

## 第4章

# 問題提起＋全体討議

---

\*本章は、複数の参加者の問題提起と、それに対する討議をもとにまとめたものである。

### 4.1 研究開発の一本化の経緯(田島輝彦)

#### 4.1.1 問題提起

昭和62年頃、学術審議会作業部会で大学における核融合研究を一本化する計画が持ち上がった。そのときの中心人物の1人が西川先生だった。これは、科学的行政の分岐点の典型的な例であり、その後の大学での核融合の方向を大きく左右しただけに、これからの議論の重要な参考になると思う。

当時、日本で5つくらい、核融合関係の大きな研究センター<sup>1</sup>があった。各センターは次期の研究を発展させるために、それぞれ200～300億円の装置を提案した。それには膨大な費用がかかるので、文部省側では1つにまとめることを求めた。その結果、核融合研究所が創設されたわけだ。

しかし、核融合研究がまだ一本に絞れるほどには発展していなかった時期に、なぜ無理に1つにまとめたか、ということをお聞きしたい。各大学の核融合のセンター長は、一本化するとほとんどのところはつぶれてしまうにもかかわらず賛成意見だった、という。各センター長だけの会議はずっと開催されていたし、西川先生も広大なセンター長として参加されていたので、なぜ、一本化する方向でまとめたのか。その結論が現状に大きな影響を与えていると思うので、ぜひ教えていただきたい。

---

1 名古屋大学プラズマ研究所、京都大学ヘリオトロン核融合研究センター、広島大学核融合理論研究センター、大阪大学レーザー核融合研究センター、筑波大学プラズマ研究センター

#### 4. 1. 2 質疑応答

- 平田 そういうことがあったということは、私も歴史的な事実として知っています。なぜそのようにまとめたかは、なかなか難しい問題ですね。
- 西川 一般的な答えになりますが、大きなプロジェクトで研究を進めようとするれば、ある程度意見を1つにまとめないと役所に通らないんですね。だから一番意見がまとまりやすい方向にまとめようという傾向が出てきます。それが正解とは限らない。一番まとまりそうな方向は、全国共同利用研究機構でしたが、結果的にはその方向に行かなかった。文部省もその方向でしたが、それよりは、研究者の意思で、研究者が一番大事だと思う方向を選ぼうとしたんだと思います。
- 平田 もともと実現しやすかったのは名大のプラズマ研のままでしょう。
- 西川 最初はそういう方向に行こうとしていたけれど、研究者はそれに反対した。よりわが国の研究機関として妥当なものを考えようとしたんですね。全国からいろいろな計画を出させて俎上にのせた上で、いくつかについて議論し、最終的にヘリカルに決めたんです。反対意見は、お金がかかる、規模が大きくなりすぎるなどでした。われわれは一本化するのであれば、それに価値がある研究かどうかで判断すべきと強く主張し、それを押し通しました。文部省もそれを了承したわけです。
- 田島 当時は真剣に議論したので、学問的なレベルは向上しましたね。今は、全然議論する必要がないから、レベルが下がった。特に、10年くらいのブランクの間に、中堅のレベルが下がったと思います。
- 西川 今は予算を減らされたら困る、と保守的になっていますね。
- 高岩 原研ほどの程度視野にあったのですか。
- 西川 原研は開発、大学は基礎研究という住み分けをしていました。
- 田島 今度は大学は原研と一緒にやらなければならないでしょう。でも大学のレベルが低くなったから問題だ。ITER に関して大学が率先して問題点を指摘して研究していかなければならないのに、研究会などでもお粗末な質問しかできないんですよ。これでは理論でも実験でも原研に勝てない。核融

合研はお金持ちなので、これまでは議論の必要がなかったかも知れないけれど、これからはそうはいかないでしょう。

平田 大学にはまだかなり核融合の研究者はいると思うんですが。

田島 第1世代は引退し第2世代も定年まぎわです。若手中堅が頑張らなければいけないのに、今は彼らが活躍する場が少ない。私たちが若い頃は生意気なことも言えたけれど、今はそういう場はありません。

小川 大学は大学なりに研究していると思います。ITERは大激変期ですから。

平田 ITERに対して、大学の核融合研究者として、まとまった統一見解はあるのですか。

小川 ITERについては基本的にサポートする方向は出ています。核融合の炉としての開発をめざした研究は絶対必要ですね。しかも最先端のものをブレイクスルーすることが大事です。私は、開発も一本化する必要があると思います。統合化していくのは自然の流れでしょう。それはITERでも同様です。核融合は裾野の長い研究で、学問的にも非常に難しい領域なので、それを支えていく基盤が必要です。それを担うのは大学でしょう。大学が基礎研究を担い、開発は別の機関が担うという二極でよいのではないかと考えています。開発には時間とお金がかかりますから、改良の余地も含めて、それなりの規模をサポートする必要があります。目的意識をもった学術研究という意味で、開発研究の最先端をサポートすることが重要で、その間をうまくつなぎながら、開発のピラミッドを作っていくことが理想ではないでしょうか。

平田 そうなるといいのですが、なかなか難しいことが起こるだろうという気がします。

小川 今はそのあたりの議論を行政ともしています。

福田 誤解のないように申し上げれば、ITERの技術委員会の委員は8割方大学の先生です。装置設計などにも大学の先生も参加されています。

笹尾 原研を中心とした路線と大学の路線を切り離して議論してはいけないと思います。

## 4.2 ITER をめぐる新聞報道の動向(浅川直輝)

### 4.2.1 問題提起

ITER に関する新聞報道の動向について述べたい。まず私がなぜ ITER に興味を持ったかといえば、日本の科学政策にとって非常に大きなプロジェクトでありながら、科学ジャーナリストを含めて、日本のマスコミがあまり取り上げていないからだ。そこで ITER が日本の科学政策の中でどのように意思決定され、日本の科学者がどうかかわっているかについて調べてみたいと思うようになった。

なぜマスコミで取り上げられないかと言えば、最大の理由は、他の分野に比較して、知識が深くない点があると思う。私自身も実感したが、核融合は非常に専門性が高く、専門用語も多い。新聞記者にとっても短時間で理解できるようなソースがないのは致命的だ。だから生半可な理解のまま記事にするくらいなら、むしろ取り上げないという傾向になる。

現在論議されている ITER 誘致のメリット・デメリットは、以下のように整理できる。

#### メリット

- ・ 先端技術のスピノフが期待できる
- ・ 周辺住民への経済効果がある
- ・ 巨大科学技術で日本がイニシアティブをとれる稀な機会である

#### デメリット

- ・ 技術的な実現可能性がまったく分からない
- ・ 予算規模が想定以上に肥大する可能性がある
- ・ 他の基礎研究予算が圧迫される

般の人は、ITER も核融合も理解していないし、専門家もその誤解を解くような努力をしていない。また、マスコミは正確な情報をきちんと流していない。

そこで私は以下の3点から、ITER とジャーナリズムのあり方に着目し、両者の関係を調べてみた。それによって新聞の論調と現実がどのくらいずれているか、新聞の論調と現実とのギャップについて紹介してみたい。

- ・ 日本の科学政策の合意形成にジャーナリズムがどうかかわったか。特に新聞が研究者とはギャップのある論調になった原因は何かを探りたい

- ・ 日本がイニシアティブをとる意味をジャーナリズムはそもそも説明できるか。それは研究者が説明できるかということにもつながる
- ・ ITER の誘致にあたって国民や地元住民への情報提供は十分か

調査対象は、朝日、毎日、読売の3大紙(1998年から2000年5月までの特集記事と社説中心)と比較対象として地方紙(東奥日報)をとりあげた。

3大紙の論調は以下のように整理できる。

#### 「読売新聞」

- ・ 基本的に ITER 誘致に賛成
- ・ トリチウム漏洩の危険をはじめ、核融合炉にどんなリスクがあるかについて言及していない
- ・ 地元住民のリスクにも言及しない  
→社説では、国民の合意形成が重要であると指摘しているが、そもそも国民に納得できる説明ができていない

#### 「朝日新聞」

- ・ ITER だけではなく核融合研究自体に疑問を呈している
- ・ 他の技術に比較して時間がかかりすぎていることが疑問の根拠
- ・ 実現可能性についても疑問視している
- ・ ITER のリスクについて2000年まではほとんど言及なし
- ・ 地元住民に誘致についての情報提供もリスクについての説明もされていない  
→社説は、「朝日新聞」らしく慎重な議論が必要と結論づけている

#### 「毎日新聞」

- ・ 国際プロジェクトとして日本が取り組む意義は評価するが、他の基礎研究開発への影響を懸念している。
- ・ リスクについては2000年までは言及されていない
- ・ 「核廃棄物には問題ない」という表現にはかなり問題がある  
→社説では「読売新聞」同様、国民の合意形成が必要と結論づけている

