

4. 再生可能エネルギー熱利用促進方策の検討

4.1 検討の目的とフロー

再生可能エネルギー熱の導入にあたっては、その費用対効果を考慮すると熱需要の多い地域での活用が適していると考えられる。また、熱需要が均一であることで再エネ熱を余すことなく活用でき、費用対効果を改善できることから、建物単体での活用ではなく、街区単位など複数の建物での活用を図り、熱需要を均すことが効果的であると考えられる。

平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務においては、2050 年の温室効果ガス 80%削減のための再生可能エネルギー熱の役割を、日本全国の効果として試算されている。本業務では地域などについて詳細な分析を行うことで、冒頭の仮説を検証した(4.2)。

また、仮説の検証結果を踏まえ、寒冷地(北海道札幌市)における再生可能エネルギー熱の有効活用方法として、地中熱および太陽熱について建物単体で活用する場合と、街区の中で複数建物において活用する場合とを比較するため、それぞれのケースにおける CO2削減量、エネルギーコスト削減量、投資回収年数等の分析を行った(4.3.1)。

さらに、清掃工場廃熱も有効な未利用排熱であり、バイオマス由来の部分は再生可能エネルギーと評価できるため、札幌市内の清掃工場の更新計画をモデルとして、その余熱の有効活用の構想を検討した(4.3.2)。

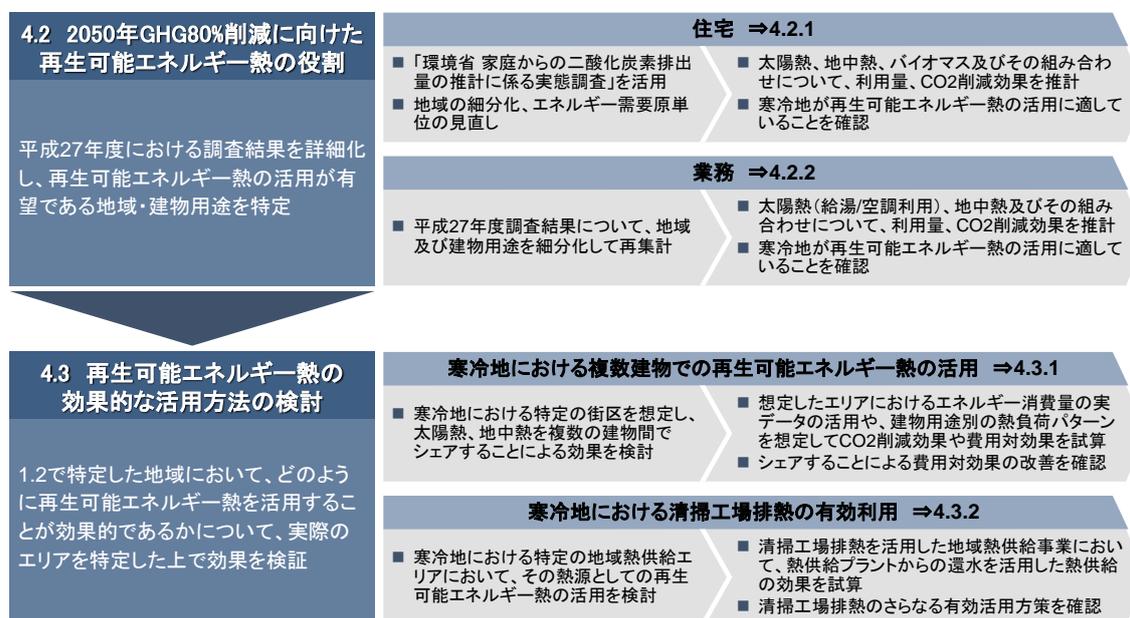


図 4-1 再生可能エネルギー熱利用促進方策の検討フロー

4.2 2050 年温室効果ガス 80%削減に向けた再生可能エネルギー熱の役割

平成 27 年度調査では、住宅及び業務用建物のそれぞれについて、断熱性能の向上、機器効率の向上を想定し、電気の低炭素化、熱需要の電化が進んだ場合の CO2 削減率に関する感度分析を行った。この分析結果に対し、一定の仮定を置いた状況下での太陽熱、地中熱、バイオマスの活用により、どの程度の再生可能エネルギー熱利用量及び追加削減効果があるのかについても分析した。

この平成 27 年度調査に対して、本業務では地域特性や建物用途特性を考慮し、再エネ熱活用の在り方についてより詳細な検討を行った。

地域特性については、平成 27 年度調査では、地域を北日本・中日本・南日本の 3 地域に限定していたが、本年度調査では、省エネルギー法の区分に応じた地域（表 4-1）として 6 地域に細分化した。地域の細分化により、地域別の熱需要の違いによる再生可能エネルギー熱の導入量及び CO2 排出削減効果が大きい地域を分析した。

建物用途特性の住宅については、平成 27 年度調査では、利用可能なデータの制約から、戸建住宅と集合住宅が統合された熱需要原単位より、仮の想定を置いて戸建と集合を区別して再生可能エネルギー熱導入の分析を行った。しかしながら、本来は戸建住宅と集合住宅では、エネルギー需要の特性が異なるため、それを考慮した分析が必要であるため、本業務では、環境省が平成 26 年 10 月～平成 27 年 9 月に実施した、「家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査全国試験調査（一般統計調査）」（以下、家庭 CO2 統計）の調査票データを活用し、戸建住宅と集合住宅別、かつ細分化した地域別の消費量を推計し、この値を基に作成した熱需要原単位から再生可能エネルギー熱の利用に関する分析を行った。また、業務用建物についても、平成 27 年度調査と同様に、用途別に熱需要の推計を行い、再生可能エネルギー熱の利用に関する分析を行った。

表 4-1 集計する地域区分

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

4.2.1 住宅における 2050 年温室効果ガス 80%削減に向けた再生可能エネルギー熱の役割

(1) 熱需要原単位の推計【住宅】

熱需要原単位の推計において、平成 27 年度調査から精査を行った視点は表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 熱需要原単位推計の精緻化の視点【住宅】

視点	平成 27 年度調査	本年度調査
建物用途の細分化	戸建と集合の区分については一定の仮定の下に推計を行った。	家庭 CO2 統計における調査票データより、戸建と集合に分けて消費量を推計した後、熱需要を推計した。
地域の細分化	北・中・南日本の3区分で分析した。 > 「平成24年度エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）」（以下、平成24年度民生実態調査）より、北海道、南関東、南九州の消費原単位や機器の保有台数を、それぞれ北日本、中日本、南日本の代表値と想定して分析を行った。	家庭 CO2 統計に基づき、省エネ法の地域区分（表 4-1）に従って推計した。
用途別熱需要の精緻化	用途別消費量から、暖房・冷房・給湯需要量を推計し、その後の分析でもこの3用途で行った。 > 平成24年度民生実態調査の利用可能な情報制約より、用途別（暖房・冷房・給湯）消費量と用途別機器の情報から熱需要原単位を推計した。	エネルギー種別・用途別消費量から暖房・冷房・給湯を推計し、その後の分析でもこの3用途で行った。 > 家庭 CO2 統計の調査票データのエネルギー種別消費量を世帯別にエネルギー種別・用途別に推計後、地域別・建て方別に集計した。 > 機器効率と保有台数から需要を推計した。エネルギー種別・用途別消費量から需要を推計している点で平成27年度調査よりも精緻化が図られている。

1) 地域別・建て方別・エネルギー種別・用途別消費量の推計

本調査においては、家庭 CO2 統計を活用して地域別・建て方別・エネルギー種別・用途別消費量の推計を行ったが、同統計の結果として公表されている集計方法とは異なる方法で集計を行った。具体的には、公表データでは地域区分として、北海道、東北、関東甲信、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州、沖縄という10区分で集計されているが、本調査では、前述のとおり省エネ法の地域区分に従って6地域区分で集計を行った。

本調査で推計した地域別・建て方別・エネルギー種別・用途別の家庭のエネルギー総消費量は表 4-3 のとおりである。

表 4-3 本調査において推計した、地域別・建て方別・エネルギー種別・用途別の家庭のエネルギー総消費量

地域	建て方	世帯数	エネルギー種別	暖房 [MJ/年]	冷房 [MJ/年]	給湯 [MJ/年]
1,2 地域	戸建	589	電気	2,729,046	0	1,567,498

			都市ガス	759,257	—	786,418		
			LPG	99,629	—	177,186		
			灯油	18,690,209	—	6,281,915		
			集合	291	電気	343,249	0	253,238
					都市ガス	954,977	—	1,523,231
					LPG	154,364	—	803,238
					灯油	3,010,613	—	592,745
3 地域	戸建	337	電気	1,428,022	78,829	1,561,907		
			都市ガス	9,775	—	285,440		
			LPG	49,900	—	363,857		
			灯油	8,623,844	—	2,944,580		
	集合	59	電気	66,448	7,566	32,075		
			都市ガス	19,361	—	243,737		
			LPG	2,320	—	214,533		
4 地域	戸建	814	灯油	476,501	—	57,467		
			電気	3,340,426	312,638	5,354,206		
			都市ガス	1,316,892	—	5,461,030		
			LPG	136,985	—	1,562,814		
	集合	188	灯油	10,947,083	—	3,219,761		
			電気	252,983	32,652	131,452		
			都市ガス	137,383	—	920,752		
5,6 地域	戸建	4,734	LPG	17,757	—	768,427		
			灯油	656,179	—	10,256		
			電気	12,006,149	3,259,410	32,581,906		
			都市ガス	8,031,712	—	25,547,923		
	集合	2,438	LPG	870,736	—	11,309,051		
			灯油	24,869,221	—	6,816,025		
			電気	3,199,705	973,876	1,832,189		
7 地域	戸建	143	都市ガス	3,380,047	—	17,599,339		
			LPG	151,121	—	5,989,279		
			灯油	2,852,172	—	99,955		
			電気	215,451	133,446	942,760		
	集合	48	都市ガス	4,863	—	188,524		
			LPG	22,769	—	414,363		
			灯油	616,980	—	242,580		
8 地域	戸建	309	電気	30,752	24,950	0		
			都市ガス	0	—	127,014		
			LPG	0	—	180,077		
			灯油	25,963	—	1,674		
	集合	364	電気	0	624,375	597,478		
			都市ガス	857	—	36,514		
			LPG	173	—	483,972		
			灯油	260,501	—	1,215,501		
			電気	0	453,283	103,836		
			都市ガス	0	—	232,791		
			LPG	2,934	—	1,273,821		
			灯油	21,353	—	61,977		

2) 熱需要原単位の推計

表 4-3 の地域別・建て方別・エネルギー種別・用途別の総消費量に対して、暖冷房、給湯機器の効率を乗じることで総熱需要量を推計した。機器効率については、表 4-4 に示す機器別の効率に対して、家庭 CO2 統計より把握した地域別・エネルギー種別・用途別の機

器保有台数を集計し加重平均した。例として、地域別暖房需要量の推計方法を以下に示す。

暖房需要量

$$\begin{aligned}
 &= \text{電気の暖房消費量} \times \frac{\sum \text{電気利用の各暖房機器効率} \times \text{電気利用の各暖房機器保有台数}}{\text{電気利用の暖房機器保有台数合計}} \\
 &+ \text{都市ガスの暖房消費量} \times \frac{\sum \text{ガス利用の各暖房機器効率} \times \text{ガス利用の各暖房機器保有台数}}{\text{ガス利用の暖房機器保有台数合計}} \\
 &+ \text{LPガスの暖房消費量} \times \frac{\sum \text{ガス利用の各暖房機器効率} \times \text{ガス利用の各暖房機器保有台数}}{\text{ガス利用の暖房機器保有台数合計}} \\
 &+ \text{灯油の暖房消費量} \times \frac{\sum \text{灯油利用の各暖房機器効率} \times \text{灯油利用の各暖房機器保有台数}}{\text{灯油利用の暖房機器保有台数合計}}
 \end{aligned}$$

表 4-4 推計に使用した各機器の効率の設定

	電気	ガス（都市ガス、LPG）	灯油
暖房機器	エアコン（暖房）*・セントラル暖房システム 2.9、電気ストーブ類**・こたつ・床暖房・電気蓄熱暖房機器 1.0	ガスファンヒーター・床暖房・セントラル暖房システム 0.9	灯油ストーブ類・床暖房・セントラル暖房システム 0.9
冷房機器	エアコン（冷房） 3.7*	—	—
給湯機器	電気ヒートポンプ式給湯機 2.8*、電気温水器 0.9	ガス給湯器・風呂釜・ガス小型瞬間湯沸器 0.8	灯油給湯器・風呂釜 0.85

出所)

*「対策導入量等の根拠資料」（国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム）

**東京電力ニュースリリース（平成 22 年 2 月 9 日）「『エアコン暖房の省エネ性と上手な使い方』について」の別紙 1「リビングの暖房器具の使用実態」

上記以外は MRI で想定

上述の方法で推計した総熱需要量を世帯数で除して、熱需要原単位を推計した。地域別、建て方別、用途別の熱需要原単位は図 4-2 のとおりである。以降の分析ではこの用途別の熱需要原単位を用いた。

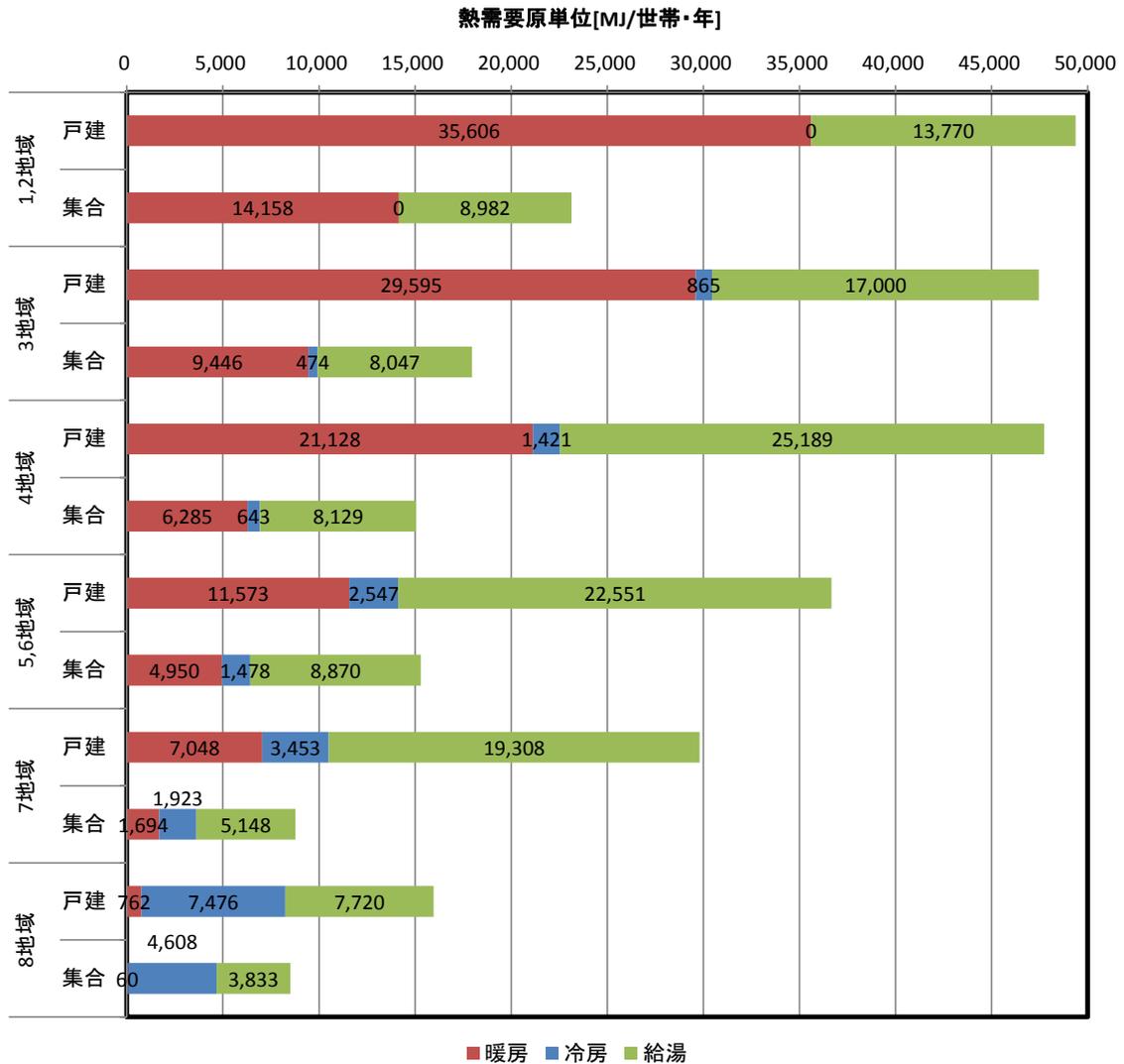


図 4-2 本調査で推計した住宅の熱需要原単位

(2) 2014 年熱関係 CO2 排出の構造【住宅】

地域別かつ用途別に分けて、住宅の熱需要を満たすエネルギー供給に由来する CO2 排出が 80%以上削減される姿を検討した。

図 4-3 及び図 4-4 に地域別の熱需要と CO2 排出の構造を示す。CO2 排出量の推計方法としては、図 4-2 に示した熱需要を表 4-7 に示した現状 (2014 年) の COP で除してエネルギー消費量を算出し、排出係数を乗じて算出した。また、世帯数については表 4-5 に示すとおり精査を行った。

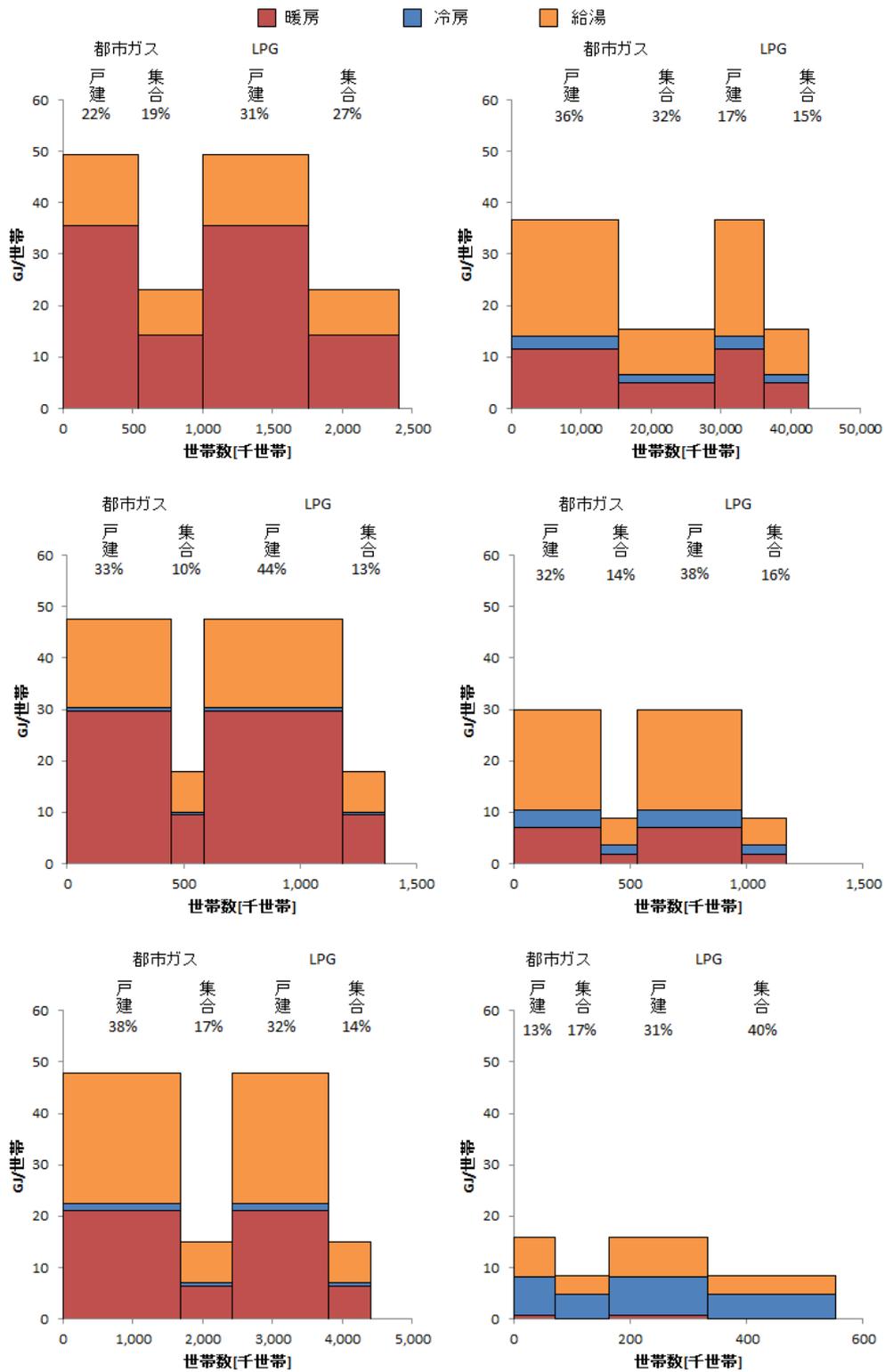


図 4-3 2014 年の住宅の熱需要の構造
 (左上：1,2 地域、左中：3 地域、左下：4 地域、右上：5,6 地域、右中：7 地域、右下：8 地域)

(図中の%は各地域における世帯数の比率を示す)

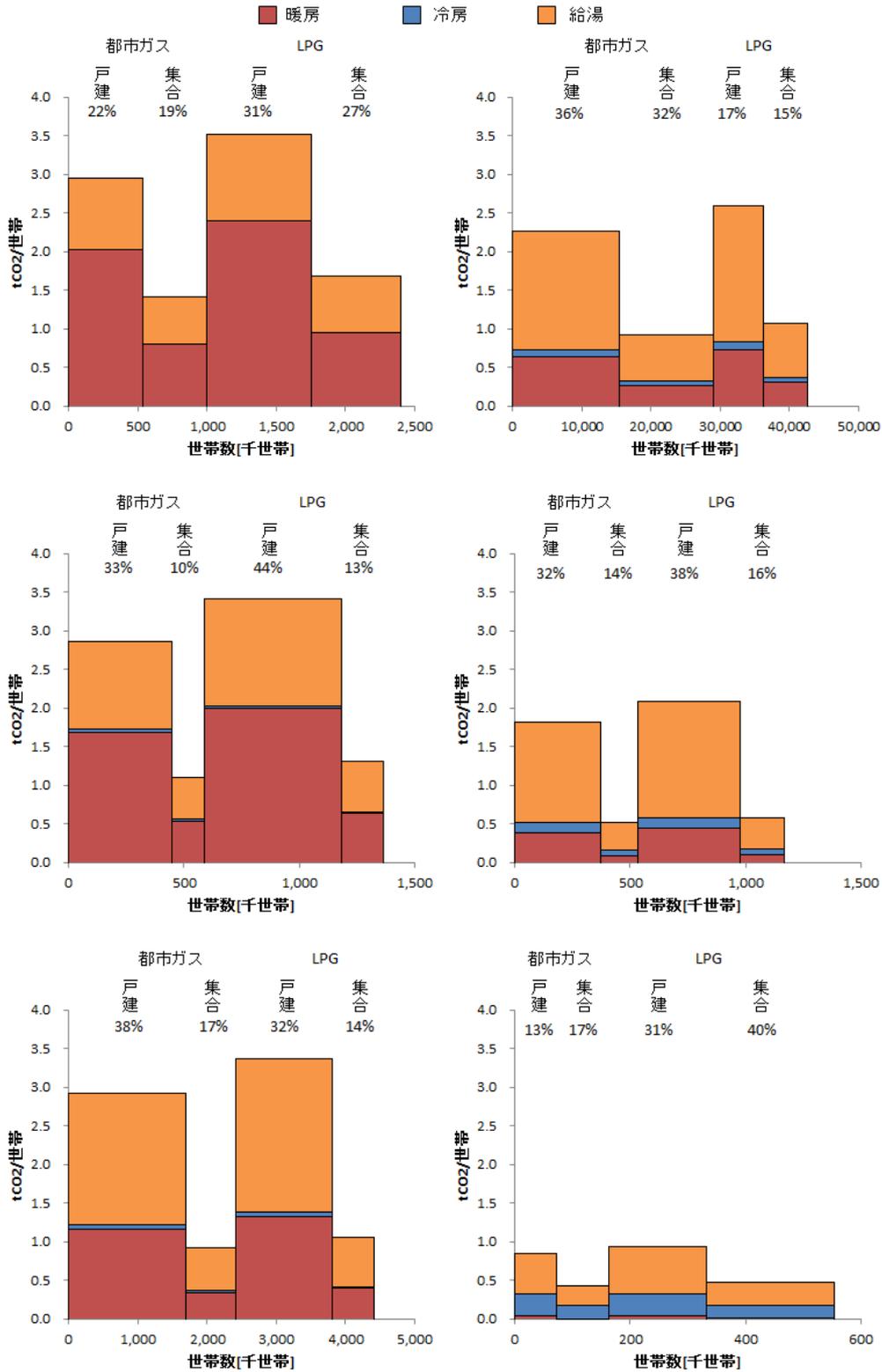


図 4-4 2014 年の熱需要を満たすエネルギー供給に由来する CO2 排出の構造
 (左上：1,2 地域、左中：3 地域、左下：4 地域、右上：5,6 地域、右中：7 地域、右下：8 地域)

(図中の%は各地域における世帯数の比率を示す)

注) 電力の排出係数は 0.5kgCO2/kWh とした。

(3) 再生可能エネルギー熱導入以外の変化要因とその効果【住宅】

再生可能エネルギー熱及びそれ以外の要因（断熱性能向上、機器効率向上）による CO2 排出量の削減効果の推計にあたっては、表 4-5 のとおり平成 27 年度調査から精査を行った。

表 4-5 CO2 削減効果の推計に関する精緻化の視点【住宅】

	平成 27 年度調査	本年度調査
用途	・ 暖房・冷房・給湯・融雪と設定。	・ 暖房・冷房・給湯と設定。
寒冷地・温暖地	・ 寒冷地は北海道・東北・北陸、温暖地はそれら以外と設定。	・ 本調査においては、寒冷地を 1,2,3 地域、4~8 地域を温暖地と設定。
機器効率	・ 表 4-7 のとおり。	・ 表 4-7 のとおり。
断熱効果	・ 現状（2013 年）の断熱性能を寒冷地・温暖地を共に 1 とした場合、2050 年の寒冷地は 0.65、温暖地は 0.45 と想定。戸建と集合の違いは考慮していない。	・ 平成 27 年度調査と同様。
地域別の世帯数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全国の現状（2013 年）の世帯数は「平成 22 年度国勢調査 人口等基本集計」より設定した。 ・ 2050 年の世帯数は、2035 年までは国立人口問題研究所の世帯数推計を利用し、2035 年以降は同研究所で推計している人口の伸びと連動させて推計した。 ・ 寒冷地と温暖地の世帯数比は、寒冷地を現状（2013 年）、2050 年共に寒冷地 15%、温暖地 85%と設定。戸建と集合の区別はしない。 ・ 戸建と集合の比率は、寒冷地・温暖地共に 6:4 と設定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域別・建て方別世帯数は、「平成 27 年国勢調査 人口等基本集計」より、「一戸建て」は戸建、「長屋建て」「共同住宅」「その他」は集合住宅と想定し、省エネ法の地域区分別に集計し、現状（2014 年）の世帯数と想定した。 ・ 2050 年の全国の世帯数は、平成 27 年度調査と同様の想定で行い、地域別世帯数は 2014 年の地域別世帯数で按分した。
都市ガス普及有無別・地域別・建て方別世帯数	<ul style="list-style-type: none"> ・ CO2 排出量を推計するための都市ガスまたは LPG の排出係数は、都市ガスの普及地域か否かによって設定した。 ・ 戸建・集合共に、寒冷地での都市ガス普及率を 33%、温暖地での都市ガス普及率は 60%と設定。都市ガスの未普及地域は、1-都市ガス普及率で設定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「ガス事業年報」の都道府県別の家庭部門の調定数を、都道府県別の供給区域内世帯数によって除し、省エネ法の地域区分別に都市ガスの普及率を整理した。 ・ 都市ガスの普及率と地域別・建て方別世帯数を乗じて、地域別・建て方別の都市ガス普及世帯を推計した。1-都市ガス普及率を都市ガス未普及地域の世帯数と想定した。

1) 断熱性能、機器効率の向上とその効果【住宅】

断熱性能、機器効率の向上については、平成 27 年度における調査と同様に以下の想定とした。

ZEH の普及も含めた断熱性能の大幅な向上を、表 4-6 のとおり想定した。ここではまず、既に定められている住宅の省エネルギー基準（最新は平成 25 年改正。本基準の断熱性能は平成 11 年基準相当）に加え、「平成 11 年基準型」から 2 割熱需要を削減できる「ZEH 基

準型」、同7割削減が可能な「ZEH強化型」の住宅基準ができることを想定した。なお、「ZEH強化型」は、札幌市の独自基準「札幌版次世代住宅基準」の「ハイレベル」基準（熱損失係数0.7W/m².K）程度の住宅が、非寒冷地でも普及することを想定している（旧IV地域における平成11年基準は2.7W/m².K）。昭和55年基準以前の仕様の住宅における冷暖房エネルギー消費量を1としたとき、ZEH強化型の住宅での冷暖房エネルギー消費量は、冷暖房の使い方や冷暖房機器効率が同じであっても、0.1182まで削減される。さらに、各年の新築または改築を行う住宅の、これらの基準の採用状況を想定した。

各年の新築・改築着工数を、総世帯数の推移等から推計した上で、2050年までの各年でのストック平均としての冷暖房省エネルギー指数を算出した。断熱性能別の住宅の構成比と、冷暖房エネルギー消費指数の推移を図4-5に示す。2013年から2050年にかけて、住宅の冷暖房需要は、概ね6割減少すると推計された。

表 4-6 住宅の断熱性能の向上の想定

	S55以前仕様	S55基準型	H4基準型	H11基準型(≒H25基準)	ZEH基準型	ZEH強化型
冷暖房エネルギー消費指数	1	0.761	0.578	0.394	0.3152	0.1182
普及想定 (フロー)	2010		35%	65%		
	2020			70%	20%	10%
	2030			20%	50%	30%
	2050			0%	0%	100%

出所 「S55基準型」「H4基準型」「H11基準型」の指数は「京都議定書目標達成計画の進捗状況」（地球温暖化対策推進本部 2007年5月29日 資料）より。2010年の普及は国土交通省「国交省建築省エネ達成率の推移資料」より。「ZEH基準型」「ZEH強化型」の指数や、将来の普及は想定値。

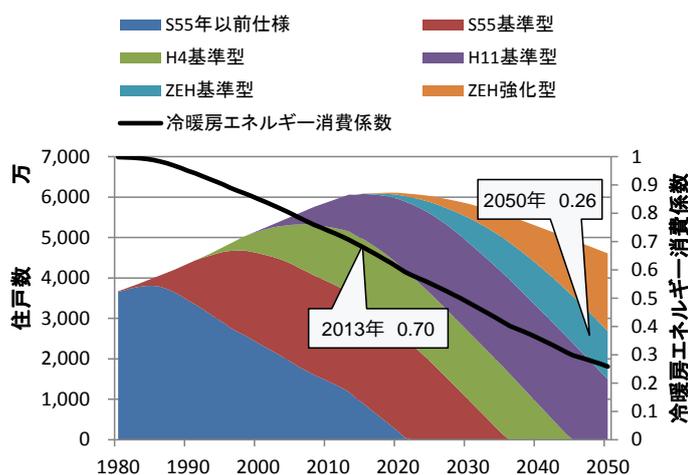


図 4-5 住宅の断熱性能の向上とストック平均での冷暖房エネルギー需要の変化

出所) 総住戸数：過去の住戸数と世帯数の回帰式から、将来世帯数（人口問題研究所）に合わせて推計。
 新築着工数：過去の民間住宅投資と着工数の回帰式から、将来の民間住宅投資（MRI推計）に合わせて推計。
 改築（断熱）着工数：ストックの1%が断熱改修を行うと想定。

機器効率の向上については、今後の冷暖房・給湯機器の効率改善として期待されるのは、エアコンやヒートポンプ式給湯器等、ヒートポンプ機器の効率改善である。また、化石燃料を利用した給湯器も、高効率である潜熱回収型への置換が期待される。なお、コジェネへの置換でも一定の効率向上が見込まれるが、使用燃料由来のCO2排出量を発電用と熱供給用に帰属させる方法が定まっていないため、熱のみを対象としている今回の試算の対象外とした。

算出の単純化のため、利用燃料は「電気」か「電気以外」（都市ガスまたはLPGのいずれか）のみであるとした上で、各機器のストック効率（またはCOP）を表4-7のように想定した。2050年の効率・COPは、表4-8に示す各機器の省エネ率（エネルギー消費量の削減率）を想定した上で、各機器の効率・COPに換算した値である。

