核変換実験施設（TEF）
技術諮問委員会

2015 年 10 月 28-29 日
東海村

T-TAC 2015 報告書

目　次

要　旨 **4**

はじめに **5**

1.　J-PARC TEF 計画の概要 **5**

2.　TEF-T 設計の詳細 **6**

2.1　ターゲットステーション及び保守 6

2.2　照射及び照射後試験計画 6

2.3　多目的利用 7

2.4　施設設計 8

3.　TEF-T 設計のための実験と結果 **9**

3.1　TEF-T ターゲットモックアップループ 9

3.2　高温腐食試験ループ 9

3.3　酸素センサーとポテンシャル制御 10

3.4　要素技術 11

4.　リニアックからのビーム引き出しを含む TEF ビーム輸送系設計の詳細 **13**

5.　TEF-P の概要 **14**

結　論 **15**

本報告で示した勧告のまとめ **16**

付録 I **18**

付録 II **20**

付録 III **21**

要　旨

2015 年 10 月 27-28 日、東海村の J-PARC にて核変換実験施設計画の技術諮問委員会 T-TAC が開催され、そして高温工学特研の実験室と TEF 建設予定地を視察した。T-TAC は、J-PARC スタッフによる詳細な報告により、TEF 計画の総括的な概念を与えてくれたことについて、斎藤直人 J-PARC センター長に感謝する。

ADS の設計とこれを支える研究開発のための重要課題について、特に ADS ターゲット試験施設（TEF-T）における鉛ビスマス（LBE）技術開発、及び核変換物理実験施設（TEF-P）における MA 燃料装荷未臨界炉の炉物理研究に向けて、関係する J-PARC チームにより見事に取り組まれている。両システムは、大規模 ADS の設計に必要な物理、材料そして工学データの開発にあたり、世界の中でも傑出しており、ユニークである。

T-TAC メンバーは、本計画に対する J-PARC チーム関係者による深い関与と 2014 年 7 月の前回 T-TAC 以降になされた進捗を認める。また、適切な資源が与えられる場合には、2017 年度の TEF-T 詳細設計と建設開始の計画を認める。

T-TAC は、 既存の陽子ビームとともに高い意欲を持ち優秀な科学者と技術者のチームの存在により、両施設の建設と運転を行うにあたり J-PARC が適切な場所であると確信する。

国際参加の関連では、J-PARC の ADS 核変換ロードマップの加速と実現を補完する役割を担うベルギーの ADS 計画 MYRRHA とともに、魅力的な計画を組み立てることが出来る。

T-TAC は、J-PARC は TEF 計画への挑戦に対し専門家として適切に対応しており、適切な資源が与えられる場合には、工学規模の高レベル廃棄物核変換のための ADS 開発に貢献し、科学的、技術的及び社会的に重要な利益を創出することが出来ると確信する。

はじめに

2015 年 10 月 27-28 日、東海村の J-PARC にて核変換実験施設計画の技術諮問委員会 T-TAC が開催され、そして高温工学特研の実験室と TEF 建設予定地を視察した。付録 I に会合のアジェンダを、付録 II に J-PARC センター長より与えられた委員会の責務を示す。参加できなかった鬼柳善明委員（名古屋大学）を除き、委員会メンバー全員（付録 III）が、2 日間の会合に参加した。

1. J-PARC TEF 計画の概要

放射性廃棄物の核変換のための JAEA 提案 ADS 開発に向けたロードマップの一環として、核変換実験施設計画が紹介された。10 月 1 日時点における J-PARC の関連する研究開発セクション構成と、TEF 計画のターゲット（-T）及びビーム輸送（-BT）に関する更新されたスケジュールが示された。

所見とコメント:

2014年の初回T-TAC以降、核変換ディビジョンにスタッフが増員されたというものの、現在計画されている2017年のTEF-TとTEF-BTの建設段階への移行には、設計と許認可のチームの更なる強化及び建設チームの設立が必要であると、T-TACは評価する。残念ながら、2014年T-TACで提案した、実用ADSの設計とその実現に向けた「もんじゅ」スタッフの参加は、部分的にしか叶えられていない。

