

勾配磁界による酸素富化空気が同勾配磁界中で生ずる火炎の寸法変化に与える影響の特徴

青木 孝志*

Characteristics of Influences of an Oxygen - Enriched Air by a Magnetic Gradient Field on Dimensional Changes of a Flame in the Same Magnetic Gradient Fields.

Takashi AOKI*

(Received May 31, 1991)

Previously, the author reported that, when a butane flame is exposed to an upwardly - decreasing magnetic gradient field, dimensions L of the flame decrease. A strong magnetic gradient field can enrich a little the oxygen density of the air. Therefore, it is necessary to investigate how the magnetically - enriched oxygen affects combustion under the magnetic gradient field. In this paper, $(\Delta L)_{oxy}/\Delta L$ is examined, where $(\Delta L)_{oxy}$ means the dimensional change induced by the enriched oxygen, and ΔL means the dimensional change by the magnetic gradient field. It has been found that, relations $(\Delta L_x)_{oxy}/\Delta L_x < 2.0 \times 10^{-2}$, $(\Delta L_y)_{oxy}/\Delta L_y < 1.3 \times 10^{-2}$, $(\Delta L_z)_{oxy}/\Delta L_z < 1.1 \times 10^{-1}$ hold, if the enrichment of oxygen occurs. Here, L_z means the flame height, L_x and L_y mean the flame widths. The oxygen - enriched air gives the biggest effect on the flame length, while the magnetic field gives the biggest effect on the flame width.

1. 諸 言

磁界が上方に行くに従って減少している磁界勾配を有する磁界中に火炎を暴露すると、 OH^* 、 CH^* などのラジカル発光強度が増加し、燃焼効率が向上し、火炎の大きさが減少すること等を先に報告した^{1,2)}。これは磁界勾配に比例した磁気力が反磁性体の燃料ガス等に作用することが主原因であることは前に述べた¹⁾。

一方、強い勾配磁界は空気中の酸素をわずかながら濃

縮することが知られている³⁾。そして燃焼現象は酸素濃度によって変化を受けることも既知のことである。従って、上述のような勾配磁界下での燃焼の場合、磁界勾配により空気中の酸素がわずかでも濃縮される可能性があるならば、それが燃焼に与える影響の大きさのレベルと特徴を検討すべきである。

そこで、本論文は、上記勾配磁界下で発生する火炎の大きさの変化分 ΔL のうち、同勾配磁界による酸素濃度 C の変化分 ΔC によって起こる火炎の寸法変化分 $(\Delta L)_{oxy}$ の割合、すなわち $(\Delta L)_{oxy}/\Delta L \equiv R$ を勾

*工業物理学科 (Department of Engineering Physics)

配磁界による酸素濃縮の可能性の観点から検討した。

2. 実験方法

ΔL を求める方法は前報告¹⁾に詳述したので、ここではその概略を記す。図1(a)に示すように、一対の磁極(先端直径=60mm ϕ)の間隙 d (=10mm)の中心を座標 (X, Y, Z) の原点とする。 Z 軸は垂直上方向とし、 Y 軸は磁極面に垂直、 X 軸は磁極面に平行とする。 $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置にCu製バーナー口(内径1.15mm ϕ , 外径1.5mm ϕ のパイプ)を設定してブタンの火炎(非予混合)を作った。磁界をかけないときの火炎の高さ L_z を10mm一定とした。この状態で火炎は上方に減少する勾配磁界下に暴露されている。こうして励磁電流 I を変化させることにより勾配磁界を変化させたときの火炎の寸法変化を測定した。

酸素濃度 C の変化により火炎寸法 L (すなわち L_x, L_y, L_z ; 図1(b)参照)が変化することはよく知られているが、本実験で用いた火炎に対する $\Delta L/\Delta C$ の具体的な数値は実験により求めるしかないことはいうまでもない。そこで図1(c)に示すように、垂直にたてたチムニ(水平 X 方向5.5cm, 水平 Y 方向5.5cm, 垂直 Z 方向60cm)の中に上記と同じ銅製バーナーで同じ火炎(すなわち高さ10mm)を作った。チムニの下方から酸素濃度18~30%の空気を供給した。風量調節絞りとファンを調節して、常に一定風速6cm/sとした。この風速値6cm/sはチムニ中の整流格子, 風量絞, ファン等の流れの障害物を取り除いたとき, 通常空気($C=21\%$)中で同火炎がつくる火炎周囲の上昇気流の平均速度にほぼ等しい値である。 L_x, L_y, L_z の値は, 火炎を上方および側方より写真にとり, その写真を用いて遊動顕微鏡で測定した。

