

# 2050 日本低炭素ナビ

## 概要と排出削減の経路の設定



# 2050 日本低炭素ナビ

概要と排出削減の経路の設定

2015年3月

ムスタファ・モイヌッディン 周 新 倉持 壮 栗山昭久 脇山尚子

公益財団法人 地球環境戦略研究機関

芦名 秀一

独立行政法人 国立環境研究所

公益財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES)

〒 240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11

Tel: +81 (0)46 826 9575

Fax: 046 855 3809

E-mail: [ge-info@iges.or.jp](mailto:ge-info@iges.or.jp)

URL: <http://www.iges.or.jp>

### IGES リサーチレポート

2050 日本低炭素ナビ：概要と排出削減の経路の設定

Copyright © 2015 by Institute for Global Environmental Strategies (IGES). All rights reserved.

IGES の許可なく引用・転載・複製等をする行為、また、写真複写、録音、情報記憶・検索システム等の手段を使用して電子的・機械的に送信する行為は固くお断りします。

IGES は本レポートを出版するにあたり、客観性とバランスを確保するよう努力をしており、また、本レポート及び翻訳は、IGES 及び IGES の会員、支援者の意見を反映したものではありません。IGES は公共政策に関わる問題について常に中立の位置を維持しています。したがって、この出版物の内容は執筆者の見解であり、IGES の見解を述べたものではなく、IGES のスタッフ・メンバー、役員、理事、受託者、資金提供者に帰属するものではありません。

ISBN: 978-4-88788-186-0

Printed and bound in Japan

Printed on recycled paper

# 謝辞

2010年、英国エネルギー・気候変動省 (DECC) は、ユーザーが独自に排出削減のパスウェイ (経路) を描き、実際の科学データに基づいてその影響を予測できる革新的なシミュレーションツール「2050パスウェイ・カリキュレーター (2050カリキュレーター)」を開発した。地球環境戦略研究機関 (IGES) は、同様の日本版ツールを作成すれば、日本におけるエネルギーミックスの基本的要素と気候変動緩和オプションを効果的に提示できるようになり、幅広い人々の利用とフィードバックの取得が可能になると考えた。このような構想のもとに完成したのが「2050低炭素ナビ」である。本研究報告書は、低炭素ナビの概要を示し、その構造、計算手順、および対象部門のレベル設定について説明する。

「低炭素ナビ」開発にあたり、中核チームはIGESおよび他の機関の多くの人々から温かいサポートや貴重なご意見、心からの激励を頂いた。筆者は、この有益なプロジェクトを主導し、全体を通して様々な助言を与えてくださったIGESの森秀行所長ならびに浜中裕徳理事長に謝意を表す。またIGES研究顧問の西岡秀三教授には、進行の指揮からツール精査の専門家結集まで低炭素ナビ開発のすべての段階において積極的にご指導頂いたことに感謝したい。

日本の環境省、英国エネルギー・気候変動省 (DECC)、駐日英国大使館からもプロジェクトの実施と推進において様々な形でご支援頂き、特に英国エネルギー・気候変動省のJan Ole Kiso氏およびGreg Haigh氏、駐日英国大使館のRichard Oppenheim氏 (一等書記官) および福田裕子氏にお礼を申し上げたい。

2014年2月20日ならびに2014年4月16日に開催された2つの専門家レビュー会議でも多様な技術支援やご意見を賜り、中でも日比野剛氏 (みずほ情報総研株式会社)、槌屋治紀氏 (株式会社システム技術研究所)、松尾雄司氏 (日本エネルギー経済研究所)、黒澤厚志氏および松井徹氏 (エネルギー総合工学研究所)、永田豊氏 (電力中央研究所)、秋元圭吾氏 (地球環境産業技術研究機構)、甲斐沼美紀子氏 (国立環境研究所)、川又孝太郎氏および吉崎仁志氏 (環境省)、平田仁子氏 (気候ネットワーク)、堅達京子氏 (NHK) に感謝を述べたい。

さらに白川博章准教授 (名古屋大学) には低炭素ナビのウェブツール開発に大変ご尽力頂いたことを深く感謝する。

またIGESのスタッフにもプロジェクト推進において大いに助けて頂いたことを感謝したい。田村堅太郎氏には低炭素ナビの応用促進で主導的な役割を、石川智子氏にはIGESチームと日本および英国当局の専門家を含む外部機関との連絡調整役を担ってもらった。片岡八束氏とそのチームには低炭素ナビのアウトリーチ活動に関連したサポートを提供してもらい、角島小枝子氏には様々なワークショップやステークホルダーミーティングでのロジスティクスを担当してもらった。また白木裕斗氏 (国立環境研究所) からも数々の技術支援を提供して頂いた。

最後に、本報告書の精査過程において貴重なご意見を賜ったIGESシニアフェローの井村秀文氏およびIGESシニアコーディネーターのMark Elder氏、そして編集・デザイン面でサポートして頂いたPranab Baruah氏、伏見エマ氏および北村恵以子氏にも感謝の意を表す。

# はじめに



気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（AR5）では、全世界が現状と同レベルの温室効果ガス（GHG）を排出し続けると、2100年までに、産業革命前以前と比べておよそ4℃の気温が上昇するというメッセージを発信しました。仮に気温が4℃上昇してしまうと、社会活動や経済活動などの人間が生きていく上で必要な自然資本に対して壊滅的な被害を与え得る異常気象、希少種の絶滅、世界的または地域的な食糧問題などの気候変動による様々なリスクを増大させる可能性があります。また科学者たちは、気温上昇を2℃に抑えるために、GHGの排出量を2050年までに2010年の水準と比べて40～70%に削減し、2100年には排出をほぼゼロにする必要があると警鐘しています。これらのメッセージを勘案すると、政策決定者たちは直ちに気候変動に対する行動を起こしていくことが求められています。

定量的な評価ツールは、気候変動や持続可能な開発に関連した政策決定過程において、ますます重要度を増しています。定量的な評価ツールは、政策の効果が持続可能な開発の重要な要素である社会、経済、環境に対する便益や損失に関して有益な情報を提供してくれます。近年では、先進国及び発展途上国が自主的に決定する約束草案（INDC）が、気候変動の交渉での主要な論点になっています。各国においては、自国の草案の達成にむけて、技術や経済に関する事項を定量的な情報に基づいて評価することが重要となっています。目標達成のためにどのような政策支援が必要であるのかを定量的な根拠を用いて特定することが主要な課題となっている持続可能な開発目標（SDGs）のような持続可能性の議論においても、同様のことが言えます。

低炭素ナビは、エネルギーとGHG排出に関する関係性を様々なシナリオに基づいて定量的に予測するツールであり、日本の気候変動政策の策定に向けた支援を目的としています。日本はGHG排出に関する野心的な目標を掲げたものの、福島第一原子力発電所の事故以降は、エネルギー安全保障問題が重大な課題となっています。また、日本はエネルギー政策、温暖化政策に関する政策を決定する岐路に立っていると云えます。すなわち、エネルギー消費量減少や、エネルギー供給部門における脱炭素化をどのように達成するか検討し、実行することが求められています。特に、どのような発電技術を用いて電力を供給するかという問題が大きな要素となっています。低炭素ナビはこれらの問いに対して、市民一人一人が科学的な知見に基づいたエネルギーシナリオを描くことを可能とするプラットフォームを提供しています。

低炭素ナビは、英国版2050パスウェイ・カリキュレーターの子組みを取り入れて構築されています。英国版カリキュレーターは、2010年に英国エネルギー開発・気候変動省（DECC）によって開発・公開されました。2012年のバンコクにおける国際的なワークショップにて英国版カリキュレーターを初めて目にした際に、エネルギー安全保障と温暖化対策に関する議論を促すために、日本においても本ツールが十分に役立つと確信致しました。バンコクからの帰国直後には、研究グループを立ち上げ、DECC並びに英国大使館には技術的な支援、日本環境省には財政的な支援の下で、およそ1年で日本版カリキュレーターである低炭素ナビを開発致しました。また、様々な関係者と議論を進めながら、2014年6月、IGESが横浜で毎年主催している持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム（ISAP）にて、低炭素ナビを公式に発表することができました。

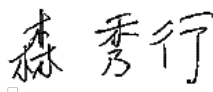


英国版カリキュレーターは、簡素で、透明性が高く、使いやすいという特徴から、英国における政策決定者、各産業の専門家、一般市民の間で幅広く活用されるに至るまでに、それ程長い時間は要しませんでした。このような強力なツールが日本やその他の国々でも次々に開発されているということは注目すべき事象に値します。また、国レベルでの排出パスウェイだけでなく、都市、企業、研究者がそれぞれの目的に応じた、簡素かつ透明性の高い排出パスウェイを作成する機運が高まっています。低炭素ナビチームも、このようなニーズに答えていくよう励んでおり、今後も一層、エネルギーと温暖化政策について、トップダウン的な視点だけに留まることなく、ライフスタイル、エネルギーシステム、二酸化炭素の排出量など、様々な視点から政策を議論していくボトムアップのアプローチを支援していく次第です。

公開されている低炭素ナビは、国レベルの排出パスウェイの計算を対象としていますが、今後も都市レベルの排出パスウェイや他国の排出パスウェイの計算に一層に取り組んでまいります。

本プロジェクトを実施するにあたり、科学的・実用的見地から助言を頂いた日本の専門家及びDECCの2050カリキュレーターチームに謝意を表します。また、本プロジェクトの推進にご協力頂いた、駐日英国大使館および日本環境省に深く感謝いたします。

また、IGESが本研究レポートを出版できたことを大変嬉しく思います。本レポートは低炭素ナビを使用するにあたって、計算条件や使用方法をわかりやすくまとめたものです。本レポートでは、複数のパスウェイの事例を挙げています。本レポートが低炭素ナビの使用者の理解を深め、迅速に使うための一助になれば幸いです。



森 秀行

公益財団法人 地球環境戦略研究機関 所長

# 序文



我々に残されたカーボン・バジェット（気候素安定化するために排出してよい温室効果ガス総量）は非常に限られており、速い速度で減っています。したがって、2℃目標を達成に向けた道のりはとても困難なものと考えられます。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（AR5）は、温室効果ガス（GHG）の累積排出量と地球規模での気温上昇との間には明確な比例関係があることを示しました。我々はこれら事実を無視することはできないし、仮に現状のペースでGHGの排出を続けると、25年以内でカーボン・バジェットを使い果たしてしまうことが予想されます。従って、この非常に限られた財産を賢く使い、25年間という期間を50年、100年というように、可能な限り伸ばす必要があり、今すぐ行動することが重要です。具体的には、高炭素エネルギーに強く依存している現代社会を低炭素社会に移行し、ゼロ排出社会を達成することが求められます。このカーボン・バジェットの節約・引き延ばしは不可能なことではありません。IPCC第3作業部会は、2℃目標に向けた事実裏付けられた実行可能な排出パスウェイ（道筋）が存在することを示し、2050年には世界全体でGHGの排出を現状と比較して半分に抑えることを提唱しています。

世界全体の人口予測を勘案すれば、この排出パスウェイを達成するためには2050年において、一人当たりの排出量を2トンに抑える必要があることが計算できます。現状では既にほぼすべての先進国やアジアにおける経済大国はすでにこの水準を超えています。例えば、日本は一人当たり約10トン、中国は6トン近く、タイは3トン以上のGHGを排出しています。従って、一人当たり2トンという数字は、今後の35年間に達成すべき共通の目標となります。

日本は2050年にGHGを80%するという目標を第4次環境基本計画の中で掲げています。しかし、2011年の東日本大震災時の地震と津波の後に生じた福島第一原子力発電所の事故以来、日本のエネルギー中期目標やGHG削減計画の見直しが迫られました。また、2015年6月に国連気候変動枠組条約事務局への提出が求められている削減目標を作成している最中であります。福島第一原子力発電所の事故が起きる以前までは、日本のエネルギー計画はトップダウンで政府とエネルギー産業界からなる一部の専門家によって決定されてきました。しかし、原子力発電所の事故以降は、市民社会による議論が活性化し、我々の生活におけるエネルギーの役割や関連するリスク、気候変動への影響などが広く知れ渡るようになりました。その結果、政策決定プロセスにおいて、エネルギー問題に対する理解度が幅広い関係者の間で議論されるようになりました。

このような状況下、英国版2050パスウェイ・カリキュレーターを日本に導入し、弊機関は国立環境研究所と共同で低炭素ナビを開発できたことを大変嬉しく思います。関連データの収集などの低炭素ナビ構築をするにあたって、既存プロジェクトの成果活用、また、関係者の皆様からのご助言を頂きました。加えて、低炭素ナビを公式発表するまでに、多岐にわたる分野の専門家の皆様と検討会を2回開催し、シナリオ設定などの本モデルの大枠について、多大なご提案を頂きました。低炭素ナビを発表するまでに、皆様から多大なお力添えを頂いたことにこの場をお借りして感謝申し上げます。

低炭素ナビは、個人が活用して排出シナリオに関する知識を深めることや、友人・同僚との議論を支援する道具として活用頂くことができます。また、自治体や政府の政策決定者が包括的な政策やその代替案を検討する際にご活用頂き、さらには気候安定化に向けた地球規模での共通の理解を深める際に本ツールが少しでも役に立てることを祈念いたします。このような期待を込めまして、本ツールを「低炭素ナビ」と名付けました。

政策決定者、産業界の皆様、教育機関、大学、研修者、学生、一般市民などの全世界における市民の皆様にとって低炭素ナビが有益なツールと感じて頂ければ幸いです。本ツールは簡素かつ分かりやすさを追求しておりますが、様々な条件を設定する際に、本レポートが使用者の皆様のご理解の一助になればと存じます。加えて、図表を交えた例題を通じて、使用者の皆様がどのように排出パスウェイを作成することができるのか、また、排出パスウェイをどのように理解すれば良いのかを解釈する際のご参考となり、本レポートが少しでも皆様のお役に立てることを祈念致します。

西岡秀三

### 西岡秀三

公益財団法人 地球環境戦略研究機関 研究顧問



# Table of Contents

謝辞	1
はじめに	2
序文	4
略語一覧	8
Ⅰ. はじめに	9
Ⅱ. 計算手順とモデル構造	14
Ⅲ. 社会シナリオ	19
Ⅳ. エネルギー供給サイド	23
原子力発電	24
火力発電	26
太陽光発電	27
陸上風力発電	28
着床式洋上風力発電	29
浮体式洋上風力発電	30
中小水力発電	31
地熱発電	32
海洋発電	33
Ⅴ. 需要サイド	34
国内旅客輸送	35
ゼロ・エミッション車への移行	36

ゼロエミッション自動車技術の選択	37
国内貨物輸送	38
家庭用冷暖房	39
家庭用給湯器	40
家庭部門：調理機器・照明器具・電化製品	41
業務部門：冷暖房および給湯器	42
業務部門：調理機器・照明器具・電化製品	44
産業部門	45
VI. パスウェイ例	46
VII. おわりに	50
参考文献	53

## 略語一覧

CCS	Carbon Capture and Storage 二酸化炭素回収貯留
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide 二酸化炭素
COP	Coefficient of performance 成績係数
EV	Electric vehicle 電気自動車
FCV	Fuel cell vehicle 燃料電池自動車
GDP	Gross domestic product 国内総生産
GHG	Greenhouse gases 温室効果ガス
GW	Gigawatt ギガワット
HEMS	Home Energy Management System ホームエネルギー管理システム
HEV	Hybrid electric vehicle ハイブリッド車
IGES	Institute for Global Environmental Strategies 地球環境戦略研究機関
INDC	Intended Nationally Determined Contributions 先進国及び発展途上国が自主的に決定する約束草案
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
JPY	Japanese yen 日本円
km	Kilometre キロメートル
LED	Light-emitting diode 発光ダイオード
Low Carbon Navigator	Japan 2050 Low Carbon Navigator 2050 低炭素ナビ
m <sup>2</sup>	Square meter 平方メートル
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan 経済産業省
MIJ	Made-In-Japan Society メイドインジャパン社会
MOE	Ministry of the Environment of Japan 環境省
MW	Megawatt メガワット
NIES	National Institute for Environmental Studies 国立環境研究所
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle プラグインハイブリッド自動車
R&D	Research and Development Society ものづくり統括拠点社会
RI	Resource Independent Society 資源自立社会
SB	Service and Brand Society サービスブランド社会
SDG	Sustainable Development Goals 持続可能な開発目標
Share	Share Society 分かち合い社会
Solar PV	Solar photovoltaic 太陽光発電
ton-km	Tonne-kilometre トンキロメートル
TWh	Terawatt-hour テラワット時
UK DECC	UK Department of Energy and Climate Change 英国エネルギー・気候変動省
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change 国連気候変動枠組条約
y	Year 年

