

エネルギー自立型サステナブル研究施設 ー木質バイオマスガス化 CHP を利用した エネルギー自立型自家消費システムー

元田 治・平原 美博・清水 昭浩
木村 健太郎・羽鳥 大輔^{*1}・武藤 友香^{*1}

The Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center - Energy Self-Sufficient System Using Combined Heat & Power System (CHP) of Woody Biomass Gasification Type -

Osamu Motoda・Yoshihiro Hirahara・Akihiro Shimizu
Kentaro Kimura・Daiduke Hatori・Yuka Mutoh

高砂熱学イノベーションセンターでは「エネルギー自立型」「サステナブル」を実現するために太陽光パネル（200kW）や蓄電池、地下水熱利用などのクリーンエネルギーが採用されており、その中でも超小型木質バイオマスガス化 CHP（Combined Heat & Power）は重要な役割を果たしている。通常の CHP では、電気とともに生産される熱を処理できない場合、エンジンが冷却されないため発電機を停止する必要があるため、熱負荷の少ない夜間の運転は難しい。しかしながら、燃料である木質チップの含水率を低くする必要のある木質バイオマスガス化 CHP は、生産される熱を自身の燃料の乾燥に用いることで安定した熱負荷を得ることができ、24 時間の安定稼働が可能となる。本稿では、当イノベーションセンターに導入したこの木質バイオマスガス化 CHP を主力電源としたエネルギー自立型の自家消費システムを紹介する。

1. はじめに

高砂熱学イノベーションセンター（以降、本施設）では、超小型木質バイオマスガス化 CHP（以降、バイオマス CHP）を主力電源としたエネルギー自立型の自家消費システムを構築している^{1) 2)}。このバイオマス CHP の燃料は木質チップであるため太陽光発電とともに創エネルギーは全て再生可能エネルギー由来となっている。さらには、温熱源として蒸気供給を行うバイオマスペレットボイラ（以降、バイオマス蒸気ボイラ）も導入している。本稿では、本施設に導入されているバイオマス^{*2}をエネルギー源としたバイオマス CHP を用いた 24 時間安定稼働可能なエネルギー自立型の自家消費システムおよびバイオマス蒸気ボイラについて紹介する。

2. バイオマス CHP の導入と選定の経緯

※2020 年度空調和衛生工学会講演論文を加筆修正したものである。

*1 株式会社三菱地所設計

*2 バイオマス：再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの。廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス（林地残材等）、資源作物がある。農林水産省 HP より

2.1 導入経緯

本施設は実験装置を 24 時間稼働させる可能性がある研究施設であることから、24 時間安定稼働ができる主力電源装置が必要であった。加えて、ZEB 化を実現するため環境負荷の少ない 100%再生可能エネルギーを作ることができる、太陽光発電および木質バイオマス燃料にしたバイオマス CHP（表 1）を採用することとした。再生可能エネルギーである木質バイオマスを利用した発電設備は、国内では FIT（固定価格買取制度）を活用した売電目的の発電所での採用実績は数多くあるが、施設での自家消費を目的とした採用事例は希少であり、今回採用したメーカーにおいては国内では初めての導入である。

表 1 ZEB における自立型電源の比較

	太陽光発電	バイオマスCHP	コージェネレーション (ガス・油利用)
環境負荷	○	○	△（化石燃料）
導入の容易性	○（適用可能な場所が多い）	△（燃料の調達条件により立地条件に制約がある）	○（適用可能な場所が多い）
メンテナンス性	○	△（定期的な保守が必要）	
周辺環境への配慮	○	△（騒音、排気ガス等に対する配慮が要）	
設置スペース	△	○	
電源としての安定性	△（天候により出力が不安定、連続稼働は不可）	○（外気条件等による運転の制限がない、24時間連続運転が可能）	
イニシャルコスト	○	△	
ランニングコスト	○	△（燃料・運搬費、メンテナンス費）	

