

国内最大級の蓄電池併設型メガソーラー発電所

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

椎橋 哲也 SHIIBASHI, Tetsuya

名塚 武洋 NAZUKA, Takehiro

佐藤 智希 SATO, Tomoki

東急不動産株式会社、三菱 UFJ リース株式会社と日本グリーン電力開発株式会社が共同出資する GPD すずらんソーラー株式会社から、富士電機が一括請負契約にて受注し、2020 年 2 月にすずらん釧路町太陽光発電所の建設が完了し、商業運転を開始した。自然変動電源である太陽光発電は、主に日射量によって出力が大きく変動し、電力系統の周波数変動や電圧変動などに影響を及ぼすことが懸念されている。富士電機は、これまで培ってきた出力変動抑制技術と蓄電池設備を用いることにより、電力会社が示す出力変動緩和対策の基準を満足することができた。

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 まえがき

2020 年 2 月にすずらん釧路町太陽光発電所の建設が完了し、商業運転を開始した。本発電所は、北海道釧路郡釧路町の約 163 ha の土地に太陽電池容量 92.2MW (302,500 枚)、リチウムイオン電池容量 25.3 MWh を配置した総出力 AC59.4MW のメガソーラー発電所であり、蓄電池併設型としては国内最大級の規模である。富士電機の持つ出力変動抑制技術と蓄電池設備を用いることにより、北海道電力株式会社から示されている出力変動緩和対策の基準（1%/分以内）を満足している。本プロジェクトは東急不動産株式会社、三菱 UFJ リース株式会社と日本グリーン電力開発株式会社が共同出資する GPD すずらんソーラー株式会社から、富士電機が一括請負契約（EPC 契約）にて受注した。建設工事は、2017 年 7 月に開始し、2020 年 2 月にお客さまへの引渡しを完了した。

本稿では、すずらん釧路町太陽光発電所の建設工事と発電設備・蓄電池設備について述べる。

② すずらん釧路町太陽光発電所の概要

本発電所は、太陽電池モジュール、サブ変電所、蓄電池設備と受変電設備を釧路町の遊休地に建設設置した。

図 1 にすずらん釧路町太陽光発電所の全景を示す。太陽電池の直交流出力 92.2 MW を、富士電機製の 1,000 kW パワーコンディショナ（PCS）60 台にて 59.4 MW の交流出力に変換する。併設する蓄電池設備で出力変動抑制制御を行いながら、受変電設備にて 66 kV に昇圧後、自営送電線を経由して、北海道電力株式会社に送電する。

本発電所の年間発電電力量は、約 105,518 MWh が見込まれており、一般家庭の年間消費電力量の約 21,300 世

帯分に相当する。

図 2 に全体システムの構成図を示す。



図 1 すずらん釧路町太陽光発電所の全景

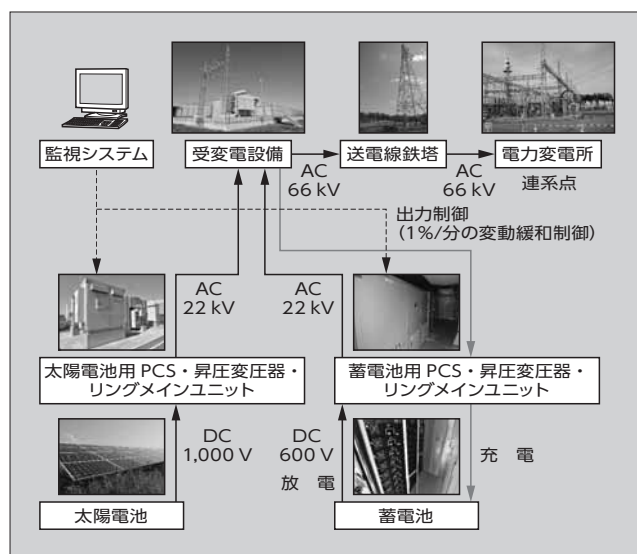


図 2 全体システム構成図

③ 太陽光発電設備の主要機器仕様

太陽光発電設備は、太陽電池モジュールが発電した直流電力を PCS に集約し、交流出力に変換して送電する設備である。

3.1 太陽電池モジュール

太陽電池モジュールは、寒冷地でも安定した発電性能を発揮する、単体出力 305 W の単結晶シリコン系のモジュールを採用した。図 3 に示すように、太陽電池架台に 20 枚の太陽電池モジュールを 4 段 5 列に配置し、直列に接続してアレイを構成している。1 アレイ当たりの出力電圧は DC656 V、出力容量は 6.1 kW である。アレイで発電した電力は、接続箱で回路を集約して、サブ変電所にある PCS の入力端子に接続される。



