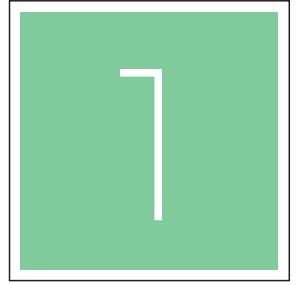


# 富士时报

FUJI ELECTRIC JOURNAL

专辑：智能社区



Vol.C3 2011



# 富士时报

FUJI ELECTRIC JOURNAL

专辑：智能社区



Vol.C3 2011

## 目 录

### 专辑：智能社区

#### [卷头语] 智慧城市中的智能电网

1 (1)

甘 德强 · 赵 荣祥

#### 智能社区的现状与展望

2 (2)

菅井 贤三 · 小林 直人 · 桑山 仁平

#### 面向新一代能源、社会系统的活动

6 (6)

笛木 丰 · 桑山 仁平

#### 面向孤岛的微电网系统

12 (12)

小岛 武彦 · 福屋 善文

#### 与浙江大学进行产学合作的活动

17 (17)

##### — 开拓智能电网事业 —

雷 云 · 金子 公寿 · 小林 直人

#### 支持新一代电力流通的系统技术

21 (21)

高桥 省 · 金泽 康久 · 铃木 立夫

#### 支持智能电网的电力电子技术

25 (25)

仁井 真介 · 加藤 正树

#### 综合能源管理系统平台

31 (31)

堀口 浩 · 石川 健一 · 福山 良和

#### 说明 独立运行检测方式

36 (36)

#### 缩略语、商标

37 (37)

封面照片



以扩大可再生能源的应用为目的、实现电力网的智能化为目标的智能电网正在向着充分利用电能和热能、降低环境负荷的智能社区扩展。

富士电机提供太阳能发电、风力发电、燃料电池等创造能源技术和节能技术、电力稳定化技术、能源管理系统以及电动汽车用快速充电器等丰富多彩的技术及产品。

对智能社区来说，太阳能发电及燃料电池等创造能源技术和用于充分利用能源的能源管理系统是不可或缺的，封面照片为其示意图片。

## 智慧城市中的智能电网

**甘 德强**

电气工程学院

**赵 荣祥**

浙江大学



Deqiang Gan



Rongxiang Zhao

当前智慧城市已经成为全球科技领域关注的热点之一，世界上许多国家都在积极开展智慧城市试点，例如，布里斯班、芝加哥、新加坡、曼彻斯特等。2010年上海世博会开启了中国智慧城市建设。在笔者所在的浙江省，宁波市和舟山市都有智慧城市建设的设想，重点关注领域包括智慧制造、智慧物流、智慧贸易等。

智能电网是智慧城市的基础设施之一，在智能电网中，客户可以以多种方式与电力供应商进行互动，这样的方式使得电力客户和供应商的社会福利最大化。智能电网的概念，是美国在2000年初提出的，随后在欧洲得到进一步的发展，现在已经被世界各地所广泛接受，也包括日本、中国。智能电网的出现往往是为了要减少排放，维护能源安全，防止大规模停电，并提供差异化的电能。

现代电网的基本原理大约是在半个世纪前提出的。根据监管经济学的经典理论，电力行业已经被认为是一种自然垄断行业，电力供应商有义务在规定的价格水平下提供电力资源，同时，电力需求一般都被认为是缺乏弹性的。这种“金科玉律”大约是在20年前随着电力市场引入更多的国家而改变。目前，电力市场已经在世界上主要工业国家大规模实施。然而，这种市场是一种发电侧的单侧市场，并不是一个真正意义上的市场，除非电力需求能够主动参与到市场活动中。而智能电网正是为了实现这一点而产生。

随着先进的通信/控制技术的开发应用，智能电网允许电力供应商能够收集电力客户的实时信息，以此来输送差异化的电能。智能电网可以更好地促进绿色电力的渗透，而这往往很难在当前电网中实现。智能电网也允许客户出售各种电力服务，但并不仅仅局限于这些：如下降备用（在午夜打开洗衣机，这样就可以获得备用奖励），参与电网频率调节等。概括地说，智能电网作为下一代的基础设施，允许客户

参与到市场中来。

智能电网的概念迅速在中国获得广泛的关注。2009年5月，中国国家电网公司提出了一个有关智能电网的设想：它是一个利用现代信息技术，同时完全支持数字经济，享有自动化的优势，并允许网络之间互动的坚强电网。同时国家电网公司公布了智能电网分步实施计划。而2010年，中国政府又将雄心勃勃的开展了一个智能电网研究计划，集中在可再生能源和电动汽车联网。此外，多个示范项目正在建设之中。例如，静海市智能电网项目开始于2009年秋季。建成后，天津市静海（拥有约35万人口）24.62%的电力消耗，将由清洁能源提供。本项目还包括有线电视，IP电话，遥控、遥测和遥信的采集。一些先进的技术将在项目中进行测试，包括电力储存系统，在线监控设备，智能建筑，电动汽车等。静海智能电网也有望实现自我恢复电力供应。

在浙江大学，在包括富士电机、国家科技部在内的多个机构的支持下，我们一直非常努力致力于一些挑战性的智能电网科研项目。我们的目标是要制定切实可行的解决方案研究：微网，虚拟电厂，和电网友好负荷。就以电网友好负荷的研究为例，通过观察我们发现大多数负荷的临时减载并不会对负载产生实质性影响。一个经典的例子是住宅区的空调负荷。这意味着，动态负载特性可以提高负荷对电网的友好程度。因此，在智能电网的框架下，负载也参与到频率控制，电压稳定紧急控制等中，相对于传统的需求响应计划，这似乎是一个比较新颖的概念，也具有相当的潜力。

综上所述，尽管仍然具有一些困惑和争议，但智能电网和智慧城市正在逐渐获得全世界的接受。我们认为，智能电网核心功能的最终确定和实施，将导致一个更为高效的基础设施的建设，这无论对电力供应商还是客户来说，这都是一个双赢的结果。

# 智能社区的现状与展望

## Present Status and Future Outlook for Smart Communities

菅井 贤三 Kenzo Sugai

小林 直人 Naoto Kobayashi

桑山 仁平 Jimpei Kuwayama

借助智能化电网、高效利用能源、稳定供水等实现低碳且高便利性的城市基础设施的“智能社区”已成为世界性的发展趋势。富士电机以擅长的电力电子技术为核心，不断扩充与社会基础设施相关的智能社区产品。这些产品具有统一的接口，由同时实现能源的可视化及设备的最佳应用的综合能源管理系统（EMS）进行整体控制。在智能社区业务的拓展方面，已向日本国外出口提上日程，正在不断推进。

The development of smart communities that provide low-carbon, highly convenient urban infrastructures are a global trend enabled by the adoption of smart power grids, efficient energy use, a stable supply of water and the like.

Fuji Electric, which specializes in the core technology of power electronics, is working to broaden the range of available smart community products that relate to social infrastructure. These products have a uniform interface, and all are controlled by an integrated energy management system (EMS) that allows for the simultaneous realization of energy visualization and optimal operation of equipment. The promotion of overseas exports is also under consideration as a way to expand the smart community business further.

### 1 前言

近年来，伴随着中国、印度等新兴国家的高速工业化及人口的增长，对原油和天然气等一次能源的需求大幅增长，价格的暴涨及供应的不稳定已成为问题。另一方面，在日本和欧美等发达国家，除了普及电动汽车、扩大利用太阳能发电和风力发电等之外，还出现了将融合了电网和信息技术、可大幅提高电力供应能力及利用效率的“智能电网”技术作为强化国际竞争力的战略支柱的趋势。

通过向用户普及分散型电源和蓄电系统与电网互联，电力的流动不再是由电力公司发电站向用户的单向流动，而是成为双向流动，甚至于可实现用户之间的相互流通。智能电网是指自身具备进行电力最优化供需控制功能的电网。

而且，智能电网按照区域级别对电网进行分散，能够大量应用太阳能发电、风力发电、生物发电等利用当地资源的分散型电源，可大幅提高区域能源的自给率。正因如此，它具有如下优势：当发生地震灾害等大面积灾害时，能够分散能源基础设施受损的风险；与此同时，通过使用多种当地能源，能够迅速恢复向当地的重要设施等的能源供应。

更进一步，“智能社区”不仅包括了这种智能电网概念，还通过扩大能源利用的范围、具备良好节能性能的建筑物、高效的交通系统以及稳定、安全的供水系统等，来实现低碳和高便利性的城市基础设施，在这种构想下，已计划、开展了具体的新城市开发和城市改造项目。

IT 企业也积极参加了与智能社区相关的项目。而且，由于与各国的能源政策和发展战略密切相关，所以已发展成为世界性趋势。

在日本，自 20 世纪 80 年代起，在国家和电力企业的主导下，就已开展了实现电网高水平化所需的各种活动，如开发改善电力供应可靠性、扩展应用可再生能源时所需的各

种针对性技术等<sup>(1)</sup>。此外，针对近期的世界性发展趋势，还开展了以向日本国外出口能源基础设施为目标的智能社区日本国内实证项目、新兴国家城市基础设施构建业务调查等各种国家项目。

迄今为止，富士电机主要通过和日本国内电力公司进行共同开发，开展了配电系统自动化系统<sup>(3)</sup>和电表的远程计量系统的开发，积累了与电网的高水平应用相关的产品、技术和技术经验。此外，还参加了自 2003 年度开始实施、周期为 5 年的独立行政法人 新能源、产业技术综合开发机构（NEDO）的“新能源等区域集中实证研究”，对通过太阳能、风力、生物等可再生能源在主体区域电网内对能量供需进行平衡的“微电网”（micro grid）控制技术进行了开发和评估<sup>(4)</sup>。

目前，富士电机将迄今为止积累的电网高水平化技术，与用户的节能和交通、供水体系等社会系统技术相融合，在参加与智能社区相关的国家实证项目和调查项目的同时，还集中公司内部在各领域的资源，推进智能社区产品、技术的开发和产品系列的完善。

本特辑将对上述实证项目的应对措施与面向实现智能社区的电网高水平化和用户能源利用高水平化相关的产品、以及确立关键技术的活动进行报告。

本文将对富士电机构想的智能社区及其课题、以及富士电机的智能社区相关技术、产品体系进行阐述。详细内容请参考本文之后的各篇论文。

### 2 面向智能社区的活动

#### 2.1 太阳能发电和风力发电的大量应用与智能电网

为了实现低碳社会，太阳能发电和风力发电的大量应用已在世界范围内得到推进。

这些不稳定能源，除了用于偏僻地区小规模电源供应用途之外，现在已直接连接至电网。通常，在大量应用太阳能

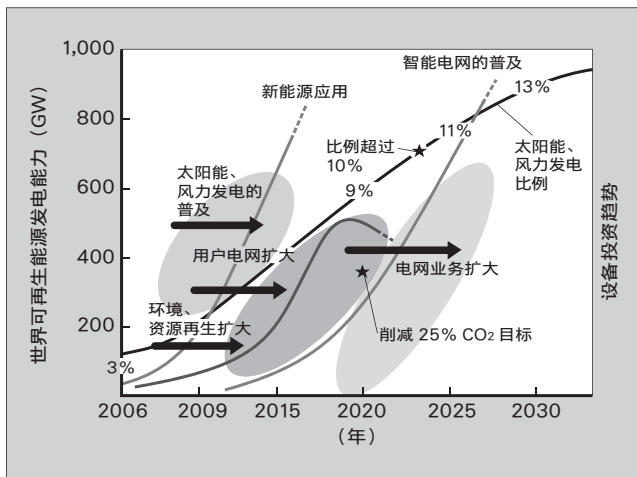


图1 智能电网设备投资趋势

发电、风力发电时，如果超出电网的供应容量的大约10%，就会产生电网的频率和电压不稳定等电力质量问题。而且，根据电网的负荷模式，会产生剩余电力，有可能对电网的保护控制功能带来影响。

但是，从设备开动率的观点来看，对电网进行大规模设备增强来作为太阳能发电和风力发电波动补偿措施的作法效率不高。因此，需要通过信息技术使用户和电网进行有机协作，协调应用用户设备控制（用户网络）和大规模电网控制。而智能电网可实现这一目标，可以说是针对大量应用太阳能发电和风力发电时出现的问题的解决手段。

图1显示了富士电机预测的太阳能、风力发电的扩大和设备投资趋势的相关性。相对于世界性的太阳能、风力发电普及计划，2012年之后“用户网络”的需求将扩大，2017年之后智能电网将得到普及。同时，这种与设备投资同步，具有高水平的城市功能的智能社区应用也会得到扩大。

### 2.2 从智能电网到智能社区

预测亚洲、非洲的人口今后将急剧增长。在这些地区，以印度、中国等新兴国家为中心的工业化将迅速发展，工业园、新城市开发以及相应的能源供应和供水、交通、物流等社会基础设施的构建将需要大量投资。

在日本、欧洲、美国等发达国家和地区，能源需求基本维持在一定水平，长期来看由于人口减少和制造基地向海外转移等因素的影响，可能造成能源需求下降。预测这些国家将采用对在经济成长长期内完成整备的能源基础设施进行再开发以逐步更新至智能电网的方式进行基础设施投资。

图2为“新城市型”及“改造城市型”能源基础设施投资对照示意图。

目前，世界上有300多个新城市开发和城市改造项目正在进行。不仅仅局限于电网的智能化，其概念已向创造融合了供水、交通、物流与能源的环境和谐型城市空间，也即是智能社区、环保城市（生态城）扩展（图3）。

智能社区的概念受到各国的能源政策、能源安全保障等所存在的问题的影响，其定义各种各样。

中东的环保城市项目的目标是完全通过可再生能源来提供全部电力，构建世界首创的碳中性（carbon neutral）、

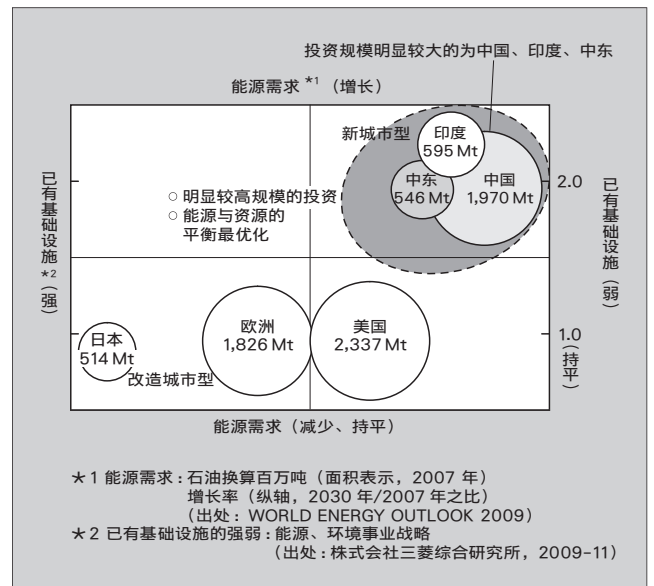


图2 能源基础设施投资对照示意图

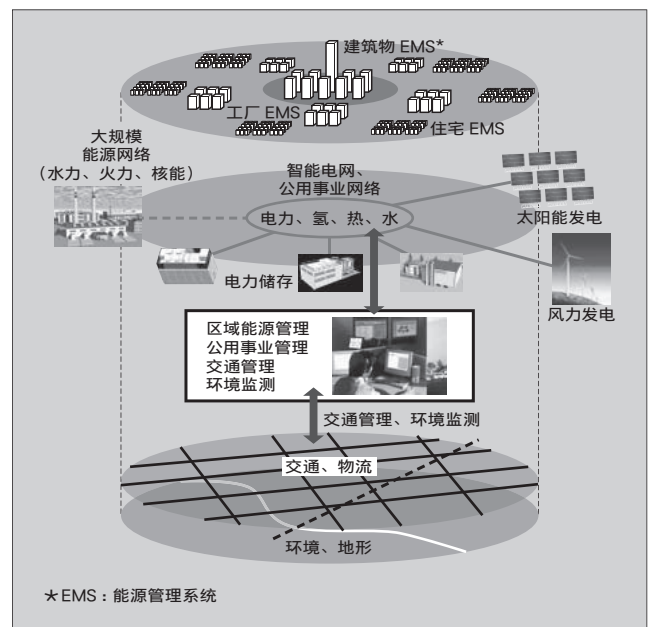


图3 智能社区的概要

零废弃物的环境和谐城市。而在中国有13个国家级环保城市项目正在推进，设定了可再生能源比例占30%以上、生活垃圾的无害化处理率70%以上、污水再生利用率30%以上等多达32项的指标。

### 3 富士电机针对智能社区开展的活动

#### 3.1 富士电机的业务范围

智能社区的主要市场为新兴国家的新城市开发项目和发达国家的城市改造项目。所需求的不仅是提供单一的关键技术，而是一站式构建、应用作为能源基础设施的能源供应、能源流通以及用户方的高效能源消费（用户电网）等一系列能源供应链的业务规划。不仅如此，还要求提供供水、废弃物处理、交通和物流等综合性社会系统开发商的功能。

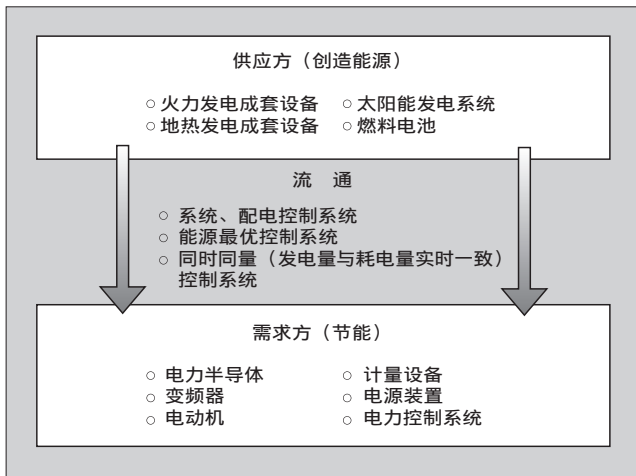


图4 富士电机的业务范围

图4显示了在智能社区方面富士电机所从事的业务领域。富士电机以通过高性能电力半导体实现的“自由控制能源技术（电力电子：power electronics）”为核心技术，完善了从智能社区的能源供应到用户电网的产品阵容。目标是通过作为通用信息协作架构的综合能源管理系统（EMS）平台对这些产品进行综合应用。

### 3.2 能源供应方的产品

富士电机拥有大规模火力发电、水力发电、地热（闪蒸）发电相关的成套设备技术。同时还提供能够利用低温地热的双工质发电、轻量且高柔性的非晶硅太阳能电池、工业用磷酸型燃料电池等具有特色的能源供应方用产品。此外，还有将以上产品安全连接至电网的受变电、保护系统及对太阳能发电、风力发电的电力波动进行均一化后向电网进行供应的电力稳定化装置等产品阵容。

### 3.3 流通及用户方产品

图5显示了富士电机所构想的智能社区的结构。

富士电机将“智能社区”定位为包括交通系统及给排水公用设施等在内的社会基础设施。并将智能电网的结构分为5层，第一层是作为核心组件的“电力装置”，进行电力转换和动力控制的“电力电子设备”、“用户电网”、定位为区域电网的“微电网”以及作为能源基础设施的“智能电网”分别构成其他各层。能源和信息在这些层之间双向流通，在智能电网和智能社区中实现最优化能源应用。

#### (1) 电力装置和电力电子设备

富士电机除了在世界范围内市场份额较高的不间断电源装置（UPS）和直流大电流电源外，还向电动汽车的动力传动系统、运输、搬运系统等各领域供应电力电子设备。此外，还开发了采用富士电机特有的逆阻式 IGBT（RB-IGBT：Reverse Blocking IGBT）的新3电平转换电路，与传统产品相比损失降低了30~40%。

电力电子在智能社区中的适用领域非常广泛，包括太阳能发电系统的电力调整器、用于有效利用可再生能源的剩余电力的电力储存系统、将电网的电压维持在正确水平的无功电力补偿装置和电压调整器等。

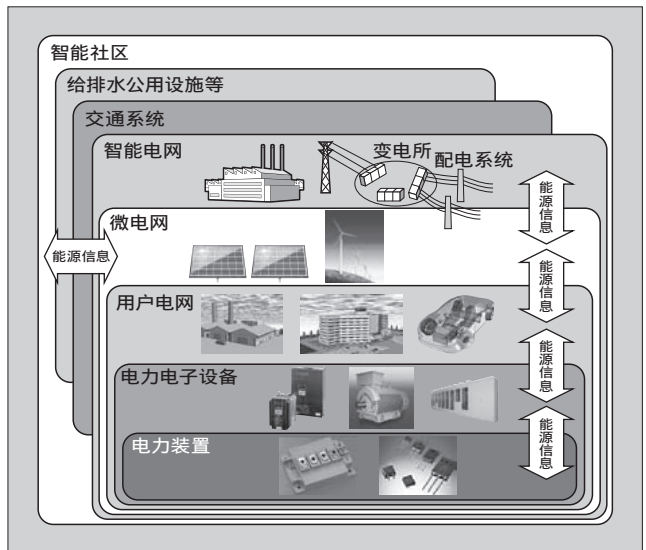


图5 智能社区的结构

#### (2) 用户电网

智能社区的关键是家庭、产业、交通领域等用户的节能。富士电机以工厂和建筑物用户为对象，应用EMS，开展了能源的可视化、分析评估以及设备的整体最优化应用。而且还推出了通过采用电力电子设备提供整体节能措施的解决方案——“绿色导航（green navigation）”。

此外，还以伴随服务器的高度集成化而导致能源需求密度不断提高的互联网数据中心（IDC）为对象，提供以超高效不间断电源装置和局部空调系统为中心的绿色IDC解决方案。并且，以连锁便利店、流通行业为对象，提供一站式构建节能店铺的综合解决方案。

在智能电网中，这些EMS与上位区域EMS在同一信息平台内分层协作。

家庭等小规模用户通过“智能电表”实现了与上位EMS和电力供应商的双向协作。智能电表除了现有的累计计算电力消耗量的计量功能之外，还设有与上位EMS常时交换信息的信息显示终端，具备根据电力供应商的电力供需情况改变电力买卖价格，引导用户实施负荷控制的需求响应功能。

#### (3) 微电网

在日本国内外已有众多以孤岛为对象的微电网应用、评估项目得到计划和实施。

孤岛的电力供应现在多采用柴油机发电，面临着因燃料运输而导致发电成本较高、需要降低环境负荷等课题。在孤岛微电网实证试验中，目标是通过与已有柴油发电设备和蓄电系统的协调运行，消除大量应用太阳能发电、风力发电系统等可再生能源时出现的供需不平衡并维持电网的供电质量。

