

# 新目標案に係る意見募集の結果について

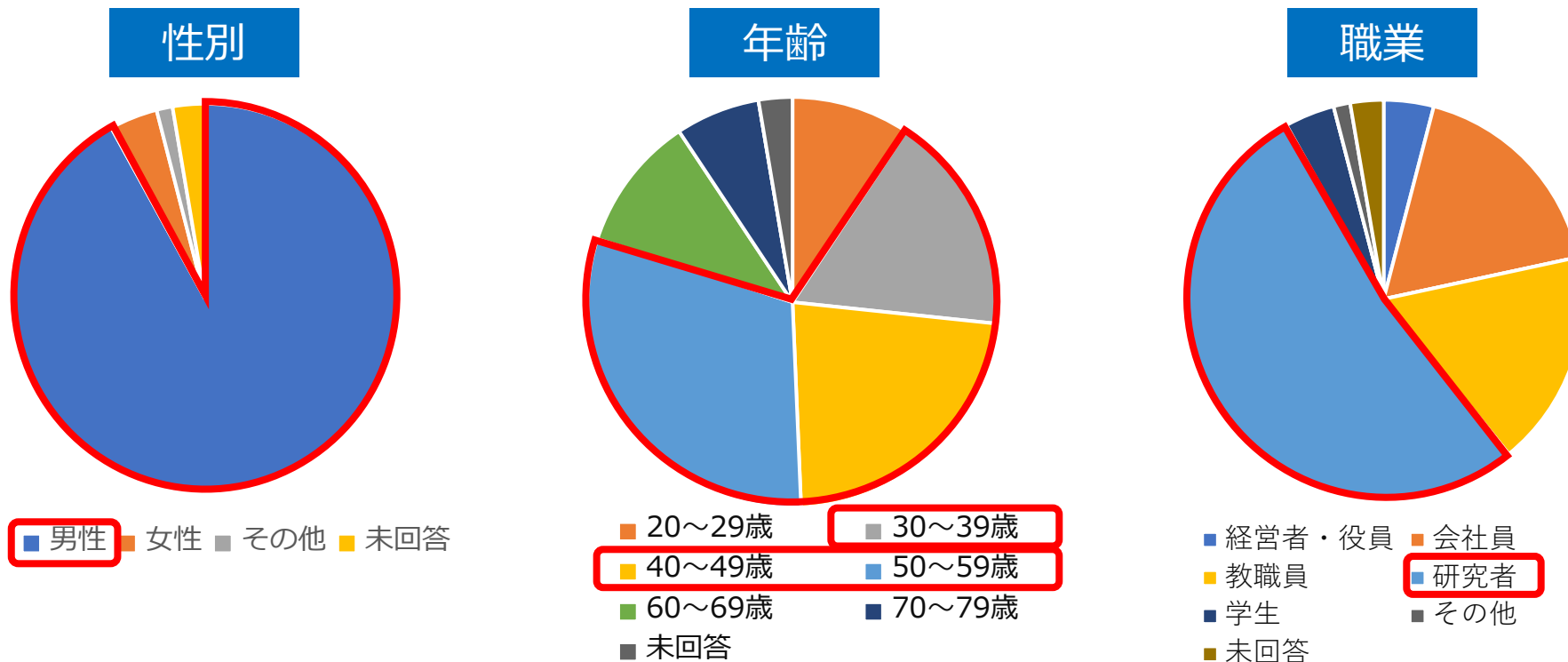
## ～ムーンショット型研究開発制度における フュージョンエネルギーに関する新目標案～

研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当） 付

# パブリックコメントの実施について

核融合分野の新しいムーンショット目標案について、国民にとってより魅力的な目標とするため、文部科学省のホームページでパブリックコメントを実施。

- 実施期間：令和5年8月25日（金）～令和5年9月23日（土）
- 意見数：75件
- 回答者の内訳：以下のとおり



30代～50代の研究者（男性）が回答者の割合を多くを占めていた。

## (1) 目標案

### ①MS目標案の名称

参考（中間とりまとめの記載）：

2060年までに、豊かで安定的なフュージョンエネルギーを生み出す地上の太陽を作り出し、エネルギー資源の制約と温室効果ガスから解放されたダイナミックな社会を実現

## 主な意見

### ■全体を通して

- ・ムーンショットらしく、挑戦的な研究目標にふさわしい。
- ・可能な限り、修飾語を減らして簡潔にするべきではないか。
- ・具体性がない。

### ■目標達成時期2060年について

- ・2050年にカーボンニュートラルの実現を目指していることや、スタートアップの動向を踏まえると、2060年では遅いのではないか。
- ・将来の世代のために、といった身近なキーワードを入れてはどうか。