## 各紙共通の問題点

- ・ 2000年1月、小柴氏の論説が出るまでは、新聞はITERのリスクにまったく言及できなかった。これはジャーナリズムの責任であると同時に、国民の合意形成を軽視した学者の責任でもある。
- ・ これ以降、国民の間で議論が始まったが、2001年7月ごろ、最終的に誘致が決定し、北海道、青森、茨城が誘致候補先として挙げられた後は、ローカル扱いで全国紙には登場しなくなる。

## 考察と結論

- ・ 新聞ではITER報道期間が半年程度と短く、しかも誘致決定後はローカル扱いとなり、国民に議論が提示できていない。
- ・ 研究者にも、この計画が国民の間に議論が必要という認識はなかったと思われる。したがって、ジャーナリズムへの情報提供や地元住民への説明にも積極的ではなかった。
- ・ この問題の是非に関して、現状では新聞は情報不足で、ジャーナリストの役割を果たしていなかったと結論づけられる。ただし地元紙に関しては、かなり積極的に報道していたので、科学ジャーナリズムの重要な担い手としての地元紙の可能性を感じた。

### 4.2.2 質疑応答

#### 笹尾

核融合炉の意義と現在の研究段階をジャーナリズムが説明してこなかったのは事実ですが、ジャーナリズムもあえて勉強する必要を感じていなかったのではないかと思います。ニュースとしておもしろくないもの、読者が読まないと思われるものは書かないでしょう。核融合の持つ意義をもう少しジャーナリズムに理解してもらいたいですね。今はリスクやデメリットを中心に説明されたけれど、なぜ核融合開発をするかの意義について、共

---

2 2001年1月18日の朝日新聞の「論壇」に東京大学名誉教授・小柴昌俊氏による「核融合炉の誘致は危険で無駄」と題する、ITER計画への批判論文が掲載された。論旨は、DT反応で生じる大量の高速中性子による壁の損傷や放射能は核融合発電にとって致命的な欠陥であるとし、そのような問題の解決策を示さないままITERを作ることは税金の無駄遣いである、と主張した。これに対して、2001年2月2日の同じ欄に京都大学教授・香山晃氏による「核融合炉の安全性確保は可能」と題する反論が掲載された。ブランケット第1壁の材料は20年以上の使用に耐えることは10年以上前にも明らかになっているし、実用炉では開発が進みつつある高面中性子・低放射化材料を使う計画である。ITERは科学技術立国を標榜する日本が主導権をとって推進するにふさわしい国際的な計画であると主張した。

通の認識として持てるように核融合の研究者も努力する必要があるし、ジャーナリズムももう少し目を向けてもらいたと思いますね。

浅川 ジャーナリズムの論点としては、エネルギー政策全体の議論、たとえば地域分散型の話と核融合の話が全然リンクしていないですね。

笹尾 そう、そこが問題なんです。あまり将来性がなく経済的にペイしないものでも、おもしろいものであれば大きく取り上げるわけです。

田島 日本のジャーナリストは、開発研究に対して根本的に勘違いしているんじゃないかと思います。開発研究は千三つの世界と言われるほど、成功率は非常に低い。それでも研究を続けるからこそ、良い成果が生まれてくる。だから、ITERが成功するかどうかとか、成功の可能性を議論すること自体、おかしい。失敗する可能性が高いものに膨大な時間とカネをかけて取り組んでいくのが、そもそも開発研究なんですから。成功率が高いものは単なる開発なんです。科学技術立国とはそういうことでしょう。その論点を勘違いしているんじゃないかと思います。取材をされる側については言えば、たしかに核融合研究者は正直な説明をしていないのはたしかですが、取材する側も、なぜ何十年もの長い時間がかかるのか、その理由や問題点、解決方法などをしつこく聞くことが必要です。日本にはそれができる科学ジャーナリストはほとんどいない。もし核融合の技術が前途洋々なら、開発に50年も100年もかかるわけがない。

浅川 時間がかかることは書けても、その理由、根拠などはなかなか書けないですね。

田島 それを取材しなければ。

高岩 いろいろな記事を書くとき、ちょっと調べて分からないと書けないという指摘がありました。どういうソースを調べるんですか。

浅川 記者は、まずは科学者に直接電話して聞くことから始め、それから岩波の月刊誌「科学」などの科学雑誌、学会誌など日本語で書かれた資料を読んだりするようです。インターネットで検索して参考文献を探すこともよくあります。だいたいそんな手順を踏むようです。

高岩 ソースがないと記事が書けないわけですね。

- 福田 僕の経験だと、プレス発表しても、メジャーな新聞は来ないんですね。ITERでは、たとえば日刊工業新聞などは来られますが、その記者はものすごく勉強していますね。メジャーな新聞の科学担当の記者が来ないところに問題があると思います。
- 浅川 一番新聞で問題なのは、そもそも国民が議論できるように情報を発信していないことだと思うんですが、それについてはいかがですか。
- 江尻 逆に聞きたいのは、大きなプロジェクトでジャーナリストが関与して国民に議論をまきおこすことができた例はあるんですか。
- 浅川 正直には、今の日本ではないですね。かつての宇宙計画などはその1つかもありません。
- 平田 しかしそれも、国民のサポートがあつて予算がついたわけではない。
- 浅川 しいて言えば、成功か失敗かほとんどなく、原子力かもしれませんね。一応推進派、反対派ともども国民の議論は触発しました。国民の議論が成熟してきているという感じがします。
- 吉岡 (正) 宇宙開発などは世論もジャーナリズムも好意的に扱うけれど、では本当にあれだけのお金を使う価値があるかどうかについて、サイエンティストの中には疑問を呈する人もいます。サイエンティストの評価と国民の世論やジャーナリストの受け取り方は逆転現象です。ですからジャーナリストが国民に議論をまきおこすといっても難しい問題もありますね。
- 田島 一番の問題は数時間の取材でわからないと書かないということで、われわれがわかりやすい資料を提供する必要がありますね。それにしても、科学ジャーナリストもいろいろな経験を積んで年季の入ったベテランが記事を書いたほうがいいと思うんですが、入社数年の若い記者が書くことが多い。だから底が浅いんですね。
- 平田 科学ジャーナリズムはないということかもしれません。雑誌の記事はもう少し時間をかけますが、新聞の科学記事は、ちょっと専門家に電話して話を聞いて簡単に書いてしまうようです。記事としては一般の人が楽しんでおもしろがるものでないと読んでもらえない。だから、あまり今の新聞に過剰な期待をもたないほうがいいと思います。逆に一生懸命調べて核融合



の記事を書いても、核融合研究者しか読まないかもしれません。そういう意味で新聞社の悪口を言ってもはじまらないと思いますね。

### 4.3 資本主義と核融合(吉岡斉)

#### 4.3.1 問題提起

今日の午前中の講演に関連して、話をしていきたいと思う。笹尾さんの最後の作戦図で、ITERの次の原型炉という流れになっているが、納得がいかなかった。核分裂の世界では原型炉は本来は試作機を指しており、1960年代半ばまでは実用炉の試作機という位置付けだったが、原発がどんどん大型化したため、中間に実証炉がはさまるかたちとなった。その後、さらに中間段階の炉が増える傾向にある。私は原子力政策にかかわっているが、「概念のインフレーションがきわめて著しい」と指摘しつづけている。

1996年当時、高速増殖炉計画では、実証炉計画があり、もんじゅは原型炉で、次が実証炉となっていた。さらにその次が初期実用1号炉、実用2号炉となり、その次が本当の商用炉とされていた。つまり実用化までの間にいくつもステップが入っていた。原型炉という言葉の意味も実証炉という言葉の意味もなくなっていた。67万キロワットの实証炉を作る予定で、軽水炉の1.5倍の建設費になるといわれたが、それは出力100万キロワットを代入した数字だった。この数字は積み上げ方式ではなく、物量で計算した。こうした計算上の水増しをも動員する形で、概念のインフレーションがはなはだしかった。

1997年末に実証炉の計画は棚上げになってしまったが、次に原子力委員会で問題になったのは、もんじゅは原型炉かということだった。原型炉は商用炉と同じ型の縮小版のようなものだから、その型の実用化計画がなくなった時点で、私は発電実験炉と読み替えるべきだと主張し、それに賛成する人もいたが、役所としては格下げはまずいという配慮が働いたようで、原子力委員会の新しい長期計画でも、原型炉という名前だけは残している。しかし、実際は発電実験炉になっている。

ITERは実験炉未満の印象を受けるので、そこから原型炉へ一気に進むのはほとんどありえない話だと思う。一番理解しやすい次のステップは発電実験炉だろう。その次の実証炉との間にもいくつステップが入るかわからない。この状況では、これまでの高速増殖炉の前例も重ねあわせると、同様の事態になるのではないかと懸念している。そこが社会に対する1つの重要な説明のポイントになると思う。

