# 安全可靠的辐射管理服务解决方案

## Radiation Management Service Solutions Contributing to Safety and Security

前川　修 MAEKAWA, Osamu　　加藤　勉 KATO, Tsutomu　　安部　繁 ABE, Shigeru

富士电机为处理放射性物质的设施及其邻近自治体、提供安全可靠的辐射管理服务。并开发了环境辐射监测服务、辐射管理系统等，它们融合了东日本大地震后，在恢复重建中应用的富士电机辐射测量技术和最新 IoT 技术。通过采用云服务器和 MVNO 等移动电话通信网，可低成本且快速地导入。另外，辐射管理系统将通信功能内置于剂量计中，通过 Wi-Fi 或智能手机接入系统，管理者可远程实时掌握作业人员的辐射剂量。

Fuji Electric provides radiation management services contributing to the safety and security for facilities that handle radioactive materials and for their neighboring municipalities. Fuji Electric have developed an environmental radiation monitoring service and radiation control systems by combining the latest IoT technology with our radiation measurement technology, which was also used for recovery and reconstruction work in the Great East Japan Earthquake area. These solutions can be introduced inexpensively and quickly by utilizing cloud servers and mobile virtual network operator (MVNO) networks. Furthermore, in our radiation exposure management system, a dedicated dosimeter with a built-in communication function can be connected to the system via Wi-Fi or cellular networks to remotely notify the manager of radiation dose of workers in real time.



## 1　引言

富士电机的辐射测量技术曾被用于东日本大地震后的恢复重建。此外，富士电机还向核电站、核燃料循环厂以及处理使用放射性医药品的高端医疗机构等放射性物质的设施及其附近自治体提供安全可靠的辐射管理服务。本文对融合了最新 IoT（Internet of Things）技术的新型环境辐射监测服务进行论述。

此外，采用了能够应对大规模自然灾害环境辐射监测系统的具备传输多样化、高可维护性的面向医疗领域辐射管理系统，无线功能的新型电子剂量计的 IoT 应用新型剂量管理系统以及减轻被测人员和管理人员负担的全身放射性污染计数器。

## 2　新型环境辐射监测服务

### 2.1　概要

环境辐射监测系统由安装在测量地点的辐射测量部和管理数据的服务器系统构成。导入系统时，不仅需准备电源和通信线路等基础设施，还应确保安装场所和实施安装工程等。都需要大量时间和费用。

与传统的系统相比，IoT 应用于新型环境辐射监测系统的辐射测量部更加小巧。此外，因采用了云服务器，用户无需安装服务器，即可低成本且快速地导入[1]。

使用该系统的服务如**图 1** 所示，将辐射测量部测量到的环境中的辐射剂量（γ 射线剂量）通过移动虚拟网络运营商（MVNO：Mobile Virtual Network Operator）的低成本移动电话线路网进行收集，并存储到云服务器中。运算处理后，通过互联网向包括相关人员在内的广大公众公开数据。

