



## J-PARC/MLF運転制御コミッショニング

Commissioning of Operation and Control System for  
Materials and Life Science Experimental Facility (MLF) in J-PARC

酒井 健二 大井 元貴 甲斐 哲也 渡邊 聡彦

Kenji SAKAI, Motoki OOI, Tetsuya KAI and Akihiko WATANABE

J-PARCセンター  
物質・生命科学ディビジョン  
Materials and Life Science Division  
J-PARC Center

February 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

## J-PARC/MLF 運転制御コミッショニング

日本原子力研究開発機構  
J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン

酒井 健二、大井 元貴、甲斐 哲也、渡邊 聡彦※

(2010年1月6日受理)

J-PARC/物質・生命科学実験施設 (MLF) の全体制御システム(MLF-GCS) は、大容量の水銀を循環する水銀ターゲット、3種類の超臨界水素モデレータ、放射化した水冷却システムなどを含む中性子ターゲットステーションのための進歩的で独立した制御システムである。MLF-GCS は独立した制御システムである一方で、J-PARC の加速器や他設備の制御システムとも密接に連動しながら運用される。

MLF-GCS は統括制御・インターロック系、MLF-LAN、共有サーバー系、タイミング配信系、人的安全保護系 (PPS) などの各サブシステムから構成される。MLF-GCS は、2008年の最初の陽子ビーム入射を目指して設計・構築が進められ、2007年中には、各サブシステム構築が終了し、MLF 運転制御コミッショニングが開始され、最初のビーム受入前の限られた時間と厳しい制約の中で、MLF-GCS の各サブシステムの試運転・検査・改修作業が実施された。2008年5月の最初の陽子ビーム受入以降は、ビーム運転の経験に基づき MLF-GCS の各サブシステムを改造し、MLF 運転シフト体制を確立し、MLF-GCS の安定で効率的な運用を実現していった。本報告書では、2007年4月から2009年3月までに実施した MLF 運転制御コミッショニングについて報告する。

## Commissioning of Operation and Control System for Materials and Life Science Experimental Facility (MLF) in J-PARC

Kenji SAKAI, Motoki OOI, Tetsuya KAI and Akihiko WATANABE\*

Materials and Life Science Division, J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 6, 2010)

A general control system for the Materials and Life Science Experimental Facility (MLF-GCS) at J-PARC has an advanced and independent system for control of the mercury target, including a circulation system with a large amount of mercury, three moderators with supercritical hydrogen, and cooling systems with radioactive water. Although the MLF-GCS is an independent system, it works closely with the accelerator and other facility control systems within J-PARC.

The MLF-GCS consists of several subsystems of integral control and interlock, network, server, timing distribution systems, and personnel protection system (PPS). The design and construction of MLF-GCS has progressed for the first proton beam injection in 2008. After finishing the construction of most of the MLF-GCS subsystems, the commissioning on operation and control of the whole MLF has started step by step in 2007. During short period before the first beam injection, the trial operations, performance tests, and improvements of the MLF-GCS subsystems have been executed under restricted conditions. After the first beam injection in May 2008, the subsystems have been improved according to experience on the beam operations, the administrative structure for the MLF operation shift has been established, and the stable and efficient operations of the MLF-GCS has been realized. This paper reports on the commissioning on the MLF operation and control from April 2007 to March 2009.

Keywords : J-PARC, MLF-GCS, MLF Operation and Control, Commissioning, MLF Operation Shift

---

\* Collaborating Engineer

目次

1. 序.....	1
2. ビーム受入前の運転制御コミッショニング.....	2
2.1 統括制御・インターロック系.....	2
2.1.1 データ伝送試験.....	2
2.1.2 リモート操作試験.....	3
2.1.3 警報・インターロック試験.....	4
2.1.4 総合インターロック試験.....	4
2.2 人的安全保護系（PPS）.....	5
2.2.1 施設 PPS 総合インターロック試験.....	6
2.2.2 実験装置 PPS 総合インターロック試験.....	8
2.3 共有サーバー系.....	9
2.3.1 DB / Web / EPICS サーバー.....	9
2.3.2 全体監視カメラシステム.....	10
2.3.3 ユーザー運転情報配信系.....	10
2.4 MLF-LAN 系、タイミング配信系.....	10
2.5 運転シフト体制.....	11
3. ビーム受入後の運転制御コミッショニング.....	12
3.1 ビーム受入開始時の運転制御コミッショニング.....	12
3.2 統括制御系、DB / WEB サーバー.....	12
3.3 人的安全保護系（PPS）.....	13
3.4 ユーザー運転情報配信系.....	14
3.5 MLF-LAN 系、タイミング配信系.....	15
3.6 運転シフト体制.....	15
4. 総括.....	17
謝辞.....	17
参考文献.....	18
付録 総合インターロック試験時の確認項目リスト.....	31

Contents

1. Introduction.....	1
2. Commissioning of MLF operation and control before the first beam injection.....	2
2.1 Integral control and interlock system.....	2
2.1.1 Data transmission test.....	2
2.1.2 Remote operation test.....	3
2.1.3 Alarm and interlock test.....	4
2.1.4 Comprehensive interlock test.....	4
2.2 Personnel protection system (PPS).....	5
2.2.1 Facility PPS comprehensive interlock test.....	6
2.2.2 User PPS Comprehensive interlock test.....	8
2.3 Server system.....	9
2.3.1 Data base (DB) / Web / EPICS server.....	9
2.3.2 Monitoring camera system.....	10
2.3.3 Operation information distribution system for users.....	10
2.4 MLF network and timing distribution systems.....	10
2.5 Administrative structure for MLF operation shift.....	11
3. Commissioning of MLF operation and control after the first beam injection.....	12
3.1 Commissioning of MLF operation and control just in the first beam injection.....	12
3.2 Integral control system and Data base (DB) / Web server.....	12
3.3 Personnel protection system (PPS).....	13
3.4 Operation information distribution system for users.....	14
3.5 MLF network and timing distribution systems.....	15
3.6 Administrative structure for MLF operation shift.....	15
4. Summary.....	17
Acknowledgment.....	17
Reference.....	18
Appendix Check terms for comprehensive interlock test.....	31

## 1. 序

大強度陽子加速器施設 (Japan Proton Accelerator Research Complex ; J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (Materials and Life Science Experimental Facility ; MLF) は、リニアック、3GeV-RCS (Rapid-Cycling Synchrotron)で加速され、3GeV 陽子ビーム輸送ライン (3NBT) を介して MLF に供給される 1 次陽子ビームを、グラフィットや水銀ターゲットに入射することで 2 次ビーム (ミュオン、中性子) を生成し、それらの 2 次ビームを、実験ホールの各ビームライン下流に設置された各種実験装置に供給し、実験を行うことを主目的とした施設である。本施設内の主要設備を安全に効率よく運転するために、MLF 全体制御システム (MLF general control system ; MLF-GCS) は、ターゲット制御を中心とした統括制御系、機器保護 (Machine Protection System; MPS)、ターゲット保護 (Target Protection System; TPS) などのインターロック系、共有サーバー系、ネットワーク (LAN) 系、タイミング系などの幾つかのサブシステムより構成している。また MLF には、放射化した様々な機器を置く複数の高放射化物エリアがあるために、MLF-GCS は、陽子ビーム入射状況に関わらず、放射線被曝から人員を保護するために信頼性の高い人的安全保護系 (Personnel Protection System; PPS) を運用する<sup>1)、2)、3)、4)、5)、6)</sup>。

MLF 全体制御システム (MLF-GCS) の構成を Fig. 1.1 に示す。MLF-GCS については参考文献 1) で、MLF-GCS 全体像・役割と、その中での各サブシステムの構成・機能について報告している。PPS 詳細については別途報告書にまとめる予定である。Fig. 1.2 に、MLF 運転制御コミッショニング過程を示す。MLF-GCS の構築は、2008 年の陽子ビームの MLF 入射を目指して進め、2003-2004 年から各サブシステムの設計・構築を本格的に開始した。2007 年中には、ネットワーク系 (2007 年 4 月)、統括制御・インターロック系、PPS、共有サーバー系 (2007 年 6 月)、タイミング系 (2007 年 9 月) 等の各サブシステム構築が一段落し、MLF 運転制御全体の中で、各サブシステムの連動運用を考慮した調整・検査・改修作業を進めた。更には、2008 年 5 月 30 日の陽子ビームの MLF 入射と中性子発生を皮切りに、RUN16&17 (2008 年 5 月-6 月) のビームコミッショニング運転、RUN18 (2008 年 9 月) のミュオンビーム発生、RUN20 (2008 年 12 月) の MLF 供用運転開始、RUN21&22 (2009 年 1 月-2 月) のビーム供給運転を通じて、ビーム運転に基づいた MLF 運転制御の改修・最適化を進めた。

本報告書では、2007 年の MLF-GCS の各サブシステムの構築終了から、2009 年 3 月までの MLF 運転制御コミッショニングについて報告する。本書には、運転シフト体制など MLF 運用に関わる事柄についても記載する。実際にビーム受入までの限られた時間と各設備が並行して試運転・調整を実施している厳しい制約の中で、MLF-GCS の各サブシステムを連動しながら運用し、ビーム受入可能な状態まで持って行き、更にはビーム運転の経験に基づいたシステム改修を進めていくという一連のステップには、多くの手間と労力を費やした。この MLF 運転制御コミッショニングの経緯を報告書に纏めることは、単に MLF の今後の運用に留まらず、同規模施設の運転制御系を構築・運用していく上で非常に有益な情報を与えることができると考えている。

## 2. ビーム受入前の運転制御コミッショニング

本章では、各サブシステム及び運転シフト体制に関するビーム受入前のコミッショニングについて報告する。

### 2.1 統括制御・インターロック系

統括制御・インターロック系統は、水銀循環系設備や冷却水設備といったPLC (Programmable Logic Controller) をベースとした多数の現場設備の「現場制御盤」を、PLC専用の光ネットワーク (MELSECNET-H; 以降NET-H) で接続して構成している。それぞれの現場設備は、MLF制御室内に設置した「統括制御盤」及び「統括監視操作PC」によって集中管理される。Fig. 2.1に統括制御系の全体構成を示す。この系統のコミッショニングは、NET-Hが開通し、MLF制御室内の統括監視操作PC及び統括制御盤と、各現場制御盤間でデータ通信が可能になってから、本格的に始めた。本系統のコミッショニングは、データ伝送試験、リモート操作試験、インターロック・警報試験の順に現場設備単位で実施し、試験に基づく改修・変更を行った<sup>2)、3)</sup>。改修まで一通り終了した後に総合インターロック試験を実施した。各試験は予め作成された各種チェックリストに従い行った。

#### 2.1.1 データ伝送試験

データ伝送は、統括制御盤、現場制御盤およびリモートIO盤などの「局盤」間で行なわれており、それぞれの局盤に番号を割り当てて管理している。Table 2.1に、各局盤のアナログ、デジタルデータ点数、伝送試験実績日を示す。試験では、統括制御盤(局1,2)からアナログ/デジタルデータ(AO/DO)を送信し、現場制御盤(局3-34)指定アドレスで受信できるか、及び現場制御盤から送信されたアナログ/デジタルデータ(AI/DI)を、統括制御盤の指定アドレスで受信できるかを順次確認した。Table 2.1において、統括制御盤記載のデータ数がAO/DO数に、現場制御盤(局3-34)記載のデータ数が設備単位のAI/DI数に相当する。AOには日時などの共通情報や空調風量など各設備で必要な情報が、DOには運転ステータスなどの共有情報やリモート操作など各設備で必要な情報が、AIには温度、圧力、流量、位置など各設備からの運転情報が、DIには警報・インターロック、アンサーバック、接点信号などの設備情報が含まれている。伝送試験は、下記項目に従い実施した。

- ①統括制御側のインターロックブロックダイアグラム (IBD) に基づいて現場制御盤に信号を送信し IBD 通りの信号応答がある (実機稼動は無)。
- ②現場機器プロセス値が、統括制御盤側でも正しい場所・単位・レンジで表示される。
- ③リモート操作に対する現場制御盤からのアンサーバックの応答がある。
- ④現場制御盤から出力された警報信号が、制御画面上でも相当する警報として検知できる。

伝送試験実施時に設備機器などが設置されていない場合は、専用ツールを用いた疑似信号を現場制御盤から送信して試験を行い、設備機器設置後に別途試験を行った。Table 2.1には、

伝送リスト上のデータ数が記載してあり、2009年3月時点では約760のアナログ、4600のデジタルデータを取り扱っている。但し、試験当初から試運転や運用を経ながら、データ数は逐次変更している。

初期の伝送リスト内容は、MLF運転制御の原則と各設備の運用方針に基づいて調整を重ねた上で固めていった。その上で、NET-H開通後（2007年6月20日）、データ伝送試験を開始した。Table 2.1に記載した伝送試験実績日は、伝送試験が一通り済んだ日の目安を設備単位で示している。試験は、再結合器（2007年7月19日）を皮切りに、EPICS（2007年11月8日）まで逐次実施され、ビーム運転に密接に関わる主要設備との伝送試験は一通り終了した。2008年3月までには、クレーン、全体監視系、ミュオン標的についても実施した。但し、伝送試験を反映した改修や試運転後に伝送リストの修正が必要になった設備も相当数あったため、Table 2.1記載の実績日以後でも、伝送試験は設備単位で適時調整・実施した。

### 2.1.2 リモート操作試験

本来、伝送試験で統括制御盤と現場制御盤間のデータリンクの整合性を確認していれば、現場設備自身の運転操作・警報・インターロックなどは設備側で閉じて確認できる。従ってMLF運転制御コミッショニングでは、操作・警報・インターロックの基本的な機能は設備側で確認していることを前提に、複数設備の連動操作や設備間で干渉するインターロックなど優先度の高い項目、及び通常運転制御範囲で試験可能な項目について、リモート操作や関連インターロックの試験を実施した。試験は、2007年11月上旬に伝送試験が一段落した後から、下記項目に従い実施した。

