

低炭素社会戦略センターシンポジウム「低炭素技術を取り込んだ街づくり」

日時 平成 28 年 12 月 13 日（火）13：30～17:00

場所 伊藤謝恩ホール

パネルディスカッション

「低炭素技術を活用した街づくり」

モデレータ 松橋 隆治（LCS 研究統括）

パネリスト 浅野 浩志（一般財団法人電力中央研究所／エネルギーイノベーション創発センター
兼 社会経済研究所 副研究参事／LCS 評価委員）

伊藤 聡（国立研究開発法人科学技術振興機構／情報統合型物質・材料開発イニシアティブ（MI2I）プログラムマネージャー）

小島 康一（トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー FC 技術・開発部／先進技術統括部 主査）

谷 一之（北海道下川町長）

中村 文彦（国立大学法人横浜国立大学 理事（国際・広報・地域担当）・副学長）

（松橋）このパネルディスカッションでは、「低炭素と街づくり」ということで、専門や役職、持ち場が異なる 5 人の有識者のみなさまに来ていただいています。まず、それぞれの専門の立場から、街づくりと、その中でどのように低炭素に関する取り組みが行なわれているかについて、5 分程度でプレゼンテーションをしていただきます。低炭素の街づくりには複数の立場、複数のステークホルダーが関係しています。そこがうまく調整でき、全体がうまく動くことによって低炭素の街づくりが前に進むので、それぞれの立場だけでなく、最後に、異なるステークホルダーに対して何をしてほしいか、あるいは、何をしてあげられるか等、他のステークホルダーに求める方向性について述べていただきます。まず、浅野様からお願いします。

（浅野）今日は、これからの街を低炭素化に向けるためにどのようなことができるか、エネルギーシステムの立場からお話したいと思います。

まず、エネルギーの中に電力という 2 次エネルギーがありますが、いろいろなものからつくられます。特に、太陽光や風力といった再生可能エネルギーを多く使えるのは電力なので、結果的に、これで社会や都市の低炭素化ができます。また、例えば、自動車を電動化する、あるいは産業の熱需要を電化するだけでも、何 10 億 kWh という電力が燃料転換できます。街の中であれば、小型の電気自動車は使えますし、分散型の蓄電池が、病院や庁舎などの重要な施設に入ってきます。そうしたものは、自分たちのコストを下げるだけではなく、周辺とネットワークを使うことによって再生可能エネルギー電源の支えにもなるという動きがあります。

もう一つは、住民や消費者の意識の変化です。今実際に行われていることは、中井様の講演で、冷蔵庫のお話がありましたが、車についてもそうで、大きいものを選ぶか小さいものを選ぶか、所有するかシェアリングにするかという選択肢が増えています。また、スマート化で、いろいろな所にセンサーを置いて情報を取り、既存のものも十分稼働率が高く使え、小さいものも集めると社会的な資源として使えるという動きがあります。

最近、IoT という言葉が流行っていますが、我々は Grid of Things という言い方をします。要するに、今までは火力発電所や再生エネルギーの電源から一方通行で皆さんに電気が流れていましたが、皆さんも自

家発電機を持ち、バッテリーを持っていれば、それがネットワークでつながることによって、家の中だけでなく、広域ネットワークの中で融通し合えるシステムです。住民あるいは需要家参加型のエネルギーシステムに変わっていくことが求められているのです。よって、技術進歩も大事ですが、人々には、自分たちのためだけでなく、社会や低炭素都市のために役立つことに意識を向けてほしいと思いますし、実際にルールづくりや実証試験が始まっています。

日本でも実証試験が始まっていますが、土屋先生のお話にもあったように、アメリカには非常に大きなメディカルキャンパスがあります。こういう所は、配電網の中にコージェネレーションシステム（熱電供給）や可制御負荷を持っています。これが街の中であって、マイクログリッドにもなり、アメリカではハリケーン、日本だと地震が来たときにも電力供給ができます。配電系統は、変動電源をあまり接続しませんでした。が、ニューヨークやカリフォルニアでは、現在積極的にそれを活用してインセンティブを与える動きがあります。日本でも今年度、バーチャルパワープラント（VPP）という、一軒一軒の分散型の電源や電気自動車を束ねて、アグリゲーション（地理的に分散して存在する再生可能エネルギー、蓄電池、需要家などのエネルギー・リソースを通信技術により集約すること）をします。これは電気の小売り自由化の中でインバランスにも使えますし、2017年以降、電力系統の調整力という形で周波数維持や需給バランスの維持に使う実験が始まるところです。これが2020年に市場になって、皆さんが参画できるようになります。

したがって、皆さんが持っている住宅や庁舎、病院にある分散型のエネルギー資源がネットワークでつながると、安定供給にもつながり、変動電源が今以上に入るというメリットがあります。そして結果的に、低炭素につながるのです。また、こうしたことを継続するために、地域の実情に適合した対策が持続することが大切です。そのためには、LCSのような、実証し、データを分析し、住民に還すような仕組みが重要だと考えています。

（松橋）ありがとうございます。最後のメッセージは、浅野様のような電力システムの研究者から他のステークホルダーに向けたメッセージと解釈してよろしいでしょうか。

（浅野）そのとおりです。

（松橋）分かりました。ありがとうございます。続いて、伊藤様お願いします。

（伊藤）いろいろなシステムが街をつくっていますが、もちろん、街はシステムだけではできません。材料あるいは物質から構成されています。そういう意味で、「街づくりと材料科学」という観点で少しお話をさせていただきます。

