地球温暖化問題の最終解

環境イノベーションの創出と日本の選択

地球の平均気温の上昇を産業革命前に比べて2℃未満に抑える長期目標がCOP21で合意され、排出実績などを点検してすべての国が5年ごとに削減目標を国連に提出する義務が採択された。地球温暖化対策は火力発電をはじめ日本の産業界に与える影響が予想以上に大きい。本記事では、環境分野で幅広い知見を持つ安井至先生に当協会・冨澤龍一会長とご対談いただき、「2度目標」などの捉え方、産業界に求められる電力貯蔵技術や材料開発など環境イノベーション、再生可能エネルギーと石炭火力発電、さらに低炭素社会における資源循環など具体的かつ興味深いテーマについて語っていただいた。

（撮影：澁谷高晴）

必要なときに必要なものを——「新コタツ文明」の発想

冨澤：温暖化対策を真剣に検討すると我々のライフスタイルも変える必要があります。先生が提唱なさっている「コタツ」の考え方も重要だと思います。確かにセントラルヒーティングをしながら「コタツ」も使うようなことではエネルギー効率面であまり意味がないですね。

安井：西洋を仮にセントラルヒーティングにたとえるなら、木造住宅が多くエネルギー源が少ない日本は「コタツ」でしょう。必要なときに必要なところへ必要なものを提供するといったコンセプトです。幸いなことに「コタツ」のイメージは誰にとっても不快なものではありません。このように快適性とエネルギー効率の両面が満たされるものは探せばたくさんあると思います。

人間の体温も成人で100W程度ありますから、熱源として暖房に利用できるといった考えもあります。例えば、我が家では寝室の窓に3枚ガラスを入れてますが、寝る前の温度が朝になると断熱効果で少し上がっています。

冨澤：先生のご著書に出てくる小さな車の話も面白かったです。夫婦なら2人乗り自動車で子供ができれば2台連結して使う。自動車メーカーにお願いしてつくってもらったらいかがでしょうか（笑）。

安井：たった一人しか乗らないのに大型車のセンチュリーに乗らなくてはいけないのか、ということです。私の提案では、家族が2人用の車を2台持っていて父親と母親はそれぞれ違う勤務先に車で出勤する。休日になって子供を連れて出かけるときに、会話ができるよう2台をガンダムのようにガチャと連結させる。それが電気自動車なら遠出するときに後ろに小さな発電装置をガチャと取り付ける、まさにガンダム型ですね。

冨澤：そういう自動車なら東南アジア、特に中国あたりで大変喜ばれると思いますね。

東京大学 名誉教授　安井至
×
産業環境管理協会 会長　冨澤龍一

国際交渉における「ゴール」と「ターゲット」はまったく異なることを理解する

冨澤：昨年のCOP21では、2020年以降の温室効果ガス排出削減の新たな枠組みについて国際交渉が進められました。しかし中国や米国、インドなど各国の削減目標（約束草案）では今世紀中に2.7℃以上という地球温暖化が避けられない予測もあり、洪水や干ばつの増加、海面上昇などの深刻なリスクがあると指摘されています。産業界に関しては先生の本でも相当辛口の批評をいただいていますが、削減目標のベースになる上昇温度の目標値についてお考えを教えて下さい。

安井：最初に「ゴール」と「ターゲット」という言葉を切り分けなければなりません。欧米において「ゴール」はあくまで「その方向に向けてそのような姿勢をとる」ことです。国の対策つまりは「ターゲット」として目標値を目指すことはまったく別の議論です。これはゴールとターゲットを同一のものとして認識する真面目な日本人にとって一番難しい問題です。

冨澤：それは企業経営者や産業界にもあてはまるのでしょうか。

安井：そうです。「温暖化対策でゴールとターゲットはまったく異なるコンセプトだ」という統一した認識を経団連も含め産業界に持ってもらわないと困りますね。

冨澤：実際問題として産業界では業種などによって意見がバラバラなので、経団連も一つに意見をまとめるのはなかなか大変な作業だと思います。

安井：欧米では温暖化目標の「ゴール」と「ターゲット」を完全に区別しているので、ゴールのほうを向いているからいいだろう、という主張をします。ゴールとはその人の人間性を示すようなものなのです。この二つの違いを日本人はなかなか理解できない