表 4-7 各機器の効率向上の想定

熱用途	電気での熱供給			電気以外での熱供給		
	現在の典型的な機器	現状のストック効率・COP*	2050年のストック効率・COP*	現在の典型的な機器	現状のストック効率・COP	2050年のストック効率・COP
暖房	大気熱利用 エアコン	寒冷地 1.9 温暖地 2.9	寒冷地 2.1 温暖地 3.2	ヒーター・ ストーブ	90%	90%
冷房	大気熱利用 エアコン	3.7	4.1	—	—	—
給湯	電気温水器 またはヒート ポンプ式 給湯器	寒冷地 1.0 温暖地 1.5 (平均)	寒冷地 2.0 温暖地 3.1 (全てHP 式給湯器)	燃焼式給湯 器	80% (従来型)	95% (潜熱回収 型)
融雪	電熱	1	2.0 (全て HP 式給湯 器)	温水ボイラ	80% (同上)	95% (同上)

*補機等の消費を含めたシステム COP を表す。

表 4-8 各機器の省エネ率の想定

熱用途	エネルギー源	技術	消費エネルギー削減率 (家庭)
暖房	電気	大気熱利用エアコン	▲10%
冷房	電気	大気熱利用エアコン	▲10%
給湯	電気	ヒートポンプ式給湯器	▲10%
	ガス	給湯器 (従来型効率 80%→潜熱回収型 95%)	▲16%

出所) 日本冷凍空調工業会「ヒートポンプの実用性能と可能性」2010年、環境省「2013年以降の対策・施策に関する報告書」技術WG資料を参考に設定

上記の想定に基づき、2050年に向けての世帯数減少と建物の断熱性能の向上と機器効率の向上による、CO2排出量の削減効果を試算した結果を図4-6に示す。電気の排出係数

(0.5kgCO₂/kWh) や熱需要の電化率は、同一として比較を行っている。

2050年には、住宅の熱需要を満たすエネルギー供給からのCO₂排出量としては、地域によらず暖房、冷房からのCO₂排出量が減少する。給湯についても減少するもののその減少率は暖冷房ほど大きくない。

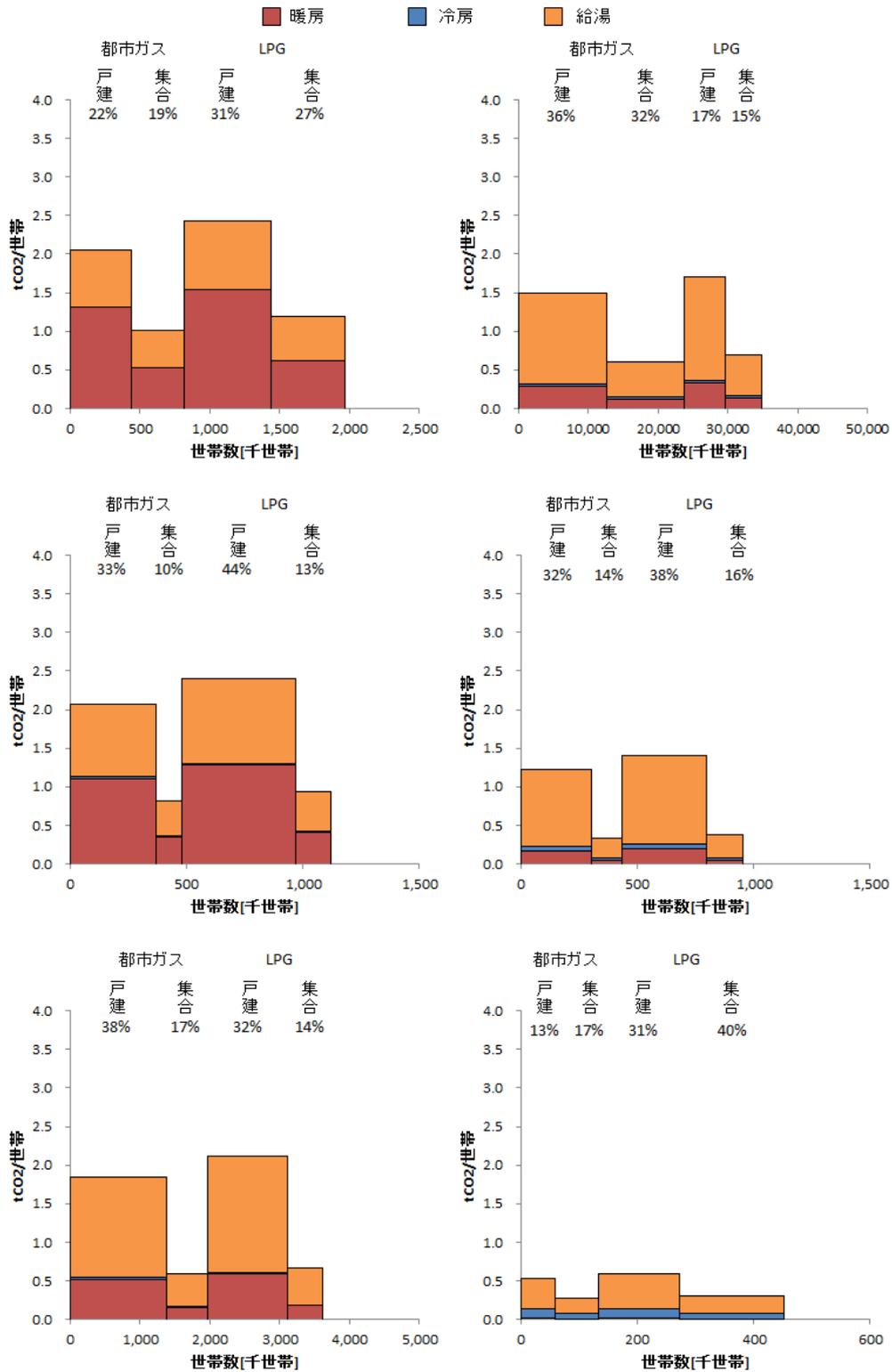


図 4-6 断熱性能の向上と機器効率の向上の効果 (2050 年)

(左上 : 1,2 地域、左中 : 3 地域、左下 : 4 地域、右上 : 5,6 地域、右中 : 7 地域、右下 : 8 地域)

(図中の%は各地域における世帯数の比率を示す)

2) 電気の低炭素化、熱需要の電化の効果【住宅】

前述の断熱性能の向上及び機器効率の向上を想定した上で、電気の低炭素化・熱需要の電化が進んだ場合の地域別の CO2 削減率を推計した。

平成 27 年度調査の想定と同じく、電気の低炭素化と熱需要の電化については、複数の組み合わせを想定した。電気の排出係数は 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4kg/CO₂/kWh とし、熱需要の電化は住宅のオール電化率 (2014 年度の電化率を寒冷地では暖房 5%、冷房 100%、給湯 5%程度、温暖地では暖房 10%、冷房 100%、給湯 10%程度である (EDMC より推計) と想定し、2050 年について冷房は 100%としたままで、暖房、給湯がどの程度電化されているかの比率を示す) として、20%から 100%の 10%刻みとした。

上述の条件における、住宅の熱需要を満たすエネルギー供給からの地域別 CO2 排出量の 2014 年比の削減率は、表 4-9 に示すとおりとなった。

CO₂ 排出量を大幅に削減するためには、電気の排出係数の削減と、熱需要を満たすためのエネルギー供給の電化が地域に関わらず必須であることが示されている。また、寒冷地ほど電気の排出係数の削減、電化が必要という結果となっている。

表 4-9 断熱性能の向上・機器効率の向上・電気の低炭素化・熱需要の電化の効果【住宅】

2014年比CO2削減率		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	54.8%	60.4%	66.1%	71.7%	77.4%	83.0%	88.7%	94.3%	100.0%
		3地域	54.7%	60.3%	66.0%	71.7%	77.3%	83.0%	88.7%	94.3%	100.0%
		4地域	57.4%	62.7%	68.0%	73.4%	78.7%	84.0%	89.3%	94.7%	100.0%
		5,6地域	56.6%	62.0%	67.5%	72.9%	78.3%	83.7%	89.2%	94.6%	100.0%
		7地域	56.2%	61.7%	67.1%	72.6%	78.1%	83.6%	89.0%	94.5%	100.0%
		8地域	65.9%	70.2%	74.4%	78.7%	83.0%	87.2%	91.5%	95.7%	100.0%
	0.1	1,2地域	52.3%	56.7%	61.1%	65.5%	69.9%	74.3%	78.7%	83.1%	87.5%
		3地域	52.0%	56.4%	60.8%	65.2%	69.7%	74.1%	78.5%	82.9%	87.3%
		4地域	55.7%	60.2%	64.7%	69.2%	73.7%	78.3%	82.8%	87.3%	91.8%
		5,6地域	54.6%	59.2%	63.8%	68.4%	72.9%	77.5%	82.1%	86.7%	91.3%
		7地域	54.1%	58.7%	63.4%	68.0%	72.7%	77.3%	82.0%	86.6%	91.3%
		8地域	62.5%	66.1%	69.7%	73.3%	77.0%	80.6%	84.2%	87.9%	91.5%
	0.2	1,2地域	49.8%	53.0%	56.1%	59.3%	62.4%	65.6%	68.8%	71.9%	75.1%
		3地域	49.4%	52.5%	55.7%	58.8%	62.0%	65.1%	68.3%	71.4%	74.5%
		4地域	53.9%	57.7%	61.4%	65.1%	68.8%	72.5%	76.2%	80.0%	83.7%
		5,6地域	52.6%	56.4%	60.1%	63.8%	67.6%	71.3%	75.0%	78.8%	82.5%
		7地域	51.9%	55.8%	59.6%	63.4%	67.3%	71.1%	74.9%	78.7%	82.6%
		8地域	59.0%	62.0%	65.0%	68.0%	71.0%	74.0%	77.0%	80.0%	83.0%
	0.3	1,2地域	47.3%	49.2%	51.1%	53.0%	55.0%	56.9%	58.8%	60.7%	62.6%
		3地域	46.8%	48.7%	50.5%	52.4%	54.3%	56.2%	58.1%	59.9%	61.8%
		4地域	52.2%	55.1%	58.0%	60.9%	63.9%	66.8%	69.7%	72.6%	75.5%
		5,6地域	50.6%	53.5%	56.4%	59.3%	62.2%	65.1%	68.0%	70.9%	73.8%
		7地域	49.8%	52.8%	55.8%	58.8%	61.8%	64.8%	67.8%	70.8%	73.8%
		8地域	55.5%	57.9%	60.3%	62.6%	65.0%	67.4%	69.7%	72.1%	74.5%
0.4	1,2地域	44.8%	45.5%	46.1%	46.8%	47.5%	48.1%	48.8%	49.5%	50.1%	
	3地域	44.2%	44.8%	45.4%	46.0%	46.6%	47.2%	47.8%	48.5%	49.1%	
	4地域	50.5%	52.6%	54.7%	56.8%	58.9%	61.0%	63.1%	65.2%	67.4%	
	5,6地域	48.7%	50.7%	52.7%	54.8%	56.8%	58.9%	60.9%	63.0%	65.0%	
	7地域	47.7%	49.9%	52.0%	54.2%	56.4%	58.6%	60.8%	62.9%	65.1%	
	8地域	52.0%	53.8%	55.5%	57.3%	59.0%	60.7%	62.5%	64.2%	65.9%	

(4) 再生可能エネルギー熱導入の効果【住宅】

1) 再生可能エネルギー熱の利用の想定【住宅】

上述の断熱性能の向上、及び機器効率の向上を想定し、再生可能エネルギー熱を最大限利用する場合の、住宅の熱需要を満たすエネルギー供給の低炭素化への寄与ポテンシャルを推計した。

再生可能エネルギーの利用の想定は、表 4-10 のとおり、平成 27 年度調査と同様の設定とした。いずれの場合も、再生可能エネルギーを最大限利用することとし、対象世帯の全世帯に導入と想定した。

表 4-10 再生可能エネルギー熱の利用の想定【住宅】

	電気での熱供給		電気以外での熱供給	
	想定技術	効果	想定技術	効果
①太陽熱利用給湯システム	太陽熱利用給湯システムのヒートポンプ式給湯	給湯需要40%分を供給	太陽熱利用給湯システムの潜熱回収型給湯器と	給湯需要40%分を供給

	器との併用		の併用	
②地中熱等による冷暖房・給湯	地中熱等ヒートポンプ	温暖地の冷暖房・給湯 COP が+1、寒冷地の COP も温暖地と同じとなる	—	—
③バイオマスの暖房利用	—	—	バイオマス由来燃料での暖房	暖房 CO2 排出ゼロ

2) 太陽熱利用給湯システム【住宅】

全住宅において、給湯需要の 40%を太陽熱で供給することを想定した場合の、世帯当たりの地域別の再生可能エネルギー熱利用量 (GJ/世帯) を表 4-11 に示す。また、これによる地域別の CO2 追加削減効果 (表 4-9 に対する追加分) を表 4-12 に示す。

電気での熱供給を行っている世帯、電気以外での熱供給を行っている世帯のいずれについても太陽熱によって 40%を供給する想定を行っているため、オール電化率によって利用量の変化は生じていないが、電気での熱供給よりも想定している効率が低い電気以外での熱供給を行っている比率が高いほど (オール電化率が低いほど) CO2 削減効果は大きい結果となっている。ただし、電気の排出係数が増加していくと、効率の差を打ち消していくこととなるため、CO2 削減効果の差も縮まっている。

地域別の違いとしては、給湯需要の 40%が利用量となるため、その大小と戸建、集合の比率とが影響している。

3) 地中熱等による冷暖房・給湯【住宅】

冷暖房・給湯を電気での熱供給している世帯において、地中熱等の活用により、温暖地の冷暖房・給湯 COP が大気時よりも 1 向上し、かつ寒冷地においても温暖地と同じ COP になることを想定した場合の、世帯当たりの再生可能エネルギー熱利用量 (GJ/世帯) を表 4-13 に示す。また、これによる地域別の CO2 追加削減効果 (表 4-9 に対する追加分) を表 4-14 に示す。

地中熱の利用による COP の向上率を温暖地に比べて寒冷地の方が高く想定していることに加え、熱需要そのものが寒冷地の方が大きいことから、寒冷地における利用量、削減効果が多い結果となっている。また、オール電化率が高いほど地中熱等によって置き換えられる対象が増加することから、利用量、削減効果ともに大きくなっている。ただし、排出係数が減少していくと、地中熱等を活用しない場合においても CO2 排出量が小さくなるため、追加的な削減効果は減少する。

4) バイオマスの暖房利用【住宅】

暖房を電気以外で熱供給している世帯において、暖房需要の 100%をバイオマスで供給することを想定した場合の、世帯当たりの地域別の再生可能エネルギー熱利用量 (GJ/世帯) を表 4-15 に示す。また、これによる地域別の CO2 追加削減効果 (表 4-9 に対する追加分) を表 4-16 に示す。

電気での暖房を行っている世帯は効果算定の対象外となるため、排出係数の違いによる差は生じない。加えて、オール電化率が高くなるほどバイオマスの活用先が減少するため、利用量、効果ともに減少する結果となっている。

地域による差としては、暖房需要の大小がそのまま影響することとなるため、寒冷地ほど利用量、効果ともに大きくなっている。

5) 組み合わせの効果【住宅】

上述した、太陽熱利用による給湯予熱、地中熱等による冷暖房・給湯、バイオマスによる暖房を組み合わせたときの地域別のCO₂削減効果（表 4-9 に対する追加分）を試算した結果を表 4-17 に示す。また、高断熱化、機器効率の向上による効果との合算としての2050年時点における削減率を表 4-18 に示す。2)～4)の効果の組み合わせの結果としては、排出係数が小さいほど地域による削減効果の差も小さくなるが、排出係数が大きい場合には、寒冷地と温暖地の削減効果の違いが大きくなるとともに削減効果そのものも大きくなる傾向にある。

再生可能エネルギー熱の活用を想定しないときは、電気の排出係数の大幅削減や熱需要を満たすためのエネルギー供給の大幅な電化が生じなければ、CO₂の80%削減は困難であった（表 4-9）ことに対し、表 4-18 に示すように再生可能エネルギー熱を最大限活用することにより、大幅な電化、電気の低炭素化が進まない場合においても、建物の熱需要を満たすエネルギー供給において8割近いCO₂排出削減の可能性が出てくることがわかった。

特に寒冷地においては、電気の排出係数が0.4kg-CO₂/kWh以下程度であればほとんどのケースにおいて8割以上の削減が実現されており、再生可能エネルギー熱の活用による効果が大きい地域であることが示されている。

表 4-11 太陽熱利用給湯システムによる再生可能エネルギー熱利用量【住宅】

再生可能エネルギー熱 利用量[GJ/世帯]			オール電化率								
			20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		3地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		4地域	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
		5,6地域	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		7地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		8地域	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	0.1	1,2地域	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		3地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		4地域	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
		5,6地域	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		7地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		8地域	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	0.2	1,2地域	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		3地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		4地域	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
		5,6地域	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		7地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		8地域	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	0.3	1,2地域	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		3地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		4地域	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
		5,6地域	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		7地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		8地域	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	0.4	1,2地域	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		3地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		4地域	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
		5,6地域	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		7地域	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		8地域	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2

表 4-12 太陽熱利用給湯システムによる追加的 CO2 削減効果【住宅】

2014年比CO2追加削減率			オール電化率								
			20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	7.2%	6.3%	5.4%	4.5%	3.6%	2.7%	1.8%	0.9%	0.0%
		3地域	8.4%	7.4%	6.3%	5.3%	4.2%	3.2%	2.1%	1.1%	0.0%
		4地域	12.2%	10.7%	9.2%	7.6%	6.1%	4.6%	3.1%	1.5%	0.0%
		5,6地域	13.9%	12.2%	10.4%	8.7%	6.9%	5.2%	3.5%	1.7%	0.0%
		7地域	14.9%	13.1%	11.2%	9.3%	7.5%	5.6%	3.7%	1.9%	0.0%
		8地域	13.2%	11.6%	9.9%	8.3%	6.6%	5.0%	3.3%	1.7%	0.0%
	0.1	1,2地域	7.6%	6.9%	6.2%	5.5%	4.8%	4.2%	3.5%	2.8%	2.1%
		3地域	8.9%	8.1%	7.3%	6.5%	5.7%	4.9%	4.1%	3.3%	2.5%
		4地域	12.7%	11.4%	10.1%	8.8%	7.5%	6.2%	4.9%	3.7%	2.4%
		5,6地域	14.4%	13.0%	11.5%	10.1%	8.6%	7.1%	5.7%	4.2%	2.8%
		7地域	15.5%	13.9%	12.4%	10.8%	9.2%	7.6%	6.0%	4.4%	2.8%
		8地域	13.7%	12.3%	10.9%	9.5%	8.1%	6.7%	5.3%	3.9%	2.5%
	0.2	1,2地域	8.0%	7.5%	7.0%	6.6%	6.1%	5.6%	5.2%	4.7%	4.2%
		3地域	9.4%	8.9%	8.3%	7.8%	7.2%	6.7%	6.1%	5.5%	5.0%
		4地域	13.2%	12.1%	11.1%	10.0%	8.9%	7.9%	6.8%	5.8%	4.7%
		5,6地域	15.0%	13.8%	12.6%	11.4%	10.2%	9.1%	7.9%	6.7%	5.5%
		7地域	16.1%	14.8%	13.5%	12.2%	10.9%	9.6%	8.3%	7.0%	5.7%
		8地域	14.2%	13.0%	11.9%	10.7%	9.5%	8.4%	7.2%	6.1%	4.9%
	0.3	1,2地域	8.4%	8.2%	7.9%	7.6%	7.4%	7.1%	6.8%	6.6%	6.3%
		3地域	9.9%	9.6%	9.3%	9.0%	8.7%	8.4%	8.1%	7.8%	7.5%
		4地域	13.6%	12.8%	12.0%	11.2%	10.4%	9.5%	8.7%	7.9%	7.1%
		5,6地域	15.5%	14.6%	13.7%	12.8%	11.9%	11.0%	10.1%	9.2%	8.3%
		7地域	16.7%	15.6%	14.6%	13.6%	12.6%	11.6%	10.6%	9.6%	8.5%
		8地域	14.7%	13.8%	12.8%	11.9%	11.0%	10.1%	9.2%	8.3%	7.4%
	0.4	1,2地域	8.8%	8.8%	8.7%	8.7%	8.6%	8.6%	8.5%	8.5%	8.4%
		3地域	10.4%	10.4%	10.3%	10.3%	10.2%	10.1%	10.1%	10.0%	10.0%
		4地域	14.1%	13.5%	12.9%	12.4%	11.8%	11.2%	10.6%	10.0%	9.5%
		5,6地域	16.1%	15.5%	14.8%	14.2%	13.6%	12.9%	12.3%	11.6%	11.0%
		7地域	17.2%	16.5%	15.8%	15.0%	14.3%	13.6%	12.9%	12.1%	11.4%
		8地域	15.2%	14.5%	13.8%	13.2%	12.5%	11.8%	11.1%	10.5%	9.8%

表 4-13 地中熱等による再生可能エネルギー熱利用量【住宅】

再生可能エネルギー熱 利用量[GJ/世帯]		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9
		3地域	1.6	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7
		4地域	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
		5,6地域	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6
		7地域	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4
		8地域	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
	0.1	1,2地域	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9
		3地域	1.6	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7
		4地域	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
		5,6地域	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6
		7地域	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4
		8地域	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
	0.2	1,2地域	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9
		3地域	1.6	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7
		4地域	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
		5,6地域	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6
		7地域	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4
		8地域	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
	0.3	1,2地域	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9
		3地域	1.6	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7
		4地域	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
		5,6地域	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6
		7地域	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4
		8地域	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
0.4	1,2地域	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9	
	3地域	1.6	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7	
	4地域	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	
	5,6地域	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	
	7地域	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	
	8地域	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	

表 4-14 地中熱等による追加的 CO2 削減効果【住宅】

2014年比CO2追加削減率		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		3地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		4地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		5,6地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		7地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		8地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	0.1	1,2地域	1.3%	1.9%	2.5%	3.2%	3.8%	4.4%	5.0%	5.7%	6.3%
		3地域	1.3%	1.9%	2.6%	3.2%	3.9%	4.5%	5.1%	5.8%	6.4%
		4地域	0.4%	0.6%	0.8%	1.0%	1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	2.0%
		5,6地域	0.5%	0.7%	0.9%	1.1%	1.3%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%
		7地域	0.5%	0.7%	0.9%	1.1%	1.3%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%
		8地域	0.7%	0.9%	1.0%	1.2%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%	2.0%
	0.2	1,2地域	2.5%	3.8%	5.0%	6.3%	7.6%	8.8%	10.1%	11.3%	12.6%
		3地域	2.6%	3.9%	5.2%	6.4%	7.7%	9.0%	10.3%	11.6%	12.8%
		4地域	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%	2.4%	2.8%	3.2%	3.5%	3.9%
		5,6地域	0.9%	1.3%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%
		7地域	1.0%	1.4%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%
		8地域	1.5%	1.8%	2.1%	2.4%	2.7%	3.0%	3.3%	3.6%	3.9%
	0.3	1,2地域	3.8%	5.7%	7.6%	9.5%	11.3%	13.2%	15.1%	17.0%	18.9%
		3地域	3.9%	5.8%	7.7%	9.7%	11.6%	13.5%	15.4%	17.3%	19.3%
		4地域	1.2%	1.8%	2.4%	3.0%	3.6%	4.1%	4.7%	5.3%	5.9%
		5,6地域	1.4%	2.0%	2.6%	3.2%	3.9%	4.5%	5.1%	5.7%	6.3%
		7地域	1.5%	2.1%	2.7%	3.3%	3.9%	4.5%	5.1%	5.7%	6.3%
		8地域	2.2%	2.7%	3.1%	3.6%	4.1%	4.5%	5.0%	5.4%	5.9%
0.4	1,2地域	5.0%	7.6%	10.1%	12.6%	15.1%	17.7%	20.2%	22.7%	25.2%	
	3地域	5.2%	7.8%	10.3%	12.9%	15.4%	18.0%	20.6%	23.1%	25.7%	
	4地域	1.6%	2.4%	3.2%	4.0%	4.8%	5.5%	6.3%	7.1%	7.9%	
	5,6地域	1.9%	2.7%	3.5%	4.3%	5.1%	6.0%	6.8%	7.6%	8.4%	
	7地域	2.0%	2.8%	3.6%	4.4%	5.2%	6.0%	6.8%	7.6%	8.4%	
	8地域	3.0%	3.6%	4.2%	4.8%	5.4%	6.0%	6.6%	7.2%	7.9%	

表 4-15 バイオマスによる再生可能エネルギー熱利用量【住宅】

再生可能エネルギー熱 利用量[GJ/世帯]		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	13.3	11.7	10.0	8.3	6.7	5.0	3.3	1.7	0.0
		3地域	12.9	11.3	9.7	8.1	6.5	4.8	3.2	1.6	0.0
		4地域	6.0	5.2	4.5	3.7	3.0	2.2	1.5	0.7	0.0
		5,6地域	3.0	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.4	0.0
		7地域	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2	0.0
		8地域	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.1	1,2地域	13.3	11.7	10.0	8.3	6.7	5.0	3.3	1.7	0.0
		3地域	12.9	11.3	9.7	8.1	6.5	4.8	3.2	1.6	0.0
		4地域	6.0	5.2	4.5	3.7	3.0	2.2	1.5	0.7	0.0
		5,6地域	3.0	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.4	0.0
		7地域	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2	0.0
		8地域	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	1,2地域	13.3	11.7	10.0	8.3	6.7	5.0	3.3	1.7	0.0
		3地域	12.9	11.3	9.7	8.1	6.5	4.8	3.2	1.6	0.0
		4地域	6.0	5.2	4.5	3.7	3.0	2.2	1.5	0.7	0.0
		5,6地域	3.0	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.4	0.0
		7地域	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2	0.0
		8地域	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.3	1,2地域	13.3	11.7	10.0	8.3	6.7	5.0	3.3	1.7	0.0
		3地域	12.9	11.3	9.7	8.1	6.5	4.8	3.2	1.6	0.0
		4地域	6.0	5.2	4.5	3.7	3.0	2.2	1.5	0.7	0.0
		5,6地域	3.0	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.4	0.0
		7地域	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2	0.0
		8地域	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	1,2地域	13.3	11.7	10.0	8.3	6.7	5.0	3.3	1.7	0.0	
	3地域	12.9	11.3	9.7	8.1	6.5	4.8	3.2	1.6	0.0	
	4地域	6.0	5.2	4.5	3.7	3.0	2.2	1.5	0.7	0.0	
	5,6地域	3.0	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.4	0.0	
	7地域	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2	0.0	
	8地域	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	

表 4-16 バイオマスによる追加的 CO2 削減効果【住宅】

2014年比CO2追加削減率		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	27.3%	23.9%	20.5%	17.1%	13.7%	10.2%	6.8%	3.4%	0.0%
		3地域	24.2%	21.2%	18.2%	15.1%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%
		4地域	12.1%	10.6%	9.1%	7.5%	6.0%	4.5%	3.0%	1.5%	0.0%
		5,6地域	8.7%	7.6%	6.5%	5.4%	4.3%	3.3%	2.2%	1.1%	0.0%
		7地域	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%
		8地域	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%
	0.1	1,2地域	27.3%	23.9%	20.5%	17.1%	13.7%	10.2%	6.8%	3.4%	0.0%
		3地域	24.2%	21.2%	18.2%	15.1%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%
		4地域	12.1%	10.6%	9.1%	7.5%	6.0%	4.5%	3.0%	1.5%	0.0%
		5,6地域	8.7%	7.6%	6.5%	5.4%	4.3%	3.3%	2.2%	1.1%	0.0%
		7地域	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%
		8地域	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%
	0.2	1,2地域	27.3%	23.9%	20.5%	17.1%	13.7%	10.2%	6.8%	3.4%	0.0%
		3地域	24.2%	21.2%	18.2%	15.1%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%
		4地域	12.1%	10.6%	9.1%	7.5%	6.0%	4.5%	3.0%	1.5%	0.0%
		5,6地域	8.7%	7.6%	6.5%	5.4%	4.3%	3.3%	2.2%	1.1%	0.0%
		7地域	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%
		8地域	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%
	0.3	1,2地域	27.3%	23.9%	20.5%	17.1%	13.7%	10.2%	6.8%	3.4%	0.0%
		3地域	24.2%	21.2%	18.2%	15.1%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%
		4地域	12.1%	10.6%	9.1%	7.5%	6.0%	4.5%	3.0%	1.5%	0.0%
		5,6地域	8.7%	7.6%	6.5%	5.4%	4.3%	3.3%	2.2%	1.1%	0.0%
		7地域	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%
		8地域	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%
0.4	1,2地域	27.3%	23.9%	20.5%	17.1%	13.7%	10.2%	6.8%	3.4%	0.0%	
	3地域	24.2%	21.2%	18.2%	15.1%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%	
	4地域	12.1%	10.6%	9.1%	7.5%	6.0%	4.5%	3.0%	1.5%	0.0%	
	5,6地域	8.7%	7.6%	6.5%	5.4%	4.3%	3.3%	2.2%	1.1%	0.0%	
	7地域	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%	
	8地域	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%	

表 4-17 再生可能エネルギー熱の組み合わせによる追加的 CO2 削減効果【住宅】

2014年比CO2追加削減率		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	34.5%	30.2%	25.9%	21.6%	17.2%	12.9%	8.6%	4.3%	0.0%
		3地域	32.7%	28.6%	24.5%	20.4%	16.3%	12.3%	8.2%	4.1%	0.0%
		4地域	24.3%	21.3%	18.2%	15.2%	12.1%	9.1%	6.1%	3.0%	0.0%
		5,6地域	22.6%	19.7%	16.9%	14.1%	11.3%	8.5%	5.6%	2.8%	0.0%
		7地域	21.4%	18.7%	16.0%	13.4%	10.7%	8.0%	5.3%	2.7%	0.0%
		8地域	14.3%	12.5%	10.7%	8.9%	7.1%	5.3%	3.6%	1.8%	0.0%
	0.1	1,2地域	35.9%	32.4%	28.8%	25.2%	21.6%	18.1%	14.5%	10.9%	7.3%
		3地域	34.2%	30.9%	27.6%	24.2%	20.9%	17.6%	14.3%	11.0%	7.6%
		4地域	25.1%	22.4%	19.7%	17.1%	14.4%	11.7%	9.1%	6.4%	3.8%
		5,6地域	23.4%	21.0%	18.6%	16.2%	13.8%	11.4%	9.0%	6.6%	4.2%
		7地域	22.3%	20.0%	17.8%	15.5%	13.3%	11.0%	8.8%	6.5%	4.2%
		8地域	15.4%	13.9%	12.5%	11.0%	9.6%	8.1%	6.7%	5.3%	3.8%
	0.2	1,2地域	37.4%	34.6%	31.7%	28.9%	26.0%	23.2%	20.3%	17.5%	14.7%
		3地域	35.8%	33.2%	30.6%	28.1%	25.5%	22.9%	20.4%	17.8%	15.3%
		4地域	25.8%	23.5%	21.3%	19.0%	16.7%	14.4%	12.1%	9.8%	7.5%
		5,6地域	24.3%	22.3%	20.3%	18.3%	16.4%	14.4%	12.4%	10.4%	8.4%
		7地域	23.2%	21.4%	19.5%	17.7%	15.9%	14.0%	12.2%	10.3%	8.5%
		8地域	16.5%	15.4%	14.3%	13.2%	12.1%	11.0%	9.8%	8.7%	7.6%
	0.3	1,2地域	38.9%	36.8%	34.7%	32.5%	30.4%	28.3%	26.2%	24.1%	22.0%
		3地域	37.3%	35.5%	33.7%	31.9%	30.1%	28.3%	26.5%	24.7%	22.9%
		4地域	26.6%	24.7%	22.8%	20.8%	18.9%	17.0%	15.1%	13.2%	11.3%
		5,6地域	25.2%	23.6%	22.1%	20.5%	18.9%	17.3%	15.7%	14.1%	12.6%
		7地域	24.2%	22.7%	21.3%	19.9%	18.4%	17.0%	15.6%	14.2%	12.7%
		8地域	17.6%	16.8%	16.1%	15.3%	14.5%	13.8%	13.0%	12.2%	11.5%
0.4	1,2地域	40.3%	39.0%	37.6%	36.2%	34.8%	33.5%	32.1%	30.7%	29.3%	
	3地域	38.8%	37.8%	36.8%	35.7%	34.7%	33.6%	32.6%	31.6%	30.5%	
	4地域	27.4%	25.8%	24.3%	22.7%	21.2%	19.7%	18.1%	16.6%	15.0%	
	5,6地域	26.1%	24.9%	23.8%	22.6%	21.4%	20.3%	19.1%	17.9%	16.7%	
	7地域	25.1%	24.1%	23.1%	22.0%	21.0%	20.0%	19.0%	18.0%	17.0%	
	8地域	18.7%	18.3%	17.8%	17.4%	17.0%	16.6%	16.1%	15.7%	15.3%	

