

物質・生命科学実験施設技術アドバイザー委員会 (N-TAC)

第1回会合報告

開催日：平成14年10月28日-30日

開催場所：日本原子力研究所東海研究所

(最終版 平成14年12月17日)

概要と主要提言 以下の委員で構成されたN-TAC委員会は、要請を受けて第1回会合を日本原子力研究所東海研究所で平成14年10月28-30日に開催した。

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

委員会は、プロジェクトチームが計画の第1段階（現在のJ-PARC）が認められて以来行って来た仕事の質と量、及び大変な努力をもって科学的重要性の高い全体的概念を良くまとめ上げていることに対し感銘を受けた。本委員会に対するデザインチームからの発表は非常に質が高く、整合性が取れ、詳細にわたるものであった。

委員会が検討を依頼されている物質・生命科学実験施設の計画は、急速に成長している物質・生命科学の分野において低速中性子が持っている重要性に対し明確なビジョンを持っており、非常に良く練られたものになっている。チームとそのリーダー達は先を見通しながら作業を行っていると共に、流動水銀ターゲットを基本概念として採用している世界の他の高出力核破碎中性子源プロジェクトと歩調を合わせながら進んでいる。彼らは、原研が最初に観測した圧力波に起因するキャビテーション浸食（ピッチング）の問題の解明に大きな貢献をしてきた。特に施設運転の初期段階において十分な寿命を持つターゲット容器を開発しようと努力し、これまでに得られた研究の成果は、そのような開発が成功するであろうことを確信させるに十分なものであった。この開発は日本が主導的な役割を果たし、非常に効果的な国際協力として進められており、委員会はそれがこのまま継続されることを望んでいる。

冷中性子源の設計に、パラ水素の透過率が冷中性子領域で非常に高い、という利点を最大限に利用しようとしているものであり、そのようなモデレータの設計は賞賛されるべきものである。ISIS では、必ずしも最適化されていない同様のシステムが数年にわたって使用されて来ているが、J-PARC の設計チームはこれに対し、初めて広範囲な最適化研究に乗り出した。彼等のデザインは減速領域の狭いパルス幅と高い冷中性子強度の両方を実現出来るものである。結合型、非結合型及びポイズン型の3個のモデレータを採用したことは、この新しい中性子源施設が JRR-3 中性子源と共に日本及び国外の全ての中性子利用者の要求を満たすものでなければならない、という要求に対する答えになっている。

施設の設計はほとんどすべての側面によく進んでおり、評価委員会開催時には工学的な詳細にわたり十分に検討されていた。このことは、本委員会によるこの最初の評価が魅力的で刺激的なものになった一方で、発表されたこと全ての側面について判断を下すことを困難にした。この報告書の本文に含まれている多くの詳細なコメントや助言のうち、もっとも重要なものを次に列挙した。

パルス運転条件下で液体金属ターゲットに発生する圧力波を緩和することを目標とした高出力ターゲット開発に関する国際協力に引き続き積極的に参加することを求める。

水銀ターゲットシステムはクロスフロー方式を取っているが、そのために外側シュラウド（セイフティー・ハル）がターゲット容器本体と一体構造とせざるを得なくなっている。そのため、以下の観点から注意深く再評価すべきである：

- 技術的および製作上の複雑さ
- 全体のコストおよび取り扱い
- 圧力波緩和の方法を採用できるようにしておくこと

予想されるモデレータでのパラからオルソへの変換効率の確認を行って、水素のオルソ・パラ変換器のサイズを見直すこと。

陽子ビームダンプについては、加速器のコミッションングやビームの性能向上のための運転が、中性子ターゲットステーションの水銀ターゲットを運転しなければ進められないような、現在の使用目的と仕様を再検討すること。

中性子実験装置の設計に専念できる研究者を雇えるよう、資金的手当をすること。測定器からの要求がその計画段階からきちんと認識されており、かつその要求が線源の設計に十分反映されるようにすることが重要である。

常にシステムの性能を良くし、稼働率を上げていくために、異常時または機器の故障

からの回復に対し、及び異常が起きた機器、あるいは使用済みの機器の検査に関し対処の方法を考え、しかるべき準備を行っておくこと。全ての設計報告書はこのことを十分に反映したものでなければならない。

目次：

1. 初めに
2. 全般的コメント
3. 施設全体に関する所見
 - 3.1 技術的概念
 - 3.2 スケジュール及び取りまとめ
 - 3.3 コスト
4. 冷中性子源に関する所見と助言
 - 4.1 設計概念と技術的問題点
 - 4.2 材料選択と照射効果
5. ターゲットシステムに関する所見と助言
 - 5.1 設計概念と技術的問題点
 - 5.2 ターゲット容器と陽子ビーム窓に関する材料選択
 - 5.3 水冷却固体ターゲット代案に対するコメント
6. 運転と遠隔操作に関する問題点
 - 6.1 水銀ターゲットシステムの遠隔操作
 - 6.2 反射体及びモデレータの遠隔操作
 - 6.3 遠隔操作全般

本文 1. 初めに

J-PARC と呼ばれることになった、原研と KEK の統合計画の物質生命科学実験施設（核破砕中性子源）に関する第 1 回技術評価が 2002 年 10 月 28 日から 30 日にかけて原研東海サイトで開催された。その時点で、プロジェクトは順調に進んでおり、委員会で施設に関する網羅的な最新の設計資料とともに発表が行われた。多くの項目で、かなり詳細な工学設計検討がなされ、その結果はプロジェクトチームが、世界の他機関での開発と平行して進んでいると同時に、独自の発想に基づく概念を作り上げていることを明確に示している。しかしながら、よく準備された資料にもかかわらず、評価委員会としてはしばしばプロジェクトの色々な側面を理解したり、質問することに困難さを感じた。特にチームが発表の間際まで一生懸命発表の準備を続けたため、最新の情報が事前に配付された資料には必ずしも反映されておらず、委員会のメンバーが前もって十分な検討をする時間がなかった。そういう事情はあるが、出来る限り多くの設計詳細に関し助言する努力を行った。委員会がもし重要な項目について見落とししていたとしたらお許し願いたい。さらに、プロジェクトの進行に伴って、幾つかの重要項目については更に進んだ検討評価を行いたい。

委員会は、全員が全ての項目に注意を払いながら一つのチームとしてレビューを行ったが、この報告書の構成の大枠はそれぞれのメンバーの分担によっている：すなわち、全般についての問題点 - モデレータシステム - ターゲットシステム（それぞれの材料的問題点を含む） - 及び遠隔操作と運転に関する課題である。今回は、気付いたこと、意見、助言を区別しなかった。なぜならば、これは個人的好みに属することだからである。しかしながら、我々が特別な重みを置きたい点については太字で強調した。これは、その他のコメントを無視してよいということではないことをことわっておく。

