

放射線管理区域における作業安全のための 管理システムの開発

(共同研究)

Development of Safety Management System for Works in Radiation Controlled Area
(Joint Research)

檜山 和久 塙 信広 黒澤 昭彦 江口 祥平
堀 直彦 楠 剛 植田 久男 島田 浩
神田 博明 齊藤 勇

Kazuhisa HIYAMA, Nobuhiro HANAWA, Akihiko KUROSAWA, Shohei EGUCHI
Naohiko HORI, Tsuyoshi KUSUNOKI, Hisao UEDA, Hiroshi SHIMADA
Hiroaki KANDA and Isamu SAITO

大洗研究開発センター
照射試験炉センター
材料試験炉部

Department of JMTR
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center

February 2014

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

放射線管理区域における作業安全のための管理システムの開発
(共同研究)

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター
照射試験炉センター 材料試験炉部
檜山 和久、塙 信広、黒澤 昭彦、江口 祥平、堀 直彦、楠 剛、
植田 久男⁺¹、島田 浩⁺²、神田 博明^{*1}、齊藤 勇^{*1}

(2013 年 11 月 12 日受理)

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター照射試験炉センターは、日立アロカメディカル株式会社との共同研究により「リアルタイム多機能入域管理システム」を開発し、大洗研究開発センターにある材料試験炉（以下、**JMTR** という。）原子炉建家に導入して、平成 24 年 8 月から本システムの本格運用を開始した。

本システムは、「作業者が携帯する携行器」、「それらのデータを受信する無線機器」及び「データを収集管理するサーバー」から構成され、作業者の所在、姿勢状態、被ばく線量をリアルタイムに把握し、それらの情報を管理者と作業者間、作業者相互間、さらには **JMTR** 原子炉建家内外にいる者の相互間で共有することができる。

本システムを運用することによって **JMTR** 建家内に作業者が入域すると、作業者の所在をフロア別及びエリア別にリアルタイムに入域状況を原子炉制御室等で確認できる上に、作業者の状況把握が容易になった。さらに、システムの機能として、姿勢検知機能付き無線式線量計を用いることにより、作業者の積算被ばく線量及び線量率をリアルタイムに確認すること、線量計内蔵の加速度センサーにより作業者の姿勢を検知する事により、体調不良や不慮の事故等による転倒時に迅速な救護活動も可能となった。

本システムは、国内外の原子炉施設、核燃料物質の使用施設等への適用も可能であり原子力発電所の解体作業や被災地区の除染作業においても、多数の作業者の被ばく線量や状態管理に、効率的かつ効果的に貢献できる。

本研究は、日本原子力研究開発機構と日立アロカメディカル株式会社との共同研究に基づいて実施したものである。

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

+1：東海研究開発センター 原子力科学研究所 保安管理部

+2：大洗研究開発センター 安全管理部

*1：日立アロカメディカル株式会社

Development of Safety Management System for Works in Radiation Controlled Area
(Joint Research)

Kazuhisa HIYAMA, Nobuhiro HANAWA, Akihiko KUROSAWA,
Shohei EGUCHI, Naohiko HORI, Tsuyoshi KUSUNOKI,
Hisao UEDA⁺¹, Hiroshi SHIMADA⁺², Hiroaki KANDA^{*1} and Isamu SAITO^{*1}

Department of JMTR
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 12, 2013)

Japan Atomic Energy Agency has developed a real-time multifunctional access - control system in a joint research with Hitachi Aloka Medical, Ltd., and it was installed in the radiation controlled area of the JMTR reactor building. The system has been operated since August 2012.

This system consists of location sensors, dosimeters with accelerometer, wireless receivers and a control server for data acquisition. In addition, this system makes it possible to share worker's information, such as worker's location, postural status and exposed dose at real time, between a supervisor and workers moreover between outside and inside persons who are in the radiation controlled area.

Using this system, the management of worker's condition became easy by a monitoring display. Furthermore the wireless dosimeter with a postural sensor allows checking on the integrated exposure and the rapid relief work in an accident or illness.

This system can be contributed for the management of workers condition in, nuclear facilities including reactor facilities, and decontamination area.

Keywords: Real-time Radiation Management, Radiation Controlled Area, Safety of Workers,
Wireless Dosimeter, Postural Sensor, JMTR

This work has been performed in JAEA as a joint research with Hitachi Aloka Medical, Ltd.

+ 1 : Department of Operational Safety Administration, Nuclear Science Research Institute,
Tokai Research and Development Center Nuclear Science Institute

+ 2 : Health and Safety Department, Oarai Research and Development Center

* 1 : Hitachi Aloka Medical, Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. システムの概要	2
3. システムの構成	3
4. JMTR への導入前試験	7
5. JMTR での運用試験	12
6. まとめ	14
謝辞	15
参考文献	15

Contents

1. Introduction	1
2. System outline	2
3. System configuration	3
4. Pre-installation tests to JMTR	7
5. Operation tests in JMTR	12
6. Conclusion	14
Acknowledgements	15
References	15

This is a blank page.

1. はじめに

照射試験炉センターでは、日立アロカメディカル株式会社との共同研究により、JMTR 原子炉建家（以下、炉室という。）内の作業者の時間情報、所在情報、姿勢情報、線量情報が取得できる革新的な「リアルタイム多機能入域管理システム」を開発した^{1),2),3)}。

原子炉施設、核燃料物質を扱う施設、放射性同位元素を扱う施設等では、無用な放射線被ばくを防止するとともに、施設内で作業する者の被ばく管理を適正に行うため、放射線障害防止法に基づき、放射線被ばくのおそれのある区域を他の一般区域から隔離して管理区域としている。管理区域への入域状況を把握すること及び管理区域内での作業者の外部被ばく線量をリアルタイムで測定することは、作業者の過大な被ばくを防止する観点から重要である。

管理区域への入域状況の把握方法は、施設によって異なっているが、JMTR では従来、炉室出入口の炉室入出表示盤または回転表示盤の名札を手動で操作する方法を用いていた。

作業者の個人モニタリングのうち外部被ばく線量の測定については、作業者にガラスバッジやポケット線量計を着用させ積算線量を測定することにより行っている^{4),5)}。ガラスバッジは四半期（妊娠期間中の女子については1月）ごとに線量の評価を行い、ポケット線量計については作業の都度線量の評価を行っている。更に炉室内各所にエリアモニタやサーベイメータ等の放射線測定機器を配置し、作業現場での線量率の測定を行い、作業者の放射線に対する安全管理を実施している。

しかし、これら従来の方法では、リアルタイムで管理区域内作業者の具体的な所在及び滞在時間の把握ができず、入域者の確認は炉室出入口の1箇所で行えないため入域状況の把握は困難であった。

また、外部被ばくの管理では、現場作業員の積算線量や作業員の線量当量率を遠方の管理者がリアルタイムで把握することは難しかった。これは、作業者の健康状態についても同様であり、事故等の初動に影響する。

このため、作業者の入域、外部被ばく線量及び健康状態を総合管理できるシステムを新たに開発することにした。作業者の位置、被ばく線量、健康状態及び空間線量といった情報を一元的に収集し、リアルタイムで情報を炉室内外の管理者や現場作業者が共有することで作業の安全管理をより高い次元で行うことが可能となる。例えば、離れた場所にいる作業者等が、高線量の作業域に気づかず作業をしている作業者への警告や、体調が急変し倒れた場合の迅速な救助などを指示できる。また、緊急時の施設内の人員掌握にも有効である。

本報告書は、炉室内で作業する者の入域管理と被ばく管理を同時に行い、さらに、炉室内での位置や作業員が倒れていないか等の情報をリアルタイムで取得できるシステムの開発についてまとめたものである。

2. システムの概要

本システムは、日本原子力研究開発機構と日立アロカメディカル株式会社が共同取得した特許⁶⁾と日立アロカメディカル株式会社所有の特許^{7),8)}を使用して被ばく管理、健康管理、入域管理を高度に融合したものである。システムの概念図を Fig 2.1 に示す。当面、健康管理は、姿勢を判定する機能のみの運用となるが、将来的には、心拍、体表温の検知を行う専用の生体センサーを用いての機能の拡張を図る計画である。

システムは、炉室内で作業を行う者に携帯させる携行品（位置検知タグ、姿勢検知機能付き無線式線量計）、携行品からのデータを受信する各種無線機器、受信したデータを収集管理するサーバー、サーバーで処理をしたデータを表示し閲覧する表示器（各所に設置するディスプレイ、タブレット）構成される。これらにより、現在、どこに誰がいて、立っているか倒れているか、どの程度の被ばく線量か、をリアルタイムで把握することができ、これらの情報を、管理者と現場作業員間、現場作業員間、さらには炉室内外にいる者の間で共有できる。

システムの開発にあたっては、下記の期間において、日立アロカメディカル株式会社と共同研究として実施した。

平成 23 年 1 月 全体システムの設計開始

平成 23 年 7 月 システム詳細設計のための事前試験を実施

平成 23 年 9 月 全体システムの設計完了

平成 24 年 1 月 位置検知及び線量、姿勢情報の収集と携行品管理等を行うソフトウェア開発
姿勢検知機能付き無線式線量計と無線中継器の開発
炉室内への信号線の敷設及び各種無線機器の取付工事

平成 24 年 3 月 システム設置完了

通信に使用するネットワークは、情報漏えいを防止するため独立した専用のネットワークを敷設し、炉室出入管理室及び炉室内各フロアに作業員の位置、線量率、積算線量、姿勢等の情報を収集する無線機器を効果的に設置した。また、各種データを閲覧するための表示器を炉室入口、原子炉制御室及びサーバー室の 3 箇所に設置し、炉室内各フロアで持ち運び使用できる現場表示器（タブレット型）を原子炉制御室及び照射制御室に整備し、リアルタイムで入域管理、作業員の位置及び作業員の積算線量、作業員の所在地における線量率、作業員の姿勢状態を確認できるようにした。

本システムにより、JMTR 炉室内での作業員の状況を原子炉制御室などの様々な場所からリアルタイムで総合的に捉えることで、今までより高いレベルでの情報共有が可能となり、炉室内作業の安全管理の質が向上した。これにより、事故の未然防止及び拡大防止にも効果が期待できる。

JMTR における新旧炉室入域管理・放射線管理の比較を Table 2.1 に示す。

3. システムの構成

本システムは、機能別で整理すると、位置情報管理サブシステム、線量管理サブシステム、健康状態管理サブシステム及び携行品管理サブシステムにより構成される。

本システムの全体システムの構成図を Fig 3.1 に示す。

(1) 位置情報管理サブシステム

1) 役割

位置情報管理サブシステムは、作業者の位置情報を集め、表示器において炉室内の作業者の所在をフロア別及びエリア別にリアルタイムで一覧表及びマップ上に表示するシステムである。さらに、作業者の入域時刻及び現在時刻を取得することで、警報設定機能を使用し作業者の入域時間を管理することができる。警報については個別に警報値（入域時間制限（秒）：0 時間 00 分 00 秒～16 時間 39 分 59 秒）が設定可能で入域者に応じた警報の判定ができる。

2) 構成要素

位置情報管理サブシステムは、位置検知タグ、位置検知タグ励起装置（エキサイター）、無線 LAN 親機（アクセスポイント）、位置検知サーバー、LAN スイッチの各機器及びソフトウェアから構成される。各機器及びソフトウェアの機能は下記の通りである。

①位置検知タグ

位置検知タグは、設定により定められた間隔で指定の情報を Wi-Fi 電波を利用し発信できる機能を備えている。今回選定した機器は、電池式、寸法 74mm×50mm×10mm、質量 50g、防水、防塵仕様のものである。

②位置検知タグ励起装置（エキサイター）

位置検知タグ励起装置（エキサイター）は、125kHz の電波を利用し、タグに強制的に各種の命令（ID の付加や電源の ON・OFF）を行う装置である。エキサイターは、位置検知タグに対して固有の ID を送信し、タグが発信する情報にその ID を付加して、信号を位置情報に変換するソフトウェア（後述するポジショニングエンジン）に対して位置検知タグがどのエキサイターに反応しているかを知らせるために用いる。これにより、エキサイター近傍で正確な位置を検出できる。

③無線 LAN 親機（アクセスポイント）

無線 LAN 親機は、位置検知タグよりの信号の受信機であり、位置検知タグからの到達時間情報及び電波強度をポジショニングエンジンに送る機能を有しており、アクセスポイントと呼ばれる。

