

# これまでに提起された主な論点について(改訂版)

## 1. 開発戦略について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 現実的なロードマップを提示すべき	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球温暖化対策としての早期導入の実現可能性について説得力のあるロードマップが必要。</li> <li>明確でより現実的なロードマップ (decision point 含む) を提示することが必要。</li> <li>主要な設定目標とその達成時期を明記すること。</li> <li>エネルギー取出しまでのシナリオ、実用化までのシナリオが必要。</li> <li>クリティカルな課題を明確にすること。</li> <li>原理・技術を追求するベクトルと実用技術としての現実的な拡大利用の道程を含めること。</li> <li>2030 年までに約束できること、2050 年までに約束できることは何か。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発戦略検討分科会報告書 (平成 12 年 5 月) の図 2.1.2-2 の形でロードマップが示されている。</li> <li>さらに、主要な設定目標と達成時期を明記し、かつ一層の加速を実現するための報告 (核融合実用化加速案の検討資料) が、第 5 回核融合専門部会 (平成 14 年 12 月) に報告されている。その主要な設定目標と達成時期は以下のとおり。 ITER と並行してトカマク国内重点化装置計画を実施し、それらの結果を踏まえ、2015 年頃までに発電実証プラントの設計に着手する。 国際核融合材料照射施設 (IFMIF) による材料試験データを 2020 年頃までに取得する。 ITER での燃焼研究の成果を 2020 年頃までに取得し、早期に発電プラント建設に着手する。</li> <li>クリティカルな課題は、燃焼プラズマの制御、統合技術の確立、定常高出力密度化、及び、IFMIF を中心とした材料・ブランケットの開発と炉工学の高度化であり、前 2 者は ITER で、3 番目はトカマク国内重点化装置で、最後の課題は炉工学開発によって解決する計画である。</li> </ul>
2) 提示されたスケジュールには無理があるのではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電実証プラントの建設期間が 6 年となっているが、短すぎる。</li> <li>発電実証プラント建設判断の時期が 2022 年となっているが、これでは早すぎる。ITER における高性能化試験 (2026 年より開始予定) の成果を反映できず、十分な経済性を見通しを得ることができないのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設期間が長ければ、商用プラントとしては成り立たない。軽水炉の建設期間が 5 年であるから、将来的に、6 年ぐらいで建設できる技術体系をつくり上げなければ、売れるシステムにならない。</li> <li>発電実証プラントの初期段階では性能が不十分であっても、その後改造していく中で高性能化を図ることは可能。</li> <li>トカマクのシステムでは、経済性を改善するには、出力密度を</li> </ul>

		高くすることが不可欠。そのための高ベータ運転は、トカマク国内重点化装置により、ITERと並行して開発するのであるから、発電実証プラントの早期建設&経済性実証は実現可能。
3) 複数の選択肢と判断基準を明記したシナリオを書くべき	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ わからないことに挑戦していくのだから、必ず予定通りに進むとは限らない。うまくいかなかったときにどうするかを、フローチャートの形で一緒に示すべき。</li> <li>・ 何と何ができたら次にいけるのかという判断基準を明確にしたシナリオを書くべき。</li> <li>・ ベータの達成値などについて、幾つかのケース分けをしたシナリオが必要。</li> </ul>	
4) シナリオのブレークダウンが必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「核融合実用化加速案の検討資料」は簡潔にまとめられていて、詳細なバックグラウンドが記載されていない。</li> <li>・ ロードマップについてコンセンサスを得るためには、部外者でもよくわかるようにブレークダウンし、わかりやすい資料をつくらねばならない。</li> </ul>	
5) 実用化の時期がまた延びるのではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ この何十年でできるとか50年で実用化するという話だったのが延び延びになっているような印象を受ける。</li> <li>・ 見込みだけで議論されると、また延びるのかなと考えざるをえない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験炉への建設着手が遅れてしまったことが遅延の主要因。</li> <li>・ 科学的に進歩がなかったから遅れているのではない。</li> <li>・ 一定期間に実現するには、それに見合った投資が必要。</li> </ul>
6) まずはITERに集中すべきではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JT-60など、他の研究炉の意義も認めるが、まずは、ITERに集中すべきではないか。ITERもやるけど、JT-60もヘリカルもレーザーも・・・はおかしい。</li> <li>・ 予算は限られているので、何を優先すべきかを考えねばならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 限られた予算とこれまでの投資を活用することが重要で、定常高ベータ化計画(JT-60の改造)によりトカマク炉の開発ステップを1段階減らし、総経費を低減することを計画している。</li> <li>・ トカマクの改良研究はITERにも有効。</li> <li>・ 大学等の研究は、学術研究、人材育成としても重要。</li> <li>・ ITERのためにも計画の広がりは重要。</li> </ul>

