

Title	2050年以降を見据えたエネルギー社会ビジョン検討 : スキャンニング手法を用いた長期未来洞察
Author(s)	高橋, 玲子; 中村, 亮二; 鷲田, 祐一
Citation	年次学術大会講演要旨集, 32: 1-6
Issue Date	2017-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/15022">http://hdl.handle.net/10119/15022</a>
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

## 2050年以降を見据えたエネルギー社会ビジョン検討 ～スキャニング手法を用いた長期未来洞察～

○高橋玲子，中村亮二，鷺田祐一（国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター）

### 背景と目的

地球温暖化など長期に亘るエネルギー・環境問題に科学技術によって対処するためには、将来に起きうる変化を十分に考慮した上で、社会の姿を明確に描き、未来社会に寄与しうる研究開発の方針を検討することが重要なポイントとなる。

国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センターでは、中長期の社会として2050年以降を想定したときに、そこで予想されるニーズや脅威への対処のために必要となる科学技術や研究開発課題について、探索と検討を行っている。この一環として、エネルギー関連分野の研究者によるワークショップ（WS）「未来のエネルギー社会のビジョン検討」を2016年に開催した<sup>1)</sup>。

このWSにおいては、エネルギー関連の学協会を通して近未来のテーマを扱う観点から若手・中堅の研究者を募り、2050年以降の社会の姿と、そこで必要とされる科学技術について議論した。議論においては、将来の研究開発の方向性と技術について、自由に討議する形式をとった。このアプローチは、参加者同士が制約なく意見を出し合い、議論の視野を拡大するためには有益であった。しかし、議論の深化のためには、参加者間で将来のビジョンを柔軟な洞察に基づき共有し、意見を統合させていく必要がある。この点では、議論の進め方に改善の余地があるとの認識を得た。

こうした課題認識を踏まえ、2017年には、未来洞察手法の一つであるホライズン・スキャニング手法を用いて未来の社会の姿を描き、その社会に向けたエネルギー関連の科学技術や研究開発課題を討議するWSを、2016年のWSの続編として開催した。本稿では、討議において提示された将来社会の姿と、その実現のための科学技術テーマに見られる傾向や、ホライズン・スキャニング手法の適用の観点からWSの概要について報告する。

### WSの実施

#### (1) WSの概要

WSは、2017年8月28、29日および9月14日に開催した。未来のエネルギー社会の構築に関連する12の学協会より27名の若手・中堅の研究者、

技術者が参加した。各学会からの参加者は、意見の広がり確保のために、産業界と学術界の双方から構成されている。加えて、2016年のWSにおける、「将来のエネルギー社会を語る上では、理工系に限らず多様な学術的視座を有する参加者を交えることにより、奥行きを持つ論点展開を目指す構成とすべき」との指摘を受け、経済学、消費者行動学、経営学などの人文・社会系領域の研究者等8名を加え、合計35名の参加により開催された。

#### (2) 方法

本WSのプロセスの概要を図1に示す。先述のように、2050年以降のエネルギー関連の科学技術を検討するためには、将来の社会の姿を十分な想像力をもって描くべきである。このため参加者同士が互いの意見を共有し、柔軟に議論できる枠組みが必要である。そこで、今回は、ホライズン・スキャニング手法（スキャニング手法）を用いて議論を行った。なお、図2に示すように、スキャニング手法とは、微細な社会変化に着目し、その方向性を非線形な未来変化も踏まえて議論することにより、不確実な未来の兆しを捉える手法である<sup>2)</sup>。

