

■ 技術報告 ■

触媒燃焼バーナーの開発と応用について

Development of Catalytic Combustion Burner and its Application

貞 森 博 己*

Hiroki Sadamori

1. はじめに

ガスと酸素に強い相互作用を有して、燃焼反応を顕著に促進する効果を発揮する固体物質を完全酸化触媒と称している。このような完全酸化触媒を使って、ガスを燃焼させる方式は、触媒燃焼方式と呼ばれており既に可燃性臭気成分の燃焼除去プロセスや、空気中の可燃性ガスの検知などに使われてきている。触媒燃焼バーナー（以下簡単に触媒バーナーと称す）は、触媒燃焼の原理によって供給燃料を炎を発生させずに燃焼させ、その燃焼熱を触媒から直接赤外線として、放射させるように構成した新規な異相燃焼バーナーである。このバーナーは、早くから火災安全性、無公害性、省エネルギー性が注目され、世界各地で開発が検討されてきたが、触媒の開発に技術上の重大な障壁があって、これまで十分な進展が得られていなかった¹⁾。

我々は、都市ガスに適用できる汎用的な触媒バーナーの開発をめざして、触媒の開発、触媒バーナー技術の開発、応用技術の開発等、一連の研究を行ってきた²⁾。この結果、昨年暮より実用化を行い実績を得つつあるので、これらの概要について報告する。

2. 触媒の開発

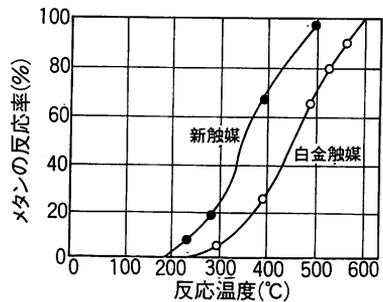
触媒の完全酸化能は、ガスの種類に著しく依存する。表1は、古くから最も活性が高いとされている白金触媒を用いた時の各種可燃性ガスの燃焼開始温度を測定したものである³⁾。これによると、水素ガスは室温から燃焼が開始されている。最も反応性が悪いのは、都市ガスの主成分であるメタンで、LPGや一酸化炭素と比べて著しい反応性の差がある。このメタンの反応性の悪さが、都市ガスに適用できる汎用的な触媒バーナーの開発が遅れた主因である。

我々は、流通型のマイクロリアクタを用いてメタン

表1 種々の可燃ガスの燃焼開始温度

S V 6,000 hr⁻¹
 C A T 0.2% Pt-Al₂O₃
 C A T 高 5 cm
 ガス濃度 (マーク以外) 1 ml (liq)/300l-air
 (マーク) 1,000 ppm

ガ ス	燃焼開始温度(°C)	ガ ス	燃焼開始温度(°C)
メ タ ン*	370-380	ヘキサ ン	135-140
L P G*	190-210	ベンゼ ン	130-135
水 素*	室 温	トルエン	130-135
一酸化炭素*	80-100	m-キシレン	130-135
		アンモニヤ	180-185
		エチルメルカプタン	125-135
		硫化水素	260-270



反応ガス：1%CH₄-空気
 流速：50Nml/min
 触媒：100mg

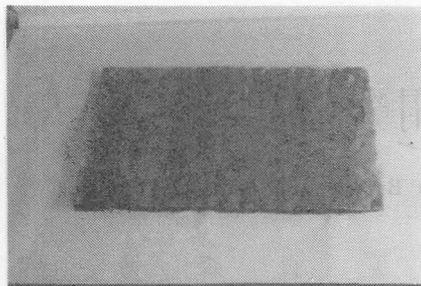
図-1 メタン完全酸化反応試験結果

に対する活性度の高い新触媒を探索し、また新しい製造法を開発してきた。図-1は、その結果得られた触媒のメタン完全酸化反応試験結果を示している。これによれば、新触媒によりメタンが200°C弱の低温度から反応開始されており、実用レベルの活性度が達成されている。

