日本国内最大规模蓄电池附设型百万瓦级太阳能发电站

Japan's Largest Class Storage-Battery Equipped Mega Solar Power Plant

椎桥　哲也 SHIIBASHI, Tetsuya　　名塚　武洋 NAZUKA, Takehiro　　佐藤　智希 SATO, Tomoki

富士电机以总承包合同的形式，从东急不动产株式会社、三菱 UFJ 租借株式会社（Mitsubishi UFJ Lease & Finance Company Limited）和日本 GREEN 电力开发株式会社（Green Power Development Corporation of Japan）共同出资的 GPD 铃兰太阳能株式会社承接了订单。铃兰钏路町太阳能发电站于 2020 年 2 月建成，开始了商业运行。太阳能发电属于自然波动电源，其输出因日照量而大幅波动，可能会对电力系统的频率波动和电压波动等产生影响。通过使用迄今为止积累起来的输出波动抑制技术和蓄电池设备，富士电机满足了电力公司给出的输出波动缓和对策标准。

The Suzuran Kushiro-cho Solar Power Plant was completed and came online on February 2020. Fuji Electric undertook an engineering, procurement and construction (EPC) contract for the power plant with GPD Suzuran Solar K.K., which is jointly established by Tokyu Land Corporation, Mitsubishi UFJ Lease & Finance Company Limited, and the Green Power Development Corporation of Japan. Solar power generation, which is a fluctuating natural power source, produces large output fluctuations due to variations in solar radiation. As a result, there is concern that this will impact the frequency and voltage fluctuations of power grids. Fuji Electric used its unique output fluctuation mitigation technology along with storage battery equipment to meet the standard of the output fluctuation mitigation measures established by a power company.

1　引言

2020 年 2 月，铃兰钏路町太阳能发电站建成，开始商业运转。该发电站是一座百万瓦级太阳能发电站，位于北海道钏路郡钏路町，占地面积约 163ha。站内配置了太阳能电池容量 92.2 MW（302500 个）、锂离子电池容量 25.3 MWh，总输出高达 AC59.4 MW，在蓄电池附设型发电站中，属于日本国内最大规模。通过使用富士电机的输出波动抑制技术和蓄电池设备，满足了北海道电力株式会社提出的输出波动缓和对策基准（1 %/ 分钟以内）。富士电机以总承包合同的形式，从东急不动产株式会社、三菱 UFJ 租借株式会社（Mitsubishi UFJ Lease & Finance Company Limited）和日本 GREEN 电力开发株式会社（Green Power Development Corporation of Japan）共同出资的 GPD 铃兰太阳能株式会社承接了本项目订单。工程始于 2017 年 7 月，2020 年 2 月完成并交接。

本文就铃兰钏路町太阳能发电站的建设工程和发电设备与蓄电池设备进行介绍。

2　铃兰钏路町太阳能发电站概要

该发电站建于钏路町的闲置土地，安装了太阳能电池模块、子变电站、蓄电池设备和受变电设备。

图 1 所示为铃兰钏路町太阳能发电站的全景。利用富士电机生产的 60 台 1000 kW 功率调节器（PCS），将太阳能电池的 92.2 MW 直流输出转换为 59.4 MW 的交流输出。利用同时设置的蓄电池设备进行输出波动抑制的控制，并利用受变电设备升压至 66 kV，然后经由自营输电线路向北海道电力株式会社输电。

