



4. トリチウム研究拠点の確保

—施設の保守・更新，人材の確保，新たな拠点建設をめざして—

松山政夫，林 巧¹⁾，山西敏彦¹⁾

富山大学水素同位体科学研究センター，

¹⁾日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門トリチウム工学研究グループ

(原稿受付：2010年5月27日)

富山大学水素同位体科学研究センターおよび原子力機構トリチウムプロセス研究棟 (TPL) とともに、ホット運転から25-30年が経過し、老朽化対策が必要となってきた。その中で、ホット施設の運転・保守の努力を続けており、蓄積された貴重な経験を示した。一方で、両施設の更新、新たな施設も必要とされており、富山大学の施設の更新状況、六ヶ所に整備を開始したトリチウム取り扱い研究施設の概要、今後原型炉に向けた研究開発において更に必要となる施設の考え方を示した。

長期に亘る継続的な研究開発が必要な核融合炉研究において、人材の育成・確保に、技術の継承に、核融合炉の社会的受容性の熟成のために、トリチウム取り扱い施設が必要なことはいままでもない。上記2つの大量トリチウム取り扱い施設を核に、日本のトリチウム施設が連携して、国内外のトリチウム研究における協力研究体制、今後の展望を議論した。

Keywords:

tritium, core facility, broader approach, DEMO Reactor, thermonuclear fusion

4.1 富山大学水素同位体科学研究センターにおける共同研究の状況および施設・設備の現状

第1章で述べたように、高濃度且つ大量トリチウムの安全取り扱いに関わる基礎的および応用的な研究を実施するために、1980年代の初頭に富山大学トリチウム科学センター (HRC) および日本原子力研究所トリチウムプロセス研究棟 (TPL) の2つの研究施設が設立され、今日までに30年近い年月が経過した。両施設は、トリチウムの取り扱い量は異なるが、本質的には同じ安全設備を有している。これまでの長期に亘って一定期間ごとに保守点検等を実施しながら、その機能・性能を設置当初のレベルに維持してきた。施設維持に加え、これまで両施設は大量かつ高濃度トリチウムの安全取り扱い技術・閉じ込め技術に関して基礎および応用の両面から精力的な研究を行い、我国におけるトリチウム研究に対する重要な役割を担ってきた。以下に富山大学水素同位体科学研究センターにおける共同研究体制の状況および施設・設備の現状を記す。

4.1.1 共同研究体制の現状

当センターは、我国の大学において唯一の大量且つ高濃度トリチウムを取り扱い得る施設を有する研究機関であることに鑑み、平成21年4月より研究体制を大幅に変更し

た。即ち、学内はもとより全国の関連研究者に本センターの施設・設備を広く開放して共同利用・共同研究に資することになった。平成21年より以前においても学外の関連研究者からの共同利用に関する申し込みがあった場合には、センターの専門委員会および運営委員会等において審議し、センターの研究活動に支障がない限りにおいては受け入れてきた。即ち、学内共同教育研究施設という位置づけではあるが、当該施設・設備の有効利用を図るために、平成21年度からは学内外の関連研究者による共同利用・共同研究課題の募集が開始された。従来の共同利用体制との大きな相違点は、共同利用・共同研究に係る旅費や消耗品費などの研究経費の一部が学長裁量経費の支援も含めてセンター側で負担されることになったことである。これにより採択された申請課題の共同利用・共同研究者は、不十分ではあるかもしれないが、この研究経費を使用して本センターに出張し、施設・設備等を利用することが可能となった。

なお、研究課題の募集領域としては大きく分けて、核融合炉燃料理工学や水素エネルギー科学に関連する共同利用・共同研究課題の提案を募集した。平成21年度の募集件数はセンターの教職員数および施設規模等を考慮して15件

4. Establishment of Core Facilities for Tritium Studies

—Maintenance and Renewal of a Radiation Facility, Bringing-up of the Tritium Handling Researchers and Toward the Establishment of a New Tritium Core Facility—

MATSUYAMA Masao, HAYASHI Takumi and YAMANISHI Toshihiko

authors' e-mail: masao@ctg.u-toyama.ac.jp, hayashi.takumi@jaea.go.jp, yamanishi.toshihiko@jaea.go.jp