④ソフトウェア（検知システムソフト）

検知システムソフトはポジショニングエンジン及びモバイルビューから構成され、位置検知サーバー上で動くソフトウェアである。位置検知タグからの電波強度をポジショニングエンジンで計算して、発信位置を割り出し、その結果をモバイルビューに表示する。ポジショニングエンジン及びモバイルビューの主な機能は下記の通りである。

a) ポジショニングエンジン

位置検知サブシステムの中核をなすソフトウェアで、検知されたタグのデータを位置情報に変換し、他のシステムに対し位置情報を提供する。

- ・到達遅延時間差による位置検知機能

アクセスポイントから受け取った到達時間情報をもとに、リアルタイムに位置を検知することができる。

- ・電波強度による位置検知機能/存在検知機能

アクセスポイントから受けとった電波強度情報をもとに、リアルタイムに位置を検知する。また、位置検知タグの存在を検知することができる。

- ・エキサイターによる通過確認機能

エキサイターを利用してタグの通過を検知し、同時に任意の命令をタグに与えることができる。

b) モバイルビュー

アクセスポイントからの情報をリアルタイムに集約、統合管理し、検索・監視・レポートするソフトウェアである。

- ・管理機能

管理対象に任意の名前を付加し、カテゴリーにより分類することができる。

- ・ゾーン機能

地図上にユーザが任意にゾーンを設定することで、座標だけではわかりにくい位置情報をゾーンで表現し、わかりやすく管理できる。

- ・ユーザ管理機能

位置情報にアクセスできるユーザを権限ごとに設定できる。

- ・検索機能

管理対象を名称、状態、位置、カテゴリーにより検索し追跡できる。

- ・監視機能

管理対象の位置を定められたルールのもとに監視できる。

- ・レポート機能

蓄積された位置情報をレポート表示する。

⑤位置検知サーバー

位置検知サーバーは、位置情報管理システムを管理するサーバーである。

⑥LAN スイッチ

LAN スイッチは、有線 LAN の分配機であり、アクセスポイントとエキサイターへの電力供給も考慮し、イーサネット経由の電源供給機能のあるもの（PoE : Power on Ethernet）を用いている。これにより、1 本のイーサネットケーブルで通信データと電源の両方を供給することができ、電源ケーブル敷設作業の省力化及び材料コストを削減した。

(2) 線量管理サブシステム及び健康状態管理サブシステム

1) 線量管理サブシステムの役割

線量管理サブシステムは、シリコン半導体検出器を利用して炉室内の作業者の積算線量及び現在の線量率をリアルタイムに一覧又は個別表示し、さらに積算線量及び現在の線量率時系列グラフを最新の情報通信時刻から作成し表示するシステムである。さらに、警報設定機能を使用し作業者の被ばく管理ができる。警報については個別に警報値（線量警報：0 μ Sv～9999999 μ Sv、線量率警報：0 μ Sv/h～999999 μ Sv/h）が設定可能で作業場所の雰囲気や作業状況等、入域者に応じた警報の判定ができる。

2) 健康状態管理サブシステムの役割

健康状態管理サブシステムは、姿勢検知機能付き無線式線量計内蔵の加速度センサーによる姿勢検知機能を使用し、作業者が立っているか、倒れているかをリアルタイムに判定するシステムである。警報設定機能については個別に警報値（姿勢状態：立位又は転倒、継続時間：0秒～9999秒）が設定可能で作業者に応じた警報の判定ができる。当面、健康状態管理サブシステムは、姿勢を判定する機能のみの運用となるが、将来的には、心拍、体表温の検知を行う専用の生体センサーを用いての機能の拡張を図る計画である。

3) 線量管理サブシステム及び健康状態管理サブシステムの構成要素

線量管理サブシステム及び健康状態管理サブシステムは、構成要素を共有しており、姿勢検知機能付き無線式線量計、無線中継器、健康管理サーバー、LAN スイッチの各機器から構成される。各機器の役割は下記の通りである。

①姿勢検知機能付き無線式線量計

姿勢検知機能付き無線式線量計（以下、「無線式線量計」という。）は、 γ (X) 線を測定するとともに、着用者の姿勢状態を検知できる機能があり、現段階では健康管理システムで使用する姿勢情報の取得も行う。無線式線量計自体には、警報機能は持たせておらず、健康管理用サーバーで集中的に管理を行う。今回選定した機器は、電池式、寸法 40mm×66mm×15mm、質量 40g、防滴仕様のものである。

②無線中継器

無線中継器は、無線式線量計よりの信号の受信機であると共に線量計の電波を受信して、無線 LAN 電波に変換して再送信する機能を有している。また、無線中継器が有線 LAN に接続することにより、情報を直接サーバーへ伝送することも可能である。

③健康管理サーバー

健康管理サーバーは、線量管理システム及び健康管理システムを管理するサーバーである。

④LAN スイッチ

LAN スイッチは、位置情報管理システムの LAN スイッチと共用であり、無線中継器への電力供給も担っている。

⑤ソフトウェア（線量及び健康管理プログラム及び線量計データ収集ソフト）

線量及び健康管理プログラム及び線量計データ収集ソフトは、健康管理サーバー上で動くソフトウェアである。モバイルビュー及び線量計データ収集ソフトからの情報を線量及び健

健康管理プログラムで計算して、その結果をウェブ上に表示する。線量及び健康管理プログラム及び線量計データ収集ソフトの主な機能は下記の通りである。

a) 線量及び健康管理プログラム

リアルタイム多機能入域管理システムの中核をなすソフトウェアで位置及び、線量、姿勢、個人情報等のデータを集約しウェブ上に表示する。

b) 線量計データ収集ソフト

無線中継器よりの線量及び姿勢情報を線量及び健康管理プログラムへ提供する。

(3) 携行品管理サブシステム

携行品管理サブシステムは、携行品の個人情報との関連づけ及び警報レベルの個人別の設定を行うとともに、携行品の在庫管理・電池残量管理・品質管理も行うシステムである。本サブシステムは、携行品管理プログラムから構成され、健康管理サーバーの線量及び健康管理プログラムに含まれている。

4. JMTR への導入前試験

JMTR は国内最大の水冷却型試験研究炉であり、熱出力 50MW、発電用原子炉などで使用する燃料や材料を中性子で照射し、それらの耐久性や適性を実際に試験する、いわば「原子炉をつくるための原子炉」として建設され、昭和 43 年（1968 年）に初めて臨界に達し、平成 18 年（2006 年）8 月まで延べ 165 サイクルの共同利用運転を行った。その後、JMTR 利用者や文部科学省による JMTR 将来計画の検討が行われ、その結果を受けて、平成 19 年度から 4 年間かけて改修を行い、平成 22 年度に改修を終了した。

JMTR の改修としては、原子炉機器等の一部更新と照射設備の整備を行った。原子炉機器等の一部更新では、原子炉制御系統、制御棒駆動装置、一次冷却系統、二次冷却系統、ボイラー・冷凍機、電源設備、排水設備、炉室給排気系統の更新を行った。再稼働後には、20 年の運転を計画している。

JMTR 原子炉建家は、円筒形の鉄筋コンクリート建物で、これを囲んで南側に照射後試験を行うホットラボ施設、西側に機械室を含む特定施設、北側及び東側は照射準備室、居室、実験室等の建屋が配置されている。また、地上 1 階（一部 3 階）、地下 4 階の鉄筋コンクリート造り、屋根は鋼管造鉄板貼球面構造であって、直径 41.4m、高さ地上 20.4m、地下 23.5m の大きさの円筒形建家である。この建家天井には 30t/5t の旋回クレーンが設けられ、重量物の移動に使用されている。

炉プールは、コンクリートで遮へいされ、内部はステンレス鋼でライニングされている。カナールは、幅 3m、深さ 6.2m の水路で JMTR 建家からホットラボ建家内まで至っており、照射済のキャプセル等の移動に使われる。

原子炉建家内は、常時大気圧より 50～98Pa 低く自動的に減圧維持されており、万一、放射性物質が原子炉建家内に漏れ出た場合でも、建家外に直接放散することを防止している。常時、人が出入する扉は、負圧維持のため相互インターロック方式の二重扉を採用している。

JMTR の運転中は、原子炉及び照射設備の運転状態を原子炉制御室と照射制御室にて 24 時間 3 交代制で監視している。運転中は 1 日に 3 回、原子炉建家内を巡視する。また、原子炉施設のオーバーホールと、定期検査を実施するため 1 年に約 3 か月は、運転を停止しているが、その間も点検計画に応じて各フロアにて、各種制御装置の点検、伝送器の校正や逃し弁、安全弁等の点検整備、電源盤等の電気工作物点検等の設備機器の点検、1 日に 1 回の原子炉建家内の巡視が行われる。Fig 4.1 に炉室縦断面図（N-S）、Fig 4.2 に炉室縦断面図（E-W）を示す。

(1) JMTR への導入のための事前試験

リアルタイム多機能入域管理システムの設計に先立ち、炉室内において位置検知タグ及び無線式線量計（事前試験では、姿勢検知機能がついていないものを使用）、生体センサーのデータを収集する各種無線機器配置設計に係る送受信状況の確認並びに導入する各種無線機器が炉室で使用している原子炉機器等に影響がないかを確認するための事前試験を行った。調査項目は、以下の通りである。

- ・ 位置検知精度試験
- ・ 無線式線量計動作確認試験
- ・ 生体センサー動作確認試験
- ・ JMTR 炉室内設備機器への電波影響試験
- ・ JMTR 炉室内で使用する電子機器への電波影響試験

1) 位置検知精度試験

位置検知精度試験では、位置情報管理サブシステムの機能ならびに動作を実際に設置する場所で試験した。炉室での位置検知精度を把握するため、炉室 1 階と炉室地下 2 階にて位置検知タグ及びアクセスポイント、エキサイターを用い電界強度、精度を測定し、位置検知タグの実際の位置と検知位置を比較した。その結果は、炉室 1 階と炉室地下 2 階とも位置検知タグの位置の検出状況を把握し、アクセスポイント及びエキサイターの配置を設計するにあたり必要なデータを取得した。アクセスポイント及びエキサイターの配置設計においては、取得したデータをもとに炉室各所の設置機材による電波の反射影響等を考慮し、機器配置の最適化による精度の改善を図った。位置検知精度試験に使用した試験機器の一覧を Table 4.1 に示す。

①炉室 1 階での試験

a) 試験環境

炉室 1 階 約 41m ϕ × 約 26m（床から天井までの高さ）

プール廻り及び建家内壁沿い各所に制御盤等が配置されている。

b) 試験方法

フロア内にロケーションレシーバー及び LAN、サーバーを仮設置し、エキサイター、エキサイターディテクター、位置検知タグを用いポジショニングエンジンの電界強度分布の測定及び校正を行い、位置検知精度を調べた。

c) 試験結果

アクセスポイント 5 台を使用し、十分な電界強度が確保でき、位置検知は炉室 1 階全体をカバーできた。炉室の壁付近のタグ位置は比較的安定し、炉室中央部分に近いタグ位置は、不安定な傾向にあった。設置されている各機器による電波の反射によりタグ位置が不安定な部分があったが、炉室 1 階の位置精度は、6.4m 以内であった。設計にあたっては、取得したデータをもとにフロア全体の環境を考慮しアクセスポイントを追加することで、精度を向上した。Fig 4.3 に炉室 1 階試験状況を示す。

②炉室地下 2 階での試験

a) 試験環境

炉室地下 2 階 (約 41m φ × 約 2m (床から天井までの高さ))

電源盤、制御盤、機材保管キャビネット等が各所に設置されている。

b) 試験方法

フロア内にロケーションレシーバー及び LAN、サーバーを仮設置し、エキサイター、エキサイターディテクター、位置検知タグを用いポジショニングエンジンの電界強度分布の測定及び校正を行い位置検知精度の試験を実施した。

c) 試験結果

アクセスポイント 4 台を使用し、タグを所持して移動した場合、移動している軌跡通りに位置が表示された。予想より、位置精度がとりやすく、良好な環境であり炉室 1 階より誤差が少なかった。炉室地下 2 階の位置精度は、3.8m 以内であった。

Fig 4.4 に炉室地下 2 階試験状況を示す。

2) 無線式線量計動作確認試験

無線式線量計を炉室 1 階及び炉室地下 2 階で使用し動作確認として装着性及び伝送距離について試験した。

無線式線量計動作確認試験に使用した機器一覧を Table 4.2 に示す。

①装着性試験

a) 試験方法

試験に用いる無線式線量計は、ストラップを使用し首から下げ、作業服の胸ポケットに入れて作業を行い装着性の確認を行った。

b) 試験結果

ストラップのみでは、作業時に無線式線量計が計測を行うべき胸の位置に安定しなかったためクリップにより胸ポケットに固定できる構造に変更した。

②伝送距離試験

a) 試験方法

フロア内に無線中継器及び LAN、データ収集装置を仮設置し、無線式線量計より積算線量及び線量率データの伝送可能距離を測定した。

b) 試験結果

炉室 1 階及び炉室地下 2 階での伝送距離は、20m 程度であった。姿勢検知機能付き無線式線量計は、無線ユニットを設計変更することで、伝送距離を約 30m まで伸すことができた。姿勢検知には、3 軸加速度センサーを採用した。

炉室内の環境により通信状況が左右されるため、無線中継器は、伝達距離を考慮して中継器数を増やし、電波の受信領域に空きがないよう配置した。さらに、中継器のアンテナ部を延長する等、機器の設計変更を実施した結果、安定した受信環境が得られた。

3) 生体センサー動作確認試験

生体センサーを炉室 1 階及び炉室地下 2 階で使用し動作確認として装着性及び伝送距離について試験した。生体センサー動作確認試験に使用した機器一覧を Table 4.3 に示す。