预计该发电站的年发电量约为 105518 MWh，相当于约 21300 户普通家庭一年的电能消耗。

图 2 所示为整个系统的构成图。

图 1　铃兰钏路町太阳能发电站全景

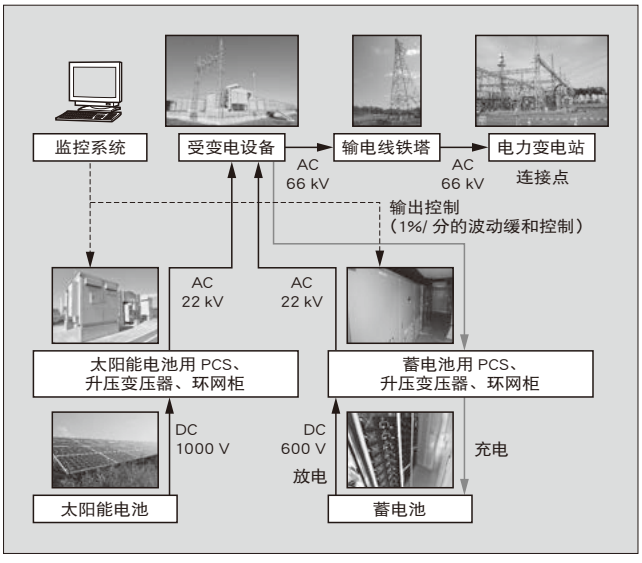


图 2　整体系统构成图

3 太阳能发电设备的主要设备规格

太阳能发电设备是一种将太阳能电池模块中产生的直流电力集中到 PCS 中，转换成交流输出后进行输送的设备。

3.1 太阳能电池模块

太阳能电池模块采用了即使在寒冷地区也能稳定发挥发电性能，单体输出为 305 W 的单晶硅类模块。如**图 3** 所示，在太阳能电池架台上，将 20 个太阳能电池模块配置成 4 段 5 列，串联连接构成阵列。每个阵列的输出电压为 DC656 V，输出容量为 6.1 kW。阵列发出的电力通过接线盒集中电路，连接至位于子变电站的 PCS 输入端子。

表 1 所示为采用的太阳能电池的规格。

图 3　太阳能电池架台和太阳能电池模块

表 1　太阳能电池的规格

项目		内容
基本规格	电池类型	单结晶硅
	电池使用数量	60 块
	模块尺寸	1650×992×40 (mm)
	最大耐受负荷	5400 Pa （正载荷） 2400 Pa （负载荷）
	重量	19 kg
	模块交付数量	302500 块
电气特性	最大输出 P_{max}	305 W
	模块效率	18.63%
	最大输出工作电压 V_{pm}	32.80 V
	最大输出工作电流 I_{pm}	9.30 A
	开路电压 V_{oc}	40.30 V
	短路电流 I_{sc}	9.83 A
	P_{max} 温度系数	−0.39%/℃
	V_{oc} 温度系数	−0.29%/℃
	I_{sc} 温度系数	0.05%/℃
	系统最大电压	1000 V
	试验条件 （STC）	电池温度 25 ℃、 AM1.5、照射量 1000 W/m^2

3.2 太阳能电池架台、基础

支撑太阳能电池架台的基础完全由桩基础构成。该发电站大部分都是钏路地区特有的软土地基。为此，采用打入前端部分带有叶片的桩。地基强度较强的部分（通过标准贯入试验确认 N 值〈注〉为 4 以上之处）使用带有 1 块叶片的桩，弱的部分（N 值不足 4）使用带有螺旋状叶片的桩 (**图 4**)。

另外，为了确保能承受风荷载，将桩打入最长至 12.5 m 深处，确保了支撑力。每一个阵列打 4 根桩，共安装了 60500 根。安装在桩上的太阳能电池架台采用了高耐腐蚀性电镀钢板，确保可使用 20 年。考虑到积雪对策和安装效率，模块的安装角度定为 20 度。安装的太阳能电池阵列总数为 15125 台。

