

# 動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を用いた 建築物の蓄エネルギーシステム評価に関する研究

岡田 健志\*<sup>1</sup>・田中 拓也\*<sup>1</sup>・張本 和芳\*<sup>1</sup>

Keywords : energy storage, emissions of ZEBs, dynamic CO<sub>2</sub> emission factor, simulation

蓄エネルギー, エミッション ZEB, 動的 CO<sub>2</sub> 排出係数, シミュレーション

## 1. はじめに

カーボンニュートラル社会の実現に向け、建物の ZEB 化を一層推し進める必要がある。一方、系統電源の再生可能エネルギー（以下、再エネ）への移行も進んでおり、需要側はエネルギー需要量を減らすだけでなく、エネルギーの需給バランスを考慮して賢く使うことが求められる。そのような背景から、筆者らは需要家側の取組みとして蓄エネルギーシステムの導入効果の検討を進めている。

従来、ZEB の評価は、ZEB の定義<sup>2)</sup>に基づき、エネルギー消費量で行われているが、カーボンニュートラルの実現に向けた観点から、エネルギー消費量に対して CO<sub>2</sub> 排出係数を用いてエミッション ZEB としての評価を行うことも可能である。その際、CO<sub>2</sub> 排出係数は消費電力に対する評価の場合は一般的に電力会社が公表する年平均値を用いる。しかし、実際には時刻ごとの電源構成比率の変動に基づき、CO<sub>2</sub> 排出量は変動している。例えば、晴天時の昼間における電源構成比率は太陽光発電の発電割合が大きくなるため、CO<sub>2</sub> の排出量は少ないはずである。その変動幅は電源構成に占める再エネの比率が向上すると、さらに大きくなる。

そこで本研究では、既往文献<sup>3),4)</sup>等にて提案・検討がなされている動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の概念を用いて、建築物に対するエミッション ZEB<sup>2)</sup>の評価を行うことで、カーボンニュートラル社会における ZEB のエネルギー性能評価および蓄エネルギーシステムのあり方を検討する。動的 CO<sub>2</sub> 排出係数とは、時刻毎の電源構成比率に応じた毎時の CO<sub>2</sub> 排出係数である。この概念を用いることにより、再エネの普及による電源構成の変化の影響を考慮した、蓄エネルギーシステムの導入効果を評

価することができる。

本研究の構成を図-1 に示す。2 章では動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の算出方法<sup>注 1)</sup>を説明する。3 章では関東圏に位置する ZEB 実証建物<sup>5)</sup>のエネルギー実績データを対象とし、年間平均 CO<sub>2</sub> 排出係数、昼夜別平均 CO<sub>2</sub> 排出係数および動的 CO<sub>2</sub> 排出係数として 1 時間毎の電源構成比の影響を考慮した「毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数」を用いて、エミッション ZEB の評価を考察する。4 章では 3 章と同じ建物に対して蓄エネルギー設備を導入した際の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の観点から評価する。5 章、6 章では設計段階の建物に対して動的 CO<sub>2</sub> 排出係数によるエミッション ZEB 評価ツールを検討する。

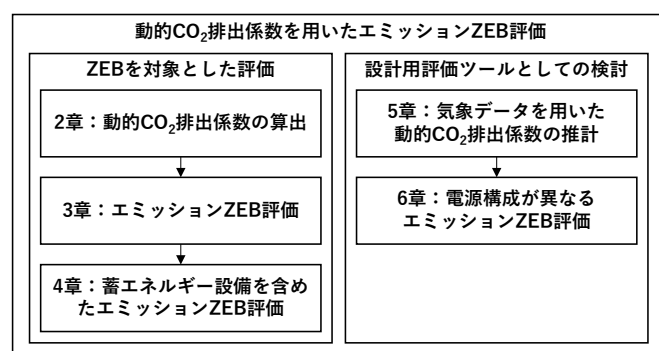


図-1 本研究の構成

Fig.1 Structure of this paper

## 2. 動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の算出

### 2.1 毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数の算出

対象とする ZEB 実証建物は関東圏に位置するため、東京電力パワーグリッド(株)の公表する 2021 年度のエリア需給実績データ<sup>6)</sup>を用いる。本データは時刻ごとの

\*1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

原子力、火力、水力、地熱、バイオマス、太陽光、風力、揚水の発電量と連携線における電力融通量から構成されており、このうち原子力と火力、水力、地熱、バイオマス、太陽光、風力の発電量をエリア電力供給量とした。式(1)に示すように、時刻 t の CO<sub>2</sub> 排出係数 C<sub>t</sub> は、発電所で生じる CO<sub>2</sub> 排出量をエリア電力供給量で除することで算出する<sup>注2)</sup>。

$$C_t = \frac{M_t}{\sum_{i=1}^n E_{i,t}} \quad (1)$$

記号

C<sub>t</sub> : 時刻 t における CO<sub>2</sub> 排出係数 [kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

M<sub>t</sub> : 時刻 t における CO<sub>2</sub> 排出量 [kg-CO<sub>2</sub>]

E<sub>i</sub> : 発電種別 i の発電量 [kWh]

毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数の算出結果を図-2 に示す。毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]は、最大 0.48 (2022/2/19 3:00)、最小 0.22(2021/5/4 11:00)の幅で変動し、平均 0.43 であった。なお、実際の火力発電の稼働割合は考慮しておらず、実際の CO<sub>2</sub> 排出量を示すものではない。

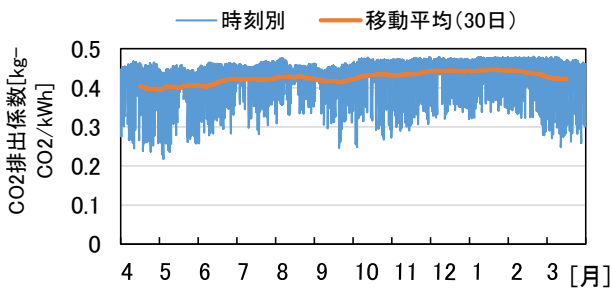


図-2 毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数 (2021 年度)  
Fig.2 hourly CO<sub>2</sub> emission factor (2021)

