

低温乾燥機によるバイオマス燃料乾燥技術の確立

Establishment of Biomass Fuel Drying Technology Using a Low-Temperature Dryer

石原 晋* 山口和也* 小倉和幸** 築山 勲** 佐々木 大樹**
Shin Ishihara Kazuya Yamaguchi Kazuyuki Ogura Isao Tsukiyama Daiki Sasaki

再生可能エネルギーのひとつとしてバイオマス発電に注目が寄せられている。当社で取組んでいるバイナリ（ORC）発電は海外の中小規模の発電設備で多く採用されているが、国内での事例は非常に少ない。ORC 発電の国内での普及に向けては発電とともに発生する熱の利用、いわゆる熱電供給のシステムを構築することが重要となる。そこで本研究では、熱の利用方法のひとつとして木質バイオマスの乾燥熱源に利用を図るべく、ORC 発電において発生する温水を利用した低温乾燥機の実証試験を実施し、本乾燥機の木質系バイオマス燃料への適用について検証を行った。

Biomass power generation is attracting attention as one of the renewable energies. Binary (ORC) power generation, which we are working on, has been widely adopted in small and medium-sized power generation facilities overseas, but there are very few cases in Japan. For the spread of ORC power generation in Japan, it is important to use the heat generated by power generation, as called thermoelectric supply. Therefore, in this research, in order to utilize woody biomass as a drying heat source as one of the heat utilization methods, we conducted a demonstration test of a low-temperature dryer using hot water generated in ORC power generation, and verified the application of this dryer to woody biomass fuel.

1 木質バイオマス発電の現状

現在、脱炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギーに対する期待が日増しに高まりつつある。しかし、再生可能エネルギーは自然環境に左右されやすく、事業として予測がつきにくいという側面を持つ。その中でも環境に左右されにくく、安定した発電が維持できる木質系バイオマス発電事業が注目されている。森林にそのままにされた間伐材や、製造工場や建設現場で発生する未利用材ならびに廃材、これらを加工したペレットなどを木質系バイオマス燃料と呼び、木質系バイオマス発電所では、これらを直接燃焼もしくは、ガス化燃焼させることで発電を行う。日本において普及しているバイオマス発電の多くはバイオマスを直接燃焼し、ボイラで蒸気を発生させ蒸気タービンを回すことによって発電する直接燃焼 BTG (Boiler Turbine Generator) 方式が採用されている。本方式は規模が大きくなるほど発電効率が高くなることから、5,000 kW 以上の大規模発電設備での採用がほとんどである。BTG 方式の場合、大規模設備では発電効率が 30 % を超えるものもあるが、500 ~ 2,000 kW の中小規模設備では発電効率が 10 ~ 20 % 程度と低くなるため、一般に採用されにくい。一方、ガス化発電は小規模設備においても発電効率が 30 % 程度を有するが、ターレットラブル（燃焼に発生する高粘度液体であるターレットが炉内を閉塞させる）といった技術的課題やメンテナンス費用が高額になるといった問題も抱えている。以上は国内の事例であるが、欧州などのバイオマス先進国では、直接燃焼方式やガス化発電に加え、ORC（有機ランキンサイクル方式）を用いた発電方式が多く採用

されている。この ORC 発電は中小規模の発電設備においても 20 % 程度と比較的高い発電効率を維持し、メンテナンスや維持管理が容易という特徴がある。次項で ORC 発電について説明する。

2 木質バイオマス発電における ORC 発電

2.1 ORC 発電の概要

ORC 発電は木質バイオマスを燃焼させた熱によってタービンを回転させる点で、基本的に蒸気タービン方式と同じ仕組みであるが、蒸気タービン方式では水蒸気（水）を媒体としてタービンを回転させるのに対し、ORC 発電ではシリコンオイルなどの有機媒体を利用する点が最も異なる点である。ORC による発電は、バイオマス燃料の燃焼熱により、熱媒油を 300 °C ほど加熱し、この熱を利用して有機媒体を加熱・気化させ、これをタービン内で膨張させることで、熱エネルギーを運動エネルギーに変換し、発電機を駆動させる仕組みである。ORC 発電の概要を図 1 に示す。

ORC 発電は中小規模の発電設備においても比較的高い発電効率となっていることに加え、タービン冷却水として 80 ~ 90 °C の比較的高い温度の温水を回収することができる。この温水からの廃熱を有効利用することでシステム全体のエネルギー効率を 70 ~ 80 % まで高めることが可能である。

