

# 地域特性を生かした脱炭素社会実現への取り組み方法の研究 — ZEBデータの有効活用 —

菊地 真<sup>†</sup>

## Research on Methods for Achieving a Decarbonized Society Utilizing Regional Characteristics — Effective Utilization of ZEB (Net Zero Energy Building) Data —

Makoto Kikuchi

### はじめに

#### 1.1 研究目的

公開されているZEB建築データを用いて、空調の一次エネルギー消費量削減率と地形、地質の関係から、地中熱、地下水利用の効果を検証し、地域特性に適した脱炭素モデルを検討する。

#### 1.2 背景

##### 1) 脱炭素社会

脱炭素社会とは、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする社会であり、「排出を全体としてゼロ」というのは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの人為的排出量から、植林、森林管理などによる人為的吸収量を差し引いて、合計を実質的にゼロにすることを意味する。

カーボンニュートラルの達成のためには、温室効果ガスの排出量の削減並びに吸収作用の保全及び強化をする必要がある。厳密には脱炭素＝カーボンニュートラルではないが、環境省ではほぼ同義として扱っている。

##### 2) ZEB

Net Zero Energy Building（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の略称で、「ゼブ」と呼称する。快適な室内環境を実現しながら、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物のこと。ZEBは、使用するエネルギーを減らす省エネと、再生可能エネルギーなどによってエネルギーを作る創エネからなり、一次エネルギー消費量の削減率に応じて、『ZEB』、NearlyZEB、ZEBready、ZEBorientedに区分される。\*環境省HPより

##### 3) 地中熱

地中熱とは、浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギーである。大気の温度に対して、地中の温度は地下10

～15mの深さになると、年間を通して温度の変化が見られなくなる。そのため、夏場は外気温度よりも地中温度が低く、冬場は外気温度よりも地中温度が高いことから、この温度差を利用して効率的な冷暖房等を行うことが可能である。

### 2. 研究方法

#### 2.1 資料調査

##### 1) 使用した公開データ

研究に使用した公開データを以下に示す。

- ・ZEB補助事業実績データ(\*1)
- ・ZEBリーディングオーナー登録票(\*1)
- ・国土情報データベース(\*2)
- ・地理院地図ベクトルタイル地形分類(\*3)

\*1一般社団法人環境共創イニシアチブ (<https://sii.or.jp>)

\*2一般財団法人国土情報センター (<https://ngic.or.jp/>)

\*3地理院地図 国土地理院 (<https://maps.gsi.go.jp>)

##### 2) データのとりまとめ

公開データを用いて以下を整理した。

##### ①ZEB事業地

本研究ではZEB建築の建築地をZEB事業地としてとりまとめた。一般社団法人環境共創イニシアチブ（以降siiと称する）の公開データ（ZEBリーディングオーナー登録票）ではZEB事業地の座標は示されていないため、登録票と建築場所の空中写真などから事業地を特定し、GIS上に整理した。GISは本研究では、フリーオープンソフトのQGIS (<https://qgis.org/>) を使用した。

##### ②ZEB事業地の地形

国土地理院から公開されている地理院地図ベクトルタイルのうち地形分類（自然地形）を用いて、ZEB事業地の地

<sup>†</sup> 2024年度修了（自然環境科学プログラム）

形分類を行った。地形分類図はズームレベルに応じて、自然地形「詳細版」、人工地形「詳細版」、自然地形「地域版」、自然地形「広域版」が整備されている。本研究では自然地形「地域版」、自然地形「詳細版」を用いてZEB事業地の地形を整理した。

#### ③地中熱、地下水利用事業地

sii公開データから空調に地中熱または地下水（井水）を利用している事業地を抽出し、一覧表およびGIS上に整理した。

#### ④空調の一次エネルギー消費量削減率

地中熱、地下水利用の効果を抽出するため、sii公開データからZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率を整理した。空調の一次エネルギー消費量削減率はZEB事業登録時および事業開始後の実績値（公開されている事業地のみ）をそれぞれ整理した。

#### ⑤ZEB事業地の地質

国土情報センターで公開されているボーリング柱状図から、抽出したZEB事業地の地質モデルを作成した。

### 2.2 ZEB建築データ分析

資料調査で収集したZEB建築データを用いて以下の分析を行った。

#### ①ZEB事業地の地形

本研究では地中熱、地下水利用に有効な地形条件として、地下水の移流効果に着目した。移流効果が期待できる地形を条件として、帯水層の透水係数が高く、動水勾配が大きいことがあげられる。本研究では地形分類を国土地理院の地形分類図を基に行い、台地・段丘と低地との境界、扇状地を移流効果が期待できる地形として分析を行った。

#### ②空調の一次エネルギー消費量削減率上位事業地および下位事業地と地形区分

空調の一次エネルギー消費量削減率の設計値は、省エネ設計地区区分に応じた基準値に対しての値であり、導入する設備（空調、換気、照明、給湯、昇降機）、の省エネ効果等から計画される。本研究では地中熱、地下水利用と関係のある空調に着目し、以下について分析を行った。

本研究で着目した移流効果による削減効果は以下の点から検討した。

◎地中熱、地下水利用ZEB事業地の地形分類と空調の一次エネルギー消費量削減率（設計値）の関係。

・設計値に地下水の移流効果が加味されているか

◎地中熱、地下水利用事業地の地形区分と実績削減率の関係。

・設計値に対して、移流効果による削減率の増加が認められるか。

◎全事業地の地形区分との関係。地形が設計値に考慮されているか。

・実績値で削減率が増加した事業地の特徴

## 3. 研究結果

### 3.1 ZEB事業地の特徴

#### 1) ZEB事業地

本研究で対象としたZEB事業地を表-1に示す。

siiが公開する、ZEBリーディングオーナー一覧から抽出したZEB事業は、全ランクで540事業である。ZEBランクのうちZEBOrientedは、延べ面積10000㎡以上で用途ごとに一次エネルギー削減量が異なる点で他ZEBランクとの比較が難しいため、本研究の対象から除外した。siiの公開データではZEB事業地の座標は示されていないため、登録票と建築場所の空中写真などから事業地を特定し、GIS上に整理した。ZEBOriented10事業と公開データから位置の特定ができなかった11事業を除いた519事業地を図-1に示す。

