

核融合研究開発推進に当たっての原子力委員会の考え方

1. なぜ核融合エネルギー開発が必要なのか

ITER計画懇談会における議論	原子力委員会等における議論	原子力委員会としての見解（案）
〈エネルギー開発の社会的意義〉 ・エネルギー問題は、地球環境問題と同等の人類の協調課題であり、人類の生存や持続的安定的発展という意味において根本的に重要。 ・課題の解決に科学技術の果たす役割は大きく、その努力の開始は早いほど良い。	〈エネルギー開発の社会的意義〉 ・未来のエネルギー選択肢の幅を広げ、その実現可能性を高める観点から、核融合の研究開発を推進する。（長計・H12/11）	・核融合は、将来のエネルギー供給に有望な選択肢を付与し得るもの。
	〈核融合研究開発の学術的意義〉 ・核融合研究においては、プラズマ中で起こる波の伝搬、乱流やカオスの発生、自己組織化などの非線形現象や非平衡輸送現象は重要な現象であり、これらは同時に現代物理学の最先端課題である。また核融合プラズマの研究は宇宙や自然界に生起されている現象の理解にも重要な学術基盤を与えるもの。（核融合会議、H12/5/17） ・高温のプラズマを制御するための炉工学は、超高温、極低温、超高真空、大電力等といった極限技術を必要とし、また、常に新しい工学領域を開拓してきた。その結果がもたらす波及効果は、半導体産業、電力技術、大型・精密機械加工などの基盤となる一般民生用技術に活用することができ、かつ、加速器技術、超伝導技術、計測診断技術、計算機シミュレーション技術など、他の先端技術開発や基礎科学研究の発展に大きく貢献し得るもの。（核融合会議、H12/5/17）	
〈長期的なエネルギー需給の見通し〉 ・環境への配慮と経済性、ライフスタイルや社会的価値観により、最適なエネルギー供給構成を「ベストミックス」として選択。 ・核融合エネルギーは、将来のエネルギー源の一つの有望な選択肢。	〈長期的なエネルギー需給の見通し〉 ・今後のエネルギー供給源に要求される重要な要件は、 ①資源が豊富で広く存在すること ②環境に対してできる限りクリーンであること ③コストが合理的な範囲内にあること ④基幹システムとして十分なエネルギーを安定して供給できること ⑤安全性が高いこと であろう。（核融合会議、H12/5/17）	
〈核融合エネルギーの特徴〉 ・資源の地域的な偏在がなく量的にも制約は予想されない。 ・核分裂と比べ安全対策が比較的容易。（核分裂の場合は、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」が安全の原則。核融合の場合、「止める」、「冷やす」は、原理的な特長により容易に達成。「閉じ込める」は、燃料のトリチウムを外部に出さぬようにすることで達成できる。） ・高レベル放射性廃棄物は発生しないが、低レベル放射性廃棄物は発生するので、その処理処分が必要。 ・核融合サイクルが簡便。 ・核融合反応の過程で二酸化炭素の発生がない。	〈核融合エネルギーの特徴〉 ・核融合システムは、 ①資源量、地球温暖化防止への効果 ②安定供給性 ③優れた安全性 等の特長が認められる。（核融合会議、H12/5/17） ・技術的成立性と合理的なコストを達成し得る場合には、他のエネルギー供給技術と競合できる有力なエネルギー源として実用化されるもの。（核融合会議、H12/5/17） ・燃料及び特殊材料の資源量を評価。（戦略報告書、H12/5/17）	・核融合は優れた安全性がある。

