

日本のエネルギー政策と 水素エネルギーの現状と展望

東海大学工学部教授 内田裕久

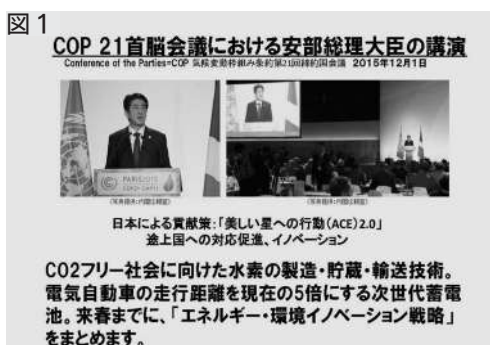


に心強い言葉です。(図1)

はじめに

原子力をどう考えるか

2015年12月1日、パリで、安倍首相は、「二酸化炭素(CO₂)フリー社会に向けた水素の製造・貯蔵・輸送技術や、電気自動車の走行距離を現在の5倍にする次世代蓄電池の開発など、『エネルギー・環境イノベーション戦略』をまとめます」と発言しましたが、これは私どもの研究者にとって非常



今日の話はまず原子力をどう考えるかから入ります。これを考えないと、日本のエネルギー政策というものがよくわかりません。次に二酸化炭素の利用に向けた取り組みと科学的に見る気候変動の話をしていきます。それから水素エネルギーの利用の話をしていきますが、水素の話をするのに必ず出るのは、水素をつくる時に二酸化炭素が出るので、クリーンエネルギーではないという批判です。そのとおりですが、そうならないようにするのが私たちの水素エネルギーの社会でありシステムなので、その話をします。

東日本大震災からまもなく5年になりますが、日本列島は上のほうは1.5メートル歪みました。日本にはプレートがたくさん集まっていますから、常に地震が起きます。私も科学者ですから、自然災害や人間の安全保障について大学で講義をしています。

原子力安全・保安院長を務めていた東海大学の広瀬研吉教授によると、2011年に福島原発では10メートルの堤防を越え、お風呂の水が溢れるように海水が入ってきたそうです。現場では原発の非常用ディーゼルエンジンは、タンクが全部流されて、冷却できなくなったと

言っています。しかし、原発にはディゼル機が動かなくなっても、力学的に冷却するようなシステムがついています。それが地震で壊れたかどうかの調査も行われないままに再稼働に入っているのが現状です。

国会事故調の委員長を務めた黒川清教授は国会から頼まれてあれだけのレポートをまとめましたが、一度も質問を受けたことがないし、ディスカッションも行われた経緯もないそうです。もう一人、民間事故調の委員長を務められた故北沢宏一先生はJSTの理事長や東京都大(武蔵工大)の学長を務められた方ですが、「内田さん、やっぱり無理だよ、原発はリスクが大きすぎて、技術としては使いこなせないよ」というのが、彼の最期の言葉でした。原発事故の原因は本当に未解明なのです。

国際原子力機関(IAEA)が昨年、福島事故に対して「日本の原発は安全である」と思い込んでおり、原子力安全に対して疑問を抱くことを避ける傾向がある」と強烈な批判をしています。(図2)

