

卒 FIT に向けた余剰電力の自家消費における
ヒートポンプ給湯機の有用性の評価
報告書

2019 年 11 月

ヒートポンプ給湯機の有効活用検討会

目次

1. エグゼクティブサマリー	1
2. はじめに	7
3. 用語の定義	8
4. 調査概要	9
5. 戸建住宅における PV 自家消費の年間シミュレーション	10
5.1 ケース設定	10
5.2 シミュレーションモデルと計算条件	11
5.3 結果：住宅単位の電力・給湯需給カーブ	15
5.4 結果：年間 CO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量	22
5.5 結果：PV 自家消費率	25
5.6 結果：需要家側の年間コスト	26
5.7 その他 4 世帯の年間シミュレーション結果	27
6. HP 給湯機の普及による PV 自家消費等への影響	33
6.1 計算方針	33
6.2 普及世帯の想定	33
6.3 原単位の想定	37
6.4 計算結果	42
7. まとめ	49

1. エグゼクティブサマリー

(1) はじめに

2009年11月に開始した「太陽光発電の余剰電力買取制度」は、2019年11月以降に順次10年間の買取期間が終了し、いわゆる卒FIT世帯が今後増加していく。また、PVや風力発電等の自然条件によって出力が大きく変動する再生可能エネルギー電源から系統電力への逆潮流が増加する中で、各世帯のPVの余剰電力を自家消費して逆潮流を減らすことは、系統負荷を減少させるためにも重要である。PVの余剰電力について、各事業者から売電単価についてさまざまな提示が始まったが、買電単価と比較して安価となることから、卒FIT世帯には余剰電力の自家消費を増やすことが重要な選択肢となる。そこで本調査ではPVによる余剰電力の自家消費におけるHP給湯機の有用性を、戸建住宅のモデルケースを分析するとともに、国内に展開した場合のマクロ影響について、省エネルギー、省CO₂、省コスト、自家消費率の観点から評価した。

(2) 調査概要

一般家庭5世帯の電力・給湯負荷を基に、①蓄電池への蓄電により自家消費するケースと、②HP給湯機を用いて蓄熱し自家消費するケースを試算し、この結果を基にHP給湯機を国内に展開した場合のマクロ影響量を試算し、HP給湯機の有用性を評価した。検討に当たっては有識者を含む7名で構成する委員会を設け議論を行った。

(3) 戸建住宅におけるPV自家消費の年間シミュレーション

1) ケース設定

本シミュレーションではHP給湯機や蓄電池による自家消費に着眼して、戸建住宅を対象に、電力消費・給湯エネルギー消費の年間シミュレーション分析を行った。具体的には、卒FIT住宅用PV電力の行き先と、蓄電池やHP給湯機などPV余剰電力を活用するための設備導入有無の2点に着眼して、表1-1の6ケースを取りあげた。本評価では、評価の基本となる「FIT買取期間終了前のPV住宅の熱源タイプ」を電気・ガス併用と仮定し、様々なケースを試算した

表 1-1 ケース設定

名称	説明	住宅の熱源	蓄電池	HP給湯機
売電ケース	PV余剰分は全て逆潮する	電気ガス併用	なし	なし
蓄電池ケース	PV余剰分を蓄電し自家消費する	電気ガス併用	あり (容量6kWh、10kWh)	なし
HP給湯ケース (夜間蓄熱)	PV余剰分は逆潮する	給湯電化	なし	あり(毎日夜間蓄熱) ^{※2}
HP給湯ケース (最適制御)	PV余剰分の蓄熱と売電を最適制御 ^{※1}	給湯電化	なし	あり(昼間/夜間蓄熱)
HP給湯ケース (昼間蓄熱)	PV余剰分で蓄熱する。不足時は昼間系統電力で蓄熱	給湯電化	なし	あり(天気に依らず毎日昼間蓄熱) ^{※2}
参照ケース	PVなし	電気ガス併用	なし	なし

注1) 各戸単位のローカル制御を仮定。需要家のエネルギーコスト最小化により時刻毎の蓄熱量を決定する。

注2) 沸き上げ時間帯は、毎日夜間蓄熱の場合は23-7時、毎日昼間蓄熱の場合は7-15時とした。給湯負荷が多い日は湯切れ回避のために指定時間以外でも沸き上げる。

2) シミュレーションモデルと計算条件

HP 給湯機については、対象住宅の電力・給湯負荷と PV 出力の翌日予測値、電力価格と PV 余剰買取価格を所与として、需要家側のエネルギーコスト（目的関数）の最小化によって、HP 給湯機の翌日運転計画を、即ち、時刻毎の PV 余剰分の自家消費量と売電量を決定する。実測結果を基にした評価対象は関西地域の戸建 4 人世帯の 5 世帯（世帯 A～E）とし、PV 設置容量は 4kW/戸、HP 給湯機は直近の製品のトップランナー効率を仮定する。その他条件については 5.2 (1) を参照されたい。

3) 結果

世帯 A～E のうち、戸建 4 人世帯の電力・給湯消費量の統計値と近い世帯 E を代表として示す。各ケースの世帯 E の年間 CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を図 1-1 と図 1-2 に示す。蓄電池ケースでは、PV 余剰分を全量逆潮する売電ケースと比べて、蓄電池の充放電ロスがあるため CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量が増える。HP 給湯ケース（最適制御および昼間蓄熱）は HP 給湯ケース（夜間蓄熱）よりも CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量が削減されており、その主な要因は、COP が高い昼間に蓄熱運転するため、給湯システム効率が 4.0（夜間蓄熱）から 4.6（最適制御、昼間蓄熱）に向上することである（表 5-2）。HP 給湯ケース（最適制御）では、売電ケースと比べて、省 CO₂（▲34%、1.48t-CO₂→0.98t-CO₂）と省エネ（▲23%、33.5GJ→25.9GJ）を実現できる。

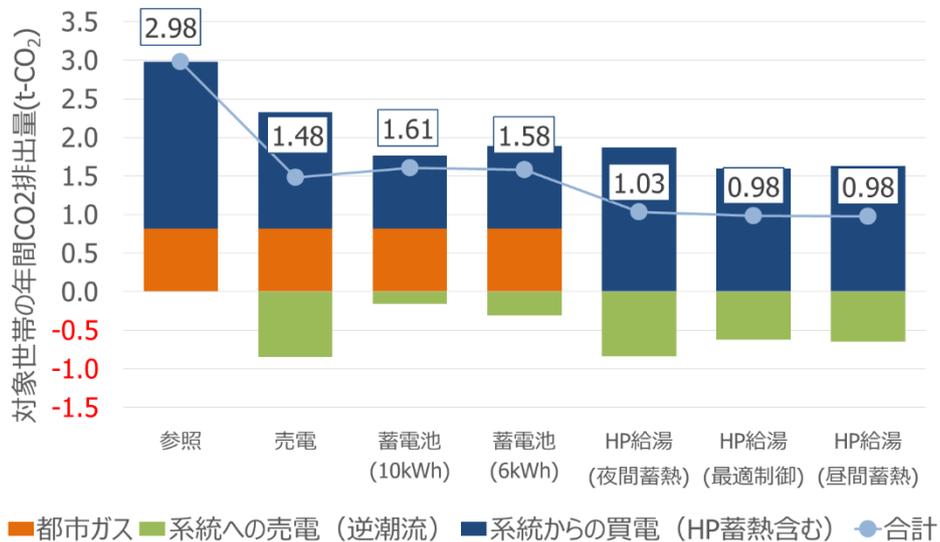


図 1-1 世帯あたりの年間 CO₂ 排出量（電気の CO₂ 排出係数 0.37kg-CO₂/kWh の場合）

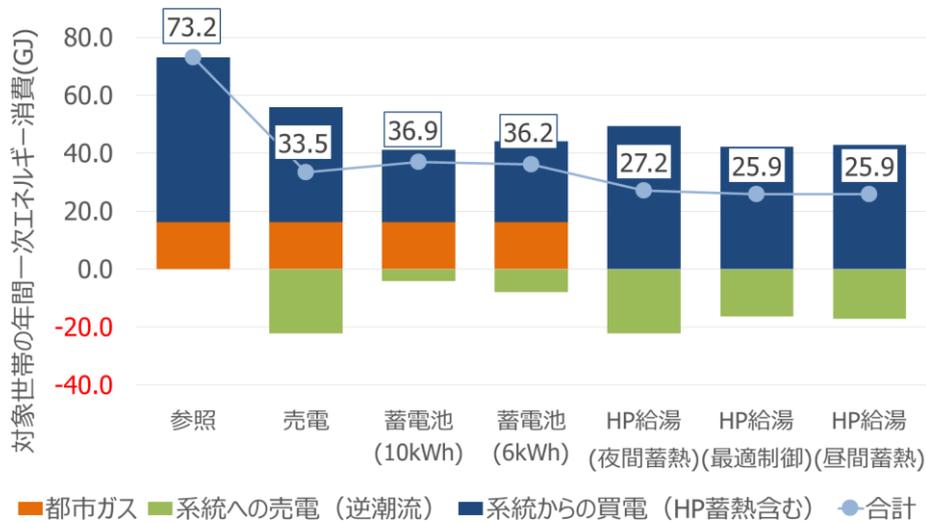


図 1-2 世帯あたりの一次エネルギー消費量

世帯 E における PV 発電電力量の利用方法別の割合を図 1-3 に示す。売電ケースの PV 自家消費率は 44% であるが、HP 給湯機（昼間蓄熱運転）の導入は PV 自家消費率の向上に寄与し、59%（最適制御）、57%（昼間蓄熱）に PV 自家消費率が高まる。昼間蓄熱ケースでは、PV 余剰電力の発生時間に関係なく昼間に蓄熱運転するため、PV 余剰電力を有効に活用する最適制御ケースと比べて PV 自家消費率の値は若干小さくなる。

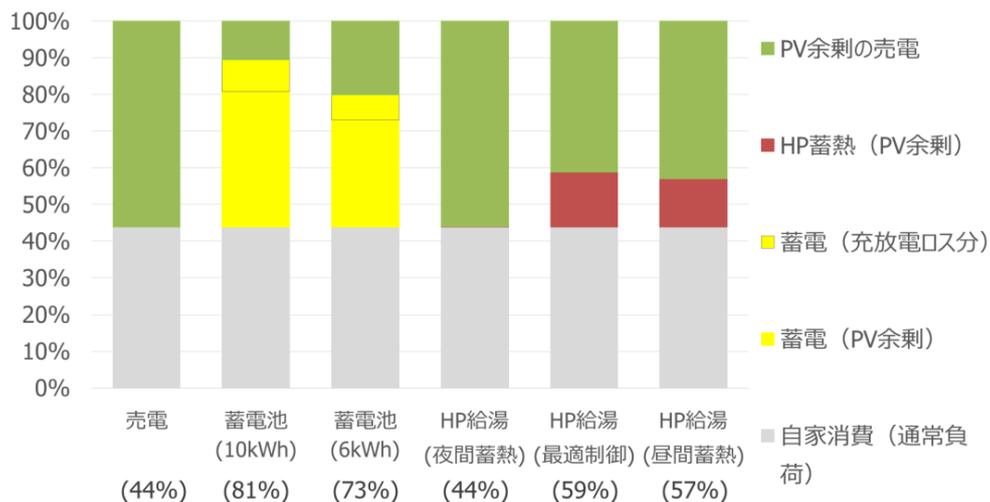


図 1-3 PV 発電電力量の利用方法

注) 括弧内の数値は、充放電ロス控除後の PV 自家消費率

各ケースの世帯 E の年間コスト合計を図 1-4 に示す。コストは、系統電力と都市ガスの年間エネルギーコストと需要家機器の導入コスト(年換算)の合計である。図から、HP 給湯ケース(最適制御)は需要家側コストが最も小さいこと、蓄電池ケースは蓄電池を導入するため需要家側コストが最も高いことが分かる。HP 給湯ケース(最適制御)では、売電ケースと比べて、▲5000 円/年コスト抑制できる。

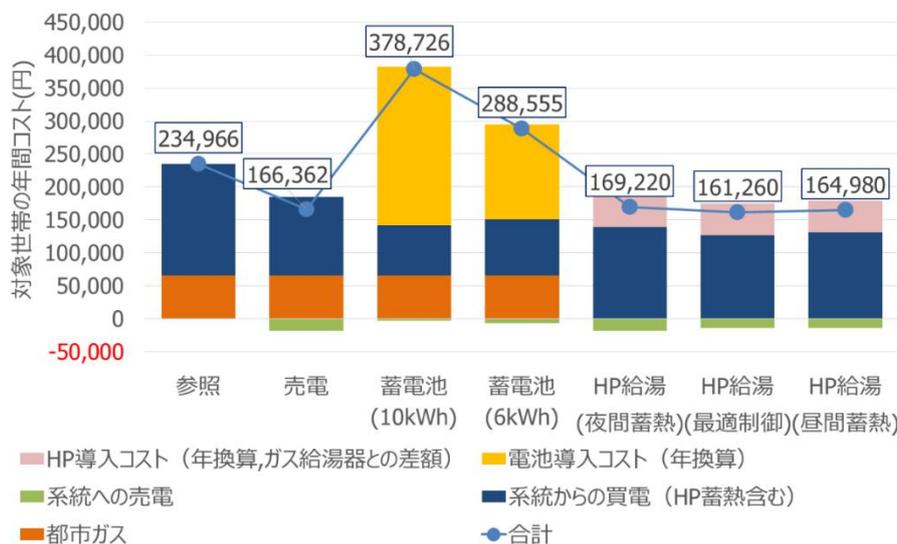


図 1-4 世帯あたりの年間コスト (現状機器価格)

注) HP 給湯機価格 (ガス給湯器との差額) が 40 万円/台、蓄電池価格が 20 万円/kWh の場合

(4) HP 給湯機の普及による PV 自家消費等への影響

前節で示した世帯当たりのシミュレーション結果を基にマクロ影響を評価した。評価に当たっては普及曲線を想定せず、つまり普及対象となる世帯全てに HP 給湯機が導入される場合のマクロ影響量を計算する。

1) 普及世帯の想定

表 1-2 に計算ケースを示す。シミュレーションの計算条件である関西地域を多く含む 5,6 地域の戸建住宅を対象とし、世帯人員は 4 人と 3 人以上の 2 パターンを想定する。また PV、給湯設備は現時点で一定程度普及が進んでいるため現状の保有実態に加え、全ての世帯に PV 及び HP 給湯機が導入する場合を想定した。HP 給湯機の運転方法は最適制御と昼間蓄熱を想定した。ここでは 4 人世帯の計算ケースのみ示す。

表 1-2 計算ケース

ケース	地域	建て方	世帯人員	蓄電池の有無	PVの有無	給湯設備
普及率現状ケース (4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	実態	実態
最適制御ケース (4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	全て PV 有	全て HP 給湯機 (最適制御)
【参考】昼間蓄熱ケース (4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	全て PV 有	全て HP 給湯機 (昼間蓄熱)

2) 計算結果

表 1-3 に 5,6 地域戸建 4 人世帯における HP 給湯機の運転方法の変更によるマクロ影響量を示す。HP 給湯機（最適制御）に変更することで 165kt-CO₂ の削減となった。また参考として示す昼間蓄熱ケースは、最適制御ケースに比べ更に 21kt-CO₂ 少なく 186kt-CO₂ となった。最適制御ケースに比べ昼間蓄熱ケースの CO₂ 排出量が少ないのは外気温の高い昼間に常に沸き上げを行うためである。

PV 自家消費量については、HP 給湯機（最適制御）に変更することで平均 2,375GWh、HP 給湯機（昼間蓄熱）に変更することで平均 2,050GWh 増加し、年間の世帯当たり太陽光発電量（PV 設置容量 4kW）に換算すると、平均で 50～60 万世帯に相当する。

戸建 4 人世帯の最適制御運転による原油換算変化量（二次基準）は平均▲4.1 万 kL であり、2030 年における日本の家庭部門の削減目標 1,160 万 kL¹と比較すると平均▲0.4%（戸建 3 人以上世帯に普及する場合は平均▲1.0%）に相当する。政府の削減目標は HP 給湯機の夜間蓄熱運転による削減効果を見込んでいるため、今回試算した最適制御運転や昼間蓄熱運転の効果は追加の削減量に相当すると言える。

表 1-3 HP 給湯機の運転方法の変更によるマクロ影響量（5,6 地域戸建 4 人世帯）

	CO ₂ 変化量	自家消費変化量	原油換算変化量 ² (二次基準)
	[kt-CO ₂]	[GWh]	[万 kL]
最適制御運転	▲165 (▲172～▲137)	+2,375 (+1,548～+3,272)	▲4.1 (▲4.3～▲3.4) [▲0.4% (▲0.4%～▲0.3%)]
【参考】昼間蓄熱運転	▲186 (▲220～▲148)	+2,050 (+1,427～+2,755)	▲4.7 (▲5.5～▲3.7) [▲0.4% (▲0.5%～▲0.3%)]

注 1) 電気の CO₂ 排出係数は 0.37kg-CO₂/kWh

注 2) 普及世帯数は普及対象外であるその他の給湯設備を除く値

注 3) 変化量算出のベースは夜間蓄熱運転

注 4) 原油換算変化量の丸括弧内は最大、最小、角括弧内は家庭部門の削減目標である 1,160 万 kL で除した値

¹ 長期エネルギー需給見通し関連資料，資源エネルギー庁，平成 27 年 7 月

² エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則（最終更新平成 31 年 4 月 12 日公布）より 0.0258kL/GJ を用いて換算

(5) まとめ

本報告書では PV の余剰電力を HP 給湯機にて自家消費する方法の有用性の評価を行った。シミュレーションの結果、HP 給湯機は自家消費手法の選択肢として有効であることが確認できた。マクロへの影響については、政府の掲げる 2030 年時点の政府の省エネ目標に対し、PV 及び HP 給湯機普及後の更なる追加対策として平均で約 0.4%~1.0%の削減の寄与に資する可能性があることが確認できた。

加えて、夜間蓄熱から昼間蓄熱へのシフトによって、給湯負荷と沸き上げ時刻が近くなり放熱ロスが小さくなるためタンク容量を小型化できることや、昼夜間気温差の大きい寒冷地等では給湯システム効率の向上によるコストメリット、CO₂削減効果を期待できることから、HP 給湯機の利用地域の普及拡大に資する可能性があることが示唆された。また、本報告書では試算していないが、昼間の PV 余剰電力を自家消費拡大で抑制することにより、将来の再エネ大量導入時代における再エネ出力抑制指令（系統全体の安定化目的）を低減できることも期待される。

2. はじめに

脱炭素社会の実現に向けて、国民の全員参加により PV の普及拡大を目指すため、2009 年 11 月に「太陽光発電の余剰電力買取制度」は開始された。買取期間は 10 年間であるため、2019 年 11 月以降に順次買取期間が終了し、いわゆる卒 FIT 世帯が増加していく。

また、PV や風力発電等の自然条件によって出力が大きく変動する再生可能エネルギー電源から系統電力への逆潮流が増加する中で、各世帯の PV の余剰電力を自家消費して逆潮流を減らすことは、系統負荷を減少させるためにも重要である。

経済産業省は PV の自家消費を促すため、電気自動車や蓄電池との組合せ等による ZEH + 実証事業を創設した。自家消費しきれない余剰電力は、小売電気事業者やアグリゲーターに相対・自由契約で売電することが基本とされている。各事業者から売電単価について、さまざまな提示が始まったが、買電単価と比較して安価となることから、卒 FIT 世帯には、余剰電力の自家消費を増やすことが重要な選択肢となる。

自家消費を増やす方法として、蓄電池や電気自動車へ蓄電し、必要な時に放電して消費することが注目されているが、蓄電池を活用するシステムは充放電を通してロスが発生する。一方、HP 給湯機もヒートポンプで熱をつくり貯湯槽で蓄熱するため、蓄熱ロスが発生するが、ヒートポンプの効率が極めて高いことから、燃焼式給湯器に比べて省エネ・省 CO₂ となる給湯システムである。この HP 給湯機を夜間蓄熱運転から昼間主体の運転に変更し、PV 自家消費を増加させる方法は「気温が高い昼間にヒートポンプを動かすこと」と「給湯使用までの貯湯時間が短縮されること」によりシステム効率が向上することが期待でき、省エネと PV 自家消費増大が両立できる手段と考えられる。

このような状況を踏まえ、本調査では、PV による余剰電力の自家消費における HP 給湯機の有用性を、戸建住宅のモデルケースを分析するとともに、国内に展開した場合のマクロ影響について、省エネルギー、省 CO₂、省コスト、自家消費率の観点から評価した。

