

「核融合原型炉研究開発の推進に向けて（原案）」に係る

パブリックコメントの結果について

※本資料の構成：

本資料は、「Ⅰ. 提出された意見」と「Ⅱ. 意見の概要と文部科学省の考え方」から構成されており、Ⅰ. では提出された意見を原則として原文のまま報告書（案）の章ごとに示している。また、Ⅱ. では、Ⅰ. に示した意見の概要と意見に対する文部科学省の考え方を章ごとに示している。

I. 提出された意見

1. 本報告書の背景

P.1-2、1. 報告書の背景

「科学技術基本計画」「エネルギー基本計画」における核融合の位置づけにも触れられることが良いと思います。

(1) 本報告書が、ITER 計画等の進展を踏まえた「合同コアチーム報告書」を基本としつつ、ITER 計画の最新スケジュール等を考慮し取りまとめられた旨、記載されています。

では、どのような点について具体的に考慮されたのでしょうか。特に、最新の ITER 活動の状況では、10 年が経過した建設フェーズにもかかわらず設計が建設に足る水準には十分に至っていないことが、スケジュール遅れの根本原因になっているのではないかと、危惧されます。もしそうであるなら、いかにスケジュールという上辺を精緻に検討しても砂上の楼観のように思われます。しかし、案文では「3. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略」の章で、「ITER の経験を活かした上で、」との表現があるだけで、どの様に ITER 装置の設計・建設活動の実情を分析し、その知見を知識化されているのかがわかりません。ITER の設計・建設プロセスにおける課題がなぜ起こったか、十分な検証の上に本報告書が書かれているものと拝察しますが、10 年にわたる ITER 設計・建設の経験から何を学んでいるのかについて、章を設け記述すべきではないでしょうか。でなければ、この時期に原型炉の議論をすることの意味自体が減るように思われます。

本報告書の主題である原型炉は「技術的実証と経済的実現性を明らかにする」ことを目的とされているようですが、第3段階の経験を踏まえ原型炉建設をスムーズに進めるためにも、第3段階の主要装置である ITER の設計・建設上の技術的課題自体のみならず、それを生み出した根本原因(私は多分に人的な問題、即ち、研究段階で必要な人材と建設段階で必要な人材に関する分析を踏まえた体制構築問題があると思っています。)に遡って分析し、問題解決を図る方策をお示しになることが、この時期にまとめる本報告書を意味のあるものにすると思います。

報告書の背景について

平成4年の第三段階核融合研究開発基本計画と平成17年の推進方策を引用しているが、これらの議論は日本社会が拡大することが前提であった。2017年に総務省が示したように、日本は人口減少社会になっている。将来人口予測では、2025年に1億2254万人、2045年に1億642万人である。このような社会変化に核融合研究がどう対応し、社会に貢献するか、という視点が必要である。

人口減少はエネルギー消費の減少となる。再生可能エネルギーの潜在総量は年々増加しており、人口減少社会の中での核融合炉開発の意義を明確に提示し、核融合エネルギーの50年から100年程度先までのあるべき姿や想定される姿を提示すべきである。

2. エネルギー情勢と社会的要請の変化

P.2、下から12行目

「特徴」は「特長」の方が良いのではないですか？

P.3、上から10-16行目

2050年の目標達成に核融合は貢献できません。原案文は文脈論旨が間違っており、誤解を招きます。

(1) 核融合開発は、同じ「原子力」としてカテゴライズされることから、軽水炉の社会的問題について十分に配慮する必要があるでしょう。しかし、原理的・技術的に、核融合装置は軽水炉とは本質的に異なります。確かに「中性子や放射性物質を扱う点では同じ」ですが、(軽水炉事故の例ではありませんが) JCO 事故のように臨界状態が管理できず中性子が長時間放出されたり、軽水炉の使用済燃料のような最終処分問題はありませぬ。まして、東京電力福島第一原子力発電所事故のような事故は起こり得ませぬ。本報告書を起草されている核融合科学技術委員会のメンバーの多くの皆さんが核融合分野の専門家であらうので、致し方ない面もありますが、核融合技術体系が軽水炉技術体系と異なる点が、核融合技術の社会的なコミュニケーション上、重要な観点になることを踏まえ、「現在の原子力安全技術レベルに留まらない高い安全性を示し、国民の信頼を得られなければ・・

・」と認識すべきである。」との表現振りは再考を求めたいと思います。なお、このことは、核融合開発において安全性を軽視してよいと申し上げているのではなく、核融合技術に求められる安全は、現在の軽水炉技術を中心とした安全への考慮とは異なる考慮が必要なものであり、原案ではその考慮が欠けていること、そしてこの点が社会的なコミュニケーション上は非常に重要なポイントであることを申し上げるものです。ではないでしょうか。核融合は原子力。原子力と言えば軽水炉。軽水炉と言えば1F 事故。故に、核融合炉には軽水炉と同等以上の安全性を担保すべきとの論旨は短絡的に過ぎることからこれを改め、核融合の原理、その技術の実質を考慮した表現に修正すべきではないでしょうか。

(2) 更に、「国民の信頼」の獲得をいうのであれば、今後予想される開発コストにみあうベネフィットが核融合にあることを示すべきでしょう。2. の後段には、化石燃料との競合、再生可能エネルギー電源との競合について言及がありますが、「他の温室効果ガス排出削減技術と比べた経済合理性を重視しつつ」、「負荷追従性をも備えるような」研究展開が「期待される」では、弱いと思います。長い人類史の視点で見れば、化石燃料利用が可能なのは極めて短い期間であること、再生可能エネルギー電源のキャパシティのみならずセキュリティ上の限界を考えれば、大規模集中型電源と分散型電源とを適切にミックスすることができるナショナル・ローカルグリッドをスマートに構成することが必要で、その長期的な（と言っても、長い人類史の流れからは瞬間的な時間幅における）構成要素として、核融合エネルギーの地上における役回りがあると説明する必要があると思います。また、今後、人類が宇宙に飛び出していくとしたら、基幹電源は核融合になるのではないのでしょうか。このことも、今、世代を超えて核融合の技術開発を行う理由になると思います。

エネルギー情勢と社会的要請の変化について

原子力発電所の事故は大変厳しいものであるが、事実である。「原子力の安全」について事実が突きつけられている。それに関しては核融合コミュニティの中でも様々な意見がある。「再臨界がない」といった表現は不要である。「高レベル放射性廃棄物がないこと」が核融合の特徴の一つであり、もう一つの強調点は、「Be の調達検討課題であるが核融合において必須物質である Li と重水素は海水から賄うことができるであろう」ということである。

核融合エネルギーが火力発電を代替し、負荷追従性を備えることを目指すというのは、原型炉での種々の具体的検討の結果として言えることであり、原型炉の見通しすら明確でない現時点で、負荷追従性を備えることを目指すと断言することは時期尚早である。現時点での一般的な核融合コミュニティの理解の一つは、核融合エネルギーをベースロードとして、揚水発電所や水素製造所などとリンクして、負荷変動にも対応していくというコンセプトであろう。

原案では電力システムの安定性維持のために負荷追従性が高い電源を求めています。ここでは電気出力を変動できる電源＝熱出力を可変に出来る核融合炉を想定していると考えられます。しかし、温暖化ガス削減を目指す社会では同時に運輸におけるオイル消費も水素やバイオマス起源燃料に置き換え

ることも必要となってくると考えられます。したがって、核融合炉で一定熱出力あってもで（熱、あるいは電力として）水素製造やバイオマス改質のエネルギーとして分流や切り替えができるので核融合出力の変動をミッションとすると読める目標設定は限定しすぎではないかと考えます。

原型炉研究開発における負荷追従性について、現在の記述は適切であろうか。以下の点について、より詳述する等、再考の必要があるのではないだろうか。

3 ページ 1.5

核融合原型炉に負荷追従性が望めない以上、このような記述が果たして望ましいだろうか。

3 ページ 1.19

0-100%の負荷追従性を持つことが極めて難しい磁場閉じ込め核融合エネルギーが、如何にして(高効率石炭等を除く)火力発電を代替するのか。

2 ページ 1.8

核融合研究開発に関連した重大な社会環境の変化について、背景理解が浅く記述が甘いのではないか。国民の原子力を含めたエネルギーに対する受容性の大きな変化。（それに起因する高速増殖炉もんじゅの廃炉決定。）2008年をピークに我が国において電力需要が減り続ける現状。パリ合意。少なくとも、これらの社会的背景に触れること無く、原型炉研究開発戦略について論じることは出来ないのではないだろうか。（リーマンショックという和製英語の使用にも違和感を感じる。）

2 ページ 1.19

全ての原子力発電所は長期停止していない。

2 ページ 1.22

核融合がエネルギーを生み出すという記述には違和感を感じる。

3 ページ 1.9

約束でなく、約束草案。

3 ページ 1.12

もはや我が国を含む一部先進国においては、相関は見られない。

3. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略

P.3、下から 13-14 行目

ITER では「自己点火条件の達成」、すなわち無限大の利得は展望から排除していないものの目標ではありません。「核融合反応による 10 倍以上の利得の達成」などとすべきではないでしょうか。