図2 国際原子力機関(IAEA)警告要旨

- 2015年5月 => 6月理事会 => 9月IAEA総会
- ・ 建設当初、地震、津波、地殻変動、地質学などに基づく十分な検討がなされなかった。
 - ・ 自然災害に対して改めて評価し直すことがなかった。規制当局も見直し、改善を求めなかった。
 - ・ 東京電力は最新の知見に基づく評価手法で東日本大震災とほぼ同等の津波を試算していたが、措置しなかった。
 - ・ 複数の炉の安全機能を同時に失う可能性を設計上考えていなかった。
 - ・ 複数の炉の電源や冷却機能を失った場合の備えが運転員になかった。適切な訓練を受けていない上、対応する機器も不十分だった。
 - ・ 当時の安全規制は、複数の組織でなされていたため、責任と権限があいまいだった。
 - ・ 定期的な安全性の評価や、災害の再想定、過酷事故に対する対応の基準や指針が、国際的な慣行などに沿っていなかった。
 - ・ 日本の原発は安全であると思い込んでいた。原子力安全に対して疑問を抱くことを避ける傾向があった。
 - ・ 西と地方自治体は、原子力事故と大規模な自然災害が同時に起こることを想定した備えがなかった。
 - ・ 緊急時の対応のため作業員が集まってきたが、統括する仕組みがなかった。
- <The Japan Times May 25th 2015; 朝日新聞デジタル 2015年5月29日より>

私は原子力工学科の所属ですので、周りには原子力関係者がたくさんいます。原子力の事故について話をしますと、「私たちは事故が起きないようにがんばっているのだから、そんなことを言うな」という雰囲気です。非科学的な話で恐縮ですがこれが現実です。

福島第一原発は日本で最初にできた原子力発電所で、アメリカの技術をそのまま真似して造りました。アメリカはハリケーン対策で、重要な物は地下にしまします。福島第一原発も冷却設備は地下に埋蔵してありますので、津波で水没してしまったわけです。過去40年間、これを改造する機会はありませんでしたが、東電は改造しなかったことを厳しく指摘されています。

原発自体は1963年の東海村から始まりましたが、見切り発車でした。エピソードですが、30年以上前に東大の原子力の先生に放射性廃棄物の処理が決まっていなかったのにどうしてスタートしたのかを聞きましたが「君そ

んなもの20〜30年したらできると思ってたよ」とそれだけです。政府は福島事故の原因説明もしないで再稼働を始めましたが、これも見切り発車です。ドイツの「シュピーゲル」にお笑い記事が出ていますが「日本では大地震も津波も起きないということを閣議で決定した」。こうやって日本は笑われています。

私の妻はドイツ人ですが、この事故が起きたとき、東京に住んでいました。ドイツ大使館から電話があり、「今すぐに京都から西に逃げるか、国外に退去しなさい」という指示を受けました。その際、世田谷区に住んでいるならこの医院に行き、ヨウ素剤をもらってから行きなさいという指示まで受けました。これがドイツをはじめ、フランスその他の国々のしつかりとした原子力対応策です。日本の区役所からは何の指示もありません。その程度の認識です。

私は社会技術という言葉で学生に教えるとき、技術者というのは自分が仕上げた製品と社会への影響について責任を持ちなさいといえます。研究者は自分の研究に没頭し論文を書き、本にしたら終わりです。その研究がどう使われるかについてはあまり考えません。本田宗一郎さ

んはいつも「技術というのは人を幸せにするものでなければだめなんだ。おれが本当に悔しいのは自分がつくった車が排気ガスで皆さんを不健康にしているのに耐えられない」といっています。ホンダは70年頃に、FCVという水冷エンジンを開発し、世界で初めてマスキー法をクリアしました。こういう技術屋の哲学というのは絶対になくしてはいけないと思っています。

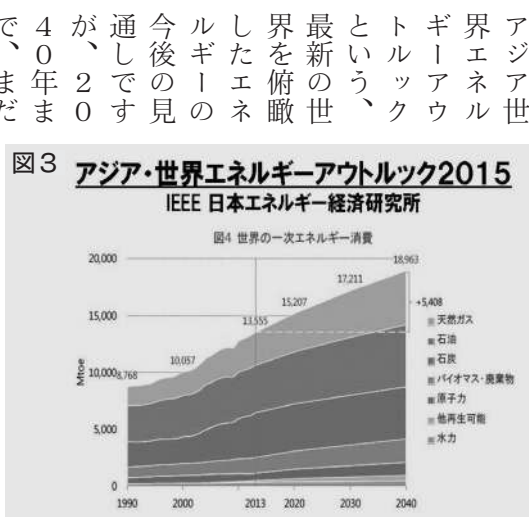
ただし、皆さんに認識していただきたいのは、原子力発電は原子力を利用した一つの技術ですが、すべてではありません。原子力は私たちの生活に非常に重要な技術です。これをどう利用するかですが、発電に利用されているのはよく知られていますが、一方、とんでもない使い方ですが、ウラン濃度をもっとあげれば核兵器にも使えます。しかし、放射線は工業分野、農業分野、医学、基礎化学など多くの分野で使われており、病気の治療にも使われています。

