

参議院常任委員会調査室・特別調査室

論題	原子力等エネルギー・資源、持続可能社会に関する調査報告（中間報告） －資源エネルギーの安定供給確保と持続可能社会の調和に向けた論点整理－
著者 / 所属	碓 建人 / 第三特別調査室
雑誌名 / ISSN	立法と調査 / 0915-1338
編集・発行	参議院事務局企画調整室
通号	468 号
刊行日	2024-7-25
頁	28-43
URL	https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/ripou_chousa/backnumber/20240725.html

※ 本文中の意見にわたる部分は、執筆者個人の見解です。

※ 本稿を転載する場合には、事前に参議院事務局企画調整室までご連絡ください（TEL 03-3581-3111（内線 75020）／ 03-5521-7686（直通））。

原子力等エネルギー・資源、持続可能社会に関する調査報告 (中間報告)

— 資源エネルギーの安定供給確保と持続可能 社会の調和に向けた論点整理 —

碓 建人

(第三特別調査室)

1. はじめに
2. 調査の概要
 - (1) 参考人の意見陳述及び質疑
 - (2) 政府に対する質疑
 - (3) 委員間の意見交換
 - (4) 主要論点別の整理
3. おわりに

1. はじめに

資源エネルギー・持続可能社会に関する調査会は、原子力等エネルギー・資源、持続可能社会に関し、長期的かつ総合的な調査を行うため、第210回国会（臨時会）の令和4年10月3日に設置され、3年間を通じた調査テーマを「資源エネルギーの安定供給確保と持続可能社会の調和」として調査を進めている。

1年目は「資源エネルギーと持続可能社会をめぐる情勢」を調査項目として取り上げて調査を行い、令和5年6月7日に調査報告書（中間報告）を議長に提出した。

2年目に当たる本年は、「資源エネルギーの安定供給確保と持続可能社会の調和に向けた論点整理」を調査項目として取り上げて調査を行うこととし、令和6年2月7日に「エネルギー安全保障の確立に向けた論点」について、2月21日に「脱炭素社会の実現に向けた論点」について、4月17日に「資源エネルギー分野のイノベーション」について、計9名の参考人から意見を聴取し質疑を行った。さらに、これらの調査を踏まえ、5月15日に政府から説明を聴取し質疑を行うとともに、中間報告書の取りまとめに向けた委員間の意見交換を行った。そして、6月5日に「原子力等エネルギー・資源、持続可能社会に関す

る調査報告（中間報告）」¹を取りまとめ、議長に提出するとともに、6月7日の本会議において宮沢洋一調査会長がその概要を報告した。

なお、このほか「原子力問題に関する件」について調査を行った。

以下、本稿においては2年目の原子力等エネルギー・資源、持続可能社会に関する調査報告（中間報告）の概要を紹介する。

2. 調査の概要

（1）参考人の意見陳述及び質疑

ア エネルギー安全保障の確立に向けた論点（令和6年2月7日）

（ア）参考人の意見の概要

特定非営利活動法人国際環境経済研究所副理事長兼所長 山本 隆三 参考人

人類が利用していたエネルギーは産業革命まで、薪、水（水車）、風（帆船等）であった。産業革命で石炭の利用が本格的に始まり、1950年代まで石炭がエネルギーの主力だった。1950年の日本の一次エネルギー供給を見ると、石炭が約85%、水力が約11%で、エネルギーのほとんどを自給していた。1950年代から1970年代にかけて日本も欧州も戦後復興で経済成長が著しくなってエネルギーが必要になった。日本の石炭生産量は1960年頃をピークに急落し、その減少分を埋めたのが非常に安価で豊富な中東からの石油であった。1973年の日本の一次エネルギー供給の75%以上を石油が占め、エネルギー自給率は10%を切っていたが、日本を含む世界の大半はその頃までエネルギー安全保障について考えていなかった。しかし同年に起きた石油危機で日本を始めとする主要国は不安になってエネルギーの分散を始めた。

2021年時点で、日本、そして世界も石油、石炭、天然ガスなどエネルギー供給の分散が非常にうまく進んでいる。しかし、世界のエネルギー供給の8割は依然としてCO₂を排出する化石燃料に依存している。この化石燃料の利用をあと30年程度で本当に止めることができるのか大きな問題である。

こうしたところに出てきたのが、天然ガスや石炭の世界輸出量で世界一になったロシアである。化石燃料の輸入について欧州のロシア依存が非常に高まっていた中で、2022年2月にロシアによるウクライナ侵略が起きた。侵略開始後、欧州はロシアからの化石燃料輸入を減らそうとする一方、ロシアはエネルギーの枯渇で欧州が音を上げるのを待つという戦略に出た。その結果、化石燃料価格が高騰し、欧州主要国の電気料金は非常に上昇した。もう一つ注目すべきことは、脱炭素やコロナ禍も、化石燃料価格や電気料金の上昇に大きな影響を与えたことである。

現在、G7は全て脱ロシア、脱化石燃料を図らなければならず、2023年のG7首脳宣言において、洋上風力を7～8倍、太陽光を3倍程度にするとした。また、多くの国が原発の利用意向を示している。原発が注目されるようになった理由として、当然に脱炭素、脱ロシアはあるが、見逃せないことは世論の大きな変化である。ウクライナ侵略の

¹ 報告書の全文は、参議院ホームページに掲載されている<<https://www.sangiin.go.jp/japanese/chousakai/houkoku/dai13ki/shigen2024.pdf>>（以下、URLの最終アクセスの日付はいずれも令和6年7月10日）。

開始前、EU内の原発反対派の割合は41%だったが今は15%である。

こうした状況においてインフレが起きた。今後、我々はインフレの影響を安全保障上も考えなければならない。すなわち、再エネ発電設備は大量の鉱物を必要とする。また、コンクリートやセメント、鉄鋼等の資材も必要とするためインフレの影響を大きく受ける。そして、こうした資材の基になる鉱物の供給国は中国のため、脱ロシアを進めた結果、中国依存が進むという問題を抱える可能性がある。

