

ゼロエネルギーハウス（ZEH）を対象としたライフサイクルコストに関する研究

FANG Yajing 指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

日本のエネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）では、2030年までに一般の新築住宅の平均でゼロエネルギーハウス（ZEH）^{*1}の実現を目指す事が設定され、ZEHの普及が推奨されている。ZEHの普及は、増加傾向にある住宅のエネルギー消費量の削減に大きな効果をもたらすと考えられる。しかし住宅のZEH化には、高気密・高断熱化、空調や給湯等の各種住宅設備機器の高効率化と太陽光発電の設置が必要不可欠であり、通常の住宅に対してインシヤルコストが大幅に増加すると考えられる。

本研究では、全電化戸建住宅を対象とし、空調、給湯、各種電気機器の年間電力消費量を算出する。また地域毎の太陽光による発電電力量を算出し、年間の収支を検討することでZEHに必要な太陽光発電敷設面積の検討を行う。また、ZEHに必要な建設費や太陽光発電、設備更新費等のインシヤルコストと、系統電力からの買電料金及び余剰発電量の売電料金を算出し、ランニングコストを求める。本研究では、ZEH化のインシヤルコストの増加と省エネルギー効果により削減されるランニングコストを検討することでZEHのライフサイクルコストを明らかとすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 解析対象住宅・地域：図1に対象住宅の概観と平面、表1に対象住宅モデルの概要を示す。解析対象モデルは、日本建築学会標準住宅モデル^{文1}とし、全電化住宅とする。対象地域は全国842地域^{※2}とし、表2に



図1 対象住宅の概観と平面

各地域における外皮平均熱貫流率 (U_A 値) を示す。

2.2 太陽光発電量の算出

2.2.1 太陽電池の発電量：表3に太陽電池の仕様を示す。日本建築学会拡張アメダス気象データの日射量、風速、外気温を用い、各地域における屋根面、壁面の全天日射量を算出する。既往の研究^{文2}の太陽光発電量の計算方法に基づき、太陽電池1枚当たりの発電量を算出する。図2に主要11都市における屋根面、壁面での太陽電池1枚当たりの年間発電量を示す。表4に太陽電池の各屋根面、壁面における設置可能枚数を示す。太陽電池は各地域の屋根面、壁面における発電量の多い順に設置する。

2.3 暖冷房負荷の算出

2.3.1 生活スケジュール：生活スケジュールは生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE ver. 2 を用いて求める。家族構成は父・母・子2人の計4人とし、平日・休日における在室パターン、各種機器・照明の電力消費量を算出する。

表3 太陽電池の仕様

セル種類	単結晶シリコン
太陽電池変換効率	16.4[%]
温度係数 ^{※4}	-0.89[W/°C]
最大出力	190[W]
面積	1.156[m ²]
寸法	1.168×0.99[m]
パワコン ^{※5} 変換効率	95.5[%]

表1 対象住宅の概要

構造	木造二階建て
暖冷房設備	ルームエアコン
延べ床面積	125.86[m ²]
階高	2.7[m]
総屋根面積	85.67[m ²]
屋根傾斜角度	30°
開口比率	24.27%
開口面積	30.54[m ²]

表2 各地域における外皮平均熱貫流率 (U_A 値)

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
ZEH仕様 ^{※3}	0.4	0.5	0.6					
従来仕様	0.8	1.0	1.2					

※ U_A 値[W/(m²・K)]

