可为保护环境做出贡献的放射线管理解决方案

Radiation Management Solutions Contributing to Environmental Protection

中岛　定雄 NAKASHIMA, Sadao　　松本　岩 MATSUMOTO, Iwao　　小西　英之 KONISHI, Hideyuki

富士电机提供可为放射线和放射能污染相关环境保护活动做出贡献的放射线管理解决方案和放射线测量设备。本次开发出利用 IoT 环境监视器的环境监视服务、装有碘化锶闪烁器的光谱探测仪、可实时监视大气中放射性悬浮尘埃的大气监视器。另外，作为灾后重建相关的放射线测量装置，还开发出在临时焚烧设施中用于废气释放管理的废气放射性物质浓度监视装置，以及在消除放射性污染作业所产生污染土壤的中间储藏处理设施利用放射能浓度进行辨别的土壤浓度辨别装置。

Fuji Electric offers radiation management solutions and radiation measurement equipment that contribute to environmental protection activities involving radiation and/or radioactive contamination. We have developed an environmental monitoring service using IoT environmental monitors, radiation spectral survey meter with a strontium iodide scintillator, and atmospheric monitor that can monitor radioactive aerosol in atmosphere in real time. We also have developed radiation measurement equipment for earthquake reconstruction:a radioactive aerosol monitor in exhaust gas from the temporary incineration facilities and a radioactive soil sorting equipment to sort contaminated soil produced from decontamination activities based on the radioactive concentration in the intermediate storage facilities.

1　引言

富士电机在核能设施、相关设施及其周边地区，提供了可为放射线和放射能污染相关环境保护活动做出贡献的放射线管理解决方案和放射线测量设备。

本文将就东京电力福岛第一核电站（福岛第一核电站）事故后，针对东日本大地震灾后重建活动而开发的、可为环境保护做出贡献的放射线管理解决方案进行介绍。

2　环境监视系统

环境监视系统是在核能设施、相关设施及其周边地区监视环境的放射线和放射能的系统。富士电机以前便开始一直向核能从业单位和周边自治体提供环境监视系统。本次新开发出环境监视服务使用的系统。

此环境监视系统除了监视点和监视站的安装型环境放射线监视设备、探测仪、可移动型监视点、环境剂量仪等携带型或可移动型环境 γ 射线测定设备，还包括环境粉尘监视器和环境碘监视器等环境放射能测定设备、遥测仪系统。作为新组成设备，本次又开发出光谱探测仪和大气监视器。

2.1　环境监视服务

环境监视系统需要建立专用的监视点或监视站、遥测仪系统及监视系统，完善监视体制。因此，设备建设成本高、时间长，还需要培养进行环境监视的人才，引进难度相当高。本次开发的利用 IoT（Internet of Things）环境监视器的环境监视服务是将小型剂量测量单元和云系统组合在一起提供，便于在更多地区和设施中引进的服务。环境监视器主体的小型剂量测量单元只使用电池最长可进行 3 个月的测定和利用手机线路的数据通信，可大幅抑制引进和设置成本。

IoT 环境监视器的主要规格参见**表 1**，环境监视服务的系统结构参见**图 1**。

表 1　IoT 环境监视器的主要规格

项目	规格
测定射线种类	γ 射线（X 射线）
检测器	硅半导体检测器
测定范围	累计剂量：1 nSv～99.99 mSv 剂量率：0.01 μSv/h～999.99 μSv/h
数据传输方式	利用手机线路的通信
数据收集服务器	云服务器
电源供应	锂离子电池或商用电源 使用电池的运行时间：最长 3 个月

