

新春座談会 新技術とエネルギー



はじめに

司会(森口)：最近、エネルギー関係の新技術がよく話題になっておりますので、本日はそういう立場から座談会をすすめたいと思います。最初にそれぞれのご専門の領域を中心に新技術とエネルギーの問題を簡単にお話しただきまして、その上で討論を進めたいと思います。ここに経済学者がなぜ二人もいるかと言えば、私は文部省エネルギー特別研究の経済研究班の代表を致しまして、過去7年ほどエネルギー研究に携わってきたわけでありまして、経済にとってもエネルギー問題というのはありまして、それを勉強する以上、科学的な諸問題についても多少は勉強しなければいけないということで、先生方の領域のことも少しだけ囁らせていただいたわけでございます。

それでは clock wise に林先生から……

出席者

- 森口 親司
大阪大学社会経済研究所教授
本会理事 (経済政策)
- 林 宗明
京都大学工学部電気工学科教授
本会編集理事 (発送配電工学)
- 坂東 尚周
京都大学化学研究所教授
(新機能材料)
- 竹原善一郎
京都大学工学部工業化学科教授
(電気化学)
- 若林 二郎
京都大学原子エネルギー研究所教授
(原子力システム工学)
- 稲田 献一
大阪大学社会経済研究所教授
(理論経済学)

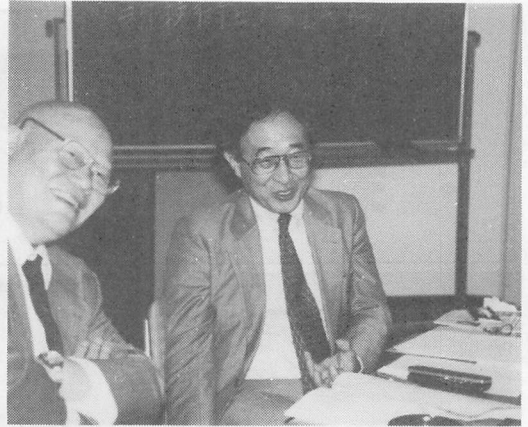
超電導の応用と新材料

林：「新技術とエネルギー」という題の中で私ども電気関係技術者がまず頭に浮かびますのは、最近話題になっている超電導体ではないかと思えます。これは本誌の「エネルギー・資源」の分野と密接に関連した問題でもあります。その他に、イオン伝導性材料や導電性ポリマー、これらは多分坂東先生や竹原先生がお詳しいと思えますけれども、そんな話題を考えております。

まず超電導体ですが、この現象はすでに1911年に発見されまして、材料としてニオブやその他の合金を用いてその実用化が進んでいるわけですが、最近新聞等で騒いでおりますセラミックスの高温超電導体はまだ実用化の域にはございません。しかし従来の超電導体が4 Kぐらい（液体ヘリウム）の極低温で実現していたのに比べまして、最近は液体窒素とか、それよりちょっと高いところで超電導が得られるということで話題になったものと考えております。

しかし、これから申し上げますのは、従来の合金の超電導体を使った場合の応用です。超電導体の応用としては、まず発電機、送電用ケーブル、電力貯蔵用コイル等の電力システムへの応用が考えられます。次に核融合、MHD発電等、新エネルギー開発の分野への応用。三つ目に、高エネルギー加速機とか磁気浮上列車など、高い磁界を利用する分野。それから四つ目にジョセフソン素子を用いた超電導エレクトロニクス技術分野などが挙げられるのではないかと考えます。

この中でエネルギーにいちばん関係するのが最初に申し上げました発電機、送電ケーブル、電力貯蔵コ



● 森口 親司氏

イルですので、この三つについて簡単に申し上げたいと思えます。まず超電導発電機の開発研究は大容量機の製作限度の拡大を目標に行われました。在来形の発電機ですと、せいぜい100万kWどまりでありましたものを、さらにその2倍、3倍と増やすとか、あるいは従来の100万kWの発電機を小型にするを旨指しましたが、さらに度重なる石油ショックの後に、大容量化もさることながら超電導機が持つ優秀な性能、省エネルギー性、経済性などを追求して開発が進められています。これによって小型軽量化、製作限度の拡大とともに効率も向上しますし出力電圧も高くなります。それから安定度面での特性の改善も行われているようです。

二番目の超電導ケーブルも画期的なものでありまして、最近、電力システムが大規模化しまして大容量地中送電線のニーズが増えておりますが、さらに送配電線における損失が電力損失の大部分を占めておりますので、このほうも一緒に解消したいということで、我が国の状況では電圧にして10万V、電流1万A程度の交流用のケーブル、それから10万Vで5万A程度の直流用ケーブルの開発が行われております。

それから三番目の超電導エネルギー貯蔵装置はSMES（スメス）とも呼んでおりますが、これは二つの用途が考えられております。一つは電力貯蔵用でありまして、揚水発電所に相当するようなものでありまして、もう一つは電力系統が故障なんかが起こりまして非常に動揺し、系統の崩壊がおりそうな時に助太刀となるような安定化用SMESの二つが考えられるわけです。

最初に申しました電力貯蔵用は500万kW・H程度の電力貯蔵の可能性を持つもので、これがもし実現した



● 林 宗明氏

といたしますとコイルの直径が200m/500m程度(これは設計にもよりますが)それから重量が10万トンの程度になろうかと考えられております。現在はまだ概念設計の段階でありまして……

司会：10万トンというのはコイルそれ自体の重さですか。

林：そうです。その他に電磁的な力がかかりますから、それを支持するため鉄骨とか岩盤とか、そういう用意も要るわけです。またもう一つ、系統安定化用コイル、すなわち電力系統が非常に動揺しております時に、これを助けるための電力貯蔵用コイル、これはすでにアメリカで30MJのものが設置された経験がありますが、これはいまのところは、使っておりません。これは安定化のための優秀な助太刀でありまして、電力の余りと不足が交互に起こるのが電力系統の動揺なのですが、これをその動揺に応じて電力の吸収・放出をして電力系統を速やかに定常値に戻すように働くものです。

これら発電機、SMESおよび電力ケーブルにつきましてはかなり技術開発が進んでおりますが、その超電導材料たるや合金でございまして、たとえばNbTiとかNb₃Snなどの合金です。最近、話題になっている高温超電導体はご存知のようにバリウム、ランタン、銅、イットリウム等の酸化物の組合せの焼結体でありまして、次々に臨界温度が高くなり、しまいには室温程度の超電導体も出現するかもしれないと言われておりますがただ、残念ながら高温超電導体は現在のところ、電流容量が少なく結晶自体としてはかなり大電流、たとえば100万A/cm²程度流すことが出来ると言われておりますが、これを線材として用いると、現在の技術レベルでは1000A/cm²程度でありまして、合金超電導材料で10万A/cm²程度の電流容量に比べると、期待される超電導体というものの機能からは程遠いものです。

稲田：ちょっと変な質問していいですか。これを読む人に私のような素人がいるかもしれないので。ところで、抵抗がないのなら、いくらでも流せそうな感じがするんですが、それがそうはいかない？

林：そうです。電流を流しますと、超電導の状態が壊れてしまうわけです。坂東先生、補足してください。

坂東：超電導というのは磁性に対してと電流密度と裏腹の関係にあるわけです。超電導だからいくらでも電流が流せるかということ、そうではなくて、超電導になる電子はある程度決まっております、それは物質によって違って来るわけで、ある程度以上の電流は流