プロジェクトチームとそのリーダ達のこの会議における心配りや、信頼出来、かつ率直な態度は満足出来るものであった。われわれは、この委員会のメンバーとして選ばれたことを誇りに思い非常に感謝している。

2. 全般的コメント

N-TAC 委員会は、JSNS チームが急速な進歩をとげ、優れた成果を上げてここまでの水準に到達したことを歓迎する。委員会は、この仕事がチームが比較的小さなグループ構成にも関わらず達成されたことに対し感銘を受けた。これはチームが、献身的に頑張ったこと、豊かな発想をもっていたこと、高い技術的競争力を持っていたことの証である。深い経験をもつリーダ達の確信にあふれた指導の下に、すばらしい気概を持って多くの若い人々を含むやる気のあるチームと接し、更にチームの中で高いレベルでの意思疎通が行われているのを見るのは喜びであった。発表された内容、配布資料は非常に質の高いものでよく整理されていた。委員会は、特に原研と KEK のチーム

が現場で良く協力しあい、また、うまく仕事の分担を行っていることを見て喜びを感じた。

発表された、その詳細にわたる内容はあまりにも圧倒的なものであったので、委員会が全般にわたり潜在的弱点を洗い出せるほど注意を払うことは困難であった。

委員会は特に次の点に言及した：

- 現在 J-PARC と呼ばれている計画の中の 1MW 核破碎中性子源のために発表された設計内容は、中性子源ステーションに要求されるべき全ての項目に関して技術的によく考えられ、見通しのあるものに見える。
- 中性子工学的、構造的、及び熱的解析は、主要機器に対する設計の確たる根拠となっている。
-
- 物質・生命科学実験施設の計画は、物質・生命科学の分野において物質が持つナノ構造の研究に対し、長波長中性子がますます重要になりつつある世界的潮流に呼応して、冷中性子源の性能が強調されている。その線に沿って、長波長中性子の特性を著しく改善できることが約束された革新的な特徴を持つモデレータ設計がなされた。
- 優れた中性子遮蔽評価計算によって、ターゲットステーション遮蔽に要求される機械加工された鉄遮蔽体の量を減らすことができ、コストの最適化が可能となった。
- 全ての領域にわたる誘導放射能計算評価が行われている。このために持ちいられた計算コードの妥当性評価についての情報は重要であり役に立つものである。
- 示された設計は通常の設定運転時に主眼を置いている一方で、異常事象に対する設計要求、あるいは、安全要求度や安全重要度クラス分類別に要求される保証レベルについての議論が殆ど無かった。

全体的に見て提出された資料は、異常事象あるいは事故時に対する十分な評価ができるものにはなっていない。これまでの経験が示すように、ここで対象としているような物の設計には、異常事象あるいは事故の際にそれらの事象を押さえ込み、回復するための要求が、予想も付かないところまで大きな影響を及ぼす。このことは、今後取り組むべき最重要課題である。

3. 施設全体に関する所見

3.1 技術的概念

採用された施設のパラメータは非常に優れたもので首尾一貫した選択であり、隣接する JRR-3M 炉の性能を考慮に連れて到達したものであって、プロジェクトリーダー達の優れた発想のたまものである。

J-PARC 施設の全体構成は、限られた予算と利用可能な空間の制限の下で、非常に多岐に渡る利用者コミュニティからの科学的要求を満足させるという問題に対し適切に答えている。50 GeV リングの内側に物質・生命科学実験施設を配置することは、計画の第2段階で中性子飛行距離の長さにも無理な制限を迫ることなく新たな施設を付け加える空間を残し、限られた土地をうまく利用するものである。距離の長い 3 GeV 陽子ビームラインはコスト増の要因ではあるが、技術的に既存施設における経験を超えるものではない。中性子散乱装置に中性子バックグラウンドの許容できない程のバックグラウンドを与えないように、50 GeV 陽子シンクロトロンに関連する実験エリアの遮蔽には十分な遮蔽が必要となるであろう。特にスカイシャインに対しては注意を払う必要がある。このことはミュオンターゲット周りにも当てはまる。

ミュオンターゲットと中性子ターゲットを串刺し状に配置することは陽子ビームの最適な利用となっているが、両方のターゲットが1つのシステムとしてしまうものである。したがって、ミュオンと中性子のターゲット設計は歩調を合わせて進めるべきものである。この意味では、本委員会にはミュオンターゲット設計が遅れているように見えることに多少の心配がある。周縁冷却静止黒鉛ターゲットの概念は実証されたものではなく、詳細な情報が提示されなかったため、その成立性について判断することは出来なかった。計画的 (50 GeV リングへの入射) 及び突発的ビーム停止に伴う過渡現象については、非常に注意深く検討すべきである。また、2つのターゲットの間の領域については、非常に高い放射化を伴う線量率の高い領域になるであろう。この領域からの中性子測定器に及ぼすバックグラウンドに対するいかなる危険性も取り除ける十分な遮蔽について広範な検討が行われており、これについて本委員会は強くサポートするものである。敷地境界に対するスカイシャイン評価の結果、許容値が得られている。しかしながら、それは中性子散乱実験におけるバックグラウンドが十分低く、このようなバックグラウンドが無い時に測定出来るような、非常に弱い信号のデータ収集ができることをそのまま保証するものではない。

陽子ビームダンプは 4 kW の熱負荷条件で設計されつつある。これは高出力のチューニング時に、核破砕ターゲット (中性子源) が運転されていなければならないことを意味している。これは加速器スタディや調整に使う時間を制限する可能性があり、加速器をフルパワーにするためのコミッショニング時間が余計にかかることになる。本委員会は以下のように提言する：全てのグループでビームダンプの熱負荷に関して十

分に議論して決めるべきこと、そして、プロジェクトは、もし必要になったらビームダンプの熱負荷能力を将来、増加させることが出来るような対策が可能かどうか再検討すること。

