

2020年度第2回シンポジウム（第10回 ESI シンポジウム）

「2050年のエネルギーと社会：選択肢の深掘り」

[開催日]2021年2月4日(木)13:00~17:45

[場 所]オンライン開催

[登壇者]

振り返り（第1回登壇者）：日比野 剛、杉山昌弘、黒沢厚志、松尾雄司、鹿園直毅

パネリスト：安田 陽、柴田善朗、下田吉之、大聖泰弘、小野 透、岩船由美子、

前回登壇者、パネリスト

モデレータ：荻本和彦

開会

荻本：これからパネルディスカッションを始める。本日は前回第一回シンポの講演者・パネリストにまず前回の振り返りをお願いし、その後今回の講演が行われた。本日のパネルディスカッションには、前回の講演者・パネリストに、今回の講演者に岩船先生が加わって行う。議論は、以下の三つの論点について行う。

論点1：Carbon Neutral に向けた持続的導入の条件は？

論点2：温暖化ガス排出削減だけではない付加価値は？

論点3：まとめとして、取り組みの加速のための「次の一手」

(前回の振り返り)

12月10日第1回シンポ「エネ需給分析」からの振り返り
東京大学 未来ビジョン研究センター 杉山

- **社会が望むのは脱炭素社会への移行だがよく用いられるモデルによるシナリオ分析は直接問いに答えない**
 - 経済学・工学的なシナリオ分析は有用だが移行の社会学・心理学・政治学的側面は分析できない
 - 「脱炭素は実現可能か」という問いは社会学・政治学の範疇でシナリオでは回答不可
- **そもそもシナリオ分析自体にも様々な限界・問題がある**
 - 問題1：特定の研究機関、グループのシナリオだけ扱うと偏りがでる
 - 問題2：変化の速い技術には追いつくのが難しい（例：PV, シェールガス）
 - 問題3：シナリオは独り歩きしてコミュニケーションが難しい
- **こうした問題を踏まえて以下のような研究課題が考えられる**
 - 問題1への対応：モデル相互比較のトピックを拡充する（エネルギー・システム、再エネ、イノベーション、etc）
 - 問題2への対応：エネルギー技術のデータベースを作成・共有する
 - 問題3への対応：実験的アンケート等でシナリオ伝達を研究する

20210204 エネルギー・資源学会 & 東京大学生産研ESI社会連携研究部門 シンポジウム 2050年のエネルギーと社会：選択肢の深掘り

12月10日第1回シンポ「エネ需給分析」からの振り返り
エネルギー総合工学研究所 黒沢

- **低炭素から脱炭素へ：シナリオとモデル**
 - 将来になると拡大する不確実性 マルチシナリオ
 - 実行可能の定義 技術, 経済, 社会, 制度
- **脱炭素シナリオ実現のための条件**
 - エネルギーキャリア（電気, 水素, カーボンニュートラル合成燃料）
 - 生産側の低・脱炭素化, 需要側での利用拡大
 - 既存大規模インフラからの排出
 - 電化の難しい削減困難セクター 素材産業, 長距離運輸, 既築建築物
 - オフセット技術としてのネガティブエミッション
 - 技術開発と普及
 - 成熟技術普及, 技術イノベーション
 - トランジション 速度と大量導入
 - 実現のための社会枠組
 - 非国家主体 自治体, 企業, 市民のアクションが必須
 - ファイナンスと情報開示



a. 8

エネルギー・資源学会 & 東京大学生産研ESI社会連携研究部門 シンポジウム 2050年のエネルギーと社会：選択肢の深掘り

12月10日0第1回シンポ「電力需給」からの振り返り 日本エネルギー経済研究所 松尾

■ 脱炭素化社会に向けた電力部門のあり方

- ・電力需要は現状よりも増加する可能性が高い。
- ・全ての電力供給の低炭素電源化（変動性再生可能エネルギー、その他の再生可能エネルギー、原子力、ゼロ・エミッション火力）が求められる。

■ 変動性再生可能エネルギー大量導入の影響

- ・電力量のみならず、容量や調整力、供給安定性などの付加価値が重要となる。
- ・ゼロ排出電源、調整電源、貯蔵、送配電網の最適化が必要。
- ・導入場所／種別の優先順位を明確にすることが求められる。

■ 統合費用・電源別限界費用の分析からわかること

- ・特定の電源のみに偏重するとその限界費用が上昇する。
- ・このため、特定の電源に偏らないベストミックス（再エネ/原子力/ゼロ・エミッション火力と新燃料・新技術、太陽光/風力の最適比率）が存在する。
- ・太陽光・風力はともに数百GW規模が必要。但し陸上風力の導入可能量には限界がある可能性が高く、洋上風力も含めた最適化が重要。
- ・現状では評価例によって結果の相違が大きい。今後の研究の進展に期待。 9

