

**JPARC Materials and Life Science Facility Technical Advisory Committee  
(N-TAC)  
Report on the Fourth Meeting  
Held at JAERI Tokai Site  
Oct. 28-28, 2004**

**諮問委員会の結論と主要な勧告**

JSNS のプロジェクト員は、疑いなく工学的及び科学的に最高質の報告を行った。建設計画における進捗として、ターゲットシステムにおける詳細な設計及び関連した R&D 作業は最も印象に深いものである。本プロジェクトのターゲットステーションチームは組織的に担当を遂行し、成功へ向けて専念しているように見える。

ターゲットチームは、(2003 年に開催された第 2 回 N-TAC の勧告を受け) 最近の設計変更を紹介した。これは、明らかに、ターゲットシステム全体の安全性や特性を向上させるものである。場合によっては、システムを通じて引き続き検討を重ねる必要がある。詳細な助言を本レポートの中で示すものとする。

JSNS 計画は重大な時期に来ている。ターゲットステーションの設計は全ての領域で完成に近づき、多くの重要な設計が決定され、調達が進行している状況である。すなわち、技術的変更の余地はほとんど無くなっているが、委員会は、あえていくつかの提言を行うものである。それらの最も重要なものは、

水銀ループのギアポンプをラトビア大学で最近開発された電磁ポンプに変更することを検討すること。

ターゲット台車に 2 つの水銀タンクを設置するよりもメインドレインタンクを用いることと、キャッチパンへこぼれた金属を集めることも検討すること。

国際協力によりピッチングに関する調査研究を積極的に続けること。

時間的な平均分布ではなく、各瞬間におけるビーム窓で必要とする陽子強度分布を発生する方法を加速器及びビーム輸送系チームメンバーと協力して開発すること。

ビームラインに設置される電磁石が設置され、遮蔽構造が取り付けられた後でも上部からそれらの磁石の位置調整が行える手法を真剣に見つけ出すこと。

オフガスシステムの回りの第 2 格納容器と減衰タンク間の遮蔽の必要性について許認可当局と協議すること。

典型的な初期トラブルを想定した計画裕度を考慮し、供用開始計画における試験項目も含め、試験計画及びコミッショニング計画を再考すること。

## 1. はじめに

以下の委員会メンバーが2004年10月26日～28日に原研東海研に招聘され第3回N-TAC委員会を開催した。

グンター バウアー博士	ユーリッヒ総合研究所、ドイツ
ティモニー プルーム博士	ISIS、ラザフォードアップルトン研究所、英国
ジョン カーペンター博士	アルゴンヌ 国立研究所、米国
ハイヨー ハイアック氏	ポールシュラー 研究所、スイス
栗原 裕明教授	東北大学、日本
トーマス マクマナミー博士	SNS 計画、米国

はじめに、プロジェクトチームが準備された資料を事前に受け取ることができ、資料もきちんとしたものであったことを委員会は嬉しく思う。我々委員会は、プロジェクト管理や、円滑で効果的な会議に向けての原研チームの支援、諮問チームとしての我々への信頼に対し心からの感謝の意を示すものである。委員会での技術報告は良く準備され、建設サイトの見学を補完するものであった。そして、プロジェクト全体が急速に進捗していることが最も印象的に映った。チームメンバーは理解や自信をもって自分達の作業を進めると共に、チームとしての一体感を相互に強くして作業を進めている。

第3回N-TAC会議は、プロジェクトがすでに建設段階にある時期に開催された。非常に厳しいプロジェクトスケジュールを遂行するために、多くの発注が既に行われた。これは、安全、コミショニング、メンテナンスの観点からこの会議での重要なポイントとなる。結果的に、諮問委員会は、革新的で重要な提言を行う余地がほとんど無いと感じざるを得ないものであった。そこで、委員会は、コメントや所見の形で我々の一般的な提言を与えると言う方法を第一に選択した。そして、このプロジェクトに正しい結論を引き出し、可能な行為を決定するよう、提言を残した。委員会は支援の精神をもってコメントを提供するものである。

従来通り、第1回、第2回N-TACでのコメントや提言がプロジェクトチームにより徹底的に検討され、適切と考え、現在の新しい設計に取り入れたことを委員会として喜ぶものである。設計チームがプロジェクトの開始から比較的短い時間で充実した設計を進展させ、技術的決定に適切な優先順位をつけ、将来対応できる可能性のある部分には十分な柔軟性を残すといった作業進展により計画への遅れを取らなかったことは賞賛に値する。

委員会の提言やコメントの詳細な報告は最終会議で与えられた。そして、報告資料はプロジェクトに手渡された。プロジェクトがすでに委員会のいくつかのコメントに対応したことが報告されているが、委員会は、完全を期して、現在の報告にそれらの提言も留めるものである。

## 2. ターゲットシステム

## 2.1 概要

過去一年間で重要な変更がターゲット設計に対して行われた。すなわち、

- (1) ビーム窓形状が平板タイプから半円柱状に変更されたこと、
  - (2) N-TACにおける助言により、ターゲット前方部と後方部を分離するための隔壁がビーム窓から約60cm後方に設けられたこと、
- である。

ターゲット窓形状の変更は、陽子ビーム入射時に発生する熱応力を低減するものである。この変更は推奨できるものではあるが、水銀の熱流動に対する影響があってはならない。この観点から、本形状に対する詳細な流動分布を検討すべきである。

隔壁の導入は、水銀容器壁の破損（例えば、ピitting損傷などによる）箇所から水銀が漏れることを事故とせず、放射線管理上大きな影響を与ることなく、予測し得た運転事象として対処できるという重要な意味をもたらす。しかしながら、以下の2つの観点を考慮すべきである。