表-1 本研究で対象とした ZEB 事業地 (R5 年 7 月)

ZEBランク	事業数	対象
「ZEB」	92 (1)	91
NearlyZEB	118 (2)	116
ZEBReady	320 (8)	312
ZEBOriented	10	0
全ランク	540 (11)	519

( ) は位置不明事業地の数

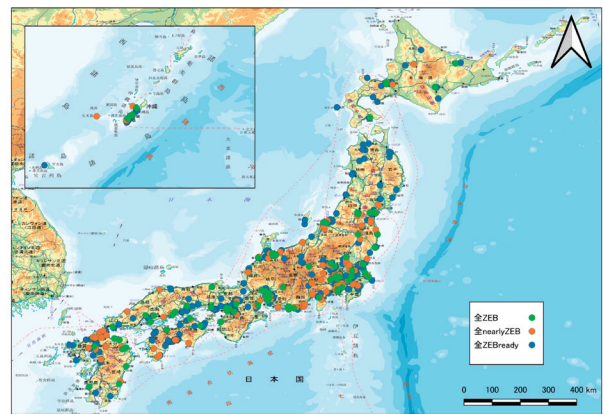


図-1 本研究で対象とした ZEB 事業地 (R5 年 7 月)  
背景地図：地理院地図（国土地理院）

#### 2) 地中熱、地下水利用ZEB事業地

本研究で対象とした519事業地から空調に地中熱、地下水利用を採用している事業地を抽出し、表-2に示す。地中熱利用40事業地、地下水利用9事業地、地中熱、地下水併用3事業地の全52事業地である。

表-2 ZEB ランクごとの地中熱導入事業地数 (R5.7)

ZEBランク	全事業数	地中熱導入事業数		
		地中熱利用	地下水利用	併用
「ZEB」	91	11	3	1
NearlyZEB	116	10	3	
ZEBReady	312	19	3	2
全ランク	519	40	9	3

## 3.2 ZEB事業地の地形

### 3.2.1 ZEB事業地の地形

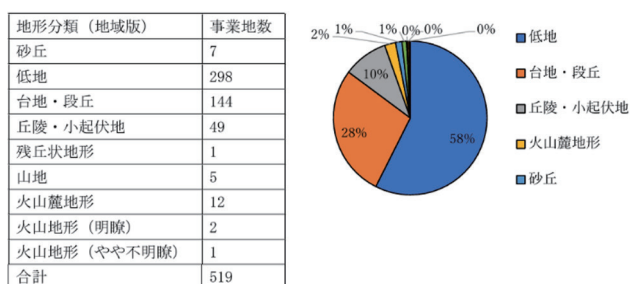
#### 1) 地形分類

地形分類は、地理院地図のベクトルタイル地形分類（自然地形）により分類を行った。ベクトルタイル地形分類（自然地形）は、ズームレベルに応じた「詳細版」（ズームレベル14～16）、「地域版」（ズームレベル9～13）、「広域版」（ズームレベル5～8）が整備されており、本研究では「地域版」および「詳細版」を使用した。

#### 2) 地形分類結果

地形分類ごとの事業地数を表-3に示す。

表-3 ZEB事業地の地形分類（自然地形）「地域版」



ZEB事業地の地形分類は半数以上が“低地”であり、“丘陵・小起伏地”，“台地・段丘”で96%を占める。市街地や住宅地は平坦地，すなわち低地，台地・段丘あるいは造成丘陵地であることが多く，ZEB事業地の地区分類も同様である。

#### 3) 境界地形

細分類では，大部分を各地形区分を代表する地形が占めているが，数事業地で異地形分類が含まれている（表-4）。低地（地域版）での台地・段丘（詳細版），台地・段丘（地域版）あるいは丘陵・小起伏地（地域版）での氾濫平野（詳細版）などである。これは，扇状地が両地形に分類されていること，台地・段丘，丘陵・小起伏地中の谷などである事業地や，地形分類が近接してる事業地であると推察する。地形分類の近接地では，地域版の縮尺レベルでは境界付近の分類が不明瞭となり，地域版と詳細版での相違が生じている。本研究ではこのような地域を境界地形とした。境界地形のZEB事業地を表-4に示し，境界地形の例を図-2に示す。

表-4 ZEB事業地の地形分類（境界地形）

地形分類（地域版）	地形分類（詳細版）	事業地数
低地	台地・段丘	7
	扇状地	32
台地・段丘	氾濫平野	9
	砂州・砂丘	2
	扇状地	3
	凹地・浅い谷	4
	自然堤防	1
	旧水部	1
丘陵・小起伏地	氾濫平野	5
合計		64

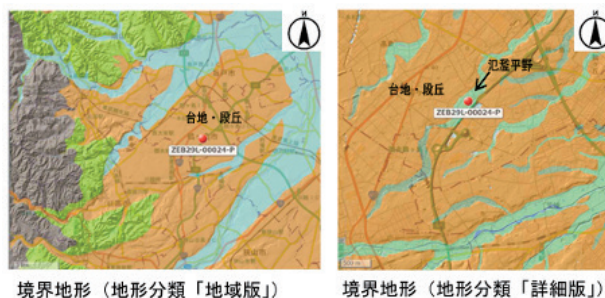


図-2 ZEB事業地の地形分類 境界地形の例

### 3.2.2 地中熱，地下水利用ZEB事業地の地形分類

ZEB事業地のうち，空調に地中熱，地下水を利用している事業地の地形分類を表-5に示す。

表-5 地中熱，地下水利用 ZEB事業地の地形分類（自然地形）「地域版」

地形分類	事業地数			
	地中熱	地下水利用	併用	合計
低地	22	5	2	29
台地・段丘	13	4	1	18
丘陵・小起伏地	3			3
山地	1			1
火山麓地形	1			1
合計	40	9	3	52

