

## 2050年ゼロカーボン社会を目指した都市計画の基礎検討

[研究代表者] 羽田 裕 (経営学部経営学科)  
 [共同研究者] 雪田和人 (工学部電気学科)  
 河路友也 (工学部建築学科)  
 武田美恵 (工学部建築学科)  
 後藤時政 (経営学部経営学科)  
 野中尋史 (経営学部経営学科)  
 福澤和久 (経営学部経営学科)

### 研究成果の概要

本研究は、2050年のカーボン・ニュートラルを実現した社会を想定し、現在からの社会変容における技術的課題および経済的影響などに関する基礎的な検討を目的としており、一拠点のクローズドなシステムではなく、複数拠点がつながった地域循環型ネットワークシステムの構築という視点からモデル化を総論及び各論からアプローチしていくことを特徴としている。

今年度は、EVを用いた都市部と郊外との連携の検討、地下街の温熱・空気質環境に及ぼす影響評価、郊外のZEH達成状況の把握と太陽光発電余剰量の都市放電の可能性検討、都市居住空間の充実化に向けた研究、人流解析、ナッジによる環境配慮型への行動変容に向けた基礎検討を実施し、本モデルの社会実装に向けた検討を進めた。

**研究分野：**電力工学、建築学、環境学、経営学、行動経済学

**キーワード：**ゼロカーボン社会、エネルギーマネジメント、まちづくり、行動変容

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球規模の課題である気候変動リスクの解決に向けた取り組みの一つとして、カーボン・ニュートラル(CN)の実現に注目が集まっている。この背景には2020年10月に、政府が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と宣言したことにある。政府は、「グリーン成長戦略」の中でCNの実現に向けて多面的な取り組みを提案してきている。具体的な計画は、住宅に関して2030年までに新築平均で排出量をゼロに、再生可能エネルギー(再エネ)に関して2040年までに最大4500万kWの洋上風力を導入、自動車に関して2030年代半ばまでに新車販売をすべて電気自動車(EV)にして排出量を削減するとしている。また具体的な実施として、「地域脱炭素」という形で地域単位での取り組みに期待が集まっている。つまり地域レベルでCNを実現するための再エネを起点としたシステムの構築が求められている。

上記のとおり、CNの実現には様々な要因が絡み合っており、それぞれを独立した課題として捉えるのではなく、有機的なつながりを有した一つのシステムとして捉えることが重要となる。そこで学術的、実践的な側面から再エネを軸としたゼロカーボン(ZC)社会のモデル化が急務となっている。このような問題解決に向けて、「経済」と「環境」を両立する環境配慮型への人々の行動変容に関する経営学的視点と現状を解析するためのデータサイエンス的視点からのアプローチが必要となってくる。

### 2. 研究の目的

本研究は、2050年のCNを実現した社会をモデル化するため、現在からの社会変容における技術的課題および経済的影響などに関する基礎的な検討を実施していく。具体的には2050年に向けたZC社会のモデル化を

行う（図 1）。また本モデルと実態社会とのギャップを明らかにし、このギャップを埋めるための解決方法を工学的および経営学的視点から検討を行う。

本研究の役割は次のとおりである。エネルギーマネジメント、地下都市空間における直流給配電の可能性についての検討、EV と公共交通機関との連携を軸としたシステム構築に関する研究を雪田教授が、地下都市空間及び郊外に関する空間的評価に関する研究を河路教授が、まちづくり、環境影響評価に関する研究を武田教授が、人流、消費行動及び環境配慮型行動の分析及び動機づけに関する研究を後藤教授、野中准教授、福澤講師、羽田が担当している。

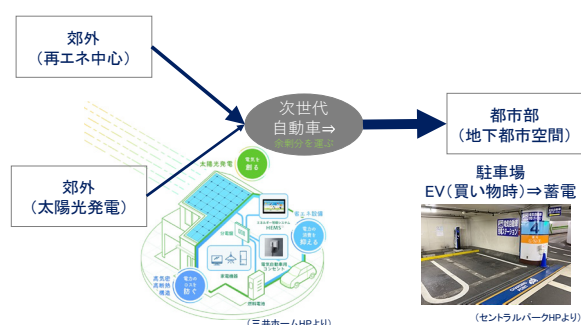


図 1 本研究が検討するモデルの一例

### 3. 研究の方法

本研究は、「学術」と「実証」のサイクルを回しながら進めていく。まず学術的側面では、工学系、情報系、社会科学系それぞれの知見を活かし、各論として研究を積み上げていく。そしてこの各論を総合的に体系化し、2050 年に実現すべき ZC 社会のモデル化を行い、社会実装に向けた道筋を立てていく。