表4 太陽電池の各屋根面、壁面における設置可能枚数

設置方位	枚数
南側屋根面	28
北側屋根面	28
南側壁面	12
西側壁面	20
東側壁面	22
北側壁面	21

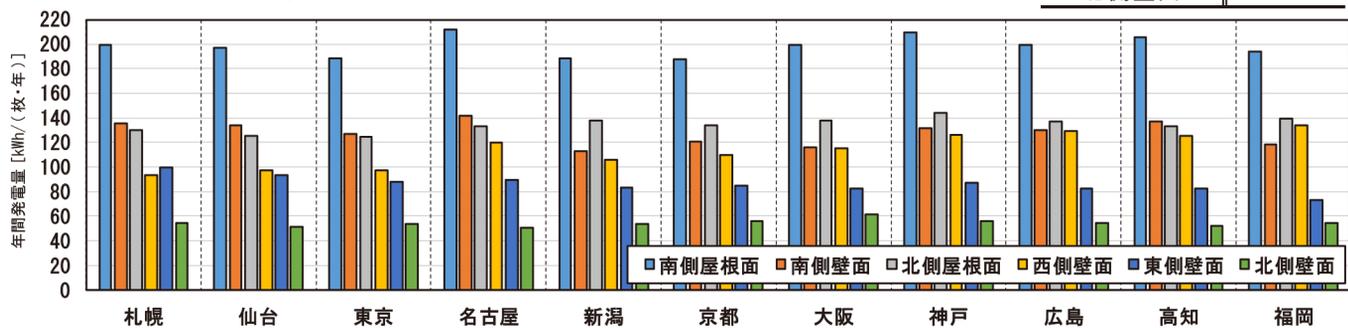


図2 主要11都市における屋根面、壁面での太陽電池1枚当たりの年間発電量

電力消費量から各部屋において求めた各時刻の内部発熱を図3に示す。

2.3.2 暖冷房負荷：暖冷房にはルームエアコンを使用する。年間熱負荷計算には熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS ver. 15 を使用し、設定温度は暖房 20[°C]、冷房 27[°C] とする。暖冷房方式は居室を 24 時間連続して運転する方式（連続運転）と在室時のみ運転する方式（間欠運転）の 2 パターンとし、居室は LDK、主寝室、子供室 1、子供室 2 の計 4 部屋とする。表 5 にルームエアコンの間欠運転時のスケジュールを示す。各地域の暖冷房期間^{*6}における ZEH 仕様・従来仕様の 1 時間毎の各部屋の暖冷房負荷を算出する。

2.4 年間電力消費量の算出

2.4.1 空調用電力消費量：既往の研究^{文3)}で測定したエアコン COP マトリクスを用いて、外気温と暖冷房負荷から 1 時間毎のエアコンの電力消費量を算出する。使用するエアコン（M 社製）は各居室の最大空調負荷に応じて選定し、和室を除く各居室に 1 台ずつ計 4 台設

置する。算出した 1 時間ごとの電力消費量からエアコンの年間電力消費量を算出する。図 4 に主要 11 都市におけるエアコンの年間電力消費量を示す。

2.4.2 給湯用電力消費量：給湯機器は夜間電力によるエコキュート^{*7}とし、年間平均 COP は 2 または 3^{文4)}、給湯温度 40[°C]、日平均給湯量は 446.9[L/(日・戸)]^{文5)}（4 人世帯）とする。表 6 に給水温度の計算式を示す。気象データから各月の平均外気温を求め、月平均外気温から式 (1) より、月平均給水温度^{文6)}を算出する。給水温度と給湯温度の温度差および月積算給湯量から必要な月積算給湯熱量を求め、年積算給湯熱量を算出する。年積算給湯熱量と年間平均 COP および蓄熱槽熱損失率 (0.9) から年間の給湯用電力消費量を算出する。図 5 に主要 11 都市における年積算給湯電力消費量を示す。

2.4.3 各種電気機器の電力消費量：2.3.1 より作成した平日・休日における各種電気機器・照明の電力消費スケジュールを用いて、各種電気機器の年間の時刻別電力消費量を算出する。