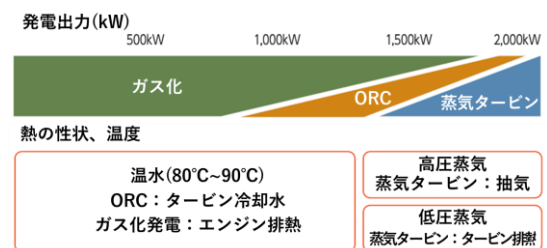


図 1 木質バイオマス発電の比較³⁾

2.2 バイオマス発電方式

木質バイオマス発電では、図 1 に示すように発電出力が大きい場合は燃料の燃焼より発生する蒸気を利用する蒸気タービン方式や ORC（オーガニックランキンサイクルシステム）方式が主流であり、蒸気タービン方式は発電所向け、ORC 方式は熱需要の高い欧州で地域熱供給に利用されることが多い。一方、燃料を加熱して生成した可燃性ガスを利用するガス化発電（ガスエンジン方式）は、蒸気タービン方式等比べて小規模でも発電効率がいため、電力需要の小さい施設に利用されることが多い。そのため、本施設では、建物規模や発電効率等を考慮してガス化発電方式のバイオマス CHP を採用した。以降では、本施設におけるバイオマス関連のシステムの概要、設備機器の構成やフロー、導入に当たっての課題と対策について述べる。

3. バイオマス CHP を利用したシステムの概要

3.1 バイオマス CHP 本体の概要

本施設では、実験装置を含めて夜間、休日でも 70kW 程度の電力負荷が想定されるため、燃料調達の容易性、機器の信頼性、安定性等を考慮して、表 2 に示すように欧州を中心として採用実績の多い木質チップを燃料としたバイオマス CHP 40kW×2 台を採用した。バイオマス CHP 本体の機器フロー、外観およびエネルギーフローを図 2~4 に示す。ガス化炉に投入された木質チップは、高温で熱分解、酸化処理され可燃性ガスを生成する。高温の可燃性ガスはクーラで冷却、ガスフィルタで不純物を除去された後、ガスエンジンに投入され発電に使用される。この時、クーラやエンジンの冷却に使用して加熱された冷却水は、熱交換器を介して温水として供給される。投入されたエネルギーのうち、電気として使われるものは 22%、熱としては最大 56%（図 4）であるが、総合効率を設計仕様値 78%まで上げるためには、熱の利用先の確保が課題である。本施設では熱の 24 時間利用を可能とし総合効率 78%を目指したシ

システム構築を計画した。

3.2 バイオマス CHP 導入における課題と対策

バイオマス CHP の燃料として使用する木質チップに関しては、機器本体の安定稼働のために表 2 に示すようにサイズや含水率等、高い燃料品質が要求されている。バイオマス CHP 導入に当たっては、機器本体の要求仕様を含めて表 3 に示すような課題が挙げられた。ここでは、バイオマス CHP 導入に当たってのこれらの課題の概要とそれに対する対策について述べる。

表 2 採用したバイオマス CHP の機器仕様

型 式	台数	仕 様	備 考
バイオマス ガス化 発電機	2	供給電力：40kW 熱供給能力：100kW 温水温度 85℃ 温水流量 4,500L/h 燃料条件：種類 スギ、ひのき、 広葉樹等 形状 切削チップ サイズ 長さ 63mm以下 厚み 15mm以下 含水率 15%wb [※] 以下 かさ密度 0.1～0.2t/m ³ 燃料消費量：37kg/h (含水率 15%wb基準)	最大稼働時間： 7,800h/年 発電効率：22% 総合効率：78%

$$\text{※\%wb} = \frac{\text{湿量基準含水率}}{\text{(ウエットベース)}} = \frac{\text{水分重量}}{\text{木材乾燥重量 + 水分重量}} \times 100$$



