

研究最前線

若手による核融合炉実用化に向けた技術成熟度評価

A View of Technology Maturity Assessment to Realize Fusion Reactor by Japanese Young Researchers

笠田 竜太¹⁾, 後藤 拓也²⁾, 藤岡 慎介³⁾, 日渡 良爾⁴⁾,
大山 直幸⁵⁾, 谷川 博康⁵⁾, 宮澤 順一²⁾, 核融合炉実用化若手検討会

¹⁾KASADA Ryuta, ²⁾GOTO Takuya, ³⁾FUJIOKA Shinsuke, ⁴⁾HIWATARI Ryoji, ⁵⁾OYAMA Naoyuki,

⁵⁾TANIGAWA Hiroyasu, ²⁾MIYAZAWA Junichi and

Young Scientists Special Interest Group on Fusion Reactor Realization

¹⁾京都大学エネルギー理工学研究所, ²⁾核融合科学研究所,

³⁾大阪大学レーザーエネルギー学研究センター, ⁴⁾電力中央研究所, ⁵⁾日本原子力研究開発機構

(原稿受付: 2013年3月5日)

技術成熟度 (TRL; Technology Readiness Levels) 評価法は, 多様なプロジェクトにおける個々の技術の成熟度評価や異なる技術の成熟度の比較をサポートするための系統的な評価法として, 様々な分野で活用が進められている. NASA が開発したプロジェクト・マネジメントツールである. これは, 新技術開発プロセスを補助し, 技術者と管理者を繋げるため, あるいは, 科学・技術の進展度の共通理解のためのツールとして用いられている. 核融合炉開発の TRL 評価については, 米国原型炉設計チーム (ARIES チーム) によって実施された例があるものの, 多種多様な技術を含めた TRL に基づく系統的な評価はわが国では行われていない. これまでに, 核融合炉若手実用化検討会等における若手有志により, 多岐にわたる核融合炉工学技術開発の TRL の評価・分析を実施し議論することを通して, クリティカルな共通課題を異なる分野に跨る研究者間の共有知とするためにも, TRL 評価法が有効であることが確認されている. 本報では, TRL 評価法の概要を説明し, 本活動によって行われたわが国の核融合炉開発に対する TRL 評価結果を示す.

Keywords:

technology readiness levels, demonstration reactor, fusion reactor, blanket structural materials, tritium system

1. はじめに

平成20年度 (2008年度) の核融合エネルギーフォーラム活動の一環として, 社会と核融合クラスターの下に若手研究者を主体とした原型炉や発電実証へ向けた検討の場を作ってほしい, との相談を社会と核融合クラスター世話人から著者等に受け, 「核融合炉実用化若手検討会」開催に向けた活動を開始した. 若手研究者が個人の立場で参加する活動であること, 核融合炉実現に必要な課題解決に向けて炉心プラズマ研究者と炉工学研究者が互いに協力すること, を基本方針として, 2009 (平成21) 年2月, 第1回核融合炉実用化若手検討会を開催した. なお, ここでいう「若手」とは, 核融合原型炉の実現に現役として関与する気概と責任感を持つ世代と定義した. 若手検討会における活動内容に関する議論において, 核融合の早期実用化に向けた検討を若手主体で実施したいとの意見が多く出されたため, 平成21年度は, 第1回原型炉設計プラットフォーム会合 (現状の技術を用いて2030年代にどのような原型炉なら実現できるかを議論) や, ITER 連携協力会合「第1回核融

合炉開発技術統合化に向けた若手検討会」と合同して, 第2回核融合炉実用化若手検討会 (核融合要素技術開発の現状と課題について議論) を開催した.