2. 核融合エネルギーの技術的見通しはあるのか

I T E R計画懇談会における議論	原子力委員会等における議論	原子力委員会としての見解（案）
〈核融合の実用化に向けての推進方策〉 今後取り組むべき重要課題は、核融合反応により燃焼プラズマを制御する技術確立することであり、このため、国際協力により多額の経費を分担して行う「国際熱核融合実験炉（I T E R）」の建設が計画されている。	〈核融合の実用化に向けての推進方策〉 - 長期的視点に立ち、核融合エネルギーの実用化に向けて、我が国及び世界の英知を結集し、着実に研究開発を進めていくべきである。このため、I T E R計画の推進等において、今後とも積極的、かつ主体的に取り組むことが重要。（原子力委員会、H10/12/4） 「第三段階核融合研究開発基本計画」に基づき総合的に推進。 - 設置する目標の妥当性や目標達成に必要な科学技術的見通しを十分に評価してから次の段階に進む。これにより、長期にわたる大規模システムの開発をリスクを最小化しつつ着実に進めることが可能となる。（核融合会議、H12/5/17） - 第二段階では、臨界プラズマ条件領域（核融合出力が外部からの加熱入力に等しい）の確立を目標とし、JT-60により達成。（核融合会議、H12/5/17） - 現在は第三段階として、自己点火条件の達成、長時間燃焼の実現、炉工学技術の基礎形成を目標とし、実験炉であるI T E Rの建設が計画されている。（核融合会議、H12/5/17） - 本格的な核融合発電は、次の段階である核融合発電の実証を目標とする原型炉段階ではじめて実現。I T E Rにおいては、実用化される核融合発電炉の概念を構成する科学的知見や技術の大部分が発電炉に近い規模で実現されることから、大きなステップを超えることとなる。（核融合会議、H12/5/17） - 実用化段階においては、実用化に向けての経済性向上、信頼性向上等を通じて市場参入が図られることが期待される。（核融合会議、H12/5/17）	- 開発までに長期間を要する高度な科学技術。 - 基礎・基盤研究との均衡ある発展を図りつつ研究開発を効率的かつ着実に推進。 - 核融合の研究開発については段階的に進める。各段階において明確な目標を定め、技術的見通しを確認して進める。 「第三段階核融合研究開発基本計画」に基づき総合的かつ積極的に推進。 - I T E Rは、基本計画の目標に合致したトカマク型の実験炉。
	〈I T E Rはその目標を達成できるのか〉 - I T E Rの建設及び運転を通じて、燃焼するプラズマの制御技術が十分に実証されると確信している。 - これまでに得られているプラズマに関するデータベースをもとにI T E Rは設計値を設定しており、I T E Rの技術目標を十分な確度をもって達成することが可能であると判断される。（核融合会議、H12/5/17） - 大型超伝導コイル、大規模なプラズマを1億度まで熱する加熱装置等の試作開発が着実に進められ、所要の性能が確認されている。（核融合会議、H12/5/17）	技術的な側面においては、これまで核融合会議より報告されてきた検討結果から、設定された技術目標を満たし得るもの。
	〈I T E R計画により原型炉を見通せるのか〉 I T E Rの設計においては、プラズマのパラメータを様々にかえた運転が可能となるよう柔軟性を持たせてある。また、I T E Rの建設及び運転を通じてシステム統合化の経験が得られる。このため、I T E Rを利用した研究開発を行うことが、原型炉の設計、建設に利用されることとなる。（核融合会議、H12/5/17）	
	〈何が今後の技術的課題なのか〉 - 原型炉以降の段階においては、経済的で実用に供しうる核融合発電を目指す必要がある。このため、 - I T E Rを用いて研究を進めていくこと - 核融合炉の高度化、高性能化を図る研究を進めていくこと - 放射性的遮断、トリチウムの増殖及びエネルギーの熱変換という三つの機能を果たす発電用ブランケットの技術開発を行い、I T E Rにおいて試験を行うこと - I T E Rを利用して材料に関する試験を行うとともに、I T E Rのみでは原型炉に必要な中性子量が得られないことを踏まえ、材料に関する適切な研究開発を進めることが必要。（核融合会議、H12/5/17）	