7) <b>レーザー核融合の早期実現の検討も開始すべき</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トカマクについては、すでに早期実現のための検討作業が実施されている。レーザー核融合についても、早期実現のための検討委員会を設置し、検討を開始すべき。</li> <li>・レーザー核融合炉の成立性を、できるだけ早い段階でチェックしておくことが必要。</li> </ul>	
8) <b>見直しや評価のシステムをどうするか</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発戦略に対する見直しや評価など、フォローアップのシステムが必要。</li> <li>・各研究の達成結果に対する評価基準を明らかにしなければならない。</li> </ul>	
9) <b>核融合の研究は、本気で電気を起こす気があるのか</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合の研究は、本気で電気を起こす気があるのか、あるいは単に基礎物理をいつまでも研究していたいのか、わからない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発に長期を要する核融合は、エネルギー開発としての側面と学術研究としての側面の両面をもつことが必要。</li> <li>・工学技術としての開発を進めるとともに、発電 / 水素製造炉の設計、将来の経済性、市場参入も含めて分析を進めており、電気を起こすことを目標に研究を進めている。</li> <li>・核融合研究は、外の社会に向けて言うときには、現状は科学研究の段階であるが、核融合研究者自身はエネルギー開発を目指さねばならない。</li> <li>・エネルギー開発に軸足を置いた研究と学術研究に軸足を置いた研究を、はっきり位置付けてやるべき。</li> </ul>
10) <b>ブランケットの開発が不十分ではないか</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合炉をエネルギーシステムとするためには、ブランケットの開発が重要。</li> <li>・エネルギーを取り出すブランケットも含めたプラントシステム全体として、バランスを持たせた研究開発が実施されねばならない。炉心プラズマ関係に比べてエネルギー取り出し技術、ブランケット等は将来の展望が不十分であり、トータルシステムとしてはまだ弱いのではないか。</li> <li>・材料によって冷却材も異なってくる。冷却材の選択に沿った形で材料開発の計画的達成が不可欠である。</li> <li>・炉心プラズマの方がうまくいったとしても、構造材料を含</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブランケットの要素技術は概ね開発済みで、それらを統合する工学試験が必要。要素技術の開発から工学試験へと段階を進める時期にきている。</li> <li>・ブランケットについては、低放射化フェライト鋼を主構造材料とし、固体増殖材、Be 中性子増倍材、冷却方式としては高温加圧水を基本として開発を進めている。</li> </ul>

