

## 核融合研究開発基本問題検討会（第13回） 議事録

1. 日 時 平成15年10月24日（火）14:30～17:50

2. 場 所 中央合同庁舎第4号館 4階 共用第4特別会議室

3. 出席者

〔核融合研究開発基本問題検討会構成員〕

玉野輝男（参与）、畦地宏、居田克巳、大塚道夫、岡野邦彦、小川雄一、可児吉男、菊池満、高津英幸、寺井隆幸、長崎晋也、藤原正巳（座長）

〔招聘者〕

伊藤浩吉（日本エネルギー経済研究所理事）

内山洋司（筑波大学機能工学系教授）

小西哲之（京都大学エネルギー理工学研究所教授）

時松宏治（地球環境産業技術研究機構研究員）

〔核融合専門部会技術WG構成員〕

井上信幸、桂井誠、岸本浩、高村秀一、西川雅弘、松田慎三郎、三間園興

〔内閣府〕

永松審議官

4. 議 題：

（1）核融合研究開発の意義について

（2）その他

5. 配付資料

資料検第13-1-1号 今後のエネルギー情勢と技術選択

資料検第13-1-2号 核融合と水素製造について

資料検第13-2-1号 核融合研究開発基本問題検討会（第12回）議事録

6. 議事内容

1) 今後のエネルギー情勢と技術選択について、資料検第13-1-1号に基づき、内山洋司氏より説明がなされた。

2) 資料検第13-1-1号に対する石谷委員からのコメントについて、藤原座長より説明がなされた。

3) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【菊池委員】 大変わかりやすく書いてあるのですが、これまでこの委員会で議論してきたエネルギーの超長期予測で、ITER計画懇談会の茅先生の委員会の報告書にも書いてあるのですが、21世紀の末に、例えば550ppmシナリオで考えたときに、いったいエネルギーを何で供給するのかを議論している中で、再生可能エネルギーが非常に重要になってきているわけですが、内山先生の資料もそうですし、IAEAなんかでここ20年ぐらいの予測をしているものを見させていただいても、再生可能エネルギーというのは非常に厳しいという認識がかなりあると思います。

そのいわゆる100年オーダーでの議論をしている中での再生可能エネルギーの

評価と、内山先生が考えておられる「結構厳しいよ」という評価の整合性をどういうふう到我々として考えていけばよろしいのか、教えていただきたいと思います。

【内山洋司氏】 基本的なエネルギーの特性については、そういったところで評価しているのと私の考えているのとはあまり変わらないと思います。問題は、経済ポテンシャルをどう評価していくかだと思うのです。今回は、私の評価は、日本国内での評価を中心に、再生可能エネルギーの可能性とかについて検討した結果を報告したわけです。日本国内ではあまり期待ができそうもないというのは確かではないかと思えます。そのくらい日本は今エネルギーづけの社会で、たくさんのエネルギーを使っています。逆にいえばそういうことです。一方、世界を見ますと、国土が広いところがいっぱいありますので、やはりそういうところでは潜在量はそれなりにあると判断しています。

ただ基本的には、これは資本コストで成り立つ技術ですので、燃料を使っていませんから、1個あたりの設備費は安くても、供給力として全体で見るとすごく高いものになります。ですから、それは火力や原子力に比べて本当にどの程度賄えるのかなということですね。つまり、初期投資というのは技術開発にとって結構大きな課題なのです。核燃料がやはり有利なのは、初期の投資がそれほど小さくなくて、あとはランニングコストで燃料に依存しながらやっていけるということが一つの魅力です。もちろんそれが逆にコストの変動を受けるというリスクもあるわけですが。

だから、皆さん方もそうだと思うのですが、後で回収できるから初期にお金をぼんと払えといったって、やはりリスクがあると誰もが考えます。普通、投資家にとってはそうなのです。原子力もそれに近いところがあるのですけれども、再生可能エネルギーにとっては、これはもうしょうがない問題ですね。

やはり何といってももう1つの欠点は、供給信頼性の議論があまりされていないということです。基本的な問題である供給力ですね。今までの再生可能エネルギーの超長期ビジョンでも、需要に対して供給できるのかという議論があまりされていない。ただポテンシャルとして評価している形態が多いのです。そういう超長期の評価手法に私は個人的にまだ問題があると思っています。ただ、先ほど言いました理論ポテンシャルでいうと、これは膨大な量が確かにあるのです。

【菊池委員】 おっしゃっていることはよくわかっています。問題は、いわゆるどれだけの科学的あるいは経済学的な根拠をもって将来を語るかということと考えたときに、非常にきっちりとした技術基盤をもって語ろうと思うと語れないよということですが、それはそのとおりだと思うのですけれども、一方でやはり、それなりに例えば21世紀末にじゃあどうするんだというのは、不確定な技術の範囲内でもやっぱり論ぜざるを得ない部分もあるわけですね。そのときに、伊藤理事に以前お話いただいたのは、資源量のポテンシャルからいえば、コストが下がれば再生可能エネルギーはかなり入ってき得るということであり、それで火力との代替が進んで550ppmぐらいに乘せられるということになっているわけです。そういう議論は必要だと思うのですけれども、火力の代替になっていくのはソーラーとかバイオマスなのかどうかというのは、やはりそれなりの認識を共通認識として持つべきではないのですか。

【内山洋司氏】 技術のポテンシャルをどう見るかということになるのですけれども、超長期の難しさは、やはり不確実性があるものですから、楽観的に見るか批判的に見るかで答えががらっと変わってしまうのです。やはり、先の見通しというのをみんなあまり批判的に見たくないのです。大体30年以上たった問題というのは、明るく見通しをつくりたいわけです。これは人間の気持ちとしてよくわかります。本当にそ