ORC 発電のメリットを最大限に生かすためには、発電とともに発生する熱の有効利用を図る、いわゆる熱電供給システムをいかに構築するかが重要となる。

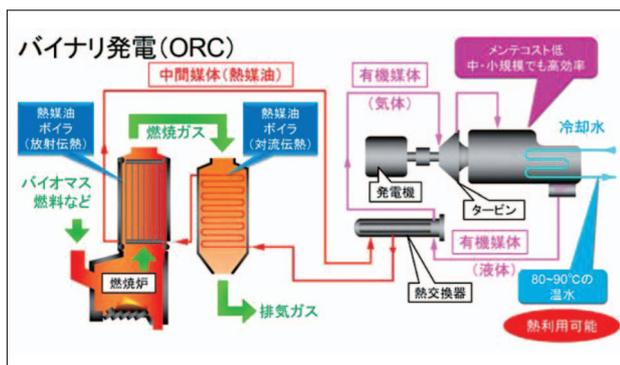


図1 ORC発電の概要

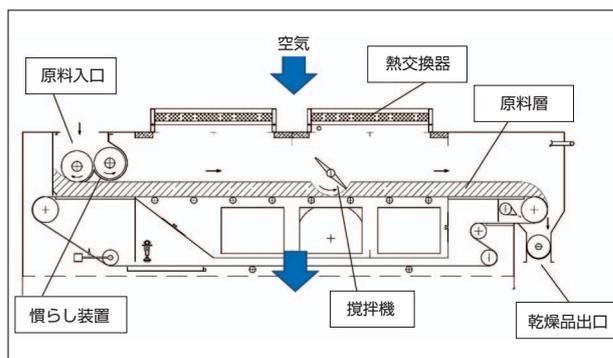


図2 低温乾燥試験機模式図

2.2 熱電供給について

ORC 発電が普及している欧州では、日本よりも気温が低く、一般家庭や企業、公共施設などへ熱供給を行うセントラルヒーティングがインフラ基盤として定着していることから、分散型の熱電供給システムを実現しやすい環境が整っている。しかしながら、日本ではこのようなインフラ基盤はなく、また熱の需要も冬季に限定されるために、莫大に発生する熱の利用先を安定的に確保することは容易ではない。これが日本で ORC 発電が普及しない要因となっている。

再生可能エネルギー発電事業の開発、発電所の建設と運営を行うジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社（以下 JRE（株）とする）では、ORC 発電設備より回収される温水の利用手段として、山林材や建設リサイクル材などをチップ化した木質系バイオマス燃料の乾燥熱源に利用することを検討している。一般的にチップ化した木質系バイオマス燃料は 50 % 程度の水分を有することから、これを乾燥させることで発電に使用する燃料使用量の削減、排ガス量の低減が可能となり、ボイラ効率の向上が期待される。また、乾燥によって原料性状の均質化を図ることも可能となる。

当社は JRE(株)と共同で ORC 発電設備によって発生する温水を熱源とする木質バイオマスの乾燥に関する共同研究開発契約を 2020 年 11 月に締結し、2021 年 2 月より茨城県小美玉市内に設置した小型実証試験設備を用いた木質チップの乾燥試験を実施した。本稿ではこの実証試験の概要ならび試験により得られた知見を報告する。

3 低温乾燥機実証試験

3.1 実証試験概要

木質チップのようなチップ状原料を低温熱風で乾燥する場合、熱風と原料が均一に効果的に接触し、かつ滞留時間を長くとれることが必要である。以上のような理由から、実証試験機にはベルトドライヤ方式を採用した。図 2 の模式図に示すように、ベルトドライヤはベルトの上に原料層を形成し、ベルトで搬送される原料層に熱風を通過させることで乾燥を行うものである。ベルト速度の調整で滞留時間の調整が容易という特徴があり、また、静置乾燥であるため、原料の粉化が進むこともなく、今

回のようなチップ状原料を低温熱風で乾燥するには最適と考えられる。

本試験は木質チップの低温乾燥において、ベルトドライヤへの熱風温度や滞留時間などの乾燥条件が乾燥性能にどのような影響を与えるか、データの取得を行うことを目的としており、実機の運転条件やスペックを決定する際の参考とする。

3.2 実証試験設備

今回の実証試験では、欧州各国において ORC 発電設備と組み合わせ実績を多数有するステラ社（STELA Laxhuber GmbH / ドイツ）製の低温ベルトドライヤを採用した。ステラ社は、ベルトドライヤ分野の専門メーカーで、100 °C 以下の温水や排熱を有効利用する低温乾燥の技術において高い技術力を持っている。低温乾燥試験機の外観を図 3 に、実証試験設備フロー図と機器仕様を図 4 および表 1 に示す。



