

日台若手研究者共同研究事業

(環境・エネルギーグループ)

研究成果報告書

1. 総論	1 頁
2. エネルギートランジションと日本：台湾とのエネルギー共同研究の意義 東京大学未来ビジョン研究センター 芳川恒志.....	9 頁
3. 日本・台湾における再生可能エネルギーおよび二酸化炭素除去に対する態度のオンライン調査 東京大学未来ビジョン研究センター 杉山昌広.....	26 頁
4. ゼロ・エミッション・ハウス (ZEH) の技術経済的評価 株式会社 Looop 渡邊裕美子	43 頁
5. RE100 イニシアチブが重視する信頼性高い再エネ属性トラッキングについて 一般社団法人 CDP Worldwide-Japan 高瀬香絵	67 頁
6. 日台における再生可能エネルギーへの市民の認識と導入要因の解明ー太陽光パネルを対象としてー 立命館アジア太平洋大学 山浦紘一.....	91 頁

【環境・エネルギーグループメンバー氏名】

- (1) 芳川恒志 東京大学公共政策大学院特任教授 ※グループ長
- (2) 杉山昌広 東京大学未来ビジョン研究センター准教授
- (3) 渡邊裕美子 株式会社 Looop 電力事業本部調達部戦略課課長
- (4) 高瀬香絵 一般社団法人 CDP world-wide Japan シニアマネージャー
- (5) 山浦紘一 立命館アジア太平洋大学国際経営学部准教授

【研究期間】2018 年 10 月～2021 年 3 月

1. 研究の背景・目的

日本と台湾は、地理的にも近接し、歴史的にも非常に深い関係にある。台湾は九州よりも若干小さい面積で、ここに日本のほぼ 20%にあたる約 2400 万人の人口が暮らしている。台湾本島のほぼ中央を北回帰線が横切っており、北が亜熱帯、南が熱帯地域となっている。また、全島の 3 分の 2 が高山や林地であり、台湾のほぼ中央にある玉山は標高 3,952m である。

エネルギーの面では、台湾は日本同様化石燃料の資源に恵まれず、自給率も非常に低い。日本と同じく、電力網も台湾で独立しており、他国とは連結していない。このような事情のため、エネルギー政策面では伝統的に安定供給と経済性を重視してきた。一次エネルギー供給をみると、石油、石炭、天然ガスの化石燃料の比率が日本以上に高く 90%以上を占めている。非化石燃料では、原子力が残りの多くを支えている。このような中、蔡英文民進党政権は脱原発に転換し、中央は再生可能エネルギーの拡大に注力しているが、比較的に炭素を排出しない天然ガスの輸入・利用が増加してきている。

このように日本と台湾は特にエネルギー需給やその環境の面で類似点が多い。また、2011 年の福島第一原子力発電所事故後、台湾は脱原子力に政策転換したが、安定供給確保の不安等からこれに反対する世論も強い。一方で、日本は原子力を維持しつつも再稼働は必ずしも予定された程には進んでいない状況にある。このようなことから、日台ともに再生可能エネルギーの導入拡大を急ぎつつ、現実的には過渡的な燃料として天然ガスの利用が増えている。また、日本同様、台湾においても石炭がエネルギーミックスの中で依然として重要な役割を果たしている点も共通している。

温暖化対策の面では、日本は、昨年 2020 年 10 月、菅総理が「2050 年カーボンニュートラル」を表明し、官民で脱炭素に向けた動きが急速に進んでいるところである。一方で、台湾はパリ協定のメンバーではないものの、「自国が決定する貢献 (Intended Nationally Determined Contributions, INDC)」を自主的に策定するなど、温暖化に対する市民の意識も高まっており、政策も脱炭素に向けて加速しつつあるところである。

かねて輸出が台湾の経済成長を支える主要な柱であり、産業構造については製造業を中心としたモノづくりが経済全体を支える構造も日本と共通する部分が多い。モノづくりの分野では、日本と台湾はともに中国やアセアン等の新興国・新興地域からの追い上げにさらされている。

今回の共同研究には、主として2つの目標がある。第一に、日本と台湾において脱炭素に向けた持続可能性の高いエネルギー需給構造の構築を目指し、脱炭素社会に向けた政策に必要な基礎的だが重要なデータやエビデンスを提供することを目指した。特に、今後脱炭素社会に向けた過程の中でますます重要となっていく市民や家庭、組織といった個々のプレイヤーに着目してそのデータ収集や分析を行った。第二に、日本と台湾は、エネルギー・環境の面で上記のように共通する部分も多いが、同時に気候条件や住宅、建築物のあり方、あるいは女性の社会進出の状況などの社会条件等相互に異なっている点もあり、エネルギー需要面でも差異があることなどが今回の共同研究を通じて明確になってきている。日本と台湾のこのような比較を十分に踏まえて、双方の強みを活かして、今後研究面のみならず経済や行政の分野でも一層協力関係を深化させていくためのベースの一つを提供することである。

2. 研究の手法

研究手法としてはエネルギー政策やそれに関わる項目に関する文献調査、一般市民を対象としたオンライン・アンケート調査、エネルギーモデルを用いたシミュレーション分析を組み合わせた。脱炭素の機運が高まる中、再生可能エネルギー、特に変動性である太陽光発電などを対象に研究を進めた。再生可能エネルギー全般に関して研究を進めたが、特に都市工学に関する造詣が深い台湾の研究チームとの相乗効果を考慮して、ゼロ・エネルギー・ハウス／ゼロ・エミッション・ハウス(ZEH)やゼロ・エネルギー・ビルディングに重きをおいた。

文献調査では日本と台湾のエネルギー政策の動向、特に気候変動や再生可能エネルギーに関する情報を公知情報に基づき整理した。再生可能エネルギーについては現時点の状況を踏まえた上で再生可能エネルギーの普及を促進する属性追跡システム（トラッキングのシステム）について日本と台湾の比較を行った。世界的に企業等が自身で購入し利用している電力を再生可能エネルギー起源であることを証明する証書システムのための基盤となる属性追跡システムが重要になってきているが、日本と台湾では発展途上にあるため、現状の制度や取り組みを整理し、今後の課題を明らかにすることとした。

オンライン・アンケートについては2組のアンケートを実施した。1組目は、2020年に実施したもので、ゼロ・エネルギー・ホーム、特に屋根設置型の太陽光発電を念頭に日本と台湾で消費者がどのような態度を示すかについて調査を行った。2組目はこれを踏まえた上で再生可能エネルギー全般及び脱炭素に必須になる二酸化炭素除去に関する態度を2021年にこちらも日本と台湾で調査した。どちらの調査においても選択実験を行い、消費者の支払意

思額に関する調査を行った。

シミュレーションでは台湾の研究パートナーの専門性を生かし日本と台湾でゼロ・エネルギー・ハウスにおいて蓄電池を設置することの経済性について詳細なデータを用いて検討を行った。東京大学生産技術研究所 ESI 社会連携研究部門（以下、ESI）が開発した、住宅エネルギーモデル、ESI Residential Energy Model (ESIRE モデル) を用いて、日本と台湾で電気料金体系や気候帯や生活様式に起因するエネルギー需要の違いを踏まえたシミュレーションを行った。

3. 研究成果

再生可能エネルギーの文献調査については、トラッキング・システムの課題が明らかになった。再生可能エネルギーの調達を積極的に行うことで、世界の脱炭素化を進展させる世界の大企業による RE100 イニシアチブでは、ただ再生可能エネルギーであればいいということではなく、どのような再生可能エネルギーを購入しているかが重要である。欧州の発電源証明、北米の REC、その他の国における I-REC など、信頼性の高いトラッキングが行われている国が増加する中、日本では、電源情報をあえて明示しない非化石価値証書が拡大している。一方、台湾では、中央が主導する T-REC が 2017 年に開始し、2020 年から取引市場も開設している。RE100 の要請により、2019 年から非化石価値証書にトラッキング情報をつける実証実験が資源エネルギー庁によって実施されている。トラッキングの重要性の認識が高まる一方で、シングルプライスオークション等、需要家側が安易に調達できる構造とはなっておらず、今後の改善が必要である。

オンライン・アンケート調査については、1 組目では、主に近年導入の進んでいる住環境における太陽光パネル導入に着目し、日本と台湾の消費者の太陽光パネル導入の要因を明らかにした。その結果、日本と台湾では共通して、ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディングの理解と太陽光パネルへの高い関心や情報収集が、太陽光パネル導入につながっていた。太陽光パネルに強い関心がある人々は、太陽光パネルを導入するための情報を熱心に収集しており、たとえ設置・維持コストがかかるとしても太陽光パネルの自宅への導入を決断していた。しかしゼロ・エネルギー・ビルディングに関する知識の有無が太陽光パネルの導入に強く影響していたことは新しい発見である。特に日本政府はゼロ・エネルギー・ビルディング政策を実施しているため、日本においては、よりゼロ・エネルギー・ビルディング政策を国民へ周知することが太陽光パネル導入増加につながるということは本研究で明らかになった新しい点である。台湾において、現在ゼロ・エネルギー・ビルディング政策は実施されていないが、今後ゼロ・エネルギー・ビルディング政策を進めることは台湾でのさらなる太陽光パネル設置増加につながると考えられる。

2 組目のオンライン・アンケートでは、ゼロ・エネルギー・ビルディングから離れより一般的に再生可能エネルギーについて調査を行った。再生可能エネルギーの支払意思額は比率を 10%増加させるのに日本では毎月の電気料金の 0.5%、台湾では 1.6%と見積もられた。

支払意思額は高くなく、本格導入には系統対策も含めたコスト低下が不可欠である。二酸化炭素除去についてはほとんどの回答者が知らず、アンビバレントな態度を示した。

シミュレーションについては、ゼロ・エミッション・ハウスの構成要素のうち、太陽光発電と蓄電池に着目し、その経済的価値を蓄電池運用決定問題として評価を行うことで、経済面からの蓄電池の導入可能性について考察することを目的とした。まず蓄電池普及の環境が整いつつある日本を対象として、住宅における蓄電池導入がどのようなメリットをもたらしうるのかを、導入サービスの提供者となり得る小売電気事業者の立場から検討した。現状の卸市場価格下においては小売電気事業者がこのようなサービスを積極的に行うための原資を得ることは、少なくとも平均的には困難であることがわかった。経済的メリット以外の効果にも遡及しつつ、削減効果が高い需要家の特徴を把握し、ターゲットを絞りながら事業展開してゆくことが重要と考えられる。

また、日本と台湾の電力使用量の相違を踏まえると、蓄電池の普及において経済面ではどのような差異が現れうるのかについて検討した。台湾の電力使用量は日本と比較し、暖房需要が非常に小さく冬の使用量が小さい、共働き世帯が多く日中の使用量が小さいといった違いがある。また、太陽光発電量は、本来日射量の大きい4～9月が雨季や台風の多い季節であることから、年間を通じた差が小さいといった特徴がある。ただし、年間トータルでは、日本と台湾の需要パターンが、蓄電池導入による経済効果に著しい影響はもたらしえていなかった。各々での蓄電池の普及は、買電価格・売電価格といった電気事業・再生可能エネルギー政策に左右されるところが大きいことがわかった。

4. 結論と提言

(1) 研究成果の日台における位置づけとインパクト

本研究では脱炭素という社会的潮流を踏まえて再生可能エネルギーに関して横断的に研究を行った。

脱炭素の加速とその影響が波及するセクターを振り返ると、今後大きく変化するコスト構造、社会、地政学の変化、さらには地方やNGOを含む新たなプレーヤーの登場を前提に、これまでに経験したことのないような長期的な意思決定とコミットが求められる。まさにパラダイムが変化することが予見される。このような新しく、いまだ全容の見えないルールの下での国際的な競争が始まっている。そのような前提でまず、課題の全容を見据えた作戦の策定と大衆の支持の獲得が不可欠である。同時に、同じ、あるいは同じようなルールで競争をする環境を構築すべきであり、カーボンニュートラルの船に多くの国を参加させる努力をしなければならない。

先述のように、我々は脱炭素に向けたグローバルな競争のとば口に立っている。この競争は当然エネルギー・環境の問題であり、産業や経済が中心である。日本と台湾は、エネルギー需給構造が似かよっており、のみならずモノづくりが経済全体を支えるという産業構造も共通点が多い。また、この脱炭素のプロセスは、経済にとどまらず社会や政治外交などに

も広範な影響を及ぼすだけでなく、新たに浮上してくる課題について新たな関係者が登場するだけでなく、その役割も変化してくる。脱炭素社会の実現といった長期にわたる挑戦を行う上では、市民をはじめとする多様な関係者の理解と支持が不可欠である。

日本や台湾においては、脱炭素エネルギー、とりわけ再生可能エネルギーの導入を一層進めコストを出来るだけ下げ、そういった再生可能エネルギーが主たる役割を果たすようなエネルギーインフラを構築して社会に定着させていくことが喫緊の課題である。そのためにも市民や法人等の電力のユーザーの意向を正確に把握することが極めて重要であり、この重要性は今後ますます高まっていくこととなろう。世界は脱炭素に向けて急速に進んでいるからである。

（２）提言と今後の展望

脱炭素社会の実現にはパラダイムの変化が求められる。それには個別具体的な政策に加えて、我々が今後どのような社会を目指すのかをしっかりと議論する良い機会にもなりうる。また、より政策決定過程におけるエビデンスの一層の重視、政策決定への関係者の参加など政策決定のあり方などについても見直す重要な機会となろう。いずれにせよ、こういった長期にわたる、経済を超える幅広い分野に影響を及ぼし市民を巻き込む「運動」を日本と台湾は政策として継続していかなければならない。同時に、脱炭素に向けた取り組みは長期にわたる広範な影響をもたらすものだからこそ、その政策決定は市民や関係組織を巻き込みつつ、以前にも増して透明なプロセスで実証的に進められなければならない。

経済面を考えると、エネルギーコストは少なくとも短期的には上昇するが、それをいかに受容していくのが重要である。日台ともにモノづくりが重要な粹割を果たしている。単にサービス産業に移行すれば済む問題ではないだろう。（国境炭素調整が適切な形で行わなければ）エネルギー価格が上昇することは競争力に深刻な影響を与える。また消費者の支払意思額も決して大きくはない。全世界的には再生可能エネルギーのコストが継続して低下しつつあるが、日本と台湾はその恩恵を100%受益していない。イノベーションをさらに加速して内外価格差を減らして行くことが極めて重要になるであろう。

各論について以下述べる。

トラッキングについては、台湾においては、2017年にスタートしたT-RECが2020年から電力と分離した証書の取引を開始したものの、対象は系統に入れていないオンサイト発電分に限られるなどの課題がある。日本においては、オークションによって取引される非化石価値証書に後付けでトラッキング情報をつける実証実験が資源エネルギー庁によって行われているが、構造が複雑であり、需要家は直接購入できず、かつどのような証書もシングルプライスとなってしまう課題がある。台湾・日本双方において、アドホックな規制に頼らず、市場メカニズムを通じた好ましい電源の発展につながる、つまり健全な選択を可能とする情報システムとしてのトラッキングの進展がまだまだ必要である。

ゼロ・エネルギー・ハウスについては、支払意思額が大きくなく、また平均的な技術経済

的条件ではペイしないことを考えると、経済的メリット以外の効果にも遡及しつつ、削減効果が高い需要家の特徴を把握し、ターゲットを絞りながら事業展開してゆくことが重要であり、ニッチを育てることが重要であろう。この点については再生可能エネルギーを系統電力として購入する場合も同じである。

最後に、日本と台湾はエネルギー需給の構造のみならず、実際の分析においても多数共通点があることが明らかになった。今後もこのような事業を通じて相互に研究交流することは、どちらにとっても政策のための科学的エビデンスの質を向上するのに大いに役立つであろう。

5. 研究成果一覧

(1) 雑誌論文

(2) 学会発表

1. 発表者（代表）名：Koichi YAMAURA

発表標題: Consumer Preferences toward Energy Mix after the Fukushima Nuclear Disaster in Japan

学会等名：Western Economics Association International

発表年：2019

概要：福島原発事故後の日本のエネルギーミックス（供給電源）別の消費者選択の分析を行った。その結果、現在の各家庭での電気代を維持するために原発の使用を許容する姿勢があるが、設置および維持コストを考慮しない場合は、消費者は再生可能エネルギーをできるだけ多く使用したい傾向になることが明らかになった。

2. 発表者（代表）名：XU Siyi・Masahiro Sugiyama・Koichi Yamaura・JU Yiyi

発表標題：Public Perceptions and Willingness-To-Pay for Zero Energy Houses in Japan

学会等名：環境経済・政策学会 2020 年大会

発表年：2020

概要：Zero energy houses (ZEHS) have gained global attention as many countries regarded it as an excellent solution to address climate challenges. However, very few studies attempted to analyze its public perceptions in Japan. This paper investigated the willingness to pay (WTP) of Japanese household for ZEHS and analyzed factors that influence public perception of solar panel technology, using a 1000-sample online survey questionnaire. The survey was conducted in late January and included both a discrete choice experiment and questions examining the public perception of solar installation. We found that Japanese respondents who live in detached houses generally show a lack of understanding of renewables and

that the level of interest in installing solar and WTP for the ZEHs are low. We also found that awareness on renewables such as knowing new energy policy and searching information on solar is the critical factor of the plans to install renewables, while most social-demographic and neighborhood variables seem not to influence it. Our study suggested that the government should strengthen education on renewables to promote ZEHs in Japan.

3. 発表者（代表）名：宁雨桐・武田桃子・菅沼敏幸・渡邊裕美子・蔡耀賢

発表標題：台湾住宅用電力シミュレーションデータの対日本比較と蓄電池導入効果のモデル分析

学会等名：第 37 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

発表年：2021

概要：The aims of this paper are twofold. First, we clarified the difference in residential electricity end use between Taiwan and Japan using Taiwan's housing simulation data and Japan's HEMS measurement data. Second, using the ESI Residential Energy model, we propose the analysis of the effect of introducing home storage batteries. For the latter analysis, we clarified the operation that combined solar power generation and home storage batteries showed the greatest effect. In conclusion, even if FIT price drops someday, it can still have a great effect on the electricity charge reduction with the combination we testified.

4. 発表者（代表）名：武田 桃子・菅沼 敏幸・渡邊 裕美子・岩船 由美子・森 裕子

発表標題：ESIRE モデルを利用した家庭用蓄電池導入による経済性の検証

学会等名：第 39 回エネルギー・資源学会

発表年：2020

概要：This paper presents the economic effect as a retail electricity provider by introducing a storage battery using a residential energy modeling and data of 1,914 houses. ESI Residential Energy Model developed by University of Tokyo is used. This paper calculates that if procurement cost and wholesale price are the current electricity market price, the introduction of home storage batteries will reduce the procurement costs of electricity providers by 10,000 yen per household annually. It will not bring any benefit to retail electricity providers. However, if the spread of renewable power generation has a large impact on the electricity market price in the future, the reduction effect may lead to expand. This paper also estimates the impact of introducing storage

batteries on electricity market prices. If storage batteries become more widespread in the future, electricity market prices may be smoothed and procurement costs may be reduced. Retail electricity providers need to verify both the possibility that the price difference between the electricity market prices will increase due to the spread of renewable energy and the possibility that the market price will be smoothed due to the spread of storage batteries.

(3) 図書

(4) 産業財産権（特許権、実用新案権、意匠権）

(5) その他

1) 解説

1. 著者名：高瀬香絵

標題：エネルギー属性トラッキング専門家会合 REC Market Meeting 2019 に参加して

雑誌名・巻号：エネルギー・資源 Vol. 40 No. 5 (2019) 376

発行年（西暦）：2019

掲載頁：376-378

概要：世界で唯一の再生可能エネルギー調達に関するトラッキング・システムの専門家グループ RECS インターナショナルが開催する年次会合「REC マーケットミーティング 2019」に参加し、そこで得られた知見を報告した。議論となっていたのは、長期電力購入契約（PPA, Power Purchase Agreement）といった相対で長期に再エネ属性も含めた再エネ電力を購入する契約方式が、発電側・消費側の双方にとって、「リスクを下げる」好ましいものである、ということであった。PPA についての発表を行ったシュナイダーエレクトリックは、PPA が、企業の評判を上げ、環境対策を進めるだけでなく、経済的にも、リスク的にも好ましいものであることを示していた。一方、PPA を組成するのに魅力的な市場の地図を出していたが、「とても魅力的な市場」「議論に値する市場」のいずれにも、日本は選ばれていなかった。

エネルギートランジションと日本

台湾とのエネルギー共同研究の意義

東京大学 未来ビジョン研究センター 芳川恒志

概要

台湾は、地理的にも近接しているだけでなく、エネルギー需給、政策や将来の課題などの面で日本と類似点が多い。例えば、温暖化に対する市民の意識も高まっており、政策も脱炭素に向けて加速しつつある。本共同研究では、このような状況を踏まえ、脱炭素社会に向けた政策に必要な基礎的なデータ等を提供しつつ、今後研究面はじめ様々な分野で協力関係をさらに深化させていくためのベースを提供することを目指した。本稿では本共同研究全体の背景を示す観点から、まず世界の状況を概観し、台湾の最近のエネルギー需給やエネルギー・温暖化政策の方向性に触れ、本共同研究の意義、位置づけや将来の課題などについて言及した。

1. 研究の目的と背景

日本と台湾は、地理的にも近接し、歴史的にも非常に深い関係にある。台湾は九州よりも若干小さい面積で、ここに日本のほぼ 20%にあたる約 2400 万人の人口が暮らしている。台湾本島のほぼ中央を北回帰線が横切っており、北が亜熱帯、南が熱帯地域となっている。また、全島の 3 分の 2 が高山や林地であり、台湾のほぼ中央にある玉山は標高 3,952m である。

エネルギーの面では、台湾は日本同様化石燃料の資源に恵まれず、自給率も非常に低い。日本と同じく、電力網も台湾で独立しており、他国とは連結していない。このような事情のため、エネルギー政策面では伝統的に安定供給と経済性を重視してきた。一次エネルギー供給をみると、石油、石炭、天然ガスの化石燃料の比率が日本以上に高く 90%以上を占めている。非化石燃料では、原子力が残りの多くを支えている。このような中、蔡英文民進党政権は脱原発に転換し、政府は再生可能エネルギーの拡大に注力しているが、比較的炭素を排出しない天然ガスの輸入・利用が増加してきている。

このように日本と台湾は特にエネルギー需給やその環境の面で類似点が多い。また、福島第一原子力発電所事故後台湾は脱原子力に政策転換したが、安定供給確保の不安等からこれに反対する世論も強い。一方で、日本は原子力を維持しつつも再稼働は必ずしも予定されて程には進んでいない状況にある。このようなことから、日台ともに再生可能エネルギーの導入拡大を急ぎつつ、現実的には過渡的な燃料として天然ガスの利用が増えている。また、日本同様、台湾においても石炭がエネルギーミックスの中で依然として重要な役割を果たしている点も共通している。

温暖化対策の面では、日本は、昨年 10 月菅総理が「2050 年カーボンニュートラル」を表明し、官民で脱炭素に向けた動きが急速に進んでいるところである。一方で、台湾はパリ協定のメンバーではないものの、「自国が決定する貢献（Intended Nationally Determined Contributions, INDC）」を自主的に策定するなど、温暖化に対する市民の意識も高まっており、政策も脱炭素に向けて加速しつつある。

かねて輸出が台湾の経済成長を支える主要な柱であり、産業構造については製造業を中心としたモノづくりが経済全体をささえる構造も日本と共通する部分が多い。モノづくりの分野では、日本と台湾はともに中国やアセアン等の新興国・新興地域からの追い上げにさらされている。

今回の共同研究には、主として 2 つの目的がある。第一に、日本と台湾において脱炭素に向けた持続可能性の高いエネルギー需給構造の構築を目指し、脱炭素社会に向けた政策

に必要な基礎的だが重要なデータやエビデンスを提供することを目指した。特に、今後脱炭素社会に向けた過程の中でますます重要となっていく市民や家庭、組織といった個々のプレーヤーに着目してそのデータ収集や分析を行った。第二に、日本と台湾は、エネルギー・環境の面で上記のように共通する部分も多いが、同時に気候条件や住宅、建築物のあり方、あるいは女性の社会進出の状況などの社会条件等相互に異なっている点もあり、エネルギー需要面でも差異があることなどが今回の共同研究を通じて明確になってきている。日本と台湾のこのような比較を十分に踏まえて、双方の強みを活かして、今後研究面のみならず経済や行政の分野でも協力関係を一層深化させていくためのベースの一つを提供することである。

2018年9月に本共同研究がスタートして以降、エネルギー・環境をめぐる世界の状況は大きくかつ急速に変化したといっている。脱炭素に向けての動きが抜本的に、グローバルなスケールで加速しているのである。特に、多くの国や地域が2050年までのカーボンニュートラルを表明し、時間軸を伴ったより具体的な議論が始まっている。いわば2年半前に本共同研究がスタートした際に想定したことが、想定よりもずっと早く到来しているのである。本稿では、今回の共同研究全体の背景を明確にする観点から、まず、このような日本と台湾のエネルギー・環境を取り巻く世界の状況にまず目を向け、次に、需給の状況やエネルギー政策・温暖化対策の方向性を日本のものをベンチマークとして想定しつつ比較検討し、最後に、エネルギー環境分野での本共同研究の意義や位置づけや将来の課題などについて検討することとする。

2. 共同研究をめぐる環境の変化¹

2.1. エネルギートランジション

このところ、エネルギーの世界では“Energy Transition”が大流行である。多くのエネルギーや地球温暖化に関するワークショップなどで主要なテーマに取り上げられている。

この要因としては、2015年のパリ協定から脱退を表明し、地球温暖化に懐疑的姿勢を崩さなかったトランプ大統領からグリーンなバイデン大統領への米国の政権交代が最も大きいと思われるが、時間軸を少しだけ広げてみると、例えば次のようなことも指摘されよう。まず、新型コロナウイルスの影響である。新型コロナウイルスの世界的な感染拡大により経済活動が後退しそれに伴ってエネルギー需要も大きく減少した。国際エネルギー機関

¹ この章のオリジナルは、公益財団法人日本国際問題研究所の「経済・安全保障リンケージ」研究会の成果物の研究レポートである。オリジナル版はこちら

<https://www.jiia.or.jp/column/post-51.html>

(IEA) によれば、2020 年は対前年比 4%以上の減少で、過去 100 年で比べても、第一次世界大戦とスペイン風邪の時期、大恐慌、第二次世界大戦などに次ぐ大きなエネルギー需要後退となった²。このエネルギー需要の減少をエネルギー源ごとにみると、石炭等の化石燃料はより大きく減少し、再生可能エネルギーについてはむしろ増大している。原子力はその中間で、減少しているもののその減少幅は小さい³。世界的なコロナ禍で、エネルギーのグリーン化が進んでいたのである。このことは、CO₂ 排出を見ると分かりやすい。2020 年は CO₂ 排出量の減少幅がエネルギーのそれよりも大きく、まさに歴史的な CO₂ 排出減の一年となっている。

第二に、このことと関連して昨年の中半くらいから、エネルギーのコロナショックからいかに回復するのかという観点から、“Sustainable/Green Recovery”が言われている⁴。ただ単にコロナ以前のエネルギー需給構造に復するのではなく、より脱炭素に向けたものに転換するように政策誘導すべきだとの議論であり、このため、議論される政策の範囲も従来のエネルギー政策を超えて労働など経済政策一般に踏み込むものとなっている。また、そのような政策をできるだけ各国足並みをそろえて実施することが望ましいとの含意もある。

第三に、昨年 9 月の国連総会で習近平中国国家主席が表明した「2060 年カーボンニュートラル」の影響である。中国は世界最大の CO₂ 排出国で、2017 年世界全体の排出量の 28.2%を占めている（ちなみに米国 14%、印 6.6%、日本 3.4%）。これまで温暖化対策にさほど熱心とは思われていなかった中国が 2060 年とはいえカーボンニュートラルを表明するのは大きなインパクトがあった。この表明自身が米国の大統領選挙をにらんだものであったと思われるが、世界最大の CO₂ 排出国が 2060 年とはいえカーボンニュートラルを表明した意義は大きい。実現のための具体的な道筋や政策は本年発表される次期五か年計画において明らかにあるであろうが、2030 年前後に CO₂ 排出のピークをうち、様々な規制措置と炭素価格の活用等の市場機能を活用することで達成するといわれている。なお、経産省資料によれば、昨年 12 月の時点で世界で 2050 年カーボンニュートラルにコミットしているのは、123 か国と 1 地域である。

² IEA は 1900 年から 2020 年までの 120 年間の世界の一次エネルギー需要とエネルギー起源の炭素排出量の推移を示している。Global energy and CO₂ emissions in 2020 – Global Energy Review 2020 – Analysis - IEA)

³ 脚注 2 と同じ

⁴ 例えば、IEA は、昨年初め、雇用を維持し、経済を活性化させると同時に回復力があり持続可能なエネルギーシステムの構築を目指すべきとしている。A sustainable recovery plan for the energy sector – Sustainable Recovery – Analysis - IEA)

我が国の菅総理が臨時国会の冒頭の所信表明演説で 2050 年のカーボンニュートラルを発表したのはそのほぼ一か月後である。おそらく、米国バイデン新政権がスタートしその地球温暖化政策が出る前の最後のタイミングであった。

最後に、民間企業の動きである。近年 ESG 投資に代表される世界の企業の動きも進んでいる。GAFA に代表されるグローバルな大企業がグリーンなエネルギーの調達に関心を持ち、宣言し、しかも同様のことをサプライチェーンにある他の企業にも求めているのである。こういった影響力のあるグローバル企業の主導により国境を越えてグリーン化の動きが加速している。

2.2. 21 世紀のエネルギー

直近の動きは上記に記したとおりであるが、現在のエネルギーの需給構造やエネルギー政策の方向を理解するために、過去 20 年のエネルギーをめぐる主要な動きを振り返ってみよう。

まず、エネルギーの需要国・地域の変化である。エネルギーの 21 世紀は新興国、とりわけ中国の急速なエネルギー需要の拡大とともに始まったといっている。国際原油価格をみると、2000 年以降 2008 年 7 月に過去最高価格を付けるまで、多少の下落はあったものの基本的には一貫して上昇した。もともと国際エネルギー機関（IEA）は 1973 年の第一次石油ショック後に石油輸出国機構（OPEC）に対して消費国の集まりとして発足（1974 年）した経緯があり、当時は加盟国だけで世界のエネルギー需要の半分以上を占めていたが、今や需要の中心は中国やインド、アセアン等の新興国に移っている。

第二に、エネルギー分野でのイノベーションであり、主としてエネルギーの供給面で大きなインパクトを与えたものである。その一つがいわゆる 2005 年以降顕著になる「シェール革命」だ。これは原油やガスの採掘現場でのいわば地味な技術革新であるが、もたらしたインパクトは非常に広範でかつ大きかった。これによりアメリカは世界最大の原油輸入国から 2020 年代初めには輸出国になるといわれており、天然ガスについては既に輸出が開始している。シェール革命により米国はエネルギーの自給をほぼ達成し、その結果外交・安全保障面でも自由度が格段に大きくなっている。また、安価な天然ガスにより石炭から天然ガスへの燃料転換が進み、CO2 排出量が減少してきている。

イノベーションの二つ目が再生可能エネルギーのコストダウンと再生可能エネルギーによる発電の拡大である。とりわけ太陽光や風力といった変動(variable) 再生可能エネルギーについて顕著で、例えば、IEA によれば、太陽光については 2009 年からの 10 年間でコストが 3 分の 1 以下となっている。それに伴い、今や世界で建設される発電所の半分以上は再生可能エネルギーによるものである。

第三に、2011 年の福島第一原子力発電所事故とその影響だ。日本においては、事故に伴う全国の原子力発電所の停止等に伴って、いわゆる 3 つの E、エネルギー安全保障、環境、経済性がすべて悪化しただけでなく、その後のエネルギー政策の大きな足かせとなるなど甚大な影響を与えた。パリ協定等を契機に脱炭素に向けて準備すべき時期に福島事故の影響からの回復に集中する必要があったのである。また、同事故により、ドイツ等国では脱原子力に転換するところもあった。台湾もその一つである。主流の大型軽水炉の安全コストが新たに加わり、また工期の遅延等により経済性にも深刻な影響を与えた。

同事故により、いくつかの国では原子力発電からフェーズアウトが見られた。また、主流であった大型の軽水炉に対する安全コストが新たに加わってきたこと、工事が延期していること等により経済性も下がることとなった。先進国では大型軽水炉による原子力所は現実的なエネルギーの選択肢ではなくなったと思われるのである。

第四に、パリ協定とその影響である。パリ協定は、COP21（2015 年）において京都議定書の後を継ぐ枠組みとして、2020 年以降の温室効果ガス排出削減等のための新しい国際的枠組みとして採択されたものである。世界共通の長期目標として、今世紀末に産業革命前に比べ 2 度上昇に抑える目標を設定し、さらに 1.5 度を追求すること、すべての国が削減目標を 5 年ごとに提出し更新すること、適応の長期目標を設定することなどをその内容とする。

第五になるが、IEA も指摘している通り、エネルギーの中での電気の占める重要性がますます高まっていることである。

2.3. エネルギートランジションの意味

エネルギートランジション、すなわち 2050 年カーボンニュートラルに向けた取り組みは、エネルギーや経済活動を超え、社会のあり方から個人や組織の行動様式、社会インフラのあり方、意思決定など様々な分野での変容を不可避免的に伴うプロセスでなければならない。

2.3.1. エネルギー・産業・経済

昨年 10 月の臨時国会における所信表明演説においても、菅総理は「世界のグリーン産業をけん引し、経済と環境の好循環をつくり出す」と述べたように、カーボンニュートラルは主としては経済の問題であろう。今ある技術だけでは対応ができないことからイノベーションも当然主要な要素になる。「グリーン成長戦略」（2020 年 12 月）⁵では、「こう

⁵ 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2020 年 12 月 25 日）
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>

した「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略」としている。
しかしながら、経済・産業だけの問題ではない。

2.3.2. エネルギー・産業・経済以外の分野

世界ではもっと幅広い議論がなされているようである。例えば、2019 年ではあるが、国際再生可能エネルギー機関（International Renewable Energy Agency, IRENA）では“A New World-Geopolitics of Energy Transformation”という報告書を発表し、再生可能エネルギーの広がり世界に及ぼす地政学への大きな影響を示している⁶。そこでは、従来化石燃料が富の配分や安全保障に大きな影響を与えてきたことを踏まえ、化石燃料と再生可能エネルギーを対比し、偏在性が根本的に違うこと、ストック型からフロー型になること、コスト、特に太陽光や風力は限界費用が限りなくゼロに近いこと、デジタル技術と相まって分散化と親和性が高いことなどが指摘されている。

これは脱炭素が及ぼす地政学への影響であるが、カーボンニュートラルが実現するような社会では、意思決定に参画する個人や組織の役割なども変わってくるであろう。先述のとおり、脱炭素社会で中心的な役割を果たす再生可能エネルギーは分散化と親和性が高く、従来の中央で管理される電力供給システムに代わり、地域におけるプレーヤー、地方自治体、NGO、個人等の役割が大きくなることが予想される。また、より透明で民主的な意思決定もその前提として必要である。

このように、脱炭素社会では、現在以上に個人や個々の組織が重要になってくると思われる。社会の参加者の意識や行動がより意味を持ってくるのである。そうだとすると、このような個人や組織の脱炭素をはじめ様々な社会問題に対するリテラシーを向上させ、参加意識や問題意識、関心を高め、また、目指すべき未来社会のイメージやそのための政策に対する支持が必要である。

2.4. 日本と世界の動き

日本では、菅総理のカーボンニュートラル 2050 の表明を受けて、すでにいろいろなことが動き出している。政府においては 2020 年末には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」等が策定されているし、日本経済団体連合会は、同年 12 月、「経済界の決意とアクション」として、「政府とともに 不退転の決意で取り組む」ことを表明し

⁶ International Renewable Energy Agency, A New World-Geopolitics of Energy Transformation, January 2019, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf（日本語版：「新たな世界—エネルギー変容の地政学—」 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019_JP.pdf?la=en&hash=AE4E07D65C28E13ED0C95B210E7E5D5D4CA36FB3

