

# 暮らし方の変容を反映した都市街区の エネルギーマネジメントと環境負荷低減効果： 開発と成長，被害と復興，成熟と高齢化の典型地区を対象として

Energy management for carbon dioxide reduction in urban district in smart aging society :  
Examining transition of typical coupling of past growth, disaster damage,  
subsequent recovery, and aging population

盛岡 通\*・尾崎 平  
Tohru MORIOKA\* and Taira OZAKI

関西大学 環境都市工学部  
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

## 摘 要

気候変動に責任を持つ都市に求められる CO<sub>2</sub> 削減にあたっては、低炭素型のエネルギー機器への置き換えを見込む場合でも、高齢化や人口減少を踏まえ、長寿世代が集まってケア・サービスを享受する未来の暮らし方の変化を読み込んで効果を把握するアプローチを必要とする。給湯、映像(AV 機器)、生活支援等で需要が高まる超高齢社会に賢く適応するようなスマートなエネルギーマネジメントが求められている。都市成長の後に、震災被害を受けて顕著な復興を果たし、今後の 20 年間で急速な高齢化を迎える地区を対象に、高齢者向け集合住宅や介護老人福祉施設等の置き換えで増大するエネルギー需要を伴う施設を対象とするスマートなエネルギーマネジメントの効果を定量的に考察する。

著者らが開発した非集計の経時プロファイル型エネルギー需給モデルを用いて、神戸市東灘区を対象に分析を行った。集合住宅と福祉施設を隣接立地させ、電力を一括して受電するとともに、福祉施設にコージェネレーションを導入し、自家消費及び集合住宅への電力融通によってエネルギー消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を 15~25% 程度削減できることを示した。また、高齢化、世帯分離に伴い、2030 年に向けてエネルギー需要が増大すると見込まれるが、集住促進によって都市居住による CO<sub>2</sub> 排出量を 2010 年を上回らない水準にできることを示した。

キーワード：エネルギー需要シミュレーション，街区エネルギーマネジメント，  
長寿社会

Key words : energy demand profile simulation, district energy management, aging society

## 1. はじめに

2015 年 12 月に採択されたパリ協定に呼応し、我が国は、2013 年度比マイナス 26% (2005 年度比 -25.4%) の温室効果ガス (GHG) 排出削減を 2030 年の目標としている。2014 年度の二酸化炭素排出量 12.6 億 CO<sub>2</sub> トン(t)のうち、家庭部門は 1.9 億 CO<sub>2</sub> トン(t)、業務その他部門は 2.6 億 CO<sub>2</sub> トン(t)を占め、これらの都市や生活由来の CO<sub>2</sub> 排出量はやや増加傾向にある。

都市で排出される二酸化炭素は、エネルギー消費に伴うものである。現在、都市的生活や業務の省エネ行動と共に、炭素密度の低い再生可能エネルギー

の利用が促進されている。都市域の外に立地する化石燃料や核燃料による大規模な発電に依存してきたことから脱して、分散型の再生可能エネルギーを都市自らが開発し、運用し、エネルギーの賢いマネジメントを行うことが、持続可能な社会をつくる都市経営の根幹的アプローチとなった。

再生可能エネルギー導入とその固定価格買い取り制度 (FIT: Feed-in Tariff) 導入、多様な主体による発電と小売りを電力事業の自由化を通して行ったエネルギー戦略は成果をあげた。著者らは「環境政策の新地平」を都市エネルギー・システムの構造的変革を通して論じた<sup>1)</sup>。その骨子に沿いながら、街区と地区の集合体としてみた都市の特性から未来像を要

受付：2017 年 8 月 17 日，受理：2017 年 11 月 13 日

\* 〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35, e-mail : tmorioka@kansai-u.ac.jp

約してみると次のとおりである。

- 1) 東日本大震災の直後にエネルギー政策が抜本的に見直される以前から、著者らはユーザー側から低炭素型の省エネルギーシステムへの転換を取り上げ実証的な研究を行い、都市の地区・街区レベルの建替更新に合わせたエコ街区の形成を支援する都市計画情報システムの整備<sup>2)</sup>や再生可能なエネルギーの都市農村連携型の利用<sup>3)</sup>を論じた。この約10年で、再生可能で分散型のエネルギーを賢く制御する都市こそが、持続可能性を高めて相対的に優位であることが明らかとなってきた。
- 2) 消費主体が電力マネジメントに取り組むときに、時間帯ごとの電力料金が異なる様相に対応してピークシフトやピークカットを行うことが効果的となる。これを評価するため、まず、各主体の電力プロファイル(30分単位の電力需要)を計測し<sup>4)</sup>、モデル化することを試みた<sup>5)</sup>。
- 3) 次に、都市におけるエネルギーマネジメントを考える場合、空調、照明はもとより、その他の電化製品、OA関連等のエネルギー消費をさまざまな活動(生活、業務)の主体が位置する建物に帰属させて集計する方式を開発し、同時にHEMS(Home Energy Management System)やMEMS(Mansion Energy Management System)等の主体や財務単位でのエネルギーマネジメントの方法を論じた。技術的には、現在ではZEH(Net Zero Energy House)やZEB(Net Zero Energy Building)の開発・推進が試みられている。
- 4) 行政主導で都市の建物由来のCO<sub>2</sub>削減策として、PV(Photovoltaics)やFC(Fuel Cell)の導入を促す補助制度が実施されているのに応じ、導入世帯の導入前後のエネルギー消費に関する実態調査に基づき、機器導入による低炭素効果を検討した<sup>6)</sup>。
- 5) 今後の長寿社会においては医療、介護、福祉サービスの需要増大が見込まれ、電力とともに一定の熱需要を必要とする施設が都市に立地することが想定されることから、建物群を形成する街区とそれが連担する街区群での熱電統合型のエネルギーマネジメントが必要であることを指摘した<sup>7), 8)</sup>。

以上の認識に基づき、都市におけるCO<sub>2</sub>削減を加速する上で、系統電源の炭素密度の増減に影響される方式から脱することを念頭に置く。その上で、将来の長寿社会、日本列島の人口減少による都市構造の変化を見込んで、医療、介護、福祉サービスの増大に適応しつつ、都市再生特別措置法が規定する立地適正化計画の推進による都市機能ならびに居住地機能の集中化と連携して、街区単位でのエネルギーマネジメントを展開する。その際に期待される低炭素効果を評価、考察することを研究の目的とする。

