

令和元年度建築基準整備促進事業
E10.住宅における蓄電・蓄熱された
電力・熱の評価の基盤整備

応募調査名
**「住宅における蓄電・蓄熱された電力・熱の制御及び予測手法の
評価に資する技術調査」**

東京大学大学院工学系研究科 前研究室
株式会社住環境計画研究所

調査の提案概要

■ 調査背景

自家発電設備の普及と余剰電力活用のために求められる蓄電・蓄熱技術

- 固定価格買取制度（FIT制度）の開始に伴う急激な太陽光発電（PV）の普及や、補助金導入によるコージェネレーションシステム（CGS）の普及、また2020年までに新築注文住宅の半数以上をゼロエネルギーハウス（ZEH）化、2030年までに新築住宅の平均をZEH化するという目標に向けた支援制度※1の後押しもあり、宅内設備として自家発電設備を備えた住宅が近年普及しつつある。
- さらなるZEHの普及のためには電力系統への売電・買電の負担低減が重要である。一方で2019年にはFIT制度における太陽光買取価格が系統電力料金と同等に引き下げられ、固定価格買取期間の終了物件も生じたことで、発電量の自家消費が経済的にも有利となることから、自家発電の余剰分を蓄電・蓄熱するような住宅が増えてくると想定される。
- 先のZEH支援事業※2は、2018年度より新たにZEH+支援事業※3を加え、省エネルギーを実現した上で、PVや蓄電池の設置に加え、自家消費分を多くする取り組み（更なる外皮性能の向上、高度なエネルギーマネジメント、電気自動車（EV））を意識した要件を提示している。2020、2030年に向けて住宅内のエネルギーを高度に制御するシステムを含め、蓄電・蓄熱の技術・設備が住宅設備として必須となることも予想される。（キーワード：ZEH、ICT制御、HEMS等）

建築物省エネ法に係る一次エネルギー消費量評価

- 2020、2030年の目標に対し、市場においても蓄電・蓄熱関連の設備や建材等が流通することが予想される。現時点では、住宅内の主な住設機器については住宅のエネルギー消費性能基準の評価対象であるが、余剰電力の蓄電や余剰電力の熱変換（蓄熱）は評価対象外である上に、躯体蓄熱等の評価も不十分であり、これらの評価手法は確立されていない。
- まずは、住宅内の設備として想定し得るシステムの構成要素を分類して最新の技術動向を整理し、評価手法の確立に向けた根拠資料を収集・整備する必要がある。

調査の目的と実施方針

本事業は、蓄電・蓄熱による一次エネルギー消費量への影響を評価する上で必要となる基礎情報を整備することを目的とする。

事業の内容

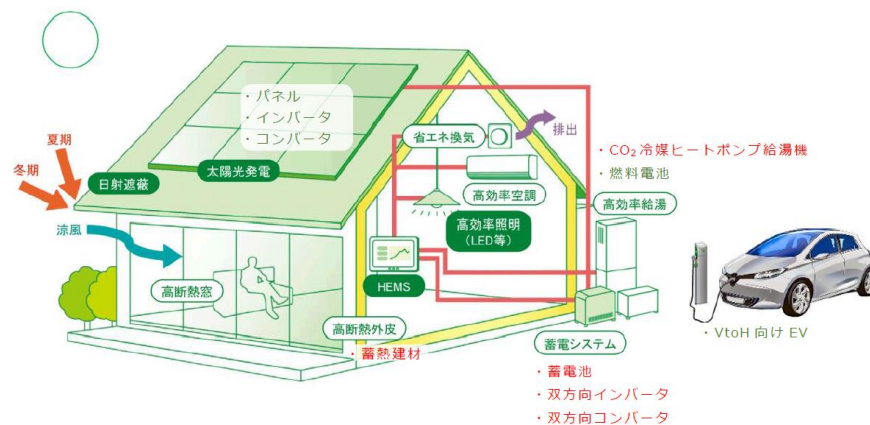
自家発電設備と併せて蓄電・蓄熱設備を有する住宅における余剰電力の蓄電や余剰電力の熱変換（蓄熱）等を建築物省エネ法の一次エネルギー消費量の評価対象とするにあたり、**蓄電・蓄熱が一次エネルギー消費量に与える影響を評価する上で必要となる基礎情報を整備すること**を目指し、以下に示す事項の調査を実施する。

（イ）余剰電力による蓄電・蓄熱の制御技術等の把握

- 蓄電・蓄熱を有する住宅のエネルギーシステムの構成要素、構成パターン及びそれらの普及動向（蓄熱・蓄電）
- 蓄電・蓄熱の制御技術（蓄熱・蓄電）

（ロ）蓄電・蓄熱された電力・熱の需要予測手法等の把握

- 蓄電・蓄熱の実稼働状況の把握（蓄熱・蓄電）
- 蓄電・蓄熱の設備機器及び建材等の特性（蓄熱・蓄電）
- 蓄放熱損失特性等（蓄熱）
- 評価法の開発（蓄熱・蓄電）



参考図 住宅におけるエネルギーシステム構成要素イメージ

※赤字は本事業における主な調査対象

出所）経済産業省資源エネルギー庁「ZEHに関する情報公開について」のZEHイメージを基に住環境計画研究所で編集

調査の実施体制

国立研究開発法人 建築研究所

共同研究

事業主体

東京大学大学院・前研究室

蓄熱

住宅の省エネルギー基準の策定に関し、給湯設備等の評価手法の確立に数多く従事。その他、住宅における蓄熱技術等の研究も多数。本調査では、蓄熱に関する制御及び需要予測の技術の文献・ヒアリング調査、蓄放熱損失把握に係る文献・ヒアリング調査及び実測調査を担当

株式会社 住環境計画研究所

蓄電

民生部門のエネルギー政策等に係る事業に数多く従事。本調査では、蓄電に関する制御及び需要予測の技術、蓄放電特性及び損失に関する文献・ヒアリング調査を担当

調査協力団体

調査実施にあたり、知見やノウハウを数多く有する以下の主体にご協力いただいている。

大和製罐株式会社

蓄電

(一社) 日本潜熱蓄熱建材協会

蓄熱

(一財) 建材試験センター

蓄熱

(一財) 電力中央研究所

蓄熱

(一社) 日本ガス石油機器工業会

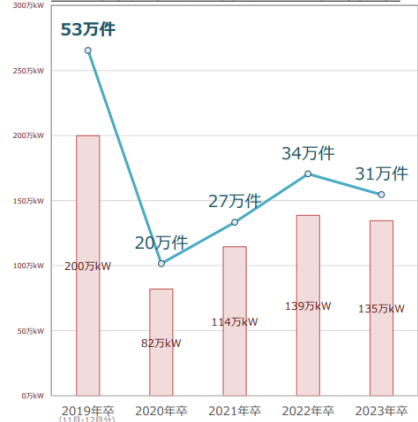
蓄熱

＜背景＞

蓄熱・蓄電に関わる社会情勢

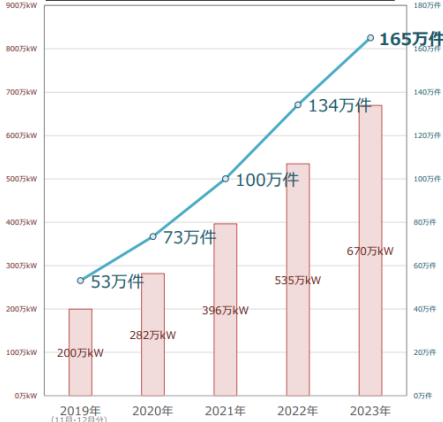
<背景> 蓄熱・蓄電に関わる社会情勢

FITを卒業する住宅用太陽光発電の推移（年別）



出典：国土エネルギー政策研究所「FITを卒業する住宅用太陽光発電の推移（年別）」

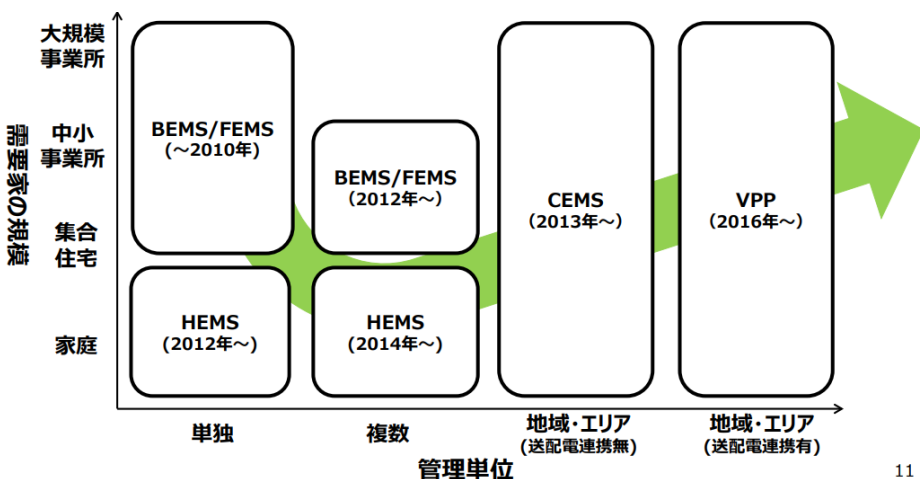
FITを卒業する住宅用太陽光発電の推移（累積）



グラフ出典：国土エネルギー政策研究所「FITを卒業する住宅用太陽光発電の推移（累積）」

参考図 固定買取価格制度を終了する世帯の推移

出所) 経済産業省資源エネルギー庁「第8回 エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会」2018年9月28日配布資料より抜粋



住戸単位の課題

2019年度の卒FIT件数は53万件に上り、2023年には165万件に達する見通しである。

地域・エリアの課題

2018年には九州で再エネ大量導入による出力制限が発生した。

余剰電力を売電するだけではなく、うまく活用してゆくエネルギーマネジメントシステム（EMS）が必要となる。

余剰電力を活用するEMSの管理単位は、単独からヴァーチャルパワープラント（VPP）を用いた地域・エリアに拡張。負荷平準化や再生可能エネルギー起源の電力の過剰供給分の吸収、電力不足時の供給が需要家側に求められる。

地域単位での様々な大規模実証事業が実施中（宮古島／北陸電力／中部電力・デンソー等）。

蓄電システムやCO₂HP給湯機が需要側のエネルギーリソースとして含まれており、蓄熱・蓄電による余剰電力の活用による効果の評価が、住戸単位だけでなく、地域単位でも重要となっている。

参考図 エネルギーマネジメントシステムの全体像

出所) 経済産業省資源エネルギー庁「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7回資料「2018年度取組」

蓄電に関する評価法構築に向けた 技術の調査

概要

調査事項（イ）（ロ）に対し、以下に示す事項を調査する。

調査事項

（イ）余剰電力による蓄電の制御技術等の把握蓄電システムの技術・市場動向

- ・ 蓄電システムの種類
- ・ 蓄電システムの出荷動向
- ・ 蓄電システムの関連制度・規格

（ロ）蓄電された電力の需要予測手法等の把握蓄電に関する評価法構築のための基盤整備

- ・ 蓄電システムの構成と運転モード
- ・ 蓄電池及び周辺設備の特性
- ・ エネルギー消費性能の評価法の構築

調査方法

- ・ 文献調査およびヒアリング調査により、技術および市場の動向を整理する。
- ・ エネルギー消費性能の評価法の構築においては、既存研究をベースとした評価モデル案を提示し、当該モデルを用いたシミュレーションを実施し、パラメータ感度を検討する。

主な調査結果



(イ) 余剰電力による蓄電の制御技術等の把握

蓄電システムの種類

- 蓄電の評価対象とする蓄電システムの構成では、**PV+蓄電池の「ハイブリッド型」と「蓄電池専用型（単機能型）」に大別できる**。PV+蓄電池+EVで共用可能な「トライブリッド型」も発売されている。
- 国内における機器間連携によるホームネットワークの規格は「**ECHONET Lite**」規格で、**HEMSの公知な標準インターフェース**として国内での利用が推奨されている。蓄電池は重点8機器に指定されており、「ZEH+」の補助支援要件ではその認証を取得することが要件となっている。

蓄電システムの出荷動向

- 市場流通製品にほぼ等しいと考えられるZEH支援登録機種種の**80%が「ハイブリッド型」**、また**電池容量については5.0～7.5kWh未満が最も多く**、全体の35%を占めている。（2019年12月時点）。
- 蓄電システムの初期実効容量比は70%以上90%未満が大半を占めている（2019年12月時点）。

関連規格

- 現時点では、**蓄電池の充放電効率等を測定するための国内規格はない**。一方で、アグリゲーションビジネスに活用される指標として「初期実効容量」が日本電機工業会（JEMA）の規格として提案され、蓄電池の能力を示すものとして唯一公的な指標となっている。
- 劣化の評価については、現時点では統一した判断手法はなく、標準化が望まれている。
- 蓄電池用パワーコンディショナ（PCS）の効率測定方法に関する国内規格はなく、各社独自に定格点を定めた効率の測定を行っている。**

