如何在未来能源系统的智能化中融合运用模拟技术与数字技术?

横山 明彦　东京大学大学院　工学系研究科　电气系工学专业　教授
近藤 史郎　富士电机株式会社　执行董事　技术开发本部长

政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告（2013 年）认为，如果不采取有效措施应对气候变暖问题，则 21 世纪末（2081 ～ 2100 年）的全球平均气温将比 20 世纪末上升 2.6 ～ 4.8℃。削减导致全球气候变暖的 CO_2 排放量已经成为亟待解决的国际性课题。2011 年发生的东日本大地震，令日本的能源政策面临转型的重大挑战。致力于构建分散型能源系统，在电力电子和控制技术方面具有优势的富士电机应该发挥什么作用呢？为此，我们邀请电力系统工学第一权威人士东京大学大学院教授横山明彦，就人们对硬件和系统的期待及存在的课题，与富士电机技术开发本部长近藤史郎交换了意见。

分散型能源与技术课题

近藤　富士电机的经营方针是“通过能源与环境技术的革新，为实现安全、安心的可持续发展社会做出贡献。”按照 2016 年的“巴黎协定”，日本制定了 CO_2 减排目标，计划于 2030 年削减 26%，2050 年削减 80%。多年来，富士电机一直通过电力电子、控制、发电技术等开展能源相关事业。为实现 CO_2 减排目标，将通过解决相应社会问题来开展业务。

今天，希望横山先生能对作为制造商的富士电机未来的发展方向指点迷津。请多关照。

横山 明彦 YOKOYAMA, Akihiko

1984 年　东京大学工学部电气工学科助手
1985 年　同校讲师
1989 年　同校助教授
2000 年　东京大学大学院工学系研究科电气工学专攻教授
2019 年　东京大学大学院工学系研究科尖端电子能源、环境技术教育研究中心（APET）主任

1987 年 2 月～ 1989 年 2 月　德克萨斯大学阿灵顿分校客座研究员
1988 年 2 月～ 12 月　加利福尼亚大学伯克利分校客座研究员
2017 年 5 月～ 2018 年 5 月　电气学会会长

横山　谢谢。众所周知，东日本大地震使日本电力系统的发展要素为之一变。

首先是电力系统的改革。电力发电和零售的自由化，给新进入电力系统创造了机会。而通过竞争，有望实现电费下调和服务多样化。对用户而言，意味着可选的电力公司增多。

其次是分散型可再生能源的大量导入。大量导入作为可再生能源的自然变动电源这一潮流，对电力系统的平稳运行带来了很大影响。我们大学目前在这方面的研究课题也增加了，充满了挑战。

近藤　电力系统的变化，导致出现了几个必须解决的技术问题。

就配电网而言，需在分散导入电力能源密度极低电源的前提下切实保证电网的供需平衡。作为系统的方向性，系统结构是否应该将集中电源放在骨干电网，而配电网在其下进行集群化？

横山　如果大量的自然变动电源进入配电网中，则会在配电的本地区域出现问题。包括配电线电压上升、输电容量不足、短路容量不足、流向逆转等。这些问题可以通过集群化来解决，但随后又会发展成为集群化系统间的问题。在日本，集群化系统也称“需要地系统”，某一需要地系统会因配电而通过上层电压等级系统对其他需要地系统产生影响。而且，该影响不久还会波及到整个骨干系统。

近藤　这样，管理各个需要地系统分散电源资源的系统与需要地系统间取得能源平衡的系统之间就需要保持联动吧。

横山　是的。我认为需要构建这种系统。

近藤　我认为，从富士电机擅长的电力电子方面来看，智能电网的关键是让能源在时间上、空间上如何合理地移动。

横山　时间上、空间上，合理地。说得好极了。

近藤　作为制造商，富士电机推出了功能强大的组件，并通过其来拓展系统业务。反过来讲，富士电机希望成为开发系统解决方案用设备的制造商。

横山先生对设备有什么样的期望呢?