地中熱，地下水利用事業地の地形は，全事業地と同様に低地が半数以上であり台地・段丘，丘陵・小起伏地を合わせて96%を占める。なお，4事業地は前述した境界地形である。

## 3.3 空調の一次エネルギー消費量削減率

### 1) 空調の一次エネルギー消費量削減率（設計値）

ZEB事業地の座標を取得した519事業地のうち，空調データが公表されている438事業地を対象として空調の一次エネルギー消費量削減率を整理した。空調の一次エネルギー消費量削減率の分布は図-3に示すとおりである。最も大きい削減率は76%であり，削減率70%以上の事業地は16事業地である。削減率70%以上の事業地を表-6に示す。省エネ基準は，各地域の外気温傾向や使用されている設備機器等の実態から8の地域区分毎に基準値を設定している。一次エネルギー消費量削減率の設計値は，この地域区分ごとの基準値に対しての削減率である。地域区分を図-4に示す。

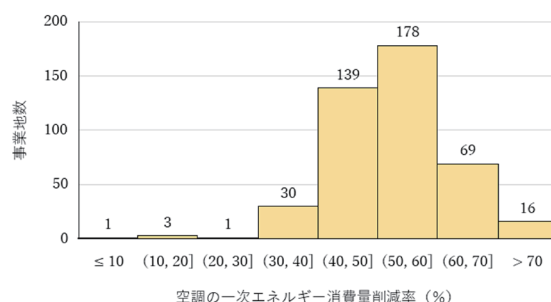


図-3 空調一次エネルギー消費量削減率の分布



地域の区分

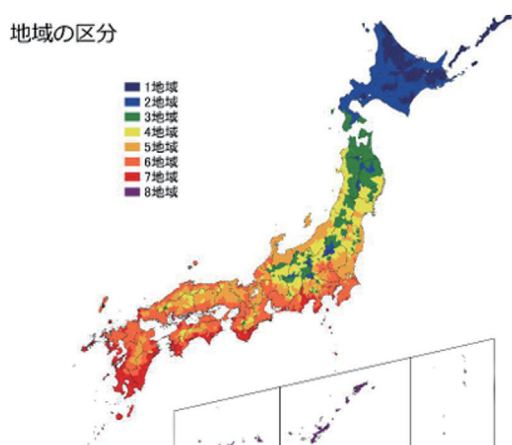


図-4 省エネ基準 地域区分「国土交通省 HP より」

表-6 空調一次エネルギー消費量削減率 70%以上の ZEB 事業地

ZEB リーディング・オーナー 登録番号	建物所在地 (都道府県)	地域区分	地形分類 [地域版]	地形分類 [詳細版]	空調の一次エネルギー 消費量削減率 (%)	ZEB ランク
ZEB2020L-00003-P	愛知県	6	丘陵・小起伏地	山地	74	ZEB
ZEB2020L-00003-P	愛知県	6	低地	氈氈平野	75	ZEB
ZEB2020L-00003-P	愛知県	6	低地	氈氈平野	75	ZEB
ZEB2020L-00002-P	静岡県	6	台地・段丘	台地・段丘	72	ZEB
ZEB2019L-00050-P	沖縄県	8	台地・段丘	—	76	ZEB
ZEB2019L-00002-P	沖縄県	8	丘陵・小起伏地	—	73	ZEB
ZEB2021L-00023-P	大分県	6	低地	田水部	73	ZEB
ZEB2019L-00001-G	高知県	7	低地	—	73	Nearly ZEB
ZEB2019L-00002-G	沖縄県	8	台地・段丘	—	75	Nearly ZEB
ZEB2021L-00013-G	福岡県	6	台地・段丘	自然地形	72	Nearly ZEB
ZEB2020L-00003-P	静岡県	6	低地	扇状地	75	Nearly ZEB
ZEB2019L-00018-P	東京都	6	低地	氈氈平野	74	Nearly ZEB
ZEB2022L-00045-P	香川県	6	台地・段丘	扇状地	72	Nearly ZEB
ZEB2019L-00021-P	石川県	6	低地	氈氈平野	74	ZEB Ready
ZEB2019L-00011-P	愛媛県	6	低地	氈氈平野	75	ZEB Ready
ZEB2020L-00020-P	神奈川県	6	台地・段丘	台地・段丘	71	ZEB Ready

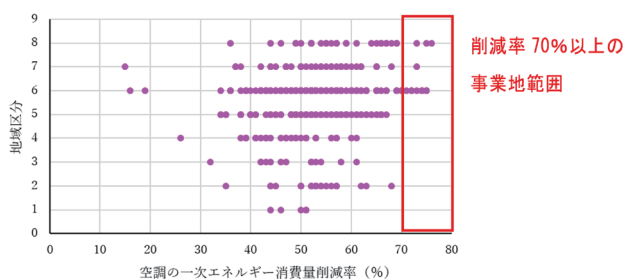


図-5 空調の一次エネルギー消費量削減率と地域区分

空調の一次エネルギー消費量削減率と地域区分の関係を図-5に示す。削減率70%以上の事業地は地域区分6, 7, 8である。これらの地域区分は沖縄、九州および関東以西の本州太平洋側であり、比較的温暖な地域で削減率の設計値は高い傾向がある。また6地区は大都市を含む地域であり、データ数も多く、分布範囲も広い。地域区分ごとの削減率の最高値、最低値及び平均値を図-6に示す。最高値、平均値は正の相関を示し、決定係数は最高値で0.72、平均値で0.67である。最低値の決定係数は0.32であるが、8地区の最低値をはずれ値として除外すれば、決定係数0.81となる。この傾向は、温暖な地域では削減率の分布が広く、寒冷な地域では分布が狭い傾向を示している。平均値は