12月10日0第1回シンポ「社会経済シナリオ」からの振り返り 国立環境研究所 日比野

1 将来の社会・経済シナリオ策定の背景

- ① 将来排出量の推計のための不確実な将来に対する対応
- ② 脱炭素ビジョンの共有

2. シナリオ分析の事例

- ① 対策シナリオ IEA WEO・ETP、EU・米国・英国の長期戦略
- ② 社会・経済シナリオ SHELL、IPCC SSP、環境省の各種検討

3. まとめ

- 社会・経済の二ーズがエネルギー消費を誘引する。このため、社会・経済的な状況は、エネルギー消費に大きな影響を及ぼすとともに、脱炭素対策の受容性や選択肢に対しても大きく影響を及ぼす。よって、将来におけるエネルギー消費やCO2排出量の分析を実施する上で、将来の社会・経済の姿を想定しておくことは必然である。
- 一方で、脱炭素社会という厳しい排出制約実現は、社会・経済に対して大きな変容を強いることになる。
- 社会・経済シナリオと対策シナリオは、一体として検討を行っていくことが重要である。

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(1-2002)により実施された。

12月10日0第1回シンポ「電力需給」からの振り返り
東京大学 生産技術研究所 鹿園

- **カーボンニュートラルに至るまでの途中の過程において、有効な排出削減への投資が不十分になる懸念**
 - ・ 再エネ移行が容易で、既存インフラも活かせる技術
- **非エネ起源温室効果ガス（特にHFC）が相対的に顕在化**
 - ・ キガリ改正（先進国は2036年までにHFCを85%削減）は、熱需要（空調や給湯等）を大きく変える可能性
- **民生や産業部門において需要の過半を占める熱**
 - ・ 「貯めやすく安い化石燃料の使い捨て」から「貯めにくいor高いエネルギーの投入抑制」へ
 - ・ 境界条件が変われば、技術もリセットされる可能性
 - ・ 需要サイドは規模・種類・用途が多様なので、特定の技術に賭けるよりも、必ず使用される共通基盤的技術（熱交換器やインバーター等）を強化すべきでは？
- **「擦り合わせが得意」は「要素の目標設定が苦手」の裏返しか？**
 - ・ 複雑システムにおいて個別要素に正しい目標を割り振るための分析ツールが不可欠
 - ・ 目標が決まれば強い

11

論点 1：Carbon Neutral に向けた持続的導入の条件は？

荻本：論点 1 に参りたいと思います。「Carbon Neutral に向けた持続的導入の条件は？」と言うのは、ガス排出削減を実現する。これを目標に置いたとして、それをうまくやるためにどんな条件を満たさないといけないのか。エネルギーの 3E+S ということを思い出していただくと、排出量を下げる、コストを削減するというパーツと、制約、規制、インセンティブといった経済性とは違う面、この 2 つの面が考えられると思います。パネリストの皆様には、それぞれのテーマで、この 2 つの側面についてご意見をお願いします。初めに各講演者の意見、次に自由討論に発展していければと思います。

安田：風力に限らず再エネをなぜ各国で導入しているかということ、特定の産業界を押し込めているのではなく、外部性の少なさ、どちらかと言えば公正経済学的な観点から進められているから。コストの問題は当然検討しないと行けないが、その前に今まで外部性がどうだったか、外部性が少なく、ベネフィットを国民、地球市民に与えられるものは何かという視点が必要。それ故に、各国の政府は規制という形で再エネの導入目標を決め、石炭の削減などを行っている。そのために風力がなすべきことは、ベネフィットと言う面では、如何にコストを下げていくかも大事だが、私の質疑でもあったように、系統増強についても特定の電源に対してコストとするのではなく、全体のベネフィットや社会コストの中から最適化を図っていくことが重要。

柴田：水素を含んだ新燃料はまだコストが高いというのはご認識のことと思います。

規制やインセンティブをどこに付けるかということにも関係してくる。例えば、小野様の講演にもあった鉄鋼分野では、まだまだ水素の利用は難しい。一方で、安田先生が仰ったように、再エネの大量導入で、国内で水素が作れる、これは、下田先生の議論とも関係してくる、民生でどのように使われていくか、特に地域で使う、大都市でいきなり使うのは難しい。地域の産業、民生のエネルギー構造がどうなのか、水素が良いのか、既存インフラがあればメタネーションまで持って行けばいいのか、そう言った適材適所がある。何でも水素、新燃料ではなく、地域の特性を考える。再エネが大量導入される場所、高い燃料を使っているところを対象にしようとか、できるところからやる。論点 2 にも絡むが、エネルギーインフラをどう活用して、転換していくかということも重要。下田先生が仰った街づくりもインフラと関係してくる。コンパクトシティでなく分散化というアイデアもある。インフラも含めて考えていくことは重要。

