外）の増加要因

Questions	Apr.	May	Jun	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
	2020						2021					
Work from home	*	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	†	n.s.	*	n.s.	*	*
Home exercise	*	†	*	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Recreation around neighborhood	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Number of people at home: weekdays	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Online shopping	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Closing school	*	†	n.s.	n.s.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
The other questions	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

$p<0.01$: **, $p<0.05$: *, $p<0.10$: †

OECD によると、日本国内の在宅勤務を含むテレワーカーはこれまでは諸外国と比較として少なく、2019 年 12 月は 10%であったがパンデミック中の 2020 年 5 月には 28%に急増した²⁻²⁴⁾。新型コロナウイルス感染症が収束した後にこの傾向がどの程度継続するかは不明であるが、在宅勤務は労働者の効率向上・働き方改善だけでなく、一部企業には財務効果も見込まれることから、今後の企業活動として定着する見込みがある。日本生産性本部の調査²⁻²⁵⁾によると、テレワーク実施率は 2020 年 5 月の 31.5%から、7 月 20.2%、10 月 18.9%と緊急事態宣言解除後に大きく下落したものの、2 割ほどで下げ止まっている。日経 BP によると、コロナ禍を経て「5 年後にテレワークが定着」は 6 割超、ハイブリッドワークの広がりでもオフィススペースも減少へ向かうと予測している²⁻²⁶⁾。本研究の対象世帯でも、「在宅勤務の有無」「在宅勤務日数」とも 4、5 月 50%、1.2 日/週を最大として急速に低下したが、8、9 月 20%で下げ止まる傾向があった。したがって、在宅勤務は企

業活動として定着しても当面は一部の世帯に限定したエネルギー消費量増加に留まる。本研究の調査対象住宅は築年数の浅い戸建住宅（持ち家）であり、回答者平均年齢は42.8歳、さらに65歳未満が97%を占めることを勘案すると、勤労世帯が大半と推察される。

次に、在宅勤務による消費電力量（暖冷房除く）の増加を定量化する。アンケート回答から在宅勤務経験が期間平均1~2日/週の149世帯と在宅勤務経験無しの267世帯に分け、月積算その他消費電力量の邸別平均を求めると、図2-15となった。両群の11月、2月、3月の平均値には差がみられ（危険率5%）、在宅勤務あり群は在宅勤務なし群よりも月積算その他消費電力量が多い。両群の差を算出することは、統計的に有意でないその他の潜在的増減要因をあわせて相殺するため、その差が在宅勤務による消費電力量の増加といえる。両群の差の6か月平均60kWh/月（+11%）が、在宅勤務期間平均1~2日/週によるその他消費電力量の増加量である。なお、宅内消費電力量（暖冷房除く）の11%増加の内訳は直接的な業務遂行に関わるもの（ラップトップPCや照明器具の利用等）と、在宅時間延長や宅内での活動の活性化に関わる生活行為（食事等）の合算値であり、業務分としての増加量が明確ではない。

勤務時間帯とそれ以外での増加を明確にするため、時刻別に分析する。図2-16は2021年3月の在宅勤務あり群（1~2日/週, 149世帯）と在宅勤務なし群（267世帯）のその他消費電力量の時刻変化である。比較として、同149+267世帯の2018年3月、2019年3月の全世帯平均値を例年値として示す。就寝時間帯は差異が無く、日中から夜間の時間帯に差異が拡大した。一般的な執務時間帯9-17時での増加は36kWh/月、それ以外の18-1時での増加は42kWh/月であった。

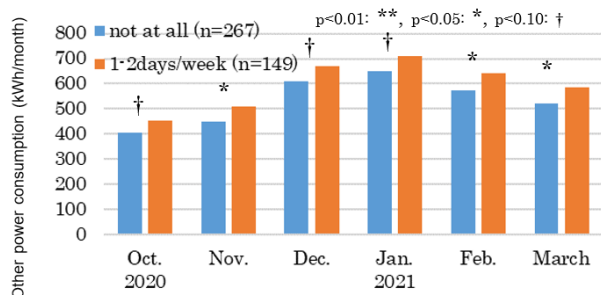


図2-15. 在宅勤務の有無による月積算消費電力量の比較

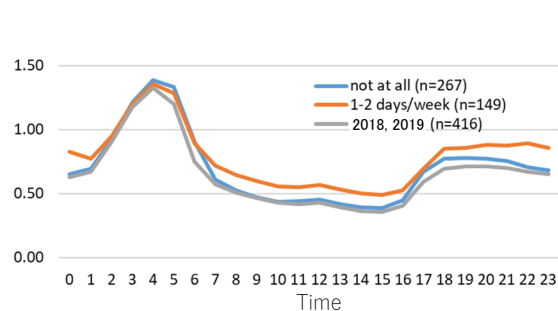


図2-16. 在宅勤務の有無による時刻別消費電力量の比較

2-3-3 増加要因の影響明確化における課題

アンケート調査では正確な在宅勤務日数実績は把握できていないため、執務時間帯 9-17 時での増加量 36kWh/月を在宅勤務実施 8 日/月×勤務時間 8 時間/日=64 時間/月によって純増したと仮定すると、36kWh/月 / 64 時間 = 560W(5.0kWh/8 時間)の消費電力に相当する。Nakanishi は、teleworking の業務関連機器（照明、パソコン等）を積み上げた消費電力の純増は 122W~264W (1.0~2.1kWh/8hrs.) と想定している²⁻²⁷⁾。O'Brien と Aliabadi 2020 は、文献調査から典型的には 0.4 から 1.6kWh/8hr.と見積もっている²⁻²⁸⁾。

本研究で示した在宅勤務による日中の増加はホーム分電盤各回路での消費電力量 1 時間値の測定から得られたトップダウンアプローチの結果であるが、これら^{2-17) 2-18)}の積み上げのボトムアップアプローチより 2 倍以上多く、業務に関わる直接的な消費電力量だけでは説明できないため、付随的な消費増加の存在が示唆される。既往の研究では、Hook は、在宅勤務者は非在宅勤務者と比較して業務外のクルマ移動距離が多くなり、自宅でのエネルギー消費量も多くなる傾向があると述べた²⁻²⁹⁾。Hopkins と James は在宅勤務により、在宅がちになって業務以外の家事が頻繁になる、と述べた²⁻³⁰⁾。さらに、本研究では夜間の 18-1 時にも日中と同等量の消費電力量増加が見られるが、一般的な業務時間内とは言い難く、在宅勤務が二次的に引き起こす宅内活動の活発化と見なすことが妥当であろう。可能性として通勤時間が在宅時間に代わる、在宅に伴う消費が増加する、そして昼食の準備片付けに伴うもの（食器洗い乾燥機等）など、業務時間中の休憩に伴うものが想定されるが、いずれも推測の域を出ない。将来の研究への展望として、これを明らかにするためには、世帯別により詳細な生活実態の把握が必要である。

一方、在宅勤務が暖冷房消費電力量についても影響を及ぼす可能性は大きいと考えられるが、本研究では増加量を定量化できなかった。理由は、在宅勤務者の他に元から居住者が在宅しているのかが不明のためであった。元から自宅に誰も居ない場合、在宅勤務により暖冷房消費電力量は純増になる。これはセントラル空調でもルームエアコンでも暖冷房方式によらない。セントラル空調はフロア別などのゾーンコントロールで増エネを最小限に抑えることができる。逆に誰かいる場合、セントラル空調は全館・連続の暖冷房方式であるため、就業場所・時間が暖冷房消費電力量に影響を及ぼしづらいものと考えられる。ルームエアコン暖冷房ではどの居室で就業するのかが暖冷房消費電力量への影響が変わる。Nakanishi によると、他の居住者と空間をシェアして就労する在宅勤務者は 34%にすぎず、残りは独立した居室で執務にあたっていた²⁻²⁷⁾。他の在宅者が暖冷房する空間をシェアして執務する場合、例えばリビングの片隅にワーキングスペースを構えるようなケースでは、暖冷房空間・時間の拡大は最小限に留まる。独立した居室で就業するケースでは、暖冷房空間・時間は拡大するため消費電力量は純増となる。したがって、在宅勤務が暖冷房消費電力量に及ぼす影響の定量化のためには、在宅勤務の前後で暖冷房空間の拡大、あるいは暖冷房時間の延長が発生したのかを世帯別に把握する必要がある。

2-4 増加要因が再生可能エネルギーの自家消費に与える影響

週 1～2 日の在宅勤務が定着すると、調査対象世帯のその他消費電力量は平均 60kWh/月 (11%) 増加した。加えて、単に需要増だけでなく、前節の図 2-16 のように時刻別にみると在宅勤務による増加は時間変動しており、夜間の就寝時間帯 (2～6 時) に小さく、日中に大きいことが分かる。そのため、PV 再エネの自家消費に影響を及ぼすと考えられるため、評価指標として式 2-2, 2-3 に x :再エネ自家消費率と y :電力自給率を定義する。PV 再エネが得られる日中の時間帯のみを評価するため、代表日の 06:00-17:00 のデータを集計した。

$$\frac{x_{An}}{100} = 1 - \frac{\sum_{t=6}^{17} E_{r(t)}}{\sum_{t=6}^{17} E_{PV(t)}} \quad (2-2) \quad , \quad \frac{y_{An}}{100} = 1 - \frac{\sum_{t=6}^{17} E_{g(t)}}{\sum_{t=6}^{17} E_{c(t)}} \quad (2-3)$$

$E_{c(t)} + E_{r(t)} = E_{PV(t)} + E_{g(t)}$

ここで、
 x_{An} : 世帯 A、3 月 n 日の昼間の再エネ自家消費率 (%)
 y_{An} : 世帯 A、3 月 n 日の昼間の電力自給率 (%)
 $E_{r(t)}$: 単位時間売電量 (kWh/h)
 $E_{PV(t)}$: 単位時間 PV 発電量 (kWh/h)
 $E_{g(t)}$: 単位時間買電量 (kWh/h)
 $E_{c(t)}$: 単位時間宅内消費量 (kWh/h)

再エネ自家消費率 x は PV 発電による電力網への逆潮流の少なさを表す指標であり、理想的には x が 1 に近づけば、再エネがすべて宅内で自家消費されていることを示している。電力自給率 y は電力網からの買電の少なさを表す指標であり、理想的には y が 1 に近づけば、再エネのみで暮らす生活が実現できる。つまり、 xy 座標軸における $(x, y) = (1, 1)$ が理想的な自家消費型住宅である。また、PV による発電が見込まれない夜間については需要増による自給率の悪化は自明であり、再エネ自家消費率は算出されないため、本章は特定の数日間の日中時間帯 (6～17 時) のみ対象時間とした。なお、これらの評価指標は第 4 章でもあらためて扱うが、目的が異なるため通年 (1 年間) での計算値となる。PV の発電量は、気象条件 (全天日射量) に左右されるため、特定の気象条件での在宅勤務あり、在宅勤務なしの比較を目的として、最もサンプル数の多い愛知県の世帯に着目した。全 1339 世帯のうちアンケート回収 505 件、在宅勤務実績が無くさらに PV を導入した世帯が 267 世帯、うち 54 世帯が愛知県下であった。これらは PV 以外の外部給電設備 (家庭用定置型蓄電池、家庭用燃料電池、V2H スタンド等) は未導入の世帯であった。

アンケート結果から上記 54 世帯は、調査期間の 6 か月間において、在宅勤務の実績が皆無と判明している。そこで、仮に週 2 日程度の在宅勤務があったと仮定して、再エネ自家消費率と電力自給率の変化を検証する。暖房需要が少ない 3 月に着目すると、表 2-4、図 2-15 に示すように在宅勤務がその他消費電力量の増加要因であった (危険率 5%)。在宅勤務による仮定の電力需要増加量は、図 2-16 の結果から時刻別の月積算増加量を算出し、2 日/週の在宅勤務を実施したものとして 3 月の 8 日間に集中的に割り振った。2021 年 3/4 (木)、5 (金)、11 (木)、12 (金)、18 (木)、19 (金)、25 (木)、26 (金) の 8 日

間に居住者が在宅勤務したと仮定して、新しい世帯別の宅内電力消費量をもとに、PV 発電の余剰電力量、電力網からの買電量を時刻別に求めた。

図 2-17 は、横軸を再エネ自家消費率 x 、縦軸を電力自給率 y とし、ベクトルの始点が在宅勤務なし（実測値、凡例は青色）、終点が在宅勤務あり（仮定、凡例は橙色）である。1 つのベクトルが 1 世帯の変化を表し、座標上では $(x, y) \rightarrow (x', y')$ になる。気象条件の目安として、愛知県名古屋市気象台で各日 12:00 に記録された気象条件を代表として図タイトルに示す。

再エネ自家消費率 x について、図 2-17 全体を俯瞰すると日照条件（PV 発電量）によらず、在宅勤務の実施により全体が向上している（図中右方向に移動している）。これは在宅勤務が時刻別の電力需要を押し上げて再エネの利用が高まり、電力網への逆潮流が減少したためである。ベクトルの x 方向の変位量は、図 2-17(b)(c)のように日照条件が良いほど小さい。つまり、十分な PV 発電量が得られる一日に在宅勤務をしても、再エネの逆潮流を大きくは減らさないことを表している。逆に、図 2-17(d)で十分な PV 発電量が無い一日では、再エネ自家消費率が 100%になると時刻別に不足分が発生し、電力網からの買電が発生する。そのため、図中の $80\% < x < 100\%$ の領域では、電力自給率の大幅な悪化（図中下方向への移動）がみられる。

電力自給率 y について、図 2-17(b)晴と(c)快晴は十分な PV 発電量が得られているため、電力自給率は高く分布している。在宅勤務を仮定した電力需要増加により、日中の電力自給率が向上する世帯と、悪化する世帯がある。電力自給率 y が向上する事例として、図 2-18(1)に C 邸の晴天での時刻別消費電力量と PV 発電量を示す。C 邸は日中のベース負荷が小さく負荷変動もないため再エネが得られる日中の電力需要が小さいが、一方で十分な PV 発電量が得られない 6-7 時において、IH クッキングヒーターを中心とした電力需要を買電に依存するため、その合算として日中の電力自給率が低い。在宅勤務を仮定した日中の需要増は、十分な日照により得られた再エネによって賄われるため、結果的に電力自給率は向上した。電力自給率 y が悪化する世帯として、図 2-18(2)に D 邸を例示する。D 邸はガス併用住宅であり朝食準備時間帯での電力需要が少なく、かつ、日中の PV 発電時間帯のベース負荷が大きく再エネ利用率が高いため、その合算として電力自給率が高い。在宅勤務を仮定した日中の電力需要増加は、7~9 時、15~17 時の十分な発電量の無い時間帯に在宅勤務の需要増により発電量が不足し、買電に依存したため電力自給率が悪化した。このように、十分な再エネが得られる快晴の一日であっても、在宅勤務による日中の電力需増で電力自給率は向上する世帯と悪化する世帯が混在することが判明した。

次に、図 2-17(a)(d)のような曇、あるいは止み間のある雨天の気象条件では、実測した (x, y) は平面的に広く分布している。PV 発電量が不十分なため、在宅勤務による電力需要増で電力自給率 y が改善する世帯が少ない。言い換えると、ベクトルが図中上向きの世帯は、図 2-17(b)(c)の晴天時よりも少ない。再エネ自家消費率 x は、概ね晴天時に類似した動きとなった。止み間のある雨天の気象条件から、図 2-18(3)に E 邸を例示する。E 邸は

ガス併用住宅であり、日中のベース負荷の大きさは前述の C 邸と D 邸の間である。時刻別の PV 発電量は小さいが、11 時に余剰電力が発生し、在宅勤務による電力需要増ですべての PV 再エネを使い切ったため、再エネ自家消費率は向上した。一方で在宅勤務により各時刻で買電が発生しており、電力自給率は悪化した。

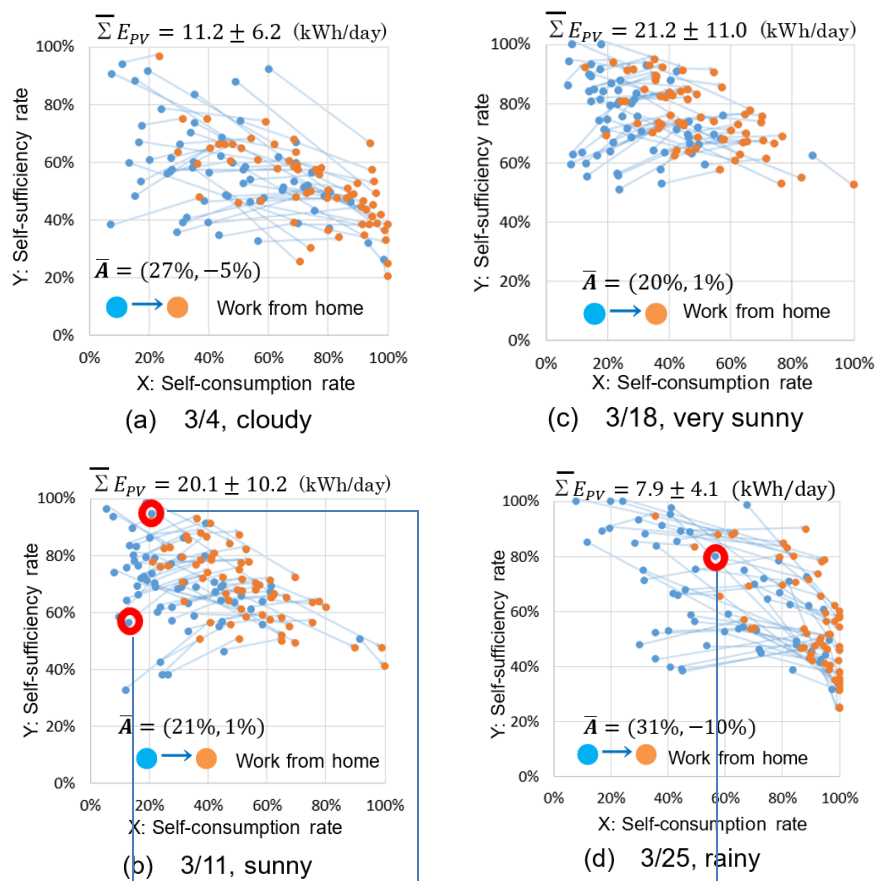


図 2-17. 在宅勤務による再エネ自家消費率と電力自給率の変化（気象条件による比較）

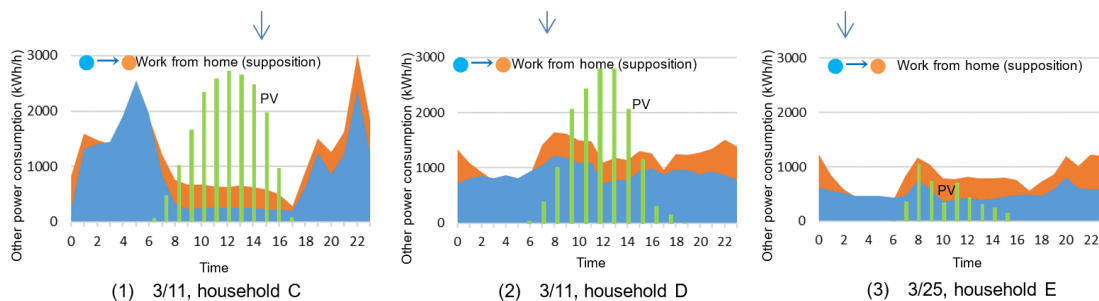


図 2-18. 在宅勤務による時刻別消費電力量の増加（3 世帯を例示）

2-5 小括

本章における研究の独自性は、多数世帯の長期間かつホーム分電盤回路レベルの高精細な電力データをもとに、居住者アンケートを組み合わせることでパンデミック後の毎月の暮らしの変化を見出す点にあり、類似の先行研究は存在しない。

COVID-19 パンデミック直後の 2020 年 4 月からパンデミック最中の 2021 年 3 月の 12 カ月の期間において、新型コロナウイルス感染症に対応した暮らしの行動変容が日本の戸建住宅の電力需要に与える影響を、1339 世帯の消費電力量実測値（4 年間）と同世帯へのアンケート調査を組み合わせることで分析し、以下の点を明らかにした。

- ・全世帯のおおまかな傾向として、「その他消費電力量（暖冷房を除く）」の例年比増加率はパンデミック直後の 2020 年 4 月の+19%を最大として以降は減少傾向にあり、2021 年 3 月には+4%まで低下した。

- ・冷房期間の 2020 年 8 月は、一度目の緊急事態宣言は解除されていたが、ワクチン等対抗手段や情報が無く生活の不安感の高い時期であった。暮らし方は夏季休暇の旅行や帰省を控えるなど、日中に家族全員が外出する日が減少し、例年よりも在宅の多い 8 月となった。そのため、ルームエアコン冷房消費電力量の増加が 16%の世帯で確認された。セントラル空調ではそれよりも少なく、5%の世帯で増加が確認された。

- ・暖房期間の 2021 年 1 月は、二度目の緊急事態宣言が発令中にも関わらず、その他消費電力量がほぼ例年同等であることからわかるように、暮らし方に特別な変化は小さく、暖房消費電力量の例年からの増加は見られなかった。

- ・アンケート調査から、2021 年 3 月時点でその他消費電力量の増加要因は「在宅勤務日数」のみが残り、今後の暮らし方に定着する可能性を示した。1~2 日/週の在宅勤務の実施でその他消費電力量（暖冷房除く）は 11%増加した。その内訳は直接的に業務に必要な消費電力だけでは説明できず、在宅勤務がもたらした生活行為による二次的な増加の存在が示唆された。

- ・在宅勤務により再エネが得られる日中の電力需要が増加するため、数例の予備検討から再エネ自家消費率の向上が示唆された。

- ・「その他消費電力量」は世帯別に 4 か年を比較しても世帯毎の暮らしの変化で傾向が掴みづらい。多くの世帯の平均値として集計することで、年・月単位で周期性を示すため、2020 年のような特異な社会的要因の発生した 1 年とそれ以外を直接的に比較が可能であった。

参考文献（第2章）

- 2-1) WHO, Coronavirus (COVID-19) Events as They Happen, World Heal Organ, 2020, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen>, (Accessed 31 Oct. 2022).
- 2-2) WHO, WHO Director-General's speeches, World Heal Organ, 2022, <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-unga-ung-hosted-event---ending-the-pandemic-through-equitable-access-to-covid-19-vaccines--tests-and-treatments----23-september-2022>, (Accessed 31 Oct. 2022).
- 2-3) Ministry of Health, Labor and Welfare, Japan: Practical examples of “new lifestyles”, Jun., [WEB] (in Japanese), https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_newlifestyle.html, (Accessed 31 Oct. 2022).
- 2-4) Moncef Krarti, Mohammad Aldubyan, Review analysis of COVID-19 impact on electricity demand for residential buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143 (2021) 110888, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110888>.
- 2-5) 高瀬幸造, 永倉直武, 井上隆: 新型コロナウイルス感染拡大防止を目的とした行動変容が都内の全電化集合住宅のエネルギー消費量に与えた影響, *日本建築学会技術報告集*, 第27巻, 第65号, pp.303-308, 2021.2
- 2-6) 内閣府: 新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査, 参照 2021.6.1 [WEB] <https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryo2.pdf>
- 2-7) 総務省統計局: 家計調査(家計収支編) 時系列データ(二人以上の世帯), 参照 2021.6.1 [WEB] <https://www.stat.go.jp/data/kakei/longtime/index.html#ks>
- 2-8) Jean Rouleau, Louis Gosselin, Impacts of the COVID-19 lockdown on energy consumption in a Canadian social housing building, *Applied Energy*, 287 (2021) 116565, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116565>.
- 2-9) Supriya Chinthavali, Varisara Tansakul, Sangkeun Lee, Matthew Whitehead, et al., COVID-19 pandemic ramifications on residential Smart homes energy use load profiles residential Smart homes, *Energy and Buildings*, 259 (2022) 111847, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111847>.
- 2-10) Norbert Edomah, Gogo Ndulue, Energy transition in a lockdown: An analysis of the impact of COVID-19 on changes in electricity demand in Lagos Nigeria, *Global Transitions*, 2 (2020) 127-137, <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.07.002>.
- 2-11) Ahmed Abdeen, Farzam Kharvari, William O'Brien, Burak Gunay, The impact of the COVID-19 on households' hourly electricity consumption in Canada, *Energy and Buildings*, 250 (2021) 111280, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111280>.

- 2-12) I. Santiago, A. Moreno-Munoz, P. Quintero-Jiménez, F. Garcia-Torres, M. J. Gonzalez-Redondo, Electricity demand during pandemic times: The case of the COVID-19 in Spain, *Energy Policy*, 148 Part A (2021) 111964, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111964>.
- 2-13) Lechen Li, Christoph J. Meinrenken, Vijay Modi, Patricia J. Culligan, Impacts of COVID-19 related stay-at-home restrictions on residential electricity use and implications for future grid stability, *Energy & Buildings*, 251 (2021) 111330, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111330>.
- 2-14) Stephen Snow, Richard Bean, Mashhuda Glencross, Neil Horrocks, Drivers behind residential electricity demand fluctuations due to COVID-19 restrictions, *Energies*, 13 (2020) 21, <https://doi.org/10.3390/en13215738>.
- 2-15) Domenico Palladino, Silvia Di Turi, Iole Nardi, Energy and environmental effects of human habits in residential buildings due to COVID-19 outbreak scenarios in a dwelling near Rome, *Energies*, 14 (2021) 7408, <https://doi.org/10.3390/en14217408>.
- 2-16) Chien-fei Chen, Gerardo Zarazua de Rubens, Xiaojing Xu, Jiayi Li, Coronavirus comes home? Energy use, home energy management, and the social-psychological factors of COVID-19, *Energy Research & Social Science*, 68 (2020) 101688, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101688>.
- 2-17) Dragan Cvetković, Aleksandar Nešović, Ivana Terzic, Impact of people's behavior on the energy sustainability of the residential sector in emergency situations caused by COVID-19: *Energy & Buildings*, 230 (2021) 110532, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110532>.
- 2-18) Syed Shuibul Qarnain, Muthuvel Sattanathan, Bathrinath Sankaranarayanan, Syed Mithun Ali, Analyzing energy consumption factors during coronavirus (COVID-19) pandemic outbreak: a case study of residential society: *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, (2020), <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1859651>.
- 2-19) 内閣府：新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査，参照 2021.11.1 [WEB]
<https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryō2.pdf>
- 2-20) 厚生労働省：データからわかる－新型コロナウイルス感染症情報－，参照 2021.10.1 [WEB]
<https://covid19.mhlw.go.jp/extensions/public/index.html>
- 2-21) 内閣府：新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言の概要（公告），参照 2021.10.1 [WEB]
https://corona.go.jp/news/news_20200421_70.html
- 2-22) Romain Tavenard, tslearn's documentation (Python package that provides machine learning tools for the analysis of time series),
https://tslearn.readthedocs.io/en/stable/user_guide/clustering.html
- 2-23) M A Syakur, B K Khotimah, E M S Rochman and B D Satoto, Integration K-Means Clustering Method and Elbow Method For Identification of The Best Customer Profile Cluster, *Materials Science and Engineering*, 2018
DOI 10.1088/1757-899X/336/1/012017

- 2-24) OECD, Teleworking in the COVID-19 Pandemic: Trends and Prospects, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2022, <http://www.oecd.org/coronavirus/en/> (Accessed 31 Oct. 2022).
- 2-25) 日本生産性本部 : 第3回働く人の意識に関する調査, 参照 2021.6.1 [WEB]
https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/3rd_workers_report.pdf
- 2-26) 日経 BP, 未来調査 2026 全産業編, 2021.12,
<https://project.nikkeibp.co.jp/bpi/atcl/column/19/112600223/>
- 2-27) H. Nakanishi, Does telework really save energy?, *International Management Review* 11 (2) (2015) 89.
- 2-28) William O'Brien, Fereshteh Yazdani Aliabadi, Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods, *Energy & Buildings* 225 (2020) 110298, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110298>.
- 2-29) A. Hook, B. Court, S. Sorrell, A Systematic Review of the Energy and Climate Impacts of Teleworking, *Environmental Research Letters* 15(9) (2020) 09003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8a84>.
- 2-30) M. Hynes. What's smart about working from home? Telework and the sustainable consumption of distance in Ireland, *Research-Publishing* (2013).

第3章 温暖地における高性能住宅での暮らしの行動変容（暖冷房の使い方）

3-1 背景と本章の目的

3-1-1 本章の目的

第1章で述べたように戸建住宅の暖冷房消費電力量は宅内一次エネルギー消費量の約1/3を占める。暖冷房の使い方は、世帯毎、あるいは居住者毎に完結する生活行為である。暮らしの行動変容が潜在するのであれば消費電力量と再エネ自家消費への影響は大きく、予測モデルへの組み込み検討が必要である。第2章ではコロナ禍が偶発的な外的要因として約2割の世帯にのみ冷房消費電力量の増加を認めたが、これは盛夏期の日中の在宅率が例年よりも増加したためであった。暖房期の2021年1月には生活がもとに戻っており統計的には暖房消費電力量の増加は見られなかった。図3-1 コロナ禍に例示されるパス②の偶発的な外的要因は暖冷房の使い方の行動変容を一時的に引き起こすが、もとに戻りやすいと示唆された。また暖冷房の使い方は世帯毎にある程度、固定的である可能性を示した。毎年夏の暑さや冬の寒さの程度は気象条件として偶発的であり、例えば酷暑はパス①として世帯や居住者の冷房の使い方にゆだねられる。パス③は計画的な外的要因、例えば電力単価高騰が暖冷房の使い方の判断に影響を及ぼす可能性がある。第二象限の計画的な内的要因の事例は住宅外皮性能と暖冷房設備の更新である。対象とする既存住宅は断熱等級4～5（ZEH基準）の住宅外皮と最新の暖冷房機器の組み合わせのため熱的不満は少なく、築20年以内に断熱リフォームのニーズはごく稀であり、研究のスコープとする2035年までは概ね新築計画時の状態を持続する可能性が高い。第三象限の暖冷房の使い方における偶発的な内的要因は千差万別であり、群として扱うには限界がある。そこで、本章ではパス①について、多数世帯の暖冷房利用実績と消費電力量実測データの分析をもとに、「暖冷房空間の広さ」「暖冷房利用時間」に着目し、時刻別暖冷房消費電力量を分析することで、外気温度が暖冷房の使い方の行動変容と暖冷房消費電力量に与える影響を明らかにすることを目的とする。

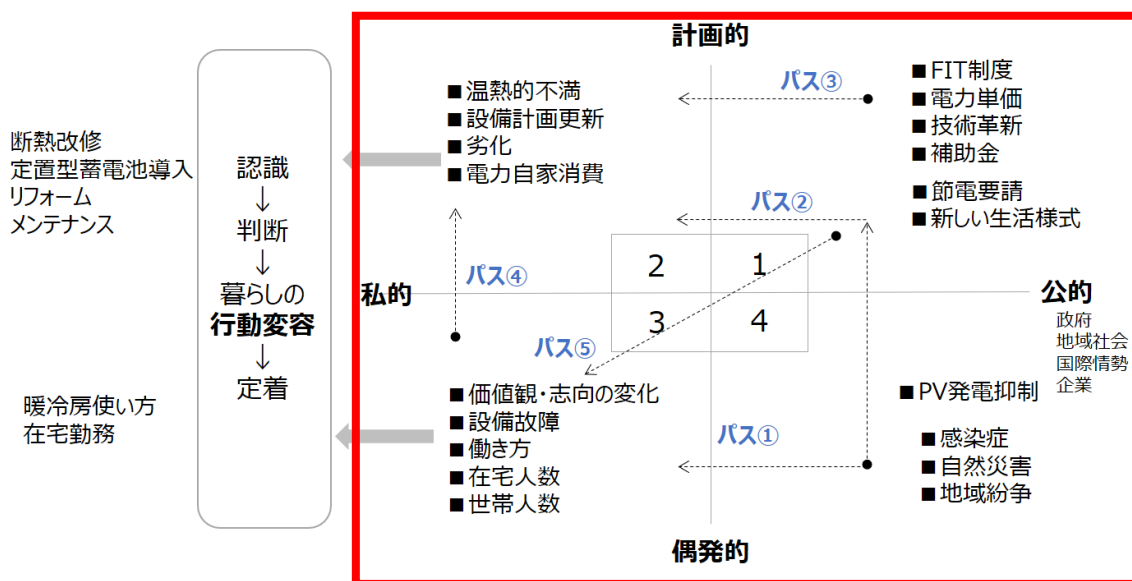


図3-1. 暮らしの行動変容を引き起こす要因の発生領域と経路 (再掲)

3-1-2 戸建住宅の暖冷房の使い方に関する既往研究

戸建住宅における暖冷房の使い方について、松原は京都市近辺地域の戸建住宅の熱環境と居住者の住まい方（主にユカ座・イス座）から、暖冷房機器使用の特徴を分類した³⁻¹⁾。住宅外皮性能の高い住宅が住まい方の選択肢が多いことを示した。1996年当時の外皮断熱基準は新省エネルギー基準であり、2023年の今日と比較すると熱損失は数倍大きく、現在の価値感からは寒い住宅であったものと推察される。外皮性能が向上すると住まい方の選択肢が増えるのであれば、更に断熱性能が向上した現在、より多様な住まい方の選択肢が提供されていると言える。第一に、暖冷房設備の選択肢としてセントラル空調がより一般的になった。2010年頃までは一部富裕層向けの暖冷房設備であったが、その理由は低い外皮性能と機器効率が相まって、暖冷房電気代が非常に高額であったためである。市場が開拓されていなかったため、専用の暖冷房設備の販売台数も少なく初期導入費用も高額であった。大きな熱損失を賄うため、機器容量が増大したことも初期導入費用を押し上げていた。第二に、居室と非居室の室温差が緩和されるため、居住者はより活動的に広い空間を使うようになると思われる。

金子、齋藤、久野ら³⁻²⁾はセントラル空調を導入した戸建住宅の消費電力量実測と間取り、住まい方のヒアリング調査、さらにはシミュレーションを組み合わせた一連の研究において、住宅全体を暖冷房しながらも日中の多くを1階のリビングで過ごし、2階は就寝時のみ利用する生活実態を明らかにした。住宅の外皮性能はほぼ同一であるにも関わらず、暖冷房消費電力量は大きくばらついており、暖冷房の使い方や節約行動によるものと推察された。

坂口らは³⁻³⁾、高性能住宅（熱損失係数 Q 値 $1.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 、相当隙間面積 $\alpha A'$ $0.77\text{cm}^2/\text{m}^2$ ）における室内温湿度と暖冷房消費電力量を実測した。 Q 値は現在の U_A 値に直接換算はできないが、概ね断熱等級5相当（ZEHレベル）の外皮性能を有し、当時の先進的な住宅といえる。暖冷房はセントラル空調方式とルームエアコンの併用であり、内外温度差が 1°C 変化すると冷房の消費電力量は1日当たり約 4.7kWh 増減すると述べている。また、外気温度と冷房消費電力量の関係を明確に示している。エネルギー中心の分析であり住まい方への言及はないが、セントラル空調の使い方は全館連続であった。外皮が高性能化すると、温暖地域においても全館連続暖冷房を志向することが示されている。

羽原ら³⁻⁴⁾は、東大阪市の一般住宅を対象に居間における冷房使用状況を実態調査し、冷房オン操作およびオフ操作（ルームエアコンの発停）の生起要因について検討した。外気温度上昇に居住者が反応し、快適性を求めて冷房を使う実態を定量的に示した。同じ外気温度であっても、生活時間帯によって冷房の利用有無が異なり、居住者の暖冷房設備のオン操作は室内温度に依存するが、オフ操作は世帯毎に異なる暮らし方に依存し、外気温度に依存しない。節約行動に起因するものと結論づけた。

森ら³⁻⁵⁾は世帯毎の暮らし方の違い、ばらつきの大さを認識したうえで、住まい方と節約行動を考慮したシミュレーション用の暖冷房スケジュールを作成した。節約行動とは、暖冷房時間短縮と設定温度の緩和である。これらの節約行動は特定の地域区分、住宅特性、世

帯収入などに依存するため一般化が困難であることは森らが認めているが、節約行動という居住者の意識を反映した暖冷房スケジュールのモデル化が可能であることを示した。

澤島ら³⁻⁶⁾は暖房の使い方の地域差に着目し、戸建住宅居住者への大規模アンケートを実施した。旧省エネルギー気候区分であるⅠ～Ⅴ地域について、地域によって求められる室内温熱環境が異なっており、特に温暖地域において「家の中でも冬は寒いもの」という2003年当時の一般的概念が、現状を肯定的に受け止めていると分析した。また、経済的制約が無ければ地域によらず、「全館連続」での暖房が理想的との回答が過半を占めていた。現在の住宅外皮性能、ヒートポンプ機能効率であれば、暖房消費電力量は当時の数分の一以下であり、冬期電気代も同様のため経済的制約は相対的に小さくなったと考えられる。したがって、初期導入コストとランニングコストという経済的制約が小さくなった結果、一部大手住宅供給事業者、大手ビルダーが顧客の理想を叶えるかたちでセントラル空調の新築におけるスペックインが2010年頃から加速したと振り返ることができる。全館暖房は寒冷地の暖房システムであったが、南下して定着した。

澤島ら³⁻⁷⁾はルームエアコン以外の防暑行動が現代的な戸建住宅（大手住宅メーカーが供給）で存在するか否かを調査した。その結果、窓開け通風や涼しい場所で涼をとるなどの回答は見られたが一様に満足度は低く、省エネルギー的なライフスタイルとしての積極的な評価には繋がらないと判断した。理想とは異なる夏期室内環境の改善には現実的にはルームエアコンを用いざるを得ないが、これを少しでも緩和する行動として結論づけた。調査時期の2002年と現在を比較すると、庇や窓開口の日射遮蔽技術はそれほど変化しておらず、住宅延べ面積は平均1割ほど縮小のため効率的なLDKプランが依然として主流であり、一方で気象庁によると日本の夏期外気温度は30年平均値+0.70℃（速報値）³⁻⁸⁾上昇しているため、夏の過ごしやすさはより厳しくなっている。厳しい外部環境に対し外皮を閉じ、ルームエアコン冷房を適切に使う暮らし方が定着する可能性がある。この先も暑くなるとすれば、夏が長く、中間期と感じる期間が短くなるにつれて開口部は閉じる時間が長くなり、冷房時間が延長、冷房空間が拡大すると考えられる。

冬期の暖房とヒトの健康については長らく定性的な関係のみが論じられてきたが、伊香賀ら³⁻⁹⁾は建築学的知見と医学的知見を結合させ、一連の研究は「住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査」として国土交通省スマートウェルネス住宅等推進事業調査として実施された。そのひとつに、室温の低い家に住む人ほど、起床時に高血圧となる確率が高い、断熱改修後に起床時の血圧が有意に低下した等、医学的エビデンスに基づいた断熱化と健康の関係性について画期的な知見を導いた。また、温暖地ほど冬期の死亡率が高いことが判明した。

既往研究では、暖冷房の使い方に関わる居住者の行動変容が暖冷房消費電力量に与える影響に触れられていない。よって本章では、外気温と暖冷房利用時間、暖冷房空間（台数）の関係から、暮らし行動変容が世帯毎の暖冷房の使い方と与える影響を明らかにする。

3-2 暖冷房利用実態調査の手法

暖冷房消費電力量は、第2章で対象とした1339世帯で取得した4年間の実測データの一部として含まれている。ルームエアコン（以下 RAC）暖冷房世帯は居室在室時の個別間歇空調であり、部屋ごとに設置された空気熱源 HP 式ルームエアコン室内機による。住宅計画段階における能力選定はエアコンメーカーの「概ね*畳用」との目安に従う。本研究で対象としたセントラル空調（以下 CAC）暖冷房世帯は全館連続暖冷房を基本としながら、下図3-2に示すようなフロア別の発停、設温度の強弱が可能である。住宅計画段階における能力選定は住宅供給事業者の暖冷房負荷原単位にもとづく。

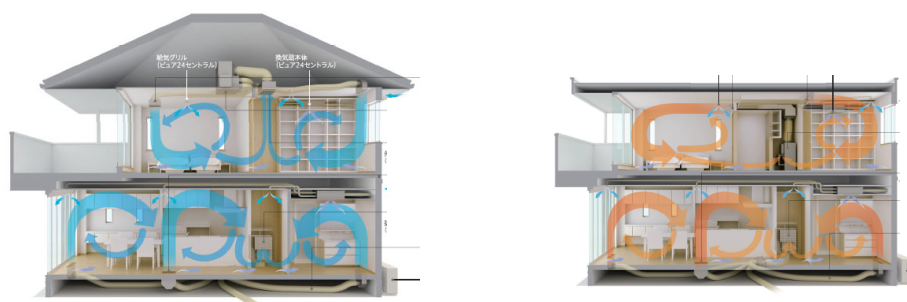


図 3-2. セントラル空調システム概要（傾斜屋根/陸屋根）引用：トヨタホーム HP

設備概要：空気搬送型セントラル空調システム / 熱源：空気熱源電動式ヒートポンプ / 特徴：各階分離タイプ、24時間換気 別系統、HEMS 機器連携/ 定格冷房能力：4.0kW~6.3kW

外気温度は世帯別に敷地内で直接取得できなかったため、住宅建設地の最寄観測点における気象庁データ（1時間値）で代用した。図3-3に愛知県・東京都・大阪府の観測地点を代表例として示すが、市町村単位で十分に整備されているため、世帯の外気温度として分析上問題ないものと判断した。



図 3-3. 外気温度の計測地点（各都道府県から愛知、東京、大阪を例示、引用：気象庁 HP）

3-3 暖冷房の使い方に関する結果と考察

3-3-1 月積算冷房利用時間と月積算冷房消費電力量の関係

冷房利用頻度を表現する指標として、月積算冷房利用時間（時間/月）を宅内全エアコンの月当たり使用時間の合計値として定義した。図 3-4 は RAC 群 4 か年 7~9 月の月積算冷房利用時間と月積算冷房消費電力量の散布図である。（n=865 邸）。 $r=0.83$ と強い相関があり、冷房利用頻度が高いと消費電力量も増える事実を端的に示している。冷房利用頻度の増加は、各部屋の冷房時間の延長か、エアコン複数利用による冷房空間の拡大か、その両方でもたらされる。

図 3-5 は CAC 群の散布図である。 $r=0.78$ と RAC 群と同様に強い相関がある。図中の月積算冷房利用時間が約 1500（時間/月）に見られる壁のような分布形状は、1、2 階の 2 系統すべてのセントラル空調を 24 時間、31 日間連続運転したことを示している。1500（時間/月）超の冷房利用時間の多いプロットは、住宅規模に応じて 3 系統のセントラル空調が導入されているか、あるいはセントラル空調にルームエアコンを併用している世帯である。

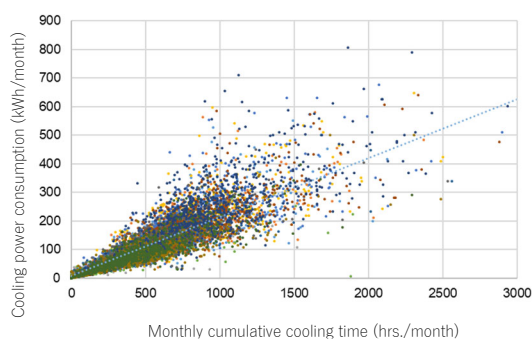


図 3-4 月積算冷房時間と冷房消費電力量
(RAC 群, 4 か年)

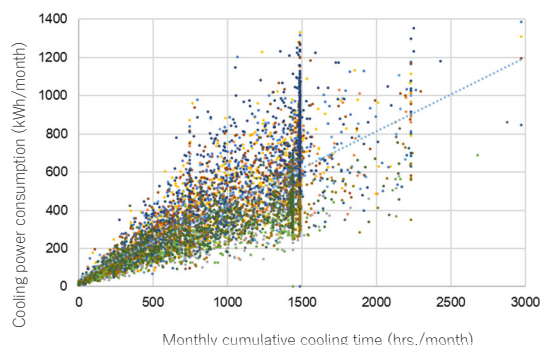


図 3-5 月積算冷房時間と冷房消費電力量
(CAC 群, 4 か年)

3-3-2 冷房同時利用台数と時刻の関係

一般的な傾向として、居室毎に壁掛けエアコンを設置する RAC 群は在室時のみ冷房運転する効率的な個別間歇冷房の特徴として、暮らしの行動変容により冷房空間が部屋数単位で増減しやすいと推測される。対照的に CAC 群は全館連続に近い冷房運転により優れた快適性を実現するため、冷房空間は暮らし方変化に伴う影響を受けづらいと推測される。具体的な生活シーンを想定すると、普段は 1 階の LDK のみで生活する日中の時間帯に、在宅勤務でワークスペースを 2 階の居室に設けた場合などが想定される。このような生活シーンにおいて、RAC 群の冷房空間は拡大し、CAC 群は拡大しない。しかし、CAC 群でもフロア別に 1 階のみ冷房していれば、居室や廊下などの冷房空間が 2 倍（1、2 階）に拡大する可能性がある。

そこで、冷房空間の広さを評価する指標として、時刻別の冷房同時利用台数を定義した。冷房同時利用台数は、盛夏期 8 月のある時刻に同時に稼働するエアコンの世帯合計台数実測値から、全世帯平均として求めた。典型的には RAC 群の邸別エアコン設置合計台数は 4～6 台、CAC 群はフロア別の 2 系統の最大 2 台である。本検討で扱うセントラル空調はフロア別に独立して発停できるため、冷房同時利用台数は 0～2 の値をとる。一部、平屋建て（1 系統: 0～1）、三階建（3 系統: 0～3）を含む。

第 2 章で示したように、世帯別にみると月積算冷房デGREEアワーと月積算冷房消費電量の相関は高く、年次をまたいで冷房の使い方は固定的であった。ここでは時刻別での冷房の使い方を分析する。図 3-6 に RAC 群と CAC 群の 4 か年 8 月の時刻別冷房同時利用台数を示す。図中に曲線で示す冷房同時利用台数の平均値は、4 か年とも夜 22 時において最大となった。最小となるのは、4 か年とも共通して日中の午前 10 時前後であった。RAC 群全世帯 8 月平均外気温度は 2017 年が 27.8℃、2018 年が 29.0℃、2019 年が 28.6℃、そして 2020 年が 29.7℃であった。2020 年 8 月は就寝時間帯を含むすべての時刻で冷房停止割合（0 台）が低く、冷房空間が拡大している。就寝時間帯は新型コロナウイルスに影響を受けた行動変容は少ないものと想定され、夏の暑さ要因が冷房同時利用台数を押し上げたと考えられる。翌朝にかけ緩やかに停止する傾向がみられるが、これはエアコンのタイマー機能の自動停止か居住者自身の停止による。1 日の生活サイクルで考えると、RAC 群では一般的な就寝時間帯といえる 0 時から 7 時においても 4 か年とも冷房を使っていることがわかり、冷房しながら就寝する生活習慣が根付いていると言える。