前回T-TACの勧告（# 1.1と2.1.1）への対応として、全ての可能性のあるJAEAのADS候補概念に取り組むために必要とされるTEF-Tのパラメータ（流量、隔壁と試料の温度、流速、ビーム電流密度、dpaとHe生成率）が示された。TEF-Tのdpaレベルは完了したMEGAPIEプロジェクト（1.8mA、590MeV陽子ビームによる1MW核破砕窓有りターゲット実験）と同等であると見受けられる。TEF-Tにおける実験計画は、MEGAPIEプロジェクトの成果を取り込むべきである。

勧告:

1.1 2017 年に計画されている TEF-T と TEF-BT の建設段階への移行に向けて、技術的選択を固めて技術設計書に纏めよ。この設計書を次回 T-TAC のベースに出来れば理想的である。

2. TEF-T 設計の詳細

2.1 ターゲットステーション及び保守

前回 T-TAC 報告書の勧告を踏まえた最新のターゲットステーションの設計が報告された。特に、ターゲットヘッド、ターゲット循環系及びターゲット台車の設計が示された。また、物質・生命科学実験施設（MLF）を基にしたターゲット概念と新しい概念が比較検討された。

所見とコメント:

ターゲットヘッドについて、ターゲット内のフローガイドに関する設計が進められている。ターゲット窓部に生じる流れの再循環を効率よく低減する議論の中で、二枚羽根構造が提案された。この場合、可能な範囲で照射サンプルホルダ位置の見直しが必要かもしれず、また、流れの安定性を検証する必要がある。このため、ターゲット全体のCFD（数値流体力学）解析を実施することが重要である。照射サンプルを互いに近接させればサンプル数を増やせるが、コミュニティの中で静的な試験よりも高い興味が持たれている照射下での応力負荷試験の障害となる可能性がある。

勧告:

2.1.1 フル CFD 解析と熱機械的特性の詳細な評価とともに、照射サンプルの DPA に関係するビームサイズ、応力レベルを低減する陽子ビーム窓中心部の形状、及び照射サンプル領域の流れの安定性を担保するサンプルホルダ設計の詳細を最適化せよ。

2.1.2 照射条件に関する具体的な要求を評価するため、TEF-T のユーザグループ（ADS、核融合）にさらに意見を求め、それに従って施設の仕様を決定せよ。

2.2 照射及び照射後試験計画

ターゲット窓及び燃料被覆管材における、照射硬化（脆化）、スウェリング、疲労、クリープや LBE による腐食・浸食等の照射効果が検討されてきた。3 重イオン照射（TIARA 施設）を用いた T91 における温度依存性を含むスウェリング挙動が報告された。予定される照射後試験に対して、温度と弾き出し損傷量の関係において高い優先範囲が定義された。

所見とコメント:

温度や LBE フローとともに DPA 分布（中性子と陽子）等の照射条件のモニタリングや制御の方法について、明確化が求められる。

勧告:

2.2.1　ターゲット設計の確定後、照射条件及び照射後試験計画（ターゲット窓及び試験片）の詳細を設定せよ。

2.3 多目的利用

TEF の多目的利用のための暫定的な方針について説明があり、医学的利用のための同位体製造、半導体機器の照射試験、基礎核物理等への応用が示された。これらの目標を達成するために追加する機器の設置（気送管、中性子ビームポート、ISOL 施設）が検討された。

所見とコメント:

T-TAC は、「エネルギー基本計画」記載のとおり、放射性廃棄物の処理・処分の安全性向上のための核変換技術開発に焦点を当てる一方で、TEF-T の多目的利用（例えば核融合材料試験、放射性同位体製造、及び半導体試験）を推進する構想を支持する。

半導体産業の発展に伴い、放射線効果の技術的影響はますます重要になってきている。高密度集積に要求される超微細構造を作り出すために、トランジスタは小型化し、集積回路は放射線誘起寄生電荷により敏感になり、イオン化粒子が引き起こすシングル・イベント・アップセット（SEU）に対してより敏感になってきている。

電子機器が受ける放射線影響を考慮すべき典型的な応用分野は、以下の通りである。人工衛星は修復作業が不可能なため、故障してはならない。航空電子機器の電子システムの安全性は極めて重要であり、高高度の放射線レベルであってもその安全性は保障されなければならない。飛行機、乗用車、電車及び通信システムは、常に増え続ける多数の電子部品を統合したものであり、ますます複雑化している。そしてこれらの機器にとっては、比較的低い放射線レベルであっても重大なリスクとなり得る。最後に加速器の運転系及び安全系は、究極の設計目標に到達して科学的ブレイクスルーを達成するために、長い平均故障間隔が求められる。

