

セッション1

「自然エネルギーの有効活用」

石谷 久 (チェア)

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科教授

田中 一宣 (オーガナイザー)

科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー

小長井 誠

東京工業大学大学院理工学研究科教授

堂免 一成

東京大学大学院工学系研究科教授

坂西 欣也

産業技術総合研究所バイオマス研究センター長

トーマス・B・ヨハンソン

スウェーデン Lund 大学産業環境経済国際研究所教授

ポーボン・シッチャヌグリスト

タイ国立科学技術開発機構 (NSTDA)

機構長アシスタント

(石谷) 先ほど低炭素社会ということで、環境研から70~75%削減という思い切った話があった。日本は、原子力と自然エネルギー以外エネルギー源は無いので、この二つに重点を絞る必要がある。その中で原子力についてはこういうところで議論しにくいので、今後のイノベーションの政策次第で実用になるというあたりが太陽光であろう。もう一つ、バイオがやはり技術的に比較的楽なわけだが、ポテンシャルが足りないという本質的な問題をどう考えるかも非常に重要である。そこで、この二つに絞って今日は議論する。

「Overview renewable energy program in Europe」

トーマス・B・ヨハンソン

スウェーデン Lund 大学産業環境経済国際研究所教授)

ヨーロッパにおいてエネルギー問題は大きな関心事となっており、エネルギー安全保障の観点からよく議論されている。また、気候変動ももちろん大きな問題であるし、特に製造業の仕事の多くが東に移っていることから、ヨーロッパ経済の競争力維持と雇用促進のための道の一つとして、イノベーションが重要視されている。

再生可能エネルギーは、こうした領域で目標に到達するための一つの方法と考えられている。われわれは、人口増加、経済成長、エネルギー需要の増加を伴った世界の発展を目の当たり

にしているが、それによって展望は複雑なものとなっている。同時に、石油の生産量が減少に転じるというピーク・オイルに関する議論もある。これは、エネルギー需要の増大と同時に論じる必要がある。

気候問題に関して、IPCCの報告では、世界の気温上昇を2℃未満に抑えるには、地球規模でのCO₂排出がどの程度であるべきかについて述べている。この2℃というのはEUで設定した目標だが、国際的な合意を得ているわけではない。しかし、2℃の気温上昇でさえ、生態系や給水、健康状態、食糧生産や、他の多くの分野にも重大な影響をもたらすという予測は、ヨーロッパでは広く理解を得ている。

CO₂排出は今世紀末には世界的にみてゼロを下回るまで削減する必要があるだろう。そのためには、2040~2050年ごろまでにヨーロッパや日本など工業国の排出量がゼロになるか、それを下回ってさらにその削減を加速させなければならない。これは、国際的にも工業国の間においても一般的に認識されていたよりも、かなり大きな挑戦になる。

この取り組みについてEUは2007年3月に合意に達しており、およそ2カ月前には2020年までに温室効果ガスを少なくとも20%削減するという点に関して、さらに詳細な点を打ち出した。またEUは、この意欲的な削減政策と戦略に他の各国も参加してもらえれば、30%の削減を行なうつもりである。また、再生可能エネルギーは現在ヨーロッパで8%だが、これを20%まで引き上げる必要がある。

この大まかな目標は、今年の1月に一括法案になったが、これは欧州委員会による提案であり、欧州議会と欧州理事会とで検討されることになっている。この一括法案では排出量取引を扱っており、合意した取り組みにおいて分担すべき割当が提示されている。再生可能エネルギーについての詳細事項も含まれており、さらに二酸化炭素回収・貯留などに関連した提案もある。

再生可能エネルギーの計画実施に当たり、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を20%にするという目標を設定している。これについては、全加盟国が自国の潜在的可能性を活用し、さらに再生可能エネルギーに関連したすべての技術が求められる。また、冷暖房のための再生エネルギーについても、新しい指令がある。現在、ヨーロッパではその大部分が太陽光発電と風力発電という再生可能エネルギーで占められており、その成長率は2桁とかなり目覚ましいものがある。

ここまで到達するのに、EUが主に目を向けていたのはテクノロジー開発ではなく、政策展開である。なぜなら、政策というのは非常に強力なアクションと促進を支援するために存在するものだからである。支援システムには、税制上の優遇措置、取引の国別割当制度、電力固定価格買い取り制度などがあるが、再生可能エネルギーを最大に浸透させたのは電力固定価格買い取り制度である。

では、この問題の経済的側面は何なのか。電力固定価格買い取り制度については、一部の人は非常に高いコストになると指摘しているが、欧州委員会の資料によると、認証制度の方がコストは高くつくと言われている。電力固定価格買い取り制度を

通して1ユーロを支払う方が、認証制度よりも購入できる再生可能電気の量が多くなる。電力固定価格買い取り制度による支払い額は、電気の売却によって回収され、そのお金が今度は発電設備の付帯費用の支払いに回される。これは注目に値する点ではあるが、全体のコストはそれほど大きく上昇するわけではない。

他の大きな分野として、エネルギー研究の進歩がある。欧州委員会は、ヨーロッパにおける戦略的なエネルギー技術計画案を採択した。この計画案は、技術開発を通じて生産能力を向上させ、必要とされる新しい技術を提供するものである。しかし、この種の事柄に対してヨーロッパではそれほど大きな資金は投じられてはいない。そこで、欧州委員会は研究を増やして、技術開発にもっと資金を投入しようと考えている。

戦略的なエネルギー技術計画としては、ヨーロッパの産業界が公共セクターと協力して、エネルギー研究における提携関係を発展させるよう後押しし、エネルギーインフラ、ネットワーク、システムなどを、持続可能な発展を一層支えるシステムへと移行させようとしている。エネルギー効率改善はもちろん重要な課題であり、これがエネルギーシステムの改善に向けて大きな進歩を遂げることができる分野なのである。

ヨーロッパのエネルギー供給網は発展途上にあり、電気に限らず、ガスも含めた単一の市場を創出することがヨーロッパでの壮大な目標である。では、このような大規模なグリッドをどのように運営するかというときに、規模の小さい風力や太陽エネルギーが各地で今後増加するであろうことから、エネルギーの貯蔵はますます重要視されている。第二世代のバイオ燃料も目標の中に組み込まれており、2020年までに再生可能エネルギーを20%に、バイオ燃料の混合率を10%にするという目標も含まれている。

私に関わっているプロジェクトは、ウィーン郊外にあるI I A S Aが始めた世界的なエネルギー評価に関連するもので、日本もメンバーとして参加している。課題は、世界のエネルギーシステムの大きな変化に伴って、現在あるさまざまな問題に同時に対処する方法を見つけることである。そのためには、最終エネルギー消費における効率の大幅アップや、再生可能エネルギーのさらなる増加について、考え方のパラダイムシフトが求められる。

こうしたことは、重大なエネルギー問題に包括的かつ統合的な方法で取り組むために必要なことである。それがまず評価の足がかりとして行なう試みであり、その評価とは、科学的な根拠があり、包括的かつ統合的で、政策に関連しており、これらの懸案事項や技術アセスメントに関連したすべての問題を扱うものである。しかし、ゆくゆくは、グローバルな視点と地域の観点の双方に立脚した、戦略的な政策と投資分析を備えるものになるだろう。そして、浮上してきた昨今の世界的な課題に包括的かつタイムリーな方法で同時に対処することが、私たちが知っている唯一の取り組み方法なのである。

また、そこから知識クラスターが生まれる。問題に対する初期段階の評価や特性の決定、技術の選択肢や資源の調査、システムレベルでの問題分析、課題に十分に対応したエネルギーシステムの発見に向けたシナリオの作成などである。これらの基