日中の時間帯は、2020 年 8 月は第 2 章に示したようにコロナ禍をうけた暮らしの行動変容により RAC87 世帯、CAC21 世帯が例年に比較して日中不在率が低かった。その結果、これらの世帯では冷房消費電力量が増加したが、全 1339 世帯のうちわずか 8%である。図 3-6 をみると、日中の平均冷房同時利用台数は夏の暑さの程度に明確に対応していることから、日中の時間帯における冷房空間の拡大は、暮らしの行動変容よりもむしろ夏の暑さ要因によると解釈できる。

CAC 群は RAC 群とは異なり、「2 台（系統）運転」が過半を占め、時刻別に発停が穏やかなことから、多くの世帯でフロア全体、あるいは全館を連続的に冷房していることが確認できる。4 か年とも、半数以上が 2 系統の運転、つまり全館連続冷房であるにもかかわらず、夏の暑さに影響を受けてわずかに冷房同時利用台数は変動した。2020 年 8 月は就寝時間帯、日中の時間帯を含むすべての時刻で冷房停止割合が低く冷房空間が拡大しているが、RAC 群と同様に夏の暑さが原因のように見受けられる。本検討からは明確には読み取れないものの、コロナ禍を受けた冷房の使い方の行動変容は一部世帯のみであり、冷房同時利用台数には大きな影響を及ぼしていない。CAC 群全世帯の 8 月平均外気温度は 2017 年が 27.6℃、2018 年が 28.9℃、2019 年が 28.6℃、そして 2020 年が 29.6℃であった。

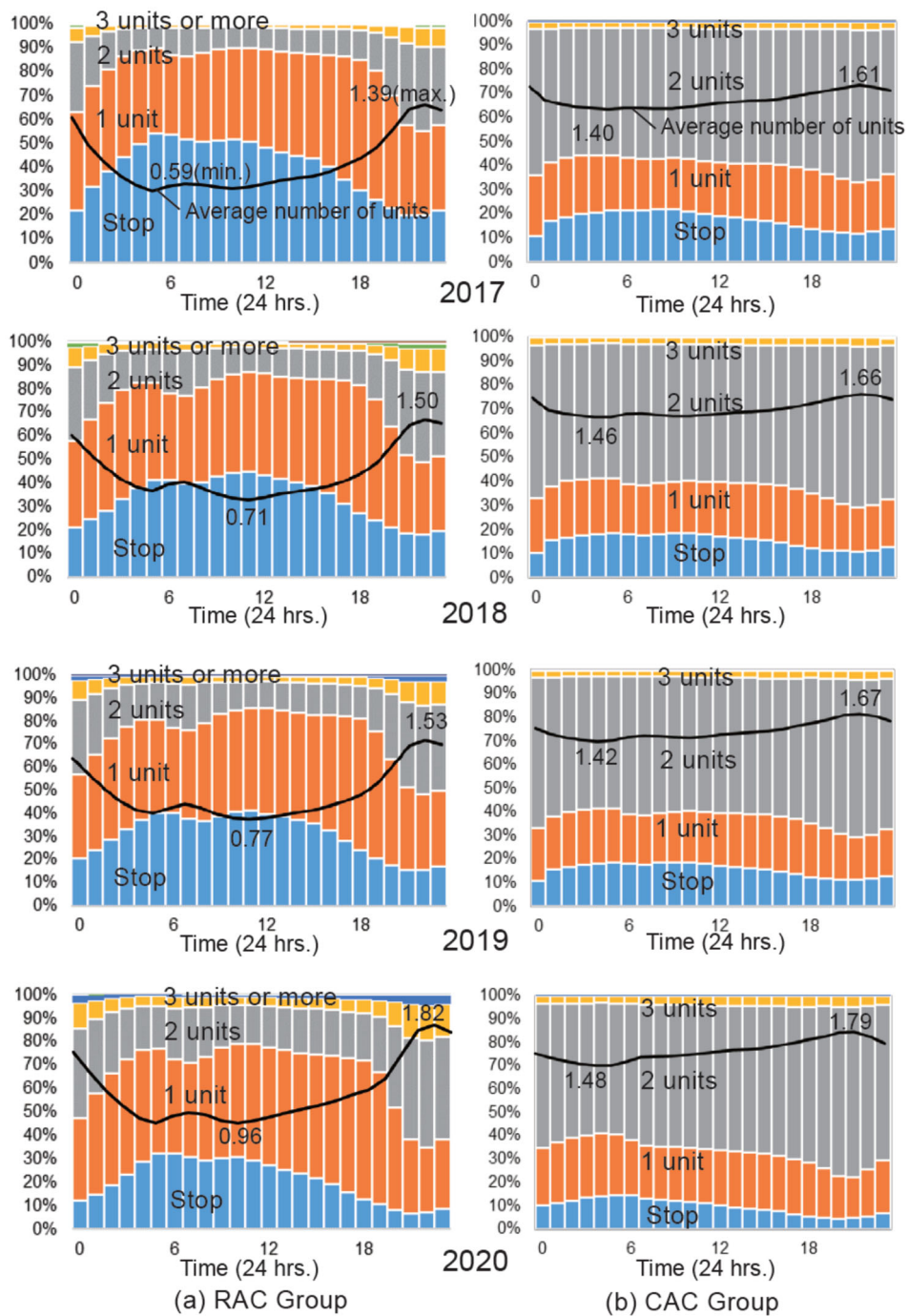


図 3-6. 時刻別の冷房同時利用台数（全世帯平均、8月）

図 3-7 は RAC 群、CAC 群の 8 月外気温度階級別の冷房同時利用台数ごとに利用時間を積算した度数分布（世帯平均値）である。縦軸は各運転台数時における月あたり時間数、横軸は外気温度階級である。つまり、図が右に分布するほど暑く、上に分布するほど冷房空間の拡大を示している。ここで、例えば 4 か年 8 月の外気温度 30°C を比較すると、円グラフで示すように RAC 群の全冷房停止割合は、年により 38%、29%、25%、17% と大きく異なる。

羽原ら³⁻⁴⁾は、同じ外気温度であっても、生活時間帯によって暖冷房の利用有無が異なり、居住者の暖冷房設備のオン操作は室内温度に依存するが、オフ操作は外気温度に依存せず、世帯毎に異なる節約行動に起因すると結論づけた。図 3-6, 3-7 はこれに合致する結果であり、夏の暑さが厳しければ、①居住者の温熱的不快によりオン動作の機会が増えるため、同じ外気温度であっても、暑い夏ほど冷房の利用率が増え、冷房同時利用台数も増えた。一方で、②オフ動作は外気温度に依存せず、世帯毎に異なる節約行動に起因する、と解釈できる。この意思決定①②は居住空間に設置されたエアコン台数分、つまり複数台数について同時並行で実施されるため、図 3-6 に示す時刻別の同時利用台数が増加する。熱的不快の許容域と節約行動は居住者毎に異なるが年次をまたいで急激な変化はしづらく、冷房の使い方を世帯毎に固定的にするものと考えられる。

CAC 群はすべての外気温度階級において RAC 群より全冷房停止時間が短く、冷房運転時間が長い。外気温度 30°C における全冷房停止割合は、年により 16%、13%、11%、8% と RAC 群に比べて半分程度と小さいが、年次での変動は RAC 群と同様である。つまり、冷房発停頻度が小さいセントラル空調方式であっても冷房の使い方は夏の暑さの影響を受けることが分かる。

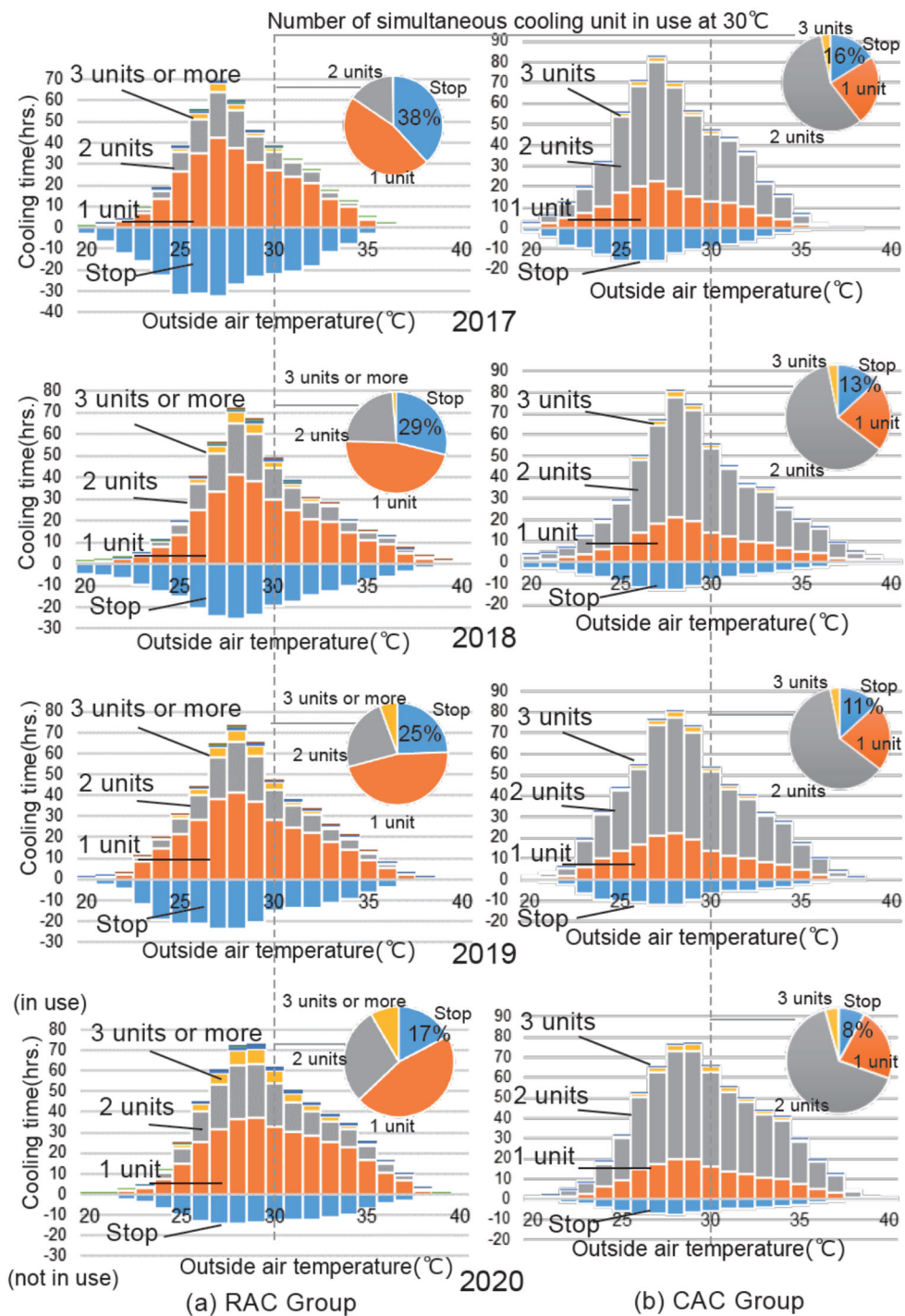


図 3-7. 外気温度階級別の冷房同時利用台数（全世帯平均、8月）

3-3-3 世帯別冷房消費電力量の短期的予測の提案

第2章「世帯別冷房消費電力量」に示したとおり「月別」「世帯別」で分析すると、本研究で調査対象とした全1339世帯の68%において以下の冷房消費電力量の予測式が成り立つ（傾き a の危険率5%）。

$$y = a * x \quad (3-1)$$

ここで、 y ：月積算冷房消費電力量（kWh/月）

x ：月積算冷房デグリーアワー（度・時/月）

a ：世帯別冷房需要係数（kWh/度・時）

係数 a は、冷房需要を総合的に表現する世帯毎に固有の数値といえる。住宅外皮性能（開口部 η 値・気密・断熱）、間取り、冷房方式（RAC、CAC）などの固定的な要因と、在・不在、冷房利用頻度・設定温度・時間帯、冷房空間（居室）などの居住者自身が決定する変動的な要因を内包している。後者は家族の生活にもとづく複雑な意思決定プロセスによるが、本研究で対象とした全1339世帯の68%では居住者が意識的、あるいは無意識に選択した冷房の使い方が4か年をまたいで再現性があり、予測式が成り立った。そこに、新型コロナウイルス感染症対策という偶発的な社会的要因が加わり、2020年8月は帰省・旅行を自粛して「在宅する」暮らし方に変化し、一時的に係数 a を大きくした。

図3-8にRAC群の世帯Bの月積算冷房消費電力量実測値（4か年）を示す。今回のように加わった社会的要因の圧力が増加要因であれば世帯Bの冷房需要の固有の値である傾き a_0 は大きくなる。逆に節電要請に応じ冷房設定温度を緩和するような減少要因であれば、冷房期間全体において傾き a_0 は小さくなる。一過性の要因であれば例年の傾き a_0 に戻るが、一部の影響が当該世帯に定着することもあると考えられる。さらに、社会的要因とは別に、家族構成の変化など世帯毎の暮らしは中長期的に見れば不変ではないため、ある程度の期間で変化し続けると推察される。

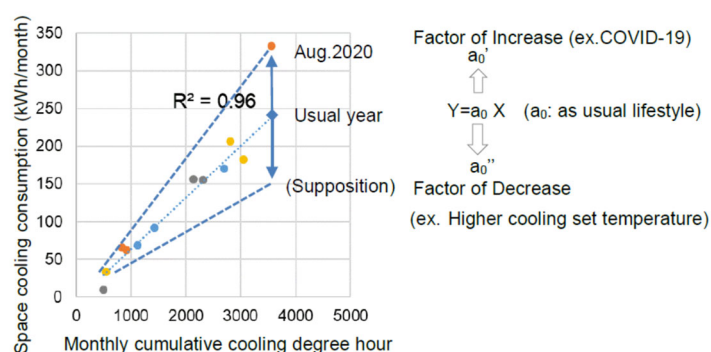


図3-8. 月積算冷房デグリーアワーと月積算冷房消費電力量の関係（世帯Bを例示）

このように、中長期的な内的要因を別とすれば、世帯別の月積算消費電力量は次のロジックで算出可能である。図 3-9 は第 2 章からの再掲であるが、4 年間の消費電力量実測値から世帯別の冷房消費電力量予測式が得られる。最低でもひと夏（7, 8, 9 月）の冷房消費電力量実測値が必要である。図 3-10 に冷房消費電力量の予測手法を示す。図 3-11 に予測手法のフローチャートを示す。

- ①A 邸の回帰式を求める。
- ②気象庁の過去データから A 邸の建設地における過去 10 年間の 8 月のデグリーアワーを算出し、平年値（2800）と分布（1500-4200）を得る。
- ③外部データとして夏の暑さの長期予報は現在も入手が可能である。A 邸の建設地の次の夏（8 月）が平年値と比較してどの程度の暑さとなるのかが把握できると、上記①②から月積算冷房消費電力量の予測値を得られる。あるいは、建設地のデグリーアワーを直接的に長期予報で得られる技術革新があれば、さらに精度良く世帯別の月積算消費電力量を予測できる。

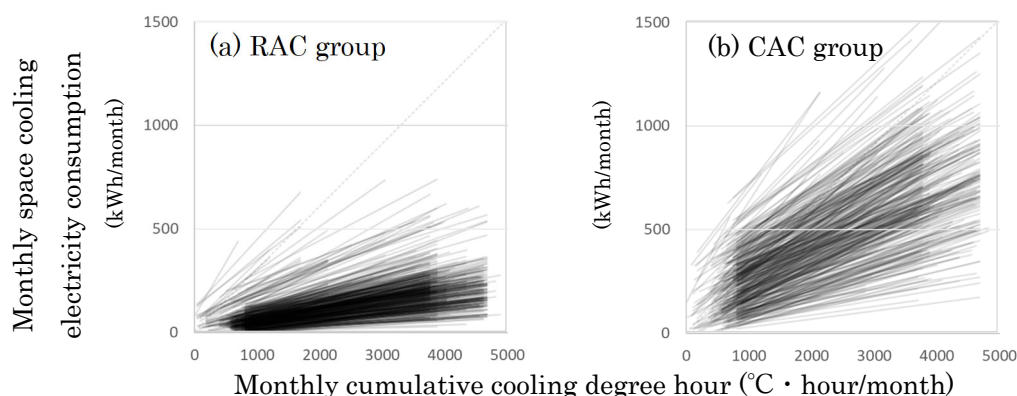


図 3-9. 月積算冷房消費電力量の回帰曲線（第 2 章から再掲）



図 3-10. 冷房消費電力量の予測ロジック

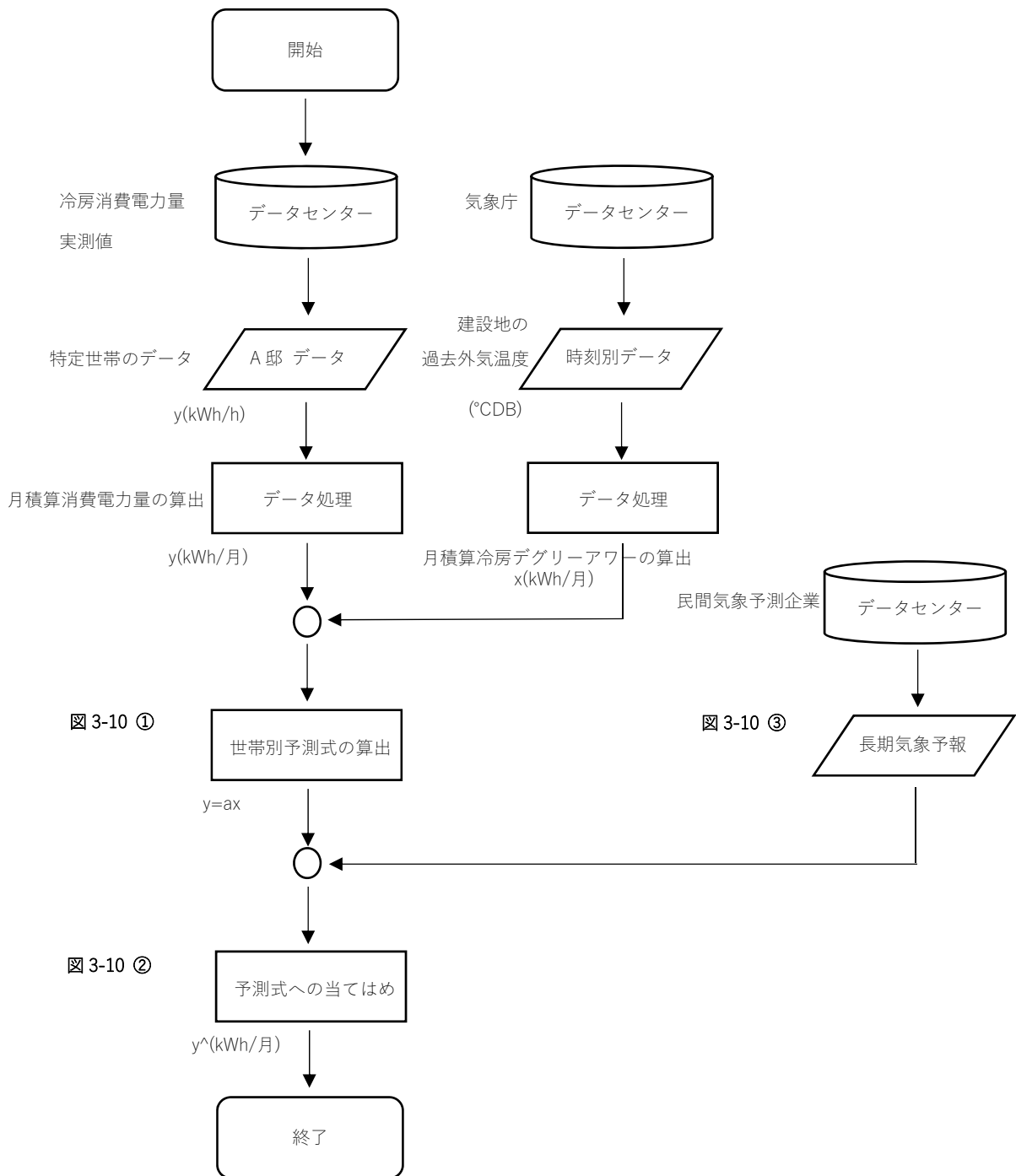


図 3-11. 冷房消費電力量予測のフローチャート

3-3-4 月積算暖房利用時間と月積算暖房消費電力量の関係

前節の冷房の使い方と同様に、暖房の使い方についても同様の手法と評価指標で分析した。暖房利用頻度を表現する指標として、月積算暖房利用時間を宅内全エアコンの月当たり使用時間の合計値として用いる。なお、本研究ではルームエアコン以外の暖房器具（ガスファンヒーターや温水式床暖房）と補助暖房（オイルヒーター等）は使用実態を把握していないため、検討の対象外とした。

図 3-12 は RAC 群全世帯 4 か年 12~2 月の月積算暖房利用時間と月積算暖房消費電力量の散布図である。両者には強い相関があり（相関係数 $r=0.74$ ）、暖房利用頻度が高いと消費電力量も増える事実を端的に示している。暖房利用頻度の増加は、各部屋の暖房時間の延長か、エアコン複数利用による暖房空間の拡大か、その両方でもたらされる。

図 3-13 は CAC 群全世帯の散布図である。RAC 群と同様に強い相関がある（相関係数 $r=0.74$ ）。図中の月積算暖房利用時間が約 1500（時間/月）で壁のようになっているのは冷房と同様に、1、2 階の 2 系統すべてのセントラル空調を 24 時間、31 日間連続運転したことによるものである。1500（時間/月）超の暖房利用時間の多いプロットは、住宅規模に応じて 3 系統のセントラル空調が導入されているか、あるいはセントラル空調にルームエアコンを併用している世帯である。

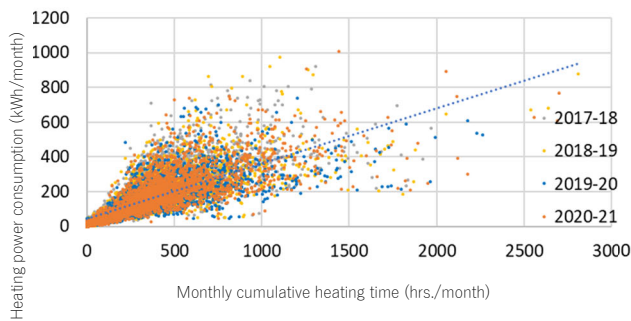


図 3-12. 月積算暖房デGREEアワーと暖房消費電力量
(RAC 群、4 か年)

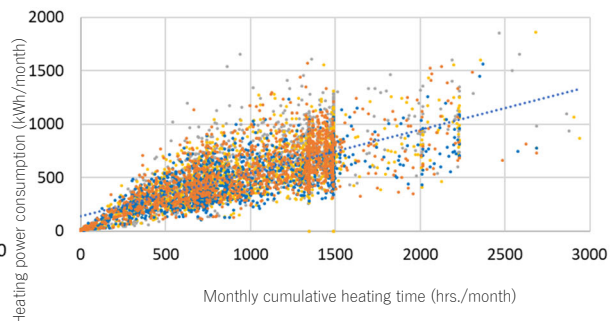


図 3-13. 月積算暖房デGREEアワーと暖房消費電力量
(CAC 群、4 か年)

1) 暖房同時利用台数と時刻の関係

居室毎に壁掛けエアコンを設置する RAC 群は在室時のみ暖房運転する個別間歇暖房の特徴として、一般的には冷房と同様に暮らし方の変化により暖房空間が部屋数単位で増減しやすいと推測された。対照的に CAC 群は全館連続に近い暖房運転により優れた快適性を実現するため、暖房空間は暮らし方変化に伴う影響を受けづらいと推測された。

そこで、暖房空間の広さを評価する指標として、時刻別の全世帯平均暖房同時利用台数を、厳冬期 1 月のある時刻に同時に稼働するエアコンの合計台数実測値から求めた。典型的には RAC 群の邸別エアコン設置合計台数は 4~6 台、CAC 群はフロア別の 2 系統の最大 2 台

である。本検討で扱うセントラル空調はフロア別に独立して発停できるため、暖房同時利用台数は0～2の値をとる。一部、平屋建て（1系統:0～1）、三階建（3系統:0～3）を含む。

図3-14にRAC群とCAC群の4か年1月の時刻別暖房同時利用台数を示す。図中に示す曲線は暖房同時利用台数の平均値であり、RAC群では4か年とも夜21時において最大となった。最小の暖房同時利用台数は、深夜3時であった。0～5時の暖房同時利用台数は0.3～0.4台と小さく、就寝中冷房が生活習慣として定着していた半面、冬期は暖房を停止して就寝していた。住宅外皮の高断熱化が寄与しているものと推察される。2020年1月は例年に比べて暖冬であったが、それ以外の3か年で明確な差異は無く、新型コロナウイルス感染症対策に影響を受けた2021年1月に行動変容の可能性のある日中の時間帯においても同時利用台数の全世帯平均値からは時刻別の暖房空間の拡大は確認できなかった。

CAC群はRAC群とは異なり、「2台（系統）運転」が過半を占め、時刻別に発停が穏やかなことから、多くの世帯でフロア全体、あるいは全館連続的な暖房を確認した。連続暖房の世帯に在宅勤務が加わったとしても内部負荷がわずかに増加するだけで、暖房消費電力量に大きな影響はないものと考えられる。RAC群と同様に暖冬の2020年1月を除く3か年に明らかな差異はみられなかった。

2) 暖房同時利用台数と外気温度の関係

図3-15はRAC群、CAC群の1月外気温度階級別の暖房同時利用台数ごとに利用時間を積算した度数分布（世帯平均）である。縦軸は各運転台数時における月あたり時間数、横軸は外気温度階級を示す。2020年1月は暖冬のため図が右に分布し、暖房空間が小さいため下に分布している。ここで、例えば4か年1月の外気温度5℃を比較すると、円グラフで示すようにRAC群の全暖房停止割合は、年により51%、50%、53%、49%とわずかに異なり、同じ外気温度であっても暖冬の2020年1月に暖房の利用率が低く、暖房同時利用台数も少ない傾向がある。これは前述の「同じ外気温度であっても暑い夏ほど冷房の利用率が増加」に対をなす結果である。

なお、CAC群はすべての外気温度階級においてRAC群より全暖房停止時間が短く、暖房運転時間はいずれの年も長い。CAC群の4か年で比較すると、例外的に2021年1月は冬の寒さの程度に対して円グラフに示す外気温5℃の全暖房停止割合がわずかに高いが、これが暮らし方の変化によるものかは、本調査で得たデータからは不明であった。

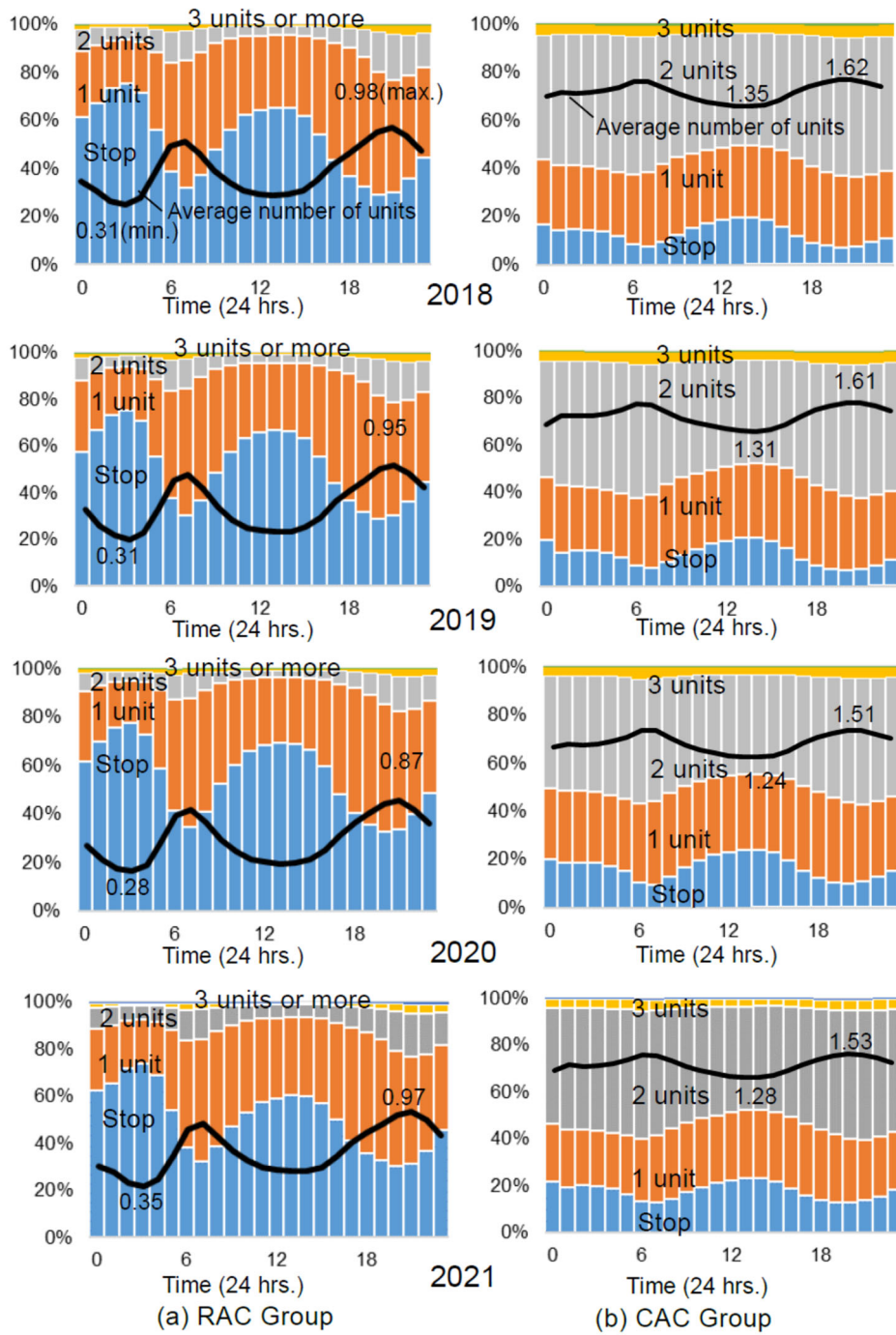


図 3-14. 時刻別の暖房同時利用台数（全世帯平均、1月）

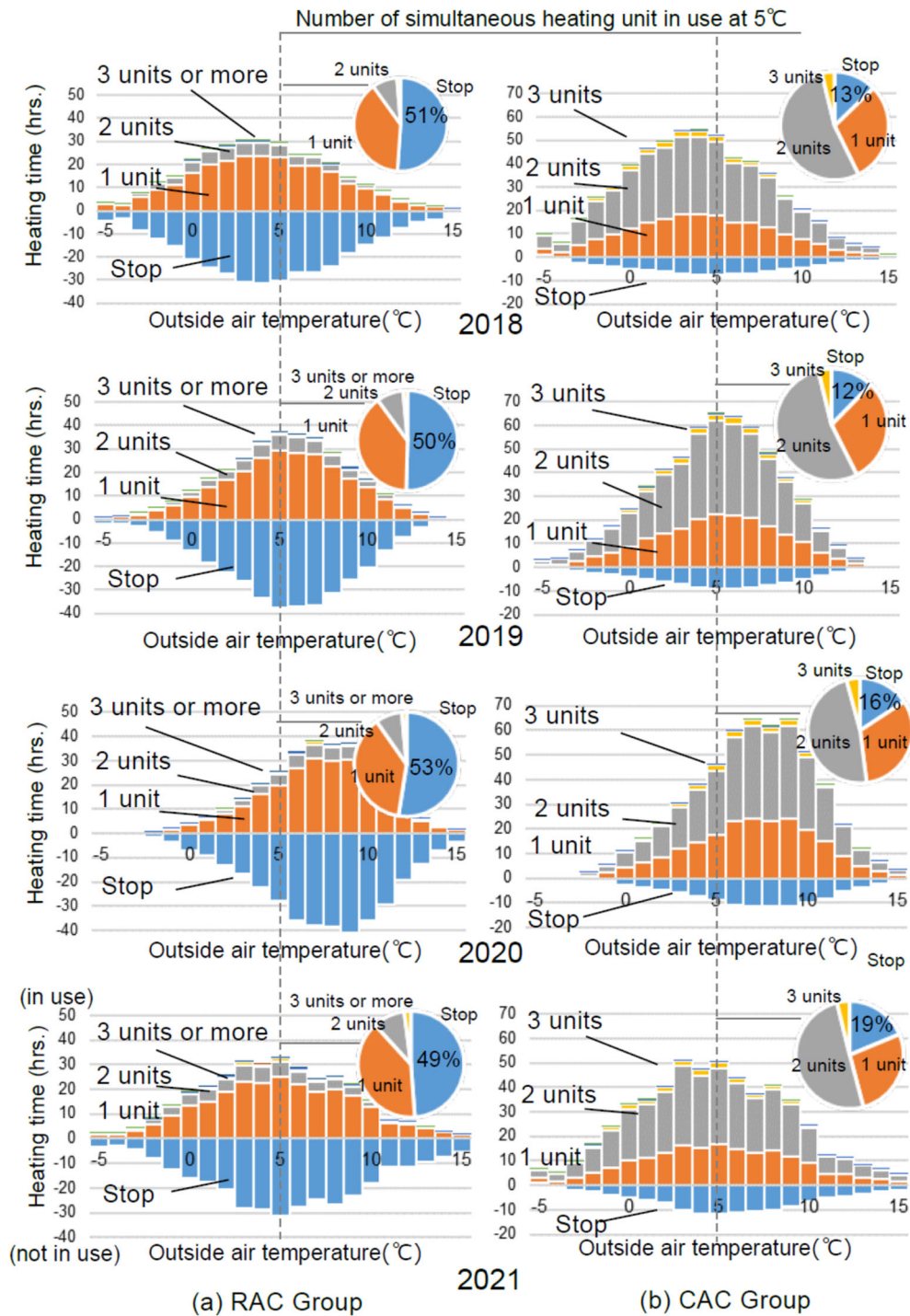


図 3-15. 外気温階級別の暖房同時利用台数 (全世界平均、1月)

3-4 暖冷房の使い方の変動要因

3-4-1 既存住宅の暖冷房空間・時間に影響を及ぼす行動変容

前節で暖冷房空間の拡大と暖冷房時間の延長が、暖冷房消費電力量を増加させることを示した。住宅建設地の夏の暑さ、冬の寒さの厳しさが、既存住宅の暖冷房空間の拡大と暖冷房時間の延長をもたらすと言える。暮らしの行動変容の観点から、暖冷房空間の拡大（縮小）と暖冷房時間の延長（短縮）を伴う暮らしの行動変容が存在すれば、同様に暖冷房消費電力量を増減する。第2章でコロナ禍を契機に在宅勤務が一部の世帯に定着すると、暖冷房を除く宅内消費電力量の明確な増加が示されたが、暖冷房消費電力量への潜在的な影響が推察されたものの、定量化できなかつた。理由は、在宅勤務者の他に元から居住者が在宅しているのかが不明であり、暖冷房空間・時間の拡大を特定できなかつたためである。さらに、コロナ禍で2020年8月に例年よりも不在時間が減少して冷房消費電力量の増加を認めた87世帯も、半年後の2021年1月には暖房消費電力量の増加は無く、暮らしの行動変容として定着しなかつた。本研究では在宅勤務の他に暖冷房空間・時間に影響を及ぼす行動変容は抽出できていないが、不在時間が減少したり、在宅人数が増える暮らしの行動変容が定着すれば、暖冷房消費電力量にも影響を与える。よって、コロナ禍で2020年8月の冷房消費電力量の一時的な増加を認めたRAC群の87世帯を事例として、冷房空間の拡大・冷房時間の延長と冷房消費電力量の関係を明らかにする。

図3-16はRAC群87世帯の時刻別エアコン同時利用台数である。2020年8月のエアコン同時利用台数は過去3か年よりも一日を通して多いように見受けられるが、夏の暑さの程度を分離できていない。時刻別エアコン同時利用台数の月間の合計値は、月積算冷房利用時間である。そこで、図3-17に横軸に月積算冷房消費電力量実測値の予測値からの増加率、縦軸に月積算冷房時間の例年比率をとり、2020年8月に例年比で夏の暑さの程度を考慮したうえで冷房消費電力量の増加を認めなかつた456世帯と、増加を認めた87世帯をプロットする。冷房増加87世帯は456世帯よりも全体に右上に分布しており、2群の重心からも明らかである。スチューデントのt検定により、X、Yともに二群の平均値は異なつた（危険率<0.1%）。よって、冷房増加87世帯は、増加したとはいえない456世帯よりも冷房空間の拡大か、冷房時間の延長、またはその両方がもたらされた結果、冷房消費電力量が増加した。

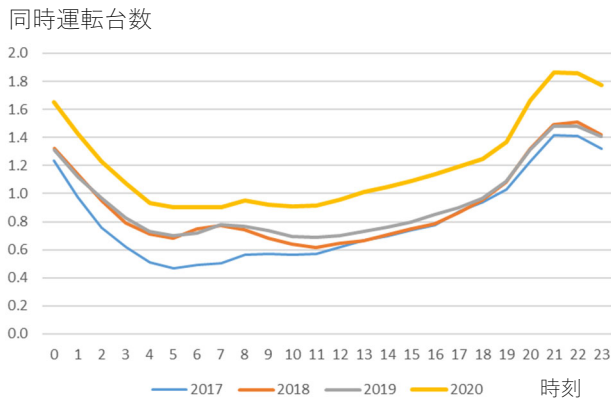


図 3-16. エアコン同時利用台数の時刻推移
(RAC 群 87 世帯、4 年 8 月の平均値)

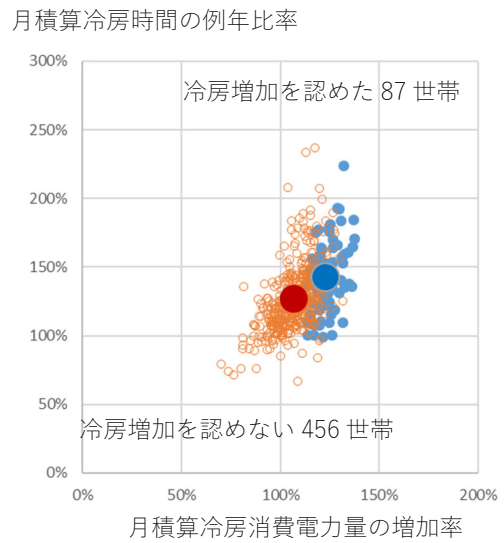


図 3-17. 月積算冷房消費電力量の増加率
と月積算冷房時間の例年比率

第 2 章で得られた知見に本章での検討結果を加えて、図 3-18 に冷房消費電力量の主な増加要因を示す。①夏の暑さの厳しさ、②冷房空間・時間を拡大する行動変容、およびその他の要因に整理することができる。②はコロナ禍のステイホームや在宅勤務であり、在宅・在室スケジュールの変更を伴う行動変容が冷房消費電力量に影響を及ぼすものと考えられる。

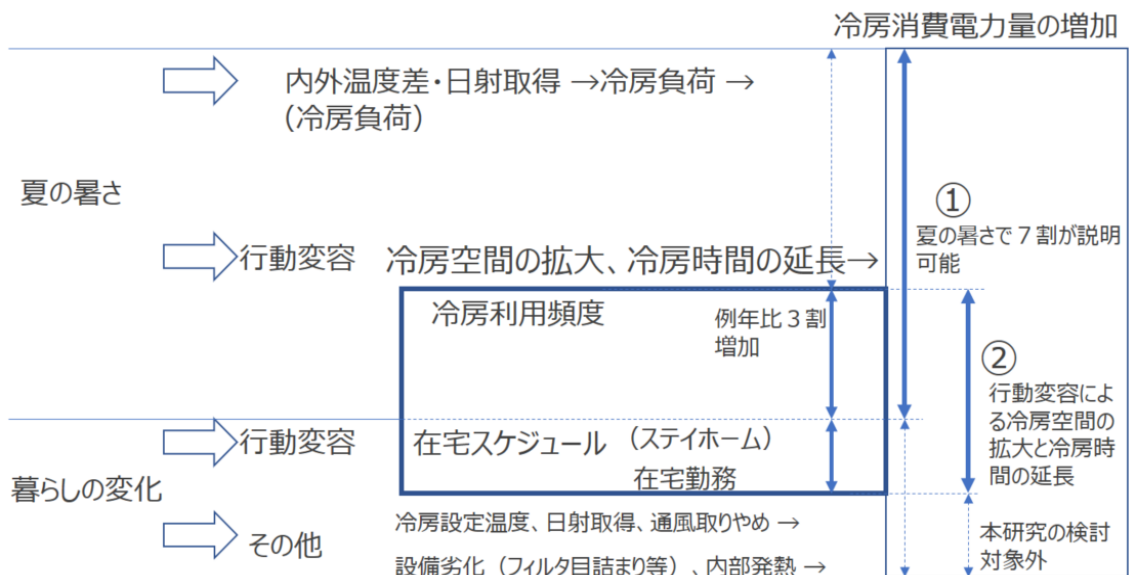


図 3-18. 冷房消費電力量の例年比増加要因 (イメージ)

3-4-2 今後の新築戸建住宅における暖冷房消費電力への影響要因

これまでの検討で、住宅計画時に暖冷房方式が決定されて入居後に居住者の暖冷房の使い方が一旦定まると、それ以降の居住段階において大きな暖冷房の使い方の変化が少ないことが分かった。一方で今後の「新築」戸建住宅と居住者像であれば、従来の暖冷房の使い方と異なる可能性がある。暖冷房の使い方は、住宅外皮性能と間取り、暖冷房設備が計画段階に確定し、入居時に居住者の意思決定が加わると年次で再現性をもって繰り返され、以降は中期的な居住人数変化などの内的要因を別とすれば暮らしにおいて大きな変動が無い。よって、新築住宅計画時とリフォーム計画時が戸建住宅の暖冷房の低炭素化を推進する数少ない好機である。例えば既往の研究³⁻⁶⁾が示すように、新築住宅計画時にセントラル空調の選択肢が広がったのは、求める熱的快適性と経済性が均衡するようになってきたためである。経済性が許せば全館連続暖冷房を理想とする居住者は多く、住宅外皮高性能化による暖冷房電気代削減とイニシャルコストが低減がすすめば、今後、世帯収入によらずセントラル空調が新築住宅へ積極導入される可能性がある。逆の想定として、電気代高騰が定着すると、節約志向が強まりルームエアコンをより多く選択する可能性もある。そこで、暖冷房空間の拡大、暖冷房時間の延長に影響を及ぼす要因を以下に列挙する。現時点ではいずれも想定にすぎないが、将来的に暮らしの行動変容を引き起こす要因として確実になれば、後述する第5章の予測モデルへの組み込みは可能である。

現在の既存住宅と比較し、今後の新築住宅の暖冷房消費電力量の減少が予想される要因は、以下が挙げられる。

- ・住宅外皮性能の高断熱化：2022年10月に国が誘導する高断熱基準として等級7が施行された。気密や防露性能もあわせて引き上げられる。外皮高性能化により暖房負荷は半減が見込まれる。ただし、誘導的高性能基準の普及には20年単位が必要であり、徐々に置き換わってゆくものと考えられる。
- ・日射遮蔽、通風換気の定着：考え方の普及により、冷房消費電力量は削減できる。
- ・温暖化による暖房期間の短縮：

現在の既存住宅と比較し、今後の新築住宅の暖冷房消費電力量の増加が予想される要因は、以下が挙げられる。

- ・暖冷房方式：温暖地域における新築戸建向けの暖冷房方式は、現在の主流であるルームエアコンによる個別間歇空調に対し、セントラル空調による全館連続暖冷房が拡大する。特に大手住宅ビルダー・工務店による市販ルームエアコンを流用した簡易セントラル空調の普及の兆しがある。
- ・地球温暖化による外気温変動：夏の暑さの厳しさとともに冷房期間が長期化すると、冷房消費電力量は世帯別に直線的に増加する。
- ・世代の価値観：2030年にはZ世代が住宅一次購入のメインターゲットになる。ルーム

エアコンが普及し、住宅性能も一定レベルが担保された時代に生まれた世帯のため、自宅での熱的不快環境の経験が少ないため、地球環境を意識したエシカルな消費を好む一方で、快適な温熱環境を志向する。

- ・更なる快適の追求（湿度コントロール）：ヒートポンプサイクルの高効率化の結果、室内湿度は成り行きとなった。例えば梅雨時に、冷房負荷は小さいが降雨で高湿度となる環境下でサーモオフして除湿量が不足し、室内が高湿度な不快環境となる。盛夏期も同様に、住宅外皮性能（日射遮蔽を含む）の向上により冷房負荷が小さくなり、除湿量が不足する。従来技術の再熱除湿は大幅な増エネとなる。冬期、高性能な住宅では、宅内空間が一様に温度上昇することから相対湿度が低下し、乾燥感を招く。これらの課題は簡易的にはポータブル除湿器、加湿器の導入で一部は解決可能であるが、下表のように住宅組み込み型のデシカント換気システムの場合は、デシカント再生に追加的なエネルギーが必要になるため冷房と合計してエネルギー消費は増加する。

表 3-1. 戸建住宅向けデシカント換気システム一覧（国内製品）

メーカー	大阪ガス (長府製作所)	ダイキン	ダイキン	長府製作所	東プレ
製品名 姿図	エアキュア  天井裏隠ぺい型	デシカ ホームエア  床置き型	Saravia  天井裏隠ぺい型	デシカント 換気システム  床置き型	デシトップ マルチベント  床置き型
発売	2006～2017終息	2012～	2022～	2019～	2021～
除加湿	除湿タイプor 加湿タイプ	除加湿	除加湿	除湿のみ	除加湿
デシカント 再生の熱源	ガス給湯器 (都市ガス)	ヒートポンプ (電気)	ヒートポンプ (電気)	ヒートポンプ (電気)	ヒートポンプ (電気)

また、現在の既存住宅と比較し、当面は今後の新築住宅の暖冷房消費電力量に影響を及ぼさない要因は、以下が挙げられる。

- ・機器効率：ヒートポンプサイクルの抜本的効率向上は見込まれないため
- ・電力単価：電力単価の高騰（燃料調整費、再エネ賦課金、託送料金）は限定的
- ・住宅の間取り：現在の主流を占めるLDK+個室型から特に変化が無いものと予測。新築戸建住宅の延べ面積は直近20年間で1割ほどの縮小がみられたが、この傾向も落ち着きはじめている。

