

流動化粒子として石英砂を使用した 円筒形高温流動層における気泡径

幡手泰雄・右田光伸^{*1}・川畑のり子^{*2}

Desmond F. King^{*3}・碓 醇^{*1}

(受理 昭和63年5月31日)

BUBBLE SIZE IN A CYLINDRICAL FLUIDIZED BED AT ELEVATED TEMPERATURES USING A QUARTZ SAND AS FLUIDIZING PARTICLES

Yasuo HATATE, Mitsunobu MIGITA, Noriko KAWABATA,
Desmond F. KING and Atsushi IKARI

Average eruption sizes of swarms of bubbles in a cylindrical fluidized bed at 300, 600, 900 and 1000 K were measured using a cut of quartz sand to obtain the following results.

1. Bubble size observed above 600 K is much larger than that at 300 K. There is almost no difference in bubble size in a temperature range of 600 to 1000 K.
2. Under the conditions of 600 — 1000 K, large bubbles already exists even at low excess gas velocities, and only small increase in bubble size was observed with increasing excess gas velocity.
3. The relation between equivalent bubble size and eruption size of bubble is correlated by factor 1.3. It is estimated from this that almost semispherical bubbles were predominant in the experimental ranges of the excess gas velocity = 2—8 cm/s and the static bed height = 10—30 cm.

緒 言

石炭流動層燃焼ボイラーは将来の火力発電所における石炭専焼炉といわれており、我国においても実用化に向けて開発研究が進展している。しかしながら、高温時の気泡或いはスラッグの流動特性に関しては基礎的研究がほとんどなく、装置開発上大きな障害となっている。

本研究では、半円筒型流動層を用いた600Kにおける気泡群の挙動の研究に引き続き¹⁾、円筒型流動層を用いて、流動層表面上の気泡群を高速ビデオカメラで

撮影し、気泡径に及ぼす温度、流動化ガス速度および層高の影響を検討した。

1. 実 験

試料 使用した流動化粒子は平均径 $281\mu\text{m}$ 、密度 $2.51\text{g}/\text{cm}^3$ の石英砂である²⁾。

実験装置 Fig. 1 に実験装置の概略を示す、塔本体は内径147mm、塔高2100mmの鉄製円筒で、一段目の予熱部をかねた蓄気室と4段からなる流動層部で構成されている。塔の上部に、観察用箱が取り付けられており、中央部の石英ガラスを通して流動層表面の気泡群の様子を観察する事ができる。塔の各場所に前後左右4本ずつ9カ所圧力タップ、また側面に6カ所熱電対挿入管を設け、塔内各部分の圧力と温度が測定できる。塔周囲には円筒熱板及び保温材(カオウール)が取り付けられている。ガス分散器(分散板)は、鉄製

*1 新日鉄株, *2 日立ソフト株,

*3 Chevron Research Company CO.,

*4 鹿児島工業高等専門学校

の厚さ5mmの多孔板で、径1mmの孔を正方形配置で177個あけたもので、開孔比は0.82%である。

実験操作 塔内に所定量の石英砂を仕込み、コンプレッサーで空気を送り流動化させながら、加熱を開始した。所定の温度に達した後、まず最小流動化速度を測定し、次に所定の過剰ガス速度 $U_c - U_{mf}$ の下、1800分の1秒の露出時間をもつ高速度ビデオカメラで流動層表面の気泡群を撮影した。その際、45度に傾斜した反射鏡を観察箱上に置き、高速度カメラは水平方向から撮影した。

気泡径解析法 気泡径の測定はVTRモニター上で行った²⁾。すなわち、ビデオモニター上で、検定気泡を破裂直前の状態とし、その縦及び横方向の長さを測り、それらの平均値をその気泡の直径とした。同一条件につき120個程度の気泡の直径を求め、それらの体積平均径を平均径とした。この平均径は厳密には eruption 平均径と言うべきであるが、後述の相当径と区別する時以外は平均径と記述する。