材料科学はサイエンスの一つです。昨今、サイエンスは大きく変わっています。昔は、ガリレオ等がいろいろな実験をしていましたが、ニュートンあたりから理論科学が始まり、1980年代ぐらいから計算機が一般化し、計算科学が出てきました。今世紀に入りこの10年ぐらいは、特にインターネットが一般化し、データ科学が始まりました。さらに最近では、AIという人工知能が、実験、理論、計算、データが車輪だとすると、それを動かすエンジンのような形で動きます。これが今の科学です。例えば、材料科学で言うと、材料は今まで、勘と経験で開発されていたところがあります。大発見をした人が必ずいうのは、間違えて実験をした結果だということです。それなら私は山のように間違えていますが、それではなかなかいい発見はで

きません。そうではなくこれからは、データをうまく使って、本当に得たいものをきちんと得る、つまり、これ以上いいものがないという開発が必要になります。そのために、国は2015年7月1日から、情報統合型物質・材料開発イニシアティブ、通称「MI²I」と呼んでいるプロジェクトをしています。私はそれを担当しています。マテリアルズ・インフォマティクスといい、情報によって材料をつくるという考え方です。

例えば、照明はCO₂をかなり発生するため、蛍光灯を全部LEDに替えると、CO₂は8割ぐらい削減されるといわれています。ところが、LEDは、希土類と呼ばれるユウロピウム、イットリウム等、あまり聞いたことの無い元素を含んでいます。こういう元素は非常に貴重なので、それを含むことは避けたいものです。そこで、いくらでもある窒素と亜鉛を中心にした化合物の中から、仮想的に約600の材料をつくり、AI技術を使って、どれがうまく光りそうかと推測し、その中で狙いを付けたのが、カルシウムと亜鉛と窒素の化合物でした。どうすれば合成できるかということも理論的に調べた結果、残念ながら、これは高压合成をしなければならず、エネルギーを非常に使うことが分かりましたが、亜鉛と窒素と他の金属を混ぜることで、紫から赤まで色が変わることも分かりました。こういうことを使うと、予想通りの発光特性を示す新しい照明材が開発できます。

このように、今、材料は、機能から設計して、本当につくることができるようになっています。しかし、これだけだとサイエンスですが、我々がみつけて実際に合成したカルシウムと亜鉛の窒化物は、高压合成をかけるプロセスでエネルギーを非常に消費します。そこには、ライフサイクルアセスメント（LCA）的な考え方を入れながら開発することが必要です。サイエンスをやっていると、どうしても要求条件だけを議論しますが、経済的な制約、環境的な制約、あるいは、産業界でいえば事業的な制約等があります。それをうまくLCAから検討し、それとこのようなマテリアルズ・インフォマティクスな考え方を使うことによって、社会が必要としている材料がつくられると思っています。

こういう材料科学はかなり地味な話ですが、社会をつくっているのは、システムや情報だけでは決してなく、最近では、サイバー・フィジカル・システム（CPS）という言い方がありますが、CO₂を本当に減らすものは実際のものだと思います。冷蔵庫は買い替えた方がいいというお話がありましたが、それは、買い替える時にいい冷蔵庫ができていることが重要で、そのためにはきちんとした冷媒の開発が必要です。よって、材料と情報をどう組み合わせるかということが今後のキーだと思います。

（松橋）大変興味深い自然科学の立場からお話をいただき、ありがとうございます。続いて、小島様お願いします。

（小島）最初に、トヨタ自動車が、「環境チャレンジ2050」を行っているので、その紹介をします。

昨年10月に、環境チャレンジの6項目を挙げました。そのうち、低炭素化に向けた点は、①新車CO₂ゼロチャレンジ、②ライフサイクルCO₂ゼロチャレンジ、③工場CO₂ゼロチャレンジです。

つまり、再生可能エネルギーを実際に車の工場でもっと生かし、出来上がった車が、街の中で低炭素な車として使ってもらえることを前提とすると、ハイブリッド、プラグインのみならず、燃料電池車やFCバス、フォークリフト等をきちんと使っていくことによって、私どもは、街の中でも低炭素が実現されていく姿を描いています。2020年頃には、燃料電池車を年間3万台以上出すと発表しました。現時点での燃料電池車の生産台数が、年間で約3,000台なので、2020年頃にはその10倍を目指すと宣言しています。燃料電池のバスについては、2020年のオリンピック・パラリンピックにおいては、100台以上提供したいと思って

います。また、来年度は東京都にバスを2台ほど購入いただくことで第一歩を踏み始めています。

では、工場でどのようにCO₂を削減するか説明します。例えば、水素は、液体水素を工場に持ってきて、電気炉や塗装工程で使う電気のみならず、熱として使うことを考えています。また、燃料電池車は現在、工場の出荷時点で水素を満タンに入れて提供しているので、燃料電池車そのものに充填する際に水素を使っていこうということです。こうした工場にすることで、工場自身のCO₂の限界を下げます。一方、電力についても、再生可能の電力を使うことによってCO₂をぐっと下げること考えています。

身近なところで本当にそれが実現できるのかということで、神奈川県横浜地区における実証プロジェクトをご紹介します。ハマウイングという風力発電から水電解をし、そこからつくった水素を運んで、フォークリフトとして使ってもらって実証を始めています。また、私どもの本社工場においても、エネルギー実証棟で、水素のみならず再生可能エネルギーを使いながら、省エネと、CO₂を発生しないエネルギーマネジメントの勉強を昨年10月からスタートしています。車がCO₂をゼロにしていくことは勿論ですが、前提条件として、2030年、2050年に向けて、再生可能エネルギーが世の中にきちんと入っていることです。現在、私はCO₂フリー水素の普及促進を担当していますが、先ほど説明した工場で使う水素の製造段階で、CO₂が発生すると削減したことにならないので、CO₂を出さない水素の製造が、再生可能エネルギーからきちんと行われていくことも、今後、大変重要になると思っています。