## 2. 本研究における評価の枠組みと評価ケース

### 2.1 長寿社会におけるまちづくりと本研究の関係

対象地域は神戸市東灘区である。関西都市圏に位置し、集合住宅の増加量が顕著であった成長期に都市直下型地震に遭遇して最大数の死者及び集合住宅全壊戸数を生じ、その後の20年余の復興過程で回復し、居住者の過半が震災経験を持たないという急速な変容を遂げ、市域の各区の中で人口減を迎えるのが最も遅いという地区特性を持つ。

東灘区は2030年に向けて人口が増加する数少ない市区であるが、すでに山麓部の傾斜地の住宅地では高齢世帯の介護・福祉のサービスの継承に困難が生じ、むしろ駅近くや生活サービスを受けやすい街区への居住シフトが生じている。

すでに国は「エコまち法(都市の低炭素化の促進に関する法律)」により、都市機能が集積している地区周辺に高齢者の再居住や福祉施設を集約していく方向性を明示し、さらに「立地適正化計画」では、拠点エリアへの医療、福祉などの都市機能の誘導策を事前に明示し、民間が取り組みやすい環境を整備する方向を明らかにしている。より具体的には、「健康まちづくりガイドライン」で、介護・医療・予防・生活支援・住まいのサービスを地域で切れ目なく提供できる地域包括ケアシステムとまちづくりとの連携強化が明示されている。

今後の長寿社会に向けて、都市機能の集約化、医療や福祉サービスの充実が推進される際に、サービス付き高齢者住宅や介護福祉の滞在型・通所型施設等を街区内に他の施設とも複合するように誘導し、低炭素を志向するエネルギーマネジメントの効果を見込んで都市経営を行うことが必要となっている。

対象地区では、これまで都市開発や産業開発に大きな役割を果たしてきた事業者が、高齢者福祉施設(通称有料老人ホーム)やマンションの一括受電等の「医療・介護・福祉運営」及び「都市エネルギー運営」のビジネスモデルを展開してきた。ただし、製鋼事業や物財リース等をコアとする大手事業者が相次いで介護福祉事業の売却に動く裏に、事業の全国ネットワーク間の競争が激化し、地域社会の空間を共にする強みに陰りが顕れたという背景に注意すべきである。

スマートコミュニティ事業は、全国的に北九州市東田、横浜市みなとみらい、柏市柏の葉キャンパス、京都・大阪・奈良の3府県境に広がるけいはんな学研都市等の、計画主体が統治力を持つエリアで展開されているのに対して、一般市街地の動きは鈍い。著者らは、むしろ需要モニタリングのメリットを顕在化させることや、両得の関係を選び出してアライアンスを「街区」で形成することが既存市街地の「街区」・「地区」では欠かせないという立場をとってきた。

そこで、まずは業務・商業等の事業所が集積する中心市街地で、事業スタイルの差異をも反映する電力プロファイルのシミュレーションを複数の業務ビルで重ねて行い、自主的なデマンドレスポンスを含むエネルギーマネジメントの効果を評価した。結果は、厨房(食事提供)・温浴(温洗浄)・オフィス(接客)等の都市活動を含む適度な混合型街区でなければ、街区内部のエネルギーマネジメントの効果は数%削減にとどまった。10%以上削減の目標を達成するには、蓄エネ装置の過剰な容量(日間変動を吸収・放出)の準備が不可欠であることが再確認された<sup>9)</sup>。

そこで、都市街区が購入(買電)するエネルギー消費量の10~20%程度を2030年に向けて削減する戦略として、厨房(食事提供)と温浴(温洗浄)を伴う介護・福祉・医療等の都市活動が高齢社会で増えることを許容しつつ立地誘導し、その近接もしくは同じ街区でピーク高を下げ、エネルギー契約を一体化するアプローチを想定した。こうして、外部に依存するエネルギー量を下げ、結果として二酸化炭素排出量を削減することの妥当性を考察する。

以下では、本戦略に沿って、単純で見通しの得られやすい条件設定でモデル計算を行う。ただし、適用した条件が単純化されているため費用対効果の面で妥当な範囲にあることは未だ定量的に確認されていない。

## 2.2 本研究で計量・評価した二つの対象

本研究では、兵庫県神戸市東灘区を対象に、移転建替えと現地更新の場合を区別し、都市・街区のエネルギーマネジメントによる低炭素効果を評価する。

### a) 神戸市東灘区全域を対象とした集住化による低炭素効果の評価

2010年を基準年、2030年を評価年とし、神戸市東灘区全体を対象に①比較対照として2010年の「現状住宅」のまま、②現状の住まい方を継承し、戸建て様式での建替更新が進む「建替更新」③駅周辺への集合住宅への住替えが進む「駅チカ集住」の3ケースを比較評価する(表1)。

高齢化と世帯分離に伴って2030年まで増加が予想される東灘区全体の住居床(家庭部門)と介護福祉施設のエネルギー需要を勘定し、集住化を促進した場合としない場合とを比較評価し、現在推進されている都市のコンパクト化・集住化が低炭素効果に寄与するか否かを評価する。市区外との人口流動や各街区間で居住地選択を予測するモデルではなく、純増加分をマクロに再配分するモデルである。

### b) 同一街区内部への集合住宅と福祉施設の併設時の

エネルギーマネジメントによる低炭素効果の評価  
福祉施設と集合住宅の複合街区を形成し、一括してエネルギーマネジメントを行った場合の低炭素効果を評価する。

高齢者数に応じた福祉施設の需給バランスから

表1 集住化シナリオの内容。

項目	住い方継承し更新「建替更新」	市区内で駅チカ居住「駅チカ集住」
人口・世帯数	2030年の推計値	2030年の推計値
既設戸建住宅	建替更新し戸建居住	取り壊し、駅近転居
既設集合住宅	現位置での建替更新	街区内部(図2)建替更新
世帯分離・人口増への対応	新築集合住宅に入居	新築集合住宅に入居

表2 福祉施設立地シナリオの内容。

項目	福祉を住いと分離	福祉を住いに隣接
施設・定員数	2030年の推計値	2030年の推計値
立地場所	中高層地区と無関係	集合住宅街区に立地

表3 家庭及び住居系街区のエネマネ技術オプション。

技術分類	内容	本研究での対応	技術番号
省エネ	・建物更新による断熱性能の向上 ・省エネ家電や高効率機器への更新による機器性能の向上	建築年代を考慮し改善 製造年代を考慮し改善	① ①
蓄エネ、EMS	・HEMS, MEMS等(デマンドレスポンス、一括受電含む)	新築集合住宅で一括受電	②-1 ②-2
創エネ	・CGS(コージェネレーションシステム、CHPともいう)	福祉施設に設置	③-1 ③-2