3. 用語の定義

本報告書で使用する用語の定義を下記に示す。

【卒 FIT】

余剰電力買取制度の買取期間が終了すること。

【PV】

太陽光発電設備のこと。

【HP 給湯機】

電気ヒートポンプ式給湯機のこと。

【昼間蓄熱】

HP 給湯機の沸き上げ時刻を毎日 7～15 時の場合をいう。なお、湯切れが発生する場合のみ指定時間以外に沸き上げる。

【マクロ】

マクロへの影響という場合、社会経済や産業構造への影響を含む場合もあるが、ここでは世帯当たりの HP 給湯機のシミュレーション結果を用いて、HP 給湯機が普及した場合の影響をいう。

4. 調査概要

PVの余剰電力を自家消費する手法について、まず5章にて一般家庭5世帯の電力・給湯負荷を基に、①蓄電池への蓄電により自家消費するケースと、②HP給湯機を用いて蓄熱し自家消費するケースについてCO₂排出量やPV自家消費量を試算・評価し、この結果を基に6章にてHP給湯機を国内に展開した場合のマクロ影響量を試算・評価した。

検討にあたっては、有識者を含む7名で構成する委員会を2回開催し、シミュレーション結果や評価方法の妥当性等について議論の上、最終的に報告書を取り纏めた。

表 4-1 委員会の構成

	氏名	現職名
委員長	赤司 泰義	東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻 教授
委員	岩船 由美子	東京大学 生産技術研究所エネルギーシステムインテグレーション社会連携研究部門 特任教授
	齋藤 潔	早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空学科 教授
	佐々木 俊文	一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 業務部 課長
	佐々木 正信	東京電力エナジーパートナー株式会社 販売本部 法人営業部 副部長
	高橋 雅仁	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター（兼）社会経済研究所 上席研究員
	中村 美紀子	株式会社住環境計画研究所 主席研究員
事務局	水谷 傑	株式会社住環境計画研究所 主任研究員

5. 戸建住宅における PV 自家消費の年間シミュレーション

5.1 ケース設定

本章では、卒 FIT の住宅用 PV 電力の活用方法による CO₂ 排出量や一次エネルギー消費量、PV 自家消費率、需要家側コストへの影響を評価するため、HP 給湯機や蓄電池による自家消費に着眼して、戸建住宅を対象に、電力・給湯需給の年間シミュレーション分析を行った。具体的には、卒 FIT 住宅用 PV 電力の行き先と、蓄電池や HP 給湯機など PV 余剰電力を活用するための設備導入有無の 2 点に着眼して、表 5-1 の 6 ケースを取り上げた。本評価では、評価の基本となる「FIT 買取期間終了前の PV 住宅の熱源タイプ」として、電気・ガス併用を仮定した。

- ・ 売電ケース：FIT 買取期間終了後に、余剰買取価格は下がるが、PV 余剰電力は全て逆潮、小売電気事業者へ売電する。
- ・ 蓄電池ケース：余剰買取価格が下がるため、PV 住宅は蓄電池(6kWh 又は 10kWh)を設置し、電池容量範囲内で PV 余剰電力の大半を充電し、夜間に放電して自家消費する。
- ・ HP 給湯 (夜間蓄熱) ケース：従来の夜間蓄熱するケース。FIT 買取期間終了後に、PV 住宅は、HP 給湯機を導入し、給湯電化する(ガス給湯器を HP 給湯機に交換)。HP 給湯機は、従来通り、夜間に沸き上げ運転する (本稿では 23 時～7 時)。従って、PV 余剰電力の大半を逆潮し、小売電気事業者へ売電する。
- ・ HP 給湯 (最適制御) ケース：FIT 買取期間終了後に、PV 住宅は、HP 給湯機と HEMS を導入し、給湯電化する(ガス給湯器を HP 給湯機に交換)。PV 余剰電力を活用するため、HP 給湯機の夜間の蓄熱量と昼間の蓄熱量 (PV 自家消費) の最適制御を行う。
- ・ HP 給湯 (昼間蓄熱) ケース：天気に依らず昼間蓄熱するケース。FIT 買取期間終了後に、PV 住宅は、HP 給湯機を導入し、給湯電化する(ガス給湯器を HP 給湯機に交換)。HP 給湯機は、天気に依らず、昼間に沸き上げ運転する (本稿では 7 時～15 時、時刻設定を昼夜逆転させ、簡易的に夜間蓄熱ケースの夜間沸き上げ時間を昼間にシフトするイメージ)。雨天など PV 電力が少ない場合は、不足分を昼間の系統電力で賄う。
- ・ 参照ケース：FIT 買取期間終了後に、PV 電力の利用を中止するケース。

表 5-1 ケース設定

名称	説明	住宅の熱源	蓄電池	HP 給湯機
売電ケース	PV 余剰分は全て逆潮する	電気ガス併用	なし	なし
蓄電池ケース	PV 余剰分を蓄電し自家消費する	電気ガス併用	あり(容量 6kWh,10kWh)	なし
HP 給湯ケース (夜間蓄熱)	PV 余剰分は逆潮する	給湯電化	なし	あり(毎日夜間蓄熱) ※2
HP 給湯ケース (最適制御)	PV 余剰分の蓄熱と売電を最適制御※1	給湯電化	なし	あり(昼間/夜間蓄熱)
HP 給湯ケース (昼間蓄熱)	PV 余剰分で蓄熱する。不足時は昼間系統電力で蓄熱	給湯電化	なし	あり(天気に依らず 毎日昼間蓄熱) ※2
参照ケース	PV 利用中止	電気ガス併用	なし	なし

注 1) 各戸単位のローカル制御を仮定。需要家のエネルギーコスト最小化により時刻毎の蓄熱量を決定する。

注 2) 沸き上げ時間帯は、毎日夜間蓄熱の場合は 23-7 時、毎日昼間蓄熱の場合は 7-15 時とした。給湯負荷が多い日は湯切れ回避のために指定時間以外でも沸き上げる。

5.2 シミュレーションモデルと計算条件

(1) シミュレーションモデルの概要

HP 給湯機については、対象住宅の電力・給湯負荷と PV 出力の翌日予測値、電力価格と PV 余剰買取価格を所与として、需要家側のエネルギーコスト（目的関数）の最小化によって、HP 給湯機の翌日運転計画を求める。その結果、時刻毎の PV 余剰分の自家消費量と売電量を決定する。エネルギーコストは電力と都市ガスの購入コストを含み、蓄電池や HP 給湯機の設備コストは含まない。従って、設備コストを含めたコストの最小化ではない。PV 余剰電力の売電収入は負のコストとして考慮する。目的関数は翌日と翌々日の 2 日分のコストとするが、翌日分の最適化結果のみを採用する。これを逐次 365 日行うことで、1 年間 8760 時間（1 時間毎）の自家消費量や売電量、年間コストを計算する。特定の時間帯で蓄熱させる夜間蓄熱ケースと昼間蓄熱ケースでは、7 時または 15 時を蓄熱終了時間として、指定時間内に、必要給湯量を蓄熱するように制約条件を課す。

蓄電池についてはコスト最小化ではなく、次のルールに基づいて運転を決定する。PV 余剰が発生すれば、即充電開始し、SOC³上限まで充電する。正味需要が正になれば、即放電開始し、SOC 下限まで放電する。

本評価は、システム比較を目的にしているため、PV 出力の予測誤差は考慮しない。

本評価で仮定した主な前提条件は次の通りである。

- ・ 評価対象：関西地域の戸建 4 人世帯（詳細は 5.2 (2) を参照）
- ・ PV：設置容量 4kW/戸、システム出力係数 70%⁴
- ・ 蓄電池：出力及び容量 2kW/6kWh または 2kW/10kWh（2 ケース）、SOC 下限 10%～SOC 上限 100%⁵、インバーターを含む蓄電池システムの充放電効率 81%
- ・ HP 給湯機：直近製品のトップランナー効率（熱源機 COP や貯湯槽の放熱ロスの外気温依存性、給水温度の季節変化を考慮。詳細は 5.2 (3) を参照）
- ・ ガス給湯器：エネルギー消費効率 90%（高位発熱量基準）
- ・ 電気料金の設定：関西電力の従量電灯 A または時間帯別料金（はぴ e タイム r）
 - 従量電灯 A：基本分 334.82 円/月、従量分 25.33 円/kWh（2 段目を仮定）
 - 時間帯別料金：基本分 2,160 円/月、従量分 28.44 円/kWh（夏季 7-9 月の平日昼間 10-17 時）、25.86 円/kWh（その他季の平日昼間 10-17 時）、22.47 円/kWh（平日 7-10 時と 17-23 時、休日 7-23 時）、14.93 円/kWh（夜間 23-7 時）
- ・ 都市ガス料金の設定：大阪ガスの B 料金。基本分 1,337.40 円/月、単位料金 139.04 円/m³
- ・ 再生可能エネルギー発電促進賦課金：2.9 円/kWh
- ・ 卒 FIT の PV 余剰買取価格：8 円/kWh
- ・ 蓄電池価格：20 万円/kWh（現在の価格）、6 万円/kWh（将来の価格、2020 年度の政府目標価格⁶）

³ SOC：State of Charge の略、充電率。満充電容量を 100%として、蓄電池内に残された残容量の割合（%）。

⁴ 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：「太陽光発電導入ガイドブック」（1998 年 8 月）

⁵ 実際には、電池をもたせるために、狭い SOC 範囲で充放電を行うが（例えば下限 20%～上限 80%）、本評価では、自家消費量を増やすため広い SOC 範囲（下限 10%～上限 100%）を仮定した。

⁶ 家庭用蓄電池の 2020 年度の目標価格は 6 万円/kWh（寿命 10 年の場合）と設定した。出所：資料 8 定置用蓄電池の価格低減スキーム、資源エネルギー庁エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（第 5 回）

- ・ HP 給湯機価格（ガス給湯器との差額）：40 万円/台（現在のトップランナー機器）、20 万円/台（将来、2019 年時点のトップランナー機器性能が普及価格帯で実現すると想定）
- ・ 需要家機器の償却年数と年間リース料率：10 年間、12%

システム間で比較する評価指標として、次の①～④の 4 つを用いた。

- ① 年間 CO₂ 排出量(t-CO₂/世帯・年)
 - ▶ 年間 CO₂ 排出量=系統電力の CO₂ 排出係数×（系統からの買電電力量－系統への売電電力量）＋都市ガスの CO₂ 排出係数×都市ガス消費量
- ② 一次エネルギー消費量（GJ/世帯・年）
 - ▶ 一次エネルギー消費量=系統電力の一次エネ換算係数×（系統からの買電電力量－系統への売電電力量）＋都市ガスの一次エネ換算係数×都市ガス消費量
- ③ PV 自家消費率（%）
 - ▶ PV 自家消費率=（PV 発電電力量-蓄電池の充放電ロス分-系統側へ逆潮流量）÷ PV 発電電力量
 - ▶ 蓄電池の充放電ロス分は住宅内で利用されないため、本評価では、自家消費量に蓄電池の充放電ロス分を含めない。
- ④ 需要家側の年間コスト（万円/世帯・年）
 - ▶ 年間コスト=系統からの買電コスト－系統への売電収入＋都市ガスコスト＋蓄電池導入コスト（年換算）＋HP 給湯機導入コスト（年換算、ガス給湯器との差額）
 - ▶ 卒 FIT のシステム比較が目的であるため、PV 導入コストは計上していない。

(2) 住宅の電力消費量・給湯エネルギー消費量データ、PV 出力データ

評価対象とする戸建住宅の電力消費量・給湯エネルギー消費量データとして、大阪大学が実施した住宅用エネルギー消費計測調査⁷（計測期間：1998 年～2005 年、延べ計測世帯数：155 世帯）から、戸建住宅（4 人世帯）であること、1 年間 8760 時間の連続する電力消費量・給湯エネルギー消費量の実測データ（1 時間値）が利用できること、住宅熱源タイプが電気ガス併用（ただし暖房は電気のみ）であることを条件に、5 世帯（の 1 年間 1998 年 11 月～1999 年 10 月）のデータを抽出、使用した。図 5-1 は、この 5 世帯と全国統計値（戸建住宅 4 人世帯）の年間電力消費量（X 軸）・年間給湯エネルギー消費量（Y 軸）を比較した図である。全国統計値は、平成 29 年度家庭 CO₂ 統計⁸から抽出した戸建住宅（4 人世帯）の値である。

⁷ 辻毅一郎、水野稔、佐伯修、佐野史典、上野剛：関西文化学術研究都市における住宅用エネルギー消費の計測調査報告書(第 1 部)、2001 年

⁸ 環境省、平成 29 年度家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査

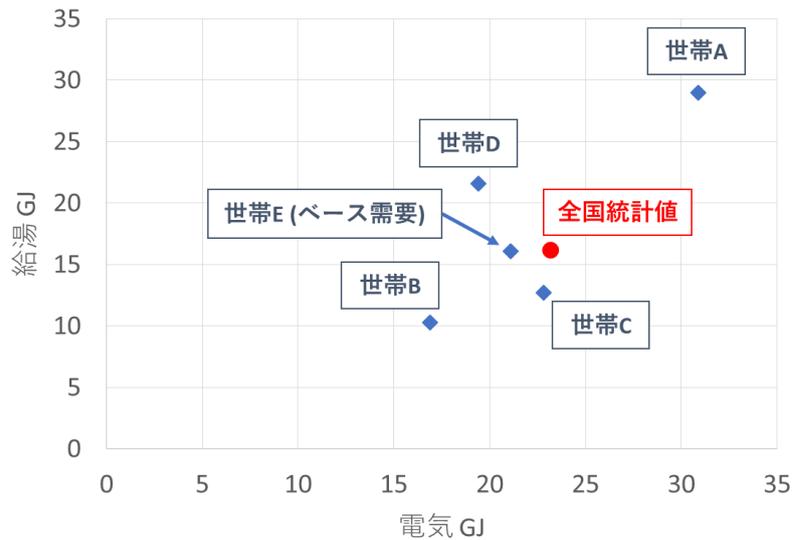


図 5-1 年間電力消費量・給湯エネルギー消費量の比較 (対象 5 世帯 vs 全国統計値)

電力消費量や給湯エネルギー消費量は、同じ建て方や世帯人数でも幅があることが知られていることから、本評価では、全国統計値に近い「世帯 E」をベース需要家とし、他の 4 世帯を電力消費量・給湯エネルギー消費量の幅を表すデータとして扱うことにした。

PV の発電出力データは、気象庁の気象官署（大阪）の日射強度の実績データに、システム出力係数（70%）および PV 定格容量（4kW）を乗じることで算出した⁹。PV パネルは南向き、傾斜角 30 度を仮定した。データ期間は、需要データと同じ 1998 年 11 月～1999 年 10 月の 1 年間のデータ（1 時間値）である。

(3) HP 給湯機モデル

熱源機 COP や貯湯槽の放熱ロスの外気温依存性を明示的に考慮するため、本評価では、簡易的な HP 給湯機モデルを構築し、PV 自家消費に関するシミュレーションモデルに組み込み、評価を行った。

・ 熱源機 COP の設定

A 社製 HP 給湯機最新機のカatalog値を基にして、(式 1) の熱源機 COP の外気温特性を仮定し、対象地点の 1 年間の外気温の範囲内で適用可能と仮定した。なお、A 社製 HP 給湯機最新機のカatalog値から、5.52（夏期標準の場合、外気温 25℃）、5.08（中間期標準、外気温 16℃）、3.0（冬期高温、外気温 7℃）の 3 つの COP の値を見積もった。

$$\text{COP} = \begin{cases} a + b \times T & (\text{外気温 } T \text{ が } 7^\circ\text{C} \text{ 以上の場合}) \\ 3.0 & (\text{外気温 } T \text{ が } 7^\circ\text{C} \text{ 未満の場合}) \end{cases} \quad (\text{式 1})$$

※a、b：夏季標準と中間期標準の点を結ぶ直線の切片と傾き（a=4.308, b=0.0485）。3.0 は冬期高温の COP。

⁹ 大嶺英太郎、小林広務、浅利真宏、上野剛：PV 設置需要家における蓄電池の経済性評価—蓄電池設置により経済メリットが生じる条件の検討、電力中央研究所研究報告 R12018、2013 年 9 月

・貯湯槽の放熱ロスの設定

貯湯槽を上部の高温部（HPユニットで加熱された貯湯部分）と下部の低温部（市水温度の貯水部分）に2区分で近似し、エネルギー収支モデルを構築した（図5-2参照）。低温部の水はHPユニットで沸き上げられ、高温部に出湯される。貯湯槽の放熱ロスは、貯湯槽の高温部の湯温と外気温の差が大きくなるほど、また残湯量の割合が多くなるほど、増えると仮定した（式（5））。低温部の水温は給水温度と同じと仮定し、低温部からの放熱ロスは考慮していない。タンク熱抵抗は400K/kWを仮定した。

$$\text{熱エネルギー収支 } Q = Q_{-1} + (q_{HP} - q) - q_{LOSS} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{出湯熱量 } q_{HP} = c \times (T_{HP} - T_0) \times l_{HP} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{給湯熱量 } q = c \times (T - T_0) \times l \quad (\text{式 4})$$

$$\text{放熱ロス } q_{LOSS} = (T - T_a) \times (L/L_0) \div R \quad (\text{式 5})$$

※ $Q, Q_{-1}, q_{HP}, q, q_{LOSS}$ ：蓄熱残量、1期前の蓄熱残量、出湯熱量、給湯熱量、放熱ロス。単位はkWh。

※ L, L_0, l_{HP}, l ：残湯量、タンク容量（=370L）、出湯量、給湯量。単位はL。

※ T, T_0, T_{HP}, T_a ：湯温、給水温度、出湯温度、外気温。単位は℃。

※ R, c ：タンク熱抵抗（=400K/kW）、水の比熱

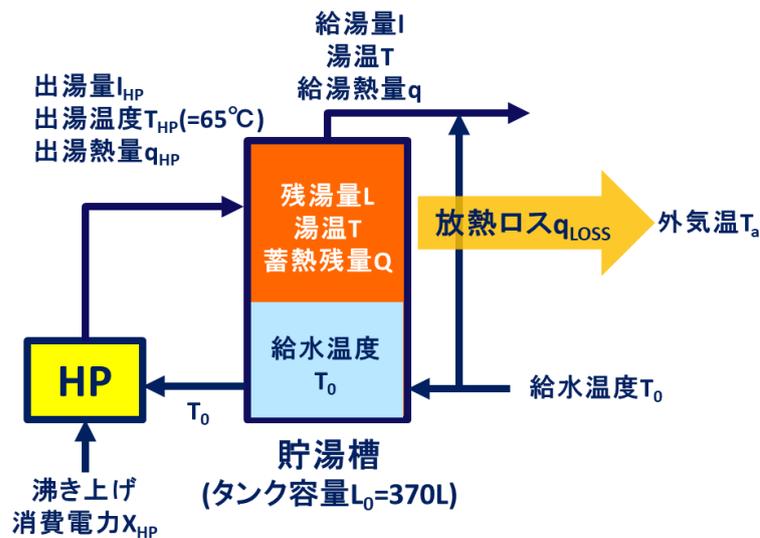


図 5-2 HP 給湯機モデルの模式図

注) 図中の貯湯槽内の赤色部分が「高温部」、水色部分が「低温部」を示す。

5.3 結果：住宅単位の電力・給湯需給カーブ

はじめに、ベース需要家である世帯 E を対象に、(1) 中間期平日のうち PV 発電電力量が多い日と (2) 冬期平日のうち PV 発電電力量が少ない日における、各ケースの PV 住宅の電力・給湯需給カーブを図 5-3～図 5-6 に示す。なお、ガス給湯器による給湯需給カーブは省略する。

(1) 中間期平日のうち PV 発電電力量が多い日の場合

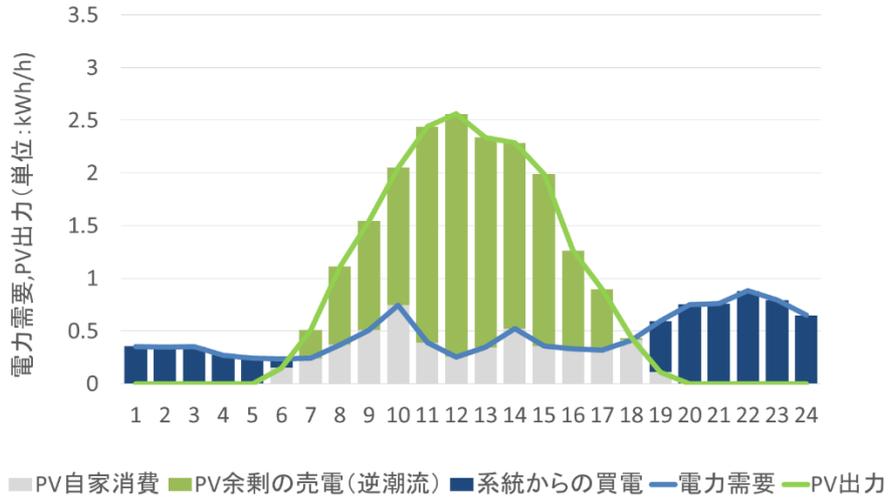
図中の緑色と黄色、赤色の領域は、各々 PV 余剰電力のうち系統への売電量(逆潮流)と蓄電池への充電量、HP 給湯機による蓄熱量である。紺色は系統からの買電量、オレンジ色は蓄電池からの放電量、灰色は PV 出力の自家消費分である。緑色と青色、ピンク色の実線は各々 PV 出力と電力需要、電力需要 (HP 蓄熱含む) である。黒色の点線は蓄電池内の蓄電残量、赤色の点線は貯湯槽内の蓄熱残量である。