（松橋）世界のトップを走る自動車会社トヨタの非常にチャレンジングなお話をいただき、私どもも大変勇気づけられます。ありがとうございます。続いて、谷様お願いします。

（谷）北海道は日本国土の4分の1を占めており、東北6県、新潟県を合わせた面積を有しています。北海道は行政区として、14の振興局に区分されています。そのうち、海を有していない振興局が上川と空知で、下川町は、上川総合振興局に属し、岐阜県と同じ面積を有しています。交通アクセスとしては、札幌から車で3時間、旭川から1時間30分ほどの所にあります。

下川町は夏と冬の寒暖差が60度にもなる地域で、特に冬の寒さや雪を資源として捉え、オリンピックに出場するスキージャンプのアスリートを数多く輩出しています。また、森林率は町の9割に及び、森林資源を活用した林業や林産業、文化振興、イベント等を活発に行っています。

過去においては、基本財産の造成と雇用対策を進めるために、昭和28年に国有林から1,200haほどの払い下げを受け、当時の町の財政規模でいくと、一般会計1億2,000万円のところ8,800万円で森林を購入し、一定の森林面積の伐採および植林を繰り返すことができる循環型森林経営を目指しました。そして、植林する森林が不足するときには、国有林との分収林契約により植栽を続け、さらに、平成6年度から15年度における10カ年で国有林1,900haの払い下げを受け、1年に5haの森林を伐採、植林、育林を60年かけて繰り返す循環型森林経営を本格的にスタートさせました。下川町は、この循環型森林経営を土台として、地域資源を最大限、持続的に活用していくことで、就労や雇用の確保と地元製材事業者への木材の安定供給を図っていくものです。

下川町は、循環型森林経営を基盤として、製材加工工場が8社、9工場あり、その他にも森林に関わる企業、NPOなど13事業所が生業として営まれています。また、公共施設の熱需要量の約6割が森林バイオマスを利用して暖房や給湯の熱供給を行っており、この他にも、森林の熱を利用した産業創造や企業向け森林

ツアー、幼児から高校生までを対象とした森林環境教育、国際チェーンソーアート大会、カーボン・オフセット等のイベントで、まさしく森林資源のカスケード使用を進め、ゼロエミッションを実現しているところ
です。平成 27 年度の森林バイオマスにおける CO2 削減量は約 3,000t に及んでいます。

こうした中、森林作業を礎として、自立した林業とともに、さらに低炭素で持続可能な社会の構築を目指
しています。自立した林業のためには、森林占有の拡大や期待化、さらには木材の利用拡大が必要で、住宅
などの用材利用を優先しながら、未利用材の有効活用のため、エネルギー利用が重要であると考えていま
す。そして、今までの森林開発における熱利用の実績をベースとして、小規模な熱電併給施設を導入し、化
石燃料の代替による CO2 削減と、森林整備による森林吸収源対策を推進し、低炭素で持続可能な街づくりを
目指していききたいと思っています。

最後に、個人消費活動による低炭素社会として三つの事例を紹介します。一つ目は、平成 23 年度から下
川町快適住まいづくり条例を制定し、新築等への地域材使用、気密性能や断熱性能の改修等の住宅に対して
支援し、省エネと快適な住環境を提供しています。二つ目は、LCS 等にご協力、ご支援をいただきながら、
省エネ冷蔵庫買い替えスキームを検討していただき、住民の協力を得て実証事業を実施しています。三つ目
は、町民が日常生活で行う環境配慮活動に対してポイントを贈呈し、貯まったポイントを町内で使用可能な
商品券と交換することができる「しもりんエコポイント」を実施し、平成 30 年 1 月から、電子化により、
各家庭の CO2 排出量と削減量を一目で確認できる炭素口座を検討しています。自立した循環型森林経営を目
指しながら、CO2 の吸収と削減を進め、町民が安全・安心な生活が送れる、低炭素で持続可能な社会を構築
していききたいと考えています。今後とも、関係者の皆様のご協力をよろしくお願いします。

（松橋）LCS も、下川町とはいろいろな形で協業させていただいています。最後に紹介いただいた冷蔵庫の
買い替えについては、静岡ガスの中井様からもお話がありました「電気代そのまま払い」の活動の一環で、
社会実装が始まっています。決して小さな町ではなく、大きな街で、バイオマスのメッカでもある下川町か
ら、大変貴重な発表をいただき、ありがとうございました。続いて、中村様お願いします。

（中村）私は、都市計画、都市交通計画等を学んできましたが、前提として、今、都市がどのようにあるべ
きかというキーワードは、持続可能であることと、創造的であることと、多様性を組み入れることだと思
います。持続可能ということは、必ずしも環境だけでなく、経済的な持続可能性もあれば、社会包摂、ソーシ
ャルインクルージョンも含む社会的な持続可能性もあります。その中心にある都市は、人間が中心になっ
ています。こういう都市に対して、人々の移動はあくまでも派生事業で、その移動をどうデザインしていくか
は、当然ながら、都市の形と関わってきます。街をつくる時、施設をつくる時には、アクセスも関わってき
ます。いずれにしても、その中で、どの辺りにどのようなニーズがあるかを考えますが、我々が松橋研究統
括とも一緒に取り組む JST の COI の研究では、賢く、環境に優しく、車に過度に依存することなく、車以外
の乗り物も選べる形に街をつくることを議論しています。