表 2 所示为太阳能电池架台的规格。

3.3 子变电站

子变电站由将太阳能电池发出的电力从直流转换为交流的功率调节器 (PCS)、对该电力进行升压的变压器以及将

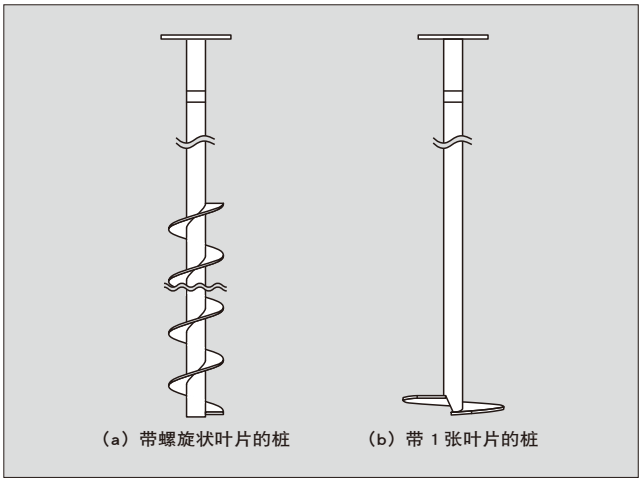


图 4　桩结构图

表 2　太阳能电池架台规格

项目		基本规格
架台基础	基础构造	桩基础
	材质	一般构造用碳钢
	长度	4.5 ～ 12.5 m
	数量	60500 根
	前端形状	带叶片
太阳能电池架台	设置场所	室外
	材质	高耐腐蚀性电镀钢板
	阵列构成	4 段 5 列
	数量	15125 台
	设计风荷载	30 m/s
	积雪荷载	70 cm

〈注〉N 值：是指通过标准贯入试验（JIS A 1219）求出的地基强度。指将安装在镗杆前端的标准贯入试验用取样器打入规定贯入量 30 cm 所需的打击次数。

与变电设备连接的电缆进行分支的环网柜构成。

PCS 采用了新型 PCS “PVI1000BJ”（**图 5**、**表 3**），其所使用的是富士电机产品独具特色的室外型外气强制冷却方式。该 PCS 比传统型号 “PVI1000” 更小型轻量，可有效地减少安装面积，高效运往现场和安装。

通过 PCS 转换成交流的电力，经升压变压器升压至 22 kV 后，通过环网柜（RMU）连接至变电设备的 22 KV 配电柜。

3.4 蓄电池设备

蓄电池设备由锂离子电池、蓄电池用 PCS、升压变压器、RMJ 柜构成。该设备用来抑制因日照突然变化导致输出电力变化这一太阳能发电站的缺点。该设备用来抑制因日照突然变化导致输出电力变化这一太阳能发电站的缺点。PCS 输出的电力通过升压变压器升压至 22 KV 后，经 RMU 连接至变电设备的 22 KV 配电柜。蓄电池模块采用了充放电特性良好的锂离子电池。

图 5　新型太阳能电池用 PCS “PVI1000BJ”

表 3　太阳能发电 PCS 的规格

项目	基本规格
型号	PVI1000BJ-3/1000
额定电压	DC750 V、 AC380 V
最大系统电压	1000 V （DC）
容量	1000 kW （限制于 990 kW 运行）
额定频率	50/60 Hz
输出功率因数	>0.99 （额定输出时）
输出电流失真率 （综合）	<5% （额定输出时）
输出电流失真率 （各次）	<3% （额定输出时）
装置最高效率	98.8 %
装置效率 （EURO 效率）	98.5 %
耐受过负载能力	100% 连续
噪音	80 dB (A)
系统保护	OV、 UV、 OF、 UF
单独运行检测方式 （从动）	电压相位跳跃检测
单独运行检测方式 （主动）	带阶跃注入的频率反馈方式
电压上升、 抑制功能	无功功率输出、 有功功率抑制
FRT 功能	有
冷却方式	強制空冷
尺寸	W2622×D1252×H1920 (mm)
重量	约 1800 kg
数量	60 台

