



サロン

## ITER の現状と ITER の望む人材

ITER 機構 機構長 池田 要

(原稿受付2008年1月7日)

### はじめに

池田です。私が、ITER 計画に関わるようになったのは2年前、クロアチアで大使を務めていた当時です。ITER 事業は20年前、日本と EU (欧州連合) とロシアとアメリカ、4つの国が国際チームを作り概念設計を始め、工学設計へと進展しました。その成果がまとまったのは2001年で、その結果に基づいて、どこに作ろうか、どういう枠組みで作ろうか、という議論が始まりました。協定がまとまったのが2005年で、次に誰が責任者になるか、ということが議論されて、私がリクルートされました。当時、私は核融合の研究もずいぶん進んだな、という印象を受けました。私が40年ほど前に役所に入ったころ、当時はプラズマを作って火をつける、ということはまだまだ先のことでした。その後、研究所に予算を確保する等行政面から核融合に関わってきました。プラズマを燃やすということに関心を持って追いかけてきました。それが、昔のような一瞬だけではなく、ITER では何分というオーダーで、安定な高温高密度のプラズマを閉じ込めてさらに燃やして、エネルギーを取り出すということ、そして、そういう設備を作るということを知らされて、そこまでの努力・進歩に非常に驚きました。皆さんの努力・研究の積み上げがここまで来た、という思いがあって、政府から要請があった時、素直に従って責任を引き受けたほうがいいと思いました。サイトはカダラッシュに決まっていたので私は直接カダラッシュに乗り込みましたが、赴任した時は私も含めて8名ほどしかいませんでした。ドイツのガルヒンク、日本の那珂に総勢90名ほどの国際チームがあって研究開発、設計をしていましたが、それをどう引き継ぐかが私の最初の仕事になりました。どうチームを作るか、どうやって皆さんにカダラッシュに来てもらうか、チームに加わってもらうか、ということから始めました。

### ITER のイメージ

図1はITERのカットアウトになります。真空容器があり、周りを3種類の超伝導マグネットが取り囲んでプラズマを閉じ込めます。プラズマは840 m<sup>3</sup> ぐらいの大きさです。目的は、“核融合の科学技術的可能性を実証する”とい

うことです。そして  $Q \geq 10$ 、これは入力するエネルギーの10倍以上の熱出力(50万キロワット)を得る、ということです。通常運転では400秒のプラズマ持続時間を想定し、熱出力は冷却系を通じ大気中に放出するわけですが、熱交換器の後ろに発電機さえつければ、発電はできるという装置になっています。ITER プロジェクトは建設に10年、約50億ユーロ、そして、その後20年間の運転期間、5年ぐらいの除染期間、トータルで35年間、約100億ユーロかかる事業です。ITER は7つの参加極、世界で半分以上の人口を占める国々、が分担して進める事業です。参加国でなく参加極といいますのは、欧州は EURATOM として参加しており、欧州連合さらにスイス、ルーマニア、ブルガリアが加わっているからです。

