

**JPARC Materials and Life Science Facility Technical Advisory Committee  
(N-TAC)  
Report on the Fourth Meeting  
Held at JAEA Tokai Site  
Nov. 20-22, 2006**

**諮問委員会の結論と主要な勧告**

委員会メンバーは、以前のように、JSNS プロジェクト・スタッフがプロジェクトに対して貢献してきている工学的及び科学的な質の高さに驚嘆している。建設サイトでの進展及び作業員の質の高さは実に印象的であった。

J-PARC の新たな組織が新たなスタッフを加えて立ち上がった。一方で、委員会は、参加機関から任命された人々が障害なく作業ができる関係を構築する事にいくらかの困難性を感じた。しかしながら、困難な環境において、無条件で協力し合う精神は、J-PARC の成功にとって最も重要なことであろう。プロジェクトマネージャーは、この特別な課題に対して考慮しつつ、新たな組織としてチーム内での統率を図るであろう。

リニアック加速器のエネルギー回復に関して、要求額 85 億円の獲得の問題が残されている。全ての最先端分野において最高の成果を出すためには、委員会は、この予算獲得が最優先課題の一つであると認識している。JSNS を十分に運用して行くためには、J-PARC の国際化が重要である。

JSNS は十分に統合された組織体として運用できていると仮定し、N-TAC ではコミッショニングと運転モードに関して焦点を当てた討議を行う。委員会は、過去に勧告した点が十分に配慮されていることを歓迎する。

コミッショニングと運転を容易に行うためのいくつかのマイナーな勧告があるが、ここでは重要なコメントを以下に列記する。

**ターゲット防御**：ビームを絞った状態での入射については、いまだ考慮すべき点がある。すなわち、他のシグナルによって計画されたインターロックシステムで補完することを勧告する。VIMOS 型モニタリングシステムの装着やレーザー診断系からの信号を加えることは、有効なオプションであろう。

**放射化オフガスの処理**：トリチウムを検知しカバーガスから除去するための方法を検討すべきである。相対湿度の調製は水蒸気やスプレーにより行える。トリチウムは、H<sub>2</sub>O と即座に反応して HTO を形成し、容易にかつ確実に検出できる。

**水銀ドレンバルブの安全停止位置**：電力停止に伴う漏れや火災などの場合、水銀ドレンバルブが非安全側で停止することは避けるべきである。分離した圧縮空気アキュムレーターや手動解除により、そのような場合に開閉可能である構造を取るべきである。

**水銀汚染面の除染**：水銀の表面での粘着性は、材料表面の条件に大きく左右される。

よって、除染に関する実験を実施するときには、材料表面条件を制御した状態で行い、表面状態が評価結果に対して危険側に有るか否かを特定すべきである。

**高強度プロトンパルスによるコミッショニング**：加速器システムのコミッショニングにおいて、低い繰り返し周期で、非常に高い強度のプロトンパルスを供給することは容易であることから、ターゲットチームはパルス強度に基づいた限界値を定義すべきである。このことは、パワー4乗則に従うキャビテーション損傷からターゲットを防御することになる。

**圧力波抑制効果**：キャビテーション損傷を理解するための研究は継続されるべきである。ガス注入法による圧力波の緩和効果を決定的にかつ定量的に示したことは非常に重要なことである。この方法に基づき、適度な位置でバブル生成するための技術開発が早急に必要である。

**ターゲット容器の再設計**：ターゲット容器交換時に破棄される総量を低減するため努力は強化されるべきである。その際、容器内の水銀流れについて再設計することは、ガスバブルの適度な分布を実現させるために価値がある。

**水銀ポンプ**：委員会は、水を使ったループ試験を実施した後に、ギアポンプを破棄することを決定したことを歓迎すると共に、チームが回転式マグネットに基づく電磁ポンプを開発したことを推賞する。

## 1. 序言

以下のメンバーで構成されるN-TAC委員会は、2006年11月20～22日にわたり、茨城県の原子力機構東海サイトにおいて開催された第5回会合に招聘された。

Dr. Guter S. BAUER (Chair)	ex Forschungszentrum Juelich GmbH, Germany
Dr. Timothy A. BROOME	ISIS, Rutherford Appleton Laboratory, UK
Dr. John M. CARPENTER	Argonne National Laboratory, USA
Mr. Hajo HEYCK	Paul Scherrer Institute, CH
Prof. Hiroaki KURISHITA	Tohoku University, Japan
Dr. Thomas J. MCMANAMY	SNS Project Oak Ridge, USA

