

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和3年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学」

研究開発プログラム

「脱炭素社会の構築に向けた科学技術イノベーションの社
会的受容性と価値創造の評価」

高嶋 隆太

(東京理科大学 理工学部 教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2 - 1. 研究開発目標	2
2 - 2. 実施内容・結果	2
2 - 3. 会議等の活動	11
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	12
4. 研究開発実施体制	12
5. 研究開発実施者	13
6. 研究開発成果の発表・発信状況，アウトリーチ活動など	14
6 - 1. シンポジウム等	14
6 - 2. 社会に向けた情報発信状況，アウトリーチ活動など	14
6 - 3. 論文発表	14
6 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	14
6 - 5. 新聞／TV報道・投稿，受賞等	14
6 - 6. 知財出願（出願件数のみ公開）	14

1. 研究開発プロジェクト名

プロジェクト名称「脱炭素社会の構築に向けた科学技術イノベーションの社会的受容性と価値創造の評価」

英語表記 An Evaluation of Social Acceptance and Value Creation for Science, Technology, and Innovation toward Establishing a Decarbonized Society

研究代表者：高嶋 隆太（東京理科大学理工学部 教授）

研究開発期間：令和元年10月～令和5年3月（36ヵ月間）

参画機関：東京理科大学理工学部、政策研究大学院大学政策研究科

2. 研究開発実施の具体的内容

2-1. 研究開発目標

本プロジェクトの達成目標として、以下の4つがあげられる。

1. 脱炭素化技術の社会に対する便益や効用が算出し、社会に対するインパクト・社会的受容性を明らかにする。
2. 省エネルギーシステム技術において、需要サイドが重視する要素をターゲットとして、行動経済学・行動科学に基づくナッジによる行動変容を促す方法を示す。
3. 2030年、2050年のそれぞれにおける社会と脱炭素化技術、二酸化炭素排出削減との関係を示し、いくつかのシナリオを提示する。
4. エネルギー政策に関する政策立案者の「ロジックモデル」作成への支援を行う。

2-2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

下記のとおり、本研究開発の本年度も含めた今後のスケジュールを示す。本年度は概ね当初の計画のとおり実施され、特に、実施内容の変更は見られなかった。

実施項目	令和元(2019)年度	令和2(2020)年度	令和3(2021)年度	令和4(2022)年度
【1】脱炭素化技術シナリオ・先行研究の調査	←→			
【2】脱炭素化技術普及の経済分析モデルと実験手法の構築		↑	↑	↑
【3】脱炭素化技術の社会的受容性の調査項目の作成・実施と集計・統計分析		←→		
【4】脱炭素化技術の普及過程シミュレーション		←→		
【5】省エネルギーシステム技術の社会的受容性の調査・分析と経済実験			←→	
【6】省エネルギーシステム技術のシミュレーション				←→
【7】統合分析と成果の検証・評価				←→

(2) 各実施内容

今年度の到達点①

下記の実施項目【4】，【5】に用いられる数理モデル，実験手法の構築を行う。

実施項目①：【2】脱炭素化技術普及の経済分析モデルと実験手法の構築

実施内容：

実施項目【4】において実施されるエージェント間のネットワークや各エージェントの意見，態度などの特性に関する関数（数理モデル）の構築を行った。また，実施項目【5】の社会調査において，省エネルギーシステム技術と代替燃料自動車に関する支払意思額や効用を測定するためのコンジョイント分析を実施するため，選択型実験，比較実験の設計を行った。前年度と同様に，経済分析モデル・実験手法構築グループのグループリーダーである田中教授がこれまで実施してきた手法を参考に，実験方法を設計した。

今年度の到達点②

脱炭素化技術の普及過程シミュレーションの基本モデルを構築する。

実施項目①：【4】脱炭素化技術の普及過程シミュレーション

実施内容：

実験・シミュレーショングループの研究実施者である鈴木准教授がこれまで構築してきたエージェントベースシミュレーションモデルに，実施項目【2】で構築したネットワークやエージェントの特性に関する数理モデルを組み込むことにより，代替燃料自動車の普及過程のシミュレーションモデルの構築を行った。特に，前年度に構築した基本モデルと情報付与に関する社会調査，選択型実験の結果を用いることにより，代替燃料自動車の社会普及シミュレーションモデルを用いて，評価・分析を行った。