## 2.2 2030 年の時刻別 CO<sub>2</sub> 排出係数の推定

続いて、カーボンニュートラルに向けた検討として、経済産業省のエネルギー基本計画にて定められた 2030 年の電源構成比目標<sup>7)</sup>に対して、動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を

推定する。条件は以下の通りである。

- 1) 2021 年度の需給実績データを基準とし 2030 年度の電源構成比(発電量比)となるよう倍率をかける。
- 2) 原子力、地熱、水素・アンモニアは発電データがないため、各々がベース電源として電力供給すると仮定し、発電量は時刻によらず固定値とする。
- 3) 1)により時刻ごとの発電量が 2021 年度の値を超過した場合は、調整可能電源として火力、水力、バイオマスの優先度で発電量を抑制させる。

図-3 が 2030 年度の推定結果である。2021 年度と比較すると、再エネが大きく拡大し、排出係数が減少していることが分かる。特に昼間は太陽光発電が多く発電するので火力発電を抑制しており、2030 年度では年間 578 時間において CO<sub>2</sub> 排出係数がゼロとなった。また、2021 年度と 2030 年度の時刻別平均電源構成と年間電源比率を図-4 に示す。火力の割合は 2021 年度が 85.3% に対し、2030 年度は 41% となる。2030 年度の時刻別平均電源構成では 12 時前後の太陽光発電が多く、火力、水力、バイオマスの発電量により電力需給を調整した。

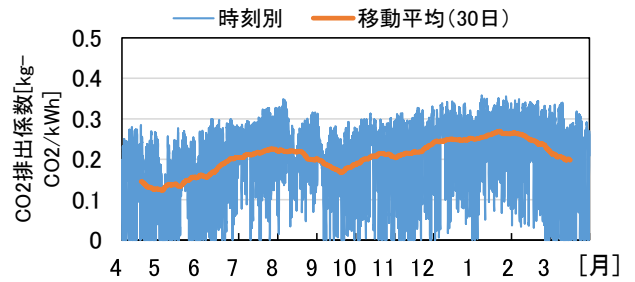


図-3 毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数 (2030 年度)  
Fig.3 hourly CO<sub>2</sub> emission factor (2030)

## 3. エミッション ZEB 評価

評価対象は、ZEB 実証建物の 2021 年度のエネルギー実績のデータ(1 時間ごとの生成・消費・配送・逆送の各量を集計し、一部加工したもの<sup>注3)</sup>)を用いた。なお、

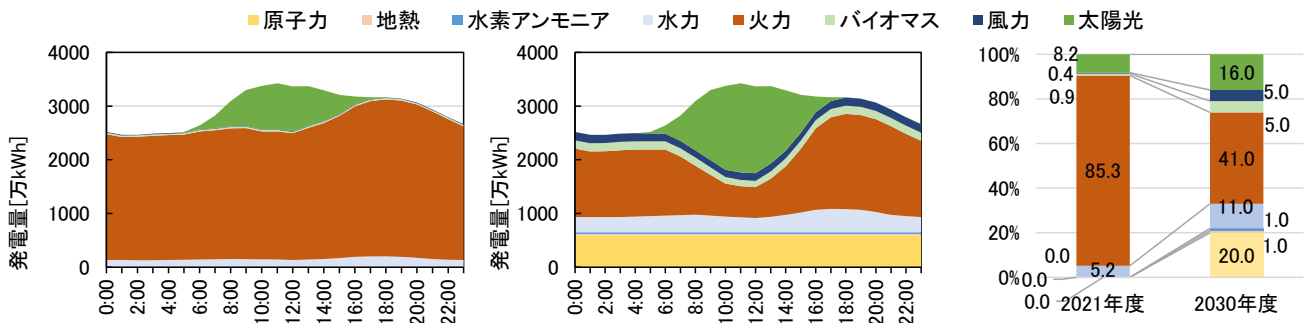


図-4 時刻別平均電源構成と年間電源比率  
Fig.4 Electricity generated by source for each hour and annual average

2030年を想定して生成エネルギー量が増加したPEB(生成量-消費量>0)を基準とした。検討ケースと評価結果を表-1 および図-5 に示す。CO<sub>2</sub> 排出係数は年間平均、昼夜別平均、毎時CO<sub>2</sub>の2021年度推計、2030年度想定を設定した。従来の年間エネルギー収支(①) [kWh/m<sup>2</sup>年]では、生成量(G) 63.2, 消費量(C) 47.7 にて、G-C>0(ポジティブ)の評価であり、G/C にて約 1.3 倍のエネルギーバランスである。その結果に対し、年間 CO<sub>2</sub> 排出係数を用いた CO<sub>2</sub> 排出量(②) [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]は、① エネルギー収支同様に、G: 28.5, C: 21.6 にて、G-C>0(ポジティブ)の結果となる。

次に、これまででも CO<sub>2</sub> 排出量の評価に対する時刻や季節の変動を考慮すべきとの議論<sup>8),9)</sup>がされており、その代表例として昼夜別の CO<sub>2</sub> 排出係数[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]を検討する。2021年度の電源構成比に基づき算出した場合、昼(8時~19時): 0.395, 夜(20時~翌7時): 0.457 となり、これらを用いた CO<sub>2</sub> 排出量(③) [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]は、G: 25.3, C: 19.9 となる。昼夜間の差が考慮された結果ではあるが、年平均(②)との差は限定的であり、時刻ごとの変化の実態に則しているとはいえない。一方、毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数を用いた CO<sub>2</sub> 排出量(④) [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]は、G: 22.2, C: 19.8 で、G-C>0(ポジティブ)であり、エミッションZEBは達成だが、②の評価と比べ、収支は悪化する。