P.4、上から 1-3 行目

一般に原型炉でも「研究」はなくなり、なされるべきであると考えますが、ここで述べられていることは何を言いたいのか全く不明です。安全性と経済性を対置するのではなく、一体として論じることの意味を検討し、整理されるべきと考えます。

P.4、上から 8 行目

「項目は」は「項目について」ではないでしょうか。また「検証」とは具体的にどのような行為を意味しているのか整理して記述されるべきと考えます。

(1) この章の記述は、まず、第三段階の主要装置である ITER 開発から何を学んだかについて明確に記述し、それをどのように咀嚼して第四段階につなげるか記述すべきであるところ、原案では「ITER の経験を活かした上で」と、極めて簡単に済ませています。すくなくとも、現在の ITER 開発には以下の課題があります。

- ①現在の IO-CT には建設段階に必要となるプラント設計と建設に長けた人材（技術者）が集められていないこと。
- ②特に、日本の人的貢献が叫ばれているにもかかわらず、現状に必要な産業界の適切な人材は派遣されていないこと。即ち、現状の産業界の人材リクルートは、産業界ないし当該派遣者にコストを負担させるだけで、身分上の保証、社会保険等、制度的な対応が十分にはできていません。国策に基づく社員派遣に伴う、親元企業の機会費用負担の問題もあります。

核融合開発は長期の、世代を超えた技術開発であり、派遣される人材については、

A: （核融合装置や重電機器開発経験者等）既に能力を獲得している熟練技術者（OB 含）

B: 社会活動を行っている中堅現役

C: 今後経験を積むであろう若い職員

に分けた戦略的対応が必要ですが、現状は、何ら戦略性のない個人的なつながり等によるリクルートが多いように見受けられます。特に、ITER の現状では、即戦力となる OB を厚遇をもってでも迎えるべきところ、IPA では OB は排除されています。よって、「ITER では、

・・・リードすべきである。」との表現がむなしく感じられます。

およそ 10 年前、フランス・エリゼー宮で ITER 協定が署名された当時、我が国は ITER の立地こそ逃したものの、「準立地国」として ITER 活動を最大限支援していました。また当時は、ITER 活動から最大限の知識・経験を獲得するとの気概が、我が国にはあったように思いますが、現状ではそのような気概は感じられず、JT-60SA さえ運転できれば十分との雰囲気が現場にあるように感じます。ここに至り、国際協力で ITER を完成させ、そこから将来につながる知識・経験を最大限獲得するという国益と、専ら JT60-SA 完成させることに注力するという卑近な矮小な那珂研益との乖離が心配されます。杞憂であれば幸いです。

(2) 「研究開発の加速と課題達成・・・多様性を持った総合的な取り組みを進める。」とありますが、原子力級プラント施設の商業化段階では、(改良要素はあるにしても) 技術的にプルーフンで、出来る限り単純な、量産可能な装置(「経済的合理性」につながる。)である必要があります。いわゆる「単品もの」の研究装置による学術研究と商業利用とは決定的にコンセプトが違います。そこを明確に認識した記述にしないと、実用化(商業利用)に至る道筋のみならず学術研究の性格自体が合理的なものにならない可能性すらあります。重電重工メーカーの経験を十分に組み込むことを意識した実用化に直結した実施体制構築が必要で、それを可能とする制度設計を行うべきことを記述していただければ幸いです。

(3) 原案では、設計経験の蓄積・継承に関する戦略的な記述が不十分です。我が国が軽水炉を外国メーカーからの技術導入で建設を始めた当時、我が国に設計経験の蓄積がなかったことから、設計図面記載のデータの背景・設計思想を十分理解することが難しく、また我が国の立地点にあわせた補正もままならないままに、外国メーカーの言いなりにならざるを得ず、たいへん苦勞したことは有名な話です。核融合開発においてはそのような軽水炉開発初期の苦い経験の轍を踏むことは許されません。特に現在進行形の ITER 開発においては、建設に足る設計書が十分完成していないとの噂情報に接することがありますが、実情はどうなのでしょう。もし ITER 建設活動が開始され約 10 年がたつ現在でも、建設に足る設計書が十分準備されていないようであれば、研究者ではなく、我が国の産業界において重電機器、核融合装置の設計、建設経験がある者(多くが産業界 OB であると思われる。)の知見を投入し、早急に設計熟度をトータルに高めるべきでしょう。そうすることのみ、ITER 建設を円滑なものとするだけでなく、ITER 建設を通じて得られる知見、経験を原型炉開発につなげることができると考えます。これこそ日本らしい国際貢献の姿だろうと思います。

4. 原型炉に求められる基本概念

4 原型炉に求められる基本概念において、ブランケットおよびダイバータの設計更新の必要性について。性能向上のための設計更新は非常に重要であると考え。また同時に、運転初期には安定性や稼働率を重視し、プラズマの安定性が確保されたあとで、耐照射性やコストを重視したブランケット、ダイバータを投入できるような確実で段階的な開発とすべきと考える。

(1) 第1パラグラフで「社会的受容性を高めることが極めて重要である。」としています。それ自体重要で、首肯するところですが、「設計要件」との関係がよくわかりません。社会的受容がコミュニケーションの促進といったソフトに係る内容を想定しているのかもしれませんが、それでは軽水炉が直面している困難さと同等の困難さに直面すると思います。核融合装置の技術的観点を踏まえ、設計面から社会的受容を促進するようなコンセプトをお示しいただけると良いのではないのでしょうか。

(2) 「定常かつ安定した」との原型炉の目標と「電源の負荷追従性をも備えるような」というコンセプト(2. エネルギー情勢と社会的要請の変化)との関係がよくわかりません。原型炉は実用一歩手前の段階ですから、核融合発電が社会に導入される段階の電力をめぐる状況、例えば再生可能エネルギー電源が大量に導入されている状況にどのようにアジャストしていくか、その観点を原型炉開発の基本概念にお示しになる必要があるように思います。

即ち、核融合原型炉開発に当たり、大規模集中電源と分散型電源との関係をどのように考えたのか。その上で、大規模集中電源としての核融合原型炉が果たすべき役割は何か整理したうえで、「定常/安定」と「負荷追従性」との関係を記述すべきです。

4 ページ下から 6 行目、この二十年の間に ALARA 考えの基本になっている低線量領域で線形仮説について多くの研究が出てきて ICRP の解釈も変遷しつつある中で、ここで明示的に防護目的に使われる ALARA と書く必要があるとは思えません。

5. 技術課題解決に向けた開発の進め方

P.5、5.1 と 5.2 で論じられている「開発計画」が何を意味しているのか、主体性と内容が不明です。ロードマップのことか、アクションプランのことか、特別チームの計画のことでしょうか。「開発計画」とは何かを明示的に定義し、固有名詞として用いられるようにすべきと考えます。

「産学官のオールジャパン体制」の構築についての言及があります。これは技術の社会実装を考えるなら当然のことであり、ITER 建設開始当時から言われていたことです。しかしながら、現実には、量研機構（那珂研（＝ナショナルセンター）、産業界、大学のそれぞれの特質を踏まえた連携体制は十分に構築されているとは言えません。ナショナルセンターが先端的な技術開発を含む「一品もの」の開発を行う場合、産業界の経験・知見を得るためには、委託開発で技術開発にともなう知見・ノウハウを移転するのみならず、必要なタイミングに産業界の核融合装置製造技術・経験のみならず重電機器製造技術・経験を利活用できる体制が必要です。この場合、複数企業が関係する場合には、守秘に関する取り決めや知財に関する取り決めが重要ですし、人材交流といっても、現役社員を国策のために長期間「徴用」というようなことは、それにとまなうコスト負担をナショナルセンターにおいて制度化しなければならないと思います。従前から原研機構（量研機構）への出向という形があったと思いますが、それでは対応できる人員に限りがあると想像します。給与のみならず、健康保険、退職金、年金といった当該派遣者のライフサイクルに関連する制度設計が必要ですし、派遣に伴う企業側のコストをどのように考えるかの整理も必要でしょう。

5.2. 産学官の研究開発体制において、産学官のオールジャパン体制を構築して研究開発を強化し、リソースを最大限に活用する必要がある、と記載されている。

原型炉設計に関しては、原型炉設計合同特別チームが司令塔になってオールジャパン体制を整備する方針が明確になっている。一方、炉心プラズマ研究に関する核融合科学研究所及び大学の役割については、ヘリカル方式・レーザー方式の推進は明記されているものの、ITER や JT-60SA などトカマク方式の炉心プラズマ研究への取り組みについては、積極的な参画も期待される、との記載となっており、原型炉設計に不可欠な炉心プラズマの研究をオールジャパン体制で実施できるのか懸念がある。トカマク方式を原型炉の炉型として核融合研究開発コミュニティ全体の共通目標として定めるのであれば、限られた人的・予算的リソースを活用するため、核融合科学研究所及び大学もトカマク方式の研究開発を担うべきと考えます。