①生体センサーの概要

試験に使用した生体センサーは開発中のもので、心拍、体表面温度（皮膚温度）、3 軸加速度（姿勢状態の検知に利用）のデータをワイヤレスで伝送し、リアルタイムにモニタすることができるが今回の試験では、3 軸加速度データのみで動作試験を行った。Fig 4.5 に生体センサー仕様を示す。

②装着性試験

a) 試験方法

試験に用いる生体センサーは、作業者の胸部の皮膚に粘着テープにて直接塗付した。試験は、夏季（7 月）に実施し作業服の上に黄色実験衣を着用した状態で作業を行い装着性の確認を行った。

b) 試験結果

炉室で階段の昇降及び試験機器の設置と撤去、試験記録等の動作を行うにあたり、生体センサーは若干の汗では、外れないことが確認できた。しかし、夏季やタイベックスーツ等を装備した状態での作業状況下及び個人差のある体毛の濃さや粘着テープの皮膚への安全性等の身体的特徴への対応といった生体センサー装着時の作業性及び装着性に関しては引き続き確認と検討が必要である。

③伝送距離試験

a) 試験方法

フロア内に無線中継器及び LAN、データ収集装置を仮設置し、生体センサー装着者よりの心拍、体表面温度（皮膚温度）、3 軸加速度（姿勢状態の検知に利用）データの伝送可能距離を測定した。

b) 試験結果

炉室 1 階及び炉室地下 2 階での生体センサーの電波の伝送距離は、10m 程度であった。

④3 軸加速度センサー動作試験

a) 試験方法

3 軸加速度センサーは生体センサーに内蔵されている。フロア内に無線中継器及び LAN、データ収集装置を仮設置し、生体センサー装着者からの姿勢状態に応じたデータを確認し 3 軸加速度センサーの動作試験を行った。

b) 試験結果

3 軸加速度センサーにより装着者の姿勢状態に応じた角度を求めたデータが確認され動作は良好であった。本システムでは、開発中の生体センサー採用を見送り、3 軸加速度センサーを無線式線量計に組み込み姿勢検知機能付き無線式線量計として採用した。炉室にて姿勢検知機能付き無線式線量計での 3 軸加速度センサー動作試験を同様にを行い、結果は良好であった。

4) JMTR 炉室内設備機器での電波影響試験

本システムを炉室内に設置するにあたり、導入する各種無線機器が炉室内設備機器に影響がないかを確認するための試験を実施した。

炉室内設備機器への電波影響試験に使用した機器一覧を Table 4.4 及び炉室内設備機器への電波影響試験における対象機器一覧を Table 4.5 に示す。

①試験方法

JMTR 炉室内設備機器への電波影響試験では、電波を発信する機器より電波を発信させ、試験対象である炉室内に設置されている機器に近づけ、影響の有無を試験した。

②試験結果

試験の結果、JMTR 炉室内に設置されている機器に影響はなかった。

5) JMTR 炉室内で使用する電子機器への電波影響試験

リアルタイム多機能入域管理システムを炉室に設置するにあたり、導入する各種無線機器が炉室で使用する電子機器に影響がないかを確認するため試験した。炉室内で使用する電子機器への電波影響試験における対象機器一覧を Table 4.6 に示す。

①試験方法

JMTR 炉室内で使用する電子機器への電波影響試験では、エキサイターの出力設定を最大として、試験対象である JMTR 炉室内で携行又は使用する対象機器をエキサイターからの電波強度が最大となる約 1m の距離に設置し影響の有無を試験した。

②試験結果

試験の結果、JMTR 炉室内にて携行、使用する機器に影響はなかった。

5. JMTR での運用試験

本システムの JMTR への設置は、炉室内の構造、設備・機器の配置、及び前述の事前試験結果を踏まえて決定した。通信に使用するネットワークは、情報漏えいを防止するため独立した専用のネットワークとした。炉室外と炉室内については、実験装置のデータ送信用に整備されていた既設の独立した光 LAN ケーブルを転用しネットワークを構築した。このことにより、コストの削減と工事期間の縮小を図った。次に、炉室内各フロアにメタル LAN ケーブルを通線し、位置検知精度試験及び無線式線量計動作確認試験の結果を踏まえ、炉室出入管理室及び炉室内各フロアのポイントに無線機器（エキサイター、アクセスポイント、無線中継器）、LAN スイッチを設置した。この際、高所の架台上に設置した無線機器の耐震対策として落下防止ワイヤー及びスパイラルチューブを巻き付けた吊りボルトを架台に使用した。これにより万一ボルトが切れた際もスパイラルチューブと落下防止ワイヤーにより架台に取り付けた無線機器の落下を二重で防止することができる。また、各所に設置した専用コンセントはトラッキング現象による火災予防の観点からプラスチック製電源ボックス内に設置した。炉室外に設置するシステム管理用サーバーと炉室出入管理室、炉室内各フロアの無線機器、LAN スイッチを用いてシステムのネットワークを構築した。

各種データが閲覧できるディスプレイを炉室入口と原子炉制御室に設置し、各フロアで持ち運び使用できる現場表示器（タブレット型）を 4 台整備した。炉室内への信号線の敷設及び各種無線機器の取付工事の作業フロー図を Fig 5.1 にシステム設置概念図を Fig 5.2 に各フロアの機器据付概略及び取り付け状態写真を Fig 5.3～Fig 5.9 に機器取り付け状態を Fig 5.10 に示す。

本システムを、平成 24 年 3 月に JMTR 施設に設置し 8 月から運用を開始した。炉室内に入域する作業員には、位置検出や被ばく管理のために位置検知タグと無線式線量計を携帯させた。作業員は、各エリアに設置されている表示器にて、入域者の所在をフロア別及びエリア別にリアルタイムで一覧表及びマップ上で表示できるようになった。原子炉制御室ディスプレイと現場表示器（タブレット型）を Fig 5.11 に、現場での使用風景を Fig 5.12 に、入退域状況一覧表画面イメージを Fig 5.13 に、入域者所在マップ表示画面イメージを Fig 5.14 に示す。

JMTR では、現行のガラスバッジは基本線量計として、リアルタイム多機能入域管理システムの姿勢検知機能付き無線式線量計は補助線量計として用いる事とした。携帯している姿勢検知機能付き無線式線量計で測定した入域者の積算線量及び現在の線量率をリアルタイムに表示し、設定値以上になると表示器に警報を発報できるようにした。同じく、姿勢検知機能付き無線式線量計内蔵の 3 軸加速度センサーにて作業中に作業員が体調不良や不慮の事故で倒れた際にも、作業員の姿勢異常を判定し、表示器に警報を発報できるようにした。個人別情報画面イメージ及び積算線量及び線量率の時系列グラフのイメージを Fig 5.15 に示す。

本システムを導入したことにより、原子炉制御室等の表示器で位置検知タグ及び無線式線量計を所持しているすべての作業員の状況を把握できるため、万が一入域者に異常が発生した時には迅速な救護活動が可能となった。今後、JMTR で実際に運用して、作業員の姿勢異常を検出した

際の対応マニュアル整備等により、作業の安全管理におけるシステムの有効性を向上させていくことを検討する。

JMTRでは、ハード面でもさらなる作業者の安全管理のために本システムに以下の機能拡張を計画している。

(1) 出入管理ゲートの開発

現在 JMTR に導入しているシステムの構成では、作業者の位置検知タグ及び無線式線量計といった携行品の装着忘れを防止できない。このため携行品の装着を忘れると炉室に入室できないような携行品装着忘れ防止機能を備えた出入管理ゲートを開発する必要がある。

(2) 生体センサー開発

現在のシステムでは、健康状態を検知するため姿勢状態情報を導入しているが、さらに高い精度で作業者の健康状態を管理するためには、心拍や体表温等の情報が必要である。これにより、タイベックスーツやアノラックを着用した夏場の様な高温多湿といった過酷な環境下での作業者の健康状態がリアルタイムに取得でき、熱中症の予防といった体調急変の未然防止にも活用できる。

(3) 双方向通信機能の高度化、利便性の向上

本システムでは、タブレット型の現場表示器を利用し、現場に居る作業者も自分や他の作業者の炉室内での作業状態を閲覧できるようになっている。

これをスマートフォン型へ変更することにより、現場作業者が携帯しやすく、さらにスマートフォン所持者同士、テレビ電話も可能にすることで、従来、固定された機器のある場所では連絡できず、回線及び電波範囲の制限等があったページングやトランシーバに比べ自由な場所で通話が可能となり通話範囲も拡大できる。現場での状況確認や情報共有も迅速に行える。そのため、スマートフォン型への変更による利便性の向上及び双方向通信機能の高度化は、作業効率の向上に有用である。

(4) 可搬型システムの開発

JMTR では、空気中の放射性物質の濃度や表面密度が高いため、立入制限されているエリア（ループキュービクル内、主循環系機器室内等）については、現時点ではリアルタイム多機能入域管理システムの対象範囲外となっている。しかし、前述した事前試験で用いた可搬型の器材（可搬型無線中継器、ノートパソコン、無線式線量計）と線量管理サブシステム及び健康状態管理サブシステムを応用すれば、立入制限されているエリアで一時的に立入り作業する場合の作業者の被ばく線量、姿勢状態、その場の線量がリアルタイムに監視することができる。このような、可搬型の線量監視システム及び姿勢状態監視システムを開発すれば、ループキュービクル内、主循環系機器室内等はもちろん排水貯槽内点検整備やホットラボセル内除染のような特殊環境下での作業に対しても安全管理の飛躍的な向上が期待できる。これらの可搬型のシステムを開発すれば東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故などの作業安全にも大きく貢献できる^{9),10) 11),12)}。

また、本システムは、国内外の原子炉施設、核燃料物質の使用施設、放射性同位元素を扱う施設等への適用も可能である。例えば、屋外の除染作業ではノートパソコンと LAN アンテナを使用すれば、配線を必要とせずシステム構築が可能となり、除染作業従事者の作業安全管理に有効である。除染現場等への応用イメージを Fig 5.16 に示す。

6. まとめ

本システムの開発にあたり、平成 23 年度に設計に係る事前試験及び全体システムの設計を行い、JMTR 建家内に作業者の位置検知及び被ばく線量、姿勢異常の一括管理機能を備えた作業安全管理システムを導入した。平成 24 年度よりシステムの運用を開始し、入域状況の把握については、入域状況が、従前の炉室入口 1 箇所から原子炉制御室を含む原子炉建家内外の数箇所に増えたこと、さらに作業者の所在がリアルタイムにフロア、エリア単位で詳細に確認できるようになったことで入域状況の把握が容易に行えるようになった。外部被ばくの管理についても、炉室内外の数箇所で作業者の被ばく線量及び作業場所の線量率、姿勢状態がリアルタイムで確認できるようになり、作業中の状態把握が簡単に行えるようになった。このように、炉室内外にいる管理者や現場作業者がリアルタイムに情報を共有することで作業の安全管理が向上した。

このようなシステムは、国内外の原子炉施設、核燃料物質の使用施設、放射性同位元素を扱う施設等への適用も可能であり、福島第一原子力発電所の解体作業や被災地区の除染作業等の特殊環境における作業に活用すれば、管理者が作業者の位置や周囲状況を把握することにより職務続行、撤収、待避などを適切なタイミングで判断し、指示することができ、多数の作業者の作業安全を効果的にリアルタイム管理することができる。

今後、本システムの機能拡張として携行品装着忘れ防止機能を備えた出入管理ゲートの開発及び作業者の心拍、体表温を測定する生体センサー機能の追加を検討している。

謝辞

本システムを開発する上で、貴重なご意見を頂きました河村弘福島技術本部福島廃炉技術安全研究所所長、小森芳廣大洗研究開発センター副所長、神永雅紀照射試験炉センター副センター長、リアルタイム多機能入域管理システムの検討から設置まで尽力を頂いた原子炉第1課員、鹿志村芳範安全管理部次長（平成24年度まで、現嘱託）、放射線管理第2課 JMTR チーム小杉山匡史主査及び網代和広主査に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 檜山 和久, 黒澤 昭彦, 浅野 典一, 尾上 龍次, 江口 祥平, 塙 信広, 堀 直彦, 植田 久男, 神田 博明, JMTR シリーズ発表 (3) リアルタイム多機能入域システム, UTNL-R0480, (2012) .
- 2) I.Saito, H.Kanda, A.Asai, N.Tateishi, Y.Ota, N.Hanawa, H.Ueda, T.Kusunoki, E.Ishitsuka and H.Kawamura, “Real-time Personal Exposure and Health Condition Monitoring System”, ISMTR-4, 2011.
- 3) I.Saito, H.Kanda, A.Asai, Y.Ota, K.Hiyama, N.Hanawa, N.Hori, T.Kusunoki, N.Kaminaga and H.Kawamura, “Development of advanced system of worker entered and zone real-time management system in JMTR”, ASMTR-2, 2012.
- 4) ICRP, General Principles for the Radiation Protection of Workers (Publication 75. Annals of ICRP, Vol.27, No.1, 1997) .
- 5) ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 103. Annals of ICRP, Vol.37, Nos.2-4 ,2007) .
- 6) 「被ばく管理システム」 特許第 4639349 号.
- 7) 「放射線計測システム」 特許第 3273915 号.
- 8) 「放射線測定システム及び個人線量計」 特許第 3694429 号.
- 9) ICRP, Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. (Publication 109. Annals of ICRP, Vol.39 ,2009).
- 10) ICRP, Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. (Publication 111. Annals of ICRP, Vol.39, 2009).
- 11) N.Takamura, New Technology for Public Risk Assessment in Radiation Emergency (The 13th Coordination Meeting of the WHO/REMPAN Collaboration Centres and Liaison Institutions, Nagasaki, Nagasaki University, 2011) .
- 12) N.Takamura, Y.Taira, Y.Sekitani, J.Takahashi, S.Katayama, N.Hayashida, Evaluation of radiation doses around contaminated areas and development of a novel monitoring device and system during radiation emergency (International Symposium on Chernobyl Health Effects, Belarusian State Medical University, Minsk, 2009) .