日本のエネルギー政策

エネルギー政策は政治が決めます。ドイツはエネルギー政策を転換し、再生可能エネルギーが30%を超えています。

日本のエネルギー政策はいまだ不明確で、エネルギーの96%を輸入に依存する脆弱なエネルギー供給構造ですが、エネルギーセキュリティの面からも強化が必要です。そのため、クリーンエネルギーの開発が求められています。

図3は

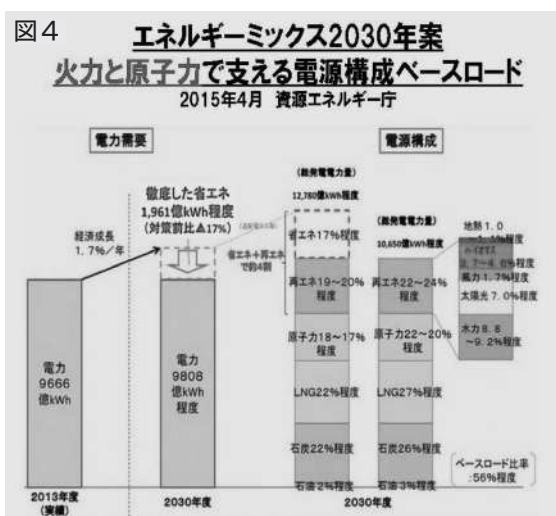


まだ天然ガス、石油、石炭が多く当分減りそうもありません。

IEA（国際エネルギー機関）が出しているデータでは、二酸化炭素の排出量は中国が最も多く、アメリカ、EUが続きます。日本は下位ですが、さらに26%減らせという要求です。乾いた雑巾を絞って

破れそうです。わが国の発電量を電源構成別に見ますと原発が2011年から急激に減り、原油も減っています。その分天然ガス（LNG）が増えています。二酸化炭素の出力が原油の半分くらいで、クリーンといわれています。最近意外と増えてきたのが石炭です。なぜ石炭が増えてきたかというと、安値・安定しかも大量にあるということです。再生エネルギーはまだわずかです。

図4は日本政府が出した、エネルギー



ミックスと呼ばれるものですが、将来は半分以上を火力、20%ぐらいを原子

力、そして20%ぐらいを各種の再生可能エネルギーを使っていくということですが、実はこれは非常に曖昧模糊としたものです。将来20%も原発を使っていくことになる、古くなった原発を使っていくかないと達成できません。じゃあ、新しい原発を造るのかといえば、簡単にはいかないかもしれません。

さて、エネルギー源として経済産業省が夢見てきたのは石炭です。石炭は原油やLNGに比べ価格面、供給面で安価で安定していますが、排気ガスが汚いといわれます。しかし、礫子にある石炭火力を見ると、古い石炭火力に比べ圧倒的にSOx・NOxなどの排気ガスは少ない。

しかし、日本のエネルギー行政を司っている経済産業省と環境省では、二酸化炭素の排出量で意見が異なっています。石炭火力の発電効率は日本のJパワーで40%、間もなく50%に達します。天然ガス火力の発電効率は60%以上ですが、私は石炭火力をあえてクリーン火力と呼んでいますが、世界はこういった技術をもっと使うべきです。もしたくさんCO₂を排出している米国や中国、インドなどがJパワーの技術を使えば、毎年15億トン以上のCO₂が削減できます。