表 平成31（令和元）年度ZEH支援登録蓄電システムにおける電池容量分布

メーカー名	登録件数 (構成比)	実効容量型別		電池容量						
		ハイブリッド	専用	～2.5kWh未満	～5kWh未満	～7.5kWh未満	～10kWh未満	～12.5kWh未満	～15kWh未満	15kWh以上
シャープ株式会社	70	31%	70	0	32	10	28	0	0	0
パナソニック株式会社	30	13%	30	0	0	21	0	9	0	0
オムロン株式会社	25	11%	18	7	0	2	15	2	0	6
ニチコン株式会社	22	10%	14	8	0	8	0	6	7	0
長州産業株式会社	11	5%	9	2	0	0	7	2	0	2
株式会社エヌエフ回線設計ブロック	10	4%	0	10	0	0	10	0	0	0
京セラ株式会社	9	4%	3	6	0	2	4	0	1	2
東芝ライテック株式会社	7	3%	5	2	0	0	5	2	0	0
エービーエー株式会社	7	3%	6	1	1	0	4	0	2	0
株式会社村田製作所	5	2%	5	0	1	1	1	1	0	0
サンテックパワージャパン株式会社	4	2%	4	0	0	0	4	0	0	0
フォーアールエナジー株式会社	4	2%	0	4	0	0	0	4	0	0
ハンファQセルズジャパン株式会社	3	1%	3	0	0	0	3	0	0	0
日本電気株式会社 (NEC)	3	1%	1	2	0	1	0	2	0	0
田淵電機株式会社	3	1%	3	0	0	1	0	2	0	0
東芝エネルギーシステムズ株式会社	3	1%	3	0	0	0	2	0	0	1
デルタ電子株式会社	2	1%	2	0	0	0	1	0	1	0
住友電気工業株式会社	2	1%	0	2	0	2	0	0	0	0
長瀬産業株式会社	2	1%	2	0	0	2	0	0	0	0
アンフィニ株式会社	1	0%	1	0	0	1	0	0	0	0
株式会社カネカ	1	0%	1	0	0	0	1	0	0	0
株式会社Loop	1	0%	1	0	0	1	0	0	0	0
(計)	225	100%	181	44	2	53	78	55	25	11

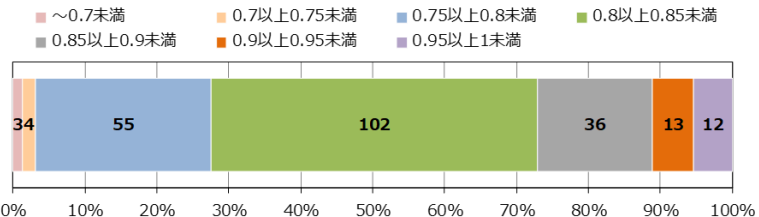


図 平成31（令和元）年度ZEH支援登録蓄電システムにおける初期実効容量比の構成

出所）（一社）環境共創イニシアチブ「平成30年度ZEH支援事業蓄電システム登録済製品一覧」（2019年12月16日確認）

主な調査結果

(ロ) 蓄電された電力の需要予測手法等の把握

蓄電システムの構成と運転モード

- 「ハイブリッド型」、「単機能型」の機器構成について各社のカタログ及びヒアリング調査により下図のように整理し、また、構成要素ごとの屋内外の設置状況について分類した。
- 各社のカタログより、「コスト優先モード」「自給優先モード」「系統充電モード」に分類した。運転モードの設定状況については**現在はコスト優先モードの利用が主流**である。

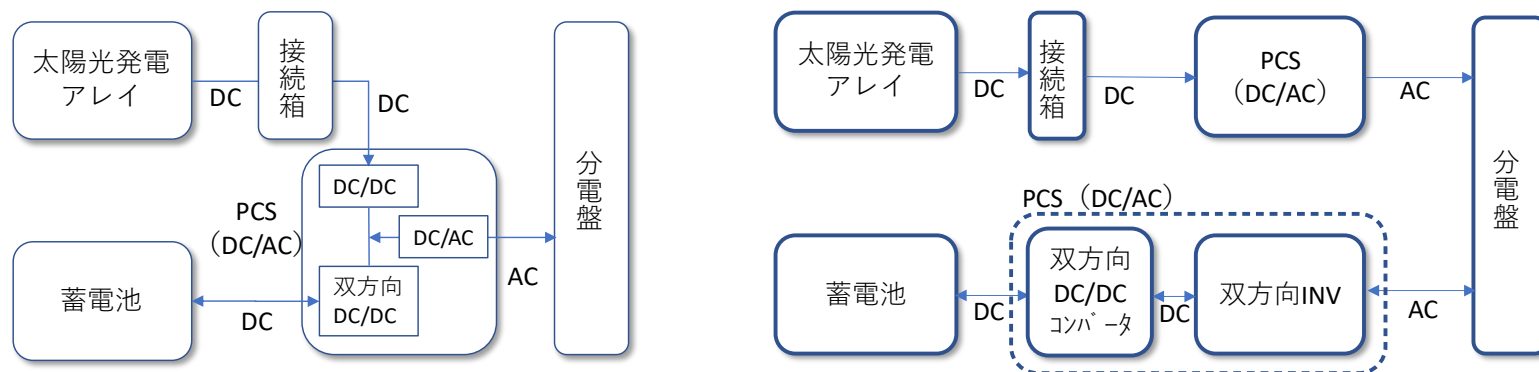


図 蓄電システムの構成の例 (左: ハイブリッド型 / 右: 専用型)

蓄電池及び周辺設備の特性

- 新品のリチウムイオン電池の充放電効率は、1時間で完全放電から満充電に到達する電流での定電流充放電において95%程度であるとの計測結果が示されている例はあるものの、**市場の蓄電池モジュールに関する充放電効率の公表資料は殆どない**。蓄電池の劣化については、充放電量や充電状態、温度などの環境条件に影響し、**劣化状況を正確に評価することは難しい**。大学や企業等が評価方法の開発を進めているが、未だ技術開発段階にあり実用化レベルではない。
- PCSの電力変換効率については、**各社製品の特性に応じて効率曲線の形状は異なるとの情報が得られているが、メーカーによるデータの公表は行われておらず、実効効率の具体的な値は明らかでない**。
- 蓄電システム全体の待機電力の主な消費は、リモコンや蓄電池部分の電界コンデンサ、放熱ファンなどである。ヒアリング調査の結果によると、**待機電力はメーカーの制御技術等にもよるが10～30W程度である**。

エネルギー消費性能の評価法の構築

(ロ) 蓄電された電力の需要予測手法等の把握

エネルギー消費性能の評価法の構築

- 建築研究所では、PVとハイブリッド型蓄電システムを有する実験住宅において、模擬負荷発生装置を用いた無人フィールド実験を通年（2016年4月～2017年3月）で実施し、エネルギー利用特性を把握するとともに、シミュレーションモデルを構築している。
- 本事業ではこれを基にベースモデルを構築した。

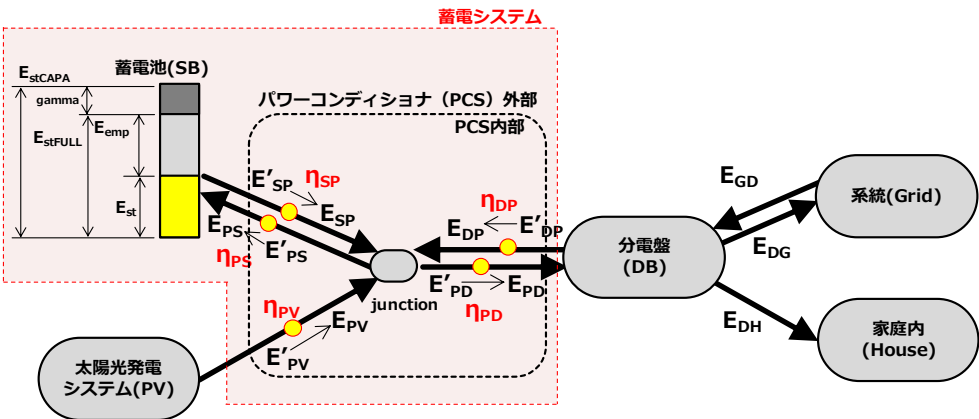


図 ベースモデルの概略図

図 ベースモデルの入力項目

項目	(備考)	
住宅内電力負荷	kWh/h	1時間値×8760レコード
動作モード	—	自給優先／コスト優先
蓄電池	定格容量	Wh
	うち、使用できない割合	—
	初期充電率	—
	最大入力電力	W
	最大出力電力	W
太陽光発電	充電効率	— 0.95
	総容量	kW
	発電量	kWh/h : 1時間値×8760レコード
パワーコンディショナ	最大入力電力	W
	最大出力電力	W
	維持電力	W
	電力変換効率	— : 負荷に対する双曲線近似

<計算フロー>

※ **PCS内部にある蓄電池・PV・分電盤との結節点を中心に電力の流れを追う。**

- 住宅内電力負荷の全量を創蓄側から得る場合に分電盤が要求する電力量を得る（PCS電力変換効率考慮）
- PCS変換効率を考慮したPVからの電力供給量を得る。
- 蓄電池の空き容量・残容量から最大要求電力量・最大供給電力量を得る（蓄電池充放電効率およびPCS電力変換効率考慮）
- 結節点周りでの電力の流れを判定する（PV分で電力負荷を賄えるか、蓄電池に充電するか放電が必要か）
- 各種効率を考慮して、必要となる供給電力量を計算する。

感度解析の入力条件



前述のエネルギー消費量計算モデルを用いて、入力パラメータの簡略化を検討するために、感度解析を実施した。

買電量に対する感度解析が必要な入力項目

PCS維持電力 ※PCS：パワーコンディショナ

パラメータレンジ：0～50 W
ベースライン：20 W

SB定格容量に対する使用できない割合

パラメータレンジ：0～100 % ※SB：蓄電池
ベースライン：20 %

SB充放電効率

パラメータレンジ：0.9, 0.95, 0.98
ベースライン：0.95

PCS電力変換効率

パラメータレンジ：定格効率 or 双曲線近似
ベースライン：双曲線近似

負荷率に対する双曲線近似式で、一機種による実験結果から求めた経験式。

住宅内電力負荷の想定

「高負荷」「標準負荷」「低負荷」の3種類を作成。

PCS運転モード

「コスト優先モード」と「自給優先モード」の2種類を想定。

表 感度解析における入力条件

項目	入力値	ベースライン
住宅内電力負荷	— : 低負荷／標準負荷／高負荷	標準負荷
動作モード	— : 自給優先／コスト優先	自給優先
蓄電池	定格容量	Wh : 0～12000
	うち、使用できない割合	— : 0～1
	初期充電率	— : 0～1
	最大入力電力	W : 3000
	最大出力電力	W : 3000
太陽光発電	充放電効率	— : 0.9／0.95／0.98
	総容量	kW : 0～8
	最大入力電力	W : 3000
	最大出力電力	W : 3000
	維持電力	W : 0～50
パワーコンディショナ	変換効率	— : 定数 (0.975)
		／負荷率に対する双曲線近似
		双曲線近似

表 住宅内電力負荷の想定条件

項目		低負荷	標準負荷	高負荷
床面積	計	m ² : 120.08	120.08	120.08
	主たる居室	m ² : 29.81	29.81	29.81
	その他居室	m ² : 51.34	51.34	51.34
断熱性能	UA	W/m ² : 0.6	0.87	1.54
	η _{AH}	% : 2.9	4.3	3.8
	η _{AC}	% : 1.9	2.8	3.3
地域区分 ※共通	—	6地域		
年間日射区分 ※共通	—	A3 551 大津		
暖房	主たる居室	— : AC (い)	AC (ろ)	AC (は)
	その他居室	— : AC (い)	AC (ろ)	AC (は)
冷房	主たる居室	— : AC (い)	AC (ろ)	AC (は)
	その他居室	— : AC (い)	AC (ろ)	AC (は)
換気	種類	— : 壁付3種	壁付3種	ダクト式第3種
	SFP	— : 0.1	0.3	0.4
照明	主たる居室	— : LED	白熱灯	白熱灯
	その他居室	— : LED	白熱灯	白熱灯
	非居室	— : LED	蛍光灯	白熱灯
太陽光発電 ※共通	面数	— : 1面		
	パワーコンディショナ定格負荷効率	— : 0.90 (JISC8907推奨値)		
	システム容量	kW : 1		
	種類	— : 結晶シリコン系		
	設置方式	— : 屋根置き形		
	方位角	— : 真南から東および西へ15度未満		
	傾斜角	— : 30度		
住宅内電力負荷	年間合計	kWh/年 : 4,120	5,268	6,848
		(標準負荷比)	— : 0.78	1.30
	最大値	kWh/h : 4.52	5.04	5.32
		(標準負荷比)	— : 0.90	1.06