図3 低温乾燥試験機外観

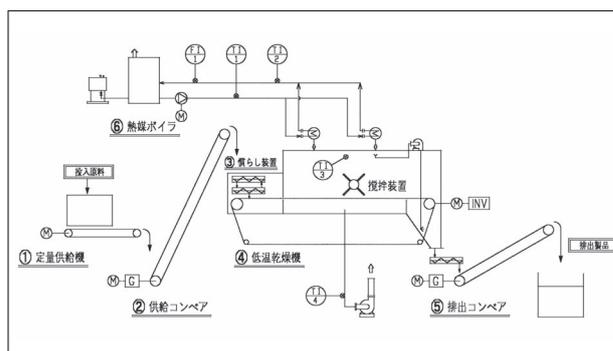


図4 乾燥実証試験設備フロー図

表1 機器仕様

	機器名称	仕様
①	定量供給機	ベルト型定量供給機
②	供給コンベア	ベルト式
③	慣らし装置	二軸スクリュウ (Φ 200)
④	低温乾燥機	ベルトドライヤ 乾燥室 W2,000 × L4,000 mm 熱交換機 175.2m ² × 2台 攪拌機 1台 (Φ 557) 排風機 1台
⑤	排出コンベア	ベルト式
⑥	熱媒ボイラ	温水ボイラ

3.3 試験方法

原料には山林材を破碎して得られた図5の木質チップ (サイズ□40～60 mm、厚み5～10 mm、計画水分50%)を用いた。図4のフローにて低温乾燥機へ原料の定量供給を行い、各種運転条件が乾燥性能へどのような影響を与えるかデータの取得を行った。乾燥機の運転方法と運転条件パラメータについて下に整理する。

<運転方法>

- ①原料入口部の慣らし装置にて原料 (木質チップ) が所定の層厚で均一になるよう形成
- ②ベルトに沿って原料が図4の左から右へと搬送され、ベルト速度で供給量を調整
- ③装置上部に設置された熱交換器で温水と空気が熱交換し、温風が原料層を通過し下方へ通過することで乾燥
- ④中央部の攪拌機で原料層の上下を反転し、乾燥ムラなく効率的に乾燥

<運転条件パラメータ>

層厚、滞留時間、風量、温度、攪拌



図5 木質チップ

3.4 実証試験結果および考察

3.4.1 層厚と滞留時間の影響

同じ供給量となるよう層厚と滞留時間を変えて蒸発水

分量の比較を行った。表2に示す通り、層厚を薄く滞留時間を短くした条件1に比べ、層厚を厚く滞留時間を長くした条件2の方が蒸発水分量が多くなっていることが分かる。さらに厚くすることも有効と考えられるが、試験機の制約上、以降はすべて層厚180 mmにて試験を行った。

表2 層厚と滞留時間の影響

	条件1	条件2
原料供給量 (kg/h)	700	700
温風温度 (℃)	70	70
滞留時間 (min)	15	30
層厚 (mm)	80	180
蒸発水分量 (kg/h)	115	178

3.4.2 滞留時間の影響

層厚一定の条件のもと、ベルト速度の調整により滞留時間を変化させ乾燥品水分、蒸発水分量への影響を確認した。その結果を図6に示す。蒸発水分量は滞留時間が15～20分程度では蒸発が進みにくく、30～40分程度で一定となった後、低下する傾向が見られた。乾燥品水分は滞留時間の増加とともに低下しているが、20%を下回るあたりで下がりにくい様子が伺える。予備試験において木質チップの定率乾燥域は20%程度までとなっていたことから、本試験結果との整合も取れる結果となった。

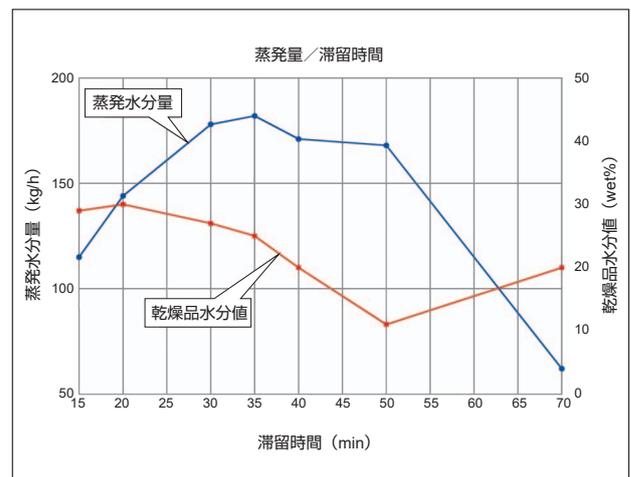


図6 滞留時間の影響

3.4.3 風量の変化による乾燥への影響

より低水分までの乾燥を行うことを目的として、滞留時間70分の条件にて、風量を変化させて乾燥品水分への影響を確認した。その結果を図7に示す。風量の増加により10%程度まで水分を低下させることは可能であった。しかしながら、この水分領域まで乾燥を行うには装置面積、ガス量が大きくなるため非効率といえる。