せない。それを臨界電流密度と言います。また、磁場に対しても超電導は破れる場合があります。ある程度、大きな磁場を与えてやりますと、いままで超電導であった状態のものが壊れてしまう。たとえば超電導磁石なんかを考えますと、これは自分で電流を流しておいて磁場をつくるわけですから、どんどん電流を上げていきますと、自分の磁場を感じて自分で勝手に超電導が破壊されてしまうことになるわけです。

林：ところで話しをもとに戻しまして、もし高温超電導体が実用になって、かつ電流容量が小さいという状況でどんなものに使えるかを考えてみますと、もし室温で使えるものなら数kWないし数百kWの小容量の電気機器の場合、電磁力はそんなに大きくないですから、大電流を必要としませんし、こういうものに使いますとロスはないし、機械の小型化が図れて都合がよいのではないかと。それによって電力損失が少なく、比較的高い電流密度、磁束密度がとれまして、機械器具のコンパクト化が図られる可能性があると考えております。

司会：ありがとうございます。続きまして坂東先生、お願いいたします。

坂東：私は素材関係、材料関係の専門家なのですが、何と言いましてもエネルギーと直接関係のあるのは超電導材料です。しかもこれは現在使用されている合金系または化合物系と違いましてセラミックス、酸化物系であるという点で非常に注目されたわけです。

注目された理由は、実は1911年にオンネスが超電導現象を発見して以来、1973ぐらいまで、23Kまで超電導の臨界温度T_cが上がり、平均で一年間に0.26度と少しずつ上がってきたのです。T_c=23KのNb₃Snの発見以来13年になりますが、1昨年までは1度も上がっておらず、超電導関係の研究者の方々に悲観論が多かったわけです。

1昨年4月、チューリッヒのミュラー先生がランタン、銅、ストロンチウム系の酸化物で30Kの高い温度で超電導になる可能性を発表されました。しばらくはその発表は注目されなかったのですが、1昨年の末ぐらいに抵抗ゼロ状態で同時に完全反磁性であることを東京大学やミュラーが発表し、それから酸化物の超電導体研究に火がついたようになり、昨年2月、遂に液体窒素以上の高い温度を持つ超電導体が出てきたわけです。

これは非常に画期的な仕事でありまして、従来は高価な液体ヘリウムで、しかも4.2Kという低温度でし

か作動しないような材料でしたが、90Kとなりますと液体窒素が使える。液体窒素は空気中にいくらかもある。資源的にも液化技術においても有利な温度です。これはいままで皆が夢みたくて考えていた物質が現実に現われたということで世界中がこの超電導の物質に対して熱いまざしを向けるという、非常にエキサイティングな出来事になったわけです。

先ほど林先生の話と重複しますが、超電導状態で抵抗がゼロと大電流が流せるということにより、たとえば送電とか電力貯蔵、そして磁石として使える分野がたくさんあります。磁石として使う分野は核融合、MHD発電など新エネルギー発生装置があります。それから発電機、高速船(電磁気で推進するような船舶)等、新しい動力関係に利用されるようになるわけです。

それから大電流が流せるため磁場を高く出来ますので、いま医療用の磁気共鳴イメージ診断装置(MRI)のような医療用のところにも液体窒素の温度で使えるということとその応用範囲は非常に広がってきます。

さて、実際には線としてつくってやりますと、だいたい1000 A/cm²の小さい値しか得られていない。単結晶では100万A/cm²という大電流が流せます。即ち、この材料は流れやすい面(銅と酸素とがつながっている面)と流れにくい方向がありまして、流れやすい面には10⁶アンペア程度の電流が流れますが、それに対して垂直方向になりますと2桁ほど電流密度が減少します。

普通、セラミックスというのはご承知のように焼物でして、細かい粒子が寄り集まったような状態のもので、実際に中では流れやすい方向と流れにくい方向がお互いにぶつかったグレンバウンダリーのところ非常に弱い結合で超電導になっていないわけです。そういう弱い結合があるために、そのところで極端に言えば切れてしまって、そのためにせっかく液体窒素温度以上になったにもかかわらず、電流密度が上がらない。今後、この欠点をどういうふうに克服していくかというのが問題です。一つの解決は単結晶の線をつかってやればいわけですから、単結晶薄膜とか、そういう単結晶をつくる技術がこれから浮上してくるだろうと考えるわけです。

また、先ほど述べましたように、超電導体にとって電流密度と臨界磁場は重要な値なのですが、幸いにも今度発見されましたイットリウム、バリウム、銅系の材料は臨界磁場H_cも臨界電流も従来の材料より高いということで基本的にはいいのです。しかし、セラミックスであるというために普通の焼物としてつくりま



● 坂東 尚周氏

すも磁場にも弱いし、電流密度も小さいというのが現実です。

司会：単結晶にするといわけですか。これまでのところはシリコンの太陽電池なんか、アモルファスと両方ございますが、アモルファスの状態で……

坂東：いや、アモルファスではとても超電導は出ません。やはり結晶にしないと駄目で、これは非常に難しい技術になるだろうと思います。

それともう一つは、グレンバウンダリーで弱くなるのは結晶の面(方向)によって電流密度が違うということ、それから界面のところで違った構造のものになってしまって電流密度が得られないことが考えられます。そこらあたりで悲観的になる人と、あるいは逆に開発初期だからという楽観論と両方あります。

室温超電導体の開発も基礎研究の一つの大きな流れになっており、新聞紙上を賑わしておりますが、結論としてはまだはっきりした超電導物質であるという確認までは至っていない。“U.S.O. ウソ(嘘)”という英語の略語がありまして(Unidentified Superconducting Object) (笑)、そういう幻の超電導がいままでいくつもありました。最近、63°Cという高い温度の超電導体の発表がありますが、不安定で確認がまだ充分でないという状態であります。

若林：ちょっとお聞きしたいのですが、結晶をつくり出す場合に核をつかって、それから結晶を成長させていかれると思いますが、こうして結晶になったものを今度線引きする時に結晶の形が崩れてくることはないですか。

坂東：セラミックスの場合はメタルと違っていて、ある形にしたらそれから変形できません。無理に変形しようすると割れてしまいます。線にするいちばん

簡単な方法は、たとえばパイプの中に粉をつめることです。

若林：パイプ中で結晶をつくるわけですか。

坂東：超電導酸化物の粉を銀のパイプの中へ詰めて、線引きする。それを加熱しまして、焼結した線を使おうというのですが、この方法ではあまり高い電流密度が得られないということです。

司会：先日、日経新聞に載っておりましたが、21世紀の初めにかけて技術予測としてどういうものが可能性があるかと。その中に超電導材料実用化（液体窒素温度）というのがあって、これは90年代の前半、95年までにものになるというふうになっていますが、その点はいかがでしょうか。

坂東：私、薄膜のことを言い忘れたのですが、超電導関係で林先生もおっしゃいましたように素子への応用があります。その一つは半導体を用いた高密度の集積回路のリード線には蒸着したアルミ薄膜を使っているのですが、常電導体は発熱しますので、温度上昇を避けるため基盤材料に熱伝導のいい、しかも電気抵抗の高い材料が必要になります。今度の超電導材料がリード線に使えると発熱の問題はなくなります。そのためには電流密度 T_c が高い単結晶薄膜の作成が必要です。これができると、SQUID などジョセフソン素子関係もわりと早く浮上すると思います。技術予測が超電導マグネットに関するものだとすれば、実用化はそんなに早くないと思います。今世紀までの実用化は難しいのではないかという感じがしております。