実証的側面では、地下都市空間の対象をセントラルパーク（栄）、エスカ（名古屋駅）、住宅を中心とした郊外を瀬戸市等、再エネを中心とした郊外を田原市等とし、実証実験を引き続き行っていく。

具体的な研究については次のとおりである。第 1 は都市部におけるエネルギーマネジメントのために電力需要を検討し、省エネを目指した直流給配電の可能性の検討、再エネの利活用を目指し、EV を用いた都市部と郊外との連携の検討である。第 2 は地下街の温熱・空気質環境に及ぼす影響評価、第 3 は郊外の ZEH 達成状況の把握と太陽光発電余剰量の都市放電の可能性検討、第 4 は都市居住空間の充実化に向けた研究、第 5 は人流解析、

第 6 はナッジによる環境配慮型への行動変容に向けた基礎検討である。

### 4. 研究成果

主な研究成果は下記のとおりである。

第 1 は、都市部におけるエネルギーマネジメントを実施するため、名古屋市の地下街を一例として、電力需要の特徴検出を行った。このとき、都市部における商業地域の需要家をレストランとカフェ、デリとグロッサリー、グッズ売り場、サービス・その他の 4 種類に分類し、夏季と冬季の電力需要について解析を実施した。この 4 種類の分類における電力需要については、レストランとカフェにおいては、他と比較すると電力需要が高いことがわかった。またサービス・その他、デリとグロッサリーは、電力需要が低いことがわかった。

次に都市部における再エネによる電力供給の可能性について検討した。特に都市部に太陽光発電装置や風力発電装置の導入可能性について試算をした。さらに郊外には再エネの導入が可能となるものと想定し、再エネによる連携を検討した。この検討においては、EV を移動する蓄電池と想定し、郊外の再エネで発電した電力を、EV で都市部への電力供給を行うことを仮定した。この検討において、都市部への人流の移動について注目するために、都市部の駐車場のナンバープレートの解析と駐車時間の算出を試みた。このナンバープレートの解析に至っては、解析方法が十分でなかったため、都市部への人流の解析までには至らなかった。また駐車時間の算出にいたっては、1 時間未満の駐車車が全体の 30% 程度であることがわかった。そこで、2030 年と 2050 年における EV の普及率を想定し、給電装置の性能、EV の蓄電容量などから EV による電力供給システムについても検討を実施した。この検討ではいくつかのシナリオを想定し、シミュレーションを実施した。シナリオ 1 は、郊外で充電してきた EV が駐車料金の代わりに、電力を提供するものとして検討した。シナリオ 2 は、駐車場に駐車された EV を巨大な蓄電池として運用する場合について検討した。

これらの検討においては、EV を蓄電池として利用するための給電装置の性能や都市部における配電システム、直流給配電の可能性について検討した。

第 2 は、地下街環境に及ぼす影響の評価である。まず

エスカ地下街の温熱空気質環境の実態と影響要因および省エネ余地の有無を明らかにするため、地下街内の環境および人流の測定・分析を実施した（図 2）。エスカでの実態調査からエスカの温熱環境に影響を与えている要因と省エネ化に向けた可能性を見出すことができる。

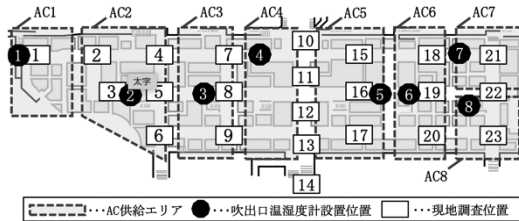


図 2 エスカでの現地調査

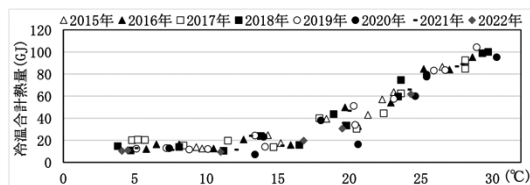


図 3 CP における年別月平均外気温と月合計熱量の関係

次にセントラルパーク（CP）のエネルギー消費量の変化状況を把握するために、地域冷暖房の熱量関係データ、地域冷暖房の熱量と外気温との関連性、消費電力に関する分析を行った。図 3 はその一例である。その結果、使用熱量が変動する要因、そして今後の課題を抽出することができた。