今年度の到達点③

省エネルギーシステム技術の社会的受容性を測定するための社会調査の設計を行い，前年度の調査結果や実施項目【2】において構築した手法により，支払意思額等による定量的な評価が可能な実験を設計する。

実施項目①：【5】省エネルギーシステム技術の社会的受容性の調査・分析と比較実験

実施内容：

省エネルギーシステム技術，特に，太陽光パネルに注目し，その保有者，保有予定者，非保有者それぞれのグループに対して，代替燃料自動車の選好や燃費，最大走行可能距離，温暖化ガス排出量削減量，給燃料施設の設置割合に関する支払意思額を測定するための選択型実験，コンジョイント分析を行った。また，選好や支払意思額に対する太陽光パネルの影響について分析をするため，それぞれのグループに対して比較実験を行った。

(3) 成果

太陽光パネルと代替燃料自動車の社会的受容性の評価 (到達点①-実施項目①及び到達点③-実施項目①)

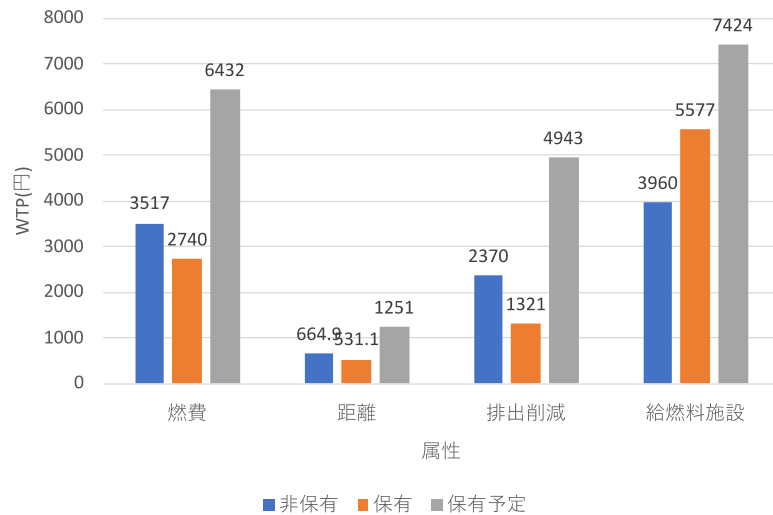


図1：グループ別各属性の支払意思額

本調査・実験は、2022年2月28日～2022年3月1日に、インターネットによる調査形式(株式会社マクロミルの実施)により、全国の20～69歳の男女2474人を対象に実施された。サンプルの居住形態が戸建または5年以内に戸建となる者を対象に、日本の年齢分布に従うようにランダムサンプリングを行った。質問項目は前年度と同様、エネルギー技術の社会的受容性、自動車の購入についてのものに加え、選択型実験においても同様に、購入価格、燃費、最大走行可能距離、温暖化ガス排出量削減量、水素ステーション・急速充電施設の設置割合の5属性・4水準に対して、燃料電池自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド車、ガソリン車、非購入の中から一つを選択する設定となっている。今年度の本実施項目では、省エネルギーシステム技術の太陽光パネルに注目し、太陽光パネル保有者、太陽光パネル保有予定者(5年以内)、保有予定なし(5年以内)の3グループに分けて(各グループ824名)、比較実験を行った。世帯年収に関して、それぞれのグループ間で平均値の差の分析(Welchの検定)を行った結果、保有グループ・保有予定グループと非保有グループとの比較において、有意確率1%で有意差ありとなり、非保有グループの世帯年収は、他のグループと比較し低いことが示された。その一方、保有グループと保有予定グループとの比較については、有意差なしとなった。選択型実験の結果データから、mixed logit-error componentモデルを使用して、効用関数における各属性に関わる回帰係数と支払意思額が推定される。本モデルによる推定は数値的に求める必要があり、解析ソフトのNLOGITversion6.0を使用した。グループ別に各属性に関する支払意思額を推定した結果を図1に示す。サンプルの居住形態が戸建であるため、直接比較することは難しいが、昨年度の調査・実験において推定された対照群の支払意思額、燃費は4082円、距離は738円、GHG