通常、放射線環境下における小型電子機器やシステムの振る舞いを理解・予測するのに重要なデータを得るために、加速器による陽子及び重イオンビームを用いた測定が行われている。機器に対するシングル・イベント及び積算線量応答の評価、及び放射線暴露に対するデバイス技術が、多くの場合の研究目標である。これらの研究の多くは、特定の品質保証基準に対応したサイクロトロンを利用して行われている。TEF-Tの応用事例（多目的利用）は、施設の優れた仕様の利点を生かすよう決定すべきである。

勧告:

2.3.1 陽子ビームのパルス構造が許せば、1MeV 以上の中性子入射反応断面積測定のため、ナノ秒オーダーの非常に短いビームパルスを利用した中性子飛行時間法の飛行経路設置の可能性を検討せよ。

2.4 施設設計

核変換のための材料照射試験及び多目的利用の要求に基づいた、建物及びユーティリティ設備の設計方針が示された。TEF-T 各階の部屋の配置（放射線管理区域、遠隔操作用エリア等）について、負圧の設定基準や付帯設備と制御設備の概要も含め示された。

所見とコメント:

TEF-T 施設の設計は要求を適切に反映しており、順調に進捗している。

一つの小さな問題として、建屋に入ったビーム輸送ラインとその上部の会議室（一般区域）との間の遮蔽が十分であるかを確認する必要がある。あるいは、会議室の代わりに定常的に人のいない部屋（廊下や倉庫など）とすることで、常時、非常時ともに従事者に対する被ばくの可能性を低減することができる。

提示された冷却水システムは集約的なシステムであり、LBE システム、ベッセル遮蔽体、ターゲット台車、そして陽子ビーム窓に全て並列に冷却水が供給されている。この状態では冗長性に欠ける。事故等の可能性を避けるためにも、集約的な冷却水設備が故障して冷却水が供給されなくなった場合について確認しておくべきである。

3. TEF-T 設計のための実験と結果

3.1 TEF-T ターゲットモックアップループ

モックアップループ（現 IMMORTAL）は、TEF-T ターゲットの 1 次冷却系統と同じ構成を持った実証試験ループである。その目標と目的は、明確に定められている。TEF-T ターゲット設計の変更により、安全検討に関する第 1 回 T-TAC の勧告#2.3.9 にはまだ対応がなされていない。

議論の中で、60L/分（公称流量）が冷却には十分であることが述べられた。この場合、温度は 470℃に達し、窓部の局所流速は 1.4m/秒となる。ポンプの最大流量は 120L/分である。流量を 120L/分に設計した場合、温度は 450℃に達し、窓部の局所流速は 2.8m/秒となる。中間に LBE 層を挟んだ二重壁熱交換器が検討されている。熱交換器内の漏洩検知が課題として残っている。

所見とコメント:

熱交換器の冷媒は水、出口温度は 200℃、水圧は 2MPa である。200℃の加圧水の飽和蒸気圧は 1.45MPa である。しかしながら、2MPa での沸点は 213℃であり、小さい温度マージンしかない。サブクール沸騰が即座に発生し、沸騰による気泡は水流の中で崩壊する。しかし、発生した蒸気のある程度が周期的にサブクール水によって取り囲まれた場合、蒸気の急速な凝縮により、ウォーターハンマーが起こり得て、その結果として熱交換器が損傷する。

勧告:

3.1.1 ウォーターハンマーのリスクを評価し、必要に応じて熱交換器の損傷を回避する対策を検討せよ。

3.1.2 モックアップループの運転を通じ、ビームトリップ時の影響を解析せよ。

3.2 高温腐食試験ループ

TEF-T と将来の ADS 実現のため、T91 や SS316L のような実際的な材料について、400℃から 550℃の関心のある温度範囲において、適切な腐食データを取得することは絶対に必要である。必要とされる情報を取得するために、JAEA は“高温腐食材料試験ループ（HTC ループ）”を設計し製作した。

2015 年 10 月における HTC ループの状況は、LBE 無しでの調整運転と、ヒーター系の改造及び試験片交換ボックスの製作が既に始まっており、一方、酸素センサーと酸素濃度制御系（OCS）は 2016 年 3 月までに導入される予定である。

