

1. はじめに

平成23年3月に発生した東京電力福島第1原子力発電所の事故を契機に、再生可能エネルギーへの関心が高まり、特に太陽光発電システムは割高な買取価格と製品価格の低下等により、急速に普及してきている。

下水処理施設は、汚水や汚泥の処理過程で多くの電力を使用している一方、太陽光発電システムの設置に適した水処理施設の上部空間など広大なスペースを有している。

また、下水の温度は年間を通して20℃程度であり、冷熱源としての処理水が豊富に存在する。

そこで、本研究では、下水処理水を冷却水として利用した太陽光発電システムの発電効率を向上させるための調査研究を行った。

2. 太陽光発電システムの概要

(1) 太陽光発電の特徴

太陽光発電は永続的なクリーンエネルギーを生み出す発電方式であり、次の特徴を有する。

- ① 温室効果ガス排出量の削減
- ② エネルギー自給率の向上
- ③ 昼間のピーク電力の需要量低減

(2) 太陽電池とは

太陽電池は、太陽の光エネルギーを吸収して直接電気に変えるエネルギー変換器である。

シリコンなどの半導体で作られており、この半導体に光が当たると、日射強度に比例して発電する。

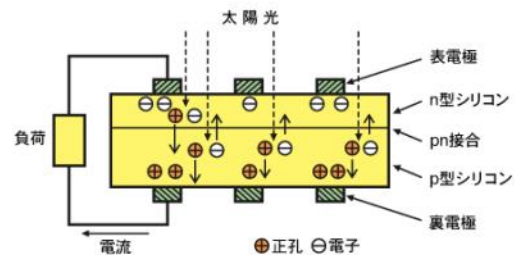


図1 太陽電池の原理

現在、最も多く使われている太陽電池は、シリコン系太陽電池で、電気的な性質の異なる2種類（p型、n型）の半導体を重ね合わせた構造をしている。

太陽電池に光が当たると、電子（-）と正孔（+）が発生し、正孔はp型半導体へ、電子はn型半導体側へ引き寄せられるため、表面と裏面につけた電極に負荷をつなぐと電気が流れる。

変換効率とは、太陽電池に入射した光のエネルギーのうち電気エネルギーに変換した割合を表す数値で、次式の計算で求められる。

$$\text{変換効率} = \frac{\text{出力電気エネルギー}}{\text{入射する太陽光エネルギー}} \times 100(\%)$$

つまり、太陽電池モジュールに入射する光エネルギーを何%電気エネルギーに変換できるかを表す。

(3) 温度依存性

太陽電池の変換効率は、モジュールの表面温度が高いときは下がり、逆に低いときは上がる特性を有している。

太陽電池の温度依存性により、結晶シリコンが、-0.5%/℃の特性を有する場合、モジュール温度が40℃上昇すると、発電効率は20%低下する。このため温度を上昇させないようにモジュールを冷却することにより、

発電効率を改善することができる。

3. 研究の概要

下水処理水を利用した太陽電池アレイの冷却による発電効率の向上を目的として、発電システムの評価を行うために以下の設備を設置した。

なお、冷却の有無による発電効率を比較するため、同一仕様の発電システムを2組設置し、その内1組を通常発電システム、もう1組を冷却した発電システムとした。

(1) 設置場所

巴波川浄化センター水処理施設上部



図2 太陽光発電システム設置状況
(向かって左側が冷却装置付)

(2) 太陽電池アレイ仕様

- ・多結晶シリコン型
- ・定格電力1.44kW／組
- ・太陽光モジュール9枚／組

太陽光モジュール1枚あたりの電気出力特性は表1のとおりであり、モジュール温度－出力電力特性を図3に示す。

表1 電気出力特性(標準状態)

項目	公称値	上限値	下限値	単位
Pmax	160.00	---	144.00	W
Voc	25.60	28.16	23.04	V
Isc	8.42	---	7.58	A
Vmpp	21.28	---	---	V
Impp	7.52	---	---	A