福田：いまの新聞記事と関係があるのですが、多分それは科技厅何かでやった…

司会：エネルギーの方はバイアスがあるんでしょう。もうすぐだと言いながら、なかなかというふうに……

坂東：それはアンケートを取られた時点がいつ頃かによりますが、8月の低温の国際会議の後ぐらいですと、わりと最先端の研究者は慎重になってきたという感じがしますね。

竹原：太陽電池などのエネルギー変換装置をつくるには、ある程度のエネルギーを投入しなければなりません。投入したエネルギーに比べ、回収できるエネルギーのほうが小さい場合があります。超電導材料もエネルギー有効利用という立場で使われるのだらうと思いますが、その場合に有効利用されるエネルギーとそれをつくるのに必要なエネルギーとですと、やはり有効利用になるほうがかなり大きいということで開発されるのだと思います。そのような見通しはかなり明る

いものなのでしょうか。

坂東：もちろん、損失軽減は非常に大きいと思います。たとえば電磁石を例にとりますと、電力を消費する上に、発生する熱を水で冷却しなければならない。エネルギー損失は大きいわけですが、超電導磁石ですと、冷媒は必要ですが、電力は少なく、発熱がないことからエネルギー損失は少ない。総合したエネルギーでも超電導で損失軽減出来る分と、材料作製に投入したエネルギーと比較しますと、超電導のほうが有効だらうと思います。液体窒素が使えますとさらに有利になります。セラミックス系で単結晶薄膜を使用したとしても同じだと思います。

司会：林先生のお話ですと、さっきの例で容量500万kWhのSME Sに相当するものをセラミックス系でつくる時にどの程度のエネルギーが要るかというようなことです。経済学的に言いますと、それを先に食うわけですから金利をつけて返さなければいけないわけ（笑）

竹原：その寿命がどれだけあるかということが問題になると思うのですが。

司会：あ、寿命があるわけですか、無限ではないわけですね。

坂東：ええ。

竹原：ですから、その寿命が尽きるまでに投入したエネルギーを回収しなければいけないことになるかと思うのですが、……

司会：償却年限ですね。

坂東：そうですね。太陽電池なんかでもエネルギーを償却するのに20年くらいもたないと……

竹原：現段階では太陽エネルギーというのは無尽蔵にあっていくらでも使えるエネルギーなのですが、なかなか実用化できないというのは、太陽電池のコストや寿命に問題があるのではないかと思います。

司会：そこで竹原先生の電池などを中心とするご専門のほうへ移らせていただきたいと思います。

燃料電池の実用化と問題点

竹原：エネルギーの問題では、新材料の開発も大事ですが、それらの材料を組み合わせ、エネルギーを有効に活用するための装置をつくっていくことも大事だらうと思います。

新しいエネルギー資源として、太陽や核融合から得られる熱がありますが、それらを実際に使いやすい電

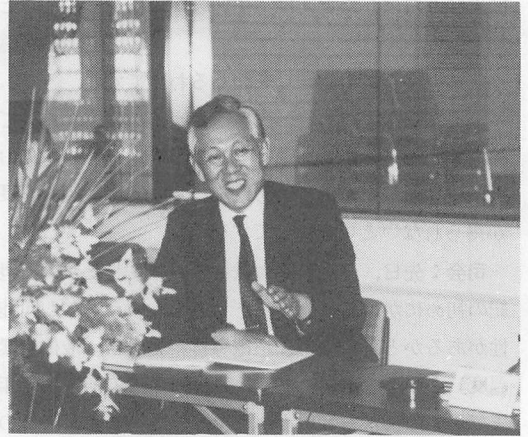
気や水素などの燃料に変えていくことも大事だろうと思います。もう一つは既存のエネルギーを有効に使うことだと思います。私達は利用末端では電気を30%ぐらい使っており、残り70%ぐらいは石油などの燃料を使っています。

電気はクリーンで使い易いエネルギーですが、先ほどお話のありました超電導材料のようなものが出来ない限り、貯蔵が非常に難しい欠点をもっています。もう一つは都市から離れた所で発電をしますが、そうしてつくった電気を実際に消費地に運ぶ時にエネルギーをロスします。電気抵抗のない超電導材料が開発されない限り電気を運ぶには必ずロスが生ずるということです。

電気を出来るだけ都市に近いところでつくって、しかも使いたいときだけに発電し、夜間など不要時には発電しないことが必要だろうと思います。化学反応によって得られるエネルギーを直接電気に変える装置が電池です。このような電池を用いて、燃料を空気によって酸化し、電気をつくっていく場合には、理論的には燃料の持っているエネルギーを電気に100%に近い効率で変えることが出来ます。それから使いたい時だけに発電が可能ですし、小規模の発電にも適しています。

このような発電機能を持った電池が燃料電池です。この燃料電池は現在開発中で、実用的な発電機という状態にはまだ至っておりません。しかし、この方法によって発電していくことはエネルギー有効利用の立場からは大事だろうと思います。燃料電池開発の研究は現在わが国でも盛んに行われています。使いやすい点からは電解質に水溶液を用いるのがよく、また炭化水素系燃料を改質して得られる水素の中に含まれる二酸化炭素によって変質しない点を考えて、電解質に濃厚リン酸溶液を用い、150度程度で運転するリン酸型燃料電池が研究されています。すでに、国産で分散配置用と火力発電代替用の1000kW程度の燃料電池が製作され、順調に動いている状況です。それから200kW程度のオンサイト用の燃料電池も、メタノールを燃料とする離島用や都市ガスを燃料とするホテルや病院などに用いる電池の開発が進められています。

発電効率が100%に近いと言いましたが、有限の速さで大電流を取り出していこうとしますと、効率が下がってしまいます。現在、40%ぐらいの効率で電池が動いています。残りは熱になってしまいますが熱電併給の立場で用いますと、80~90%ぐらいの効



● 竹原善一郎氏

率となりますので、都市部に建設する小規模の発電の場合には熱と電気と両方を使う形での利用が期待されています。

稲田：お風呂に入りながらテレビを見ろということですか（笑）

竹原：このように申しますと、燃料電池はよいことばかりですが、経済性あるいは信頼性の点からはまだ十分ではなく、実用化には多くの問題が残っています。

稲田：その場合、燃料は何ですか？

竹原：燃料は天然ガス、石炭ガス、ナフサ改質ガスさらにはメタノールが考えられています。

稲田：わりに何でもいいんですか。

竹原：それら燃料を電池の中で空気と反応させるのです。しかし、現状の燃料電池では、直接の反応はむつかしく、燃料を反応によって水素に変えてから電池に送り、空気と反応させています。

稲田：反応させるといっても、パッと燃やすわけではないわけですね。

竹原：電池の中で静かに化学反応させるのです。

稲田：触媒か何かが必要のわけですね。

竹原：はい。天然ガスやメタノールなどが直接燃料電池の中で反応できればよいのですが、現状の電池では、それはできません。燃料を改質装置で水素に変えてから、電池に供給しなければなりません。さらに、その上に水素を反応させるために触媒として高価な白金などが必要となってきます。

稲田：そこにも大きなエネルギーのロスがあるわけですね。

竹原：だから、天然ガスやメタノールなどを直接燃料として用いることが出来るような燃料電池を作らねばならないのです。

燃料電池は、オン、オフが自由に出来ることも特徴なのですが、現在開発されているリン酸型の燃料電池はオン、オフがむづかしく、連続的に発電しないと触媒が劣化し、電池の性能が低下します。