所見とコメント:

斎藤の発表によると、HTC ループの目標・目的と 2014 年 7 月の第 1 回 T-TAC の勧告について、良く対応し実行されている。しかしながら、報告された流路計画には修正が必要である。

- 超音波流量計は、電磁ポンプの下流に設置する方が良い。
- 主流を 2 つのセクションに分配するのはかなり危険である。各テストセクションの流動抵抗によって、異なる流量となり得る。各テストセクションに流量計が追加されなければ、実際の流量は事実上不明である！
- 長方形（10x14mm）の薄板試験片を内蔵し、2 箇所のテストセクションそれぞれに置かれる長さ 430mm の試験片ホルダーは、試験計画に従って試験ループから取り外される。試験片の設計によっては、乱流により異なる性質の混相流条件が両方のテストセクションに生じるだろう！

勧告:

3.2.1 電磁ポンプの下流に流量計を設置し、各テストセクションに流量計を追加する可能性を検討せよ。

3.2.2 2 箇所のテストセクションについて、試験片ホルダーの有無による流れの違いを明らかにするため、熱流動解析を慎重に実施せよ。

3.2.3 この解析は両テストセクションの流れの種類（層流、乱流、混相流）、これらの違い、そして各テストセクションで試験片設置に使える有効長の見積りに役立つ。

3.3 酸素センサーとポテンシャル制御

鉛や LBE のような液体重金属を将来の原子炉や核変換炉で用いる場合、構造材や被覆材との適合性は、鍵となる課題の一つである。材料腐食を最小化するための方法は、鉄やクロムなどの鋼材構成元素の酸化を促し、負荷の高い部材の表面に安定した保護用の酸化膜を形成させるため、LBE へ制御しつつ酸素を加えることである。その濃度は、鋼材の主な構成要素である鉄の酸化のために十分高くなければならないが、鉛の酸化が起きる値を超えるべきではない。従って、これらの条件を満たすために、酸素濃度の範囲は、10^{-5} - 10^{-7} wt.-%の間を保たなければならない。

所見とコメント:

電気化学的な酸素センサーによる酸素濃度測定の目的と対象について、酸素制御手法も含め、よく取り組まれている。昨年の第 1 回 T-TAC における勧告のほとんどは、以下項目を除き、菅原が発表したとおり対応がなされていた。

- Pt/Air 型センサーと比較して、Bi/Bi_2O_3 センサーの校正はうまくいっていない。この効果の理由は複雑であり、この問題の解決には時間を要する。
- 酸素センサー自身の校正プロセスについては、正しい道筋を辿っている。しかし、センサーの製作過程における品質やばらつきをより良く理解するため、特に学習期初めにおいては、単一の酸素ポテンシャル（例えば、飽和条件）だけの校正では不十分である。
- 流れ場での酸素センサーの長期試験については、センサー（セラミック？）の破損により、極めて短い時間で止まっている。

勧告:

3.3.1 時間と予算を節約するため、今後は Pt/Air 型のみを信頼せよ。

3.3.2 酸素センサーの校正は、2 点目の酸素ポテンシャルを加えよ。例えば、Co/CoO のポテンシャルは 500℃で 900mV 程度である。これはセンサーの性能に対して、更なる信頼性を与える。近い将来、J-PARC における酸素センサー製造の品質が理解され、良くなったときに、1 点での校正に戻れば良い。

3.3.3 Pt/Air 型センサーの LBE 流れ場における長期試験を進めよ。LBE 接液時の、センサーへの熱衝撃リスクを最小化するため、注意深いドレンと揚液の手順を考えなければならない。

3.4 要素技術

TEF-T ターゲットのモックアップループは、TEF-T ターゲットの一次冷却系と同じ構成・機器を持つ実証試験ループである。陽子ビームの発熱を模擬する加熱器を除くほとんどの機器が実スケールとなっている。ループの製作は、第 1 回 T-TAC 以降の 2014 年度末までに完了している。モックアップループの主な目的は、遠隔操作技術、フリーズバルブ及び液体金属に関する計装機器に集約されている。2014 年 7 月に開催された前回 T-TAC 会合報告書の中で、T-TAC は TEF-T のような大型施設でのフリーズバルブの使用に懸念を表明する一方、計装機器と遠隔操作技術の開発と検証は高い優先度を持つことを記載した。これに従い J-PARC は、“要素技術”について、必要な機能試験の実施によりそれぞれの未解決問題を解決するため新しい活動を開始した。

