

多孔質触媒層を利用したマイクロコンバスタ

1. はじめに

ミリサイズ以下の空間で燃焼を維持する微小な燃焼器（マイクロコンバスタ）への期待が近年高まっている。マイクロコンバスタは単に微小なバーナとしてだけではなく、熱電素子や燃料電池と組み合わせることで微小電源としての可能性をもっており、また将来的にはウルトラマイクロガスタービンの燃焼器としても利用が期待される。燃焼現象は、高温になった燃焼ガスの熱が、予熱帯を通して未燃側に伝わることにより伝播するが、燃焼器のサイズが小さくなると壁面への熱損失が増大して消炎が生じる。たとえばメタンと空気を利用する場合には、直径3mm以下の管内では燃焼を維持することが通常できない。この消炎が生じる管直径を消炎直径と呼ぶが、マイクロコンバスタはこの消炎直径以下の空間において燃焼を維持させることを目指す。消炎直径は壁面への熱損失により決まってくるため、燃焼空間を予熱したり、壁面に触媒を担持させたりすることで燃焼器サイズを小さくすることができる。これまでに、燃焼ガスの熱エネルギーを未燃ガスに循環させて予熱を行う方法や、多孔質状の基質を作製し、そこに触媒を担持させる方法などさまざまな手法が試みられているが、ここでは触媒粒子を焼結法により多孔質状に壁面に担持させる方法と、このマイクロコンバスタを発電に応用した例を紹介する。本手法は、製造コストが大変安価で、かつ複雑な内面形状を持つ燃焼器にも適用が可能であるという特徴を持つ。

2. 多孔質触媒層作製法

燃焼器外壁には内径0.8mm、外径1.2mmのムライトセラミックス製の円管を使用し、このセラミックス管内部に多孔質状の触媒層を形成して燃焼器を作成する（図1）。セラミックス管は熱電対の保護管として容易に入手可能なものである。触媒には、粒径 $1\mu\text{m}$ の白金粒子を用いる。まず、この触媒を重量比2:1でパーム油と混濁させ、コロイド状のペーストを生成する。触媒ペーストを、セラミックス

管先端内部に5mmほど注入し、マッフル炉内で1時間500℃で乾燥させて、ペーストの溶媒成分を揮発させる。この時点では、セラミックス管内壁では白金粒子が互いに弱く吸着した状態であり、強度がなく実用に堪えない〔図1(a)〕。ここで、当量比1.6のメタン-空気予混合気を供給し、触媒層部分を外部から加熱すると、各粒子が表面反応による熱で溶融して近傍の粒子と架橋構造をつくり、多孔質状の触媒層が形成される〔図1(b)〕。使用している触媒量は燃焼器一つあたり5mgであり、トータル製造コストは実験室レベルでも100円程度である。

3. 燃焼特性および発電試験

このマイクロコンバスタに量論比のメタン-空気予混合気を $96\text{cm}^3/\text{min}$ の流量で供給して作動させたものが、図2である。着火は触媒部分を加熱することでおこなう。上述の供給量は発熱量で5W相当、燃焼部分の長さは約2mm程度なので、体積当たりの発熱密度は $5\text{GW}/\text{m}^3$ 、燃焼器出口での放熱密度は $10\text{MW}/\text{m}^2$ に相当する。燃焼器出口における排気温度は 1000°C 程度あるため、優秀な点熱源として利用できる。また、触媒を利用しているため、当量比0.8~6.0、流量 $30\text{cm}^3/\text{min}$ ~ $200\text{cm}^3/\text{min}$ と広い範囲に作動域を持つ。排ガス組成から求めた燃焼効率、85~95%程度であり、触媒の耐久性は作動条件によるが、当量比1.6、流量 $70\text{cm}^3/\text{min}$ の条件で500時間以上の連続作動を達成している（2008年9月現在）。

この燃焼器をBi-Te型の熱電素子と組み合わせて発電試験を行ったところ、投入発熱量5W（図2と同条件）に対して、電圧1.5Vで100mWの出力（電流値67mA）を得ることに成功した。この結果は最終変換効率2.0%に相当し、報告されている他の結果と比べても十分高い値である。高温域でも利用可能なZn-Sb/Bi-Teのようなカスケード型の熱電素子を利用することで、さらなる高効率化も期待できると考えられる。図3はボタンを燃料とした燃焼器と熱電素子の組み合わせ

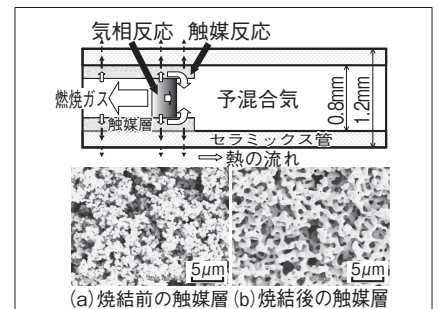


図1 燃焼器概要と触媒層のSEM画像

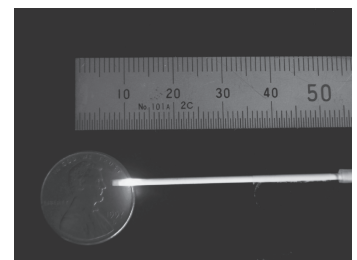


図2 作動時のマイクロコンバスタ

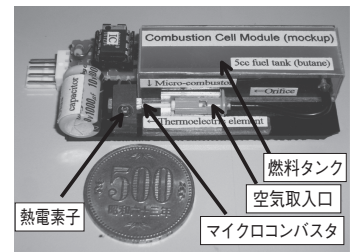


図3 “燃焼”電池モジュール(モックアップ)

で、マイコンを作動させることをイメージしたモジュールのモックアップである。約 5cm^3 の燃料タンクで25時間駆動でき（30mW発電時）、無人センサや災害時のバックアップ電源などへの応用が考えられる。

4. おわりに

マイクロコンバスタはまだ黎明期にあり、その利用方法自体を模索している状況である。燃料の供給のみで、連続的に高いエクセルギー効率で微小な熱エネルギーを発生させることのできるマイクロコンバスタが広く知られ、そのニーズが広がることを期待している。

（原稿受付 2008年10月1日）

〔高橋周平 岐阜大学〕

●文献

- (1) 高橋周平, 多孔質触媒層を使った超小型燃焼器の開発, 技術総合誌 OHM, 3 (2008), 2-3.