例えば、オスカー・ニーマイヤーが設計したブラジリアという街は、極めて車志向の街です。ブラジルに
は、これと同じぐらいの人口規模で、歩行者空間を真ん中にするにより、人々はその中できちんとした
過ごし方ができている、クリチバという街があります。同じような環境の中でも、このように全く逆の街が
つくれます。ちなみに、クリチバの歩行者空間は今から 44 年前（1972 年）にできました。旭川の平和通買
物公園も、1972 年に、4 車線の国道を完全な歩行者専用にしてつくっています。そのような空間をつくるこ

とで、街としての強さを持ち、それがすることにより、車の使い方も移動の仕方も適正になっています。

我々の立場で歴史を振り返ると、私の恩師世代以上の人たちは、都市を走る自動車のことを考えるのが都市交通計画でした。次に、それを使い移動する人間のことを考えるようになり、現在では、人間の生活の質を考えるようになってきた結果、予測をして道路をつくる発想から、予測をして、例えば、環境問題に対して何かする、さらに、予測をするだけではなく、多主体の中で一緒に動いていくことで、方法論も変わってきています。一昔前は便利であること、利便性が高いということを言っていましたが、それよりもまず、都市が解かなくてはいけない課題が幾つもあります。交通もその中の手段です。

ただ一方で、交通事故等の問題があるので、安全で円滑なモビリティを支援する必要があり、国土交通省の道路局では渋滞緩和の方に進みます。緩和できればよいですが、全体からみたら、それよりもまず、時間どおり移動できる選択肢があるのか、生活の中でどこに困っているのか、外出ができない状況はないのかというところへ向かうのが僕らの課題です。

最近、いろいろな所で話をする機会があると、七つのキーワードを出しています。

- ① Smart Mobility：移動自体は、無駄なく、賢くあったほうがいいに決まっています。
- ② Connected and Shared Mobility：いろいろなものをつなげて共有することで移動価値を出します。
- ③ Green Modes First：空間の中の優先順位は徒歩、自転車为上で、私はバスや路面電車の専門にもなっていますが、バスや路面電車の方が絶対にいいとは言いません。空席でがらがらのバスだったら、人がたくさん乗っているハイブリッドのほうがずっと優しいです。しかし、とにかく環境に優しいものを優先するという空間上の整序があるということです。
- ④ Walkable City Center and Streets：街の中はWalkable でなければいけません。
- ⑤ Safe and Secured Bicycles：自転車は今ブームになっていますが、基本的に安全でなければいけません。
- ⑥ Reliable Public Transportation：公共交通は使えてこそそのものなので、Reliable でなければいけません。
- ⑦ Enjoyable Transportation Nodes：ネットワークをつくると、乗り継ぎ方がたくさんできますが、そういう場所もEnjoyable でなければなりません。

このような方向で都市交通を考えていくことが、結果的に低炭素な街に十分に貢献していくということをいつも考えています。

（松橋）中村様は都市交通、公共交通の権威です。エネルギーは、送電線の中を走る電子の気持ちを考える必要はありませんが、交通は、都市交通で渋滞に巻き込まれたドライバーの気持ちや、排気ガスの中を行く歩行者の気持ちも慮って空間をつくらなければなりません。そのため、非常に多様な状況を考えなければなりません。エネルギーの場合は、制約状況も与えて、最適化をして解を出そうとすることがどうしてもよく起こりますが、中村様は、常々それでは駄目だと言われていて、歩いていて非常に楽しいとか、Reliable で、Enjoyable で、Safe and Secured という非常に多様な価値観で、それでいて、人が住みやすいということとつながってくることが大事であるということです。ありがとうございます。

一通り、各お立場から非常にユニークな発表をいただきました。ここで、参加者から多くの質問をいただいています。残念ながら、全部の質問には十分にお答えすることができないので、僭越ながら、私どもでそれを少し類型化し、六つの質問について、それぞれ有識者のみなさまに答えていただきたいと思います。

【質問 1】

「LCS では、低炭素に向けての水素の役割についてどのように考えていますか。」

(松橋) 山田副センター長の講演にあったとおり、CO₂ の制約を極めて厳しくした時に、電源構成に水素による発電は入ってきます。この前提には、LCS の電力システムと水素の考え方がありますので、簡単に説明します。

現状の電力システムは交流で成り立っていて、関東では 50Hz、関西では 60Hz の交流電気で送電しています。この交流の送電の系統では、慣性が極めて重要です。すなわち、安全性を保つ上で、回転をする機械(同期発電機)で発電することが重要なファクターになってきます。その中で、必然的に低炭素の要求が出てきて、再生可能の比率が急速に増えています。特に太陽光発電や風力発電、特に太陽光発電が最も急速に増えています。この太陽光発電が基本的に発電をして、インバーターで交流に換えて送電系統に流しているので、同期発電機のように慣性を持っていません。こういうものが一定以上送電系統に入ってくると、地絡等の事故が起きた時に系統の安定性を保つことが非常に難しくなります。

したがって、交流の系統の安全性を保つ上では、ここに流れ込んでくる慣性のない太陽光発電のような有効電力を一定以下の比率に抑えることが将来的に必要であろうと考え、LCS は幾つかの論文等で提案しています。