正の相関であることから、全体とし温暖な地域が削減率に有利である。

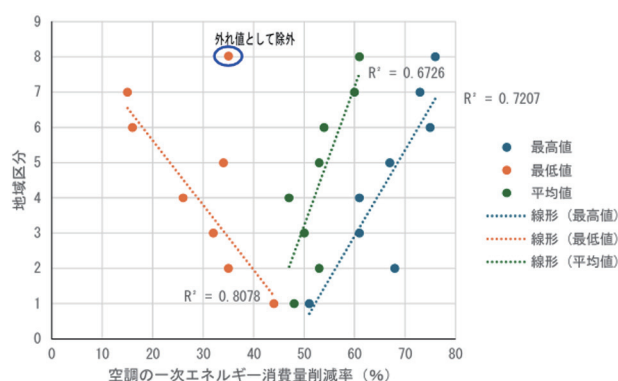


図-6 地域区分と空調の一次エネルギー消費量削減率の関係

## 2) 空調の一次エネルギー消費量削減率 (実績値)

### (1) 実績値公開ZEB事業地

実績値は148事業地が公開されている。実績値は年度毎の報告であり、同一事業地の複数年の実績値が公開されている。本調査ではR1年～R6年までのデータを用い、位置の特定が可能であった事業地のみを対象とした。対象とした事業地は80事業地であり、うち地中熱、地下水利用は3事業地である。対象事業地を表-7、図-7に示す。なお、同一事業地の実績値は、最新年度の値を用いた。

表-7 本研究で対象とした ZEB 事業地 (実績 R1～R5)

ZEB ランク	事業地数	事業地数 (地中熱、地下水利用)
「ZEB」	1	1
NearlyZEB	13	
ZEBReady	66	3*
全ランク	80	4

\* ZEBready の 3 事業地のうち 2 事業地は実績報告で NearlyZEB にランクアップしているが本研究では設計時の ZEB ランクで取りまとめた。

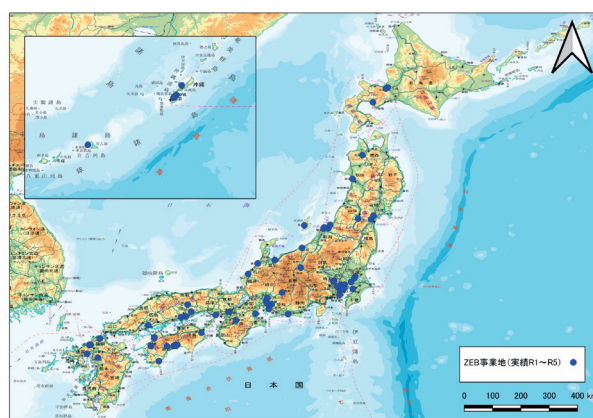


図-7 ZEB 事業地 (実績 R1～R6)

背景地図：地理院地図 (国土地理院)

### (2) 空調の一次エネルギー消費量削減率 (実績値)

実績報告ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率を整理した。空調の一次エネルギー消費量削減率の分布

は図-8に示すとおりである。最も大きい削減率は92%であり、削減率70%以上の事業地は39事業地である。削減率70%以上の事業地を表-8に示す。

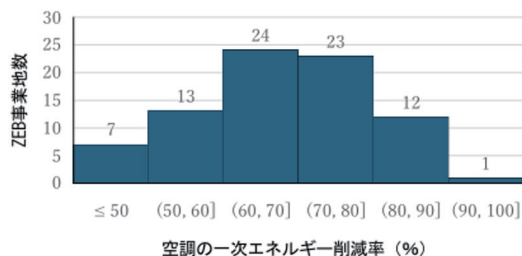


図-8 空調の一次エネルギー消費量削減率の分布

表-8 空調一次エネルギー消費量削減率 70%以上の ZEB 事業地

ZEBリーディング・オーナー登録番号	建物所在地(都道府県)	地域区分	地形分類		空調の一次エネルギー消費量削減率 (%)		ZEB ランク
			地域版	詳細版	設計値	実績値	
ZER2019L-00016-P	福岡県	6	低地	起伏地	60	70	ZEB Ready
ZER2020L-00015-P	東京都	6	台地・段丘	台地・段丘	55	79	ZEB Ready
ZER2020L-00001-P	新潟県	5	低地	自然堤防	35	81	ZEB Ready
ZER2020L-00020-P	大阪府	6	丘陵・小起伏地	山地	64	74	ZEB Ready
ZER2020L-00007-P	高知県	7	低地	氾濫平野	53	83	ZEB Ready
ZER2021L-00004-P	新潟県	5	低地		41	76	ZEB Ready
ZER2021L-00024-P	福岡県	6	丘陵・小起伏地	山地	50	76	ZEB Ready
ZER2022L-00026-P	愛知県	6	低地	氾濫平野	55	74	ZEB Ready
ZER2019L-00024-P	北海道	2	低地	後背低地・湿地	68	79	ZEB Ready
ZER2019L-00013-P	東京都	6	低地	氾濫平野	49	81	ZEB Ready
ZER29L-00050-P	埼玉県	6	低地	氾濫平野	58	86	ZEB Ready
ZER2021L-00029-P	東京都	6	台地・段丘	台地・段丘	67	78	ZEB Ready
ZER30L-00004-P	愛媛県	6	丘陵・小起伏地	台地・段丘	70	88	ZEB Ready
ZER30L-00026-P	東京都	6	台地・段丘	台地・段丘	48	75	ZEB Ready
ZER30L-00017-P	愛知県	6	低地	氾濫平野	59	70	ZEB Ready
ZER29L-00052-P	奈良県	5	低地	起伏地	74	92	Nearly ZEB
ZER29L-00037-P	沖縄県	8	台地・段丘		69	76	ZEB Ready
ZER29L-00029-P	埼玉県	5	台地・段丘	台地・段丘	63	73	Nearly ZEB
ZER29L-00040-P	兵庫県	6	低地	台地・段丘	40	73	ZEB Ready
ZER29L-00050-P	東京都	6	低地	自然堤防	65	83	ZEB Ready
ZER29L-00044-P	青森県	3	火山麓地形	台地・段丘	51	79	ZEB Ready
ZER30L-00019-P	愛知県	6	台地・段丘	台地・段丘	57	75	Nearly ZEB
ZER30L-00007-P	福岡県	7	低地	氾濫平野	59	84	ZEB Ready
ZER30L-00005-P	高知県	7	低地	氾濫平野	58	83	ZEB Ready
ZER30L-00018-P	東京都	6	低地	氾濫平野	74	85	Nearly ZEB
ZER30L-00022-P	茨城県	5	台地・段丘	台地・段丘	45	74	ZEB Ready
ZER30L-00009-P	沖縄県	8	丘陵・小起伏地		47	71	ZEB Ready
ZER30L-00011-P	愛媛県	6	低地	氾濫平野	75	84	ZEB Ready
ZER29L-00032-P	高知県	6	低地	氾濫平野	69	74	ZEB Ready
ZER29L-00025-P	千葉県	6	台地・段丘	台地・段丘	50	80	ZEB Ready
ZER29L-00028-P	高知県	7	低地	旧河道	38	70	ZEB Ready
ZER30L-00001-P	三重県	6	低地	氾濫平野	58	72	ZEB Ready
ZER29L-00024-P	埼玉県	5	台地・段丘	氾濫平野	57	73	ZEB Ready
ZER30L-00003-P	新潟県	5	低地	後背低地・湿地	67	76	ZEB Ready
ZER29L-00006-P	高知県	5	台地・段丘		39	76	Nearly ZEB
ZER29L-00022-P	高知県	7	台地・段丘	台地・段丘	56	75	Nearly ZEB
ZER29L-00024-P	宮城県	4	丘陵・小起伏地	山地	60	83	Nearly ZEB
ZER29L-00035-P	愛知県	6	丘陵・小起伏地	山地	48	81	Nearly ZEB
ZER29L-00030-P	高知県	7	低地	氾濫平野	46	78	Nearly ZEB