第 3 は、郊外の ZEH 達成状況と太陽光発電余剰量の都市放電の可能性検討である。今年度は瀬戸市を分析対象とし、現状の再エネの余剰量や都市部へのアクセス方法を明らかにするためにアンケート調査および訪問調査を実施した。今回の調査から現状のままでは郊外から都市部への余剰エネルギーの搬送を実現することが難しいこと、そして今後の課題がみえてきた。

第 4 は、都市居住空間の充実化に向けた研究である。本研究は、都心部におけるカフェ利用行動実態を把握することにより、レンタルシェアオフィスやワークスペース等の店舗空間導入設置の検討及び店舗間の相互利用向上を活かし、利用者の満足度向上に向けた都市居住空間の充実化を目的としたものである。今年度は名古屋市中区栄の CP 地下街の S 店、T 店、C 店のカフェ 3 店舗の協力を得て、目視観察記録による利用行動調査を実施

した。調査の結果、①オフィス街にある駅直結の地下街のカフェのため、利用者属性として会社員が多く、ワークスペースとしてだけではなく、通勤前・退勤後あるいは仕事の休憩として利用する人が多い、②利用行動でみると、スマホ閲覧・休憩の割合が最も多く、1日ごとにみると仕事利用が最多の日もあることが明らかになり、周辺がオフィス街である栄 CP 地下街の特徴が現れた結果と言える。一方、名古屋市中区栄のヒサヤオドリパークを対象として、温熱環境調査（気温・湿度観測）及び利用者と利用行動を定点カメラ撮影及び目視観察により記録し、地上部の緑地空間の利用実態を調査した。調査の結果、①芝地広場と樹林帯が特徴の ZONE1 は計 3 回の調査期間（春・真夏・盆休）に共通して家族（親子含む）の利用が最も多く、ZONE3 は地下街出入口があるためか利用者数も多く、友人同士での利用が最も多い。ヒサヤオドリパーク内でも利用特性が異なる。②芝生広場でくつろぐ会社員のランチ利用が特徴的である。③日中 30°C を超える真夏日でも利用者がいる。また猛暑日でも休日は利用がある。このように、都心部の特徴と言える地下街のカフェ及び緑地空間の使い方を捉えることができた。

第 5 は、人流解析に関する研究である。人流解析は、ナッジを用いて人流の制御を行うときに現状のセンシングや効果の測定を行うために必要となる。しかしながら、このような人流データを手動で作成することは多大な労力と経済的コストが生じるため自動化が求められている。本研究では人物などのオブジェクト検知に加えてオブジェクトの移動も追跡できるモデルである Yolo-Strongsort を実装した。

しかしながら Yolo-Strongsort では、①実応用で重要となる人流の方向や特定の店舗への人の出入りまでは解析できない、②人は不安定な行動もとるため単純な人の時系列での差分だけでは特定できないといった課題を抱えている。そこで本研究では機械学習の一つである SVM と Yolo-Strongsort を組み合わせて人流の方向や特定の店舗への人の出入りを推定できる手法の検討も行った。その結果、人流方向および特定店舗への出入りの性能（F 値）は 0.81 となり、実用的なパフォーマンスを示した。

第 6 は、ナッジによる環境配慮型への行動変容に向け

た基礎検討である。これまでにない地域レベルにおいて再エネを起点としたシステムを構築し、実践していく上で、個人の意識・行動変容を促す仕組みを併せて検討していくことが必要となる。そこで本研究は、必要となる個人の意思決定・行動変容に関する考察を行い、行動変容を促す最適なナッジの設計に向けたベースづくりとなる。今年度は、再エネと次世代自動車の組み合わせが重要となる本システムにおいて、消費者がガソリン車、ハイブリッド車、電動自動車をどのような指標から選好しているのかに関する要因分析を行った。その一例が図4、5である。その結果、次世代自動車が市場に受け入れられ浸透していくためには「環境配慮」ではない別の要因が大きく作用することがみえてきた。