Table 2.1 JMTR における新旧炉室入域管理・放射線管理の比較

項目	旧管理方式	新管理方式 (新システム)
炉室入出状況の確認場所	炉室出入口 1 か所のみ	サーバー室、炉室出入口 炉室内各所
入退室状況の自動表示	×	○
リアルタイムに作業者の フロア、エリアごとの 所在確認	×	○
リアルタイムに作業者の積算 線量及び作業環境線量 の把握	×	○
警報機能 (入域時間超過、積算線量、 作業環境線量及び姿勢異常)	△ アラーム式線量計 により一部可	○
管理者と現場作業者間の 情報共有	×	○
姿勢状態の把握	×	○

*姿勢検知機能付き無線式線量計内蔵の加速度センサーにより作業者の姿勢状態を感知。体調不良や不慮の事故等、万一の際の迅速な救護活動が可能。

Table 4.1 位置検知精度試験に使用した機器の一覧

機器	数量
①位置検知サーバー (パソコン)	1 式
②ロケーションレシーバー	7 式
③エキサイター	1 式
④ミニエキサイター	2 式
⑤エキサイターディテクター	1 式
⑥位置検知タグ	20 式
⑦LAN スイッチ	1 式

Table 4.2 無線式線量計動作確認試験に使用した機器一覧

機器	数量
①データ収集装置 (ノートパソコン)	1 式
②無線式線量計 (姿勢検知機能がついていないもの)	10 台
③可搬型無線中継器 (ノートパソコンに装着して使用)	2 式
④無線中継器 (有線 LAN)	1 式

Table 4.3 生体センサー動作確認試験に使用した機器一覧

機器	数量
①データ収集装置（ノートパソコン）	1 式
②生体センサー（開発中のもの）	10 台
③可搬型無線中継器 （ノートパソコンに装着して使用）	2 式
④無線中継器（有線 LAN）	1 式

Table 4.4 炉室内設備機器への電波影響試験に使用した電波を発信する機器一覧

電波を発信する機器	数量
①位置検知タグ	20 台
②無線式線量計	10 台
③生体センサー（開発中のもの）	10 台
④エキサイター	1 台
⑤可搬型無線中継器 （ノートパソコンに装着して使用）	2 式
⑥無線中継器（有線 LAN）	1 式

Table 4.5 炉室内設備機器への電波影響試験における対象機器一覧

対象機器
①核計装並びに核計装検出器 ・中性子計装盤 3 面 ・起動系プリアンプ 3 台
②プロセス放射線モニタ盤並びに放射線検出器 ・燃料破損検出器盤 ・水モニタ（1）検出器 ・水モニタ（2）検出器 ・脱気ガスモニタ検出器 ・カナル水・樹脂塔モニタ盤 ・カナル水モニタ検出器 ・樹脂塔モニタ検出器 ・ ^{16}N モニタ盤
③放管モニタ盤並びに放射線検出器 ・放管モニタ盤 ・放射線検出器
④天井クレーン（無線操縦）
⑤制御機器 ・プロセス制御計算機システム ・原子炉制御操作卓 ・反応度制御盤 ・スクラム遮断器盤 ・プロセス計装盤 ・安全保護系変換器盤 ・制御棒駆動装置制御盤 ・制御棒駆動装置

Table 4.6 炉室内で使用する電子機器への電波影響試験における対象機器一覧

対象機器
①ガラス線量計
②ポケット線量計
③アラームメータ
④表面汚染検査用サーベイメータ
⑤空間線量測定用サーベイメータ
⑥レムカウンタ
⑦天井クレーン無線操縦機

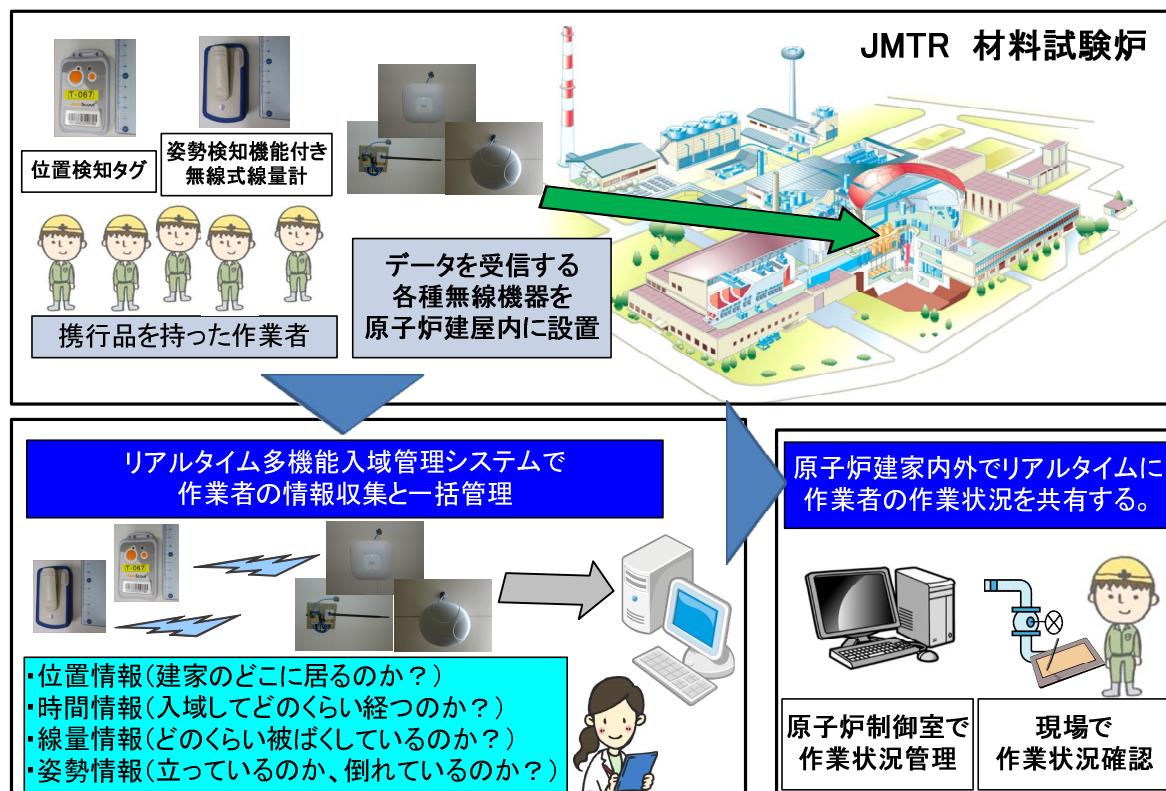


Fig 2.1 システムの概念図

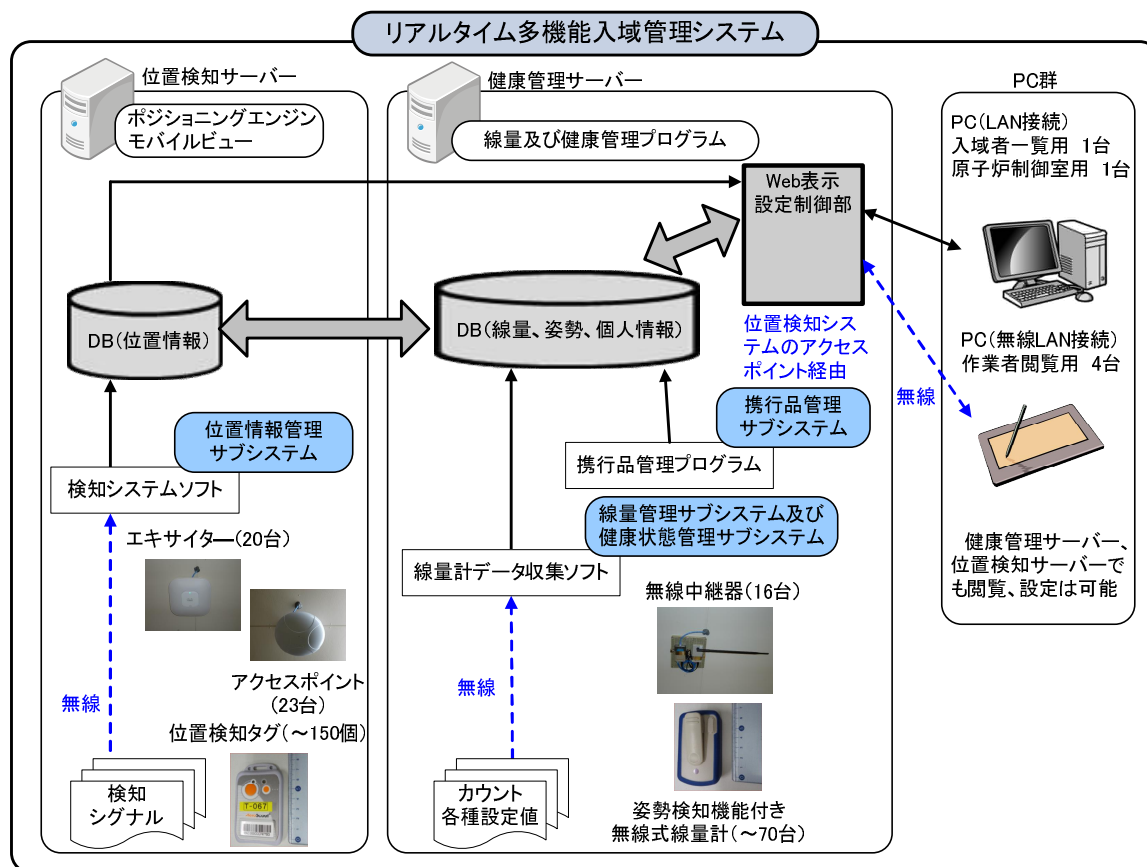


Fig 3.1 全体システムの構成図

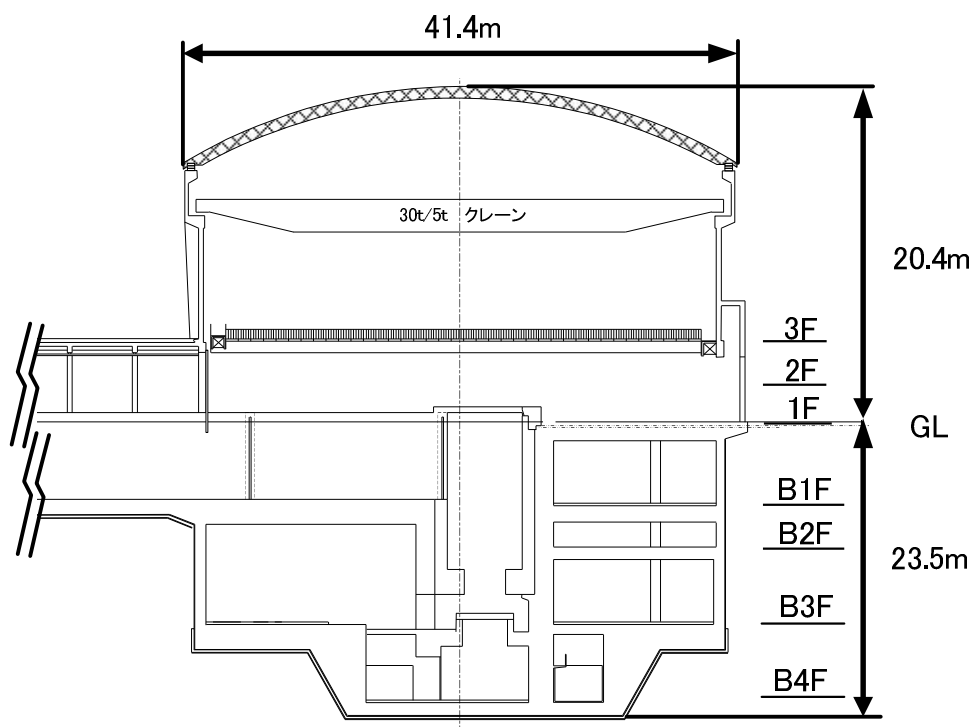


Fig 4.1 炉室縦断面図 (N-S)