さらに、2030年を想定した毎時 CO<sub>2</sub> 排出係数を用い

た CO<sub>2</sub> 排出量(⑤) [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]では、G: 5.5, C: 9.3 にて、G-C<0(ネガティブ)となり、エミッションZEB評価として、収支ゼロ以上を満足しない結果となる。エネルギー収支では G/C の比率で 132%であるものが、将来の系統の電源構成比の変化を考慮すると、CO<sub>2</sub> 排出量の収支では 59%に低下する結果となった。

以上より、動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を用いることで、エネルギー実態に則した CO<sub>2</sub> 排出量の評価が可能であり、その結果、エネルギー収支では ZEB としてポジティブな性能を有する建物でも、動的なエミッション ZEB 評価では、必ずしもその性能が満足しない例を示した。

表-1 換算係数の違いによる収支の比較  
Table 1 Energy and CO<sub>2</sub> emission balance with different CO<sub>2</sub> emission factors

	生成	消費	収支 G-C	比率 G/C [%]
	逆送	配送		
①電力量 [kWh/m <sup>2</sup> ]	63.2	47.7	15.5	132
	39.3	23.8		
②年間 CO <sub>2</sub> [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	28.5	21.6	6.9	132
	17.7	10.7		
③昼夜別 CO <sub>2</sub> [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	25.3	19.9	5.4	127
	15.7	10.3		
④毎時 CO <sub>2</sub> (2021年度) [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	22.2	19.8	2.4	112
	13.3	10.9		
⑤毎時 CO <sub>2</sub> (2030年度) [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	5.5	9.3	-3.9*	59
	2.5	6.3		

\*四捨五入の関係上、収支が合わない場合がある

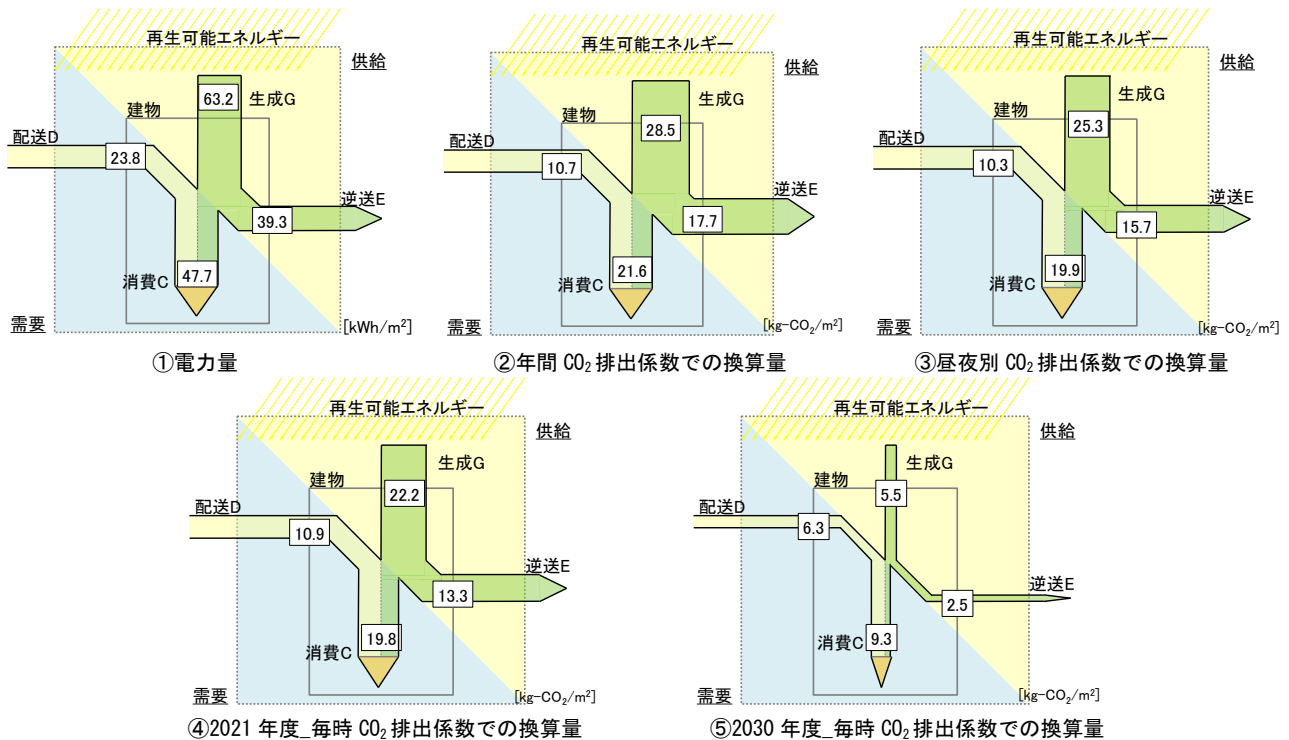


図-5 CO<sub>2</sub> 排出係数の違いによるエネルギー・CO<sub>2</sub> フローの比較  
Fig.5 Comparison of energy and CO<sub>2</sub> flows with different CO<sub>2</sub> emission factors

#### 4. 蓄エネルギー設備を含めたエミッション ZEB 評価

本章では今後、蓄エネルギー設備として導入が進むと予想される蓄電池および水素貯蔵システムについて、2030年度を想定したエミッションZEBの評価を行う。本研究では過去の検討<sup>1)</sup>から、代表例として、蓄電池500kWh および水素貯蔵設備 2000Nm<sup>3</sup> (3333kWh<sup>注4)</sup>の電力貯蔵容量を導入した場合の CO<sub>2</sub> 排出量を算出する。水素設備の仕様を表-2 に示す<sup>注5)</sup>。制御については、日・時間の短期の需給調整は蓄電池、月・季節の長期の需給調整は水素設備で行い、逆潮流量および系統からの受電量を最小化する制御とした。

