成果与展望

链接 IoT 的强有力装置设备与创造客户价值的解决方案

近藤 史郎
富士电机株式会社 执行董事
技术开发本部长

1. 引言

富士电机以功率半导体和电力电子技术为核心，运用测量控制技术，创新电、热等能源技术，开发出以高效利用能源为特点的装置设备及系统产品。然后，通过 IoT（Internet of Things）将这些产品互联，并充分运用分析、预测及优化工具（analytics software），始终追求客户价值。

到 2016 年度，自上一年度开始的研究开发基地建设（**图 1**）已经完成，并已启动研究开发组织的调整。另外，还新设了负责制定并推进实施全公司 IoT 战略的 IoT 项目室。

关于研究开发方针，我们提出针对富士电机的重点领域与核心技术（**图 2**），要以创造客户价值为中心，开发具有绝对优势的强有力装置设备及解决方案。具体而言，包括获取 SiC（碳化硅）器件研发成果，电力电子开发的加强加快，运用 IoT 技术创造客户价值，为强化海外事业的开发加速，继续强化基础前沿技术开发。下面将对最近的开发情况进行介绍。

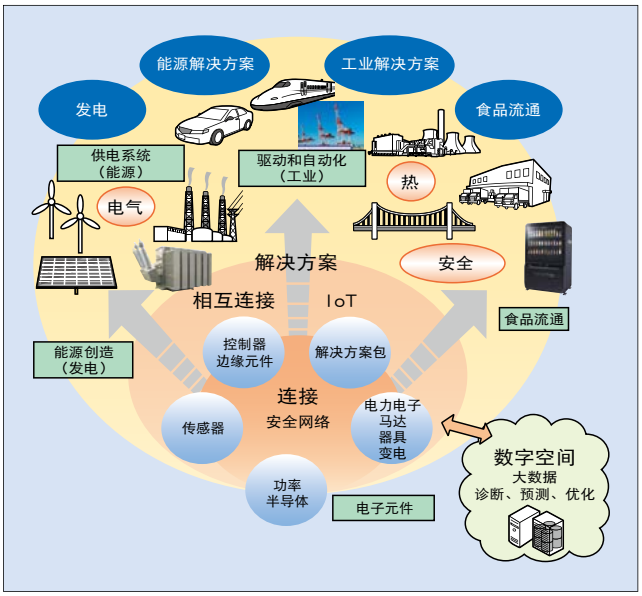

图 2　富士电机的重点领域与核心技术

2. 运用 IoT 创造客户价值的解决方案

全世界都在推动 IoT 的运用，如今正迎来通过数字化进行变革的时代。纵观这些措施，虽然对象范围存在差异，但在使用可廉价获取的 ICT（Information and Communication Technology）创造客户价值这一点上，其本质是相通的。

图 1　建成后的研究开发基地

富士电机将 IoT 定义为“将客户现场（机械、设备、基础设施等）全部信息数字化，在网络空间创造新客户价值的系统的总称”（**图 3**）[1]。而且将这种创造价值的机制平台化，将优化能源、稳定操作、提高产量、改善品质、继承熟练技术、改善环境等设为解决方案菜单，以此开展产品化及功能扩展。

今后随着 IoT 的不断渗透，各种物品都会实现自律并接入网络。富士电机正在自主开展连接到网络空间的产品开发工作（**图 4**）[1]，不论已有装置、设备是由自己或是其他公司生产。

为了实现能源的优化利用，设备的稳定运行，产量与品质的提升等各种客户价值的创造，我们拥有分析、诊断及预测、优化、先进控制和识别等多种技术。这些技术群称为 CPS（Cyber Physical System）引擎，是用于构建 IoT 平台的核心技术（**图 5**）。

富士电机的 IoT 运用理念是“Small & QuickStart”。针对顾客的课题，刚开始未必要在全部领域进行 IoT 化，重要的是筛选出最有效的关键环节，然后在短时间内实施安装并进行效果评估。在 CPS 引擎技术群中，富士电机将在制