排出は5024円、給燃料施設は7280円と、図1の結果と近い値であることがわかる。非保有グループと保有グループとの比較において、給燃料施設以外は、非保有グループの支払意思額が高いことがわかる。一般的に世帯年収が高い方が支払意思額は大きな値を示すため、本結果では、その逆となる結果になっていることがわかる。すなわち、これは、保有グループが代替燃料自動車を購入する意思が比較的低く、太陽光パネルの保有と連動していないことが唆される。その一方で、保有予定グループの支払意思額は、すべての属性において最も高い結果となっている。これは、今後5年以内に太陽光パネルの購入を考えている場合、代替燃料自動車の購入と大きく連動している可能性があることを示している。代替燃料自動車の普及を考える場合、将来、太陽光パネルの購入を考えている人に焦点を絞るなど、効果的なターゲティングといった方策が考えられる。

脱炭素化技術の普及過程シミュレーションの基本モデル構築（到達点①-実施項目①及び到達点②-実施項目①）

本項目では、前年度に構築したシミュレーションの基本モデルと水素エネルギーの社会的受容性に関する社会調査、選択型実験の結果を用いることにより、代替燃料自動車の社会普及シミュレーションモデルを構築し、実装した。

電気自動車、燃料電池自動車といった先進性の高い製品である代替燃料自動車の購買意思決定には、消費者個人々の革新的技術に対する嗜好度合いが寄与すると考えられ、消費者のモデル化の際にはRogersのイノベーション普及理論における採用者分類が用いられることも多い。一方で同時に、代替燃料自動車の環境性の高さから、個人々の環境・エネルギーに関する情報の認知度合いも寄与するものと考えられる。本項目では、前年度に実施した社会調査・実験により明らかになったそれら情報の保有と自動車購買に関する選好との関係を用いて、環境・エネルギーに関する情報の認知を考慮した消費者エージェントモデルを構築した。構築したモデルを用い、情報の提供や伝播・認知過程が代替燃料自動車の普及に及ぼす影響を定量的かつ動的に分析可能なマルチエージェントシミュレータを開発した。

本研究のシミュレーションは消費者、自動車メーカー、燃料補給ステーションの3種のエージェントから構成される。消費者エージェントは環境・エネルギー情報の保有有無に応じてさらに2タイプに分類される（選択型実験で、事前に環境・エネルギーに関する情報を与えた処置群と、与えない対照群に相当）。消費者エージェント間には情報伝播のチャンネルとして関係ネットワークが存在し、環境・エネルギーに関する情報、および近傍の他消費者の所有車種情報をやり取りできるものとした。そして、ネットワーク上での環境・エネルギー情報の認知により、消費者の選好が変容することを考慮した。各消費者は、一定期間ごとに自身の選好および近傍他者の所有車種に基づいてその時点での各車種の効用値を算出し、その値に応じて新規購入車種を確率的に選択する。本研究では、時点 t に個人 i が車種 j から得られる全体効用 $U_{i,j,t}$ を次式で評価する。

$$U_{i,j,t} = w_1 \cdot \sum_{attr} u_{i,j,t,attr} + w_2 \cdot r_{i,j,t}$$

ここで、 $attr$: 車両を構成する属性の添字、 $u_{i,j,t,attr}$: 時点 t に個人 i が車種 j の属性 $attr$ の水準値から得られる効用、 $r_{i,j,t}$: 時点 t に個人 i の知人が車種 j を所有している割合である。右辺第1項は自己の選好による効用を、第2項は外部性による効用をそれぞれ表している。

w_1, w_2 は各項の重み係数である。全体効用 $U_{i,j,t}$ の値に基づき、時点 t に個人 i が車種 j を選択・購入する確率 $P_{i,j,t}$ を次式で求める。

$$P_{i,j,t} = \frac{\exp U_{i,j,t}}{\sum_j \exp U_{i,j,t}}$$

構築したマルチエージェントシミュレータの操作画面の概要を図2に示す。シミュレーションプラットフォームとして *artisoc Cloud* を用いた。シミュレーション設定機能として、個人間関係ネットワークの生成機能を実装した。関係ネットワークの規模やトポロジー、リンク数等を可変とすることで、個人間関係、およびその上での情報伝播過程に対する普及過