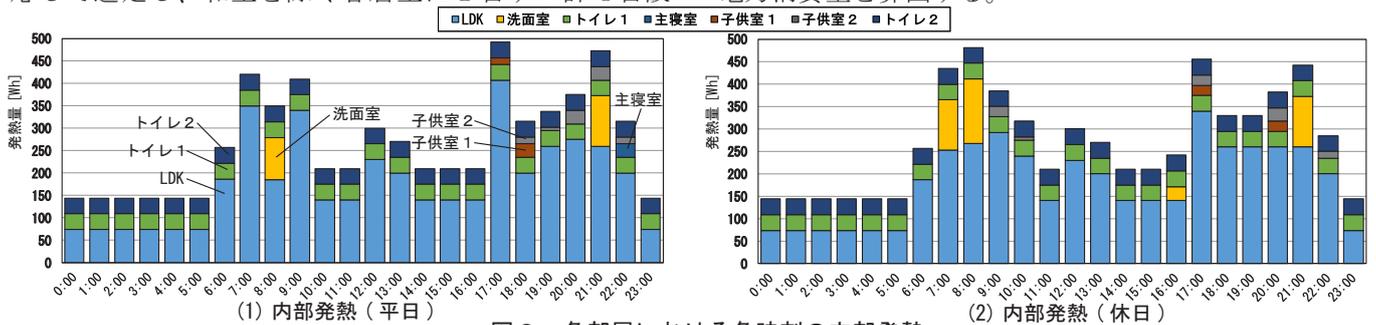


図3 各部屋における各時刻の内部発熱

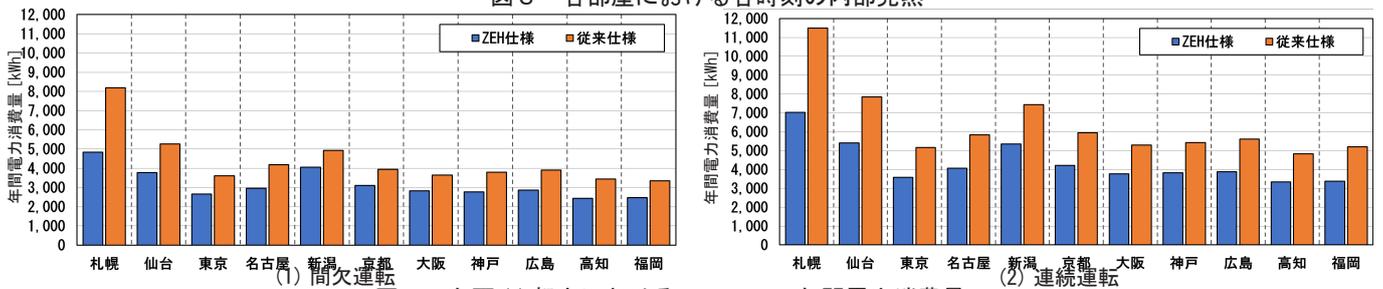


図4 主要 11 都市におけるエアコンの年間電力消費量

表5 ルームエアコンの間欠運転時のスケジュール

室名	時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LDK	暖房	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	休日								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	冷房								●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	休日																								
主寝室	暖房	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	休日																								
	冷房	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	休日	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
子供室 1	暖房	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	休日																								
	冷房	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	休日	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
子供室 2	暖房	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	休日																								
	冷房	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	休日	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

○は暖房20°Cで運転している時間帯、●は冷房27°Cで運転している時間帯を示す。

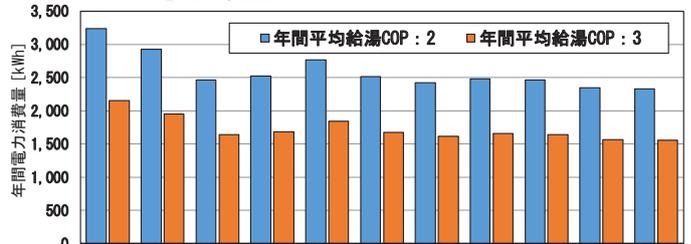


図5 主要 11 都市における年間給湯電力消費量

表6 給水温度の計算式

$$T_{cw_month} = aT_{air_month} + b \quad \dots (1)$$

T_{cw_month} : 月平均給水温度[°C] T_{air_month} : 月平均外気温[°C] a, b : 給水温度回帰係数[-]

給水温度回帰係数

	札幌	仙台	東京	名古屋	新潟	京都	大阪	神戸	広島	高知	福岡
a	0.6639	0.6054	0.8516	0.866		0.8516		0.9223			
b	3.466	4.515	2.473	1.665		2.473		2.097			

2.4.4 換気用電力消費量：換気は24時間換気とし、換気回数0.5[回/h]とする。換気システムの定格消費電力として49[W](カタログ値^{*8})を用い、換気用電力消費量は429.24[kWh/(戸・年)]とする。