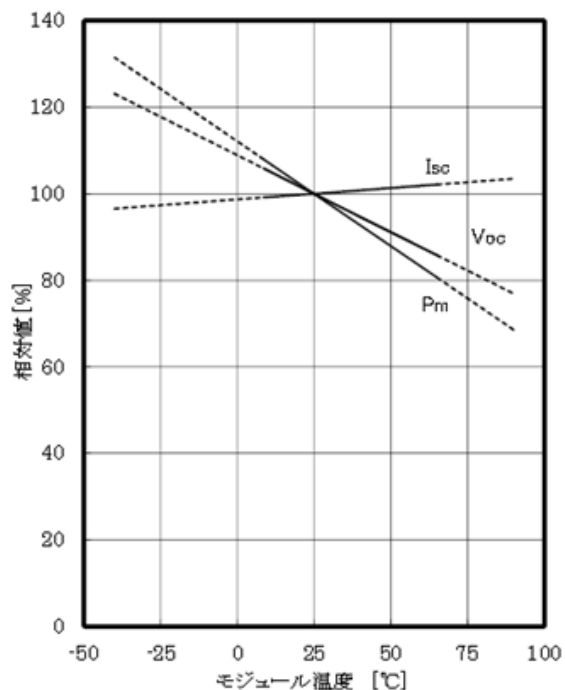


図3 太陽電池モジュールの短絡電流 I_{sc} 、開放電圧 V_{oc} 、最大出力モジュール特性 P_m

(3) 発電システム

本研究で設置した発電システムの構成を図4に示す。

この発電システムによる発電電力は、下水処理場の電気設備に系統連系し消費している。

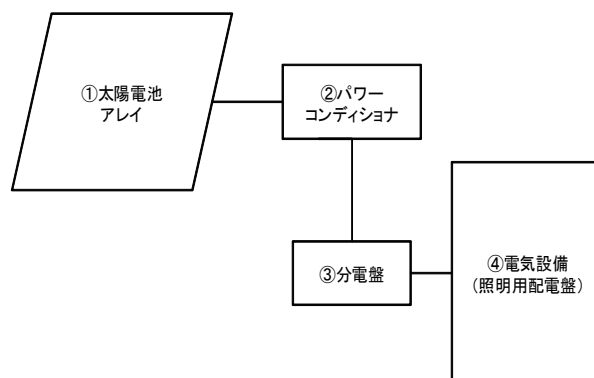


図4 発電システム構成図

各部の役割と特徴を以下に示す。

① 太陽電池アレイ

太陽電池モジュールを取り付けた電池群

② パワーコンディショナ

太陽電池から発生する直流電力を最大限引き出すよう制御し、交流電力に変換す

る。

また、商用電力系統に悪影響を起こさないための系統連系保護装置を内蔵している。

③分電盤

電力を電気負荷に分配する機能を有し、パワーコンディショナの出力量と商用電力系統の連系点。

④電気設備

商用電力系統で受電している下水処理場の電気設備。

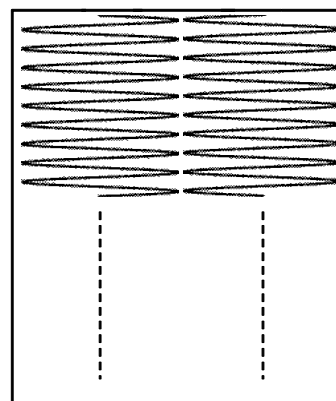


図5 冷却装置概略図

(4) 冷却システム

下水処理場では、処理水を再利用しており、表2に示すような2種類の処理水が冷却水に適している。

なお、これらの処理水は、既設のものから利用しており、冷却のためだけに製造供給しているものでなく、特に費用は生じていない。

表2 下水処理水の仕様

	連続供給による処理水	間欠供給による処理水
ろ過方式	ろ過機+ストレーナー	ストレーナー
用途	ポンプのシール水	機械の洗浄水
SS (浮遊物)	1. 0mg/l	2. 0mg/l
供給方法	高架水槽からの自然流下	ポンプによる圧送
温度	17℃ (冬季) ~ 26℃ (夏季)	