荻本：後の需要側の議論とも関係するかもしれませんが、ボリュームを確保しないと安くならない？比較的量がはけて安く導入できるところと言うのは考えるのでしょうか。

柴田：産業部門では燃料は安い、ボリュームは確保できる。一方、民生部門では、逆の立場。そこが非常に難しい。EU が言っているような、地方にある小規模な産業で、比較的高い燃料を使っているところがあれば、国内の再エネ水素を入れていく。ただ、マーケットが小さいので、2050 年のカーボンニュートラルにどこまで貢献できるかは、定量的な評価はできない。

下田：建物は個別の設計・施工、一品生産であるところが大きく違う。例えば、エアコンとか自動車では、政府が適切なシグナルを送れば、開発陣が良いものを作り、何万台と普及する。これに対して、建築では一気に全ての新築物件の性能が上がるのではなく、1 戸 1 戸、異なる設計士や施工者が担当しているので難しい。そこを変えていくためには、世の中の機運の醸成が必要。建物で脱炭素化と言え、冷暖房の設定温度と太陽電池くらいしか思い浮かばない人が多いので、省エネに関するいろいろな知識を獲得してもらうことが大事である。

荻本：家に手を入れようとする、誰に頼めばいいのか？よほど親しくないとも頼みにくい。いろんな人がチャンスを得られるようになりそうなのか、難しいのか？コスト以前で止まっている気がする。

下田：建物は、寿命が長いので、メンテナンスのためにいろいろ手を入れる必要があり、それが脱炭素化につながるのだが、一般の市民にはその術がわからない。車や電化製品であればメーカーのサービスセンターがあるが、建物はそれすらはつきりせず、システム化されていない。ただ、すべての住宅をプレハブメーカーが工場で作るというのも違うという議論もでてくる。

大聖：運輸部門は一言で言えない面がある。地域交通の問題から、長距離輸送の問題、またプライベートな一般消費者の使う乗用車から、事業者がものを運ぶために使うト

トラック・バスまで全体に違う。そのため、水素、電気、それから新燃料、いわゆる合成燃料があるが、これらの選択は一律にはいかない。近距離では電気を使うのが良いと思う。問題は、長距離輸送とか、プライベートユースで長距離を走るのに、どのエネルギー・燃料が良いかが問われている。次世代自動車では国の補助が付く。いわゆるエコカーの購入の補助や減免税制。ハイブリッドは、本格普及に10数年かかったが、税金の使い方としては成功例だと思う。ただし、これは日本固有の例で、ちゃんとした低燃費技術とコストダウンがあって、消費者もそれを選択した。グリーン税制として機能したものとしてタイムリーだった。一方、天然ガス自動車は普及が本格的には進まなかった。そういった意味から国の政策・補助の在り方が問われていると思っている。それから、もう1つ、自動車の付加価値のことだが、これからは、アクティブに事故を防止する高度な運転支援や自動運転の技術、さらにはモビリティサービス（MaaS）といったものが、今後電気自動車とともに普及していくと予想されるが、それらがどう省エネに繋がるか注視していく必要がある。

荻本：郵便や宅配は、電気が目立ってきており、業務用であれば走行範囲が大体読めるので、航続距離の問題も解きやすい。街中の業務用車両から電化を進め、全体を上げていく。一方、長距離はFCVを使うというところから始めてはどうか。将来、ゼロエミッションの技術の導入普及にどの分野を考えるのか。

大聖：先生の仰った通りで、長距離輸送ではFCVのトラックが登場している。近場の輸送は電気が良いという可能性がある。特にFCVが悩ましいのは、トヨタとか数社が出すのではなく、多数のメーカーが競うように出す状況が必要。トヨタも仲間を増やすためにいろいろな努力はしているが、他のメーカーの参入がないとコストは下がらないし、競争は適正に行われぬ。また燃料の供給体制も十分広がらない。

荻本：導入分野の焦点が絞られると制度の組み立てもやりやすくなる。インフラはどうでしょうか？充電も、水素充填も。

大聖：結局、電気も水素も供給側のビジネス成立性は非常に難しいのが現状で、成立にはかなり時間がかかる。電力にしても、先ほどの安田先生の話ではないが、インフラ整備が必要。急速充電も出力を上げて充電時間を短縮しようとすると、電圧を1,000Vに上げなければならず、トラックのような大型車両の長距離輸送では、それに対応した充電インフラの整備が課題となる。