以上のように、今後の新築住宅においては2035年時点での増加要因が多く、唯一の減少要因である住宅外皮性能向上とセットでなければ、暖冷房消費電力量は増加する懸念がある。外皮高断熱化は、脱炭素社会を目指すため民生部門で重要な施策になる。

3-4-3 暖冷房の使い方の多様性

本章では暖冷房の使い方として、実測データから得られた暖冷房消費電力量 1 時間値から算出した利用時間と台数（居室数）を評価指標として用いた。類似した外皮性能、延べ面積、暖冷房システムの住宅でも、実際に訪問して居住者にインタビューすると、暖冷房の使い方には想定以上の多様性があることが経験的に分かっている。この多様性は世帯別の暖冷房消費電力量の変動要因になりうるが、本研究では情報が得られていないことに加え、多数世帯での一律の取り扱いには限界があるため、以下に変動要因を事例として整理する。

①夏期の日射遮蔽：設計段階での配慮が不足していることが多い。原因は様々だが、予算不足、建物外観の意匠、開口の向き、住宅営業担当者・設計者の知識の欠如などである。結果として、軒・庇の長さが短く、開口部からの夏期日射取得により熱的不快だけでなく冷房負荷が増加する。そのような住まいでは、居住者の入居後の工夫により、屋外シェードやよしずなどの後付けが有効だが、居住者自身では問題に気づくことができず、潜在的に冷房の効きづらさや消費電力量増加を引き起こすことが想定される。

②暖冷房設定温度：各世帯、居住者毎、あるいは暖冷房期間のなかでも差異があるため、暖冷房消費電力量が増減する。暖房設定温度は 17°CDB～25°CDB、冷房設定温度は 22°CDB～30°CDB の範囲を確認している。省エネルギーのため暖冷房設定温度を緩和する世帯では、冷房であれば扇風機との組み合わせなどで暮らしの工夫が見られた。リビング等の共有空間において、暖冷房設定温度の決定権者は熱的に快適であっても、それ以外の家族が衣服で調整を強いられているケースがあった。

③24 時間換気システムの使い方とメンテナンス：24 時間換気による外気負荷は内外温度差の大きい暖房期に暖房消費電力量を決定する重要な要素になる。極端な事例だが、ダクト式 1 種熱交換換気システムが導入されているにも関わらず、普段から目につきやすいレンジフードが 24 時間換気システムであると誤解して常時運転していた世帯があった。このような世帯では、暖房消費電力量の増加があったものと推察される。またフィルターメンテナンスを怠ると、外気導入量が減少し暖房負荷は減少するが本来の目的である室内空気質を適切に保つことができない。

③寒さを感じやすい間取り：リビングアクセス階段、上階に開放された吹き抜けは鉛直方向に空気が対流するため、1 階の在室者には冷気のドラフトによる不快感を感じやすい傾向がある。設計時の対策としては、上下階の空間を簡易的な内部建具で仕切ることが有効である。入居後の対策は難しいが、居住者自身で階段室に簡易的なエアカーテンを設ける事例などがある。

④節約行動による暖冷房運転時間の短縮：若干の熱的快適性を犠牲にし、暖冷房 ON 動作を控えたり、OFF 動作を早めを実施する事例がみられた。

⑤補助暖房器具との組み合わせ：ルームエアコンやセントラル空調などの主たる暖冷房設備に加え、脱衣室などに局所的に補助暖房器具を導入する事例があった。

3-5 小括

本章における研究の独自性は、多数世帯の長期間かつホーム分電盤回路レベルの高精細な電力データをもとに、外気温データを組み合わせて暖冷房空間・暖冷房時間の拡大と行動変容の関係を明らかにした点にある。

冷房消費電力量の増加は、月積算冷房利用時間を指標として分析すると、冷房空間の拡大か、冷房時間の延長でもたらされた。冷房空間・冷房時間に影響を及ぼす最も明確な要素は、夏の暑さの程度である。夏の暑さの厳しさに対しては世帯平均として冷房使い方の変化（冷房空間・時間の増加）と消費電力量の相関が示された。これは冷房方式の違い（ルームエアコン、セントラル空調）には関係がなく、夏の暑さが厳しい年次には、冷房空間の拡大、冷房時間の延長がもたらされ、結果として冷房消費電力量が増加した。一方で、冷房の使い方の行動変容については、1339世帯4か年の冷房消費電力量を1時間単位で分析した結果、本研究で対象とする既存戸建住宅の8割においては、冷房の使い方は世帯毎に特徴が固定的であり、行動変容が発生しづらいことが判明した。新型コロナウイルス感染症蔓延下で在宅がちな暮らし方となった2020年8月でさえ冷房消費電力量の増加は2割未満の世帯に留まり、当初は冷房の使い方に大きな影響を及ぼすと推察したコロナ禍のような偶発的な外的要因でさえ、その影響は限定的であった。冷房空間の拡大と冷房時間の延長は、日中の不在時間の減少か在宅人数の増加によってもたらされるが、そのような具体的な暮らしの行動変容を特定するには至らなかった。

同様に暖房の使い方も冬の寒さの程度が暖房空間の拡大と暖房時間の延長をもたらした。世帯別に分析した結果、対象住宅の4割の世帯で消費電力量と月積算暖房デGREEアワーの回帰式が成立し、冷房の8割と比較して少なかった。この原因は補助暖房やガス・石油等での燃焼式暖房を本研究では把握できていないためと考えられる。温暖地域における暖房消費電力量は冷房よりも大きく、予測技術の精度向上が必要である。

本研究は既存住宅の居住段階における暮らしの行動変容に主眼を置いているが、暖冷房の使い方は新築時に概ね世帯別に固定されるため、将来の新築戸建住宅における暖冷房の使い方に影響を及ぼすと想定される要因を整理した。

加えて、外気温による世帯毎の冷房消費電力量の短期的な予測技術を導いた。

参考文献（第3章）

- 3-1)松原 斎樹、澤島 智明, 京都市近辺地域における冬期住宅居間の熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究—暖房機器使用の特徴と団らん時の起居様式—, 日本建築学会計画系論文集, 第488号, pp.75-84, 1996.10
- 3-2)金子 知世、齋藤 輝幸、久野 寛, 全館空調住宅における居住者意識と消費電力の関係, 日本建築学会学術講演梗概集 環境工学II, 2019, pp193-194, 2019.07
- 3-3)坂口 淳, 赤林 伸一, 山口 一, 新潟市に建設された住宅における室内温熱環境とエネルギー消費量に関する実測調査, 日本建築学会計画系論文集, 第543号, pp.33-39, 2001.5
- 3-4)羽原 宏美, 鳴海 大典, 下田 吉之, 水野 稔, 一般住宅を対象とした実態調査に基づく冷房発停の生起要因に関する検討, 日本建築学会計画系論文集, 第589号, pp.83-90, 2005.3
- 3-5)森 教子, 森山 正和, 漆原 慎, 住まい方と節約行動を考慮した住宅の冷暖房スケジュールの作成方法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第590号, pp.43-48, 2005.4
- 3-6)澤島 智明, 松原 斎樹, 藏澄 美仁, 暖房の仕方と暖房意識の地域差—プレハブ住宅居住者の暖房の仕方に関する研究—, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第637号, pp.241-247, 2009.3
- 3-7)澤島 智明, 松原 斎樹, 藏澄 美仁, 住まい方の季節変化と夏期の過ごしやすさに対する満足度の関係, 日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第658号, pp.1019-1025, 2010.12
- 3-8)気象庁, 日本の年平均気温偏差の経年変化(1898～2022年:速報値), https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html, WEB閲覧 2022.12
- 3-9)国土交通省、住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する調査の中間報告(第2回)
～スマートウェルネス住宅等推進事業の調査の実施状況について～
https://www.mlit.go.jp/report/press/house07_hh_000185.html

第4章 計画的社会的要因に対応した暮らしの行動変容(再エネ自家消費型住宅の推進)

4-1 背景と本章の目的

4-1-1 電力自家消費行動への道のりと本章の目的

20 世紀から 21 世紀初頭まで、住宅のエネルギー関連技術開発は省エネルギー中心であった。続く 2010 年代は創エネ技術が重要視された。太陽光固定価格買取制度（FIT）を背景に、高い売電単価をモチベーションとして戸建住宅への PV 採用が進んだためである。逆潮流が多いほど売電の収益性が高まるため、当初は再エネ自家消費は重要視されず、日中の節電あるいは売電押し上げが行動変容として重視されてきた。

太陽光 FIT 制度の買取期間満了となる発電事業者（住宅の場合は各世帯）がではじめた 2019 年 11 月以降、電力自家消費を目的とした家庭用定置型蓄電池の導入（後付）がみられるようになった。これは電力自家消費型生活を志向した暮らしの行動変容の先駆けといえる。日中の PV 再エネの余剰電力を家庭用定置型蓄電池に蓄電し、夜間に放電して電力自給率・再エネ自家消費率を向上する効果が得られる（グリーンモード運転）。経済合理性だけでなく、グリーン電力で暮らす価値観の変化や消費における公平性といった観点も垣間見られるようになった。

2023 年現在、省エネルギー・創エネルギーに加えて、再エネ自家消費技術開発の重要性が増している。新築戸建住宅への PV 搭載が当たり前となり、グリッドパリティを迎えたことから、今後は PV 創エネによる再生可能エネルギーの使いこなしが居住者の経済合理性と低炭素な暮らしを両立する方策になる。

再エネの使いこなしは戸建住宅の居住者視点でのメリットだけでなく、再エネ大量投入社会においては、戸建住宅（低圧）からの PV 再エネの逆潮流を抑制できるメリットがある。一般配送電事業者は電力需給バランスが崩れて広域停電を回避するため、例えば暖冷房需要の無い中間期の晴天日などに、PV 発電の出力制御（一時的な停止）することができるが、これは戸建住宅も例外ではない。実際に 2022 年 4 月、四国電力など大手 3 電力で初めて低圧における大規模 PV の出力抑制を実施した。逆潮流に依存した創エネから、暮らしの最小単位である世帯単位で再エネを自家消費することができれば、このような無駄は回避できる。

本章の目的は、第 2 章で抽出した在宅勤務を含め、エネルギー設備導入、EV 基礎充電の開始、住宅改修などの電力自家消費型の住まいと住まい方を志向する行動変容を対象として、再エネ自家消費への影響を定量化することである。さらにそれぞれの行動変容が同時に生じる場合の相互作用を検証する。

4-1-2 計画的・社会的要因と行動変容に関する既往研究

過去の 2008 年リーマンショックによる経済活動の落ち込みや第 2 章で述べた 2020 年 COVID-19 パンデミックは、偶発的・社会的要因として住宅のエネルギー消費に影響を及ぼした。対して計画的・社会的要因の事例として、2011 年東日本大震災時の原発停止に端を発する節電要請が挙げられる。今後の脱炭素社会に向けた電力自家消費型住宅の推進も計画的・社会的要因として位置付けることができる。

図 4-1 の第 4 象限における震災を含む自然災害は偶発的かつ公的な要因であるが、パス②のように社会的解釈や対策立案をもって世帯の暮らしに影響を与える。岩井ら⁴⁻¹⁾は 2011 年東日本大震災前後の長野県・山梨県・新潟県の戸建住宅のエネルギー消費量、節電対策、消費電力量削減率を把握するためにアンケート調査を実施し、複数年にわたる気温変化を考慮した電力消費量削減率を求めた。Lin ら⁴⁻²⁾は 2011 年東日本大震災前後の大阪市の集合住宅 26 棟の居住者アンケートから冷房使用の意識と実態を分析し、震災直後は高い冷房設定温度が節電に寄与したことを明らかにした。節電要請を受けて居住者が行動変容により冷房設定温度を緩和したその他の研究事例⁴⁻³⁾⁴⁻⁴⁾により、消費電力量が減少側となる社会的要因も想定される。エネルギー白書 2012⁴⁻⁵⁾は 2011 年夏期の家庭部門に一定の節電実績を認めたが、大口需要家と異なり、無数の世帯毎の暮らし方変化による詳細な節電実態は把握できていない。

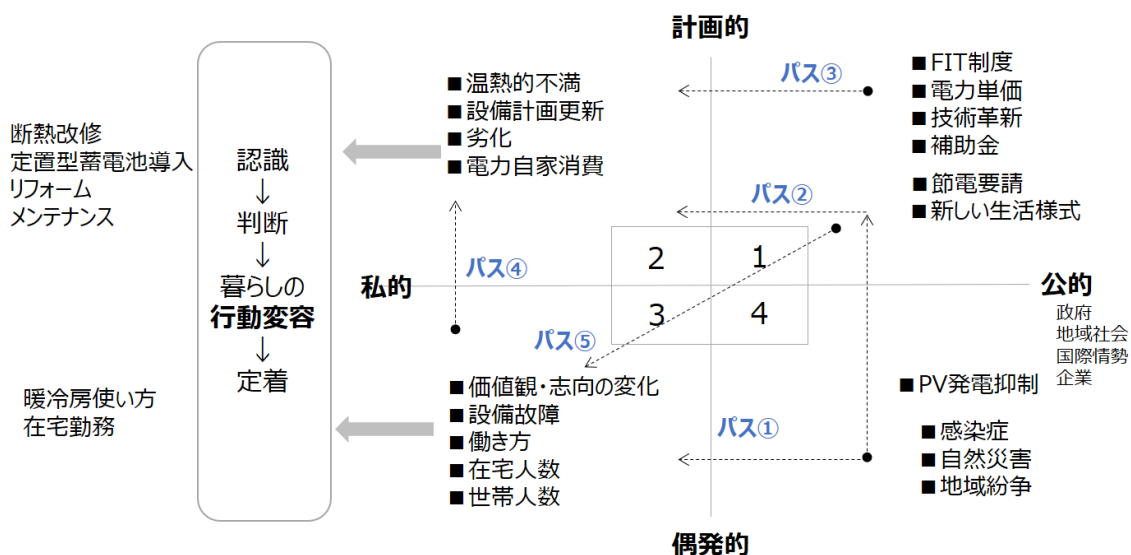


図 4-1. 暮らしの行動変容を引き起こす要因の発生場所と経路（再掲）

本章の主眼となる、再エネ自家消費の推進は脱炭素社会実現のため計画的・公的に設定された要因であり、パス③を経由して計画的・私的な要因となる。居住者がその要因を認識すると様々な暮らしの行動変容が促される。例えば、戸建住宅の屋根置き PV の太陽光 FIT 買

取期間は10年に設定されているため、入居後（発電開始）10年で買取単価は大きく下落する。居住者は売電収入が固定価格買取期間に比べ概ね1/3～1/2に減少するため、再エネ余剰電力を宅内で有効に活用する方法を模索する。

エネルギー白書2021⁴⁻⁶⁾は、2050年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップと部門毎の取り組み課題において、再生可能エネルギー（以下再エネ）の主力電源化と導入加速が示されている。家庭部門では、ZEH（ネット・ゼロエネルギー住宅）の普及のため新築住宅への太陽光発電システム（以下PV）の導入と再エネの宅内での効率的な利用が期待されている。しかし、行動変容により暮らし方が変化すると住宅の時刻別消費電力量が変動するため、再エネ利用率への影響が想定される。金⁴⁻⁷⁾⁴⁻⁸⁾らは住宅の余剰電力のオンサイト積極利用を提案し、暖冷房機器の予熱運転の効果を定量化した。さらに社会的な行動変容要請といえるデマンドレスポンスが、居住者の快適性や健康に与える影響を実験的に検証した。

戸建住宅の消費電力量分析については多くの先行研究があるが、そのうち電力自家消費に着目すると、数ケースのシミュレーションか、大量実測値のビッグデータ分析に大別される。さらに、多数世帯への行動変容の影響を試算した事例はみられない。ケーススタディの事例として、Filomenoら⁴⁻⁹⁾は、ヨーロッパの典型的な住宅数世帯の実データを用いてモデル化、エネルギー収支のシミュレーションにより、PVと蓄電池を利用して自給率を高め、消費電力や買電力の削減率を算出した。エネルギー設備の初期投資に対する費用対効果は成立しないと結論づけた。大量実測データの分析事例として、太田⁴⁻¹⁰⁾らは、日本の戸建住宅におけるHEMSデータを活用したエネルギー利用実態を分析した。5万世帯のビッグデータを分析し、電力自給率向上のため、PV大型化、大容量定置型蓄電池の導入、総消費電力量の削減を提唱した。電力自給率を最優先すれば大容量PV・大容量定置型蓄電池の組み合わせは確かに効果があるが、一方で電力系統への逆潮流が増え、再エネ自家消費率は下がる。このような住宅が新規分譲地などに多数集まれば、電力送配電インフラへの負担が発生し、系統安定化の社会的コストが増加する。

既往研究に不足していた暮らしの行動変容を反映した再エネ自家消費への影響の明確化は、本研究で整備したホーム分電盤の分岐回路毎の1時間値という詳細かつ多数世帯の電力データにより定量化が可能となる。

4-2 多数世帯の消費電力量実測データに行動変容を反映する手法

4-2-1 電力データの取得

分析対象とする住宅の世帯別電力データは HEMS 機器を通じて遠隔で収集され、個人情報と切り離された形でセキュアにデータセンター（クラウド）に保管されている。CSV ファイル×1339 世帯の 4 年間分の実測値をダウンロードし、別管理の建設地情報と ID を紐づける。同時に、建設地最寄の気象庁観測点のオープンデータから外気温を得る。邸別データファイルは表 4-1 のデータ構造であり、データ解像度は 1 時間単位である。タイムスタンプ、PV 発電量、宅内消費電力量（EV 充電を含む）、ホーム分電盤分岐回路毎の消費電力量、外気温から構成されている。ホーム分電盤分岐回路の名称はラベリングされており、暖冷房、居室名、HP 給湯器など弁別可能である。第 2 章で述べたように、2020 年 4 月以降は COVID-19 感染症蔓延対策として暮らし方が変化したので、例年値として 2019 年 4 月～2020 年 3 月のデータを抽出した。さらに、全電化住宅に着目する分析方針としたので、1339 世帯のうち、741 世帯（うち RAC444 世帯、CAC297 世帯）を扱う。

図 4-2 に日積算消費電力量と発電量、図 4-3 に消費電力量の 1 日の経時変化（実測値、A 邸、4/1 晴天日）を例示する。表 4-1 の時刻 $t=0\sim 23$ のデータに対応している。

表 4-1. 消費電力量 1 時間値のデータ構造（1 世帯 1 年間）

time stamps	時刻	買電量	PV 発電量				宅内消費量（最大36回路）					
		kWh/h	自家消費量	逆潮流量	EV 充電	HP 給湯	暖冷房 1	暖冷房 2	暖冷房 3	居室 1	居室 2	...
2019/04/01/00:00	t=1	a ₁	b ₁	c ₁	d ₁	e ₁	f ₁	g ₁	h ₁	i ₁	j ₁	...
2019/04/01/01:00	t=2	a ₂	b ₂	c ₂	d ₂	e ₂	f ₂	g ₂	h ₂	i ₂	j ₂	...
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
2020/03/31/22:00	t=8759	a ₈₇₅₉	b ₈₇₅₉	c ₈₇₅₉	d ₈₇₅₉	e ₈₇₅₉	f ₈₇₅₉	g ₈₇₅₉	h ₈₇₅₉	i ₈₇₅₉	j ₈₇₅₉	...
2020/03/31/23:00	t=8760	a ₈₇₆₀	b ₈₇₆₀	c ₈₇₆₀	d ₈₇₆₀	e ₈₇₆₀	f ₈₇₆₀	g ₈₇₆₀	h ₈₇₆₀	i ₈₇₆₀	j ₈₇₆₀	...

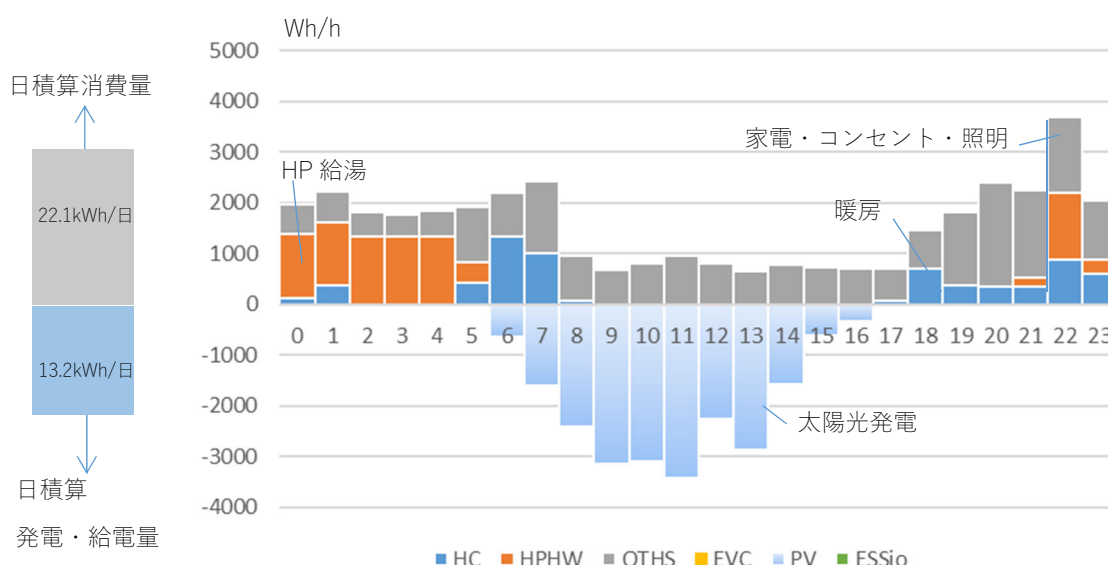


図 4-2. 日積算消費電力量

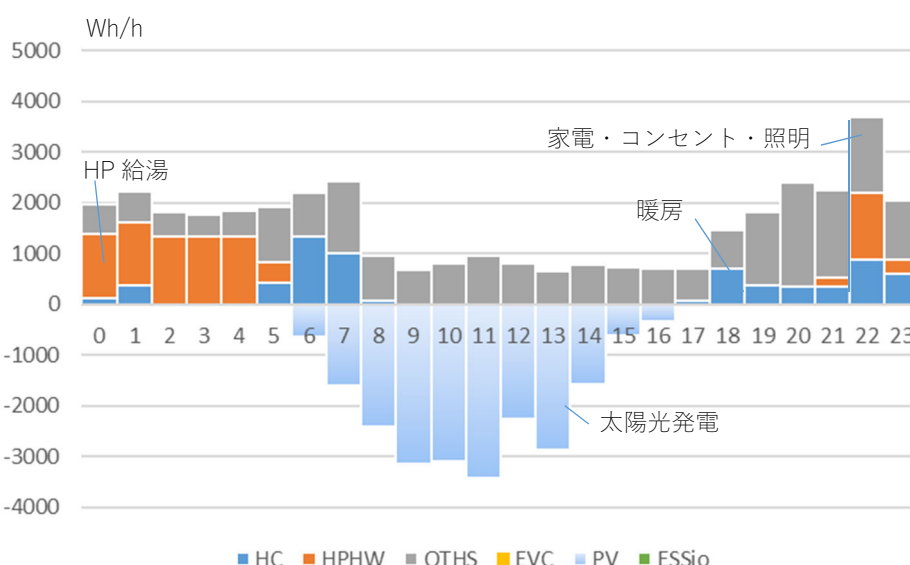


図 4-3. 消費電力量の 1 日の経時変化（実測値、A 邸、4/1 晴天日）第 1 章から再掲

4-2-2 評価指標の算出（再エネ自家消費率、電力自給率、年間電気代）

戸建住宅の電力需給構造の理解のため、図 4-4 に 741 世帯平均の年間の①宅内消費電力量と②再エネ逆潮流量を事例として示す。741 世帯は全電化住宅、PV 搭載量は 4.7kW である。年間の①宅内消費電力量は、④系統からの買電量と③再エネの自家消費量の合算値である。③再エネ自家消費量と②電力系統への逆潮流量の合算値が、(A)PV 発電量になる。スマートメーターによる計量法にもとづく実際の測定はそれぞれが瞬時値の積算となるが、本研究では 1 時間積算値をもとに算出した。これらをもとに、宅内電力需給を表すふたつの評価指標を定義する。

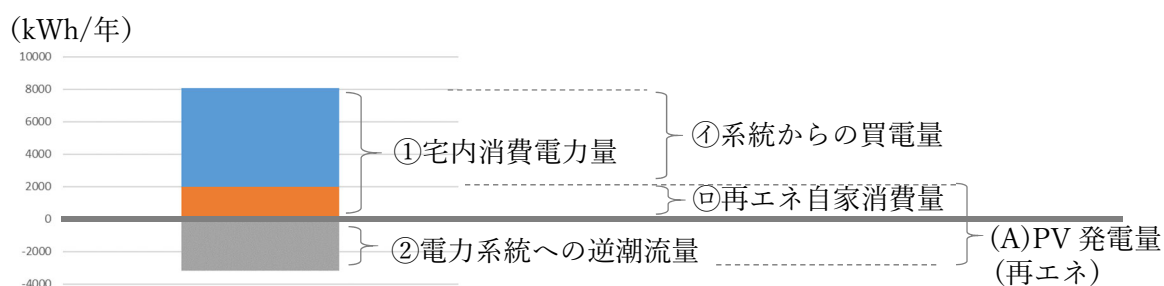


図 4-4. 全電化住宅の年間消費電力量・逆潮流量（741 世帯平均）

第一の指標となる X: **再エネ自家消費率**は、年間の PV 発電量（再エネ量）のうち、自宅・敷地内で消費した割合を示す。分母は年間の PV 発電量、分子は PV 発電量のうち自家消費量で表現される。様々な方策で逆潮流量を減らせば再エネ自家消費率は向上する。

$$X = \frac{\text{③年間自家消費量}}{\text{③年間自家消費量} + \text{②逆潮流量}} \div \frac{\text{(A)年間 PV 発電量}}$$

第二の指標となる Y: **電力自給率**は、年間宅内消費電力量のうち PV 再エネでまかなわれた割合を示す。分母は年間の宅内消費電力量、分子は PV 発電量のうち自家消費量で表現される。再エネ自家消費量が多くなるか、電力系統からの買電量が減少すれば、電力自給率は向上する。また、夜間の電力需要が削減されると電力自給率は向上する。

$$Y = \frac{\text{③年間自家消費量}}{\text{③年間自家消費量} + \text{④系統からの買電量}} \div \frac{\text{①年間宅内消費電力量 (kWh/年)}}{\text{①年間宅内消費電力量 (kWh/年)}}$$

時刻別の電力需給について、戸建て住宅の低圧電力契約における一般的な買電（順潮流）は宅内電力負荷の大小に応じて必要量のみが電力供給され、1時間あたりの買電量は宅内の総消費電力量となる。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) \quad (4-1)$$

ここで、

$E_{sur}(t)$: 買電量(kWh/h)

$E_{hc}(t)$: 暖冷房消費電力量(kWh/h)

$E_{hpwh}(t)$: ヒートポンプ給湯消費電力量(kWh/h)

$E_{oths}(t)$: 家電・コンセント消費電力量(kWh/h)

$E_{evc}(t)$: EV充電消費電力量(kWh/h)

t : タイムステップ (1~8760, 1年間)

対象世帯は全世帯に太陽光発電システム（PV、平均 4.7kW）が搭載されているため、日照が得られる時間帯には発電が加わる。発電量が宅内総消費を下回れば買電（順潮流）、上回れば売電（逆潮流）になる。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) \quad (4-2)$$

ここで

$E_{pv}(t)$: PV発電量(kWh/h)

家庭用定置型蓄電池（以下、定置型 ESS）の導入は上記に Input/Output を切り替えられる分散化電源として組み込む。呼称容量のうち 10~100%を制御域とするため、実効容量は呼称容量の 9 割となる。電力自家消費への行動変容が前提のため、定置型 ESS は日中の PV 余剰電力を蓄電し、夜間に放電するいわゆる「グリーンモード」で運転する。定置型 ESS の放電による逆潮流は認められていないため、宅内負荷と釣り合う出力（最大 6kWh/h）で夜間に放電する。また、毎時充放電量の 10%の損失を考慮し、家電・コンセント消費電力量（その他消費電力量）に含む。セルの経年劣化による容量減少や外気温度の影響に伴う充放電のヒステリシスは考慮しない。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-3)$$

ここで

$+E_{essio}(t)$: 定置型ESS充電量(kWh/h)

$-E_{essio}(t)$: 定置型ESS放電量(kWh/h)

上記変数は 1 時間タイムステップで変動する。24 時間×365 日 = 8760 時間を合計すると、以下の年間買電量と年間逆潮流量が得られる。

$$\text{if } E_{sur}(t) > 0, \quad \sum_1^{8760} E_g(t) : \text{電力系統からの年間買電量 (kWh/年)}$$

$$\text{if } E_{sur}(t) \leq 0, \quad \sum_1^{8760} E_r(t) : \text{電力系統への年間逆潮流量 (kWh/年)}$$

$$\sum_1^{8760} E_{PV}(t) : \text{年間PV発電量 (kWh/h)}$$

$$\sum_1^{8760} E_{PV}(t) - \sum_1^{8760} E_r(t) = \sum_1^{8760} E_s(t) : \text{年間再エネ自家消費量 (kWh/h)} \quad (4-4)$$

電力自家消費型住宅のふたつの評価指標、X：再エネ自家消費率、Y：電力自給率が次式で導かれる。

$$\frac{x_A}{100} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} E_s(t)}{\sum_{t=1}^{8760} E_s(t) + \sum_{t=1}^{8760} E_r(t)}$$

ここで、

x_A : 世帯 A の再エネ自家消費率 (%)

$E_r(t)$: 単位時間あたりの再エネ逆潮流量 (kWh/h)

$E_s(t)$: 単位時間あたりの再エネ自家消費量 (kWh/h)

(4-5)

$$\frac{y_A}{100} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} E_s(t)}{\sum_{t=1}^{8760} E_s(t) + \sum_{t=1}^{8760} E_g(t)}$$

ここで、

x_A : 世帯 A の再エネ自家消費率 (%)

$E_g(t)$: 単位時間あたりの電力系統からの買電量 (kWh/h)

$E_s(t)$: 単位時間あたりの再エネ自家消費量 (kWh/h)

(4-6)

第3章にも示したように、電気代削減は暮らしの行動変容の重要なモチベーションのひとつのため、参考の評価指標として算出する。暮らしの行動変容の前後に対し、全世帯の毎時の買電量・売電量が把握できるため、電力プランを選定すれば年間電気代の算出が可能である。電力完全自由化以降（2016年～）は多様な電力プランが多く電力小売事業者から提供されているため、代表的な電力プランとして東京電力エナジーパートナーの「スマートライフL」、ヒートポンプ給湯器昼沸き上げの専用プランとして同社の「くらし上手L」⁴⁻¹¹⁾を選定した（いずれも2023年1月時点）。基本料金と再生可能エネルギー発電促進賦課金（3円45銭/kWh）は含むが、変動の大きい燃料調整費は含まないものとした。再エネ余剰電力の逆潮流による売電単価は、FIT 固定期間満了後を想定し、8円/kWhとした。

4-2-3 行動変容が再エネ自家消費に与える影響の可視化

第3章までの検討により世帯別の2020年電力データ1時間値が整備されているので、 X ：再エネ自家消費率、 Y ：電力自給率は邸別に算出し、初期値 (x, y) が得られる。居住者の暮らしの行動変容を反映するロジックを作成し、世帯別の電力データ1時間値を作り変えることで新たな X' ：再エネ自家消費率、 Y' ：電力自給率を得る。世帯別の $(x, y) \rightarrow (x', y')$ をプロットしてベクトル表示することで、行動変容による二次元的な電力自家消費に与える影響を可視化する。

図4-5(b)に、全電化住宅741世帯の消費電力量実測値（1時間値×1年間、2020年）から算出した世帯毎の X ：再エネ自家消費率、 Y ：電力自給率をプロットする。縦軸方向の Y ：電力自給率の分布は狭い。これはPV発電の日照がえられる日中の時間帯よりも、日照が得られない早朝や夜間の電力需要が大きく、時間的な需給の不一致を原因とした電力自給率の向上の難しさを示唆している。言い換えると、世帯毎の暮らし方の違いに左右されづらいため、分布が狭い。一方で、横軸方向 X ：再エネ自家消費率の世帯分布は大きくばらばらについている。これはPV発電量（日照、方角、容量）の違い、主に日中の宅内電力需要の違い（在宅・不在等）、が掛け合わされ1時間毎に通年で積算された結果である。日中にPVから得られる再エネが少なければ、余剰が発生する機会が少ないため、図中の右に分布する。再エネが同等であっても日中の宅内需要が日常的に発生してれば、余剰は少なくなるため、同様に図中の右に分布する。さらに、PV搭載量が多ければ Y ：電力自給率はある程度までは向上するが、大容量PV搭載の世帯は逆潮流が多いため図中左上に分布する。このように、世帯毎の現状把握として初期値をプロットし、行動変容を反映した X と Y を同時に二次元的にプロットすると可視化が容易となる。

つぎに、暮らしの行動変容における評価軸の意味を整理する。再エネ自家消費量は X にも Y にも内包されるため、宅内需要・発電量が変わらず再エネの自家消費が増加（系統電力からの買電が減少）する場合、 X と Y は連動して向上し、図4-5(c)ではAのように右上に動く。一方で、発電量が変化したり、需要が増減する場合には異なる動き方となる。例えば、図4-5(c)のBはPVモジュール増設による年間発電量増加を表現しており、Cは日中にEV充電開始による需要増を模式的に示している。AとCはいずれも再エネ自家消費で逆潮流を減らすので右側に遷移するが、Cは需要増にともなう買電が増加するため、電力自給率が悪化して下へ遷移する。AとBはいずれも電力自給率は向上しているが、Bは逆潮流を増加させるため再エネ自家消費率が悪化し左側に遷移する。

このように、 X 、 Y いずれか単独の評価指標が改善したとしても、残る一方は改善も悪化もする可能性がある。極端な想定として、PV発電時間帯に発電量を安定的に上回る何らかの電力需要を生み出せば再エネ自家消費率は100%に近づくが、その需要が暮らしの豊かさにも脱炭素にも寄与しなければ価値が無いだけでなく、電力系統からの買電が卓越するため電力自給率は悪化する。PV搭載量を大容量化すれば一定程度まで電力自給率は改善する

が、同時に余剰電力も増加するので再エネ自家消費率は悪化する。完全な自立型住宅やオフグリッド型住宅を追求したり、あるいは再エネと消費の需給バランスの完全一致を狙うと、設備容量が無限に巨大化するなど非合理的な仕様となる。図 4-5(a) に示すように、本研究は再エネ地産地消型の住宅を理想とし、非現実的な住宅・設備の想定ではなく、2035 年までに暮らしの行動変容として現実的な選択肢をもとに検討する。

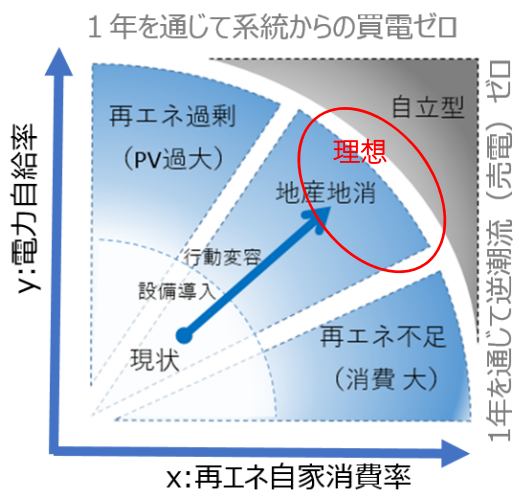


図 4-5(a)

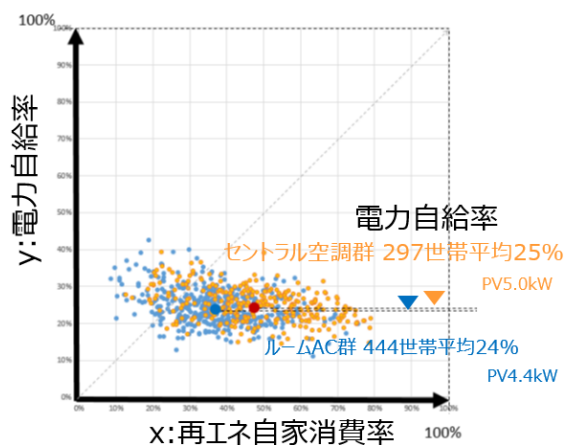


図 4-5(b)

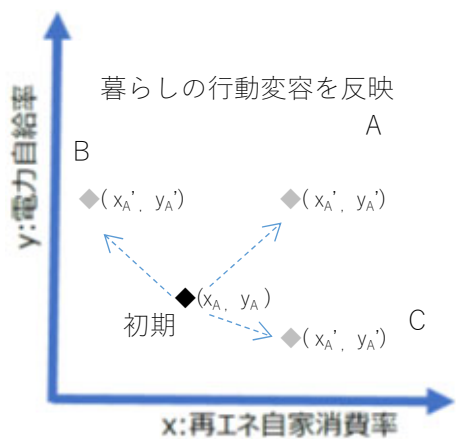


図 4-5(c)

図 4-5. 再エネ自家消費の算出と行動変容の前後での比較

4-2-4 検討に用いる暮らしの行動変容

既存住宅の省エネルギーと電力自家消費型の暮らしを実現するために、居住者が今後取りうる暮らしの行動変容として、表 4-2 の 7 項目を選定した。選定理由はそれぞれの項目に記す。それぞれの行動変容の選択は独立としたが、同時に選択することで交互作用が発生する可能性があるため、単独での効果と組み合わせの効果をあわせて検証する。なお、⑤は蓄電機能として④に包含されるため、単独での効果試算のみとする。また、⑥⑦は築浅の高性能住宅においては現実的な居住者ニーズはごく低いものと想定されるので、同様に単独での効果試算のみに留める。

表 4-2. 評価対象とする暮らしの行動変容

行動変容	デフォルト	水準 1	水準 2
①在宅勤務	ナシ	1～2回/週	－
②EV 基礎充電	ナシ	夜充電	昼充電
③HP 給湯 昼沸き上げ	夜沸き上げ	昼沸き上げ	－
④定置型 ESS 導入	ナシ	6kWh(実効 5kWh)	12kWh(実効 10kWh)
⑤V2H 導入	ナシ	アリ (BEV)	－
⑥断熱リフォーム	断熱等級 4	断熱等級 7 相当	－
⑦PV 容量増加	Ave.4.7kW	Ave. 7.1kW	－

4-3 行動変容が再エネ自家消費率と電力自給率に与える影響

4-3-1 行動変容①在宅勤務の定着

(1) 在宅勤務が消費電力に与える影響のモデル化

偶発的な社会要因であるコロナ禍を契機に一部企業・従業員の世帯に在宅勤務が定着する可能性は高い。第2章で定量化した週1～2日の在宅勤務で増加する消費電力量（図2-15, 再掲）を、平日（月曜日、火曜日）に割り付ける。具体的には、家電・コンセント・照明の消費電力量1時間値（実測値）に、在宅勤務により時刻別に増加量する消費電力量を加える。

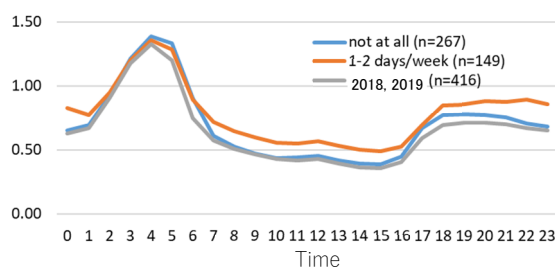


図 2-15(再掲). 在宅勤務の有無による時刻別消費電力量の比較

前述の宅内消費電力量のうち、在宅勤務ロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{oths}(t)$ を上書きする。定置型 ESS が導入されている場合は $E_{essio}(t)$ が変化し、最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-7)$$

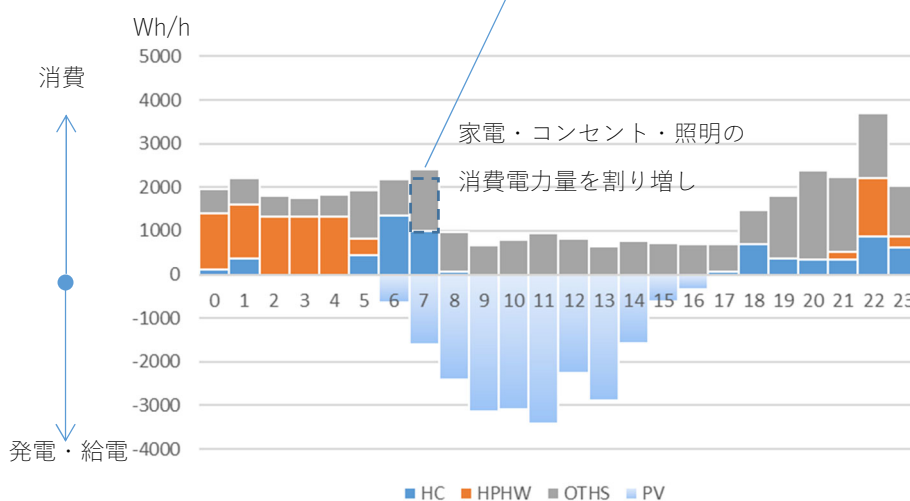


図 4-6. 在宅勤務を反映した消費電力量（計算値、A邸、4/1晴天日）

(2) 在宅勤務が再エネ自家消費に与える影響の結果

図 4-7a に、在宅勤務による再エネ自家消費の変化を示す。ベクトルの始点は各世帯の再エネ自家消費率と電力自給率の 2020 年実績値であり、終点は在宅勤務で日中の暖冷房を除く消費電力量を 1 割増加した試算値である。世帯別のベクトルに加え、ルームエアコン群とセントラル空調群の平均値を表すベクトルを記載する。PV 余剰電力が多い世帯において（図中囲い）、ベクトルが上向き、すなわち電力自給率の改善がみられる。それ以外の世帯は概ね水平方向、つまり再エネ自家消費率の改善がみられる。在宅勤務により宅内消費電力量は増加するが、日中の PV 再エネを活用できることが伺える。ルームエアコン群とセントラル空調群では特に大きな差異は無い。

図 4-7b に、年間電気代の行動変容前後比較を示す。日中の消費電力量の増加に伴い、再エネだけでは不足するため電力系統からの買電が増加し、年間電気代は世帯平均で 1.7 万円/年 増加した。

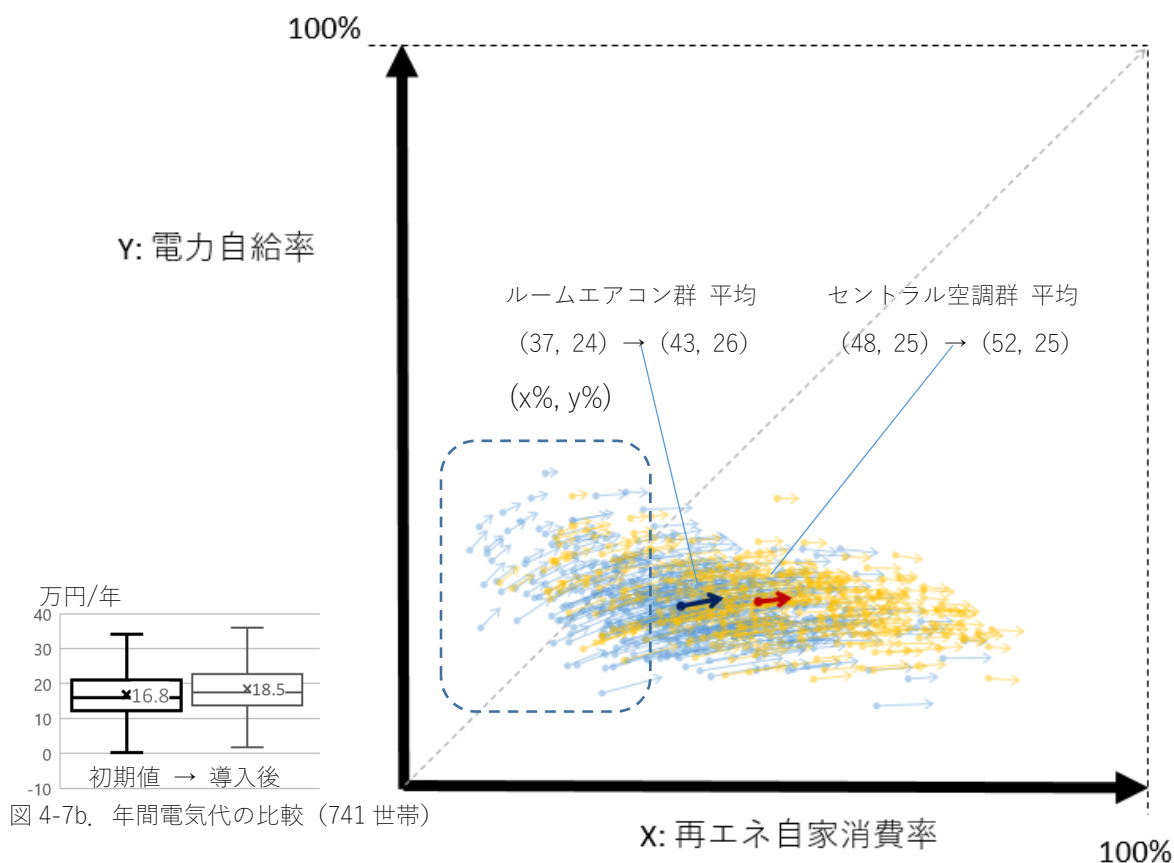


図 4-7b. 年間電気代の比較 (741 世帯)

図 4-7a. 在宅勤務による電力自家消費への影響 (741 世帯)

4-3-2 行動変容②EV への乗り換え（自宅での基礎充電の開始）

(1) EV 基礎充電が消費電力に与える影響のモデル化

日本のEV普及目標は、経産省によると「2035年までに、乗用車の新車販売で電動車100%」とある⁴⁻¹²⁾。電動車の定義にHEV（ハイブリッド車）を含むが、充電可能なBEV（バッテリーEV）とPHEV（プラグインハイブリッド車）も相応の普及率となり、自宅での基礎充電が一般的な概念となることは確実といえる。

図4-8は調査対象とした全1339世帯のうち、EV充電実績のあった82世帯の充電時間帯を示す。電力単価が割安となる夜間時間帯の夜充電が9割を占める。深夜電力は一般に安価な時代が数十年続いてきたがこれは旧一般電気事業者が原子力発電を稼働されるための施策の一環であり、戦略的な値付けといえた。その後、変化の兆しがあり、東京電力EPなどで値上げの兆候がみられるため、将来的には夜充電から再エネを用いた昼充電へのシフトも考えられる。