5.2 産学官の研究開発体制

5 ページのこの節の第1パラが全体の理念を表し、第2パラが具体的な活動を規定していると見られます。第1パラでオールジャパン体制と宣言した割には第2パラで大学の自主・自律のもとに進める とあるので、調和が取れているとはみれないのではないのでしょうか。

オールジャパンをキープするのであれば、第2パラの大学の自主・自律を削除した方がわかり易いし、第2パラの自主・自律を残すのであれば第1パラでオールジャパン体制の代わりに協力体制くらいにしたほうが論理が一貫すると思います。

「トカマク方式を炉型として」と踏み込まれた表現をされている一方、本報告書で述べられている「オールジャパン体制」が社会に対して意味を持っているものなのか、報告書の中では説明がなされていません。連携や役割分担という言葉はありますが、これはかえって分断ありき、を想起させます。

今後の行方の流動性もあり、拙速に進められるべきではないでしょうが、緩やかではあれ、ある種の団結に向けた考えが示されると良いと思います。例えば、「新しい精度設計を含めた体制整備」に、「技術研究組合などを含めた」を加えるようなことはできないでしょうか？あるいはまた、JT-60SAの運用体制への言及はできないのでしょうか？

「産業界には、ITER・・・建設を通じ、核融合機器の製造技術の開発と蓄積が求められる。」とありますが、残念ながら現状では、産業界には受託業務の範囲内での知識・経験の蓄積がはかられるのみになっており、核融合装置全体のシステムに関する知見・経験の蓄積が体系的に図られるような構図になっていません。原案には、そうすることのインセンティブが産業界に生まれるような制度設計の記載がありません。つまり、ITER 計画への参画を通じて得られるべき経験を、産業界を巻き込んで原型炉開発にどのようにつなげていくか具体的な記載がなく、原型炉設計に関する記述として「概念設計の初期段階からの継続的参画が必要」と、あたかも ITER とは分離、独立した原型炉開発があるかのような記載になっているように思われます。

「核融合原型炉研究開発の推進に向けて（原案）」は、至極もったもなことが書かれていると思います。計画を管理/モニターし、計画通り進んでいない場合の原因を突き止め、原因が多々ある場合は優先順位を決めて、策を講じて進んで行って貰いたいと思います。大学との連携では、海外で成功している例を参考に、現行のプロジェクトへの貢献が、今よりも大学でも評価され推進される制度になることを願っています。

P.6、下から 12 行目

「炉設計体制」の主体と構成を明らかにすべきと考えます。

(1)「密接な連携のもと育成する。」とのスローガンは結構ですが、具体的方策の記載がありません。どのような人材がどのようなタイミングで必要で、それはどのような機会を通じて育成していくか。ITER 建設の場をどのように活かしていくか。そもそも、ITER 計画のどの場面に参画することでどのような人材を育成していくかというような戦略的な検討が必要で、詳細は今後の検討ということなのかもしれませんが、少なくとも、本報告書では、その基本的な考え方をお示しになるべきです。

(2) 開発段階からリスクコミュニケーションの重要性を認識することは重要ですが、まずは、どのような原型炉を、ITER 計画の経験等をどのように踏まえ、開発をしていくか。そのためにはどのような技術開発が必要で、何世代にもわたる人材育成をふくめ、産学官でどのように進めていくかについての検討が先ではないでしょうか。そうしない限り、新技術に伴うリスクの所在も不明であり、リスクの解決方策（それがリスクコミュニケーション上重要）も見つけられません。

人材の確保について

5.3 では人材の育成・確保について述べられており、この点の重要性については同意する。しかしながら実際には、核融合分野における人材の確保は非常に難しい状況にある。その理由は、(1)他の話題の研究分野（例えば iPS、コンピューターサイエンス）と比べたときの魅力が弱い、(2)核融合分野を研究しても直接関連する就職先企業がない、等にあるのではないかと思う。例えば、某国では核融合分野外の人しか応募できない核融合研究のポジション・奨学金が存在する。諸外国の取り組み（失敗例も含む）を参考にしながら、人材獲得に関する方策を検討されてはいかがだろうか。

核融合コミュニティの中心地「六ヶ所村」に一度訪れたことがあるが、筑波などの他の研究学園都市と比べると地理的に大変不便であり、社会インフラ（学校、公共交通機関、etc.）も十分に整備されていない。幅広い分野からの人材の確保に向け、関わる人にとって魅力的な場所となるよう、生活環境・職場環境を早急に改善する必要があるのではないかと思う。

核融合原型炉研究開発の推進に向けてまとめられた内容は、現状分析、開発の進め方などよく検討されていて、人材育成に関しても、原型炉研究開発に必要な人材を産学官の緊密な連携のもと育成していくことは大変重要だと思います。

原型炉開発に必要な人材育成の入口は、大学院での教育と研究であり、この部分が質の高い人材育成の基礎となります。ITER 計画・BA 活動と大学の先進的な学術研究のベクトルが必ずしも同じではない現状において、これらを有機的に連携させるためには、何らかの施策が必要であると思います。例えば、ITER・BA 活動の予算の一部を、原型炉研究開発に必要な人材育成のための取り組みに割り当てるなどは有効であると思います。

核融合原型炉研究開発では若手人材の確保・育成は極めて重要であるが、現状は危機的状況にあることは共通認識である。これまでは、若手人材の確保・育成の重要性のみがいわれてきたが、具体策が出てこない。例えば、ITER や Broder Approach のための事業予算の内一定割合を確保し（数%でもよい。）、助教クラスの人材を少なくとも5年程度安定に雇用できる人件費を大学に交付することも考えてはどうか。これには、文科省の局・課の枠を超える意識の共有、共通政策の立案、実行が求められる。しかし、強い意志に基づく工夫があれば不可能ではないだろう。

人材育成に関して

日本には多くの学術団体があり、どの団体も将来の会員減少を危惧して会員の勧誘を強化している。核融合分野においても、大学での核融合研究、核融合関連教育の強化が必要である。しかし、大学での核融合に関連する講座は減少しており、学内で核融合研究への参加を声高に話せない雰囲気もあると聞く。科学研究費補助金の分野項目から「核融合学」は姿を消し、小区分に「核融合学関連」とされたことも残念である。ITER 計画が大幅に遅れ、確かな見通しが示されない状況に対して、大学が核融合研究に一定の距離を置こうとするのは理解できる。ITER 計画の補強、増強を一層進めるか、そ

の逆に、ITER との距離を明確にとり、ITER が極端に遅れても原型炉開発に向けた核融合研究を着実に進めるというシナリオが必要である。そのシナリオを提示することによって、大学が核融合研究に参加する意義も新たに見出せるようになると期待され、核融合分野での人材育成が強化されることにつながるものと考えられる。人口減少社会の中で、ITER 計画を引きずりながら、新たな超巨大プロジェクトを企画するためには、明確な「人類の夢」を提起し、その魅力を持って若い人たちを引き付けるという観点が必要である。

具体的提案として、QST に設置されている特別チームを完全に独立した核融合原型炉開発研究所のように独立させることを挙げる。その研究所の事業の一つとして人材育成を位置付けるような構想が必要である。

この案では、核融合原型炉を日本に作ると明確に記されていない。しかし、記載内容から、日本国内に原型炉を建設することを目標としていると推察する。

Action Plan に示されているように、原型炉を設計するためには、一定の期間内に極めて多くの研究成果が得られなければならない。現状、国際協力なしに原型炉を設計することができるとは考えられない。研究資源の観点から、それらの多くの研究を日本一国ですべて実施できる状況にはなく、それらの分担を世界各国に求める活動が必要である。それは遅れている ITER 計画の枠に捕らわれない。研究を国際的にリードできる人材育成が必要であり、国際協力による研究分担計画を進める必要がある。

(1) 核融合装置が一国では保有できない広範な技術のすそ野を要し、また一国では賸りきれない資金を含む資源投入が必要な限り、この分野の国際協力は不可欠です。しかし、従来の国際協力が陥りがちであった、「仲良くしましょう」レベルの協力では意味がなく、多額の税金投入により、何を当該国際協力から引き出すかについての、戦略的な検討が不可欠です。それには、国際貢献などというきれいごとでは済まない部分があります。例えば、現在進行中の ITER 計画からは、

- ①日本としてどのような技術を修得するか。その習得に向け、どのような人材を派遣しているか。
 - ②人材育成という観点からは、どのような人材をどのような IO-CT のどの部署に、いつ送り込むか。
 - ③ITER への貢献という観点からは、いま ITER で必要としていると思われる設計の完成に向け、どのような人材を派遣することが必要か。それには国内の核融合装置建設に参画した技術者等（経験者 OB も含む）の活用が必要であるが、その体制をどう構築するか。
- 等々の課題が抽出出来ると思いますが、本報告書の検討においては、どのような議論が行われたのでしょうか。ITER は現在進行中のプロジェクトですので、「待ったなし」の検討が必要で、その成果を本報告書に反映させるべきではないでしょうか。