写1は、燃焼用触媒として完成させたものの概観を示す。この触媒は、表2に示す性状を有する直径3μmの、長繊維多孔性アルミナファイバーの積層体からな

* 大阪ガス㈱総合研究所課長

〒554 大阪市此花区西島町6-19-9



写1 燃焼触媒概観図

表2 新触媒基体材料物性表

項目	物性値
呼称	アルミナファイバー
最高使用温度	1,000℃
繊維直径	3 μm
真比重	2.8 g/ml
比熱	0.25 cal/g℃
引張強さ	105 kg/mm ²
組成	95% Al ₂ O ₃ 5% SiO ₂
比表面積	150 m ² /g
細孔容量	0.20 ml/g

る低密度マットである。そのかさ密度は、約 0.06 g/cm³ 面積重量は400 g/m²、空孔率は98%に達している。触媒マットを構成するファイバー1本1本は、内部に高度に活性化された触媒粒子が50 Å以下の超微粒子として均一に分散担持されており、全体が均一な活性を發揮できるように構成されている。

3. 触媒バーナーの構造と燃焼特性

図-2は、業務用、工業用を目的として実用化した触媒バーナーの長手方向の断面概要図である。写2は、実物の一例を示し、図-3、表3は、その仕様を示す。図-2に示すように、触媒バーナーの内部構成は次のようになっている。まず最表面の、保持金網の下に触媒マットがあり、その下部には、保温材マットが敷かれている。保温材マットの内部には、触媒層を燃焼開始温度に予熱するための電熱ヒーターが、組込まれている。その下部には、燃料ノズルを含むガス導入口について、ガスの分散管が組込まれている。

このバーナーは、燃焼に必要な空気の全量を外気から拡散によって取り込む、完全な拡散空気燃焼方式を採用している。この理由は、燃焼反応を触媒層のできるだけ前面側で行わせ、発生する熱を赤外線とし有効

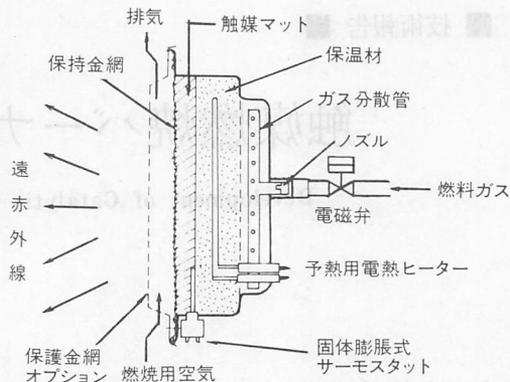
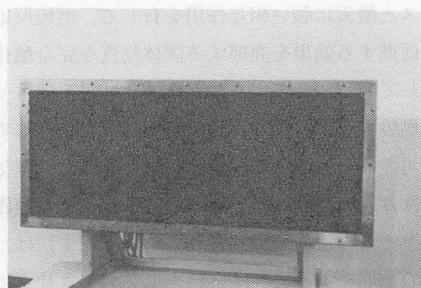


図-2 触媒バーナーの長手方向断面図



写2 触媒バーナーユニット CAT-0.4型

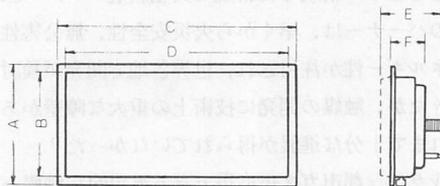


図-3 触媒燃焼バーナー外形図

表3 触媒燃焼バーナー仕様

器種	CAT-0.2	CAT-0.4	CAT-0.6	CAT-0.8	
標準ガスインプット (kcal/hr)	2,100	4,200	6,300	8,400	
外形寸法 (mm)	A	384	384	384	
	B	326	326	326	
	C	479	904	1,329	1,754
	D	421	846	1,271	1,696
	E	110	110	110	110
	F	50	50	50	50
電気容量 電圧100V(W)	270	540	810	1,080	
一般仕様	材質 SUS 304 適用ガス 13A, 6C 標準ガス圧力 { 13A 200mmAq 6C 100mmAq ガス接続 3/8 PT ターンダウン比 2.0				