図 3 太陽電池架台と太陽電池モジュール

表 1 太陽電池の仕様

項 目		内 容
基本仕様	セルタイプ	単結晶シリコン
	セル使用数量	60枚
	モジュール寸法	1,650×992×40 (mm)
	最大耐荷重	5,400Pa (正荷重) 2,400Pa (負荷重)
	質 量	19 kg
	モジュール納入数量	302,500枚
電氣的特性	最大出力 P_{max}	305 W
	モジュール効率	18.63%
	最大出力動作電圧 V_{pm}	32.80 V
	最大出力動作電流 I_{pm}	9.30 A
	開放電圧 V_{oc}	40.30 V
	短絡電流 I_{sc}	9.83 A
	P_{max} 温度係数	-0.39%/℃
	V_{oc} 温度係数	-0.29%/℃
	I_{sc} 温度係数	0.05%/℃
	システム最大電圧	1,000 V
	試験条件 (STC)	セル温度 25℃、AM1.5、 照射量 1,000 W/m ²

表 1 に採用した太陽電池の仕様を示す。

3.2 太陽電池架台・基礎

太陽電池架台を支える基礎は、全てくい基礎で構成されている。本発電所の大部分は釧路地方特有の軟弱地盤である。それに対応するために、打ち込み先端部分に羽根が付いたくいを採用した。地盤強度が比較的強い部分（標準貫入試験にて N 値 4 以上が確認された場所）には 1 枚の羽根が付いたくいを使用し、弱い部分（N 値 4 未満）には 2 枚の羽根が付いたくいを使用した（図 4）。

また、風荷重に耐えられるように、最長で深さ 12.5 m までくいを打ち込み、支持力を確保した。一基のアレイごとに 4 本のくいを打ち、くい総数 60,500 本を設置した。くいの上に取り付ける太陽電池架台は、20 年間の運用に耐えられるよう、高耐食性めっき鋼板を採用した。モジュールの取付角度は、積雪対策と設置効率を考慮して

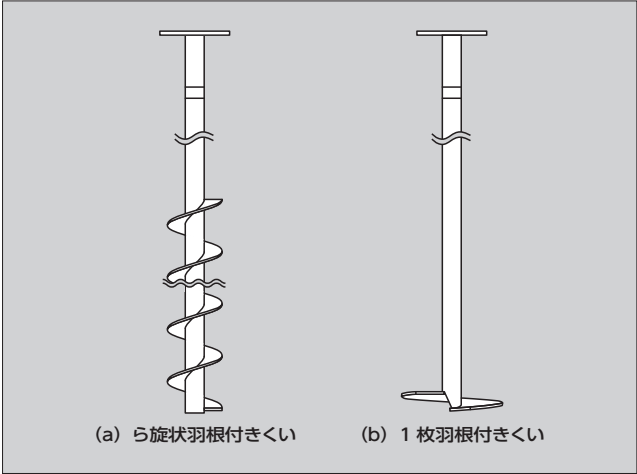


図 4 くい構造図

表 2 太陽電池架台の仕様

項 目		基本仕様
架台基礎	基礎構造	くい基礎
	材 質	一般構造用炭素鋼
	長 さ	4.5 ～ 12.5 m
	数 量	60,500本
	先端形状	羽根付き
	設置場所	屋 外
太陽電池架台	材 質	高耐食性めっき鋼板
	アレイ構成	4段5列
	数 量	15,125基
	設計風荷重	30 m/s
	積雪荷重	70 cm

〈注〉 N 値：標準貫入試験（JIS A 1219）によって求められる地盤の強度のことである。ボーリングロッドの先端に取り付けられた標準貫入試験用サンプラーを、規定貫入量である 30 cm 打ち込むのに要する打撃回数のことである。

20 度とした。設置した太陽電池アレイ総数は、15,125 基である。

表 2 に太陽電池架台の仕様を示す。

3.3 サブ変電所

サブ変電所は、太陽電池で発電した電力を直流から交流に変換するパワーコンディショナ（PCS）と、その電力を昇圧する変圧器、変電設備に接続するケーブルを分岐するリングメインユニット盤で構成される。

PCS は、富士電機製品の特徴である屋外型外気強制冷却方式の新型 PCS「PVI1000BJ」（図 5、表 3）を採用した。本 PCS は旧型「PVI1000」からさらなる小型・軽量



