

# DC71 MW/AC51 MW 上北六ヶ所太陽光発電所

Kamikita Rokkasho Photovoltaic Power Plant with Capacity of 71 MW DC / 51 MW AC

尻無濱 立穂 SHIRINASHIHAMA, Ritsuho

本田 大祐 HONDA, Daisuke

久保蘭 隆治 KUBOZONO, Takaharu

富士電機は高効率パワーコンディショナ（PCS）を開発し、太陽光発電所に多くの納入実績を持っている。DC71 MW/AC51 MW の上北六ヶ所太陽光発電所を一括請負工事（EPC）として受注し、2017年1月に納入した。51台の1,000 kW PCSで出力 AC51 MW に変換し、受変電設備により 154 kV に昇圧後、東北電力株式会社の送電線へ連系している。2016年11月に総合機能試験を実施し、発電所に求められる所定の機能と性能を持っていることを確認した。2017年2月に東北電力株式会社への20年間の売電事業を開始した。

Fuji Electric has developed high-efficiency power conditioning sub-systems (PCSs) and has a number of track records in delivering them to photovoltaic power plants. We won an engineering, procurement and construction (EPC) contract for Kamikita Rokkasho Photovoltaic Power Plant with a capacity of 71 MW DC / 51 MW AC and completed the delivery in January 2017. The output is converted to 51 MW AC with fifty-one 1,000-kW PCSs, boosted to 154 kV with an electric substation facility, and then transmitted to the power grid of Tohoku Electric Power Co., Inc. We conducted a general function test in November 2016 and verified that the plant has the specified functionality and performance required of a power plant. In February 2017, the plant started operations to sell electric power to Tohoku Electric Power Co., Inc. for 20 years.

## 1 まえがき

双日株式会社が出資する未来創電上北六ヶ所株式会社（特定目的会社）の上北六ヶ所太陽光発電所が、2017年2月に運転を開始した。この発電所は、青森県上北郡六ヶ所村の新むつ小川原株式会社が所有する約150 haの土地を利用して、発電容量 DC71 MW となる太陽電池モジュール 263,172 枚を配置した総出力 AC51 MW の大規模太陽光発電所であり、富士電機が一括請負工事（EPC）契約で受注した。建設工事は、2013年11月の着手から2017年1月末の引渡しまで無事故・無災害で完工した。2017年2月に東北電力株式会社（以下、東北電力）への20年間の売電事業を開始した。本発電所は、運転開始時において太陽電池容量ベースで国内第4位の大規模太陽光発電所<sup>(注1)</sup>である。本稿では、上北六ヶ所太陽光発電所の建設工事と設備の構築について述べる。

## 2 上北六ヶ所太陽光発電所の概要

上北六ヶ所太陽光発電所は、発電所用地の中央部を東西方向に村道が通っている（図1）。村道の北側約50 haにパワーコンディショナ（PCS）19台を、南側約100 haにPCS32台を配置している。太陽電池の容量 DC71 MW は、富士電機製の51台の1,000 kW PCSで出力 AC51 MW に変換し、富士電機製の受変電設備により154 kV に昇圧後、東北電力の送電線へ連系している。全体システム構成を図2に示す。

本発電所の年間売電電力量は、65,930 MWh が見込まれ

〈注1〉国内第4位の大規模太陽光発電所：富士電機調べ（2017年2月現在）

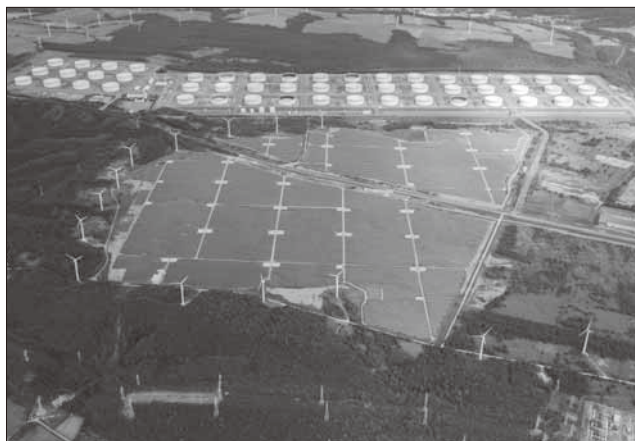


図1 上北六ヶ所太陽光発電所全景  
（写真提供：新むつ小川原株式会社）

ている。これは一般家庭18,400世帯分の年間消費電力量に相当する。また、CO<sub>2</sub>削減量は35,200 t-CO<sub>2</sub>/年に相当する。

