

**第7回核変換実験施設（TEF）
テクニカルアドバイザー委員会**

2021年1月22, 26日, 2月2日
オンライン会合

T-TAC 2020 報告書

本和訳において、【 】は訳時の追記を示す。

目次

要旨	4
はじめに	5
1. ターゲット技術開発の R&D 活動と将来計画	5
1.1 OLLOCHI 試験キャンペーン計画、酸素濃度制御および LBE 流量計測	5
1.2 電磁流速計開発	6
1.3 TEF-T 安全性評価	6
2. 施設利用開発の R&D 活動と将来計画	7
2.1 ADS 用超伝導 LINAC のための R&D	7
2.2 加速器信頼性の研究	7
2.3 ADS 実現に向けた J-PARC および京大における中性子工学実験	8
2.4 J-PARC ADS ターゲット試験施設のための R&D	9
3. T-TAC のまとめ	10
4. 本報告のセクション毎の勧告のまとめ	11
付録 I - 第 7 回 T-TAC 会合アジェンダ	13
付録 II - J-PARC による T-TAC 2020 の責務	14
付録 III - T-TAC 2020 委員名簿	15

要 旨

2021年1月22、26日および2月2日、核変換実験施設（TEF）計画の第7回技術諮問委員会 T-TAC がオンラインで開催された。

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、齊藤直人 J-PARC センター長に感謝する。T-TAC は、全ての報告者が密度の高い情報と材料を伝達するために時間と努力を費やしたことに感謝する。T-TAC は、COVID-19 の状況下にも係わらずチームが達成した進捗について祝福するとともに、プロジェクトが過去の T-TAC の勧告を注意深く検討したことに留意する。

今回、T-TAC は主に R&D 計画に助言することを求められたが、依然として T-TAC は遠隔操作や施設配置の検討の進捗が遅いことを懸念する。これらの検討は、完全に外部委託することは難しいと考えられる。

T-TAC は、チームが取り組んでいる R&D の内容が、TEF-T の設計と建設のニーズに沿っていると認める。さらに、進行中および計画中の R&D 活動は、TEF 施設の安全で効率的な運用に必要な実践的な経験を提供する。T-TAC は、J-PARC で実施されている R&D 活動は国際的な ADS コミュニティへの貴重な貢献であると考え、また日本の ADS 計画のために既存の国内や国際（SCK CEN、KIT、PSI 等）組織との協力の努力をさらに発展させることを奨励する。

はじめに

2021年1月22、26日および2月2日、核変換実験施設（TEF）計画の第7回技術諮問委員会 T-TAC がオンラインで開催された。

T-TAC は、会合が素晴らしく組織されたことについて、J-PARC/JAEA に感謝する。T-TAC は、全ての報告者が密度の高い情報と材料を伝達するために時間と努力を費やしたことに感謝する。また、会合中に報告者が過去の T-TAC 会合でのコメントや勧告に応答した努力に対し、深く感謝する。

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。付録 III に示した委員会メンバーが、オンライン会合の全てに参加した。

この報告書に含まれる所見、コメントおよび勧告は、委員会中に T-TAC に示された報告と情報に基づく。

1. ターゲット技術開発の R&D 活動と将来計画

1.1 OLLOCHI 試験キャンペーン計画、酸素濃度制御および LBE 流量計測

所見

- T-TAC は、OLLOCHI ループの運転が成功裏に開始したことを確認した。制御された LBE 条件の下、様々な試験材料を装荷した OLLOCHI ループの最初の運転が開始された。
- 開発された自動酸素【濃度】制御システムは、専用の実験によって正常に検証され、OLLOCHI 運転開始以来正常に動作している。
- 超音波流量計の性能は、再設計および恐らくは接触面での濡れ性の改善により、大幅に改善された。

コメント

- OLLOCHI に装荷した腐食試験片は多数の異なる材料で構成されており、実験によるスクリーニングの段階にあるように思える。これには難溶性材料、様々な鋼材、特異な合金が含まれている。これは、基本的な R&D として非常に価値があり、科学界から高く評価される。しかし、今後の TEF-T 開発のためには、TEF-T 建設にあたり最も有望かつ関連する材料について、早い段階で決断されるべきある。
- 信頼性の高い酸素【濃度】制御システムおよび信頼性の高い流量計は共に、将来の ADS および現在の実験用 LBE ループの安全な運転のための主要な要素である。これらの主要計装の実装、試験および性能向上に関する昨年来の進捗に対し、チームを祝福する。

