

小規模木質バイオマス発電技術

2015年9月
㈱F Tカーボン

再生可能エネルギーの全量買い取り制度（以下、「FIT 制度」）が改正され、発電出力2,000kW未満で間伐材等の未利用材を利用する場合の売電単価が32円/kWhから40円/kWhに引き上げられた。これにより、小規模木質バイオマス発電所の採算性は向上し、導入の促進が期待されている。

しかし、木質バイオマス発電所は、小規模の場合でも、ボイラーや発電タービンなど最低限の大きさの設備を備えることが必要であり、一定の規模以下では、設備投資額の負担が重くなる。そのため、これまでは5,000kW以上の木質バイオマス発電所が9割以上を占める。

小規模の木質バイオマス発電所を成功させるためには、設備投資額の負担感を上回る、高いランニング収入が必要となる。そのため、今般の売電単価の引き上げは、小規模の木質バイオマス発電所導入の後押しとなる。この他、効率性の高い発電技術の導入や安い燃料の利用なども、小規模の木質バイオマス発電所を成功させる条件となる。

我が国や諸外国においては、小規模の木質バイオマス発電所の採算性の課題を克服する方法として、発電効率の高い発電技術、熱電併給による総合エネルギー効率を向上させる発電技術、あるいは、燃料コストの安い排熱を利用する発電技術などが考案、導入されてきた。

5,000kW以上の木質バイオマス発電の発電技術は、実績が豊富な蒸気タービン方式が大半であるが、2,000kW未満の木質バイオマス発電の発電技術は、さまざまなものがあり、これらについて紹介する。

(1) 小規模発電技術の概要

2,000kW 以下の小規模発電技術は、以下の 5 つがある。

大規模バイオマス発電所で導入され、豊富な実績がある「蒸気タービン」、FIT 制度の前身の RPS 制度時に導入され、優れた発電効率で従来から注目されている「ガス化」、欧州で導入され、総合エネルギー効率の高さから注目されている「ORC」、減圧プロセスや余剰熱エネルギーのある各種工場で導入され、少ない蒸気量でも発電できることで注目されている「蒸気スクリュ」、地熱発電で導入され、低い温度でも発電できることで注目されている「温水バイナリー」がある。

表 1 各種小規模発電技術の概要

	蒸気タービン	ガス化	ORC	蒸気スクリュ	温水バイナリー
	発電専用	発電専用	熱電併給	熱電併給	熱電併給
適正発電規模	1,300kW～	300～2,000kW	600～3,000kW	100～200kW	20～60kW
熱エネルギー発生技術	蒸気ボイラー	ガス化炉	熱媒ボイラー	蒸気ボイラー	温水ボイラー
発電技術	蒸気タービン	ガスエンジン	蒸気タービン	蒸気タービン(スクリュ式)	蒸気タービン
導入検討中、導入実績のある主要ボイラー(ガス化炉)メーカー	タクマ よしみね	JFE(バブコック&ウイルクックスフェルント) ZEエナジー等	協和エクシオ(ポリテクニク)	タカハシキカン	コールパツハ
主要発電機メーカー	シンコー 新日本造機	GEイエンパツハ	三菱重工(ターボデン)	神戸製鋼	神戸製鋼 IHI
発電効率	18%	30%	16%	2%	2%
所内消費電力(対発電出力比)	15%	15%	25%	10%	40%
実質発電効率	15%	25%	13%	2%	1%
導入事例	長野森林資源利用協同組合(1,500kW)等複数	やまがたグリーンパワー(2,000kW)等複数	導入事例なし	二宮木材(160kW)等多数	会津高原リゾート(45kW)地熱発電多数

(注1)バブコック&ウイルクックスフェルント(デンマーク)、ポリテクニク、コールパツハ、GEイエンパツハ(オーストリア)、ターボデン(イタリア)
(注2)発電効率、所内消費電力は一般的な数値で、メーカーや発電システムによって異なる

小規模発電技術は、ボイラーやガス化炉で熱やガスを発生させることが基本であるが、熱の二次利用あるいは低温で発電する技術では、別の系統システムに熱交換し、2つの系統システムを使って発電するシステムを採用している。