	<p>むブランケット技術に致命的な問題が存在するとしたら、全体のシステムとしては成立しない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・長時間運転に伴う第一壁の問題として、トリチウムが材料に拡散していく問題や金属の改質の問題などが重要である。これらについても並行して研究開発を進めていくことが必要。</li> <li>・材料の開発が不透明な状況の中では、一定の運転期間毎に炉壁を取り替えることになる可能性があるため、遠隔保守技術の開発が不可欠となる。</li> <li>・ブランケットにおけるトリチウム増殖比に余裕がなければ、十分なトリチウムが確保できず、トリチウムの減衰が意外と早いため、長期の運転停止の後、再起動できないことが起こりうる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LHD（大型ヘリカル装置）は連続運転なので、水素と第一壁の相互作用に関する研究に適している。</li> <li>・酸化クロム等の皮膜をコーティングすることにより、トリチウム拡散を大幅に低減することが可能。</li> <li>・炉寿命（40-50年）の間使える第一壁構造材料の開発は想定していない。原子炉の燃料交換と同様、定期的に交換することを想定している。</li> <li>・遠隔保守技術については、ITERに向けたブランケット・モジュールの遠隔保守技術は開発済み。発電実証プラントにおいても、基本的にITER用ブランケット保守概念が適用可能と考えている。</li> </ul>
11) 材料の課題が未解決	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設備の信頼性の観点からは、ブランケットの構造材料が過酷な条件に晒されることなどが課題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブランケットの構造材料については、低放射化フェライト鋼を第1候補材料としつつ、バナジウム、SiC/SiC複合材料を先進材料として開発を進めている。</li> <li>・低放射化フェライト鋼の場合、耐照射性について、目標領域の数分の1の照射量まで、中性子照射で評価済み。</li> <li>・さらに核融合中性子を模擬した照射施設（IFMIF）により、今後、材料試験データを取得することが考えられている。</li> </ul>
12) 安定運転の見通しが不十分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転信頼性の観点からは、炉心プラズマの安定運転に対する見通しが実証されていないことが課題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITERでは、1000-3000秒程度の安定運転が実証される。</li> <li>・トカマク国内重点化装置計画では、超長時間（8時間程度）の安定運転の実証も視野に入っている。</li> </ul>
13) 構造を簡素化するための研究開発が必要ではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トカマクの構造は格段に複雑であり、実用化は難しいのではないかと。</li> <li>・開発を進めるに従って、構造が簡単になるのであれば、コストは下がる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITERは実験炉であり、最大限の可能性を追求せねばならない。簡素化を指向するのは実験炉の次の段階。</li> <li>・中心ソレノイドコイルを無くせば大幅な軽量化があり得ることが明らかになった。</li> <li>・簡素化とコストダウンは必ずしも一致しないのではないかと。CDプレーヤーなど、複雑でも安くできるものも多い。</li> </ul>

<p>14) <b>産業界を入れたレビューが必要</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終的に核融合炉を使うのは電力会社であり、つくるのは原子力機器メーカーであるから、適当な時期に、産業界の技術者を入れたレビューを実施する必要がある。</li> <li>・産業界の視点により、開発の課題や方向を適宜修正していかなければ、実用化には結びつかないだろう。</li> </ul>	
<p>15) <b>体積中性子源は必要か</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国ではC T F（コンポーネント・テスト・ファシリティ）の必要性が主張されている。このような装置で試験する必要があるのかどうか、産業界の技術者も入れて評価すべき。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・C T Fの目的は、材料照射だけではなく、むしろ、ブランケットの試験である。</li> <li>・米国では、D E M O炉に対して高い稼働率（50%程度）を期待しており、高い信頼性のあるブランケットが要求されているため、C T Fが必要となっている。</li> <li>・ITER サイズではトリチウム消費が多すぎるため、小型の材料照射炉が必要との主張もある。</li> </ul>
<p>16) <b>核融合の特徴を生かして実用化を早めるべき</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核分裂炉は多くの機能が炉心部に集中しているのに対し、核融合炉は機能が分散的である。</li> <li>・機能が分散的であることを生かした開発戦略をとるべき。</li> <li>・核融合炉の開発に際し、多くの炉型のステップアップはいらぬのではないか。</li> <li>・ITER を最大限に利用し、実用に近いところまで開発を進められないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITER と並行してトカマク国内重点化装置計画を進めることにより、発電実証（原型炉）と経済性実証（実証炉）を1装置で実現することで、ステップ数を減らすことを想定している。</li> <li>・ITER を十二分に利用していくという視点は重要であるが、一方、ITER は国際計画である点にも配慮が必要。</li> <li>・ITER に原型炉の機能を追加するためには、設備的に最初から考慮すべき事項があるため、スケジュールを含めて ITER 計画の見直しが必要となる。</li> <li>・ITER では20年の実験期間が想定されているが、後半の10年に何をするかについては、まだ合意がない。協定成立後、その議論が始まったとき、我が国がどういう提案を出すのが重要。国内で議論を積み重ねておくことには大きな意味がある。</li> <li>・とくに日本に誘致できた場合、日本がグローバルスタンダードを獲得するために、強いリーダーシップをとることが重要。</li> </ul>