CO₂利用の新しいトレンド

ぜひ新しいトレンドを知っていただきたいのは、CO₂は少し前までは貯留といふ無理やり地面の中に埋める方法をとってききましたが、そうではなく化学的に反応させて利用し、固定化しようという試みが始まっています。ドイツが先行していますが、再生可能由来の水素と二酸化炭素からメタンを作ったり、AUDIは水と二酸化炭素からディーゼル用燃料を作っていますし、使っています。BASFやバイヤー、シェルなども二酸化炭素の排出ガスを化学製品やファイバー、ジェット燃料にする研究をしています。

(図5) また、二酸化炭素なしに作物は育たない



ことを考えてください。学校では二酸化炭素を減らしましょうと悪者になっていますが、とんでもありません。ビニールハウスの中には、作物の成長を促進させるために炭酸ガスを撒きます。作物の成長には光合成が必要ですが、そのためには二酸化炭素が必要なのです。

人工光合成の研究も今盛んに進んでいますし、NEDOでも太陽エネルギーと水を使って、水素と酸素を作り工場から出てくる二酸化炭素を結合し最終的には、オレフィンやラップなどの製品にしているという研究がスタートしています。ある意味で二酸化炭素を固定化していくことです。これが最先端の先進国の研究です。

地球の将来の気候変動

今後地球はどんどん温暖化していつて灼熱地獄のようになってしまおうと脅す人がいますが、観測衛星によれば、この数年以上、地表と海洋の温度は一定です。むしろデータで見ると宇宙線、太陽磁場、地球磁場の影響による寒冷化も警告されています。2012年に国立天文台が発表したデータでは11年周期で入れ替わる地磁気が太陽の活動が弱まっているため、替

わりきれていません。2年遅れています。

小学校の教科書を見ますと産業革命以来、二酸化炭素の濃度も上がるし、温度も上がっていると教えています。しかし、過去を見ると気温の変化は上下を繰り返しており、現在は冷えてきてまた上がった状況です。客観的なきちんとしたデータも見せずに、子どもたちにもっと上がるぞと怖がらせるのは非科学的な教育ではないでしょうか。

仮説では地球の周りを雲に囲まれると熱が逃げなくなつて温まるという考え方がありますが、最近のデータでは雲があるとむしろ冷えてくるというデータが示されています。雲のできるメカニズムは宇宙線量によりますが、普段は太陽の磁場がこの宇宙線を遮断して雲をなるべくつくらせないように働きます。太陽が元気であるかぎり雲ができにくく、地球は冷えません。しかし太陽の活動が低下し太陽の磁場が弱くなると、宇宙線が増えて雲ができやすくなり、地球が冷える傾向になります。ですから、ドイツやフランス、アメリカなどは、このままいくと2020年頃には地球寒冷化に突入するのではないかと警告しています。

これも事実ですが、地磁気が弱くなっています。毎日新聞が最近報道していま

すが、地磁気が弱まると太陽からくる磁場の影響を受けやすくなります。そうすると宇宙線の影響で雲もできやすくなり、通信障害も発生します。それから寒冷化も起きる可能性がありますと書いています。私たちは気候変動で考えておかなければいけないのは、温暖化ではなく寒冷化が怖いのです。なぜなら温暖化なら寒い所でも食物は採れますが、寒冷化してしまうと北海道のような寒い所では作物が採れなくなります。こちらのほうが怖いわけで、備えるべきはどちらかということです。

日本の再生可能エネルギー

今年経済産業省が出した概算要求のテーマを見ますと、省エネ、再生可能エネルギー、化石エネルギー、水素エネルギー、水素社会に向けた様々な取り組みがあります。水素がようやく顔を出してきました。再生可能エネルギーは、日本では11%程度で、まだまだ低い状況です。

特徴的なのは、固定買い取り価格制度により太陽光発電が増えていきます。世界では風力が増え次いで太陽光なのですが、日本は場所がないのか、太陽光が一番増えています。総発電設備容量で見ると、