(2) 「我が国は ITER 計画・BA 活動をリードすべきである。」とありますが、是非、世界から尊敬される形でリードしていただきたいと思いま

す。日本人職員が減少の一途をたどっている IO-CT の現状を考えると、日本が単にお金を出すだけの立場になりかねないと危惧いたします。いま一番重要なのは、日本が ITER の設計を完成させるべくしかるべき経験を有する産業界の OB を含む人材を投入することではないでしょうか。JADA はそのための体制を構築すべきです。こうした観点を本報告書の中に記述頂けると良いかと思えます。

P.7、5.5

安全について一節を設けられていることは大変良いことと感じます。さらに「原子力規制委員会」とのコミュニケーションの開始まで踏み込むことは難しいでしょうか？

7頁 5. 5章 原型炉の安全基準の策定

原型炉の試運転時にトラブルが発生して国民がニュースを見た際、不具合や事故の深刻度が正しく判断出来るよう（風評に惑わされないように）試運転時、運転時に予想される「トラブル事例集」を作成することを追記してはどうか。場所は末尾の「総合的な核融合安全性研究を推進すべきである。」の後が良いと思われる。

イメージ例（他プラントの例）

高速炉：<https://www.jaea.go.jp/04/turuga/cases/>

再処理：http://www.jnfl.co.jp/cycle-recycle/re_siken-tandt/

一介の大学四年生(男子、23歳)のこの分野での素人が、僭越ながら以下に意見を述べさせていただきます。

日本という立地の面で有利あるいは不利となる点を把握し、その上で新たなエネルギー開発の一環として核融合を推進させる旨を明記することはできないでしょうか。

日本は環太平洋の新期造山帯に位置し、またプレートの狭間にある列島であるため、火山活動や地震、津波などの様々な自然の力に対応する必要があると思います。このような他国にはない独自の要素を引き合いに出さずして策定してしまう際には、他国のそれとの比較などでどうしても安全基準等で見落としなどが生じてしまうものと思います。福島原発群の事故原因としても、おそらくこういった些細な油断も一因であるのではないのでしょうか。以上の要素を既に踏まえておられましたら申し訳ありません。一意見として流していただければと思います。よろしくお願い致します。

6. 原型炉段階への移行に向けた考え方

本報告書は社会からの「核融合はいつ実現するのですか？」という問いに答えるものになると考えます。端的には中間チェックアンドレビューと移行判断の時期と構成を現況に沿って見直されたことが挙げられます。一方、これは計画であって、実施状況を見える化したものとは言えません。文部科学省・核融合科学技術委員会においては、この計画に沿った実施を常にモニタリングすることが計画と並んで必要と考えます。審議会は諮問に対して答申するものではありませんが、このような reactive（反応）な働きだけでなく、proactive（率先）な働きを兼ね備えることを望みます。審議会の枠組みで難しいならば、密につながる手立てをご検討いただきたく存じます。

本報告書は基本的に中長期を見据えたグランドプランではありますが、直近の2020年頃の第1回中間チェックアンドレビューまで2-3年しかありません。このチェックアンドレビューを意味あるものとするためには、喫緊の課題を報告書で（別添であれ）あげ、委員会で特にモニターすべきと思います。特に炉設計と開発のかい離の解決していけるよう特別チームがしかるべくプロジェクト化され、R&Dを差配できるようにすべきであると考えます。また、JT-60SA、A-FNS、ブランケット、ダイバータについても言及すべきと思います。

チェックアンドレビューと見直し

ITER 理事会報告では、ITER の First Plasma は最も早くて2025年とされた。「最も早くて」という条件付きである。この方策では、2025年から数年以内に第2回目の Check&Review を実施するとしているが、現在の ITER 設計状況をより調査してその遅れを検討すべきである。2025年から2030年位の間に First Plasma 点火というのは、現在の所、大変困難な状況ではないか。

「国民の信頼」を得るためには透明性、情報の開示が不可欠である。短期間の間に方策を見直すと不信感を助長する。現時点で、MA 報告や独立レビューの結果を調査し、ITER 計画の状況を精査すべきである。

原案ではトカマク方式を当面の目標として開発を進めることは良いとしても（3ページ下から8行目）、相補的・代替的に進めるヘリカル方式・レーザー方式（4ページ上から12-13行）についてどうするのか全く触れられていない。原型炉移行判断のときに炉型まで含めて判断するのか、或いは既に原型炉はトカマクと判断してしまっているのか読めない。

もし、前者であるならば移行段階で炉型も含めて判断するか、中間チェックアンドレビュー段階でこれらの方式についてもしかるべくレビューするか書くべきであるし、もし後者であるならどこで科学技術的な評価をしたのか示すことが必要と考えます。

進学を希望していた大学に核融合の研究施設があることを、研究室のことまで調べて初めて知った。また、その施設の近隣に在住する知人に確認したところ、知らなかったようである。

古くからあるためそこに存在することが当たり前になっているのかもしれないが、周知することで災害時などの住民の対応は変わるのではないか。そしてその伝達を徹底していなければ今後問題が発生した場合核融合の研究は遅れさせられるのではないか。新設する施設はもちろんのこと、現存するものについても人々に関心に向けさせる必要があると感じた。

私は今大学生であり来春から大学院にて核融合に携わる立場にあるが、その事を周りの一般の方々に話すと大きな誤解を招く場合が多い。

まず核融合と聞いて瞬時に概要がわかる人はほとんど居ないのが現状であり、それはアルバイト先のパートのおばちゃん達や自分の家族など一般の市民だけでなく、私の周りの理工系の学生に対しても当てはまる。

「核」と一言聞いただけで「原子力」「危険」「北朝鮮」というワードが浮かび、否定的なイメージを持たれる事がほとんどであり、核融合の安全性やエネルギー源としての利点などは残念ながらほとんど認知されていないようだ。

私は興味本位でエネルギー問題や環境問題に関する話を周りの方々に振ることがあるが、多くは「ハイブリット車が良い」「太陽光発電が良い」という短絡的とも言える意見であり、またこれらの技術を身近に感じている人は多いと言える。核融合の認知度を高めるためには「ハイブリット」「太陽光」を上回るようなプラスイメージを積極的に打ち出していく必要があると感じる。

私自身も、資源を持たない我が国にとってエネルギーを生み出す技術革新こそが資源であると考えており、この考え方は国民に広く世論として浸透すべきであろうと考えている。

エネルギーの確保は安全保障上きわめて重要な課題である。自然エネルギーの普及も重要であるが、安定した電源を確保するためには、核融合のような大きなエネルギーを生み出す技術の開発が不可欠である。ただし、核融合を実現するためには、技術的な課題の解決だけでなく、国民の理解を得ることが必要であり、国が主導的にエネルギー源としての核融合の必要性を広報していくべきである。

アウトリーチも核融合にとって大変重要な活動であると考えます。
固有の安全性や、高いエネルギー密度だけでなく、ゼロエミッション実現のためには再生エネルギーでは不十分であることを示すことも必要と思う。
他のエネルギー源との比較を明確にすることも、核融合の認知や優位性を示すのに有効であると思う。

ITER 計画進捗の現実や関連分野の状況を受けて、H17年に原子力委員会が策定した推進方策を改訂することは意義深いと考えられる。その中で、社会との情報共有と対話のためのアウトリーチの重要性を指摘し、これを統括して活動するヘッドクォータの設立を提言していることは画期的と言える。ヘッドクォータに対しては、関係機関の協力を得つつも、独自の活動を企画・推進できるように、適切な組織と必要な予算を、国において確保頂きたいと考える。

その他（全体に対する意見等）

文科省 核融合研究作業部会に於いて、日本原子力産業会議からの報告「産業界における核融合をめぐる現状」がありました。（平成18年6月21日）
そこには、ITER 建設へ向けての要望として
＞派遣人材によるシステム統合技術の獲得
＞製作担当しない一部の主要機器の製作技術維持の対策
＞派遣人材の原型炉設計への有効活用
等があげられていました。
ITER 現地建設が本格化している状況を踏まえて、これらの事項が、どの程度、対策され、実現できているのかを総括した上で、原型炉に向かうための方策が、今回の報告書に展開されていると期待しておりましたが、残念ながら、その議論は、不十分であったように思われます。
ITER や JT-60SA の成功が、大前提となっていると思いますが、そのための施策、対策として、現状が充分であるのか？ の検証をしないまま、ITER や JT-60SA の成功後の事項に重心が置かれて議論されているように窺えました。

報告書（案）には大きな欠陥がありますので指摘しておきます。原型炉のミッションを一言で言えば、「核融合燃焼による自己プラズマ維持システムの実現」であります。これは、核融合発電炉には必須ですが、未だ達成できない科学技術であり、原型炉で達成すべき大目標です。本報告書にはこれをしっかりと明記すべきが書いておりませんし、匂いすらありません。

このミッションを理解すると、原型炉において重要な項目が自ずと論理的に記述できますし、ロードマップの策定も容易です。例えば、このミッションのためには、「定常」と「高温（15keV）」の両立が必須です。しかし、これすら未達成ですし、達成の見込みは立っておりません。例えば、トカマクにおいて、15keVもの高温を得るには内部輸送障壁（ITB）生成が必須です。これは高ブートストラップ電流を誘起しますので定常維持には有利ですが、現在のトカマク実験では障壁での圧力勾配が非常に大きいため、圧力駆動 MHD 不安定性を励起し、ディスラプションのリスクが高くなります。これを研究するのが JT-60SA のミッションですが、現在のトカマク（JET）と類似のために、失敗する可能性は十分高いのです。