表 4-18 再生可能エネルギー熱の組み合わせ、高断熱化、機器効率の向上の効果【住宅】

2014年比CO2削減率		オール電化率									
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	89.3%	90.6%	92.0%	93.3%	94.6%	96.0%	97.3%	98.7%	100.0%
		3地域	87.3%	88.9%	90.5%	92.1%	93.7%	95.3%	96.8%	98.4%	100.0%
		4地域	81.7%	84.0%	86.3%	88.6%	90.8%	93.1%	95.4%	97.7%	100.0%
		5,6地域	79.2%	81.8%	84.4%	87.0%	89.6%	92.2%	94.8%	97.4%	100.0%
		7地域	77.6%	80.4%	83.2%	86.0%	88.8%	91.6%	94.4%	97.2%	100.0%
		8地域	80.2%	82.7%	85.1%	87.6%	90.1%	92.6%	95.0%	97.5%	100.0%
	0.1	1,2地域	88.2%	89.1%	89.9%	90.7%	91.6%	92.4%	93.2%	94.0%	94.9%
		3地域	86.2%	87.3%	88.4%	89.5%	90.6%	91.7%	92.7%	93.8%	94.9%
		4地域	80.7%	82.6%	84.4%	86.3%	88.2%	90.0%	91.9%	93.7%	95.6%
		5,6地域	78.1%	80.2%	82.4%	84.6%	86.8%	88.9%	91.1%	93.3%	95.4%
		7地域	76.4%	78.8%	81.2%	83.6%	85.9%	88.3%	90.7%	93.1%	95.5%
		8地域	77.8%	80.0%	82.2%	84.4%	86.6%	88.7%	90.9%	93.1%	95.3%
	0.2	1,2地域	87.2%	87.5%	87.8%	88.2%	88.5%	88.8%	89.1%	89.4%	89.7%
		3地域	85.2%	85.7%	86.3%	86.9%	87.5%	88.1%	88.6%	89.2%	89.8%
		4地域	79.8%	81.2%	82.6%	84.0%	85.5%	86.9%	88.3%	89.8%	91.2%
		5,6地域	77.0%	78.7%	80.4%	82.2%	83.9%	85.7%	87.4%	89.1%	90.9%
		7地域	75.2%	77.2%	79.1%	81.1%	83.1%	85.1%	87.1%	89.1%	91.1%
		8地域	75.5%	77.4%	79.2%	81.1%	83.0%	84.9%	86.8%	88.7%	90.6%
	0.3	1,2地域	86.2%	86.0%	85.8%	85.6%	85.4%	85.2%	85.0%	84.8%	84.6%
		3地域	84.1%	84.2%	84.2%	84.3%	84.4%	84.5%	84.5%	84.6%	84.7%
		4地域	78.8%	79.8%	80.8%	81.8%	82.8%	83.8%	84.8%	85.8%	86.8%
		5,6地域	75.9%	77.2%	78.5%	79.8%	81.1%	82.4%	83.7%	85.0%	86.3%
		7地域	74.0%	75.5%	77.1%	78.7%	80.3%	81.8%	83.4%	85.0%	86.6%
		8地域	73.1%	74.7%	76.3%	77.9%	79.5%	81.1%	82.7%	84.3%	85.9%
0.4	1,2地域	85.2%	84.4%	83.7%	83.0%	82.3%	81.6%	80.9%	80.2%	79.4%	
	3地域	83.0%	82.6%	82.1%	81.7%	81.3%	80.9%	80.4%	80.0%	79.6%	
	4地域	77.8%	78.4%	79.0%	79.5%	80.1%	80.7%	81.2%	81.8%	82.4%	
	5,6地域	74.8%	75.6%	76.5%	77.4%	78.3%	79.1%	80.0%	80.9%	81.8%	
	7地域	72.8%	73.9%	75.1%	76.3%	77.4%	78.6%	79.8%	80.9%	82.1%	
	8地域	70.7%	72.0%	73.4%	74.7%	76.0%	77.3%	78.6%	79.9%	81.2%	

4.2.2 業務用建物における 2050 年温室効果ガス 80%削減に向けた再生可能エネルギー熱の役割

(1) 熱需要原単位の推計【業務】

延床面積あたりのエネルギー消費量に対し、熱供給のための機器（エアコン等）の効率を乗じることで、延床面積あたりの熱需要（原単位）を推計した。これに総延床面積を乗じることで総量を推計した。

推計に用いたデータを表 4-19 に示す。業務用建物については、建物用途別・地域別に細分化されたエネルギー消費量に関する統計データが存在しないため、暖房・冷房度日等を考慮して地域別への補正を行った。また、平成 27 年度調査から精査を行った視点を表 4-20 に示す。

表 4-19 業務用建物の熱需要の推計に用いたデータ

消費量	エネルギー経済研究所「民生部門のエネルギー消費実態調査について」（2004 年）
機器効率	暖房機器（エアコン）3.1*、暖房（ガス HP）1.2*、熱 0.9、それ以外の暖房は 0.8 として設定。冷房機器（エアコン）4.6*、冷房機器（ガス）1.2*、それ以外は 0.9 として設定。従来型燃焼式給湯器 0.8*として設定。 出所）*「対策導入量等の根拠資料」（国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム） *以外は MRI で想定
地域別補正	各地域の暖房度日・冷房度日：「気象庁」における各地域の代表地点の 2014～2016 年の 3 年間の平均気温データより、暖房度日（平均気温が 14℃を下回る日について、14℃と平均気温の差を合計）、及び冷房度日（平均気温が 24℃を超える日について、平均気温と 22℃の差を合計）を算出。 代表地点は以下のとおり。1,2 地域：北見・岩見沢、3 地域：盛岡、4 地域：長野、5,6 地域：宇都宮・岡山、7 地域：宇都宮、8 地域：那覇 全国平均の暖房度日・冷房度日：「エネルギー・経済統計要覧」における 2013～2015 年度の暖房度日あるいは冷房度日の全国平均値。
延床面積	2014 年の延床面積は、「エネルギー・経済統計要覧」における全国の業務部門業種別延床面積（事務所、卸・小売業、飲食店、病院・診療所、ホテル・旅館、学校）を以下の統計の比率で地域別に按分。なお、デパートは卸・小売業、娯楽場は飲食店に含めた。 病院・診療所：建築物ストック統計検討会 報告書「表 3 7 病院・診療所（開設者：都道府県・市町村）の延べ床面積（平成 17 年）」 上記以外：平成 25 年度法人土地・建物基本調査（第 486 表 建物所在地・主な利用現況・利用現況別敷地とともに所有する工場敷地以外の建物の総延べ床面積）

表 4-20 業務部門における精緻化の視点

視点	平成 27 年度調査	本年度調査
地域の細分化	北・中・南日本の 3 区分で分析した。 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2013 年度の気象庁の平均気温データのうち、北・中・南日本の代表地点のものをを用いて、暖房度日と冷房度日を算出した。 ➤ エネルギー経済・統計要覧の全国平均気温との比から、北・中・南日本の消費量に展開した。 	省エネルギー基準による地域区分（表 4-1）別に分析した。 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 各地域の代表地点の 3 年間（2014～2016 年）の平均気温データより、暖房度日と冷房度日を算出した。 ➤ エネルギー経済・統計要覧の 2013～2015 年度の暖房度日または冷房度日の全国平均との比から、地域別の暖房と冷房の消費量を推計した。

推計結果である、延床面積あたり熱需要を図 4-7 に示す。また、延床面積を乗じた熱需要総量を図 4-8 に示す。

飲食店や病院・診療所、ホテル・旅館は熱需要が大きく、再生可能エネルギーの導入による効果も大きいと考えられる。また、北海道（1,2 地域）では冷房需要がほとんどなく、逆に沖縄（8 地域）では暖房需要はほとんどない。

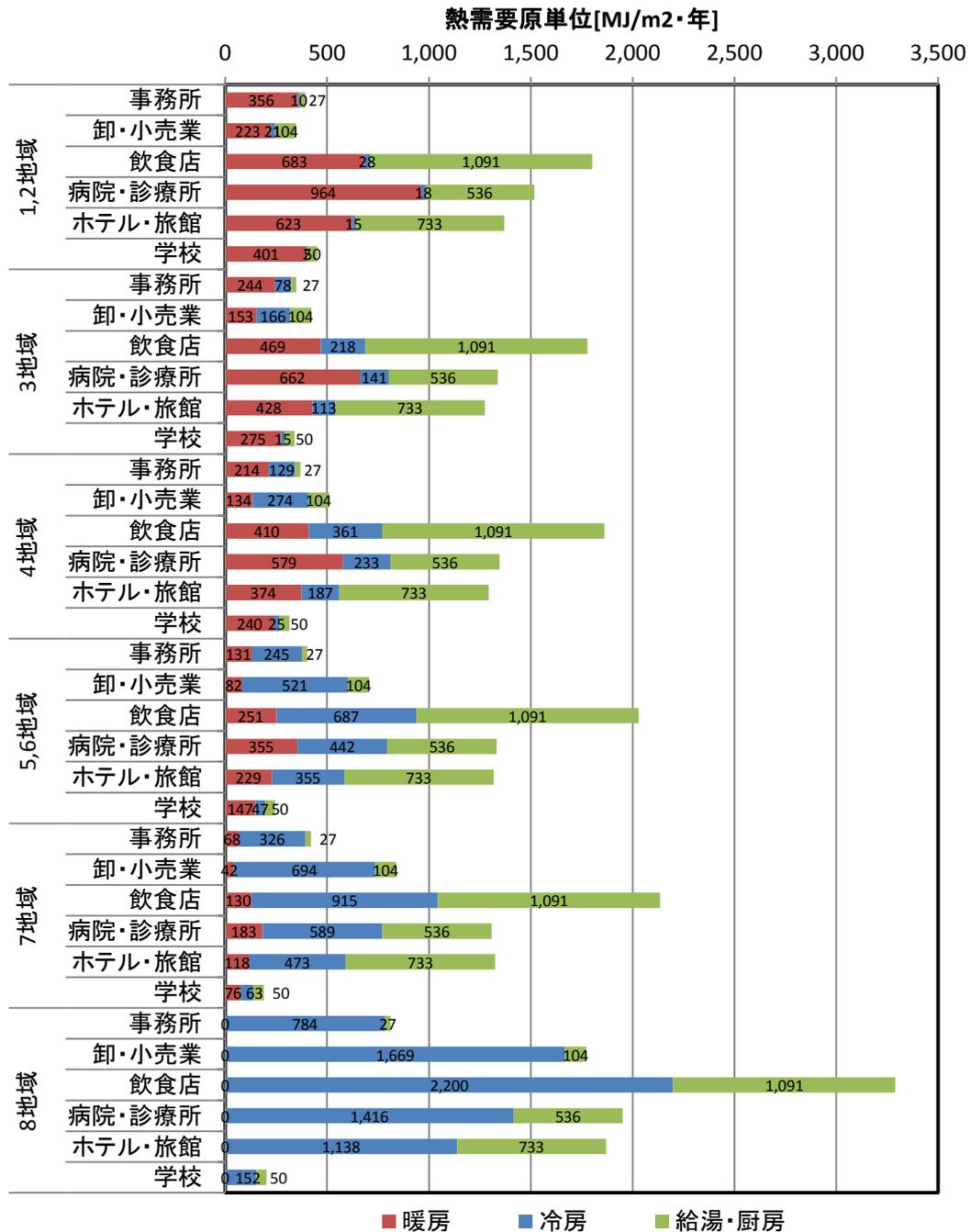


図 4-7 業務用建物における熱需要原単位（延床面積あたり熱需要）

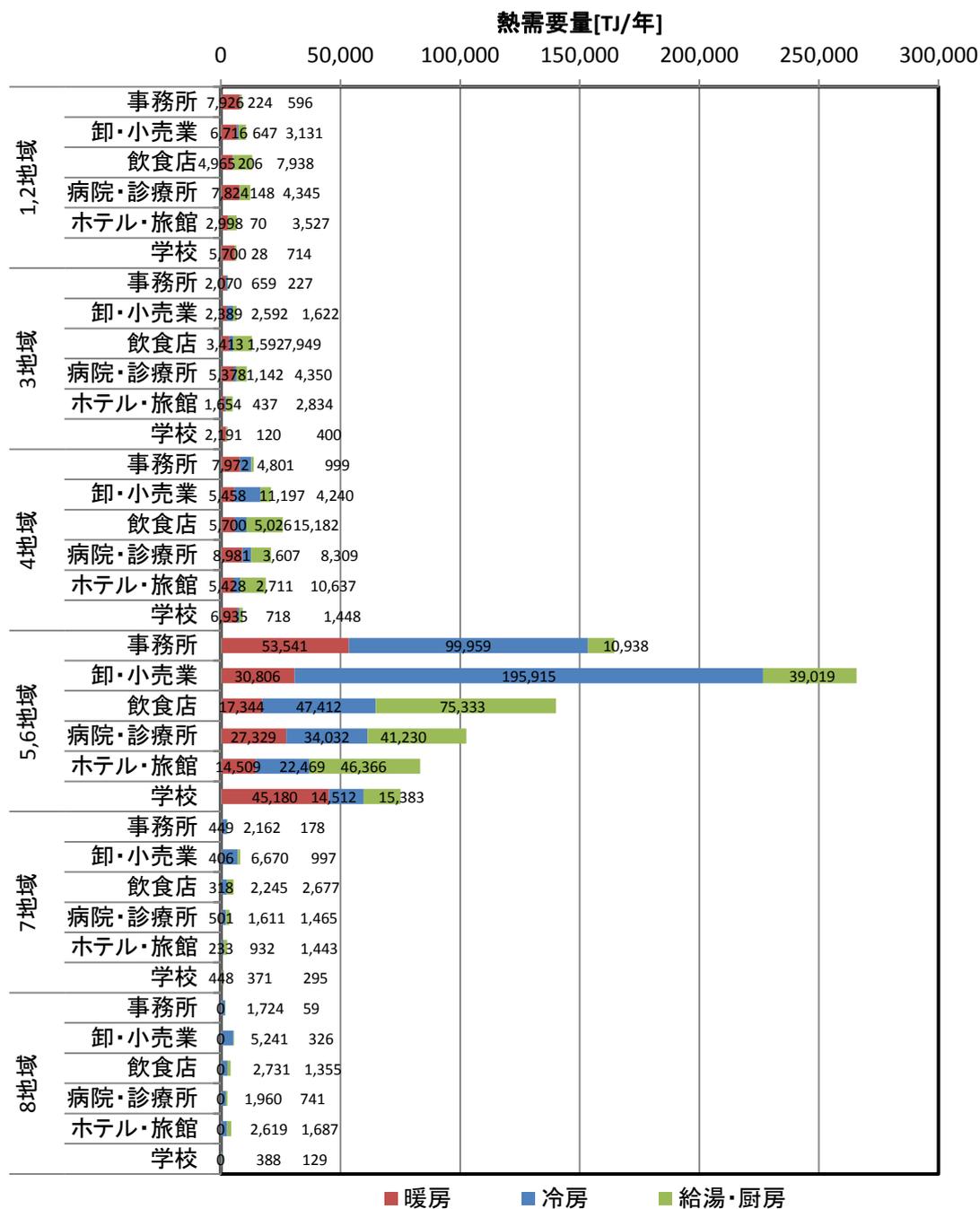


図 4-8 業務用建物における熱需要（総量）

(2) 2014 年の熱関係 CO2 排出の構造【業務】

建物を地域区分に加え、用途区分に分けて、建物の熱需要を満たすエネルギー供給に由来する CO2 排出が 80%以上削減される姿を検討する。

図 4-9 及び図 4-10 に地域別の熱需要の構造を示す。推計方法と推計に用いたデータは、表 4-19 と同様であるが、図の注釈に示したような追加の想定を行った。

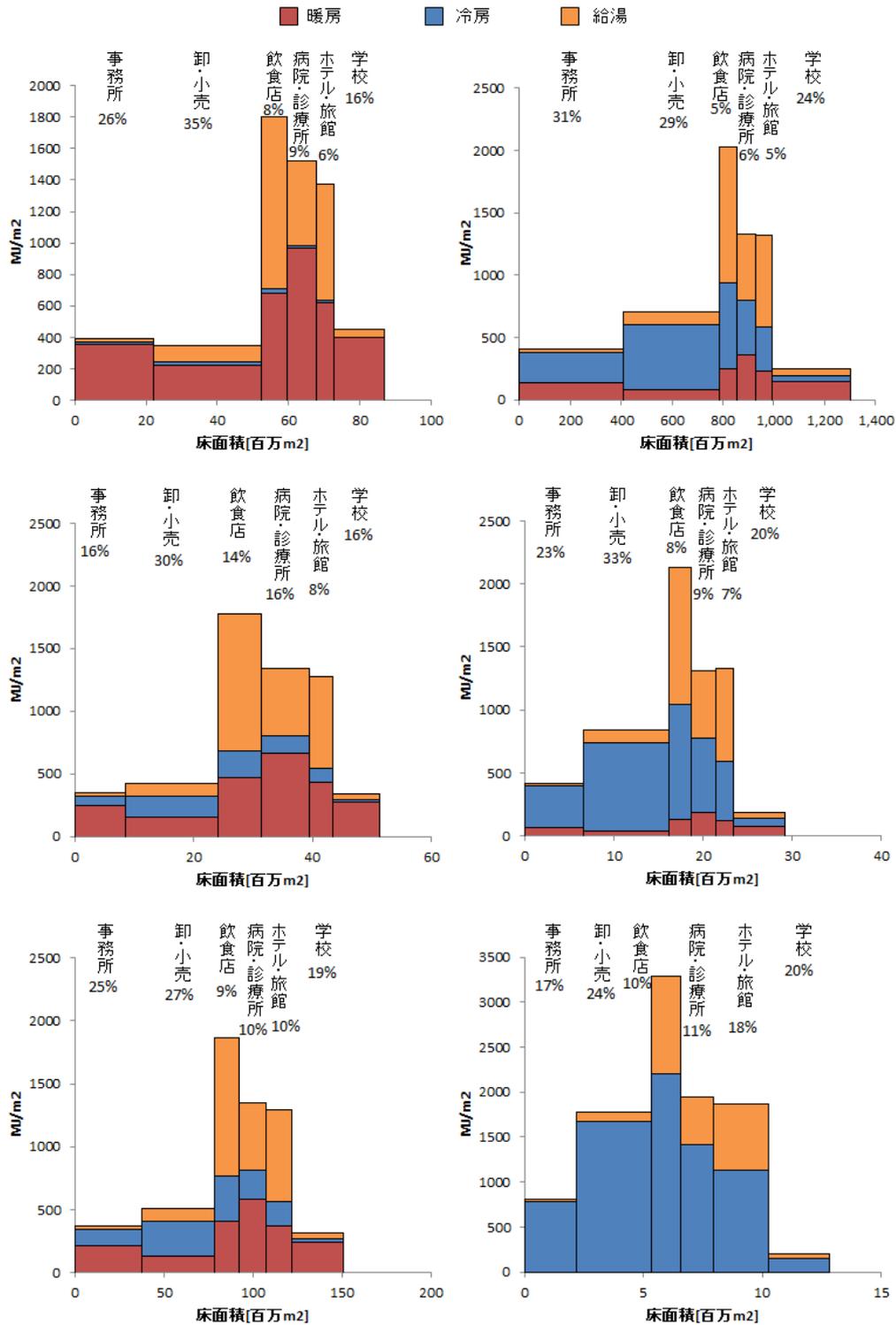


図 4-9 2014 年の建物の熱需要の構造
(左上：1,2 地域、左中：3 地域、左下：4 地域、右上：5,6 地域、右中：7 地域、右下：8 地域)

(図中の%は各地域における世帯数の比率を示す)

注) 電化率は、エネルギー用途別に、EDMC を参考に設定した。

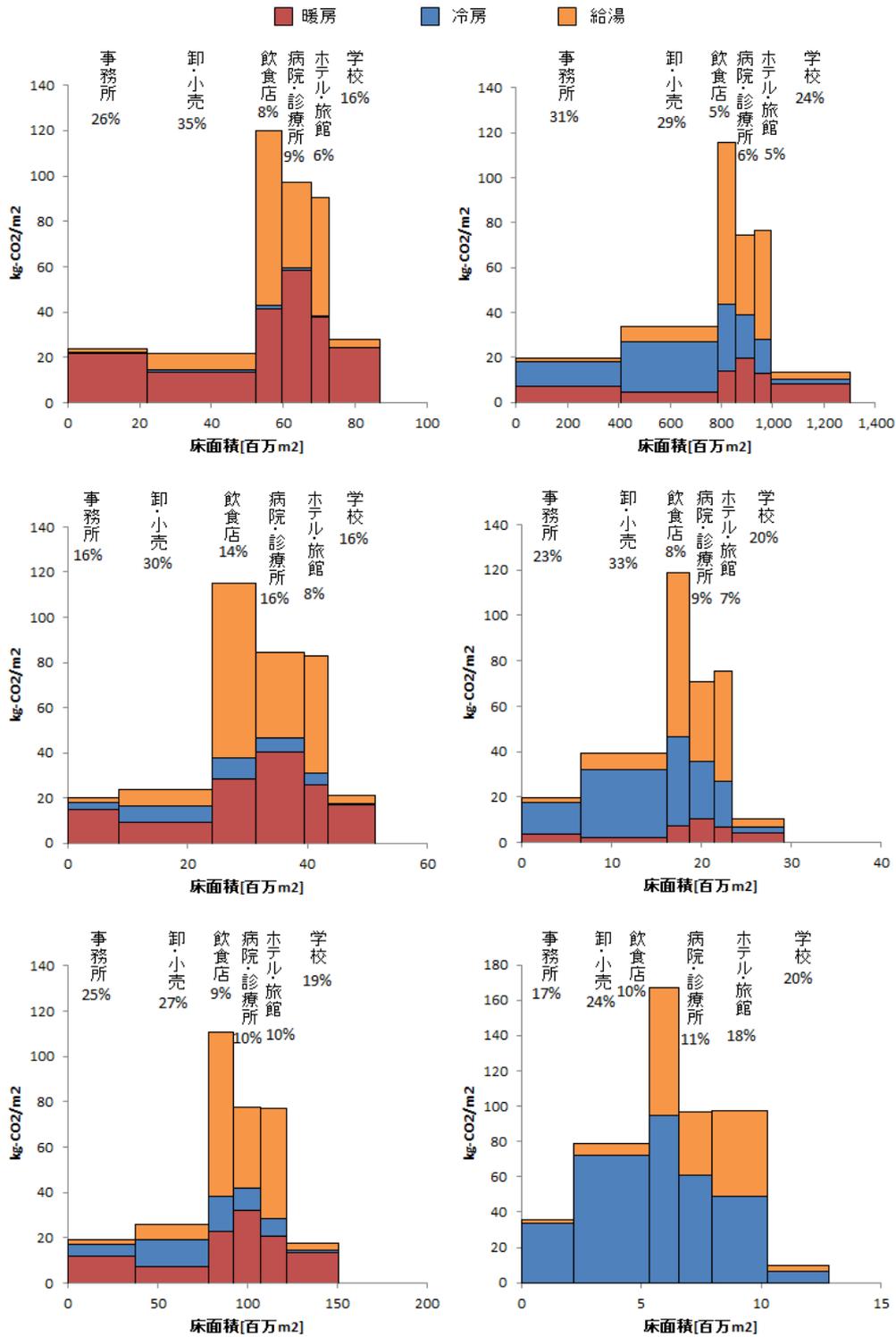


図 4-10 2014 年の熱需要を満たすエネルギー供給に由来する CO2 排出の構造
 (左上：1,2 地域、左中：3 地域、左下：4 地域、右上：5,6 地域、右中：7 地域、右下：8 地域)

(図中の%は各地域における世帯数の比率を示す)

注) 電化率は、エネルギー用途別に、EDMC を参考に設定した。

(3) 再生可能エネルギー熱導入以外の変化要因とその効果【業務】

再生可能エネルギー熱及びそれ以外の要因（断熱性能向上、機器効率向上）による CO2 排出量の削減効果の推計にあたっては、表 4-21 のとおり平成 27 年度調査から精査を行った。

表 4-21 CO2 削減効果の推計に関する精緻化の視点【業務】

	平成 27 年度調査	本年度調査
用途	・ 暖房・冷房・給湯と設定。	・ 平成 27 年度調査と同様。
寒冷地・温暖地	・ 寒冷地は北海道・東北・北陸、温暖地はそれら以外と設定。	・ 本調査においては、寒冷地を 1,2,3 地域、4 地域～8 地域を温暖地と設定。
機器効率	・ 表 4-23 のとおり。	・ 表 4-23 のとおり。
断熱効果	・ 2013 年の断熱性能を寒冷地・温暖地共に 1 とした場合、2050 年の寒冷地の暖房・冷房は 0.7、温暖地の暖房・冷房は 0.5 と想定。給湯は効果なし (1) と想定。	・ 平成 27 年度調査と同様。
地域別の延床面積	<p>現状（2013 年）の延床面積：</p> <ul style="list-style-type: none"> 「事務所」は平成 20 年度法人建物統計 「事務所以外」は EDMC「エネルギー・経済統計要覧」における業務部門業種別延床面積を、総務省「経済センサス」（H26）の業種別事業所数で按分。なお、デパートは「卸・小売業」、娯楽場は「飲食店」を含む。 <p>2050 年の延床面積：</p> <ul style="list-style-type: none"> 病院・診療所の面積は 75 歳以上人口伸び率と一人あたり病院延床面積伸び率に比例、学校の面積は 19 歳以下人口伸び率と一人あたり学校延床面積伸び率に比例、その他は横ばいとした。 	<p>現状（2014 年）の延床面積：</p> <ul style="list-style-type: none"> 表 4-19 のとおり。 <p>2050 年の延床面積：</p> <ul style="list-style-type: none"> 平成 27 年度調査と同様。

1) 断熱性能、機器効率の向上とその効果【業務】

断熱性能、機器効率の向上については、平成 27 年度における調査と同様に以下のような想定とした。

ZEB の普及も含めた断熱性能の大幅な向上を、表 4-22 のとおり想定した。ここではまず、既に定められている建築物の省エネルギー基準（最新は平成 25 年改正。本基準の断熱性能は平成 11 年基準相当）に加え、「平成 11 年基準型」から 2 割熱需要を削減できる「ZEB 基準型」、同 7 割削減が可能な「ZEB 強化型」の住宅基準ができることを想定した。これは、前述した住宅における ZEH と同様として設定している。

さらに、各年の新築または改築を行う建築物の、これらの基準の採用状況を想定した。

各年の新築・改築着工数を推計した上で、2050 年までの各年でのストック平均としての

冷暖房省エネルギー指数を算出した。断熱性能別の住宅の構成比と、冷暖房エネルギー消費指数の推移を図 4-11 に示す。2014 年から 2050 年にかけて、建築物の冷暖房需要は、概ね 4 割減少すると推計された。

表 4-22 業務用建物の断熱性能向上の想定

		S55 以前仕様	S55 基準型	H4 基準型	H11 基準型	ZEB 基準型	ZEB 強化型
冷暖房エネルギー消費指数		1	0.925	0.85	0.75	0.6	0.225
普及想定 (フロー)	2010			23%	77%		
	2020				70%	20%	10%
	2030				20%	50%	30%
	2050				0%	0%	100%

出所) 「S55 基準型」「H4 基準型」「H11 基準型」の指数は国土交通省「住宅建築に関する省エネの状況」より。「ZEB 基準型」は「H11 基準型」から 2 割、「ZEB 強化型」は「H11 基準型」から 7 割削減とする。2010 年の普及は国土交通省「国交省建築省エネ達成率の推移資料」より。

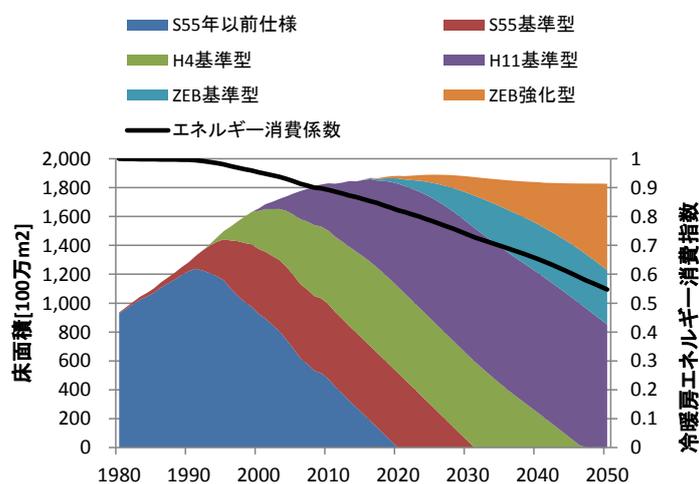


図 4-11 冷暖房用エネルギー需要の変化

注) 床面積：将来はほぼ横ばいとして推計（学校、病院のみ、人口構成の変化によって変化すると想定）。
着工面積：純増分に加えて 2008 年まではストックの 3%分、2009 年以降はストックの 2.5%分が建て替えと想定。

機器効率の向上については、住宅用機器と同様に、算出の単純化のため、利用燃料は「電気」か「電気以外」（都市ガスまたは LPG のいずれか）のみであるとした上で、各機器のストック効率（または COP）を表 4-23 のように想定した。2050 年の効率・COP は、表 4-24 に示す各機器の省エネ率（エネルギー消費量の削減率）を想定した上で、各機器の効率・COP に換算した値である。

表 4-23 各機器の効率向上の想定【業務】

	電気での熱供給			電気以外での熱供給		
	現在の典型的な機器	現状のストック効率・COP	2050年のストック効率・COP*	現在の典型的な機器	現状のストック効率・COP	2050年のストック効率・COP
暖房	大気熱利用 エアコン	寒冷地 1.8** 温暖地 2.7**	寒冷地 2.1 温暖地 3.2	ヒーター・ ストーブ	90%	—
冷房	大気熱利用 エアコン	3.4**	4.1	—		—
給湯	電気温水器 またはヒート ポンプ式 給湯器	寒冷地 1.0 温暖地 1.5 (平均)	寒冷地 2.0 温暖地 3.1 (全て HP 式給湯器)	燃焼式給湯 器	80%	95%

*補機等の消費を含めたシステム COP

**2050年に家庭用機器と同程度の COP となるよう、現状を逆算

表 4-24 各機器の省エネ率の想定【業務】

	エネルギー 源	技術	消費エネルギー 削減率 (業務)
暖房	電気	大気熱利用エアコン	▲20%
冷房	電気	大気熱利用エアコン	▲20%
給湯	電気	ヒートポンプ式給湯器	▲10%
	ガス	給湯器 (従来型効率 80%→潜熱回収型 95%)	同左

出所) 社団法人日本冷凍空調工業会編「ヒートポンプの実用性能の可能性と将来展望」日刊工業新聞社、2010年を参考に設定

2050年に向けての延床面積変化と、建物の断熱性能の向上と機器効率の向上によるCO2排出量の削減効果を試算した結果を図 4-12 に示す。電気の排出係数 (0.5kgCO2/kWh) や熱需要の電化率は、同じとして比較を行っている。