勧告

- 1.1.1. また実機 ADS 候補材料の適性評価の必要性のみならず、PSi 計画で得られた計算結果の検証と妥当性確認の必要性も念頭に置き、TEF-T 関連材料に強く重点を置きつつ、将来の腐食試験計画を再検討せよ。

1.2 電磁流速計開発

所見

- 電磁式流速計の開発がさらに進み、NALTO という名の装置による試験によってその基本性能が研究された。
- 実験的研究により、流速計の校正曲線が取得された。
- 流速と流れの方向を検出・測定できる 4 電極のプロープが開発された。プロープ試作機が製作された。試験開始には、いくつかの追加作業が必要である。

コメント

- 非常に局所的かつ方向性をもった流れの分布を測定できる可能性があるため、このような多電極流速計は計算コードによる結果検証のために非常に有用であろう。検証された計算コードは、規制当局が TEF-T 安全性評価結果を承諾するにあたり極めて重要である。

勧告

- 1.2.1 流動液体 Pb-Bi 中における 4 電極プロープの性能を早急に確認する必要がある。
- 1.2.2 Pb-Bi ターゲットと循環ループへのプロープ設置方法を検討すべきである。
- 1.2.3 今後の電磁流速計プロープの主要な R&D 活動については、追加のオンライン（恒久的）流れ制御計装に向けてではなく、計算コード結果の検証と可能なターゲット設計の改良に向けて集中すべきである。

1.3 TEF-T 安全性評価

所見

- FMEA（故障モード影響解析）の例を含む、安全指針および安全解析の手順が示された。FMEA により、LBE 配管破断が最悪の事故として特定された。LBE 漏えい事故の影響が評価され、敷地境界における内部および外部【被ばく】線量が保守的仮定の下に計算された。計算された総【被ばく】線量は、最高 LBE 温度の条件で約 300 μ Sv であった。放射線作業従事者

ではない人（公衆と呼ばれる）の年間線量限度は放射線防護規則に定められており、1 mSv である。

勧告

- 1.3.1 計算で考慮した大気条件（風向と風速）を示せ。
- 1.3.2 安全性評価における重要性が高いことから、得られた結果の検証を検討せよ。
- 1.3.3 J-PARC MLF の安全保護システムを参考にすることを検討せよ。

2. 施設利用開発の R&D 活動と将来計画

2.1 ADS 用超伝導 LINAC のための R&D

所見

- T-TAC は、本テーマの着実な進捗を認識した。
- エラー評価などの詳細設計が行われ、シングルスポーク共振器の R&D が進行中である。
- MYRRHA の枠組みにおける SCK CEN との協力（1 名 1 年間の人員派遣）、および QST との協力（Linac イオン源と LEBT に関する【情報】交換）が行われた。

コメント

- T-TAC は、加速器の全長を短縮することを可能にする解決策の考案を祝福する。
- シングルスポーク共振器の R&D は、有望な結果を示した。

勧告

- 2.1.1 半波長共振器（HWR）での空洞の削減など、加速器構成のさらなる最適化を検討せよ。

2.2 加速器信頼性の研究

所見

- T-TAC は、信頼性研究が着実に進捗したと認める。

コメント

- T-TAC は、RFQ で発生するトリップの継続期間短縮に資する、自動再起動手順を実装したことを祝福する。

勧告

- 2.2.1 クライストロンの代替として、半導体電源の実現可能性を検討せよ。
- 2.2.2 J-PARC で達成された自動再起動の良好な結果を、連続波システムである ADS ライナックの信頼性評価に適用せよ。

2.3 ADS 実現に向けた J-PARC および京大における中性子工学実験

所見

- T-TAC は、核種生成断面積【測定実験】がさらに進展したと認める。JENDL/HE2007 は、Ni(p,x)Na 反応以外の測定結果を再現することが示された。バックストリーム中性子スペクトルが TOF 法によって測定され、様々なモデルを使用したシミュレーション結果と比較された。
- 京都大学の FFAG 加速器を使用し、二重微分中性子生成断面積と厚い標的からの中性子収量を測定する計画が紹介された。

コメント

- 核種生成断面積データと、これらを様々なモデルと比較した結果は、シミュレーション計算実施時に役立つ。
- T-TAC は、京都大学との協力が、本研究を支援するとともに資源を節約する点において、明らかな利点であると認識する。