司会：一度止めるとどうなるのですか？

竹原：電気を止めると、空気を送る側の電極が高い酸化状態になり、触媒の溶解と析出が進み、触媒が凝集します。少量の触媒で高い活性を得るため、触媒を極限に近い状態で電極中に分散していますので、劣化しやすいのです。オン、オフがむづかしいので、負荷調整機能がある程度損なわれることとなります。

司会：そうすると燃料電池の特徴がでてこないことになるわけですね。

竹原：そこで、高価な触媒を用いなくても、直接天然ガスやメタノールなどが反応する燃料電池を開発しなければならぬのです。

そのためにはどうしたらよいかということですが、燃料電池を出来るだけ高い温度で運転することが必要になってきます。高い温度で運転しますと、反応の速度が速くなりますので、触媒が必要でないということになりますし、もう一つはメタンなどの炭化水素やメタノールを直接、燃料電池に送っても反応が出来ることとなります。

また、燃料電池から熱が出てきますが、質の高い熱すなわち温度の高い熱ほど有効に利用しやすいこととなります。現在のリン酸型の燃料電池ですと、150度以下ぐらいの熱しか出てきませんが、500度ぐらいの熱が得られるということになると、いろいろな点で熱を有効に使うことが可能となります。

ところが、高温で運転する燃料電池では、材料が非常に制限を受けます。電池の電解質に水溶液を用いることができません。炭酸アルカリの熔融塩やイットリアをドーピングしたジルコニアのような酸化物イオン導電性のセラミックスを用いねばなりません。また、電極には、高温での耐食性のすぐれた電子導電体が開発されねばなりません。また、電池構成材料の熱膨張係数がすべて同じでないと、熱履歴によって電池が破損します。

高温型の燃料電池が出来ると、燃料電池の実用化は有望になるわけですが、材料の面で非常にむづかしいというのが現状です。

司会：高温化して効率を上げようとしますと、やはり小規模分散化というより大規模集中化という方向になるわけですか。つまり大容量のほうは……

竹原：大容量と小容量の面で、研究されておりますが、燃料電池は小容量のほうが特徴がでてくると思います。

司会：小容量で高温の方向で効率化をするわけですか。

竹原：電池は小容量のほうがつくりやすいと思います。一つの電池で約1Vしか電圧が出ませんので、たとえば1000Vの電圧の電池をつくろうと思えば、1000個、シリーズに並べてやらなければならないこととなりますので、大容量の電池というのは技術的には非常に難しいこととなります。

若林：先ほど燃料電池は理論的には100%近い効率をもつのだが、実際には40%ぐらいになるというのは残りは熱になってロスになるということですね。

林：40%の熱効率といえますのは、100kWの大型の発電所で初めて達成できる高い熱効率です。それをわずか1000kWで達成出来るということは100kWに比べたら1/1000の容量で40%の熱効率が達成出来るわけで、従来の火力発電所の効率から考えたら驚異的ですね。

竹原：電池はその構成が複雑なので、それをつくるためのコストが非常に高くつくことと、寿命が短いことに問題があります。

司会：問題点はいろいろあるでしょう。一度には解決できませんから、効率性ということから言えばそうなんですね。小型でも効率がいいということですね。

林：いま、リン酸を電解質に用いる常温型の燃料電池ではそのよさが出ていないとおっしゃいましたが、私は高効率という意味では、ある程度、評価してやってもいいのではないかと思うのです。

司会：卑近な例ですが、堺のほうの大阪ガスのレストランチェーンでは燃料電池で電気をまかなっていると聞きましたが。

稲田：それは？

竹原：それはアメリカから輸入してきたもので、同じものが筑波の科学万博会場でも運転されていました。40kWぐらいの小型の燃料電池で、堺に設置されている電池は、排熱も利用し、現在14000時間程度となりますが、順調に動いているようです。

司会：そのへんの効率はどうくらいですか。

竹原：電池系に供給した燃料の発熱量の40%程度が交流出力として得られています。

司会：それぐらいならいいわけですね。

竹原：いいのですが、現状では電池のコストが非常に高いのが欠点です。

稲田：コストの問題ですね。資金コストが高つく。それは触媒か何かに高いものを使っているためなのですか。

竹原：触媒には白金を使っております。白金の添加量は現在では、出力1W当たり5mg程度の量には減っているのですが。

司会：プラチナは金より高いんですか。

稲田：一時、金が上がったけれども、プラチナがまた少し上がって、グラム2600～2700円で金が2100円です。

司会：燃料電池の話はだいたいよくわかりましたが、太陽電池のほうは先生は研究をやっておられないのでしょうか。

竹原：ええ、やっておりません。

司会：ちょっと教えていただきたいのですが、先ほど触れました技術予測の表を見ていますと、その中に積層太陽電池というのがありまして「高効率の積層太陽電池は2005年までに実用化出来るだろう」と書いてあるのですけれども、これはどういうものなのでしょうか。

竹原：従来の太陽電池では、材料に主としてケイ素を用いており、一種類の半導体を単独で用いています。その結果、ケイ素が吸収できる波長の光しか利用できません。太陽光の全スペクトルのエネルギーの一部しか利用できないのです。ケイ素の他にヒ化ガリウムやリン化ガリウムなどの複数の半導体材料を用いて、多層接合構造にすると、太陽光の全スペクトルに近いエネルギーが利用できるようになり、太陽エネルギーの電気への変換効率が非常に高くなります。30%以上の変換効率が期待できるといわれています。太陽電池の分野では、このような方法による高効率化と、アモルファスのケイ素の開発に見られるような低コスト化が実用化のために重要な課題となっています。数年前までは出力1W当り2万円位かかりましたが、現在では1000円程度でつくれるようになってきました。

司会：きょうは残念ながら自然エネルギーの専門の先生にご出席いただいていないのですが、その方向では何がボトルネックになるのでしょうか。たとえば希少金属の壁というのが、いまの触媒の話とか燃料電池それから超電導材料からいうとどれが希少な元素になるのでしょうか。

坂東：イットリウムですね。ガリウムもそうですが、

一応、イットリウムのほうが希少……実際は多いのですけれども……

司会：特定の国に集中しているんですね。

坂東：たとえば中国とか、ある所に偏り過ぎてしまっていて……。

司会：ケイ素はどこにでもありますからね。太陽電池の場合は、そういう希少性の問題はあまりないわけですか。

竹原：ケイ素も単結晶のような構造にしなければ変換効率が低いわけで、そのためコストが高つくわけです。コストをいかに下げてきて実用化に近づけるかということと変換効率を上げることが重要です。変換効率を上げれば、ある程度、コストが高くてもいいということになるのではないかと思うのですが。

司会：オン、オフ性がいちばんいいのは水力を利用する時ですか。水門を閉じる、開けるで出来ますか。

竹原：電池は電気を貯えることができ、しかもオンオフは自由です。そこで、夜間などの余った電気を貯え、大量の電気を必要とする昼間に電気を放出する目的の二次電池の研究が進められています。この目的には現在揚水発電が用いられていますので、それと同等以上の経済性をもつことが要求されます。電池の場合、都市近傍に設置でき、しかも設置面積が小さくてすむ特徴をもっているのですが、そのためには、エネルギー密度だけでなく出力密度の大きい電池をつくらねばなりません。単電池の電圧が高いことと、電池の中で進む反応の速度が速いことが必要になってきます。最近、新しい機能性材料がいろいろ開発されて、電池の材料に用いられるようになってきました。従来の電池ですと、たとえば1.5Vとか、せいぜい鉛蓄電池の2Vの電池だったのですが、3Vとか4Vの電池が現在出来るようになってきておりますし、数100度の温度で電池を動かすことも出来るようになってきました。また、電池の中で反応する酸化剤、還元剤は固体に限られていたのですが、(燃料電池は気体ですけれども)液体も用いることができるようになってきました。