2050年には、建築物の熱需要を満たすエネルギー供給からのCO2排出量は2014年比で約33%減少する。

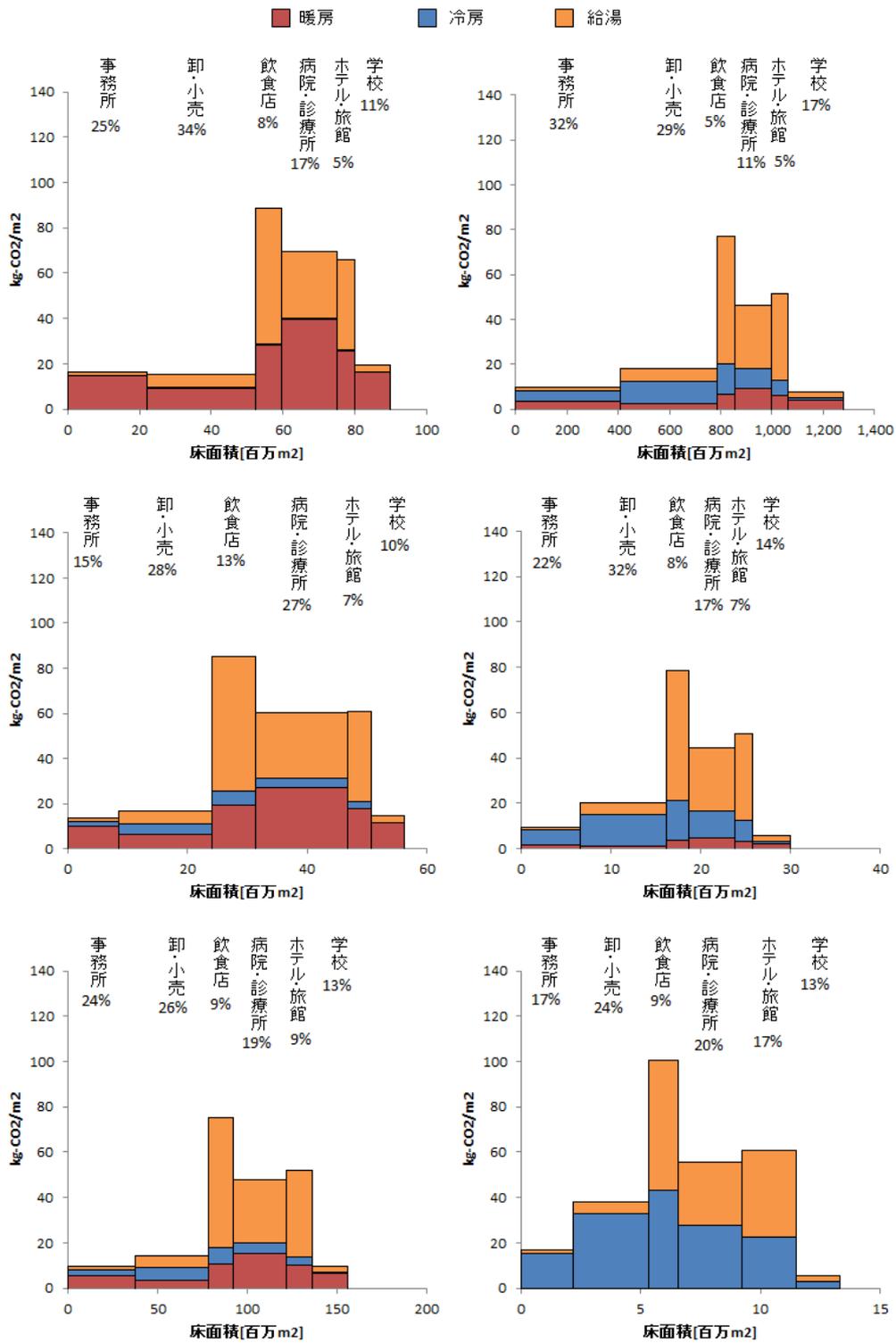


図 4-12 断熱性能の向上と機器効率の向上の効果（2050年）【業務】

（左上：1,2 地域、左中：3 地域、左下：4 地域、右上：5,6 地域、右中：7 地域、右下：8 地域）

（図中の％は各地域における世帯数の比率を示す）

注）2050年の用途別の延床面積については、病院・診療所の面積は75歳以上人口伸び率と一人あたり病院延床面積伸び率、学校の面積は19歳以下人口伸び率と一人あたり学校延床面積伸び率に比

例、その他は 2014 年から横ばいとした。

2) 電気の低炭素化、熱需要の電化の効果【業務】

前述した断熱性能の向上、機器効率の向上を想定した上で、電気の低炭素化・熱需要の電化が進んだ場合の、地域別の CO₂ 削減率を試算した。

電気の低炭素化は、今後の再生可能エネルギー・原子力政策に依存するところが大きく、また熱需要の電化の程度は、今後の需要家の選好に依存するところが大きい。そこでここでは、いずれも複数のパターンを想定することとした。

電気の低炭素化の度合いとしては、平成 27 年度調査の想定と同じく電気の排出係数が、0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4kgCO₂/kWh の 5 通りを想定した。また、追加電化率（2014 年の電化率を冷房 75%、暖房 20%、給湯 10%程度である（EDMC より推計）として、現在電化されていない部分のうち、どれだけ追加的に電化されるかの比率を示す）を、0%から 100%の 10% 刻みで設定した。

これらの各場合における、建物の熱需要を満たすエネルギー供給からの CO₂ 排出量の 2014 年比の削減率は、表 4-25 に示すとおりとなった。

これは、再生可能エネルギー熱の活用を想定しなければ、CO₂ 大幅削減のためには電気の排出係数の削減と、熱需要を満たすためのエネルギー供給の電化の双方が必須であるということを示している。また、寒冷地ほど電気の排出係数の削減、電化が必要という結果となっている。

表 4-25 断熱性能の向上・機器効率の向上・電気の低炭素化・熱需要の電化の効果【業務】

2014年比CO2削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/ kWh	0.0	1,2地域	33.2%	39.9%	46.5%	53.2%	59.9%	66.6%	73.3%	80.0%	86.6%	93.3%	100.0%
		3地域	31.4%	38.3%	45.2%	52.0%	58.9%	65.7%	72.6%	79.4%	86.3%	93.1%	100.0%
		4地域	42.6%	48.3%	54.1%	59.8%	65.5%	71.3%	77.0%	82.8%	88.5%	94.3%	100.0%
		5,6地域	54.5%	59.0%	63.6%	68.1%	72.7%	77.2%	81.8%	86.3%	90.9%	95.4%	100.0%
		7地域	53.9%	58.5%	63.1%	67.7%	72.3%	76.9%	81.6%	86.2%	90.8%	95.4%	100.0%
		8地域	63.0%	66.7%	70.4%	74.1%	77.8%	81.5%	85.2%	88.9%	92.6%	96.3%	100.0%
	0.1	1,2地域	30.1%	35.1%	40.1%	45.2%	50.2%	55.3%	60.3%	65.3%	70.4%	75.4%	80.4%
		3地域	27.7%	32.9%	38.0%	43.2%	48.4%	53.5%	58.7%	63.9%	69.1%	74.2%	79.4%
		4地域	40.0%	44.8%	49.6%	54.4%	59.2%	64.0%	68.8%	73.6%	78.5%	83.3%	88.1%
		5,6地域	51.0%	54.8%	58.6%	62.4%	66.3%	70.1%	73.9%	77.7%	81.6%	85.4%	89.2%
		7地域	49.8%	53.7%	57.6%	61.5%	65.3%	69.2%	73.1%	76.9%	80.8%	84.7%	88.6%
		8地域	58.0%	61.1%	64.3%	67.4%	70.5%	73.6%	76.7%	79.8%	82.9%	86.1%	89.2%
	0.2	1,2地域	27.0%	30.3%	33.7%	37.1%	40.5%	43.9%	47.3%	50.7%	54.1%	57.5%	60.9%
		3地域	24.0%	27.4%	30.9%	34.4%	37.9%	41.4%	44.9%	48.3%	51.8%	55.3%	58.8%
		4地域	37.3%	41.2%	45.1%	49.0%	52.9%	56.7%	60.6%	64.5%	68.4%	72.3%	76.2%
		5,6地域	47.5%	50.6%	53.7%	56.8%	59.9%	63.0%	66.1%	69.1%	72.2%	75.3%	78.4%
		7地域	45.8%	48.9%	52.1%	55.2%	58.3%	61.5%	64.6%	67.7%	70.8%	74.0%	77.1%
		8地域	53.0%	55.6%	58.1%	60.6%	63.2%	65.7%	68.2%	70.8%	73.3%	75.8%	78.4%
	0.3	1,2地域	23.8%	25.6%	27.3%	29.1%	30.8%	32.6%	34.3%	36.1%	37.8%	39.6%	41.3%
		3地域	20.2%	22.0%	23.8%	25.6%	27.4%	29.2%	31.0%	32.8%	34.6%	36.4%	38.2%
		4地域	34.7%	37.7%	40.6%	43.6%	46.5%	49.5%	52.4%	55.4%	58.3%	61.3%	64.3%
		5,6地域	44.0%	46.3%	48.7%	51.1%	53.4%	55.8%	58.2%	60.5%	62.9%	65.3%	67.7%
		7地域	41.7%	44.1%	46.5%	48.9%	51.3%	53.7%	56.1%	58.5%	60.9%	63.3%	65.7%
		8地域	48.0%	50.0%	51.9%	53.9%	55.8%	57.8%	59.7%	61.7%	63.6%	65.6%	67.5%
0.4	1,2地域	20.7%	20.8%	20.9%	21.0%	21.1%	21.2%	21.3%	21.4%	21.5%	21.6%	21.7%	
	3地域	16.5%	16.6%	16.7%	16.8%	16.9%	17.0%	17.1%	17.2%	17.4%	17.5%	17.6%	
	4地域	32.1%	34.1%	36.1%	38.2%	40.2%	42.2%	44.2%	46.3%	48.3%	50.3%	52.3%	
	5,6地域	40.5%	42.1%	43.7%	45.4%	47.0%	48.7%	50.3%	51.9%	53.6%	55.2%	56.9%	
	7地域	37.7%	39.3%	41.0%	42.7%	44.3%	46.0%	47.6%	49.3%	50.9%	52.6%	54.2%	
	8地域	43.0%	44.4%	45.8%	47.1%	48.5%	49.9%	51.2%	52.6%	54.0%	55.4%	56.7%	

(4) 再生可能エネルギー熱導入の効果【業務】

1) 再生可能エネルギー熱の利用の想定【業務】

再生可能エネルギー熱の利用の想定については、以下のとおり平成27年度における調査と同様とした。

上述した断熱性能の向上、機器効率の向上を想定した上で、各再生可能エネルギー熱を最大限利用することによる、業務用建物の熱需要を満たすエネルギー供給の低炭素化への寄与ポテンシャルを試算した。

想定する再生可能エネルギー熱の利用方法を表4-26に示す。なお、その他の再生可能エネルギー熱の利用方法も考え得るが、ここでは現状の導入実績が多い方法を想定した。

また、いずれの場合も、再生可能エネルギー熱の最大限の利用を考え、対象となる全ての建物に導入することを想定した。

表4-26 再生可能エネルギー熱利用等による効果の想定【業務】

	電気での熱供給		電気以外での熱供給	
	想定技術	効果	想定技術	効果
① 太陽熱利用による給湯予熱	太陽熱利用による給湯予熱	給湯需要 20%分を削減	太陽熱利用による給湯予熱	給湯需要 20%分を削減
② 太陽熱利用による冷暖房	—	—	ソーラークーリング・温水暖房利	冷房・暖房需要を20%削減

			用	
③ 地中熱等による冷暖房・給湯	地中熱等ヒートポンプ	温暖地の冷暖房・給湯 COP が+1、寒冷地の COP は温暖地と同じ	—	—

2) 太陽熱利用による給湯予熱【業務】

全建物において、給湯需要の 20%を太陽熱で賄う場合を想定した。このときの単位面積当たりの地域別の再生可能エネルギー熱利用量 (MJ/m²) を表 4-27 に示す。また、これによる地域別の CO₂ 追加削減効果 (表 4-26 に対する追加分) を表 4-28 に示す。

暖房・冷房需要と異なり、給湯需要は将来の高断熱化によって大きくは減少しないため、再生可能エネルギー熱を含めた供給側の低炭素化方策としての太陽熱利用給湯システムの効果は比較的大きい結果であった。同じ再生可能エネルギー熱利用量でも、電化率が低い場合・電気の低炭素化が進んでいない場合に、CO₂ 削減効果が大きかった。

給湯需要については地域で差がない想定としているため、CO₂ 削減効果としては各地域の建物用途構成による給湯需要の大小のみが影響しており、地域による傾向は見られなかった。なお、排出係数が 0.4kgCO₂/kWh の 1,2 地域、3 地域においてのみ、電化率の増加に伴って削減効果が大きくなる傾向になっているが、寒冷地と想定している 1,2,3 地域とその他の地域とでは、表 4-23 に示したように電気を使用する給湯器の効率の想定が異なっており、より低い効率を想定している寒冷地においては、排出係数が高くなると、電化が進んだ社会において電気を使用する給湯器を太陽熱で置き換えた方が、CO₂ 削減効果が高くなることを示している。

3) 太陽熱利用による冷暖房【業務】

冷暖房が電化されていない建物において、冷房・暖房需要の 20%を太陽熱で賄う場合を想定した。このときの単位面積当たりの地域別再生可能エネルギー熱利用量 (MJ/m²) を表 4-29、地域別 CO₂ 追加削減効果 (表 4-26 に対する追加分) を表 4-30 に示す。

再生可能エネルギー熱利用量としては、暖冷房需要の 20%を賄うことを想定しているため、その需要が大きい地域ほど高くなっていることに加えて、電化率を暖房の 20%に対して冷房は 75%と設定しているため、暖房需要の方がより太陽熱の活用余地 (非電気の暖房需要) が残っており、寒冷地の利用量が大きくなっていると考えられる。ただし、温暖地の 8 地域の利用量も高いが、これは 8 地域の冷房度日 (970 度日) が全国平均 (399 度日) に比べて非常に大きいこと、すなわち冷房需要が大きいことが要因と考えられる。

CO₂ 削減効果としては、地域差としては再生可能エネルギー熱の利用量と同様に寒冷地ほど効果が大きい傾向にあり、電化が進んだ場合、上述のように太陽熱の活用余地が小さくなるため、削減効果としても減少する傾向となっている。

4) 地中熱等による冷暖房・給湯【業務】

冷暖房・給湯を電気で熱供給している建物において、地中熱等の活用により、温暖地の冷暖房・給湯 COP が大気熱利用時よりも 1 向上し、寒冷地においても温暖地と同じ COP が達成される場合を想定した。このときの単位面積当たりの地域別再生可能エネルギー熱

利用量を表 4-31、地域別 CO2 追加削減効果（表 4-26 に対する追加分）を表 4-32 に示す。

再生可能エネルギー熱の利用量としては、地中熱の利用による COP の向上率が温暖地に比べて寒冷地の方が高いことを想定しているため、寒冷地における利用量が多い結果となっている。ただし、温暖地の中でも 8 地域（沖縄）は利用量が多いが、太陽熱利用による冷暖房と同様に、8 地域の冷房需要の大きさが要因と考えられる。

CO2 削減効果としては、地域差としては再生可能エネルギー熱の利用量と同様に寒冷地ほど効果が大きい傾向にあり、電化率が高いほど地中熱による置き換えの対象が増加するため、CO2 削減効果が大きくなる傾向にある。また、電気の排出係数が大きいほど、地中熱利用の効果は大きくなっており、排出係数がゼロの場合は効率の向上による効果は見込めないため削減効果もゼロとなる。

5) 組み合わせの効果【業務】

上述した、太陽熱利用による給湯予熱及び冷暖房、地中熱による冷暖房・給湯を組み合わせたときの地域別の CO2 削減効果（表 4-26 に対する追加分）を試算した結果を表 4-33 に示す。また、高断熱化、機器効率の向上による効果との合算としての 2050 年時点における削減率を表 4-34 に示す。2)～4) の効果の組み合わせの結果としては、排出係数が小さいほど地域による削減効果の差も小さくなるが、排出係数が大きい場合には、寒冷地と温暖地の削減効果の違いが大きくなる傾向にある。

再生可能エネルギー熱の活用を想定しないときは、電気の排出係数の大幅削減や熱需要を満たすためのエネルギー供給の大幅な電化が生じなければ、CO2 の 80%削減は困難であった（表 4-25）ことに対し、表 4-34 に示すように再生可能エネルギー熱を最大限活用することにより、大幅な電化、電気の低炭素化が進まない場合においても、建物の熱需要を満たすエネルギー供給において 8 割近い CO2 排出削減の可能性が出てくることがわかった。

表 4-27 太陽熱の給湯利用による再生可能エネルギー熱利用量【業務】

再生可能エネルギー熱 利用量[MJ/m ²]		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
		3地域	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3
		4地域	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
		5,6地域	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
		7地域	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3
		8地域	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	0.1	1,2地域	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
		3地域	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3
		4地域	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
		5,6地域	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
		7地域	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3
		8地域	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	0.2	1,2地域	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
		3地域	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3
		4地域	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
		5,6地域	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
		7地域	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3
		8地域	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	0.3	1,2地域	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
		3地域	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3
		4地域	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
		5,6地域	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
		7地域	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3
		8地域	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	0.4	1,2地域	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
		3地域	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3
		4地域	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
		5,6地域	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
		7地域	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3
		8地域	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0

表 4-28 太陽熱の給湯利用による追加的 CO₂ 削減効果【業務】

2014年比CO ₂ 追加削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	6.2%	5.6%	5.0%	4.3%	3.7%	3.1%	2.5%	1.9%	1.2%	0.6%	0.0%
		3地域	7.9%	7.1%	6.4%	5.6%	4.8%	4.0%	3.2%	2.4%	1.6%	0.8%	0.0%
		4地域	7.4%	6.7%	6.0%	5.2%	4.5%	3.7%	3.0%	2.2%	1.5%	0.7%	0.0%
		5,6地域	5.7%	5.2%	4.6%	4.0%	3.4%	2.9%	2.3%	1.7%	1.1%	0.6%	0.0%
		7地域	6.6%	5.9%	5.3%	4.6%	4.0%	3.3%	2.6%	2.0%	1.3%	0.7%	0.0%
		8地域	5.1%	4.6%	4.1%	3.6%	3.1%	2.6%	2.1%	1.5%	1.0%	0.5%	0.0%
	0.1	1,2地域	6.4%	5.9%	5.5%	5.0%	4.6%	4.1%	3.6%	3.2%	2.7%	2.3%	1.8%
		3地域	8.2%	7.6%	7.0%	6.4%	5.8%	5.2%	4.7%	4.1%	3.5%	2.9%	2.3%
		4地域	7.6%	7.0%	6.3%	5.7%	5.1%	4.5%	3.9%	3.2%	2.6%	2.0%	1.4%
		5,6地域	5.9%	5.4%	4.9%	4.4%	3.9%	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.6%	1.1%
		7地域	6.7%	6.2%	5.6%	5.1%	4.5%	4.0%	3.4%	2.9%	2.3%	1.8%	1.2%
		8地域	5.2%	4.8%	4.4%	4.0%	3.5%	3.1%	2.7%	2.2%	1.8%	1.4%	1.0%
	0.2	1,2地域	6.6%	6.3%	6.0%	5.7%	5.4%	5.1%	4.8%	4.5%	4.2%	3.9%	3.6%
		3地域	8.4%	8.0%	7.6%	7.3%	6.9%	6.5%	6.1%	5.7%	5.4%	5.0%	4.6%
		4地域	7.7%	7.2%	6.7%	6.2%	5.7%	5.3%	4.8%	4.3%	3.8%	3.3%	2.8%
		5,6地域	6.0%	5.6%	5.2%	4.8%	4.4%	4.1%	3.7%	3.3%	2.9%	2.5%	2.1%
		7地域	6.9%	6.4%	6.0%	5.5%	5.1%	4.7%	4.2%	3.8%	3.3%	2.9%	2.5%
		8地域	5.3%	5.0%	4.7%	4.3%	4.0%	3.6%	3.3%	2.9%	2.6%	2.3%	1.9%
	0.3	1,2地域	6.8%	6.6%	6.5%	6.4%	6.2%	6.1%	5.9%	5.8%	5.7%	5.5%	5.4%
		3地域	8.6%	8.5%	8.3%	8.1%	7.9%	7.8%	7.6%	7.4%	7.3%	7.1%	6.9%
		4地域	7.9%	7.5%	7.1%	6.8%	6.4%	6.0%	5.6%	5.3%	4.9%	4.5%	4.2%
		5,6地域	6.1%	5.8%	5.5%	5.2%	4.9%	4.6%	4.4%	4.1%	3.8%	3.5%	3.2%
		7地域	7.0%	6.6%	6.3%	6.0%	5.7%	5.3%	5.0%	4.7%	4.4%	4.0%	3.7%
		8地域	5.4%	5.2%	4.9%	4.7%	4.4%	4.2%	3.9%	3.6%	3.4%	3.1%	2.9%
	0.4	1,2地域	6.9%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	7.1%	7.1%	7.1%	7.2%	7.2%	7.2%
		3地域	8.9%	8.9%	8.9%	9.0%	9.0%	9.0%	9.1%	9.1%	9.2%	9.2%	9.2%
		4地域	8.0%	7.8%	7.5%	7.3%	7.0%	6.8%	6.5%	6.3%	6.0%	5.8%	5.6%
		5,6地域	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.4%	5.2%	5.0%	4.9%	4.7%	4.5%	4.3%
		7地域	7.1%	6.9%	6.7%	6.4%	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.4%	5.1%	4.9%
		8地域	5.5%	5.4%	5.2%	5.0%	4.9%	4.7%	4.5%	4.3%	4.2%	4.0%	3.8%

表 4-29 太陽熱の冷暖房利用による再生可能エネルギー熱利用量【業務】

再生可能エネルギー熱 利用量[MJ/m ²]		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	52.2	47.0	41.8	36.6	31.3	26.1	20.9	15.7	10.4	5.2	0.0
		3地域	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7	0.0
		4地域	28.8	25.9	23.0	20.1	17.3	14.4	11.5	8.6	5.8	2.9	0.0
		5,6地域	21.1	19.0	16.9	14.8	12.7	10.6	8.5	6.3	4.2	2.1	0.0
		7地域	19.9	17.9	15.9	13.9	11.9	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
		8地域	30.6	27.6	24.5	21.5	18.4	15.3	12.3	9.2	6.1	3.1	0.0
	0.1	1,2地域	52.2	47.0	41.8	36.6	31.3	26.1	20.9	15.7	10.4	5.2	0.0
		3地域	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7	0.0
		4地域	28.8	25.9	23.0	20.1	17.3	14.4	11.5	8.6	5.8	2.9	0.0
		5,6地域	21.1	19.0	16.9	14.8	12.7	10.6	8.5	6.3	4.2	2.1	0.0
		7地域	19.9	17.9	15.9	13.9	11.9	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
		8地域	30.6	27.6	24.5	21.5	18.4	15.3	12.3	9.2	6.1	3.1	0.0
	0.2	1,2地域	52.2	47.0	41.8	36.6	31.3	26.1	20.9	15.7	10.4	5.2	0.0
		3地域	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7	0.0
		4地域	28.8	25.9	23.0	20.1	17.3	14.4	11.5	8.6	5.8	2.9	0.0
		5,6地域	21.1	19.0	16.9	14.8	12.7	10.6	8.5	6.3	4.2	2.1	0.0
		7地域	19.9	17.9	15.9	13.9	11.9	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
		8地域	30.6	27.6	24.5	21.5	18.4	15.3	12.3	9.2	6.1	3.1	0.0
	0.3	1,2地域	52.2	47.0	41.8	36.6	31.3	26.1	20.9	15.7	10.4	5.2	0.0
		3地域	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7	0.0
		4地域	28.8	25.9	23.0	20.1	17.3	14.4	11.5	8.6	5.8	2.9	0.0
		5,6地域	21.1	19.0	16.9	14.8	12.7	10.6	8.5	6.3	4.2	2.1	0.0
		7地域	19.9	17.9	15.9	13.9	11.9	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
		8地域	30.6	27.6	24.5	21.5	18.4	15.3	12.3	9.2	6.1	3.1	0.0
	0.4	1,2地域	52.2	47.0	41.8	36.6	31.3	26.1	20.9	15.7	10.4	5.2	0.0
		3地域	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7	0.0
		4地域	28.8	25.9	23.0	20.1	17.3	14.4	11.5	8.6	5.8	2.9	0.0
		5,6地域	21.1	19.0	16.9	14.8	12.7	10.6	8.5	6.3	4.2	2.1	0.0
		7地域	19.9	17.9	15.9	13.9	11.9	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
		8地域	30.6	27.6	24.5	21.5	18.4	15.3	12.3	9.2	6.1	3.1	0.0

表 4-30 太陽熱の冷暖房利用による追加的 CO₂ 削減効果【業務】

2014年比CO ₂ 追加削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	7.2%	6.4%	5.7%	5.0%	4.3%	3.6%	2.9%	2.1%	1.4%	0.7%	0.0%
		3地域	5.8%	5.2%	4.6%	4.0%	3.5%	2.9%	2.3%	1.7%	1.2%	0.6%	0.0%
		4地域	4.0%	3.6%	3.2%	2.8%	2.4%	2.0%	1.6%	1.2%	0.8%	0.4%	0.0%
		5,6地域	3.4%	3.0%	2.7%	2.3%	2.0%	1.7%	1.3%	1.0%	0.7%	0.3%	0.0%
		7地域	2.6%	2.4%	2.1%	1.8%	1.6%	1.3%	1.0%	0.8%	0.5%	0.3%	0.0%
		8地域	2.3%	2.0%	1.8%	1.6%	1.4%	1.1%	0.9%	0.7%	0.5%	0.2%	0.0%
	0.1	1,2地域	7.6%	7.0%	6.5%	5.9%	5.4%	4.9%	4.3%	3.8%	3.2%	2.7%	2.1%
		3地域	6.3%	5.8%	5.4%	4.9%	4.5%	4.1%	3.6%	3.2%	2.7%	2.3%	1.8%
		4地域	4.4%	4.1%	3.7%	3.4%	3.1%	2.7%	2.4%	2.0%	1.7%	1.3%	1.0%
		5,6地域	3.9%	3.7%	3.4%	3.1%	2.8%	2.5%	2.2%	1.9%	1.7%	1.4%	1.1%
		7地域	3.3%	3.1%	2.9%	2.6%	2.4%	2.2%	2.0%	1.7%	1.5%	1.3%	1.1%
		8地域	3.2%	3.0%	2.8%	2.6%	2.4%	2.2%	2.0%	1.8%	1.6%	1.4%	1.2%
	0.2	1,2地域	8.0%	7.7%	7.3%	6.9%	6.5%	6.1%	5.7%	5.4%	5.0%	4.6%	4.2%
		3地域	6.8%	6.5%	6.2%	5.9%	5.5%	5.2%	4.9%	4.6%	4.3%	3.9%	3.6%
		4地域	4.8%	4.5%	4.2%	4.0%	3.7%	3.4%	3.1%	2.8%	2.6%	2.3%	2.0%
		5,6地域	4.5%	4.3%	4.1%	3.8%	3.6%	3.4%	3.1%	2.9%	2.6%	2.4%	2.2%
		7地域	4.0%	3.8%	3.6%	3.4%	3.2%	3.1%	2.9%	2.7%	2.5%	2.3%	2.1%
		8地域	4.1%	3.9%	3.7%	3.6%	3.4%	3.2%	3.1%	2.9%	2.7%	2.6%	2.4%
	0.3	1,2地域	8.5%	8.3%	8.0%	7.8%	7.6%	7.4%	7.2%	7.0%	6.8%	6.5%	6.3%
		3地域	7.3%	7.1%	6.9%	6.8%	6.6%	6.4%	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.4%
		4地域	5.2%	5.0%	4.8%	4.5%	4.3%	4.1%	3.9%	3.6%	3.4%	3.2%	3.0%
		5,6地域	5.1%	4.9%	4.8%	4.6%	4.4%	4.2%	4.0%	3.8%	3.6%	3.4%	3.2%
		7地域	4.7%	4.5%	4.4%	4.2%	4.1%	3.9%	3.8%	3.6%	3.5%	3.3%	3.2%
		8地域	5.0%	4.8%	4.7%	4.6%	4.4%	4.3%	4.2%	4.0%	3.9%	3.7%	3.6%
	0.4	1,2地域	8.9%	8.9%	8.8%	8.8%	8.7%	8.7%	8.6%	8.6%	8.5%	8.5%	8.4%
		3地域	7.8%	7.8%	7.7%	7.7%	7.6%	7.6%	7.5%	7.4%	7.4%	7.3%	7.3%
		4地域	5.6%	5.4%	5.3%	5.1%	4.9%	4.8%	4.6%	4.5%	4.3%	4.1%	4.0%
		5,6地域	5.7%	5.6%	5.5%	5.3%	5.2%	5.0%	4.9%	4.8%	4.6%	4.5%	4.3%
		7地域	5.4%	5.2%	5.1%	5.0%	4.9%	4.8%	4.7%	4.6%	4.4%	4.3%	4.2%
		8地域	5.9%	5.8%	5.7%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.1%	5.0%	4.9%	4.8%

表 4-31 地中熱の冷暖房・給湯利用による再生可能エネルギー熱利用量【業務】

再生可能エネルギー熱 利用量[MJ/m ²]		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	22.5	34.8	47.1	59.4	71.7	84.0	96.3	108.5	120.8	133.1	145.4
		3地域	25.5	39.4	53.2	67.0	80.8	94.7	108.5	122.3	136.1	150.0	163.8
		4地域	8.1	11.3	14.4	17.6	20.7	23.9	27.0	30.2	33.3	36.5	39.6
		5,6地域	8.9	11.0	13.1	15.2	17.3	19.4	21.5	23.6	25.7	27.8	29.9
		7地域	11.9	14.5	17.0	19.5	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5	37.1
		8地域	24.8	28.1	31.4	34.8	38.1	41.4	44.8	48.1	51.4	54.8	58.1
	0.1	1,2地域	22.5	34.8	47.1	59.4	71.7	84.0	96.3	108.5	120.8	133.1	145.4
		3地域	25.5	39.4	53.2	67.0	80.8	94.7	108.5	122.3	136.1	150.0	163.8
		4地域	8.1	11.3	14.4	17.6	20.7	23.9	27.0	30.2	33.3	36.5	39.6
		5,6地域	8.9	11.0	13.1	15.2	17.3	19.4	21.5	23.6	25.7	27.8	29.9
		7地域	11.9	14.5	17.0	19.5	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5	37.1
		8地域	24.8	28.1	31.4	34.8	38.1	41.4	44.8	48.1	51.4	54.8	58.1
	0.2	1,2地域	22.5	34.8	47.1	59.4	71.7	84.0	96.3	108.5	120.8	133.1	145.4
		3地域	25.5	39.4	53.2	67.0	80.8	94.7	108.5	122.3	136.1	150.0	163.8
		4地域	8.1	11.3	14.4	17.6	20.7	23.9	27.0	30.2	33.3	36.5	39.6
		5,6地域	8.9	11.0	13.1	15.2	17.3	19.4	21.5	23.6	25.7	27.8	29.9
		7地域	11.9	14.5	17.0	19.5	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5	37.1
		8地域	24.8	28.1	31.4	34.8	38.1	41.4	44.8	48.1	51.4	54.8	58.1
	0.3	1,2地域	22.5	34.8	47.1	59.4	71.7	84.0	96.3	108.5	120.8	133.1	145.4
		3地域	25.5	39.4	53.2	67.0	80.8	94.7	108.5	122.3	136.1	150.0	163.8
		4地域	8.1	11.3	14.4	17.6	20.7	23.9	27.0	30.2	33.3	36.5	39.6
		5,6地域	8.9	11.0	13.1	15.2	17.3	19.4	21.5	23.6	25.7	27.8	29.9
		7地域	11.9	14.5	17.0	19.5	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5	37.1
		8地域	24.8	28.1	31.4	34.8	38.1	41.4	44.8	48.1	51.4	54.8	58.1
	0.4	1,2地域	22.5	34.8	47.1	59.4	71.7	84.0	96.3	108.5	120.8	133.1	145.4
		3地域	25.5	39.4	53.2	67.0	80.8	94.7	108.5	122.3	136.1	150.0	163.8
		4地域	8.1	11.3	14.4	17.6	20.7	23.9	27.0	30.2	33.3	36.5	39.6
		5,6地域	8.9	11.0	13.1	15.2	17.3	19.4	21.5	23.6	25.7	27.8	29.9
		7地域	11.9	14.5	17.0	19.5	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5	37.1
		8地域	24.8	28.1	31.4	34.8	38.1	41.4	44.8	48.1	51.4	54.8	58.1

表 4-32 地中熱の冷暖房・給湯利用による追加的 CO₂ 削減効果【業務】

2014年比CO ₂ 追加削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO ₂ /k Wh	0.0	1,2地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		3地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		4地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		5,6地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		7地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		8地域	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	0.1	1,2地域	1.5%	2.4%	3.2%	4.0%	4.9%	5.7%	6.5%	7.4%	8.2%	9.0%	9.8%
		3地域	1.6%	2.4%	3.3%	4.1%	5.0%	5.8%	6.6%	7.5%	8.3%	9.2%	10.0%
		4地域	0.6%	0.8%	1.0%	1.2%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%	2.4%	2.6%	2.8%
		5,6地域	0.7%	0.9%	1.1%	1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	1.9%	2.1%	2.3%	2.4%
		7地域	0.8%	1.0%	1.2%	1.4%	1.5%	1.7%	1.9%	2.0%	2.2%	2.4%	2.6%
		8地域	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%	1.9%	2.1%	2.2%	2.3%
	0.2	1,2地域	3.1%	4.7%	6.4%	8.0%	9.7%	11.4%	13.0%	14.7%	16.4%	18.0%	19.7%
		3地域	3.1%	4.8%	6.5%	8.2%	9.9%	11.6%	13.3%	15.0%	16.7%	18.4%	20.1%
		4地域	1.1%	1.6%	2.0%	2.5%	2.9%	3.4%	3.8%	4.3%	4.7%	5.1%	5.6%
		5,6地域	1.5%	1.8%	2.1%	2.5%	2.8%	3.2%	3.5%	3.9%	4.2%	4.5%	4.9%
		7地域	1.7%	2.0%	2.4%	2.7%	3.1%	3.4%	3.7%	4.1%	4.4%	4.8%	5.1%
		8地域	2.0%	2.3%	2.5%	2.8%	3.1%	3.3%	3.6%	3.9%	4.2%	4.4%	4.7%
	0.3	1,2地域	4.6%	7.1%	9.6%	12.1%	14.6%	17.1%	19.6%	22.1%	24.6%	27.0%	29.5%
		3地域	4.7%	7.2%	9.8%	12.3%	14.9%	17.4%	19.9%	22.5%	25.0%	27.6%	30.1%
		4地域	1.7%	2.4%	3.1%	3.7%	4.4%	5.1%	5.7%	6.4%	7.1%	7.7%	8.4%
		5,6地域	2.2%	2.7%	3.2%	3.7%	4.2%	4.8%	5.3%	5.8%	6.3%	6.8%	7.3%
		7地域	2.5%	3.0%	3.5%	4.1%	4.6%	5.1%	5.6%	6.1%	6.7%	7.2%	7.7%
		8地域	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%	5.4%	5.8%	6.2%	6.6%	7.0%
	0.4	1,2地域	6.1%	9.4%	12.8%	16.1%	19.4%	22.8%	26.1%	29.4%	32.7%	36.1%	39.4%
		3地域	6.3%	9.6%	13.0%	16.4%	19.8%	23.2%	26.6%	30.0%	33.4%	36.7%	40.1%
		4地域	2.3%	3.2%	4.1%	5.0%	5.9%	6.7%	7.6%	8.5%	9.4%	10.3%	11.2%
		5,6地域	2.9%	3.6%	4.3%	5.0%	5.7%	6.3%	7.0%	7.7%	8.4%	9.1%	9.8%
		7地域	3.3%	4.0%	4.7%	5.4%	6.1%	6.8%	7.5%	8.2%	8.9%	9.6%	10.3%
		8地域	4.0%	4.5%	5.1%	5.6%	6.2%	6.7%	7.2%	7.8%	8.3%	8.8%	9.4%