横山　分散型自然变动电源大量进入系统，如果发电量小于或大于需求量，则必须进行控制，下调或上调需求，控制自然变动电源的功率输出等。此外，为顺应时代潮流，用户要求 CO_2 零排放，为防止地球变暖出力，EV（电动汽车）将普及。那时，对于包括 EV 在内的用户方面的巨量设备，需要利用通信进行控制，价格低、可靠性高的控制装置是必不可少的吧。

近藤　感觉需要对电网和控制通信网同时并行地进行优化。现在，从智能电表到变电设备，连接在智能电网上的设备多种多样，其信息量和实时性也完全不同。仅通信系统方面，就有无线与有线、本地规格与开放规格等各种选项。优化之路注定不会一帆风顺的。

2020 年 5G（第五代移动通信系统）实用后，网络实时性提高，精度远远高于原有网络。横山先生对 5 G 有何期待呢?

横山　5G 可进行大容量、高速通信，可以高速控制大量的用户设备。我认为今后 EV 会变得很重要。如果能很好地控制 EV，则有助于系统的稳定控制。因此，首先必须可以控制 EV 自身的充电。如果 EV 一起充电，配电网则无法承受。应基于插入时刻、拔出时刻、充电所需时间、配电线的流向趋势等信息，对配电网和需要地的系统进行控制。而大容量、高速通信在这方面应该可以起到非常重要的作用。

近藤　关于 EV 在系统中的充分利用，可根据 V2G（Vehicle to Grid）这一理念，从车辆的蓄电池进行流向逆转。

横山　如果能将每个家庭的 EV 有效利用为分散型蓄电池，那么可以减少配置于系统内的系统用蓄电池数量，减少社会成本。从这个方向性出发，我们研究人员都想使用 EV。

旨在减少社会成本的开发重要性

近藤　作为用户端的技术，直流也受到了关注。富士电机也在致力于直流 UPS（不间断电源装置）和直流配电装置的开发。

横山　中国对 LVDC（低压直流）的标准化非常关注，听说已经开始在小城镇展开示范项目。商业区、住宅区等负载波动大。负载降至 10%、20% 时，转换器的效率将急剧恶化。如何解决这个问题值得我们去研究。

近藤　如果采用直流，那么能源转换的阶段数量就会减少，在工厂中导入直流配电进行模拟后发现，也不能说马上就可以收回投资。此外还有标准化的问题，技术的确立似乎还需要一些时间。

横山　如果有一种可以提高转换器部分负载效率的电力电子技术，那就好了。

近藤　我认为一种解决方案是并联运行。富士电机的 UPS 中，堆栈并非很大，而是一定单位的堆栈进行并联配置。利用该方案，可以根据负载切换容量。

横山　分成堆栈，成本不会增加吗?

近藤　这个要具体问题具体分析，如果能将一定单位的堆栈进行标准化、规模化，则可通过量产效果控制成本。

横山　蓄电池怎样? 在系统端配置大容量蓄电池，在各用户端配置小型蓄电池呢? 我对这个很感兴趣。

近藤　电池也在进步，所以成本是变动的。铅蓄电池已发展到了锂离子电池，不久以后还会有全固体电池出现吧。蓄电池循环利用也将可行。富士电机在鹿儿岛

近藤 史郎 KONDO, Shiro

1984 年　进入富士电机制造株式会社（现富士电机株式会社）
2007 年　富士电机先进技术株式会社董事
2012 年　富士电机企业管理（上海）有限公司董事长兼总经理
2013 年　富士电机株式会社产业基础设施事业本部测量控制系统事业部长
2016 年　富士电机株式会社技术开发本部副本部长
2017 年　富士电机株式会社执行董事兼技术开发本部长

的甑岛开发了 EV 废蓄电池循环利用系统。此外，还在九州、冲绳的离岛致力于多项微电网示范实验，验证未来大量导入可再生能源时系统将面临的课题及应对措施。

横山　这个措施很好啊。可再生能源电源的控制、用户设备的控制以及现有发电站的经济性，对这些进行全盘考虑，对整个系统进行全面优化，降低社会成本。这样的能源管理系统，想必今后应该会受到关注。富士电机通过微电网研发出来的技术也可应用于大型系统。