- ①リモート／ローカル切替がIBDに従い正しく実行できる。
- ②統括監視操作画面から設備単位にリモート操作指令を送った時に、現場機器がIBDに従い正しく稼動する。
- ③統括監視操作画面から設備間に跨るリモート操作指令を送った時に、現場機器がIBDに従い正しく稼動する。

試験に当たって、伝送リストDOをベースに、実機稼動を伴うリモート操作や関連インターロックを含む操作スイッチ一覧表を作成した。但し、実機稼動を伴うリモート操作は設備間の干渉が多いため、伝送リスト以上に試験可能な条件・内容を操作単位で検討を重ねて、試験日程を調整していった。

Table 2.1に、リモート／ローカル切替の有無、リモート操作数、リモート試験開始日時を現場制御盤単位で記載する。特に水銀循環系（局8）のリモート操作は、気体廃棄物処理系（局17）や冷却水・空冷・Heガス排気系などの附帯冷却設備系（局10－局16）と連動する操作や稼動条件が干渉している操作が多いため、各設備の試験日程は水銀循環系の日程を中心に調整した。試験は、最初に各現場制御盤のリモート／ローカル切替機能を一通り確認した後（2007年11月13日）、冷却水・空冷・Heガス排気系などの附帯冷却設備系（局10－局16：2007年11月13日－19日）、気体廃棄物処理系（2007年11月16日）、再結合器（局34：2007

年 11 月 20 日)、ターゲット台車(局 6:2007 年 12 月 3 日)の順に実施した。附帯冷却設備系は、水銀循環系など他設備の試験と干渉する操作項目の試験を前倒しで実施した。各設備稼働条件が一通り揃った段階で、水銀充填、循環、ドレンなどの水銀循環系のリモート操作試験を開始し(2007 年 12 月 6 日)、2007 年 12 月中には主要項目について一通り試験を終了した。残った項目については、各設備や建屋の準備・調整状況を考慮しながら、ミュオン標的(局 21:2008 年 3 月 4 日)、ミュオン空冷装置(局 22:2008 年 4 月 15 日)の順に実施し、2008 年 4 月の段階で、約 360 項目の 85%程度を確認した。なお残った項目の多くは、ビーム運転に直接関係ない操作や、現場機器がまだ設置されていない操作である。

### 2.1.3 警報・インターロック試験

MLF は、段階や用途に応じ PPS (人的安全保護系)、MPS (機器保護系)、TPS (ターゲット保護系)、A (警報)、W (注意報) という 5 種類の信号を取り扱っている。PPS、MPS、TPS は陽子ビーム停止に直接関わるインターロック、A、W はビーム運転の有無に関わらず運転員に注意を促すソフト上の信号で、特に A は発報無が「ビーム受入可」への移行条件として組み込まれている。リモート操作試験同様に、警報・インターロックの基本的な機能は設備側で確認していることを前提として、運転制御コミッショニングでは、重要度の高い警報や通常運転制御範囲で確認可能な項目について試験を行う方針で警報・インターロック試験を実施した。

Table 2.1 に、TPS、MPS、A 数を現場制御盤単位で記載する。現在 5 現場制御盤に MPS があり、その中の 3 現場制御盤に TPS がある。陽子ビーム停止に直接関わるインターロック (TPS、MPS) 自体は接点信号として、各現場制御盤から MLF 制御室の専用モジュールを経て、J-PARC の中央制御室 (CCR) ヘダイレクトに伝達され、詳細情報は MLF 制御室の統括制御画面上に表示される。現在では、11 の TPS、97 の MPS、166 の A、更には 1300 以上の W を扱っている。試験は、共有サーバーのデータベース増強作業 (2.3.1 節参照) 終了を待って、2008 年 3 月 10 日から本格的に開始した。TPS については、実際に水銀や冷却水循環系のポンプ稼働/停止、ドレン/充填、台車移動操作などの実機稼働を行い、2008 年 4 月までに全信号の発報を確認し、自主検査及び J-PARC 放射線取扱主任者立会検査を完了した。MPS や A については、ミュオン標的、ターゲット台車、水銀循環系などは、実機の稼働条件や現場計器閾値を調整することで殆どの信号発報を実際の計測値により確認ができたものの、水素循環系や 1 次冷却水系などでは、実際の計測値を模擬できない発報条件が含まれていたため、運転制御可能な範囲で信号発報を確認した。Fig. 2.2、Fig. 2.3 に統括制御画面上に実際に表示している TPS、MPS、A 一覧を示す (TPS 画面のポンプトルク HH は削除予定)。TPS、MPS、A は、MLF のビーム受入条件に関連するために統括制御側でも一括表示・管理を行っている。

### 2.1.4 総合インターロック試験 (統括制御系)

伝送、リモート操作、警報・インターロックなどの試験が一段落した後に、統括制御系の総合インターロック試験 (2008 年 4 月 21 日) を実施した。試験では、Fig. 2.4 に示した「MLF 運転状態監視画面」に従い、水銀・水素・冷却水循環系、空冷系など、MLF 全体の立上/立下に関わるほぼ全ての設備を稼働し、施設の運転状態を「機器保守」から「ビーム受入可」状

態まで遷移させる試験を行った。試験での主要確認項目を下記に示す。

- ・ 統括制御系の MLF 運転状態遷移に関わるインターロックが正常に動作する。
- ・ 各設備がビーム受入準備状態（リモート操作可、TPS/MPS/A 発報無）になる。
- ・ 各設備の TPS、MPS 接点信号がレディになる。
- ・ 系統循環／停止などの基本的なリモート操作が、MLF 制御室から行える。
- ・ ビーム受入可状態でローカル操作不可となる。
- ・ 各設備の各 MLF 運転状態遷移に関わるインターロックが正常に動作する。

試験は、下記手順に従って実施した。

- ①データ伝送により、稼働中の各設備で TPS/MPS/A が発報していないことを確認する。更に TPS/MPS については、接点信号においても発報していないことを確認する。
- ②総合インターロックに関係する全ての設備をリモートに切り替える。
- ③MLF 運転状態を、「機器保守」→「プロセス保守」に遷移する。遷移の過程で各プロセス設備（水銀/冷却水、空調など）を、リモート操作で順次、循環、稼働する。
- ④条件が揃ったら、「プロセス保守」→「受入確認」→「ビーム受入可」状態に遷移し、統括制御 MPS の発報が無くなることを確認する。
- ⑤立下過程として、「ビーム受入可」→「プロセス保守」を行い、「48 時間操作禁止」が作動すること、統括制御 MPS が発報することを確認する。
- ⑥この状態から「プロセス保守」→「受入確認」→「ビーム受入可」→「プロセス保守」を再び行い、この遷移を繰り返し可能であることを確認する。
- ⑦「プロセス保守」で、リモート操作より、各プロセス設備を順次停止していく。
- ⑧「プロセス保守」→「機器保守」とし、総合インターロック試験を終了する。

付録に、総合インターロック試験時に使用した確認項目リストを記載する。2008 年 4 月 21 日段階で準備が間に合わなかった M1M2 トンネル空冷系（局 22）稼働とミュオン標的（局 21）の MPS 接点出力は疑似信号を発生させて総合試験を実施し、後に実際の設備を使用した試験を行った（2008 年 4 月 25 日、5 月 1 日）。

## 2.2 人的安全保護系（PPS）

PPS は、J-PARC 共通のシステムで、高放射線被曝から人員を保護するために、ビーム照射により高線量となる区域（PPS インターロック区域；または PPS 区域）への入退域を制限し、緊急時に陽子ビームを停止する。更に MLF では、放射化機器により高線量になる区域も PPS 区域として、入域を制限している。MLF では、施設（線源保守）と実験装置という 2 種類の PPS 区域に大別して管理され、各区域は PPS 専用キー（扉キー、パーソナルキー）とインターロックで運用される。MLF の PPS 区域は、ビーム照射時に線量が高くなる区域（1 次冷却系設備室、ダンプタンク室、シャッター駆動エリア：PPS 区域 I）、放射化機器により線量が高

くなる区域（放射化機器取扱室、乾燥装置室、放射化機器保管室：PPS 区域 II）に大別される。なお放射化機器取扱室は両 PPS 区域に属する。シャッター駆動エリア以外の施設 PPS 区域扉キー、及びシャッター駆動エリアのパーソナルキーの管理・運用は MLF 制御室で行う。加速器運転では、「Target Status (TPS)」、「Safety」、「Emergency」、「Status」という 4 種類のインターロック条件が個別に成立することが、MLF のビーム受入条件となる。「Target Status (TPS)」は水銀ターゲットに異常がなければ成立し、「Safety」は、扉施錠、シャッター、気密ダンパー開閉等、PPS エリア入退室に関わるインターロックを、「Emergency」は、非常停止釦が押されていないと成立する。「Status」は専用キースイッチをオンにすることで成立する信号で、MLF の責任者が MLF のビーム受入条件が成立したことを CCR に宣言する目的で使用する。CCR は、MLF-PPS の条件成立を確認後、「MLF-Entry」インターロックで MLF の PPS 区域 I への入室を禁止すると共に、「Beam mode MLF」インターロックで MLF をビームエリアモードに組み込むことになる。

MLF-PPS の主要部構築は 2007 年 6 月までに終了し、コミッショニングとして関連設備との伝送・インターロック調整を開始した。実験ホールの PPS 機器を統括する実験装置 PPS 制御盤とシャッターローカル盤間の伝送・インターロックとリモート操作による全シャッター駆動の機能確認（2007 年 10 月 19 日）、先行して建設が進んでいたビームライン BL10 でのシャッター操作盤、扉開閉器など実験装置 PPS 機器（2007 年 11 月 14 日）、PPS 区域扉の電気錠（2008 年 1 月 11 日）、M1M2 トンネル気密ダンパー（2008 年 3 月 18 日）などとの伝送・インターロック試験を経て、2008 年 3 月からは、CCR や各実験装置との総合インターロック試験を本格的に開始した。

### 2.2.1 施設 PPS 総合インターロック試験

PPS は、放射線発生装置としての許可申請と関連するため、総合インターロック試験は、基本的に自主検査を行った後、J-PARC 放射線取扱主任者立会検査を行う必要がある。検査項目の一部は、許可申請に対する施設検査の項目と重複する。本節では主に自主・J-PARC 放射線取扱主任者立会検査について記載する。

MLF の施設 PPS 区域の入退域機器は、扉開閉器、電気錠、扉開閉スイッチ、非常停止釦などで、MLF 制御室の PPS 監視操作 PC で監視・管理される。施設 PPS 区域に関わる自主・立会検査項目は、陽子ビームの重停止インターロック、軽停止インターロック、PPS 区域への入退域管理に大別できる。重停止インターロックでは、MLF-PPS 系のビーム受入条件を成立（Status-ON）させ、MLF をビーム受入状態（MLF-Entry-OFF、Beam mode MLF-OFF）とした上で、下記項目検査を実施した。

#### ①非常停止スイッチ

- ・現場の非常停止総合盤のブザーが適切に吹鳴する。
- ・MLF 制御室でのインターロック状態信号やブザー吹鳴が適切である。
- ・CCR でのインターロック状態表示（Emergency-OFF/ON）が適切である。
- ・イオン源 OFF など加速器側のビーム停止シーケンスが作動する。

②PPS 区域通常口

- ・ ビーム受入状態で、扉キー・パーソナルキーの引抜不可、通常口扉が施錠されている。
- ・ PPS 区域 I の内側から施錠されている扉を解錠し脱出できる。
- ・ 脱出時、MLF 制御室でのインターロック状態信号やブザー吹鳴、CCR でのインターロック状態表示が適切である。加えてイオン源 OFF など加速器側のビーム停止シーケンスが作動する。

③空調機（排気（気密）ダンパー）

- ・ ビーム受入状態で、空調現場盤や MLF 制御室内の PPS 機器表示（気密ダンパー閉）、CCR でのモニタ表示（Safety-ON）が適切である。及びダンパー開操作が禁止となる。
- ・ ビーム受入不可状態で（Status-OFF）、空調現場盤や MLF 制御室内の PPS 機器表示（気密ダンパー閉）、CCR でのモニタ表示（Safety-OFF）で適切である。及びダンパー開操作禁止を解除できる。

④ビーム誤入射防止機器

- ・ ビーム受入不可状態（Status-OFF）で、MLF への入射系に設置されたビームプラグ引抜きと、安全マグネットとして指定された 2 台の偏向電磁石の励磁が不可である。及び該当する CCR モニタの該当表示が適切である。
- ・ ビーム受入状態で、ビームプラグの引抜きと上記の電磁石の励磁が可能である。及び CCR のモニタの該当表示が適切である。

軽停止インターロックでは、ビーム受入状態で、放射線モニタの発報によりビーム停止インターロックが作動することを CCR モニタ表示で確認した。

PPS 区域への入退域管理は、下記項目に従い検査を実施した。

①PPS 区域への入退域禁止時（MLF-Entry-OFF、若しくは高線量発報時）

- ・ MLF entry-OFF で PPS 区域 I の PPS 機器（運転表示灯、回転灯など）、放射線モニタ線量高発報無で PPS 区域 II の PPS 機器、及び MLF 制御室の PPS 機器（PPS モニタ PC など）表示が適切である。
- ・ MLF entry-OFF で PPS 区域 I の扉キー・パーソナルキー（中性子シャッター駆動装置エリア）、放射線モニタ線量高発報で PPS 区域 II の扉キー引抜が不可となる。

②PPS 区域への入退域許可時（MLF-Entry-ON、若しくは高線量発報無時）

- ・ MLF entry-ON で PPS 区域 I の PPS 機器（運転表示灯、回転灯など）、放射線モニタ線量高発報無で PPS 区域 II の PPS 機器、及び MLF 制御室の PPS 機器（PPS モニタ PC など）表示が適切である。
- ・ MLF entry-ON で PPS 区域 I の扉キー・パーソナルキー（中性子シャッター駆動装置エリア）、放射線モニタ線量高発報無で PPS 区域 II の扉キー引抜が可能となる。
- ・ 扉キー・パーソナルキーを用い、適切な手順とインターロックで PPS 区域への入退域が可能である。