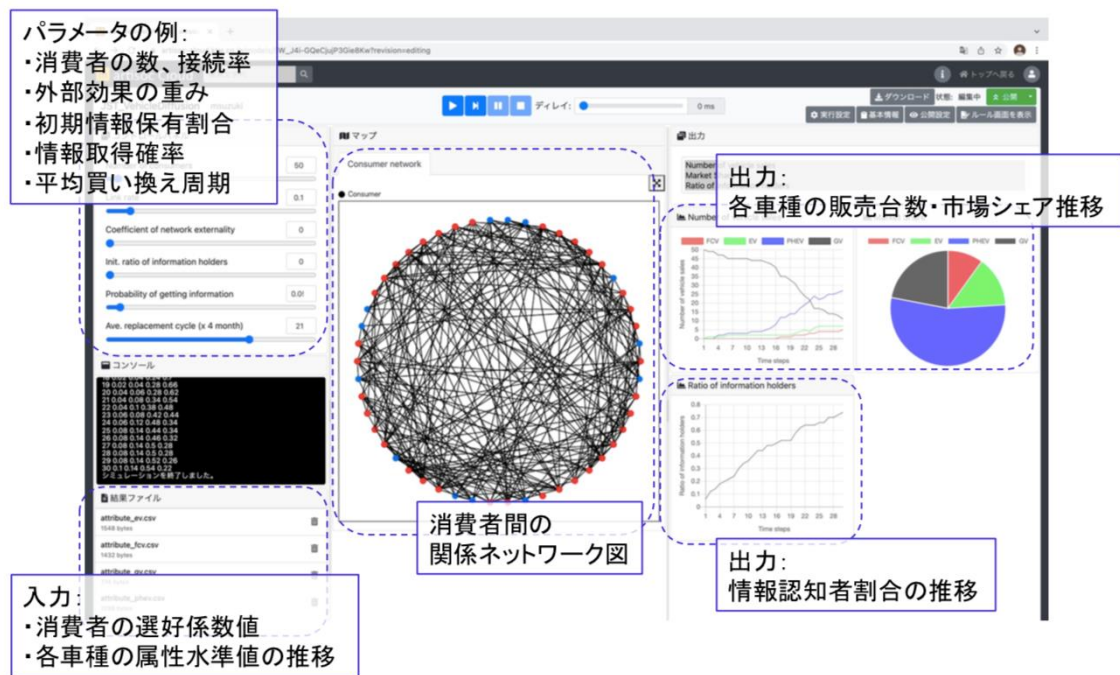


図2：マルチエージェントシミュレータの操作画面

表1：各車両属性に対する限界効用値

	対照群	処置群
価格 (万円)	-0.01337	-0.01506
燃費 (%削減)	0.00527	0.00222
走行可能距離 (km)	0.00098	0.00095
温暖化ガス排出削減量 (%削減)	0.00672	0.00792
補給ステーション設置割合 (%)	0.00977	0.00865