ITB の定常維持において理論的に優れた球状トカマク（ST）研究を全くせずに、原型炉のロードマップを策定することは不可能です。責任ある政府委員会ならば、定常+15keV を実現した上で原型炉開発を提案すべきです。原型炉のミッションすら理解していないのでは、メンバーを入れ替えの上、議論のやり直しをすべきではないでしょうか？

本文書の、特に「2. エネルギー情勢と社会的要請の変化」にかかれた分析は概ね正確ですが、あとに続く記述や、アクションプランは必ずしもそれに対応していません。

核融合は、2040年に（パリ協定に従えば）人類がカーボンバジェットを使い切り、少なくとも先進国では電力市場の分配が終わってから市場に参入します。2050年ではおそらく遅すぎ、市場参入を目指すのであればエネルギー実証を一日も早くする必要があります。その時、COEは経済性の適切な指標にはなりません。電力システムは大規模グリッドにより発電所から消費者に一方に流れるわけではなく、末端消費者が発電や蓄電により自由に売買する時代に入っていて、「発電すれば売れる」という時代はすでに終わっていると認識する必要があります。自由化された電力は米国やドイツの例を見れば天気の良い昼間を中心に市場価値がゼロ円以下になることがあり、ほとんどすべての電源は限界費用がゼロ近くになり、二酸化炭素は排出しなくなります。核融合は、容量市場、熱・燃料市場、二酸化炭素削減市場の3つの場での価値を持たなければ参入できませんし、これは現在の技術でも、核融合の目標設定を「エネルギー情勢と社会的要請の変化」に十分対応しようとすれば可能です。筆者は「バイオマス核融合ハイブリッド」コンセプトにより、ITERレベルのパルス炉で燃料製造をすることで早期実現、市場参入をグリッドパリティをもって可能とできることを指摘しています。燃料供給は実質的に核融合エネルギーの増倍効果を持ち、発電を燃料電池やPHVで消費者が行える時代に、大型発電プラントは必ずしも適切な目標ではありません。

福島以降の安全性、環境・社会適合性はPSA等による従来型の解析では不十分であることを示しています。核融合は通常時放出で検出可能なトリチウムを放出し、また事故時は容易に環境に拡散します。前提なしで施設が全壊した場合でも受け入れ可能なシステムと、風評被害を発生しない環境トリチウム制御、早期からの社会との対話は、新たな核融合システムに固有の安全ロジックとして開発対象になりうるものです。

いくつかのアクションプラン課題は、組織も研究者も対応できる状況にない恐れがあります。産学（+学生）がチームで取り組む公募制プロジェクトは、現在のJSTによるプロジェクト研究と同様、有効に機能できると思います。

長期を要する人材育成、産業界における核融合技術の定着は、やはり産学連携により対応可能と考えます。大学の特任教員システムと専任教員のクロスアポイントメントを有効利用することで、ITERやSAを利用した人材育成と確保は可能と考えます。最大の問題の一つはニュークリア技術を学び研究する施設が存在しないことであり、これは特段の対応が必要です。アウトリーチヘッドクォータは、やはり体制的に弱い部分ですが、核融合に理解を求めるといふ姿勢ではまだ不足です。核融合こそが、現在の社会認識が不足しているのであり、謙虚にエネルギー環境問題を考え、先入観を捨てて核融合の実用化像を社会に寄り添って考えることで、新たな目標が見えてくると考えます。

原型炉に向けた取り組みは、政策が政府から示された今、研究者サイドがどのようにそれを受けて有効な具体策を立てられるかにかかっていると思います。

一研究者として、可能な限り貢献したいと考えております。

将来のエネルギー問題解決のために、核融合原型炉研究開発の推進は必須であると考えます。他の発電技術では、日本、そして全世界的な将来的の電力需要を賄うには、問題が大きい。現在主力の火力発電は地球温暖化が問題であり、原子力発電では福島事故の原因究明がまだなされていない。また、太陽光発電などの再生エネルギーは利点が多いものの、これだけでは、到底、将来的な需要を賄いきれない。この問題を解決するには、核融合発電が最も有力である。特に、現行の原子力発電において最も処分が問題となっている高レベル放射性核燃料廃棄物に対応するものが、原理的に存在しない点が多い。したがって、核融合炉研究開発は、強力で推進していく必要があると考える。

現在、国際協力によって、ITERが推進され、核融合エネルギーの原理実証がなされようとしている。このプロジェクト自体は、核融合発電を進める上で、非常に重要なマイルストーンである。しかし、ITERはトカマク型であり、プラズマ中に大電流を流さなければならない。このため、定常運転の手法はまだ確立されているとは言えない。これに対し、核融合科学研究所において研究が進められているヘリカル型では、プラズマ中に電流を駆動する必要がない。したがって、原理的に定常運転が可能であり、閉じ込められたプラズマの安定性も、トカマク型よりも優れている。ヘリカル型は、トカマク型に比べて後発の感があるが、実際の発電炉を検討する際には、非常に有力な候補である。したがって、原型炉段階においては、トカマク型だけでなく、ヘリカル型の装置も同時に強力で推進していくことを強く要望する。

「核融合原型炉研究開発」には、合同コアチーム報告書でも指摘があるように、装置設計に使える信頼できる計算機シミュレーションの構築が必須である。計算機シミュレーションの構築には、長期にわたるシミュレーションコードの開発を支える人員のみならず、そのシミュレーション規模に見合った計算機環境の増強が必要となる。例えば、ダイバータ板での熱負荷予測に重要となるプラズマエッジの計算機シミュレーションの最も進んだ取り組みである、米国において長期にわたり開発が進められている「第1原理に基づく運動論的シミュレーションコードXGC」は、その実行にオークリッジ国立研究所のスーパーコンピュータTitanなどが使われている。我が国における原型炉研究開発の推進に向けた措置として、計算機環境の増強と計算

機シミュレーション構築に専従する常勤の人員確保を行ってほしい。

(1) 「核融合エネルギーはこれまでのベースロード電源としての位置付けだけでなく、電源の負荷追従性をも備えるような、柔軟で付加価値の高い電源を目指した研究を展開する」ことに賛成です。例えば、ELMの制御が電源の負荷追従に貢献できればと思います。

(2) 「相補的・代替的なヘリカル方式・レーザー方式、更には革新的概念の研究を並行してバランス良く行う」ことに賛成です。例えば、球状トカマク、負三角度トカマクの研究が進展すればと思います。

(3) 「原型炉の運転開発期には、長時間・長期間運転に向けた熱・粒子制御と、ディスラプション回避などのプラズマ制御を実現する」ことに賛成です。特に、粒子補給、ヘリウム灰排気の制御が実現すればと思います。

(4) 「ITERで経験を積んだ後、得た知見を持ち帰って原型炉開発に反映させるため、人材の流動性を確保する」ことに賛成です。ITERに限らず、核融合分野で経験を積んだ後、定年退職した人材の有効活用できる制度ができればと思います。EUではTokamak Energyという組織があります。日本に合った日本独自の制度ができればと思います。

(5) 「核融合分野内での人材育成に加え、他分野からの参画を促し、人材を確保する」ことに賛成です。手前味噌かもしれませんが、核融合分野で経験を積んだ後、定年退職した人材の有効活用できる制度ができればと思います。

エネルギー政策は資源の乏しい我が国にとって大変重要なものである。

核融合に成功すれば我が国のエネルギー政策の上で重要な価値を持つことは間違いない。

原案にもあるようにオールジャパンで実用化を目指して欲しい。

ただし、核融合は我が国のみならず他国にとっても重要な技術であることから多くの産業スパイが狙っているものと推察する。

外部・内部を問わず産業スパイへの対策は重要であり、急務を要する。

一見日本人のようであっても外国籍を有していたり、外国に情報を漏らしたりする者がいることがあるので厳重な注意が必要である。

加えて、産業スパイに対して厳罰化が必要であろう。

我が国の発展を期待する。

「核融合」という名称について

核融合炉では、軽水炉発電と比較した安全性（再臨界が起きない、低ハザードポテンシャル）を一つの特徴に挙げており、その魅力と安全性をアウトリーチ活動によって広く長期的に発信することを目標としている。しかしながら、「核融合」という名称そのものが今後の周知活動の障壁になるのではないかと危惧している。一般的に（被爆国日本では特に）、「核」という言葉から軍事力・破壊兵器としての核を連想する人が多く、そのイメージを払

拭するには相当の労力とコストが必要になるのではないかと思います。

科学的な正確性を追求した結果、現在の名称「核融合」になったのだと推察するが、原理に拘らず直感的な名称の方が社会に受け入れられやすい場合もある。例えば、太陽光発電では原理名を冠した「光電効果発電」ではなかったことが、広く社会に受け入れられる要因になったのではないかと思います。ITER のホームページを観ると、大部分の説明では fusion と呼んでおり、科学的に厳密な説明においてのみ fusion は水素同位体の核反応であると記載している。