動的 CO<sub>2</sub> 排出係数による評価結果として、前章の2030年度を想定した結果を基準(i)に、蓄電池500kWhを導入したケース(ii)、蓄電池および水素貯蔵システムを導入したケース(iii)を表-3に示す。蓄エネルギーシステムを導入したケースiiとiiiでは、電力量[kWh/m<sup>2</sup>]の消費:Cに関して、基準ケースiに対し蓄電池および水素貯蔵に伴う損失分(+表記の数字)が加わり、ii:53.8, iii:63.1と増加する。そのため、電力量[kWh/m<sup>2</sup>]の収支はa:15.5から、b:9.4, c:0.1に悪化する。一方、CO<sub>2</sub>排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]の評価では、ケースiはG-C:-3.8<0(ネガティブ)であるのに対し、ケースii, iiiでは、収支が概ね0となり、エミッションZEBといえる。逆送と配送のCO<sub>2</sub>排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>年]は、ケースiiではE:0.5, D:0.7であるのに対し、ケースiiiではE:0.0, D:0.0である。つまり、ケースiiiは逆送を配送の削減分として季節間で100%シフトさせることでエネルギーが100%自立するため、動的CO<sub>2</sub>排出係数に依らずエミッションZEBを達成する。これは蓄エネルギーシステムが季節間で生じる需給変動を調整し、エネルギー的に自立した状態である。

#### 5. 気象データを用いた動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の推計

動的 CO<sub>2</sub> 排出係数と対象建物の発電量、電力需要はそれぞれ季節・気象・平日/休日の影響を受けるため、両者の時系列を合わせる必要がある。3章、4章では、過去の実績データに対して同期間におけるシステムの電源構成から算出した動的 CO<sub>2</sub> 排出係数と比較することで CO<sub>2</sub> 排出量を評価した。この評価は運用実績のある建物を対象とした場合には可能であるが、設計時の建物を評価するためには、エネルギーシミュレーションに

表-2 水素設備仕様

設備	仕様	
	水電解装置	製造能力
	製造効率	4.2 kWh/Nm <sup>3</sup>
水素貯蔵設備	貯蔵容量	2000 Nm <sup>3</sup> (3333 kWh <sup>注4)</sup> )
純水素燃料電池	発電電力	5.0 kW
	水素消費量	3.0 Nm <sup>3</sup> /h

表-3 蓄電池・水素貯蔵導入ケースの収支

Table 3 Energy and CO<sub>2</sub> emission balance in case of install energy storage system

ケース		生成 G	消費 C	収支 (G-C)	比率 (G/C) [%]
		逆送 E	配送 D		
i. 蓄エネ設備なし	電力量 [kWh/m <sup>2</sup> ]	63.2	47.7	15.5	132
		39.3	23.8		
	毎時 CO <sub>2</sub> 2030 [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	5.5	9.3	-3.8	59
		2.5	6.3		
ii. 蓄電池 500kWh	電力量 [kWh/m <sup>2</sup> ]	63.2	47.7 +6.1	9.4	117
		10.8	1.4		
	毎時 CO <sub>2</sub> 2030 [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	5.5	5.7	-0.2	96
		0.5	0.7		
iii. 蓄電池 500kWh +水素 2000Nm <sup>3</sup>	電力量 [kWh/m <sup>2</sup> ]	63.2	47.7 +15.4	0.1	100
		0.1	0.0		
	毎時 CO <sub>2</sub> 2030 [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	5.5	5.5	0.0	100
		0.0	0.0		

※四捨五入の関係上、収支が合わない場合がある

て電力需要と発電量を推計した上で、この時系列と合致する動的 CO<sub>2</sub> 排出係数が必要となる。

そこで本章では設計時における動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を用いたエミッション ZEB 評価を検討した。省エネ検討・評価で使用される BEST 等の建物エネルギー性能評価ツールと合わせてエミッション ZEB を評価可能とする。概要を図-6 に示す。従来の CO<sub>2</sub> 排出量の評価は建物で消費した電力量に対して各事業者が定める年度毎の CO<sub>2</sub> 排出係数により算出していた。これに対し、本章で検討する評価ツールはエネルギーシミュレーションで用いる気温や日射量などの気象条件で動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を推計することで、エネルギーシミュレーションによる発電量、電力需要と動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の時系列を合致させて、CO<sub>2</sub> 排出量を評価する。

時刻別の電源構成が異なると動的 CO<sub>2</sub> 排出係数も異なるため、日本の各エリアの電源構成の差異を検討した。各エリアの2021年度(2021年4月~2022年3月)における電源構成比<sup>注6)</sup>を図-7 に示す。日本は主な発電を火力で賄っているが、エリアにより50~90%のばらつきがある。また、各エリアにおいて、関西と九州、

四国エリアは原子力発電が稼働，北陸エリアは水力発電の割合が大きい，中国，九州エリアは太陽光発電の拡大が進む，等の特徴がある。本研究では関東エリアを基準的な電源構成として，原子力発電が稼働する関西エリア，太陽光発電の拡大が進む九州エリア，水力発電が多い北陸エリアを対象として検討を進めた。

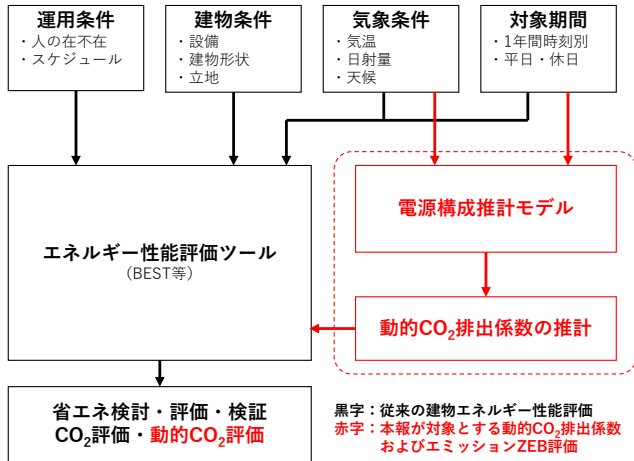


図-6 エネルギー性能評価ツールと動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の関係  
Fig.6 Relationship between energy performance evaluation tools and dynamic CO<sub>2</sub> emission factors