感度解析結果

蓄電

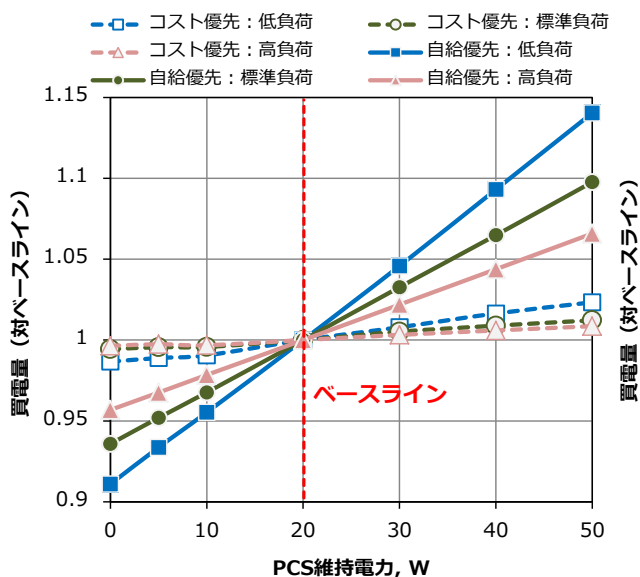


図 PCS維持電力と買電量の関係

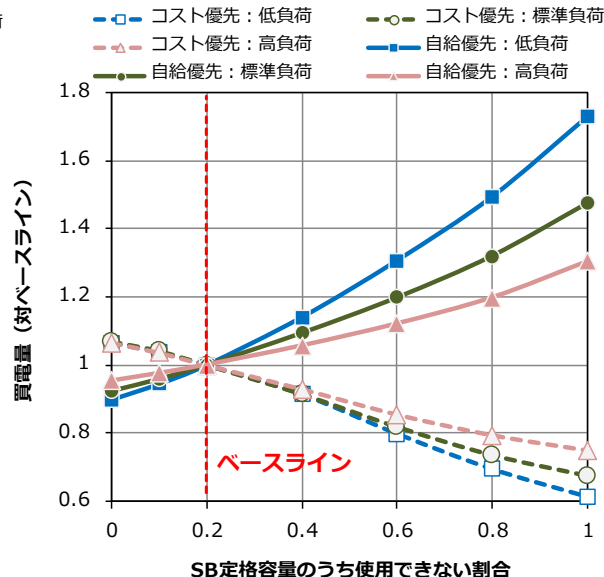


図 SB定格容量のうち使用できない割合と買電量の関係

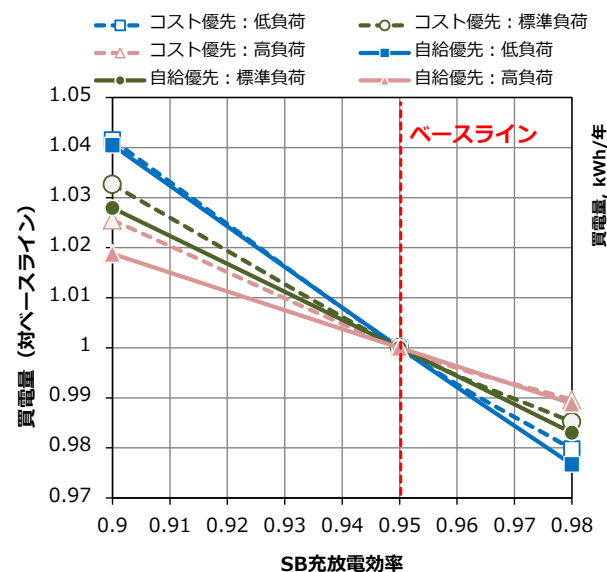


図 SB充放電効率と買電量の関係

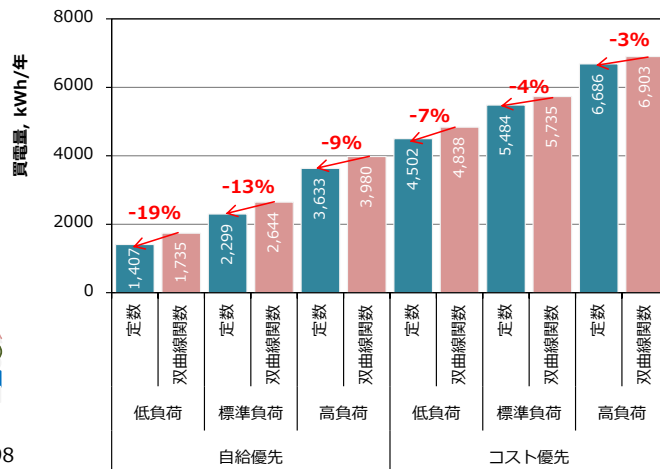


図 PCS電力変換効率の与え方と買電量の関係

PCS維持電力

自給優先時

20W⇒10W : 買電量2~5%減少
20W⇒30W : 買電量2~5%増加

SB使用できない容量

自給優先時

20%⇒10% : 買電量2~5%減少

SB充放電効率

自給優先時

0.95⇒0.90 : 買電量4%減増加

PCS電力変換効率

自給優先時

双曲線近似式⇒定格効率 :
買電量9~19%減少

いずれも買電量に対して無視できない影響がある。

ベースモデルの主な課題

（１）単機能型PCSへの拡張

卒FIT世帯には既にPVが設置されていることから、新たにハイブリッド型PCSを導入するよりも、単機能型PCSの導入が多いものと思われるが、ベースモデルは非対応。

（２）蓄電システムPCSにおける電力変換効率

LCCM住宅実験において使用されたPCSは一機種のみであることから、汎用化ができない。

（３）蓄電池充放電効率の想定

経産省の資料等でも用いられている「充放電効率95%」が示されている学術文献が無い。また、95%で一定とすることの妥当性もない。

（４）蓄電池モジュールの実効容量の想定

劣化や過放電防止の観点から、電池モジュール側の仕様値である定格容量のうちの一部（高電圧域と低電圧域）が使用できない領域としてシステム側で定められているため、定格容量は実効容量ではない。



文献調査及びヒアリング調査を実施。

2018年度：PCSメーカーを対象にヒアリングを実施。主にPCSの電力変換効率の他、待機動力やシステム構成について調査。

2019年度：蓄電池性能評価試験を実施している大和製罐(株)及び蓄電池メーカーを対象にヒアリングを実施。蓄電池モジュールの実効容量および充放電効率について調査。上記課題（１）についてはベースモデルを参考に構築（本報告では省略）。

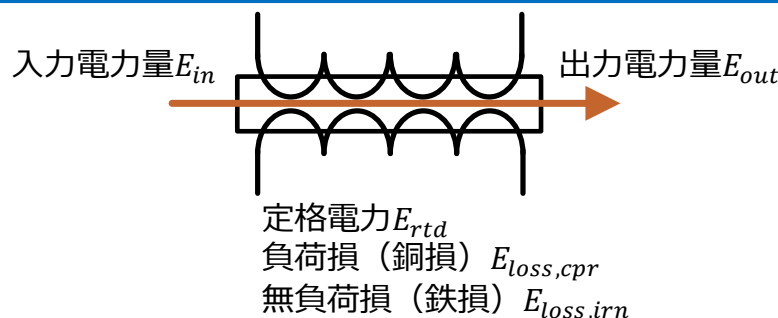
【提案】蓄電システムPCSにおける電力変換効率

蓄電

調査結果

- 蓄電システムのPCSに関する規格はなく、規格策定に向けた動きも無い。日本電機工業会（JEMA）の規格JEM1511「初期実効容量」は、電池モジュールの放電効率および放電時の電力変換効率を一体として扱うシステム変換効率が考慮されているのみで、インバータやコンバータの電力変換効率や、充電時の各種効率等については情報が無い。
- 通常、電力変換効率は標準温度（25℃）での安定した状態で定格効率を計測するが、実際は充電状態等に応じて効率は変化する。
- 部分負荷効率は、どの負荷帯をピークとするかは設計思想により異なるため、一機種のみを対象とした実験結果から導出される性能曲線を汎用的に用いることはできない。

電力変換装置（インバータ・コンバータ）における損失を負荷損（銅損）と鉄損（無負荷損）にわけて計上し、**経験式ではなく変圧器の理論式で電力変換効率を表現する。**



$$\eta = 1 - \frac{E_{loss}}{E_{in}}$$

$$= 1 - \frac{E_{loss,irn} + \left(\frac{E_{in}}{E_{rtd}}\right)^2 E_{loss,cpr}}{E_{in}}$$

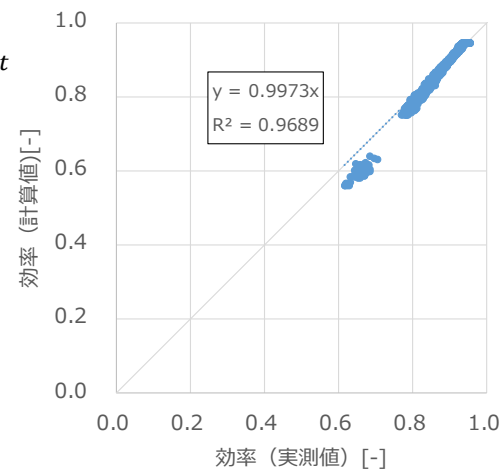


図 電力変換効率の計算値と計測値の比較

※（出典）

荻野登司ら「LCCM 住宅における家庭用蓄電池・太陽光発電設備一体型システムの特性把握研究」
日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），p.1025-1026，2019年9月

【提案】蓄電池モジュールの充放電効率

調査結果

- 充放電損失は、内部抵抗に起因する過電圧の発生により生じる。これは電池の種類によって異なるが、無視できない。
- 一般的に言われている「効率95%」は表面温度25℃、放電レート1Cの場合である。実際は温度と充電状態、劣化状態によって変わる。
- 蓄電池モジュールの電圧は各社異なっている。種類も様々であり、一般的なことは言えない。
- 充放電効率に関する規格は存在しない（PCS電力変換効率、システム効率等、どれひとつとっても不明瞭）

右記理論式を元に充放電効率を得るために、SOC及び温度に対するOCV特性とR特性を得るための試験方法を提案。

- 試験法A**：GITT法を元にした試験法（厳密性は高いが時間がかかる）
- 試験法B**：A法を簡略化した試験法（厳密性は低下するが時間が大幅短縮できる）

$$E = FCC \int_{SOC_i}^{SOC_f} V(SOC) dSOC$$

$$= FCC \int_{SOC_i}^{SOC_f} \{OCV(SOC) + I(SOC)R(SOC)\} dSOC$$

I : 電流値

R : 内部抵抗

SOC : 充電率 (Ah/Ah)

FCC : 満充電量 (Ah)

OCV : 開放端電圧 (Open Circuit Voltage)

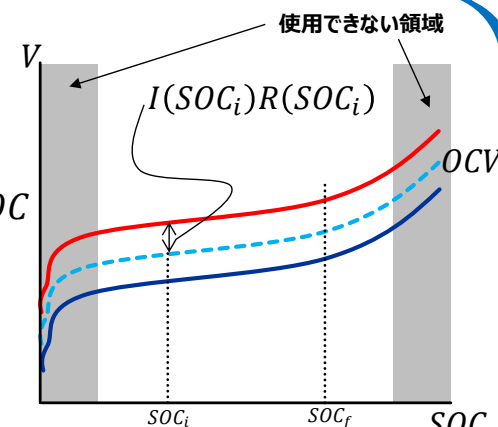


図 充放電効率の概念図

【提案】蓄電池モジュールの実効容量

調査結果

- JEM1511初期実効容量は、電池モジュールではなく、使用時のシステム損失を控除したシステム視点の実効容量であり、長期間の使用をメーカーが保証できる電池容量である。
- システム効率を控除する前の容量は、初期実効容量を効率で割り戻せば得られる。この場合の効率値（放電効率）は公表されている場合もある。
- JEM1511初期実効容量で規定されている試験方法では、環境試験室等で試験環境温度を設定し、充電完了となるまで標準入力値で充電した後、1時間放置し、放電完了となるまで標準出力値で放電した時の電流量を得ることとなっている。これが実効容量に該当する。

下記2案が考えられる。

- **案1)** JEM1511初期実効容量を効率値で除した後に、停電時確保容量の最低容量を加味した値を「実効容量」として取り扱う。
- **案2)** 蓄電池モジュールの充放電効率に係る試験法A及びBを実施する。
（その実施過程で、温度毎の実効容量が計測されることになる。）

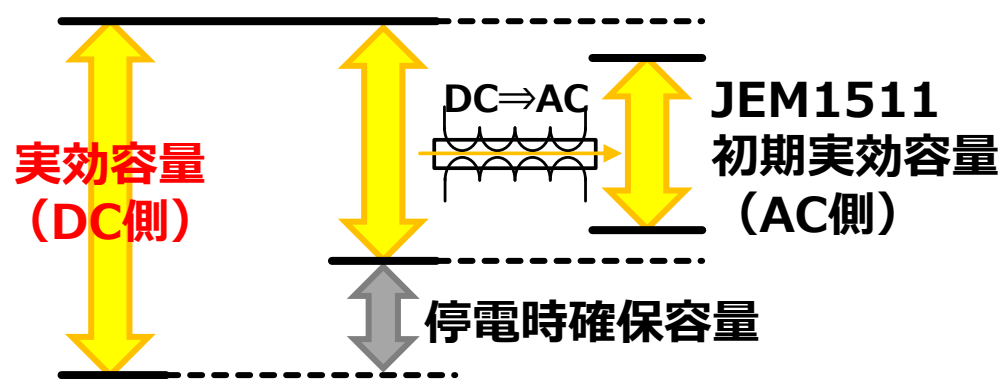


図 JEM1511初期実効容量の概念図

その他

調査結果

システム維持電力

- PCSの待機電力は電力需要が発生した際に即座に放電できるよう、スタンバイ状態である必要がある。各社で異なるが、10～30Wの範囲である。

電池の性能劣化

- 劣化については、他の効率等よりも影響が大きい可能性がある。近い将来に性能が大幅に低下する可能性があるものを評価しないことは、社会的な影響もあると考えられる。



システム維持電力

- モデルの精緻化においては維持電力を加味することが望ましい。基本的に一定値となるため、計測は容易に実施できるものと考えられる。

電池の性能劣化

- 実性能を把握する上では劣化の評価は重要と考えられる。一方で、現行の省エネ基準では、住宅を建てる時の住宅性能の基準として一次エネルギー評価を使っているため、性能劣化を考慮していない。そのため**電池の性能劣化を評価対象とするためには、まず省エネ基準における劣化の取り扱い方を整理する必要があると考えられる。性能劣化の評価ができない場合も、「初期状態であること」「劣化を見込んでいないこと」等を注記する必要がある。**