- フリーズシールバルブ
- 自動配管溶接技術
- パッケージヒータ及び遠隔フランジの遠隔操作試験

所見とコメント:

佐々より、本タスクの目的は適切に示された。しかしながら、ターゲットループの運転に深刻な影響を与えうる 2 つの活動については、慎重に検討する必要がある。

- 機械式バルブの数を最小レベルにまで削減することは、T-TAC の経験からも同意する。しかしながら、いわゆるフリーズシールバルブをターゲットループと組み合わせることは、ループシステム全体の安全性に大きな影響を与える可能性がある。LBE は凝固時に時間とともに膨張するため、最も一般的な鋼材の最大引っ張り強さを超える高い機械的応力が生じることもあり、配管システムの構造的な障害を招く可能性がある。機械的応力のレベルは、冷却速度、冷却開始時の温度、凝固状態での経過時間に依存する。提示された全てのパラメータは、高温から急速に冷却し、凝固状態で約 5000 時間放置するものであり、フリーズシールバルブの寿命にとって最悪のシナリオとなりかねない。
- ジョイントやフランジを使わずにターゲット配管を接続するための自動切断及び再溶接は、とても支持できる。しかし、T91 配管の再溶接後、溶接部の脆化を避けるために約 2 時間・760℃で溶接部をアニールするための熱処理が必要である。SS316L については、T91 と同等ではないものの、空冷時の炭化物の析出による脆化の可能性がある。
- 核破砕ターゲット用の液体金属として LBE を水銀の代わりに用いるには、連続予備加熱や配管の交換容易性などの、異なった運転適応性が要求される。JAEA の高速炉技術を適用した、遠隔操作が可能ないわゆる“パッケージヒータ”は、本目的に対し非常に合理的かつ実用的である。

勧告:

3.4.1 現実的かつ典型的な条件下で、歪みゲージを装着し、凝固時における配管壁にかかる応力／ひずみの程度を測定せよ。これは、フリーズシールバルブのリスク評価と操作の最適化に役立つ。

3.4.2 T91 鋼について、必要な熱処理とその後の室温までの空冷を行うための、外付けの可動式加熱装置を検討せよ。金属組織の調査や溶接部のシャルピー試験により、溶接部の品質を確認せよ。

3.4.3 316L 鋼について、熱処理が一般的に必要か否か（溶接部のシャルピー試験）、また、0.5 wt%合金チタンにより粒界での炭化物の析出を防止する Ti 安定化 316 鋼（316-Ti 系）を使用できるかどうかを確認せよ。

3.4.4 新しいターゲットを再溶接する前に、切断したターゲット配管に付着した LBE を適切に除去できることを保証せよ。

4. リニアックからのビーム引き出しを含む TEF ビーム輸送系設計の詳細

TEF ビーム輸送系の設計について、ビーム軌道設計の更新、建設計画、及びビームモニターの開発を含め、現状報告があった。完成度の高い、ビーム引き出し方法に関する概念研究の成果が示された。パルス偏向電磁石、DC セプタム電磁石、及び改良型四重極電磁石を用いた二段階のビーム引き出し方法が選択された。補正電磁石付きのパルス偏向電磁石の製作が完了した。最後に、レーザ荷電変換（LCE）の現状について説明があり、特に現在進行中のレーザ光源の安定度試験と低エネルギーH^+ビームを使った LCE 試験の準備状況が示された。

勧告:

4.1 TEF ビーム輸送系に関連して、ターゲット上におけるビームプロファイル測定のため、様々なオプション（ワイヤーグリッド、赤外線イメージング、発光塗料による可視光イメージング）を引き続き調査せよ。

4.2 より良い分解能の達成と放射線による光ファイバーの損傷を避けるため、カメラに映像を送るにあたり、光ファイバー束に代わり調整可能な鏡による直線光路を用いることを検討せよ。