になるのは、I I A S Aがエネルギーシナリオを構築する上で積み重ねてきた経験であり、最近では世界エネルギー会議(W E C)と10年程前に作成した実際のシナリオである。そして、もちろん政策面を扱うことも含まれる。つまり、国レベル、地域レベル、そして国際レベルで政策を考え、地球規模の視点に立ったときに本当に望ましいといえる種々のエネルギーシステムを実現できるようにするということである。

I P C Cのようなスタイルの主だった報告も発表されるだろう。しかし同様に、政府間でのプロセスや、地域レベルならびに利害関係者の間での広範な審議といった興味深いフォーラムなどについても、情報が記載されたレポートが発表される。このような取り組みが進めば、公的部門ならびに民間企業における政策や意思決定者のニーズを満たせるように、情報の関連性と妥当性の強化を図っていくことができる。この取り組みを続け、さらに裾野を広げることが私たちの希望である。2010年の秋までにはその取り組みを終わらせ、そこから2011年の春にかけて成果を発表することを目標としている。

「太陽光発電技術開発の現状と将来展望－2050年に向けて」

小長井 誠
東京工業大学大学院理工学研究科教授

太陽電池の生産量を国別に見ると、日本、欧米で非常に生産量が増えてきているが、太陽電池と言っても、非常にたくさんの材料がある。現状、生産の主流はシリコンのバルク型太陽電池と言う単結晶あるいはキャストシリコン太陽電池のもので、シリコンのリボンも少しあるが、これからの本命はシリコンの薄膜太陽電池や、銅、インジウム、ガリウム、セレンから成るC I S S、CdTe (Cadmium Telluride) などの薄膜系のものである。太陽電池の生産量は2006年で2.5GWとなったが、将来はこの10倍、100倍の生産量に持っていかなければいけない。

日本の住宅用太陽光発電システムは1994年から始まった補助事業をきっかけに申込者が増え、2004年には5万件以上の申し込みがあって、2005年で終了している。しかし、積算導入量を国別に見ると、ドイツがexponential的に増えており、2006年には日本を上回った。先週、国際ワークショップを開いた時に、E UコミッションのA.Jager-Waldauさんがまとめてくれた図面で今後3～4年の太陽電池の生産量を予測すると、2006年で世界で5GWぐらいだが、2011年には30GWの製造設備を持つと予測される。ちなみに、日本のそのころの製造設備は4GWだが、ヨーロッパはその倍ぐらいで、チャイナ、台湾の辺りが大変伸びてくると予想されている。そのときに、使われているだろう材料は、現状は9割以上がバルクのシリコンのところ、薄膜系がぐっと伸びてくるだろう。薄膜の中ではシリコンの薄膜が一番研究が進んでいるが、アメリカのある企業がやっているCdTeが今、非常に伸びてきている。ほかにC I Sの系統、色素増感や有機などもある。

日本政府が出したオフィシャルなターゲットは、2010年に4.82GW導入する、そのときの発電コストは23円/kWhと

いうものだが、現状の導入量から見ると、1年くらい遅れてこれが達成できると思う。さらに将来を見ると、2030年までには日本で100GW入れたいということだが、そのためにはkWhコストを7円くらいにしなければならない。

kWhコストを下げるには変換効率が重要なパラメーターとなるが、それ以外に低コスト化や耐久性も重要である。従って、2030年のロードマップ(PV2030)の議論で耐用年数を30年としていたのを、桑野さんは「50年にしろ」と大変強く主張しておられる。ただ、私どもアカデミアに居る者にとっては、この変換効率のターゲットは大変重いわけで、これからかなりチャレンジングなことをやらなくては行けない。それには幾つかのブレイクスルーが必要だが、それこそ今議題になっているイノベーションである。

その上、今度は「クールアース50」という話が出てきて、2050年までに50%のCO₂を削減することを今、議論しているが、太陽光発電の変換効率が20~25ではエネルギー源としてはまだまだ低いことから、「クールアース50」では40%のエネルギー変換効率を目指すこととなった。

現状のエネルギー変換効率を見ると、シリコンで一番変換効率が高いのは24.7%というものがある。多結晶シリコンで20%、ガリウムヒ素が25%、CIGSが18%、シリコンの薄膜が10%ぐらい、有機色素増感が10%、III-V化合物半導体のデュアルジャンクションやトリプルジャンクションは30%以上という値である。

ただ、シリコンについては明確な理論限界があり、いろいろ初率制限要素を取り除いても、理論限界は29となる。こういうシングルジャンクションの太陽電池の効率を克服していくには、二つしか方法はない。一つはマルチジャンクションにすることで、昔から分かっていたことだが、作り方、材料開発、製造コストの問題などがあって、今、すべてに使われてはいない。ただ、これは結晶系ではかなりやられており、ガリウム・インジウム・リン、ガリウム・インジウム・ヒ素、ゲルマニウムという、トリプルジャンクションの太陽電池を作ると、240倍の集光下で40.7%という変換効率が得られている。ただ、将来2050年に10TWのPVを導入しようと思うときには、必ずしもこういう物が使えるとは思えないので、やはり、大面積でたくさんできる薄膜技術を使って効率を上げていくことが一つの技術開発のポイントとなる。すなわち、薄膜シリコンでもトリプル、あるいは4~5接合に増やして、変換効率をさらに上げていくことが一つの方法となる。

もう一つは、今までの太陽電池の理論は、フォトンが入ってきたときに電子・正孔対が一对できるということを基にしているが、これをうまく打破するような新しい現象が見つかり、効率はかなり飛躍的に上がる可能性がある。例えば半導体のConduction BandとValence Bandにフォトンが入ってきたときに、一对ではなくもう一組電子・正孔対が出来るようになったとしたら、理論効率がぐっと上がってくるわけだ。また、この禁制帯幅よりもエネルギーが低いフォトンが来たら普通は透過してしまうが、この禁制帯の中間にIntermediate Bandを作り、エネルギーが低いフォトンを使って電子・正孔対を一組作ってやるという方法もあり得る。普通は不純物をこ

ういう所へ入れてやろうとすると、こういう効果よりもむしろ再結合する方が多くなってうまくいかないが、例えば、最近はやりのQuantum dotsを使うと、再結合するよりも励起する確率を上げることができ、有効に使えるかもしれない。

昨年、それを示す大変重要なデータがアメリカのNRELから出てきた。つまり、禁制帯幅の3倍のエネルギーを持ったフォトンを当てたというデータだ。もともと普通のバルクのシリコンでもインパクト・アイオナイゼーションで、エネルギーが高い所では一組以上の電子・正孔対が出ることが分かっているが、シリコンの量子ドットを使うと、よりこういう現象が現れやすい。つまり、ひよっとすると、量子ドットを使うと一つのフォトンから複数の電子・正孔対を得ることができるかもしれないというわけだ。

最後に一つだけお話ししたいことは、実は今までAISTとタイのポーボンさんのところとも一緒にやってきたことだが、これからの太陽光発電の世界展開を考えると、やはり今まで標準状態で議論したことは必ずしも適用できないということだ。2030年までに日本で100GWの太陽光発電システムを導入するというと、国民一人当たり1kWの太陽光発電を持っているということで、2050年に世界の100億人に1kW与えると10TWになる。その10TWをどこへ付けるかということ、やはり人口が多いインドや中国の南部、インドネシア、砂漠の近くなどの低緯度帯がまず考えられる。まず太陽のスペクトルが全然違うし、温度も違うので、低緯度帯で使うと、太陽電池の1年間の発電量は2割くらい違ってくる。