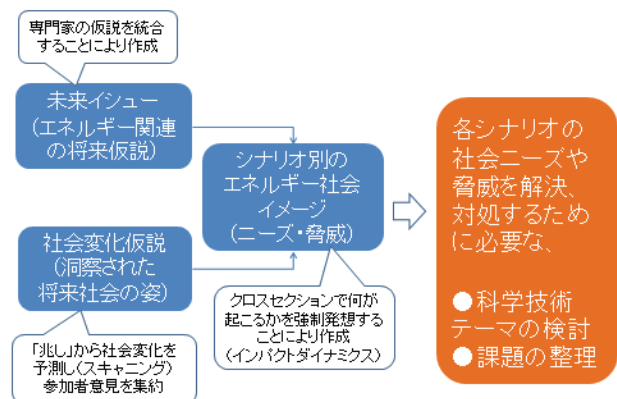


図1：本WSのプロセスの概要

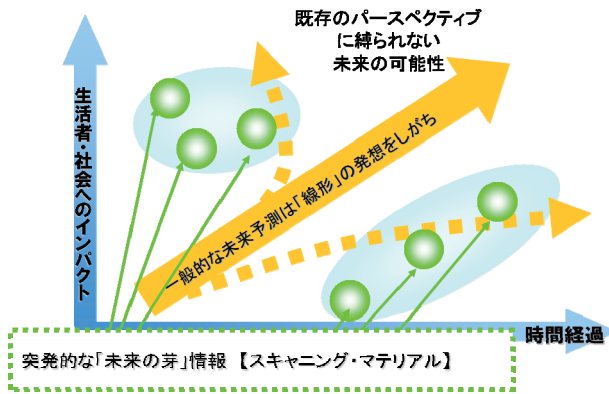


図2：スキャニング手法の概要

### ＜社会変化仮説の構築＞

将来社会の姿を洞察するために、ニュース情報等に基づく200個の情報「スキャニング・マテリアル」を最初に作成した。

WS参加者はこのスキャニング・マテリアルを通読した後、出身学会や専門領域の異なるメンバーから構成される5グループに分かれて議論を行い、将来社会の姿を表現する「シナリオアイデア」をグループごとに作成した。こうして作成されたシナリオアイデアに対し、アイデア間の類似性を可視化するためにコレスポネンス分析を行い、アイデアの分類・集約化を行った。本稿

では、この集約されたシナリオアイデアを「社会変化仮説」と呼ぶ。

### ＜未来 이슈の作成＞

スキャニング・マテリアルの作成と並行して、エネルギーに関連した未来シナリオである「未来 이슈」を設定した。未来 이슈とは、エネルギーに関する人間と社会の関わり方のシナリオを、専門的背景に基づき演繹的に設定するものである。作成にあたっては2050年を見据えたエネルギー関連の科学技術に関する複数の政策文書（主な文献として<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>）を参照にし、エネルギー政策の専門家の意見も参考にした。こうして設定した6つの未来 이슈を表1に示す。

### ＜インパクトダイナミクスの構築＞

作成された社会変化仮説と未来 이슈から、「インパクトダイナミクス」(図3)を作成した。その上で、参加者の専門分野に基づき未来 이슈ごとのグループに分かれ、インパクトダイナミクスの各々のクロス領域のセルにおける「エネルギー社会イメージ」(エネルギーに関連する社会の姿やその社会におけるニーズや直面する脅威)を具体化するための議論を行った。加えて、発想された各イメージに基づき、各セルにおいて導出される科学技術、研究開発テーマ、および実施上の課題について検討した。