### (3) 設計値との比較

空調の一次エネルギー消費量削減率の設計値と実績値を比較し、図-9に示す。

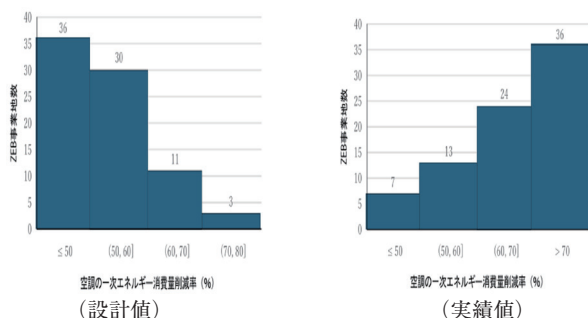


図-9 空調の一次エネルギー消費量削減率の分布

空調の一次エネルギー消費量削減率は、70%以上の事業地が12倍、50%未満の事業地が約1/5となっている。削減率が増加した事業地は80事業地のうち76事業地であり、ほとんどの事業地で削減率が増加していることが分かった。

### (4) 地域区分との関係

実績報告ZEB事業地の空調の一次エネルギー削減率の設計値および実績値と地域区分の関係を図-10に示す。

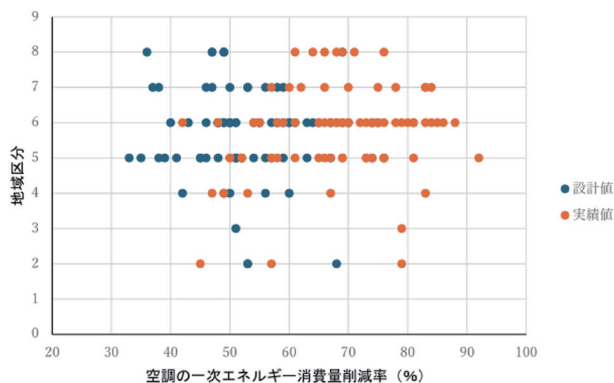


図-10 空調の一次エネルギー消費量削減率の設計値および実績値と地域区分の関係

実績値では、概ね全ての地区で空調の一次エネルギー消費量削減率が増加している。実績値は大都市が含まれる地域区分5, 6で報告数が多く、削減率の分布が広い傾向がある。全ZEB事業地の傾向と同様に温暖な地域で削減率の幅が広く寒冷な地域で狭い傾向であると推察する。

### (5) 増加率

実績値の地域区分ごとの設計値からの増加率を表-9に示す。削減率100%を1とした場合の削減率平均値の差分を増加率として示した。

表-9 地域区分ごとの削減率増加率

地域区分	空調の一次エネルギー消費量削減率 (平均値 %)		
	設計値	実績値	増加率
1			
2	58	60	2
3	51	79	28
4	51	60	9
5	50	67	17
6	56	70	14
7	50	72	22
8	49	68	19

増加率が最も大きい地区は3地区、最も小さい地区は2地区である。なお、1地区は実績報告事業地がないため対象外とした。

### 3) 地中熱、地下水利用ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率

地中熱、地下水利用52ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率を整理した。空調の一次エネルギー消費量削減率の分布は図-11に示すとおりである。

地域特性を生かした脱炭素社会実現への取り組み方法の研究  
— ZEBデータの有効活用 —

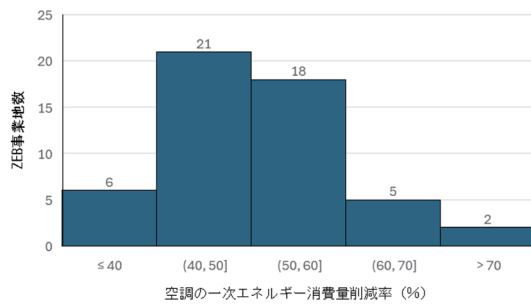


図-11 地中熱、地下水利用 ZEB 事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率分布

(1) 地区分類

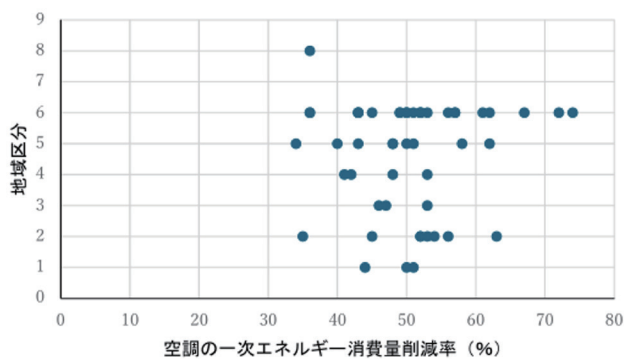


図-12 地中熱、地下水利用 ZEB 事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率と地域区分との関係

