

■ 報 文 ■

乱流拡散火炎における低カロリーガスの燃焼性

Combustibility of Low-Calorific Gases on Turbulent Diffusion Flame.

佐々木邦夫*・関口 善利**・山崎 勝彦***

Kunio Sasaki Yoshitoshi Sekiguchi Katsuhiko Yamazaki

1. 緒 言

発熱量が $2,500 \text{ kcal/Nm}^3$ ($10,465 \text{ kJ/m}^3$ (0°C , 1気圧))以下の可燃性ガスを一般に低カロリーガスと称している。これらのうち発熱量が $1,000 \sim 2,500 \text{ kcal/Nm}^3$ ($4,186 \sim 10,465 \text{ kJ/m}^3$ (0°C , 1気圧))と比較的高いガスは、ターン・ダウンが広くとれないなどの問題はあがあるが、通常の燃焼器で燃焼が可能である。

しかしながら、発熱量が $1,000 \text{ kcal/Nm}^3$ ($4,186 \text{ kJ/m}^3$ (0°C , 1気圧))以下になると、火炎の伝播速度が遅くなるために通常の燃焼器では火炎の安定性が急激に悪化し、燃焼を持続することが困難である。

したがって、これらの低カロリーガスを有効利用し、燃焼による熱回収をはかるには、特殊な低カロリーガス用の燃焼器を開発する必要があるが、これまでの希薄燃料の燃焼性に関する研究は、予混合炎についての

研究が多く、乱流拡散炎についてはあまり多く報告^{1), 2)}されていない。

筆者らは、このたび、新たに試作した拡散燃焼型のバーナを用いて、低カロリーガスの燃焼性に影響を与える種々の因子について実験的な検討を行ったのでその結果の概要を報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。

燃料および希釈剤の不活性ガスは、ボンベから所定の圧力に減圧され、流量測定された後、集合管で混合され、ガスヒータを通りバーナに導かれる。

一方、燃焼空気は、流量を測定され、エアヒータで所定の温度に加熱された後、バーナへ供給される。

燃焼炉本体は、内径 200 mm 、長さ 800 mm の水平円筒炉で、その内壁は熱放散を防ぐために耐火断熱材

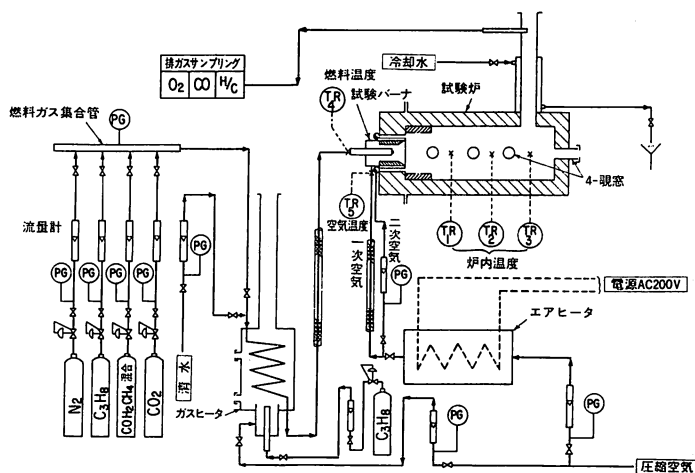


図-1 実験装置

* 日立造船技術研究所燃焼伝熱研究室
〒625 京都府舞鶴市余部下1180

** 日立造船技術研究所燃焼伝熱研究室

*** 日立造船舞鶴工場設計部陸機設計課

(註) 本研究会第2回発表会(58/4/25)で講演
原稿受付日(59/2/28)

(セラミック・ファイバー) で内張りが施してある。

燃焼下限界の測定は、予め炉をプロパンガスで昇温し、燃料を所定の組成の可燃ガスに切替えた後、不活性ガスの供給を開始し、次第に可燃ガスを希釈していくことによって燃焼下限濃度を求めた。