## 3 発電所の建設工事

表1に、発電所建設工事の主要工程を示す。上北六ヶ所太陽光発電所の工事は、2013年11月に着手してから、試運転調整を完了し2017年1月末に引き渡すまでの3年3か月であった。なお、冬季の積雪のため工事を停止していた9か月間を除いた正味の工事期間は、2年6か月であった。

発電所の工事は森林の伐採・抜根から着手し、工事用道路の整備、用地の整備を実施してから、太陽電池を取り付ける架台工事、PCSなどの機器の基礎工事、電気配線工事や試験調整を実施して引渡しを完了した。

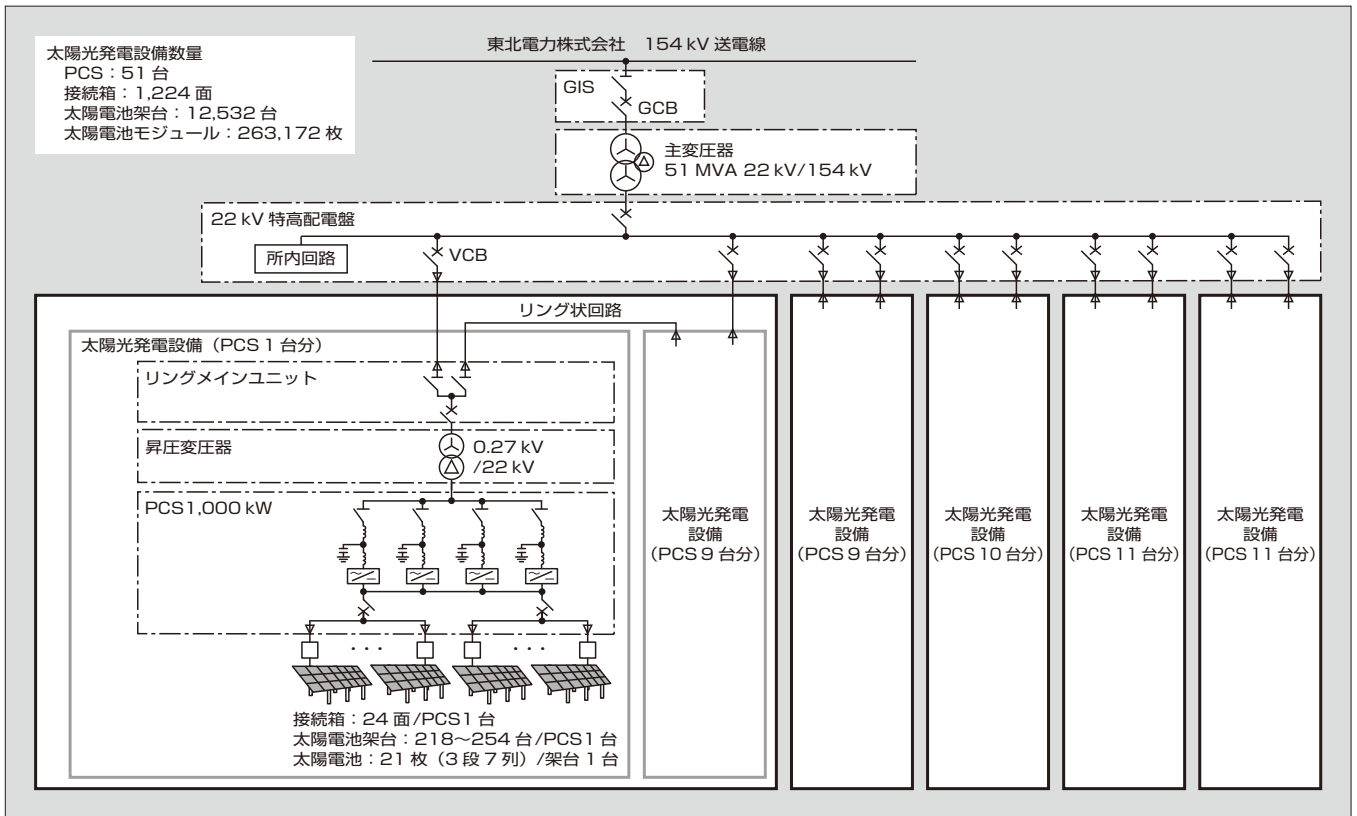


図2 全体システム構成図

表1 上北六ヶ所太陽光発電所工事の主要工程

No.	工種	2013												2014												2015												2016												2017		
		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	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3									
I	土木工事	着工																																																		
(1)	伐採・伐根・整地工事	■												■												■												■												▼運転開始		
(2)	アレイ基礎工事													■												■												■														
(3)	架台・モジュール組立工事													■												■												■														
(4)	構内道路・フェンス工事													■												■												■														
(5)	設備基礎工事													■												■												■														
II	電気工事													■												■												■														
(1)	太陽電池アレイ周辺工事													■												■												■														
(2)	PVサイト機器据付工事													■												■												■														
(3)	特高幹線工事													■												■												■														