うだと思います。だから、現実には、10年、20年くらいを考えると極めて暗い見通ししか出てこないのですが、その後は、非常に明るく何でも解決できるというようなシナリオを描く傾向はあるのです。今までのいろいろな問題を見てみてもそうなのです。でも、それはある面で政策を進める上では大事だとは思いますが、お金をかけなくてもいいようなものに対してはそれでもいいのですけれども、それによって巨額のお金を必要とするものに対しては、果たしてそれでいいのかどうかという課題が出てきます。だから、再生可能エネルギーにもそういう問題があると私は思うのです。超長期については非常に楽観的な見通しになったりするというのが私の感想です。

【三間委員】 以前、この委員会で議論があって、お聞きしたところでは、中長期のエネルギー情勢について、2050年というのが1つのクリティカルな時期であるということでした。それで多分内山先生の資料の中でいえば、エネルギー基盤施設の更新などの時期とも関係するのかなと思ったのですが、エネルギー資源として利用可能になる時期が2050年以前なのか以降なのかで、相当重みというか意味が変わってくる。50年以前だと相当有効なのだけど、それを過ぎるとその意義が薄れるという議論があったかと思うのですが、その辺の話について、この中長期のエネルギー情勢という観点から、内山先生がどんなふうにお考えになられているのか、お伺いしたいと思います。

【内山洋司氏】 50年先というのは予測不可能な世界だと私は個人的に思っています。先ほど言った化石燃料がどのくらいでなくなるかくらいまでは「えいや」で計算できますけど、社会がどういうふうになっているかということは、50年先なんてだれもわかりませんよね。正直言って、私は10年先もわからないと思うのですけれども、それを考えると、50年先に本当にどんな世界になるのかというのは、全く予測がつかないのです。皆さんの予測というのは、今のトレンドでほとんど予測していますが、それで世の中が成り立つということはずまいと思うのです。だから、その50年先の問題というのは、まさに願望の世界でしかないのではないかなと思います。だから、基本的な問題として、資源というのはどういうものかくらいを押さえておけばいいのではないかと私は個人的にいつも思うのです。それ以上の予測、それ以外の社会経済の予測というのはほとんど不可能に近いくらいの問題になっていると思います。だから、正直に言うと、いろいろな世界でいろいろな中長期のシナリオが出ていますが、それを見ていると、いったい世の中がどうなるのか全くわかりませんよね。

【三間委員】 現在稼働している火力とか原発とかを精いっぱい保守して、その動かせる限度というのが何10年かあって、それからすると、2040年とか2050年頃までに新しい更新の時期になるということはないのでしょうか。

【内山洋司氏】 そうですね。その辺が一番オーソドックスな考えですね。大体、インフラ施設、特にエネルギーのインフラというのは、4、50年で更新されますので、それを考えると、今まで戦後50年、半世紀で作り上げたものが、これからの半世紀でどんなふうにもまず変わっていくかということですね。その辺で50年くらいまでは、インフラに関しては何となくわかるということです。資源の使い方もある程度わかる。しかし、その次の更新時期の予測というのは、これは本当にわからなくなってきました。どんなふうにも更新されるのか。基本は、やはりエネルギーの特性からいうと、再生可能エネルギーにそれほど大きく高まらないのではないかなと思います。これはやはりエネルギー供給が変換技術というもので成り立っていますから、エネルギー

変換する上で、やはり熱機関というのは圧倒的に有利ですね。やはり熱機関にかわる再生可能エネルギーというのではないですよ。太陽光発電というのが直接発電で期待はされていますけれども、これはやっぱりいろいろな面での制約がありますので、それで置き換わるといことは、よほど化石燃料や原子力がなくなればそういうこともあるかもしれませんが、現状ではちょっと考えられないと思います。

【松田委員】 関連の質問ですけれども、非常に不確定な中での議論を我々はしているわけですが、いずれにしても、日本に限定しなくて地球全体で考えていいと思うのですけれども、内山先生のお考えの背景には、CO<sub>2</sub>の濃度が、京都議定書などで考えているよりもかなり上がっていてもいいんじゃないかということがあるのではないのでしょうか。逆の質問をしますと、ああいうレベルに抑えるんだとしたときに、しかもお金はできるだけかけずに、どういう答えがあり得るのでしょうか。

もちろんディフィニットにそれにいくという議論をするつもりは全くないのですが、そういうソリューションとして幾つか答えのオプションが、そのうちどこへ行くかわからないけれども予想し得るといふのだったら話はわかるのですけれども、全く非常に予測が難しいからわからないというだけだと、じゃあ国民はどの方向に向かって努力すればいいのかというのわからないという話になりますから、そうではなくて、やっぱり方向性の議論、もしかしたらこういうあたりに答えがあるのではないかというような議論はしないといけないのだと思います。

【内山洋司氏】 それについては、率直に言うと、私はCO<sub>2</sub>だけの問題ではないと思っています。エネルギー供給については、最初に説明しました3つの要件というのが全部大切なのです。ですから、エネルギーを安定的に供給するというのは総合的に判断していくことですから、どれか一つが欠けても大きな問題になってきてしまうのです。問題は何かというと、CO<sub>2</sub>の問題が扱いにくいのは、まだ経済の外部性であるということです。CO<sub>2</sub>問題で現実的に何か被害が出ているということを実証できないわけですし、その加害者が誰で被害者が誰だという裁判になるわけでもありません。現実の経済活動というのは今生きている人のためにあるのです。CO<sub>2</sub>の影響を受けるのは将来の子孫ですね。あるいは対策が立てられない途上国ですね。そういうものに対する外部不経済の問題です。先進国がどれだけ取り入れるかという問題が根本的に解決されなければ対策のしようがないわけですね。それに対してアメリカは離脱しているわけですが、世界の4分の1も出している国が入らなかつたら、こんなものは基本的に成り立たないですよ。だから、その点を考えると、CO<sub>2</sub>問題というのはまだ「Feasibility Study」の段階の問題ですね。京都会議で一応あそこまでいったのですが、今後どういうふうに展開するかはまだ不確実性がありますし、いずれにしてもアメリカとか途上国の問題もある程度引き込んで考えていかなければ抜本的な解決にならないわけでありまして。それはシナリオで幾らでも分析はできるのですけれども、具体的な問題として考えたときに、まだ成果に当たる部分が得られていない状況ですから、まだまだ研究段階なんだと私は思っています。ただ、もちろん、場合によつたら、近い将来、そういう具体策が少しずつ実施に移る可能性があるわけですから、それに備えたい範囲の対策は必要だろうと思います。