富士电机在2009年度向九州、冲绳地区的孤岛交付了9套微电网实证系统。

#### (4) 智能电网

富士电机从2010年度开始参加了日本经济产业省组织的“新一代能源、社会系统实证事业”，进行了区域能源管理系统（CEMS）的开发、实证工作。

图6显示了所进行的区域能源管理的特征。在本实证项目中，以向新兴国家出口新城市能源基础设施为目标，对可

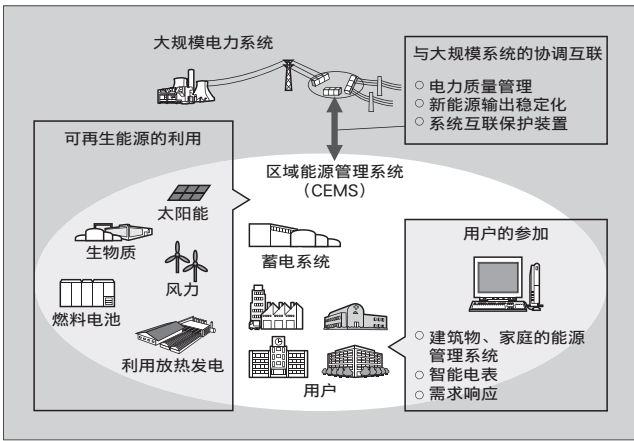


图6 区域能源管理的特征

再生能源和区域产业资源的利用、对互联的大规模电网的贡献以及这些特性的实用性及产业化应用可能性进行了评估。此外，还计划开展区域用户对能源供需应用作出贡献的需求响应和各种激励措施的评估等先行性研究。

除此之外，自2009年度起，在NEDO的“智能电网研究”中，还进行了下一代配电系统的构成设备及配电系统控制系统的开发、实证工作。

(5) 国际标准化战略

在智能电网、智能社区相关的国际标准化活动方面，欧洲和美国处于一定的领先地位。对于将日本国内拥有的差异化技术向全球推广来说，国际标准化战略是一个重要的因素。富士电机以相关的电力电子、智能电表、EMS领域为中心，积极参加了以经济产业省、NEDO的智能社区联盟为首的各种标准化活动。

4 今后的课题

智能社区属于社会基础设施业务，主要市场位于日本国外的新城市开发和城市改造项目中。作为组件、系统产品供应商的富士电机，为了开展该业务，可能遇到以下课题。

4.1 EPC (Engineering Procurement Construction) 能力

智能社区业务，特别是出口基础设施时，需要构建能够综合提供从计划到构建、应用的业务规划。因此，在业务体系方面，需要由日本国内企业及当地企业组建包括系统供应商、开发商、工程公司、建筑工程单位、应用及维护单位、金融单位等在内的联合体，以推进业务的案例将越来越多。

在该联合体中，为了实现承担主要的功能，富士电机应汇集集团公司的资源，加强能够一站式提供能源基础设施的设计、采购、施工的“EPC能力”，这一点非常重要。

4.2 构建社会基础设施过程中的安全、安心

智能社区业务，不仅包括能源基础设施，在作为城市整体对给排水、废弃物处理、交通系统等社会基础设施进行高效应用的同时，需要一定的技术经验来保证当出现意外灾害

时能够具备作为城市功能生命线的高可靠性和本质性的安全保障。

富士电机拥有电力流通设备、大规模成套设备的保护、控制技术和技术经验，这些安全、安心的技术也被定位为智能社区产品中重要的差异化项目。

5 后记

智能社区项目基本上都尚处于计划、实证阶段。伴随着今后太阳能电池的普及和电动汽车的普及，预计智能电网的构建、应用成本将变为与大规模电网相当，智能电网市场将真正启动。

富士电机面向提供安全、安心并且低碳的能源基础设施，借助相关单位的指导、协作，将努力实现进一步的技术革新。

参考文献

- (1) 电气事业的现状2009. 电气事业联合会. 2010-3。
- (2) 产业结构规划2010. 经济产业省. 2010-6。
- (3) 松田秀树等. 配电自动化系统的最新技术动向. 富士时报, 2008, vol.81, no.3, p.218-221。
- (4) 新能源等地域集中实证研究指导手册. 独立行政法人新能源、产业技术综合开发机构. 2008-9。
- (5) 新能源的大量应用所必需的系统稳定化对策. 资源能源厅. 2008-10。
- (6) World Energy Outlook2008, International Energy Agency。
- (7) 能源、环境事业战略. 株式会社三菱综合研究所. 2009。
- (8) 世界智能城市总览. 日经BP Cleantech研究所. 2010。
- (9) 小松康佑等. 高级NPC回路用IGBT模块. 富士时报. 2010, vol.83, no.6, p.362-365。



菅井 贤三

富士电机株式会社执行董事，社会系统事业本部本部长。



小林 直人

从事智能社区、智能电网构建领域的技术及事业企划业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部 SC 项目部部长。电气学会会员。



桑山 仁平

从事新能源、智能电网的企划、设计业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部综合技术部责任部长。电气学会会员。

# 面向新一代能源、社会系统的活动

## Fuji Electric's Efforts Involving Next-generation Energy and Social Systems

笛木 丰 Yutaka Fueki

桑山 仁平 Jimpei Kuwayama

为了实现作为新一代能源、社会系统的“富士智能网络系统”，富士电机的目标是构建采用区域分散形式实现对象区域的电力稳定化和节能、低碳化，不会对送电系统造成影响的系统。该系统的目标是在整个区域内开展活动，在区域内解决与能源相关的课题，如大量应用太阳能发电导致的电压上升、采用智能电表进行直接、间接负荷控制以实现节能、热能与燃气等的相互补充等。在日本国内参加了北九州市、京阪奈学研都市的开发，在日本国外则接受 NEDO 的委托进行基础调查。

In order to realize the “Fuji Smart Network System” as a next-generation energy and social systems, Fuji Electric aims to realize power stabilization, energy savings and reduced carbon usage in the intended area by employing regional distribution, and to construct a system that does not affect power transmission systems. By addressing energy-related problems such as voltage rises due to the introduction of large amounts of solar power, the use of direct and indirect load control using smart meters to realize energy savings, the mutual interchange of heat and gas, and the like for an entire region, the system aims to solve energy-related problems within that region. Fuji Electric is participating in planning for Kitakyushu and Keihanna Science City in Japan, and having been commissioned by NEDO, is advancing a basic survey for overseas.

### 1 前言

为了实现低碳社会，可再生能源、电动汽车 (EV)、节能住宅、零排放建筑、工厂采用高效设备等措施得到了广泛研究。最近，不仅仅是以单一形式采用上述节能、创造能源设备，而是以应用以智能电表为代表的双向通信功能，在区域整体内实现能源的高效利用为目标的的活动得到了广泛关注。

在日本国内，以包括电力供应商、可再生能源发电单位、用户在内的区域整体为对象的最优化能源管理不仅仅局限于电能，创建高效利用热能、燃气和水环境、变革居民生活方式的环境和谐型城市空间的实证项目也正在得到推进。在日本国外，城市及工业园的电力、热、燃气、水环境、交通等基础设施整备事业也呈现出积极发展的态势。

富士电机在参加日本国内的新一代能源、社会系统，也即环境和谐型城市的智能社区实证项目规划的同时，还积极开展在了日本国外的智能社区调查活动。

### 2 新一代能源、社会系统

本章阐述智能电网和智能社区的定义，对有关新一代能源、社会系统的国家活动和实证项目以及富士电机参与实证项目规划的情况进行简单介绍。

#### 2.1 定义

##### (1) 智能电网

为了解决伴随大量应用可再生能源而出现的电力质量问题，完善控制电力的信息网络，对能源的供需进行实时调整，这就是智能电网。这些措施可实现以下目标<sup>(1),(2)</sup>。

- (a) 确保电力的稳定应用、降低大规模停电的风险
- (b) 与用户携手推进节能以及能源的有效利用
- (c) 高水平的电力设备维护管理

##### (2) 智能社区

智能社区是在低碳前提下力争实现改善居民生活便利性和城市改造升级的全新“城市建设”概念。智能社区是充分利用智能电网等最新技术构建的新一代区域社区。除了高效利用能源之外，还包括应用可再生能源、升级交通系统、创造兼顾改善舒适性和节能的生活空间等内容，而连接这些项目的信息网络则承担着极为重要的功能<sup>(3)</sup>。

#### 2.2 富士电机所描绘的新一代能源、社会系统

富士电机的目标是构建采用区域分散形式实现对象区域的电力稳定化和节能、低碳化，不会对送电系统造成影响的新一代能源、社会系统。

新一代能源、社会系统的目标是在整个区域内开展活动，在区域内解决与能源相关的课题，如大量应用太阳能发电导致的电压上升、采用智能电表进行直接、间接负荷控制以实现节能、热量与燃气等的相互补充等。

图 1 显示了富士电机所描绘的区域分散型新一代能源、社会系统的构想。该构想是后文所述的“富士智能网络系统”的基础，被应用于智能电网和智能社区。

#### 2.3 国家的活动和实证项目

在国家活动方面，可举出大规模应用以太阳能发电为中心的再生能源 (2020 年目标太阳能发电 2800 万 kW、风力发电 490 万 kW)、利用智能电表 (目标在 2020 年实现所有用户采用) 通过双向通信进行直接、间接的负荷控制、以电动汽车为代表的蓄电池技术应用、以及由此所获得的新技术为核心的面向日本国外的基础设施出口的支持等项目<sup>(4),(5)</sup>。2010 年 6 月，进行了以对这些技术进行实证为目标的“区域能源管理系统开发业务和蓄电复合系统化技术开发项目”的公开招标，决定自 2010 年起 5 年内在北九州市、京阪奈学研都市、横滨市、丰田市实施新一代能源、社会系统的

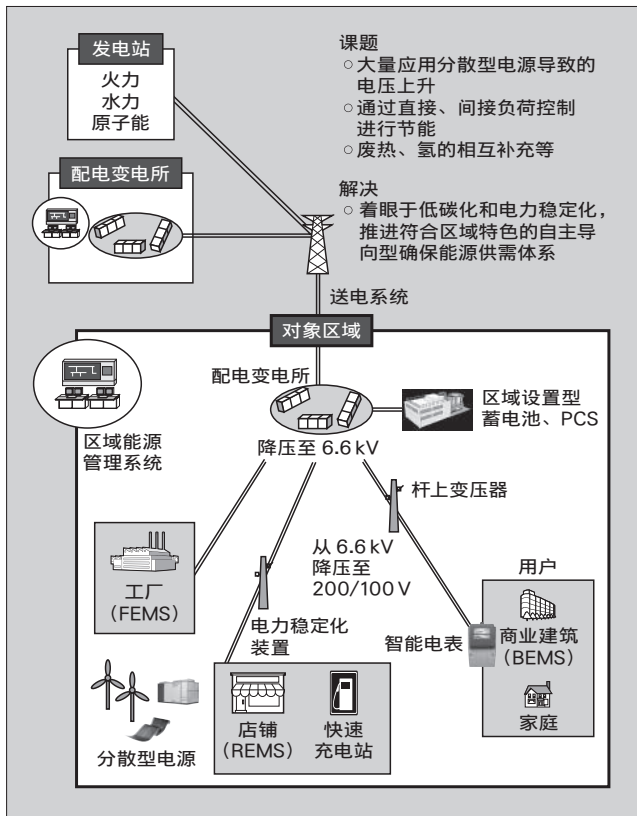


图 1 富士电机的区域分散型新一代能源、社会系统

实证项目。<sup>6)</sup>

### 2.4 富士电机参与实证项目规划

富士电机通过向实证业务项目提供协助、进行提案，共享了国家和各级地方政府对未来的规划，同时推进了日本国内和全球业务的开展。

富士电机最近所参与规划的主要实证业务项目如下所示。

- (1) 智能电网相关的实证业务项目
  - (a) 九州、冲绳孤岛微电网实证系统 (2009)
  - (b) 新一代送配电系统最优控制技术实证业务 (2010)  
采用新一代配电自动化系统集中方式的电压控制
  - (c) 美国新墨西哥州日美智能电网实证业务商业建筑用燃料电池系统 (2010)
  - (d) 负荷均一化设备应用效果实证业务 (2011)  
应用智能电表的间接、直接负荷控制
- (2) 与智能社区相关的实证业务项目
  - (a) 新一代能源、社会系统实证 (2010)
    - ① 北九州市
      - 区域能源管理系统开发业务
      - 蓄电复合系统化技术开发项目
    - ② 京阪奈学研都市
      - 蓄电复合系统化技术开发项目
  - (b) 有关印度尼西亚爪哇岛工业园应用智能社区技术的可行性调查 (2010)

### 3 富士电机的活动

要想理解新一代能源、社会系统，需要从对象规模、电力质量、能源管理及自产自销这四个角度进行分析。本章基于这些分析，展示对低碳化和电力稳定化作出贡献的富士电机技术。然后介绍在日本国内外应用了这些技术的实证项目。

#### 3.1 四个观察角度和相应的技术

富士电机多年来一直从事新一代能源、社会系统相关技术的开发和提供业务。例如配电自动化系统、系统控制系统、能源管理系统 (EMS)、分散型电源、同时同量 (发电供需实时平衡) 控制、电力质量稳定化、电力计量测试仪器、配电设备、逆变器和转换器及其应用实例的电力调整器 (PCS) 等。

最近的日本国内及日本国外所需求的社会基础设施相关业务，除了要求实现从能源供应到用户的能源供应链全程管理、基于监控的高效率化、最优化之外，为这些提供支持的信息网络也已成为一个重要的因素。

富士电机从以下四个观察角度来理解新一代能源、社会系统。

- (a) 对象
 

虽然规模大小不一，但对象区域基本上包括紧凑型城市、联合企业、工业园、孤岛、不通电地区。
- (b) 电力质量
 

为了避免对送电系统造成影响，通过在对象区域内应用分散型电源来保证在对象区域内部消化电压变动和频率变动，以保障电力的稳定。
- (c) 能源管理
 

在住宅、充电站、店铺、商业建筑、工厂内充分利用电力和热能源，同时利用信息网络实时收集现场信息，确保能够相互利用区域内的能源。
- (d) 自产自销
 

对象区域的能源控制与送电系统和区域热电联产系统、分散型电源系统等协作，以实现自产自销为目标。

基于以上四个观察角度，将应用于新一代能源、社会系统的富士电机技术分类为低碳化技术和电力稳定化技术，如下所示。<sup>7)</sup>

  - (1) 面向低碳化的技术
    - (a) 管理对象区域整体的能源的区域能源管理系统 (CEMS)。
    - (b) 面向作为用户的店铺、建筑、工厂的能源管理系统 (REMS, BEMS, FEMS)。
    - (c) 具备掌握用户电力使用量和停止供电及解除停止供电、显示指南、响应输入功能的智能电表及分段中转无线技术。
    - (d) 与作为分散型电源的轻量且可折弯的薄型太阳能电池、业务用 100 kW 磷酸型燃料电池、在低落差条件下可发电的微管 (micro tubular) 水车、可将低热能源高效转化为电力能源的双工质地热发电等相关的技术。
  - (2) 面向电力稳定化的技术
    - (a) 除了能够检测故障点并进行修复之外，还具备供电流



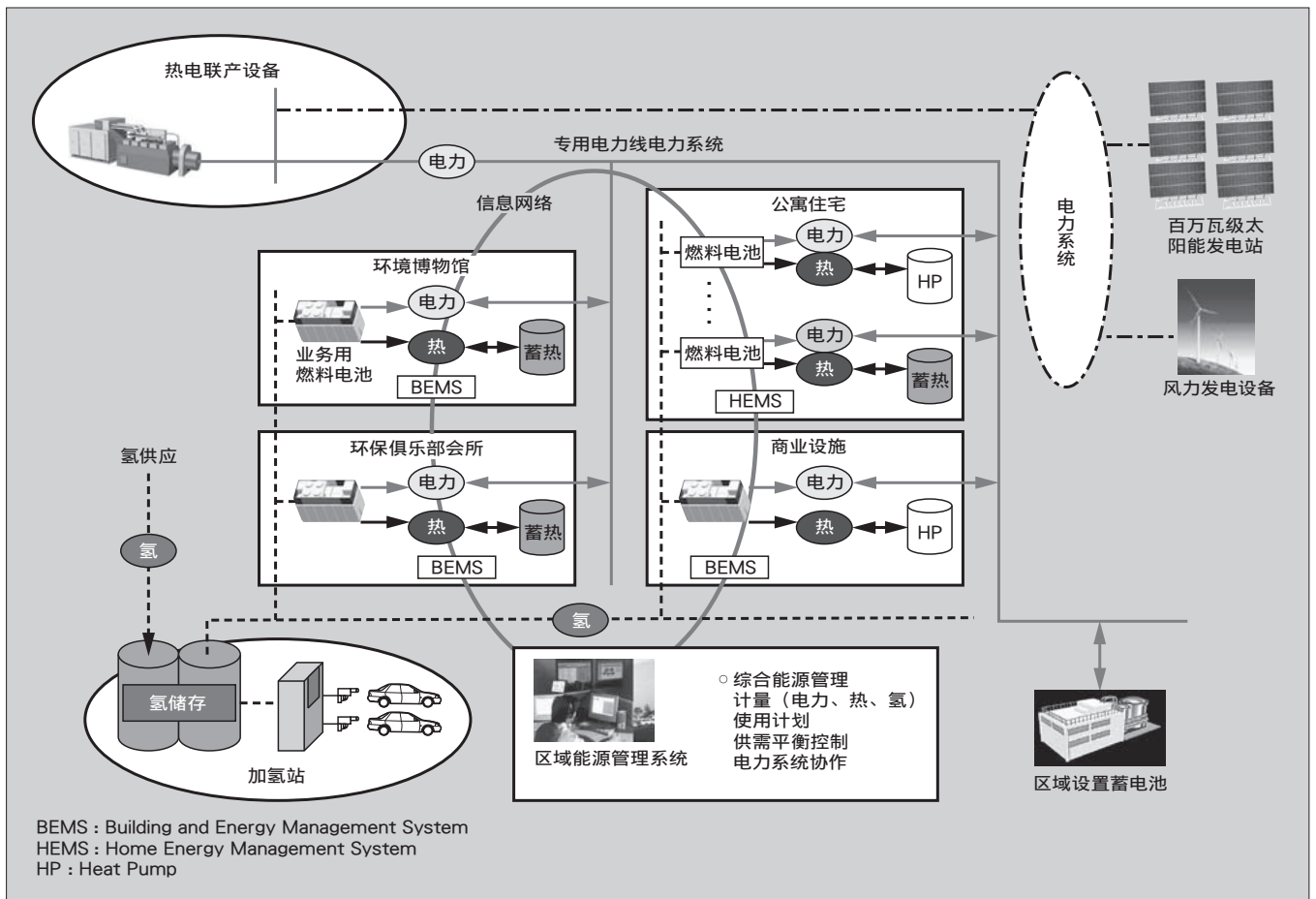


图 3 北九州市新一代能源、社会系统的整体图

表 1 区域能源管理系统的功能项目

区域能源管理系统	
功能项目	组合了能源需求预测、气象预测、应用新能源时的系统控制和蓄電池、EV的区域整体能源管理
	通过与电力系统的协调运行实现稳定化
	实时掌握各用户的能源使用状况
	用户负荷控制及动态价格等用电需求管理
	采用标准步骤与用户、能源设备进行连接
	通过利用能源使用量、CO <sub>2</sub> 的可视化数据拓展新的服务

高租户和建筑使用者的环保意识，为综合建筑整体的零排放作出贡献。

与以京阪奈学研都市整体为对象的区域能源管理系统进行情报协作，开展对实现所指示的需求目标值所需的控制手段的理想方式进行验证的工作。

用户能源管理系统通过在综合建筑内设置紧凑型建筑用能源控制器而得到实现。该控制器在对综合建筑的蓄電池和燃料电池等能源设备进行直接控制的同时，还借助智能电表进行租户负荷间接控制。通过与传统的以监测和可视化为中心的建筑物管理系统进行协作，有可能进一步实现建筑内能源利用的高效化。表 2 为建筑用能源控制器的主要功能项目，图 5 显示了其系统结构。

(b) 新一代送配电系统最优控制技术实证项目  
智能电网在技术方面的课题之一是如何抑制将包括太阳

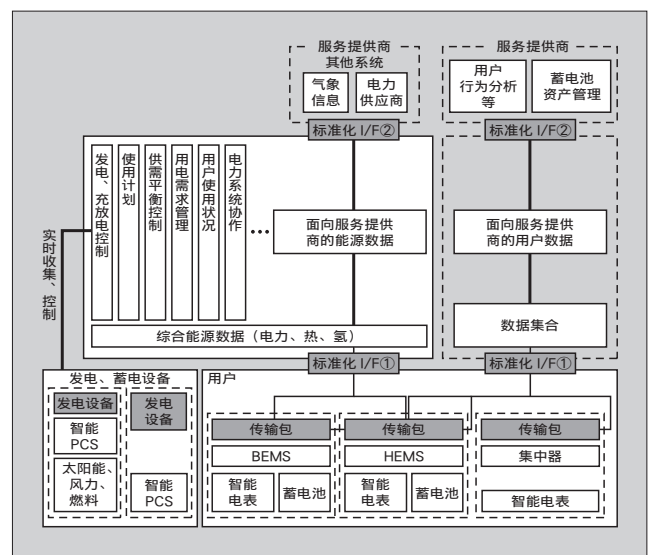


图 4 区域能源管理系统的结构

能電池在内的分散型电源大量连接至配电系统时所引起的电压上升。针对这一课题，富士电机多年来一直开展了与抑制太阳能发电电压相关的均衡控制等开发工作。在新一代配电自动化系统中，通过中央监控系统对连接于电压调整设备和太阳能电池的电力调整器进行集中控制，力图解决这一课题。

在配电方面，为了为分散型电源的大量应用做好准备，在日本国内外应用具备电压调整设备集中控制功能的新一代

表 2 建筑用能源控制器的功能项目

建筑用能源控制器	
功能项目	利用蓄电池实现负荷的均一化（削峰、移峰）
	蓄电池（电力）和热泵（热能）的控制运行
	通过用户室内智能电表进行间接负荷控制
	通过EV运行计划进行充电控制
	燃料电池的废热利用
	与空调进行联动控制
	达到区域能源管理的需求目标值