た⁷。国内的には総じて好意的に受け止められている。国際面では、今後脱炭素の動きを加速するような様々なイベントが予定されている。EU が導入を発表している国境調整措置をめぐる議論も始まっているし、カーボンニュートラルに関する国際標準化機構（ISO）の策定も進んでいる由である。このようにカーボンニュートラルをめぐる様々な国際的な動きやルールメイキングが本格化しようとしている。

ただ、決して簡単な課題ではない。いくつかの考慮要因を挙げておきたい。

まず、改めて言うまでもなく、カーボンニュートラルはグローバルな課題である。先述のように、世界で 2050 年カーボンニュートラルにコミットしているのは、123 か国と 1 地域だが世界の CO₂ 排出に占める割合は未だ 23.2%だ。中国と米国という 2 大排出国は含まれていないし、第 3 位インドや、ロシア、ブラジル、豪州などの主要国、インドネシアを含む東南アジア諸国連合（ASEAN）の多くもまだだ。今後このまま 2 つの、あるいはいくつかのグループに分かれていくのか、あるいはカーボンニュートラル 2050 に収れんするのかは、現時点では何とも言い難い。

次に、IEA はじめ多くの研究機関が指摘しているところであるが、そもそもパリ協定の 2 度目標を達成するのは非常に難しいと思われていた。IEA によれば、パリ協定による自国が決定する貢献（INDC）をすべて勘案しても 2 度上昇に収まる軌道とは大きくずれていたというのが認識であり、現実であったのである。カーボンニュートラル 2050 は、この目標よりもさらに厳しく時間も半分以下しかない。なお、国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の「1.5 度特別報告書（Global Warming of 1.5°C）」（2018 年）によれば、既に世界の平均気温は産業革命前と比べ約 1 度上昇していて、現在の活動が続けば早ければ 2030 年には 1.5 度に達する由である⁸。

このような中で、日本は明確に宣言した。いうまでもなく、中心となるエネルギーは国家の基本戦略で、とりわけ日本は資源に乏しく、大戦の経験も含めエネルギーは日本の大きな制約要因だった。福島第一原子力発電所事故とその後の日本のエネルギー供給をめぐる大混乱からは 10 年が経過したが、その後も 2018 年 9 月には北海道でブラックアウトが

⁷ 一般社団法人 日本経済団体連合会「2050 年カーボンニュートラル（Society 5.0 with Carbon Neutral）実現に向けて一経済界の決意とアクションー」（2020 年 12 月 15 日）
<https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/123.html>

⁸ The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018: *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

発生した。1970 年代の石油ショックの影響もことのほか大きかったが、エネルギー問題は依然日本にとって大きい。特に日本には原子力をどうするのかという問題も残されているし、化石燃料からの転換が相当に困難な分野、例えば航空機燃料、鉄鋼業などもある。このような事情を勘案すると、日本においては目標の達成はとりわけ困難だと言わざるを得ない。ただ、このカーボンニュートラルへのパスは、エネルギー安全保障を高めることと完全に一致するわけではないにしても方向性としては同じであるだけでなく、上手にマネージすれば、経済性を含め 3 つのいずれにも貢献するものだ。

2.5. 挑戦

それではどうしたらいいのか。

今後大きく変化するコスト構造、社会、地政学の変化、さらには地方や NGO を含む新たなプレイヤーの登場を前提に、これまでに経験したことのないような長期的な意思決定とコミットが求められる。まさにパラダイムが変化するのだ。こういう新しくいまだ全容の見えないルールの下での国際的な競争が始まっている。そういう前提でまず、課題の全容を見据えた作戦の策定と国民の支持の獲得が不可欠だ。同時に、同じ、あるいは同じようなルールで競争をする環境を構築すべきであり、カーボンニュートラルの船に多くの国を参加させる努力をしなければならない。

経済面を考えると、エネルギーコストは当然上昇するが、それをいかに受容していくのが重要である。日台ともにモノづくりが重要な枠割を果たしている。単にサービス産業に移行すれば済む問題ではないだろう。エネルギー価格が上昇することは競争力に深刻な影響を与える。

これから経験することはパラダイムの変化だ。我々が今後どのような国家を目指すのかをしっかりと議論するいい機会でもある。また、より政策決定過程におけるエビデンスの一層の重視、政策決定への関係者の参加など政策決定のあり方などについても見直す重要な機会となろう。いずれにせよ、こういった長期にわたる、経済を超える幅広い分野に影響を及ぼし市民を巻き込む「運動」を政府は政策として継続していかなければならない。

3. 台湾のエネルギー・環境をめぐる状況—日本から視点を踏まえて—

3.1. 日本と台湾での大停電

日本と台湾はともにユーラシア大陸の東沿岸の海上に位置し、沖縄の与那国島は台湾から東 100KM 強の距離にある。日本の 10 分の 1 の面積に、日本の約 5 分の一の人口が暮ら

している。台湾は全島の面積のうち3分の2が高山や林地で、日本と同様、化石燃料等のエネルギー資源に乏しく、1970年代の石油ショック時には大きな影響を被った。

エネルギー需給やエネルギー政策の方向性についても日本と台湾は総じて似通っているが、2011年の福島第一原子力発電所事故以降、台湾では脱原子力を選択し、再生可能エネルギーにより注力している。日本と台湾のエネルギー需給やエネルギー政策の概要を以下比較するが、まずその導入として、日本と台湾は奇しくも福島事故後ともに大きな停電を経験しているので、まずはこれを振り返ってみたい。

キャノングローバル戦略研究所段主任研究員の考察⁹によれば、概要は次のようなものであった。2017年8月、台湾で大規模な停電が起り、対象地域の全世帯の半数にあたる668万世帯に影響を与え、復旧までに5時間以上を要した。停電の原因は、発表によれば、発電所の燃料供給会社従業員の不注意によるミスにより天然ガスの供給が一時中断したためとのことであった。では台湾の電力システムがなぜこのような単純なミスで崩れてしまうような脆弱性をもつようになったのかだが、それはエネルギー政策に理由があると考えられる。台湾は、2011年の福島第一原発事故の影響で脱原発政策に転換し、さらに民進党政権の下で2016年、「2025年原発ゼロビジョン」が打ち出された。もともと2008年に策定された基本政策では、石炭から天然ガスへのシフトと同時に、再生可能エネルギーと原子力の一次エネルギーに占める割合を2007年の9%から2025年に18%に引き上げることが明記されていた。しかし、このビジョンにより天然ガス50%、石炭30%、再エネ20%の電源構成を目指すことになった。このため原子力発電所は大規模停電の時点で全体の半数である3基しか稼働していない状況であった。天然ガス発電所建設が遅れていたこともあり、発電設備容量が増えたのは風力と太陽光だけで、その結果、天候の影響に左右される不安定な電源の割合が増えたことで予備容量が少なくなり、予備率の低下につながったのである。この大停電は、環境性を追及するあまり、安定性がおろそかになった事例だとも言えるのである。

一方で、日本においても、台湾の約一年後、2018年9月6日最大震度7を記録した北海道胆振東部地震が引き金となって北海道全域でブラックアウトが発生した。このブラックアウトでは、最大約295万戸が停電し、99%が停電から復旧するまで約2日を要した。経済産業省「電力レジリエンスワーキンググループ」による中間とりまとめ¹⁰や電力広域的運営推進機関による「平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員

⁹ 台湾の大停電をもたらすエネルギー政策に関する考察 | キャノングローバル戦略研究所 (cigs.canon) https://cigs.canon/article/20170829_4458.html

¹⁰ 経産省ホームページ参照

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/20181127_report.html 最終アクセス 2021年3月26日

会」による報告書¹¹などが発表されているが、それらによれば、地震発生からの17分間、いくつかの要因が絡み合ってブラックアウトが発生したとされている。すなわち、地震発生直後、この時点で稼働していた苫東厚真火力発電所2号機と4号機が停止し、その後風力発電所と水力発電所が、さらに苫東厚真火力発電所の1号機が停止するに及んでブラックアウトに至った。このように供給力が徐々に失われた結果としてブラックアウトとなったのである。北海道の電力需要が他の地域と比べて小さく、泊原子力発電所の再稼働が進まない中、苫東厚真火力発電所からの電力に大きく依存していたこと、地震の震源地が同発電所に近かったために危機が損壊したことが主要な原因として指摘されている。

このように、最近でも電力の安定供給が課題となるような出来事が日本と台湾で生じている。日本と台湾は、福島第一原子力発電所の事故後、原子力発電の役割や将来展望が不透明な状況にあった。2015年のパリ協定後脱炭素に世界が徐々に動き始め、日本・台湾とも再生可能エネルギーの導入拡大を急ぐ中で生じたもので、エネルギー需給やエネルギー政策の過渡期にあっても安定供給の重要性を改めて想起させる出来事となった。

3.2. 台湾のエネルギー需給状況、政策と課題

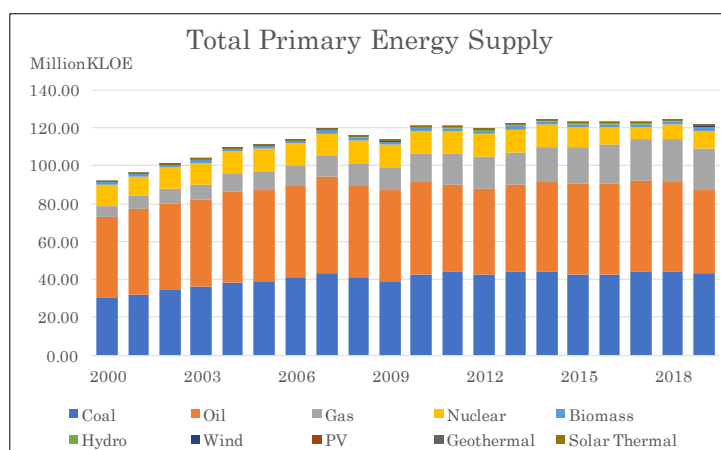
3.2.1. 一次エネルギー供給

2000年から2019年までの台湾の一次エネルギー供給の推移をみてみよう。まず、2000年からリーマンショック時（2008年）前までは一貫して増加していたが、2008年と2009年の2年間後退したのち、2010年からはほぼ同じ水準で推移している。この間台湾経済は世界平均を上回る成長を継続してきたことから、2010年代はエネルギー効率が継続して改善されてきた時期ともいえる。第二に、これまで台湾のエネルギー供給は化石燃料、特に石炭と石油に過度に依存してきたことが分かる。2019年においても、石炭を含む化石燃料が一次エネルギー供給に占める割合は9割を超え、これは2000年以降ほぼ同じレベルで変わっていない。日本も化石燃料への依存度が高いが、台湾はそれ以上である。第三に、化石燃料は輸入に依存していることから、エネルギーの自給率も過去一貫して非常に低いことになる。第四に、化石燃料の内訳をみると、2000年からの10年間は石炭が増加基調で、以降ほぼ同じ水準で推移している。石油については2000年以降多少の増減はあるものの、一貫してほぼ同量の供給が続いている。一方で天然ガスは増加している。2000年から2019年を比較すると約3倍となっている。最後に原子力であるが、2016年脱原子力に政策転換する前、馬政権下で90%まで建設が進んでいたといわれていた第四原子力発電所の計画を凍結した2014年をピークにその後2017年まで減少に転じている。2017年は先述の大停電が起きた年であるが、2018年以降再び増加傾向にある。

¹¹ 電力広域的運営推進機関ホームページ参照 https://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido_kensho/
最終アクセス 2021年3月26日

このように、現在までの台湾のエネルギー供給構造を検討すると、過度の化石燃料依存とそれに伴う自給率の低さが大きな課題であり、これに対して、台湾は省エネ・エネルギー効率の改善、化石燃料の中でも CO2 排出量の少ない天然ガスへの転換で対応しようとしてきたことが分かる。また、数字には顕著に表れていないが、再生可能エネルギーの導入促進も大きな課題である。とりわけ脱原子力を選択していることから、脱炭素社会実現に向けて再生可能エネルギーに対する期待が大きい。

一次エネルギー



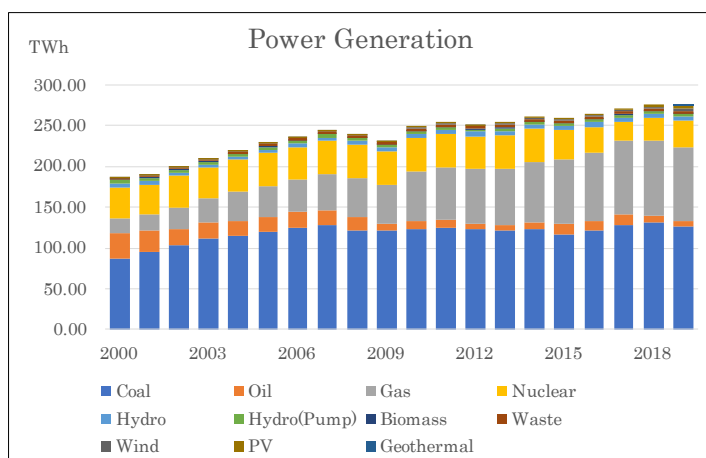
Data source: Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs

3.2.2. 電源構成と発電設備容量

台湾の電源構成と発電設備容量の推移についてもチェックしておこう。

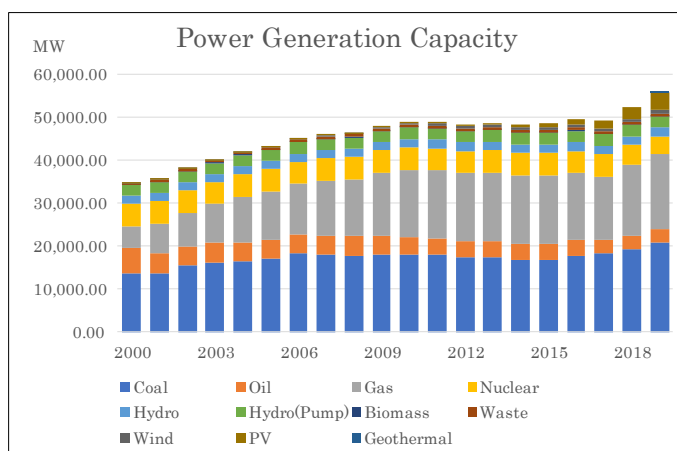
まず、一次エネルギー供給と異なり、電源構成の推移をみると、電力供給は、リーマンショックの影響があった時期（2008年から2009年）を除き基本的に現在まで増加基調で推移している。発電設備容量でみると、2010年までは増加し、その後同じ水準で推移したのち、2018年から再び増加している。第二に、化石燃料の占める割合は、一次エネルギーの場合よりは小さく約8割である。しかし電源構成に占める化石燃料の割合は2000年と比べると大きな変化はない。発電設備容量においてもほぼ同様である。第三に、化石燃料の内訳をみると、石炭が中心となっており、割合は小さくなりつつあるものの、総量では同じレベルで推移している。すなわち、電力供給の増加分と原子力の減少分を補ってきたのは主として天然ガスで、2000年以降一貫して拡大してきている。さらに、発電設備容量において顕著だが、太陽光を中心とする再生可能エネルギーが近年急速に増加してきていることが分かる。

電源構成



Data source: Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs

発電設備容量

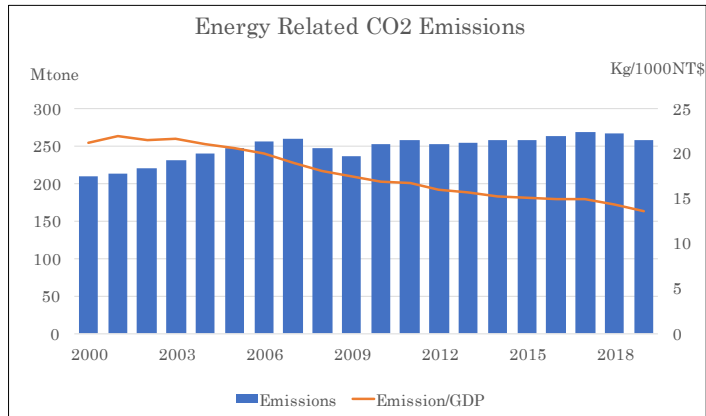


Data source: Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs

3.2.3. CO2 排出量

台湾のエネルギー起源 CO2 排出量の推移をみると、2000 年から 2007 年まで増加し、その後 2 年間減少したのち、2009 年からは増加基調ではあるもののほぼフラットで推移している。特に、2018 年と 2019 年は対前年比減少している。一方で、経済成長(GDP)に対する CO2 排出量をみると、2003 年以降一貫して減少してきている。これは、石炭の増加が抑えられており、増加分をより CO2 排出の少ない天然ガスで補ってきていること、先述のように経済のエネルギー効率が一貫して向上してきていること等が大きく貢献していると思われる。

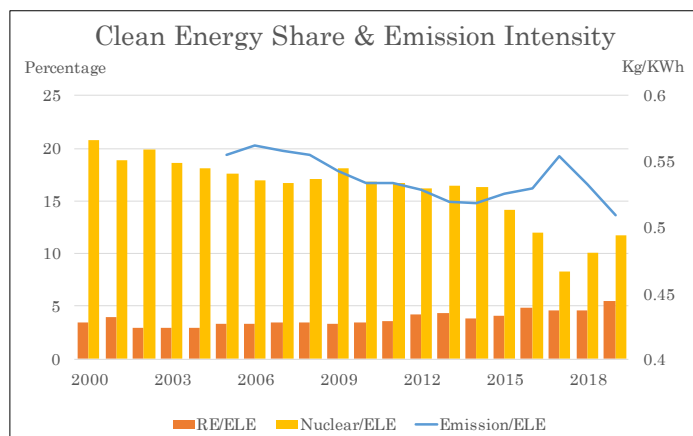
エネルギー起源CO2排出量



Data source: Energy Statistics Handbook 2019

また、エネルギーのうち電力に絞って原子力を含めた非化石燃料電源（クリーン電源）の推移をみると、第四原子力発電所建設を凍結した 2014 年以降原子力が減少し、大停電が起こった 2017 年を底として 2018 年と 2019 年は対前年比で原子力が伸びていることが分かる。再生可能エネルギーは最近増加傾向にあるがそのレベルはまだ大きくない。電力起源の CO2 排出量の推移をみると、2014 年以降上昇し、大停電の 2017 年から原子力が拡大するにしたがって CO2 排出量も減少している。再生可能エネルギーによる発電量が依然低水準にある中、原子力の活用如何が CO2 排出量に大きな影響を与えることが分かる。

クリーン電力割合と発電排出原単位



Data source: Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs
Energy Statistics Handbook 2019

3.2.4. エネルギー政策の動向

(1) 概観

1970年代の石油ショック以降、台湾はエネルギー政策上安定供給と経済性を重視してきた。1980年代に入り、加えてエネルギー効率（省エネルギー）にも配慮するようになり、さらに1990年代後半以降いわゆる3つのEのバランスを重視するようになった経緯がある。2005年には「持続可能なエネルギー政策綱領」が発表され、3つのEをベースとし、CO2排出削減を導入し、エネルギー効率の向上、対外依存の低減等を目指すとされた。その後、2008年、「国家省エネ炭素排出削減総計画」が定められ、2008年以降年率2%の省エネ、CO2排出では2020年に2005年レベル、2025年に2000年レベルへの削減が目標として設定された。2009年には再生可能エネルギーの導入促進のために固定価格買取制度(FIT)がスタートしている。さらに、2012年「エネルギー発展綱領」を定め、3つのEに立脚しつつ、省エネ、温室効果ガス削減等とともにグリーンエネルギー産業の育成やエネルギーの地産地消などにも言及した政策パッケージを定めている。

(2) 原子力政策

2011年の福島第一原子力発電所事故後、台湾においても原子力発電に対する市民の不安が高まり、反原発運動が盛り上がりを見せた。先述のとおり、2014年には当時の国民党政権下、ほぼ完成していたとされる第四原子力発電所計画を凍結するに至った。その後、2016年脱原子力発電を公約に掲げる蔡英文氏が総統に就任し、その後電気事業法を改正し、2025年までに原子力発電からフェーズアウトすることを定めた。

このような時期に生じたのが、先述の大停電である。もともと原子力発電に関しては、国民党は推進、蔡英文総統率いる民進党は反対をそれぞれ掲げていた。原子力政策そのものが主要な政治争点であるという背景もあって、その後も世論は揺れ続けているようである。例えば、2017年の脱原子力を決めた電気事業法の改正から一年後、2018年、再度同法が改正されたが、その際に、2025年までにすべての原発を停止させることを定めた同法95条は廃止され、蔡総統の政策は大きく後退することを余儀なくされた。原子力政策をめぐる今後の動向も依然不透明な状況が続くようである。

(3) 再生可能エネルギー政策

台湾はパリ協定に参加していない。しかしながら、2030年に2005年の地球温暖化ガスの排出量を20%程度削減するとした自国の約束貢献(NDC)を定めるなど、国際社会に地球温暖化ガスの排出削減に積極的に取り組む姿勢を鮮明にしている。蔡英文総統は、選挙中から公約として脱原発のみならずエネルギー効率の改善や技術革新等とともに再生可能エネルギーの推進などを中心とするエネルギー・地球温暖化政策のパッケージを掲げてき

た。蔡政権では 2025 年までの目標として、脱原子力発電とともに、再生可能エネルギーが発電量に占める割合を 20%まで引き上げるとしている。現時点では、再生可能エネルギーの水準は大きくないことから、今後さらにこの政策を加速していく必要がある。

4. 本共同研究の意義と将来の課題

4.1. エネルギー環境分野での本共同研究の意義や位置づけに与える影響

先述のように、我々は脱炭素に向けたグローバルな競争のとば口に立っている。この競争は当然エネルギー・環境の問題であり、産業や経済が中心である。日本と台湾は、エネルギー需給構造が似かよっており、のみならずモノづくりが経済全体を支えるという産業構造も共通点が多い。また、この脱炭素のプロセスは、経済にとどまらず社会や政治外交などにも広範な影響を及ぼすだけでなく、新たに浮上してくる課題について新たな関係者が登場するだけでなく、その役割も変化してくる。脱炭素社会の実現といった長期にわたる挑戦を行う上では、市民をはじめとする多様な関係者の理解と支持が不可欠である。

日本や台湾においては、脱炭素エネルギー、とりわけ再生可能エネルギーの導入を一層進めコストを出来るだけ下げ、そういった再生可能エネルギーが主たる役割を果たすようなエネルギーインフラを構築して社会に定着させていくことが喫緊の課題である。そのためにも市民や法人等の電力のユーザーの意向を正確に把握することが極めて重要であり、この重要性は今後ますます高まっていくこととなろう。世界は脱炭素に向けて急速に進んでいるからである。

他の著者が詳述するように、今回の台湾との共同研究で日本側が行ったのは、将来の持続可能なエネルギーのあり方を需要者、需要側の意向や状況を実証的に日台で比較調査分析することである。本共同研究開始時には必ずしも十分に想定しなかったが、日台を含めグローバルな脱炭素に向けた議論は我々の予想を超えたスピードで進んでいる。しかし、脱炭素に向けた取り組みは長期にわたる広範な影響をもたらすものだからこそ、その政策決定は市民や関係組織を巻き込みつつ、従来に増して透明なプロセスで実証的に進められなければならない。

4.2. 将来の課題

地球温暖化問題はいうまでもなくグローバルな人類全体の問題であり競争でもある。エネルギーを含め様々なコストが上昇するのは一定程度は不可避としても、コスト上昇をいかに最小限にとどめるかが最も重要になる。また、広範な影響を与える長期の競争でもある。市民の意思が重要だ。2050 年までの間、政府は市民や関係組織等今後新たに生じてくるさまざまな関係者をリードしていかなければならない。また、2050 年までといった長期にわたる政策に関する意思決定やその実施に関する経験も今後積み重ねていかないとはいけな

い。もとより温暖化は本質的にグローバルな課題である。日本の CO2 排出量も世界で見るとわずか 4%強に過ぎない。したがって、国際協力や連携は不可避である。日台がこの点でも協力していくのは極めて自然なことである。こういった長期の広範な課題について、実証的な協力を行っていくことが今後必要である。

日本・台湾における再生可能エネルギーおよび二酸化炭素 除去に対する態度のオンライン調査

杉山昌広

概要

脱炭素で必須になる再生可能エネルギーおよび二酸化炭素除去について、日本と台湾の一般市民を対象にオンライン・アンケートを実施した。再生可能エネルギーの支払意思額は比率を 10%増加させるのに日本では毎月の電気料金の 0.5%、台湾では 1.6%と見積もられた。支払意思額は高くなく、本格導入には系統対策も含めたコスト低下が不可欠である。二酸化炭素除去についてはほとんどの回答者が知らず、アンビバレントな態度を示した。

1. 背景と目的

全世界的に脱炭素の動きが加速している。日本は2020年10月26日に菅義偉内閣総理大臣の所信表明演説において2050年までの脱炭素化を打ち出し、具体的な方策の第一弾として2020年12月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が公表され、イノベーションの支援のための10年間に亘る2兆円の基金の創設が示された。2021年の夏頃にはエネルギー基本計画が改定される予定であり、様々な審議会で議論が続いている。台湾でも脱炭素の機運は盛り上がりつつあり、行政院環境保護署で実質排出量ゼロのシナリオの検討が進んでいる。

脱炭素の施策で中心的な役割を果たすのは変動性再生可能エネルギーである。日本も台湾も再生可能エネルギーの普及は欧米に比べて遅れてはいるものの、特に太陽光発電については急速な普及が見られている。また双方ともに洋上風力発電に本格的に力を入れ始めており、台湾で実施された入札では外資の積極的な参入により、コストが大幅に低下した。日本もいわゆる再エネ海域利用法が施行され、今後導入が本格的に加速することが期待されている。

太陽光発電や洋上風力発電が進んでいるのは脱炭素の機運の高まりもあるが、経済性の進展も非常に重要である。太陽光発電については国際的には過去10年で80%コストが下がったとされる。また洋上風力発電は欧州では風況の良い場所では稼働率が非常に高く、補助金なしで事業が成立する可能性も見えてきている。ただ、少なくとも日本ではこのようなグローバルなコスト低下の潮流の恩恵は見られていない。日本の再生可能エネルギーのコストは先進国でも一番高い水準にある(IEA & NEA, 2020)。

より本質的なのは、変動性再生可能エネルギーを系統に統合するために生じるコストである。例えば技術的に変動を受け入れることができたとしても、地域的に偏在する電源を需要地に届けるための電力系統の増強や、変動性を吸収するための需要側応答や蓄電池の導入と言った柔軟性の確保が必要になる。現在、国際的な研究では変動性再生可能エネルギーの単体の発電コスト以外のコストに関心が集まっている(Matsuo & Komiyama, 2021)。日本も台湾も単独の電力系統から構成されており、欧州のように広域の系統が出来ている地域とは異なり、追加的なコストはよりシビアに効いてくると思われる。

言い換えれば、再生可能エネルギーによって(少なくとも短期的には)追加的にコストが生じる懸念があるということである。このとき、一つの疑問が生じる。消費者はこのコストを受け入れられるのであろうか。

こうしたコストは税で負担したり、電力料金に上乗せしたりするなど様々な負担方法が考えられ、また一部のセクターには減免することも考えられる。とはいえ、トータルとしては消費者が負担することになるのは間違いない。環境経済学では支払意思額は長年に渡って用いられてきた分析枠組みであり(栗山 et al., 2013)、これを用いて検討するのは政策的に有効な知見を得られると思われる。再生可能エネルギーは今まではグリーンで環境に優しい電源として捉えられてきたが、主力電源となるとコスト面についてより一層丁寧な検討

が必要になる。

脱炭素については他にも様々な変化が必要となる。特に重要なのは二酸化炭素除去(carbon dioxide removal, CDR) (以下 CO₂除去) または負の排出技術(negative emissions technologies, NETs) である(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019)。2015 年に国際社会が合意した気候変動対策の国際合意であるパリ協定においては、地球温暖化による気温上昇を 2℃より十分低い水準に抑え、1.5℃に抑えるように努力するという長期目標が書き込まれた。その後の科学の進展で 1.5℃に抑えるためには全世界で二酸化炭素の排出量を 2050 年ごろに正味でゼロにしなければならず、そのときには CDR が導入されることが示された(IPCC, 2018)。

技術的にいえば CO₂排出量を減らすのが難しい脱炭素困難部門(Davis et al., 2018)については、研究開発を進め革新的な技術を導入するか大幅な社会変革をするか、または CDR を用いることでしか排出削減ができなくなる。また温室効果ガスは二酸化炭素だけでなくメタンや亜酸化窒素、代替フロン類もあり、削減が難しいこうしたガスの代わりに二酸化炭素を更に削減する必要性が出てくる。

代表的な CDR として二酸化炭素回収・貯留付きバイオマス・エネルギー(bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)や CO₂直接空気回収(direct air capture, DAC, or direct air carbon capture and storage, DACCS)、大規模植林、化学風化の促進(enhanced weathering)などが知られている(Fuss et al., 2018; Minx et al., 2018)。CDR は技術や経済的な障壁もさることながら人工知能やゲノム編集といった他の萌芽技術同様、社会的受容性が導入の際の鍵となる(Cox et al., 2020)。

本稿では日本と台湾における再生可能エネルギーと CO₂除去に関する態度をオンライン・アンケートによって明らかにする。これにより、大量導入などに際しての政策的含意を得ることを企図する。

2. 手法

2.1. オンライン・アンケート調査の概観

日本では 2021 年 2 月 10 日～2 月 17 日、台湾では 2 月 10 日～2 月 13 日にマイボイス社とその国際パートナーを通じてアンケートを実施した。サンプルはマイボイス社およびパートナー会社が保持するパネルであった。日本のサンプル数は 470、台湾は 473 であった。回答者は家計の電気代を払っている方かその配偶者に限定した。また地域としては都市部に限定した。具体的には日本では関東一都三県(東京・神奈川・埼玉・千葉)、台湾では台北都市圏に限定した。また 20 代～60 代、性別がほぼ均等になるように層化抽出をした。

アンケートはオンラインで実施し、回答者はパソコンやスマートフォン等で回答した。日本語で質問票を作成し、台湾チームとの研究協力でのディスカッションを踏まえ、繁体字に翻訳した。

アンケート票は以下の項目から構成された。

1. 収入・電力料金等に関する質問
2. 再生可能エネルギーの支払意思額に関する選択実験
3. 再生可能エネルギー・環境問題への態度に関する質問
4. CDR に関する質問

CDR に関する質問は既往文献(Cox et al., 2020)を参考にした。。

2.2. 再生可能エネルギーの選択実験

再生可能エネルギーに関する支払い意思額を推定するために、離散選択実験を行った。以下の文章を読んだ後、回答者は仮想的に購入したいと思う電力プランを回答した。

今、あなたのお住まいの地域で電力会社が再生可能エネルギーなどのグリーン電力を含む発電プランを用意したとします。

あなたがグリーン電力を選択する（購入する）ことで、あなた自身が使う電力がよりグリーンになります。

現在のあなたのご家庭での電力プランと比べて、太陽光発電・風力発電などのグリーン電力を増やす電力プランでは、各発電源の割合と価格、電力発電時の二酸化炭素（CO₂）排出量が異なります。

これは電力自由化が進んだ日本では再生可能エネルギーが多い電力プランを選ぶことに相当する。台湾では垂直統合が現状でありこのような状況にはないが、仮想的な状況として質問をおいた。

実際の画面イメージは図 2-1 のとおりである。属性としては再生可能エネルギーの割合、電気料金の増加割合、CO₂排出量減少割合を考えた（表 2-1）。

Q17P.
あなたは以下のどれを選択したい（購入したい）ですか。選択肢A,B,Cのうち、ひとつお選びください。

（ひとつだけ）【必須】

1	選択肢 A	選択肢 B	選択肢 C (現状)
再生可能エネルギー割合	100% 再生可能エネルギー 	25% 再生可能エネルギー 	19% 再生可能エネルギー 
電気料金増加割合	あなたの毎月の電気料金が 15% 増加	あなたの毎月の電気料金が 5% 増加	変化なし
CO ₂ 排出量減少割合	CO ₂ 排出量は 100% 減少	CO ₂ 排出量は 5% 減少	変化なし

図 2-1 選択実験の画面イメージ。

表 2-1 属性と水準

属性	水準（日本）	水準（台湾）
再生可能エネルギーの割合	25%, 50%, 75%, 100% (現状は 19%)	25%, 50%, 75%, 100% (現状は 6%)
電気料金増加割合	2%, 5%, 10%, 15%	2%, 5%, 10%, 15%
CO ₂ 排出量削減割合	5%, 40%, 70%, 100%	20%, 45%, 75%, 100%

CO₂排出量削減割合は、(近似的であるが) 再エネを除く電力の CO₂排出原単位が変化しないと仮定すれば、再生可能エネルギーの量に比例する。 C を、再生可能エネルギーを除く電力の CO₂排出原単位とすれば、再生可能エネルギー比率を s とするある電力プランの排出原単位 E は

$$E = 0 \cdot s + C(1 - s)$$

と書ける。したがってある消費者がプランを購入し始めた後を 1、その前を 0 の添字で示せば

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{C(1 - s_1)}{C(1 - s_0)} = \frac{1 - s_1}{1 - s_0}$$

となり C に依存しない。言い換えれば CO₂排出量は再生可能エネルギーの割合 s から独立はしていない。ただ、このままでは端数が出て回答者にとって分かりにくくなるため、5 に近いところまで丸めた数字を用いた。

CDR は植林のように一般的に知られている技術もあるが、現状では（英語圏を除いて）報道もあまり多くなく、認知度は高いとは言えない。従って以下のような情報を回答者に読んでいただき、その上で回答していただいた。

科学者や政策立案者は、気候変動を遅らせたり逆行させたりする可能性のある対策として、二酸化炭素除去 (CO₂除去) に関心を持つようになってきました。

この対策は様々な生物学的、化学的、物理的プロセスを経て、大気中から過剰な二酸化炭素 (CO₂) を除去するものです。

二酸化炭素は、地球の温度上昇に寄与しないように、植物、土壌、または地中深くや海洋深部に貯蔵されます。

2.3. 支払意思額の推定

離散選択実験はランダム効用モデルに基づいている(McFadden, 1973)。回答者 i が選択肢 j を選択したときの効用関数 U_{ij} は、観測可能なシステムティック成分 V_{ij} とランダム成分 ε_{ij} を組み合わせることで、以下の式で示される。

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}.$$

ε_{ij} について適切な仮定を置くと回答者 i が選択肢 j を選ぶ確率は

$$\pi_{ij} = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_k \exp(V_{ik})}.$$

とできる。この定式化をもとに最尤法によって係数を推定できる。

支払意思額を考えるのに効用関数の系統的な部分について以下の形を考える。

$$V = \sum_n \beta_n X_n + \beta_{Price} X_{Price}$$

全微分を 0 とおくと、あるパラメーターに関する限界支払意思額(marginal willingness to pay, marginal WTP)は

$$MWTP_k = \frac{dX_{Price}}{dX_k} = -\frac{\beta_k}{\beta_{Price}}$$

と書くことができる。

3. 結果

3.1. 回答者の属性

すでに述べたようにアンケート対象者は層化抽出法を行った。得られた最終的なサンプルの割合だが日本では男性 49%、女性 51%、台湾では男性 52%、女性 48%であった。性年代の比率は男性女性それぞれ 20 代から 60 代まで 10%前後とほぼ同数である。すでに述べたように都市部の在住者を対象としたが、具体的な割合は日本では東京 43%、神奈川 23%、埼玉 19%、千葉 15%、台湾では新北市 51%、台北市 46%、基隆市 3%であった。

結婚の有無については日本台湾ともに半数以上が既婚者であった（日本：結婚している 64%、結婚していない（未婚・離死別含む） 36%）（台湾：結婚している 57%、結婚していない（未婚・離死別含む） 43%）。職業は日本、台湾ともに半数が会社員・役員であり学歴では短大・大学卒業以上が半数を占めた。（表 3-1）

自宅の種類は日本では借家（集合住宅）が 38%、次いで持ち家（一戸建て）が 34%であり、持ち家と借家を合計すると集合住宅が 62%と半数以上を占めた。台湾では持ち家（集合住宅）が 65%と過半数を占め、次いで借家の集合住宅が 20%であり、集合住宅の居住者が全体の 8 割以上を占めた。