3. 設置国となることの意義

I T E R計画懇談会における議論	原子力委員会等における議論	原子力委員会としての見解（案）
〈国際的役割〉 我が国の存在意義を高めるとともに、相互依存の関係を維持していくべき。	〈国際的役割〉 - 我が国はエネルギー資源に乏しく、核融合開発についてのニーズは、欧州やロシア以上に高く、I T E Rのようなプロジェクトについては、自らが先頭に立って推進するべき立場にある。（戦略報告書、H12/5/17） - 核融合炉に対する我が国の基準が世界の基準になり得ることを意味している。これは世界への貢献と同時に、我が国産業界による将来の核融合炉技術の輸出を利用なものとなし得る手段を手にすることを意味している。（戦略報告書、H12/5/17）	- 核融合研究に実績を有する我が国はリーダーシップを発揮し、国際社会に貢献できる。 - 資源に乏しい我が国はエネルギー開発の主要な役割を果たしていくべき。
〈科学技術的潜在力〉 我が国は十分な科学技術的潜在力を有し、科学技術力及び産業技術において我が国の科学技術的潜在力を長期間維持できる可能性がある。	〈科学技術的潜在力〉 - プラズマ・核融合関連の大学院生の人数は、これまで着実に増加してきている。その一方で、核融合界全体の研究者の伸びは、ここ数年わずかであり、鈍化傾向にある。これは、大学や企業における核融合研究者が核融合以外の分野に新たに研究を転換・発展させていることに起因していると思われる。（核融合会議、H12/5/17） - 核融合界への定着率が伸びていないものの、プラズマ・核融合の潜在的研究者の維持・確保は現時点においてはなされていると考えて良いであろう。（核融合会議、H12/5/17） - 日本がホスト国になる場合には、システム総合技術の修得や実験炉の建設・運転・保守・管理の経験を積む機会を、我が国の多くの研究者・技術者に与えられるメリットがある。（戦略報告書、H12/5/17） - 我が国がホスト国になれば、原型炉段階で使用できるインフラストラクチャーを国内に残すこととなるため、日本の段階的核融合開発の推進にとって、大きな資産になる。（戦略報告書、H12/5/17）	
〈日本社会の倫理性〉 - 未来の人類を思う公共的意識を社会的に顕出させるものとなりうる。 - 我が国が、主導することを諸外国から受容される条件が整っている。		
	〈地域振興効果〉 - 実験炉建設に関連して、社会的なインフラストラクチャーの整備や建設に伴って地元からの資材の調達、雇用機会の増大なども見込まれることになる。建設、運転、運転終了の各段階では、各極からの研究者・技術者、建設関係者ならびにその家族が長期間にわたり生活することになる。（戦略報告書、H12/5/17） - 国際協力プロジェクトの誘致により、世界の先端技術研究センターとしての地域のイメージアップにもつながるものと考えられる。（戦略報告書、H12/5/17）	