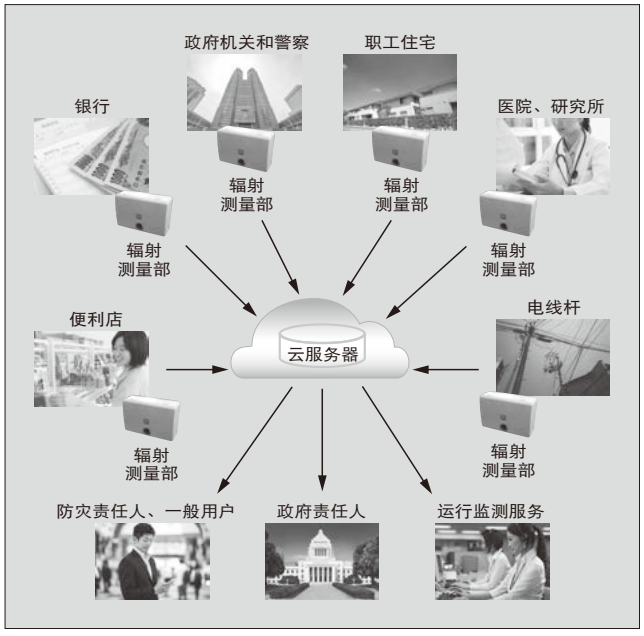


**图 1**　系统示意图

### 2.2　特点

(1)　辐射测量部

辐射测量部由测量部、数据处理部、通信部、电源控制部及防水柜构成。辐射测量部的外观如**图 2** 所示，计测部的外观如**图 3** 所示，辐射测量部的主要性能如**表 1** 所示，计测部的主要性能如**表 2** 所示。计测部采用了日本自治体等有大量使用业绩的小型高性能累积剂量计“DOSE e”，实现了主机的小型化、高性能与高可靠性。数据处理部采用了富士 IT 株式会社生产的 IoT/M2M 控制器“FiTSAΣ”，在承担测量数据运算处理的同时，还具有在辐射测量部与云服务器之间传输数据的功能。通信部分的移动路由器除了国内

图 2　辐射测量部

图 3　计测部“DOSE e”

表 1　辐射测量部的主要性能

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 通信功能 | 移动电话线路网 |
| 电源 | AC100～240 V 50/60 Hz<br>电池驱动（主机另行安装） |
| 使用温度范围 | −10～＋40 ℃ |
| 使用湿度范围 | 90% 以下（相对湿度）<br>（无结露） |
| 外形尺寸 | W270×H185×D88（mm）<br>（凸出部分除外） |
| 重量 | 约 3 kg |

通信标准之外，也支持国外通信标准和 SIM（Subscriber Identity Module）卡，所以无论是日本国内还是国外，均可灵活应对安装。电源控制部分支持 AC 外接电源输入和电池电源输入。另外，电池驱动时，可根据内部计时器对内部设备提供间断性电源供应，节省电力，实现长时间运行。

⑵　云服务器

通过 MVNO 等移动电话线路网将辐射测量部测量到的数据集中到云服务器进行管理。用户可通过智能手机等访问专用网站，随时确认测量数据。该网站面向一般用户，设计构成简单，有地图显示和图表显示可供选择。如**图 4** 所示，地图显示画面中显示的地图区域和图表显示画面显示的趋势

表 2　测量部的主要性能

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 探测器 | 硅半导体探测器 |
| 测定的辐射种类 | γ（X）射线：60 keV～1.5 MeV |
| 测定范围 | 累积剂量：1 nSv～99.99 mSv |
| | 剂量率：0.01～999.9 μSv/h |
| 显示误差 | 累积剂量：±10%<br>（1 μSv～99.99 mSv、$^{137}$Cs 标准） |
| | 剂量率：±15%<br>（1～999.9 μSv/h、$^{137}$Cs 标准） |
| 能量响应 | ±30%（60 keV～1.5MeV、$^{137}$Cs 标准） |
| 方向特性 | ±25%（$^{137}$Cs、0° 标准）<br>（水平 ±180°、垂直 −60～+240°） |
| 数据记录功能 | 记录数量：9000 件 |
| | 记录间隔：1 分、2 分、3 分、4 分、<br>5 分、10 分、30 分、1 小时 |
| | 记录项目：时刻、累积剂量、记录间隔<br>内的最大剂量率 |

图 4　网络画面示意图

期间可以 1 天、1 个月或者 1 年为单位，按每个登录用户进行默认设置。同时，还可根据用户用途显示趋势。另一方面，作为面向系统管理者的功能，可在云服务器上检测测量值的上升和系统异常，并向事先注册的用户管理者和维护人员发送邮件。

## 3　面向国外的环境辐射监测系统

### 3.1　概要

除日本外，拥有核电站的国家及其周边国家也有监测环境辐射剂量的需求。以富士电机用于日本国内的环境辐射监测系统技术为基础，可在采用符合各国基础设施的电源和通信线路的同时，根据国情进行服务器的本地部署〈注 1〉和网络画面的多语言支持，提供与日本国内同等的辐射管理服务。目前，部分国家已经引进了符合当地要求的辐射测量部和使用当地语言显示的网站，同时还引进了环境辐射监测系统。

