

# 南あわじ太陽熱バイナリー発電 実証設備が稼動開始

沖田 信雄・小山 充彦・西村 和真

昨今の地球温暖化防止や化石代替エネルギーの推進に伴い、風車、太陽光、太陽熱、バイオマスなど各種再生可能エネルギーの開発が国内外で進められている。一方で、導入が進む再生可能エネルギーの電力変動が最近の課題となっている。また、地域によって間伐材や竹の廃材が再利用を求められている。

今般、環境省の補助事業として、太陽熱とバイオマスボイラーを組み合わせたバイナリー発電の実証試験設備を南あわじ市に建設する提案が2012年に採択され、その後、工事計画を届け出し、2013年9月に着工、2014年8月から本格稼動したので、その特徴及び据付試運転内容について報告する。

キーワード：再生可能エネルギー、太陽熱、バイオマス、バイナリー発電、熱媒油、低沸点媒体、パラボラ・トラフ型、集熱管、チップ、ペレット

## 1. はじめに

我が国は燃料自給率が低く、地球温暖化防止の観点からも化石燃料に代わる二酸化炭素を発生しない代替エネルギーとして、再生可能エネルギーの開発・導入が進められている。

2012年に環境省の補助事業として「地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」の公募があり、兵庫県淡路島が「あわじ環境未来島地域活性化総合特区」であったため、県や市のバックアップを受け、太陽熱とバイオマスを組み合わせて、低沸点媒体の蒸気でタービンを回して発電するバイナリー発電サイクルを提案して、2012年末に採択された。開発・試験期間は2014年度末までの約2年3ヶ月である。

太陽熱発電は太陽光発電(PV)と異なり、電気事業法に記載がないため、2013年後半にようやく分割申請で工事計画が受理され、その後順次着工して2014年8月から本格稼動を開始した。

本稿では、南あわじ太陽熱バイナリー発電設備の特徴を述べるとともに、据付・試運転の概要を報告する。

## 2. 試験設備の構成と特徴

### (1) 全体システムの構成

図1に全体システムの構成を示す。太陽熱集熱装置で集めた熱は、蒸気発生器で熱交換して蒸気を生成し、バイナリー発電機で発電する。また、太陽熱装

置と併設したバイオマスボイラーからも蒸気を供給できるように構成している。燃料は淡路島で不要となっている竹チップや木質ペレット等を使って燃焼試験を行う。

特徴の一つは太陽熱を吸収する熱媒油と、水・蒸気と、低沸点媒体からなる発電サイクルであり、さらに発電と熱供給もできるようになっていることである。

バイオマスボイラー、バイナリー発電装置と太陽熱サイクルを分担して、高効率のバイナリー発電ユニットの開発と世界最大級と最小級の太陽熱集熱装置を採用した。

また、試験用の電気を受電するため、風車の送電ライン(22kV特別高圧)から試験所まで約900mの配電線を引いて電柱・電線や変圧器などの高圧受電設備を設置した。

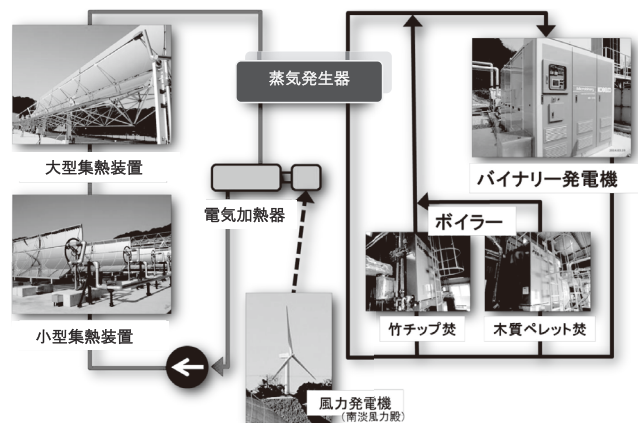


図1 全体システムの構成

## (2) 太陽熱装置の特徴

本試験設備では、実績が多数あるパラボラ・トラフ型<sup>1)</sup>を採用し、大型と小型の集熱装置を2種選択した。熱媒体には熱媒油を使用して太陽熱を集め、蒸気発生器で熱交換して、バイナリー設備へ蒸気を供給する。この熱媒油は油移送ポンプにて16基ずつ4列に並ぶ小型トラフを通り、次に6基1列の大型トラフで更に温度を上げ蒸気発生器へと循環運転される。