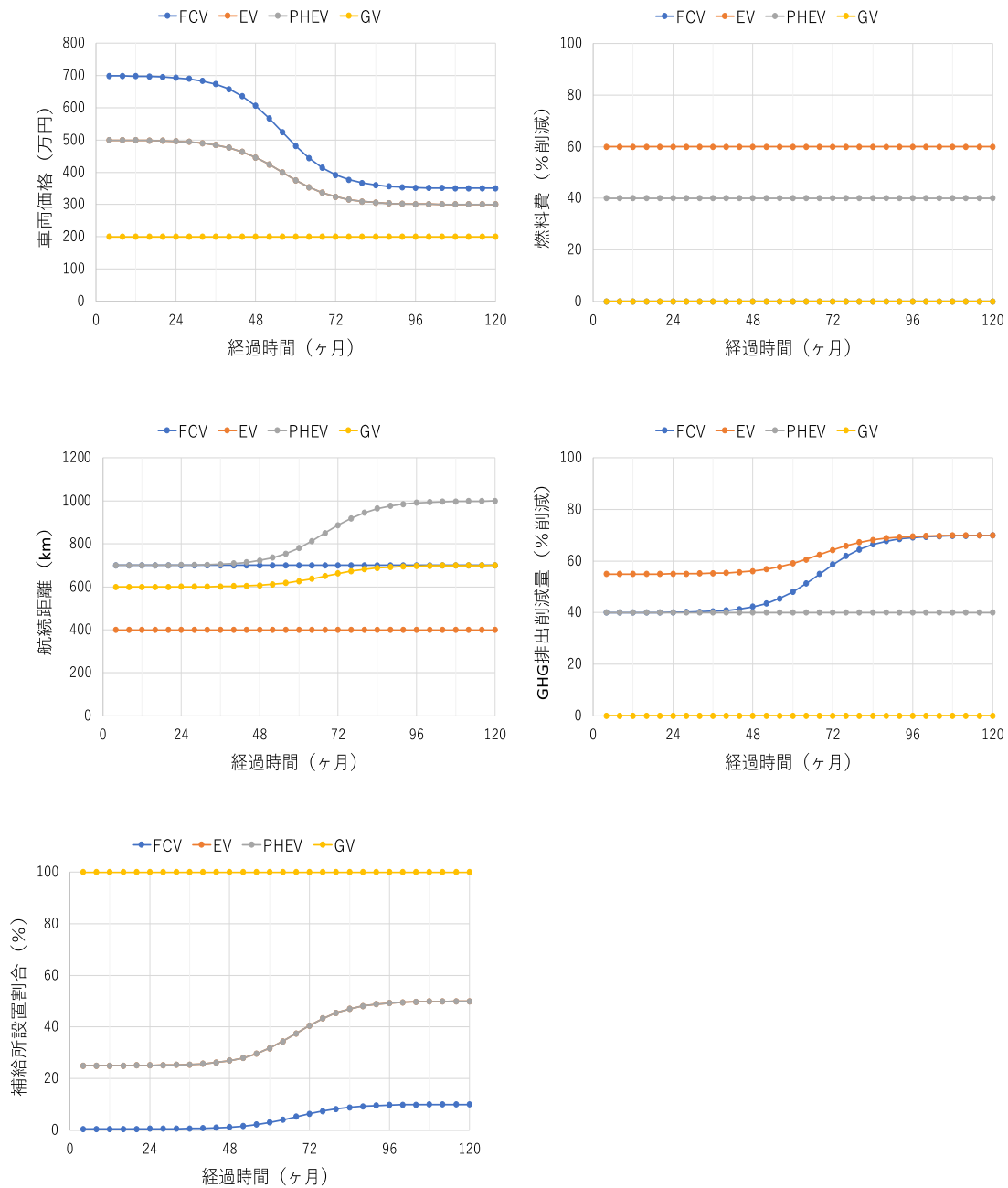


図3：各車種の属性水準値の推移（「シナリオ」）の設定

程の感度解析を可能にした。データ入力機能として、外部からの個人別属性データファイルおよび車両属性データファイルの読み込み機能を実装した。データ形式を時系列（例えば各車種の車両価格や燃費などの将来推移）とすることで、各要因の変化に対する普及過程の動的な分析を可能にした。また、データ出力機能として、各車種の選択者割合の推移、情報保有者割合の推移などのリアルタイム同時可視化・書き出し機能を実装した。

数値実験として、環境・エネルギー情報の保有が普及過程に及ぼす影響を見た。実験で用いた個人別属性データについて、前年度に実施した社会調査・実験から算定された、対照群

および処置群の各車両属性に対する限界効用値を表1に示す。対照群と処置群とを比較すると、処置群では燃費や補給ステーション設置割合といった走行性能に対する効用値が減少し、逆に環境性能である温暖化ガス排出削減量に対する効用値が増加した。これは環境・エネルギー情報の提供による影響と考えられる。また、車両属性データの将来推移について、本実験におけるシナリオを図3に示す。

一つ目の実験として、図4に示したシナリオ下で、消費者エージェントを全て対照群としたシミュレーションと全て処置群としたシミュレーションとを実行し、環境・エネルギー情報の保有が普及過程に及ぼす影響を見た。なお、ここでは情報の影響を明確に見るために、全消費者エージェントは初期状態としてガソリン車を所有するものとした。図4に両ケースにおける各車種のシェアの推移を、図5には120ヶ月経過時点における各車種のシェアをそ