物質生命科学施設の全般的問題について委員会は次のように書きとどめるものである。

- 物質生命科学施設のための陽子ビームエネルギーとして 3GeV を選択したことは、ビーム電流を節度のある値に留めてモデレータで十分な明るさの中性子を発生させる事を可能にしている。最大出力の現れる場所はターゲット容器壁からより離れるので、敏感な構造体であるターゲット容器に与える負荷を減少させることを可能にしている。パルスの繰り返し周波数 25Hz は良い判断である。それは長波長中性子を用いる高分解能実験に十分長いデータフレームを与え、高強度中性子分光器のための結合型モデレータの幅の広いパルスに良く適合している。また、フレーム増倍のような先進的技術を適正な範囲で応用する事も可能にしている。
- ターゲット上での横幅 13 cm の陽子ビームプロファイルは、横幅 14 cm の水素モデレータに対してほぼ理想的で、高いターゲット・モデレータ中性子結合を確実にしている。ピッティング腐蝕の問題を緩和するためより低い出力密度が要求される場合には、ビームをさらに広げるオプションもまだ残されている。
- 設計チームは多数の中性子ビームラインを設けることを選択した結果、いくつかの中性子ビームライン間の角度間隔が非常に接近したものとなっている。このことは横方向のビームライン遮蔽寸法を制限し、測定器の設置がビーム停止時にのみ可能となる事をほとんど意味しているであろう。

このことと関連して、委員会は測定器の予算あるいは測定器計画がまだ確定していないことを知り憂慮している。測定器設計に一定の時間貢献している専属の有志チームは有るようであるが、パルス中性子施設の測定器と中性子源のレイアウトのあいだの密接な相互依存性を考えると、これでは十分でない可能性がある。施設設計者は、測定器や利用者に影響を与えるであろう施設の多くの基本仕様の設定で、利用者の初期の考えに答えてきた。これは素晴らしいことで、今後もそう続けるべきである。約2年以内に仕様を詳細にわたり決定しなければならないことを我々は知っている。継続して両者が密接に影響しあうことが重要で、もし少数のフルタイムの測定器研究者が得られるなら、そのことは非常に容易になるであろう。さもなくば、精巧であるターゲットステーション設計に影響を与える事になる測定器の特色を妨げことになるのではないかと危惧する。たとえば、ターゲットステーション遮蔽体の中にチョッパーを設置する必要がある場合、現在の設計ではそれは可能となっていない。

委員の関心を引いたのは、以下の特記事項である。

- 製作予定のシャッターの長さが、出力が約 1/6 と弱い ISIS のものとほぼ同じで

ある。シャッター閉時の試料位置における線量限度 ($200\mu\text{Sv/h}$ 、高すぎるように思える) を見直す価値がある。あるいは、遮断すべき中性子スペクトルに対するシャッターの有効性を確認すべきである。線量率低減のための補助シャッターを設けることは、より有効な主シャッターの設計 (つまり、ビームを遮断する部分に違った材料を選択すること) よりも、より複雑で高価になるだろう。

- 23 台の機械式シャッター駆動装置では比較的頻繁な保守が必要になるため、機械式シャッター駆動装置の寿命を慎重に評価すべきである。寿命が容認できないほど短い場合、油圧式駆動装置を考えるべきである。
- クレーンの現在の設計では、ターゲットステーション周り及び実験エリアにアクセスできない領域を生じている。これは、チョッパーの保守及びビームライン設置時に多分問題となるであろう。
- 外部プラグとベッセルの間にある水冷遮蔽体は、現在のところ交換できない。水漏れの可能性に対処するため、交換可能とするか、あるいは冷却系に十分な冗長度を持たせることを本計画では考慮すべきである。
- ビームラインインサートのためのヘリウムベッセルのフランジは、インサートを取り付けるために使われる 4 本のボルトを遠隔で交換できるように設計すべきである。
- ターゲット遮蔽用に乾燥空気による強制冷却が行われようとしている。これが本当に必要かどうか、委員会は疑問を持っている。例えば同程度の出力で運転している SINQ では、そのような冷却系は備えていない。冷却系を備えることは、本来は避けられるかも知れないかなりの複雑さとコスト高をもたらす。
- 陽子ビーム窓の遠隔操作は、検証試験によって実証するべきである。

3.2 スケジュール及び取りまとめ

プロジェクト全体のスケジュールは、極めて野心的である。これは、プロジェクト側が自由にできない予算の年次配分によって制限されている面があるというのが委員会の理解である。このことは発注手順に影響するし、今後発生するであろう要求事項を調整するための十分な柔軟性を残しておく余地が必要であることを分かっているが、難しい判断を早急に下さねばならない必要に迫られる。プロジェクト管理者は、これまでこの難しい管理業務をうまくこなして来ることが出来て来たように思える。しかし、機器設置を行う際に実験室の準備がまだ整っていない段階で納入品があるような場合、問題が発生するのではないかと委員会は予測する。部品や機器の受け入れ、検収、保管のために、かなりの空間が確保されなければならない。かなり限られた空間における、平行して走っている幾つかのサブ・プロジェクトに関わる建設作業は、それなりの方策としっかりした管理体制を必要とするであろう。特に重要なのは、適切な試験期間を確保することと、遠隔操作システムの実証試験を行えるようにきちんと準備することである。

3.3 コスト

コスト評価に対する検討は委員会の任務ではなかったが、潜在的にコストを押し上げる可能性のある幾つかの要因が存在することは明らかである。それらは以下のとおり。

- 長い陽子ビーム輸送ライン
- ミュオンと中性子ターゲットの間の高線量領域
- 遠隔保守施設
- MLF 建家の大きさとその基礎
- 大量の鉄鋼材料に対する要求精度
- HVAC（熱-排気-空調系）に対する要求

これらの項目については、注意深い分析と計画、及び厳格な管理が必要である。特に、2つの実験ホールの寸法は重要な課題となるであろう。なぜならば、建家のコストと建家外に延長するビームラインのコストはトレードオフの関係にあるからである。

現在選択されているターゲットの設計及びその運転パラメータに潜在的に含まれているコストに対して注意を払うべきである。なぜならば、水銀の高流量れにより水銀を低温度上昇に押さえることは、結果的にコストを高くする可能性が高いからである。

TAC チームはいかなるコスト評価に対してどんなレベルにおいても検証する立場には無かった。

4. 冷中性子源に関する所見と助言

4.1 設計概念と技術的問題点

当委員会はこの減速システムの設計が既に十分開発され、よく最適化されていることを認める。それはこのチームとそのリーダー達による広い経験、優れた洞察、広範囲な計算及び実験的努力を表している。

高純度パラ H₂ によるこのシステムが、全ての用途に対して最適化されているわけではないとしても、長波長中性子の利用目的によく対応し、運転と制御を単純にすることは確かである。さらにこの選択は、最適化における オルソ/パラ(o/p) 比の問題が無くなるので、減速材部の設計過程を容易にする。更に、p-水素運転に対応するため減速材容器のための空間を十分大きく取っているため、o/p 比については後々最適化をすることが出来る。選択されているこの 3-減速材システムは、この施設の目的に良く対応し、競争力のある性能を発揮するであろう。