具体的には、抑制される電力を、抑制される前に吸い上げて、例えば、電気分解で水素エネルギーに変換します。その水素エネルギーは、究極的には、水素タービンのような、慣性を持った同期発電機を通じて有効電力に戻します。こうすると、再生エネルギーが増えた場合でも、それに起因する電力で、系統を安定的に運転することができます。CO₂ の制約が厳しくなった時に、水素エネルギーが入ってくる理由はここにあります。ライフサイクル評価、トータルの kWh のエネルギーバランスからすると、再生可能の電気を一度水素に換えて、それをもう一回水素タービンで電気に変える仕組みは、ライフサイクル評価的には無駄があるといわれますが、系統の安定性の観点からすると必要です。しかし、実現しているわけではありません。実現のためには、抑制される前に電気を吸い上げ、電気分解の装置に入れていく制度、そして、その時に吸い上げる電気をいくらにするかというような経済的な仕組みが必要になり、これがまだできていないので、これからつくっていかねばなりません。

もう一つ、出力抑制の問題は、今日明日にでもやらなければいけないところまで切羽詰まっているのに対し、水素タービンによる発電の実現は、2030 年以降になるだろうと私どもは予想しています。この間をどうするかということも考えていかねばなりません。

水素自動車については既に実現していて、トヨタでは年間約 3,000 台生産しているということですが、小島様のお話にあったように、2020 年には 3 万台の生産を予定しておられます。このためには、水素エネルギーが大量に必要であり、できれば CO₂ フリーの再生可能に起因する水素でなければなりません。

出力抑制の問題がうまく解決すれば、安い水素として自動車に供給していけるのではないかと、ここが水素の重要な役割です。再生可能が増えていく中で、必然的に抑制があり、究極は水素発電ですが、その前に、現在実現している水素自動車のようなものに供給していくインフラの仕組みがあれば、非常に重要な役割を水素が担っていけるだろうと考えています。

現在 LCS では、評価をして、具体的にコストについて、かなり詳しくプロセスを積み上げていますが、コンセプトとしては、今ご説明したとおりです。

【質問 2】

「低炭素社会の実現として、2020 年までに可能な技術範囲がどの程度であるか。」

(中村) 私は車両単体の技術、動力源に関しては、必ずしも専門ではないので細かいことを言える立場にはありません。とは言いつつ、例えば、電動バスの普及が今どうなっているか、今後どうなるかということには関わらざるを得ません。よって、単体の技術やシステムに関して、どういうものがあるかということを少しお話しします。

単体の技術に関して、水素や代替燃料のものが、大型の乗り物にも間違いなく普及していくだろうと理解しています。しかしながら実際に、乗用車と、それに比べて大きい車では使い勝手が違うので、この点、若干の試行錯誤が続くと思いますが、間違いなく変わっていきます。

それに対して今度はシステムですが、一昔前は、自転車のシェアリングはあまり想像が付きませんでした。今は至る所にあります。また、UBER というライドシェアリングは、一歩間違えると日本では違法行為になりますが、法律さえ変われば問題ないという見方もあります。そういう形で仕掛けが動いていき、片方では情報通信技術、スマートフォン等も含めてインフラが変わってきて、それを使える人たちが増えてくる中で、今までと違う車の使い方がもっと増えていくことは間違いないと思います。

当然ながら、交通安全と治安が課題となりますが、おそらく 2020 年に、マルチモーダルなマルチに関してはかなり多様になり、普通の自家用車を 1 人で運転する環境に対して代替案が出てくるでしょう。物流に関しても同様で、対物の運行も含めていろいろな形のもが出てきます。鉄道ベースのものにしても、今でも JR 貨物はいろいろ課題がありますが、先々の物流に関しては、他の国の様子をみていると、トップランナーは優れた研究をしているし、まだまだ進化すると私は理解しています。2020 年まであと 3 年と少しですが、都市交通に関しては、人の流れも物流も、低炭素化はまだ進むことができます。それを社会がどのくらい受け入れるか、それはまた別の話だと思っています。

(伊藤) 私が担当している MI²I というプロジェクトは 2019 年度までなので、まず、そこでの成果が 2020 年には使われていなければなりません。そういう意味では、私にとってはかなりシビアな質問です。

まず、2020 年はかなり近いですが、数年後に実際に使えるものは、要するに、その時に社会が何を要求しているかということだと思います。やはりエネルギーが一番大きな問題だと思います。

今、それを解決するために、一つは LED の開発・研究をしていますが、電池が欠かせません。電池は、充電して何回も使えるリチウムイオン電池があります。これがもっと大容量になり、1 回の充電で、車でいえば航続距離を長くできるはずで、高容量化に関してはステップ・バイ・ステップで研究が進んでいるので、現在 1 回の充電で約 300km 走るのが、2020 年までに 1,000km まで延びる可能性はあると思います。

電池に関してもう一つ重要なことは、時々新聞紙上を賑わすように、燃えるということです。燃えるということは、電池の中に燃える素材が入っているからです。今、我々は、燃えない素材でリチウムイオン電池をつくる研究をしています。これは多分できると思います。そうすると、発火の問題がなくなります。これは CO₂ の問題というより、むしろ安全という意味で極めて重要だと思っています。

もう一つ例を挙げると、これから電気自動車が中心になっていきます。その時にキーになるのはモーターです。実は、今のモーターの技術では、ジスプロシウムという元素を少しだけ入れなければなりません。温度が高くなったときに磁石の性能を落とさないためです。車のモーターは、それなりに温度が上がるので、