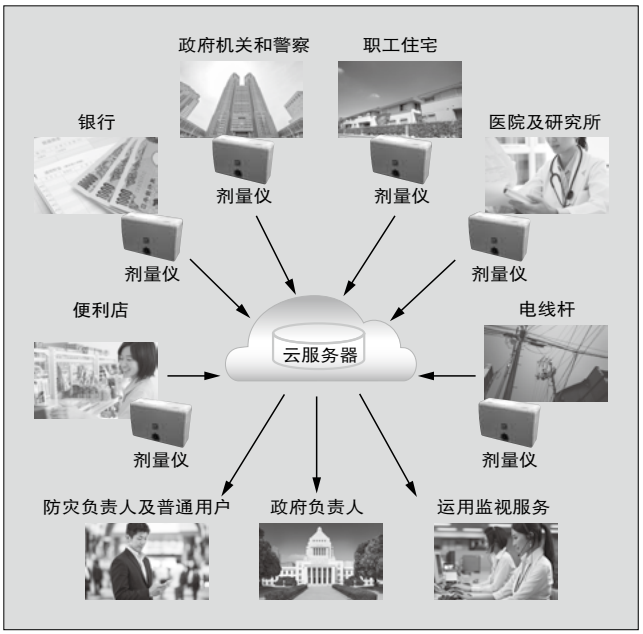

图 1　环境监视服务的系统结构

表 2　碘化锶闪烁器〔SrI_2（Eu）〕与碘化钠闪烁器〔NaI（Tl）〕的特性比较

检测器材料	熔点（℃）	密度（g/cm^3）	潮解性	发光波长（nm）	发光量（Photon/MeV）	能量分辨率（662 keV）	衰减时间（ns）	发光量比例性 5～1000 keV	自身放射能	最大口径（mm）
SrI_2（Eu）	538	4.6	非常强	430	80000	＜ 4%	800	＜ 5%	Non	25
NaI（Tl）	661	3.7	非常强	415	38000	7%	230	17%	^{40}K	600

2. 2　光谱探测仪

探测仪用于人工测定设施和周边环境的空间辐射剂量率。其体积小重量轻，便于携带，是一种紧急情况下也能使用的放射线测定器。

传统探测仪仅可测定空间辐射剂量率。根据福岛第一核电站事故的经验可知，紧急情况下需使用体积小重量轻的光谱探测仪。因此，此次增加了可在紧急情况下进行环境监视以及重建时进行环境测定的核素分析功能。

富士电机先于其他公司最早开发出装有碘化锶闪烁器〔SrI_2（Eu）〕的光谱探测仪，该碘化锶闪烁器分辨率高且体积小重量轻，是廉价的检测器。**表 2** 是碘化锶闪烁器与探测仪中通常使用的碘化钠闪烁器〔NaI（Tl）〕的特性比较。碘化锶闪烁器的能量分辨率较大为 4%，衰减时间也较长，因此具备核素分析所需的性能，发光量为碘化钠闪烁器的 2 倍以上，可以小尺寸的闪烁器测定较大的能量范围。**图 2** 是两者 γ 射线光谱的比较。可以看出碘化锶闪烁器有明显的光峰[(1)]。

图 3 是开发的光谱探测仪“NHC8”的外观，**表 3** 是主要规格。其特点如下。

(a)　检测器采用高分辨率的碘化锶闪烁器，分辨率确保在 4% 以下。

(b)　用 Bluetooth[〈注〉] 发送剂量率和光谱数据等，可使用移动设备或电脑进行解析。

(c)　MCA（Multi-Channel Analyzer）功能可将 0～2MeV 的测定能量范围分解为 1000 个通道进行核素鉴定。

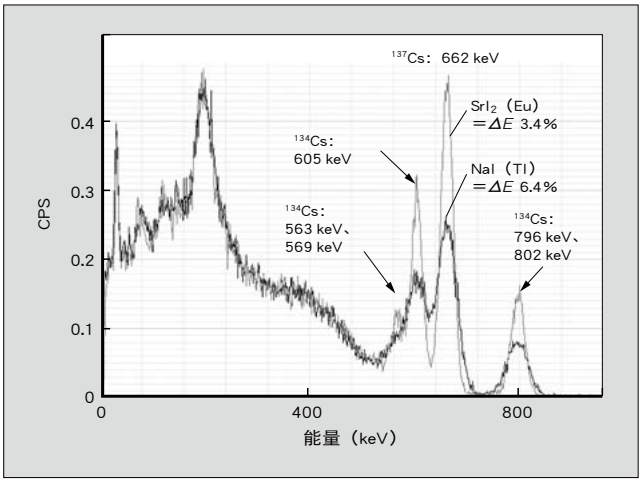

图 2　碘化锶闪烁器〔SrI_2（Eu）〕与碘化钠闪烁器〔NaI（Tl）〕的 γ 射线光谱比较

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

图 3　光谱探测仪“NHC8”

表 3　光谱探测仪“NHC8”的主要规格

项目	规格
测定射线种类	γ 射线（X 射线）
检测器	检测器 碘化锶闪烁器〔SrI_2（Eu）〕（尺寸 ϕ1"×1"）
能源特性	60 keV～1.5 MeV：±25% 以内（^{137}Cs 基准）
检测器分辨率	4% 以下（使用 ^{137}Cs）
有效测定范围	剂量率：0.000～70（μSv/h） 计数率：0.000～99.9（ks^{-1}）
数据记录	最大 1000 个
电源	5 号碱性干电池（LR6）×6 节 USB 供电（可选件） AC 适配器（可选件）
外形尺寸	W100×D230×H160（mm）
质量	约 1.6 kg（含电池）