难以预测的数据共享问题

近藤　通过工厂和生产工艺的能源管理，富士电机从 20 世纪 70 年代开始致力于优化和需求预测领域。近年来，基于 IoT 及由 IoT 得到的数据，通过 AI 和分析进行价值创造的重要性已经得到认知。例如，针对电、热、蒸汽等能源需求，采取何种运行计划能源成本可控制在最小呢？这方面的优化一直以来都是我们研究的对象。我相信，富士电机多年来所积累的经验一定会在今后的电网优化中发挥作用。

横山　是的。

在包括发电站、可再生能源、用户设备的综合性能源管理系统中，预测、运用和控制技术非常重要。通过气象厅的数据预测阳光和风力输出功率的技术。导出每月、每周、每日运用计划的优化并用于实际运用的技术。阳光突然被云彩遮挡、突然开始刮风、不知发生了何种事故而导致功率输出剧变时的控制技术。今后，这三大技术可谓至关重要。

你们也在研究利用 AI 技术进行预测吗？

近藤　我们正在研究几种方法。例如，使用深度学习以应对系统的非线性，努力研究可在该领域能充分进行说明的深度学习。目前，已经可以相当准确地把握通过深度学习学到的气象与电力需求之间的关系。

横山　国家也正在努力推进基于 AI 与大数据的设备寿命诊断、故障诊断等电力设备安全保障的智能化。

近藤　富士电机在积极进行设备诊断、剩余寿命诊断、故障预测技术的研究。现在，已经生产出了可快速、时间同步地收集不同规格数据的边缘元件。该数据可用富士电机独有的多变量分析方法进行求解，目前已经发展到了可在相当短的时间内得出分析解的程度。

横山　电力属公益性事业，很期待各公司安全保障方面的大数据可以进行共享，但现阶段似乎还难以实现。

近藤　原因是多方面的，例如，拥有什么样的数据？数据精度如何？还有数据所有权的问题。正如您前面所说，将来供需平衡问题、维护的合理化问题、紧急情况时应对的速效性问题等，如果不进行数据共享，则可能无法解决。那么，有必要制定有关数据共享的规则吗？

横山　有必要。但国家目前似乎还没有注意到这个问题。

EV 用户的要求推动了电力的发展

近藤　对于智能电网、无碳化、混合能源变革等，制度和成果转化方面的问题感觉比技术问题更大。

横山　我认为经济性问题也比较大。如果投资费用与维护费用缺乏经济合理性，则无法被社会接受。如今，流行的微电网也是因为使用了补助金，才能在各地盛行推进。但是，应该成为即使没有补助金也能长期维持的系统。

近藤　这样看来，您前面所说的 EV 似乎可以说是一个特殊的例子，用户希望让导致地球变暖的 CO_2 实现零排放，为地球环境做贡献这一要求，才催生了电力供应端。

横山　在 EV 蓄电池利用方面，也是用户的要求在先。为避免地震等造成的大规模停电风险，有人想在家里设置蓄电池。但是，停电事故毕竟发生的次数极少。汽车也不是每天都长距离行驶，所以，将电能一直存放在那里也很可惜。让存储的电能有效地用于系统之中，这种想法从社会经济方面考虑也是理所当然的。

近藤　BCP（业务连续性计划：企业处在危机情况下时，将损害控制在最小限度，让业务继续和恢复的计划）、ESG 投资（针对考虑到了环境、社会、公司治理的企业进行的投资）、Renewable Energy 100

（以企业活动所需的能源 100% 使用可再生能源为目标）等，近年来，用户端的动向可谓多种多样。经济合理性方面的讨论也将有助于促进社会成果转化的进一步推进。

对电力电子设备智能化的期待

近藤　横山先生经常说“面向 2050 年的计划制定和后向估计的 2030 年计划制定很重要”。针对 2023 年富士电机 100 周年的进化图，以顾客价值为出发点，而之后的 2030 年计划，我认为有必要进行以社会价值为基础的讨论。

横山先生心目中的电力电子设备的未来计划应该是怎样的呢？

横山　可再生能源的大量导入需要大量将直流电力转换为交流的电力电子设备。这也是惯性力不足导致系统不稳定的原因之一。为确保系统稳定运用，电力电子设备需要进一步升级，并实现智能化。这就是所谓的智能变频器。

例如，在变频器上虚拟地赋予惯性力和同步力。我们将它称为 VSG（虚拟同步发电机）模型控制。目前正在研究设置于系统中的大型蓄电池的变频器模拟同步机惯性力的方法，以及各分散型能源电源的变频器如同同步机样进行自律控制的方法等。