2. 実験結果及び考察

Table 1 に実験条件を示す。静止層高5-30cm、過剰ガス速度1-8cm/s、流動層内温度300-1000Kの範囲で行った。Fig. 2に、最小流動化速度に及ぼす温度の影響を示す。図中の実線はErgunの式から計算した結果を示す。この式には±35%程度の誤差が見込まれており、本研究で得られた実測値はErgunの式と比較的良く一致している事がわかる。Figs. 3, 4及び5に、それぞれ過剰ガス速度 $U_c - U_{mf}$ が3, 4及び8cm/s一定とした時の気泡径と層高との関係を示す。これらの図から、温度600-1000Kでの気泡径は余り差がないが、300K(常温)に比較して大きい事がわかる。特に、 $U_c - U_{mf}$ が3cm/sの場合には600K以上の高温での気泡径は常温でのそれと比べて極めて大きい。 $U_c - U_{mf}$ が8cm/sとスラッグ流(付近)では、その差は小さくなる。これは、次の図で明らかのように、高温では過剰ガス速度の小さい場合で

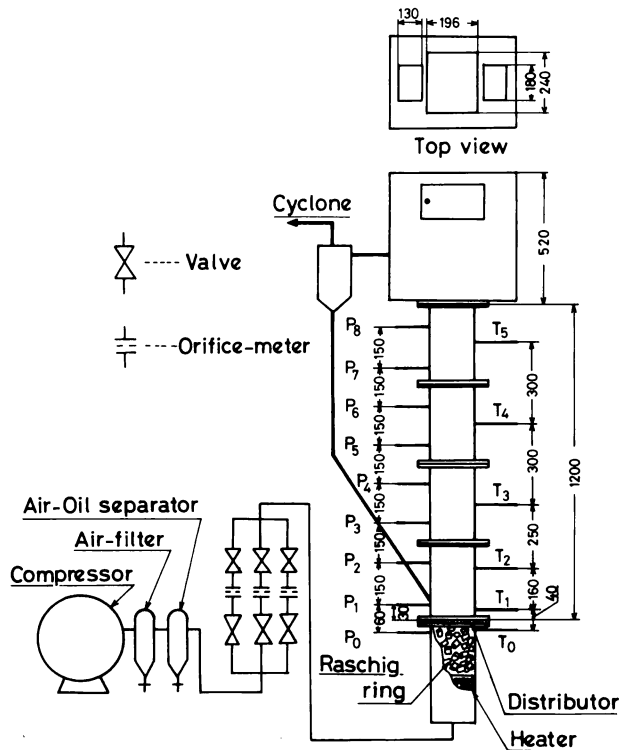


Fig. 1 Experimental apparatus

Table 1 Experimental condition

Static bed height	: 5, 10, 15 and 30 cm
$U_G - U_{mf}$: 1, 2, 3, 4 and 8 cm/s
Temperature of bed	: 300, 600, 900 and 1000 K