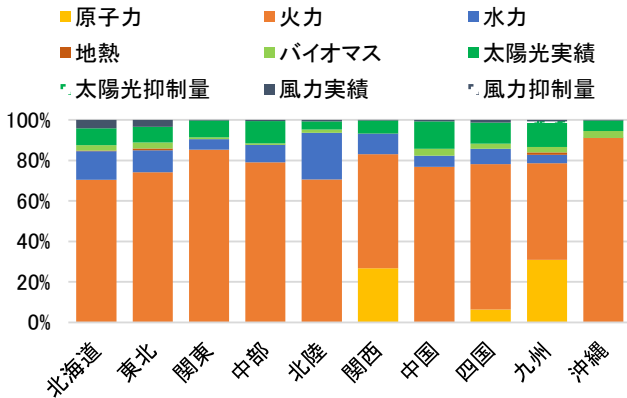


図-7 エリア別の電源構成比  
Fig.7 Ratio of electricity generated by source by area

### 5.1 エリアごとの動的 CO<sub>2</sub> 排出係数

2章と同様に，時刻毎の火力発電による CO<sub>2</sub> 排出量をエリア電力供給量で除することで動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を算出した。火力発電は石炭，石油，天然ガスなどの燃料や発電方式により CO<sub>2</sub> 排出量が異なる。これをエリア毎に考慮するため，各燃料の発電による CO<sub>2</sub> 排出係数に対して，各エリアが保有する火力発電所の能力の構成比で按分することにより，エリアごとの火力発電の排出係数を推計した<sup>注1</sup>。よって，実際の火力発電の稼働割合は考慮されておらず，実際の CO<sub>2</sub> 排出量を示すものではない。

2021 年度（2021 年 4 月～2022 年 3 月）の動的 CO<sub>2</sub> 排

出係数の推計値および 30 日の移動平均値を図-8 に示す。九州エリアは短期的な変動が大きい。これは，太陽光発電の割合が大きいことに起因する。移動平均を見ると，関西・九州・北陸エリアは長期的な変動がある。これは関西，九州エリアは原子力発電の稼働，北陸エリアは水力発電の稼働に起因する。関西エリアでは 7 月から 2 月にかけて，九州エリアでは 4 月から 1 月にかけて原子力発電所が多く発電していた。また北陸エ

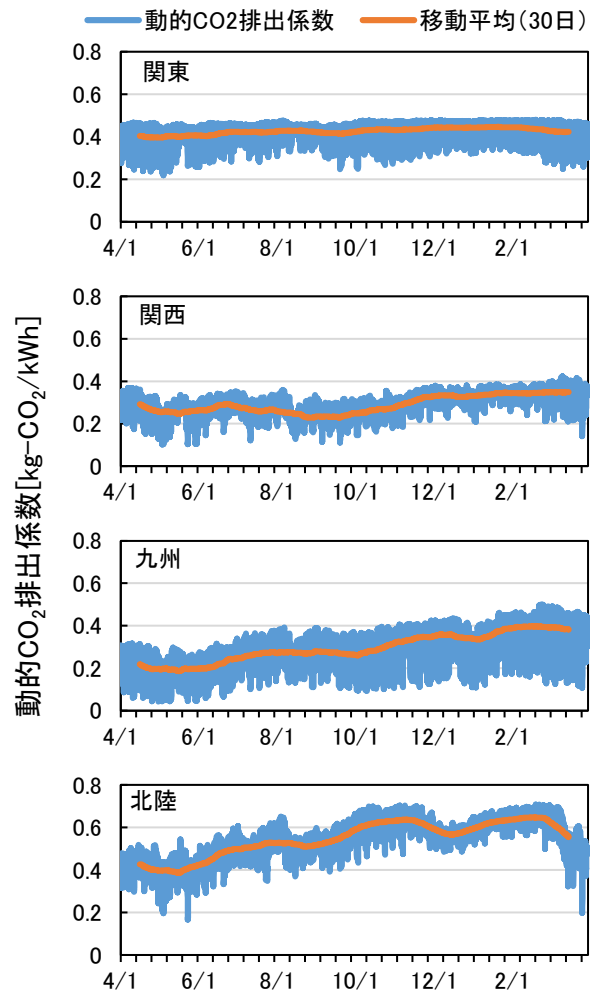


図-8 各エリアの動的 CO<sub>2</sub> 排出係数（2021 年度）  
Fig.8 hourly CO<sub>2</sub> emission factor by area (2021)

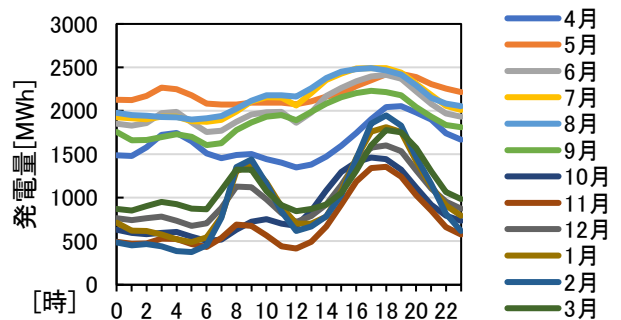


図-9 北陸エリアの月別の時刻別平均水力発電量  
Fig.9 Average hydroelectric power generation by hour by month in Hokuriku area