2030年向けに五つの拠点づくりを描く。福祉・居住の複合街区を駅勢圏(半径500m圏)に立地誘導する構想(駅チカ)の「集住型福祉街区形成」のエネルギー・シナリオを立案する(表2)。その際、集住の福祉街区を形成する技術オプションとして、①建築物の断熱性能や機器性能の向上、②エネルギーの一括受電、③熱需要を伴う福祉施設へのコージェネレーションシステム(CGS, cogeneration system, 熱電併給システム)の導入を選択する(表3)。オプション一覧を以下に示す。

- ①住宅系建築物の更新、機器の更新による効果
- ②電力の一括受電による効果
- ②-1: 集合住宅のみで一括受電(分離型)
- ②-2: 集合住宅と福祉施設で一括受電(隣接型)
- ③新設の福祉施設にCGSを入れた場合の効果
- ③-1: CGSの電力を自家消費のみで利用(分離型)
- ③-2: 電力を自家消費+集合住宅に融通(隣接型)

## 3. 都市におけるエネルギー需要と消費に伴う二酸化炭素排出量の算定方法

### 3.1 エネルギー需要プロファイルモデルの構造

まず、家庭と福祉施設のエネルギー需要の推定法を述べる。モデル構造は既往研究<sup>4), 5), 8), 10)</sup>にて発表したものと同様である(図1)。詳細は既発表分に示しているため省略する。

### 3.2 エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の算定方法

#### a) 電力需要の算定

業務の電力需要の算定では、OAや照明機器、家電等の電灯機器と空調の動力機器に分けて推計を行う。電灯機器による電力需要は、業種別機器別の延床面積当たりの電力需要原単位<sup>11)</sup>を表4のように設定し、使用時間で積和することで求める。

家庭の場合は、世帯類型別の保有台数と使用時間を設定し、算定する<sup>5), 10)</sup>。空調は電気式ヒートポン

プ式とする。空調機器のCOP(エネルギー消費効率)値は、設置年代の違いを反映させ住環境計画研究所が公開している資料<sup>12)</sup>を基に2.05(1975年)~3.55(2010年)と設定する。

#### b) 給湯熱需要の算定

熱需要は給湯需要分のみ考慮する。空気調和衛生工学会が公開している業種別の単位延床面積当たりの給湯需要原単位<sup>13)</sup>を利用し(表4)、給湯使用量と給湯時温度と常温の水温度から熱需要を推定する。ただし、神戸市域で質問紙調査を実施したものの、信頼できる幅で福祉施設の単位面積当たりの給湯使用量が得られなかったため、以前から多く報じられていたホテルの給湯使用量で代替する。給湯使用時に使用する熱源はガスボイラーとして設定する。なお、CGSによる評価も可能なモデルである。

福祉施設における時間帯別の給湯負荷は既往研究<sup>14), 15), 16)</sup>での計測結果を利用する。家庭での給湯需要は社会生活基本調査の「身の回りの支度」の行動と対応させ、生活行動を再現するべく構築した世帯属性別スケジュール<sup>5)</sup>において「身の回りの支度」行動がなされた場合には給湯需要があるとする。

#### c) CO<sub>2</sub>排出量の算定

上記の電力需要量、給湯熱需要量をもとに、電力消費量(kWh)と都市ガス使用の発熱量(MJ)を算定する。電力については関西電力の平成27年度の排出係数<sup>17)</sup>(=0.509kg-CO<sub>2</sub>/kWh)を、都市ガスについては大阪ガスの排出係数<sup>18)</sup>(=0.0509kg-CO<sub>2</sub>/MJ)を乗じてCO<sub>2</sub>排出量を算定する。

### 3.3 構築モデルの再現応答性(Fidelity test)

これまで、家庭系、事務所系の電力需要のモデルの演算では、それぞれの計測結果と比較して、モデルの再現応答性を検査し<sup>4), 5)</sup>、構築モデルが観測された電力需要を追従し再現していることを確認している。しかし、熱需要に関しては、時間帯別の実測値が気象やシャワー利用行動に鋭敏に影響を受け、計算値と乖離している。この改善は今後の研究課題として残る。本モデルは、熱需要のプロファイルのパターン、原単位をサブシステムとして追加し修正

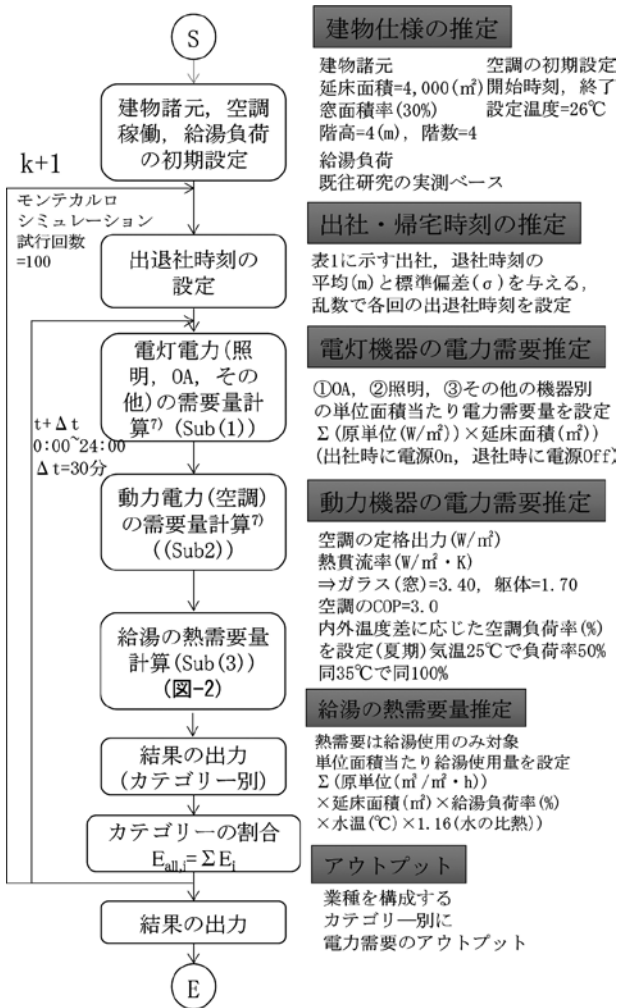


図1 エネルギー需要プロファイル推定モデルのフロー。

表4 エネルギー需要量推定に用いた原単位・設定値。

カテゴリー	電力消費原単位									
	照明 W/ m <sup>2</sup>		空調 W/ m <sup>2</sup>		OA機器 W/ m <sup>2</sup>		冷凍機 W/ m <sup>2</sup>		その他 W/ m <sup>2</sup>	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
福祉施設	20	10	20	10	5	2			10	5
カテゴリー	給湯使用量原単位									
	給湯温度 ℃	水温 ℃	使用量 l/人・日	1/使用時間	時間最大使用量					
福祉施設	100	20	100	0.143	0.0043					
集合住宅	60	20	50	0.167	*					
カテゴリー	業種別活動期									
	始業時刻				終業時刻				休憩	
	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ		
福祉施設	8:00	0:30	16:00	0:30	12:00	0:30	13:00	0:30		