ただし、ここでは、燃焼下限濃度を火炎がバーナで保たされ、安定な燃焼を持続し、さらに排ガス中に未燃ガスが検出されない限界の可燃ガス濃度と定めた。

なお、排ガス中の O_2 濃度は2~4%の範囲内に保持した。(空気比1.2~1.8)

使用した燃料は、市販の純プロパン、 H_2 、 CO 、 CH_4 ガス、 C_2H_6 ガス、及び低カロリー混合ガスとして調整した、 CO 33.2%、 H_2 38.6%、 CH_4 28.2%の混合ガスを使用した。

不活性ガスとしては、市販の N_2 、 CO_2 ガス及び水蒸気を使用した。

試作したバーナの構造の概略を、図-2及び図-3に示す。

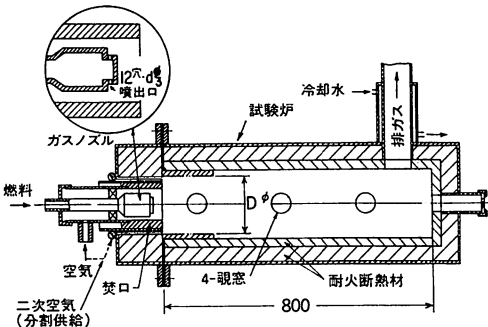


図-2 パラレル型バーナ

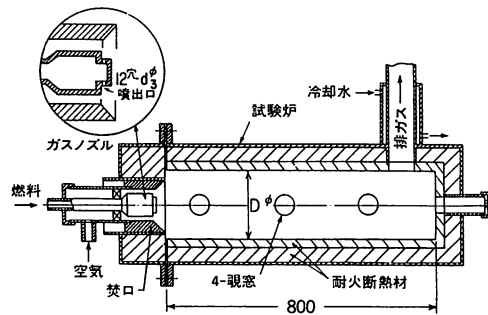


図-3 コニカル型バーナ

燃料と空気の流れを直交流とし火炎の安定化をはかったことが、本バーナの主な特徴である。

3. 実験結果

3.1 燃焼特性

それぞれのバーナに試作した種々のノズルを装備し、

燃焼実験を行い燃焼安定性に対するノズルの構造及び炉径の影響、さらには図-2に示すように、燃焼用空気の一部を2次空気として炉壁に沿って供給する空気の分割供給の効果などについて調べ、低カロリーの燃焼に適したバーナ構造の検討を行った。

実験結果の1例を図-4、図-5に示す。

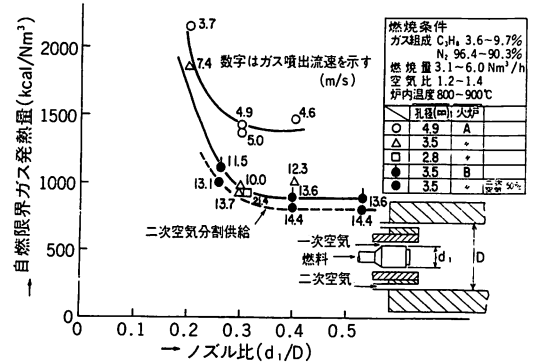


図-4 装置条件と限界ガス発熱量の関係(パラレル型)

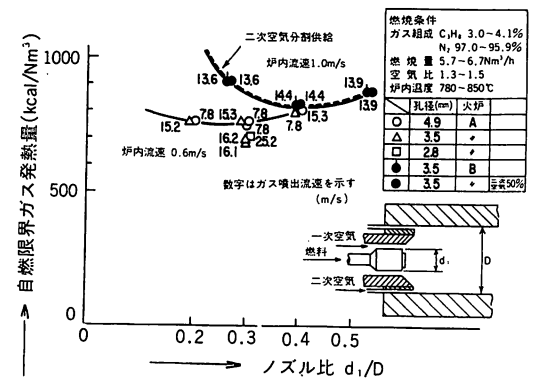


図-5 装置条件と限界ガス発熱量の関係(コニカル型)