日本は、2050年脱炭素に向けて、2030年度の一次エネルギー構成、電源構成で化石燃料の使用量を減らす目標を立てている。再エネ増加は悪いことではないが、再エネが増加すると電力供給は不安定化する。また、2016年の電力市場完全自由化の結果、電力会社は利益が出ない石油火力発電所を閉鎖せざるを得ず、太陽光での発電がなくなる夕方以降の電力供給設備が不足するということになっている。また、再エネの統合費用等を考慮すると、再エネのコストが高いことも問題である。さらに、再エネ設備を導入すると、中国依存度が上がってくるという問題が生じる。中国は、太陽光の発電設備導入やモジュール生産で世界の4分の3近く、洋上風力設備の製造で6～7割のシェアを占めているためである。

最後に原発について、日本の地域別電気料金を見ると、原発稼働済の九州、関西が突出して安くなっている。原発新設時の高コスト問題等が指摘される中、世界で原発を低工費、予定どおりの工期で建設している国は中国、ロシア、韓国であることを考えなくてはならない。米国やフランスが原発を造れなくなったのは建設が20～30年中断し、人材が不足して技術継承ができなくなったからである。

一つの電源に依存していると非常時に大変なことになる。将来を考え、多様な電源をコストや脱炭素の問題を考えながら維持すべきということをよく考えてほしい。

一般財団法人日本エネルギー経済研究所研究理事 久谷 一郎 参考人

日本は石油危機以降、省エネ、エネルギーミックスの多様化、中東依存の削減に取り組んできたが、結果は必ずしも芳しくない。自給率は非常に低く、電源の分散化にはまだ若干の余地があり、中東依存度はまだまだ改善しなければならないのが現状である。

次に、今あるリスクと将来のリスクの両方を考えなければならないという視点である。地球温暖化対策としての省エネや再エネ・原子力といったゼロエミッションエネルギー²の使用が自給率向上、エネルギーコスト引下げになり、双方に利益のある政策である。一方で、エネルギーシステムの作り替えには、10年、20年という非常に長い時間が掛かるため、その途中段階についても十分に考える必要がある。また、ロシア、中国の動き、米国の大統領選挙といった外部環境の変化に加え、エネルギーシステムを作り替えることによる様々な安全保障上のリスクの変化を踏まえた対策が必要である。

炭素中立に至る過渡期のリスクに焦点を当てると、十分な代替供給手段がない限り、

²ここでは、温室効果ガスを排出しないエネルギーという意味。

今あるシステムを壊してはいけない。2050年に向けて化石燃料の需要は減少していくが、このペースに合わせて化石燃料の供給能力を減らしていかなければ危険である。

今般、欧州が天然ガス供給危機に陥った原因の一つは集中で、ウクライナ侵略前はロシアからの供給が39%と高かったことが根本的な原因と考える。もう一つは再エネ導入を強く進めて、古い石炭火力発電、国によっては原発を早急に減らしてきた結果、天然ガス供給代替のバックアップが十分にできなかったことである。このことは過渡期の供給力を確保し続けなければ危険な目に遭うということを端的に示している。

化石燃料輸入のリスクも引き続きある。日本は2022年時点で原油の95%を中東から輸入しており、ホルムズ海峡で何かあれば供給が止まる可能性がある。輸入経路のリスクも多く、シーレーンの安全確保も引き続き極めて重要である。

今後、化石燃料供給確保の上で、新たな上流投資、資源開発が必要になる。今後の資源開発では、脱炭素目標を2060年、70年と遠く設定しているため、引き続き長期契約で化石燃料を調達できる中国やインドのプレゼンスが高まっていく。

今の日本のエネルギー供給において極めて重要なLNGについては、今後、脱炭素を進める中、世界中で天然ガス開発に逆風が吹くかもしれない。そのため、化石燃料は使用しているのだから投資は必要とのメッセージを発していかなければ、日本への天然ガス供給も危うい可能性がある。

日本国内の供給網のリスクについては、自然災害によるエネルギー供給網の破断が頻発している。今後もこうした自然災害は常に発生し得るため備えが重要である。また、人口減少そして省エネの進展により需要が減少していくとエネルギーインフラの経済性低下が進んでいく。最も端的な例が石油供給で、ガソリンスタンドは地方部で大幅に減少しており、こうしたエネルギーインフラの維持について真剣に考えなければならない。

国内の危機対応能力の維持強化について、国内で柔軟性のあるエネルギー供給力は電力で、石炭火力、ガス火力、原子力、再エネとバックアップしやすいシステムになっている。そのため、その代替可能性を残しておくことが重要になる。また、石油は、その利便性、貯蔵の容易性、そして国防の観点からも、備蓄の維持が重要である。

この先、脱炭素に向けて中軸となる戦略は、需要の電力化と電気をクリーンにしておくことである。エネルギー全体が省エネで減っていく中で電力だけは少なくとも横ばいあるいは増えていくため、電力の安定供給が非常に重要になる。かつ、サイバー攻撃でエネルギーインフラが止まるのが日本でも起こり得るので、サイバーセキュリティが重要になる。

技術については、太陽光、風力、蓄電池といった分野で中国の優勢が顕著になっており、経済安全保障の観点から、供給国の多様化を図ることが重要な視点である。重要鉱物も様々なプロセスが中国に集中しており、省資源、代替資源技術の開発、そして世界全体で公正な貿易が行える環境の維持が重要になる。

エネルギー安全保障と市場に関し、日本のエネルギー供給を担うのは民間企業であって、基本的には市場原理で活動している。多くの場合、経済原理はエネルギー安全保障と整合するが、整合しない場合もある。不整合を回避するには、何らかの政策の関与、

政治的決断が必要になるだろう。

公益財団法人自然エネルギー財団常務理事 大野 輝之 参考人

国連気候変動枠組条約第28回締約国会議（C O P 28、2023年12月）の最終合意では、エネルギーシステムにおいて化石燃料からの脱却を進めること、その方法として2030年までに世界の自然エネルギー設備容量を3倍、エネルギー効率の改善率を2倍にすることが決定された。

