

粘土を触媒とするバイオマスの流動接触分解ガス化技術 ーバイオマス廃棄物等による低コストの発電、土壌改良、炭素固定ー

脱炭素社会の構築が喫緊の課題となる中、再生可能エネルギーを急速に普及させていかなければならないことは論をまたない。バイオマスエネルギーは、賦存量も膨大であり、他の再生可能エネルギーと異なり、電力以外に燃料を供給できるものであるにもかかわらず、その近代的エネルギーとしての利用は進んでいない。ここでは、特定非営利活動法人 APEX が開発に取り組んできた、粘土を触媒とする流動層ガス化技術について紹介する。粘土のタール吸着・分解作用を活用しながら、多様なバイオマスを大径のまま投入でき、高品質のガスと副産物のチャーを得られる、格別に安価な技術である。チャーの土壌還元により大気中の二酸化炭素の固定をはかれることが、今日の世界の状況においては、重要性を増してきている。

経緯

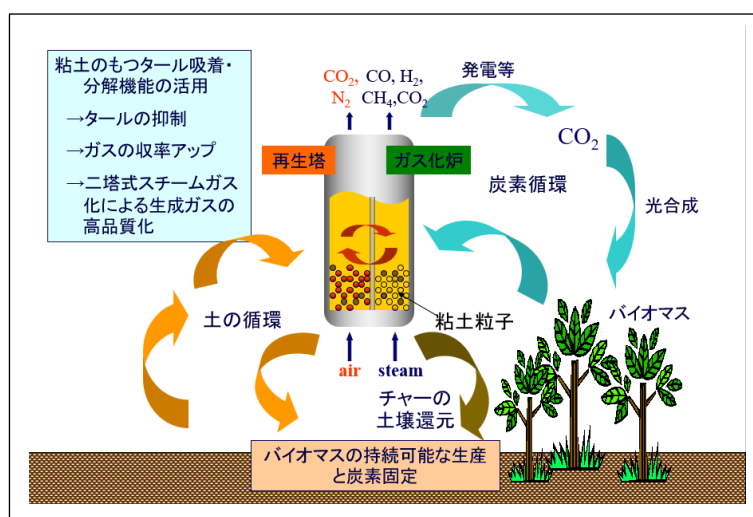
APEX 代表理事の田中は、1990 年代後半に、中国東北部の遼河油田において、油田排水の処理に関する技術協力を行っていた。遼河油田の拠点都市である盤錦市とその周辺には、アジアで最大規模といわれる葦原が広がっているが、葦の多くは無為に焼却されていると聞き、その有効利用を考えることから、ガス化の検討が始まった。田中は、触媒を高温の流動状態で重油と接触させて、重油をガソリンなどに分解し、不活性化した触媒を連続的に再生する、石油精製の流動接触分解技術に手がかりを得て、粘土を触媒とするバイオマスの流動接触分解ガス化技術を考案した。東京農工大学堀尾研究室の協力で行われた小規模実験で、粘土触媒がタールの生成を顕著に抑制する効果が確認されて、開発が本格化していった。パイロットプラント以降の開発は、主として、APEX とディアン・デサ財団の協力で、インドネシアにおいて進められた。

技術内容

バイオマスのエネルギー利用技術としては、バイオマスをボイラーで燃焼させて、発生するスチームでタービンを回して発電する「直接燃焼」、バイオマスを加熱したり、圧力をかけたり、空気や水蒸気と反応させたりすることで液体や気体に転換する「熱化学的変換」、微生物の働きで、エタノールやメタンガスに転換する「生化学的変換」がある。直接燃焼は、特に小規模ではエネルギー変換効率が低く、生化学的変換は、通常のやり方では、原料が炭水化物等に限られる。熱化学的変換では、小規模でも高いエネルギー変換効率を保ち、あらゆるバイオマスを原料とすることができる。そこで、APEX では、熱化学的変換に注目し、その中でも、得られるガスをエンジンに導入して発電することもでき、メタノール等の液体燃料に転換する道も開かれている、ガス化技術に取り組み始めた。

ガス化反応は、原料のバイオマスの熱分解反応から始まるが、熱分解により、ガスとチャー(炭様の物質)以外にタール(粘稠性の高い油性物質)が副生し、それが多いと、下流の配管や機器が詰まったり、ガスを燃焼させるエンジンの不調をもたらすので、極力減らさなければならない。タールを削減することは、ガスの収率の増大にもつながる。そこで田中が考案

したのは、粘土を流動媒体とする流動層ガス化炉でバイオマスをガス化し、発生するタールを粘土で吸着・分解するやり方であった。図は、この技術の内容を示す。ガス化炉と再生塔に粘土粒子を充填し、ガス化炉にはスチームと空気の混合気を、再生塔には空気を注入しつつ、粘土粒子を加熱していく。650～750℃程度に加熱されたら、ガス化炉にバイオマスを投入すると、スチームや空気の存在下で高温の粘土粒子と接触することにより、ガス化する。一方、粘土粒子は、ガス化反応で副生するタールを捕獲し、それが炭化して、表面がコーク(炭素分)で覆われ、活性を失う。ガス化炉と再生塔は壁で隔てられているが、壁の一部に通路があって粒子が循環するようになっており、ガス化炉で活性を失った触媒は、再生塔で、表面のコークが燃焼除去され、再び活性を取り戻すとともに、加熱されてガス化炉に戻っていく。それによりガス化反応に必要な熱が供給されることになる。これは、石油精製プロセスの流動接触分解装置と、原料や装置の外形は異なるものの、本質的に同じ原理である。