この図から明らかなように、プロパンを燃料として用いた場合、パラレル型バーナでは自然限界発熱量が $800 kcal/Nm^3$ { $3,349 kJ/m^3$ ($0^\circ C$, 1気圧)} 以上であるのに対し、コニカル型バーナは、自然限界発熱量を $690 kcal/Nm^3$ { $2,888 kJ/m^3$ ($0^\circ C$, 1気圧)} まで低下させ得ることができ、低カロリーガスの燃焼には、図-3に示すようなコニカル型バーナが適していることがわかった。

これは、コニカル型は、パラレル型に比べ、ガスノズル後流にできる循環領域が大きいことや、コーン部にも外部の循環渦ができ保炎が行われることなどによるものと考えられる。

3.2 低カロリーガスの燃焼性

前述のとおり、バーナ構造としてコニカル型バーナ

が低カロリーガスの燃焼に適していることがわかったので、以後は、このコニカル型バーナを用いて、低カロリーガスの自燃限界値に及ぼす、(1)可燃ガスあるいは空気の前熱の影響、(2)不活性ガスの影響、(3)助燃剤としての水素および一酸化炭素の燃焼促進効果、(4)酸素富化の影響等について調べた。

(1) 予熱の影響

予熱によって低カロリーガスの燃焼性が改善されることは知られているが、従来は、空気あるいは燃料のどちらを予熱したほうがその効果が大きいかわからなかった。

そこで、この点を明らかにするために、 $C_3H_8-N_2$ 系を用い予熱の影響を詳しく調べた。

その結果を図-6に示す。

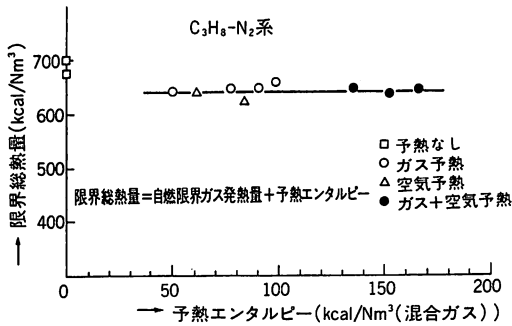


図-6 予熱エンタルピーと総発熱量の関係

この結果から、混合ガスの予熱あるいは空気予熱どちらもその効果は、予熱エンタルピーで評価すれば同じであり、燃焼限界の総熱量はほぼ一定となることがわかった。

ここで、予熱エンタルピーとは、低カロリーガス単位体積当りに予熱した熱量のことであり、総熱量とは、自然限界ガス発熱量に予熱エンタルピーを加えた値である。

(2) 不活性ガスの影響

可燃ガス中に含まれる不活性ガスの種類によって、その影響も異なるものと考えられる。

そこで、次に希釈不活性ガスを種々変え不活性ガスの影響を調べた。

図-7は、不活性ガスの種類の影響を示したものである。

これから、 N_2 に比べ H_2O 、 CO_2 の影響は大きいことがわかった。

低カロリーガスの燃焼温度は低く不活性ガスの解離はほとんど起らないものと思われる。したがって、この差は不活性ガスの熱容量の差によるものと考えられ

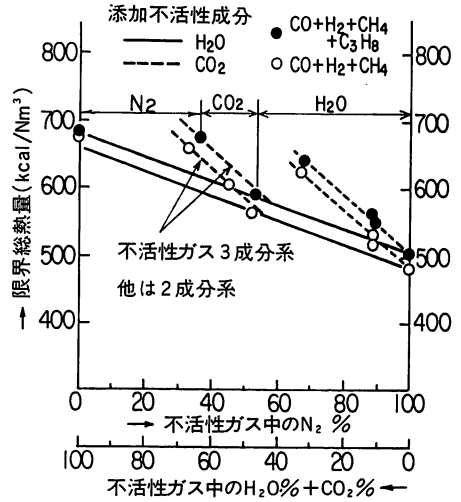


図-7 不活性ガスと限界総熱量の関係

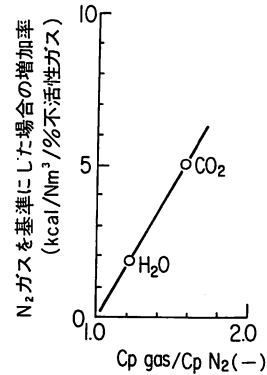


図-8 ガスの比熱と限界発熱量の関係

る。

そこで、 N_2 ガスを基準としての他の不活性ガスの比熱と限界発熱量との関係を調べた。その結果を図-8に示す。これから不活性ガスの影響は、主としてその熱容量に起因していることがわかった。

