ガス化／燃焼の実用的なプロセス技術に関する展望 －環境・エネルギープロセス部会－

Outlook for Practical Gasification / Combustion Process Technologies

村上 高広*
Takahiro MURAKAMI

Key Words: Gasification, Combustion, Fluidized Bed, Biomass, Coal, Sewage Sludge, Process Technology

我が国では、エネルギー資源開発の重点技術のうち、再生エネルギーの導入拡大としてバイオマス、エネルギーセキュリティの向上として石炭の高度利用が掲げられている。これら燃料の処理技術として、ガス化や燃焼があるが、ここでは流動層炉を利用したシステムについて紹介する。

ガス化は、製造したガス（ H_2 、 CO が主成分のガス）を発電や化学原料（水素、DME、メタノールなど）として様々な用途に利用できるため、世界中で注目されており、技術開発が近年さかんになっている。例として、二塔式流動層ガス化炉の概略を Fig. 1 に示す¹⁾。本炉では、ガス化炉と燃焼炉間を流動媒体である砂が循環する。燃料はガス化炉へ供給しガス化させる。ガス化反応は吸熱反応のため、外部からの熱を必要とする。ガス化後に残存したチャーは、燃焼炉へ輸送され空気により燃焼させる。その熱は流動媒体により回収し、ガス化炉へ再循環させる。この流動媒体がヒートキャリアとなり、炉内の温度はキープされる。特徴としては、ガス化炉と燃焼炉を完全に分離しているため、ガス化ガス中への燃焼排ガスの混入を防ぐことができ、結果として純度の高いガスを取り出せる。

しかしながら、1073－1173 K 程度での運転のため、ガス化炉内でガス化反応時にガスと一緒に生成するタール成分が、炉外へ排出されることが課題である。タール成分は、ガス化炉後段のガス冷却過程で配管に付着し、配管が閉塞するなどトラブルの原因となる。このタールを処理するため、ガス化炉後段に高温改質炉やスクラバ、活性炭によるガス処理塔などを設置する必要がある。高温改質炉は1573 K 程度の高温運転のため、プラントコストがかかること、生成ガス中の一部が燃焼に使われてしまうなど、システムを運用する上でのロスとなる。またスクラバでは、大量の水を消費することにより、ランニングコストがかかる。

ガス化炉内でタールを処理するため、流動媒体を一般的

Fig. 1 Schematic diagram of a dual fluidized bed gasifier.

に使用されている硅砂から多孔質アルミナに代えて研究が行われてきた²⁾。多孔質アルミナは、粒子がポーラスな形状であるため、ガス化炉内でガス状のタールを粒子全体で吸収でき、吸収したタールの一部をガス化させることもできる。また燃焼炉で燃焼することにより、アルミナ粒子は再活性した状態でガス化炉へ再循環できる。しかし、運転中に炉内へ蓄積した灰を炉下部から抜き出す際に、流動媒体も一緒に取り出すことになるが、これらの粒子を分離することは技術的に困難で、抜き出した分は新たな流動媒体を補充する必要がある。その結果、多孔質アルミナは硅

* (独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 クリーンガスグループ (〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1)
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Energy Technology Research Institute, Clean Gas Group
(16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8569 Japan)
スマートプロセス学会 環境・エネルギープロセス部会 副部会長
Vice-Chairperson of Environment and Energy Conscious Process Section

Fig. 2 Schematic diagram of a fluidized bed gasifier with triple-beds and dual circulation.

砂よりも単価は数十倍かかるため、ランニングコストがかかり、実用的な面で困難であった。そこで、高価なタール吸収粒子を長期間利用できる新たなガス化炉構造を提案した³⁾。その概略を Fig. 2 に示す。特徴として、高価なタール吸収粒子を長期間使用できる構造となっている。流動媒体である砂が本図中の下段を循環し、砂が循環する系のガス化炉へ燃料を供給し、燃料を熱分解させ、反応後のチャーの一部をガス化させる。残りのチャーは燃焼炉内で燃焼させる。さらに、タール吸収粒子が独立して循環する系（本図中の上段）を設けた。

以上より、燃料が循環する系とタール吸収粒子が循環する系が、それぞれ独立して循環する二重循環型としたので、タール吸収粒子と炉下部へたまる灰とが混在することなくなり、高価なタール吸収粒子の使用量を最小にできる。ガス化炉を二段型にすることで、下段でのガス化反応時に生成するガス中のタールを上段の炉内でタール吸収粒子に確実に吸収させることができる。ガス化ガスは、二塔式と同様に燃焼排ガスが混入することなく、純度の高いガスとして取り出すことができる。本ガス化炉を二重循環三塔型流動層ガス化炉と名付けた。

本ガス化炉を開発するために、燃料は木質バイオマスを使用し、高いガス化効率を得ること、そのガス組成を制御することを目的に、これまでに二段流動層を模擬した実験

Fig. 3 Schematic diagram of a pressurized fluidize bed combustor combined with a turbocharger.

Fig. 4 Schematic diagram of a conventional incineration plant.