粘土を触媒とするバイオマスの流動接触分解ガス化の全体スキーム

通常、バイオマスをガス化しようとする際、ガス化炉に大径のバイオマスを投入すると、バイオマス内部の熱伝達速度が遅いため大量のタールを副生することとなり、事前にガス化するバイオマス原料を細かく粉砕しなければならない場合が多い。しかし、本技術においては、ガス化炉内に投入されたバイオマスを粘土粒子が包み込み、発生するタールを吸着・分解するため、写真にあるような大径のバイオマスをそのまま投入することができる。そして、粘土のせん断応力は小さいため、ほぼ投入したバイオマスの形状を保った大径のチャーが得られる。バイオマスの含有するカリウムやリンなどの養分は大部分チャーに移行するので、そのチャーを流動層から抜き出して土壌に還元すれば、養分を循環的に利用しつつ、土壌を改良することができる。それとともに、バイオマス中の炭素は大気中の二酸化炭素に由来するので、その炭素を固定して、大気中の二酸化炭素濃度を削減することにもつながる。また、粘土は使っているうちに次第に活性を失うが、活性を失った粘土(廃触媒)も土壌に還元することができる。



実証テストプラント(ガス化炉/再生塔)



同(バイオマス供給器)



同(生成ガス洗浄系)

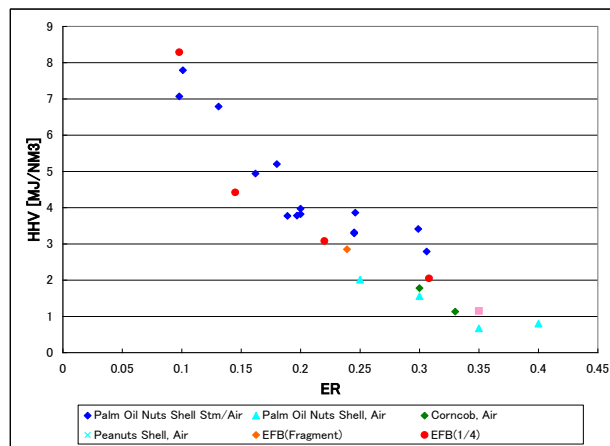


同(ディーゼル発電機)



実証テストプラントでテストしたバイオマス

(左:アブヤシ空房(4分の1分割)、右:竹(節目でカットした断片))



実証テストプラントのテスト結果(空気比と生成ガスの発熱量)

一般的に、小規模のバイオマスガス化設備の設置コストは、100万円/kW程度であるが、本技術によるインドネシアにおけるガス化設備設置コストは約20万円/kWであり、格段に安価である。設備の設計を独自に行い、地元で普遍的に存在するワークショップや建設者により製造・建設されたことが、低コストの要因と考えられる。アブラヤシ空房を原料とする、発電能力500kWのガス化設備の経済性計算では、インドネシアの西カリマンタン州のFIT価格により売電した場合で、IRRが11.4%となっている。

この技術の特長として、以下があげられる。

- 1.ガス化炉としては比較的低温な、650～750℃程度の温度領域で、タールの生成を抑制しつつ、バイオマスのガス化ができる。
- 2.スチームガス化が可能なので、発熱量の高い高品質のガスが得られる。
- 3.大径のバイオマスを未粉砕で投入することができる。
- 4.副生するチャーの土壌還元により、土壌の改良と、炭素固定がはかれる。
- 5.一般的な小規模ガス化炉と比べて格段に安価である。

実績(開発の進捗)

小規模実験、パイロットプラント実験を経て、135kWの実証テストプラントを順調に運転するにいたっている。同プラントでは、アブラヤシ空房を4分の1分割した、長さ30～40cm程度の断片を始め、節の間でカットした竹材、未粉砕のトウモロコシの穂軸、10～20cm長の小枝等をガス化している。空気比(投入したバイオマスを完全に燃焼させるために必要な空気量に対して、どの程度の空気を投入したか)が0.1の時の、生成ガスの高位発熱量は約8メガジュール/Nm³、空気比0.15の時、約5メガジュール/Nm³程度であった。タール濃度は、空気比0.1の時、140mg/Nm³、空気比0.15の時、40mg/Nm³ほどであり、空気比を上げるほどタール濃度は下がる傾向がある。一般に、エンジンに直接投入して発電する場合の高位発熱量の下限は2.5メガジュール/Nm³、望ましくは4メガジュール/Nm³程度、タール濃度は100mg/Nm³以下といわれるので、空気比を0.15程度に調整すれば発電には問題がないと考えられる。流動層からのチャーの抽出については、田中が独自の抽出方法を考案し、コールドモデルで有効性を確認して特許取得しているが、ホットモデルにおける確認を要する。

(田中直)

(参考文献)

NEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構)平成19年度研究協力事業成果報告書『インドネシアにおける、粘土を触媒とするバイオマスの低コスト流動接触分解ガス化技術の共同開発』2008

田中直『適正技術と代替社会ーインドネシアでの実践から』岩波新書、2012

特許第4259777号『バイオマスのガス化方法』(井上斉、堀尾正靱)(米国特許: Patent No.9,187,704、インドネシア特許: IDP000035664、中国特許: 第391407号)

特許第6914539号『流動層から固形物を分離する方法および装置』(井上斉)