

低炭素社会戦略センターシンポジウム

「低炭素技術をどう社会につなげてゆくか」

日時 平成 26 年 12 月 15 日（月）13:30～17:00

場所 伊藤謝恩ホール（東京大学伊藤国際学術研究センターB2 階）

第 1 部 講演

基調講演

「低炭素技術をどう社会につなげてゆくか—LCS の活動と展望—」

森 俊介（LCS 戦略推進委員会委員長／東京理科大学理工学部経営工学科 教授）

私からは、まず温暖化対策の実現、続きまして、LCS の活動、どのような研究をしているかについて特徴的な点をご紹介したいと思います。続きまして、私自身が今研究しております低炭素社会の実現も含めて、今後トランジションを埋めていくどういう方向性があるか、その展望について簡単にご紹介したいと思います。先ほど小宮山センター長からビジョンとトランジションをどのように埋めていくべきかというお話がありました。これは大変に重要な点で、経済モデル・技術モデルという大きなマクロモデルでは、どうしても上の方から切り刻んでいくような形になります。また、積み上げといっても、今現在ある主な評価方法は、技術のコスト最小化というアプローチになっています。しかし、実際の行動とモデルによるコスト最小化の間には、まだもう少し埋めなければならないものがあるように感じています。その点に関して、私が研究していました例をご紹介し、今後のこの分野、この問題の在り方について何かご参考になればと思う次第です。

1. はじめに—温暖化対策の実現

これは昔からよくいわれていることですが、温暖化対策の実現については、直接規制的方法、すなわち法学部的発想と申しますか、出すことまかりならぬという制度的な考え方です。もちろん広くは業界標準をつくる、安全なものだけ市場に出回るようにするなどの措置が全て含まれます。温暖化対策の場合は、特に業界のトップランナー方式にもあるとおり、法律に限らず業界の自主的な取り組みなども制度的アプローチに入ります。

それから経済的方法。これは課徴金やその他ですが、理論的には効率的になります。しかし、ヨーロッパの例えば EU-ETS のような排出権取引は、理論的には大変優れたもので、実施に向けてさまざまな工夫がされましたが、なかなか機能しない。これは経済的方法の問題というよりも、取り巻く政治的状況の問題という方が正しいかと思いますが、理論と現実の間を埋めるのは、やはりなかなか難しいところがあります。

そして技術的方法。省エネ技術、温暖化抑制技術など、LCS で積み上げてきている主なアプローチです。これはいつの間にか効率が良くなっている、いつの間にか環境に優しくなっているという世界ですから、ある意味では大変に負担感が少なく優れているものではありますが、同時に需要を喚起してしまうという側面はどうしても残ります。よくご紹介する一番良い例が冷蔵庫です。効率は過去 30 年で大変に進歩しました。しかし、大きさも 3 倍ぐらい大きくなっています。テレビにしても、昔のブラウン管より液晶ディスプレイの方がずっと消費効率は優れた値を示すのですが、昔は 14～16 インチだったものが、今は 40 インチが当たり前になっています。エアコンも、効率は良くなっていますが、昔はリビングに 1 個だけあったのが各部屋にあるようになりました。このように考えていきますと、技術的方法といっても、それが普及したらどうなるかという視点が必要になります。

それから社会的価値観です。これは、高いのだけれどもそれがカッコいい、クールであるという価値観が共有されれば、自然に皆がそれに移るようになるというものです。私の中学校・高校のときは公害問題が随分マスコミをにぎわせましたが、必ずしも当初から公害問題に対して日本を挙げて取り組もうという姿勢があったわけではない。やはり環境問題への認識が共有されるには、それなりの時間が必要でした。省エネもそういうところがあり、温暖化対策にもやはり時間が必要になってきます。それで間に合うかどうかというと、やはりインセンティブを考えなければならない。LCS では、特に二つの一番ベーシックな点から上へボトムアップで積み上げています。特に先ほど小宮山センター長のお話にもあったように、全体像の理解に技術モデルや経済モデルといったマクロな評価につなげていこうというアプローチが取られていると私は理解しております。