- (a) ビーム停止のための水銀漏れ検知の速報性と信頼性を確保すること、
- (b) ターゲット保護容器の冷却性を損なわない為に漏れ水銀の過熱を避けること。

(a)の項目については、信頼性のある作動可能を保証する水銀漏れ検知器が十分な寿命を有しており、かつ使用中に作動可能な状態であることを確認できるシステムであること。開発チームは2つのシステムを提案している。すなわち、ヘリウムガス中放射性物質検知器と抵抗線型検知器である。両者は原理的な段階ではあるが、ヘリウムガスについては漏れ検知対象空間全域にわたり流動すること、及び抵抗線型では瞬時に断線の検知ができることを確認しなければならない。ヘリウムガス中の放射能を検知する手法は確実なものであり、定期的に検知器の機能を確認できる。しかしながら、ヘリウムガスが検知器に到達するまでに時間(30秒程度)を要する。この観点から、次のような考慮が必要である。(b)の項目に関して、漏れ水銀にビームが入射されたときの発熱が保護容器の重水冷却機能を超えることがないことを検討する。漏れ水銀に関係する保護容器と水銀容器間距離を再検討すべきである。さらに、重水の流れと温度を監視すべきであり、これらの信号は制限値を超えたときのビーム停止信号として用いることができる。

委員会はピitting現象（キャビテーション壊食）に関する理解の進展に対して感銘を受けた。少なくともMIMTM実験系においては、ピitting損傷を受ける容器壁の寿命を壁厚さと付加応力により予測できるように思われる。しかしながら、陽子線入射による実機ターゲット条件下でこれらの結論が当てはまるかについては未だに明らかでなく、さらなるR&Dが求められる。また、損傷の抑制技術開発についても同様である。

このような不確かさ故に、ターゲット容器隔壁の追加変更は重要である。なぜならば、ピitting損傷を受ける水銀容器の破損が重大な事象につながることを防止できるからである。

## 2.2 水銀容器仕切空間に設置させる漏れ検知器

先に述べたように、ターゲット容器先端の仕切空間（以下、「仕切空間」と呼ぶ。）のヘリウムガス中に含まれる放射能をモニタリングすることにより漏洩を検知するのは、最短でも漏洩後 30 秒を要する。しなしながら、微量の漏洩を高い信頼性で検知するのに良い手法である。有る特定の同位元素の特徴的な信号をとらえることは、おそらく有望な方法である。水銀中で生成され、比較的高いアクティビティを持つ Xe-127 は、もし、その スペクトルが他の元素と区別可能であり、低いバックグラウンド環境で検知可能であれば、漏洩検知の同位元素として使えるであろう。

ターゲット容器が大きく破損した場合、仕切空間は短時間の内に水銀で満たされ、水銀の流れも阻害されるかもしれない。このような状況に対して、水銀接触による回路短絡を検知する抵抗線型漏洩検知器を設置することになっている。

これら抵抗線の機能は、望ましくは恒常的に検査できることが重要である。これは、抵抗線の電極を電流回路で構成し、電流を連続的にモニターすることで可能である。すなわち、水銀による短絡は回路の抵抗を減少させ電流を増加させる。一方、リード線の断線はどこで生じようとも抵抗が無限大になり電流がゼロになることで検知できる。

## 2.3 水銀ポンプ

ターゲット内部の水銀流動のために、ギアポンプを使用することが現在考えられている。このタイプのポンプに見積もられた利点は高い効率とポンプが詰ったときに、完全に水銀フローを妨害しないという事実である。しかしながら、水銀漏洩に対するタイトネスの問題がある。プロジェクトチームは、制御された漏れ捕集システムによってこの問題を回避することを提案している。委員会の見解としては、とくにある量の(放射性の)水銀蒸気の漏れが確実に回避できないため、これは不確かな解である。我々は、ラトビア大学( IPUL )の Physics Institute で開発された新奇なタイプのポンプが様々な場所( ENEA 、 PSI 、 ORNL )で首尾よく今使われていることをチームに指摘した。このタイプのポンプは、水銀ループの外の回転磁石ドラムによって誘導力を生成することによって、完全に囲まれた水銀ループに作用する。ESS プロジェクトによって獲得されたこのポンプの研究室タイプバージョン(高い放射線環境、もしくは、遠隔扱いに相当ではないが。)は、今 FZ-Julich で使用されていない。

そのポンプは、次の仕様を持っている：

- 流量 :170 kg/s ( 13 L/s )
- 圧力ヘッド : 5 bar
- 定格圧力: 10 bar ( PN 10 )
- 水銀運転温度 (nominal): 25
- 水銀運転温度 (最大) :200

これらの仕様が JSNS 水銀ループ必要とされるポンプの仕様を実際には満たさないだろうが、テストの目的には有益であろう。我々は、Project に対して、ギアポンプよりむしろこのタイプのポンプの使用可能性を真剣に考慮すべきである。

## 2.5 漏洩水銀のドレン

現在、ターゲット台車上には 2 基の遮蔽されたタンクが設置されることになっている。即ち、ターゲット容器交換時や保守期間中に水銀循環系の水銀をドレンするドレ

ンタンク、及び2つのキャッチパンからの漏洩水銀を受け入れる漏洩水銀補修タンクである。キャッチパンに集められた水銀は汚れているので水銀循環系に再利用すべきでないと言うのが、漏洩水銀補修タンクについての論拠であった。当委員会は以下の理由により、この論拠に賛同しかねる。

a) ほとんどの期間は完全に閉じた空間であり、フィルターの付いた排気設備を備えたホットセルに据え付けてあるキャッチパンに対して、キャッチパン上に集められた水銀が汚れるという理由が見つからない。

b) 水銀の汚濁が生じた場合、汚濁物質は水銀表面に浮くか、滅多にないことであるが底に沈むと考えられ、長期間にわたって水銀中に懸濁するとは考えられない。水銀循環系は常にドレンタンクから水銀を充填されるので、ドレンタンク中水銀の上層と下層を避ければ、汚濁物が水銀循環系に充填される危険性を実質的に無くすことが出来る。