蓄電に係る検討結果（2年分の主な成果）と課題

太陽光発電・蓄電併用システムを有する住宅におけるエネルギー消費量評価法の構築に向けて、文献調査およびヒアリング調査により技術動向を整理した。

（イ）余剰電力による蓄電の制御技術等の把握

- 電池システムの種類、蓄電システムの出荷動向、関連規格について、文献・カタログ調査及びヒアリング調査を実施し、整理した。（p.9）

（ロ）蓄電された電力の需要予測手法等の把握

- 蓄電システムの構成と運転モード、蓄電池及び周辺設備の特性について、文献・カタログ調査及びヒアリング調査を実施し、整理した。（p.10）
- エネルギー消費性能の評価法の構築においては、建築研究所で実施された実験結果を基にしたベースモデルを示し、計算仕様書を作成した。併せて、その精緻化に向けた検討及び提案を行った。主な結果は以下の通り。
 - ✓ ベースモデルを用いたパラメータスタディを実施し、入力項目の感度を検討した。（p.12～13）
 - ✓ PCS電力変換効率については、変圧器の理論を用いて、損失を負荷に応じた損失と無負荷時も生じる損失の2要素に分解した物理式として提示することを提案した。（p.15）
 - ✓ 蓄電池モジュールの充放電効率については、時々刻々の充電状態SOCと環境温度に対応する充放電効率を理論式により算出するための試験法を2案提案した。（p.16）
 - ✓ 蓄電池モジュールの定格容量はJEM1511初期実効容量から割り戻す方法と、充放電効率に係る試験の実施過程での把握の2案を提案した。（p.17）
 - ✓ ベースモデルを単機能型PCSへ拡張した計算法について、計算仕様書を作成した。（本報告では省略）

課題

性能値は第三者的に公的に評価されたものが望ましく、与条件として固定値とするか、各製品の性能を精緻に把握するものとして入力値とするかは要検討である。現時点で規格等が定まっていない状態であるため、関係団体等を含めて協議する必要がある。また蓄電池の性能劣化の取り扱いについての議論も必要となる。

蓄熱に関する評価法構築に向けた 技術の調査

住宅分野における蓄熱利用

蓄熱利用に関する社会的背景

- 2019年以降のPV搭載住戸における固定価格買取期間終了（いわゆるアフターFIT）に伴いPV余剰電力の買い取り価格が低下する中、自家消費率の向上が課題
- 給湯・暖冷房機器の機器単体の効率向上がペースダウンする中、制御による省エネが重要になりつつある

本調査の対象と内容

- 住宅のエネルギー消費量の多くを占める「給湯」と「暖冷房」を対象とする
- 給湯については、貯湯式のCO2HP給湯器（商品名：エコキュート EQ）、およびハイブリッド給湯機を対象とし、昼間沸上制御におけるPV自家消費率等を算出した
- 暖冷房については、近年製品事例が増え評価方法も構築されつつある「蓄熱建材」による躯体蓄熱を検討対象とし、「アクティブ蓄熱」の検証実験および「パッシブ蓄熱」の効果算出を行った

CO2HP給湯機による PV発電の自家消費率向上

- 370L/460Lの大型貯湯槽、ヒートポンプ消費電力1kW程度で安定した電力需要になりうる
- アフターFITを念頭に、従来の深夜電力利用から昼間沸上を行う機種が登場
- 建築物省エネ法で検討中の算定法を昼間沸上に拡張し、PV自家消費率等を算出

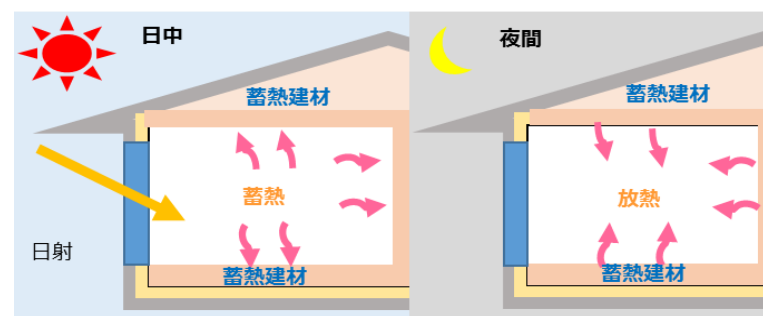
ハイブリッド給湯機による PV発電の自家消費率向上

- ガス補助熱源があるため、貯湯タンク全量を昼間沸上に利用することが可能
- 省エネ法の日消費電力量は現行のまま、昼間沸上制御での電力時間帯割付を変更し算出

躯体蓄熱による 負荷低減・PV自家消費率向上

アクティブ蓄熱：人工環境試験室にて蓄熱パネルの挙動を詳細に把握

パッシブ蓄熱：開口部からの日射熱を蓄熱した場合の暖房負荷削減効果についてモデル化・算出



冬期 日射熱によるパッシブ蓄熱による暖房負荷低減

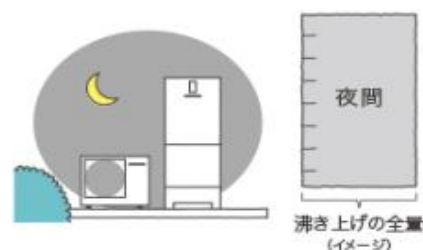
CO2HP昼間沸上 製品例と業界動向

余剰電力による蓄熱の制御技術等の把握

CO2HPの製品メーカーの昼間沸上制御の状況を以下のように整理した

- 現状の昼間沸上制御は、住民が毎日手動で昼間沸増ボタンを押す「手動制御」と、天気予測など連携し自動的に昼間沸上・深夜沸上を判断する「自動制御」に分かれる
- 制御主体は、CO2HP単体（主に手動制御）とHEMS連携（主に自動）に分かれる
- ECHONET-Liteの機器オブジェクト詳細規定（Release K）においても、電気温水器クラスでは昼間沸上制御のための様々なプロパティが定義されている。
- HEMS連携によりPV発電状況や出力制御等に応じた昼間沸上運転が進むことが期待される。
- 一方でFIT期間中は現状でも深夜沸上がランニングコスト的に有利であり、昼間沸上制御を有する機器でも従来の深夜沸上モードが依然として主に用いられていると推測される。
- 業界として昼間沸上を統一的に定義する動きはまだ見られない。

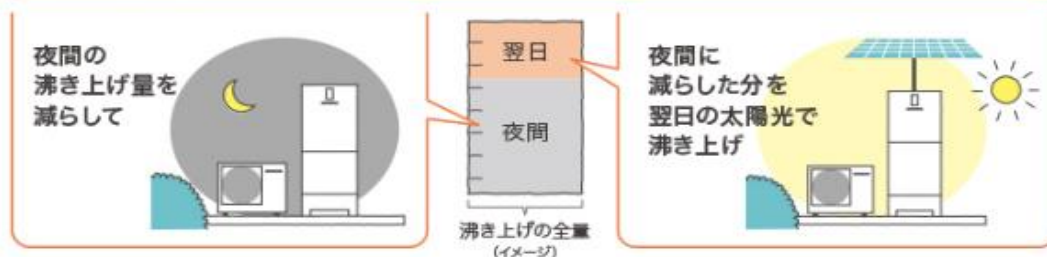
通常 主に夜間電力で沸き上げ



〈沸き上げイメージ(時間軸)〉



ソーラーチャージ機能 沸き上げを夜間と昼間にかしこく分散! (翌日の余剰電力がある場合)



〈沸き上げイメージ(時間軸)〉



CO2HP昼間優先沸上の例 (Panasonic株式会社)

CO2HP 推定モデルの昼間沸上への拡張

建築物省エネ法で検討中のCO2HP算定モデルを、昼間沸上制御に拡張

- 通常のCO2HP消費エネルギー算定モデルで通常用いるのは、17のパラメーター
- 昼間沸上制御への拡張において、「昼間沸上熱量率」のパラメーターを追加
- 現状の算定モデルは、給湯需要に対して日々の貯湯レベルがダイナミックに変わることは想定していない。
- 昼間沸上を行った場合も、「ヒートポンプ沸上温度」および「等価貯湯温度」は、通常の沸上運転と同じと仮定している。

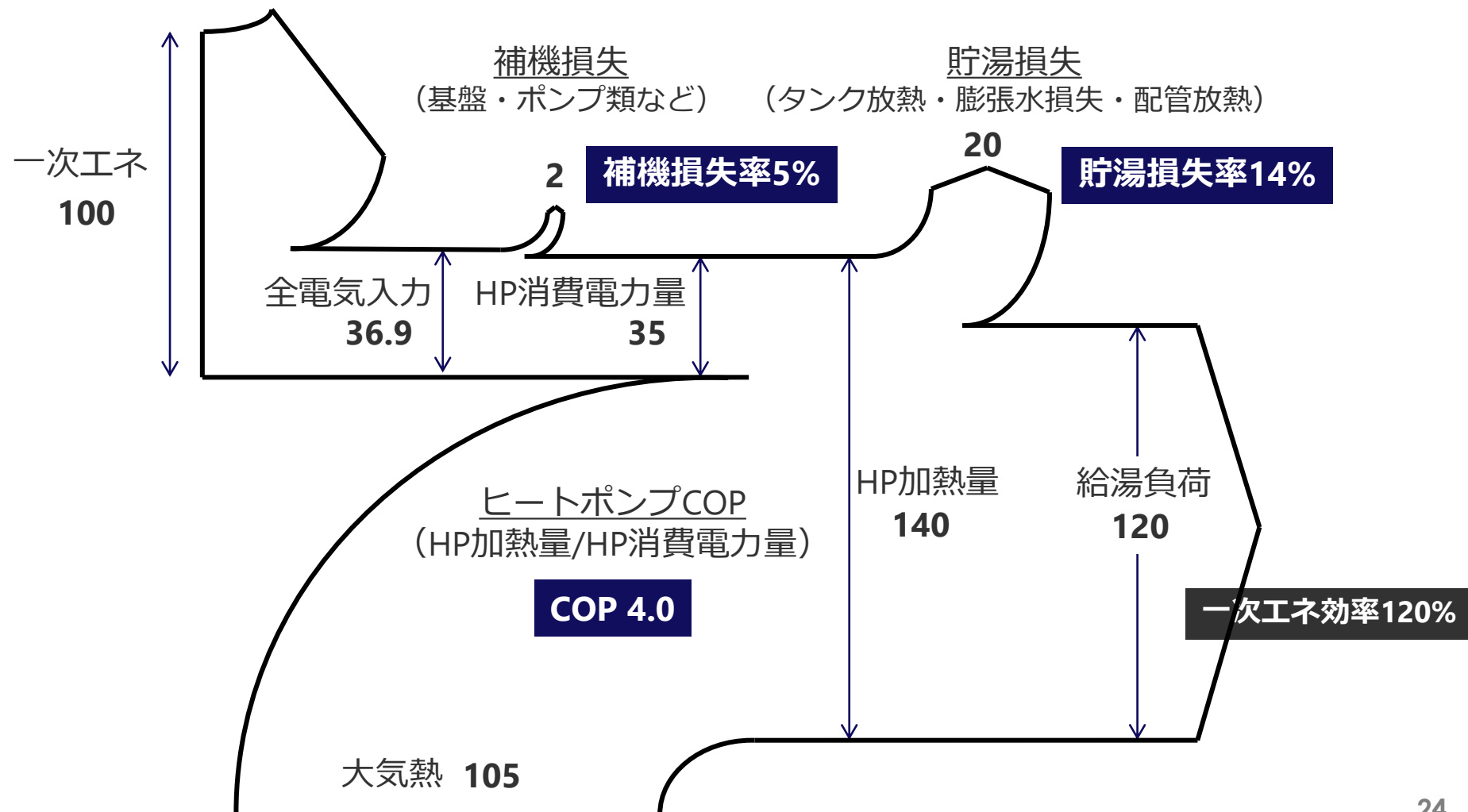
No.	項目	単位	規定のための試験
1	タンク容量	L	JIS C 9220 貯湯性能試験
2,3	M1沸上温度 冬期1st・冬期2nd	°C	M1モード試験 冬期1st・冬期2nd
4,5,6	加熱能力 中間期標準・夏期標準・冬期標準	kW	JIS C 9220 加熱性能試験
7,8,9	消費電力 中間期標準・夏期標準・冬期標準	kW	JIS C 9220 加熱性能試験
10	着霜期高温ヒートポンプ運転時エネルギー消費効率	-	JIS C 9220 加熱性能試験
11	着霜期高温エネルギー消費効率	-	JIS C 9220 加熱性能試験
12	ヒートポンプ運転時補機消費電力	W	JIS C 9220 加熱性能試験
13	ヒートポンプ停止時補機消費電力	W	JIS C 9220 モード性能試験
14	ヒートポンプ消費電力を求める回帰式の係数 A_p	-	JIS C 9220 加熱性能試験
15	ヒートポンプ消費電力を求める回帰式の係数 B_p	-	JIS C 9220 加熱性能試験
16	給湯保温モード貯湯損失熱量	MJ	JIS C 9220 モード性能試験
17	貯湯タンク総括熱抵抗	K/W	JIS C 9219 電気温水器を参考に規定

CO2HP エネルギー消費量算定モデル

算定モデルでは、CO2HPを「ヒートポンプ」「貯湯タンク」「補機」の3要素に分けてモデル化

- 通常の深夜沸上制御と昼間沸上制御は、効率面では大きな影響がないものと仮定

3つの性能因子 COP・貯湯損失・補機損失に基づき一次エネルギー消費量を算定



CO2HP 昼間沸上の仮定と計算フロー

算定時の仮定

- 沸上温度は、通常沸上運転と同じとする
- 等価貯湯温度（貯湯損失）は、通常沸上運転と同じとする。
- 全日平均のHP入水温度は、通常沸上運転と同じとする。

算定フロー

- ① 等価貯湯温度を設定し、貯湯損失熱量および沸上熱量を算出（通常運転時と同じ）
- ② 昼間沸上熱量比率を設定し、沸上熱量を昼間分と夜間分に分ける
- ③ 全日実働効率比=0.94、夜間実働効率比(=0.98と仮定) 昼間比率に応じ昼間実働効率比を算出
- ④ HP運転時間帯の外気温度に応じて、夜間運転COP、昼間運転COPを算出
- ⑤ 夜間と昼間のHP消費電力量(kWh)、HP運転時間(h)、除霜消費電力量(kWh)を算出
- ⑥ 昼間給湯機消費電力を昼間HP運転時間に応じて10時からの時刻区分に割り付けし、PV発電量との差し引きにより、買電量、PV自家消費量を算出