冨澤：ということは、ゴールについては「二枚舌」が許されるのでしょうか。

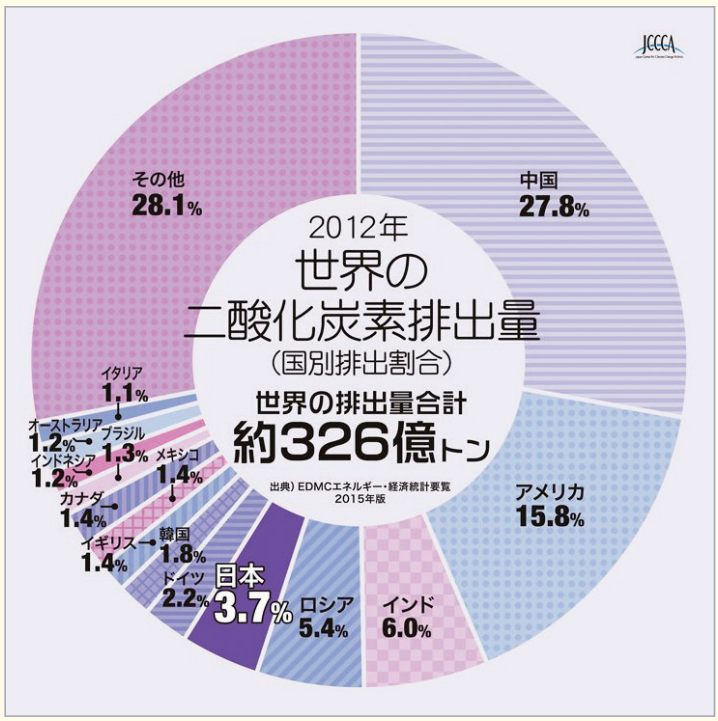
安井：日本人は嘘をつくと閻魔様が舌を抜くでしょう。二枚舌を一枚にしてくれるんでしょうね。とても便利ですね（笑）。

冨澤：地球温暖化と気候変動について本誌読者の多くは、どういった段階なのか、どういう状況なのかよく理解できないのが実情だと思います。先生はゴールを「ある方向に向けて動く姿勢」、ターゲットは「達成すべきもの」とおっしゃられますが、COP21で議論になっていた2℃もしくは1.5℃未満といった温度上昇値をどのように認識されているのでしょうか?

安井：現実的には2℃や2.5℃のあたりに落ち着くと思います。ところが原罪の意識を持っているキリスト教国家などは「2℃に向けて最大限の努力をしたのであるから神は許してくれるだろう」という発想ですね。これが基本的に違う点です。より現実的な2.5℃、それでも実際はかなり難しいシナリオですが、日本人なら「ターゲットは達成可能な2.5℃にすべきだ」というでしょう。でもそれは欧米では「後ろ向きな姿勢」と取られる。だから日本もキリスト教的なマインドで対応していかないと社会や産業界の犠牲が増えてしまうおそれがあります。

昨年、ルーマニアの郊外で宗教壁画をみました。欧米の旅行者が教会のフレスコ画「最後の審判」をとても真剣に長い時間眺めているんですね。クリスチャンはまさに原罪意識を持っているな、と直感しました。そしてクリスチャンの世界も日本人はしっかりみないとだめだなと痛感しました。

図1／世界の二酸化炭素排出量（2012年）



2030年26%削減目標の達成には原発の再稼働が鍵になる

冨澤：海外のローカルの状況は大変興味深いですね。

安井：ローカルにみていくといろいろな問題があります。例えば、地球温暖化の影響で北極圏の氷が溶けて生命が脅かされているとしてイヌイットが人権侵害の訴えを起こしました。イヌイットにとって「海が凍結した氷原でアザラシを撃って食べる」ことは重要な行為で、そこに民族としての生存と生活の意義を見出しているというわけです。これはISO 26000（社会的責任に関する国際規格）に関係してきます。経済的な理由から石炭を継続利用することはイヌイットの「人権」を侵していることになる。イヌイットはステークホルダーの一人なのでそれを無視してはならないというわけです。

冨澤：なるほど。本年は日本で開催予定のG7サミットもあります。そこでも議論される日本のCO_2削減目標についてはいかがでしょうか。2050年の80%はともかく、2030年の26%削減は本当にできるのか、といった疑問があります。

安井：一番の鍵は原発再稼動です。これが順調に推移すれば26%削減目標は達成できると思います。立地する周辺自治体の問題はありますが、原発は寝ている資産ですから安全に稼働させて、今後の30年、40年動かせると思います。26%削減はあまり大きな問題ではありません。