c) 仮に漏洩水銀補修タンクを使用すると、特に水銀の大量流出の場合などには、タンクに水銀が溜まり続けることになる。すなわち、タンク容量を超えてしまい、それ以上の水銀を受け入れることが出来なくなる。漏洩水銀補修タンクの放射化水銀を抜いて空にするのは、水銀の補充も必要となり、非常に複雑で、且つ、望ましくない作業である。

d) 処理しなければならない放射化水銀の総量が不必要に増加する。

これらの理由から、キャッチパンからの漏洩水銀をドレンタンクに受け入れることを検討し、可能ならドレンタンクの容量を増やすことを勧告する。

## 2.6 安全とターゲット保護インターロック

### 2.6.1 概要

プロジェクトチームが明確にしようとしている安全と制御のシステムは、プロジェクト全体の安全概念の一部として中性子ターゲット専門家委員会を含む複数の独立した委員会により監視されている。準備段階(preliminary)の安全解析書は、草案が作られており、今後改訂が続けられる。N-TACに提示されたこの取り組みは、完全に受け入れられた。目前に迫っている詳細な設計作業に貢献するため、我々は幾つかの考え方を提示したいと思う。より適切なコメントは、見出しにそれぞれのシステムの名前を冠して記してある。

人員保護システム(PPS)、ターゲット保護システム(TPS)、(加速器の)機器保護システム(MPS)の機能を分離することは、適切な対応をとって不必要なイオン源の停止を避けるために有効な方法の一つである。

インターロックシステムによる意図しないビーム停止を防ぐため、運転員が適切な是正措置をとる十分な時間的余裕をもって、警告信号が伝達されなければならない。

経験によると、それぞれの機器に対するソフトウェアとハードウェアに統一した製品技術を用いることにより、TPS、PPS、MPS間のインターフェイスの問題を避けることができる。このことにより、実装やトラブルシューティングでの苦労や不要なビーム停止時間を低減することができ、運転員と保守要員のどちらにとっても仕事が容易になる。

これらのシステムの設定、実装、試運転を行う元請業者は一社のみ限定することが望ましい。複数の異なる業者に対して動作不良の責任を明確にすることは、業者が常に責任を逃れようとする傾向にあることもあり、困難であるが、責任を持つ業者を一社のみとすることにより、この問題を回避することができる。標準的なハードウエ

アやソフトウェアを用いることにより、製造業者や供給業者に依存してしまうリスクを低減させることができ、もし元の供給業者が市場から撤退しても容易に変更を行うことができる。

可能な限り全ての場所において、計装監視よりも、遮蔽や空間配置により受動的に得られる安全を確立し、構成機器を適切に設計することを優先するべきである。

### 2.6.2 ターゲット保護システム

除熱機能喪失に対する監視では、温度に加えて水銀の流量も監視すべきである。水銀流量の喪失は、ギアポンプの周波数や電流ではなく、流量を直接監視すべきである。適切な方法は、ターゲット及びポンプの入口と出口の差圧を監視することである。

抵抗線を用いた漏洩検出器は、放射線の効果(電離作用、スパッタリングによる絶縁体への導電性物質の付着など)を考慮すべきである。

単発のランダムな誤動作が発生する場合には、信頼性を向上させるため、MPSと同様にTPSについても、2 out of 3論理を考慮することになるだろう。これにより、ビーム運転中に信号チャンネルを交換したり、テストしたりすることが可能になる。この方針は、稼働率の観点で重要な他の信号チャンネルでも考慮されるであろう。

もし、Xe-127が明確に同定されるガンマ線を放出するのであれば、ターゲット容器と保護容器間のヘリウム層のXe-127をオンラインで監視することを検討すべきである。

サージタンク液位のモニタリングでは放射線による影響を考慮すべきである。水銀による電気接触に基づいた双極子による液位計の信頼性が高いことが見出されている。

ターゲット保護容器の重水冷却水流量と出口温度もTPSにより監視すべきである。

## 2.7 ピッチング(キャピテーション壊食)に関する R&D

液体金属核破碎ターゲットにパルス入射することにより生じるピッチング壊食損傷は現状におけるターゲット容器の寿命評価上最も重要な課題である。この現象は原研の研究チーム(二川、他)により最初に示され、国際協力(JSNS,SNS,ESS)の端緒となった。ESS プロジェクトは 2003 年に不幸にも終了となり、SNS では非常に限られた R&D 費により、損傷抑制技術(水銀中バブル注入法)開発の進展は非常停滞している。このような状況の中で、原研で実施・継続されている研究開発は重要である。

損傷形成機構の理解のために実施された過去一年の研究成果は素晴らしいものである。いくつかの洞察は全く新鮮なものである。数値計算を含んだ多くの実験の確証は、入力パワー密度、表面硬度、損傷との相関を理解し確立するために大いに有効であった。特に、ターゲット容器の時刻歴応答を計測するレーザー技術の開発は、ターゲット容器の寿命評価に用いられる損傷ポテンシャルの概念を発展させて適用させるために有用である。観測された応答は、水銀中にバブルが存在した状態で容器が変形することに依存した低周波数領域と、バブルが崩壊した後に生じた高周波数数量領域から構成される。ターゲット容器固有の低周波数領域の応答に高周波数成分が重畳して現れると思われるが、これらの振動や振幅から評価される損傷ポテンシャルは有効であろう。しかしながら、MIMTM から得られた寿命評価に関する結果は、多分直接的には実ターゲット構造体に適用できないことに注意しなければならない。しかしながら、この手法は非常に有効であることから、委員会はこの研究成果を最も高く評価

すると共に支援の拡大と継続を強く望むものである。特に、原研と共同でオークリッジで準備が進められているビーム入射実験（2005年6月に実施予定）においては正に重要となる。しかしながら、この実験がレーザー計測の適用性を確認したとしても、さらに次のような重要な未解決な課題がある。