「PV Activity in Thailand」

ポーボン・シッチャヌグリスト

タイ国立科学技術開発機構(NSTDA)

機構長アシスタント

タイにおける電気の使用量のピークは10~15年後には2万MWで、そのピーク値のコストは16.67Baht/unitになる。今は1パーツ3円なので3を掛けてほしい。ピークとオフピークの差は、大体300MWのペースで開いていく。つまり、ピークに間に合わせるために、1年ごとに300MWの発電所を造らなければいけない。太陽電池をタイで買くと、大体10Baht/unitつまり30円/unitになっている。それがこれよりも低いということは、タイは今では太陽電池がピークカットには適切だということだ。そこで、非公式な政府の計画では、2010年~2020年にはピークの10%を太陽電池で供給することを考えている。

そのために2006年、addというシステムが出来た。これは先ほどのフィード・イン・タリフということで、タイの場合は、太陽電池を使う人に対して、10年間に限り、8パーツを追加で支払う。これは発生した分ではなくて、metering、つまり残った分だけ売れるということだ。ただ、家の場合は余った電気がほとんどないので、結局、今はパワープラントにしか適用されないということで、このシステムが出来てからパワープラントのような所がタイでは3カ所出来ている。そのほかに、投資する場合のPrivilegeも出来ているが、一応、太陽電池はfocused

industry になっている。すなわち、タックスが8年間フリーで、機械や材料をインポートする場合もタックスが無い。今、そのためにタイでは 100MW のファースト・ソーラ・プラントを造る計画がある。

将来はカーボンクレジットについてもっと活発にやってみようと思う。もう少しアジアの中のコラボレーションが必要だ。例えば、これからカンボジアやインドに僕たちの技術を導入していくつもりだが、僕のアイデアとしては、やはりインドやビルマなどと一緒にやってみようことをもう少し強調した方がいいのではないかと。

あとは少し違う発想で、例えば、バイオディーゼルに太陽電池をどうやって適用するかも考えている。今までバイオディーゼルを作るときは電気と熱が要ったが、僕がタイで開発した P V / T を使えば、電気と熱が提供でき、このシステム自体が完全に独立でき、インドなどの田舎の方にこのシステムを導入できる。その意味でも、やはりインドやアジアの南の方と一緒にこれからやってみよう。

「サステナブルバイオマス」

坂西 欣也

産業技術総合研究所バイオマス研究センター長

大陸別にバイオマスの量的なポテンシャルを見ると、アジアには 87EJ (原油換算 23 億) という量になり、世界の約 40% を占める。タイのような熱帯地域が多く、成長速度が非常に早いということと、バイオマスの組成として、パームやいろいろなプランテーションの農産廃棄物が見込まれる、森林の資源もあるということだ。一方、日本でのバイオマスのポテンシャルは、製材業から出てくるウッドバイオマスでも原油換算で約 600 万キロリットルで、製紙工業から出てくる物が 640 万、農業残渣や下水汚泥や食品廃棄物も合わせると 1700 万キロリットルとなり、日本の年間ガソリン使用量 6000 万キロリットル、ディーゼル 4000 万キロリットルから見ると、17% というポテンシャルとなる。従って、大体 10% ぐらいをバイオマスから作っていくのが日本でも妥当な数字目標となるだろう。

バイオマスの種類と技術とプロダクトを表にしてみた。マリンバイオマスも今、三菱総研や水産庁、われわれの研究センターと一緒に調査研究を始めているが、まだ量的なポテンシャルが出てきていないので今回は割愛させていただく。今日は、リグノセルロース系の食料ではないものからエタノールを作る技術で、エタノール発酵できない物をガス化経路でジメチルエーテルや合成石油、合成燃料を作る技術についてお話ししたい。

この第一世代はブラジルのサトウキビ、アメリカのトウモロコシでもう実用化されているが、食料との競合問題が起こっている。それで、第二世代、つまり、食料や紙を作った残り、森林資源や農業残渣を使う研究開発を進めているところだ。われわれが今、開発を進めているのは、ワンリアクターで糖化発酵を行い、エタノールを省エネルギー型で回収していくシステム

である。こういう木のような物はグルコースに転換することが非常に難しいので、それをいかに硫酸などの試薬を使わずに活性化していくかが重要だ。酵素糖化もわれわれが持っているアクレモニウムという菌を使って、酵素を自前でオンサイト生産する。また、ヘミセルロースはキシロースを出し、キシリトールということで天然の微生物では普通、分解できないので、遺伝子組み換え技術が必要になる。そこでこの C 5 の部分をエタノール発酵するという技術も行っている。

前処理の方法だが、まず木くずを数十マイクロンまで粉砕する。われわれの方法では、エックス線等の分析でナノレベルに解裂していることが分かっている。続いて、セルラーゼという酵素を使えば、ナノレベルの繊維を透過でき、グルコースに転換できるので、セルロースをいかに nm サイズに解裂させるかという技術開発を行っているところだ。

ユーカリやオーク、ビーチなど、いろいろな木の種類を試しているが、キシロースは広葉樹や農産廃棄物にたくさん入っているので、こういうものをエタノールの原料にしてキシロースの発酵ができると、従来の 1.5 倍まで収率が上がってくると予想される。そこで、遺伝子組み換え菌の研究が行われれば、農産廃棄物や広葉樹からエタノールの増産が目指せるということだ。ただ、日本は針葉樹のスギ、ヒノキが多いので、キシロースが少ない。しかし、従来のグルコース発酵はお酒を造る技術と同じなので、キシロース発酵しなくても針葉樹からエタノールをたくさん作ろうということで、バイオマス日本戦略では、伐採されていないスギや山に切り捨てられた物を使うことになる。

第2に、B T L、つまり、ガス化して合成ガスを作ってディーゼル等の燃料を作ろうとしている。これはアロマフリーということで、すすも出ないし、サルファーフリーということで N O x の分解触媒も搭載できる新しいプレミアムディーゼル燃料である。しかもバイオマスであれば C O 2 の削減にもつながるので、化石資源に対する優位性を出せ、将来的には水素の原料にもなる。ジメチルエーテルやメタノール等の含酸素燃料を作るのにもバイオマスはもともと酸素を含んでいるので、非常に有利だと考えている。ちなみに、ヨーロッパ等では既にドイツのルルギー社やコーレン社を中心に、B T L のプラントが開発されている。

われわれのところでは木や農産廃棄物を使って水素と C O の比を 2 にコントロールできるようなガス化方法、あるいは、F T 触媒で非常に活性の高い触媒を開発する方法により、水素化分解して、ワックス等の重質な分を灯油、軽油、ジェット燃料に使えるような品質にしている。典型的な生成物は炭素数が 20 以上のワックス、重質油留分だが、これはきれいな重油としても使えるし、さらに分解することで灯油、軽油、ジェット燃料留分の収率を上げていくこともできる。

3 番目には、システム評価として、いろいろなバイオマスの熱量データ、水分などのデータベースを作って、それを Pro2 というソフトウェアを使いシミュレーションをすることにより、カーボンバランス、エネルギーバランス、効率、C O 2 の削減の効果、L C A の評価、経済性を評価している。当然、森林や農産物は C O 2 を吸収しているのだから、それを持続的に植

