

J-PARC 核破砕パルス中性子源の大強度化のための半無拘束型ターゲットの設計と製作の状況

Status of design and fabrication of mercury target vessel (module) with partial constraint free for power uprates of pulsed spallation neutron source of J-PARC

若井栄一¹、粉川広行¹、涌井隆¹、直江崇¹、管文海¹、花野耕平¹、
木下秀孝¹、成井紀男¹、羽賀勝洋¹、勅使河原誠¹、高田弘¹、木村優志²、
上羽亮平²、仙入克也²、二川正敏¹

¹原子力機構 J-PARC センター、²三菱重工機械システム

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の核破砕中性子源施設は、大強度 (1 MW (3 GeV, 25 Hz)) での安定運転を目標としている。核破砕中性子源の水銀ターゲット容器 (モジュール) は、水銀容器及び冷却水層を有する保護容器から成る薄肉多重容器構造を持ち、SUS316L 鋼で製作されている。パルス陽子ビーム入射によって生じる水銀の発熱により、容器間を接続するリブ構造部に高い熱応力が生じる。本研究では、運転時に発生する応力を低減するためのモデル構造の検討と製作性の実証試験を実施した。ここで、設計の主な考慮点は以下のとおりである。陽子ビームのトリップ等により、繰り返しの高い応力が負荷されるが、1 時間当たり 2 回のビームトリップを想定して運転時間を 5,000 時間と仮定した場合、 10^4 回の熱疲労が生じる。JIS 圧力容器の設計疲労曲線から 1 MW の運転時に発生する熱応力の許容値は 883 MPa となる。このような条件の下、半無拘束型ターゲットの構造モデルを改良しながら有限要素解析を進め、1MW 運転時の熱応力の最大値が約 700 MPa となり、設計条件を十分に満足する結果を得た。一方、製作技術においては、水銀容器と保護容器を繋ぐ部分 (リブ) は溶接によって製作するが、この時に生じる熱変形や残留応力を低下させるため、リブに対して電子ビーム溶接 (EBW) 法による製作実証試験を行った。また、保護容器はこれまで 2 枚の板をリブで接続する構造とし、水路を構成していたが、保護容器の強度向上と製作性を高めるため、水路構造の加工はガンドリルによる穴あけ方式で製作技術実証を進めた。

これらの設計評価と実証試験の結果から、熱負荷が高い領域から水銀容器と保護容器の間のリブを除去した半無拘束型ターゲットの構造の最適化評価及び、製作技術の実証評価を完了させた。

現在、今秋からの運転に供用できるように実機の製作を進めているところである。当日の発表では、本タイプの実機の製作状況を詳しく紹介する予定である。

MLF における陽子ビーム窓交換作業

Replacement of the Proton Beam Window at MLF

大井 元貴、細川 英洸、西川 雅章、福田 真平
勅使河原 誠、明午 伸一郎、高田 弘
日本原子力研究開発機構 J-PARC センター

J-PARC の物質・生命科学実験施設(MLF)の核破砕中性子源では、中性子を発生させる中性子標的、モデレータ、および反射体等を腐食防止のためにヘリウムで満たされたベッセル内に設置している。一方、3GeV シンクロトロンから MLF まで 3GeV 陽子ビームを輸送する 3NBT ビームラインは 10^{-5} Pa 以下の超高真空に保たれている。このビームラインとヘリウムベッセルを隔離するための陽子ビーム窓が設置されている。陽子ビームは、アルミ合金製のビーム窓を通過して、中性子発生用の水銀ターゲットに入射する。陽子ビーム窓は、放射線損傷のため、1MW 出力の運転において2年の周期で交換が必要であるが、2017 年夏の保守期間においては、陽子ビーム窓表面に腐食の兆候が見られたため、2号機から3号機への交換を行った。

陽子ビーム窓は、全長 3.8m、遮蔽プラグを含めた総重量 10t であり、直接陽子ビームを受けるため、窓周辺は高度に放射化する。このため、使用済みの陽子ビーム窓の移動には、遮へいキャスクを使用し、周辺線量を $25 \mu\text{Sv/h}$ 以下に下げる必要がある。また、冷却水、真空、およびピローシール加圧配管等の着脱においては、陽子ビーム窓の遮へいプラグ上部でハンズオン作業を行う必要がある。冷却水中には、 $5 \times 10^4 \text{Bq/cc}$ のトリチウムが含まれているので、交換前に配管内を乾燥させ、水配管着脱時には、エアラインマスク等の防護具を着用し、汚染物質の飛散防止のために、グリーンハウスを設置し、局所排気を行う必要がある。