エネルギー安全保障の実現策について考えるヒントとなるのが国際エネルギー機関（I E A）の「2023年版世界エネルギー見通し（W E O）」で、S T E P S³、A P S⁴、N Z E⁵の三つのシナリオを示している。このうち、2050年に温室効果ガスの実質排出ゼロを達成するのはN Z Eだけである。全エネルギー供給の変化についてN Z Eのロードマップを中心に見ると、化石燃料割合は現在の78%から2050年には23%へと減っていく。一方、自然エネルギーは2050年には全エネルギー供給の67%を占める。より端的な変化が起きるのは電力で、電化の進展によって、総発電量は2022年から2050年の間で2.6倍になる。中でも自然エネルギー発電が増え、2050年には89%を占めるとしている。脱炭素電源の中では原発も一定の役割を果たすだろうが、圧倒的に自然エネルギー電力の果たす役目の方が大きいことがI E Aの見通しで、既に米国やE Uで実際の政策に反映されている。このようにI E Aを含め自然エネルギーを増やしていく方向に変わった最大の要因は再エネ発電コストの劇的な低下である。

こうした状況を踏まえると、これからのエネルギー安全保障はこれまでとは異なる考え方が必要である。第一に、化石燃料は2030年代まではエネルギー供給の多くを占めるため、その確保は引き続き重要であること。第二に、化石燃料消費は2030年までにピークを迎えると予測されていること等を踏まえ、化石燃料・発電への新規投資は、座礁資産とならないよう慎重に検討する必要があること。第三に、自然エネルギーを自国でしっかりと確保すること抜きにはエネルギー安全保障は実現しない時代に入っていくという自然エネルギーの重要性である。

日本のエネルギー安全保障は、これまで専ら化石燃料の確保を目指してきた。引き続きその観点は重要であるが、今後を考えると国産可能な自然エネルギーをいかに増やしていくかが非常に重要になる。

日本において大量の自然エネルギー確保のポテンシャルは非常に大きい。今後、電化が進む中、製鉄、セメント等々、電化による脱炭素化ができない産業には太陽光発電や風力発電の余剰電力を使って製造したグリーン水素⁶を使っていくことが必要になる。た

³ 公表政策シナリオ（Stated Policies Scenario）は、各国が表明済の具体的政策を反映したシナリオである（資源エネルギー庁『令和5年度 エネルギーに関する年次報告』127頁）。

⁴ 表明公約シナリオ（Announced Pledges Scenario）は、有志国が宣言した野心を反映したシナリオである（資源エネルギー庁『令和5年度 エネルギーに関する年次報告』127頁）。

⁵ ネット・ゼロ・エミッション2050年実現シナリオ（Net Zero Emission by 2050 Scenario）は、2050年世界ネットゼロを達成するためのシナリオである（資源エネルギー庁『令和5年度 エネルギーに関する年次報告』127頁）。

⁶ 再エネなどを使って、製造工程においてもC O₂を排出せずにつくられた水素（資源エネルギー庁ウェブサ

だ、自然エネルギーの時代になればエネルギー安全保障の心配が全てなくなるということではない。自然エネルギー発電に必要な希少鉱物は、生産国が偏っており、その確保は引き続き重要な問題になる。また、太陽光発電、風力発電の生産能力が中国に集中しているという問題もある。

現在の日本のエネルギー政策は、自然エネルギー増への転換が不十分ではないかとの懸念がある。日本の2050年エネルギーミックスは自然エネルギー電力の割合を50～60%としている。しかし、この程度の割合では、化石燃料を使い続けざるを得ない。また、エネルギー安全保障の観点からは四つの懸念がある。第一に、発電部門でも3割近くを化石燃料に依存し続けること、第二に、電力以外でも化石燃料への依存が続くこと、第三に、国内の自然エネルギー発電設備が足りなければグリーン水素やグリーンアンモニアを輸入する必要性が生じて輸入依存が続く懸念があること、第四に、回収したCO₂の貯留適地が国内にないため、その処理も海外に依存することになり新たな海外依存が発生することである。

今後、次期エネルギー基本計画の改正に向けて、エネルギー安全保障、脱炭素を実現するエネルギー政策の在り方について議論することが必要だろう。

(イ) 質疑の概要

参考人の意見を受けて、送電網の国際連携ができない島国の日本で再エネ安定供給を図る方策、原子力発電に対する所見、日本のエネルギー安全保障の総合的な戦略の課題、今後の日本のLNG調達能力の低下が価格に反映されていく可能性、次期エネルギー基本計画は地球温暖化対策偏重からエネルギー安全保障基本へと修正する必要性、日本の風土に合わせた再エネ普及拡大の可能性及び現状の課題、日本が今後目指すべきエネルギー政策の具体的な形と推進に向けた計画、重要鉱物に係る公正な貿易への取組や精製の技術を守るための日本の方策等について質疑が行われた。

イ 脱炭素社会の実現に向けた論点（令和6年2月21日）

(ア) 参考人の意見の概要

公益財団法人地球環境産業技術研究機構システム研究グループグループリーダー・主席研究員 秋元 圭吾 参考人

カーボンニュートラル実現への展望については、理想と現実のギャップを理解しつつ柔軟性を有した実効性ある対策が必要である。

世界主要国のCO₂排出量は、全体基調として増大を続け、GDPとCO₂排出量の連動も続いている。また、一人当たりの消費ベースCO₂排出量⁷は、欧米の多くの国でか

イト<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso_tukurikata.html>。

⁷ 当該国内で消費した財・サービスについて、それらに関わるCO₂排出量を推計したもの。通常の統計におけるCO₂排出量に相当するのは生産ベースCO₂排出量で、当該国内で財・サービスを生産した時に燃焼した化石燃料からのCO₂排出量を計測したものである（経済産業省環境イノベーションに向けたファイナンスのあり方研究会（第1回）（令4.2.17）資料5「消費ベースCO₂排出量の動向：製造業の国際拠点の変化の影響」（秋元圭吾委員プレゼン資料）<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/kankyo_inn