2. LCS の活動—低炭素社会の実現に向けて

2.1. 低炭素社会へのシナリオ研究

JST における低炭素社会実現のための社会シナリオ研究活動をご紹介します。これは現在の社会から 2050 年の社会までで、特徴的なのは低炭素社会だけで終わっていないことで、その前に「明るく豊かな」という言葉が付いております。生活していく上で我慢を強いられる社会、苦しいけれども頑張ろうという社会ではなく、明るく豊かな低炭素社会という生活の面から皆が喜んで参加するように行動を積み上げていくような社会を目指そうということです。それによってこそ持続可能になる。持続可能性というのは、必ずしも資源の量的な問題や値段の問題だけではなく、みんなが楽しめるような社会である必要がある、そういう考え方が背景にあります。

そのために、2050 年までに実現しておくこととして、このようにエネルギーやそれを支える技術的な問題、制度的な社会構造をどうやってつくっていかばいいか。具体的にそれを実現するために必要な技術条件としては、エネルギー効率の向上や資源リサイクルシステムの構築、技術進歩の定量化など、決して絵空事で終わらせるわけにはいきませんので、きちんと数字で押さえていく。こういう科学的なアプローチをバックに持つ。その上で価値観というような、やや工学的とは離れるかもしれませんが、支えていくバックボーンをつくり、かつ制度をつくっていくという流れで考えられています。そこで「定量的バックキャスト」ということで、現在から一体どのような形で推移していくか、システムの発展に必要な研究課題として一体何があるのか、このようなものをつくっていかうとしています。

私は地球温暖化の別のプロジェクト、IPCC にもかつて参加していましたが、そのような場所でも、例えば 2°C 制約を実現するのに、2100 年ではマイナスのエミッションが必要になってくるという数字が出てきました。関係者からは、それはちょっと大変すぎるのではないかという意見もよく耳にします。特に私自身モデル構築を専門としておりますが、第 3 次評価報告書あたりでエネルギー・経済モデル化に関わった人間ほど、「2°C 制約とマイナスの排出？それはちょっとむちゃではないの？」というコメントも返ってきます。

しかし、2100 年だけ取り出して議論するのではなく、2050 年までだったら何ができるのか、その次にどういう手があるのかというようにステップを踏んで考えていくと、2050 年というのはさまざまな技術が切り替わっていく時期で、何もしなければもはや温暖化は手遅れで、今から何をやっても無駄だと言わざるを得ないような段階になるかもしれない。今の時点でもすぐ対策を打たなければ間に合わないのですが、今ならすぐにネガティブエミッションのような非常に先端的で先鋭的な技術を入れなくても、まず手持ちの技術で

きることがかなりある。そしてそれを普及させた先に、もっと技術を進めて、ネガティブエミッションを進めなければならないかもしれない。あるいは、今われわれがまだ知らないような画期的な技術がその後に行える可能性もあるわけです。そのように、温暖化対策というのは長期的な問題ですから、長期のビジョンを示すと同時に、その途中の行動のポイントごとのマイルストーンを見ておく、認識しておく必要がある。過度に悲観してしまって最初から投げっぱなしにすれば、できるものもできなくなってしまいます。

2.2. 技術開発シナリオ

LCS のシナリオ研究を進める上では主に三つの課題があります。一つが定量的な技術シナリオの研究で、ここでは低炭素技術の開発目標と研究課題を具体的に提示する。やはり社会をつくっていくのは価値観だけではなく、きちんと支える技術がなければ、なかなか受け入れ可能なものにならず、一方的に我慢だけを強いるものになりかねません。

次に定量的な経済・社会シナリオ研究です。これも定量的という言葉が大事で、言い換えれば矛盾がないこと、自己破綻しないような体系でなければならない。一瞬だけ大変に便利でみんな豊かになっても、その次の世代がにっちもさっちもいなくなるような社会では、もう先がないわけですから仕方がない。そうではなく、どこにも矛盾がないように、破綻しないような絵を描かなければならない。そのために大事なツールとして、定量的な数字でちゃんとバランスが取れていること、社会シナリオの研究が必要になってきます。

最後に具体的な低炭素社会システムの構築です。二つ目と密接に関連しておりますが、やはり新しいものを実装して実現しようとする、単に並べただけでは駄目で、制度まで含めて進めていくための新しい仕組みも必要になってきます。このようなものを考えていく。それも1カ所だけではなく、企業、自治体、国、大学など、さまざまな機関がこういう開発に取り組み、実際の社会の実証実験に参加することで、理屈の上でいいことが本当に実現するのかどうか、このような社会実験という生活の場からの積み上げの活動を行っていくというアプローチが取られています。