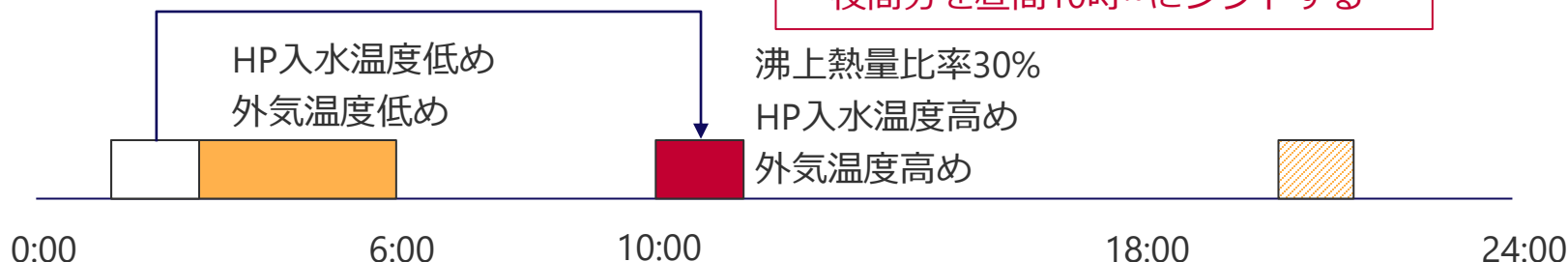
算定モデル		通常沸上モデル	昼間沸上モデル
COP	COP特性図より算定 (外気温度-COPの関係)	夜間平均外気温度に依存 実働効率比は一定値	外気温度と実働効率比について、 昼夜の差を考慮したモデル
貯湯損失	等価貯湯温度より算定	日平均外気温度に依存	日平均外気温度に依存 ※等価貯湯温度の変化は無視
補機損失	HP運転中とHP停止中に分け 補機消費電力を配分	主に補機消費電力に依存	算定モデル自体は変わらない。 (計算過程は昼夜に分けて考える)
除霜電力	COP _{def} /COP 特性図より算定 (外気温度-COP比率の関係)	夜間平均外気温度に依存	昼間運転分は昼間外気温度依存 それ以外は夜間外気温度に依存

CO2HP 昼間沸上挙動の仮定

通常の沸上運転をベースに、夜間沸上の一部を昼間にシフトする沸上挙動を仮定

通常沸上運転（昼間沸上熱量比率 $r_D=0\%$ ）

昼間沸上運転
（昼間沸上熱量比率 $r_D=30\%$ ）



昼間実働効率比の算出方法

$$\frac{Q_{HP}}{COP \times F_{COP}} = \frac{Q_{HP} \times \gamma}{COP \times F_{COP,D}} + \frac{Q_{HP} \times (1 - \gamma)}{COP \times F_{COP,N}}$$

全日実働効率比 $F_{COP}=0.94$

夜間実働効率比 $F_{COP,N}=0.98$ とすると、

昼間実働効率比 $F_{COP,D}$ は

昼間沸上熱量比率 γ の関数として表される

HP消費電力量の算出方法

$$E_{HP} = \frac{Q_{HP} \times \gamma}{COP_D \times F_{COP,D}} + \frac{Q_{HP} \times (1 - \gamma)}{COP_N \times F_{COP,N}}$$

$\uparrow$ 昼間平均外気温度に依存 (10時~14時)
 $\uparrow$ 夜間平均外気温度に依存 (23時~7時)

CO2HP ヒートポンプ効率と実働効率比 F_{COP}

全日実働効率比=0.94、夜間実働効率比(=0.98と仮定) 昼間比率に応じ昼間実働効率比を算出

$$\text{エネルギー消費量 } E_{E,hs} = \text{HP消費電力量 } E_{HP} + \text{補機消費電力量 } E_{aux} + \text{除霜消費電力量 } E_{def}$$

$$\text{HP消費電力量 } E_{HP} = Q_{HP} / (\text{COP} \times 3.6)$$

E_{HP} : HP消費電力量 [kWh/日]

Q_{HP} : 沸上熱量 [MJ/日]

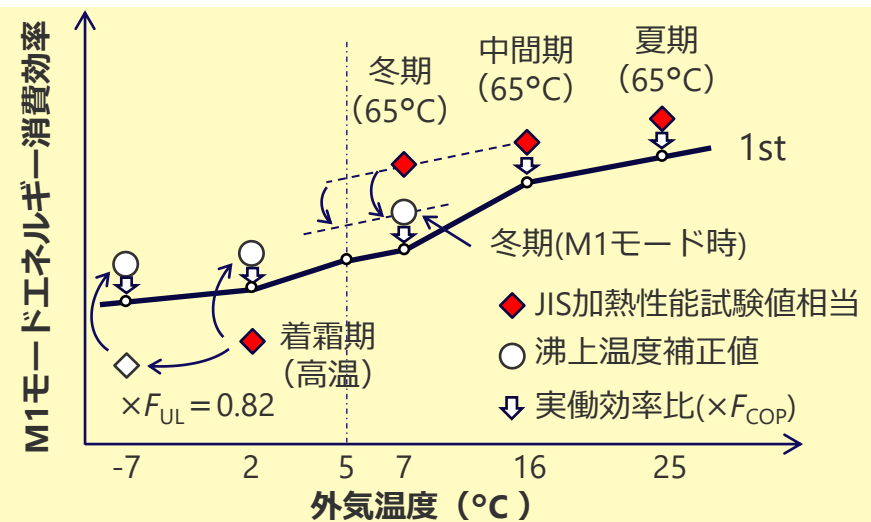
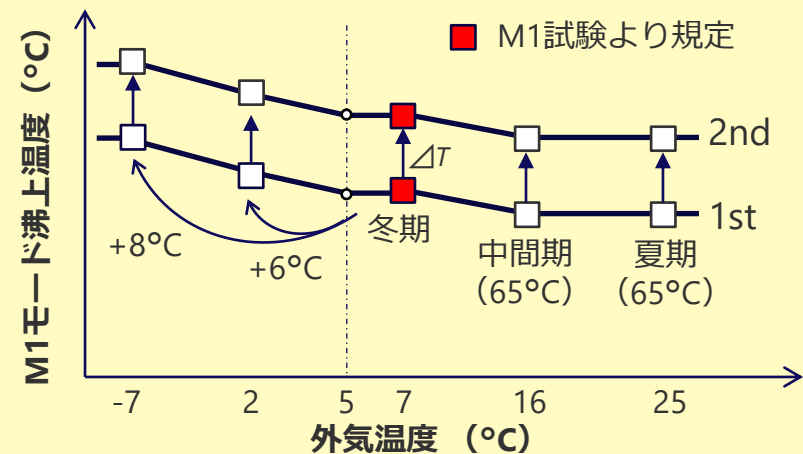
COP : エネルギー消費効率 [-]

COP算定モデル

- ① 外気温度に応じて沸上温度を設定
※右図上参照
- ② 外気温度に応じてCOP特性図を作成
※右図下参照

実働効率比 F_{COP} の定義

M1試験時の実働ヒートポンプCOPと
JIS加熱性能試験時のCOPとの比
HP入水温度上昇などの影響を反映



CO2HP 算定モデル 貯湯損失/等価貯湯温度 T_{eq}

蓄熱

本算定モデルで貯湯損失の算出に用いる等価貯湯温度を、昼間沸上でも通常沸上と等しいと仮定

$$\text{エネルギー消費量 } E_{E,hs} = \text{HP消費電力量 } E_{HP} + \text{補機消費電力量 } E_{aux} + \text{除霜消費電力量 } E_{def}$$

$$\begin{aligned} \text{HP消費電力量 } E_{HP} &= Q_{HP} / (COP \times 3.6) \\ &= (L + Q_{loss}) / (COP \times 3.6) \end{aligned}$$

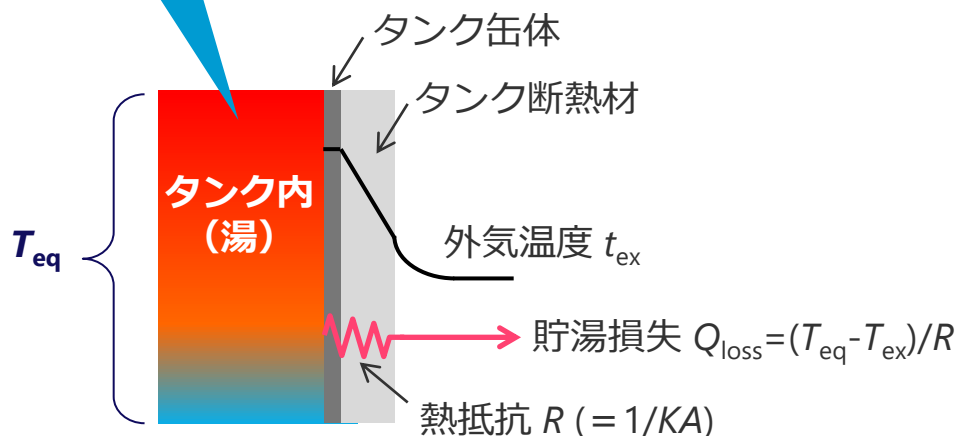
Q_{HP} : 沸上熱量 [MJ/日]

L : 給湯熱負荷 [MJ/日]

Q_{loss} : 貯湯損失熱量 [MJ/日]

等価貯湯温度 T_{eq} を定義

貯湯タンク内の湯温を仮想的に均一とみなしたときに、貯湯損失熱量と等しい熱損失を生じる湯温



貯湯損失算定モデル

貯湯損失熱量 Q_{loss}

$$Q_{loss} = (T_{eq} - t_{ex,ave}) / R \times 86400 \times 10^{-6}$$

T_{eq} : 等価貯湯温度 [°C]

R : タンク総括熱抵抗 [K/W]

$t_{ex,ave}$: 日平均外気温度 [°C]



等価貯湯温度 T_{eq}

冬期給湯保温モード試験の値を基準として規定

$$T_{eq} = T_{eq,JIS} + \alpha$$

$$\text{補正項 } \alpha = -0.4 \times t_{ex,ave} + 8.5$$

$T_{eq,JIS}$: 冬期給湯保温モード等価貯湯温度 [°C]

タンク熱抵抗 R

タンク保温性能試験より算出

CO2HP 算定時の設定条件

蓄熱

昼間沸上制御に拡張した算定モデルを用いて、PV自家消費率や1次エネ消費量を算出

- 住宅は温暖6地域 建築物省エネ法レベルの断熱・設備仕様を想定
- 太陽光発電の容量は4kWと6kW
- CO2HPの通常制御は昼間沸上熱量率0% 昼間制御では30%/40%/50%を想定

算定時の住宅条件

基本情報	地域区分	6地域
	床面積合計/主居室/その他	120.08m ² /29.81m ² /51.34m ²
外皮	外皮平均熱貫流率	0.87W/m ² K
	日射熱取得率暖房期/冷房期	4.3/2.8
暖房設備	効率区分/運転モード	区分（ろ）/居室間歇
冷房設備	効率区分/運転モード	区分（ろ）/居室間歇
照明	設置の有無	居室、非居室に設置
	調光が可能な制御	採用しない
換気設備	種類	壁付け式第三種換気設備
	比消費電力	0.3
太陽光発電	年間日射量地域区分/容量	A3（551大津）4 / 6kW
	種類/設置方式	結晶シリコン系/屋根置き形
	方位角/傾斜角	真南/20度
	パワコン定格負荷効率	0.927

CO2HPの条件

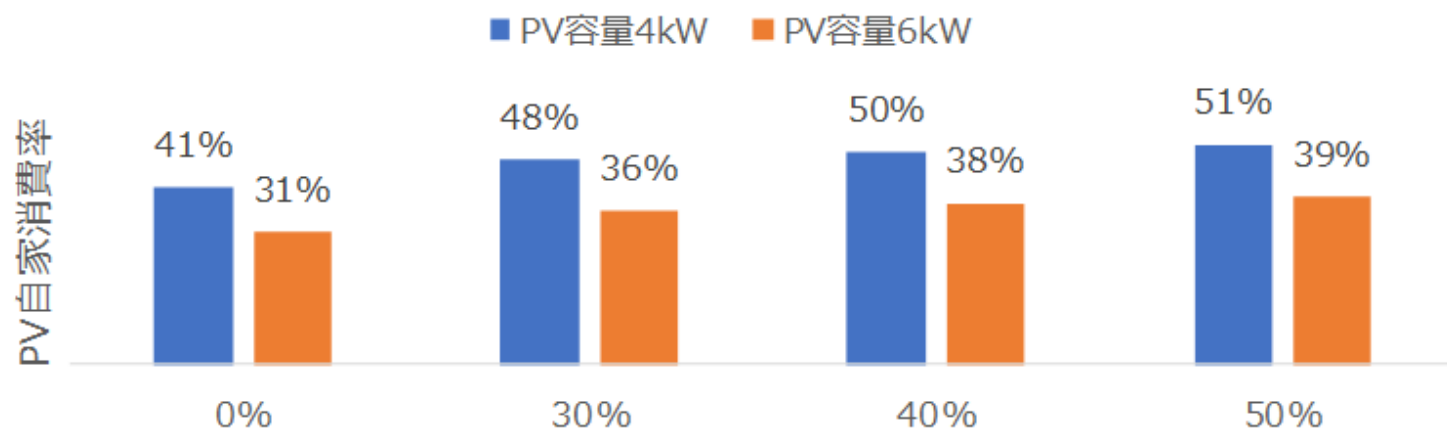
項目	値
タンク容量	370L
冬期M1沸上温度	65℃
加熱標準 中間期・夏期・冬期	4.5/4.5/4.5kW
消費電力標準 中間期・夏期・冬期	0.90/0.85/1.00kW
着霜期高温ヒートポンプCOP	3.3
着霜期高温エネルギー消費効率	2.8
ヒートポンプ運転時補機消費電力	15W
ヒートポンプ停止時補機消費電力	5W
ヒートポンプ消費電力回帰係数 A_p	0.0101
ヒートポンプ消費電力回帰係数 B_p	0.4236
給湯保温モード貯湯損失熱量	8.0MJ
貯湯タンク総括熱抵抗	0.4K/W