電池を高温で動かすとか、液体の反応物質を用いることにより電池の分極を非常に小さくすることができ、大きい電流で充電、放電しても、その間のエネルギー差の小さい電池をつくることができます。また、電池の場合は資源的に非常に豊富なものを使ったほうがよろしい。ナトリウムと硫黄を使う電池が研究されています。ナトリウムは海水中に豊富にありますし、硫黄も石油を精製しますと大量に出てきます。そのほか、

亜鉛とシュウ素を用いる電池とか、リチウムと導電性ポリマーを用いる電池なども研究されています。

司会：ではそれぐらいで、どうもありがとうございます。では若林先生、お待たせいたしました。

原子力発電とソフトウェア技術

若林：私は原子力の主としてシステム関係を専門にしています。原子力は将来のエネルギー問題の解決にとって重要なことは申すまでもありません。原子力の技術は自然科学のほとんどすべての分野にまたがる総合技術で、その技術開発はここ30年、膨大な国の予算を使ってきました。これは将来のエネルギー問題の解決は国にとって重要であることと、原子力の技術開発は他の産業への波及効果が大きく、国全体の技術水準の向上にも役立つからだと思います。

たとえばコンピューター技術は、宇宙開発と原子力からのニーズにより発達したと言われていました。

司会：スーパーコンピューターですね。

若林：それがさらに発展してそうなったわけですが初期の時代から原子力と宇宙開発からのニーズがあったわけです。その他金属材料や検査、点検技術などの発展にも、原子力は大きなイニシアティブをとってきたように思います。

原子力技術の開発は、総合メーカーを中心に進めていますので、原子力の分野で開発した技術の他の産業分野への移転が、非常に速やかにスムーズに行えます。原子力の分野、特に安全性に関しては国の規制が大変厳しく、新しく開発した技術を実用化するにはかなりの実証試験が要求されます。これに相当の時間がかかりますので、原子力の分野で開発した技術が他の産業分野に先に取り入れられることもしばしば……

外国で実証された技術は比較的スムーズに取り入れられますが……

司会：葉の場合と逆みたいですね。葉は輸入した薬品のほうが検査がうるさくて、国産の葉はわりとポンポンと……

若林：原子力は最初アメリカに追従していたわけです。そのため日本での実証が間に合わなくても、外国の実証があれば取入れていく傾向がありました。その点薬とは逆ですね。

さて今日のテーマは「新技術とエネルギー」ですが、私の専門の関係から、コンピューター技術の原子力への応用を中心に話したいと思います。これは最近急ピ



● 若林 二郎氏

ッチに進歩しており、他の産業へ波及しているケースも多々あります。

司会：その場合のコンピューター技術といえますのは？

若林：主としてソフトウェア的技術です。

司会：原子炉の工学的なシミュレーションは進んでいるわけですね。

若林：それは当然進んでいます。最近活発に行われているのは、安全性、信頼性の向上技術です。

司会：二重、三重のフェールセーフシステムですか。

若林：安全性の技術は原子力で最も重要なわけで、従来からハードウェアにより二重、三重に安全防护を行い、フェールセーフのシステムとしていますが、アメリカのTMI事故以降、Operational Safety とか Operational reliability が注目されるようになりました。これはまさにソフトウェア的技術です。私自身も10数年前からこれをテーマにしていますが、運転員と機械との関わりの中にコンピューターを取入れ、Human error をなくして信頼性や安全性を向上させる技術です。こういったソフト技術は運転の問題以外にメンテナンスの問題にも取入れられています。

以前は原子力の安全はハードで確保することになっており、Operational Safety という言葉は禁句でして、私自身10年前に「Operational Safety」の研究会を作ろうとしましたが、「Operational reliability」にしてくれと言われてましてね。

司会：セーフではないと……

若林：そうですね(笑)しかしここ2、3年 Operational Safety という言葉も座を得てきました。それはソフトウェア技術の信頼性が高くなってきたのも一つの原因でないかと思います。

司会：先生のお話は、だいたい軽水炉を念頭において伺えばいいのですか。

若林：いままでは主として軽水炉ですが、将来のエネルギーとしては当然高速増殖炉が重要視されています。原子力は当面、水力、火力と同じ電気を作るわけですので、発電設備としては経済性が最も重要な問題で、他に energy security, エネルギー資源、環境へのインパクトなどの問題を考える必要があります。

そこで高速炉を考えますと高速炉は技術的に可能なことはすでに実証されています。フランスのスーパーフェニックスは昨年 120 万 kW 全出力運転に入っています。しかしフランスですらまだ経済性が成立っていません。技術的には開発されましたが、商業炉としての導入は 2000 年以降になると言われています。

司会：というのは赤字を出して動かしているわけですか。

若林：そうです。というのは、将来は必ずこれが必要になってくるので、いまのうちに技術を蓄積しておくことが重要だということです。

司会：フランスはたしか原子力発電所をどんどん推進した結果、国内の消費需要をはるかに上回っていますね。

若林：そうです。

司会：それで電力を周辺諸国に輸出していると。

若林：ええ、フランスは現在総発電電力の 70% が原子力になっています。そのほとんどが軽水炉です。高速炉の商業化は可成り遅れる見込みですので、そのつなぎに MOX 燃料（プルトニウム・ウラン混合酸化物）を軽水炉に使おうとしており、また高転換軽水炉、すなわち、中性子のエネルギーを高くして燃料の転換率を大きくする軽水炉、の開発にも着手しています。

わが国もフランスと似た事情にございます。わが国では昨年で電力の 26% が原子力になっており、今後益々比率が高まると考えています。現在 28 万 kW の高速原形炉もんじゅの建設を進めており、電力各社が協力して商業用高速炉の設計研究を進めています。経済性という点ではまだ… 2030 年頃でしょうか……

稲田：その場合、どこにコストがかかるんですか。

若林：安全設備です。

林：高速炉とか増殖炉とか、そのへん、ちょっと一言、ご解説をお願いしたいのですが……

若林：高速炉と申しますのはナトリウムを冷却材に使って、主としてプルトニウムを燃料に使います。そして天然ウラン中に 99.3% 含まれている普通では核

分裂しないウラン 238 を、原子炉を運転しながらプルトニウムに転換していき、結果的には使ったプルトニウムより余計のプルトニウムを生産します。このように運転しながら燃料を増やしていくのが高速増殖炉です。

林：高速中性子を使うから高速炉と言うのですね。

若林：そうです。中性子のエネルギーすなわち速度を高くしなければ、燃料を増やす効果が出てこないため冷却材にも中性子の減速効果の大きいものは使えないので、ナトリウムを使います。ナトリウムは水と反応しますとナトリウム火災を起しますので、そのための安全防護設備が必要になります。さらに、中性子エネルギーが高くなると核分裂が起き難くなるので、十分な出力をうため炉心に大量の核分裂性物質を入れます。そのため、万一の事故で炉心が溶けたときが問題になります。軽水炉では核燃料が少ないため、炉心が溶けて燃料が一塊になると核分裂は止まりますが、高速炉で燃料が一塊になると原爆と同様なことになる恐れがあります。このことも安全設備が高くなる原因です。