図2は建設期間の資金分担を示しています。25ぐらいの建物、サイト整備を含めたインフラはEUの担当です。残

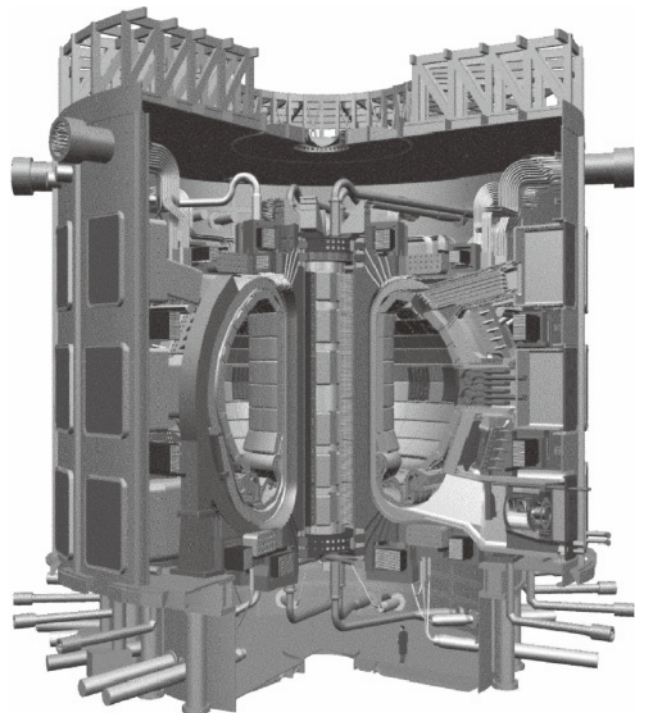


図1 ITER の断面図。

※本講演は九州大学筑紫キャンパスに於いて2007年12月18日に行われました。

*Present Status of ITER and Call for Young Scientists*

*IKEDA Kaname*

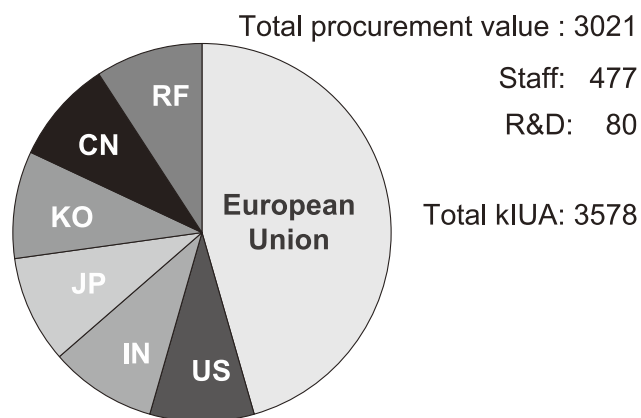


図2 コスト分担の内訳.

りを日本も含めた, EU 以外の極は 1/11 ずつ負担します. ここで 1 IUA は 1989 年の 1000 米ドルです. 今の 1 kIUA というのは約 1.5 ミリオンユーロに相当します.

図 3 はプロジェクトスケジュールです. ITER はトリチウムを使うので原子力施設としての規制を受けます. 2007 年 10 月 24 日に協定が発効して ITER 機構は国際機関になりました. 他の国際機関と大きく違う点は原子力施設を所有して運転する責任を持っている機関だということです. 国際機関としての権利等は確保されますが, 原子力施設を運転する責任者としてフランスの法律に従わなければなりません. 現在, 安全のための書類を整備して, フランス規制当局から許可を得る手続きを進めています. フランスの法律に従い来年の夏ぐらいまでには現地の掘削工事等を可能にしたいと考えています.

主要な機器類を各国が分担して作るわけですが, 長期間かかるもの, 例えば超伝導コイルですが, 日本と ITER 機構でその TF コイル導体に関する調達取り決めを 2007 年 11 月 28 日に結びました. 2007 年 12 月 17 日の段階で, EU も

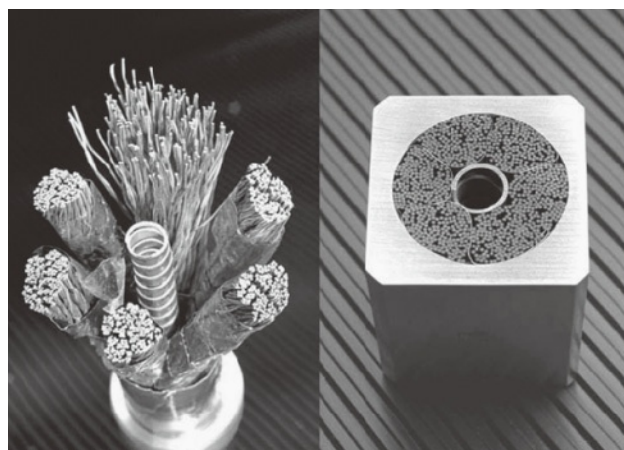


写真 1 超伝導線.

ITER 機構と同様の協定を結んでいます. 写真 1 は超伝導ケーブルです. こういうケーブルを 8 万キロぐらい作ります. Procurement Arrangement というのは, 各極がいかに分担して作るか, という取り決めです. ITER 組織は, 一部自分で必要な調達もしますが, 主要な部分のスペックを決めて品質管理, 規制に従うような手続き, 現地での組み立て, というような作業を分担します. これが ITER 建設の一番特徴的なところ. 主要な部分は各国が自分で作って, 持ち込んで, 2011 年の末ぐらいから組み立てます.