に取り出せるようにするためである。

燃焼開始は、タイマー制御により、まず電熱ヒーターをONして、5分後にガスを導入し、15分後にヒーターをOFFする方式で、スムーズに行われる。

触媒層下部には、固体膨張式のサーモスタットがセットされており、触媒層温度が200℃以下になると、ガス弁が自動的に遮断されるようになっている。

図-4は、天然ガスを使用した時の燃焼立ち上がり様相を示すサーモスタット先端位置における温度変化を示している。

図-5は、天然ガスを用いて入熱量を種々変化した時のバーナーの燃焼性能を測定した結果を示している。測定は、バーナーを垂直にセットし、バーナーの排気をバーナーの上部に設けたフードで集め、排気分析する方法により行ったものである。この図で横軸はバーナーの有効面積1cm²当りの入熱量である熱負荷量で示し、縦軸は、次式で求めた燃焼効率、およびCO/CO₂を示している。

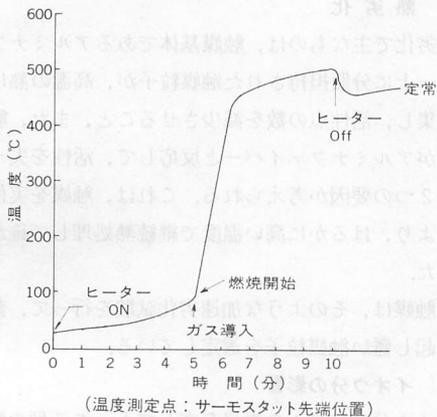


図-4 触媒燃焼バーナー燃焼開始パターン

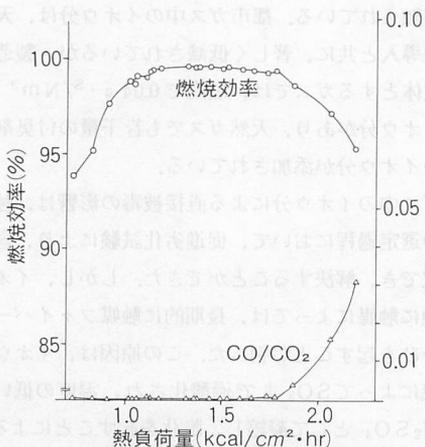


図-5 天然ガスの燃焼性能試験結果

$$\text{燃焼効率} = \frac{(\text{CO}_2)}{(\text{CO}) + (\text{CO}_2) + \sum_{n=1}^4 (\text{C}_n\text{H}_{2n+2})} \times 100$$

括弧は、成分の濃度を示す。

C_nH_{2n+2}は、炭化水素を示す。

この結果、触媒バーナーでは、熱負荷量0.9～1.8 kcal/cm²hrの範囲で、燃焼効率99%、かつCOの発生量の極めて少ない良好な燃焼性を示すことが判る。この条件で、NO_xは大気レベルを越えず、完全に抑制されている。また、CO以外の他の燃焼中間物も検知できない。このような熱負荷量で表わされる良好な燃焼範囲は、LPG、天然ガス、4500kcal/Nm³の製造ガスでも、ほとんど影響されない。図-6は、熱負荷量1.5 kcal/cm²hrにおけるバーナーの表面温度分布をサーモグラフィー装置で測定したものである。この測定では、測定中心温度を400℃として、±150℃の範囲で、バーナーの表面温度を5段階で黒白表示している。この結果、バーナーの全面は約400℃で、非常に均一な温度分布を示しており、低温加熱に好適な加熱面となっていることが判る。

この状態で、入熱量当りの全半球放射熱量は、50%強であり、従来の赤外線バーナーの約2倍に相当する高いものである。最近、開発が盛んな電気の遠赤外線ヒーターでも、全半球放射効率率は、対流、伝導損失のため、70%弱と言われているので、触媒バーナーの放射性能は画期的であると言える。このような触媒バーナーの高放射特性は、従来の赤外線バーナーのように高温排ガスによって、赤外線放射体が加熱される方式と異なって、触媒自体がその表面における燃焼反応によって発熱し、それ自体が赤外線放射体となり、高温排気による熱ロスが少ないことが、原因と考えられる。図-7は熱負荷量1.5 kcal/cm²・hrで、純メタンを燃焼さ