	エクステリア	インテリア	エンジン	走行性能	乗り心地	燃費	価格	全体満足度
エクステリア	1	0.560296702	0.485830275	0.5415097	0.471373622	0.209170738	0.310773908	0.698721848
インテリア	0.560296702	1	0.518246741	0.471968238	0.534027566	0.243964568	0.347607424	0.657407625
エンジン	0.485830275	0.518246741	1	0.76377925	0.522052624	0.299410186	0.293090036	0.61404971
走行性能	0.5415097	0.471968238	0.76377925	1	0.671828845	0.366065067	0.308500392	0.639860778
乗り心地	0.471373622	0.534027566	0.522052624	0.671828845	1	0.322077434	0.258367829	0.602304414
燃費	0.209170738	0.243964568	0.299410186	0.366065067	0.322077434	1	0.374713443	0.364951213
価格	0.310773908	0.347607424	0.293090036	0.308500392	0.258367829	0.374713443	1	0.535610397
全体満足度	0.698721848	0.657407625	0.61404971	0.639860778	0.602304414	0.364951213	0.535610397	1

図4 ガソリン車に関連する満足度指標

	エクステリア	インテリア	エンジン	走行性能	乗り心地	燃費	価格	全体満足度
エクステリア	1	0.203428623	0.182289491	0.387895764	0.3448482	0.086084559	-0.196125103	0.267543296
インテリア	0.203428623	1	-0.011724052	-0.014807506	0.148355023	-0.024211938	0.239768532	0.274556096
エンジン	0.182289491	-0.011724052	1	0.770760576	0.50670451	0.187575741	-0.202023495	0.251164378
走行性能	0.387895764	-0.014807506	0.770760576	1	0.678707694	0.253201748	-0.144882594	0.427919135
乗り心地	0.3448482	0.148355023	0.50670451	0.678707694	1	-0.262237431	-0.114395426	0.028761035
燃費	0.086084559	-0.024211938	0.187575741	0.253201748	-0.262237431	1	0.09777495	0.609245379
価格	-0.196125103	0.239768532	-0.202023495	-0.144882594	-0.114395426	0.09777495	1	0.301107047
全体満足度	0.267543296	0.274556096	0.251164378	0.427919135	0.028761035	0.609245379	0.301107047	1

図5 電動自動車に関連する満足度指標

次年度は最終年度となるため、これまでの研究成果を統合し、本研究が検討する2050年に向けたZC社会のモデルに関する検証を総合的に行い、次のステージとして本モデルの社会実装に向けた研究へとつなげていく。次年度前半は令和3年度、令和4年度から引き続き、各個別で研究を進め、後半から統合に向けて研究を進めていく予定である。個別で取り組んでいく研究課題については下記のとおりである。

第1は、2030年を想定した都市部における電力供給システムについて検討する。このシステムにおいては、これまで実施した都市部における省エネの可能性、直流給配電の導入、モビリティを用いたエネルギー供給シ

テムについて検討を行っていく。

第2の地下街環境に影響を及ぼす影響の評価は、さらに地下街環境に関するデータを収集・分析を行い、省エネ化に向けた具体的な取り組みについて検証を進めていく。

第3の太陽光発電余剰量の都市放電の可能性を検討する研究では研究対象を拡大するとともに、都市部への余剰エネルギーを搬送するための具体的な方法について検討を行っていく。

第4の都市居住空間の充実化に向けた研究は、居場所選びの多様化とともに変動が予想される地下街のエネルギーの負荷量を併せて検討し、提案に向けたモデル化を行っていく。

第5の人流解析に関する研究は、次の2点を中心に研究を進めていく予定である。まず人流方向特定モデル精度の改善であり、教師データを増やし、SVM以外のモデル検討を行っていく。次に人流におけるファッション情報の解析である。ナッジを有効的なツールとするためにはターゲティングが重要となる。そのために人流のパーソナリティを明らかにする必要がある、パーソナリティを表す一つの指標としてファッションに焦点を当て、ファッション情報を解析するモデルの開発に着手する。

第6のナッジによる環境配慮型への行動変容に向けた研究では、今年度の研究を継続し、自動車および家電製品に関するロコミ分析を行い、消費者の潜在的なニーズを顕在化していく。

## 5. 本研究に関する発表

- (1) 羽田裕、野中尋史、福澤和久、後藤時政「カーボン・ニュートラルの実現に向けたシステム構築～意思決定に関する要因分析～」日本経営診断学会第55回全国大会、2022年10月8日。
- (2) 青木準弥、酒井青輝、河路友也：瀬戸市の住宅を対象としたZEH達成状況と太陽光発電余剰量の都市放電の可能性検討、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、2023.3、pp47-50。
- (3) 山口健太、鈴木瑛海、河路友也：人流・屋外気象・空調設備の運転が地下街の温熱・空気質環境に及ぼす影響について、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、2023.3、pp63-66。