# I. はじめに

## 詳細情報

ウェブツール版：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/>  
エクセル版：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/jp/>  
ホームページ：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/jp/>  
お問い合わせ：[ge-info@iges.or.jp](mailto:ge-info@iges.or.jp)

## 背景

日本は第4次環境計画において2050年までに温室効果ガス排出量を80%削減する目標を設定している。しかし、2011年の福島原発事故によって今後数十年に及ぶ日本のエネルギー安全保障確保に対する懸念が生じ、この目標の達成は一層難しくなっている。日本は現在岐路に立たされており、エネルギー政策に関する選択と排出削減目標の達成を同時に行うことが求められている。日本が迫られている選択には、エネルギー需要の削減と供給サイドの脱炭素化のどちらをより重視するかということや、どのような発電方法を推進し、どの技術を採用するかなどがある。

このような状況下、日本のエネルギー中長期計画は重要な議題であり、2014年4月に日本政府は第4次エネルギー基本計画を策定した。本計画は日本のエネルギー計画の骨子であり、下記の二つの原則から成り立つ。第一に、エネルギー政策にエネルギー安全保障、経済効率性、環境への適合、安全性の4つの要素を盛り込んだ“3E+S”原則である。第二に、供給側、需要側において、柔軟かつ多様なエネルギーシステムを構築することである (METI, 2014b)。

さらに、日本は気候変動問題に対処するために温室効果ガスの削減を進めることが求められている。第19回気候変動枠組条約締約国会議 (UNFCCC) の決定を受けて、各国は2020年以降の気候変動対策について、自主的に決

定する約束草案 (INDC) を2015年のできるだけ早い時期に提出することが義務付けられている。

これらすべての要素は、日本の社会、経済、環境、持続可能性の側面が重要な事項である。従って、これらの課題を議論するために、簡素かつ分かりやすいエネルギー及びGHG排出量を検討するツールに対する関心が高まっている。2050低炭素ナビはこれらの政策決定プロセスにおいて様々な関係者による議論を支援する定量的なツールとして開発された。

2010年、英国エネルギー・気候変動省 (DECC) は、ユーザーが独自に排出削減のパスウェイ (経路) を描き、実際の科学データに基づいてその影響を予測できる革新的なシミュレーションツール「2050パスウェイ・カリキュレーター」を開発した。この使いやすいモデリングツールに対する利用者の反応は大変良く、現在、2050カリキュレーターは政策決定者だけでなく専門家や一般市民の間でも対話・教育目的で使用されている。中国、韓国、ベルギーフロン地域、台湾、インドなど他国も独自にカリキュレーターを開発し、日本では2013年に地球環境戦略研究機関 (IGES) と国立環境研究所 (NIES) が英国エネルギー・気候変動省 (DECC) および駐日英国大使館の技術支援を得て日本版2050カリキュレーターの共同開発に着手した。日本版試作ツール「2050日本低炭素ナビ (低炭素ナビ)」は2014年5月のトライアル会合で様々な関係者に披露され、完

全版は2014年7月に一般公開された (IGES, 2014)。

エネルギー需給および温室効果ガス (GHG) 排出シミュレーションツールである低炭素ナビは、政策決定者だけでなくエネルギーの生産者や消費者 (一般市民を含む) もエネルギーと排出量に関連して日本がどのような選択を迫られているのかを理解するのに役立つ。未来のエネルギーシステムと気候変動対応をめぐる課題と機会について話し合うプラットフォームを提供すると共に、ユーザーは排出削減とエネルギー安全保障の確保を達成するためのパスウェイを独自に組み合わせることができる。またこのツールは透明性と利便性が高く、今後数十年にわたってエネルギーシステムがどのように進化する可能性があり、それが温室効果ガス排出量、エネルギー安全保障、土地利用、電力システム、エネルギー開発、および関連コストにどう影響するかという基本的な問いに答えることができる。しかし、本ツールはコスト最適化モデルではなく、選択パスウェイに基づきコストを比較しているため、最低コストのパスウェイを示すものではない。

## モデルの概要

低炭素ナビは長期シミュレーションツールであるため、多くの不確実性を伴うと考えるのが妥当である。そのため低炭素ナビはシナリオベースのアプローチを採用し、それらのシナリオに基づき可能性のある経路や結果を導き出している。様々なシナリオをもとに示さ



れる想定は明確かつシンプルでわかりやすく、日本経済のあらゆる供給・需要部門が考慮されている。ただし低炭素ナビは供給・需要部門を1つにまとめることはせず、部門別のアプローチをとっている(対象部門を表1に記載)。

低炭素ナビでは各部門で起こりうる変化のレベル/軌道が4つ設定されている。再生可能エネルギー部門では、日本での物理的なポテンシャルとして追加レベル(レベル5)も記載されている。これらの軌道は、特定部門の将来的ポテンシャルが期待できる範囲を反映している。個々の部門で予想される未来の範囲全体を示すことが目的で、エネルギー供給部門の場合、これらの軌道は発電インフラの展開状況を意味する。若干異なるのが原子力発電部門で、原発の再稼働政策など他の検討材料も考慮されている。エネルギー需要部門では行動や技術の変化を意味する側面が強く、これらの軌道は一般的に変化の規模を示す「レベル」と記されている。ただし特定の部門(原子力発電所、国内旅客輸送等)では規模ではなく選択の変化を意味し、「軌道」または「オプション」と呼んでいる。

表1 2050日本低炭素ナビ：対象部門

エネルギー供給部門	エネルギー需要部門
<p><b>原子力発電および化石燃料火力発電</b>            原子力発電            火力発電所(石炭、石油、ガス)            バイオマス発電(石炭混燃)</p> <p><b>再生可能エネルギー</b>            太陽光発電            風力発電(陸上、着床式洋上、浮体式洋上)            水力発電(中小および大規模)            地熱発電            海洋発電</p> <p><b>バイオマスエネルギー供給</b>            廃棄物エネルギー量            バイオエネルギーの製造及び輸入</p> <p><b>水素製造</b>            輸送部門向けの水素製造</p> <p><b>その他エネルギー転換</b>            コークス生産            石油精製            都市ガス製造</p>	<p><b>輸送部門</b>            旅客輸送            貨物輸送</p> <p><b>家庭部門</b>            冷暖房            給湯(太陽熱利用含む)            調理機器、照明器具、電化製品</p> <p><b>商業部門</b>            冷暖房および給湯供給            調理機器、照明器具、電化製品</p> <p><b>産業部門</b>            製造業・建設業            農林水産業            産業プロセスからの排出            石油化学業における化石燃料の非エネルギー消費            農業からの非エネルギー起源温室効果ガス</p>

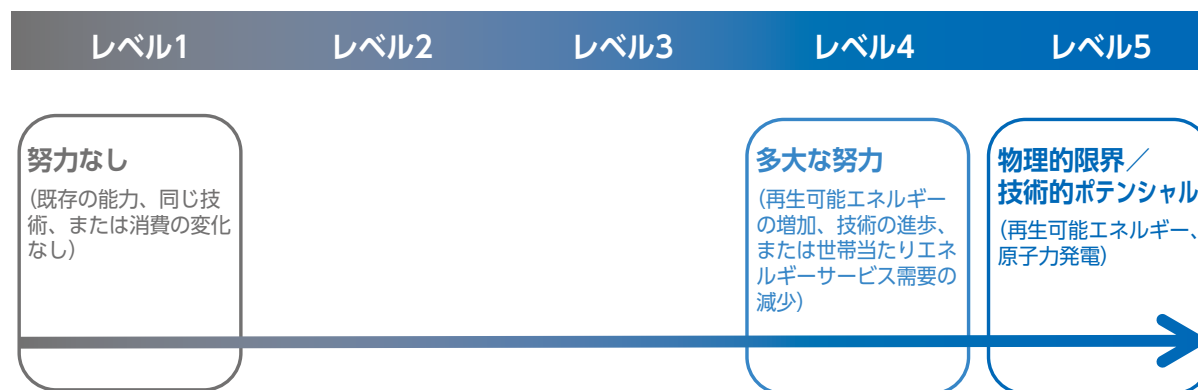
出典：著者

各レベル／軌道は低炭素社会への移行に向けた努力の度合いに基づいて設定されている（図1）。例えば、レベル1は努力の度合いが低く、既存の能力や技術が引き続き用いられ、消費行動も全く変化しない。対してレベル4では、再生可能エネルギーの増加や技術の進歩、エネルギーサービス需要の削減のために多大な努力が払われる。再生可能エネルギー及び原子力発電のレベル5は、物理的限界／技術的ポテンシャルを示している。これらのレベル／軌道は、既存の文献を徹底的に調査し、複数の専門家検討会議で得られたフィードバックを考慮した上で設定されている。ただし、低炭素ナビの本来の目的は幅広い可能性を提示することであり、未来を予測したり、コストの最適化を図るためのものではないことに留意しなければならない。ボックス1は低炭素ナビが答えを導き得る質問一覧を示している。

本研究報告書は、まず低炭素ナビの概要を示し、その仕組みと想定について説明している。セクションⅡでは、基本的なモデルとその構造、ならびに計算手順を解説し、セクションⅢでは、日本のエネルギー消費量と温室効果ガス（GHG）排出量に影響を及ぼす潜在的な社会シナリオ（想定された経済・社会構造）を紹介している。セクションⅣとⅤは、供給および需要サイドでそれぞれ設定されたレベル／軌道の詳述で<sup>1</sup>、ユーザーは部門別の記述を素

<sup>1</sup> 低炭素ナビのアクセス先：  
<http://www.2050-low-carbon-navi.jp>

図1 低炭素ナビのレベル設定



出典：著者

### ボックス1：低炭素ナビが答えを導き得る質問一覧

- エネルギー需要を満たしながら、どの程度GHG削減を達成できるのか。
- 各エネルギー供給技術によるGHG削減ポテンシャルはどの程度あるのか。
- 各セクターにおけるエネルギーを使用量や、GHG削減量はどの程度あるのか。
- どのセクターが多くGHG削減量をもたらすことができるのか。
- エネルギー依存度や安全保障にどのような変化が生じ得るのか。
- 原子力発電の稼働なしに、2050年に80%のGHGを削減するエネルギーミックスはあり得るのか。
- もっとも野心的な再生可能エネルギーの導入目標では、どの程度のGHGを削減することができるのか。
- 日本におけるGHG削減の最大ポテンシャルはどの程度あり、その費用はいくらか。また、排出パスウェイはどのようなものか。

出典：著者

早く参照して各レベルの想定と結果を見ることができ。各ページ読み切り型で、それぞれの部門の現状が簡潔に説明されている。次が各レベル／軌道（低炭素ナビのシミュレーション結果を含む）の図説で、幅広い層が利用できるように短く簡潔かつ具体的にまとめられ、関連するグラフや図を用いながらより鮮明でわかりやすく伝える工夫がされている。2050日本低炭素ナビのユーザーは、これらの部門別説明を読み、レベル／軌道設定について明確に理解することが推奨される。セクションⅥは、異なるレベルをもとに想定された2つの事例を示しながら、モデルが作成した結果をどう解釈すべきかを説明し、2つのシナリオは比較しやすいように並べて表示されている。セクションⅦは本報告書の結論で、低炭素ナビの限界について説明している。

A decorative graphic consisting of multiple thin, light blue lines that flow and curve across the page, creating a sense of motion and depth. The lines are most concentrated in the center, where they form a dense, wavy pattern that frames the main title.

## II. 計算手順とモデル構造

低炭素ナビではエクセルスプレッドシートモデル<sup>2</sup>とウェブツール<sup>3</sup>の2種類が開発された。エクセルスプレッドシートモデルは基本的なモデルと計算を提供し、それに基づいてウェブツールが開発された。図2と図3にそれぞれのイメージが表示されている。

エクセルスプレッドシートモデルを例に挙げ

<sup>2</sup> エクセルスプレッドシートモデルのダウンロード先：  
<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/en/index.html> (英語版)

<sup>3</sup> ウェブツールのアクセス先：  
<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/> (日本語版)  
<http://www.en-2050-lowcarbon-navi.jp/> (英語版)

ながら、6つのステップから成る計算手順を以下に説明する。

**ステップ1:** ユーザーは供給・需要サイドの両方で社会シナリオと各部門の軌道を選択し、1つの低炭素パスウェイを形成する(表1およびセクションⅢ、Ⅳ、Ⅴを参照)。

**ステップ2:** 部門別シートで、ユーザーが選んだ軌道に基づいてアウトプットを計算する。

**ステップ3:** 部門別のアウトプットに基づき、設定された各年(2005、2010、2015、2020、2025、2030、2035、2040、2045および2050)のエネルギーバランスシートを作成する。

**ステップ4:** 各年のエネルギーバランスシートからサマリーシートを作成する。

**ステップ5:** サマリーシートに基づいて、一次エネルギー供給、最終総エネルギー消費量、発電エネルギーミックス、GHG排出量、総増分費用の結果がグラフに表示される。

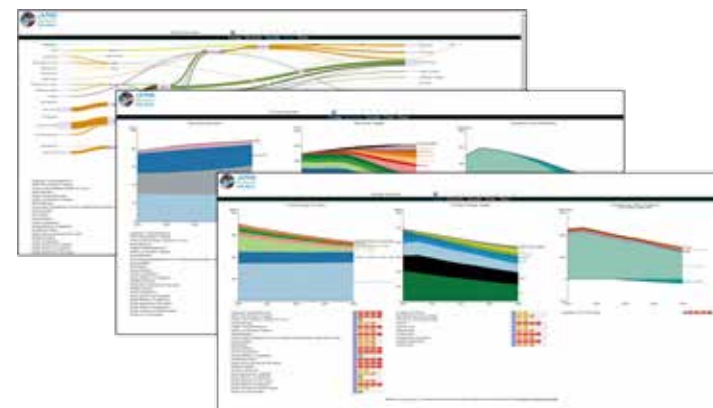
**ステップ6:** ユーザーは選択する軌道を変えて別の低炭素パスウェイをシミュレートできる。

モデルの構造を図4に示している。まず部門別軌道設定の最上部に示されている5つの社会シナリオに基づき、GDP成長や部門別アウトプットレベルで示される「経済指標」と、人口規模や世帯数で示される「社会指標」が決定される