これは非常に長期の問題ですから、対策も長期に考えればいいことですね。今すぐにエネルギー供給システムをドラスティックに変えるなどということとはできないわけですから。先ほど言ったように、CO<sub>2</sub>で世の中動いていませんから。実際には、いろいろな供給、経済で動いているのが基本ですからね。それを考えると、そういった世界情勢を見極めながら判断せざるを得ない。

【井上委員】 今日は大変勉強させていただきました。6ページに費用関数のグラフがありますが、これを定量的に数値化されるような努力はなされているのでしょうか。

それから28ページに化石燃料で供給した場合の世界のエネルギー需給展望のグラフがありますけれども、このように変動した場合に放出される炭酸ガスの量あるいはエネルギーコストを同じように描いたらどう変動していくのかという資料はあるのでしょうか。

【内山洋司氏】 最初の質問ですが、非常に鋭いところですね。これは経済学の中で科学効果として出てくるのですが、経済理論というのは、ご存じのように意外と実際に当てはめると数値的にならないですね。それをエンジニアが一生懸命に定量化しようとしても、なかなか具体的な曲線を描くのは難しく、ほとんど「えいや」とやっってしまうことがあって、感覚的にはよくわかるので、よく使われるのですが、ご指摘のとおりこれを定量化したいと私も思っているのですが、いろいろ一部やろうとは思ったりしているのですが、ご指摘のように難しい問題があります。それから2番目ですけれども、これは正直に言いますと、経済の問題を100年以上、あるいは50年以上考えるということは、私は個人的にはできないと思っているのです。基本的に200年、300年の問題は、もう「えいや」とやるしか判断のしようがないと思っています。

それでどうやったかということ、これは本当に「えいや」なのです。トップダウン的にやって、世界のエネルギーの9割を化石燃料で今後供給するという前提で、今後もし続けたらどうなるかをやっています。それによって、コストはログナーの費用関数を使って、地域別に各化石資源の採掘コストが表に出ているものですから、その低いものから順番に貼り付けていき、どうやってなくなっていくのかを描いただけです。ですから、ここからコストを出すというよりは、彼がたまたまこういうコストを出すようなデータ関数を描いたということです。

CO<sub>2</sub>はまさに計算したのがありまして、ピークのところで、このぐらいのエネルギー需要ですと、現在の約2倍の大気中濃度、760ppmぐらいになるという非常にラフな計算がございます。

【菊池委員】 内山先生が非常に原子力のことを高く買っておられて、原子力を頑張らなければいけないというふうに言っているのが非常にありがたいと思うのですが、1つ、原子力に関して言うと、海水ウラン回収技術のことを資源としてあまり評価されず、この中に全く入っていないのですが、原研の高崎研で結構やっていて、最近もまた沖縄のところで随分よくなってきており、私は個人的には結構見えてきているなと思うのですが、原子力推進の方の中でもあまり海水ウランを資源量として入れる方がおられない。それはなぜかというのが質問の1つ目です。

もう1つは、先ほど確かに核融合や再生可能エネルギーに対しても厳しいことを今言われているわけですが、核融合について、経済性なんか全く見えないという部分があるわけですが、1つ、我々が言えるのは、ITERというのは、50万キロワットぐらいの熱出力を出すわけですが、それを大体5,000億円ぐらいの値段でつくるわけですね。そうするとき、例えば36ページで原子力の建設費というのは4,000億円ちょっとという形で書いてあるわけですが、ITERで50万キロワットとはいえ、ベータが上がれば、当然300万キロワットぐらいの出力を出すことはできるわけで、これはITERそのものでできるという意味ではなくてですね。ITER規模のプラントで300万キロワットぐらいのものを出すことができるようになった場合には、それは非常に単純な計算として、コスト評価というの

はあり得ると思います。もちろん、今、発電の技術実証ができていないという、その1点を考えればそのとおりなのですけれども、我々が世界的に5,000億円ぐらいのレベルである規模のものをつくると、それ自身はそれこそ100数十万キロワットの電力システムとしてあり得る、一番重要なところを実証することになると思うのですけれども、それがうまくいったときに、それなりに1つの期待し得るものとして考えていただくというのは非常に重要なことかなと思います。

開発に長期を要するというのもうどうしようもない厳然たる事実で、そのときに我々がどの方向を向いていかなければいけないかということエネルギー分野の方々から示していただくのは非常に重要なことです。確かに内山先生がおっしゃるように、まだ評価の対象にもならないよというのはそのとおりではあるのですけれども、一方で、世界の主要先進国が1つのエネルギー・セキュリティとしてできることは、そういう原子力の核融合みたいなことをやって、その火力の代替の可能性について、再生可能エネルギーとは違うパターンでの何らかの手法を開発していくことしかできないですね。そのときに、やはりエネルギー分野の方から、今はもちろんエネルギーとは認められないけれども、どういう方向性をもってやっていかなければいけないよというのを明確にさせていただくのが非常に我々にとってはありがたいかなと思います。