司会：そうすると軽水炉ではその安全性の問題は Operational Safety でソフト技術の開発ということまで来ているけれども、ファーストブリーダーのほうになると、まだハードウェアの安全性の問題の段階なわけですね。

若林：そうです。計算はいろいろされ問題ないという結果が出ていますが、実験は出来ません。実験をしようと思ったら原爆の実験になってしまう（笑）

稲田：実物を使ってはやれないわけですね。

若林：そのため結局計算をするわけです。しかし計算の場合は安全率を掛ける必要があります。計算上は起らないという結果が出て、それに安全率を掛けると「多少のことは起るかも知れない」となります。このへんをはっきり詰めていくことも大切です。

現在各国とも、高速炉でそういったことが起らないという計算結果を出していますが、それでは国の許可が得られませんので、たとえば、万一炉心が溶けても塊にならずに分散するような設備をつけています。

司会：せいぜいチャイナシンドロームのようなものが、数カ所で起こると言う（笑）

若林：そういうことから、高速炉の実用化は経済性がネックになっています。

稲田：先ほどアメリカの話をちょっとしかけて……

若林：アメリカはもっと事情が悪うございます。

稲田：カーターの時にやめたという……

若林：カーターの時にやめました。核拡散防止の観点からです。使用済燃料を再処理してプルトニウムを抽出しなければ高速炉の意味がないわけですが、ある国がプルトニウムを持つことは、その国が原爆の原料を持つことに等しいので困るという考えです。

いま一つ、アメリカは経済性の点でも高速炉に疑念を持っています、アメリカは石炭を豊富にもっていますので、現在の軽水炉すら経済性が成立しないため、1978年以降新しい原子力発電所の発注が全く無い状況です。自由世界のうちで原子力を積極的に推進しているのはフランスと日本だけです。フランスと日本のエネルギー事情が似通っているからでしょう。

わが国でも高速炉が商業化出来るのは2020～2030年と考え、フランスと同様に高転換軽水炉の研究を進めています。またその前の段階として、現在の改良型軽水炉の設計を終え、近く建設されることになっています。これは核燃料の有効利用を図ることと、建設費を下げ稼働率を上げることを主眼としています。

原子力では発電原価に占める燃料費の割合は約20%で、ウラン鉱石の費用だけを考えますと4～5%にすぎません。一方発電原価に占める建設費の割合は約70%です。したがって、燃料の有効利用は資源の節約に意味があり、建設費を下げることで稼働率を上げるとは、経済性の向上につながります。先程申しましたソフト技術は稼働率の向上にもつながります。

また、2000年代には石油の値上りは避けられなくなり、その頃にはウラン鉱石も値上りすると考えられています。火力ですと石油の値上り分の約60%が発電原価にはね返りますが、原子力ではウラン鉱石の値上り分の4～5%がはね返りだけですので、原子力はエネルギー資源の価格変動に対して非常に安定しているという見方もあります。

司会：少し付け加えさせていただきますと、石油価格の工業製品価格に対する相対価格と申しますか、実質石油価格は、あまり上がらないだろうと言われております。逆に世界全体がインフレで工業製品価格も上がれば、名目の石油価格も上がる。そういう意味で将来、石油価格が上がれば、一般的なインフレにもなりますから、工業製品価格も上がるので、新設の原子力発電所はやはりコストは上がるわけですね。既存の部分はいいのですが。

若林：そうです。

稲田：建設費が高くなりますからね。

林：いま、燃料費が出ていますが、電力中研の試

算では2000年に名目で50ドル/バレル、それから2010年で100ドル/バレル……

司会：2000年の50ドルというのは多少のインフレ率、年率2～3%を見込めば現在の30ドル、それより少しは高いですね。それと稼働率についてちょっとお伺いしたいのですが、原子力発電所で稼働率が90であるか、(90というのはあり得ないのかもしれませんが)60であるかで全然違うわけですね、固定費が多いですから、1970年代の前半頃までは、わが国の原子力発電所の稼働率はたいへん低かったですね。やたらに小さな事故が起こっては止めて……特に関電がそうだったと思います……

稲田：関電は原子力が多いからね。

司会：それが最近になると非常に高まりましたね。これはどういう理由なんですか。無理して動かしているとか、そういうことはないのですか。

若林：いや、そうではなくてメンテナンス技術が非常によくなったということ。

司会：それはソフトがですか？

若林：ソフト、ハード両方ですが、どちらかと言えばソフト的技術です。たとえば蒸気発生器がよく故障しましたが、関電の場合、大事に至る前に早く見付けて修理します。しかも検査はロボット化しています。

司会：あ、ロボット化が効いているわけですか。

若林：そうです。ロボット化することにより、放射能が高くても仕事ができます。

司会：止めなくても。

若林：いや、止めることは必要ですが、止めた直後の強い放射線下でもロボットなら仕事ができます。また、定検時に小さな異常を早く見つけ早く対処するため、次の定検迄ほとんど故障しなくなりました。

司会：そうすると今後さらに稼働率が上がるということは期待できないわけですか。

若林：出来ます。今後建設するAPWR(改良加圧水形炉)では、稼働率90%を予定しています。

司会：現在では？

若林：現在はだいたい70%台ですね。しかし昨年建設にかゝりました大飯3・4号では85%を予定し、さらに次のAPWRでは90%を予定しています。

稲田：大飯？

若林：建設中の大飯3、4号です。今迄とどこが違うかと申しますと、大飯3、4号では定検の自動化、ロボット化による所が大きいです。たとえば、これ迄を燃料交換の後で蒸気発生器の検査をしていましたが、

設備を一部改良して、停止してすぐに蒸気発生器の検査を燃料交換と平行に出来るようにしています。これだけで日数が1週間～10日ぐらい短縮できます。

司会：それだけで……

若林：ええ、そういったことが各所で出来るようになりました。また定検作業のプランニングも改善されると思います。こういったことが重なりまして……

司会：日本における省エネの実績を見ますと、確かに産業でのエネルギー投入係数が減少したというのは鉄鋼を中心に大きいのですが、ただ、原子力発電所の稼働率が上がったこともすごく大きいのですね。

若林：そうですね、それからもう一つ、これはまだ研究段階なのですが、原子力発電所で排熱の利用についても検討されています。

司会：いまのところは海に流しているわけですね。

若林：ええ、そのため熱効率はだいたい33%……

稲田：魚の養殖なんかいけますか。

若林：それは非常に微々たるものですね（笑）しかし、たとえば排熱の温度を高くして、電気への変換効率を少し犠牲にする代りに、地域へ温水を供給することも考えられます。

稲田：私、前に聞いた話なのですが、ソ連あたりではむしろ都市に近いところに原子力発電所をつくって、地域暖房も一方で兼ねていると。

司会：暖房をやると思うと発電所は人間のいる所に建てないと駄目ですね。

竹原：熱の有効利用という面からは高温ガス冷却炉が開発されますと発電効率も上がりますね。

若林：わが国でも高温ガス試験研究炉を原研が設置することになり、来年の安全審査に向けて設計をつめています。熱出力はわずかに3万kwですが……

司会：水を使わないわけですか。

竹原：ガスです。ガスで冷却しますと高温の熱が出ますし、発電効率も高温にすれば上がりますから。

若林：高温ガス炉は、アメリカとドイツが原形炉を建設していますが、勿論現在は経済性を考えていません。アメリカ、ドイツとも石炭のガス化に将来の狙いを置いているようです。わが国は当初製鉄用還元ガスの製造を狙って研究していましたが、一時下火になり、最近ようやく原研の試験研究炉が認められました。