図2 エクセルスプレッドシートモデルのイメージ



エクセルスプレッドシートモデル



ウェブツール

出典：著者



図3 低炭素ナビのレベル設定



出典：著者

(セクションⅢ参照)。

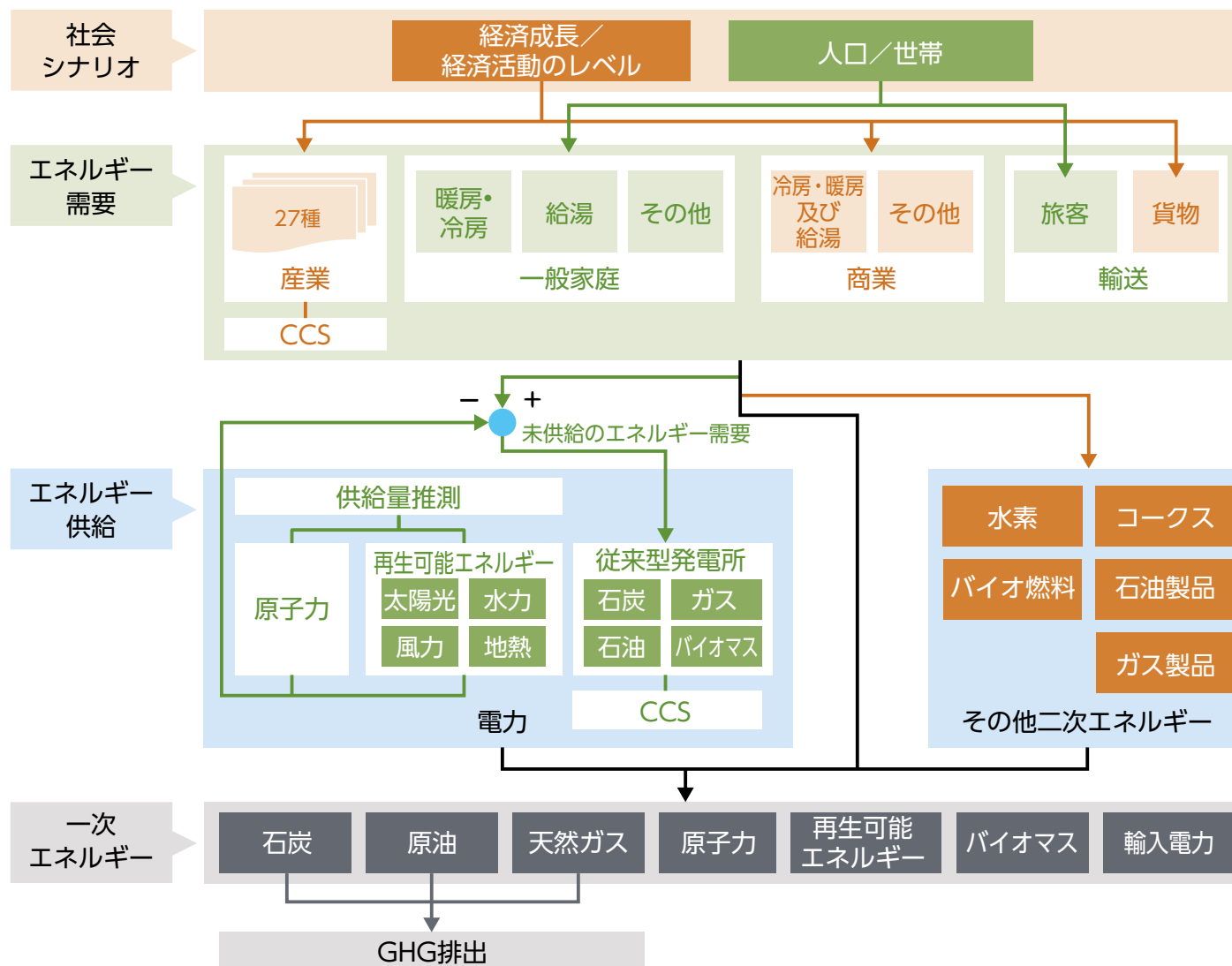
第一に、どの社会シナリオを選ぶかがエネルギー需要部門に影響を及ぼし、特にGDP成長と部門別アウトプットレベルは産業部門、貨物輸送部門および商業部門に、人口規模と世

帯数は家庭部門および旅客輸送部門に関連している。

第二に、エネルギー需要（軌道設定の詳細はセクションをV参照）では、産業部門（27部門を含む）、家庭部門（冷暖房、給湯、照明器具・

調理機器・電化製品）、商業部門（冷暖房および給湯、照明器具・調理機器・電化製品）、輸送部門（旅客輸送および貨物輸送）という4つのタイプのエネルギー最終消費者が考慮されている。エネルギー需要、排出レベル、付随

図4 モデルの構造



出典：Ashina (2014).

する増分費用で示される各部門のアウトプットは、それぞれの活動レベル、消費行動、技術の普及（技術のオプション）、エネルギー効率の向上等の影響を受ける。

第三に、エネルギー供給（軌道設定の詳細はセクションⅣを参照）に関しては、本モデルでは発電を含む二次エネルギー供給とその他の二次エネルギーが考慮されている。発電方法には、化石燃料（石炭、石油、ガスを含む）を使っ

た在来型発電所、バイオマス、原子力発電所、再生可能エネルギー（水力発電、太陽光発電、風力発電、地熱発電、海洋発電を含む）があり、その他の二次エネルギーには、水素製造、バイオ燃料、精製品（コークス生産、石油精製、都市ガス製造を含む）がある。

第四に、一次エネルギー源には、化石燃料（石炭、原油、天然ガス）、原子力エネルギー、再生可能エネルギーが含まれる。

二次エネルギーも一次エネルギーも目的はエネルギー需要を満たすことで、二次エネルギーは一次エネルギーを変換することによって得られる。

GHG排出量は化石燃料の燃焼によって発生し、その程度はエネルギー供給とエネルギー需要のレベルによって左右される。

## III. 社会シナリオ

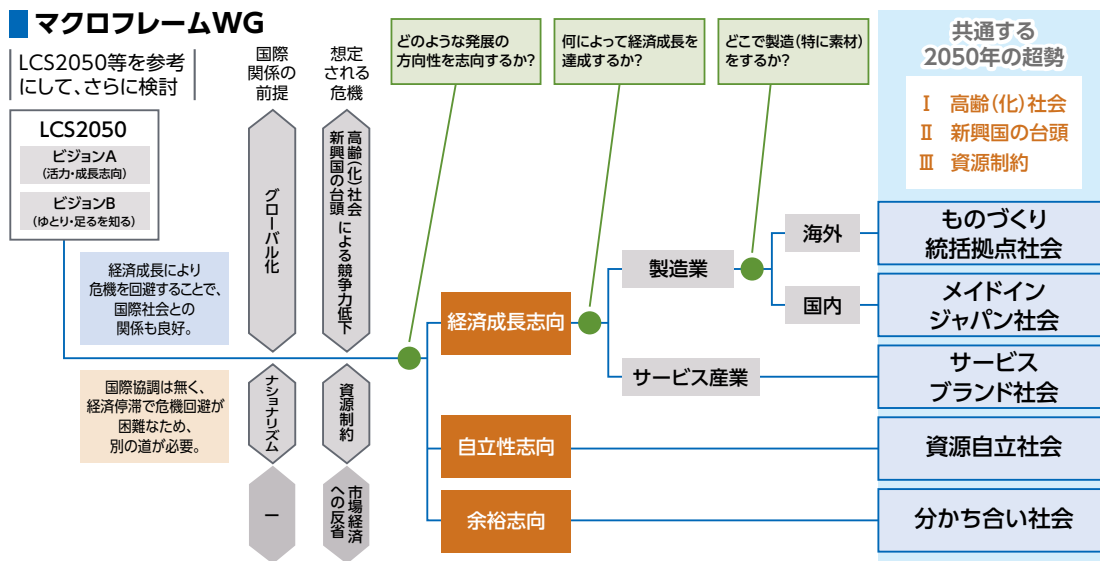
2050年におけるエネルギー消費および温室効果ガス（GHG）排出の予測においては、将来の社会構造や経済活動レベルの想定が大きな影響を与える。そこで「2050低炭素ナビ」では、「経済成長志向」「自立性志向」「余裕志向」という将来に対する3つの志向に沿って構築された、5つの2050年社会シナリオ選択肢を用

意した。これら5つのシナリオは政府検討会<sup>3</sup>（MOE, 2012b）での議論に使用されたものを参考にしている。

<sup>3</sup> 環境省中央環境審議会 地球環境部会「2013年以降の対策・施策に関する報告書（地球温暖化対策の選択肢の原案について）」平成24年6月。

ユーザーが5つの選択肢から1つを選ぶと2050年社会シナリオの選択によって変化するのは、社会・経済活動レベルの諸想定（GDP、人口、世帯数、産業部門の生産量、旅客・貨物輸送量ならびに業務床面積）である（図6参照）。

図5 2050年社会像のコンセプト



出典：環境省（2012c）を基に筆者作成

**注釈：**社会シナリオは2050年の日本の社会に様々な未来を与える。5つのシナリオは日本の将来像に関して根本的な問いを与える。第一の問いとして、研究開発の将来像に関する事項である。これは、経済成長や資源自立性について選択することを意味している。第二の問いは、製造業やサービス業といった経済成長の手段に関する事項である。第三の問いは、製造業やその材料の生産場所に関する事項である。

5つの社会シナリオは日本の経済成長と低炭素社会に向けた発展に関して異なる将来像を与える。サービスブランド社会は、日本がサービス業に特化することを意味する。ものづくり統括拠点社会およびメイドインジャパン社会は、製造業について特化することを意味する。資源自立社会、分かち合い社会は資源自立した発展型を意味する。

社会シナリオは、日本の各将来像におけるCO<sub>2</sub>排出量の影響の理解にも役立つ。ものづくり統括拠点社会とメイドインジャパン社会では、日本が国際社会の中でどのように経済成長を維持するかといった戦略が異なる。ものづくり統括拠点社会では、輸出向けの生産拠点が、日本から現地市場に近い海外へと移転する。生産拠点が日本から移転すると、製品の輸入が大きな影響をもたらす。メイドインジャパン社会では、海外輸出向けの製品を国内で生産する。従って、メイドインジャパン社会はものづくり統括拠点社会よりも多くの資源や中間製品を輸入し、生産することになり、その分CO<sub>2</sub>排出量も比較的多くなる。資源自立社会はものづくり統括拠点社会と同様に、メイドインジャパン社会に比較して国際貿易量は少ないが、産業部門などに違いがみられる。資源自立社会では、鉄鋼の原料として国内でリサイクルされた材料を最大限利用し、農林水産業においても国内の資源を活用するが、ものづくり統括研究社会では、依然として鉄鋼の大部分の原料を海外から輸入し、農林水産業で必要となる飼料や肥料はこれまでと同じように海外から輸入する。

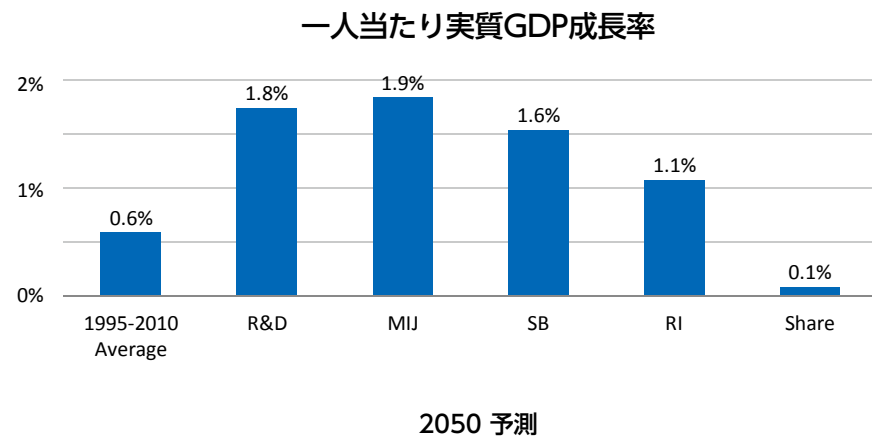
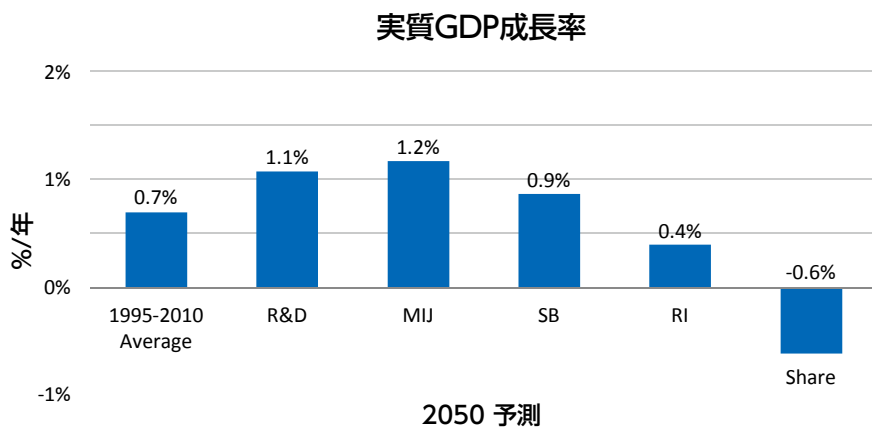
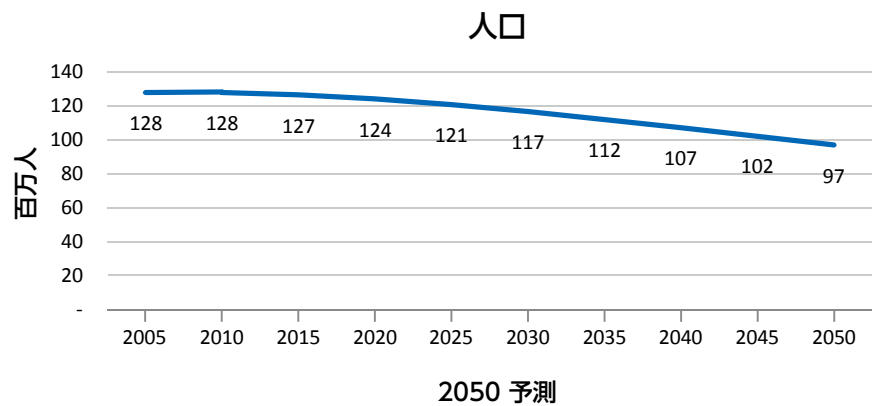


**表 2 2050 年社会シナリオの概要**

2050年社会シナリオ	概要	長所	短所
メイドインジャパン社会	製造業の国内での積極的な拡大が高い経済成長を牽引するシナリオ。	世界を相手にする低炭素技術を中心とした製品や、海外の中・高所得層向けのメイドインジャパンブランドの高付加価値製品を製造・販売する。	イノベーションが起こりにくく、国際競争力の維持のために生産に従事する労働者の給与が抑制され、為替変動にも大きな影響を受ける。
ものづくり統括拠点社会	製造業の積極的な海外展開が高い経済成長を牽引するシナリオ。	ものづくりの技術開発(R&D)で世界の知恵の中心地となり、低炭素技術で世界を牽引する社会。技術開発力を活かして海外の売上げにより成長する。	世界トップレベルの技術力を維持するため、世界最先端施設の整備や変革者の発見と育成を行い、激しい競争に打ち勝っていくことが要求される。
サービスブランド社会	サービス産業を中心とした経済成長を志向するシナリオ。	日本が伝統的に育んできた丁寧なサービス精神を生かして、海外又は来訪した外国人の消費により成長する第三次産業中心の社会を実現する。	海外顧客向けの高品質なサービスが追求され、国内の富裕層のみがそのサービスを利用できる社会でもある。
資源自立社会	資源面でより高い自立性を志向するシナリオ。	世界のナショナリズム化に備えて、エネルギーや資源、食料などを可能な限り国内でまかなう。	資源自立を維持するため、経済的に高いエネルギーや資源を使用している社会でもある。
分かち合い社会	新たな価値観の下で無理なく暮らすことを目指すシナリオ。	必要なモノとサービスを国内調達して、時間的な余裕のある生活を重視する。	経済的には脆弱で、個人よりもコミュニティが優先される社会であるため、集団行動やモノの共有が日常となる。

出典：環境省(2012b)を基に筆者作成

図6 5つのシナリオにおける2050年の人口、実質GDP成長率、一人当たりの実質GDP成長率予測



出典：環境省 (2012b) を基に筆者作成

## IV. エネルギー供給サイド

# 原子力発電

2011年の福島第一原子力発電事故以前は日本は世界でも有数の原子力利用国であった。2010年には4900万kWの発電能力を有し、発電量は約2880億kWhに達した。<sup>4</sup>しかし2011年の福島第一原発事故以降、2014年7月現在で稼働している原発は1基もない。日本の原子力発電に対して抜本的な改革が求められた。日本の原子力の未来に影響を与える2つの政策として、「既存の原発の再稼働」と「将来的な原発の新規建設」が挙げられている。

## 再稼働政策の影響 オプションA

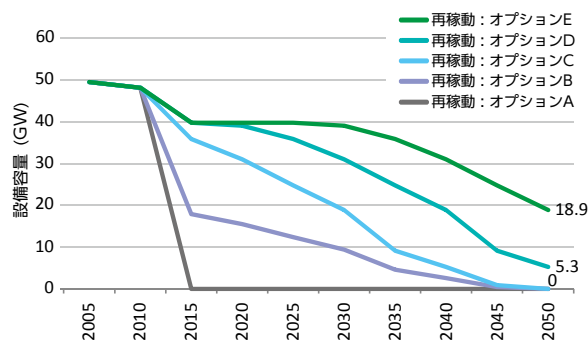
全ての既存原発について今後一切再稼働せず廃炉とし、他のエネルギー源に目を向ける。