程度としたが、最終的に採択された研究課題の件数は23件となり、全国の18の教育・研究機関に所属する関連研究者が本センターを利用可能となった。実際の共同利用・共同研究は平成21年6月末から開始され、後述の施設改修との関係より年明けの1月までの約7ヶ月間で本年度の共同研究等は停止せざるをえなかったが、この間に本共同利用・共同研究に参画した総研究者数（学生を含む）は、当初の予想よりも遥かに多くなり、約100人に達した。また本センターを利用した延べ人数は434（人・日）に達した。

他方、平成21年の夏頃より、核融合科学研究所の双方向型共同研究への参画に関する議論が始まった。双方向型共同研究は、大学等に整備されている装置、人的資源、研究環境を共同利用・共同研究として利用し、研究の機会を増やすことを目的として開始された新しい研究体制である。本共同研究は、大学と核融合研の自主性・自律性に基づき各組織の明確な責任において進められる。しかし、研究目標は、個々に定めるのではなく、我が国の核融合研究に今後必要とされる重要課題を、双方向型共同研究の中核である核融合研が核融合コミュニティと協議しながら集約し、これを各センターと連携・分担して進める。即ち、①大学のセンターと核融合科学研究所が双方向で行う共同研究、②センター間で各々行う共同研究、および③大学等の研究者がこれらのセンターに出向いて行う共同研究という3種類の共同研究形態からなっている。

本共同研究は、これまで炉心プラズマ研究を中心に、筑波大学プラズマ研究センター、京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター、大阪大学レーザーエネルギー学研究所、九州大学応用力学研究所高温プラズマ学研究所の4つのセンターが参画して活発に行われてきたが、平成22年度より新たに「工学研究グループ」を立ち上げることとなった。この「工学研究グループ」は大学における核融合工学研究を促進するため、比較的小規模の研究施設をネットワーク化し共同利用しようとするもので、平成22年度は富山大学水素同位体科学研究センターと東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターの2センターが参画し、核融合に関連したトリチウム挙動と材料照射に関する研究を推進することとなった。

これに伴い平成21年12月初めには従来の4センターに新たに2センターを加えた「平成22年度双方向型共同研究」の公募案内が全国の関係機関に配布され、6センターに対する研究課題の募集が開始された。これにより水素同位体科学研究センターでも従来の共同利用・共同研究に加えて双方向型共同研究も開始されることとなり、トリチウム研究に係わる全国的な共同利用拠点としての役割を果たし得る体制が整備された。なお、水素同位体科学研究センターでの双方向型共同研究の募集内容は核融合トリチウム研究（トリチウム安全取扱い技術の高度化やトリチウムと材料との相互作用など）に関連する研究課題に限定された。応募課題は核融合科学研究所・双方向型共同研究委員会及び水素同位体科学研究センター・双方向型共同研究運営会議において研究内容・研究計画及び施設の特長等を考慮し

ながら慎重に審査された。本年度は11件の研究課題が採択されて実施状況に至っている。

4.1.2 放射線施設の現状

先に述べたように、本センターの放射線施設は昭和55年（1980年）に既設の建物を放射線施設用に改修したものである。改修時からだけでも30年が経過し、建屋の耐震性向上や共同利用・共同研究活動の活性化に鑑み、平成21年の秋より本センターの耐震・機能改修工事が開始され、平成22年6月末には改修工事が竣工する予定である。管理区域に係わる改修は工事が可能な範囲のみとし、送風機や排風機などの空気調和設備、排水処理設備およびモニタ制御盤などの更新ならびに電気設備の更新のみにとどめた。なお、図1に示すように少量のトリチウムを用いた予備実験やRI教育訓練等が可能のように、これまで送風機が設置されていた機械室を「基礎実験室」として改修し、水素同位体科学研究センター共同利用・共同研究および核融合科学研究所・双方向型共同研究などの共同研究等による学内外の関連研究者の受け入れ枠を拡大するための措置を図った。