4. 設置国となる際の考慮事項はなにか

I T E R計画懇談会における議論	原子力委員会等における議論	原子力委員会としての見解（案）
（安全の確保） ・トリチウム輸送が必要。 ・放射化金属等の廃棄物の処理処分が必要。 ・安全規制体系の整備等	（安全の確保） ・放射性物質の取り扱いと環境影響。（戦略報告書、H12/5/17） →トリチウム →核融合反応に伴って発生する強力な中性子 →核融合構造材料の放射化 ・I T E Rの建設・運転・利用・運転終了の全期間にわたるサイト周辺地域への影響。（戦略報告書、H12/5/17） ・核融合炉から発生する放射性廃棄物の性状、量等を見積り。（戦略報告書、H12/5/17） ・R I ・研究所等廃棄物の安全規制の基本的考え方を検討中。（原子力安全委員会） ・I T E Rの安全確保の基本的考え方は妥当と判断される。安全設計及び評価は、I T E Rの安全上の特徴を定量的に示す上で妥当と評価される。（EDA 技術部会、平成13/3/29） ・「I T E R施設の安全確保の基本的考え方について」が取りまとめられている（科学技術庁、H12/7） ・我が国では他種に先がけて規制体制や許認可手続きを確立することになる。（戦略報告書、H12/5/17） ・核融合炉に対する我が国の基準が世界の基準になり得ることを意味している。（戦略報告書、H12/5/17）	
（財源確保） ・国の資源配分を考えた場合、広義の安全保障、国家の国際的機能は、プライオリティが高く、I T E R計画はこの範囲に入っている。 ・核融合研究開発では総合的・体系的研究の推進が必要。		・安全保障、国際協力の観点から、国として実施すべきものとしてプライオリティが高く、人類の未来への投資と見なすべき。 ・基礎・基盤研究との均衡ある発展を図る。
（費用対効果の向上） ・核融合エネルギーの実験炉I T E Rのコストは見積もられている。原型炉、実用炉のコストの定量的推定がなされており、他のエネルギー源と競争力を持ちうる範囲にあると見積もられている。 ・しかしながら、現在実現されていない科学技術が本質的に持つ不確定性として、そこに多くの技術開発の必要性があり、そのような推定を正確に行うことは困難。 ・仮に、化石燃料が尽き、核分裂エネルギーが使用できなくなったときや環境問題等により社会的必要性が高まった時に核融合エネルギーが使えるものであるとすれば、それはコストが高くても使わざるを得ないことになるであろう。 ・上述のように、核融合炉実現までに必要な費用の推定を正確に行うことは困難。それ以上に核融合炉実現によって得られる利益の大きさについてほとんど推定不可能。 ・核融合エネルギーに対して行う投資は、あたかも人類の将来の自由度を保障する保険料と見做すべき。 ・保険料として決して高価でないと認識することのできる内容を計画は持つべきであり、その時に限り、このような利益の予測が本質的に不可能である計画に肯定的な判断を与えることが許されるのだと考えた方がよい。 ・技術目標と開発リスクとコストのバランスをとつつ計画の費用の最小化することが不可欠の条件であるとともに、意義や利益を最大化するよう努力することが最重要な条件。	（費用対効果の向上） ・I T E R最終設計報告書のコスト見積り手法は妥当と判断。なお、この見積り手法を日本の実情に即して適用し評価すると、I T E Rの建設費総額は、I T E R共同中央チームによる見積りに比べ、1.0%程度ほど大きくなるという試算もある。（EDA 技術部会、平成13/3/29） ・核融合炉の予想発電単価、発電単価に影響を及ぼす主な要因等を分析。（戦略報告書、H12/5/17） ・諸規制と許認可手続きの確立及び建設コストへの影響（戦略報告書、H12/5/17）。 →実験炉建設にかかわる許認可は、ホスト国の法令に従うことになると考えられるため、耐震設計などの面で他種に建設されたことに比較して建設費の増大につながる。 ・I T E Rの建設について、我が国として具体的な判断ができるよう、要件の明確化等について三機関で積極的に協議するなど、必要な環境整備に向けた努力を傾注することが不可欠。（原子力委員会、H10/12/4）	・他種の状況の把握に努めるとともに、I T E R計画が我が国の利益を最大化するものとなるよう他種と協議を行うことが必要。 ・I T E R計画の意義、進捗状況について、節目ごとに評価。
（国民の理解） ・安全性を含めた正確な情報の提供を十分行う等国民の理解を得るための不断の努力が必要。	（国民の理解） ・住民安全に関する理解。（戦略報告書、H12/5/17） →I T E Rの運転終了までの全工程を通しての具体的な安全確保策等についての説明を行い、理解を求めておくことが必要。運転開始後は、安全運転を確保するとともに、情報を迅速・正確に発表し、地元住民の安心感を培うことが必要である。 ・研究開発プロジェクトとしての特殊性。（戦略報告書、H12/5/17） →世界で初めて作られる大型核融合装置であるため、常時決められた運転を行うプラントと異なる。安全上の懸念は無くても、予定外の故障等が生じる可能性があることや、運転内容の手順、計画の変更等があり得ることについて説明を行い、理解を求めておくことが重要である。	・評価結果を公表するとともに、安全面も含めた情報の提供を行うなど、十分な国民理解が得られるよう、透明性の高い継続的な努力を行うことが重要。
（人材確保） ・I T E R計画を牽引していく指導的な役割を果たす人材が必要。 ・計画は核融合エネルギーを専門とする科学技術者を中心としながらも、費用低減を使命とする経営管理の専門家も計画に参加して重要な役割を果たし、技術目標と開発リスクとコストのバランスがとれた計画として構成されることが必要である。 ・女性研究者、技術者の育成や幹部への積極的な登用を推進すべき。	（人材確保） ・I T E R計画は、長期にわたって優秀な人材を結集、育成することが必要。（核融合会議、H12/5/17） ・I T E Rの建設開始に必要な人材は確保されているものの、人材をいかに育成していくかが重要。今後JT-60やLHDなどの大型装置や大学等における中心規模の装置により先進的な研究を積極的に推進し、またブランクテスト試験を中心とした炉工学研究を推進することによって、各研究拠点から新しい人材の流れが確保できると期待され、I T E R完成後の研究にも主導的に貢献することができる。（核融合会議、H12/5/17）。 ・引き続き研究活動のさらなる発展と活性化を図ることによって人材の確保に努めることが重要。（核融合会議、H12/5/17） ・かねてより、大学、研究機関、産業界の連携協力の重要性が指摘されており、これに積極的に対応する動きが見られる。今後ともこの様な活動を着実なものとすることによって人材の育成を図ることが必要（核融合会議、H12/5/17）。	・産学官から広く人材を結集することは重要。 ・人材の育成は重要。
（サイト選定） ・誘致の適地の有無。	・国内で反対運動などが高まる等のため、I T E R計画の遂行に支障がでるようなことになれば、他種に対しても損害を与えることになる。特に我が国へ立地を考えたとき、国民の合意形成の問題は重要な項目である。（戦略報告書、H12/5/17）	・「サイト選定調査」を行い、我が国にサイトとなり得る場所があるかどうかを見極めることが必要。