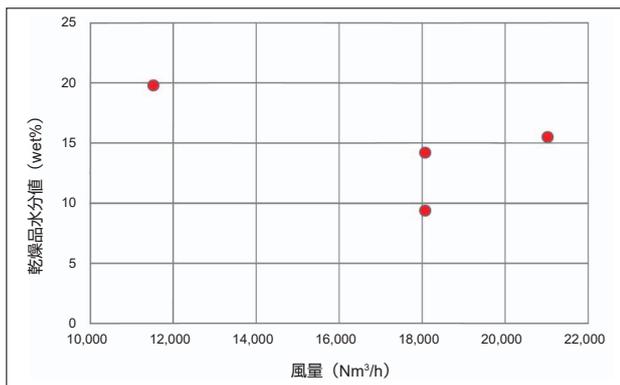


図7 風量の変化による乾燥への影響

3.4.4 風量・温度の影響

乾燥機への熱風温度、風量を変化させた場合の蒸発水分量への影響を確認するため、乾燥機入口の熱風入熱量と蒸発水分量について図8に整理した。熱風温度は50～70℃の範囲、ガス量は10,000～20,000 Nm³/hで変化させた結果を示している。

図8より本条件の範囲では熱風温度によって蒸発能力に顕著な差は見られず、蒸発量が熱風量に支配されている様子が伺えた。熱風温度が低くとも熱風量を増やすことで十分な蒸発量が得られていることから、乾燥機の熱風温度を低く設定する。すなわち、ORC発電機冷却水温を低くすることが可能となる。ORC発電機の冷却水を10℃低減できれば、およそ1%発電効率を改善できるため、システムとして非常に有効なファクターといえる。ただし、ファン動力や熱交換器サイズなど条件が変わってくるため、実設備の計画に当たっては総合的な判断が必要である。

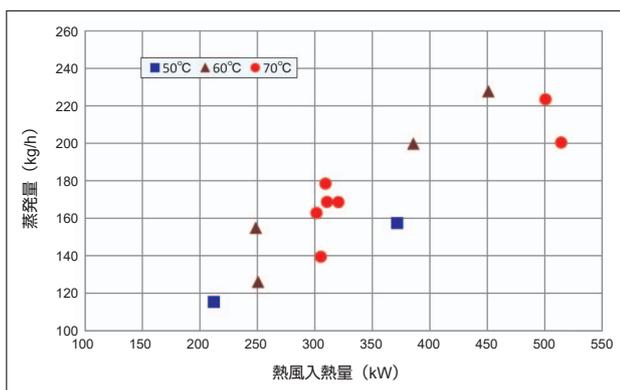


図8 熱風入熱量（風量・温度）

3.4.5 攪拌効果による水分量の変化

装置中央部に設置した攪拌機の効果を検証するため、攪拌あり、なしで乾燥品水分への影響を確認した。

結果を表3に示す。攪拌機手前の水分を見ると、上部<中部<下部となっており、上部から徐々に乾燥が進んでいることが分かる。出口での乾燥品水分を比較すると、攪拌ありの方が低水分まで乾燥している。攪拌によって原料と温風との接触が効果的に行われたものといえ、攪拌機の有効性を確認できた。

表3 攪拌効果による水分量の変化

原料水分	攪拌機前水分			乾燥品水分	
	材料槽上部	材料槽中部	材料槽下部	攪拌なし	攪拌あり
39.2 %	23.1 %	30.4 %	31.5 %	19.9 %	16.8 %

4 実設備の検討

JRE(株)が建設、運用しているJRE神栖バイオマス発電所において、実証試験で得られた木質チップ乾燥品(水分20～25%)を用いて既設の内部循環式流動床ボイラによる燃焼試験を実施した。通常の運転では平均水分30～35%の木質チップを燃焼しているが、これを全量乾燥チップに切替えた結果、ボイラ下部の温度に上昇傾向が見られる一方、フリーボード(二次燃焼ゾーン)の温度には大きな変化はなく、ボイラの望ましい燃焼バランスを維持したまま安定的に運転できることを確認した。また、燃費向上に加え、誘引ファンを始めとする所内動力削減効果についても確認した。この燃焼試験では水分20～25%の乾燥チップを用いて実施したが、乾燥チップの水分下限値を考慮しなければならない特段の制約条件は認められず、乾燥品の水分については燃料としての使用時の制約にあまり左右されるものではないことが確認された。乾燥品の水分については、使用できる熱源の大きさ、乾燥機の性能特性およびシステムとしての経済性を考慮し、総合的に判断して決定することが望ましい。

