

植物廃材を活用した「バイオマスガス発電」

渡 辺 真 人・堀 井 秀 基・喜久里 政 宏

高速道路の維持管理で発生する植物廃材（刈り草、剪定枝等）を再生可能エネルギーとして活用するバイオマスガス化発電プラントを建設した。本プラントの特徴は、草本と木本を同時に熱分解して得たガスを発電機の燃料として発電することである。また、プラントの運転を行う中で、熱分解ガスに残留するタール濃度をタール標準測定法で測定するとともに、発電機エンジンオイルの劣化分析を行うことでオイル交換周期を設定した。

キーワード：廃棄物処理、バイオマス、熱分解ガス化発電、タール、エンジンオイル分析

1. はじめに

植物廃材を再生可能エネルギーとして活用することは、地球温暖化対策への貢献となる。

高速道路の法面等の維持管理で発生する刈草、剪定枝等の植物廃材の多くは、堆肥やチップ材にしてリサイクル利用を行ってきたが、これを再生可能エネルギーとして活用するバイオマスの熱分解ガス化発電プラント（写真—1）を東北自動車道那須高原SAの隣地に建設した。



写真—1 那須バイオマスガス発電プラント

バイオマスの熱分解ガス化システムとして固定床（ダウンドラフト式、アップドラフト式）、流動床（バブリング式、循環式）、噴流床、ロータリーキルン（内熱式、外熱式）等が開発されている。システムの選定にあたっては、規模（日処理量、発電量）、運転性（負荷変動、減量運転）、制御性並びに原料の条件が重要になる¹⁾。本プラントでは、年間最大処理量約1,000t、

また、草本混合の植物廃材を原料とすることから、中小規模で原料制約条件に許容性の高いロータリーキルン方式を採用した。

2. 熱分解ガス化発電システム

(1) プロセスフロー

プラントのプロセスフロー図を図—1に示す。日処理量は5t/日未満、発電量は100kWである。システムは①原料製造プロセス、②乾燥プロセス、③供給プロセス、④熱分解プロセス、⑤ガス洗浄プロセス、及び⑥発電プロセスに分けられる。

(2) 原料製造プロセス

原料の製造はこれまで行っていた堆肥製造と同様とした。プラントに運搬、集積された植物廃材を破砕機でチップ状に破砕、その後篩にかけたものを原料（写真—2）として用いる。原料の水分含有率は天候や季節で変動し、50%を超えることもある。原料はプラントヤード内の屋根付き保管庫に貯留する。

(3) 乾燥プロセス

貯留した原料をペイローダーで乾燥機に投入する。1回の投入量は約0.6m³である。乾燥機は貯留部と乾燥部からなり、原料は2本の回転するスクリーンの上を、貯留部から乾燥部にゆっくりと移動する。乾燥部底板に設けた通気孔から過熱水蒸気（SHS：100℃以上の水蒸気）が吹出して原料を乾燥する。SHSの熱源はエンジン発電機の排熱を利用している。

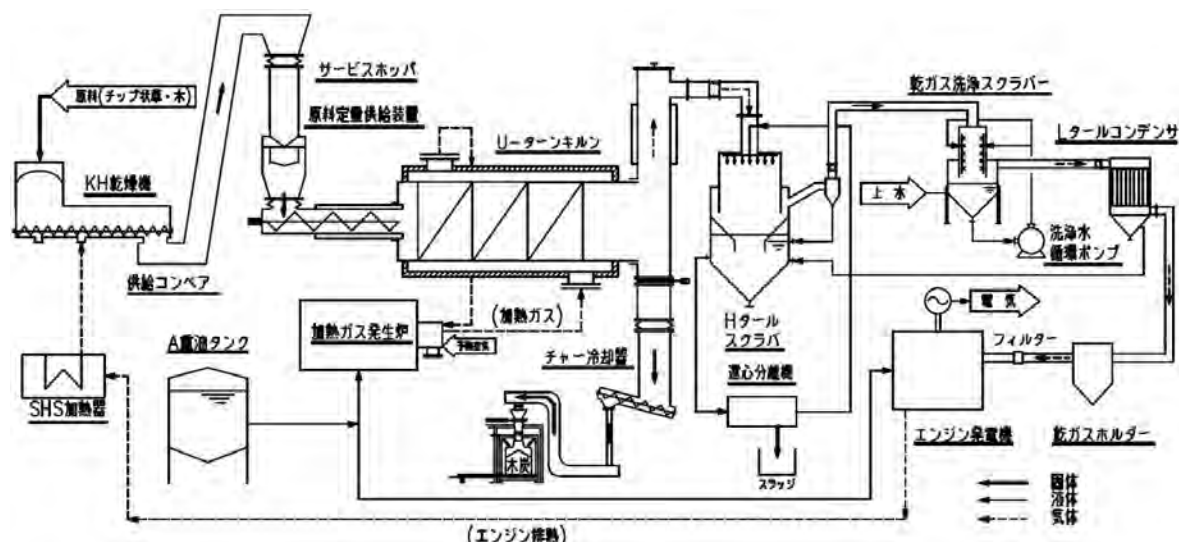


図-1 プロセスフロー図



写真-2 原料



写真-3 熱分解炉 (U-ターンキルン)