勧告

- 2.3.1 核データはさまざまな分野で重要であり、一般論として新しいデータを取得することは価値がある。ただし、ADS あるいは科学的重要性に関連する情報を含め、【実験に使用した】核種の選択理由を説明せよ。
- 2.3.2 核データグループとの協力により、取得した【実験】データに基づき、JENDL/HE2007 の改良に着手せよ。
- 2.3.3 ビームダクトの存在により重厚な遮蔽を設置できないため、バックストリーム中性子ビームは施設の遮蔽設計上の問題となる。【測定した中性子スペクトルデータと】計算モデルとの比較および放射化箔を使用した信頼性確認により、3 GeV における精度が【十分であることが】示された。これらデータによって得られた知見を ADS のエネルギーである 1.5 GeV に応用するため、同様の実験機器を用い、より低いエネルギーで同様の実験データを取得することが望ましい。

2.4 J-PARC ADS ターゲット試験施設のための R&D

所見

- 発光モニタ、SiC モニタ、IPM 【(Ion Profile Monitor)】モニタの開発について報告され、DPA による【モニタ性能の】劣化は非常に小さいことが示された。
- GeV 近傍において新たな弾き出し断面積が測定され、既存データおよびモデルとの整合性が確認された。
- ソフトエラー試験の可能性は施設の多目的利用として位置付けられていたが、これは加速器中性子源にとって堅実なビジネスになる可能性がある。

コメント

- さまざまなビームモニターが開発され、その性能と DPA 耐性に基づき ADS での使用可能性が議論された。T-TAC は、ADS での使用可能性を確認するために、本研究の継続を推奨する。
- 弾き出し断面積の新たなデータは【計算モデルの】信頼性を確認するのに役立ち、arc モデルが実験データを再現するという発見は重要である。
- 前回の T-TAC 報告書に記載したように、T-TAC は、ソフトエラー試験のような新たな商用応用を発掘する努力を認める。ただし、ADS は「旗艦」の応用であり続けるべきである。

勧告

- 2.4.1 熱負荷は、ビームモニタで考慮すべき課題の 1 つである。したがって、熱計算を行うべきである。
- 2.4.2 弾き出し断面積測定の将来計画が存在するならば、世界的視野の観点から示すべきである。

3. T-TAC のまとめ

- T-TAC は、COVID-19 の状況下にも係わらずチームが達成した進捗について祝福するとともに、プロジェクトが過去の T-TAC の勧告を注意深く検討したことに留意する。
- T-TAC は、OLLOCHI 装置【による試験】が最近開始されたことを祝福するとともに、同様の装置を保有する機関との協力関係構築および補完的な材料研究プログラムの実施を奨励する。
- T-TAC は、日本の ADS 計画のために J-PARC で既に展開されている国内または国際（SCK CEN、KIT、PSI 等）組織との協力の取組みを認識し、これをさらに発展させることを奨励する。
- T-TAC は今回、主に R&D 計画についての助言を求められはしたが、T-TAC は依然として【TEF-T の】遠隔操作および施設配置に関する活動の進捗が遅いことを懸念する。これらの活動を完全に外部委託することは困難であり、従ってかなりの量の自前作業が求められ、原理実証を達成するための準備作業（仕様の定義など）が計画を尊重するために重要であると考えられる。
- T-TAC は、チームが取り組んでいる R&D の内容が、TEF-T の設計と建設のニーズに沿っていると認める。さらに、進行中および計画中の R&D 活動は、TEF 施設の安全で効率的な運用に必要な実践的な経験を提供する。
- J-PARC が実施している R&D 活動は、世界の ADS コミュニティに対し貴重な貢献であると考ええる。

4. 本報告のセクション毎の勧告のまとめ

1. ターゲット技術開発【セクション】の R&D 活動と将来計画

1.1. OLLOCHI 試験キャンペーン計画、酸素濃度制御および LBE 流量計測

- 1.1.1. また実機 ADS 候補材料の適性評価の必要性のみならず、PSi 計画で得られた計算結果の検証と妥当性確認の必要性も念頭に置き、TEF-T 関連材料に強く重点を置きつつ、将来の腐食試験計画を再検討せよ。

1.2. 電磁流速計開発

- 1.2.1. 流動液体 Pb-Bi 中における 4 電極プローブの性能を早急に確認する必要がある。
- 1.2.2. Pb-Bi ターゲットと循環ループへのプローブ設置方法を検討すべきである。
- 1.2.3. 今後の電磁流速計プローブの主要な R&D 活動については、追加のオンライン（恒久的）流れ制御計装に向けてではなく、計算コード結果の検証と可能なターゲット設計の改良に向けて集中すべきである。

1.3. TEF-T 安全性評価

- 1.3.1. 計算で考慮した大気条件（風向と風速）を示せ。
- 1.3.2. 安全性評価における重要性が高いことから、得られた結果の検証を検討せよ。
- 1.3.3. J-PARC MLF の安全保護システムを参考にすることを検討せよ。