### ■「地球の太陽」について

- ・太陽は高温で危険なものであるという印象を与えるのではないか。
- ・これまでの核融合キャッチフレーズと同じで、真新しさに欠ける。

### ■「エネルギー資源の制約と温室効果ガスから解放された」という表現について

- ・核融合エネルギーの実現によって得られる社会像と合致しており、魅力的である。
- ・既存の電力を核融合が代替するように読めるが、2060年に達成するには非現実的ではないか。

### ■「ダイナミックな社会」について

- ・意味が不明瞭である。
- ・「爆発的な」といったような、破壊的な意味を連想させる可能性がある。

## (1) 目標案

### ②実現したい2060年の社会像

参考（中間とりまとめの記載）：

人類の挑戦に必要とするエネルギーを十分に供給できる安全安心なエネルギーシステムを実現し、発展し続ける社会

## 主な意見

### ■ 全体を通して

- ・エネルギー資源が少ない日本にとって最適な社会像である。ぜひ実現してほしいと思える。
- ・再生可能エネルギー等の高度化で目指している社会と同じで、フュージョンの特徴が表れていないのではないかな。
- ・核融合の実現により、エネルギー問題に関わる紛争が解決し、全人類が豊かで平和な未来を共有できるという観点を入れるのはどうか。
- ・月面でのエネルギー供給も目標にしてはどうか。

### ■ 「安心安全」について

- ・100%の安全安心は世の中になく、受け手の認識の違いから誤解が生じるのではないかな。
- ・安心・安全に加えて、安定性や制御可能性が必要ではないかな。

### ■ 「発展し続ける社会」について

- ・人類が常に発展し続ける必要はないのではないかな。

## (2) ターゲット

### ①実現したい2060年の達成シーン

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・（エネルギー問題の解決への貢献） ネットゼロ社会を実現する切り札として安定的で豊富なフュージョンエネルギーによる、我が国のエネルギーの自給自足を実現（例えば、核融合熱により水素や合成燃料の製造を可能にする。）
- ・（環境問題の解決への貢献） フュージョンエネルギーによる、幅広い産業や、都市部や遠く離れた村落部も含めた一般家庭の炭素排出量の抜本的改善を達成
- ・（環境問題の解決への貢献） フュージョンエネルギーにより、産業革命以降、大気中に蓄積し気候変動に寄与している二酸化炭素を資源として利用することで、産業革命以来のサイクル逆転を駆動（Beyond Tipping Points）
- ・（人類の挑戦への貢献） フュージョンエネルギーにより、宇宙探査・海洋探査等の未知な領域への挑戦を実現
- ・ターゲットを達成するドライバーとして、世界を牽引するスタートアップを少なくとも1社を創出

## 主な意見

- 全体を通して
  - ・再生可能エネルギーと重なる部分が多く、核融合エネルギー特有の記述にするべきではないか。
  - ・「安価な」フュージョンエネルギーを目指すべき。
  - ・発電だけでなく多様なエネルギー源としての活用を実現を目標とするのはどうか。
- 「自給自足を実現」について
  - ・2060年に実現するのは非常に困難と思われる。
  - ・自給自足のみならず輸出を目指して欲しい。
- 「二酸化炭素を資源として利用」について
  - ・飛躍があり、フュージョンエネルギーとの関連がわからない。
- 「スタートアップ」に関する記述について
  - ・他の項目と比べて趣旨が異なり、MSの目標にそぐなわのではないか。
  - ・目標が1社では少ないと思う。もしくは2035年の目標にしてはどうか。