ジスプロシウムを抜くと車の性能が全然出なくなります。ジスプロシウムを使わずに、ジスプロシウムを使ったものと同じぐらい温度が上がっても、磁石の特性が落ちない材料が、我々の所でほぼみつかりつつあります。「ほぼ」というのは、量産にはとても至らないからです。こういうものができると、一気にモーターの値段が下がります。そうすると、電気自動車の普及が急速に進むだろうと思います。

2020 年が数年先に来ることを考えると、夢物語ではなく、材料科学の分野でできる技術だと思っています。

【質問 3】

「米国並みに FC フォークリフト普及を促進するためには、水素ステーションの屋内設置を容易にする規制緩和が早急に必要と思われるが日本の動向を知りたい。」

(小島) アメリカでは、屋内にフォークリフトの水素ステーションを設置するところが特徴ですが、現在の車用的水素ステーションは、ガソリンスタンドと同じで屋外なので、水素が漏れた時のリスクも含めて、かなりオープンスペースであることが前提です。屋内設置の際には課題が二つあります。現時点では、具体的に規制緩和の要望までは出せていないので、議論をして、どのようなお願いをするといいかという整備をしているところです。

一つ目は、タンクを屋外に置いて、高压配管で屋内に導入することが必要なので、高压配管をどのくらいの距離でどう配置するかについて、規制緩和ができないかということです。二つ目は、漏れた時の局所排気です。これは、防爆等を考慮し、いろいろな仕様にしなければならず、その分コストが高くなるので、それをもう少し適正化できないかということです。現在、複数箇所で行進中の実証プロジェクトの中でできることがありますので、少しずつデータをいただきながら検討していこうと思います。

規制緩和といっても、高压ガス保安協会と相談するためには、実証データが必要になります。それがないと解析ができないからです。しかし、そのデータを取るのに複数年かかるので、今、地道に活動しようとしているところです。

【質問 4】

「低炭素技術を活用した街づくりを促すためのインセンティブの付与、制度づくりについてどのようなお考えがありますか。政府・地方自治体の制度・政策に加え、ISO など民間、官民の取り組みの促進、これを補完する公的セクターの役割（制度づくり、ファイナンス）等を中心をお願いします。」

(谷) 私は、街づくりという非常に大きな視点でお話をさせていただきます。

事業者の方、あるいは住民の方、そして私たち行政と、それぞれの領域がありますが、大きく五つの領域があります。一つは、住民や民間事業者に対し、行政が条例や規則で義務化したり、規律をつくったりすることがあります。二つ目は、住民や民間事業者の活動に対して、情報提供をしたり人的な支援をしたりして補完します。三つ目は、補助金で助成をしていきます。四つ目は、民間や住民に任せられない、開示できない情報は、行政がしっかりと担います。五つ目は、共同でさまざまな街づくりをしていきます。それは、パートナーシップ型、あるいは、現在は指定管理者や委託という方法を採用していますが、この五つの領域をしっかりと作り上げることが大事だと思います。

そういう中で、下川町の循環型森林経営のお話をしました。ベースとなるのは、あくまでも森林を保全し、生業として林業・林産業を活性化させることで、そのうちの一つ的手段として、そこから出る間伐材や林地残材を活用しながら、これから熱電併給システムをしっかりと作り上げていきたいと考えています。そ

の地域内での好循環が、経済環境をつくっていきます。

実は、下川町の人口は3,400人ですが、外から購入している化石燃料が7億5,000万円ぐらいです。さらに、外から買っている電力が5億3,000万円です。合わせると、12億数千万円のお金が外へ出ています。これを地域内で循環しています。いわゆる森林資源を活用しながら、好循環な経済活動を行うことが、これから下川町が目指すところです。おそらく日本で初めての熱電併給システムになると考えています。そこにさまざまな制度をつくっていかなければなりません。下川町快適住まいづくり条例のように、CO2削減に森林バイオマスを使う方策と、住宅あるいは公共施設の中でCO2を削減するために、さまざまな制度設計があります。これからも、住民が安全・安心な暮らし、快適な暮らしをするために、高密度で快適な住環境をつくっていく上で、町がその一部を支援しながら、最終的に安全・安心になり、CO2が削減される制度設計を積み重ねていきたいと思っています。

また、下川町も二つの公共交通を展開し、大型バスが地域内を走っていましたが、利用者が少なく、空気を運んで排気ガスを出していました。これをデマンド交通に替えて、今までは停留所から停留所だった所を、戸口から戸口にしていくことを数年前に開始しました。これは利便性が高く、住民の多くが、病院へ行ったり買い物をしたりするのに利用しています。もう一つは、コミュニティーバスを同様に走らせ、公共施設から温泉に行く循環バスを走らせています。このバスを小型化し、8人、10人乗りという小さいものに替えて、空気を運ばず乗り合いをし、そして温泉に入り健康づくりをしていただきます。このようなところで少しずつ積み重ね、今、地域の中でシステムづくりをしています。

下川町は、2030年、2050年に向けて、森林をしっかりと育んでいながら、CO2の吸収シェアを高め、さらにバイオマスによって削減効果を高め、最終的なCO2削減の目標値をつくっているのので、将来、数字が達成できるように、そして、自給率100%のエネルギーの街にしていきたいと考えています。

(松橋) 下川町は、CO2削減というはっきりとした目標もある中で、それだけではなく、町が購入しているエネルギーコストもなるべく削減し、町の中で雇用が発生するような仕組みをつくるとか、住まいづくりにしても、省エネを実現しながら同時に、快適性や健康にいいことにまで配慮しながら、いろいろなインセンティブをつくられています。コミュニティーバスも、町で工夫をしながらその一例であることがよく分かりました。どうもありがとうございます。