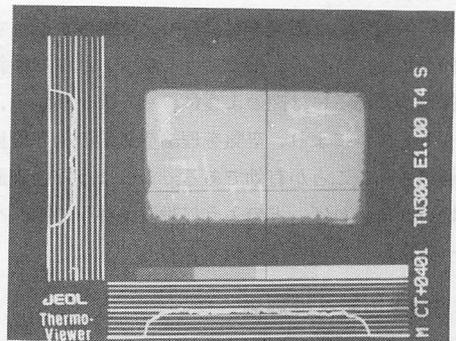


図-6 触媒バーナーの表面温度分布

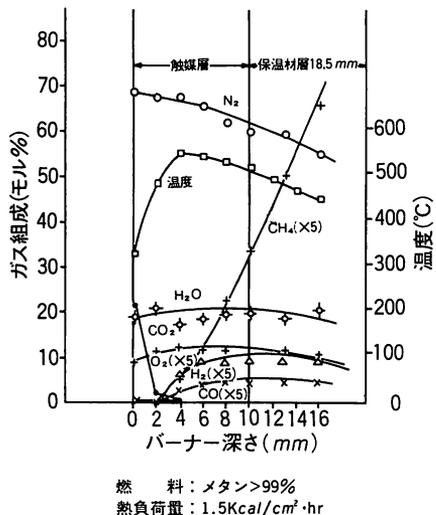


図-7 触媒バーナー内組成分析および温度測定結果

せている時の、バーナー中央部深さ方向での燃焼分析結果を示している。これによると、触媒層の表面から3~4 mm付近で最高温度約530℃となっており、また表面から拡散される酸素も、その付近で完全に消失している。従って、燃焼帯は、触媒層の極く表面部に限られており、触媒体からの放射が容易になっていることが裏付けられる⁴⁾。

放射される赤外線波長とエネルギーについては、まだ正確な測定は実施していないが、2.4~15 μmに分布していることは確かめている。触媒体は、直径3 μmの繊維の集合であるから、放射条件としては、黒体に近づいており、表面温度400℃の黒体放射に近似できると推定している。従って、放射赤外線の約70%は、波長5 μm以上の遠赤外線領域に分布していると推定される。

図-8は、燃焼性に及ぼすバーナーの向きと強制通気燃焼の結果を示している。触媒バーナーは、拡散空気燃焼によっているから、バーナーを垂直から下向きに傾斜すると酸素不足になり、燃焼性が低下する傾向を示す。従って、そのような場合、適度な傾斜角を保つか、あるいは図のように、バーナー横から、スリットノズルにより、空気を理論空気量の約3倍量強制通気させることが有効である。このような強制通気燃焼方式によれば、どのような設置条件下でも、バーナーを良好な燃焼性に保持できる。

4. 触媒の耐久性評価

触媒バーナーにおいては、触媒の活性が低下すると

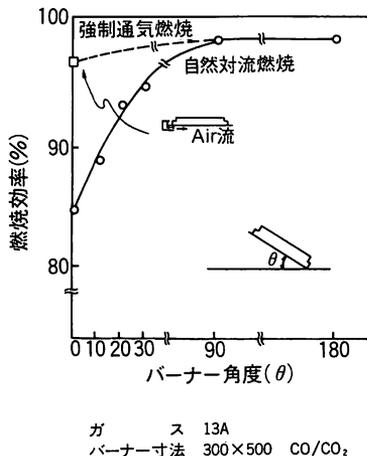


図-8 バーナー向きと燃焼性

そのまま燃焼効率の低下に通じるので、触媒の耐久性が非常に重要である。燃焼触媒の活性低下要因として重要なものは、次のものである。

4.1 熱劣化

熱劣化で主なものは、触媒基体であるアルミナファイバー上に分散担持された触媒粒子が、高温の熱により凝集し、活性点の数を減少させること、また、触媒粒子がアルミナファイバーと反応して、活性を失うことの2つの要因が考えられる。これは、触媒を実使用温度より、はるかに高い温度で継続熱処理して確かめられた。