CO2HP PV自家消費率/給湯一次エネルギー算出結果

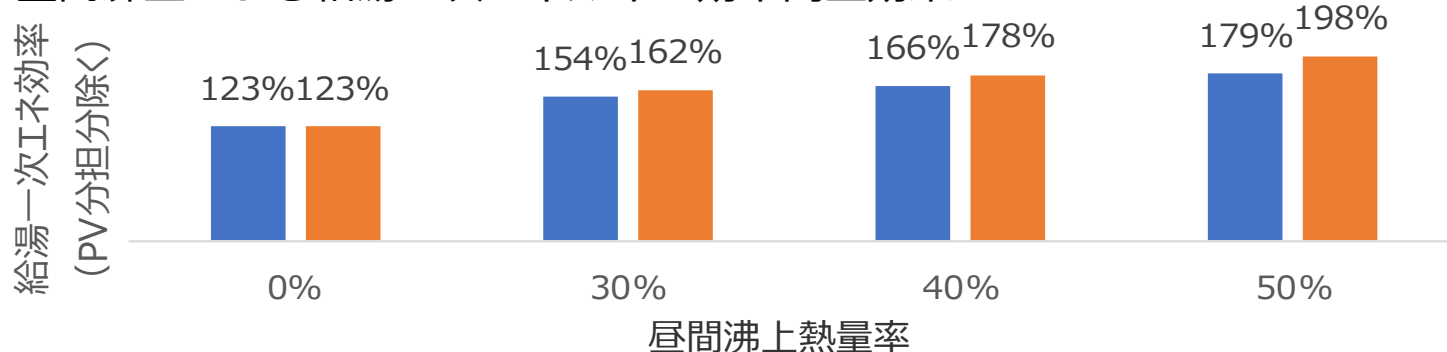
作成された算出方法より、太陽光発電の自家消費率の向上効果を算出した

- ・ 昼間沸上比率を通常の深夜沸上制御から昼間30%・昼間40%・昼間50%沸上に変化させた場合のPV容量4kWの場合は、通常の41%からそれぞれ48%・50%・51%に向上した。
- ・ 建築物省エネ法上のPV自家消費を考慮したCO2HPの一次エネルギー効率、PV容量4kWの場合、通常の123%から、それぞれ154%・166%・179%に向上した。

昼間沸上によるPV自家消費率向上効果



昼間沸上による給湯一次エネルギー効率向上効果



CO2HP 本算出法の運用前提および注意点

本算出法を用いるためには、昼間沸上制御の仕様策定の明確化が不可欠

- CO2HP給湯機は深夜電力利用を想定して開発されており、「夜間蓄熱式機器」として消費電力量の半分以上を深夜時間帯に消費するように制御されている。
- 貯湯タンクの多くを昼間沸上のために用いることが困難であり、無理な昼間沸上はエネルギー効率の低下を招く恐れが極めて大きい。
- 今回整理した計算手法は、いくつかの昼間沸上運転における仮定をおいたものであり、特に貯湯タンクにおける「等価温度」やヒートポンプの「実働効率比」が昼間沸上においても通常の深夜沸上制御と等しいという仮定が重要である。
- 実機による実証試験も検討したが、屋外気象条件の制約などから実現していない。CO2HPの挙動や省エネ性能は制御によって大きく変化することが従来より明らかになっており、非常に慎重な検討が求められる。
- 本報告書で示したCO2HPの昼間沸上の評価はあくまで挙動に多くの仮定をおいた試算である。実運用に際しては、昼間沸上に関する業界全体を通じた共通仕様の策定および仕様が実際に実装されていることの証明方法の明確化、実機を用いた実地での実証など、多くの課題がある。実運用においては極めて慎重な事前検討を要する。

ハイブリッド給湯機 昼間沸上制御の検討

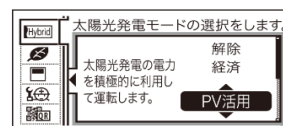
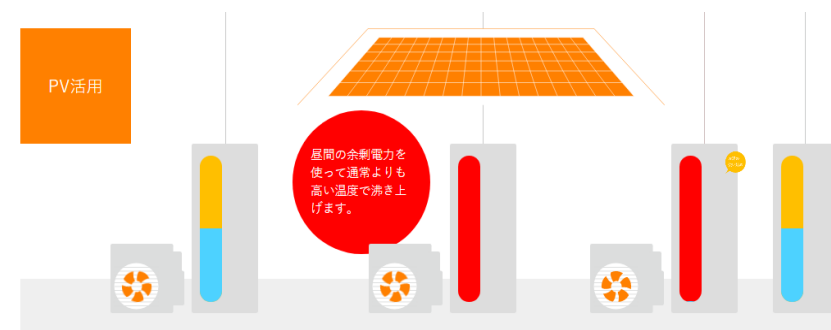
ハイブリッド給湯機（電気ヒートポンプ・ガス瞬間式併用型給湯温水暖房機）

電気ヒートポンプで貯湯し給湯負荷の多くを賄いつつ、不足分をガス瞬間式で補う「ハイブリッド給湯機」の昼間沸上について、以下の検討を行った。

- ①ハイブリッド給湯機に関する昼間沸上制御の現状ヒアリング
- ②代表機種種の昼間沸上**制御**による消費電力量の時刻分布の把握
- ③昼間沸上**制御**における消費エネルギーと太陽光発電自家消費の推計、について検討を行った

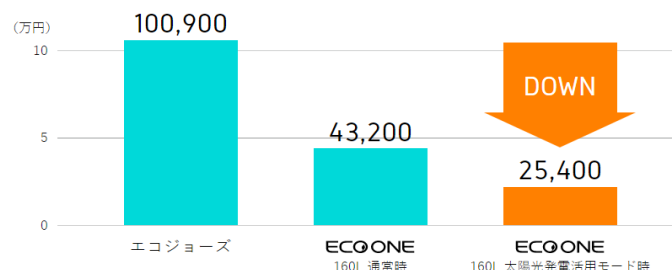
ハイブリッド給湯機の昼間沸上についてのメーカーヒアリング結果

- ハイブリッドを供給している2社ともに、昼間沸上制御モードを提供している。
- 通常のハイブリッドは夜の給湯需要に備えて夕方にヒートポンプの加熱を行う場合が多いが、昼間沸上モードでは太陽光発電が発電する昼間に優先的に沸上を行う。
- ハイブリッド給湯機ははじめから深夜電力利用を想定せず、ヒートポンプの沸上時間帯を柔軟に制御でき、貯湯タンクの全量を昼間沸上に用いることが可能。湯切れのリスクもない。
- 昼間沸上機種についても通常機種と同様に、日本ガス石油機器工業会規格「電気ヒートポンプ・ガス瞬間式併用型給湯機（ハイブリッド給湯機）の年間給湯効率測定方法JGKAS A705-2016」による年間給湯効率測定方法による評価を行うことで性能評価が可能である。



PV活用モード（スマートエコチャージ）

エコワンは、家族の帰宅後に必要になるお湯を、昼間のうちに沸き上げる「PV活用モード」を搭載しています。昼間の太陽光発電の余剰電力を使ってお湯をつくるので、ムダなく効率的で、より一層のランニングコスト削減効果が見込めます。



ハイブリッド給湯機の昼間沸上制御例（出展：リンナイ）

ハイブリッド給湯機 実験および算定モデル

ハイブリッド給湯機の昼間沸上制御における消費電力量分布に関する実証実験

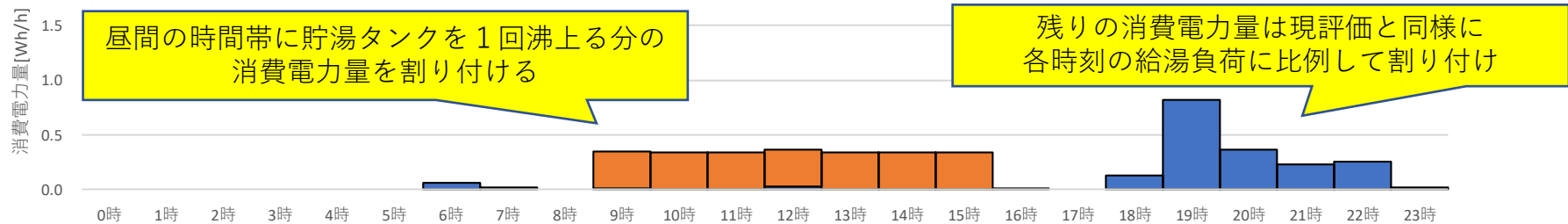
ハイブリッド給湯機の試作機を昼間沸上制御モードに設定し、人工環境試験室で検証

- 冬期・中間期・夏期 給湯モード：JIS S 2075:2011 51モード（給湯量456L/日）
- 昼間(9-15時)時間帯の消費電力量の割合は、冬期65.4%/中間期67.8%/夏期74.7%であった

ハイブリッド給湯機の昼間沸上制御のモデル化

建築物省エネ法の評価をベースに日消費電力量は変更せず、時間帯の割り付けのみ変更する

- 現評価：毎時の給湯負荷分布に比例して消費電力を割り付け
- 本評価：貯湯タンク 1 回沸上分の電力量を昼間時間帯に割り付け、実験挙動に近い結果とする



昼間(9～15時) の 7 時間における時刻tにおいて

$$E_{E,hs,d,t} = E_{E,hs,d} \times \frac{Q_{HP,d} - V_{tank} \times R_{day} \times (\theta_{HP_day} - \theta_{wtr}) \times 0.004186}{Q_{HP,d}} \times \frac{L''_{k,d,t} + L''_{s,d,t} + L''_{w,d,t} + L''_{b2,d,t} + L''_{ba2,d,t}}{L''_{k,d} + L''_{s,d} + L''_{w,d} + L''_{b2,d} + L''_{ba2,d}} + E_{E,hs,d} \times \frac{V_{tank} \times R_{day} \times (\theta_{HP_day} - \theta_{wtr}) \times 0.004186}{7 \times Q_{HP,d}}$$

昼間以外における時刻tにおいて

$$E_{E,hs,d,t} = E_{E,hs,d} \times \frac{Q_{HP,d} - V_{tank} \times R_{day} (\theta_{HP_day} - \theta_{wtr}) \times 0.004186}{Q_{HP,d}} \times \frac{L''_{k,d,t} + L''_{s,d,t} + L''_{w,d,t} + L''_{b2,d,t} + L''_{ba2,d,t}}{L''_{k,d} + L''_{s,d} + L''_{w,d} + L''_{b2,d} + L''_{ba2,d}}$$

ここで

V_{tank} : 貯湯タンク容量(L) 本計算では160L <新規>

R_{day} : 昼間 (9～15時) における貯湯タンクの利用率 本計算では1.0 <新規>

θ_{HP_day} : 昼間 (9～15時) におけるヒートポンプ沸上温度(°C) 本計算では60°C <新規>

θ_{wtr} : 日平均給水温度(°C)

$Q_{HP,d}$: 日付dにおける 1 日当たりの電気ヒートポンプの加熱量(MJ/d)

ハイブリッド給湯機 昼間沸上の算定結果

蓄熱

ハイブリッド昼間沸上制御の算定結果

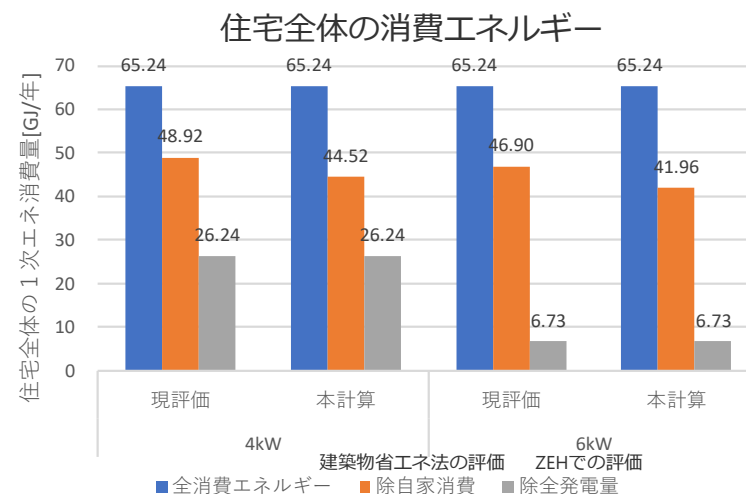
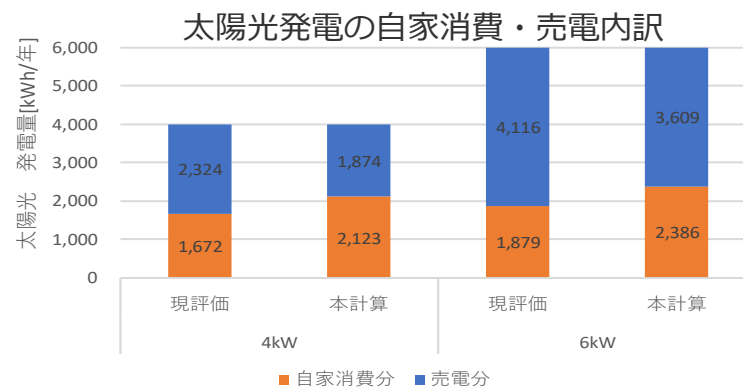
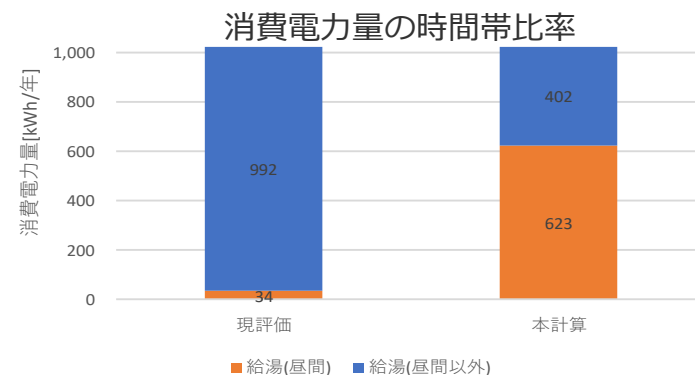
- ・ R社RHP-R222(E)について昼間沸上制御を算定
- ・ 年間消費電力量1,026kWh
- ・ 昼間時間帯 現評価：34kWh→本評価：623kWh
- ・ 昼間率 現評価：3.3%→本評価：60.8%