ここまでは前置きで、次に本論に入りたい。

なぜ核融合かについて、田島氏の主張にはおおむね合意する。上手な説得根拠が見つからないから、表面的ないろいろな理由を挙げているが、ちょっと考えれば、底が見えてしまう程度のものでしかない。

そこをどう突破するか。仮定の話だが、ITERが500億円でできるなら、承認と支持が得られやすいだろう。原発は事故の危険があるが、核融合では事故があっても、住民には致命的な影響はそれほどないだろう。廃棄物の安全性も核分裂と比べればそれほど大きな問題ではないが、重要なのは、金をかけるに値するかどうかだ。お金をかけるからには成功してもらわなければ困る。その点を説得しなければならぬし、そのためには、成功の見通しが高く、またそれによる見返りが多いことも示さなければならぬが、実際には、それをうまく示せていない。したがって説得力がない。投資は何兆円も予想されるので、それに見合う魅力的な発電手段であることを示せなければ、核融合研究者は社会に対して大手を振って実験を進めていくことはできない。

では、核融合ははたしてものになるのか。しかもすべての技術は資本主義経済で勝ち残っていくことが基本要件であり、核融合もその例外ではない。巨大計画については、往々にしてその成功のメカニズムまでは、関係者の間で議論されないことが多い。カネはずっと政府が出し続けるという仮定のもとに組み立てられている実用化論が多いため、絵に描いた餅になりがちだ。

少なくとも原型炉以降は、一般常識としては民間が担う。すなわち、カネの一部は国が負担するにしても、また電力会社が将来のユーザーとしての利得を夢見てカネを出すにしても、メーカーがリスクをかけて開発するのが常識だろう。はたしてそのような方向に行きうるのかどうか。

核融合に限らず、経済活動の自由化の促進にともない、政府の役割は大枠的なルール設定に限定し、他は民間に任せる流れになっている。原子力もそのような社会的な環境変化におかれているので、その中でいかに成功をおさめるかが課題になる。勝ち残るためには、競争相手である化石燃料や核分裂を負かさなければならない。同時に、人類の公共利益という大義名分はあるので、世界平和や地球環境など人類的価値に貢献するという点で優れていることも重要になる。はたしてその双方が可能だろうか。

「核融合は火力の2～4倍のコストである」という田島さんの最後の指摘にコメントしたい。

電力自由化に関する研究会に参加したことがあるが、アメリカではお金をはらって電力を引き取ってもらう場合が多々あるそうだ。買い手のつかない電力はそうなる。そうでなくても過剰なベース電源が存在する状況では、電力の捨て場をどこかに作る必要があるわけで、その余分なコストも考慮すれば、はたして2～4倍ですむか疑問だ。また

核融合を特別視して優遇するような仕組みは資本主義では考えられない。ビジネスの内  
外無差別は鉄則であり、また各種のエネルギーの競争条件を均等にしなければならない。  
それに反するような仕組みは資本主義では考えられない。まず国内産業が大反対するだ  
ろう。さらに、エネルギー資源自体はたくさんあるから、将来的に高騰することもあま  
り考えられない。そういうことも含めて、核融合の実用化の将来像を描けるかどうか、  
経済メカニズムを中心に考察する必要があると思う。

#### 4.3.2 質疑応答

田島

今の話は大変耳が痛いのですが、電力中研からも核融合について同様のこ  
とを言われています。つまり高いものは、いくら作ってもダメである、と。  
核融合の人たちに経済性の観点があるかと言えば、実は全然ない。ITERの  
前に INTOR という設計検討プロジェクトがありました。これはアメリカが  
強く主張し、非常にコンパクトな装置で設計したものでした。予算を 2000  
～3000 億円にした理由は、100 万 kW の原子力発電所が約 3000 億円だった  
からです。それが ITER では 5000 億円以上というレベルになっています。  
この予算が常識的に認められるかどうかです。核融合ではそれが真剣に議  
論されたことはあまりないんですね。それは世間常識とは相当ずれている  
でしょう。われわれ研究者に、経済的概念が抜けているのはたしかですね。

福田

たしかに ITER はその点があいまいになっています。吉岡（斉）さんが指摘  
されるように実験炉以下なんですね。それに対する「見返り」という言葉  
が気になったんですが、これは非常にあいまいな概念ですね。

吉岡（斉）

見返りの話が示されていないので、私ではなく核融合研究者にその点につ  
いて話してほしいと思うんですが、私なりの意見を言えば、いわゆる波及  
効果については、どのようにでも計算できるので、除外して考えたほうが  
いいということです。核分裂方式の原子力発電を置き換える魅力的な発電  
手段として核融合が成立し、それによって得られる差額のメリットとして、  
見返りが定義できるだろうと思います。しかし私としては、現在成功の見  
込みがない段階なので、見返りはわからない。それなのに、これだけ研究  
開発にお金を使っているのは問題だと思います。科学技術も 1 つの価値で  
あり、それに使われるお金の価値との比較によって評価されるべきでしょ  
う。研究についても、あまりにも長い時間をかけても成果が出ないものに

については、あきらめどきがあると思います。それについて言えば、今現在、この装置に兆単位のお金を出して、具体的にものになる見込みは、私としてはあまり感じません。ですから、現在の研究開発を正当化する有力な論拠はないと感じます。見返りというのは、そういうことを指しています。

**田島**　そういう意見も多いとは思いますが。コストがリーズナブルになるコンセプトの開発を求める考え方もあります。しかし、ITERか、それ以外の研究かという選択を研究者ができますか。原点に戻る考え方と、カネさえあればなんとかするという考え方があれば、ほとんどの人が、後者をとるでしょう。

**笹尾**　経済性は、現在のデータをもとに評価するわけですね。過去のデータは相対値で考えても、現在とはかなり変わっているんですね。現時点での経済性評価のデータを使用して撤退を決定するのは、非常に危険だと思います。ITERが発電につながらないようであれば、基礎研究で十分なわけです。ITERの発電に対する見通しをどのくらい持てるかが問題だと思います。そういう問題意識は研究者の間でも広がっています。性差もあるのかもしれませんが、女性は現在の研究の競争力には一歩低いプライオリティを置きますね。今の研究が次の世代を担う研究につながる自信があればやるのが、子を持つ女性の使命にも似た感覚なんですね。たしかに現在の核融合には競争力はないんです。50年前の原点に帰らない限り非常に難しいですね。

**永山**　歴史をやりなおすのはまったく無意味でしょう。ともかく開発のスピードの速さの問題で、50年間ですでに発電まで到達している予定だった、それをもう一度やりなおすということではないでしょう。

**笹尾**　ちょっとオーバーに強調しすぎて言ってしまいましたが、現時点まで来た到達点は価値のあるものです。

**永山**　僕もそう思いました。だからスピードが速いか遅いかの問題だけではなく、伸びている間は止めるという議論にならないんじゃないですか。

**田島**　スピードはあのままで行きそうだが、今はお金の問題でとまりそうだと、言っているんです。

**永山**　そうかなあ。それがクリティカル・ポイントだとは全然思えない。

- 田島　しかし商用炉にすると既製のエネルギー源よりは高くなりそうなんです。それを安く作れるように考えるためには、根本から戻ってということになると、50年とはかからなくても、20年、30年回り道をしなければなりません。このままでいけば安いものはいけません。
- 西川　まず作って、それからコストダウンをはかるべきでは。
- 田島　それが長尺ものでは、安くなっていったという例は1つもないんですよ。大量生産ではなく受注製品ですから。
- 永山　原子力の発電コストは下がっていないんですか。
- 田島　原子力はどんどん高くなっています。安全性のためのコストが追加され続けたからです。現在は6割が安全性のためのコストです。
- 永山　それは正当なコストだと思いますよ。
- 田島　しかしこれからもっと高くなる傾向があります。そうすると原点まで戻って、コンセプトを相当変えない限り、安くすることは難しい。でも現実には原点に戻ることも難しいでしょう。
- 永山　コストは、断熱まで入れるともとが取れないという話だから。
- 田島　違う方式でいくんです。成功するかどうか分かりませんが、違う方式で安くするという考え方も紙の上ではあるんです。しかしそれを実験で確かめようと思うと、20、30年戻って見なければなりません。
- 小川　たぶん核融合コミュニティのマジョリティはそこまで悲観的ではないですし、われわれのまとめた報告書でも、基本的にはITERの延長の方向で、コストは2倍くらいのオーダーできると考えています。
- 田島　ここは政策を考えるための委員会ではないので、タテマエの話はおいておきますね。いろいろな見方があるでしょうが、これまでのことから判断して、委員会の結論としてはそうだということはいくらもわかりますが……。われわれはプラント重量が2倍になることもわかっています。われわれは高級な材料を使いますから、コストが2倍以上になることは明らかでしょう。3倍、4倍には簡単になってしまいます。そこは政治的にいじりようがないわけです。