表 4-33 再生可能エネルギー熱の組み合わせによる効果【業務】

2014年比CO2追加削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/k Wh	0.0	1,2地域	13.4%	12.0%	10.7%	9.4%	8.0%	6.7%	5.3%	4.0%	2.7%	1.3%	0.0%
		3地域	13.7%	12.3%	11.0%	9.6%	8.2%	6.9%	5.5%	4.1%	2.7%	1.4%	0.0%
		4地域	11.5%	10.3%	9.2%	8.0%	6.9%	5.7%	4.6%	3.4%	2.3%	1.1%	0.0%
		5,6地域	9.1%	8.2%	7.3%	6.4%	5.5%	4.6%	3.6%	2.7%	1.8%	0.9%	0.0%
		7地域	9.2%	8.3%	7.4%	6.5%	5.5%	4.6%	3.7%	2.8%	1.8%	0.9%	0.0%
	8地域	7.4%	6.7%	5.9%	5.2%	4.4%	3.7%	3.0%	2.2%	1.5%	0.7%	0.0%	
	0.1	1,2地域	15.0%	14.6%	14.1%	13.7%	13.3%	12.9%	12.4%	12.0%	11.6%	11.2%	10.7%
		3地域	15.4%	15.0%	14.5%	14.1%	13.7%	13.3%	12.8%	12.4%	12.0%	11.6%	11.2%
		4地域	12.2%	11.3%	10.5%	9.7%	8.8%	8.0%	7.2%	6.3%	5.5%	4.7%	3.8%
		5,6地域	9.9%	9.2%	8.6%	7.9%	7.3%	6.6%	5.9%	5.3%	4.6%	3.9%	3.3%
		7地域	10.1%	9.5%	8.8%	8.2%	7.5%	6.8%	6.2%	5.5%	4.8%	4.2%	3.5%
	8地域	8.5%	7.9%	7.4%	6.9%	6.3%	5.8%	5.2%	4.7%	4.2%	3.6%	3.1%	
	0.2	1,2地域	16.6%	17.1%	17.6%	18.1%	18.5%	19.0%	19.5%	20.0%	20.5%	21.0%	21.5%
		3地域	17.1%	17.6%	18.1%	18.6%	19.2%	19.7%	20.2%	20.7%	21.3%	21.8%	22.3%
		4地域	12.8%	12.3%	11.8%	11.3%	10.8%	10.3%	9.8%	9.2%	8.7%	8.2%	7.7%
		5,6地域	10.7%	10.3%	9.9%	9.5%	9.0%	8.6%	8.2%	7.8%	7.4%	6.9%	6.5%
		7地域	11.1%	10.7%	10.3%	9.9%	9.4%	9.0%	8.6%	8.2%	7.8%	7.4%	7.0%
	8地域	9.5%	9.2%	8.9%	8.5%	8.2%	7.8%	7.5%	7.2%	6.8%	6.5%	6.1%	
	0.3	1,2地域	18.2%	19.6%	21.0%	22.4%	23.8%	25.2%	26.6%	28.0%	29.4%	30.8%	32.2%
		3地域	18.7%	20.2%	21.7%	23.2%	24.6%	26.1%	27.6%	29.0%	30.5%	32.0%	33.5%
		4地域	13.5%	13.3%	13.1%	12.9%	12.7%	12.5%	12.3%	12.1%	11.9%	11.7%	11.5%
		5,6地域	11.5%	11.4%	11.2%	11.0%	10.8%	10.7%	10.5%	10.3%	10.1%	10.0%	9.8%
		7地域	12.0%	11.8%	11.7%	11.5%	11.4%	11.3%	11.1%	11.0%	10.8%	10.7%	10.5%
	8地域	10.6%	10.5%	10.3%	10.2%	10.1%	9.9%	9.8%	9.6%	9.5%	9.4%	9.2%	
	0.4	1,2地域	19.8%	22.1%	24.4%	26.7%	29.1%	31.4%	33.7%	36.0%	38.3%	40.6%	42.9%
		3地域	20.4%	22.8%	25.3%	27.7%	30.1%	32.5%	34.9%	37.4%	39.8%	42.2%	44.6%
		4地域	14.2%	14.3%	14.4%	14.6%	14.7%	14.8%	14.9%	15.0%	15.2%	15.3%	15.4%
		5,6地域	12.3%	12.4%	12.5%	12.5%	12.6%	12.7%	12.8%	12.8%	12.9%	13.0%	13.0%
		7地域	12.9%	13.0%	13.1%	13.2%	13.4%	13.5%	13.6%	13.7%	13.8%	13.9%	14.0%
	8地域	11.7%	11.7%	11.8%	11.9%	11.9%	12.0%	12.0%	12.1%	12.2%	12.2%	12.3%	

表 4-34 再生可能エネルギー熱の組み合わせ、高断熱化、機器効率の向上の効果【業務】

2014年比CO2削減率		追加電化率											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
電気の 排出係数 kgCO2/ kWh	0.0	1,2地域	46.5%	51.9%	57.2%	62.6%	67.9%	73.3%	78.6%	84.0%	89.3%	94.7%	100.0%
		3地域	45.2%	50.6%	56.1%	61.6%	67.1%	72.6%	78.1%	83.5%	89.0%	94.5%	100.0%
		4地域	54.1%	58.7%	63.3%	67.8%	72.4%	77.0%	81.6%	86.2%	90.8%	95.4%	100.0%
		5,6地域	63.6%	67.2%	70.9%	74.5%	78.2%	81.8%	85.4%	89.1%	92.7%	96.4%	100.0%
		7地域	63.1%	66.8%	70.5%	74.2%	77.9%	81.6%	85.2%	88.9%	92.6%	96.3%	100.0%
	8地域	70.4%	73.4%	76.3%	79.3%	82.2%	85.2%	88.2%	91.1%	94.1%	97.0%	100.0%	
	0.1	1,2地域	45.0%	49.7%	54.3%	58.9%	63.5%	68.1%	72.7%	77.3%	81.9%	86.5%	91.2%
		3地域	43.1%	47.8%	52.6%	57.3%	62.1%	66.8%	71.6%	76.3%	81.1%	85.8%	90.5%
		4地域	52.1%	56.1%	60.1%	64.1%	68.0%	72.0%	76.0%	80.0%	84.0%	88.0%	91.9%
		5,6地域	60.9%	64.0%	67.2%	70.4%	73.5%	76.7%	79.8%	83.0%	86.2%	89.3%	92.5%
		7地域	60.0%	63.2%	66.4%	69.6%	72.8%	76.0%	79.2%	82.4%	85.6%	88.9%	92.1%
	8地域	66.5%	69.1%	71.6%	74.2%	76.8%	79.4%	81.9%	84.5%	87.1%	89.7%	92.3%	
	0.2	1,2地域	43.5%	47.4%	51.3%	55.2%	59.1%	62.9%	66.8%	70.7%	74.6%	78.4%	82.3%
		3地域	41.0%	45.0%	49.0%	53.1%	57.1%	61.1%	65.1%	69.1%	73.1%	77.1%	81.1%
		4地域	50.2%	53.5%	56.9%	60.3%	63.6%	67.0%	70.4%	73.8%	77.1%	80.5%	83.9%
		5,6地域	58.2%	60.9%	63.5%	66.2%	68.9%	71.6%	74.2%	76.9%	79.6%	82.3%	85.0%
		7地域	56.9%	59.6%	62.3%	65.0%	67.8%	70.5%	73.2%	75.9%	78.7%	81.4%	84.1%
	8地域	62.6%	64.8%	67.0%	69.2%	71.3%	73.5%	75.7%	77.9%	80.1%	82.3%	84.5%	
	0.3	1,2地域	42.0%	45.2%	48.3%	51.5%	54.6%	57.8%	60.9%	64.1%	67.2%	70.3%	73.5%
		3地域	39.0%	42.2%	45.5%	48.8%	52.0%	55.3%	58.6%	61.8%	65.1%	68.4%	71.6%
		4地域	48.2%	51.0%	53.7%	56.5%	59.3%	62.0%	64.8%	67.5%	70.3%	73.0%	75.8%
		5,6地域	55.5%	57.7%	59.9%	62.1%	64.3%	66.5%	68.7%	70.9%	73.0%	75.2%	77.4%
		7地域	53.7%	56.0%	58.2%	60.5%	62.7%	65.0%	67.2%	69.4%	71.7%	73.9%	76.2%
	8地域	58.6%	60.5%	62.3%	64.1%	65.9%	67.7%	69.5%	71.3%	73.1%	74.9%	76.8%	
	0.4	1,2地域	40.5%	43.0%	45.4%	47.8%	50.2%	52.6%	55.0%	57.4%	59.8%	62.2%	64.6%
		3地域	36.9%	39.4%	42.0%	44.5%	47.0%	49.6%	52.1%	54.6%	57.1%	59.7%	62.2%
		4地域	46.3%	48.4%	50.6%	52.7%	54.9%	57.0%	59.1%	61.3%	63.4%	65.6%	67.7%
		5,6地域	52.8%	54.5%	56.2%	57.9%	59.6%	61.4%	63.1%	64.8%	66.5%	68.2%	69.9%
		7地域	50.6%	52.4%	54.1%	55.9%	57.7%	59.4%	61.2%	63.0%	64.7%	66.5%	68.2%
	8地域	54.7%	56.2%	57.6%	59.0%	60.4%	61.9%	63.3%	64.7%	66.2%	67.6%	69.0%	

(5) まとめ

住宅については、世帯数の減少に加え、断熱性能の向上、機器効率の向上を想定すると、2050年には、地域によらず熱需要を満たすエネルギー供給からのCO₂排出量はおよそ半減する。さらに、電気の低炭素化かつ大幅な電化が進めば、再生可能エネルギー熱を活用しなくても、住宅・業務用建物の熱需要を満たすエネルギー供給において、8割以上のCO₂排出削減を達成することはできる。一方で、業務用建物については、寒冷地では断熱性能の向上、機器効率の向上だけではCO₂排出量の削減率は2割弱にとどまっており、8割以上のCO₂排出削減のためには、住宅よりも大幅な電気の低炭素化かつ電化が求められる結果となった。

このように、住宅と業務用建物とでは違いはあるものの、2050年80%削減を実現するためには大幅な電化と電気の低炭素化が必要となるが、何らかの制約で電化、電気の低炭素化が進まない場合においても、再生可能エネルギー熱を最大限活用することができれば、住宅・業務用建物の熱需要を満たすエネルギー供給において8割近いCO₂排出削減の可能性が高まると試算された。

地域別で見ると、住宅については再生可能エネルギー熱を最大限活用することによる効果としては、表4-17に示したように寒冷地において最も高く、表4-18に示したように多くの領域において8割以上の削減が実現できる結果となっている。業務用建物についても、再生可能エネルギー熱活用の効果としては表4-33に示したように寒冷地での効果が大きくなっている。一方、高断熱化や機器効率の向上の効果と合わせて評価した場合には、表4-34に示すように、温暖地と大きな差は見られず、削減率としては温暖地の方が若干高くなっている。ただし、これは寒冷地ほど再生可能エネルギー熱の活用によってさらなる削減が求められていることが示されている。

以上より、再生可能エネルギー熱の役割及びその有効な活用先としては、寒冷地における熱需要の大きな用途が有望であることが示された。そこで、次節以降では北海道札幌市を想定し、寒冷地において再生可能エネルギー熱を如何に有効に活用するかについて複数建物での再生可能エネルギー熱のシェア、地域熱供給における清掃工場排熱の活用について検討を行うとともにその効果を試算した。

4.3 再生可能エネルギー熱の効果的な活用方法の検討

4.3.1 複数建物による再生可能エネルギー熱のシェア

(1) 検討対象エリア

検討対象は札幌市にある 14,300m² 程度（南北 130m×東西 110m）の街区を想定し、この街区の中には、表 4-35 に示す 7 棟の建物が存在する。なお、今回の調査では 7 棟のうち、①～③の物件については、エネルギー消費量、エネルギーコスト等の実績値を把握できたため、これらの 3 物件とその他の物件（④～⑦）とを分けて分析を行った。

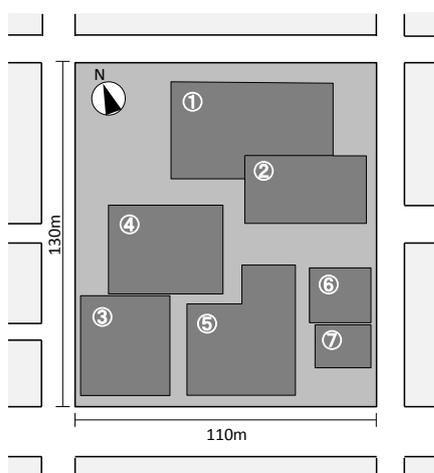


表 4-35 想定した街区に立地する建築物の概要

	名称	用途	延床面積 (m ²)
①	A ビル	集会所	6,460
②	B ビル	福祉施設	2,750
③	C ビル	1 階：夜間病院、2 階：夜間病院 3 階：事務所、4 階：集会所、 5 階：集会所	8,250
④	D ビル	事務所	2,000
⑤	E ビル	事務所	5,000
⑥	F ビル	事務所	3,000
⑦	G マンション	集合住宅	4,000

図 4-13 想定した街区

(2) 分析のフロー

上述の建築物について、用途別の年間熱負荷、月別熱負荷、時刻別熱負荷を算出し、その熱負荷を賄うために必要となるエネルギー消費量を、従前の熱源設備、再エネ熱を活用した場合の熱源設備における COP で除すことで算出した。さらに、街区内における再エネ熱（地中熱、太陽熱）の敷設面積を変化させ、採熱量を変えることで、CO₂ 削減量やランニングコスト、投資回収年数などの感度分析を行った。以下に分析のフローを示す。

①建物用途別の年間熱負荷原単位、月別熱負荷原単位、時刻別熱負荷原単位 (4.3.1(3)~4.3.1(5))

建物用途別の熱負荷原単位については、「(一社)都市環境エネルギー協会、地域冷暖房技術手引書」における年間熱負荷原単位に、同出典による月別負荷比率、時刻別負荷比率を乗じることで算出した。

$$\begin{aligned} \text{年間熱負荷原単位 (MJ/m}^2 \cdot \text{年)} &= \text{上記出典に基づく} \\ \text{月別熱負荷原単位 (MJ/m}^2 \cdot \text{月)} &= \text{年間熱負荷原単位} \times \text{月別負荷比率 (\%)} \\ \text{時刻別熱負荷原単位 (MJ/m}^2 \cdot \text{h)} &= \text{月別熱負荷原単位} \times \text{時刻別負荷比率 (\%)} \end{aligned}$$

②建物用途別の年間熱負荷、月別熱負荷、時刻別熱負荷 (4.3.1(6))

①で算出した建物用途別の熱負荷原単位に、当該街区に立地する建築物の面積を乗じることで年間、月別、時刻別の熱負荷を算出した。

$$\begin{aligned} \text{年間熱負荷 (GJ/年)} &= \text{上記出典に基づく} \\ \text{月別熱負荷 (GJ/月)} &= \text{年間熱負荷原単位} \times \text{月別負荷比率 (\%)} \\ \text{時刻別熱負荷 (MJ/h)} &= \text{月別熱負荷原単位} \times \text{時刻別負荷比率 (\%)} \end{aligned}$$

③再エネ熱の採熱原単位 (4.3.1(7))

地中熱及び太陽熱の採熱量としては、下記のとおり採熱原単位を設定した。なお、地中熱は暖冷房、太陽熱は給湯優先で余る場合には暖房に利用する想定とした。

$$\begin{aligned} \text{地中熱暖房採熱原単位 (MJ/m}^2 \cdot \text{h)} &= 0.47 \\ \text{地中熱冷房採熱原単位 (MJ/m}^2 \cdot \text{h)} &= 1.55 \\ \text{太陽熱 (MJ/m}^2 \cdot \text{h)} &= \text{集熱効率 40\%とし、札幌市の日射量に基づき設定} \end{aligned}$$

④再エネ熱導入前後の設備効率 (4.3.1(8))

再エネ熱の導入前における設備については、実態が把握できている3物件において、冷暖房についてはガス焚吸収式冷温水器(又は真空温水器との併用)、給湯については真空温水器を使用していることから、設備構成が不明のその他の物件についても同様の構成であると仮定した。各設備の効率については下記のとおり想定した。

$$\begin{aligned} \text{ガス焚吸収式冷温水器 (COP)} &= 1.2 \\ \text{真空温水器 (\%)} &= 80 \\ \text{地中熱ヒートポンプ (COP)} &= \text{冷房 6.0、暖房 4.0} \\ \text{太陽熱} &= \text{集熱効率 40\%とし、採熱量をそのまま利用可能とした} \end{aligned}$$

⑤再エネ熱導入前後の年間エネルギー消費量 (4.3.1(9))

再エネ熱導入前のエネルギー消費量については、②で算出した熱負荷を④で設定した設備効率で除すことで算出した。

再エネ熱導入後のエネルギー消費量については、③で設定した採熱原単位と敷設面積に応じて採熱量を算出し、その採熱量分は地中熱又は太陽熱で賄い、再エネ熱が不足する場合には従前の設備で処理することとした。

$$\begin{aligned} \text{再エネ熱導入前の年間エネルギー消費量 (GJ/年)} &= \sum (\text{時刻別熱負荷} / \text{従前設備の効率}) \\ \text{地中熱導入後の年間エネルギー消費量 (GJ/年)} &= \sum (\text{時刻別熱負荷} / \text{再エネ熱設備の効率}) \\ &\quad (+ \sum (\text{不足する時刻別熱負荷} / \text{従前設備の効率})) \end{aligned}$$

⑥年間ランニングコスト (4.3.1(9))

年間ランニングコスト(千円/年)については、⑤で算出したエネルギー消費量に都市ガス単価を乗じて算出した。

⑦イニシャルコスト (4.3.1(10))

地中熱利用のイニシャルコストについては、「環境省、地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版」、太陽熱利用のイニシャルコストについては、「資源エネルギー庁、あったかエコ太陽熱ウェブサイト」を参照し、以下のとおり想定した。

$$\begin{aligned} \text{地中熱 (千円/kW)} &: 600 \sim 400 && \text{※敷設面積に応じて価格が低下することを想定} \\ \text{太陽熱 (千円/m}^2) &: 140 \sim 100 && \text{※敷設面積に応じて価格が低下することを想定} \end{aligned}$$

⑧投資回収年数、年間CO2削減量、削減コスト (4.3.1(11))

敷設面積(100m²~2,000m²)による感度分析を行う指標として、下記を算出した。

$$\begin{aligned} \text{投資回収年数 (年)} &= \text{イニシャルコスト} / \text{年間ランニングコスト} \\ \text{年間CO}_2 \text{削減量 (t-CO}_2 \text{/年)} &= \text{年間エネルギー消費量} \times \text{排出係数} \\ \text{削減コスト (千円/t-CO}_2) &= \text{イニシャルコスト} / (\text{年間CO}_2 \text{削減量} \times 10 \text{年}) \end{aligned}$$

図 4-14 分析フロー

(3) 建物用途別の年間熱負荷原単位

建物用途別の年間熱負荷原単位を表 4-36 に示す。なお、北海道における年間熱負荷原単位はこの値に表 4-37 に示す地域係数を乗じて算出した。この北海道の年間熱負荷原単位に後述する月別、時間帯別の負荷比率を乗じて月別、時間帯別の熱負荷を算出する。

また、福祉施設、集会所については、出典において数値が記載されていないことから、ここでは福祉施設は医療施設と同様、集会所は業務施設と医療施設の平均とみなした（以下、全て同様）。

表 4-36 建物用途別 年間熱負荷原単位 (MJ/m²・年)

	業務施設	商業施設	宿泊施設	医療施設	福祉施設	集会所	集合住宅
冷房負荷原単位	293	523	419	335	335	33	293
暖房負荷原単位	130	147	335	310	310	84	130
給湯負荷原単位	9	96	335	335	335	126	9

数値の出典：（一社）都市環境エネルギー協会、地域冷暖房技術手引書

表 4-37 地域係数

	冷房	暖房	給湯
北海道	0.5	2.4	1.0
青森県	0.7	1.4	1.0
岩手県	0.7	1.4	1.0
宮城県	0.7	1.4	1.0
秋田県	0.7	1.4	1.0
山形県	0.7	1.4	1.0
福島県	0.7	1.4	1.0
茨城県	1.0	1.0	1.0
栃木県	1.0	1.0	1.0
群馬県	1.0	1.0	1.0
埼玉県	1.0	1.0	1.0
千葉県	1.0	1.0	1.0
東京都	1.0	1.0	1.0
神奈川県	1.0	1.0	1.0
新潟県	0.9	1.4	1.0
富山県	0.9	1.4	1.0
石川県	0.9	1.4	1.0
福井県	0.9	1.4	1.0
山梨県	0.9	1.4	1.0
長野県	0.7	1.4	1.0
岐阜県	1.1	0.9	1.0
静岡県	1.0	1.0	1.0
愛知県	1.1	0.9	1.0
三重県	1.1	0.9	1.0

	冷房	暖房	給湯
滋賀県	1.1	0.9	1.0
京都府	1.1	0.9	1.0
大阪府	1.1	0.9	1.0
兵庫県	1.1	0.9	1.0
奈良県	1.1	0.9	1.0
和歌山県	1.1	0.9	1.0
鳥取県	1.1	0.9	1.0
島根県	1.1	0.9	1.0
岡山県	1.1	0.9	1.0
広島県	1.1	0.9	1.0
山口県	1.1	0.9	1.0
徳島県	1.1	0.9	1.0
香川県	1.1	0.9	1.0
愛媛県	1.1	0.9	1.0
高知県	1.1	0.9	1.0
福岡県	1.2	0.7	1.0
佐賀県	1.2	0.7	1.0
長崎県	1.2	0.7	1.0
熊本県	1.2	0.7	1.0
大分県	1.2	0.7	1.0
宮崎県	1.2	0.7	1.0
鹿児島県	1.2	0.7	1.0
沖縄県	1.5	0.1	1.0

数値の出典：（一社）都市環境エネルギー協会、地域冷暖房技術手引書

表 4-38 北海道における建物用途別 年間熱負荷原単位 (MJ/m²・年)

	業務施設	商業施設	宿泊施設	医療施設	福祉施設	集会所	集合住宅
冷房負荷原単位	146.5	261.5	209.5	167.5	167.5	157.0	16.5
暖房負荷原単位	312.0	352.8	804.0	744.0	744.0	528.0	201.6
給湯負荷原単位	9.0	96.0	335.0	335.0	335.0	172.0	126.0

(4) 建物用途別の月別、時刻別熱負荷比率

建物用途別の月別熱負荷比率、時刻別熱負荷比率をそれぞれ図 4-15、図 4-16 に示す。この月別熱負荷比率に前述の年間熱負荷比率を乗じて月別の熱負荷を算出し、さらに時刻別熱負荷比率を乗じて時刻別の熱負荷を算出する。

なお、出典の数値は寒冷地向けとなっていないため、実際の建物への聞き取り調査から暖冷房の期間を把握し、その期間に負荷が発生するように比率を改変している。具体的には、暖房期間：10月～4月、冷房期間：6月～9月、中間期：5月とした。

また、医療施設については、検討対象街区に立地する建物は夜間病院となるため、時刻別の負荷比率を当該夜間病院の営業時間に応じて設定した。

(5) 建物用途別の月別、時刻別熱負荷原単位

建物用途別の月別熱負荷原単位、時刻別熱負荷原単位をそれぞれ図 4-17、図 4-18 に示す。この熱負荷原単位に建物用途別の延床面積を乗じて対象街区全体の熱負荷を算出する。なお、便宜的に冷房負荷についてはマイナスで表示している。

暖房負荷のピークは1月、冷房負荷のピークは8月に発生している。給湯負荷は年間を通じて発生しているが、そのピークは用途によって異なるものの、1月又は2月に発生している。

なお、時刻別の熱負荷原単位については、ある月の中では一定としている。例えば、1月1日～1月31日の時刻別熱負荷原単位はどの1日においても同じ値となる。

(6) 検討対象街区における建物別の年間、月別、時刻別熱負荷

検討対象街区に立地する建物別の年間、月別、時刻別の熱負荷をそれぞれ図 4-19～図 4-23 に示す。この熱負荷を設備効率で除してエネルギー消費量を算出する。検討対象街区における建物用途と延床面積は表 4-39 のとおり設定した。

表 4-39 検討対象街区に立地する建物の建物用途と延床面積

	用途	延床面積
A ビル	集会所等	6,460 m ²
B ビル	福祉施設	2,750 m ²
C ビル	医療施設	3,300 m ²
	業務用施設	1,650 m ²
	集会所等	3,300 m ²
その他	業務施設	10,000 m ²
	集合住宅	4,000 m ²