## 2. 大学等における研究の位置付けについて

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 各方式の比較は行うのか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第三段階計画の付属文書には、磁場閉じ込め方式について「所要の時点において各方式の比較を行い、最終的な原型炉の閉じ込め方式を選定するのが適当である」、慣性閉じ込め方式について「今後ともこの方式による研究を進める」と記載されているが、原型炉へいく前に比較をするのかしないのか。また、慣性閉じ込めはどうするのか。</li> <li>・開発戦略検討分科会報告書P 6 7の図（核融合エネルギー研究開発と実用化への道）には、ヘリカル型、逆磁場ピンチ、ミラー、慣性閉じ込め等について、原型炉の前にレビューを行い、原型炉概念を決定することが示されている。これに代わる図を新たに作成すべきではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・どこかでデシジョン・ポイントをつくって、どれとどれを比較してどちらかをやめるというやり方もあれば、そうではなくて、ブレイクスルーを生んだら次のステップアップに進むというやり方もある。よく議論することが必要。</li> <li>・トカマクの開発シナリオのタイムスケジュールに合わせる必要はない。それぞれがブレイクスルーを目指して研究を進め、明確な展望が見えた時点でチェック＆レビューをし、それぞれ独自の開発にシナリオを変えていけばよい。</li> <li>・ブレイクスルーが本当に出てきたときには、それを取り上げて推進していけばいいのではないか。</li> <li>・ブレイクスルーを模索する研究は、適正規模で推進すべき。</li> <li>・ブレイクスルーはあるかもしれないが、それを待たなければ次のステップにいけないということではない。確実なものの進歩、発展をとめないようにしなければならない。</li> <li>・よりいいものというのは、原型炉ができようが実用炉ができようがあり得るのだから、先々まで研究開発を進めていく必要があるのではないか。</li> </ul>
2) 重点化計画をどう位置付けるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文科省の核融合研究WGで重点化された計画のうち、ヘリカルとレーザーについて、いつの段階でどういう条件を満たせば、どういう形でエネルギー開発戦略の中に位置付けるのかを議論すべき。</li> <li>・ヘリカルとレーザーについては、相当規模の予算を使ってやっているのだから、開発研究全体の戦略の中でどういう役割を果たすのか、はっきりさせておく必要がある。</li> <li>・ヘリカルとレーザーについては、炉への可能性のチェック＆レビューが必要なのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文科省WGでは、ヘリカルもレーザーも学術研究として位置付けられている。</li> <li>・文科省WGの考え方でも、学術研究から開発研究へステップアップするパスが切られているわけではない。</li> <li>・ステップアップする際、チェック＆レビューは必ず入らねばならない。</li> <li>・核融合炉への可能性は、重点化における4つの評価基準の一つにすぎない。</li> <li>・実際にNIFSでは、4つの評価基準（ITERへの寄与、核融合炉への可能性、学術的な普遍化、人材育成）を満たす方向性で</li> </ul>

		<p>研究している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・核分裂炉の進歩の過程では、すでに軽水炉が実用化されていても、高温ガス炉などが研究されている。それと同じ位置付けではないか。</li> <li>・文科省WGの報告を尊重すべき。ここでまた合意形成の過程を繰り返す必要はない。</li> </ul>
3) <b>ブレイクスルーをどう取り込むか</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10年、20年たてば、ブレイクスルーは必ずあるはず。そういうものを取り入れるフレームワークが示されているべき。</li> <li>・受け皿を用意しておくことが必要。受け皿が何もないのに進めてはいけない。受け皿が何もないからブレイクスルーが何も出てこないという話になりかねないのではないか。</li> <li>・ある幾つかの特定の装置に重点化していくのと並行して、その周辺をどう取り込んでいくのかが議論されねばならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブレイクスルーを取り込むための具体的な制度設計を今後進める必要がある。</li> <li>・文科省WGの報告書はグランド・デザイン的な方向性を示したものにすぎない。具体化するのは今後の作業。</li> </ul>
4) <b>大学における研究の意義は何か</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでは基礎研究によって大学は貢献してきた。しかし、ITERが実現しようとしている今、大学の研究も開発研究としての要素をもたざるをえないのではないか。</li> <li>・大学の研究はどうあるべきか。どういう形がありうるのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発研究と学術研究を分けて考えることも大事である。大学の研究は、学術に位置付けることによって、自由度が増し、研究に幅が出るのではないか。</li> <li>・普遍的理解を得るためには、同じ方式で研究していてもだめ。積極的に違う方式で研究することにより、普遍的な物理が出てきて学術基盤ができる。</li> </ul>