図 5 新型太陽電池用 PCS「PVI1000BJ」

表 3 太陽光発電 PCS の仕様

項 目	基本仕様
型 式	PVI1000BJ-3/1000
定格電圧	DC750V、AC380V
最大システム電圧	1,000V（DC）
容 量	1,000kW（990kWに制限運転）
定格周波数	50/60Hz
出力効率	>0.99（定格出力時）
出力電流ひずみ率（総合）	<5%（定格出力時）
出力電流ひずみ率（各次）	<3%（定格出力時）
装置最高効率	98.8%
装置効率（EURO効率）	98.5%
過負荷耐量	100%連続
騒 音	80dB（A）
系統保護	OV、UV、OF、UF
単独運転検出方式（受動）	電圧位相跳躍検出
単独運転検出方式（能動）	ステップ注入付周波数フィードバック方式
電圧上昇・抑制機能	無効電力出力・有効電力抑制
FRT機能	あ り
冷却方式	強制空冷
寸 法	W2,622×D1,252×H1,920（mm）
質 量	約1,800kg
数 量	60台

化を図り、据付面積の削減や現地輸送、据付工事が効率的に行える。

PCS により交流に変換された電力は、昇圧変圧器で 22kV に昇圧後、リングメインユニット（RMU）を経由して変電設備の 22kV 配電盤に接続される。

3.4 蓄電池設備

蓄電池設備は、リチウムイオン電池と蓄電池用 PCS、昇圧変圧器、RMJ 盤で構成される。本設備は、太陽光発電所の欠点である日射が急変した際の出力電力の急変を抑制するために使用される。蓄電池用 PCS は、受変電設備からの出力変動抑制の指令を受けて、蓄電池の充放電を行う。PCS から出力された電力は、昇圧変圧器で 22kV に昇圧後、RMU を経由して変電設備の 22kV 配電盤に接続される。蓄電池モジュールには、充放電特性の良いリチウムイオン電池を採用した。

リチウムイオン電池の出力特性は、周囲温度に大きく依存するため、エアコンにより推奨使用温度に制御された蓄電池用コンテナ（図 6）に収納している。

表 4 に蓄電池設備用 PCS の仕様を示す。

3.5 受変電設備

太陽電池用 PCS と蓄電池用 PCS から出力された電力は、変電所に設置された 24kV 特高配電盤（図 7(b)）に接続され、主変圧器で 66kV に昇圧し、ガス絶縁開閉装置（C-GIS 図 7(a)）を通じて、北海道電力株式会社に送電される。発電所から連系点までは、直線で約 2km の距離があるため、自営送電線を構築し、接続した。

表 5 に蓄電池設備の仕様を、表 6 に受変電設備の仕様を示す。



図 6 蓄電池コンテナ（右奥）と蓄電池用 PCS コンテナ（手前）

表 4 蓄電池設備用 PCS の仕様

項 目	基本仕様
型 式	PVI800-3/750
定格電圧	DC550 V、AC270 V
最大システム電圧	800 V (DC)
容 量	750 kW
定格周波数	50/60 Hz
出力力率	>0.99 (定格出力時)
出力電流ひずみ率 (総合)	<5% (定格出力時)
出力電流ひずみ率 (各次)	<3% (定格出力時)
装置最高効率	98.1%
装置効率 (EURO効率)	97.8%
設置場所	屋内 (コンテナ内設置)
騒 音	75 dB (A)
系統保護	OV、UV、OF、UF
単独運転検出方式 (受動)	電圧位相跳躍検出
単独運転検出方式 (能動)	ステップ注入付周波数フィードバック方式
電圧上昇・抑制機能	無効電力出力・有効電力抑制
FRT機能	あ り
冷却方式	強制空冷
寸 法	W2,750×D900×H1,950 (mm)
質 量	約2,580 kg
数 量	64台

表 5 蓄電池設備の仕様

項 目		基本仕様
蓄電池	電池種類	リチウムイオン電池
	数 量	5ラック×64バンク
ラック	容 量	79.1 kWh
	電 圧	504.0 ～ 705.6 V
	最大放電電力	158.3 kW (2C)
	標準充電電流	64 A (0.5C)
	運転温度	23℃±5℃
	収納モジュール数	12モジュール
	数 量	320台
	モジュール	容 量
電 圧		42.0 ～ 58.8 V
収納セル数		28個
内部セル結線		14直列×2並列
モジュール総数		3,840台
セ ル	容 量	64 Ah (235.5 Wh)
	電 圧	3.0 ～ 4.2 V