- (a) MIMTMにおける模擬実験と実ターゲットの条件の定量的な相関について（ターゲット構造形状、流動条件、等）
- (b) パルス繰り返し速度の効果（残存するキャビテーションバブルと崩壊バブルの干渉効果）
- (c) ビーム衝撃領域近傍における正確なバブル量の評価

ピッチング損傷を受けた試験片を用いた3点曲げ疲労実験から、損傷の影響はコルステライズ処理を施した20%冷間加工316材の場合に、通常の316材に比べて大きく作用すること、一方損傷に対する限界値は処理材が非処理材に比べ上昇することが明らかとなった。

この事実より、通常の316材に硬化処理層の界面強度を上げた材料の開発とその適用が期待できる。

これらのいくつかの課題については、ビーム入射実験より明らかにされるであろうが、MIMTMを用いた実験の継続は非常に重要である。特に、可能であれば、流動ループを用いたバブル注入法に関する実験に適用すべきである。再度記述するのであるが、本研究は、液体金属ターゲットを用いたパルス中性子源に関する十分安定した長期運転の観点から、科学的にも非常に重要な研究であるといえる。

我々は、チームリーダーが一般的な他の分野に通じる非常に有益な研究をさせていることを理解している。これらは非常に好ましいことであり、結果の理解を深めると共に早めることになる。

今日までの本研究により、JSNSターゲットをフルパワーで運転するためにはピッチングの理解とその抑制技術の開発が不可欠であるということを結論と成った。

### 3. 陽子ビームラインとミュオン施設

#### 3.1 陽子ビームフットプリントと強度分布

水銀ターゲット（及び陽子ビーム窓）において指定されたフットプリント上でビームの均一な分布を確実にすることは未解決な問題と感ぜられる。かつて本プロジェクトでは、狭いビームを要求されるフットプリント上で走査（ラスタリング）することにより、適度な時間平均において平均化すること考慮していた。この方法は、窓材料における放射線損傷の問題を解決するものの、以下に示す二つの負の影響がある

- (a) 狭いビーム（高いピーク値を伴う）の応力勾配が増加される。疲労に対するリスクが増大する。
- (b) ピッチング壊食の損傷はターゲット内の発熱密度（ビームのピーク強度で決定される）の4乗に比例すると考えられる。さらに数マイクロ秒間における個々のパルス内のラスタリングは不可能である。このため、ターゲットの寿命は劇的に

減少するであろう。

従って、時間平均でなく全ての瞬間において適切な強度分布を得る方法が絶対的に必要となる。

- ・ 陽子ビームに対して、時間平均の陽子電流密度とパルス内の電流密度の両者を定義する。
- ・ 200 MeV LINAC と 400 MeV LINAC 両者におけるプロファイルを調査する。

### 3.2 陽子ビームモニタリング

ビームオプティクス最適化及び運転状態監視用にビーム強度分布を観測するため、二次電子放出により空間分布が測定できる抵抗体ワイヤーによるシステムが提案された。ワイヤーでの発熱を抑えるために、タングステンの代わりに SiC ファイバーが考慮された。もし、SiC が放射線に対して十分な耐久性があるのであれば、これは良いアイデアである。我々はこの問題を調査することを推奨する。

モニターに関して委員会は以下のことを付記する。タングステンメッシュからの光を工学的に観測する目新しい方法“VIMOS”が PSI で開発され、テストで成功している。本手法には、メッシュが存在している限り個々のワイヤーの保全状態に依存しない利点がある。これにより良い精度でビーム強度の分布を得ることができる。テスト段階においてビームラインの磁石セッティングの間違いが直ちにそして高感度に診断することができた。

### 3.3 ビームライン磁石

ビームライン磁石のアライメント方法は、詳細な位置決めをした座に設置したベースプレートの位置を見通すことによって行う。その結果、磁石は再び持ち上げる必要があり、ガイド機構が設置される。設置が終わると、上部の重い遮蔽が設置される。我々の理解では、0.5mm より良い位置決めが必要とされているのにも関わらず、座は磁石およびプラグの全重量を受けなければならず、据付け後に磁石のアライメントを直す方法が無い。もし床面の沈下が生じた場合に、磁石の再アライメントが極端に長時間の消費となり、また磁石が放射化した場合に再アライメントが不可能となることを我々は心配する。

別の施設で使われているような動的なマウントは高価であろうが、チームは磁石の最終据付け後や遮蔽の設置後に、上方からアライメント調整する方法を真剣に調査するべきであろう。

また、遮蔽プラグの全重量を支持するより磁石を上部から吊上げる方が望ましい代替手段であるように思える。

磁石が故障した場合に修理するのではなく、全てのコンポーネントを廃棄しようとしていることを、委員会は懸念している。我々の知識では、PSI において磁石の修理は（冷却水や電気のコネクターがほとんどであるが）ATEC エリア（ホットセル）において日常的に行われている。磁石においてマイナーな欠陥は珍しくは無いように見える。新品の磁石に交換する場合において、上記のアライメント方法は特に問題が多い。

## 3.4 ミュオン施設

### 3.4.1 全体的なコメント

委員会はミュオン施設の設計が進展している事に賛辞を送りたい。



陽子ビームラインの電磁石に関して、委員会は現在の電磁石の設置方法ではミュオンビームラインの再アラインメントを行うのが難しく、時間もかかるのではないかと考える。遮蔽体などの重量物が積み増された時、MLF 建家の不等沈下によって、電磁石の調整が多分に必要になると考えられる。

*M-TAC* での主要議題であり、我々の手法が、1つの重さ50トンにも及ぶ電磁石を遠隔操作で設置し、且つ不当沈下が起こった場合にも、+10ミリメートルの範囲で高さの調整をできる最良な方法であることが答申されている。

広角の弾性散乱によってスクレーパ系に相当な熱が付与される。輸送コードにおける標準的なモデルは非常に限られているので、ミュオンチームは、この効果に対して適したモデルを用いた計算をチェックすべきである。