### 3. エネルギー・環境問題解決への役割について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) モデル試算結果に依存するのは非常に危険	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モデル計算によるエネルギー普及量などは、前提次第であるから、それに基づいて、核融合にはこれだけの意義があるとかいうのは非常に危険であり、誤解を招きかねない。</li> <li>・前提条件を明確にすることが必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主な前提条件はつぎのとおり。 需給均衡エネルギー価格の決定を通じて、将来のエネルギー需給を計算。 核融合は 2030 年に発電プラントにより発電を実証し、2030 年以降、コストダウンが進展する。 再生可能エネルギーの方がよりコストダウンが進展する。 世界 12 地域を対象とし、各地域における社会的受容性を考慮。</li> </ul>
2) 核融合炉なしでも環境問題は解決できるのではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合炉はなくても、2100 年の CO<sub>2</sub> 濃度は 550 ppm にできるのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・再生可能エネルギーにどれだけの可能性、確実性があるのかを十分に検討しなければならない。</li> </ul>
3) FBR 実現より前に発電を実証できなければ、開発する意義はない	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気エネルギー発生システムであることを FBR 実現より前に実証できないなら開発する意義はない。</li> <li>・FBR と競争（コストの面、運転・保守の面など）できないと、電気エネルギー発生システムとしての意味はない。</li> <li>・エネルギー発生源市場に、いち早く参入すべき。それも FBR 体制の実現の目処が立つよりも先に。「良いものは売れる」は間違いである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・まずは技術的成立性を立証してエネルギー市場の俎上にあげることが必要。</li> <li>・エネルギー安全保障のほか、技術安全保障という観点も重要。</li> </ul>
4) 経済的競合性を持たねば参入は困難	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水ウラン、核燃料サイクル・FBR、宇宙太陽光発電などが 21 世紀後半に参入する可能性がある。核融合は、これらの他革新的技術との経済的競合性を持たねば割り込むことができない恐れがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水ウラン、核燃料サイクル・FBR については、核拡散の問題から世界的な普及には懸念がある。</li> <li>・宇宙太陽光の発電単価よりは低く押さえられると評価している。</li> </ul>



5) 火力を代替するには、さらなる開発が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>核融合炉が火力を代替することは、理論的には可能であるが、現実的には難しい。</li> <li>20 - 30 万 kW 程度の小型出力で、負荷変動に追従でき、3 年の工期でできなければ、核融合炉は火力を代替できないのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レーザー核融合は、原理的に小型出力の炉もできるし、負荷変動に追従することも容易であるから、火力の代替に適している。</li> <li>二次エネルギーシステムの多様化と普及が進めば、発電特性はそれほど大きな制約にはならないだろう。</li> </ul>
6) 核融合の市場性を向上させるには何が必要か	<ul style="list-style-type: none"> <li>核融合の参入市場を拡大するためには、開発上の新たな課題として、どのようなものが考えられるか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>核融合の市場性向上のために必要な課題は以下のとおり。 留意すべき事項：小型化、工期短縮、負荷変動、起動電力、増設速度、途上国導入、燃料入手性 多様な利用法：水素製造、核変換、資源リサイクル 技術基準確立と簡素化された許認可プロセス</li> </ul>
7) 核融合は技術習熟効果を期待しにくい	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電や風力発電は、ガスタービンと比較してコストは高いものの、システムが小型であるため、大量生産に起因する技術習熟効果によって建設単価が下がることを期待できる。</li> <li>核融合は、核分裂と比べて出力重量密度が小さく、システムが大型になるため、技術習熟効果を期待しにくい。</li> </ul>	
8) エネルギーシステムの導入には時間を要する	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギーシステムにおける変化は数十年かかる、基本的に極めてゆっくりしたペースである。軽水炉でも、40 年かかって、一次エネルギー供給の 1 割弱（発電シェアで 2 割弱）を占めるようになった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>市場への浸透に 30 ~ 50 年かかるであろうというのは認識しており、核融合炉の市場参入評価でもそのような結果を得ている。早期開発が望まれる。</li> </ul>
9) CO <sub>2</sub> 濃度安定化には遅すぎるのではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術の実現から市場への浸透には 50 年かかるため、核融合を含む革新的技術が CO<sub>2</sub> 濃度安定化に寄与するのは困難ではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030 年に原型 1 号機ができ、その後大幅なコスト低減ができれば 2100 年までに市場浸透は可能であり、CO<sub>2</sub> 濃度安定化に寄与し得る。</li> </ul>