表 3-1 回答者の属性

		日本	台湾
性別	男性	49%	52%
	女性	51%	48%
婚姻関係	結婚している	64%	57%
	結婚していない（未婚・離死別）	36%	43%
職業分類	会社員・役員	47%	50%
最終学歴	短大・大卒以上	70%	88%
自宅の種類	持ち家（一戸建）	34%	11%
	持ち家（集合住宅）	24%	65%
	借家（一戸建）	2%	2%
	借家（集合住宅）	39%	20%
	その他	2%	2%

同居者の人数は、日本、台湾ともに一人ないし二人が過半数を占め、また一人暮らしの回答者は日本 28%、台湾 12%と日本の方が多かった。

また同居者の内訳としては高校生以下の同居者が一人以上いる回答者は日本で 24%、台湾では 32%であり、65 歳以上の同居者が一人以上いる回答者は日本で 17%、台湾では 37%と台湾の方が 2 倍以上多い結果となった。

電気代は日台双方約 8 割の回答者が月々のおおよその額を覚えており、明細が確認できるように保管等してあるのは日本で約 7 割、台湾は約 8 割と台湾が若干多い結果となった。また、現在の世界情勢に鑑み新型コロナウイルスについての設問を加えた。複数回答のため割合は不明だが、日本では特に影響がないとの回答が半数を占めたが、台湾では影響なしが半数近くだったものの、収入の減少につながる回答は日本より多くみられた。（図 3-3）

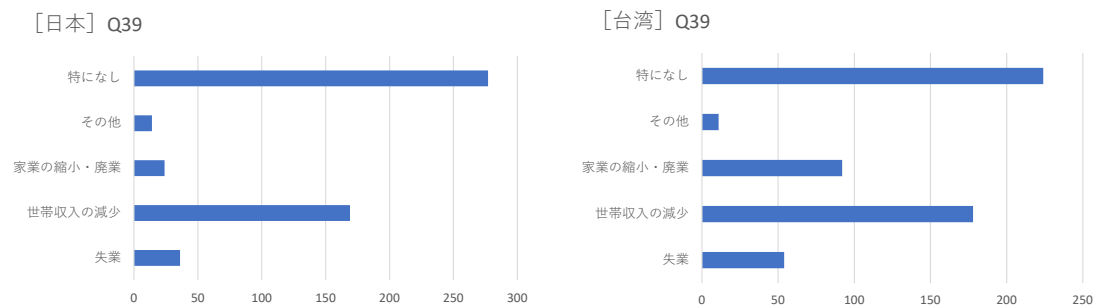


図 3-1 Q39「あなたやあなたのご家庭は、新型コロナウイルス禍（COVID-19 パンデミック）の影響をどのように受けましたか？該当するものをすべて選んでください。」の回答

3.2. 環境問題に対する態度

図 3-4 に再生可能エネルギーの認知度を示す。日本も台湾ももっとも知られているのは太陽光発電だが、バイオマス発電を除いて認知度の差は大きくない。一方、地域差についていえば、バイオマス発電を除けば日本では「よく知っている」と「だいたい知っている」を足すと約 50%以下であるが、台湾ではその比率は約 70%になる。

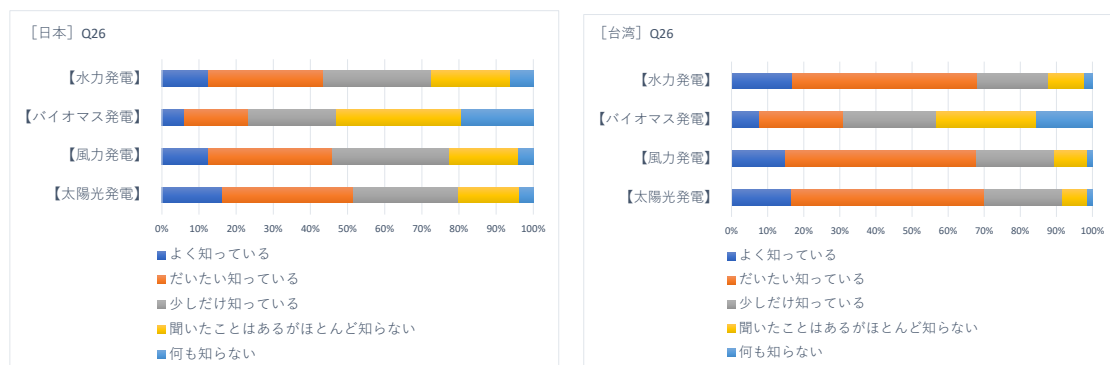


図 3-2 Q26 再生可能エネルギーの認知度

続いて、電源種別ごとの環境の優しさに関する認知度を図 3-5 に示す。数字 10,9,8 に絞れば、これも図 3-4 と同様にバイオマス発電が低く、続いて水力発電、太陽光発電または風力発電と続く。また全体的な傾向として台湾の回答者の方が再生可能エネルギーを環境に優しいと捉えていることが見て取れる。例えば太陽光と風力について 10~8 を選んだ回答者は日本では約 50%であるのが台湾では約 60%である。

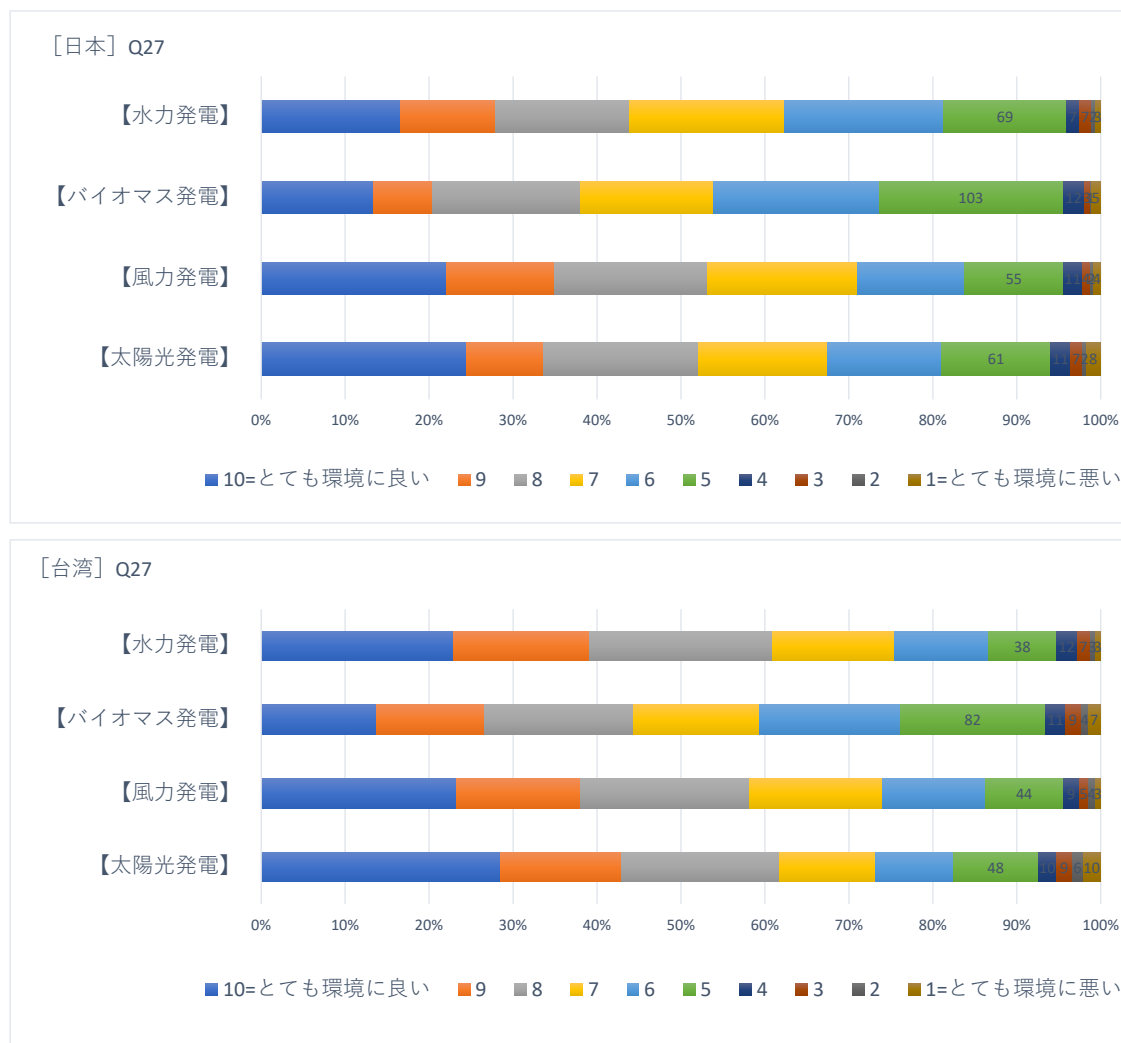


図 3-3 Q27 再生可能エネルギーについての印象

気候変動問題、再生可能エネルギーに関する態度に関する結果を図 3-6 に示す。「まったくそう思う」と「ややそう思う」の割合の合計に着目すれば、台湾の回答者の方が日本の回答者よりも気候変動について心配しており、個人的に害を及ぼすと思っており、さらに気候変動や再生可能エネルギーについてのニュースに触れていると認識している。また台湾の回答者の方が再生可能エネルギーは環境にやさしいと考えている。これは前述の技術別に聞いた回答と整合的である。また若干であるが科学技術によって気候変動問題が解決につながると考えている。

気候変動の原因については日本も台湾も人間活動が原因という認識が多数を占めたものの、台湾ではその割合が 8 割を超えるのに対し日本では 6 割台であった（図 3-7）。

環境に関連する問題で最も重要な問題を 2 つ挙げてもらったところ、日本・台湾の回答者ともに気候変動と大気汚染を挙げた（図 3-8）。

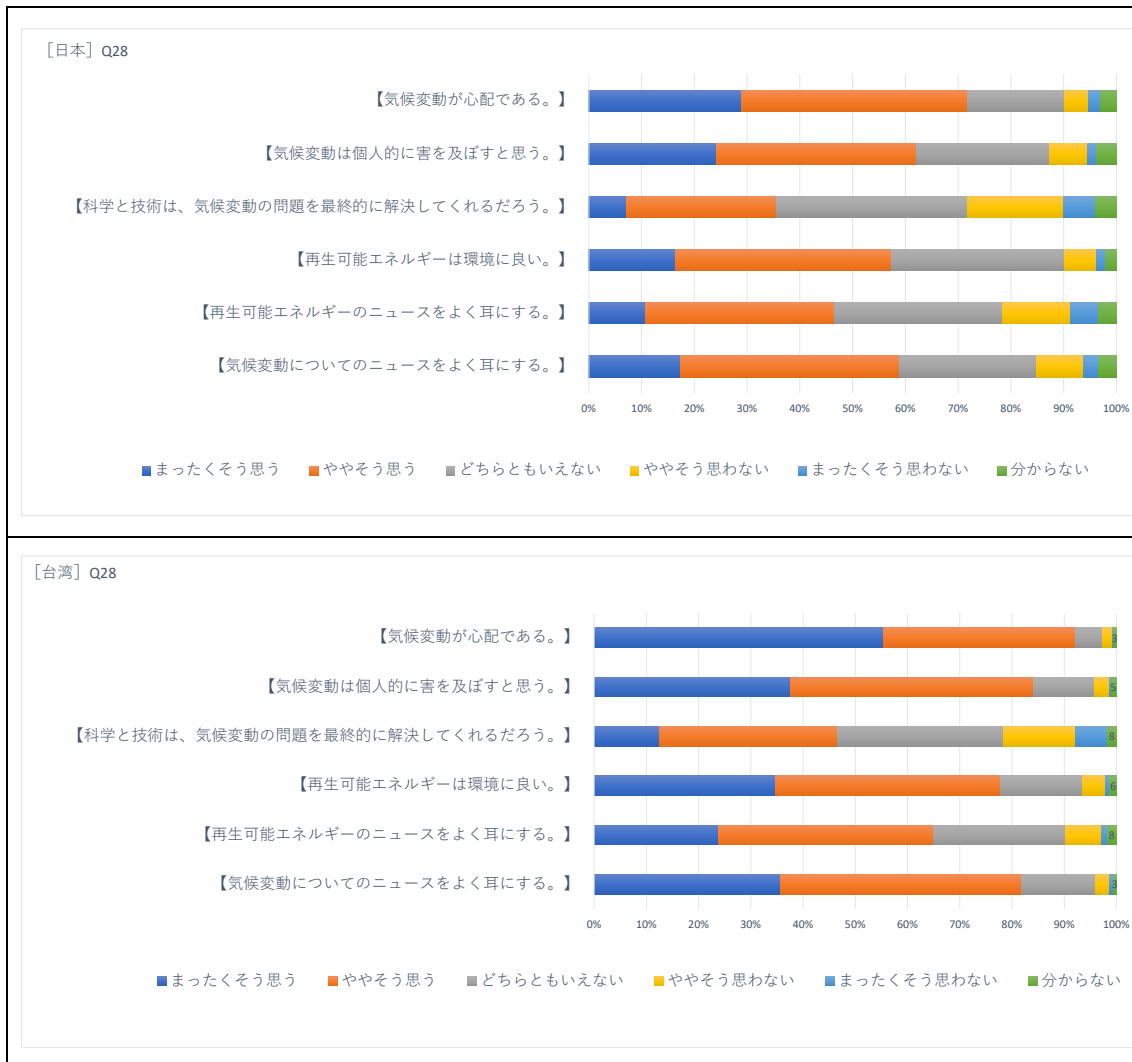
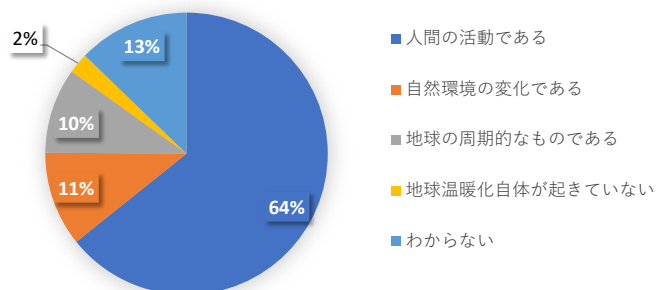


図 3-4 Q28 気候変動についての意識

Q29 [日本]



[台湾]

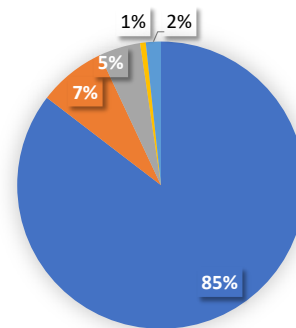


図 3-5 Q29「地球温暖化について、あなたはその主な原因は何だと思いますか」の回答。

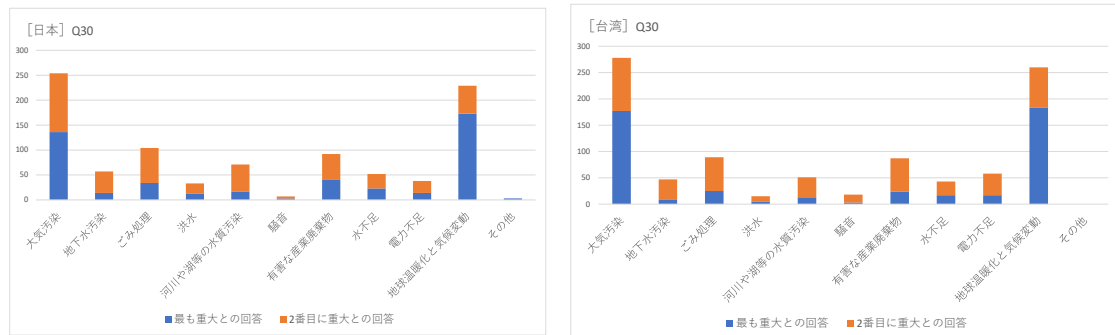


図 3-6 Q30 エネルギー・環境問題の中で、最も重大だと思うものと、二番目に重大だと思うものをそれぞれ選んだ回答。

再生可能エネルギーとそれ以外のエネルギーの違いに関する問いについては、台湾では66%の回答者が知っていると回答したのに対し、日本では知っていると答えた割合は44%であった（図 3-9）。

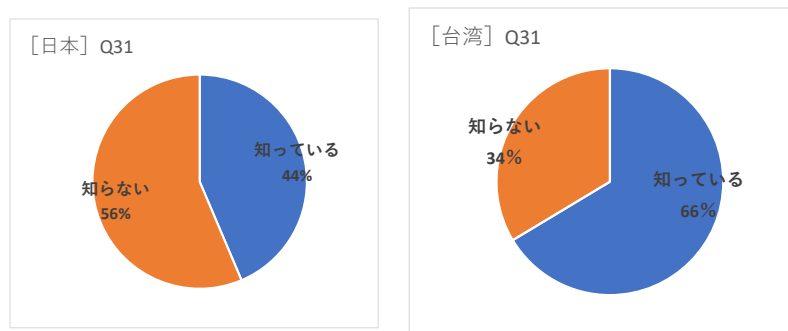


図 3-7 Q31「再生可能エネルギーとそれ以外のエネルギーの違いを知っていますか」の回答。

3.3. 再生可能エネルギーについての支払意思額

Conditional logit の回帰分析の結果を表 2-1 に示す。

表 2-2 Conditional logit の回帰分析

Variable	Coefficients	
	Japan	Taiwan
Renewables share	0.006337***	0.0104032***
Price	-0.122587***	-0.06443***
Log likelihood	-4234.4	-4614.872

Adjusted R ²	0.088	0.0128124
AIC	8472.8	9233.74
Observations	4230	4257

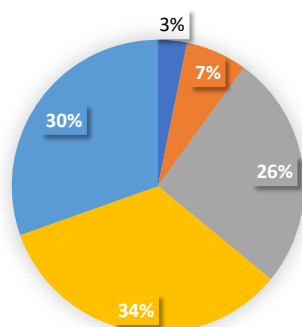
支払意思額は再生可能エネルギーのシェアの係数を価格の係数で除し、(-1)をかけて得られる。結果として 10%再生可能エネルギーを導入する場合、日本では 0.5%、台湾では 1.6% の月額電気料金増加と得られた。

ただ、この数字の解釈には注意が必要である。台湾の方が電力料金が安く、kWh あたりの単価でも大きな差がある。これを踏まえると絶対値では日本と台湾の差はさほど大きくない。

3.4. CO₂ 除去に対する態度

CDR についての分析結果を以下に示す。台湾では「十分知っている」と「ほぼ知っている」をあわせた割合が約 23%であるのに対し、日本では約 10%であり、主観的な認知度については台湾の方が高かった。

Q36 [日本]



[台湾]

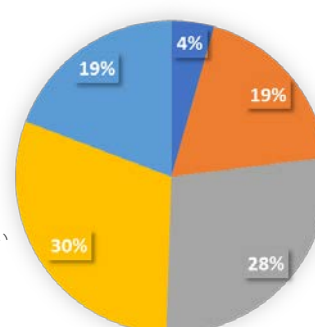


図 3-8 Q36「二酸化炭素の除去技術についてどの程度知っていましたか」の回答。

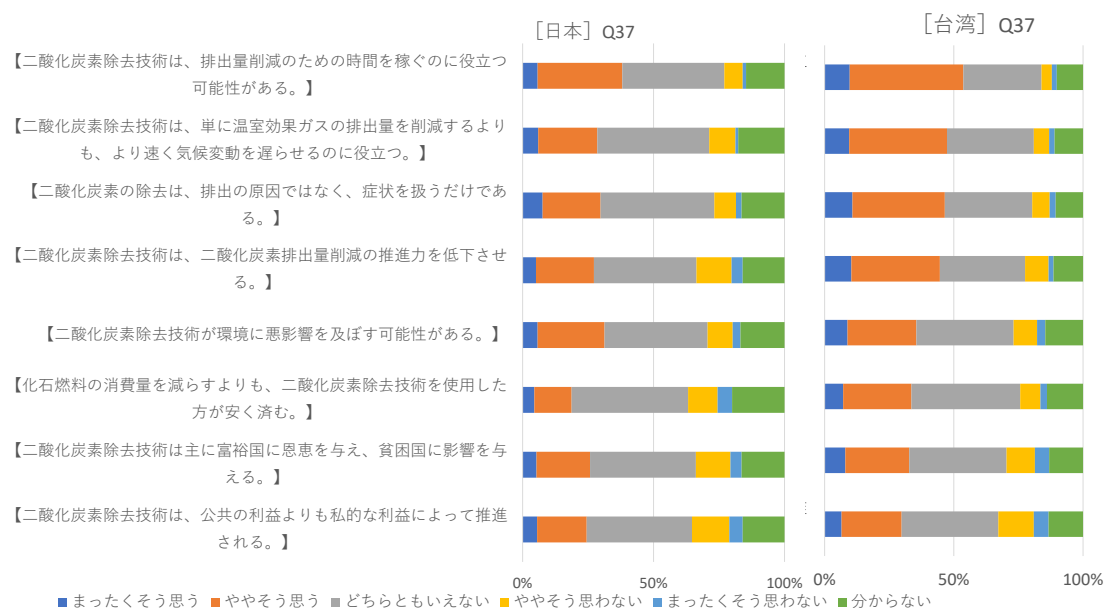


図 3-9 Q37「二酸化炭素除去技術には、リスクと便益があると考えている人もいます。あなたは、以下の記述にどの程度同意しますか、または同意しませんか」の回答。台湾の「まったくそう思う」「ややそう思う」の合計割合の順番で並べ替えている。

CDR について態度を聞いたところ、態度が決まらずアンビバレントな回答が見られた(図 3-15)。「まったくそう思う」「ややそう思う」の割合の合計に注目すれば、もっとも同意の割合が多かったのが日本も台湾も排出削減の時間を稼ぐのに有用という回答であった。また単に温室効果ガス排出削減よりも気候変動対策として役立つという点についても同意が見られた(台湾では2番目である)。一方で、CDR は症状を扱うだけという点や、排出削減の推進力を損なう(いわゆるモラルハザード)の懸念も合意があった。従って全体的に見て回答者は CDR に対してポジティブな側面とネガティブな側面について感じていた。

なお、CDR に関する態度についての問いは、基本的に台湾が「まったくそう思う」と「ややそう思う」割合が、全て日本を上回った。

最後に、CDR の研究開発の今後のあり方について質問したところ、「科学技術力の高い国・地域が主導すべきだ」が最も選ばれ(日本: 35%、台湾: 52%)、これに「二酸化炭素の排出量が最も多い国・地域が主導すべきだ」(日本: 32%、台湾: 23%)が続いた。科学技術力を優先するのは、太陽放射改変(または太陽放射管理)の成層圏エアロゾル注入に関する6カ国における儒教圏の国々の大学生の態度と共通である(Sugiyama et al., 2020)。

Q38 [日本]

[台湾]

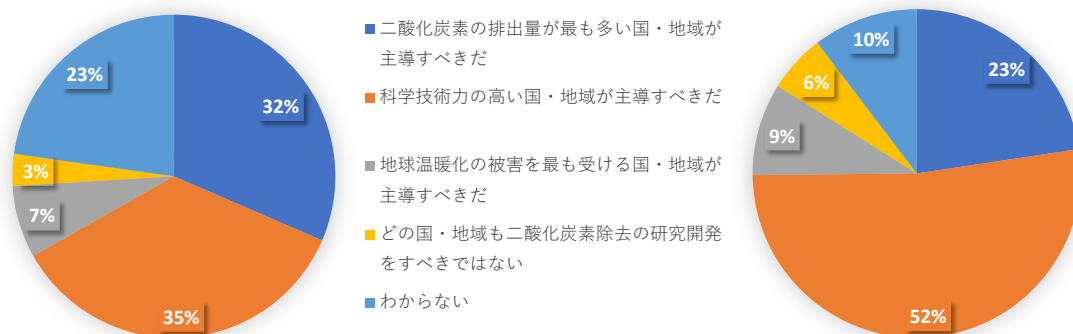


図 3-10 Q38 「二酸化炭素除去の研究開発が今後国際的に強化されると想定したら、誰が先導して進めるべきだと思いますか。一番ご意見に近いものを選んでください」の回答。

4. 結論と政策的含意

脱炭素という潮流で必須になる再生可能エネルギーおよび CO₂ 除去について日本と台湾で、一般市民を対象としたオンライン・アンケートを 2021 年 2 月に実施した。

再生可能エネルギーの支払意思額は 10%再生可能エネルギーを増加させるのに日本では毎月の電気料金の 0.5%、台湾では 1.6%という数字が得られた。再生可能エネルギーの違いについて聞く質問では、太陽光発電が最も環境に優しいと認識されていることは日本と台湾で共通であることが示された。

なお、前述したようにこの数字の解釈には注意が必要である。日本と台湾では電力料金が違うため、日本と台湾の絶対値の支払意思額の違いはそれほど大きくないことに注意されたい。

CO₂ 除去については日本・台湾ともに殆どの市民が知らないと回答した。今後の研究開発については、日本も台湾でも科学技術の先進国が主導すべきとの意見が多かった。また CO₂ 除去についての態度については、日本・台湾の回答者もどちらも肯定的・否定的な意見の両方を示し、アンビバレントであることが分かった。

本調査からどのような政策的含意が引き出されるだろうか。再生可能エネルギーは世界的にコストが低減してきており、今後もこの傾向が続くことは期待される。しかしながら、変動性再生可能エネルギーは同時同量を維持するために需要応答など系統の柔軟性を強化する対応が必要となり、追加のコストが掛かると想定される。本研究から見いだされた支払意思額は低額であったため、再生可能エネルギーは蓄電池のイノベーションなどを通じてシステム全体としてコストを低減させていくことの必要性が明確になった。欧州などと違い広域の系統に接続していない日本と台湾においてはコスト効率的な系統対策は極めて重要になるだろう。

CO₂ 除去については、萌芽技術であるため予想された通り認知度は低かったため、認知度を高め議論を喚起するためのコミュニケーションが必要であろう。現時点では特定の方

に市民の意見が固定されているとは思えず、またアンビバレントであるということは社会的な議論を行う機会と捉えることができる（これは放射改変でも同様である(Asayama et al., 2017)）。日本では脱炭素化の議論が本格化し、台湾でもそのような検討が始まる中、CDR についてより本格的な議論をすることは極めて重要であろう。

最後にだが、台湾の回答者が CDR の態度について同意を選択したのは文化的な背景があるかもしれない。同様な傾向は既往研究でも確かめられている(Sugiyama et al., 2020)。ニュートラルに態度を聞く手法の開発は今後の課題である。

5. 参考文献

- Asayama, S., Sugiyama, M., & Ishii, A. (2017). Ambivalent climate of opinions: Tensions and dilemmas in understanding geoengineering experimentation. *Geoforum*, 80, 82–92.
<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.01.012>
- Cox, E., Spence, E., & Pidgeon, N. (2020). Public perceptions of carbon dioxide removal in the United States and the United Kingdom. *Nature Climate Change*, 10(8), 744–749.
<https://doi.org/10.1038/s41558-020-0823-z>
- Davis, S. J., Lewis, N. S., Shaner, M., Aggarwal, S., Arent, D., Azevedo, I. L., Benson, S. M., Bradley, T., Brouwer, J., Chiang, Y.-M., Clack, C. T. M., Cohen, A., Doig, S., Edmonds, J., Fennell, P., Field, C. B., Hannegan, B., Hodge, B.-M., Hoffert, M. I., ... Caldeira, K. (2018). Net-zero emissions energy systems. *Science*, 360(6396), eaas9793.
<https://doi.org/10.1126/science.aas9793>
- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente,

- J. L. V., Wilcox, J., del Mar Zamora Dominguez, M., & Minx, J. C. (2018). Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>
- IEA, & NEA. (2020). *Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition*. OECD.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (p. 32). World Meteorological Organization.
- Matsuo, Y., & Komiyama, R. (2021). System LCOE of variable renewable energies: A case study of Japan's decarbonized power sector in 2050. *Sustainability Science*.
- McFadden, D. L. (1973). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics* (pp. 105–142). Academic Press.
- Minx, J. C., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Fuss, S., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Lenzi, D., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj,

- J., Smith, P., Vicente Vicente, J. L., Wilcox, J., & del Mar Zamora Dominguez, M. (2018). Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda* (p. 25259). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>
- Sugiyama, M., Asayama, S., & Kosugi, T. (2020). The North–South Divide on Public Perceptions of Stratospheric Aerosol Geoengineering?: A Survey in Six Asia-Pacific Countries. *Environmental Communication*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/17524032.2019.1699137>
- 栗山浩一, 柘植隆宏, & 庄子康. (2013). *初心者のための環境評価入門*. 勁草書房.

ゼロ・エミッション・ハウス(ZEH)の技術経済的評価

株式会社 Looop 渡邊裕美子

概要

本研究では、ゼロ・エミッション・ハウスの構成要素のうち、太陽光発電と蓄電池に着目し、その経済的価値を蓄電池運用決定のシミュレーションを用いて評価を行うことで、経済面からの蓄電池の導入可能性について考察した。日本の小売電気事業者が需要家に蓄電池導入を促すサービスを検討し、その経済的メリットは現時点では限定的であることがわかった。また、日本と台湾における需要家の蓄電池導入効果を比較し、気候などによる需要パターンの違いは経済効果に著しい影響をもたらさないことがわかった。

1. 背景と目的

日本では、東日本大震災直後に導入された再生可能エネルギーの固定価格買取制度が、家庭用蓄電池市場を開きつつある。住宅用（10kW 未満）太陽光発電に対する買取価格は、2011 年度認定分については 42 円/kWh であったが、年々の設置コスト低下に伴って引き下げられ、2020 年度認定分については 24 円/kWh と家庭向けの電力価格に匹敵する水準となり、売電よりも自家消費による経済的メリットが生じ始めている。またその買取期間は 10 年であるため、2009 年導入の余剰電力買取制度から移行したもののから順に買取期間が満了する太陽光発電が出てきており、その件数は 2019 年だけで約 53 万件に上り、2023 年には累積件数は約 165 万件、累積設備容量は 6.7GW に達する見込みである。買取期間が満了した太陽光発電は、自家消費または余剰電力の自由売電への移行という選択を求められる。これらによって、家庭用蓄電池は従来、災害時に停電リスクを低減する効果からの導入が進んできたが、太陽光発電の出力に合わせた蓄電池の運用が、家庭に追加的な経済的メリットをもたらす条件が整いつつある。

また、電力システムのインフラ形成・運用の効率化の点からも、太陽光発電の出力に合わせた対応が必要となってきた。既に九州エリアを中心に、低負荷期の晴天の日にエリア全体で電力供給が需要に比して過剰となり、太陽光発電の出力抑制が行われるという事態も発生し始めている。また配電レベルでも、太陽光発電からの逆潮流に対応するために設備面での対策工事が必要となっている場合もある。このように、蓄電池を昼間充電することを含めた、太陽光発電で発電した電気を有効活用するための方法が必要とされている。

台湾のエネルギー政策も、東日本大震災がもたらした福島第一原子力発電所の事故の影響を大きく受けた。台湾は、稼働していた原子力発電所 4 基を 2025 年までに全て停止することを決定し、発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合を 2025 年までに 20%とする目標¹を掲げている。1990 年代に発電量の 4 割近くを占めていた原子力はシェアを落とし、1 割程度にまで減少した。

他方、太陽光発電導入量は、2009 年に日本と同様の固定価格買取制度が導入された後、どの再生可能エネルギーよりも群を抜いて急拡大し、2019 年現在 4.1GW に到達している。台湾は太陽光発電量を 2025 年までに 20GW とする目標を掲げている。しかしながら、台湾では、固定価格買取制度による固定買取価格もそれほど安くなっておらず、自家消費型への移行の可能性や蓄電池の導入について本格的な議論が行われていない現状がある。

以上を背景に、本研究では、まず蓄電池普及の環境が整いつつある日本を対象として、住

¹ 107 年全國電力資源供需報告;

https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink2.aspx?menu_id=48&sub_menu_id=8749

宅における蓄電池導入がどのようなメリットを需要家にもたらしうるのかを、実際のサービス提供者となり得る小売電気事業者の立場から考察する。また、日本と台湾の電力使用量の相違を踏まえると、蓄電池の普及において経済面ではどのような差異が現れうるのかについて考察する。

2. 評価手法

2.1. 蓄電池運用決定のシミュレーションモデル

蓄電池運用決定のシミュレーションにおいて、東京大学生産技術研究所 ESI 社会連携研究部門（以下、ESI）が開発した、住宅エネルギーモデル、ESI Residential Energy Model（以下、ESIRE モデル）²を用いた（図 2-1）。

ESIRE モデルは、各住宅における需要を過去データなどから予測し、そのデータに基づいてヒートポンプ式給湯機(以下、HP)、蓄電池、電気自動車(以下、EV)バッテリーの充放電を最適化するプログラムである。各住宅において、前日までの需要や太陽光発電量実績、EV 走行条件などの情報から、翌日分の給湯需要、その他需要、太陽光発電量、EV 走行需要を予測し、予測した結果を用いて HP 給湯機の運転時間や、蓄電池、EV の充放電を最適化する。最適化結果を用いて、該当するデマンドレスポンス機器の運用計画を構築する。

モデルは、HP 最適化モデル、電池最適化モデル、電池/HP 最適化モデル、EV 最適化モデル、EV/HP 最適化モデルの計 5 種類のサブモデルで構成される。

本研究では、このうち、「電池最適化モデル」でのシミュレーションを利用する。電池最適化モデルでは、各住宅の太陽光発電量、需要、気温の実績値、買電価格、売電価格を外生的に与え、蓄電池による充放電の最適化結果が内生的に解かれる。この最適化結果を利用して、実績に基づく運用計画、具体的には各住宅の時間帯別/充放電量、売買電力量が出力される。ただし、モデル中の予測対応機能は使用せず、電力需要量や太陽光発電量は既知であるものとして扱った。

² Y. Iwafune; A comparison of the effects of energy management using heat pump water heaters and batteries in photovoltaic -installed houses, Energy Conversion and Management, Volume 148, 15 September 2017, pp. 146-160

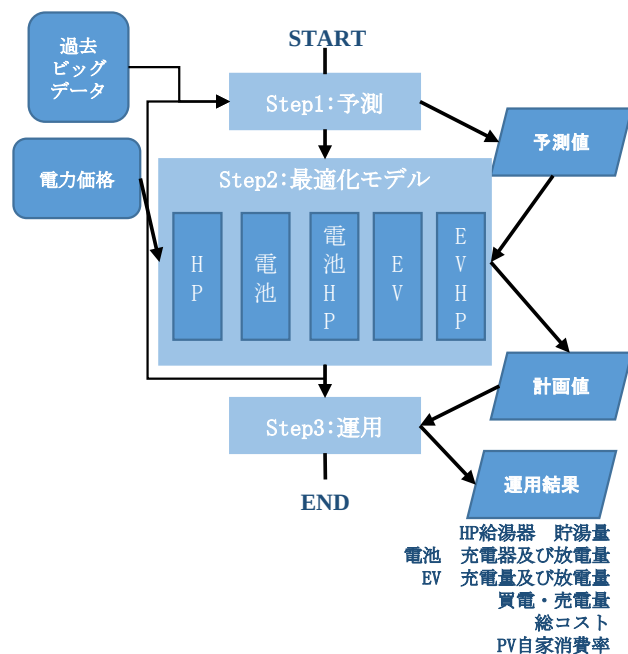


図 2-1 ESIRE モデル計算フロー³

2.2. 日台の電力使用量データ

2.2.1. 日本

ハウスメーカーの協力をいただき、住宅約 4,000 戸設置された HEMS（Home Energy Management System）で計測された電力使用量実績を使用した。使用量計測期間は、2017 年 7 月 1 日～2018 年 8 月 31 日であり、計測内容は、電力購入量、太陽光発電量、電力売電量、機器別電力使用量である。また、各住宅・居住世帯の属性として、郵便番号、住宅面積、家族人数などがある。

このデータをもとにクリーニング・補完処理などを行い、最終的に 1,914 戸の住戸のデータを利用した。対象とする住宅は、すべて本州に分布する（表 2-1）。関東、中部、関西の 3 地域で全体の 7 割を占める。住宅は、すべて戸建住宅であり、そのうち 97%の住宅が太陽光発電パネルを保有する。