図4-9は年間充電回数が定期的かつ頻繁（100回以上）な世帯数と充電時間帯の内訳を示す。図は省略するが、時刻別の充電パターンから60世帯がPHEV、残りの22世帯がBEVと推察された。

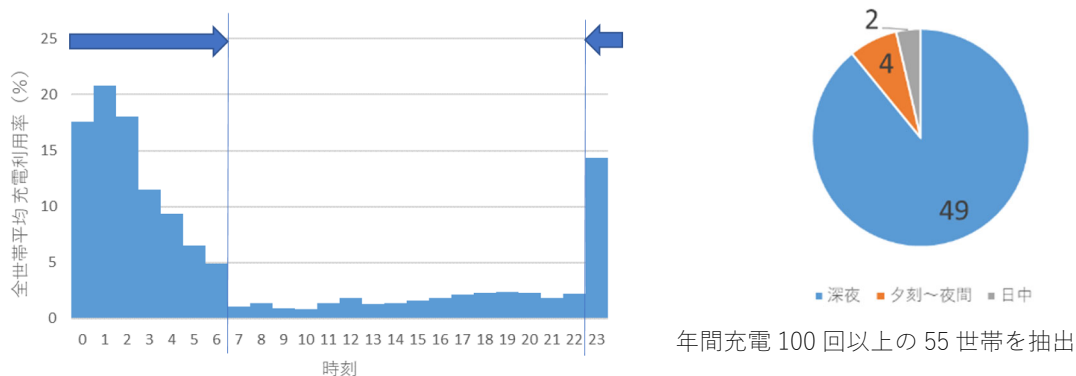


図 4-8. EV 充電の時間帯（世帯平均）

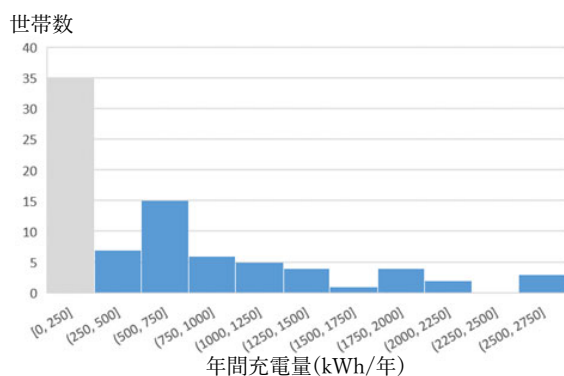


図 4-9. 世帯別 年間 EV 充電量実績（ヒストグラム）

SONY 損保の調査⁴⁻¹³⁾によると、自家用車の年間走行距離は平均 6,000km ほどであるが、クルマの使い方の多様性に応じてばらつきが大きく、一律の決定は困難である。そこで、81 世帯での充電実績から、代表的と考えられる 2 事例を選出してモデル負荷とした。

第一に、通勤・通学で毎日ある程度まとまった距離を走行し、帰宅後にプラグインし、深夜にタイマーで充電開始するパターンである（以下、「夜充電」と呼称）。夜充電では世帯別の消費電力量 1 時間値に対し、年間充電量 1187kWh/年（年間走行距離 8300km 相当）を加える。AC 普通充電器（定格出力 3kW）を用い、深夜時間帯となる 23 時に充電を開始する。

図 4-10 に世帯 B の夜充電（PHEV、暖房期、中間期）を事例として示す。充電器の定格出力は 3kW であっても、車両側の要求に応じた電流量を提供する仕様のため定格電流は継続せず、車載電池が満充電に近づくにつれて電流量を絞っていく様子が分かる。したがってシミュレーションにおいては実走行距離から充電量に換算するには車両側充電制御の折り込みが必要になる。本研究は得られた実際の充電量をそのまま用いてこの問題を回避した。暖房期において、この世帯は HP 給湯器の沸き上げが始まる深夜 2 時台より前に EV 夜充電を完了させることで、暖房・給湯・EV 充電の電力負荷が同時に発生しない工夫がみられる。このような工夫で契約容量オーバーや電力基本料金アップを避けることができる。

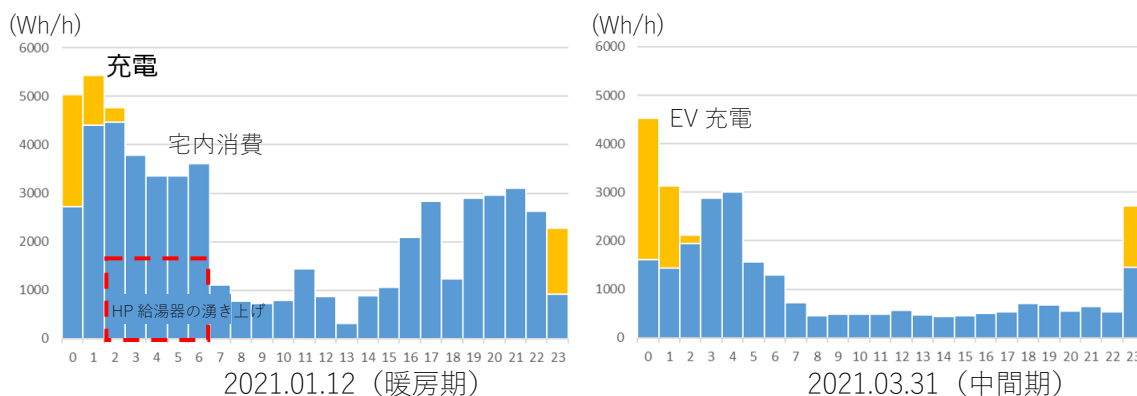


図 4-10. 世帯 B の EV 充電実績（暖房期、中間期のそれぞれ 1 日を抽出）

第二に、主に日中の買い物等の近距離移動に伴う外出の帰宅後に、少量の継ぎ足し充電するパターンである（以下、「昼充電」と呼称）。昼充電は世帯別の消費電力量 1 時間値に対し、年間充電量 562kWh/年（年間走行距離 3900km 相当）を加える。AC 普通充電器（定格出力 3kW）を用い、充電開始は EV での帰宅後である。

図 4-11 に世帯 C の充電実績を昼充電の事例として示す。住宅設備仕様はルームエアコン暖房・ガス給湯のため、暖房期（1/13）でも宅内消費電力量は控えめであり、EV 充電の開始により需要のピークが発生している。また PV 発電量と比較すると、曇天で十分な発電量が得られていないことに加え、太陽高度が低くなる時刻の充電開始時刻があいまって、さらに宅内負荷もあるので、EV 充電のそのほとんどが電力系統からの買電となっている。3/26

の実績をみると、暖房需要が無く宅内負荷は小さく晴天で PV 発電量は最大化しているにもかかわらず、EV 充電開始時刻が日没間近であったため、やはりほぼすべてを電力システムからの買電となっている。また、再エネの余剰分のみを充電に供するためには、特別なエネルギーマネジメントが必要になる。例えば、HEMS 機器と制御型 AC 普通充電器の組み合わせが有力な方策であるが、現時点で普及していない。本研究では既存住宅を対象とするため、成り行きで日中に充電した想定となる。

昼充電は PV 発電で再エネが得られる時間帯と重なるため、いくつかの条件を整えれば再エネ自家消費率を向上する可能性もあるため、あわせて検証する。

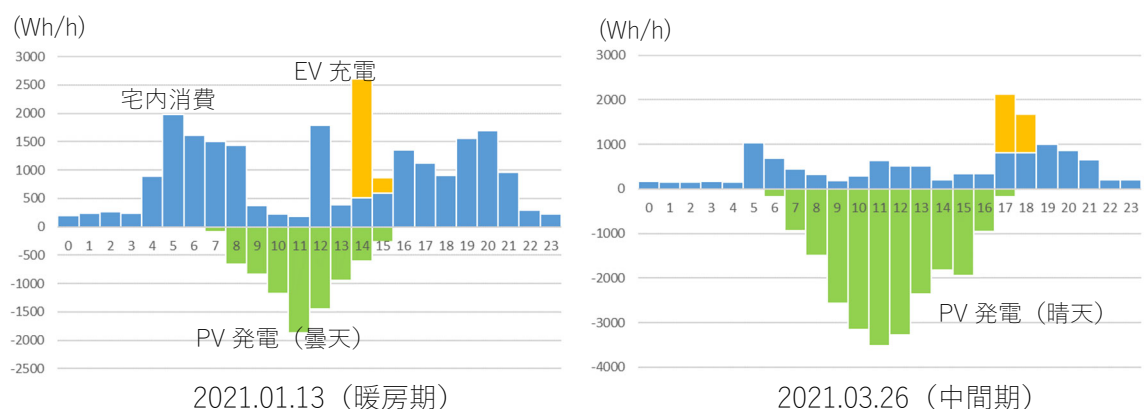


図 4-11. 世帯 C の EV 充電実績（曇天、晴天のそれぞれ 1 日を抽出）

前述の宅内消費電力量のうち、普通充電ロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{evc}(t)$ を上書きする。定置型 ESS が導入されている場合は $E_{essio}(t)$ が変化し、最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。図 4-12 に夜間の EV 充電を例示する。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hphw}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-8)$$

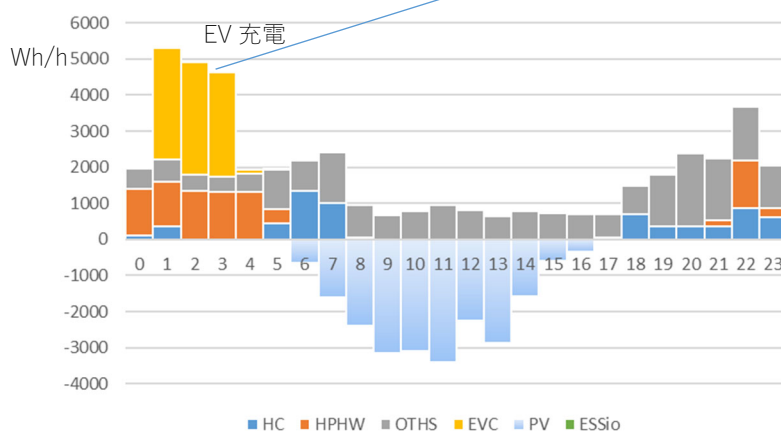


図 4-12. 夜間 EV 充電を反映した消費電力量（計算値、A 邸、4/1 晴天日）

(2) EV 基礎充電が再エネ自家消費に与える影響の結果

EV 基礎充電の開始により、宅内の消費電力量は1～2割ほど増加する。その増加量の大きさに比較して、図 4-13a の各世帯ベクトルの長さは短い。EV の昼充電は PV が発電する時間帯と重なるため、再エネ自家消費率が向上するイメージがあるが、実際には電力系統からの買電が支配的であり、再エネ自家消費にはほとんど寄与しないことが分かる。理由は、第一に、日中の充電時間帯において必ずしも十分な PV 余剰電力が得られないこと。第二に、日中に家にある自家用車は年間走行距離が少なく、充電量そのものが小さい（想定 562kWh/年）ためである。AC3kW 普通充電が戸建住宅では一般的であるが、日照条件にもよるが PV 搭載容量 5kW 程度では日中の時間帯で余剰が 3kW 見込まれる時間帯は通電でもごくわずかのため、EV への充電は実際にはそのほとんどが電力系統からの買電となり、モビリティの脱炭素に十分に貢献できるとは言い難い。なお、EV の夜充電はもとより PV の発電時間帯とは異なるため、再エネ自家消費率とは関係が無い。家庭用定置型蓄電池と組み合わせると日中の再エネで夜間に充電できる可能性があるため、次々節で組み合わせの影響を検証する。

図 4-13b に年間電気代の全世帯平均を示すが、日中の基礎充電により 1.3 万円/年の増加となった。

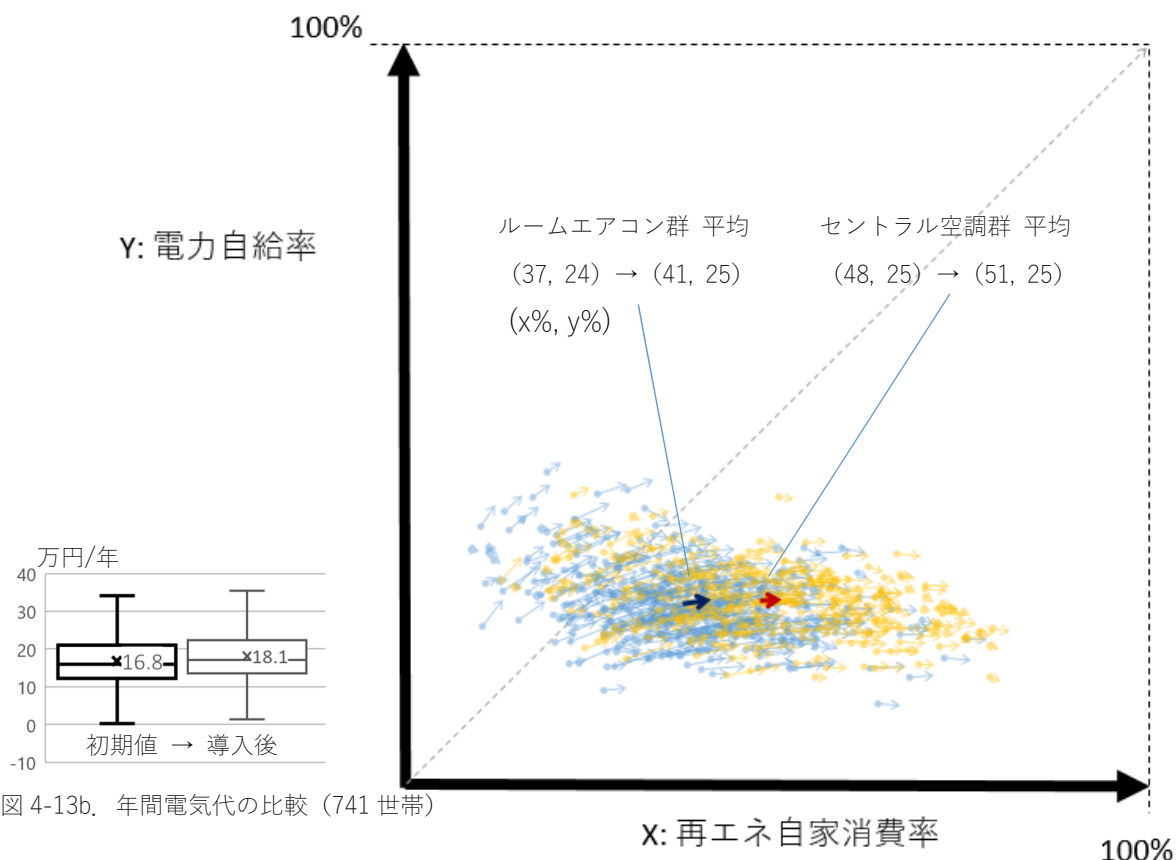


図 4-13b. 年間電気代の比較 (741 世帯)

図 4-13a. 日中の EV 充電 (3kW) による電力自家消費への影響 (741 世帯)

4-3-3 行動変容③ヒートポンプ給湯器昼沸き上げへのリブレース

(1) ヒートポンプ給湯器昼沸き上げが消費電力に与える影響のモデル化

ヒートポンプ給湯器は深夜電気温水器に代わる製品として、省エネルギーと過去の安価な深夜電力とあいまって急速に普及した。2021年に日中の再エネ活用を意図した昼沸き上げ型が発売された。従来型と新型の昼沸き上げHP給湯器に互換性は無いため、既存住宅への導入機会は製品寿命に伴うリブレースが唯一の機会となるため、採用の将来予測についての詳細は第5章で述べる。参考として、現状市販品の制御ロジックは昼沸き上げ率は80%とし、残りの20%は夜間に追い沸き上げして給湯に必要となる規定温度まで上昇させる。他の市販品では昼沸き上げ率65%、夜間追い沸き上げ35%としている。本研究では各世帯の従来型HP給湯器の消費電力量実測値をもとに、沸き上げを10時間前倒しとすることで外気温度が有利側となるため1割の削減を見込んだ新たな負荷を作成した。図4-14にHP給湯器の昼沸き上げを示す。

HP給湯器は省エネルギーを目的として定格出力で高効率にヒートポンプサイクルをまわすことで短時間に効率的に沸き上げるため、出力を絞った部分負荷運転はできない。したがって日中の再エネ余剰分だけの沸き上げは不可能であり、系統電力からの買電が支配的である。そのため、電力契約によっては日中の高単価な電力を購入することになるので、留意が必要である。

前述の宅内消費電力量のうち、充電ロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{hpwh}(t)$ を上書きする。定置型ESSが導入されている場合は $E_{essio}(t)$ が変化し、最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-9)$$

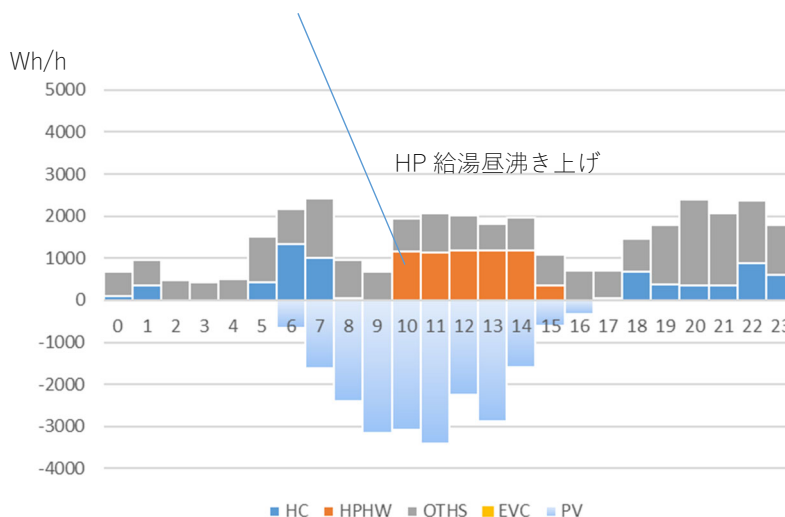


図4-14. HP給湯昼沸き上げを反映した消費電力量（計算値、A邸、4/1晴天日）

(2) ヒートポンプ給湯器昼沸き上げが再エネ自家消費に与える影響の結果

図 4-15a に HP 給湯の夜沸き上げ（従来型）から昼沸き上げに変更する行動変容の再エネ自家消費への影響を示す。給湯負荷を夜間から再エネが見込まれる日中にシフトするため、再エネ自家消費率・電力自給率とも向上が見込まれたが、実態としては湯沸かしの 3 割程度が再エネに留まり、7 割は系統からの買電となった。理由は、HP 給湯は高効率な定格出力で短時間に湯沸かしすることで省エネルギー化を実現するが、その際に必要な 1kW～1.5kW ほどの電力が毎日、PV 発電のうち余剰電力から安定して得られず、買電に依存するためである。日照条件は日々まちまちであり、宅内電力需要も特に暖冷房期には変動が大きく、安定した再エネの余剰が得られない。さらに、大容量定置型蓄電池との組み合わせには再エネの競合問題が想定されるので、次節で検証する。

日中の電力単価は一般的に高く、日中の買電の増加は居住者に経済的な不利益を与える。HP 給湯器昼沸き上げを推進する電力小売事業者もこの点を懸念しており、専用の電力プランを設けているが、図 4-15b に示すように、年間電気代は世帯平均 2.2 万円/年の増加となった。さらに HP 給湯器昼沸き上げの本体価格は従来機よりも割高である。このような状況を踏まえると、HP 給湯器が故障したとしても、現時点で経済合理性から昼沸き上げ専用機を居住者が選択するかは不透明である。しかしながら、一定の再エネ自家消費効果と省エネルギー効果は認められることから、将来的な納得感のある電力プランの出現に期待したい。

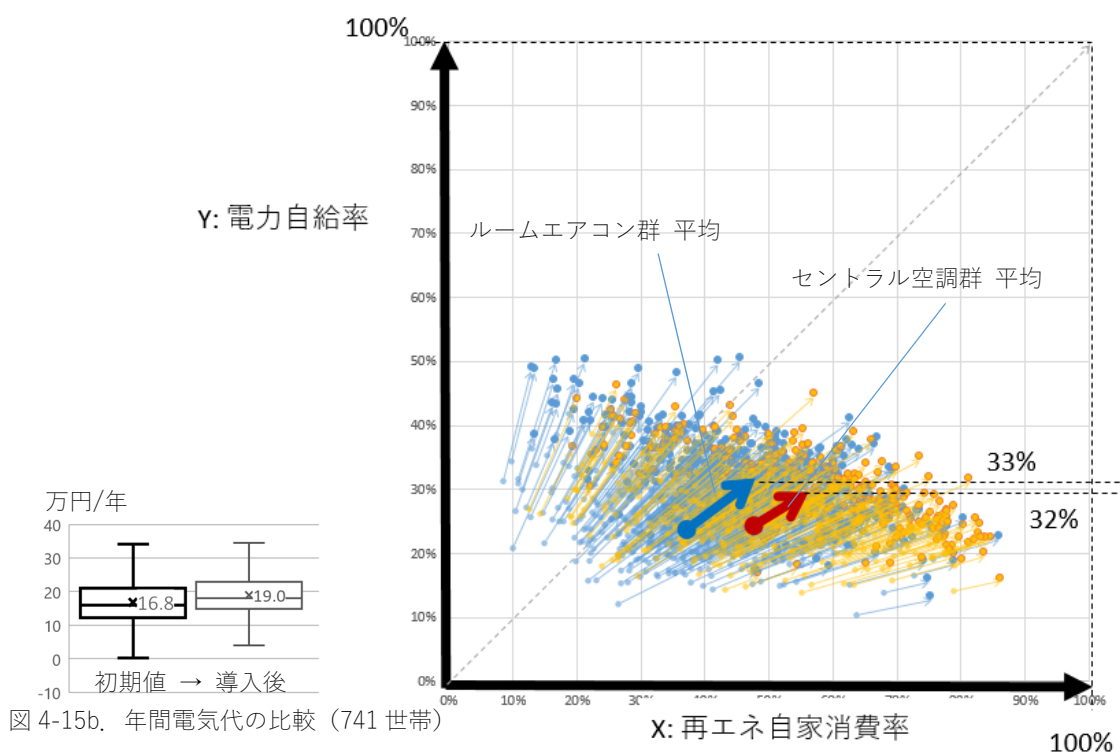


図 4-15b. 年間電気代の比較 (741 世帯)

図 4-15a. HP 給湯器昼沸き上げによる電力自家消費への影響 (741 世帯)

4-3-4 行動変容④家庭用定置型蓄電池の導入

(1) 家庭用定置型蓄電池の導入が消費電力に与える影響のモデル化

家庭用定置型蓄電池の導入目的は、かつては安い深夜電力を夜間に蓄電し、日中に放電する経済効果が訴求されたが、FIT 買取期間満了を迎えた世帯（2019 年～）や、FIT 買取単価の下落により現在は日中に PV 余剰電力を蓄電し、夜間に放電することで経済メリットが生まれる。本研究で対象とする住宅は 2015～2016 年に竣工のため、執筆の 2023 年時点では高い固定価格（31～33 円/kWh）で売電を継続しているが、2024～2025 年には FIT 買取期間満了を迎えるため、定置型蓄電池の導入による電力自家消費型住宅への転換はありうる。さらに、2030 年頃には PV パワコンの故障と発電停止が予測される。PV モジュールの製品寿命は長いいため、発電継続のためハイブリッドパワコン+定置型 ESS 導入（後付け）は暮らしの行動変容として十分に選択されうるシナリオである。

定置型 ESS はいくつかの運転モードを備えており、本研究では日中の再エネ余剰を蓄電し、夜間に放電する「グリーンモード」を対象とする。定格から低負荷領域まで充放電出力に応じた AC-DC 変換ロスが必ず発生する。事例として、ある製品では定格出力での効率 95%（5.5kW）であるが、低負荷領域では 93%（1kW）、83%（500W）に低下する。住宅の通年の電力負荷分布を事前検討すると図のように 500W～1kW が過半を占める。そのため、定格の最高効率で充放電できる機会のごくまれであり、部分負荷の効率の低下した領域で使われることになる。したがって、本研究では充放電とも一律 90%とし、10%の損失を伴うものとした。

充放電ロジックは世帯別の消費電力量実測値（1 時間値）に対し、PV 余剰電力により定置型 ESS が満充電になるまで充電する。満充電になった時点で、逆潮流となる。放電時刻は日没後 19 時からとし、実効容量を使い切るまで放電を続ける。市販定置型 ESS は停電への備えとして一定の容量を残したまま充放電する運転モードを備えているが、本研究では実効容量をすべて使い切るものとした。なお参考として呼称容量とは、セル容量の合計値であり、製品にもよるが呼称容量の 8～9 割が実効容量となっている製品が多い。

図 4-16, 4-17 に事例としてある世帯の実測値と、定置型 ESS 導入後の電力負荷を示す。前述の宅内消費電力量のうち、定置型 ESS 充放電ロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{essio}(t)$ を付け加える。最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$E_{sur}(t) = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-10)$$

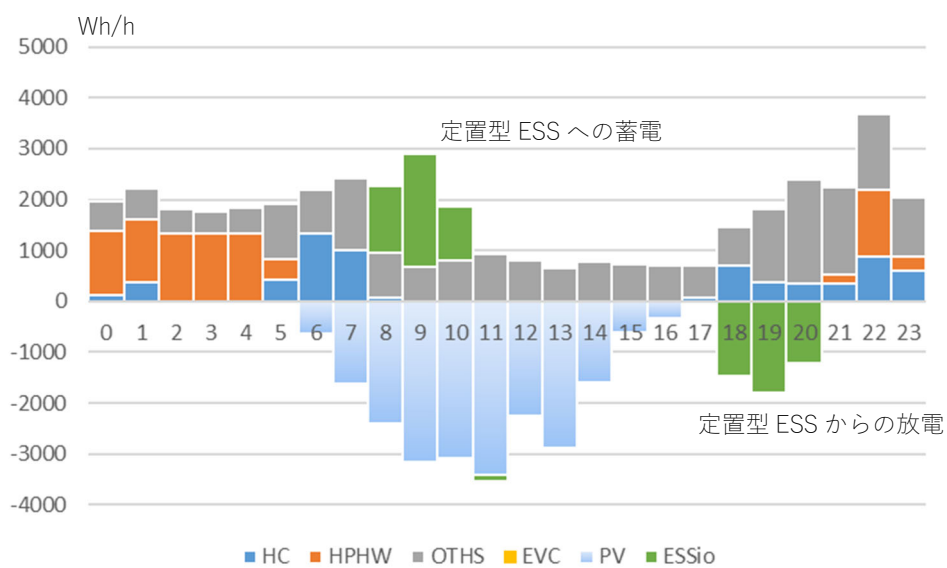


図 4-16. 定置型蓄電池導入（実効 5kWh）を反映した消費電力量（計算値、A 邸、4/1 晴天日）

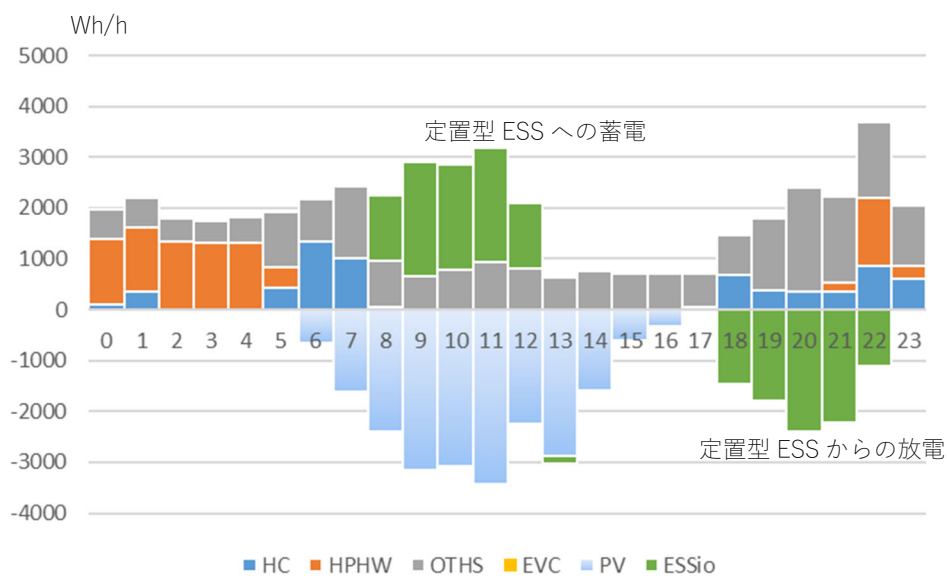


図 4-17. 定置型蓄電池導入（実効 10kWh）を反映した消費電力量（計算値、A 邸、4/1 晴天日）

(2) 家庭用定置型蓄電池の導入が再エネ自家消費に与える影響の結果

図 4-18 a、図 4-19 a に定置型蓄電池の導入（6kWh, 12kWh）に伴う再エネ自家消費への影響を示す。定置型蓄電池の導入は再エネ自家消費を目的としているため、これまでに比較したすべての行動変容よりも効果大きい。さらに、蓄電容量が大きいほど、再エネ自家消費への効果も大きいことが分かる。つぎに、容量 6kWh では導入後の各世帯のばらつきは大きいままであるが、容量 12kWh では初期値で再エネ自家消費率が概ね 5 割以上であった世帯の分布が図中①の領域にまとまっている。大容量定置型蓄電池の導入により再エネ自家消費率が最大化されるが、世帯によっては蓄電容量が過剰となる可能性が示唆される。

定置型蓄電池導入の行動変容にあたり、居住者は蓄電容量の選択が必要である。系統連系型の市販蓄電池の呼称容量は 3～14kWh に分布している。蓄電容量が大きければ、再エネ自家消費のポテンシャルは高いが、一定水準で頭打ちとなると推察される。仮に導入費用が安価であったとしても、大容量であれば製造・廃棄の CO₂ 排出量は増加し、さらにリチウム等の調達リスクのある材料の使用量も増加する。そのため容量が大きければいいというわけではなく、世帯のばらつきを考慮したうえで無駄を排除した適切な容量を見極める必要がある。

図 4-18 b、図 4-19 b に年間電気代の世帯平均を示すが、電気代削減効果は世帯平均 2～3 万円/年に留まった。定置型蓄電池の現在の導入費用は 100～200 万円のため経済性からの費用回収は不可能だが、将来的なコストダウンが普及を促進する可能性がある。

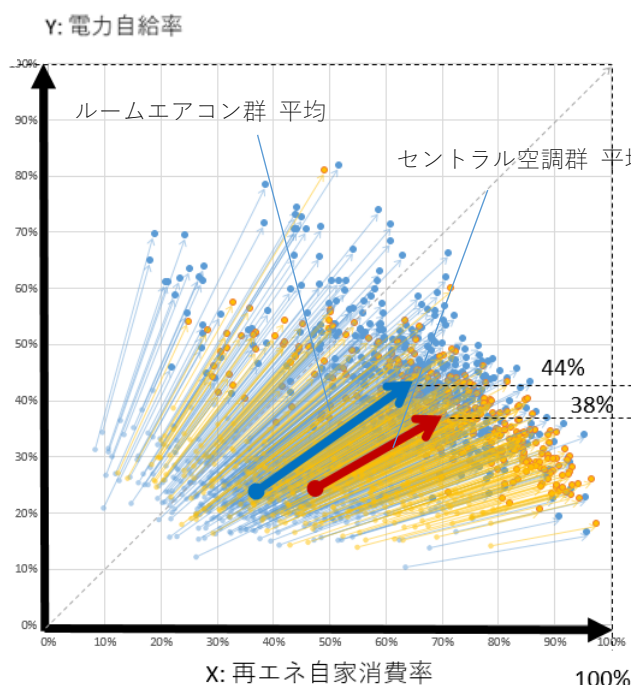


図 4-18a. 家庭用定置型蓄電池（6kWh）導入による電力自家消費への影響（741 世帯）

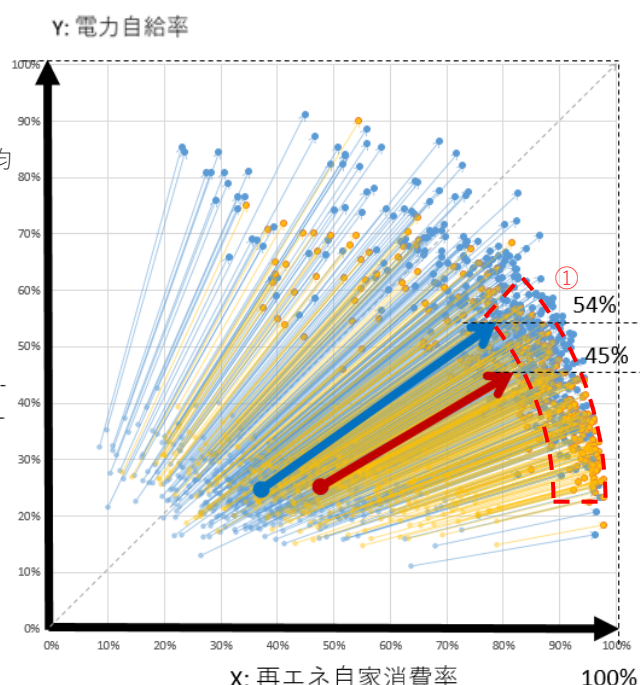


図 4-19a. 家庭用定置型蓄電池（12kWh）導入による電力自家消費への影響（741 世帯）

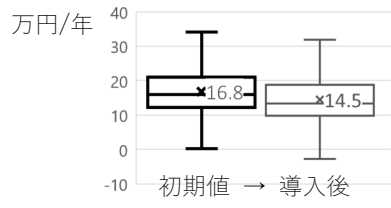


図 4-18b. 年間電気代の比較 (6kWh)

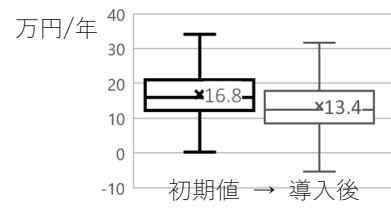


図 4-19b. 年間電気代の比較 (12kWh)

4-3-5 行動変容⑤V2H 日常エネマネの導入

(1) V2H 日常エネマネの導入が消費電力に与える影響のモデル化

大容量の EV 車載蓄電池を活用し、EV から住宅に放電(給電)する V2H(Vehicle to Home) は、主に停電時の宅内への給電に主眼を置いた設備であるが、日常的にプラグインして大容量定置型蓄電池がわりとする使い方もできる。区別のため本研究では後者を V2H 日常エネマネと呼称する。市販 BEV の車載定置型蓄電池容量は 40kWh を中心に、71kWh といった大容量化の製品がではじめており、実効容量は 63kWh ほどが見込まれる。コスト・法規制で家庭用定置型蓄電池では実現不可能な大容量が魅力である。さらに車両価格を除けば初期導入費用も各種補助金などもあり V2H スタンドの導入ハードルは下がっているが、あくまで停電時の価値提供である。本研究で参考として V2H 日常エネマネを扱う理由は、以下の技術・運用課題があり、当面の解決策が見出されていないためである。

第一に、①システム全体での充放電ロスが大きい。

・急速充放電規格である CHAdeMO は車両との通信を伴うため高性能な充放電を実現する。その背反として、プラグイン状態において車両 ECU の一部または全部が起動状態となる。車両 ECU は車種にもよるが機能分化した 20~30 個/台が搭載されており、そのすべてが起動すると 200~300W を消費する。30 分未満の急速充放電 (20kW 以上) であれば充放電に要する時間は短く、このような消費は問題にならない。これに対し、V2H 日常エネマネは常時プラグインが必要であり、同時に車両側も長時間 (基本的には 24 時間) の自己消費を強いられるため、無視できない。概ね戸建住宅のベース負荷相当を車両が消費する無駄が発生する。対策として、充放電に関わる一部 ECU だけを起動させ、70W 程度に抑えることが考えられる。

・V2H スタンドの AC-DC 変換効率は家庭用定置型蓄電池や PV パワーコンディショナと比較して総じて悪く、さらに低負荷領域での落ち込みが大きい。この理由は、定格充放電 (6kW ほど) を基本機能とした製品設計のためであり、出力を絞り込んだ使い方に主眼がおかれていない。小出力で並列化するなど技術的解決案はあるが、コスト増のため製品化の目途がない。

第二に、②常時利用による車両側の劣化 (耐久消耗材としての減価償却) が進行する。常時プラグインを強いられるため小さな充放電サイクルを回すことになり車載蓄電池の劣化は確実にすすむ。走行や急速充電と比較すると充放電出力は小さいが、影響は無視できない。車載蓄電池以外の補機、ECU などの起動もパワー伝導体機能部品の寿命を縮める。

第三に、③常時プラグインによるモビリティとしての使い勝手の悪化 (価値観) が挙げられる。日中の PV 再エネを充電し、夜間に放電するためには、プラグインを基本状態とする必要がある。モビリティを本来用途の移動に使うために、V2H 日常エネマネの充放電を一時中断することになる。したがって、V2H 日常エネマネはモビリティの移動の価値との背反となる。

このような現状から、V2H 日常エネマネは①技術的課題に加え、②③はクルマの使い方

として消費者の視点で合理的判断とは言えず、暮らしの行動変容として一般化するかは判断のわかれるところであり、普及は不透明である。よって本研究では、現状把握のみとし、第5章での2035年までの将来予測には含まない判断とした。常時プラグインしたEVは効率の悪い定置型定置型蓄電池と見なすことができるため、代替として大容量定置型蓄電池の検討は第5章に含める。よって、表4-3に示すように、車両自己消費が現状の200Wに加え、将来的に70Wまで削減した試算ケースを追加する。

表 4-3. V2H 日常エネマネの計算条件

	ケース1	ケース2	ケース3
車両自己消費	200W (現状)	70W (将来)	70W (将来)
車載電池呼称容量 (実効容量)	71kWh (60kWh)	71kWh (60kWh)	40kWh (36kWh)

前述の宅内消費電力量のうち、V2H 日常エネマネロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{essio}(t)$ を付け加える。最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。常時プラグインを仮定するため、超大容量の定置型 ESS が導入されたように見えるが、車両自己消費と充放電効率が異なる。最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$E_{sur}(t) = E_{nc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + E_{essio}(t) \quad (4-11)$$

(2) V2H 日常エネマネが再エネ自家消費に与える影響の結果

図 4-20(a)(b)(c)を見ると、すべてのケースにおいて再エネ自家消費率、電力自給率とも大きく改善した。自明だが車両自己消費は少ないほど良く、(a)ケース 1 よりも (b)ケース 2・(c)ケース 3 が電力自給率を改善した。ケース 2 とケース 3 は車載蓄電池容量がそれぞれ 40kWh、70kWh と大きく異なるが、計算結果にはほとんど差異が無い。これは V2H 日常エネマネの用途において 40kWh 以上の車載蓄電池は過剰であることを示している。初期値で逆潮流が多く再エネ自家消費率が低い世帯において、電力自給率の向上が大きいため、大容量 PV を搭載した世帯に適合した行動変容といえる。

結果の解釈において 2 点の留意すべき事項がある。第一に、車両自己消費と充放電ロスは宅内消費電力量を増加するが再エネで賄われるため、再エネ自家消費率と電力自給率の見かけ上の改善を含んでいる。図 4-21(a)ケース 1 で年間電気代に改善が見られない理由は、実績では逆潮流により売電した再エネ余剰が、V2H 日常エネマネでは車両自己消費と充放電ロスで消費されたためである。第二に、本検討は BEV (バッテリーEV) を常時プラグインして家庭用定置型蓄電池と同等の使い方を想定して最大の効果を試算したので、BEV は一切走行せずに家に駐車する前提のもとづいている。実際には BEV を導入した以上、何らかの走行が見込まれるため、再エネ自家消費の効果はその利用時間に応じて目減りする。

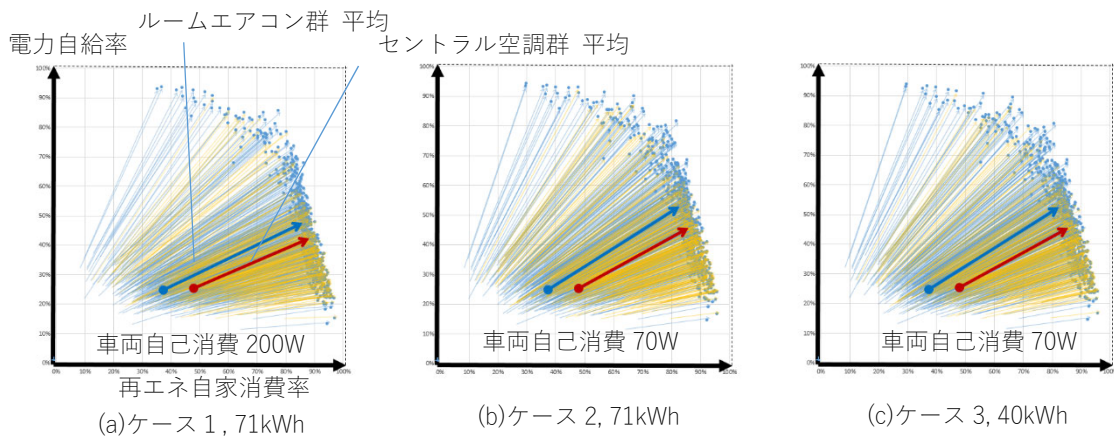


図 4-20. V2H 日常エネマネ導入による再エネ自家消費への影響 (741 世帯)

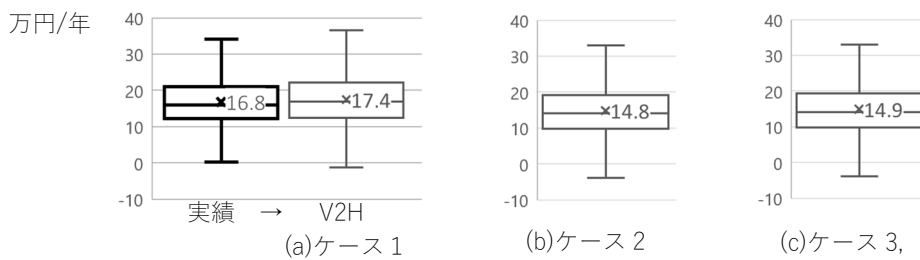


図 4-21. 年間電気代の比較 (741 世帯)

4-3-6 行動変容⑥断熱リフォーム（等級4→等級7相当）

(1) 断熱リフォームが消費電力量に与える影響のモデル化

2015～2016年に建築された断熱等級4・5の戸建住宅は現在の価値観で不足が無い程度には暖かく、断熱リフォームの居住者ニーズはほとんど無い。断熱リフォームは窓等の部分改修であれば比較的安価に工事可能であるが、床・天井・壁などの外皮全体の向上をはかるためには数百万円～1千万円超と費用負担が高額になる。このような費用対効果の悪さも踏まえると、対象世帯の2035年まで高断熱化の行動変容はほぼ皆無と想定されるので、本検討は参考にとどめる。建築物省エネ法により誘導的な高断熱基準として等級7が制定されたこともあり、超高断熱リフォームが想定ケースである。

- ・ 2020年暖冷房消費電力量の実測値にもとづく
- ・ 暖房負荷が大まかに半分となったと仮定し、暖房消費電力量1時間値を各時刻0.5倍
- ・ 冷房負荷は逆に微増の可能性はあるが、従前のまま（1.0倍）とした

前述の宅内消費電力量のうち、充電ロジックにもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{hc}(t)$ を上書きする。定置型ESSが導入されている場合は $E_{essio}(t)$ が変化し、最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$\boxed{E_{sur}(t)} = \boxed{E_{hc}(t)} + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - E_{pv}(t) + \boxed{E_{essio}(t)} \quad (4-12)$$

(2) 断熱リフォームが再エネ自家消費に与える影響の結果

図 4-22 a に断熱リフォームを行動変容として選択した場合の再エネ自家消費への影響を示す。第 3 章に示したように、暖房負荷は PV 再エネが得られない冬期の早朝と夜間に大きい。したがって、外皮の超高断熱化暖房負荷が半減したとしても PV 発電時間帯の日中においては影響が少ないことが分かる。日中の暖房需要の削減によってやや逆潮流量は増え、X: 再エネ自家消費率がわずかに低下した。Y: 電力自給率はわずかに上向いているものの、暖房負荷削減による電力自給率の改善は小さい。このように、断熱リフォームは暖房消費電力量削減に貢献でき、温熱的快適性向上に代表される non-energy benefit に価値があるが、再エネ自家消費には寄与が少ない。

図 4-22 b に行動変容前後の年間電気代を比較すると、世帯平均 1.3 万円/年の削減となった。住宅の建物外皮全体にわたる断熱リフォームは 500~1000 万円を要するため、経済性をモチベーションとした行動変容は将来的にも考えづらい。

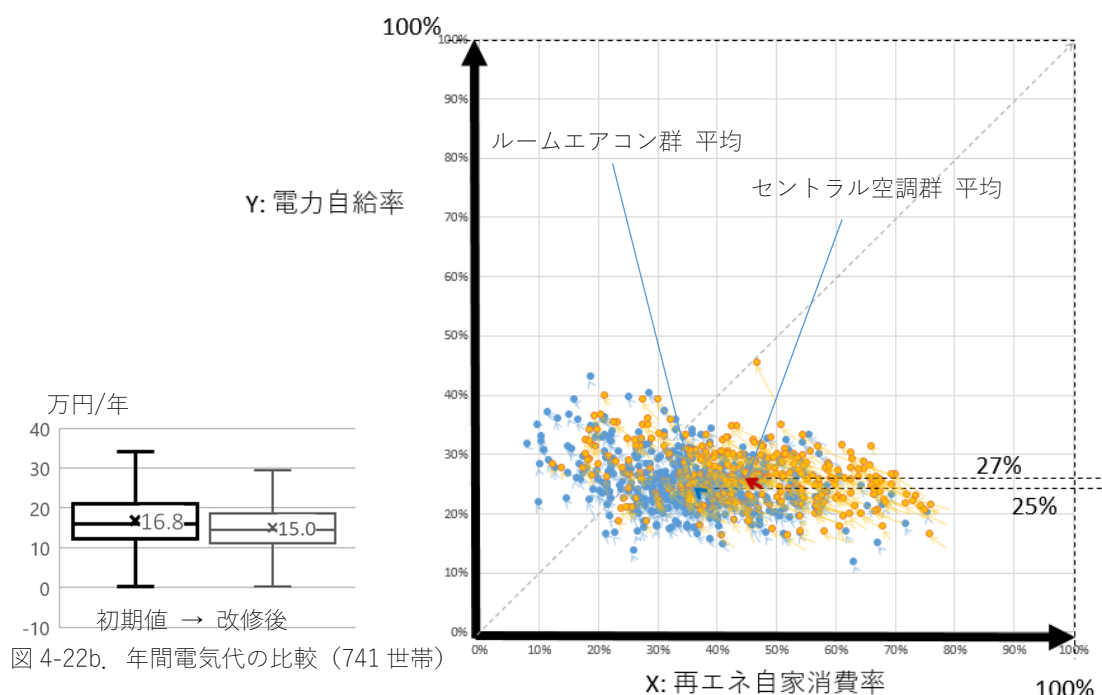


図 4-22b. 年間電気代の比較 (741 世帯)