蓄電池ケースでは、PV 余剰分を電池容量上限まで充電し、夜間に放電する。11-17 時は蓄電池が満蓄で充電できないまたは充電能力上限(2kW)があるため、逆潮流せざるを得ない。

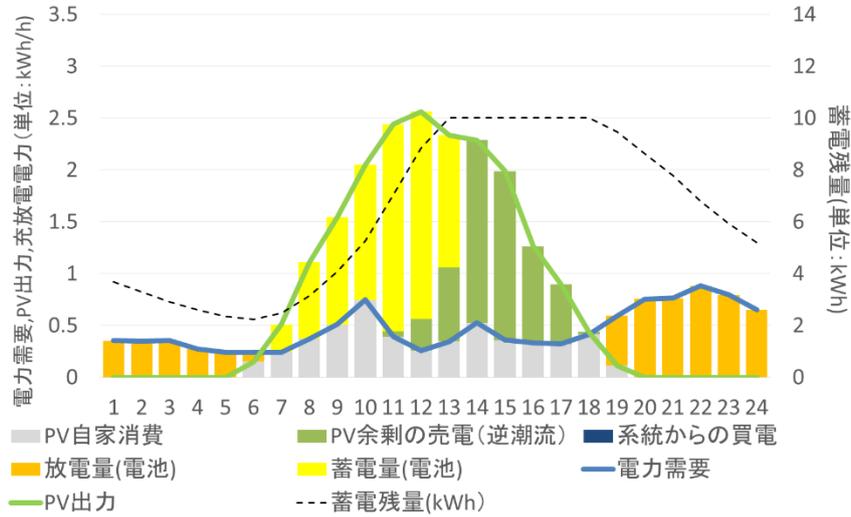
(図 5-3 (b)(c))。蓄電池ケース (10kWh) の場合、この日は夜間に系統からの買電量は発生しない。一方、HP 蓄熱ケース (最適制御および昼間蓄熱) では PV 余剰の一部を HP 給湯機の昼間運転で蓄熱し、PV 余剰の大半は売電する(図 5-3 (e)(f))。夜間は系統電力で電力需要を賄う。この日は、午後～夜間に発生する給湯負荷は、10 時-14 時の間の蓄熱量だけで賄うことが出来る(図 5-4(b)(c))。

(2) 冬期平日のうち PV 発電電力量が少ない日の場合

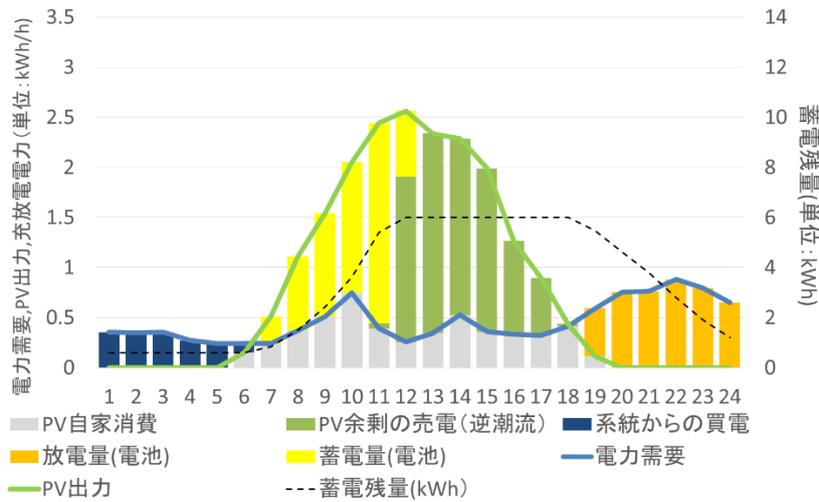
蓄電池ケースでは、PV 余剰分が少ないため電池容量上限まで充電されず、夜間は系統電力で電力需要を賄う (図 5-5(b)(c))。一方、HP 蓄熱ケース (最適制御) では、HP 給湯機の夜間運転 (系統電力) と昼間運転 (PV 余剰) で蓄熱し、各時刻の給湯負荷を賄う (図 5-5 (e)、図 5-6(b))。HP 蓄熱ケース (昼間蓄熱) では、PV 余剰分だけでは不足するため、昼間の系統電力を使って沸き上げ運転を行う (図 5-5 (f)、図 5-6 (c))。



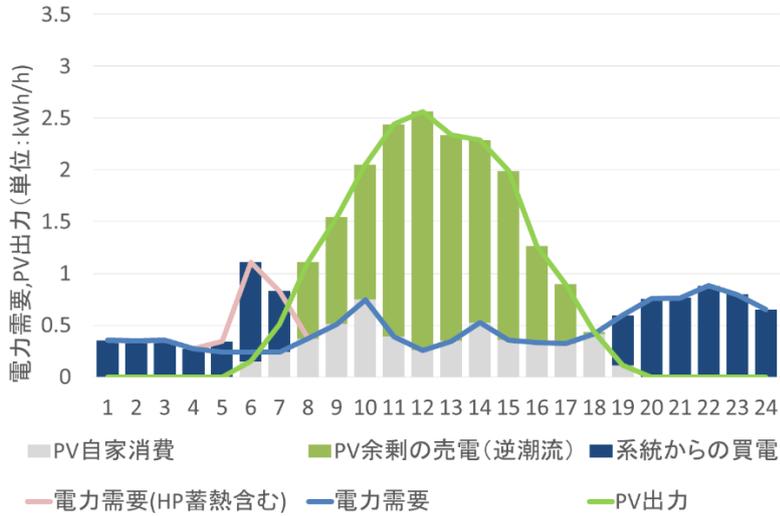
(a) 売電ケース



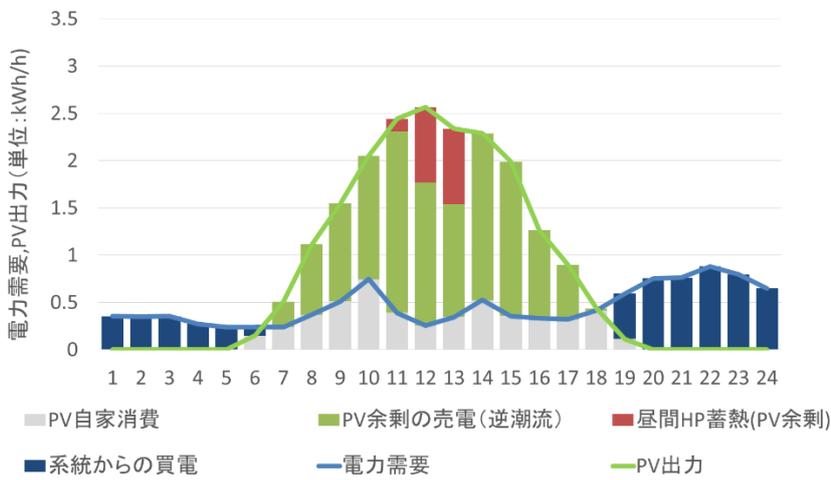
(b) 蓄電池ケース (蓄電容量 10kWh)



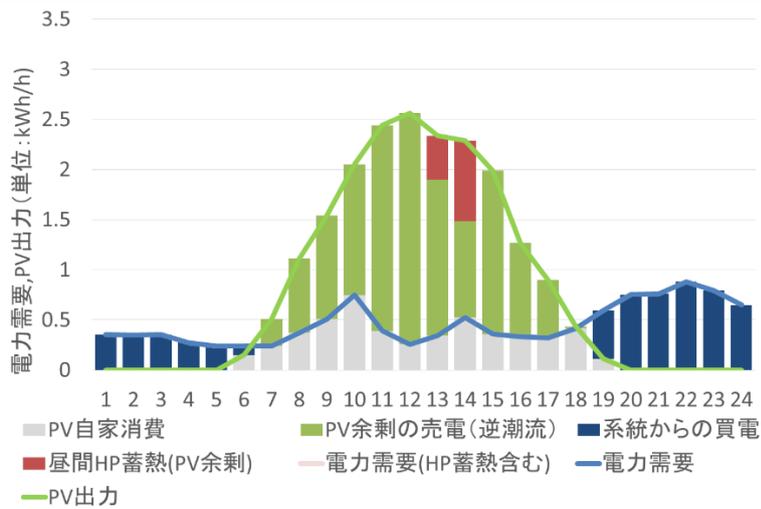
(c) 蓄電池ケース (蓄電容量 6kWh)



(d)HP 給湯ケース（夜間蓄熱）

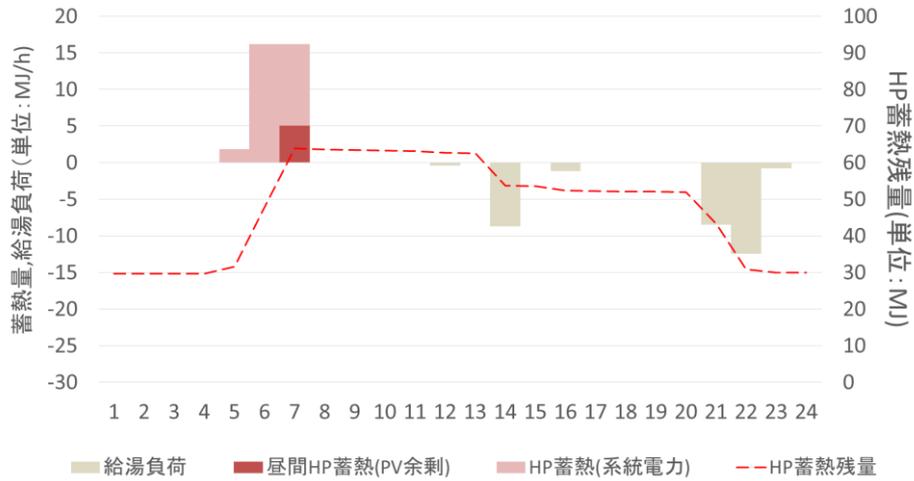


(e)HP 給湯ケース（最適制御）

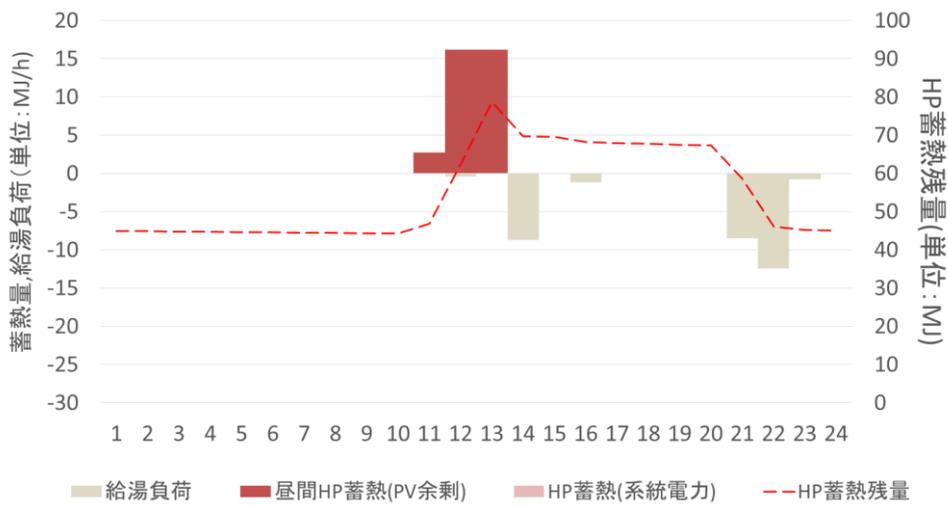


(f)HP 給湯ケース（昼間蓄熱）

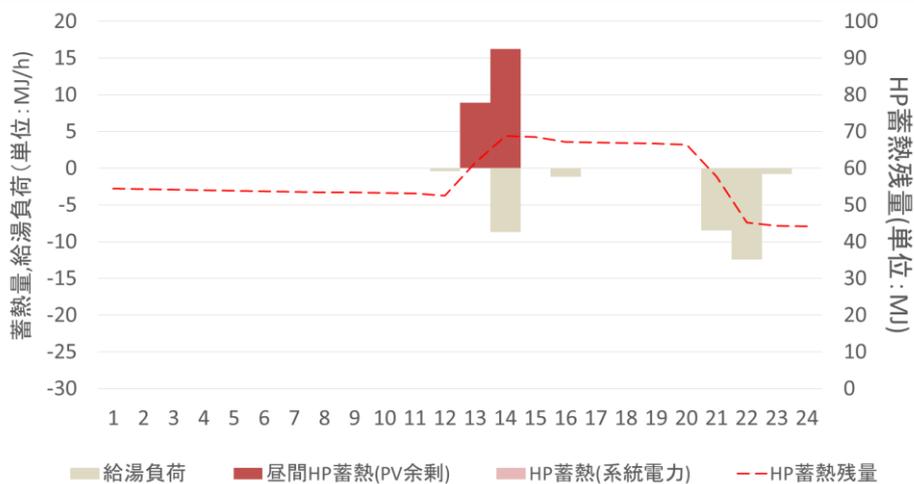
図 5-3 PV 住宅の電力需給(中間期平日のうち PV 発電量が多い日)



(a)HP 給湯ケース（夜間蓄熱）



(b)HP 給湯ケース（最適制御）

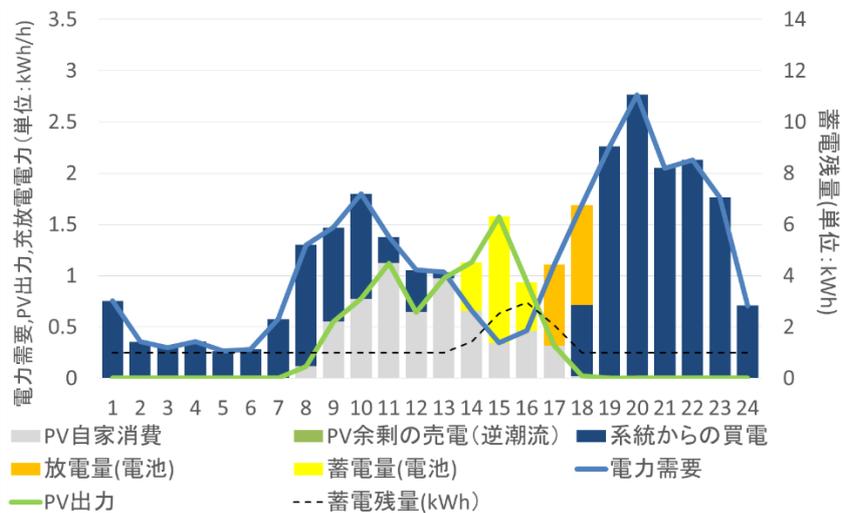


(c)HP 給湯ケース（昼間蓄熱）

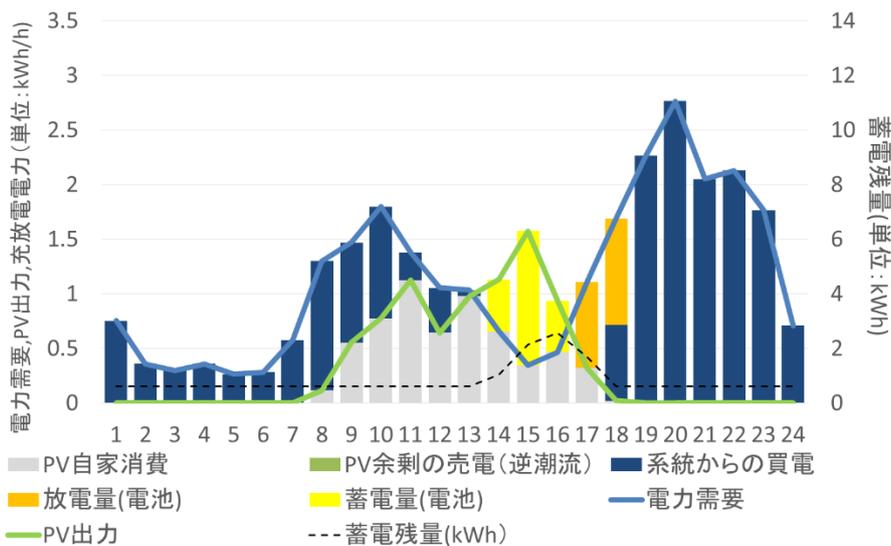
図 5-4 PV住宅の給湯需給(中間期平日のうち PV 発電量が多い日)



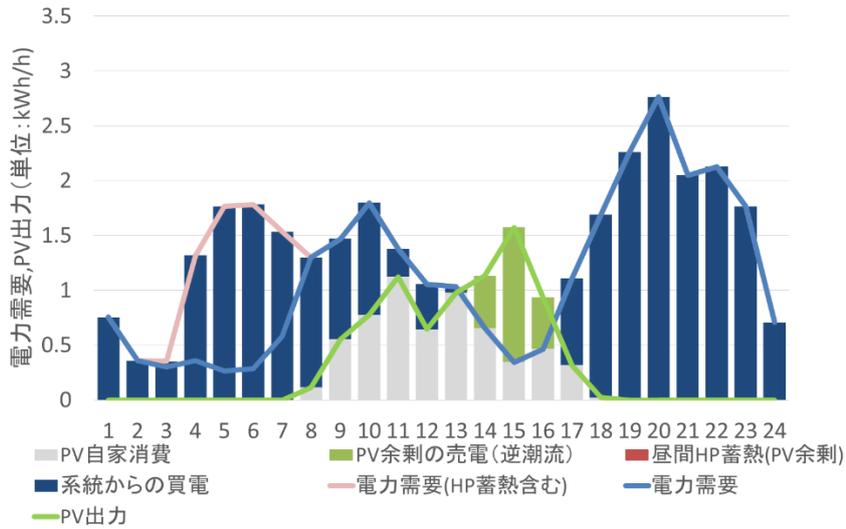
(a) 売電ケース



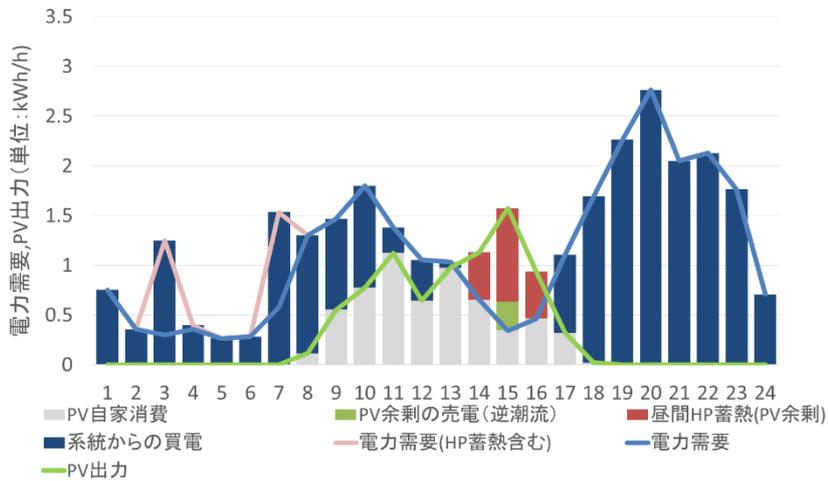
(b) 蓄電池ケース (蓄電容量 10kWh)



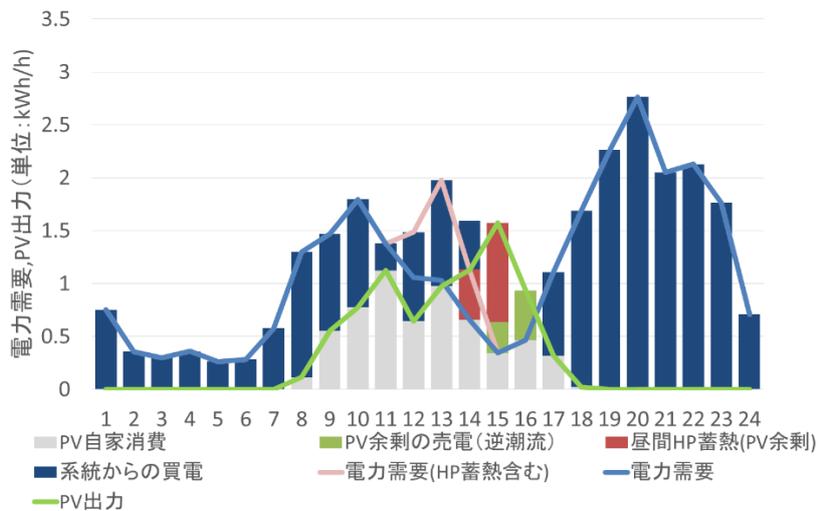
(c) 蓄電池ケース (蓄電容量 6kWh)