機器類はフランスのマルセイユに持ち込み, カダラッシュはそこから 100 キロ程北にあるので, 陸路で運びます. 陸路では 300 回ぐらいのコンボイが想定されていて, 大きくて重いものはゆっくりと 2 日ぐらいかけて運ぶことが予定されています. ローカルな道を通りますが, 道によっては, 拡幅したり, 橋を作り直したり, という整備をしなければなりません. その説明会その他が, すでに去年から行われ, 一部の道沿いでは, 電話線を地下に埋める, 電柱を

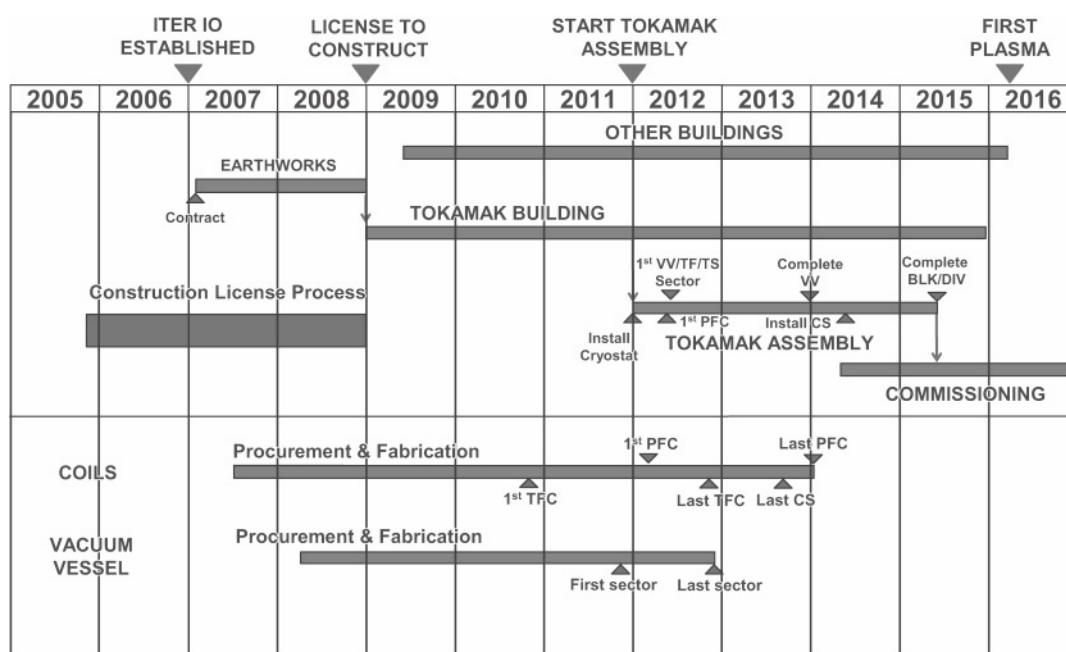


図3 ITER のスケジュール.

なくす、といった作業が始まっています。そして最初のプラズマ点火が2016年という予定になっています。

2006年11月21日、ITER 協定に関する7 極間交渉が完了し、合意に至ったということで署名が行われました。その際の EC (欧州委員会) の委員長 M. Barroso の言葉で、“The stakes are considerable, not to say vital for our planet.”とあります。なかなかいい言葉だと思います。

## ITER の STATUS、現状

図 4 に現在の組織を示します。Principal Deputy Director General (PDDG) はドイツ人で、安全責任者はヨーロッパのスペインから、事務部門の長は中国から、科学技術部門長はロシアから、トカマクの部門長はアメリカから、プラント・セントラルエンジニアリングの部門長は韓国から、CODAC・IT・加熱部門長はインドからと、会社でいうと重役陣を決めました。各国にそれぞれドメスティックエージェンシー（極内機関）があり（日本は原子力研究開発機構）、担当する部分を ITER 機構が提供する設計に基づいて作って納める、という仕組みで協力します。ITER Council (ITER 理事会) という7つの参加極からの副大臣クラスのメンバーで構成される、政策決定機関がありますが、場合によっては大臣クラスが出席することもあります。会社でいえば、取締役会です。私以下が責任を持って運営しますが、規則や予算を決める時は、ITER 理事会で承認を得る、という仕組みです。マネージメント、科学技術、それぞれについて、補助的な諮問委員会が置かれてい