図 4-22a. 断熱改修 (等級 4 → 7 相当) による再エネ自家消費への影響 (741 世帯)

4-3-7 行動変容⑦PV容量の増設（PVモジュールの増し張り）

(1) PV容量の増加が消費電力に与える影響のモデル化

本研究で対象とした全世帯は新築時に屋根にPVを搭載している。対象世帯は太陽光FIT（固定価格買取制度）の買取期間10年の満了を2035～2036年に迎える。FIT電源は発電開始時からの追加性が無いため、新築時（発電開始時）のPV容量増加の居住者ニーズは無く、本検討は参考にとどめる。さらに買取単価の年々の政策的抑え込みに加え、FIT制度そのものからの自立化も議論されているなかで、PVの既存住宅への後載せも下火となっている。構造荷重の世帯別確認手法の課題もある。

新築住宅に目を向けると、建設から廃棄段階までの二酸化炭素排出量をゼロ以下とするLCCM住宅の概念があるが、再エネの自家消費に拘らず大容量PV（9kW程度）を搭載する新築住宅も存在する。これは居住段階で創エネを最大化する試みである。将来、再エネでの暮らしに居住者の価値感が変わったとき、より多くの再エネを求めてPVの増し張りという行動変容が生まれる可能性がある。よって、ここではPV増し張りの影響を参考として試算する。具体的には世帯平均PV容量4.7kWが、7.1kWまで増加したものと仮定する。

- ・変更範囲 各世帯 2020年PV発電量1時間値を、それぞれ1.5倍する

前述の宅内消費電力量のうち、発電実績にもとづき世帯別・時刻別に以下 $E_{pv}(t)$ を上書きする。定置型ESSが導入されている場合は $E_{essio}(t)$ が変化し、最終的に $E_{sur}(t)$ を決定する。

$$\boxed{E_{sur}(t)} = E_{hc}(t) + E_{hpwh}(t) + E_{oths}(t) + E_{evc}(t) - \boxed{E_{pv}(t)} + \boxed{E_{essio}(t)} \quad (4-13)$$

(2) PV容量の増加が再エネ自家消費に与える影響の結果

PV モジュール増し張りにより発電量を 1.5 倍とすると、図 4-23 a に示すように Y:電力自給率の改善は数%にとどまるが、逆潮流が著しく増するため Y:再エネ自家消費率の悪化が目立った。日中に再エネを増やしたとしても、通年で安定した日中の電力負荷が宅内に存在せず余剰電力となることが分かる。PV 再エネを宅内電力需要が高まる夜間にシフトする重要性があらためて示された。発電量を増加してもさらに使い切れない再エネが増加する、と解釈できる。逆潮流量の増加が多数世帯で同時に発生すると、電力系統の負担が高まる。

図 4-23 b に行動変容前後の年間電気代を比較すると、世帯平均 2.8 万円/年の削減となった。逆潮流量が大きく増加するが、売電単価が FIT 買取期間満了後の想定 (8 円/kWh) のため、PV モジュールを増し張りする行動変容により経済性は大きくは改善しない。

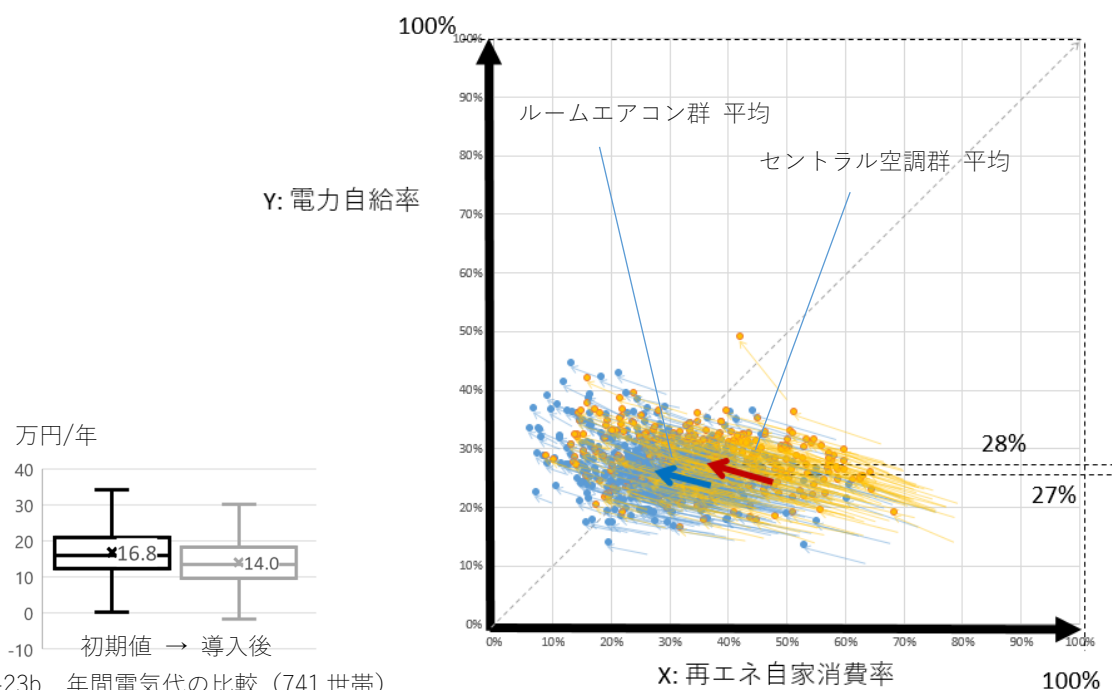


図 4-23a. PV 容量増加による再エネ自家消費への影響 (741 世帯)

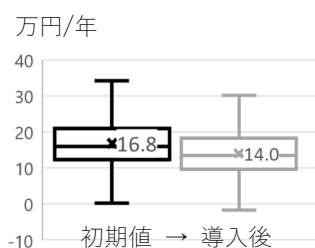


図 4-23b. 年間電気代の比較 (741 世帯)

4-4 再エネ自家消費率と電力自給率の試算結果に対する考察

4-4-1 逆潮流量と再エネ自家消費の関係

再エネ自家消費型の暮らしの行動変容①～⑦に共通し、世帯間のばらつきは変わらず大きいままであった。これは日中の PV 発電量と電力需要の時刻別の需給不均衡が逆潮流量を決定するためである。対象物件を暖冷房需要の多少を表すため、第 2 章、第 3 章ではルームエアコン群とセントラル空調群で比較してきたが、ここでは逆潮流量に応じたグループ分けに着目する(表 4-4)。実績値の年間逆潮流量(kWh/年)に応じ、グループ 1:~1500、グループ 2:1500~3500、グループ 3:3500~5500、グループ 4:5500~とした。HP 給湯器の昼沸き上げ、定置型蓄電池の導入、V2H 日常エネマネの再エネ自家消費効果を、それぞれのグループの平均として算出した。V2H 日常エネマネは車両自己消費の抜本的な軽減を将来的な技術革新として見込んでいる。

図 4-24 でまずはじめに分かることは、図中左に位置する逆潮流量の多いグループ 4 ほど、電力自給率 Y を向上するポテンシャルが大きい。これは従来は余剰であった再エネの大きさを反映している。図中右に位置する逆潮流量の少ないグループ 1 は、電力自給率 Y の向上は小さく、再エネ自家消費率 X は約 9 割と再エネをほぼ使い切った状況になる。改善方向を示すベクトルは、逆潮流量の多いグループ 4 で Y 方向(電力自給率改善)、少ないグループ 1 で X 方向(再エネ自家消費率改善)となる。電力自家消費効果の小さい HP 給湯器の昼沸き上げは、すべての世帯にマッチする行動変容といえるが、前述のように電力プランに課題がある。定置型蓄電池 呼称容量 6kWh(実効容量 5kWh)の導入も同様にすべての世帯にマッチし PV 搭載量や逆潮流量の大小、宅内需要の特徴に関わらず使いこなせる住宅設備導入の行動変容といえる。一方で、大容量定置型蓄電池 呼称容量 12kWh(実効容量 10kWh)は、グループ 3、4 の逆潮流量の多い世帯、典型的には PV 搭載量が 6kW 以上の世帯では電力自給率 Y の改善が大きい、もっとも世帯数の多い分布の中心であるグループ 2 では再エネ自家消費率 X の改善はみられるが、電力自給率 Y の改善が緩やかである。もっとも逆潮流量の小さいグループ 1 は中容量 定置型 ESS6kWh と X Y とも何ら効果は変わらず、蓄電容量を使いこなせていない。さらに電力自家消費効果の大きい行動変容として、V2H 日常エネマネ導入について、逆潮流量が大きいほど、典型的には PV 搭載量が大きい世帯ほど電力自給率改善効果が大きい。使いこなせるのはグループ 4、3 までといえる。グループ 2 では、車載蓄電池 71kWh(63kWh)を用いても大容量定置型蓄電池 呼称容量 12kWh(実効容量 10kWh)と同等の効果しか発揮しない。

既存戸建住宅は居住段階で毎年の年間逆潮流量は電力小売事業者への売電実績として居住者自身が容易に把握できる。そのため、図 4-24 から売電量(逆潮流量)に応じ、自らの住まいと住まい方にどのような再エネ自家消費の方策がマッチするのかを簡易的に自己判断できる。具体的には、FIT 買取期間満了を迎えるタイミングで、電力自家消費型への暮らしの行動変容として選択すべき方策を絞り込むことができる。しかしながら導入する世帯によっては、十分な効率が発揮できない方策もある。V2H 日常エネマネは車載蓄電池容

量が大きければ自家消費はある程度は直線的に大きくなるため、PV10kW 超の世帯においては他に比較できないほどの自家消費効果がえられる。一方で、充放電効率が定置型 ESS よりも悪いため、グループ 1 においては逆転現象がみられる。2030 年以降、EV 普及に伴い自宅にほとんど使わないセカンドカーの EV が常時駐車してあるような世帯であれば、V2H スタンド導入だけでコスト負担少なく電力自家消費型の生活を開始できると予測できる。

新築計画段階において、入居前に逆潮流量を予測することは困難であるが、典型的には PV 搭載量の大小により類似の判断ができる。HP 給湯器昼沸き上げは電力プランに課題があるため、現時点で（導入コスト除き）すべての世帯に新築時点で推奨できる方策は、中容量定置型蓄電池 6kWh といえる。

表 4-4. 再エネ利用最大化のための年間逆潮流量と導入施策のマッチング

Group No.	年間逆潮流量 (kWh/年)	HPWH_d	ESS_6	ESS_12	V2H	構成比率 住宅の特徴
1	~1500	○	○	×	×	10%, PV ave.3kW
2	1500~3500	○	○	△	△	65%, PV ave.4kW
3	3500~5500	○	○	○	○	15%, 6kW, ZEH 相当
4	5500~	○	○	○	◎	10%, 11kW, LCCM 相当

HPWH_d : HP 給湯昼沸き上げ、ESS_6 : 定置型蓄電池 6kWh、ESS_12 : 定置型蓄電池 12kWh、V2H : V2H 日常エネマネ

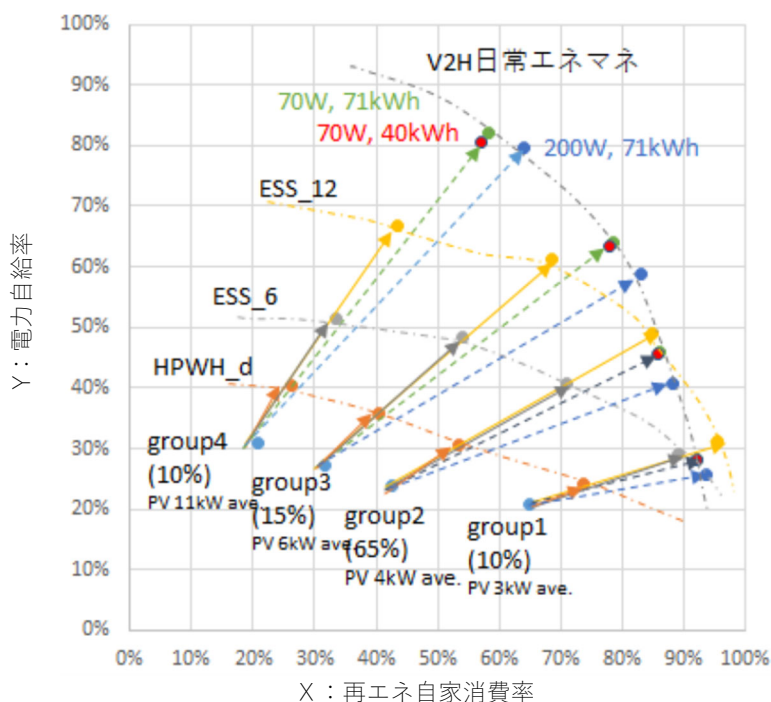


図 4-24. 逆潮流量によるグループ分けに基づく行動変容と再エネ自家消費の関係

4-4-2 組み合わせの影響（交互作用）

①組み合わせの目的と一覧

行動変容が同時に採用された場合、その組み合わせにより再エネ自家消費に相乗効果を発揮するもの、逆に効果が見込まれなくなるものが想定される。表 4-5 に示すように、741 世帯について、行動変容組み合わせ 36 通りを計算した。V2H 導入、PV 増し張り、断熱リフォームは採用の可能性がごく小さいため、試算から省略した。

表 4-5. 行動変容の組み合わせ

	①WFH	②EVC	③HPWH	④ESS	
	0,1,2	0,1,2	0,1	0,1,2	
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	ESS1
3	0	0	0	2	ESS2
4	0	0	1	0	HPWH
5	0	0	1	1	
6	0	0	1	2	
7	0	1	0	0	EVC1
8	0	1	0	1	
9	0	1	0	2	
10	0	1	1	0	
11	0	1	1	1	
12	0	1	1	2	
13	0	2	0	0	EVC2
14	0	2	0	1	
15	0	2	0	2	
16	0	2	1	0	
17	0	2	1	1	
18	0	2	1	2	
19	1	0	0	0	WFH
20	1	0	0	1	
21	1	0	0	2	
22	1	0	1	0	
23	1	0	1	1	
24	1	0	1	2	
25	1	1	0	0	
26	1	1	0	1	
27	1	1	0	2	
28	1	1	1	0	
29	1	1	1	1	
30	1	1	1	2	
31	1	2	0	0	
32	1	2	0	1	
33	1	2	0	2	
34	1	2	1	0	
35	1	2	1	1	
36	1	2	1	2	

WFH：在宅勤務（0：なし、1：あり）、EVC：EV 基礎充電（0：なし、1：昼、2：夜）、HPWH：HP 給湯沸き上げ（0：夜、1：昼）、ESS：定置型蓄電池（0：なし、1：6kWh、2：12kWh）

②相乗効果のあったもの：組み合わせ No.15

EV 夜充電と大容量定置型蓄電池の組み合わせにおいて、再エネで EV 基礎充電できるかを検証したところ、充電における再エネが占める割合は世帯平均で 1～2 割程度に留まり、世帯別さらには季節間でのばらつきも大きく、再エネでの充電は限定的であった。この理由は EV 充電が見込まれる深夜時間帯には定置型蓄電池からの放電が完了しており、系統電力からの充電が支配的なためであった。

③効果を打ち消しあったもの：組み合わせ No.6

HP 給湯昼沸き上げと大容量定置型蓄電池（12kWh）の組み合わせにより、日中の PV 再エネの競合関係となり、買電量が増えた。HP 給湯昼沸き上げは高効率に定格出力で沸き上げるために、PV 再エネの余剰にあわせて出力を絞ることができない。一方で定置型蓄電池は再エネ余剰のみを柔軟に蓄電するグリーンモードのため、HP 給湯昼沸き上げが優先される。なお、中容量定置型蓄電池（6kWh）との組み合わせでは問題を生じなかった。

4-4-3 再エネ自家消費のための家庭用定置型蓄電池の最適設備容量

家庭用定置型蓄電池の蓄電容量が無限に大きければ再エネ自家消費率と電力自給率を最大化できるが、通年で稀にしか用いられない過剰な設備投資と無駄が発生する懸念がある。秋元らは、住宅電力消費モデルのシミュレーションにより、戸建住宅においては定置型蓄電池容量の増加に伴い未利用量が次第に増え、10kWh 超の容量は過剰であると述べた⁴⁻¹⁴⁾。住宅電力消費モデルを活用したシミュレーションは精緻な条件設定が可能だが、その限界として世帯のばらつきが考慮できないため、本研究では逆のアプローチで多数世帯の消費電力量・発電量の実測値から最適蓄電容量（実効容量）を求める。容量を使いこなせない無駄を定義し、741 世帯の実データをもとに使いこなして定置型蓄電池の容量を算出する。

図 4-25 に、大容量定置型蓄電池（実効 15kWh）の蓄電量（Wh）の 1 週間の経時変化を示す。図中①は日中に宅内消費が多かったか、あるいは天候不良により十分な再エネが得られず、満充電にできなかった事例であり、1 週間のうち 2 回は満充電にできなかった。蓄電容量の増大に伴い、発電量不足や宅内電力消費量が卓越する日などは満充電にできない日数も増加していくものと想定される。これを踏まえ、第一の評価指標 P：年間満充電回数は、1 年のうち日中の PV 再エネで定置型蓄電池を満充電にできた合計日数（0～365 日/年）とする。図中②は夜間に蓄電池からの放電による再エネを使い切れなかった事例である。蓄電容量の増大に伴い、再エネを蓄電しても使いきれない日などは翌日に再エネを持ち越してしまう無駄が発生する。これを踏まえ、第二の評価指標 Q：年間放電完了回数は、1 年のうち、再エネを夜間に放電完了して翌日に持ち越さなかった合計日数（0～365 日/年）とする。

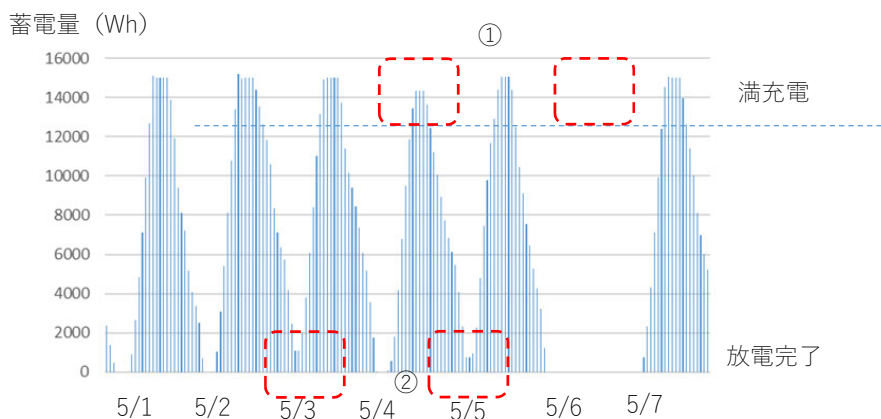


図 4-25. 定置型蓄電池の蓄電量の経時変化（2020 年 5 月第一週）

Nearly ZEH～「ZEH」相当の PV 容量 4～6kW の世帯を対象として、図 4-26 に計算結果を世帯別にプロットする。はじめに市販品最小容量の(a)2.5kWh を縦軸方向に見ると、Q：年間放電完了回数は世帯平均 365 回/年、つまり全世界帯・全日とも放電を完了した。これは蓄電容量 2.5kWh は戸建住宅のベース負荷約 300W だけでも夜間のうちに季節問わず放電が完了できる控えめな容量のためである。横軸方向に見ると、P：年間満充電回数は左右に

ばらついているが、日中の世帯の電力負荷により異なる。次に(b)5kWhを見ると、分布はわずかに紙面左方向に移動し、満充電回数が減少した。いくつかの世帯は下方方向に大きく移動しており（図中①）、これらの世帯では放電完了回数が減少していることから、夜間に蓄電した再エネを使い切れていないことが分かる。(c)(d)(e)(f)と蓄電容量の増大に伴って、この傾向は強まり、(f)10kWhではP：年間満充電回数の世帯平均は153回/年、Q：年間放電完了回数の世帯平均は231回/年といずれも大きく減少している。特にQのばらつきが大きく、図中②の世帯では夜間に再エネを使い切れず翌日に持ち越す無駄が発生している。

図4-27に世帯平均のP,Qを蓄電容量ごとに再整理する。網掛けは、P、Qが同時に年間日数の過半となる領域である。明確な目安とは言えないが、この領域には蓄電容量7kWhまでが包含されるため、PV搭載量が4～6kWの世帯への分布を考慮した適合性が高いものと考えられる。蓄電容量8kWh以上においては、容量の過剰感が見受けられる。住宅計画段階（新築時）に定置型蓄電池を導入する場合は入居後の宅内負荷や余剰電力の実態が想定できないため、蓄電容量5～7kWhを採用すべきである。運用段階（入居後）の例えばFIT買取期間満了時点では、居住者は逆潮流量を定量的に把握できているので、実態に即した定置型蓄電池の容量選定が可能である。

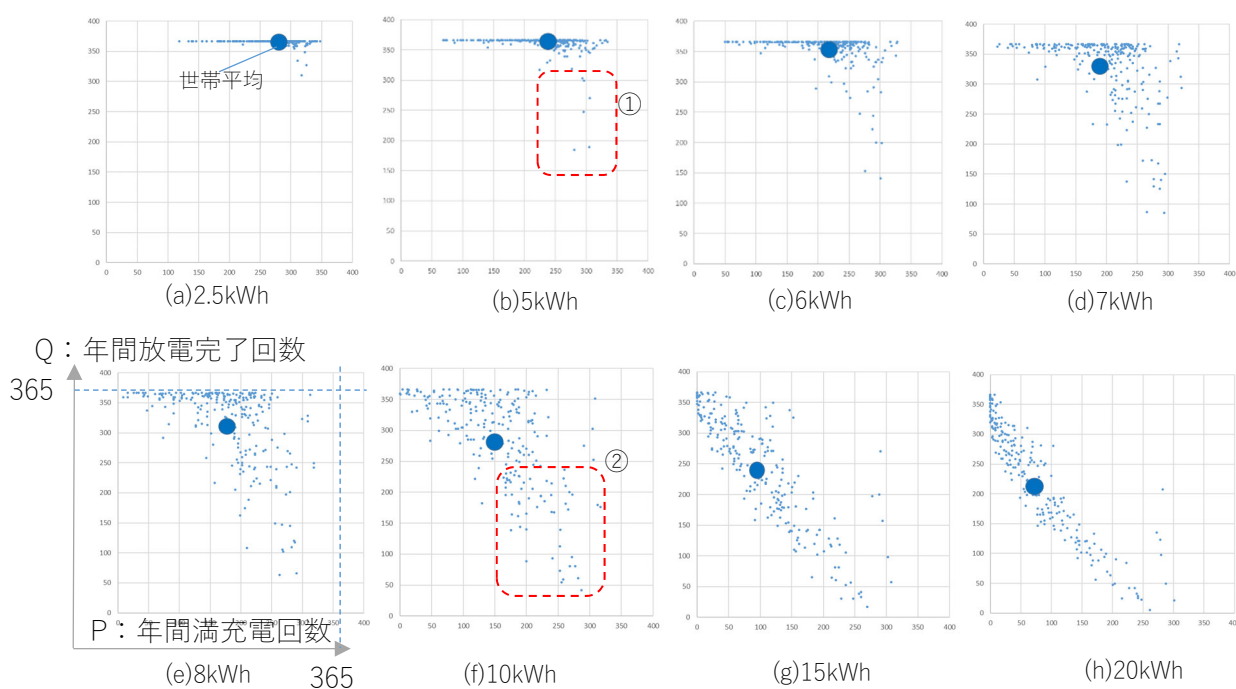


図4-26. 定置型蓄電池 容量別の検討 (PV 搭載量 4～6kW)

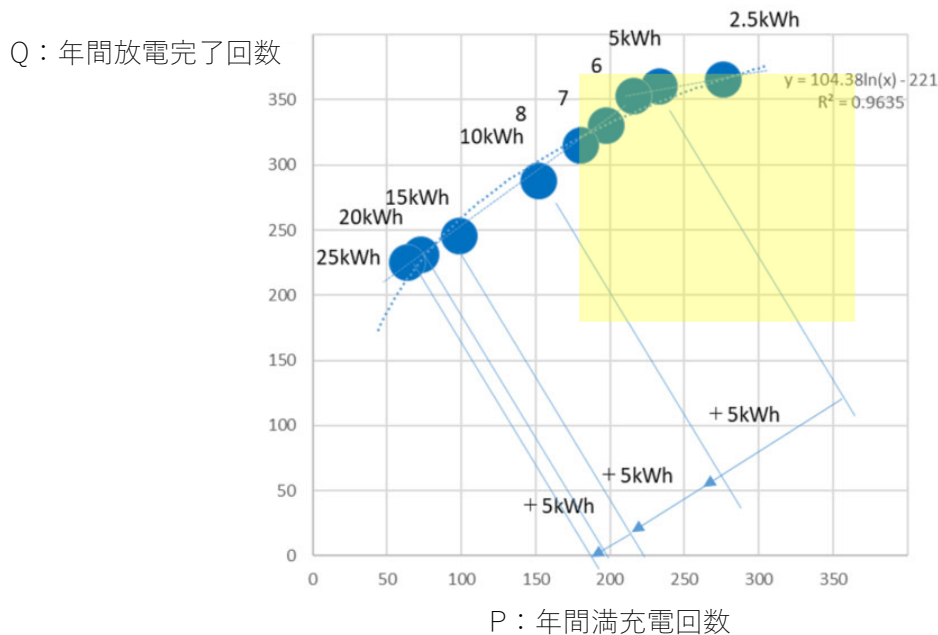


図 4-27. 蓄電容量による評価指標 (P, Q) の変化 (PV 搭載量 4~6kW の世帯平均)

以上は Nearly ZEH~「ZEH」相当の PV 搭載量 4~6kW の世帯を扱ったが、4kW 未満、6kW 以上の世帯においても同様の検討を行った。図は省略するが、その結果をまとめると表 4-6 になる。PV 搭載量が大きいと、大容量定置型蓄電池との適合性が高い。逆に PV 搭載量が小さければ、定置型蓄電池容量も蓄電容量を抑えるべきである。住宅計画段階（新築時）の蓄電容量決定において、世帯毎のばらつきが生じる前提ではあるが概ね PV 搭載量で判断が可能である。

表 4-6. 定置型蓄電池容量と PV 搭載量 の適合性

PV 搭載量	8kW<	△物足りない	△物足りない	△物足りない	○やや物足りない	◎	◎	△やや過剰	×過剰	×過剰
	6-8kW	△物足りない	△物足りない	○やや物足りない	◎	◎	△やや過剰	×過剰	×過剰	×過剰
	4-6kW	△物足りない	○やや物足りない	◎	◎	△やや過剰	△やや過剰	×過剰	×過剰	×過剰
	4kW>	△物足りない	◎	◎	△やや過剰	△やや過剰	×過剰	×過剰	×過剰	×過剰
		2.5kWh	5kWh	6kWh	7kWh	8kWh	10kWh	15kWh	20kWh	25kWh

定置型蓄電池 実効容量

4-5 小括

本章における研究の独自性は、暮らしの行動変容が宅内消費電力に与える影響をモデル化し、多数世帯の電力データに適用して再エネ自家消費の二つの評価指標で二次元的に評価した点にあり、類似の先行研究は存在しない。

本章では多数世帯の消費電力量実測値をもとに、暮らしの行動変容が電力自家消費に与える影響を定量化・可視化した。定量化手法として、世帯毎の消費電力量実測値を初期値として、暮らしの行動変容を反映した新たな電力量データを作り出して両者を比較した。可視化手法として、X：再エネ自家消費率、Y：電力自給率を二次元にプロットした。その結果、以下の知見を得た。

- ・家庭用定置型蓄電池の導入の有効性が際立つ結果となった。容量の使いこなしの観点から、中容量（実効5～6kWh）であればすべての世帯に導入して無駄がないと判明した。
- ・HP 給湯屋沸き上げは湯沸かしにおける再エネ率が世帯平均で3割に満たない結果となった。残りの7割は日中の高単価の系統電力を買電することになり、経済合理性の観点から注意が必要であることが分かった。
- ・EV への日中の充電は充電実態から分析するとそのほとんどが系統からの買電となり、再エネ自家消費への寄与は限定的である。再エネ余剰のみを選択的に充電するためには特別なエネルギーマネジメントが必要となるので、第6章で述べる。
- ・在宅勤務の開始は、設備導入に依存しない暮らしの行動変容であるが、再エネ自家消費率の向上に一定の貢献を示した。
- ・暮らしの行動変容がX：再エネ自家消費率、Y：電力自給率を押し上げたが、世帯間のばらつきは拡大する傾向であった。主に逆潮流量の大小が影響している。
- ・世帯の年間逆潮流量の把握により、住まいと住まい方にどのような再エネ自家消費の方策がマッチするのかを判断できる。特に、FIT 買取期間満了を迎えるタイミングは、居住者が電力自家消費型への暮らしの行動変容を検討する時期であり、この判断指標は有効である。
- ・暮らしの行動変容の前後について、年間電気代を世帯別に算出し、行動変容のモチベーションとなる経済性を把握した。年間電気代の算定は試算条件により結果が大きく変動するが、本研究で扱わなかった電力プラン、電力単価であっても将来的な追加検討は容易である。

第2章で題材として扱ったコロナ禍の行動変容は在宅勤務を除きすべてが1年後にはもとに戻った。それを踏まえると再エネ自家消費型の住まいと住まい方を定着させるためには、行動変容の持続的なモチベーションが必要である。本章で算出した行動変容による年間電気代の削減金額は必ずしも十分ではないため、これを補う社会制度としてそ環境性向上による減税等のインセンティブの付与を検討すべきである。

本章では効果の定量化・可視化のためすべての世帯に一律に行動変容が採用されたものと仮定して検討をすすめた。現実にはそのようなことはなく、将来的に高確率の採用が予測される行動変容とそうでないものが入り混じっている。暮らしの行動変容に伴うベクトルの長短だけで判断することは拙速であり、次の第5章で予測モデルを提案する。

参考文献（第4章）

- 4-1) 岩井一博, 浅野良晴, 藤木奈々子: 震災前後の長野県、山梨県、新潟県における戸建て住宅のエネルギー消費量と節電実態に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第83巻, 第743号, pp.87-96, 2018.01
- 4-2) 林小勇, 梅宮典子: 災後の節電下における家庭の冷房使用の意識と実態, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻, 第727号, pp.785-794, 2016.9
- 4-3) 西尾健一郎, 大藤建太: 世帯による節電率の差異や各種対策による節電効果の分析, 日本建築学会環境系論文集, 第77巻, 第679号, pp.753-759, 2012.9
- 4-4) 八木田 克英, 岩船 由美子, 荻原 美由紀, 藤本 剛志: 東日本大震災後の家庭における節電行動の規定要因, エネルギー・資源, Vol.33, No.4, 2012.9
- 4-5) 資源エネルギー庁: エネルギー白書2012, 参照 2021.6.1 [WEB]
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2012html/1-2-1.html>
- 4-6) 資源エネルギー庁: エネルギー白書2021, 参照 2021.10.15 [WEB]
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/>
- 4-7) 金 ジョンミン, 徐 天舒, 常岡 優吾, 田辺 新一, 林 泰弘, 森戸 直美: 住宅における予冷予熱運転による太陽光発電電力の有効利用に関する実証研究, 日本建築学会環境系論文集, 第84巻, 第755号, pp.73-81, 2019.1
- 4-8) 金 ジョンミン, 常岡 優吾, 大木 玲奈, 田辺 新一, 林 泰弘, 森戸 直美: 住宅における予冷運転によるデマンドレスポンスへの適応を目指した実証研究, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第769号, pp.215-224, 2020.3
- 4-9) Filomeno M. Vieira, Pedro S. Moura, Aníbal T. de Almeida: Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings Renewable Energy, vol.103, pp.308-320, 2016
- 4-10) 太田 真人 岩船 由美子 大岡 龍三: 戸建て住宅における HEMS データを活用したエネルギー利用実態の分析 (その3): 太陽光発電と蓄電池を含む収支実態分析と自給率達成条件の試算, 日本建築学会技術報告集, 第86巻, 第784号, pp.660-669, 2021.6
- 4-11) 東京電力エナジーパートナー, 電気の料金プラン一覧,
<https://www.tepco.co.jp/ep/private/plan/index-j.html>
- 4-12) 資源エネルギー庁, 自動車の“脱炭素化”のいま (後編) ~購入補助も増額! サポート拡充で電動車普及へ, 2022.11
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/xev_2022now_2.html
- 4-13) SONY 損保, 2021年全国カーライフ実態調査,
https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2021/08/20210824_01.html
- 4-14) 秋元 瑞穂, 金 ジョンミン, 常岡 優吾, 大木 玲奈, 田辺 新一, 林 泰弘, 森戸 直美, 電気自動車の利用を考慮したゼロ・エネルギー住宅の自家消費運用手法の提案, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第770号, pp.277-287, 2020.4

第5章 暮らしの行動変容を反映した再エネ自家消費率・電力自給率の将来予測

5-1 本章の目的

5-1-1 2035年までの電力自家消費の予測

第4章では自家消費型住宅を実現する暮らしの行動変容の効果の可視化・定量化を試みた。世帯毎の発電・需要の時刻変化の多様性から、再エネ自家消費率と電力自給率を改善する効果には世帯間の差異が大きいため、本章の目的は2050年カーボンニュートラル達成の中間地点として、移行期である2035年における、戸建住宅の再エネ自家消費の将来予測(図5-1における赤囲い)を行うことである。世帯毎の再エネ自家消費率と電力自給率の予測式を導出し、家庭部門(住まいと自家用車)の二酸化炭素排出量を予測する。

さらに、得られた知見から、対象戸建住宅の住まいのライフサイクルを考慮し、電力自家消費の推進のために2035年までに優先的に着手すべき対応と課題を抽出する。対応と課題は居住者自身だけでなく、エネルギー事業者、住宅供給事業者など、住まいと住まい方の関係者に対し広く考察する。

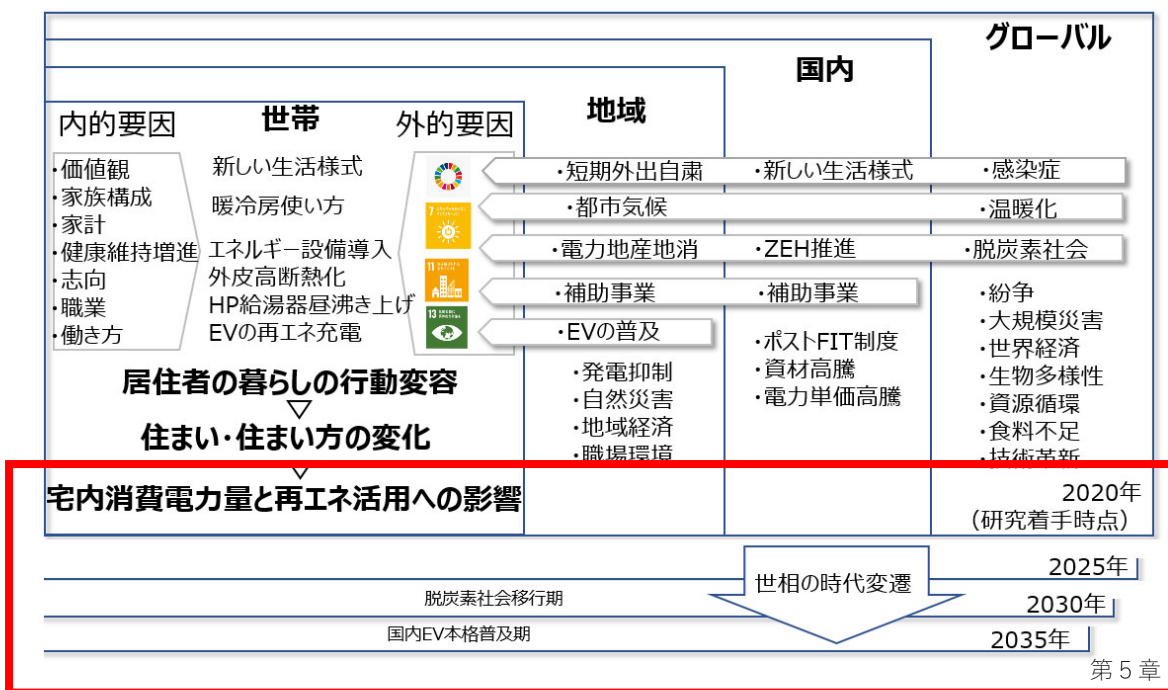


図 5-1. 研究対象領域における将来予測のイメージ

5-1-2 暮らしの行動変容の意思決定プロセス

将来予測には「年代」と「行動変容の採用度合い」のふたつの変数が新たに必要となる。例えば第4章に示した定置型蓄電池導入の行動変容は再エネ自家消費のベクトルが長く効果が認められるが、将来のある時点における採用度合いが低ければ実質的には社会全体の再エネ自家消費には寄与しないためである。「年代」に関して、第1章で述べた本研究の目的に従い、脱炭素社会への移行期である2035年まで、5年刻みでの検討する。

「行動変容の採用度合い」については、本来は居住者の複雑な意思決定プロセスにもとづくため、多数世帯を扱ううえで構造化が困難である。前項の目的を達成できる範囲で、図5-2の行動変容のプロセス（赤囲い）を単純化してすすめる。図中ステップ1の要因を認識するタイミングは、住まいのライフサイクルにおいて予め想定できる要因（i.e. FIT 買取期間満了）と、住まいとは関連無く随時発生するもの（i.e. 在宅勤務）がある。「年代」の設定にあわせ、一律に5年毎とした。図中ステップ2の判断は、認識した要因に対しある時点で居住者が置かれる状況と価値観に照らし合わせて行動変容の採否判断するため、千差万別である。極めてパーソナルな要因を世帯別に考慮することは困難なため、対応として現時点で得られる根拠から行動変容毎に採用確率を各年代に設定し、居住者はこの採用確率に基づき行動変容の採否を決定するものとした。現時点で正しいと考えられる仮定にもとづくが、今後の技術革新や社会変化によって採用確率の変動はありうる。そのような場合には、採用確率を再定義して再試算が可能である。図中ステップ3の電力自家消費に影響を及ぼす暮らしの行動変容は、第4章で抽出とモデル化が完了している。図中ステップ4の定着について、居住者にとって行動変容の結果が満足いかなければ、見直しや取りやめの対応が想定されるが、単純化のため一旦採用された行動変容は継続するものとした。

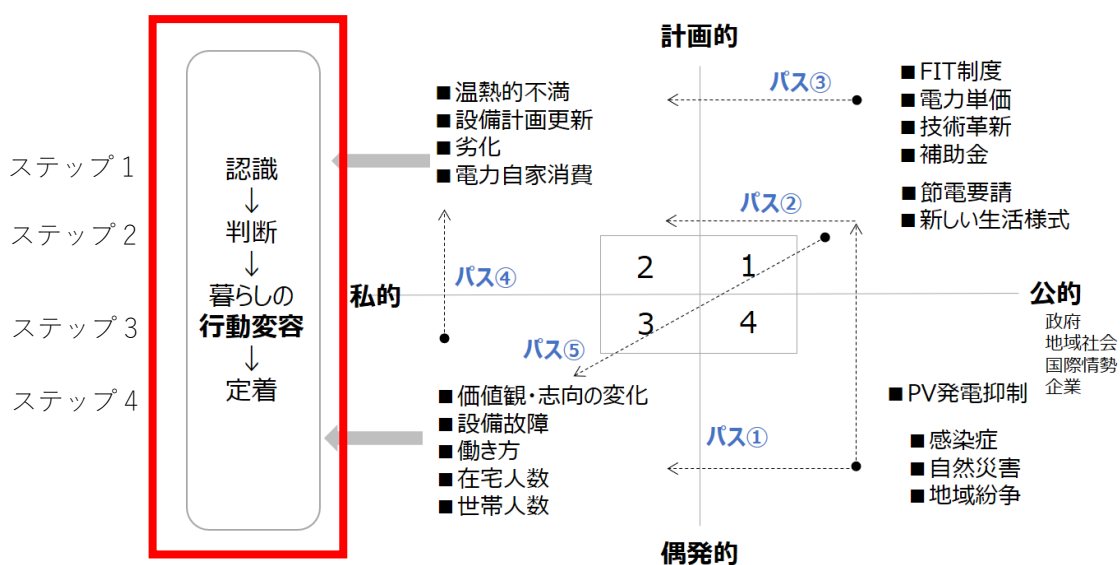


図5-2. 暮らしの行動変容のプロセス

5-2 再エネ自家消費の予測手法

5-2-1 行動変容の採用確率と水準

評価対象住宅は第4章と同様に全電化住宅741世帯（うちRAC444世帯、CAC297世帯）とした。暮らしの行動変容として、自家消費予測モデルへの組み込みは第2章から「在宅勤務の一部世帯への定着」が再エネ自家消費率、電力自給率に影響を及ぼすことを導いた。第3章からは短期的には暖冷房の使い方は世帯毎に固定的であると結論付けたため採用しなかった。今後、地球温暖化で夏の暑さがさらに厳しくなるとすれば、冷房空間の拡大、冷房時間の増加、さらには冷房消費電力量の比例的な増加が懸念されるが、ミクロスケールでの外気温度の5年単位での予測技術は現在は不足しているため、世帯別予測モデルへの組み込みは困難と判断した。本章の予測モデルは追加性があるため、将来の技術革新による冷房消費電力量予測への組み込みは可能である。第4章からは再エネ自家消費として住宅設備導入のうち実効性のある方策として「家庭用定置型蓄電池の導入」「HP給湯器の昼沸き上げ」「EVの自宅充電」を選定した。これらの4つの行動変容は独立と仮定した。図5-3に示すように、2020年を基点に、2025年、2030年、2035年の行動変容それぞれの採用確率を設定し、その確率に基づいて各年次での行動変容の採否を決定する。各年代の採用確率は、普及黎明期から本格的普及期、普及後の3つのステージを想定するため、ロジスティック関数に基づくものとした。次に、図5-4に示すように、行動変容の採否を反映した1年分の電力需要(kWh/h)を新規に算出する。手法は第4章で述べたものと同様である。新しい電力需要・買電量・逆潮流量から、各年代のX:再エネ自家消費率、Y:電力自給率が算出できる。結果の偏りを無くすため、世帯毎・年次別に100回の試行を繰り返し、その平均値(①)をアウトプットとして採用する。

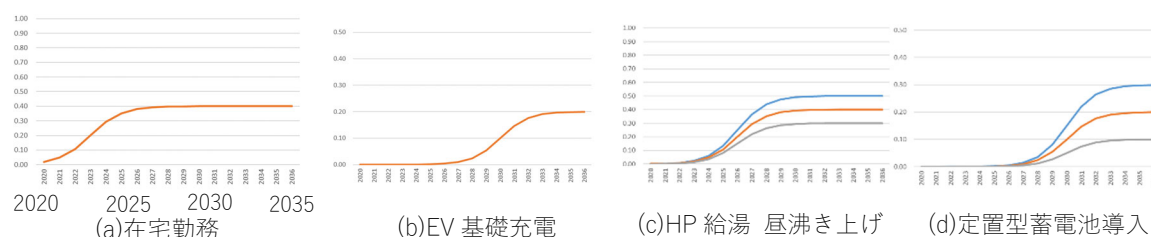


図 5-3. 暮らしの行動変容の年代毎採用確率（詳細は次項に記載）

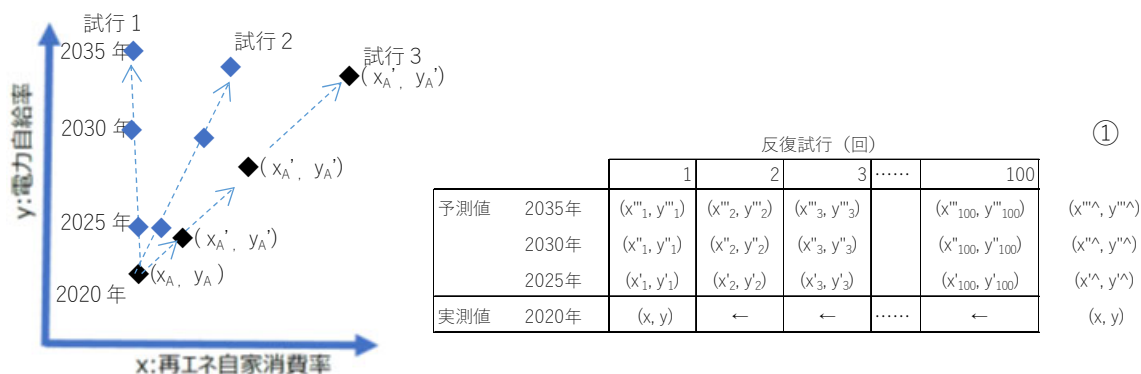


図 5-4. 世帯 A の再エネ自家消費将来予測（反復試行）

さらに、同一の行動変容でも異なる負荷水準を設定する。表 5-1 は n 回目の試行における世帯別・年代別の定置型蓄電池導入イメージである。一旦採用すると行動変容は継続して取りやめはないものとした。世帯 A は 2025 年に定置型蓄電池 6kWh を導入し、以降は取りやめずに 2035 年まで継続する。この意思決定は耐用年数が 10 年以上の住宅設備の運用として妥当である。世帯 B のように、未導入のまま 2035 年となる世帯もある。世帯 C は 2030 年に定置型蓄電池 6kWh を導入し、2035 年も継続となる。

「在宅勤務」「EV 導入」は居住者の内的な行動変容であり社会全体としては制御困難であるが、「HP 給湯器昼沸き上げ」「定置型 ESS 導入」は社会的な施策として推進可能であり、普及拡大する余地がある。さらに「定置型 ESS 導入」は第 4 章で示したように単体での効果が大きい。よって、表 5-2 に示すように、4 つの行動変容のうち居住者に促すことの可能な施策として「定置型蓄電池導入」3 水準×「HP 給湯器昼沸き上げ」3 水準=9 ケースで比較した。