(4)	連系変電設備工事													■												■												■														
III	154 kV 電路工事													■												■												■														
IV	現地試験調整																																					■														
V	総合試験調整																																																	■		

3.1 太陽電池架台とPCSの設置工事

太陽電池架台は、H形鋼6本を約4.1m地中に埋め込む杭基礎を採用し、土地の地形をそのまま利用して設置した。図3に、太陽電池架台の設置状況を示す。太陽電池架台〔W11,540×D2,616×H2,710 (mm)〕には3段7列で合計21枚の太陽電池モジュールを取り付けることができる。この太陽電池架台を用地内に12,532台設置した。太陽電池架台は冬季の積雪を考慮して、太陽電池モジュールの取付角度は30度、最低地上高は1.2mとした。南北方向の太陽電池架台の間隔は冬季の低い太陽高度の影響を考慮して、平地で5.0mを確保した。地形を利用した配置として

いるため、南斜面では間隔を狭めて配置し、北斜面では間隔を広げて配置している。

PCSとそれに付随する昇圧変圧器および周辺機器（リングメインユニット）は、用地内の51か所に配置し基礎高さは積雪を考慮して、地面から1.0mの高さを確保した。図4に、PCS、昇圧変圧器、リングメインユニットの設置状況を示す。

3.2 電気工事

9台から11台のPCSを一つのリング状につないだ回路とし、合計5回路の22kVケーブルを埋設管で敷設した。埋設管の総延長は約20kmにも及び、ケーブルの敷設に

特集 持続可能な社会の実現に貢献する創エネルギーと社会インフラソリューション

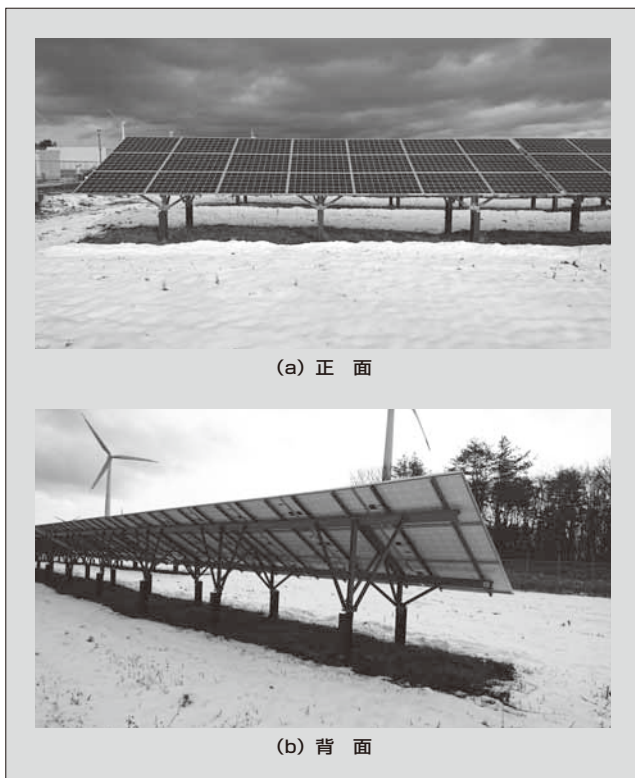


図3 太陽電池架台の設置状況



図4 PCS・昇圧変圧器・リングメインユニットの設置状況

12か月を要した。北用地と南用地の間は、村道の地下を推進工法で掘削して埋設管を設置し、ケーブルの敷設を行った。

### 3.3 154 kV 電路工事・変電設備工事

154 kV 電路は発電所周囲に設置されている風車への影響を考慮して、鉄塔方式ではなく埋設ケーブル方式を採用した。東北電力の154 kV 鉄塔から架空線で鉄塔近傍の門型鉄構に引き込み、発電所の変電設備まで埋設管で敷設した。この電路は、隣地斜面を長さ約500 mにわたって開墾、掘削し、埋設管を設置してケーブルの敷設を行った。