林・生産しなければいけない。そのハーベストや輸送のところでCO₂が出るので、こういったバイオ燃料の生産でのCO₂の評価を行っているのだ。

最後にバイオマスアジアの戦略について説明させていただく。日本の技術をバイオマス資源の豊富な東南アジア地域に導入することで、バイオ燃料を生産しCO₂を削減していく。そして、将来的にはバイオケミカル、材料の原料になるような物もバイオマスから作っていききたい。タイ、ベトナム、インドネシア、マレーシア、フィリピンでは、クルードパームオイルの残渣、リグノセルロース系で未利用の物やシュガーケーンのメインプロダクトである砂糖の残渣（バガス）等が非常に多い。ほかに、キャッサバの残渣、米のもみ殻もある、木も製材の間にいろいろな物が出てくるということで、そういった材料を有効利用することが考えられる。

もう一つのバイオマスの問題点は、地産地消である。バイオマスでは、ローカルにエネルギーを供給する必要があるということで小型分散の系が必要になるが、水素をバイオマスから作って燃料電池等と組み合わせていくことも、2050年ぐらいには必要になってくるだろう。あと、石油産業と競合できるレベルで、バイオ燃料としてのバイオエタノールやバイオディーゼルを生産することが必要になってくる。

京都議定書で言われているCDMについては、今はフロンやN₂Oなど、バイオ燃料ではまだ導入されたものはないが、そういったCDMを使って東南アジア地域にエネルギーを供給して森林の修復をする。持続可能なバイオマスの生産で、砂漠化を防止しながら生産をしていくということで、余剰のバイオマスの資源からのバイオ燃料やバイオケミカルを開発・輸入するというメカニズムがあるかと思う。

われわれのところでは、パームオイルの生産残渣からメタノールやBTLディーゼルを生産するようなコンプレックスプログラム、シュガーライスコンプレックスということで、タイ、ベトナム等の米やサトウキビで、食料だけではなくバイオ燃料も同時に生産するというモデルを考えている。また、製材や紙として製造された後の木の残渣も、エタノール用の植林をするなど、リグニンをケミカルとして使っていく新しいウッドリファイナリーも今後必要になると考えている。

「Hydrogen production from water with solar energy」

堂免 一成

東京大学大学院工学系研究科教授

私の話は水から水素を作ろうという話で、太陽電池などと比べると、効率もまだ低く、すぐどうこうできるという話ではない。将来的にどうなるかについてご説明させていただきたい。水を水素と酸素に分解するのに今、一番現実的なのは、太陽電池と水の電気分解を組み合わせたものだが、もう一つ、光電気化学電池を使って、電極の表面で直接水を分解する方法がある。太陽電池で言うところの多層膜型と似たようなやり方をすると、12～18%ぐらいの太陽エネルギー変換効率で水が分解できることが分かっているが、大規模なアプリケーションに

持っていくことは大変である。大規模に持っていけないかということで、グレッツェルたちが提案している安価な光電気化学電池と湿式太陽電池を組み合わせる方法があるが、これも今、3～4%ぐらいの太陽エネルギー変換効率である。

私がお話したいことは、人工光合成型あるいは光触媒型と言われる水の分解方法である。将来的に非常に大規模なアプリケーションをする場合に、こちらの方が優位になる可能性がある。実際に光を使って水を分解する場合、1個の光で1個の電子を励起するとき、1個の水素分子を生成するためには2個の光子を使う。この場合、大体波長が1000nmぐらいの近赤外領域まで使えることになる。しかし、現実問題として、反応速度を考えると水分解に使えるのは可視光の一番長い方で、800nmぐらいまでが妥当であろう。

それで水を分解するとしたら、100%の量子収率（IPCEに相当する）の場合、800nmの光まで使えば、太陽エネルギー変換効率は30%を超える。現実的に量子収率60%ぐらいだとすると、20%ぐらいの太陽エネルギー変換効率になるが、そのような材料を開発することがこれからの課題だ。

これは紫外光を使って水を分解する光触媒の例であるが、ミクロンオーダーのタンタル酸ナトリウムの表面に酸化ニッケルを少し付けた微粒子だ。この表面に光が当たると、水素と酸素のあぶくが出てくるが、量子収率50%ぐらいで400時間以上安定に水が分解していく。ただし、これは紫外光で、太陽光は使えていない。

これはわれわれが最近開発した窒化ガリウム酸化亜鉛の固溶体の材料で、黄色い色をした1ミクロン以下の粉である。この表面にロジウムとクロムを使って小さなナノ粒子を付けて水を分解すると、可視光で水素と酸素が2対1で出てきて、いわゆる人工光合成型の水分解ができる。これが今、可視光領域で世界で一番活性が高い光触媒だが、太陽エネルギー変換効率はまだ1%弱である。使える光の波長が、400～800nmの可視光のうち500nm弱にしかなくなってないからだ。

そこでもっと長い波長を使うために、2段階で水を励起してやることを考えている。このやり方は、今日来られている佐山さんたちのグループが最初にやってもものだが、われわれは670nmぐらいの長波長まで吸収できる材料を持っている。現在は2段階で、酸素を出す方は600nm、水素の方は670nm近くまで使えるようになっており、このような材料を使うと、太陽エネルギー変換効率も10%を超えるぐらいが可能だが、現在は量子収率が非常に低いので、この水分解の太陽エネルギー変換効率はまだ低い。ただ、これより長い波長まで使える材料としてニオブ系のものであり、これを使うと、ほぼ可視領域全部を使えるシステムに近い将来組できると考えている。

こういう微粒子を先に述べた光電気化学的にも使えるだろうとやってみると、確かに粉をそのまま塗っても20～30%のIPCEすなわち量子効率が得られた。ただし、大規模に展開できるかどうかは現時点でははっきりしない。

実際に太陽エネルギー変換効率が5～10%ぐらいになればどのぐらいの速度で水素と酸素が出てくるかということで、硫化物イオンを還元剤として水素だけを発生させる実験を東北大学の田路（とおじ）先生のグループが行っている。このぐらい

の効率で純粋な水を分解したいというのがわれわれの今のターゲットである。

この分野では、アメリカでヘリオスプロジェクトと言うローレンス・バークレー・ナショナル・ラボラトリーのプロジェクトが先月（2008年2月）からスタートした。ここで一つ大事なポイントは、彼らの目標は、10年後のソーラーフュエルをつくるための太陽エネルギー変換効率が1%であるということである。この方法が大規模に展開できれば、全米の輸送すなわち車に使う燃料がすべて太陽エネルギーでまかなえるというシナリオである。その意味で言うと、われわれのやっている光触媒はもうこの1%という目標にはかなり近づいている。

ディスカッション

（石谷） 午前中の話について、あるいはそれに付け加えてコメントなり意見展開を自由に進めていただきたい。まず太陽電池は、PVに関する将来の技術の問題ももちろんあるが、CO₂削減あるいはエネルギーセキュリティなどで非常に大きなオプションになる。ただその実現にあたっては、コストの問題がやはり大きい。日本と途上国を含めた世界はこの推進に対してどうあるべきか、あるいは何をやるべきなのだろうか。

桑野さんは長いご経験をお持ちなので、ぜひご意見を伺いたい。

（桑野） クライメットチェンジ（気候変動）という新しい言葉は、EUの世界に対する素晴らしいメッセージだと思う。ヨーロッパの人はやはり北極が近いので、非常に現実的に物事を考えて、CO₂の排出権取引という先進的な新しいビジネスを起こしている。

2点目は、気候変動にわれわれは何で立ち向かうか。僕は、気候変動とエネルギー問題を解決する一番大きなポイントはやはり太陽エネルギーの利用だと思う。

3番目は、太陽電池が発明されてたった50年なのに、太陽はあと30億年は続くということだ。今の製造量をこれから10倍、100倍にしていかなければならない。それはグローバルイノベーションを起こす以外にない。