5. TEF-P の概要

TEF-P について、2 件の報告があった。辻本による TEF-P 設計と、菅原による TEF-P 設計のための R&D である。初めに JAEA の ADS 概念設計の目標が示された。未臨界度は 0.97 に設定されている。炉心の燃料は、(MA+Pu)N+ZrN 窒化物燃料である。提案された ADS の特徴の一つは、250kgMA/300EFPDs という多量の MA を核変換できることである。核変換率は、現在日本で検討されている高速炉による値に比べて約 5 倍高い。炉心には MA が 50 から 70%含まれ、この高い MA 含有率のため、現在の解析システムにより評価される臨界性、ボイド反応度、ドップラー反応度などのニュートロニクスに関するパラメータは、大きな不確かさを持っている。

この ADS の大きな不確かさを減らすために、辻本は新しい臨界集合体を提案した。なぜならば、既存の FCA では燃料を利用できないためである。新しい臨界集合体は、陽子ビーム入射と kg オーダーの多量の MA を扱うことができ、臨界、未臨界どちらの条件でも運転することが可能である。規制側の要求に対する予備検討の結果、核物質防護、MA 燃料の製造プロセスについても示された。

菅原は JAEA で行っている R&D プログラムを示した。4 種類の試験装置、つまり燃料装荷装置、燃料識別装置、燃料冷却装置、自然循環による冷却性試験装置が整備された。これらの試験装置整備は重要であり、試験により遠隔操作と冷却性について、基本的な知見を得た。MA 燃料ピン遠隔操作のモックアップ試験については、良く達成されている。MA 燃料による高い放射線量環境下において、遠隔操作装置が確実に動作することを実演するところまで、試験を拡張すべきである。

所見とコメント:

2 つの報告について、幾つかの質問とコメントがある。最も重要なコメントは、TEF-P の実験プログラムの工程に関するものであり、また未臨界度、ドップラー反応度、出力分布などについて、個々の測定技術に対する要求である。規制側の要求に対し、幾つかの予備検討結果が示されたが、このタイプの臨界集合体に対して、規制側がどのような項目を求めてくるかを検討する必要がある。また MA が使われるということで、閉じ込め機能喪失時の線量評価において、どの核種を考慮すべきかを考える必要がある。また、冷却材喪失事故時の構造の健全性も確認されなければならない。異常事象発生時にハロゲンと希ガス FP のみが放出されるという仮定は、十分に保守側とは言えないかもしれない。異常事象発生時におけるアメリシウムの放出割合を仮定する設計段階の早期から、規制側と相談すべきである。燃料製造については、MA（Am）の取扱と貯蔵を考えるべきである。

結　論

2015 年 10 月 27-28 日、東海村の J-PARC センターにて核変換実験施設計画の技術諮問委員会 T-TAC が開催され、そして高温工学特研の実験室と TEF 建設予定地を視察した。

T-TAC メンバーは、本計画に対する J-PARC チーム関係者による深い関与と 2014 年 7 月の前回 T-TAC 以降になされた進捗を認める。

ADS の設計とこれを支える研究開発のための重要課題について、特に ADS ターゲット試験施設（TEF-T）における鉛ビスマス（LBE）技術開発、及び核変換物理実験施設（TEF-P）における MA 燃料装荷未臨界炉の炉物理研究に向けて、関係する J-PARC チームにより見事に取り組まれている。両システムは、大規模 ADS の設計に必要な物理、材料そして工学データの開発にあたり、世界の中でも傑出しており、ユニークである。

T-TAC は、TEF-T への「ビーム輸送」と 400 MeV リニアックからの「ビーム取り出し」のための準備作業が良く進捗しているため、適切な資源が与えられる場合には、2017 年度の TEF-T 建設開始という現状の計画が確かであると判断する。J-PARC は、ビーム輸送に関する広範な専門的知識を有している。また、2014 年の見学において T-TAC が観察できたように、400 MeV 加速器トンネルには既に TEF-T にビームを輸送するための初段の通路が設けられており、TEF-T の建設に際して、時間を要する敷地準備のための既存設備の解体作業を必要としない。TEF-P を加速器ビームから切り離すための安全策の取り組みは信頼できる。T-TAC は、TEF-T と次のステップで実現しようとしている TEF-P との共存は可能と判断する。従って、TEF-T の許認可は、提案されている工程の中で実施可能である。