このチームは減速材-反射材配置に関し、ターゲットと反射体による円筒状減速材の側面側カバー部に面した頭部減速材壁の形状にいたるまで、それ程重要で無いと思われ

るパラメータまで、非常に広範囲の最適化研究をおこなっている。

こうしたやり方で、全体の性能に悪い影響を与えずに、全ての数%の利得を積み上げることによって、彼等が採用した基準に照らして（長波長中性子を重視し、既に確立された技術を用いて）完全な最適化に近いような設計パラメータのセットに到達した。

このコンテキストにおいて当委員会は高分解能減速材の凹面形状が選択された“水筒型”のものよりも優れている（利点は定量化されていないが）ことを指摘するものである。更に幾つかの設計及び製作上の困難を伴っても、その有利さを考えると凹面型バージョンは充分考慮する価値があろう。むろん提出された略図が示すように、シャープな端部があってはならない。

現在計画されているシステム中の水素の容量は極めて高く、最悪の事故の際に安全上の重大な問題に直面するかもしれない。水素の容量を低減させる方策を探すべきである。例えば設計チームは減速材中で5%の o/p 変換率を仮定しているが、これは o/p 変換器まで輸送され、そこで放出される約 1.73kW の潜熱に相当する（全核発熱負荷の約 1/2）。これは非常に高い値であると考えられるので、上記の想定を根拠を注意深くチェックすべきである。もしこの値が考えられているように高いなら、コンバーターのサイズとシステム中の水素インベントリを低減出来る可能性があるかも知れず、それは非常に有益であろう。当委員会はコンバーターの必要なサイズに関して、試験の実施と、ISIS における経験に基づいて確認することを推奨する。ISIS では球状の数 cm^3 の酸化鉄だけで十分に、測定された中性子スペクトルが 100% パラ-水素に対する計算値と良く一致するような状況になっている。

このような状況において、我々は設計チームが A16061-T6 の許容応力に対して非常に低い値を使っており、この事が壁の厚みがを比較的厚くしていることに注目している。我々はこれが溶接領域での値なのではないかと疑っており、応力が小さい領域で溶接をすることで、容器に対して高い許容応力が使えないかどうかを設計チームが評価することを勧める。ここでは、熱及び圧力による減速材容器中の応力及び、事故シナリオから可能性のある要求を考慮しながら、中性子の減衰と核発熱を最小にするために壁厚を最適化する必要がある。

この材料（下記参照）の放射化に関する幾つかの懸念は有るが、それに関わらず、すでに原子炉実験で確認されている AIC 材をデカプラーとして利用する事は良いアイデアである。当プロジェクトでは波長の関数としてスペクトルとパルス幅に対する AIC デカプラーの効果を注意深く検討すべきである—約 0.5~1.0eV にある吸収断面積のギャップはパルス幅を広げる可能性があり、“1/v” 吸収材として良くいられているものを使用したときと比較して、中性子パルス幅関数の形がおかしなものとなるかもしれない。これは設計の選択に変更を求めているのではなく、むしろこれらの効果につ

いてユーザーと装置設計者がよく知っておくべきだと指摘しているのである。

現在推奨されているような 超臨界 H₂ システムは熱除去と、運転の安定性の点で安全な選択といえる。しかし熱負荷の問題からみれば必要ないものかもしれない。このためには高い動作圧力が必要になり、壁厚の厚い減速材容器が必要になってしまう、それは熱負荷と中性子特性の面から考えると不利である。液体水素システムに対する安全性の考慮からも、余分な壁厚が要求されるかもしれないが、当委員会は超臨界水素を使うという選択が最適なものであると認めることは出来なかった。システムの制御性と全体の複雑さを考慮して、この選択を再検討することを設計チームに勧める。

減速材の液体水素ループ設備全体を制御システムと考えるべきである。施設設計者は性能要求と設計思想を設定すべきである（例：“オペレータの判断選択によってのみ大気に放出”と“必要ならシステムが勝手に放出する”の違い）。制御システム技術者と低温システム技術者とを共同で仕事をさせ、定められた運転パラメータの安定化方法を検証すべきである。

水素ループに関してはただ 1 基のサーキュレータを使用することが提案されている。これは循環装置の故障時に裕度が無いことを意味する。今後の段階で 2 基目を追加するための準備をしておくのが賢明と思われる。

低温冷却システムの余裕は極めて小さなものとなっている。すなわち、計算による熱負荷（5521W）と冷却システムの出力（5521W）はほぼ同程度である。一方、輸送ラインでの熱損失 1KW は非常に大きい。

4.2 材料の選択と照射効果

減速材の容器は中性子工学的な理由から Al 基の材料で製造される。またこれらの容器は交換までに照射量として最大 3 から 3.5 dpa を受けると推定される。主な懸念は A5053 の著しい照射脆化と、A6061-T6 の熔接または HIP のような高温加熱による著しい強度低下である。一般的に照射脆化は制御することが非常に困難であるが、A6061-T6 の強度低下は、ある程度強度低下が回復する 170-180℃ での熱処理（aging）によって緩和することが可能である。減速材容器を 20K 前後という非常に低い温度で使用するということと、照射欠陥による照射硬化によって、そのような低温ではかなりの強度増加があると思われる。A6061-T6 に関して、室温強度に対する照射効果は、母材よりも熔接部においてより著しいことが報告されている。また、A6061-T6 の熔接部分は、未照射条件では延性が増加することが報告されており、照射量による DBTT シフト許容量が増す。従って、現在のところ、A5053 よりも A6061-T6 の方がより良い選択であるというのは妥当である。当委員会はプロジェクト側のこの選択に同意する。

デカプラーの材料として AIC が選択されているが、これは原子炉の制御用吸収材として用いられるもので Ag-15%In(0.5mm 厚) 及び Ag-35%Cd (2.5mm 厚)とで構成されている。AIC は水腐食からの保護とその支持のために Al 合金で密封されている。AIC の高い崩壊熱を除去する為に、AIC と Al 合金間の強力な接合が要求される。その接合に関しては、熱処理された 3 種類の Al 合金、 A5053、A6061 及び A7N01 に対し 500℃、100Mpa 及び 60 分の条件下で HIP が適用され、良好な結果が得られた。後ろの二つの Al 合金、A6061 及び A7N01 に対しては硬度の著しい低下が観測された。

上に論議したように、A6061-T6 は A5053 よりも適していることは明らかである。A6061-T6 の観測された強度低下と、同様に予測される AIC と Al 合金間の残留応力を抑制えるために、より低温、高圧、より長い保持時間、例えば、400-450℃、200MPa 180 min.、で HIP を実施することを推奨する。HIP を行う際の雰囲気制御は脆化防止のために必要であろう。AIC の高い残留放射能に関しては、Ag を含まないか、Ag が少ない組成のデカプラー材料を開発する努力を続ける必要がある。