何と原発31基分35GW以上、日本にはあります。地産地消で考えれば、地域に分散したほうが効率的ですが、例えば北海道に集中的に風力や太陽を置き電力送電網をしっかりと作れば送電は可能ですが、残念ながら北海道から本州へは貧弱な電力送電網しかありません。

水素エネルギー研究開発と普及の現状

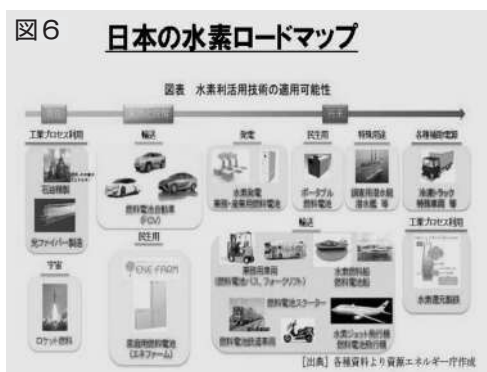
元々工業プロセスで利用されていた水素が最近では自動車用とか、エネファームとか家庭用に使われるようになり、将来もっと広いところで使われるだろうと大きな夢があります。私も40年前からやってきて、このように利用が進むとは夢にも思っていないませんでした。ようやく政府も実現に本腰を入れるようになりました。水素を作る典型的な方法は大きく分けて4つの方法があります。化石燃料から作る方法、それから製鉄所、化学工場からの副産物、副生水素が出ますがこれらの方法ではCO₂が出ます。もう一つ、再生可能エネルギーから水を電気分解して作る方法はその段階では二酸化炭素は出ません。バイオマスから作る方法もあります。現在の主流は化石燃料と製鉄所・化学工場からの副生水素で、今後の課題

は二酸化炭素の削減方法です。

日本の水素ロードマップを見ると、今後伸びることは予想されますが、まだまだ10年、20年と長いスパンがかかるだろうと見られています。2020年の東京オリンピック、これが1つの起爆剤になるだろうというふうには私は見えています。世界のエネルギーインフラも大きく動きつつありますが、水素はそのまま使える1次エネルギーである化石燃料やウラン、水力、風力などを使って作り出す2次エネルギーの中にあります。水素エネルギーの使い方は2つあります。水素と酸素を化合させて水にする使い方と、閉じ込めた水素を水素吸蔵合金という特殊な材料の間でキャッチボールをするような形で使う方法があります。

水素を消費する使い方は省エネに

(図6)
これは水素を消費しません。



なりませんが、燃料電池、エネファーム、ロケットエンジンなどです。水素を消費しない使い方、これはあまり知られていませんが、農業や水産業に使われる冷水製造冷凍機器などに使えます。燃料電池は水素と酸素を化合して水ができますときに電気ができるのを利用していますが、市場規模は間もなく10兆円を超えるぐらい大きくなるだろうといわれています。燃料電池の技術は水を電気分解した後、この分子をもう1回分離して水にしますが、触媒に白金を用います。非常にシンプルな仕組みですが技術的には難しかったということです。

家庭用エネファームは家庭都市ガスやメタンを使って水素を発生させ、電気と熱を供給します。電気として取り出せる効率は40%を超えています。2014年の段階で10万台突破して年内は軽く15万台に達すると見られています。

燃料電池自動車は水素タンクを積んで、水素と酸素を化合させて電気を発生させ、燃料電池に蓄電し電気でモーターを回し走ります。3分間程度で満タンになり、700キロ程度走ります。ここからコンセントをつなぐと家庭用の電力として使えますよというデモンストレーションをしています。家庭に燃料電池と、自動車

があれば、およそ1週間程度の電力を供給できるそうです。東京モーターショーにトヨタが出品した燃料電池車ですが、1台あると4、5世帯の一般的な家庭が使う電力の1週間が供給できるということです。将来はエネルギーを供給するシステムという位置づけでも燃料電池自動車がつけられているということです。