一方、交通においても、インセンティブ、制度づくりは大事でしょうか。中村様お願いします。

(中村) 低炭素技術の活用に係るインセンティブと、技術だけではなく、低炭素社会に向かっていくためのインセンティブは分けたほうがいいと思います。交通においては一般的に、経済学のフレームを使って単純に需要と供給をみますが、需要側がより低炭素な移動手段を選ぶように持っていく話と、バス・鉄道・タクシー会社といった供給側に低炭素な仕掛けをかける話とでは、議論を整備しなければなりません。しかし一般的には、地域交通グリーン化事業の補助制度にしてもそうですが、ある要件を満たした場合は国が補助をするという制度を出すと、それなりに申請があり、気が付くと、日本中の至るところにハイブリッドあるいは電気自動車やタクシーが少しずつ増えています。一部、大手コンビニエンスストアでは、デリバリーを全部電気で走るものに行っているところもあります。一番大きい郵便局でも、今、そういうものを導入しています。それも全部、補助制度があるからです。

海外に目を向けると、オランダが一番面白く、5km圏内通勤者の50%が自転車になるようにという命令を

出しています。一方、アメリカ西海岸でも、大気汚染が酷い時に、企業に対し、自家用車1人乗り通勤を2年間でどう減らすかという具体的なプログラムを提出し、PDCAをしっかりとやりなさいという制度をつくり、企業に対する税制と組み合わせました。そういう仕掛けは幾つもあります。ただ、回り回って、参加した人にもプラスが来るような仕掛けにできているかという、谷町長のお話を聞いて、いろいろ悩みました。あまり強引にやると、我慢し過ぎて制度が疲弊することもあり難しいですが、少なくとも、ヨーロッパや北米の、特に西海岸の事例をみる限りでは、人々が都市交通の中から少しでもCO2の発生を減らす行動を取る動機付け、そして、それが動くような事業をつくる動機付けというメニューはあります。民間でなかなか着手できない時に、まず試行的に公的セクターが社会実験的に取り組んで、データがみえてきた中で、次に民間に導入していくという流れをつくることは、バスや他のものにも可能性はあると思います。

(松橋) 我々が目にしている社会の変化の幾つかが、中村様が関与されていたインセンティブの賜物であることもそうですし、欧米をみると、まだまだユニークな仕掛けづくりやインセンティブづくりがあることも分かりました。また、公的セクターから民間への移行についても示唆をいただきました。どうもありがとうございます。

【質問 5】

「再エネ発電に付随して起こる系統安定化の課題について、現状及び今後のソリューションの方向性について議論してほしい。」

(浅野) 5年前、10年前に我々が予測した事態が、日本で既に起きているという事例をご紹介します。

東日本大震災前、太陽光発電が2,800万kW導入されるのは、2020年だというお話がありましたが、2012年のFIT施行以降加速し、九州電力の2016年のゴールデンウィークのデータをみると、需要の3分の2は太陽光発電と風力発電です。カリフォルニアで2020年に起きると予測されているDuck curveが、日本の九州電力で既に起きています。これはほとんど限界で、これに合わせて火力を下げたり上げたり、あるいは、揚水を使ったりする運用に相当負担が掛かっているという実態にあります。

皆さんにとって一番身近なのは、屋根の上の太陽光パネルだと思いますが、例えば、あれが地方の配電線につながると、電圧の変動が起き、そこにつながっているパワーコンディショナーが検知して、自分で勝手に出力を止めてしまいます。これでは何のために低炭素化の太陽光パネルを設置したのか、意味のない状況です。これが今起きている配電系統の電圧変動問題です。これに対してお金を掛ければ、電力会社はいろいろな設備を置いて電圧変動対策を行います。これが第1段階です。

続いて、先ほどの九州電力の状況で需給バランスを取るために、揚水や火力を動かして変動を取っていますが、九州、北海道、東北ではそれが限界になっているので、今、何十MWという巨大な蓄電池を変電所に置くのが第2段階です。

第3段階は、いよいよ揚水や蓄電池でも足りなくなると、出力抑制をかけて、せっかく発電しているのに止めます。これは非常にもったいない話です。それを、お客様が持っている資源で調整しようというのが、デマンドレスポンスとか、需要側資源というものです。要は、今までは需要に合わせて供給を追従させていましたが、これからは、供給に合わせて需要を追従させるような技術が、ちょうど日本でも開発されているところで、技術的にはできる可能性が相当高いです。初めにご紹介したVPPもそれです。

問題は、なぜ私が使っている蓄電池や電気自動車の充電時間をずらさなければいけないのかということで

す。交通の話と全く同じで、やはりインセンティブが必要なので、今からその社会実験を行います。早ければ 2020 年には調整力市場をつくって、電力会社に周波周調整をする資源を出すと、1kW 当たりのコストが算出されます。そういう市場をつくる準備をしています。それが大きなソリューションの方向です。

もう一つは、この需給バランスを取っているのは、電力会社の中央給電指令所で、常に停電しないようにしています。要するに、電力の中で発電機に指令を与えていましたが、それを自家発電や電気自動車の充電スタンド等に開放する調整力の公募が、2016 年に始まりました。実際の応札者が安い資源を出せば、2017 年 4 月からそれが動く状況で、新しいソリューションの芽が、日本でも社会実装に向けて始まっている段階です。