本発表では、陽子ビーム窓交換作業と、その安全対策について報告する。

産業利用を目指した小型電子加速器中性子施設と その利用の研究

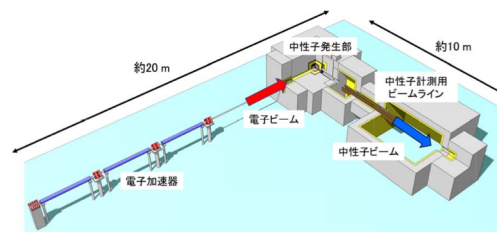
Study of an electron accelerator based compact neutron source for industrial application

木野幸一^{1,2}、O'Rourke Brian^{1,2}、小川博嗣^{1,2}、大島永康^{1,2}、友田陽^{1,2,3}、
豊川弘之^{1,2}、鈴木良一^{1,2}、清紀弘^{1,2}、黒田隆之助^{1,2}、田中真人^{1,2}、
藤原健^{1,2}、満汐孝治^{1,2}、渡津 章^{1,2}、林崎規託^{1,2,4}、宍戸玉緒²、
伊藤孝憲^{2,5}、今井英人^{2,5}、松本隆^{2,5}

1 AIST、2 ISMA、3 NIMS、4 Tokyo Tech、5 NISSAN ARC

我々は、輸送機器の主要構造材料に用いられる金属等の軽量化や、革新的な新構造材料開発において、試料単体あるいは部材等に組みつけた状態での非破壊分析に、パルス中性子ビームによる波長分解型イメージングが有用であると考えている。そこで、産業利用を主目的とした小型加速器中性子施設の開発を進めている [1]。また並行して、その利用対象物のイメージング研究を、既存中性子施設を用いて行なっている。

開発中の中性子施設は主に、電子加速器、中性子発生部、中性子計測用ビームラインで構成されるが(下図)、構造材料分析に求められる高い中性子波長分解能と産業利用に有効な計測時間を両立するため、複数の最適化を施してある。また、モンテカルロシミュレーションにより、これら最適化の結果得られるパルス中性子ビームの特性や放射線遮蔽の予測を行い、詳細設計と建設を進めている。本発表では、本中性子装置の目的、構成、最適化、およびシミュレーション予測について報告する。また、本中性子施設での測定対象物の一つと考えている薄板接合試料のパルス中性子透過イメージングを J-PARC・MLF・BL22 を用いて行った。摩擦攪拌接合を用いたアルミニウム板の試料において、アルミニウム多結晶のブラッグエッジが中性子波長の関数としての透過率スペクトル上に得られ、接合部と母材での結晶配向の違いを画像化した。この研究も併せて報告する。



謝辞:この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業革新的新構造材料等研究開発の結果により得られたものです。J-PARC・MLF・BL22 における測定は、篠原武尚氏にご協力いただきました。

[1] 産総研ニュース“構造材料開発の高度化を加速する小型加速器中性子施設の構築に着手” http://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20170801.html