本設備には試験のため蒸気発生器と並列に空気式冷却器を設置し、太陽熱集熱装置単独でも各種試験が出来る様な構成となっている。また、設備起動時の熱媒油の温度を規定温度まで昇温するためと風力発電から取り除いた短周期電力分を熱媒油に熱として取り込むために、蒸気発生器出口に電気加熱器が設置されている(図-1)。

## (3) バイオマスバイナリー発電の特徴

バイナリー発電装置は加熱源により沸点の低い作動媒体を加熱、蒸発させてその蒸気でタービンを回して発電する装置であり、水蒸気の熱を加熱源として発電する。使用する水蒸気の温度は110℃～130℃で、これまで未利用であった低位熱を利用することができる。本試験設備では、太陽熱で加熱された熱媒油の熱、およびバイオマス燃料を燃焼させた熱から水蒸気を生成し、最大70kWまで発電できるように設計している。また、発電後の高温蒸気ドレン水を利用して、間接熱交換器を通じて模擬温浴槽の水を温めることができる。

バイオマスボイラーは、チップを燃料とするボイラーとペレットを燃料とするボイラーの2基を準備し

た。毎時80kg程度の竹や間伐材由来の燃料を消費し、各々毎時400kg程度の水蒸気を発生させることができる。

## 3. 据付工事

### (1) 太陽熱装置の据付

まず、太陽熱集熱装置の据付の基準となる柱の位置を敷地基準点から計測し基礎の位置を決定し、太陽熱集熱装置の組立に当たっては、組立マニュアルをベースに試行錯誤しながら独自で組立を進めた。

小型集熱装置の組立状況を写真-1に示す。小型集熱装置はまず反射パネルを組み、次にフレームで枠を押しえ1基ずつ組み合わせてから柱に取り付けていった。1列に16基の反射パネルを並べて設置するが、5ヶ所にパネル駆動用の歯車を取り付けながら全体を組み立てた。

一方大型集熱装置の組立は、集熱パネルも一段と大きくなることから、フレームを地上で組み上げ、1基ずつクレーンでつり上げながら最後の組み付け後に、柱に取り付けていった。写真-2に大型集熱装置の組立状況を示す。全体のフレームが全て柱に固定された後、最後に反射パネルを下からはめ込んでいった。上反面のパネルはフレーム全体を反転して全ての反射パネルを取り付けた。

大型集熱装置はパネルが立ち上がると9m前後の高さになるが、軽量に製作されているためつり上げての作業では重量というより風の影響に注意しながらの作業が続いた。



写真-1 小型集熱装置の組立



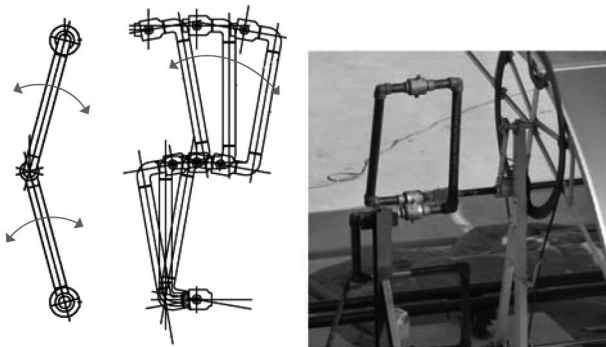
写真-2 大型集熱装置の組立

次に、大型・小型の反射パネルを組み立てた後、集熱管を取り付けた。

集熱管には反射パネルからの太陽光が集まり、内部を熱媒油が流れ計画温度 300℃ 程度までになるため、集熱管は集熱が進むにつれ温度上昇し熱膨張で長手方向に伸びる。

一方集熱装置は運転中太陽を追尾して動くため、地上に固定された熱媒油の配管と集熱パネルと共に動く集熱管と接続するには、集熱管軸周りに回転する動きと集熱管長手方向に熱伸びする動きを吸収しなくてはならない。そこで、集熱管は地上配管との接続部に両方の動きを吸収するためにそれぞれ3個の球形継ぎ手（ボールジョイント）が取り付けられている。図—2 に集熱装置の球形継ぎ手の動きと写真を示す。