冨澤：先端的な環境技術を途上国へ移転することは有意義だと思います。

安井：それは商売になるかどうかの問題ですね。例えばJCM（二国間クレジット制度）も関連してくると思います。

冨澤：温暖化に関連して環境問題の全体像をどのようにご覧になっていますか。

安井：環境問題は明らかに、温暖化、それに続く気候変動、温暖化と生物多様性といったように温暖化のキーワードがかなり多くを占めています。おそらくウエイト的には7割ぐらいを占めているといっても過言ではないでしょう。残りの3割は廃棄物・ごみ問題があり、化学物質汚染があったりと多種多様な問題が若干残っています。しかし、これらは解決の方向性がかなりみえてきているといえます。

温暖化問題には
イノベーション以外の解はない

冨澤：それらの延長線で、日本の産業界は新しいイノベーションを目指してこれからどのようなテーマが具体的に必要になってくるのか。ロードマップを教えていただきたいと思います。

安井：環境イノベーションもその7割ぐらいはCO_2削減に関係してくるので、2050年のターゲット、これは本来ゴールであるべきものですが、このターゲットをピンポイントでにらまざるを得ない。これはかなり大変なことで、26%削減というものを2030年から2050年の間に実に4.3回も繰り返さないと2050年目標に達しない。これはインクリメンタリーに考えていたら絶対にできません。イノベーションによって一足飛びにゴールを目指さないと……。

安井 至 YASUI Itaru
東京大学 名誉教授

1945年東京生まれ。東京大学生産技術研究所教授。専門は、セラミックス分野では非晶質構造論・材料設計、環境分野ではLCA・環境総合評価法。東京大学国際・産学共同研究センター長（1996～1999年）を経て、国連大学副学長（2003年～2007年）、同名誉副学長（2008年～）、科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー（2008年～2009年）。製品評価技術基盤機構（NITE）理事長（2009年4月～2015年3月）。2015年4月より一般財団法人 持続性推進機構理事長。

冨澤：先生のお考えでは、2013年のCO_2排出を14億800万tとした場合、2050年の排出量80%削減を達成するには最後は2.8億tぐらいまで削減しなければならないということですね。

安井：そうです。極めて大胆な削減をしなければなりません。ですからインクリメンタリーな話では不可能なのです。そうなると電力をいかに溜めるかという技術が喫緊の課題になってきます。将来に向けて理想的なものとして揚水発電というものがあります。しかしながら自然破壊もあるので日本で新たにつくることは困難であり、既存ダムの上に貯水タンクや貯水池を造るといった手段しかありません。

冨澤：私は山が好きでよく松本からバスで上高地まで行くんですが、途中にある梓川の揚水発電をみるとスケールは意外と小さいですね。夜間の余剰電力を使って下流ダムから揚水して、その水で電力需要の多い昼間に発電しているようですね。

安井：日本にはダムがたくさんありますが、揚水発電の規模はいわば池のレベルです。でも揚水発電を超える優れたシステムはなかなかみつからない。

冨澤：温暖化問題の解決にはやはりイノベーションが必要でしょうか。

安井：そうです。昨年10月に官民によるICEF（温暖化対策に向けた技術開発をすすめる国際会議・環境版ダボス会議）があり、1,000人規模の国際会議がありました。そこで感じたことは「温暖化問題にはイノベーション以外の解はない」というものでした。環境イノベーションとは「快適な生活と低炭素化を無理やり同じ方向に持っていく」技術をいいます。これには技術革新もあるし、社会システムのみならず、人間の考え方自体も変える必要があります。

いまも変わらず重視される石炭火力発電と世界の趨勢

冨澤：再生可能エネルギーとして、太陽光、風力、バイオマス、小水力発電などがありますが、そのあたりはいかがでしょうか。

安井：ほかにも地中熱や地熱、下水熱の利用も実用化が進んでいますね。しかしながら、地下水を利用するのに日本では規制緩和が必要です。揚水直後に地下水の熱だけ利用し、きれいなまま還元井に注入することさえ禁じられています。排水させて下水料金をどうしても払わせたいのでしょうか（笑）。

冨澤：地下水は冷暖房にも利用可能ですね。マスコミでも報道されていましたが「化石燃料、特に石炭に頼る日本はまったくダメ」というグローバルNPOの声もあります。困ったことです。

安井：困ったことですね。日本の発電事業者が石炭に依存をするということは、石炭が安いからという理由に加え、世界でもっとも効率の高い石炭発電技術（注1）を持っているからです。石炭に関するスタンスはさまざまで、石炭を使わないと経済発展ができない、不景気だから安物の石炭をそのまま使わざるを得ない。いずれの場合でも日本の高度技術を途上国で使ったほうがいいに決まっている。しかし、欧米NPOの中には、「CO_2を