〈注 1〉本地部署（on-premises）：是指将服务器和软件等信息系统安装、导入用户（通常为企业）管理的设备中并进行使用

### 3.2 辐射测量部

构成本系统的辐射测量部可根据各国用户的需求和用途，从各种类型中进行选择。实时剂量率仪采用了太阳能电池，无需外部供电，所以在基础设施不完善的地区也可安装。另一方面，便携式监测筒在测量部采用了 NaI（Tl） 闪烁体探测器，在低剂量率区域中、具有测量值的精度高，波高分析功能，也可适用于对微小变动检测的场景。实时剂量率仪的外观如**图 5** 所示，基本规格如**表 3** 所示，便携式监测筒的外观如**图 6** 所示，基本规格如**表 4** 所示。

图 5　实时剂量率仪

表 3　实时剂量率仪的基本规格

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 安装方法 | 室外固定安装式 |
| 探测器 | 硅半导体探测器 |
| 测量范围 | BG～99.9 μSv/h |
| 驱动电源 | AC100～200 V 及太阳能面板 |

图 6　便携式监测筒

表 4　便携式监测柱的基本规格

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 安装方法 | 室外固定安装、便携两用式 |
| 探测器 | 硅半导体探测器及<br>NaI（Tl）闪烁体探测器 |
| 测定范围 | BG～100 mGy/h |
| 驱动电源 | AC100～200 V 及太阳能面板 |

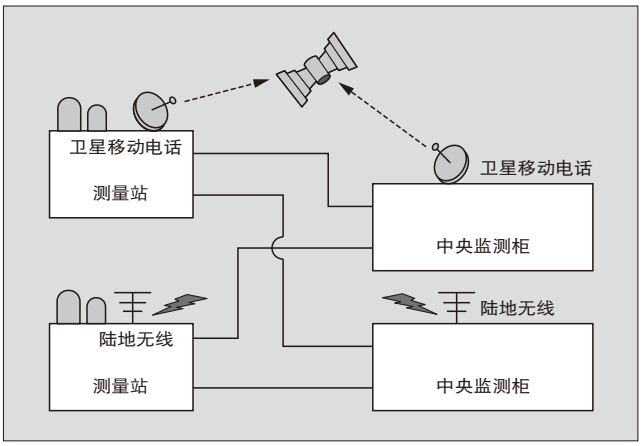


图 7　传输示意图

### 3.3 环境辐射监测系统的传输多样化

⑴ 概要

环境辐射监测系统在以核电站为首的核能相关设施及其周边地区有义务按照各种法令和协定进行设置，并在 24 小时内不间断地测量和监测环境辐射剂量。在测量站测量的数据，被传送至核能设施内的中央控制室，并被持续监测。另外，数据也会传送给国家管理的系统，通过主页全面公开信息。作为与核能相关设施的健全性密切相关的系统，该系统具有很高的可靠性，从而可确保本地区居民的安全与安心。但是，近年来大规模自然灾害频发。有可能会影响本系统的运行，所以正在制定并计划相关对策。其中，传输的多样化正是重要的举措之一。

⑵ 规格

本系统通常使用移动电话线路网传输各种数据。发生大规模灾害时，移动电话被集中使用，所以有可能因线路拥堵导致数据传输受阻。为了应对这种状况，富士电机导入拥堵可能性低的卫星移动电话作为备份线路，在移动电话线路网不通时，可切换至卫星移动电话网继续传输。另外，还开发并导入了用于环境辐射监测系统的陆地无线装置，该装置可使用环境辐射监测系统专用无线电频段。该陆地无线装置重新配置了普通防灾无线装置的内置部件和软件，从而优化了环境辐射监测系统。传输示意图如**图 7** 所示。