4.1.3 安全設備の現状

トリチウムを取り扱う放射線施設には、基本的な安全設備として空気調和設備、トリチウムモニタ設備および排水処理設備並びにトリチウム取り扱い施設特有の設備としてトリチウム除去設備等が設置されている。これらの安全設備は本センターの前身であるトリチウム科学センターが設置された際に整備されたものであり、何れも既に30年経過しており、交換部品等の入手が困難な状況となっていた。このような状況に鑑み、大学当局に放射線施設用安全設備の更新を要望していた。幸いにも、平成21年度の学内予算措置により、グローブボックス用トリチウム除去装置の更新が行われた。新しい当該装置の外観写真を図2に示す。本装置の基本的な機能・性能は従来の装置と同等以上である。最も大きな相違点は、旧装置の配管類にはアルミニウム合金を主として使用していたが、耐腐蝕性の観点より、新規装置では可能な限りステンレス鋼を用いることとした点である。

一方、基本的な安全設備としての空気調和設備、トリチウムモニタ設備および排水処理設備の更新・整備等については、文部科学省への施設・設備変更に係る許可申請を提出して工事開始の許可を得る作業を終え、現在進行中の管

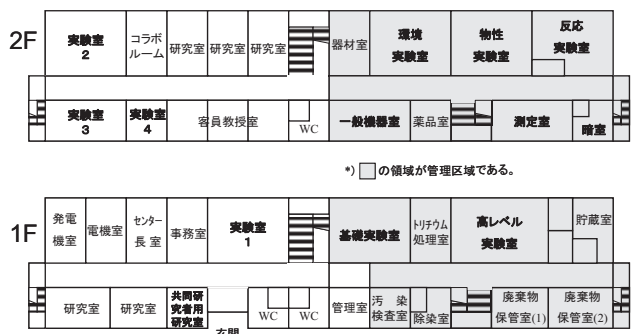


図1 改修後の水素同位体科学研究センター平面図（1, 2階のみ）。

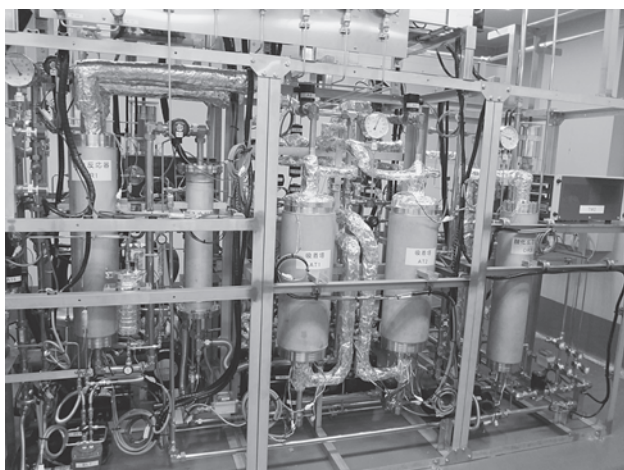


図2 更新されたグローブボックス用トリチウム除去装置の外観写真。

理区域の耐震・機能改修工事と共に実施されて本年の6月末には竣工予定である。これらの安全設備についても基本的な性能は従来の設備と同等又はそれ以上となっており、今後、トリチウムを使用する共同利用や共同研究活動を継続的に実施する上で重要な役割をなすであろう。

4.2 日本原子力研究開発機構・トリチウムプロセス研究棟(TPL)の現状

4.2.1 共同研究体制

本格的にトリチウム取扱研究を開始した当時は、日米核融合研究開発協定の付属書3および4に基づく米国ロスアラモス国立研究所トリチウムシステム試験施設との共同研究(本講座第3章参照)が並行して進められており、関連した研究会やワークショップによる情報共有を進めるとともに、年間数件の委託研究、協力研究などにより、多くの大学・企業との連携を進めた。これらの連携は、平成10年のトリチウム安全性試験設備の整備(前講座第2章参照)とともに、本格的な「施設利用共同研究」として整備され、年間約5件、毎年延べ約100人・日の利用が維持され、さまざまな研究に利用されてきた。さらに、本章次節で述べる原型炉に向けた共同研究が開始されており、本格的に六ヶ所の施設が稼働すれば、より利用の幅が広がるものと期待している。

4.2.2 トリチウム取り扱い施設の老朽化対策

先の章で記述したように、TPLは内装(安全)設備運転から25年が経過し、老朽化対策が必要となってきた。これまでに更新を行ってきた主要機器は、ある程度消耗品と考えられる計器・バルブ類を除くと以下である。この経験は、今後新たな大量トリチウム取扱い施設を建設する場合、特に注意が必要なところ、またコストをかけても耐久性のある機器等を導入しなければいけないところであり、貴重な経験に基づくノウハウである。