自主検査は 2008 年 3 月から適時実施し、J-PARC 放射線取扱主任者立会検査は、CCR と連動するインターロック機能は日程を加速器運転状況に合わせて(2008 年 4 月 7 日, 5 月 8 日-9 日)、PPS 区域への入退域管理など MLF で閉じる機能は 2008 年 5 月 22 日に実施した。別途検査を行う「Target Status (TPS)」は、PPS 試験時には現場機器を稼働させず、接点を短絡して信号の成立を模擬した。

### 2.2.2 実験装置 PPS 総合インターロック試験

MLF-PPS は、中性子・ミュオン各実験装置 PPS を一括管理している。従って、中性子・ミュオン実験装置 PPS 区域は、共通の機器・入退域手順・インターロックで運用し、各装置に特化した機能を追加する形で運用している<sup>5)</sup>。実験装置 PPS 区域の入退域機器は、中性子シャッター・ミュオンブロッカ操作盤、状態表示灯、退避確認釦、扉開閉器、電気錠、扉開閉スイッチ、緊急釦などで構成される。基本的入退域手順を下記に記載する。

- ①シャッター・ブロッカ操作盤の閉釦を押して、シャッター及びブロッカを閉じる。
- ②操作盤パーソナルキー引抜条件が成立していることを確認後、引抜釦を押して、操作盤からパーソナルキーを引き抜く。
- ③実験装置 PPS 区域に入域する場合、引き抜いたパーソナルキーを扉開閉器に挿入・ON とし、扉電気錠を解錠し、実験装置 PPS 区域に入域する。
- ④作業後、退避確認釦を押して実験装置 PPS 区域から退域する。扉を閉めて電気錠を施錠し、扉開閉器からパーソナルキーを引き抜く。
- ⑤引き抜いたパーソナルキーをシャッター・ブロッカ操作盤に挿入・ON とする。
- ⑥シャッター・ブロッカ操作盤の開釦を押して、シャッター及びブロッカを開ける。

中性子実験装置 PPS 区域は、通常の出入口の他に、大型資材等の搬入に利用する遮蔽ハッチを有していることが多い。MLF へ陽子ビーム入射中にこのような開閉する必要がある遮蔽ハッチには、上記パーソナルキーで施錠できる錠を設けている。この遮蔽ハッチは、上記手順②で引き抜いたパーソナルキーで遮蔽ハッチ錠を開け、作業終了後ハッチを施錠し、手順⑤以降に従う。ただし、通常の出入口によりアクセスする区域と遮蔽ハッチの開閉によりアクセスする区域が同一である場合、PPS 区域内にパーソナルキーと交換可能な遮蔽ハッチ錠キーを設置し、上記手順③で PPS 区域入域後、パーソナルキーと交換したハッチ錠キーで遮蔽ハッチを開け、ハッチ施錠後再び遮蔽ハッチ錠キーをパーソナルキーと交換し、手順④以降に従う。

実験装置 PPS 区域に関わる中性子・ミュオン共通の自主・立会検査では、退避確認手順、退避確認時間切れ動作、停電時動作の確認、シャッター開閉時の確認、重停止インターロックの各項目について行った。加えて中性子ではハッチ錠、ミュオンではブロッカ緊急閉や偏向電磁石緊急停止を検査項目とした。Table 2.2 に中性子、Table 2.3 ミュオン実験装置の検査項目例を示す。施設 PPS 同様、自主検査は適時実施し、立会検査は、2008 年 4 月 7 日の BL04, BL10 を皮切りに、項目・実験装置別に実施し、重停止項目は 2008 年 5 月 2 日まで、他項目は 2008

年 5 月 26 日までに 5 中性子実験装置 (BL03, BL04, BL08, BL10, BL20) の検査を全て終えた。

## 2.3 共有サーバー系

共有サーバー系は、データベース (DB) / Web / EPICS サーバー、全体監視カメラサーバー、ユーザー情報配信系 (情報ディスプレイ (DP)、一般用 Web サーバー) などから構成される<sup>4)</sup>。各種サーバー単体機能の構築自体は 2007 年 6 月までに一区切りついている。しかし本当の意味でのサーバー構築には、保存すべきデータ数やデータ形式、配信すべき画面内容などが明確になっている必要があるため、統括制御・インターロック系など運転制御コミッショニングの進行状況に追従する形で進めた。

### 2.3.1 DB / Web / EPICS サーバー

DB サーバーは、MLF の運転情報を蓄積するためのサーバーで、専用アプリケーションを用いることで、統括制御画面 (iFix-SCADA) 上に機器トレンドを表示することや、オンラインデータをテキストデータとして取り出すことが出来る。制御系 LAN 用 Web サーバーは、MLF の運転状況などを配信するサーバーで、DB サーバーからデータを取り出し、統括制御画面と同様の画面を制御系 LAN 経由で配信できるように構築している。

DB/Web サーバーの単体機能構築は、統括制御系の NET-H が開通する 2007 年 6 月の段階で終了しているが、本当の意味での DB/Web サーバー構築は、ここから始まった。DB サーバーは、2007 年 7 月からの統括制御系コミッショニング及び各設備試運転に伴う伝送データの変更・具体化などの状況を反映して、取込データ内容、数、頻度の評価を行った。その結果、データ数が初期設計時に比べ大幅に増大し、当初の DB サーバーの扱えるデータ数 (最大 5000 点) を大幅に超えることが判明した。そのため各設備の試運転が可能な範囲として登録データ数を 4800 点程度に制限し、2007 年 11 月のリモート操作試験に合わせて仮運用を開始した。開始当初はサーバーが何度か停止したものの、取込頻度やデータリンク修正など DB サーバーの調整作業を適時実施し、安定運用のための実績を積んだ。2008 年 2 月には DB サーバーの扱えるデータ数を大幅に増強し (最大 10000 点)、約 7000 点の全データを登録した上で、2008 年 3 月から本格的な運用を開始し、統括制御系コミッショニング状況に追従して、データリンク修正などを適時実施した。一方、制御系 LAN 用 Web サーバーは、DB サーバーの本格的な運用を待って、2008 年 3 月から設計当初の配信画面内容や画面数の大幅な変更・再構築作業を開始した。2008 年 5 月 28 日には、再構築した Web 配信画面を CCR に持ち込んだ PC 上で確認し、本格的な運用を開始した。

MLF の EPICS サーバーは、EPICS プロトコルにより加速器の制御系を構築している CCR 運用の J-PARC 全体制御システムと、専用制御ソフト (iFix-SCADA) と PLC 専用ネットワーク (NET-H) で構築した MLF 制御システムという直接にはデータ共有ができない双方の制御システム間の媒介役として、情報共有を実現する事を主目的とする。MLF-EPICS については、2007 年 4 月に実機調整・仮運用を開始し、3NBT-EPICS との疎通試験 (2007 年 5 月)、MLF-PLC との伝送試験 (2007 年 11 月 8 日) を経て、CCR や 3NBT-EPICS との取合調整や DB/Web サーバー稼動と歩調を合わせながら、2008 年 3 月から本格的な運用を開始した。

### 2.3.2 全体監視カメラシステム

全体監視カメラシステムは、ネットワークを通じて MLF 施設内の監視を行うためのシステムである。60 台の Web カメラと、約 30 台の耐放射線カメラを 2 台のカメラサーバーで管理している。Web カメラは、通常場所には AXIS-214PTZ を、環境の厳しい場所には屋外電動雲台一体型の HC-31 を使用している。一方、耐放射線カメラからのアナログデータは、IP エンコーダでデジタル変換しカメラサーバーに転送している。これら Web カメラ、耐放射線カメラおよびカメラサーバーは、全て館内系 LAN に接続されており、MLF 制御室には、これらのカメラを監視する専用クライアントが 3 台用意されている。

全体監視カメラシステム構築と IP アドレスによる Web カメラ・IP エンコーダとの疎通試験は 2007 年 6 月の段階で一応終了し、2007 年 12 月からは仮運用を開始した。2008 年 1 月 8 日には、耐放射線カメラの IP エンコーダへの接続作業とクライアント PC からの画像確認を行い、監視カメラシステムの本格的な運用を開始した。運用中は、システム全体の長期間安定と適切なサーバーディスク使用量・期間を実現するために、画像分解能や画像転送頻度など各種設定を適時変更し、設定を最適化していった。例えば、当初は複数の HC-31 の転送画像が頻繁にフリーズする問題が生じたが、運用の過程で AXIS-214PTZ 画像転送との干渉が原因であることが判明し、画像転送頻度を調整することで解決した。

### 2.3.3 ユーザー運転情報配信系

MLF-GCS では、実験装置・一般ユーザーへの加速器や建屋の運転情報を Web 画面として配信している。配信画面は、予めユーザー側の意見を取り入れて、陽子ビーム電流履歴、水素モデレータ温度履歴、J-PARC 全体画面（ビームエリアや行き先モード）、MLF 全体画面（ミュオン・中性子ターゲット位置、シャッター／ブロッカ開閉状態）、更には、運転スケジュールや関連情報のテキストデータなどとした。配信先としては、情報 DP、JLAN 及び外部 LAN がある。

情報 DP は、MLF 建屋において実験ユーザーや見学者等に MLF 運転情報を配信するためのシステムであり、MLF 制御室内の情報 DP 専用サーバー1 台と、制御系・館内系 LAN に接続された MLF 各所の専用クライアント 9 台で構成される。情報 DP サーバーは、EPICS サーバーから各種運転情報を取得する事で、リアルタイムでデータ更新を実現している。陽子ビーム電流履歴、水素モデレータ温度履歴、J-PARC/MLF 全体画面など基本情報画面・データは、情報 DP 上で作成しており、JLAN 及び外部 LAN には基本情報を再構成して配信している。情報 DP のシステム構築と IP アドレスによる疎通試験は 2007 年 6 月の段階で一応終了していた。しかし実データをリンクした形での運用は、統括制御系やサーバーなどの各系統の調整がほぼ終了していることが条件となるために、2008 年 5 月上旬から試験運用を開始した。

## 2.4 MLF-LAN 系、タイミング配信系

MLF は加速器や施設内機器を制御するための制御系 LAN、MLF 内の監視カメラを制御する館内系 LAN、及び実験装置利用者を含む一般ユーザーが利用する一般系 LAN (JLAN) という

3系統のLANを持つ。MLF建屋内の制御系・館内系LANはCCRより管理・運用されるJ-PARC全体の制御系LANに属し、MLF-JLANは情報交流棟より管理・運用される。MLF内の各種LAN系は、2007年4月から接続機器の本格的な運用を開始した。MLF制御系・館内系LANでは、施設や設備機器の監視・制御・管理に限定して接続を許可し、設備や用途に応じて、IPアドレスを割り付け、IPアドレス一覧による接続機器の管理を実施することで、コミショニングが進むにつれ増設される各LANへの接続機器の運用に対応していった。

一方、J-PARCでは、高精度クロックを基準とするスケジュールドタイミングを標準タイミング方式として採用し、各施設は、J-PARC共通の受信モジュールによって信号を処理し、必要信号を施設内に配信する。MLFでも標準タイミング信号として、①マスタークロック(12MHz)、②MLF基準トリガ(現状25Hz)、③MLFゲートを、更に関連する信号として④RCSトリガタグを、実験装置ユーザーに配信する。一方、MLFでは、標準タイミング信号以外に、⑤RCSキッカー出射トリガ、⑥3NBT-CTトリガ、⑦TOFトリガと呼ばれるタイミング信号を別途配信している。各タイミング信号は、MLF制御室や実験ホールで処理・分岐され、適切な形式・個数のタイミング信号を実験装置ユーザーに分配している。

タイミングシステムは、実験装置ユーザーの要望を適時取り入れた形で設計し、①、②、③、④、⑥信号配信をベースに2007年9月までにシステム構築が大よそ済んでいた。しかし、⑤信号の追加配信などユーザーから更なる変更要求が相次いだために、急きょ配信信号の見直しとシステム改造を行い、MLF制御室内のターゲット診断システムに、②MLF基準トリガと④RCSトリガタグ配信を先行して開始した(2008年2月29日)。一方、実験ホールのタイミング系は、2009年4月中旬までに一応のシステム改造を終え、CCRとの通信試験などを経て、標準タイミング信号①、②、③の配信(2008年5月9日)、⑤RCSキッカー出射トリガと⑥3NBT-CTトリガの配信(2008年5月26日)を順次開始した。

## 2.5 運転シフト体制

MLFでは、ビーム運転時にはMLFシフトリーダー(以下、MLF-SL)を中心とした運転班において、3交替シフトより24時間体制で運転を行うことが予定されていた。従ってビーム運転時に安全且つ円滑な施設の運転制御を遂行するために、予めMLF-SL及び運転班の試験的な運用を実施し体制を確立していく必要があった。そのために、MLF内に設置されている多くの設備間の連携調整を行い安全かつ効率的な運転管理をすること、及びビーム運転に備えた監視業務に習熟することを目的として、MLFでは運転管理当番を設け、MLF制御室での総合運転管理体制を整えるための準備組織として1シフト体制(日勤のみ)で2008年2月18日より運転管理を開始した。中性子源セクションを中心とした運転員は管理当番として約3カ月間にわたり、施設の監視・管理・運用の経験を積んだ後、2008年5月19日から管理当番体制をMLF-SL体制に移行した。移行に際しては、CCRにMLF-SL体制の開始を伝え、運転制御コミショニングを元にMLF制御グループでMLF-SL講習会用の資料を作成し、2008年5月19日と20日に最初の講習会を実施した(延べ26人受講)。