5. ターゲットシステムに関する所見と助言

5.1 設計概念と技術的問題点

水銀ターゲットについては、ESS チームが反転流型水銀ターゲット構造を参考設計として最初に提案し、その後、オークリッジ国立研究所 (ORNL) を中心とした SNS 計画はその概念を採用して現在に至っている。一方、JSNS チームは、ESS 及び SNS の反転流型とは異なるクロスフロー型水銀ターゲット構造を提案し、その概念の確立を図るために設計及び関連する R&D を精力的に進めてきた。

ターゲットに関する全ての R&D に関して大きな進展があった。特に委員会は以下の点を強調したい。

- ・有限要素法による熱流動設計解析ツールの有効性が検証された。
- ・水銀流動の最適化された。
- ・熱流動特性の広範囲、かつ、詳細な解析評価がなされた。
- ・運転上の安全に関する問題は指摘され提示されている。
- ・ターゲット台車の設計が固まっている。
- ・遠隔操作の概念が構築されている。
- ・ターゲット容器に発生するキャビテーション現象の把握とエロージョンの実験的定量化にかなりの進展が見られる。

このうち、キャビテーション・エロージョンに関する成果は注目に値する。原研が実

施したホプキンソン棒法試験装置による水銀衝撃試験において、パルス陽子ビーム入射に伴うキャビテーションの発生とそれによる壁面損傷(ピッチング、孔食)の徴候が初めて見出された。これは決定的な観測で、この現象のスケールの大きさと高出力パルス核破碎中性子源の水銀ターゲットの成立にとってどれほど重要なかを究明するための国際協力の急速な組織化を促した。

原研が指導的貢献をしたこの協力の研究は、ロスアラモス国立研究所 (LANL) の WNR 施設で行なわれた SNS 原型ターゲット試験を含む陽子ビーム照射実験 (少数回の陽子ビームパルス入射実験) により、過去 6 か月にわたり顕著な進展をもたらした。原研での試験は、MIMTM 装置を用いて 2×10^7 パルスに及ぶ衝撃回数の実験にまで発展している。MIMTM 装置によるスクリーニング試験の結果、SS316-CW (SS316 冷間加工材、ターゲット容器候補材料) でのピッチングを含む損傷の発生はおおよそ 3 段階に分けることができ、大きな質量欠損を伴うほぼ一様な損傷は最後の第 3 段階で生じた。第 3 段階の始まりの衝撃回数は衝撃負荷に強く依存する。これまでの実験結果から、SS316-LN の冷間加工材を Kolsterised 処理 (表面硬化処理の一種) すると、SS316-LN 材等と比べて損傷割合が 2 桁近く低下した。また、表面の電解研磨処理により、(見かけの)キャビテーション損傷の発生開始が、研磨処理の無い場合よりも多くの衝撃回数を要する傾向が示された。これらのことから、表面硬化処理は、重大なキャビテーション損傷が発生するのに必要な衝撃回数に対する閾値を高めて、キャビテーション損傷を低減する (損傷が起こりにくくなる) のに有効と思われる。と言うのも、Kolsterised 処理材では、100 万回以上の衝撃回数でピッチングがやっと明確になるが、1000 万回になって損傷の深さ (mean depth of erosion、MDE) と質量欠損が大きく増大する傾向にある。この傾向は衝撃回数の 1.27 乗でほぼ表すことができる。ただし、水銀ターゲットの成立性を十分に確証するためには、まだ多くの実験的研究が必要である。ちなみに、以下のような質問に対する答えが必要である。

- ・ オフビーム試験がどれだけ実態に近いか？
- ・ MDEだけではなくクラック形成に規則性があるかどうか。

最も深いクラック状の損傷領域はターゲット容器の寿命を律する可能性があるので、損傷領域の深さ分布を明確にすべきである。

- ・ 陽子ビームパルス入射時に圧力が瞬間的に蓄えられる容積が影響するか？
- ・ 表面処理が耐放射線性にどう効くか？
- ・ 照射硬化はバルク材に有益に働くか？
- ・ 溶接部分に対する影響はどんなものか？
- ・ ターゲット容器壁に加わる、温度勾配や水銀の静的圧力による更なる応力が損傷に与える影響はどんなものか？
- ・ 水銀の流れがあること、あるいは限られた密閉容器で無いことの影響はどのようなものか？
- ・ その他。

そこで、委員会としては、短期的にはキャビテーション損傷に関して次の課題に取り組むことを提言する。

- ・ 検証試験と実機運転条件とをより正確に関連性づけること
- ・ 低サイクル試験を高サイクル領域にまで適用する可否を検証すること。すなわち、これまでに 2×10^7 回にいたる衝撃試験は一例が行われているに過ぎないが、実機運転条件での衝撃回数は $10^8 \sim 10^9$ である。既存の実験結果を基にしてこれらの回数までの損傷状況を推定可能かどうかを確認すること。
- ・ 供給される陽子ビームパルスのエネルギー密度の強さ（すなわち圧力波の強さ）はとても明確とはいいがたく、これを明確にする必要が有る。これまでの試験成果から、損傷割合は陽子ビームパルス強度の4乗則が適用可能と考えられる。このとき、JSNSの陽子ビームパルス強度はSNSの1MW条件下での陽子ビームパルス強度よりも2倍強いので、これを念頭におくこと。
- ・ 陽子ビームパルス入射時に圧力が瞬間的に蓄えられる容積と陽子ビーム窓壁面からの距離の影響を明確にすること
- ・ 一般的な意味での形状はピッチングを含むキャビテーション損傷に重大な影響を与えるものと考えられる。今回のレビューではこの点に関しての詳細な報告がなかった。解析及び実験的検証結果を提示されることを望む。
- ・ キャビテーション損傷を引き起こす強い圧力波に対してターゲット容器陽子ビーム窓部内面の耐食性を高めるため、コーティングまたはクラディングにより材質の異なる厚い膜を表面に複数層成膜した試験体を製作し、MIMTMで 2×10^8 回程度の衝撃試験を実施して欲しい。MIMTM試験でセロファンテープを貼った柔らかい領域と表面を硬化処理した領域について良い結果が得られたことに注目してほしい。

委員会は、キャビテーション損傷に関する国際協力を継続することは必須と考えており、JSNS チームは今後もこの方面のリード役を果たすことを希望する。**この研究の最終ゴールは、キャビテーションによる損傷を防止しなければならない事態に陥ることを避けるため、圧力波自身を緩和する技術を開発することにあるべきである。**この圧力波の緩和技術に関しては、ESS チームが精力的に研究及び設計検討を進めており、この研究開発に JSNS チームも積極的に関わってほしい。