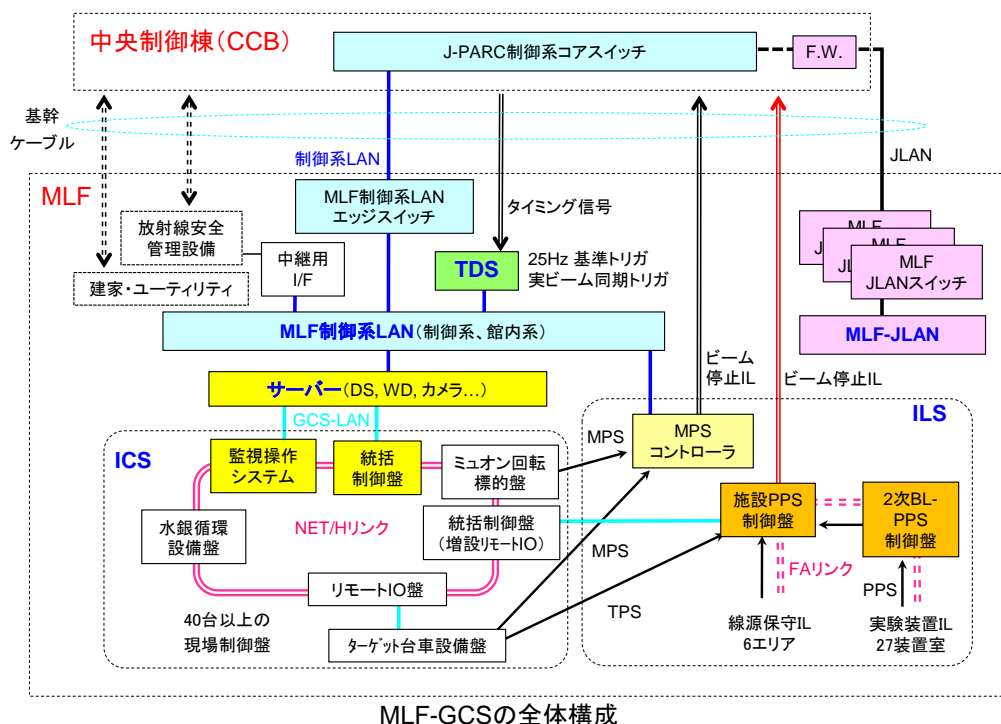
J-PARC/MLF 全体制御システムの進捗

Progress of MLF General Control System at J-PARC

酒井健二¹、大井元貴¹、高田弘¹、甲斐哲也¹、中谷健¹、小林康男²、
渡邊聡彦³

1 JAEA MLF、2 KEK MSL、3 日本アドバンステクノロジー

核破碎中性子源やミュオン標的などを安全に効率よく運転するために、物質・生命科学実験施設(MLF)では、専用の全体制御システム(GCS)を持ち、運転状況に応じた機器の監視操作やインターロックを運用している。GCSは、MLF 制御室の監視操作システムから専用リンクを介して、MLF 内の機器を独自に運転制御する一方、J-PARCの加速器や他実験施設と連動しながらMLFの安定したビーム運転を実現している。GCSは、その役割に応じてネットワーク系(LAN)、統括制御系(ICS)、サーバー、インターロック系(ILS)、タイミング配信系(TDS)など幾つかのサブシステムで構成される(下図参照)。2008年のビーム運転開始以来、GCSは運転制御コミショニングに基づく改修(2008年-2009年)を経て、機器や装置の増強・増設が毎年の様に実施される環境下でシステム性能を継続的に維持する視点から、ICSの大幅なアップグレードやILSの機能拡張を実施してきた(2010年-2015年)。近年は、制御機器の生産・サポート終了に伴い、後継機種への更新を進めている。本発表では運転開始から約10年間のGCSの運転・改造の履歴と、現時点(2017年)でのGCSの概要や各サブシステムの機能・役割などについて報告する。



産総研の低速陽電子ビーム施設による欠陥・空隙評価 Characterization of defects and nano-sized free volumes at the AIST slow positron beam facility

オローク ブライアン、満汐孝治、小林慶規、鈴木良一、大島永康
国立研究開発法人 産業技術総合研究所、計量標準総合センター

産総研では、直線電子加速器により高強度低速陽電子ビームを発生させ、これをパルス化して任意のエネルギーで試料に入射し、陽電子寿命測定 (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy, PALS) による欠陥・空隙評価を行っている[1]。

陽電子ビームの直径は、通常 10 mm 程度であるが、磁気集束レンズや減速材を用いた輝度増強法によって、50 μm 程度にまで縮小することができる。輝度増強した集束ビームによる PALS 評価装置は Positron Probe Micro-analyzer (PPMA) と呼ばれている[2]。PPMA は、ビームを試料上に走査することで、欠陥の 2 次元分布を評価できる。また、集束ビームを、薄膜の真空窓を通して大気に取り出すことによって、実用環境下における欠陥・空隙評価にも成功している[3]。陽電子ビームの入射エネルギーは 0.5 から 30 keV まで制御ができ、分析対象試料への陽電子の打ち込み深さを表面近傍 数十 nm から数 μm まで調整することができる。

低速陽電子ビームによる PALS 評価装置は、文部科学省のナノテクノロジープラットフォーム事業等で外部公開されており、様々な機能材料や構造材料の欠陥評価に利用されている [4, 5]。発表では、産総研の低速陽電子ビーム施設の概要と測定例を紹介する。