名称の変更は容易いことではないと思うが、長期的な視点で見れば、アウトリーチ活動における大幅なコスト低減やイメージ向上に繋がると期待できる。名称の変更を検討されてはいかがだろうか？

トリチウム増殖に関する箇所についてですが、東京電力、福島での原発事故の廃炉過程で、トリチウムを得られると思うのですが、この次世代電源開発に活用する事は困難でしょうか。

採取技術開発面でも海水から採取すべきなのはわかりますが、廃炉過程での海へのトリチウムを含む廃水の放流への警戒を示す方々もいらっしゃるでしょうから、将来的に活用できるのであれば、たとえ一部でも保管し、研究開発過程で活用して頂きたいです。

福島での事故が、莫大な時間やコストを、消費するだけのマイナスな、ネガティブな面だけでなく、将来の夢のエネルギーを開発する際に利用され、成果を得られるようなプラス、ポジティブな目的で活用されて欲しいと考えます。

私はあくまで専門家では無いので、廃炉過程でのトリチウム採取、開発が可能かどうか、確証はありません。

「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」の策定に関する意見募集を募集しているとのことですので、技術のことなどわからない、核融合も核分裂も一緒くたにする素人ですが、意見をさせていただきます。

一応私は原発も推進すべきだと思っていますし、核融合の研究も推進すべきだと思っていますが、現状核融合の研究はあまりにもお金をかけすぎていると思います。何もかも特別注文と言うことで、関連部品メーカーの言いなりにお金をつぎ込んでいるのではと疑問を感じています。おそらく今の核融合の研究開発の基本的な部分は30年から50年も前に骨格ができていたと思いますが、30年から50年もすると技術は進化して大幅なコストダウンができていないかと推測できますが、むしろ金額は増えているのではと思います。もう少しコンパクトな設計にして、早く決断をする体制にすべきかと思っています。

あとどうしても決断が遅くなる原因として、反原発派の人たちのイチャモンの問題もあるかと思えます。そこで彼らの反対を少しでも抑えるためにも、核廃棄物の処理方針を早く確定すべきかと思えます。ただし現状の10万年地下に埋めると言う方針だと反対派の人たちを納得させることは難しいと思えますので、まずは核種変換の研究および核廃棄物の宇宙空間への投棄を100年以内に実用化させる研究始めると明言すべきです。そして現状の核廃棄物は、当面反対派が近づけない北硫黄島みたいな絶海の孤島に保管すると明言すべきかと思えます。

核融合炉要素技術を全て統合した小規模システムを構築し、エネルギー回収を行う。その成果をもって、核融合エネルギーの社会へのアピールを行い、原型炉へ移行する方策を提言する。

ITERに至るまでの核融合研究は、炉心プラズマ物理研究と燃焼プラズマの実現が主であったが、ポスト ITER 時代は、エネルギー製造を主とした核融合開発に移行することが求められる。我が国の核融合研究水準は、世界的にみて、指導的立場にあるものの、核融合エネルギーを発生するために必須となる DT プラズマを国内で達成していない。したがって、それに伴う核融合炉を見据えたトリチウム工学及び核融合中性子工学も要素技術に留まってしまい、核融合炉燃料である DT プラズマを対象としたものとなり得ていない。これからは、核融合エネルギー創生に対する意志が求められる。

核融合炉に必要なコンポーネント：DT プラズマ、ブランケット、ブリーディングシステム、エネルギー回収システムを統合した小型システム(エネルギー増倍率 Q は問わない、1未満で可)を立ち上げ、エネルギー創生を実証することで、エネルギー創生装置としての核融合炉の全体像を社会に示すことができる。エネルギー回収に対するシステム運用と安全性を見極めつつ、統合システムの規模を拡大し Q を向上していくことが、原型炉につながり、ひいては、エネルギー創生装置としての安全性と経済性を見極めていくことにつながると考える。

原型炉ダイバータは、極めてチャレンジングで高リスクな課題である。というのは JT-60 や JET などの現行装置に比べ、原型炉は約2倍以上の定常熱負荷、一桁以上の非定常熱負荷を受けるからである。そこで二つの選択肢が考えられる。ひとつは ITER 方式の延長ないし改良を行うこと、もうひとつは斬新な方式を開発することである。ITER 方式を基盤にするのであれば、ディスラプション・ELM の完璧な対策を車の両輪のようにセットで開発すべきである。ディスラプション・ELM の熱負荷で現行装置ではタングステンが溶融しないが、原型炉では溶融し、再固化後表面に凹凸が発生し、割れやすくなるなど、後の運転が困難になる。そのため、神経回路網など学習が必要なディスラプション予測法や、多くの試行錯誤が必要な ELM 低減法は原型炉には適用できないことを特記すべきである。斬新な方式ではディスラプション・ELM に耐えるダイバータを開発の目標とすべきである。放射冷却は、高パワー領域で効率が低下する。そのため高パワーを伴う原型炉では、放射冷却に頼りすぎると、必要となる不純物量が過剰となり、炉心との整

<p>合性を確保することが困難になる。</p> <p>液体金属は、対流させることにより高パワーを除去でき、ディスラプション・ELMの後の回復が速いという可能性を持っているが、まだ開発の初期的段階にあり、流動の原理検証、腐食の対策、炉心との整合性など、これから取り組むべき課題が山積しており、とても数年のR&Dでは結論は出ない。当面最大の課題は、資金と人員の確保である。</p> <p>タングステンが炉心と整合するかどうかを示すためには、原型炉のパラメータ、たとえばグリーンワールド密度の1.2倍の炉心密度において、ディスラプションがほとんどの場合（2年に1度程度の例外を除いて）充分緩和される、アルゴン密度が炉心密度の0.5パーセント、高いセパトリックス密度、閉じ込め性能が比例則の1.3倍などを、実験データベースに基づいて示すことが必要であるが、そのようなデータはまだない。言い換えれば、炉心との整合性を示すには、相当の努力と工夫が必要である。このように、ITER路線にしても極めて高いリスクがあることを考慮すると、拙速に一案に絞ることは難しい。数年程度のR&Dでは結論は出ない。</p> <p>まとめると、ITERの既定路線の極めて高いリスク（材料の割れ、炉心との整合性、ディスラプション・ELMの影響）を鑑みると、現時点で候補をひとつに絞ることは難しい。既定路線に並行して、斬新な先進ダイバータ開発とディスラプション・ELM対策の開発を進めることが不可欠である。</p>
<p>エネルギー環境が移り変わる中、様々な発電方法を考えることはとても重要なことだと思います。核融合も、そのうちのひとつとなり得るでしょう。また、核融合原型炉の研究開発を進めることによって違う分野、例えば宇宙研究などにも繋がり得ると考えます。よって核融合原型炉の研究開発は慎重な検討の上推し進めていくべきものだと思います。</p>
<p>21世紀中葉までの核融合エネルギーの実用化に備え、数十万kWを超える定常かつ安定した電気出力という目標は設定されているが 具体的な計画 発電方式についての記述がない。</p> <p>ブランケットでの熱中性子の吸収 加熱した水による発電を想定しているのか 軽水炉同様 非効率な発電方式であり 経済性とあわせて技術的可能性を早急に評価し だめならば核融合開発は打ち切るべきである。</p>
<p>原型炉研究開発はプラズマを1カ月程度維持できるようになってから計画すべき。</p> <p>ITERの一般公開の説明会に出席した一般市民です。</p> <p>核融合の原型炉の研究開発に着手するにはITERやBA活動の成果が明らかになってから考えるべきだと思います。</p> <p>今の段階で計画だけ先に作っても、実際の技術が追い付かなければ、多大な税金を投じても絵に描いた餅になりかねないと危惧しています。</p>

その理由は以下の通り。

1. 自己点火条件のプラズマ継続時間が短すぎる。

I T E Rが計画通りうまく行ったとして、どのくらいの時間プラズマを維持できるのか質問したところ、「数百秒」とのことであった。原型炉と言うからには、ダイバータの開発を含めて少なくともプラズマが数週間から数カ月間維持できる技術的目途が立ってから進めるべきである。

2. 高温・高中性子に耐えられる炉材がまだ開発されていない。

たとえ、I T E Rが順調に稼働して数日オーダーで稼働したとしても今度は、それに耐えられるだけのブランケットやダイバータの素材の開発の目途が立っていない。

3. トリチウム増殖の目途もまだ立っていない。

連続運転するためには、トリチウム増殖も不可欠な技術と考えられるがまだトリチウム増殖の目途が立っているようにはとても思えない。

少なくとも、これらの問題がI T E RやJ T 6 0 - S A等のB A活動により技術的目途が立たないと次の発電段階である核融合原型炉研究開発の計画には着手できないと思われる。

無理に計画だけ作ると、「もんじゅ」のような結果になりかねない。

最近、I T E R計画に参加する研究員の人材が集まらないことが問題となっているらしいが、現行の技術水準とあまりにもかけ離れた計画を作ったことを、若い技術者たちは見抜いている結果ではないかと思う。