太陽光発電4kWの場合

- ・ 自家消費 現評価：1,672kWh→本評価：2,386kWh
- ・ 自家消費率 現評価：41.8%→本評価：53.1%
- ・ 建築物省エネ法（除自家消費）における1次エネ評価
- ・ 住戸全体 現評価：48.92GJ→本評価：44.52GJ

算定条件の建物条件

床面積	計	120
	主たる居室	29.81
	その他居室	51.34
断熱性能	UA	0.87
	η AH	4.3
	η AC	2.8
地域区分		6地域
年間日射区分		A3
		551
		大津
暖房	主たる居室	AC (ろ)
	その他居室	AC (ろ)
冷房	主たる居室	AC (ろ)
	その他居室	AC (ろ)
換気	種類	壁付3種
	SFP	0.3
照明	設置なし	
太陽光発電	面数	1面
	パワーコンディショナの定格負荷効率	入力しない（JISC8907推奨値0.90を使用）
	システム容量	4.6kW
	種類	結晶シリコン系
	設置方式	屋根置き形
	方位角	真南から東および西へ15度未満
	傾斜角	30度



建築物省エネ法の評価 ZEHでの評価
 ■全消費エネルギー ■除自家消費 ■除全発電量

躯体蓄熱 蓄熱方式

蓄熱方式の分類

住宅について利用可能な躯体蓄熱について、本調査では以下のように分類する

冬期パッシブ蓄熱：日射熱による暖房負荷低減

- ・ 冬季昼間の窓等からの日射熱を躯体で蓄熱
- ・ 昼間の室温上昇（オーバーヒート）を抑制
- ・ 夜間放熱により夕～夜の暖房負荷低減と室温低下緩和に寄与

夏期パッシブ蓄熱：夜間外気による冷房負荷低減

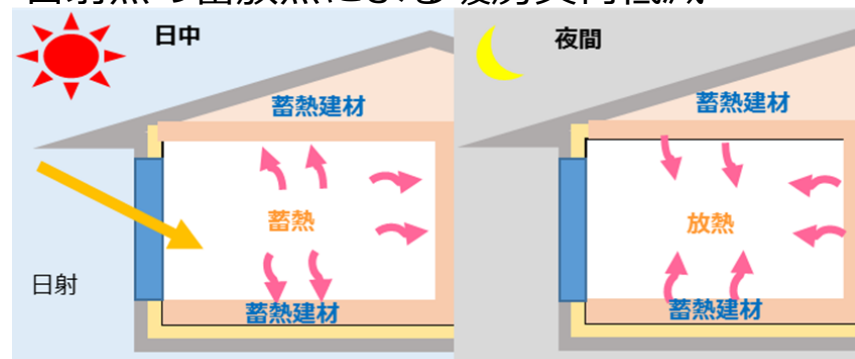
- ・ 夏期に夜間の温度が下がる気候において、躯体蓄熱により夜間に蓄冷し、昼に放冷する事で昼の冷房負荷低減と室温の安定化に寄与

アクティブ蓄熱：熱源の温冷熱による需要シフト

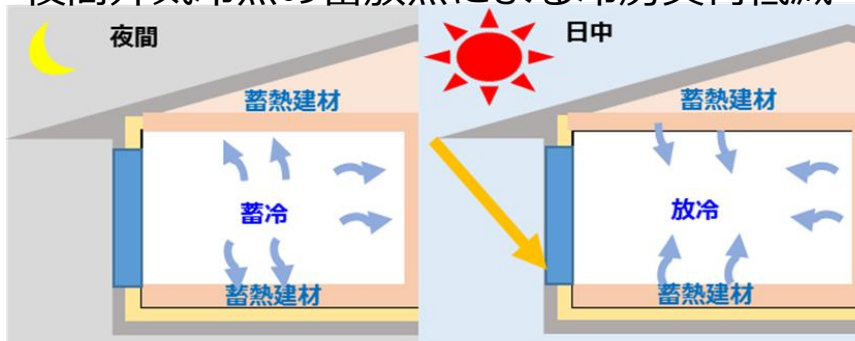
- ・ 電気ヒーターやヒートポンプによる温冷熱を躯体に蓄熱させ電力需要時間帯をシフト
- ・ 以前は深夜電力を利用した蓄熱暖房機が普及
- ・ 現在ではアフターFITでの昼のPV余剰電力の活用が主に

検討協力：一般社団法人 日本潜熱蓄熱建材協会

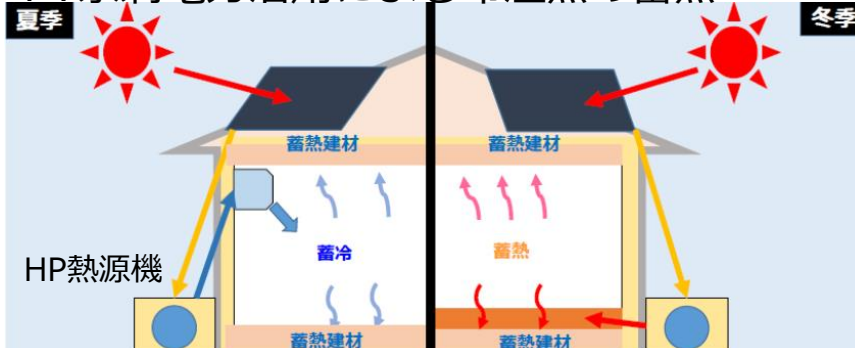
日射熱の蓄放熱による暖房負荷低減



夜間外気冷熱の蓄放熱による冷房負荷低減



PV余剰電力活用による冷温熱の蓄熱

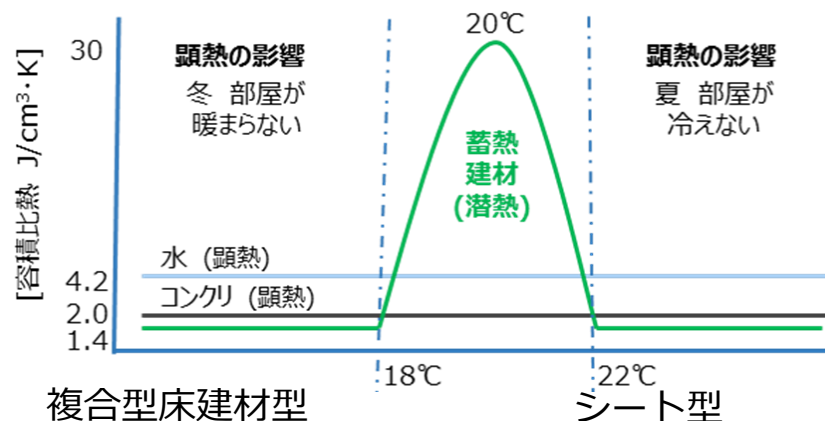


躯体蓄熱 潜熱蓄熱建材(PCM建材) の例

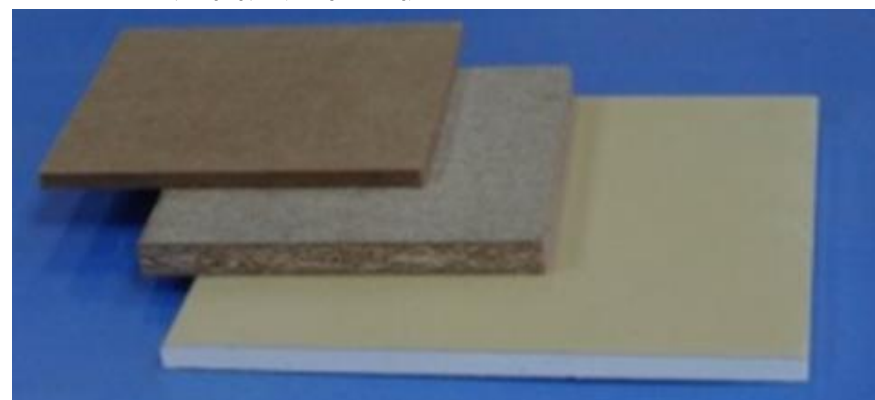
蓄熱建材の開発・普及状況

- 蓄熱は、物体の比熱による「顕熱蓄熱」と、相変化による「潜熱蓄熱」の2つに大別される。
- 蓄熱量が大きく温度安定効果が高い「潜熱蓄熱建材(PCM建材)」が開発され、市販例もあり
- 潜熱蓄熱建材の適用部位としては床が最も多く、床下への敷設やフローリングへの組み込み、床暖房パネルと組み合わせた例が見られる。壁や天井については検討中。
- 想定用途は、日本では冬期パッシブ・アクティブ蓄熱が主。海外では夏期パッシブの事例。
- 建材試験センター規格「JSTM O 6101 潜熱蓄熱建材の蓄熱特性試験方法」H29年度制定。
- 戦略的国際標準化加速事業により、JIS基準化がH30より進行中

潜熱蓄熱建材の比熱特性



潜熱蓄熱建材の例：塗り壁・ボード型



プラ容器型



フィルムパック型

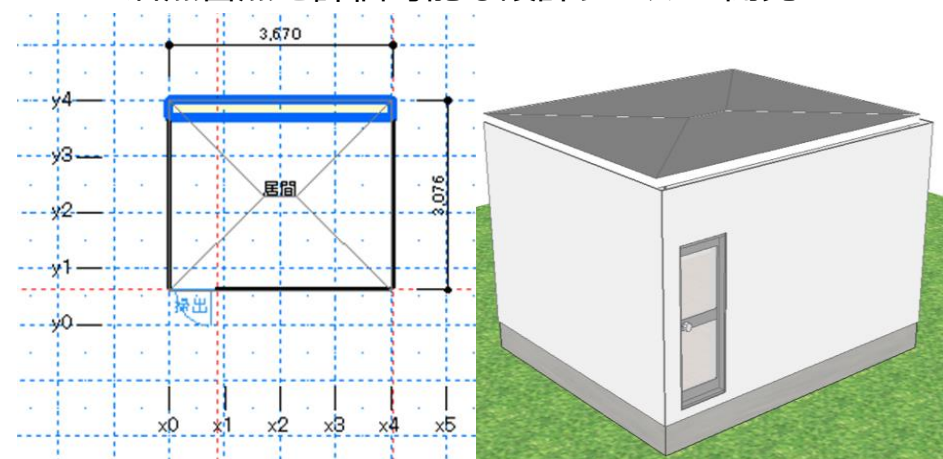


躯体蓄熱 PCM建材の計算手法構築

シミュレーション手法の構築

- ・ 潜熱蓄熱建材を敷設した場合の室温変動および暖冷房負荷を算出可能とするため、潜熱を考慮した非定常熱回路網計算を構築する
- ・ EESLISM（工学院大学名誉教授宇田川教授開発）に潜熱蓄熱モデルを組み込み、PCM建材の挙動を詳細にモデル化し、蓄熱利用時の室温・暖冷房負荷を詳細に計算可能
- ・ 潜熱蓄熱体の特性に合わせ、複数の比熱モデルを選択可能
- ・ 一般設計者が容易に利用できる設計ツール（3D CAD）へ実装
- ・ 建物の断熱性能や開口部日射取得などを詳細に設定することで、冬期の日射取得をPCM蓄熱建材で蓄放熱した場合の室温・暖冷房負荷を算出する

潜熱蓄熱を評価可能な設計ツールの開発



潜熱蓄熱体比熱特性の入力画面

■性能入力

比熱モデル選択

☒ データテーブル(見かけの比熱)
 ☐ データテーブル(エンタルピー)
 ☐ 潜熱変化域潜熱比熱一定
 ☐ 二等辺三角形
☐ 双曲線関数
☐ ガウス関数(対称)
☐ ガウス関数(非対称)
☐ 誤差関数歪度
☐ 有理関数

■パラメータ設定

個相熱伝導率 (Conds)	0.150000	[W/mK]
液相熱伝導率 (CondL)	0.150000	[W/mK]
個相容積比熱 (Cros)		[MJ/m ³ K]
液相容積比熱 (Crol)		[MJ/m ³ K]
相変化下限温度 (Ts)	10.000000	[°C]
相変化上限温度 (Tl)	40.000000	[°C]
相変化ピーク温度 (Tp)		[°C]
潜熱量 (Ql)		[MJ/m ³]
パラメータ (β)		[-]
パラメータ (α)		[-]
パラメータ (ω)		[-]
パラメータ (skew)		[-]
パラメータ (a)		[-]
パラメータ (b)		[-]
パラメータ (c)		[-]
パラメータ (d)		[-]
パラメータ (e)		[-]
パラメータ (f)		[-]
パラメータ (bs)		[-]
パラメータ (b0)		[-]