2. 施設利用開発【セクション】の R&D 活動と将来計画

2.1. ADS 用超伝導 LINAC のための R&D

- 2.1.1. 半波長共振器（HWR）での空洞の削減など、加速器構成のさらなる最適化を検討せよ。

2.2. 加速器信頼性の研究

- 2.2.1. クライストロンの代替として、半導体電源の実現可能性を検討せよ。
- 2.2.2. J-PARC で達成された自動再起動の良好な結果を、連続波システムである ADS ライナックの信頼性評価に適用せよ。

2.3. ADS 実現に向けた J-PARC における中性子工学実験

- 2.3.1. 核データはさまざまな分野で重要であり、一般論として新しいデータを取得することは価値がある。ただし、ADS あるいは科学的重要性に関連する情報を含め、【実験に使用した】核種の選択理由を説明せよ。
- 2.3.2. 核データグループとの協力により、取得した【実験】データに基づき、JENDL/HE2007 の改良に着手せよ。
- 2.3.3. バックストリーム中性子ビームは、ビームダクトの存在により重厚な遮蔽を設置できないため、施設の遮蔽設計上の問題となる。【測定した中性子スペクトルデータと】計算モデルとの比較および放射化箔を使用した信頼性確認により、3 GeV における精度が【十分であることが】示された。これらデータによって得られた知見を ADS のエネルギーである 1.5 GeV に応用するため、同様の実験機器を用い、より低いエネルギーで同様の実験データを取得することが望ましい。

2.4. J-PARC ADS ターゲット試験施設のための R&D

- 2.4.1. 熱負荷は、ビームモニタで考慮すべき課題の 1 つである。したがって、熱計算を行うべきである。
- 2.4.2. 弾き出し断面積測定の将来計画が存在するならば、世界的視野の観点から示すべきである。

付録I- 第7回 T-TAC 会合アジェンダ

2021年1月22日			
Japan	EU		
16:00	8:00	歓迎、T-TACのミッション	齊藤 直人
16:30	8:30	非公開セッション	
17:00	9:00	ターゲット技術開発セッション報告	
17:00	9:00	現状報告と前回勧告への回答	佐々 敏信
17:40	9:40	酸素濃度制御とLBE流量計測	大林 寛生
18:20	10:20	電磁流速計開発	有吉 玄
19:00	11:00	TEF-T 安全性評価	佐々 敏信
19:30	11:30	非公開セッション	
20:00	12:00	解散	

2021年1月26日			
Japan	EU		
17:00	9:00	施設利用開発セッション報告	
17:00	9:00	ADS用超伝導LinacのためのR&D	近藤 恭弘
17:30	9:30	加速器信頼性評価	武井 早憲
18:00	10:00	ADS実現に向けたJ-PARCおよび京大における中性子工学実験	中野 敬太
18:30	10:30	J-PARC ADSターゲット試験施設のためのR&D	明午 伸一郎
19:00	11:00	非公開セッション	
20:00	12:00	解散	

2021年2月2日			
Japan	EU		
16:00	8:00	非公開セッション	
18:00	10:00	議長によるまとめの報告	
19:00	11:00	解散	

J-PARCからのその他の報告（口頭説明無し）

核変換ディビジョン概要

前川 藤夫

JAEAにおけるADSを用いた分離変換技術の研究開発

前川 藤夫

付録 II - J-PARC による T-TAC 2020 の責務

齊藤 直人

T-TAC の任務 (Mission)

主に次に掲げる責務について助言すること:

- 核変換技術開発に貢献するという TEF 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および関連システムに関する、安全方針、運転およ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）

T-TAC 2020 の責務 (Charge)

任務で示された通例の要求に加え、T-TAC 2020 では特に、世界の ADS 開発活動の視点からみた、現在進行中の R&D 活動の進捗について助言することを求める。

付録 III - T-TAC 2020 委員名簿

	氏名	所属	職位
1	Marc SCHYNS	ベルギー原子力研究センター	先進原子力システム研究所長
2	Michael BUTZEK	ユーリッヒ研究所	自動化・磁石ベアリング&ギアチーム リーダー
3	鬼柳 善明	名古屋大学工学研究科	工学研究科教授
4	坂本 慶司	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構	核融合炉材料研究開発部長
5	Georg MÜLLER	カールスルーエ工科大学	副所長、部長、教授
6	近藤 正聡	東京工業大学 科学技術創成研究院 先導原子力研究所	准教授