(4) 供給プロセス

乾燥機を出た原料は原料供給コンベア、サービスホッパ、キルンコンベアを経て熱分解キルンに供給される。原料は絡み合っており、乾燥機から原料供給コンベアに落ちる塊の大きさは一定でない。一度に大量の原料がサービスホッパに入ってしまうと、サービスホッパ内で原料がブリッジング(棚吊り)状態になり、キルンへの原料供給が停止する。サービスホッパ内部に原料定量供給装置を装備して、適量の原料が連続的にキルンに供給されるようにしている。

(5) 熱分解プロセス

熱分解炉は写真-3に示す國井大蔵(東京大学名誉教授)らが開発した外熱式水平ロータリーキルン(U-ターンキルン)である。U-ターンキルンを用いて、乾燥した建設廃材を原料とする熱分解ガス化発電プラントは既にあるが、水分含有率の高い植物廃材を原料とするのは今回が初めてである。

U-ターンキルンは内筒と外筒からなる。内筒の加熱部の直径は800mm、長さは1,600mmである。内

筒の内部には仕切り壁と傾斜ガイド板が付いており、投入された原料はキルンの回転により、内部を水平方向に移動しながら循環する²⁾。

内筒と外筒の空間に、加熱ガス(約1,000℃弱)を流してキルン内部を加熱する。原料は燃焼ではなく、還元雰囲気中でガスとチャー(炭)に分解される。チャーは連続的にキルンから排出され、ガスは傾斜管を経てHタールスクラバーに送られる。加熱ガスは加熱ガス発生炉でA重油を燃焼させた燃焼排ガスである。

(6) ガス精製プロセス

U-ターンキルンを出たガスにはタールや微粉状のチャー等の不純物が含まれている。タールは融点、沸点の異なる多様な有機物からなり、温度によって液体、気体と相が変わる。粘性の高いタールは微粉状のチャーとともに配管等を閉塞させ、ガスに含まれるタールは発電機の故障の大きな原因となる。

Hタールスクラバー上部に取付けた複数のノズルから、循環洗浄水の水滴を噴霧してタール等の不純物を

水滴表面で捕捉して、底部に洗い落とす。洗い落とした液体を遠心分離機にかけて固液分離する。分離後の液体は循環洗浄水として H タールスクラバーに送られる。固体分は洗浄ラインから外部に排出される。

H タールスクラバーを出たガスを、乾ガス洗浄スクラバーで同様に洗浄する。H タールスクラバーと乾ガス洗浄スクラバーの洗浄水ラインは独立しており、乾ガス洗浄スクラバーの循環水に含まれる不純物はストレーナーで捕捉する。

スクラバーで洗浄したガスを乾ガスと呼ぶ。乾ガスに含まれるタール等の不純物を、25 μm 、5 μm の 2 段のフィルターで捕捉する。

(7) 発電プロセス

発電機は出力 100 kW のディーゼルエンジンで、乾ガスと A 重油を燃料とするデュアルフュエル発電機である。乾ガスだけの発電はできないが、A 重油だけの発電は可能で、熱分解運転前後の昇温運転時及び冷温運転時は A 重油だけで発電する。

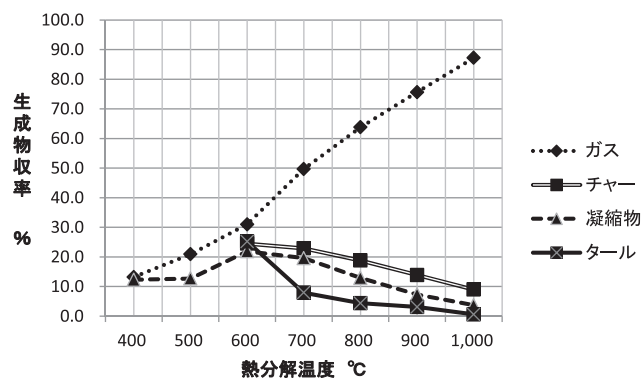
3. タール対策

(1) 原料供給制御

国井らはラワン材チップと落花生の殻を原料にして、流動床実験装置で熱分解温度を 400 $^{\circ}\text{C}$ から 100 $^{\circ}\text{C}$ きざみで 1,000 $^{\circ}\text{C}$ まで変化させたときのガス発生量と残渣（チャー、凝縮物、タール）発生量を図—2 のように示している³⁾。温度上昇に伴ってガスが増え、残渣は減少するが、特にタールは 700 $^{\circ}\text{C}$ で発生量が大幅に少なくなる。