荻本：そういうところは水素系の新燃料もありということになるかもしれませんか？

大聖：石油産業界の皆さんに伺うと、水素を取り扱っているものの、ビジネスとしては厳しいのが現状で、国の長期的な戦略と支援がないと続けられないと言う。

小野：コスト低減という意味では、水素還元製鉄みたいな超々革新的技術というものは全く目途が付いていない。いろんな課題があることがわかっている。一方で、水素とかアンモニアが本当に供給されるようになれば、既存の高炉を使って低炭素化の可能性はある。まずは、既存の設備を使って低炭素化していくというのが順当。制

約、規制、インセンティブという意味では（鉄の場合は、鉄だけではないかもしれないが）、「マーケットがグローバルである。隣に中国、韓国というコンペティターがあり、日鉄もインドに一貫製鉄所を持っている。」そういう状況でどこで作るかは自由、例えば、トヨタブランドも 1 千万台の内、700 万台は海外で作っている。そういう状況で誤った形で国内生産に対する制約や規制を入れるとカーボンリネージが起こる可能性があり、慎重にしないとイケない。

荻本：インセンティブはリスクは少ないが、規制はよく考えてやらない。

小野：国際炭素税というアイデアはあるかもしれないが、なかなか実行するのは大変だと思う。

荻本：スライドの上の 2 つはサプライ側、下の 3 つは供給側というふうに分かれています。よく質問を受けるのは、再エネ電気はそんなに入るのか？水素は来るのか？といったものです。安田先生にお尋ねします。私の計算だと、100G、200G の風力は欲しい。カーボンニュートラルを目指す場合、そういった量は可能でしょうか？

安田：可能性—実現可能性という点では、技術的なものと経済学的なものの 2 つがある。技術的な実現可能性では、環境省が毎年ポテンシャル調査をされているが、洋上風力では 1 年間に日本が使う電力量の軽く 3 倍、陸上でも 70% ぐらい取れことになっている。あとは、安いところから順に入れていく。決して楽観的な見通しは出来ないが、小野様が仰ったように既存技術を積み重ねるだけで、相当なところまでいける。もちろんそれでカーボンニュートラルを達成できるわけではない。先ず、今あるものから積み上げていくと風力は日本ではまだまだ伸びしろがある。

荻本：洋上で浮体式と着床式がある。浮体を入れると莫大に増える。世界的なプラクティスも含めて浮体式はどういう状態でどういう期待が出来るか？

安田：ヨーロッパは遠浅が多いので、浮体はまだやる必要がなく、まず着床式から始めたので、その方が安い。一方、日本は狭いと言いながら、着床式で建てられるところが十分あり、そちらが先行する。その上で 2030 年～2040 年までに 45G という目標になると浮体式が必要となる。浮体式はヨーロッパより先に開発を進めなければならない。開発の順番が遅れていると言うだけで、必ずしも浮体式が高いというわけでもない。着床式も陸上も最初は高かったが開発が進みコストが下がった。あとは、量産体制が取れるかどうか。それから政府の高い目標があれば、そこに投資が集中し、将来に亘る開発見込みでコストが決まる。

荻本：昔、浮体式か、着床式の空港かで議論になったという話もある。

荻本：次に新燃料については、輸入と国内での製造の二つの可能性があって、国内製造では、全部をまかなうと言うことは出来ない。今言われたような風力や PV が入ってくれば、かなり余ると言うことはありそうに思う。コストを考えた時、どこからどれくらい供給することになるだろうか？

柴田：供給源から需要地までの距離が問題で、運ぶためには水素ではなく違う形にした方が、新燃料全体という意味ですが、あとは需要をどう分散させるか。なるべくな

ら、水素は運ばずに距離が短いところで使う。水素やそれ以外が使える部門を特定して、それをインフラの形成、街づくりに反映する。足りない場合は輸入が必要になる。輸入も 1 万km以上かけて運ぶとなると大変になる。政府が目標としているコストはそう簡単に達成できるものにはなっていない。ただ、輸入が安いと言っても、逆に国際的な需給のひっ迫もあり、コストも上がる。単純に積み上げたコストを比較しているが、将来輸入が安いかはわからないから、国内で少しでもやっていく必要がある。

黒沢：柴田さんが仰った CCU は CO₂ を 1 回リサイクルするだけであると言われたのが印象に残っている。あと、ガスインフラの必要性も同感。エネルギーのフレキシビリティの向上には、水素を入れる入れないは別にして、ガスの広域インフラの整備が必用。建物で、規制の話になるが、今の省エネ法では、床面積あたりのエネルギー原単位でいろいろな基準が作られている。下田先生の話に関係するが、ヨーロッパだと CO₂ 原単位を使う事例もある。どれくらい規制を行うかはわからないが、ZEB、ZEH と併せて、そういう政策もあるのでは？