表 6 受変電設備の仕様

項 目		基本仕様
C-GIS	型 式	SDDa608
	定格電圧	72 kV
	定格電流	1,200 A
	受電形式	架空1回線受電
	設置場所	屋 外
	台 数	1台
主変圧器	型 式	油入自冷式三相変圧器
	定格電圧	22 kV (一次)/66 kV (二次)
	定格容量	60,000 kVA
	結線方式	星形 (一次)/三角 (二次)
	絶縁種別	A 種
	数 量	1台
24 kV特高配電盤	型 式	屋外自立閉鎖型
	定格電圧	24 kV
	定格母線電流	1,600 A
	定格周波数	50 Hz
	総盤面数	25面



図 7 受変電設備

④ 出力変動抑制制御

自然変動電源である太陽光発電は、主に日射量によって出力が大きく変動し、電力系統の周波数変動や電圧変動などの影響を及ぼすことが懸念されている。

このような自然変動電源における出力変動に対して電力品質を維持する観点から、一部の電力会社では大規模太陽光発電および大規模風力発電設備を新規に連系する場合には、出力変動の抑制を技術要件としている。

今回、設備を納入した地域を管轄する北海道電力株式会社が示す出力変動緩和対策の主な基準に従って、太陽光発

電の出力変化速度を発電所定格出力の1%以下/分とする必要がある。この出力変化速度の基準を守るため、本設備では太陽光発電出力に応じて蓄電池を充放電させることで太陽光発電所の連系点における合成出力を平滑化する出力変動抑制制御を備えている。

4.1 制御概要

本設備のシステム構成と制御構成を図8に示す。出力変動抑制制御において、変動成分除去フィルタによりPV出力 P_g から変動成分を除去した値である安定化目標値 P_a とPV出力 P_g の差分を充放電指令値 P_o としている($P_g - P_a = P_o$)。充放電指令値 P_o により変動成分の逆位相の出力 P_b が蓄電池から出力されるため、PV出力の変動が打ち消され連系点の合成出力($P_g + P_b$)が平滑化される。

また、変動成分除去フィルタのフィルタ時定数 T_f は図8に示すようにシステムコントローラ内で可変としており、これを可変時定数制御と言う。

この可変時定数制御は、蓄電池の充放電指令値 P_o の大きさに応じて変動成分除去フィルタのフィルタ時定数を最適に設定する制御である。具体的には、PV出力の変動が大きい場合はフィルタ時定数を長くし、PV出力の変動が小さい場合はフィルタ時定数を短くする制御である。この可変時定数制御により、連系点出力の出力変化速度を1%/分以下に維持しつつ、フィルタ時定数を固定する制御方法よりも無駄な充放電を抑制することができ、蓄電池総容量の削減につながる。

図9に出力変動緩和のシミュレーション結果を示す。太陽光発電の出力変動を打ち消すように蓄電池を充放電させ、連系点電力を平滑化させていることが分かる。このとき、連系点電力の出力変化速度は1%/分(594 kW/分)以下で推移している。