また、熱電併給の熱利用方法は、排熱を利用する方法と冷却システムで発生する熱を回収する方法がある。

表 2 各種小規模発電技術の発電方法と熱の利用方法

	蒸気タービン	ガス化	ORC	蒸気スクルー	温水バイナリー
発電方法	①ボイラーで、木質燃料を燃焼し、水を蒸発 ②蒸気タービンで発電	①ガス化炉で、木質燃料からガスを生成 ②ガスエンジンで発電	①ボイラーで、木質燃料を燃焼し、熱媒油を加温 ②熱媒油の熱で高分子有機媒体を蒸発 ③蒸気タービンで発電	①ボイラーで、木質燃料を燃焼し、水を蒸発 ②蒸気タービン(スクルー式)で発電	①ボイラーで、木質燃料を燃焼し、温水を生成 ②温水の熱で低沸点有機媒体を蒸発 ③蒸気タービンで発電
一般的な熱電併給方法	冷却システムで熱を回収できるが、温度が低いいため、一般的に二次利用しない	排気ガスの熱を回収し、燃焼ガス等の余熱に利用	冷却システムで熱を回収し、温水利用等でプロセス利用	排蒸気を木材乾燥等でプロセス利用	排温水を温水利用等でプロセス利用 冷却システムで熱を回収できるが、一般的に二次利用しない

(2) 各種小規模発電技術

①蒸気タービン

- ❑ 水を蒸発させて、蒸気ので発電する技術。
- ❑ 【復水型】水をクローズドなシステムでサイクル利用することで高効率化。
- ❑ 【背圧型】発電利用後の排熱をプロセス利用することで、総合エネルギー効率が向上。ただし、発電効率は低下。
- ❑ 蒸気を水に戻す際に、水冷式では温水が発生、空冷式では温風が発生。

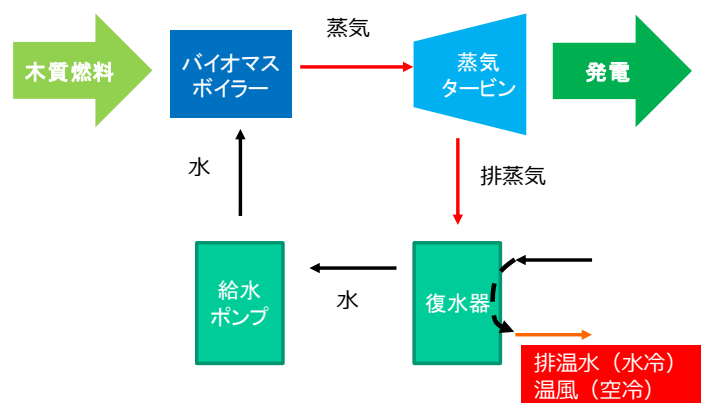


図 1 蒸気タービン式（復水型）の発電システム

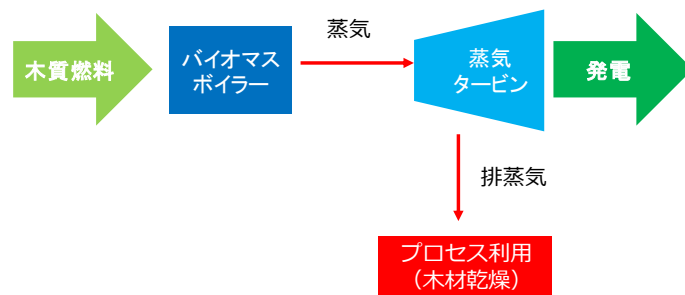


図 2 蒸気タービン式（背圧型）の発電システム

②ガス化

- ❑ 燃料からガスを発生させて、ガスで発電する技術。
- ❑ 発電機はガスエンジンを採用。
- ❑ タービン方式に比べて、燃焼温度が高温のため発電効率が高く、燃料ガスの変動による発電効率の低下も小さい。
- ❑ 燃料ガスは高温の排ガスとして排出され、ボイラーなどの熱回収装置を設置することで、蒸気、温水などの熱の二次利用が可能。