- 高岩 実用研究、応用研究の場合はたしかにコスト削減が問題になるでしょう。20年前に戻るといえるのは、基礎研究であると宣言しているに等しいですね。基礎研究であれば20年前に戻れるわけですから。そういう意味での基礎研究ならどのくらいの予算が妥当かということ議論すべきで、議論のウエイトが変わると思います。
- 室賀 われわれは、どちらを選ぶかではなく、一日も早く核融合炉で送電を開始して、社会的な立場を確立しつつ経済的にもっと魅力のあるものにつながる計画を考えているわけです。
- 高岩 私の解釈では、基礎研究に戻ったほうが早いのではないかと。
- 室賀 いえ、基礎研究に戻るのではなく、基礎研究もしながら、同時に早く発電することもめざし、そこで大学は何をすべきかといった議論をしているんです。21世紀の半ばくらいに発電ができて、後半にはもっと魅力的なものが提示できるための役割分担などですね。
- 高岩 その場合、研究の内容が二本立てになるわけですが、吉岡先生がおっしゃるコストの計算がどうなるという問題があると思います。
- 田島 今、三本柱と言われています。つまり、システム・インテグレーションの研究としての ITER、基本的技術的隘路を解決しうる代替方式の研究、材料の開発、それらを同時にしなければならぬ。われわれは ITER だけの研究だけでいいとは思わないし、代替方式の研究だけでいいとも思わない。三本柱を同時に進めていかなければならないと思っています。一本でも欠けてはいけないと思っています。
- 小川 ここ1、2年間の議論で、ITERに対して日本はどうするかについて、ジャーナリズムでもいろいろ報道されていますが、コミュニティを含めて、日本はITERで誘致も含めて頑張ろうという結論になっていますね。それがだいたい決着のついた段階で、それ以外の計画をどうするか、という議論をしています。具体的には材料研究、ヘリカルやレーザーの研究などを重点化していこうというものですね。
- 田島 それと、その1つでも欠けたら、核融合の成功可能性はほとんどなくなるということを強調してもらいたい。

- 永山 ITERはいらないんじゃないですか。
- 田島 いや、実際に燃やして、自動遠隔操作をして放射性物質の取り扱いをしていかなければならない。現実には燃やす計画はこれしかないんです。一生懸命研究して、予算もかけてやっていかなければならない。それがなければ次のステップにいけない。
- 永山 10年で何兆円ということではなく、20年で、ということでしょう。それほど大きな金額ではないでしょう。バイオ研究はもっと使おうとしていますよ。

## 4.4 原子力と核融合(井口春和)

### 4.4.1 問題提起

これまでの議論で、だいたい問題点は指摘されていると思うが、核融合研究の状況を見れば、核分裂原子力開発の歴史から学ぶべきことは多いと思われるので、この観点から論点を提供したい。原子力エネルギー開発は、石油が枯渇するという議論から急速に拡大され、軽水炉はエネルギーを供給できるレベルまで進んだ。しかしウラン資源には限りがあるので、増殖炉や核融合炉が必要であるという論理が導かれた。

核分裂原子力では軽水炉がすでに実用化に達しており、ある意味ではうまくいったと言ってよい。それはウラン濃縮だけで臨界に達するという、電力中研の平岡さんの言葉を借りれば、「神の恩寵があった技術」であったからでもある。一方、ウラン資源について最近指摘されていることは、海水ウラン採取の実用化が見えてきたということである。そうすると、資源の制約がなくなる。ウラン資源が十分もつなら、放射性廃棄物の処理の問題、世の中の不信など多くの問題はあがるが、軽水炉路線は、日本にとってエネルギー・セキュリティを保証するものとなっている。

核融合の研究者が学ぶべきことは、もんじゅ計画により多く見いだせると思う。高速増殖炉は、増殖率の問題で論理性がなくなったにもかかわらず、開発計画が続いてきた。しかも実験の意味があると思われる液体ナトリウム循環による発電システムは、液体ナトリウム漏れの事故で運転再開できない状況になっている。その間に実証炉計画は白紙撤回された。

もんじゅの建設コストは当初 3500 億円と言われたが、その後 6900 億円かかることになり、政府は電力会社に半分近くの寄付を要請し、官民の軋轢を生んだ。また研究段階

の技術でありながら、もんじゅという装置に一極集中させ、その開発を事業体にまかせた。つまり原子力研究所や大学でより優れたものを開発しようとする研究のインセンティブやアクティビティが閉ざされてしまった。

ITER 計画の誘致は核融合研究者だけではなく、いろいろな分野の人によって構成された ITER 懇談会で決めたわけだから、少なくとも形式的には国民的合意があると言える。しかしもんじゅの轍を踏まないようよほど注意しないと、巨額の費用を投入して途中で挫折するというような危険性があるだろう。私自身は核融合研究の長期的視点からそのことを危惧している。

#### 4.4.2 質疑応答

- 永山     もんじゅの開発体制と ITER の開発体制とはちがうのではないかという感じがするんですが……。
- 井口     原研は研究所ですね。ところがかつて原研から原子力研究の主体を企業体に移してしまったから、原研が原子炉における技術革新に挑戦する機会を奪ってしまったんじゃないでしょうか。ITER も同じような事態にならないことを願っています。もっとも皮肉なことに、本流を奪われた原研で海水ウラン採取という核分裂原子力にとってのブレイクスルーを生み出したという事実もあります。
- 平田     核融合開発は研究所が主体で、企業体、事業団によって行われている原子力とは枠組みが違うわけですね。
- 浅川     ITER が実際に日本に導入されたときのリーダーはどのような業界で、どういう組織体にするのかという議論はされているんですか。国際共同利用システムについてはどうだったのですか。
- 江尻     ITER の事業主体は独立した国際的機関ですが、そこで従来の核融合研究と同じ形式の研究ができるかどうかは分からないわけです。実際、ITER が動き出したときはどうなるか、研究者がやりたいことができるかどうか……。
- 笹尾     そのあたりについては、国際的にどういう研究体制を組むかという議論がもうすでに始まっています。できるだけ他の国際的なプロジェクトの体験を生かして、大学内外の研究者がコミットできるシステムを作りたいと思って、九大の図子先生を中心に、今ワーキンググループが立ち上がってい



るところです。ただちよつと残念なことは、ヨーロッパではすでにそういう議論が先行していて、どこまで日本の研究者の意見が取り入れられるか微妙なところですが、いずれにしても、今は急ピッチでそういう体制に向かいつつあります。

## 4.5 SSC と核融合について(平田光司)

### 4.5.1 問題提起

SSC(Superconductive Super Collider=超伝導超大型衝突型高速加速器)は、アメリカの高エネルギー物理学の中心となる計画として、20億ドルもの巨額の費用をかけて建設が進んでいたにもかかわらず、議会の反対で計画が中止された。SSCは非常にショッキングでもあり、また興味深い事例でもある。

ITER同様SSCにもいくつかの問題があったが、整理すれば、以下のようになる。

1つは、SSCは非常に高額な予算を必要とするアカデミックな学問のために、社会的にも研究者の間でも大きな議論があったこと。材料科学のほうからは、高額な費用を投入することに批判があった。

もう1つは、研究組織の問題。アメリカでも高エネルギー物理学はお金を使うことで有名なが、そのレベルで見ても、SSCは突出した規模の予算だった。DOEが物理学者にまかせておいてはあぶないとして、ディレクター(物理学者)の下の統括責任者には、NASAの経理係、軍需産業の重役など、大きな組織を動かすノウハウのある人材を配置した。その結果、完全にトップダウンになり、下からの意見の吸い上げができなくなったなど、とても研究する場所ではない体制になってしまった。

たとえばデザインの変更をめぐる活発な議論もできず、デザインどおりに進めざるをえないなど、研究システム全体が硬直化した。デザイン変更の提言者は「窓際」になるという事態も生じた。高エネルギー物理学は、共同で研究開発をする経験が一番豊富だと思うが、にもかかわらず、そういう状況になってしまった。

ITERが、日本の核融合ソサエティで運営できるかどうか疑問だ。日本は、大きいものを国際組織で作り上げた経験がない。外国の事業に参加した経験はあるが、組織設計から部門担当者による設計まで一連の過程をすべて行った経験がない。昔から、日本人は大きな組織での戦略づくりは苦手で、良くも悪くも中小企業的な性格だと言われている。ITERのような巨大国際プロジェクトは本当に初めての経験なので、どう組織化するかが非常に大きな問題となる。その意味で、SSCの経験は参考になるだろう。