(3) 水素および一酸化炭素の影響

以前から、低カロリーガスの燃焼性を改善する手段として、ガス中に水素ガス等のガスを助燃剤として添加する方法が考えられている。

そこで、本実験においても、水素および一酸化炭素の影響を調べた。

その結果を図-9に示す。

この結果、水素および一酸化炭素の添加は、低カロリーガスの燃焼促進に非常に効果があることがわかった。特に限界発熱量中に占める H_2 あるいは CO の熱量割合が少ない場合にその効果が顕著であることから、

どちらのガスも低カロリーガスの助燃剤として優れていることがわかる。

(4) 酸素富化の影響

酸素を添加した空気（酸素富化空気）も、前述のH₂と同様に低カロリーガスの燃焼促進に効果があると言われている。そこで次に、炭化水素系燃料であるメタン、エタンおよびプロパンを用い酸素富化の影響について調べた。

その結果を図-10に示す。

この結果、酸化剤を含めた全ガス基準の単位体積当りの発熱量で評価すれば、酸素富化を行っても自然限界発熱量は一定であり酸素富化の効果はみられないことがわかった。

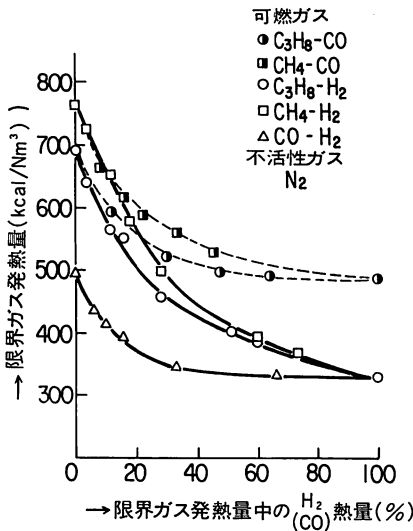


図-9 H₂(CO)と限界ガス発熱量との関係

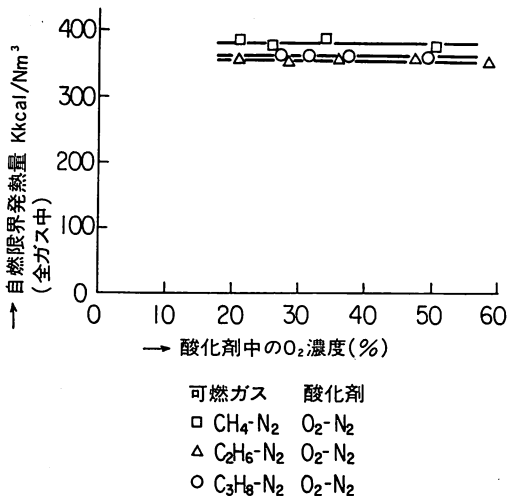


図-10 O₂濃度と自然限界発熱量の関係

したがって、酸素富化によっては、H₂添加のような燃焼の化学的な促進効果はみられず、燃焼空気の減少により自然限界発熱量が低下するという単なる熱的な効果であることがわかった。

(5) 爆発下限界濃度と燃焼下限界濃度の関係

拡散燃焼においても、燃焼限界時は、火炎面近傍におけるガス濃度は、予混合ガスの燃焼下限界濃度である爆発下限界濃度にほぼ等しいと考えられるので、燃焼下限界濃度と爆発下限界濃度の間には相関があると思われる。

そこで、予混合ガスの爆発限界値と今回得られた拡散燃焼における燃焼下限界値との関係を調べたのが図-11である。ただし、図中爆発下限界値は単体ガスについては文献値³⁾を用い混合ガスはルシヤ・トリエの式で求めた。これより炭化水素系燃料であるメタン、エタン、プロパンにおいて燃焼下限界濃度は爆発下限界濃度とほぼ直線の関係があることがわかった。