新触媒は、そのような加速劣化試験を行って、熱劣化を起し難い触媒粒子を選定している。

4.2 イオウ分の影響

イオウ分は、ほんの微量存在しても、ある種の触媒粒子には直接反応し、活性を被毒させる作用のあることが知られている。都市ガス中のイオウ分は、天然ガスの導入と共に、著しく低減されているが、製造ガスを主体とするガスでは、最高で0.04 g-S/Nm³程度のイオウ分があり、天然ガスでも若干量の付臭剤としてのイオウ分が添加されている。

ガス中のイオウ分による直接被毒の影響は、触媒粒子の選定過程において、促進劣化試験により、容易に判定でき、解決することができた。しかし、イオウ分は他に触媒によっては、長期的に触媒ファイバーの脆化をひき起すことが判った。この原因は、イオウ分が燃焼によってSO₃まで過酸化され、温度の低い部分でH₂SO₄として凝縮し、脆化を起すことによると考えられる。新触媒は、イオウ分がガスと共に燃焼され

る過程において、SO₃まで過酸化され難い触媒粒子を採用してこの問題を解決した。

4.3 カーボン析出による活性点の被覆

触媒によっては、低酸素の状態になるとカーボンが発生するものがある。カーボンが析出すると、活性点が被覆され、活性低下の要因となる。

カーボンの析出の難易は、ガス種によってかなり影響され不飽和結合を含む化合物は、一般にカーボンを析出し易い。新触媒は、天然ガス、LPGの燃焼においては全くカーボンを発生しない。エチレン、BTXを含む製造ガスでは、触媒層の最下部で僅かのカーボン生成が認められるが、長期的にそれ以上の成長性がなく、燃焼性に全く影響されないことを確かめている。

以上のような要因別の耐久性評価の他に、実ガスを用いてバーナーの種々の条件下で、燃焼試験を現在も、継続中である。

この結果、総燃焼時間 10,000 hr においても、触媒の見かけ上の変化、燃焼性能の低下傾向が見られておらず、触媒の寿命は、半永久的と期待している。

5. 触媒バーナーの応用

触媒バーナーは、低温無炎燃焼であるから、応用分野は当然、低温加熱分野に限られる。

触媒バーナーの主な特長を再度まとめると、次のようになる。

- 1) 約400℃の均一な加熱面が得られ、均一加熱が可能である。
- 2) 放射熱量は入熱量当り50%強であり、これらは従来の赤外線バーナーに比べて、約2倍に相当する。また電気の遠赤外線ヒーターと、一次エネルギーベースで比較すると約2倍となる。
- 3) 放射される赤外線波長は、2.5~15μmに分布しており、水、塗料、織布、インキ、食品、ヒト、動物などに特に吸収性が良い遠赤外線が多い。これらの赤外線吸収特性の例を図-9に示す⁵⁾。図は各波長における透過率を示しており、下向きが吸収を示す。
- 4) 他に低温無炎燃焼であるから、風に対して強く、また火災安全性も極めて高い。例えば、燃焼面に10m/sの風が当たっても燃焼を継続でき、ガソリンをふりかけても、発火しない。また、n-ヘキサン蒸気雰囲気下でも発火しない。