以前同様、委員は丁重に迎えられたことを実感し、またプロジェクトチームによる報告は素晴らしかった。我々は、プロジェクト管理側とそれを支援する組織チームに対し、円滑で効果的な会合、そして諮問チームとして我々に信頼を置いてくれたことについて深く感謝したい。

N-TAC4の勧告に対する広範囲な対応を高く評価したい。

過去においてもそうであったように、プロジェクトは顕著な進展をみせた。2008年5月の初ビームという目標は達成可能に思える。JSNSプロジェクトチームは、発生した課題に対して素早く解決策を見つけて前進すること、そして統括されたグループとして機能することを継続している。各担当による委員に向けた報告（英語で！）は良く準備されており、全体的にとっても明瞭であったため、各担当は自らの課題を十分に統御していることが伺えた。会合の冒頭に行われた現地視察がとても印象的であったことが証明するように、建設はすべての分野において正に見事である。

第5回N-TAC会合は、プロジェクト全体が統合段階の真ただ中にある時点において招集された。多数の機器は既に据付けられているか、製造や工場試験検査の最終段階にあった。一方で、プロジェクトの現段階として適切なことなのだが、安全性、コミッションング、そして保守の課題については依然として主要な議論点であり、運転と制御の側面が以前に増して中心課題になってきた。

設計、製作、そして据付けの進捗は素晴らしく、2008年5月に控えたターゲットへの初ビーム入射という目標達成を裏付けているように思える。設計チームは、その仕事について賞賛されるであろう。詳細について極めて多くの注意が払われてきており、また予期する、あるいは予期せぬすべての課題に対する良い解決策が見つけれられて来たことは、一目瞭然である。

現場の出来映えにおいて、全般的な品質は傑出している。模型の使用や実演を通して、保守作業に関する適切なレベルの注意が払われつつある。課題に対する新しい考えや解決策が実践されつつある。ターゲット容器のキャビテーション損傷の進展に関する指標を得るための、圧力波に対するターゲット容器応答をモニターするためのレーザー診断法の開発は、その顕著な一例である。

委員会は、本レポートの中で助言や勧告を強調表示することを再度差し控えた。なぜならば、プロジェクトチームによる広範囲な対応が、再度述べるが、すべてのコメントがとても重く受け止められ、また適切な方法で取り扱われているということを示しているからである。いつものように、我々は真に役立つことを願って意見を述べる。

本レポートの完成を待たずに早急な対応が出来るように、委員による所見や意見は会合の最終セッションにおいて詳細に報告しており、また発表資料もプロジェクト側

に手渡してある。

以前同様、本レポートの構成が報告のアジェンダにほぼ沿うように努めた。しかしながら、いくつかの場合においては、ある機器やサブシステムに関連した課題が、それらが報告された表題の下ではなく、それらの機器やサブシステムが関連するところで現れることがある。

## 2. 運転制御

運転権限に基づくパスワードレベル、電源バッファやインターネットからの予想外の影響に対するファイヤーウォール防御など全ての重要な制御システムの安全面については、概念の中に述べられているようである。

低温システムの開発は、まことに大変よく行われている。特に、接合型の AIC デカップラー製作の成功は、最も印象的である。

20kW、100kW、より高い強度というように運転承認を得ていく計画は、合理的である。要求される書類のレベルの詳細は、文部科学省が報告されることを期待している内容に精通している専門家によって検討されるべきである。