また、本設備の集熱管は直線で 70 m ほどになるため複数の集熱管を真直ぐに溶接しながら接続して行かなくてはならない。これは集熱管のセンターがずれる



図—2 集熱装置の球形継ぎ手

と太陽追尾動作の時にスムーズに動作せず集熱管が振れ廻ることになり、集熱特性や機器の破損などに繋がるため、最後の集熱管取付には細心の注意が必要であった。

### (2) バイナリー発電装置の据付

バイナリー発電装置の据付状況を写真—3 に示す。バイナリー発電装置は、W2,250 mm × H2,379 mm のサイズに抑えたコンパクトユニットになっており、トラックでの輸送が可能で、配管取合いは蒸気と冷却水の出入口のみとなっており、現地施工を極力少なくした設計である。また、周辺装置もユニット化し、基本的に、搬入して据えつけるのみの工程で作業完了、その後現地で連絡配管を施工した。

### (3) バイオマスボイラーの据付

バイオマスボイラーの据付、ボイラー建屋の建設状況を写真—4 に示す。バイオマスボイラーは、装置の高さ、幅が大きく、そのままでは搬入できないため、分割して搬入した。ただ、分割を考慮された設計になっているため、最小の分割点数で搬入し据付けた。

また、燃料を湿らせない、燃焼器や缶体を冷やさない、雨天時でも運転するために、バイオマスボイラーの建屋を建築した。建屋は、建築基準法に従い建築し、バイオマスボイラーへ燃料を供給しやすくするため、ホイストクレーンを取り付けてある。サイロ投入口の位置関係から、適切な建屋の大きさを設計した。



写真—3 バイナリー発電装置の据付



写真—4 ボイラー据付、建屋建設



## 4. 耐圧力検査と油張り

### (1) 系統内圧力検査とフラッシング

各機器の組立、据付を終えると、系統内の耐圧力検査の実施と、系統内へ熱媒油や低沸点媒体を受け入れる前に系統内の清掃のためにフラッシングを実施した。

太陽熱系統で使用する熱媒油は消防法で規定する第4類第4石油類に該当するため、少量危険物貯蔵届出が必要であり、耐圧力検査は南あわじ市の条例に従い、最高使用圧力の1.5倍の空気圧で実施した。一方、バイナリー発電設備は、電気事業法に従って、最高使用圧力の1.25倍以上の空気圧で実施した。

また、耐圧力検査合格後に系統内のフラッシングを実施したが、熱媒油系統は系統内のゴミを取り除き水分を除去しないと、集熱運転で熱媒油が高温になった時点で残存水分が蒸気となり急激な体積膨張で機器の破損などの事故に繋がるため、加熱空気によるブローを実施した。加熱ブローの実施に当たっては、本設備に常設している電気加熱器を使用して空気を加熱し、仮設の空気圧縮機でブローする方法を採った。

### (2) 熱媒油の系統内張り込み

系統内のフラッシングが終了したことを受け、機器の試運転に先立ち太陽熱系統への熱媒油の張り込みとバイナリー発電系統へ低沸点媒体をそれぞれ受け入れた。

太陽熱系統の熱媒油に先の水分と共に空気が残ったままになることは、水分と同じく集熱運転時の高温時に温度上昇で急激に体積膨張することから、熱媒油張り込み中に、時間を掛け循環運転を続けながらベント弁を開けて少しずつ系統内の残存空気を抜き取った。

そして、膨張タンクの液面の変化なども合わせ監視しながら、空気が抜けたことを確認して加熱運転に入った。

## 5. 試運転の概要

据付および各種検査を終え、いよいよ試運転に入った。ここではその一例として、発電運転および太陽熱とバイオマスによる複合運転の概要を示す。

### (1) 発電運転

ボイラーの2基の蒸気を使用して、蒸気バイナリー発電機の運転を実施した。図-3に、発電運転におけるバイオマスボイラーの蒸気量と発電出力の推移を示す。

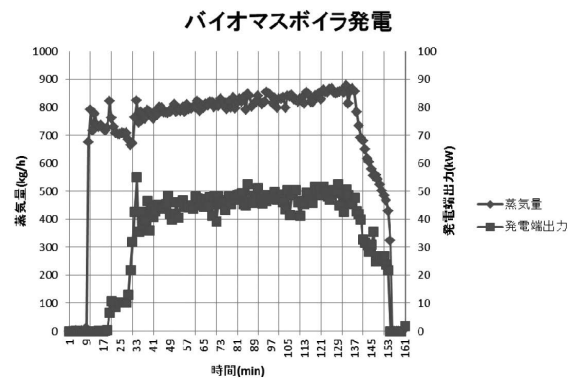


図-3 発電運転の一例

バイオマスボイラーが定格状態になったのを確認してから、蒸気バイナリー発電機を起動。発電機内の機器を暖める準備運転を行い、その後徐々にタービンにも低沸点媒体を流し始め、蒸気量に応じた発電運転に移行する。