冷却装置は図5に示すとおり各モジュールの裏面に設置し、その仕様は次のとおりである。

- ・材質:アルミ管
- ・配管径:12.7mm
- ・配管延長(1モジュールあたり):
約33.6m
- ・接合方法:熱伝導グリス

冷却水供給設備は各モジュールに均等に冷却水が供給できるよう図6に示すとおり、配管及びバルブを設置した。

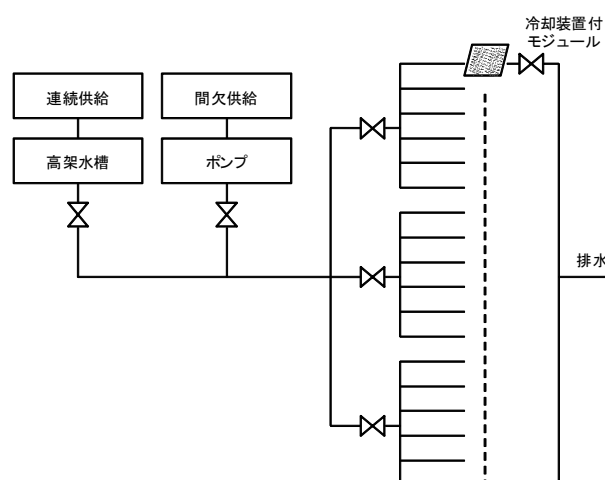


図6 冷却水供給設備構成図

各モジュールに冷却装置を取り付けたものが図7の写真であり、図8がその全景である。



図7 冷却装置取り付け状況



図8 冷却装置取り付け状況全景

(5) 計装設備及びデータ測定機器

気温計、日射量計、流量計、温度計(水温/アレイ)、電圧計、電流計を図9に示すとおり設置した。

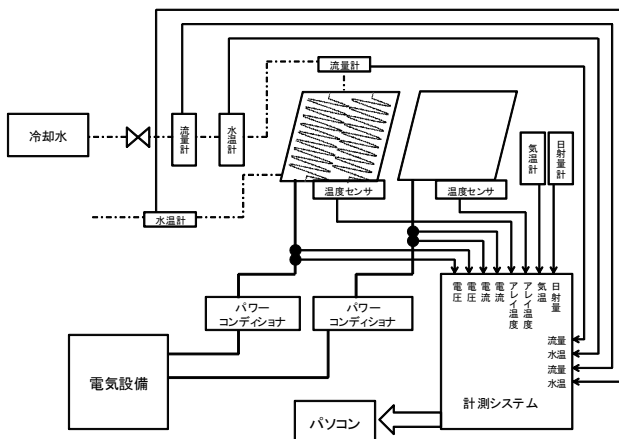


図9 計装設備及び測定機器

4. 結果

(1) 連続供給による処理水の場合

夏季の晴天時において、連続供給で一定量の処理水を太陽電池アレイに通過させたときの測定結果を以下に示す。

① 流入水温と流出水温

太陽電池アレイを通過する前と通過した後の冷却水温度を図10に示す。

アレイの通過前後の温度差は、ピーク時1.23℃であり、64.1Cal/minの放熱をしていることが確認できた。

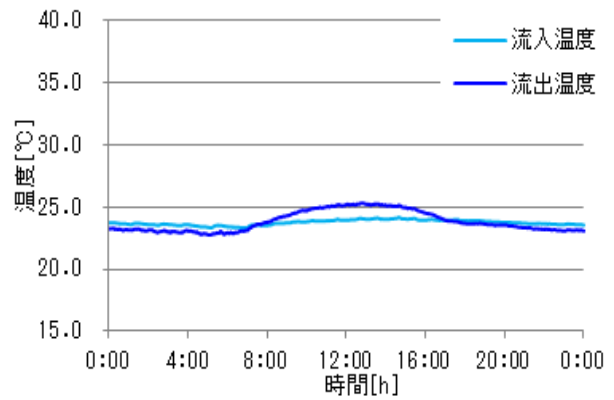


図10 流入水温と流出水温
(9月18日 最高気温28.7℃)