## (2) ターゲット

### ②2035年に実現すること

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・フュージョンエネルギーとして、電気エネルギーに限らない、多様なエネルギー源としての活用を実現
- ・核融合反応で生成される粒子の利用や要素技術等の多角的利用として、フュージョンエネルギーの応用を加速
- ・スタートアップの創出や意欲ある研究者の挑戦を促す研究支援体制や支援制度の整備によるドライバーとなりうる者の育成

## 主な意見

### ■ 全体を通して

- ・フュージョンエネルギーシステムの周辺技術の進展が不可欠ではないか。
- ・核融合技術を他分野（原子・分子物理学・放射線生物学等）へ展開する挑戦についても支援があると分野としての裾野が広がると思われる。
- ・派生技術による産業構造の底上げなどにも言及すべき。
- ・フュージョンエネルギーの周辺・補完技術としてより一層の省エネルギー技術の進展が不可欠。
- ・アルテミス計画に参画する企業との連携により民間資金を導入した開発を進めてはどうか。

### ■ 「多様なエネルギー源としての活用を実現」について

- ・不明瞭のため、具体的に記載するべき。
- ・現実的であり、今から取り組むべき研究課題である。
- ・2035年の達成は困難ではないか。

### ■ 「研究支援体制や支援制度の整備」について

- ・2035年よりも前に整備すべき。
- ・核融合技術の基礎となる研究者、開発者、特に若手の研究者の育成は急務である。
- ・世界中の研究者人材が循環するネットワークの構築が必要。

# パブリックコメントの主な意見について

## (3) 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・（マイナスからゼロへ）エネルギーが“地”政学から“知”政学へ変わるとともにエネルギー限界費用“ゼロ”及び炭素負債（カーボンデット）の返済により、エネルギー資源の制約から解放され、温室効果ガスに起因する気候変動が解決することで、紛争や飢餓の根源的理由の一つが消失
- ・（ゼロからプラスへ）宇宙空間やサイバー空間等、未知の空間への展開による新たな価値観の創造。環境技術や医療技術等の人類の福祉に資するイノベーションによる社会の活気・活力の増加

## 主な意見

### ■ 全体を通して

- ・目標達成により社会や産業界に大きな利益をもたらす効果があることが理解しやすい。
- ・様々な波及効果が力強く提言されており、フュージョンテクノロジーはこれからの日本の産業構造を大きく変え得るポテンシャルを有していると感じた。
- ・これまで関連のなかった業種がフュージョンインダストリーとして参入することで、国内産業の活性化が期待される。
- ・2060年では困難と思うが、フュージョンエネルギーが広く普及した後の変化という意味では適当。

### ■ 「マイナスからゼロへ」について

- ・限界費用ゼロは大変良い用語であるが、一般には伝わりにくいのではないかと。紛争や飢餓だけでなく、既に我が国が抱えている気象異常による洪水、渇水、高温といった問題解決にもつながることを明記すべきではないか。
- ・「炭素負債の返済」に関して、負債が増えることはなくなるが、返済は不可能ではないか。

### ■ 「ゼロからプラスへ」について

- ・フュージョンエネルギーの実現がどのように「宇宙空間やサイバー空間等、未知の空間への展開」につながるのか不明瞭。

# パブリックコメントの主な意見について

## (4) 社会像実現に向けたシナリオ

### ① 挑戦的研究開発の分野・領域

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・革新的な要素技術を核融合プラントとしてシステムインテグレーション
- ・「高効率化」「高機能化」「低コスト化」「高知能化」等のアプローチによりフュージョンエネルギーの利用可能性の向上
- ・実用炉と原型炉の技術ギャップを小さくし、開発期間のギャップを短くするために必要な研究開発
- ・他分野への波及効果が高いコア技術とすることで、産業界にイノベーションや開発の意欲を喚起
- ・果敢な挑戦でありつつも、明確な「結論」が導かれる客観性、国際的な学問水準の高さ、方法論の妥当性、他国の研究も踏まえた新規性・革新性を基に課題を選定し、ポートフォリオを作成

### 主な意見

#### ■ 核融合分野として

- ・現在主流のトカマク型にとらわれない、幅広いアプローチを進めるべき。
- ・小型化やスマート化、低コスト化が重要。
- ・先進燃料核融合に係る研究開発が必要。
- ・大型超電導コイルを高い信頼性で製造、運転するために必要な、超伝導材料やコイル化技術、冷却技術の課題解決に向けても継続的な取組が必要。
- ・核融合プラントについてシンプルな構造、シンプルな制御手法を目指すべき。