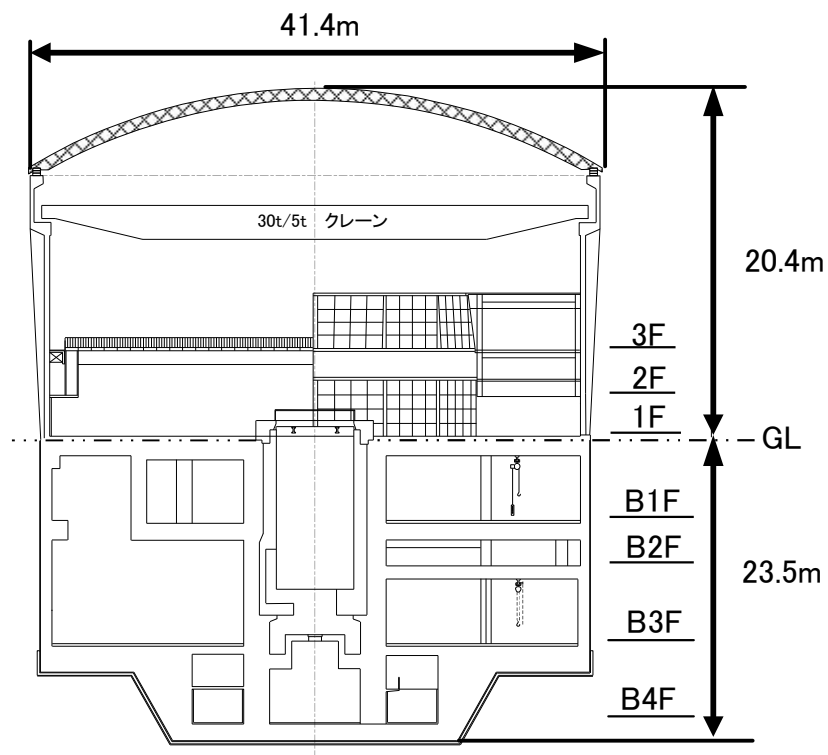


Fig 4.2 炉室縦断面図 (E-W)