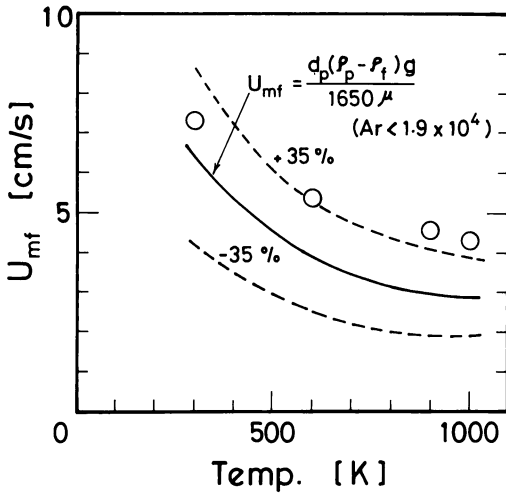


Fig. 2 Effect of temperature on U_{mf}

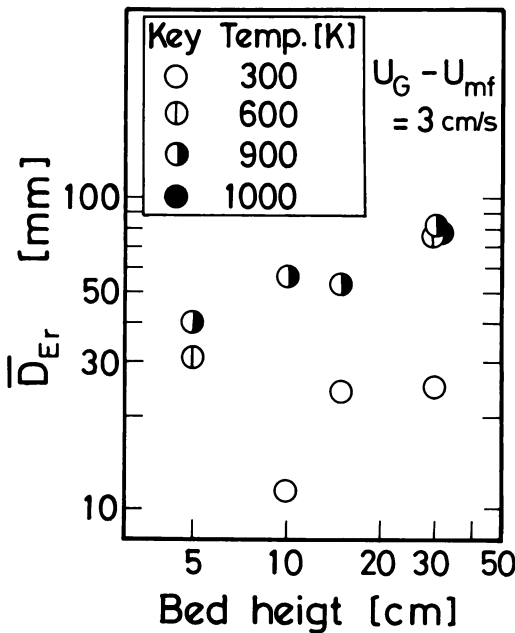


Fig. 3 Relation between \bar{D}_{Er} and h at $U_G - U_{mf} = 3$ cm/s

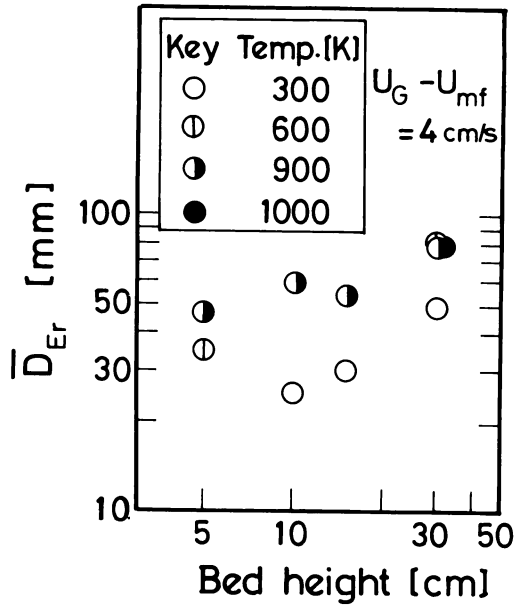


Fig. 4 Relation between \bar{D}_{Er} and h at $U_G - U_{mf} = 4$ cm/s

もすでに気泡の合一がほとんど完了しており、さらにガス速度を上げて気泡径がほとんど大きくなりなない為である。Figs. 6, 7 及び 8 に、それぞれ静止層高が 10, 15 及び 30 cm 一定とした時の気泡径と過剰ガス速度との関係を示す。静止層高 10 cm の場合、温度 900 K の気泡径は常温に比べて極めて大きい事、特に過剰ガス速度の小さい領域では温度の影響が大きくなる事がわかる。Fig. 8 の静止層高 30 cm の場合も他と同様の傾向を示しているが、本図から温度が 600 K 以上では気泡径に余り差がない事がわかる。Fig. 9 は本研究で得られた全測定値をまとめて示したもので、気泡径は 300 K と 600 K 以上との間に大きな差異がある事や 300 K では気泡径は層高及びガス速度の増加に伴って大きく増加するが、600 K 以上ではこのような現象は見られない事がわかる。これらの原因は、温度が上昇すると気泡の横方向の動きが激しくなるためと考えられる。600 K の半円筒形流動層による観察では、気泡の横方向の速度は常温に比べ約 5 倍程度大きいと報告されている³⁾。すなわち、高温下では気泡の合一が極めて迅速に行われるために、600-1000 K の間では余り差が生じないが、余り合一速度が大きい常温時の気泡径とは大きな差異を生じたと考えられる。