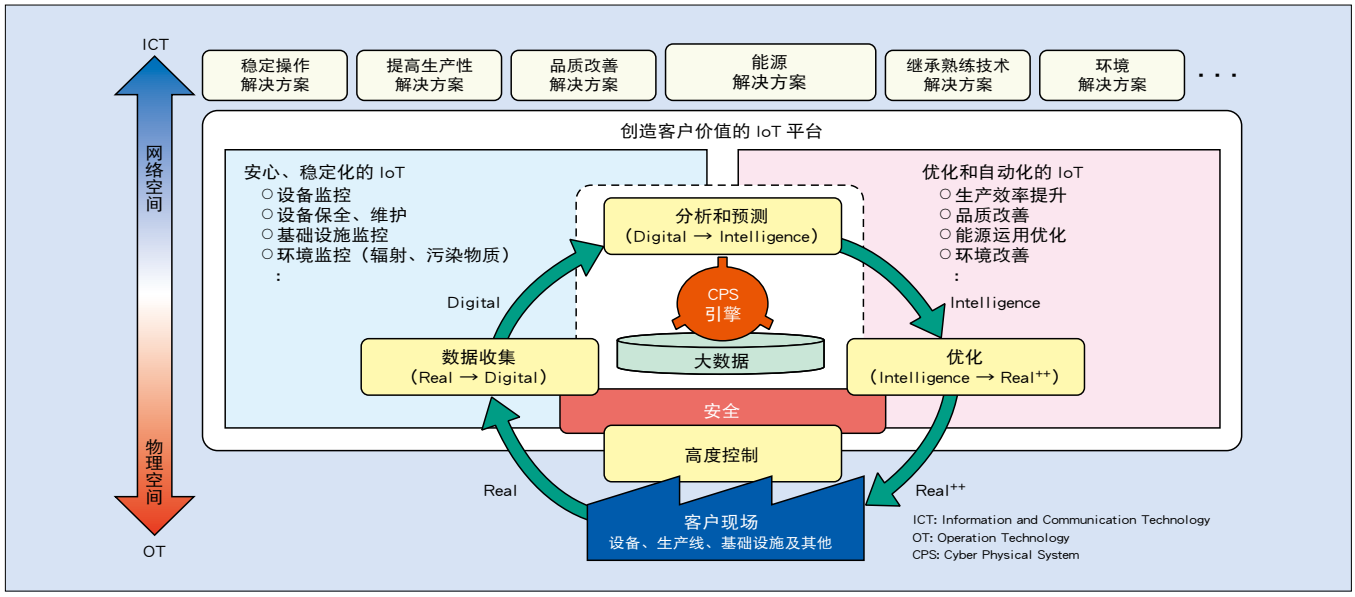

图 3　富士电机的 IoT 理念

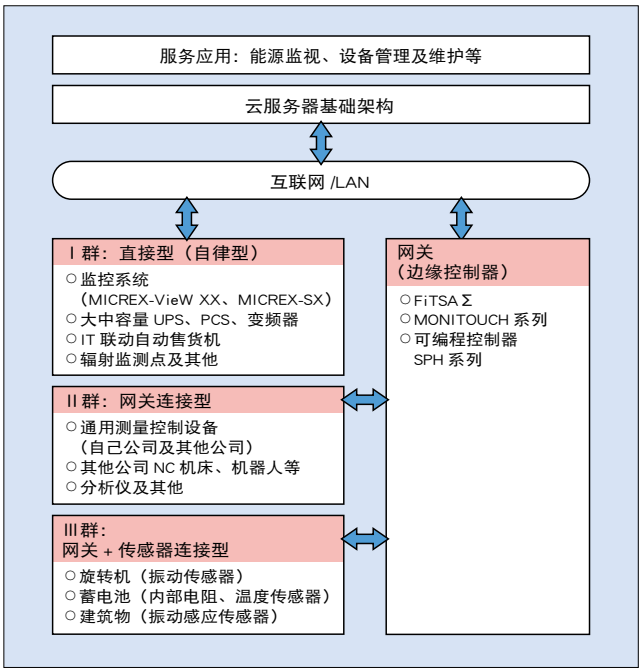

图 4　按连接到网络空间的各种类型所进行的产品开发

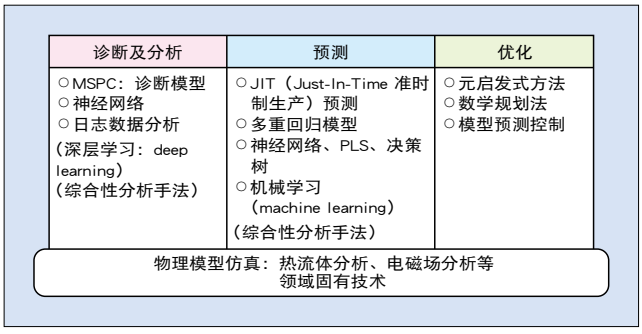

图 5　CPS 引擎的示例

图 6　数字多媒体自动售货机

造现场的诊断及预测上特别效果可期的 MSPC（多变量统计式工艺管理）作为软件包实现产品化，不断积累“Small & Quick Start”的实绩。另外，运用包括自家公司工厂在内的多个项目，通过不断增加应用事例来确认其效果。包括提高产量、生产品质、运行和维护的效率，以及改善成套设备效率，确保工序品质跟踪等。IoT 的运用不仅限于能源和工业领域，例如，在下一代自动售货机方面还在进行数字多媒体界面、与智能手机的联动、声音人脸识别、手势等实现互动的技术开发工作（**图 6**）。

今后还将站在顾客角度不断为其提供有价值的系统和服务。

3. 功率半导体和电力电子技术的协同效应

富士电机一直在不断推动新产品开发，努力改善 Si 功率半导体的性能。IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）已投放第 7 代产品。2016 年度其系列化不断得到发展。与此同时公司正全力开展以开关损耗低、有望为功

率半导体带来革命的 SiC 材料进行功率半导体的研究开发。以及应用该功率半导体的电力电子产品的研究开发，以期实现功率半导体和电力电子产品的协同效应。