### 3. ビーム受入後の運転制御コミッショニング

MLF では、2008 年 5 月 30 日に陽子ビーム入射と中性子発生に成功した。以降、RUN16&17 (2008 年 5 月－6 月) のビームコミッショニング、RUN18 (2008 年 9 月) のミュオンビーム発生、RUN20 (2008 年 12 月) の供用運転開始、RUN21&22 (2009 年 1 月－2 月) のビーム供給運転と、ビーム運転が順次実施され、MLF 運転制御コミッショニングもビーム受入前から受入後にフェーズが移行し、ビーム運転の経験に基づいた運転制御の改修・最適化を進めていった。本章では、各サブシステム及び運転シフト体制に関するビーム受入後のコミッショニング状況について報告する。

#### 3.1 ビーム受入開始時の運転制御コミッショニング

2007 年 4 月から運転制御各系統のコミッショニングを並行して進めてきたが(第 2 章参照)、MLF ビーム受入 (RUN16) 直前に制御系の全サブシステムを連動させた施設立上調整を実施した。2008 年 5 月 28 日には運転時立上チェックリストに基づき、各設備の立上確認作業を開始し、MLF 運転状態を「機器保守」から「プロセス保守」まで移行した。

2008 年 5 月 29 日には、MLF 運転状態を「受入確認」を経て「ビーム受入可」まで移行し、統括制御・インターロック系をビーム受入可状態にできることを確認する一方で、MLF-PPS 区域の退避確認作業を行い、「Target Status」、「Safety」、「Emergency」インターロックが全てレディになること、及び PPS-「Status」を ON とし PPS をビーム受入状態にできることを確認した。その後、統括制御系と MLF-PPS を一度立ち下げ、CCR 側の準備を待って、MLF のビーム運転エリアへの組込/除外試験を下記手順で実施した。

- ①MLF 側をビーム受入可状態 (運転状態「ビーム受入可」、PPS 「Status」ON) とする。
- ②CCR 側で MLF をビーム運転エリアに組み込む (「ビームエリアモード」及び「ビーム行先モード」IN)。
- ③CCR 側で MLF をビーム運転エリアから外す (「ビームエリアモード」及び「ビーム行先モード」OUT)。
- ④MLF をビーム受入不可状態 (運転状態「プロセス保守」、PPS 「Status」OFF) とする。

試験は、制御系 Web 配信画面 (2.3.1 節参照) で J-PARC / MLF 運転情報を共有しながらも、CCR－MLF 間で電話連絡をしながら実施した。

2008 年 5 月 30 日には、MLF-SL が運転監視業務として、再び MLF をビーム運転エリアに組み込んで、実際に MLF への陽子ビーム入射を開始した。以降は、ビームコミッショニングスケジュールに応じて、MLF のビームエリアへの組込/除外を繰り返し、最初の陽子ビーム受入/中性子発生運転 (RUN16) を終了した。

#### 3.2 統括制御系、DB / WEB サーバー

ビーム運転期間 (RUN16&17) は、PLC・DB と画面表示のリンクミスやプロセス値の単位・

レンジの相違などの制御画面上の不具合、及び画面構成、表示データ、警報項目・設定値など実際に運用して変更が必要と判断した項目を、逐次チェックした。ビーム運転終了後の長期シャットダウン時には、運転時にチェックした項目の修正にまとめて取りかかった。リンクアドレスの変更、機器名称・番号タグ付など統括制御系の変更・修正を反映した DB 変更、制御系 Web サーバーの修正も同時に行われた。なお、RUN16,17 で DB に収集した各種プロセス系統（水銀循環系、1 次冷却系、ミュオン標的冷却系、M1M2 トンネル空冷系など）のデータは、ビーム入射に対する各設備機器の初期評価や一部不具合の原因究明に有効に利用された。

並行して RUN18（2008 年 9 月）のミュオン発生に向けて、ミュオン 2 次ビームライン現場制御盤（局 25、26、28、30）との伝送リスト調整を 2008 年 7 月から再開し、それに基づきミュオン制御画面や DB の変更・追加作業を進めた<sup>6)</sup>。2008 年 9 月 12 日と 16 日には、現場機器計測値や接点スイッチなどの実信号を用いてミュオン 2 次ビームライン現場制御盤（冷凍機、電磁石、真空等）との伝送・警報・インターロック試験、及び試験結果に基づく統括制御系・DB・Web サーバーの修正を早急に行い、RUN18 のミュオン発生を迎えた。この時点で、NET-H 開通（2007 年 6 月 20 日）から予定されていた現場制御盤が一通り揃い、統括制御系コミッショニングが一通り終了した。

その後も RUN20（2008 年 12 月）、RUN21&RUN22（2009 年 1 月～2 月）のビーム運転を通じて、全体監視システム（局 6）との伝送データ再調整と機器保守全体監視画面の改修、極低温水素（局 9）やミュオン 2 次ビームラインなどの現場盤制御系の変更に基づく設備運転操作画面・警報・データリンクの改修、CCR や実験装置との連動運転を反映した統括監視操作画面（J-PARC/MLF 全体監視、中性子ビームライン監視など）の追加・変更などを適時実施した。DB サーバーも、単にデータリンク・タグの追加や修正だけでなく、データ検索やグループ別表示などのトレンド機能追加や、オンラインで扱えるデータ容量の大幅な増強など、ビーム運転の経験に基づいた使用利便性に対する改良も適時進めてきた。

### 3.3 人的安全保護系（PPS）

PPS は、2009 年 5 月 19 日の MLF-SL 体制移行後、MLF-SL による PPS 区域への入退域管理・運用を本格的に開始した。その後、PPS 系データタグの一部変更・修正、PPS-「Status」スイッチ操作キーの導入、PPS 発報・操作ログ機能追加など、ビーム運転に基づく使用利便性に関する改良を適時実施してきた。

加えて実験装置 PPS 区域は、ミュオンや中性子実験装置が増設される度に、実験装置 PPS 機器の上位系への接続調整を行い、自主・J-PARC 放射線取扱主任者立会検査を実施して、装置単位でビーム受入まで持って行った。2008 年 8 月には、中性子 BL01、BL19 とミュオン D1、D2 の 4 実験装置 PPS 区域の上位 PPS 系への接続と調整・自主検査を開始し、重停止インターロック及び入退管理機器の主任者検査（2008 年 9 月 3 日）を経て、RUN18 で 4 実験装置でのビーム受入を迎えた。RUN18 終了後は、中性子 BL05、BL12、BL14、BL16、BL21 の 5 実験装置 PPS の上位 PPS 系への接続と調整・自主検査を 2008 年 11 月に開始し、重停止インターロック（2008 年 11 月 26 日）及び入退管理機器（2008 年 12 月 5 日）の主任者検査を経て、5 実験装置 PPS 区域での運用を新たに開始し、RUN20（2008 年 12 月）に 4 実験装置（BL05、

BL12、BL16、BL21) でのビーム受入を迎えた。BL14 については、遮蔽体検査完了後の RUN24 (2009 年 5 月) からのビーム受入となった。なおミュオン D1、D2 実験装置では、偏向電磁石緊急停止インターロックを一部追加し、主任者検査を実施した (2009 年 1 月 19 日)。この時点で、2007 年 6 月の MLF-PPS 系主要部構築終了から、予定されていた施設及び実験装置の全ての PPS 区域の運用を開始し、PPS コミッショニングも一通り終了した。

### 3.4 ユーザー運転情報配信系

J-PARC 運転員や設備保作業員への運転情報配信を目的とした WEB サーバー (3.1 節参照) と異なり、MLF では、実験装置・一般ユーザーに陽子ビーム電流履歴、水素モデレータ温度履歴、J-PARC/MLF 運転モード表示、運転スケジュールや関連情報を WEB 画面及びテキストデータとして配信している。配信先としては、制御系 LAN 上の情報 DP、JLAN 及び外部 LAN があり (2.3.3 節参照)、基本情報画面・データは、情報 DP サーバー上で作成し、JLAN 及び外部 LAN には基本情報を再構成して配信している。実信号による情報 DP への配信は 2008 年 5 月上旬から運用を開始し、RUN16&17 を経て、データ表示やリンクミスなどの配信画面不具合修正、更にはビーム運用後のユーザー意見・要望を取り入れた改造を実施していった。

MLF-GCS は、MLF の運転情報を、実験装置・一般ユーザーが利用する JLAN 側に配信する一般用 Web サーバーを持つ。一般用 Web サーバー自体は制御系 LAN に接続されており、制御系 LAN と JLAN 間は、CCR が運用するファイヤーウォール (FW) で通信が厳しく制限されている。従って、JLAN への情報配信には、FW を介したデータ配信を如何に実現するかを検討を要したものの、通信量を制限し、制御系 LAN と JLAN 間の DMZ (DeMilitarized Zone) 下で CCR が管理するプロキシサーバーを経由する事で、JLAN 側への情報配信を実現した。2008 年 8 月に仮設の一般用 Web サーバーの配信情報の整備を行い、2008 年 9 月上旬には、JLAN 側へのデータ公開を開始した (URL: <http://www-cont.j-parc.jp/MLF/>)。公開後、ユーザー側の意見・要望をメール・ユーザー用 BBS など様々な伝達手段で取り入れながら、配信画面やテキストデータの機能変更・追加を実施した。なお伝達手段や変更履歴については、上述 URL に記載している。RUN22 (2009 年 2 月) 終了後には、仮設から本設の一般用 Web サーバーに移行し、2009 年 3 月 11 日から本格的な運用を開始した。

MLF 運転情報を JLAN 上に配信することでユーザー側の利便性は格段に向上したものの、利用可能な範囲は JAEA/KEK に限られるため、大学等からも利用可能な外部 LAN への運転情報公開を引き続き検討した。そのために外部 LAN に配信するための技術的な事柄やセキュリティ・公開ポリシーなどの検討を行い、RUN24&25 (2009 年 5-6 月) から、J-PARC 一般公開用 WEB で運転情報ページの試験運用を開始した。下記に URL を、Fig. 3.1 に PC 用の公開画面例を示す。

- ・ PC 用 : <http://j-parc.jp/MatLife/en/operation/index.html>
- ・ 携帯用 : <http://j-parc.jp/MatLife/en/operation/indexi.html>

2008 年 5 月上旬の情報 DP の試験運用から始まったユーザー情報配信系コミッショニングも、外部 LAN への公開までこぎつけ、ようやく一段落ついた。

### 3.5 MLF-LAN 系、タイミング配信系

MLF 制御系・館内系 LAN は、2007 年 4 月から本格的な運用を開始し、IP アドレス一覧による管理を実施することで、コミッショニングが進むにつれ増設される接続機器の運用に対応した。EPICS・Web サーバー増設やミュオン 2 次ビームラインの各電磁石 LAN インターフェースなどビーム受入後も接続機器は順次増えているものの、ビーム受入前後で、運用に大きな変更は無い。タイミング配信系は、ビーム受入開始から実験装置ユーザーの要望を取り入れながらコミッショニングを進めた。例えば、ビーム周期に同期する標準タイミング（②MLF 基準トリガ、③MLF ゲート）と、それ以外のトリガ（⑤RCS キッカー出射トリガ、⑥3NBT-CT トリガ）との位相を装置ユーザー側で測定し、その結果を加速器側にフィードバックする形で標準タイミングトリガの遅延時間を調整した。特にミュオンや共鳴領域中性子を測定する装置などトリガタイミングが特殊な装置については、個別に遅延時間を設定することで対応した。また RCS キッカー出射タイミングに同期した測定トリガを必要とする装置のために、③と⑤のコインシデンスを取った⑦TOF トリガの追加配信も開始した。

### 3.6 運転シフト体制

Fig. 3.2 にビームコミッショニング時 (RUN16&17) のシフト体制を示す。コミッショニングは、MLF シフトリーダー (MLF-SL)、MLF コミッショニングリーダー (MLF-CL)、及び各サブシフトリーダー (MLF-SSL / MLF-SCL) を中心に進められた。MLF-SL は、CCR シフトリーダー及び MLF 内の各設備担当と連絡を取りながら、MLF 全体の運転状況を把握し施設の安全を司る役割を、MLF-SSL は、MLF-SL を補佐する役割を担った。一方、MLF-CL は、ビーム試験に関連する機器状況を把握し、ビームコミッショニングの指示や加速器運転担当へ陽子ビームの供給開始・停止を依頼する役割を担い、MLF-SCL は、CCR に常駐する MLF-CL の連絡を受けて、MLF 制御室内の MLF-SL、ビーム試験機器担当 (水銀ターゲット、極低温水素、ミュオン標的等)、特性試験装置担当、利用シフト、放射線安全グループなどとビーム試験調整を行った。3NBT の監視・操作は、MLF 制御室と連携を取りながら、3NBT 棟の運転員によって実施された。

RUN18 のミュオンビーム供給開始、RUN20 の MLF 供用開始を経て、シフト体制もビームコミッショニング体制から、少人数の安定ビーム供給体制に移行した。Fig. 3.2 に RUN21&22 (2009 年 1 月-2 月) の安定ビーム供給時のシフト体制を示す。RUN21 からは、3NBT の監視・操作を MLF 制御室に集約し、コミッショニング体制を縮小し、原則として MLF 制御室常駐は、MLF-SL / MLF-SSL、及び極低温水素設備運転員のみとなり、運転に関する全ての情報を MLF-SL が掌握できるシフト体制にした。