平成 25 年度調査・研究の進め方と内容のまとめをご紹介します。26 年度の活動については、今年度が終了した後にもまた報告書が出ます。25 年度には、定量的な技術シナリオ、例えば個別のエネルギー技術、システムコストの見直しなどを求め、これを定量的な経済・社会シナリオに導入していく。これによりマクロな整合性を確認します。いくら個別の技術が良くても、全てそれだけで問題が解決するという技術はなかなか望めるものではありません。どのような技術も最適な組み合わせというものをまずは念頭に置く。その上で良い案があれば採択すればよく、取られるべきシナリオがあれば、そこにバランスを考えていく。鉄道では、かつての蒸気機関車しかなかった時代からの変化を考えてみれば、今は電気鉄道もあれば、ディーゼルもある。決してどちらか一方に統一されているわけではありません。しかし、かつては蒸気機関車しかなかったわけです。そこからいろいろ入ってきて、棲み分けがなされている。そのような例が幾つか見つかるかと思えます。

低炭素技術の導入では、エネルギー需給と経済・社会制度の分析、エネルギー需要・供給双方での省エネルギー推進の実証。今、使っているものをどこまで減らせるのか、そして将来どういう設備が要るのか。エネルギー関係はインフラ設備の建設に大変に時間がかかります。また、長期的な見直しも必要になってきます。ある瞬間での価格と量の均衡という点に集中してしまうと、長期的に、今どんな設備投資をしてどんな技術にこの後注目すべきなのかという点はどうしても弱くなってしまいます。

技術モデルはボトムアップ型とよく申しますが、技術を積み上げていくモデルは詳細な技術の将来シナリオを導けますが、どうかしますと、その基本となるエネルギーの需要を外部から与えてしまうので、全く違う社会を描くことがなかなか難しいという点もあります。今、温暖化の世界では両者を統合するような一体化したモデルが標準になっていますが、簡単に統合してしまうと、今度は扱える情報がどうしても少し粗っぽくなってしまったりなど、さまざまな問題がどうしても残っております。その中で今、LCS ではさまざまな情報を基に、それを整合させた体系をつくらうと理解いただければと思います。

そして、最終的には低炭素社会に向けた社会シナリオの提示に至ります。絵空事ではなく、ちゃんと見通しのある技術に基づいて、かつ受け入れてもらえる社会の姿を、さまざまな情報を基に考えていくという流れになっています。もちろん決して簡単にできるとは私も思っていませんし、100 人が 100 人とも描いた絵に満足いただけるかどうかは分かりませんが、少なくとも在り方を示して、その意味を伝えることは重要かと思えます。

2.3. 技術開発シナリオ—PV の技術開発と価格低下のシナリオ、蓄電池の技術開発のロードマップ、等

次に技術開発のシナリオの展望について、図を基にご説明します。太陽電池のシステム原価については、現在というよりも過去、とにかく高いというのが基本の考え方でした。そのために補助金など、いろいろなものを入れなければいけないという点がまずあります。それに対して、値段が安くなるというのは、過去のデータを延長して引っ張るといえるのはよくありましたが、もっと細かくブレークダウンして、具体的にどういう技術に、あるいはどういう可能性があって値段が下がり得るか、このような問題のデータベースを開発し、さらにその可能性を積み上げていった結果という形で、モジュールや課題などの周辺関係、また、システム全体でのコストについて、2030 年では半分以下になるという評価が提案されています。もちろんそのためには大量生産が条件になります。そして大量生産のためには、それだけのマーケットが確保されなければなりません。誰がつくるかという問題等もありますが、技術データベースとしてはこれは決して絵空事ではないということが一つ重要なポイントになるかと思えます。

その原価の内訳を見ると、CIGS のような新しい技術、さらに新しい薄膜やタンデムなど、具体的にどの項目がどういう値段でできそうかという見通しが示されています。これは一つ大事な技術データベースで、ムーアの法則にありますように、半導体関係では過去実現しました。1980 年ごろには、メモリはまず 1 ミクロンルールが果たして実現できるのかどうかという次元で議論がされていたわけです。どうかすると 1 ミクロンの壁を破るのは無理ではないかというような報告もあつたくらいで、そこから見ますと、今は普通にパソコンの中にそれよりもはるかに小さい、15 ナノや 25 ナノというスケールのものが使われていて、値段も大変安くなってきている。太陽電池の場合にこれがどのように当てはまるかということは今ここでは断言できませんが、そういう技術的な可能性の積み上げが行われています。