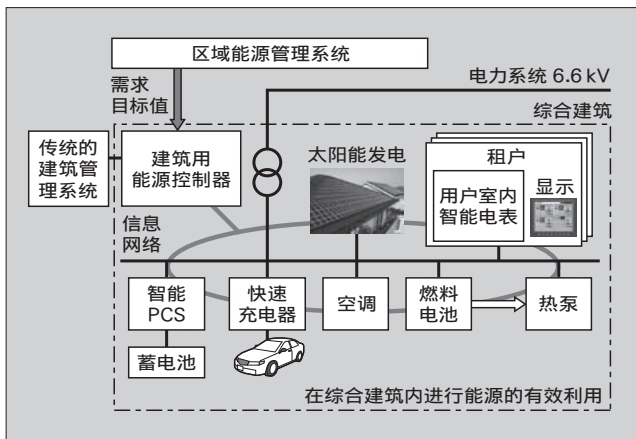


图 5 以综合建筑为对象的用户能源管理系统的结构

配电自动化系统和具备电力稳定化功能、无功电力调节功能、电力储存功能的分散型电源用电力调整器。图 6 为最优化电压控制技术的整体示意图。

### 3.3 在日本国外的实证项目

富士电机和住友商事株式会社、三菱电机株式会社、东电设计株式会社接受独立行政法人 新能源、产业技术综合开发机构 (NEDO) 的委托，以能源集成度较高、有望获得良好的节能和低碳化改善效果的东南亚工业园为对象，开展了应用智能电网技术进行电力基础设施出口的基础调查工作。

日本企业积极入驻的东南亚工业园具有以下特征。

- (a) 为了保证稳定生产，要求提供与日本同等的电力质量水平。
- (b) 与日本相比，工厂的能源管理进行节能、低碳化改善的余地较大。
- (c) 工业园的电力合同容量与一个配电用变电所所管理的电量相当，与区域能源管理的对象区域规模类似。

基于上述 3 个特征，在新一代能源、社会系统实证业务正在开发的智能电网技术中，如表 3 所示的针对低碳化、电力稳定化的技术，能够应用于东南亚的工业园。

富士电机计划针对东南亚工业园的低碳化和电力稳定化，通过应用这些智能电网技术来构建工业园的电力基础设施。

图 7 为将智能电网技术应用于工业园时的系统模型。该模型将工业园整体视为相当于区域能源管理对象区域，在工业园整体范围内通过电力稳定化和能源管理系统实现节能、削峰。主要技术包括以下 2 点。

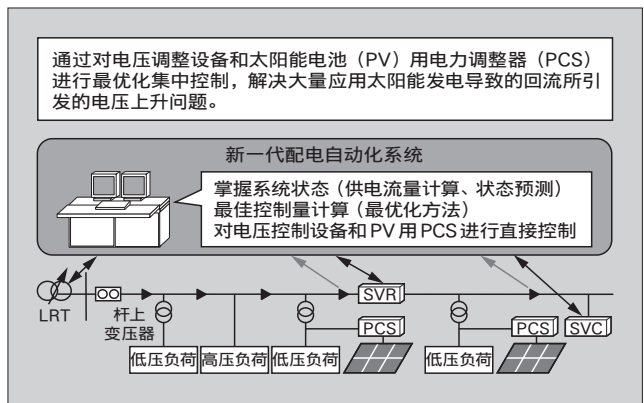


图 6 最优化电压控制技术的整体示意图

表 3 建筑用能源控制器的功能项目

	低碳化	电力稳定化
工厂	工厂能源管理 削峰/抑制需求 直接/间接负荷控制 通过智能电表进行自动计量 更换采用高效设备 可再生能源设备 逆变器控制、空调控制 厂内信息网络	不间断电源装置 (UPS) 应急自发电设备 无功功率补偿装置 (SVC) 自动电压调整器 (SVR) 电力电容器
工业园	区域能源管理 削峰/抑制需求 直接/间接负荷控制 可再生能源设备 工业园内信息网络	应急电源设备 电力质量稳定化装置 无功功率补偿装置 (SVC) 自动电压调整器 (SVR) 工业园内配电自动化系统

- (a) 在工业园设置向多家工厂提供高质量电源的“电力质量稳定化装置”。
- (b) 通过中心对工厂需求抑制和能源管理进行集中管理的“工业园 EMS”。

### 4 今后的课题

第 3 章所记述的目前进行中的实证项目均是富士智能网络系统的构成要素，通过利用日本国内外的实证项目的成果，完成了这一系统。此为实现了以用户和区域为对象、以低碳化和电力稳定化为目标的新一代能源、社会系统之集大成者。

富士电机在日本国内向希望节能并对电力、热能进行充分利用的用户以及能源特区、开展新能源规划的各级地方政府推广这一系统。面向电力公司，将以电力的稳定化、高质量化为目标，针对 2020 年目标（太阳能发电 2800 万 kW、风力发电 490 万 kW、所有用户采用智能电表）推进新一代配电自动化系统的应用。

在日本国外，将向智能社区、工业园、孤岛、配电领域推广可同时实现低碳化和电力稳定化的“以电力为中心的社会基础设施一揽子方案”。智能社区的基础设施构建不仅包括能源基础设施，还要求完善水环境基础设施、包含充电器状态管理等在内的用于电动汽车的基础设施、信息基础设施。富士电机将与长期积累的水处理相关系统、店铺系统互相协作，推进系统的构建。

此外，由于以新一代能源、社会系统为对象的业务领域

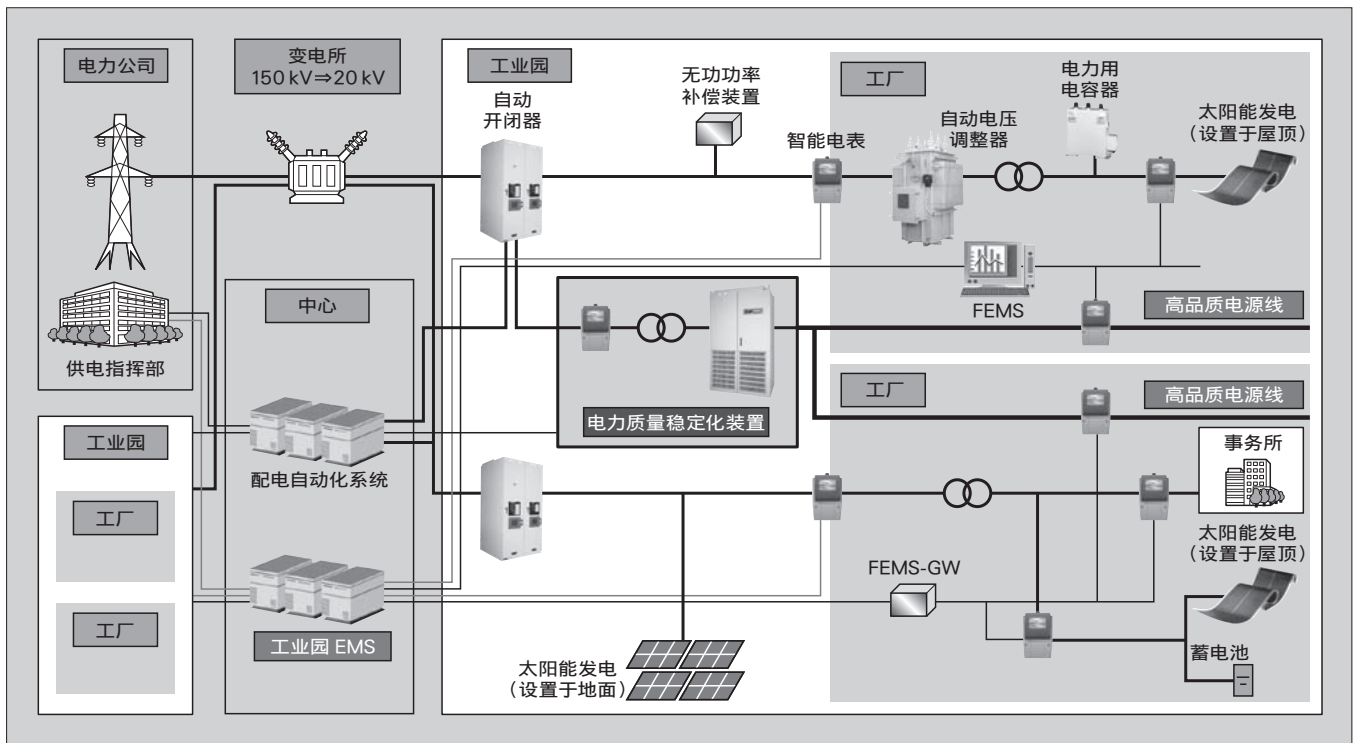


图7 智能工业园的系统模型

属于全新的服务范畴，拥有新一代能源、社会系统的业务单位和对系统进行应用、维护的业务单位的收益性非常重要，计划从业务可行性调查和基本计划制定的阶段就参与规划。

### 5 后记

今后，预计太阳能电池和智能电表将普及至众多家庭，以低碳化为目标的分散型电源和高效设备将得到激励，电动汽车将广泛普及。富士电机拥有日本不久的将来将应用的与智能电网相关的众多技术。针对社会对智能电网和智能社区的需求，希望能够通过迅速实现新一代能源、社会系统的技术开发和实证项目成果的产品化，为构建环境和谐型城市和地区、大量应用可再生能源、普及电动汽车所需的社会基础设施作出贡献。

### 参考文献

(1) 电力中央研究所. TOPICS. 2010-5, vol.1。  
 (2) 面向实现智能社区的政策规划. 经济产业省. 商务情报政策局情报经济课. 2010-12。

(3) 经济产业省. METI (经济产业期刊) 9·10。  
 (4) 长期能源供需预测. 经济产业省. 2009-8。  
 (5) 经济产业省. 智能电表制度研讨会. 2010-11。  
 (6) 构建面向实现低碳社会的能源管理系统. 经济产业省. 政府公报. 2009-12。  
 (7) 大池克幸等. 实现智能能源的自动化. 富士时报. 2009, vol.82, no.5, p.(8)-(12)。



### 笛木 丰

从事智能电网相关系统的企划、设计、实证实验业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部综合技术部经理。电气学会会员。



### 桑山 仁平

从事新能源、智能电网的企划、设计业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部综合技术部责任部长。电气学会会员。

# 面向孤岛的微电网系统

## Microgrid System for Isolated Islands

小岛 武彦 Takehiko Kojima

福屋 善文 Yoshifumi Fukuya

世界上有无数个有人居住的孤岛，其中的大多数都采用独立的电力系统。中小型孤岛由于系统规模小、发电机的惯性能量小，所以容易受到可再生能源的输出变动的的影响。富士电机除了研讨能够解决这一问题的面向孤岛的微电网系统结构之外，同时还对大量应用可再生能源时独立系统中所存在的课题及解决方法进行了研究。本文对将微电网系统应用于中小型孤岛过程中存在的课题和解决方法，以及九州电力公司辖区内的 6 个岛屿和冲绳电力公司辖区内 3 个岛屿正在实施的实证试验的概要进行了介绍。

There are many inhabited isolated islands throughout the world and most of these operate with independent power systems. Because such power systems located on small isolated islands are small in size and their generators have small inertial energy, they are sensitive to fluctuations in the output of renewable energy. To solve this problem, Fuji Electric has studied the configurations of microgrid systems for isolated islands and has also studied the challenges for isolated systems when introducing a large amount of renewable energy as well as the way to address those challenges. This paper describes the challenges and solutions for applying microgrid systems to small isolated islands and also presents an overview of verification tests being carried out on six islands in Kyushu and three islands in Okinawa.

### 1 前言

针对以削减温室气体为首的地球环保问题的活动，正在研讨创建全球规模的框架并设定目标。其中，可再生能源的应用被认为在解决环境问题和培育产业这两方面都有效，有望在今后得到更大的发展。

但另一方面，可再生能源的大量应用对电力系统的不良影响也引起了人们的担忧。

自 1990 年代后期起，欧盟 (EU) 各国为了解决地球环境问题而大量应用风力发电，暴露出了各种各样的系统问题，<sup>(1)</sup> 解决这些问题成为了当务之急。

富士电机除了自 2009 年起就开始研讨孤岛微电网系统的结构之外，同时还对大量应用可再生能源时独立系统中所存在的课题及解决方法进行了研究。

本文将对这些微电网系统应用于孤岛时的控制功能和所采用设备的概要进行介绍。

### 2 将微电网应用于孤岛

#### 2.1 微电网系统

微电网系统是采用多台分散型电源，在保持区域电力供需平衡的同时进行电力运行的电力网络，具有以下特征。<sup>(2)</sup>

- (a) 适用于存在多个用户的特定区域。
- (b) 由分散型电源和小规模电力供应网络构成。
- (c) 可独立于现有大规模电力系统进行运行的现场型电力供应系统。
- (d) 与系统的并网包括系统并网类型和独立系统类型。
- (e) 通常使用 ICT (Information and Communication Technology) 对多个分散型电源及负荷进行统一控制。

这样的小规模系统，作为区域内互补型电力供应系统可利用可再生能源，属于环保型电力系统，同时还可通过电力、

热能储存设备来吸收区域内可再生能源造成的输出变动和需求的变化，避免对现有电力系统造成影响，作为广泛支持现有系统的系统有望得到广泛普及。

#### 2.2 应用于孤岛时的目的和课题

孤岛微电网系统是继承了微电网固有特征的专门化中小规模独立系统，其目的是在大量应用可再生能源时维持独立系统的电力质量并确保供应可靠性。

世界上有无数个有人居住的孤岛，其中的大多数都采用独立的电力系统来供电。日本是世界上拥有孤岛独立系统最多的国家。

受到运行限制等问题的影响，孤岛的独立系统通常采用内燃发电机供电，使用 CO<sub>2</sub> 排放系数较高的化石燃料。而且，由于远距离输送燃料导致发电成本较高，孤岛还面临着经济性相关问题。

为了解决这些问题，大量应用不需化石燃料的可再生能源被认为可同时降低环境负荷并解决经济性问题。

但是，大量应用可再生能源会导致电力系统的电力质量和供应可靠性降低，需要采取解决这些问题的措施。在孤岛上应用可再生能源时的课题如表 1 所示。<sup>(3)</sup>

采用微电网系统是针对在孤岛上大量应用可再生能源时

表 1 孤岛应用可再生能源的课题

项目	课题
供需运行	需要常时维持供需平衡（只允许的在现有发电机的调速器响应能力范围内变动）
频率电压维持能力	可再生能源及负荷变动导致频率变化大、变动瞬间产生
备用功率	备用功率极小（因发电机的单机容量小）
经济性	当设有对可再生能源的变动量进行补偿的备用功率（提升量）时，柴油发电机的运行工作点输出功率降低，燃料效率降低

所担忧的各种课题的有效解决办法。

### 3 孤岛微电网系统

#### 3.1 基本结构

图 1 显示了孤岛微电网系统的基本结构。

系统由现有的内燃发电系统和可再生能源及电力储存装置构成，通过传感器分别对各系统所产生的电力和电力质量评估项目（频率、无功功率等）进行测定，通过高速传输方式向微电网控制装置发送信息。

由于小规模系统主要采用惯性能量较小的小容量内燃发电机，所以会因可再生能源输出的急剧变动或停止等而导致出现瞬时频率变动等电力质量降低现象。现有的发电系统的控制装置（调速器控制）无法及时响应这样的急剧变动，如果不采取措施，就有可能导致出现频率偏离规定数值等系统电力质量降低问题。

对于系统规模仅数百 kW 程度的孤岛（小型孤岛）来说，这种瞬时频率变动有更加明显的趋势，需要实现变动补偿功能的高速化。对于规模更小的孤岛来说，由于发电机的运行台数少，运行调整范围也较小。因此，当可再生能源发电占比较高比率时，很难保持在现有发电机的运行范围内稳定运行，需要采取限制可再生能源的输出、通过电力储存装置的冗余化、大容量化来实现移峰运行等解决措施。

此外，对于系统规模为 1000 kW 左右的孤岛（中型孤岛），以多台内燃发电机的台数控制为中心，如果预备容量有富余，就能够设定较宽的运行范围。因此，微电网系统可实现在现有发电设备的控制范围内的最经济的系统结构。

#### 3.2 小型孤岛的控制功能

富士电机开发了具备在高效燃气引擎发电机加载负荷时对负荷响应性能进行辅助的功能（吸收器功能）的不间断电源装置“UPS 8000G 系列”，并实现了其商品化。该不间断电源装置可捕捉负荷的瞬时变化，实现几 ms ~ 10 ms 左右的瞬时变动补偿。此外，从 2008 年起开始在株式会社 windpower 西目风力发电厂（富士电机 100% 出资的风力发电公司）进行以抑制风力发电厂输出变动为目标的稳定化装置的实证试验。

通过该实证试验，建立了稳定化控制技术<sup>(4)</sup>及蓄电设备的应用管理技术。以这些技术为基础，开发了面向小型孤岛的微电网控制功能。

图 2 为所开发的面向小型孤岛的控制功能的结构图。采用本控制功能，能够对包括风力发电机的切断、太阳能电力调整器停止等在内的瞬时变动进行控制，避免系统频率偏离。图 3 为对有瞬时电力补偿功能和无该功能时的对比仿真实验的结果<sup>(3)</sup>。

#### 3.3 中型孤岛的控制功能

在常时使用多台旋转型发电设备实现运行的中型孤岛，借助发电机的惯性能量可吸收一定的瞬态变动。在类似系统中，发电机的运行范围比较广，当考虑所采用设备的经济性时，重要的是选择合适的蓄电设备和减少容量。

当系统规模进一步变大时，可再生能源的设置点将增加至多个，可再生能源的输出变动的检测将变得困难。在这种情况下，包括需求变动在内的系统的高速频率变动补偿将成

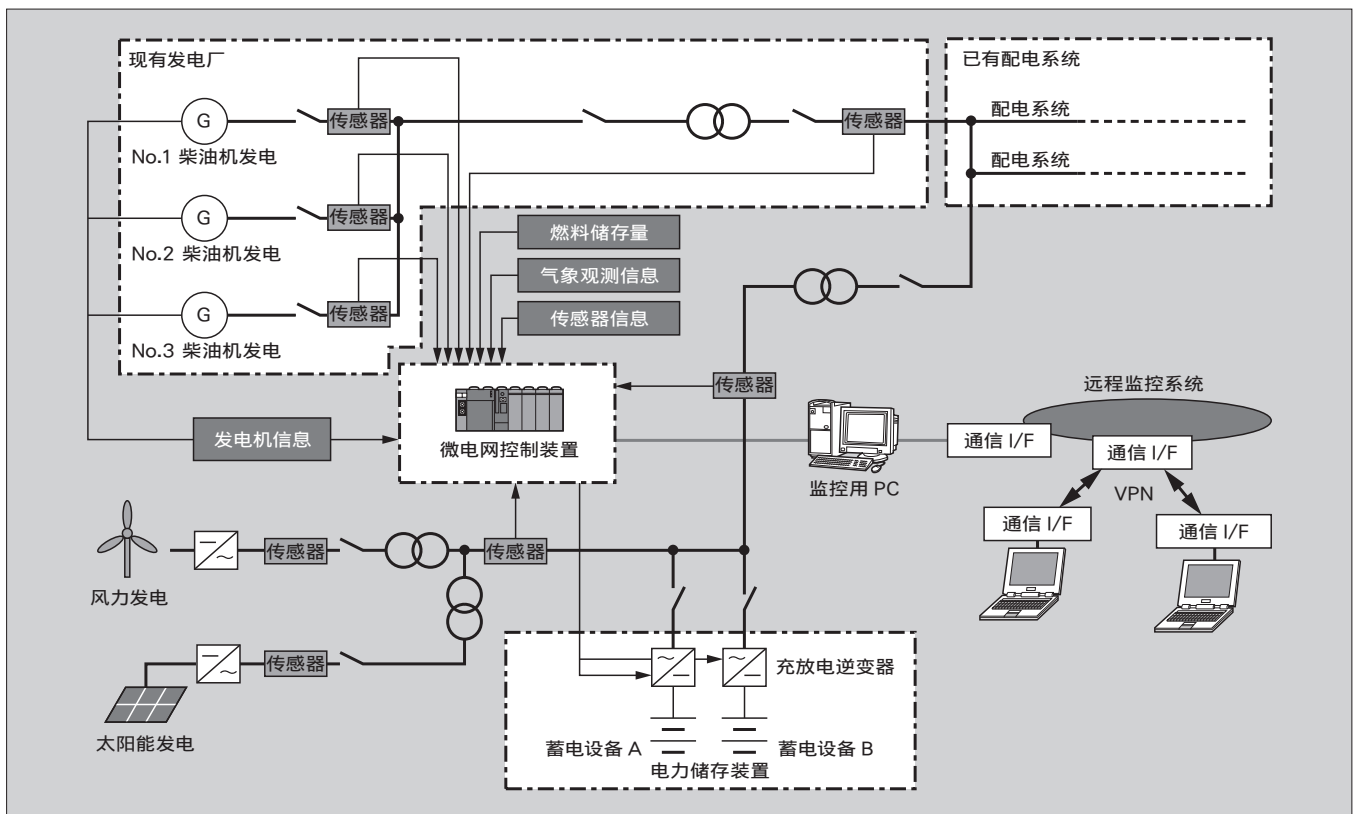


图 1 孤岛微电网系统的基本结构

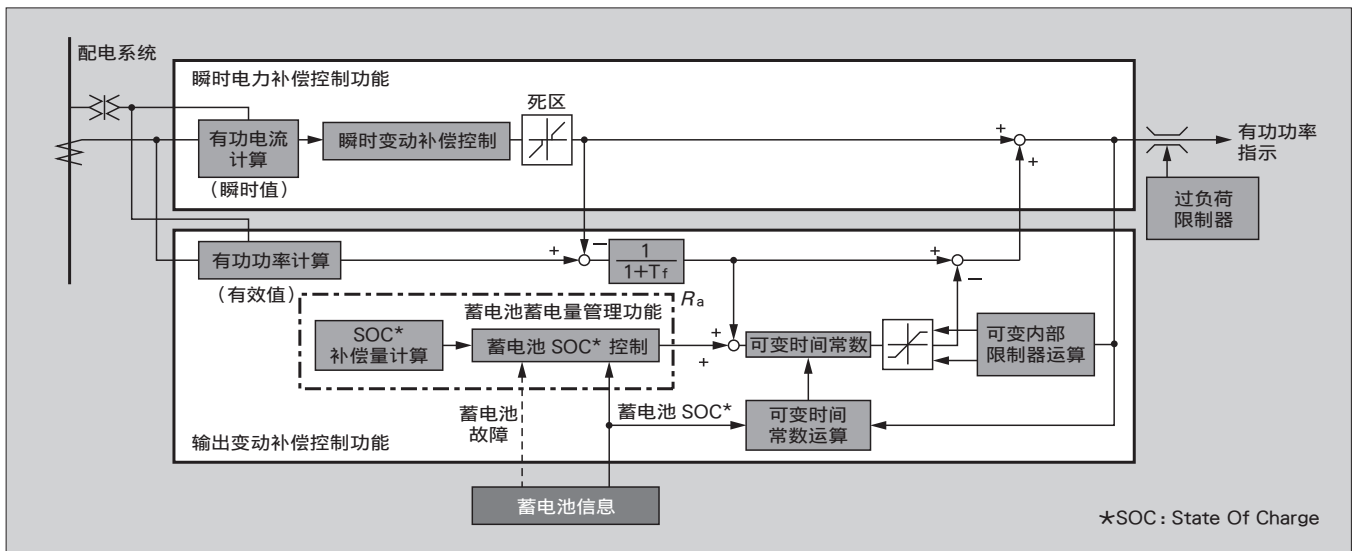


图2 面向小型孤岛的控制功能的结构

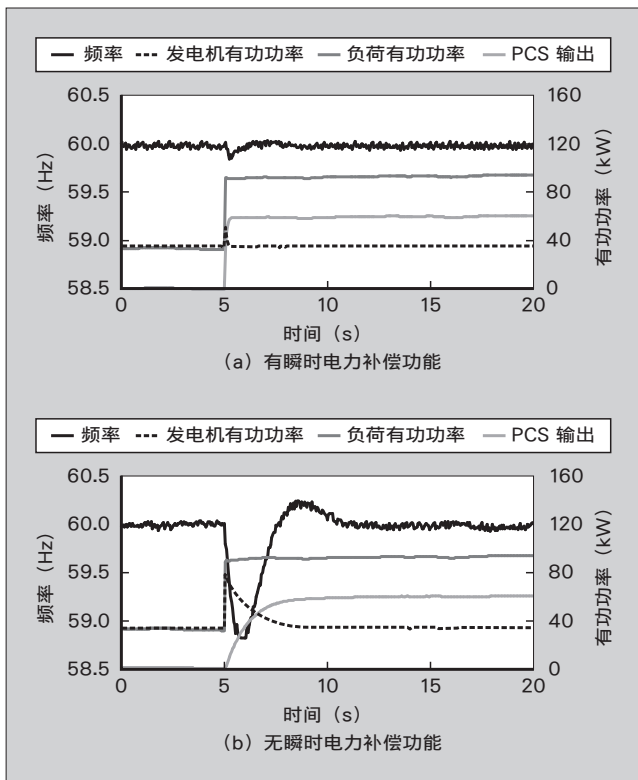


图3 瞬时电力补偿对频率变动的抑制效果

为有效的手段。

### 3.4 蓄电设备的选择

构建微电网时，在选择蓄电设备时需要同时考虑运行及经济性这两方面，这一点非常重要。富士电机在西目风力发电厂获得了蓄电设备厂商的协助，采用镍氢电池、高循环寿命铅蓄电池、双电层电容器进行了实证试验。