## オプションB

既存原発の半数を再稼働する。新規建設がゼロの場合、発電能力は2010年の4900万kWから2030年に1000万kW未満に減少し、2050年にはゼロになる。

<sup>4</sup> 環境省中央環境審議会 地球環境部会「2013年以降の対策・施策に関する報告書（地球温暖化対策の選択肢の原案について）」平成24年6月。

図7 再稼働政策による将来の発電能力への影響（新規建設ゼロでの推計）



出典：筆者作成

## オプションC

運転期間40年の全既存原発を再稼働する。新規建設なしの場合、原子力発電能力は2030年には約1900万kWになり、2050年までにはゼロになる。

## オプションD

オプションCと似ているが、運転期間を50年とする。新規建設なしの場合でも2050年時点で530万kWの発電能力を有する（発電量320億kWh）。

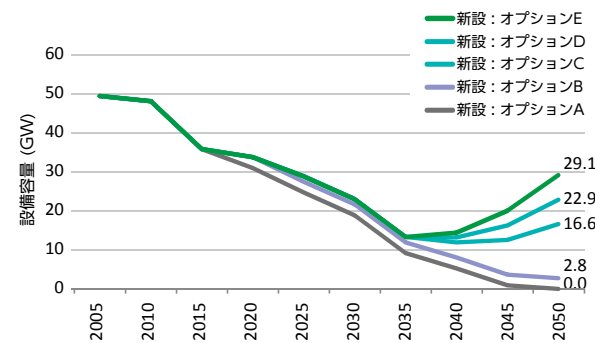
## オプションE

オプションCとDと似ているが、運転期間を60年とする。新規建設なしの場合でも2050年時点で1890万kWの発電能力を有する（発電量1110億kWh）。

## 新規建設政策の影響 オプションA

新規建設は行わない。既存の原発は運転期間40年で撤廃する。再稼働政策について、運転期間40年の全既存原発を再稼働すると、既存の原子力発電能力は2030年には約1900万kWになり、2050年までにはゼロになる。

図8 再稼働政策による将来の発電能力への影響（運転期間40年の全既存原発の再稼働での推計）



出典：筆者作成

## オプションB

現在建設中の原発3基のうち大間1号機、および島根3号機のみ許可するが、運転開始は当初予定より5年遅れる。再稼働政策については、運転期間40年の全既存原発を再稼働すると、発電能力は2050年に280万kWまで減少する（発電量160億kWh）。

### オプションC

現在建設中の東電東通1号機についても5年遅れで運転開始し、また2035年からの新規原発の運転を許可する。2040年以降の新設ペースは年平均100万kWとなり、再稼働政策について、運転期間40年の全既存原発を再稼働すると、2050年時点の発電能力は1660万kWとなる(発電量1050億kWh)。

### オプションD

積極的な新規建設政策をとり、2035年からの新規原発の運転を許可する。2040年以降の設備利用率は年平均150万kWとなる。再稼働政策について運転期間40年の全既存原発を再稼働すると、発電能力は2050年に2290万kWになる(発電量1640億kWh)。

### オプションE

さらに積極的な新規建設政策をとり、2035年からの新規原発の運転を許可する。2040年以降の新たな設備利用率は年平均200万kWとなる。再稼働政策について運転期間40年の全既存原発を再稼働すると、発電能力は2050年に2910万kWになる(発電量2080億kWh)。

# 火力発電

## 火力発電のエネルギーミックス

日本は石油、ガス、石炭などの化石燃料資源に恵まれておらず、これまで輸入に大きく依存してきた。また最近では福島第一原発事故による既存原発の操業停止により、化石燃料の輸入が増加している。ここではユーザーに火力発電のエネルギーミックス（ガス、石炭、そして石炭混焼バイオマス）について4つのレベルから選択する。

### レベル1

2050年まで現状とほぼ変わらないと想定。ガス対石炭の発電量比は1:1のまま、燃料ミックス全体の90%を占める。2050年の時点でバイオマス発電はゼロとする。

### レベル2

2050年の石炭に対するガス対石炭の発電量比は1.8に増加し、燃料ミックス全体の85%を占める。バイオマス発電の割合は10%に増加する。

### レベル3

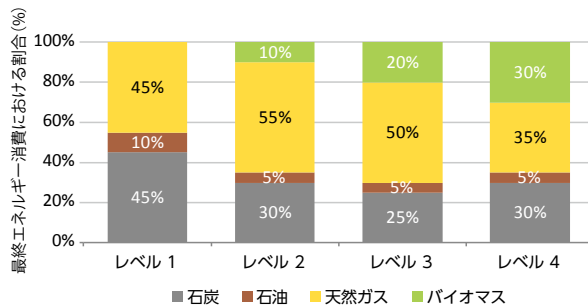
2050年のガス対石炭の発電量比は2に増加し、燃料ミックス全体の75%を占め、バイオマス発電の割合は20%に上昇する。

### レベル4

2050年のガス対石炭の発電量比は1.2に留ま

り、燃料ミックス全体の65%を占め、バイオマス発電の割合は30%に上昇する。

図9 各シナリオの火力発電のエネルギー消費割合



出典：筆者作成

**二酸化炭素回収貯留 (CCS) 技術の利用可能性**  
大規模なCCSの効果はまだ実証されていないが、先頃、北海道苫小牧市で日本初の大規模CCS実証プロジェクトが開始された。日本でのCCSのポテンシャルについては不確実性が大きいものの、現時点では把握されている技術的に利用可能なCO<sub>2</sub>の地下C貯留容量は52億トンで (Ito, 2008)、これは1990年の日本の地球温暖化ガス総排出量の約4倍に相当する。

### レベル1

CCSは2050年まで一切使用しない。CCS技術は、実証プロジェクトのみ可能

### レベル2

2050年までに石炭およびガス火力発電所の2割についてCCSが行われる。

### レベル3

積極的なCCS技術の導入により、石炭火力発電所の5割についてCCSが行われる。

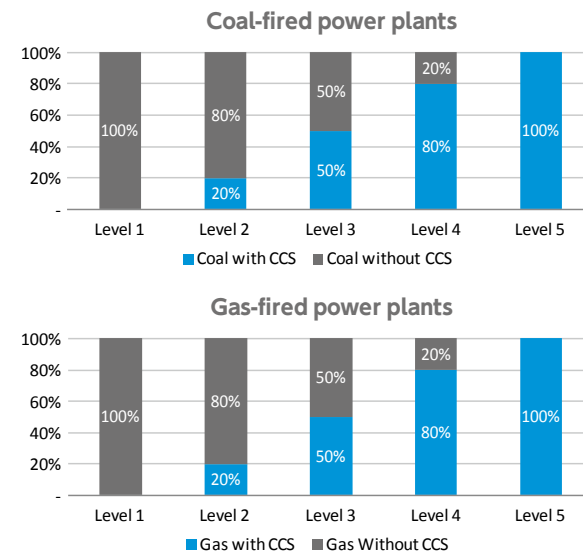
### レベル4

さらに積極的なアプローチでCCS技術を導入し、2050年には石炭およびガス火力発電所の8割についてCCSが行われる。

### レベル5

全ての石炭およびガス発電所についてCCSが行われる。

図10 レベル別CO<sub>2</sub>回収・貯留



出典：筆者作成



# 太陽光発電

図 11 日本は太陽光エネルギーの主要生産国



出典: IGES stock image.

日本はソーラーパネルの主要生産国であり、1990年代後半以降、太陽光発電の利用が増加し続けている。2010年の日本の太陽光発電量は360万kWである(EDMC, 2014)。日本は2003年に再生可能エネルギー利用割合基準(RPS)を導入し、2009年に太陽光発電を促進するために再生可能エネルギー買取制度を導入した(2012年には固定価格買取制度を導入し、他の再生可能エネルギーへも拡大した)同インセンティブ型制度の導入は直ちに効果を生み、2013年第1四半期だけで日本の太陽光発電設備容量が270%増加し(ギガワット単位)(Song, 2013)、2014年1月現在の設備

容量は1310万kWに達した(METI, 2014a)。

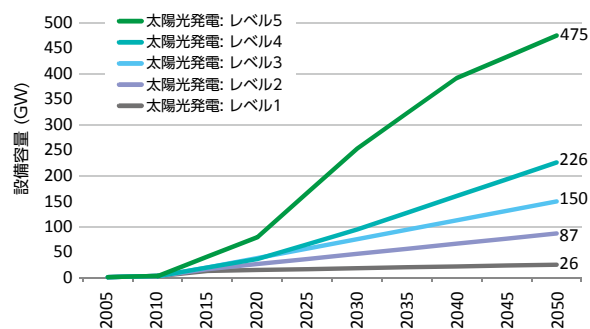
## レベル1

太陽光発電の導入を推進するためのさらなる努力は払われず、日本の太陽光発電部門は、実際のポテンシャルに比べてゆるやかに増加すると想定する。2050年の設備容量は2600万kWをわずかに上回る程度で、発電量は270億kWh/年となる。太陽光発電に必要な100万kWあたり8.1km<sup>2</sup>を基準とすると同レベルでの日本の1人当たりソーラーパネル設置面積は約2.2m<sup>2</sup>になる。

## レベル2

太陽光発電における取り組みは限定的であり、日本の太陽光設備容量は2030年に4700万kW、2050年には8700万kWに達する。同レベルでの2050年の発電量は920億kWh/年で、1人当たりソーラーパネル設置面積は約7.5m<sup>2</sup>になる。

図 12 日本の太陽光発電の設備容量



出典: 筆者作成

## レベル3

日本の太陽光の設備容量は2030年に7600万kW、2050年には1億5000万kWに達すると想定する。1人当たりソーラーパネル設置面積は約13m<sup>2</sup>で、2050年の発電量は1580億kWh/年になる。

## レベル4

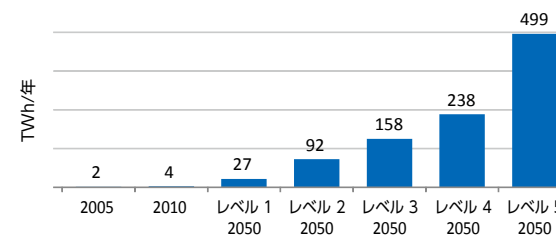
太陽光発電の推進に最大の努力が払われ、日本の太陽光設備容量は2030年に9500万kW(発電量は約1000億kWh/年)、2050年には2億2600万kW(発電量は約2380億kWh/年)まで増加する。1人当たりソーラーパネル設置面積は約19m<sup>2</sup>になる。

## レベル5

日本の太陽光発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、日本の太陽光設備容量は2050年に4億7500万kW(発電量は約5000億kWh/年)に達する。

詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照(Zhou et al., 2014)

図 13 各シナリオの太陽光発電の発電量



出典: 筆者作成

# 陸上風力発電

図 14 日本は陸上風力発電の開発を行なうための大きなポテンシャルがある



出典: IGES stock image.

日本の陸上風力発電の設備容量は2010年時点で245万kWであった (JWPA, 2014)。日本の陸上風力発電におけるポテンシャルは高く、その大半は北海道、東北、九州地方に集中している。

## レベル1

日本における陸上風力発電導入に対する優先順位が低く、技術開発は停滞し、陸上風力発電設備容量も全く拡大しない。ただし2014年時

点の設備容量 (267万kW) (METI, 2014a) は古くなったタービンを交換することで2050年まで維持される。2050年の陸上風力は、2万kWタービンがわずかに134基余りで、発電量は47億kWh/年となる。

## レベル2

陸上風力発電の拡大に多少の努力が払われ、2万kW陸上風力タービンの総数が2020年までに350基を超える。陸上風力発電設備容量は2020年までに700万kWに向上し、2050年まで維持される (発電量は120億kWh/年)。

## レベル3

多大な努力によって日本の陸上風力発電設備容量は2050年までに約1800万kWまで拡大すると想定する。陸上風力タービンの総数は

約900基になると推定され、発電量は320億kWh/年となる。

## レベル4

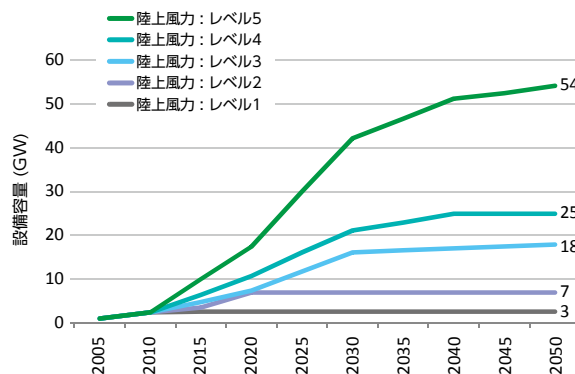
陸上風力発電導入の推進に最大の努力が払われ、新規タービンの建設が加速し、2万kWタービンの総数が2050年までに約1250基になる。日本の陸上風力発電設備容量は2050年までに2500万kWに増加し、発電量は440億kWh/年となる。

## レベル5

日本の陸上風力発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、陸上風力発電の設備容量は2050年に5400万kW (発電量は約950億kWh/年) に達する。

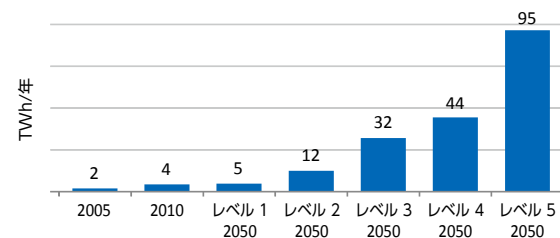
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照 (Zhou et al., 2014)

図 15 陸上風力発電の設備容量



出典: 筆者作成

図 16 各シナリオの陸上風力発電の発電量



出典: 筆者作成

# 着床式 洋上風力発電

日本の洋上風力発電開発は比較的新しく、2010年時点での洋上風力発電設備容量はごくわずかであった。洋上風力発電は、日本国内のエネルギー需要を満たし、在来型エネルギーへの過度の依存を減らすといった大きな可能性が期待される (JWPA, 2012)。

## レベル1

日本の洋上風力発電設備容量は増加しないと想定する。つまり、技術は停滞し、新規建設はなく、同発電量は全く拡大しない。この傾向は2050年まで続き、同時点での日本の洋上風力発電設備容量はごくわずか (3万kW) なままである。

## レベル2

洋上風力発電導入への限られた努力が払われ、同設備容量は2030年に240万kWに達した後、緩やかに徐々に増加し続ける。2050年には設備容量は450万kW、発電量は120億kWh/年となる。

## レベル3

レベル2よりも多くの努力が洋上風力発電部門に費やされる。ポテンシャル評価や設置場所の選定、コスト削減の向上により、日本の洋上風力発電設備容量は徐々に拡大し、2030年には

300万kW、2050年には6.5GWに達し、発電量は170億kWh/年となる。

## レベル4

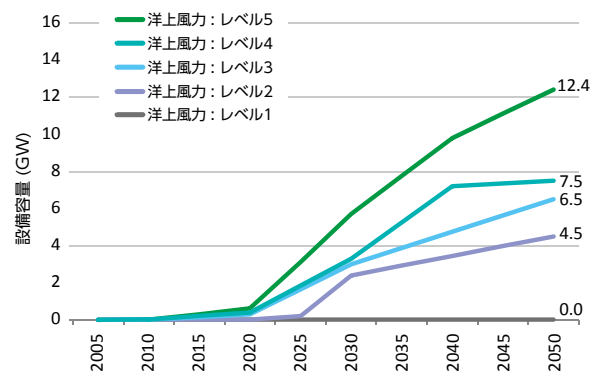
洋上風力発電の建設・稼働に積極的な戦略をとり、同設備容量は2030年までに330万kW、2050年までに750万kWに達し、発電量は約200億kWh/年となる。

## レベル5

日本の洋上風力発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、洋上風力発電の設備容量は2050年に1240万kW (発電量は約330億kWh/年) に達する。

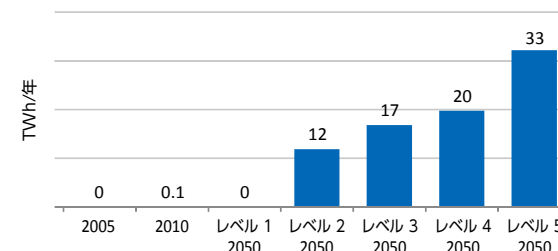
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照 (Zhou et al., 2014)

図 17 洋上風力発電の設備容量



出典：筆者作成

図 18 各シナリオの洋上風力発電の発電量



出典：筆者作成

# 浮体式 洋上風力発電

日本は大陸棚が狭く、着床式洋上風力発電タービンの開発が困難なため、浮体式洋上風力タービンの研究も進められている (GWEC, 2014)。2010年現在、日本は浮体式洋上風力発電容量を有していないが、日本には同発電の大きなポテンシャルがあると認識されている (JWPA, 2012)。