将来はガソリンスタンドの中に水素を供給するステーションができ、ガソリン供給、水素供給、水素が供給できることは燃料電池を動かせますから電気も供給できる、ということでもマルチステーションと呼ばれています。大都市周辺に100か所、建設予定があります。

移動式ステーションも活躍しています。いろいろなところでトラックなどに小型の水素ステーションを積んで必要なところに持っていった機能させるものです。自治体などでは取り組んでいるところもあります。

水素を天然ガスからつくって、それで燃料電池自動車を動かす時のエネルギー利用効率は30、40%あり、原油精製によるガソリン車のエネルギー変換効率、利用効率19%に比べ、ざっと倍がFCVなんです。ですから世界の大手自動車メーカーは、水素自動車FCVに今シフトし

ているのです。

水素吸蔵合金の利用

再生可能エネルギーですが、太陽であれ、風力であれ、常に変動します。私が1980年代からこの研究をやったときから、溜めなくてはだめだとさんざん言ってきました。溜め方としては通常電池として電気として溜める方法があります。もう1つは水を電気分解して水素にして溜めておけば何十年でも持つし、しかも吸蔵合金に入れておけば、安定的に長期間保存ができます。その他にもいろいろな方法がありますが、まずは貯蔵して使う、これは再生可能エネルギーの基本中の基本です。最初は太陽電池だけ、その後風力をつけました。ここから出てきた電力で水を電気分解して吸蔵合金に溜めて燃料電池を使う、80年代の研究はこの部分まででした。当時はそういうばかな研究はやめろとさんざん学会で叩かれました。

このデータは京浜臨海部での火力発電の発電量6・3GW、計画中のものを入れると8GWになります。通常原発1基分を1GWで計算しますので、京浜臨海部には何と原発6基分以上の膨大な発電容量があります。どんな1次エネルギー

も大体6割は温水か大気中に熱になり捨てられます。ということは原発3基分以上の熱を京浜臨海部は外部に捨てています。こんなもったいない話はありません。これをどうするか。

私は水素吸蔵合金を利用して排熱と組み合わせて大きな省エネ効果を二酸化炭素削減効果を狙って、10年以上も愛媛県西条市で実証した経験がありますので、農協とかいろいろなところと話を進めている最中です。

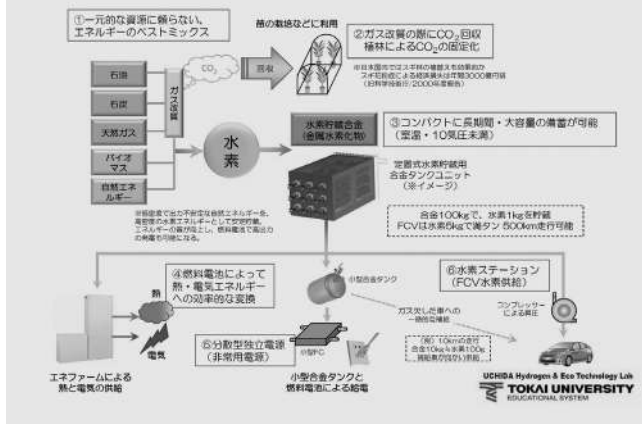
水素吸蔵合金は素早く水素を吸引しますが、このときは発熱反応といって熱を出します。一方水素が溜まっている状態で、水素を吐き出す時は、外から熱を奪って水素分子を外に出します。硬い金属ですが特に水素は小さくて入りやすいので、液体水素マイナス214度というこれと同じ体積の水素吸蔵合金があると、この液体水素以上の密度で水素の中に入ります。それが不思議な水素吸蔵合金と呼ばれているものです。この原理を使ってできたのが電池です。水素吸蔵合金の形で溜める。余ったCO₂は農業にも利用できますし、安定して、数気圧の圧力で、超多量の水素を合金に溜められるので、いろいろな使い方ができます。