図 2 バイオマス CHP 外観

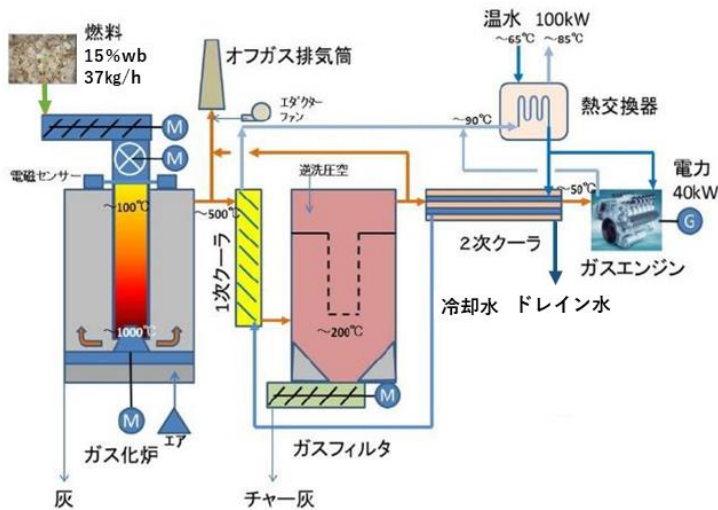


図 3 採用したバイオマス CHP の機器フロー⁴⁾

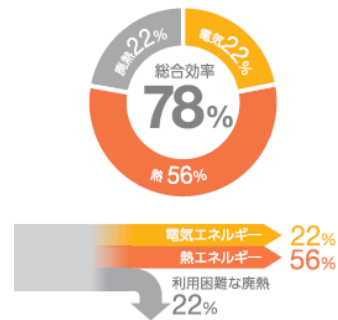


図 4 バイオマス CHP のエネルギーフロー⁴⁾

表 3 バイオマス CHP 導入における課題と本施設での対策

課題	対策
燃料の安定供給	県内でチップ製造を行う製材会社を選定
燃料の形状、サイズに関する要求品質	ふるい機を設置し適合しない微粉等を除去
熱需要の確保	発生する排熱は、昼間は空調や給湯に使用、夜間は木質チップの乾燥工程で利用することにより安定稼働を実現
燃料の含水率に関する要求品質	乾燥ラインを2工程とし低含水率チップを製造
メンテナンス性の確保	定期的な保守サイクルを確保しつつ安定した連続稼働を行うため2台並列

(1) 燃料の安定供給

燃料の安定供給及び、運搬コストの低減、地産地消による地域貢献の観点から、調達先として本施設が立地する茨城県内でチップ製造を行う製材会社を選定した。燃料の貯蔵は、調達先からの供給が止まる土日を含んでも影響のない量を確保するため、ウェットサイロで約4日分の貯蔵が可能な容量とした。

(2) 燃料の形状、サイズに関する要求品質

形状の安定しない燃料はコンベアやスクリーン等の供給・搬送系統のトラブルを招く恐れがある。今回採用したバイオマス CHP では、燃料のサイズに関して、長さ 63mm 以下の切削チップで、範囲は 16mm～50mm が 80%超、樹皮は混入なしという要求品質となっている。通常の供給品では規格外のチップも含まれるため、当システムでは後述の二次乾燥機の前にふるい機を設置し、適合しない微粉やチップ等を除去することとした。

表 4 乾燥システムの仕様

型 式	台数	仕 様	機 能
バッチ式 一次乾燥機	1	乾燥能力：200kg/h 含水率：50%wb → 25%wb	二次乾燥機の排熱使用量により変動する余剰排熱を利用し乾燥を行う
連続式 二次乾燥機	2	乾燥能力：37kg/h 含水率：30%wb → 15%wb	バイオマスCHPの投入前に基準の含水率15%wbに低減する

(3) 熱需要の確保

バイオマス CHP より発生する排熱 200kW（100kW×2 台）は、昼間は夏期のデシカント外調機のロータの再生用や冬期の暖房、給湯に使用されるが、空調設備が停止する夜間は建物に熱需要がなくなる。そのような際に、通常の CHP では熱を処理できなければエンジンの冷却ができなくなって発電機を停止する必要がある。バイオマス CHP を用いて自身の燃料となる木質チップの乾燥工程を夜間に設けることで 24 時間の安定稼働を可能とした。