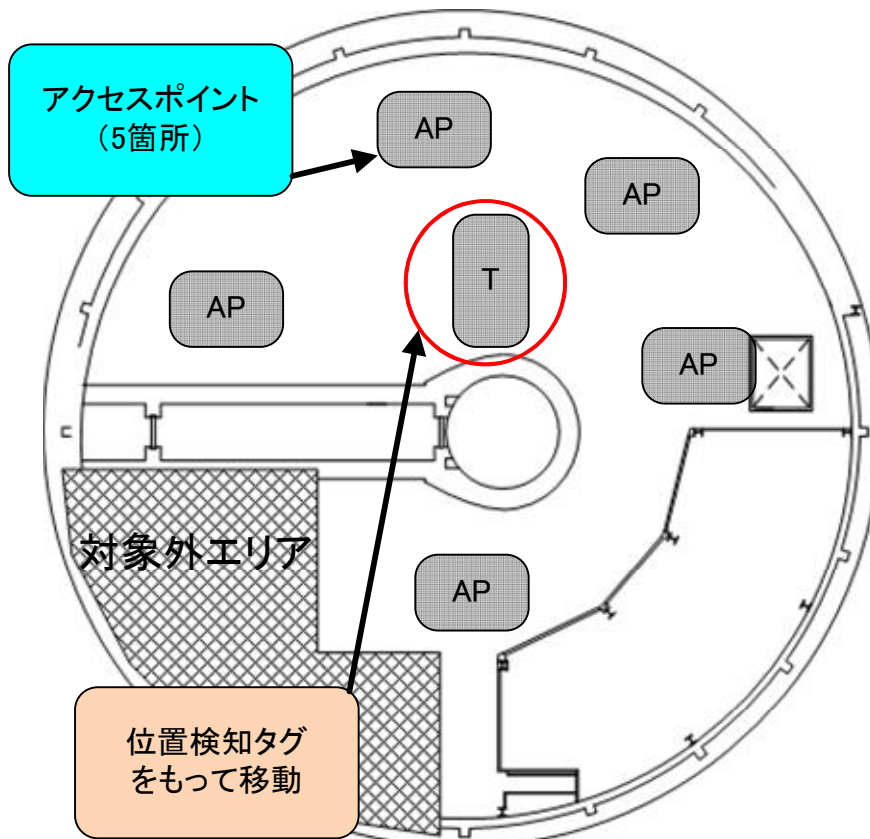


Fig 4.3 炉室 1 階試験状況

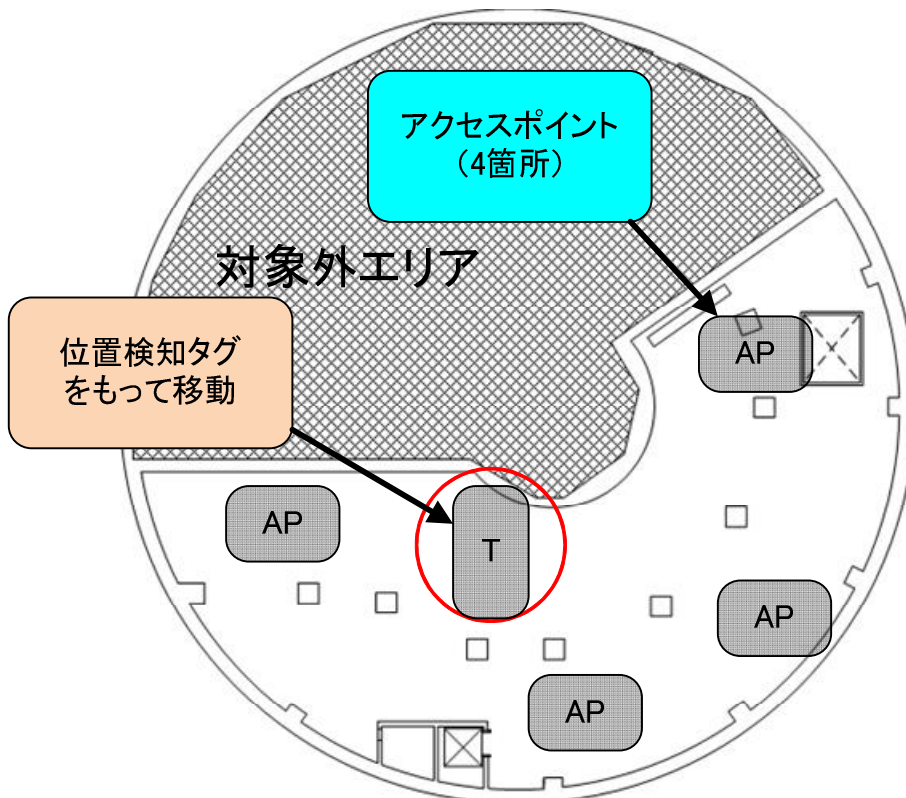


Fig 4.4 炉室地下 2 階試験状況



Fig 4.5 生体センサー仕様

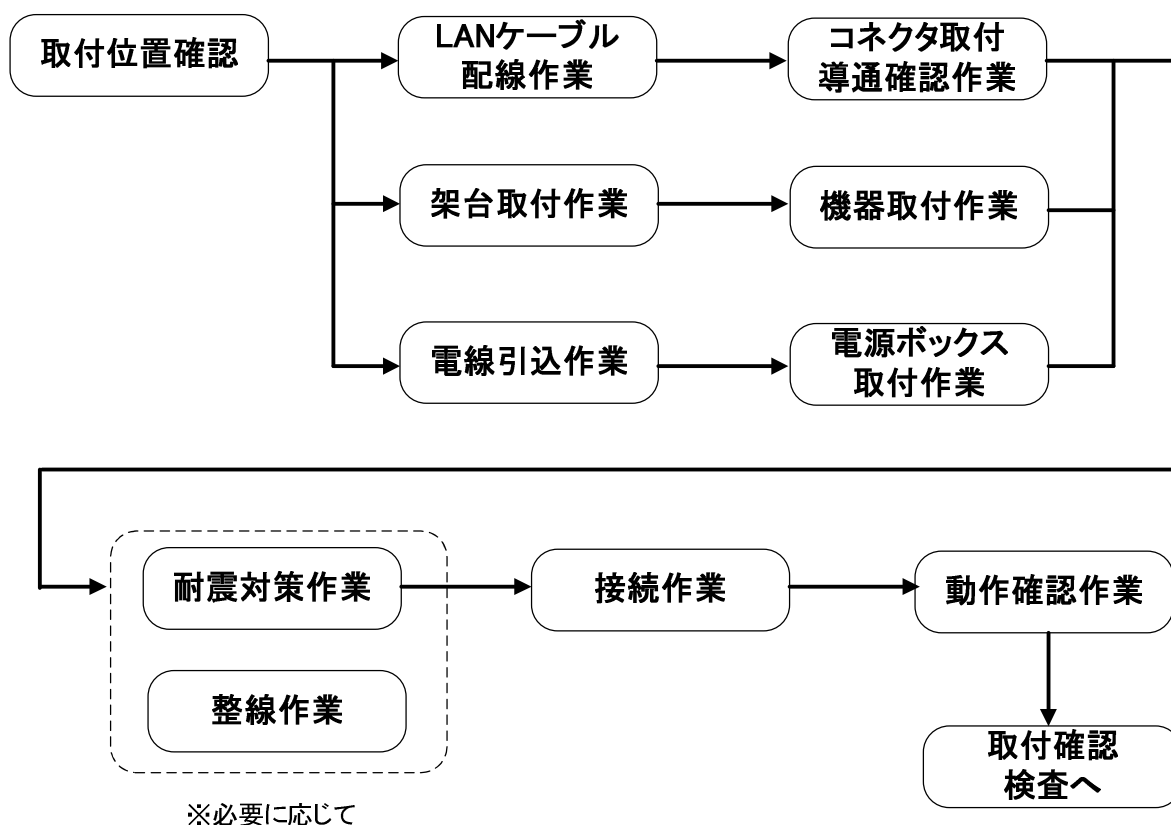


Fig 5.1 JMTR 炉室内への信号線の敷設及び各種無線機器の取付工事の作業フロー図

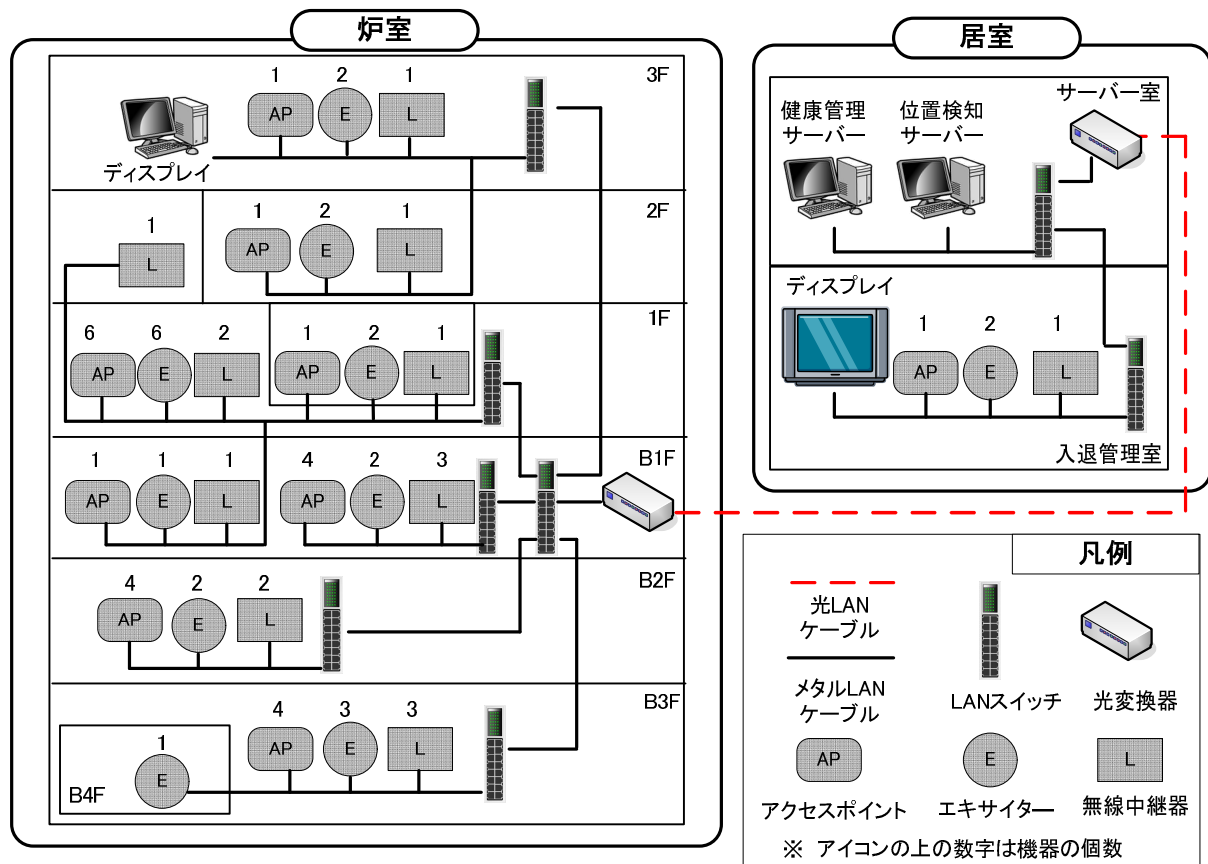


Fig 5.2 JMTR へのシステム設置概念図

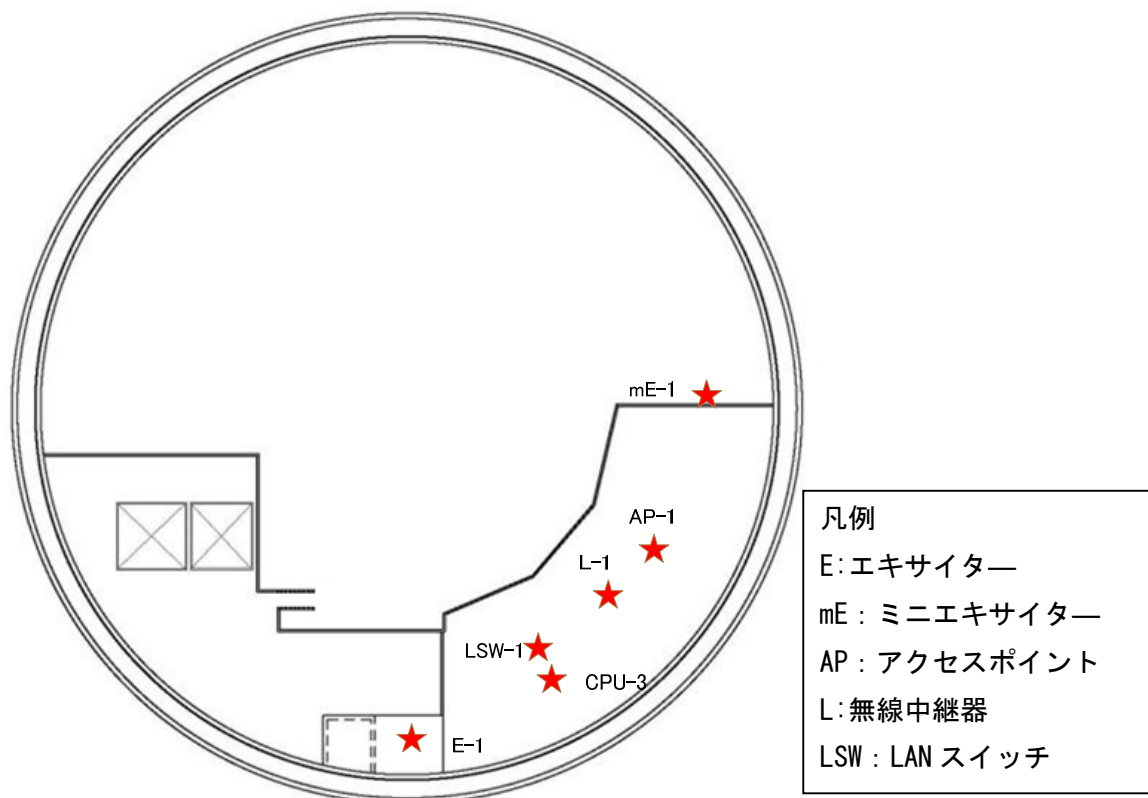


Fig 5.3 機器据付概略 (3 階)

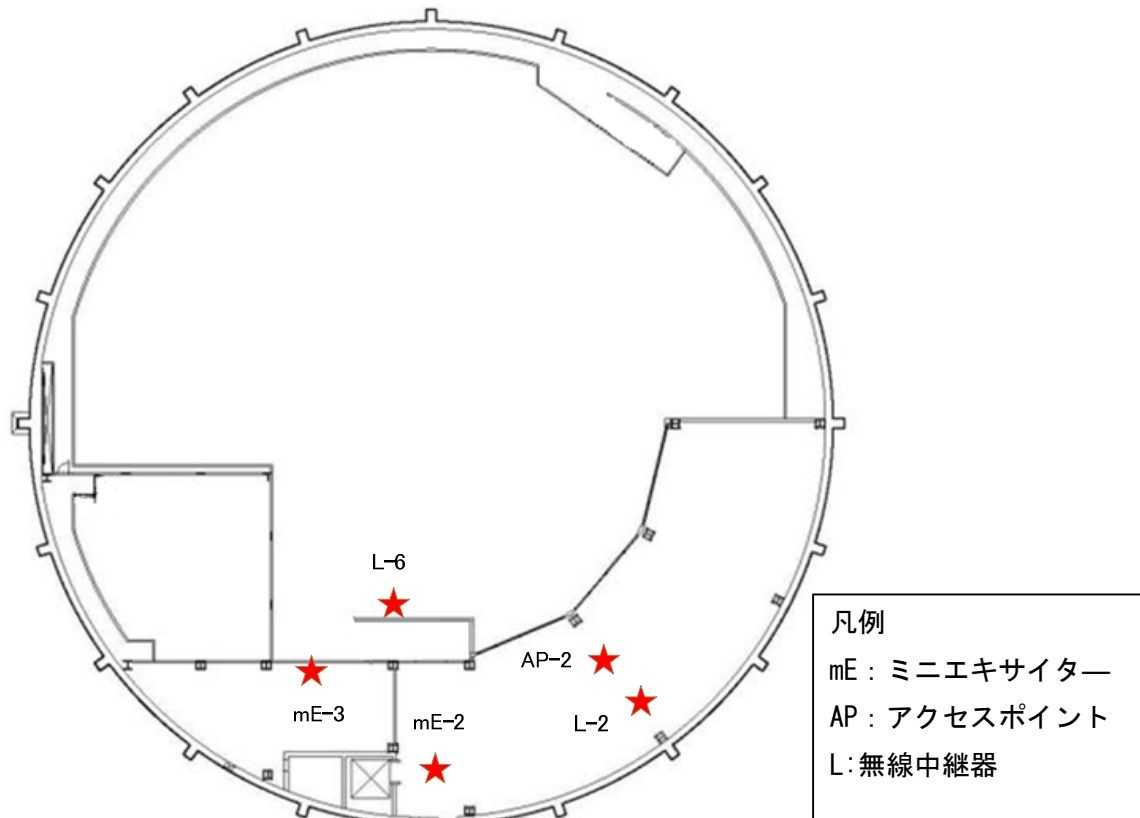


Fig 5.4 機器据付概略 (2階)

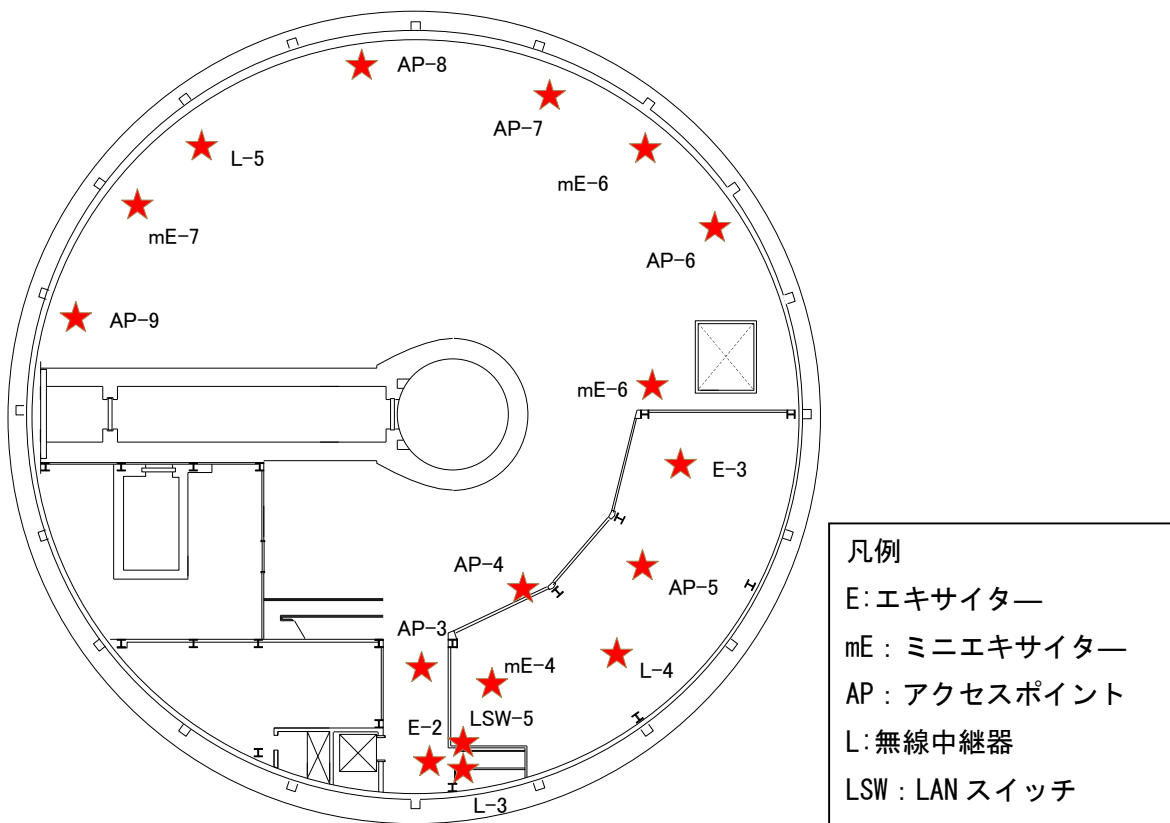


Fig 5.5 機器据付概略 (1階)