リアでは水力発電が 4~9 月ではベース電源、10~3 月ではピーク電源として稼働しているため (図-9)、4~9 月では火力発電の割合が小さくなり、動的 CO<sub>2</sub> 排出係数が小さくなる。以上のように、各エリアの電源構成により動的 CO<sub>2</sub> 排出係数が特徴づけられ、エミッション ZEB の評価に影響することが示唆された。

## 5.2 電源構成および動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の推計

気象条件から電源構成を推計する方法について述べる。計算概要を図-10 に示す。電源構成推計モデルではまずエリア内の電力供給量と電源構成を推計する。その後、動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を算出する。

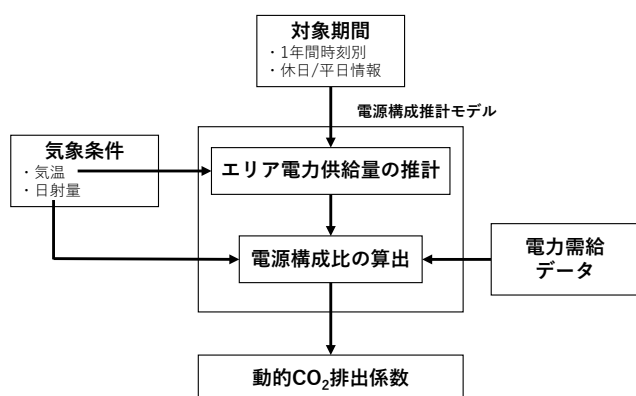


図-10 電源構成および動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の推計概要  
Fig.10 Estimation process summary of electricity generated by source and dynamic CO<sub>2</sub> emission factors

### 5.2.1 電源構成推計モデル

2021 年度の気象データ<sup>10)</sup>および需給実績データを用いてモデルを構築した。なお気象データは電力需給のエリアの代表的な地点で対応した<sup>注7)</sup>。

#### (1) エリア電力供給量

エリア電力供給量は式(2)の重回帰モデルで推計した。

$$y = \beta_0 + \sum \beta_n x_n \quad (2)$$

ここで  $\beta_0$  は切片、 $\beta_n$  は説明変数  $x_n$  の偏回帰係数を表す。説明変数では月 (1~12 月)、平日/土曜/休日、時刻 (0~23 時) と気温を考慮した。月、日、時刻はダミー変数とし、気温は 17℃を境に上回れば冷房需要、下回れば暖房需要の増加によりエリア電力供給量が増加する傾向にあったため、(気温-17) [℃]の二乗値を変数とした。説明変数は回帰分析の結果、p 値が 0.05 より小さいものを採用した。

#### (2) 電源構成の推計

エリア電力供給量に対する火力、水力、原子力、地熱、バイオマス、太陽光、風力の電源構成を以下のよ

うに推計する<sup>注8)</sup>。

- 太陽光の発電量は日射量を説明変数  $x$  とした式(3)の単回帰で予測する。日射量がゼロのときは発電しないため、切片なしで回帰モデルを構築した。

$$y = \beta x \quad (3)$$

- 風力、バイオマス、地熱、原子力は気象条件によらず発電するため<sup>注8)</sup>、2021 年度の需給実績データの発電量を用いた。
- 水力、火力の発電量はエリア電力供給量に対して、太陽光・風力・バイオマス・地熱・原子力で不足する電力量を賄うように推計した。なお、図 9 に示すように水力発電は月ごとに時刻毎の発電量が異なるため、月ごとの時刻別の火力と水力の発電量割合が需給実績データになるように調整した。

### 5.2.2 回帰モデルの評価

回帰モデルの予測値と実績値の比較一例を図-11 に示す。左が関東エリアにおけるエリア電力供給量、右が関東エリアの太陽光発電量であり、概ね一致している。各エリアのエリア電力供給量と太陽光発電を予測する回帰式の決定係数 (重回帰式については自由度調整済み) を表-4 に示す。各決定係数が 1 に近い値を示しており、予測精度は高いといえる。

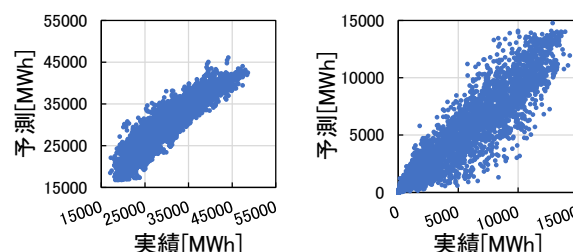


図-11 予測値と実測値の比較 (左: エリア供給電力量, 右: 太陽光発電量)

Fig.11 Comparison of predicted and actual values

表-4 回帰モデルの自由度調整つき決定係数

エリア	Adjusted R-square for regression models	
	エリア供給電力量 (式 1)	太陽光発電量 (式 2)
関東	0.861	0.888
関西	0.845	0.895
九州	0.871	0.854
北陸	0.682	0.895

### 5.3 動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の推計

エネルギー性能評価ツールで用いられる標準気象データである拡張アメダス気象データ (2001 年~2010 年に基づく)<sup>10)</sup>を用いて、5.2.1 項の電源構成推計モデル