(4) 燃料の含水率に関する要求品質

含水率の高いチップが混入した場合、ガス化炉底部の温度が下がりタールが燃え尽きずにクリンカと呼ばれる塊状物が発生する。クリンカはガス化炉へ付着し燃焼スペースや燃焼灰排出のスペースを塞いだり、エンジン内に流入し機器に固着し破損につながるといったトラブルの原因となる。そのため、今回採用したバイオマス CHP では投入するチップの含水率は 15%wb 以下という厳しい要求品質となっている。一方、間伐材を原料とした木質チップは、含水率が 50%wb 前後と高く、バイオマス CHP に燃料を投入する前に別途乾燥工程を設ける必要がある。そこで、木質チップの乾燥熱源にバイオマス CHP の排熱を活用し、乾燥ラインはバッチ式の一次乾燥と連続式の二次乾燥の 2 工程とした。表 4 に一次、二次乾燥機の仕様を示す。一次乾燥機は木質チップの含水率を 50%wb から 25%wb にまで低減しドライサイロに貯留する。その後、二次乾燥機はバイオマス CHP の稼働と連動して含水率を 30%wb から 15%wb まで低減し、バイオマス CHP の運転に必要な乾燥チップを供給する。ここで、二次乾燥機の入口含水率を 30%wb としているのは、ドライサイロでの貯留中に外気条件により含水率が上昇することを想定したためである。

(5) メンテナンス性の確保

バイオマス CHP では、定期的な保守が必要とされている。採用したバイオマス CHP は、24h 稼働した場合 25 日間（600h）に 1 回の定期保守が必要となる。定期的な保守サイクルを確保しつつも安定した連続稼働を行うために、バイオマス CHP を 2 台並列設置するとともに、2 台の機器を同時に停止することのないよう保守の周期を 1 週間ずらした計画としている。また、定期保守時や 2 台同時に故障が発生しても昼間の熱負荷に対応できるように、別途設置したバイオマス蒸気ボイラ（詳細は後述）で温水供給をバックアップしている。