次に指摘したいのは、設計思想の問題だ。加速器では、設計の基本は古典力学だ。カオスが生じるため、シミュレーションをきちんと行い、どの程度カオス的なふるまいがあるか、それを抑えるために、超伝導磁石の精度をどの程度必要とするかなどを把握する必要がある。超伝導磁石を1万個くらい使うので、製作誤差を考慮に入れたシミュレーションは大変な作業となるが、カオスはシミュレーションでしか調べようがない。磁石の精度をちょっと良くしようとすると、全体の費用が大きく増えるということもある。

SSCの場合も大規模なシミュレーションを行い、最初の報告書では58億ドルできると表明している。そのときの超伝導磁石の内径は4センチだった。SSCに必要な精度を持つ内径4センチの超伝導磁石を実験室で1個作るだけなら簡単にできるが、1万個となるときわめて難しい。最初のデザインはマグネットについては楽観的な見通しで、総費用を安くおさえた。しかし計画が認可されてから、再度デザインをやりなおした時、磁石の内径を5センチとするなどした。このため、総費用も83億ドルに膨れ上がってしまった。仕様を現実的なものに変えたのである。計画が認可された後の予算の増大は、印象を悪くしただけでなく、SSCの運営にも影響を与え、SSC中止の速因ともなった。

ITERも同様の結果になりかねない危惧を感じる。加速器と核融合を比較してみると、非常に似ており、ほとんどパラレルではないかと思う。設計については、加速器は非線形力学、核融合はプラズマ力学が基本であり、シミュレーションを用いて設計する。SSC加速器については、内径4センチのマグネットについて楽天的な見通しで設計した。いかに言えば、磁石に計画の問題点を「しわよせ」して、総費用を低くおさえて計画を認可されやすくした、と言わざるをえない。核融合も、基本的にはプラズマ物理学の知識でシミュレーションをすると思うが、炉壁やブランケットについて、十分検討されずに楽天的な見通しで設計されているのではないかという疑問がある。ITERについては、それで発電するわけではないので、とりあえず使えるものは開発されているかもしれないが、将来、本当に発電に結び付けられるのか？ そのとき仮定されているものと実際のギャップがやはりあると思う。最先端の開発では、すでに存在するものを使うわけではないので、どの程度の技術的見通しがあるかを図るモノサシはないし、やってみるしかないということもあるだろう。だから研究者ソサエティの信用が非常に重要になる。あとから大幅に予算を増やすようだ、信用を失いかねない。

核融合は技術的見通しがどれだけあるのか。炉壁やブランケットも将来の開発のできるという前提で話が進んでいるのではないかという気がする。下手するとSSCの二の舞になりかねない。特に当初の計画より総費用が上がると非常に印象を悪くするので、絶対許容されないと思う。

## 4.5.2 質疑応答

- 田島 国際協力では高いとだめという評価をされてしまう。JT60は100 m<sup>3</sup>で、2000億円。今度作る ITERは約1000 m<sup>3</sup>ですから、単純に考えれば2兆円かかる。それが5000億円ですという根拠は、どこから出てきたんですか。
- 福田 私も内容までは見たことはないんですが、非常に分厚い見積計算書があります。各部門ごとに細かく見積もってコストを積み上げて評価しています。
- 田島 それではもし実際に作ったら1兆円を越すようになったら、どうなるんですか。
- 福田 1兆円にはならないと思います。
- 吉岡(正) でも、今のグローバルな評価とは、相当差が出ていますね。積み上げ方式のほうが安くなるというのは通常の場合の逆ですよ。
- 飯尾 日本でコストを評価すると1兆円くらいになります。日本で全部作るとすれば高くなりますが、国際入札を行って安く作れるところに部分発注するとコストは下がります。
- 田島 日本は高くないですよ。外国でも日本と同じ計算方式をすれば、同じになりますよ。でも、1兆円かかったら危ない、ということになるのでは。
- 平田 材料も含めて、どの程度つまっているかが問題ですね。
- 田島 アメリカではデザインバリューは単なる理想的な見込みで、コストが2倍になるのが当然という感覚ですが、日本はそうではないから、当初の見込みより高くなるのは問題でしょう。
- 平田 日本ではまだそういう問題に直面していないんですね。
- 吉岡(正) いや、新幹線は2倍になったけど成功した例ですよ。
- 平田 あるプロジェクトにいくらかかったかは、本当はよくわからない。表に出た額とは違いますからね。
- 笹尾 技術的な問題で、工学的にキーになるものの試作はすんでいるので、そういう意味では、SSCよりはきちんとやっていますね。

- 室賀 ITERにおいても一時材料にしわよせがきそうになったことはあります。そのときもかなり議論して結局拒否したんですね。将来の炉設計のパラメータは、プラズマのパフォーマンスをどの程度楽観的にとらえるかと、材料にどれだけの要求をするかのせめぎあいなんです。その関係は今後どんどんきびしくなると思います。
- 笹尾 ITERの次の段階が大問題ですね。
- 吉岡(正) SSCは失敗例ですが、加速器は、けっこううまくいっていると思います。全体設計をするとき、コンポーネントにどれだけリスクを負わせるかなど、デザイナーが一番手腕を発揮するところですが、10年、20年ステップで結果を確認しながらステップアップしてきたという歴史があります。それがたぶん核融合発電とはだいぶ違うところでしょう。似た面もありますが、違いもあるわけです。
- 飯尾 ITERで材料にしわよせがあるという点ですが、熱処理のところが厳しくなっています。楽観論でなんとかなるだろうという感じです。
- 平田 ダイバータに熱が行かないようなデザインに変えようと思えばできるんですか。
- 田島 ITERでは炉壁のダイバータが非常に厳しく、実際は解がないんです。ITER計画としては1秒でもいいから自己点火できればたぶん成功と言えてと思いますが、実証炉ではそうはいかないでしょう。ダイバータによる熱処理の問題はまだ紙の上のシナリオしかなく、実際にそれを試すことはできていないんです。
- 高岩 それが許されるのは、あくまでもITERが実験炉だからですよ。加速器の場合は、実験という言葉はできないんです。
- 平田 国際プロジェクトの組織づくりについても、これまでとは相当ちがったものになるでしょう。日本人は中小企業的なボトムアップの小さい組織が好きですね。アメリカ人は規模が大きくなればなるほど、トップダウンの意思決定を求めるところがあります。これまで日本は、このように大きな国際的プロジェクトをマネジメントした経験がほとんどないわけです。
- 小川 ITERは日本、アメリカ、ロシアなどの国際事業体で動くわけですが、それ

をどうマネジメントするか、非常に難しい問題があります。もう1つ今議論されているのは、日本から ITER の国際事業体に派遣するのは5年を限度とし、5年ごとに異動する案です。国際組織はなるべく多くの国から期間を短くして人を集めて人的交流しようという案ですが、それについてはどう思われますか。

高岩 研究者は5年でよいと思いますが、そこに熟練した専門家としてのサポートスタッフがどれだけ持続的に存在できるかどうかが本質的な問題だと思うんですね。普通の研究所でも、スタッフがきちんと運営していくには、5年では短いと思います。もう1つ外国の場合、はつきりしているのは、エンジニアレベルのかなり高度のノウハウと知識のある人が優遇されているわけで、そういう人たちの存在もかなり重要だと思います。

平田 セルンは、ヨーロッパ諸国が連合した高エネルギー研究所ですが、そこには専門の研究者がたくさんいて、いろいろな国から来ています。しかも15年、20年と長く在籍し、定年までいる研究者もいます。技術者も地元に住んでキャリアを積んでいる場合も多い。そうしないと、入れ替わり立ち替わりでは、良い研究はできないでしょう。

吉岡(正) 研究者は5年でもいいけれど、サポートするスタッフは永続しないとうまくいかないでしょうね。

小川 私も個人的にはそう思っているんですが、国際事業体は、わりと短い期間で移動するんですね。ITER 事業体は有限の事業体ととらえていて、プロジェクトが終わった段階で、関わった人たちをどうするかを考えているわけですね。出向が長いと、元の研究機関に戻れなくなってしまうでしょうから。

平田 僕に言わせれば、そもそも戻りたいという人は関わるべきではない。ITER には一生かけてほしいですね。5年たったら辞めるということでは、本腰を入れた仕事はできないですよ。

笹尾 私もそんな中途半端な人たちを受け入れたり、戻すためのシステムなどを考えてほしくないですね。一生をささげるつもりでなければだめですよ。

田島 大きなプロジェクトは、上の人はおもしろいかもしれないけれど、下の人

は、いわば職業として従事しているわけで、なかなかおもしろいという意識は持てないですよ。

**高岩**　　そういうレベルの技術者たちは、おもしろくないと思ったら、自分のキャリア形成のためにどんどん移っていくでしょう。外国の場合はそうですね。組織としてそういうノウハウをどうやってきちんと蓄積し、継続するかを考えるべきでしょう。人間を5年で交代させるよりはいいと思います。