[1] B. E. O'Rourke *et al.*, JJAP Conf. Proc. **2** (2014) 011304

[2] N. Oshima *et al.*, Rad. Phys. Chem. **78** (2009) 1096

[3] W. Zhou *et al.*, Appl. Phys. Lett. **101** (2012) 014102

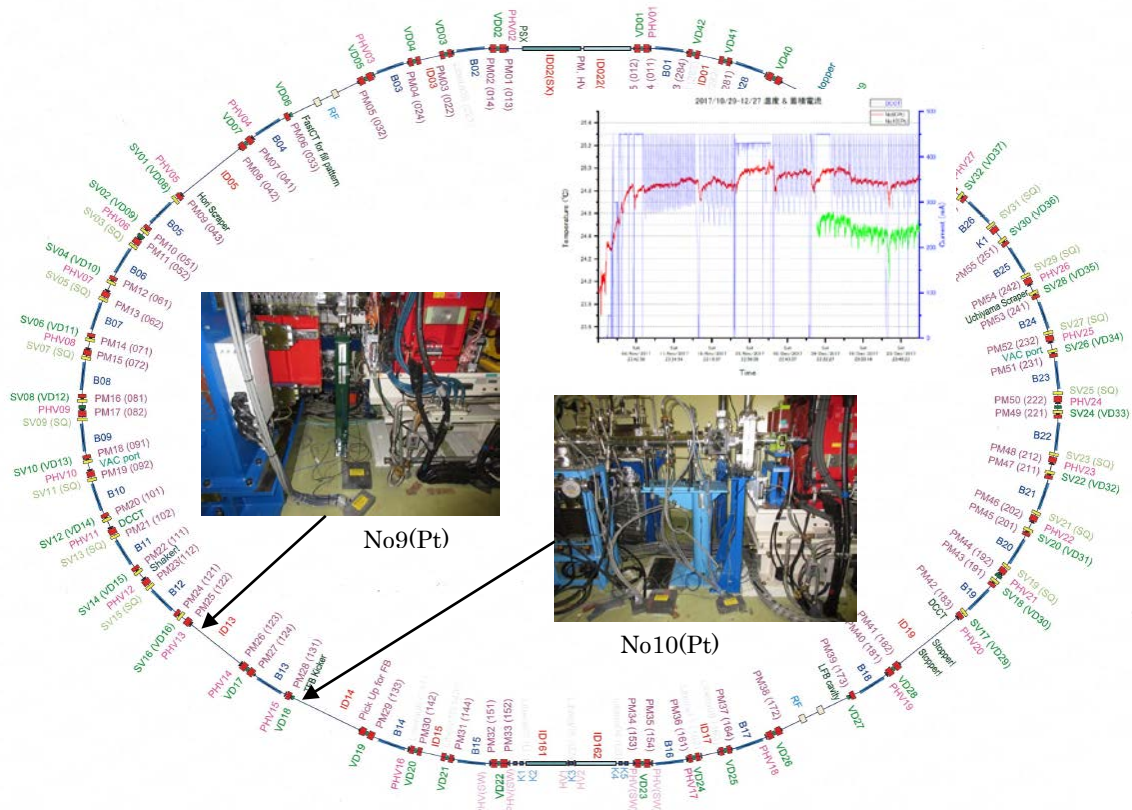
[4] <https://unit.aist.go.jp/rima/nanotech/>

[5] <http://nanonet.mext.go.jp/>

PF リングトンネル内架台温度測定 Temperature measurement of support stands for accelerator components in the PF ring tunnel.

多田野幹人¹、中村典雄¹、芳賀開一¹
1 KEK-加速器第七研究系

次期放射光源加速器では放射光を安定させるため高い温度安定度が要求されている。例えば、垂直方向最小ビームサイズ $3\ \mu\text{m}$ に対して、ビーム位置モニタではその $1/10$ の $0.3\ \mu\text{m}$ 程度で垂直位置が安定していることが望ましく、そのためにそれを支える約 1m の通常架台(熱膨張率 $\sim 10^{-5}/\text{K}$)の温度は 0.03°C 以下で安定していることが要求される。我々はまず PF リングの現在の空調システムで架台がどの程度安定しているのかを探るためにその温度測定を行った。2017 年秋の運転開始から運転終了までの期間において、立ち上げ後 1 週間、ストレージモード運転時、ハイブリッド運転時、トップアップ運転時の変化の様子を報告する。ストレージリング室は空調機 2 台で制御されており 2 台または 3 台の温度センサーを保有しているが実際に制御に使用されているのは各々 1 台のセンサーである。PF リングの空調設備の温度制御仕様は $\pm 1^\circ\text{C}$ であるが、測定された架台の温度は場所によっては $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以下に収まっていることがわかった。