1988年6月の新聞の第1面に掲載

された充電できる新電池というのは私どもの研究室で実証しました。ニッカドの2倍以上の電気が溜められます。当時はいろいろな批判を受けましたが、この電池がプリウスに載っているニッケル水素電池です。他のメーカーも使っています。充電のときにはこのマイナスイオン極の水素吸蔵合金に水素が入って、水素化合物、放電を使うときには、水素がイオンとして出ていく、この反応を繰り返して、充電電をしているわけです。(図7)

図7

水素吸蔵合金を利用する



水素吸蔵合金に溜めた水素は化合物になっていきます。これに100度くらいの排熱の蒸気を当てますと水素が吹き出されて、空っぽの合金の中に入っていくままです。このときは発熱反応ですが、ここまでは使いません。この状態で地下水を回して水素をもう1回送り戻しますと、吸熱反応で熱を奪いますから、地下水温が14〜15度だとすると、すぐに0度近くまで冷えます。水以外のものを使えばマイナス30度まで冷却ができます。このシステムを運転して、1000平方メートルのビニールハウスのイチゴの苗の中に0〜5度の冷水を通し、イチゴができることを実証し、「水素イチゴ」という登録商標を取りました。

東海大学の海洋学部のを借りて、的確な温度管理の下、サツキマスの養殖もできました。

まとめですが、エネルギー政策というのは、政治家が決めることですが、人間の安全保障、ヒューマンセキュリティということをしっかりと考えて、エネルギーの選択をしましょう。技術者は技術が社会に与える影響について責任があります。社会リスクは皆が認めるものでなくはだめです。特殊なリスクを認めるということもそれは無理です。原子力は原

発だけではありません。むしろ医療、産業、工業、農業、宇宙開発で重要な技術になると思います。二酸化炭素は光合成をはじめ、炭素源として、薬、プラスチックなどの新素材の有効利用、こういう開発が始まりました。

地球はこれから温暖化するのか、寒冷化するのか、いずれにしても気候変動には備えるべきです。

1次エネルギーの60%以上は排熱になります。この排熱を水素吸蔵合金を使って、冷凍機とか、冷水をつくって、80%以上の大幅なCO₂の削減や省エネに出来ないかという提案があります。

つい最近出た世界のエネルギーの見通しでは、2040年までは比較的安い化石燃料の生産量が続く見通しで、当分使われるでしょう。

いずれにしても私たちは省エネ、再生可能エネルギー、水素排熱利用など、いろいろな多様なエネルギー技術、ここがこれからの大きなポイントだと思います。多様なエネルギー技術というものを駆使して大切な化石資源の依存性を減らしていく必要があります。

最後に、エコテクノロジーという言葉があります。エコはエコロジーではありません。人間環境を意識したヒューマン

エンバイロメントとコンシャスの「エコ」です。人間環境というのはとても大事でありまして、私たちがエコロジーというとき、地球が大事と言ってしまいますが、地球が大事なら一番悪いのは人間です。人間が地球上から消えないと地球はよくありません。人間は存在したい、だから人間環境を意識した科学技術、こういうものが非常に重要だと思います。

(2015年12月4日・公開フォーラム)

講師略歴(うちだ ひろひさ)

シュツットガルト大学理学博士、東海大学工学部教授、(株)ケイエスピー代表取締役社長、国際水素エネルギー協会(IAHE)フェロー・副会長、アジアサイエンスパーク協会(ASPA)会長。

1975年よりマックスプランク金属材料研究所研究員として金属と水素の相互作用の研究に従事。1981年より東海大学勤務。工学部長、副学長、理事・評議員を歴任。専門は水素エネルギー、希土類系材料、真空中工学など。研究テーマは水素エネルギーの農水産業への応用、太陽・風力エネルギーの水素による貯蔵。