表1：設定した未来 이슈

未来 이슈	説明
エネルギー生産・消費の場所、時間、役割の変化	エネルギーは「消費に応じた生産」から、「賢く使う・貯める」になり、「自家消費、自立分散」を前提とし融通する「循環財」に。システム最適、運用改善、ICT制御、模調整力活用によりシステムが安定運用。効率最大化とCO2排出最小化が両立。水素等によるエネルギー貯蔵・輸送システムが確立。消費可視化、効率化、行動科学を応用したデマンドレスポンスが実用化。
移動手段の低炭素化と移動以外の意義の拡大	モータ駆動自動車が主流となり、低炭素エネルギー由来の水素やバイオ燃料が動力源に。電気自動車がエネルギー需給調整や災害対応の役割を果たす。都市構造コンパクト化、モーダルシフト、輸送距離短縮、物流情報化、積載率向上、意識変革等により、効率的低炭素物流や自動運転、安全で高利便性の移動が一般化。
炭素・物質循環社会	CO2分離、炭素循環利用が実現。材料・燃焼技術向上によりCCUS付や高効率の火力発電が確立。低温排熱回収技術が発達し、排熱やエネルギーカスケード利用が実用化。エネルギーハーベスティング技術も一般化。潜在的資源を回収し新規需要化する循環社会が確立。家庭廃棄物をほぼゼロ化する技術と制度が完成。
自立する持続可能な地域社会システム	多様な風土を活かした地域経済活性化と地域文化力向上。エネルギー自給地域社会が実現。ゼロエミ地方自治体の再エネブランド住民誘致、域外資金自立が実現。高効率農業機器、施肥・水管理など適切な農地管理や計画経済により農業企業化進む。電化、水素・余熱利用進み、廃棄物処理施設が地域エネルギー拠点に。
低炭素社会に向けた経済・社会システム	低炭素型製品輸出により日本の経済力が向上。低炭素燃料と化石燃料の同価格化により低炭素産業が価格競争力を持つ。炭素価格経済や炭素投融資判断が一般化。インフラ間シェアリングエコノミーが発達し、コミュニティ内での自立的需給調整を助長する経済システムが発達。公共エネルギーは余剰電力を活用し、業種横断的な省エネが実現。
新たな価値観の創出と行動の変化	消費者ニーズに対応した高品質生活とエネルギー消費最小化が両立。最小限の高品質製品をシェアする無理ないライフスタイルが普及。CO2排出レジャーの仮想化が進む。環境貢献情報の容易な入手で楽しみながらエコを自発的に実践。ライフスタイルに応じた労働一般化し、労働生産性が向上。再エネルギーの供給状況にあわせた晴耕雨読型コミュニティができる。

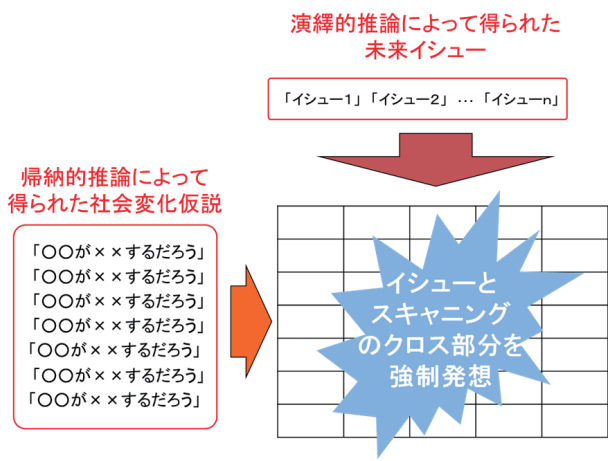


図3：インパクトダイナミクス例

## 結果

### (1) 社会変化仮説

グループ別の議論の結果、合計 24 のシナリオアイデアが創出された。これらのシナリオアイデアについて参加者へのアンケートを行い、アンケート結果を用いてコレスポネンダンス分析を行った。続いて、この分析結果から得られた第1軸と第2軸に基づきプロットを行った(第2軸までの累積寄与率は48%)。グラフ内のアンケート項目とシナリオアイデアの位置関係から24のシナリオアイデアを6つのクラスター(社会変化仮説)にまとめた。クラスターとクラスターを構成するシナリオアイデアの関係を図4に示す。また各クラスターの概要を表2に示す。

### (2) エネルギー社会イメージ

インパクトダイナミクスに基づき、セル(36セル：6つの社会変化仮説×6つの未来イシュー)ごとの具体的な社会イメージが各参加者により議論された。ここで描出されたエネルギー社会イメージの概要を、未来イシューごとに表3に示す。