排出する石炭イコール、化学兵器のサリンと同格だ」といった非常に厳しい扱いをするものまであります。

冨澤：中国やインドもそうですが、現在日本にとって不可欠な石炭火力発電の未来はどうでしょうか。

安井：大きな課題は石炭発電技術だと思います。石炭火力発電の技術移転に関して、私のブログにも書いたのですが「石炭火力発電を海外に売り込むとキリスト教系の国からは覚せい剤密輸なみの扱いを受ける」こともあり得えるので注意が必要でしょう。最近は環境省のみならず経済産業省も低効率の石炭火力発電の新設には厳しく対応していますね。

冨澤：地球温暖化の問題はありますが石炭火力発電は日本にとって重要です。

安井：石炭火力発電が増えればCCS導入（注2）に対する社会的プレッシャーも大きくなります。さらに、いまから石炭火力発電を始めてもじつは10年程度しか操業できないといった投資リスクがあります。想定以上に短い稼働期間の可能性も含めて石炭火力発電の投資を考えなければならないでしょう。従って、石炭火力発電に公的資金を投入するといったことは困難になるかもしれません。最近は環境に配慮したESG投資も盛んになっていますし、少なくとも欧米系の年金資金が大量のCO_2を排出する石炭火力発電に投資されることはないと思います。

（注1）微粉炭火力発電の「超々臨界圧」が最高効率の技術として日本で実用化されている。経済協力開発機構OECDはCO_2を多量に排出する石炭火力発電の輸出に公的支援を制限する合意をしたが、超々臨界圧は従来通り認める方針である（2015.11.17）。一方、超臨界圧や亜臨界圧などの効率の低いタイプは途上国向けの中小規模の発電所に限って認められるが融資返済期間は10年に短縮された。
（注2）CCS：陸地や沖合域を含めた周辺水域におけるCO_2の回収と地下圧入及び地下貯留

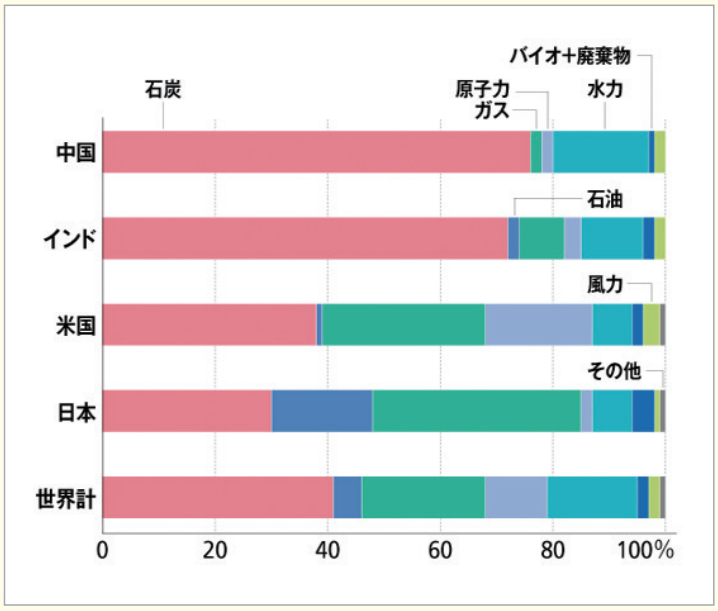
CCS導入に不可欠なのは国のリスク負担

冨澤：CCS導入には立地場所の問題もありますが、今後30年経過すればCCSが完成しているということでしょうか。

安井：CCS仮想環境税といった対応の考えがあり、この可能性も高いです。できればCCSは止めたいです

冨澤 龍一　TOMIZAWA Ryuichi
一般社団法人 産業環境管理協会 会長

図2／電源別発電電力量の構成比（2012年）



出典：IEA World Energy Outlook 2014（電源開発株式会社ホームページより引用）

ね。そうはいっても鉄とセメントはCCSを考えざるを得ないでしょう。CCS以外にまだ代替技術がありません。いつ実施するかといった課題もあります。

冨澤：CCSの技術レベルはいかがでしょうか？

安井：CCSの技術はできあがっています。ただし、例えば東京湾沿岸で発生したCO_2を東京湾に埋めるのか、といった課題があります。船舶航行の邪魔になりますね。立地選定は結構難しいかも知れません。CCS導入は最初、鉄とセメントに注力すべきと考えています。小野田、宇部といった山口県、日本海側や北九州あたりから始めないといけないでしょう。現実にどうやって実施するかも課題です。