これらの検討活動を受け, 第8回核融合エネルギー連合講演会プログラム委員会から, 本講演会における若手企画の立案を依頼された. そこで, 第3回核融合炉実用化若手検討会において, トカマク方式・ヘリカル方式・レーザー方式・共通課題それぞれにおける原型炉実現に向けた課題について議論するとともに, シンポジウム講演「若手研究者が考える20年で核融合炉を実現する方法」を実施した. このときの講演において NASA が開発した技術成熟度 (TRL; Technology Readiness Levels) 評価を核融合炉に適用した一例を紹介するとともに, 若手研究者の活動として, 分野間にまたがる各技術の現状と課題を定量的に理解するための TRL 評価を始めることに多くの賛同を得た. そこで, 第4回核融合炉実用化若手検討会 (ITER/BA 連携部会会合「第2回核融合炉開発技術統合化に向けた若手検討会」と合同開催) や第2回原型炉設計プラットフォーム

¹⁾Institute of Advanced Energy, Kyoto University, ²⁾National Institute for Fusion Science, ³⁾Institute of Laser Engineering, Osaka University,

⁴⁾Central Research Institute of Electric Power Industry, ⁵⁾Japan Atomic Energy Agency

corresponding author's email: r-kasada@iae.kyoto-u.ac.jp

会合において TRL 評価に関する検討を重ねてきた。

本報では、TRL 評価法の概要の解説と、これまでの若手検討会における真摯な議論に基づき、検討会の幹事が中心となって再分析した TRL 評価結果について一部を報告する。

2. TRL 評価法について

2.1 TRL 評価の概要

核融合炉システムは多種多様の工学技術が複雑に組み合わさった統合体であり、関連する学術領域も多岐にわたる。長期にわたる研究開発の進展とともに、その全体像と進捗状況を正確に把握することは、個々の専門領域に特化しがちな研究者（少なくとも我々のような若手研究者や学生の多く）にとって容易であるとは言いがたい状況となってきたと考えられる。統合化された複雑システムの実現においてボトルネックとなる要素技術を洗い出す場合にも同様の困難を有する。また、核融合炉のみならず、複雑化・大型化する技術開発プロジェクトの進捗度を社会やプロジェクト管理者に説明する場合、開発目標の達成か未達という二値的評価、あるいは専門家にしか理解できないような数値による説明になりがちであり、批判的にとらえられる場合が多い。

今後、原型炉の具体的設計を進める段階に至ることを睨み、多数のプロジェクトを適切にマネジメントするためには、個々の技術開発の現状を、異なる分野に跨る研究者、政府、社会が、合理的かつ定量的に評価し、それぞれにおいて意思決定と合意形成するための「みえる化」手法を採用することは効果的であろう。このために、NASA では、技術成熟度（TRL）評価法と呼ばれるマネジメント支援法を活用し、多種多様なプロジェクトを進める中で、個々の技術の成熟度評価や異なる技術の成熟度の比較を行っている[1]。NASA における TRL は、技術の実用化に向けた研究開発段階を 9 つのレベルに分けたものであり、図 1 のようになっている。TRL1 は、TRL の最下層であり、対象となる技術の基本原則が提示された段階であり、TRL1 の達成により基礎科学研究から応用研究・開発へ移

行することになる。TRL2 は、技術の基本概念や応用が明確化された段階である。TRL3 は、技術のクリティカルな機能や特徴的な概念の解析的あるいは実験的な検討が行われた段階である。TRL4 は、要素技術もしくは試作機に対する実験室レベルでの妥当性評価が行われた段階である。TRL5 は、要素技術もしくは試作機に対する模擬環境下での妥当性評価が行われた段階である。TRL6 は、システムやサブシステムのモデルもしくは試作機に対する模擬環境（地上あるいは宇宙）での実証試験が行われた段階である。TRL7 は、システムの試作機に対する宇宙環境実証試験が行われた段階である。TRL8 は、実際のシステムが完成し、試験（地上か宇宙）によって「飛行可能」であることが評価された段階である。最後に、TRL9 は、実際のシステムが飛行可能であることが実地において実証された段階であり、実用化に成功したということになる。