なり多い。これは、エネルギー多消費産業、CO₂原単位⁸の高い産業が海外に移転して物の形で買っており、代わりに金融等のサービス業でGDPを稼ぐ構造になっているためである。よって、見掛けのCO₂排出量に捕らわれずに、世界全体でCO₂をどう削減するかを考える必要がある。

パリ協定の下で各国が提出している2030年のNDC（国が決定する貢献）を積み上げても、パリ協定の2℃目標、1.5℃目標とは大きなギャップがある。中国、インドといった非常に排出量の大きい国が大幅削減しない限りこのギャップは埋まらない。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の統合評価報告書で示された、気温が1.5℃を超えずに安定化していくシナリオでは、2035年に世界で求められる水準は2019年比60%減とされているが、実際には既にはば1.5℃に達しており、このシナリオの達成は困難と見られる。

他方、長期的に考えると気候変動には非常に大きなリスクがあつて気温の安定化は重要であるため、カーボンニュートラル達成はいずれ目指すべき道である。まず、省エネに取り組むことが重要である。しかし、既に省エネが相当徹底しているエネルギー多消費産業においてはかなり困難である。そのため、社会全体でエネルギー構造や産業構造を変えていく手段、例えばDX活用によるシェアリングエコノミーやサーキュラーエコノミーといったものの実現を追求していくことが重要である。また、エネルギーは、原子力、再エネ、CCS⁹付き化石燃料の原則三つしかなく、どう組み合わせしていくかが大事である。また、カーボンニュートラルには植林、BECCS¹⁰、DACCS¹¹等のオフセット手段も含めて考える必要がある。さらに、国内で再エネが十分使えない若しくは高い、又はCCS適地が国内に少ないということであれば、海外の再エネや海外のCO₂貯留層を利用するという手段がある。この場合再エネ由来なら、グリーン水素やグリーンアンモニアに変える、CO₂を合成して合成メタン(e-methane)や合成燃料(e-fuel)にするという手段もある。こうしたものをどう組み合わせで強靱な取組としつつ、リスクを分散させながらCO₂を減らしていくかを考える必要がある。

原発は、IEAが2050年ゼロエミッション達成に最低限必要な設備容量等の見通しを公表しており、主要先進国は微増から横ばいだが、新設はかなり増えるとしている。こ

ovation_finance/pdf/001_05_00.pdf>。

⁸ CO₂排出量／生産活動量。(小田潤一郎・秋元圭吾「炭素価格の概念及び炭素価格水準・政策実績評価に関する研究事例」『日本LCA学会誌』13巻1号(平29.1)36頁)。

⁹ 「二酸化炭素回収・貯留」技術(Carbon dioxide Capture and Storageの略)。発電所や化学工場などから排出されたCO₂を、ほかの気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入するというものである(資源エネルギー庁ウェブサイト<<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ccus.html>>)。

¹⁰ バイオマスの燃焼により発生したCO₂を回収・貯留する技術(経済産業省ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会(第2回)(令5.3.29)資料2「ネガティブエミッション技術について(DACCS/BECCS)」(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)技術戦略研究センター(TSC)提出資料)<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/002_02_00.pdf>)。

¹¹ 大気中のCO₂を直接回収し貯留する技術(経済産業省ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会(第2回)(令5.3.29)資料2「ネガティブエミッション技術について(DACCS/BECCS)」(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)技術戦略研究センター(TSC)提出資料)<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/002_02_00.pdf>)。

のことは主要先進国でもカーボンニュートラル対応で原発の重要性が増していることを反映している。

再エネは、太陽光、風力共に順調にコストが下がって化石燃料発電の平均単価を下回る水準になってきており、競争的な電源であることは間違いない。ただ、日本と世界との価格差はまだ大きい。これには自然環境の条件も重なっており、努力しても超えられない部分があるものと考えられることから、海外の再エネを使って水素やアンモニア、合成燃料系に変えて輸入した方が経済効率的な可能性もある。そうしたオプションを含め、全体最適を考えていくことが重要である。

再エネの拡大は必須である。しかし、再エネは設備利用率が非常に低いことから、費用便益分析をしっかりと行った上で必要な系統増強をしていくことが重要である。IPCCは、再エネのコストをかなり安いとしているが、これには系統連系コストは含まれていない。日本は系統連系に係る統合費用が大きいので、どのようなコストが掛かってくるのかをよく理解しながら適正な展開を図っていくことが重要である。

カーボンニュートラルの実現には、省エネ、再エネ、原子力、CCUS¹²、CO₂除去技術、水素系燃料、電化といった様々な技術が必要で、どれも排除することなく取り組む必要がある。とりわけ資源に乏しい日本は、技術のより好みをしている状況ではなく全方位で考える必要がある。当初は電化及び再エネ一辺倒だった欧州も、CO₂が減少しないことによりやがて気付く始めて、急速に全方位に変わっている。日本は言うことは常に慎重だが、欧州よりも立派に実現しており、しっかり取り組んでいくことが重要である。

また、カーボンニュートラルの実現には移行過程が重要で、e-methaneやe-fuel、アンモニア等は既存インフラを利用して混合比率を変えていけることから、こうしたものも含めて、戦略を総合的に考える必要がある。

つばめBHB株式会社名誉会長 渡邊 昌宏 参考人

110年程前に開発されたアンモニア製造技術であるハーバー・ボッシュ法（HB法）と比べて低温・低圧でアンモニアを合成できる技術の社会実装を当社は目指している。

アンモニアは世界で2億t生産されており、その約85%は農業用肥料に使われている。今後は2030年、2050年に向けてCO₂フリー燃料や水素キャリアといった形でも使われていくと想定されている。

日本の現在のアンモニアの国内生産量は80万t弱、使用量は100万tである。経済産業省は、使用量が2030年に300万t、2050年に3,000万tへと増えると想定している。これだけの量のアンモニアが必要になれば、海外の再エネで生産して輸入することとなるため、できる限り海外で日本の技術が使われるようにして、そこで生産し輸入することが