- (1) 中央制御設備：計算機の発達は日進月歩であり、施設建設時の制御計算機は部品調達も困難となり更新した。
- (2) 熱交換器：トリチウム除去系において、高温の触媒

(200℃)でトリチウムを酸化して水蒸気にした後、乾燥塔で水蒸気を除去するために、ガス温度を冷却水で下げる熱交換器が設置されている。この熱交換器において、長年のコロージョンにより、ガス側に水が漏洩する事象が生じ、機器を更新した。

- (3) 回転機器：真空排気ポンプ(オイルフリーの粗挽きポンプ)、トリチウム除去系圧縮機等で、各種部品の交換等で保守を行っている。ただし、機器本体そのものの更新はなく、本体機器の耐久性があることは、本施設の運転を介して実証された。

一方、現状まだ問題は生じていないものの、今後更新が必要な設備として、トリチウムモニタリング設備(定期的な校正・点検により測定誤差が大きくなっていることが判明している。)、建屋の搬入扉(長年の風雨で最近痛みが目立っている。)が挙げられる。

全体として鋭意データベース化して、ITERのトリチウムプラント設備の設計評価(およびその検証)や原型炉の設計に反映していく予定である。

4.3 原型炉に向けたトリチウム取り扱い施設

4.3.1 BA(Broader Approach)活動における研究施設[1]

ITERと比較して、原型炉では、トリチウム燃料システムの長時間連続運転が必要とされる。そのため、トリチウムの分析技術の研究開発は、システムの運転制御の観点からはもとより、安全上の観点からも燃料トリチウムの計量管理や連続的な排気・排水管理の精度向上など、大変重要である。また、原型炉では構造材料が長期間トリチウムに曝されること、また低放射化をめざした新たな材料が用いられることから、これら材料とトリチウムの相互作用およびトリチウム耐久性に関するデータベースを構築することが必須である。上記背景を元に、日-EUの国際協力で行われる幅広いアプローチ(BA: Broader Approach)計画の中の原型炉設計・研究開発調整センターの活動において、次に示す重要かつ基礎的なトリチウム技術の分野のR&D項目が合意された。

- タスク1：トリチウム取り扱い装置群—多目的RI取り扱い設備の整備
トリチウム取り扱い装置群を設計・整備する。
- タスク2：トリチウム計量管理技術
原型炉でのトリチウム計量管理およびシステム制御のための分析手法開発を行う。
- タスク3：トリチウム安全工学に関する基礎研究
原型炉で用いられる先進材料(SiC, 低放射化鋼, プランケット増殖, 増倍材, プラズマ対向材)とトリチウムの相互作用について基礎研究を行う。
- タスク4：トリチウム耐久性
原型炉トリチウム燃料循環系で用いられる機器のトリチウム耐久性, 材料の腐食について, 基礎研究を行う。

上記トリチウム取り扱い装置群は、フード、グローブボックス、トリチウム除去系、トリチウム貯蔵・供給系等からなる。トリチウム使用量は、1日3.7 TBqを計画し、フード1基あたりの一日最大使用量及び施設全体の貯蔵量は、それぞれ0.37および7.4 TBqを計画する。その他RI核種の使用量は、セラミックス材料、鉄鋼材料、非鉄金属材料にグループ分けをして使用することを想定する(すべてのグループで少量のトリチウムの同時使用を可能とする)ことであり、それぞれ代表的な核種の一日最大使用量は、P-32:100 MBq, Cr-51:950 MBq, W-185:600 MBq程度を検討している。これらを用い、先進材料の中性子照射後試験(微小片試験)に対応できるようにする。現在までに装置群の設計、RI核種取り扱いシナリオを策定し、それに基づき、フードおよびグローブボックスから室内に移行するトリチウム量の評価を行っている。この結果を基に、従事者のトリチウム内部被ばく量を評価する。フードまたは簡易遮蔽構造物内では、ベータおよびガンマ核種も取り扱われるため、その外部被ばくも、50 mmの鉄遮蔽を用いるものとして評価する。最後に、スタックでのトリチウム濃度を評価し、法令値を大きく下回ることを確認する。今後、2010年度中に許認可手続きを行い、2011年度には、トリチウムおよび他のRIを用いて実験を行うことを目標とする。