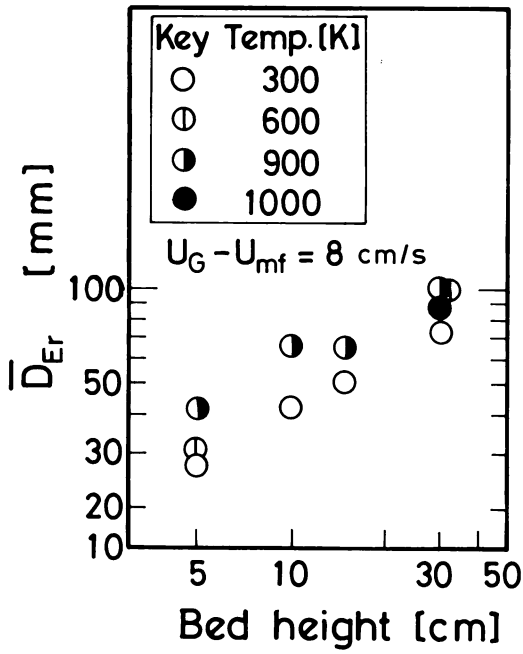


Fig. 5 Relation between \bar{D}_{Er} and h at $U_G - U_{mf} = 8$ cm/s

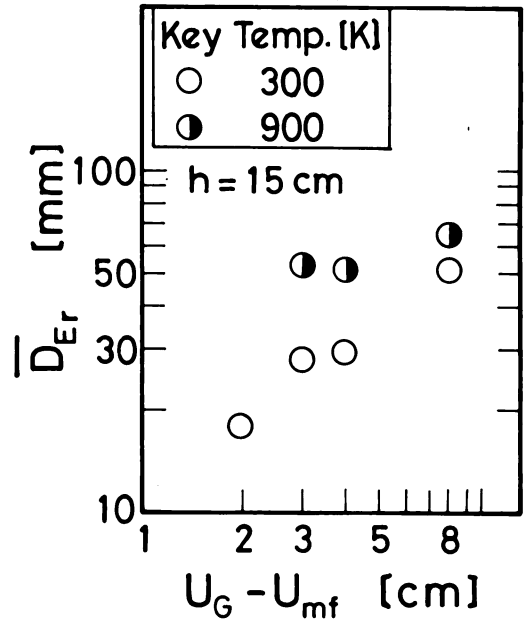


Fig. 7 Relation between \bar{D}_{Er} and $U_G - U_{mf}$ at $h = 15$ cm

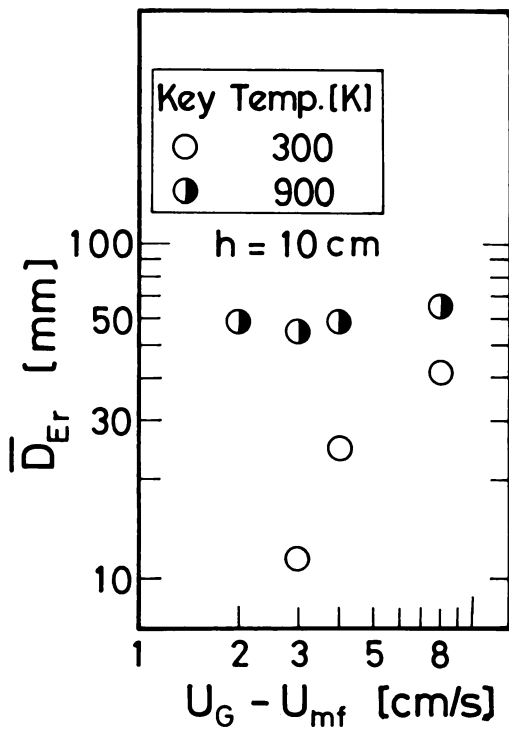


Fig. 6 Relation between \bar{D}_{Er} and $U_G - U_{mf}$ at $h = 10$ cm

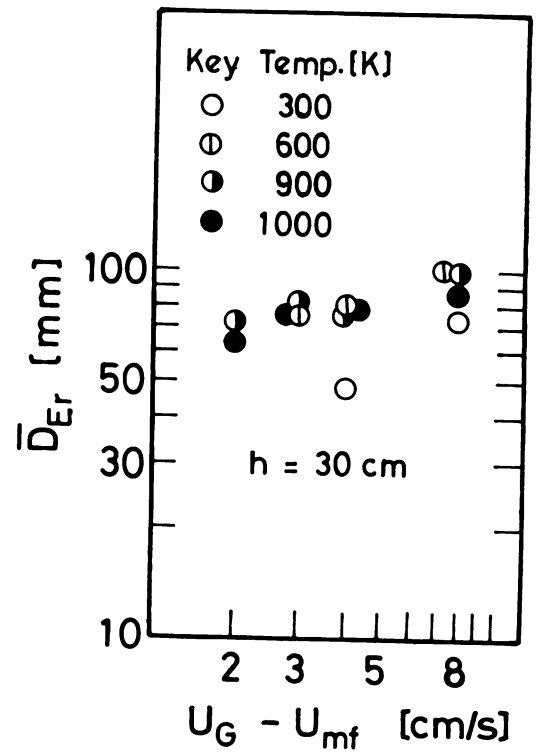


Fig. 8 Relation between \bar{D}_{Er} and $U_G - U_{mf}$ at $h = 30$ cm

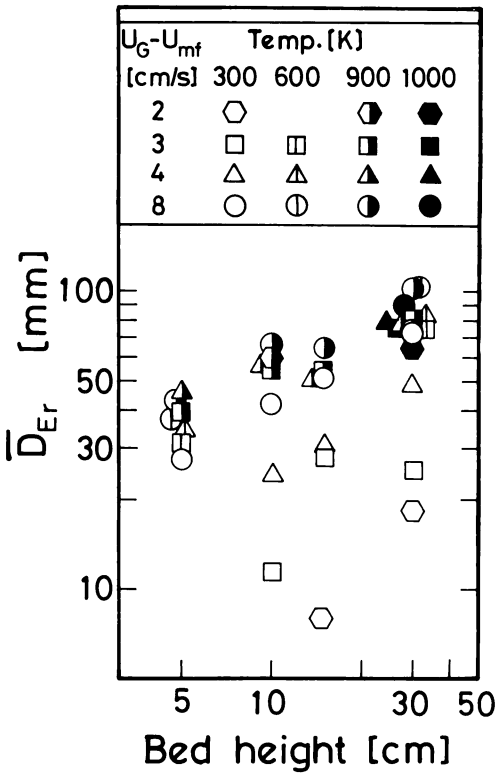


Fig. 9 Relation between \bar{D}_{Er} and h for all data

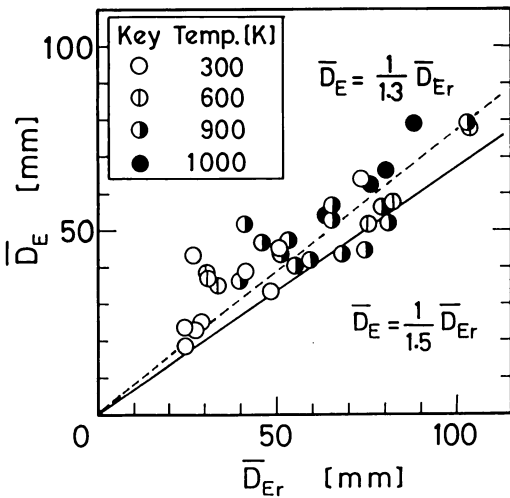


Fig. 10 Relation between \bar{D}_E and \bar{D}_{Er}

Fig.10に、気泡発生頻度測定値と過剰ガス速度から計算して求めた相当気泡径と Eruption 径との関係を示す。Geldart らは eruption 径は相当径の1.5倍にな

ると報告しており⁴⁾、図中にその関係を実線で示した。図から明らかなように、本研究で得られた実測値はこの直線より幾分上にはずれる傾向がある事がわかる。本研究では、図中に点線で示したように $\bar{D}_E = (1/1.3)\bar{D}_{Er}$ の関係がより実測値の関係をあらわしており、Geldart らの気泡に比べて細長い形状であった事を示唆している。係数の1.3は気泡を半球とした場合の係数1.26に極めて近く、本実験条件下では気泡の形状が半球状であった事を示している。