高温ガス炉は出力密度が低いので、事故を起した時の状況がマイルドになり、事故の際に対策を立てる迄の時間的余裕が大きくなり、安全性が高いと言われています。したがって、もし工業コンビナートの近く

にでも建設できれば、多目的炉として給熱も可能になり、大変熱効率の良いものになります。

林：若林先生、いまの故障時における運転手法の一つとして最近はやりの人工知能なんかをお使いになられるご予定はございませんでしょうか。

若林：先ほど申しましたOperational Safetyはまさにそれです。通産のプロジェクトで、原子力メーカ3社が電力と協力して、原子力発電所の運転支援システムを開発し、一昨年シミュレータ試験を終え、大変良い成績を挙げています。原子力発電所の運転員の評価も大変良かったようです。一昨年からの5ヶ年計画が発足し、そこではAI（知識情報処理）を応用してシステムの高度化をはかることになっています。

司会：それは、human errorをなくすにはhumanを取っ払おうということですか。

若林：いや、そうではありません。オペレータを介さずに自動化することにはまだ不安もっています。オペレータが判断ミスや操作ミスをしないように、できるだけ確かな情報や指示をオペレータに与えようという段階です。私は安全に対する最終的なバリアーはハードウェアと自動化に頼るべきで、オペレータ操作に頼るのはその前の段階だと考えています。そこではオペレータの腕によって、原子炉を止めなくてすむ場合もありえます。

司会：あ、そうですね。

若林：異常が起っても、素早く回復させることが出来れば止めなくてすみます。これはオペレータの腕の見せどころで、そのための訓練もされています。

竹原：高温のガス冷却炉が出来ますと、たとえば、900度くらいの熱が出てきますので、その熱を用いて水を分解して水素をつくることができます。

司会：そうすると燃料電池がいくらかでも……。

竹原：そうなります。燃料としても利用できます。電気と燃料が両方得られ、非常にいいとは言われているのですが、なかなか高温ガス冷却炉が実現しませんので……。

若林：そうですね、10年程前に原子力委員会の動力炉開発部会でその方向の答申を出しましたが、結局、経済性の問題があったのではないかと思います。

竹原先生に一つお伺いしたいのですが、1000度になりますと変換効率はかなり良くなるようですが、900度程度で水素に転換する時の効率は……。

竹原：900度くらいが限界でして、1000度になれば非常に効率がよくなるんです。

若林：部会の席で1000度になると効率が良くなると聞いただけで、よく理解していませんので……。

司会：いままでの話を伺っていますと、やはり21世紀の新技术の方向も、たとえばいまのお話にありましたように、ガス炉で1000度にすると効率がいいとか、燃料電池も高温のほうがいいとか、超電導材料でいってもコイルで蓄電するのもかなり大規模なものになるとか、やはり集中型、高効率、高容量型という線は続きそうな感じになるのですが、そう思ってよろしいのでしょうか。

若林：私はそう思いますね。

司会：つまり「ハード・パス」が続くと。

若林：原子力の場合、どうしても電気をつくるということで経済的な観点が重要視されます。というのは開発費が非常に高いということが一つ。

林：いまのお話を承っておりますと、軽水炉の開発は着々と進みまして、他の形の原子炉が少し引き離されているような気がするのですが……。

若林：おっしゃるとおりでございますが、これはあくまで商業化が引き離されているわけでして、高速炉はすでに技術的には完全にフォローして、ですからもんじゅの建設も始まっているわけです。

林：2年前のデータで恐縮なのですが、フランスのFBRは、同規模の軽水炉建設費の約2.7倍、発電コストで2.2倍になるということです。やはり軽水炉が優秀すぎるために他の形の炉の実現化が逆に遅らされるという気がいたしますね。

若林：それは言えますね。新しい炉の技術開発費は非常に高くつきますが、すでに確立している軽水炉技術をベースに、それをextensionする場合は比較的安くできます。それが改良型軽水炉や高転換軽水炉の方向に電力業界が動いている大きな理由です。

しかし電力業界も「将来は高速炉になる」という認識をもっており、協力して大型高速炉の設計研究を進めています。これは現在建設中のもんじゅと少し型が違って来る可能性があります。

司会：ほかに、自然エネルギーはありませんか。

宇宙太陽発電の将来

林：太陽発電に関しましてひと言だけ……。宇宙太陽発電が将来の大きな夢だと思いますので。

司会：では、どうぞ

林：宇宙太陽発電というのがございます。現在は構

想だけの段階ですが、赤道上、3万6000kmの静止軌道に縦10km、横5kmの太陽電池パネルを広げまして、ここで発電された電力をマイクロ波で地上に送電しようというものでございます。この発電衛星1個で500万kwの電力供給が可能とされております。この太陽電池パネルから発生された電力は2.45 GHzのマイクロ波を用いまして、これが地上の受電設備に送られますがこの受電設備もまたかなり大きいもので、地上直径約10kmの受電基地にマイクロ波の90%程度のエネルギーを集中させようというものです。これは電磁環境に対するアセスメントが残っておりますし、それから技術的にいちばん難しいのは受電の場所にマイクロ波を集中させるというポインティングという技術でございます。

司会：ありがとうございました。やはりこれも大容量を狙ったもので、いろいろ問題点はあるようですね。

稲田：その衛星の場合、そうでなくても通信衛星その他で3万6000kmですが、赤道上に、静止衛星ですから限られたところにしかいる場所がないわけでしょう。今でも邪魔だなんて言われているのですから過密状態ですね。通信衛星などは……

司会：宇宙はもっと広がって(笑)

稲田：3万6000kmのところだけです。だから非常に限られた所しか……。どこへ行ってもいいというのならいいのだけれども、いっそのこと月でやったらどうなんですか。

林：月ですと、静止衛星と違って送ってくるのが難しいのです。

新技术と経済性評価

司会：一わたり分野全体がカバーされたところで経済学者の立場から稲田先生に全体的な感想をお伺いしたいと思います……。

稲田：新春の座談会というのは通常、夢を語るのが普通なわけで、事実、きょうは夢も希望もありました。ただ、問題点というか、これからどういうことがそれぞれの分野の技術で問題点になっているかというお話も伺ったわけです。技術予測が非常に難しいというのは、先ほども森口さんから新聞記事に出た例を引いてお話があったわけですが、先ほど一わたり、一人が5分くらいずつという予定も大いに超過して……(笑)非常に技術予測が難しいというのは、こういうところでも明らかにしているわけです。

私は、どういふところに問題点があるかぐらいは把握出来ますけれども、現実にそういうことを研究していらっしやる方々の苦勞などということについては全くわからない。ただ、日本は、昔から技術立国というようにことが言われておまして、これからの日本は外国の技術のイミテーションをやっているだけでは、だめなのではないか。一つは、もうすでに日本の技術水準が最先端に近いところまで行ったために、イミテーションをやろうにもモデルになるものがなかなか導入出来なくなってしまった段階に到達している。さらには、この狭い国土の中で常に資源とかエネルギーの不足に対する不安がつきまとっている。ある意味では綱渡り的な経済の運営をわれわれは迫られている。