4.2 制御性能の評価

運用開始までの連続運転試験中、太陽光発電の出力変動が比較的激しかった2020年2月1日の実測結果を図10に示す。

図10において、11時30分頃から14時にかけて太陽

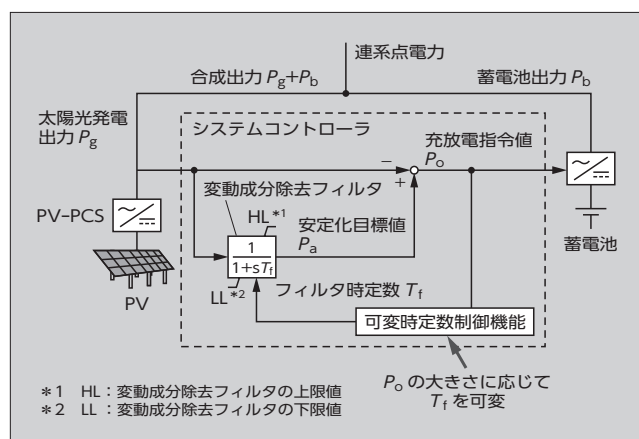


図8 出力変動緩和制御の概要

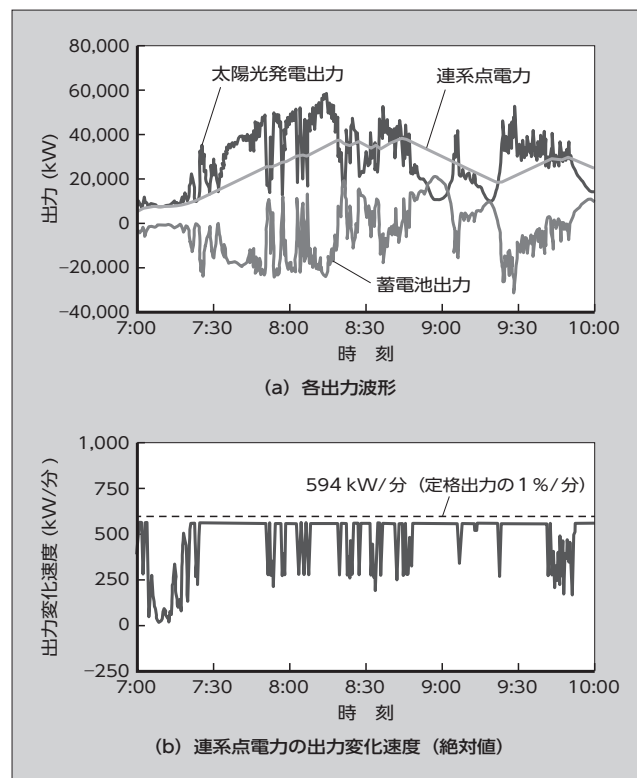


図9 シミュレーション結果

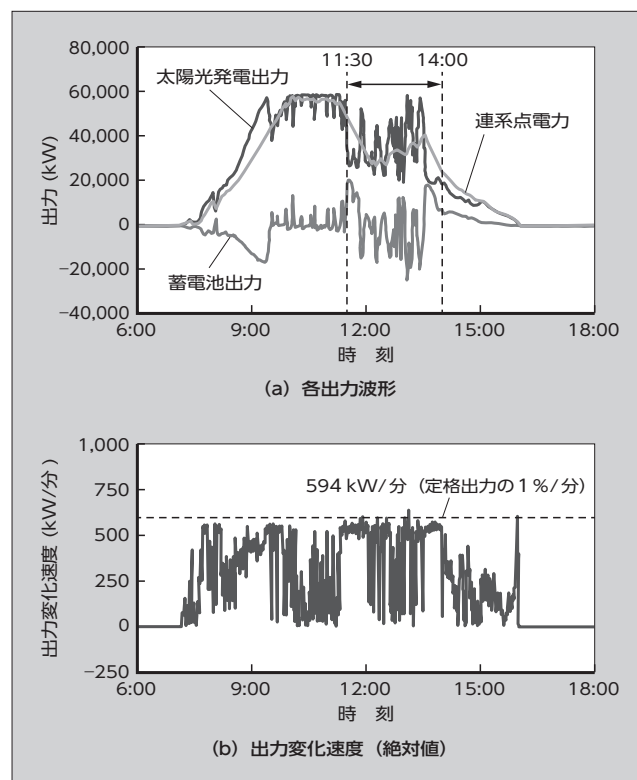


図10 2020年2月1日 連続運転試験結果

光発電の出力が大きく変動しているが、蓄電池の充放電により連系点電力は出力変化速度1%/分以下になるよう制御され、安定的に連系点電力の平滑化を実現している。測定誤差などにより、594 kW/分を超える場合があるが、制御の許容範囲内である。

表7 発電所建設工事の概略工程

No.	工 種	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	土木工事																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

5 建設工程

すずらん鉋路町太陽光発電所の建設工事は計画どおり、2017年7月の工事着工から、2020年2月の引渡しまで、2年8か月で試運転調整を完了した。工事は、用地に進入するための工事用道路の整備と用地の草刈りから開始した。土木工事を先行して進め、太陽電池架台工事が完了した部分から電気工事を後追いする形で進めた。工期中盤以降に、PCSや蓄電池などの電気設備を現地に据付け、電気配線工事を行った。工事完了後、試運転調整を実施して顧客への引渡しを完了した。

表7に発電所建設工事の概略工程を示す。

6 あとがき

国内最大級の蓄電池併設型メガソーラー発電所について述べた。

ここで培った蓄電池の技術により、太陽光発電所のデメリットといわれている出力の不安定さを解消することができる。また、系統安定化のみならず、今後発展が見込まれ

ている分散型電源の出力安定化にも応用が可能である。引き続き再生可能エネルギーの導入の拡大に貢献していく所存である。



椎橋 哲也

太陽光発電所 EPC 建設工事のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電プラント事業本部エンジニアリング統括部再エネプラント技術部課長補佐。



名塚 武洋

太陽光発電所 EPC 建設工事のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電プラント事業本部エンジニアリング統括部再エネプラント技術部課長。



佐藤 智希

電力システムのシミュレーション・制御・解析に関する研究・開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンタースステム制御研究部主任。電気学会会員。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。