图 6　蓄电池容器（右里面）和蓄电池用 PCS 容器（前面）

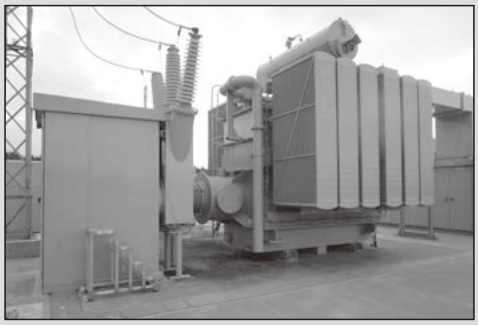
表 4 所示为蓄电池设备用 PCS 的规格。

3.5 受变电设备

太阳能电池用 PCS 和蓄电池用 PCS 输出的电力连接至安装在变电站的 24 KV 特高配电柜（**图 7**(b)），通过主

表 4　蓄电池设备用 PCS 的规格

项目	基本规格
型号	PVI800-3/750
额定电压	DC550 V、 AC270 V
最大系统电压	800 V （DC）
容量	750 kW
额定频率	50/60 Hz
输出功率因数	>0.99 （额定输出时）
输出电流失真率 （综合）	<5% （额定输出时）
输出电流失真率 （各次）	<3% （额定输出时）
装置最高效率	98.1 %
装置效率 （EURO 效率）	97.8 %
设置场所	室内 （容器内安装）
噪音	75 dB (A)
系统保护	OV、 UV、 OF、 UF
单独运行检测方式 （从动）	电压相位跳跃检测
单独运行检测方式 （主动）	带阶跃注入的频率反馈方式
电压上升、 抑制功能	无功功率输出、 有功功率抑制
FRT 功能	有
冷却方式	強制空冷
尺寸	W2750×D900×H1950 (mm)
重量	约 2580 kg
数量	64 台



（a）72 kV C-GIS 与 66 kV 升压变压器

（b）24 kV 特高配电柜

图 7 受变电设备

变压器升压至 66 KV，通过气体绝缘开关装置（C-GIS **图 7**(a)），输送至北海道电力株式会社。因为从发电站到连接点直线距离约 2 km，所以特铺设并连接了自营输电线路。

表 5 所示为蓄电池设备的规格，**表 6** 所示为受变电设备的规格。

表 5 蓄电池设备的规格

项目		基本规格
蓄电池	电池种类	锂离子电池
	数量	5 机架 ×64 组
机架	容量	79.1 kWh
	电压	504.0 ～ 705.6 V
	最大放电功率	158.3 kW （2C）
	标准充电电流 h	64 A （0.5C）
	运行温度	23 ℃ ±5 ℃
	容纳模块数量	12 模块
	数量	320 台
模块	容量	128 Ah （6.6 kWh）
	电压	42.0 ～ 58.8 V
	容纳电池数量	28 个
	内部电池接线	14 串联 ×2 并联
	模块总数	3840 台
单元	容量	64 Ah （235.5 Wh）
	电压	3.0 ～ 4.2 V

表 6 受变电设备规格

项目		基本规格
C-GIS	型号	SDDa608
	额定电压	72 kV
	额定电流	1200 A
	受电形式	架空 1 线路受电
	设置场所	室外
	台数	1 台
主变压器	型号	三相油浸自冷式变压器
	额定电压	22 kV （一次侧） /66 kV （二次侧）
	额定容量	60000 kVA
	接线方式	星形 （一次侧） / 三角形 （二次侧）
	绝缘种类	A 类
	数量	1 台
24 kV 特高配电盘	型号	室外独立封闭式
	额定电压	24 kV
	额定母线电流	1600 A
	额定频率	50 Hz
	配电柜总数	25 面

4 输出波动抑制的控制

太阳能发电属于自然波动电源，其输出因日照量而大幅波动，可能会对电力系统的频率波动和电压波动等产生影响。

针对这种自然波动电源的输出波动，从维持电力质量的观点出发，一些电力公司在新连接大规模太阳能发电和大规模风力发电设备时，均将抑制输出波动作为技术要件。

此次，根据负责管辖设备所在地区的北海道电力株式会社制定的输出波动缓和对策的主要标准，需要将太阳能发电的输出变化速度设定在发电站额定输出的 1% 以下 / 分。为了遵守该输出变化速度标准，设备配备了根据太阳能发电输出进行蓄电池充放电，从而使太阳能发电站连接点的合成输出平稳的输出波动抑制控制单元。