冨澤：急ぐ必要がありますね。

安井：そうです。ただし、CCSで貯留したものが途中で大量のCO_2を噴いてしまうとか、CO_2の地下注入が原因で地震が発生したとか、断層を刺激し地震発生の蓋然性が高くなるといったリスクがあります。日本は断層だらけですからね。

一方、原発に関しては、再稼動はともかく、既存の原子炉の寿命がきたときに新しい原発を国民の皆様が受容するかどうかが課題になります。原発リプレースの問題は大きい。高額な賠償措置額を超えない限り、いまの原子力賠償責任は原子力事業者の責任ですよね。諸外国では事業者負担が部分的のようで、残りは国家が責任を負います。

冨澤：ところで、CCSのリスクは相当大きいと考えていらっしゃいますか。

安井：確率は少ないですが、日本人が「リスクを受け入れない」という意味ではリスクは高い。そう考えると、国が前面に出て、海外の原子力賠償制度と同じように国家CCS賠償制度をつくらないといけない。しかも国が一歩二歩と先に踏み出さないと進みません。民間だけでこれができるとは思えないので、国がこういったリスクを引き受けることができれば前進すると思われます。

実現可能性の高い新たな環境技術とは

冨澤：環境イノベーションで実現可能性の高い技術を挙げるとしたら何を一番先に思い浮かべますか？

安井：やはり一番は万能な電池ですね。周波数のずれを上手く抑えることができる電池ならすばやく電気のやりとりをすることができます。ただし太陽光などで夏に発電したものを冬まで溜めることは難しいです。エナジーキャリアといわれているものが必要なのですが、これはケミストリーの技術ですよね。

潜在的に利用可能性が高いのはバイオマスを使って発電した余剰電力です。余った電気で水を電気分解して水素を造って、貯蔵した水素とCO_2から簡単にメタンをつくる。メタンであれば天然ガスと一緒だからLNGのように溜めておくことができます。水素もあまり大量に溜めるのは賢くない。

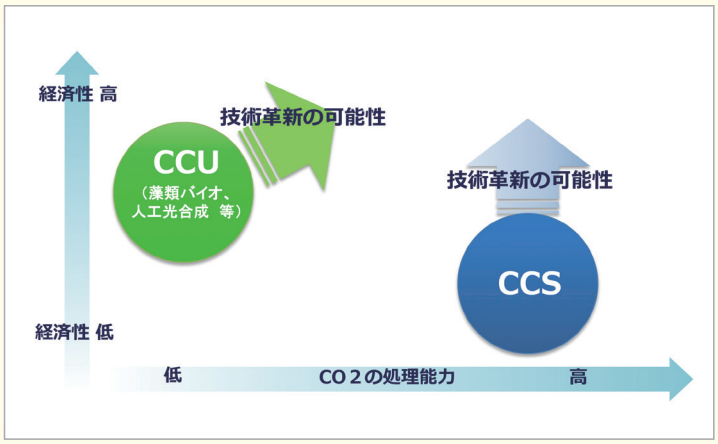
冨澤：確かに水素の爆発はこわいですね。

安井：メタンでも同じようなものですけどね。酸素を吹きこんでエタノールまで持っていく……やっぱり最終的にメタンでしょうか。商業ベースではまだそこまで考えていないかもしれません。ゼロカーボンメタンというのがCCU(注3)の結果として出てくると思います。それはバイオマスの発電に限るということになるでしょう。技術としては十分可能なものです。

冨澤：水素と蓄電技術はどうでしょうか?

安井：水素は余剰電力による水の電気分解でいいと思いますね。蓄電池もフレクエンシー(注4)を追随するので、電池はリチウム電池しかないんですが、これで夏の電気を冬まで溜める、というのは少し違うと思います。そうするとマグネシウムのような材料(注5)の利用で、放電も充電も早くはできないがコンパクトで大量の蓄電できる。リチウム電池との中間的な電池や複数の蓄電池の特性を生かしてコンバインドしたシステムもあるでしょう。いきなりやって儲かる確率は少ないかもしれませんが、化学とエネルギーの知識を活かしてイノベーションをビジネスチャンスとみて考えることがあってもいいな、と感じます。