## レベル1

浮体式洋上風力発電部門は優先順位から外され、同設備は導入されない。技術は停滞し、新規開発もゼロで、同発電量は全く拡大しない。この傾向は2050年まで続き、日本の浮体式洋上風力発電設備容量はゼロである。

## レベル2

2020年以降、日本は浮体式洋上風力発電部門の導入への限られた努力を行う。2025年には日本の浮体式洋上風力発電設備容量は140万kWに達し、その後の5年間でほぼ倍増する。同時点での総発電設備容量は750万kWとなり、発電量は200億kWh/年を上回る。

## レベル3

政策措置が施され、浮体式洋上風力発電はレベル2で予測されているよりも早く始動する。同設備容量は2020年に10GWに達し、2030

年には410万kW、2050年には1650万kWとなり、発電量は430億kWh/年になる。

## レベル4

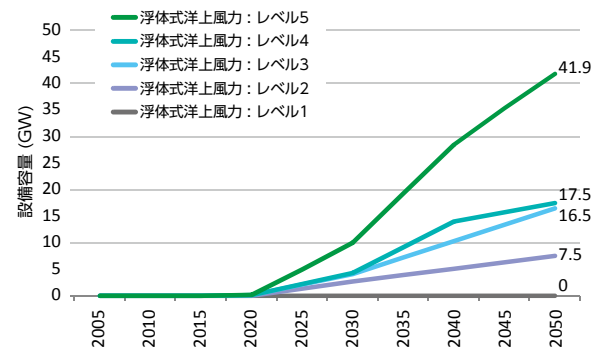
日本は積極的な浮体式洋上風力発電開発計画を実施する。早期始動、技術の向上、タービンの建設加速によって同設備容量は2010年のゼロから2030年には430万kW、2050年には1750万kWまで増加し、同時点での発電量は460億kWh/年を上回る。

## レベル5

日本の浮体式洋上風力発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、浮体式洋上風力発電の設備容量は2050年に4200万kW（発電量は約1100億kWh/年）に達する。

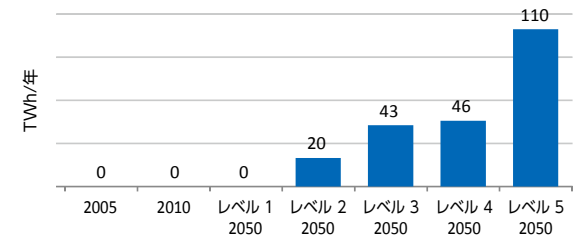
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照 (Zhou et al., 2014)

図 19 浮体式洋上風力発電の設備容量



出典：筆者作成

図 20 各シナリオの浮体式洋上風力発電の発電量



出典：筆者作成



# 中小水力発電

図 21 日本は水力発電において長い経験をもっている



出典: IGES stock image.

水力発電は過去100年以上にわたり、日本の主要エネルギー源の1つである。水力発電は供給や発電コストの面でとても安定していることが証明されており、日本には大 (>10万kW)、中 (1万kW - 10万kW)、小 (1 - 10MW)、ミニ (100kW - 1000kW)、マイクロ (100kW) と様々なタイプの水力発電所がある。2010年の日本の中小水力発電設備容

量は1046万kWで、発電量は550億kWh/年 (環境省, 2012a)であった。

### レベル1

さらなる努力は払われず、2010年の中小水力発電設備容量が2050年まで維持される。そのため2050年の設備容量は1046万kWで、発電量は約550億kWh/年である。

### レベル2

中小水力発電の強化にわずかな努力がなされ、2030年の設備容量は1100万kWを若干下回る程度にまで増加する。2050年には1100万kWを超え、同レベルでの発電量は約580億kWh/年となる。

### レベル3

政府によるある程度の取り組みにより、2030年の設備容量は1200万kWまで増加する。

2050年には1430万kWとなり、同レベルでの日本の発電量は750億kWh/年になる。

### レベル4

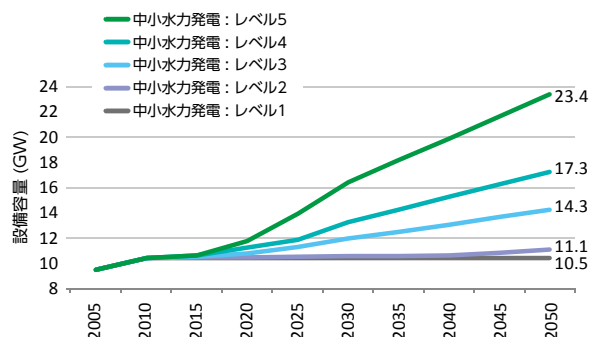
多大な努力によって日本の中小水力発電設備容量は2030年に1300万kWまで増加する。2050年にはさらに1700万kWまで増え、発電量は910億kWh/年となる。

### レベル5

日本の中小水力発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、中小水力発電の設備容量は2050年に2340万kW (発電量は約1230億kWh/年)に達する。

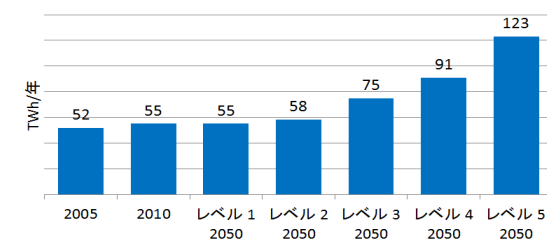
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照 (Zhou et al., 2014)

図 22 中小水力発電の設備容量



出典: 筆者作成

図 23 各シナリオの中小水力発電の発電量



出典: 筆者作成

# 地熱発電

地熱エネルギーは地下にある高温岩体の熱を利用して発電する。日本には約120の活火山があり、地熱エネルギー開発のポテンシャルが極めて高い (GRSJ, undated)。実際、日本は地熱エネルギーの探査・開発・利用・モニタリングにおいて世界最先端の技術を有している。日本初の地熱発電実験が実施されたのは1925年だが、商用化されたのは1966年以降だった (GRSJ, undated)。2010年の日本の地熱発電設備容量は50万kW、発電量は30億kWh/年で (EDMC, 2013)、福島原発事故以降、日本の関連企業の間で地熱発電の開発・投資に対する新たな関心が高まっている。

## レベル1

地熱発電は開発コストが高く、国立公園や観光地に悪影響を与えるおそれがあることから、日本は地熱以外のエネルギー源に目を向け、地熱発電容量のさらなる追加はない。そのため2010年の地熱発電設備容量 (50万kW) が2050年まで維持され、発電量も40億kWh/年をわずかに上回る程度にとどまる。

## レベル2

わずかな努力が費やされ、2030年の地熱発電設備容量は200万kWに達する。2050年に

は430万kWまで増加し、同時点での発電量は300億kWh/年になる。

## レベル3

ある程度の取り組みにより、2030年の地熱発電設備容量は210万kWに達する。2050年にはさらに640万kWまで拡大し、同時点での発電量は450億kWh/年になる。

## レベル4

多大な努力によって地熱発電設備容量が拡大し、2030年までに230万kWに達する。2050年には約800万kWまで増加し、発電量は560億kWh/年になる。

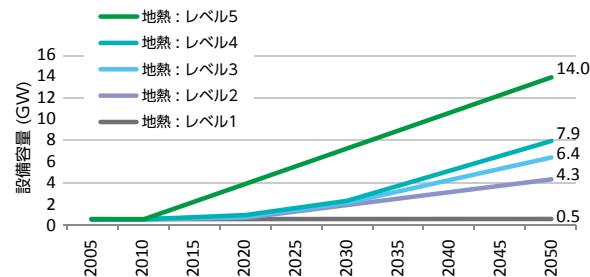
## レベル5

日本の地熱発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、

地熱発電の設備容量は2050年に1400万kW (発電量は約980億kWh/年) に達する。

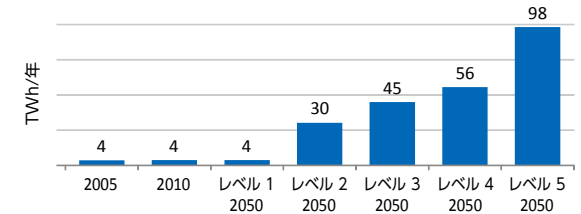
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照 (Zhou et al., 2014)

図 24 地熱発電の設備容量



出典：筆者作成

図 25 各シナリオの地熱発電の発電量



出典：筆者作成



# 海洋発電

日本は海に囲まれているにもかかわらず、これまで海洋エネルギーの活用が注目されることはほとんどなかった。2010年時点で、日本における海洋発電（波力、潮流、潮力）の設備容量はゼロであるが、福島原発事故以降、日本で代替エネルギー源を活用する取り組みが行われるようになってきた。島国の日本には波の運動エネルギーを利用して発電する優れたポテンシャルがあり（Johnston, 2013, 2013）、2013年から複数の実験プロジェクトが始まっている。太陽光や風力と違って海洋エネルギーは気象条件による変動が少ないと考えられ、現在、波力と潮力の両方を利用できる技術の開発が進められている。

## レベル1

日本では引き続き海洋エネルギーにほとんど関心が払われず、同エネルギー技術への投資も全く行われないため、今後も日本が海洋発電量を有することはない。

## レベル2

わずかではあるが海洋発電部門で何らかの取り組みが行われ、2030年の海洋発電設備容量の合計は1500万kWに達する。2050年には5400万kWまで増加し、同時点での発電量は420億kWh/年になる。

## レベル3

海洋発電容量を強化するためある程度の努力が費やされる。2050年の同発電設備容量は800万kWを上回り、発電量は650億kWh/年になる。

## レベル4

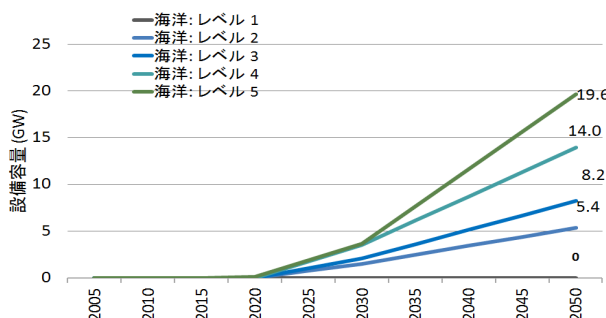
日本の海洋エネルギー開発に最大の努力が払われる。2050年には日本の海洋発電設備容量が1400万kW（波力エネルギーが1203万kW、潮力エネルギーが192万kW）まで増加し、同時点での発電量は1100億kWh/年になる。

## レベル5

日本の海洋発電導入の物理的、経済的ポテンシャルレベルを示している。このレベルでは、海洋発電の設備容量は2050年に2000万kW（発電量は約1550億kWh/年）に達する。

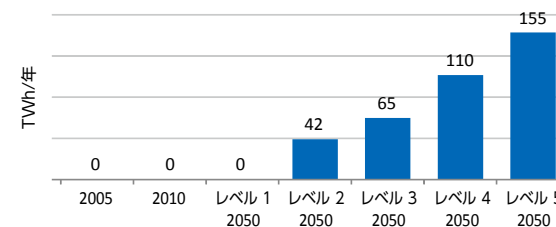
詳しいレベル設定に関してはエクセルスプレッドシートを参照（Zhou et al., 2014）

図 26 海洋発電の設備容量



出典：筆者作成

図 27 各シナリオの海洋発電の発電量



出典：筆者作成

A decorative graphic consisting of multiple thin, light blue lines that flow and wave across the page, creating a sense of movement and depth. The lines are more densely packed in the center and become more sparse towards the edges.

## V. 需要サイド

## 国内旅客輸送

日本の1人当たりの国内平均移動距離は現在(EDMC, 2010年)年間約10641kmで、内訳は乗用車が59%、鉄道が29%、バスが6%、船が0.2%、飛行機が5%となっている。

図 28 日本の一人当たり移動距離は年間1万キロを超える。



出典: IGES stock image.

### レベル1

2050年には日本の1人当たりの国内平均移動距離が現在よりも年間1766km長くなっている。交通機関の内訳は現在と同じで、乗用車が59%、鉄道が29%、バスが6%、船が0.2%、飛行機が5%となっている。

### レベル2

2050年には現在よりも移動距離が年間883km長くなっている。乗用車での移動が減り(54%)、鉄道(32%)、飛行機(8%)での移動が増えている。

### レベル3

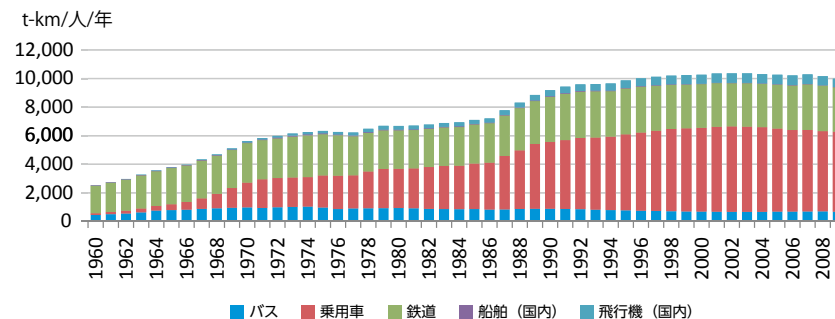
2050年の年間移動距離は現在と同じだが、交通機関は乗用車(49%)から鉄道(35%)、およ

表 3 各シナリにおける一人あたり移動需要量

	2010	2050 Level 1	2050 Level 2	2050 Level 3	2050 Level 4
移動km/人/年	10,641	12,407	11,524	10,641	10,324

出典: 筆者作成

図 29 日本の国内交通量



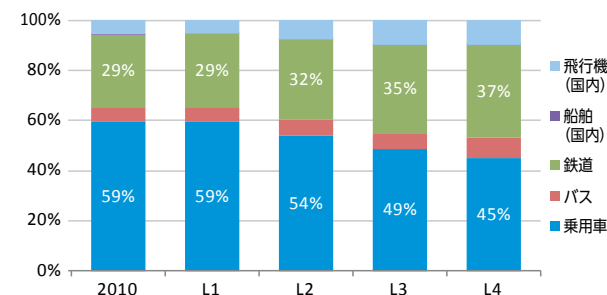
出典: 国立環境研究所データより作成

び飛行機(10%)へと大きくシフトしている。

### レベル4

2050年には現在よりも移動距離が年間317km短くなっている。乗用車から公共バスへの大きなシフトが見られ、内訳は乗用車が45%、鉄道が37%、バスが8%、飛行機が10%となっている。

図 30 交通モードの割合



出典: 筆者作成

# ゼロ・エミッション車への移行

ゼロ・エミッション車に含まれるのは、電気自動車 (EV) か燃料電池車 (FCV)、ならびに電車で、いずれも排気ガスを全く出さない。ハイブリッド車 (HEV) とプラグインハイブリッドカー (PHEV) はガソリンエンジンまたはディーゼルエンジンと電気モーターを併用しているためゼロ・エミッション車ではない。2010年現在、日本の乗用車のほぼ全てはガソリン車かディーゼル車 (ICE) で、EV/PHEVは0.05%未滿、FCVは0.0002%未滿とごくわずかである。

## レベル1

2050年までに大半の乗用車はHEVを含むICE (100%) 鉄道は90%が電化されている。

## レベル2

2050年までに従来のICEまたはHEVの割合はわずか72%となり、13%はPHEV、15%はゼロ・エミッション車 (EV/FCV) になる。バスの68%はICEであり、HEV, EV/FCVの割合はそれぞれ17%と15%になる。旅客鉄道は100%が電化されている。

## レベル3

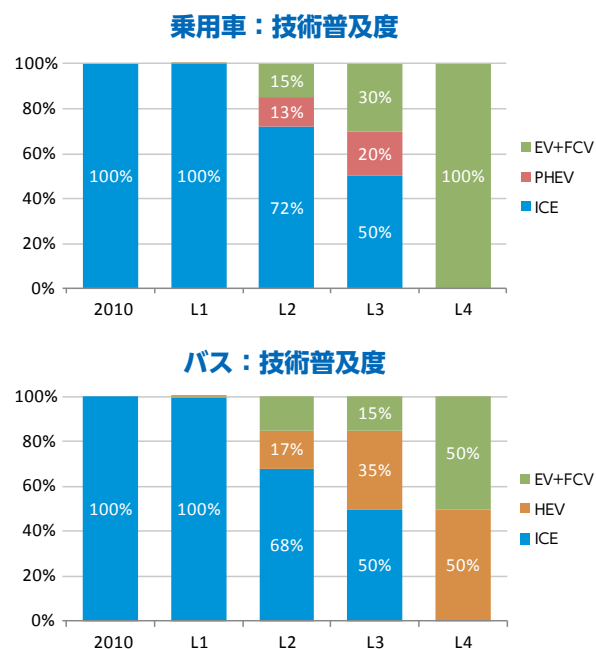
2050年までに従来の内燃エンジン車の割合は50%になり、PHEVsは20%、ゼロ・エミッシ

ョン車 (EV/PHEV) は30%になる。バスは20%がゼロ・エミッションバスになり、35%はハイブリッドディーゼル電気エンジン (HEV)、15%はEV/FCVになる。旅客鉄道はレベル2様、100%が電化されている。

## レベル4

2050年までに100%の乗用車がEVs/FCVsになる。バスは50%がEV/FCV、残りの50%がハイブリッドディーゼル電気エンジン (HEV) で、旅客鉄道は全て電化されている。

図 31 旅客交通の技術普及度



出典：筆者作成

図 32 より多くの旅客がゼロ排出交通を選択するようになる



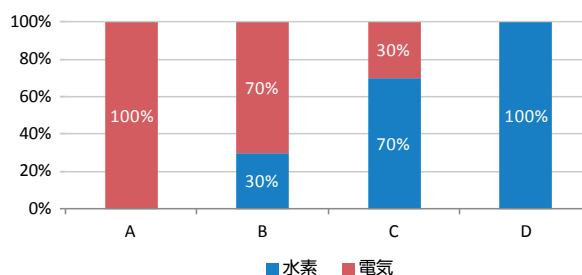
出典：IGES stock image.