（石谷） 今の3点は全く同感だが、CO₂排出コストを考えなければ現在の化石燃料ベースの電力に比べて、コストは明らかに高い。また、ヨーロッパに比べて日本の企業は、中国と韓国との競争に非常に神経を使わなければならない、高い電力はそのまま産業の競争力喪失につながるという背景がある。そこをあえて打ち破れるのかどうか。

もう一つは、それでもやるべきだという形で説得ができるかどうか。また太陽光発電も、もう少し安くなれば無理なく普及できるが、そういうことも必要なくなる芽が見えているのかどうかの判断が重要である。

（桑野） 排出権取引で今、ヨーロッパがCO₂にかけている値段は1トン当たり約3000円である。すなわち、今までただで放出していたものは駄目だという概念を、まさしくグローバ

ルイノベーションとして入れてきているのだ。しかも、もしも約束以上に排出したら大体1.5万円、5倍のペナルティーを払えということも作ってきている。だから今、日本のマスコミも含めて、CO₂排出権がものすごくシリアスになってきているわけだ。それはやはりヨーロッパがリードしたのである。

日本では企業活動という意味において、炭素税を入れたら困るという論議が随分あるのは分かるが、それを乗り越えてヨーロッパがグローバルイノベーションを起こしてきていることに対して、何らかの対応策を出さなければいけない。

（田中） われわれが今回ここへ出した仮の提案は、とにかくCO₂をどうやって減らすかといったときに、なるべく先端技術を使ってイノベーションにつなげるようなもので、中長期の計画が必要なものを引っ張り出すということだ。それがフォトルタイック、バイオマス、水素生産、ソーラー・ハイドロジェン・プロダクション、マリンバイオとなっているわけである。そういう方向でいいのかということ、グローバルなフレームワークの中で、日本としてどうやってコンペティションで勝つか、どうやって諸外国とコラボレーションしていくかという2点から、具体的に提案をしていただけるとありがたい。

（藤野） 僕は桑野さんがおっしゃったところは大事だと思っている。COP3の京都議定書の時に、既にわれわれは炭素に対して排出の制約を課すというルールを作った。今さもEUがETSを作って価格が発生したと思っているが、実はもう企業ベースでも価格は発生している。従って、いかにルールを作っていくかが社会イノベーションだと思う。

（石谷） 日本の企業ももう既に2000円ぐらい払っているという説もあるが、それにもかかわらず、一般の最終需要ではCO₂排出にはコストを全然払ってもいないということに別の問題がある。

（藤野） 僕が見る感じでは、責任の所在があいまいすぎて、企業は企業で勝手に責任を取って、企業ベースだと環境家計簿を付けたりしている。しかし、家に帰ったら全然負担しない。ドイツのフィード・イン・タリフのように、みんなで負担することが大事だ。

（石谷） 日本では企業の自主行動計画（ボランタリープラン）があって、自分でキャップをはめて、CO₂削減を進めている。その一方で、個人ベースでは何らそういう動きはない。ドイツなどではそこところが非常に違うと思うが、ヨーロッパ全域でそういう感じにもうなっているのか。

（ヨハンソン） ドイツ、英国の一部、北欧諸国など幾つかの国では問題意識が非常に高まっており、人々が自らの炭素収支に目を向け始めている。しかし、こういった努力をまとめても与える影響はまだ小さいもので、ヨーロッパで一般的に認識されているのは、自主的な行動が企業レベルでは機能していないということだと思う。

エネルギー価格や競争力といった問題はエネルギー集約型産業に集中しているため、大部分の企業にとってはそれほど大きな問題ではない。しかし、エネルギー集約型産業に関して言えば、基本的に先進工業国がWTOの下で交渉し、最終的にはカーボンレジームに有意義な形で参加しない国々に対しては、エネルギー集約型製品に課税する必要がある。

少なくともスウェーデンにおいては、多くの産業が自社のエネルギー問題を強調している。私の同僚が調査したところ、中小規模の産業では電気使用を30～50%削減して収入を増やせることが分かった。私は、この種の活動が産業界の標準になるべきだと思う。確かに幾つかの問題は存在するが、アプローチの方法も複数ある。

(石谷) 確かに、エネルギーインテンシブなインダストリーにとっては非常に深刻な話だが、日本の場合にも最後は個人の問題になってくる。そこで日本は努力が足りないことは明白だと思う。

(藤野) 日本人は、ゴミの分別など、個人的にはすごく努力している。ただし、ゴミを分別した後の物がどのように処理されているか理解しないまま、ただ分別だけしているように思える。フィンランドなどに行くと、小学生の時から税金の使い方から勉強している。トーマス・ヨハンソンさんが示されたリニューアブルエナジーも大事だが、エネルギーエフィシエンシーやニュー・クリア・フュージョンも、全体の様子を見ながらどうやってインテグレーションしようかという作戦があるように見える。

(田中) ベネフィットもリスクも含めて、新しい技術の社会受容つまりパブリックアクセプタンスについての日本政府の教育プログラムは極めて貧しい。そのために何か新しいことをやろうとしたときに、ベネフィットとリスク両方の議論を併行して進める、あるいは技術開発と制度的な検討を同時に進める、といったことがなかなかできない。このあたりの政府側の戦略的な組み立てが極めて弱い。例えば、太陽電池は既存電力とのコスト競争では明らかにまだ勝てないが、政策的にマーケットを作ってやるという進め方がある。一時これが日本では成功したのだが、補助金を切ってしまったら、途端にマーケットが縮んでしまった。そういったことの市場刺激策、その他も含めた包括的な国家戦略の構築が遅れている。

(小長井) この分野は産業界が非常に活発にやっているので、近い海外と協働でやるということは非常に難しいと思う。例えば、せっかく桑野さんのところで育て上げたシリコンの薄膜太陽電池も、今、アメリカの大手の製造装置メーカーがターンキーを使った装置を売り出すようなところまで来ている。従って、協働でやるにはロングタームしかないという観点で、今日は遠い将来のことを考えてお話しした。

もう一つは、2030年にわが国では100GWぐらい導入するという目標だが、桑野さんに何うと実際にはその倍くらいは入れられる土地はあるという。ただ、1億KWくらいの設備が

要るということは、今の電源設備2億KWの半分になるわけだ。そういう状況では、他のエネルギーとどうミックスさせていくかという中で考えていかないと難しいと思う。

最終的には桑野さんが昔ご提案されたGENESIS計画で、超電動ケーブルを世界中に張り巡らせるということは願わしいことではあるが、取りあえずの可能性としては、今日、堂免先生がお話しになった水素の使い方が協働でできる非常にいいテーマではないか。

(石谷) 競争と協調というのは日本語も英語も非常に響きが近いのでよく言われる話だが、もちろんマーケットが視野に入れば本当の意味の協働などできなくて、基本的には競争になる。技術進歩の短いところでは、いい意味の競争が結構ある。しかし、長い方は自由にやった方がよく、高い目標を掲げて、しばらくは実現できなくても必ずリターンがあるという信念でやればいい。

(小長井) アカデミアとしてどういう方向を目指さなくてはいけないかというときには、やはりそこが一番のポイントになる。

(石谷) どちらにしろ、エネルギー供給全体を太陽電池だけでいくためには、必要な技術開発課題は山のようにある。燃料電池では、今直ちに実現するという事は絶対言わない。早すぎるプロモーションは、場合によっては全体の信用を失うような危ない面もある。燃料電池は今そういう段階なので、絶対にR&Dだけを止めないようにしようということを今一生懸命言っているわけだ。