【内山洋司氏】 最初の海水ウランの問題ですが、これは非常に単純な理由でありまして、海水中に溶けているウラン量というのはデータがあるわけですけれども、それがどれだけ実際に回収できるかということになりますと、まだ技術的に非常に不確定性が大きい。公のデータとして、海水ウランに関しては、日本の原研でやられた、あるいは沖縄でやっている、あるいは青森でやっているのがあるのですけれども、それは、利用可能な海水ウランというものを評価しすぎた面があり、まだ私自身としては、これを使っていいものかどうか、ためらいがあったのです。

【菊池委員】 何が本質的に足りないのでしょうか。

【内山洋司氏】 要するに、あらゆる資源は、それを経済的に評価できる資源として考えたとき、どのぐらいあるかというデータがしっかりしていないと使えないのですね。ですから、先ほど、再生可能エネルギーについてもそうですけれども、水力については経済的ポテンシャルとしてある程度国際的な評価があるのですが、ほかの太陽光や風力とかバイオマスになりますと、非常にその辺があいまいなものが多くて、多くのものが理論ポテンシャルなのです。そういうデータは並べることはできるのですが、それをもってエネルギーを評価するのは非常に危険ですね。やはりもう少し信頼を置けるデータをつくらなければならない。そういうことが大きな理由で、再生可能エネルギーに関しては、水力を除いた資源についてはあまりここでは評価できていないと思います。

もう1つのご質問ですが、商用化技術というのは、やはり信頼性という問題が非常に大事なのです。だから、実際に使う人の立場になって考えなければいけないですね。そのときに、本当に巨額な投資をして、使いものになるのかというのを常に問われるわけです。そのとき発生したリスクはどうしてくれるんだということを問われます。だから、そこへ至る目処がないものを、単なる物量データからこのぐらいだといったって、悪いけど、企業の方はそんなの信じないですね。だから、FBRだってそうでしょう。物量データから建設費はこのぐらいになるとはじいているわけですけど、実際には導入するとなると、それ以外の問題がいっぱいあって、そういうところがもう少ししっかりしないとだめです。やっぱり技術というのは使う人の立場で物を見なければいけないのですね。その辺の視点をどの程度核融合の人たちが検討されているの

かというところですね。そこは私の評価では、正直言いますと、今のところ、開発する立場の人のまとめ方が中心になっているのではないかなという気がします。

【桂井委員】 最近、私どものエネルギー専攻でドクターコースの発表とかを聞くと、先送り理論というのでしょうか、例えば、使用済み燃料をしばらくは置いておいて、技術が確立するまでは待っていきましょう、それから中国の石炭も非常にクリーンなコンバージョン技術ができるまでは先送りしましょうという話が非常に増えてきていると思います。高速炉も技術的に確立するまでは実用性を考えるのを先送りしましょう。核融合炉もあまりなる、ならないということを考えずに、技術を淡々と追求して、それが評価できるまで先送りして本当に使えるかどうかを考えましょうという先送り理論というのが聞こえてくるようなのですけれども、それはどうお考えでしょうか。

【内山洋司氏】 私も学生を見て感じるのは、学生というのは非常に現金で、将来の発展性のあるところへ就職したがりです。やはり市場性だと思うのです。エネルギー産業に魅力がなくなると、ぱっと学生はほかの分野に転向してしまうので、やはりこれからエネルギー産業をどのくらい魅力ある産業にしていくかということを考えなければなりません。彼らにしてみれば、社会に出て働いて食べていかななくては行けないわけですから、当然といえば当然のことですけれども、その辺の考え方が、やはり昔と変わってきているのです。特にエネルギー産業は、個人的には、そこに問題があると思っています。ですから、確かに先送りというのは、ある意味で市場がなくなったのではないかなというのが、まさにそういう現象としてあらわれているのではないかなと思います。

これが、例えば中国みたいにまさに高度経済成長で、現在、右肩上がりのところは活気が出るのです。将来どんどん伸びていくから、エネルギーはまさに日本の高度経済成長のときと同じ状況に今あるわけですから、そういうところでは明るいですね。エネルギー関連のところでは勉強している学生も、うらやましいくらいに生き生きとしているのではないかなと思います。やはり先行きが右肩上がりなのが見えていますからね。そういう点では、これからのエネルギー技術開発というのは、例えば日本でITERをつくるにしても、欧米だけではなくて、中国の人とか東南アジアの人とも一緒に協力し合いながらやるというのが大事ではないかなと思います。そういう点で、ある程度将来明るい展望を持つような産業として、そういう流れの中で核融合を位置づけられれば本当にいいのですけれどもね。そういう点で工夫する必要があるかなと思います。

【西川委員】 経済に対応しての話は大変興味があります。例えば内山先生のおっしゃる50年ぐらいの先は現状では見えないよという意見は、そういう内山先生の学術的なバックグラウンドは理解できているのですが、例えば48ページに「導入は早くても21世紀の後半」と書いてありますね。50年のアンビギュイティをもって21世紀の後半に導入できるという学術的な根拠は何かをお伺いしたいです。これは、そういうことだと解析不能ということなのかなと一応読みかえているのですが、その辺は言葉として出てくると非常に誤解もあるかなと思いますので、少し補足説明をしていただければと思います。

【内山洋司氏】 これは、経済性とか社会の変化の問題から、このぐらいになるということの判断は私もできません。資源論からいうと、やはり先ほどの28ページの下の方の図ですけれども、これは2100年ころ、化石燃料は、ほとんど石炭に依存しなければならぬ社会になってしまうのです。そうしないと将来の見通しがなくな

ってくるということなものですから、やはり温暖化問題とか、あるいは安定供給を考えると、それなりの代替エネルギーの開発がいるわけですね。それはあくまでも願望ですけれども、そうすると、オプションとしては何を考えるかということ、原子力だとか再生可能エネルギーだとか、あるいは核融合というものしかないわけですね。その1つの代替案として位置づけられているということだけでありまして、だから、それまでは資源量からいってもそれほど困るようなことはないということです。何とかガスや石油等々でやっていけるだろうということですね。