その科学技術のロードマップを作ると、安くできる可能性があるといっても、今の技術ですぐに成功するわけではなく、恐らく時間が必要であることが分かります。ただし、どこにどういうボトルネックがありそうかという地図は、しっかりと描かれています。個別技術の説明その他については、後ほどポスターの時間でいろいろご議論いただけるかと思えます。蓄電池も同様です。

技術開発のもう一つの例として、バイオマスなどのメタン発酵で何ができるかも描いています。バイオガス精製プロセスは、古くて新しい技術と申しますか、昔からいろいろと提案はあって、そのコストの可能性について調べています。バイオマスは大変にクリーンではありますが、その構成は決して単純なものではありません。言うまでもありませんが、硫黄分もあります。私が好きな言葉ですが、バイオマス系というのはクリーンかもしれないけれども、決してピュアではないのです。従って、それも含めてシステムを組んでいく必要があるかと思えます。

燃料電池に水素を使おうと思うと、それなりに純度を上げるプロセスが必要になることもあります。しかし、自動車を走らせたり、燃料として使ったりする分には、それはあまり必要ないわけです。そのために、評価システムや支援ツールの開発も行っています。

2.4. 「明るく豊かな低炭素社会」実現のための技術開発

ここでは社会から、生活から見ていくという図も描いています。生活はあまり変えたくないというのは常ですが、サービスをそこまで低下させて我慢したくないということです。どういう技術であればどのように選択されるか、少なくとも快適な生活や健康な生活というものが、われわれに保障されなければならない。そうでない社会は多分選択されないだろう。そして、それが実現して持続可能になる。繰り返しますが、生活が維持されることを基本として持続可能社会につなげたいというのがアプローチです。

その結果、省エネルギーはかなり余地があるのではないかと出てきています。戸建て住宅と集合住宅では多分違う問題が出てくるでしょうけれども、それは後ほどのパネルディスカッションで専門の先生からいろいろご紹介があるかと思えます。

そのために、やはり大事ななお金です。そう潤沢にお金があるわけではありませんから、新しい装置を入れるにも、お金の支払いがちゃんと受けられるかどうか。それがあって可能になるだろう。この分野の評価では、ネガティブコストと申しますか、長期的には得になることが分かっているけれども、なかなか導入に踏み切れないような技術が幾つもあります。例えば家の壁の断熱材を分厚くするとか、採択してもらうためにはそれなりのセンチメントに訴える必要がある部分があります。そのようなことから、太陽電池を入れて省エネ相当分の得が出ると分かっているならば、その差額は支払いに回すけれども、それは消費者ではなく間にモデレーターが介在し、支払いの仕方は消費者は今までどおりである。けれども、いつの間にか新しいものがどんどん同じ支払い額で返っていく。その差額分を返済に充てたらどうかというようなシステムです。イギリスでは既にこれを実現していて、日本ではどうかということを社会的な実験の中で調べていこうというわけです。そのためには、融資、返済、双方向通信などさまざまな分野が必要になってきます。

2.5. 自治体との連携活動

自治体と連携した取り組みもやっております。LCS の中では、数字だけではなく実践での取り組みもおこなっています。

2.6. グリーンイノベーション

グリーンイノベーションとグリーン成長にも、さまざまな形があり得るだろうということで、個別の技術である1型グリーン成長、プロダクトイノベーションと併せた成長、さらに社会制度の在り方まで変わっていくようなイノベーションなどに注目していこうと考えています。そのデザイン手法を、なかなかイメージし切れないから、一種の見える化と

いう形で分かりやすく伝えていく必要があるだろう。決して、いつの間にかといっても、こちらが押し付けるのではなく、感じてもらいながら見える形で使ってもらえるのがいいのではないかということです。