一方で、ターゲットステーションの具体化、鉛ビスマス技術（腐食、要素機器等）の開発、照射条件の詳細な定義、PIE 計画（ターゲットと試験片）に関する取組については、提示された工程に従ってさらに進めるべきである。T-TAC はこれら項目に対する勧告リストを作成した。

この先の概念設計段階の完結は、技術設計書（TDR）を取り纏めることである。T-TACは、可能な限り次回T-TACの前にTDRを入手できれば有り難い。

本報告で示した勧告のまとめ

1. J-PARC TEF 計画の概要

1.1 2017 年に計画されている TEF-T と TEF-BT の建設段階への移行に向けて、技術的選択を固めて技術設計書に纏めよ。この設計書を次回 T-TAC のベースに出来れば理想的である。

2. TEF-T 設計の詳細

2.1. ターゲットステーション及び保守

2.1.1. フル CFD 解析と熱機械的特性の詳細な評価とともに、照射サンプルの DPA に関係するビームサイズ、応力レベルを低減する陽子ビーム窓中心部の形状、及び照射サンプル領域の流れの安定性を担保するサンプルホルダ設計の詳細を最適化せよ。

2.1.2. 照射条件に関する具体的な要求を評価するため、TEF-T のユーザグループ（ADS、核融合）にさらに意見を求め、それに従って施設の仕様を決定せよ。

2.2 照射及び照射後試験計画

2.2.1 ターゲット設計の確定後、照射条件及び照射後試験計画（ターゲット窓及び試験片）の詳細を設定せよ。

2.3 多目的利用

2.3.1 陽子ビームのパルス構造が許せば、1MeV 以上の中性子入射反応断面積測定のため、ナノ秒オーダーの非常に短いビームパルスを利用した中性子飛行時間法の飛行経路設置の可能性を検討せよ。

3. TEF-T 設計のための実験と結果

3.1 TEF-T ターゲットモックアップループ

3.1.1 ウォーターハンマーのリスクを評価し、必要に応じて熱交換器の損傷を回避する対策を検討せよ。

3.1.2 モックアップループの運転を通じ、ビームトリップ時の影響を解析せよ。

3.2 高温腐食試験ループ

3.2.1 電磁ポンプの下流に流量計を設置し、各テストセクションに流量計を追加する可能性を検討せよ。

3.2.2 2 箇所のテストセクションについて、試験片ホルダーの有無による流れの違いを明らかにするため、熱流動解析を慎重に実施せよ。

3.2.3この解析は両テストセクションの流れの種類（層流、乱流、混相流）、これらの違い、そして各テストセクションで試験片設置に使える有効長の見積りに役立つ。

3.3 酸素センサーとポテンシャル制御

3.3.1 時間と予算を節約するため、今後は Pt/Air 型のみを信頼せよ。

3.3.2 酸素センサーの校正は、2 点目の酸素ポテンシャルを加えよ。例えば、Co/CoO のポテンシャルは 500℃で 900mV 程度である。これはセンサーの性能に対して、更なる信頼性を与える。近い将来、J-PARC における酸素センサー製造の品質が理解され、良くなったときに、1 点での校正に戻れば良い。

3.3.3 Pt/Air 型センサーの LBE 流れ場における長期試験を進めよ。LBE 接液時の、センサーへの熱衝撃リスクを最小化するため、注意深いドレンと揚液の手順を考えなければならない。

3.4 要素技術

3.4.1 現実的かつ典型的な条件下で、歪みゲージを装着し、凝固時における配管壁にかかる応力／ひずみの程度を測定せよ。これは、フリーズシールバルブのリスク評価と操作の最適化に役立つ。

3.4.2 T91 鋼について、必要な熱処理とその後の室温までの空冷を行うための、外付けの可動式加熱装置を検討せよ。金属組織の調査や溶接部のシャルピー試験により、溶接部の品質を確認せよ。

3.4.3 316L 鋼について、熱処理が一般的に必要か否か（溶接部のシャルピー試験）、また、0.5 wt%合金チタンにより粒界での炭化物の析出を防止する Ti 安定化 316 鋼（316-Ti 系）を使用できるかどうかを確認せよ。