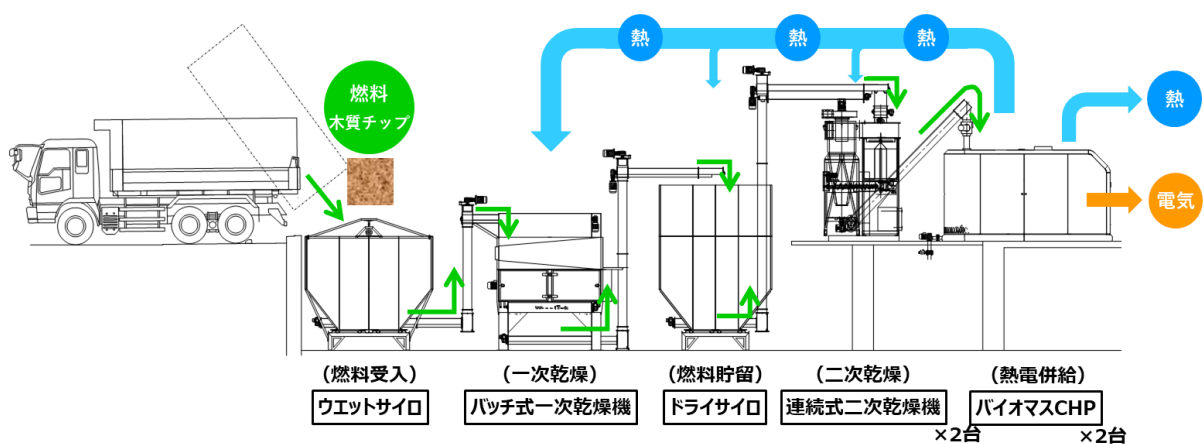


図5 燃料供給システムの全体フロー

3.3 エネルギー自立型自家消費システム

(1) システム概要

3.2 の対策を踏まえて本施設に導入した 24 時間安定稼働を実現するエネルギー自立型自家消費システムの燃料供給の全体フローを図5に示す。トラックで搬入された木質チップはウエットサイロに投入され、パッチ式一次乾燥機で乾燥されドライサイロに貯留される。貯留されたチップはバイオマス CHP の稼働に合わせて連続式二次乾燥機で乾燥され、バイオマス CHP のガス化炉に投入される。投入された木質チップは、高温で熱分解、酸化処理され可燃性ガスを生成し、ガスエンジンの燃料として消費され発電が行われる。バイオマス CHP で発電が行われた際に、電気と熱が発生する。電気は日中は空調に、夜間は 24 時間稼働させる実験装置や蓄電に使用される。熱は日中は空調や給湯に、夜間はチップの乾燥工程（一次乾燥機、ドライサイロ、二次乾燥機）に用いられる。

(2) 太陽光発電との発電量比較

本システムの定格出力は電力 80kW、熱 200kW であるが、年間 7,800 時間（メーカー公表の最大稼働時間）のフル稼働を想定した場合、設備稼働率は 89%、最大で電気 62.4 万 kWh/年、熱 156 万 kWh/年の熱電併給が可能となる。本施設に別途設置されている太陽光発電は、出力 200kW に対して設備稼働率は約 10%とすると年間の発電量は約 20 万 kWh である。両者を比較するとバイオマス CHP は太陽光の 4 割の出力で、年間約 3 倍の発電量となる。

(3) 買電とのコスト比較

電力会社からの買電とのコスト比較を表5に示す。バイオマス CHP の燃料消費量は高含水率の切削チップ（含水率 50%wb）62.9kg/h で、チップ価格が 10 円/kg の場合、ランニングコストは 629 円/h となる。ランニングコストのみで比較すると買電に比べてバイオマス CHP の方が 3 割ほど有利となり、排熱を加味するとさらに有利となる。しかし、保守費用やイニシャルコストの増加を考慮した LCC 比較では買電の方が優位であり、低コスト化は課題の一つである。今回の導入を機に、顧客の要求に応じて木質バイオマスを含む再エネ電源の利活用を提案でき、システム構築できれば当社にとっては優位性の確保につながるものと思われる。

表5 買電とのコスト比較

		バイオマスCHP	買電
チップ	投入量	62.9kg/h ^{※1}	—
	出力	40kW ^{※2}	40kW
電気	時間あたり ランニングコスト	629円 (10円/kgの場合)	880円 (22円/kWの場合)
	出力	100kW ^{※2}	—
熱	ランニングコスト	発電時の排熱のため0円	—

※1：含水率50%の切削チップの場合

※2：バイオマスCHPの1台あたりの出力（電気：40kW、熱：100kW）

4. バイオマス蒸気ボイラ

本施設では、バイオマス CHP のバックアップと実験用の蒸気供給を目的として、バイオマス蒸気ボイラが導入されている。バイオマス蒸気ボイラは、換算蒸発量で 500kg/h×1 台、木質ペレットを燃料とするタイプである。燃料をペレットとしたのは、木質ペレットに限らず草本系の資源作物であるエリアンサスをペレット化して利用することを想定しているためである。

エリアンサスとは、東南アジアを始め熱帯・亜熱帯地域に自生するイネ科の草本である（写真 1）。農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）及び、国際農林水産業研究センターで共同開発された品種である「JES1」（農林水産省品種登録番号 27533 号）は、種子を作ることがないため雑草化せずに栽培可能（日本では九州以北、東北南部以南で栽培可）な草本として品種登録されている。多年生で毎年 4m ほどの高さまで成長し、栽培コストがかからず、木質ペレットと同等の熱量があるため、耕作放棄地や休耕地の活用により計画栽培のできるバイオマスとしてその利用が期待されている。本施設では 2020 年 5 月に敷地内圃場にエリアンサスを定植し（写真 2）、約 9 ヶ月で 2m を超える高さにまで成長している。今後、2021 年 3 月に収穫し本施設に設置されているペレット製造装置でペレットにし、バイオマスボイラで消費するペレット燃料の一部として利用する予定である。