我々の一般的かつ専門的な、コメントと質問は以下の通り。

- ・ コミッショニングのための時間を可能な限り確保できるように制御機能の十分なシミュレーションがなされるべきである。
- ・ ビーム受入システムは、通常運転よりも制限されていない状態で低強度ビームを許容するのか？例えば、加速器調整のための非常に低強度ビーム運転では、通常運転と異なる設定でのターゲットやモデレータのインターロックを考慮することが可能になる。この事は、ターゲットシステムが十分に運転可能な状態でないときでも、ビーム調整を可能にする。
- ・ ターゲットに小さな断面積の陽子ビームが直撃する可能性が心配事として残っている。このような事象は関連する四極電磁石の電流にインターロックを掛けることで防いでいる。例えばターゲットのレーザー診断装置からのような適当な信号を今後の保護のためのインターロックシステムに組み込む等を考えるべきである。VIMOS 型のビームモニターシステムを導入する努力も強化すべきである。
- ・ ビームが傾いている場合には X-Y 面に投影する測定法では、本当のビームピーク強度情報を与えない。
- ・ ターゲットステーションへの陽子ビーム入射が許可される前にターゲットが運転位置にいることを確実にするインターロックはあるのか？
- ・ 例えばモデレータ交換時のように、各装置は各々のデータ収集を一時的に停止するかもしれない。制御システムとネットワークは、その様な状況に関して対応できるのか？
- ・ 入域制限エリアは中性子散乱とミュオン装置の場所も含むべきである。
- ・ 放射線サーベイは、ビームパワーが計画通り増強されるたびに必要である。追加遮蔽が設置されるまでは立ち入りを管理すべきエリアが見つかる可能性があり得る。
- ・ 中性子ビームチョッパーのような放射化機器の保守作業は、作業の間立ち入

りを管理すべきエリアが必要である。

- 冷却水ポンプや熱交換器の周り、水銀ガスフィルター内のように、誘導放射能が異なる場所に蓄積するに従って放射線源が変化する。運転中のみの放射線に注意するような図は、放射線環境の図として単純に考えすぎである。
- 中性子散乱実験で使用される試料は放射化する。スタッフや訪問者の被曝を避けるために管理された貯蔵と監査を含む取り扱いが必要である。
- 建屋屋上の放射線レベルが顕著になるかも知れない。その場合、アクセス管理が要求される。
- 汚染は放射線被曝の源である。即発や誘導放射線と同様に汚染レベルに基づいたクラス分けも考慮すべきである。
- 水銀ターゲットオフガスを扱うシステムは基本的には、良く考えられている。しかしながら、検出器、サンプリング手順、放射線チェックを再考することを薦める。
- ガスハンドリングシステム内の放射線量を測定する装置の較正は、T(トリチウム)や Kr(クリプトン)等の標準放射性ガスの計画的な量の放出許可を要求する。もしそのような要求があれば、これらの較正用線源は、“放射性同位体元素”要請に含めるべきである。
- 本当に現実に即した結果を反映するために、サンプリングされたガスは測定前に十分に混合されるべきである。
- SNS の最近の運転経験は、Xe や Kr が水銀フィルター (Au) にトラップされることを示している。(SINQ での観測など) より一般的には、希ガスは、通常は予期された振る舞いをせずに、限定したエリアに集中する傾向がある。
- (発表では詳細に述べられていないが、) トリチウム検知の方法は、崩壊  $\beta$  線がかなり低エネルギーで在ることを理解して、注意深く考えるべきである。表示された  $\beta$ - $\gamma$  モニター (液体シンチ/フローチャンバー) から分離された検出器を考慮すべきである。
- トリチウム除去の化学的特性を検査すべきである。水素と酸素ガスの導入は、相対湿度を調整する効果的な手法であるか否か疑問である。水蒸気や吹き付けの導入の方が良いかも知れない。トリチウム T は  $H_2O$  と急速に、不可逆的の反応し HTO となる。HTO は水に溶けるので、シンチレータ水溶液で容易に明確に検出できる。
- 水素と酸素ガスを注入することで相対湿度を調整することは非効率に思える。水を吹き付ける方が、より効果的である。
- 一般的にはシステムのバルブが異常時に安全位置に在ることは安全の見地から良い認識である。しかし一方では、水銀ドレンバルブは異常時閉を安全とできない状況についても特別の注意を払うべきである。例えば電源ダウンと同時に生じる火災や漏れの場合に、この状況は発生する。必要ならば、圧縮空気や手動による独立した装置が、異常時にバルブ閉の安全位置からドレンバルブを開けられる機能を持たせるべきである。
- 商用電源喪失も放射性媒体を伴うシステムの停止のような想定外の効果が発生させる。これは、望まない放射能物質の放出を引き起こすので、そのような状況に細心の注意を払うことと包括的な試験によりシステムの応答を確認することを薦める。

## 低温システム／モデレータ

- ・ 低温システムが十分に冷えない限り、ターゲットにビーム入射を防ぐインターロックが働くように見える。それは必要か？
- ・ 排気スタック内の水素濃縮度を防爆最下限値以下に保持するという要求がある。点火源を伴わないスタック本来の“水素安全”を実現すべきである。これは事故時に問題をはらむ可能性のある低い水素濃縮度を維持するような状態を除くことが可能となる。