NASA の評価例で示されたように、基礎研究段階から技術開発の進展とともに実用化に向けてステップアップしていく TRL が、プロジェクトの特質に依存せずに明確に定義されているため、進捗状況を客観的に評価し、ボトルネックとなる技術を特定することが容易であることがわかる。今日において、TRL 評価は、新技術開発プロセスを補助し、技術者と管理者を繋げるツールとして、あるいは科学・技術の進展度の共通理解のためのツールとして、更にはリスクマネジメントの指標としても有用であることが広く認められており、航空宇宙分野のみならず、原子力分野[2,3]やエネルギー分野[4]でも活用が拡大している。TRL による技術成熟度評価については、参考文献[5]が詳しいので参照されたい。

2.2 核融合炉開発の TRL 評価とその目的

核融合炉開発に対する TRL 評価の例として、米国原型炉設計チーム（ARIES チーム）の検討結果が、限定的ではあるが公開されている[6]。ARIES チームによる TRL 評価の考え方の特徴は、技術項目を大きく 3 つの機能、すなわち、①経済的な出力管理技術、②魅力的な安全性・環境親和性を実現する技術、③実用的かつ安定なプラント運転技術、

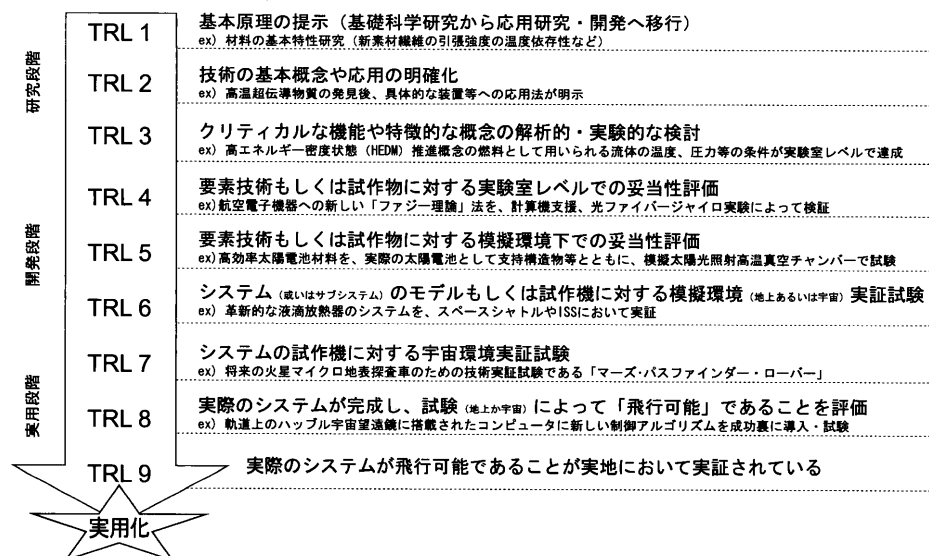


図1 NASAにおけるTRL評価法の概要。

に分類して評価していることにある。また、これらの機能について、保守的概念と先進概念を対象に、それぞれに枝分かれした小技術項目を設定して検討している。検討の結果として、保守的概念においても TRL6 を満足する原型炉建設に進むためには、開発や検討が不十分な機能が多く存在し、ITER に加えて CTF (Component Test Facility) のような施設の必要性を指摘している。

我が国では、トカマク炉型式における技術開発の到達度評価結果の概略が示されているが[7]、多種多様な要素技術や他の炉型式を含めて TRL に基づく系統的な評価を行った例は見られない。大型複雑システムである核融合炉の開発において、解決すべきボトルネック技術要素を容易に見出し、課題解決に注力するために、多様な概念における多様な技術をブレイクダウンした上での TRL 評価を実施することとした。

2.3 TRL 評価の手順と前提条件

本活動では、トカマク型、ヘリカル型、レーザー型のそれぞれの原型炉ミッションの達成に向けた TRL 評価を実施するとともに、これらに共通する炉工学課題や周辺技術課題についても検討した。TRL の設定は、NASA[1]、GNEP[2]、DOE[4]の例を参考にした。TRL9 の到達が核融合炉技術の実用化 (2050年に実用化の目途を立てる)、すなわち原型炉ミッションの達成とした。このように考えた場合、TRL は表 1 のように設定された。