して設定することが可能な逐次改善型の構造である。また、本研究で使用した熱需要は、既往の計測結果を用いたものであり、本計算結果が大きく現実を逸脱するものではない。以上のことから、次章のエネルギーマネジメントの評価に利用できると考えている。

#### 4. 神戸市東灘区全域を対象とした将来の住替え居住シナリオに基づく都市の低炭素効果の評価

##### 4.1 対象地域の人口

対象地域の神戸市東灘区は、急速に成長し、震災被害を受けて顕著な復興を果たした後に、今後の20年間で急速な高齢化を迎える地区である。開発と成長、被害と復興、成熟と高齢化を表象する地区と解釈する。高齢化が急速に進む街区、流動性の高い都市型コミュニティを内部に含む。

同区内には計39の町が存在する(工専・港湾地区を除く)。古くから形成された市街であるが、阪神淡路大震災で大きな被害を受けた。大阪・神戸の都心部へのアクセスの良さから震災後、マンションが増加し、他市、他区からの転入者が多く、灘区と共に神戸市内では、2010年以降も2025年までは人口増加が見込まれる数少ない区部である<sup>19)</sup>。

表5に2010年の人口、世帯数と2030年の兵庫県による推計値<sup>19)</sup>を示す。2030年の人口及び世帯数は、2010年よりも増加し、75歳以上の人口割合は17%と高い水準が見込まれる。また、世帯分離による高齢者の単独世帯、夫婦世帯の増加が予想され、人口増加以上に世帯数が増加する。2030年の属性別の世帯数の推計結果を表6に示す。

##### 4.2 必要とされる将来の福祉施設の容量

東灘区の介護老人福祉施設は、2014年現在において、11施設、559人の定員が確保されているが、将来の需要には応じ切れない。そこで、自宅介護へ

表5 東灘区の人口、世帯数及び福祉施設数・定員。

	2010年	2030年
人口(千人)	210	216
75歳以上人口(千人)	20(10%)	37(17%)
世帯数(千世帯)	93	110
介護老人福祉施設数	9	14
同上定員数(人)	510	800

表6 2010年と2030年の類型別世帯数(単位:千戸)。

年度	1人世帯		2人世帯			4人世帯	
	65歳未満	高齢の単身者	65歳未満の夫婦のみ世帯	高齢夫婦のみ世帯	母子・父子世帯	夫婦と子供から成る世帯	三世代等の複合世帯
2010	26.0	10.5	12.4	1.7	8.6	29.4	3.7
2030	30.2	18.4	15.8	2.2	9.6	28.4	3.9

シフトが今以上に進まない想定介護老人福祉施設の需要量の下限值をつぎのように推定する。

まず、平成18年度～平成24年度の高齢者人口(①65～74歳、②75歳以上、③①と②の両方(65歳以上))と同時期の福祉施設の施設数と定員数の関係を相関分析により求めた。データは神戸市介護保険制度の実施状況から引用した。相関分析の結果、施設数、定員数ともに相関が高いのは75歳以上人口であった。

そこで2030年の75歳以上人口の予測値を用いて7年間の需給関係式から外挿し、2030年における必要な福祉施設数と定員数を算定した(表5)。

次に、一か所あたりの福祉施設の規模(定員と延床面積)を設定する。既発表研究<sup>8)</sup>において実施した神戸市内の介護老人福祉施設95箇所に対するアンケート結果を用いた。

施設規模の延床面積の回答が得られたサンプル数は46施設であり、平均値、中央値、標準偏差はそれぞれ4,322m<sup>2</sup>、4,045m<sup>2</sup>、1,692m<sup>2</sup>であった。本結果より1施設あたりの延床面積を4,000m<sup>2</sup>とし、神戸市介護保険制度の実施状況を反映して、定員数を60名/施設とした。

##### 4.3 対象地域における集住化ポテンシャルの算定

将来に集合住宅が建設され易い用地を推定するた

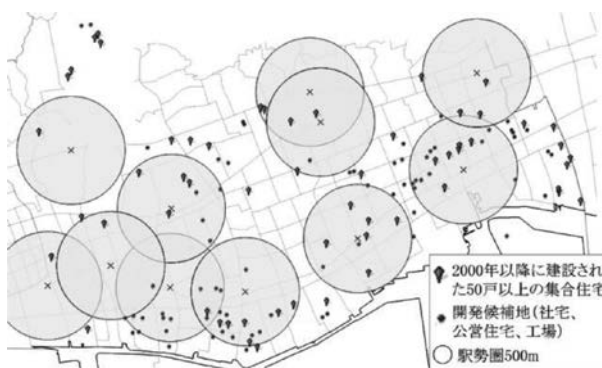


図2 神戸市東灘区内の2000年以降に建設された集合住宅と将来の居住系開発候補地の分布。(六甲アイランド地区を除く)

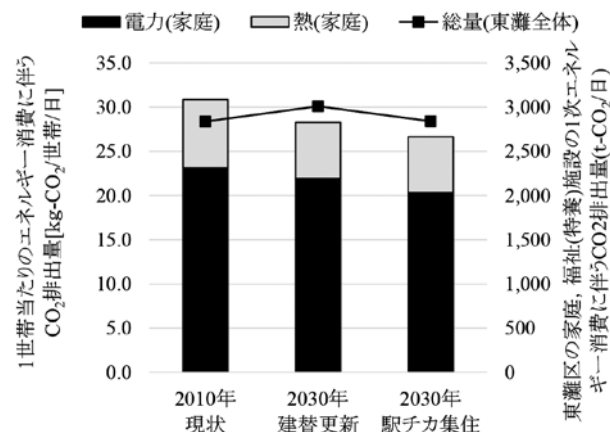


図3 東灘区全体における家庭、福祉(特養)施設の1次エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量。

めに、2000年以降に六甲アイランドを除く既成市街地で開発された50戸以上の集合住宅(58棟)を対象に、開発前の用途を調べた。結果、社宅(33%)、公営住宅(11%)、酒造工場(8%)の順で多かった。