<p>10) 核融合は、発展途上国への核エネルギー貢献に適する</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合は、核拡散の問題がないため、発展途上国への導入に適する。</li> <li>・発展途上国は、核融合による大規模ベース電源の有望市場になりうる。</li> </ul>	
<p>11) 核融合の特徴は何か</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FBRや高温ガス炉、革新炉などの将来型原子力に対し、核融合は、どういうところが競合し、どういうところが競合しないのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来型原子力に対する核融合の特徴は、炉の出口温度の柔軟性、燃料サイクルの制約がないこと、核拡散の問題がないこと、ハザードポテンシャルが低いことなどである。</li> </ul>
<p>12) 水素製造を行った場合はその役割はより大きくなる</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合などの将来的原子力で水素製造を行うと、化石燃料起源水素への依存からの脱却を加速できるため、その役割はより大きくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合炉は、核分裂炉等とは異なり、材料以外には利用温度に対する制限がないため、炉の出口温度を柔軟に設定できることから、水素製造では他のエネルギーより有利である。</li> </ul>

#### 4. 費用対効果について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 経費や期間について評価が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的実現性について、実用化に至るまでに要する資金や期間についての評価が必要。</li> <li>・原型炉から実用化段階に至る研究開発が極めて多額の経費と長い期間を要することに留意すべき。</li> <li>・許認可対応（基準・考え方の整備、データ取得等）にも配慮が必要。</li> <li>・費用対効果の評価は今後重要性が増大する。</li> <li>・核融合の研究開発にあたっては、中長期的な原子力エネルギー政策とのバランス、重点的投資の時期及び緊急性、投資対効果等の慎重な考慮が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国における最新の経費評価では、実用化までの所用の資金は24.2B\$（120 円/ドルとして2.9 兆円）程度が必要としている。</li> <li>・実験炉、原型炉、実証炉、実用化という開発ステップは、高速炉開発に際して採用されたもの。核融合の特徴を生かせば、これを踏襲する必要はないのではないか。</li> <li>・ITER については、炉規制法の適用は必要無いとの評価が原子力安全委員会でなされている。発電炉についても核融合炉の特徴を踏まえた規制が行われることが期待される。</li> </ul>
2) 短期的な効能を志向するのは疑問である	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地球温暖化対策として見た場合、CO2 発生の抑制効果という点では、核融合炉も核分裂炉も効果自体はそれほど変わらないので、核融合の早期導入を目指し、短期的な効能を志向して多額の費用を費やすことにどれだけ意味があるのか疑問である。</li> <li>・より長期的に、積分効果として着実に役割を果たしていくという方向の方が現実的である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核分裂炉にあるような安全受容性や核拡散の問題が無い又は小さいと考えられるなどの重要な利点があり、核融合の早期導入を図る意義は極めて高い。</li> </ul>

## 5. 経済性について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 発電コストの達成に対する根拠が乏しい	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10 円/kWh の発電コスト( 開発戦略検討分科会報告書に記載 ) の達成に対する技術的な根拠に乏しく、単なる目標値としか見えない。</li> <li>・トータルシステムの設計を詰め、10 円/kWh 達成のための技術課題を整理することが必要。</li> <li>・軽水炉に比べてトカマクは構造が複雑であり、機器の数も多いので、コストはかなりかかるのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITER を実際に 5000 億円で建設すれば、コストの技術的根拠は格段に高まる。</li> <li>・コストは検査体系に強く依存するが、ITER には炉規制法の適用がなく、規制が緩和される可能性がある。</li> <li>・核融合のもつ固有の安全性が検査体系に反映され、コストが下がる可能性がある。</li> </ul>
2) 発電コストの目標値が甘すぎる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電力自由化等により将来一層の経済性向上を求められる状況下では、10 円/kWh の目標設定は甘く( 現在の軽水炉でさえ 5～6 円/kWh であり ) より積極的な姿勢で高い利益をねらうことが必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・かつての軽水炉のコスト評価に合わせて資本費の償却年数を 16 年としているために、高く見えている。</li> <li>・使用年数を 40～60 年に増やせば、最近の軽水炉の発電単価( 5～6 円/kWh ) とほぼ同じ目標値となる。</li> </ul>