荻本：ZEB、ZEH では、とネット 0 とか、絶対 0 とか、マイナスとかある、風力を使うのであれば、CO₂ 原単位は必ずしも 0 でなくても良い。大きな都市、3 階建て以上の住宅や業務用建物では PV の導入量も限定的で、必ずしもそれ自体がいつも 0 になる必用はないと思う。規制とか、インセンティブもどういうものを見て、それをやっていくか、全部個別でやるのか、それともカーボンタックスとか取引の世界に持って行くのか、どうするといろいろな部門がうまく回るようになるのか。各々が背負いすぎてもいけないし、各々の努力が足りなくてもいけない。どういう制度、またはルール、インセンティブを作れば、が少しずつ改善するのか。

安田：1 番のソリューションは市場取引だと思う。建物の例では、都市部で再エネを導入するのはなかなか難しく、大きなビルではオンサイトの再エネで ZEB を達成するのは難しいということになる。このため、遠方から風力の電気を運んできて、それを市場取引する、それから調整力を取引する、それから環境価値を取引する。各々が個別に努力をするというだけではなくて、助け合って全体を最適化することが市場で生きることになる。

荻本：建物。運輸は今の話は乗れそうな話なのではないでしょうか。市場で、デマンドレスポンスがあるからそれにも貢献できるという話があるので、全否定では全然ないと思うのですが、そういう考えというのはいけそうなのではないでしょうか。

下田：オフィスビルなど不動産業が運営しているところは市場取引でいける。市民目線では、自分の家に太陽電池が載っている方がかっこいいとか、そういうもので値付けが変わるので、対市民、対家計の誘導はとても難しい。同じ建物でも、企業が運営しているところは市場の原理で動くと思うのですけれども。

荻本：プロの世界は理屈で回しやすい。

下田：先ほどの黒沢さんの質問に答えておきたい。床面積あたりと言うものですが。これ

は危険な指標だと思う。例えば、テレワークでほとんど人が来てないオフィスは床面積辺りのエネルギー消費、CO2 排出量が少ない。ところが、それに併せてオフィスを縮小して効率よく使うと増えてしまう。これまでは建物のエネルギー消費の基準が床面積でしか計れなかったから、床面積が基準となっている。他の例で言うと、文科系中心の講義室ばかりの大学でベンチマークが決められていて、そうすると理科系の実験室のある大学では守れない。それで区分をどんどん細かくしていくという話になる。本当は IoT の時代ですから、アクティビティ基準の評価が必須。そのような細かい難しい方向に行くのか？あるいはもっと簡単に評価していく方向に行くのか。評価のベンチマークの指標を決めることは難しい。

黒沢：エネルギーにしてもコロナで人がいなければ同じという話になるので、工夫が必要。

岩船：議論の全体からは、供給と需要をしっかりと結んで、安田先生が仰ったような費用対便益の評価も必要と思った。技術開発には時間遅れがあり、コストダウンがどう進むのか、それらを考慮に入れて、どんな順番でやるかを考えていく。最近、水素は脚光を浴びているが、効率や費用などを考えると、電化ができないところに適用することが本来目指すべき方向だと思う。そこも便益とのバランスで考えるべき話だと思う。総花的に資源を投入するのではなく、順番とか費用対効果とか検討すべきだと思う。供給と需要の両面のうち、供給の方はある程度政策的に誘導も出来るが、需要の方は難しい。下田先生が仰ったようにお金かけても思うようにいくものではなく、時間遅れが大きいので、どうすればよいかについてよい答えがない。民生部門は電化を進めるべきと思うが、いろいろなバリエーションがある。まずは、バリエーションをしっかりと認識して、それらに対処するための考え方の整理が必要。下田先生に伺いたいのは、住宅の中古マーケットをしっかりと作るべきと思うのですが、なかなか国交省とかで、中古の品質を上げる議論がされないという印象がある。新築の ZEH には熱心だが、中古市場の価値を高めれば、住宅の PV 導入や断熱性向上が進むのではないか。そこで打てる手はないでしょうか。

下田：中古市場を活性化させエネルギー効率を高める。まさにその通りなのですが、太陽電池を搭載する耐荷重性、燃料電池やヒートポンプ給湯機を入れるためのスペースの確保などが難しくなっている。新築建物を 40 年後に中古で売る時の価値を作るために行う政策としては良いが、現在の既築をリフォームして、コスト的に合うかは難しい。中古対策は 40 年後を見据えてやる必要があるが、それは既に 2050 年を超えているので、2050 年の対策には間に合わない。もう 1 つ、東京都の排出権取引制度がオフィスビルの省エネを進めたということについては、排出権取引制度を工場とかいろいろなものに一括して運用してしまうと、そこがネックになる場合がある。東京都がうまくいっているのは、ほとんどオフィスビルを対象としていて、オフィスビルは絞りどころがあったので、インセンティブが働いてうまく回ったという、東京の特性ではないか。それを工場の多い他府県にかけて同じ効果が得られる