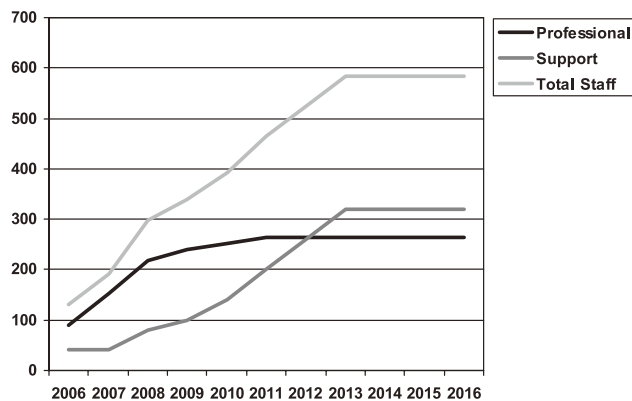


図 5 ITER スタッフ計画。

て、そこで、あらかじめ議論して、意思決定をしてもらいます。ITER 理事会というのは、年に2回ぐらい集まり1日ぐらいで物事を決めるようにしなければいけないということで、それぞれの諮問委員会は各極から3-4人のメンバーが参加して、何回か集まって必要な議論をしてもらいます。

図 5 にスタッフプランを示します。2007年末の現在で200人、2008年の春までには、新たに着任する人を加えて300人ぐらいになります。数年のうちに、プロフェッショナルとサポートスタッフを合わせて600人ぐらいの所帯になります。当初、プロフェッショナルは200人くらい、サポーティングスタッフは400人くらい、というイメージでしたが、実際に、組織を作ってみると、もっとプロフェッショ