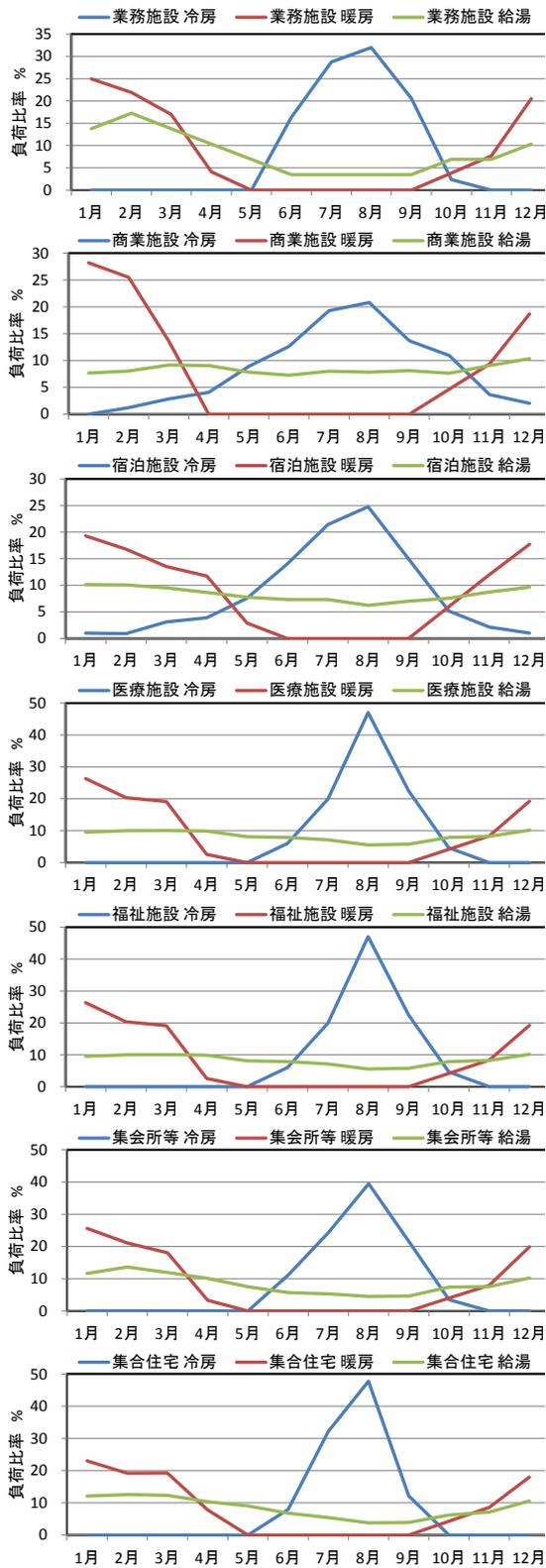


図 4-15 建物用途別月別熱負荷比率

数値の出典：「(一社)都市環境エネルギー協会、地域冷暖房技術手引書」の数値を基に改変

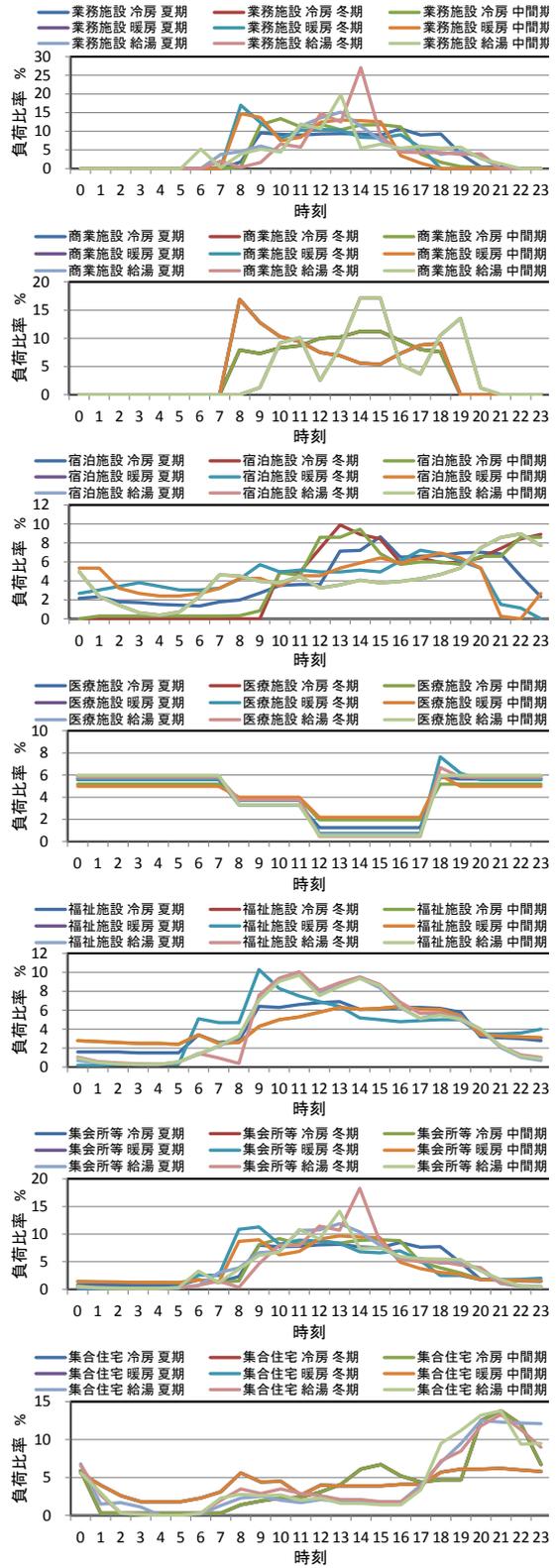


図 4-16 建物用途別時刻別熱負荷比率

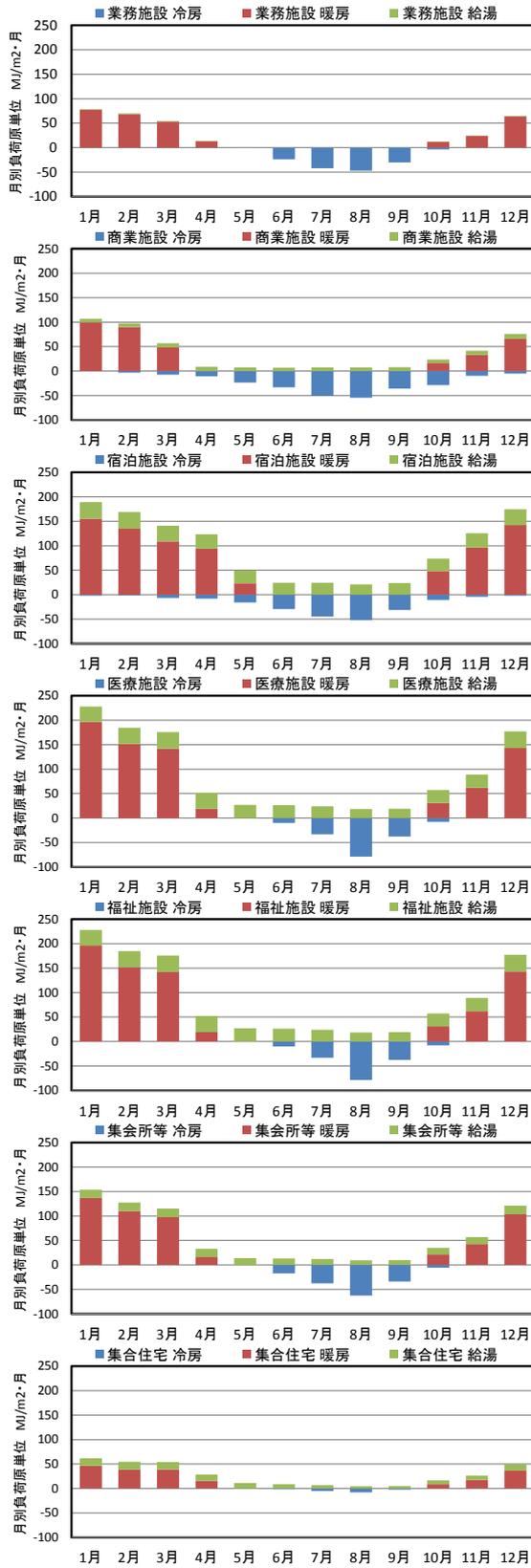


図 4-17 建物用途別月別熱負荷原単位

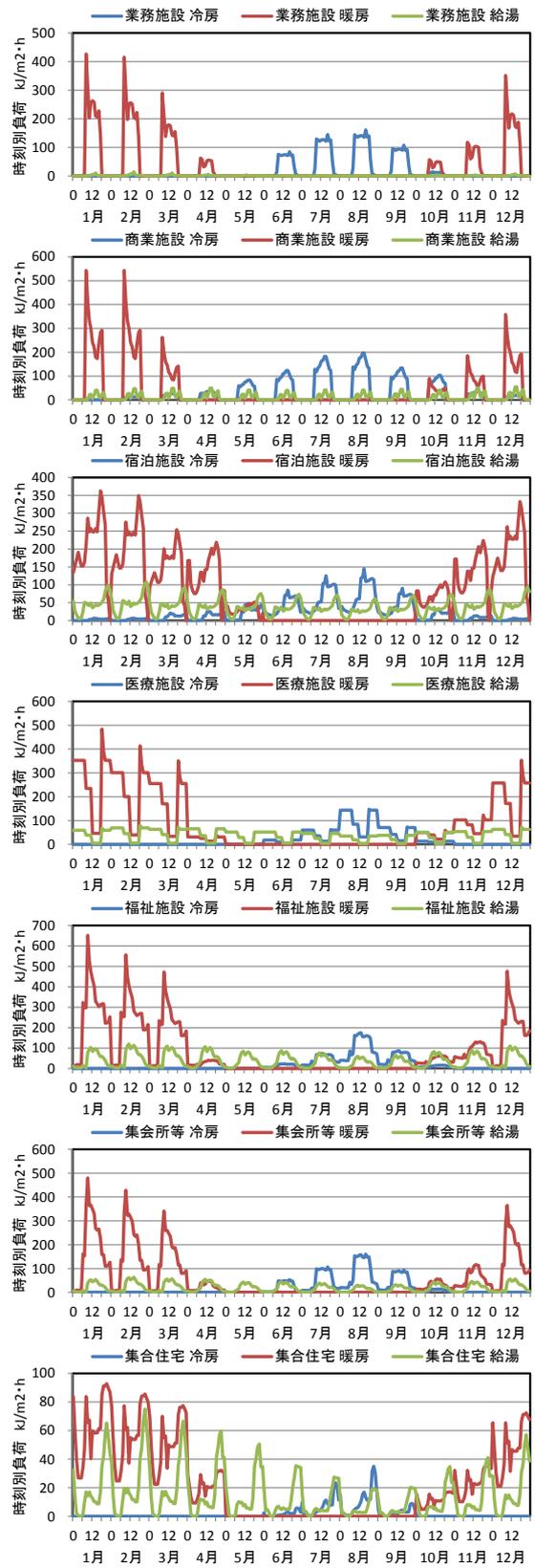


図 4-18 建物用途別時刻別熱負荷原単位

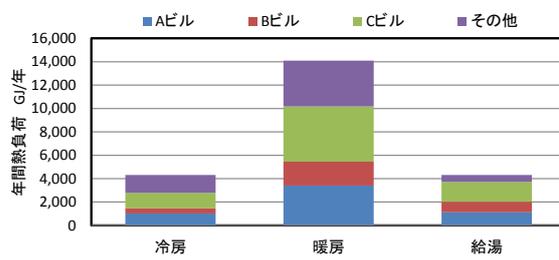


図 4-19 検討対象街区の年間熱負荷

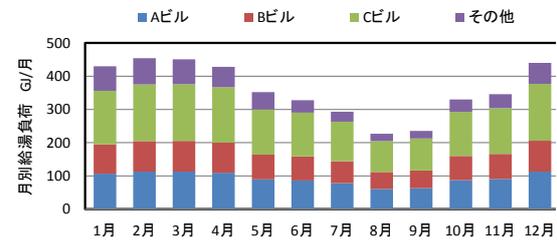
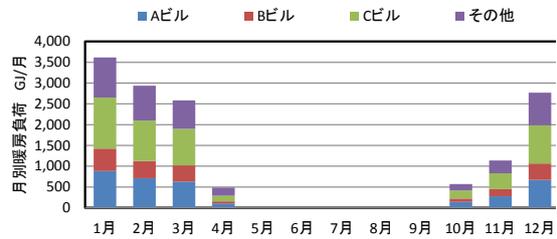
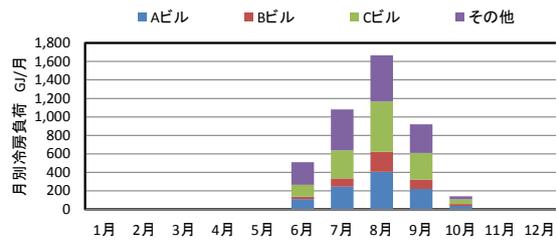


図 4-20 検討対象街区の月別熱負荷
(上：冷房負荷、中：暖房負荷、下：給湯負荷)

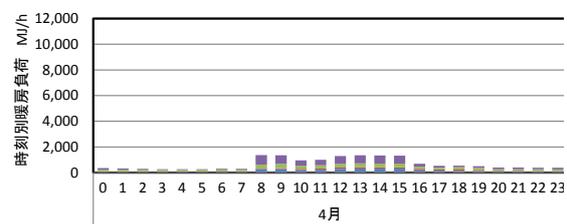
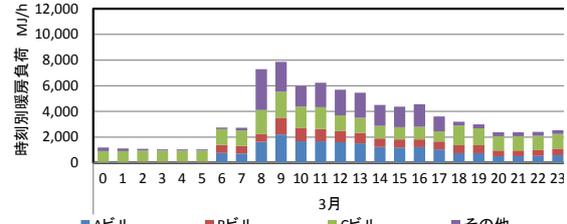
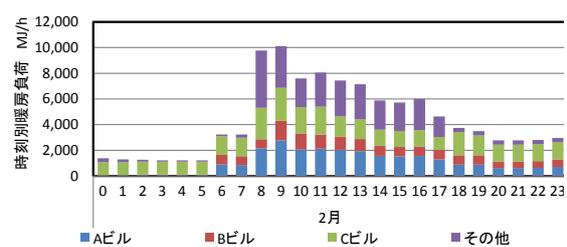
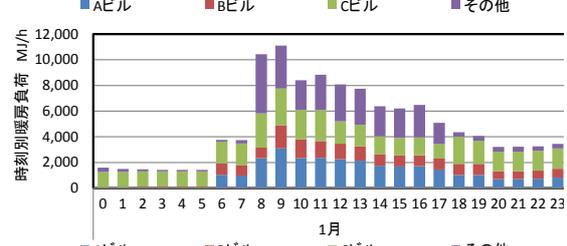
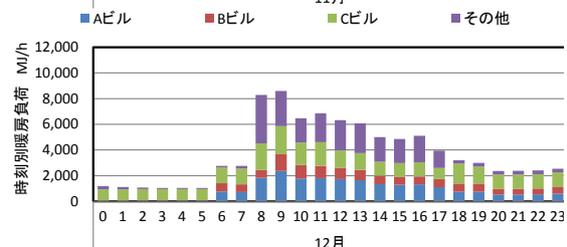
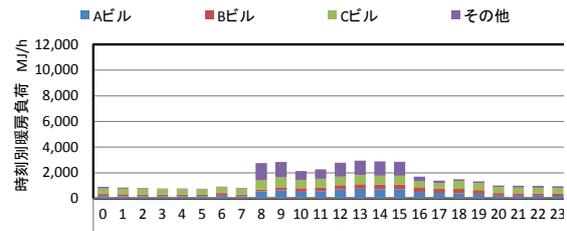
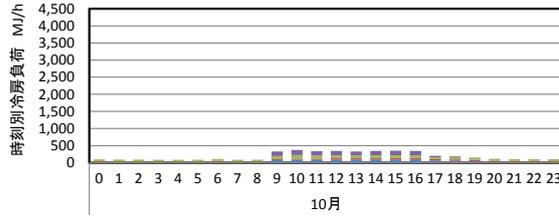
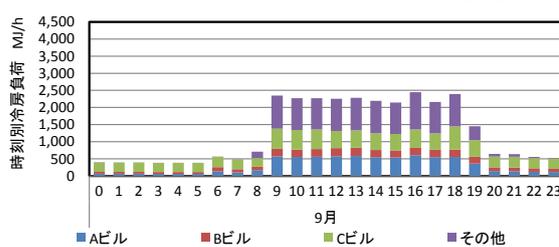
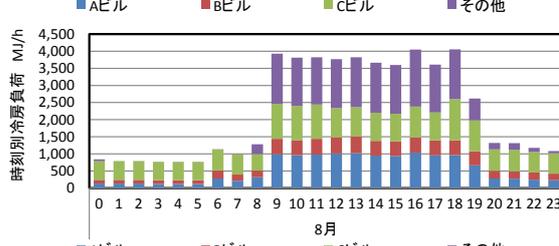
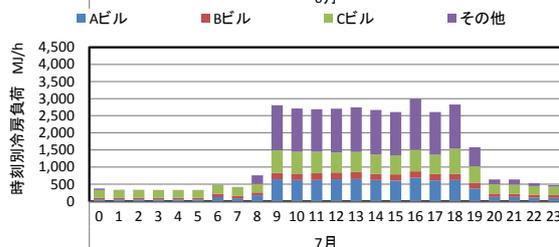
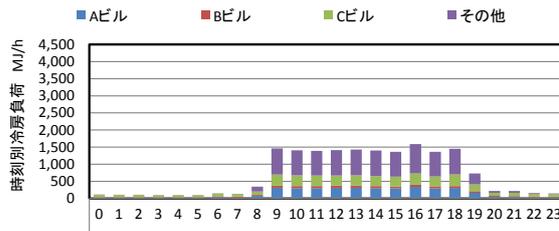


図 4-21 検討対象街区の時刻別冷房負荷

図 4-22 検討対象街区の時刻別暖房負荷

※負荷の発生する月のみを示す

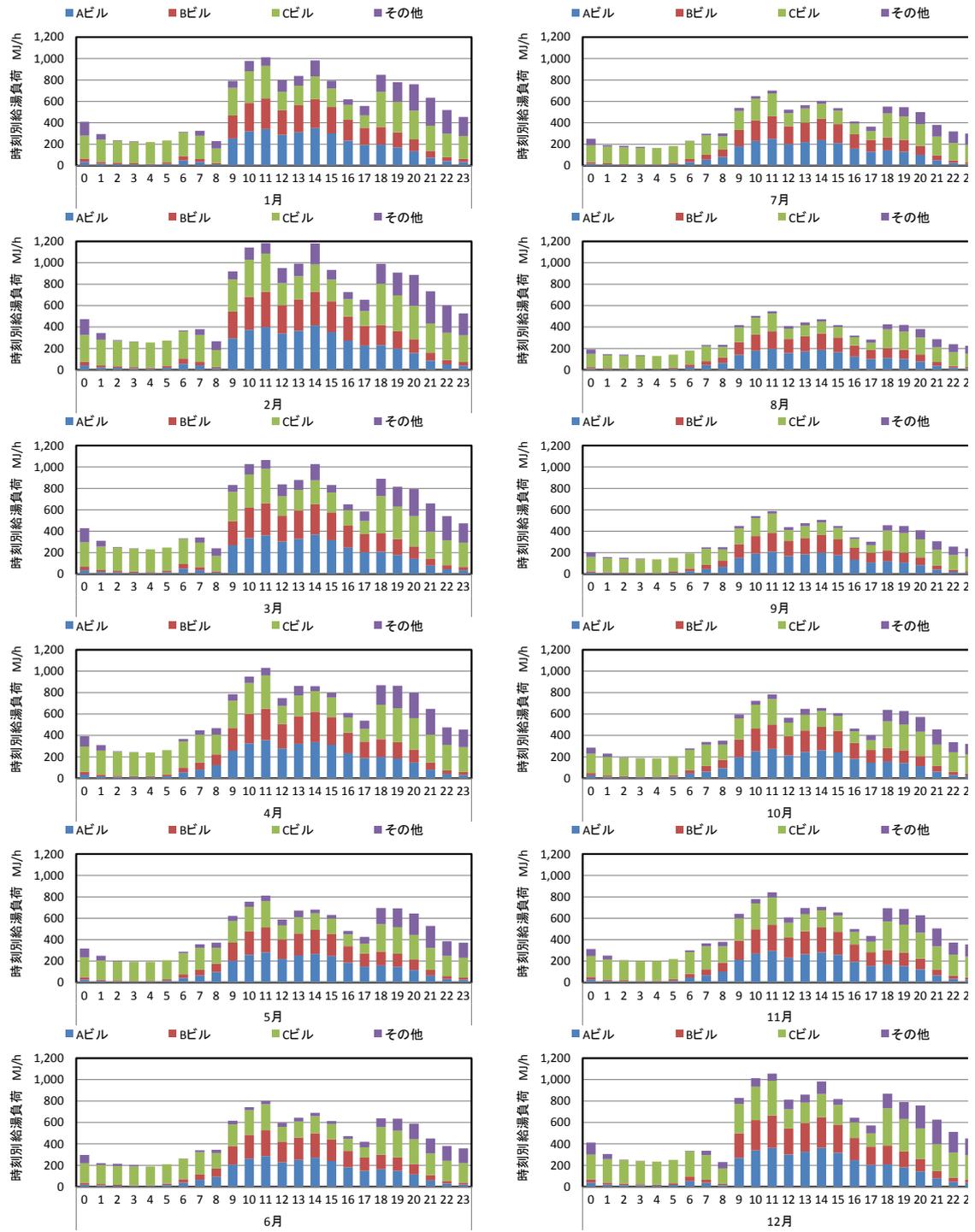


図 4-23 検討対象街区の時刻別給湯負荷

(7) 再エネ熱の採熱原単位

地中熱については、冷暖房に活用されることを想定し、それぞれの単位面積当たりの採熱原単位を表 4-40 のとおり設定した。

表 4-40 地中熱採熱原単位の諸元

諸元	暖房	冷房
①地中温度 (°C)	10.0	10.0
②熱源水出口温度 (°C)	7.0	20.0
③熱源水入口温度 (°C)	8.8	14.0
④温度差 (°C) ②-③	1.8	6.0
⑤熱通過率 (W/m・K)	11.5	11.5
⑥単位採熱管長当たり採熱原単位 (MJ/m・h) ④×⑤×3.6/1000	0.0745	0.2485
⑦単位面積当たり採熱管本数 (本/m ²)	0.0625	0.0625
⑧採熱管 1 本当たり長さ (m/本)	100	100
⑨単位面積当たり採熱原単位 (MJ/m ² ・h) ⑥×⑦×⑧	0.47	1.55

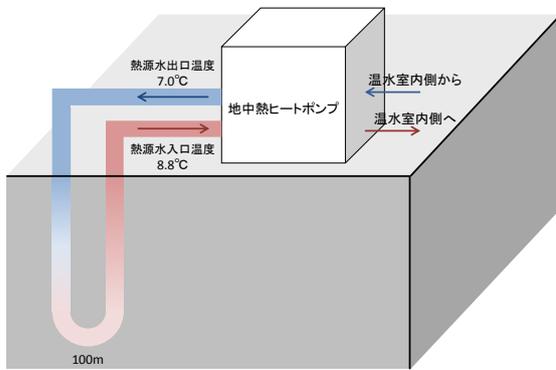


図 4-24 暖房時の地中熱利用イメージ

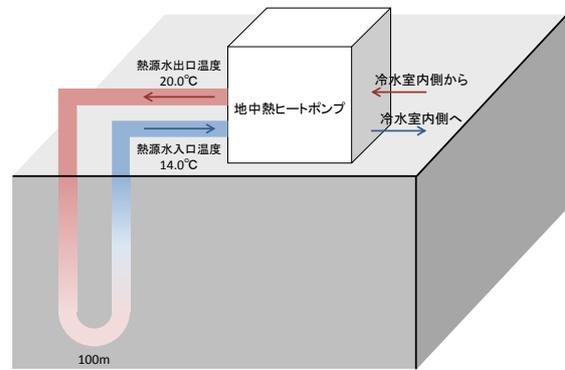


図 4-25 冷房時の地中熱利用イメージ

太陽熱については給湯に優先的に活用され、余った熱を暖房に活用されることを想定し、単位面積あたりの採熱原単位を図 4-26 のとおり設定した。なお、集熱効率は 40%とし、日射量については、NEDO 日射量データベース閲覧システムにおける札幌の値を参照した。

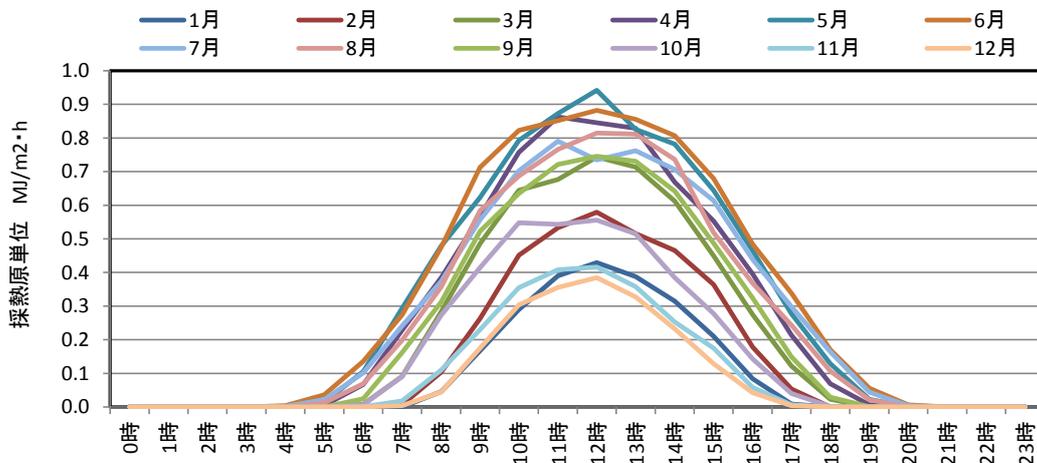


図 4-26 太陽熱の採熱原単位

出典：NEDO 日射量データベース閲覧システムにおける札幌の値を基に集熱効率 40%として算出

(8) 再エネ熱導入前後の設備効率

再エネ熱導入前の設備について、Aビル、Bビル、Cビルへの聞き取りによると、冷暖房についてはガス焚吸収式冷温水発生器又は真空温水器との併用、給湯については真空温水器であることから、その他の建物においても同様の設備構成であると仮定した。

再エネ熱導入後については、地中熱ヒートポンプ、太陽熱温水システムが導入されることを想定した。各設備の効率は表 4-41 のとおり設定した。

表 4-41 各施設における効率（COP）の想定値

	Aビル	Bビル	Cビル	その他	地中熱 HP	太陽熱温水システム
冷房	1.2 冷温水発生器	1.2 冷温水発生器	1.2 冷温水発生器	1.2 冷温水発生器	6.0	—
暖房	1.2 冷温水発生器	0.95 冷温水発生器 真空温水器	1.2 冷温水発生器	1.2 冷温水発生器	4.0	採熱量そのもの (集熱効率 0.4)
給湯	0.8 真空温水器	0.8 真空温水器	0.8 真空温水器	0.8 真空温水器	—	

※冷温水発生器は 1.2、真空温水器は 0.8 とし、両方を使用している場合には容量の加重平均値とした。

(9) 再エネ熱導入前後の年間エネルギー消費量及び年間ランニングコスト

(6)で算出した建物別の熱負荷を(8)で設定した設備効率で除して、エネルギー消費量を算出した。また、エネルギー消費量やランニングコストの実績値が把握できている 3 施設に基づき、月別の都市ガス単価平均値を表 4-42 のとおり設定し、エネルギー消費量に乗じることでランニングコストを算出した。

これらの結果を図 4-27～図 4-36 に示す。エネルギー消費量については冷房、暖房、給湯を分けて表示したが、ランニングコストについてはまとめて表示している（冷房、暖房、給湯別の削減率はエネルギー消費量と同様となるため）。

なお、3 施設については実績値に整合するように計算を行っているが、街区全体の計算を行った図 4-35、図 4-36 については、実績値が不明なその他の建物を含むため、3 施設についても実績値とは整合させていない。

建物単体で地中熱、太陽熱を活用するケースでは、導入前のエネルギー消費量に対する削減率は高くなるが、再エネ熱が余り始める（削減率が一定となる）敷設面積が小さく、削減量も小さい。一方、3 施設や街区全体で活用する場合には、同じ面積に敷設した場合の削減率は小さくなるが、2,000m² までの敷設面積では熱が余る状況はほぼ生じていない。

表 4-42 月別都市ガス単価

月	都市ガス単価 (円/m ³)	月	都市ガス単価 (円/m ³)
1月	78	7月	106
2月	76	8月	92
3月	74	9月	88
4月	115	10月	88
5月	122	11月	96
6月	132	12月	86