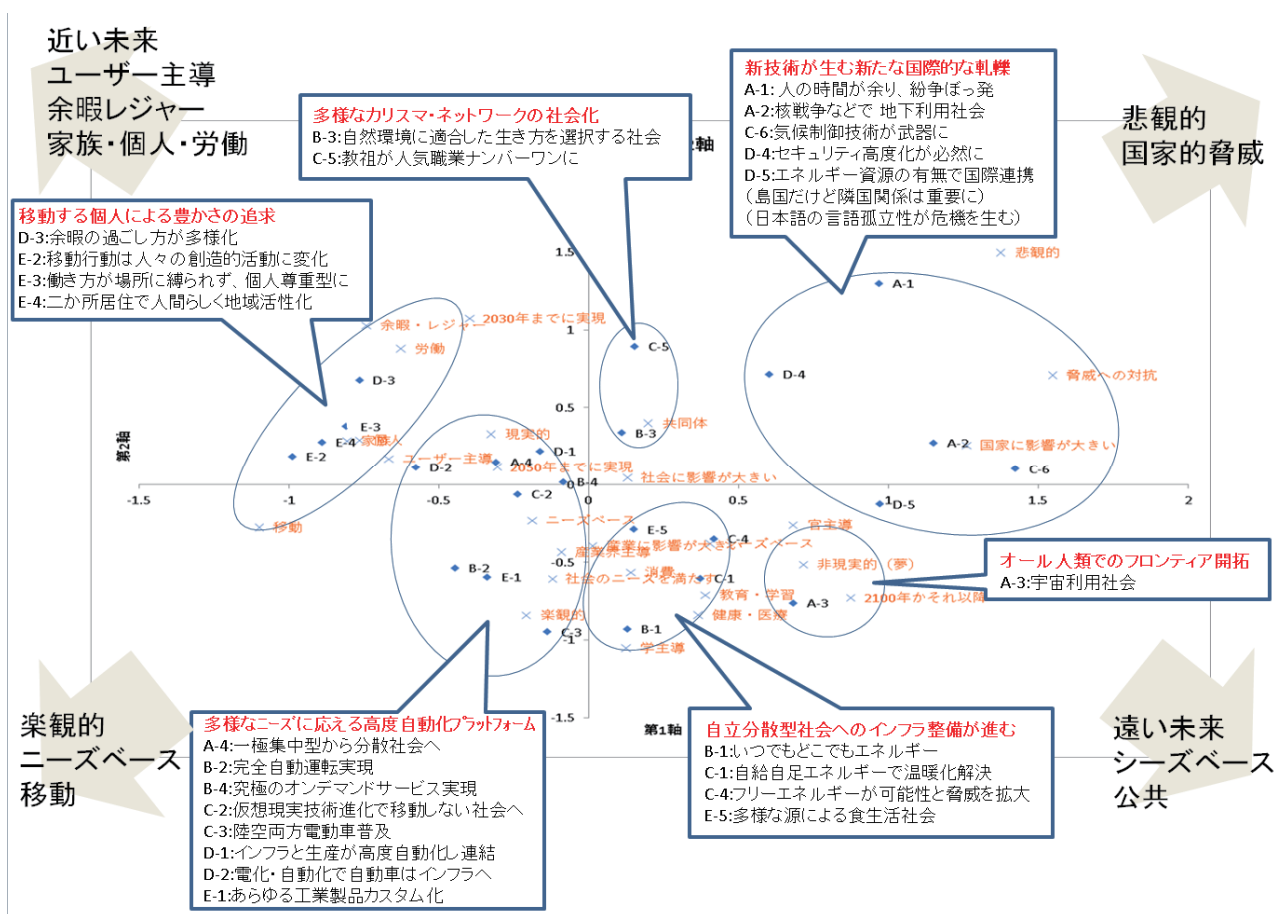


図4：シナリオアイデアの分析結果



表2：シナリオアイデアのクラスター（社会変化仮説）が示唆する未来のイメージ

タイトル	未来のイメージ
移動する個人による豊かさの追求	各種の交通手段とテレワークが豊かに普及し、多様なツーリズムにより余暇生活は発展する。移動自体が手段ではなくクリエイティブな活動であるという認識が芽生える。このような考え方は、勤務体系、居住の在り方にも影響を与え、移動の活発化・日常化によって多拠点居住が普及する。
自立分散型社会へのインフラ整備が進む	上意下達型の社会インフラが終焉し、必要なエネルギー生産を实践する地域も出現する。技術革新により電力価格が低化し、生活用エネルギーの自前確保が簡単になるが、節約意識の崩壊や、インフラへのテロが懸念される。食用外資源の開発により、食糧問題は改良している。大量消費社会から、適量分散消費社会への移行が実現する。
多様なカリスマ・ネットワークの社会化	生活者の精神的な変化が起き、自立分散型の社会ビジョンが確立する。反面、人々は精神的な繋がりを求めるようになり、精神的な指導者あるいは AI のように人間ではない指導者に注目が集まる。そのようなカリスマ的存在が、日本中に点在する適量分散消費社会どうしを繋ぐネットワークのように機能している。
多様なニーズに応える高度自動化プラットフォーム	移動やバーチャルリアリティに関するキーテクノロジーが普及し、こうした技術を前提にした社会が形成されている。生産システムや物流産業の自動化・高効率化が労働力不足を補っている。適量分散消費社会に合わせ、カスタマイズされた工業製品の適量生産により、資源消費両は縮減している。多様で高度な自動化プラットフォームを無数の AI とロボットが支えている。
新技術が生む新たな国際的な軋轢	日本列島近辺の地勢リスクが高まり、日本が何らかの国際的・軍事的な紛争にまきこまれている。国際紛争に多数の新技術が用いられ、技術が人類文明への脅威になっている。また脅威に対応するための技術も大量に求められる。ここでは、エネルギー資源の獲得自体が国際紛争の原因になっているという想定はない。
オール人類でのフロンティア開拓	地球温暖化や戦争による生存環境の著しい悪化などによって、国際連携による、宇宙、大深度地下、海底など本格的なフロンティア開拓が進められている。この開拓に関連する科学技術開発が進められる。自立分散的な社会を実現している日本の一般生活者と、全人類的な科学技術開発の現場は、かい離の方向に向かう。