154 kV 変電設備の主要設備である、ガス絶縁開閉装置 (GIS)、主変圧器、22 kV 特高配電盤は、総重量が約140 tに上る。この荷重に耐えるように地質改良を行った後に基

礎工事を行い、各機器を設置した。

## 4 太陽光発電設備

太陽光発電設備は、太陽電池モジュール、接続箱、PCS、昇圧変圧器、リングメインユニットで構成する。太陽電池モジュールで発生した直流電力をPCSに集約し、交流出力に変換して送電する設備である。

### 4.1 太陽電池モジュール・接続箱

表2に、太陽電池モジュールと接続箱の主な仕様を示す。太陽電池モジュールには、1枚当たりの最大出力が270 Wの単結晶シリコンを採用した。太陽電池モジュールは、PCSの1,000 V入力に対応して、3段、7列の21枚で一つのアレイ・架台を構成し、1アレイでDC5.67 kWの出力となる。8アレイから11アレイ分の電力をまとめて接続箱に集約し、接続箱1面当たり45.4 kWから62.4 kWまでの出力となり、24面を集約してPCSの直流入力となる。PCSの入力アレイ数は従来の低圧750 V入力PCSに比べ、30%以上少なくできるため、施工コストの低減に寄与している。

### 4.2 PCS・昇圧変圧器・リングメインユニット

PCSは、接続箱24面から入力されたDC1,000 VをAC270 Vに変換し、最大で1,000 kWの交流電力を出力する。このPCSは、国内で最大の単機1,000 kW機で3レベルインバータ方式であり、業界最高レベルの変換効率98.5% (ユーロ効率98.2%) を達成している。また、屋外型外気冷却方式を採用することにより、コンテナ収納タイプのPCSの場合に必要な空調設備が不要となり、運転中の補機動力損失を削減した。

PCSの直流入力部は24分岐タイプを採用している。そのため、従来の4分岐タイプに設けていた集電箱は不要である。また、直流入力24分岐ごとに電流検出器 (DCCT) を設けて直流入力電流も計測監視できるようにした。

PCSの運転データは、多重伝送システム (RS-485、光通信) により、変電設備の近傍に設置した上位監視システムで運転データを監視できるようにしている。また、PCSは、この監視システムから遠隔操作で起動・停止が可能である。

PCSの出力は、昇圧変圧器 (容量1,000 kVA) で22 kVに昇圧後、リングメインユニットを経由して変電設備の22 kV 特高配電盤に集約される。表3に、PCSの主な仕様を示す。

表2 太陽電池モジュール・接続箱の主な仕様

(a) 太陽電池モジュール

項目		仕様・特性
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	長辺 1,640 × 短辺 1,000 × 厚さ 35 (mm)
	最大耐荷重	5,400 Pa (正荷重) *1, 2,400 Pa (負荷重) *2
	質量	16.8 kg
	前面カバー材質	強化ガラス
	背面カバー材質	バックシート
	フレーム材質	陽極酸化アルミニウム合金
	フレーム色	アルミニウム合金地色
	モジュール納入数量	263,172 枚
製造者	LG Electronics (韓国)	
電気的特性	最大出力 ( $P_{max}$ )	270 W
	モジュール効率	16.50%
	最大出力動作電圧 ( $V_{pm}$ )	31.50 V
	最大出力動作電流 ( $I_{pm}$ )	8.58 A
	開放電圧 ( $V_{oc}$ )	38.50 V
	短絡電流 ( $I_{sc}$ )	9.17 A
	$P_{max}$ 温度係数	-0.430%/°C
	$V_{oc}$ 温度係数	-0.310%/°C
	$I_{sc}$ 温度係数	0.040%/°C
	システム最大電圧	1,000 V
試験条件 (STC)	セル温度 25°C, AM1.5 *3, 照射量 1,000 W/m <sup>2</sup>	