室規模の流動層ガス化装置により、基礎ガス化特性を明らかにし、その成果を活用して熱バランス計算を実施し、ガス化効率や粒子循環量を予測した^{3),4)}。さらに、アクリル製の実験装置により、燃料系およびタール吸収粒子系がそれぞれ独立して循環することを確認し、計算で得られた粒子循環量を取得した^{5),6)}。

これまでは、“高温”学会誌の名のとおり、ガス化に関しては、Fig. 1 および 2 に示すような高温でのプロセス技術に関する論文の投稿が目立っていた^{1),5)}。ただ、ガス化システムとして考えると、決して高温での運転条件ばかりではなく、製造したガス中の不純物（煤塵、硫黄化合物など）の処理技術や DME 製造技術など、様々なプロセスが挙げられる。

一方、燃焼システムの例として、Fig. 3 に下水汚泥を燃料とした過給式流動燃焼システムの概略を示す⁷⁾。国内の下水汚泥排出量は年々増加しており、その大部分は焼却処分されている。汚泥中には、他の燃料と比較して窒素含有量が顕著に高いため、亜酸化窒素（ N_2O ）の生成が懸念されている。本図のシステムの特徴として、バブリング流動層燃焼炉を加圧条件で運転し、高温排ガスを利用して、炉後段に設置した過給機を駆動し、燃焼用空気を生成させることができる。

Fig. 4 に従来の汚泥焼却プラントの概略を示す。本図中の多種の補機類の中でも、燃焼用空気を製造するための流動ブロウ、排ガスを大気へ排出するための誘引ファンの電

力消費量は高く、全体の40%以上を占めるといわれている。

提案した過給式流動燃焼システムでは、前述した特徴により、流動ブロワおよび誘引ファンを省くことができ、大幅なランニングコストの削減に成功した。また燃焼炉内の下部に局所的な高温域を形成することにより、 N_2O が分解され、従来型の高温焼却(1123 K)よりも N_2O 排出量は半減することも明らかとなった⁸⁾。これまでに実証プラントで2000時間以上の運転を達成し⁹⁾、2011年2月には、東京都より商用第1号機の受注を獲得した¹⁰⁾。

燃焼に関しても、これまで高温場での研究成果の投稿が顕著であった¹¹⁾⁻¹⁶⁾。ただ、システム全体に注目すると、燃料の乾燥技術、フィルタの性能評価、ガス処理技術など、高温場に限らない様々なプロセスがあることが理解できる。

以上より、ここに示したのは、ガス化および燃焼システムにおける成果のほんの一部にすぎない。本部会では、これまでの高温場のプロセス技術に加え、高温条件に限らない様々な環境とエネルギーをキーワードとするプロセスに関する研究成果を投稿いただき、より守備範囲の幅広い研究活動の場として役立つことができればと考える。

引用文献

- 1) 村上高広、許光文、須田俊之、松澤克明、谷秀久：高温学会誌、**33** (2007) 21-26.
- 2) K. Matsuoka, K. Kuramoto, T. Murakami and Y. Suzuki : Energy Fuels **22** (2008) 1980-1985.
- 3) T. Murakami, T. Yang, M. Asai and Y. Suzuki : Adv. Powder Technol. **22** (2011), 433-438.
- 4) T. Murakami, M. Asai and Y. Suzuki : Adv. Powder Technol. **22** (2011), 449-452.
- 5) 村上高広、浅井稔、鈴木善三：高温学会誌、**37** (2011) 87-89.
- 6) T. Murakami, M. Asai and Y. Suzuki : J. Japanese Society for Experimental Mechanics **11** (2011), 157-161.
- 7) 村上高広、北島暁雄、鈴木善三、長沢英和：TSK 技報、(2010) 6-10.
- 8) T. Murakami, S. Suzuki, H. Nagasawa, T. Yamamoto, T. Koseki, H. Hirose and S. Okamoto : Fuel Process. Technol., **90** (2009) 778-783.
- 9) T. Murakami, A. Kitajima, S. Suzuki, H. Nagasawa, T. Yamamoto, T. Koseki, H. Hirose and S. Okamoto : J. Japanese Society for Experimental Mechanics **10** (2010), 58-61.
- 10) 土木研究所、産業技術総合研究所、月島機械、三機工業、つくばサイエンスニュース (WEB) (2011.3.23)
- 11) 村上高広、劉志宏、平田哲也、綾部統夫、W. Hung : 高温学会誌、**32** (2006) 179-183.
- 12) 村上高広、須田俊之：高温学会誌、**32** (2006) 226-229.
- 13) 村上高広、鈴木善三、長沢英和、山本隆文、小関多賀美、廣瀬均、落修一：高温学会誌、**34** (2008) 166-170.
- 14) 村上高広、北島暁雄、鈴木善三、長沢英和、山本隆文、小関多賀美、廣瀬均、岡本誠一郎：高温学会誌、**35** (2009) 81-84.
- 15) 村上高広、鈴木善三：高温学会誌、**36** (2010) 9-12.
- 16) 村上高広、鈴木善三：高温学会誌、**37** (2011) 84-86.