表 5-1. 定置型蓄電池の年代毎採用イメージ

	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
世帯 A, 001	未採用	採用、6kWh	←	←
世帯 B, 002	未採用	未採用	未採用	未採用
世帯 C, 003	未採用		採用、12kWh	←
⋮				
世帯 12B, 739	未採用	未採用	未採用	採用、6kWh

表 5-2. 行動変容の採用確率の水準設定

	HP 給湯器昼沸き上げ	定置型 ESS 導入
ケース 1	低い：水準 1	低い：水準 1
ケース 2	↑	中庸（基準）：水準 2
ケース 3	↑	高い：水準 3
ケース 4	中庸（基準）：水準 2	低い：水準 1
ケース 5	↑	中庸（基準）：水準 2
ケース 6	↑	高い：水準 3
ケース 7	高い：水準 3	低い：水準 1
ケース 8	↑	中庸（基準）：水準 2
ケース 9	↑	高い：水準 3

5-2-2 4つの行動変容の採用確率と負荷水準の設定

(1) 在宅勤務の今後

第2章で導いたように、デジタル技術の進展を背景として新型コロナウイルス感染症蔓延を契機とした在宅勤務が一部の世帯に定着見込みである。図5-5に、ロジスティック関数にもとづく在宅勤務の年代別の採用確率を示す。現在の在宅勤務率は第2章の居住者アンケート調査からのコロナ禍での在宅勤務経験割合を引用した。定着の年代は日経BP調査⁵⁻¹⁾から引用し、短期的に2020年代後半には定着完了するものとした。負荷水準について、第2章の居住者アンケート調査から、在宅勤務の頻度は1～2日/週と2日超/週の比率は概ね2：1であったため、それぞれ日中の消費電力量（暖冷房除く）を+10%、+20%とした。

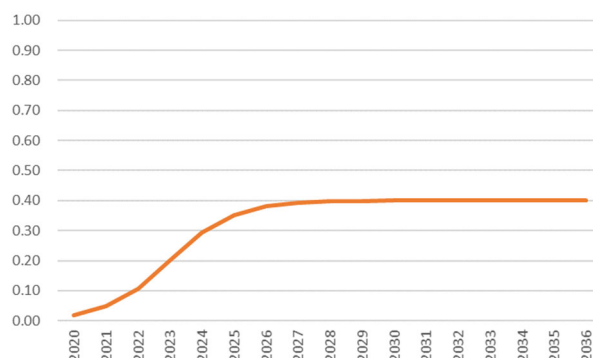


図 5-5. 在宅勤務の年代毎の採用確率

$$f(x) = a_0 \frac{N(0)}{N(0) + (1 - N(0))e^{-(t-2023)}} \quad (5-1)$$

ここで、

$$N(0) : 0.5$$

$$a_0 : 0.4$$

$$2020 \leq t \leq 2035$$

(2) EVへの乗り換え（基礎充電の開始）の今後

本研究の調査対象とした世帯においても、わずかではあるが+0.5%/年の割合で基礎充電が増加しており、EV・PHEVの緩やかな普及を確認している。国策としては、2035年に新車を全電動化（HEV, PHEV, EV, FCEV）が掲げられたものの、既存住宅で保有する車両のEV置換については不透明であり確定的な情報が得られなかった。そのため、業界関係者へのヒアリングから、2030年世帯への普及割合は1割強と想定した。負荷水準について、第4章で示したように深夜時間帯と日中の充電は9：1であり、これを採用した。

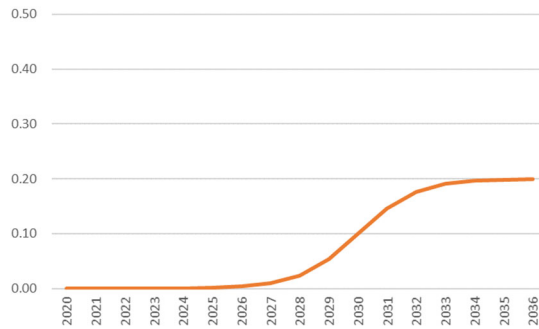


図 5-6. EV 基礎充電 採用確率

$$f(x) = a_0 \frac{N(0)}{N(0) + (1 - N(0))e^{-(t-2030)}} \quad (5-2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} N(0) &: 0.5 \\ a_0 &: 0.20 \\ 2020 \leq t &\leq 2035 \end{aligned}$$

(3) ヒートポンプ給湯器昼沸き上げの今後

分析対象とする 741 世帯は全電化住宅であり、HP 給湯器（夜炊型）が新築時点で採用されている。HP 給湯器の耐久年数は概ね 10～15 年のため、確実に故障・置換（リプレイス）需要が発生する。その際に、従来型の夜間沸き上げだけでなく、2022 年から一部地域では昼沸き上げ型が選択できるようになった。昼沸き上げ HP 給湯器は専用電力契約プランとセットでの導入となるため経済合理性については議論が残るが、日中の PV 再エネを自家消費する一定の価値がある方策と第 4 章で示した。対象の既存住宅は 2015～2016 年に新築されたので、2030 年には概ねすべての世帯でリプレイスが完了するものとした。普及シナリオは明確な情報が得られなかったが、図 5-7 のとおり想定した。

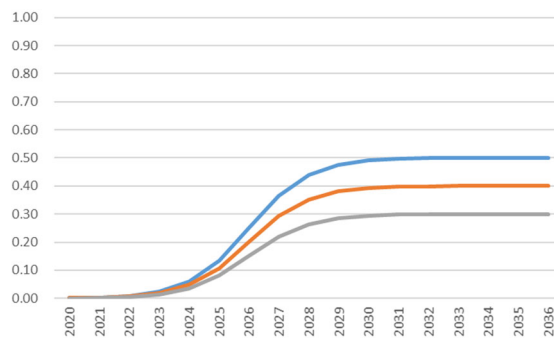


図 5-7. HP 給湯器昼沸き上げ型 採用確率

$$f(x) = a_0 \frac{N(0)}{N(0) + (1 - N(0))e^{-(t-2026)}} \quad (5-3)$$

ここで、

$$\begin{aligned} N(0) &: 0.5 \\ a_0 &: 0.5, 0.4, 0.3 \\ 2020 \leq t &\leq 2035 \end{aligned}$$

(4) 家庭用定置型蓄電池の今後

分析対象とする 741 世帯はすべて新築時に PV を採用しており、余剰電力の固定価格買取制度 (FIT) を活用している。これらの住宅は 2015~2016 年に新築されたので、FIT 余剰買取期間 (発電開始から 10 年間) が満了する 2024 年以降に再エネ自家消費型志向が強まると予想される。第 4 章で示したように、家庭用定置型蓄電池の電力自家消費効果は大きい。一方で現時点では導入費用が高く費用回収は不可能であるが、中期的には改善が見込まれており、例えばエネ庁の検討会⁵⁻²⁾から 2030 年のバッテリーパリティが想定されていることから、図 5-8 に示すように本格普及期はそれ以降と設定した。負荷水準は、富士経済調査レポートから容量二極化が示唆されるため、第 4 章の分析結果からすべての世帯で使いこなせる呼称容量 6kWh (実効容量 5kWh) と、大容量タイプとして 12kWh (実効容量 10kWh)⁵⁻³⁾を設定し、2 : 1 とした。

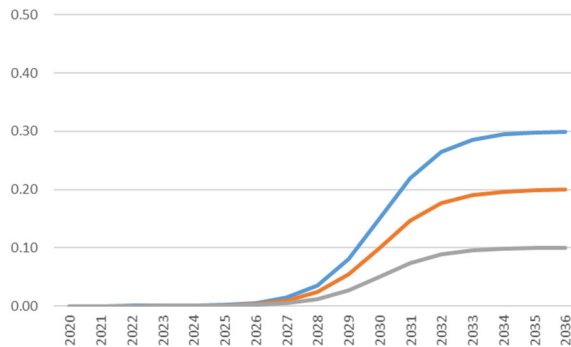


図 5-8. 家庭用定置型蓄電池 採用確率

$$f(x) = a_0 \frac{N(0)}{N(0) + (1 - N(0))e^{-(t-2030)}} \quad (5-4)$$

ここで、

$$\begin{aligned} N(0) &: 0.5 \\ a_0 &: 0.3, 0.2, 0.1 \\ 2020 \leq t &\leq 2035 \end{aligned}$$

5-2-3 計算プロセス

第4章で用いた多数世帯の消費電力量実測データに行動変容を反映する手法に以下の改良を加えて、2035年までの消費電力量、再エネ自家消費率、電力自給率を予測する。

各年代における4つの行動変容の採否は現実には居住者の意思決定にもとづく。意思決定の代用として行動変容の採用確率と水準を定義し（図5-9の①）、居住者の任意の意思決定を模擬するため十分な回数（100回）の試行を反復したと仮定して、その平均値をある年代における点推定としてアウトプットする（図5-9の②）。点推定した (x^{\wedge}, y^{\wedge}) は世帯Aで2025年時点の最尤値のため、特定の行動変容の組み合わせではなく期待値としての再エネ自家消費率、電力自給率と言える。これを9ケース、さらに年代毎に算出することで計算結果を得ることができ、③741世帯に同様の試行を繰り返す。

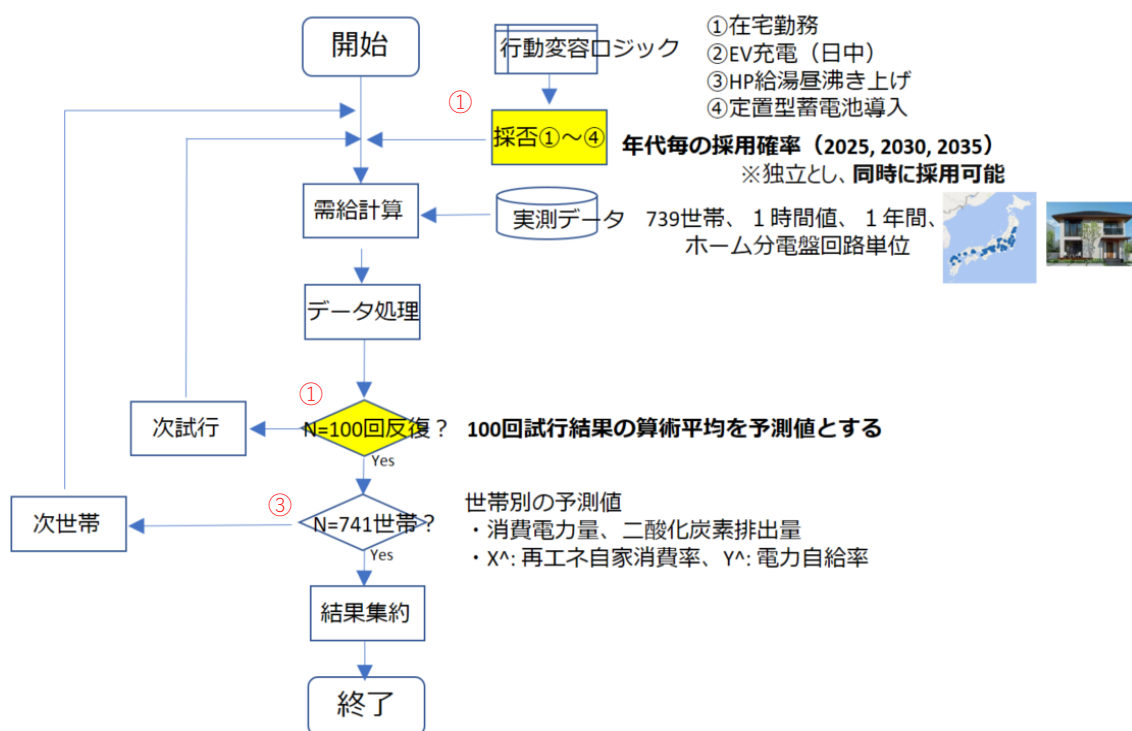


図5-9. 反復試行計算フロー全体

5-3 結果と考察

5-3-1 世帯別の評価・予測式

はじめに、世帯 A（建設地 愛知県長久手市、延べ面積 119m²、PV 搭載量 4.9kW、RAC、後述ケース 5）単独での結果を事例として確認する。第 4 章で各行動変容の影響を可視化したベクトルの長さより短いのが、これは効果に対してその年次での採用確率が考慮されるためである。図 5-10 の (x^{\wedge}, y^{\wedge}) は世帯毎に 100 回試行からの点推定のため、世帯 A のある年代における期待値として取り扱うことができる。

図 5-11 に示す X：再エネ自家消費率と Y：電力自給率の年代推移を示すベクトルは、概ね直線的である。4 つの行動変容のうち「在宅勤務」「EV 基礎充電」は電力需要増となり、「HP 給湯屋沸き上げ」は昼間の外気温が有利側のため電力需要減となる。電力需要そのものを変化させるため、厳密にはベクトルの方向を変えるが世帯の年間総消費電力量の一部であることから方向を大きく変えるまでには至らないと解釈できる。また、「定置型蓄電池」も厳密には充放電ロスが再エネの自家消費として計上されるため、ごくわずかにベクトルの方向を変えている。

2025 年時点での変化は小さく、短期的にはほぼ現状維持であり、再エネ自家消費には近づかない。在宅勤務が定着しても、日中の住宅の電力需給バランスを大きくは変えないためである。2025 年→2030 年には FIT 買取期間満了（2026 年）を迎えるため、定置型蓄電池の導入意欲が高まり、同時に HP 給湯器の故障に対して昼沸き上げ型にリプレースが見込まれるので、ベクトルは大きい。2030 年→2035 年には、定置型蓄電池の本格普及と EV 普及が同時に見込まれるため、やはりベクトルが大きい。2035 年には A 邸は築 20 年となるため、PV の単機能パワーコンディショナーは寿命交換となる可能性が高い。その際に、多機能パワコン+家庭用定置型蓄電池を導入する選択肢もある。子供の独り立ちなど家族構成の変化や現役からのリタイアを迎えて日中の在宅に変化が生じるなど、宅内活動の縮小・拡大が見込まれる時期に差し掛かっている。図 5-12 に再エネ自家消費の推移と予測式を示す。

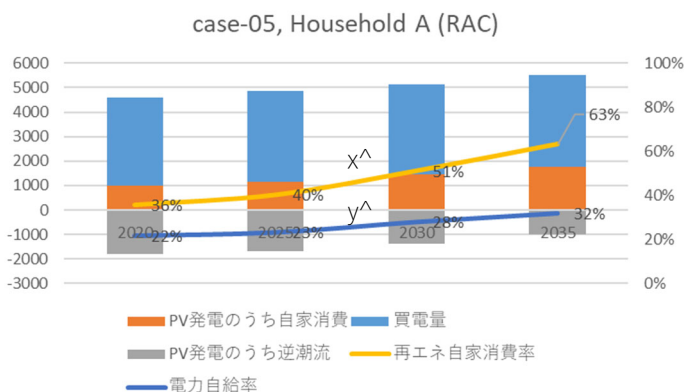


図 5-10. 世帯 A 年間消費電力量 推移

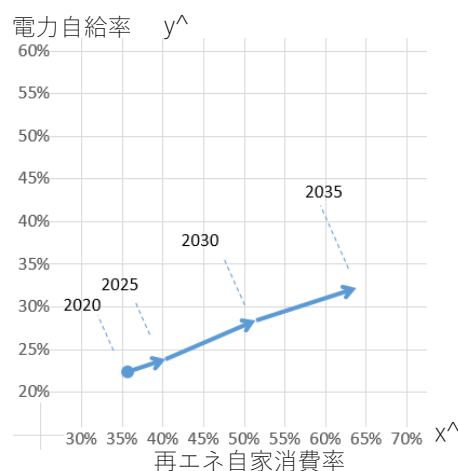
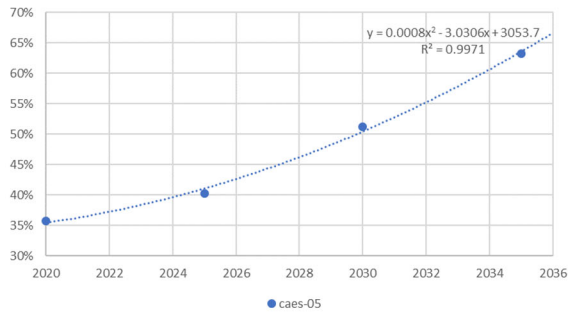
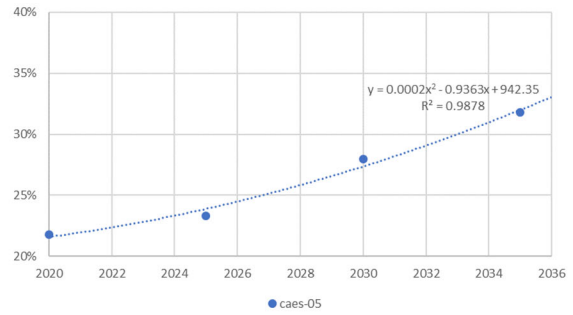


図 5-11. 世帯 A 再エネ自家消費 推移



(a) X^: 再エネ自家消費率



(b) y^: 電力自給率

図 5-12. 世帯 A 再エネ自家消費 推移

5-3-2 全世帯平均の評価・予測式

次に全世帯平均での宅内消費電力量と再エネ自家消費の予測結果を示す(図5-13)。宅内消費電力量は一貫して増加傾向にある。これはEV充電開始(基礎充電)によるところが大きい。X:再エネ自家消費率は2025-30年, 30-35年の変化が大きく、行動変容のうち定置型蓄電池の導入の影響が大きい。Y:電力自給率も同様である。住宅性能・PV搭載量は新築時に固定されるが、入居後の暮らしの行動変容によって電力需要と再エネ自家消費が変動することが分かる。図5-14にルームエアコン群とセントラル空調群の予測結果を示す。

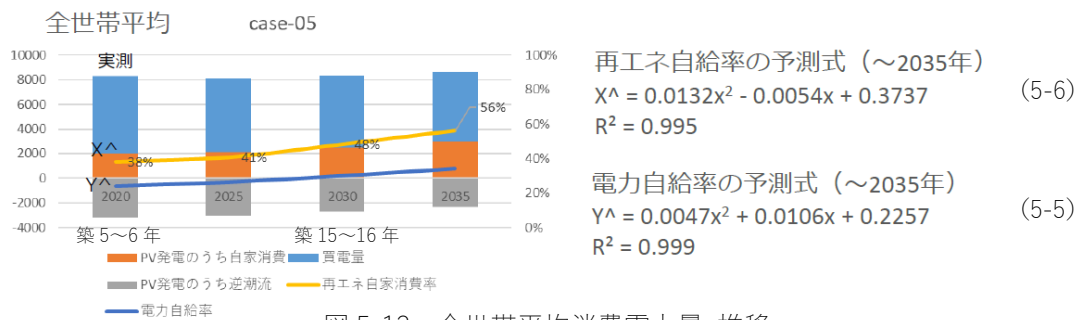


図5-13. 全世帯平均消費電力量 推移

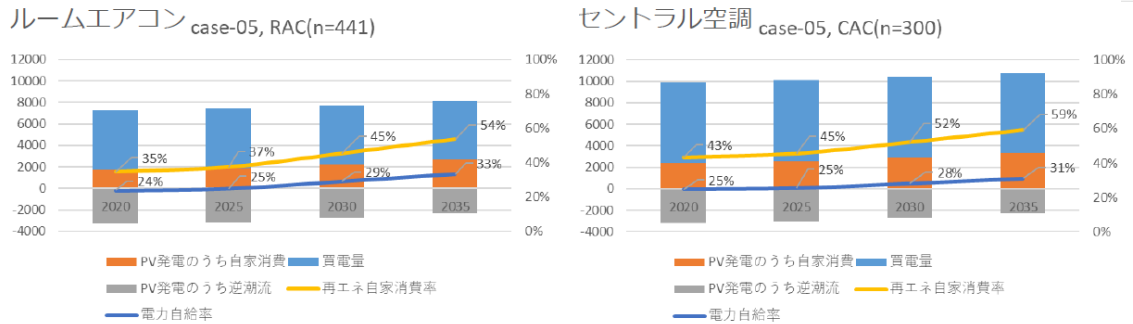


図5-14. RAC世帯平均、CAC世帯平均 消費電力量 推移

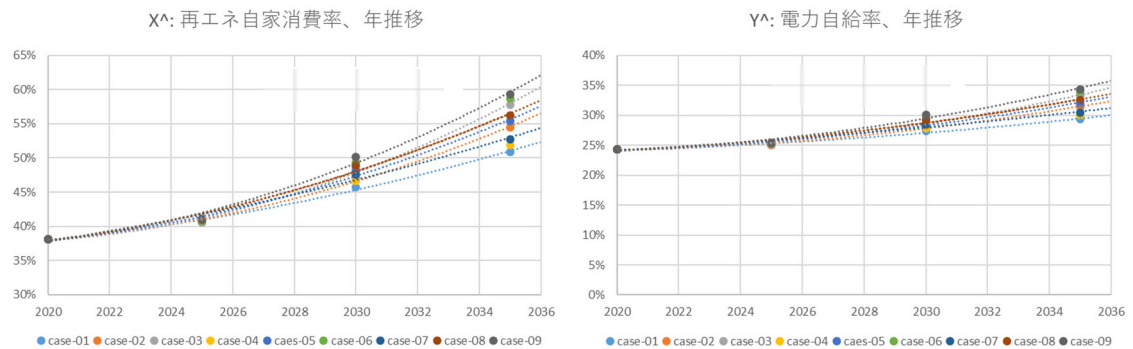


図5-15. 全世帯平均 再エネ自家消費率 推移

図 5-15 の 9 ケースの近似式として、表 5-3 に再エネ自家消費率、表 5-4 に電力自給率の予測式の係数と決定係数を示す。

再エネ自家消費率

$$\hat{X} = ax^2 + bx^2 + c \quad (5-7)$$

表 5-3. 再エネ自家消費率の将来予測（全世界平均の近似式）

	a	b	C	R ²
ケース 1	0.0003	-1.105	1112	0.996
ケース 2	0.0005	-2.002	2019	0.996
ケース 3	0.0007	-2.749	2773	0.996
ケース 4	0.0003	-1.042	1047	0.993
ケース 5	0.0005	-1.195	1930	0.994
ケース 6	0.0007	-2.665	2687	0.995
ケース 7	0.0002	-0.932	935	0.991
ケース 8	0.0004	-1.808	1821	0.993
ケース 9	0.0006	-2.504	2524	0.993

2020 ≤ x ≤ 2035

電力自給率

$$\hat{Y} = ay^2 + by^2 + c \quad (5-8)$$

表 5-4. 電力自給率の将来予測（全世界平均の近似式）

	a	b	C	近似式 R ²
ケース 1	0.0001	-0.517	521	0.990
ケース 2	0.0003	-1.021	1030	0.993
ケース 3	0.0004	-1.314	1445	0.993
ケース 4	0.0001	-0.471	474	0.986
ケース 5	0.0002	-0.956	964	0.990
ケース 6	0.0003	-1.373	1386	0.991
ケース 7	0.0001	-0.379	381	0.980
ケース 8	0.0002	-0.874	880	0.986
ケース 9	0.0003	-1.287	1298	0.988

2020 ≤ y ≤ 2035

5-3-3 ケース比較

(1) 全世帯平均値の9ケースでの比較

図 5-16 に、741 世帯の反復試行結果を示す。図中の青色のベクトルは各世帯の年次推移、白色のベクトルは全世帯平均である。はじめに、全世帯平均の X:再エネ自家消費率に着目すると、HP 給湯 昼沸き上げの導入確率の大小により（紙面 上から下に採用確率が高い）、2035 年時点で 2%の差が発生した。同様に、定置型蓄電池の導入確率の大小により（紙面 左から右に採用確率が高い）、7%の差が発生した。これらの組み合わせでは概ねその合計となる 9%であり、ふたつの方策を同時に進めても再エネ自家消費率は向上することが分かる。2020 年全世帯平均値 41%（実績）から、2035 年には 64%（ケース 9 試算値）まで改善が見込まれ、電力系統から見ると年間逆潮流量の 2 割が削減できる。

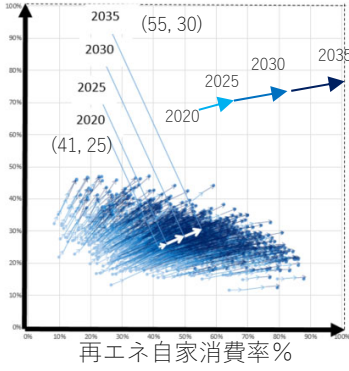
次に、全世帯平均の Y:電力自給率に着目すると、HP 給湯 昼沸き上げの導入確率の大小により（紙面 上から下に採用確率が高い）、2035 年時点で 2%の差が発生した。同様に、定置型蓄電池の導入確率の大小により（紙面 左から右に採用確率が高い）、4~5%の差が発生した。これらの組み合わせでは概ねその合計となる 6%であり、ふたつの方策を同時に進めても電力自給率は向上することが分かる。2020 年全世帯平均値 30%（実績）から、2035 年には 36%（ケース 9 試算値）まで改善が見込まれる。

数百世帯の住宅分譲地を想定すると、世帯数が多いほど電力系統への影響は大きい。特殊な事例としては、マイクログリッドを形成している場合には、本検討により高圧受電容量の見直し（適正容量への削減）も可能である。

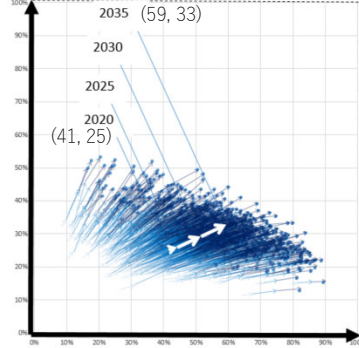
741 世帯の青色のベクトルは、2020 年実測値から 2035 年に向けて年代がすすむと概ね扇状に広がってゆくため、世帯毎のばらつきは対象とした暮らしの行動変容では縮小せず、拡大してゆくことが分かる。住宅計画時の PV 搭載量と住宅設備の意思決定の重要性があらためて認識される結果となった。

定置型蓄電池の導入確率が高い

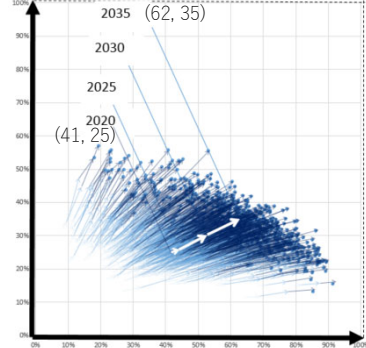
電力自給率%



再エネ自家消費率%
ケース 1

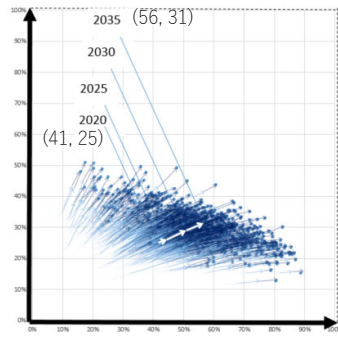


ケース 2

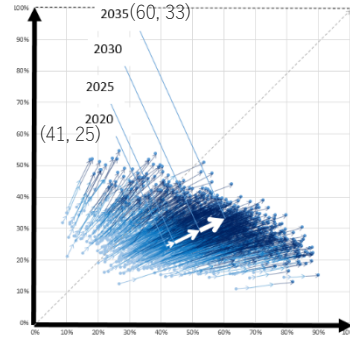


ケース 3

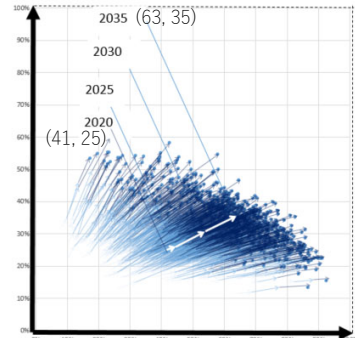
HP 給湯風向き上げの導入確率が高い



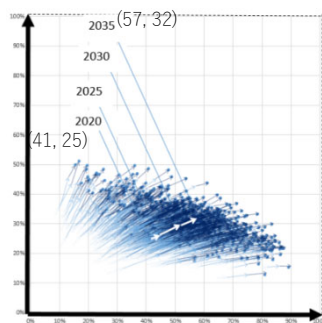
ケース 4



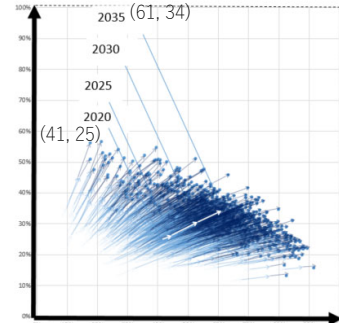
ケース 5



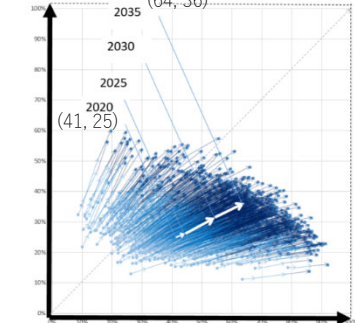
ケース 6



ケース 7



ケース 8



ケース 9

図 5-16. 反復試行による世帯別将来予測

図 5-17 に、9 ケースの全世帯平均値をそれぞれ年代毎にプロットする。2020 年から 2025 年までの変化は小さく、また 2025 年のケース間のばらつきも小さい。これは短期的には電力自家消費を向上する機会が平均的には少ないことを意味している。2025 年には在宅勤務が一定の割合で定着する想定をおりこんでいるが、日中の再エネ自家消費には世帯平均では寄与が少ない。2030 年を見ると、2025 年から約 1 割ほど X:再エネ自家消費率が向上し、Y:電力自給率も 5%ほど向上している。さらに 9 ケースのばらつきが発生している。9 ケースは定置型蓄電池の導入推進と HP 給湯器昼沸き上げ型へのリプレース推進から構成されるため、これらの 2 つの行動変容を促す施策により、研究対象とする既存住宅の電力自家消費を群として誘導できることが分かる。さらに 2035 年を見ると、分布が大きく広がると同時に分布を繋いだ線を見ると傾きがわずかに小さくなっている。これは EV 基礎充電を開始する世帯が増え、宅内消費電力量が増加したためである。2035 年は定置型蓄電池の導入が電力自家消費に寄与している。

詳細に 2030 年と 2035 年を比較すると、ケース 7・8 が 2035 年では順位を下げてきている。これらのケースは HP 給湯器昼沸き上げ型へのリプレースを強く推進したケースのため 2030 年では再エネ自家消費に有効であるが、2035 年には給湯器の故障・リプレース需要が落ち着いているため順位を下げてきている。言い換えれば、2030 年に向けて HP 給湯器を従来の夜沸き上げから昼沸き上げに順次リプレースを推進すれば、効率的に群全体平均を押し上げることができる。逆にそれ以降のリプレース時期を逃した後に推進しても価値が低い。代替として、2035 年時点では定置型蓄電池導入を推進すべきである。

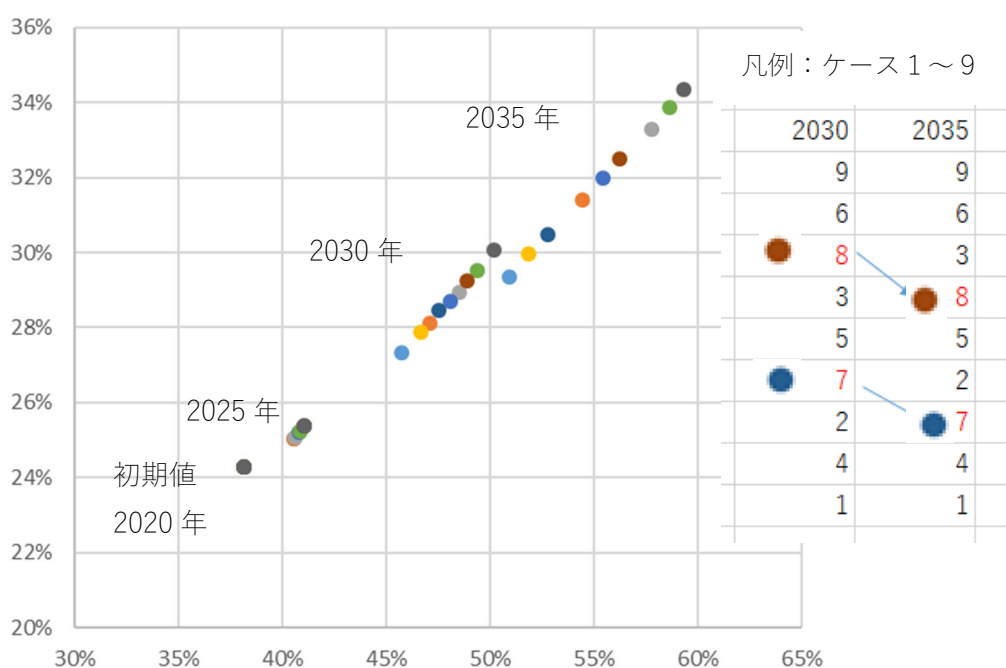


図 5-17. 反復試行による世帯別将来予測（全世帯平均値）

(2) 超高断熱住宅を仮定した追加検討

本研究で対象とした戸建住宅は 2015～2016 年に竣工した断熱等級 4～5 の高性能住宅である。仮想とはなるが、同時期に断熱等級 7 の超高断熱仕様、大容量 PV（平均 7.1kW）を搭載した住宅群を新規に設定し、ケース 5 での検討を試みた。図 5-18 に示すように、2020 年の基点（初期値）が大きく左上に移動していることが分かる。これは暖房負荷の半減による暖房消費電力量削減と PV 発電量が 1.5 倍に増加のためである。2020→2025 年の変化は小さく、超高断熱・大容量 PV の住宅でも同様の結果であった。2030 年、2035 年を見ると、重心の移動を表すベクトルの長さはほぼ同等である。宅内需要と発電量のバランスから、傾きが大きく Y：電力自給率の向上が大きい、一方で再エネが余剰気味のため X：再エネ自家消費率の向上は小さい。これは将来予測においても再エネが余剰気味の世帯はそれが大きく改善することは無く、その他の世帯と比較しても逆潮流が多い傾向は変わらないことを示している。

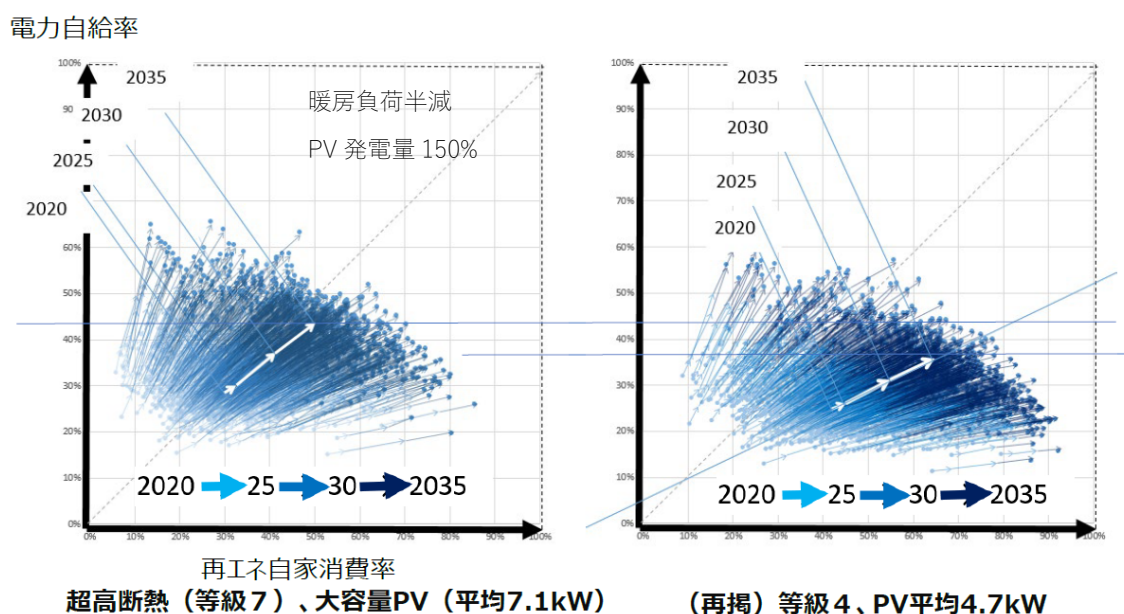


図 5-18. 超高断熱仕様+大容量 PV 搭載を想定した検討（ケース 5）

5-3-4 世帯からの二酸化炭素排出量による評価

提案する電力自家消費予測モデルは電力系統からの買電量（順潮流量）と再エネ自家消費を予測するため、いくつかの仮定のもと、暮らしの二酸化炭素排出量の算出が可能である。電力自給率が高まれば、電力系統からのグレー電力の買電量を削減し、二酸化炭素排出量を削減できる。第1章で示したように、部門別二酸化炭素排出量における家庭部門の内訳は、住まいと自家用車の排出の合算値である。暮らしの行動変容によりEVへの乗り換えが進み、ガソリン・軽油から基礎充電に次第に置き換われば、運用段階における二酸化炭素排出量の削減が期待できる。そこで、基準となるケース5において、以下①～④の前提条件のもと、世帯平均の二酸化炭素排出量（住まいと自家用車の合算値）を求める。

①電力系統の二酸化炭素排出量原単位は配送電事業者毎に年次で異なるため、本来は一律ではないが、対象世帯建設地の分布から中部電力ミライズ令和5年度提出値 0.449kg-CO₂/kWh（調整前、基礎排出係数）を用いた⁵⁻⁴。計算結果全体を左右する仮定であり、特に2035年においては再エネ大量投入社会を迎え現在よりも系統電力の脱炭素が進捗している可能性が高い。

②対象世帯の自家用車所有台数・走行距離は不明のため、2台*6186km/年とした。走行距離はソニー損保調査⁵⁻⁵を参照した。

③自家用車の燃費はHEV相当とし、15km/Lとした。ガソリンの二酸化炭素排出量原単位は、環境省ガイドラインから2.32kg/Lとした⁵⁻⁶。よって、初期値(2020年の排出量) $6186 \times 2 \div 15 \times 2.32 = 1914 \text{kg-CO}_2/\text{世帯}$ となる。

④EVの電費は7km/kWhとした。それぞれの年次で基礎充電（EVシフト）の開始率は、前節で設定した発生確率から、0%@2020, 0.1%@2025, 10%@2030, 20%@2035とした。

結果を図5-19に示す。はじめに、世帯平均の二酸化炭素排出量（住まいと自家用車の合算値）に着目すると、初期値の2020年対比で2025年は1%増加するが、これは在宅勤務の定着で住まいの排出量が増加した影響である。排出量合算値は2030年、2035年に向けて削減が認められ、2020年比でそれぞれ97%、93%と予測した。さらに内訳をみると、下図の凡例 住まい（買電）の排出量削減は電力自家消費を志向した暮らしの行動変容を反映し、2035年には2020年比90%まで削減した。一方、凡例 自家用車の排出量（ガソリン+買電）は、EV世帯普及率20%を仮定した2035年でも2020年比98%にすぎず、削減は限定的である。理由は、EV基礎充電が電力系統（グレー電力）に依存するためである。自家用車のEVシフトが進んだとしても、系統電力が脱炭素されず現状同等であれば、二酸化炭素排出量削減は期待できないことを示している。EV基礎充電が系統電力依存である理由は、EV基礎充電の9割が再エネが得られない深夜時間帯であることに加え、残り1割も第4章で示したように、昼充電であっても再エネで充電できる機会のごく稀である。したがって特別なエネルギーマネジメント無しでは、日中・夜間を問わずEV基礎充電のほぼすべてが電力系統からのグレー電力の買電である。自家用車のEVシフトで動力のエネルギーがガソリンから電力に転換されるクリーンなイメージとはギャ

ップがある。本質的にはEVシフトはグリーン電力での充電と走行に価値があり、課題が残る。日中に再エネ余剰電力のみでEV充電する手法については、次章で述べる。

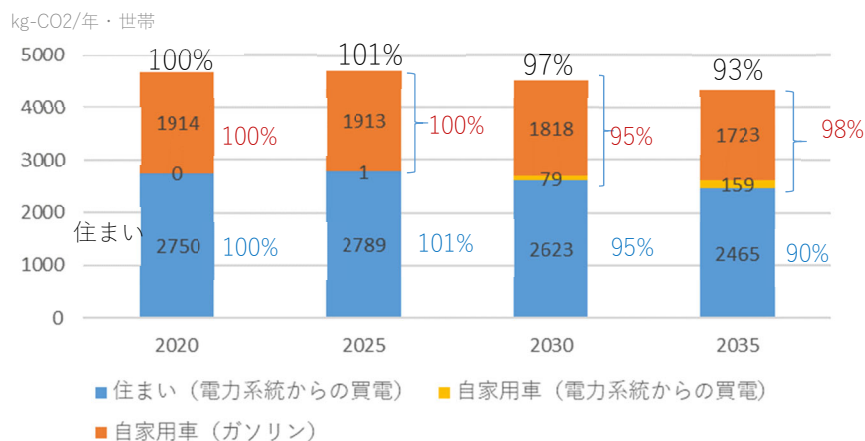


図 5-19. 世帯平均 二酸化炭素排出量予測 (ケース 9)
(系統電力の二酸化炭素排出量原単位を固定)

次に、電力系統の脱炭素が野心的な目標値(エネ庁、2030年再エネ率 36%⁵⁻⁷⁾)の達成を想定した試算結果を図 5-20 に示す。系統電力の二酸化炭素排出量原単位は概ね半分に改善するため、世帯平均の二酸化炭素排出量は、初期値の 2020 年対比で 2035 年は 35%削減となる。さらに内訳をみると、下図 5-20 の凡例 住まい (買電) の排出量削減は 2035 年で半減となる。凡例 自家用車の排出量 (ガソリン+買電) は、EV 世帯普及率 20%を仮定した 2035 年では 2020 年比 90%と、ようやく明確な削減がみられる。逆説的に言えば、系統電力の脱炭素を無視した EV シフトは拙速である。系統電力の脱炭素シナリオの実現性が、EV シフト・基礎充電の価値を変動する。

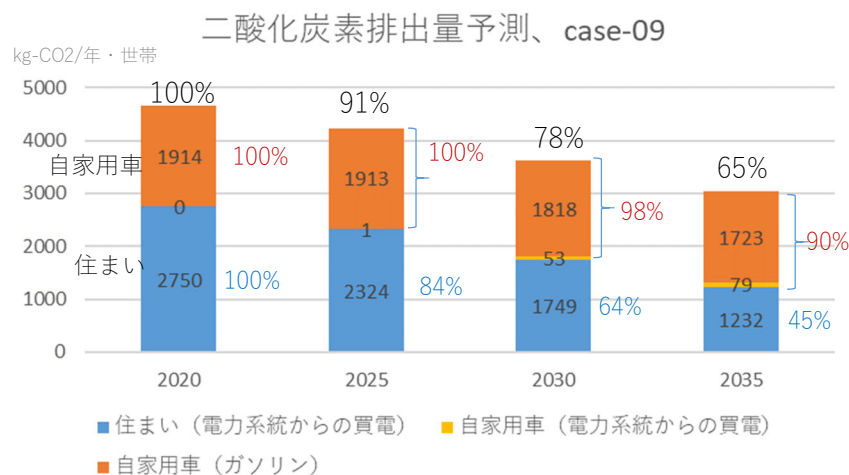


図 5-20. 世帯平均 二酸化炭素排出量予測 (ケース 9)
(系統電力の二酸化炭素排出量原単位の改善を想定)

5-3-5 2035 年に向けた再エネ自家消費の方策に関する考察

図 5-21 に示すように、宅内での総消費電力量は一部世帯への在宅勤務の定着と EV 基礎充電により増加傾向にあると予測した。新築時 PV 導入による二酸化炭素排出量 28%削減に加え、本章の分析により再エネ自家消費の推進で 2035 年時点では世帯平均でさらに 10%削減できるポテンシャルが明らかになった。住宅計画段階（新築時点）は PV の住宅構造への組み込むが容易であり、かつ住宅設備選択自由度が高いという点で、低炭素な住まい実現の最大の好機であり、各種の公的補助事業がそれを裏付けている。本章では新築時点だけでなく、居住段階で再エネ自家消費型の暮らし方へ行動変容すれば、二酸化炭素排出量を追加的に削減する余地があると結論した。

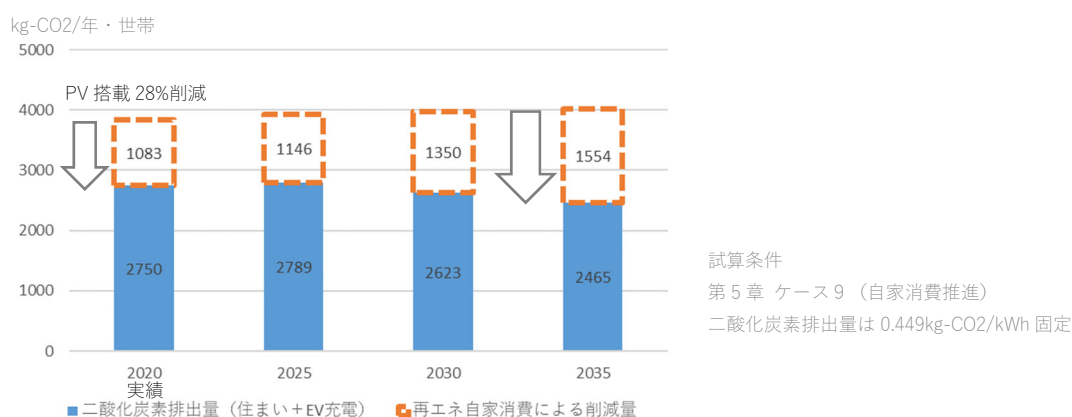


図 5-21. 暮らしの行動変容による二酸化炭素排出量の削減

暮らしの行動変容で宅内消費電力量と再エネ自家消費を改善でき、将来予測として世帯からの二酸化炭素排出量を削減可能のため、取り組みとして、どの年次にどのような方策を推進すべきかを検証した。本研究が対象とした既存住宅は 2025 年までの直近数年間は自家消費型の暮らし方の変化は穏やかであり、築 10 年を迎える 2025~2026 年を契機に、いくつかの要因から急速に自家消費型に転換してゆく可能性を示した。その要因とは、HP 給湯器の故障・リプレース、自家用車の EV シフト（自宅での基礎充電開始）という内的要因に加え、FIT 買取期間満了、自家消費を促進する家庭用定置型蓄電池の低価格化という外的要因であった。