3 ライフサイクルコストの算出

3.1 電気料金の算出：日本国内の一般電気事業者9社の電気料金プランを対象に調査を行う。尚、本研究では給湯用設備(エコキュート)は夜間電力を使用するため、時間帯別電灯契約を対象とする。電気料金を計算する際には再生可能エネルギー発電促進賦課金を考慮する。表7に各地域の電気料金プラン及び単価を示す。

太陽光発電は日中発電した電力を自家消費し、不足分は一般電気事業者から買電、超過分は固定価格買取制度^{*9}により逆潮流^{*10}する。各家庭の電力料金は毎月の買電電力量と逆潮流電力量の収支から正味の電力消費量を算出し、時間帯別料金単価から毎月の電気料金を算出する(給湯器は夜間電力のみを使用する)。

3.2 太陽光発電による売電料金の算出：3.1より算出した逆潮流電力は一般電気事業者が買取する事とする。売電単価は28[円/kWh]^{*11}とし、年間の売電料金を算出する。

3.3 ランニングコストの算出：従来仕様は年間の電気料金をランニングコストとする。ZEH仕様は年間の買電料金から太陽光発電による年間の売電料金を差し引いた金額を年間のランニングコストとする。尚、電力消費スケジュール、エアコンの運転方式、年間平均COPは各caseにおいてZEH仕様と従来仕様と同様とする。

表8に解析caseと高断熱住宅の予防疾患による便益(NEB)^{文7}の有無を示す。伊香賀らによれば、高断熱住宅では予防疾患による便益を考慮できると報告されて

表7 各地域の電気料金プラン及び単価

電力会社	北海道電力				東北電力				東京電力						
対象地域	札幌				仙台、新潟				東京						
時間帯別電灯	時間帯別電灯				よりそうナイト10				おトクなナイト10						
	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]			
	7時~23時	90	28.08	8時~22時	80	23.57	8時~22時	80	25.92	7時~23時	90~210	35.66	8時~22時	80~200	34.56
	7時~23時	210	40.10	8時~22時	200	37.16	8時~22時	200	39.92	7時~23時	230	32.40	8時~22時	230	31.42
	23時~7時	-	14.13	22時~8時	-	11.22	22時~8時	-	12.41	23時~7時	-	13.45	23時~7時	-	10.51
電力会社	中部電力				関西電力				中国電力						
対象地域	名古屋				京都、大阪、神戸				広島						
時間帯別電灯	時間帯別電灯				時間帯別電灯				エコノミーナイト						
	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]	時間帯	段階[kWh]	料金[円]			
	7時~23時	90	24.16	7時~23時	90	21.27	8時~23時	90	21.87	7時~23時	90~230	29.32	7時~23時	90~230	27.44
	7時~23時	230	32.40	7時~23時	230	31.42	8時~23時	220	30.07	7時~23時	230	32.40	8時~23時	220	30.07
	23時~7時	-	13.45	23時~7時	-	10.51	23時~8時	-	10.08	23時~7時	-	13.45	23時~7時	-	10.08

いる。本報では表8に示すZEH仕様で、エアコンを連続運転するcaseC、Dにおいて予防疾患による便益(41,000[円/(世帯・年)])を得られるとし、ランニングコストから毎年差し引く。

3.4 イニシャルコストの算出：表9に各イニシャルコストと設備更新費の有無を、表10にZEH仕様における高断熱化に伴うコストを示す。ZEH仕様ではZEHに対する補助金として70[万円/戸]^{*12}をイニシャルコストから差し引く。太陽光発電システムの耐用年数は20年とし、20年に1度、設備更新費をランニングコストに計上する。

本研究では建設費用の基準となる従来仕様の坪単価を60[万円/坪]とする。これはライフサイクルコストの差はイニシャルコストの差額と各住宅のランニングコストによって変化するためである。断熱性能の向上に伴うコスト(断熱材の材料費や施工費等)は建築工事費そのものに不明瞭な点が多いため、本研究では高断熱化コスト(a)1[万円/坪]、(b)2.5[万円/坪]及び(c)5[万円/坪]と仮定し、各仕様における住宅の建設費用(a)、(b)、(c)を算出する。尚、対象住宅の施工面積は38.07[坪]である。