¹² 二酸化炭素の回収・有効利用・貯留（Carbon dioxide Capture, Utilization or Storage）の略語で、火力発電所や工場などからの排気ガスに含まれるCO₂を分離・回収し、資源として作物生産や化学製品の製造に有効利用する、または地下の安定した地層の中に貯留する技術（環境省「CCUSを活用したカーボンニュートラル社会の実現に向けた取り組み」〈<https://www.env.go.jp/content/900440703.pdf>〉）。

重要だろう。

当社は、脱炭素アンモニアが必要な地域に、必要量を安定的に供給することで、世界の食料危機の改善に寄与できるのではないかと考えている。そうした意味で、グリーンアンモニア（太陽光、風力、水力といった分散型再エネを使って水を電気分解して水素を生産し、空気中の窒素を取り入れる）の製造設備を農地の中に整備すれば、アンモニアの輸送コストは全く掛からなくなる。例えば500 t程度のアンモニアが必要な場合、35 m²程度あればアンモニア製造設備を農地の一角に整備することで、十分にその地域の農業を賄える肥料を生産できる。

当社は現在、アンモニアの大量生産を可能とする新たな触媒の開発を、国のグリーン投資スキーム（G I S）及びグリーンイノベーション基金を用いて進めている。これまで当社が使用している触媒はルテニウムという非常に高価な希金属のため、ルテニウムを使わない触媒開発に取り組んでいる。また、2023年には株式会社 I N P E Xのアンモニア実証プラントを受注した。ここでは天然ガスから水素を生産し、そこで出たC O₂をC C Sで地中に埋設し、当社はその水素を使ってアンモニアを生産する予定である。ただ、電気料金が高いため水素価格が非常に高くなるという大きな問題があって、市場流通するような価格で生産できるかという点と非常に難しい。

当社の技術を、電気料金の安いところで活用するため、2023年1月、U A Eのアブダビ国営石油会社と共同スタディ契約を締結した。また、アンモニアによる農業貢献のため、2022年6月にラオスのグリーンアンモニア関連の調査事業に関する協力覚書をラオス政府と交わした。今注目しているのは南米である。特にブラジルはサトウキビ栽培が盛んだが、アンモニア入手に多額の費用が掛かるため、当社の設備導入の話を進めている。さらに、ポーランドの企業と共同し、ウクライナのブチャ市の再エネ暖房システム整備という新たなプロジェクトを手掛けようとしている。

今後、日本はアンモニアを輸入に依存する体質で大丈夫なのかを早急に議論する必要がある。輸入の際は、相手国が非常に重要になる。また、自国で生産するためには、電気料金の低減化が絶対必要である。

日本発の技術でアンモニアを世界に広げていくには、市場の創出を官民で実施できることが必要である。また、研究開発だけでなく事業開発まで含めた支援が必要である。なお、事業を行っている大企業の壁が非常に厚いため、大企業のイノベーションを創出できるような補助金によるファイナンス支援が必要である。

一般社団法人Climate Integrate代表理事 平田 仁子 参考人

気候変動の問題は、大量の化石燃料を燃やしてC O₂を排出する人間の活動に起因する人災である。産業革命以来、世界の平均気温は2023年に1.45℃上昇し既に1.5℃目標に近づきつつある。このままでは気温が2.5～2.9℃まで上昇し、極端な高温や大雨といった事態に見舞われる。

気候危機回避に求められることは、まず、1.5℃上昇を抑える努力を諦めてはならないということである。2030年までに世界の温室効果ガスの排出をほぼ半減することが重要

だが、現実とのギャップが非常に大きい。

石炭、石油、ガスからのCO₂排出を1.5℃目標に整合させるためには、急速な排出削減が必要で、最大の排出原因である石炭に至っては、2030年までの7年弱で8割の排出削減が必要となる。石炭火力発電を優先的に減らすことはG7でも合意されている。日本は化石燃料のほぼ100%を輸入することで各国の化石燃料生産を支えると同時に、途上国の化石燃料を基本とするインフラ開発を支援してきたため、今後の途上国支援は化石燃料から脱炭素型に転換していくことが重要である。

こうした状況を前提に、脱炭素社会の実現に向けた論点を説明する。1点目は、化石燃料から脱却するシステムチェンジに勇気を持って取り組むことである。重要なことは、使用するエネルギーを最大限に少なくして高効率化を進め、再エネを使用し、更に可能な分野で電化をするという流れである。2点目は、化石燃料を大量に使う既存インフラから脱炭素型インフラへの転換である。根本的な変革が必要な領域は、エネルギー、工場・公共施設を含む住宅・建築物、運輸、食のシステムと、いずれも経済を支える柱である。3点目は、温室効果ガスの大規模排出源を確実に削減へ導いていくことである。日本の大規模排出源は火力発電、運輸、鉄やセメント等の製造業である。経済を支えてきたこうした大事な分野を、十分に、速やかに、痛みを伴わず、むしろ経済を育成しながら転換していくのが中核となる。4点目は、水素・アンモニア等の作り方について、クリーンなのは再エネから製造したもののみであるということである。5点目は、価格が高く扱いが難しい水素・アンモニア等の使い方については、肥料や製鉄、化学原料、大型船や航空機等、本当に必要な用途に絞って推進していくことが重要である。6点目は、導入するエネルギーは再エネということである。米国ローレンス・バークレー国立研究所の2035年日本の電力部門の脱炭素化の可能性に係るシナリオ分析によると、再エネを2035年までに70～77%程度導入するシナリオが最も安価となった。このシナリオにおいて最大の役割を果たしていくのが洋上風力発電である。現在、政府は再エネ推進の一方で、火力発電へのアンモニア・水素混焼という最も費用的には競争力のない分野に投資しようとしているが、ほとんどCO₂が減らず、その投資の妥当性は再考が必要である。7点目は、住宅・建築物のゼロエミッション化である。日本はこの部分の対策が遅れているためにポテンシャルが大きい。更なる高断熱化を速やかに進めることで、健康的にCO₂を大きく削減する道ができる。