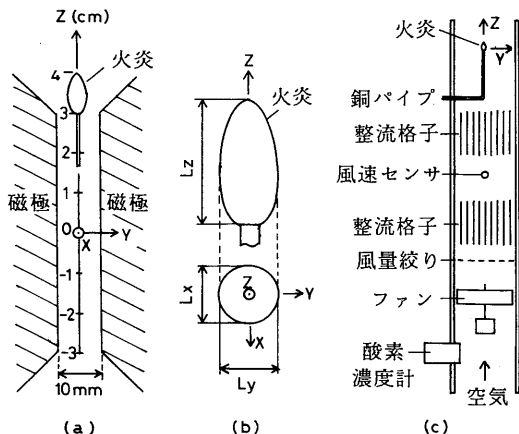


図1 (a)磁極間における火炎の位置¹⁾, (b) L_x, L_y, L_z の定義¹⁾, (c) $\Delta L/\Delta C$ の値を求めるための実験装置。

3. 結果および考察

火炎の X, Y, Z 方向の長さ L_x, L_y, L_z (図1(b))は $B \partial B/\partial Z$ が大きくなるほど小さくなった(ただし, B は磁束密度, $\partial B/\partial Z$ は垂直軸方向の磁界勾配。詳細は文献(1)のFig. 6参照)。図2(a)は本電磁石の $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置における $\partial B/\partial Z$ および I と B の関係を示している。図2(b)は $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置における B に対する $B \partial B/\partial Z$ の値を示している。本電磁石の励磁電流 I の最大値は10Aであり, このとき図2に示すように $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置で, 磁束密度 $B \approx 17\text{kGs}$, $\partial B/\partial Z = 8.53 \times 10^3\text{Gs/cm}$, $B \partial B/\partial Z \approx 1.45 \times 10^8\text{Gs}^2/\text{cm}$ である。このとき, L_x, L_y, L_z の磁界による変化率はそれぞれ, $\Delta L_x/L_x = -0.14$, $\Delta L_y/L_y = -0.22$, $\Delta L_z/L_z = -0.06$ であった¹⁾。そこで, この場合ブタンの供給を止めて火炎を消し, その位置における

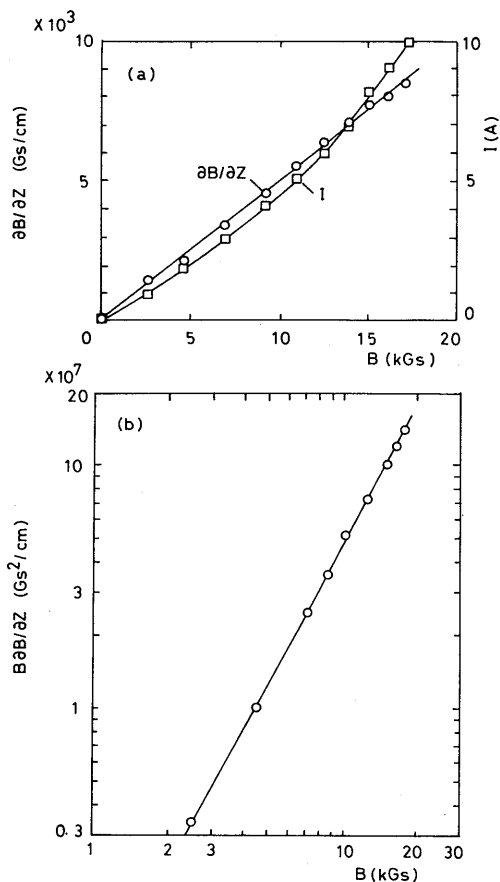


図2 (a) $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置における $\partial B/\partial Z$ および I と B の関係, (b) $(X, Y, Z) = (0, 0, 3\text{cm})$ の位置における $B \partial B/\partial Z$ と B との関係。