#### ■ 他分野との連携として

- ・材料分野との連携と開発強化・促進を謳うべき。
- ・AI学習・機能、熱工学、化学工学、量子コンピュータといった周辺技術を含めた研究開発が必要。
- ・高度情報技術を基盤とした、計測・制御技術やデジタルツイン、核融合開発のDXが必要。

#### ■ その他

- ・プラズマ性能向上が困難であることから日本で研究が実質終了している技術も含まれている。専門家からの十分な意見聴取し、科学的な進捗を正しく位置付けたうえで、戦略を展開してほしい。
- ・日本独自の方向性をもって研究開発領域を決定することが必要ではないか。



# パブリックコメントの主な意見について

## (4) 社会像実現に向けたシナリオ

### ① 挑戦的研究開発の研究課題

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・ 果敢な挑戦でありつつも、明確な「結論」が導かれる客観性、国際的な学問水準の高さ、方法論の妥当性、他国の研究も踏まえた新規性・革新性を基に課題を選定し、ポートフォリオを作成

## 主な意見

- 中間とりまとめの記載について
  - ・ 挑戦的でありつつも、課題を検討しながら進めていくスタンスが良い。
  - ・ 具体性がなく、一般論に見える。
- 研究課題の選定にあたって
  - ・ 高い見識を持ったPDを任命し、このムーンショットを牽引することが鍵。
  - ・ 社会生活や波及効果も考慮すべき。
  - ・ 現在研究されている課題への可能性や、技術的なチャレンジとその裾野の広がり、学術的な先見性と発信力に富んだ課題を選定すべき。
  - ・ 国際的かつ異分野を巻き込んだ開発体制の構築が必要。
  - ・ 国際的に評価された科学的に妥当なアイデアを選定することが重要。
  - ・ 国際競争と国内競争、国際的な協調を踏まえた検討が必要。
  - ・ チャレンジ精神を持つ若手を育てることが必要。
- 個別課題について
  - ・ デジタルツインの開発が必要。
  - ・ 核融合炉の小型化や宇宙開発への応用に期待する。
  - ・ 革新的な構造材料の開発も並行して進めることがリーディングカンパニーを育成する上で重要ではないか。

# パブリックコメントの主な意見について

## (4) 社会像実現に向けたシナリオ

### ②2060年におけるマイルストーン、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果

参考（中間とりまとめの記載）：

（マイルストーン）革新的フュージョンエネルギーシステムの実現、革新的な熱利用技術の実現

（達成に向けた研究開発）革新的フュージョンエネルギーシステムに実装する要素技術、核融合炉の量産化を可能とする資源確保、低コスト化

（波及効果の例）プラント技術の核融合以外の熱源への応用

## 主な意見

### ■ マイルストーンについて

- ・社会要請としては、この時点で普及し、社会の基盤となっているべきではないか。
- ・分散型小型発電システムが1つのあるべき姿と考える。
- ・水素社会の実現を掲げてはどうか。

### ■ マイルストーン達成に向けた研究開発について

- ・タングステンやリチウムの確保がネックになり得る資源確保の道筋を示すことが重要。
- ・日本独自の方向性をもって研究開発を進めるべき。
- ・核融合プラントが有する熱源をいかに効率よくエネルギーに変換して利用していくのか、他の発電技術とともに進めるのが望ましいのではないか。
- ・水素製造や水素貯蔵に係る技術開発。

### ■ 波及効果について

- ・核融合分野の産業界・学会との連携が不可欠である。
- ・もっと豊富に例示するべきである。
- ・炉心プラズマの理解は新しい学問の創出につながると考える。
- ・カーボンニュートラルの貢献として、要素技術開発の過程でスピナウトされる多くの工学技術も含まれる。
- ・ロケットエンジンへの応用もあり得るのではないか。