この分野で問題になるのが合成の誤謬というもので、一人一人が良いことをやったはずなのに、いざ全部をつなげてみると、あまり良い方に行っていないということが起こり得ます。合成の誤謬を防ぐためには、全体的なフレームでちゃんと評価しておく必要がある。みんなが利己的に行動すれば、全体でも本当に良くなるかどうかは簡単に言えませんから、その評価フレームも用意してあるわけです。その上でビジョンの提言につなげていく。

3. 低炭素社会実現の課題と展望

ここから先は課題です。やることはたくさんあると思います。例えば技術の開発が社会をどう変えていくかというのは基本ですが、「少子化」も含めて、「情報化」と「高齢化」というキーワードはどなたでもご存じです。では、これによってエネルギー需要はどう変わるのか。実はまだあまりよく分かっていない分野です。ここにいらっしゃる 50 歳代ぐらいのほとんどの方は皆さん自動車免許を持っておられるでしょうし、20 年たっても皆さんは恐らく元気だと思います。ところが、今の 70 歳代の方はそれほど免許保有率が高いわけではありません。従って、20 年後の 70 歳代の方は今よりもエネルギーを使う可能性が一方でありますし、全く違う社会になっている可能性もあります。しかし、これがどうなるかはまだほとんど議論も例もあまりないのです。

それから、需要家に分散エネルギーを導入する。移動となれば EV や PHEV（プラグイン・ハイブリッド・ビークル）や V2G（ビークル・トゥ・グリッド）などのさまざまな可能性が出てきています。これは従来の上から下へというようなエネルギーとは全く違う流れになります。この帰結がどうなるかについて、恐らく具体的な議論が必要になります。つまり需要側の個別行動です。

3.1. スマートメータ

ここから先は LCS の活動から離れて、私自身の興味の点からご紹介したいと思います。少し古いですが、GE におられた鈴木浩さんからスマートメータの図を頂戴しました。今やスマートメータは普通の言葉になりました。どうしても必要なら外から止められるわけです。また、信号を送ったり料金の情報を出すこともできる。

これがさまざまな需要サイドの制御の可能性を実現するわけですが、少し角度を変えて、もしも電気自動車やプラグインハイブリッド自動車が普及した場合に、その電気をどこで充電して電気代をどうやって払うのか。

ここから先は私の個人的な考え方ですが、例えば電気自動車に充電する電気ステーションですが、仮に今のガソリンスタンドで 1 時間も 2 時間も居座られたら商売にならないわけです。今ならばスーパーマーケットなどの駐車場でサービスしてくれるかもしれませんが、全ての自動車が電気自動車になったときにサービスしてくれるところはあり得ません。そういうビジネスモデルから考えても、急速充電のステーションと、こまめな継ぎ足しができるところがなければいけません。それが専用ではなく、自分の家で充電できるならいいのですが、よその家で知らない人に「ちょっと充電させてくれ」と言って充電させてくれるのはなかなか難しいと思います。昔の黒電話の時代はそうでした。よその家で電話を借りるときには電話代を払ったものです。それを防ぐためには、よその家で充電してもその電気代がその車の持ち主にかかればいいわけです。つまり場所ではなく、実際の使用者

に対して用途別に電気代がチャージされるシステムになっていれば、どこでコンセントを入れても誰にも迷惑が掛からないことになります。

逆に電気自動車から家庭に、あるいは場所に電気を送っても、その分もちゃんと支払いがされればいい。これができれば財務省も喜んでガソリンの燃料税を電気自動車に掛けることができるようになります。それが有り難いかかどうかは別として。このように、課金をどうするか、お金をどうやって集めるか、これは普及の大事なポイントですが、これには情報技術との関係が不可欠になってきます。

3.2. 家庭へのPV/蓄電池/EVの導入効果

では、実際にどこまでできるのか、残った時間で簡単に研究例をご紹介します。

例えば太陽電池や蓄電池が実際に家に入った場合に、一体どれだけ使い物になるのか。この評価を行うためには、まずそもそもどんな自動車の使い方をしているのかというアプローチが恐らく必要になる。その上で電気自動車の価値を考えていく必要があるだろう。

そこで私の研究室では、全国1万800世帯に対してウェブアンケートを行い、普段何キロ走るかということの他に、何時間出先で駐車しているか、何時から何時まで駐車しているか、そのパターンをアンケートで調べました。その結果、平均駐車時間が長ければ、小型の蓄電池に太陽電池を使って充電するシステムの現実性が出てきます。これが短ければ望みはありません。従って、大きな電池を積んで往復しなければならないわけです。