（松橋）電力システム最前線の大きな流れとして、電力の小売りまでの完全自由化があり、発送電分離という流れがある中で、例えば、関西電力等特定の電力会社が、この系統の安定化のためのコストを全部負担するわけにはいきません。新電力も多く参入しているので、安定化のためにどのような資源が必要かということで、市場をつくり、そこに対して技術、資源を安く供給できる者が入札に参加していくことで系統の安定化に貢献します。そういう技術は、家庭用蓄電池であったり、電気自動車であったり、需要側にいろいろ存在するのではないかと、家電製品も含めて参画していく時代になりつつあるという話です。それが、今後のソリューションにおける方向性の一つです。いよいよ日本においてもその制度づくりが動き出したということで、今後もぜひ注目していきながら、望ましい技術をそこに導入していきます。制度があれば、日本のメーカーは非常に優れた技術力を持っているので、そこに新しい商品がどんどん導入されると思うので、私どもも大変期待しています。

【質問 6】

「低炭素社会の実現には自動車関連の対策が必須だと思われます。自動車には IC、EV、HEV、PHEV、FC などさまざまな方式がありますが、Well to Wheel や廃棄処理まで含めた Life Cycle といった観点からどの方式が本当に地球に優しいのか十分な検討がなされてきているのでしょうか。バッテリーが地球に優しいとはどうも思えないのですが。」

（小島）車とバッテリーは不可分なので、バッテリーは今後も使わせていただきます。

Well to Wheel と LCA については、弊社では 2008 年から継続的にその解析をしています。みずほ情報総研の協力のもと、新しい車が出るたびに、それぞれの LCA がどうなっているかというデータを公表して、お客様に判断いただくことを続けています。

十分な検討がなされているかという質問については、ライフサイクルは車の業界だけで終わらず、つくる素材のところから全部入るので、私どもは、いわゆる日本における産業の全力を表す指標だと思っています。当然、低炭素に向かうためにこれを下げていく必要があるんで、ありとあらゆる素材、あるいは私どもの工場での CO2 排出量も含めた全てをみていく必要があると思っています。弊社の環境チャレンジ 2050 の説明を少ししましたが、まさに、あの発想は LCA の考え方で、将来どう進むべきかという取り組みの第一歩を始めたということです。車会社がすべきことは、お客様にとっても大変面白い車で、LCA の視点からみても価値のある車を、技術を研鑽してきちんと提供し続けていくことです。

もう一つ、低炭素に向かうためには、電動化は必須だと思っています。その電動化の前提は、電気のエネルギーミックスだと思っています。したがって、車だけではなく、エネルギー側の低炭素化も取り組んでいかなければ、LCA の視点で見たときの将来の車の在り方、選択肢がお客様にとって大変分かっていくと思います。

(松橋) 大変積極的な討論を続けてきましたが、最後に、1分程度、一言いただけたら幸いです。

(浅野) 電気自動車や家庭用蓄電池も含め、タウンマネジメントの主要機能になると思います。インフラをつくることも大事ですが、問題は、それが住民にとっていいことかどうかということのを常に可視化することです。ポイント制度の例もありましたが、自分たちがそのエネルギーシステムに参加しているという意識を続けることが大事なので、個人消費やスマートメーターのデータ、あるいは自動車の走行データや使い方というものも、街がエネルギー会社と連携して提供することが大事だと思います。

(伊藤) 私は、材料科学の立場でお話しましたが、材料科学の研究者は、低炭素技術や LCA ということはほとんど意識していません。車づくりには、つくることと LCA の観点が重要で、お客様に喜んでもらうことだというお話がありましたが、サイエンスも全く同じだと思います。材料科学と LCA をきちんと組み合わせることが必要で、それで研究が制約されるのではなく、その制約は面白い結果を与え得ると思います。そういうことができればいいと、今日のお話を聞いて思いました。

(小島) このパネラーとして参加して、新しい発見をたくさんさせていただきました。一番大きな発見は、単独の会社ではできず、単独の研究機関でもできず、システム全体をどう捉えて、各部分にどのような機能を持たせるかということを見ながら個々を作り上げていくアプローチが、今後、ますます重要になると思いました。弊社はそこが不得意ですが是非とも頑張って、水素だけでも駄目なので、社会全体がきちんと成り立つような仕組みを、今後も考えていきたいと思っています。

(谷) 下川町は、国の戦略である環境モデル都市と環境未来都市に選定されています。その中で二つだけお話をさせていただきます。一つは、数年前に、化石燃料と森林バイオマスを導入した時の燃料比較をして、1,700万円ほどディスカウントになりました。今、地方創成の総合戦略の中で、若い人たちが子どもを産み育てる環境をというコンセプトがあり、1,700万円の2分の1を子育て支援に回しています。こうしたことを、住民に分かりやすく行っています。もう一つは、今まで化石燃料を販売していた燃料会社、スタンド会社が、バイオマスを入れることによって落ちた売り上げの代替を担保することで、木質燃料のチップをつくる会社をつくって、一つの組合をつくってもらい、製造と販売をしてもらいます。100%元には戻りませんが、80%、90%はうまく担保することができます。このように、さまざまな所に影響を与えながら、関心を持ってもらい、参加してもらうことが、これからの低炭素社会をつくることになると思います。

(中村) なかなか普段学べないことや、いろいろなヒントをたくさんいただきました。自分が研究している一番下流というか、未来の交通システムの土台はいろいろあり、電気の話一つにしてもいろいろなことを勉強できました。同時に、低炭素の話は、健康や安全、福祉の話とうまくつなげることができます。つなげていく中に、さらに技術の展開もあり得ることも、何となく分かったような気がします。自分ももっと勉強したいと思いました。

(松橋) それでは、5人の登壇者に感謝して、拍手をもって、このパネルディスカッションを終わります。どうもありがとうございました。

以上