# パブリックコメントの主な意見について

## (4) 社会像実現に向けたシナリオ

### ②2035年におけるマイルストーン、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果

参考（中間とりまとめの記載）：

（マイルストーン）

- ・ フュージョンエネルギーの早期実現に向けた革新的なフュージョンエネルギーシステムの実証
- ・ フュージョンエネルギーの多様な社会実装に向けた革新用途の実証（可搬型装置や宇宙推進装置などの新展開が見通せる技術の原理実証等）

- ・ 挑戦を可能とする基盤的革新技術の多角的な応用と同時に産業基盤の構築

（達成に向けて想定される研究開発）

表を参照のこと。

（波及効果の例）

- ・ 核融合反応で生成される粒子等を利用した医療技術や環境技術
- ・ 高温超伝導技術の航空機推進用超伝導モーター・発電機等への応用
- ・ 高除熱機器（ダイバータ）の材料や構造の宇宙分野（ロケット）への応用
- ・ 製作技術の航空機製作等への応用

## 主な意見

### ■ マイルストーンについて

- ・ 商用炉 1 基目を目指すべきではないか。スタートアップのスピード感に合わないような目標にすべきではないと思う。
- ・ 可搬型装置や宇宙推進装置…原理実証は2035年では困難ではないか。
- ・ エネルギーシステム構築に必要な周辺技術の進展を示すことが重要。

### ■ マイルストーン達成に向けた研究開発について

- ・ 長い研究開発の中で困難とされた方式も含まれることから、科学的かつ客観的な判断を行う必要がある。
- ・ システム全体の予測技術や高温超伝導を含む超伝導コイル、社会需要性の検討が必要。
- ・ モノづくりの観点から、ITER及びJT-60SAに関する機器製造で培われた技術の伝承についても検討するべき。

### ■ 波及効果について

- ・ 量子コンピュータや電力貯蔵技術、宇宙産業、半導体分野での微細加工技術への応用も可能ではないか。

# パブリックコメントの主な意見について

## (5) 目標達成に向けた国際連携のありかた

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・国内機関だけでは核融合のすべての技術開発をカバーできないことや、MSで取り組む研究開発であれば国際連携の中で技術的優位性及び国際的地位を確保すべき
- ・国際連携のためには「求心力（日本の強み）」「吸収力（応用力）」「持続力（人材育成等）」が必要
- ・特に、民間企業が関わる際は、企業独自の商取引としての国際連携・協力（知財の管理を含む）の検討も必要

## 主な意見

- 国際連携を行う領域について
  - ・温暖化緩和やエネルギー安全保障の確立という世界的目標を達成するため、国際連携を大前提にし、国内外の幅広い連携を図ることが重要。
  - ・オープンイノベーションを基本とし、その土台をいかに維持するかが重要。
  - ・モノづくりの観点から、ITER及びJT-60SAに関する機器製造で培われた技術の伝承についても検討するべき。
  - ・システム統合や国際標準化といった部分で特に国際連携が必要。
  - ・既存の国際ネットワークを最大限に活用するとともに、国のシステムとしてフレームワークを構築することも重要。
  - ・「求心力」「吸収力」「持続力」に加えて、人脈による情報収集も重要。
  - ・ソフトウェア（計算社会科学やデータ駆動科学）を中心とした連携をも重要。
- 日本独自で行う領域について
  - ・経済安全保障の観点から、キーとなるデバイスやテクノロジーを押さえ、ある程度ブラックボックス化し、知財の権利化に取り組んだ上で、世界に展開していくことが重要。
  - ・設計統合ができる重電メーカーを主軸に据えた連携を行うべき。
  - ・国内の優秀な人材の確保が重要。
  - ・一国の予算では実施が難しいデータの取得や安全に関する知見を除いて、基本は自由競争が良いと思う。

# パブリックコメントの主な意見について

## (6) 目標達成に向けた分野・セクターを超えた連携のあり方

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・国が主体となる活動との分担・協力等、産学官による集中的な取組
- ・国際連携と同様に、「求心力」「吸収力」「持続力」が必要

### 主な意見

#### ■ 実施体制について

- ・核融合開発で求心力を持つQSTを中心に、国内機関・大学・企業の研究開発を総合的にマネジメントするという体制もあり得るのではないか。
- ・見識を持ち、人望のある視野の広い人物にけん引していただきたい。
- ・多様な連携により共創が実現できるオールジャパン体制の拠点が不可欠。
- ・恒常的な知の循環と若手研究者、学生にとって身近な拠点が必要。
- ・宇宙分野、情報分野、医療分野等の横断的な研究体制が必要と考える。