## 4　用于医疗领域的辐射管理系统

### 4.1 IoT 应用于新型辐射管理系统

⑴ 背景

富士电机生产并交付了重粒子射线治疗装置和正电子

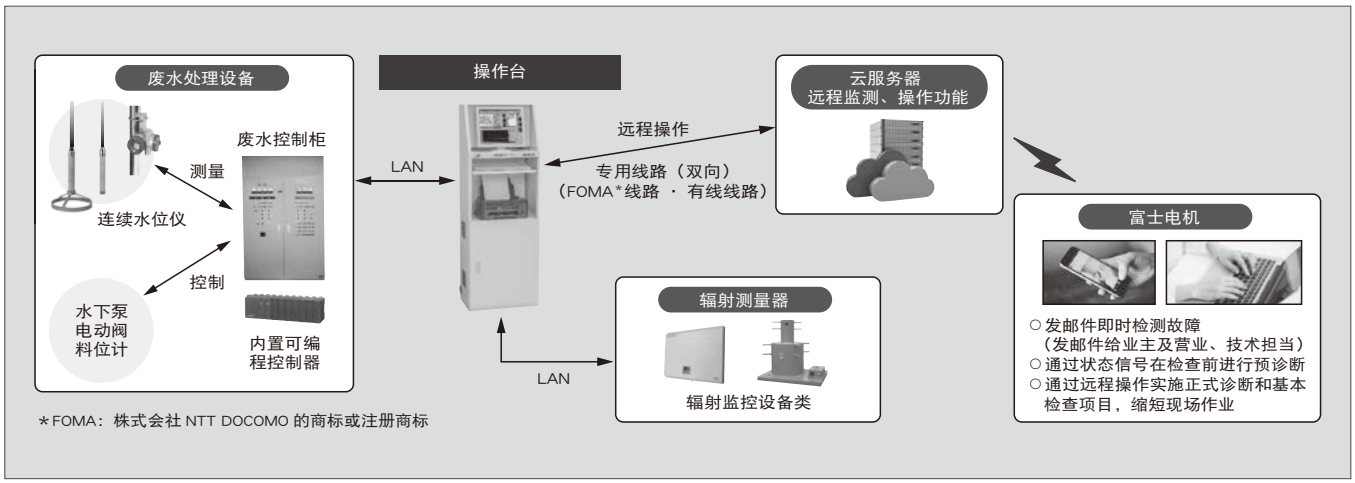


**图 8　IoT 应用于新型辐射管理系统概要**



放射断层摄影（PET 检查：Positron Emission Tomography 检查）等核医学利用设施中，为了管理辐射制造了辐射管理系统，相关医疗设施正在加速导入。

例如，在使用闪烁相机（SPECT 装置：Single Photon Emission CT 装置）的诊断中，向患者投用放射性医药品进行检查。其中，用于医疗领域的辐射管理系统可监测含有此类检查和治疗中所产生的放射性物质的废气、废水，以及源于放射性物质的辐射，并将数据传送给操作台，进行集中监测，同时按照《医疗法》和《放射性同位素等管制法》进行管理。

传统系统是以医院内部完成的独立系统为主流。万一发生故障，维修人员会前往现场调查并确定故障部位后，对设备进行更换。但是，如果系统停机，则会影响治疗和检查，在医院运营中提高其可靠性至关重要。为此，富士电机开发出了一种 IoT 应用于新型辐射管理系统，可用于远程监测监控，并在故障发生时迅速采取应对措施。

⑵　特点

全面更新了作为系统中枢的操作台，配备了向系统监测云服务器发送各种系统信息的功能。一旦系统监测用云服务器发现故障，可迅速给事先注册的客户设施管理者和富士电机的维护人员等的邮箱地址自动发送邮件。收到该邮件的维修人员首先分析云服务器中保存的各种系统信息，准备并携带事先设想的故障部位的部件，从而缩短恢复时间。另外，定期检查时，通过事先分析信息，进行故障征兆诊断，可预防系统停机。