表3：未来 이슈ごとエネルギー社会イメージ

未来 이슈	エネルギー社会イメージ
エネルギー生産・消費の場所、時間、役割の変化	個々が自立・分散した社会の中で、ネットワーク化して全体を構築するようになる。セキュリティはすべてを横断する普遍的技術課題である。エネルギーはシームレス（いつでもどこでも）に利用することができる。この結果、特徴のある文化、産業を持つ地域が発生し、個々の人々は、住む地域を自由に選択するテーマパーク型の住み方を選択するようになる。
移動手段の低炭素化と移動以外の意義の拡大	人は、文化や食など体験を通して感動を得るために、移動欲求を基本的に持つことを前提とする。一方、物は移動させずに入手することを重視するようになる。このようにして、リアルな移動と疑似体験などを通じたバーチャルな移動のあり方が大きく変化する。地上に加え空中も移動空間の範囲となる。
炭素・物質循環社会	二酸化炭素(CO2)排出削減に対する取組は、2040年頃に二酸化炭素分離、貯蔵技術の確立により解決されており、2050年には既にCO2の資源化に向けた体制が整備されている。この時代においては、エネルギーは安価で潤沢に供給されているため、資源問題も解決している。しかし、資源としてCO2を大量に消費するため、CO2が不足する社会が到来している。
自立する持続可能な地域社会システム	「地域」を東京以外の全ての地域と設定した。「地域」の発展の方向性は、地域が東京と利便性などの点で同等に向上する場合と、東京にはない役割を担う場合、の2つがある。将来は、地域間の連携を深め、ITや再生エネルギー利用技術に支えられながらエネルギーや食糧を供給する地域が日本を支える。
低炭素社会に向けた経済・社会システム	地球温暖化防止に向けた科学技術による解決上の課題は2050年には既に達成されている。2050年以降の社会で課題となりうる社会課題には、エネルギー安定供給、科学技術との関わり方、安全保障、情報セキュリティなどが想定される。こうした課題解決のための、社会・経済システムの構築、科学技術確立後の社会実装および社会受容の獲得の進め方の研究が必要になる。
新たな価値観の創出と行動の変化	人々は、多様な豊かさを満たす生き方や脅威への対応方法を自由に追求するようになる。この達成のために、引き続き科学技術を利用するが、エネルギー供給・消費に対する考え方や資源循環の概念など、従来の科学技術との関わり方が大きく変化していく。