(d)HP 給湯ケース (夜間蓄熱)

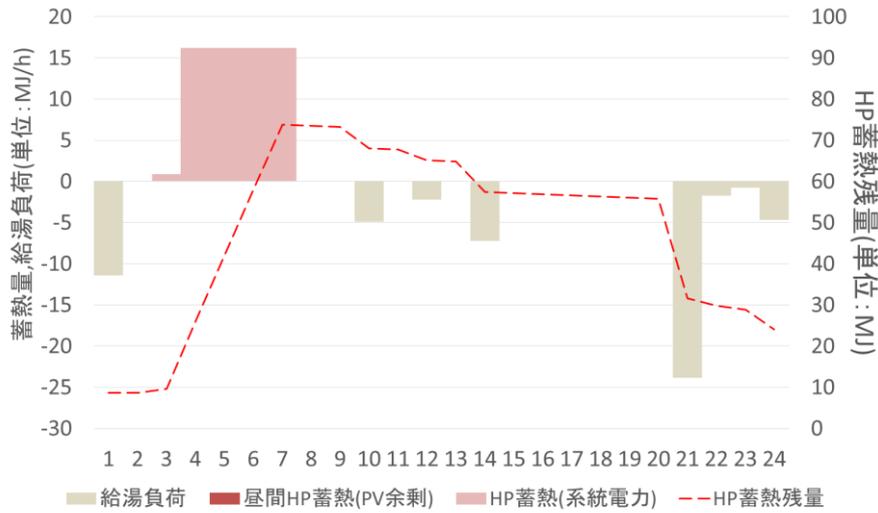


(e)HP 給湯ケース (最適制御)

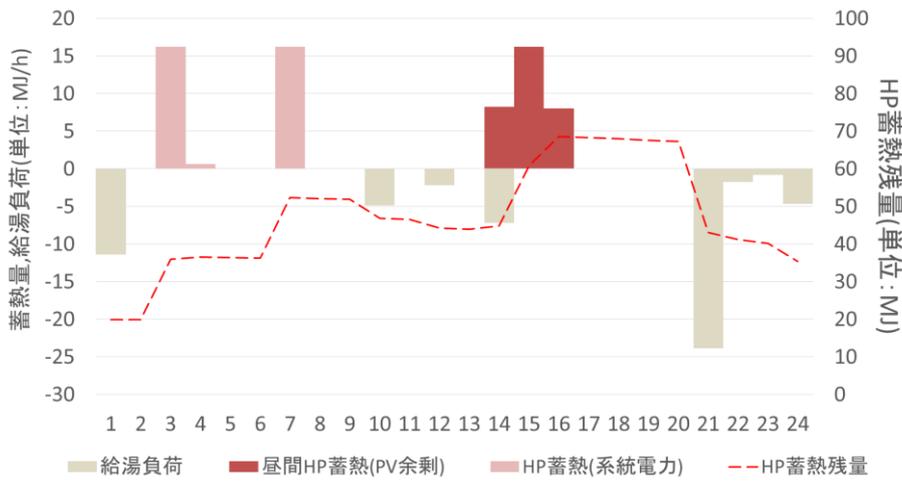


(f)HP 給湯ケース (昼間蓄熱)

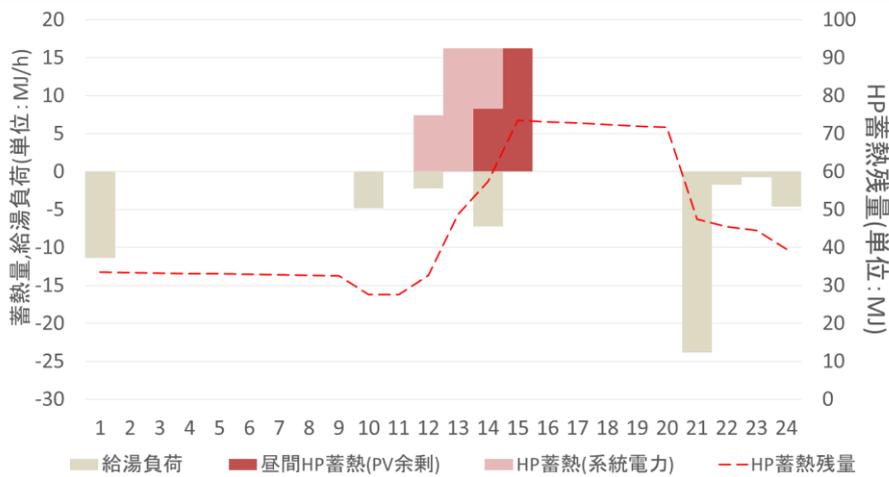
図 5-5 PV 住宅の電力需給(冬期平日のうち PV 発電量が少ない日)



(a)HP 給湯ケース（夜間蓄熱）



(b)HP 給湯ケース（最適制御）



(c)HP 給湯ケース（昼間蓄熱）

図 5-6 PV住宅の給湯需給(冬期平日のうち PV 発電量が少ない日)

5.4 結果：年間 CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量

各ケースの世帯 E の年間 CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を図 5-7 と図 5-8 に示す。系統電力の CO₂ 排出係数として、図 5-7 (a)では 2030 年度の政府目標値 0.37kg-CO₂/kWh(使用端)を、また、図 5-7 (b)では「電気事業低炭素社会協議会」の事業者の 2017 年度実績値 0.496kg-CO₂/kWh を仮定した¹⁰。都市ガスの CO₂ 排出係数は 0.0509kg-CO₂/MJ である。電力の一次エネ消費換算係数は 9.76MJ/kWh (全日平均) を仮定した。系統からの買電と系統への売電は、各々CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を増やすまたは減らすものとする。

蓄電池ケースでは、PV 余剰分を全量逆潮する売電ケースと比べると、蓄電池の充放電ロスがあるため CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量が増える(図 5-7(a)、図 5-8)。

HP 給湯ケース (各ケース) では、売電ケース・蓄電池ケースと比べると、ガス給湯器よりも HP 給湯機の給湯システム効率が高いため、CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量が減る。さらに、HP 給湯ケース (最適制御および昼間蓄熱) では、HP 給湯ケース (夜間蓄熱) と比べると、HP 給湯機の沸上げ時間を夜間から昼間にシフトした分、昼間 COP が高く放熱ロスも抑えられるため、給湯システム効率が 4.0 (夜間蓄熱) から 4.6 (最適制御、昼間蓄熱) に向上し (表 5-2)、CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量がさらに削減される。

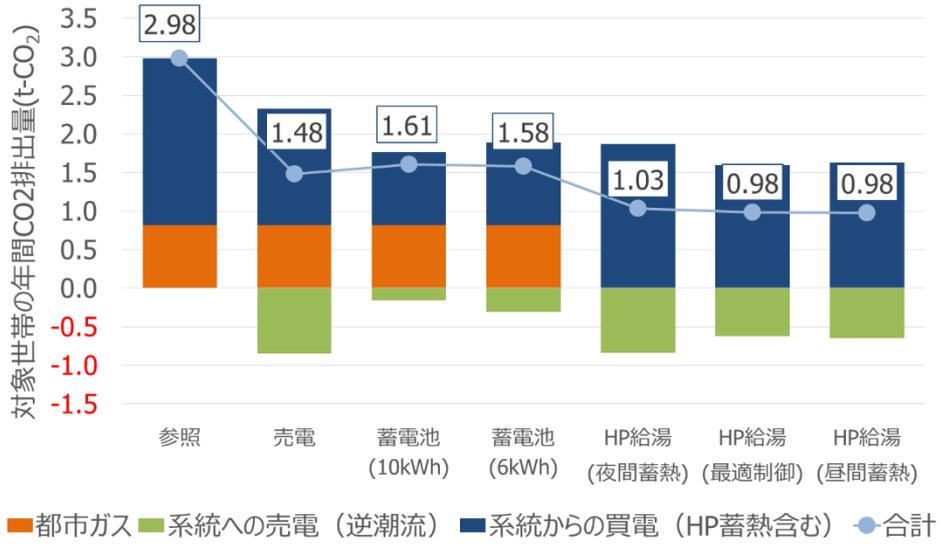
系統電力の CO₂ 排出係数として 2017 年度実績値を仮定して評価した場合、2030 年度の政府目標値の場合と比べて、CO₂ 排出量のケース間の大小関係は変わらないが、ケース間の CO₂ 排出量の差は縮小する (図 5-7(b))。

HP 給湯機ケースの年間電力消費量は、(夜間蓄熱) が 1,005kWh/年に対し、(最適制御) が 876kWh/年、(昼間蓄熱) が 868kWh/年であり、夜間から昼間にシフトした電力消費量は、(最適制御) が 642kWh/年(73%)、(昼間蓄熱) が全量 868kWh/年(100%)となる。

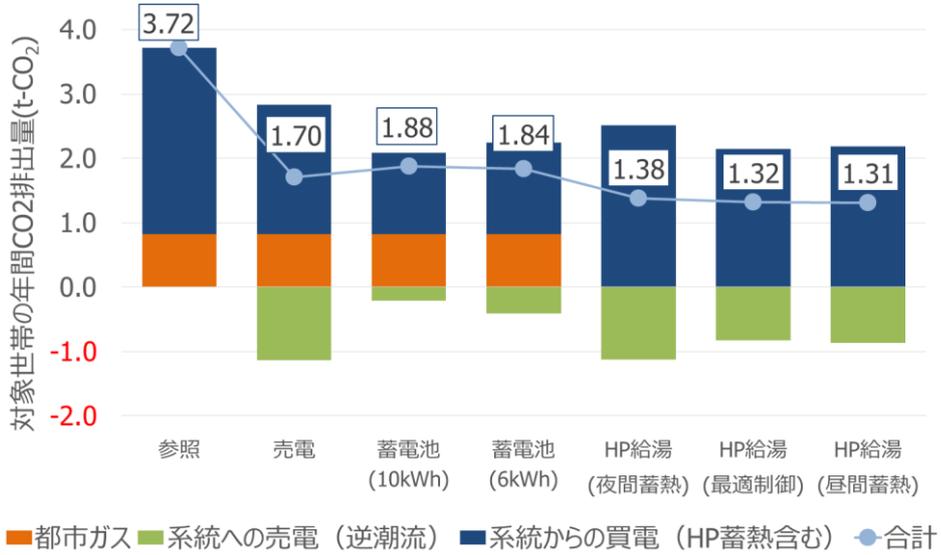
これにより、(夜間蓄熱) から (最適制御) および (昼間蓄熱) に変更したことによる年間電力消費量の削減分は、(最適制御) が 129kWh/年(12.8%)、(昼間蓄熱) が 137kWh/年(13.6%)となる。

また、昼間にシフトした HP 給湯機の電力消費量のうち、PV 余剰を自家消費した割合は 70% (最適制御)、61% (昼間蓄熱) を占める (図 5-9)。(最適制御) で昼間系統電力を使用しているのは、冬期の昼間 PV 余剰電力がない日において、夜間 COP が低く (COP=3)、昼間 COP が高い場合、昼夜間の料金差を考慮しても、夜間よりも昼間の蓄熱コストが安い日があるためである。

¹⁰ 電気事業低炭素社会協議会「電気事業における地球温暖化対策の取組み」
https://e-lcs.jp/followup/2018FU_torikumi.pdf (アクセス日:2019年10月2日)



(a)2030 年度の政府目標値 0.37kg-CO₂/kWh の場合



(b)2017 年度実績値 0.496kg-CO₂/kWh の場合

図 5-7 世帯あたりの年間 CO₂ 排出量

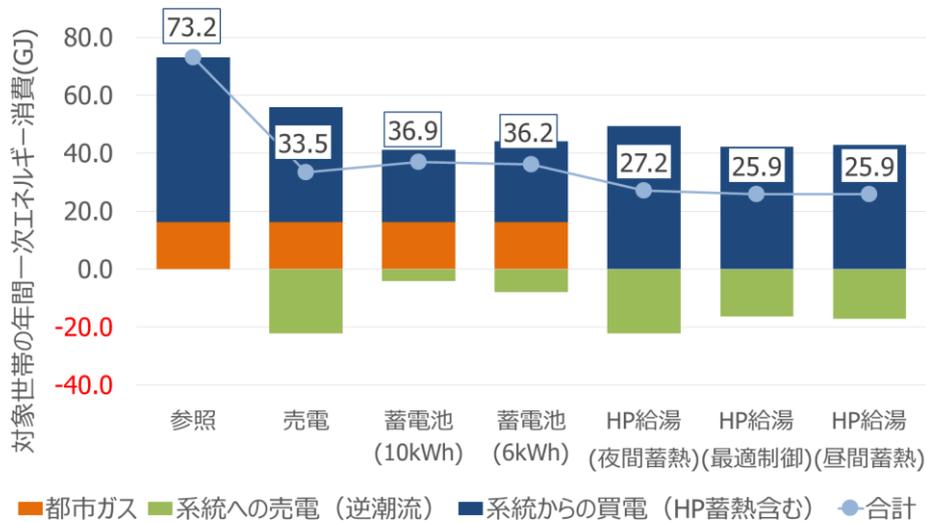


図 5-8 世帯あたりの一次エネルギー消費量

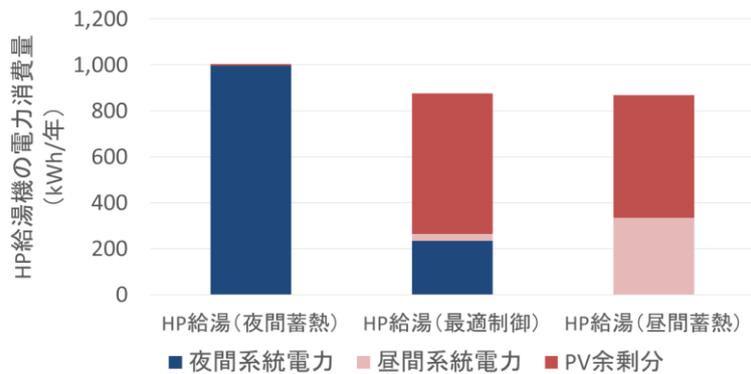


図 5-9 HP 給湯機の年間電力消費量

表 5-2 給湯システム効率のモデル計算値

	HP 給湯ケース (夜間蓄熱)	HP 給湯ケース (最適制御)	HP 給湯ケース (昼間蓄熱)
世帯 A	4.1	4.4	4.5
世帯 B	3.8	4.4	4.5
世帯 C	3.9	4.6	4.6
世帯 D	4.0	4.3	4.4
世帯 E	4.0	4.6	4.6

注) 給湯システム効率=1年で使用する給湯に係る熱負荷÷1年で沸き上げに必要な消費電力量

5.5 結果：PV 自家消費率

世帯 E における PV 発電電力量の利用方法別の割合を図 5-10 に示す。売電ケースの PV 自家消費率は 44% であるが、蓄電池を導入すると 81% (10kWh)、73% (6kWh) に PV 自家消費率が高まる。一方、HP 給湯機 (昼間蓄熱運転) の導入も PV 自家消費率の向上に寄与し、59% (最適制御)、57% (昼間蓄熱) に PV 自家消費率が高まる。

昼間蓄熱ケースでは、PV 余剰電力の発生時間に関係なく昼間に蓄熱運転するため、PV 余剰電力を有効に活用する最適制御ケースと比べて PV 自家消費率の値は若干小さくなる。

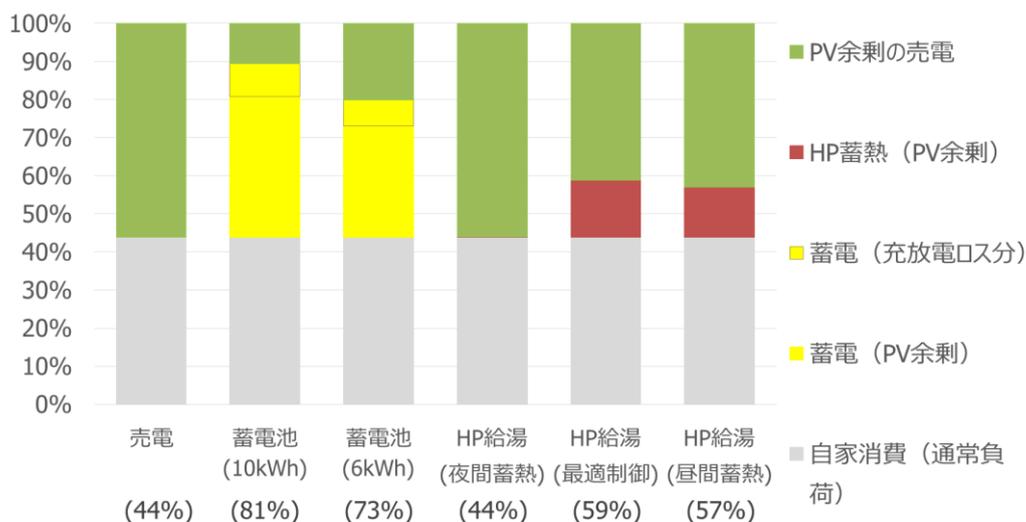


図 5-10 PV 発電電力量の利用方法

注) 括弧内の数値は、充放電ロス控除後の PV 自家消費率

5.6 結果：需要家側の年間コスト

各ケースの世帯 E の年間コスト合計を図 5-11 に示す。コストは、系統電力と都市ガスの年間エネルギーコストと需要家機器の導入コスト(年換算)の合計である。PV 電力の売電収入はコスト削減分として扱う。現在の価格として、HP 給湯機のトップランナー機器価格(ガス給湯器との差額)は 40 万円/台、蓄電池価格は 20 万円/kWh を仮定した。

図から、HP 給湯ケース(最適制御)は需要家側コストが最も小さいこと、蓄電池ケースは蓄電池を導入するため需要家側コストが最も高いことが分かる。

将来の価格として、HP 給湯機のトップランナー機器価格(ガス給湯器との差額)を 20 万円/台(現在の普及機価格相当)、蓄電池価格を 6 万円/kWh(耐用年数 10 年の政府目標価格)を仮定した場合でも、3 つの HP 給湯ケースの需要家側コストは、いずれも、売電ケースと蓄電池ケースよりも小さい(図 5-12)。

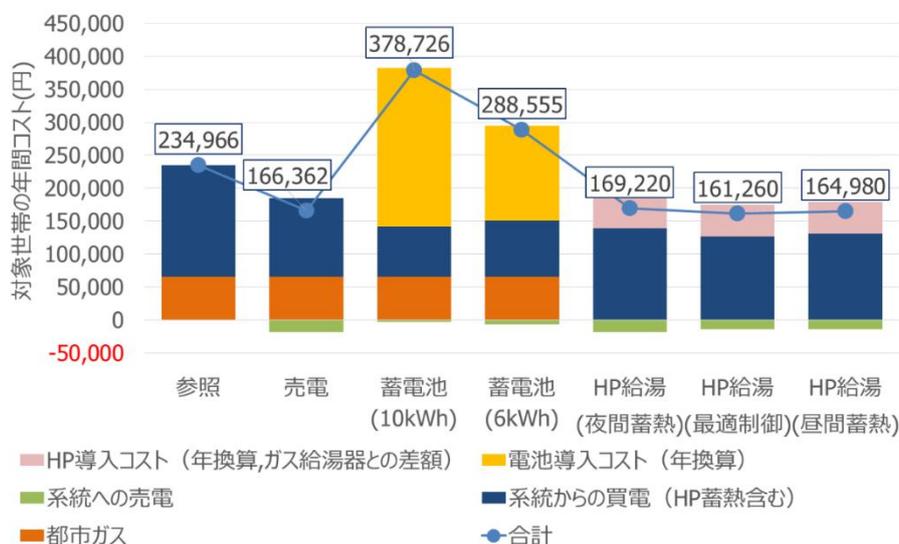


図 5-11 世帯あたりの年間コスト(現状機器価格)

注) HP 給湯機価格(ガス給湯器との差額)が 40 万円/台、蓄電池価格が 20 万円/kWh の場合

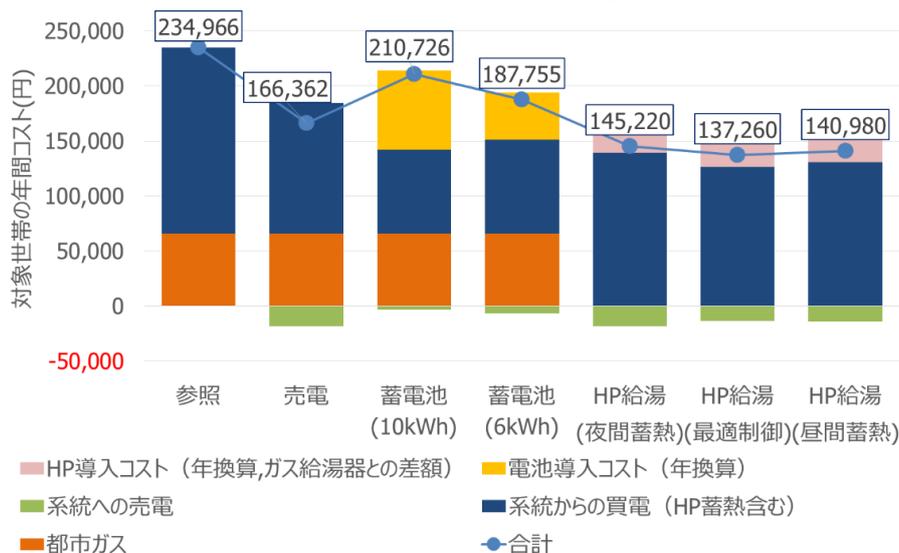


図 5-12 世帯あたりの年間コスト(将来機器価格)