# ゼロ・エミッション自動車技術の選択

「ゼロ・エミッション車への移行」オプションとして、EVとFCVの割合をオプションAからDの中から選択できる。ゼロ・エミッション車を選択すると、FCVとEVの比率をオプションA（全てFCV）からオプションD（全てEV）まで選択することができる。

実際は、短距離はバッテリー、長距離は航続距離を伸ばすための燃料電池で走行するEVとFCVを組み合わせた技術もあるが、2050ナビゲーターでは純粋なEVとFCVのみを対象にしている。

図 33 ゼロ・エミッション車の技術オプション



出典：筆者作成

## オプションA

2050年までに日本国内の乗用車の100%を純粋なEVが占め、FCVの割合は0%になる。

## オプションB

2050年までに日本国内の乗用車の70%をEVが占め、30%をFCVが占める。

## オプションC

2050年までに日本国内の乗用車の30%をEVが占め、70%をFCVが占める。

## オプションD

2050年までに日本国内の全ての乗用車をFCVが占める。

## 国内貨物輸送

図 34 日本の国内貨物輸送は陸上車両輸送に依存している



出典: IGES stock image.

日本の貨物輸送トンキロの内訳は、63%が貨物車、32%が船舶、4%が鉄道、0.2%が航空となっている (EDMC, 2013)。鉄道以外の輸送手段の燃料としてガソリンエンジンかディーゼルエンジンが使用されており、鉄道は全て電化されている (次世代自動車振興センター, 2012及び2014)。総貨物輸送トンキロ数は5,430億トンキロ (EDMC, 2013) であり、2010年の1人当たり物流量は4,244トンキロになる (図 35 参照)。なお以下の4つのレベルで想定した国内貨物輸送需要量は、2050

ナビゲーターにおける5つの社会シナリオによって決定される。加えて、交通モードの割合、ゼロ・エミッション車の割合およびガソリン中のバイオ燃料の割合について3つのレベルを用意している。

### レベル1

ゼロ・エミッション車について、95%の貨物車は依然としてICEであり、5%がHEVである。バイオ燃料は2050年まで使用されない。

### レベル2

ゼロ・エミッション車について、全ての陸上貨物輸送はHEVになる。ICE用燃料のうち5%がバイオ燃料になる。

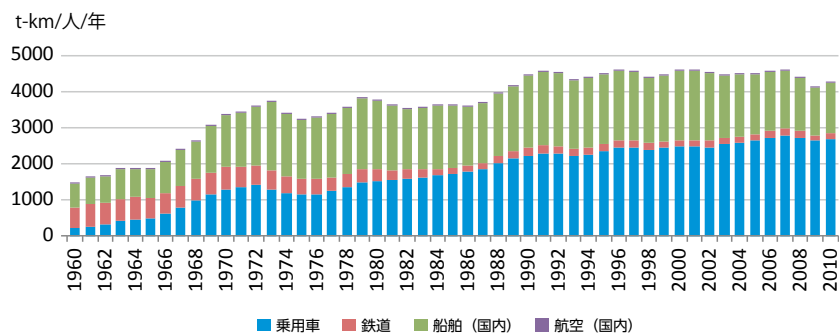
### レベル3

ゼロ・エミッション車について、50%がHEVとなり、15%が電動車、35%がFCVになる。ICE用燃料のうち10%がバイオ燃料になる。

### レベル4

ゼロ・エミッション車について、FCVが国内貨物車市場に占める割合が100%になる。ICE用燃料のうち50%がバイオ燃料になる。

図 35 国内貨物量推移

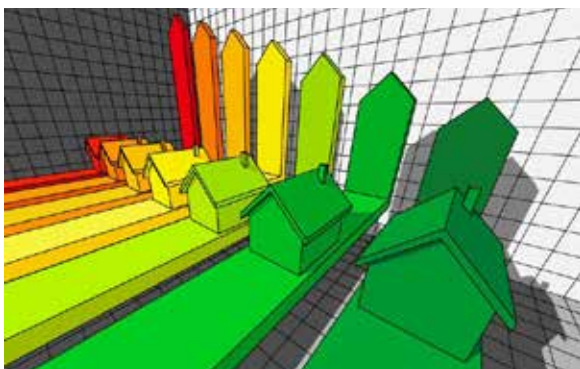


出典: 国立環境研究所データより作成



## 家庭用冷暖房

図 36 日本の住宅冷暖房用エネルギー需要は高い



出典: IGES stock image.

2010年の住宅用冷暖房用のエネルギー消費は1330億kWhで、これは住宅エネルギー総消費の約4分の1を占めている。日本の気候では冷暖房を兼ねた設備が求められており、家庭のエアコン普及率は90%と非常に高い(2011年推計)(EDMC, 2013)。

2050日本低炭素ナビゲーターでは、住宅用冷暖房設備によるエネルギー消費量に大きな影響を与える複数の要因を考慮している。これらの要因に対する設定条件は4つのレベルで大きく異なる(設定条件とレベル設定については以下で説明)。

### ホーム・エネルギー・マネジメント・システム (HEMS) の導入

HEMSとは住宅の電力供給を管理して省エネを支援するネットワークシステムである(Umer et al., 2014)。現在HEMSを導入している家庭は限られているが、適切な対策をとればHEMSを導入する家庭が次第に増えていくと期待される。レベル1では、HEMSが導入されず、エネルギー需要も減少しないと想定している。レベル2、3、4では、HEMSの導入率が徐々に高まり、家庭用冷暖房エネルギー需要の減少率がレベル1と比較して、それぞれ7%、9%、10%になると想定している。

### 住宅用断熱材

冷暖房エネルギー需要は家屋に使用される断熱材によって左右される。2010年現在で1999年に制定された現行の断熱材基準を満たしている家庭は約6%で、過半数の家庭はエネルギー効率が現行の基準の半分にも満たない1980年以前に制定された基準しか満たしていない。

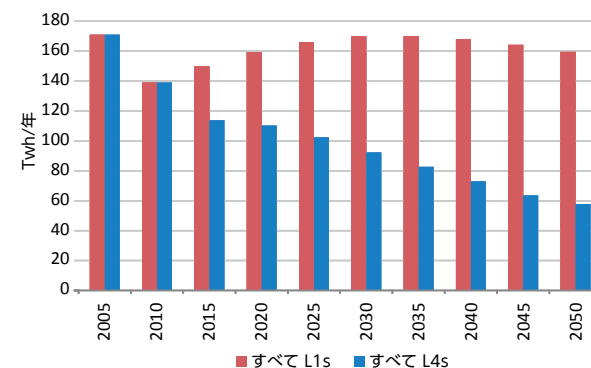
レベル1は、断熱材による家庭用冷暖房エネルギー需要の減少がほとんどないと想定している。レベル2、3、4では、断熱材による家屋のエネルギー効率が徐々に高まり、2050年におけるエネルギー需要の減少率がそれぞれ35%、38%、40%になると想定している。

### 家庭用冷暖房機器の電化

レベル1では、電化率が2050年まで2005年の水準のまま推移する。ガス消費量が総エネルギー消費量の28%を占め、電化暖房器具の割

合はわずか50%にとどまる。また、灯油の使用が22%に留まる。レベル2では、電気を使用した家庭用暖房システムの割合が2050年に60%になり、レベル3とレベル4ではこの割合がそれぞれ70%と80%に上昇する。

図 37 全L1と全L4シナリオにおける家庭用冷暖房エネルギー需要



注: 社会シナリオはすべてものづくり統括拠点としている。

出典: 筆者作成

### エネルギー効率

レベル1では、冷暖房エアコンの成績係数(COP)及びガス・灯油ボイラーのエネルギー効率が2010年と同様のレベルで推移する。レベル2、3、4では、冷暖房エアコンのCOPは2050年まで徐々に向上していくが(暖房用エアコンは効率が2010年と比べて1.66倍に改善し、冷房用エアコンは1.95倍に改善する)、ガス・灯油ボイラーのエネルギー効率はほとんど変わらない。

## 家庭用給湯器

家庭用給湯は住宅エネルギー総需要量の約3割を占めている（2010年推計）（EDMC, 2013）。電熱ボイラーを含む給湯器の電化率は低く、現在13%をわずかに上回る程度である。近年、パナソニックの「EcoCute（エコキュート）」のように電気ヒートポンプ技術を用いた省エネ給湯器が注目を集めているが、普及率は限られている（EDMC, 2013）。

低炭素ナビゲーターでは、家庭用給湯器のエネルギー消費量に影響を与える複数の要素（以下に記載）を考慮している。

### ホーム・エネルギー・マネジメント・システム (HEMS) の導入

HEMSとは住宅の電力供給を管理して省エネを支援するネットワークシステムである。現在HEMSを導入している家庭は限られている、適切な対策をとればHEMSを導入する家庭が次第に増えていくと期待される。**レベル1**は、HEMSが導入されず、エネルギー需要も減少しないと想定している。**レベル2、3、4**では、HEMSの導入率設置率およびHEMS機能が徐々に高くなり、家庭用給湯器エネルギー需要の減少率がそれぞれ7%、9%、10%になると想定している。

### 給湯技術の選択

**レベル1**では給湯器の半数が最新型ガスボイラーを使用する。**レベル2**ではガスコージェネレーションシステムがガスボイラーを代替する。電気ヒートポンプの割合は**レベル1**と**レベル2**共に10%と比較的低い。**レベル3**では大規模な電化が進み、給湯器の半数が電気ヒートポンプを使用する。**レベル4**では国内の給湯器の70%が電気ヒートポンプを使用する。

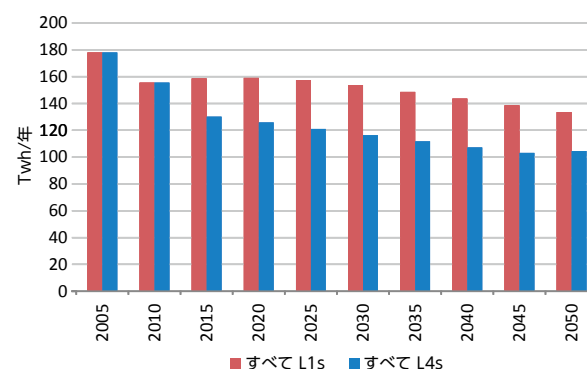
### 給湯機器のエネルギー効率

**レベル1**と**レベル2**ではエネルギー効率が経時的に変化せず、電気ヒートポンプ製品のエネルギー効率はわずかに向上する。この傾向は**レベル3**と**レベル4**でも同様である。燃料電池コージェネレーションの効率は、**レベル2,3,4**において改善する。電気供給用燃料電池コージェネレーションシステム従来型ボイラー（電気、ガス、灯油）のエネルギー効率は4つの**レベル**全てで変化しない。

### 太陽熱ボイラー

**レベル1**では2050年の太陽熱ボイラー設置数が現在と同じ240万台（2050年の全世帯の約5%）となり、**レベル2**では1400万台（2050年の全世帯の30%以上）になる。同様に**レベル3**と**レベル4**でもボイラー設置数はそれぞれ2100万台（全世界の45%）と2600万台（全世帯の55%）に増加する。

図 38 全L1と全L4シナリオにおける家庭用給湯エネルギー需要



出典：筆者作成

# 家庭部門： 調理機器・照明器具・電化製品

日本では調理機器、照明器具、電化製品が住宅用エネルギー総消費量の40%以上を占めている（EDMC, 2013）。照明器具家庭用と電化製品のエネルギー源は100%電力を使用しているが、調理機器については、電力かガスのいずれかを選択することができる。2010年における電気式調理機器は全調理機器の26%を占めで、残りの調理機器はガス（都市ガスまたは液化プロパンガス）であった（環境省, 2013）。

本低炭素ナビでは国内の調理機器、照明器具、電化製品に関して以下の2つの要素を考慮している。

## 世帯当たりエネルギーサービス需要

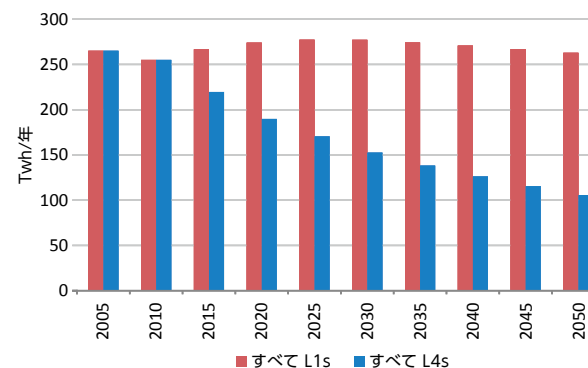
**レベル1**では、2050年の調理機器、照明器具、電化製品使用に関わる世帯当たりエネルギー需要が2010年と比べて20%増加する。**レベル2**でも同需要は増加するが、増加率は10%になる。**レベル3**ではエネルギー需要が2010年と同程度の水準のまま推移し、**レベル4**では2050年の同需要が2010年レベルと比べて20%減少する。

## 電化製品のエネルギー効率

**レベル1**は、電化製品のエネルギー効率が2050年まで大きく変わらないと想定している。**レベル2**では調理機器のエネルギー効率がわずかに上昇する一方で、他の電化製品のエネルギー効率は大幅に向上する。照明器具のエネルギー効率上昇率が最も高く、照明器具の

エネルギー効率（相対値）は2010年において79%であったのに対し、2050年には233%に増加する。**レベル3**と**レベル4**も**レベル2**と同様の条件を想定している。

図 39 全 L1 と全 L4 シナリオにおける家庭用照明、調理、その他機器エネルギー需要 (TWh)



出典：筆者作成



## 業務部門： 冷暖房および給湯器

図 40 業務部門において冷暖房及び給湯器は灯油を大量に消費している。



出典：IGES stock image.