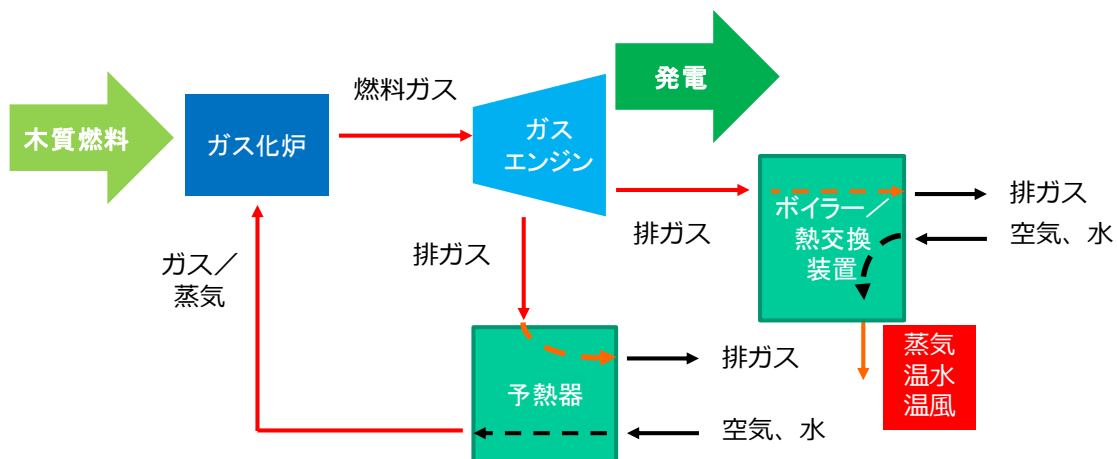


図 3 ガス化の発電システム

③ORC(Organic Rankine Cycle)

- ❑ 高分子有機媒体（シリコンオイルなど）を蒸発させて、蒸発させた気体で発電する技術。
- ❑ 有機媒体をクローズドなシステムでサイクル利用することで高効率化。
- ❑ 水よりも体積流量の多い高分子有機媒体で、タービンを回転させることで、低負荷の発電が可能
- ❑ 有機媒体の蒸気を液体に戻す際に、高温の温水が発生（有機媒体の冷却水（戻り温水）が高温になり、温水としてプロセス利用できる）。
- ❑ 他の発電技術に比べて、発電利用後の熱温度が高いため、熱を二次利用しやすい。

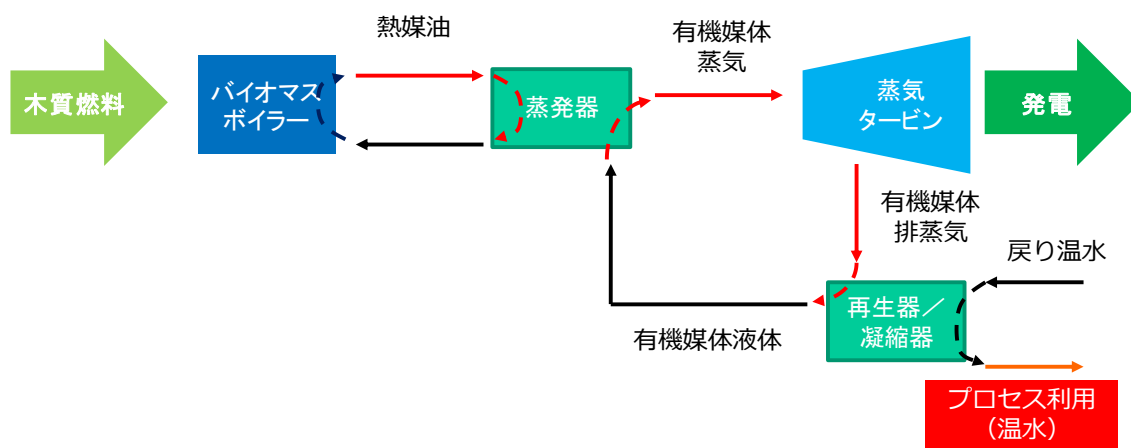


図 4 ORC の発電システム

④蒸気スクリュ

- ❑ 水を蒸発させて、蒸気ので発電する技術。
- ❑ 蒸気の減圧エネルギーや余剰蒸気を利用して発電。
- ❑ スクリュ式の発電技術により、少量低圧な蒸気でも発電可能。
- ❑ 発電利用後（減圧後）の蒸気を木材乾燥等に二次利用可能。