通过本实证试验，开发了考虑各设备的允许充放电深度和循环寿命相关特性的蓄电设备管理功能。

如图4所示，蓄电设备的特性因种类而异。在选择蓄电设备时，除了这些特性之外，还需要考虑循环寿命、设置面

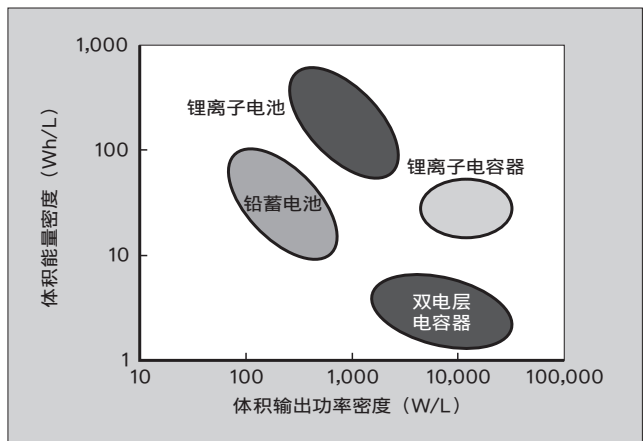


图4 蓄电设备的种类和特性

积、经济性等来进行应用。

通常，用于移峰等负荷均一化用途的蓄电设备需要实现大容量化，体积能量密度较高的蓄电设备相对会更有优势。

另一方面，针对变动补偿用途，对各种蓄电设备的应用均进行了研究。对于几分钟之内这样周期较短的变动周期的稳定化对策来说，在循环寿命和体积输出密度方面占优势的电容器相对更有优势。而对于周期达几十分钟以上的长周期变动的补偿来说，包括锂离子电池等新型电池在内的各种蓄电设备均有所采用。

富士电机在对以上多种蓄电设备进行适用性验证的同时，还推进了蓄电设备的联合开发。电力转换装置用锂离子电容器模块就是由富士电机和FDK株式会社联合开发的产品。它是可用于与双电层电容器基本一致用途的电容器，与容量相同的双电层电容器相比，可实现小型轻量化。

图5为锂离子电容器模块的外观，表2为其规格。

### 3.5 高速频率检测装置

对于微电网来说，频率检测不仅是电力质量的一个指标，而且是掌握包括内燃发电机在内的微电网区域内的电力供需平衡所需的重要指标。



图 5 锂离子电容器模块的外观

表 2 锂离子电容器模块的规格

项目	规格
额定电压	DC45 V (27~45 V)
初始静电容量	200 F以上 (1 A放电时)
初始内部直流电阻	19 mΩ以下 (100 A放电时)
充放电电流 (额定)	20 A
外形尺寸	W203×D134×H193 (mm)
质量	6 kg

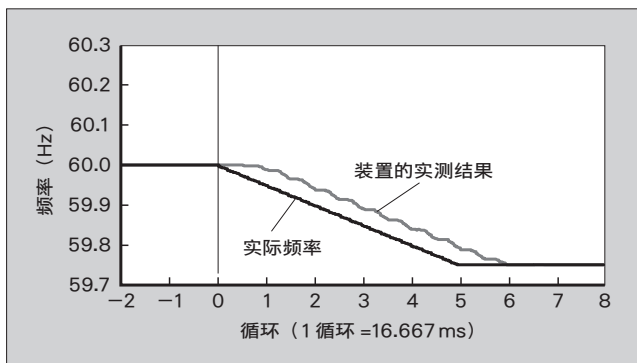


图 6 高速频率检测装置的实测结果示例

为了实现孤岛独立系统整体的协调控制，对于现有控制装置无法及时响应的瞬时频率变动，需要保证微电网控制有效工作。

作为系统频率检测原理的实例，采用了将在规定周期内系统交流电压由负 (-) 电压值变为正 (+) 电压值的次数设为 N，根据变化 N 次所需的时间来计算交流 1 循环等方法<sup>(5)</sup>。在这种情况下，频率检测需要几百 ms ~ 10 s 左右的检测时间。

富士电机通过将系统交流电压作为信号源，采用独有的误差压缩算法、最佳特性滤波器，开发了相对于实际系统的频率变动，其频率响应特性为 30 ms 的高速频率检测装置<sup>(6)</sup>，将其应用于微电网控制功能中的高速频率变动补偿。图 6 为所开发的高速频率检测装置的实测结果的一个示例。

表 3 所采用设备的概要 (小型孤岛)

采用设备 孤岛名称	太阳能 (kW)	风力 (kW)	铅蓄电池 (kWh)	锂离子 电池 (kWh)
黑岛	6.0	10	256	66
竹岛	7.5	—	—	33
中之岛	15.0	—	80	—
諏访之瀬岛	10.0	—	80	—
小宝岛	7.5	—	80	—
宝岛	10.0	—	80	—



图 7 收纳容器的外观

#### 4 孤岛微电网系统实证试验

##### 4.1 小型孤岛实证试验

九州电力株式会社接受经济产业省资源能源厅“孤岛独立型新能源应用实证业务补贴”而应用了孤岛微电网系统，富士电机向其交付了相关设备。所采用设备的概要如表 3 所示。

各岛的相对于系统规模的新能源应用量存在 10 ~ 30% 左右的差异，与以春季、秋季为代表的普通季节的最低需求量相比，其应用量比例超过 50%。蓄电池采用高循环寿命型铅蓄电池和锂离子电池，用于变动补偿用途及移峰等均一化用途。由于受到从日本本土到这些岛屿的运输距离较长的限制，并网设备及并网逆变器等电力产品均在本土采用小型集装箱作为收纳容器进行安装、配线后进行海上运输，实现了现场施工的简便化。

图 7 为收纳容器的外观，图 8 为系统全景。

##### 4.2 中型孤岛实证试验

冲绳电力株式会社接受经济产业省资源能源厅“孤岛独立型新能源应用实证业务补贴”而应用了孤岛微电网系统，富士电机向其交付了相关设备。所采用设备的概要如表 4 所示。

本系统是世界上首次将前文所述的锂离子电容器模块应用于系统稳定化用途。各设备的电容器均按照能够将系统所

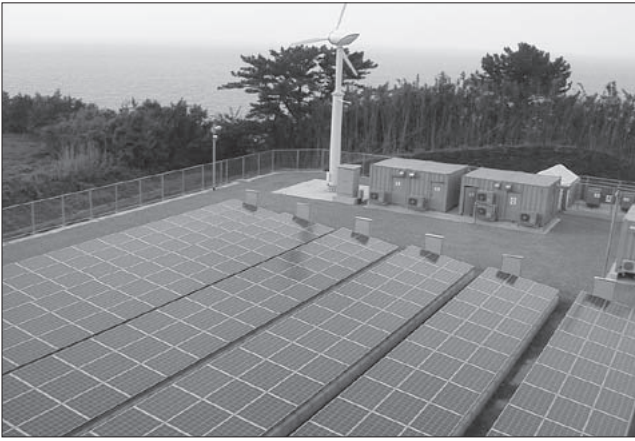


图 8 系统全景 (黑岛)



图 9 系统全景 (多良间岛)

表 4 所采用设备的概要 (中型孤岛)

孤岛名称	太阳能 (kW)	电力储存装置	
		转换器容量 (kW)	电容器容量 (kWh)
多良间岛	250 (25)	300	7.2
与那国岛	150 (15)	200	4.7
北大东岛	100 (10)	100	2.9

\* : ( ) 内为富士电机的薄膜型非晶硅太阳能电池“FWAVE”的容量

发生的剧烈输出变动平滑至现有控制装置的响应范围内的容量进行设计。另外，控制装置采用了应用了高速频率检测装置的高速频率控制方式，具备当系统频率发生变动时在现有发电设备的自由调速功能响应之前实现频率稳定化的功能。图 9 为所采用系统的全景。

5 后记

本文主要对孤岛微电网系统相关富士电机的特色产品和应用技术进行了介绍。今后计划完成系统的标准化及成组化，实现满足日本国外市场需求的经济性以及运输和施工的简便化。

最后，向在实证项目装置应用过程中为我们提供大力指导和支持、并为本文提供资料的九州电力株式会社、冲绳电力株式会社以及株式会社冲绳 Enetech 的相关人士表示衷心感谢。

参考文献

- (1) 横山明彦等. 智能电网的构建技术与标准化. 财团法人日本规格协会. 2010. 330p。
- (2) 推荐采用微电网. 日本电机工业会。
- (3) 今吉忠利等. 小型孤岛应用可再生能源时的系统构建研究. 2009 年电气学会 B 部门大会. 2009, no.161。
- (4) 神通川亨. 应用于抑制风力发电输出变动. 2009 年电气学会全国大会. 2009, 6-S7-4. p.S7 (13)。
- (5) IEEE 61000-4-30 Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-30 : Testing and measurement techniques-Power quality measurement methods P.25。
- (6) 福屋善文等. 面向电力系统的高速频率检测装置的开发. 电气学会保护继电器系统研究会. 2010, PPR-10-037。



小岛 武彦

从事电力能源成套设备控制系统的开发及设计业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部 SC 项目部经理。电气学会会员。



福屋 善文

从事电力能源成套设备的监视、保护系统的开发设计。现为富士电机株式会社生产统括总部东京事业所系统技术中心社会系统第二部。电气学会会员。

# 与浙江大学进行产学合作的活动 ——开拓智能电网事业——

Cooperative University-Industry Research with Zhejiang University  
: Toward the Creation of Smart Grid Related Business

雷 云 Yun Lei

金子 公寿 Kimihisa Kaneko

小林 直人 Naoto Kobayashi

在中国，自 2000 年起伴随着经济的发展，市场也不断扩大。作为开发、制造符合中国客户需求的产品的措施，富士电机与中国的多所大学建立了合作关系，开展产学合作活动。其中，与浙江大学签订了包括性协议，除了与新产品及拓展新业务相关的研究活动之外，还推进社会贡献等活动，开展有特色的产学合作。为了拓展智能电网事业，在之前开发符合 GB 规格（中华人民共和国国家标准）的配电系统电能质量计量系统并进行实证试验的基础上，进一步向电力稳定化技术等扩展。

In China, the economy has continued to grow and the market has continued to expand since the year 2000. To develop and produce products that meet the needs of customers in China, Fuji Electric has established cooperative relationships with several Chinese universities and is engaged in cooperative research in university-industry partnerships. Specifically, Fuji Electric and Zhejiang University have entered into a comprehensive agreement to advance research work for the creation of new products and new business, and also to promote activities that will contribute positively to society and to promote this unique partnership. Building upon the prior development work and field testing of systems that comply with GB standards (Chinese national standards) in terms of the measured power quality of a distribution system, this collaboration will endeavor to expand smart grid related business to the field of power stabilization technology.

## 1 前言

1990 年代，伴随着中国的改革开放政策，众多外资企业开始进入中国。富士电机也以电机制造基地的投产为开端开始进入中国。

进入 2000 年代，伴随中国的经济发展，市场不断扩大，为了准备 2008 年的北京奥运会，基础设施建设得到了高速发展。在这样的形势下，外资企业为了针对中国市场拓展业务，不仅仅需要实现低成本制造，而且还需要开发、制造满足中国客户需求的产品。为了响应这一要求，富士电机开展了与多所中国大学的合作。其中与浙江大学实施了包括性的合作。本文将对与浙江大学的产学合作以及拓展智能电网事业的活动进行介绍。

## 2 中国大学的特征

中国的大学，受政治、国情、文化、历史背景影响，主要显现如下所示的特征。

- (a) 与政府、行政机关关系密切。
- (b) 由学生集体宿舍生活所造就的校友网络。
- (c) 承担中国企业的研究职能。
- (d) 由丰富的研究生资源所支撑的研究开发。
- (e) 积极经营企业以及开展产学合作。

大学与政府、行政机关之间的人事交流非常活跃。其结果是形成了产、官、学、研紧密联系的网路，对政府的政策制定产生了重大影响。

由于所有大学生均入住学生宿舍，因此在校期间培养出了很强烈的伙伴意识。而这种意识在大学毕业后仍得到持续。毕业生中的 84% 就职于企业，利用校友网络的企业合作非常活跃。此外，毕业生中的 14% 就职于政府部门<sup>(1)</sup>，对母校的产官学合作活动作出了贡献。

2008 年中国企业研发费中委托大学进行的比例高达 35%，约为日本的 12 倍，产学合作<sup>(2),(3)</sup>十分积极。来自企业的委托研究，在指导教授领导下以研究生为中心进行实施。而这些研究生的人数规模约为日本大学的<sup>(2),(4)</sup>13 倍。

大学等自体经营企业的实例也<sup>(5),(6)</sup>很多，创业意识非常强烈。排名前 20 名的大学在 2009 年通过经营企业所获得的总收入为 1200 亿元<sup>(7)</sup>（约 1 万 4800 亿日元）。

如上所述，与日本的大学相比，中国的大学对中国国内产业的影响力相对要大得多。

## 3 与浙江大学的产学合作

在日本，有些企业将中国的大学定位为研究开发基地之一<sup>(8)</sup>。其中，有报告表示与大学等的产学合作不仅能够有效利用研究开发费用，而且还具有通过与大学、研究所的合作培养人脉、开拓新的学术领域等优点。另一方面，也有报告显示需要注意在知识产权管理、遵守日本及中国的法规方面采取措施<sup>(9)</sup>。

富士电机针对这些优点和不足，在与相关部门及关联公司进行充分分析研讨的基础上，作为拓展中国事业的功能之一，在中国推进开展产学合作。

富士电机自 2004 年开始采用产学合作的方式与浙江大学进行研发，2006 年 4 月与浙江大学签订了全面合作协议，在浙江大学设立了“浙江大学 - 富士电机系统研发中心”，具体地开展横跨多个领域的产学合作活动。基于 4 年间通过具体活动取得的成果，为了强化具体的合作活动以进一步拓展事业，2010 年 4 月设立了“浙江大学 - 富士电机创新中心”，扩大合作规模，推进各种合作活动。

### 3.1 单项研究

迄今为止，富士电机与浙江大学自 1990 年代开始就

一直在研究人员层面上持续保持着一定的联系。为了在中国拓展事业，富士电机于2004年开展了电力系统领域相关的可行性研究。

### 3.2 浙江大学－富士电机系统研发中心

针对在中国的基础技术及应用技术的研究开发，除了之前在特定技术领域进行的单项研究之外，为了从中长期角度推进研究的进展，需要在众多技术领域开展具体及密切的合作。因此，作为与浙江大学开展共同研究项目的主体业务公司的富士电机系统株式会社<sup>(注)</sup>，于2006年4月在浙江大学内设立了“浙江大学-富士电机系统研发中心”进行运营，期限为4年。

该中心在以电力为首的多个领域，启动了10个以上的研究项目，进行研究开发和实证试验，并取得了申请专利、发表论文等成果。

在活动内容之一的人才交流、教育合作领域，举办了电力电子等特定技术领域的技术交流会，加深了在学术领域及产业领域的相互理解。此外，还开展了由浙江大学教授对中国国内的富士电机单位员工进行培训的活动，合作范围广泛，还与各自相关单位进行了技术交流。通过这4年间的多方面的合作活动，强化了双方之间的密切合作及相互信赖关系。

### 3.3 浙江大学－富士电机创新中心

基于迄今为止所培养的与浙江大学之间的相互信赖关系，认为可能在更广泛领域的合作将会产生更为理想的效果，并且除了新产品开发之外，还需要进行以拓展新事业为重点的

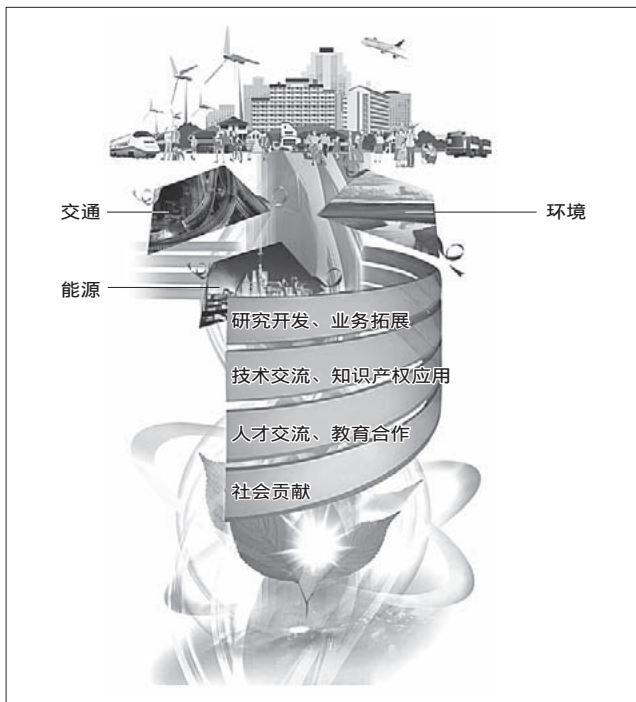


图1 重点业务领域和活动内容

〈注〉富士电机系统株式会社：2011年4月与富士电机控股株式会社合并，现为富士电机株式会社。

活动，由此，富士电机以整个集团参与的形式扩展了与浙江大学的合作活动。其结果，浙江大学和富士电机控股株式会社于2010年4月在浙江大学内设立了“浙江大学-富士电机创新中心”。

富士电机为了在全球温暖化、气候变动等问题不断恶化的情况下，努力为解决这些课题作出贡献，将重点注力于“能源、环保”领域事业，拓展全球事业作为自己的经营方针。因此借助浙江大学拥有的技术、人力资源和富士电机的技术及事业化经验，以“能源、环保”领域的业务为中心对事业拓展活动进行了强化。

该中心主要以能源、环境、交通三个事业领域为中心，致力于研究开发与事业拓展、技术交流与知识产权应用、人才交流与教育协作、开发合作伙伴与社会贡献等四个方面的活动(图1)。

## 4 智能电网相关领域内的活动

作为能源业务领域之一，在电力系统领域，通过三个层次开展了产学合作(表1)。首先从在中国的电力系统事业的可行性研究着手，然后进行了产品开发和实证试验，目前正在开展智能电网相关事业拓展活动。在电力系统领域内的活动内容如表2所示，详细情况将在后文进行介绍。

表1 产学合作的框架

机构	2004 ~ 2005年	2006 ~ 2009年	2010 ~ 2013年
单项研究	中国电力系统事业可行性研究		
浙江大学-富士电机系统研发中心		产品开发及实证试验	
浙江大学-富士电机创新中心			拓展智能电网相关业务

表2 电力系统领域内的活动内容

电力相关合作阶段	活动内容	成果
中国电力系统业务可行性研究	对富士电机所拥有技术中的7项针对中国市场的适应性进行分析	筛选出优先度较高的3个技术领域 (a) DMS领域 (b) PQ领域 (c) EMS领域
产品开发及实证试验	在筛选出的领域进行开发 ○配电自动化系统的本地化开发 ○广域PQ*测量系统的现场实验，综合PQ*对策装置的开发 ○全系统VQ*控制算法的开发及应用	○广域PQ*测量系统通过认证 ○在电力公司进行实际应用
拓展智能电网相关事业	○智能电网的实证 ○系统并网仿真模型的开发，其他	拓展业务

\* PQ : Power Quality  
\* VQ : Voltage Q (reactive power)

### 4.1 中国电力系统事业可行性研究

2004 ~ 2005 年, 进行了中国电力系统事业的可行性研究。

伴随着经济高速成长, 中国的电力需求不断增加。预测在大规模增强发电设备的情况下, 还将进行送配电系统的完善工作。基于之前在日本经济高速发展时期所经历的电力系统完善、自动化经验, 我们认为富士电机所持有的电力系统监测、控制技术是中国所必需的技术。为了在中国电力领域拓展事业, 首先进行了中国电力系统业务的可行性研究。

针对富士电机所拥有的技术中的 7 个领域, 包括能源管理系统 (EMS)、配电自动化系统 (DMS)、自动电能计量 (AMR)、电能质量 (PQ) 测量和对策、节能、新能源、电力交易市场, 进行了有关中国市场适用性及商业性的分析研究。结果表明能有效缩短年停电时间并实现配电设备投资高效化的 DMS、能有效掌握和解决高次谐波及电压瞬低等电力质量问题的 PQ 测量和对策、在节能的同时能够通过供需平衡控制实现高效化的 EMS 以及 AMR 是近期的中国电力基础设施所必需的。