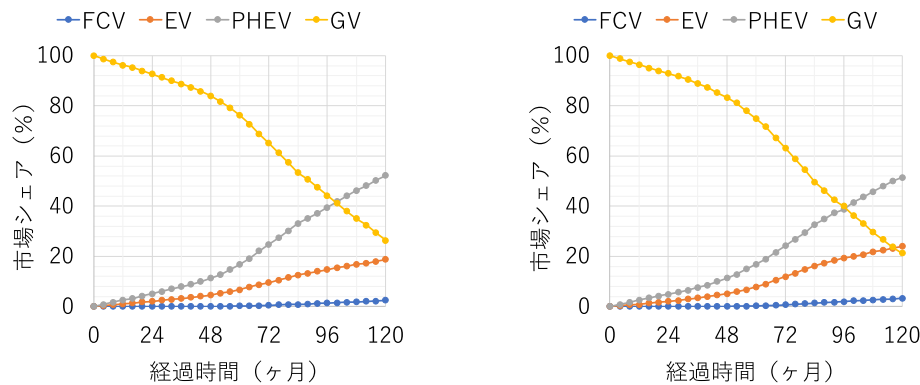


図4：各車種のシェアの推移（左：対照群，右：処置群）

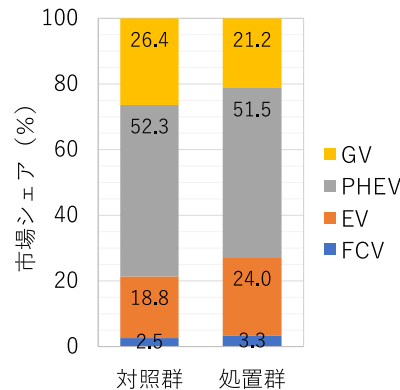


図5：120ヶ月経過時点の各車種のシェア

れぞれ示す。本シナリオ下では、シェア推移の定性的な傾向に大きな差異は見られなかったが、全消費者エージェントが処置群（環境・エネルギー情報を保有している）の場合に120ヶ月経過時点でガソリン車と電気自動車のシェアが逆転するに至っており、情報の認知が代替燃料自動車の普及を促進する効果を観察できた。

二つ目の実験として、まだ環境・エネルギー情報を保有していない消費者が、単位期間あたりに情報を認知する（それによって選好を変容する）確率を変化させた5つのシミュレ

ーションを実行し、10年後時点の市場シェアへの影響を観察した。一つ目の実験と同様に、全エージェントは初期状態としてガソリン車を所有するものとした。図6に、単位期間あたり情報認知確率の異なる5つのシミュレーションケースにおける、情報保有者割合の推移を示す。また、各ケースにおける120ヶ月経過時点における各車種のシェアを図7に示す。図7を見ると、各車種のシェアは、情報保有者割合が一定程度まで達するタイミング、各車両属性値の変化のタイミング、および各消費者エージェントの買い替え検討タイミングなどの兼ね合いの影響を受け、情報認知確率の増加に対して単調には変化しないことが見てとれる。今後の展望として、車両属性の技術革新や情報認知率等に対する普及の詳細な感度評価、政策効果の組み込みによる政策シナリオ別の普及過程の比較などが考えられる。