## 3. 安全設計

許認可申請に関するコメントは2章に記した。

### 水銀蒸気挙動

実験はよくやられており、有用な結果が得られた。100 cm<sup>2</sup>の範囲に広がった漏洩水銀によって濃度が  $1.5 \times 10^{-7}$  g/m<sup>3</sup> になると評価されている。もし、漏洩が起こったら、漏洩水銀は容易にそれより大きな範囲に広がり、それはターゲット交換の際に循環系を開放する際に起こり得るだろう。その場合は、水銀蒸気濃度はおそらくかなり高くなるだろう。SNS では、セルの排気の際に水銀濃度は 90 µg/m<sup>3</sup> まで上昇した。一方、配管を閉じると水銀濃度レベルは 2 µg/m<sup>3</sup> まで降下した。

水銀の除染の容易さ、すなわち、水銀の物質 (SUS316 またはエポキシ樹脂) に対する吸着の度合いは、物質の表面状態に大きな影響を受けるかもしれない。除染実験を行うならば、物質の表面状態を特定すべきである。そうしなければ、実験ごとにバラバラの結果が得られるだろう。

活性炭フィルターの効率 (99.96%以上) は、時間と共に低下することは避けられない。フィルターの交換頻度を知るために、前もってフィルターの寿命を評価する必要がある。寿命の基準は、例えばフィルターに吸着した水銀の火災時の外部放出に対する危険度を考慮して、どのぐらいの量の水銀を一つのフィルターに集めることが許容されるかで決めるべきだ。

更なる実験 (例えば表面の除染後の蒸気化率の測定など) を行うことを望む。さらに表面状態が除染作業の成否に影響する度合いについて、詳細に理解することは重要である。

## 4. 機器保守

多くの機器はまだ製作中か工場試験の最中であるが、現段階で判断する限りに置いては、種々の遠隔操作コンセプトの実効性とそれらの実現性の実証は一級品である。個々のシステムについて行われた改良、例えば減速材配管の切断装置などは期待したとおりである。このような精査・改良を継続すれば、実際の操作においてシステムが

要求どおりの機能を発揮する自信を持つことも妥当である。

放射化前に、重要な遠隔操作について完全な実証を行っておく必要がある。

人の被曝線量は、ビーム運転開始前では、ある限られた程度しか予測のつかない重要な事項である。実証試験では人の被曝線量を最小に抑える手段も含めておくことが重要である。なぜなら、必要な遮蔽は実際のアクセス性に影響するからである。

施設運転中に予想される保守作業について、機器寿命や要求される稼働時間、交換に要する時間などを考慮に入れ、スケジュールを立てておくのは良いことである。これは要求される品質設計や管理について貴重なフィードバックを与えると共に、熟練した作業員や装備を用意しておくことの必要性など、総合的な努力の最適化を可能にする。このような見地は計画に反映する重要な入力情報である。

ターゲット容器初号機を想定した寿命だけ保たせるには、許容できる陽子ビームのピーク強度について厳格なガイドラインを設けるべきである。

## 5. システムコミッショニング

- ・ コミッショニングの綱領はとても良いと思われる。
- ・ コミッショニングとテストのスケジュールは非常にきつく思えて、良いコーディネーションやプランが要求される。

加速器システムのコミッショニング期間において、低い周期で高いパルスの強度を容易に得られることは望ましいことである。ターゲットチームはパルス強度の制限を考慮すべきである。これによりキャビテーション腐食の出力密度4乗の依存性の可能性を持つダメージからターゲットを防ぐことができる。

将来の運転やメンテナンスにおいて、システムの包括的な文章化を行うことが必要である。これには、現物合わせの状態や、欲を言えば、なぜこのデザインを選択したのかという理由を記入すべきである。包括的な写真もとても有用であることが判明するであろう。しかしながら、写真は慎重深くそして正確にカタログに載せることが必要である。

## 6. 高出力ターゲットへの研究開発

### キャビテーション現象学

水銀中の急激な圧力波効果を調査している JAEA-大学の共同研究グループは新たなデータや見解を明らかにし続けており、このグループは高出力液体金属ターゲット開発の複合共同研究の重要な関係である。このグループは広範囲な高出力ターゲット開発の努力を良く統合し、多大な影響を与え合っている。