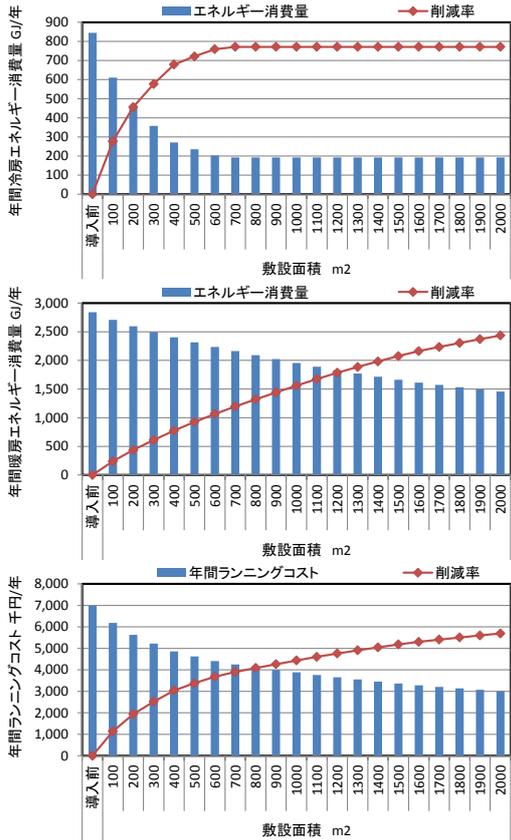


図 4-27 Aビル単体での地中熱利用

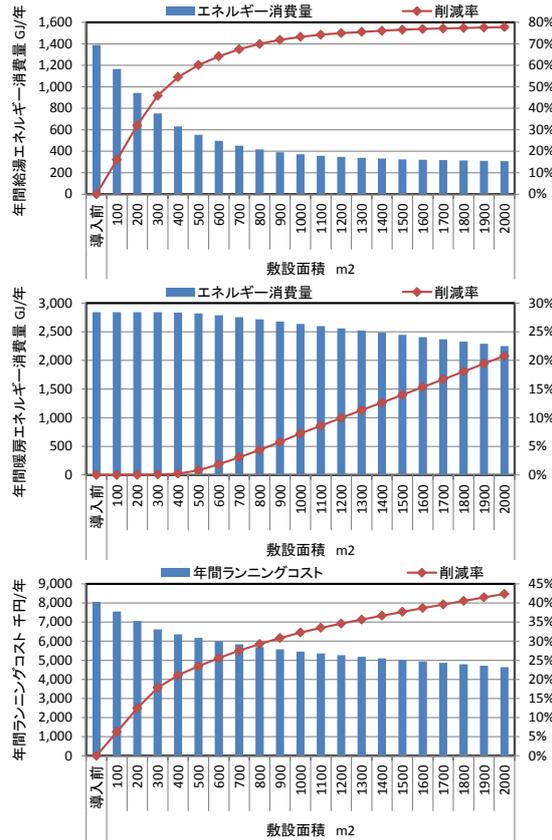


図 4-28 Aビル単体での太陽熱利用

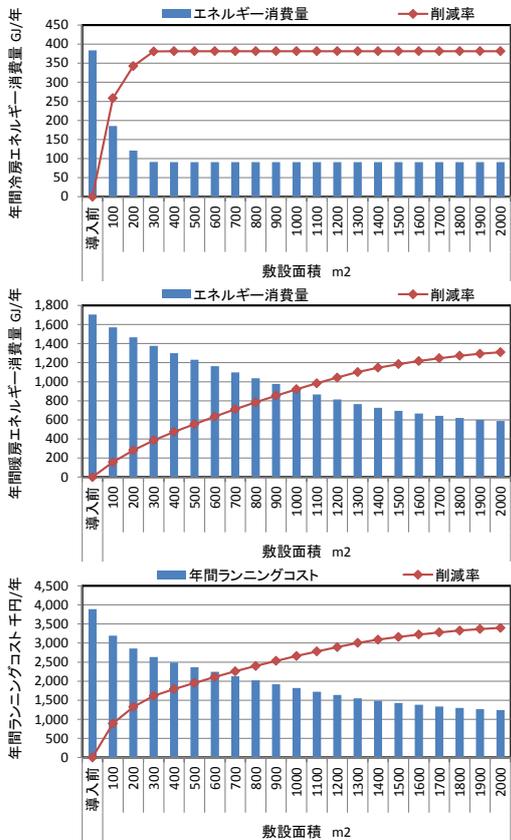


図 4-29 Bビル単体での地中熱利用イメージ

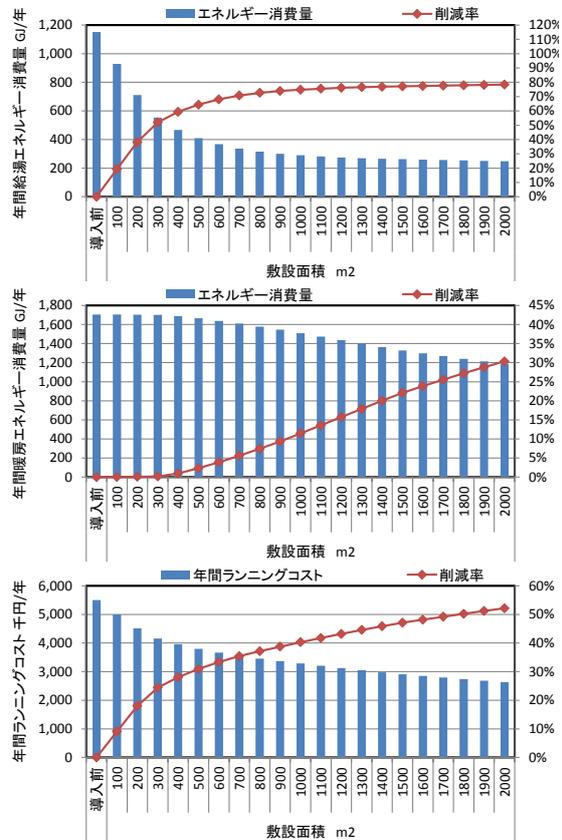


図 4-30 Bビル単体での太陽熱利用イメージ

※上段：年間冷房エネルギー消費原単位 中段：年間暖房エネルギー消費原単位 下段：年間ランニングコスト

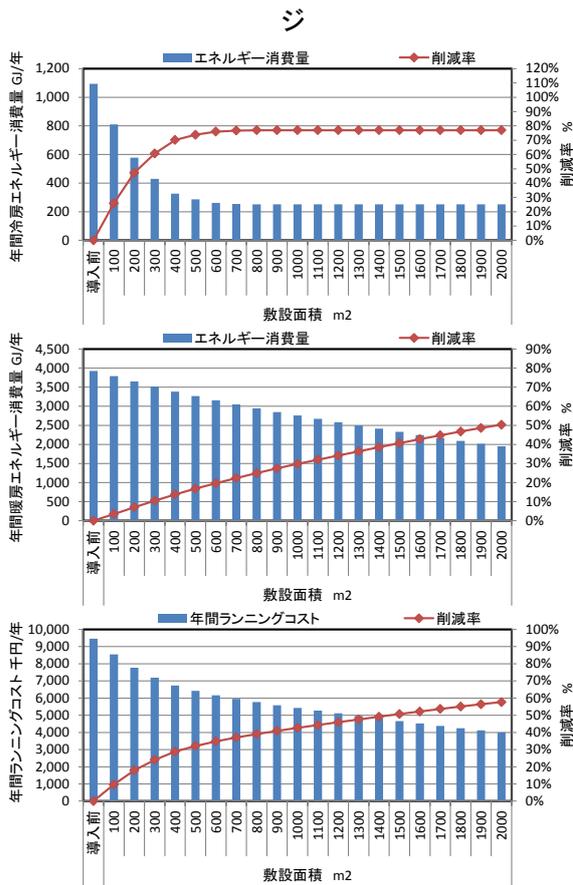


図 4-31 Cビル単体での地中熱利用イメージ

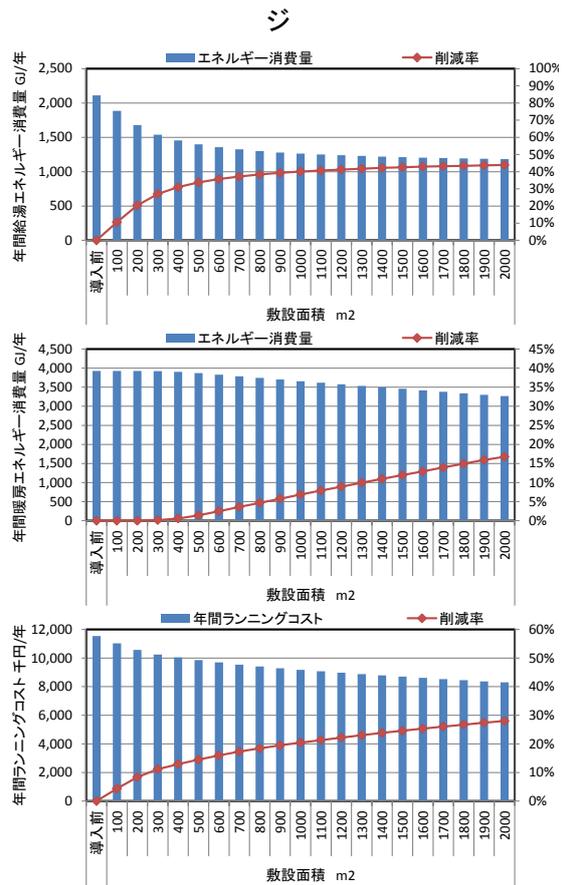


図 4-32 Cビル単体での太陽熱利用イメージ

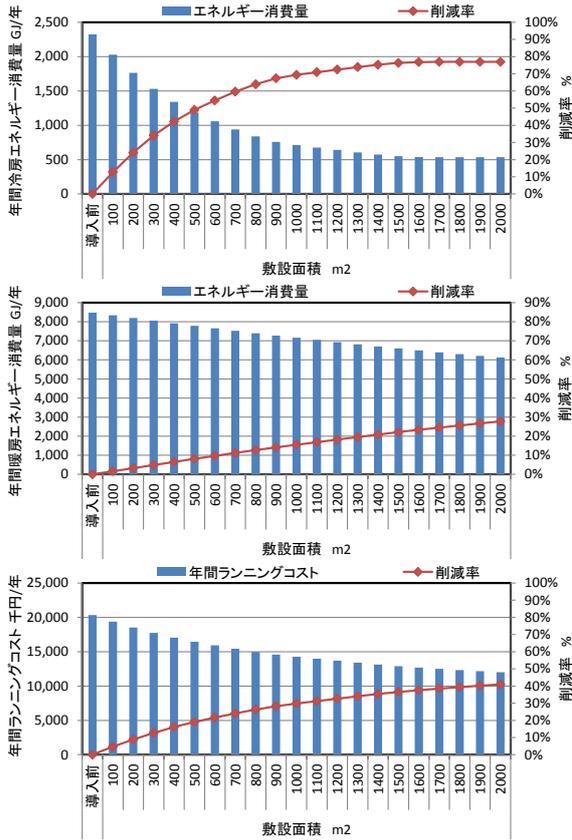


図 4-33 3 物件での地中熱利用イメージ

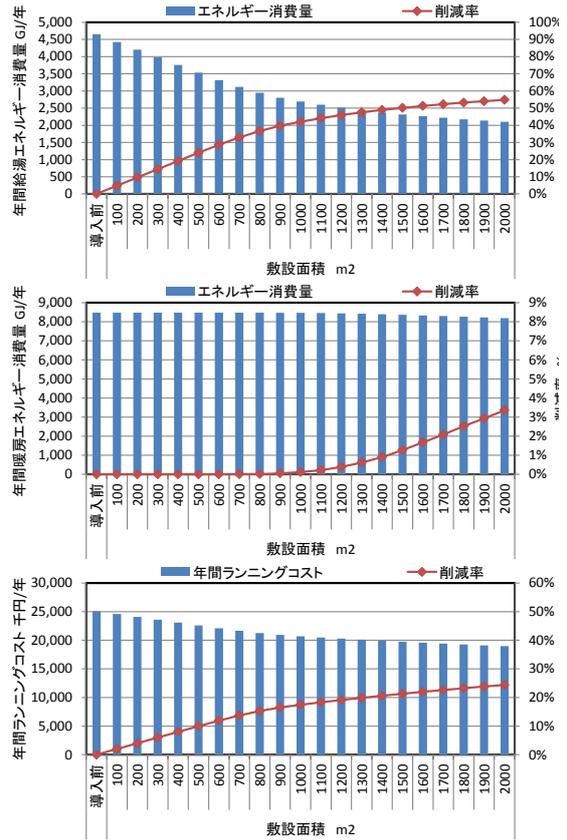


図 4-34 3 物件での太陽熱利用イメージ

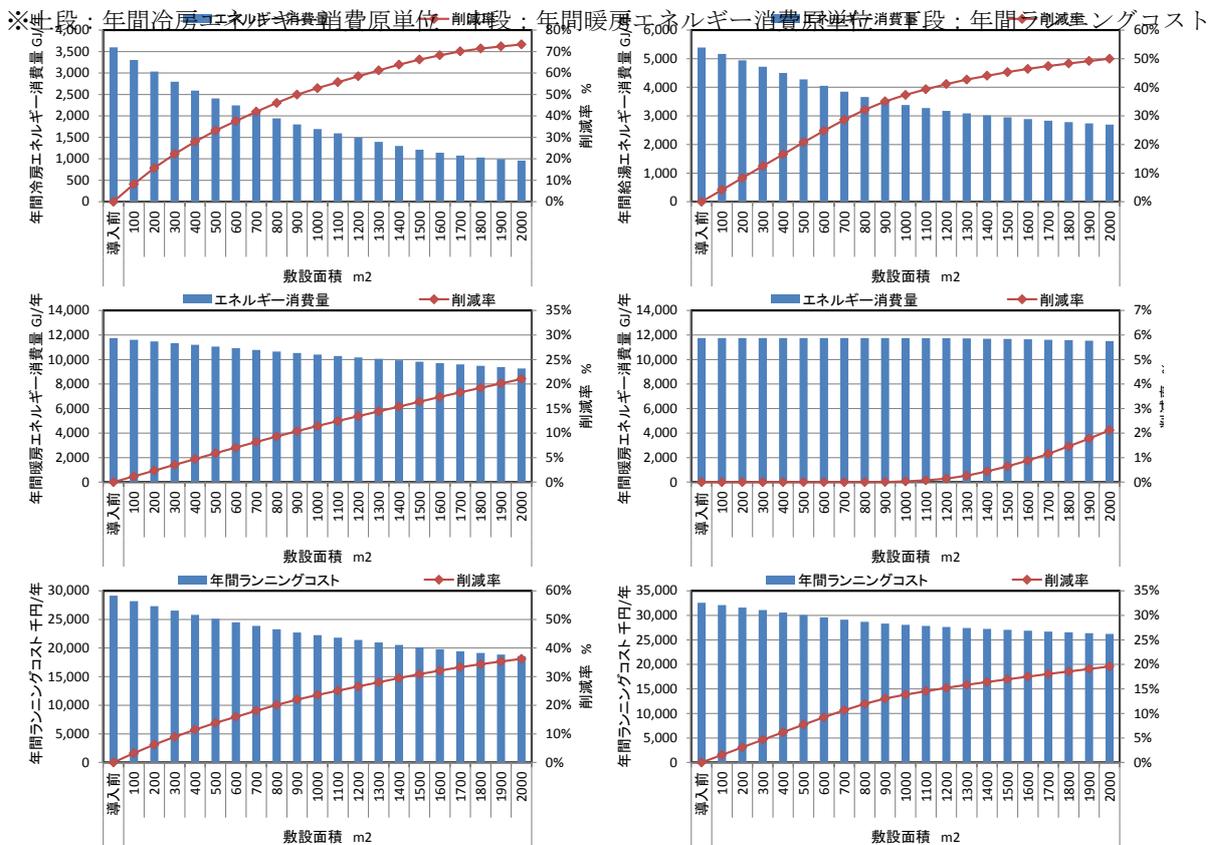


図 4-35 街区全体での地中熱利用イメージ

図 4-36 街区全体での太陽熱利用イメージ

※上段：年間冷房エネルギー消費原単位 中段：年間暖房エネルギー消費原単位 下段：年間ランニングコスト

(10) イニシャルコスト

地中熱利用のイニシャルコストについては、「地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版、環境省」(図 4-37)を参照し、設置規模に応じて 600 千円/kW~400 千円/kW と想定した。なお、後述する敷設面積による感度分析では、100m²~2,000m² まで 100m² 刻みで分析を行っており、100m² 敷設する場合の地中熱ヒートポンプの出力が 40kW 程度であることから、図 4-37 における 300 万円/50kW=600 千円/kW を出発点とし、敷設面積が大きくなるほど掘削費用が低減することを想定して、最大の 2,000m² 敷設時には 400 千円/kW までコスト削減が可能であると仮定した。

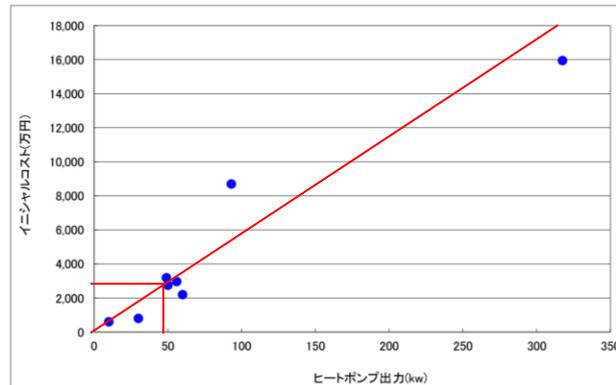


図 4-37 ヒートポンプ出力あたりのイニシャルコストの事例 (クローズドループの例)

出典：「地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版、環境省」

太陽熱利用のイニシャルコストについて、「資源エネルギー庁 HP、あったかエコ太陽熱」を参照すると、太陽熱利用システムとして 60m² で 1,200 万円 (200 千円/m²) 程度となっているが、システムの概要は不明であり、冷房利用を想定したシステムや、補助熱源などの付帯設備のコストも含まれているために価格が高くなっていることも考えられる。ここでは、給湯・暖房のみに使用されるシステムを想定し、付帯設備も除いた価格として 140 千円/m² を出発点とし、地中熱の場合と同様に敷設面積に応じて 100 千円/m² まで低下すると仮定した。

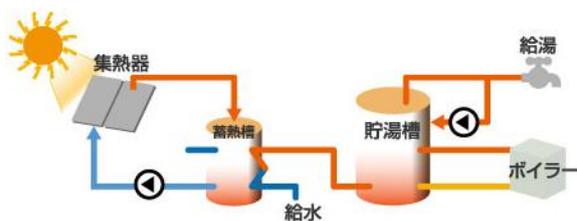


図 4-38 給湯のみに利用するシステム

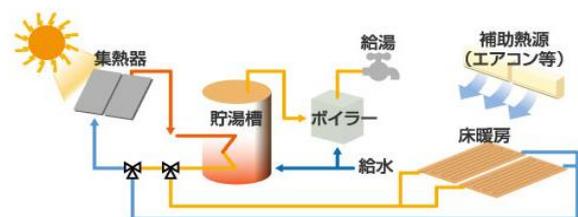


図 4-39 給湯・暖房に利用するシステム

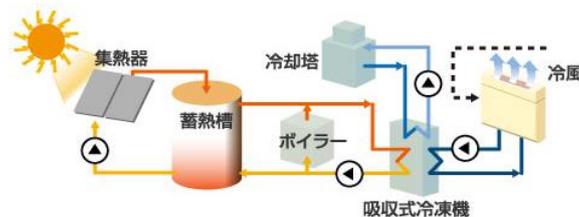


図 4-40 給湯・暖房・冷房に利用するシステム

出典：「資源エネルギー庁 HP、あったかエコ太陽熱」

上記のように仮定した太陽熱利用、地中熱利用に係る敷設面積別のイニシャルコストを
図 4-41 に示す。

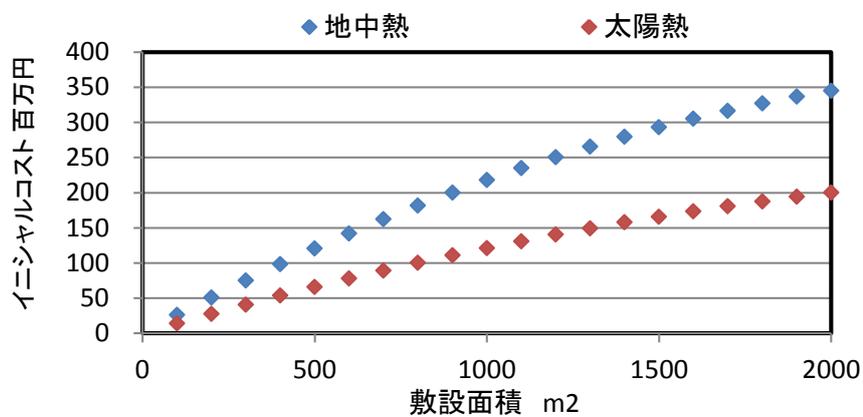


図 4-41 地中熱利用、太陽熱利用に係る敷設面積別イニシャルコスト

(11) 投資回収年数、年間 CO2 削減量、削減コスト

1) 検討対象街区における再エネ熱の活用

建物単体で再エネ熱を活用する場合、3 施設で活用する場合、街区全体で活用する場合のそれぞれについて、投資回収年数、年間 CO2 削減量、削減コストを算出した結果を図 4-42～図 4-51 に示す。

投資回収年数については、(10)で算出したイニシャルコストを(9)で算出したランニングコストの削減額で除して算出した。CO2 削減量については、都市ガスの削減量に排出係数(2.29kg/m³)を乗じて算出した。削減コストについては、イニシャルコストを 10 年分の CO2 削減量で除して算出した。

建物単体で活用するケースでは、いずれの建物においても、投資回収年数、削減コストは単調増加であり、敷設面積を大きくすればするほど長く、高くなることから、建物単体での活用は費用対効果が非常に悪い結果となっている。

3 施設で地中熱、太陽熱を共有するケース、街区に存在する建物すべてで共有するケースについては、建物単体で使用する場合に比べ、太陽熱については、投資回収年数、削減コストについて最適な敷設面積を示す変曲点が存在しており、いずれも 700m²程度が最適な敷設面積となっている。一方、地中熱については、建物単体に比べて投資回収年数、削減コストは短く、小さくなっているが、敷設面積に対しては単調増加となっており、イニシャルコストの低減や、地中熱をより有効に使うことができるように負荷が平準化される建物用途の街区を選定するなどによって費用対効果を向上させる必要がある。

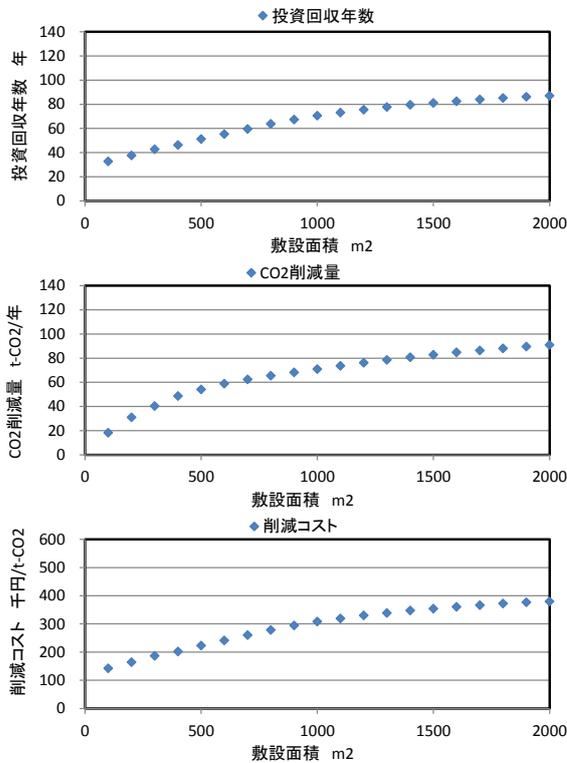


図 4-42 A ビル単体での地中熱利用

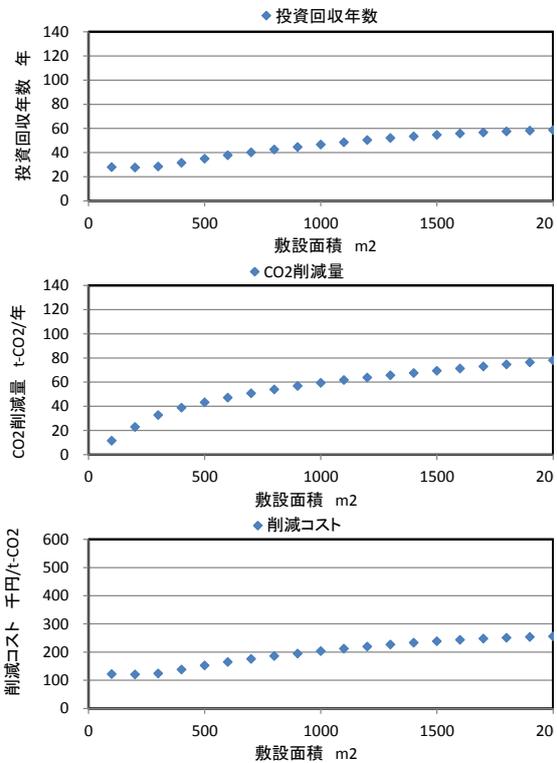


図 4-43 A ビル単体での太陽熱利用

※上段：投資回収年数 中段：年間 CO2 削減量 下段：削減コスト

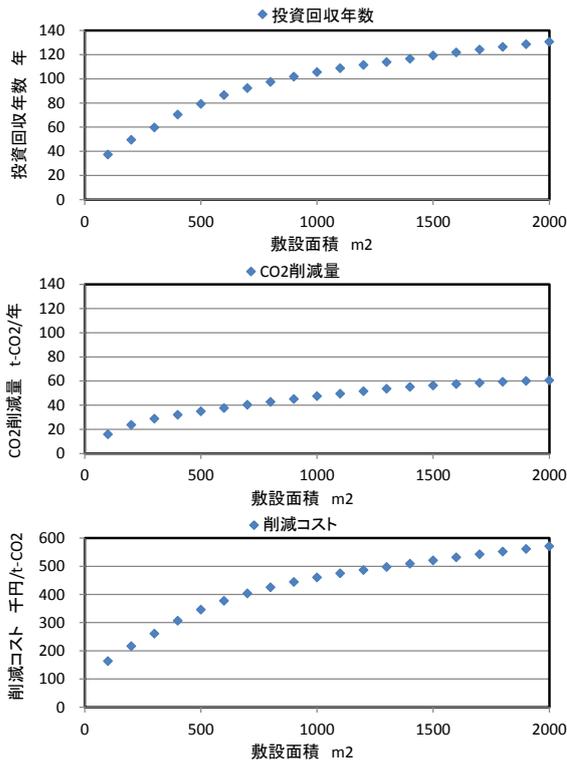


図 4-44 B ビル単体での地中熱利用

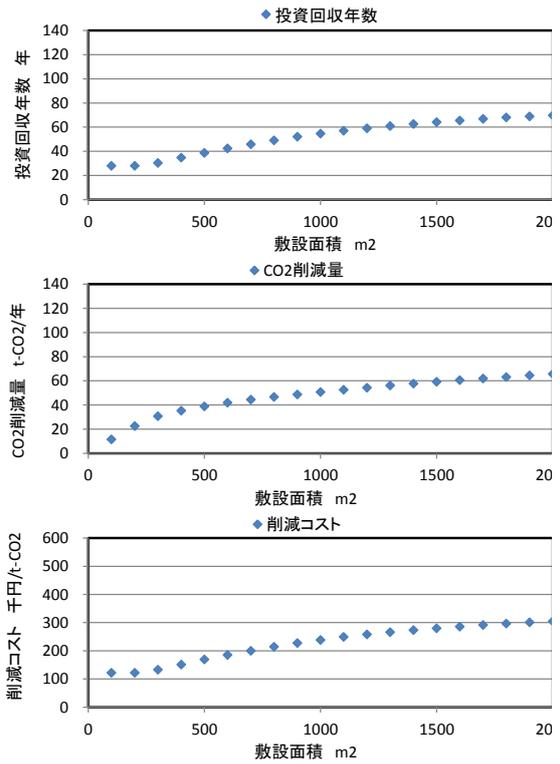


図 4-45 B ビル単体での太陽熱利用

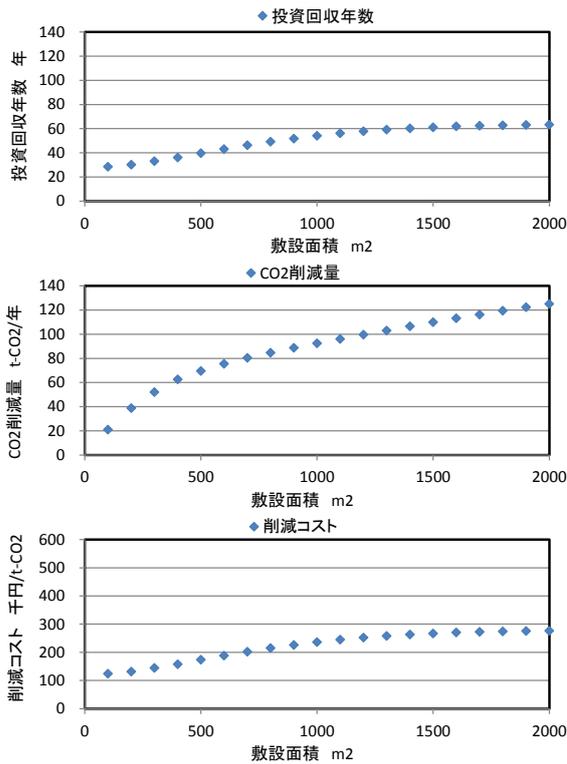


図 4-46 C ビル単体での地中熱利用

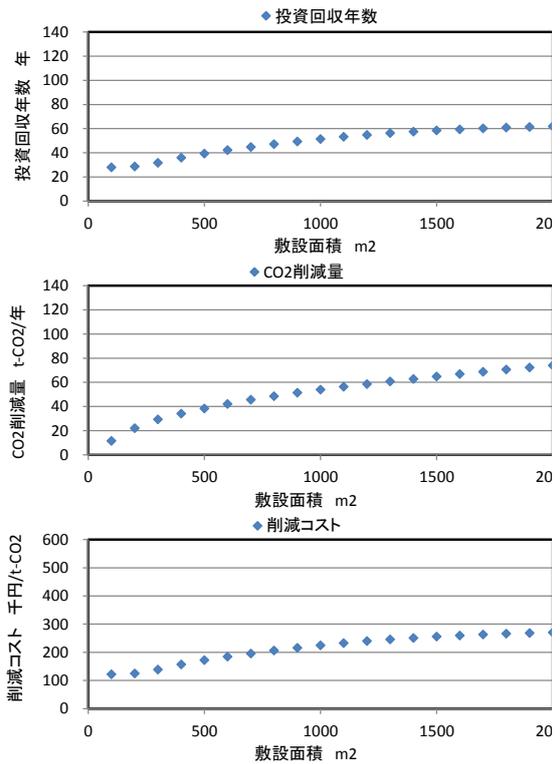


図 4-47 C ビル単体での太陽熱利用

※上段：投資回収年数 中段：年間 CO2 削減量 下段：削減コスト

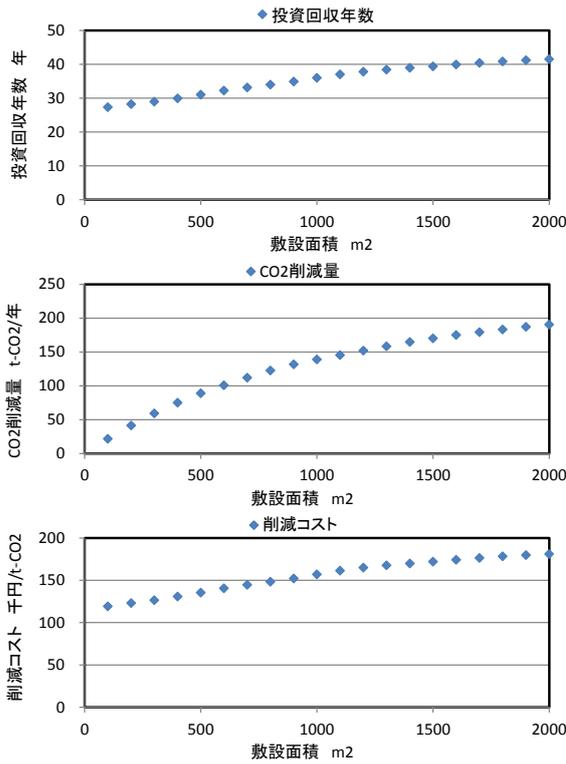


図 4-48 3施設での地中熱利用

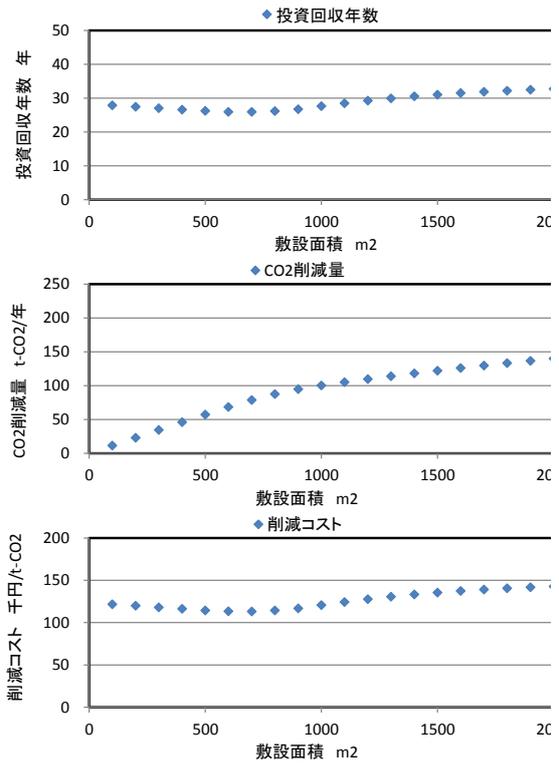


図 4-49 3施設での太陽熱利用

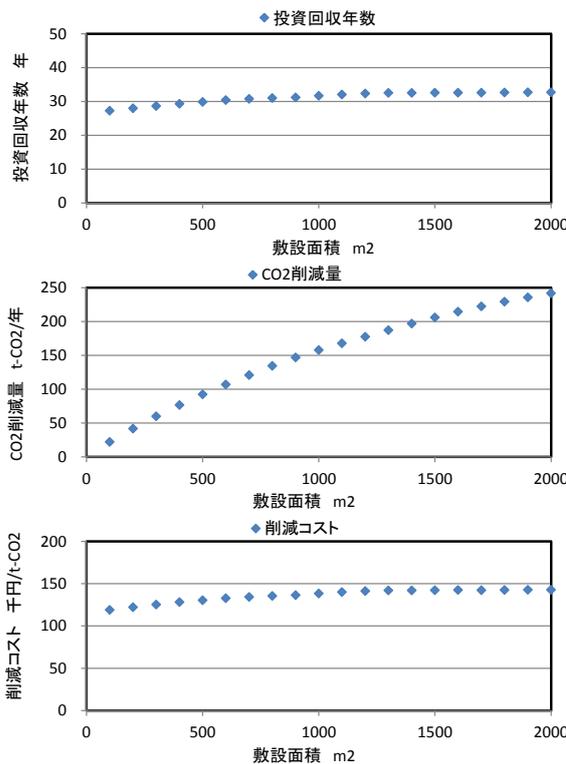


図 4-50 街区全体での地中熱利用

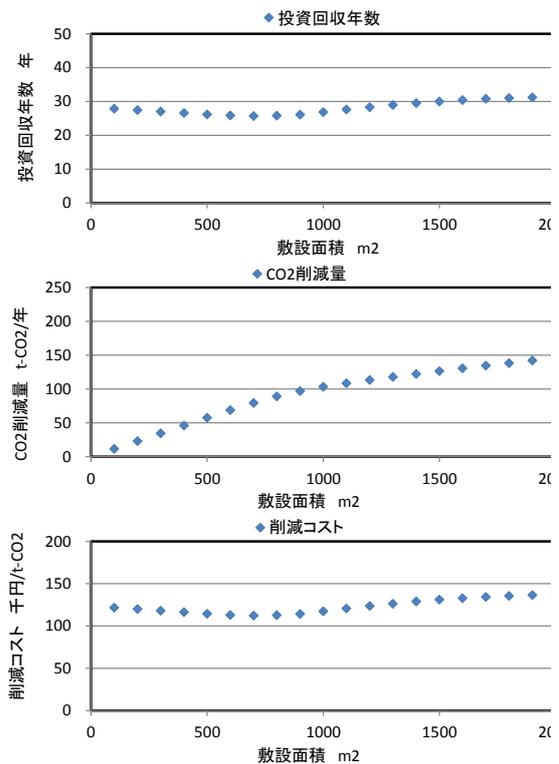


図 4-51 街区全体での太陽熱利用

※上段：投資回収年数 中段：年間 CO2 削減量 下段：削減コスト

2) 街区内の建物用途構成を変化させた場合における再エネ熱の活用

前述のとおり、より費用対効果を改善するためには、街区内の負荷パターンを平準化させることが効果的である。そこで、仮に街区内の建物用途構成を変更し、表 4-43 に示すように集会所等、集合住宅から夜間に負荷のある宿泊施設に変えた場合（ケース A）、さらに各用途の面積を 2 倍にした場合（ケース B）を想定して分析を行った。結果を図 4-52～図 4-55 に示す。

ケース A では投資回収年数は敷設面積によらずほぼ一定となっており、再エネ熱を余らせることなく活用できている。ケース B では投資回収年数は敷設面積に対して単調減少であり、容積率の高い街区においては、相当程度の再エネ熱の活用が可能であることが示されている。

表 4-43 街区内の建物用途構成のパターン分け

建物用途	延床面積 (m ²)	⇒	延床面積 (m ²) ケース A	⇒	延床面積 (m ²) ケース B
業務施設	11,650	集会所、集合住宅 を宿泊施設に変更	11,650	各用途の面積を 2 倍	<u>23,300</u>
商業施設	0		0		0
宿泊施設	0		<u>13,760</u>		<u>27,520</u>
医療施設	3,300		3,300		<u>6,600</u>
福祉施設	2,750		2,750		<u>5,500</u>
集会所等	9,760		<u>0</u>		0
集合住宅	4,000		<u>0</u>		0
計	31,460		31,460		<u>62,920</u>

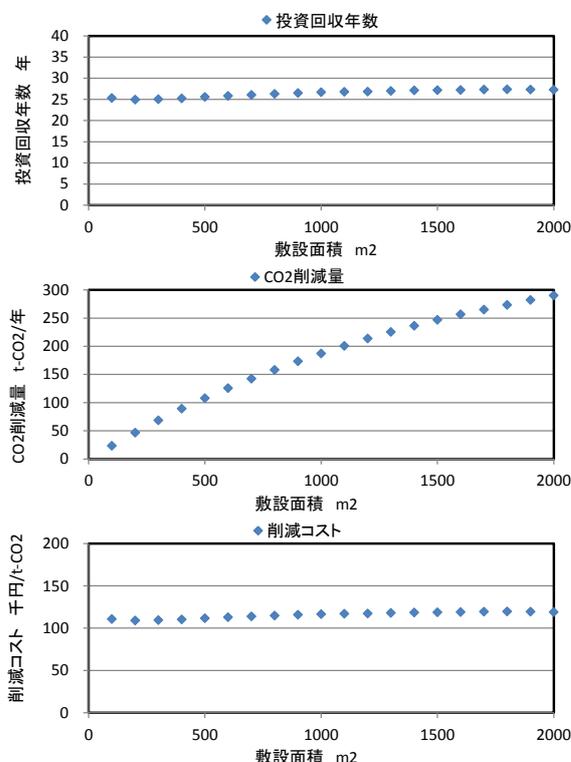


図 4-52 ケース A での地中熱利用

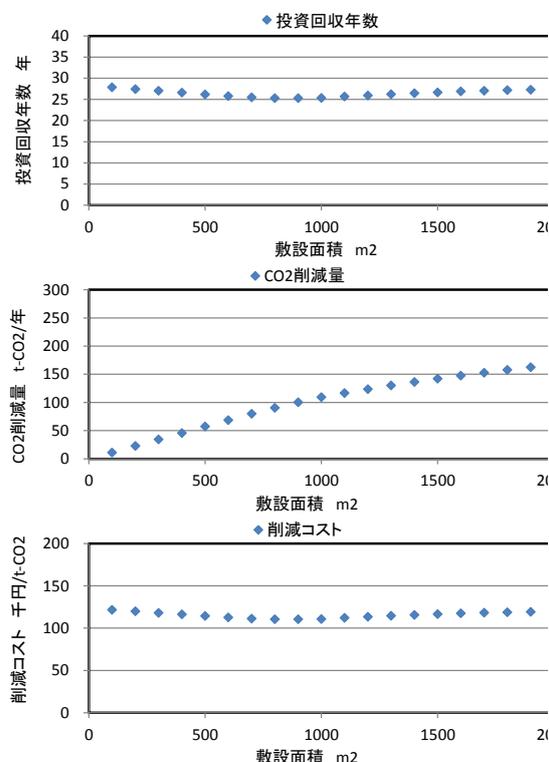


図 4-53 ケース A での太陽熱利用

※上段：投資回収年数 中段：年間 CO₂ 削減量 下段：削減コスト

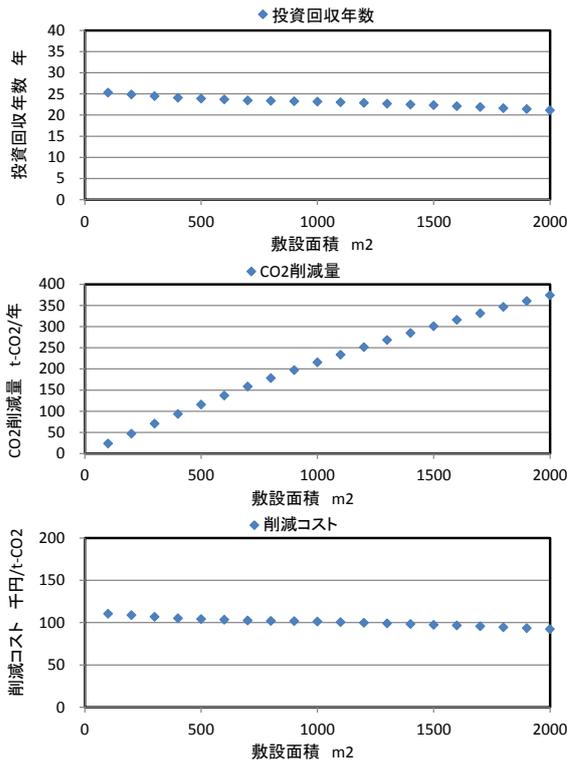


図 4-54 ケース B での地中熱利用

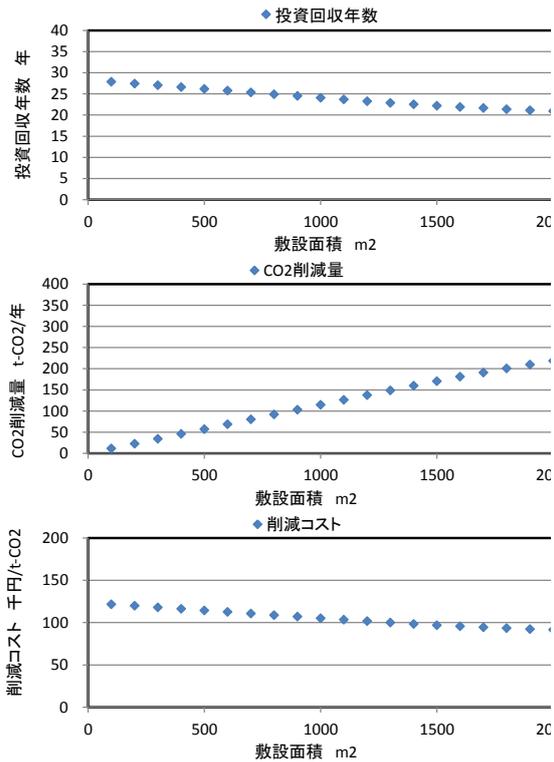


図 4-55 ケース B での太陽熱利用

※上段：投資回収年数 中段：年間 CO₂ 削減量 下段：削減コスト

(12) より小さな範囲での再エネ熱の活用

前項まででは、ある特定の街区における再エネ熱の活用方法として、建物単体と街区単位での活用について、大規模に再エネ熱を活用する場合の検討を行ったが、現実的には街区に立地する建物ごとに設備更新時期は異なるため、大規模な導入を行うためには、街区全体の再開発に伴って導入するなど、一定の条件が必要となる。一方で、建物 1 棟または 2 棟程度での導入であれば比較的实现されやすいと考えられることから、ここでは、よりミクロな範囲で小規模な再エネ熱活用を行う際の分析を行う。