乾燥後の原料にも水分が含まれる。キルン内で水が蒸発する際に、キルン内の熱エネルギーが潜熱として奪われる。潜熱として奪われる熱量が、加熱ガスから供給される熱量より多くなると、キルン内温度（熱分解温度）が低下する。

熱分解温度が 700 $^{\circ}\text{C}$ 未満になると U—ターンキルン



図—2 バイオマスの熱分解

でもタール発生量が多くなることが想定されるので、キルン内温度が 700 $^{\circ}\text{C}$ 未満になると、原料供給ラインの運転を一時中断させ、750 $^{\circ}\text{C}$ まで復旧すると原料供給ラインの運転を再開させる運転制御プログラムを導入した。

(2) 乾ガス残留タール重量濃度測定

米国の国立再生エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory) は、タールを「あらゆる有機物のガス化における熱または部分酸化の段階で生成した有機物を“タール”と呼び、一般にその大部分は芳香族である。」と定義している⁴⁾。その定義をもとにして、タール及び微粒子のサンプリングと解析法がヨーロッパで広く検討され、1991 年にタール標準測定法⁵⁾が定められた。

前期したタール発生抑制対策としての原料供給制御を行う前と後で行ったタール標準測定法による測定結果を表—1 に示す。抑制対策後、タール重量濃度は 1 桁小さくなり、粒子状物質はほとんど検出されていない。

(3) エンジンオイル分析

タール発生抑制対策によりタール発生量は少なくなっているものの、乾ガスにはタールが残留しており、エンジン発電機に悪影響を及ぼす可能性がある。

表—1 乾ガス残留タール重量濃度

測定日		原料水分含有率 D.B. (%)	ガス採取時平均 熱分解温度(°C)	タール重量濃度 (mg/Nm ³)	粒子状物質濃度 (g/Nm ³)
タール発生抑制対策前	H27.8.4	35.7	697	1,460	0.05
			722	1,260	0.05
タール発生抑制対策後	H27.11.26	39.0	760	230	0.01 未満
			780	130	0.01 未満
	H27.12.24	55.4	752	480	0.01 未満
			730	310	0.01 未満

発電機の燃料に含まれる不純物はエンジンオイルを劣化させ、回転部等に摩擦を生じさせる。摩擦がひどくなると、エンジンオイル内で鉄などの金属粒子が増加するとともに、オイルの動粘度や塩基価などの値も変動する。船舶などではエンジンの健全性をエンジンオイルの劣化の進行度合いを継続的に測定分析し、エンジンオイルの交換時期を判断している。

発電機メーカーが運転マニュアルに示すオイル交換周期は500時間であるが、乾ガスにタールが残留することから、交換周期を300時間に設定して同様のオイル分析を継続して11回行った。いずれの分析結果もバージンオイルからの動粘度や塩基価の変動、並びに金属元素の混入量などに問題はないことから、エンジンオイル交換周期を300時間と設定して運転を行っている。

4. おわりに

プラントは週単位の稼働とし、週初めに昇温、週末に冷温、清掃等のメンテナンス作業をする運転を行っている。当初設計では想定できなかった事象がいろいろと生じたために、こうした連続運転が可能となるまでに、機器の追加、撤去、並びに運転制御システムの変更を行ってきた。今後もノウハウを蓄積し、合理的、経済的でメンテナンス性の良いシステムの構築につなげていきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）：(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構，2010年1月。
- 2) 國井，地崎：回転炉開発工学，pp23～24，2005。
- 3) SAKODA, SADAKATA, FURUSAWA, KUNII : Gasification of Biomass in a Fluidized Bed, The Chemical Engineering Journal, 22, pp221～227, 1981.
- 4) MILNE, EVANS, ABATZGLOU : Biomass Gasifier "Tars" : Their Nature, Formation, and Conversion, November 1998, NREL/TP-570-25357.
- 5) J.P.A.Neeft et al : Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases, Energy project EEN5-1999-00507.

【筆者紹介】



渡辺 真人（わたなべ まさひと）
東日本高速道路㈱
関東支社 宇都宮管理事務所
所長



堀井 秀基（ほりい ひでき）
東日本高速道路㈱
関東支社 宇都宮管理事務所
施設担当課長



喜久里 政宏（きくざと まさひろ）
鉄建建設㈱
土木本部エンジニアリング企画部
担当次長