表 2-1 対象データの地域分布

	n数	分布	PV保有率
東北	73	4%	99%
関東	636	33%	94%
中部	469	25%	99%
北陸	131	7%	99%
関西	241	13%	97%
中国	60	3%	97%
四国	70	4%	99%
九州	234	12%	100%
合計	1914	100%	97%

³ 東京大学 ESI 社会連携研究部門説明会資料

対象住宅の年間平均電力消費量は、住宅1戸を1世帯とすると、世帯あたり7,094kWhである（表2-2）。全国の戸建住宅の平均的な電力消費量は約5,300kWh⁴であり、比較的電力多消費な住宅を対象としている。

地域別にみると、四国の消費量が最も大きく、次いで寒冷地域の東北の消費量が多い。中部や関西の消費量は、他の地域に比べると小さい。

表 2-2 対象データの年間電力消費量

	年間消費量(kWh/世帯)	標準偏差	n数
東北	7,916	2,072	73
関東	7,051	2,353	636
中部	6,590	2,224	469
北陸	7,115	2,493	131
関西	6,976	2,252	241
中国	7,206	2,040	60
四国	7,990	1,979	70
九州	7,778	2,456	234
全国平均	7,094	2,338	1,914

2.2.2. 台湾

一方で台湾の電力使用量としては、このような HEMS データを入手することができなかったため、代わりに、台湾成功大学建築学科 蔡耀賢准教授による、シミュレーションデータを用いた。

このシミュレーションデータでは、床面積 200 m²の戸建住宅に住む 4 人世帯を想定している。この住宅は、8kW の太陽光発電パネルと容量 9kW の電気温水器を保有するオール電化住宅である。地域は、台南地域を想定している。データは、電力使用量、太陽光発電量、売電量、機器別電力使用量の、1 年分の 30 分値である。

限られたデータではあるが、以下の日台の比較によって、気象などの影響を受けた電力使用量の特徴をとらえていることを確認した。

2.2.3. 日台の比較

(1) 比較対象

前述の台湾のシミュレーションデータに対して、類似する日本の住宅のデータを抽出して、使用量の比較を行った（表2-3）。具体的には、140 m²以上の戸建住宅、4 人世帯、5kW 以上の太陽光発電パネルを設置しているサンプル(n=7)を抽出した。ただし、台湾の電気給湯使用量との比較については、HEMS によって計測されたヒートポンプ式給湯機の使用量(n=159)を用いた。

⁴ 環境省；平成 30 年度 家庭部門の CO2 排出実態統計調査，調査の結果（確報値）の概要，令和 2 年 3 月

表 2-3 台湾と日本の住宅用電気使用量データの特徴

	台湾	日本
サンプル数	1	7
地域	台南	関東2、中部4、北陸1
建て方	戸建	戸建
床面積	200㎡	140㎡以上
世帯数	4人	4人
パネル容量	8kW	5kW以上
給湯熱源	電気	ガス
電気使用量	30分値	30分値
年間電気使用量 (電気給湯使用量)	5,364kWh/世帯 (2,068kWh/世帯)	7,638kWh/世帯 (-)
計測方法	シミュレーター	HEMSによる計測

(2) 気象条件の違い

電気使用量に影響を与える気象条件について台湾と日本の違いを整理する。

台湾の天候は、北部が亜熱帯、南部が熱帯に属し、1年を通して温暖で湿気も多い。日本のようにはっきりとした四季はない。台湾と日本の冷暖房度日⁵⁶の違いを図 2-2 に示す。台湾の冷房度日は、那覇よりも高い。すなわち、台湾は日本の那覇より温暖である。台湾では、年を通して暖房の利用はない。日本は台湾よりも寒冷であり、冬季には高い暖房度日を伴う。

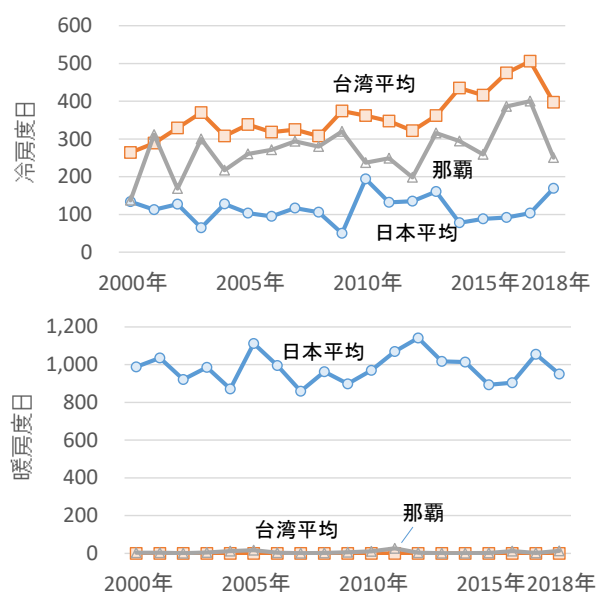


図 2-2 台湾と日本の冷暖房度日の推移

台湾のシミュレーションデータの想定地域である台南と日本の気温を図 2-3 に示す。台南の1～3月や11～12月の気温は、日本の中間期に近い。最低気温でさえも日本の平均気温

⁵ Energy Statistics Handbook 2018;

https://www.moeaboe.gov.tw/ECW_WEBPAGE/FlipBook/2018EnergyStaHandBook/index.html

⁶ 冷房度日の定義は 26 度を上回る日の平均気温と 28 度との差を合計。暖房度日の定義は 14 度を下回る日の平均気温と 14 度との差を合計。

を 5℃ほど上回り温暖である。台南の 4～10 月は、平均気温が 30℃前後となる冷房期で、日本の 8 月並みの気温となる。

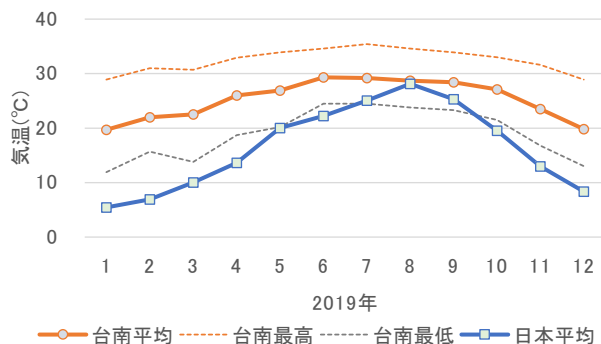


図 2-3 台南地域と日本の気温比較

(3) 季節毎の電気使用量

台湾と日本の月毎の電気使用量を図 2-4 に示す。中間期である台湾の 1～3 月、11～12 月の使用量は、暖房期である日本の半分以下である。冷房期である台湾の 4～10 月の使用量は、日本の中央値をほぼ上回る。

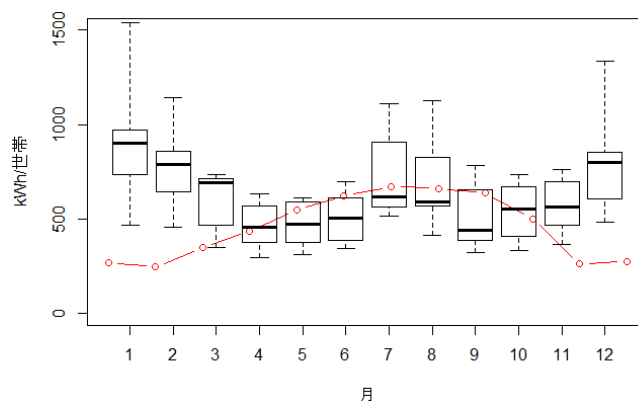


図 2-4 電気使用量(除、給湯)の日台比較
折れ線:台湾(n=1)、箱ひげ図:日本(n=159)

図 2-5 は気温と電気使用量の関係を示したものである。台湾の気温と電気使用量の関係には、暖房期の特徴はみられず、冷房期と中間期のみの特徴がみられる。日本は、暖房期、冷房期、中間期のそれぞれの特徴がみられる。

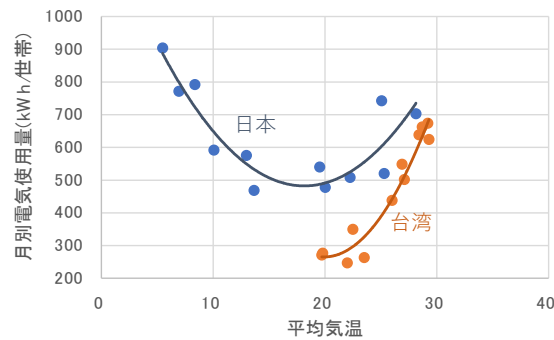


図 2-5 気温と電気使用量の関係における日台比較

(4) 時間帯別電気使用量

2月と8月における時間帯別電気使用量を図 2-6 に示す。

台湾の 2 月は、空調を必要としない中間期であり、ほぼ全時間帯で暖房期の日本を下回る。

台湾の 8 月の使用量は、未明から朝方にかけての時間帯と 19~24 時の夜間に多く、日中は少ない。台湾の日中の使用量が日本より少ないのは、子どもの夏休みの過ごし方や就業の違いが関係している。すなわち、台湾では、夏休みに子どもは塾に通う習慣があること、共働き世帯が多いことから、日中はほぼ不在となる。一方、日本は夏休みの 8 月は日中の在宅時間が長くなる傾向がある。

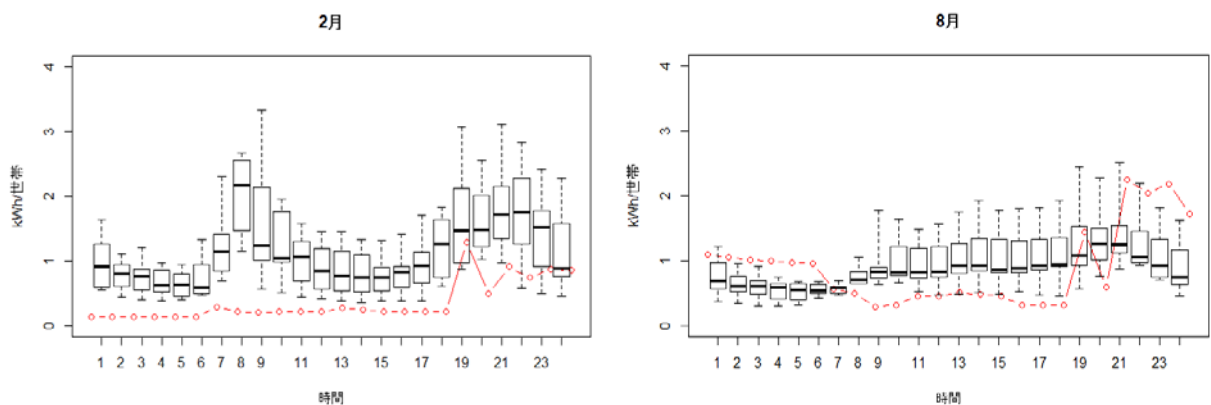


図 2-6 時間帯別使用量(除、給湯)の日台比較

折れ線:台湾(n=1)、箱ひげ図:日本(n=7)

(5) 月別給湯使用量

台湾と日本の月毎の給湯使用量を図 2-7 に示す。台湾の給湯使用量は、日本のヒートポンプ式給湯器の使用量を上回る。日本は、浴槽につかる入浴習慣があり、世界的にみても給湯使用量は多いと言われている。台湾は、温暖な気候で一年中シャワーという入浴習慣にも関わらず、1月~3月や11月~12月の使用量が日本の中央値を上回っている。台湾の給湯使

用量はやや多いと推察される。

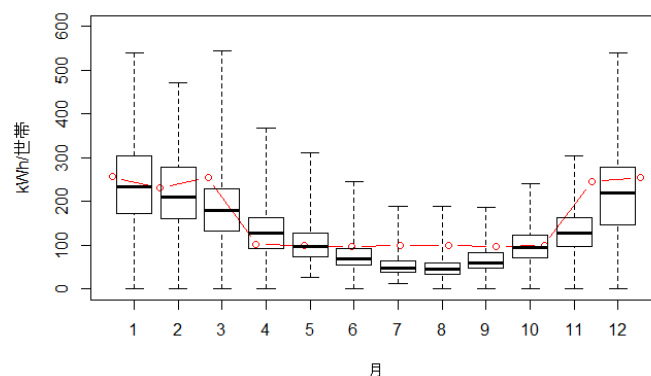


図 2-7 月毎の給湯使用量の日台比較

折れ線:台湾の電気温水器(n=1)、箱ひげ図:日本 HP(n=159)

(6) 太陽光発電量

台湾と日本の月毎の kW あたりの太陽光発電量の比較を図 2-8 に示す。台湾の kW あたりの太陽光発電量は、日本に比べ季節変動が少ない傾向がある。

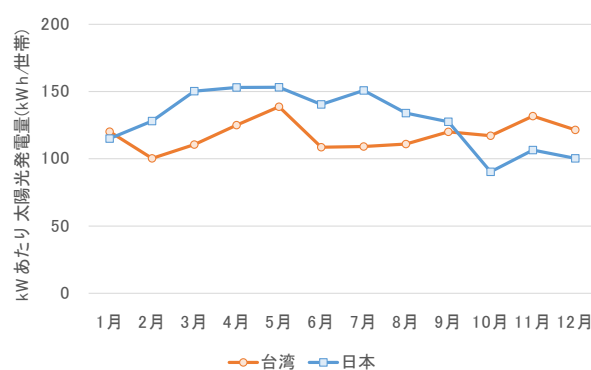


図 2-8 kW あたり太陽光発電量の日台比較

台湾と日本の月毎の余剰電力比率を図 2-9 に示す。台湾の余剰電力比率(売電量/発電量)は 70~80%で推移している。日本は、日射量が多い3~5月に余剰電力が多くなり、夏休みなどで在宅時間が長い7~8月は自家発自家消費が多くなり余剰電力比率が低下する。一方、台湾の余剰電力比率は、一年を通して大きな変化がない。

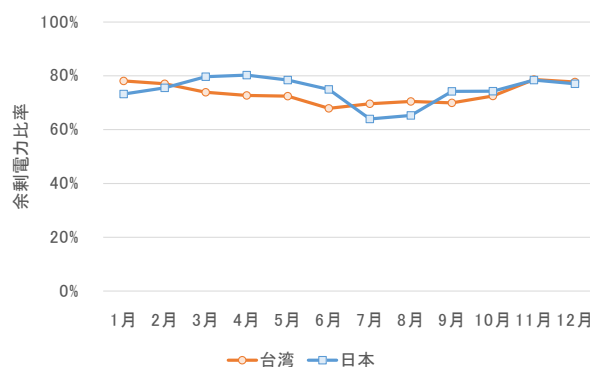


図 2-9 余剰電力比率の日台比較

3. 日本における小売電気事業者による蓄電池普及

3.1. 目的

固定価格買取制度の買取期間が満了する住宅用太陽光発電は、自家消費または余剰電力の自由売電への移行という選択を求められており、小売電気事業者にも、需要家が発電した電気の一層の有効活用のためのサービス提供が期待される。

発電した電気の有効活用とは、主として自家消費を増やすことにある。具体的な方法として、昼夜の電気の使い方を変える、太陽光発電による自然冷媒ヒートポンプ式給湯機の活用、電気自動車への乗り換え、蓄電池の活用、仮想蓄電サービスの利用がある。なかでも、太陽光発電と蓄電池の組み合わせは、小売電気事業者の供給力、すなわち「逆潮流アグリゲーション」としても期待されている。

しかしながら、需要家に電気を届ける小売電気事業者にとって、太陽光発電と蓄電池という組み合わせがどの程度のメリットをもたらすのか、明らかではない。蓄電池の普及が電力卸市場の安定化という視点から、どのように貢献し得るのかも、明らかではない。小売電気事業者にとって経済性という観点でメリットを出すことができなければ、需要家に導入を促すインセンティブも働かないことになる。

そこで、これらの課題を明らかにすることを目的として、前述の ESIRE モデルと日本の 1,914 戸の電力使用量データを用いてシミュレーションを行い、小売電気事業者という立場へ、家庭用蓄電池導入がどのような効果をもたらすのかを検証した。小売電気事業者にとってメリットをもたらす需要家とは、どのような特徴を持っているのかについても分析する。また、家庭用蓄電池の普及が進んだ場合を想定し、蓄電池の放電量が卸電力市場価格（以下、市場価格）に与える影響について定量化する。

3.2. 手法と前提

3.2.1. ESIRE モデル

蓄電池運用決定のシミュレーションモデルとして、ESIRE モデルを使用した。ただし、ESIRE モデルでは本来、家庭における電力の買電価格・売電価格を設定するところ、本シミ

ュレーションでは、家庭用蓄電池の導入により小売電気事業者が享受し得るメリットを定量化するために、買電価格・売電価格ともに卸市場価格を用いる。

すなわち、モデルの買電価格とは、本来、需要家が電気を購入する際の料金を意味するが、今回は、小売電気事業者が需要家に電気を売電するため市場から調達した価格となる。同様に、モデルの売電価格とは、小売電気事業者が需要家から電気を買い取り、市場へ卸した価格である。

3.2.2. 卸市場価格の想定

(1) 想定方法

卸市場価格は、日本卸電力取引所のエリアごとのスポット市場価格⁷を参照して想定した。ただし、昨今の太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギー導入による市場価格の低廉化などを考慮する。すなわち、電力使用量データの計測期間である2017年7月1日～2018年8月31日の日ごとの平均気温と日射量に最も近い、2019年度の日の価格を適用した。

具体的には、下記式より、計測期間の当該日の平均気温と日射量との距離の二乗が最小となる2019年度の日を探索する。平日休日は区別する。

$$D = \{a_1(t_1 - t_2)\}^2 + \{a_2(s_1 - s_2)\}^2$$

t_1 : 計測期間の日平均気温_℃

t_2 : 2019年度の日平均気温_℃

s_1 : 計測期間の全天日射量_MJ/m²

s_2 : 2019年度の全天日射量_MJ/m²

2 地点間の距離 D を算出する際、気温と日射量の両者の単位の違いを考慮する。具体的に、気温係数 a_1 、日射係数 a_2 を算出し重みづけ平均する。それぞれの係数は、市場価格を被説明変数、気温と日射量をそれぞれ説明変数とする季節別・平日休日別・時間帯別の重回帰式より算出する。

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \text{時間帯ダミー} + b$$

Y : 市場価格_円/kWh

X_1 : 気温_℃

X_2 : 全天日射量_MJ/m²

b : 誤差

気温係数 a_1 および日射係数 a_2 は、季節によって変化する（表 3-1）。これにより、市場価格が、日射量が多い春先は気温よりも日射の影響を受け、夏冬はその逆になる特性を考慮できる。

⁷一般社団法人 日本卸電力取引所；スポット市場取引結果; <http://www.jepx.org/market/index.html>

表 3-1 気温係数および日射係数の関係(平日)

		関東	関西	九州
春	気温 a_1	3.0%	0.1%	0.2%
	日射量 a_2	97.0%	99.9%	99.8%
夏	気温 a_1	55.0%	43.8%	80.9%
	日射量 a_2	45.0%	56.2%	19.1%
秋	気温 a_1	0.9%	1.7%	2.9%
	日射量 a_2	99.1%	98.3%	97.1%
冬	気温 a_1	10.6%	20.0%	16.6%
	日射量 a_2	89.4%	80.0%	83.4%

(2) 想定価格

前述の方法より求めた 2019 年度の価格、すなわち本シミュレーションに用いる市場価格想定と、データの計測期間である 2017 年 7 月 1 日～2018 年 8 月 31 日の実績について比較した（図 3-1）。

本シミュレーションで用いる市場価格は、計測期間の価格と比べ、原子力発電所の再稼働基数や太陽光発電導入量などの増加に加え、冷夏暖冬の気温影響も寄与し、低廉に推移している。冬の市場価格は、高騰した 2017 年 12 月～2018 年 2 月と比べると大幅に下落する。夏の市場価格は、関東は計測期間とほぼ同水準となり、関西や九州は、計測期間よりも下落する。

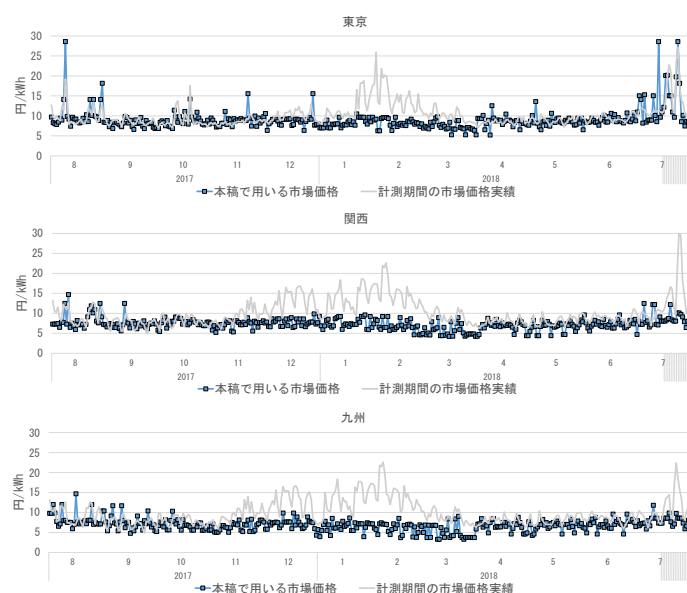


図 3-1 市場価格の想定

3.2.3. 蓄電池出力の想定

蓄電池出力は 3kW、蓄電池容量は 6kWh と想定する。

3.3. 調達費用削減効果と需要家の特徴

以上の前提に基づき、蓄電池の充放電シミュレーションを実施した結果を以下に示す。

3.3.1. 年間調達費用削減効果

年間調達費用は、蓄電池を導入した場合としない場合では、蓄電池を導入した方が世帯あたり年間 1 万円程度削減された（表 3-2）。寒冷地域で比較的年間電力消費量が多い東北の住宅の削減効果が最も大きい。他方、年間電力消費量が比較的小さい中部や関西の削減効果は小さくなっている。削減効果は、年間電力消費量が多いほど、大きい傾向がある（図 3-2）。属性別にみても、消費が多い世帯ほど削減効果大きい。

表 3-2 調達費用削減効果（年間平均、PV 保有世帯）

エリア	世帯あたり削減効果(円)	世帯あたり電力消費(kWh)	n数
東北	-10,721	7,927	72
関東	-9,775	7,141	598
中部	-7,214	6,599	466
北陸	-8,858	7,087	130
関西	-8,712	6,998	234
中国	-9,084	6,876	58
四国	-10,317	7,971	69
九州	-10,529	7,797	233

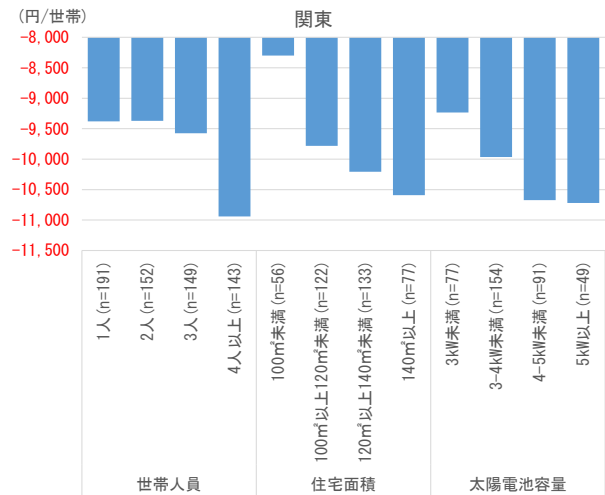


図 3-2 調達費用削減効果 (属性別、PV 世帯、n=598)

ただし、削減効果が属性の規模に比例しない地域も散見されるほか、削減効果の分布に

も、ばらつきがみられた（図 3-3）。

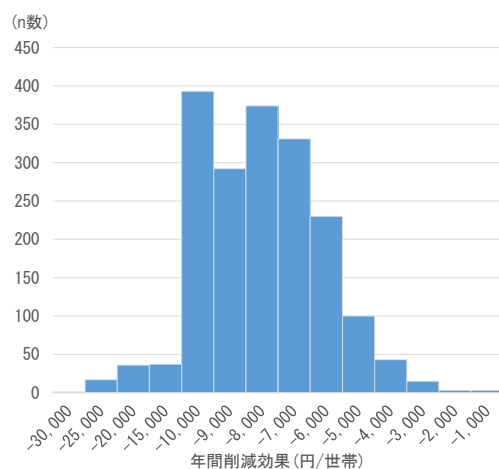


図 3-3 年間削減効果の分布 (全国 n=1,914)

3.3.2. クラスタ分析による需要パターンの分類

削減効果の違いをもたらす要因をより詳細に把握するため、本節では、関東の充放電量について、世帯毎に月別・時間帯別平均カーブを算出し、Ward 法を用いたクラスタ分析にて分類を行った。

これにより、4つのクラスターに分類されたが、この分類においても、削減効果は、電力消費量に応じて大きい傾向がみられる（図 3-4）。

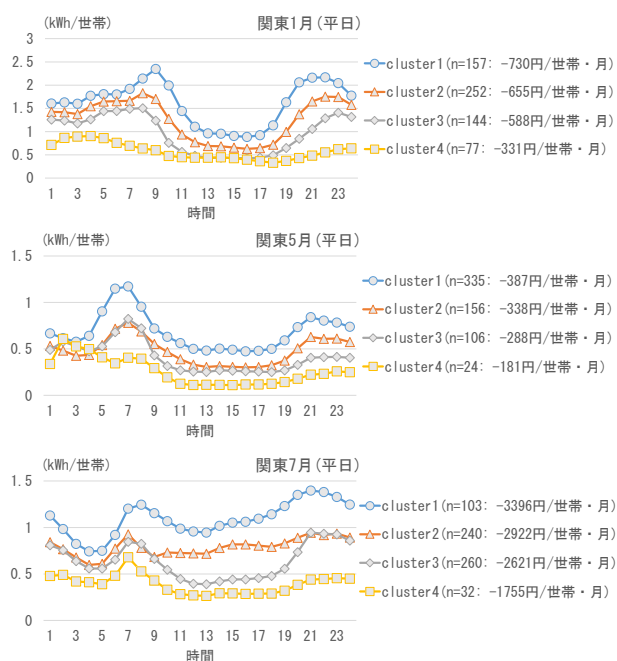


図 3-4 需要パターンと削減効果(関東)

さらに、太陽光発電量が比較的多い5月の需要分布（図 3-5）から、日平均電力消費量が同じ水準でありながら削減効果が高いクラスターと低いクラスターについて、時間帯パターンを比較した。

日平均電力消費量が 12～14kWh の水準にあるクラスター1 とクラスター2 を比較すると、太陽光発電量には違いがみられないが、放電量が多い時間帯に違いがあった（図 3-6）。すなわち、削減効果が高いクラスター1の方が、クラスター2に比べて、市場価格が高くなる点灯帯により多くの需要を放電により賄う傾向がみられる。

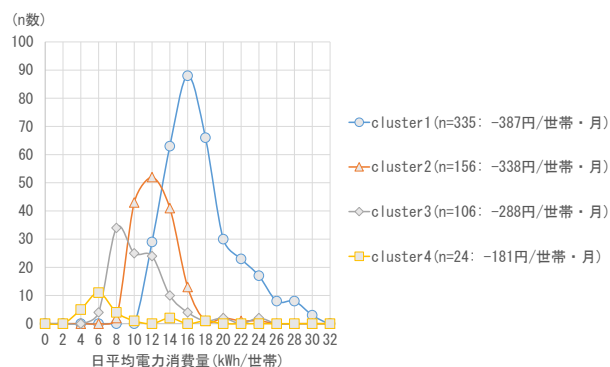


図 3-5 クラスター別日平均電力消費量の分布
(関東5月平日)

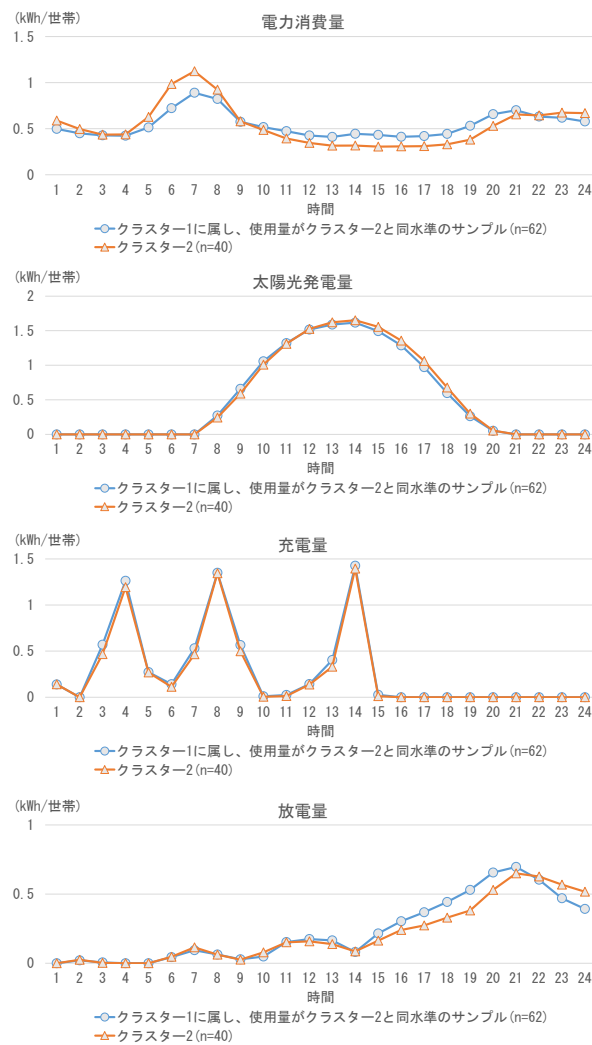


図 3-6 日平均電力消費量が同水準のクラスター1 と
クラスター2 の比較 (関東・5月平日)

3.4. 家庭用蓄電池の普及が市場価格に与える影響一試算

本節では、太陽光発電パネル設置住宅における蓄電池導入による市場価格への影響を、蓄電池が導入されなかった場合の推計値と比較することにより検証する。

3.4.1. 検証方法

ESIRE モデルによるシミュレーション結果から得られる充放電量について、世帯あたりの月別・時間帯別平均カーブを算出し、当該エリアの 2018 年の太陽光発電パネル住宅（戸建住宅）の総数を乗じ、当該エリアの月別・時間帯別充放電量を求める。当社が開発中のメリットオーダーシミュレーションモデルの月別・時間帯別火力需要⁸⁾に、それぞれ充放電量を代入した場合の限界費用と、充放電量を 0 とした場合の限界費用の差を、蓄電池導入による市場価格への効果とみなす。

対象エリアは、サンプルの年間平均電力消費量が全国平均に最も近い中部エリアとする。シミュレーション期間は、2019 年度の 1 月、7 月、10 月とする。

中部エリアにおける太陽光発電パネル設置住宅(除、共同住宅)は、2018 年現在 41 万戸⁹⁾ある。世帯数に占める太陽光発電パネル設置住宅の割合は約 5%である。

3.4.2. 結果

これらの太陽光発電パネル設置住宅すべてに蓄電池を設置した場合、中部エリアの市場価格は、未明から朝方にかけて、蓄電池を設置した場合の市場価格より上昇した(表 3-3)。これは、比較的安価な未明の時間に蓄電池が充電を行うことによる。午前中から昼間にかけては、太陽光発電による充電が行われるものの、サンプルによっては放電もあるため、価格差は相殺された。夕方から夜間は、放電が行われるため、蓄電池を設定する場合の方が、設置しない場合より低下した。

この手法は、蓄電池の導入により、安価な時間帯に充電、高価な時間帯に放電することによる市場価格の平滑化効果を定量化することができる。

表 3-3 蓄電池導入による市場価格の平滑化効果(中部、平日)

		蓄電池なし	蓄電池あり	価格差
1月	朝(0-7)	6.7	7.0	0.3
	昼(8-15)	7.3	7.2	-0.1
	夜(16-23)	8.5	8.3	-0.3
7月	朝(0-7)	4.6	4.9	0.3
	昼(8-15)	6.6	6.6	0.0
	夜(16-23)	7.3	7.1	-0.2
10月	朝(0-7)	6.1	6.2	0.1
	昼(8-15)	6.5	6.5	0.0
	夜(16-23)	7.4	7.1	-0.3

3.5. 考察

現状の市場価格下において算出された平均年間・世帯あたり 1 万円という削減効果は、蓄電池本体価格が kWh あたり数十万円とされる現状において、小売電気事業者にとって十分

な原資をもたらす結果ではなかった。しかし、削減効果は世帯によるばらつきも大きく、市場価格が高い夕方の時間帯における電力使用量が多い世帯では比較的大きい削減効果が見られた。小売電気事業者にとって、経済的メリット以外の効果にも遡及しつつ、削減効果が高い需要家の特徴を把握し、ターゲットを絞りながら事業展開してゆくことが重要と考えられる。

また、今後の再生可能エネルギーの普及などの状況によって、昼と夜間の市場価格の値差が拡大すれば、削減効果は今回の試算より大きくなる可能性がある。一方、家庭用蓄電池の普及拡大が市場価格の平滑化をもたらす可能性も示唆された。中長期的な視点として、小売電気事業者は、両者の相反する影響を検証しながらの事業展開が必要となろう。

4. 日台の電力使用量の相違を踏まえた蓄電池経済性の差異

4.1. 目的

前述したように、台湾の電力使用量は日本と比較し、暖房需要が非常に小さく冬の使用量が小さい、共働き世帯が多く日中の使用量が小さいといった違いがある。また、太陽光発電量は、本来日射量の大きい4～9月が雨季や台風の多い季節であることから、年間を通じた差が小さいといった特徴がある。

このような、日本と台湾の電力使用量や太陽光発電量の相違を踏まえると、蓄電池の普及において経済面ではどのような差異が現れうるのかについて考察する。

4.2. 手法と前提

蓄電池運用決定のシミュレーションモデルとして、ESIRE モデルを使用した。

需要と太陽光発電量の実績値(予測値も同値)は、台湾の住宅用電力シミュレーションデータと、日本の住宅サンプル平均値(n=7)の2つの需要パターンを用いる。需要パターンの違いが及ぼす影響を明らかにするために、これ以外の条件、例えば買電価格・売電価格は、日台いずれにおいても同値を設定した。

買電価格の想定は、台湾の現在の季節別電灯契約の従量料金⁸を参考とした(表 4-1)。この従量料金では、昼間(7時～22時半)の電気料金がそれ以外の時間帯よりも3倍以上高い。このため、蓄電池導入は、太陽光発電余剰電力の充電のみでなく、夜間充電・昼間放電によっても経済効果をもたらす。

売電価格は、将来的な太陽光発電導入拡大による売電価格低下を見据え、kWhあたり4元(約14.4円)、3元(約10.8円)、2元(約7.2円)、1元(約3.6円)の4ケースを想定した。

すなわち、表 4-2 に示す計8ケースの電気料金を算出した。ここで、蓄電池導入による電力削減効果は、蓄電池を設置しない場合の電力料金から蓄電池を設置した場合の電力料金

⁸ 台湾電力公司 電價表;

<https://www.taipower.com.tw/upload/238/2018032911372895293.pdf>

平日の料金設定を参考にした。元は台湾ドル。1元≒3.6円。

を引いたものと定義する。

表 4-1 台湾の季節別電灯契約における電気料金(2020 年)

単位：元

		夏(6/1～9/30)	夏以外
基本料金		75.00	
従量料金	7:30-22:30	4.44	4.23
	0:00～7:30	1.80	1.73
	22:30～24:00	1.80	1.73

表 4-2 モデルの想定条件とケース一覧

	売電価格	買電価格	需要等
台湾ケース1	1元	台湾の季節別 従量料金	台湾住宅用電力 シミュレーショ ンデータ (n=1)
台湾ケース2	2元		
台湾ケース3	3元		
台湾ケース4	4元		
日本ケース1	1元		日本のHEMSに よる計測データ (n=7の平均値)
日本ケース2	2元		
日本ケース3	3元		
日本ケース4	4元		