## 考察

### (1) 洞察されたエネルギー社会イメージについて

インパクトダイナミクスに基づき導出された社会の姿からは、以下の傾向が認められた。

まずエネルギー社会イメージに関しては、時間や場所などの物理的制約や、ライフスタイル、役割、社会規範などの社会的制約に影響されない、多様なニーズを尊重する個が出現し、個の欲求に沿った選択が達成できる社会が洞察された。また、こうした価値観や行動様式・選択の変化が、中長期的には社会システム全体に変容をもたらしていく見通しも示された。こうした一部の社会変化は 2050 年より早い段階で発生する可能性がある一方で、現時点で既に顕在化しているとの指摘もあった。

想定時期が遠い未来のエネルギー社会イメージほど、国際間紛争、資源問題、地球温暖化などの人類の存続に関わるような大規模な脅威への危機感が増す傾向が見られた。その一方で、こうした問題の解決を楽観的に捉える見方もあった。さらに遠い未来になると、人類の存続が主要な課題となり、この解決のために国の壁を越えた科学技術、研究開発の連携が進むとの指摘がなされた。

こうしたエネルギー社会イメージと関連付けられる科学技術に関しては、利便性をいっそう高める方向での社会ニーズの充足と環境への負荷低減など、相反する課題を同時に解決するための自立（自律）分散化技術、自動化技術、さらには資源循環などのシステム開発などが挙げられた。これらは社会ニーズの充足達成に貢献する技術開発の光の面がクローズアップされた結果と捉えられる。

一方で、科学技術との関わり方に関する議論も展開された。個別化、仮想化によって人間社会に今まで以上に浸透した人工知能（AI）などの新技術が制御不可能な想定外の脅威を人間生活に及ぼす可能性や、従前の問題が新たな科学技術で解決されることで新たな別の問題が引き起こされる悪循環の可能性などが指摘された。これらは、科学技術の影の面の指摘と捉えることができる。なお、こうした影の面への対応として、環境に配慮する行動への移行の加速や、科学技術に過度に依存しない社会が出現するとの洞察もあった。

### (2) 導出された科学技術について

自立分散や適量消費といったキーワードで示されるエネルギー社会イメージは、比較的近い将来に実現すると予想されている。近い将来のイメージに沿って導出された科学技術は具体的な内容が多く、従来から注目されている現状の延長線上にある科学技術が提示される傾向があった。一方で、やや遠い未来に実現すると予想されたエネ

ルギー社会イメージに対しては、科学技術への言及よりは、人々の価値観の変容や社会状況変化等への言及が多い傾向が見られた。ある社会のニーズや脅威の実現に必要な科学技術を具体的に検討するためには、その社会をいかに具体的に洞察できるかが重要であるが、今回得られた結果から、より遠い未来ほど、試みに困難さが伴うことが改めて認識された。

エネルギーの利用に関する使い手と作り手の境界、電力・交通などのインフラシステムの境界、産業分野の境界などが今後一層曖昧になっていくと予想されていた。こうした中で、従来にはない社会システムの構築に関与する科学技術も複数提示された。