TRL が、いわゆる Key Performance Parameter (KPP) に依存することはよく知られている[8]。核融合炉設計は出力によって大きく変わることが想定されるため、磁場閉じ込め装置の場合、原型炉における要素開発を許容して、1 GW 核融合出力 (30万 kW 級電気出力) と 3 GW 核融合出力 (100万 kW 級電気出力) といったサイズの違う原型炉を想定して TRL 評価を行うことで合意した。なお、原型炉での開発を許容する場合、ITER 段階が TRL5, 6, 原型炉段階を TRL7-9 とする。一方、レーザー核融合の場合、1 機あたりの電気出力が 20万 kW 級であっても、それを 5 台建設することで 100万 kW 級の商業炉が提案できるため、レーザー実証炉 1 機当たりの電気出力は 20万 kW 級でもかまわないとした。また、磁場閉じ込め核融合と TRL の相対レベ

ルを合わせるため、レーザー原型炉を TRL6, 7, レーザー実証炉を TRL8, 9 とすることとした。

Break Down された技術項目に対する TRL 評価は、核融合炉若手実用化検討会幹事団である著者らによって行われたが、すべての分野を網羅することは困難であるため、評価にあたっては、核融合炉若手実用化検討会の会合での幹事団以外の若手研究者の報告と議論を参考にしている。これらの検討を通して、自らが携わる技術開発について、核融合炉の実用化という観点から目標 (TRL9 の到達点) を明確化し、その段階的発展のためのマイルストーンとなる TRL を設定した。

TRL 評価の手順の概略と重要な注意点をまとめると次のようになる。

1. 技術の項目分けを行う。ここでは、技術ロードマップ[9]の Work Breakdown Structure (WBS) 等を参考にした。
2. TRL の各段階のクリア条件 (数値、装置等) を設定する。
3. 現状の TRL を評価し、内外での議論を通して必要に応じて修正する。そして、TRL に加えて、個々の技術が有する核融合炉実用化上の重要性を比較し、リスクマネジメントのもとで、実用化においてボトルネックとなっている技術 (Critical Technology Element) を客観的にあぶりだすことが可能になる。

2.4 TRL 評価の意義

繰り返し強調しておくが、TRL 評価法とは、どの技術が顕在的あるいは潜在的に優れているかを評価するものではない。また、目標とする技術の実現の困難さ (Research and Development Degree of Difficulty; RD³) [10]や、各レベル間の技術ギャップの大きさは、個々の技術開発によって異なる。あくまでも、技術開発の「現状」を「誰にでもわかりやすく」そして「客観的に」理解するための「役に立つ」コミュニケーション・ツールとして TRL 評価を捉えるべきである。よって現段階では、個々の技術の TRL の厳密な評価に注力するというよりは、その大枠をとらえ、ボトルネック技術を洗い出すことが重要である。

3. 共通技術課題に対する TRL 評価結果の例

本活動で行った TRL 評価の全容については他所に譲り、ここでは炉形式によらない共通技術課題の TRL 評価結果の例を示す (表 2)。

原型炉は、炉型式によらず、本格的な原子力施設として運用されることになる。すなわち、軽水炉環境を上回る量の中性子照射を受ける構造材料の健全性や、放射性物質であるトリチウム燃料の大量取り扱いに関する技術課題を解決する必要がある。本節では、これらの炉型式に依らない共通技術課題について TRL 評価を行う。

3.1 構造材料技術

核融合炉で用いられる機器は多種多様な環境で用いられるため、その機器の形状と構造を保つために十分な力学的健全性を有する材料、すなわち構造材料の種類も多い。ここでは原型炉において過酷な使用環境におかれるブラン