東灘区の既成市街地(六甲アイランドを除く)に現存するこれら3用途の土地を調査した。県営・市営住宅のうち、震災の1995年以降に建設された宅地は将来の開発用地から除き、遊休地に加えて現状で建築面積600㎡以上の建物が存在する用地を集合住宅への転用の開発用地とした(図2)。

社宅、公営住宅の現状戸数を差し引いた純増戸数は約18,000戸となり、2010年に対する2030年の増加世帯数約16,000世帯を十分に収容し得る。

また、サービス付き高齢者住宅の場合、1室の最低面積は25㎡であり、今後、顕著な増加が見込まれる65歳以上の単独あるいは夫婦世帯を収容する高齢者向け集合住宅を供給する場合には、同区内に開発(候補)用地が十分にあることを確認した。

#### 4.4 東灘区全体の家庭及び介護老人福祉施設の1次エネルギー消費量の算定に基づく集住化の効果

表1に示した「現状」「建替更新」「駅チカ集住」の3シナリオに基づく、東灘区全体の家庭及び介護老人福祉施設からのエネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定した結果を図3に示す。

2010年と2030年では世帯数、福祉施設数が異なるので、1世帯当たりの1次エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量で比較した。

1世帯当たり量(棒グラフ)を比較すると、人口増加、世帯分離により2030年の世帯数は増加するが、1世帯当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、建替更新、駅チカ集住のいずれにおいても2010年よりも小さい。

他方、東灘区全体での家庭・福祉施設のCO<sub>2</sub>排出量の総量では、現状の様式で建替更新する場合、2030年の区全体でのCO<sub>2</sub>排出量は2010年よりも約6%増加する。駅チカ集住を促進した場合には、2030年に人口、世帯数、福祉施設が増加しても、集合住宅の排出量が相対的に少ないので、2010年と同程度のCO<sub>2</sub>排出量に留めることができる。しかしながら、今回の技術オプションだけではCO<sub>2</sub>排出量の純削減に至らない。

### 5. 神戸市東灘区内の同一街区内的集合住宅と福祉施設の併設立地による低炭素効果

#### 5.1 住居系・福祉の複合街区形成のシナリオ

長寿社会に応じ、市街地で福祉サービスを展開するエネルギー利用の未来像を表7の4ケースで区分して想定する。図2に示した開発の履歴とポテンシャルを背景に、集合住宅と福祉施設を隣接して建設できるまとまった開発適地を持つ駅チカの街区として、i) 阪神間の3本の鉄道の駅勢圏500m内であること、ii) 現存建築物の建築面積が2,500㎡以

上(集合住宅10階建て：建築面積：1,640㎡、福祉施設5階建て：建築面積：800㎡)を収容し得る建ぺい(もしくは相当の遊休)の用地からの建替え(用途転換を含む)が可能であることの両条件を満たす街区を対象とした。

神戸市東灘区において、これらの条件を満たす街区は5箇所(酒造産業の関連敷地4箇所、社宅1箇所)存在することが判明した。これらの敷地に住居系と福祉施設を誘導し、①一般向け集合住宅と福祉施設の連携の有無、及び②高齢者向け集合住宅と福祉施設の連携の有無の効果と比較し、エネルギー需要特性が違う集合住宅と福祉施設を複合させた駅チカの街区を積極的に構築する意義を解釈する。

#### 5.2 計算条件

##### a) 福祉施設と集合住宅の設定規模

福祉施設の延床面積は4,000㎡(定員60名)とする。一般向け集合住宅と高齢者向け集合住宅の属性と世帯数は、時間帯別エネルギー消費に顕著な差異が生まれる限り単純化して、表8に示す組合せを本研究では扱った。すなわち、一般向け集合住宅にはファミリー世代が居住し、高齢者向け集合住宅には高齢単独世帯が入居するとした。一般向けと高齢者向けの集合住宅の延床面積は、それぞれ70㎡/世帯と25㎡/世帯とした。戸数は両集合住宅とも180戸とし、一人当たりの専有延床面積は一般向けは22㎡、高齢者向けは25㎡と固定した。

##### b) CGS(CHP)の規模と運転方法

図1で構築したモデルを準用し、福祉施設の熱需要プロファイルを作成し、事業活動時間帯平均(営業時間内(8:00~16:00)に発生した熱需要の平均)に相当する規模でCGS(CHP)を設置した。今回設定した延床面積4,000㎡級の福祉施設の稼働時間帯の平均熱需要は350kWであったため、CGSの出力、効率を次のように小型実機の値を用いた。ヤママー製EP370Gの1台のベース運転とし、発電効率

表7 集合住宅と福祉施設の連携の有無及び技術オプションの組合せによる評価ケースの一覧。

ケース	技術	建物, 機器更新	一括受電		CGS	
			集合住宅のみ	集合+福祉	融通無	融通有
分離		○	○	×	×	×
隣接(一括受電)		○	×	○	×	×
隣接(CGS, 融通無)		○	×	○	○	×
隣接(CGS, 融通有)		○	×	○	○	○

表8 一般向け及び高齢者向け集合住宅の属性別世帯数の設定値。

集合住宅のタイプ	1人世帯		2人世帯		4人世帯		
	65歳未満	高齢者	65歳未満の夫婦のみ世帯	高齢者夫婦のみの世帯	母子, 父子世帯	夫婦と子供から成る世帯	三世代等の複合世帯
一般	0	0	36	36	0	108	0
高齢者	0	180	0	0	0	0	0

は41%、廃熱効率は34%、定格出力は電力で370kW、熱で306.8kWである。

運転方法は熱主電従運転とし、発電した電力は自家消費し、余剰電力は併設した集合住宅にのみ供給するとした。なお、CGSで賄えない熱需要は効率95%のガスボイラーを使用し、不足する電力は系統電力等から購入すると設定した。

### 5.3 集合住宅と福祉施設の街区内連携によるピーク電力の削減

低炭素効果とともに、エネルギーマネジメントにおいてピーク電力の削減は重要な作業目標である。まず、ピーク電力の削減効果について述べる。

30分間最大電力消費がケースごとに異なる様子を図4に示す。一般向け集合住宅のみで電力の一括受電を行うオプション(ケース：分離)に比べ、両者が連携し街区で一括受電とエネルギーマネジメントを行うオプション(ケース：隣接(一括受電))では、30分間最大電力消費を10%程度低減できる。また、高齢者向け集合住宅と福祉施設とが連携して街区でエネルギーマネジメントを行うと30分ピーク電力を約15%程度低減できる。

高齢者向け集合住宅の電力消費行動では、自宅滞在で朝夕の早い時間帯で相対的に大きな値が観察されるが、対照的に高齢者福祉施設では介護サービスが昼間の16時頃までに集中的に実施されることか