4.3. 蓄電池導入による電気料金削減効果

4.3.1. ケース別・蓄電池有無別の電気料金

ケース別・蓄電池有無別の電気料金について図 4-1 に示す。年間電気料金は、売電価格が高いケースほど、余剰電力による売電収入が得られ低下する。各ケースにおける蓄電池を設置しない場合の電気料金から蓄電池を設置した場合の電気料金を差し引いた差額、すなわち蓄電池を導入した場合の年間電気料金削減効果は、売電価格の最も小さいケース1が最も大きくなった。また、この年間電気料金削減効果を、買電抑制効果と売電収入効果に分解した結果を図 4-2 に示す。

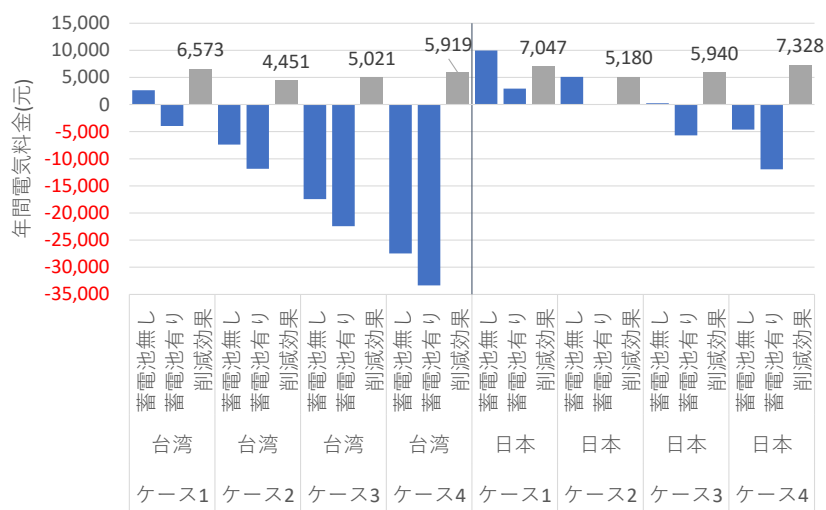


図 4-1 ケース別・蓄電池有無別電気料金

台湾ケース 1 は台湾ケース 2～4 と比べ最も効果が大きかった。台湾ケース 1 では、蓄電池を設置した場合の電気料金は、設置しない場合と比べて年間 6,573 元削減された。太陽光発電による余剰電力を充電し使用量が多い夜間に放電したことが削減に寄与した(買電抑制要因+9,357 元)。他方、蓄電池を設置しなければ売ることができた売電収入は電気料金の増加に寄与した(売電収入要因-2,784 元)。

台湾ケース 2 では、蓄電池を設置した場合の電気料金は、設置しない場合と比べて年間 4,451 元削減された。未明の時間帯の安い電気を購入して充電し夜間に放電したことが主な要因であった(買電抑制要因+4,614 元)。

台湾ケース 3 では、蓄電池を設置した場合の電気料金は、設置しない場合と比べて年間 5,021 元削減された。台湾ケース 2 と同じく未明の時間帯の安い電気を充電し夜間に放電したことが削減に寄与した(買電抑制要因+2,756 元)。また、売電収入も削減に寄与した(売電収入要因+2,266 元)。

台湾ケース 4 では、蓄電池を設置した場合の電気料金は、設置しない場合と比べて年間 5,919 元削減された。未明の時間帯による充電により買電抑制要因は+2,247 元、売電収入要因+3,672 元であった。台湾ケース 4 は、台湾ケース 1 に次いで高い削減効果であった。

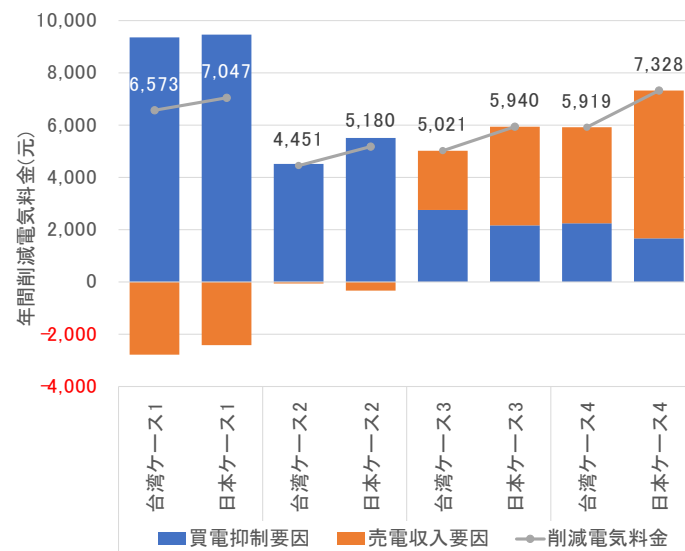


図 4-2 蓄電池導入による年間削減電気料金と要因分解

4.3.2. 台湾と日本の比較

日本ケース 1～4 の充放電の状況は、台湾ケース 1～4 とほぼ同じ傾向であった。ただし、日本ケース 1～4 は、すべてのケースにおいて台湾ケース 1～4 を上回った。これは、日本の年間需要が台湾よりも大きく、需要に比例して充放電量も多かったことが主に影響したものであって、需要パターンの違いによるものではなかった。

日本ケース 4 は、日本ケース 1～3 と比べ削減効果が大きかった。これは、非需要期でかつ日射量が多い中間期を中心に、余剰電力による売電収入を得たことが影響した(図 4-3)。

台湾と日本のどちらの需要パターンを用いても、太陽光発電による余剰電力を蓄電池で有効活用したケース 1 が、売電収入が最も多いケース 4 と同等またはそれ以上の削減効果をもたらした。ケース 2～3 は、安い時間帯であっても購入電力を充電しており一定の買電料金がかかったことが削減効果を抑制した。

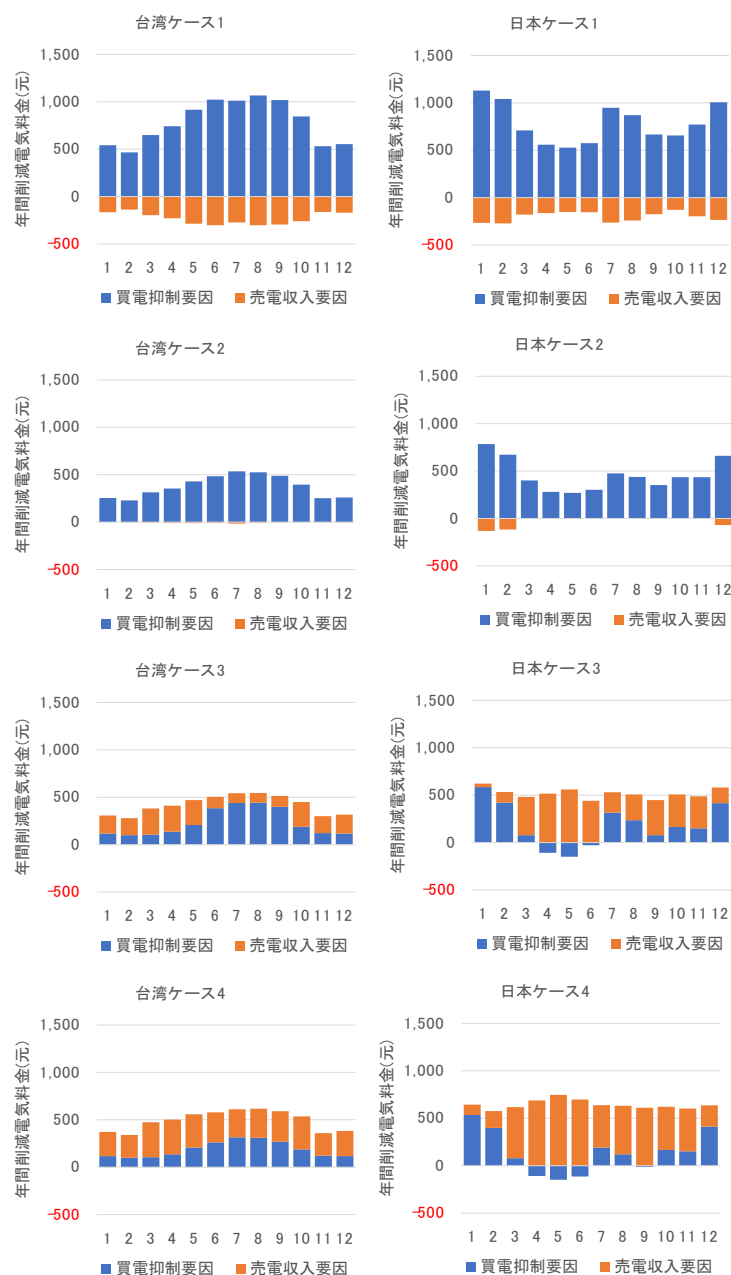


図 4-3 蓄電池導入による月別削減電気料金と要因分解

4.4. 考察

太陽光発電の余剰電力の売電価格が買電価格より安い場合には、蓄電池は太陽光発電による余剰電力を充電し買電価格が高い時間帯に放電するという運用がなされ、買電費用抑制による経済的メリットが得られるようになる。夜間需要が大きくなる季節、すなわち台湾の需要パターンでは夏季、日本の需要パターンでは夏季と冬季にこのメリットが得られやすい。

売電価格が買電価格より安くない場合には、買電費用抑制効果は小さい。ただし、夜間の電気料金が安い場合には、未明の時間帯で充電し日中に放電して売電するという運用によって売電収入が得られる。季節によって未明需要が大きく変わる日本の需要パターンでは、季節によってこれらの内訳が大きく変化していた。

ただし、年間トータルでは、日本と台湾の需要パターンが、蓄電池導入による経済効果に著しい影響はもたらしえていなかった。日本と台湾それぞれにおける蓄電池の普及は、買電価格・売電価格といった電気事業・再生可能エネルギー政策に左右されるところが大きいことがわかった。

5. 結論

本研究では、ゼロ・エミッション・ハウスの構成要素のうち、太陽光発電と蓄電池に着目し、その経済的価値を蓄電池運用決定のシミュレーションを用いて評価を行うことで、経済面からの蓄電池の導入可能性について考察することを目的とした。

まず蓄電池普及の環境が整いつつある日本を対象として、住宅における蓄電池導入がどのようなメリットをもたらしているのかを、導入サービスの提供者となり得る小売電気事業者の立場から検討した。現状の卸市場価格下においては小売電気事業者がこのようなサービスを積極的に行うための原資を得ることは、少なくとも平均的には困難であることがわかった。経済的メリット以外の効果にも遡及しつつ、削減効果が高い需要家の特徴を把握し、ターゲットを絞りながら事業展開してゆくことが重要と考えられる。

また、日本と台湾の電力使用量の相違を踏まえると、蓄電池の普及において経済面ではどのような差異が現れうるのかについて検討した。台湾の電力使用量は日本と比較し、暖房需要が非常に小さく冬の使用量が小さい、共働き世帯が多く日中の使用量が小さいといった違いがある。また、太陽光発電量は、本来日射量の大きい4～9月が雨季や台風の多い季節であることから、年間を通じた差が小さいといった特徴がある。ただし、年間トータルでは、日本と台湾の需要パターンが、蓄電池導入による経済効果に著しい影響はもたらしえていなかった。日本と台湾での蓄電池の普及は、買電価格・売電価格といった電気事業・再生可能エネルギー政策に左右されるところが大きいことがわかった。

6. 謝辞・その他

ESIRE モデルの開発者である、

東京大学生産技術研究部門

エネルギーシステムインテグレーション社会連携研究部門 岩船由美子教授

に、感謝の意を表します。

また、データの提供にあたりご協力いただきました、

株式会社ミサワホーム総合研究所 兼ミサワホーム株式会社 飯島雅人氏

ミサワホーム株式会社 技術部 性能技術課 川上隆士氏
に、心より感謝の意を表します。

本報告書の内容は、著者および共同研究者が執筆した以下の講演論文の内容を再構成したものです。

- ・ 武田桃子他, 「ESIRE モデルを利用した家庭用蓄電池導入による経済性の検証」, エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 39, 298-302, 2020-07-28
- ・ Yu-Tong Ning 他, 「台湾住宅用電力シミュレーションデータの対日本比較と蓄電池導入効果のモデル分析」, エネルギー・資源学会コンファレンス講演論文集 37, 345-350, 2021-01-26

RE100 イニシアチブが重視する信頼性高い再エネ属性トラッキングについて

一般社団法人 CDP Worldwide-Japan 高瀬香絵

概要

再エネ調達を積極的に行うことで世界の脱炭素化を進展させる、世界の大企業による RE100 イニシアチブでは、ただ再エネであればいいということではなく、どのような再エネを購入しているかが重要である。欧州の発電源証明、北米の REC、その他の国における I-REC など、信頼性の高いトラッキングが行われている国が増加する中、日本では、電源情報をあえて明示しない非化石価値証書が拡大している。一方、台湾では、中央が主導する T-REC を 2017 年に開始し、2020 年から取引市場も開設している。

RE100 による要請により、2019 年から非化石価値証書にトラッキング情報をつける実証実験が資源エネルギー庁によって実施されている。トラッキングの重要性の認識が高まる一方で、シングルプライスオークション等、需要家側が安易に調達できる構造とはなっておらず、今後の改善が必要である。

1. 背景と目的

パリ協定の前後に、非政府アクターである企業・投資家・自治体が、温室効果ガス削減目標や再エネ調達目標を宣言することで、パリ協定が高い目標となることを促す動きがあった。筆者が所属する CDP は、英国発祥の国際 NGO であり、企業や都市の環境情報開示プラットフォームを投資家や大企業要請にて運用する一方で、脱炭素化を促す「行動」についてのイニシアチブも立ち上げており、Science Based Target Initiative (SBTi)や RE100 を他の団体と協働で運用している。

RE100 イニシアチブは、イケアとスイス再保険、そして英国発祥の国際 NGO である The Climate Group と CDP が発足したイニシアチブであり、時点を明示した形で、企業のグローバルな操業にかかる電力消費の 100%を再生可能エネルギーによって賄うことを宣言するものである。2021 年 3 月現在、世界全体で 290 社以上がコミットしており、うち日本企業については 50 社が参加している。

では、何をもって「再エネを消費した」と言えるのだろうか。瞬時瞬時の発電構成や、時間を区切った場合の電源構成は系統全体としてはわかるが、そのうちの再エネ分だけの消費の主張ができるのだろうか？それとも RE100 イニシアチブ参加企業は、系統全体が再エネ 100%になるのを待つしかないのだろうか？

企業の温室効果ガス排出についての算定報告基準については、国際的には WRI（世界資源研究所）と WBCSD が開発している GHG プロトコルの企業基準が多く用いられており、SBTi や CDP 報告、RE100 については、GHG プロトコルに準拠している。GHG プロトコル企業基準は、2015 年に企業基準を書き換える形で、スコープ 2 ガイダンスを発表した。スコープ 2 ガイダンスでは、企業は、系統（または市場）全体の平均排出原単位に基づいた排出量である「ロケーション基準」と、契約に基づく契約先の排出原単位を当てはめることができる「マーケット基準」の両方を算定・報告すべきとしている。RE100 イニシアチブでは、「マーケット基準」の算定報告の考え方をベースとし、再エネの定義も追加しながら、「RE100 技術要件」を設定している。

RE100 技術要件では、再エネの種類に加えて、調達的手段として 7 種を定義し、加えてそれぞれの種類について、主張するのに必要な要件（契約、第三者検証等の必要性）を定義している。どの手段においても、再エネ属性をダブルカウントしないための「トラッキング」があることが、信頼性の高い再エネ消費の主張のために重要であり、RE100 の「信頼性の高い再エネ消費」についてのベストプラクティス文書では、信頼性の高い消費主張をするための基礎的インフラとしてのトラッキングの重要性が述べられている。

本研究では、信頼性の高い再エネ消費のために重要なトラッキングについて、各国での整備状況に加えて、日本の現状と課題を検討したものである。その際には、トラッキングのない国において導入が行われ、CDP や RE100 においても信頼性高いトラッキングとして認知されている I-REC 規格(International REC Standard)の詳細について例示し、また日本と

台湾での状況や今後の展望についても検討した。

2. RE100 要件と信頼性高いトラッキングのベストプラクティス

2.1. RE100 要件

RE100 要件について以下にまとめる。RE100 では、100%再エネによって賄う対象を、グローバルな操業全体としており、それを「自家発電」ないしは「調達」によって達成するべきと定義している。

自家発電については、再エネ電力の発電を自ら所有する設備で行うことと定義し、系統に接続していても、オンサイト（敷地内）でもオフサイト（敷地外）でも、全く系統に接続していなくても構わないとしている。企業は自ら発電した再エネ電力を消費するか、または生産時の権利の主張のみをすることも可能である。

再エネの調達については、再エネ電力の調達を市場の発電設備やサプライヤー（供給事業者）から行うこととしており、これには、特定の発電設備からの直接購入（例えば、電力購入契約(PPA, Power Purchase Agreement)）も含まれ、発電設備は、自社敷地内にあっても、敷地外にあっても構わないとしている。ここには、サプライヤー（供給事業者）や電力会社からの供給や、そして独立した（分離した）エネルギー属性証明の購入も含まれる。

RE100 が再エネ電力と定義するのは、バイオマス（バイオガスも含む）、地熱、ソーラー、水力、風力による電力である。CDP が主宰する RE100 の技術アドバイザリグループ(TAG) は、環境や社会的持続可能性の観点から、今後これらの技術を評価し、ベストプラクティスへの合意ができれば、推奨条件や要件を導入する可能性がある。

RE100 が定義する再エネの調達方法は、自家発電を含むと以下の 7 種（「それ以外」を含む）である（表 1）。

表 1 RE100 における再エネ調達手段

自家発電
1. 企業が保有する発電設備による発電
購入電力（調達）
2. 企業の敷地内にサプライヤーが保有する設備からの電力購入
3. 企業の敷地外に設置した発電設備を、系統を経由せずに自営線を経由して利用
4. 企業の敷地外にある系統に接続した発電設備からの直接調達
5. サプライヤー（電力供給事業者）との契約（グリーン電力メニュー）
6. 再エネ属性を分離してあつかう属性証明の購入
7. それ以外の方法

RE100 では、再エネ電力消費とは、再エネ電力による発電や再エネ属性の消費（利用）に

ついて、ユニークな、つまり、ダブルカウントのない主張を行うことができること、と定義している。市場や環境についての報告基準(GHG プロトコルスコープ2 ガイダンスを含む)では、こういった消費の主張について、必要条件や要件を設定している。それには、企業は、消費の主張を行いたいエネルギーを発生させた設備が発行した、エネルギー属性証明を償却または保持する、ということを含む。トラッキング・システム(属性証明の追跡システム)のない国では、消費の主張は契約ないしは他の主張のダブルカウントがなく 1 回だけであることを保証する他の手段によって、属性の移転が行われる必要がある。

以下、RE100 要件における、それぞれの手段についての消費の主張の要件をまとめた(表 2)。

表 2 RE100 要件における調達手段別に消費の主張のために必要な要件

	例	消費の主張(トラッキングあり)	消費の主張(トラッキングなし)
1. 企業が保有する発電設備による発電	屋根に載せた太陽光(自社保有)	発電、消費、売電量を <u>開示</u> 。	再エネ属性の保持(他主体が主張しないことを担保)
2. 企業の敷地内にサプライヤーが保有する設備からの電力購入	他社保有の屋根に載せた太陽光のリース契約	系統に接続している場合、属性証明が保持または償却	<u>契約</u> によって属性が消費企業に移転し保持・償却を担保
3. 企業の敷地外に設置した発電設備を、系統を経由せずに自営線を経由して利用	敷地外から自営線で供給	系統に接続せず、計測されている場合は属性証明の発行は不要。発行の場合は保持・償却。	
4. 企業の敷地外にある系統に接続した発電設備からの直接調達	PPA、自己託送	該当プロジェクトの属性証明を消費企業のために保持・償却。	<u>契約</u> によって属性の正しい移転・償却を担保。
5. サプライヤー(電力供給事業者)との契約(グリーン電力メニュー)	再エネメニュー等	電力サプライヤーが消費企業のために属性証明を保持・償却。メニューは認証を受けるか、第三者検証を受ける必	<u>契約</u> ないしはダブルカウントがないことを担保する類似した仕組み。 <u>メニューは認証を受けるか、</u>

		要がある。	<u>第三者検証</u> を受ける必要がある。
6. 再エネ属性を分離してあつかう属性証明の購入	グリーン電力証書・再エネ J-クレジット	認証または販売についての 第三者検証 が必要。 認証プログラム を利用していない、または利用できない場合、排他的消費の主張について第三者検証を受ける必要があります	

以上から、属性証明（トラッキング）のない地域においては、契約や第三者検証、認証が必要となり、再エネの消費を主張するのに費用がかかってしまうことがわかる。

2.2. 信頼性高い再エネ消費の主張

RE100 イニシアチブの公式文書である「**Making credible renewable electricity usage claims¹**」では、信頼性高く再エネ消費の主張をするための要件が整理されている。温室効果ガス排出を小さくする効果について、クレジットと再エネ属性証明が全く異なるコンセプトで作られたものであり、クレジットは GHG プロトコルでは活用ができないことに加えて、温室効果ガス排出だけではなく、再エネの消費自体の主張についての記載もある。

信頼性高く再エネ消費の主張するための要件として、以下の 6 点が挙げられている。

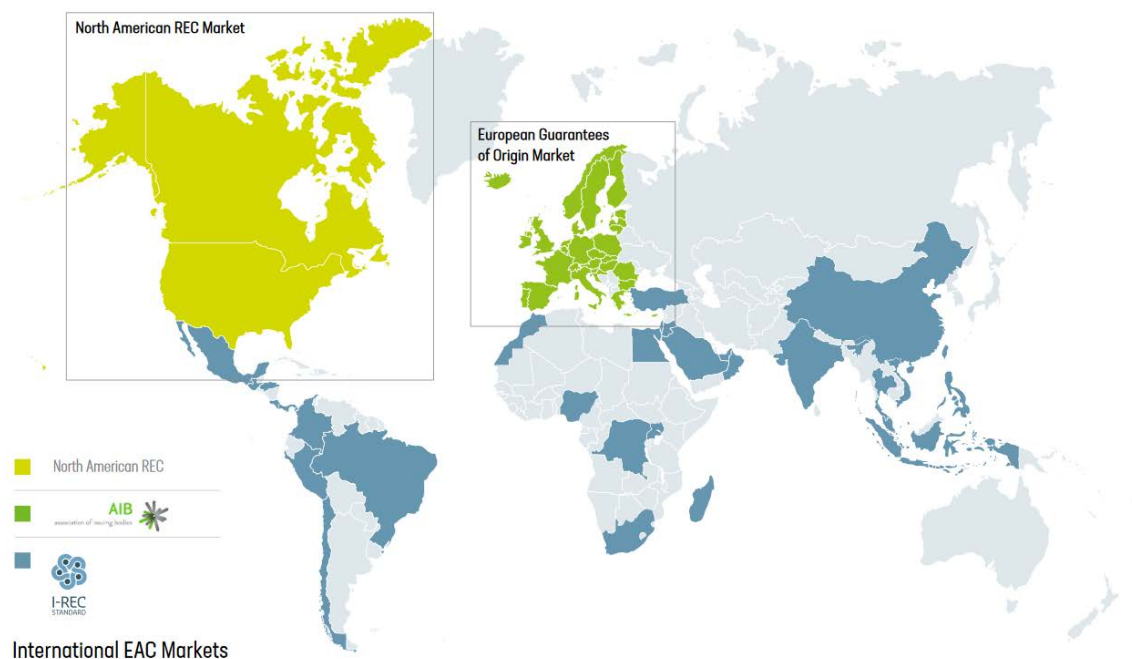
1. 信頼性のある発電データ
2. 属性の統合
3. 属性の排他的所有(ダブルカウントはしてはいけない)
4. 属性の排他的主張(ダブル主張をしてはいけない)
5. 主張の地理的制限(属性と電力は同じ市場である必要)
6. 属性情報の古さについての制限

上記 6 要件のうち、「3.属性の排他的所有」の箇所については、トラッキングが実施されていることが重要となってくるが、文書には「主張は、発電機から消費者まで確実に追跡された属性によって立証されなければならない」との記述がある。この「追跡（トラッキング）」については、契約に基づくことも可能であるが、「エネルギー属性証明を追跡するための最も洗練されたメカニズムは、電子的な属性トラッキングシステムであり、このシステムでは、証書は電子的にシリアル化され、システム上にアカウントを持つ発電機に発行され、取引されるシステムのアカウント所有者間で追跡（トラック）され、最終的には、再エネ消費の主張を行う事業者またはエンドユーザーに代わって、電子的に永久抹消または償却される。」

¹ RE100 Technical Advisory Group members, 'Making credible renewable electricity usage claims' (2016.4) [RE100 Making Credible Claims.pdf \(there100.org\)](https://there100.org/RE100-Making-Credible-Claims.pdf)

との記載もある。

こういった「トラッキング・システム」の事例として、1) 北米の REC トラッキング・システム、2) EU の発電源証明(Guarantee of origin)、3)国際 REC 規格(I-REC Standard)が挙げられている（図 1）。



出典：I-REC

図 1 北米 REC、EU 発電源証明、他地域の I-REC

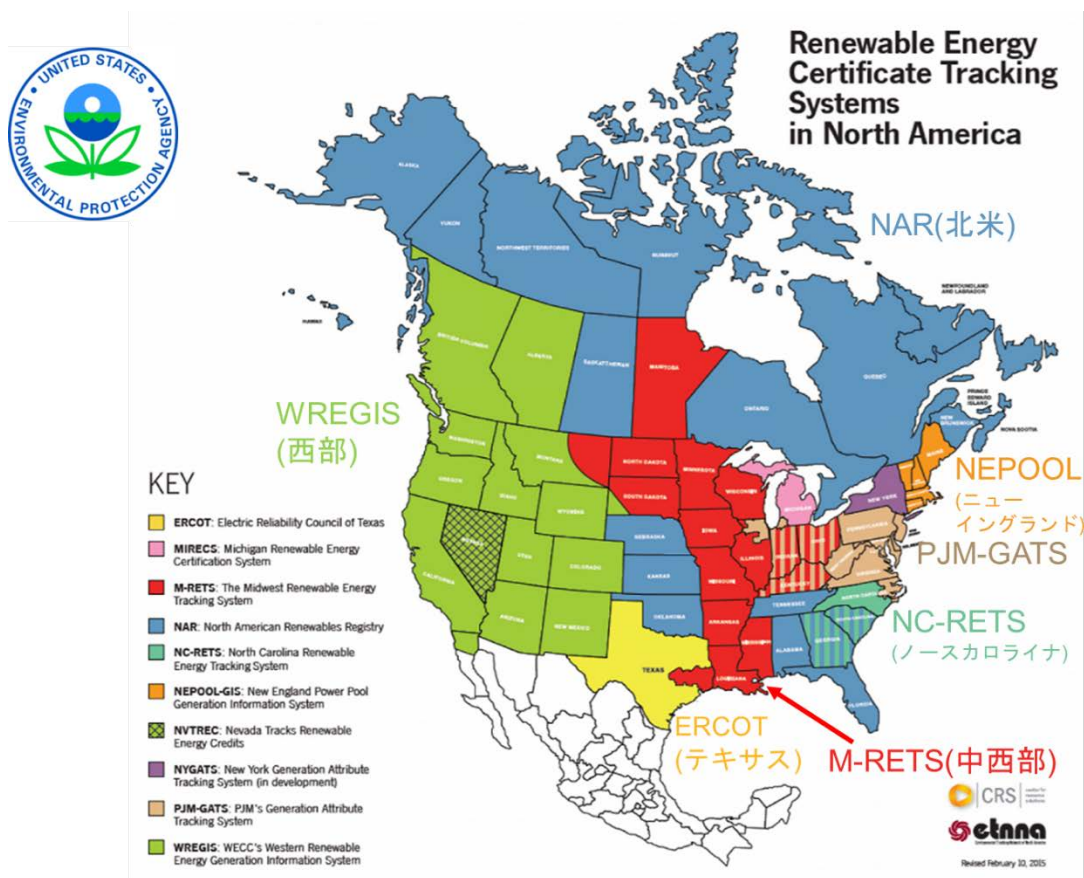
これら 3 種についての概要は以下の通り。

2.2.1. 北米の REC トラッキング・システム

米国、カナダ、北バハ・カリフォルニアの電力市場には、地理的にバウンダリが定義された様々なトラッキング・システムが導入されている。これらのシステムは、主に州レベルの再エネ導入規制（再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準、RPS）のために開発されたものであり、自由化された電力市場において、どこから供給されたかを証明できるようにすることが目的である。加えて、規制だけではなく、自主的により多くの再エネを調達したいとする RE100 イニシアチブ参加企業のような企業の調達にも活用されている。州によっては、RPS 達成に計上した再エネについては、自主的な主張ができないとしている地域もある。開発については、当初政府からの資金が提供されていたものが多い。

トラッキング対象について、米国北東部の NEPOOL-GIS、PJM-GATS の 2 システムでは全電源を対象としているが、残りの地域では再エネのみが対象となっている。州のみでトラッキング情報が閉じているシステム（例：ノースカロライナ州とテキサス州）もあるが、多

くのシステムでは、複数の州のフットプリントをカバーするように設計されたトラッキング・システムに参加している。(図 2)



出典：米国環境庁(https://www.sustainability.gov/pdfs/federal_rec_guide.pdf)

図 2 北米の REC システム概要

中西部の M-RETS のレジストリについての画面を例示した (図 3)。M-RETS® アカウントを作成するには、1)オンラインで登録、2)レジストリ書類の確認及び補足レジストリ書類の提出、3)アカウント&追加アカウントの新設によってアカウントが簡単に構築できる。一般的な会費は年間 2200 米ドルである。

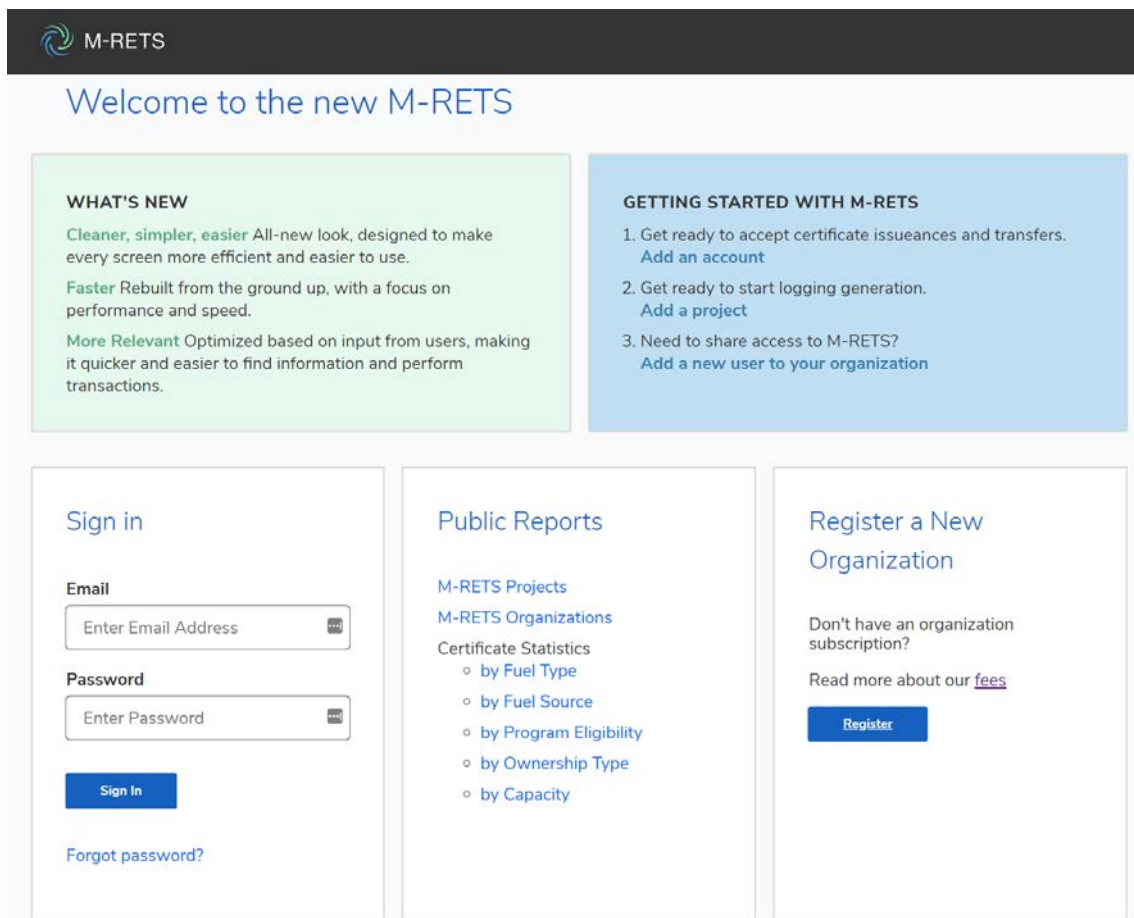


図 3 米国中西部の M-RETS のレジストリ画面

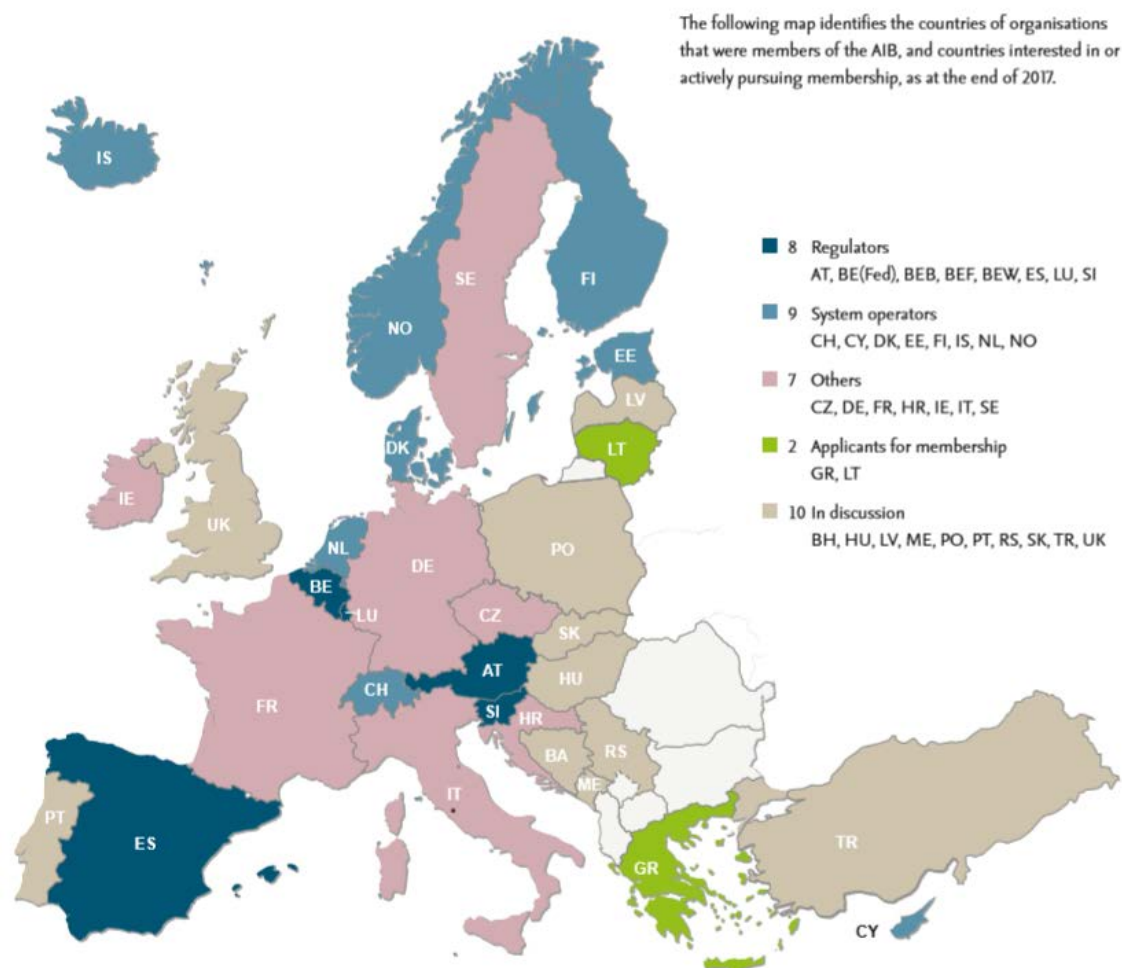
2.2.2. 欧州エネルギー証書システム(EECS)、発電源証明(Guarantee of Origin)

発電源証明(GO)は、再生可能エネルギーの割合を最終消費者に証明するための欧州共通の要件である。国の発電源証明(GO)トラッキング・システム導入の義務化は、欧州の法律に組み込まれている。一方で、この要件だけでは、GO が信頼できるエネルギー属性証明書であることを保証するために必要な技術システムが義務付けられるわけではない。

各国の GO 発行者が欧州エネルギー証書システム (EECS 規格) を採用することで、消費者の主張の標準化とエネルギー属性証書の堅牢性が確保されている。EU 加盟国の大多数が EECS に加盟しており、EECS 加盟国間では、証明書を他の EECS 加盟国に電子的に転送し、その地域での電力消費量を証明することができる。

全 EECS 加盟国では、消費者の電力使用量の主張に対して、GO を償却することによる検証を義務付けている。これらの国では、電力供給会社が納入した電力製品 (メニュー) を頻繁に監査することで、電力供給会社の製品 (メニュー) が事実に基づいていることを確認している。スイスとオーストリアでは、再生可能か非再生可能かにかかわらず、電力供給会社が納入するすべての電力製品 (メニュー) について、GO による消費者の主張の検証が義務

付けられている。こういった方針は、完全開示と呼ばれ、他の多くの EU 加盟国でも議論されている。



出典：Association of Issuing Bodies (AIB), ‘Annual Report 2017’

図 4 欧州諸国の AIB（発行者協会）の加盟状況（2017 年時点）

発行者協会(Association of Issuing Bodies, AIB)のメンバーは 24 国/地域であり、うち、発行者の分類としては規制当局が 8、送電事業者が 9、その他が 7 となっている（図 4）。

発電源証明についてのレジストリを下に示した。CMO.grexel は、欧州最大のレジストリプロバイダであり、14 か国に、エネルギー証書システム (EECS)® 証書, 国による発電源証明, バイオメタン証書, 水素の生産源証明, CO2 排出権・除去証書のレジストリを提供している（図 5）。

Home Info Reports Log in

Domain protocol Agreements How To Join Fees Issuing Bodies Production Registrars

Info > How To Join

To open an account to CMO.grexel, you need first to select which domain you would like to join. In case you have production device(s) and wish to Issue certificates from the energy produced, you should select the domain where the device(s) is/are located. In case you are just about to trade certificates, you are free to select the domain.