\* 1 : 正荷重 : モジュール正面から受ける荷重をいう。  
 \* 2 : 負荷重 : モジュール裏面から受ける荷重をいう。  
 \* 3 : AM (Air Mass) 1.5 : 日本付近の緯度の地上における平均的な太陽光スペクトルを意味し、大気を通過する距離が垂直入射に対し 1.5 倍であることを表す。

(b) 接続箱

項目		仕様・特性
基本仕様	設置場所	屋 外
	周囲温度	-25 ~ +40°C
	外形寸法	W800 × D300 × H900 (mm)
	外被保護構造	IP44
	主回路導体	1,500 V 電線 WL2
	外線接続	端子台方式
	納入数量	1,224 面
電気仕様	定格使用電圧	DC1,000 V
	定格絶縁電圧	DC1,200 V
	入力ストリング回路	11 回路
	定格母線電流	110 A
	ストリング回路保護	ヒューズ保護 (15 A)
	主開閉器	MCCB
	耐雷保護	SPD

表3 PCSの主な仕様

項目		仕様
シリーズ名		PVI1000-3/1000
定格出力		1,000 kW
絶縁方式		トランスレス方式
電気仕様 (DC 入力)	直流入力電圧範囲	0 ~ 1,000 V
	運転電圧範囲	450 ~ 950 V
	MPPT 範囲	460 ~ 850 V
	直流入力分岐数 *1	24
電気仕様 (AC 出力)	定格出力容量	1,000 kW
	定格出力電圧	270 V -10 ~ +12%
	定格周波数	50/60 Hz ± 5%
	出力相数	3 φ 3W 非接地系対応
	定格出力電流	2,138 A
	出力力率 *2	>0.99 (定格出力時)
	出力電流ひずみ率 (総合) *3	<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	98.5%
	装置効率 (EURO 効率)	98.2%
	過負荷耐量	100% 連続
	騒 音	70 dB 以下
系統連系	系統保護	OV, UV, OF, UF
	単独運転検出方式 (受動) *4	電圧位相跳躍検出
	単独運転検出方式 (能動) *4	無効電力変動方式
	電圧上昇・抑制機能	無効電流補償・有効電流出力抑制
FRT	JEAC 9701 準拠	
盤構造	設置方式 *5	屋外自立型
	適合 IP *6	IP54
	システム方式	サブステーション方式
	ケーブル引き込み	下 部
冷却方式	強制空冷	
寸 法	PCS 単体	W3,500 × D2,300 × H2,800 (mm)
	サブステーション	W6,050 × D2,400 × H2,800 (mm)
質 量	PCS 単体	7,000 kg
	サブステーション	12,500 kg
環境条件	保存温度	-20 ~ +50°C
	動作温度 *7	-20 ~ +40°C
	相対湿度 *8	15 ~ 95%
	標 高	2,000 m 以下
準拠規格	IEC 62109-1, JIS, JEM, JEC	
通信方式	RS-485, MODBUS *9, TCP	

\* 1 : オプション \* 2 : 単独運転 Q 出力を除く \* 3 : 出力 1/8 ~ 定格時  
 \* 4 : 不使用 \* 5 : 耐塩害仕様 \* 6 : パウダースノー対策仕様  
 \* 7 : 寒冷地仕様 \* 8 : 結露なし  
 \* 9 : Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

5 特高変電設備・系統連系設備

図 5 に、154 kV 門型鉄構と変電設備の外観を示す。PCS から出力された電力を 22 kV 特高配電盤に集約し、

主変圧器で 22 kV から系統連系電圧の 154 kV に昇圧し、GIS を経由して東北電力の送電線に連系している。

22 kV 特高配電盤は、リングメインユニットの回路に対応して真空遮断器 (VCB) 10 台で構成され、構内電路の異常時には該当回路を遮断する機能を備えている。