表 1 本研究で設定した TRL の定義。

TRL	各レベルの定義	磁場閉じ込めの場合 (原型炉での開発許容)	慣性閉じ込めの場合
TRL1	システム概念の構築	概念検討段階	概念検討段階
TRL2	技術概念の具体化		
TRL3	技術開発の活性化	要素技術開発段階	要素技術開発段階 (炉心物理・核融合点火実証も含む)
TRL4	要素技術の開発		
TRL5	要素技術の完成	ITER 段階 (実験炉)	原型炉段階
TRL6	技術基盤の確立		
TRL7	プロトタイプ試験運転	原型炉段階	実証炉段階
TRL8	実機プラント試験		
TRL9	実機プラント運転		
付記	GNEP の定義を踏襲	中核装置は、ITER (実験炉) と原型炉を想定	中核装置は、点火実証施設 (NIF, LMJ, FIREX 等)、原型炉、実証炉を想定

ケット構造材料を中心に TRL 評価結果を示す。

現在、研究開発が進められているブランケット構造材料の中でも低放射化フェライト鋼は、ITER において、ITER-TBM (テストブランケットモジュール) の構造材料として用いられる計画となっている。我が国の開発した代表的な低放射化フェライト鋼である F82H 鋼は、固体増殖水冷却方式での使用を想定して、重要な機能や特徴的な概念の解析的・実験的検討は済んでおり、TRL3 をクリアしている。ITER-TBM に用いられる構造材料の技術開発や、幅広いアプローチ活動 (BA) において、要素技術の妥当性評価の段階にある (TRL4, 一部 TRL5)。例えば、基盤的技術として、原型炉クラスに対応するような鋼材の大量製造技術開発の検討は進んでいる (TRL5) が、ブランケットシステムに依存する項目、例えば、冷却材 (高温高压水等) の影響についての評価は十分に進んでいない (TRL4)。今後、ITER-TBM によって、構造材料を含めたシステム全体の模擬環境試験が実施されるものの、原型炉で想定される中性子照射量には遠く及ばない。重照射環境下における要素技術 (例えば試験構造材の健全性、TRL5) やシステム研究 (TRL6,7) は実施されておらず、これらを原型炉の研究項目として先送りするのは高リスクであると考えられる。

バナジウム合金については、166 kg の溶解が行われ、大規模製造に向けた基盤の整備に着手するとともに、液体 Li 増殖冷却コンセプト等での具体的な使用方法の概念が提示されており、TRL2 の段階をクリアしたと考えられる。

SiC/SiC 複合材料については、構造材料内側に配置して耐熱性や耐環境性を付与するようなインサート材として用いる方法であれば、TRL3 をクリアしつつあると考えられる。一方、構造材料全体を同材料で用いるためには、脆性材料 (あるいは擬延性材料) を用いた構造設計に関する新しいコンセプトを示す必要があり、TRL2 の段階であると考えられる。

ダイバータは、磁場閉じ込め方式のみで用いられる機器であるが、ブランケット第一壁技術とも関連するため、参考のために TRL 評価を行った。ITER で用いられるダイバータ技術の延長を想定すると、炭素系材料 (CFC) については、ITER の核燃焼実験段階においては、トリチウムインベントリの問題から使用されないことになっており、原型炉を対象とする TRL 評価はできない。一方、タンクス

テン材料については、トリチウムインベントリの観点からは有望であるとされているが、脆性的な破壊の防止のための新たな合金や複合材料開発が進められている段階である。よって、原型炉に向けては TRL2 といえる。

3.2 トリチウム関連技術

ここではトリチウム取扱いに関連する重要技術項目に関する TRL 評価結果を述べる。原型炉で想定されるような規模に匹敵する燃料循環システムは、ITER で初めて運転が行われ、問題点の抽出と改善策の提案が行われることとなる。原型炉に向けては、トリチウム計量管理技術の実証、具体的には活性・不活性インベントリの予測・実測技術の開発が必要である。トリチウム安全系についても、ITER における知見が活かされることになる。