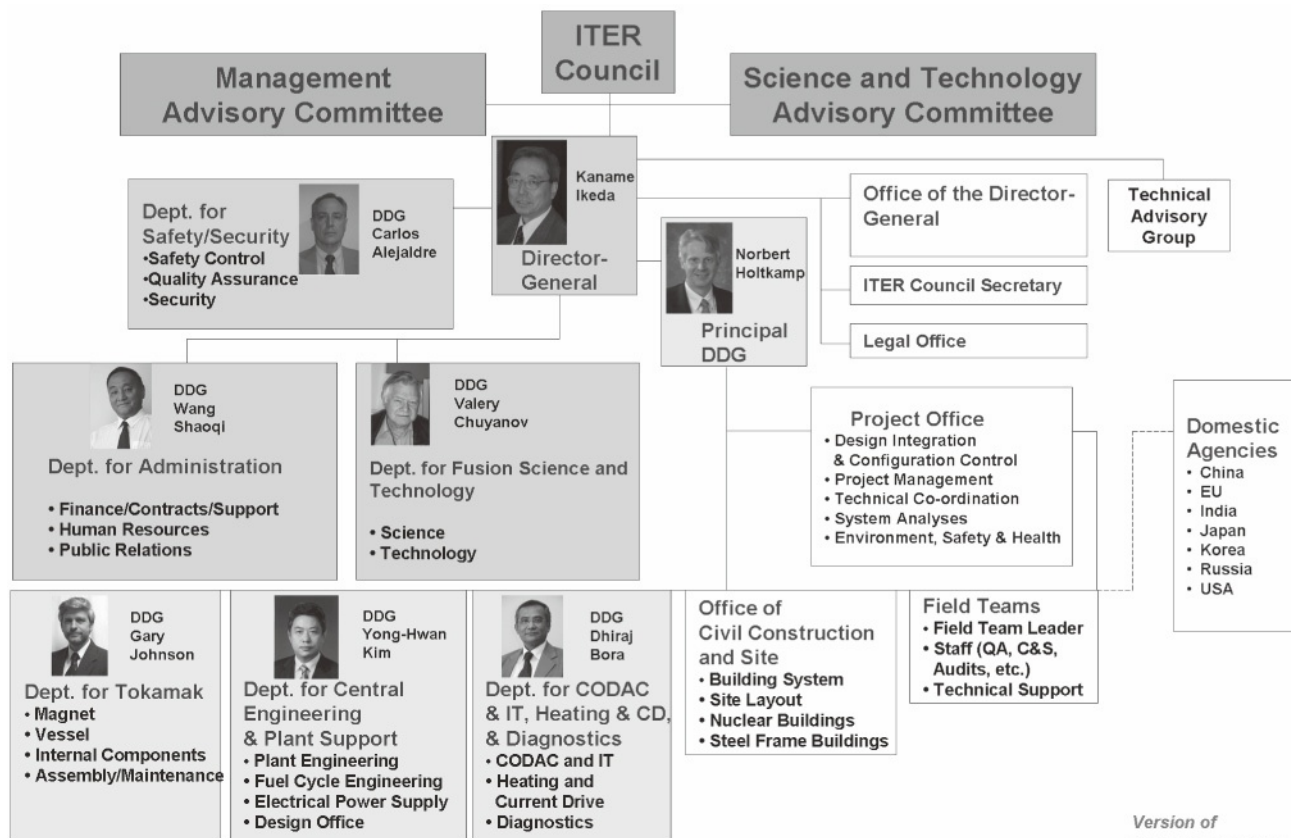


図 4 現在の ITER 組織。



ナルが必要だ、ということになっています。プロフェッショナルまたITやCADデザイナーなどのサポータースタッフは、ウェブサイトその他で公募してリクルートをしています。現状をみると、ヨーロッパ人の応募が圧倒的に多く、特にサポータースタッフはほとんどヨーロッパ人が占めています。また、プロフェッショナルはEUが半分以上を占めています。日本はEUからの人員枠割譲分があり、本来2割ぐらいでないといけませんが現在8%程度にとどまっている状況です。また各国の分担に応じてプロフェッショナルを採用するのが目標ですから、現状はバランスがとれていません。組織的に応援をしてもらいたいと思います。

ただし、今組織は建設のための経験を積んだ人が必要です。そのため、どちらかというと、シニア、10年20年経験した人を結果的に選ぶということになっています。若い人を採用するため、サポータースタッフで入ってもらい、プロフェッショナルに代わる、等いろんなことを考えなくてはならないと思っています。

### 将来の見通し、プロヴァンスの状況

今まで行った主たることの一つにデザインレビューがあります。2001年に、建設サイトに依存しないリファレンスデザイン（基準設計）を決めましたが、カダラッシュにサイトが決まったのでそのサイトに合わせた設計をしなければなりません。トカマクの下には耐震マットを敷く、そんなことも新しく加わりました。新しい要素も入れるため、そして新しいメンバーでチーム作りをしましたから、全員が設計をちゃんと理解をしてもらうために必要なプロセスだったと思います。この時、7つの参加極に呼びかけて、サイエンスコミュニティーにも参加してもらい、各国のありったけの経験を反映するという作業になりました。その結果に基づいて、2007年11月27日に開かれたITER理事会で技術的な内容については基本的に認められました。これからは、それに基づいてスケジュール、コスト、が当初の見積もり通りでできるのかどうか、という議論を来年の夏にかけてやらなければなりません。

このITER理事会で、私はITER機構長に正式に任命さ

れました。もともとフルタイムで仕事していたので新たな感慨みたいなものはありませんが、ここまでようやく組織もできてきた、という感じはあります。サイトはカダラッシュ原子力研究センターに隣接する180 haという広大な土地です。来年になると、400-500人ぐらいのオフィスのスペース等の建物の工事が始まります。写真2が完成時点の、すなわち10年ぐらい経ったときの主要な建屋ができ上がったときのイメージです。当然ながら、実際に入札をして工事会社を決めていくと、これはだいぶ変わります。一番大きいのはなんといってもトカマクの建物です。全体で高さ60メートルぐらいありますから20メートルくらい下に掘削しても40メートルくらいの高さになりますから、かなり大きな建物になります。