2. 3　大气监视器

大气监视器是在发生核灾害等紧急情况时抽引室外空气对收集到滤纸上的放射性悬浮尘埃的浓度进行连续监视的装置。所测定的数据被保存在安装到主体上的 USB 存储器等

图 4　大气监视器

表 4　大气监视器的主要规格

项目	规格
测定射线种类	β 射线
检测器	塑料闪烁检测器
最高检测灵敏度	相对于全部 β 射线为 100 Bq/m^3 以下
连续测定时间 （滤纸更换周期）	1 周以上 （滤纸进给周期为 1 小时的情况）
数据传输方式	利用手机线路和卫星线路的通信

存储媒体中，通过利用手机网络或卫星网络的服务将其发送到数据收集服务器上，可进行实时监视。而且，装置可远程操作，这样便可实现平时处于待机状态，发生紧急状况时开始运行。**图 4** 是大气监视器的外观，**表 4** 是大气监视器的主要规格。

3　地震灾后重建相关的放射线测量装置

3.1　焚烧设施用废气放射性物质浓度监视装置

为了推进地震灾后重建，在福岛县和周边地区建设了多座临时焚烧设施，对所产生的可燃性废弃物进行焚烧和减容。而且，还计划在目前正在建设的中间储藏设施内设置焚烧设施。

在将焚烧设施废气从排气口释放的过程中，对环境省指南[2]规定的废气中放射性物质浓度进行监视，若超过空气浓度极限（^{134}Cs 20Bq/m^3、^{137}Cs 30Bq/m^3），则需要对浓度极限、测定值和最大浓度地点的浓度计算值进行比较，以判断对周边环境的影响。

为了满足**表 5** 的要求事项，富士电机开发出废气放射性物质浓度监视装置。**表 6** 是主要规格。本装置包括：设置在排气口的取样喷嘴、取样管道、装置主体和连接到排气口的返回管道。装置主体采用开放型仪表机架结构，包括：吹扫过滤器、检测器管套（套住检测器）、捕集部（装有滤纸）、流量计、压力计、泵、连接管道、该管道加热器、该温度计、控制部、操作显示器和仪表空气吹扫管线。**图 5** 是开发的废气放射性物质浓度监视装置的外观。

3.2　土壤浓度辨别装置

东日本大地震已过去 7 年，针对因福岛第一核电站事故引发的放射性物质所污染土壤开展的消除放射性污染事业，除回归困难区域外，消除表面放射性的工作已基本结束。污染土壤以装入软式集装箱的状态被临时放置在福岛县内的临时放置场所，要求尽快对其进行处理、废弃和保管。为了高效开展这些作业，需要根据污染土壤的放射能浓度进行辨别，然后再根据分类处理、废弃和保管。

富士电机与清水建设株式会社联合开发出可高精度测定污染土壤的放射能浓度，并正确进行辨别的土壤浓度辨别装置。**表 7** 是本装置的开发要点。

表 5　废气放射性物质浓度监视装置的开发要点

要求事项	开发要点
焚烧炉废气为 180 ℃高温，含有大量腐蚀性物质，露点为 140 ℃	（1）将喷嘴至检测器捕集部的管道加热到露点 140 ℃以上，防止结露 （2）γ 射线检测器装在管套中，与捕集部隔离，将其空冷到允许温度 45 ℃以下
环境省的要求水准规定严禁废气结露	（1）将捕集部出口后的管道加热到露点 140 ℃以上 （2）将系统内划分为多个加热分类，进行细致的温度控制，防止局部结露 （3）泵和仪表类使用耐高温规格的产品

表 6　废气放射性物质浓度监视装置的主要规格

项目	规格
设置方式	地面放置固定式
测定对象核素	^{134}Cs、^{137}Cs
测定射线种类	γ 射线（X 射线）（50 keV 以上）
检测器	碘化钠闪烁检测器〔NaI（Tl）〕
废气温度	180 ℃（正常运行中）
加热器控制温度	140 ℃以上（加热器耐热温度：400 ℃）
检测灵敏度	2 Bq/m^3 以下（能量范围 527～740 keV） BG 条件：0.15 μSv/h（相当于 ^{137}Cs） 计数时间：30 min. 捕集时间：60 min.
指示误差	5% 以内
粉尘捕集材料	GB-100R（玻璃纤维滤纸）
捕集效率	99.99%（JIS Z 8901）
遮蔽	铅屏蔽层约 5 cm 厚
取样流量	50 L/min 以上
泵构成	2 台（冗余化）
外形尺寸：质量	主体（含通道基础）： W1600×D800×H1700（mm）、约 1150 kg 泵支架： W500×D800×H950（mm）、约 100 kg