MLF-SL の役割も、ビーム運転 (RUN16-22) を通じて次第に明確化していった。安定ビーム運転時の MLF-SL の役割を下記に示す。

#### ①MLF-SL の役割

- ・ MLF 全体の運転状況を把握し、施設の安全を司る役割。
- ・ CCR シフトリーダー／中性子利用シフト／ミュオンシフト担当との連絡窓口

②MLF-SL の運用・監視・操作に関する業務

- ・ CCR へビーム供給／停止要求（コミッショニングリーダーと連携）
- ・ CCR 打合せへの出席と MLF 運転状況／予定連絡
- ・ MLF デイリィー打合せ統括、議事録作成（PC）とサイボウズへのアップロード（A 勤）
- ・ 運転状況の監視・記録（記録用紙、ログノート、ホワイトボード、Z-log）
- ・ 運転変更時のミュオン／利用シフトへの電話連絡、MLF 全館放送でのアナウンス
- ・ ミュオン／利用シフトからの陽子ビーム状態やスケジュールに対する問合せ対応
- ・ 建屋内鍵、クレーンコントローラーの貸出、記録
- ・ 中性子シャッタートラブル時の復旧作業
- ・ MLF のビーム運転エリアへの組込／除外／再組込操作
- ・ 警報発報時の対応（設備担当、CCR と連携）
- ・ ミュオン標的移動操作
- ・ MLF-PPS エリアの運用
- ・ 3NBT 設備の監視操作と連絡

MLF-SL / MLF-SSL は、MLF-SL 講習受講者が 24 時間 3 シフト体制で担当し、CCR でのシフト引継（1:00 / 9:00 / 17:00）に合わせて、その 15 分程度前に MLF シフト引継を行った。ビーム運転に基づいて、MLF 運転制御マニュアルや MLF-SL 講習会資料を整備・改訂し、MLF-SL 講習会も追加実施し（2009 年 1 月 9 日、2009 年 3 月 26 日）、2009 年 3 月までに延べ 50 人が受講した。運転管理当番の運営を開始（2008 年 2 月 18 日）してから、ビーム受入直前に MLF-SL 体制に移行し、MLF-SL 役割が大よそ確立した 2009 年 3 月の段階で、運転シフト体制に関するコミッショニングも一通り終了した。

#### 4. 総括

本報告書では、2007年中のMLF-GSCの構築終了から、MLFの最初の陽子ビーム受入時(2008年5月)、ビーム受入後に渡るMLF運転制御コミッショニングの経緯について、MLF-GCSの各サブシステム(統括制御・インターロック系、PPS、LAN、共有サーバー系、タイミング配信系)、及び運転シフト体制など運用に関わる部分を中心に報告した。

実際に、最初の陽子ビーム受入までは、限られた時間と各設備が並行して試運転・調整を実施している厳しい制約の中で、MLF-GCSの各サブシステムのコミッショニングや運転シフト体制の準備を進め、ビーム受入後は、限られたビーム停止期間中にビーム運転経験を反映したシステム改修を進め、2009年3月には、本書記載の通り、安定で効率的なMLF運転制御を実現するに至った。今後も、供用運転や陽子ビームパワーの増強といったビーム運転のフェーズが移っていくに従い、MLF内の実験装置も増加し各設備運転制御も変更や増強が必要になってくるので、MLF-GCSの各サブシステムの改造も必然的に実施していくことになる。またMLF全体の運転状況を把握し施設の安全を司るというMLF-SLの基本的な役割は変わらないものの、2009年4月以降、MLF-SLの監視・管理すべき警報や設備が順次増加しており、今後もMLF-SLの責務はより重要度を増していく。

本書では、MLF-GSCの構築終了からを運転制御コミッショニングとして記載した。しかし、そのための準備・調整は、MLF-GCSの設計・構築を本格的に開始した2004年から始まっている。ともかく各サブシステムから成るMLF-GCSの全体構成や役割を早急に明確化する必要があったので、3NBT、中性子・ミュオン実験装置、中性子源の各制御担当が集まってMLF制御会議体を立ち上げ、定期的に打合せを行い(2004-2008年)、その中でFig. 1.1に示したMLF-GCSの全体像を描くとともに、MLF-LAN、PPS、サーバー、タイミング配信系を中心としたサブシステムの役割を具体化しコミッショニングの方針を固めていった。一方、各設備の運転制御に関してはP&ID計測制御会議体を立ち上げ、会議体メンバーと各設備担当間で、MLF制御室での各設備の運転操作・状態監視・インターロックの運用方針について集中的に検討を行った(2004-2007年)。この検討結果が、統括制御・インターロック系コミッショニングで使用した伝送・リモート操作など各種一覧表のベースになっている。このように多くの関係者と時間を費やして準備・調整を積み重ねて来たことこそが、2007年からのMLF運転制御コミッショニングを速やかに実行できたことに直結しているものである。

#### 謝辞

MLF運転制御コミッショニングには、中性子源セクションの制御メンバー(著者)のみでなく、中性子・ミュオン実験装置の各制御担当、中性子源セクションの各設備担当、加速器ディビジョンの全体制御グループ、放射線安全セクションを始めとするJ-PARCセンターの多くのスタッフの方々の協力の上で進められた。ここにMLF運転制御コミッショニングで甚大なるご協力を頂いた多くのスタッフの方々、及び、日立情報制御ソリューションズを始めとする多くの関係業者の方々に改めて感謝します。

参考文献

- 1) “Design, Construction and Operation of General Control System of Materials and Life Science Experimental Facility (MLF-GCS) in J-PARC”,  
K. Sakai et al., JAEA-Technology 2009-042 (2009), (in Japanese).
- 2) “Development status of the General Control System of the Materials and Life Science Experimental Facility (MLF) of J-PARC”,  
K. Sakai et al., Physica B 385-386 (2006), pp.1324-1326.
- 3) “Construction status of the General Control System of the Materials and Life Science Experimental Facility (MLF) of J-PARC”,  
K. Sakai et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009), pp.75-77.
- 4) “Developmental status of a server system for the MLF general control system”,  
M. Ooi et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009), pp.120-122.
- 5) “Users’ beam interlock system at the materials and life science experimental facility of J-PARC”,  
T. Kai et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009), pp.176-178.
- 6) ”J-PARC muon control system”,  
W. Higemoto et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009), pp.179-181.

表図リスト

- Table 2.1 List of analog / digital data, operation and alarm numbers of each local control panel
- Table 2.2 Check list of neutron user PPS
- Table 2.3 Check list of muon user PPS
- Fig. 1.1 Structure of MLF-GCS
- Fig. 1.2 Process chart of MLF operation and control commissioning
- Fig. 2.1 Structure of MLF integral control system
- Fig. 2.2 Window for a list of TPS and MPS terms
- Fig. 2.3 Window for a list of Alarm terms
- Fig. 2.4 Integral window for monitoring MLF operation states
- Fig. 3.1 Window of MLF operation status by Web browser through internet LAN
- Fig. 3.2 Administrative structure for MLF operation shift

Table 2.1 List of analog / digital data, operation and alarm numbers of each local control panel

局	盤名称/設備名称	アナログ データ数	デジタル データ数	伝送試験 実績日	R/L切替	リモート 操作数	リモート試験 開始日	警報(T/M/A)	
1, 2	統括制御盤	36	484	----					
3	統括制御盤 (増設)	6501 EPIOS	13	1	2007/11/8				
		6900 建屋空調	7	1	2007/9/19		3	2007/11/16	
		6900 65/130tクレーン	12	0	2007/12/21				
		6502 分電盤	0	8	2007/9/13				8A
		6501 PPS	0	5	----				
4	リモートIO1	6504 放射線監視盤(2台)	2	0	2007/8/24				
		6502 分電盤	0	1	2007/9/13				1A
5	リモートIO2	6900 20t インセルクレーン	3	0	2007/11/21				
6	リモートIO3	6521 ターゲット台車	14	71	2007/7/27	有	7	2007/12/3	6T/4M/10A
		6574 全体監視システム	6	4	2008/2/27				
		6575 放射体遠隔操作機器	12	100	2007/7/27				
		6576 放射化機器保管設備	9	48	2007/7/27				
		6900 20t インセルクレーン	3	0	2007/11/21				
		6504 放射線監視盤	1	0	2007/8/24				
7	リモートIO4	6502 分電盤	0	5	2007/9/13				5A
		6541 シャッター真空	0	82	2007/8/3				
		6576 ベッセル窓真空	0	91	2007/8/3				
8	6523 水銀循環系	6502 分電盤	0	1	2007/9/13				1A
		6541 シャッター真空	0	82	2007/8/3				
8	6523 水銀循環系	18	151	2007/9/4	有	53	2007/12/6	3T, 6M, 5A	
9	6530 極低温水系	144	406	2007/8/29				21M, 50A	
10	6550CC01 一次冷却水系	100	1198	2007/9/14	有×4	121	2007/11/19	2T, 48M, 55A	
11	6550CC02 TO冷却水系	26	138	2007/9/14	有×2	35	2007/11/19	2A	
12	6556CC01 二次冷却水系	24	188	2007/9/14	有	10	2007/11/13	1A	
13	6560 Heガス排気系	9	236	2007/9/14	有	28	2007/11/15	4A	
14	6561 水・ガス分析系	3	98	2007/9/14		1	2008/4/21		
15	6562 生体遮蔽体空冷系	6	64	2007/9/14	有	12	2007/11/19		
16	6550LP01 ベッセル内機器監視系	48	92	2007/9/14					
17	6565 気体廃棄物処理系	24	227	2007/8/1	有	65	2007/11/16	4A	
18	6576LP02 乾燥装置	9	25	2007/9/4					
19	6541LP01 シャッターローカル制御系1	0	109	2007/10/19					
20	6541LP02 シャッターローカル制御系2	0	102	2007/10/19					
21	6521ミュオン標的	60	123	2008/3/4	有	8	2008/3/4	18M/15A	
22	6260ミュオン空冷装置	5	19	2007/9/19	有	4	2008/4/25		
24	(6310LP01 ミュオン2次ビームライン電磁石1)	(48)	(100)	(2008/3/31)					
25	6310LP01 ミュオン2次ビームライン電磁石2	29	94	2008/9/16					
26	6320 超伝導電磁石冷凍機	47	96	2008/9/16					
27	(6330L01 ミュオン2次ビームライン真空1)	(14)	(20)	(2008/3/31)					
28	6330L02 ミュオン2次ビームライン真空2	12	28	2008/9/16					
29	(6340LP01 ブロッカ駆動盤1)	(0)	(28)	(2008/3/31)					
30	6340LP01 ブロッカ駆動盤2	0	30	2008/9/16					
31	6576LP04 交換台車	3	1	2007/9/4					
32	実験装置 リモートIO盤1	実験装置警報	0	48	----				
		6502 分電盤	0	1	2007/9/13				1A
33	実験装置 リモートIO盤2	実験装置警報	0	44	----				
		6502 分電盤	0	4	2007/9/13				4A
34	6559 再結合器	15	29	2007/7/19	有	13	2008/11/20		

( )設備は制御盤のみでまた実機がない

Table 2.2 Check list of neutron user PPS

BL01

項目	検査内容	判定基準	結果	備考
退避確認 手順確認	(1)キーがON位置で、 「Un LOCK」 鈕を押す	「Un LOCK」 が点灯すること		
	(2)退避確認鈕を押す	退避確認鈕が吹鳴すること		
	(3)扉を閉じる	扉閉信号1(外部出力)がOPEN->CLOSEとなること(*)		
		扉閉信号2(外部出力)が " (*)		
		「Door close LS1」 が点灯すること 「Door close LS2」 が点灯すること		
	(4)「Door LOCK」 鈕を押す	「Door LOCK」 が点灯すること		
		「Key Release」 が点灯すること 扉を開閉することができないこと		
(5)キーをOFF位置へ捻り、 引き抜く	正常にキーの引抜きが可能であること			
	退避確認鈕の吹鳴が停止すること			
(6)「Un LOCK」 鈕を押す	「Un LOCK」 が点灯しないこと 扉を開閉することができないこと			
退避確認 時間切れ 動作確認	(1)退避確認鈕押下後、 吹鳴停止までの時間を計測	約30秒		
	(2)吹鳴停止後、扉を開め、 「Door LOCK」 鈕を押す	「Door LOCK」 が点灯すること		
		「Key Release」 が点灯しないこと 扉を開くことができないこと		
	(3)キーのロック維持を確認	キーをOFF位置へ捻ることができないこと		
(4)「Un Lock」 鈕を押す	「Un LOCK」 が点灯すること 扉を開くことが可能であること			
停電時 動作の 確認	(1)扉操作器の電源停止(扉閉)	扉閉信号1(外部出力)がCLOSEを維持すること(*) 扉閉信号2(外部出力)が " (*)		
	(2)扉操作器の電源再開(扉開)	扉閉信号1(外部出力)がCLOSEを維持すること(*) 扉閉信号2(外部出力)が " (*)		
	(3)扉操作器の電源停止(扉閉)	扉閉信号1(外部出力)がOPENを維持すること(*) 扉閉信号2(外部出力)が " (*)		
		扉閉信号1(外部出力)がOPENを維持すること(*) 扉閉信号2(外部出力)が " (*)		
	(5)扉操作器の電源停止(施錠)	施錠状態が維持されること		
	(6)扉操作器の電源出力再開	"		
	(7)解錠後、退避確認鈕を押下し、 電源を停止	吹鳴が停止すること		
	(8)設定時間内に電源出力再開、 「Door LOCK」 鈕を押す	吹鳴しないこと		
「Door LOCK」 が点灯すること 「Key Release」 が点灯しないこと				
シャッター 開閉時の確認	(1)シャッター操作盤のキーを 引抜き、「OPEN」 鈕を押す	シャッターが開とならないこと		
		シャッターが開となること シャッター操作盤の「OPEN」 鈕が赤点滅後、点灯すること 状態表示灯が赤点滅後、点灯すること		
	(2)シャッター操作盤に全キーを 挿入、「OPEN」 鈕を押す	扉を解錠できないこと シャッター操作盤の「Key Release」 鈕が押せないこと シャッター操作盤からキーが引抜けられないこと		
重停止	(1)内部に人を閉じ込め、 シャッター開状態で脱出	脱出可能であること 重停止インターロック(Safety)が作動すること		
	(2)非常停止スイッチを押す	MLF制御室でブザーが吹鳴すること 重停止インターロック(Emergency)が作動すること		
ハッチ錠1	(1)ハッチ錠を解錠する	ハッチ錠からキーが引抜けられないこと		
	(2)ハッチ錠を施錠する	ハッチ錠からキーを引抜けること		
	(3)ハッチ開時のハッチ錠の状態確認	ハッチ錠を施錠できないこと		