赤外線加熱方式は、原理上熱風式、蒸気加熱方式と比

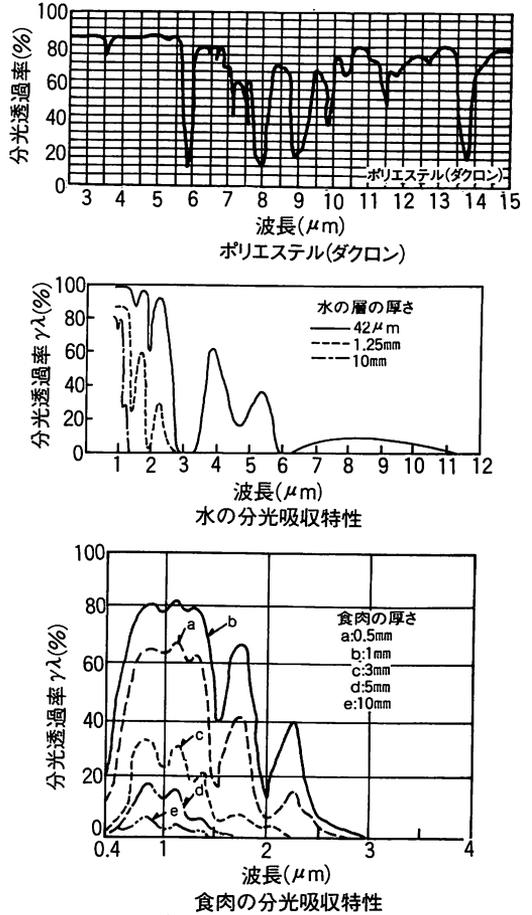


図-9 種々物質の赤外線吸収特性

べて媒体を経由せず、直接、被加熱物を加熱することができるので、大幅なスピードアップと省エネルギー化が可能である。

触媒バーナーの遠赤外線を主体とする高放射効率特性は、低温加熱分野の省資源、省エネルギー、スピードアップに大きな貢献が期待される。

このバーナーは、既に工場暖房、ポリエステルサーモゾル染色、織布加工処理等に使用されてきており実績を上げつつある

我々は、さらに業務用、家庭用暖房器、塗装乾燥焼付け、印刷乾燥、食品加工、樹脂加工等への応用を進めつつある。

図-10は、工場暖房として使用する際のバーナー配置状態であり、表3に示すCAT-0.8 2台で40㎡の広域マイルド暖房が達成されることを示す。

写3は、京都市染織試験場でポリエステルのサーモゾル染色の実用化試験を実施中のものである。

この場合、触媒バーナーは下向きで、強制通気燃焼

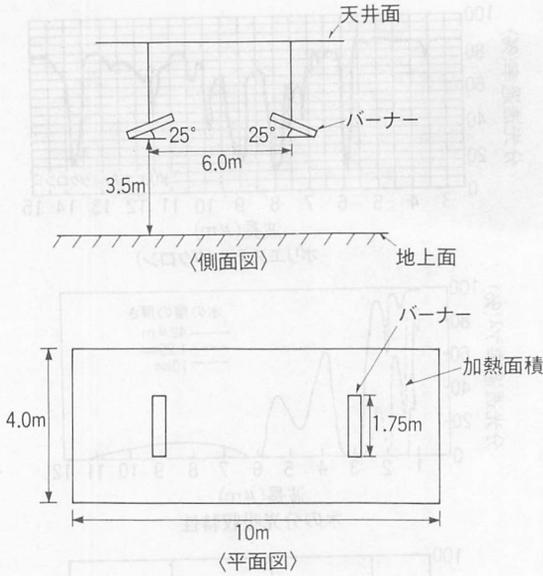
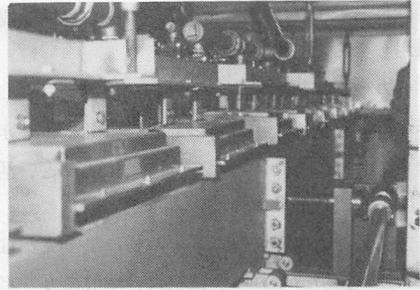


図-10 工場暖房応用例

している。

6. おわりに

触媒バーナーの応用技術は、まだ未熟な段階である。触媒バーナーの基礎特性は、明らかとなってきたので、多くの分野で、このバーナーの応用技術が進展することを期待している。



写3 ポリエステルサーモゾル染色への応用例

文 献

- 1) 貞森博己；触媒燃焼技術の現状，燃料協会誌，58巻，626号（1979）422～431
- 2) H. Sadamori, et'al；Development of Low Temperature Catalytic Burner, Proceeding of the 1981 International Gas Research Conference（1982）1467～1486
- 3) 山中龍雄；続・公害防止技術における触媒利用(7) 化学工業，24巻，10号（1973）109～116
- 4) 貞森博己他4名；低温触媒燃焼バーナーの燃焼解析，第20回燃焼シンポジウム（1982）199～201
- 5) 星川水哉他5名；遠赤外線ふく射暖房器，東芝レビュー，36巻，12号（1981）1110～1114