富士电机为满足高压大容量变频器、风力发电系统等不断扩大的需求，开发出了隶属第 7 代“X 系列”IGBT 模块产品系列的额定电压 1700 V 的大容量 IGBT 模块。通过改善半导体芯片特性来降低损耗，并使用高散热性能绝缘基板来大幅降低热阻，从而成功实现了旧有技术难以实现的最大额定参数 1700 V/1800 A 的产品化。另外将连续运行保证温度从过去的 150 ℃提高到 175 ℃，满足了小型化、低损耗、高可靠性的要求。而且开发出成为 IGBT 及 FWD (Free Wheeling Diode)创新技术的 RC-IGBT(Reverse-Conducting IGBT：逆导型 IGBT)。RC-IGBT 采用了将 IGBT 芯片与 FWD 芯片一体化的技术，可提高模块封装的最大额定电流，因此正在不断扩充面向产业领域应用的产品系列。

为适应汽车电动化趋势，而在车载功率半导体方面，包括分立器件、模块、变频器、马达在内开展综合性开发。车载用产品有小型化的要求。RC-IGBT 通过与热冷却技术、封装技术相结合，可大幅减小模块体积并提高功率密度，因而逐渐被采用作为车载 IGBT 模块。2016 年度开始提供车载用直接水冷型功率模块（**图 7**）样品。

在 SiC 方面，作为已面市的平面型 SiC-MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)的下一代器件，已开发出采用 6 英寸基板的沟道型 SiC-MOSFET。额定 1.2 kV 的沟道型 SiC-MOSFET 与富士电机的平面型 SiC-MOSFET 相比，更加微细化，单元间隔尺寸可缩小到大约一半，单位面积的导通电阻降低大约 50%，从而实现了世界最高水平的低损耗性能（R_{on}·A =3.5 mΩ·cm^2）和高可靠性。