(\*)はMLF制御室のPPS表示器で確認する

Table 2.3 Check list of muon user PPS

D1 (Mu06D)

項目	検査内容	判定基準	結果	備考
退避確認 手順確認	(1)キーがON位置で、「Un LOCK」鈕を押す	「Un LOCK」が点灯すること		
	(2)退避確認鈕を押す	退避確認鈕が吹鳴すること		
	(3)扉を閉じる	扉閉信号1(外部出力)がOPEN->CLOSEとなること(*)		
		扉閉信号2(外部出力)が	” (*)	
		「Door close LS1」が点灯すること 「Door close LS2」が点灯すること 「Door LOCK」が点灯すること		
	(4)「Door LOCK」鈕を押す	「Key Release」が点灯すること 扉を開閉することができないこと		
(5)キーをOFF位置へ捻り、引き抜く	正常にキーの引抜きが可能であること 退避確認鈕の吹鳴が停止すること			
(6)「Un LOCK」鈕を押す	「Un LOCK」が点灯しないこと 扉を開閉することができないこと			
退避確認 時間切れ 動作確認	(1)退避確認鈕押下後、吹鳴停止までの時間を計測	約30秒		
	(2)吹鳴停止後、扉を開め、「Door LOCK」鈕を押す	「Door LOCK」が点灯すること 「Key Release」が点灯しないこと 扉を開くことができないこと		
		(3)キーのロック維持を確認	キーをOFF位置へ捻ることができないこと	
	(4)「Un Lock」鈕を押す	「Un LOCK」が点灯すること 扉を開くことが可能であること		
停電時 動作の 確認	(1)扉操作器の電源停止(扉閉)	扉閉信号1(外部出力)がCLOSEを維持すること(*)		
		扉閉信号2(外部出力)が	” (*)	
	(2)扉操作器の電源再開(扉閉)	扉閉信号1(外部出力)がCLOSEを維持すること(*)		
		扉閉信号2(外部出力)が	” (*)	
	(3)扉操作器の電源停止(扉開)	扉閉信号1(外部出力)がOPENを維持すること(*)		
		扉閉信号2(外部出力)が	” (*)	
	(4)扉操作器の電源再開(扉開)	扉閉信号1(外部出力)がOPENを維持すること(*) 扉閉信号2(外部出力)が	” (*)	
	(5)扉操作器の電源停止(施錠)	施錠状態が維持されること		
(6)扉操作器の電源出力再開	”			
(7)解錠後、退避確認鈕を押下し、電源を停止	吹鳴が停止すること			
(8)設定時間内に電源出力再開、「Door LOCK」鈕を押す	吹鳴しないこと 「Door LOCK」が点灯すること 「Key Release」が点灯しないこと			
ブロッカー 開閉時の確認	(1)ブロッカー操作盤のキーを引抜き、「OPEN」鈕を押す	ブロッカーが開とならないこと		
		ブロッカーが開となること ブロッカー操作盤の「OPEN」鈕が赤点灯すること 状態表示灯が赤点灯すること 扉を解錠できないこと ブロッカー操作盤の「Key Release」鈕が押せないこと ブロッカー操作盤からキーが引抜けないこと		
(2)ブロッカー操作盤に全キーを挿入、「OPEN」鈕を押す	ブロッカーが開とならないこと			
	ブロッカーが開となること			
重停止	(1)非常停止スイッチを押す	MLF制御室でブザーが吹鳴すること 重停止インターロック(Emergency)が作動すること		
ブロッカー 緊急開動作	(1)内部に人を閉じ込め、ブロッカー開状態で脱出	脱出可能であること ブロッカーが開となること		
偏向電磁石 DB3緊急停止	(1)DB2正、DB3正で励磁した後、内部に人を閉じ込め脱出	DB3がOFFとなること、扉開状態でDB3がONとならないこと		
	(2)DB2負、DB3負で励磁した後、内部に人を閉じ込め脱出	DB3がOFFとなること、扉開状態でDB3がONとならないこと		
	(3)DB2正、DB3正で励磁した後、実験装置安全キーを引抜き	DB3がOFFとなり、キー引抜状態でDB3がONとならないこと		
	(4)DB2負、DB3負で励磁した後、実験装置安全キーを引抜き	DB3がOFFとなり、キー引抜状態でDB3がONとならないこと		

(\*)はMLF制御室のPPS表示器で確認する

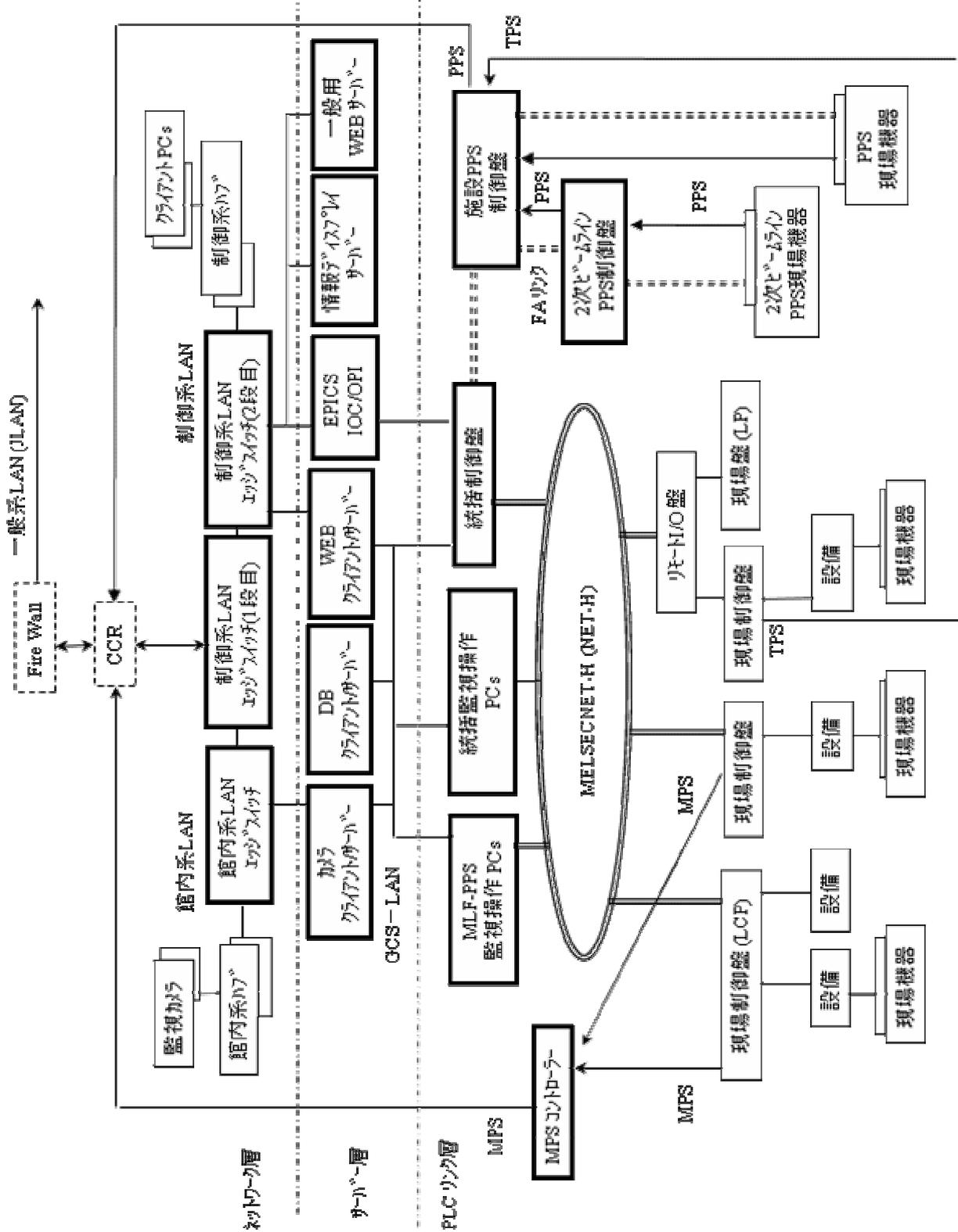


Fig. 1.1 Structure of MLF-GCS

年	月	RUN (MLF入射)	統括制御・IL系	PPS	共有サーバー系	LAN・タイミング系	MLF運転シフト体制	
2007年	4月				>EPICS仮運用開始 >3NBTとの取合調整	>構築終了(LAN系) >コミショニング開始		
	5月							
	6月				>NETH開通、構築終了(統括制御・PPS・サーバー系)、コミショニング開始			
	7月		>伝送試験開始					
	8月							
	9月					>構築終了(タイミング系) >コミショニング開始		
	10月				>シャッターとの取合確認			
	11月		>主な伝送試験終了 >リモート操作試験開始	>BL10との取合確認	>データ数を制限し >DB仮運用開始			
	12月		>リモート試験(水銀循環系) >主なリモート操作試験終了		>カメラサーバー >仮運用開始			
	2008年	1月			>電気錠との取合確認	>耐久性カメラ確認 >本運用開始		
		2月						
		3月		>警報・IL試験開始	>気密ダンパ取合確認 >施設PPS検査開始	>データ数増強後、 >DB本運用開始 >EPICS本運用開始	>制御室機器への >タイミング先行配信	>運転管理当番開始
4月			>TPS検査実施 >総合IL試験	>実験装置PPS検査開始				
5月		#16 1stビーム 入射	>ビームエリア組込試験	>施設・実験装置(5BL) PPS検査完了	>情報DP試運用開始 >CCRにWeb専用PCを 持ち込み運用開始	>標準タイミング配信 >その他タイミング配信	>MLF-SL講習会開催 >運転シフト体制に移行	
6月		#17						
7月								
8月								
9月		#18 ミュオン 発生	>伝送・警報・IL試験 (ミュオンBL)	>実験装置PPS検査 (ミュオンを含む4BL)	>JLANへの運転情報 配信開始(一般用Web)			
10月								
11月								
12月		#20 供用運転 開始		>実験装置PPS検査(5BL)				
2009年	1月	#21		>実験装置PPS検査 (ミュオンBL電磁石)			>MLF-SL講習会開催	
	2月	#22						
	3月				>一般用Webサーバーを 本設に移行		>MLF-SL講習会開催	

Fig. 1.2 Process chart of MLF operation and control commissioning

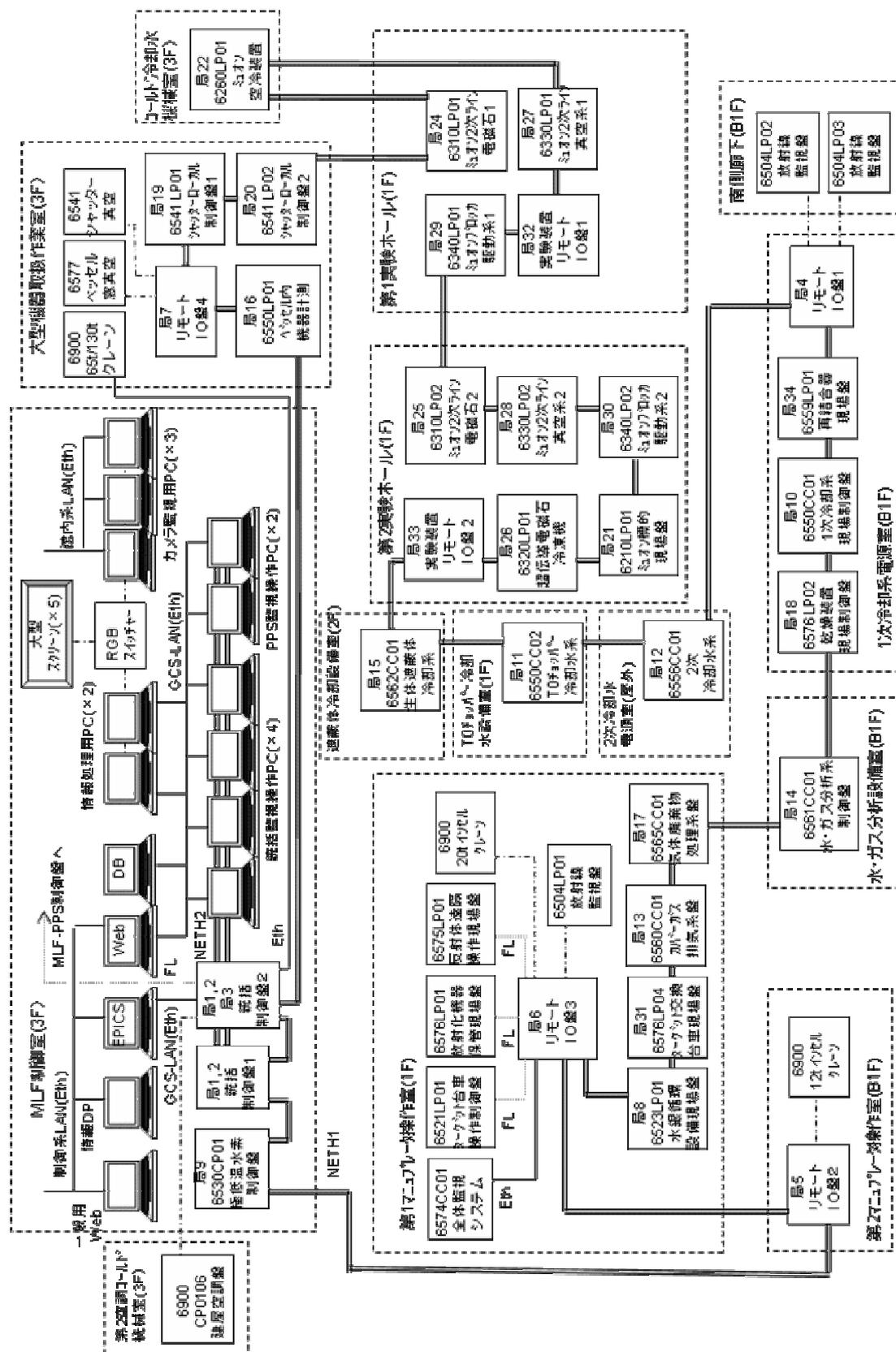


Fig. 2.1 Structure of MLF integral control system

**警報一覧 - TPS**

2009/10/30 17:59:03

運転状態: 機器保守, **プロセス停止**, 受入確認, ビーム受入可

警報発生状態: FPS, TPS, MPS, 警報, 注意報, 装置異常

プザー停止

6521LP01 水銀ターゲット 容器仕切板A水銀漏洩  
 6521LP01 水銀ターゲット 容器仕切板B水銀漏洩  
 6521LP01 可動ストッパーロック異常  
 6521LP01 ヘリウムチャンバ水銀漏洩  
 6521LP01 台車システム運転位置1  
 6521LP01 台車システム運転位置2  
 6523LP01 サージタンク入口温度HH  
 6523LP01 水銀流量LL  
 6523LP01 サージタンク水銀レベルLL  
 6523LP01 ポンプトルクHH  
 65500001 セーフティバル入口流量 低低低  
 65500001 サージタンク液位 低低低