スクレーパでの発熱評価は原研などで開発されているPHITSを用いて、現状での設計に近い形状を再現したモデルで行われている。現状での第1、第2スクレーパでの総発熱は各々、19kW、3.5kWと評価され、発熱の分布などの詳細な評価結果を元にした、ANSYSなどの有限要素法による温度分布の評価も行われ、冷却水配管などが決定されている。

### 3.4.2 ミュオン標的

2種類の標的設計が示された。固定標的は、炭素製の円盤で、周囲を銅製の冷却リングとロウ付けされている。他方は、回転標的である。これまでの作業は技術的な観点（特に、冷却）に着目して行われてきた。

最初の運転ではエッジ冷却グラフィイトブロックが用いられ、前方と後方の表面からミュオンが引き出される。これは、将来か移転標的が導入されても同様である。委員会のメンバーはミュオン標的やその使い方の専門家ではないけれども、他の施設（特に回転標的を用いているPSI研究所）ではサイドの表面（全方、後方表面より大きい面積を有する）からのミュオンの引き出しを行っている。J-PARC チームはこのオプションを採用せず、より高い強度のミュオンビームを得る事をあきらめているように見える。もちろん、標的チャンバー、ミュオン引き出し系などの設計変更を最初からやり直しになる事を意味している。

委員会は、提案されたミュオン引き出しの設計の効率を詳細に調べ、性能の観点で最も重要な観点からの最適化をする事を勧告する。

いわれるまでもなく、表面ミュオンの引き出し、崩壊ミュオン用のパイオンの引き出し等に関して、詳細に評価をしている。エミッタンスの大きいシンクロトロンからの陽子ビームを用い、一つの標的から上流の2ポートに表面ミュオン、下流の2ポートに崩壊ミュオンを引きだすべく最適化されている。

回転標的の設計に関してPSI研究所と密接なコンタクトをとり、長年の運転経験と改良した設計を採用した新しいアイデアなどを活用する事が望まれる。またTIRUMF 研究所では固定標的の重要な数々の経験がある。委員会はTRIUMF 研究所

のスタッフとコンタクトを取り、J-PARC ミュオン標的の設計者にとって湯用な情報を持っているかどうかをきいてみることを勧告する。

*PSI の回転標的の専門家である Heidenreich 博士は、M-TAC のメンバーであり、KEK に来所していただき、技術的な検討作業に参画していただいているだけでなく、チームのメンバーも多数 PSI を訪問し、密接なコンタクトをとっている。また、TIRIUMF の Beveridge さんには、ミュオンチームの一員として、5年来、標的等の検討作業、設計作業に従事していただいている。*

## 4. モデレータと実験設備

### 4.1 ポイズン及びデカップラー板

ポイズンとデカップラー板被覆のための精力的な開発研究は、要求される材料の製作に向けたよい知見を生み出している。この種の継続的な研究は、必要な製品を製作するための方法を明らかにするだろう。計算では非接合領域があっても温度による重大な問題が発生しないということではあるが、我々は、連続的に接合しかつ欠陥の無い材料の製作方法を辛抱強く探求することを推奨する。

530 /100MPa/10 分でHIPされたAIC-A5083及び530 /100MPa/60 分でHIPされたAIC-A6061の大型試験片では、次の3項目の改善策によって、よい接合が達成できた。(1)軟鋼によるAICとAl合金のカプセル化、(2)二元系合金の代わりに三元系AIC合金(68%Ag-2.5%In-29.5%Cd)を使用したこと、(3)HIP前の表面清浄。しかしながら、AIC-A6061では、530 /100MPa/60 分でHIPした後のT6熱処理により、大型試験片の一端から発生した有意な領域の非接合部を生じた(超音波検査)。発表者等は、AICデカップラー材として530 /100MPa/10 分でHIPされたAIC-A5083を使用することが出来ると結論付けた。

#### 1. AIC-A5083の場合

R&Dの期間はH16年会計年度終わりまでの残り5ヶ月と限られているが、AIC-A5083の大型試験片による接合試験を530 /100MPaで10分以上(30分くらい)のHIP処理試験を行うべきである。この理由は、次の通りである。

超音波検査では、特に重大な欠陥は発見されなかったが、上述の3項目の改善策を施した530 /100MPa/10分でHIPしたAIC-A5083の3個の大型試験片のうちの1個は、低めの引張り強度を示した。これは、このHIP条件(530 /100MPa/10分)が最適ではない可能性を示している。

HIP中の大型試験片全体にわたる温度分布不均一性の可能性の観点からは、10分というHIP時間があまりに短かったように思える。加えて、次のような理由から、AIC-A5083の良い接合のための最適なHIP条件が、530 /100MPa/10分であり530 /100MPa/60分でない結論付けるには、尚早であると言える。(1)3項目の改善を施したAIC-A5083の小試験片で得られた試験結果は、破断が常に金属間の中間硬化層で発生しているが、中間硬化層厚の増加とともに引張り試験で測定される接合強度が上昇する傾向にあることを示している。このことは、破断が始まる、または伝播することに対し、中間層よりも敏感なとても弱い部分が存在し、これは中間層厚さ(または拡散層厚さ)を増すことによって強化または除去することができることを示唆して

いる。(2)3項目の改善を施した530 /100MPa/60分でHIPされたAIC-A5083試験片で観測された小さな引け巣の発生は、他の原因によるものかも知れない。たとえば、共晶温度を超える加熱を生じさせるようなHIP中の温度制御の不具合が考えられる。

## 2. AIC-A6061の場合

T6 熱処理後の AIC-A6061 大型試験片で観測された非接合部分は、515 からの水中焼入れ時に試験片に生じる温度勾配による熱応力の発生が原因であるかもしれない。