コロナ禍を契機として唯一国内に定着しつつある在宅勤務については、本研究の着手時点では日中の電力需要を増加させるため再エネ自家消費率を一定程度向上させるものと予想したが、実測とアンケート調査にもとづくシミュレーションからその影響は限定的と判明した。また、ヒートポンプ給湯器の昼沸き上げも直感とは異なり、沸き上げのわずか 3 割未満しか再エネ由来ではないが、一定程度の再エネ自家消費への貢献は確認できた。さらに、日中の EV 基礎充電は再エネ自家消費率を向上させる印象に反して系統電力からの買電による充電が支配的であった。これは AC 普通充電の定格出力 (3kW, 6kW) と比較して瞬時

値としての PV 再エネ余剰が相対的に小さく、天候と宅内需要により時間変動するためである。さらに、81 世帯の EV 充電実績調査から、夜間充電が 9 割であり再エネ自家消費の余地のある日中充電比率は 1 割と少なかった。定置型蓄電池の導入は確実な再エネ自家消費を実現するため、導入費用の低価格化が普及のために重要である。また、導入タイミングも重要な要因である。住宅のライフサイクルにおいて定置型蓄電池の導入機会は以下の 3 点が想定される。

- ①新築計画時に住宅設備として予め組み込み、将来的なりスペース需要を取り込む
- ②築 10 年の FIT 買取期間満了以降に、再エネ自家消費型に切り替えるための導入
- ③築 10～20 年において、新築採用の PV 単機能 PCS の製品寿命・置換にあわせ、定置型蓄電池 + 多機能 PCS に交換

新築戸建住宅よりもさらに条件が制御しづらい既存戸建住宅についても同様であり、PV と家庭用定置型蓄電池の一体となった普及が自家消費型住宅の実現を加速する。自治体単位の補助事業も活発になってきており、例えば東京都は家庭用定置型蓄電池の導入費用に対し 3/4 補助を令和 4 年度補正予算化した⁵⁻⁸⁾。国の令和 5 年度 ZEH 推進事業⁵⁻⁹⁾においても、2 万円/kWh と金額は小さいながら導入費用補助が継続されている。このように、住まいと住まい方のライフサイクルを理解し、住宅設備故障や FIT 買取期間満了、あるいはメンテナンスなどの暮らしの変化点を把握することで、効果的に再エネ自家消費を推進できる。さらに、今後最大の宅内需要増となる EV 基礎充電に対し居住者の EV への乗り換えが把握できれば、追加的な費用負担無く再エネ自家消費を最大化できる可能性があるが、再エネ余剰分のみを充電するエネルギーマネジメントが必要になる。

5-4 小括

5-4-1 2035年の姿を予測して必要な対策

本章における研究の新規性は、暮らしの行動変容の年代毎の採用確率を設定して多数世帯の再エネ自家消費の将来予測をした点にあり、類似の先行研究は存在しない。

宅内の総消費電力量は、今後増加傾向となった。2025年に一部世帯への在宅勤務定着により、全世帯平均で1%増加と予測した。2030年以降、EV普及により基礎充電が消費を押し上げる。二酸化炭素排出量の観点からは、EVシフトによりガソリン消費が減少するため、住まいとモビリティの運用段階における合計値はやや減少に傾くが、電力系統からの買電に依存するため、抜本的な脱炭素にはならず、2%の削減に留まる。また、世帯間のばらつきは収束することが無いため、住宅計画時（新築時）に創エネの確保と自家消費型の住まいへの誘導と居住段階の暮らしの変化点を捉える必要性が示された。

本研究が対象とする既存住宅が本格的な自家消費型住宅に移行する時期は2020年代半ばから後半であり、直近の2025年までは変化が小さいものと予測した。

2020年代後半にかけて、新築時に導入した従来型HP給湯器が製品寿命を迎える。HP給湯器昼沸き上げへのリプレースは居住者の負担感も少なく、再エネ自家消費に有効である。実現には、HP給湯器の故障タイミングを捉える必要がある。また、全世帯平均で湯沸かしの再エネ率は3割程度に留まり、7割は系統電力である。昼沸き上げ普及課題への対応として、合理的な電力プランの出現に期待したい。

その次の年代の2030年頃には、対象世帯はPV単機能パワーコンディショナが製品寿命を迎える。PVモジュールは未だ健全なため発電を維持するために単機能パワコンから、ハイブリッドパワーコンディショナ+定置型蓄電池へのリプレースが理想の再エネ自家消費のシナリオである。同様に、PV単機能パワコンの故障タイミングを捉える必要がある。

暮らしの変化点のうち、築15年は防水工事などの節目メンテナンスになることが多い。本研究で対象とした既存住宅では2030年頃に築15年目を迎える。このような住まいのメンテナンス費用は戸建住宅には必須であるが、同時期にPVパワコンが故障する可能性が高く、自家消費だけのためにハイブリッド型の定置型蓄電池を導入するのは多くの居住者にとって経済的負担が大きい。様々な暮らしの変化点において、費用負担が発生するタイミングは、再エネ自家消費型の暮らしに向かう機会であるが、居住者の経済的負担感が強い行動変容は選択されない。大きな価値観の転換がなければ、経済合理性を優先に行動変容が選択されるものと推察されるが、2035年に向けた電力単価の経時変化と行動変容に要する初期コストの想定が現時点では困難なため、本章ではコスト分析は扱わなかった。さらに、経済合理性だけでない価値観、例えば脱炭素な暮らしや消費における公平性が行動変容の判断基準となることも想定されるので、今後は新たな分析コンセプトが必要である。追加的な設備等の初期コストが不要であるという点において、今後のガソリン車からEVへの乗り換えは、車載蓄電池の活用により再エネ自家消費の可能性が示唆される

ため、第6章で2035年以降の展望として示す。第4章に示したように、EV基礎充電は特別なエネルギーマネジメント無しでは、再エネ自家消費には寄与が小さく、単にガソリンから系統電力への置き換えに留まって脱炭素への貢献が小さい。モビリティの乗り換えタイミングは住まいとは連動しないため、国内市場のEV普及率を注視しつつ、住まいとモビリティの情報が連携すると新価値が生まれる可能性がある。

5-4-2 予測モデルへの将来的な追加性と削減性について

住宅設備のうち熱・電気に関わる新技術は過去に住宅のエネルギー構造を大きく変えてきた、例えば電気温水器からヒートポンプ給湯器への置き換えは消費電力量を大きく削減した。未だ普及率は低い、家庭用燃料電池も同様である。そのような革新的な新技術の登場は今後見込みは薄いため、省エネルギー・創エネルギー・蓄電の従来技術の使いこなしが重要である。従来技術の延長上にある戸建住宅の今後10年のエネルギー消費を想定するうえで、計画的な社会要因に対応する行動変容は概ね本研究で網羅できているものと考えられる。

一方、偶発的な社会要因については想定が困難であるが、過去の経済不況や自然災害に伴う節電要請などが発生する可能性はある。また、将来の大規模災害によって居住者のマインドが変わり、定置型蓄電池の採用率が不連続に増加することも考えられる。本研究で抽出できなかった、あるいは潜在的な暮らしの行動変容のうち、戸建住宅のエネルギー消費に影響を与える存在は否定できない。それが顕在化した時点で、本章の検討にモデル化して影響を可視化し、再度分析は可能である。

逆に、本研究で何らかの変化により想定した暮らしの行動変容が見込まれなくなることもありうる。例えば、第2章で抽出した在宅勤務が一定の割合で定着するとしたが、企業側が生産性低下、協働による価値創出機会の減少、あるいは社員間コミュニケーション低下による企業文化醸成の阻害要因とみなしたときには、本章で設定した生起確率を下回ることはありうる。その際には明確になった与条件を再設定して再計算できる。さらに、行動変容が全く見込まれなかった場合には、生起確率がゼロとするか、あるいは予測モデルから削除すれば対応できる。したがって、本研究で提案した予測モデルは追加性と削減性を備えている。

参考文献（第5章）

- 5-1) 日経 BP, 未来調査 2026 全産業編, 2021.12,
<https://project.nikkeibp.co.jp/bpi/atcl/column/19/112600223/>
- 5-2) 資源エネルギー庁：定置用蓄電システム普及拡大検討会, 参照 2021.10.31 [WEB]
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/index.html
- 5-3) 富士経済, 「家庭用蓄電池の普及予測」, 2021
- 5-4) 環境省, 温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度 算定方法・排出係数一覧, 2023
<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>
- 5-5) SONY 損保, 2021 年全国カーライフ実態調査
https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2021/08/20210824_01.html
- 5-6) 環境省, 温室効果ガス総排出量算定方法 ガイドライン, 2017.02
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/guideline.pdf
- 5-7) 資源エネルギー庁, 今後の再生可能エネルギー計画について, 2022.04
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/040_01_00.pdf
- 5-8) 東京都地球温暖化防止活動推進センター（東京都補助事業執行団体）, 家庭における蓄電池導入促進事業, 2023.01,
https://www.tokyo-co2down.jp/subsidy/family_tikudenchi
- 5-9) 一般社団法人環境共生イニシアチブ, 経済産業省及び環境省による戸建 ZEH 補助事業
<https://sii.or.jp/zeh05/>

第6章 総括

6-1 総括と今後の展望

各章で得られた主な知見と、社会課題への適用可能性について以下に示す。

第1章では、本研究の背景と目的を述べ、研究のフレームワークを示した。暮らしの行動変容を定義し、その発生機序の整理から、居住段階での行動変容が戸建住宅のエネルギー消費量を増減する仮説を導いた。

第2章では、COVID-19 感染症蔓延を題材として、偶発的な外的要因が暮らしの行動変容を引き起こし、世帯のエネルギー消費量へ影響を与える事実を検証した。宅内消費電力量の例年比増加率は感染症蔓延直後が+19%と最大であり、12カ月後には例年同等の+4%まで低下した。今後に着する可能性の高い暮らしの行動変容として在宅勤務を抽出し、外的要因が引き起こす行動変容によるエネルギー消費量の増減が定量化可能であることを示した。都市封鎖と在宅指示による戸建住宅消費電力量増加の理解と分析手法は、将来の新たなパンデミックへの基礎的情報の提供として貢献できる。

第3章では、戸建住宅の一次エネルギー消費量の1/3を占める暖冷房に着目し、暖冷房消費電力量は暖冷房空間の拡大、暖冷房時間の延長をもたらす行動変容により増加することを示した。各世帯の冷房消費電力量は冷房方式の違いによらず、夏の暑さの厳しさ（月積算冷房デGREEアワー）と相関が大きいことが判明した。COVID-19 感染症蔓延のような大きな偶発的な外的要因により不在時間が短くなり在宅がちとなった2020年8月でさえ冷房消費電力量の増加は2割未満の87世帯に留まり、影響は限定的であった。2021年1月の暖房消費電力量の増加は見られなかったことから、影響は一時的であり定着しなかった。

第4章では、脱炭素社会実現のため電力自家消費型住宅が推進される社会背景のもと、居住者が選択可能な電力自家消費の7つの行動変容を抽出し、評価指標を定義して影響を定量化・可視化した。行動変容のモチベーションとなる年間電気代の削減金額は不十分であるため、社会制度としてそれを補う環境性向上による減税等のインセンティブの付与を検討すべきと提言した。各世帯の電力データをもとに暮らしの行動変容を反映して新たな世帯別電力需要を生成する手法は、今後の新技術や変化点の評価に有用である。年間逆潮流量の把握から適切な再エネ自家消費の方策を提案する手法は、FIT買取期間満了を迎える居住者の意思決定の一助となる。

第5章では、第1～4章での知見を踏まえ、対象世帯の2035年までの消費電力量と再エネ自家消費、二酸化炭素排出量を世帯・群全体で予測した。その結果、直近の2025年までは変化が小さく、2020年代後半にかけて定置型蓄電池の導入とヒートポンプ給湯器の昼沸き上げの推進が再エネ自家消費を向上することを示した。2035年に向けたEVシフトによる基礎充電は、夜間の系統電力による充電では脱炭素への寄与が小さいため、エネルギーマネジメントによる日中のPV再エネ余剰による充電の必要性を示した。再エネ自家消費に貢献の大きい施策を年代毎に示したことから、施策の優先順位付けが可能となった。従来のような新築時点だけではなく、本研究では居住段階を見据えた住宅設備の最適設計手法の可能性を導いた。既存住宅群において、2035年までの消費電力量・再エネ自家消費、二酸化

炭素排出量の予測から、事例として地域マイクログリッドの10年先の電力需要が把握でき、高圧一括受電の将来受電容量の算定と運用計画の高度化に貢献できる(図6-1)。

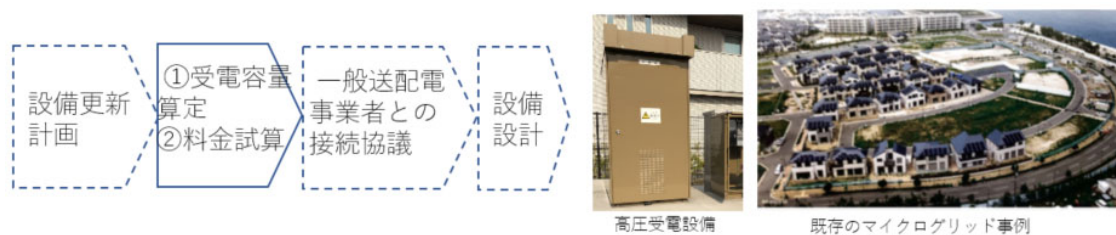


図6-1. 地域マイクログリッドへの適用

2015～2016年当時の先進的な断熱仕様や設備仕様は、脱炭素化の潮流において2023年執筆時点ですでに日本の新築住宅の標準的仕様になりつつある。したがって、本研究で得られた知見は将来の住宅に応用でき、研究の有用性がさらに広がるものと考えられる。

本研究が分析対象とした1339世帯の戸建住宅は、平均4.7kWの太陽光発電システムを搭載するため創エネ量は概ねNearly ZEH相当であり、HEMS等の先進的な住宅設備仕様と断熱等級4～5の外皮性能を備えていた。2015～2016年の新築にあたり太陽光発電システムの採用により居住段階の二酸化炭素排出量は28%削減したが、PV再エネの過半は宅内では活用できず逆潮流する実態が明らかとなった。そこで、暮らしの行動変容により再エネ自家消費を2035年予測でどの程度まで向上できるかが本研究の主題の一つであり、居住段階における再エネ自家消費の推進で新築時よりもさらに10%削減が可能であることが明らかになった。

以上より、本研究では居住者の行動変容による再生可能エネルギー利用を定量化するとともに予測手法を確立することで、見逃されていた戸建住宅の居住段階における電力自家消費を今後、推進できると結論付けた。

研究の今後の展望として、高精細な実測データを別の着眼点、例えば床面積あたりの原単位、ガス併用住宅と全電化住宅の比較、地域性などで分析することで、再エネ自家消費向上の新たな方策が得られる可能性がある。さらに、本研究では固定的に扱った自家用車の所有形態を都市部ですすむカーシェアに置き換える、あるいは家族構成の長期的な変化を考慮することも必要である。また、居住者の行動変容に加え、今後はエネルギーマネジメントがさらに重要性を増すと考えられる。第6次エネルギー基本計画⁶⁻¹⁾に、「住宅・ビルのエネルギー管理システム(HEMS・BEMS)等を用い、太陽光発電システムの発電量等に合わせた電力需給調整に資するようなエネルギーマネジメントの取組も進めていく」と記載があるように、居住者に負担をかけず、様々な外的・内的要因を受けながら持続的に再エネ自家消費を最大化する手法が必要である。すでに新築住宅の一部でHEMS機器とデータセンターを活用した高度エネルギーマネジメントの取り組みがみられ、事例としてPV再エネ余剰量に応じて日中のEV充電やHP給湯沸き上げを最適化するシステムが提供されはじめている⁶⁻²⁾。今後は暮らしの行動変容を促すような情報を居住者に適時に提供する、プッシュ型のシステムが求められる。

6-2 2035 年以降の再生可能エネルギー自家消費についての展望

6-2-1 本格普及期を迎える BEV（バッテリーEV）の活用

本研究で対象とした既存住宅は、2035 年までのレンジで再エネ自家消費率を予測すると世帯平均で現状 38%から 56%まで上昇が見込まれるが、依然として再エネの 4 割以上が逆潮流に依存している。さらに世帯別のばらつきも大きいままである。そこで、BEV（バッテリーEV）を用いた将来技術を適用して再エネ自家消費率の更なる向上可能性を追加検討する。BEV はその車載蓄電池容量の大きさから再エネの蓄電先として有望視でき、日中在宅の BEV は EV 再エネ充電に有利であるが、日中に在宅することの背反として年間走行距離が短く走行で再エネを消費できない。ここで、仮説として再エネで満充電となった BEV が、近隣の需要家まで移動して再エネを放電することができれば、このような問題は解決する。したがって、EV からの再エネ放電需要を想定し、住宅以外の需要家に BEV が電力をオフグリッドで運び届ける価値（V2x）を検証する。図 6-2 に示すように、V2x は Vehicle to everything、すなわち EV からの放電エコシステムの総称である。住宅には V2H スタンドが 2013 年から市販され、停電時などに逆潮流を伴わない範囲で放電が可能である。V2G は電力系統が不安定な諸外国で 200 を超える実証実験が過去 10 年間に実施されてきたが、商用化した事例は数例と少ない⁶⁻³⁾。これは、電力系統安定化のため放電する価値が BEV ユーザーに十分な対価として還元できないためである。日本国内の電力系統は、総括原価方式により電力系統の安定化が長らく維持されてきたので、現時点で V2G に対する機運は低く、当面の実用化は無いものと推察される。次に V2B は、一般送配電事業者との協議が必要であるが高圧受電する建物に逆潮流しない範囲での V2B は現在も可能であり（みなし低圧連携）、V2B 放電スタンドも発売されている。実証実験事例も多く、電力需要ピークカットや停電時のレジリエンスなどに価値が見出されている。企業の業務用車など、制御容易な車両を用いたサービス展開が予想されている。V2V は一般的には電欠車両への緊急時の充電価値であるが、日常においても再エネで満充電になった BEV から別の BEV に直接再エネを供給するマッチングが成立すれば放電の価値が拡大する。現時点では EV の普及台数のごく少ないため、面的なサービスとしては成立しないが、2035 年には国内も EV 本格普及期を迎えるため、このような新技術も現実味を帯びてくる。

国内において唯一の再エネ V2B を具現化するサービス事例として、「V2 イオンモール」⁶⁻⁴⁾がある（図 6-3）。同社は事業活動の脱炭素の一環として、大型ショッピングモールで消費する電力の再エネ化をすすめており、再エネ V2B は EV 普及社会を見据えた先進的取り組みといえる。参加者は自宅で充電した EV から買い物の際にモールへ放電することで、買い物に利用できるポイントを対価として得られる。三菱商事⁶⁻⁵⁾は東京世田谷区のスーパーとモニター参加者からの V2B 実証実験を試みた。放電対価としてのポイント付与が、モニター参加者の放電動機となる。デルタ電子⁶⁻⁶⁾は出光ガソリンスタンド跡地に充電スタンドと大容量定置型蓄電池を備えたカフェを運営し、放電の対価としてクーポン券（コーヒー）を提供している。放電量に下限値はなく、6kW の放電開始 1 回につき、1 枚

のクーポン券が提供される。なお、充電規格の CHAdeMO 方式は車両と V2B スタンドが通信しているため、車載蓄電池の充電率が 50%まで低下すると自動的に放電は中止される。その他、戸建住宅からの EV 再エネ放電で可能性が見込まれる領域は、自宅における V2V である。電欠時の緊急対応ではなく、日中に自宅にある EV を再エネ充電し、通勤で用いる別の EV に再エネをカスケード利用するユースケースが考えられる。

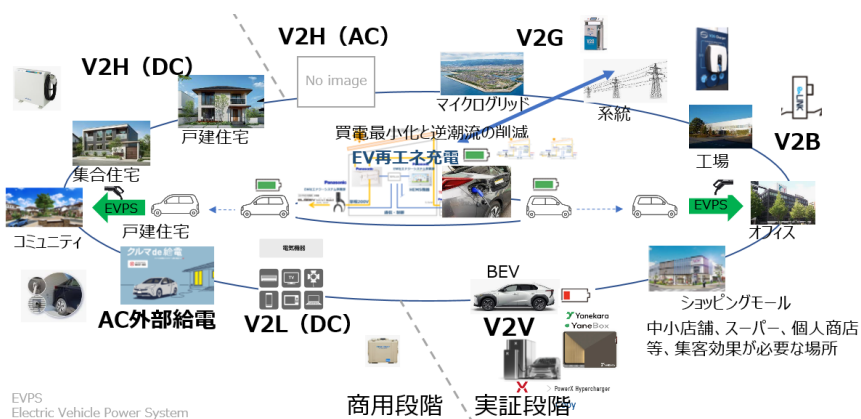
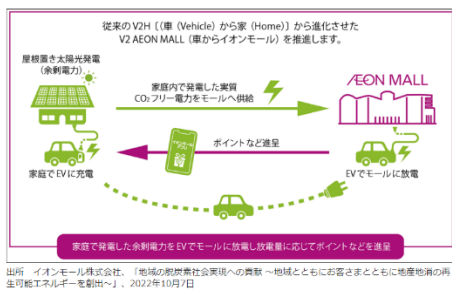


図 6-2. V2x による再エネ活用



出所 イオンモール株式会社、「地域の脱炭素社会実現への貢献～地域とともにお客さまとともに地産地消の再生可能エネルギーを創出～」, 2022年10月7日



図 6-3. V2x 実証実験 事例① V2 イオンモール, 2022 ②三菱商事, 2019 ③デルタ電子, 2020

6-2-2 EV 充電と放電による再エネ自家消費の更なる改善

(1) EV 再エネ充電と放電ロジック

PV 発電量から宅内需要を差し引いた、再エネの余剰分のみで BEV に AC 普通充電するためには、エネルギーマネジメントが必須となる。現在、最も安価で精度良く EV 再エネ充電可能なシステム構成の事例として、図 6-4 のようなパナソニック製 HEMS 「アイセグ 2」 + 制御型普通充電器「ELSEEV (エルシーブ)」の組み合わせを適用する。BEV の車載蓄電池容量 70kWh とし、充電効率は絞り込み（抑制充電）で定格から低下するため一律 70%、余剰電力 2kWh/h 以上で再エネ充電し、それ未满是すべて逆潮流する。

EV が満充電になると、想定としてショッピングモール等の需要家まで移動し、EV から再エネを放電する。短時間で放電するため、CHAdeMO 規格⁶⁻⁷⁾での急速放電（20～50kW）を想定し、放電効率は 90%とした。PV 発電に影響を及ぼす日照条件を整えるため、愛知県下の 248 世帯を対象として検証する。図 6-5 にある世帯を事例として示すように、1 年間で 24 回、BEV を再エネ余剰で満充電にでき、24 回×放電 40kWh が年間の放電量になる。

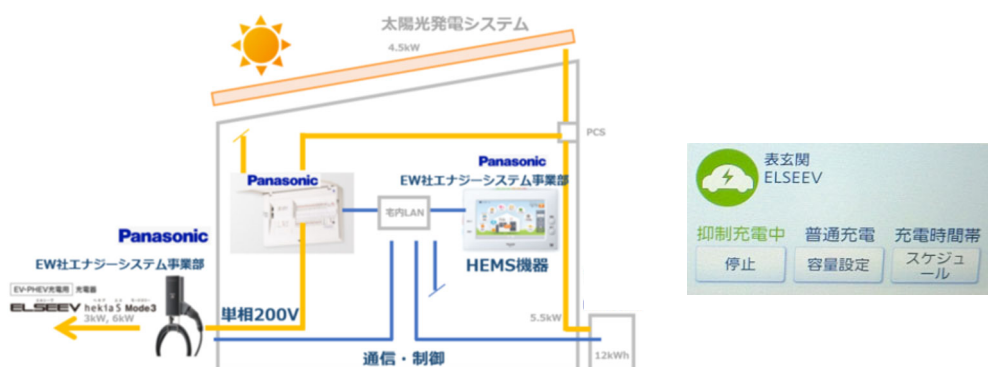


図 6-4. EV 再エネ充電のシステム構成と HEMS 画面

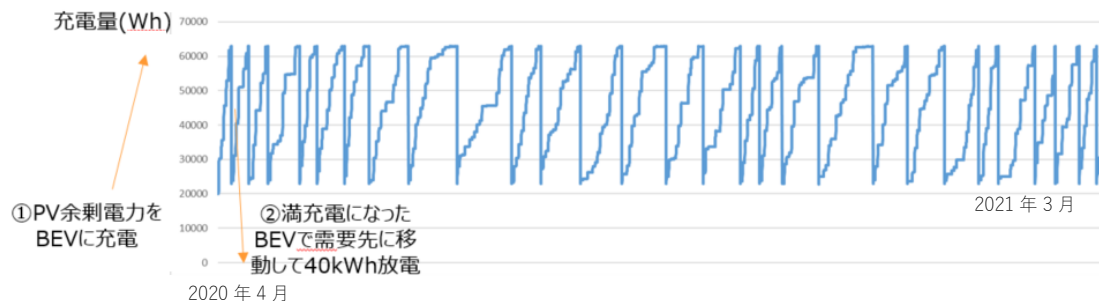


図 6-5. 世帯 A での EV 再エネ充電・放電サイクル（1 年間）

(2) EV からの放電検討の結果

①世帯単位での再エネ自家消費の評価

EV 再エネ充電に加え、再エネを需要家に放電した検討結果を図 6-6 に示す。理想ケースにおいては、再エネ自家消費率を世帯平均で約 3 割向上した。これは、第 4 章で示した定置型蓄電池 6kWh とほぼ同等の効果である。さらに、世帯間の再エネ自家消費率のばらつきは定置型蓄電池よりも小さくなっている。この理由は定置型蓄電池よりも充電量が格段に大きく世帯の再エネ余剰量に応じた充電・放電量となるので、大容量 PV を搭載した世帯での改善が大きいためである（図中赤囲い）。BEV の購入費用を別とすれば、定置型蓄電池のような追加的な費用負担なく実現できる。モビリティの新しい価値といえるので、EV シフトの結果、モビリティが社会インフラとなり、結果的に社会の脱炭素を加速する要因になりうる。課題として、居住者の生活圏に現実的な放電需要がなければ成立しない。経済合理性の観点から、FIT 買取期間満了の世帯は現在は 7 円/kWh 程度で売電しているため、EV からの充放電ロス等を勘案すると 15 円/kWh 以上の価格で再エネを受け入れる需要家が出現した場合に経済合理性が成り立つ。仮に需要家を高压受電のショッピングセンターとすると、順潮流の電力単価は 20 円/kWh（賦課金含む）ほどのため、V2x で受け入れる電力単価がこれを下回れば、事業メリットが生まれる。両者のギャップは大変狭いため、サービスとして事業成立のためには再エネ価値を加味する必要がある。再エネ価値のトラッキングには住宅とモビリティの情報連携が必要になる。日常生活のなかで、ショッピングセンターで買い物をする 0.5~1 時間に放電が完了すれば、特別な手間もなく消費者側の心理的ハードルは低いものと考えられる。ショッピングセンターのデマンドは集客の多い夕刻に立ち上がるため、来客から同時間帯に給電すると電力系統からの買電を減らし、ピークカットが期待できる。V2B スタンドのコストダウンがすすみ、需要家・供給ともに経済メリットが成立すると、本サービスは面的に拡大する可能性がある。

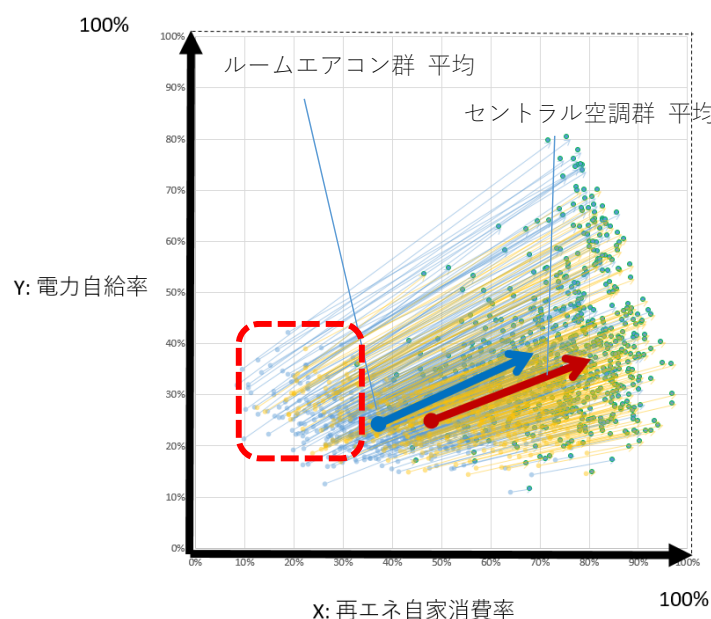


図 6-6. V2x による再エネ自家消費の向上 (741 世帯)

②グリッド視点での逆潮流量削減の評価

図 6-7(a)は、愛知県下 248 世帯合計の 2020 年 4 月 30 日間の電力系統からの順潮流、電力系統への逆潮流、世帯での再エネ自家消費の実測値を示す。全世帯に PV を搭載し（平均 4.4kW）、発電量は Nearly ZEH 相当である。日中の逆潮流のピークは夜間の買電（順潮流）のピークよりも大きく、系統の容量余力が逆潮流で決定される事例である。図 6-7(b)に示すように、V2x により再エネの逆潮流が概ね 9 割が削減され、系統安定性に寄与できることが判明した。大型分譲地を想定した戸建住宅 248 世帯がすべて V2x に参加した想定であり、最大のポテンシャルを算定している。現実には EV の普及率や日中の EV 在宅率が影響する。

図 6-8(a)は、愛知県下 248 世帯合計の 2021 年 1 月 31 日間の電力系統からの順潮流、電力系統への逆潮流、世帯での再エネ自家消費の実測値を示す。図 6-8(b)に示すように暖房需要が大きく PV 発電量の少ない冬期でも、逆潮流量の削減が認められた。

季節問わず EV による再エネ自家消費が逆潮流量を大きく削減するが、暖冷房需要が無いが発電量の大きい中間期に効果は最大化した。このように V2x が通年で再エネ大量投入社会の系統安定化の方策になりうることを確認した。

(3) 再エネ V2x の社会実装における課題の整理

2035 年には国内でも EV 本格普及期を迎えるため、車載蓄電池を社会の分散化電源として活用する取り組みが進展するものと推察されるが、社会実装においては電力の遣り取り以外での課題が大きいため、主要な課題を以下に整理する。

①需要家の存在

走行では消費しきれない再エネを外部給電する需要家が見いだせれば、再エネ自家消費のポテンシャルは最大化が見込まれる。一般消費者が定期的に EV から再エネを放電するためには、再エネを受け入れる需要家が戸建住宅の生活圏内に点在する必要がある。大型ショッピングモール、通勤先のビル・工場、教育施設等が考えられる。

②再エネのトラッキング

電力の価値に加えて再エネの価値を取引するためには、放電した電力が PV 発電由来の再エネである証明が必要である。住宅側の PV 発電余剰電力の情報、EV 側の充電情報を組み合わせ、ブロックチェーン技術などで改ざん不可能な形で記録することが有力な選択肢である。

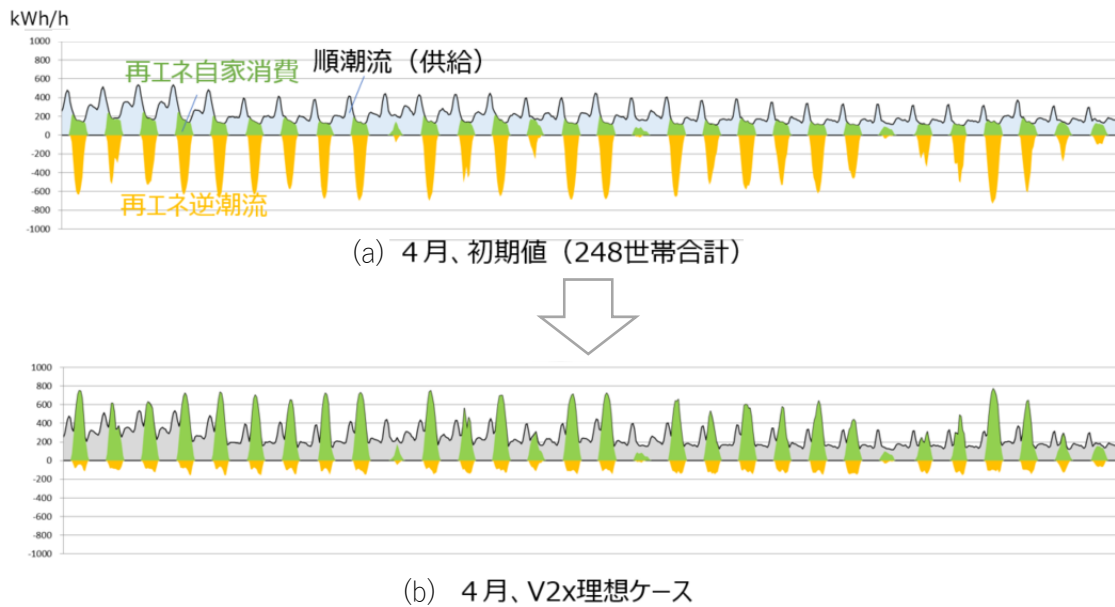


図 6-7. 大規模分譲地を想定した V2x による逆潮流量の削減 (中間期 30 日間)

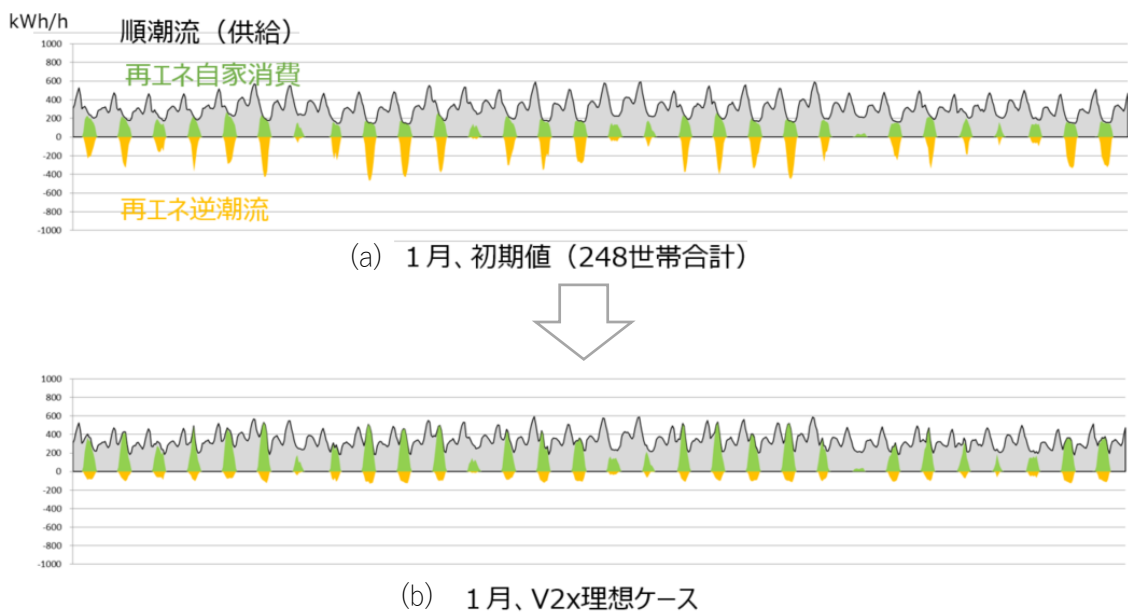


図 6-8. 大規模分譲地を想定した V2x による逆潮流量の削減 (暖房期 31 日間)

参考文献（第6章）

- 6-1) 資源エネルギー庁：第6次エネルギー基本計画，閣議決定 2021.10.22,参照 2021.10.25 [WEB]
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/
- 6-2) パナソニック EW 社, AiSEG2 (HOME IoT)：自家消費
<https://www2.panasonic.biz/jp/densetsu/aiseg/merit/energy.html>
- 6-3) V2G-hub, <https://www.v2g-hub.com/>
- 6-4) イオンモール株式会社, V2 イオンモール, 2022.01,
https://www.aeonmall.com/files/management_news/1671/pdf.pdf
- 6-5) EV Smart, 電動車で放電して「実質 3 万円 GET！」～世田谷区で実証実験がスタート, 2019,
<https://blog.evsmart.net/electric-vehicles/mitsubishi-discharging-report/>
- 6-6) インプレス Car Watch, EV を充電しながら駐車できる、新しい形の充電インフラが横浜市に登場,
2020, <https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1270300.html>
- 6-7) CHAdeMo 協議会, <https://www.chademo.com/ja/>

研究業績一覧

1) 原著論文 (査読有)

- [1] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室温ファン換気空調システムに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 73 巻, 629 号, pp.917-922, 2008 年
- [2] 小島昌幸, 齋藤輝幸: ウイルス感染症蔓延時の暮らし方が戸建住宅の電力需要に与える影響 - 2020 年夏期の世帯別消費電力量と居住者アンケートによる分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 87 巻, 第 791 号, pp.51-61, 2022.1
- [3] 小島昌幸, 齋藤輝幸: ウイルス感染症蔓延時の暮らし方が戸建住宅の電力需要に与える影響 (その 2) :2021 年冬期世帯別分析と再生可能エネルギー自家消費に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, 第 87 巻, 第 800 号, pp.677-687, 2022.10
- [4] Masayuki Kojima and Teruyuki Saito: COVID-19 triggered residential behavioral changes and electricity consumption of detached houses in Japan, Energy and Buildings, Volume 290, 1 July 2023, 113082 (<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113082>)

2) 口頭発表

国際会議

- [1] Masayuki KOJIMA, Teruyuki SAITO: Analysis of Residential Room Temperature and Occupant's Thermal Complaint in Winter Field Survey, Indoor Air 2005, 2005.9 (Beijing, China)

国内会議

- [1] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 輸入住宅普及時における問題点に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.997-998, 1997.09
- [2] 小島昌幸, 齋藤輝幸: アトピー性皮膚炎患者宅の室内環境調査, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1077-1078, 1998.09
- [3] 小島昌幸, 齋藤輝幸: アトピー性皮膚炎患者の居住環境に関する研究 -低湿度環境下での皮膚水分率低下に関する実験-, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 37 号, pp613-616, 1999.02
- [4] 齋藤輝幸, 渡邊智子, 小島昌幸: 冬期室内環境下におけるアトピー性皮膚炎の皮膚水分率変化に関する研究, 空気調和・衛生工学会中部支部 学術研究発表会論文集, 第 3 号, pp23-26, 2002. 03
- [5] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 室温ファンを用いた住宅の換気・空調方式に関する研究-室内に湿度発生源が存在する場合の検討-, 日本建築学会東海支部研究報告集第 41 号, 2003.02
- [6] 小島昌幸, 齋藤輝幸, 押田俊一, 橋本善和: 室温換気扇を用いた住宅の換気手法に関する

- る研究 複数のファンを同時運転した場合の検討, 空気調和衛生工学会学術講演会, pp633-636, 2003.09
- [7] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 冬期の住宅温湿度調査による住宅内温湿度較差の分析, 日本建築学会学術講演梗概集, pp201-202, 2003.09
- [8] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 室間換気扇を用いた住宅の換気手法に関する研究: 冬期のファン発停制御についての検討, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 42 号, 2004.02
- [9] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 住宅の温湿度実測データに基づく室間ファンの熱・水分搬送可能性に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp131-132, 2004.08
- [10] 小島昌幸, 齋藤輝幸, 河原ゆう子: 住宅の室内温熱環境における安全性と快適性に関する研究～(その2) 冬期実測にもとづく室間温度差と居住者の室温不満申告についての検討～, 空気調和衛生工学会学術講演会, pp1371-1374, 2004.09
- [11] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 室間ファン換気空調システムに関する研究 ～試験住宅への導入についての報告～, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会, 2005.03
- [12] 小島昌幸, 齋藤輝幸: 住宅を対象とした室間ファン換気システムに関する研究 第二報第二報 モデル住宅における実測調査データの分析, 日本建築学会学術講演梗概集, pp1023-1024, 2005.09
- [13] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室間ファンを用いた住宅用換気設備に関する研究 第 1 報 室間ファン稼働時間と冬期における温熱環境に関する分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.619-622, 2006.09
- [14] 小島昌幸, 齋藤輝幸, 桐山大蔵: 室間ファンを用いた住宅用換気設備に関する研究 第 2 報 換気ルートと全熱搬送量に関する分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.623-626, 2006.09
- [15] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室間換気扇を用いた住宅の換気手法に関する研究 その 3 室間ファン稼働期間と停止期間における温熱環境に関する分析, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 45 号, pp.333-336, 2007.02
- [16] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室間ファン換気空調システムに関する研究 その 3 冬期室内温熱環境に対する当該システム導入効果に関する研究, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 第 8 号, pp.117-120, 2007.03
- [17] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室間ファンを用いた住宅用換気設備に関する研究 第 3 報 居住者の住まい方と換気ルート形成状況に関する分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.269-272, 2007.09
- [18] 桐山大蔵, 齋藤輝幸, 小島昌幸: 室間ファン換気空調システムに関する研究 その 4 数値計算モデルの検証および温熱環境改善効果の評価, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 第 9 号, pp.13-16, 2008.03
- [19] 岩村かな子, 小島昌幸, 齋藤輝幸: COVID-19 による行動変容が戸建て住宅 PV 発電自家消費に与えた影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集,

第 23 号, pp.35-38, 2022.03

3) 特許出願

[1] 「住宅の消費電力量予測システム」特願 2022-204007, 2022.12

謝辞

本論文は、著者がプライム ライフ テクノロジーズ株式会社（主務）、株式会社ミサワホーム総合研究所（兼務）、トヨタホーム株式会社（兼務、元籍）、での執務・研究活動を通じて生まれた科学的興味を発端として、2020年から取り組んだ研究群をまとめたものです。論文作成にあたり、多くの先生方のご指導、勤務先上司・同僚からの支援をいただきました。記してここに謝意を表します。

企業人としての殻を破り、より高度な研究レベルに到達するには、大学院に活動の場を移し、社会人ドクターとしての研究活動が必要でした。著者は大学院博士後期課程への入学を逡巡していましたが、恩師の齋藤輝幸准教授による心強い後押しがあったからこそ、思い切って再度、名古屋大学大学院環境学研究科の門をたたくことができました。同研究科 田中英紀教授、飯塚悟教授には講座に温かく受け入れてもらい、定期的なご指導ご鞭撻をいただきました。研究指導教官は齋藤輝幸准教授、副指導教官は田中英紀教授にお願いしました。大変お忙しい中、頻繁に研究指導の時間を頂戴し、分析手法から研究方向性に広範に渡って厳しさと優しさをもってご指導いただきました。また、齋藤研究室岩村かな子氏（当時 B4）は研究初期でのデータ分析補助を担ってくれました。

研究の着手にあたり、インプットとなる良質なデータの確保が課題でした。学術用途として電力データの提供とアンケート調査に快く協力いただいた、1339世帯のご家族に感謝します。本論文の成果を社会に還元し、低炭素と快適を両立する暮らしを実現します。

本論文の審査は、齋藤輝幸准教授（主査）、田中英紀教授、飯塚悟教授、そして久野覚名誉教授にお引き受けいただきました。研究領域を超えた学究横断的な高い視座から貴重なご指導を賜りました。このような環境は私企業では得難く、社会人ドクターとなった価値の一つでした。

勤務先の広い理解が得られたことは幸運でした。プライム ライフ テクノロジーズ株式会社技術企画推進部 白浜一志部長に御礼申し上げます。個人の研究活動と企業での業務は結局のところある箇所は不可分であり、寛容な判断でご支援を賜りました。わずかですが、研究成果をもって企業活動に貢献できたものと存じます。

さいごに、私的には社会人ドクターの研究活動に理解を示して支えてくれた両親と、仕事と学業に集中できる環境を提供してくれた家族に感謝します。公私あわせ、周囲の方々からの支援のもと、本論文をまとめることができました。

2023年9月 小島 昌幸

付録

1. 機械学習による時系列データのクラスタリング (第2章)

```
#Python 3.6.4
import pandas as pd
import numpy as np
import glob
#from tslearn.clustering import KShape
import logging
logging.basicConfig()
logger = logging.getLogger()
logger.setLevel(logging.WARN)
import itertools
import calendar
from collections import Counter
from datetime import datetime, timedelta
#pd.set_option('max_rows', 20)
from tslearn.preprocessing import TimeSeriesScalerMeanVariance
from tslearn.clustering import TimeSeriesKMeans
from tslearn.preprocessing import TimeSeriesScalerMeanVariance, TimeSeriesScalerMinMax
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.markers as plt_markers
#%matplotlib notebook

def read_file_to_dataframe(filenamees):
    #ファイルデータを読み込み、データフレームを返す
    dfs = []
    for filename in filenamees:
        original_df = pd.read_csv(filename, index_col=None, header=0)
        dfs.append(original_df)
    return dfs

def time_series_data_to_array(dataframes, target_col=""):
    #データフレームを読み込み、それらを時系列の配列にする
    tsdata = []
    for i, df in enumerate(dataframes):
        tsdata.append(df[target_col].values.tolist()[:])
    #それぞれの時系列データの最大の長さを確認
    len_max = 0
    for ts in tsdata:
        if len(ts) > len_max:
            len_max = len(ts)
    #時系列データの長さを揃えるために、最後のデータを付け加える
    for i, ts in enumerate(tsdata):
        len_add = len_max - len(ts)
        tsdata[i] = ts + [ts[-1]] * len_add
```

```

        tsdata = np.array(tsdata)
    return tsdata

def transform_vector(time_series_array):
    #ベクトルに変換
    stack_list = []
    for j in range(len(time_series_array)):
        data = np.array(time_series_array[j])
        data = data.reshape((1, len(data))).T
        stack_list.append(data)
    #一次元配列にする
    stack_data = np.stack(stack_list, axis=0)
    return stack_data

filenames = sorted(glob.glob('C:/code/analysis-tslern-main/sample_data/0_sample_data*.csv'))
df = read_file_to_dataframe(filenames=filenames)
tsdata = time_series_data_to_array(dataframes=df, target_col='Data')
stack_data = transform_vector(time_series_array=tsdata)

#seed = 0
#np.random.seed(seed)
#相互相関を計算するために、正規化する必要があります。
#TimeSeriesScalerMeanVariance がデータを正規化してくれるクラスになります。
#stack_data = TimeSeriesScalerMeanVariance(mu=0.0, std=1.0).fit_transform(stack_data)

#KShape クラスのインスタンス化
#ks = KShape(n_clusters=2, n_init=10, verbose=True, random_state=seed)
#y_pred = ks.fit_predict(stack_data)

#クラスター数を3にする場合、可視化の range と subplot も3にする

n_clusters = 5
clustering_metric = 'euclidean'
rand_seed = 200
ks = TimeSeriesKMeans(
    n_clusters=n_clusters,
    metric=clustering_metric,
    random_state=rand_seed)
y_pred = ks.fit_predict(stack_data)
#km.fit(filtered_ys)

#グラフ描画
for yi in range(5):