## 6. 安全性について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 安全性の確保が不十分ではないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施設に内在する放射性物質のリスクのポテンシャルが低い が、これは安全確保への負担が相対的に少なくてすむ( 確保が比較的容易 ) というにすぎない。実際のシステム( プランケットや冷却系を含む ) に沿った安全性の議論が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハザードポテンシャルが低いことは、公衆に与える安心感という点では非常に重要であり、立地制約が少ないことにつながる大きなメリットである。</li> </ul>

## 7. 廃棄物について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) <b>放射性廃棄物が多すぎるのではないか</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合では、中性子発生部とは異なる比較的広い周辺の物質との薄い反応により、放射化物が多くなる。</li> <li>・金属の放射化によって生じる高 廃棄物や低レベル廃棄物は大量に排出され、その量は核分裂炉に比べてはるかに多く、エネルギー取り出し技術と併せ、これらを低減する技術が重要。</li> <li>・材料の開発が不透明な状況の中では、一定の運転期間毎に炉壁を取り替えることになる可能性がある。高 廃棄物が大量に発生することへの対策が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低レベル放射性廃棄物の物量は、遮蔽材料と遮蔽厚を最適化することで大幅に低減できる。</li> <li>・高 廃棄物も合わせて2千トン程度にまで低減可能との試算あり。</li> <li>・ただし、クリアランス廃棄物が一般廃棄物として扱われるとは限らない。</li> </ul>
2) <b>処分のリスクを正当に評価して比較すべき</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合では高レベル放射性廃棄物は発生しない。しかし、ポテンシャルハザードではなく、処分のリスクとして核分裂炉とどうか、物量はどうか、化学毒性はどうか、などを正当に評価し、その限界内で比較すべき。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合炉の廃棄物の長期リスクについては、すでに評価されている。代表的な核融合炉である SSTR の評価によると、100年以降、個人被ばく線量は分裂炉に比べて大幅に低減すると予想される。</li> </ul>

## 8. 部外者の理解促進について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) <b>広報活動が全く不十分である</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合以外の原子力関係者で、商用核融合炉が2100年までに稼動すると思っている人はほとんどいない。</li> </ul>	

## 9. ITER計画への参加体制について

論点	指摘内容	これまでに提示された関連する議論
1) 参加体制の基本的なあり方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全日本的な協力体制を構築すべき。</li> <li>・日本全国の研究者が熱意を持って参加する形をつくらねばならない。</li> <li>・大きなプロジェクトでは、基本的な責任を組織にもたせることと連携協力を推進することの二つの要素が必ず必要となる。</li> <li>・何かあったときにどこが責任をもつかが明確でなければならない。</li> <li>・責任の所在が明確になるような組織でなければいけないが、一方、運営はかなり広く民主的にやらなければ、大学の参加が難しくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核融合フォーラムが立ち上がり、整備されつつある。</li> <li>・核融合フォーラムは、まだ芽出しの段階の協議体であり、組織としての形態は、これから発展させなければならない。</li> </ul>
2) 建設期の参加体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITPA（国際トカマク物理活動）は非常に重要。ここで日本がどれくらい貢献できるかが、今後の日本の役割に大きく影響する。ITPAを支援する体制をつくるべき。また、研究費や旅費について、早急に予算措置が必要。</li> </ul>	
3) 運転期の参加体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本が主導権を獲得し、日本主導研究の実験時間を確保するためには何が必要か。</li> <li>・機構がすべての責任をもつ体制と、各極がそれぞれに責任をもって実験を進める体制とがありうる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究基盤を形成するため、適正規模の国内実験施設が不可欠。</li> <li>・大学を中心とした若手研究者の育成が極めて重要。</li> <li>・直接貢献と並行して、将来の発展を目指した先導的研究が必要。</li> <li>・日本から出している案は、機構長がすべてに対して責任をもつとするもの。</li> </ul>