図：PF リング温度測定架台および測定結果

次世代ミュオン標的材料としての SiC 系材料およびタングステン材料の開発

Developments of SiC-related material and tungsten material for next-generation muon production target

牧村俊助

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
J-PARC センター MLF ディビジョン ミュオンセクション

本文

J-PARC 物質生命科学実験施設(MLF)では、2009 年の陽子ビーム運転開始より中性子・ミュオンを利用した物理実験を展開してきた。これまでのビーム運転の経験を生かし、1 MW の安定運転や更なる大強度化に向けた、より高性能なミュオン生成標的材料の開発を行っている。

現在のミュオン標的に使用している等方性黒鉛の代替材料候補として炭化ケイ素(SiC)被覆黒鉛や SiC 複合材料を検討している。黒鉛材の欠点である耐酸化性能を向上させるとともに、より高効率なミュオン生成を期待できる。これまでに酸化試験によって SiC の高い耐酸化性能を確認出来た。大阪大学 RCNP 施設、米国ブルックヘブン国立研究所、スイス CERN 研究所において高エネルギー陽子ビームによる、これらの材料の照射試験が完了し、引き続いて照射済み試料の分析が進められている。

MLF 第二ターゲットステーションの標的材料候補としてタングステン材料の採用を検討している。タングステンは欧州 ESS 研究所や米国 SNS 施設においても回転タングステン標的が検討されており、融点も高く(3420°C)、熱伝導率も高く有望な標的材料であるが、再結晶脆化、照射脆化によって延性を失い、高温環境では構造材料としては採用できない欠点がある。脆化の問題を解決するため、タングステン中に 1.1wt%の炭化チタンを分散・偏析させた高靱性タングステン製造技術の開発を開始し、製造環境が整いつつある。並行して、3D プリンタによるタングステンの積層造形手法の開発を進め、試作が進んでいる。

本発表では次世代ミュオン標的材料としての SiC 系材料およびタングステン材料の開発の現状を報告する。

水銀ターゲット容器溶接部に対する非破壊検査技術 Non-destructive Inspection Technique for Weld Part of Mercury Target Vessel

涌井隆¹、若井栄一¹、直江崇¹、粉川広行¹、羽賀勝弘¹、高田弘¹、
堀口克彦¹、石川和義¹、新宅洋平²、李太王²、小林昭彦²、周永恵²、
鹿又研一³、島田翼³

1 JAEA、2 (株)インサイト、3 (株)金属技研

J-PARC の核破碎中性子源において、中性子利用実験に用いるパルス中性子を生成する水銀ターゲット容器は、水銀を内包する水銀容器と冷却機能を有する保護容器からなる多重薄肉構造であり、多数の溶接線を有する。現在、中性子源の高出力化に向けて堅牢性の高い容器の製作技術と検査技術の向上を図っている。本容器は、水銀圧力による静的応力だけでなく、パルス陽子ビームの入射/停止による熱負荷変動に起因する繰返し熱応力、及び水銀中に発生する圧力波による衝撃的な動的応力が繰返し負荷される。溶接部に微小な欠陥が存在する場合、各応力の繰返しにより、欠陥部からき裂が進展して破損に至る可能性がある。このため、機器の構造健全性に影響を及ぼす有意な大きさの初期欠陥を確実に検出することが極めて重要である。容器製作においては、一般的な圧力容器に対する非破壊検査方法として用いられている放射線透過試験を適用することとしているが、容器の構造が複雑であるため、適用できない検査部位がある。そこで、放射線透過試験が適用できない部分については、超音波探傷試験を適用することにした。本容器には、最小板厚が 3 mm の溶接部があり、日本工業規格で規定されている一般的な超音波試験方法を適用できないため、新たなフェーズドアレイや水浸超音波法の適用を試みた。

本報告では、欠陥を意図的に入れた模擬試験体及び実機容器に対して実施した放射線透過試験の結果と最新式フェーズドアレイ超音波装置及び水浸式超音波装置を適用した超音波探傷試験結果を報告する。また、超音波探傷試験の欠陥検出精度の向上を目的として実施した数値解析による検討の結果について報告する。