トリチウム除去設備は、全ての実験装置の排気ガス中のトリチウムを除去する排出ガストリチウム除去系と、トリチウム貯蔵ベッド(ZrCo合金による水素化物として貯蔵)を納める、グローブボックス雰囲気中のトリチウムを除去するグローブボックストリチウム除去系から構成される。いずれの除去系も、トリチウムを酸化する触媒塔と、トリチウム水を吸着除去する乾燥塔、乾燥塔再生システムからなる。図3に、トリチウム除去設備、グローブボックスの写真を示す。

上記のトリチウム貯蔵許可量は、TPLの1/100よりも小さい量であるが、現状、トリチウム、ベータおよびガンマ核種、さらにベリリウムをも同時に扱うことができる日本で唯一の貴重な施設となる。すでに、タスク2, 3に関しては、国内の大学・研究機関との間で10数件の共同研究が平成21年度より予備的に開始されており、今後の本格的なRI利用の開始とともに多様な分野の研究者が一同に介し、複合的な成果を挙げるのが期待される。また、タスク4の一部はTPLで実施予定であり、全体としてこのBA活動は平成28年(2016)まで実施される。

4.3.2 原型炉に向けた研究開発において更に必要となる研究施設

原型炉にむけては、上記のように、青森県六ヶ所村に施設の整備を行っているところであるが、トリチウム関連課題については、主に以下の研究開発を着実に進展させる必要がある[2]。

- a) 主燃料循環処理
- b) 増殖ブランケットトリチウム回収
- c) トリチウム安全閉じ込め/除去
- d) 計測/計量管理

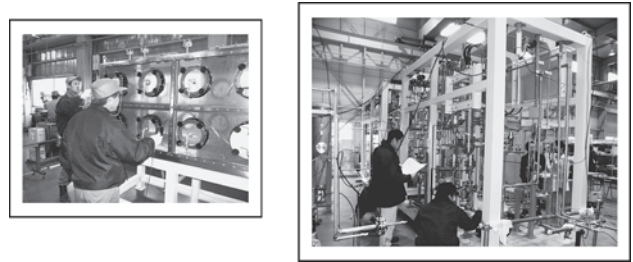


図3 BA計画で整備中のトリチウム取り扱い設備群。

- e) 廃棄物処理/処分
- f) 環境/安全評価
- g) 許認可/法整備
- h) 初期装荷トリチウム
- i) 炉システム

これらの研究開発の進展にばらつきがあり、当面BA活動を進めつつ、ITER計画(数kgのトリチウム取り扱いと200 Pa·m³/sの主燃料循環処理で、原型炉と同規模と想定)の進展を積極的に注視し、成果を吸収していく。また、国内の成果をITERの詳細設計や運転計画に反映すべく参画していく必要がある。

しかしながら、上記を円滑に進めて原型炉に至るためには、特に、増殖ブランケット開発を中心として国内独自の計画を推進することが不可欠であり、以下のような装置群を擁する新たな大量トリチウム取り扱い施設が必要であると考えられる。(なお、当然増殖ブランケット技術開発そのものは別途必要であるが、本稿ではトリチウム関連のみ整理した。)

1) トリチウムプラント統合技術模擬実証装置群:

真空排気系、燃料循環処理系、ブランケットトリチウム回収系、水処理系等のサブシステムが連結された装置を製作し(貯蔵能力:300g規模、1日最大使用量:約100g規模)、原型炉に向けた連続運転を基本とする総合実証試験を行うと共に、ITERに持ち込む機器の事前の性能総合試験、定常・異常・保守等を想定したトリチウム分野のみならずITERおよび原型炉研究に携わるすべての研究者・運転技術員のトリチウム取扱訓練も実施する。(ITERの本格的DT運転時期:工学運転期を想定すると、ITERのトリチウムプラント以外には世界的にも唯一の施設となりうる。)

2) 増殖ブランケット開発ホットセル装置群:

トリチウムと誘導放射性核種が同時に取り扱えるマニピュレータ等の遠隔機器を装備した気密遮蔽セル(段階的な増強を念頭に、最初は現在のBA施設の約100倍の規模:1g(370 TBq)程度のトリチウムと同レベルのベータガンマ核種の同時取扱(試験片規模)から始め、最終的にはITERで使用した第一壁やテストブランケットモジュールの照射後試験ができるように整備:受入検査・解体・試験・分析・廃棄物保管など連結セルを想定)等を製作し、トリチウムと放射化生成物が共存する機器およびその材料に関連する研究を幅広く実施する。