私は、核融合の研究は大いに進めるべきだと思うが、十分な基礎研究をB A活動を通じて積み上げていかないと、予算を付けたからと言って一朝一夕で原型炉ができてエネルギー増売率が1以上の発電ができる原型炉ができるものではないと考える。

推進する必要性はない。

日本としての核融合炉実現へ向けた方針について、その主体、手法、時期や乗り越えるべき課題についてよくまとまっており、日本の核融合研究の力の結集へつながる良い資料にまとまっていると感じた。

また、JAXA などと比べて非常に遅れている感のある核融合研究のアウトリーチ活動についてもその必要性を明記した点を特に評価したい。

安定的かつ持続的な我が国の独自のエネルギー確保には、核融合エネルギーの開発が不可欠である。その実現に向けた道筋が見えてきたことは非常に高く評価する。道筋が実際に実現できるよう、強力な支援を継続的に加速してほしい。

国として、核融合エネルギーの実用化を推進することに賛成します。

日本のためのみならず、世界のため、特にこれから生活レベルが上がっていく国々のため、核融合エネルギー実用化は必須と考えます。

核融合型原型炉による安定した電力供給等を日本において達成できるかどうかは、広島・長崎の原爆被害、福島における原子力発電所の事故という過去を考えると、その信頼性から厳しいものがあるかもしれない。日本において考えれば、技術面以外にも大きな課題が存在していると思う。ただ、核融合型原型炉の開発は国際協力のもと進められていくものであり、その技術において日本がリードしようと開発することはとても意味のあることだと思う。日本で厳しいからと研究を遅らせることは良くないと思う。

核融合は 22 世紀のエネルギー源として必要になると考えらる。我々は過去の遺産（化石燃料）を使いつくしており、我々が子孫に伝承できる数少ないエネルギー技術である。22 世紀に実用化される為には今基本的な技術を開発する必要があると考えられる。

Ⅱ. 意見の概要と文部科学省の考え方

1. 本報告書の背景

(意見の概要)

○第3段階の主要装置である ITER の設計・建設上の技術的課題自体のみならず、それを生み出した根本原因に遡って分析し、問題解決を図る方策を示すことが必要である。

○人口減少社会の中での核融合炉開発の意義を明確に提示し、核融合エネルギーの50年から100年程度先までのあるべき姿や想定される姿を提示すべきである。

(文部科学省の考え方)

ITER のコスト及びスケジュール見直しに関し、設計・建設上の技術的課題に加え、リスク管理、人事体制も含めた要因の分析を実施し、ITER 及び我が国としての対処をまとめております(平成29年1月25日核融合科学技術委員会(第9回)、http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gi_jyutu/gi_jyutu2/074/shiryo/_icsFiles/afielddfile/2017/02/13/1381549_008.pdf)。

平成28年1月に閣議決定された第5期科学技術基本計画では、エネルギーの安定的な確保のためには将来のエネルギー需要構造を見据えた最適なエネルギーミックスに向け、現行技術の高度化と先進技術の導入の推進を図りつつ、革新的技術の創出にも取り組むことが定められています。省エネルギー技術の研究開発と普及、再生可能エネルギー技術の高度化、化石燃料の高効率利用、原子力の利用に資する研究開発の推進と並び、核融合は将来に向けた重要な革新的技術として位置付けています。50年、100年先の電源構成や温室効果ガス排出削減の方策については、未だに不確実性があると言わざるを得ませんが、以上の多角的な方策にて、長期的な社会状況の変化に対し、柔軟に対応致します。

2. エネルギー情勢と社会的要請の変化

(意見の概要)

○(地球温暖化対策計画の温室効果ガス排出量80%削減という)2050年の目標達成に核融合は貢献できません。原案文は文脈論旨が間違っており、誤解を招きます。

○核融合炉には軽水炉と同等以上の安全性を担保すべきとの論旨は短絡的に過ぎるため、核融合の原理、その技術の実質を考慮した表現に修正すべき。

- 「国民の信頼」の獲得のため、今後予想される開発コストにみあうベネフィットが核融合にあることを示すべき。
- 現時点で、負荷追従性を備えることを目指すと断言することは時期尚早である。
- 核融合出力の変動をミッションとすると読める目標設定は限定しすぎではないか。

(文部科学省の考え方)

核融合エネルギーの実現は今世紀中葉を目標としているため、地球温暖化対策計画の目標設定には直接的には貢献できませんが、将来に亘って、温室効果ガスを大幅に削減しつつ経済発展を図らなければいけないという背景があります。核融合エネルギーはそのための革新技术として長期的に研究開発を行ってゆく意義があります。誤解を招かぬよう、

修正前：「核融合エネルギーの実現を経済発展と温室効果ガス排出の相関を変え得る革新技术として位置づけられるように」

修正後：「今世紀中葉に実現を目指す核融合エネルギーが、将来の経済発展と温室効果ガス排出の相関を変え得る革新技术として位置づけられるように」

と修文致します。

「5.5. 原型炉の安全基準の策定」に示した通り、原理的な安全性を有する一方、固有の安全技術が求められるなど、核融合炉の安全基準に関しては軽水炉とは異なる独自の安全基準が必要となると考えます。他方で、放射性物質であるトリチウムの使用や低レベルとは言え構造物が放射化することなどから、国民に選択され得るエネルギー源となるには高い安全性が求められます。従って、軽水炉の安全対策手法も取り入れつつ安全設計手法を構築し、福島第一原子力発電所の事故は他山の石として教訓を学ぶべきと考えます。

核融合エネルギーは、「資源量・供給安定性、安全性、環境適合性、核拡散抵抗性、放射性廃棄物の処理・処分等の観点で優れた可能性と社会受容性を有すると考えられており、恒久的な人類のエネルギー源として魅力的な候補（「今後の核融合研究開発の推進方策について」（平成17年、原子力委員会、核融合専門部会））であり、核融合原型炉開発の第一義的なベネフィットは、将来の基幹的エネルギー源となり、エネルギー安定供給や産業の振興、国民の生活水準の向上に寄与することです。様々なエネルギー開発が進められる中、国民に選択され得るエネルギーとなるには、第一義的な目的に留まらない、柔軟で付加価値の高い電源を目指すべきと考えます。例えば、化石エネルギーを代替してCO2削減に寄与するためには、火力発電が担う負荷追従性を備えることが求められ、今後多くの課題がありますが、負荷追従性を努力目標の一つとして掲げることは有意義であります。負荷追従性の方式については、水素製造やバイオマス改質などとの組み合わせの可能性も指摘されておりますので、それらについても以下のように用語集に追記致しました。

追記前：

[2-4] 負荷追従性

負荷追従性とは、時間や季節で変動する電力需要（発電側からは負荷）に応じて、電気出力を調整した運転ができること。

追記後：

[2-4] 負荷追従性

負荷追従性とは、時間や季節で変動する電力需要（発電側からは負荷）に応じて、電気出力を調整した運転ができること。核融合における負荷追従方式の研究例では、熱出力そのものの変更によるもの（K. Okano et. al., "Compact Reversed Shear Tokamak Reactor with a Superheated Steam Cycle", Nuclear Fusion 40, 635 (2000).）に加え、核融合で将来的にはブランケットが高温化できる可能性を生かし、高温水蒸気電解による水素製造（岡野邦彦他, 「核融合炉の遮蔽部発熱を利用した高効率水素製造」、プラズマ核融合学会誌 77, 601 (2001)）やバイオマスを原料にした水素製造（S. Konishi, "Potential Fusion Market for Hydrogen Production under Environmental Constraints", Fusion Science and Technology 47 1205 (2005).）を組み合わせ、電力系統へ送る電力と水素製造に回す電力の割合調整で系統負荷の調整に寄与する方法などが検討されてきた。

負荷追従性に限らず、様々な付加価値を有することは、核融合エネルギーを裾野の広い魅力あるエネルギー源とすることに繋がります。そのため、それらの先進的核融合開発についても大学等を中心に推進するなど、研究開発体制を構築しています。

3. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略

（意見の概要）

- 核融合開発は長期の世代を超えた技術開発であり、派遣される人材についてはOB、中堅、若手に分けた戦略的対応が必要。
- 重電重工メーカーの経験を十分に組み込むことを意識した実用化に直結した実施体制構築が必要であり、それを可能とする制度設計を行うべきことを記述していただきたい。
- 設計経験の蓄積・継承に関する戦略的な記述が不十分。

（文部科学省の考え方）

核融合開発に携わる若手の育成のみならず、OBも含めた人材の確保と有効利用、また産業界からのITER及び原型炉設計への寄与は、核融合開発を長期的・継続的に進める上で、極めて重要な観点と考えています。そのため、平成29年7月より核融合科学技術委員会において、ITERも含む将来に亘る核融合開発のための人材育成に関する提言書「長期的視点に立った新たな人材育成方策の策定につ

いて」の策定に向けて検討しているところです。頂きましたご意見は、その提言書をまとめる上で検討させていただきます。

4. 原型炉に求められる基本概念

(意見の概要)