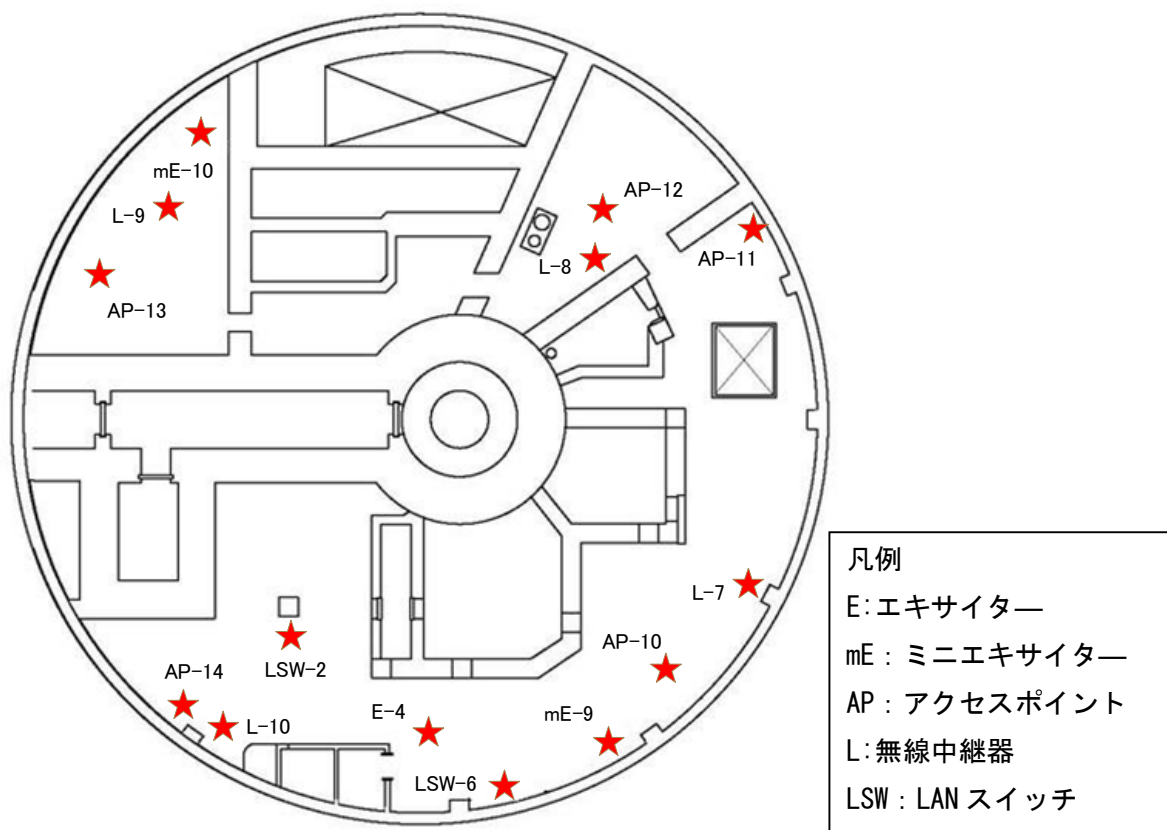


Fig 5.6 機器据付概略（地下1階）

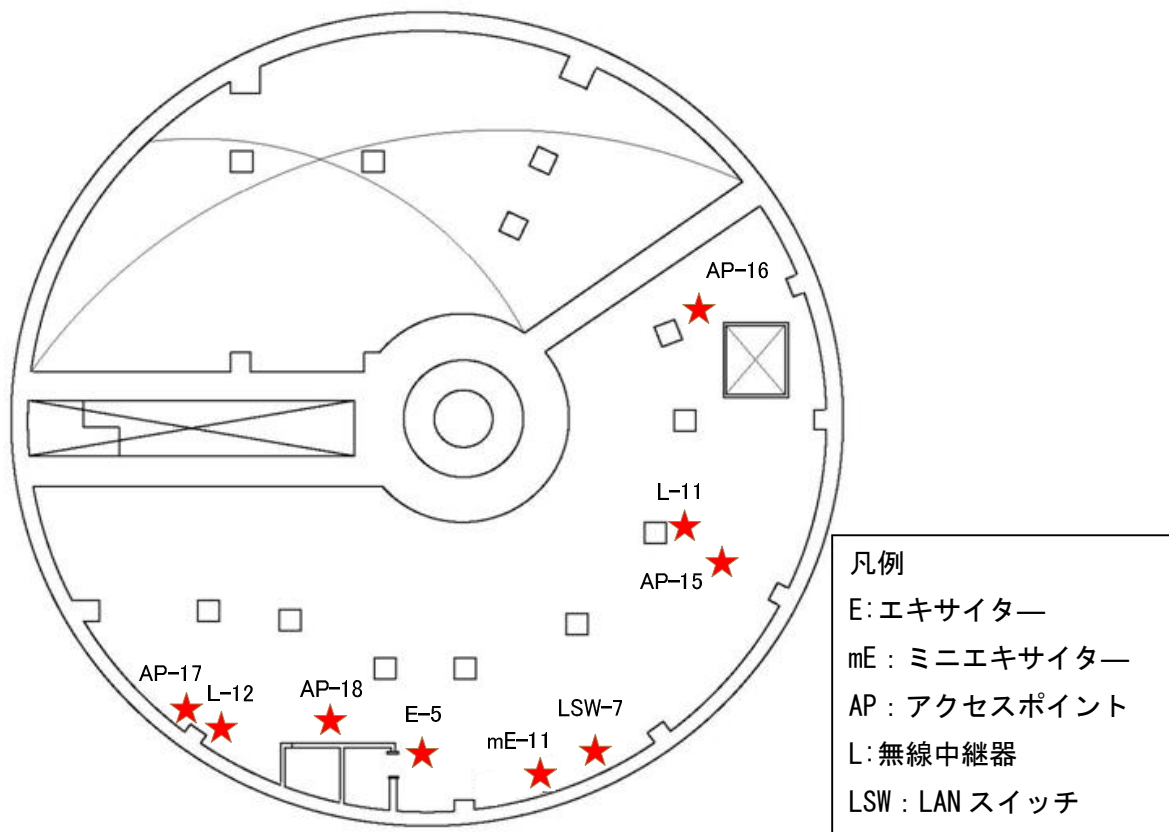


Fig 5.7 機器据付概略（地下2階）

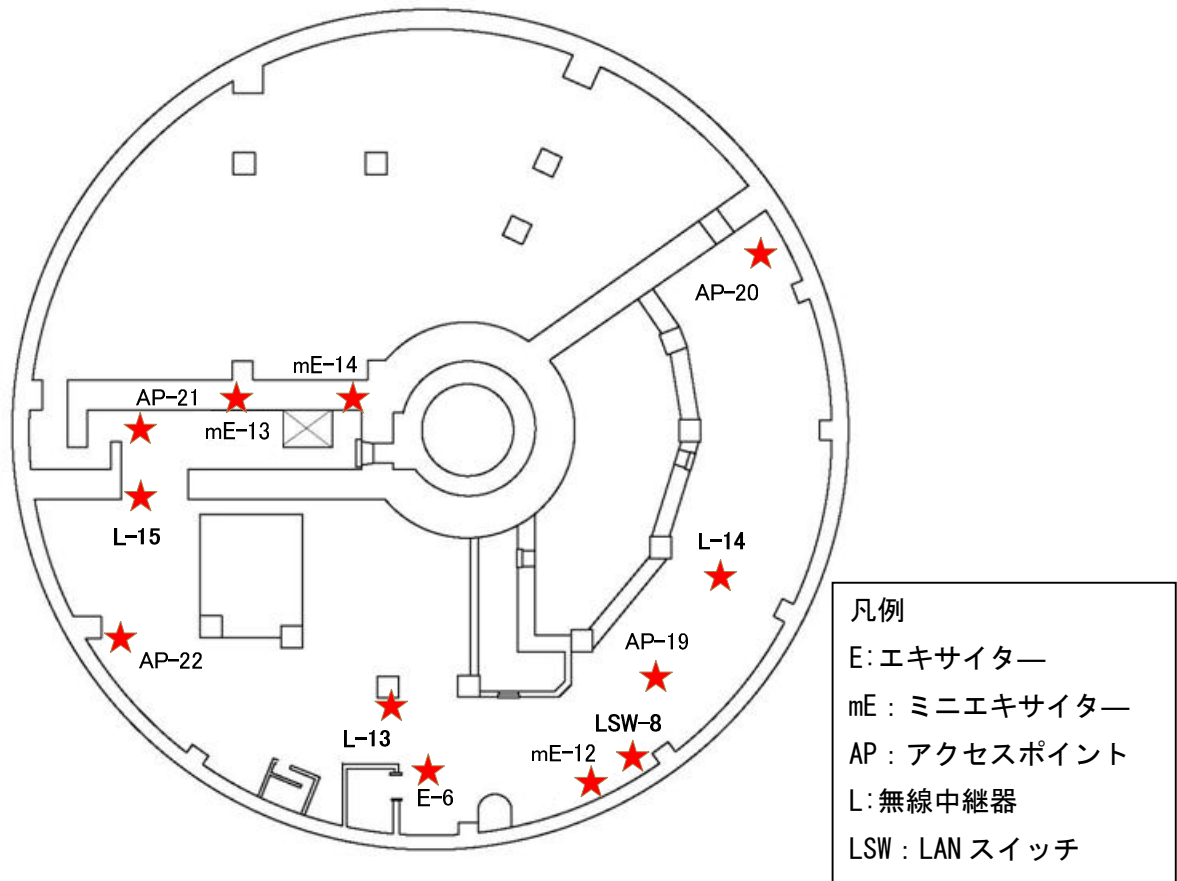


Fig 5.8 機器据付概略（地下3階）

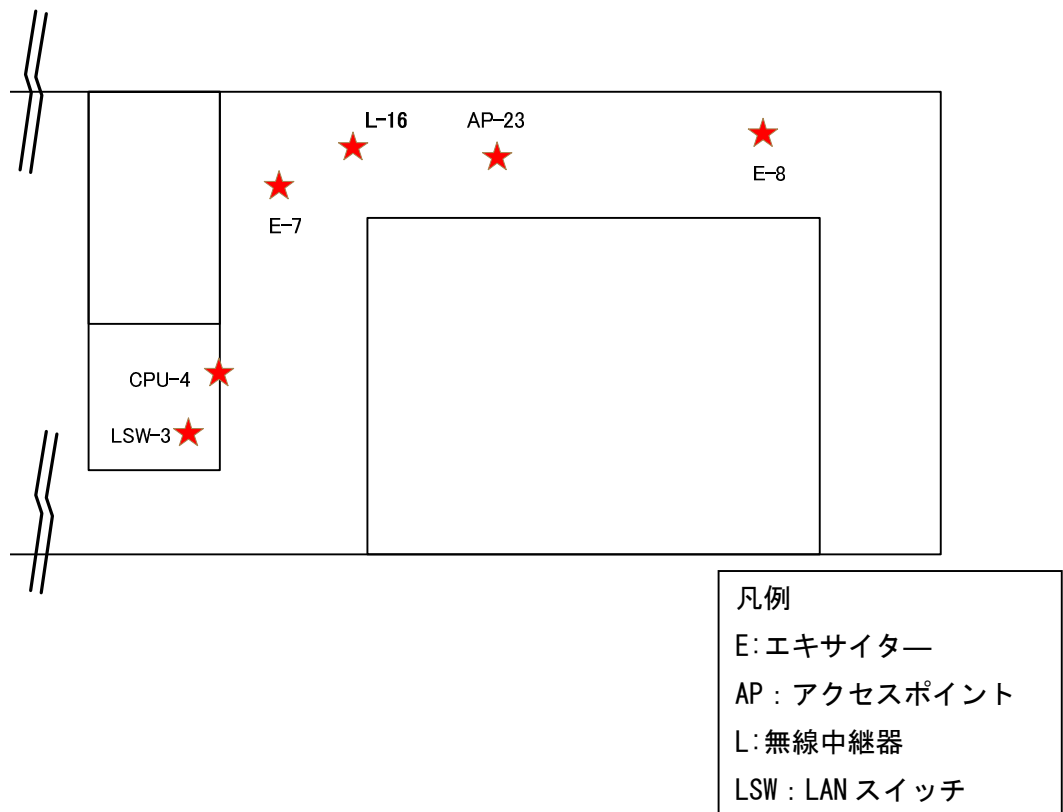


Fig 5.9 機器据付概略（炉室出入口 入退管理室）

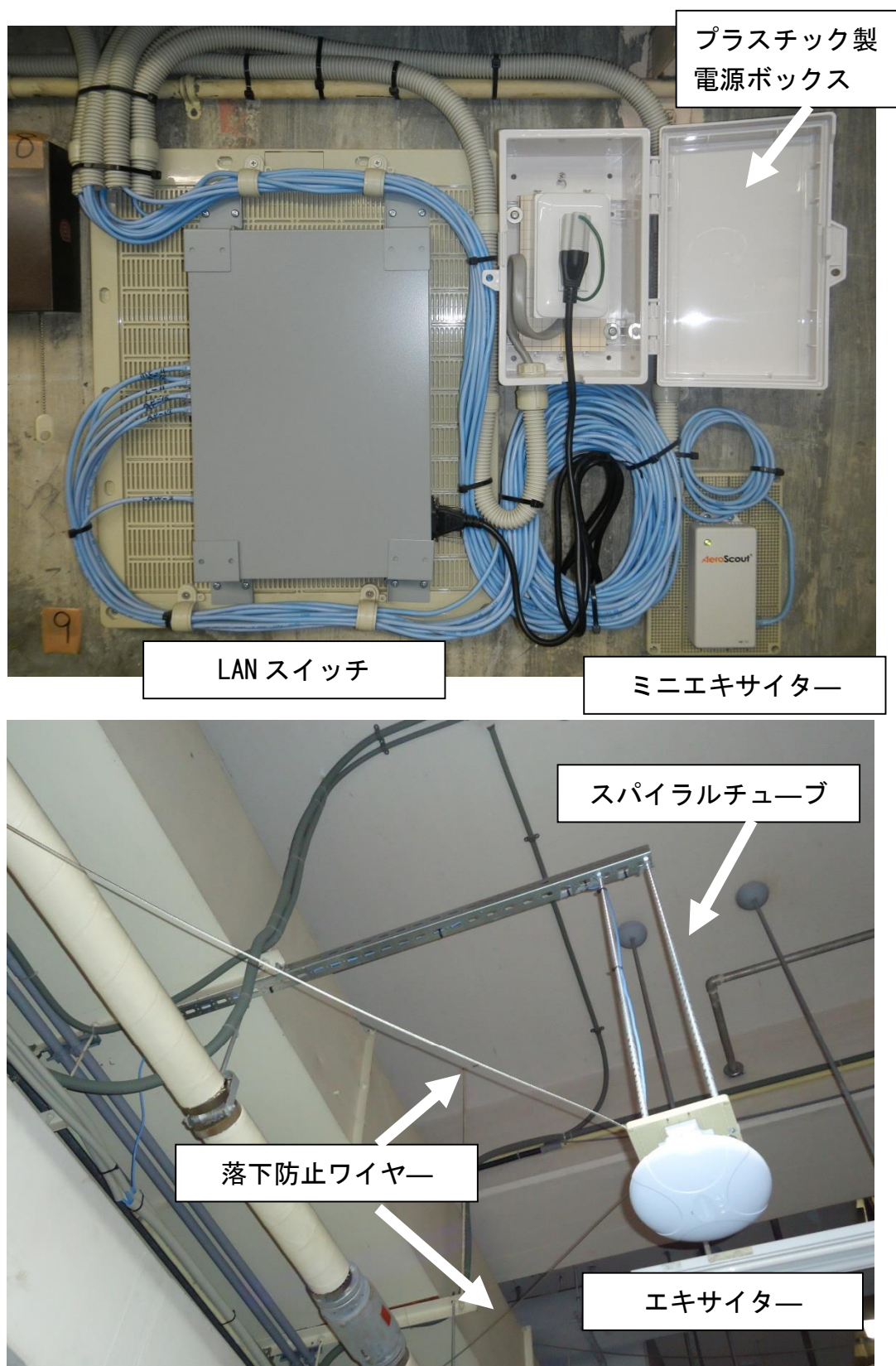


Fig 5.10 機器取り付け状態



Fig 5.11 原子炉制御室ディスプレイと現場表示器 (タブレット型)