以上を踏まえた提言として、一つ目は、国の目標と政策を1.5℃目標に整合させることである。目標の目安としては、温室効果ガス排出削減は2035年に70%減、2040年に80%減、再エネについては2040年にほぼ100%を目指すことを提言する。二つ目は、第6次エネルギー基本計画の再エネ主力電源化・最優先の原則の実現を図る制度強化を丁寧に進めることである。太陽光発電の出力抑制も行われているが、コストの市場メカニズム、再エネの優先使用によって、再エネを抑制することなく、より上手に使用できる。またセントラル方式の導入、浮体式の高い導入目標を掲げることで、洋上風力発電産業の育成という明快なシグナルを市場に示すべきである。三つ目は、住宅・建築物の断熱を強化して、新築の建物には再エネ導入を義務化することである。四つ目は、脱炭素技術の

再選定の必要性である。GXは総花的な支援だが、本当に重点を置くべきところはどこか、新たな目標と方向性を持ってその都度見直すべきである。そして、しっかりとしたカーボンプライシングで市場全体に脱炭素化を進めていくシグナルを発信すべきである。五つ目は、化石燃料の資源開発からの脱却をいかに進められるかに力を傾注すべきである。そして、途上国の脱炭素化を進めるような支援を大きく拡大すべきである。

(イ) 質疑の概要

参考人の意見を受けて、日本の技術力や産業構造を踏まえ脱炭素化に向けて協調関係を取っていくべき国や地域、メタネーション技術のメリット及び社会実装に向けた課題、アンモニアの国内生産のため重点を置くべき日本の取組、地熱発電のポテンシャルについての見解、製品等の創出過程を脱炭素化しても新たな価値が生み出されるものではないとの現実を直視した政策の必要性、地域と共生した再エネの普及の必要性及び普及促進に必要な政策や課題、脱炭素の価値を織り込んだ商品等の普及に必要な需要者視点に立った価値創造の在り方、途上国と日本のカーボンニュートラル目標年の相違による不利を踏まえ求められる取組等について質疑が行われた。

ウ 資源エネルギー分野のイノベーション（令和6年4月17日）

(ア) 参考人の意見の概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所理事長兼最高執行責任者 石村 和彦 参考人

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」という。）は、研究成果で社会課題解決と産業競争力強化を行うというミッションの下、主に実用化に近い研究を実施している。

我々の大きな目標は、産総研が中核となって企業や大学、公的機関とも連携しながら、日本の中に次々とイノベーションが生み出される「ナショナル・イノベーション・エコシステム」を作っていくことである。その実現のためには、研究成果の速やかな社会実装が不可欠である。そういう意味では、社会のニーズから研究をしていく必要があり、実施機関として2023年に株式会社AIST Solutionsを設立した。同社が社会課題に貢献する事業を提案し、産総研がそれに必要な研究開発を行っていくこととしている。

カーボンニュートラルの実現に向けた産総研の取組を紹介すると、まず、国家戦略に基づく技術開発がある。国の革新的環境イノベーション戦略で世界のカーボンニュートラルを可能とする革新的技術として設定された39テーマのうち、34テーマは産総研が関与して取り組んでいる。

国家戦略に基づく技術開発の代表例を五つ紹介する。一つ目は、ペロブスカイト太陽電池である。軽くてどこにでも付けられることから、自動車、耐荷重の低い工場や倉庫の屋根、ビル・住宅の壁面等へも設置できる太陽電池として期待されている。産総研は独自材料を開発し、2030年の本格的な社会導入を目指し、耐久性向上、量産化、大面積化に関する研究開発を進めている。二つ目はアンモニアである。産総研は東北大学と共同で100%アンモニア燃料のガスタービン発電に世界で初めて成功し、2025年の実用化

を目指している。三つ目はe-fuelである。産総研は低コスト化に向けた世界的に見ても新しい効率的なe-fuelの一貫製造プロセスを開発している。2024年中のベンチプラントの運転開始を目指している。四つ目はCO₂を大気から直接分離・回収するDACである。産総研では、熱を必要とせず、高い選択率で大気中のCO₂を濃縮できるモジュールの開発を進めている。五つ目は水電解装置の性能評価である。再エネの大量導入という状況を想定し、大型の水電解装置の性能を評価できる世界的にもユニークな拠点を構築して活用することで、関係企業と共に実用化に向けた実証研究を進めていく。

次に、企業との共同研究の例を二つ紹介する。一つ目は、水素を活用したビルのゼロエミッション化を可能にする水素エネルギー利用システムの開発である。二つ目は、国内で下水汚泥を水素等に転換する独自の装置やプロセスの開発である。この技術によって、下水処理場の省エネや低炭素化が可能になる。現在実証化に向けてフィールド試験を計画中である。

続いて、共通基盤データの整備・提供に関する取組を紹介する。カーボンニュートラルに向けて、各製品に起因するCO₂排出量をいわゆるカーボンフットプリント¹³で可視化し、低炭素製品が選ばれるようにすることが重要である。カーボンフットプリントの算出には、サプライチェーン全体のCO₂排出量を見積もる必要があり、信頼できるデータベースが必要である。産総研は、ほぼ全ての種類の製品や原材料のCO₂排出原単位を網羅したIDEAという世界3大データベースの一つを作成・提供している。日本の製品が競争力を持つには、その優位性が適正に評価される必要がある。そのためにも、フェアな正しい計算方法と実態を正確に表したデータベースが世界で使われるようにしていくことが重要であり、IDEAが世界標準になるよう取り組んでいる。

海外企業もカーボンニュートラルの動きを積極的に捉え、市場獲得に向けて技術開発を精力的に実施している状況がある。また、各国政府もそうした企業に多額の支援を行っている。そうした中、日本もスピード感を持って研究開発を進めていくことが重要である。また、開発した技術で海外市場を獲得できるかどうかは国際的なルールに依存するところが大きいことから、日本がルール作りをリードしていくことが重要である。例えば国境調整付きのカーボンプライシングは一つの合理的な手法である。あわせて、IDEAのような合理的なカーボンフットプリントの算出方法を国際的なルールとすることによって、国際的にフェアな課金を実現していくことが重要である。