3.5 投資回収年数の算出：イニシャルコストにランニングコストを加算し、各住宅において建設時からのライフサイクルコストを算出する。従来仕様のライフサイクルコストがZEH仕様のライフサイクルコストを上回る年数をZEH仕様の投資回収年数とする。

表8 解析caseと高断熱住宅の予防疾患による便益の有無

	エアコン運転方式	給湯器の仕様	NEBの有無	
			ZEH仕様	従来仕様
caseA	間欠運転	給湯COP: 2	-	-
caseB		給湯COP: 3	-	-
caseC	連続運転	給湯COP: 2	○	-
caseD		給湯COP: 3	○	-

表9 各イニシャルコストと設備更新費の有無

	+	-	イニシャルコスト		設備更新費	
			ZEH仕様	従来仕様	ZEH仕様	従来仕様
太陽電池 [万円] ×(枚数)	4.56[万円]	/	○	-	○	-
パソコン [万円] ×(枚数)	0.475[万円]	/	○	-	○	-
設置工事費 [万円] ×(枚数)	1.102[万円]	/	○	-	○	-
建設費用 [万円/戸]	建設費用 (a)、(b)、(c)	/	○	○	-	-
補助金 [万円/戸]		70[万円/戸]	○	-	-	-

表10 ZEH仕様における高断熱化に伴うコスト

	建物モデル	建設費用 [万円/坪]	建設費用 [万円/戸]	高断熱化コスト 差額[万円]	
				ZEH仕様	従来仕様
高断熱化 コスト(a) 1[万円/坪]	ZEH仕様	61.0	建設費用 (a)	2,322	38.07
	従来仕様	60.0		2,284	
高断熱化 コスト(b) 2.5[万円/坪]	ZEH仕様	62.5	建設費用 (b)	2,379	95.18
	従来仕様	60.0		2,284	
高断熱化 コスト(c) 5[万円/坪]	ZEH仕様	65.0	建設費用 (c)	2,475	190.35
	従来仕様	60.0		2,284	

4 解析結果

4.1 主要 11 都市における年間電力消費量：図 6 に caseA における主要 11 都市の年間電力消費量 (ZEH 仕様) を示す。寒冷地である札幌の年間電力消費量が約 12,000 [kWh] と最も多く、仙台と新潟は 10,000 [kWh] 程度、その他の地域は 8,000 ~ 9,000 [kWh] の範囲に入り地域による差は少ない。

図 7 に東京における各 case の年間電力消費量を示す。断熱性能の向上による年間電力消費量の削減率は caseA では 10%、caseB では 11%、caseC では 14%、caseD では 15% である。

4.2 主要 11 都市における太陽光発電の必要枚数：図 8 に主要 11 都市における太陽電池の必要枚数及び発電容量を示す。必要枚数が最も少ないのは caseB (エアコン間欠運転・給湯 COP 3) であり、必要枚数が最も多いのは caseC (エアコン連続運転・給湯 COP 2) である。caseA と caseB では、太陽電池を屋根面のみを設置することで年間の電力収支がゼロとなる地域が半数以上である。caseC と caseD では屋根面以外の壁面を使う地域が多い。

4.3 東京におけるランニングコストとイニシャルコスト：図 9 に東京における年間ランニングコストを示す。caseC, D では予防疾患による便益を考慮しているため、caseA, B に比較してランニングコストが減少する。

図 10 に東京におけるイニシャルコストを示す。給湯 COP が小さい (COP 2) caseC では発電量と年間電力収

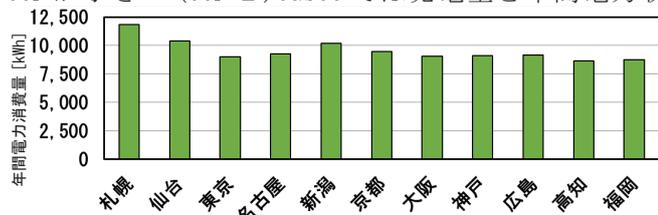


図 6 caseA における主要 11 都市の年間電力消費量 (ZEH 仕様)