2050低炭素ナビでは業務部門について、8つの暖房技術、6つの冷房技術を検討している。2005年の業務用暖房技術のシェアは、80%が灯油ボイラーで、2番目がガスボイラー(15%)、そしてパッケージエアコン(3.7%)だった。冷房技術の大半を占めていたのはガス吸収式冷蔵庫(54%)で、次がパッケージエアコン(30%)であった。給湯器については現状の機器は普遍的な灯油ボイラー(53%)、普遍的なガスボイラー(42%)である。(NIES, 2014)

2050日本低炭素ナビで業務用冷暖房ならびに給湯器のエネルギー使用に影響を与える要素として考慮したのは、エネルギーサービス需要、建物用断熱材、装置の選択である。

### 業務部門における延べ床面積

商業用エネルギーの消費量は業務床面積と直接関連し、これは日本の経済活動に左右される。2050低炭素ナビにおいて2050年までの業務床面積の推移は「2050年社会シナリオ」項目でのユーザー選択により決定される。社会シナリオには、メイドインジャパン社会(MIJ)、ものづくり統括拠点社会(R&D)、サービスブランド社会(SB)、資源自立社会(RI)、分かち合い社会(SS)を選択できる。

R&Dシナリオでは、商業活動に必要な床面積が緩やかに減少し、2010年の18億3400万 $m^2$ から2050年には17億8900万 $m^2$ になる。MIJシナリオでは2050年に19億8000万 $m^2$ に増加する。SBおよびRIシナリオでは、それぞれ19億100万 $m^2$ と16億4600万 $m^2$ になる。最後のシェアシナリオでは急速に減少し、13億8600万 $m^2$ になると想定されている。

### 床面積当たりエネルギーサービス需要

レベル1は、2050年の冷暖房および給湯器の床面積当たりエネルギーサービス需要が2010年と比べて20%増加すると想定している。レベル2の同増加率は比較的小さく、2010年と比べてわずか10%増加する。レベル3では2050年の床面積当たりエネルギーサービス需要が2010年の水準と同じで、レベル4では同需要が2010年よりも20%減少する。

### 建築物の断熱性能

冷暖房用のエネルギー需要は建築物の断熱性能によって左右される。レベル1は、断熱性能が現在と同程度で2050年まで推移し、冷暖房用のエネルギー需要の減少がほとんどないと想定している。レベル2では断熱性能の改善によって2050年の同需要が20%減少し、レベル3(42%)とレベル4(44%)では減少率がさらに高くなると想定されている。

### 技術の選択

技術の選択に関しては、炭素集約型技術から低炭素技術への移行の程度が全てのレベルで大きく異なると想定されている。

**レベル1**：暖房について電気式エアコンの割合は、2005年3.7%であったのが、2050年には12%に増加する。冷房については、ヒートポンプの使用は、2005年に3%であったのが、18%に増加する。加えて、高効率ボイラーは2005年にほとんど導入されていなかったが、2050年には20%に増加する。

**レベル2**：暖房に対するエアコンの利用が、2050年に16%に増加する。冷房用ヒートポンプ、高効率ボイラーについても同様であり、2050年において、それぞれ22%と30%に増加する。

**レベル3**：暖房用エアコン、冷房用ヒートポンプ、高効率ボイラーの利用率は増加し、それぞれ2050年において、20%、26%、40%に増加する。

**レベル4**：レベル4においては、暖房用エアコンの割合が24%、冷房用ヒートポンプの割合が30%、高効率ボイラーの割合が50%に増加する。

表4 2015年における冷暖房・給湯機器の製品

2015年における冷暖房・給湯機器の製品						
<b>暖房</b>						
コード	モード	2005	1	2	3	4
電気	中央暖房	0.0%	6.0%	8.0%	10.0%	12.0%
電気	パッケージエアコン	3.7%	6.0%	8.0%	10.0%	12.0%
灯油	吸収式暖房	0.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%
ガス	吸収式暖房	0.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%
灯油	ヒートポンプ	0.9%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%
ガス	ヒートポンプ	0.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%
灯油	灯油ボイラー	80.3%	25.0%	22.0%	20.0%	15.0%
ガス	ガスボイラー	15.1%	37.0%	32.0%	26.0%	23.0%
	<b>合計</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>
<b>冷房</b>						
コード	モード	2005	1	2	3	4
電気	中央冷房	0.0%	30.0%	28.0%	26.0%	24.0%
電気	パッケージエアコン	29.5%	30.0%	28.0%	26.0%	24.0%
灯油	吸収式冷房	13.3%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%
ガス	吸収式冷房	54.3%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%
灯油	ヒートポンプ	2.0%	9.0%	11.0%	13.0%	15.0%
ガス	ヒートポンプ	1.0%	9.0%	11.0%	13.0%	15.0%
	<b>合計</b>	<b>100.0%</b>	<b>140%</b>	<b>144%</b>	<b>148%</b>	<b>152%</b>
<b>給湯</b>						
コード	モード	2005	1	2	3	4
電気	ヒートポンプ	0.0%	0.0%	5.0%	10.0%	20.0%
灯油	高効率灯油ボイラー	0.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%
ガス	高効率ガスボイラー	0.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%
電気	電気ボイラー	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
灯油	一般灯油ボイラー	53.0%	30.0%	20.0%	15.0%	10.0%
ガス	一般ガスボイラー	42.0%	45.0%	40.0%	30.0%	15.0%
	<b>合計</b>	<b>100.0%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

出典：筆者作成

## 業務部門： 調理機器・照明器具・電化製品

業務部門において、様々な企業が照明器具や電化製品（冷蔵庫、オーブン、テレビ、コンピュータおよび関連機器）を使用している。技術進歩に伴い、これら機器のエネルギー効率は大幅に改善しており、日本の主要メーカーも省エネ電化製品の製造に多大な努力を注いでいる。例えば、東芝のE-core（イー・コア）LED照明システムは、白熱球と比べてエネルギー消費量をおよそ80%削減している（Toshiba, 2014）。

業務部門における調理機器・照明器具・電化製品の電化製品によるエネルギー利用は、社会シナリオによって変動する。加えて、要素によって照明・電化製品部門の将来のエネルギー使用が左右される：商業活動に必要な延べ床面積、床面積当たりのエネルギー需要、装置のエネルギー効率。

### 床面積当たりエネルギーサービス需要

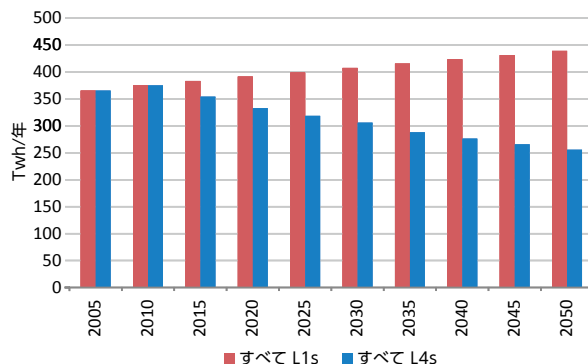
調理機器、照明器具、電化製品の床面積当たりエネルギー需要は増減の程度によって全てのレベルで大きく異なる。レベル1では、2050年のエネルギーサービス需要が2010年レベルとくらべて20%増加すると想定されている。レベル2でも、程度は小さいが同様の増加（10%）が想定されている。一方、レベル3ではエネルギーサービス需要が2010年の水準と

変わらず、最後のレベル4では、2010年レベルよりも20%減少すると想定されている。

### エネルギー効率

レベル1では、2050年の装置のエネルギー効率が2010年と同水準だと想定され、レベル2、3、4では様々な技術によって同効率が向上すると想定されている。

図 41 全L1と全L4シナリオにおけるオフィス照明、調理、その他機器用エネルギー需要 (TWh)



出典：筆者作成

図 42 日本では様々な電化製品の利用が増加している。



出典：IGES stock image.



## 産業部門

図 43 低炭素経済の移行は、産業界にも影響を及ぼす



出典: IGES stock image.

2050低炭素ナビにおいて産業部門におけるエネルギー消費およびGHG排出は、5つのカテゴリーより構成されている。

- 製造・建設部門でのエネルギー消費と関連GHG排出；
- 農業・林業・漁業部門でのエネルギー消費と関連GHG排出；
- 産業プロセスからの非エネルギー GHG

排出（セメント産業、その他セラミック、アンモニアソーダ、石油化学、その他化学、電気炉、非鉄金属、機械）；

- 農業部門での非エネルギー GHG 排出
- 石油化学産業での非エネルギー化石燃料消費

これら産業の2005年の付加価値は約20兆円（GDPの約4%に相当）だった（環境省，2012b）。

2050ナビゲーターでは、産業部門の将来のエネルギー利用は主に3つの要素（経済成長と産業活動、エネルギー強度と工業生産高、産業のエネルギーミックス）に影響される。

### 経済成長と産業活動

経済成長と産業活動のレベルは以下の「2050年社会シナリオ」項目におけるユーザー選択により決定される。国内エネルギー消費量については、上記5つの産業サブセクターはいずれも選択する社会シナリオの影響を受ける。詳細はエクセルモデルを参照（Zhou et al. 2014）。

### エネルギー強度と工業生産高

最初の2つの産業サブセクター（製造・建設部門と農業・林業・漁業部門）は、生産高当たりのエネルギー強度の影響を受ける。本要素に関して、2つの相対するシナリオを想定した。

1つ目のシナリオでは、生産高当たりのエネルギー強度が基準年の水準から2050年まで変化しない。

同要素の2つ目のシナリオでは、1つ目とは逆に、専門家グループが決めた妥当な水準で2050年に向けてエネルギー強度が減少し続ける。

### 産業のエネルギーミックス

エネルギーミックスの選択は、製造業、建設業、農業、林業、水産業などの様々なセクターに影響する。2050ナビゲーターでは、4つの異なるエネルギーミックス・レベルを想定した。レベル1では、エネルギーミックスが基準年と同レベルで推移するが、対してレベル4では、電化、再生可能エネルギー導入や石炭からガスへの転換などについて、専門家が考慮する最大限のシフトを想定し、直接排出量を最小化するエネルギーミックスを想定している（環境省，2012b）。

### 産業部門におけるCCS技術の導入

産業界におけるCCS技術の導入は比較的新しく、実証段階であるものの、多くの研究がなされている。従って、低炭素ナビでは、CCS技術の選択肢を設けている。電力部門におけるCCS技術と同様に、レベル1では、2050年まで、CCSの導入量はないと想定している。レベル2では、産業界においてCCS技術がわずかながら導入され、化学、セラミック、鉄鋼産業において、エネルギー起源及び非エネルギー起源におけるCO<sub>2</sub>がそれぞれ20%ずつ回収・貯蓄されると想定される。レベル3では、エネルギー起源及び非エネルギー起源のCO<sub>2</sub>がそれぞれ50%ずつ回収・貯蓄されると想定される。レベル4では、CCS技術導入が最大限導入され回収率は80%と想定される。

A decorative graphic consisting of multiple thin, light blue lines that flow and wave across the page, creating a sense of motion and depth. The lines are most concentrated in the center, where they form a dense, overlapping pattern.

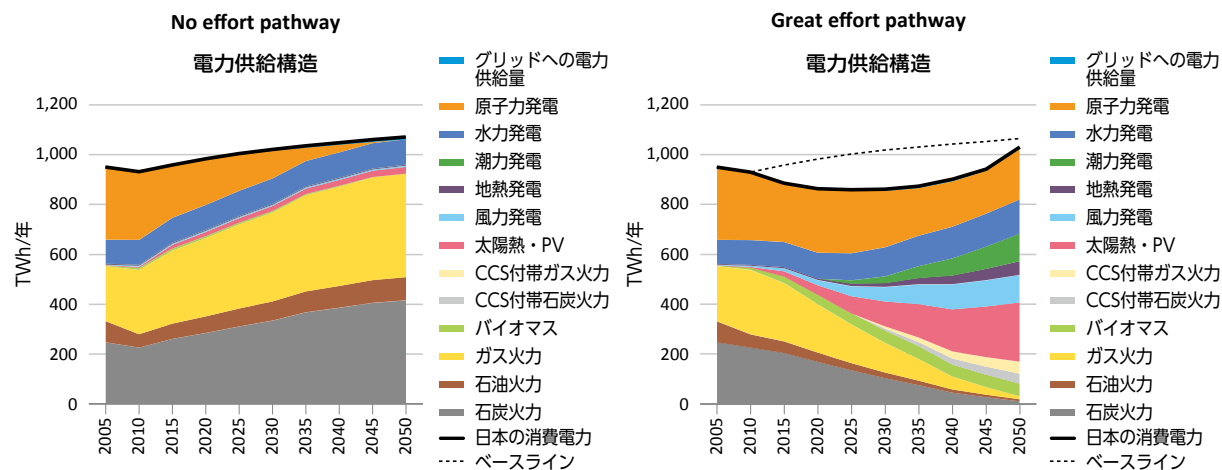
## VI. パスウェイ例

## パスウェイの例

低炭素ナビのユーザーは、エネルギー資源、技術導入、生活・行動パターンに関する将来見通しのオプションを組み合わせ、GHG排出削減とエネルギー安全保障の両方の達成に向けた道筋を独自に立てることができる。日本が2050年までにGHG排出量を80パーセント削減するには、どのような努力が必要とされるか、といった問いに答えることができる。また、エネルギー供給・需要に関する選択肢を選ぶことで、100通り以上に及ぶシナリオを描くことができる。2050低炭素ナビの結果をどのように理解し解釈すべきかを説明するために、本書ではパスウェイ／シナリオの2種類の例を紹介する。1つ目のシナリオは排出削減や気候変動への取り組みの努力を全くしない場合の未来像を示している。2つ目のシナリオは日本が低炭素社会へ移行するために最大限の努力を払った場合の未来像を示している。

「努力なし」のパスウェイでは、全ての部門をレベル1（既存の能力、同じ技術、消費行動の

図 44 電力部門におけるエネルギーミックス



出典：2050低炭素ナビを用いて筆者作成

変化なし) に設定している。例外は「既存の原発の再稼働政策」で、この場合はレベルC（運転期間を40年に制限して全ての既存原発の再稼働を認める）とする。「最大限の努力」のパス

ウェイでは、全ての部門（原発の再稼働政策を含む）をレベル4（再生可能エネルギーの増加、技術の進歩、エネルギーサービス需要の減少）に設定している。簡単に比較するために、いずれのパスウェイでも社会シナリオを「R&D社会」に設定している。表5は社会シナリオ設定と2つのパスウェイのもとでの想定を簡略に示している。これら2つのパスウェイの結果を以下に説明する。

表 5 パスウェイ設定例

2050社会シナリオ：R&D；人口：9710万人；世帯数：4450万世帯；GDP成長率：1.1%；1人当たりGDP成長率：1.8%		
	「努力なし」パスウェイ	「多大な努力」パスウェイ
選択内容	全てレベル1（既存原発の再稼働についてはレベルC）	全てレベル4

出典：筆者作成

## 発電エネルギーミックス

エネルギーミックスは2つのシナリオの下で大きく変わる（図44）。「努力なし」パスウェイの場合、化石燃料（特にガスと石油）の使用が長期にわたって増加するが、その主な原因は、日

本の原子力発電能力が徐々に低下し2040年代にゼロになるためである。対して「多大な努力」シナリオでは、日本は引き続き相当量の原子力発電を行い、同時にあらゆる再生可能エネルギーの割合も増加する。一方、化石燃料とバイオマスの使用は徐々に低下し、最終的にゼロになる。また再生可能エネルギー源へのシフトによって日本で低炭素経済の発展が促進される。

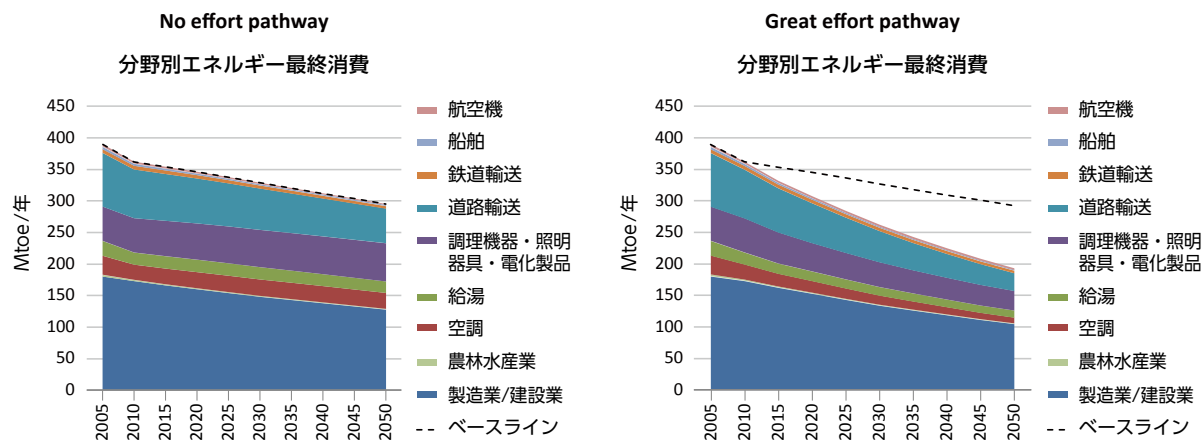
### 最終消費者が使用するエネルギー

最終総エネルギー消費量はいずれのパスウェイでも2050年までに徐々に減少していくが、「多大な努力」シナリオの方が減少の度合いがはるかに大きい(図45)。エネルギー消費量は、政策介入、エネルギー効率の向上、行動の変化など様々な要因が重なりあって減少する。部門別に見ると、最も大きく変化するのは道路交通と冷暖房によるエネルギー消費量で、道路交通の場合、バスなどの公共交通機関を利用する人が増えるのに加えて、自家用車のほぼ100%がゼロ・エミッション車になる。冷暖房の場合は、家電製品の省エネ性能向上と人々の使用習慣の変化が主な減少要因である。