图 5　废气放射性物质浓度监视装置

表 7　土壤浓度辨别装置的开发要点

要求事项	开发要点
高精度测定	（1）采用批量测定方式，排出指定量的土壤，用辊子将其成型为固定形状制作成土壤批，对土壤批进行测定 （2）对土壤批的质量和形状尺寸进行测定，进行放射能浓度补正
正确的辨别	以土壤批单位进行分拣便可进行正确的辨别
确保处理能力（70 t/h 以上）	（1）为了对大量土壤进行处理，搬运土壤采用输送带方式 （2）分拣采用高速的旋转式溜槽

图 6 是本装置的结构图，**图 7** 是外观示例，**表 8** 是主要规格。

本装置包括：接收土壤的料斗、以固定量排出土壤的给料器（输送带）、测定所排土壤重量的静态重量测定器、搬运土壤的搬运输送带、对土壤进行成型的辊子型土壤成型器、测定土壤放射能的放射线测定机以及分拣土壤的旋转式溜槽。

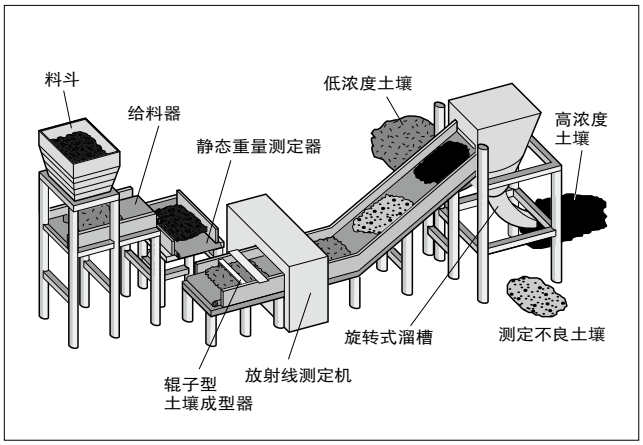

图 6　土壤浓度辨别装置的结构图

图 7　土壤浓度辨别装置的示例

表 8　土壤浓度辨别装置的主要规格

项目	规格
设置方式	地面放置固定式
测定对象核素	^{134}Cs、^{137}Cs
测定射线种类	γ 射线（527～740 keV）
检测器	碘化钠闪烁检测器 〔NaI（Tl）〕 6 个
BG 剂量率	2.5 μSv/h 以下
土壤批形状 （标准形状）	梯形土壤 上底：1423 mm　下底：1900 mm 宽度：650 mm　高度：200 mm
测定误差	±10%
输送带速度	400 mm/s
基准值	8000 Bq/kg
筛选等级	7200 Bq/kg
分拣方法	利用旋转式溜槽进行辨别 （放射能高、放射能低、测定不良）
处理能力	70 t/h 以上

放射线测定机的结构如下，将 6 个检测器沿输送带宽度方向配置在搬送输送带的输送带下部，用铅屏蔽层从前后左右下 5 个面包围这些检测器，减少本底放射线。在放射线测定机与上游辊子型土壤成型器之间将形状测定机设置在输送带上部，测定流过的土壤批的形状（长度、倾斜部安息角、高度）。

除了这些装置主体外，还有进行检测器控制、信号处理和浓度运算的测定机监视器柜，以及对输送带等进行驱动和控制的动力柜。

4　后记

本文对为保护环境做出贡献的放射线管理解决方案进行了介绍。今后，我们将继续开发可为震灾后重建做出贡献，并用于废炉的设备和系统，进一步加强环境监视，提高品质。

最后谨对土壤浓度辨别装置联合开发伙伴的清水建设株式会社所给以的指导和鞭策表示感谢。

参考文献

⑴　アンペール産業機器.“シンチレータ ヨウ化ストロンチウム”. http：//fa.ampere.co.jp/products/scintillator/,（参照 2017-12-14）.
⑵　環境省. 第五部 放射能濃度等測定方法等ガイドライン. 平成 25 年 3 月第 2 版.

中岛　定雄
从事放射线测量设备和系统的工程工作。现为富士电机株式会社电力电子系统事业本部环境解决方案事业部放射线系统部长代理。日本保健物理学会会员。

松本　岩
从事放射线测定器的开发和设计。现就职于富士电机株式会社电力电子系统事业本部生产统括部东京工厂放射线及测量装置部。

小西　英之
从事放射线测量装置的开发和设计。现为富士电机株式会社电力电子系统事业本部生产统括部东京工厂放射线及测量装置部课长。

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。