ら、ピーク電力の生起時間帯が異なり、合算ではピーク値の下がり方が顕著となる。

次に、CGS導入による30分間最大電力消費の削減効果は5~10%程度である。今回の条件では、福祉施設のCGSの余剰電力を住居系に融通するとしても、街区として合算の最大電力消費を低減する上で効果はほとんど見られない。これはCGSの運転時間を福祉施設の熱需要に応じて16時までとしたため、15時頃の大きい電力消費は低減できるものの、CGSプラントの運転停止後の16時~16時半の時間帯に時に最大(モンテカルロシミュレーションで再現)を示す電力消費へ融通できないためである。

### 5.4 集合住宅と福祉施設の連携時にCGSを活用することの低炭素効果

CGS導入によるエネルギー利用の効率向上に伴うCO<sub>2</sub>排出量を比較した結果を図5に示す。

電力融通をしない場合でも、福祉施設に設置されたCGSの給湯及び電力利用の総合エネルギー利用効率が高いために、電力一括受電の炭素係数が高い現況(平成27年度)の分離及び隣接一括受電のCO<sub>2</sub>排出量よりも約10%の低減効果が見込める。

さらに、集合住宅に電力融通を行うケース(隣接(CGS, 融通有))では、福祉施設の熱需要の高い時間帯に発電された余剰電力を集合住宅に融通することにより、さらに5%(合算15%)程度のCO<sub>2</sub>排出量の低減効果が得られる。

また、高齢者向け集合住宅と福祉施設を街区に複合立地させる場合では、自家消費により約15%程度削減される上に、余剰電力を集合住宅に融通することで、合計20~25%の低減効果が得られる。

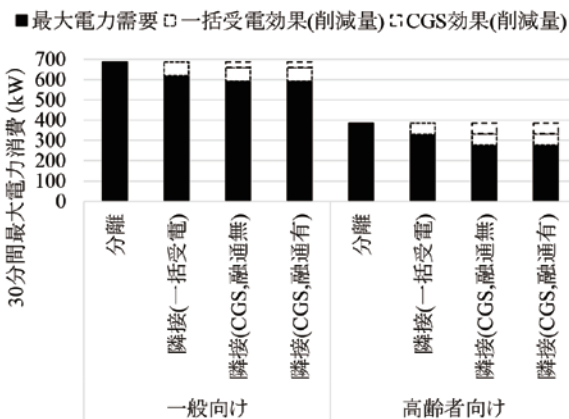


図4 集合住宅と福祉施設の連携と技術オプションによる30分間最大電力消費の比較。

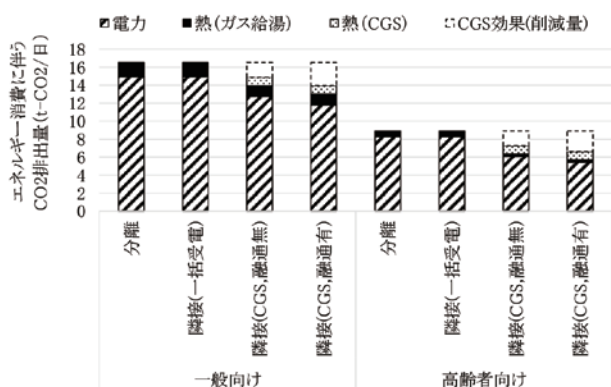


図5 集合住宅と福祉施設の連携と技術オプションによる二炭素炭素排出量削減の比較。

## 6. 今後の都市における街区のエネルギーマネジメントに関する考察

### 6.1 エネルギーコストを下げ気候変動に貢献する再生可能エネルギーの利用と街区マネジメント

EUの「20-20-20」政策と呼ばれるエネルギー・気候変動政策は2014年、パリ協定を前に改正され、①温室効果ガス排出量の対1990年比で40%削減、②再生可能エネルギー導入比率を最低27%、③省エネ指令の改正検討、④欧州域内排出権取引制度(EU-ETS)の再構築をあげている。

再生可能エネルギーを都市のエネルギーマネジメントでも積極的に使うモデル事業をEUは展開している。その基礎にあるスマートシティのまとめを240の都市を対象に行った欧州議会の報告<sup>20)</sup>では、統治、経済、環境、モビリティ、市民、生活の6側面を扱う。その3分の1は気候変動政策を含む環境に置かれ、最終章のケーススタディで取り上げられた都市はアムステルダム、マンチェスター、バルセロナ、コペンハーゲン、ヘルシンキ、ウィーンであるが、いずれの都市もICTを活用したエネルギー

マネジメントや気候政策を展開している。建築物の集積した市街地のエネルギー効率を上げ、省エネや再生可能エネルギー導入にあたり、重電やICTの関連企業のR&Dや実装、事業化の役割が大きい。例えば、ウィーンの水辺のある新規開発街区群(200 haを超える)では、ジューメンズが都市エネルギーシステムのイノベーションを担っている。

日本のエネルギー政策と気候変動政策はパリ協定に拠り2030年に2013年比26%(2005年比25.4%)減のGHG排出削減目標案(INDC: intended nationally determined contribution)を掲げているが、1990年比では14%減に相当し、再生可能エネルギーの比率も未だEU水準と差がある。

また、2014年度に大規模な社会実装が終了したスマートコミュニティの総括報告(2017)<sup>21)</sup>は、五つの主要事業を除いて12の事例を紹介しているが、市街地の多様な主体の関与する街区モデルは限られている上に再生可能エネルギーの導入例は乏しい。

もともと、エネルギーマネジメント・システム(EMS)には多様な事業モデルの発展の未来があり、再生可能なエネルギーの抜本的な導入やエネルギーを介在した地域内経済循環を推進して運営主体のガバナンス(協同統治)を高めることも可能である。

そのこともあって、環境省が2017年8月にまとめた「再生可能エネルギー活用によるCO<sub>2</sub>削減加速化戦略(中間報告)(2017)」<sup>22)</sup>では、住宅・ビル・街区など個別需要での省エネ・蓄エネと合わせた再エネ導入とともに、地域エネルギー企業による再エネ・省エネ・蓄エネサービスで地域単位での需要対応を強調し、ベンチャー新電力等による地域再エネを活用して地域に利益を還元する事業を推進することを訴えている。