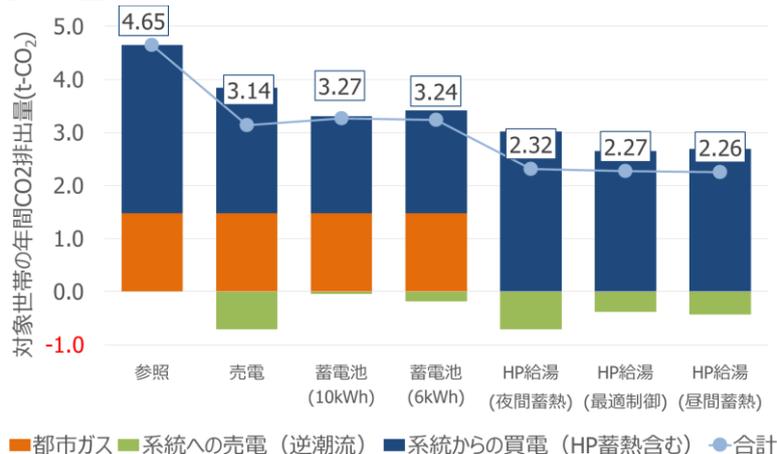
注) HP 給湯機価格(ガス給湯器との差額)が 20 万円/台、蓄電池価格が 6 万円/kWh の場合

5.7 その他4世帯の年間シミュレーション結果

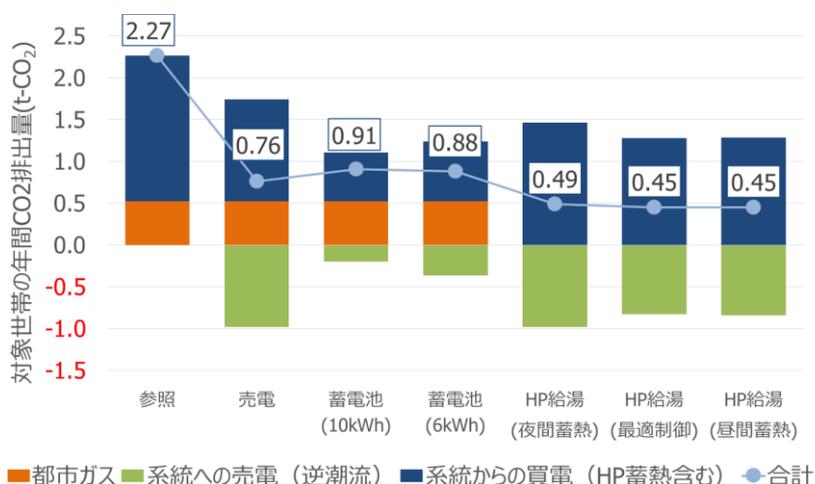
ベース需要家である「世帯E」以外の4世帯（世帯A～世帯D）の評価指標（CO₂排出量、一次エネルギー消費量、PV自家消費率、需要家側コスト）の結果を図5-13～図5-16に示す。5章で説明した通り、世帯あたりの電力消費量・給湯エネルギー消費量の幅を考慮した評価に相当するが、ケース毎の数値は異なるが、CO₂排出量と一次エネルギー消費量・PV自家消費率については、ケース間の評価指標の大小関係は、世帯Eの場合と違いはなかった（図5-13～図5-15）。表5-2の給湯システム効率も世帯Eの場合と同様であり、COPが高い昼間に蓄熱運転するため、HP給湯（夜間蓄熱）ケースよりも、HP給湯（最適制御、昼間蓄熱）ケースの給湯システム効率のほうが高い。

需要家側コストについては、蓄電池ケースのコストが最も高いことは世帯Eの場合と同様であるが、HP給湯ケースと売電ケースのコストの大小関係に、世帯Eの場合との違いがある（図5-16）。世帯Aと世帯Dは、給湯エネルギー消費量が世帯Eよりも多いため（図5-1）、HP給湯ケースのコスト削減額（対売電ケース）が世帯Eの場合よりも大きい。一方、世帯Bは、給湯エネルギー消費量が世帯Eよりも少なく（図5-1）、HP給湯ケースは売電ケースと比べてコスト削減できない。世帯Cのコストの大小関係は世帯Eと同じである。

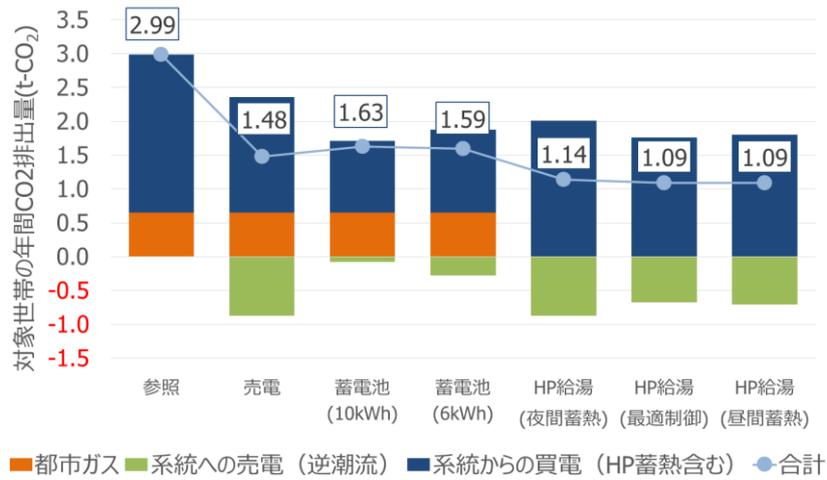
(1) 年間CO₂排出量



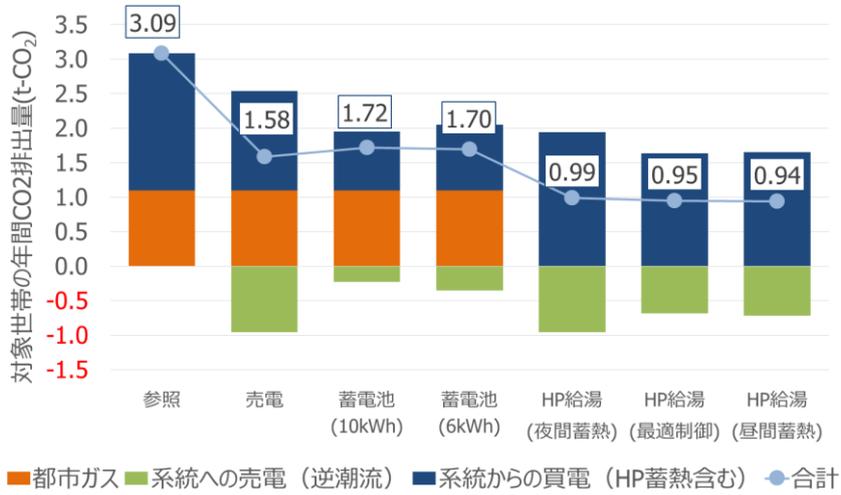
(a)世帯 A



(b)世帯 B



(c)世帯 C

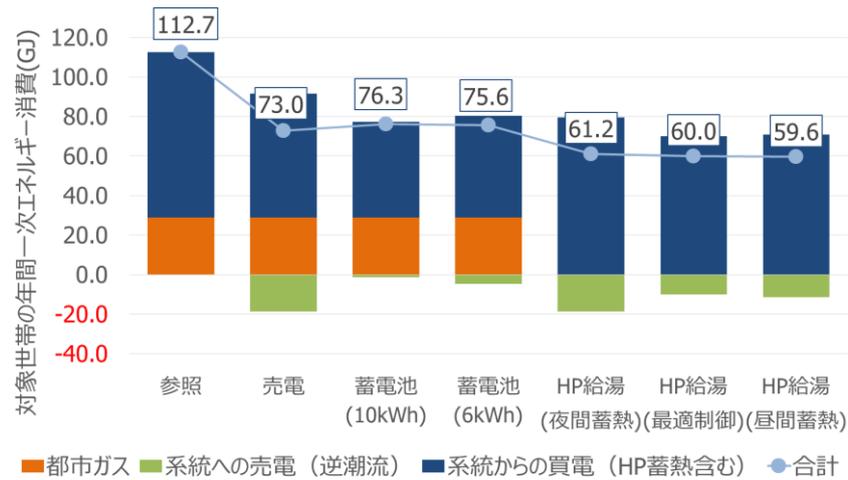


(d)世帯 D

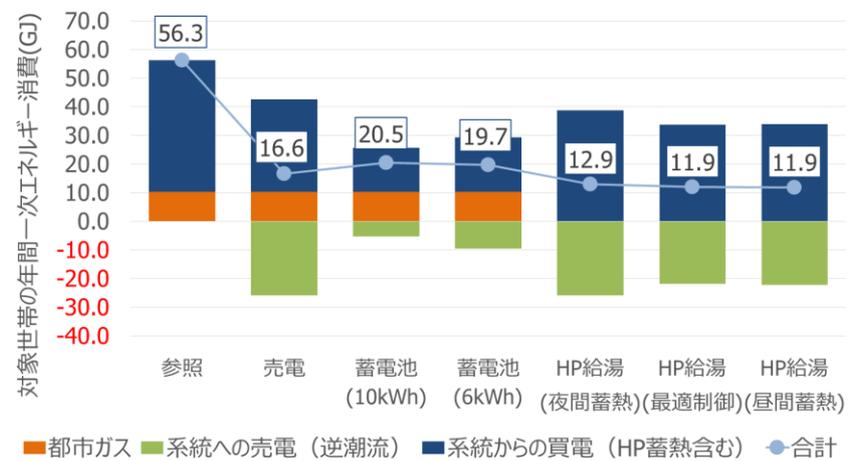
図 5-13 世帯あたりの年間 CO₂ 排出量 (世帯 A~D の場合)

注) 2030 年度の政府目標値 0.37kg-CO₂/kWh を仮定

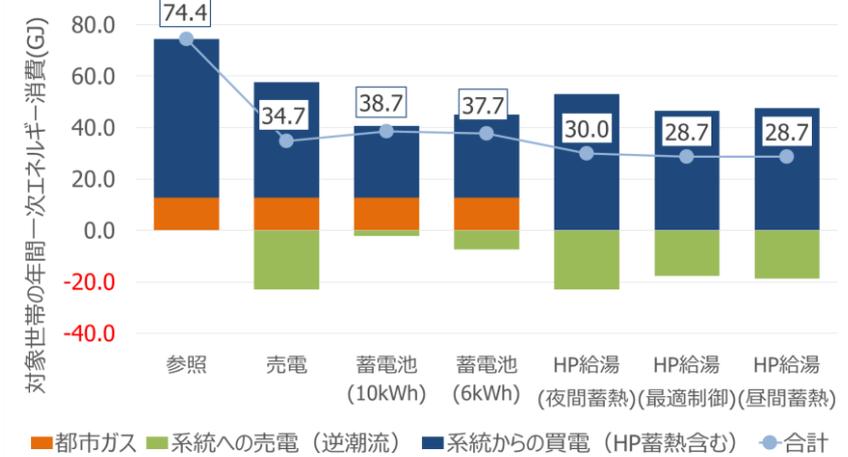
(2) 年間一次エネルギー消費量



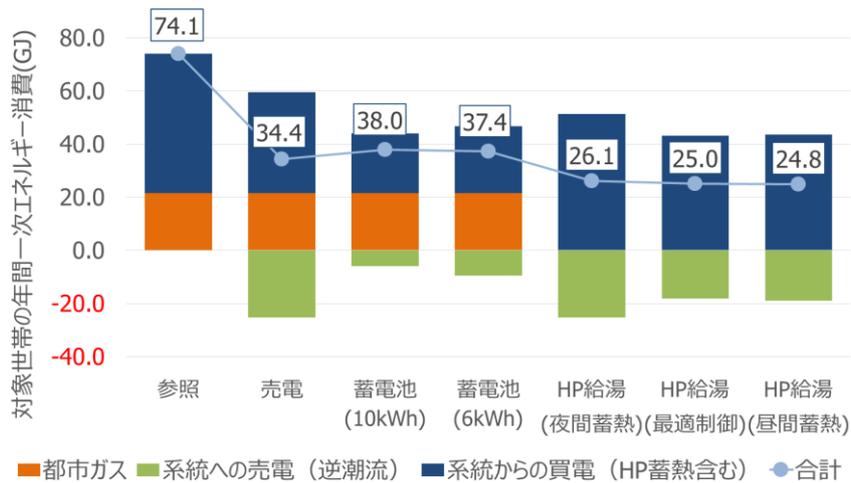
(a)世帯 A



(b)世帯 B



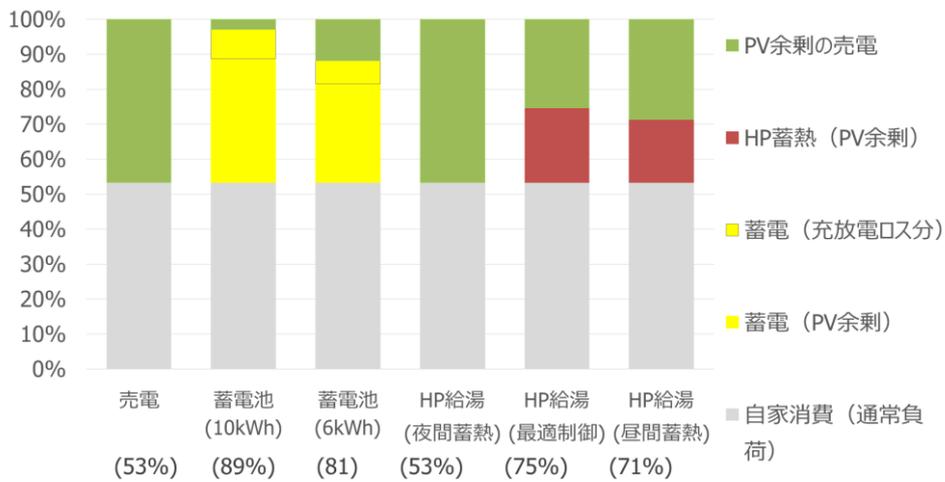
(c)世帯 C



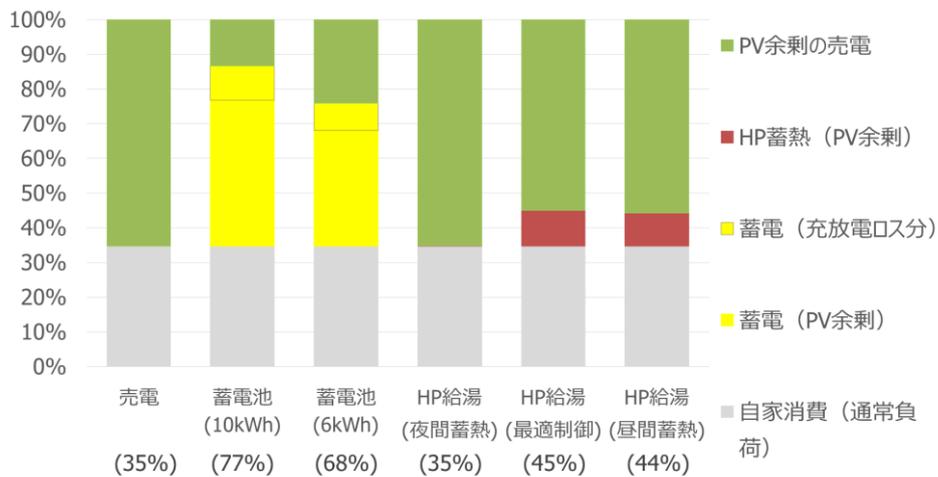
(d)世帯 D

図 5-14 世帯あたりの一次エネルギー消費量 (世帯 A~D の場合)

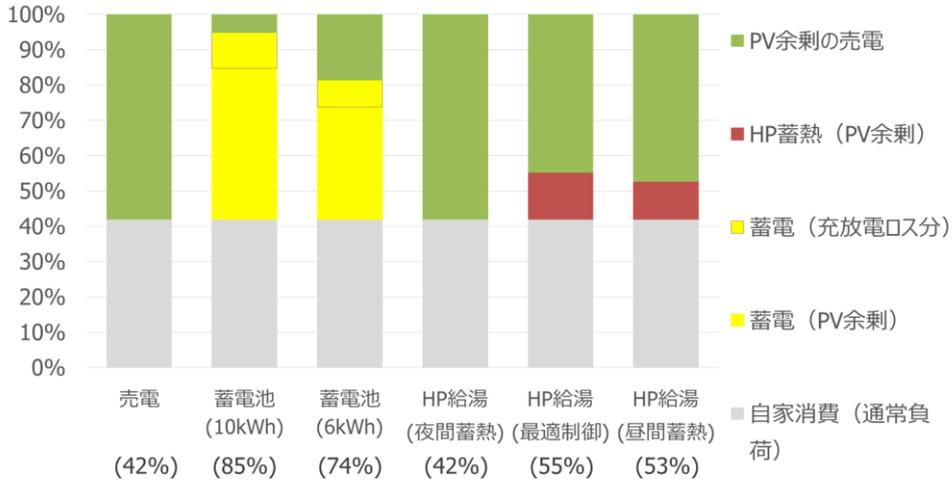
(3) PV 自家消費率



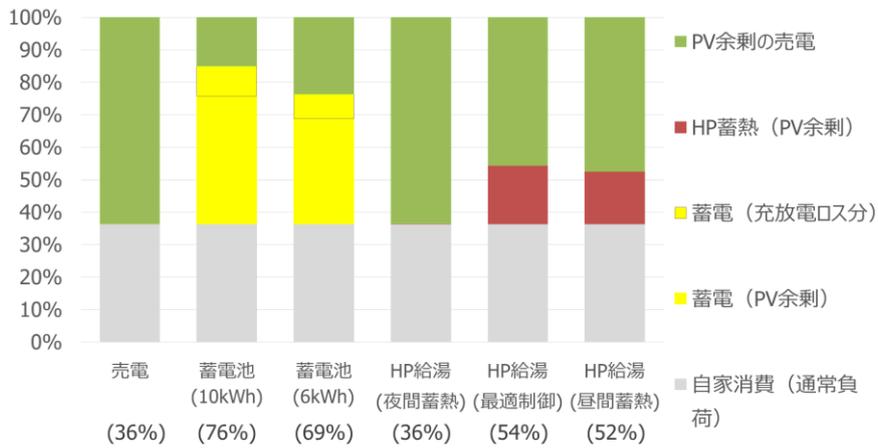
(a)世帯 A



(b)世帯 B



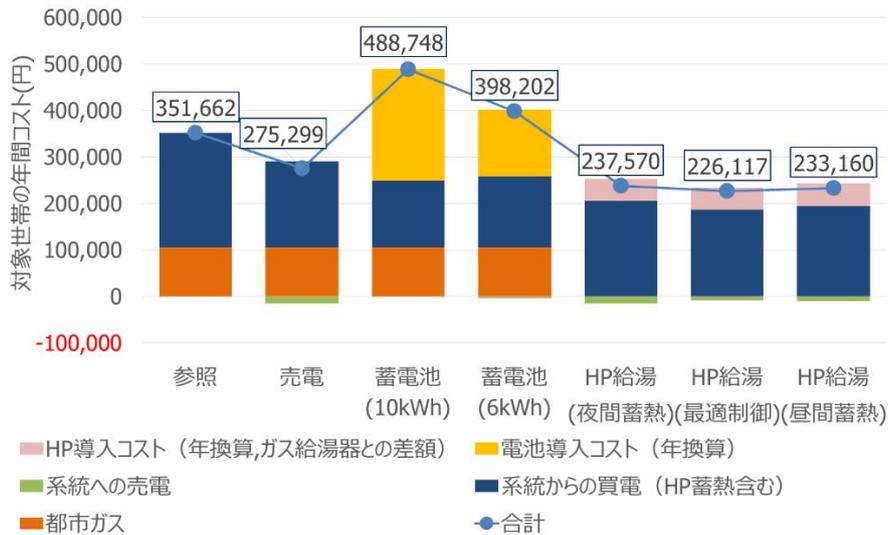
(c)世帯 C



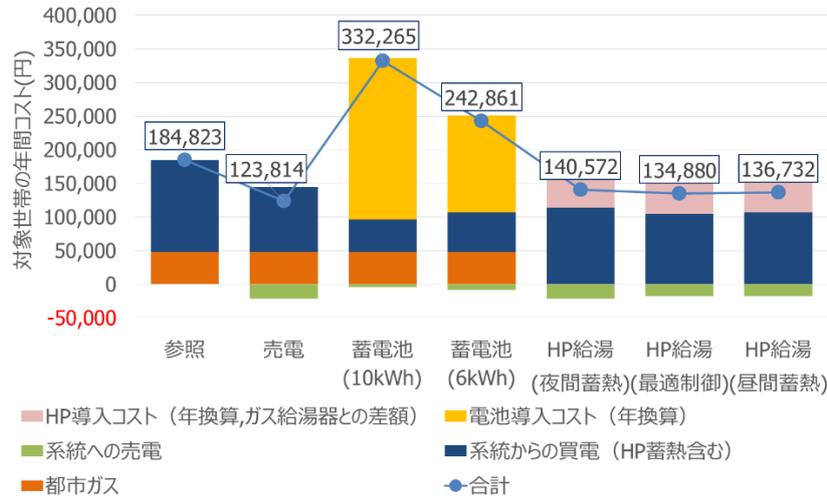
(d)世帯 D

図 5-15 PV 発電電力量の利用方法 (世帯 A~D の場合)