Domain	How to Join
Finland Biomethane	If you want to open an account for Finnish biomethane GO, please contac Gasum .
CertifHy	If you wish to open an accout for CertifHy hydrogen GOs, see instruction here
Croatia	If you wish to open an account in domain Croatia, please contact www.hrote.hr
Denmark	If you wish to open an account in domain Denmark, please contact Energinet.dk
Iceland	If you wish to open an account in domain Iceland, please contact Landsnet .
Ireland	If you wish to open an account in domain Ireland, please contact http://goo.sem-o.com
Lithuania	If you wish to open an account in domain Lithuania, please contact Litgrid .
Luxembourg	If you wish to open an account in domain Luxembourg, please fill in the Account Application Form and send it to the Issuing Body: Institut Luxembourgeois de Régulation (ILR) Service Énergie L-2922 Luxembourg Christian Meyers Phone+352 28 228 343 Email: energie(at)ilr.lu

図 5 発電源証明のレジストリ

2.2.3. 国際 I-REC 規格

国際 REC 規格は、国ではなく、信頼できるトラッキングがない地域にて操業を行う需要家等によるステークホルダーが主導する組織であり、信頼できるトラッキング・システムに必要なルール等を「I-REC 規約」としてまとめており、それに基づいたシステムを、現在 30 か国以上にて運用している（図 6）。

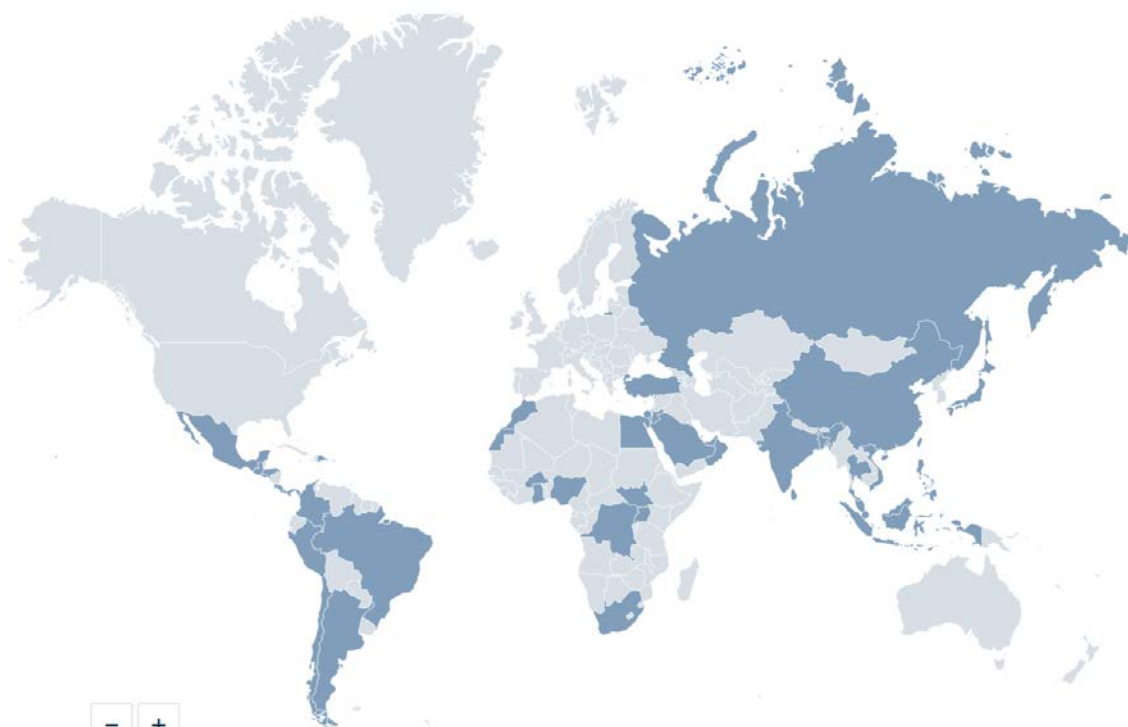


図 6 I-REC 発行が行われている国(2021 年 3 月現在)

I-REC は、そのルールを構成する「I-REC 規格」と、レジストリ（登録簿）の運用を行う「I-REC インフラ」、そして証書の発行や移転、最終的な償却を行う「I-REC 市場」に分けられる（図 7）。

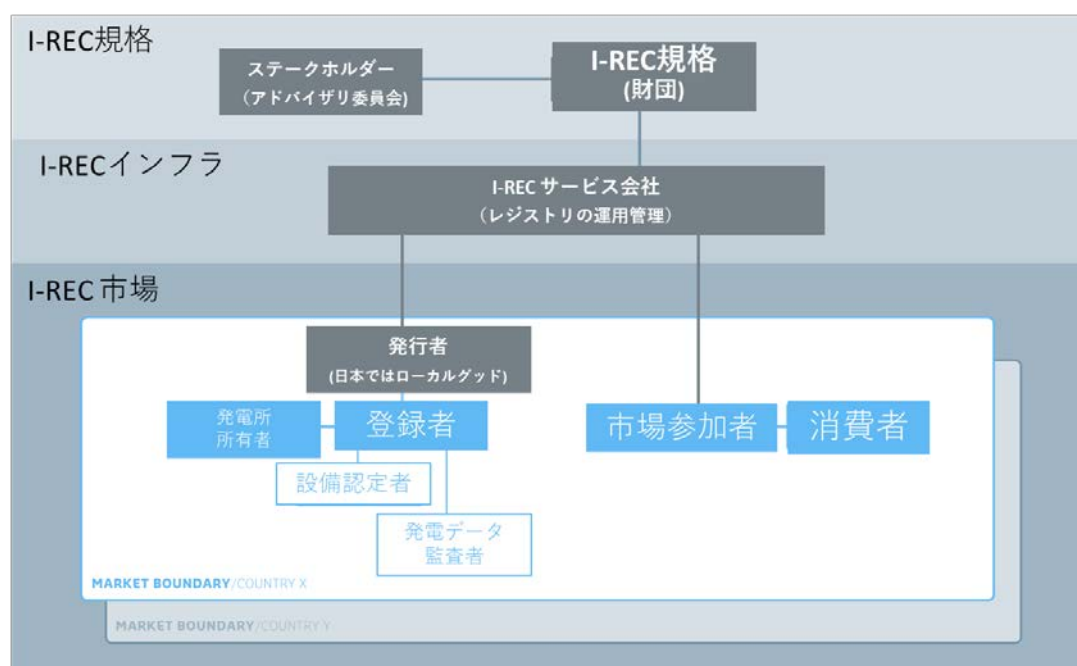


図 7 I-REC 規格について I-REC がインフラ等も提供する場合の構造

それぞれの主体の役割は以下の通りである。

I-REC 規格は「信頼性高いトラッキングのあり方」を規定する。これは専門家を含むステークホルダーからなるアドバイザリ委員会が、外部からの意見をどう反映するかについて議論した上で、随時規格をアップデートしていく。I-REC 規格は、オランダに本部がある非営利団体であり、規格の構築、改訂、管理、委員会の開催等の実務を行う。

I-REC サービス会社は、レジストリ（登録簿）の運用を行う。レジストリは、各地域に1団体のみができる発行者が発行した各発電所からの「属性証明」を追跡し、市場参加者が消費者のために償却するまでを追跡する。一度償却されたものは再度償却することができない。

I-REC 市場は、それぞれの国や地域に構築される。これは、再エネ証書が市場（系統と一致することが多い）を超えて適用不可であることによって、地域的に構成される。発行者は、発電所が存在し、詐称がないか、発電データの蓋然性等のチェックを行った上で登録し、随時管理を行う。登録者は、発電所をとりまとめて、レジストリに入力するなどの業務を行うアグリゲーター的事業者である。発行された証書は、レジストリに登録した「市場参加者」への移転が可能である。再移転も可能であり、最終的に電力消費と組み合わせて償却されるまで追跡される。

I-REC は、これら3つの役割を分け、かつ大原則として、発行者は市場参加主体であってはいけない、そして、市場参加者はI-REC 規格に意見を言うことはできても、専門家による理事会が最終決定をする、という構造とすることで、公正な規格のもと運用がされるガバナンスを実現している。（表 3）

表 3 I-REC におけるそれぞれの役割

規格を決める主体	I-REC 規格財団
市場ファシリテーター	- 規約運用者 - 発行者 - レジストリ（登録簿） - プラットフォーム - ラベリング
市場参加者	発電設備保有者、需要家、ブローカーなど

I-REC 規格では、国等が構築したトラッキング・システムが信頼性高いものとなっているかどうかの認定を行う枠組みも始める予定である。この場合は、国や非営利団体、民間事業者などが「規約運用者」として、国際 REC 規格に準拠した形で、独自の仕組みを運用する。

その場合、各国独自のレジストリやプラットフォームを活用するが、その運用方針は国際 REC 規格に準拠することで、信頼性が担保される（図 8）。

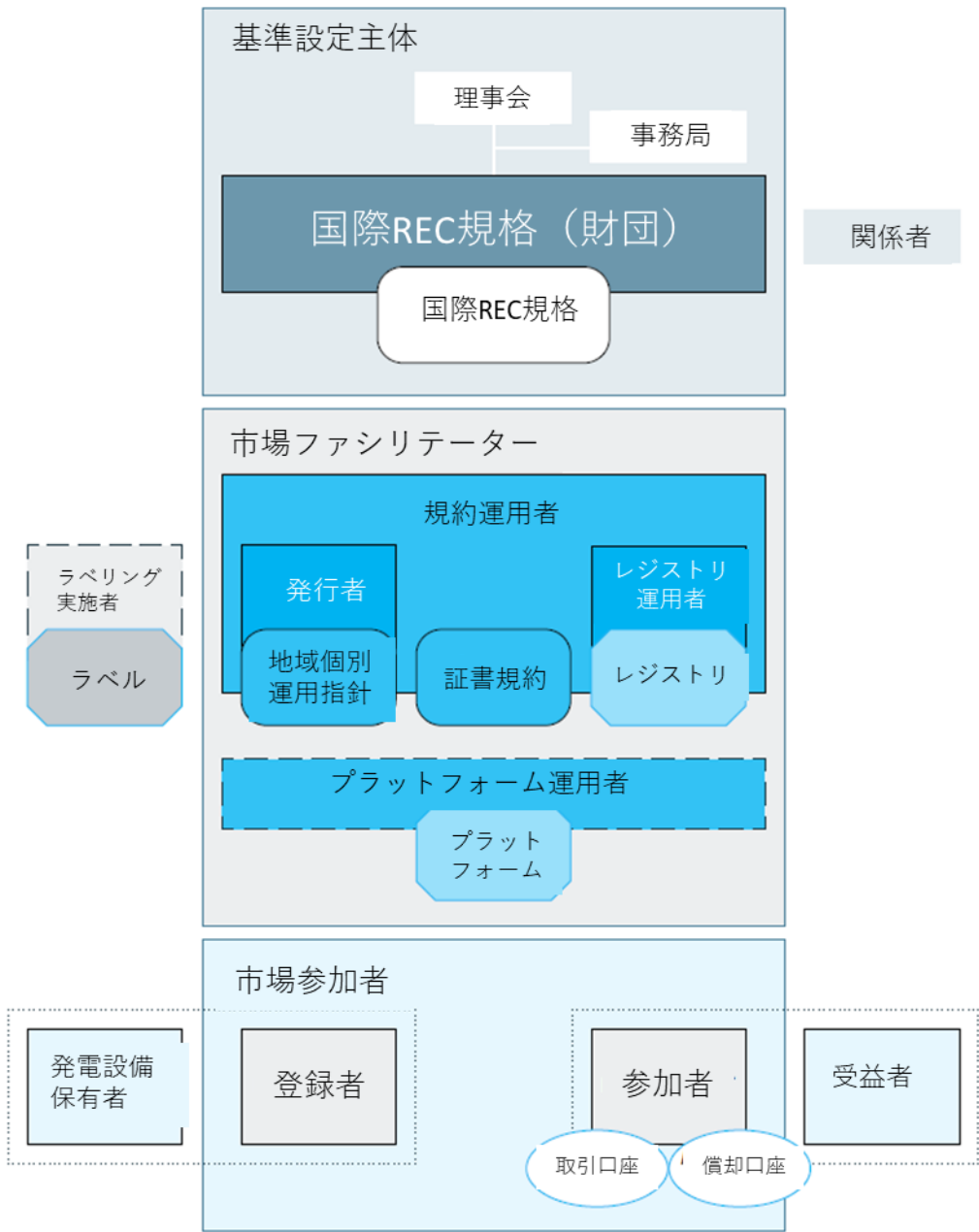


図 8 国等が構築した独自のトラッキング・システムを I-REC 規格に基づいて運用する場合

各主体についての役割を表にまとめた。（表 4）

表 4 独自のトラッキング・システムを I-REC 規格に基づいて運用する場合の各主体の役割

規約運用者	証書について理解し、信頼性の高い実装を保証する組織。
発行者	I-REC 規格の規則に従い、証書の発行が規約運用者、I-REC 規格、および国の規制の要求事項を満たしていることを保証する組織。
レジストリ（登録簿）	製品の導入に必要な記録と技術的インフラを維持する組織。
プラットフォーム	市場参加者に対して、可視化、取引、市場、その他の円滑化のためのインフラを提供する組織。
ラベル	証書について独立した第三者的な要件を持ち、ラベリングができる組織

I-REC のレジストリ画面を以下に示す（図 9）。利用側は 1 アカウントの登録で複数の国における証書の保持・償却が可能である。



Login

Public
Public Reports
Device Register
Access

Report : I-REC Device Register

Additional details can be viewed by clicking the > in the left column.

Device ID	Name	Issuer	Country																								
[No Filter]	[No Filter]	DCCE : Dubai Carbon Centre of Excellence	AD : Andorra																								
[No Filter]	[No Filter]	[No Filter]	[No Filter]																								
> 56-ENG01	CHAPIQUINA	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
Details <table border="1"> <tr> <td>Address</td> <td>Comuna de Putre, Province of Parinacota, Region of Antofagasta, CL</td> <td>Lat/Long</td> <td>-18.372933, -69.548956</td> <td>Commissioning Date</td> <td>1967-01-01</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Map Link</td> <td></td> <td>Registration Date</td> <td>2018-01-01</td> </tr> <tr> <td>Technology</td> <td>T030100 Hydro-electric head installations : Run-of-river head installation</td> <td>Capacity</td> <td>10.832MW</td> <td>Supported</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Primary Fuel</td> <td></td> <td>F01050200</td> <td>Renewable : Mechanical source or other : Hydro & marine</td> </tr> </table>				Address	Comuna de Putre, Province of Parinacota, Region of Antofagasta, CL	Lat/Long	-18.372933, -69.548956	Commissioning Date	1967-01-01			Map Link		Registration Date	2018-01-01	Technology	T030100 Hydro-electric head installations : Run-of-river head installation	Capacity	10.832MW	Supported	0			Primary Fuel		F01050200	Renewable : Mechanical source or other : Hydro & marine
Address	Comuna de Putre, Province of Parinacota, Region of Antofagasta, CL	Lat/Long	-18.372933, -69.548956	Commissioning Date	1967-01-01																						
		Map Link		Registration Date	2018-01-01																						
Technology	T030100 Hydro-electric head installations : Run-of-river head installation	Capacity	10.832MW	Supported	0																						
		Primary Fuel		F01050200	Renewable : Mechanical source or other : Hydro & marine																						
Scheme K < > X Page 0 in 0, items 0 to 0 of 0.																											
> 56-ENG02	PAMPA CAMARONES	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 56-ENG03	EL AGUILA	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 56-ENG04	CENTRAL LAJA 1	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 56-HCO01	RIO COLORADO	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 56990002	Andes Solar	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 56990003	Alfalfal	SCX : SCX Santiago Climate Exchange	CL : Chile																								
> 99MY0001	Timeless Group 1	Green GCC : The Green Certificate Company (Central Issuer)	MY : Malaysia																								
> 99MY0002	Timeless Group 2	Green GCC : The Green Certificate Company (Central Issuer)	MY : Malaysia																								
> ADWAD101	Adwadi Windfarm	GCC : The Green Certificate Company (Central Issuer)	IN : India																								

K < 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... > X

Page 1 in 35, items 1 to 10 of 349.

Export to CSV
Ignore Paging

Copyright 2008-2019 © Pure Energi Limited. All rights reserved. Terms of Use | Legal Information | Contact Us

図 9 I-REC レジストリ画面

3. 台湾と日本における再エネの消費主張とトラッキングの現状

3.1. 台湾

台湾は日本同様、エネルギー自給率も低く、2009 年の再エネ発展条例によって FIT 制度の導入を行ってきた。2011 年の日本における福島第一原発の事故をきっかけに再エネ導入への世論が高まり、その後の 2016 年の蔡英文政権発足後、脱原発実現に向けて大幅な電気事業法改正案が 2017 年に立法院（国会に相当）で可決、その後も 2019 年に可決された再エネ発展条例によって大口需要家に再エネ利用率の義務が課されるなど、再エネ促進に向けた政策が実施されている。

電気事業法の改正法は、電力市場自由化、脱原発を掲げ、再エネを先行させることが主な内容となっている。それまで唯一の電力事業者であった「台湾電力」について発電・送配電・小売に分割し、発電と小売について新規参入促進による自由化を行うのである。再エネについては、風力発電プロジェクトを念頭に、発電事業者が需要家に直接販売する PPA（電力購入契約）を可能とする旨や、2025 年までに再エネ比率を 20%にすることが盛り込まれている。また、2025 年の電源構成として、天然ガス 50%、再エネ 20%、石炭 27%、原子力 1%、その他（石油および揚水式水力）2%と、具体的な目標数値が明記されている。

2019 年 4 月に可決された再エネ発展条例においては、改正電気事業法を受け、2025 年の

再エネ総設置容量を 27 ギガワット（以下：GW）以上に設定した上で、全国の大口需要家に使用電力の一定割合以上を再エネにて賄うことを義務付ける旨が明記されている。

大口需要家への再エネ率義務付けについては、大口電力契約者向け再エネ利用義務にかかる条例という形で制定が行われている。

需要家が再エネの消費を主張しようとする場合には、(1)再生可能エネルギー発電事業者からの直接の電力供給を受ける（図 10①、②）、(2)グリーン電力小売事業者からの電力供給を受ける（下図③）、(3)自家用発電設備を設置する、という図に示した方法に加え、(4)電力と分離した再エネ証書を購入するという手段も可能である。（日本の場合は、②に該当する PPA ができない。このことが日本と台湾との違いである。）

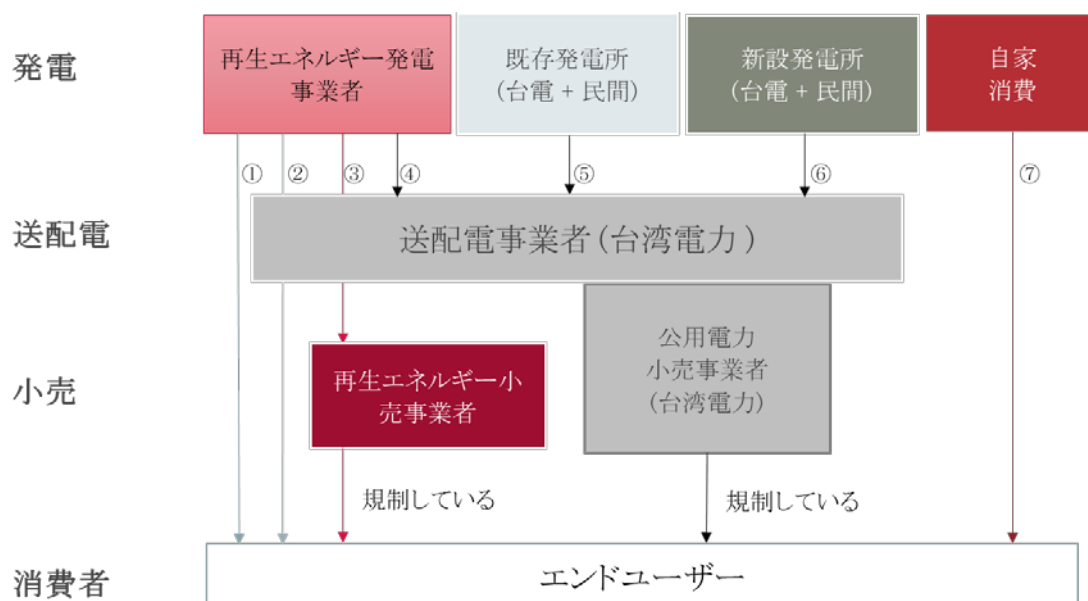


図 10 台湾における再エネ電力の購入手段（証書と電力が分離していない場合）

電力とは別に、電力とは分離した証書を購入するという手段については、国際 I-REC 規格による水力を対象とする証書発行がスタートし、2015 年に他の電源についての I-REC 証書発行がスタートし、同年に台湾が主導する T-REC の前身がスタート、2017 年に T-REC が正式にスタートした。

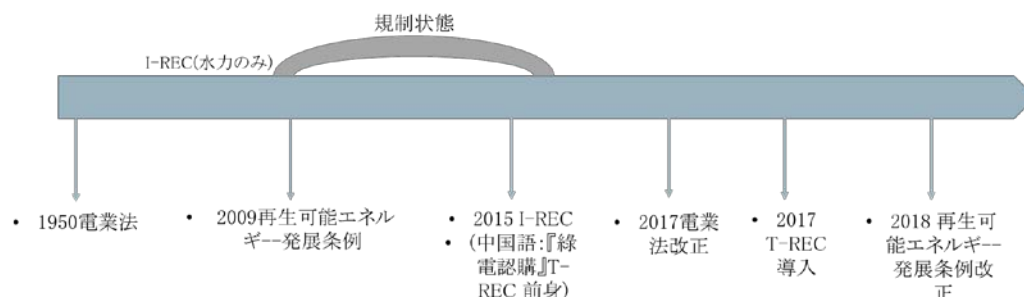
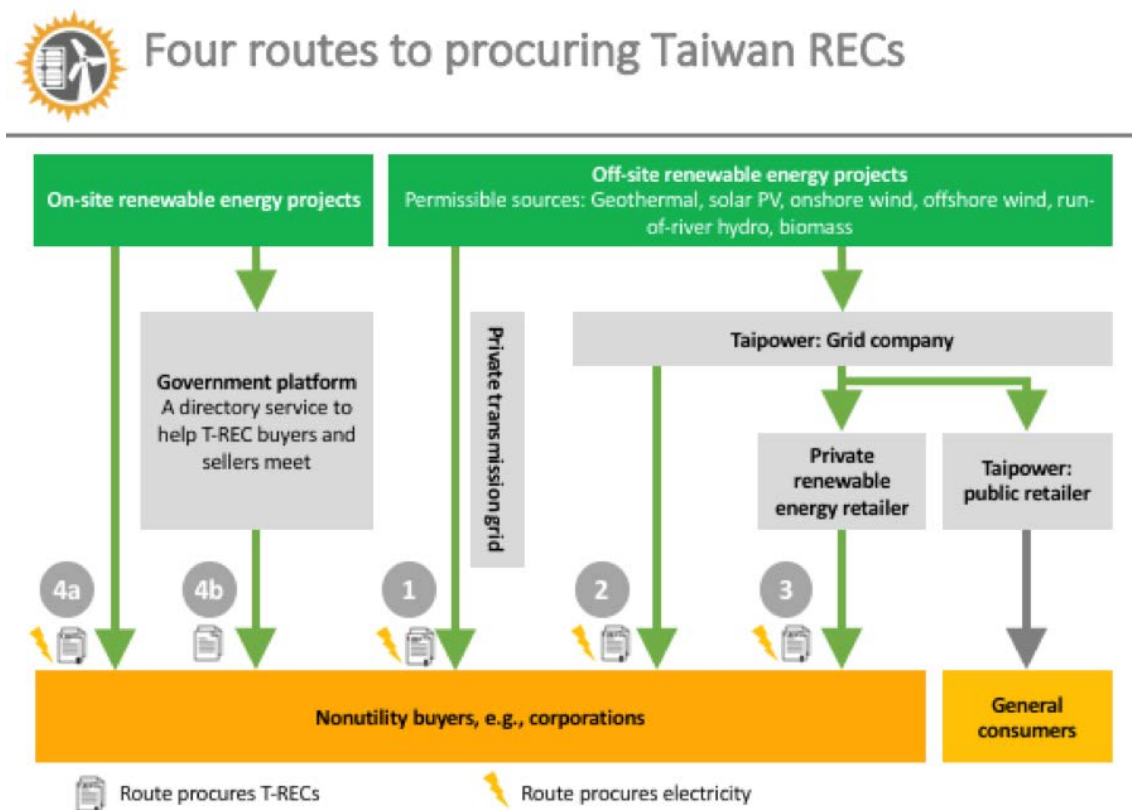


図 11 台湾における再エネ属性証明の歴史

台湾の経済部は、2017 年に「国家再生可能エネルギー証明書センター（國家再生能源憑證中心、T-REC）」を設置した。T-REC センターは、再生可能エネルギーの設備や発電量を確認・保証し、条件を満たす申請案件に再生可能エネルギー証明書を発行する（図 13 参照）。この証明書は「再生可能な資源によって作られた電気であること」を証明し、1,000kWh(1MWh)の電力量に対し 1 枚発行される。2017 年から 2020 年 6 月までは、電力とバンドルした属性証明のみが発行されていたが、2020 年 6 月に T-REC が開設した「再生エネ電力証明書取引プラットフォーム（綠電憑證交易平台）」においては、電力と分離した形の証書の発行と取引が可能となった。一方、電力と分離した形の証書については、系統に入れないオンサイト電源からのみ発行が可能である（図 12）。



出典：RMI（Taiwan Makes It Easier for Global Companies to Procure Local Renewable Energy - RMI）

図 12 台湾における再エネ証書の購入手段について

2020年6月に行われた取引プラットフォームでの最初の取引においては、2020年にRE100に参加した半導体最大手の台湾積体電路製造（TSMC）が実に取引枚数の99.7%を占める証書を購入し、大きな存在感を示した。



図 13 T-REC 証書の例

台湾では、電気事業法改正によって、洋上風力案件について、電力購入契約（PPA）（発電事業者と需要家の直接の電力売買契約）が可能となった。RE100 企業であるグーグルは、台南のデータセンターに 10MW の太陽光発電をカバーする PPA を発表した最初の企業である。

台湾企業として初めて RE100 に参加した TCI は、2030 年までに再生可能電力 100%を目指している。TCI は、T-REC の購入や自家発自家消費を積極的に行っており、2020 年 10 月には PPA の締結に成功している。なお、TCI のような中堅企業は、一般的に PPA の実施に課題を抱えている。自然エネルギーは需要が高く、供給が限られているため、開発者は希少であり、多くの案件で大規模な需要家が優先されるからである。

最近では、2020 年 7 月に TSMC が世界最大の PPA を発表し、Ørsted 社と Greater Changhua 洋上風力発電所の 920MW を対象とした 20 年間の固定価格制契約を結んだ。わずか 2 年の間に、台湾は実験的に PPA を提供していた状態から、過去最大の契約が行われることになった。

この TSMC の PPA は、安定した非常に大きな電力負荷を持つ企業にしか提供できないユニークな契約となっている。TSMC は、年間約 13 テラワット時と、RE100 のメンバーの中でも最も電力需要が高い企業の一つである。

今のところ、PPA は比較的複雑で、市場には複数のコスト要因があるため、大規模な電力ユーザーにとってのみ経済的に意味のあるものとなっていると推察される。世界の他の地域とは異なり、PPA は二者間で締結することはできず、台湾唯一の送電事業者である台湾電力との契約が必要である。加えて、託送料金が高額であり、また再エネ供給が不足していること、そして FIT 買取価格が高いことなど、他の要因により、PPA は価格が高いものとなっている²。

T-REC 証書システムの導入後、I-REC については、オーバーラップがないように、T-REC 対象ではない発電装置（主に風力・太陽光以外）からのみ発行が可能である。現在は台湾が保有する発電設備に対象が限られている。

3.2. 日本

3.2.1. 日本における既存の 3 つの属性証明

(1) グリーン電力証書

日本における最初の属性証明は、グリーン電力証書である。この仕組みは、日本自然エネルギー株式会社がグリーンエネルギー証書の発行を開始した 2001 年から実施されており、民間における自主的な仕組みとして運用されている。グリーンエネルギー認証の要件を設定し、第三者機関として認証スキームを管理するために、グリーンエネルギー認証センターが 2008 年に設立されている。グリーンエネルギー認証の要件については次のとおりとなっている。

1. 認証された施設で発電した再エネ電力の量は、認証規則に記述された内容に従って検証される。
2. 再エネ電力は、独立した中立的な組織によって認証される。
3. グリーン電力に関する一般の理解と意識の向上を行う。

(2) J-クレジット(再エネ起源)

J-クレジットの仕組みは、日本政府が管理しており、よって信頼性が高いものとなっている。技術的には、J-クレジットはガイダンスとして ISO140642 に準拠しており、ISO-14065 認定団体のみが J-クレジット検証の審査機関になることができる。J-クレジットは、入札または交渉によって取引ができる。J-クレジットのトラッキング・システムによって、属性の二重利用の制限がなされる。J-クレジット（再エネ起源）は、オフセット（温室効果ガス排出削減）活用もでき、エネルギー属性証明書として機能することも可能である。買い手はオフセットクレジットまたはエネルギー属性証明書として償却するのかが選択することができる。

² RE100(TCG, CDP)/中華経済研究院、” Meeting demand with supply: renewable energy market briefing Taiwan | RE100 (there100.org)’ (2020.12)

(3) 非化石価値証書

非化石価値証書は、エネルギー供給構造高度化法に基づき定められた 2020 年の非化石電源による電力比率を 44%以上とする小売事業者への義務について、管理達成のために 2018 年から導入された。小売電気事業者が購入義務を負い、需要家は直接購入することはできない。また、再エネかそれ以外かといった区別しかなく、電源や発電所などの特定ができないことから、国際的には再エネ属性証明と言えるかについては、グレーゾーンである。

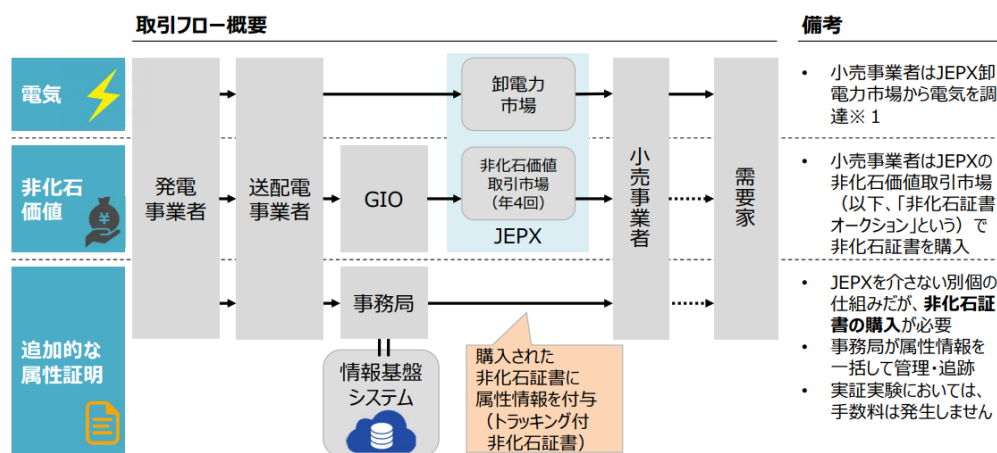
どの再エネか、といった属性証明が混ざってしまい、均一化されてしまうことで、多くの RE100 企業が企業独自に設定する再エネ調達基準に合致するかどうか不明であることから、RE100 においては、属性情報が明確となったトラッキング付き非化石価値証書のみ適合する旨見解がだされている。

3.2.2. 非化石価値証書のトラッキング実証とその課題

2018 年に RE100 がトラッキング付き非化石価値証書のみ RE100 達成に使えるという判断をだしたことで、FIT 非化石価値証書についてのトラッキング実証が開始された(図 14)。

トラッキングスキーム概要

- 事務局において情報基盤システムを用いて発電された電気に付随する属性情報を一括して管理します。属性情報は、小売事業者が購入した非化石証書に付与されます。



※ 1 上記は卸電力市場から電気を調達するケースを示しておりますが、それ以外のケースもあります。

出典：日本ユニシス（[トラッキング付非化石証書の販売にかかる事業者向け説明資料](https://www.unisys.co.jp/solution/lob/energy/fit_tracking/pdf/20201225_tracking.pdf) (unisys.co.jp) https://www.unisys.co.jp/solution/lob/energy/fit_tracking/pdf/20201225_tracking.pdf

図 14 トラッキング付き非化石価値証書の枠組み概要

実証は資源エネルギー庁の委託により、日本ユニシスが実施している。非化石価値証書を事前に購入した上で、小売事業者が FIT 対象再エネ発電事業者を探して申し込む枠組みとなっている。最低価格が 1.3 円/kWh と設定されており、諸外国と比べて 10～100 倍程度の

高い属性価格となっている。

付与される属性情報は以下の通りである。

1. 設備 ID
2. 発電設備区分
3. 発電設備名
4. 設置者名
5. 発電出力(kW)
6. 認定日
7. 運転開始又は予定日
8. 設備の所在地
9. 割当量(kWh)

一方で、エネ庁としては2020年1月に非化石価値証書について、非化石価値証書には「産地価値」と「特定電源価値」が付随しないという整理があった。前述の「属性の統合」について、合致しない可能性があり、留意が必要である。一方で、「属性の統合」については、他者が同じ電気についての属性を「主張」することでの「ダブル主張」を懸念してのものであり、ダブル主張がおこなわれていないことが確実であれば問題ないとの考え方もある。