したがって、炭化水素系燃料では爆発下限界濃度から燃焼下限界濃度の推定ができることがわかった。

H₂, COを含む混合ガスは、この直線から少しはずれているが、これはH₂, COの影響のためと思われる。

4. 結 言

拡散燃焼でどの程度まで低カロリーガスの燃焼が可能になるか、さらに燃焼限界に影響を与える基礎的諸物性を実験的に検討した結果、次のことが明らかになった。

(1) 低カロリー燃焼には、循環領域を大きくして火炎を保持するコニカル型バーナが適している。

この場合、プロパン、窒素混合ガスを常温下にお

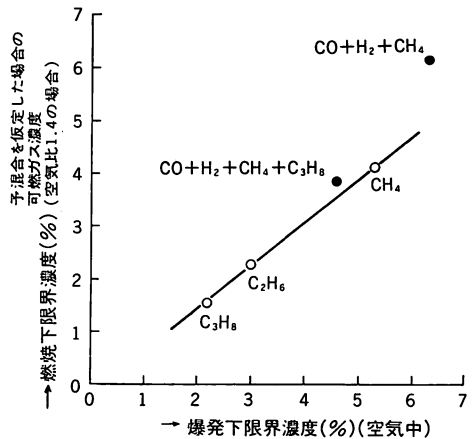


図-11 爆発下限界濃度と燃焼下限界濃度の関係

いて発熱量 690 kcal/Nm^3 ($2,888 \text{ kJ/m}^3$ (0°C , 1 気圧))まで自燃させることができる。

- (2) 予熱による影響は、混合ガスの予熱、空気予熱どちらもその効果は同じであり、予熱エンタルピー kcal/Nm^3 (混合ガス) で換算すればほぼ一定である。
- (3) 不活性ガスの影響については、水蒸気、炭酸ガスは N_2 に比べて不燃性が高いが、その効果は主として熱容量の差による。
- (4) 水素および一酸化炭素の添加は低カロリーガスの燃焼を促進する。
- (5) 酸素富化の影響は、酸化剤を含めた全ガス基準の単位体積当り自燃限界発熱量に換算すれば一定とな

り、その効果は燃焼空気量の減少による熱的な効果である。

- (6) 拡散燃焼においても炭化水素系燃料であるメタン、エタン、プロパンは自燃限界濃度と爆発限界濃度はほぼ直線関係にある。

参 考 文 献

- 1) 鈴木実, 辻廣; 水素・メタン混合気の燃焼限界に関する研究, 第18回燃焼シンポジウム前刷集 (1980) 98~100
- 2) 古田了一, 辻廣, 鈴木実; 拡散火炎の燃焼限界におよぼす二酸化炭素の影響, 第20回燃焼シンポジウム前刷集 (1982) 90~92
- 3) 日本化学会編; 化学便覧“基礎編II” (1966) 933~936

新刊洋書紹介

建築物におけるエネルギー管理システム ——具体的な実践方法——

- <原 題> ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN BUILDINGS
The Practical Lessons
- <著 者> Philip Gardner
- <発行年> 1984年7月
- <発行所> Energy Publications (英国)
- <価 格> Stg. £15.00 (約5,000円)

本書は、事務所や工場のエネルギー管理システムによる省エネルギー法について具体的に述べている。著者によれば、最新の技術を駆使すれば、10~30%の省エネルギーが可能であるが、それにはいろいろな落とし穴があって一筋縄ではいかない、とのことである。

本書の内容は、英国エネルギー省が行ったエネルギー保存計画 (ECDPS) の一環として行われた22種類のエネルギー管理方式の検討結果が土台になっている。主な目次は1. エネルギー管理システムの設計, 2. 仕様書の書き方, 3. 適当な装置の選定, 4. 請負見積書の評価法と契約の締結法, 5. 担当者の訓練と教育, 6. 結果の監視と改善計画。

本書は、具体的な実践法に主眼を置いているので、現場的に役立つ文献であろう。