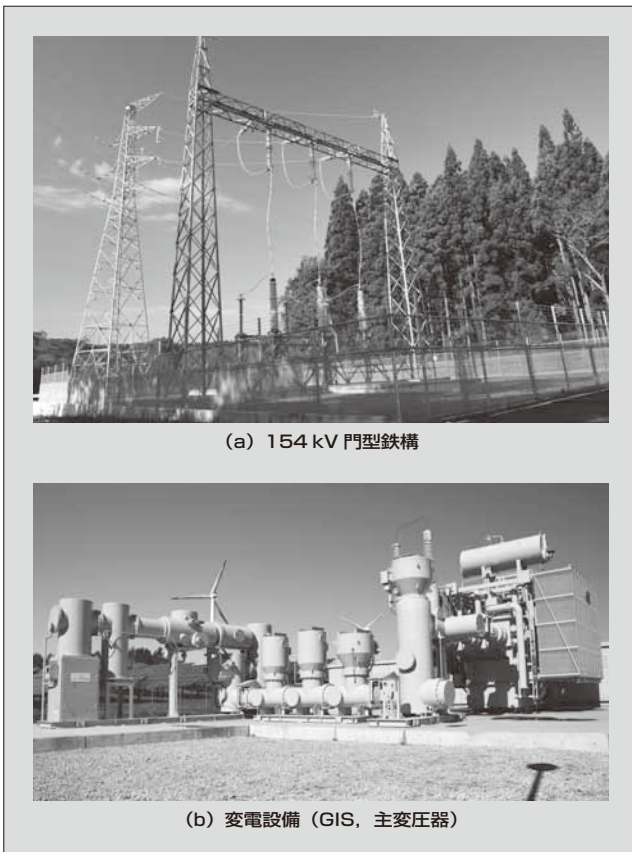


図5 154 kV 門型鉄構と変電設備

主変圧器には油入自冷式変圧器を採用し、PCS51台分の100%出力容量と同じ51MVAとしている。

系統連系用の遮断器には、154kVガス遮断器(GCB)を採用した。特高変電設備や送電線の事故時に系統から切り離して遮断する。GCBの遮断能力は、25kA、5サイクルである。東北電力との責任分界点は、連系鉄塔のジャンパ線接続部としている。

## 〔6〕 保護装置・監視制御設備・付帯設備

特高変電設備、154kV連系線の保護装置および発電所監視装置は、変電設備近傍のコンテナタイプのパッケージ内に設置している。

上北六ヶ所太陽光発電所が連系している東北電力の送電線には他事業者の風力発電所も連系しており、送電線保護装置として東北電力指定のPCM保護装置を設置している。この保護装置により、各変電所間、風力発電所間の送電線事故を検出し、本発電所の<sup>〔注2〕</sup>解列を行う。

発電所監視装置は、PCSの主要データを収集し、系統監視画面表示、計測値表示、トレンド表示、日報・月報表示機能を持っている。PCSの直流側24分岐回路の電流を計測可能なシステムを採用しており、電流値のトレンドデータから各分岐電流の差異を自動的に判断して偏差表示を行う機能を持っている。24分岐回路の1回路は、接続

〔注2〕 解列：電力系統から発電設備などを切り離すこと

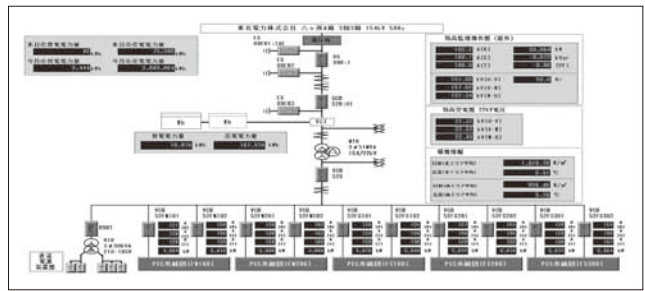


図6 監視装置の系統図監視画面

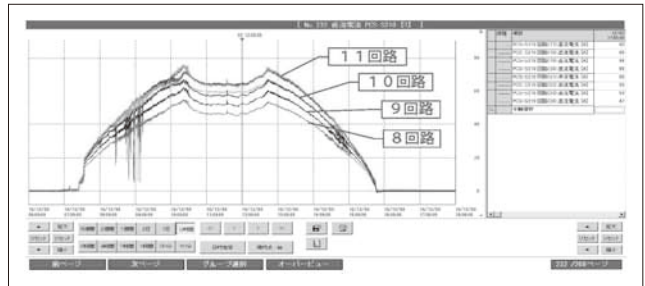


図7 PCSの24分岐回路の電流値トレンド画面

箱1面に対応しており、この機能により接続箱内のストリングヒューズ溶断箇所の早期発見につながる。

図6に監視装置の系統図監視画面を、図7にPCSの24分岐回路の電流値トレンド画面を示す。

発電所は、太陽電池やケーブルなどの盗難被害を防止するため、警備会社の専用機器により周囲のフェンスと発電所門扉に対して24時間のセキュリティ監視を行っている。

## 〔7〕 総合機能試験・性能認定試験

2016年11月に総合機能試験として、総合インタロック試験、制御電源喪失試験、負荷遮断試験および負荷試験を実施し、発電所に求められる所定の機能と性能を持っていることを確認した。PCSは最大51MWを出力し、154kV系統に送電できることを確認した。