② 水冷と通常の太陽電池アレイ温度

下水処理水で冷却したアレイと通常のアレイの温度を図11に示す。

冷却したアレイと通常のアレイの温度差はピーク時で23.83℃の差があり、処理水でアレイを冷却することが有効であることが判断できた。

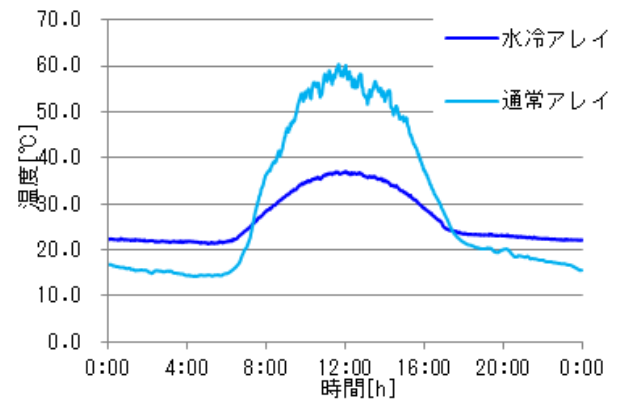


図11 水冷と通常の太陽電池アレイ温度
(9月18日 最高気温28.7℃)

③ 発電電力

下水処理水で冷却した太陽電池アレイと通常のアレイの発電電力を図12に示す。

8:00~16:00の積算電力量で比較すると、7.3%上回っており、発電効率が向上していることが確認できた。

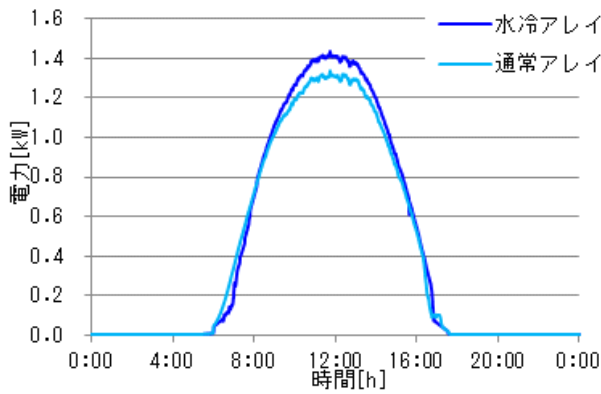


図12 9月18日の発電電力

(2) 間欠供給による処理水の場合

夏季の晴天時において、間欠供給で一定量の処理水をアレイに通過させたときの測定結果を以下に示す。

① 間欠供給の流量

間欠供給の流量を図13に示す。

90分おきに30分間の供給となっている。

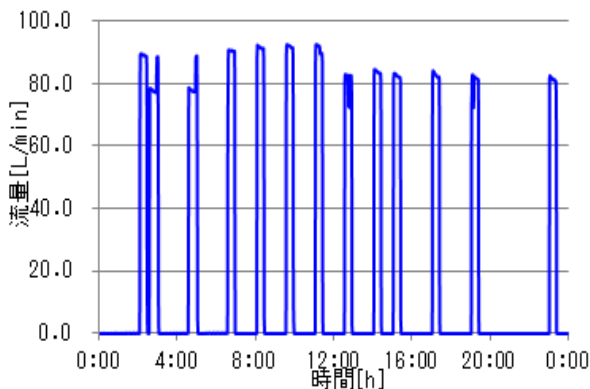


図13 間欠供給の流量

② 間欠供給での流入水温と流出水温

間欠供給で太陽電池アレイを通過する前と通過した後の冷却水温度を図14に示す。

供給時のみ、水温が低下していることが確認できた。

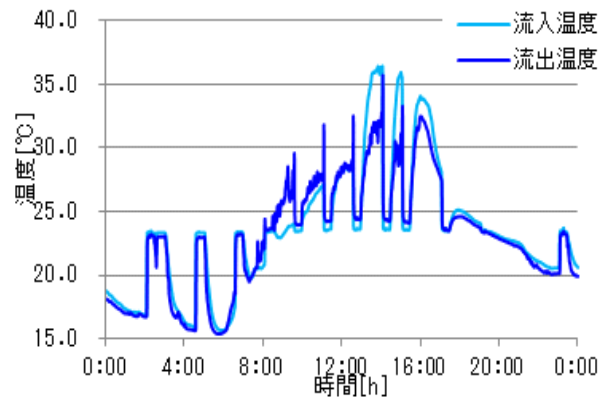


図14 間欠供給での流入水温と流出水温
(9月20日 最高気温29.9℃)