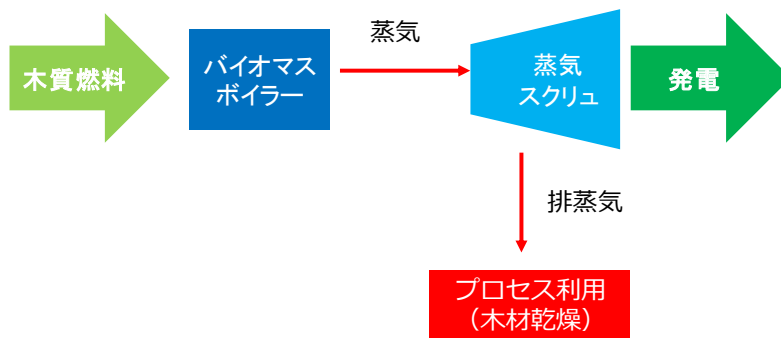


図 5 蒸気スクリュの発電システム

⑤温水バイナリー

- ❑ 低沸点有機媒体（フロンなど）を蒸発させて、蒸発させた気体で発電する技術。
- ❑ 温水の降温エネルギーを利用して発電。
- ❑ 有機媒体をクローズドなシステムでサイクル利用することで高効率化。
- ❑ 発電利用後（降温後）の温水を加温や給湯用の温水として二次利用可能。

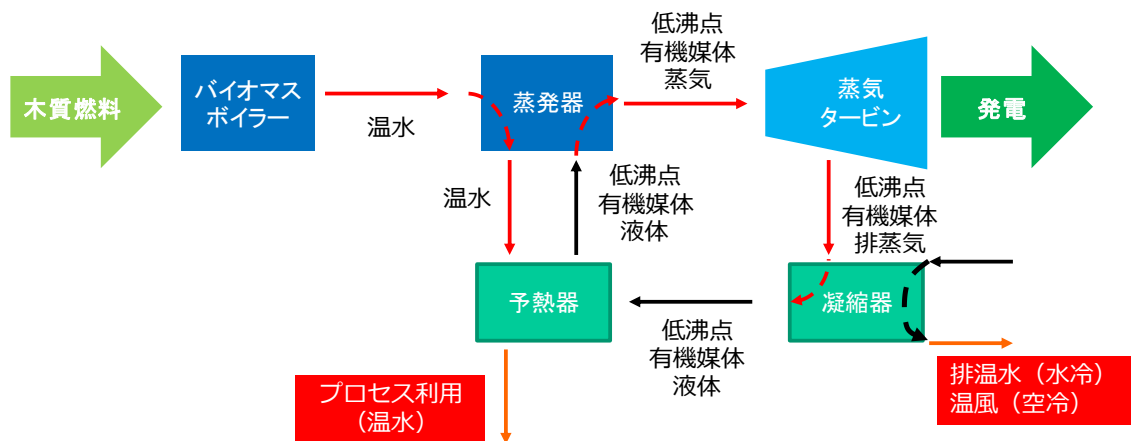


図 6 温水バイナリーの発電システム

(3) 各発電技術の特徴

- 蒸気タービン発電は、大型バイオマス発電所における実績が豊富で、技術的に信頼できる。しかし、小規模や低負荷運転になると、発電が不安定となり、発電効率が落ちるため、最低でも、年間チップ使用量として 2.5 万 t 以上を安定的に確保することが必要。発電後の排熱の利用も可能だが、発電効率の低下を伴うため、発電と排熱利用の収益バランスが必要となる。
- ガス化発電は、発電効率が高く、また、熱需要がなく、年間チップ使用量が 5,000 トン程度と少量でも、安定的に発電できれば、収益の確保が可能である。一方で、設備投資額が比較的高いため、安定的に発電できない場合には、投資回収が困難となる。効率的なガス化、寸法や低い水分率など高い要求品質の燃料の製造、副産物タールの除去作業の効率化など、安定的に発電させるための創意工夫や維持管理が必要となる。
- ORC は、熱需要が大量にある場合に優位性がある。発電後の排熱の温度が高いため、熱の二次利用ができる。ただし、熱入力温度も高く、燃料使用量は比較的多い。設備投資額が比較的高いため、収益性を確保するためには、豊富な熱利用量が条件となる。200 万 kcal/h 以上の熱需要が必要で、大型のリゾート温泉程度の規模が必要となる。発電システムに工夫がされているため、低負荷運転でも発電効率は落ちない優位性がある。ただし、通常運転の発電効率はそれほど高くないため、発電単体での収益性の確保は難しい。
- 蒸気スクリュは蒸気需要がある場合、温水バイナリーは温水需要がある場合に、導入しやすい。低温の蒸気や温水でも発電できるため、既存システムの減圧プロセスや降温プロセスの代替手段として発電利用できる。また、少量のエネルギーでも導入できる。設備投資額が高く、発電効率も低いため、収益性を確保するためには、低コストの燃料 (or 既存プロセスの代替手段で追加コストが少ないこと) が条件となる。