発電出力は、蒸気量の増減に対応し増減する。蒸気量、発電量が安定していることを確認した。

### (2) 太陽熱とバイオマスによる複合試験

太陽熱とバイオマスを組み合わせた試験を、複数のパターンで実施しており、図-4にその一例を示す。太陽熱集熱装置を起動して太陽熱収集を開始すると同時に、ペレットボイラーを起動し蒸気を生成し、バイナリー発電装置を起動した。太陽位置の変化や雲がかかることによる日射量の変化に応じて、バイオマスボイラーの出力を変動させ、発電出力を50 kW程度に安定して取り出すことができた。

今後はさらに、熱を供給しながらの複合運転や、風車からの変動電力を吸収する組み合わせ運転を行う予定である。

## 6. おわりに

本試験設備は環境省の補助事業で、平成26年度末で一旦終了するが、これまでの工事計画、据付、試運転で、再生可能エネルギーである太陽熱とバイオマスバイナリー発電の組合せの有効性を実証中である。

太陽熱は、太陽光発電(PV)と異なり、雲で太陽光が遮られてもすぐには出力ゼロにはならない<sup>3)</sup>。また、発電だけでなく、熱利用もできる点が強みでもある<sup>3)</sup>。さらに、バイオマスボイラーと組み合わせることで、負荷変動を補い、熱電併給もできる。

バイオマスボイラーは、再生可能エネルギーの中でも安定した運転ができ、地産・地消で不要となっているバイオマス燃料を利用できる。

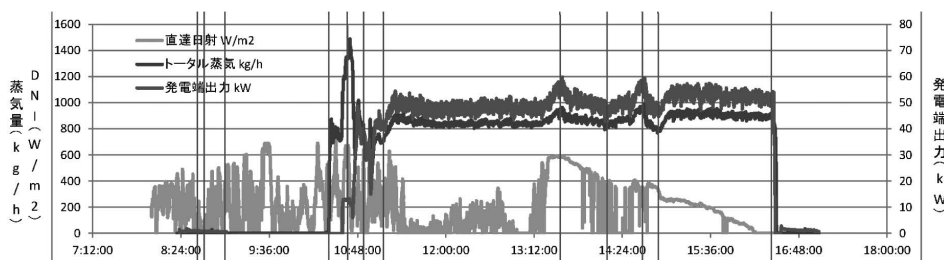


図-4 複合発電試験の一例

今後の試験の中で、太陽熱とバイオマスボイラーの複合運転、熱供給の有効性や季節変化に対する集熱特性を検証する予定である。

本設備での試験結果により、日照の比較的弱い日本においても太陽熱とバイオマスバイナリー発電の有効性が示され、今後の再生可能エネルギーの選択肢として、燃料の収集から熱電併給までを、地産・地消で活用されることを期待する。

謝 辞

本研究の実施にあたり、兵庫県と南あわじ市から「あわじ環境未来島地域活性化総合特区」の一環として、候補地の調査や地元のご協力・ご理解に対して支援を受けた。また、本研究に関して、環境省の「地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」の補助金を受けた。付記して謝意を表する。



《参考文献》

- 1) 渡辺, 沖田 「5. 再生可能エネルギーの導入 5-2 太陽エネルギー」, 火力原子力発電, No.673 Vol.63, 2012-10
- 2) 吉村省二 「スクリュウ圧縮機用歯形の研究」, 日本機械学会論文集 64巻 627号 C編 (1998) p.4380-4387
- 3) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」, NEDO 再生可能エネルギー技術白書 (第2版), 2013-12

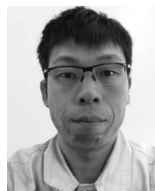
【筆者紹介】



沖田 信雄(おきた のぶお)  
 (株)東芝 電力システム社  
 火力プラント技術部  
 主幹



小山 充彦(こやま みつひこ)  
 (株)東芝 電力システム社  
 南あわじ太陽熱バイナリー発電試験所  
 所長



西村 和真(にしむら かずまさ)  
 (株)神戸製鋼所  
 南あわじ太陽熱バイナリー発電試験所  
 副所長