走行別の駐車時間は、戸建て・集合ではあまり差はありませんでしたが、平日の方は通勤に使う可能性もあって駐車時間は比較的長い。しかし、休日はそれほど長くなく、40分から1時間ぐらい。こうなってくると、やはり急速充電ぐらいしか使えなくなってきます。

その評価を行い、さらに分布の形を見て対数分布を当てはめると非常に当てはまることが分かりましたので、これによって平均的な速度も分かる。さらに、プラグインハイブリッド1台と超小型電動コンピュータ+軽自動車の2台持ちとどちらが効率がいいかも、アンケート調査を基に分析が可能になりました。

それによると、例えば利用時間帯の分布を見ると、通勤の場合、朝から午前10時までが多く、午後6時前後が若干多い、買い物の場合は午前10時～午後6時の利用が多いなど、さまざまなことが分かってきました。このような結果を使うと、電気自動車で電気モードパターンが一体どこまでできるか、さらにその充電に太陽電池がどこまで寄与できるかが定量的にできてきます。このような関係については、恐らくLCSでも今後の課題ではないかと思えます。

さらにエネルギー需要の設定を細かく見て、その上で、太陽電池・蓄電池、コジェネレーションがどのように寄与し得るか、これを生活のパターンのシミュレーションから行っております。この研究の段階ではシミュレーションでしたが、現在LCSではさまざまなデータ収集を行っており、これが実証につながる可能性が出てきております。

家庭内のエネルギーフローも作り、さまざまな可能性を考慮しました。設備導入のシナリオも、家庭の需要パターンから見て、個別の蓄電池・太陽電池、さらに電気自動車の評価を積み上げていくことで、より現実的な使い方の評価につながっていくことが期待できると思われます。

PV走行や電力消費は削減できます。しかし現状では、コストの点から言って、この程度の節電ではなかなか金銭的な元が取れないということが導かれました。今後のコスト削減によって結論はかなり変わってきて、電気自動車と家庭用のエネルギー消費との関係により、かなり寄与することもでき、今度は電源計画の方にも影響が出てくるだろうというこ

とがわかってきています。この利用方法についてはまた検討が必要になるかと思えます。

3.3. 地域分散型エネルギーの導入と電源計画の相互影響

最後に分散型電源導入について簡単にご紹介します。

分散型の電源と電源計画の相互影響について、東京電力管内を 38 地域に分け、それぞれの需要家が自分の判断で太陽電池やコジェネを導入していく。その結果、東京電力などの電源計画の方も影響を受けて変わってきて、最適な組み合わせが変わってくる。これを 2 段階で評価するとどうなるか。38 地域一つ一つについて、住宅面積などを設定し、さらにオフィスや小売業、病院などの床面積と屋根面積を推計し、個別に PV を入れていく場合どうなるかということを考えています。今現在はさらに、東京電力管内は広いですから天気が違う。晴れの日もあれば曇りの日もある。そういう不確実性を考えた上で、太陽電池電源計画はどのような姿になるのが望ましいかということの評価を続けております。

シミュレーションケースがいろいろあり、PV の年間費用シナリオを、少し古い 2011 年のデータを使った場合、果たして実現できるかどうか、それらを計算してみました。計算にはメガソーラーは入っておりません。メガソーラーを入れるとまた話はかなり変わってくる。しかしその場合には、どれだけどこに入るかだけではなく、電源の送電系統のどの電圧のラインに太陽電池を接続すべきなのかというさらに大きな問題が入ってきます。

4. おわりに

LCS では、社会を変える技術の進展、それで社会がどう変わるかを軸として進めています。また、新しい技術は、実現だけではなく、恐らく生活の場からエネルギーシステム全体の構造を変えていく可能性があろうと思えます。オールマイティの単一技術による問題解決は当分望めそうもありません。遠い将来は全てが水素あるいは電力に統合される可能性もないとは言えませんが、今はまだそれを語る時ではありません。むしろそういう社会の実現には、対価をどうやって支払うかというようなお金のやりとりの問題も真剣に考えるべきだと思われれます。さらに、このようなシステムに変わると、特に部分と全体の整合性が重要になろうと考えられます。

以上