(4) 小規模発電技術の導入モデルと課題

各種の小規模発電技術の導入の狙いや観点は、各々異なっており、導入場所の条件に応じて、発電技術を選択することが望ましい。小規模発電技術は、熱需要の存在、運転管理負荷への対応可能性など、導入場所の立地条件やニーズで決まることが多い。

表 3 小規模発電技術の導入モデルと課題

	蒸気タービン	ガス化	ORC	蒸気スクルー	温水パイナリー
導入の狙い	売電収入の安定性	売電収入の大きさ	売電・売熱のダブル収入	低コスト・低温の蒸気の有効利用	低コスト・低温の温水の有効利用
適した導入ケース	年間チップ使用量2.5万トン以上 運転維持管理者が常駐	燃料の品質が安定 運転維持管理者が常駐	温水の利用先がある 低負荷運転を想定 運転管理負荷の低さを重視	蒸気ボイラーの更新時期 蒸気の減圧プロセスがある 木質燃料コストが安価 運転管理負荷の低さを重視	温水の利用先がある 木質燃料コストが安価 運転管理負荷の低さを重視
課題	運転管理負荷が大きい 燃料供給の安定性が必要(低負荷運転困難)	運転管理負荷が大きい 停止事例が多い	実績がない 採算の不確実性(熱電収支バランス) 熱利用量の多さ	既設プロセスの利用可能性 燃料供給の安定性が必要(低負荷運転困難)	既設プロセスの利用可能性 採算の低さ