それだけ必死にやらなければいかんということで現在の貿易摩擦というか経済摩擦を引き起こすほどまで発展したという見方も可能ではないかと思うわけです。

具体的にきょう、お話を伺った技術はそれぞれ非常に興味あるものですが、私はある時、超電導技術専門の人と話をしたとき、確かに超電導というのは出来れば非常に素晴らしいし、これが経済に及ぼす効果も大きなものとして出てきているわけで、そのとおりだと思います。その時にその人が(電気メーカーの人でして)シリコン半導体の場合は地球上に非常にたくさん資源があるものを使って素晴らしい性能を持ったものをつくり出すことができた。言ってみれば、がらくたをこれだけ人類にとって有用なものに転換した技術として高い評価を与えることが出来ると。その話をきいて天の邪鬼な私は「シリコンという非常に素晴らしいものを神様が人類にくれたんだけど、そんなに神様って寛容だろうか。一つやったんだからそれ以上、二つも三つもくれるってなことはしないのではないですか」と言いましたら(笑)「いや、柳の下にドジョウは二匹まではあるんだ」と言っていました。私もそのほうが勿論いいなと思っているんですが、超電導などの技術が、資源のない日本で大きく進歩するなら、まさにこれは日本あるいは人類にとっても大きな贈り物で、高く評価されるのではないかと思います。

先ほどエネルギーに関して技術予測が比較的外れているのが多いというのは、一つは、ひと頃ほどエネルギー危機がかしましく世の中で騒がれなくなってしまったということから、研究者は意慾的だと思うけれども金を出す方が減ったのではないか。「もっと他に金を出すところもある」とか、あるいは「財政再建のために、少し研究助成金を渋くしよう」ということで研究



● 稲田 献一氏

がトーンダウンしてしまった側面があるのかなという印象を持っております。

しかし、日本の置かれた状況を考えると、先ほど若林さんもおっしゃったのですが、いずれはまたエネルギーの問題が日本経済に重くのしかかってくるのが予測されます。特に現在の先進国がいまのような状況でエネルギーについて節約する技術を開発していくのであれば、当面はエネルギー問題はそう深刻にならないと思うのですが、発展途上国と言われるような国々が経済発展をすごいスピードで始めたとなると、特に中国など人口が非常に多いわけですから、エネルギーの不足という問題はわりあい早く、また重要な課題として世界中でパニックまで起こしかねないようなことになりかねないと思っております。

最初に森口さんからエネルギー特別研究が発足したという話があったわけですが、その時の最初の建議書の中で「エネルギーの危機が契機になって、むしろ新しいエネルギーの使い方とか、新しいエネルギーの発見を通じて人類文明が大きく発展する契機になっている側面がある。だからエネルギー特別研究をやる場合にも、そういった新技術の展開が、考えようによっては窮状に置かれたことから、それを何とか打開しようとする人類の叡智と努力が新しい技術をつくり出して、それが新しい文明につながっていくということも充分期待出来るのではないかと書かれております。私は大きな流れの中で新しい技術を見ている場合、きょう、お話しになった超電導、新材料、原子力の問題などをむしろもっと人類全体のキャパシティを広げるという形で転換していくことが出来るなら、技術の問題はわれわれに非常に挑戦的な課題を与えてくれると見ております。

ただ、技術者の方々とお話ししますと、どちらかとい

うと非常に modest で、ご自分の研究分野の技術的な、考えようによっては小さな話をされているわけですが、逆に言うと、そういう努力があってこそでっかい話に結びついていくわけです。細かな技術を着実に積み重ねていくことが人類の進歩に大きな貢献をしてくれるのではないかと考えております。

私は前から、人類は自分自身で進化する生物だと言っているわけです。つまり、人類以外の生物は種が変化しない限りは新しい形質とか能力は獲得できないわけですね。たとえば鳥が空を飛ぶためには鳥にならないと空を飛べなかったわけで、陸上を這いまわっていた爬虫類や哺乳類では、そのままでは空を飛べなかった。鳥になってはじめて空を飛ぶことが出来た。ところが、人類だけは種の変化はないのに新しい能力を次々に獲得してきている。そういう意味では、まさに人類というのは進化する生物である。その進化の内容が技術ではないかと思うのです。ある意味で、生物でいえば DNA の組替えに当たるところを技術者はやってくれる。だから神のやっていることを代行していると見ていいわけで、技術に対する期待は非常に大きい。経済というのは、ある意味で技術が世の中でどういう形で使われるかという仕組みを考える学問であるわけで、われわれのところはその意味ではソフトウェアであって、技術がそのハードウェアをつくり出している。だからハードウェアがないとソフトウェアがいくらいいのが出来ても、世の中の豊かさというか余裕には大きく結びつかないと考えております。

ですから、今回のこのシンポジウムにお招きいただきまして、いろいろ技術の方々からお話を伺い、一方、心強かったのですが、ただ、多少まだ問題点がある。このためにはわれわれ社会としてもかなりの努力をしなければいけないのではないかと印象を持ったというのが私のきょうの感想です。

司会：どうもありがとうございました。

若林：私自身はエネルギーの問題は最終的には地球規模で長期的に考える必要があり、また稲田先生がおっしゃいましたように人口問題がエネルギー問題と密接に関係してくると思っています。

稲田：そうです。私は経済学者として中国の話をしたわけです。

若林：地球上で一体どれだけのエネルギーが使えるかということも、将来の問題として考えておくべきように思います。以前私が日本で2億kwの原子力を作ると、温排水だけで領海1海里の温度が1℃上がる…。

原子力で2億kwですと温排水は4億kw……。

司会：長期の問題としては大気中のCO₂の問題もございしますが、21世紀ビジョンで現在問題になっている方向は、そういう長期の問題はともかくとして、わりと柔軟に需要供給面に対応しようという姿勢が出てまして、価格の問題、経済効果についてわりとうるさく言い出しているんです。

これまでは無差別的にあらゆる新技術にサポートを出そうということをやってきたわけですが、これからは見込みのあるものだけに集中しようということで、絞られつつはあります。その中に超電導はいきなり大きなウエイトを持って飛び込んできたということになるのでしょうか。

板東：数億ですからしれていますけどね。

司会：実用化の話ではないですからね。

稲田：あれが出来たら10兆とかいうんですか、産業規模が、だから、それから見たら小せえ、小せえだけれども(笑)

司会：ただ、昨今の日本での騒ぎ方はビジネス界を巻き込んでそうとうに異常なような感じがありますね。アメリカがびっくりしているんじゃないですか。あの調子だからやれたと。

稲田：アメリカでも超電導の学会の時にいっぱい集まったという話ですよ。むしろ、向うが、その意味では火をつけて、こっちが燃え上がった。(笑) アメリカでマッチをすったら、こっちが燃え上がった。

司会：研究のほうのエネルギーは日本はかなり高いわけですから、大いに期待出来るし……

稲田：ただそれ、あまり大学ではないんです。企業が入ってくると燃え上がるんです。日本の場合は企業が儲かるからというところで燃え上がるので、そこに先走ったところが出てくるのではないかと。

司会：それにジャーナリズムが無茶苦茶先走るので、一見、凄いことになるのですが、きょうのお話で慎重な見方も必要だということがわかりましたし、夢を楽観的にばかり語るのではない、非常に意味のある新春座談会が出来たと思います。どうもありがとうございました。