次に、乾燥機の導入により得られる効果を比較するため、乾燥あり、なしの場合で発電に必要な原料チップ量、発生する乾燥チップ量を試算した。結果を表4に整理する。試算は乾燥テスト条件と同様、原料チップの水分を50%、乾燥水分を20%、25%とした場合の試算を行った。発電に必要な原料チップの量は乾燥水分を低くするほど削減可能であり、本乾燥水分領域ではおよそ15%前後の原料削減が見込まれる。

図9に2MW発電時の燃料と消費熱量のバランスを示す。この図からも確認できる通り、2MW発電時に回収(冷却)される熱量7.5MWのうち、自己消費分の燃料乾燥に利用する熱量は3MW、約40%程度となる。残りの熱量をさらなる木質燃料の乾燥や、その他工業用原料の乾燥などに利用することが可能であり、ORC発電設備と低温乾燥技術を組み合わせることで、持続可能な社内を目指し、高効率な再生可能エネルギーの利用が期待できる。

表4 2MW発電時の木質系バイオマス燃料必要量

	水分 (%)	原料チップ必要量 (kg/h)	削減比
原料チップ	50	6,415	-
乾燥チップ	25	5,486 (3,657)	14.5 %
乾燥チップ	20	5,389 (3,368)	16.0 %

()内は乾燥後の重量

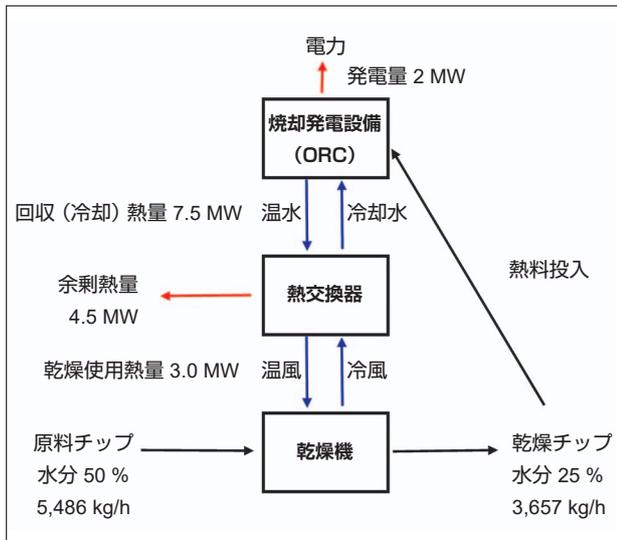


図9 2 MW発電時のバランス図

5 まとめ

ORC 発電にて発生する温水を木質バイオマスの乾燥熱源として利用することを目的に、低温乾燥機の実証試験を実施した。実証試験で得られた結果について以下に整理する。

- 1) 同一供給量において原料の層厚を薄く早く流すよりも厚く遅く流す方が乾燥しやすい結果となった。
- 2) 乾燥品の水分は 20 ~ 25 % 程度を狙うのが定率乾燥域として効率的である。また、その時の滞留時間は熱風量にもよるが、30 分前後が適当である。
- 3) 乾燥品の水分をさらに低減する目的で風量を増加することは有効であり、10 % 程度までの乾燥は可能であった。
- 4) 熱風の入熱量一定の条件において蒸発水分量は、熱風量による差は見られたが、熱風温度による顕著な差は見られなかった。より低温で乾燥を行うことで、ORC 発電の発電効率を高めることに寄与できる可能性が示唆された。
- 5) ベルトドライヤ中央部に設置した攪拌機で原料層を攪拌することで乾燥の効率化が可能であった。
- 6) 水分 20 ~ 25 % の乾燥チップを既設バイオマス発電設備の流動床ボイラへ供給しても、安定的に運転できることを確認した。また、燃費向上に加え、所内動力削減効果についても確認した。

執筆者：

石原 晋

1992 年入社

プラント設計に従事



山口和也

1997 年入社

プラント設計に従事



小倉和幸

ジャパン・リニューアブル・エナジー

株式会社



築山 勲

ジャパン・リニューアブル・エナジー

株式会社



佐々木 大樹

ジャパン・リニューアブル・エナジー

株式会社