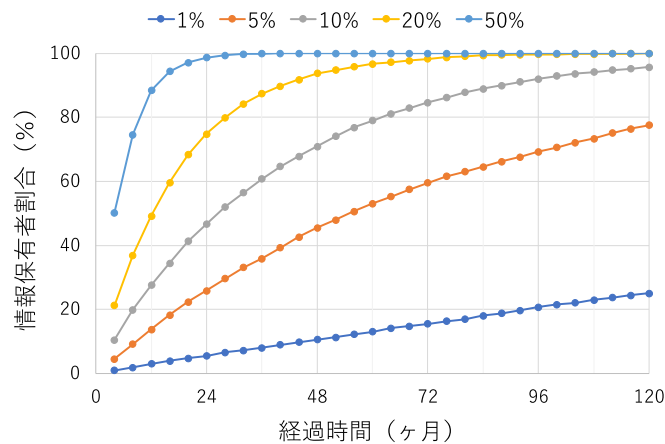


図6：情報認知確率別の情報保有者割合の推移

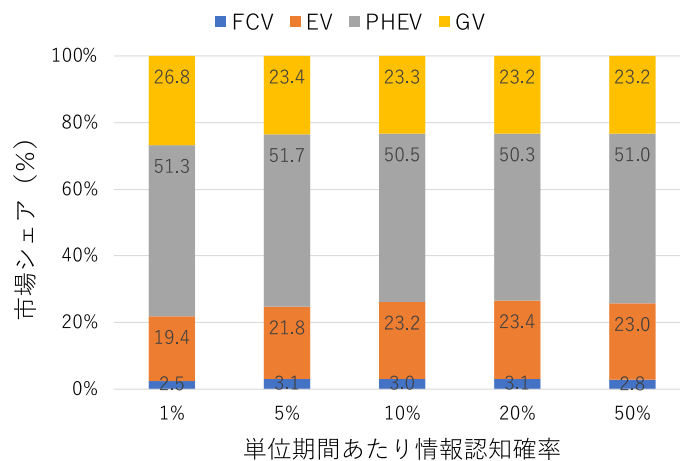


図7：120ヶ月経過時点の各車種のシェア

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

本年度の目標達成のため、「脱炭素化技術普及の経済分析モデルと実験手法の構築」, 「脱炭素化技術の普及過程シミュレーション」, 「省エネルギーシステム技術の社会的受容性の調査・分析と比較実験」のそれぞれの研究開発項目を遂行した。上記の成果において示したとおり, 本年度は, 省エネルギーシステム技術として太陽光パネルに注目し, 太陽光パネルと代替燃料自動車の社会的受容性に関する社会調査・実験と結果に対する統計分析, 普及過程シミュレーションモデルの構築と分析と概ね目標は達成されたものと考えている。政策担当者へのインタビュー調査においては, 政策担当者と本プロジェクト実施者それぞれが考える政策に貢献し得る研究内容について確認した。特に, 広報等の情報提供をベースとしたナッジがある場合, ガソリン車から電気自動車への乗換が今後10年間で約5パーセントポイントとなる結果を得た。情報提供をベースとしたナッジは, 行政コストが一般に低いと考えられるため, 費用対効果の点で有効な政策手段となる可能性がある。他方, 燃料電池自動車の普及予測に関する既存研究は少ない現状にあり, 今の条件下で燃料電池自動車は急激に普及する可能性は低いことを, 消費者の選好とシミュレーションによるエビデンスとして明らかにすることにも一定の意義がある。また, 将来, 太陽光パネル付きの戸建を考えている世帯においては, 代替燃料自動車は普及する可能性があるなど効果的なターゲティングに対して政策へ貢献し得ることが明らかとなった。次年度は, 本研究開発プロジェクトの最終年度であることから, 政策形成実践への貢献に向けて遂行することを考えている。具体的には, 省エネルギーシステム技術 (ZEHにおける) と代替燃料自動車に関する社会調査・実験を行い, 支払意思額等について分析し, ZEHに関わる省エネルギーシステムの選好と代替燃料自動車の保有との関係について明らかにする。また, シミュレーションモデルにより代替燃料自動車の普及に対する省エネルギーシステム保有の影響について分析・評価を行う。さらに, 本研究開発プロジェクトにおける成果の検証と評価を行うため, 政策担当者と議論を重ね, 政策への貢献に向けた成果の整理, それを受けての追加のシミュレーション等を行うことを考えている。