地中熱、地下水利用ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率と地域区分との関係は、事業地数が少なく一概にはいえないが全ZEB事業所、実績値との関係と概ね同様と推察する。

(2) 実績値

地中熱、地下水利用ZEB事業地の実績値を表-10に示す。実績ZEB事業地80事業地中、地中熱、地下水利用事業地の実績値は4事業地のみである。

表-10 本研究で対象とした ZEB 事業地 (実績 R1 ~ R5)

ZEB ランク	事業地数	事業地数 (地中熱、地下水利用)
「ZEB」	1	1
NearlyZEB	13	
ZEBReady	66	3*
全ランク	80	4

\* ZEBready の 3 事業地のうち 2 事業地は実績報告で NearlyZEB にランクアップしているが本研究では設計時の ZEB ランクで取りまとめた。

地中熱、地下水利用実績ZEB事業地を表-11、図-13に示す。

表-11 地中熱、地下水利用実績 ZEB 事業地

ZEB リーディング・オーナー 登録番号	建物所在地 (都道府県)	地域 区分	地形分類		空調の一次エネルギー 消費量削減率 (%)		ZEB ランク
			地域版	詳細版	設計値	実績値	
ZEB30L-00017-P	愛知県	6	低地	氾濫平野	59	70	ZEB Ready
ZEB29L-00003-P	茨城県	5	台地・段丘	台地・段丘	52	50	ZEB
ZEB29L-00018-P	宮城県	4	台地・段丘	凹地・浅い谷	42	49	ZEB Ready
ZEB29L-00037-P	沖縄県	8	台地・段丘		69	76	ZEB Ready

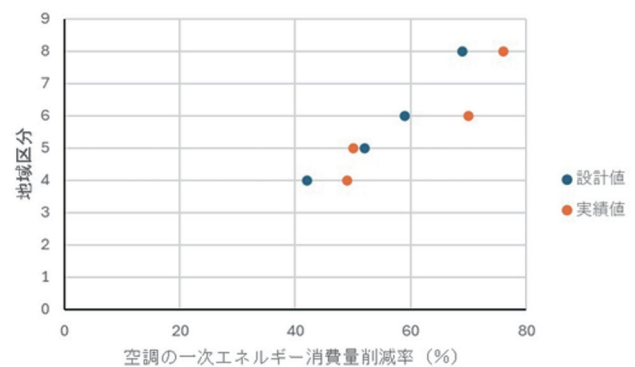


図-13 地中熱、地下水利用 ZEB 事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率(実績値)と地域区分との関係

設計値、実績値ともに温暖な地域で削減率が高い正の相関(決定係数0.85)が認められるが、事業地数が少ないため検討が必要である。削減率は、ZEB29L-00003-P(茨城県)の事業地でわずかに減少するが概ね増加している。

## 4. 考察

### 4.1 地中熱、地下水利用による一次エネルギー消費量削減効果と地形分類

本研究では、地中熱、地下水利用による一次エネルギー消費量削減効果を、地形分類を指標として考察する。

地中熱利用は、空調の省エネ技術として効果的である。地下100m程度のボアホールに熱交換用のUチューブを挿入したクロードループによる地中熱が欧州などを中心に普及しているが、日本は地下水が豊富であり、内田2018や坂田2020でも地下水の流れによる有効熱伝導率の上昇が日本では有効であるとしている。siiでZEBリーディングオーナー登録されている事業地はR5年7月で540事業地、そのうち建設地が特定できた事業地が519事業地である。519事業地のうち、地中熱、地下水利用の事業地は52事業地であり、全体の10%程度にすぎない。本研究で整理した地中熱、地下水利用事業地の地形分類を表-12に示す。

表-12 地中熱、地下水利用 ZEB 事業地の地形分類

地形分類(地域版)	事業地数			
	地中熱	地下水利用	併用	合計
低地	22	5	2	29
台地・段丘	13	4	1	18
丘陵・小起伏地	3	0	0	3
山地	1			1
火山麓地形	1			1
合計	40	9	3	52

地中熱、地下水利用ZEB事業地52事業地のうち、低地、台地・段丘が47事業地と約90%を占める。台地・段丘の18事業地中、4事業地は境界地形である。境界地形は段丘中の狭小な谷部であったり、低地のうち扇状地に分類される地形である。地中熱、地下水利用ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率の分布を、削減率ごとの地形分類と合わせて図-14に示す。



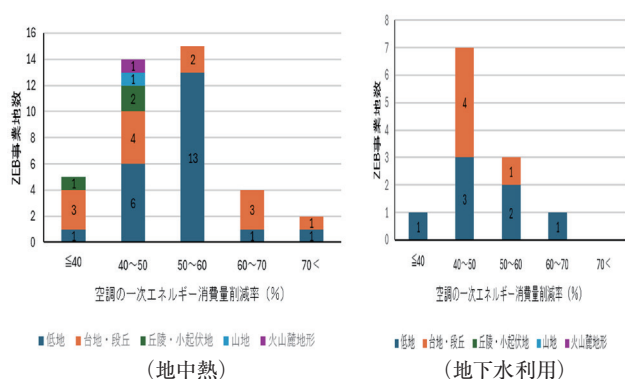


図-14 ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率の分布(地形分類)

地中熱利用事業地では空調の一次エネルギー消費量削減率が70%より大きい事業地が2事業地ある一方で、40%以下の事業地も6事業地確認した。削減率70%より大きい事業地と40%以下の事業地をそれぞれ表-13に示す。