真空排気系については、ITER において大規模な真空排気システムが使用されるため、TRL5 をクリアし、現在 TRL6 の段階にあると考えられる。ただし、ITER で用いられるクライオポンプは、原型炉で想定される長期連続運転に用いることは困難であるという指摘があり、この場合、原型炉用の連続運転に適した新技術の提案 (TRL1) が求められる。

増殖ブランケットからのトリチウム回収については、ブランケット様式に依存する技術課題である。我が国で開発されている固体増殖水冷却方式のブランケットについては、技術実証が進められ、ITER-TBM における試験が計画されており、TRL3, 4 の段階にあると考えられる。液体金属あるいは熔融塩を用いるブランケットについては、いくつかの概念の提案と実験室規模での研究が進められている段階であり、TRL2 である。

初期装荷トリチウムに関連する技術については、ITER ではカナダの重水炉 (CANDU) から購入して用いられるが、原型炉において調達可能であるとは限らないことを考慮すべきである。原型炉の DT 運転に先駆けて、DD 運転を行い、そこから発生する DD 中性子を用いたトリチウム増殖による初期装荷トリチウムの炉内製造というシナリオや、高温ガス炉を用いたトリチウム製造といったシナリオが提示されているが、TRL2 にとどまっており、早急の対策が必要である。

3.3 周辺技術

増殖ブランケットに装填するリチウムの原料調達に関連

表2 共通技術の TRL 評価結果 (黒:達成, 灰色:進行中)。

TRL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
低放射化フェライト鋼									
バナジウム合金									
SiC (インサート)									
SiC (構造材料)									
ダイバータ用タングステン									
真空排気系 (ITER 相当)									
トリチウム回収系 (固体-水)									
トリチウム回収系 (液体金属)									
初期装荷トリチウム技術									
リチウム 6 濃縮技術									
バックエンド技術									

する技術とリチウム6の濃縮技術については、遅くとも原型炉の運転開始までにはTRL9を達成している必要がある。我が国独自の技術であるイオン液体を用いた海水からのリチウムの回収技術や、リチウム6の濃縮技術については、実験室レベルの実証が進められているところであり、TRL2, 3の段階にある。

また、炉型式に依存する材料技術であるが、タングステンやベリリウムのような重要資源の確保も課題になりうることを付記しておく。

技術課題ではないが、原型炉関連法規・基準、安全審査手順、インフラ（サイト選定基準の策定等）についても考慮する必要がある。

原型炉から発生する放射性廃棄物の処理や、原型炉運転後の施設全体の解体・処分を含めたバックエンド技術については、TRL1の段階であろう。

3.4 共通技術課題の解決に向けて

原型炉のミッションを、全システム統合化(TRL8)と長時間運転の実証(TRL9)、および先進概念のテストベッドと考え、共通技術課題については、ITER計画および原型炉設計・建設に関連するミッションによって、ほとんどすべての技術課題がTRL7(主要システム統合化)に到達する必要があると考えられる。すなわち、増殖ブランケットやダイバータを対象とするケース・スタディにおいて、サブシステム(要素技術における各課題)の統合化(TRL5, 6)を原型炉そのもので行うというシナリオはリスクが高いことが明示される。IFMIFのような核融合中性子照射施設やダイバータ模擬環境装置での統合試験によって原型炉開発リスクの低減が可能となる。その他の中大型施設としては、大量のトリチウム燃料取り扱いのために、我が国独自のパイロットプラントを検討すべきとの意見がある。これらの共通技術課題の解決に向けた研究開発活動は、原型炉ミッションを策定次第、直ちに進めるべきであると結論づけられる。

4. まとめ

本報では、TRL評価の概要の紹介と、我が国で進められている核融合炉研究開発の現状について、独自に想定した原型炉ミッションの達成をゴールとした場合のTRL評価を行った結果の一部として、共通技術を対象とした例を示した。想定した原型炉ミッションの定義や、技術課題の設定については、担当した著者の自己評価を基準としているため、今後も継続的に議論し精査すべき点も多い。しかし、多岐にわたる核融合炉の技術課題のTRLを分析し、クリティカルな共通課題をあぶり出して共有知とすることには成功したといえる。