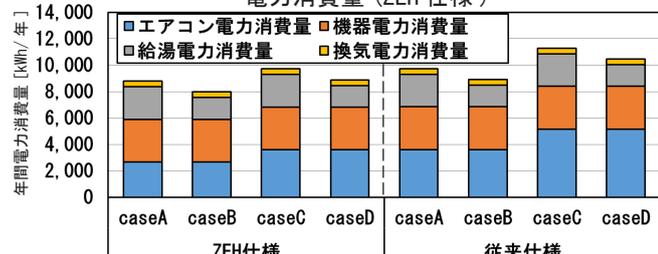


図 7 東京における各 case の年間電力消費量

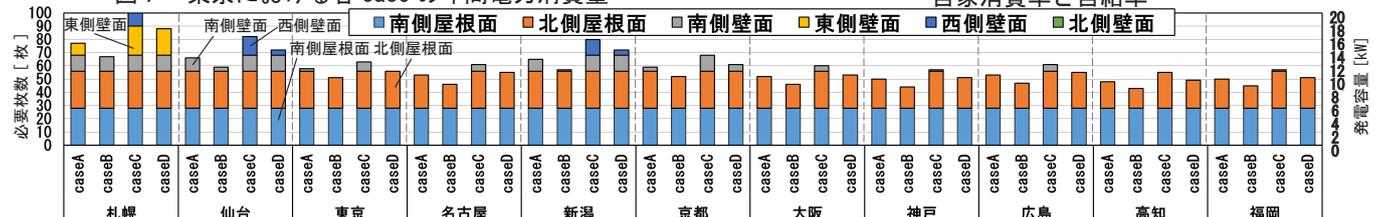


図 8 主要 11 都市における太陽電池の必要枚数及び発電容量

支を満たすために必要な太陽電池の必要枚数が caseD に比較して多く、余剰電力による売電料金が増加し、caseD と比較してランニングコストは少ないがイニシャルコストは多い。

4.4 東京における太陽光発電システムの自家消費率と自給率：図 11 に caseA における東京の太陽光発電システムの自家消費率と自給率を示す。月積算発電量に対する自家消費分を自家消費率、月積算電力消費量に対する月積算太陽光発電量の割合を自給率とする。発電量の最も多い 5 月には電力消費量が少ないため、自給率は高いが自家消費率が低く、逆潮流電力量が最も多くなる。発電量の少ない冬季では、電力消費量が多いため、自家消費率は高いが自給率が低く、逆潮流電力量も少なくなる。

東京の自家消費率は年間を通して概ね 20% ~ 30% となり、季節による差は少ない。一方、自給率の最高は 5 月で約 204%、最低は 12 月で約 49% であり、年間を通して 49% ~ 204% と比較的大きく変動する。

各月の発電量は 516 [kWh/月] ~ 1011 [kWh/月]、逆潮流電力量は 372 [kWh/月] ~ 841 [kWh/月] で月による差は大きい。自家消費率は 120 [kWh/月] ~ 220 [kWh/月] となり、年間で大きな差はない。