```

```

fig, ax = plt.subplots(figsize=(16,9), facecolor="w")
num = 0
for xx in stack_data[y_pred == yi]:
    x = ( ["10:00", "11:00", "12:00", "13:00", "14:00", "15:00", "16:00"])#x 軸
    y = xx.ravel()#y 軸
    ax.plot(x, y, "k-", alpha=.1, lw=0.5)
    plt.plot(ks.cluster_centers_[yi].ravel(), "r-", lw=5)#赤線
    # クラスタに属するデータ数を計算
    # cluster_labels = {}
    # for k in cnt:
    #     cluster_labels['cluster-{}'.format(k)] = cnt[k]
    plt.title("Cluster %d" % (yi + 1))
    plt.xlabel('time')
    plt.ylabel('Wh/h')
    plt.ylim(0, 4000)
    # for 文が繰り返される(線が一本増えるたびに + 1 される)
    num += 1
if num==len(stack_data[y_pred == yi]): #最後の一本になったときにラベルを張り付ける記述にする
    ax.plot(x, y, "k-", alpha=.1, label=len(stack_data[y_pred == yi]), lw=0.5)
    plt.legend()
    plt.savefig("graph_{}.png".format(yi))

#plt.tight_layout()
plt.show()

distortions = []

#1~10 クラスタまで計算
for i in range(1,11):
    ks = TimeSeriesKMeans(n_clusters=i,
        metric=clustering_metric,
        random_state=rand_seed)

    #クラスタリングの計算を実行
    ks.fit(stack_data)
    #ks.fit すると ks.inertia_が得られる
    #inertia_で SSE を取得できる
    distortions.append(ks.inertia_)

plt.plot(range(1,11), distortions, marker='o')
plt.xlabel('Number of clusters')
plt.ylabel('Distortion')
plt.show()

```

2. 多数世帯電力データの整備手法（手順と主要 Excel VBA コード、第 2～5 章）

- 手順 1 ダウンロードした CSV ファイル(約 4,000)を、一括してエクセルファイルに変換
- 手順 2 邸別データファイル (.xlsx) を作成。2013-2020 年の夏期データ 5-9 月を抽出して別シートに整理
- 手順 3 トヨタホーム顧客データベースから取得したホーム分電盤 分岐回路リストを再構成
- 手順 4 邸別データファイルに、分岐ラベルシートを挿入する。別途整備した冷房デグリーデーも一緒にコピーされる
- 手順 5 分岐ラベルを探して邸別データファイルのすべてのシートにコピー
- 手順 6 分析用集計表のはりつけ
- 手順 7 目的に応じた邸別データファイルからのデータ集約**
- 手順 8 Microsoft Azure からダウンロードした data3 はデータ構造が違うので、従来 (data1, 2) に合わせる
- 手順 9 ファイルをリネーム、分岐なし、ルームエアコン(RAC)、セントラル空調(CAC)に分類
- 手順 10 セントラル空調の停止時の無効電力を補正。月、曜日集計フォーマットの挿入
- 手順 11 月別集計フォーマットの挿入
- 手順 12 月別集計のスク립ティング
- 手順 13 エアコン同時運転台数フォーマットを挿入する**
- 手順 14 エアコン同時運転台数のスク립ティング**
- 手順 15 「時刻別」エアコン同時利用台数の分析フォーマット挿入
- 手順 16 「時刻別」エアコン同時利用台数のスク립ティング
- 手順 17 外気温度とエアコン同時利用台数のフォーマットの挿入
- 手順 18 外気温度とエアコン同時利用台数のスク립ティング
- 手順 19 冷房デグリーデーフォーマット挿入
- 手順 20 冷房デグリーデーフォーマット挿入
- 手順 21 4 月を追加する。モジュール 2 2 から引用される連続実行
- 手順 22 モジュール 2 1 を呼び出す
- 手順 23 月別分析フォーマットの挿入
- 手順 24 邸別データファイルから収集
- 手順 25 エアコン同時利用台数 予測式フォーマットの挿入
- 手順 26 上記のスク립ティング
- 手順 27 冷房 DH と冷房度数のフォーマットの挿入
- 手順 28 スクリプティング
- 手順 29 邸別データファイルを作成。2017-2019 年の冬期データ 10-3 月を抽出して別シートに整理
- 手順 30 連続実行、モジュール 2 9 を呼び出す
- 手順 31 スマート・エアーズの停止時 無効電力 を補正
- 手順 32 月別フォーマットの挿入
- 手順 33 ファイル名+「外気」
- 手順 34 17・18 年、19 年、20 年をひとつのワークブックにまとめる
- 手順 35 ファイル合体のためのリネーム
- 手順 36 その他消費電力量ほかのスク립ト、モジュール 1 2 を再利用
- 手順 37 月積算 暖房 DH と月積算 暖房消費電力量のスク립ト、モジュール 2 8 を再利用
- 手順 38 時刻別 エアコン同時利用台数
- 手順 39 外気温度別 エアコン同時利用台数のスク립ティングファイル
- 手順 40 デグリーアワーと暖房消費電力量の集計フォーマット修正、セル DO1457
- 手順 41 在宅勤務のその他消費電力量に与える分析（電力自給率、自家消費率）**
- 手順 42 自家消費型 ベクトル描画**
- 手順 43 在宅勤務のその他消費電力量に与える影響その 2、日中 6-17 時、夜間 18-5 時に分けて分析
- 手順 44 在宅勤務のその他消費電力量に与える影響その 3（ステ）、在宅勤務日のみ抽出して分析
- 手順 45 在宅勤務のその他消費電力量に与える影響その 4、3 月に増加量(Wh/h)**
- 手順 46 PV 発電量の再集計（63 世帯限定）

手順7 目的に応じた邸別データファイルからのデータ集約

#####

Sub 目的に応じた邸別データの集約()
,

- '①まず、目的としてどのような分析をしたいのかを明確にする
- '②描画するグラフ（あるいは表）のイメージを持つ（手書きで書いてみる）
- '③データの構造を見極める

```
Dim i As Long
Dim j As Long
Dim sFileName As String
Dim wb As Workbook
Dim ws As Worksheet
Dim s 一覧 As Worksheet
Dim s2013 As Worksheet
Dim s2014 As Worksheet
Dim s2015 As Worksheet
Dim s2016 As Worksheet
Dim s2017 As Worksheet
Dim s2018 As Worksheet
Dim s2019 As Worksheet
Dim s2020 As Worksheet
Set s 一覧 = Worksheets("一覧")
Set s2013 = Worksheets("2013")
Set s2014 = Worksheets("2014")
Set s2015 = Worksheets("2015")
Set s2016 = Worksheets("2016")
Set s2017 = Worksheets("2017")
Set s2018 = Worksheets("2018")
Set s2019 = Worksheets("2019")
Set s2020 = Worksheets("2020")
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
'取得ファイルのリストをつくる
```

```
With s 一覧
```

```
    .Range("A:A").ClearContents
```

```
    sFileName = Dir(ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥*.xls*")
```

```
    i = 1
```

```
    Do Until sFileName = ""
```

```
        .Cells(i, 1) = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥" & sFileName
```

```
        i = i + 1
```

```
        sFileName = Dir()
```

```
    Loop
```

```

End With
' With s2013
'   .Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
' For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'   Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
'   Set ws = wb.Worksheets(1)
'   j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'   'HEMS 機器 ID の取得
'   ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'   '県の取得
'   ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'   '市町村の取得
'   ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'   '延べ面積の取得
'   ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'   '目的に応じたデータ収集セルの指定
'   '冷房デグリーデー
'   ws.Range("BR1").Copy
'   .Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   '期間 全消費電力量
'   ws.Range("BR3").Copy
'   .Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   '期間 全買電量
'   ws.Range("BR6").Copy
'   .Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   'PV 発電
'   ws.Range("BR9").Copy
'   .Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   '売電
'   ws.Range("BR12").Copy
'   .Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   '外部発電
'   ws.Range("BR15").Copy
'   .Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'   '期間 冷房消費量
'   ws.Range("BR63").Copy
'   .Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'
'   wb.Close savechanges:=False
'   doevents
' Next
' End With
' With s2014
'   .Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
'   For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'     Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))

```

```

'      Set ws = wb.Worksheets(1)
'      j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'      'HEMS 機器 ID の取得
'      ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'      '県の取得
'      ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'      '市町村の取得
'      ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'      '延べ面積の取得
'      ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'      '目的に応じたデータ収集セルの指定
'      '冷房デグリーデー
'      ws.Range("BS1").Copy
'      .Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      '期間 全消費電力量
'      ws.Range("BS3").Copy
'      .Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      '期間 全買電量
'      ws.Range("BS6").Copy
'      .Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      'PV 発電
'      ws.Range("BS9").Copy
'      .Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      '売電
'      ws.Range("BS12").Copy
'      .Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      '外部発電
'      ws.Range("BS15").Copy
'      .Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'      '期間 冷房消費量
'      ws.Range("BS63").Copy
'      .Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'
'      wb.Close savechanges:=False
'      doevents
'
'      Next
'      End With
'      With s2015
'      .Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
'      For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'      Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
'      Set ws = wb.Worksheets(1)
'      j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'      'HEMS 機器 ID の取得
'      ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)

```



```

'県の取得
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'市町村の取得
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'延べ面積の取得
ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BT1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全消費電力量
ws.Range("BT3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BT6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BT9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BT12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BT15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BT63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'
'
wb.Close savechanges:=False
doevents
Next
End With
With s2016
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
Set ws = wb.Worksheets(1)
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'HEMS 機器 ID の取得
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'県の取得
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'市町村の取得
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'延べ面積の取得

```

```

ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BU1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全消費電力量
ws.Range("BU3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BU6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BU9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BU12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BU15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BU63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

wb.Close savechanges:=False
DoEvents

Next
End With
With s2017
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
Set ws = wb.Worksheets(1)
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'HEMS 機器 ID の取得
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'県の取得
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'市町村の取得
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'延べ面積の取得
ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BV1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

```

```

'期間 全消費電力量
ws.Range("BV3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BV6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BV9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BV12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BV15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BV63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

        wb.Close savechanges:=False
        DoEvents
    Next
End With
With s2018
    .Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
    For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
        Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
        Set ws = wb.Worksheets(1)
        j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
        'HEMS 機器 ID の取得
        ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
        '県の取得
        ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
        '市町村の取得
        ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
        '延べ面積の取得
        ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
        '目的に応じたデータ収集セルの指定
        '冷房デグリーデー
        ws.Range("BW1").Copy
        .Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
        '期間 全消費電力量
        ws.Range("BW3").Copy
        .Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
        '期間 全買電量
        ws.Range("BW6").Copy

```

```

.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BW9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BW12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BW15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BW63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

        wb.Close savechanges:=False
        DoEvents
    Next
End With
With s2019
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覽.Cells(s 一覽.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    Set wb = Workbooks.Open(s 一覽.Cells(i, 1))
    Set ws = wb.Worksheets(1)
    j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
    'HEMS 機器 ID の取得
    ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
    '県の取得
    ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
    '市町村の取得
    ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
    '延べ面積の取得
    ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
    '目的に応じたデータ収集セルの指定
    '冷房デグリーデー
    ws.Range("BX1").Copy
    .Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
    '期間 全消費電力量
    ws.Range("BX3").Copy
    .Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
    '期間 全買電量
    ws.Range("BX6").Copy
    .Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
    'PV 発電
    ws.Range("BX9").Copy
    .Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
    '売電

```

```

ws.Range("BX12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BX15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BX63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

wb.Close savechanges:=False
DoEvents
Next
End With
With s2020
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
Set ws = wb.Worksheets(1)
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'HEMS 機器 ID の取得
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'県の取得
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'市町村の取得
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'延べ面積の取得
ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BY1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全消費電力量
ws.Range("BY3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BY6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BY9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BY12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BY15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

```

```

'期間 冷房消費量
ws.Range("BY63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

wb.Close savechanges:=False
DoEvents
Next
End With

End Sub

#####

#####

Option Explicit

Sub Excel_files_open()

Dim newfilename, str, hiduke As String

Dim fs As FileSystemObject
Dim basefolder As Scripting.Folder
Dim mysubfiles As Scripting.Files
Dim mysubfile As Scripting.File
Dim folderpath, filepath As String

Set fs = New Scripting.FileSystemObject

folderpath = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis"

Set basefolder = fs.GetFolder(folderpath)
Set mysubfiles = basefolder.Files

For Each mysubfile In mysubfiles

If fs.GetExtensionName(Path:=mysubfile) Like "[xl]*" Then

Workbooks.Open mysubfile.Path

' 標準モジュール 1 の関数を呼び出す
Call Module1.連続実行

str = ActiveWorkbook.Name
hiduke = Right(Replace(Date, "/", ""), 6)

```

```

newfilename = hiduke & "更新_" & str

ActiveWorkbook.SaveAs folderpath & "¥" & newfilename
ActiveWorkbook.Close

DoEvents

End If
Next

End Sub

#####
(Module 1)
#####
Sub 連続実行()
    Call シートをつくる
    Call 年月を取り出す
    Call 夏5月から9月を抽出
    Call 空白行を詰める 2013
    Call 空白行を詰める 2014
    Call 空白行を詰める 2015
    Call 空白行を詰める 2016
    Call 空白行を詰める 2017
    Call 空白行を詰める 2018
    Call 空白行を詰める 2019
    Call 空白行を詰める 2020

End Sub

Sub シートをつくる()
'
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Sheets("Sheet1").Select
    Sheets("Sheet1").Name = "2013"
    Sheets("Sheet2").Select
    Sheets("Sheet2").Name = "2014"
    Sheets("Sheet3").Select
    Sheets("Sheet3").Name = "2015"
    Sheets("Sheet4").Select

```

```

    Sheets("Sheet4").Name = "2016"
    Sheets("Sheet5").Select
    Sheets("Sheet5").Name = "2017"
    Sheets("Sheet6").Select
    Sheets("Sheet6").Name = "2018"
    Sheets("Sheet7").Select
    Sheets("Sheet7").Name = "2019"
    Sheets("Sheet8").Select
    Sheets("Sheet8").Name = "2020"
,
End Sub

Sub 年月を取り出す()
,
,
    Dim i As Long
    Dim toprow As Long
    Dim bottomrow As Long
    Dim dy As Date
    Dim dm As Date

    Sheets(1).Select

    '開始する行
    toprow = 2
    '終了する行
    bottomrow = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    For i = bottomrow To toprow Step -1
        dy = Cells(i, 2)
        Cells(i, "BH") = Year(dy)
        dm = Cells(i, 2)
        Cells(i, "BI") = Month(dm)

    Next
,
End Sub

Sub 夏5月から9月を抽出()
,
,
    Dim i As Long
    Dim toprow As Long
    Dim bottomrow As Long
    Dim dy As Date
    Dim dm As Date

```



```

Application.ScreenUpdating = False

Sheets(1).Select

'開始する行
toprow = 2
'終了する行
bottomrow = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2013 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2013").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2014 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2014").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2015 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2015").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2016 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け

```

```

        Rows(i).Copy
        Sheets("2016").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2017 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2017").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2018 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2018").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2019 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2019").Select
        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

For i = bottomrow To toprow Step -1
    If Cells(i, "BH") = 2020 And Cells(i, "BI") >= 5 And Cells(i, "BI") <= 9 Then
        '日付関数で、行コピーして別シートに張り付け
        Rows(i).Copy
        Sheets("2020").Select
    
```

```

        Rows(i).PasteSpecial (xlPasteAll)
        Sheets(1).Select
    Else
    End If
Next

End Sub

*****
' 空白行の一括削除    Delete_Rows_w_Blank
*****

Sub 空白行を詰める 2013()
    Dim GYO As Long
    Dim KuhakuGyo As Range
    Dim r As Long
    Sheets("2013").Select
    ' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    ' 2行目から最終行まで B列のセルをチェックします
    With ActiveSheet
        For r = 2 To GYO
            ' B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
                ' 最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
                If KuhakuGyo Is Nothing Then
                    Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
                ' 2件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
                Else
                    Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
                End If
            End If
        Next r
    End With

    ' 空白行があれば一括で削除する
    If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
        KuhakuGyo.Delete
    End If
End Sub

*****
' 空白行の一括削除    Delete_Rows_w_Blank
*****

Sub 空白行を詰める 2014()
    Dim GYO As Long
    Dim KuhakuGyo As Range

```

```

Dim r As Long
Sheets("2014").Select
' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
' 2行目から最終行まで B列のセルをチェックします
With ActiveSheet
    For r = 2 To GYO
        ' B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
        If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
            ' 最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
            If KuhakuGyo Is Nothing Then
                Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
            ' 2件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
            Else
                Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
            End If
        End If
    Next r
End With

' 空白行があれば一括で削除する
If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
    KuhakuGyo.Delete
End If
End Sub

```

```

*****
' 空白行の一括削除 Delete_Rows_w_Blank
*****

```

```

Sub 空白行を詰める 2015()
Dim GYO As Long
Dim KuhakuGyo As Range
Dim r As Long
Sheets("2015").Select
' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
' 2行目から最終行まで B列のセルをチェックします
With ActiveSheet
    For r = 2 To GYO
        ' B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
        If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
            ' 最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
            If KuhakuGyo Is Nothing Then
                Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
            ' 2件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
            Else
                Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
            End If
        End If
    Next r
End With

```

```

                Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
            End If
        End If
    Next r
End With

'空白行があれば一括で削除する
If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
    KuhakuGyo.Delete
End If
End Sub

*****
' 空白行の一括削除    Delete_Rows_w_Blank
*****

Sub 空白行を詰める 2016()
    Dim GYO As Long
    Dim KuhakuGyo As Range
    Dim r As Long
    Sheets("2016").Select
    ' A 列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    '2 行目から最終行まで B 列のセルをチェックします
    With ActiveSheet
        For r = 2 To GYO
            'B 列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
                '最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
                If KuhakuGyo Is Nothing Then
                    Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
                '2 件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
                Else
                    Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
                End If
            End If
        End If
    Next r
End With

'空白行があれば一括で削除する
If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
    KuhakuGyo.Delete
End If
End Sub

*****
' 空白行の一括削除    Delete_Rows_w_Blank
*****

```

```
Sub 空白行を詰める 2017()  
    Dim GYO As Long  
    Dim KuhakuGyo As Range  
    Dim r As Long  
    Sheets("2017").Select  
    ' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1  
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row  
    '2行目から最終行までB列のセルをチェックします  
    With ActiveSheet  
        For r = 2 To GYO  
            'B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加  
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then  
                '最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット  
                If KuhakuGyo Is Nothing Then  
                    Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow  
                '2件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく  
                Else  
                    Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)  
                End If  
            End If  
        Next r  
    End With  
  
    '空白行があれば一括で削除する  
    If Not KuhakuGyo Is Nothing Then  
        KuhakuGyo.Delete  
    End If  
End Sub
```

```
' 空白行の一括削除    Delete_Rows_w_Blank
```

```
Sub 空白行を詰める 2018()  
    Dim GYO As Long  
    Dim KuhakuGyo As Range  
    Dim r As Long  
    Sheets("2018").Select  
    ' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1  
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row  
    '2行目から最終行までB列のセルをチェックします  
    With ActiveSheet  
        For r = 2 To GYO  
            'B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加  
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then  
                '最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
```

```

        If KuhakuGyo Is Nothing Then
            Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
        '2 件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
        Else
            Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
        End If
    End If
Next r
End With

'空白行があれば一括で削除する
If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
    KuhakuGyo.Delete
End If
End Sub

*****
' 空白行の一括削除   Delete_Rows_w_Blank
*****

Sub 空白行を詰める 2019()
    Dim GYO As Long
    Dim KuhakuGyo As Range
    Dim r As Long
    Sheets("2019").Select
    ' A 列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    '2 行目から最終行まで B 列のセルをチェックします
    With ActiveSheet
        For r = 2 To GYO
            'B 列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
                '最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
                If KuhakuGyo Is Nothing Then
                    Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
                '2 件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
                Else
                    Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
                End If
            End If
        Next r
    End With

    '空白行があれば一括で削除する
    If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
        KuhakuGyo.Delete
    End If
End Sub

```

End Sub

```
*****
' 空白行の一括削除 Delete_Rows_w_Blank
*****
Sub 空白行を詰める 2020()
    Dim GYO As Long
    Dim KuhakuGyo As Range
    Dim r As Long
    Sheets("2020").Select
    ' A列をみて表の最終行を取得する ----- ※1
    GYO = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    ' 2行目から最終行までB列のセルをチェックします
    With ActiveSheet
        For r = 2 To GYO
            ' B列のセルが空白なら変数 KuhakuGyo に追加
            If IsEmpty(Cells(r, 2).Value) Then
                ' 最初の空白行に出会ったら行全体を KuhakuGyo にセット
                If KuhakuGyo Is Nothing Then
                    Set KuhakuGyo = .Rows(r).EntireRow
                ' 2件目からは順次 KuhakuGyo に追加していく
                Else
                    Set KuhakuGyo = Union(KuhakuGyo, .Rows(r).EntireRow)
                End If
            End If
        Next r
    End With

    ' 空白行があれば一括で削除する
    If Not KuhakuGyo Is Nothing Then
        KuhakuGyo.Delete
    End If
End Sub
#####
```


手順 13 エアコン同時運転台数フォーマットを挿入する

Module13

```
#####  
Sub 邸別ファイルにエアコン運転台数フォーマットの挿入()  
,  
,  
    Dim newfilename, str, hiduke As String  
  
    Dim fs As FileSystemObject  
    Dim basefolder As Scripting.Folder  
    Dim mysubfiles As Scripting.Files  
    Dim mysubfile As Scripting.File  
    Dim folderpath, filepath As String  
  
    Set fs = New Scripting.FileSystemObject  
  
    folderpath = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis"  
  
    Set basefolder = fs.GetFolder(folderpath)  
    Set mysubfiles = basefolder.Files  
  
    For Each mysubfile In mysubfiles  
  
        If fs.GetExtensionName(Path:=mysubfile) Like "[xl]*" Then  
  
            Dim wb As String  
  
            Workbooks.Open mysubfile.Path  
'ファイルを開いた時にそのファイルがアクティブになるので、そのファイル名を変数に入れてやる  
            wb = ActiveWorkbook.Name  
  
            Workbooks("006_マクロ、分析 2.xlsm").Sheets("月別分析").Range("F3718:U3754").Copy  
  
            'テキストで貼り付け  
            Workbooks(wb).Sheets(8).Range("BW3675").PasteSpecial _  
                Paste:=xlPasteValues, _  
                Operation:=xlNone, _  
                SkipBlanks:=False, _  
                Transpose:=False '2019 年  
            Workbooks(wb).Sheets(9).Range("BW3675").PasteSpecial _  
                Paste:=xlPasteValues, _  
                Operation:=xlNone, _  
                SkipBlanks:=False, _  
                Transpose:=False '2020 年  
  
            '数式に直して計算する  
            Workbooks(wb).Sheets(8).Range("BW3675:CL3711").Replace What:="#=", Replacement:="#" '2019 年  
            Workbooks(wb).Sheets(9).Range("BW3675:CL3711").Replace What:="#=", Replacement:="#" '2020 年  
  
            str = ActiveWorkbook.Name  
            hiduke = Right(Replace(Date, "/", ""), 6)
```

```
newfilename = hiduke & "台数_" & str
```

```
ActiveWorkbook.SaveAs folderpath & "¥" & newfilename  
ActiveWorkbook.Close
```

```
DoEvents
```

```
End If
```

```
Next
```

```
End Sub
```

手順 14 エアコン同時運転台数のスク립ティング

Module14

```
#####
```

```
Sub エアコン運転台数集計()  
,
```

```
'①まず、目的としてどのような分析をしたいのかを明確にする  
'②描画するグラフ（あるいは表）のイメージを持つ（手書きで書いてみる）  
'③データの構造を見極める
```

```
Dim i As Long  
Dim j As Long  
Dim k As Long  
Dim m As Long  
Dim sFileName As String  
Dim wb As Workbook  
Dim ws As Worksheet  
Dim ws19 As Worksheet  
Dim ws20 As Worksheet  
Dim s 一覧 As Worksheet  
Dim s2019 As Worksheet  
Dim s2020 As Worksheet  
Set s 一覧 = Worksheets("一覧")  
Set s2019 = Worksheets("2019")  
Set s2020 = Worksheets("2020")
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
'取得ファイルのリストをつくる
```

```
With s 一覧
```

```
.Range("A:A").ClearContents  
sFileName = Dir(ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥*.xls*")  
i = 1  
Do Until sFileName = ""  
.Cells(i, 1) = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥" & sFileName  
i = i + 1  
sFileName = Dir()
```

```
Loop
```

```
End With
```

```
With s2019
```

```
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents  
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row  
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))  
Set ws = wb.Worksheets(1)  
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1  
'HEMS 機器 ID の取得  
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)  
'県の取得  
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)  
'市町村の取得  
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)  
'延べ面積の取得
```

```

ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BX1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全消費電力量
ws.Range("BX3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BX6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BX9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BX12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BX15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BX63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

```

```

Set ws19 = wb.Worksheets(8)
k = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'5月エアコン台数
ws19.Range("BX3688:BX3711").Copy
.Cells(k, 12).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'6月エアコン台数
ws19.Range("BY3688:BY3711").Copy
.Cells(k, 37).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'7月エアコン台数
ws19.Range("BZ3688:BZ3711").Copy
.Cells(k, 62).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'8月エアコン台数
ws19.Range("CA3688:CA3711").Copy
.Cells(k, 87).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'9月エアコン台数
ws19.Range("CB3688:CB3711").Copy
.Cells(k, 112).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True

```

```

wb.Close savechanges:=False
DoEvents

```

```
Next
```

```
End With
```

```
With s2020
```

```

.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))

```

```

Set ws = wb.Worksheets(1)
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
'HEMS 機器 ID の取得
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
'県の取得
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
'市町村の取得
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
'延べ面積の取得
ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'冷房デグリーデー
ws.Range("BX1").Copy
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全消費電力量
ws.Range("BX3").Copy
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 全買電量
ws.Range("BX6").Copy
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'PV 発電
ws.Range("BX9").Copy
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'売電
ws.Range("BX12").Copy
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'外部発電
ws.Range("BX15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BX63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

Set ws20 = wb.Worksheets(9)
k = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'5月エアコン台数
ws20.Range("BX3688:BX3711").Copy
.Cells(k, 12).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'6月エアコン台数
ws20.Range("BY3688:BY3711").Copy
.Cells(k, 37).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'7月エアコン台数
ws20.Range("BZ3688:BZ3711").Copy
.Cells(k, 62).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'8月エアコン台数
ws20.Range("CA3688:CA3711").Copy
.Cells(k, 87).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True
'9月エアコン台数
ws20.Range("CB3688:CB3711").Copy
.Cells(k, 112).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True

```

```
wb.Close savechanges:=False  
DoEvents
```

```
Next  
End With
```

```
End Sub
```

手順 41 在宅勤務のその他消費電力量に与える分析（電力自給率、自家消費率）

Module41

#####

Sub 邸別ファイルに電力自給率自家消費率フォーマット挿入()

,

,

Dim newfilename, str, hiduke As String

Dim fs As FileSystemObject

Dim basefolder As Scripting.Folder

Dim mysubfiles As Scripting.Files

Dim mysubfile As Scripting.File

Dim FolderPath, FilePath As String

Set fs = New Scripting.FileSystemObject

FolderPath = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis"

Set basefolder = fs.GetFolder(FolderPath)

Set mysubfiles = basefolder.Files

For Each mysubfile In mysubfiles

If fs.GetExtensionName(Path:=mysubfile) Like "[xl]*" Then

Dim wb As String

Workbooks.Open mysubfile.Path

'ファイルを開いた時にそのファイルがアクティブになるので、そのファイル名を変数に入れてやる

wb = ActiveWorkbook.Name

Workbooks("008_マクロ、冬期 1.xlsm").Sheets("月別分析").Range("CU1:DA869").Copy

'テキストで貼り付け

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CU1").PasteSpecial _

Paste:=xlPasteValues, _

Operation:=xlNone, _

SkipBlanks:=False, _

Transpose:=False

'数式に直して計算する

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CU1:DA869").Replace What:="#=", Replacement:=""

Workbooks("008_マクロ、冬期 1.xlsm").Sheets("月別分析").Range("CC1:CC4").Copy

'テキストで貼り付け

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CC1").PasteSpecial _

Paste:=xlPasteValues, _

Operation:=xlNone, _

SkipBlanks:=False, _

Transpose:=False

```

'数式に直して計算する
Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CC1:CC4").Replace What:="#=", Replacement:="="

Workbooks("008_マクロ、冬期 1.xlsm").Sheets("月別分析").Range("CF1:CF4").Copy

'テキストで貼り付け
Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CF1").PasteSpecial _
    Paste:=xlPasteValues, _
    Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, _
    Transpose:=False

'数式に直して計算する
Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CF1:CF4").Replace What:="#=", Replacement:="="

str = ActiveWorkbook.Name
hiduke = Right(Replace(Date, "/", ""), 6)
newfilename = hiduke & "在勤_" & str

ActiveWorkbook.SaveAs FolderPath & "¥" & newfilename
ActiveWorkbook.Close

DoEvents

End If
Next

End Sub

Sub 邸別ファイルから在宅勤務実績ナシを抽出()

Dim newfilename, str, hiduke As String

Dim fs As FileSystemObject
Dim basefolder As Scripting.Folder
Dim mysubfiles As Scripting.Files
Dim mysubfile As Scripting.File
Dim FolderPath, FilePath As String

Dim i As Long

Application.ScreenUpdating = False

Set fs = New Scripting.FileSystemObject

FolderPath = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis"

Set basefolder = fs.GetFolder(FolderPath)
Set mysubfiles = basefolder.Files

For Each mysubfile In mysubfiles

```



```

If fs.GetExtensionName(Path:=mysubfile) Like "[xl]*" Then

    Workbooks.Open mysubfile.Path

    Dim sheetName As String
    sheetName = Worksheets(1).Name ' 1 番目のシート名を取得

        Worksheets("2020").Activate
        Dim c
        For Each c In Range("DA2:DA268")

            If InStr(c.Value, sheetName) > 0 Then 'リストに HEMS 機器 ID が含まれるか判定
                newfilename = "ZK0_" & sheetName
                Exit For
            Else
                newfilename = sheetName
            End If

        Next c

        ActiveWorkbook.SaveAs FolderPath & "¥" & newfilename
        ActiveWorkbook.Close

    DoEvents

End If
Next

End Sub

Sub 自家消費率と自給率を集める()
'
'①まず、目的としてどのような分析をしたいのかを明確にする
'②描画するグラフ（あるいは表）のイメージを持つ（手書きで書いてみる）
'③データの構造を見極める

    Dim i As Long
    Dim j As Long
    Dim k As Long
    Dim m As Long
    Dim sFileName As String
    Dim wb As Workbook
    Dim ws As Worksheet
    Dim ws17 As Worksheet
    Dim ws18 As Worksheet
    Dim ws19 As Worksheet
    Dim ws20 As Worksheet
    Dim s 一覧 As Worksheet
    Dim s2017 As Worksheet
    Dim s2018 As Worksheet
    Dim s2019 As Worksheet

```

```

Dim s2020 As Worksheet
Set s 一覧 = Worksheets("一覧")
Set s2017 = Worksheets("2017")
Set s2018 = Worksheets("2018")
Set s2019 = Worksheets("2019")
Set s2020 = Worksheets("2020")

```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
'取得ファイルのリストをつくる
```

```
With s 一覧
```

```
.Range("A:A").ClearContents
```

```
sFileName = Dir(ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥*.xls*")
```

```
i = 1
```

```
Do Until sFileName = ""
```

```
.Cells(i, 1) = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥" & sFileName
```

```
i = i + 1
```

```
sFileName = Dir()
```

```
Loop
```

```
End With
```

```
With s2020
```

```
.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
```

```
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
```

```
Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
```

```
Set ws = wb.Worksheets(1)
```

```
j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
```

```
'HEMS 機器 ID の取得
```

```
ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
```

```
'県の取得
```

```
ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
```

```
'市町村の取得
```

```
ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
```

```
'延べ面積の取得
```

```
ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
```

```
'目的に応じたデータ収集セルの指定
```

```
'冷房デグリーデー
```

```
ws.Range("BW1").Copy
```

```
.Cells(j, 5).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
'期間 全消費電力量
```

```
ws.Range("BW3").Copy
```

```
.Cells(j, 6).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
'期間 全買電量
```

```
ws.Range("BW6").Copy
```

```
.Cells(j, 7).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
'PV 発電
```

```
ws.Range("BW9").Copy
```

```
.Cells(j, 8).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
'売電
```

```
ws.Range("BW12").Copy
```

```
.Cells(j, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
'外部発電
```

```

ws.Range("BW15").Copy
.Cells(j, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
'期間 冷房消費量
ws.Range("BW63").Copy
.Cells(j, 11).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues

Set ws20 = wb.Worksheets(9)
k = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
'目的に応じたデータ収集セルの指定
'もとの自家消費率エックス
ws20.Range("CF2").Copy
.Cells(k, 12).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

'もとの自給率ワイ
ws20.Range("CC2").Copy
.Cells(k, 13).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

'仮想の自家消費率エックス
ws20.Range("CF4").Copy
.Cells(k, 14).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

'仮想の自給率ワイ
ws20.Range("CC4").Copy
.Cells(k, 15).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

Application.CutCopyMode = False

wb.Close savechanges:=False
DoEvents

Next
End With

End Sub

```

手順 42 自家消費型 ベクトル描画

Module42

#####

Sub VectorPlot()

,

' 座標系 : 左上が原点, X:右へ向かって正, Y:VOffset から上に向かって正

,

' すでに描かれている図形の消去

ActiveSheet.Shapes.SelectAll

Selection.Delete

Dim i As Integer

'Dim x1 As Integer

'Dim y1 As Integer

'Dim x2 As Integer

'Dim y2 As Integer

Dim UnitScale As Integer

Dim UnitVector As Integer

Dim VOffset As Integer

Dim HOffset As Integer

UnitScale = 400 '画面上で, 1 が何ピクセルか

UnitVector = 1 '基準ベクトルの長さ

VOffset = 600 '垂直方向のオフセット

HOffset = 600 '水平方向のオフセット

' ベクトルの描画

For i = 1 To Selection.Rows.Count

x1 = ActiveCell.Offset(i - 1, 0).Value * UnitScale

y1 = ActiveCell.Offset(i - 1, 1).Value * UnitScale

x2 = ActiveCell.Offset(i - 1, 2).Value / UnitVector * UnitScale

y2 = ActiveCell.Offset(i - 1, 3).Value / UnitVector * UnitScale

With ActiveSheet.Shapes.AddLine(HOffset + x1, VOffset - y1, HOffset + x2, VOffset - y2).Line

'With ActiveSheet.Shapes.AddLine(HOffset + x1, VOffset - y1, HOffset + (x2 + x1), VOffset - (y2 + y1)).Line

.EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen

.EndArrowheadLength = msoArrowheadShort

.EndArrowheadWidth = msoArrowheadNarrow

End With

Next i

End Sub

手順 45 在宅勤務のその他消費電力量に与える影響その 4、3月に増加量(Wh/h)

Module45

#####

Sub 邸別ファイルに電力自給率自家消費率フォーマット挿入()

,

Dim newfilename, str, hiduke As String

Dim fs As FileSystemObject

Dim basefolder As Scripting.Folder

Dim mysubfiles As Scripting.Files

Dim mysubfile As Scripting.File

Dim FolderPath, FilePath As String

Set fs = New Scripting.FileSystemObject

FolderPath = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis"

Set basefolder = fs.GetFolder(FolderPath)

Set mysubfiles = basefolder.Files

For Each mysubfile In mysubfiles

If fs.GetExtensionName(Path:=mysubfile) Like "[xl]*" Then

Dim wb As String

Workbooks.Open mysubfile.Path

'ファイルを開いた時にそのファイルがアクティブになるので、そのファイル名を変数に入れてやる

wb = ActiveWorkbook.Name

Workbooks("008_マクロ、冬期 1.xlsm").Sheets("月別分析").Range("CU1:CZ4392").Copy

'テキストで貼り付け

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CU1").PasteSpecial _

Paste:=xlPasteValues, _

Operation:=xlNone, _

SkipBlanks:=False, _

Transpose:=False

'数式に直して計算する

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("CU1:CZ4392").Replace What:="#=", Replacement:="="

Workbooks("008_マクロ、冬期 1.xlsm").Sheets("月別分析").Range("DC1:DO32").Copy

'テキストで貼り付け

Workbooks(wb).Sheets(9).Range("DC1").PasteSpecial _

Paste:=xlPasteValues, _

Operation:=xlNone, _

SkipBlanks:=False, _

Transpose:=False

```

'数式に直して計算する
Workbooks(wb).Sheets(9).Range("DC1:DO32").Replace What:="#=", Replacement:=""

str = ActiveWorkbook.Name
hiduke = Right(Replace(Date, "/", ""), 6)
newfilename = "3 在_" & str

ActiveWorkbook.SaveAs FolderPath & "¥" & newfilename
ActiveWorkbook.Close

DoEvents

End If
Next

End Sub

Sub 自家消費率と自給率を集める()
'
'①まず、目的としてどのような分析をしたいのかを明確にする
'②描画するグラフ（あるいは表）のイメージを持つ（手書きで書いてみる）
'③データの構造を見極める

Dim i As Long
Dim j As Long
Dim k As Long
Dim m As Long
Dim sFileName As String
Dim wb As Workbook
Dim ws As Worksheet
Dim ws17 As Worksheet
Dim ws18 As Worksheet
Dim ws19 As Worksheet
Dim ws20 As Worksheet
Dim s一覧 As Worksheet
Dim s2017 As Worksheet
Dim s2018 As Worksheet
Dim s2019 As Worksheet
Dim s2020 As Worksheet
Set s一覧 = Worksheets("一覧")
Set s2017 = Worksheets("2017")
Set s2018 = Worksheets("2018")
Set s2019 = Worksheets("2019")
Set s2020 = Worksheets("2020")

Application.ScreenUpdating = False

'取得ファイルのリストをつくる
With s一覧

```

```

.Range("A:A").ClearContents
sFileName = Dir(ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥*.xls*")
i = 1
Do Until sFileName = ""
    .Cells(i, 1) = ThisWorkbook.Path & "¥Analysis¥" & sFileName
    i = i + 1
    sFileName = Dir()
Loop
End With

```

With s2020

```

.Range("A1").CurrentRegion.Offset(1).ClearContents
For i = 1 To s 一覧.Cells(s 一覧.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    Set wb = Workbooks.Open(s 一覧.Cells(i, 1))
    Set ws = wb.Worksheets(1)
    j = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
    'HEMS 機器 ID の取得
    ws.Range("A2").Copy Destination:=.Cells(j, 1)
    '県の取得
    ws.Range("BK1").Copy Destination:=.Cells(j, 2)
    '市町村の取得
    ws.Range("BL1").Copy Destination:=.Cells(j, 3)
    '延べ面積の取得
    ws.Range("BP1").Copy Destination:=.Cells(j, 4)
    '目的に応じたデータ収集セルの指定

    Set ws20 = wb.Worksheets(9)
    k = .Cells(.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    '目的に応じたデータ収集セルの指定

    '自家消費率エックス、自給率ワイ
    ws20.Range("DD5:DE5").Copy
    .Cells(k, 12).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

    'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ
    ws20.Range("DJ5:DK5").Copy
    .Cells(k, 14).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

    '自家消費率エックス、自給率ワイ
    ws20.Range("DD6:DE6").Copy
    .Cells(k, 16).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

    'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ
    ws20.Range("DJ6:DK6").Copy
    .Cells(k, 18).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

    '自家消費率エックス、自給率ワイ
    ws20.Range("DD12:DE12").Copy
    .Cells(k, 20).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

    'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ

```

```
ws20.Range("DJ12:DK12").Copy  
.Cells(k, 22).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DD13:DE13").Copy  
.Cells(k, 24).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DJ13:DK13").Copy  
.Cells(k, 26).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DD19:DE19").Copy  
.Cells(k, 28).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DJ19:DK19").Copy  
.Cells(k, 30).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DD20:DE20").Copy  
.Cells(k, 32).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DJ20:DK20").Copy  
.Cells(k, 34).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DD26:DE26").Copy  
.Cells(k, 36).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DJ26:DK26").Copy  
.Cells(k, 38).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DD27:DE27").Copy  
.Cells(k, 40).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
'アト、自家消費率エックス、自給率ワイ  
ws20.Range("DJ27:DK27").Copy  
.Cells(k, 42).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
wb.Close savechanges:=False  
DoEvents
```

```
Next  
End With
```

```
End Sub
```


3. 暮らしアンケート調査票

以下、アンケートにご回答いただき、「確認画面へ」のボタンを押してください。

必須項目です

お名前*

姓 名

セイ メイ

年齢*

才

電話番号*

※半角英数字

メールアドレス*

※半角英数字

(郵便)

ご家族の年齢1

才

ご家族の年齢2

才

ご家族の年齢3

才

ご家族の年齢4

才

ご家族の年齢5

才

居住年数

例) 〇年〇ヶ月

今年(2020年)4月、5月の暮らし方についてお伺い

社会ではこんなことがありました

緊急事態宣言 休業奨励

10万円給付決定 GWの外出自粛

昨年までと比較して、あなたご家族の暮らし方はどのように変わりましたか？
 全てはまるものにチェックしてください

家族と過ごす時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

業務に使う時間が減りましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる時間が減りましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる時間が減りましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

子供が休校で在宅することがありましたか？

はい
 いいえ
 小学生の子供はいない

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何回くらいでしたか？

週1回
 週2〜3回
 週4回
 週5日以上

在宅ワークをすることがありましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何回くらいでしたか？

週1回
 週2〜3回
 週4回
 週5日以上

室内で運動しましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

家でできる趣味に取り組みましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

家で楽しみを見つけたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

自宅の近場で楽しみを見つけたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

大型連休中の帰省・旅行を戻りましたか？

はい
 いいえ

ネット通販などの宅配を多く利用しましたか？

はい
 いいえ

家内を充実するために家具・家電を購入しましたか？

はい
 いいえ

購入した商品を教えてください。

外食を控えましたか？

はい
 いいえ

その他、特に思い当たる費らしの変化があれば教えてください。

**今年（2020年）6月、7月の暮らし方についてお聞い
します**
社会ではこんなことがありました

移動自粛 GO TOトラベル開始

自粛・企業への影響へ

● 自粛による影響の大きい業種

飲食	観光
小売	交通
宿泊	教育
医療	福祉
建設	不動産
金融	その他

東京アラート 関係者接触アプリ公開

昨年までと比較して、あなたとご家族の暮らし方はどのように
変わりましたか？
あてはまるものにチェックしてください

家族と過ごす時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

冷房を使う頻度が増えた

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

冷房を使う時間が増えた

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

夏場に使う頻度が減りましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

子供が休校で在宅することがありましたか？

はい
 いいえ
 就学の子供はいない

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何月日くらいでしたか？

週1日
 週2～3日
 週4日
 週5日以上

在宅ワークをすることがありましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何月日くらいでしたか？

週1日
 週2～3日
 週4日
 週5日以上

室内で運動しましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何ですか？

家でやる趣味に取り組みましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何ですか？

家で楽しみを見つけましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何ですか？

自宅の近所で楽しみを見つけましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きます。それは何ですか？

ネット通販などの宅配を多く利用しましたか？

はい
 いいえ

家電を充実するために家具・家電を購入しましたか？

はい
 いいえ

購入した商品を教えてください。

外食を控えましたか？

はい
 いいえ

その他、特に思い当たる費らしの変化があれば教えてください。

**今年（2020年）8月、9月の暮らし方についてお聞い
します**
社会ではこんなことがありました

お盆休み移動自粛 夜間営業時間短縮

● 8月の営業時間短縮に係る感染拡大防止協力金のご案内

公立校夏休み短縮 GOTOイート開始

昨年までと比較して、あなたとご家族の暮らし方はどのように
変わりましたか？
あてはまるものにチェックしてください

家族と過ごす時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

冷房を使う回数が増えた

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

冷房を使う時間がのびた

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

昼間に使う部屋が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

平日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる時間が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

休日に家にいる人数が増えましたか？

とても増えた
 やや増えた
 変わらない
 やや減った
 とても減った

子供の夏休みが延長されましたか？

はい
 いいえ
 親字の子供はいない

「はい」とお答えした方にお問します。それは何曜日くらいでしたか？

週1日
 週2～3日
 週4日
 週5日以上

在宅ワークをすることがありましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それは週何日くらいでしたか？

週1日
 週2～3日
 週4日
 週5日以上

寮内で課外しましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それは何ですか？

はい
 いいえ

家でする趣味に取り組みましたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それは何ですか？

はい
 いいえ

家で楽しみを見つけたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それは何ですか？

はい
 いいえ

自宅の近場で楽しみを見つけたか？

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それは何ですか？

はい
 いいえ

大層連休中の悪音・旅行を見返りましたか？

はい
 いいえ

ネット課外などの配信を多く利用しましたか？

はい
 いいえ

家の方を充実するために家具・家電を購入しましたか？

はい
 いいえ

購入した商品を教えてください。

はい
 いいえ

外食を控えましたか？

はい
 いいえ

その他、特別に思い当たる暮らしの変化があれば教えてください。

今後の暮らし方についてお伺いします

大層連休中の悪音・旅行を見返りましたか？

はい
 いいえ

ネット課外などの配信を多く利用しましたか？

はい
 いいえ

家の方を充実するために家具・家電を購入しましたか？

はい
 いいえ

購入した商品を教えてください。

外食を控えましたか？

はい
 いいえ

その他、特別に思い当たる暮らしの変化があれば教えてください。

今後の暮らし方についてお伺いします

残念ながらコロナ禍の見通しは立ちませんが、前を向かれて日々の生活を営られているかと思えます。今後、あなたとご家族が希望される暮らしの変化を教えてください。

自宅をリフォームしたい

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお問します。それはどこですか？

床を充実させたい

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それはどこですか？

自動車での通勤を希望したい

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

在宅ワークに誘った関わり・期待を教えてください

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

通学教育をはじめたい

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

新しい趣味をはじめたい

はい
 いいえ

「はい」とお答えした方にお聞きします。それは何ですか？

宅内で運動する習慣を付けたい

はい
 いいえ

インターネット環境を強化したい（安定性、通信スピードなど）

はい
 いいえ

その他、思い当たる今後の暮らしの希望があれば教えてください。

[返回調査へ](#)

お手持ちのHEMSとトヨタスマートセンターでは、暮らしに役立つ様々なサービスを提供しています。詳しくは以下を参照ください。



TSC-HEMSサービスでできること

らいさばショッピング等のオーナーズクラブのお得合せ、Web登録についてはこちら