TRLを活用することにより、核融合炉の実用化のためには必須であるのにも関わらずTRLが低いような技術課題の重要性を主張する際の一助になろう。一方、長年低いTRLに留まっている技術については、イノベーションに繋がりをいう新たな概念の検討を進めるべきとの認識が得られるかもしれない。

TRLを活用する際に注意すべき点は、核融合技術開発の

段階にはない「基礎研究」はTRL1-3と評価されるが、その研究の持つポテンシャル(イノベーションの可能性、学術的重要度等)を低く評価しているわけではないという点である。革新的な技術の芽たるTRL1の研究開発テーマが多く存在することも、核融合研究開発にとって重要な基盤であることを指摘しておきたい。

あるプロダクトの実用化において、TRL3と4の間には、基礎研究から応用研究へのいわゆる「死の谷」があるとされている。すなわち、TRL1~3にある技術課題は、死の谷を乗り越えるための「ブレイクスルー」が必要となる。しかし、基礎から応用、そして実用化という線形的な研究開発展開を想定すると、死の谷の対岸に「いつ」たどりつくのか明確にみえないことが多い。しかし、イノベーションに至る多くのブレイクスルーは、このような線形的な発展から出たものではないと考えられている。TRL評価から見えてくる「死の谷」を乗り越える原型炉技術のイノベーションを速やかに起こすためには、基礎研究と応用研究を融合した「根本的研究」あるいは「課題解決型研究」と呼ばれる方法論を採用することがより近道であるとされている。詳細は参考文献[11]を参照していただきたいが、これらのアプローチにとって重要なことは、研究者と技術者の視点を兼ね備えた「設計者」の視点である。このために、原型炉設計に関わる柔軟性を備えた「根本的研究」チームを組織し、人材育成にも配慮した継続的投資を行うことが必要であることを提言して、本報の結言とする。

参考文献

- [1] J. C. Mankins, *TECHNOLOGY READINESS LEVELS: A WHITE PAPER* (NASA, 1995).
- [2] GNEP-TECH-TR-PP-2007-00020, "Global Nuclear Energy Partnership Technology Development Plan", Global Nuclear Energy Partnership, Technical Integration Office, 2007.
- [3] 分節変換・MAリサイクル研究専門委員会：日本原子力学会誌 52, 28 (2010).
- [4] "Technology Readiness Assessment Guide (DOE G 413.3-4)", United States Department of Energy, Office of Management, 2009.
- [5] W.L. Nolte, *Did I Ever Tell You About the Whale?: Or Measuring Technology Maturity* (Information Age Pub Inc, 2008).
- [6] M. S. Tillack and the ARIES Team, "An evaluation of fusion energy R&D gaps using Technology Readiness Levels", Fusion Power Associates Annual Meeting Livermore, CA, 4 December 2008.
- [7] 関 昌弘：核融合炉工学概論(日刊工業新聞社, 2001).
- [8] C. Moore, "TRL Usage at NASA", DoD Cost Analysis Symposium, USA, 2008.
- [9] 核融合エネルギーフォーラム ITER・BA 技術推進委員会報告書 核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略(2008年).
- [10] J.C. Mankins, *RESEARCH & DEVELOPMENT DEGREE OF DIFFICULTY (R&D3): A WHITE PAPER* (NASA, 1998).
- [11] M. Stefik, B. Stefik, 鈴木 浩(翻訳), 岡 美幸(翻訳), 永田宇征(翻訳)：ブレイクスルーイノベーションの原理と戦略-(オーム社, 2006).