電気に付随する価値の整理（これまでの整理の内容）

- 電気に付随する価値として、「環境価値」、「産地価値」、「特定電源価値」の3つの価値が存在する。
- 小売電気事業者が調達した電気が非化石エネルギー源に由来する電気の場合、その環境価値（非化石電源としての価値）として、「非化石価値」、「ゼロエミ価値」、「環境表示価値」の3つの価値を有することとされている。なお、非化石証書は、これらの3つの価値を顕在化し、証書化したもの。
- 他方、電源構成表示の根拠となる特定電源価値や産地価値といった価値については、電気の取引における契約によって担保されているものと整理されている。

※現行の「電力の小売営業に関する指針（以下、「小売営業GL」という。）」に基づくと、非化石証書の持つ環境価値は、「小売供給を行うために発電・調達する電気に関する電源構成そのものとは異なること等から、非化石証書を使用したとしても小売電気事業者の電源構成には影響しない。」とされている。

小売が訴求する価値		概要	価値の取引方法
環境価値	非化石価値	高度化法上の非化石電源比率の算定時に非化石電源として計上できる価値。	非化石証書
	ゼロエミ価値	温対法のCO2排出係数がゼロである価値。	
	環境表示価値	小売電気事業者が需要家に対して、その付加価値を表示・主張する権利。	
産地価値		電気が特定の地域で発電されたものであることを表示し訴求する価値。	電気取引（契約）
特定電源価値		電気が特定電源由来のもの（電源種）であることを表示し訴求する価値。（電源構成の基となるもの）	

平成31年3月第30回 制度検討作業部会資料を基に作成

9

出典：資源エネルギー庁、「非化石価値市場について」（2020年1月31日）

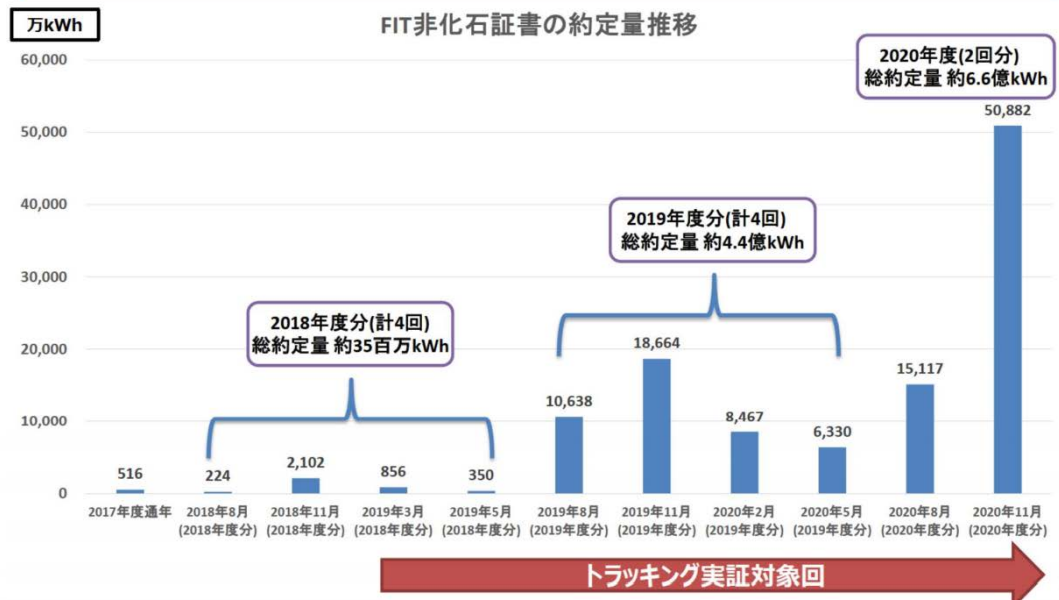
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/seido_kento/pdf/038_04_00.p

df?fbclid=IwAR30PRuvYQXM0hktoeyPzZkiM0pfQNhKAZtTrRkEvWtbWWMzLOPqWYF4c

図 15 エネ庁による非化石価値証書に付随する価値と電気に付随する価値の整理

FIT非化石証書の約定量の推移

2018年5月での取引開始後、年度毎に取引量は増加傾向。直近2020年11月オークションにおいては、高度化法の間目標値の対象オークションの初回でもあり、取引量は大幅増加。



出典：日本ユニシス（[2020年度第2回参考情報 \(unisys.co.jp\)](https://www.unisys.co.jp/solution/lob/energy/fit_tracking/pdf/2020-2_tracking_jigyousha.pdf)）

https://www.unisys.co.jp/solution/lob/energy/fit_tracking/pdf/2020-2_tracking_jigyousha.pdf

図 16 FIT 非化石価値証書の約定量の推移

2019年3月にトラッキング実証がはじまり、2019年度分がスタートした2019年8月以降、FIT非化石価値証書の約定量は大幅に増加した。担当官へのインタビューによると、FIT非化石価値証書の約定量の9割以上がトラッキング付きであったとのことである。しかし、それでもFIT非化石価値証書発行量全体の1%未満であり、FIT賦課金の低減には効果が小さいことも事実である。

資源エネルギー庁担当官へのインタビューによると、2021年8月より、非FIT非化石価値証書（再エネ指定）についても、トラッキングをスタートする予定とのことである。その方法は、FIT非化石価値証書のトラッキング実証と全く同じ方法とする予定であり、その場合、以下の課題がある。

課題1：価値の対価の平均化

非FIT非化石価値証書はシングルプライスオークションであり、どんな電源でも同じ価値となってしまふ。これは、消費者が欲しい電源について高い価格がつくことで、市場メカニズムにより評価の高い電源の開発が促進されるという状況を阻むものとなる。非FIT非

化石価値証書（再エネ起源）の多くは、大規模水力発電が多くを占める。これについてはすでに減価償却の終了した発電所が多く、このような水力発電と、新規で開発した洋上風力などが（FIT や FIP の支援を受けない場合に）環境価値に対して同じ対価しか受けないのであれば、洋上風力の開発は進展しないであろう。また、本来はトラッキング情報があれば非化石価値証書は不要であり、特にトラッキングが整備された電源種については、非化石価値証書を撤廃することが望ましい。

課題 2：需要家が直接購入できない

現在の非化石価値証書は、小売電気事業者のみしか購入できず、またトラッキングをつける過程で、小売電気事業者が需要を見込んだ上で、発電事業者を見つけて、その上で非化石価値証書を購入し、その後トラッキングを申請する。これは大変手間のかかるプロセスであり、諸外国における証書市場のような需要家が様々なプロダクトを選択できる状況となることが望ましい。

課題 3：ラベリングが不可である

発電源証明、北米 REC、I-REC 等については、電源の認証についての情報を入れる場所があり、Green-e といった追加性等の厳しい認証水準に合致する電源については、Green-e 認証の属性が付与されている。RE100 企業では、認証のついた証書しか購入しないという調達基準を持っている企業も多く、こういった情報が入る箇所のない現状のトラッキングについては、グローバルスタンダードに合致しない可能性が高い。

そもそもトラッキングは情報基盤であり、再エネの価格が高いという前提のもと、オークションによって追加価格分をシングルプライスで決定する非化石価値証書の構造は適切ではない。日本の健全な再エネの促進を促すような、透明性の高い情報基盤システムの構築が望まれる。

4. 結論

本研究では、RE100 イニシアチブが求める信頼性の高いトラッキングの枠組みについて、ベストプラクティスとされる欧州の発電源証明、北米の REC、他の地域における I-REC についてまとめ、また台湾と日本の現状について考察した。

台湾においては、2017 年にスタートした T-REC が 2020 年から電力と分離した証書の取引を開始したものの、対象は系統に入れていないオンサイト発電分に限られるなどの課題がある。日本においては、オークションによって取引される非化石価値証書に後付けでトラッキング情報をつける実証実験が資源エネルギー庁によって行われているが、構造が複雑であり、需要家は直接購入できず、かつどのような証書もシングルプライスになってしまう課題がある。

昨今問題となる地域住民の合意が不十分な再エネの開発の改善のためにも、評価の高い再エネ電源については高い対価が得られる構造を整備することこそが、アドホックな規制に頼らず、市場メカニズムを通じた好ましい電源の発展につながる。台湾・日本双方において、健全な選択を可能とする情報システムとしてのトラッキングの進展がまだまだ必要であることが分かった。

日台における再生可能エネルギーへの市民の認識と導入要因の解明

ー太陽光パネルを対象としてー

立命館アジア太平洋大学 山浦絃一

概要

本研究では、身近な住環境における再生可能エネルギーに関する日本と台湾の市民の意識と選択の解明を目的とした。ここでは太陽光パネル導入に着目し、日本と台湾の消費者の太陽光パネル導入の要因を明らかにした。その結果、日本と台湾では共通して NZEB 知識の有無が太陽光パネル導入に強く影響していたことは新しい知見である。また、年齢や家庭でのエネルギー価格、エコ商品への支払意思額が日本特有の要因であり、台湾では地球温暖化への意識の高さが太陽光パネル導入に強く影響していた。

1. 研究の背景・目的

2011年3月11日におきた東日本大震災では、福島第一原子力発電所（福島原発）が津波により被害を受け、現在も廃炉作業が続いている。この福島原発の廃炉計画は最低40年という長い期間であり、現在、汚染水対策、プール燃料取り出し、燃料デブリ取り出し、廃棄物対策の4つを核とした「廃炉中長期実行プラン2020」をもとに廃炉を進めている（TEPCO）。これまでに原子炉3号機は2021年2月に、4号機では2014年12月に全ての燃料の取り出しが計画通り完了している（TEPCO）。一方、原子炉1号機では建屋全体を覆うための大型カバーの設置のため、現在もガレキの撤去作業が続いている。今後、大型カバーの設置と天井クレーンを用いたガレキの撤去の後、燃料取り出しを行う計画である。原子炉2号機では使用済み燃料取り出しのため、燃料取り出し用構台の建設を行っている（TEPCO）。この廃炉計画が遅れている原因はさまざまであるが、放射能汚染が環境や人体に影響を与え、廃炉計画を困難にしていることは言うまでもないことである。この福島原発事故をきっかけとし、日本の発電源構成（エネルギーミックス）は大きく変わり、脱原発および再生可能エネルギーの発電源の割合を大きくしたエネルギーミックスにシフトしている。日本国内では、福島原発事故後に太陽光パネルや地上・洋上風力発電が次々と設置され、私たちの身近な暮らしにおいても自宅屋根に太陽光パネルを設置し、蓄電や売電を行う人も増えている。同時に、私たちの生活や社会でのネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング（Net Zero Energy Building: NZEB）やゼロ・エネルギー・ハウス（Zero Energy Houses: ZEH）政策が促進されている。これらは、快適な建物の室内環境を実現しながら、その建物で消費する年間の1次エネルギーの収支をゼロにすることを目標とした建物のことである（環境省）。これはその建物内でのエネルギー消費量をゼロにするのではなく、①「省エネ」により消費電力を減らし、②「創エネ」によりその建物内で使用する電力を作ること、その建物内のエネルギー消費量を「正味ゼロ」とすることを目指した政策である（環境省）。NZEB/ZEHは地球温暖化対策および日本のエネルギー需給の安定化のために実施されており、その建物の公共オーナー、民間オーナー、テナント、周辺住民といった様々なステークホルダーにメリットがあるとされている（環境省）。

NZEBは次の4段階に設定されている。

- ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング）：50%以上の省エネと創エネで100%以上の1次エネルギー消費量の削減を実現している建物
- Nearly ZEB（ニアリー・ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング）：50%以上の省エネと創エネで75%以上の1次エネルギー消費量の削減を実現している建物
- ZEB Ready（ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング・レディ）：省エネで基準1次エネルギー消費量から50%以上の1次エネルギー消費量の削減を実現している建物
- ZEB Oriented（ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング・オリエンテッド）：延べ

面積 1 万 m²以上で省エネ設備に加え、用途ごとに規定した 1 次エネルギー消費量の削減を実現し、更なる省エネに向けた未評価技術を導入している建物

環境省によると NZEB での省エネは、必要なエネルギーを減らす「パッシブ技術」を用いた日射遮蔽、外皮性能向上、昼光利用、自然換気や、エネルギーを無駄なく効率的に使用する「アクティブ技術」を用いた高効率照明や高効率空調などがある。創エネではおもに再生可能エネルギーの活用として、太陽光発電やバイオマス発電をあげている。また個人の住環境においても、ZEH として省エネと創エネを用いた正味ゼロのエネルギー消費量を推進している（環境省）。

この再生可能エネルギー導入の動きは日本国内にとどまらず世界中で進められており、日本と同じく地震多発地帯である台湾のエネルギー政策にも大きな影響を与えた。事実、民進党の蔡英文総統は脱原発の公約とともに 2016 年の総統選で当選し、2025 年までに完全な脱原発と再生可能エネルギーへの移行を目指している。台湾では洋上風力発電と太陽光発電を主な再生可能エネルギーによる発電源とし、原子力発電の代替エネルギーとする計画がある。

このように、エネルギーミックスの見直しをしている日本と台湾において、NZEB/ZEH 政策は持続可能な都市や住環境の形成に欠かすことのできないものであるが、市民の実際の暮らしにおいて再生可能エネルギー技術の導入のためには、何が主な要因であるのか定かではなく、それらに着目した研究は見当たらない。そこで、本研究では市民の住環境において最も容易な再生可能エネルギーとしての太陽光発電に着目し、再生可能エネルギーに関する市民の認識と実際の住環境への太陽光パネル導入の要因の解明を目的とする。さらに、日本と台湾での再生可能エネルギーに関する認識や、太陽光パネル導入要因の共通点と相違点を明らかにし、日本と台湾それぞれの住環境における再生可能エネルギーに関する政策への知見の提供につなげることを目的とする。

2. 研究の手法

2.1. 日台消費者調査

本調査では自宅への ZEH 導入に関する調査であることから日本の回答者は戸建て持ち家の世帯主およびその配偶者を対象とし、調査にはマイボイスコム社を利用しオンラインで 1000 件の回答を得た。台湾の調査では海外調査に対応しているマクロミル社を使用し、台湾全県から 514 件の回答を得た。日本と異なり、台湾の居住形態はアパート・マンションが一般的であり、戸建て持ち家を対象とすると都市部およびその近郊では十分な回答者が得られないことから持ち家世帯とした。日本および台湾での調査はともに 2020 年 1 月に実施した。表 1 は日本と台湾における消費者の再生可能エネルギーと ZEH 導入への支払意思額の調査回答者の属性をまとめたものである。

表 1 日台オンライン調査回答者の属性

	日本	台湾	参考 日本平均
性別			
女性	50.2%	50.0%	51.3%(1)
男性	49.8%	50.0%	48.7%(1)
年齢	41.4歳	40.9歳	44.95歳(1)
婚姻関係			
既婚	46.0%	75.9%	
未婚	54.0%	24.1%	
学歴			
短大・大卒以上	50.2%	88.6%	34.7%(2)
世帯収入			
500万円未満	40.2%	64.2%	487.5万円(3)
500万円以上	59.8%	35.8%	
ひと月の家庭電気代（2019年12月分）			
9000円未満	44.0%	45.2%	9100円(4)
9000円以上	56.0%	54.8%	
調査数	1000	514	

註：日本での調査はマイボイスコム社、台湾での調査はマクロミル社を使用した。調査時期はともに2020年1月である。

(1)性別については、総務省統計局平成22年国勢調査から引用した。

(2)最終学歴については、総務省統計局平成22年国勢調査産業等基本集計より筆者計算。

(3)平均世帯年収については、国税庁令和元年分民間給与実態統計調査によると436万円であるが、年齢階層別の平均給与40～44歳で476万円、45～49歳で499万円から国勢調査の平均年齢44.95歳の平均給与として筆者計算。

(4)2019年の1世帯当たり1か月間の平均電気代については、総務省統計局家計調査年報から引用した。

日本の回答者の属性の内訳であるが、日本では女性が50.2%であり、これは平成22年の国勢調査における51.3%と近い。回答者の平均年齢は41.4歳であるが、これは平成22年国勢調査の44.95歳よりも若くなっている。本調査では自宅へのZEH導入を対象としていることから65歳以上の高齢者を除外したことにより、平均年齢が若干若くなっているためと考えられる。既婚率は46%であるが、ここには死別・離婚などは含まれていない。学歴については短大・大卒以上が半数の50.2%であり、これは平成22年の国勢調査産業等基本集計における34.7%よりも高い。本調査では、戸建て持ち家の世帯主およびその配偶者を対象とし、65歳以上の高齢者を調査対象外としたことから高い学歴となったと思われる。世帯収入は年収500万円未満が40.2%、500万円以上が59.8%であった。国税庁令和元年分民間給与実態統計調査によると平均世帯年収は436万円である。しかし、年齢階層別に着目する

と 40～44 歳の平均年収は 476 万円、45～49 歳の平均年収は 499 万円である。これらから平成 22 年国勢調査の平均年齢 44.95 歳のおおよその平均年収を計算すると 487.5 万円である。本調査ではひと月当たりの家庭の電気代については、本調査（2020 年 1 月）の前月（2019 年 12 月）を対象とした。ひと月の家庭電気代が 9000 円未満は 44%であり、2019 年の総務省統計局家計調査年報による 1 世帯当たりの 1 か月の平均電気代は 9100 円であった。

次に台湾であるが、回答は男女から各 257 件ずつ回収したため男女比率は 50%である。平均年齢は 40.9 歳と日本の回答者よりも 0.5 歳若いとほぼ同じである。台湾の調査では回答者の既婚率が 75.9%と非常に高くなっている。これは調査において婚姻関係については特に限定していないためである。同様に学歴についても、88.6%の回答者が短大・大卒以上である。回答者の世帯年収は 500 万円未満が 64.2%、500 万円以上が 35.8%であった。2019 年 12 月分の家庭電気代は 9000 円未満が 45.2%であった。



図 1 太陽光パネルを導入しない主な要因（日本）

図 1 は日本における回答者が太陽光パネルを導入しない主な要因を円グラフとしてまとめたものである。複数回答は不可とし、回答者がもっとも近いと思う要因について回答させた。日本では、全体の 41%が太陽光パネルを設置しない主な理由として「設置費用」をあげている。次に 20%が太陽光パネルの「維持費用」である。そのため、回答者の 61%が太陽光パネルに関する金銭的成本が要因と回答していた。「太陽光パネル導入の難しさ」、「再生可能エネルギー事業に対する不信感」、「太陽光パネルに関する知識不足」はそれぞれ 10%、8%、7%であり、これらをあわせても全体の 25%である。最後に「外観（を損ねる）」と回答したのは 1%（10 人）であり、太陽光パネル導入に関して、外観の観点から導入をためらうことは少数である。なお、本調査においては全体の 11%（110 人）が太陽光パネルを設置済みと回答している。



図 2 太陽光パネルを導入しない主な要因（台湾）

図 2 は台湾での太陽光パネルを導入しない主な要因をまとめたものであるが、回答者の 21% が太陽光パネルを導入しない主な理由として「設置費用」をあげており、16% が「維持費用」を選択している。金銭的成本が太陽光パネルを導入しない主な要因としているのは全体の 37% であり、同 61% であった日本とは大きく異なっている。「太陽光パネル導入の難しさ」を回答しているのは 29% であり、これは各選択肢のなかで最大である。また、すでに太陽光パネルを設置済みと回答したのは 6%（30 人）であり、これらのことから台湾においては太陽光パネルの導入に関して、最も高いハードルは金銭的成本ではなく、居住形態に依存した導入の困難さであることがわかる。「再生可能エネルギー事業に対する不信感」を、太陽光パネルを導入しない主な理由と回答したのは 5% である一方、「太陽光パネルに関する知識不足」としたのは 14% であった。

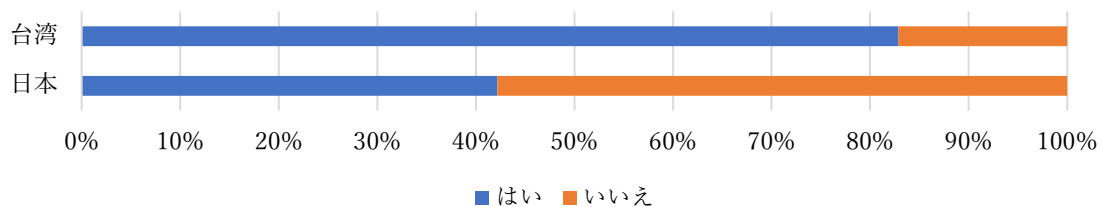


図 3 再エネと非再エネの違いを知っているか

図 3 では日本と台湾での再生可能エネルギーと非再生可能エネルギーの違いの認識度をまとめた。台湾では 82% の回答者が再生可能エネルギーと非再生可能エネルギーの違いを理解していたが、日本での理解はわずか 42% であった。このことから日本と台湾においては、再生可能エネルギーそのものの理解度に大きな違いがあることがわかった。

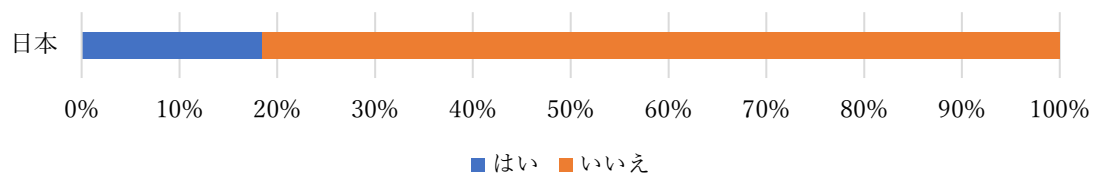


図 4 政府の NZEB 政策を知っているか（日本）

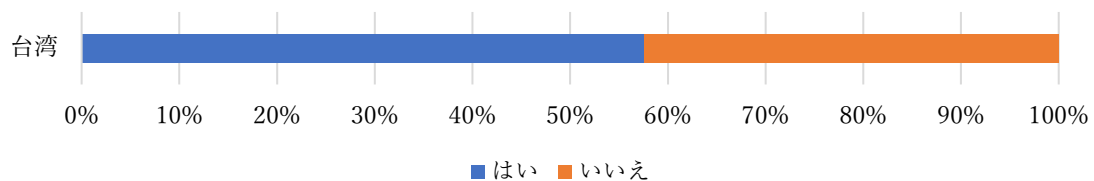


図 5 NZEB を知っているか（台湾）

図 4 では、日本での「ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング」政策の認識度をまとめた。日本では NZEB 政策が実施されているが台湾では実施されていないため、質問事項を変更し、台湾における NZEB の意味を確認した（図 5）。日本では「NZEB 政策を知っている」がわずか 18%にとどまっているが、台湾では 57%が NZEB を理解していた。ここでは NZEB 政策が実施されているにもかかわらず、日本での NZEB への関心度の低さが明らかになった。

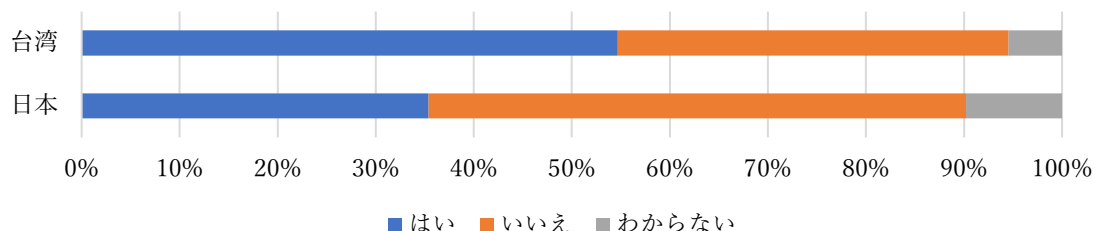


図 6 単に太陽光パネルの情報を収集したことがあるか

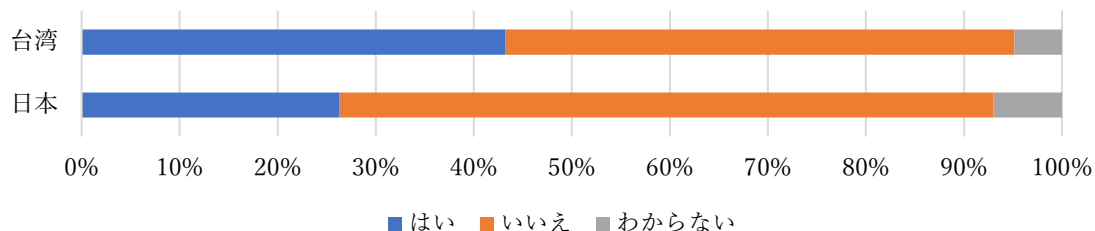


図 7 太陽光パネルへの投資もしくは設置のために情報を収集したことがあるか

図 6 は「（目的の如何にかかわらず）太陽光パネルの情報を収集したことがあるか」につ

いて、図 7 では「投資もしくは設置のために太陽光パネルの情報を収集したことがあるのか」についてをまとめた。単に情報収集したことがあると回答したのは日本では 35%であるが台湾では 55%と半数以上であった。次に、投資もしくは設置のための情報収集については、「ある」と回答したのは日本では 26%であるが台湾は 42%であった。これらのことから、日本では太陽光パネルに関する情報を収集したなかで 74.3%の回答者が実際に太陽光パネルの設置や投資のために情報を収集していた。台湾では同様に 76.4%の回答者が実際の行動のための情報収集をしていた。日本の方が太陽光パネルに関する情報を収集する割合が小さいが、実際の行動のために情報収集した割合はおおよそ 75%と日本と台湾でほぼ等しかった。

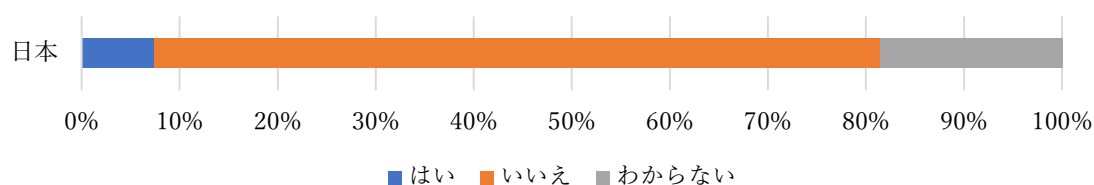


図 8 5 年以内に太陽光パネルを設置もしくは投資するつもりか

図 8 は日本の回答者を対象に、今度 5 年以内に太陽光パネルを設置もしくは太陽光パネル事業に投資する計画があるかをまとめたものであるが、わずか 7%が「計画がある」と答えており、75%が「計画がない」と回答し、「わからない」は 18%であった。これは日本で太陽光パネル導入への意欲の低さを表している。

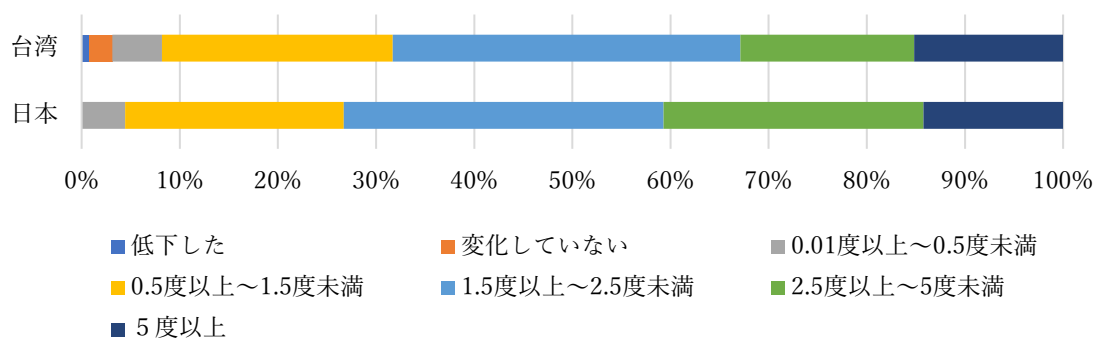


図 9 1900 年から現在まで、地球の平均気温が何度上昇したと思うか

次に、日本と台湾の回答者の地球温暖化への意識を確認した。図 9 は現在までの平均気温上昇がどれくらいであると思うかをまとめた。台湾では 1.5 度～2.5 度の気温上昇という考えが最も多く、次に 0.5 度～1.5 度、2.5 度～5 度の順である。一方、日本では 1.5 度～2.5 度、2.5 度～5 度、0.5 度～1.5 度の気温上昇の順であった。台湾よりも日本の方が 2.5 度～5 度上

昇したと考えている割合が大きかった。また、台湾では気温上昇していない（気温変化なし、あるいは気温が低下した）という考えも8%あったが、日本においてそのように考えている回答はなかった。以上から日本の方が地球の気温上昇は大きくなっていると考えている人が多いことがわかった。

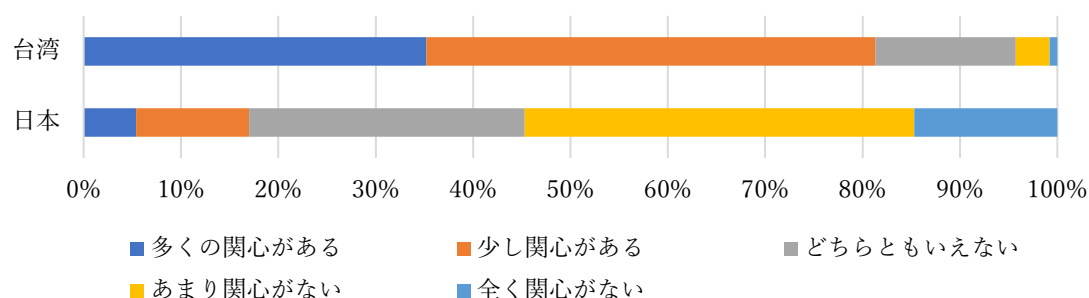


図 10 地球温暖化にどれぐらいの関心があるか

図 10 は日本と台湾での地球温暖化への関心度をまとめたものである。台湾では、関心がある（「多くの関心がある」と「少し関心がある」をあわせたもの）が全体の82%であり、「多くの関心がある」の回答のみでも35%を占めている。また、地球温暖化に「全く関心がない」はわずか1%であった。一方、日本では、「あまり関心がない」が最も多く（40%）、次に「（関心があるのかないのか）どちらともいえない」が28%であった。「関心がある」と回答したのは17%にとどまり、これは「全く関心がない」の15%に近い割合であった。このことから、台湾では地球温暖化は非常に重要な事象である一方、日本では関心が高いわけではないということがわかった。

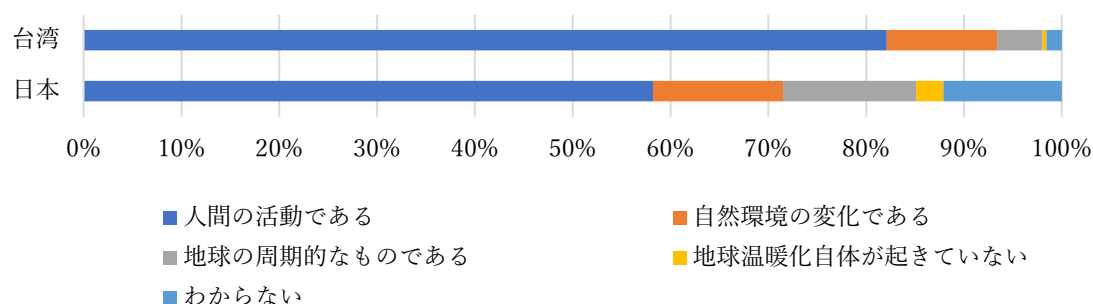


図 11 地球温暖化の主な原因

図 11 では地球温暖化の主な原因と回答者が考えているものをまとめた。台湾では82%が地球温暖化は「人間の活動に起因する」と考えていた。日本でも58%が人間の活動が主な

原因としているが、「地球の周期的なものである（13%）」や「わからない（12%）」などの回答も比較的多く見られた。しかし、台湾ではこれらをあわせてもわずか5%程度となっていた。日本と台湾において、地球温暖化問題は「人間の活動による」との考えが過半数である。しかし、日本では「人間の活動が原因ではない」と考えている人々が一定の割合で存在することが明らかになった。

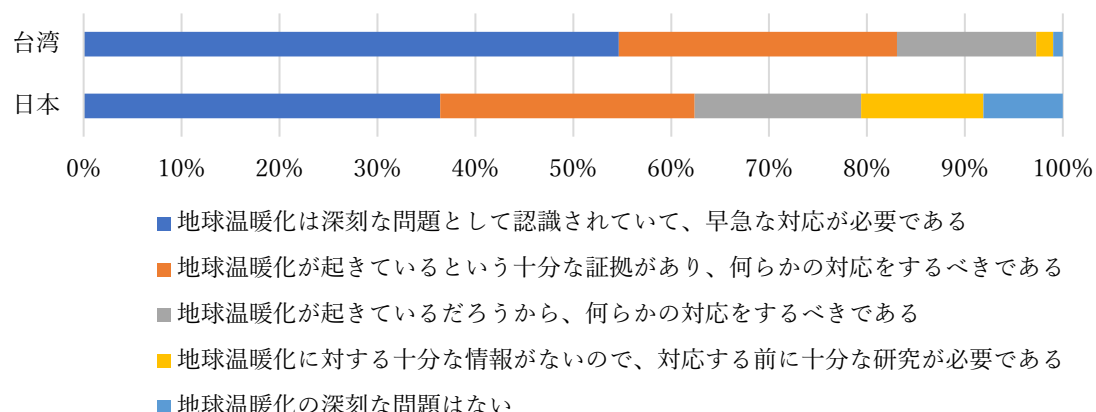


図 12 地球温暖化についての意見

図 12 では回答者の地球温暖化に関する意見をまとめた。興味深いことに、台湾では 54% が地球温暖化を深刻な問題ととらえているが、日本では 36%にとどまっていた。一方、日本では、「地球温暖化に対する十分な情報がないので、対応する前に十分な研究が必要である」と「地球温暖化の深刻な問題はない」を合わせると 21%となっており、地球温暖化に対して今対応する必要がないという意見も一定数あることがわかった。台湾の場合、それらはわずか 3%であり、日本と台湾での相違点の一つとなっている。

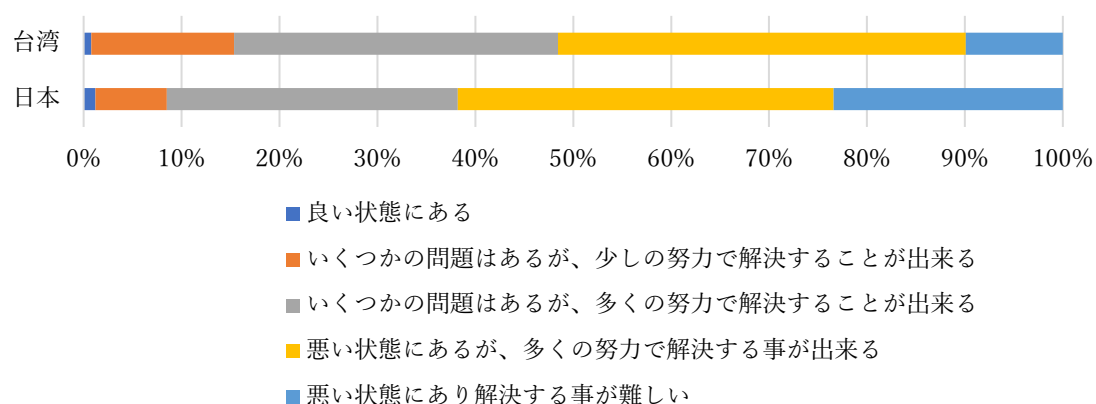


図 13 私たちの地球環境は現在どのような状態だと思うか

図 13 は地球温暖化に限定せず、地球環境全般についての状態がどうであると考えているかをまとめたものであるが、日本および台湾で「いくつかの問題があるが多くの努力で解決することができる」と「悪い状態にあるが、多くの努力で解決することができる」が全体の 7 割程度を占めていた。これは多くの人々が地球環境問題は人々の努力によって解決できると考えていることを表している。しかし、日本では、24%が地球環境は「悪い状態にあり解説することが難しい」という悲観的な立場をとっており、同じ回答は台湾では 10%に過ぎなかった。日本と台湾では地球環境問題に対する悲観論的な人々の割合が大きく異なっていることがわかった。