(小長井) 太陽電池も生産はずっと上がってきているが、そのベースにあるのはやはりシリコンの太陽電池で、今、皆さんが一番気にしているのは新しいタイプの太陽電池である。シリコンの薄膜はかなり信頼性が高く出来てきていると思うが、色素増感や有機という物がかなり安く出来るということで注目されている。しかし、マーケットの信頼、長期間の使用に耐えるような信頼を十分得てからでないと、一つつまずくと全体に大きな影響が出るので、注意して導入していかなければいけない。私はそこが一番気になっている。

(石谷) だからと言って、古い安全な電池を大量に普及させた方がいいのか。企業の体質から見て、それが将来の電池の加速になるということなのか、もう少し待つべきかという議論がある。

(小長井) 年とともにその比率がどのように変わっていくかという予測は難しく、予測よりも早く変化するのが常である。本当にいい物で信頼性よく出来るようになれば、どっと行く。

(藤野) 石谷先生のご質問を僕が勝手に解釈すると、今、仮に1兆円あったとして、今1兆円使って普及に徹底的に使うこ

とが後々の太陽光のためにいいのか、それとも 20 年、30 年かけて 1 兆円を使って、技術開発を最初にやっておく方がいいのか、太陽光はどちらの方がいいのか。

(小長井) それは同時に進めないといけないのではないかと。

(桑野) 企業の作り出されたマーケットが今、一応少し動いている。従って、信頼性が確認されるまでは新しい物についてはアカデミアの方できちんとやるということだろう。

(小長井) 信頼性を確認するのはアカデミアの仕事ではないと私は思う。それをのぞく方法を見付けるのはアカデミアだが、実際に実証するのは企業だと思う。

(桑野) 現実にはケース・バイ・ケースで普遍的な答えはない。太陽電池は今使えるのだ。電気代よりも高いとみんなが言っているのは、太陽電池の寿命を 20 年で計算しているからで、40 年なら十分今でもフィジブルなのだ。寿命を 30 年で考えると 30 円/kWh だが、寿命が倍になれば産業用の電力料金と一緒にになる。ただ、それは技術的に本当に 40 年持つのかという問題とトレードオフになる。だから、みんなが一生懸命にビジネスとして立ち上げていこうとしているのだ。ところが、今日お話があった太陽光を使った水素の発生はまだそこまでは行っていないし、バイオマスも建材を使ってやるということでは、まだそこまでは行っていない。

それから、田中さんが説明したこの会議の目的からいくと、EU にも日本の太陽電池を売っているんで、生産量はまだ 1 番である。どこでオーバーカムされたかという、要はフィールド・イン・タリフである。今度は日本がそれを引き継げばいい。それが国際協調だし、国際競争だ。

(藤井) 私は電気工学科で、システム工学の研究をやっている。その観点から言うと、太陽電池は効率が高い方がもちろんいいが、バイオマスと比べるとけた違いにいいので、今の段階で十分いいのではないかと。とにかく値段を下げるのが一番重要だ。日本の一次エネルギーを全部太陽電池で賄おうとしたら、ラフな計算で言うと国土の 5% ぐらいが要る。しかし、畑や田んぼの面積を全部足すと 13% ぐらいなので、それよりは少ない。kWh20 円で売れると 1 年間に 1 平米当たり 3000 円ぐらいの収入が入る。農業では 150 円ぐらいなので、太陽電池が本当に経済的にペイするようになれば、面積の問題はクリアできる。

先ほど石谷先生からあった、待つか待たないかというお話では、燃料電池の時と少し違うことは、kWh 当たりの値段が 1000 円のところもあるし、商用電源で 20 円のところもあるということで、その間の 100 円といったところにはどんどん太陽電池が入っていくだろう。商用電源が 20 円も、本当は山奥や辺りな所では送配電のコストを考えると電気の値段は高くなっていいはずなのに、今はユニバーサルサービスということで一律の料金で提供している。だから、本当の原価を反映したような価格で電気が売られるようになると、もう少しいろいろ

んな所から太陽電池や風力発電が入っていくと思う。

(小長井) 太陽電池の販売価格は、普通の商品と同じく導入量に対して変わるといって、今、導入量が 2 倍になると 0.8 くらいで減ってきている。従って、数年のうちに、結晶系、薄膜系の生産量がどっと増えてくれば、それに従って下がってくると思う。

(生駒) もう少しマクロな視点で話をしてほしい。ここはコストの議論などをする場ではなく、20 年、30 年先に地球問題を解決するとき、太陽エネルギーをどのように利用していくかを話す場だ。

(石谷) エネルギーシステムは 40 年先、50 年先のことを考えたときに、今何が出来るかから考えておかないと、50 年先に出来た技術を考えて、それを実現しようと思えば、それからまた 30 年か 40 年かかるのだろうと思う。

(生駒) バックキャストの考え方はそういう考え方が、シリコンのソーラーバッテリー、ソーラーセルはすごくはっきりしているから、むしろその先の、コストを安くするにはシリコンだけでは駄目だと。今度、シリコンを作るときにエネルギーが大変だから、あるいは資源が枯渇するから、そのステップの先に何をやらなければならないかという先の 50 年を想定して政策を議論してほしいというのがこの立場だ。

(藤野) ポーボンさんのプレゼンテーションでよかったと思ったのは、太陽光の技術をバイオマスに組み合わせて、熱と電気の両方を作って地域に必要なエネルギーをその場で供給しようという発想で物事を考えていることだ。

(大川) 環境研の方で 2050 年のシナリオの中で、原子力がベースの場合、自然エネルギーの場合と二通りシナリオが書かれている。太陽光の場合は直流で小さく出来ているわけだから、ビルディングの高低さえなれば都市型のエネルギーで、最終需要者のエネルギーだと思える。一方でバイオマスは地方にあるので、エネルギーの種類に合わせて、今後の 2050 年に向けての普及のシナリオを作る必要があると思う。

(石谷) シナリオはもうエネ庁や環境研あたりが随分作っている。だから太陽エネルギーを今取り上げた。そこはそんなに私は心配していない。ただ、いつのタイミングでやるかが非常に難しいと思うから、今何をやるべきかが非常に重要だと申し上げている。

(ヨハンソン) 太陽光発電コストの低減について、私たちが数年前に行なった試算によると、300 億ドルから 400 億ドルという巨額の投資が必要になる。しかし、従来型のエネルギー源に対して、世界中の政府が毎年およそ 2,000 億ドルの補助金を出している。また、気候変動によるコストは GDP の 5%、あるいは 20% かそれ以上にもなりかねない。たとえ 1% 台の

コストについて話しているときでも、影響面を考えれば10倍以上にはね返ってくるのだから、こうしたことは冷静に判断する必要がある。そして、排出量の制限に向けて十分な行動を取れるようなシステムを見出す必要がある。

つまり、スウェーデンなどヨーロッパ、日本の各国が、例えば2040年ごろまでに温室効果ガスの排出をゼロにしなくてはならない。バックキャストिंगに関する先生の意見こそ、目標に到達するために私たちが実現すべきことだと思う。ただ、私たちは目標を実現するための経済システムを現在持ち合わせていない。イノベーションというのは技術的な問題ではなくて、経済システム的设计にかかわる問題であるにもかかわらず、十分な注意を払っていないのである。これは大きな問題である。

(石谷) 今、太陽エネルギーは石油エネルギーの3~4倍ぐらいコストがかかっているが、エネルギーコストはコストとしてはG N Pの2~3%で、付加価値がやはり2%ぐらいある。そうすると、そのコストが仮に3倍になっても6%ぐらいで、ヨハンソンさんが今言われたようにダメージコストが20~30%になったらはるかに安い。なぜできないかということ、最後に言われた国際的な協調が完全に整合性が取れていないというところにあるが、これをここで言うてもしょうがない。