陽子ビームでの運転開始とその後の低出力での立ち上げまで約 5 年と、キャビテーション損傷を解決するための時間は限られているが、水銀ターゲットを選択した JSNS の決定は正しいと確信している。

ただし、現行の設計について次のコメントをしておきたい。

- ・ 圧力波の緩和技術を適用する際には、例えば、現在研究開発中の気泡注入とガス

のリサイクリングシステムのような付帯設備が必要になると考えられる。JSNS設計チームでもこの圧力波緩和技術を取り入れられるように設計検討をぜひ行っていただきたい。

- ・クロスフロー構造は陽子ビームで直接加熱されるビーム窓を適切に冷却するうえで比較的簡略な構造である。案内板による手の込んだ設計により圧力と温度の対称性を何とか許容範囲におさめてはいるが、定格水銀流量が $41\text{m}^3/\text{h}$ と高い条件になっているため、ターゲット出口での温度上昇が高々 21K 程度にしかになっていないということと、ターゲット入口温度が 50°C と低いことから、大きく、またコストの高い熱交換器（冷却器）と配管径が必要になってしまっている。
- ・案内板の健全性はシステムが正しく機能することに対し決定的に重要であるが、運転中に検査する方法がないので、案内板先端部でのエロージョン、とくに、ターゲット容器出口側の案内板先端部でのエロージョンに注意すること。
- ・ターゲット容器の末端に位置する（金属製）固体ビームダンプについては、内部応力分布や疲労についての詳細な検討がなされていないので、これらを評価すること。
- ・さらに、クロスフロー構造を採用することで、ターゲットは大きく重く、かつ幅が広い上下面を持ったものになってしまっている。現状の流動設計では、ターゲットサイズを縮小する方向性が考えられるかどうか明確ではない。陽子ビーム中心が最大 20mm 振れるという条件を考えると、ターゲットの幅が広いということは最終的に良い選択だったということになるかもしれない。また、同様に、もしも圧力波の強さを低減させるために必要ということで陽子ビームプロファイルを大きくする（陽子ビームピーク値を下げる）ことも最終的には必要となる可能性もある。いずれにしてもターゲット容器が何らかの荷重により、特に圧力波による動的負荷により変形する危険性に対処することに留意すべきである。このとき、案内板と容器の溶接接合部における応力集中を許容応力以下にし、疲労破壊を引き起こさないようにすることが肝要である。また、JSNS設計チームは、ターゲット容器とセーフティハルとの接合・固定をボルトと溶接を併用して行おうとしている。しかしながら、このことは以下に説明するように、ターゲット取り扱いに関し問題を引き起こす。
- ・委員会としてはまた、セーフティハル冷却のための重水の使用を再考することを勧める。重水を採用することで、余りメリットが無いにも関わらず、不要な複雑さとコスト高を招いている。

5.2 ターゲット容器及び陽子ビーム窓のための材料

ターゲット容器候補材である JPCA-SA と 316F-SA を核破碎スペクトルで 3.5–11.6dpa まで照射温度 80– 400°C で照射した後、室温及び 250°C で静的引張試験を実施

した。試験結果は、試験温度が室温及び 250℃で、両材料ともに、STN (Strain To Necking) でそれぞれ 10 及び 5%となり、明らかな延性を示す。

SINQ で照射した JPCA-SA と 316F-SA の引張試験と、照射温度 $T_{irr} < 250^\circ\text{C}$ で LANCE で照射した SUS316L/304L を比較したデータは、照射脆化は試験温度に強く依存して 150℃近辺で最も著しいことを示している。さらに、照射後の STN を核破碎照射場の場合と $T_{irr} < 250^\circ\text{C}$ の核分裂炉照射の場合とで比較したデータは、150℃近辺での延性 (STN) の低下は、核破碎照射の場合の方が明らかに大きいことを示している。ターゲット容器が曝される最大温度は、200℃以下と評価されているので、核破碎条件に妥当な He 含有量で 100~200℃での引張試験データを取得することを勧める。

陽子ビーム窓材料に関しては、SUS316 よりも強度が高いことから、プロジェクトでは Inconel-718 が採用されている。0.5mm 板厚の IN-718 の場合、冷却水による 1MPa の圧力と陽子ビーム窓での発熱による熱応力によって、最大応力の解析値は約 110MPa となり、最大温度は約 110℃となる。これらの値は許容できるが、IN-718 の製造技術の困難さのために曲面構造の 0.5mm 板厚の陽子ビーム窓の製作は許されないかもしれない。そのため、プロジェクトでは、1.5mm 板厚の IN-718 を陽子ビーム窓に用いることに決めた。

強度要求の観点から、1.5mm 板厚の IN-718 はオーバーサイズと思われる。ビームの散乱を最小にするために、陽子ビーム窓は可能な限り薄く (可能な限り質量を低く) すべきなので、以下のことを勧める。

- 最近の生産技術の向上を考慮して、IN-718 の不十分な製作性のために本当に薄肉で曲面構造の陽子ビーム窓が生産できないのかを確認すること。
- 実績があり、2mm 厚でおそらく十分なアルミ合金を用いるという可能性について再検討すること。
- 応力に対して最も有利な半球状の窓を検討すること。

この文脈において委員会は、SINQ で加速器の真空とターゲットの冷却水 (重水) を隔てる二重壁で水冷の半球状の陽子ビーム窓が何年間も使用されていることに気づいた。ピーク電流密度は約 $20\mu\text{A}/\text{cm}^2$ で、JSNS で明示された値 (ターゲットで $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$; 陽子ビーム窓の値は正確には不明だが $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ よりも僅かに高いくらいと推定) よりも高い。この窓は AlMg₃ 合金製で、最新のものは 2 年間以上の期間で 10Ah に曝された。照射後試験はまだ進行中であるが、破壊が起らなかったという事実は、この選択が賢明であったことを強く証明している。軽いアルミニウム合金を用いることは、より重い鋼を用いることに対していくつかの利点がある。

- 発熱が低いこと、そのため、冷却性に優れること。
- 熱伝導が良いこと、そのため、熱応力をより低く出来ること。

- ビームの散乱を抑制できること、そのため、周囲の放射化を低減できること。
- 放射化が低いため、ハンドリングが容易なこと。
- 製作上の問題が無い若しくは少ないこと。

窓の厚さを鋼の場合に比べて厚くすべきであっても、これらの利点の多くは存続すると思われる。また、実績があるという事実が強い主張である。

それゆえ、委員会は、プロジェクトチームがこの経験の利点を取り入れることを真剣に考慮し、陽子ビーム窓材料を最終的に決定する前に適切な情報を SINQ 運転チームから得ることを推奨する。