写真 1 成長したエリアンサス⁵⁾



写真 2 本施設でのエリアンサスの栽培（左より 2020 年 5 月、2020 年 9 月、2021 年 1 月）

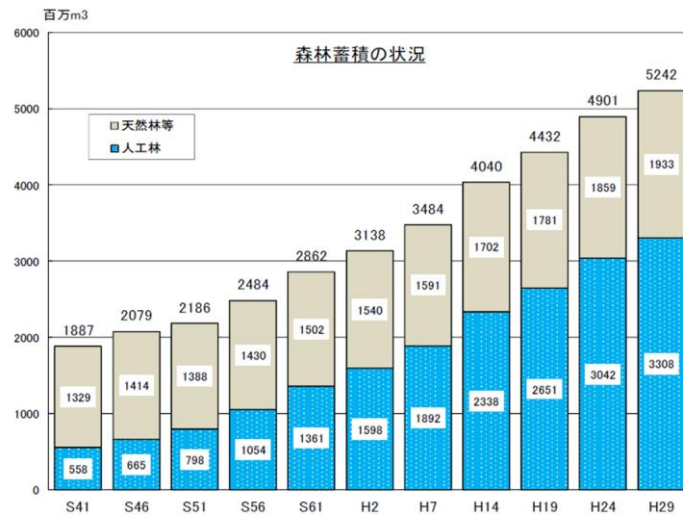


図 6 森林蓄積の状況⁶⁾

5. おわりに

安定稼働できる電源で ZEB 化を推進するためにバイオマス CHP を採用し、それを主力電源とした自立型自家消費システムを構築した。今後は 7,800h/年の安定稼働を目標にノウハウを蓄積し、再生可能エネルギー 100% のオフグリッド化を目指す予定である。

国土の約 7 割が森林であり資源小国の日本においては、森林資源は重要な資源の一つと考えられるが、現状は有効活用されるまでには至っていない (図 6)。さらに、再生可能エネルギーの普及は、FIT (固定価格買取制度) に依存している。木質バイオマスにおいては、FIT の約 8 割が PKS (パーム椰子殻、Palm Kernel Shell の略) 等の低価格な輸入材である。しかしながら、今後は自立型の個別分散電源として、地産地消のエネルギーの自給率向上が重要な課題となってくる。本施設では地産地消が可能なバイオマスエネルギーを主力電源とし、エネルギー自立型の自家消費システムを構築した。今回のバイオマス活用に関する報告が、エネルギーの強靱化を必要とする公共施設や民間産業施設等において、バイオマス活用のための一助になれば幸いである。

謝 辞

ご指導いただきました一般社団法人日本有機資源協会、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構をはじめとする関係者の皆様に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 武藤ら:エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証(第 1 報), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp185-188, 2019.
- 2) 羽鳥ら:エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証(第 2 報), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2020 発表.
- 3) 株式会社バイオマスアグリゲーション HP: <http://bioaggr.co.jp/report/461/>, 2020.5.
- 4) ボルタージャパン合同会社 HP: http://www.volter.jp/pdf/Volter40_pamphlet.pdf, 2020.5.
- 5) 日本農業新聞 HP: https://news.lhhttps://news.livedoor.com/article/image_detail/13875701/?img_id=15477661, 2020.5.
- 6) 林野庁 HP「森林面積・蓄積の推移」: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-1.pdf>, 2020.5.

ABSTRACT

In the Takasago Thermal Engineering Innovation Center, an energy self-sufficient system was installed to achieve “Net Zero Energy Building (ZEB)”. In the system, combined heat & power system (CHP) of woody biomass gasification type plays an important role, that uses renewable biomass energy “wood chips”.

In this report, countermeasures for challenges of the Biomass CHP are introduced such as securing required fuel quality and heat demand. Furthermore, the biomass pellet boiler used in this facility is also described.