富士电机所采用的铜引脚连接和树脂密封技术降低了模块内部的引线电感，可实现 SiC 元件的高速运行、高可靠性和高温运行，从而将最大额定容量 1200 V/100 A 的 All-SiC 模块成功产品化。2016 年度采用新封装结构推动大容量化，实现了搭载第 1 代 SiC 沟道型 MOSFET 额定容量 1200 V/400 A 的 All-SiC 模块（**图 8**）。由于信息系统云端化以及 IoT 技术导入等原因，北美的数据中心建设出现增长，预计目前约 1000 亿日元的不间断电源装置（UPS）市场的年增长率将超过 3%，因而我们推出了大容量 UPS“7300WX-T3U”(300 kVA)（**图 9**）。本产品使用“三电平功率转换电路”，采用了富士电机开发的 SiC 功率半导体及富士电机独创技术的 RB-IGBT (Reverse-Blocking IGBT：逆阻型 IGBT)，实现了业界最高水平的 97.5% 的装置转换效率。本 UPS 在低负载（负载率 25% 时）下仍可实现 96.3% 的装置转换效率，可降低电能损耗，为节能作出贡献。

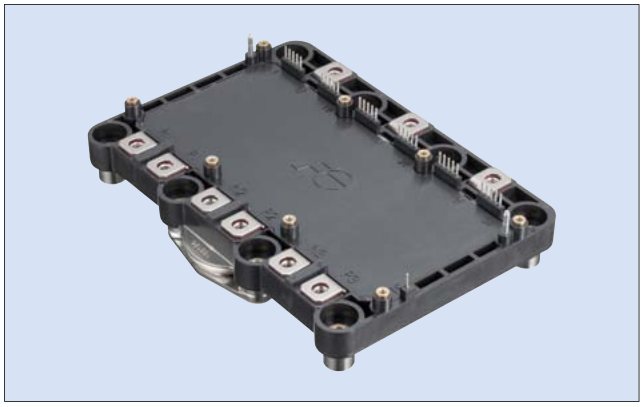

图 7　车载用直接水冷型功率模块

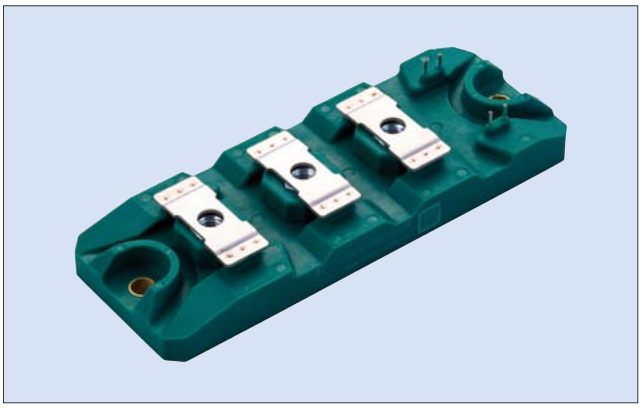

图 8　额定容量 1200 V/400 A 的 All-SiC 模块

图 9　安装 SiC 混合模块的大容量不间断电源装置

其次，搭载了二极管、晶体管均采用 SiC 的 All-SiC 模块的电力电子设备的研究开发也正在开展。举例来说，除了低损耗之外，还有具备高耐热性的高端变频器以及充分发挥高耐压性能的配电设备。

4. 能源解决方案

随着可再生能源的大量导入以及对电力交易市场制度的调整，开始要求解决电力系统频率波动及分散型电源反向潮流所引起的电压上升等系统中产生的问题。为了解决这些问题，我们不断推广蓄电池控制系统及可变电感的静止无功补偿器（SVC）等针对系统稳定策略的产品。同时也充分利用 SiC 的高耐压特点进行 SVC 的开发，以作为下一代配电控制设备。另外作为一项新战略，我们参与到通过发电机、蓄