だから、資源の評価からいうと、位置づけられるとなると21世紀の末以降の話かなということで、その程度の考えで書いたものです。あまり学術的根拠はなくて申しわけないのですけれども、さすがに現実に判断するような域を越えているような先のことです。

【小川委員】 海外の動向について質問したいのですけれども、ドイツ、スウェーデンについては非常にわかりやすくご説明していただきましてわかりました。特にヨーロッパを見たときに、イギリスとかフランスはどのように考えているのか、また、中国、韓国が再生可能エネルギーなどへの投資も含めてですけれども、どういう方向を今後向こうとしているのかお尋ね致します。

それから先ほどから出ていますように、30年、50年後に対しては不確実なのですけれども、未来の技術に対してポートフォリオ的な投資をしようとしたときに、世界はどのような方向に今投資をしようとしているのか、内山先生に教えていただければと思います。

【内山洋司氏】 その辺の判断は、短期的にはある程度わかるのですけれども、長期の問題だと本当に難しいですね。まして私は、韓国や中国のエネルギー問題の専門家でもありませんので、彼らがどういう行動に出るかなかなか予測しにくいのですが、ご存じのように、韓国は日本に追随する感じで動きますから、ある程度似たような判断で今後もやっていくのではないかという感じです。中国はご存じのように石炭に大きく依存しており、全体のエネルギーの7割弱が石炭ということですが、かなりまだ石炭に依存しているものですから、これをどう変えていくかということですね。特に、国土開発になれば輸送機関が必要になりますので、アメリカみたいに大陸型ですから、これは自動車しかないのです。鉄道なんてインフラコストの高いものを、新幹線が建設中ですが、あれを張りめぐらすほどの余裕はないと思います。ですから、どうしても自動車になるとガソリンの需要が伸びる。そうすると、やはり石油をどこから確保するかというのがありますね。当然ロシアのルート、あるいは中東のルートというのがあるわけですね。あわせて天然ガスもどうやって確保するかというのが中国の一番大きな課題ですね。いずれにしても、巨額な設備投資が要りますので、このオリンピック景気で日本の高度経済成長期と同じように、ある程度まで自分たちでやっていける可能性があるのではないかと私は思っているのですけれども、そういう点で、いずれにしても石油・ガスを中心に需要は次第に伸びていくだろうと思います。それに対して、石炭は横ばいぐらいか、あるいは微増、もっと増えてはいくと思うのですが、急激に増えるということはないでしょう。

あと再生可能エネルギーは、やはりこれは私も2年ほど中国とCDM、クリーン開発メカニズムのプロジェクトをやっていたのですが、彼らはあまり関心を持ってないですね。やはり供給力として頼りないというのがあって、特に上海あたりはむしろ天然ガスが欲しくてしょうがないのです。彼らも日本のコンバインド・サイクルの技術が欲しくてしょうがないのです。そういうふうに、農村ではそれなりにある程度は再生可能エネルギーが使われますけれども、でも量的にはそれで大きくシェアを得



るのは難しいのではないかという印象ですね。

そういう点で見ると、やはり先進国型のエネルギー供給構成になっていくというのが常識的な考えではないかと私は思います。

【伊藤浩吉氏】 内山先生の報告に対しては、私はほとんど同感ですけれども、ただ議論の仮定で以前、2100年までの具体的な数字を示した者の責任として申し上げておかななくてはならないのは、21世紀の後半にこうなるかもしれないというざくっとしたことは言えるけれども、それ以上のことをやってもほとんど意味がない、あるいは言えないということをおっしゃったわけですが、私は正直に言えばそう思っていますけれども、ただ、この分野は、やはり今後いろいろな技術の選択肢があります。それから再生可能エネルギーは、ある意味ではいろいろな問題はあるにしても実用化されています。核融合もあるでしょう。そういう立つポテンシャルが大きいということもあって、その技術の進展度合い、ポテンシャル、それから世界の経済社会の大きな潮流の中で、いろいろな前提、こういう仮定を置けばこういう姿を描けるといふ具体的な数字で一応描くのは、これはこれで100年後だから意味がないというふうには私は言えないと思います。それでいろいろ議論の土俵ができると思うのですね。その仮定自身がとてつもない仮定であるとか、前回は核融合があえて21世紀後半から入ってくるという数字をお示したわけですが、私も決して別にそれを正直言って信じているわけではありませんけれども、その大前提が2030年で実験炉が一応成功して、その後、コストが下がっていくという前提に立っているのですね。その場合は、こうなるかもしれないということをお示ししているわけであって、1つはその数字の意味は、ある種のそこまで持っていくという目標値のざくっとしたものを示したということですから、多分、超長期の見方はその程度の利用で、あまり過大な期待をしてもいけないけれども、はなからやっても意味はないというのはちょっと乱暴な言い方だという印象があります。内山先生の発表自身には全く異論がありませんけれども、若干そういう印象がありました。

特に、再生可能エネルギーについては、多分短期的にやや日本のことを考えられているのかなという感じがしますので、もうちょっと可能性を考えてもいいのではないかという印象を受けました。

【内山洋司氏】 そうですね。海外では事情がいろいろあり、先ほども言いましたように、ポテンシャルが大きいところがありますので、それなりの可能性を持っていると言われているのですけれども、日本ではなかなか厳しいと思いますね。

【時松宏治氏】 以前、伊藤先生と一緒にプレゼンテーションをさせていただいた者の責任として、1つ補足させていただきたいと思います。私がプレゼンテーションをさせていただいたときに、ポテンシャル論と現実論という形でお話しさせていただいたと思うのですが、内山先生のお話は、極めて現実的な立場でお話しいただいた内容だと私も理解しております。その中で、僭越ですが、内山先生の意見と全く同じところは、核融合がエネルギー技術開発をして、世間に認識されて、開発が進められるといったときにはエネルギーの利用、具体的に言えば電力会社が相手にしてくれるような立場で知見を深めていってやっていかななくてはならないというところが、今回のお話の中では一番共通していたところではないかと思っております。簡単ですが、以上です。