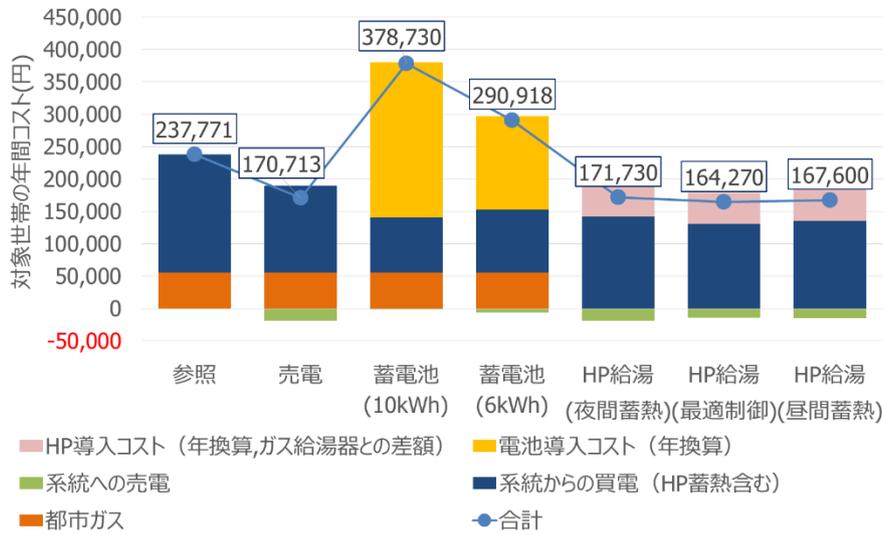
(4) 需要家側の年間コスト



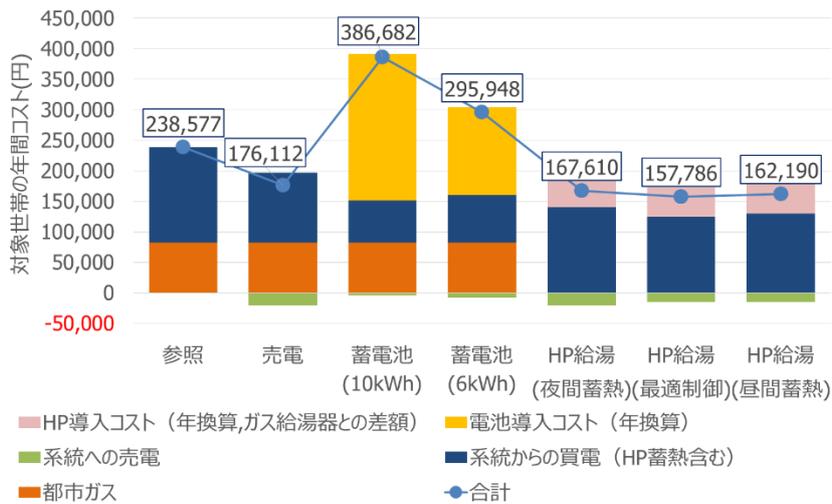
(a)世帯 A



(b)世帯 B



(c)世帯 C



(d)世帯 D

図 5-16 世帯あたりの年間コスト (世帯 A~D の場合)

6. HP 給湯機の普及による PV 自家消費等への影響

本章では前章で示した世帯当たりのシミュレーション結果を基にマクロ影響を評価した。

6.1 計算方針

本計算では普及曲線を想定せず、普及対象となる世帯全てに HP 給湯機が導入される場合のマクロ影響量を計算する。マクロ影響量の計算に用いる普及世帯数と原単位は共に将来に対する不確実性があるため、複数の条件で計算を行い、結果は幅を持って示す。

$$\Delta E = \sum_p (S'_p \times G'_p - S_p \times G_p)$$

この時の記号は下記の通り。

ΔE : マクロ影響量

S'_p : セグメント p におけるシナリオによる設備の普及世帯数

G'_p : セグメント p におけるシミュレーション結果による原単位

S_p : セグメント p におけるベースとなる設備の普及世帯数

G_p : セグメント p におけるベースとなる原単位

注) 母集団世帯数を n 個の区分に分けた時の第 p 区分をセグメント p とする。

6.2 普及世帯の想定

6.2.1 方針

国勢調査によると日本全体の世帯数は約 5,200 万世帯¹¹である。このうち、HP 給湯機が普及する世帯を下記の方針で想定する。

(1) 属性

地域については、HP 給湯機には一般地仕様と寒冷地仕様があり、一般地仕様では主に建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（以下、「建築物省エネ基準」という。）の 3～6 地域への設置を推奨しているが、ここでは前章のシミュレーションの計算条件である関西地域を多く含む 5,6 地域のみを対象とした。この時、建築物省エネ基準の地域区分は市区町村別に定められているが、本計算では簡単のため都道府県別に地域区分を選定した（図 6-1、表 6-1）。5,6 地域に限定することにより、世帯数は約 4,200 万世帯となる。

建て方については、共同住宅の PV は共用部への供給がほとんどであり、各世帯の自家消費への利用が困難であること、また HP 給湯機はバルコニー等に貯湯タンクの設置スペースが必要となることから戸建住宅に限定した。

世帯人員については、シミュレーションを行うデータに基づき 4 人世帯に限定した。また参考として 3 人以上世帯を普及対象としたマクロ影響量についても分析を行う。

表 6-2 に 5,6 地域の建て方別世帯人員別世帯数を示す。建て方別世帯人員別世帯数は公表されていないため、建て方別家族類型別世帯数と世帯人員別世帯数を基に、世帯人員別構成比（ただし、2 人以上）が建て方によらず合計に等しいと仮定して推定した。その結果、戸建て 4 人世帯は 377 万世帯、戸建 3 人以上世帯は 1,048 万世帯となった。

¹¹ 全国の住宅に住む主世帯，国勢調査 2015

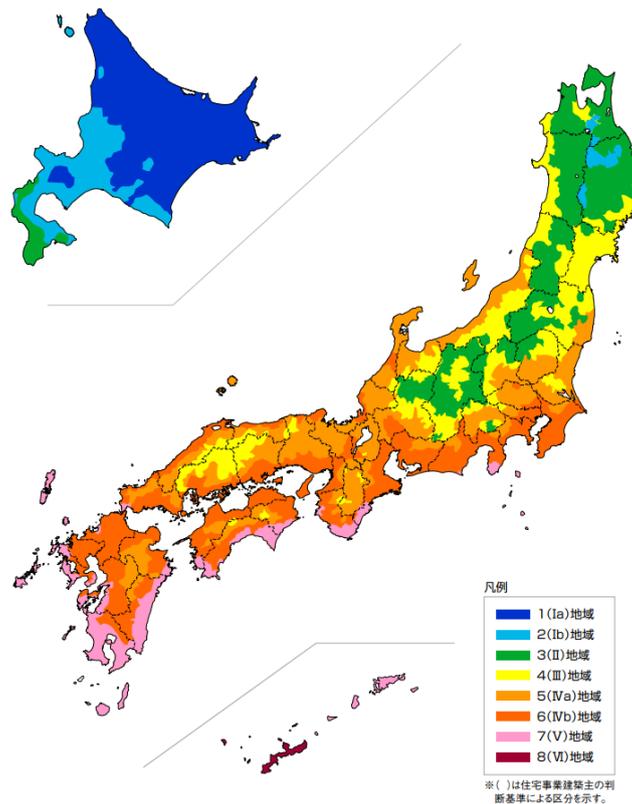


図 6-1 建築物省エネ基準の地域区分

表 6-1 建築物省エネ基準の都道府県別地域区分

地域区分	都道府県
1,2	北海道
3	青森県、岩手県、秋田県
4	宮城県、山形県、福島県、栃木県、新潟県、長野県
5,6	茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、富山県、石川県、福井県、山梨県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県
7	宮崎県、鹿児島県
8	沖縄県

出所：エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準 別表第4，平成25年12月27日経済産業省・国土交通省告示第10号

表 6-2 5,6地域の建て方別世帯人員別世帯数

	[万世帯]					合計
	1人	2人	3人	4人	5人以上	
戸建	400	776	492	377	179	2,225
長屋建	33	19	12	9	4	78
共同	1,001	386	244	187	89	1,908
その他	3	2	1	1	0	6
合計	1,437	1,183	750	574	273	4,217

出所：国勢調査2015より住環境計画研究所推定

(2) 設備

設備については、近年導入が進んでいる蓄電池は普及状況に関する統計がないが、2020年度の蓄電池の市場規模を1,000億円と予測¹²している例があり、仮に1台当たりの蓄電池を200万円とすると5万台となる。これは約0.1%の普及率と小さいため、ベースとなる蓄電池普及率は0%とした。

PVの有無、給湯設備は現時点で一定程度普及が進んでいるため現状の保有実態に加え、全ての世帯にPV及びHP給湯機が導入する場合を想定した。本報告書はPVの自家消費拡大手段に関する検討のため、PVの設置があることを前提にマクロ影響量を分析した。また蓄電池とHP給湯機の両方を導入する世帯が将来的に増える可能性もあるが、蓄電池とHP給湯機の両設備を一つの世帯に導入すると効果の切り分けが困難となることから、本検討ではHP給湯機単体が導入する場合の影響を試算する。

表6-3に計算ケースを示す。4人世帯と3人以上世帯の2つの普及世帯パターンに対してそれぞれ普及率現状ケース、最適制御ケース、参考として昼間蓄熱ケースの3パターンの計6ケースを計算する。

表 6-3 計算ケース

ケース	地域	建て方	世帯 人員	蓄電池 の有無	PV の有無	給湯設備
普及率現状ケース (4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	実態	実態
最適制御 ケース(4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	全て PV有	全てHP給湯機 (最適制御)
【参考】昼間蓄熱 ケース(4人)	5,6 地域	戸建	4人	無	全て PV有	全てHP給湯機 (昼間蓄熱)
普及率現状ケース (3人以上)	5,6 地域	戸建	3人 以上	無	実態	実態
最適制御 ケース(3人以上)	5,6 地域	戸建	3人 以上	無	全て PV有	全てHP給湯機 (最適制御)
【参考】昼間蓄熱 ケース(3人以上)	5,6 地域	戸建	3人 以上	無	全て PV有	全てHP給湯機 (昼間蓄熱)

¹² 日本能率協会総合研究所 (<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000008.000035568.html>)、最終アクセス日 2019.9.26

6.2.2 普及世帯数

表 6-4 に PV、給湯設備別の普及率を示す。データがないことから、平成 29 年度の「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」（以下、「家庭 CO₂ 統計」という。）を用いて推定した。この時、省エネ基準区分別の当該設備保有状況に関するデータはないため全国の推定値を 5,6 地域に適用する。

戸建の PV の有無別給湯設備別保有状況を基に戸建 4 人と戸建の給湯設備保有状況の違いを勘案して推定した。なお、ガス給湯器の熱源は、LP ガスに比べ CO₂ 排出係数が低くマクロ影響量が少なめに算出される都市ガスとして計算を行った。

戸建 3 人以上の普及率について戸建 4 人と同様の方法で推定したところ、傾向は同じであったため戸建 3 人以上の計算においても表 6-4 の値を用いて計算した。

表 6-4 全国戸建 4 人世帯の PV の有無別給湯設備保有率

	PV 有	PV 無	合計
HP 給湯機	11%	19%	30%
電気温水器	1%	6%	7%
ガス給湯器	2%	46%	48%
灯油給湯器	1%	12%	12%
その他	1%	0%	2%
合計	16%	84%	100%

出所：家庭 CO₂ 統計より住環境計画研究所推定

表 6-5 に戸建 4 人世帯、表 6-6 に戸建 3 人以上世帯の 5,6 地域における PV の有無別給湯設備保有世帯数を示す。

最適制御ケースでは全ての世帯に HP 給湯機（最適制御）が導入される際の効果を、昼間蓄熱ケースでは全ての世帯に HP 給湯機（昼間蓄熱）が導入される際の効果を試算する。この時、その他の給湯設備を保有している世帯は HP 給湯機の普及対象外とし、戸建 4 人世帯は 370 万世帯、戸建 3 人以上世帯では 1,028 万世帯に HP 給湯機が普及するとして試算する。

表 6-5 5,6 地域における戸建 4 人世帯の PV の有無別給湯設備保有世帯数

		[万世帯]		
		PV 有	PV 無	合計
小計	HP 給湯機	41	73	114
	電気温水器	4	23	27
	ガス給湯器	9	173	182
	灯油給湯器	2	45	47
		57	313	370
	その他	6	2	7
	合計	62	315	377

表 6-6 5,6 地域における戸建 3 人以上世帯の PV の有無別給湯設備保有世帯数

[万世帯]

		PV 有	PV 無	合計
小計	HP 給湯機	115	202	317
	電気温水器	11	63	74
	ガス給湯器	26	481	507
	灯油給湯器	5	125	130
		158	870	1,028
	その他	15	5	20
	合計	173	875	1,048

6.3 原単位の想定

マクロ影響量の計算にあたり、前章のシミュレーションで未計算のセグメントを推定する。推定対象は PV 有の電気温水器世帯、灯油給湯器世帯、PV 無の HP 給湯機（夜間蓄熱）、電気温水器、灯油給湯器世帯であり、それぞれ「HP 給湯ケース（夜間蓄熱）」「売電ケース」、「HP 給湯ケース（夜間蓄熱）」、「電気温水器ケース（夜間蓄熱）」「参照ケース」から推定した。推定方法については、設備の違いによって使い方は変化しないものとし、効率、CO₂排出係数、熱量換算係数などの係数を用いて計算した。具体的な計算方法を下記に示す。

表 6-7 各セグメント（PV 保有世帯）の原単位の想定

給湯設備	PV 有	PV 無
HP 給湯機 （夜間蓄熱）	HP 給湯ケース（夜間蓄熱）	HP 給湯ケース（夜間蓄熱）_PV 無 ※HP 給湯（夜間蓄熱）ケースから推定
HP 給湯機 （最適制御）	HP 給湯ケース（最適制御）	—
HP 給湯機 （昼間蓄熱）	HP 給湯ケース（昼間蓄熱）	—
電気温水器	電気温水器ケース（夜間蓄熱） ※HP 給湯ケース（夜間蓄熱）から推定	電気温水器ケース（夜間蓄熱）_PV 無 ※電気温水器ケース（夜間蓄熱）から推定
ガス給湯器	売電ケース	参照ケース
灯油給湯器	売電ケース（灯油） ※売電ケースから推定	参照ケース（灯油） ※参照ケースから推定

注 1) ケース名は表 5-1 と同じ。

注 2) 表内黒字はシミュレーション結果、赤字はシミュレーション結果を用いて想定

各原単位を求めるため、始めに固有消費量を計算する。灯油給湯器の固有消費量はガス給湯器の消費量（m³）と熱量換算係数を用いて灯油の消費量（L）に換算した。電気温水器の固有消費量はHP給湯機の消費量（kWh）と効率比を用いて電気温水器の消費量（kWh）に換算した。用いた係数を表 6-8 に示す。

表 6-8 係数

		値	出所
熱量換算係数	電気（一次エネルギー基準）	9.76MJ/kWh	国土交通省 ¹³
	都市ガス	45MJ/m ³	大阪ガス供給発熱量
	灯油	36.49MJ/L	資源エネルギー庁 ¹⁴
効率	HP給湯機	表 5-2 を参照	—
	電気温水器	0.8	（一財）ベターリビング ¹⁵

① CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は電気、灯油の固有消費量に CO₂ 排出係数を乗じて計算した。表 6-9 に CO₂ 排出係数、図 6-2 に世帯 E の世帯当たり CO₂ 排出量、表 6-10 に各世帯の世帯当たり CO₂ 排出量を示す。

表 6-9 CO₂ 排出係数

		値	出所
電気		0.37kg-CO ₂ /kWh	電気事業連合会等 ¹⁶
		0.496kg-CO ₂ /kWh	2017 年度実績（調整後排出係数） ¹⁷
灯油		0.069kg-CO ₂ /MJ	資源エネルギー庁 ¹⁴

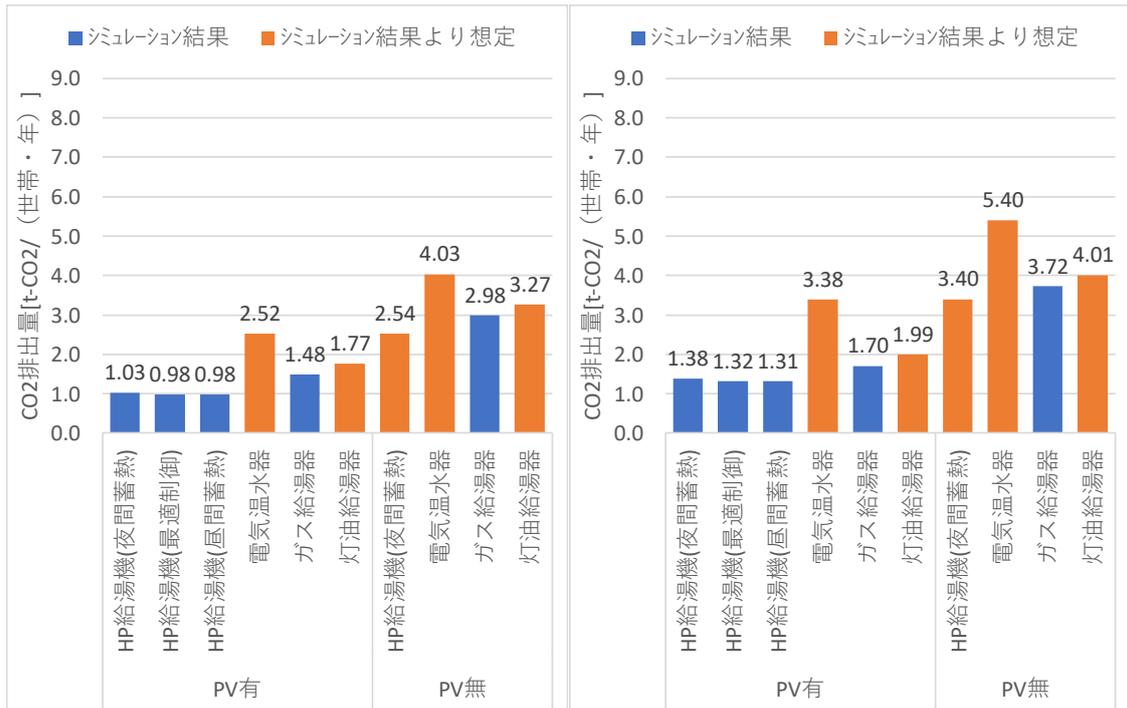
¹³ 建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法等に係る事項等 別表第 1，国土交通省告示第 265 号，平成 28 年 4 月 1 日施行

¹⁴ 2013 年度以降適用する標準発熱量・炭素排出係数一覧表，資源エネルギー庁，2018 年 8 月一部改訂

¹⁵ 平成 19 年度 新時代の省エネ型給湯設備の計画・評価手法に関する研究（その 3）報告書，（一財）ベターリビング

¹⁶ 「電気事業における低炭素社会実行計画」の策定について，電気事業連合会他電気事業者，2015 年 7 月

¹⁷ 電気事業における地球温暖化対策の取組み，電気事業低炭素社会協議会，2018 年度



(左図 : CO₂ 排出係数 0.37kg-CO₂/kWh、右図 : CO₂ 排出係数 0.496kg-CO₂/kWh)

図 6-2 世帯当たり CO₂ 排出量 (世帯 E)

表 6-10 各世帯の世帯当たり CO₂ 排出量

(上図 : CO₂ 排出係数 0.37kg-CO₂/kWh、下図 : CO₂ 排出係数 0.496kg-CO₂/kWh)