3) トリチウム・RI複合廃棄物低減装置群:

主に核融合炉内構造物(ブランケット・ダイバータ等)の保守・補修におけるトリチウム・RI複合汚染廃棄物の

低減技術開発を実施する。汚染検査・除染・切断・減容・廃棄体確認等の技術開発を実施する。既存の原子炉のバックエンド技術や別途BAの原型炉R&D研究として実施されている、増殖材・増培材・構造材研究とも十分連携して進める必要が有る。

なお、上記を進める中で、安全閉じ込めはもちろんのこと、環境・安全評価関係も着実に進むものと期待され、初期装荷トリチウムは炉システム検討や法整備ともあわせ、総合的に検討すべきであると考ええる。

4.4 将来への提言

核融合エネルギーフォーラム ITER・BA 技術推進委員会では、21世紀中ごろまでに核融合実用エネルギーの実用化の目処を得るため「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（平成20年6月）」[2]を纏めている。21世紀中ごろまでに実用化の目処を得るためには、前述のように ITER を有効活用する必要があるが、その本格的DT運転開始は2020年代後半であり、20年近く先である。また ITER が日本にないことから必要となる技術開発、大量トリチウム安全取り扱い技術などについて、核融合原型炉が動き出すまで、独自に発展的に研究開発を継続する必要がある。

核融合炉によるエネルギー供給を達成するには、高温プラズマ粒子の閉じ込め制御を初めとして核融合炉工学の範疇となる耐中性子照射材料の開発、燃料粒子の生産・回収や循環制御および安全システムの構築など多岐に亘る多くの課題を解決しなければならず、加えてこれらの課題解決の方針が同時に確立されることが必須である。したがって、核融合炉工学の研究開発に係わる活動を維持・発展させていくために、現体制での精力的な研究活動のみならず、将来的な学問や技術の継承、絶え間ない技術の進展への対応、核融合炉の社会的受容性の熟成のため、基本となる次世代を担う若手の継続的な人材育成に係わる制度の確立が不可欠であり、早急に体制作りに着手しなければならない。この要求に答えるためには、上記2つの大量トリチウム取り扱い施設を核に、ITER への参画を積極的に進め

るとともに、それを支援し、補完・発展させるために不可欠な新たな国内トリチウム取り扱い施設の建設を視野に入れて、日本の各トリチウム取り扱い施設の特徴を生かした研究拠点化が必要である。ITER を活用しその成果を最大限持ち帰るためには、これらの研究拠点に、核融合炉におけるトリチウム取り扱い経験を事前に積むための研修センターの機能も必要不可欠であると考ええる。

このような状況に鑑み、国立大学法人の第2期中期目標・中期計画のスタートと同時に新たに富山大学水素同位体科学研究センターで開始された核融合エネルギーおよび水素エネルギーの研究開発の基盤となる水素同位体科学に関する共同利用・共同研究および双方向型共同研究システムが全国の関連研究者によって有効に活用され、上述の恒久的な共同研究体制へと発展・定着することを切望する。また六ヶ所で整備が進んでいるトリチウム取り扱い施設に関して、大学等との共同研究を含めた有効活用と、原型炉に向けた新たな大量トリチウム取り扱い施設に関する議論が進むことを切望する。

4.5 おわりに

昨年度から開始された富山大学水素同位体科学研究センターの耐震・機能改修事業の実施にあたって、また BA・IFERC 活動における原型炉 R&D 研究の実施にあたって、文部科学省を初めとして多くの方々からいただいた多大な御支援および御協力に深く感謝いたします。また、核融合炉燃料理工学の課題解決に向けてたゆまず研究を進めるために、核融合研究に係わる多くの方々の御指導と御協力が今後とも得られるよう、この場を借りてお願いいたします。

参考文献

- [1] T. Yamanishi *et al.*, Fusion Sci. Technol. 54, 45 (2008).
- [2] 核融合エネルギーフォーラム・ITER/BA 技術推進委員会、「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（平成20年6月）」