**平田**　　作ること自体が研究ですからね。

**田島**　　加速器は、作ること自体が研究の対象になるんですよ。ところが核融合は装置を作ること自体は、研究対象になりにくいんです。建設計画に参加した人間は、実験できないわけです。それなのに、一生懸命頑張れとは、なかなか言いにくいでしょう。

**飯尾**　　私が聞いた経緯はちょっと違って、ITERの概念設計の段階から、ドイツの研究所には10年以上勤務している日本のメーカーや原研の人が何人もいて、環境が良いので本人はずっといたがるんだそうです。それは人事の活性化の点で問題があるという経緯を聞きました。

**永山**　　ITERに参加したエンジニアには、次の仕事や職場はないんですか。

**田島**　　エンジニアに限らず、核融合研究者が設計や建設の段階で10年費やしたら、その次にどういう仕事ができるか、という問題です。

**平田**　　次は実証炉を設計するのでは。ITERを自分たちが作って動かした経験を次に生かさなくてはならないでしょう。

**江尻**　　核融合研でLHDを作ったときは、やはり建設に10年くらいかかりました。人によりますが、超伝導の人は最初から建設にもかかわりました。最初から建設に関わり、次のノウハウも残していくのが理想だと思いますが、今の原研は、作るのには企業という意識なんですね。

**吉岡(正)**　　加速器とは考え方が全然違うんですね。われわれは企業とは協力しますが、デザインから何から自分たちで手がけますからね。作った人が経験を積んで、また次につなげていくわけです。

**田島**　　核融合では自分たちで装置設計はできないですから。

- 吉岡(正) それは話が逆で、自分たちで設計できないのに、どうして難しいものができるのか、全然理解できないですね。
- 福田 誤解されているかもしれませんが、原研でも同様で、装置開発をした人たちが、そのデータに基づいて運転にも携わっています。装置試験のためのデータをちゃんととって、設計データが正しかったかどうか検証していません。ネジまでは縮めないですけどね。
- 吉岡(正) われわれはネジまで縮めますよ。そうしないと、本当にいい加速器はできませんですから。
- 笹尾 その点では、体質改善しないと無理ですね。
- 相良 私はLHDのプラズマ制御に10年近く携わっていますが、メーカーと折衝しながら、3次元CAD図も全部自分たちで作ってきました。材料の選定、力学の試験も全部していますし、メーカーの設計やデータに対する批評もしています。決して企業に丸投げはしていません。
- 笹尾 だからITERもそうやって作らないといけないんですよ。
- 吉岡(正) 丸投げでITERを作ろうとしているのなら、非常にまずいと思います。
- 笹尾 ITERについては、誤解があるといけないのですが、これまでの10年で、部分部分で、メーカーと研究者とでかなりツメはやってきているんです。その方法は日本とヨーロッパでは少し違いますが、それでもうまくいっているところはたくさんあるんですね。やり方の違う方式をとっていながら、今のところは実現性があるわけです。まだまだ不十分なところはたくさんありますが、基本的な要素はほぼ見通しがついている状況だと思います。
- 井口 われわれが今ここで議論すべき本質は、たぶんITERそのものができるかできないかとか、目標を達成できるかどうか、ということではないように思います。核融合エネルギー開発という観点で、ITERは本当に世の中の望むステップを担うことになるのかどうか、ということですね。今までの技術の積み重ねで、とにかく早く発電してみせることが可能だとしても、それがはたして基幹エネルギーの開発につながるかどうか。経済性というバウンダリーを研究者が無視して本当に議論が成り立つかどうか非常に疑問なんですね。

笹尾

これまでの路線にたしかに炉が見えてきているけれども、できるかどうかかわからない。またコストとしては、今の怪水炉に太刀打ちできるものではないことははっきりしています。ITER の中にもコストダウンの方式をテストしようというシナリオも予定されていますし、並行して大学でコストダウンの研究も進められています。そういう意味で、二重路線をとっていると思います。ITER 自体も最低限のものではできるが、コストが高いわけです。なぜそういう路線をとるかという、やはり 1 回そこまでしてみないと、何がコストダウンに必要な要素なのか、どこに致命的な欠陥があるのかどうか、などが見えてこないからです。

井口

研究者の論理としては、ITER への発展はこれまでの研究の流れから合理性のある議論なんですよね。しかし世の中は、核融合研究に対してとにかく電気がつくものなのかどうかということの答えを要求しています。研究者が ITER は未だ実験装置であると主張していることが、十分伝わっていない。ITER 懇談会でも議論はオープンにしてインターネットなどで情報は流しているけれども、計画の意味が十分伝わっているとは思えないわけです。たとえばもし ITER で電気をつけてみせたとしても、そのとき世の中は、では次に進んでよしいという議論になっているかどうか。その認識のギャップをもう少し早く埋めておかないと、今の実験炉を担う世代はいいかもしれないけれど、次の実証炉の世代に大きなしわよせが及ぶと思います。

田島

あなたの論点は、ITER の役割と限界を明言し、その上で予算をとろうという主張なのか、それとももう少し経済的に安くなるような研究に転換しようという主張なのか。

井口

私の個人的見解は、高すぎるという意味で石油危機に答えるべく立ち上げられた核融合エネルギー開発プロジェクトは失敗だと思っています。もちろん研究としては大いに進展しました。だから基礎に戻れというのは言いすぎかもしれないんですが……。しかし現在の状況は、国として ITER 計画を認めて日本に誘致する方向で走り始めています。国際プロジェクトですから外的要因で挫折することはあるかもしれないけれど、少なくとも国の方針として推進することを認めたわけですね。核融合研究者は、今何を説明しておかなければならないかについて、もう少し考えなければならぬと思います。



## 4.6 核融合研究開発にかかわる問題解決のための切り口(福田武司)

### 4.6.1 問題提起

まず核融合開発をめぐる社会的背景を整理したい。われわれ核融合研究者にとっては逆流となる大きな流れに抗うのは困難だと言わざるをえない。すなわち、日本経済の成長が当分望めない現状では、国家財政の健全化は相当先、少なくとも2010年後以降になるのではないだろうか。ITERの稼働如何にかかわらず、大型の核融合開発技術すべてについて言えることだが、社会の風向きは変わらないだろう。しかもITERはもともと実験装置であるため、実験装置が稼働したからといって、核融合に対する社会の認識が変わるわけではない。

また、国際社会への貢献や環境への配慮などは、後付けの論理ではないかとの批判に応えることができるだろうか。核融合に限らず、すべての研究開発は、当面、資本主義体制のもと経済市場原理に基づく競争に巻き込まれる。大学などにおける産学連携の研究も核融合に関しては難しい。したがって、部分流としてひっそりと存続するようになるだろう。

さらに、国立大学の独立行政法人化の問題もある。これは、中国の文化大革命に相当するとも言えるが、これまでの科学の発展の歴史をまったく理解していない。基礎理論の発見から応用まで数十年単位の時間がかかることも決して珍しくない科学技術の世界で、わずか5年で評価することを求められるようになる。

われわれはこのような社会的背景の中に身を置いていることを、まず理解しなければならない。

次に、核融合研究開発の現状について触れておきたい。核融合研究は国策として展開されてきた。その結果、核融合科学研究所や拠点の国立大学に資金が集中し、私立大学で核融合研究に力を入れているところはほとんどない。

また産業界との関係や市場性について、われわれは目の前の装置建設のような短期的な視点をよしとしてきたことも、反省を込めて記しておきたい。核融合研究は将来のエネルギー開発の王道を進んでいるという自負やおごりも若干あったのではないかと反省もしている。ただ現在は、ITERの物理、工学基盤が確立し、ようやく核燃焼プラズマ研究と実証的研究の道が開けてきたのも事実である。

最後に、そうした現状をふまえて、未来をめざす問題解決のための切り口を提起しておきたい。

### ①ITER と核融合の基礎

基礎研究を核としたグランドデザイン構想を構築し、ITER と核融合基礎研究を二本柱とした、新しい研究領域と産業の創出をめざすことが重要だ。われわれの側から社会に歩み寄っていく必要がある。そこで大事なのは、核融合研究者が主張してきた従来の路線との相違を社会に明確に見えるように示すことだ。

### ②環境と資源・エネルギー

核融合はエネルギーとして、他の代替エネルギーと競合できるだろうか。まだそこまで達していないというのが実情だ。われわれは、これまで核融合でランプひとつもつけたことがない。いまさらわれわれがエネルギー開発といっても信用されないだろう。