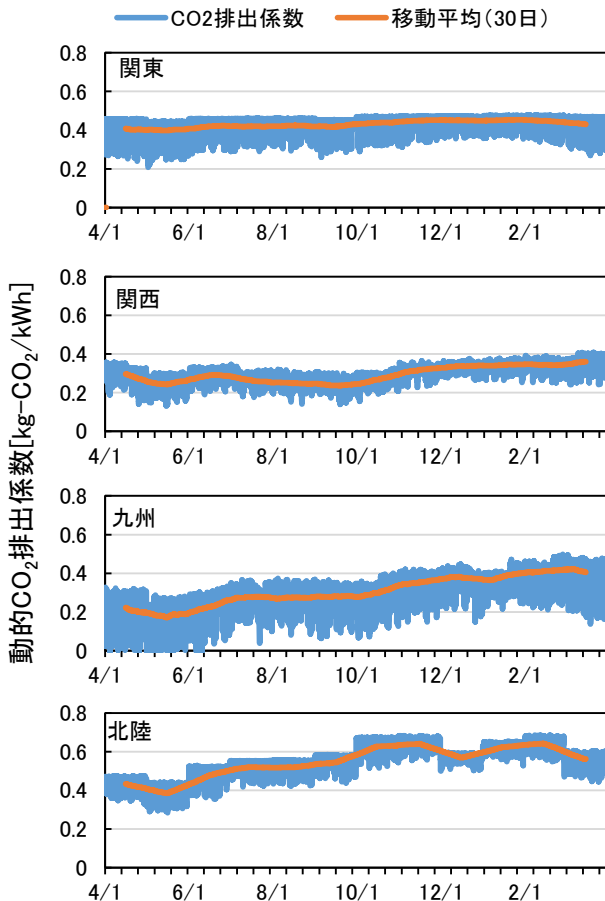


図-12 標準気象データによる動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の推計  
Fig.12 Estimation of dynamic CO<sub>2</sub> emission factor using reference year weather data

によりエリア毎の動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を推計した。算出結果を図-12 に示す。図-8 と比較すると、各エリアにおいて動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の日々の変動が少し小さくなっている。これは水力と火力の電源構成割合を時刻別の平均値で簡易的に算出したためである。電源構成をより再現するためにはモデルを改良する必要があるが、気象条件に応じた動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の変動は再現できている。よって、エネルギーシミュレーションした建物に対して、同じ標準気象データに基づいた動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を算出するモデルを構築できたといえる。

## 6. 電源構成が異なるエミッション ZEB 評価

ケーススタディとして、電源構成が異なる場合の蓄エネルギー設備の導入効果を考察する。評価対象は 3 章、4 章と同様に ZEB 実証建物とし、エネルギー収支が概ねゼロの状態のデータを用いる。気象条件は対象建物が立地する関東に固定し、関東、関西、九州、北陸の各エリアの電源構成推計モデルを用いて動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を算出した。その後、対象建物に対して CO<sub>2</sub>

収支を算出した。蓄エネルギー設備は蓄電池 500kWh を想定した。

対象建物の発電量と電力需要、およびエリア別の動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を図-13 に示す。太陽光が発電している時間帯については排出係数が低くなる。反対に発電していない時間帯については排出係数が高くなり、建物の電力需要および太陽光発電の状況と整合した動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を推計できていることがわかる。6~15 時のエリア毎の動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を比較すると、太陽光の普及が進む九州エリアが最も低くなっている。このように電力構成が異なることで CO<sub>2</sub> 排出量も異なる。

1 年間でシミュレーションし、時刻毎の生成 G (太陽光発電)、消費 C (建物電力消費)、逆送 E (系統への逆潮流電力)、配送 D (系統からの受電) と動的 CO<sub>2</sub> 排出係数を掛けることで算出される CO<sub>2</sub> 収支を表-5 に示す。蓄エネルギー未導入 (A) と蓄電池 500kWh 導入 (B) の 2 ケースを比較する。まず生成 G と消費 C を見ると、どのケースにおいても C > G となっており、どの電源構成においてもエミッション ZEB は達成していない。なお、第 4 章に示す通り 2030 年の電源構成の場合はエミッション ZEB を達成する。生成 G と消費 C の値をエリアごとに比較すると、九州・関西エリアに比べて関東

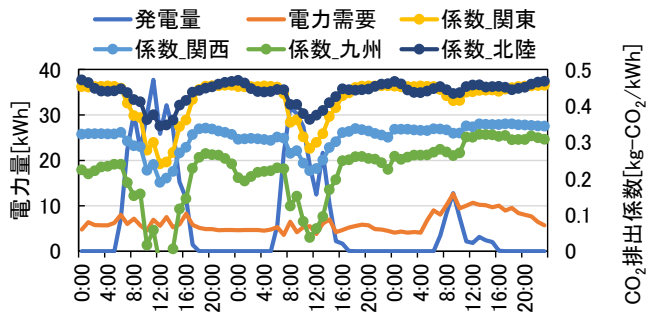


図-13 電力需要・太陽光発電量とエリア毎の動的 CO<sub>2</sub> 排出係数の時系列変化 (2021/4/3~4/5)

Fig.13 Time-series changes in power demand/solar power generation and dynamic CO<sub>2</sub> emission factors for each area

表-5 蓄エネルギー設備の有無によるエリア別 CO<sub>2</sub> 収支比較 (A: 蓄エネルギー未導入, B: 蓄電池 500kWh 導入)

Table 5 CO <sub>2</sub> balance with and without energy storage system						
エリア	ケース	生成 G	消費 C	逆送 E	配送 D	収支 E-D
関東	A	17.7	19.9	9.2	11.4	-2.2
	B			0.8	2.9	-2.1
	変化量 A-B	—	—	8.3	8.4	-0.1
関西	A	12.9	14.1	6.7	7.9	-1.3*
	B			0.6	2.1	-1.5
	変化量 A-B	—	—	6.1	5.8	0.2*
九州	A	10.5	14.2	5.1	8.7	-3.7*
	B			0.2	2.4	-2.2
	変化量 A-B	—	—	4.8	6.3	-1.5
北陸	A	24.1	25.7	12.6	14.2	-1.6
	B			1.1	3.8	-2.7
	変化量 A-B	—	—	11.5	10.4	1.2*

※四捨五入の関係上、収支が合わない場合がある

東・北陸エリアが大きい。これは原子力発電の有無および火力発電のCO<sub>2</sub>排出係数の違い<sup>注9)</sup>に起因している。また生成Gは九州エリアが特に低い値となっているが、これは太陽光発電割合が大きいことに起因する。