表-13 空調の一次エネルギー消費量削減率が70%より大きいZEB事業地

ZEBリーディング・オーナー登録番号 (ZEB ランク)	事業地 (都道府県)	地形分類		空調の一次エネルギー消費量削減率 (設計値) %
		地域版	詳細版	
ZEB2021L-00013-G (NearlyZEB)	福岡県	台地・段丘	自然堤防 *境界地形	72
ZEB30L-00018-P (NearlyZEB)	東京都	低地	氾濫平野	74

空調の一次エネルギー消費量削減率70%より大きい事業地は、低地と台地・段丘に地形分類（地域版）される。福岡県の事業地は、台地・段丘と自然堤防に地形分類され、本研究で定義した境界地形に区分する。台地や扇状地との境界付近は地下水の流れが期待できる地域であり、移流効果が有効熱伝導率を上昇させているとも推察する。地中熱設計時に用いる有効熱伝導率は原位置におけるTRT試験（サーマルレスポンステスト）や各地質区分に応じた一般値から決定される。一般値を用いた場合、設計値には地下水の移流効果は考慮されない。境界地形に地形分類した福岡県の事業地の実績値は公開されていないが、TRT試験などの試験値を用いた設計であることが推察できる。

表-14 空調の一次エネルギー消費量削減率が40%以下のZEB事業地

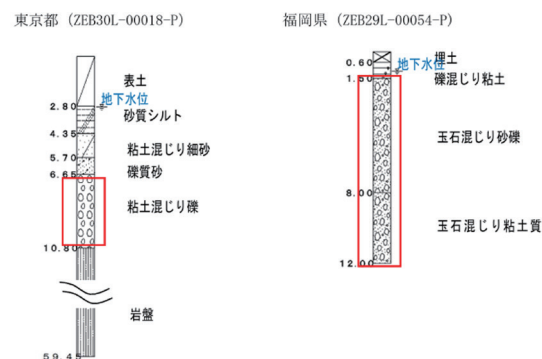
ZEBリーディング・オーナー登録番号 (ZEB ランク)	事業地 (都道府県)	地形分類		空調の一次エネルギー消費量削減率 (設計値)
		地域版	詳細版	
ZEB2020L-00011-P (『ZEB』)	兵庫県	低地	氾濫平野	36
ZEB2020L-00037-P (『ZEB』)	茨城県	台地・段丘	台地・段丘	34
ZEB2020L-00040-P (Nearly ZEB)	茨城県	台地・段丘	台地・段丘	40
ZEB29L-00033-P (ZEB Ready)	沖縄県	台地・段丘		36
ZEB2020L-00012-P (ZEB Ready)	熊本県	丘陵・小起伏地	台地・段丘	36
ZEB29L-00001-P (ZEB Ready)	北海道	低地	扇状地	35

空調の一次エネルギー消費量削減率が小さい事業地は低地および台地・段丘に加え丘陵・小起伏地を含む。北海道の事業地は扇状地であり、地形的には移流効果が期待できるが設計値には反映されていない。地質状況、地下水状況にもよるが、低地、台地・段丘の事業地では設計時に移流効果が考慮されていないと推察する。

## 4.2 空調の一次エネルギー消費量削減率とZEB事業地の地質

ZEB事業地の地質は「国土地盤情報データベース」（一般社団法人国土地盤情報センター）から、近傍の地質データ（ボーリング 柱状図）を入手した。空調の一次エネルギー消費量削減率が70%より大きい3事業および削減率30%以下の事業地の地質を以下に示す

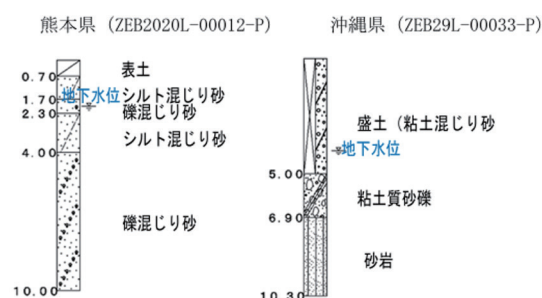
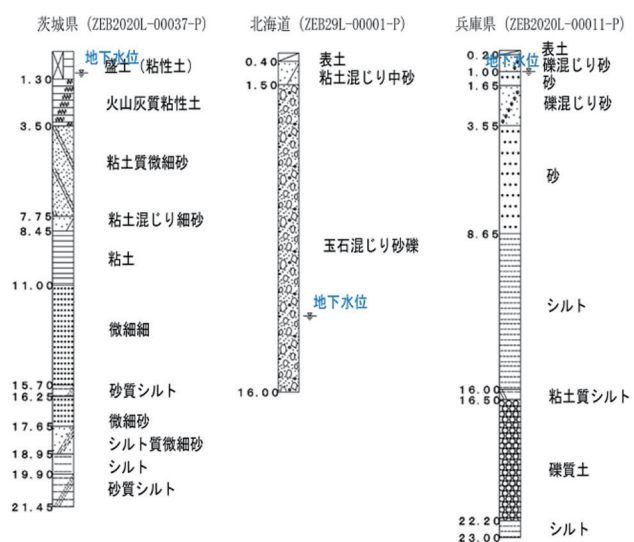
### 1) 空調の一次エネルギー消費量削減率が70%より大きい事業地の地質



2事業地に共通している地質は、地下水位以下の飽和礫質土（赤枠）である。地中熱のボアホール深度、本数は不明であるが地下水の移流効果が期待できる地質であると推察する。

### 2) 空調の一次エネルギー消費量削減率30%以下の事業地の地質

茨城県（ZEB2020L-00040-P）の事業地は近隣の地質資料が入手できなかったため、他5事業地の地質を以下に示す。



茨城県（ZEB2020L-00037-P）は、台地・段丘に地形区分され、地質も細粒分が多く地下水流れは小さいと推察する。北海道を除く3事業地（兵庫、熊本、沖縄）は、礫を含む粗粒土を含むが、地形分類で熊本は丘陵・小起伏地、沖縄は台地・段丘であり、削減率が大きい事業地がすべて低地であることから地下水による効果は少ない地域であると判断する。兵庫県（ZEB2020L-00011-P）は低地に地形分類されるが、氾濫平野であり削減率の大きい事業地の特徴である台地・段丘、丘陵・小起伏地などに隣接する地域ではない。北海道（ZEB29L-00001-P）は、削減率が大きい事業地の地質（砂礫、玉石混じり砂礫）に類似しているが、空調の一次エネルギー消費量削減率は小さい（削減率35%）。空調は「地下水利用水冷式パッケージエアコン/地下水利用HPチラー」である。設計上空調の削減率を大きくしていない可能性もあり、地域特性をさらに生かすことが可能な事例として今後の課題としたい。