(生駒) しょうがなくはない。それをどうするかをプロポーザルして、インターナショナルコミュニティに働き掛けたいのだ。日本は74年にサンシャインか何かが始めて、テクノロジーディベロップしたが、マーケットサイドの刺激をあまりやらなかった。ところがドイツはマーケットサイドの刺激を先にやって、日本の技術を使ってマーケットを広げた。だから普及率はうんと高い。これはやはり日本の政策が科学技術政策にかかわらせたのであって、イノベーション政策ではなかったからだ。

2050年までにエミッションを減らすためには、これから世界で一体何をやるのか。アフリカ、インド、中国をどうするのか。中国は砂漠がたくさんある。ヨーロッパはアフリカに多分手を付けるだろう。そういうグローバルイシューを説いてほしいわけだ。

(田中) 残された時間の中で議論していただきたいことは、国際的な枠組みである。つまり、市民のレベルで、炭酸ガス削減が自分たちにどうして必要なのかということ、やはり国として教育をしていくシステム、あるいは国際的にそういうことを教育、啓蒙していくシステムの必要性。あるいは、砂漠などに大きなP Vのプラントを造るときには、恐らくいろいろな国が絡むが、それを実現するためにはどういう場で、どのように合意を形成していけばいいのか。

一つはO E C Dを中心にした国際エネルギー機構があるが、途上国まで含めて大きな砂漠に何かを造るといったときには、合意形成のプロセス、機関が必要だと思う。そういった意味でのタスクフォースが必要ではないかというのが第1点の提案である。

第2点は日本の競争力を付ける意味で、ソーラーセルだけではなくて、自然エネルギー全体の研究所、あるいは少し枠組みを広げた研究所が必要ではないかという提案である。

3番目は、全人類に炭酸ガス削減のプロジェクトの意味を理解していただくために、各国がエコモデルシティを決めて、それぞれの国の文化に基づいて、ある共通の目的に向かって努力するという国際的なネットワークを作ったらどうかということだ。こういうことについて何かご意見をいただければ大変ありがたい。

(藤野) 答えは簡単で、炭素に価格をしっかりと付ければ、クライメットチェンジについては具体的な対策はどんどん動いていくし、太陽光でももっと入りやすくなる。市民は5円のレジ袋が入っただけで、8~9割の人はレジ袋をもらわないという選択を選ぶのだから、見える化をすればいい。

また、E Uのルールづくりの話を見ると、実は産業界の方もかなり政策づくりに入り込んでいて、自分たちはこういうようなルールになってほしいということをやっている。I P C Cのリニューアブル・エナジー・リソースのスコーピング会合で決まった割り当てでも、鉄鋼などのセンシティブなところはかなり負担を減らしてもらっているのだ。

地域のネットワークは既にいろいろあるが、それをどうやって生かしていくか。例えば東アジア版O E C Dを作ろうと、東アジア・アセアン研究センター(E R I A)が立ち上がるという話だが、そこにビジョンをしっかりと持たせることが大事だと思う。

(ヨハンソン) 市民に参加を促すためには、生産サイドからの排出量だけでなく、消費者サイドからの排出量についても議論することが非常に重要である。そして、ライフサイクルにおける消費活動の中で排出を生み出すものは何か考えるべきである。『Livestock's Long Shadow』は、世界中の食肉生産は温室効果ガス排出量の18%の原因となっていると指摘している。輸送機関全体では14%だから、これは熟考を促す問題である。私たちが一人の消費者として自分の行動において本当に問題なのは何かができるようなシステムを設計することができれば、変化を遂げる方法についての感覚も生まれる。

(石谷) トランスポーターションに関しては隣でやっているが、エネルギーサプライの影響が大きい。

(桑野) 太陽電池がC O 2を削減できるのは1GWである。今、太陽電池の生産量は世界で2.5GWなので、その2.5分の1である。1GWで20年とすると、大体1.1ミリオンのC O 2を削減できるというすごい能力である。京都議定書を日本が守るためには、今、1.3億トン削減しなければならないが、そのために必要な太陽電池は、日本の敷地可能な面積に太陽電池を敷き詰めれば十分だ。

現在の世界のエネルギーを一次エネルギーで見ると、石油が34%、石炭が25%、L N G火力が21%、原子力が6.1%だが、化石燃料が無くなった2100年には、多分フォトボルトアイック

の太陽が50%ぐらいになるというのが私個人の意見である。

田中さんに対する私の意見は、1点目のインターナショナルタスクフォースのようなものは絶対必要だと思う。それに関して私はシルクロードGENESIS計画を出したが、まだ実際は何も動いていない。田中先生の2番目の話は、日本版NRELのような話だと思うが、それは今、産総研や国立環境研究所などでやっているのをまとめて、日本の技術開発をもっと加速することが必要だと思うので、これも賛成だ。3番目のエコモデルに対しても、エコタウンという形でどんどん売り出していけばいい。

(石谷) バイオもやはり同じような課題を抱えている。そういう意味でこの3番目は非常にいい方向だと思う。1番目は、貧困や食料などでは、アフリカや途上国を相手に国連機関は随分動いているので、そういう所でエネルギーの話と一緒に考えてもらえばいい。2番目は、今、環境研やAISTがやっているものの見方を少し変えていくことで十分対応できるのかもしれない。

(生駒) 2番目は、日本でいいの？ 先ほどの太陽電池を日本に敷き詰めるという話で、日本の土地は使いたくないよね。食料自給もやらなくてはいけないだろうし、土地代が高いし、住む所も無くなるから。だから違ったアイデアが欲しいのだ。一つは中国の砂漠に発電所を造って、ケーブルは超電動ケーブルの細いので引いてしまおうとか。そういうことを考えると、これはアジアでナチュラル・エナジー・ラボラトリー、あるいはハブ・コースト・ウェイ、あるいは海の上へ造るという発想もある。

(小長井) そちら辺のアイデアはもう20年ぐらい前に桑野さんが全部お出しになっているが、それが今、本当に土俵に乗ってくる時代だと思う。2番目の研究所を作るということは私も賛成だが、そこにぜひ大学の中に作る研究センターもサテライトで乗せてもらって、もっと大きな輪にしてもらいたい。

(生駒) 大きなアジアに作らなくてはならない。

(藤野) 僕の夢は、アジア低炭素社会研究所を作ることだ。

(石谷) 懸念としては、やはり中国やインドなどが一緒にスタンスで動かないと、下手をするとひっくり返るだけだということだ。日本が何かを言い出すとしたら、そこを避けて通れない。だから、そういう形でこのタスクフォースであれ何であれ、研究を共同でやる部分は共同でやる。ただ、インダストリーは別の観点で競争していただくという話だ。

(田中) 2番は両方必要だと思う。日本に作る意味は、太陽電池をやっている人と、太陽光による水素生成をやっている方と全然コンタクトがないということで、欧米ではNRELやブラウンホーファーなど、一応全体を見てやっているところがある。

(石谷) ヨーロッパの中のEUはどうなっているのか。

(ヨハンソン) 欧州委員会による研究の主な目的の一つは、協力関係を生み出すことである。従って、一つのプロジェクトに少なくとも3カ国が関係することになっている。また、ほとんどの取り組みは各種の国立機関や大学などによって実施されているが、それらは教育面からも連携する傾向があり、欧州委員会によるスペシャルプログラムで大学が互いに提携している。

(田中) エネルギーや環境に全般的に取り組む単一の、または集中型の研究所はあるか。

(ヨハンソン) 欧州規模ではない。なぜなら、欧州委員会が基本的に行なおうとしているのは、既に存在するものを実質的に統合することだからである。エネルギーや環境関連の単一のビルがどこかにあるかどうかは知らないが、私が勤務する大学にはエネルギーポータルがあり、そこから20か30の大学の学部につながって協力できるようになっている。