東京工業大学科学技術創成研究院特命教授・全固体電池研究センター長

菅野 了次 参考人

現在、EV、電力貯蔵等での利用を目標に電池の開発競争が激化している。通常、電池には電解液を用いるが、その液体部分を固体にしようという基礎研究の取組を紹介す

¹³ 製品やサービスの原材料調達から廃棄、リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通して排出されるGHG（筆者注：温室効果ガス）の排出量をCO₂排出量に換算し、製品に表示された数値もしくはそれを表示する仕組み。（経済産業省、環境省「カーボンプットプリント ガイドライン」（2023年5月）〈https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_footprint/pdf/20230526_3.pdf〉）

る。

固体電池は1970年代から開発が進められていたものの、エネルギーを蓄える電源の主力となるとは考えられていなかった。これまで不連続な様々な発見、発明があったが、特に我々が2011年に固体電解質のLGPS物質系（リチウム・ゲルマニウム・リン・硫黄で構成）を発見し、この物質が液体電解質以上のイオン導電率を持つと報告したことがターニングポイントとなって、産業界が開発に乗り出し、現在の状況にある。

電池の電解質を液体から固体にすることで、多くのエネルギーを詰め込むことができる、安全性が向上する、充電が早くできるなど、様々なメリットが期待できる。

電池の開発者にとっては、今後100年にわたってリチウムイオン電池が主力電源であるべきかという基本的な問いがある。次の電池が次の時代を担うべきとの考えが、次世代の電池を開発するモチベーションになっており、その一つに固体電池がある。

固体電池実現の鍵は、固体の中をまるで液体の中のようにイオンが動く物質をいかに探すかである。

我々の研究を振り返ると、2000年に基となる材料を開発し、2011年に液体電解質並みの材料を発見し、2016年に材料を少しバージョンアップして固体電池を作り、全固体電池が高出力特性に優れていることを基礎研究で初めて明らかにし、その優位性を提案した。さらに2023年にはリチウム金属を負極に使うなどして、次世代の固体電池の存在を報告した。高出力で高エネルギーな電池ほどエネルギーデバイスとしての特性が優れており、リチウムイオン電池は双方共に良い大変優れた電池ではあるが、固体電池はそれ以上に高出力で、充電速度も速くなる可能性があることを基礎研究の段階で示すことができた。これ以降、固体電池を次のエネルギーデバイスとして見てもよいのではないかという雰囲気になった。

電池を実用デバイスにするには電池の製造プロセスが非常に重要である。このプロセスは日本の産業の非常に強いところで、これを最大限活用して開発が行われている。新たな形態の電池の開発には様々な課題が存在するが、課題が明らかになれば、日本の技術者は大変優秀なため、いつの間にか解決するのではないかと楽観的に見ている。2023年まで産学連携のプロジェクトを進めてきた。そこでは産業と基礎研究者が一緒になり、競争領域ではなく協調領域の開発を行い、我々の成果を産業にフィードバックするという取組を行ってきた。産業と基礎研究との会話が大変重要であるということを述べておきたい。

今後、電池の特性が向上すれば、これまで考え付かなかったデバイスが可能になることもあろう。そのため、基礎研究、そしてそれを産業に展開する開発研究がますます重要になると考える。

山梨県公営企業管理者 村松 稔 参考人

山梨県は、2012年に東京電力株式会社（現東京電力リニューアブルパワー株式会社）と共同して甲府市の米倉山に10MW（当時国内最大級）の太陽光発電所を設置した。これを契機に、将来的に再エネの導入拡大を図っていくことを想定したときに、特に太陽光

発電は出力の調整ができず、出力自体も大変不安定という欠点を克服しなければ効率よく再エネの導入が進まないという問題意識から、蓄電技術に着目した研究開発に取り組んできた。そして水素については、2016年度から企業、研究機関と共同し、国の支援等も受けながら取り組んできた。

水素エネルギーは、カーボンニュートラル実現のためのキーテクノロジーの一つとして世界中から注目を集めている。水素は、化石燃料の改質や水の電気分解等、様々な資源や方法により生成できるため、国際情勢の影響を受けやすい石油等に比べて安定的に調達できる可能性が高いと考えられる。また環境面では、エネルギーとして利用する際に地球温暖化の一因であるCO₂を一切排出しない。さらに、電力や熱エネルギー等、幅広く利用でき、余剰の再エネを活用して水素を製造、貯蔵しておき、大規模停電や災害等の非常時に活用するといった使い方も可能となる。我々が開発したシステムは、太陽光等の再エネ由来の電力で水を電気分解してグリーン水素を製造するもので、電力から気体の水素を作ることからパワー・ツー・ガス（P2G）と呼称している。

やまなしモデルP2Gシステムにより、太陽光発電による電力供給量が多く価格が低廉な時間帯に水素を製造することで、より安価な水素製造が可能になる。また、デマンドレスポンス的な運用により、太陽光発電の出力制御等の問題の解決にも寄与できる。さらに、エネルギーの地産地消の推進やエネルギー安全保障の強化への貢献が期待されるとともに、熱エネルギーを多く使用する工場等にP2Gシステムを設置してグリーン水素を供給することにより、再エネ由来の電力の活用等と組み合わせた、より完全に近い形での脱炭素化が可能と考える。

2050年カーボンニュートラルの実現に向けては、省エネの取組と再エネの利活用の徹底的な追求によって、化石燃料への依存度を低減することが不可欠である。我々が開発したP2Gシステムにより、再エネ由来の電力でグリーン水素を製造し化石燃料に置き換えていくという間接電化の推進によって、CO₂の発生を大幅に削減することが可能となる。

米倉山で製造した水素は2021年6月から県内外の工場等へ輸送、利用され、グリーン水素の製造から輸送、利用までを通じたサプライチェーンの社会実証の取組が行われている。そして、この一環として、利用する水素がグリーンであることを証明する山梨県知事名義の証書を山梨県独自の取組として発行している。