かさ だりゅう た
笠田 竜太

2001年京都大学大学院エネルギー科学研究科博士後期課程修了。京都大学エネルギー理工学研究所准教授、木更津高校出身。東日本大震災を契機として、専門は原子力・核融合炉を中心とした材料学を抱合するエネルギーシステム学へと展開中。小学三年生以来の「初恋の君」である核融合エネルギーの実現に向けて、TRL 評価指標の導入、社会への発信、産学連携等、多角的に奮闘しつつも、照射材料の「硬さの本質」の理解に向けて地道に研究中。7歳と2歳の息子2人の子育てと、初恋の君に熱を上げる私への妻の理解獲得は沈没中？


ご とう たく や
後藤 拓也

2008年東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻博士課程修了、博士（科学）。同年4月より核融合科学研究所助教。研究分野は炉システム設計。2010年度から核融合工学研究プロジェクトにおいてヘリカル核融合炉FFHR-d1の概念設計に従事。設計が少しずつ具体化するに従い、改めて核融合炉開発というプロジェクトの巨大さを実感し、原型炉開発に携わる世代としての責任とともに、これだけのプロジェクトを完遂すれば人類は新たな高みに達するに違いないと、核融合炉実用化後の未来の世界に思いを馳せる毎日です。


ふじ おか しん すけ
藤岡 慎介

2005年に大阪大学にて博士（工学）を取得し、現在は大阪大学レーザーエネルギー学研究センターで准教授を務める。中学生の時に起こった常温核融合フィーバー以来、核融合エネルギーの実現が夢。高校生の時に放送されたNHK スペシャルの中で、フィーバー後も常温核融合研究に邁進される先生の姿を見て大阪大学への入学を決意するが、入学後に知ったレーザー核融合の方に心を奪われて現在に至る。大エネルギーレーザーで拓く科学研究の可能性を幅広く探りながら、夢の実現に向けて研究している。遂に三桁を突破した体重をドクター学生時代の値に戻すべく-15 kgを宣言し日々我慢中です。


ひ わたりょう じ
日渡 良爾

1999年 東京大学大学院工学系研究科 システム量子工学専攻 博士課程 中退。現在、(財)電力中央研究所・主任研究員・博士（科学）。核融合炉概念設計研究が主な専門分野。最近、エネルギー技術評価手法の開発、EV 用充電スタンド最適設置モデルプランの策定、V2G (Vehicle to Grid) 概念の検討も手がける。震災を受け、核融合への展開を念頭に軽水炉過酷事故解析も実施中。


おお やま なお ゆき
大山 直幸

日本原子力研究開発機構、核融合研究開発部門、先進プラズマ計画調整グループ研究主幹。JT-60では、高圧力プラズマの定常化研究、Hモード・ELM 特性研究、ミリ波反射計開発に従事。実験が大好きなのですが、できるだけ早くJT-60SA の実験が始められるよう、最近の研究以外の業務に奮闘中。原型炉建設のために国内コミュニティの団結する時期が来たと感じるこの頃です。


たに がわ ひろ やす
谷川 博康

1998年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。日本原子力研究開発機構、核融合研究開発部門、核融合炉構造材料開発グループ研究主幹。低放射化フェライト鋼開発を中心とした核融合炉構造材料開発に従事。中学生時代にエネルギー保障問題こそが日本の独立・平和維持の最大課題と思い至ったときに吉川庄一先生の「核融合への挑戦」と出会い（うっかり？）核融合を志す。この10年で研究開発課題のスケールが nm から m に拡大した。


みや ざわ じゅん いち
宮澤 順一

1997年東京大学大学院システム量子工学専攻博士課程中退。2003年学術博士（総合研究大学院大学核融合科学専攻）。核融合科学研究所准教授。長野県諏訪清陵高校出身。バイクは2003年式 Z1000。LHD ではファーストプラズマ以来一貫してガスバフを担当。コンパクト・トラス／超音速ガスバフの開発も。プラズマ実験では粒子供給／エネルギー閉じ込め／高密度プラズマ／デタッチメント（サーパンスモード）の研究をやってきたが、2010年からはNIFS核融合工学研究プロジェクトのヘリカル核融合炉 FFHR-d1 設計チームにも参画。プラズマに軸足を置きつつ、重心は炉工学に移しつつある。軸足が浮いたらトラベリング？