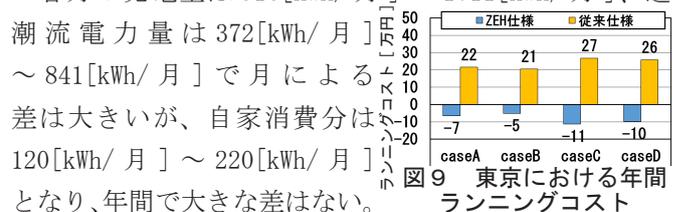


図 9 東京における年間ランニングコスト

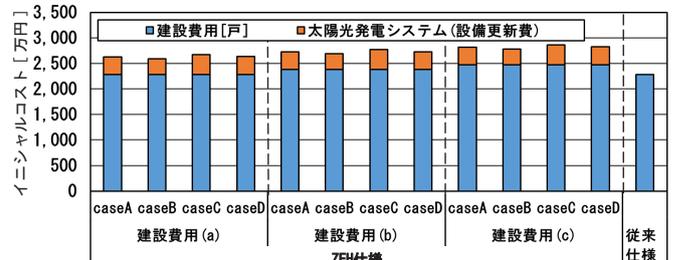


図 10 東京におけるイニシャルコスト

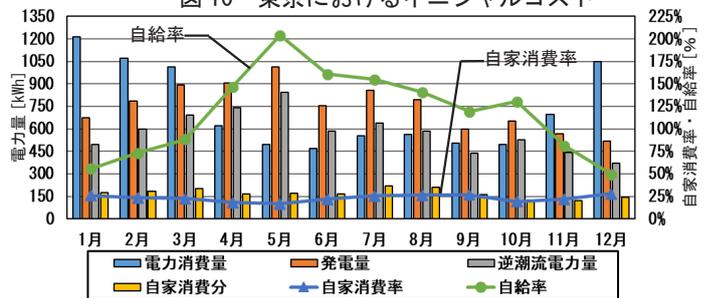


図 11 caseA における東京の太陽光発電システムの自家消費率と自給率

4.5 東京におけるライフサイクルコストの推移：図12に各建設費用における東京のライフサイクルコストの推移を示す。ZEH仕様のインシヤルコストに従来仕様より高いが、ランニングコストが安いので、建設費用(a) (高断熱化コスト1 [万円/坪]) の場合、caseAでは建設後24年、caseBでは22年、caseCとcaseDでは9年経過すると従来仕様モデルよりライフサイクルコストが安くなる。建設費用(b) (高断熱化コスト2.5 [万円/坪]) の場合、caseAとcaseBでは建設後25年、caseCでは21年、caseDでは10年経過すると従来仕様より安くなる。建設費用(c) (高断熱化コスト5 [万円/坪]) の場合、caseAでは建設後41年、caseBでは28年、caseCでは23年、caseDでは22年経過すると従来仕様と比較して安くなる。

各 case を比較すると給湯 COP が 2 または 3 とした時の変化と比較して、エアコンの運転方式が間欠運転または連続運転の違いの方が投資回収年数の差が大きい。