図6はITERの位置づけです。欧州のJETでのトリチウム燃焼運転の実績、JT60のプラズマ長時間閉じ込めの成果、などがITERにつながっています。今、日本とヨーロッパが協力してITERと並行する、ブローダーアプローチ（幅広いアプローチ）、と呼ばれる枠組みの中でJT60を超伝導化しようという作業を進めています。その他にも、ブローダーアプローチでは、低放射化材料試験装置の開発研究、燃焼プラズマシミュレーションの研究などを日本の六カ所サイトに展開し、デモ炉開発に必要なITERで得られない部分の研究開発を進めようとしています。その成果を持ち寄ってDEMOプラントで実際に核融合発電をするというのが30年くらい先に想定されています。ITERは10年ぐらい先には動き出すので、その頃にはDEMOプラントに対する意思決定が下されて建設が始まるという算段です。

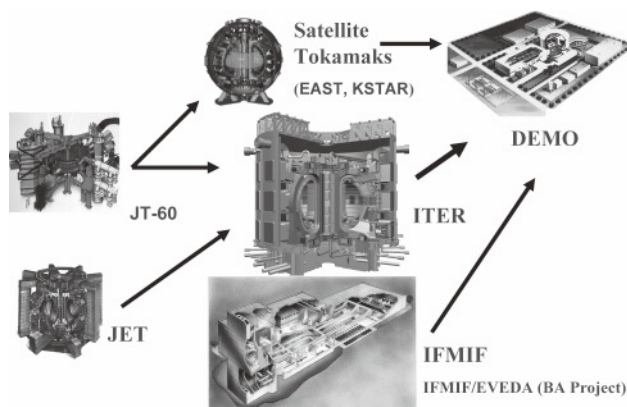


図6 ITERの位置づけ



写真2 10年後のITERサイト



写真3 技術者研究者用の仮建屋



写真4 カダラッシュサイト周辺の風景。



写真5 マルセイユ近辺の風景。

写真3はITERの今の現場です。研究者・技術者の方々の仮設建屋（口の悪い人はシューズボックスと言ったりしていますが）です。こういう仮設建屋を作らざるを得ないほど組織を急速に拡大しています。

最後にITERを囲む周囲の様子を紹介します。カダラッシュからちょっと北のマノスクというところに国際学校が開かれています。今ITERで働いている人達の子どもが50人くらい、それから、地元の子どもが50人くらいいます。カダラッシュは非常に気候の良いところです。ジュランス川とベルドン川があって、そのそばに城があります。写真4はITERの周りのラベンダー畑です。季節によっては紫一色が一面に広がって、非常にきれいな景色です。プロヴァンスの代表的な景色です。写真5はマルセイユのちょっと東側に位置し地中海に面する地域です。ハイキング、山歩き、岩登りが好きな人にはたまらない環境です。

### 質疑を通じてビジョンを語る

Q1：詳細設計、製作仕様が決まっていないという意見も聞かれますか？

池田：特別のご説明をすると長くなりますけど、主要なもの、長くかかるものについては、もう製作段階に踏み込んできています。

デザインレビューの過程で世界中の様々な技術者、科学

者といろいろな議論をしました。2001年の設計から、その後の進んだ部分、必要な部分を取り込みました。また、当然ながら当時詰めていなかった部分がどんどん出てきました。実際に作ることにになると、サイトに合わせた設計をする、そういう細部に詰める部分がたくさんできています。それらを洗い出して、決められる段階までもってきたというのが現状です。ようやくプロジェクトの技術スペックを決めたということです。それをさらに、科学技術諮問委員会で、もう一段階レビューを加えようという議論があります。私はその過程で、いろんな方の意見が反映されるチャンスがあると思っています。技術スペックについては、例えば先ほどのニオブ3スズのトロイダルフィールドコイルの線材については、調達を始める段階にまでできています。真空容器その他、主要なものについても、今調達について、ITER機構と各極との間で、技術的な仕様についての詰めが進んでいます。今すぐ製作にかからなくてもいいものについては、その設計詳細について技術的な詰めがまだできる余地はあると思っています。

### Q2：ITERで実験をするには？

池田：実験を実際にするのは10年先です。例えば最初はトリチウムを使わないのですが、そういったリサーチプランをまとめていくことになるので、興味を持たれたような部分がどこまでできるのか、現場にどうやって参加していただくか、というのはこれからいろいろと考えていただけると思います。