## 6.2 本研究結果の解釈と街区マネジメントの将来

都市エネルギーのマネジメント研究の当初(2011年)は、多様なエネルギー需要を持つ複数の需要家の組み合わせによるピーク電力の削減などを狙いとした街区エネルギーマネジメントのアライアンス形成を検討した。しかし、市街地の再エネの代表であるPVに蓄電池を併用するモデルを普及実装することはコスト面で厳しく、さらにEMSアグリゲータの登場により、多くの主体が関わる市街地ではエネルギーマネジメントを街区空間に限定して囲い込む意義は薄れたように見えた。

また、CGS(CHP)も当時の電気事業法の規定では、一般電気事業者以外がビル等に電力供給する場合、契約上安定量の必要電力量の供給を保証しなければならず、この電力量にあわせてCGSの設備能力を決めると熱が大幅に余り経済的に不利であり、熱主電従の運転にはエネルギー供給の新規事業者等との連携が街区空間を超えて必要であった。

2030年に向け、持続可能な都市として大幅な低炭素化を図るには、①徹底した省エネと再エネの大

幅導入、②再生可能な水素利用を未来に展望した総合エネルギー効率を高めるCGSの普及、③地域節電所も含めたスマートシティ化が必要と考えられ、街区内外のエネルギー管理のガバナンスの質的向上が課題になっている。

本研究では、第一に、典型街区を対象に現状水準を改善する断熱性の向上や省エネ家電、高効率機器への更新によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を評価した。その結果、世帯数が増加する場面でも現状維持は可能であるが、純削減は困難であるという常識的な結果を得た。第二に、同一街区における集合住宅と福祉施設を複合して街区を構成しCGSを活用すると、15~20%のCO<sub>2</sub>削減が見込める結果を得た。

第一の結果を吟味すると、人口減少と高齢化が進んでも、在宅高齢者の増大や世帯数の増加、快適(適温)志向の高まり等により都市のエネルギー需要は増加するため、将来的にはCO<sub>2</sub>排出量の増加が予見される。それに対して、断熱性の向上や省エネ家電の導入だけでは、CO<sub>2</sub>排出量は2010年と同レベルであり、削減にはつながらない。抜本的には、建物単位でもゼロエネルギー型の住宅やビル(ZEH: Net Zero Energy House, ZEB: Net Zero Energy Building)等の普及の強化が必要である。

今回、典型街区として神戸市東灘区を取り上げたが、より高齢化と人口減少が進むエリアの場合でも、軌道系駅周辺に類した拠点を活かせる限りではそこへの集住は省エネ(二酸化炭素削減)に有利となる。しかし、快適志向の高まり等によるCO<sub>2</sub>排出量は増加するので、削減効果を確保するには省エネ機器の導入、街区のエネルギーマネジメントに併せて省エネ行動の支援が欠かせない。

第二の結果は、CGS(CHP)を活用した街区マネジメントは15~20%の二酸化炭素を削減することを意味する。CGS(CHP)は電気と熱の双方を同時に供給するため、総合エネルギー効率が70~85%と極めて高効率なため、CO<sub>2</sub>排出量の削減に有効なエネルギー機器である。電気事業法が改正され、必要な熱需要の量に併せてCGSを導入し、不足する電力量を需要側(その管理代行者)が調達できることから街区単位での普及が期待される。成果を得るカギは「同時期に同一街区内に福祉施設と集合住宅を誘致すること」である。そのため、開発事業の要件として誘導する制度設計により見通しを確保する。第一の結果と併せて考えると、福祉施設を併設した「駅チカ集住」の推進は、エリア全体としてのCO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献することになる。

同一街区における集合住宅と福祉施設の複合も、同一事業主による開発行為であれば、開発時期も調整して熱電の融通運転を活用でき、初期費用や追加契約者の費用負担を節約して事業性を高めながら、エネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量を削減することができる。今後は欧州に比較して高い熱導管のコスト



を下げる社会イノベーションが課題となっている。

EUでは2004年にCHP指令を策定し、バイオマス利用の再エネ熱供給(再生可能な熱電システム)を含めたCHP(CGS)の普及を進めている。日本国内ではCGSに災害対応のレジリエンスが期待され、エネルギー自立性や低炭素、高エネルギー効率とともにマルチ・ベネフィットが認められることから、EUとは気候条件は異なるものの、本研究の結果からもCGSによる街区の統合運営の普及拡大が望まれる。

第三に、今回の対象地区では、地域節電所を核とするデマンド・レスポンス機能が働くスマートシティ(スマートコミュニティ)のシステム運用とその評価はできていない。街区のエネルギー管理者が再生可能なエネルギーの割合が高い(炭素密度が低い)独立発電事業者から電力を契約・購入して、時間帯別の電力需給管理に取り組み、賢く最適化を行うシステムモデルを運用する必要がある。

すでに、アグリゲータ由来の実務を担う地域エネルギー供給の新規主体は、特定の街区空間に閉じたエネルギーマネジメントのリスクと弱みを見抜き、むしろ選択的に供給相手を選んで契約し利得を得る戦略を確立している。

例えば、地域の共同性に立脚し低炭素社会づくりの担い手になろうとする社会組織は、エネルギーマネジメントを行うビジネスモデルを開拓している。例えば、大阪いずみ市民生協は自らの基金でメガソーラーを設置し、新電力(PPS: Power Producer and Supplier)会社と契約のもと、店舗や流通センターの業務用電気消費からのGHG量の削減を行い、またバイオマス発電からの電力購入を行い、組合員への電力小売りを行って、低炭素かつ原発依存しない電気を欲する組合員の欲求を満たしている。ふくい市民共同節電所等では、ESCO(Energy Service Company)事業と市民ファンドを組み合わせたビジネスモデルを産んでいる。

いずれも地域主体が協働で自立性の高いエネルギーシステムを構築し、電力源とユーザーの間をつなぐ社会イノベーションモデルとなっている。これらは、複数の町丁目の空間を一括して街区を形成しているわけではない。街区モデルを空間的に固定して閉じた領域性で語るのは偏狭であり、むしろ緩やかな網を被せた(おおよその事業区域を持つが排他的でなく自由加入)地区・街区のエネルギーマネジメントに新たな社会価値を創出していることを高く評価すべきである。

## 7. おわりに

都市でのCO<sub>2</sub>削減が急務の中、将来の医療、介護、福祉サービスの増大に応じ、立地適正化によるコンパクトなまちづくりを対象に、街区単位でのエネル

ギーマネジメントによる低炭素効果を評価した。システム運用で得られた知見を以下に要約する。

第一に、神戸市東灘区を対象に駅チカ居住による低炭素効果を定量した結果、2030年にはベースラインの2010年に比べ、世帯数、福祉施設数ともに増加するが、エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量は、駅チカ居住の推進によって2010年とほぼ同程度に抑えることができる。しかし、純削減には至らない。