統括監視 戻る

**警報一覧 - MPS**

2009/10/30 17:59:42

運転状態: 機器保守, **プロセス停止**, 受入確認, ビーム受入可

警報発生状態: FPS, TPS, MPS, 警報, 注意報, 装置異常

プザー停止

6210LP01 標の 温度1 高  
 6210LP01 ミュオン標の冷却系流量低  
 6210LP01 No1スクレーバ温度1 高  
 6210LP01 No1スクレーバ冷却系流量低  
 6210LP01 No2スクレーバ温度1 高  
 6210LP01 No2スクレーバ冷却系流量低  
 6210LP01 ミュオン標のチエンバ 温度1 高  
 6210LP01 ミュオン標のチエンバ 温度2 高  
 6210LP01 ミュオン標のチエンバ 温度3 高  
 6210LP01 ミュオン標のチエンバ 温度4 高  
 6210LP01 標のチエンバ冷却系1 冷却系流量低  
 6210LP01 標のチエンバ冷却系2 冷却系流量低  
 6210LP01 標のチエンバ冷却系3 冷却系流量低  
 6210LP01 標のチエンバ冷却系4 冷却系流量低  
 6210LP01 標の系異常信号-正  
 6210LP01 標の系異常信号-副  
 6210LP01 移動中アンサ  
 6210LP01 標の位置不定  
 6521LP01 水銀設備台車キッチオン上水銀漏洩  
 6521LP01 水銀ターゲット 容器漏洩水銀受皿部A水銀漏洩  
 6521LP01 水銀ターゲット 容器漏洩水銀受皿部B水銀漏洩  
 6521LP01 水銀ターゲット 容器漏洩水銀受皿部C水銀漏洩  
 6523LP01 サージタンク入口温度HH  
 6523LP01 赤ア入口水銀流量HH  
 6523LP01 サージタンク気相部圧力HH  
 6523LP01 ターゲット容器出口水銀圧力HH  
 6523LP01 水銀流量LL  
 6523LP01 台車側面キッチオン水銀漏洩

65300001 V105 タービン入口弁 閉  
 65300001 ZS0521 セーフティボックス 破綻板 作動  
 65300001 モデレータ破綻板 作動  
 65300001 Q16100 水素外部漏洩量No.1 高高  
 65300001 Q16200 水素外部漏洩量No.2 高高  
 65300001 F11100000 水素循環ポンプA 停止  
 65300001 ZS0820 ヘリウムベッセル破綻板 作動  
 65300001 F11100 水素循環流量 低低  
 65300001 V0200 DM系供給弁 低低  
 65300001 V0300 PM系供給弁 低低  
 65300001 V0400 CM系供給弁 低低  
 65300001 F103000 DM系循環システム圧力 高高  
 65300001 F10300 DM系流量 低低  
 65300001 F10300 PM系流量 低低  
 65300001 F10400 CM系流量 低低  
 65300001 P11000 セイフティボックス真空層1圧力 高高  
 65300001 P12000 モデレータ真空層1圧力 高高  
 65300001 P18100 (BA) モデレータ真空層2圧力 高高  
 65300001 P12001 (BA) セーフティボックス真空層2圧力 高高

65500001 SH500タービン回転数 低低  
 65500001 VME異常  
 65500001 セーフティバル入口流量低低  
 65500001 反射体入口流量低低  
 65500001 サージタンク液位低低  
 65500001 サージタンク圧力高高  
 65500001 ポンプ駆動リップパレット液位高  
 65500001 熱交換器リップパレット漏れ検知  
 65500001 浄化系リップパレット漏れ検知  
 65500001 反射体取合部リップパレット漏れ検知  
 65500001 セーフティバル出口温度 高高  
 65500001 反射体出口温度 高高  
 65500001 セーフティバル入口圧力 高高  
 65500001 反射体入口圧力 高高  
 65500001 陽子ビーム窓入口流量低低  
 65500001 ホイズ型フレモデレータ入口流量低低  
 65500001 非結合型フレモデレータ入口流量低低  
 65500001 非結合型フレモデレータ入口流量低低  
 65500001 サージタンク液位 低低  
 65500001 サージタンク圧力 高高  
 65500001 ポンプ駆動リップパレット液位 高  
 65500001 熱交換器リップパレット漏れ検知  
 65500001 浄化系リップパレット漏れ検知  
 65500001 中性子シャッター部漏れ検知  
 65500001 陽子ビーム窓出口温度高高  
 65500001 非結合型フレモデレータ出口温度高高  
 65500001 非結合型フレモデレータ出口温度高高  
 65500001 ホイズ型フレモデレータ出口温度高高  
 65500001 入口ヘッダ圧力 高高  
 65500001 陽子ビーム窓入口圧力 高高  
 65500001 ターゲット台車入口流量 低低  
 65500001 内部プラグ入口流量 低低  
 65500001 外部プラグ入口流量 低低  
 65500001 スリルセクション入口流量A 低低  
 65500001 スリルセクション入口流量B 低低  
 65500001 水冷遊へい体入口流量 低低  
 65500001 スリルセクション入口流量C 低低  
 65500001 サージタンク液位 低低  
 65500001 サージタンク圧力 高高  
 65500001 ポンプ駆動リップパレット液位高  
 65500001 熱交換器リップパレット漏れ検知  
 65500001 浄化系リップパレット漏れ検知  
 65500001 ヘリウムベッセル取合部リップパレット漏れ検知  
 65500001 ターゲット台車出口温度 高高  
 65500001 内部プラグ出口温度 高高  
 65500001 外部プラグ出口温度 高高  
 65500001 スリルセクション出口温度 高高  
 65500001 水冷遊へい体出口温度 高高

65500001 ターゲット台車入口圧力 高高  
 65500001 ヘリウムベッセル入口圧力 高高

65010001 統括制御-MPS

統括監視 戻る

Fig. 2.2 Window for a list of TPS and MPS terms



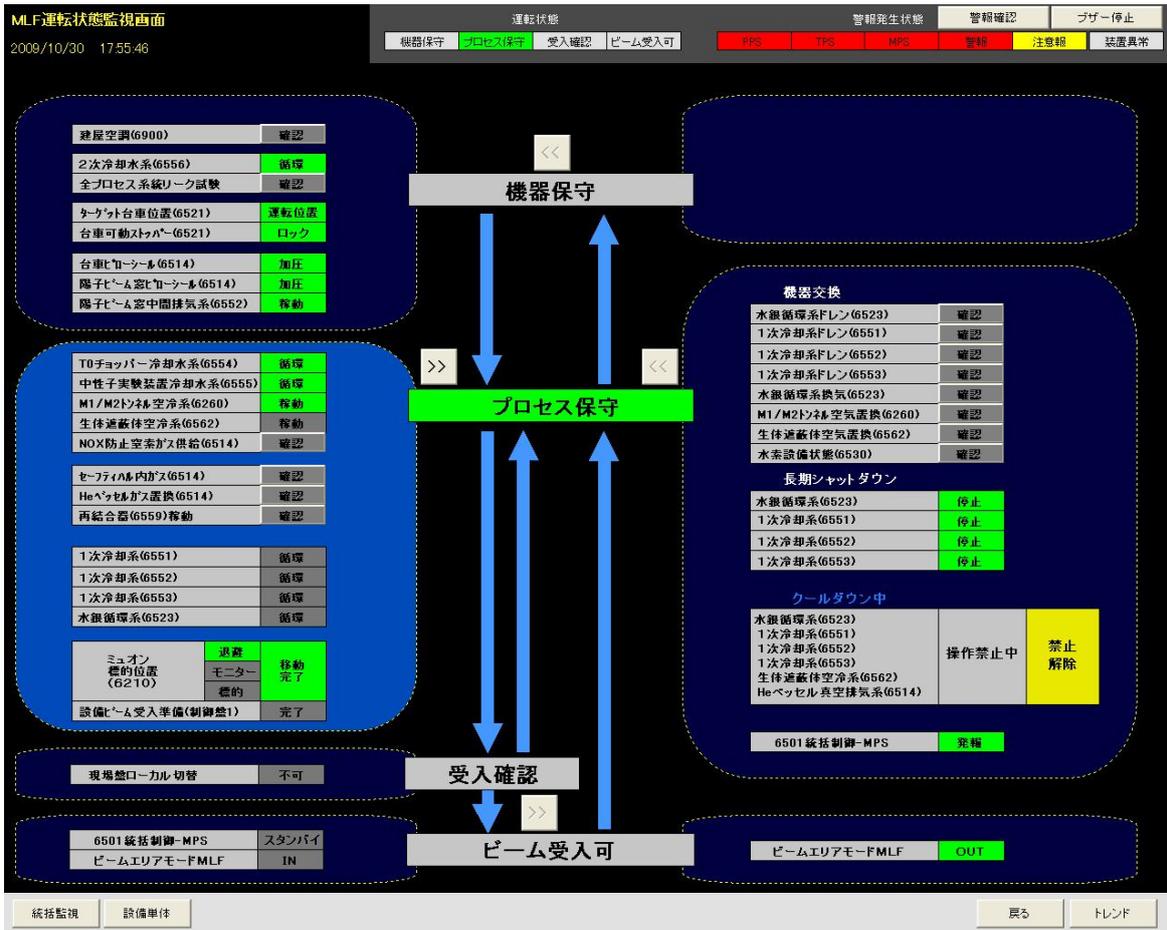


Fig. 2.4 Integral window for monitoring MLF operation states

Materials and Life Science Experimental Facility / 物質・生命科学実験施設

# MLF Operation Status



November, 2009						
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

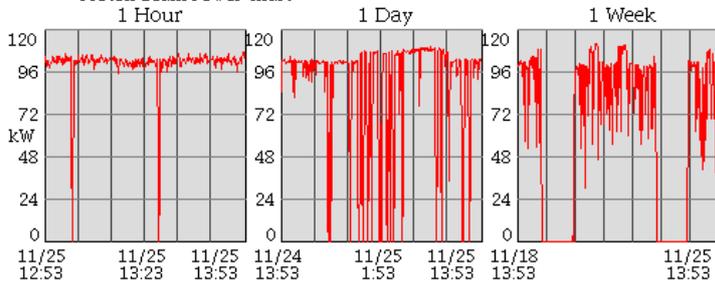
Accelerator Run Cycle (scheduled)	#27	from	10/29	to	7:00/11/26
Beam delivery term for 2009A MLF user program		from	11/10	to	7:00/11/26

**MLF Beam Power :106.kW**

Wed Nov 25 13:53:01 JST 2009

Wed Nov 25 13:53:01 JST 2009

Proton Beam Power chart



**[Information]**  
Beam delivery for the 2009A term in Run#27 resumed.

<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	User Program
<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Beam off due to accelerator conditioning*
<span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Accelerator Study
<span style="background-color: #A9A9A9; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Maintenance Period
<span style="background-color: #800080; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	MLF-BT Study

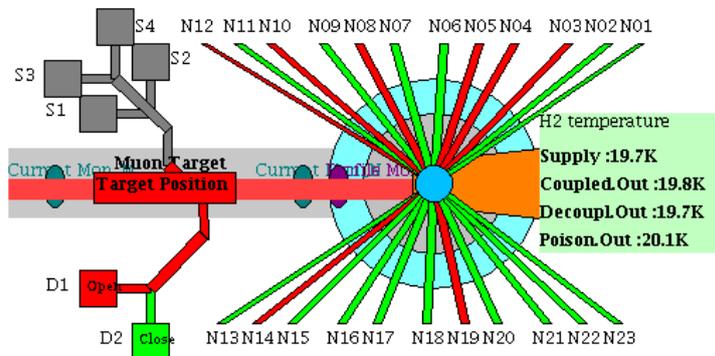
\* 10:00 a.m.-12:00 a.m. (26H)



[MLF Operation Status Mobile Page](#)

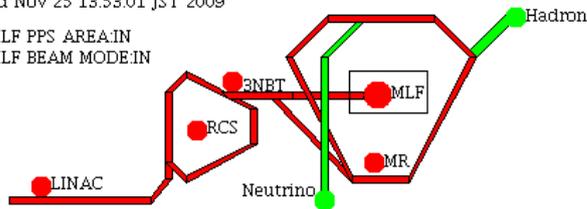
J-PARC | Materials and Life Science Experimental Facility | 物質・生命科学実験施設