図3／CCUとCCSの関係



出典：資源エネルギー庁「CO_2回収、利用に関する今後の技術開発の課題と方向性」（平成27年6月）

冨澤：エレクトリシティー・ストレージ技術に加え、環境面での材料開発はいかがでしょうか。

安井：研究がすでに進んでいる超軽量自動車に関して、例えばグラフェンを補強材料として活用すれば非常に軽くて薄いものができるかもしれません。

冨澤：非常に薄くて伸縮性がありながら鋼よりはるか

に強いグラフェンですね。実用化や製品開発はこれからのようです。

安井：それと、日本で現在、新たな画期的材料を開発できる技術者はほんの少数しかおりません。したがって今後は若手の育成が重要でしょうね。ケミストリーの一番基本的な反応などが重要なのですが、新しい材料を見つけるのは生まれながらの才能が必要な気がします。

（注３）CCU：分離回収したCO_2を地中に貯留する技術がCCSで、CCUは回収したCO_2を有価物の製造に利用する技術。
（注４）フレクエンシーは周波数の意味。蓄電池に必須なものは周波数調整能力であり、安定した電力供給のためには刻々と変動する需要に対して電力の出力を制御することによって周波数を一定に維持している。需要と供給のバランスが崩れて周波数が変動すると電気機器に悪影響を与える可能性が生じる。
（注５）電池にマグネシウムを使うと、エネルギー密度は確実に上がる。EV用に使えば航続距離は長くなる。しかし瞬間的な出力は、それほど取れない。将来の電池は、フロー型電池も含め、複合型になって、多種類の電池を最適な形で組み合わせて使うことも想定できる。場合によっては、鉛蓄電池が再度重要な地位を占めるといったこともあるかもしれない。（安井至氏のブログより引用）

資源循環、3Rの成果とこれからのリサイクルシステム

安井：「２度目標」などのシナリオによるCO_2排出量削減により、化石燃料は使い切れなくなり石油も天然ガスも石炭も余ってきます。そんな世界になったとき、資源循環や3Rはいったいどうなるでしょうか。化石燃料がなくなると困るというマインドがあっていままで取り組んできたのに、例えば廃プラスチックはほとんど使い道がなくなります。となると「何年も使い続ける」というエンドレス・リユースの時代になるかもしれませんね。

冨澤：日本ではリサイクルが全面に出過ぎているきらいがあります。

安井：それに日本は少しマニアックになり過ぎる。フランスの考えではプラスチックの小さなフィルムなどはそもそもリサイクルの対象にならない。ボトル以外は対象にしていません。キャンディの小さな包装紙を集めて洗ってリサイクルしても経済合理性はありません。

冨澤：資源循環、3Rの成果はそれなりにあったと思いますが……。

安井：「成果は大きかった」といえます。リサイクルの背景としてごみ処分場不足がありました。ごみの削減や簡易包装など企業努力もあって、1991年に１億1,000万tあった埋立ごみが現在は2,000万tを切ってます。

冨澤：レアメタルなど金属関連ですと3Rは重要だったと思います。

安井：漢字で名前を書けるような金属は、人類が利用した期間（歴史）が長いので資源が枯渇する可能性が高い。特に銅や金銀などはひっ迫するので、再生可能エネルギーが将来余ったときに、安価な余剰電力を活用してそれらの金属をリサイクルできるフレキシブルなシステムを構築することが必要だと思います。それは市場価値の変動で価格が下落してリサイクルが経済的に成り立たない場合、バージンの金属を生産または輸入する業務にシフトできるような仕組みです。

環境経営を実現する企業人を育てる教育を

冨澤：では最後に、当協会に期待することを一言お願いします。

安井：産業環境管理協会は様々な活動をされていますね。現状、環境経営を十分理解している企業や人はあまり多くありません。だから今後は、企業内部の教育などにもっともっとコミットしていただきたいと思います。

日本の学校は受験中心で大学も遊園地化しており、教育は難しいと思います。でも企業は人を育てなければなりません。私が理事長をしていたNITE（独立行政法人製品評価技術基盤機構）では自ら講師を務めて内部スタッフ研修をしていました。教育、人材育成は永遠の課題です。

冨澤：環境管理マネジメントやエコアクションはいかがですか。

安井：私の組織が担当しているエコアクションは30万社が対象ですが、現在7,600社程度で伸び率はフラットです。エコアクション21の審査人をどうレベルアップするかが一番重要であって、これを解決するのがいまの私の役割です。

冨澤：本日は興味深いお話をお聞かせいただき誠にありがとうございました。