1番いいのは、採用に応募してもらうことですが、本籍があって、研究面で参加したいというのであれば、必要な取り決めを作って、ITERとの間でその研究項目について合意をすれば、ITERの運転に反映することが可能になると思います。そもそも運転期においては、ITER機構の職員より、Visiting Researcherと呼ばれる参加極から派遣される研究者が、数から言っても研究の主体となることが想定されています。またITER協定と同時に合意された"Common Understanding on Principles for the Operation Programme"を読んでいただきたいのですが、運転時間を参加極ごとに割り振って運転をするのではなく、参加極からのベストの研究者を集め、共同の国際研究プログラムを作って運転することになっています。ITERには当然ながら研究センターとしての意味合いがあります。CERNなどと同じようなイメージを持って頂ければよいと思います。今朝、総長との会談でも話に出ましたが、インターンシップみたいなものをどうやって作るかという話もあります。皆さんがITERの人たちとどのように連絡を取って、現場にどのように参加してもらうかは、いろんな工夫があつていいと思います。

実験は10年先ですが、それまでに、中核となる運転グループを作っていかなければなりません。その間もITERのリサーチプラン等について、みなさん関心を持っていただいて、そこにどうやってアクセスをするかというのを考えていただきたいと思っています。ここに参加したい、というのがあれば、私は十分可能、いろんな道が開ける、と思っています。



ます。現にポスドクフェローについては、必要な取り決めができつつあります。

**Q3：**設備の放射化や廃棄などの研究はどうなっていますか？

**池田：**高速の中性子に対して真空容器内部の材料がどれだけ耐えられるか、というのが核融合装置を実用化する上で、一番大事な課題です。ですから六ヶ所村の幅広いアプローチプロジェクトでもIFMIFの工学実証、工学設計活動を通し材料の継続性、耐久性をITERと並行して研究する、というのが日本とヨーロッパの考え方です。

ITERの放射線に対する管理の必要な点は、運転中のトリチウム、そして施設の放射化です。ITERは20年運転したあとは解体して、更地に戻します。その過程で生じる放射化物の管理、どれだけの年数を置いて放射能がなくなるのを待てばリサイクルできるのか、が課題になります。核分裂生成物のように長寿命のもの（高レベル廃棄物）はないので、運転終了直後でも現在の低レベル廃棄物処理の技術で処理できますし、ある程度の期間、十年単位の期間管理をすれば容易に取り扱いのできる範囲に放射能は落ちます。核融合の基本的な考え方は、すべての構造物まで含めてリサイクルできるようにしようということです。ですから商業化へ持ち込むためには、低放射化材料の開発、また構造物にどういう不純物が入っているとどれだけ放射化され、どれほど長く管理しなければいけないのか、そこまで考えた上で設備を作ることが大事な要素になります。トリチウムはブランケットを設けてトリチウムという金属を用いれば作れます。だから設備の外から放射性のトリチウムを運んだりする必要はなくなります。核融合プラントは、必要な、非放射性のものさえ提供すれば、何年かたてば放射化したものも全部リサイクルできる、というイメージに向かって進めることになると思います。

**Q4：**ITERは結果を求められていると思いますが？

**池田：**ITER計画は、国際的な科学プロジェクトだという位置づけ、そう考える人が多いです。私は、これは30年50年先に今のエネルギー問題を解決するための必要なプロジェクトだと思って取り組んでいます。科学の実験で勉強の材料さえできればいいとは思っていません。なぜならば、中国、インド、まで含めて1.5兆円の投資をするということは大変なことだからです。ITERで核融合の科学技術のfeasibilityをdemonstrationするというのが私の責任ですから、これは科学の勉強のためです、というわけにはいかないです。ITERの次のプロセスもすでにDEMOプラントとされています。ITERが成功しないとその先へ行きません。30年くらい先には実際に核融合で発電をする設備を念頭において、必要な投資もされています。その成果に基づいて40年50年先には、今の原子力発電所に並ぶようなものとして核融合の技術がものになっているという前提で取り組んでいます。

ヨーロッパでは通常の原子力については政治的にネガティブなのですが、核融合に対しては非常に強い期待があ

ります。だからただの勉強では当然ながら済まないのです。我々は今までの投資・結果に基づいて、成果を上げなければいけない、と思っています。今の地球温暖化、資源問題、を解決して大きな規模でエネルギーを長期に提供してくれる可能性のあるものとして核融合以外に何がありますか？残念ながらないのです。それぐらい真剣に取り組んでいます。我々は今約300人の所帯になり、各国を巻き込んで、これだけの事業をやれるというのは大変幸運なことだと思っていますが、同時に大きな責任を感じています。