	PV有						PV無				
	HP給湯機 (夜間蓄熱)	HP給湯機 (最適制御)	HP給湯機 (昼間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器	HP給湯機 (夜間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器	
	Sim	Sim	Sim	Simから想定	Sim	Simから想定	Simから想定	Simから想定	Sim	Simから想定	
世帯A	2.3	2.3	2.3	5.0	3.1	3.7	3.8	6.5	4.6	5.2	
世帯B	0.5	0.5	0.4	1.4	0.8	0.9	2.0	2.9	2.3	2.4	
世帯C	1.1	1.1	1.1	2.3	1.5	1.7	2.6	3.8	3.0	3.2	
世帯D	1.0	0.9	0.9	3.0	1.6	2.0	2.5	4.5	3.1	3.5	
世帯E	1.0	1.0	1.0	2.5	1.5	1.8	2.5	4.0	3.0	3.3	

	PV有						PV無				
	HP給湯機 (夜間蓄熱)	HP給湯機 (最適制御)	HP給湯機 (昼間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器	HP給湯機 (夜間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器	
	Sim	Sim	Sim	Simから想定	Sim	Simから想定	Simから想定	Simから想定	Sim	Simから想定	
世帯A	3.1	3.0	3.0	6.7	3.7	4.2	5.1	8.7	5.7	6.2	
世帯B	0.7	0.6	0.6	1.9	0.8	1.0	2.7	3.9	2.9	3.0	
世帯C	1.5	1.5	1.5	3.1	1.8	2.0	3.5	5.1	3.8	4.0	
世帯D	1.3	1.3	1.3	4.0	1.7	2.1	3.3	6.0	3.8	4.1	
世帯E	1.4	1.3	1.3	3.4	1.7	2.0	3.4	5.4	3.7	4.0	

略語) Sim=シミュレーション結果、Sim から想定=シミュレーション結果を用いて想定

② 一次エネルギー消費量

一次エネルギー消費量は電気、灯油の固有消費量に表 6-8 に示す熱量換算係数を乗じて計算した。

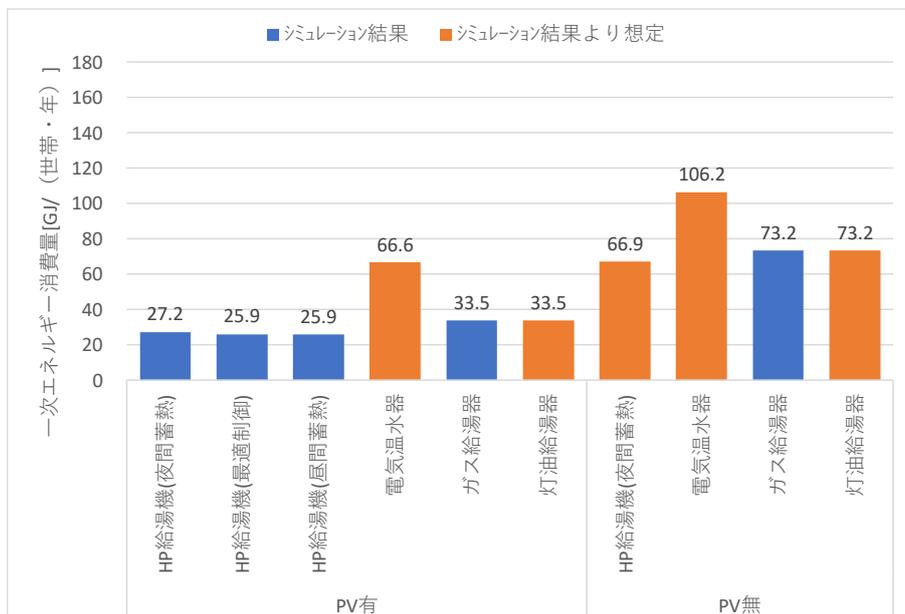


図 6-3 世帯当たり一次エネルギー消費量 (世帯 E)

表 6-11 各世帯の世帯当たり一次エネルギー消費量

	PV有						PV無			
	HP給湯機 (夜間蓄熱)	HP給湯機 (最適制御)	HP給湯機 (昼間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器	HP給湯機 (夜間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器
	Sim	Sim	Sim	Simから想定	Sim	Simから想定	Simから想定	Simから想定	Sim	Simから想定
世帯A	61.2	60.0	59.6	132.4	73.0	73.0	100.8	172.1	112.7	112.7
世帯B	12.9	11.9	11.9	37.7	16.6	16.6	52.6	77.4	56.3	56.3
世帯C	30.0	28.7	28.7	60.8	34.7	34.7	69.7	100.4	74.4	74.4
世帯D	26.1	25.0	24.8	78.6	34.4	34.4	65.8	118.3	74.1	74.1
世帯E	27.2	25.9	25.9	66.6	33.5	33.5	66.9	106.2	73.2	73.2

注) Sim=シミュレーション結果、Simから想定=シミュレーション結果を用いて想定

③ PV 自家消費量

図 6-4 に世帯 E の、表 6-12 に各世帯の PV 自家消費量を示す。電気温水器世帯及び灯油給湯器世帯の PV 自家消費量を設定する必要があるため、電気温水器世帯は HP 給湯機 (HP 給湯ケース (夜間蓄熱)) と同じと設定した。灯油給湯器世帯はガス給湯器世帯と同じと設定した。

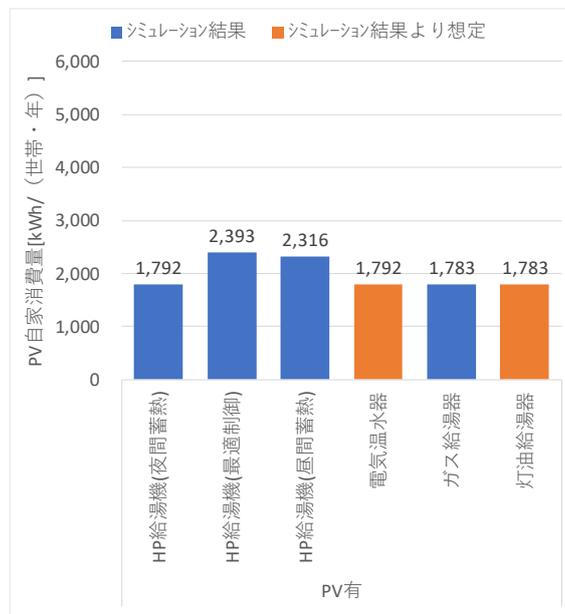


図 6-4 世帯当たり PV 自家消費量 (世帯 E)

表 6-12 各世帯の世帯当たり PV 自家消費量

	kWh/ (世帯・年)					
	PV有					
	HP給湯機 (夜間蓄熱)	HP給湯機 (最適制御)	HP給湯機 (昼間蓄熱)	電気温水器	ガス給湯器	灯油給湯器
	Sim	Sim	Sim	Simから想定	Sim	Simから想定
世帯A	2,167	3,035	2,898	2,167	2,167	2,167
世帯B	1,417	1,827	1,795	1,417	1,408	1,408
世帯C	1,707	2,247	2,142	1,707	1,707	1,707
世帯D	1,483	2,213	2,134	1,483	1,480	1,480
世帯E	1,792	2,393	2,316	1,792	1,783	1,783

注) Sim=シミュレーション結果、Sim から想定=シミュレーション結果を用いて想定

6.4 計算結果

6.4.1 戸建4人世帯

戸建4人世帯の計算結果を図6-5～図6-8に示す。結果については、5.において世帯シミュレーションを行った5世帯の平均値に普及世帯数を乗じた値を示した。5世帯の結果のうち最も小さい値に普及世帯数を乗じた値を最小値（以下、「最小」とする。）、最も大きい値に普及世帯数を乗じた値を最大値（以下、「最大」とする。）として示した。

CO₂排出係数が0.37kg-CO₂/kWhの場合のCO₂排出量（図6-5）は、最適制御ケースで平均4,333kt-CO₂（最小1,705、最大8,569）と普及率現状ケースの平均10,850kt-CO₂（最小7,479、最大16,133）に比べ平均6,517kt-CO₂（60.1%）（最小5,774、最大7,564）の削減となった。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入することで4,708kt-CO₂（43.4%）の削減、HP給湯機（夜間蓄熱）を導入することで平均1,644kt-CO₂（15.2%）（最小929、最大2,684）の削減、HP給湯機（最適制御）に変更することで平均165kt-CO₂（1.5%）（最小137、最大172）の削減となった。また参考として示す昼間蓄熱ケースは、最適制御ケースに比べ更に21kt-CO₂（最小11、最大49）少なくなった。

CO₂排出係数を0.496kg-CO₂/kWhに変更した場合のCO₂排出量の変化量（図6-6）は、最適制御ケースで平均5,809kt-CO₂（最小2,285、最大11,486）と普及率現状ケースの平均13,782kt-CO₂（最小9,587、最大20,393）に比べ平均7,973kt-CO₂（57.9%）（最小7,302、最大8,907）の削減となった。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入することで6,311kt-CO₂（45.8%）の削減、HP給湯機（夜間蓄熱）を導入することで平均1,441kt-CO₂（10.5%）（最小807、最大2,365）の削減、HP給湯機（昼間蓄熱）に変更することで平均221kt-CO₂（1.6%）（最小184、最大230）の削減となった。また参考として示す昼間蓄熱ケースは、最適制御ケースに比べ更に平均28kt-CO₂（最小14、最大65）少なくなった。これは最適制御ケースが従量コストの最小化を目的に夜間にも運転（昼間より外気温が低く熱源機COPが低くなる）しているためである。図6-7に一次エネルギー消費量を示す。CO₂排出量と同様の傾向を示しており、最適制御ケースで平均114PJ（最小45、最大226）と普及率現状ケースの平均268PJ（最小187、最大396）に比べ平均154PJ（57.4%）（最小142、最大170）の削減となった。そのうち、最適制御導入による削減効果は平均4.4PJ（最小3.6、最大4.5）であり、昼間蓄熱導入によって更に平均0.6PJ（最小0.3、最大1.3）削減される結果となった。

図6-8にPV自家消費量を示す。最適制御ケースで平均8,832GWh（最小6,888、最大11,441）と普及率現状ケースの平均971GWh（最小802、最大1,229）に比べ7,862GWh（最小6,086、最大10,212）と約8倍増加した。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入する効果が平均5,353GWh（最小4,415、最大6,782）と最大であるが、HP給湯機（最適制御）は夜間蓄熱と比べて平均2,375GWh（最小1,548、最大3,272）、HP給湯機（昼間蓄熱）は平均2,050GWh（最小1,427、最大2,755）とPV導入の半分程度の効果がある結果となった。これは50～60万世帯（PV設置容量4kW）の年間の太陽光発電量に相当する。

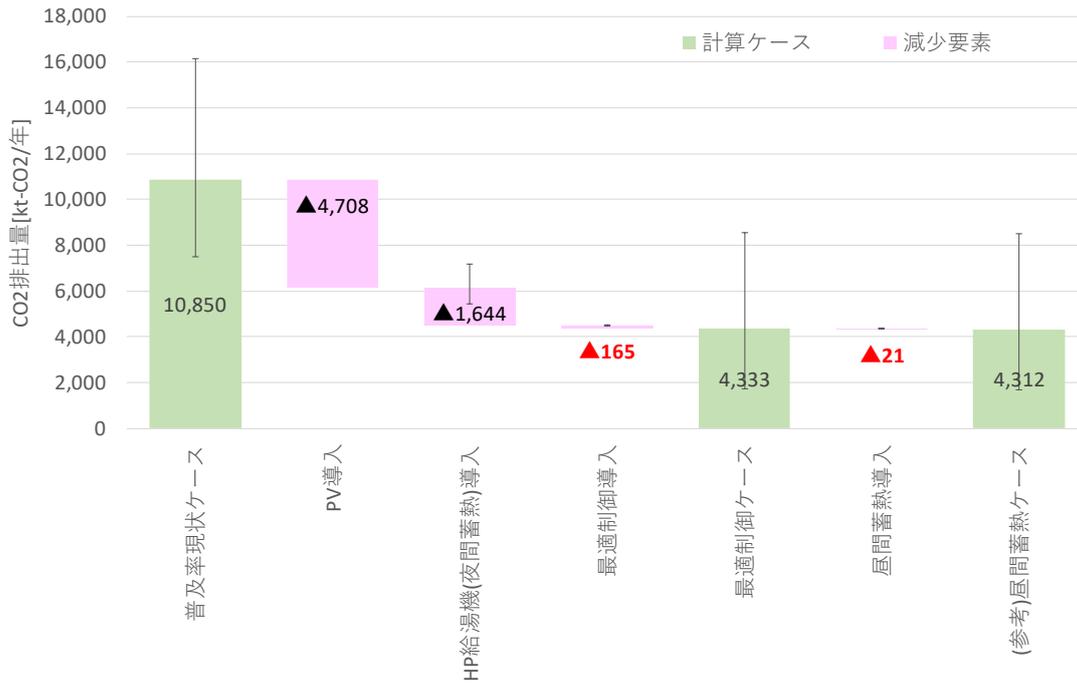


図 6-5 CO₂ 排出量と各要素の影響量①

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

注) 電気の CO₂ 排出係数 0.37kg-CO₂/kWh

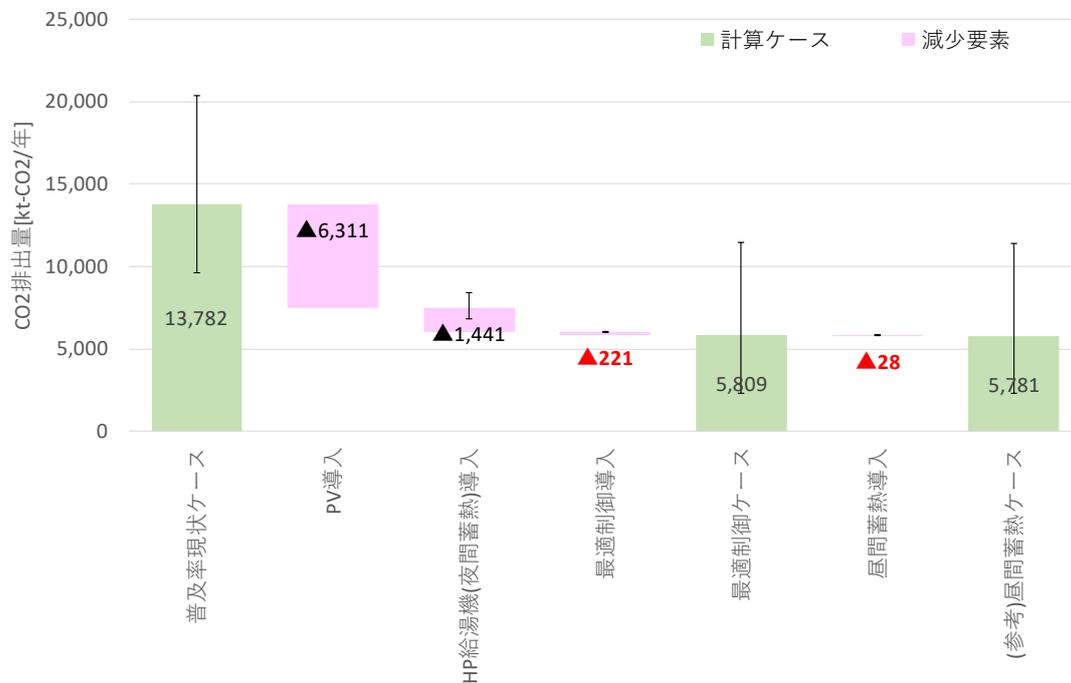


図 6-6 CO₂ 排出量と各要素の影響量②

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

注) 電気の CO₂ 排出係数 0.496kg-CO₂/kWh

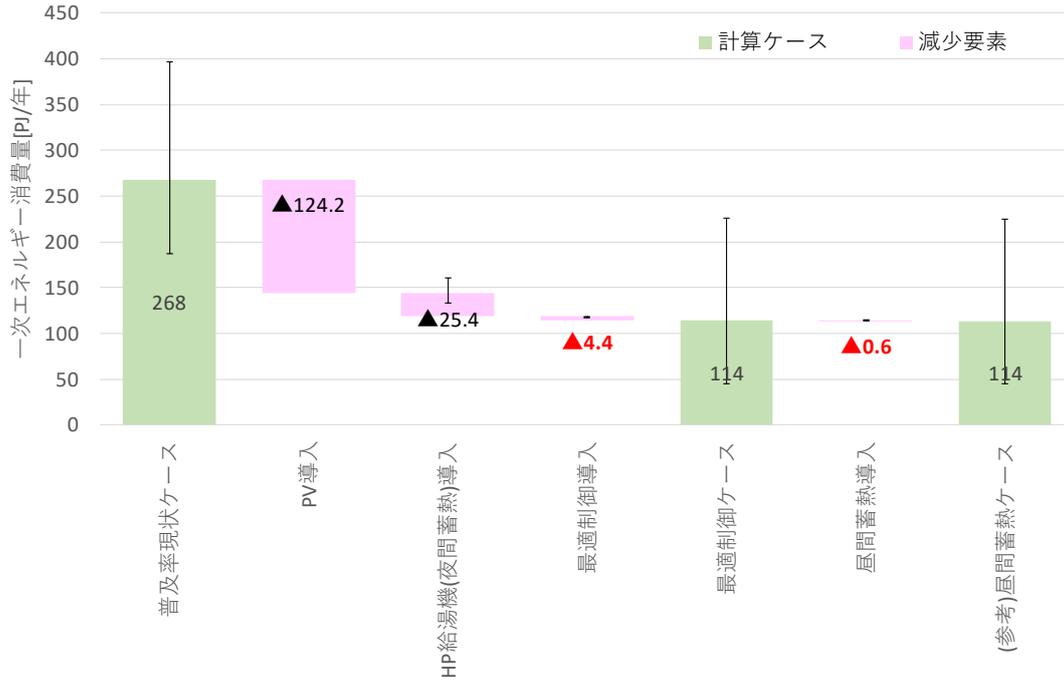


図 6-7 一次エネルギー消費量と各要素の影響量

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

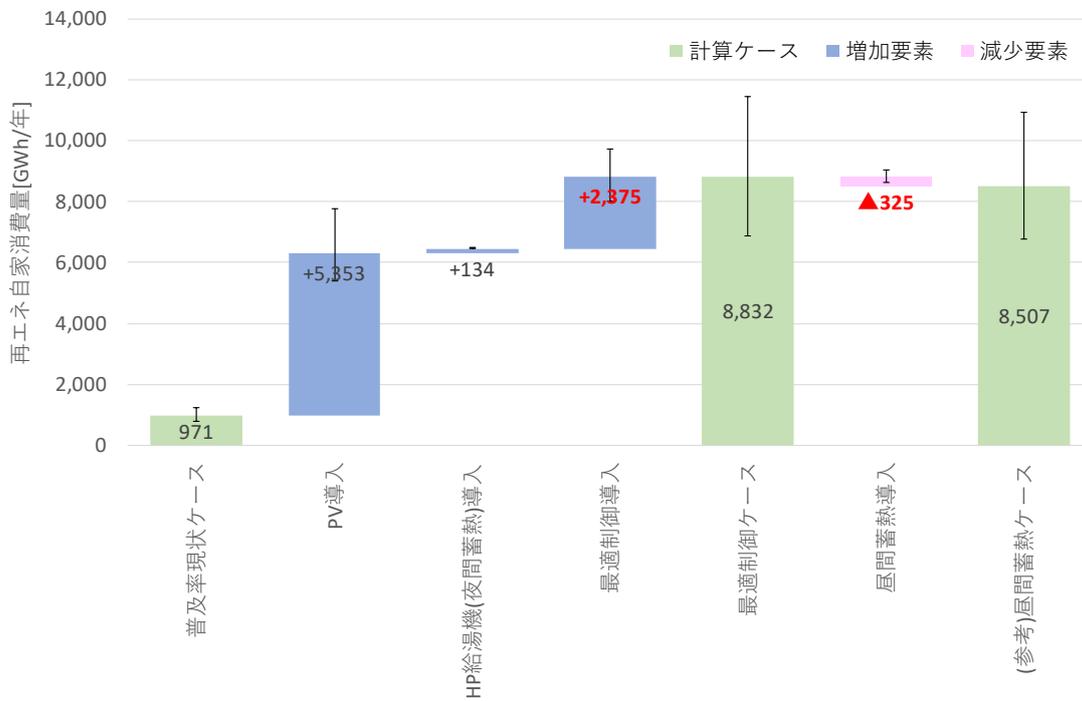


図 6-8 PV 自家消費量と各要素の影響量

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

6.4.2 【参考】戸建3人以上世帯

戸建3人以上世帯の計算結果を図6-9～図6-12に示す。結果については、5.において世帯シミュレーションを行った5世帯の平均値に普及世帯数を乗じた値を示した。5世帯の結果のうち最も小さい値に普及世帯数を乗じた値を最小値（以下、「最小」とする。）、最も大きい値に普及世帯数を乗じた値を最大値（以下、「最大」とする。）として示した。