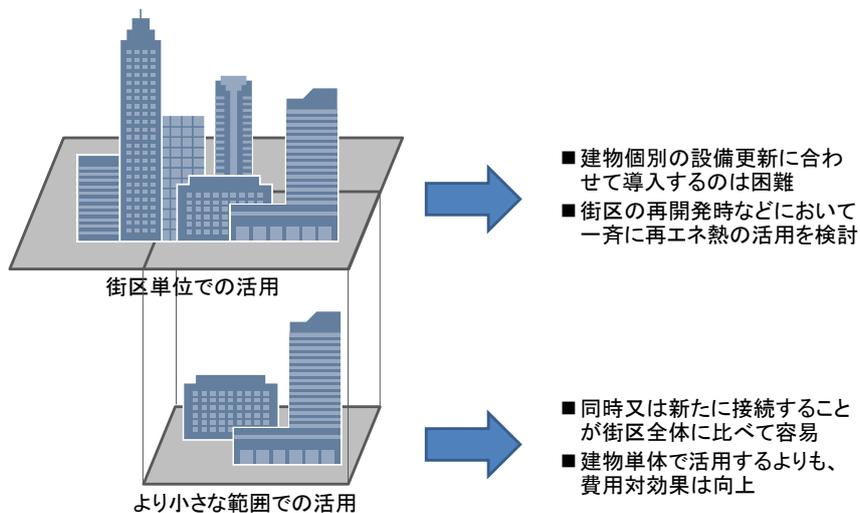


図 4-56 街区単位よりも小さな範囲での再エネ熱活用のイメージ

1) 想定するケース

ここでは、以下のケースについて地中熱や太陽熱を建物単体で使用する場合と2棟の建物間でシェアする場合について比較を行った。

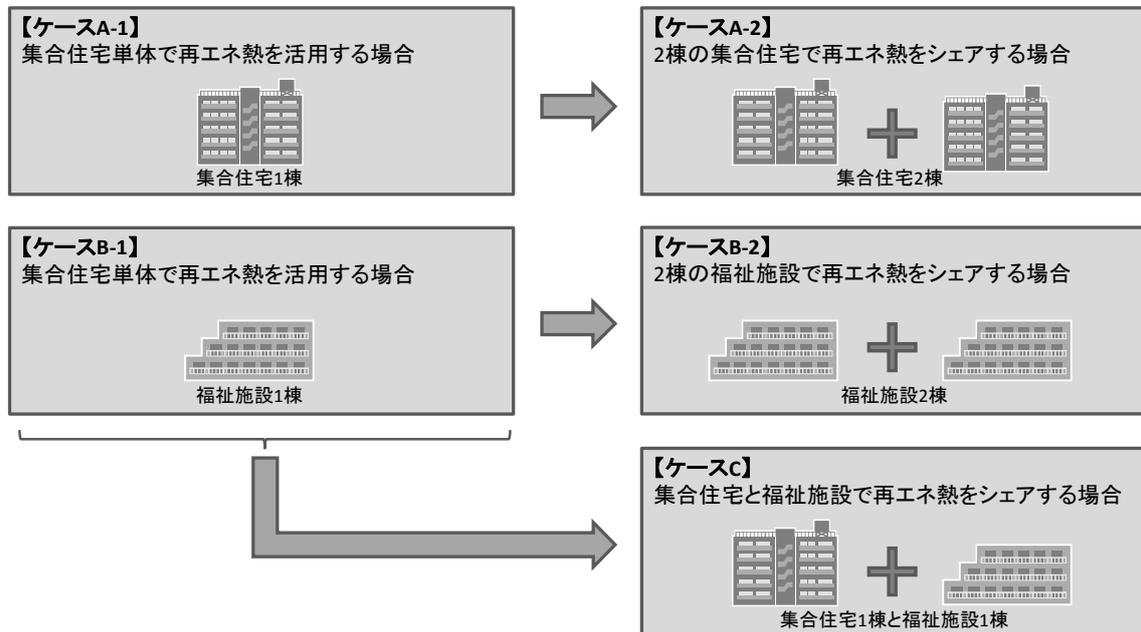


図 4-57 街区単位よりも小さな範囲での再エネ熱活用に関する比較ケース

2) 想定する建物概要

集合住宅、福祉施設のそれぞれについて、その建物概要は表 4-44 のとおり想定した。

表 4-44 建物概要

	集合住宅	福祉施設
立地	札幌市	
延床面積	3,000m ²	2,000m ²
再エネ熱導入前の設備構成 (COP)	冷房：エアコン (3.0) 暖房：ガス暖房 (0.8) 給湯：ガス給湯器 (0.8)	冷房：ガス焚冷温水発生器 (1.2) 暖房：ガス焚冷温水発生器 (1.2) 給湯：ガス給湯器 (0.8)
年間エネルギー消費量	冷房：17GJ/年 暖房：756GJ/年 給湯：473GJ/年	冷房：112GJ/年 暖房：1240GJ/年 給湯：837GJ/年
年間エネルギーコスト	冷房：約9万4千円/年 暖房：約168万円/年 給湯：約105万円/年	冷房：約25万円/年 暖房：約276万円/年 給湯：約186万円/年
エネルギー単価	電気：20円/kWh、ガス：100円/m ³	
地中熱	100m ² に敷設	
太陽熱	150m ² に敷設	

3) 比較結果

各ケースにおいて地中熱、太陽熱を活用する場合の試算結果をそれぞれ表 4-45、表 4-46 に示す。ケース A-1 とケース A-2、ケース B-1 とケース B-2 を比較すると、いずれも投資回収年数が改善していることが分かる。建物単体で再エネ熱を活用する場合に比べ、エネルギー消費量の削減率は低下するものの、熱が余る時間数を少なくすることができるため、同じ敷設面積であっても賄うことができる熱負荷が増加するためである。

個別の建物で考えた場合には、メリットが低下してしまうものの、複数の建物全体として捉えた場合には費用対効果を改善させることができ、このような複数建物間での再エネ熱のシェアを促進することで普及につなげられる可能性がある。

(13) 熱負荷削減による費用対効果の改善

再エネ熱の活用を検討する場合、可能な限り熱負荷を削減した上で導入を図ることで費用対効果を改善することができる。具体的には、外皮の断熱性能の向上、日射遮蔽・取得性能の向上などにより冷暖房負荷を削減することで、同じ比率の負荷を賄うことができる設備容量は小さくなるため、イニシャルコストも低下することになる。特に寒冷地の場合を想定すると、暖房負荷が冷房負荷に比べて大きく、暖房負荷に合わせて大きな容量の設備を導入することになるが、これは冷房時に熱が余ってしまうことにつながる。そのため、断熱性能の向上などにより暖房負荷を削減することで、設備容量を小さく設計し、再エネ熱が余る状況が発生する頻度を低下させることができる。

表 4-47 に冷暖房負荷を削減した場合の投資回収の改善効果を示す。改善効果として大幅な短縮が可能となるわけではないが、イニシャルコストの削減額は大きく、その分を熱負荷削減対策に使用することが可能となる。このように、熱負荷の削減⇒再エネ熱活用を含む設備システムの改善というアプローチが重要であると考えられ、熱負荷削減に係るコストも含め費用対効果に関する更なる分析が必要である。

なお、太陽熱利用については、主に給湯利用を想定しており、冷暖房負荷削減の効果は生じないため、ここでは地中熱利用の場合のみを示す。

表 4-45 地中熱の活用（冷房・暖房）

	イニシャルコスト (千円)	エネルギー削減量 (GJ/年)	CO2 排出削減量 (t-CO2/年)	ランニングコスト削減額 (千円/年)	投資回収年数 (年)
ケース A-1 集合住宅 1 棟	17,258	232 ▲30.0%	13	543	31.8
ケース A-2 集合住宅 2 棟		251 ▲16.2%	15	611	28.3
ケース B-1 福祉施設 1 棟		301 ▲22.3%	15	670	25.8
ケース B-2 福祉施設 2 棟		367 ▲13.6%	19	816	21.1
ケース C 集合住宅 1 棟 福祉施設 1 棟		311 ▲14.6%	18	755	22.8

投資回収年数が改善

表 4-46 太陽熱の活用（給湯・暖房）

	イニシャルコスト (千円)	エネルギー削減量 (GJ/年)	CO2 排出削減量 (t-CO2/年)	ランニングコスト削減額 (千円/年)	投資回収年数 (年)
ケース A-1 集合住宅 1 棟	15,000	170 ▲13.8%	9	377	39.8
ケース A-2 集合住宅 2 棟		211 ▲8.6%	11	468	32.0
ケース B-1 福祉施設 1 棟		330 ▲15.9%	17	733	20.5
ケース B-2 福祉施設 2 棟		335 ▲8.1%	17	745	20.1
ケース C 集合住宅 1 棟 福祉施設 1 棟		334 ▲10.1%	17	743	20.2

投資回収年数が改善

※地中熱、太陽熱ともにイニシャルコストについては(10)において想定した最も低いコストを想定して試算した。

※電力の CO2 排出係数は 0.676kg-CO2/kWh（北海道電力、2015 年度）を使用した。

表 4-47 負荷削減による費用対効果の改善

	負荷削減前			負荷削減後		
	敷設面積 (m2)	イニシャルコスト (千円)	投資回収年数 (年)	必要敷設面積 (m2)	イニシャルコスト (千円)	投資回収年数 (年)
ケース A-1 集合住宅 1 棟	100	17,258	31.8	60	10,268 ▲6,990	30.4
ケース A-2 集合住宅 2 棟			28.3			26.7
ケース B-1 福祉施設 1 棟			25.8	70	12,080 ▲5,178	24.3
ケース B-2 福祉施設 2 棟			21.1			20.2
ケース C 集合住宅 1 棟 福祉施設 1 棟			22.8	62	10,613 ▲6,645	21.2

※負荷削減後は、冷房負荷が▲10%、暖房負荷が▲40%となる場合を想定した。

※必要敷設面積は、エネルギー削減率が同値となるような設備容量とする場合の敷設面積を示す。

※負荷削減に係るコストとしては、イニシャルコストの削減額（ケースによって5百～7百万円程度）程度までは許容可能。

4.3.2 清掃工場排熱の有効利用策の検討

(1) 検討対象となる清掃工場の余熱利用の現状

清掃工場排熱の有効活用に関する検討のモデルとして、札幌駅南方の真駒内に近い駒岡清掃工場をとりあげた。ここでは現在、平成36年度稼働開始を目標とした更新事業を計画中であり、平成28年夏に駒岡清掃工場更新基本構想が公表された段階である。

清掃工場更新後の余熱利用の詳細は今後検討されていくと考えられ、現時点では必ずしも外部への余熱供給可能量等や配分等が確定しているものではないと考えられるため、本業務では様々な可能性の1つとして当該構想を検討した。

現状の駒岡清掃工場では、既に発電とともに余熱利用も行われている。以下の図4-58に示すように、清掃工場からの余熱は、3km以上の熱源水管を経て北海道地域暖房株式会社の真駒内エネルギーセンターまで145度の高温水で搬送され、地域暖房の熱源として利用されている。ここで熱交換された余熱は、真駒内市内の五輪団地、柏丘団地などで主に暖房、給湯用の熱源として利用される。また、エネルギーセンターから約80度で清掃工場に返送される熱源水リターン管の途中で、市の保養センターでも、暖房、給湯、冬季の融雪用、夏季の冷房用の熱源として余熱の有効利用が図られている。

真駒内エネルギーセンターからの熱供給導管図を図4-59に示した。また、余熱利用フロー図を図4-60に、細かい容量等の数値を含むエネルギーセンター開設当時の熱フロー図を図4-61に示した。



図 4-58 駒岡清掃工場の位置と地域熱供給事業

出所：北海道地域暖房（株）パンフレット



図 4-59 北海道地域暖房(株)真駒内エネルギーセンターの熱供給導管図
出所：北海道地域暖房（株）パンフレット

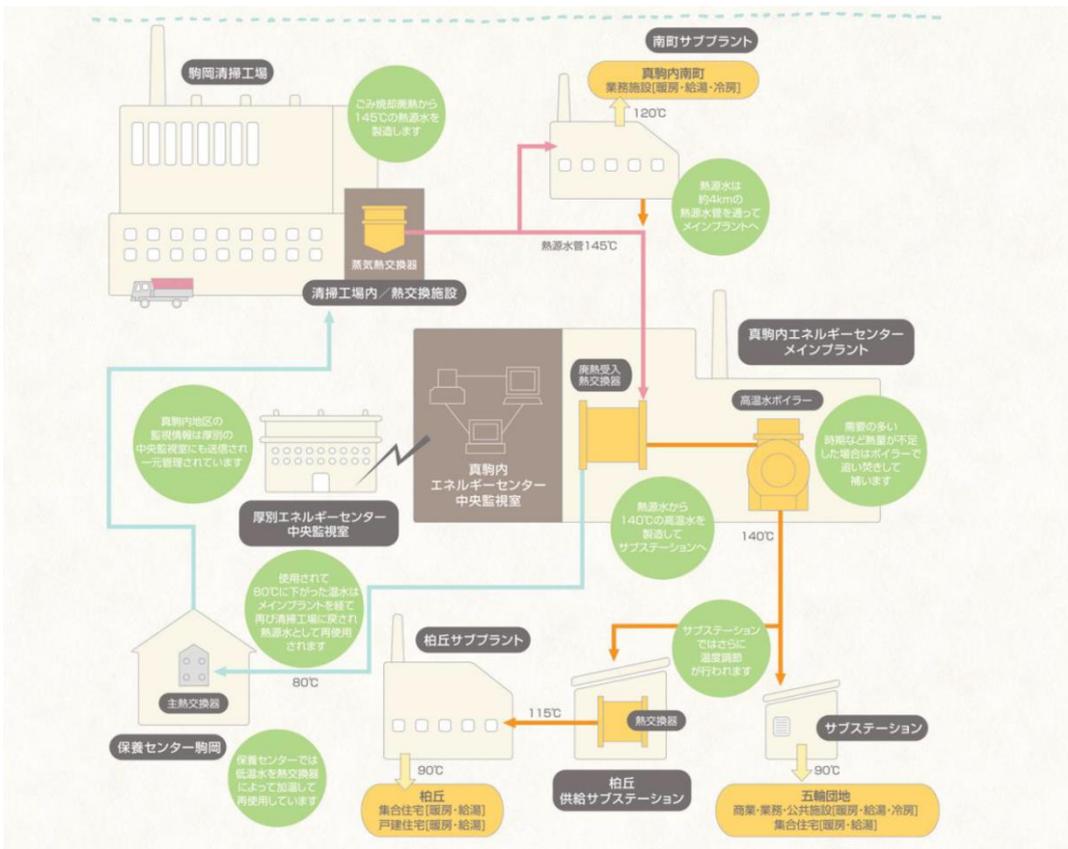


図 4-60 駒岡清掃工場の余熱利用概略図
出所：北海道地域暖房（株）パンフレット

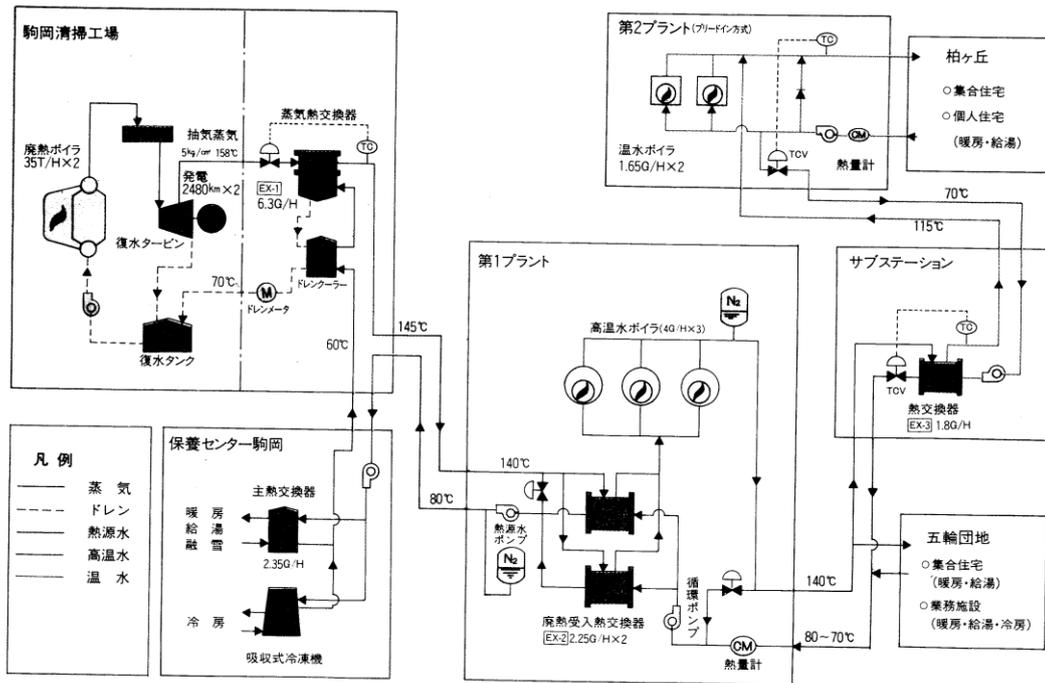


図 4-61 真駒内地区・熱供給システム

出所：「燃料協会誌」第70巻第2号（1991）

(2) 分析結果

1) 利用可能余熱量の推計

清掃工場の更新基本構想では、更新後はより効率的な熱回収を行い、熱供給量を増加させる方針となっている。あくまでも基本構想として提示された値であるが、更新後の余熱供給規模は、全体として夏季は12GJ/h、冬季は25.5GJ/hとされている。

この余熱総量のうち、本検討で利用可能な余熱量を想定した。更新後の新駒岡清掃工場からの余熱は、①既存の余熱利用先である北海道地域暖房株式会社の真駒内エネルギーセンター、②既存の余熱利用先である市の保養施設、③それに今回新たに想定した新施設、の3件の熱需要で配分利用されるものとした。

●夏季の余熱利用可能量

- ・駒岡清掃工場更新基本計画より総量で12GJ/hと想定される。
- ・このうち、地域熱供給で5割（6GJ/h）、保養センターで1割（1.2GJ/h）が使われるとして、残り4割が新施設で使用可能な余熱量の最大値とした。

$$12\text{GJ/h} \times 0.4 = 4.8\text{GJ/h}$$

- ・安全率を見込んで、実際の新施設での利用可能量を最大値の半分として、夏季の余熱利用可能量＝「2.4GJ/h」を上限値と想定した。

●冬季の余熱利用可能量

- ・駒岡清掃工場更新基本計画より総量で25.5GJ/hと想定される。

- ・このうち、現状計画では地域熱供給でほとんど使われる想定であるが、今後の地域熱供給需要家の建て替え、大規模改修等によって断熱性向上等が図られて熱需要量について一定の余剰分の発生が見込まれる。
- ・仮に、既存需要家の建て替え等によって暖房・給湯用の熱需要が減少し、2割程度の余剰分が生じたと仮定した場合、余剰分は $25.5 \times 0.2 = 5.1 \text{GJ/h}$ である。このうち、保養センターで夏季の2倍の熱量 (2.4GJ/h) を消費したとして、新施設における、冬季の余熱利用可能量 = $(5.1 - 2.4) = \text{「}2.7 \text{GJ/h}\text{」}$ を上限値と想定した。

(3) 余熱利用による新しいスマート集合住宅モデル

新駒岡清掃工場の新たな余熱利用施設の標準ケースとして、先進的な高断熱性能等を有するスマート集合住宅を想定した。

スマート集合住宅の建物規模は1棟あたり延床面積4,000m²、所在地は真駒内地区内で、駒岡清掃工場とエネルギーセンターとを結ぶ熱源導管から近傍の地点とした。余熱利用のための新たな熱源導管は、既存のリターン導管から分岐するものとした。また、余熱利用のための付帯設備である熱交換器等は集合住宅建設時に同時設置されるものとし、個別建屋は不要とした。集合住宅における余熱の利用用途は、給湯と床暖房とした。余熱利用による新しいスマート集合住宅の想定を以下に示した。

●建物規模・所在地

- ・集合住宅の規模：「標準ケース」として延床面積4,000m² (50戸) の1棟を想定
- ・建設場所：真駒内地区の、地域熱供給プラントからのリターン導管の近傍

●余熱利用設備

- ・熱交換器、貯湯槽、ポンプ、屋内配管等は集合住宅建設時に同時設置
- ・余熱利用のための新設導管は既存リターン管から分岐工事を行う
- ・往路、還路の2管を埋設し、その埋設長を「標準ケース」として100mと仮定する
- ・貯湯槽規模は、冬季に1日分の給湯需要がまかなえる量とする
- ・熱交換器容量は、冬季夜間8時間で蓄熱槽に温水を補充できる容量とする
- ・バックアップとして小型ボイラーを設置する

●余熱利用用途

- ・スマート集合住宅では、「給湯用」に余熱を利用する
- ・冷房と暖房は、断熱性が優れた集合住宅を想定しているため、個別の寒冷地用ヒートポンプエアコンでも相当程度対応可能と考えられるが、快適性向上の観点から、床暖房も併用するものとした (負荷分担率は1/2と想定)

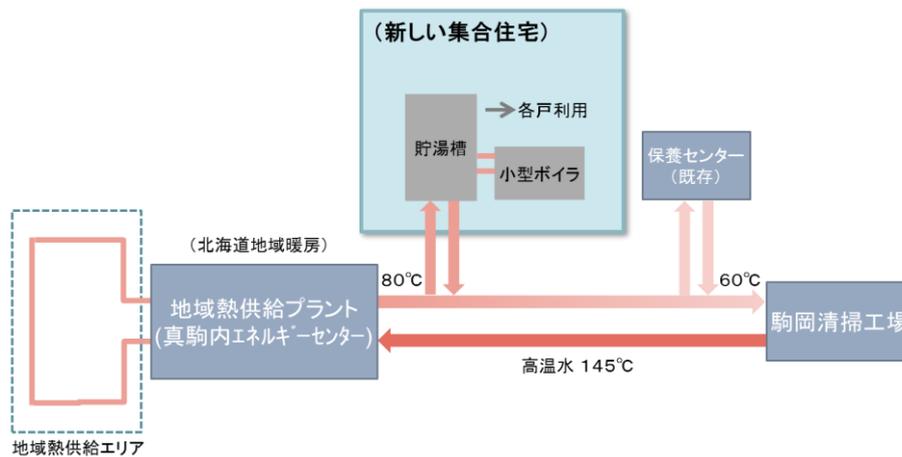


図 4-62 余熱利用による新しいスマート集合住宅モデル（余熱利用における位置づけ）

1) スマート集合住宅の必要熱量（給湯、暖房）

札幌市のスマート集合住宅における熱負荷パターンを図 4-63 に、月別熱負荷量を表 4-48 に示した。なお、図 4-63、表 4-48 は先の太陽熱・地中熱の検討で推計した数値の再掲である。仮に、札幌市の集合住宅における月別熱負荷量で冬季 1 日の温熱負荷（暖房、給湯）のうちの「給湯+暖房の 1/2」が最大となる月（1 月）の必要熱量を余熱でまかなうことが可能かどうかを確認すると、以下ようになる。

- ・必要熱量（1 月）： $(46.4/2+15.2) \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月} * 4,000\text{m}^2/31 \text{ 日} = 4.95\text{GJ/日}$
- ・冬季の余熱利用可能量 2.7GJ/h (64.87GJ/日)

余熱利用可能量 (64.87) > 必要熱量 (4.95) より、余熱のみで延床面積 $4,000\text{m}^2$ のスマート集合住宅の冬季の熱需要（給湯+暖房の 1/2）を十分にまかなうことが可能である。夏季については給湯需要のみであるので、さらに余裕をもってまかなうことが可能である。

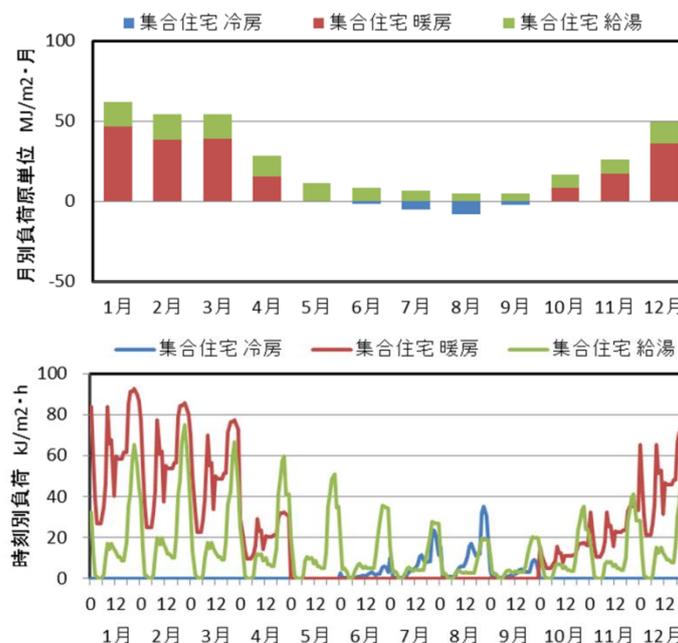


図 4-63 集合住宅の熱負荷パターン

表 4-48 札幌市の集合住宅における月別熱負荷量（単位：MJ/m²・月）

月	冷房	暖房	給湯
1月	0.0	46.4	15.2
2月	0.0	38.7	15.8
3月	0.0	38.8	15.5
4月	0.0	15.7	13.0
5月	0.0	0.0	11.4
6月	1.3	0.0	8.5
7月	5.3	0.0	6.8
8月	7.9	0.0	4.7
9月	2.0	0.0	4.9
10月	0.0	8.6	7.8
11月	0.0	17.3	8.9
12月	0.0	36.2	13.3
合計	16.5	201.6	126.0

2) 設備費用概算

新たなスマート集合住宅（標準ケース）で、清掃工場からの余熱利用を行うために必要な設備費用を以下に試算した。

●導管コスト

100m×約 70 万円/m＝約 7,000 万円
 (70 万円/m は想定値)

●貯湯槽

460L/戸を 1 日貯湯できる容量とした
 0.46m³/戸×50 戸＝23m³
 貯湯槽価格＝約 1,200 万円
 (8m³ タンク約 400 万円を 3 基設置と想定)

●熱交換器

4.95GJ を約 8 時間で熱交換できる容量
 $4.95/8=0.62\text{GJ/h}$ (約 170kW)
 熱交換器価格＝200 万円
 (熱交換器価格は 1 万円/kW 程度と想定)

その他の費用を 15%程度見込むと、総額は $(7,000+1,200+200) \times 1.15=9,660$ 万円
 約 1 億円の費用となる。(注：導管長によって費用は大きく変動する)

3) スマート集合住宅（標準ケース）における余熱利用の経済性成立条件

スマート集合住宅において、余熱利用の経済性が成立するための条件を検討した。検討の前提として以下を仮定した。

仮定 1) 余熱利用の経済性を検討するための集合住宅における給湯・床暖房の対照システムは、灯油による給湯・床暖房とした。

仮定 2) 灯油の小売価格は変動幅が大きいですが、ここでは現状の平均的な小売価格を参考として 8 万円/kL とした。

仮定 3) 需要家は、灯油購入費の削減分に相当する金額を余熱供給者に支払うものとした。

仮定 4) 新たな熱源導管の費用の 1/2 は国等からの補助金が得られるものとした。

●余熱利用による需要家の灯油購入費削減額

スマート集合住宅の温熱を灯油で供給した場合に削減可能な年間の燃料費

・給湯分(年間) : $126\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年} \times 4,000\text{m}^2 / 36.7\text{MJ}/\text{L} = 13.7\text{kL}/\text{年}$

$13.7\text{kL}/\text{年} \times 8 \text{万円}/\text{kL} = 109.6 \text{万円}/\text{年}$

・暖房分(年間) : $201.6\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年} \times 4,000\text{m}^2 / 36.7\text{MJ}/\text{L} = 22.0\text{kL}/\text{年}$

このうち、電気(エアコン)で負荷の半分をまかなうものとして、灯油の削減分は半分の 11.0kL となる。

$22.0\text{kL}/\text{年} \times 1/2 \times 8 \text{万円}/\text{kL} = 88 \text{万円}/\text{年}$

・合計として $109.6 + 88 = 197.6 \text{万円}/\text{年}$ の灯油購入費が削減可能

●投資回収年数(補助金 1/2 補助)

$(9,660 \times 1/2) / 197.6 = 24.4 \text{年}$

投資回収年数は、設備費の 1/2 を補助金でまかなえたとして 24.4 年となる。

投資回収年数が 24.4 年というのは一般的に設備の耐用年数を超えた値となるので、ここでは投資回収年数が 15 年以下となるような条件を以下に検討した。標準ケースから、①新規導管への補助率を変更したケース、②導管長を変更したケース、③灯油価格が変動したケースについて検討した。

- ① 新規導管の費用の半分に補助金が交付されたとしても、残り半分が需要家負担となるのは需要家の理解が得られにくい可能性がある。そこで、この新規導管の部分にさらに付加的な公的支援がえられたとした場合(導管設備費の X%、付帯設備の 50% に補助金が交付されたとした場合)に投資回収年数が 15 年となる X は以下の式の解となる。

$$(7,000 \times (1 - X/100)) + (1,200 + 200) \times 1/2 / 197.6 = 15$$

この場合の X は 67.7 となり、新規導管設備費の 67.7% に補助金が交付されれば、需要家にとって 15 年で余熱利用の費用と灯油購入費削減額が一致することになる。

- ② 新規導管を含む余熱利用設備費の半分に補助金が交付されたとして、より短距離の導管長(Xメートル)で余熱利用が可能となったとした場合、投資回収年数が 15 年となる X は以下の式の解となる。

$$(70X + 1,200 + 200) \times 1/2 / 197.6 = 15$$

この場合の X は 64.7 となり、新規導管が 64.7m 以下の長さで余熱利用が図れば、需要家にとって 15 年で余熱利用の費用と灯油購入費削減額が一致することになる。

- ③ 将来的に灯油価格が上昇した場合を想定する。試算では 8 万円/kL とした灯油の小売価格が将来上昇し、15 年間の平均で X 万円/kL になったと仮定した場合、投資回収年数が 15 年となる X は以下の式の解となる。

$$(9,660 \times 1/2) / ((13.7+11) \times X) = 15$$

この場合の X は 13.0 となり、灯油小売価格の 15 年間平均値が 13 万円/kL にまで上昇した場合に、需要家にとって 15 年で余熱利用の費用と灯油購入費削減額が一致することになる。

4) 新たな余熱利用による二酸化炭素削減効果

余熱利用により、需要家で消費される灯油が削減されるため、二酸化炭素排出量の削減が期待される。再生可能エネルギーとの関係においては、清掃工場からのエネルギー利用についてバイオマス比率分を考慮する必要性も考えられるが、ここでは余熱利用による灯油削減効果のみを検討対象とした。標準ケースの二酸化炭素削減効果を以下に示した。

- 標準ケースにおける年間の灯油消費の削減量は、給湯分が 13.7kL、暖房分が 11.0kL である。

- 灯油の消費削減による二酸化炭素削減効果は以下のようになる。
 $13.7+11=24.7\text{kL/年}$
 $24.7\text{kL/年} \times 2.489 \text{ (t-CO}_2\text{/kL)} = 61.5\text{t-CO}_2\text{/年}$
標準ケース (1 棟) の場合、二酸化炭素削減効果は年間 61.5 トンと想定される。