### ③身近な存在としての核融合

身近な存在としての核融合を社会にアピールする必要がある。広報を充実させ、新聞などで、プラズマ、核融合関係の言葉をどんどん使う。「医学は商売に直結するが、核融合は金にならない」という認識が根強いが、核融合も産業になりうることをもっと主張していかなければならない。われわれ自身がそちらに意識を向けることも、今後の核融合研究の展望を開く切り口のために必要ではないだろうか。

## 4.6.2 質疑応答

吉岡（正） 核融合を市場原理のなかで議論するというのは、分かりにくかったんですが。

田島 核融合研究の過程で成果を産業界に還元していくための論理を作っていないのは問題だが、そればかりになっても、逃げになるのではないですか。

福田 現実問題として、核融合研究はエネルギー開発であるとわれわれは言いづけてきたんですよ。それがまったく信用されていない。

田島 それはまともなことを言っていないからではないですか。

福田 では、まともなことを言ったら信用されますか。

田島 エネルギー源を開発するためにこういう計画をたてますと明言し、それができないなら、そして非常に長い時間がかかるなら、やめるべき分野でし

よう。それを社会に対する波及効果があるからやらしてくれというのは、最初から言い訳をしているようなものでしょう。

福田 私は、波及効果があるからやらしてくれとは言っていないです。ITERが実験炉として研究することに批判があれば撤退するしかない。ITERがぼしゃつたら核融合全部がぼしゃる。大学も5年以内に社会的意味のある評価を求められるから、核融合研究では生きていけないでしょう。

田島 それなら ITER をする意味の説明をもっとしないとイケないですね。

西川 ITER がどれだけすばらしい先端技術に挑戦しているかを、もっと若い人に説明すべきでしょう。それだけで若い研究者に魅力を感じさせるとは思います。

笹尾 福田さんの指摘のうち、最後の2つはちょっと矛盾していると思うんです。やはりエネルギー問題としての核融合という捉え方をしているか。それともエネルギー開発と主張することをやめようとされているのでしょうか。

福田 やめようとは言っていないです。われわれが今までの態度を変えずにエネルギー——辺倒にするのをやめようと言っているんです。

永山 核融合による新産業創出はエネルギー産業だけですか。それくらいピュアな研究ということですね。ただシビアなのは、ブランケットの材料というのはよく分かったんですが、それはこれまでより二桁くらい要求度が高いものですね。そのような技術開発は非常な波及効果があると思いますが。

福田 産業へのスピノフを考えるだけでなく、核融合を言葉として、社会にどんどん発信しつづけることも大事だと思うんです。

浅川 これまではエネルギー政策の一環として ITER 計画を宣伝して失敗したということですか。

笹尾 安易に説明しすぎたということでしょう。

福田 社会の多くの人は ITER と発電炉の区別がついていないでしょう。新聞自体がその区別がついていない。核融合、イコール、発電するものというイメージでとらえられているのではないのでしょうか。

- 西川 核融合は環境、資源、エネルギーなんでしょう。
- 浅川 それを基礎研究と言われると混乱するんですよ。
- 永山 基礎研究とは認められないでしょう。応用のために研究しているのだから。私が気にしているのは、技術もすべて含めて、伸びですよ。
- 福田 その決め手になるのが ITER なんですよ。プラズマが自立して燃えているかどうか大きな岐路になっているため、燃えたところでどういう現象が生じるかについてはわれわれが実験としてやってみるしかない。理論的に検証すればよいと言うわけにはいかない。
- 永山 そこまでやらないと核融合が使い物になるかどうかわからないというなら、やってみるしかないでしょう。テーマパークひとつで、3 千億円かかるのだから、それを考えたら、20 年で1 兆円なら安いですよ。やるべきですよ。今はそういう経済なんですよ。
- 吉岡 (齊) 建設費だけでも1 兆円で片付くとは思えません。他にひどい例をいろいろ見ているから。運転・補修費や廃炉・廃棄物コストを含めるともっと大きくなります。
- 田島 アメリカの DOE が35 年で実証することを大前提に、核融合研究者に対して計画と予算を提示した報告書を2003 年の春までに提出するよう求めています。そうすると、35 年で実証しなければならぬので、何年かかるかわからないという曖昧な主張はできなくなりましたね。ITER の次は実証炉を作るという方向に決定すれば、のっぴきならない雰囲気の研究が進むのではないのでしょうか。社会にそのような具体的なスケジュールまで示せば、認識も変わってくると思います。
- 福田 日本はお役所がらみですから、そういう政策の決め方は無理でしょうね。

## 4.7 核融合研究開発における材料開発の意味(室賀健夫)

### 4.7.1 問題提起

これまで20年以上、材料研究の重要性を訴えてきた。研究の結果良いと思われる材料を選定し、それに照射試験をして結局ダメだということになるとそれで開発がかなり遅れてしまう。一度照射実験して今の候補材がダメだと分かれば、新しい材料を育てるのに20年ほどかかる。したがって非常に大きなリスクがあるため、現状の開発計画に対する危機意識も強い。ある材料を提案し照射試験をして、期待した結果を出せなければ、核融合計画全体が大幅に遅れるという状況になっている。

21世紀の半ば頃には核融合電力を実用化したいという機運のもと、パフォーマンスの確実な材料の開発と提供をめざしたが、実際にITERで選定されたフェライト鋼は高級な材料などではなく、放置すると赤さびが出てくる普通のものであった。しかし実験期間が限られているため原型炉までのつなぎとしてやむなく選定された。本当に核融合炉にとって魅力ある材料でなければ長期的に見て核融合の実用化は無理であると考え、先進的な材料の研究開発を続けている。21世紀後半にはコストも性能も向上し、再利用できる材料を追求したいと思っている。

### 4.7.2 質疑応答

- 井口 中性子照射に耐えられる材料開発が問題と長年いいながら、本格的な材料研究よりもシステム・インテグレーションとしてのITERが先に走るの論理的におかしいですね。
- 室賀 そうですね。新しい材料がいつれにしても必ず必要になるということが分かっていたのですから、材料照射装置は今のような議論になる数十年前に作ってよかったんですね。
- 吉岡(正) 発電装置としてプラズマと炉工学の両方が必要というのは当然ですが、炉工学から今のよう「愚痴」が出るのは、他分野からすると非常に驚きなのですが、どうしてそうなるんですか。
- 室賀 ひとつはわれわれの力不足ですし……。
- 西川 まずはとにかくSFX (Scientific Feasibility Experiment) が実現できるかどうか为目标だったんですね。科学的実証実験として、閉じ込めができ

るかどうか……。

室賀 核融合はシステムですから、炉心と材料の両方が揃わなければならないんですね。極端に言えば、材料の見込みがなければプラズマ研究の意味もない。

福田 材料も含めて、プラズマの制御工学が非常に大きな分野になりつつあるんですね。

西川 1970年代は材料のほうが優勢でしたね。

平田 大型の材料研究は、核融合という言葉を入れて予算をもらったという経緯がありますね。実際には材料科学でしたけど。

室賀 材料の基礎研究に戻って回り道をせざるをえなかったという側面もあります。

小川 材料のほうが危ないという指摘は核融合コミュニティではわかるんですが、外から見ると、材料がある、なし、という二元論的な議論に見えるわけです。私はそういう見方はよくなくて、材料とは、ステップ・バイ・ステップに開発していくものだと思います。

吉岡 (正) そういう誤解をしているつもりはまったくないんですが、新聞などの記事を見ても、いつも説明がわかりにくいんですね。もっとわかりやすい説明がなされるべきだと思います。

平田 小柴先生の論文に対する答えにしても、専門的な答え方をするのではなく、もっと分かりやすく説明すべきなんですね。核融合研究者の答え方はいつも細かいすぎて、なんとなく印象が悪いような感じを受けます。専門的なこと以前にもっと基礎的な説明があるべきです。細かいことばかり書かれても分からない。まず最終的な戦略の絵を示して現在の工程がわかるように説明し、そこから反対、賛成の議論をするようにしていったほうがいいでしょう。われわれ第三者には、どういう議論をしているかさっぱり分からないんです。

吉岡 (正) そうですね。小柴先生の質問に対する答えにしても、わざわざどういふステップかクリアにしないで説明しているような印象さえ受けてしまいます。

- 田島 わざとわからないように説明しているんです。でもそれは戦略としてはまずいということがようやく最近分かってきたと思います。これまではクリアに分かりやすく説明することをあえて避けてきました。
- 平田 本当はどちらが戦略としてよいか分からないですね。みんなが知れば知るほどかえって反対する可能性もあるわけですから。
- 笹尾 東京電力の問題にしてもそうですが、最初からできるだけみんなに情報を流したほうがいいと思いますよ。
- 田島 そういう意見は、今だから言える。時代が変わったんですね。昔なら、そうはできなかつたですね。
- 笹尾 私たちも20年の進展の中で、自信をつけてきていると思うんですよ。
- 田島 自信がついている割には、シュリンクした意見が多いのはどうしてなんだろう。
- 西川 自信がついてきたから、慎重になるということもありますよ。何も知らなければ、いくらでも何でも言えるでしょう。