結 言

円筒形流動層で平均径281 μ m の石英砂を用いて300, 600, 900及び1000k における気泡径を測定し以下の結果を得た。

- 1) 温度600K 以上における気泡径は300K の場合より極めて大きい。600K から1000K の間では気泡径にほとんど差がない。
- 2) 600K から1000K では、小さい過剰ガス速度で大きな気泡が発生し、過剰ガス速度の増大に伴う気泡径の増加は余り大きくない。これは、高温下では、気泡の半径方向の動きが速くなり、気泡同志の合一がガス速度の小さい所でほとんど完了してしまうためと考えられる。
- 3) 相当気泡径と気泡 eruption 径との関係は $\bar{D}_E = \bar{D}_{Er}/1.3$ で近似され、本実験条件下では気泡は半球状であった事を示している。

記号の説明

- \bar{D}_E = average equivalent bubble size [mm]
- \bar{D}_{Er} = average size of erupting bubbles [mm]
- h = static bed height [cm]
- U_{mf} = minimum fluidizing velocity [cm/s]
- U_G = superficial gas velocity [cm/s]

引用文献

- 1) 右田, 上床, 幡手, King, 碓; 化学工学協会第18回秋季大会講演要旨集, SB105(1984)
- 2) Y.Hatate, D.F.King, M.Migita and A.Ikari, Journal of Chemical Engineering of Japan, **18**, 99(1985)
- 3) 右田, 鹿児島大学修士論文(1985)
- 4) D.Geldart and D.S.Kapoor, Chemical Engineering Science, **31**, 843(1976)