因此, 决定选取下述三个优先度较高的技术领域, 推进面向中国市场的研究开发。

- (a) DMS 领域
- (b) PQ 领域
- (c) EMS 领域

### 4.2 产品开发及实证试验

2005 ~ 2009 年, 浙江大学 - 富士电机系统研发中心针对通过可行性分析筛选出的三个技术领域, 进行了产品开发及实证试验。

在 DMS 领域, 针对在日本的电力公司已有众多应用实例的 DMS 解决方案, 匹配中国电力公司的运行管理规则和结构, 对故障恢复步骤以及与其他系统的接口等进行了本地化开发。

在 PQ 领域, 进行了符合 GB 规格 (中华人民共和国国家标准) 要求的电力测量终端的开发、实际利用电力公司的系统以及信息基础设施进行了广域 PQ 测量系统 (图 2) 现场实证。<sup>10)</sup> 针对中国的电能质量, 分析其典型问题, 进行了综合 PQ 对策所需的电力电子设备的研究及原型开发。此外, 还进行了控制包括送配电系统在内的电网整体电压及无功功

率的全系统 VQ 控制 (Voltage Q (reactive power)) 算法的开发, 并在某省电力公司进行了应用。

在 EMS 领域, 如何对电力负荷进行预测并通过对有限的电源设备进行控制以接近其变动是一个非常大的课题。对包括通过抽水蓄能发电和制冰空调系统来充分利用低负荷时段 (夜间) 的电力等各种手段的负荷均衡化控制方法进行了研究和分析。

通过这些具体的研究开发活动, 掌握了中国的电力系统的特性及技术课题。而且通过在电力公司进行实证试验, 确认了富士电机所拥有的技术对中国市场的适应性。其结果广域 PQ 测量系统获得了认证, 为事业拓展作好了技术准备。

### 4.3 开拓智能电网相关事业

2010 ~ 2013 年, 浙江大学 - 富士电机创新中心开展了开拓智能电网相关事业的活动。

在世界金融危机之后, 作为防止地球温暖化的措施和经济对策, 用于普及新能源、实现电力系统的高效化率的智能电网得到了密切关注。浙江大学之前已开展了多项国家重点项目 (国家高新技术研究发展计划)。特别是最近正着手于孤岛智能电网相关实证等国家重点项目。富士电机以迄今为止构建的电力系统监控技术和事业基础为原点, 最大限度地利用所擅长的电力电子技术, 展开其智能电网相关事业。

该中心主要针对融合了安全、安心的能源及环境技术、考虑可再生能源和自给自足平衡系统, 开展了新能源系统并网仿真模型的开发和包括电力系统稳定化技术的本地化在内的智能电网实证等工作。

## 5 后记

在 2011 年 3 月 11 日东日本大震灾后, 政府开始研讨对能源政策进行调整。普及太阳能、风力等可再生能源、通过储存电力实现负荷均衡化、电力系统稳定化的必要性愈加凸显, 这种趋势已在全球范围内得到体现, 预计在中国这种必要性也会进一步得到重视。富士电机将以所积累的技术为基础, 拓展在中国的智能电网相关事业, 为解决中国的经济发展及环境问题作出贡献。

### 参考文献

- (1) 2010 年中国大学生就业报告 - 就业蓝皮书. 2010-6。
- (2) 中国科技统计 2009 年度报告。
- (3) 科学技术指标 2010. 文部科学省科学技术政策研究所. 2010-7。
- (4) 中国统计年鉴 2009 年版. 独立行政法人科学技术振兴机构中国综合研究中心。
- (5) 角南笃. 中国的产学研“合作”与大学企业 (校办企业). 独立行政法人经济产业研究所 Discussion Paper. 2004-3. no.04-J-026。
- (6) 西崎贤治. 中国校办企业考察. 中国经营管理研究. 2009-5, no.8。
- (7) 2009 年度全国普通高校校办产业统计分析报告。
- (8) 金坚敏. 在中国的外资企业的 R&D 活动与日系企业. 富士通

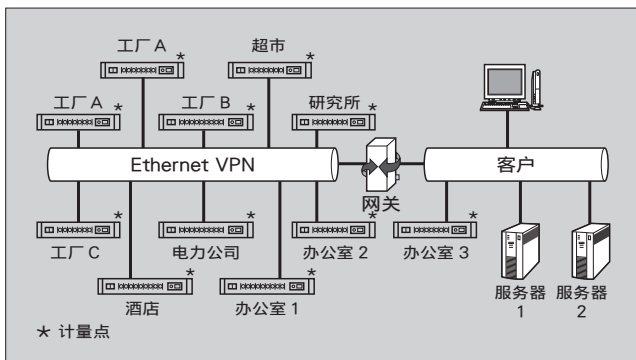


图 2 广域 PQ 测量系统概要图

总研 Economic Review, 2007-1, vol.11。

(9) 户田裕二. 从产业界角度看产学官合作的当今课题. 情报管理. 2006, vol.49, no.9, p.509-512。

(10) 小林直人等. 与中国浙江大学联合研究的电力质量解决方案. 富士时报. 2008, vol.81, no.3, p.213-217。



### 雷 云

从事业务战略、规划, 中国业务支持, 浙江大学-富士电机创新中心的运营。现为富士电机株式会社技术开发总部技术统括中心技术战略部。



### 金子 公寿

从事与生产技术相关的 CAE 技术开发、与浙江大学的合作相关业务。现为富士电机株式会社技术开发总部技术统括中心技术战略部。日本机械学会会员。



### 小林 直人

从事智能社区、智能电网构建领域的技术及事业企划业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部 SC 项目部长。电气学会会员。



# 支持新一代电力流通的系统技术

## System Technology that Supports Next Generation Electricity Delivery

高桥 省 Satoru Takahashi

金泽 康久 Yasuhisa Kanazawa

铃木 立夫 Tatsuo Suzuki

在大量应用太阳能发电时，会产生回流和电压变动。而且可以预想到由于无法掌握准确的需求，将会给供需控制带来影响。为了解决这一课题，富士电机进行了电压控制设备的最佳配置和整定值的最优化，开发了集中控制的方式。同时还开发了解析用设备模型、太阳能发电输出预测方式及供需控制功能。

开发了用于更新陈旧设备的采用了新 IED 的单元更新型保护继电器、用于实现电力公司运行形式多样化的 IP 网络设备、广域分散对应电力用中间件、防灾危机管理支持系统。

When a large amount of solar power is introduced into a system, reverse flow and voltage fluctuations occur. Moreover, this is feared to affect the demand/supply control, since net demand cannot be ascertained. To solve this problem, Fuji Electric optimized the placement and setting values of voltage control equipment, and is developing a centralized control method. Devices models for analysis, a method of predicting solar power output and a demand/supply control function are also being developed.

To replace aging facilities, unit replacing type protection relay that uses a new IED, and IP network devices, middleware for wide-area distributed power, and a disaster prevention and crisis management system are being developed for diversifying the operations of power companies.

### 1 前言

在伴随着经济增长电力需求也不断增长的情况下，电力公司和厂商长期开展了以电力流通的最大目标—电力的稳定供应和经济性为目标的高效化运行的工作。支持电力流通的系统包括应用了计算机技术的集中监视控制系统、当发生系统故障时可防止故障扩大的保护控制系统等，通过采用这些系统，实现了供应的高可靠性。

预计今后将以低碳化社会为目标，大量应用以太阳能发电、风力发电为中心的分散型电源。此外，还需要对交付后 20 年以上的陈旧保护继电器设备进行更新，进一步实现电力系统的高效化运行。下面对这些电力流通领域中的课题以及富士电机开展的活动进行介绍。

### 2 电力流通领域的现状与课题

在电力流通领域，富士电机开发了系统控制系统、配电自动化系统、远程监视控制装置、保护控制系统、系统解析模拟器以及电力需求预测等各种支持系统，并已交付使用。

图 1 为富士电机所开发、交付的电力流通领域的主要产品。

下面将对与分散型电源的大量应用、陈旧设备及运行效率化相关的课题进行论述。

#### 2.1 与大量应用分散型电源相关的课题

##### (1) 配电系统中的课题

当太阳能发电等分散型电源大量并网至配电系统时，存在因回流导致电压上升、伴随剧烈的输出变动而出现的配电网电压变动等问题。目前，配电系统通过采用配电用变电站有载调压变压器 (LRT)、设置于配电系统中的自动电压调整器 (SVR)、静止无功功率补偿装置 (SVC) 等电压调整设备来确保正确的系统电压。但是，借助电压调整设备本身效

果的电压控制方式的调节能力有其极限，需要针对预计可能出现的问题采取对策。

##### (2) 供需运行中的课题

当将太阳能发电大量应用于家庭时，无法对其输出进行实时测量。由于电力公司无法了解精确的电力需求，因此为了维持电力系统的频率，需要在推测太阳能发电输出的基础上进行供需运行。此外，为了吸收在负荷方产生的剩余电力或响应因天候急剧变化而导致的负荷增大，需要实现蓄电池的最优控制和回流监视等功能。

##### (3) 系统解析中的课题

今后，为了验证新开发的分散型电源的应用效果以及控制系统对电力系统的影响，需要确保能够快速且方便地将分散型电源的解析用模型导入至系统解析模拟器。



图 1 富士电机的电力流通领域产品

## 2.2 陈旧保护继电器设备的升级措施

今后，在日本国内的保护控制系统中，伴随着设备陈旧老化和主要部件的生产换代周期加快，需要进行设备更新的情况将会增加。保护继电器中的有些部分使用了换代周期较短的电子部件，采用能够以单元为单位轻松进行更换的装置结构形式成为主流。此外，为了便于实现不同厂商之间的匹配，也即实现多供应商供货，预计将朝着全数字化、以及融合监视控制系统和保护继电器系统的方向发展。

## 2.3 运行效率的改善

近年来，为了降低电力系统运行成本，电力公司加快了对供电控制站等供电运行部门及配备有配电自动化系统的营业所等多个运行部门的合并重组工作。因此，需要能够适应运行形式变化的监视控制系统构建技术<sup>(1)</sup>。

此外，运行人员的监视控制范围扩大，业务负荷有增加的趋势，也需要采取相应的解决措施。

## 3 富士电机在新一代电力流通领域内的活动

### 3.1 与大量应用分散型电源相关的对策

#### (1) 配电系统中的对策

##### (a) 配电系统电压变动抑制技术

作为适用于大量应用分散型电源的新一代配电系统电压变动抑制技术，富士电机开发了采用状态推断、流向计算以及最优化方法对电压调整设备进行最优化配置的计划支持、以及将配电系统控制在正确电压的电压控制方式。

图2为富士电机所开发的配电电压控制系统的示意图。

##### ① 电压调整设备的最优化配置

为了提高自动电压调整器 (SVR) 的新增及重新布置计划业务的效率，应用最优化方法，计算出使全年内电压上下限偏离率最小的 SVR 设置位置。

##### ② 电压调整设备的整定值的最优化

应用最优化方法，对于多台 SVR，考虑使其动作次数最少，计算得到使全年内电压上下限偏离率最小的整定值组合。

##### ③ 电压调整设备的集中控制

为了将大量应用太阳能发电的配电台区整体电压维持在正确的电压范围内，根据传感器开闭器的测量信息计算出配电系统上的有载调压变压器 (LRT)、SVR 的 TAP 值及静止无功功率补偿装置 (SVC) 的电压指令值的最佳值，进行实时集中控制。

#### (b) 新一代送配电系统最优控制技术实证项目

为了建立电压变动抑制技术，富士电机参加了经济产业省资源能源厅“新一代送配电系统最优控制技术实证项目”。该项目有包括国立大学法人东京大学在内的 28 家法人单位参加，针对 2020 年大量应用太阳能发电等可再生能源的目标，为了解决图 3 所示的课题，以 3 年为

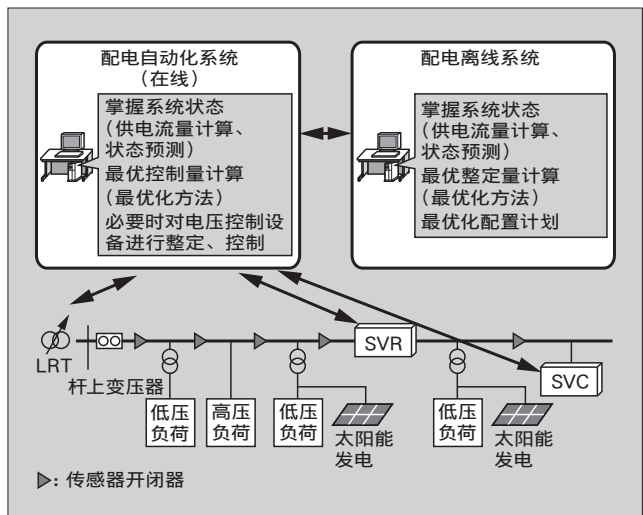


图2 配电电压控制的概要

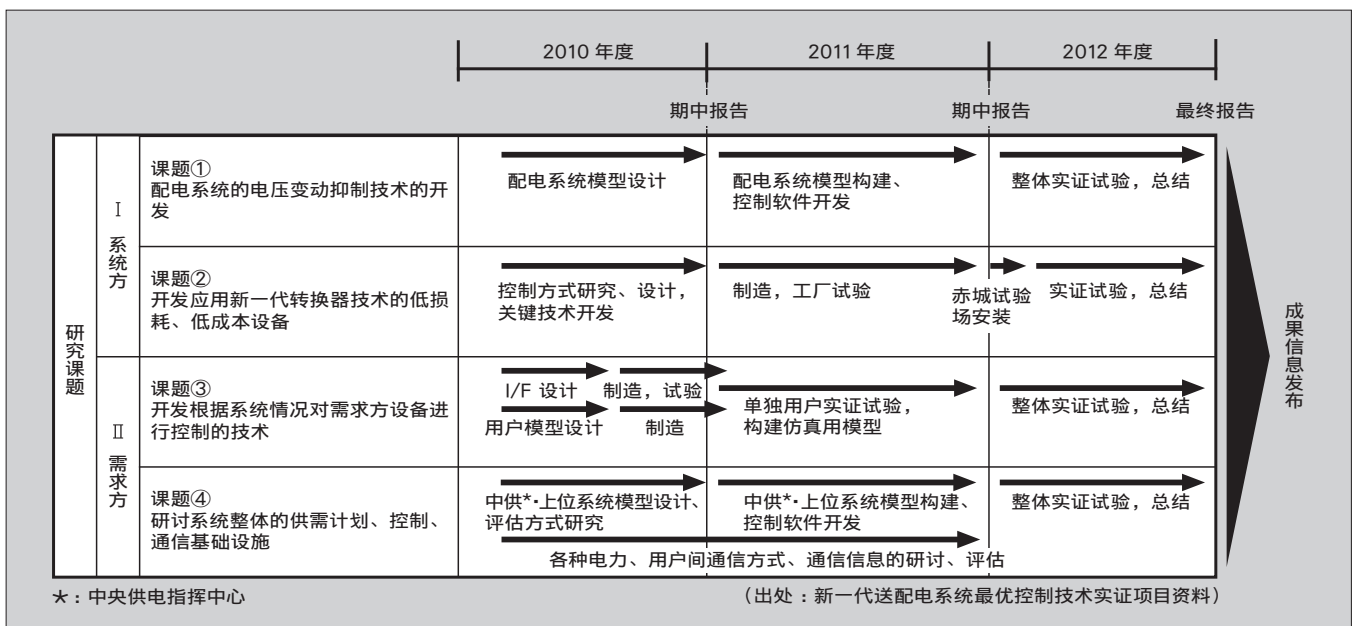


图3 新一代送配电系统最优控制技术实证项目日程表

期对用户内部设备的最优控制方式、配电系统的系统电压控制方式等进行开发和实证。富士电机参加了该项目中的子项目“配电系统的电压变动抑制技术的开发”。

(2) 采用需求预测系统的供需运行对策

富士电机向电力公司交付了采用神经网络技术的电力需求预测系统。通过使用该技术，可通过日照量等气象预报信息来预测、推算对于太阳能发电的影响，进行了将其应用于系统整体需求预测的研究工作。图4显示了考虑太阳能发电的需求预测系统的概要。对特定地点的太阳能发电预测是通过根据气象厅的GPV(Grid Point Value)预报得到的云量数值数据求得日照量，并考虑经纬度信息、气温预报的影响进行调整而实现的。计划将该预测方法应用于智能社区实证项目。

此外，在孤岛微电网实证项目中，还开发、应用了需求运行计划功能、经济负荷分配功能及负荷频率控制功能。今后，当分散型电源的大量应用和电动汽车(EV)的应用得到推广后，预计电力公司将采用比目前更小的区域单位进行供需运行。因此，通过实证项目积累的技术也将被逐渐应用于电力流通领域。

(3) 系统解析中的对策

系统解析模拟器由系统结构设备的等效简化模型构成，用于进行流向解析、静态及动态稳定度以及系统共振现象和多重故障等的解析。

富士电机主要向电力公司和大学交付了具有能够对象时间范围从数微秒的浪涌分析到数小时以上的经济负荷分配进行实时解析的模拟型系统解析模拟器。由于是采用连续值进行计算，模拟型系统解析模拟器具有在进行数字演算时不易产生起因于计算步长和数值分析方法发散的优点。近年来，为了对百万瓦级太阳能电站和风力发电站等伴随有输出变动的大规模可再生能源发电对电力系统的影响进行解析，进行了太阳能发电和风力发电模型的开发，并作为设备模型进行提供。

在这种情况下，将模拟型系统解析模拟器应用于新一代

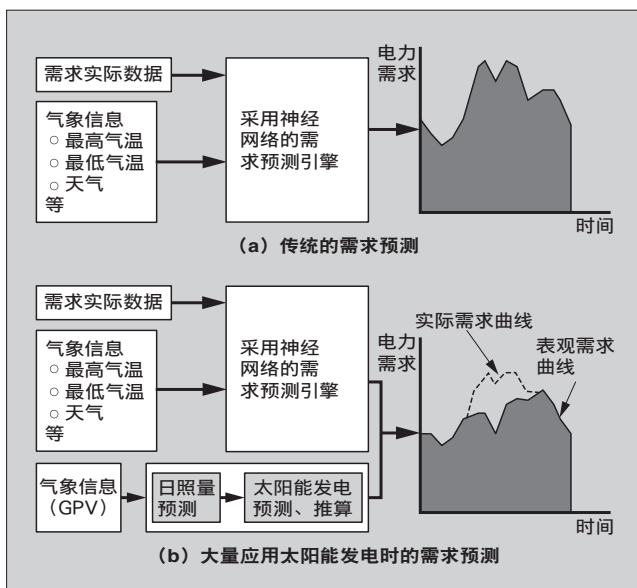


图4 包含太阳能发电的需求预测系统的概要

配电系统、智能社区等未来电力系统的高级应用技术的解析活动非常活跃。

模拟型系统解析模拟器为评估大量应用太阳能发电和风力发电对电力质量的影响、研讨设置于配电系统内的蓄电池系统的应用方法及最佳设置点等今后的电力系统设备配置和控制方法的研究开发提供了支持。

富士电机除了传统的模拟技术之外，还开始着手开发融合了最先进的数字演算处理技术的新一代混合型系统解析模拟器。

3.2 变电站保护控制系统的升级换代

富士电机目前正在推进开发符合国际通信规格 IEC 61850 的新 IED (Intelligent Electrical Device)。新 IED 保持了国内电力用保护继电器所要求的环保、可靠、寿命等性能，被定位为富士电机现有保护继电器及测量单元的更新机型，是可用于保护、控制、测量、通信终端的高可靠性控制器。图5为新 IED 的结构示例。通过组合基本单元和扩展单元，能够为各应用装置分别提供最佳的结构，今后不仅将应用于保护控制系统，同时还正在推进面向未来变电站全数字化的研究。

此外，还在推进计划应用新 IED、需要更新单元的数字

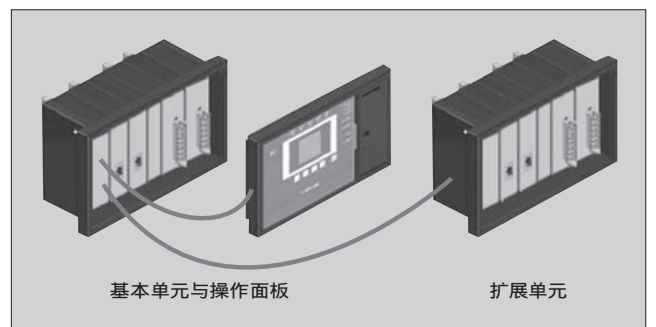


图5 新 IED 的构成示例

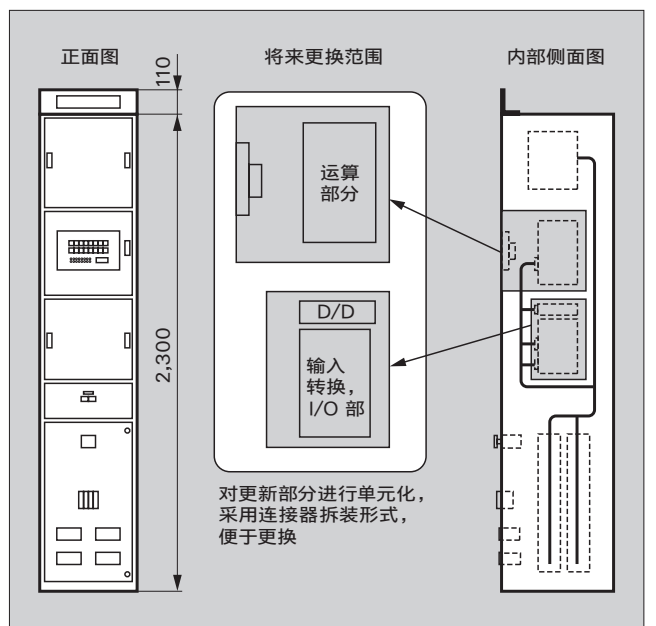


图6 单元更新式保护继电器的示例

继电器的主要单元的开发。图6是单元更新式保护继电器的示例。对构成保护继电器的主要运算部分、输入输出部分、电源部分等进行单元化设计，采用能够以单元为单位进行更新的结构。<sup>(4)</sup>

### 3.3 实现改善运行效率的技术

富士电机提供确保信息传输可靠性及实现采用各种形式构建的运行系统所需的技术，其概要如下。

#### (1) 支持 IP 网络

在合并重组多个运行单位时，如何确保至变电站的信息传输路径以及信息传输的可靠性成为了一个课题。富士电机通过采用 JEMA 工业协议 PMCN (Protocol for Mission Critical industrial Network use)，提供在保证数据顺序性和实时性的同时进行 2 路传输、满足一对多通信要求的 IP 网络终端。在保证原有可靠性的同时，实现了对多点的通信，适应各电力公司不同运行体系的要求。

#### (2) 广域分散对应电力用中间件

各电力公司的系统结构形式各式各样。图7为广域分散系统的构建示例。该系统将服务器集中至 1 个位置，在各基地仅配置客户端。除此之外，还有在多个基地之间对服务器进行相互备份的系统、各基地均采用系统并可进行相邻基地监视控制等多种结构。

为了实现这些结构，对于分散配置的服务器，需要对应用软件的启动、响应、数据库高速同步、服务器状态进行常时监视，富士电机采用了广域分散对应电力用中间件。<sup>(5)</sup>

而且，采用了将传统使用的电力用中间件扩展至广域分散对应电力用中间件的方式。因此，当利用已有系统扩展至广域系统时，能够降低对软件进行大幅改造或采用新应用软件的风险。

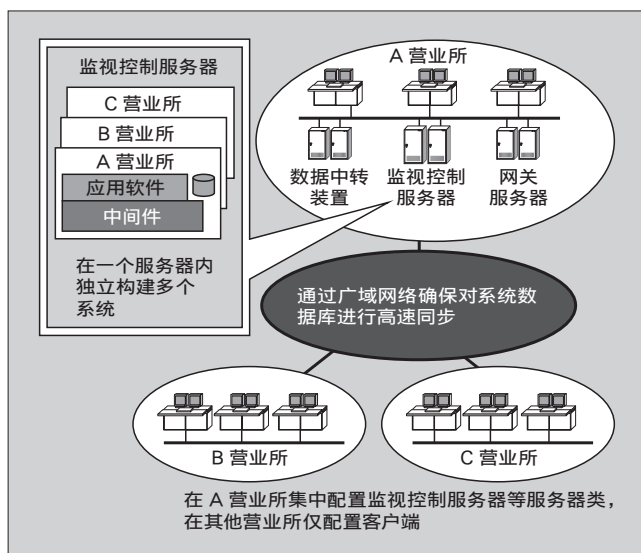


图7 广域分散系统的构建示例

#### (3) 防灾危机管理支持

统一运行单位后，不仅仅限于常规业务，在发生地震、台风等自然灾害时运行人员的负担也会增加。为此，富士电机开发了“防灾危机管理支持系统”。该系统在对送电情况信息、地图信息以及气象预报信息、防灾信息进行分层综合显示的基础上，根据气象预报和灾害信息在事前对风险进行预测，为通过运行来规避风险提供支持。并在灾害实际发生后提供恢复支持。

## 4 后记

富士电机除了电力流通领域的系统之外，还交付了很多包括抽水蓄能发电站在内的水坝管理系统和水管理系统、燃气管理系统等系统。

在从智能电网向希望实现区域内的电力、热、水等所有能源的高效化、最佳应用的智能社区扩展的形势下，我们将凭借迄今为止所积累的社会基础设施系统相关经验，为电力的稳定供应和运行的高效化不断作出贡献。

### 参考文献

- (1) 电力系统运行体系调查专门委员会. “电力系统的运行体系”. 技术报告第 1059 号. 电气学会. 2006-7.
- (2) 阿知和大和等. 模拟型模拟器用太阳能发电模型的开发及其解析结果. 电气学会电力技术·电力系统技术共同研究会. 2010.
- (3) 变电站监视控制系统技术调查专门委员会. “变电站监视控制系统技术”. 技术报告第 1203 号. 电气学会. 2010-10.
- (4) 电气协同研究会. 保护继电器的新功能、性能. 电气协同研究. 2009, vol.65, no.2.
- (5) 高桥省等. 电力系统控制系统的最新技术. 富士时报. 2005, vol.78, no.6, p.409-413.