【藤原座長】 数年先の話というのは非常に現実的な話ですし、50年以降というのは不確実なもので、長くなればなるほど不確実性があるわけです。ただ、今まで議論し

てきたのは、要するにいろいろな地球の環境問題というのはタイムスケールの長い話で、そうすると、当然エネルギー需要の予測というのは、そういう観点から見れば長いタイムスケールのものを、現実的な見方からいえばかなり不確実なものであっても予測を立てなければいけない。いろいろな選択肢を今のうちにいろいろ増やしておくのが大事であるというのが、今までいろいろ議論されてきたことだと思います。

ただ、15ページの脱原子力の動きというような話というのは、これはここに書かれているようなのはそうでしょうけれども、世界的に見て、やはりアメリカなんかは、まだ依然として原子力発電は基幹エネルギーとして考えていることでありまして、新規の要請というのはないですけれども、当然効率の向上みたいなものを図って考えていかなければいけないというのはありますし、また、「Generation」みたいなものを考えているという話があります。それから、アジアも結局は内山先生もおっしゃるように韓国なんかは日本の追随型になるという意味では、やがては原子力も結構な量になってくるのです。そういう意味では、これが世界的な全体的な意味で原子力がだんだん減っていくような話ではないと理解してよろしいでしょうか。

【内山洋司氏】 そうですね。今、世界のいろいろなエネルギー機関の予測ですと、原子力は新規建設がなくなるので、老朽化した順番にフェードアウトで消えていくということで、減っていくというシナリオがほとんどですけれども、私は本当かなといつも懐疑的なのです。代替エネルギーが大体再生可能エネルギーですね。本当にそんなにうまくいくのかなという気にもなるのです。

予測というのはよく変わるのです。実はオイルショック当時、いろいろな予測を出したのですけれども、悪いけれども当たったものは1個もないのです。そういうことを見ても、10年、20年たって予測というのはまたがらっと変わる可能性もありまして、それを考えると、エネルギー技術という問題からいうと、やはり原子力という技術は、変換技術として本当にいい技術なのです。だから、これが廃れるということはまず私はないと思っています。やはりこれだけの社会を支えるエネルギー源として、使わざるを得ない資源であり、技術だと思っています。開発しなければならない技術だと思っているので、その点からは、多分アメリカも時期がくればまたそういう開発の方向が出てくるし、ヨーロッパもやはり何らかの変化が出てくるのではないかと個人的には思っているのですが、ただこれは私の個人の考えで、今の現状ですと世の中はグリーン・ピープルの人が多いものですから、IPCCもそうですけれども、ほとんど原子力は批判の文章しか載せられない。新聞も、原子力はいいことは1つも書いてくれない。いつも悪いことしか記事に出ないという非常に辛い状況がありますね。だけど、いつまでもこういうことではないと私は個人的には思っています。

【藤原座長】 私は、核融合も不確実なものであるけれども、長い時間をかけて技術を積んでいけば、実用の可能性もかなり議論になると考えています。

4) 核融合と水素製造について、資料検第13-1-2号に基づき、小西哲之氏より説明がなされた。

5) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【桂井委員】 高温ガス炉ですけれども、30年ぐらい前、我々が学生のころ、結構話題性あって、原子力製鉄とかアメリカのフォート・セント・ブレイン発電所とかユーリッヒのとかありました。ところが、それはみんな伸びなかったわけです。今ま

た再び話題になっているというのは、そこに非常に何か新しい技術的な研究のブレークスルーがあったのですか。あまりそういう話は聞かないのに、急に必要だから出てきたという感じがします。昔一時話題性はあった、それがだめになった、再び話題になったという、そこがよくわからないのですけれども。

【小西哲之氏】 これは先ほど核融合の水素製造でも、70年代に論文があって、今また論文が出てきているというのと全く同じだと思います。「エネルギーがあるから水素ができるよ、エネルギーがあるから鉄ができるよ」といったのでは、実際に水素を欲しがっている人がいない、鉄をそういう方法で作りたがっている人がいない世の中で言ってもだれも買わなかった。今度は「二酸化炭素を出さない水素だから買ってちょうだい」と今また言っているのですけれども、これは本当にそうなるかわからないけれども、今のところ、二酸化炭素を出さない社会にしたいという考えがある程度あるという中に対応しているという意味では、今、核融合で水素をつくったと言ったのと同じ話だと思います。つまり、技術としては同じでブレークスルーもないのだけれども、世の中の状況が変わってきて、位置づけもロジックが変わってきているということだと思われま。

【桂井委員】 フォート・セント・ブレインなんて、100万キロワットぐらいの高温ガス発電炉をつくったわけですね。あれがだめになってしまった原因が解決されたということではないのですか。ヘリウム冷却が何かの大変な話題性のある原子炉でしたね。

【小西哲之氏】 技術的に成功しなかったということではないと思います。それは今の原研のHTTRも、技術的にはフルスペックではないのかもしれないけれども、高温のヘリウムをちゃんとつくっているわけですし、ただそれにカスタマーがついていないので、これで商売をしようという人がいなかったということだと思います。

【永松審議官】 10ページにエネルギー効率で比較しているところがあるのですけれども、現在、天然ガスなんかの改質である水素は立米100円ぐらいという一応のマーケットがある中で、やはりコストの競争力というのがベンチマーキングになると思います。ですから、高温ガス炉や核融合を将来的に少なくともそのぐらいのオーダーに持っていくという戦略が見えないと、たとえエネルギー効率がいいからといっても、ユーザーから見ればそれは必ずしも決め手になりません。その見通しをどう考えるかというのはなかなか難しい感じがするのですが、いかがでしょうか。