酸素濃度 C をガルバニ電池式酸素濃度計で、 $I = 0$ A および $I = 10$ A の場合について比較測定したところ、 0.1% の測定精度内ではなんら変化はみられなかった¹⁾。

磁気係数 κ なる物体 (体積 v) が磁気係数 κ_0 なる媒質中にあるとき、その物体に働く磁気力 F は、磁場を H とすると、

$$F = (\kappa - \kappa_0) v \nabla H^2 / 2 \quad (1)$$

となることは知られている。ここで酸素および窒素の磁気係数はそれぞれ 1.48×10^{-9} CGSemu, -0.40×10^{-9} CGSemu であるから空気中の酸素分子は電磁石の磁極の方に引張られることになり、その力 F は、 $B \partial B / \partial Z$ に比例している。この力により酸素が濃縮されるが、その濃縮度は $B \partial B / \partial Z$ が大きくなるほど大くなる。

そこで、さらに磁極間隙 d を 1 mm に狭めて $B \partial B / \partial Z$ の最大値を $d = 10$ mm の場合の約 7 倍にしてみた。しかし、酸素濃度はやはり 0.1% の測定精度内でなんら変化は見られなかった。従って、 $d = 10$ mm の場合は C の変化は 0.1% よりもかなり小さい、すなわち、

$$\Delta C < 0.1\% \quad (2)$$

と考えられる。このようなレベルの酸素濃度は現在の酸素濃度計の感度の限界を大きく越えている。

そこで、勾配磁界による酸素の濃縮例のデータから外挿を試みしてみる。小原等³⁾ は 70 kGs の超伝導マグネットと磁性細線を用いて、高勾配磁界を作り、通常の空気中の酸素濃度 $C (= 21\%)$ を $\Delta C = 0.4\%$ 濃縮することに成功した。磁性細線は磁界勾配を 5×10^4 倍強める働きがある³⁾。彼らの用いた超伝導電磁石の最大の磁束密度および磁界勾配を磁性細線なしの状態では、それぞれ B_s および $(\partial B / \partial Z)_s$ とし、筆者の用いた電磁石のそれらをそれぞれ B_o および $(\partial B / \partial Z)_o$ とする。彼らの場合は磁性細線が $\partial B / \partial Z$ を 5×10^4 倍強める働きがあることを考慮して、筆者の場合と比較してみると、

$$\begin{aligned} B_o (\partial B / \partial Z)_o / B_s [(\partial B / \partial Z)_s \cdot 5 \times 10^4] \\ = 2 \times 10^{-5} (B_o / B_s)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ただし $\partial B / \partial Z \propto B$ (図 2 (a) 参照) と仮定した。従って $B_o = 17.5$ kGs, $B_s = 70$ kGs とすれば、(3) 式の値は 1.25×10^{-6} となる。仮に酸素濃縮分は $B \partial B / \partial Z$ に比例するとしてみると前述の小原等の場合の酸素濃縮分は $\Delta C = 0.4\%$ であったから、筆者の場合の酸素濃縮分は (3) 式の結果を用いて $\Delta C \approx 0.4 (\%) \times$

$1.25 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-7} \%$ となる。この値は (2) 式と矛盾はしないが、上述のように幾つかの仮定のもとに行なった大雑把な外挿値であって確定値とすべきではなく、ある程度の目安にすぎない。

したがって酸素濃縮が起こったとしたら、少なくとも (2) 式に与えた ΔC の情報は確かである。 ΔC は現在の酸素濃度計の能力を越えたところにあるため、 ΔC の値を確定値で与えられないにしても、少なくともこれが現在得られる最善の情報であるから、以下 (2) 式に従って計算を行なうことにする。

図 3 は図 1 (c) の装置による実験結果であり、酸素濃度 C に対する L_x , L_y および L_z の変化を示している。図 3 より通常の空気 ($C = 21\%$) の付近では、 $d L_z / d C = -0.652$ (mm/%)、 $d L_x / d C = d L_y / d C = -0.135$ (mm/%) となる。また $C = 21\%$ のとき $L_z = 10$ mm, $L_x = L_y = 4.7$ mm である。従って $\Delta C \approx 0.1\%$ とすれば、 $(\Delta L_z / L_z)_{oxy} \approx -6.52 \times 10^{-3}$ 、 $(\Delta L_x / L_x)_{oxy} = (\Delta L_y / L_y)_{oxy} \approx -2.87 \times 10^{-3}$ となる。