高桥 省

从事电力系统控制系统的企划、开发。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部系统技术部长。电气学会会员。



金泽 康久

从事电力系统控制系统的企划、开发。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部系统技术部主查。电气学会会员。



铃木 立夫

从事电力系统控制系统的企划、开发。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部系统技术部经理。电气学会会员。

# 支持智能电网的电力电子技术

## Power Electronics Technology that Supports Smart Grid

仁井 真介 Shinsuke Nii

加藤 正树 Masaki Kato

智能电网是能够减小大量应用可再生能源时对系统整体带来的影响的系统。可再生能源中有很多都难以控制发电输出，为了对其进行大量应用，需要能够进行高速、高精度控制的电源系统。为了实现这一目的，电力电子技术承担着重要的角色。主要的电力电子应用技术包括充放电控制技术和供需控制技术。应用于智能电网的设备包括配用电力电子设备、智能 PCS 及新能源包，目标是将其应用于“富士智能网络系统”。

A smart grid is a system that reduces the effect of penetration of renewable energy into a power system. Because the generated power output from renewable energy is generally difficult to control, a power supply system capable of implementing high-speed and high-accuracy control is needed for the penetration of renewable energy into the system. Power electronics technology plays an important role in realizing such control.

The main power electronics applied technologies are charging/discharging control technology and demand/supply control technology. Devices applicable in a smart grid include power electronics devices for power distribution, smart PCS and new energy packages, and expansion of these devices to Fuji Electric's smart network system is targeted.

### 1 前言

作为针对世界性的地球变暖问题的对策之一，可再生能源的应用得到了大力推进。但是，可再生能源中有很多都难以控制发电输出，在对其进行大量应用时，有可能造成系统整体发生频率变动、局部产生电压变动。智能电网能够减小大量应用可再生能源时对系统整体带来的影响，确保稳定的电力供应。能够同时控制能源的产生、流通、消费，实现能源的高效利用<sup>(1)</sup>。

在智能电网中，为了将发电输出控制较困难的可再生能源与系统并网，需要应用能够对其进行弥补的高速、高精度电源系统，而电力电子技术则担负着重要的作用。特别是分散型电源多采用直流进行发电，进行电力转换的电力电子技术是智能电网中最重要的技术之一。

本文将对电力电子技术在智能电网中的作用、所要求的性能、设备、应用实例以及面向今后的活动进行论述。

### 2 面向智能电网的电力电子设备的发展动向

应用于智能电网的电力电子设备，需要具备适应频率或电压变动的功能、安全并网至系统的功能。本章将对电力电子设备相关要求事项及最近的技术发展动向进行介绍。

#### 2.1 用于系统并网的功能和技术动向

##### (1) LVRT

作为系统并网所需的必要功能，首先要提及 LVRT (Low Voltage Ride Through)。LVRT 是用于在系统电压降低的条件下确保尽可能不解列<sup>(注)</sup>而继续进行输出的功能。当可再生能源的应用量较小时，即使在系统电压降低时对分

散型电源进行解列，对系统整体的影响也极小，不会造成问题。但当应用量较大时，如果同时对分散型电源进行解列，就会因发电量与负荷量产生不平衡而导致系统频率稳定性降低。当同时解列的电量较多时，为了维持系统频率，需要分离负荷。因此，为了将分散型电源并网至系统，需要实现以下 3 点。

- (a) 能够适应频率的变化。
- (b) 即使电压降低时仍尽可能连接至系统以供应电力。
- (c) 即使进行解列，在系统电压恢复的瞬间也能够迅速并网进行供电。

##### (2) 独立运行检测功能

其次，作为系统并网所需的必要功能，需要提到独立运行检测功能。独立运行是指在从系统分离的独立系统内，仅通过来自分散型电源的电力对独立系统进行供电的状态。在独立运行状态下，可能出现触电或设备的损坏，应尽快进行检测并分离分散型电源（参考 36 页“说明”）。

检测方式包括：检测因进入独立运行状态时发电输出和负荷不平衡，而出现的电压相位和频率等的急剧变化的被动型方式；以及常时赋予电压、频率以变动，利用进入独立运行状态时变动变得显著的现象进行检测的主动型方式。目前的配电系统，由于负荷比发电量大，即使进入独立运行状态，被动型方式也能够稳定工作。但是，当分散型电源增加、配电系统内的发电和负荷保持平衡时，在进入独立运行状态时系统的变动较小，采用被动型方式的独立运行检测可能无法正常工作。传统上都将被动型方式作为主要保护手段，主动型方式仅作为备用手段。但是，由于当大量应用分散型电源时，采用被动型方式可能存在无法检测到独立运行的危险，近年来出现了以主动型方式作为主要保护手段的观点。

目前，尤其是对于小规模太阳能发电，正在实现向不存在相互干涉的主动型方式的统一。大、中容量电力调整器<sup>(注)</sup> (PCS) 的独立运行方式的动向也值得关注。

〈注〉解列：将发电设备等从电力系统中分离。

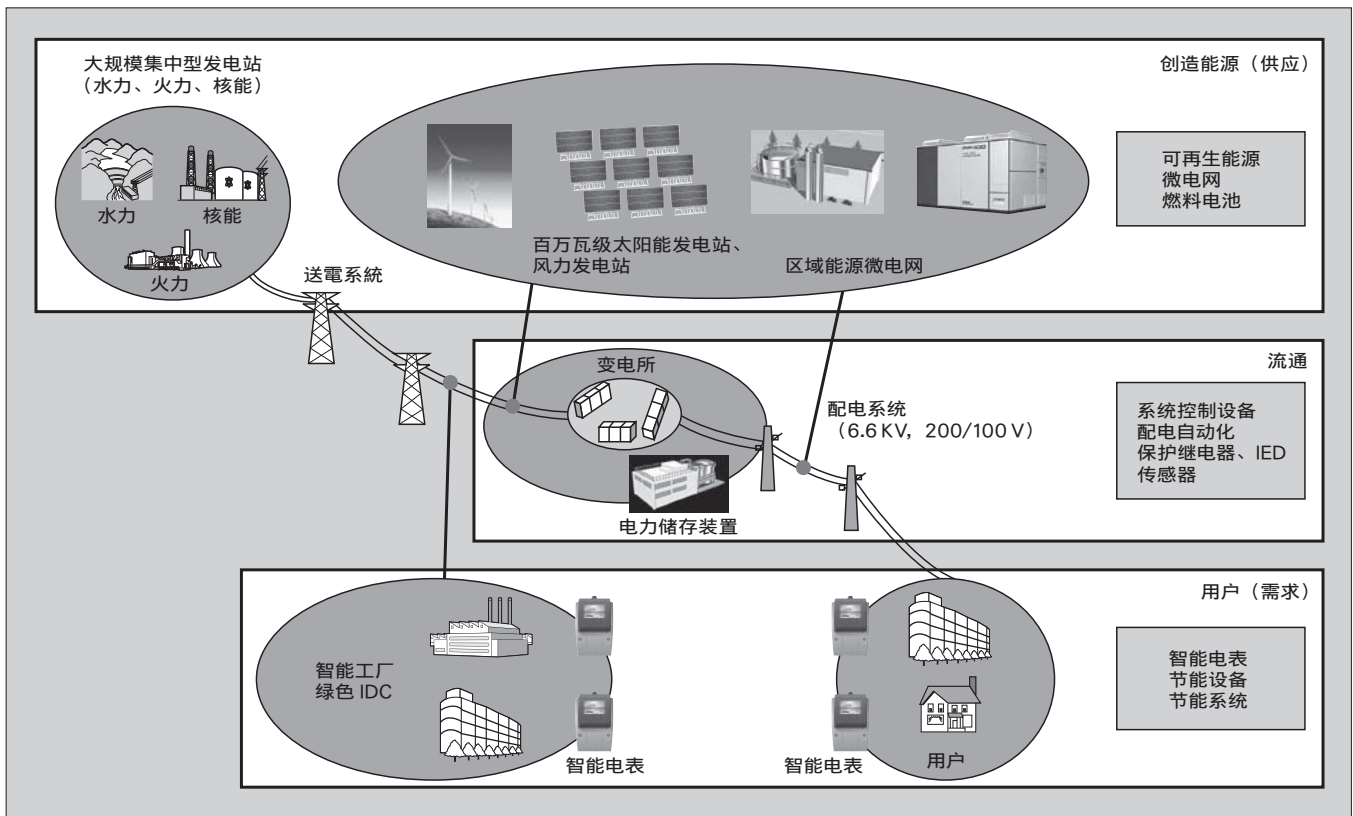


图 1 电力流通供应链智能化的示意图

## 2.2 适应发电变动及系统变动的功能

传统上通过发电机控制来吸收负荷的变动，以实现频率的稳定。但是，如果因可再生能源导致发生变动，仅依靠发电机控制很难保持供需平衡。所以需要同时对可再生能源侧的输出进行调整，将对系统的影响降低至最低限度。该功能使用电力储存装置来实现，但需要根据变动周期来选择蓄电池、锂离子电池、双电层电容器等电力储存方式，需要适合相应方式的充放电控制技术。如果想通过独立的电力稳定化装置来对可再生能源造成的发电变动部分进行调整，就需要采用与发电机（或发电站）数量相同的装置。与这种方式相比，采用在广域区域中进行吸收的区域型稳定化装置时，由于能够实现变动的均一化，所以可以采用较小的设备总容量，与分别进行调整的方式相比其经济性更好。这种区域型稳定化装置是在广域范围（市镇村、县或县以上）内对包括可再生能源在内的发电量进行控制的装置。为了实现这种方式，需要增大用于电力储存装置的逆变器的单机容量并通过并列来实现装置的大容量化。

此外，在孤岛等小规模系统内，由于发电机的惯性常数较小，当因发电变动造成供需不平衡时很容易产生波动。在这种不稳定状况下，虽然能够通过采用电力储存装置来实现稳定化，但需要逆变器具备高速、高精度的控制功能。

〈注〉电力调整器：将太阳能电池、蓄电池等的发电电力转换为系统电力的装置。

## 3 智能电网中电力电子技术的应用

最近，已能够生产采用上述技术的电力电子产品，电力电子技术的适用范围越来越广泛。而且，由于能够方便地在能源流通过程中实现复杂的控制，使社会基础设施的高效利用逐步成为了可能。

图 1 为富士电机所推进的智能电网电力流通供应链智能化的示意图。在该图中，通过传感器或智能电表监视系统信息，对发电、流通及消费进行最优控制，以实现系统的高效运行。富士电机拥有与此相关的众多成功案例。下面对智能电网可利用的电力电子技术中与发电和流通相关的实施事例进行介绍。

### 3.1 发电过程中电力电子技术的应用

作为发电过程中利用电力电子技术的示例，对电力稳定化装置进行介绍。

电力系统中的发电机主要采用旋转型设备，即便是在智能电网中这一点也不会发生本质性的改变。但是，如前所述，当系统大量应用可再生能源发电装置时，由于发电存在不稳定性，会对系统的频率控制造成影响。通过采用电力储存装置对发电的不稳定性进行补偿，进行控制使发电装置的输出稳定，能够使系统实现稳定的电力供应。这种电力稳定化装置的结构如图 2 所示<sup>③</sup>。虽然图 2 是以风力发电为对象，但对于太阳能发电来说也可采用相同的结构。

电力稳定化装置可通过蓄电池充放电来对可再生能源的输出变动部分进行补偿，对系统并网点处的合并输出进行平

滑处理。通过双向逆变器的控制使充放电成为可能。

进行平滑处理的目的是实现系统电压的稳定化和频率的稳定化。为了实现电压的稳定化，进行有功功率控制、无功功率控制。为了实现频率的稳定化，对于短时间周期变动进行GF（自由调速）控制，对于长周期变动进行LFC（负荷频率控制），对于更长周期的变动则进行EDC（经济负荷分配控制）。采用不同的控制方式时，所需的电力储存量也不同。由于电池容量对设备投资有很大影响，所以最好是尽可能采用较小的容量。

富士电机在关联公司株式会社 Windpower 所有的西目风力发电站设置了该电力稳定化装置，进行了实证研究。结果证明对风力发电站的输出稳定化有效，同时还建立了采用最小设备容量来实现所需功能的充放电控制方式。

### 3.2 流通过程中电力电子技术的应用

第2章所述的区域型电力稳定化装置，用于实现广域范围内的电力稳定化。作为在比较狭小的区域内进行需求调整、实现电力稳定化的事例，介绍独立行政法人新能源、产业技术综合开发机构（NEDO）的“新能源等区域集中实证研究京都环保能源项目实证试验”（2003~2007年<sup>(4)</sup>）。

京都环保能源项目的概要如图3所示。本实证研究设置了生物发电站和太阳能发电、风力发电，在这些可再生能源发电设备与数个事先选定的用户之间进行规定时间内的供需平衡控制（5分钟同时同量控制）。实证研究由4家企业及2个地方政府共同开展，富士电机参与了以控制系统开发为中心的规划工作。

本系统中采用传感器检测太阳能发电和风力发电的输出，通过通信线路将监视信息发送给控制中心。控制中心计算对变动部分进行补偿的二次电池输出，通过通信线路向二次电

池发出输出指令。通过这种作法来吸收太阳能发电和风力发电的输出变动部分。在20秒左右之内处理从数据的测量、收集到向二次电池输出指令的过程，可对数十秒的发电变动进行补偿，进行供需调整。由于监视及控制采用通用的广域通信网络（ADSL、ISDN），所以可在不受距离影响的前提下选择测量对象和控制对象。有望在低成本条件下实现大规模的供需调整系统。

此外，本系统在进行同时同量控制时，负荷变动部分基本上是通过燃气引擎发电机来进行调整。当单位时间内的负荷变动较大、燃气引擎难以及时响应时，则通过二次电池对负荷变动部分的调整进行补充。

实证试验以5分钟内3%误差作为同时同量控制精度

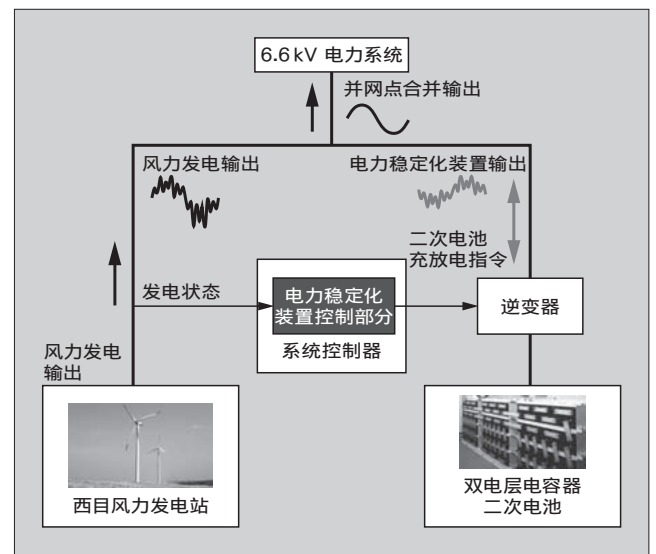


图2 电力稳定化装置的概要

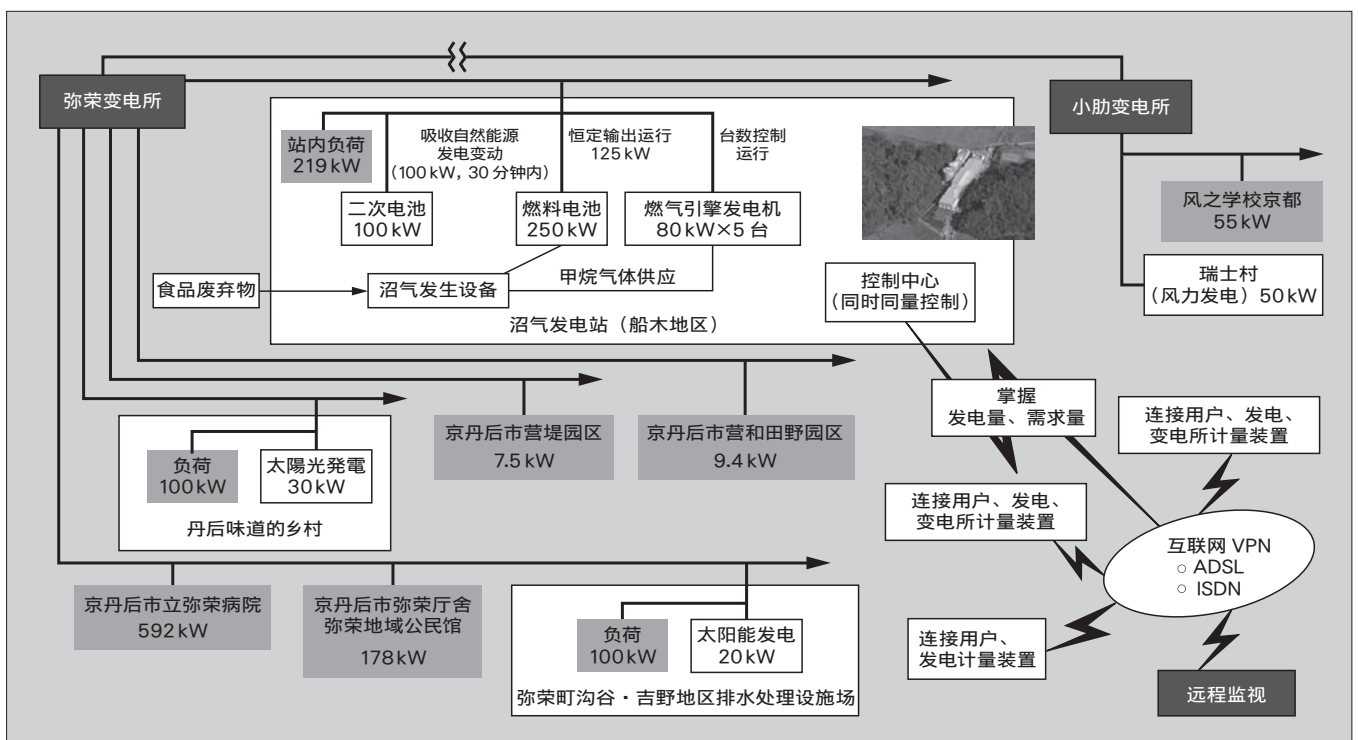


图3 京都环保能源项目概要

的目标，得到了基本令人满意的结果。通过试验，实际证明了通过通用广域通信网络进行控制也能够确保较高的精度。同时还验证了二次电池作为智能电网供需控制手段的有效性。

#### 4 智能电网中电力电子设备今后的发展趋势

富士电机开展了面向构建智能电网的各种活动，在电力电子设备方面也积极进行新技术开发。本章将对今后发展智能电网所不可或缺的技术进行介绍。

##### 4.1 配用电电力电子设备

电力系统中的发电、流通、消费环节分别由大规模集中型发电站、送配电设备、用户来承担。电力从大规模集中型发电站流向用户，系统也是以从上游到下游的单向流动为前提来构建的。

近年来，出现了家用太阳能发电等用户发电形式，如果进一步大量应用分散型电源，至少对于配电系统来说，电力的流向不一定再局限于单向流动(图4)。此外，由于可再生能源发电无法进行发电量控制，为了管理频率、电压或者流向，需要采用在分散型电源侧、特定区域或者广域范围进行管理等有别于传统方式的手段。

用于解决上述配电系统各种问题的电力电子设备包括配用电用自动无功功率补偿装置和环状配电网用供需平衡控制器(LBC)等。电力电子配用电设备的普及需要满足室外设置、杆上设置、免维护及低价格等条件。