### GHG排出量

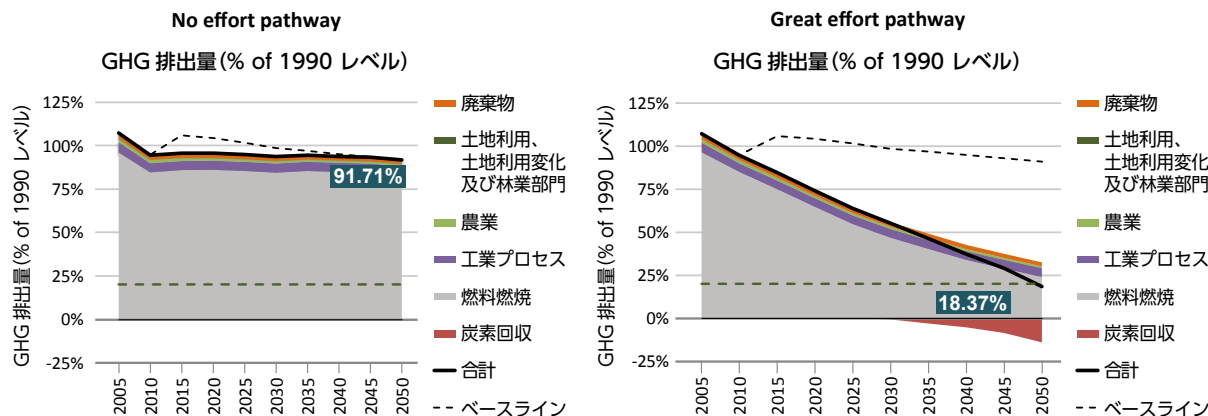
「努力なし」シナリオの場合、日本が掲げているGHG排出量の80%削減という目標の達成にはほど遠く、排出量削減は限定的で1990年レベルの約90%に達している。このパスウェイでは、日本の技術は進歩せず、消費パターンもほとんど変化しない。排出量が減少する主な要因は人口の低下である。一方、日本の

図45 分野別エネルギー最終消費



出典：2050低炭素ナビを用いて筆者作成

図46 排出パスウェイの比較



出典：2050低炭素ナビを用いて筆者作成

政策決定者と国民が多大な努力を払った場合、80%削減目標は2050年までに達成される。図46に示されているように、全ての部門(個別・総合両方)の排出量が目標水準まで低下し、低炭素技術の採用によってエネルギー効率が大幅に上昇すると共に、排出量も大きく減少する。

これらの低炭素ナビによって導出された二つのパスウェイは日本のエネルギー及び排出シナリオに重要な示唆を与えてくれる。様々な条件の下で計算されたパスウェイを考察した結果を下記にまとめる。

- 分かち合い社会シナリオでは1990年比87%のGHG削減が可能であり、これは最も野心的な数字である。
- 二酸化炭素回収貯留(CCS)技術は2025年に80%のGHG削減の達成に向けて重要な技術である。
- 原子力発電所の稼働が無くても2050年に1990年比80%のGHG削減は可能であるが、再生可能エネルギーの最大限の利用及びCCSの多用が必要である。
- 再生可能エネルギー発電は短期的には高価な技術であるが、石油価格が上昇する中で、長期的には必ずしも高価ではない。
- 全てのオプションをレベル1(努力なしレベル)に設定しても、日本の人口減の影響により2050年に1990年比で9%のGHGが削減される。
- 社会シナリオの変化はGHGの排出量に抜本的な変化をもたらす。例えば、分かち合いシナリオでは全てのオプションをレベル1(努力なしレベル)に設定すると2050年において1990年比28%のGHGが削減される。仮に全てのオプションをレベル4(最大限努力レベル)に設定すると1990年比87%のGHG削減が達成される。
- 2050年において、GHGを1990年比80%削減という長期目標を達成するには、供給側と需要側の双方向における削減努力が必要となる。

A decorative graphic consisting of multiple thin, light blue lines that flow and wave across the page, creating a sense of movement and depth. The lines are most concentrated in the center, where they form a dense, textured background for the text.

## VII. おわりに



低炭素経済の実現には、明確な方向性と行動だけでなく、日本国民の参加が不可欠である。国民全員が自信を持って行動し、長期計画を立て、革新的になり、習慣を徐々に変えていくには統合的アプローチが必要で、そのためには今下される決断が未来にどのような影響を及ぼすのかを人々が理解しなければならない。低炭素ナビは、多様なステークホルダー間の議論を促進し、様々なエネルギーミックスの基本的要素や日本の気候変動緩和オプションをより理解するためのプラットフォームを提供し、幅広い人々の利用を可能にすると同時に、多くのフィードバックを得ることもできる。

低炭素ナビは、2014年のエネルギー基本計画において言及された“3E+S”（エネルギー安全保障、エネルギー効率、環境保全、安全）に関する議論を加速させるものである。表6は、低炭素ナビがこれらの課題にどのように貢献するかを示している。

エネルギー安全保障については、ウェブ版低炭素ナビ（アクセス：<http://www.en-2050-low-carbon-navi.jp/>）はエネルギー安全保障に関するページを設け、二つの指標を設けている。第一に、エネルギー輸入依存度であり、2010年におけるエネルギー輸入に関する指標と比較している。第二に、エネルギーの多様性であり、一次エネルギーにしめる各エネルギーの割合を示している。例えば、低炭素ナビでは、上記にて言及した最大努力オプションでは、エネルギー依存度は2050年において

2010年比70%低い水準になり、エネルギー依存度が33%に大幅に改善される。また、エネルギーの多様性については、化石燃料の割合の減少と再生可能エネルギーの割合の増加が顕著にみられた。

“3E+S”において示された経済効率性についても、エネルギーシステムに係わる費用やエネルギー供給技術別コストを計算する“費用”ページを通じて、低炭素ナビにおいて考察することができる。最大努力シナリオでは、追加的な社会費用（円/（人・年））は、努力なしシナリオと比較して2050年と比較して16万円高くなる。これらの情報及びより詳細な比較は“費用、比較”ページに記載されている。ただし、低炭素ナビのエネルギーシステム費用は“3E+S”において計算される費用より対象範囲が広いことに注意が必要である。加えて、低炭素ナビ

では発電時の燃料費は計上していない。

2014年のエネルギー基本計画における環境保全については低炭素ナビの“エネルギー”、“電力”のページを用いて議論が可能である。具体的には、最大努力シナリオにおいては2050年におけるGHG排出量が1990年比18%となり、日本政府が掲げた“2050年に80%削減”の道筋が残されていることを示している。

“3E+S”における安全性については、原子力発電所の稼働率において議論が可能である（ただし、安全を満たす稼働率については定義していない）。各ユーザーは自身の意見を、原発の再稼働及び新規建設の二つの選択肢を選択することができる。このような様々なオプションを通じて、低炭素ナビは日本のINDCに関する議論についても役立てることが可能である。

表6 低炭素ナビの“3E+S”目標への貢献

2014年のエネルギー基本計画における“3E+S”				
	エネルギー安全保障	経済効率性	環境への適合	安全性
低炭素ナビにおける指標	輸入エネルギー依存度 エネルギーの多様性	エネルギーシステムに係わる費用 エネルギー供給に係わる費用	GHG 排出総量 電力部門からの排出量	原発の稼働に係わるオプション

出典：筆者作成

低炭素ナビは未来を理解するためのオプションを提示するツールだが、このアプローチには一定の限界があり、低炭素ナビを利用するにあたって下記の事項に注意が必要である。

#### **低炭素ナビは未来の予測ツールではない**

低炭素ナビは、日本が低炭素経済へ移行するために必要な変化の規模、ならびに日本が利用できる選択肢／妥協案を提示する。ただし未来を予測するわけではなく、言い換えれば、低炭素ナビは利用可能なパスウェイの範囲を模索するには有用だが、提示されたものが最適なパスウェイだと判断すべきではない。

#### **低炭素ナビは費用最適化モデルではない**

低炭素ナビは費用最適化アプローチを採用していない。低炭素ナビの目的は、日本が2050年目標を達成できる最小コストのパスウェイを特定することではなく、様々な想定の下で対象部門において何が達成できるかを提示することである。上記の制約があるものの、選択における費用検討の重要性も尊重している。低炭素ナビはユーザーが選んだパスウェイの社会で発生する増加費用を示し、選択したパスウェイとそれ以外のパスウェイの費用を比べながらより高度な分析ができるようにしている。

#### **日本独自の低炭素ナビ**

本モデルは日本の排出量削減とエネルギー安全保障に関するオプションのみに焦点を当てて開発され、日本のバイオエネルギーと炭化水素の輸入、ならびに石油・石油化学製品の輸

出に関する関連データ（軌道データは除く）が含まれている。また本モデルに基づく分析ではバイオエネルギーの排出クレジットも考慮されているが、その軌道は示していない。また国際航空・国際海運部門で日本の排出とみなす相当量は含まれていない。

#### **パスウェイは特定の政策に対する政策予測を反映していない**

2050日本低炭素ナビが基礎とするデータは政府当局や研究機関など多様な情報源から得られたもので、様々な想定の下で予想される排出パスウェイを示している。低炭素ナビは2011年の福島原発事故やそれに伴う代替・再生可能エネルギー源への関心の高まりといった関連性のある出来事を考慮しながら、2050年までに実現可能な手段を分析しているが、それらの未来を実行するための特定の政策を提案している訳ではない。つまり、低炭素ナビは詳細な政策枠組みを議論するためのツールではなく、排出パスウェイは特定の政策に限らず幅広い議論を促すものである。

低炭素ナビは、一般市民が現状理解を深めるだけでなく、政策決定者の様々な協議・意思決定プロセスも支援する使い勝手の良い教育・コミュニケーションツールである。本ツールが幅広く利用され、ユーザーから多くのフィードバックが寄せられることを祈念する。

## 参考文献

- Ashina, S. 2014. Structure of the Japan 2050 Pathways Calculator. Presentation at the First Expert Review Meeting, 20 February 2014, Tokyo.
- Ashina, S. 2015. Modelling on Future Socio-Economic Scenarios and Nuclear. Presentation made at the International Conference on 2050 Calculator, 11 February 2015, Taipei.
- Energy Data and Modelling Center (EDMC). 2013. Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan 2013. Institute of Energy Economics, Japan.
- Energy Data and Modelling Center (EDMC). 2014. Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan 2014. Institute of Energy Economics, Japan.
- Geothermal Research Society of Japan (GRSJ). Undated. Geothermal Energy: Japan - Resources and Technologies. Available at: <http://grsj.gr.jp/en/all.pdf> (accessed 12 May 2014).
- Global Wind Energy Council (GWEC). 2014. Global Offshore: Current Status and Future Prospects. Available at: <http://www.gwec.net/global-offshore-current-status-future-prospects/> (accessed 27 June 2014).
- International Energy Agency (IEA). 2013. Electricity Information, 2013 Edition. Paris: IEA.
- Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2014. Launch of the Japan 2050 Low Carbon Navigator: Navigating toward Low Carbon Societies. Session summary from International Forum for Sustainable Asia and the Pacific (ISAP) 2014. Available at: [http://www.iges.or.jp/isap/2014/PDF/full\\_report/e\\_ISAP\\_PL1.pdf](http://www.iges.or.jp/isap/2014/PDF/full_report/e_ISAP_PL1.pdf) (accessed 20 February 2015).
- Ito, A. 2008. Current status of CCS in Japan. In FutureGen Workshop 2008, Tokyo, Japan. Kizugawa, Kyoto, Japan: Research Institute of Innovative Technology for the Earth, 2008.
- Japan Wind Power Association (JWPA). 2012. Potential for Introduction of Wind Power Generation and Mid/Long Term Installation Goals. Available at: [http://jwpa.jp/pdf/roadmap\\_v3\\_2.pdf](http://jwpa.jp/pdf/roadmap_v3_2.pdf) (accessed 23 September 2013).
- Japan Wind Power Association (JWPA). 2014. Wind power installation statistics. JWPA.
- Johnston, E. 2011. Small hydropower plants keep it local: Harnessing the trickle down flow draws renewable energy interest. The Japan Times, 29 September 2011. Available at: <http://www.japantimes.co.jp/news/2011/09/29/national/small-hydropower-plants-keep-it-local/#.Uce0p7qsKU> (accessed 27 June 2014).
- Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI). 2012. Feed-in Tariff scheme in Japan. Available at: [http://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/renewable/pdf/summary201207.pdf](http://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/renewable/pdf/summary201207.pdf) (accessed 8 April 2012).
- METI (2014a). 再生可能エネルギー発電設備の導入状況の公表、経済産業省報道発表 ([http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/dl/setsubi/201401setsubi.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/setsubi/201401setsubi.pdf))
- METI (2014b). 再生可能エネルギー発電設備の導入状況について、経済産業省、(<http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140418002/20140418002-2.pdf>)

MOEJ (2012a). エネルギー供給WG (補足説明資料)、環境省、(<http://www.env.go.jp/earth/report/h24-03/ref15.pdf>)

MOEJ (2012b). 2013 年以降の対策・施策に関する報告書、環境省中央環境審議会、(<http://www.env.go.jp/earth/report/h24-03/index.html>)

NIES(2014). AIM モデルデータベース、国立環境研究所。

Shirakawa, H.; Zhou X.; Moinuddin, M.; Kuramochi, T. and Wakiyama, T. 2014. Japan 2050 Low Carbon Navigator (Web Tool). IGES/NIES. Available at: <http://www.en-2050-low-carbon-navi.jp>.

Song, S. 2013. Japan's Solar Energy Installations Jumped 270%, In Terms Of Gigawatt Capacity, In First Quarter, Poised To Overtake Germany In Solar Energy Revenue In 2013. International Business Times (11 June 2013). Available at: <http://www.ibtimes.com/japans-solar-energy-installations-jumped-270-terms-gigawatt-capacity-first-quarter-poised-overtake> (accessed 20 May 2014).

Toshiba. 2014. Success Based on Quality. LED product catalogue 4/2014. Available at: [https://www.toshiba.eu/lighting/service/product-catalogue/14-04/toshiba\\_lighting\\_product\\_catalogue\\_uk\\_0414.pdf](https://www.toshiba.eu/lighting/service/product-catalogue/14-04/toshiba_lighting_product_catalogue_uk_0414.pdf) (accessed 27 June 2014).

UK Department of Energy and Climate Change (DECC). 2010. 2050 Pathways Analysis. London: DECC.

Umer, S; Kaneko, M; Tan, Y. and Lim, A.O. 2014. System Design and Analysis for Maximum Consuming Power Control in Smart House. Journal of Automation and Control Engineering 2(1). March. Available at: <http://www.joace.org/uploadfile/2013/1014/20131014023033241.pdf> (accessed 17 March 2014).

Zhou, X.; Ashina, S.; Kuramochi, T.; Moinuddin, M.; Wakiyama, T. and Kuriyama, A. 2014. Japan 2050 Low Carbon Navigator (Excel Model). IGES/NIES. Available at: <http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/en/index.html>

自動車検査登録情報協会 (2014). 保有台数表 (Available at: <http://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html>)

次世代自動車振興センター (2014). 電気自動車等保有台数統計 (Available at: <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai1.html>)

### 詳細情報

ウェブツール版の利用はこちら：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/jp/>  
エクセル版のダウンロードはこちら：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/>  
ホームページはこちら：<http://www.2050-low-carbon-navi.jp/web/jp/>

### お問い合わせ

グリーン経済領域  
公益財団法人 地球環境戦略研究機関  
〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11  
電話 046-855-9575  
E-mail: [ge-info@iges.or.jp](mailto:ge-info@iges.or.jp)

ISBN978-4-88788-186-0



**Institute for Global Environmental Strategies (IGES)**

2108-11 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, 240-0115 Japan

Tel: +81 (0)46 826 9575 Fax: +81 (0)46 855 3809 E-mail: [ge-info@iges.or.jp](mailto:ge-info@iges.or.jp) URL: <http://www.iges.or.jp>