此外，在使用远程监测的网络线路中采用富士 IT 株式会社作为 MVNO 运营商运营的低成本线路（FiT 移动），可减轻客户的经济负担。

**图 8** 所示为 IoT 应用于新型辐射管理系统的概要，**图 9** 所示为操作台画面的例子。

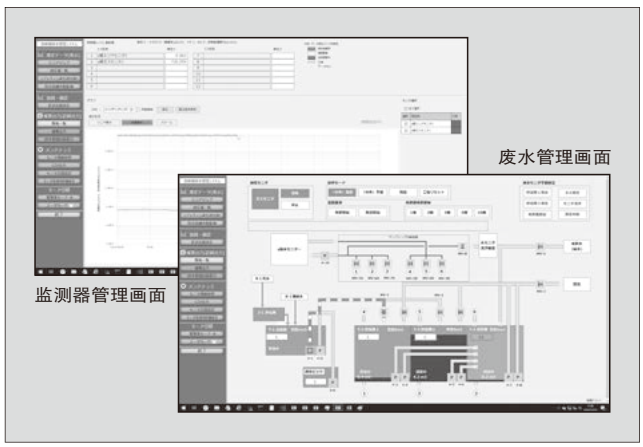


**图 9　操作台画面的例子**

## 5　辐射管理系统

### 5. 1　IoT 应用于新型剂量管理系统

⑴　概要

根据法令，有义务管理辐射区域内作业人员的辐射剂量，因此作业人员需佩戴剂量计。本文所述 IoT 应用于新型剂量管理系统基于设想在核能设施内使用的牢固结构和国内外用户需求，通过应用了最新 IoT 技术的新型电子剂量计“NRF”和用于远程监测的云监测服务器构成。

⑵　剂量计“NRF50”的特点

除剂量计的国际标准 IEC 61526 之外，“NRF50”还参照了日本国内标准 JIS Z 4312 和美国标准 ANSI N42.20。此外，还具有满足 MIL-STD461F 的 EMC 性能和 IP65/67 的防水性能。而且，设备中内置了传统剂量计没有的 Wi-Fi〈注 2〉和 Bluetooth〈注 3〉等通信功能，可实时监测辐射剂量。

另外，还安装了很多传统剂量计所没有的功能。例如，采用了操作者可立即通知紧急状态的呼叫按钮，以及将辐射剂量和警报状态更简洁地通知作业人员的大型彩色显示器等。其主要性能和特点如**表 5** 所示。

⑶　云剂量管理系统

NRF50 可选择 900 MHz 频段的无线通信（美国用）和 Wi-Fi 通信方式。只需通过 Wi-Fi 路由器或智能手机（Bluetooth、联机功能）与云剂量管理系统相连，作业管理者即可远程实时掌握作业人员的辐射剂量。

〈注 2〉Wi-Fi：Wi-Fi Alliance 的商标或注册商标

〈注 3〉Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. 的商标或注册商标

表 5 “NRF50”的主要性能和特点

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 探测器 | 硅半导体探测器 |
| 测定的辐射种类 | γ 射线和 X 射线 |
| 测定范围 | 1 μSv～10 Sv（累积剂量）<br>0.1 μSv/h～10 Sv/h（剂量率） |
| 能量响应 | ±20% 以下（50 keV～6 MeV） |
| 显示误差 | ±10% 以下（$^{137}$Cs） |
| 标准 | 符合 JIS Z 4312（2013）、IEC 61526（2010）、ANSI N42.20（2003）、MIL-STD-461F、IP65/67 |
| 通信方式 | USB、Bluetooth、IR、Wi-Fi<br>或 900 MHz 频段通信 |
| 显示 | 大型黑白点阵式 LCD<br>彩色背光（白、红、黄） |
| 外形尺寸 | W60×H105×D29/18（mm） |
| 重量 | 约 150 g（含夹子、电池） |
| 特点 | 主机内置 Wi-Fi、900 MHz 频段通信等无线功能<br>（传统型号需另行安装无线模块） |
| | 侧面带有紧急呼叫按钮 |
| | 可通过大型黑白点阵式 LCD 显示文字 |

除了降低在核能设施内作业或从事除污作业人员的辐射照射效果之外，还可用作初始作业人员的辐射管理，例如，发生放射性物质恐怖袭击时。

### 5.2 全身放射性污染计数器

全身放射性污染计数器（WBC：Whole Body Counter）包括用于检查测量的 WBC 和精密测量的 WBC。主要规格如**表 6** 和**表 7** 所示。

用于检查测量的 WBC 可判定体内有无放射性物质造成的污染。判定体内存在污染时，使用用于精密测量的 WBC 从体外测量体内放射物质释放出来的 γ 射线，掌握核素的定

表 6 基本规格（检查测量用）

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 探测器 | 塑料闪烁体探测器或 NaI（Tl）闪烁体探测器 |
| 屏蔽方式 | 阴影屏蔽方式 |
| 测量时间 | 30 秒～2 分 |
| BG 值 | 约 2500～4000 $min^{-1}$<br>（100 keV～2.0 MeV：30 分测量） |
| 探测灵敏度 | 约 150～250 Bq（$^{137}$Cs） |
| | 约 50～100 Bq（$^{60}$Co） |