2 - 3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2021年4月5日	全体ミーティング	オンライン	本研究開発の今年度の内容や目標に関する打ち合わせ
2021年4月22日	全体ミーティング	オンライン	昨年度の成果の議論および整理に関する打ち合わせ
2021年4月23日	情報提供	オンライン	M S氏から政策評価の情報提供
2021年5月13日	グループミーティング	オンライン	シミュレーションモデル構築に関する打ち合わせ
2021年7月2日	グループミーティング	オンライン	シミュレーションモデル実装に関する打ち合わせ
2021年7月26日	グループミーティング	オンライン	シミュレーションモデルによる分析に関する打ち合わせ
2021年7月29日	全体ミーティング	オンライン	社会調査・実験の方向性に関する打ち合わせ
2021年9月2日	全体ミーティング	オンライン	実験結果とシミュレーションモデルの設定に関する打ち合わせ
2021年9月10日	グループミーティング	オンライン	実験結果とシミュレーションへの組み込みに関する打ち合わせ
2021年10月15日	全体ミーティング	オンライン	社会調査の質問項目に関する打ち合わせ
2021年10月20日	グループミーティング	オンライン	シミュレーションモデル構築に関する打ち合わせ
2021年11月1日	全体ミーティング	オンライン	社会実験の質問項目に関する打ち合わせ
2021年11月12日	グループミーティング	中京大学	シミュレーションモデル構築に関する打ち合わせ
2021年12月25日	グループミーティング	オンライン	シミュレーションモデル分析の結果に関する打ち合わせ
2022年1月18日	全体ミーティング	オンライン	社会調査・実験の質問項目構築に対する打ち合わせ
2022年2月18日	政策担当者ミーティング	オンライン	R F氏から情報提供(成果報告も含む)
2022年2月18日	全体ミーティング	オンライン	政策担当者の情報と今後の方向性についての打ち合わせ

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

特になし

4. 研究開発実施体制

(1) 実験・シミュレーショングループ

①高嶋隆太（東京理科大学，教授）

②実施項目

【4】脱炭素化技術の普及過程シミュレーション

経済分析モデル・実験手法構築グループの実施項目【2】で構築したシミュレーションの構成要素に関する数理モデルを組み込むことにより，脱炭素化技術の普及過程のシミュレーションのモデルを構築し，実装を行った。

【5】省エネルギーシステム技術の社会的受容性の調査・分析と経済実験

先行研究や昨年度の分析結果により，省エネルギーシステム技術，特に本年度は，太陽光パネルと代替燃料自動車の社会的受容性を測定するための社会調査の設計を行った。また，経済分析モデル・実験手法構築グループの実施項目【2】で設計した選択型実験を実施し，太陽光パネルの保有状況と支払意思額の関係について分析を行った。

(2) 経済分析モデル・実験手法構築グループ

①田中誠（政策研究大学院大学，教授）

②実施項目

【2】脱炭素化技術普及の経済分析モデルと実験手法の構築

実験・シミュレーショングループの実施項目【4】において構築するシミュレーションモデルに組み込むネットワークやエージェント等の特性に関する数理モデルの構築を行った。また，実験・シミュレーショングループの実施項目【5】の選択型実験における設計や支払意思額の推定方法の構築を行った。

5. 研究開発実施者

実験・シミュレーショングループ（リーダー氏名：高嶋隆太）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
高嶋 隆太	タカシマ リュウタ	東京理科大学	理工学部	教授
鈴木 正昭	スズキ マサアキ	中京大学	教養教育研究院	准教授
伊藤 真理	イトウ マリ	東京理科大学	理工学部	講師

経済分析モデル・実験手法構築グループ（リーダー氏名：田中誠）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
田中 誠	タナカ マコト	政策研究大学院大学	政策研究科	教授
根井 寿規	ネイ ヒサノリ	政策研究大学院大学	政策研究科	教授
伊藤 和哉	イトウ カズヤ	政策研究大学院大学	政策研究科	大学院生D4

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

特になし

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍, フリーペーパー, DVD

特になし

(2) ウェブメディアの開設・運営

特になし

(3) 学会 (6-4.参照) 以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・高嶋隆太, 域学連携による地域包括ケアシステムの構築, 千葉エリア産官学公金共創イノベーションネットワーク第1回産官学公金マッチングシンポジウム, オンライン, 2022年3月3日.

6-3. 論文発表

(1) 査読付き (0 件)

●国内誌 (0 件)

●国際誌 (0 件)

(2) 査読なし (0 件)

6-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議 1 件, 国際会議 0 件)

- ・高嶋隆太, 費用, 便益, そしてリアルオプションーリスクと不確実性への対応ー, 日本リアルオプション学会JAROS2021研究発表大会特別講演, 北海道大学・オンライン, 2021年11月27日.

(2) 口頭発表 (国内会議 0 件, 国際会議 0 件)

(3) ポスター発表 (国内会議 0 件, 国際会議 0 件)

6-5. 新聞/TV報道・投稿, 受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (0 件)

(2) 受賞 (0 件)

(3) その他 (0 件)

6-6. 知財出願

(1) 国内出願 (0 件)

(2) 海外出願 (0 件)