AlMg₃ と IN-718 の照射脆化の経験を比較すると、次のことが言える (Los Alamos で用いた陽子ビーム窓 (IN-718) と SINQ で用いられた陽子ビーム窓 (AlMg₃) の照射後試験結果)。

- Los Alamos で用いられた IN-718 製のビーム窓はおよそ $5 \times 10^{25} \text{p/m}^2$ の照射で延性は無くなり、 $2.5 \times 10^{25} \text{p/m}^2$ の照射で 4% の延性が残った。
- SINQ Mark-III ターゲットで用いられた AlMg₃ 製のビーム窓は、 $3 \times 10^{25} \text{p/m}^2$ の照射でも 7% の延性がある。Mark-IV ターゲットのビーム窓は、照射後試験はまだ行ってないが、 $4.5 \times 10^{25} \text{p/m}^2$ の照射に耐えた。

照射損傷の観点から、IN-718 は AlMg₃ よりも確実に劣っている。また、AlMg₃ は陽子ビームの散乱を抑える設計が可能で、製作が容易である。

5. 3 代替ターゲットとしての水冷固体ターゲットについてのコメント

水冷固体ターゲット設計の概要について報告があった。水銀ターゲット概念の成立性がまだ十分に確証されていない状況に鑑み、本委員会は水冷固体ターゲット設計に払われた努力を支持するものであり、以下のコメントを加える。

- タンタルは崩壊熱による発熱が大きいことと、冷却水喪失事故に対する安全システムを構築するために複雑な冷却系の設計が要求されることなどから、現実的なターゲット材ではない。
- タングステン板ターゲットは中性子性能に優れ、崩壊熱は許容できる範囲であるが、冷却水による腐食を避けるために被覆が必要となる。
- 25Hz の短パルスで 1MW の陽子ビームという現在の最終目標を考慮すれば、重水冷却の被覆タングステン板ターゲットは水銀ターゲットと遜色のない性能を発揮するかもしれない。
- 必要と有れば固体ターゲットの概念は実現可能であるが、十分実用的な設計を行うには相当な研究・開発が必要となるであろう。
- たとえ調整運転用ターゲットとしても、固体ターゲットを採用するには多くの

課題が有り、後の段階になってから水銀ターゲットに戻すのは困難で費用もかかり時間の浪費になる。

- プロジェクトが考慮しておかなければならない廃棄物処理問題も水銀ターゲットとは完全に異なる。これはターゲットのみならず、冷却水系のフィルターやイオン交換樹脂にも当てはまることである。
- 1MW を大きく上回る陽子ビームに対処できる水冷固体ターゲットを設計するのは相当な挑戦であり、それゆえ固体ターゲットの採用は将来的な陽子ビームパワーの増力化に限界を生ずるであろう。

これらのことから、液体金属ターゲットはレビューで示されたように「未来のターゲット概念」と言えるものであり、本委員会はこれを支持する。

6. 運転及び遠隔操作の課題

6.1 水銀ターゲットシステムの遠隔操作

ある程度詳細な部分を含むターゲット交換の概念が作られている。委員会は、ほとんど工具の状態が見えない状況で幾つかの重要な操作を実施しなければならない点を懸念する。とくに、ターゲットを外すためのナットの取り外し（開放操作）作業については、限定された作業空間とともに作業を直視できないことから、万一、作業に支障をきたしてもそれを診断することが難しい。これは、ターゲット容器とセイフティハルが恒久的に接続されていることに一部起因している。セイフティハルはターゲットフランジへのアクセスを容易にするために取り外すことが出来ない。さらに、そもそもターゲットフランジ部のリーク試験は遠隔で実行すること自体が困難であるが、現在の設計はリークテストをするためにそのフランジにアクセスすることができない構造となっている。。このとき、フランジ接続は一般的なボルト締結ではなく、車の機械式のジャッキと同じように動作するリンク機構を用いたシステムを採用しており、システムの締め付け強さは、フランジ間の圧縮性シール材（ベローズ）の硬さによってコントロールされている。このようなシステムは、真空接続部のように外部圧力がシールをより確実にするような場合には問題無いが、内部圧力が高い状態で、かつ、アライメント制御が非常に限られている状態においても締め付け状態が適切に行われるかどうかについて委員会は疑念を抱いている。

委員会は、設計チームがモックアップ試験でそれらの実現可能性を確認するために、フランジ接続部を含む機能試験モデルの製造過程の段階にあることを理解している。このとき、試験が最も現実的な条件（すなわち、遠隔操作、かつ典型的な荷重と圧力レベル）の下で実行され、かつ、試験モデルはユニットとして組み立てられることを勧める。加えて、これらの試験中に重大な困難に遭遇した場合を想定して、ターゲットモジュールの設計と取扱手法を再考することが時間的に可能なように計画すべきである。

ターゲット容器とセイフティハルが一体構造となっていることに関して、もう 1 つの重大な点は、熱膨張を吸収するために水銀配管のターゲット側フランジ部にベローズを必要としていることである。この部分が弱点となっていることと共に、これは水銀の漏えいを起こし、汚染拡大の可能性のある場所となっている。なぜならこのシステムを分解しなければならない時にベローズ部には常に水銀がたまっているであろうからである。

一般的な話として、水銀を融点以下に冷却できる水銀配管部を備えて、水銀を凝固させてからバルブを開放するということが考えられる。この手法を用いると、水銀ループを開放する前のコールドトラップとして機能することから、大気中に水銀蒸気が放散するリスクを大きく減少させることに役立つであろう。

委員会は、ターゲット-減速材-反射体 (TMR) モジュールの周辺雰囲気 (He ベッセル内) とホットセルの境界のシールについても懸念している。このシールは、ターゲットからわずか 1.8m の場所にあって、熱膨張及び収縮によって変化する台車全長を±1mm の位置決め精度で移動・固定して押し付けシールされる。委員会は、TMR のある雰囲気の圧力上昇時において固定されたフランジに対しターゲット台車の位置を維持するために適切な能動的な押し付け力が必要であると思うが、それがどのように達成されるのであるかは分からなかった。

ベッセルポートにターゲットを精度良く位置決めできる自己位置決め機構を持ったシステムの開発や、正しい位置を確認するためのフィードバックシステムを持つことはとても有効であるかもしれない。

発表あるいは補足資料でカバーされなかった重要なトピックは、水銀冷却系機器の保守計画である。これは、広範囲な設計を含むことになるので慎重に考慮されなければならない。