③ 間欠供給での水冷と通常の太陽電池アレイ温度

間欠供給で冷却したアレイと通常のアレイの温度を図15に示す。

処理水が通過しているときのみ冷却されていることが確認できた。

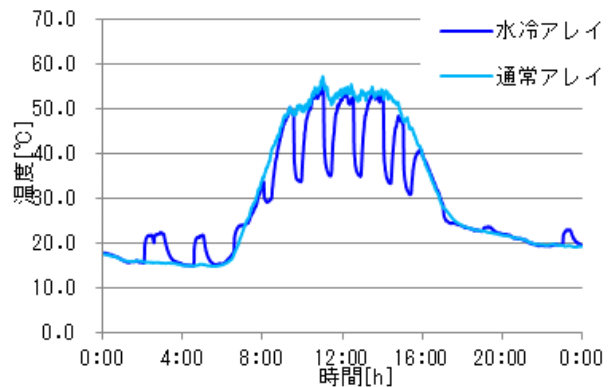


図15 間欠供給の水冷と通常の太陽電池アレイ温度
(9月20日 最高気温29.9℃)

④ 間欠供給での発電電力

間欠供給で冷却した太陽電池アレイと通常のアレイの発電電力を図16に示す。処理水が通過したときのみ発電電力が上回っており、8:00~16:00の積算電力量で比較すると、4.1%上回っていた。

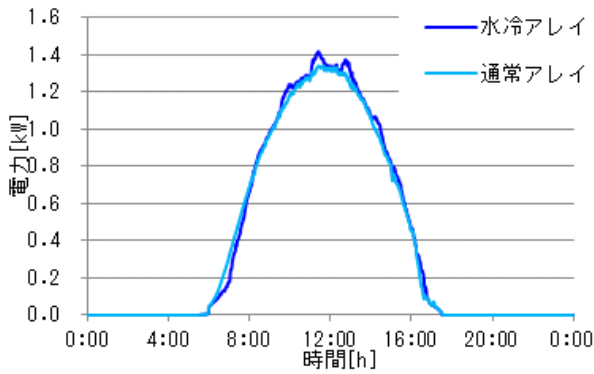


図16 9月20日の発電量力

5. 考察

太陽電池アレイを処理水で冷却した結果、アレイ温度を下げる事ができ、発電量が9月18日の実績で7.3%向上することが確認できた。

これらの結果から、処理水での冷却は発電効率の向上に有効であると判断できた。

間欠供給により冷却した結果、連続で供給した場合と積算発電量を比較すると、連続供給の場合の方が3.2%上回り、連続で供給する方が効率が良いことが確認できた。

今回の冷却装置では次のような問題が確認できた。

- ①モジュール温度にムラが生じる。
- ②冷却水を停止すると、冷却水が排出されるため、短時間でアレイ温度が上昇する。

これらの問題を解決するため、冷却装置の改良を実施する予定である。

また、夏季の冷却だけでなく、冬季の霜対策など年間を通した活用について、データ収集、評価も行っていく予定である。

実際の導入に向けては、建設コストや維持管理など検討すべき課題はあるが、実際の導入に向けても取り組んでいく予定である。

6. おわりに

今回の調査研究では、下水処理水で太陽電池アレイを冷却することで発電効率の向上が確認できた。

今後、更なる冷却方式の検討や課題はあるが、実導入に向けて調査研究を引き続き行う予定である。

下水処理場では、消化ガス発電や汚泥の燃料化など再生可能エネルギーの資源として、多くのエネルギーを有している。

本研究を通じ、下水処理場の持つ再生可能エネルギーの更なる可能性が期待できた。

謝辞

本研究は、栃木県県土整備部都市整備課及び小山工業高等専門学校との共同研究として実施しました。データの収集、情報の提供ならびに種々の助言をいただき、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- ・「太陽光発電協会ホームページ」 一般社団法人太陽光発電協会
- ・「NEDO再生可能エネルギー技術白書～新たなエネルギー社会の実現に向けて～」(平成22年7月)独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構