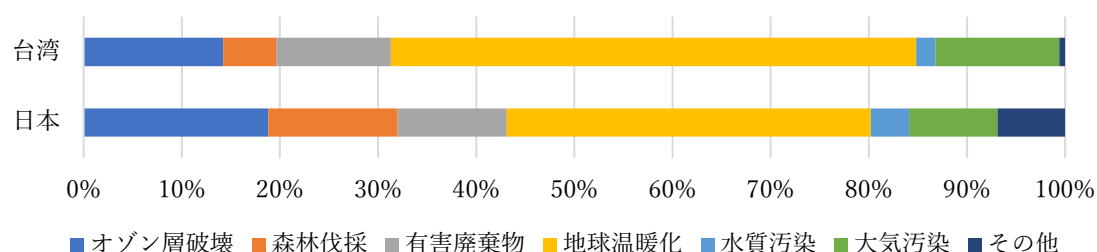


図 14 最も重大だと考える地球が直面する環境問題

図 14 は回答者が考える地球環境問題で最も重大なものが何かをまとめたものである。日本と台湾でともに「地球温暖化問題」が最も意見が多かった。日本での回答は 36%であるが台湾では 53%であったことから、台湾では半数以上が地球温暖化問題をより深刻にとらえていることがあきらかになった。一方、日本では「森林伐採」を最も重大な環境問題と考えている回答が全体の 15%あり、これは台湾での 5%の 3 倍である。このことから、台湾と異なり、日本ではそれぞれの環境問題について強く意識している人々が一定数いることがわかった。

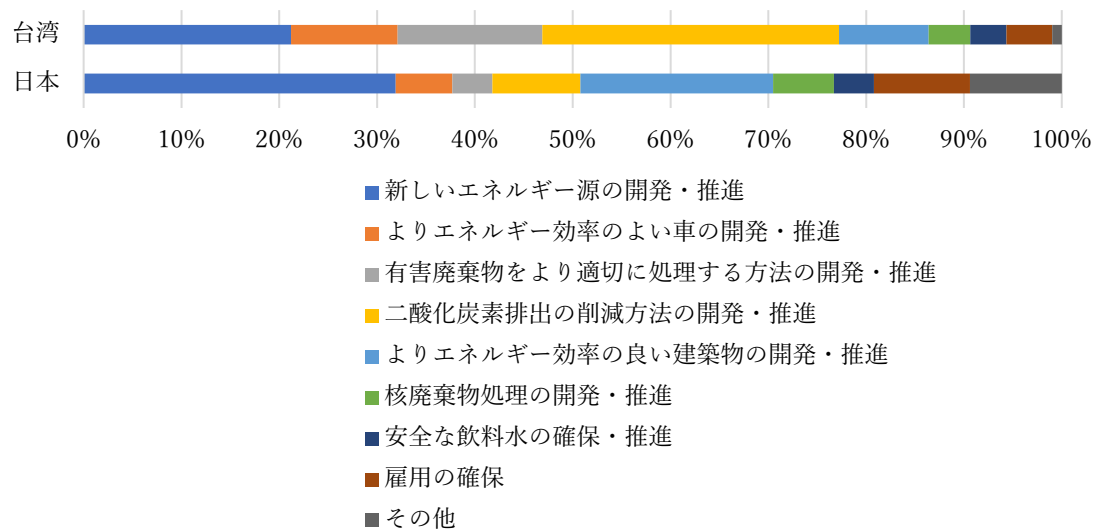


図 15 仮定設問「もし次の政策にあなたの政府が1兆円を費やすとしたら、どれを最も優先すべきだと思うか」

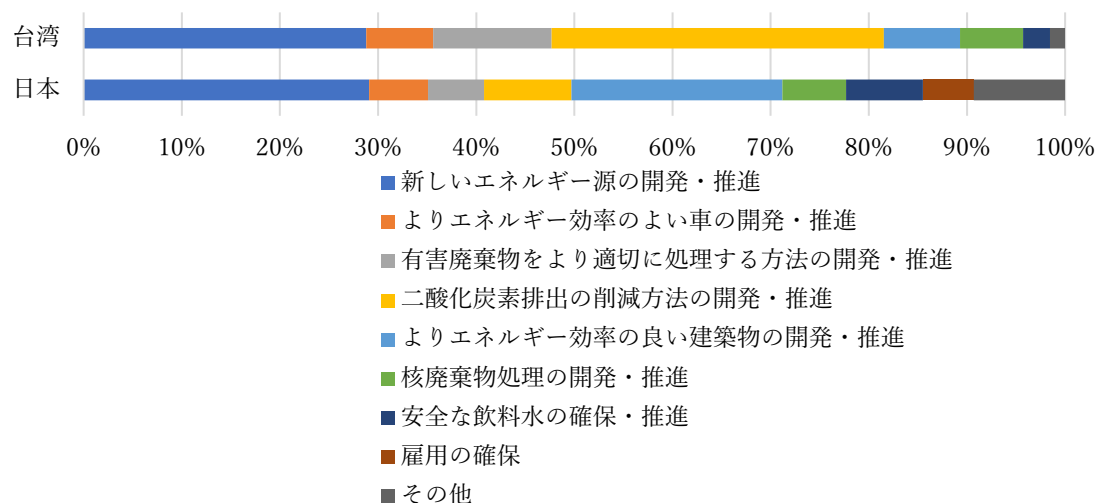


図 16 仮定設問「もし次の政策に国連が1兆円を費やすとしたら、どれを最も優先すべきだと思うか」

図 15－16 は回答者への仮定設問「もし政策に1兆円を費やすとしたら、何を最も優先すべきか」をまとめたものである。図 15 は、「1兆円の費用負担者が回答者の政府」である場合とし、図 16 では「国連が費用を負担」する場合である。回答者の政府が費用を負担する場合、日本では「新しいエネルギー源の開発・推進」が最も多く全体の32%であった。次に20%が「よりエネルギー効率の良い建築物の開発・推進」となっていることから、日本では全体の半数以上がエネルギーに関連した開発や推進に税金をかけるべきであると考えていることがわかった。次に国連が費用を負担する場合であるが、29%が「新しいエネルギー源

の開発・推進」、22%が「よりエネルギー効率の良い建築物の開発・推進」である。国連が費用を負担することで「雇用の確保」については10%から5%へと半減した。一方、台湾では、「二酸化炭素排出削減方法の開発・推進」が最も多く、30%を占めていた。次に、「新しいエネルギー源の開発・推進」が21%であったが、「よりエネルギー効率の良い建築物の開発・推進」については9%で9つの選択肢のうち5番目であり、日本と異なり台湾での関心は高くはないことがわかった。国連が費用負担者となる場合、「二酸化炭素排出削減方法の開発・推進」は5%上昇した35%となり、「新しいエネルギー源の開発・推進」は7%増加の28%となった。しかし、6%あった「雇用の確保」については回答無しとなり、日本以上に台湾では雇用について国連に依存する考えがないことが明らかになった。また、全体的に日本および台湾において費用負担者が回答者の政府か国連かどうかで回答のばらつきに大きな変化はなかった。以上から、日本と台湾では「新しいエネルギー源の開発・推進」の必要性では一致するものの、「二酸化炭素排出削減方法の開発・推進」と「よりエネルギー効率の良い建築物の開発・推進」については意見が大きく異なることがわかった。

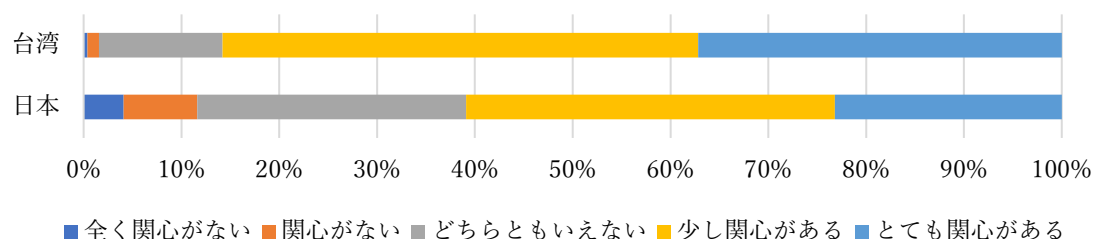


図 17 将来の家庭での電気代や燃料代などのエネルギー価格の上昇についての関心

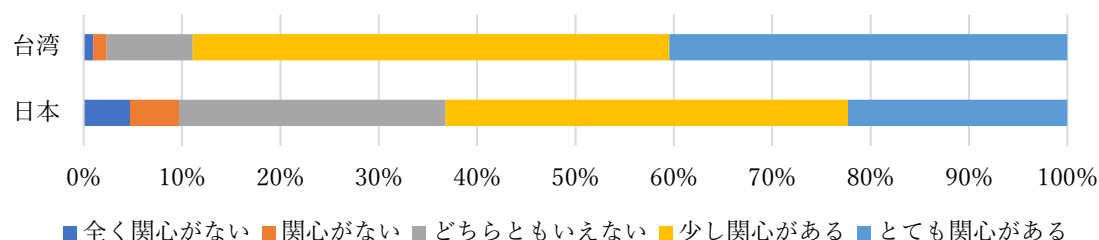


図 18 家庭でのエネルギーを節約することに対する関心

図 17 は将来の家庭電気代値上げへの関心をまとめたものである。日本では「少し関心がある」との回答が最大で38%、次に「(関心があるのかないのか) どちらともいえない」が29%、「とても関心がある」が23%であった。それに対し、台湾では約半数の49%が「少し関心がある」、次に「とても関心がある」が37%であり、「どちらともいえない」は11%であった。次に図 18 では回答者の家庭での節電についてをまとめたが、回答のばらつきは図 17 と似た傾向であった。日本では、「少し関心がある」が40%、「どちらともいえない」が27%であるが、台湾ではそれぞれ49%と9%であった。以上から、日本では電気料金の価格

や節電に対して常に3割程度の「関心を持っていない回答者」が確認されているが、台湾ではそれが1割程度と低くなっていた。これは日本と台湾の消費者の電気使用に対する態度の明らかな相違点である。

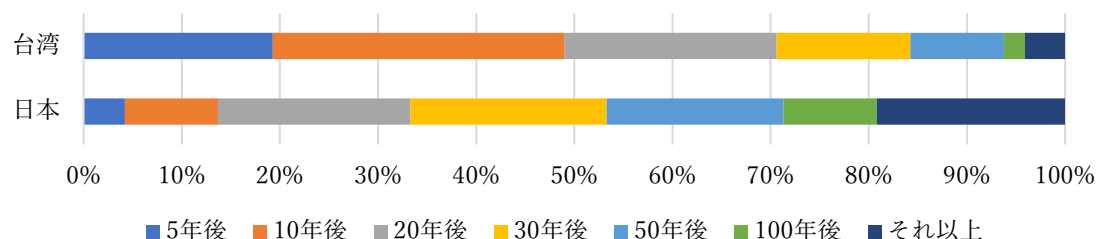


図 19 あと何年でエネルギー不足になると思うか

図 19 では日本と台湾のそれぞれで、あと何年でエネルギー不足になると考えているのかをまとめた。日本では「20 年後」、「30 年後」、「50 年後」および「100 年以上」と回答したのが各 20%程度あり、「5 年後」、「10 年後」と回答したのはそれぞれ 4%、9%と少数であった。一方、台湾では、「5 年後」、「10 年後」、「20 年後」と回答したのがそれぞれ 19%、30%、22%と多く、今後 20 年以内とすると 61%にのぼった。このことから、日本ではエネルギー不足になる時期についてある程度統一した見解はなかったが、台湾では今後 20 年以内にエネルギー不足に陥ると危惧している意見が多数を占めていることがわかった。

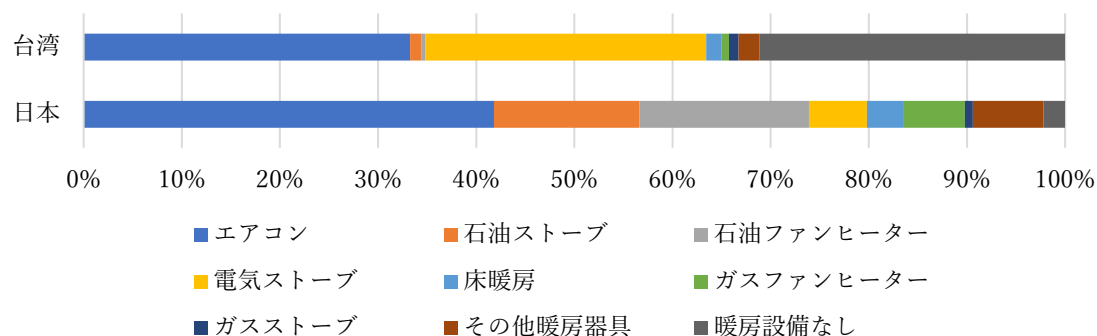


図 20 家庭での主な暖房設備

図 20 は日本と台湾での回答者の家庭での暖房設備をまとめたものであるが、日本では電気、石油、ガスを使用したものが広く使用されているが、台湾ではエアコンと電気ストーブが6割以上であり、そのほかの暖房設備は非常に少なかった。また、台湾では暖房設備がない家庭も今回の調査では32%であったことから、暖房設備はほぼ電気に依存していることが分かった。

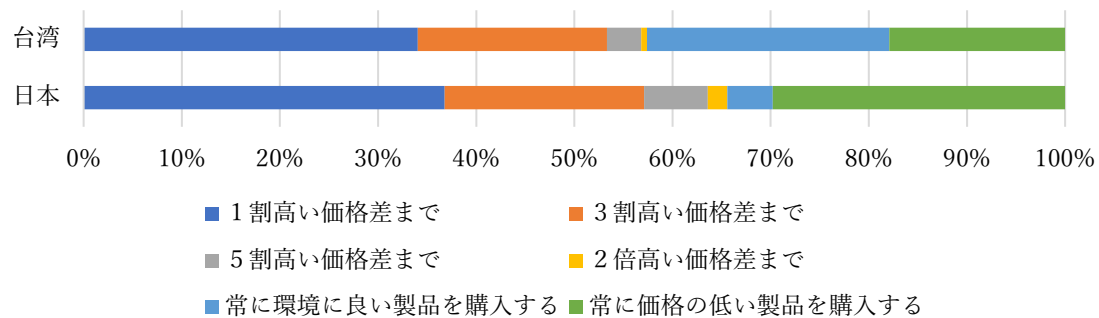


図 21 仮定設問「台所洗剤と洗濯洗剤がセットで販売されており、あなたはこの洗剤セットを購入しようとしています。ただし、洗剤セットには『地球環境によいとされる洗剤セット』と『そうでない洗剤セット（普通の洗剤セット）』の2種類があります。『普通の洗剤セット』が1000円であるとする、『地球環境によいとされる洗剤セット』が次のどの価格差までなら購入しますか。それぞれの洗剤セットの機能（洗浄力など）や容量は同じものとする。」

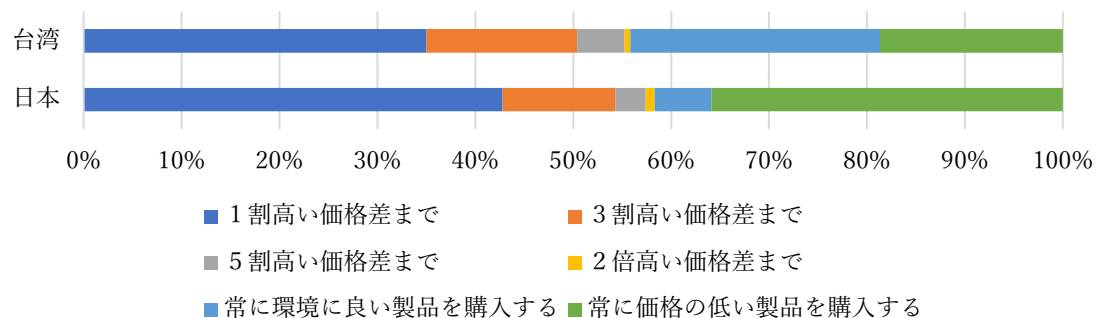


図 22 仮定設問「例えば『自然環境によいもの』をスーパーマーケットで購入する場合、『CO2を削減する商品ラベルなどの環境配慮型製品』、『低農薬もしくはオーガニック商品』、『持続可能な原材料使用製品』などがあります。あなたの食費が1ヶ月あたり5万円だとすると、『自然環境にいいもの』を常に購入した場合、そうでない場合と比べて以下のどの価格差までなら購入しますか。」

図 21-22 は日本と台湾の回答者への支払意思額に関する仮定設問をまとめたものである。図 21 では家庭用洗剤を対象に「普通の洗剤セット」を1000円とした場合、「地球環境に良いとされる洗剤セット」がどの程度の価格差まで購入の許容範囲となるのかをまとめた。その結果、日本では37%が1割（1100円）までであれば、「地球環境に良いとされる洗剤セット」を購入するつもりであり、3割（1300円）までであれば20%が環境により製品を選択した。価格に関わらず常に環境に良い洗剤セットを選択（環境重視）するのは5%であり、

逆に、常に価格の低い製品を選択（価格重視）するのは30%であった。一方、台湾では価格差が1割までであれば34%が選択し、3割の価格差でも19%が環境に良い製品を選択している。価格重視は18%であったが、環境重視は24%にのぼり、台湾の環境重視への意識が高いことがわかった。次に図22ではひと月の食費を対象として「自然環境によいもの（例、二酸化炭素排出削減ラベルなど環境配慮型製品、低農薬もしくはオーガニック商品、持続可能な原材料使用製品など）」を常に購入する場合、そうでない場合と比較しどの程度までひと月の食費増加を許容できるのかをまとめた。日本では、ひと月の食費が1割上昇する（5万5000円）、3割上昇する（6万5000円）はそれぞれ43%、12%であり、常に低い価格の製品を選択するは35%であった。台湾では、ひと月の食費が1割上昇、3割上昇はそれぞれ35%、15%であった。常に環境に良い製品を購入するという環境重視は26%、一方、価格重視は18%であった。図21での家庭用洗剤セットに関する仮定設問と比較し、食費全体とした場合も日本と台湾それぞれで回答者の傾向は似ていた。しかし、食費全体を対象とした場合、日本では価格重視が増え、環境に良い製品への支払意思額も減っていた。台湾の場合、日本のような変化は見られず、回答者は洗剤セットでも食費全体でも同じ回答をする傾向にあった。これは、日本では少額あるいは特定の商品に対しては環境に良いものを選択する割合が一定数あるが、それが家計の大きな部分を占める食費全体となると環境よりも個人の出費に重きを置く傾向であることを表している。一方、台湾では一つの商品でも食費全体でも回答の傾向は酷似しており、台湾の消費者の強い環境重視の態度が表れていた。

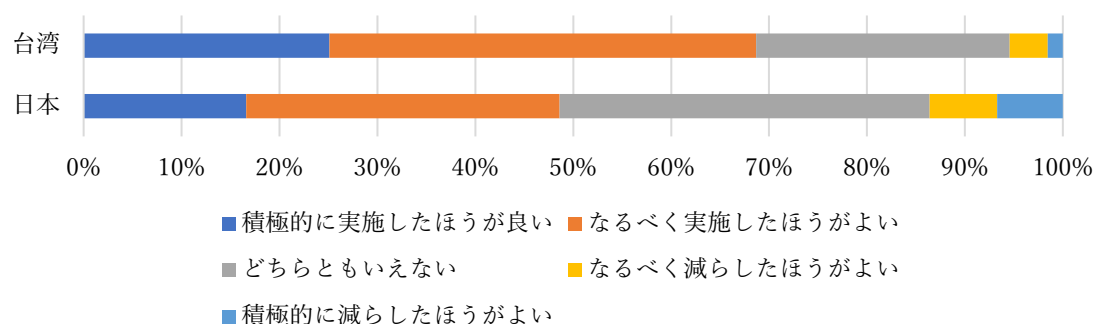


図 23 先進国は開発途上国に対して資金協力や技術協力などの開発協力を行っているが、これからの開発協力についてどのように考えるか。

図23では国際開発協力に対する考えについての回答をまとめた。設問では、「現在、先進国は開発途上国に対して資金協力や技術協力などの開発協力を実施しているが、今後どうしていくべきか」について回答させた。その結果、日本では国際開発協力を「積極的に実施していくべき」が16%、「なるべく実施するべき」が32%、「どちらともいえない」が38%であった。一方、台湾では25%が「積極的に実施していくべき」、44%が「なるべく実施するべき」と回答しており、「どちらともいえない」は25%であった。日本では今後より実施

していくべきとの意見は半数弱の 48%であったが台湾では 69%と多数を占めていた。

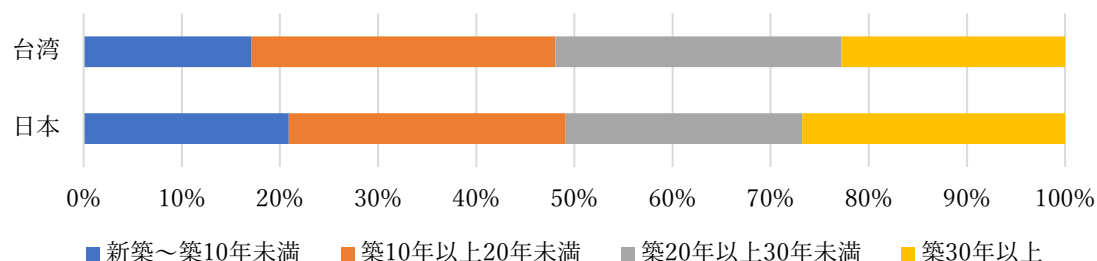


図 24 自宅の築年数

図 24 では回答者の自宅の築年数を確認した。日本では、「新築～築 10 年未満」、「築 10 年以上～20 年未満」、「築 20 年以上～30 年未満」、「築 30 年以上」がそれぞれ 21%、28%、25%、26%であった。台湾では「新築～築 10 年未満」、「築 10 年以上～20 年未満」、「築 20 年以上～30 年未満」、「築 30 年以上」がそれぞれ 17%、31%、29%、23%であった。

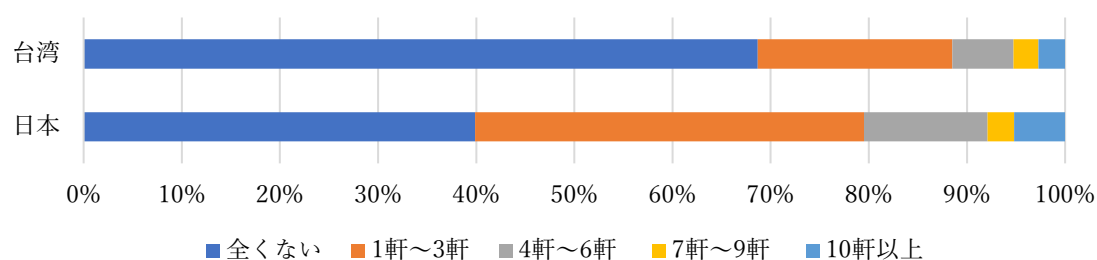


図 25 近所で太陽光発電を導入している家庭の割合

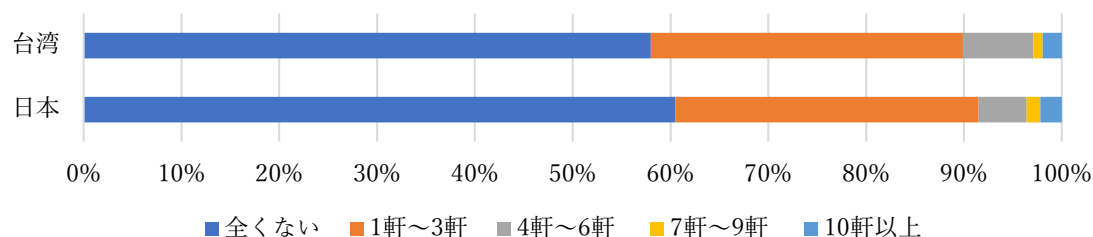


図 26 身の周りの人（家族、親族、友人、知人）で太陽光発電を導入している家庭の割合

最後に図 25－26 では回答者の周りでの太陽光発電用のパネル設置割合を確認した。図 25 では「回答者の自宅の近所」という物理的距離での設置状況、図 26 では回答者の家族や親族などの身内、友人、知人など「回答者に近い人物」の太陽光パネル設置状況をまとめた。

日本では 39%が回答者の自宅の近所で 1～3 軒の太陽光パネル設置住宅があると回答しており、4～6 件は 13%であった。近所に太陽光パネルを設置している住宅が一軒もないと回答したのは全体の 40%であった。一方で、10 軒以上が太陽光パネルを設置しているという回答も 5%あったが、これは近年の分譲地あるいは分譲住宅が該当していると考えられる。台湾では 68%の回答者の近所には太陽光パネルを設置した住居がなく、1～3 軒も 20%であった。次に、回答者の周りの人物に着目すると、日本では 31%が 1～3 軒と回答しており、61%は「全くない」であった（図 26）。台湾では 1～3 軒と回答したのが 32%、「全くない」は 58%であった。日本では回答者の身内や周りの人物で実際に太陽光パネルを導入している割合は、回答者の自宅周辺環境よりも大きく低かった。これは、親族や友人、知人と家庭用太陽光パネル導入について話す機会が少なく、回答者の周りの人物の太陽光パネル設置状況を把握しきれていない可能性もある。回答者の自宅の近所や周りの人物の太陽光パネル設置に関する情報がどの程度回答者の太陽光パネル導入に影響しているのかを次節において詳しく分析する。

ここまで日本および台湾における調査データの詳細をみた。これらから日本では環境問題よりも個人の支出を重視している傾向があるが、台湾では日本と比較してより高い環境重視の傾向であることが明らかになった。ここからは計量経済学的手法による推計計算を用い、消費者の考えがどのように太陽光パネル導入につながるのかを分析し、日本と台湾での共通点や相違点を明らかにする。

2.2. 研究成果

表 2 はロジスティック回帰分析による日本の消費者の太陽光パネル設置への要因を分析したものである。ここでは、説明変数を分けた複数のモデルを分析することで、より詳しい要因分析を行った。

表 2 ロジスティック回帰分析結果（日本）

	Model1	Model2	Model 3	Model 4	Model 5
性別	-1.180 ***				-0.409
年齢	-0.098 ***				-0.077 **
婚姻	1.369 ***				0.270
最終学歴	0.293 *				0.230
世帯収入	0.365 **				0.205
同居人数	-0.072				-0.038
ひと月の家庭電気代	-0.100				-0.124
地球温暖化への関心		0.424			0.367
エネルギー価格への関心		-0.515 **			-0.434 *
再エネと非再エネの違い		0.212			0.225
NZEB		2.480 ***			2.294 ***
太陽光パネル情報収集		1.291 ***			1.374 ***
太陽光パネルへの関心		0.585 ***			0.575 ***
地球温暖化への態度			-0.373 **		0.131
エコ商品への支払意思額			0.334 ***		0.185 *
エネルギー資源利用年数			-0.123		-0.036
近所での太陽光発電の導入				-0.048	-0.203
身内での太陽光発電の導入				1.062 ***	0.377
McFadden R2	0.175	0.529	0.150	0.113	0.611
N	693	693	693	758	693.000

被説明変数には太陽光パネル設置状況を用い、モデル 1 では、説明変数を回答者の属性（性別、年齢、婚姻関係、最終学歴、世帯収入、同居人数）とひと月の家庭電気代とした。ひと月の家庭電気代には本調査を実施した 2020 年 1 月に最も入手しやすい 2019 年 12 月の回答者の自宅での請求費とした。その結果、性別、年齢、婚姻関係、学歴および世帯収入が有意であった。これは、より年齢が若く、既婚、短大・大卒以上の学歴の方が太陽光パネル導入に積極的であることを示している。また、女性よりも男性の方が太陽光パネル設置に前向きであり、世帯収入が高いことが導入に結びついていることは、太陽光パネル設置・維持コストの面から妥当である。

モデル 2 では回答者の太陽光パネルや地球環境、エネルギー政策への意識・関心に着目し分析を行った。その結果、エネルギー価格への関心、NZEB 政策知識、太陽光パネルへの関心度および太陽光パネルに関する情報収集が有意であった。まずエネルギー価格への関心であるが負であるため、家庭の電気代上昇を気にする世帯ほど太陽光パネルを自宅に導入しないことを示している。一方、NZEB 政策の理解が高いほど太陽光パネルを導入しており、導入する場合は太陽光パネルへの関心が高く、よく情報を収集していることがわかった。

モデル 3 では回答者の地球環境への意識を説明変数とした。地球温暖化への態度およびエコ商品への支払意思額が有意であった。これは、地球温暖化をより深刻な問題として認識しているほど、太陽光パネル導入に前向きであることと、太陽光パネルを導入している場合、

より地球にやさしいエコ商品を選択する傾向になることがわかった。

モデル 4 では回答者の身の周りでの太陽光パネル導入状況がどの程度実際の設置に影響しているのか確認した。その結果、回答者の自宅の近所の太陽光パネル設置状況は実際の太陽光パネル導入に影響しないが、回答者の家族や親族、友人や知人の設置状況は強く影響していることがわかった。日本人の特性の一つに周りに合わせる傾向が高いことがあるが、太陽光パネルの導入となると周辺住宅からの影響はなく、近しい人物からの太陽光パネルに関する情報が影響していることがわかった。

最後に、モデル 1～4 までの説明変数を全て含んだモデル 5 を推計した。その場合、年齢、エネルギー価格への関心、NZEB 政策知識、太陽光パネルの情報収集、太陽光パネルへの関心およびエコ商品への支払意思額が有意であった。

次に台湾での調査データを用いた計量経済学的手法による分析を行った。ここでは日本の調査データを用いた分析結果を踏まえ、日本の調査データ分析に用いたすべての説明変数を使用した場合(モデル 5)と同じ説明変数による最小二乗法(Ordinary Least Squares: OLS)分析を行った。表 3 は台湾の太陽光パネル導入に関する OLS 分析の結果である。

表 3 OLS 回帰分析結果 (台湾)

性別	-0.031
年齢	0.001
婚姻	-0.010
最終学歴	0.025
世帯収入	0.006
同居人数	-0.003
ひと月の家庭電気代	-0.003
地球温暖化への関心	0.077 **
エネルギー価格への関心	0.001
再エネと非際エネの違い	0.074
NZEB	0.094 **
太陽光パネル情報収集	0.402 ***
太陽光パネルへの関心	0.158 ***
地球温暖化への態度	-0.061 **
エコ商品への支払意思額	0.004
エネルギー資源への態度	-0.061
近所での太陽光発電の導入	-0.044
身内での太陽光発電の導入	0.021
Constant	0.404 *
Adjusted R2	0.343
N	514

地球温暖化への関心、地球温暖化への態度、NZEB 知識、太陽光パネルの情報収集および太陽光パネルへの関心が有意であった。台湾では、地球温暖化問題への関心が高く、地球温暖

化が喫緊の課題と考えているほど太陽光パネル導入につながっていた。この点は、日本の調査データを用いた推計結果とは異なっており、台湾の市民の特性が表れている。また、太陽光パネルを導入している人ほど NZEB への理解が深く、太陽光パネルに関するより多くの情報収集や高い関心がある点は日本の消費者との共通点である。

以上のように計量経済学的手法を用いた分析を行うことで日本と台湾における市民の太陽光パネル導入のための要因の共通点と相違点があきらかになった。

3. 結論と提言

3.1. 研究成果の日台における位置づけとインパクト

本研究では、日本と台湾での身近な住環境における持続可能なエネルギーに関する消費者の選択行動と意識の解明を目的とした。特に、近年導入の進んでいる住環境における太陽光パネル導入に着目し、日本と台湾の消費者の太陽光パネル導入の要因を明らかにした。その結果、日本と台湾では共通して、ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディングの理解と太陽光パネルへの高い関心や情報収集が、太陽光パネル導入につながっていた。我々の予想と同じく、太陽光パネルに強い関心がある人々は、太陽光パネルを導入するための情報を熱心に収集しており、たとえ設置・維持コストがかかるとしても太陽光パネルの自宅への導入を決定していた。しかし、NZEB に関する知識の有無が太陽光パネルの導入に強く影響していたことは新しい発見である。特に日本政府は NZEB 政策を実施しているため、日本においては、より NZEB 政策を国民へ周知することが太陽光パネル導入増加につながるということは本研究で明らかになった新しい点である。台湾において、現在 NZEB 政策は実施されていないが、今後 NZEB 政策を進めることは台湾でのさらなる太陽光パネル設置増加につながると考えられる。一方、相違点は、年齢、家庭電気代に関係するエネルギー価格、エコ商品への支払意思額が日本特有の太陽光パネル導入増加のための要因であった。これは日本においてはより若い世代のほうが太陽光パネル導入のハードルが低いことを意味しており、今後戸建てを所有する若い世帯へのアプローチが有効であると考えられる。また、太陽光パネルを導入することでどの程度ひと月の家庭電気代が抑えられるのかが太陽光パネル導入を増加させるための大きなカギとなる。加えて、市民へのエコ商品購入選択の意識を高めることも太陽光パネル導入増加につながるとみられる。これらの点は台湾ではみられない要因であり、日本特有の太陽光パネル導入増加の要因となると考えられる。台湾では、地球環境や環境問題に関する市民の意識の高さが太陽光パネル導入につながっていた。そのため、台湾ではより市民の地球環境の現状の理解を深めさせること、環境問題への意識を高めることが太陽光パネル導入増加につながると考えられる。

以上は、本研究によって得られた成果であり、これらの成果は今後の日本と台湾において NZEB などの環境政策や持続可能なエネルギー政策を推進するうえで重要な知見である。また、本研究で東アジアの島しょ部における太陽光パネル導入の要因を解明したことは、再生可能エネルギー政策を推進する日本と台湾の政策決定者への大きなインパクトとなると考

えられる。

3.2. 提言と今後の展望

本研究では日本と台湾の太陽光パネル導入の要因の共通点と相違点の解明をしたが、本研究での知見は以下の提言につながる。

日本ではおよそ 58%が再生可能エネルギーと非再生可能エネルギーの区別がつかない状況である。この状況では NZEB や ZEH といったワードが市民に浸透しづらく、結果として太陽光パネルなどの再生可能エネルギーの導入につながっていないと考えられる。現在、日本ではネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング政策を実施しているが、市民へのよりシンプルでわかりやすい説明が必要であると考えられる。その際、日本の消費者は家庭電気代と結びつける傾向であることから、太陽光パネル導入によって、導入した世帯にどんな金銭的メリットがあるのかを提示していくことも太陽光パネル設置増加につながると考えられる。一方、脱原発、そして洋上風力発電を重視している台湾では、より一層の地球環境問題の理解と再生可能エネルギーの重要性の周知が、市民への太陽光パネル導入のために必要な政策となるだろう。

これまで日本と台湾は、再生可能エネルギーや電力量の無駄を抑えるための市民レベルでの節電は、国際的に高いレベルで実行してきた。2020 年から 2021 年初頭の間に、地球の温暖化効果ガス排出量のおおよそ半分を占めるアメリカと中国が、本格的な二酸化炭素の排出削減につながる政策を発表している。例えば、2030 年までのガソリン自動車の生産終了計画などである。これらは地球温暖化を解決するための一助となるため歓迎する一方、これまで温室効果ガス排出抑制の努力を継続してきた日本と台湾が、さらなる努力をしなければならないことにもつながる。本研究では日本と台湾での住環境における太陽光パネル導入の要因を解明することを目的としたが、日本の都市部や台湾においては賃貸契約や分譲マンションなどの居住形態も多く、太陽光パネルを屋根に設置することが困難な場合もあった。このため、日本での調査では回答者を戸建て持ち家の世帯主とその配偶者に限定した。台湾の調査では回答者を戸建てには限定せず、持ち家の世帯主とその配偶者とした。今後は本研究を発展させる形で太陽光パネル以外の再生可能エネルギー発電源や電力契約での選択行動の要因解明を、本研究で得たネットワークをもとに日本と台湾で進める計画である。

4. 謝辞

本助成における台湾側メンバーには、台湾でのオンライン調査での助言をいただいた。

参考文献

環境省. ゼブポータル <http://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html> 最終アクセス 2021 年 3 月 12 日

東京電力ホールディングス株式会社（TEPCO）.廃炉作業の状況

<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/removal/> 最終アクセス 2021 年 3 月 12 日