【小西哲之氏】 まさしくご指摘のところをごまかすためにエネルギー効率と書いていえるかだと思います。エネルギー効率が低いからといって安いとは限らないし、逆もまた真なわけですね。特に先ほど申し上げましたけれども、とにかく部分酸化法という、自分の中で燃焼してエネルギーを出して、そのエネルギーで水素をつくるというのは、非常にプロセス的にはシンプルで合理的なわけですね。ですから、エネルギーでコストを比較するのではなく、プラントをつくって原料を供給して水素を得るという意味でいうと、そこまで考えなければコストは出てまいりませんので、そういう意味でコスト評価をしても多分勝ち目はないのだろうと考えております。

ただ、そういう意味で石油、あるいは石炭を原料に水素をつくるということは世の中で許されなくなったという仮定に基づけば、エネルギー効率の比較も可能かなとは思いますが、ただ、その場合でもやはり基本的にはプロセス産業ですので、実際にプラントの図面を引いて物量を比較してということをやらないとコストの比較はできない。

そうすると、なかなか説得力のあるようなデータが出てこないという問題はございます。

【畦地委員】 小西さんは、核融合の電力を生み出すこと以外のさらにつけ加えた意義として、水素製造の意義があるという位置づけでお話をされたと思いますけれども、そういう位置づけであれば、仮に、水素社会が50年後に実現しなかったとしても核融合を導入する意義が薄れるわけではないわけですね。ところが、以前から議論になっていたことの1つは、トカマク型の核融合の場合、温暖化対策の役割を果たそうと思えば、それは出力変動に直に対応できないので夜間に水素製造を行うというお話で今まで来ていたと思うのですけれども、そうだとすると、トカマク型の核融合が社会に受け入れられるためには、水素社会が今から50年後に成立していることが前提であるということになるのではないかと思います。

質問は、水素社会が今から30年なり50年後に実現されている可能性についてです。その可能性は比較的私は高いとは思っているのですけれども、燃料電池車の開発のニュースなどを聞いていると、そういうふうに行くであろうとは期待しているのですが、その見通しはどうであるのかという質問が1つです。

それからもう1つは、永松審議官が先ほど質問されていましたが、そういう水素を製造することと電力を生み出すことを両方合わせて電力のコストが幾らになり得るのかをお伺いしたいです。

【小西哲之氏】 まず最初の方のご質問ですけれども、基本的にここでやっているのは、オール・オア・ナッシングの、例えばトカマクは出力変動が難しいからとか、そういう話をしているのではございませんで、まず未来のマーケットのチャンスをなるべく大きくしましょうという視点で言っているだけです。そういう意味では、例えば電力だって、実は何万キロワットの発電所が幾つ売れるということが今現実にはわかるわけではないのですけれども、100万キロワット1種類しかありませんよというよりも、30万キロワットもできるし200万キロワットもできると言った方がマーケットチャンスは大きい。同じく、電力しかできませんというよりは、電気もできるし水素もできると言った方がマーケットチャンスも大きい。

実際、マーケットチャンスが大きいということは、最終的に核融合に対して支払われた投資を回収するチャンスが大きいというだけでして、それはだから、なるべく大きなマーケットを探すというだけの話であって、オール・オア・ナッシングの問題ではないと思いますね。

【畦地委員】 小西さんの主張のポイントはそこにあるというのは十分理解しているのですけれども、この委員会では、発電実証プラントをエンドースする根拠として、水素製造により実質的にこの出力変動に対応することによって、温暖化対策に貢献する核融合炉を目指すのであるということによって来ているわけですね。

【小西哲之氏】 そうではないと思いますが。

【畦地委員】 そうですか。

【小西哲之氏】 つまり、逆に「将来これが使われるはずだから、これを目指してつくります」といった途端、「それ以外の可能性があります」と言われたら。あり得るべき未来は1個しかないのに、あり得るべき可能性というのは何百万もあるわけですから、無数にあるわけで、そのたった一つをあてにして核融合の開発意義を説明する

というのは、あまり投資としては賢くないと思います。だから、確率であるとか、あるいは誰も信じてくれないコスト予測をまず出して、幾らになるから核融合は開発意義があるというのは、多分世の中ではあまり納得できるような説明にはならないと思います。

【井上委員】 出力変動に耐えうるようなリアクターという意味では、トカマクだって別に出力変動には耐えられると思うのですけれども、むしろ普通の原子力の問題と同じで、最初に大きな資本を投下してつくるから、なるべく昼も夜も運転して、コストといたしますか資本を回収しなければいけないという事情があるわけでしょう。だから、原子力の場合、揚水式を使ったりしているわけでしょうけれども、核融合の場合は、それもできるし水素もできるよという話をしていただけではないのですか。

【畦地委員】 何度も申し上げているように、その部分の論理は十分理解した上で私は質問しているのですけれども。

【井上委員】 それはトカマクに限らないと思いますね。レーザー・リアクターだって同じでしょう。やはり最初は、投下する資本が大きければ、それを早く回収しなければいけませんから、その場合はやはりトカマクでなくても水素によって出力をならすということは必要ではないですか。

【畦地委員】 その議論は以前したと思うのですけれども、レーザーの場合には繰り返しの頻度を変えることによって発電出力は容易に変えられるはずですよ。だからトカマクだけでなくレーザーやヘリカルも同時に進めて核融合炉の可能性を拡げるべきだという議論はあったと思うのですね。今は、それを議論することが目的ではないので、もう少し質問をシンプルファイして、水素社会が実現される見通しはどの程度あるのかということに限定して質問させていただきたいと思います。