(石谷) アジアを含めて、自然エネルギーの在り方を研究したり、そこの協力体制を議論したりする組織はタイでも役に立つか。

(ポーボン) タイでは、何年か前にアジア全体をまとめたような形のワークショップの提案をしたことがある。タイの場合も、太陽電池の値段を下げることやフィード・イン・タリフはやっている。ただ、タイの場合は、40%のエネルギーが交通機関で使われているので、バイオディーゼルの開発やバイオフェューエルの開発がやはり一番大事で、太陽電池ではないので、太陽電池がそれをどう手伝うかという考え方に変えなければいけない。

もう一つ、NSTDAは、TIATRというインドの機関とMOUを結んで、PV/Tを研究し、熱と一緒に発生するような機械をインドに提供するなどをやろうとしている。

(石谷) 自然エネルギーは地域性が非常に高く、利害得失は地域の条件でまるで違う。ただ、その中で日本やヨーロッパのような先進地域では、太陽電池は土地効率も非常にいいし、長期的にも絶対に必要だということでこれを挙げているが、恐らくこういったインターナショナルスキームを考えるとときには、太陽電池だけでは多分いかなさう。

坂西さんは先ほどLCAでやっていらっしゃるという話だったが、最近のバイオフェューエルはかなり内部ロスの大きい操作をしている使い方が混じっているのではないか。

(坂西) 今、バイオマスは過熱すぎている部分がある。ヨーロッパも持続可能な利用という観点から、一次エネルギーで約10%というのが妥当な線である。もう一つあるのは、エネルギープライス、要するに水と食料とエネルギーと環境の値段で

ある。石油の値段が上がったとは言っても、まだ水の方が高いぐらいで、食料も実はエタノールより高い。L C A的に考えていくと、食料や水、バーチャルウォーターなどという問題もあり、バイオマスをあまりにも石油の代替にすることは、逆に環境を破壊することになってくる。それで、今の風潮はL C Aや環境社会性、生物多様性という観点から見直されており、国連でも、I E Aでも取り組みが始まっている。

私自身が思うことは、石炭や石油に依存している先進国や電力の大半を石炭火力に依存している中国やインドでは先進的な太陽光発電ではなくて、既存の発電所をいかに低炭素型にしていくかということなどを考えるべきではないか。また、アジアはバイオマスが豊富なので、石炭や石油を使っているところを、どんどんバイオマスで代替していくことを、まずここ5年、10年はやるべきで、長期的な2050年に太陽電池や水素の社会、燃料電池などを見据えてやるべきではないかと思う。

(藤井) 私は世界モデルを使って100年先までのシミュレーションなどを行っているが、バイオマスはある程度入ってくるが、太陽電池は安くするとしても入ってこない。それは系統との連携のところでやはりお金がかかるとい理由だ。エネルギーとは非常に安いグッズなので、コストが一番重要な情報かもしれないので、できるだけ安くすることが必要だ。だから電気工学関係でやる仕事はあるのと思う。

(石谷) 今、この議論はすべて電力会社にしわ寄せようとするから日本の国内では全然動かなくなっているの、そういった意味でどういう技術がバランスが取れているかといったことも考えなければいけない。藤井さんのモデルにはいつも太陽電池は外れるのか。

(藤井) コスト的にやはりクリアできない。それをやるよりは二酸化炭素の回収・貯留(C C S)をやった方がまだ経済的にいいのかなということになってしまう。

(石谷) 昔、IPCC第二次評価レポートのころにC C Sが話題になったが、やはり究極的にC C Sは無いだろうという議論もあった。今ヨーロッパのオランダなどは、非常に熱心にC C Sをプロモートしようとしているが、これに対するヨーロッパ全体のサステナビリティという観点からの感触はどうか。

(ヨハンソン) 求められる排出削減の目標を達成しようとするならば、C C Sが必要となることは疑問の余地はない。進行中の実証プロジェクトが15~20ほどで、スローペースではあるが進んでいる。

(石谷) 海底への貯留に関しては多くの議論があるのではないか。

(ヨハンソン) 複雑性が最も低いところから始めるべきだと思う。塩性の帯水層や原油増進回収に対する議論はほとんどない。確かに、C C Sをめぐるのは常にコストに関する問題が

つきまとう。しかし、コストに関する比較は、代わりに引き続き排出し続ける場合のコストと比較して行なうべきである。そして、排出し続ける場合のコストは、私たちが判断する範囲では、ずっと高くつく。従って、そうしたコストをカバーする方法を見出すことが社会全体としての私たちの責任ではないか。

(生駒) コストを入れて考えるとイノベーションは起きない。コストは経済のメカニズムによって決まるもので、最初の物はどうしても高い。ドイツの物は、コストが高いのをプライスでカバーしているわけで、誰かがペイするのだ。そのペイするものは、経済のフリーマーケットメカニズムで決まるか、人為的に決めるかで、私はコスト以上のものがあれば、その問題はオーバーカムされるという立場だ。

(石谷) 特にC O 2の問題では、現在のコストそのものが本当のコストかどうか分からない。ただ、エネルギーのシステムは、テレビの無い時代にテレビをスタートさせたような話とは全然違う。現に存在しているものと太刀打ちして勝てなければならぬのに、なかなか障害が大きいというところがある。

(生駒) そこがグローバル・イノベーション・エコシステムということで、社会システムをいかに変えていくか。言ってみれば人のマインドセットまで変えないといけぬ。それをわれわれはプロポーザルをしたいのだ。

(藤野) 低炭素社会を作っていくときに大事なものは、人々が何を求めるかということだ。本当に必要なサービスは何なのかということを考えない限り、市場では受け入れられないから、そこをイノベートする必要がある。

(生駒) そういうアイデアを膨らませてそれをプロポーズしようというのがわれわれの意図で、それは隣の部屋でやっている。

(石谷) そういう意味で、中国の上海では、エネルギー問題ではなくて、環境問題でスクーターの登録を禁止して、今、半分ぐらいは電気スクーターに変わっている。しかし、やはり中国の地方や都市の貧困層を見ると、まず経済を拡大してと考えるのは、日本でもずっとそうだったので、口で「そういうことはやめた方がいいよ」と言っても通らない。大気汚染の問題は割合説得しやすかったが、C O 2の問題はなかなか難しい。

(藤野) 中国で今、起こっていることは、新しい石炭発電所はみんなスーパークリティカル、超臨界発電所で、日本の古い発電所より効率がいい物が入っている。中国でも石油資源は全部輸入してくるから、できるだけ効率的に使いたいというマインドは持っているのだ。そのときに日本ができることは、I G C Cなどもできるだけ提供する。ただ、そのときに、技術を開発したお手当をきちんともらえるような仕組みを作って、次のイノベーションを起こす種を確実に作ってもらいたいことだ。

(ヨハンソン) 中国が掲げているエネルギー効率向上の目標は世界各国の中でも最も野心的で、群を抜いている。彼らは再生可能エネルギーについても非常に野心的な目標を持っている。それは気候のためではなく、他のとても有望な理由でそうしているのである。藤野さんがおっしゃったのは、許容できる範囲のコストでエネルギー効率を高めるよう技術を活用可能にすることについての問題であるが、EUや日本、米国といった世界の中で進んでいる各国政府が実際に資金を拠出して、技術移転ができるようにすべきである。

(石谷) 最後にいいまとめ方をしていただいた。本日はこれで終了する。