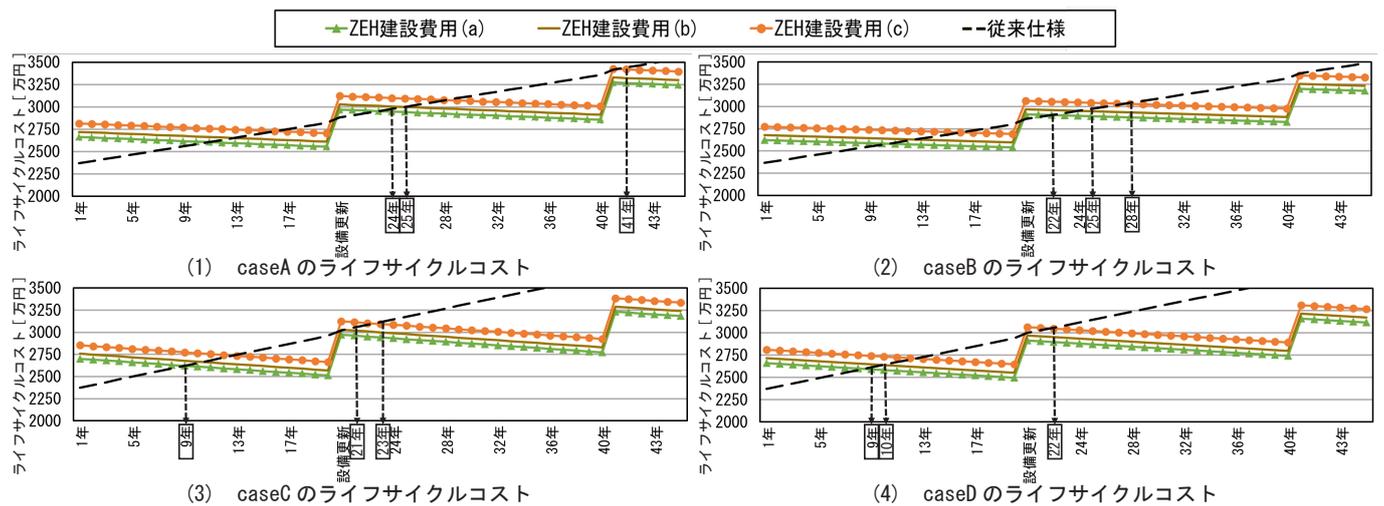


図12 各建設費用における東京のライフサイクルコストの推移

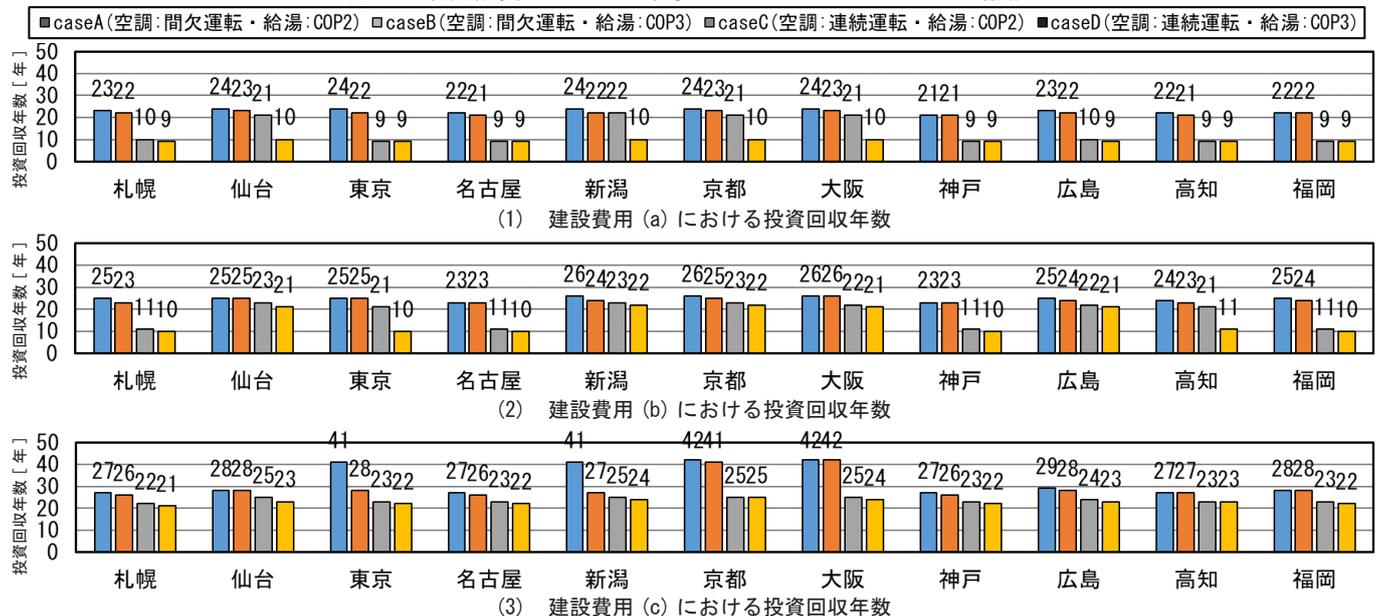


図13 各建設費用における主要11都市の投資回収年数の比較

4.6 主要11都市における投資回収年数の比較：図13に各建設費用における主要11都市の投資回収年数の比較を示す。建設費用の差額が増加する事で、投資回収年数は増加する傾向がある、建設費用(c)のcaseAとcaseBでは投資回収年数が40年を超える場合もある。

caseDではcaseBと比較して投資回収年数が短くなる傾向がある。これはcaseDでは予防疾患による便益に加えて、caseBと比較して従来仕様のランニングコストが相対的に増加し、ZEH仕様とのランニングコストの差が大きくなる(図9参照)ことで投資回収が早くなるためである。また、caseDは、11都市において全解析caseの中で投資回収年数が最短であり、建設費用(a)と(b)では投資回収年数が約10年となる場合もある。

4.7 全国における投資回収年数：図14に全国における投資回収年数(caseD)を示す。どの地域でも、投資回収年数が最も短いのはcaseDである。caseDで投資回収年数20年以下となる地域は、建設費用(a)の場合