3.4.4 新しいターゲットを再溶接する前に、切断したターゲット配管に付着した LBE を適切に除去できることを保証せよ。

4. リニアックからのビーム引き出しを含む TEF ビーム輸送系設計の詳細

4.1 TEF ビーム輸送系に関連して、ターゲット上におけるビームプロファイル測定のため、様々なオプション（ワイヤーグリッド、赤外線イメージング、発光塗料による可視光イメージング）を引き続き調査せよ。

4.2 より良い分解能の達成と放射線による光ファイバーの損傷を避けるため、カメラに映像を送るにあたり、光ファイバー束に代わり調整可能な鏡による直線光路を用いることを検討せよ。

付録 I

第 2 回 T-TAC アジェンダ

日 程：　2015 年 10 月 28–29 日
場 所：　原子力機構 東海 J-PARC センター 2 階 大会議室

10 月 28 日（水）

7:45　テラスイン勝田をシャトルバス発
8:45　ウエルカム（非公開、斎藤 直人）
8:50　T-TAC の任務（非公開、斎藤 直人）
9:00　T-TAC メンバーによる非公開セッション
9:40　J-PARC TEF 計画概要（前川 藤夫）
10:00　休憩
10:30　TEF-T 概要（佐々 敏信）
10:40　TEF-T 設計の詳細
　ターゲットステーションと保守（10:40-11:10 佐々 敏信）
　照射と PIE 計画（11:10-11:25 大久保 成彰）
　ユーザー利用（11:25-11:40 岩元 大樹、西尾 勝久）
　施設設計（11:40-12:00 木下 秀孝）
12:00　昼食
13:00　TEF-T 設計のための実験と結果
　TEF-T ターゲットモックアップループ（13:00-13:30 大林 寛生）
　高温腐食試験ループ（13:30-14:00 斎藤 滋）
　酸素センサーとポテンシャル制御（14:00-14:30 菅原 隆徳）
　要素技術（14:30-15:00 佐々 敏信）
15:00　休憩
15:30　TEF-BT 設計の詳細（ライナックからのビーム取り出しを含む）
　TEF-BT 設計（15:30-16:00 明午 伸一郎）
　ライナックからのビーム取り出し（16:00-16:20 吉本 政弘）
　TEF-P へのビーム分岐（16:20-16:40 武井 早憲）
16:40　T-TAC メンバーによる非公開セッション
17:30　解散
17:30　テラスイン勝田に向けシャトルバス発
19:00　勝田地区にてディナー

10 月 29 日（木）

8:00　テラスイン勝田をシャトルバス発
9:00　TEF-P概要
　　TEF-P設計（9:00-9:30 辻本 和文）
　　TEF-P設計のための実験（9:30-10:00 菅原 隆徳）
10:00　休憩
10:30　T-TAC メンバーによる非公開セッション
12:00　昼食
13:00　T-TAC メンバーによる非公開セッション
15:00　T-TAC メンバーによるまとめの講演
15:50　結び
16:00　サイトツアー（TEFサイトでの写真撮影含む）
　　高温工学特研（ガイド：斎藤 滋）
17:00　解散
17:00　テラスイン勝田に向けシャトルバス発

付録 II

T-TAC 2015 の責務

斎藤直人

T-TAC に対し、主に次に掲げる責務について助言を求める。

- 核変換技術開発に貢献するという TEF-T と TEF-P 両施設を含む TEF 全体の主目的に、基本パラメータが合致しているかどうかの妥当性
- 陽子ビーム輸送並びに TEF-T の鉛ビスマスターゲットシステム及び関連システムに関する、安全方針、運転及び保守計画を含めた実現可能性
- 計画の適切さ（資源と工程）
- 施設設計と研究開発活動に対する通常の勧告に加え、2017 年度に TEF-T の詳細設計と建設を開始するための技術的準備状況に関する評価を依頼

付録 III

2015 年の T-TAC 委員

氏名		所属	専門分野
1	Marc Schyns (議長)	ベルギー原子力研究センター	ADS技術
2	Yacine Kadi	欧州原子核共同研究機構	ADS及び核破砕ターゲット技術
3	鬼柳 善明	名古屋大学	核破砕ターゲット技術
4	Jürgen Konys	カールスルーエ工科大学	鉛ビスマス応用技術
5	Eric Pitcher	欧州核破砕中性子源	ADS及び核破砕ターゲット技術
6	高橋　実	東京工業大学	鉛ビスマス応用技術
7	竹田 敏一	福井大学	原子炉工学