水素社会の実現に向けて、米倉山での開発実証の成果を広く国内外へ普及させるため、2022年2月に株式会社やまなしハイドロジェンカンパニー（YHC）を設立し、新たな技術開発や国内外へのシステム導入に取り組んでいる。

現在進行中の国内プロジェクトについては、システムの大容量化を目指す取組として、山梨県北杜市のサントリー天然水南アルプス白州工場等に国内最大規模となる16MWのP2Gシステムの導入を進めており、2025年の稼働を予定している。製造したグリーン水素を水素ボイラーの熱源として活用する予定である。

また、コンパクト化の取組としては、2024年2月に大成ユーレック株式会社川越工場に500kWワンパッケージモデルを導入し、製造されるグリーン水素をコンクリート養生

用の熱源として利用することとしている。海外事業としてはインドとインドネシアにおける事業化可能性調査がある。

大規模かつ効率的な水素等サプライチェーンの構築に向けて、国は、大規模発電利用型、多産業集積型、地域再エネ生産型の三つのイメージ例を示しており、やまなしモデルは、地域再エネ生産型を担い得ると考えている。そして輸入水素の活用を前提とする他の例と並行して、地域再エネ生産型の供給拠点を全国各地にバランス良く整備していくことで、国全体として着実な水素利用が図られていくものとする。

こうした取組を通じ山梨県及びYHCは、国における施策の動向を注視しながら、速やかに価格差支援制度等の募集にエントリーできるように、現在、水素のオフテイカー（引き取り手）となるパートナーを募集している。やまなしモデルP2Gシステムの国内外への普及拡大に取り組み、カーボンニュートラル社会の実現に積極的に貢献していきたい。

（イ）質疑の概要

参考人の意見を受けて、日本のオープンイノベーション関連研究開発費の少なさに係る見解、次世代の研究者・技術者の育成等後継者の課題、全固体電池が実用化された際の将来像、広域自治体・基礎自治体各々で実現可能な電源施策及び連携の重要性、CO₂排出量に応じた製品への国際的にフェアな課金は困難との前提での研究開発・実装の必要性、地域共生の再エネ普及の必要性・課題・可能性に係る見解、水素輸送コスト低減策及び新たな水素供給事業者への支援策の在り方、再エネ安定化に向けた産業総合研究所の研究及び実用化に向けた課題、CO₂排出量可視化のために産業総合研究所が作成するIDEAが世界で支持されるために必要なこと等について質疑が行われた。

（２）政府に対する質疑

これまでの調査を踏まえ、令和6年5月15日、エネルギー安全保障・脱炭素社会をめぐる内外情勢、電力システム改革の概要、資源エネルギー分野のイノベーション、気候変動対策・SDGs目標をめぐる内外情勢及び日本の取組等について政府から説明を聴取した。続いて、地熱発電の更なる導入拡大のための方策、核融合技術開発に係る国内外の取組の現状及び日本の今後の展望、エネルギー自給率向上のために国が取り組むべき重要施策、カーボンニュートラルの実現に向けた取組が遅れている国・地域に対する日本の支援策、次期エネルギー基本計画は特定電源最優先にしない計画とする必要性、次期エネルギー基本計画の策定プロセスに子供・若者を参画させる必要性等について質疑が行われた。

（３）委員間の意見交換

1年間の調査を踏まえ、令和6年5月15日、中間報告書の取りまとめに向け、委員間の意見交換を行った。委員からは、エネルギー安全保障の確立及びその確立に向けた国際協調の必要性、エネルギー安全保障の確立及び国内産業発展のために再エネ設備の国産化を促進する重要性、化石燃料依存の国の形を変えるための国産エネルギー開発の重要性、多

様な電源の組合せによるエネルギーのベストミックス創造の必要性、ハイブリッド市場の概念が必要との総括の上に立って電力システム改革の検証を行う必要性、原発推進・石炭火力発電維持の方針を見直して再エネの最大限の普及拡大を図る必要性等について意見が述べられた。

（４）主要論点別の整理

上記の調査を踏まえ、本調査会における議論を七つの主要論点別に整理した。その主な内容は次のとおりである。

- ・エネルギー安全保障として、エネルギー安全保障をめぐる情勢、日本のエネルギー安全保障、エネルギー自給率について整理した。
- ・エネルギー政策として、エネルギー政策をめぐる情勢、エネルギー基本計画、電力システム等について整理した。
- ・再生可能エネルギーとして、主力電源化、再エネ発電コストについて整理した。
- ・イノベーションとして、イノベーションをめぐる情勢、水素・アンモニアについて整理した。
- ・原子力政策として、原子力をめぐる情勢、使用済燃料、原子力人材について整理した。
- ・脱炭素社会として、脱炭素化をめぐる情勢、脱炭素化と日本、脱炭素化とエネルギー、カーボンプライシングについて整理した。
- ・人材育成について整理した。

３．おわりに

エネルギーの安定供給は必須であるが、日本はエネルギー自給率が低く、石油、LNG等の化石燃料の輸入に大きく依存しており、海外情勢の影響を受けやすい。エネルギー供給の不安定化によるリスクを回避するためには、徹底した省エネと併せて、エネルギー危機に強い需給構造へと転換する必要がある。

同時に、気候変動問題への対応として、再エネや原子力、水素など様々なエネルギーやオフセット技術を活用してエネルギーの脱炭素化も進めなければならない。また、更なる脱炭素化のためには、イノベーションの促進も不可欠である。

現在、政府ではエネルギー基本計画や地球温暖化対策計画の見直しの議論が進められている。また、次期NDCとして2035年目標を2025年2月までに国連に提出する必要がある。次期エネルギー基本計画とNDCの策定における政府の検討内容を踏まえつつ、2050年カーボンニュートラルに向けてエネルギーの安定供給と脱炭素化の両立のためにはどのような取組が求められるのか、本調査会においても更に議論を深める必要がある。

（いかり たけと）