かというとなかなか難しい。たぶん、部門別に異なる制度設計が必用ではないか

日比野：水素はまだ途上の技術で、有り余る水素が出来ると言えず、輸入は技術的な難しさに加え価格変動の問題もある。やはり、岩船先生の話にあったように電化を進め、それが難しいところに水素を適用するということだと思う。今後、ロードマップを見据えて技術開発を進めていく必要があると思う。根本的には如何にエネルギーを使わない社会を作っていくか、水素にも頼らない社会を作ることが問われている。いろいろなイノベーションも起こっており、発想も変えて考えることが必要。自動車は、大聖先生の話にもあった、自動運転、運転支援技術の向上が見込まれるという。片や、命の価格や、事故のコストが上がっていく。そうなると、通勤で、1 トン以上の物体と一緒に動いて通勤するのではなく、自動で行けるのであれば、パーソナルな方に全体がシフトするのがいいのではないかと、これだけオンラインで仕事をし、通勤も必要ないという話になってきたときに、くるま社会も変わってくる。下田先生の話にあった、低層の方が、ZEB、ZEH に適しているという話があると、鉄筋、セメントを使った建造物から木造へシフトする可能性もある。そうなると、鉄の需要も随分減らせることができ、水素需要も減ってくる。そういった社会の姿も検討していく必要がある。

安田：岩船先生から、「バリエーション」という重要なキーワードが出てきた。海外文献を見るとバリアスタディ、直訳すると、障壁研究というものがあり、ある技術が進まない理由は、技術だけでなく、規制や社会受容性であり、それらのバリエーションを分野を越えてつぶしていったことが、2000 年代の風力産業で見られた。イノベーションとか、規制、インセンティブの話もとても重要である一方、日本でもバリアスタディをやって行かないといけないと思った。

論点 2：温暖化ガス排出削減だけではない付加価値は？

荻本：論点 2 はやはり自然に出てきてしまうので、1 部でているんですが、温暖化ガス排出削減と言うものを目標にして、コストとか、制度側の話をバリエーションも含めて議論してきた。ただ、排出削減自体を目的で生きている人間はそう多くはない。みんなについてきてもらうためには、それ以外の付加価値というものも考えられないかというのがこの論点 2 です。

柴田：新燃料は、バッテリーと違ってエネルギーの長期貯蔵に適している。電池と違うのは、もののフットプリントの話と、もちろん住みわけはあると思うが、例えば水素を含む新燃料の長期貯蔵と言うこと。もう 1 つのメリットは、バッテリーの場合、稀少資源、電池の場合はリチウム含めて、レドックスフローのバナジウムなどの課題があるが、水素の場合は回避できる。燃料電池に使う白金もあるが、貯めるための課題ではない。レアアース等含めて、エネルギーでなく、マテリアルの輸入とかセキュリティの問題も出ると思う。水素は貯めにくいから、合成燃料にして体積を減らしてたくさん貯める。長期的に再エネを大量導入すれば、たくさん貯めて、い

わゆる無風状態に、長い期間で貯めたものを使えるのであれば、備蓄の考え方を含め、安定的にエネルギーシステムのバックアップができる。

荻本：需要側の話として、千葉の台風による長期停電があった。電化には、危険もあるとも考えられる。それを補うのが新燃料になるのか。マネージメントで破局的なところに行かないように一部の需要は抑えるが、重要な供給ポイントには、何かを貯蔵し自立できるようにするのか、

柴田：二重投資になるのは良くないが、異なるインフラも共存させてレジリエンスを高めると言う考え方には賛成する。

下田：昨年の千葉の台風での長期停電が頻繁に起こるのは良くないが、マイクログリッド的なもので地域全体で守るのか、拠点建物だけを守るのか、そういうレジリエンス・災害対応のシナリオを立ててエネルギーシステムを考える必要がある。もちろん、燃料を貯蔵して、ある程度供給できるようにする、電気自動車があれば、そこで給電するのに使う、電気自動車で安全なところに避難するなど、いろいろ考え方がある。

荻本：住宅の屋根に PV があって、コンセント付きのクルマが活躍したという経験談がある。

岩船：燃料は即座になくなることはない。完全に電気と水素だけになったら両方要と思うが、今からどういう方向を目指すかということ、基本は電化でいって、地震とか起こっても、復旧が1番早いのは電気だ。太陽光発電と蓄電池、EVとかでレジリエンスを高めていく方向はあると思うが、本当の非常時を考えれば、全部の家が多重化する必用はなく、レジリエンスを求めるばかりにコストとのバランスを考えれば合わない可能性がある。しかも家庭に来ているのは中圧管でなく、ガスにしても強いとは言い切れない。そのあたりのバランスは考えるべき。レジリエンスだから燃料多重化という考え方では、灯油、ガスと電気がいつまでも必要になってしまう。