【小西哲之氏】 ですから、水素社会になるという見通しがあるとかないとか、私は予測を申し上げているわけではございませんで、水素社会を目指すのであれば核融合は有効であるということをお願いしているだけです。「水素社会を今目指すのであれば、今核融合を開発すべきである」というロジックができるけれども、「未来は水素社会になるはずだから、核融合は売れるぞ」という予測を申し上げているわけではございません。

【岡野委員】 大変いいお話を聞いたので、私も質問させていただきます。こんなに専門家がいらっしゃることがあまりないので。水素社会については、今は水素、水素という話になっていますけれども、その流れに乗っていて本当に大丈夫かなという心配をいつもしています。本当に水素社会になりますか。例えば、車一つとっても、多分車が非常に大きなものだと思うのですけれども、本当に燃料電池車がそんなに普及すると信じて大丈夫かというのは、専門家の皆さんはどう思っているのか。私はまだ確実ではないのではないかと漠然と思っていたところ、最近見た記事では、例えばキャパシターが、今、鉛電池の半分ぐらいの密度まで来ているとかいう話もありました。あと、水素を燃料として積む場合、ガスボンベだったら今は350気圧ですね。次は700気圧だとか言っているのですけれども、こんな圧力が可能なら、圧搾空気をボンベで持ってても結構走れるとかいうことも載っていたりします。もちろん、走行距離は少ないかもしれないけれども。そんなものが出てきて急にひっくり返るといった可能性はあまり心配ないのでしょうかということについて、ご意見を伺いた

いと思ったのですが、いかがでしょうか。

【内山洋司氏】 いや、非常に厳しい質問ですね。核融合をやっている方が、そんなに現実的な判断をしているとは思わなかったです。これはやっぱり今の一つの潮流だと思えますね。化石燃料というのは温暖化問題とかいうことで非常に厳しい問題が出てきますから、やはり今後クリーンなエネルギーというのがいろいろと叫ばれて、その一環として水素が出てきていると思うのですね。

基本的には、私も、今岡野委員もおっしゃられた懐疑的な感じは持っているのですけれども、やはり世の中の技術進歩というのは長期になると予測しがたいところがあるのですね。可能性は常に追求するものですから、例えば水素ですと、こういうラップトップも燃料としては多分もう実用化がすぐくると思います。ボンベでもって電池がバッテリーに変わる。そういう付加価値の高いところから徐々に入ってくることは間違いないですね。ただ、その次は、やはり自動車用になるのかなという感じがします。現在は、自動車会社でやっていますように、1台億円するわけですから、とてもガソリン車にかなわないわけですが、これがもしも貯蔵技術が今後うまく開発されれば、場合によったら水素で自動車を走らせるというポテンシャルがあるわけですね。

もう一つは、やっぱり人間というのはクリーンなエネルギーを常に求めますから、発電用のエネルギーというのは大体社会の4割くらいしかないわけですね。それ以外は、かなりいわゆるボイラー用の燃料だとか自動車用の燃料だとか、そういう燃料消費になっているわけですから、そのエネルギーはクリーンな方に根差したいという願望が、人間には潜在的にあると思うのですね。そういう点もあって、水素が二次エネルギーですが、基本的には二次エネルギーですから不利です。化石燃料を直接燃やす方が有利なのは当たり前ですから、そういう点では経済的にはつらいと思うのですが、やはりそのクリーン度というものを要求すると、今までの社会でもそうですが、コストが高くて豊さによってそれを求めていくというのは、どうしても出てくるのですね。

そういう点から、長期にある程度の開発をしていこうという流れが今出ているというふうに判断します。そのとき、今小西さんの説明にあったように、これは基本的には高温ガス炉でも同じだと私は思っています。ただ、核融合だと、ガス炉に比べれば環境問題とか安全問題とか、いろいろ利点があって、そこに結びつけて将来の原子力のさらなる発展を説明されたのではないかという意味で、それなりにおもしろい報告というふうに受けとめたし、バイオマスと組み合わせると、なるほどこんなによくなるなど、確かに理論的にも正しいし、それなりにおもしろい研究だなと私も思いました。

いずれにしても、将来のビジョンに合った、一つの可能性の領域として今描いているのであって、それがいつ本当にできるのかということになると、これは正直言って答えを今出すことはできないと思いますね。

それから、先ほど負荷追従の話がされたのですけれども、なぜ負荷追従にこだわるのかなと私は非常に疑問を持っています。ベース運用で十分ではないかと思うのですけれども、いくらでもベース運用して、余った電気は使い道がありますし、そんなのは技術開発でも原料でもいっぱいあるわけですから、何も核融合で負荷追従する必要もないし、現状の原子力でも負荷追従なんて考えている方は非常に少ないわけです。基本的には原子力技術というのは、先ほど御指摘のように、早く回収するためのベース運用というのはあり得ると思うのですね。余った電気はどこかで使えばいい。いろいろな使い道がありますから、そういう考え方でもいいのではないかなと思っています。あえて、負荷追従にするという必要はないのではないかな。まだ発電もできるかどうかかわからない技術について、そこまで具体的な検討を今する必要はないのではない

かなという気がしました。

6) 幹事会の開催に関し、藤原座長より報告があった。

7) 次回以降の会合に関し、藤原座長より、以下の連絡があった。

【藤原座長】 次回は少し産業界からの意見ということで、日本電気工業会の核融合技術専門委員会の委員長であります東芝の近藤さんにお話を伺います。それからもう一つは、少し核融合のベータの問題で、どのくらいの確実性を見通しているのかという話を原研の三浦さんの方からお話しいただくということにしたいと思っております。今後の予定ですが、11月12日に第14回で、11月20日に核融合専門部会の技術ワーキンググループがありますから、そこへ中間報告をいたしたいと思っております。これは12月1日の核融合専門部会でも同じように考えておりますので、よろしくお願いをしたいと思います。それから、12月9日、16日を15回、16回の検討会ということで予定しておりますので、時間をとっていただきたいと思っております。

以上