除 VSG 之外，还可以考虑给变频器添加各种功能。比如，利用变频器的功率因数控制进行的系统电压控制、紧急情况下维持系统稳定性的输出控制等。我想，今后应该会出现能抑制各种控制间的干扰，并进行自律运转的变频器这方面的需求。

近藤　变电设备今后也需要配置主动控制装备吧。

横山　整个系统是层级结构，但我认为用户设备的控制并非集中在中央进行，而是应该有一个类似于本地控制中心的场所。聚合器也是其中之一。这样的本地中心在进行协调的同时，还可以确保系统整体的平衡。仅进行分散是不行的，必须进行协调分散。

近藤　如果想追求实时性，但下级系统设备无法自律地进行动作，那就无法实现。这方面的研究，横山先生应该也做了不少吧。

横山　近年来，我访问过欧洲的 DSO（配电公司），其商业模式很有趣，值得参考。

在欧洲，TSO（供电公司）与 DSO 是分开的。如今，DSO 建立了平台，正在对多家公司将各种应用程序联系在一起挑战新商业模式的机制进行示范。亲眼目睹欧洲的情况之后，我不得不承认日本已落后。日本人似乎大多频繁地到访 TSO，了解制度和系统控制等方面的情况，但到访 DSO 的日本人好像还很少。

近藤　您是想说商业机会在 DSO 吧。富士电机一直在深耕配电系统，对此我非常感兴趣。

横山　CIGRE（国际大电网会议）此前大多为 TSO 成员，但现在也在探讨吸纳包括配电网在内的 DSO 成员，从而形成覆盖从发电站到用户的组织。预定于 2021 年在京都召开的 CIGRE 大会正在准备以配电网为主题的研讨会。国际上的商业目标也正在转移至 DSO，CIGRE 也必须做出改变。

幸运的是，日本同一家公司既有 TSO，又有 DSO，如果效仿欧洲的 DSO 那样的做法，效率应该更高。

模拟和数字都是富士电机的优势

近藤　从能源的储存和移动这一观点出发，横山先生对氢能的潜力是如何看待的呢？

横山　氢能是一个今后无法避免的话题，10 年后会怎样？还存在着非常多的问题。氢气的生产成本很高，而生产出来的氢气用途很少。如果将日本东北地区大量的太阳能发电和风力发电接入系统，则会产生剩余电力，很麻烦，因此，有人提议集中起来把它变成氢。但是，氢应该如何使用呢？燃料电池车还没有普及，使用氢的产业也不多。如果因此将用电制得的氢再产生电，那就效率太低了。

近藤　据说，EV 即使想通过增加电池容量来延长续航距离，但一旦电池容量超过某一点，则续航距离反而

会变短。从移动性的视角来看，可以使用氢吗？

横山　关于长距离运行的卡车和公共汽车使用氢气的问题，加氢站和充电桩双重基础设施的建设费用惊人的昂贵，必须对两者进行合理划分。

近藤　氢是一种清洁能源，这一点非常有吸引力，但是，在实际应用中还面临着诸多需要克服的问题。

作为制造商，尽管明知困难重重，也必须迎难而上。现在烦恼的是，不知从何处起步。

横山　富士电机技术范围很宽广，从模拟技术到先进的数字技术都有，我认为前途一片光明。这是因为，能源是模拟技术。如今，数字化社会之声响彻，人员及商务活动等生活的方方面面都离不开数字。在这一潮流之中，似乎也有人误以为能源也是通过数字技术进行输送的，但实际上，能源输送用的是模拟技术。控制它的神经网络是数字技术。模拟技术与数字技术如果不能协调发展，则无法进行能源的稳定供应。这两种技术方面均有雄厚实力的富士电机今后的动向将备受期待。

近藤　通过今天的对话，我对电力系统的未来有了更深

的理解。从电网与信息通信网的同时优化与从集中到协调分散的运算法则构建，需思考如何发挥富士电机的电力电子技术这一优势。我们会从横山先生给予的宝贵启示中寻找线索，进一步开发能够为实现社会的可持续发展做出贡献的技术。非常感谢！

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。