表 7 基本规格（精密测量用）

| 项目 | 内容 |
|---|---|
| 探测器 | 高纯锗探测器或 NaI（Tl）闪烁体探测器 |
| 屏蔽方式 | 阴影屏蔽方式 |
| 测量时间 | 约 10 分 |
| BG 值 | 约 2500～4000 $min^{-1}$<br>（100 keV～2.0 MeV：30 分测量） |
| 探测灵敏度 | 约 120～150 Bq（$^{137}$Cs） |
| | 约 60～90 Bq（$^{60}$Co） |

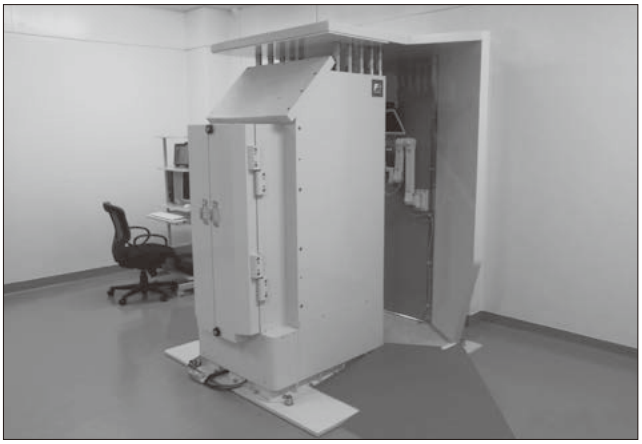

图 10 座椅式 WBC

性、定量分析及用于实效剂量（内部辐射剂量当量）计算的体内放射性物质量。

(a) 形状

根据测量时被测者的姿势，WBC 可分为座椅式、床式、立式。例如，座椅式要求被测者坐在屏蔽体内的椅子上接受测量。**图 10** 所示的富士电机座椅式 WBC，在屏蔽体的左右两侧均设有出入口，因此基本上不受设置场所限制。而且，因进行了抑制自然辐射入射的阴影屏蔽，所以可进行抑制背景辐射影响的测量[2]。此外，还备有车载用低顶棚式 WBC。

(b) 管理者业务的简易化

被测者进入被屏蔽体包围的 WBC 主机内进行检测，通过声音和显示进行测量指引，以免被测者感到困惑不安。另外，在测量过程中提供视频等影像，减轻被测者在测量过程中的负担，从而提高检测时的舒适性。

(c) 管理者业务的简单化

测量结束的同时，测量数据即被传送至服务器。该数据用于检查进入控制区域时是否进行了 WBC 检测等。同时，测量结果被统一保存在服务器中，管理者可通过管理 PC 的画面确认各种信息。另外，通过检测日程管理功能、向被测者发送邮件，从测量指引到测量的自动化，可大幅降低测量指引所需的负担。

## 6 后记

本文对安全可靠的辐射管理服务解决方案进行了论述。

今后，为了进一步提高可靠性和便利性，富士电机希望导入日新月异的 IoT 等最新技术，在积极参与震后重建的同时，通过在医疗领域和国外的核能设施中导入系统，为降低操作人员的辐射照射和环境辐射的强化管理做出贡献。

**参考文献**

(1) 中岛定雄等. 可为保护环境做出贡献的放射线管理解决方案. 富士电机技术期刊. 2018, vol.C10, no.2, p.88-91.

(2) 富士電機株式会社. 放射線検出装置. 特許第 6515739号. 2015-08-25（出願日）.

**前川　　修**

从事核能相关设施辐射测量系统的工程设计业务。现为富士电机株式会社电力电子系统产业事业本部社会解决方案事业部辐射系统代理部长。

**安部　　繁**

从事核能相关设施的辐射测量系统的工程设计业务。现为富士电机株式会社电力电子系统产业事业本部社会解决方案事业部辐射系统课长助理。日本保健物理学会会员、日本核能学会会员。

**加藤　　勉**

从事核能相关设施辐射测量系统的工程设计业务。现为富士电机株式会社电力电子系统产业事业本部社会解决方案事业部辐射系统课长助理。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。