用于室外设置时需要满足耐环境性规格，装置的散热、密封技术等也非常重要。而为了进行杆上设置，必须满足重量较轻的条件，今后还需要开发不需要变压器而能够直接连接至高压系统的技术。此外还需要通过实现免风扇设计来达到免维护的目标并降低成本。为了开发出充分满足配用电设备所需功能的设备，可能需要首先实现碳化硅(SiC)等新一代元件的实用化，因此实现装置的实用化将需要一定的时间。

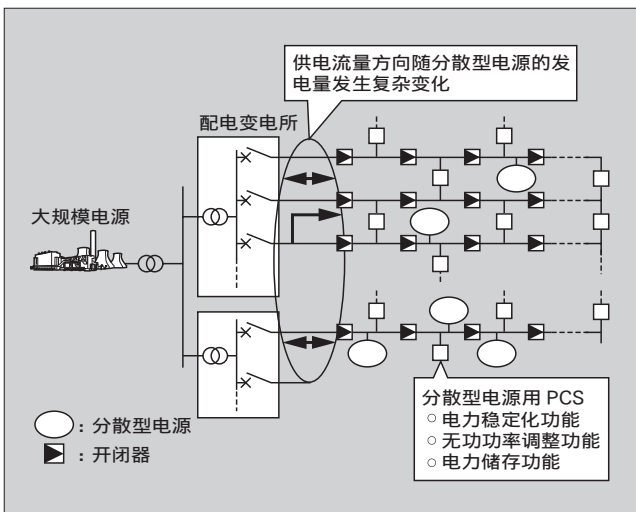


图4 配电系统中大量应用可再生能源

##### 4.2 智能PCS

PCS的直流侧连接太阳能板、二次电池、电容器(含双电层电容器)等。连接太阳能板时作为太阳能PCS，连接二次电池时作为电力储存装置，连接电容器时作为无功功率补偿装置。作为逆变器，其基本结构有很多部分是相同的。智能PCS是标配了并网所需的通信功能和系统并网功能的多功能逆变器装置，采用适用于多种用途的结构。

目前，经济产业省正在推进PCS通信的标准化，今后通信接口、协议等很可能实现规格化。计划推进开发不断增加这些标准化功能、能应用于多种用途的PCS。

系统并网功能包括LVRT功能、独立运行检测功能、并网保护功能等，将应用这些功能，通过实现装置的通用化来满足各种标准化的要求(图5)。

##### 4.3 新能源电源组件

面向可再生能源应用的扩大，为了便于应用新能源，需要构建实现发电装置和电力储存装置一体化的新能源电源组件。

经济产业省的智能社区相关系统论坛最终报告对电力系统的类型进行了比较，将其分为如表1所示的5种类型<sup>(5)</sup>。

如果实现容量较小的可再生能源电源装置的组件化，能够不受系统的结构和可再生能源种类的限制而适用于多种用途，可再生能源的应用将变得更加容易。不管是发达国家型

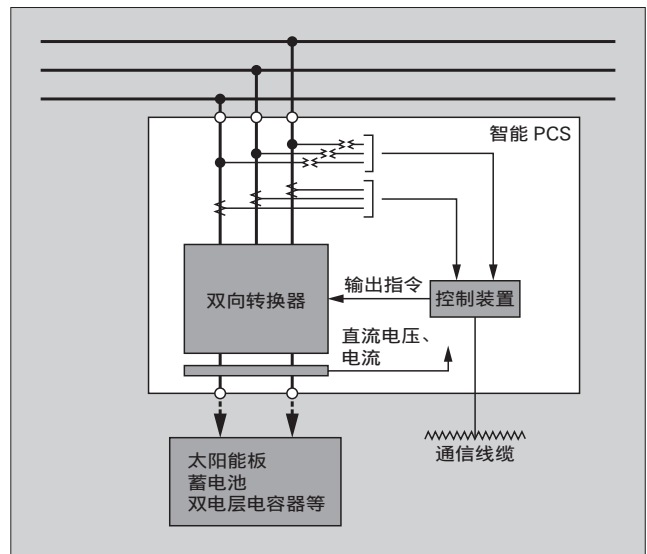


图5 智能PCS结构概要

表1 电力系统的特征

电力系统类型	运行方式
发达国家型(美国) 发达国家型(欧洲) 发展中国家型(城市型)	分散型电源与较强电力系统并网。在这种情况下，维持频率、电压可依靠电力系统，分散型电源重视高效运行。
发展中国家型(郊外型)	由于没有已有的系统，所以分散型电源本身成为基础电源。因此，分散型电源需要负责平时维持频率和电压，需要吸收负荷变动部分及其他分散型电源的输出变动。
孤岛型	分散型电源与较弱电力系统并网。在这种情况下，分散型电源的输出可能对系统造成影响。因此，需要在对系统的状态进行判断的同时运行分散型电压。

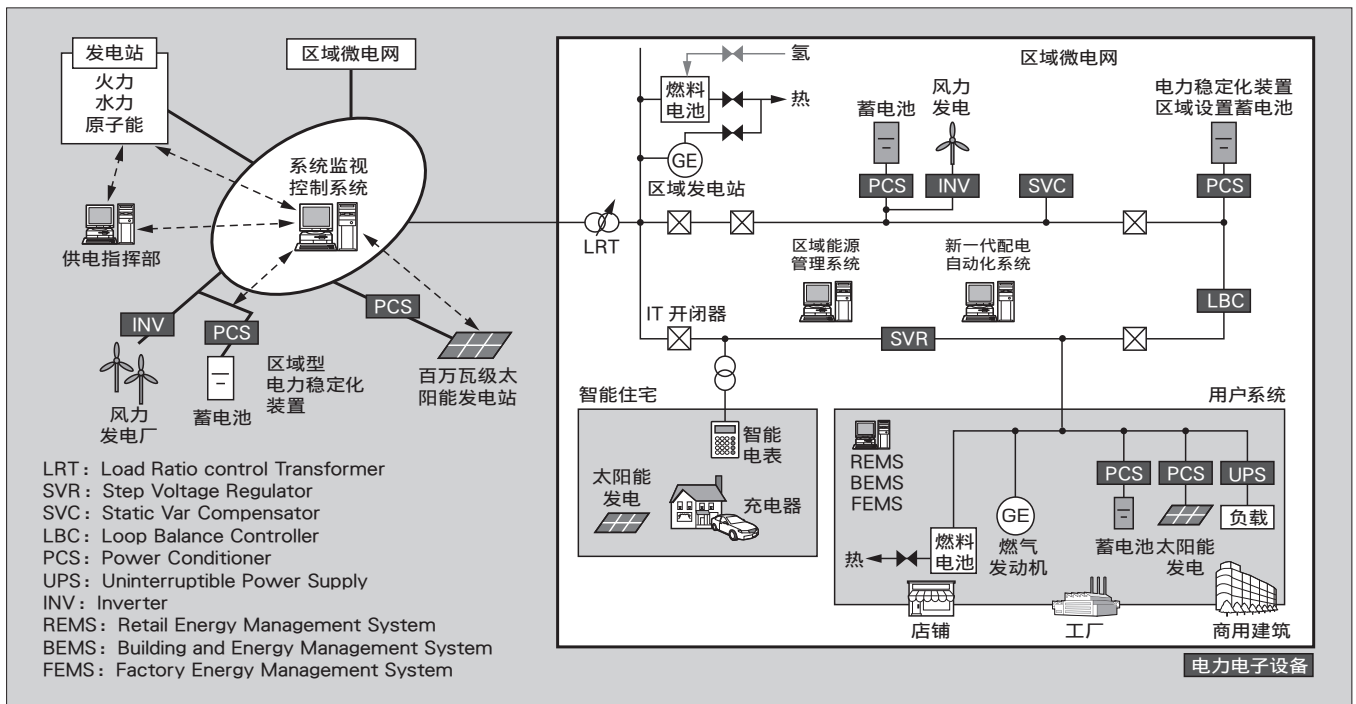


图 6 “富士智能网络系统”中应用电力电子技术的部分

(美国、欧洲)、发展中国家型(城市型、郊外型)还是孤岛型,使用结构相同的电源组件,根据适用对象改变控制方式,能够方便地构建电源装置,采用相同的硬件规格适应多种系统。相应的课题是需要实现可扩展性、安全、安心、易维护性(免维护)。

可扩展性是指可根据需要扩大系统的容量,不仅仅是增加设备容量,还需要能够连接各种电源、便于实现系统整体的协调。安全、安心是指在多样化的区域内、由多样化的人员进行运行的条件下,保证即使是电力相关经验较浅的人员也能够常时安全运行。易维护性是指故障较少,即使发生故障也便于解决。

新能源电源组件中包括太阳能发电用 PCS、蓄電池用 PCS,采用通过选配来满足小水电、风电要求的系统结构。

富士电机将开发可适用于多种用途的新能源电源组件,将其应用于智能电网。

#### 4.4 “富士智能网络系统”

图 6 显示了“富士智能网络系统”中应用了电力电子技术的部分。在富士智能网络系统中,在产业、生活领域构建了用户微电网,应用了由太阳能发电系统、蓄電池 PCS、燃料電池等的组合构成的混合电源装置。此外,在配电系统中,将用于电压稳定化的无功功率补偿装置、用于供电流量控制的 LBC 及用于吸收可再生能源变动的电力稳定化装置等与传统的有载调压变压器(LRT)和自动电压调整器(SVR)相组合,构建区域微电网。更进一步,在送电系统中设置区域型稳定化装置,实现区域内电力供应的稳定化。

在富士智能网络系统中,能源管理系统(EMS)收集来自智能电表、配电系统的 IT 设备的信息,对系统整体进行监视控制。EMS 向设备发出控制指令以实现能源利用的高效化,而电力电子设备则通过快速、高精度地响应指令来为

实现高效化提供支持。

#### 5 后记

智能电网摆脱了对传统的能源主角化石燃料的依赖,通过实现电源的多样化成为获得能源安全保障所需的社会性基础。同时,向智能电网的切换,不仅仅是电力系统的改革,在能源的产生和消费方面,要求用户也参与到电网中来,对电网的应有形式提出了新的要求。

为了保护地球环境,为后代留下可持续发展的能源系统,目前所做的基础工作尚处于起步阶段。为了实现理想的能源系统,其前提是能够实现能够对能源进行精密控制的系统。正是电力电子技术使其成为可能,电力电子技术在智能电网中所起的作用今后将越来越显著。面向智能电网的扩大,我们将不断提高电力电子技术。

#### 参考文献

- (1) “面向新一代能源、社会系统的构建”. 经济产业省. 2010-01-19. <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100119a03j.pdf>, (参考2011-01-06)。
- (2) “针对独立运行检测及FRT的活动”. 经济产业省. <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100608d08j.pdf>, (参照2010-12-21)。
- (3) 仁井真介. 神通川亨. 自然能源的发电输出稳定化技术. 富士时报. 2007, vol.80, no.2, p.162-165。
- (4) 伊原木永二郎等. 支持分散型能源系统的技术. 富士时报. 2005, vol.78, no.6, p.423-430。
- (5) “智能社区论坛的论点和提案”. 经济产业省. <http://www.meti.go.jp/press/20100615006/20100615006-2.pdf>, (参照2010-12-21)。



**仁井 真介**

从事分散型能源系统的设计业务。现为富士电机株式会社社会系统事业总部智能社区事业部综合技术部主席。电气学会会员。



**加藤 正树**

从事 UPS、电力调整器等电源装置的开发、设计。现为富士电机株式会社技术开发总部制品技术研究部制品技术开发部主查。



# 综合能源管理系统平台

## Integrated Energy Management System Platform

堀口 浩 Hiroshi Horiguchi

石川 健一 Kenichi Ishikawa

福山 良和 Yoshikazu Fukuyama

在综合了钢铁、一般产业、店铺流通、水处理、区域社区等各种领域内的能源可视化和节能控制处理的基础上，开发了用于快速且低成本地提供能源管理功能的综合能源管理系统平台。本平台能够处理电力、燃气、水、热能等各种各样的能源模型，实现包括自然能源在内的节能最优控制。支持在各种 Web 画面内使用各国语言，能够使用相同的设计工具轻松构建从 1 台服务器的小规模系统到多达几十台服务器的大规模系统的各种规模的系统。

Fuji Electric developed an integrated energy management system (EMS) platform that can visualize energy consumption and integrate energy-saving controls for the steel industry, general industry, stores, distribution, water treatment, regional communities, and so on to provide energy management functions expeditiously and at low cost. The platform can treat various energy models such as electric power, gas, water and heat energies and can realize optimal energy-saving control including renewable energies. In the platform, various web screens support local languages, and systems ranging in size from a small single-server system to a system consisting of several tens of servers can be developed easily using the same engineering tools.

### 1 前言

现在，采取防止地球变暖的措施已成为当务之急，日本政府设定了削减温室效应气体的中期目标（至 2020 年比 1990 年减少排放 25%），对《关于能源使用的合理化的法律》（节能法）进行了修订，关于能源管理的国际规格（ISO 50001）也将在今年内发布。同时，在世界范围内也有众多以实现可持续发展社会为目标的智能社区项目正在开展，新能源应用及节能活动得到大力推进。为了实现这些目标，需要对能源供需整体进行综合管理、运行，能源管理系统（EMS）将承担更加重要的角色。

富士电机开发了针对电力、钢铁、水、产业、店铺流通等各领域的能源供应链的各种 EMS<sup>(1)</sup>。并将这些区域 EMS（CEMS），工厂 EMS（FEMS），建筑物 EMS（BEMS），店铺流通 EMS（REMS）的各种功能统一至一个平台上，开发了用于快速、低成本地提供符合各种现场需求的 EMS 功能的综合 EMS 平台。

### 2 结构与功能

#### 2.1 开发概念

综合 EMS 平台是构建 EMS 所需的重要的核心中间件。其开发概念如下。

- (a) 对于各种能源（电力、燃气、水、热能等）设备，能够在不受领域限制的条件下选择并应用符合目的要求的各种能源最优控制功能。
- (b) 能够通过相同的设计操作，方便地在短时间内根据用户的能源设备规模来构建从单独服务器系统到多个服务器大规模分散系统的各种系统。
- (c) 即使是在在线运行过程中，也能够通过系统增强和仿真进行能源设备扩展、更新时的评估。

#### 2.2 软件结构

图 1 显示了综合 EMS 平台及其周边软件的结构。软件结构包括各种 Web 画面、应用实例数据管理、最优控制程序组、对于现场传感器和控制装置的通信进行管理的驱动器管理等，与常规的 EMS 结构相同。本平台的最大特征是具备连接它们的高速程序协作服务“Fuji Service Bus”、高速数据共享服务“Field Connector”以及统一能源网络模型，能够在同一平台上采用相同的设计操作在短时间内，根据需要构建从 1 台服务器到多台大规模分散服务器结构的 EMS。

对以综合 EMS 平台为中心的这些功能及周边功能进行说明如下。

#### 2.3 高速程序协作服务“Fuji Service Bus”

在构建 EMS 时，根据控制对象的规模、所要求的软件功能数量、监视控制的周期和必要的服务器冗余性，可能采用单服务器结构或 CEMS 等服务器多达十几台的大规模分散服务器结构。

“Fuji Service Bus”是在忽略这样的服务器结构差异的条件下，使分散配置于各服务器的最优控制程序之间以及 Web 画面和最优控制程序之间的处理实现协作的结构。

传统上，在分散环境下调用程序时，需要事先采用“X 程序位于 Y 服务器上”的形式对各程序的服务器配置信息进行定义。因此，当伴随控制对象数量的增加而进行服务器增强作业和服务器结构变更作业时，需要由系统工程师停止系统，对各程序的服务器配置信息进行重新定义。

与此相反，Fuji Service Bus 不需要事先对程序的服务器配置信息进行定义，仅需服务名称（程序所具备的功能名称）就能够调用位于某个服务器上的相应程序。这是由于 Fuji Service Bus 对位于各服务器的服务名称清单进行动

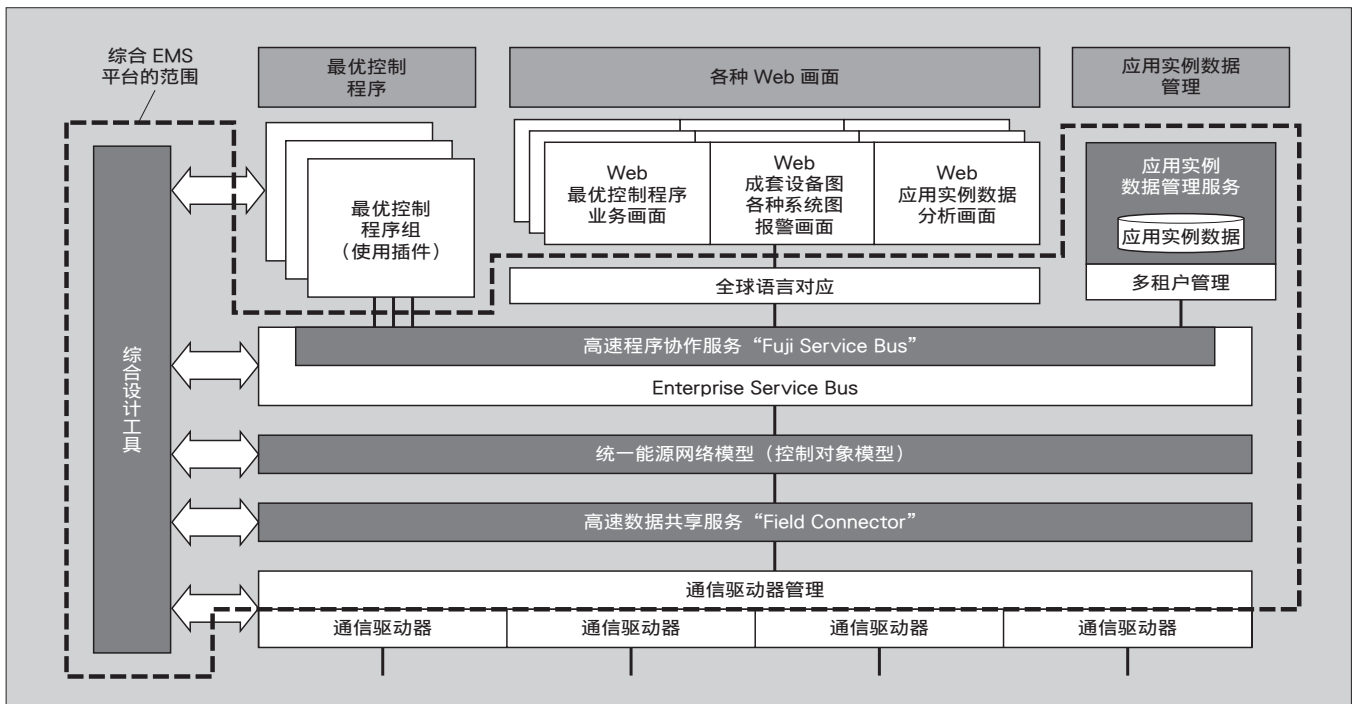


图 1 综合 EMS 平台及其周边软件结构

态实时信息交换的原因。

通过采取这种方式，即使用户通过后文所述综合设计工具的简单操作来新增最优控制程序、或者根据 CPU 负荷在服务器之间移动已搭载的最优控制程序，Fuji Service Bus 也能够即时掌握各程序的服务器配置信息。因此，能够在系统保持运行的条件下进行作业。

此外，由于之前开发的用于各领域的最优控制程序组使用了各种不同的编程语言 (C, C++, Java)，因此无法轻易实现相互协作。而 Fuji Service Bus 能够在不受开发语言限制的条件下进行相互协作。因此，能够综合提供富士电机 EMS 软件产品。

今后，将使 Fuji Service Bus 与通用 Enterprise Service Bus 协作，实现与全球性标准基础软件的标准化协作。

## 2.4 高速数据共享服务“Field Connector”

不管配置在哪个服务器上，各程序都能够通过 Fuji Service Bus 进行相互协作。但是，各程序在进行实际运算和控制时，需要能够不受程序所在服务器限制而参照在线数据或进行控制指示的环境。“Field Connector”就是用于实现这一功能的结构。

Field Connector 采用 TAG 管理 (通过“TAG0001”这样的 TAG 名称和相应的 TAG 值来进行数据管理的方式) 对在线数据进行管理。常规的 TAG 值只能处理 1 个整数值或浮点值，而 Field Connector 的 TAG 值是可变长度字符串。借助这种形式，能够对每 30 分钟的发电计划数值等连续多个数值数据以逗号分隔字符串数据的形式进行处理，储存为 TAG 值。例如，按如下所示顺序进行程序之间的数据协作 (以 30 分钟为单位的 24 小时连续数据) 时，也能够有效利用 TAG 管理。

- (a) 电力需求预测程序。
- (b) 配合电力需求预测值的各发电机的最佳化发电计划程序。
- (c) 符合最佳化发电机计划的发电机控制程序。

更进一步，由于所有服务器上的 Field Connector 可相互协作，各服务器上的 Field Connector 管理所有服务器的 TAG 值，所以不管参照、更新 TAG 值的各程序位于哪个服务器上都能够毫无问题地工作。

其次，Field Connector 不仅用于程序间的数据连接，还具有通过通信驱动器管理连接现场设备的功能。将通过与现场传感器或控制设备通信得到的在线数据作为 TAG 值进行管理，或者相反，将 TAG 设定值直接控制输出至现场设备。

如上所述，通过 Field Connector 可从任意服务器进行各种程序间的数据共享、系统整体在线数据参照、控制输出，能够轻松构建符合需求的系统结构。

Field Connector 在系统整体范围内能够管理 50 万个 TAG。

## 2.5 统一能源网络模型

能源网络模型对电力、燃气、水、热能等能源在各设备中如何转换、传递进行了定义。

为了进行能源的最佳化和供需平衡控制，需要保证各种最优控制程序组对其控制对象的能源传递关系有统一认识。在传统的各领域的最优控制程序组中，为了进行最高效率的计算，分别采用了各种不同的模型表现方式。因此，对于所使用的各种最优控制程序，需要采用不同的设计工具进行模型定义。<sup>(2~4)</sup>

与之相反，为了确保用户也能够轻松地完成设计，对表现方法和数据结构进行了规定，实现了便于直观理解、不受

所使用的最优控制程序限制的通用的统一能源网络模型。采取这种做法，能够在与所使用的最优控制程序的种类无关的条件下，采用相同的设计操作来定义能源网络模型。

图 2 为统一能源网络模型的表现示例。

本模型的表现方式采用将设备设置于节点、使用分支连接设备间连接关系的节点 - 分支模型来进行表现。而且在节点处将能源的转换特性（效率等）的定义和最大输出、获得现场设备实时状态的 TAG 名和控制输出目标的 TAG 名等作为设备属性进行定义。对不同种类节点设备所需的属性在事前进行了统一管理。该模型定义被输出为 xml 格式数据，分别转换成各领域的最优控制程序所采用的模型表现形式后进行使用。