安田：レジリエンスと言う意味では、燃料としてお湯を貯めることが、エネルギーの長期貯蔵になると思う。デンマーク等では、地域熱暖房の熱導管網が発達して、巨大な熱タンクがあり、冬には熱水、夏には冷水を貯める。熱貯蔵・熱供給は低コストであり、電化と熱供給というのは二律背反ではなく、どちらかといえば車の両輪。日本は熱政策が弱い気がするので、そこは考える余地がある。もう1つ、論点2の貯蔵にも関係するが、荻本先生が書いておられる調整力というのがいろんなところ出てくる、調整力をどう配分するか、みんなで出し合うかというのがキーワードになると思う。日本では調整力と言われているが、上位概念として柔軟性（フレキシビリティ）というのがある。最初の方の質問で、火力発電所の調整が不足したらどうするんだというのがあったが、調整にはいろんな手段がある。お湯、EV などデマンドレスポンスで調整するでも良い。最終的には水素のようなもので既設管に貯蔵するのも可能。最終的には如何にそれを組み合わせるか、さらに市場で取引するか、ということが重要になってくると思う。風力のところで、荻本先生から調整

力、供給と書いていただいているように、スペインとかイギリスでは風力が需給調整市場に参加し、出力下げ方向の調整力を提供する、出力抑制で風のエネルギーを捨てるのではなくて、調整力を供給して収入を得て、さらに抑制状態からは上げ調整力を供給できる。そういった統計データが出ており、再エネも含めて市場取引を通じて調整力を供給する。再エネですらそれが供給できるようになる。

小野：先ほどのレジリエンスの話で言うと、鉄のプロセスというのは溶けた鉄を扱い、あるいは一酸化炭素を含む副生ガスが製鉄所の中に多量にあり、停電というのは一番避けたい事象である。そのため、製鉄のプロセスで発生する副生ガス使う自家発電を持っている。一昨年の北海道のブラックアウトの時も製鉄所の中は停電しないし、そういった意味での構内レジリエンスは高い。将来水素還元製鉄になった時には、副生ガスがなくなり、電力は外部からの受電に頼るしかなくなる、電力の安定供給というのは今以上に重要になると思う。もう 1 つは水素の長期貯蔵の問題である。還元材である原料炭は大体 1 か月から 1 か月半くらいのヤードストックがあるのに対し、液体水素ではそんなに貯蔵できず、どのような形態で貯蔵するかとかの問題が出てくると思う。それから論点 2 の付加価値については、荻本先生が述べたように低炭素、脱炭素に向けた鉄鋼分野の貢献は製品によるものと思っている。先ほどのハイテンは、これからの EV にとって不可欠の電磁鋼板などの技術をさらに磨いていきたい。

黒沢：今まで話を聞いていて、個別ではなく全体として最適化できる仕組みが必要かと思う。流行りの言葉で言うと、セクターカップリングですとか、1 つの建物、地域だけでなく、広域で見えていくとか、両方の最適化を制度的に推進していくことが、お互いのセクターの向上につながると思う。

荻本：Q&A でいただいたもので「本日、最初の安田先生が『不確実性』を取り上げましたが、その後の議論では不確実性と効率性のトレードオフ、さらに効率性と分配の公平性のトレードオフが現れませんでした。この場合、評価関数は単一になりません。例えば、Energy Poverty の問題や世代間の分配の問題に、本日の議論は整合させられるのでしょうか。」という質問をいただいている。これは第 3 回シンポジウムに含めたいと思っていたことだが、どなたかコメント頂けないか。

安田：私の名前が入っておりますので私が。市場の効率性と公平性・分配の問題は一般には一致しない。効率性を求めて市場が完全市場になっても、公平な分配が達成されるわけではない。そこはまた違う問題になると思います。評価関数は単一ではないので、今後は Energy Poverty (エネルギー貧困)、すなわち適切なエネルギーが得られない方々とか世代間の分配を我々も一生懸命考えないといけない。世代間の分配については、先ほど申しあげた外部性、現世代あるいは過去の世代が出した外部性をできるだけ将来に持ち越さないことが世代間の問題に大きく関係すると思う。今のところ言えるのはこの程度です。

下田：問題を小さくしてしまうかもしれないが、エネルギー問題の不確実性かわからず、建

物にスライドで示された機能が付くこと、建築物の省エネルギー化は、確実に後悔しない政策なのです。どのような変化があっても、Energy Poverty というのも暖房のエネルギーですから、省エネルギー性の高い住宅は Energy Poverty の解消にもつながるし、今省エネルギーでない住宅を建てると、その次に住んだ人が40年後に高い光熱費と改修費を払うことになるわけですから、今すぐにやるべき理由の1つになる。