このため、焼入れ方法の改善によって、焼入れ中に試験片に生じる温度勾配を最小化する努力をするべきだ。室温での中性子照射による脆化は、AIC-A5058 より AIC-A6061 の方がより小さいと知られているからだ。

注： 液体水素中のポイズン板として（適切な支持構造を伴った）裸の Cd 板の使用を検討することは、有益であろう。このような状況において、Cd の有限な燃焼寿命に対する適切な考察を行った上でである。

## 4.2 水素流動システム

設計チームはよい仕事をしており、結合型モデレータと流動システム設計の詳細に関する重要事項を提示した。設計者らは、冷却部分の熱収縮について、また製作と試験検査の方法、手順について正しく準備を進めている。設計者らはモデレータの試作機を所有しており、これは大変有益であることが分かるだろう。試作機の各要素位置をその場観測するために開発された X 線試験は、設計上必要な信頼性を与えるだろう。

設計者らは、水素ループ内の圧力制御に関する良い検討をおこなっている。ベローズシステムの必要性を支持する説得力のある想定を示す必要がある。つまり、この想定の一部として、水素-ヘリウム系の熱力学について調べる必要があるように思われる。

水素システムの異常事象リストは、第三者によってレビューされたのだろうか？ つまり、この異常事象リストは合理的に考えて完全なものなのだろうか？ 最終的な安全解析評価を行う担当者に提出する出発点としては、プロジェクトは現在の異常事象リストを使用することができるだろう。その担当者は、処置が必要で、かつ設計への対応を求めるかも知れない相互作用を及ぼす事象に関して、さらに多くの考えを持ち、提案をするかも知れない。

## 4.3 ニュートロニクス

発表者はターゲット/モデレータ系の中性子性能に係わる受入条件（アクセプタンス クライテリア）の容認可能な定義を明解に定め、また試験目標と定義された諸量の測定方法の合理的な組み合わせについて、その概要を述べた。しかし、いくつか試験目標は、受入条件としてはとても厳しく余裕がない：（中性子強度評価値の0.7倍？）。また、いくつかの目標（積分強度に対するスペクトル強度、等）は、「コミッショニング」のために何が必要かという観点から、さらなる見直しが必要である。いくつかの目標は、コミッショニングにとって必要なものの範囲から逸脱しているかも知れない。特に、かなり高い陽子ビーム出力（> 10kW?）を必要とするパルス幅測定、その中でもパルスピーク値の1/100 幅の測定がそうである。プロジェクトは、コミッショ

ニング期間にこれらのデータが本当に必要かどうか、慎重に見極めるべきである。コミショニングのための測定計画の詳細を今すぐ考案する必要があり、そしてその手続きを試す計画を早急に立てる必要がある。

時間平均スペクトルの計算値は、モデレータからの低エネルギー側（長波長側）の中性子強度を大幅に過大評価しているように思える。プロジェクトはこれが正確かどうかを調査し、そして最も精度の高い性能評価結果を示すべきである。

#### 4.4 特性試験装置

NOBORU(特性試験装置)の設置は、線源特性の監視のみならず、極めて多様な試験、技術の実証、そして技術要素開発にとって有用であり、またこれらの目的に即した装備である。引き続き、必要とされるデータ収集系、検出器配置、そして附帯装備の詳細を検討すべきである。設備が広範囲に有用となるように、**低バックグラウンド環境を備えるように検討すること**。先の応用のいくつかため、この装置占有で使えるイメージングプレートリーダーを利用可能にすべきである。

#### 4.5 中性子ビームライン

いくつかの実験装置において、アルミニウムは中性子ビーム窓として適している。ただし、スペクトル強度データに鋭い構造（ブラッグエッジ）が現れ、データ解析において問題になる可能性がある。ある実験装置設計者は、ヌル・マトリックス合金（~50/50wt.% Zr/Ti）（コヒーレント散乱無し）による窓を好むだろう。遮蔽及びコリメーションの応用に有用であろう新材料が現れた。それはフェロ硼素、FeB、であり、これは様々な金属はんだと結合し、水素を含まない化合物を形成する。NISTのTim Pikeに相談のこと。

### 5. ヘリウムベッセルとシャッター

ヘリウムベッセルとシャッターシステムでは、非常に大きな進捗が見られた。ヘリウムベッセルの設計と製作は完了し、ベッセルは現地に納入されている。ベッセル窓遠隔操作機器については組立が完了し、挿入運転が実証された。これにより、枝管フランジ部の設計も検証された。

シャッター間構造体の製作が開始された。シャッター内挿入物の設計も進んでおり、シャッター制御システムの概要も明確になった。

ヘリウムベッセルと枝管内挿入物は、すべての主要な要求を満たしているように思われる。前回 N-TAC の指摘事項が考慮されており、挿入物取付ボルトを交換可能にする設計変更は実際的なものである。しかしながら、委員会として運転と保守に関わる意見を下記に示す。

ヘリウムベッセルの据付は、もちろんとても重要な工程であり、それにより、陽子ビームライン、中性子ビームライン及びターゲット挿入部の幾何学的位置が決まる。ヘリウムベッセル設置に関するいくつかのコメントを以下に示す。これらは設計の段

階ですでに考慮されているかもしれないが、いくつかは SNS の据付作業で問題となっているものである。

- 位置、角度及び高さの許容値を明らかにしなさい。
- 許容値に収めるための微調整の方法を計画しなさい。
- 測量機器と手段は、要求精度まで測定できるものでなければならない。
- すべてのポートについて据付後に測量データを取得し、中性子ビームライン設置のための将来的な利用のための外部基準点を設けなさい。
- 沈下量をモニターするために、将来にわたっても見える場所に高さを測定するための基準点を設けるべきである。
- 金メッキの E-シールが水銀蒸気に曝される可能性はあるか？ もしそうなら、良くない。

## 6. システムコミッショニング

### 6.1 システム開始

プロジェクトの現段階において、コミッショニングに要求されるサブシステムおよび統合システムに関するテストの設定を発展させることにおいて、設計チームは良くやっている。