4.1 控制概要

该设备的系统构成和控制构成如**图 8** 所示。在输出波动

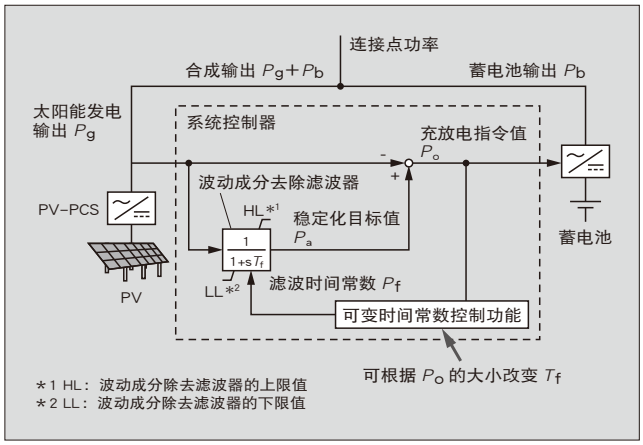


图 8 输出波动缓和和控制的概要

抑制控制方面，将通过波动成分去除滤波器从 PV 输出 P_g 中去除了波动成分的值，即稳定目标值 P_a 与 PV 输出 P_g 的差值，作为充放电指令值 p_o（$p_g - p_a = p_o$）。因波动成分的反相位输出 P_b 通过充放电指令值 P_o 从蓄电池输出，所以 PV 输出的波动被消除，连接点的合成输出（$P_g + P_b$）得以平稳。

另外，如**图 8** 所示，波动成分去除滤波器的滤波时间常数 T_f 在系统控制器内是可变的，这被称为可变时间常数控制。

该可变时间常数控制是根据蓄电池的充放电指令值 P_o 的大小来最优地设定波动成分去除滤波器的滤波时间常数控制。具体而言，PV 输出波动较大时延长滤波时间常数，PV 输出波动较小时缩短滤波时间常数。通过该可变时间常数控制，将连接点输出的输出变化速度维持在 1%/ 分以下，与固定滤波时间常数的控制方法相比，可抑制无用的充放电，从而削减蓄电池总容量。

图 9 所示为输出波动缓和的仿真结果。根据结果可知，为了消除太阳能发电的输出波动，对蓄电池进行了充放电，使连接点电力平稳。此时，连接点电力的输出变化速度在 1%/ 分（594 kW/ 分）以下。

4. 2　控制性能的评价

在开始使用前进行的连续运行试验期间，太阳能发电的输出波动比较剧烈的 2020 年 2 月 1 日的实测结果如**图 10** 所示。

从**图 10** 可以看出，从 11 点 30 分左右到 14 点，太阳能发电的输出波动大，但是由于通过蓄电池充放电，连接点电力被控制在输出变化速度 1%/ 分以下，稳定地实现了连接点电力的平稳。受测量误差等因素影响，有时会超过