第二に、同一街区への集合住宅と福祉施設の隣接による電力の一括受電により、30分間最大電力消費を10~15%程度を削減できる。加えて、CGS(CHP)を導入し、熱需要への効率的利用を優先する運転方式により生じた電力を自家消費することで、さらに5~10%程度、最大電力消費を低減できる。

第三に、同一街区への集合住宅と福祉施設の隣接によるエネルギーマネジメントのシミュレーションの結果から、長寿社会の下で施設数・定員数の増加が見込まれる福祉施設を成り行きで建設するのではなく、駅勢圏へ立地を促す集住化施策と高齢者向け住宅供給とを併せて推進することにより、CO<sub>2</sub>排出量を15~25%程度低減できる。スマートなエネルギーマネジメントの効果を明確にした。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたりご協力頂いた神戸市役所都市計画総局、環境局の関係各位ならびにアンケート調査にご協力いただいた福祉施設の方々には厚く御礼申し上げます。なお、本研究は環境研究総合推進費(1E-1202, 研究代表者: 北詰恵一)の助成を得て行った研究であり、既報をもとに、CO<sub>2</sub>排出量の再計算と意味の解釈と考察を加えたものである。

## 引用文献

- 1) 盛岡 通(2015)都市の社会基盤とエネルギー。新澤秀則, 森 俊介(編)エネルギー転換をどう進めるか(環境政策の新地平3巻), 143-164, 岩波書店。
- 2) 横井隆志・山本祐吾・東海明宏・盛岡 通(2010)低炭素都市の形成に向けた街区更新およびエネルギー計画の統合を支援するシステム開発。土木学会論文集G, 66(1), 17-34。
- 3) 木村道徳・熊澤輝一・松井孝典・梅田 靖・津田和俊, 盛岡 通(2009)低炭素型都市農村連携ネットワークを構築するための業結合モデル: 環境モデル都市施策の農林水産業に着目して。環境システム研究論文集, 37, 377-383。
- 4) 尾崎 平・盛岡 通・野田圭祐(2014)中小事務所ビルの実測に基づく電力プロファイルの特性と推定モデルの構築: 電力需要に与える建物特性, 就業特性を考慮して。環境情報科学論

- 文集, 28, 107-112.
- 5) 野田圭祐・盛岡 通・尾崎 平(2014) 世帯属性別の電力需要の再現モデルの開発：外出・帰宅・就寝行動の時間幅を考慮して. 土木学会論文集 G(環境), 70(5), I\_147-I\_156.
  - 6) 尾崎 平・盛岡 通(2015) 家庭用燃料電池システム導入前後のエネルギー消費実態から推定した一次エネルギーと二酸化炭素排出の削減量：神戸市を対象として. 環境情報科学論文集, 29, 153-158.
  - 7) OZAKI T., T. Morioka and K. Noda(2014) Cost-Benefit Performance of Photovoltaics and Battery Storage Systems to Secure Load Leveling and Peak Shaving in City Block, First International Conference on Energy and Indoor Environment for Hot Climates, CD-ROM(7 頁).
  - 8) 尾崎 平・盛岡 通・野田圭祐(2015) 長寿社会の福祉サービスと連携した集住化に応じた街区のエネルギーマネジメントの評価：神戸市東灘区を対象として. 土木学会論文集 G, 71(6), II\_53-II\_64.
  - 9) 森川雄貴・野田圭祐・盛岡 通・尾崎 平(2013) 街区地区レベルでの太陽電池・蓄電池を用いた電力負荷平準化による費用効果算定モデルの構築. 土木学会論文集 G(環境), 69(6), II\_239-II\_249.
  - 10) 野田圭祐・盛岡 通・尾崎 平(2014) 街区群特性を考慮した電力需要プロファイルの作成と考察：神戸市を対象として. 環境システム研究論文発表会講演集, 42, 89-96.
  - 11) 資源エネルギー庁(2011) 平成 22 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書).
  - 12) 住環境計画研究所(2013) 2014 年版家庭用エネルギーハンドブック, 省エネルギーセンター.
  - 13) 空気調和・衛生工学会(1989) 空気調和・衛生工学便覧改訂第 11 版, 第 3 巻, p.80. <<http://ebw.eng-book.com/pdfs/46490963f6ab08802bae12d116d64be0.pdf>>
  - 14) 後藤 悠・相良和伸・橋本直樹・田中宏昌(2010) 高齢者福祉施設における給湯システムの実測調査. <[http://kinki-shasej.org/shibujigyoku/pdf\\_yushuronbun\\_poster/2010-B-1.pdf](http://kinki-shasej.org/shibujigyoku/pdf_yushuronbun_poster/2010-B-1.pdf)> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 15) 高田 宏・村川三郎・山根祐子・坂本和彦(2006) 事務所ビルにおける給水・給湯負荷の予測：時系列的水使用行為解析に基づく給水・給湯負荷算定法に関する研究(第 3 報). 日本建築学会環境系論文集, 606, 51-58.
  - 16) 第 4 回再生可能エネルギー等の熱利用に関する研究会資料(2010)<<https://eneken.ieej.or.jp/data/3461.pdf>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 17) 環境省(2016) 電気事業者別排出係数：H27 年度実績 <<http://www.env.go.jp/press/files/jp/106409.pdf>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 18) 大阪ガス(2017) 都市ガス使用の場合の CO<sub>2</sub> 排出量の算定 <<http://www.osakagas.co.jp/company/efforts/eco/co2/evaluation.html>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 19) 兵庫県企画県民部(2008) 兵庫県将来推計人口.
  - 20) European Parliament(2014) *Mapping Smart Cities in the EU*, pp.1-200. <<http://www.europarl.europa.eu/studies>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 21) 資源エネルギー庁(2017) スマートコミュニティ事例. <<http://www.meti.go.jp/press/2017/06/20170623002/20170623002-1.pdf>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)
  - 22) 環境省(2017) 再生可能エネルギー活用による CO<sub>2</sub> 削減加速化戦略(中間報告). <<http://www.env.go.jp/press/files/jp/106580.pdf>> (2017 年 8 月 1 日 最終確認)



盛岡 通 / Toru MORIOKA

大阪大学名誉教授，関西大学名誉教授。関西大学社会連携部健康まちづくりプロデューサー。環境面の持続可能社会づくりを中心に，健やかで安らかな地球社会に貢献する科学技術の振興に従事し，健康まちづくりを融合。



尾崎 平 / Taira OZAKI

関西大学環境都市工学部准教授。専門分野は環境システム。気候変動の適応策，都市の低炭素化に関する研究に取り組んでいる。