最も主要なシステムに関してテスト計画が発表された。プレリミナリーなスケジュールを構築し、極低温システムの試験と遠隔操作試験においてクリティカルパスがあることが確認された。この設計段階において、極低温システムと遠隔操作のテストは良く設定されている。

テストのランク分けを行い、どのテストがビーム受け入れ前に必要か、どのテストが望ましいものか、どのテストがビームを受け入れてから行う可能性があるか分けるべきである。期限か金額的な問題が極端になる場合、将来において厳しい選択が必要かもしれない。

実際の運転対して責任を持つグループから、必要なテストの項目出しが必要である。そのグループから、通常操作や異常事象に対応するための操作を示すことを要求されるであろう、またオペレーターに操作資格を与えるために訓練を要求されるであろう。一般的にスケジュールは、問題が無い場合や問題が最小となるケースを想定して組み立てられる。

典型的にスタートアップ時では問題があるため、スケジュールの余裕は個々のテスト期間とこれとは別に全体の期間において組込む必要がある。試験計画では、一般的な資源をロードした計画に統合される必要がある。操作において必要な全てのシステムが計画に含まれるべきである。これにはオフガス処理システム、冷却水ループシステム及び建屋排気システムも含めるべきである。テストは文章化されたプランに沿って実効されるべきである。試験プランには取得するデータの種類やその許容範囲を含むべきである。

### 6.2 ターゲット試験

水銀循環試験が 3.5 日間というのはあまりに短いと思われる。裕度を予期せぬ困難に対してとるべきである。初期の問題を調整するための期間がいる。それから、すべ

での運転モードにおける試運転とオペレータの訓練に対しても時間が必要になる。

SNS の Target Test Facility では試験を行うために実規模の水銀ループを稼動した。その経験に基づいて、SNS は水銀について実働 20 日の試験期間を計画している。また、水銀を充填する前に水を使用した試験について同様の時間を加えている。プロジェクトがギヤポンプを使うと決めるのであれば、水試験は、また、ポンプ曲線を明らかにするために用いることができるかもしれない。

ターゲット試験のスケジュールは水ループや遠隔操作のスケジュールと調和させなければならない。水銀を充填する前に、漏洩検知器とホットセル内の空調は機能していることを試さなければならない、その期間はスケジュールに含めるべきである。試験に気体廃棄物処理設備の正確な操作を含めるべきである。水銀を充填する前に、いくつかの確認が必要である。

水ループの試験は、セーフティーハルや遮蔽体の試験の前に、初期充填とポンプシステムの試運転について明確にするべきである。これらのシステムが典型的な構成のものであれば、これらの試験には数週間いる。

水銀を充填する前に、台車上の水ループを試験することを検討しなさい。水銀を使う初期の試験期間で水銀漏洩が生じる場合には、水漏れは掃除するのがより簡単である。

### 6.3 低温システムのコミッショニング

本試験計画は、よく展開されている。しかしながら、遠隔操作の実証試験によって、試験全体を途中で分断しないようにすることは検討に値するだろう。遠隔操作の実証試験をまず行い、その後すべての低温試験を行う方が、より効率的だと思われる。

## 7. 運転及び保守

効率的な保守の必要条件が初期段階に装置設計に組み込まれることは、極めて重要である。この要求は、遠隔で取扱わなければならない装置にとっては明白なものである。しかしながら、その原則は保守要員の放射線被ばく量を最小限にするために、注意深い設計や配置によって放射エリアにおける設備の維持に同じく適用される。

JSNS チームは、特に前回の委員会で提示された遠隔操作概念の詳細な実施計画において大部分の領域において印象的な仕事をした。プロジェクトチームは、プロジェクトのこの比較的早期の段階においてコミッショニングフェーズの計画を始めることは賞賛すべきことである。これは、試験や保守のニーズを明確にするサブシステムのより適切な計画を可能にする。この計画を詳細化する際、入力是最終的に試験に関連していなければならない将来の運転グループから同様に求められるべきである。これは、それらを実行する最も効率的な方法で、同じく個々のステップの期間や順序を過度に楽観的に見積るのを回避するのに役立つであろう。1 つの資源を活用した計画として実行する必要がある全ての試験を含むことは有効であろう。

試験の実施は、結果の明文化された計画に従うべきである。それらの計画は、取得すべきデータ及び満足する必要がある受入基準を明確にするべきである。同じく委員

会には、システム及び設計について次のセクションに示されるいくつかの詳細なコメントがある。

## 7.1 遠隔操作

ホットセルにおける線量率の解析（流出している、もしくは、僅かな流出後の系統に留まる水銀による）が示すのは、セルへの限定した入室が可能であろうということである。しかしながら、特にホットセルの中で行うことが提案された切断作業を考慮すると、かなりの汚染と線量率が予測されなければならない。

委員会は、入室しないことを前提としたシステム設計方針の変更を推奨しない。

運転段階におけるターゲット保守エリア（ホットセル）における遠隔操作作業に関して、ホットセルに持ち込み、その後大型機器取扱作業室に持ち上げる取扱キャスクを除染する方法を評価しておくべきであり、このプロセス（除染）の間に汚染の広がりを防止する方法を開発しておくべきである。懸念しているのは、潜在的な水銀汚染である。汚染に要した水銀の量は非常に少ない。

キャスクからの重い負荷を軽減するには、適切な配置を保証するために設置する場所の近くにラフまたは詳細な位置合せガイドの開発を必要とするかもしれない。

プロトタイプによるデモンストレーションは、これらの運転手順の開発に立つかもしれない。

保守作業計画は、例えば漏洩テストが失敗して新しいシールを装着しなければならないなどの問題に対応する時間を考慮しなければならない。ユーザーのための施設運転を宣伝されたスケジュール従って行うことは最も重要である。不十分な時間が遠隔操作タスクに割当てられるならば、これは危険である。経験が得られるに従って、遠隔操作タスクを実行するための時間は、さらに正確に見積り易くなるであろう。