Fig 5.12 現場での使用風景

リアルタイム多機能入域管理システム 入退域状況一覧							2011年10月11日	11時24分45秒
只今の入域者 93名								
材料試験炉部	原太郎 21	原太郎 60	原太郎 88	原太郎 116	原太郎 140	原太郎 170		
材料試験炉部長	原太郎 22	原太郎 61	原太郎 89	原太郎 117	原太郎 141	原太郎 171		
材料試験炉次長	原太郎 23	原太郎 62	原太郎 90	原太郎 118	原太郎 142	原太郎 172		
材料試験炉次長	原太郎 24	原太郎 63	原太郎 91	原太郎 119	原太郎 143	原太郎 173		
業務課	原太郎 25	原太郎 64	原太郎 92	原太郎 120	原太郎 144	原太郎 174		
業務課長	原太郎 26	原太郎 65	技術課	原太郎 121	原太郎 145	原太郎 175		
業務課課長代理	原太郎 27	原太郎 66	技術課長	原太郎 122	原太郎 146	原太郎 176		
原太郎 1	原太郎 28	原太郎 67	技術課長代理	原太郎 123	原太郎 147	原太郎 177		
原太郎 2	原太郎 29	原太郎 68	原太郎 93	放射線管理第2課	原太郎 148	原太郎 178		
原太郎 3	原太郎 30	原太郎 69	原太郎 94	放射線管理第2課長	原太郎 149	原太郎 179		
原太郎 4	原太郎 31	原太郎 70	原太郎 95	JMTRチーム	原太郎 150	原太郎 180		
原太郎 5	原太郎 32	原太郎 71	原太郎 96	チームリーダー	原太郎 151	原太郎 181		
原太郎 6	原太郎 33	原太郎 72	原太郎 97	原太郎 124	原太郎 152	業者		
原太郎 7	原太郎 34	原太郎 73	原太郎 98	原太郎 125	原太郎 153	業者1		
原太郎 8	原太郎 35	照射課	原太郎 99	原太郎 126	原太郎 154	業者2		
原太郎 9	原太郎 36	照射課長	原太郎 100	原太郎 127	原太郎 155	業者3		
原子炉第1課	原太郎 37	照射課長代理	原太郎 101	原太郎 128	原太郎 156	業者4		
原子炉第1課長	原太郎 38	原太郎 74	原太郎 102	原太郎 129	原太郎 157	業者5		
原子炉第1課長代理	原太郎 39	原太郎 75	原太郎 103	原太郎 130	材料試験炉部外	業者6		
原子炉第1課長代理	原太郎 40	原太郎 76	原太郎 104	原太郎 131	原太郎 158	業者7		
原太郎 10	原太郎 41	原太郎 77	原太郎 105	原太郎 132	原太郎 159	業者8		
原太郎 11	原太郎 42	原太郎 78	原太郎 106	ホットラボ課	原太郎 160	業者9		
原太郎 12	原太郎 43	原太郎 79	原太郎 107	ホットラボ課長	原太郎 161	業者10		
原太郎 13	原子炉第2課	原太郎 80	原太郎 108	ホットラボ課長代理	原太郎 162	業者11		
原太郎 14	原子炉第2課長	原太郎 81	原太郎 109	原太郎 133	原太郎 163	見学者		
原太郎 15	原子炉第2課長代理	原太郎 82	原太郎 110	原太郎 134	原太郎 164	見学者1		
原太郎 16	原太郎 44	原太郎 83	原太郎 111	原太郎 135	原太郎 165	見学者2		
原太郎 17	原太郎 45	原太郎 84	原太郎 112	原太郎 136	原太郎 166	その他		
原太郎 18	原太郎 46	原太郎 85	原太郎 113	原太郎 137	原太郎 167	その他1		
原太郎 19	原太郎 58	原太郎 86	原太郎 114	原太郎 138	原太郎 168	その他2		
原太郎 20	原太郎 59	原太郎 87	原太郎 115	原太郎 139	原太郎 169	その他3		
入退域状況一覧	入退域状況一覧	フロア別入域者数	管理者設定	作業履歴検索	管理者パスワード設定			
判定値設定一覧	携行品在庫一覧	携行品割当一覧						

Fig 5.13 入退域状況一覧表画面イメージ

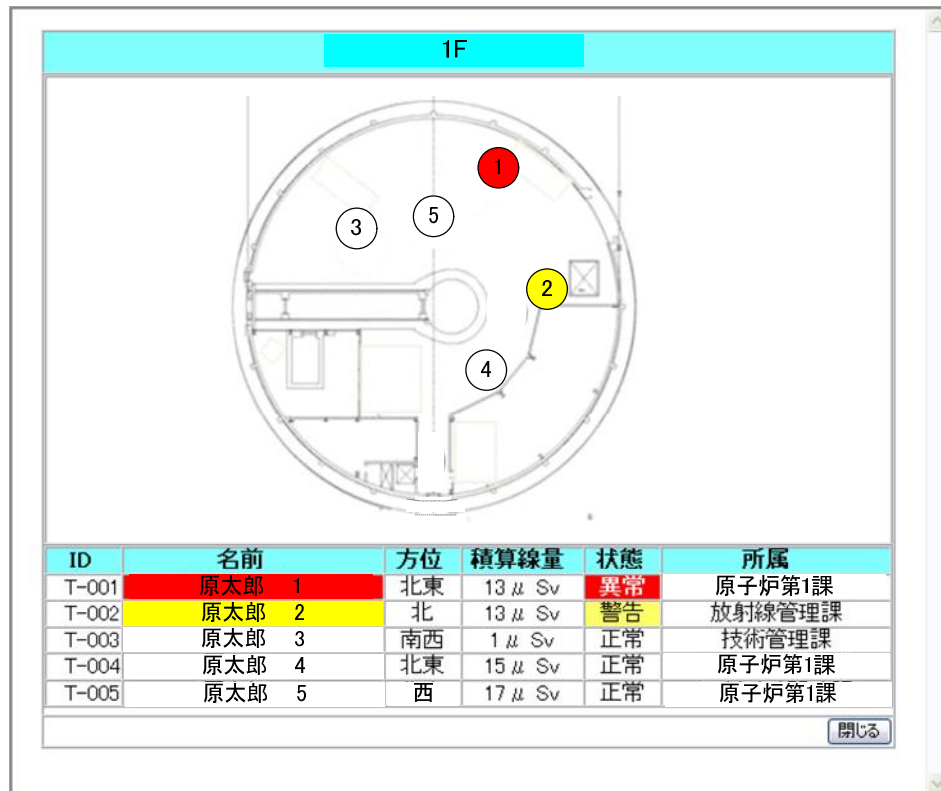


Fig 5.14 入域者所在マップ表示画面イメージ

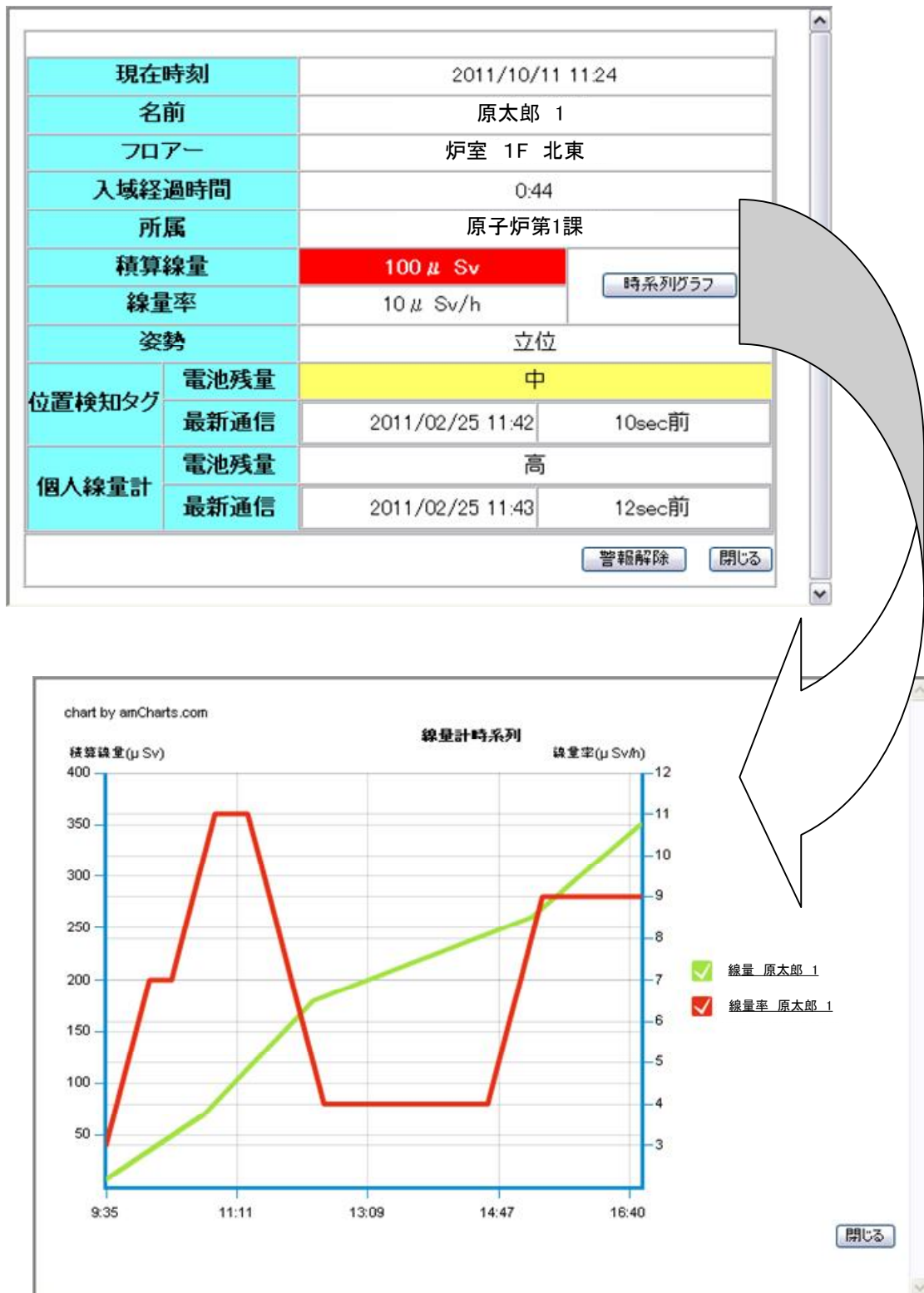


Fig 5.15 個人別情報画面イメージ及び積算線量及び線量率の時系列グラフのイメージ

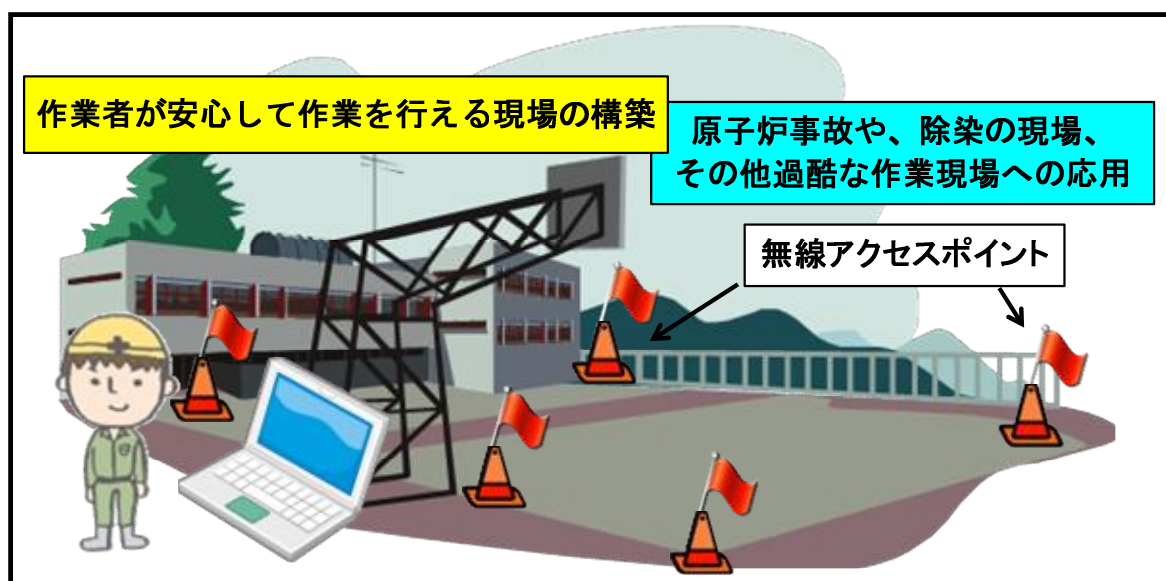


Fig 5.16 除染現場等への応用イメージ

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

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
(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 ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
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 ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
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 ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ 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のみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。
(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.2002,20,705) 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
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎平方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	Y	10 ⁻¹	デ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	セ	c
10 ¹⁸	エ	E	10 ⁻³	ミ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピ	p
10 ⁶	メ	M	10 ⁻¹⁵	フェ	f
10 ³	キ	k	10 ⁻¹⁸	ア	a
10 ²	ヘ	h	10 ⁻²¹	ゼ	z
10 ¹	デ	da	10 ⁻²⁴	ヨ	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	1 h =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 ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ 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 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ 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 ¹¹ 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 ⁵ 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 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
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。
ベレル	B	
デジベール	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	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3 元系の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 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ 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」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