とくに、機器の交換や修理のための遠隔操作セル (RHC) への人の限られたアクセスが強く望まれる。これは、運転停止期間中のセル内の線量率によるが、その線量率は、ループ機器からの直接線量と 光核反応効果と遅発中性子による放射化の結果として生じる。このため、通常運転時及びターゲット交換時や保守作業時の線量率を減らすために、水銀ループの遮蔽を考えるべきである。

現在の概念では幾つかの操作において機器をターゲット台車の前に設置する必要がある。この位置に機器を設置することを失敗した場合、それがターゲット台車の動きを邪魔するために回復作業を複雑にする。

ここで、懸念される幾つかの操作について以下に記す。ただし、ここに記したのは代表的なものである。

- ・ターゲット保管キャスク移動台車の動きーキャスク移動台車はターゲット台車の上流側に位置するので、移動運転の失敗や故障の場合には、対応することが難しく、ターゲット台車の移動を阻害することになる。
- ・ターゲット保管キャスク回転時のクレーン故障
- ・ターゲット配管フランジボルト操作時にパワーマニピュレータが位置調整不能になること

また、その他の起こり得る問題としては、以下のような項目が考えられる。

- ・ボルトのネジ山の損傷への対処
- ・ターゲット保管容器蓋のロック失敗
- ・計装機器コネクタ損傷
- ・水銀配管の歪み
- ・接続部のリーク試験方法

これらは、起こり得る機器の故障と回復手順について詳細な検討を行うことをこの委員会が何故勧めるかを示すための例である。

故障した機器の分析やある特定の部品、とくにターゲットモジュールについて、それらの定められた交換期間の後で検査することは、性能や施設の稼働率を向上させるために重要である。これらの検査概念や検査方法について、部品の設計とともに交換その他の作業のための工具の設計に影響を及ぼす可能性があるので早急に検討することを要望する。

6.2 反射体と減速材の遠隔操作

ターゲットの遠隔操作の節で説明した一般的なコメントはほとんどモデレータ交換にもあてはまる。反射体・減速材等の交換シナリオでは水及び計装系の配管の取り外し作業の詳細については深く言及していなかった。このような部分があることは作業を相当複雑にする可能性があるため、十分な検討が必要である。

プラグ上部での線量を 100 $\mu\text{Sv/h}$ と評価しており、配管の着脱作業をハンズオンで作業を行うことを計画している。しかしながら、実際に、線量が高かった時のことも想定して、コネクタの着脱作業を遠隔操作で出来る様に設計すべきである。必要に応じて簡易型のマニピュレータシステム用いてもよい。

ターゲット交換の場合と同様に幾つか点に関して問題となる操作がある。-外部プラグ受け台の反射体を支持する回転機構部の故障
-反射体取扱室における取り扱い対象機器へのグリッパの接続機構部の故障
-取扱対象機器の交換時においてグリッパの取り外しが出来なくなること
-反射体プラグの交換または移動時におけるウインチの故障
ターゲット交換と同様、これは完全なリストではないが、慎重な解析の必要性を表している。

6.3 遠隔操作について

遠隔操作（リモートハンドリング）のほとんどの手順は、大型装置やロボットの精度の高いアライメントにかかっている。このことは、困難な状況となったときに問題を解決するための余地が少ないことを意味している。このため、交換部品には非常に高い精度が要求され、高度な機能を持つモックアップ装置や試験のための機器が必要となる。

委員会としては、設計チームがリモートハンドリング機器の故障に関する問題に十分な優先順位を与えているかどうかを危惧している。施設設計の経験から考えても、このようなリモートハンドリング機器の故障の可能性や復帰過程の必要性の検討は設計工程上の大きな課題である。

作業員がリモートハンドリングセル(RHC)の中へ入るときの環境については、その手順と許可される条件を確定する必要がある。セル内が確実に安全な環境である場合にのみ入室許可となるが、このことは故障復帰の実際の手順に対して大きな影響をもつこととなり、復帰作業は完全に遠隔操作で行われる必要があると考えられる。

これまで記述されて来た全てのリモートハンドリング作業は一体化した二つのホットセルで行われる。このため、委員会としてはターゲット取扱室は陽子ビーム停止時のみ使用するべきであると考えられる。また、反射体取扱室に関しては、理想としてはビーム運転時にも使用可能であるべきである。そうでないと、交換作業等が、利用者プログラムに供給するビームタイムを制限することになってしまうからである。原研にある他のホットセルがある特定の目的に使用できないかどうか検討するべきである。例えば、故障した陽子ビームラインコンポーネントに関するリモートハンドリング手順等に関してはまだ聞いていない。また、仕様済み部品からの試料の切り出し作業をこの遠隔操作室で行うのも賢明では無いであろう。

また、天井から十分にアクセスが確保されるべきである。現状では一つのハッチしか設けられていないため、引き出されたターゲット台車の前に置かれた装置が故障した

場合に 130 ト天井クレーンがアクセスできない。

水銀の漏洩はある程度可能性の有るものと考えられる。漏洩した水銀は各種取扱工具やターゲット保管キャスクの外部さらにはキャスク移動台車を汚染する。減速材及び反射体にアルミ合金製の機器を使用するとして、これらを取り扱う反射体取扱室に水銀が入らないようにすることは非常に重要である。併せて、汚染物質の除去等に関する取扱手順の検討が必要である。委員会としては非常に厳密な作業手順を準備しておかないと、汚染物質がホットセルから保管設備へと広がってしまうこととなると考える。このことは作業員の被曝線量が高くなり、また、ターゲットステーションエリアから外部への汚染の拡大を招く重大な危険をはらんでいる。ひとつのアイデアとして、グローブボックスを追加して、汚染除去作業等に用いたマニピュレータのメンテナンスを行うことも考えられる。

上述した事柄を基にして、委員会としては以下のことを強く要望する。

詳細な作業手順を作成し以下のリスク評価を行う：

- － 全ての機器の故障が基となって何が起きるかを明確にしておくこと
- － 全ての故障に関する発生頻度の見積
- － 全ての故障に関する復帰手順を明確にしておくこと

以下のことに関し設計概念を構築しておくこと：

- － ターゲット台車上にある全ての接続部のリークテスト
- － ターゲットからの照射サンプルの回収
- － 汚染したマニピュレータアームやその他の機器のメンテナンス
- － 水銀汚染のターゲット取扱室内への閉じ込め
- － カメラやライトなど基本的な機器のが容易に交換できるようにすること
- － 使用済みのターゲットや減速材容器を廃棄のために調整加工すること。

さらに、主要な機器それぞれに対して、プロジェクトとして安全保持機構や異常時の操作に関する設計条件及び要求事項を作成するべきである。