MIMTM は本来の目的を超えた用途、特に流動回路で応用されながら新しいデータを

出し続けている。流動のみでもキャビテーション損傷を減らしていると言う観測は新しい発見として期待されている。

グループは、水銀中のキャビテーションバブルの挙動、負圧の大きさと持続時間によって影響を受けるキャビテーションバブルの成長とその後に続く崩壊、そして希ガスの溶解度と気泡力学を定量的に理解し、大きな進歩を果たした。

私たちは、新しい設備の定格出力時に耐えるための期限内に、より長いターゲットベッセルの寿命を提供する方法の理解が現実となると感じる。難題は徐々に解決されてきているが、まだクリアではない。我々は引き続きこの世界規模の活動を高水準に奨励する。

### **圧力波の緩和に対する実際の問題**

水銀の中で抑制されたガス泡を作る技術は、適切なガスノズルの開発が必要である。この開発のために、グラスファイバーを使用した粉の焼結法の研究が始められており、非常に有望であるように見える。目的とする直径（10~100 $\mu\text{m}$ ）と長さをもつグラスファイバーは市販品として存在することから、委員会はこの努力を支援し続ける。開発されたガスノズルの使用によって、MIMTM やより現実的な実験において、制御されたマイクロバブルを作り出し、どのように圧力波を軽減させるのか模擬することができる。

316SS の疲労強度の減損は空気中でより水銀の方がより顕著であるということは重大である。

繰返し周波数 1Hz、負荷応力 600MPa で実験した 316SS（空気）と 316SS（Hg）の疲労破面の SEM 観察結果は明白な差異を表した。違いの原因を明確にすることは重要であり、以下の研究を推奨する。

まず、疲労試験サンプル（破面から離して）TEM サンプルを準備する。FIB 技術は粒界のような標的とする領域を保持した TEM サンプルを準備するのにとても有用である。次に、TEM 観察と EDX 分析によって粒界または粒内における水銀密度の計測を行う。

水銀ターゲット内の不純物（ガス状の不純物を含む）は圧力波に作用するだろう。故に、水銀標的の不純物からなる化学成分は明確にされるべきでありそれらの役割は詳しく研究されるべきである。

### **再帰性コーナーキューブミラーの開発**

NI 及び 316SS のためのろう付けの処置は、ミラーの反射率を 600C で 2~3%、1000C で 38% に減らした。その反射率の減少の要因とはろう付け後の残留応力のためのミラーのゆがみによるものか加熱による表面状態の変化であろう。その可能性を実験するべきである。

### **水銀ポンプ**

水による最初のループテストが完了した後で、ギアポンプから 電磁ポンプに変えるという決定に対して、委員会はプロジェクトチームを賞賛する。



“日本製の”回転式電磁ポンプの開発に関して報告された進歩が、実に印象的である。

チームは、関係がある問題を十分に理解し、現実的なポンプの性能予測するために、能力を明らかにしてきた。400kWのビームまで使用できるように設計されている、現在、発注中のコミッショニング期間用ポンプ（J.P-400）が、原理的に、1MWでも使用可能であることを確認している。このことは、J.P-400の運転から生じるであろう経験に基づいて開発される、最終的なポンプのJ.P-1Mが、安全で信頼できる長期間運転を十分な期間にわたって行える言う自信を与える。

### 改良ターゲット概念

委員会は、損傷しやすい先端部分を交換して、ターゲットのより大きい部分の保持を可能にすることによって廃棄物を低減する、新しいターゲット設計を開発する努力を大きく支持します。これは長期的課題に思われるかもしれないが、実際は、かなり緊急である。なぜならば、ターゲットメンテナンスエリアに過度の保護具なしでアクセスできる期間の方が、変更がより容易だからである。これらのことから、委員会は、過去にこのトピックに対する明らかな努力の足りなさに失望した。示された基礎的なオプションの見込みはあるが、可能な設計の全てを徹底的に研究していないかもしれない。このような状況では、クロスフローの基本的概念を再検討することも、特に、水銀ボリュームへのガス泡注入を考慮すると、価値あることかもしれない。

この最優先事項をより早くに進展できるように、私たちは、2007年の半ば辺りにワークショップを開き国際的な専門家のグループを召集するのがよいと考えます。

レポートの終わり

Waldshut, 2006年1月28日

Gunter Bauer

委員会を代表して