CO₂排出係数が0.37kg-CO₂/kWhの場合のCO₂排出量（図6-9）は、最適制御ケースで平均12,049kt-CO₂（最小4,741、最大23,826¹⁸）と普及率現状ケースの平均30,170kt-CO₂（最小20,796、最大44,858）に比べ平均18,121kt-CO₂（60.1%）（最小16,055、最大21,033）の削減となった。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入することで13,091kt-CO₂（43.4%）の削減、HP給湯機（夜間蓄熱）を導入することで平均4,571kt-CO₂（15.2%）（最小2,583、最大7,464）の削減、HP給湯機（最適制御）に変更することで平均459kt-CO₂（1.5%）（最小381、最大477）の削減となった。また参考として示す昼間蓄熱ケースは、最適制御ケースに比べ更に平均58kt-CO₂（最小30、最大135）少なくなった。

CO₂排出係数を0.496kg-CO₂/kWhに変更した場合のCO₂排出量の変化量（図6-10）は、最適制御ケースで平均16,152kt-CO₂（最小6,355、最大31,939）と普及率現状ケースの平均38,323kt-CO₂（最小26,658、最大56,705）に比べ平均22,171kt-CO₂（57.9%）（最小20,304、最大24,766）の削減となった。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入することで17,549kt-CO₂（45.8%）の削減、HP給湯機（夜間蓄熱）を導入することで平均4,007kt-CO₂（10.5%）（最小2,244、最大6,577）の削減、HP給湯機（昼間蓄熱）に変更することで平均615kt-CO₂（1.6%）（最小511、最大640）の削減となった。また参考として示す昼間蓄熱ケースは、最適制御ケースに比べ更に平均78kt-CO₂（最小40、最大181）少なくなった。これは最適制御ケースが従量コストの最小化を目的に運転しているのに対し、昼間蓄熱ケースは外気温の高い昼間に常に沸き上げを行うためである。

図6-11に一次エネルギー消費量を示す。CO₂排出量と同様の傾向を示しており、最適制御ケースで平均318PJ（最小125、最大628）と普及率現状ケースの平均746PJ（最小520、最大1,102）に比べ平均428PJ（57.4%）（最小395、最大474）の削減となった。そのうち、最適制御導入による削減効果は平均12.1PJ（最小10.1、最大12.6）であり、昼間蓄熱導入によって更に平均1.5PJ（最小0.8、最大3.6）削減される結果となった。

図6-12にPV自家消費量を示す。最適制御ケースで平均24,560GWh（最小19,153、最大31,812）と普及率現状ケースの平均2,699GWh（最小2,230、最大3,416）に比べ21,860GWh（最小16,923、最大28,396）と約8倍増加した。内訳をみると、全ての世帯にPVを導入する効果が平均14,884GWh（最小12,277、最大18,859）と最大で、HP給湯機（夜間蓄熱）に比べ、HP給湯機（最適制御）は平均6,604GWh（最小4,305、最大9,097）、HP給湯機（昼間蓄熱）は平均5,700GWh（最小3,968、最大7,661）とPV導入の半分程度の効果がある結果となった。これは140万～170万世帯（PV設置容量4kW）の年間の太陽光発電量に相当する。

¹⁸ 本報告書で世帯シミュレーションを行った5世帯の試算結果に普及世帯数を乗じた値から最小、最大を計算している点に留意されたい。

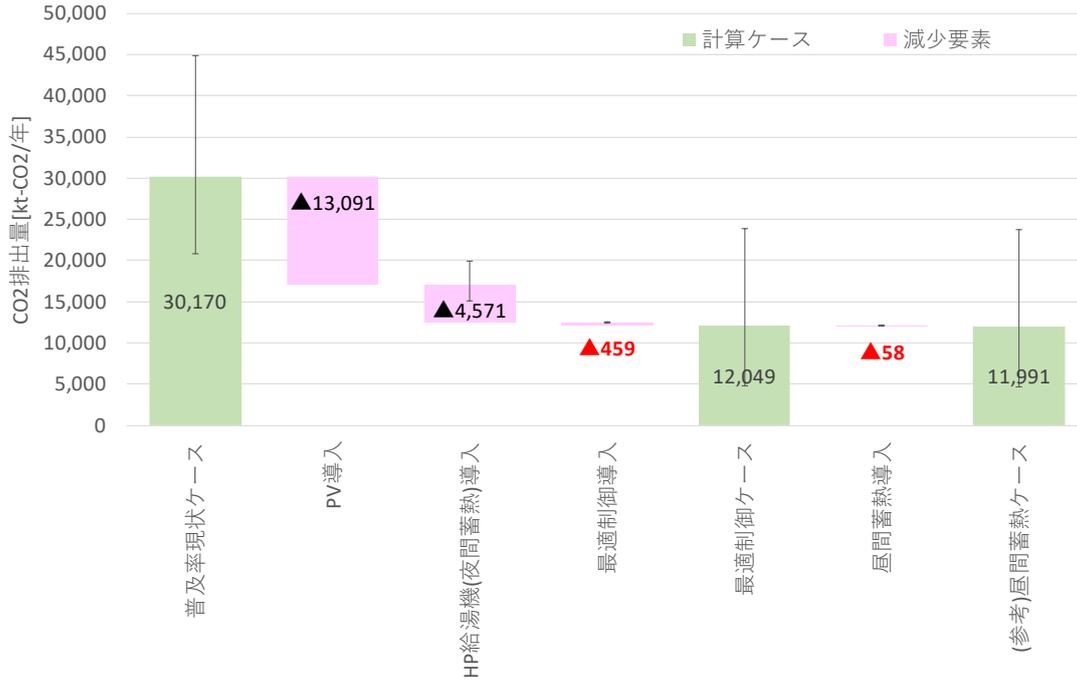


図 6-9 CO₂ 排出量① (左図：総量、右図：各要素の影響量)

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

注) 電気の CO₂ 排出係数 0.37kg-CO₂/kWh

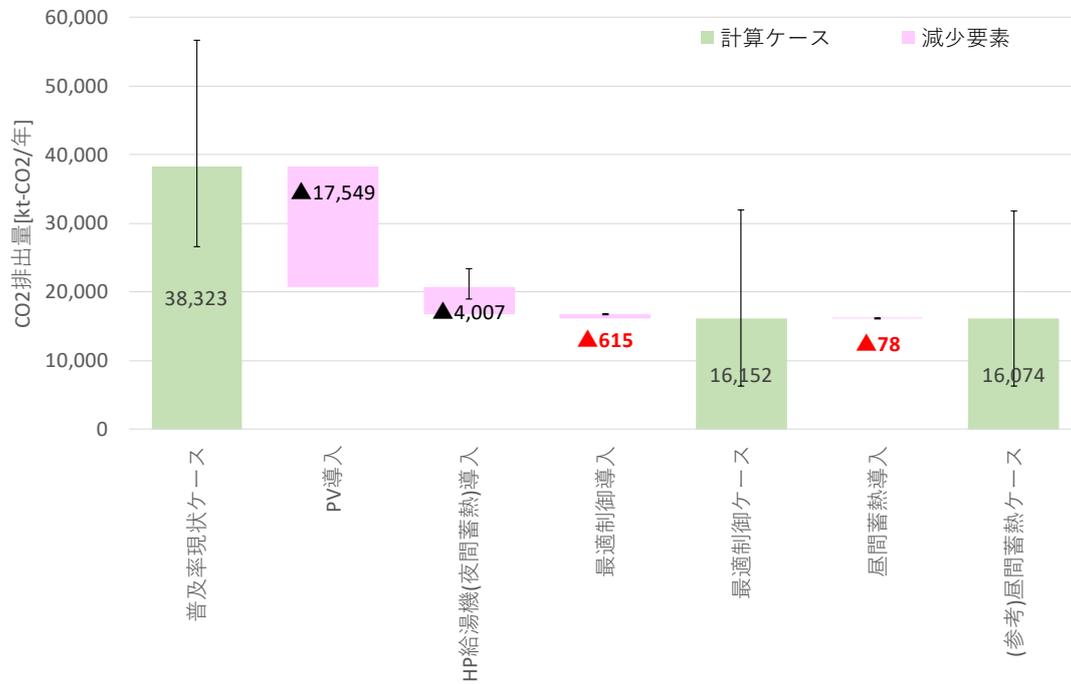


図 6-10 CO₂ 排出量② (左図：総量、右図：各要素の影響量)

注) 図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

注) 電気の CO₂ 排出係数 0.496kg-CO₂/kWh

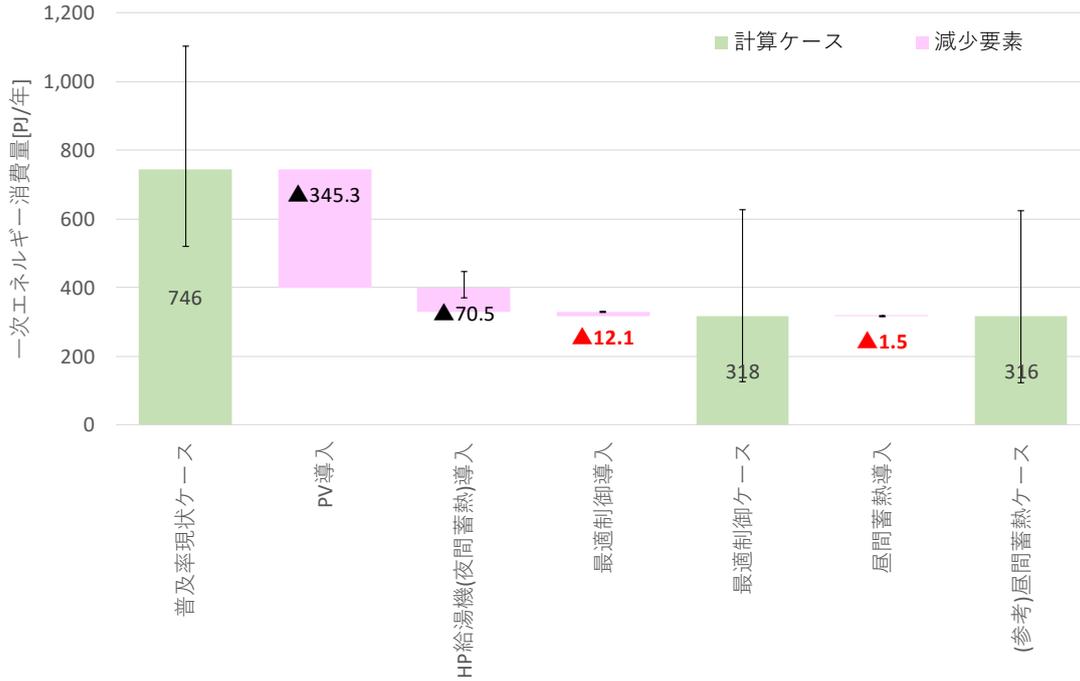


図 6-11 一次エネルギー消費量（左図：総量、右図：各要素の影響量）

注）図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

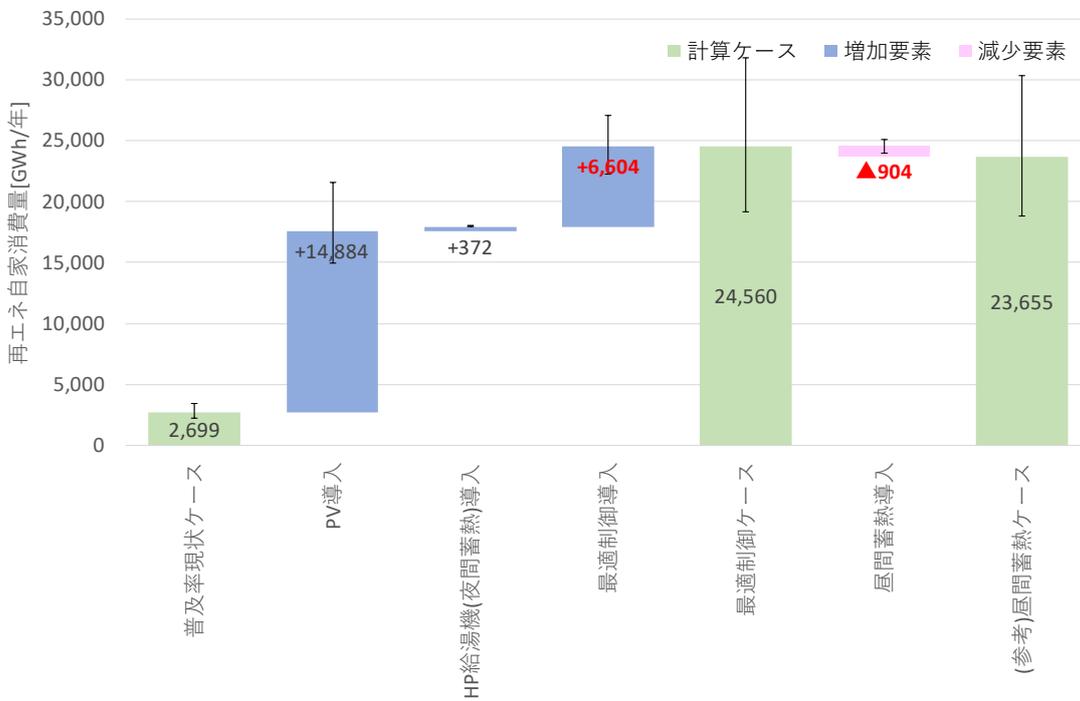


図 6-12 PV 自家消費量（左図：総量、右図：各要素の影響量）

注）図中の I は、上端が最大、下端が最小を表す。

6.4.3 政府の削減目標との比較

前節で試算した影響を政府の削減目標と比較する。比較対象としてCO₂排出量とエネルギー消費量が考えられるが、CO₂排出量の削減目標¹⁹はCO₂排出係数の改善込みの目標となっているため、ここではエネルギー消費量による比較を行う。

表 6-13 に 5,6 地域戸建における HP 給湯機の運転方法の変更によるマクロ影響量を示す。4 人世帯の最適制御運転による原油換算変化量（二次基準）は▲4.1 万 kL である。2030 年における日本の家庭部門の削減目標 1160 万 kL²⁰と比較すると▲0.4%に相当する。また参考として示す同 4 人世帯の昼間蓄熱運転の場合も同様に▲0.4%、3 人以上世帯に最適制御運転を導入する場合は▲1.0%、昼間蓄熱運転を導入する場合は▲1.1%となった。

政府の削減目標では HP 給湯機の夜間蓄熱運転による削減効果を見込んでいるため、今回試算した最適制御運転や昼間蓄熱運転の効果は追加の削減量に相当すると言える。

表 6-13 HP 給湯機の運転方法の変更によるマクロ影響量（5,6 地域戸建）

	世帯人員	普及 世帯数	CO ₂ 変化量① [kt-CO ₂]	CO ₂ 変化量② [kt-CO ₂]	一次エネ変化量 [PJ]
最適制御 運転	4 人	370 万 世帯	▲165 (▲172~▲137)	▲221 (▲230~▲184)	▲4.4 (▲4.5~▲3.6)
【参考】 昼間蓄熱運転	4 人	370 万 世帯	▲186 (▲220~▲148)	▲249 (▲295~▲198)	▲4.9 (▲5.8~▲3.9)
最適制御 運転	【参考】 3 人 以上	1,028 万 世帯	▲459 (▲477~▲381)	▲615 (▲640~▲511)	▲12.1 (▲12.6~▲10.1)
【参考】 昼間蓄熱運転	【参考】 3 人以上	1,028 万 世帯	▲517 (▲613~▲411)	▲693 (▲821~▲551)	▲13.6 (▲16.2~▲10.8)

	世帯人員	普及 世帯数	自家消費変化量 [GWh]	原油換算変化量 ²¹ (二次基準)[万 kL]
最適制御 運転	4 人	370 万 世帯	+2,375 (+1,548~+3,272)	▲4.1 (▲4.3~▲3.4) [▲0.4% (▲0.4%~▲0.3%)]
【参考】 昼間蓄熱運転	4 人	370 万 世帯	+2,050 (+1,427~+2,755)	▲4.7 (▲5.5~▲3.7) [▲0.4% (▲0.5%~▲0.3%)]
最適制御 運転	【参考】 3 人以上	1,028 万 世帯	+6,604 (+4,305~+9,097)	▲11.5 (▲12.0~▲9.6) [▲1.0% (▲1.0%~▲0.8%)]
【参考】 昼間蓄熱運転	【参考】 3 人以上	1,028 万 世帯	+5,700 (+3,968~+7,661)	▲13.0 (▲15.4~▲10.3) [▲1.1% (▲1.3%~▲0.9%)]

注 1) CO₂ 変化量①は 0.37kg-CO₂/kWh、CO₂ 変化量②は 0.469kg-CO₂/kWh

注 2) 普及世帯数は普及対象外であるその他の給湯設備を除く値

注 3) 変化量算出のベースは夜間蓄熱運転

注 4) 丸括弧内は最大、最小

注 5) 原油換算変化量の角括弧内は家庭部門の削減目標である 1160 万 kL で除した値

¹⁹ 日本の約束草案，地球温暖化対策推進本部，平成 27 年 7 月

²⁰ 長期エネルギー需給見通し関連資料，資源エネルギー庁，平成 27 年 7 月

²¹ エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則（最終更新平成 31 年 4 月 12 日公布）より 0.0258kL/GJ を用いて換算

7. まとめ

本報告書では PV 余剰電力を HP 給湯機にて自家消費する方法の有用性の評価を行った。

評価方法としては戸建住宅の電力・給湯負荷を基に、蓄電池を導入する場合と HP 給湯機を導入する場合のシミュレーションを行い、世帯当たりの影響を把握した後、シミュレーション結果を用いて HP 給湯機が導入される場合のマクロの影響量を把握した。

シミュレーションの結果、HP 給湯機は自家消費が拡大し、給湯システム効率が 10%程度向上することによって一次エネルギー消費量・CO₂ 排出量も削減でき年間コストも安くなる。つまりコストメリットがあり、かつ CO₂ 排出量の削減と自家消費の拡大が両立できる設備であることが確認できた。また昼間蓄熱運転は現在時刻設定を意図的に変更するだけの簡易な取組であるが、最適制御運転と同程度の省エネ効果を得られることが確認できた。昼間蓄熱運転は既存の HP 給湯機においても適用できる対策であり、ストック対策として有効と考えられる。なお、今回の試算の対象外であるが PV+蓄電池+HP 給湯機を導入する場合、PV の発電量を用いて HP 給湯機を昼間稼働し、余剰電力を蓄電池に充電することで、CO₂ 削減効果と災害時対策（蓄電池を加えることにより系統停電時にも夜間の電力使用が可能）の両立が期待できる。

マクロへの影響試算の結果、HP 給湯機の運転方法を夜間蓄熱運転から最適制御運転に変更することで自家消費量が年間 2,375GWh 増加する結果となった。これは 50～60 万世帯（PV 設置容量 4kW）の年間の太陽光発電量に相当する。将来 PV が全国的に大量導入される場合、九州地方で見られた再生可能エネルギー発電の出力抑制が全国でも必要となる可能性があるが、HP 給湯機の運転方法の変更によって夜間から昼間へ電力需要をシフトさせることができ、再生可能エネルギー発電の出力抑制の緩和に繋がると考えられる。

また 2030 年における日本の家庭部門の削減目標 1,160 万 kL に対し、HP 給湯機（最適制御）を導入すると 0.4%の削減の寄与に資する可能性があることが確認できた。これは当時の 1,160 万 kL の想定に含まれておらず追加対策として整理することができ、温室効果ガス排出量削減のための有効な対策の一つとなると思われる。なお、本報告書では HP 給湯機の運用変更によるマクロ的な効果として、系統安定性確保のための再エネ出力抑制（PV+風力）への影響は考慮していないが、1,400 万台の導入効果として、再エネ出力抑制が 2%ポイント低減可能とする報告²²もあり、当該効果による CO₂ 排出量の削減効果も期待できる。

政府の削減目標において HP 給湯機の 2030 年度の普及目標は 1,400 万台（2018 年度末までの累積出荷台数 640 万台²³）と、目標達成のためには更なる普及が必要であるが、最適制御又は昼間蓄熱運転を行うことで、給湯負荷と沸き上げ時刻が近くなり、放熱ロスが小さくなるためタンク容量を小型化できる可能性や、今回の試算は 5,6 地域で行っているが、昼夜間気温差の大きい 1～4 地域では昼間沸き上げ運転による給湯システム効率の向上が 5,6 地域より大きく、コストメリット、CO₂ 削減効果共に期待できることから、HP 給湯機の更なる普及拡大に資することが示唆された。

²² 岩船他, 2030 年電力需給におけるヒートポンプ給湯機のインパクト評価, エネルギー・資源学会第 35 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集 (2019)

²³ (一社) 日本冷凍空調工業会