#### 4.8 全体討議

- 平田 いろいろ議論してきましたが、問題ははっきりしてきたと思います。最後にこれまでの核融合開発に携わってこられた西川先生に、現状と今後の指針についてお話しいただきたいのですが。
- 西川 今後どうなるだろうかという分析はできますが、それでは悲観的になりますね。むしろどうしたいか、どういう社会を作るかを考えるのが大事だと思います。ヨーロッパではグローバルな自由競争を追求しすぎると、南北

---

3 東京電力の原子力発電所の自主点検記録が改ざんされていたことが内部告発によって明らかになり、東電は所有するほとんどの原子炉の運転停止に追い込まれた。原子力発電所の機器の損傷評価について、欧米では検査で見つかった損傷について運転上の安全性、進行の速度等を評価して補修・取り替えを決める維持基準が決められているが、日本ではこれを採用していないことが要因であると言われる。日本の原子力発電所では損傷や事故は起こり得ないという安全神話が流布されてきており、住民の反対を恐れるあまり科学的な議論を避けてきた官民の怠慢が指摘されている。

格差が激化し、貧富の差も拡大するととらえ、競争社会に代わる価値観として、協調、共存という方向にシフトしようという動きも出てきていますね。そういう社会にしたいという希望がこめられている。それが実現できるかどうかはともかくとして、そういう考え方に対する共感も広がってきています。そういう社会に本当に核融合が必要かどうかについて再検討するべきではないでしょうか。

**田島** 政治、経済、科学、宗教が前世紀に行き詰っていますね。ですから、すべてにおいてこれから新しい価値観を作らなければならないと思います。その中の科学において核融合がどのような位置を占めるかについて、詰めて考えていく必要がありますね。

**西川** 最近、実現できるかどうか不安に感じてきているんです。核融合は、持続的繁栄社会が前提になっていますが、調和、共存、地球環境の公平性などの価値観が生まれている今後の社会において実現できるかどうか、疑問に感じてもあります。発展途上国にまでエネルギーがいきわたるようにするのは、集中型より分散型が説得力があるし、ふさわしいのではないかと思います。日本は別ですよ。だから日本の国益のために核融合というのなら分かりますけれどね。

**笹尾** 私は、ちょうどそれとは逆の発想です。むしろそういう時代だからこそ、核融合の意味があるんだと思います。エネルギーの主な用途は、交通、基盤産業などですね。これらは発展途上国に一番必要なものです。そういうニーズに、たとえば風力発電などの代替エネルギーがフィットするかどうかですね。大きなエネルギー需要を必要とする社会構造では、核融合が適していると思います。

**西川** そうです。たしかに、大きな需要を必要とする社会では、核融合が適しています。

**笹尾** 発展途上国も、そういう社会をめざすように変わっていくのではないですか。

**吉岡（齊）** 私の自然エネルギーに対する理解では、今のところは量的には、1番目がバイオマス、次が風力、3番目が太陽光で、太陽エネルギーはそれほど重要ではないと思っています。自然エネルギーは別格で優遇すべきというの



が大方の理解ですし、私もそうと思いますが、それ以外のエネルギーは平等に扱うのがよい。たとえば原子力は冷遇すべきという考え方では、私はないんです。大規模集中型のエネルギーは市場原理でいいのではないかと思います。

笹尾 いや私は、そこに市場原理を持ち込むと、環境破壊の点で取り返しがつかないことになると思います。

吉岡（斉） それは個々のエネルギーに対して、環境税など個々の特性に応じたペナルティを課せばよいのであって、そのことが核融合を優遇する理屈としては成り立たないと思います。

笹尾 ペナルティを課しても環境に悪影響を与えることには変わりがないですね。ペナルティさえ払えばよいという発想になりかねないのでは。

吉岡（斉） ですからできるだけ悪影響をもたらすものについては、予防原則の精神に立って、それに見合う高めのペナルティを設定するわけです。ペナルティによって、いかに消費を減らすかが問題で、消費削減に値するペナルティをかけるわけです。それにより消費構造を組みかえることができると思います。

小川 西川先生が指摘された、これからの社会で核融合による集中的なエネルギー開発が必要かどうかについてですが、数年前のIAEAの基調講演で、「核融合は何のために必要か」というのがありました。そこでは先進国のためではなく、途上国のために必要だという認識でした。経済成長するためには、自然エネルギーには限界があるため、それなりの集中型エネルギー源が必要で、そこに核融合が選択肢としてあるわけです。最終的には、市場原理にゆだねられるのかもしれませんが、エネルギー資源の候補として開発しておくことにはそれなりの意義があると思っています。

田島 西川先生が指摘されるような分散型が成り立てばいいのですが、代替エネルギーには、やはりそれぞれ問題点があるわけです。分散型の人には他のエネルギーとの比較を検討していないし、社会全体が分散型で維持できるシナリオがないんですよ。

- 吉岡（斉） 分散型エネルギーだけで社会は成り立ちませんが、適材適所で多くの活躍の場があります。熱効率もトータルで考えれば良い場合が多いと言われていています。しかしこれは、自然エネルギーとはまた別ですね。
- 浅川 地球環境白書などを見てもヨーロッパでは風力は十分ペイしているとされていますね。しかし日本では無理とされていますね。
- 笹尾 ヨーロッパでペイできる地域も限定されていると思うんです。デンマークのある島とか、条件の整っているところではペイしているけれど、地球規模では難しいと思います。
- 小川 ペイできるかという問題と、サプライできるかという問題があります。
- 西川 だから、総量だけで議論していいのかどうかという問題もあります。核融合だけでエネルギーすべてをまかなうわけではないでしょう。これはポリシーの問題でもあるので、核融合のエネルギーがどういう部分を担うかの検討と、それがどの程度必要なのかという検討が大事です。
- 笹尾 そうですね。そういうきめ細かい議論をしないと、社会的には納得してもらえないかもしれませんね。
- 西川 学術会議で ITER の議論をしたとき、核エネルギーのメンバーだけで議論して、なぜ環境やエネルギーのグループと議論しなかったかということ、そういう人々には、非常に評判が悪いからなんですよ。やめたほうが良いという結論になってしまう。エネルギー専門家の間では、核融合は非常に評価が低いんです。
- 田島 やめてもかまわないんですが、その代替としてはどういう意見が出るんですか。ITER をやるかどうかの決定は非常に緊迫しているわけです。核融合以外に何かあるか、それが示されていないんです。30 年間、核融合に代わる有力な代案が示されたことが一度もないですから。
- 福田 ただ技術的なテーマを取り上げて議論するだけではなく、社会構造の問題も含めて、なるべく多くの人を巻き込んで議論を広げる必要があることを痛感しますね。
- 田島 こういう議論をしていて、すっきりした結論が出ないのはどうしてなんで

しょうね。

- 平田　でもすんなりまとまるほうがおかしいと思います。われわれも確実なデータから論理を組み立てているわけではないですから。
- 田島　われわれは10年後の予測もあてたことがないでしょう。終戦後の焼け野原に立って、現在の繁栄を予測した日本人は1人もいなかったように、そもそも未来予測は全然あたらないものですね。少し前までは、携帯電話もパソコンも予測できなかった。ということは、核融合についても、将来はどうなるかさっぱりわからない、ということです。とんでもないものができるかもしれないし、全然だめかもしれない。
- 笹尾　非常に問題なのは、今の時点で核融合研究者はあまりにも社会とのかかわりがなく、自分たちの思いこみの中で研究していることです。それは反省すべきだと感じています。
- 西川　自分自身の気持ちとしては、核融合が人類のために必要だと思って研究を始めたわけではないんです。プラズマ物理学がおもしろいからだったんです。その過程で、予算が必要になり、核融合を研究する以上、理屈をつけなければいけなくなって「核融合は重要である」と言い出した……自らの反省も意味もこめて言えば、われわれは第一世代ですから、そういう面があるわけです。
- 笹尾　でも、今はこれだけ予算を使うのですからタテマエだけの核融合研究は許されない時代ですね。
- 井口　われわれの世代はエネルギー開発と言う意識を持って入ってきた人が多いと思いますが……。
- 田島　「核融合は重要である」というタテマエで進めてきた第一次世代がリードしてきたので、それ以後の世代と齟齬が生まれ、今はその責任を負わされている状態だと思います。問題は積み上げ方式の開発・研究スタイルを選んで、莫大な予算を要求したがる人たちがまだいることでしょう。核融合開発がホンネであるならば、問題点の解決のための予算要求を第一優先とするはずです。