未入力項目は項目名が赤字で表示されます。

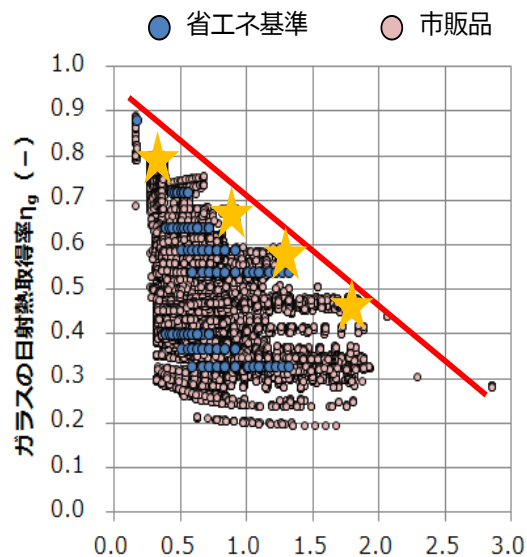
比熱[MJ/m³K]

気温[°C]

躯体蓄熱 冬期パッシブ蓄熱の効果算出

算出対象戸建住宅の条件

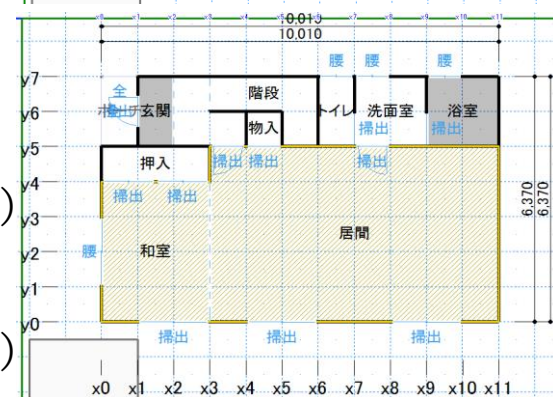
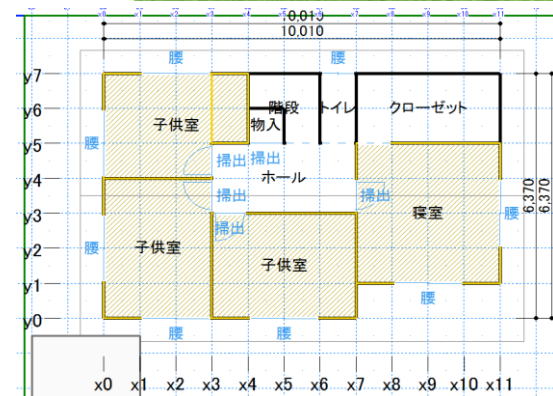
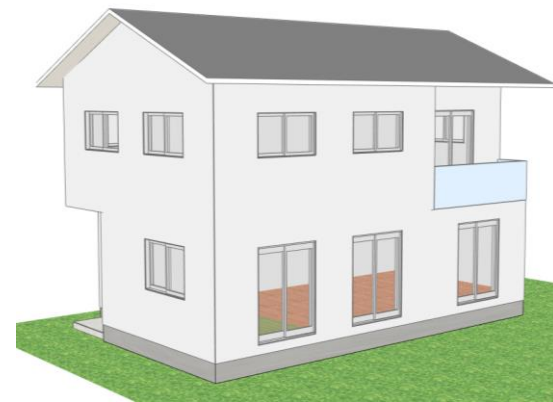
- 自立循環住宅PJ パッシブ標準プラン(床面積約120㎡)
- 断熱性能：6地域におけるHEAT20 G2相当。
- 気象条件：拡張アメダス（東京）
- 潜熱蓄熱建材 潜熱量 100J/g
- ピーク温度22℃（融解開始19℃、融解完了25℃）
- 二等辺三角形モデル 比重 1.0 厚み 3mm
- 潜熱蓄熱建材施工位置
- 天井（石膏ボード裏）/間仕切り・外壁（石膏ボード裏）/床（フローリング裏）
- 開口部：断熱・日射取得性能がいずれも高い4つの組み合わせのガラスから開口部のUw値/ η_w 値を算出



ガラスの熱貫流抵抗 $R_g=1/U_g$ (m²K/W)

※市販品の性能は、WindEyeより抽出した。

- $\eta_g=0.79$ 、 $U_g=2.6$ ($R_g \div 0.38$)
透明複層ガラス（アルゴンガス入り）
- $\eta_g=0.68$ 、 $U_g=1.1$ ($R_g \div 0.91$)
Low-E三層ガラス（アルゴンガス入り）
- $\eta_g=0.58$ 、 $U_g=0.75$ ($R_g \div 1.34$)
Low-E三層ガラス（クリプトンガス入り）
- $\eta_g=0.48$ 、 $U_g=0.55$ ($R_g \div 1.82$)
Low-E三層ガラス（クリプトンガス入り）



躯体蓄熱 冬期パッシブ蓄熱の効果算出

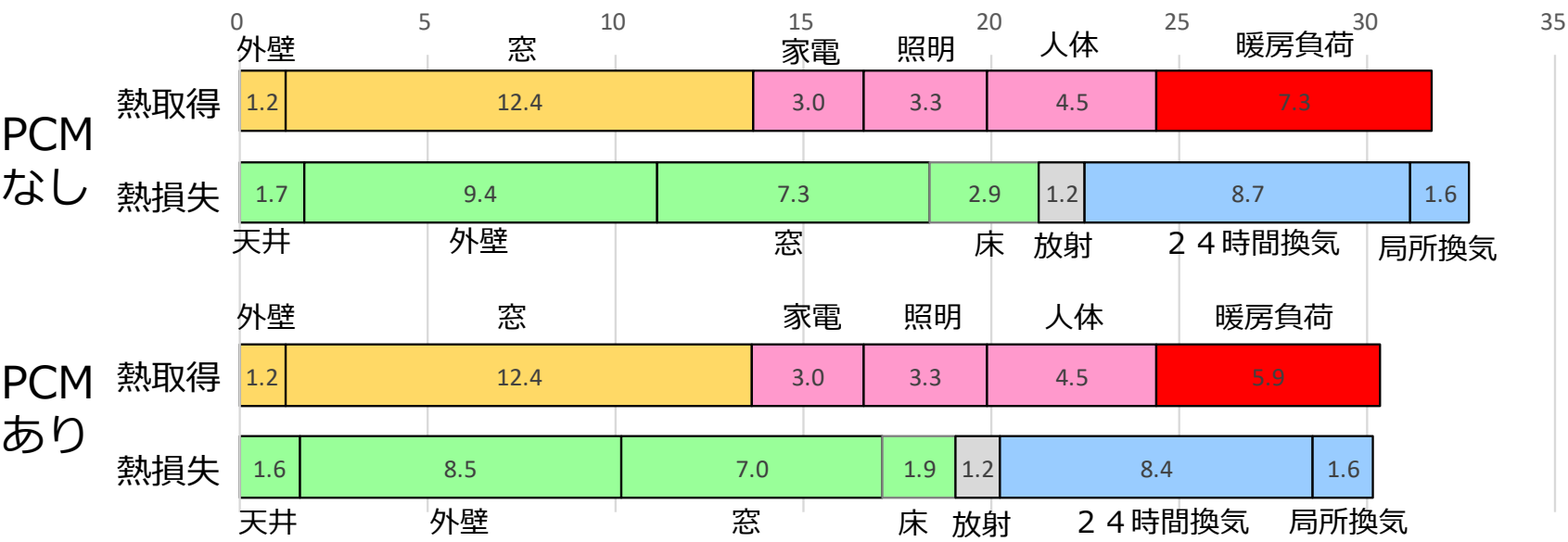
蓄熱

暖房負荷をPCMなし・ありで比較

- 開口部の断熱性能 U_w 値と日射取得性能 η_w 値を変更した場合の熱損失・熱取得および暖房負荷を算出。
- 今回の算出では、 U_w 値1.75/ η_w 値の組み合わせで暖房負荷が最小となり、PCM導入で暖房負荷がさらに18.8%減少した。
- PCM導入に伴い室温も安定し、室温30℃超のオーバーヒート時間も127時間から23時間に減少した。

建物外皮	開口部	暖房負荷		
		PCMなし	PCMあり	削減率
$U_A0.55 \eta_{AC}2.2$	$U_w2.74 \eta_w0.57$	9.7	8.4	13.5%
$U_A0.46 \eta_{AC}2.2$	$U_w1.75 \eta_w0.49$	7.3	5.9	18.8%
$U_A0.44 \eta_{AC}1.9$	$U_w1.53 \eta_w0.42$	7.4	6.3	15.5%
$U_A0.43 \eta_{AC}1.7$	$U_w1.39 \eta_w0.35$	7.9	6.9	11.7%

$U_A=0.46 \eta_{AC}=2.2$ 開口部 $U_w=0.17 \eta_w=0.49$ の熱収支



CO2HP昼間沸上 まとめと注意点

建築物省エネ法で検討中のCO₂HP 1次エネ算定ロジックを拡張し昼間沸上効果を算定

- 昼間沸上比率を通常の深夜沸上制御から昼間30%・昼間40%・昼間50%沸上に変化させた場合のPV容量4kWの場合は、通常の41%からそれぞれ48%・50%・51%に向上。
- 建築物省エネ法上のPV自家消費を考慮したCO₂HPの一次エネルギー効率、PV容量4kWの場合、通常の123%から、それぞれ154%・166%・179%に向上。

本算定手法を用いるためには、昼間沸上制御の仕様策定の明確化が不可欠である

- CO₂HP給湯機は深夜電力利用を想定して開発されており、「夜間蓄熱式機器」として消費電力量の半分以上を深夜時間帯に消費するように制御されている。
- 貯湯タンクの多くを昼間沸上のために用いることが困難であり、無理な昼間沸上はエネルギー効率の低下を招く恐れが極めて大きい。
- 今回整理した計算手法は、いくつかの昼間沸上運転における仮定をおいたものであり、特に貯湯タンクにおける「等価温度」やヒートポンプの「実働効率比」が昼間沸上においても通常の深夜沸上制御と等しいという仮定が重要である。
- 実機による実証試験も検討したが、屋外気象条件の制約などから実現していない。CO₂HPの挙動や省エネ性能は制御によって大きく変化することが従来より明らかになっており、非常に慎重な検討が求められる。
- 本報告書で示したCO₂HPの昼間沸上の評価はあくまで挙動に多くの仮定をおいた試算である。実運用に際しては、昼間沸上に関する業界全体を通じた共通仕様の策定および仕様が実際に実装されていることの証明方法の明確化、実機を用いた実地での実証など、多くの課題がある。実運用においては極めて慎重な事前検討を要する。

ハイブリッド給湯機 まとめ

ハイブリッド給湯機について、現状調査および実証実験、昼間沸上制御における消費電力量の時間帯割り付けによる消費エネルギー量の評価を行った。

- 各社のハイブリッド給湯機の多くでは昼間沸上モードが備えられている。深夜電力利用を初めから想定していないため、貯湯タンクの全量を昼間沸上に用いることが可能である。
- 実機を用いた試験結果においては、ハイブリッド給湯機の昼間沸上モードにおいては、消費電力量の昼間時間帯比率は各季節とも6～7割程度であった。
- 貯湯タンクを昼間時間帯（9～15時）に1回分沸き上げる本評価により、実証実験と同様に、消費電力量の昼間時間帯率を6割程度に評価できることを確認した。
- 太陽光発電容量が4kWの場合、自家消費分は現評価で1,672kWhだったのが本評価では2,386kWhと大幅に増加し、自家消費率も41.8%から53.1%と12.3%向上している。

現状の建築物省エネ法の計算方法を若干変更することで、昼間沸上を考慮した消費エネルギー計算が可能である。ただし今回の試算は、昼間沸上制御においても、ヒートポンプ効率やタンク熱ロスなどのエネルギー効率に関する性能値が通常制御と変わらないと仮定した参考値である。実際の運用においては、昼間沸上制御を行う機種について通常制御機種とは別に、その性能値をJGKAS A705-2016に基づき計測する必要がある。

躯体蓄熱 まとめと今後の課題

躯体蓄熱による暖房負荷低減効果について、蓄熱建材の現状・実証実験・数値シミュレーションにより、以下の検討を行った

- 一定温度帯で吸熱・放熱を行うことで高い室温安定効果と暖冷房負荷削減効果を有する潜熱蓄熱体（PCM）の効果検討を行った。
- PCMを含有する建材については、建材試験センターにおける性能試験方法がすでに策定されJIS化も進捗していることから、信頼ある性能試験方法が構築されてきていることを確認した。
- 東京大学人工環境試験室における冬期アクティブ蓄熱の実証実験より、床暖房パネルにPCM建材を用いた場合の吸放熱効果を確認した。
- PCMの挙動を詳細に再現した熱回路網計算によるシミュレーション手法を構築し、高断熱外皮と高日射取得開口部を有する住宅における冬期パッシブ蓄熱の省エネ効果を試算した。
- 冬期に日射熱を昼間吸熱・夜間に放熱することで、PCM建材室温の変動を抑制しつつ暖房負荷を最大18.8%低減できることを確認した。

今後は構築されたシミュレーション手法などを活用し、最適なPCM建材や開口部の開発が進むとともに、その挙動を簡易化し建築物省エネ法においても運用が容易な評価ロジックの作成が必要である。