発電性能は、推定電力量と実際の出力とを比較して評価を行った。推定電力量は、発電所内に設けたそれぞれ10台の日射計と気温計による日射量と気温のデータを用いて、JIS C 8907に準拠した発電電力量推定法により算出し、実際の出力は売電用電力量計の出力値を用いている。性能認定試験は、日射量が安定している状態で1時間当たり300W/m<sup>2</sup>以上、気温30℃以下でかつモジュール面に積雪や汚れのない状態で行った。その結果、推定発電量に対して売電電力量が101.6%から最大で113.2%となり、所定の発電性能を満足していることを確認した。図8に、性能認定試験の結果を示す。

本発電所は、使用前自主検査および安全管理審査の合格を経て2017年1月末に発電所引渡しを完了した。

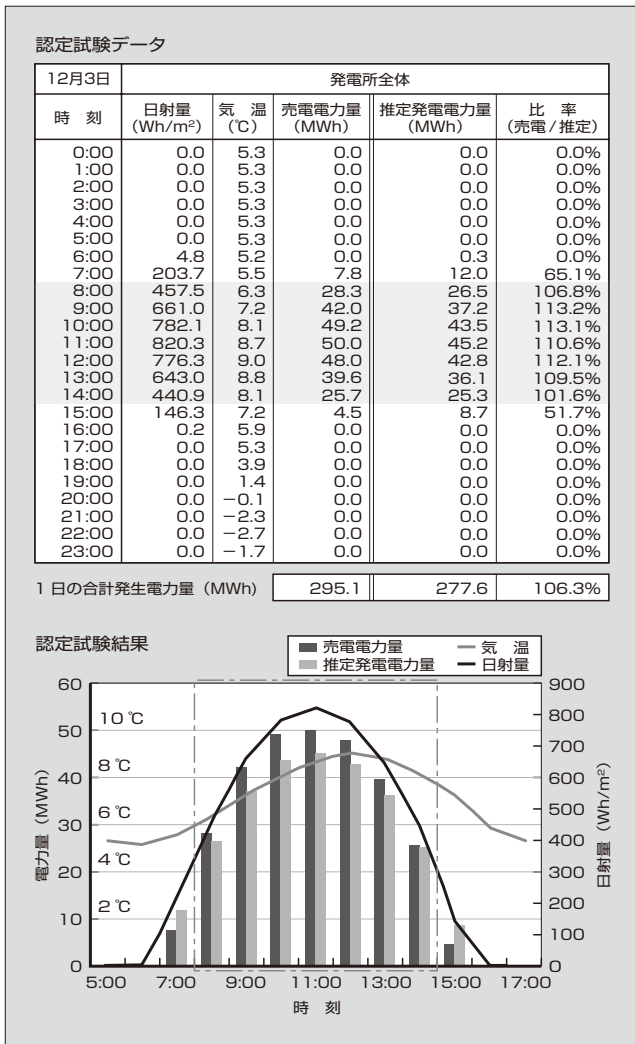


図8 性能認定試験結果

8 あとがき

DC71 MW/AC51 MW 上北六ヶ所太陽光発電所の建設工事と設備の構築について述べた。

太陽光発電所の建設は「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT) の見直しに伴い減少傾向にあるが、今後、出力変動緩和対策や系統電圧変動対策が要求される大規模太陽光発電所の伸長が予想される。蓄電池併設型 PCS、系統変動抑制型 PCS など富士電機の PCS 技術を最大限に活用して、さらなる再生可能エネルギーの拡大に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 藤井幹介ほか. メガソーラー向け屋外設置型高効率PCS「PVI1000」. 富士時報. 2012, vol.85, no.3, p.245-249.



尻無濱 立穂

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・社会インフラ事業本部新エネプラント事業部太陽光・風力発電技術部。



本田 大祐

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・社会インフラ事業本部新エネプラント事業部太陽光・風力発電技術部。



久保 隆治

太陽光発電所 EPC 建設工事のサイト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・社会インフラ事業本部プラント建設部。



\*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。