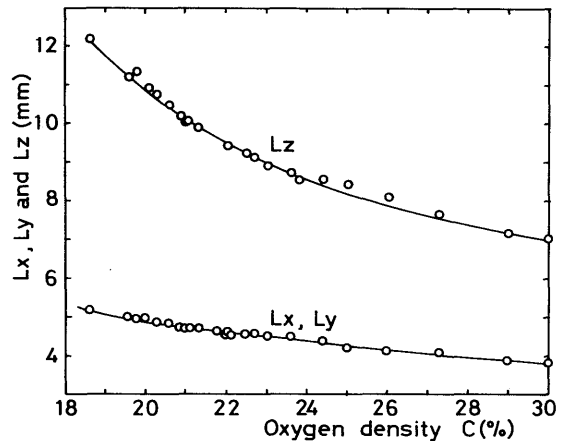


図 3 L_x , L_y , L_z の C 依存性。

本研究の目的は、 $R (\equiv \Delta (L_{oxy}) / \Delta L)$ の値、すなわち、

$$(\Delta L_x)_{oxy} / \Delta L_x = (\Delta L_x / L_x)_{oxy} / (\Delta L_z / L_z) \equiv R_x, \quad (4)$$

$$(\Delta L_y)_{oxy} / \Delta L_y = (\Delta L_y / L_y)_{oxy} / (\Delta L_y / L_y) \equiv R_y, \quad (5)$$

$$(\Delta L_z)_{oxy} / \Delta L_z = (\Delta L_z / L_z)_{oxy} / (\Delta L_z / L_z) \equiv R_z, \quad (6)$$

の値を決定することであった。いま酸素の濃縮がわずかも起こったとし、その濃縮度が (2) 式で与えられるとすれば、上式より、

$$R_x < 2.1 \times 10^{-2}, \quad (7)$$

$$R_y < 1.3 \times 10^{-2}, \quad (8)$$

$$R_z < 1.1 \times 10^{-1}, \quad (9)$$

という結果となる。このように R の値は小さいとはいえ、その小ささのオーダーを上式のように現在得られる情報の可能な範囲で実際に評価しておくことはもちろん大切である。

式(7)~(9)から明らかなように R_z は R_x, R_y より約 5~10 倍大きな値となる特徴を有する。これは $|(\Delta L_z/L_z)_{oxy}|$ が $|(\Delta L_x/L_x)_{oxy}|$ および $|(\Delta L_y/L_y)_{oxy}|$ よりも約 2 倍大きくなる（すなわち酸素の効果は火炎の高さに最も敏感に現れる）のに対し、逆に $|(\Delta L_x/L_x)|$ および $|(\Delta L_y/L_y)|$ が $|(\Delta L_z/L_z)|$ よりも約 2~4 倍大きくなる（すなわち、磁界の効果は火炎の横幅に最も敏感に現れる）ことによる。

4. 結 語

上方に向かって減少している磁界下で発生する火炎の大

きさの変化分 ΔL のうち、同勾配磁界による酸素濃度 C の変化分 ΔC によって起こる火炎の寸法変化分 $(\Delta L)_{oxy}$ の割合、すなわち $(\Delta L)_{oxy}/\Delta L \equiv R$ を勾配磁界による酸素濃縮の可能性の観点から検討したところ、本実験の結論として、次のことがいえる。

(1) 本勾配磁界下で酸素の濃縮が起こったとすると、 R_x, R_y, R_z の大きさはそれぞれ $R_x < 2.1 \times 10^{-2}$, $R_y < 1.3 \times 10^{-2}$, $R_z < 1.1 \times 10^{-1}$ で与えられる。

(2) 勾配磁界による酸素富化空気の効果は火炎の高さに最も敏感に現れるのに対し、逆に磁界の効果は火炎の横幅に最も敏感に現れる。

文 献

- 1) T. Aoki: Jpn. J. Appl. Phys, **28** (1989) 776.
- 2) 青木: 電気学会論文誌A, **111**, 2 (1991) 123.
- 3) 小原・市田・大浦・飯村: 電総研彙報, **48**, 12 (1984) 928.