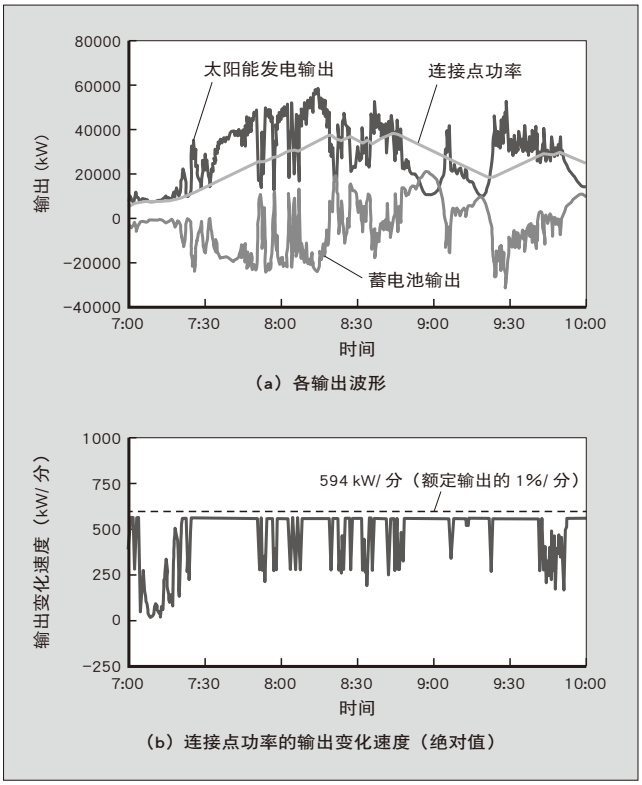


图 9　仿真结果

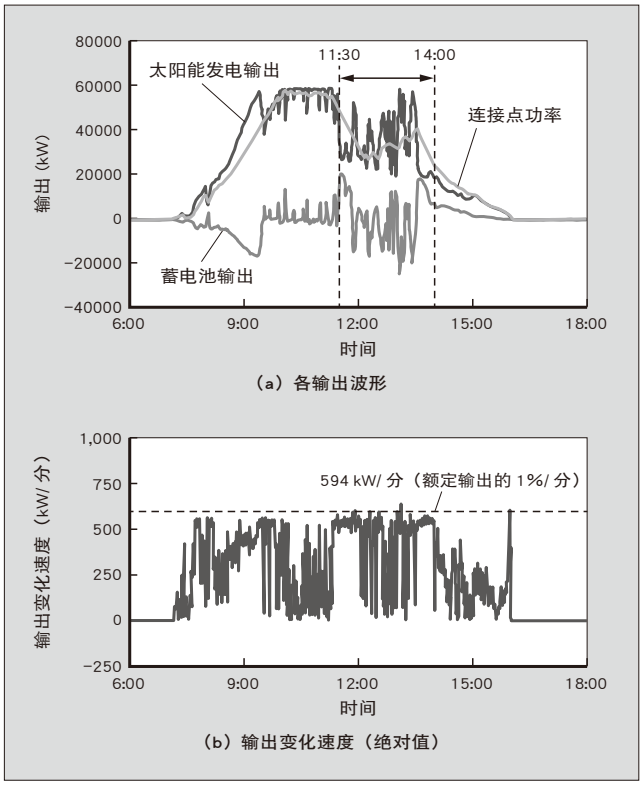


图 10　2020 年 2 月 1 日　连续运行试验结果

594 kW/ 分，但在控制允差范围内。

5　建设工序

铃兰钏路町太阳能发电站建设工程按计划从 2017 年 7 月开工，到 2020 年 2 月完成交接，用两年 8 个月完成了调试。工程从铺设进入施工现场的道路和除草开始。先行进行土木工程，对完成太阳能电池架台工程的部分追加电气工程施工。工期过半之后，在现场安装 PCS 和蓄电池等电气设备，进行电气布线。工程完成后，进行了调试，完成了向客户交接。

表 7 所示为发电站建设工程的大致工序。

表 7　发电站建设工程的大致工序

No.	工种 \ 年月	2017												2018												2019												2020		
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
Ⅰ	土木工程																			★受电															▼开始运行					
(1)	设计 / 事前准备 / 除草																																							
(2)	管理道路、 工程用道路的施工																																							
(3)	桩基础、 架台组装工程																																							
(4)	面板安装																																							
(5)	防护网工程																																							
(6)	设备基础工程																																							
Ⅱ	电气工程																																							
(1)	太阳能电池阵列周边工程																																							
(2)	太阳能发电机械安装工程																																							
(3)	22 kV 干线工程																																							
(4)	蓄电池设备机械安装工程																																							
(5)	蓄电池设备配线工程																																							
(6)	互联变电设备工程																																							
Ⅲ	66 kV 自营线路工程																																							
Ⅳ	现场试验调整																																							
Ⅴ	综合试验调整																																							

6　后记

本文对日本国内最大规模蓄电池附设型百万瓦级太阳能发电站进行了介绍。

本项工程积累的蓄电池技术，可解决输出不稳定这一被视为太阳能发电站的缺点。另外，该技术不仅限于系统稳定化，还可用于今后有望发展的分散型电源的输出稳定化。富士电机将继续为扩大可再生能源的导入做出贡献。

椎桥 哲也

从事太阳能发电站 EPC 建设工程的工程设计业务。现为富士电机株式会社发电成套设备事业本部工程设计统括部再生能源成套设备技术部课长助理。

名塚 武洋

从事太阳能发电站 EPC 施工作业的工程设计业务。现为富士电机株式会社发电成套设备事业本部工程设计统括部再生能源成套设备技术部课长。

佐藤 智希

从事电力系统的仿真、控制、解析相关的研究、开发。现为富士电机株式会社技术开发本部数字创新研究所数字平台中心系统控制研究部主任。电气学会会员。

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。