电设备等用户设备整体运行来实现电能调节能力的虚拟电厂（VPP）的实证工作中，不断开展对技术见解及商业模式的探讨。

针对变电系统领域，开发出受变电设备及大容量电力电子装置，以及抗环境型等各种解决方案事业。另外，在电力领域，随着全世界的能源需求不断扩大，发电站及变电所的建设热火朝天，开关装置的需求也不断增加。富士电机的事业以亚洲为中心并向全球扩展，最近开发了 IEC 规格的 145 kV 气体绝缘开关装置（GIS）“SDH714”，并成功发售（**图 10**）。通过对关断结构的调整，同时密封容器的材料采用铝合金，成功制造出业界最小最轻的产品（与传统产品相比安装面积缩小 30%，重量减少 35%），并且新设计更加便于维护。

在电源系统领域，服务器的高性能化高密度化使数据中心的电能消耗急剧增加，对节能的需求更加迫切。富士电机以 EPC 方式（设计、采购、建设）承接包含节能设备的受变电设备、UPS、间接外气空调机等的项目，与过去的楼宇型相比，施工工期可缩短 1/2（约半年）。向 IDC Frontier 株式会社提供的模块型数据中心便是其中一例（**图 11**）。

富士电机过去销售间接外气导入式空调机“F-COOL NEO”（制冷能力 40 kW）作为数据中心用空调机，该空调机经由热交换器只与外气交换冷热，而近年来服务器的高性能化高密度化导致散热量飞速增加，因此新开发出制冷能力更强的 56 kW 型空调机。其特点在于，通过外气制冷与内置冷冻机的同时运行，可将全年电能消耗降低到普通空调机的约 1/3。由于是间接利用外气，因此不易受到外气中所含水分、PM2.5 等尘埃、腐蚀性物质的影响，并具有所需辅助设施只有电源，且无需使用冷却水等优点。富士电机今后还会针对日本国内外提出整个系统的 EPC 解决方案，提供解决顾客课题的系统和产品。

图 10　145 kV 气体绝缘开关装置“SDH714”

图 11　IDC Frontier 株式会社用模块型数据中心的外观

5. 工业解决方案

在工艺自动化领域，富士电机为解决顾客制造高品质产品及实现操作稳定化高效化的课题，而针对成套设备为监控系统“MICREX-VieW XX”扩充功能，功能得到了大幅强化。例如，开发出远程监控站，实现了数据收集和显示处理的高速化，可长期保存成套设备数据，并加强了安全措施等。今后还将为化工厂、油气厂、电厂等各种成套设备的监控系统提供解决方案。**图 12** 是应用在神户市环境局事业部西清洁中心监控系统中的案例。

富士电机向在全世界港口中工作的集装箱起重机提供了大量电气产品。最近为日本国内港口提供了集装箱起重机的电气设备和控制系统（**图 13**）。其驱动装置采用模块型 PWM 转换器和高性能矢量变频器，实现了省空间、高性能及高可靠性。监控装置配备起重机状态监视、装卸管理、故障监视和故障追溯功能，在发生故障时可快速分析并恢复。另外，由于采用高精度的防摆控制系统，经验尚浅的操作人员也能与熟练工一样进行稳定的操作。

在工厂自动化领域，富士电机正开展可满足重视性能、重视成本、支持开放化等不同要求的装置设备及系统的开发工作。并通过这些开发工作不断提供可为各地区各行业不同客户创造价值的系统、解决方案及服务。举例来说，富士电机曾开发出实现行业最高水平的高速高控制精度的新伺服系统“ALPHA7”（**图 14**）和“MICREX-SX 系列”的运动控制器“SPH3000D”，并成功发售。

运动控制系统在以工厂生产设备及自动化机械为代表的

图 12　“MICREX-VieW XX”的应用示例

图 13　港口用集装箱起重机

图 14　“ALPHA7”（马达、伺服放大器）

产业机械中被用于定位、速度、力矩控制等，在半导体制造装置、机床、印刷机械、包装机械等领域中得到广泛应用。采用 ALPHA7 和 SPH3000D 的话，可以用一个 CPU 模块就实现运动控制。由于不需要昂贵的运动专用模块，因而能够以高性价比的结构实现高功能高性能的运动系统。