- ブランケット及びダイバータの性能向上のための設計更新は非常に重要であると考えます。
- 核融合装置の技術的観点から、設計面から社会的受容を促進するようなコンセプトを示していただきたい。
- 大規模集中電源としての核融合原型炉が果たすべき役割は何かを整理したうえで、「定常/安定」と「負荷追従性」との関係性を記述すべき。

(文部科学省の考え方)

原型炉のダイバータ及びブランケットは、ITERでのダイバータ及びテストブランケットモジュールの設計/成果に基づく設計から開始し致します。その後、原型炉運転後に得られた知見を取り入れた設計に更新し、更なる性能向上を図る計画です。そのため、当初からダイバータ、ブランケット及び関連する機器は、後の改造が可能な構造とします。

核融合炉の社会的受容性を高め、国民に選択されるエネルギーとなるには、定常かつ安定な電気出力や実用に供し得る稼働率はもちろんですが、安全性を高めることが最優先と考えます。そのため、「5.5. 原型炉の安全基準の策定」に記しているとおおり、放射性物質であるトリチウムの環境挙動や生態系影響の把握や安全管理方法を確立することに加え、核融合炉での事故シーケンスの解明や確率的に評価できない事故まで想定して、核融合炉の安全設計を行うべきと考えます。

核融合炉は大規模集中電源として、将来も軽水炉と並ぶベースロード電源としての利用が期待され、その場合は定常出力が求められます。今後の電源構成は、再生可能エネルギーの導入が進み、電源の負荷追従の必要性が高まると予想されます。CO2削減の観点から、現在電力の平滑化に利用されている火力発電を置き換える場合、スマートグリッドによる電力融通も進むと思われそうですが、ある程度の負荷追従性も要求されます。核融合炉がCO2削減に寄与するならば、負荷追従性を備えることが望ましく、ベースロード電源としての機能に加えて、負荷追従を行うためのプラズマの制御性、もしくは付加的な機能が必要と考えます。

5. 技術課題解決に向けた開発の進め方

(意見の概要)

- 産学官の人材交流に当たって、産業界の現役社員を国策のために長期間、量子科学技術研究開発機構(QST)に出向させるのであれば、それに伴うコスト負担をQSTにおいて制度化すべき。

- 原型炉設計に不可欠な炉心プラズマの研究をオールジャパン体制で実施できるのか懸念がある。
- ITER 計画への参画を通じて得られるべき経験を、産業界を巻き込んで原型炉開発にどのようにつなげていくか具体的な記載がない。
- 「必要な人材を産学官の緊密な連携のもと育成する。」とのスローガンに対し、具体的方策の記載がない。
- 核融合コミュニティの中心地「六ヶ所村」を、関わる人にとって魅力的な場所となるよう、生活環境・職場環境を早急に改善する必要がある。
- 原型炉開発に必要な人材育成の入口は、大学院での教育と研究であり、何らかの施策が必要である。
- 国際協力なしに原型炉を設計することができるとは考えられない。研究を国際的にリードできる人材育成が必要であり、国際協力による研究分担計画を進める必要がある。
- 日本という立地の面で有利あるいは不利となる点（火山活動や地震、津波など）を把握し、その上で新たなエネルギー開発の一環として核融合を推進させる旨を明記することはできないか。

（文部科学省の考え方）

人材の育成・確保とオールジャパン体制の構築、大学院教育の在り方は、核融合開発を長期的・継続的に進める上で、極めて重要な観点と考えています。そのため、平成 29 年 7 月より核融合科学技術委員会において、ITER も含む将来に亘る核融合開発のための人材育成に関する提言書「長期的視点に立った新たな人材育成方策の策定について」の策定に向けて検討しているところです。頂きましたご意見は、その提言書をまとめる上で検討させていただきます。

また、国際協力については「5.4. 国際協力」に示したとおり、戦略的に実施すべきであると考えます。その計画は「5.6. 開発ロードマップ」にあるように、今後の核融合科学技術委員会で策定する原型炉開発ロードマップに反映させる予定であり、その際に検討させていただきます。

6. 原型炉段階への移行に向けた考え方

（意見の概要）

- 文部科学省・核融合科学技術委員会は、計画することと並んで、計画に沿った実施を常にモニタリングすることが必要。
- 2025 年から数年以内に第 2 回目の Check&Review を実施するとしているが、現在の ITER 設計状況をより調査してその遅れを検討すべきである。
- トカマク方式を当面の目標として開発を進めることは良いとしても、相補的・代替的に進めるヘリカル方式・レーザー方式について

てどうするのか全く触れられていない。

○アウトリーチ・ヘッドクォーターに対しては、関係機関の協力を得つつも、独自の活動を企画・推進できるように、適切な組織と必要な予算を国において確保頂きたい。

(文部科学省の考え方)

核融合科学技術委員会 原型炉開発総合戦略タスクフォースにて策定したアクションプランについては、聞き取り調査によるフォローアップを実施して進捗状況を把握し、それを開発計画にフィードバックする予定です。なお、現行のアクションプラン及びチェックアンドレビューは、改定された ITER のスケジュールや設計状況を反映させたものです。

“はじめに”にも記載されているように、本報告書は平成 17 年の「推進方策報告書」を踏まえた上で、核融合原型炉研究開発の推進に向けた考え方をまとめたものです。従って、ヘリカル方式・レーザー方式を含めた我が国の核融合研究開発の推進方策は、平成 17 年の報告書に準拠しております。

アウトリーチ・ヘッドクォーターは、現在の機関から独立した体制・組織で、関係機関と協力しつつ核融合の統括的なアウトリーチ活動を企画・推進することを想定しています。現在の機関の広報室は、それぞれの広報活動を行うに加え、アウトリーチ・ヘッドクォーターと共に活動することになります。

その他（全体に対する意見等）

(意見の概要)

○ITER や JT-60SA の成功のための施策、対策として、現状が充分であるのかの検証を行うべき。

○「2. エネルギー情勢と社会的要請の変化」の分析は概ね正確だが、あとに続く記述やアクションプランは必ずしもそれに対応していない。

○トカマク型だけでなく、原理的に定常運転が可能なヘリカル型の装置も同時に強力に推進していくことを強く要望する。

○我が国における原型炉研究開発の推進に向けた措置として、計算機環境の増強と計算機シミュレーション構築に専従する常勤の人員確保を行ってほしい。

○一般的に（被爆国日本では 特に）「核」という言葉から軍事力・破壊兵器としての核を連想する人が多く、名称の変更を検討してはどうか。

○ITER の既定路線の極めて高いリスク（材料の割れ、炉心との整合性、ディスラプション・ELM の影響）に鑑みると、現時点で候補をひとつに絞ることは難しい。既定路線に並行して、斬新な先進ダイバータ開発とディスラプション・ELM 対策の開発を進めるこ

とが不可欠である。

○ブランケットでの熱中性子の吸収 加熱した水による発電は非効率な発電方式であり、経済性とあわせて技術的可能性を早急に評価し、だめならば核融合開発は打ち切るべきである。

○核融合の原型炉の研究開発に着手するにはITERやBA活動の成果が明らかになってから考えるべき。

(文部科学省の考え方)

核融合科学技術委員会では、ITER や JT-60SA を始めとする BA 活動、また国内研究機関の現地調査や評価を随時実施し、現状の把握と問題点の改善を図っております。

－国内の研究開発の進捗状況 第10回核融合科学技術委員会(平成29年4月12日)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/shiryo/1384445.htm

－ITER計画(建設段階) 第9回核融合科学技術委員会(平成29年1月25日)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/shiryo/1381549.htm

－JT-60SA 第3回核融合科学技術委員会(平成27年8月4日)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/shiryo/1360832.htm

原型炉研究開発を推進する上で、計算機シミュレーションも含め長期的な観点での人材育成・確保、リソースも含めた研究体制の構築が不可欠と考えます。それらの観点は、今後核融合科学技術委員会で策定するロードマップの議論に反映させていただきます。トカマクによる原型炉開発の推進と並んで、現在考えられている既定路線の方式や技術だけでなく多角的なアプローチが不可欠と考えます。「3. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略」で述べたように、相補的・代替的なヘリカル方式、レーザー方式、革新的概念の研究をバランスよく進めます。ダイバータやELM対策についても同様に進めるべきと考えます。発電方式についても、当面は実績と信頼性を持つ方式で進めつつ、革新的な技術の探求も大学等を中心に推進すべきです。また、長期に亘る原型炉開発を効率的にかつ迅速に進めるためには、ITER や BA 活動の成果を着実に上げてそれを原型炉設計に随時反映させてゆくだけのみならず、先行できる開発は計画的に実施すべきと考えます。これらの開発スケジュールは、各開発項目の特徴を考慮して検討し、アクションプランにてまとめております。

核という単語には特定のイメージがもたれる場合がありますが、ヘッドクウォータを設立してアウトリーチ活動を戦略的に実施し、国民との不断の対話を通じて、言葉だけからの表面的なイメージではなく、正しい核融合の知識を伝えて信頼の醸成を図ることが肝要と考えます。