在电力系统模型的创建方面，正在开发 IEC 61968 及 IEC 61970 的 CIM (Common Information Model : 通用信息模型) 与统一能源网络模型的相互转换功能，将能够更方便地获取已有系统设备数据。

### 2.6 应用实例数据管理服务

应用实例数据管理服务是能够定期从 Field Connector 抽取 TAG 值并将其作为应用实例数据进行储存管理的功能，通过使用标配的能源分析功能，能够对能源使用状况进行简洁的分析。

应用实例数据管理服务通过将各应用实例数据与事业所、工厂、建筑物、生产线、设备等设备层建立关联，能够即时统计企业整体或任意设备层下的能源消耗。其表示方法可采用 t-CO<sub>2</sub> (二氧化碳换算吨) 或原油量换算来显示能源种类结构图(燃气、重油、煤炭、电力等)、能源用途结构图(动力、空调、照明等)。此外，还可组合任意计量数据后进行图形化显示、输出至电子表格软件后进行特定分析。

在实际的能源分析过程中，考虑生产量和设备开动时间等来进行分析也非常重要。应用实例数据管理服务能够将能源以外的各种数据与设备层关联并进行管理，可进行对设备层位置进行横向串联的能源分析(图 3)。

应用实例数据管理服务具有多租户管理功能。当将该功能搭载于 SaaS (Software as a Service) 环境时，能够使用 1 台服务器同时向多家企业(多家租户)提供应用实例数据管理服务。

本服务可提供在智能社区等环境下从各家庭、建筑物、

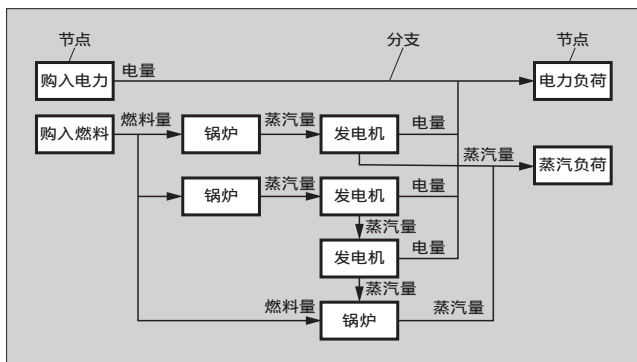


图 2 统一能源网络模型的表现示例

企业收集的能源数据的可视化服务，是提高节能意识的有效手段。

### 2.7 综合设计工具

综合设计工具用于保证用户也能够轻松构建系统，通过进行浏览器风格的用户画面和业务功能配置，自动执行进入各服务器的画面程序和最优控制程序配置作业。综合设计工具的画面示例如图 4 所示。

首先，在画面左侧的功能层栏中配置能源网络模型，根据需要配置在该模型中动作的各种业务功能(最优控制程序及其业务画面程序成组设置的功能)。其次，只需在画面右侧指定配置各业务功能的功能设定和最优控制程序的服务器就能完成设计。

综合设计工具将根据功能设定的内容，在各服务器自动配置画面程序和最优控制程序。

### 2.8 仿真环境

在图 4 的画面示例中，在“ONLINE”下层配置了模型和各种业务功能，如果将该模型和其下层的各种业务功能粘贴在“SIMULATION”的下层，就能够在有别于在线环境的仿真环境下进行动作验证。

该仿真的验证目的包括对在模型内新增新的能源设备时的应用效果进行评估、或者通过变更控制参数来评估节能控制输出的妥当性。

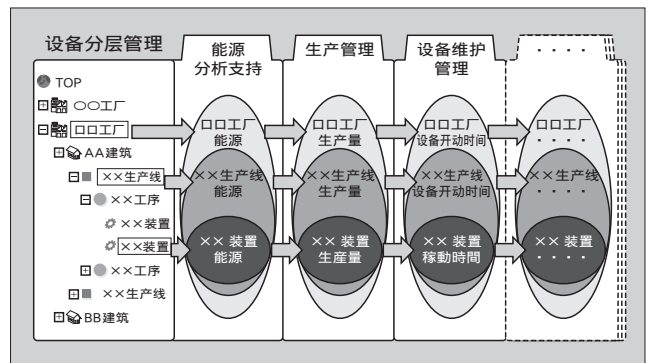


图 3 以设备分层管理为中心的能源分析

功能设定项目	设定值
计算配置サーバ選択	Planning-Server
予測方式の選択	ニューラルネットワーク
予測ゲータ周期	30min
予測演算期間	48hour
予測演算周期	1hour
予想最高気温入力TAG名	TAG0010025
予想最低気温入力TAG名	TAG0010026
予想湿度入力TAG名	TAG0010027
予測結果出力TAG名	TAG0020003

图 4 综合设计工具画面示例

为了实现仿真，Fuji Service Bus、Field Connector、应用实例数据管理服务分别具有在线和仿真两种不同的环境。因此可在保持在线运行的情况下，通过仿真进行各种验证。

特别是在 Field Connector 的仿真环境下，对 TAG 的控制输出不与实际控制设备连接，仅限于 TAG 值的设定，将其作为仿真环境的控制应用实例数据进行记录，能够通过图形显示来确认控制指令的妥当性。

### 3 应用于区域能源管理系统

将本 EMS 平台应用于区域能源管理系统 (CEMS) 时的系统结构示例如图 5 所示。

为了提高可靠性，CEMS 中的各服务器均采用双重化结构。监视控制服务器具有所有 Web 画面的服务器功能，应用实例数据服务器对数据库进行管理。为了分散 CPU 的负荷，其他的各种服务器分别采用独立的服务器结构。今后，可根据连接通信对象的数量和同时访问数量的增加，增加与现场进行通信的前端通信服务器及向各家庭、建筑物管理人员提供能源可视化服务的信息提供 SOA 服务器。

通过在各服务器安装 Field Connector，各服务器能够参照前端通信服务器所接收到的现场 TAG 值。此外，监视控制服务器、供需高速控制服务器和用户管理服务器能够通过向现场 TAG 写入数据，借助前端通信服务器内的通信

驱动器进行控制。而且，计划类服务器所计算得到的发电机最佳化运行计划值等也作为 TAG 值被通知到供需高速控制服务器，作为平衡控制的目标值。

为了分散负荷，将各种最优控制程序分散配置于各服务器。通过 Fuji Service Bus 可从任意服务器进行调用，能够根据系统运行负荷进行配置变更。

如上所述，借助 Field Connector、Fuji Service Bus 的强大的分散对应平台，能够轻易地在短时间内构建大规模 EMS。

计划在由经济产业省在北九州市等处开展的“新一代能源、社会系统实证”项目中对这次开发的 EMS 平台进行评估。

### 4 后记

本文对富士电机的综合能源管理系统 (EMS) 平台进行了介绍。EMS 正在从单项最佳化向整体最佳化的方向不断发展。本 EMS 平台能够从任意服务器实现 EMS 整体的掌握、控制，有助于实现更高水平的整体最佳化。今后，我们将进一步丰富设计工具，提供在使用方便性、性能、价格等各方面均具有极大优势的 EMS，为实现可持续发展社会不断作出贡献。

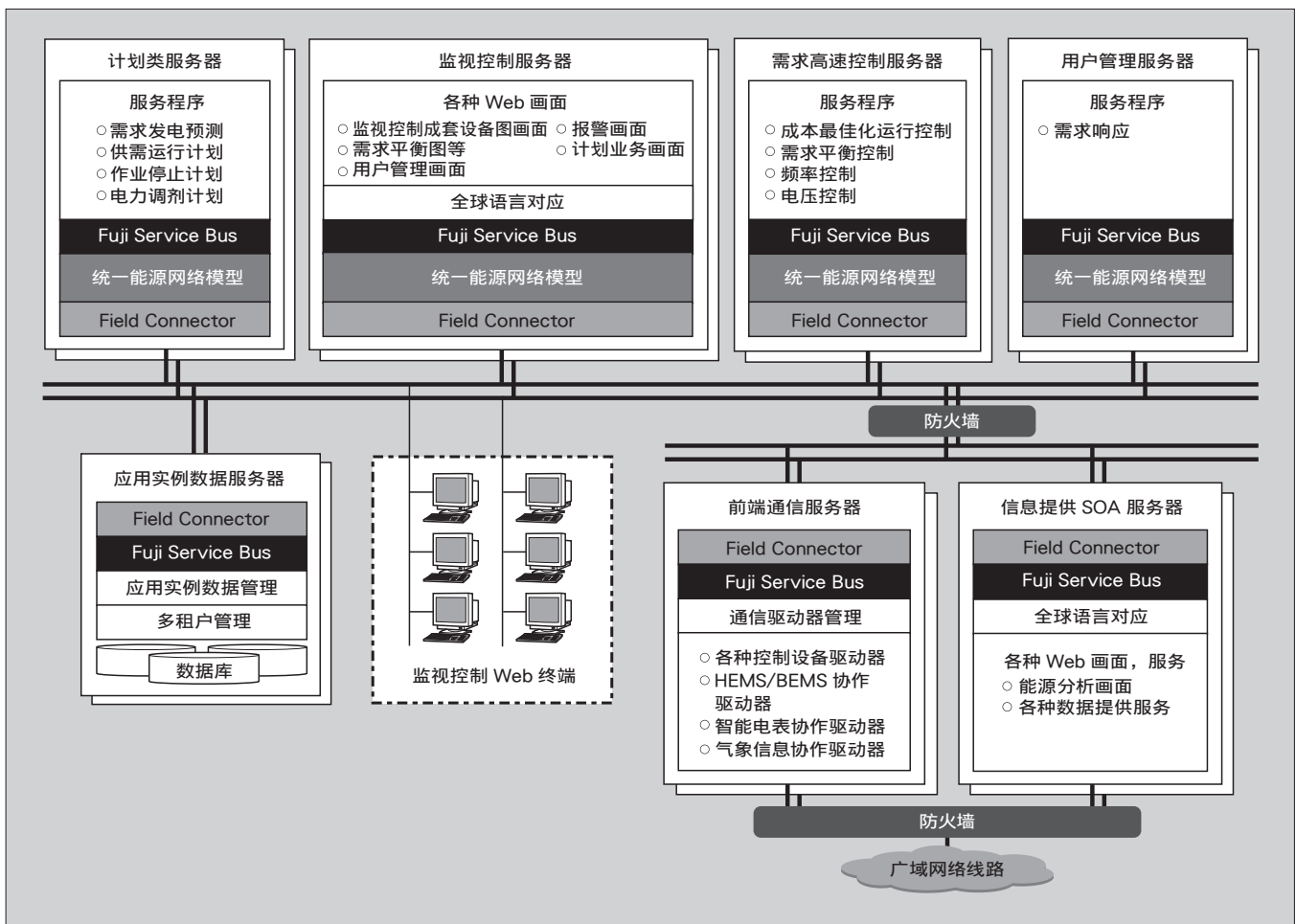


图 5 采用综合 EMS 平台的 CEMS 结构示例

参考文献

- (1) 东谷直纪等. 面向用户的能源、环境解决方案. 计测技术. 2010-9, p.16-19.
- (2) 西田英幸等. 在线最佳化技术与控制平台“FeTOP”. 富士时报. 2006, vol.79, no.3, p.274-278.
- (3) 小出哲也等. 能源成套设备的最佳化运行系统. 富士时报. 2008, vol.81, no.2, p.130-134.
- (4) Fukuyama,Y. et al. “Development of an optimal operational planning system for energy plants in steelworks”, Proc. of IFAC World Congress, 2008-7.



**堀口 浩**

从事监视控制系统领域的软件技术基础的企划、开发。现为富士电机株式会社技术开发总部制品技术研究所制御技术开发中心用户解决方案开发部主査。



**石川 健一**

从事监视控制系统领域的软件技术基础的企划、开发。现为富士电机株式会社生产统括总部东京事业所系统技术中心软件开发部经理。信息处理学会会员。



**福山 良和**

从事监视控制系统的企划、研究开发业务。现为富士电机株式会社技术开发总部制品技术研究所制御技术开发中心用户解决方案开发部长。工学博士。电气学会高级会员，IEEE 会员，计测自动控制学会会员。



## 说明

## 说明 独立运行检测方式

通常，当系统停电时配电线断路器被释放，配电线处于无电压状态，但对于连接有太阳能发电等分散型电源的配电线，如果在电源未从系统解列的状态下继续运行，本来应该无电压的部分就会被充电。这种在从商用电源分离的系统中，配电线内仅有由分散型电源供给的电力通过的状态被称为独立运行。

当处于独立运行状态时，对于人身及设备安全，可能带来①公众触电、②发生设备损坏、③对消防活动的影响、④进行故障点排查及修复作业时触电等重大影响。此外，还可能因故障点的损害扩大及修复迟缓等导致电力供应不畅。因此，规定当系统连接有分散型电源时，必须采取采用保护继电器对独立运行状态进行直接或间接检测、迅速将分散型电源从系统解列以防止独立运行的措施。

检测独立运行状态有以下两种方式，通过组合进行检测。

## (a) 被动型方式

检测进入独立运行状态时因发电输出与负荷的不平衡而导致电压相位及频率等的急剧变化现象。

## (b) 主动型方式

通过对电力调整器的控制系统及外部附加电阻等，常时使电压及频率变动，检测当进入独立运行状态时变动变得显著的现象。

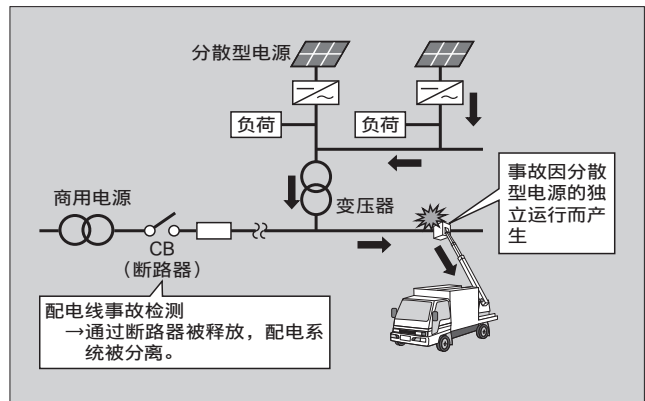


图 因独立运行导致事故

## 缩略语 (本期所使用的主要缩略语)

<b>AMR</b>	Automatic Meter Reading	自动电能计量
<b>BEMS</b>	Building and Energy Management System	建筑物能源管理系统
<b>CEMS</b>	Cluster Energy Management System	区域能源管理系统
<b>CIM</b>	Common Information Model	通用信息模型
<b>DG</b>	Distributed Generator	分散型电源
<b>DMS</b>	Distribution Management System	配电自动化系统
<b>EDC</b>	Economic load dispatching control	经济负荷分配控制
<b>EMS</b>	Energy Management System	能源管理系统
<b>EPC</b>	Engineering Procurement Construction	
<b>FEMS</b>	Factory Energy Management System	工厂能源管理系统
<b>GF 制御</b>	Governor-Free 制御	自由调速控制
<b>GPV</b>	Grid Point Value	网格点数值
<b>HEMS</b>	Home Energy Management System	家庭内能源管理系统
<b>ICT</b>	Information and Communication Technology	
<b>IDC</b>	Internet Data Center	互联网数据中心
<b>IED</b>	Intelligent Electrical Device	
<b>LBC</b>	Loop Balance Controller	环状配电线用供需平衡控制器
<b>LFC</b>	Load Frequency Control	负荷频率控制
<b>LRT</b>	Load Ratio control Transformer	有载调压变压器
<b>LVRT</b>	Low Voltage Ride Through	
<b>MDMS</b>	Meter Data Management System	
<b>NEDO</b>	New Energy and Industrial Technology Development Organization	独立行政法人新能源、产业技术综合开发机构
<b>PCS</b>	Power Conditioner	电力调整器
<b>PMCN</b>	Protocol for Mission Critical industrial Network use	
<b>PQ</b>	Power Quality	电力质量
<b>RB-IGBT</b>	Reverse Blocking-Insulated Gate Bipolar Transistor	逆阻式 IGBT
<b>REMS</b>	Retail Energy Management System	店铺流通能源管理系统
<b>SaaS</b>	Software as a Service	
<b>SOC</b>	State-of-Charge	充电状态
<b>SVC</b>	Static Var Compensator	静止无功功率补偿装置
<b>SVR</b>	Step Voltage Regulator	自动电压调整器
<b>UPS</b>	Uninterruptible Power Supply	不间断电源装置
<b>VQ 制御</b>	Voltage Q (reactive power) 制御	电压、无功功率控制

## Vol. C3 No.1 2011 所刊载的商标等

Bluetooth	美国 Bluetooth SIG, INC. 的商标或注册商标
Ethernet	富士施乐株式会社的商标或注册商标
Excel	Microsoft Corporation 及其关联公司的商标或注册商标
FOMA	株式会社 NTT DOCOMO 的商标或注册商标
Java	Oracle Corporation 及其子公司、关联公司在美国及其他国家的注册商标

其他的公司名称、产品名称分别是相应各公司的商标或注册商标。



## 中文版

\*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。

富士时报 (中文版) 第 3 卷 第 1 号

2011 年 10 月 30 日 印刷  
2011 年 11 月 1 日 发行

编辑兼发行人 江口直也

发 行 处 富士电机株式会社  
技术开发本部

邮 编 141-0032  
日本东京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号  
Gate City 大崎东楼  
<http://www.fujielectric.co.jp/>

( 联 系 地 址 ) 富士电机企业管理 (上海) 有限公司

邮 编 200063  
上海市普陀区中山北路 3000 号 长城大厦 27F  
电 话 021-5496-1177  
<http://www.fujielectric.com.cn/>

编 辑 室 Fuji Office & Life Service Co., Ltd. 内  
“富士时报”编辑室

邮 编 191-0065  
日本东京都日野市旭丘一丁目 9 番 4 号  
电 话 +81-42-585-6965  
传 真 +81-42-585-6539

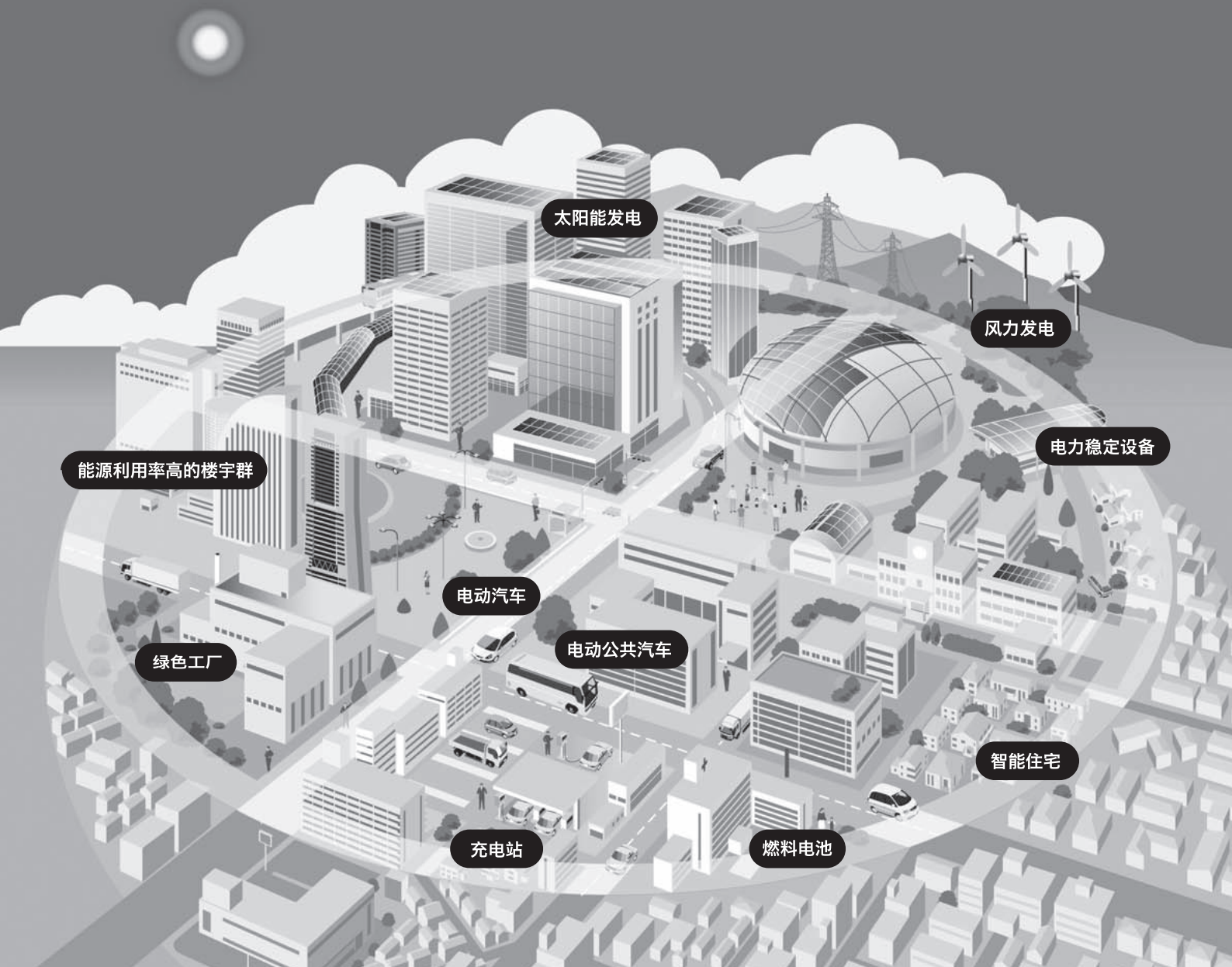
印 刷 处 Fuji Office & Life Service Co., Ltd.

邮 编 141-0032  
日本东京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号  
Gate City 大崎东楼  
电 话 +81-3-5435-7311

本刊所载论文是在日本发行的富士时报 84 卷 (2011 年) 3 号 “智能社区 专辑” 的翻译版本。(版权所有, 侵权必究)

2011 Fuji Electric Co. Ltd. Printed in China

# 那座城市，这座城市。 都是智能社区。



## 利用丰富多彩的技术支持实现与环境相协调的智能社区。

智能社区可以合理巧妙地使用电能和热能，并以此逐步实现降低环境负担的目标。

富士电机将继续提供太阳能发电、风力发电、燃料电池等创造新能源的技术和各种各样的节能技术，以及电力系统稳定化、能源管理系统、电动汽车的功率半导体和快速充电器等丰富多彩的技术。

为了实现智能社区及智能电网这一目标，我们将进一步支持人类与自然环境之间协调发展，实现舒适生活。

利用能源和环境对地球社会作出贡献，富士电机。



---

Fuji Electric