委員会は、遠隔操作タスクに必要とされる時間の初期の見積には、保守的なアプローチを推薦する。遠隔操作要員に対する多くの時間的な圧力は、誤りや結果として遅延に容易につながることになる。提示された主要な機器の交換のための設計はよいが、計測素子（圧力センサー等）のかなり小さな部品の交換は、注意深く考察されなければならない。

交換がフィットすることを保証するために、定期的に交換されなければならない機器にテンプレート（実物大模型）を用意することを考慮するべきである。

水銀ポンプの交換は、特にギアポンプ（漏れる）が保持されるならば、非常に注意深くチェックされなければならない。

いくつかの遠隔操作デモンストレーションは、最初のインストール時に遠隔操作機器を用いて可能であるかもしれない。

最終的には、遠隔操作装置そのものの保守を実証することが重要であり、計画に含まれるべきであろう。この保守は除染を多分必要とし、その装置は水スプレーのような浄化処理を可能とするように設計されているべきである。

## 7.2 気体廃棄物処理

水銀ターゲットで生じる放射性ガスの量は許容される排気レベルよりも約2桁大きいため、排ガスホルダーに保管して（トリチウムに関しては液化して除去する）放射能を約1/1000に減衰させた上で大気に放出するようになっている。この考えは原理的に正しい方向であり、提案された気体廃棄物処理システムはおそらく通常の運転ではその機能を果たすであろう。しかし、具体的な設計に関しては、以下の3つの点

を検討する必要がある。

- (a) 気体廃棄物処理システムには4つのディケイタンクがあり、そのうちの2つが半年毎に使用される。これらの4つのディケイタンクは共通の鉄遮へい体で囲まれている。しかし、このようなタンクは定期的な検査をしなければならない逃がし弁付き圧力タンクであるのが普通である。ディケイタンクがそのようなタンクであるなら、ディケイタンクのどれか一つを一時的に外して逃がし弁をテストする必要がある。このことが設計で考慮されているようには見えなかった。委員会はディケイタンクを個々に遮へいすることを勧める。
- (b) 気体廃棄物処理システムには放射性ガスが漏れた時の2次的な閉じ込め機構がないように見える。鉄遮へい体はディケイタンクから放射性ガスの漏洩があった場合に放射性ガスが遮へい体から漏れないように作られているのかもしれないが、気体廃棄物処理システムの残りの部分は、放射性ガスの大量漏洩を引き起こす事象が起こった場合の対策がないようである。委員会は気体廃棄物処理システムの放射性ガス漏洩時の閉じ込め機構を検討すべきであると感じている。
- (c) 委員会は気体廃棄物処理設備室で火災が生じた場合の影響（放射性ガスの大量放出）も心配している。火災による放射性ガスの大量放出の可能性について検討する必要がある。

プロジェクトチームは早い時期に許可をだす監督官庁と気体廃棄物処理システムの考え方について議論して、気体廃棄物処理システムの運転許可が得られるか確認すべきである。

モレキュラーシーブと酸化銅ベッドの寿命は決まっていらないようだが、このような大量の放射性物質を含む機器の交換についてもよく検討しておかなければならない。

気体廃棄物処理システムのトリチウム除去機能は重要である。しかし、トリチウム除去性能をどのように測定するかは明らかになっていない。トリチウム除去性能の信頼性とそれを裏付けるトリチウム除去性能の測定手法が重要である。

モレキュラーシーブと酸化銅ベッドの寿命も考慮して除去効率を維持するために、モレキュラーシーブと酸化銅ベッドは2セット設置しておくことを考えるべきである。

### 7.3 シャッター

発表で示されたシャッター内挿入物のアラインメント手順は極めて複雑かつ間接的である。すなわち、垂直面内におけるシャッター内挿入物の角度調整が正確かどうかを判断するために、レーザーを用いてシャッターブロック上面の傾きを測定する方法のことである。我々の理解では、もし正確ではないと判明した場合、シャッター駆動システムを分解し、シャッターブロック全体をもう一度取り外し、角度変位の測定値をもとにシャッター内挿入物をアラインメントし直し、システム全体を再据付する。また、水平面内のアラインメント方法が明らかではない。シャッター開時の高さ微調整もシャッターシステム駆動機構によるものと思われる。委員会は、シャッター内挿入物に中性子光学機器を入れた場合のアラインメント要求精度が満足されるものであると、確信することは出来ない。

我々は、この手法全般にわたって再考すること、及び内挿物その場調整機構の導入



を勧める。SNS や ESS で開発された方法（後者については ESS-update report 2004 を参照）が、参考として役立つであろう。

忘れてならないことは、シャッター内挿入物は長期にわたる使用により、かなり放射化し汚染される可能性があることである。従って、常時、万が一最も扱いにくい状況下で交換機構に不具合が起きた場合でも、適切な遮蔽が担保される交換方法を開発することが重要である。同じことがシャッターブロックそのものにも言える。シャッターブロックが正規の位置から持ち上げられてシャッターキャスクに収まるまで（つまり両隣にシャッター駆動機構がある領域を通過する間）、シャッターブロックは遮蔽のないある距離を移動する。シャッターが中途半端な状態の時、吊り上げ装置が故障した状態からの復旧方法を計画しておくことが重要である。

委員会は、この（放射化という）観点からのシャッターのアライメント、取り外し、交換の方式に、さらなる検討が必要であると勧告する。この勧告はまた、ヘリウムベッセルの枝管内挿入物の交換方式にもそのまま当てはまることである。

シャッター模擬体を早急に手に入れ、アライメント方式やリフト機構の信頼性を確認すべきである。

レポート終わり

2005 年 1 月 13 日 グルノーブルにて  
Gunter Bauer  
委員会を代表して