富士电机今后会逐步将其应用在包装机器、机器人、半导体装置领域。

6. 基础和前沿技术

富士电机开展前述各项技术的通用基础技术以及着眼于未来的前沿技术的研究开发工作。通用基础技术方面，正在开展与电磁、绝缘、EMC（Electromagnetic Compatibility）、热流体、机械、树脂及金属材料等相关的实验、评估、分析及仿真；前沿技术方面，正在从事 GaN（氮化镓）等代替 SiC 的半导体材料的研究，同时还在开展对材料物理特性及老化现象等进行预测的计算科学。

如火电厂为实现高效化，蒸汽温度可提高到大约 600 ℃的 USC（Ultra Super Critical）汽轮机正逐渐成为主流。汽轮机损坏的风险会因材料的长时间老化而增加，所以对老化进行预测的剩余寿命诊断技术不可或缺。然而 USC 汽轮机的老化现象极为复杂，至今为止还没有高精度

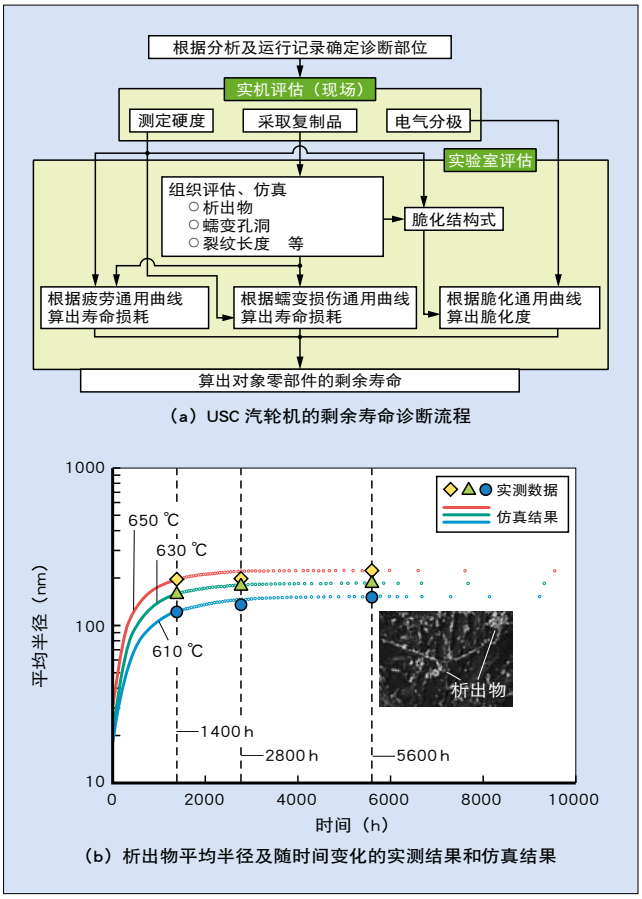

图 15　剩余寿命诊断技术

的剩余寿命诊断技术。富士电机已通过长期试验及仿真弄清了蠕变、脆化等老化现象的形成机理，导出了可根据材料中析出物粒径等的变化来预测老化现象的寿命计算公式，并进行了采用电气分极法等无损检查方法的高精度剩余寿命诊断技术的开发（**图 15**）。

7. 后记

本文概略介绍了富士电机正在开展研究的各类技术，包括：安全、安心、高效的电能利用技术、高效的热能利用及节能技术、以及对这些技术进行最优控制并通过 IoT 互联来提高其附加价值的解决方案技术。构建与环境和谐的可持续发展社会在今后将变得越来越重要。

富士电机从 2016 年度开始着手新产品开发流程的改革，策划能为创造客户价值作出贡献的商品，并开展相应的研究开发工作。今后将继续通过能源与环境技术的不断创新，向客户提供环境友好型高附加值产品和系统，为实现安全、安心的可持续发展社会做出贡献。

参考文献

(1)　近藤史郎，福住光记. IoT 新时代的测量和控制解决方案的现状和展望. 富士电机技术期刊. 2016, vol.C8, no4, p.182–188.

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。