#### ■ 国の役割について

- ・産業化を促進するため、知財権の守護を徹底するべきである。
- ・国民に対して正しい知識を教育することが重要。
- ・核融合に限らず、カーボンニュートラルに係る、国が主体となる他の活動との連携も必要ではないか。
- ・人材育成も含め、重電メーカーにとって魅力のある連携体制を構築するべき。
- ・国の関与は減らすべきではないか。
- ・核融合全体を俯瞰したビジョンを示すべき。
- ・偏りのないスタートアップの支援は今後も必要。
- ・産学官による集中的な取組においては、活動・責任の分担を設けつつ、官がしっかりとりまとめ、舵を取るべき。

# パブリックコメントの主な意見について

## (7) ELSI（目標達成に向け取り組む上での倫理・法的・社会的課題及びその解決策）

参考（中間とりまとめの記載）：

- ・ 環境アセスメント
- ・ 電源の所有者に競争原理が働く、マーケットルールの確立
- ・ フュージョンエネルギーの認知度の向上
- ・ フュージョンエネルギーについて社会的受容性の醸成
- ・ 規制、規格基準策定の在り方の検討

### 主な意見

- フュージョンエネルギーの認知度向上が大事であり、わかりやすく、丁寧に広報することが必要。
- フュージョンエネルギーの社会的受容性の醸成は非常に重要。科学的エビデンスに則って社会の懸念に正直に答え、メリットとデメリット双方を理解した上で選択されることが重要。
- トリチウムの取扱い等、法制度や安全性に関する基準の整備が早急に必要。
- 知的財産や技術情報をどのように守るかを記載すべき。
- 人類の幸福、生きがい、目的を議論した上でどのようなエネルギーがどれほど必要かの議論が必要。
- グローバル目線で検討されるELSIの項目が必要ではないか。
- マーケットルールは競争原理だけでなく、社会基盤の安定性維持の観点も必要ではないか。
- 研究開発では社会的コンプライアンスの順守が重要であり、研究者等関係者には常に教育や注意喚起が必要。

# パブリックコメントの主な意見について

## その他

### 主な意見

- 数億年後の将来は、地球に住めなくなる可能性もあるため、巨大宇宙船への利用も必要になると思う。
- ITER計画、BA活動、原型炉に係る核融合炉開発にもまだいくつもの革新的なアイデアが必要であり、これらにも適用できた方がよい。
- 中等教育の段階から、核融合を記載し、メリットとデメリットを勉強してもらうべき。
- 小さな企業利益や国益の増加にこだわらない世界的な貢献を目標に設定をしてほしい。
- 研究者が、競争しつつ、なんとかしても社会実装するという意気込みで研究するスキームをつくるべき。
- 欧米はメインストリームである研究機関と協働で、あるいはそこから研究者を移籍させるなどして、地道な積み重ねで培われた確固たる技術、理論・シミュレーションをベースに核融合開発を推進しており、日本も従来型路線の拡充による研究加速が必要ではないかと考える。
- 夢のある・高い目標は大切だが、国民にウソ・大げさを言っていると受け取られて信用を失うことはあってはならない。
- 高い見識を持ち深い学理を身につけた方がPDになり、このムーンショットを牽引することを強く望む。
- 核融合原型炉の建設等、核融合実現のために真に必要な領域に予算を集中することが早期実現への近道。
- フュージョンエネルギーの特徴である、超長期的に見たエネルギー資源制約からの開放を意識するべき。
- 核融合反応実証と実用炉、商用システム実現と段階ごとのロードマップを区別して検討するべき。
- システムエンジニア・技術者を含むチームを率いて、組織的・戦略的な開発により、核融合装置制御・プラズマ診断・予測システムを構築して国際的なイニシアティブをとるべき。
- ソフトウェア技術へも注力が必要ではないか。
- 国民はもちろん、他分野の研究者への理解も促進した方が良いのではないか。
- まずは強固な科学技術・人材基盤の構築は必須である。