論点3：まとめとして、取り組みの加速のための「次の一手」

荻本：それでは、論点3と言うか次の一手、講演者の方々最後の一言で言いたいこと、それぞれをまとめていただけたらと思います。講演の逆の順で、小野さんからお願いします。

小野：なかなか難しい。今、世界の鉄鋼業界では、革新的技術についてはすごい競争になっている。例えば、中国も本気出して、「2060年のカーボンニュートラル」を宣言したが、中国鉄鋼業界は、「2050年にはカーボンニュートラル」言っている。中国の鉄鋼業は、実質国営なので、中国政府がドカンと開発に対する予算を出していて、最近 Baowu（中国宝武鉄鋼集団）が新しい水素還元製鉄開発のプラットフォームを作り、日本も参加しないかと言ってきた。水素還元の部分に関しては、日本では COURSE50 を2008年から進めていて、実は一番進んでいる。彼らはそういった技術がほしいのではないかと用心している。一方で日本の場合は、製鉄も含めて民間企業であり、利益を上げながら技術を開発する必要がある。水素還元などの革新技術は、先ほど申し上げたように生産効率の改善や新商品の開発には寄与しないので、そういったものに対する政府からの支援というのは是非お願いしたい。

大聖：車はいろいろな側面があるので、一言で言えないが、産業的な観点では、日本は車で外貨を稼いでいる。それだけ海外で売っているわけで、やっぱりモータリゼーションが進展しているアジアのマーケットにおける環境に関わる貢献も含めて展開していかないといけない。特にCO₂の対策では、海外でCO₂を削減して、日本の削減分としてカウントするという努力をしないと絶対にニュートラルにならない。CCSもCCUもありますが、それだけでは不十分で、もう1つ技術的な戦略としては重要だと思う。

下田：一番初めに申し上げたことでもあるが、大聖先生と小野様の話を聞いていて、産業と運輸と民生ではやるのが違い、それぞれの将来を明らかにしてエネルギーの転換シナリオを考えることが必要であると感じた。安田先生の地域別ネットワークの話も、産業とか街づくりが変わって、産業とか都市の分布が変わると地域の需要が変化する。需要側の変化を見据えて、そこから供給側の議論をする必要がある。

柴田：需要側の重要さを今日は改めて学んだ。その点で供給側では、安いものは輸入した方が良いが、エネルギーということなので、脱炭素化へ向けた話と並行してエネルギーセキュリティも非常に重要である。そうすると、水素・新燃料は、唯一国産可

能な燃料でもあり。入り口には再エネがあるのですが、国内で育てていけないといけない。エネルギーの視点だけでなく、産業をどう育てるか。鉄や自動車のように日本には立派な産業があるが、再エネ導入や、黒沢様が言われたセクターカップリングの実施には、水電解なども必要であり、産業を育てることによって、なるべく国内にお金が還元する仕組みを同時に作る必用がある。そうでないと脱炭素化だけして、いろんなものが流出し、日本にとって不幸となる。

安田：下田先生が仰った「需要側から考える」というのは非常に重要で、私も今日は楽しいディスカッションをさせていただいた。まさにそういう点では、需要側が変われば、供給側も変わるということで、やはり全体の最適設計が必要だと思う。個別の分野で、個別最適設計をいくら積み重ねても、全体最適設計にはならない。どこが勝った、負けたとか、どこが損した、ずるいとかでなくて、日本全体を、さらには地球全体を見る必要があると思います。今日は私も電力システムのモデルだけを話したが、全体最適設計という点ではやはり先ほど柴田様が言われたエネルギーセキュリティ、安全保障とか、さらには雇用の問題とか、今日のテーマではありませんけど、そういった面も見えていけないといけない。何か産業が新しくなると、雇用が流れていき、雇用転換が起こる。特に海外の再エネビジネスの周りを見てみると、各国政府が割と露骨に雇用転換政策をやっていて、単に地球環境ということだけではない。ですから、できれば「政府が旗を振って、あるべき姿を示して欲しい」と思うし、我々研究者や産業界も、日本全体が、地球全体が良くなる方向性を探ることが大事ななと思いました。

岩船：安田先生が良い事を仰ったなと思うのですが、一言だけ言うと、カーボンニュートラルは今の延長ではできないということ。大聖先生も仰ってたことと思うが、政策的にもかなりドラスティックな変化が必要と思う。本気でそれを目指すためには、いろんな、多少とがったような議論もきっとあると思って、そういうのをタブー視せずこういう議論を行うべきと思う。

閉会

荻本：本日は活発な議論ありがとうございました。本2050の社会経済シンポジウムは、第三回を4月以降に企画しています。また案内させていただきますので、皆さま、参加を宜しく願います。本日は有り難うございました。）

(文責：岡部(事務局))