(5) 検討フロー

各発電技術は、燃料使用量、熱需要、燃料コストなどで条件や制限がある。熱需要の有無を中心に、以下のように、発電技術を検討することができる。

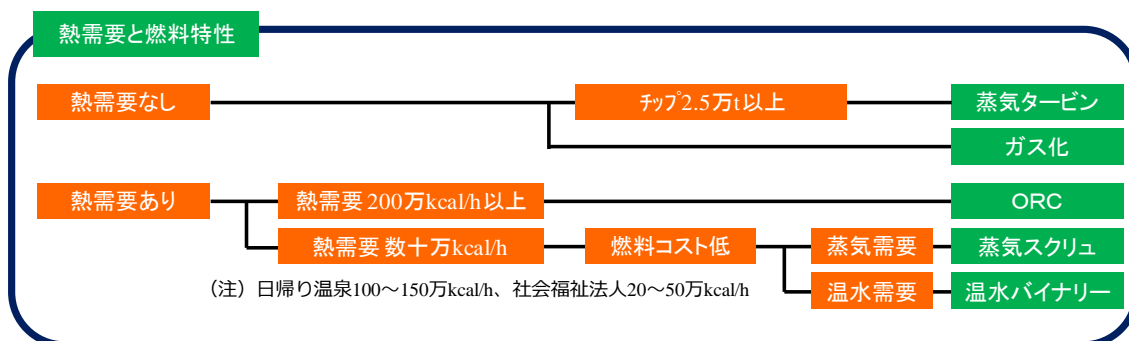


図 7 熱需要と燃料特性の面からの検討フロー

また、小規模発電の場合、維持管理コストも重要な検討事項となる。

電気事業法の対象の有無や維持管理コストから、以下のように、発電技術を検討することができる。

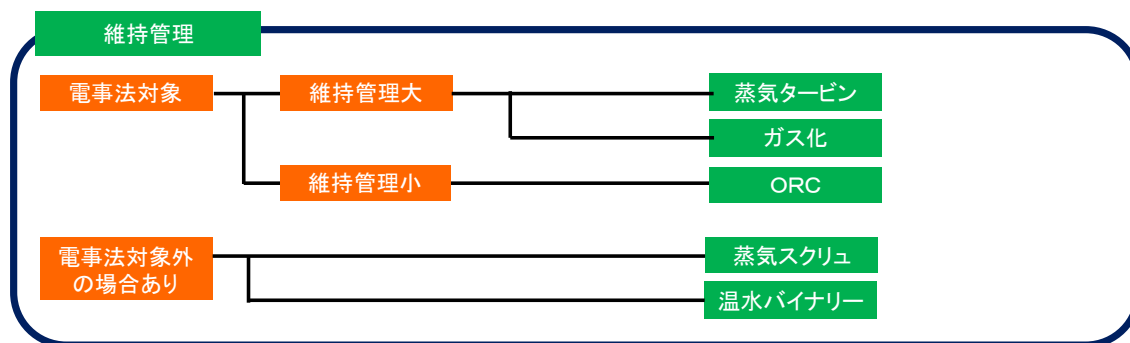


図 8 維持管理の面からの検討フロー

(6) FIT 制度の売電ルールと小規模発電技術

小規模の発電技術を選択する場合には、我が国の FIT 制度の売電に関するルールについても、十分に理解することが必要である。諸外国でも同様の FIT 制度が導入されているが、我が国の制度と異なる点がある。特に、海外製の技術を導入する際には、諸外国で導入されたケースと我が国で導入されるケースでは、採算性のベースが異なることに注意しなければならない。また、FIT 制度の前身の RPS 制度とも売電ルールが異なるため、RPS 制度の実績を参考にする場合には注意が必要である。

①設備補助金を受けることができないため、設備投資額が高い発電技術は事業リスクが比較的大きくなる

FIT 制度では発電設備に対して補助金を受けることができない。そのため、発電効率や総合エネルギー効率が良い代わりに、設備投資額が高い発電技術は要注意である。同じ投資収益性の場合、設備投資が高く優れた発電技術は、設備投資額が小さい低廉な技術に比べて、(燃料調達の不足、燃料価格の高騰、燃料の不具合などの) 事業リスクが大きくなる。

RPS 制度では設備補助金を受けることができたため、RPS 制度の際に導入された発電技術を参考にする場合には、過去の事例の設備補助金の有無について確認することが必要である。

②発電に伴う所内消費電力は木質バイオマス発電の電力を利用するため、所内消費電力が多い発電技術は注意が必要

FIT 制度の売電量は、発電に伴う所内消費電力を除いた発電量(送電端出力)となる。木質バイオマス発電は所内消費電力が大きいので、発電端出力と送電端出力は大きく異なる。発電性能を良くするために複雑な熱交換技術を用いている場合など、所内消費電力の割合が高い発電技術は、収益性を計算する際に要注意である。

諸外国の制度では、発電端出力を売電量としている場合が多く、外国メーカーの発電技術を導入する際には、諸外国の収益条件と日本の収益条件が異なることに要注意である。

※送電端出力の場合(日本)、所内消費電力コストは FIT 制度の売電価格の 40 円/kWh と高い電力コストとなるが、発電端出力を適用できる場合(諸外国)、所内消費電力を別途電力会社等から購入し、所内消費電力コストを安くすることができる(日本の産業用買電コストは 15 円/kWh 程度)。

③発電に伴う排熱利用に対する優遇措置がないため、排熱利用が前提の発電技術は注意が必要

FIT 制度は、発電に対する優遇措置のみで、排熱利用した場合の優遇措置がない。

排熱を利用することで、設備投資額が増える発電技術や、排熱を利用することで発電効率が低下する発電技術は要注意である。 発電側の収益性の悪化と排熱利用側の収益（従来の熱発生源の燃料コストの削減額）の増加による収支バランスの確認が必要となる。

ドイツの FIT 制度では、熱電併給の優遇措置があるため、ドイツにおける導入実績を参考にする場合は要注意である。

以上