**Q5：**国際間の調停で具体的に苦労した点は？

**池田：**中国、韓国、日本、インドはじめパートナーの国々が歴史的にそれぞれどういう環境だったかと考えると、私はこういう国が目的の一つにして協力する、というのは素晴らしいことだと思います。

ITERはこの10年間でこのくらいの投資という枠組みが決められています。ですから、決して、好きなだけ要求していい、好きなだけリクルートしていい、ではありません。今年になってリクルートも継続しているわけですが、それも取締役会で合意しないとできません。その都度、そのプロセス自身が妥当なものかどうか、ちゃんと責任をもって、マネージメントもできるのかどうか、そういう議論をします。いろんな注文があります。本当に2016年にできるのかどうかと、問われています。今、各国が自分で作る場所を見きわめて、最初の見積りどおりできます、ということと言える状態になるかが、一番重要な時期に来ています。そこまで各国とコミュニケーションを保ちながら詰めてはいけません、それが課題です。

もう一つは、各国とのスケジュール、その他、例えば当初の見通しと違うと言った時に十分な理解を得て、それなら任せようと言ってもらえるかどうかということです。各国いろんな温度差があります。各国の熱意というものは十分すぎるくらいあります。しかし、熱意だけで物事は進みませんから、本当にそれなら信頼して任せようという機関になるかどうかというのは、チーム作り、コミュニケーション作り、いろんな課題・局面があると思っています。国それぞれが、経験、メンタリティー、多くの意味で、様々な要素があります。それをどうやって協力しようとする雰囲気、ずっと継続的に持っていけるかどうか、がこのユニークなプロジェクトの一番の課題だと思っています。

**Q6：**ストロングリーダーシップを見せていただきましたが

**池田：**そこまでとってもいいかたはではありません。私はたまたま、縁があって、リクルートされたわけですが、選ばれた以上は、こういうプロジェクトを失敗させるわけにはいきません。失敗したら、科学の協力としても大きな損失になりますし、エネルギーの開発プロジェクトとしても、大きな損失になります。とても失敗など考えている余裕はありません。皆さんにももっと関心を持っていただいて、いろいろなところで必要な意見を言っていただき、日本からまだまだ人が足りませんから、実際に参



写真6 講演光景 (2007.12.18).

加していただきたい。

**Q7**：核融合は永久に地球のエネルギーを維持できるのか？

**池田**：永久と言われるとなかなか難しいものがあります。化石資源というのは、燃やせばなくなります。炭素は残るからといって、それを使うにも限度があります。ですから、環境問題も解決して、エネルギー問題も解決するのに様々な手段があるとは思えないです。人類がエネルギーの使い方、生活の仕方を大幅に変えられれば別ですが、今のよう、便利なものも使いたい、生活も豊かなものにしたい、ということを考えている限りは、選択の幅は限られています。私はもともと原子力をやりましたから、安全さえ確保できれば、原子力発電も高速増殖炉も大事だと思っています。そういうものを考えると選択肢は出てくると思います。それらをうまく使っていけば、この地球上で資源というものはまだまだ十分にあると思います。

核融合の場合、水は至る所にあり、真水であろうと海水

であろうと、一定の割合では重水素がありますし、作ろうと思えば重水は作れます。リチウムも地球上至るところにあります。その意味で資源的には問題がないと言えます。核融合の場合、一番の資源というのは、「科学技術」です。

## 追記

本講演は2007年12月18日、九州大学筑紫キャンパスに於いて、応用力学研究所・総合理工学府の国際ファカルティーディベロップメントの一環として行われました。講義風景を写真6に紹介します。時間を割いてご講演くださった池田機構長に深く感謝いたします。開催にあたりご支援いただいた、九州大学P&Pプログラム「国際交換講義及び国際ファカルティーディベロップメントによるグローバル教育システムの構築」、プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部、浅田榮一研究奨励金事業、LIA336に感謝いたします。

(開催実施責任者 伊藤早苗)