Wed Nov 25 13:53:01 JST 2009



Wed Nov 25 13:53:01 JST 2009

MLF PPS AREA.IN  
MLF BEAM MODE.IN



7

Fig. 3.1 Window of MLF operation status by Web browser through internet LAN

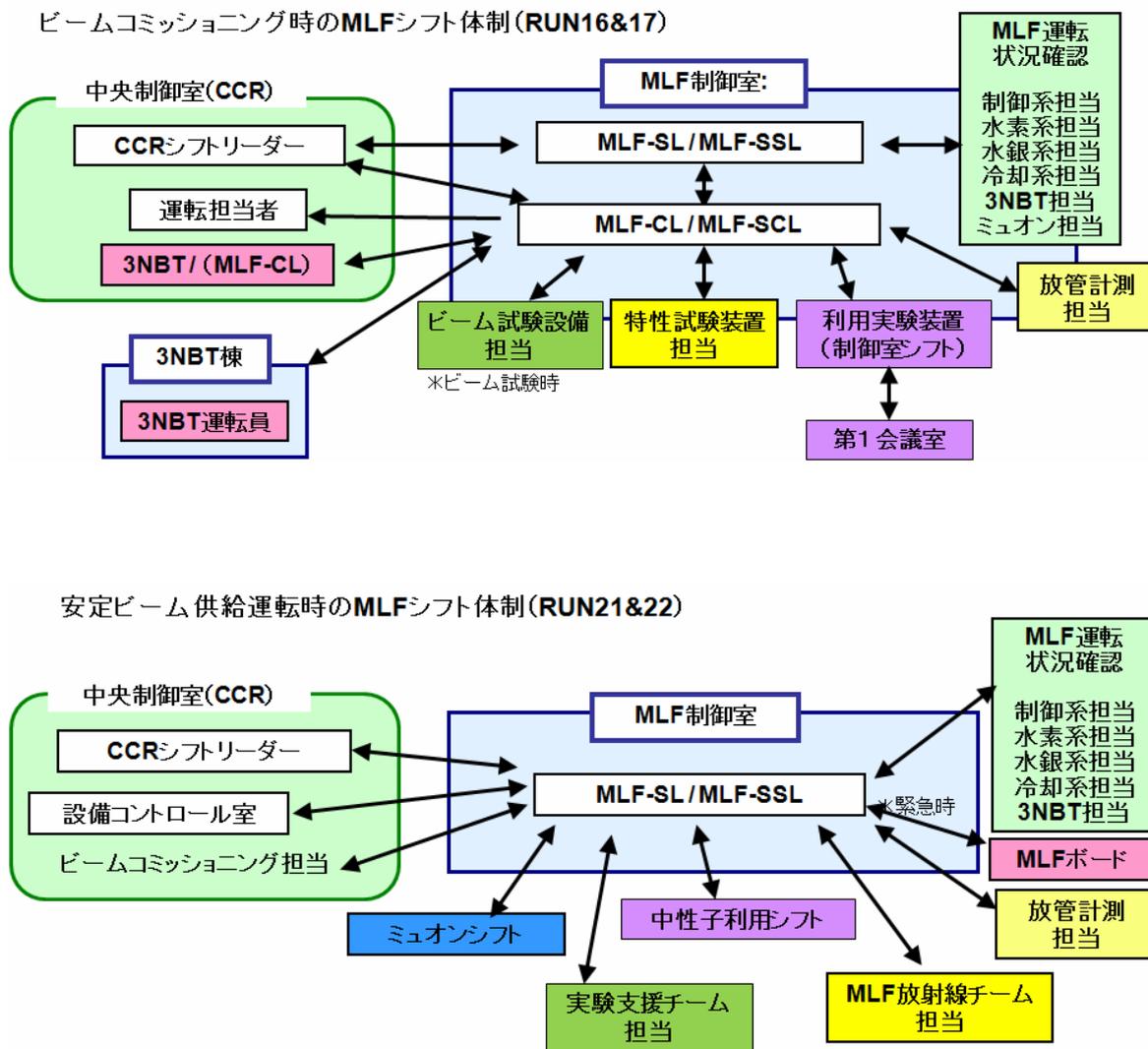


Fig. 3.2 Administrative structure for MLF operation shift

付録 総合インターロック試験時の確認項目リスト

1. 総合 IL 試験対象設備初期状態を確認する。
  - ①ターゲット台車設備(6521)
    - 台車がシステム運転位置、可動ストッパーロック位置、リモート状態。
    - ピローシール加圧状態、TPS,MPS,A の発報無(含接点)。
  - ②水銀循環設備(6523)
    - 水銀がサージタンクに充填済。リモート状態。
  - ③極低温水素設備(6530)
    - 定格運転状態。MPS, A 発報無(含接点)。ビーム受入運転許可が ON
  - ④1次冷却水系(6551)
    - 冷却水をサージタンクに充填済。リモート状態。
  - ⑤1次冷却水系(6552)
    - 冷却水をサージタンクに充填済。リモート状態。
  - ⑥1次冷却水系(6553)
    - 冷却水をサージタンクに充填済。リモート状態。
  - ⑦廃液設備(6558)
    - リモート状態。
  - ⑧T0 チョッパー冷却水系(6554)
    - (リモート状態で)循環中。A 発報無。
  - ⑨中性子実験装置冷却水系(6555)
    - (リモート状態で)循環中。A 発報無。
  - ⑩2次冷却水系(6556)
    - (リモート状態で)循環中。A 発報無。
  - ⑪He ガス排気系(6564)
    - リモート状態。A 発報無。
  - ⑫生体遮蔽体冷却系(6562)
    - リモート状態。
  - ⑬気体廃棄物処理設備(6565)
    - リモート状態。A 発報無。
  - ⑭ミュオン標的(6210)
    - リモート状態。A 発報無。標的位置。冷却水が流れている。
  - ⑮M1/M2 トンネル空調(6260)。
    - リモート状態。
  - ⑯再結合器(6559)
    - リモート状態。
2. 機器保守→プロセス保守へ遷移条件を作成する。

- ①2 次冷却水系(6556)循環を確認する。
    - 6556 系純水浄化装置入口流量低(W)が発報無。
    - 6556PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
  - ②ターゲット台車(6521)システム運転位置を確認する。
    - 台車システム運転位置 1,2 がともに ON
  - ③ターゲット台車(6521)可動ストッパロック位置を確認する。
    - 可動ストッパロックが正常である。
  - ④台車ピローシール(6563)加圧を確認する。
    - ピローシール供給圧力高(W)/低(W)ともに発報無。
  - ⑤陽子ビーム窓ピローシール(6563)加圧を確認する。
    - ピローシール供給圧力高(W)/低(W)ともに発報無。
  - ⑥確認項目をチェックする。
    - 施設空調(6990)、陽子ビーム窓中間排気系(6552)稼働、プロセス系リーク試験終了、
3. 操作卓釦を押してプロセス保守→機器保守→プロセス保守の切り替えを確認する。
- 切り替えが正常に行える。
4. プロセス保守→受入確認への遷移条件を作成する。
- ①T0 チョッパー冷却水系(6554)循環を確認する。
    - T0 チョッパー入口流量低(W)発報無。
    - サージタンク液位低低(A) 発報無。
    - 6554PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
  - ②中性子実験装置冷却水系(6555)循環を確認する。
    - 中性子実験装置入口流量低(W)発報無。
    - サージタンク液位低低(A) 発報無。
    - 6555PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
  - ③M1/M2 トンネル空冷系(6260)をリモート操作で稼働させる。
    - M1 トンネル循環ファン 1,2 が起動。
    - M2 トンネル循環ファン 1,2 が起動。
  - ④生体遮蔽体空冷系(6562)をリモート操作で稼働させる。
    - 生体遮蔽体流量入口低(W)発報無
  - ⑤1 次冷却水系(6551)をリモート操作で循環させる。
    - リモート操作で冷却運転中である(6551 系)。
    - 6551PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
    - セーフティハル流量入口低低(M,A) 発報無。
    - 反射体入口流量低低(M,A) 発報無。
  - ⑥1 次冷却水系(6552)循環をリモート操作で循環する。
    - リモート操作で冷却運転中である(6552 系)。

- 6552PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
  - 陽子ビーム窓入口流量低低(M,A) 発報無。
  - CM,DM,PM 軽水プレモデレータ入口流量低低(M,A) 発報無。
- ⑦1 次水冷却水系(6553)をリモート操作で循環する。
- リモート操作で冷却運転中である(6553系)。
  - 6553PI2000/PI2100 のいずれかが稼働している。
  - ターゲット台車入口流量低低(M,A) 発報無。
  - ミドルセクション入口流量低低(M,A) 発報無。
  - 内外プラグ入口流量低低(M,A) 発報無。
- ⑧水銀循環系(6523)をリモート操作で循環する。
- リモート操作で水銀循環ポンプ運転中である(6523系)。
  - 水銀流量低低(M) 発報無。
- ⑨ミュオン標的(6210)をリモート操作でプロファイルモニタ位置に移動する。
- ミュオン標的プロファイルモニタ位置が点灯している。
- ⑩各設備状態の受入確認ランプが点灯していることを確認する。
- ・ターゲット台車(6521)受入確認ランプが点灯している。
    - TPS, MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・水銀循環設備(6523)受入確認ランプが点灯している。
    - TPS, MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・極低温水素設備(6530)受入確認ランプが点灯している。
    - MPS, A の発報無。ビーム受入運転許可が ON になっている。
  - ・1次冷却水系(6551)受入確認ランプが点灯している。
    - TPS, MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・1次冷却水系(6552)受入確認ランプが点灯している。
    - MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・1次冷却水系(6553)受入確認ランプが点灯している。
    - MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・廃液設備(6558)受入確認ランプが点灯している。
    - リモート状態になっている。
  - ・T0 チョッパー冷却水系(6554)受入確認ランプが点灯している。
    - A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・中性子実験装置冷却水系(6555)受入確認ランプが点灯している。
    - A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・2次冷却水系(6556)受入確認ランプが点灯している。
    - A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・He ガス排気系(6564)受入確認ランプが点灯している。
    - A の発報無。リモート状態になっている。
  - ・生体遮蔽体冷却系(6562)受入確認ランプが点灯している。

- リモート状態になっている。
  - 気体廃棄物処理設備(6565)受入確認ランプが点灯している。
    - A の発報無。リモート状態になっている。
  - ミュオン標的(6210)受入確認ランプが点灯している。
    - MPS, A の発報無。リモート状態になっている。
  - M1/M2 トンネル空調(6260)受入確認ランプが点灯している。
    - リモート状態になっている。
  - 再結合器(6559)受入確認ランプが点灯している。
    - リモート状態になっている。
- ⑩確認項目をチェックする。
- セーフティハル内ガス置換、He ベッセルガス置換、NOX 窒素ガス供給
5. 操作卓釦を押してプロセス保守→受入確認→プロセス保守→受入確認切り替えを行う。
- 切り替えが正常に行える。
  - 受入確認時は、現場盤ローカル切り替え不可が点灯する。
6. 操作卓釦を押して受入確認→ビーム受入可に切り替える。
- 切り替えが正常に行える。
  - 統括制御 MPS スタンバイが点灯する。MLF-MPS 接点信号が発報無になる。
  - (PPS)ビームモード MLF-IN が点灯する→入力端子を開放して信号を作る。
  - ビームモード MLF-IN が点灯状態で、プロセス保守遷移不可を確認する。
  - 入力端子を戻して、ビームモード MLF-OUT が点灯する。
7. 操作卓釦を押してビーム受入可→プロセス保守に切り替える。
- 切り替えが正常に行える。
  - 統括制御 MPS 発報が点灯し、MLF-MPS 接点信号も発報する。
  - クールダウン中の操作禁止ボタンが点灯する。
  - 禁止解除ボタンを押して、操作禁止が解除されることを確認する。
  - 系統画面スイッチで循環停止操作が可能なことを確認する。
8. 操作卓釦を押してプロセス保守(立下)→プロセス保守(立上)に切り替える。
- 切り替えが正常に行える。
9. プロセス保守→受入確認→ビーム受入可→プロセス保守の切り替えを行う。
- ①リモート操作でミュオン標的をモニタ位置から標的位置に移動する。
- ミュオン標的位置が点灯することを確認する。
  - 移動中に MPS 発報。標的位置点灯時に MPS 発報無を確認する。
- ②受入確認→ビーム受入可→プロセス保守の一連の切り替えを行う

切り替えが正常に行える。

10. プロセス保守→機器保守への遷移条件を作成する。

①クールダウン中の操作禁止ボタンを解除する。

- 操作禁止中に系統画面スイッチが使えないことを確認する。
- 禁止解除ボタンを押して、操作禁止が解除されることを確認する。

②水銀循環系(6523)をリモート操作で停止する。

- 水銀循環ポンプ停止信号発報(6523系)。
- 水銀流量低低(M) 発報。

③1次冷却水系(6551)をリモート操作で停止する。

- 6551PI2000/PI2100 の両方が停止信号を出している。
- セーフティハル流量入口低低(M,A) 発報。
- 反射体入口流量低低(M,A) 発報。

④1次冷却水系(6552)循環をリモート操作で停止する。

- 6552PI2000/PI2100 の両方が停止信号を出している
- 陽子ビーム窓入口流量低低(M,A) 発報。
- CM,DM,PM 軽水プレモデレータ入口流量低低(M,A) 発報。

⑤1次水冷却水系(6553)をリモート操作で停止する。

- 6553PI2000/PI2100 の両方が停止信号を出している。
- ターゲット台車入口流量低低(M,A) 発報。
- ミドルセクション入口流量低低(M,A) 発報。
- 内外プラグ入口流量低低(M,A) 発報。

⑥確認項目をチェックする。

- 機器交換項目の確認事項一覧をチェックする。

11. 操作卓釦を押してプロセス保守→機器保守に切り替える。

切り替えが正常に行える。

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(e)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(e)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70.205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘り度	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨクタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1L=1l=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-12</sup> cm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>2</sup>
フット	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe≐ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(c) 3元素のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ) 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