次に蓄エネルギー設備の有無について、逆送Eと配送Dの収支E-Dの変化量を見ると(表内赤字)、九州エリアが-1.5と最も減少している。これは九州エリアでは蓄エネルギー設備を導入することで配送Dの削減効果が大きく、CO<sub>2</sub>の収支E-Dが減少することを意味する。反対に北陸エリアでは1.2と増加している。これは北陸エリアでは太陽光発電の割合が小さいこと、需給バランスを水力発電で調整することから動的CO<sub>2</sub>排出係数の変動が小さいため、蓄エネルギーの導入により逆送Eを自家消費して配送Dを削減することによるCO<sub>2</sub>排出量の削減よりも、充放電ロスによるCO<sub>2</sub>排出量の増加の方が大きいことを意味する。このように電源構成によっては蓄エネルギーがエミッションZEB評価に対してポジティブ、ネガティブな影響を及ぼすが、太陽光発電の割合が大きい場合には蓄エネルギーがCO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献することが明らかとなった。

## 7. まとめ

本研究ではZEB実証建物に対し、動的CO<sub>2</sub>排出係数を用いることでエミッションZEB評価が有効に行えること、および蓄エネルギーシステムにおいては、その導入が不可欠であることを示した。また、建物設計時のエネルギー性能評価において動的CO<sub>2</sub>排出係数を用いたエミッションZEB評価の検討として、気象データから動的CO<sub>2</sub>排出係数を推計するモデルを構築した。エネルギー性能評価ツールとの組み合わせにより、様々な建物規模・種類に対し、動的CO<sub>2</sub>排出の概念に基づいたCO<sub>2</sub>排出量の検討が可能である。今後、将来の施設・都市計画における蓄エネルギー導入の評価ツールとして活用していく予定である。

### 注

- 注1) 本研究の動的CO<sub>2</sub>排出係数は火力発電の発電量を基に推計する参考値であり、各事業者公表のCO<sub>2</sub>排出係数とは無関係である。
- 注2) 厳密にはどの発電方法においても間接的にCO<sub>2</sub>を排出しているが、本検討では火力発電の燃料燃焼のみを考慮した。よって、M<sub>t</sub>は火力発電所の発電量に燃料燃焼時のCO<sub>2</sub>排出係数を乗じて算出した。また燃料によってCO<sub>2</sub>排出係数は異なる<sup>11)</sup>。そこでエリア管轄内の火力発電所の容量比で按分し、エリアの火力発電所の排出係数を算出した。その結果、0.496であった。

- 注3) 実証建物は、ガス発電設備を有するが、今回の検討では、発電出力を配送量とし、エネルギーを電力に統一して取り扱う。また、生成量は、竣工後に設備改修等を行い、2021年時点では、約1.3倍に増強されている。
- 注4) 水素貯蔵量から電力量への換算は純水素燃料電池で発電可能な電力量として算出している。
- 注5) 水電解装置、水素貯蔵設備、純水素燃料電池の能力、容量は既報<sup>1)</sup>をベースとしたが、水電解装置の効率は経産省の2030年目標値<sup>12)</sup>から4.3kWh/Nm<sup>3</sup>とした。
- 注6) 主要電力会社が公表する需給実績データを参考とした。
- 注7) モデル構築において関東、関西、九州、北陸エリアの気象データは東京、大阪、福岡、富山を参照した。
- 注8) 需給実績データを分析した結果、火力と水力は電力需要に追従して発電し、太陽光は日射量に応じて発電し、原子力は定格で発電し、風力・バイオマス・地熱は気象や月・日によらず発電する傾向にあった。これらを考慮して、各電源の推計方法を決定した。
- 注9) 算出した結果、関東0.50、関西0.52、九州0.62、北陸0.77[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]と推計した。実際の火力発電の稼働割合は考慮されておらず、実際のCO<sub>2</sub>排出量とは無関係である。燃料毎の排出係数は文献<sup>11)</sup>を参考とした。

### 参考文献

- 岡田,他:建物・施設における蓄エネルギーシステムに関する研究-蓄電池・水素設備を用いた蓄エネルギー容量に関する検討,大成建設技術センター報第55号,2022
- 空気調和・衛生工学会 ZEB 定義検討小委員会:ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の定義と評価方法,空気調和・衛生工学会,2015.12
- 宮田,他:動的CO<sub>2</sub>排出係数に基づいたモデル予測制御による熱源機器の低炭素制御,日本建築学会環境系論文集,2020.11
- 矢部,他:蓄電池を再エネと併用する場合の環境性と経済性のエネルギーチェーンを考慮した評価,エネルギー・資源学会論文誌,2019.4
- 田中,他:ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の運用段階におけるエネルギー性能評価に関する研究 第1報-エネルギー性能分析と新たな評価指標の提案,空気調和・衛生工学会論文集,2018.10
- 東京電力パワーグリッド(株)公表値, [https://www.tepco.co.jp/forecast/html/area\\_data-j.html](https://www.tepco.co.jp/forecast/html/area_data-j.html),2023.5参照
- 資源エネルギー庁:2030年度におけるエネルギー需給の見通し,2021.10
- 資源エネルギー庁:季時別平均排出係数に係る現状と課題について,2009.3
- 経済産業省,他:電気事業者ごとの実排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について,2009.6
- 国土交通省気象庁,過去の気象データ・ダウンロード, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 2023年5月12日参照
- 今村,他:日本における発電技術のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量総合評価,電力中央研究所報告 総合報告 電力中央研究所編,第6号,p.6,2016
- 経済産業省,水素・燃料電池戦略ロードマップ, [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/roadmap\\_hyoka\\_wg/pdf/001\\_s02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/roadmap_hyoka_wg/pdf/001_s02_00.pdf), p.12,2023.5月参照