#### 4.3 実績値公開ZEB事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率と地形分類

本研究ではR1年～R6年の公開データのうち、事業地の位置を特定できた実績値公開事業地80事業地を整理した。図-15に示すように実績値は設計値から空調の一次エネルギー削減率が全体に増加する。地中熱、地下水利用ZEB事業地でも同様に実績値の増加が認められた。

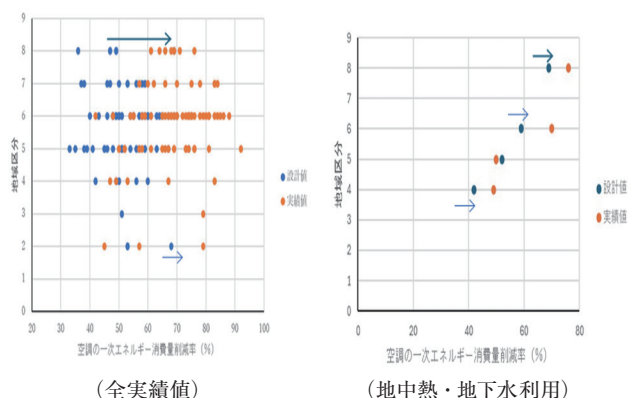


図-15 空調の一次エネルギー消費量削減率の設計値および実績値と地域区分の関係

設計値は、地形や地質、地下水などの地域特性が考慮されているとは限らない。地中熱設計時に用いる有効熱伝導率は原位置におけるTRT試験（サーマルレスポンステスト）や各地質区分に応じた一般値から決定される。一般値を用いた場合、設計値には地下水の移流効果は考慮されていない。またTRT試験は、試験実施時期の地下水流れは考慮されるが、通年を通じた効果は考慮されていないため、設計値は実際の事業地のポテンシャルを低く見積もっている傾向があると推察する。実績値が公開されている地中熱、地下水利用ZEB事業地を表-15に示す。地中熱、地下水利用のZEB事業地で実績値が公開されている事業地は4事業地であり、愛知県と宮城県の事業地は地中熱、茨

城県と沖縄県の事業地は地下水利用である。地形分類は、愛知県の事業地が低地（氾濫平野）、茨城県、宮城県、沖縄県が台地・段丘である。空調の一次エネルギー消費量削減率の実績値は茨城県以外は設計値から増加している。特に愛知県の事業地は59%から70%と大きく削減率が増加しており、ZEBランクもZEBreadyからNear-ZEBへランクアップしている。愛知県の事業地の地形は境界地形ではないが、台地・段丘に近接する低地（氾濫減平野）であり、一次エネルギー消費量削減率が大きい事業地の特徴と調和的である。削減率の上昇は、地下水の移流効果の影響であり、設計値に地下水の移流効果が考慮されていないことが原因のひとつと推察する。宮城県の事業地地形は“境界地形”に分類される。削減率の増加はわずかであるが、愛知県の事業地と同様に地下水の移流効果は考慮されていないことが推察できる。茨城県、沖縄県の事業地は、地下水利用の事業地であり、沖縄県は設計値の削減率も比較的大きい。茨城県の事業地は実績値が設計値と大きな変化はなく、地下水利用事業地の設計値は地下水の効果は考慮されていると推察する。

表-15 地中熱、地下水利用 ZEB 事業地の空調の一次エネルギー消費量削減率

ZEBリーディング・オーナー 登録番号（ZEB ランク）	建物所在地 （都道府県）	地域 区分	地形分類		空調の一次エネルギー 消費量削減率（％）		地中熱、 地下水利用
			地域版	詳細版	設計値	実績値	
ZEB30L-00017-P （ZEB Ready） （Near-ZEB-R4 実績評価）	愛知県	6	低地	氾濫平野	59	70	地中熱
ZER29L-00003-P （『ZEB』）	茨城県	5	台地・段丘	台地・段丘	52	50	地下水利用
ZEB29L-00018-P （ZEB Ready）	宮城県	4	台地・段丘	凹地・ 浅い谷	42	49	地中熱
ZEB29L-00037-P （ZEB Ready） （Near-ZEB-R4 実績評価）	沖縄県	8	台地・段丘		69	76	地下水利用

## 5. まとめと今後の課題

地中熱、地下水利用事業地実績値の多くは、設計値からの増加が認められる。このことは設計時のパラメーターに地形分類、地下水の移流効果などの地域特性が考慮されていないことが原因と推察する。実績値に近い設計値を計画することができれば、設備やボアホール本数、深度などの地中熱設備の初期費用を抑えることが可能であり、地中熱の普及へつながることも期待する。本研究で区分した“境界地形”の移流効果を検証することと、林業、酪農、漁業などの一次産業や、観光業などのZEB事業地ごとの地域特性を整理し、地域特性に適した脱炭素モデルを示すことを今後の研究課題としたい。

## 6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導を賜りました大森教授に深く感謝申し上げます。また、研究に関して有益な助言やご協力をいただいた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

研究活動を支えてくださった家族や友人の励ましにも深く感謝いたします。



## 引用文献

- [1] 阪田 義隆, 長野 克則. 地中熱利用における課題と地下水学からのアプローチ. 地下水学会誌. 2020;62(4):515-24.
- [2] 内田 洋平, 吉岡 真弓, シュレスタ ガウラブ, 黒沼 覚. 地域の地下水環境を活用した地中熱の研究. 地下水学会誌. 2018;60(4):475-82.