一方で、例えばエネルギーセキュリティに関する議論が比較的多く見られたが、エネルギー供給、需給調整、信頼性などの観点からの定量的な議論は十分ではなく、今後の検討が必要になる。同様に、エネルギー資源確保や温暖化ガス排出の大幅削減などの未解決の課題に対し、将来時点で既に解決されているとの仮定をおいて議論を進めるケースも見られたが、こうした議論の妥当性等についての精査も、本 WS の成果を活用するための有意義なプロセスと考えられる。

科学技術に関する議論では、社会への実装の実現に向けた具体的な個別技術の分析に加え、社会制度設計の進め方、社会的受容の方法などについて、科学技術と社会の両面からの幅広い議論が行われた。科学技術に関わる専門家の社会的責任という観点から国際的なルール作りの必要性を指摘する意見もあった。

エネルギー社会イメージ実現のための科学技術の課題として、社会受容性に関する課題が複数見受けられた。これは、エネルギー関連の科学技術が社会と密接に関連している一方で、技術利用の政策決定プロセスへのエンドユーザのコミットメントが小さいことを示している。

科学技術利用の光と影の両面が注目される中で、科学技術の負の問題や社会受容性の課題に自然と議論が及んでいたことは、エネルギー分野が社会と密接に関連した科学技術分野であることを示す証左であると同時に、本分野における自然科学と人文・社会科学の連携の必要性や重要性を再認識させるものである。

### (3) スキャニング手法適用上の課題について

スキャニング手法は、一たび手法適用の意義や目的に理解が得られると、各参加者の専門分野や制約を超えた自由な発想を導き出す有用な手法であった。特に今回は、複数の専門分野の専門家による洞察が、技術と社会の両側面からの幅の広い議論の展開に大きく貢献したと考えられる。

他方、通常スキャニング手法では、10年程度の将来を洞察の対象とするが、今回は2050年という長期の将来を設定した。こうした条件では前述のように将来社会イメージの洞察が困難であり、討議において、何らかの工夫が必要と考えられる。

## まとめ

将来社会の姿の洞察へのスキャニング手法の適用と、幅広い専門分野の視点に基づくイメージの共有によって、未来のエネルギーに関連する様々な社会イメージと、科学技術のアイデアが導出された。

今回のように、通常は交流の少ない異分野の研究者らが一堂に会し議論する経験が、参加者各位の今後の研究活動に人的ネットワークの拡大や発想展開の意味で影響を与えたとすれば、こうした議論の機会の設定に一定の意義を認めることができる。

今後、詳細な個別の科学技術テーマの議論等を進める際には、実施可能性や条件設定などの検証が必要になるが、提案されたテーマの深耕や全体の俯瞰を通じて継続的に検討を進めていきたい。

## 謝辞

WS実施において、貴重なご意見ならびに活発な議論をいただいた参加者の方々、また参加者の招請にご協力いただいた一般社団法人電気学会殿、一般社団法人日本機械学会殿、一般社団法人日本エネルギー学会殿、一般社団法人電子情報通信学会殿、公団社団法人計測自動制御学会殿、公団社団法人化学工学会殿、公団社団法人電気化学学会殿、公団社団法人日本生物工学会殿、公団社団法人土木学会殿、一般社団法人日本交通学会殿、公団社団法人自動車技術会殿、一般財団法人エネルギー経済研究所殿にこの場をお借りして御礼申し上げます。またWS開催にあたりご協力いただいた全ての皆様に、心よりの感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター「環境・エネルギーユニット俯瞰ワークショップ報告書『未来のエネルギー社会のビジョン検討』」(2017)
- 2) 鷲田祐一編著「未来洞察のための思考法 シナリオによる問題解決」勁草書房(2016)
- 3) 環境省 中央環境審議会地球環境部会「長期低炭素ビジョン」(2017)
- 4) 内閣府 総合科学技術・イノベーション会議「エネルギー・環境イノベーション戦略」(2016)