

水, 水銀, 溶鉄および溶銅浴中の気泡分散 挙動

論 文
////////////////////

川上正博*・細野 聡*²・高橋一寿*³・伊藤公允*

Bubble Dispersion Phenomena in Water, Mercury, Molten Iron and Molten Copper Baths

Masahiro KAWAKAMI, Satoru HOSONO, Kazutoshi TAKAHASHI and Koin ITO

Synopsis :

Bubble dispersion phenomena in water, mercury, molten iron and molten copper have been investigated by electro-resistivity probe method. The bath dimension and modified Froude numbers were adjusted in all measurements.

Bubble dispersion phenomena were qualitatively similar both in cold model and hot metal baths. Namely, the radial distribution of bubble frequency and local gas holdup were well represented by the two dimensional Gaussian distribution function. The radial and vertical distribution of bubble rising velocity were similar in all baths. The radial distribution of mean chord length were flat at every height. The mean chord length decreased with an increase of the height from nozzle, indicating disintegration of bubbles during ascending in the bath. However, they were different quantitatively. The boundary of the bubble dispersion zone, which was quantitatively defined by the locus of twofold standard deviation of the Gaussian distribution function, was wider in high temperature metal baths than that in cold model baths. The bubble rising velocity was higher in the order of molten iron = molten copper > mercury > water bath. The mean chord length was larger in the same order as above. The thermal expansion of bubbles in high temperature metal baths were not completed until the bubbles have ascended upto 150 mm from nozzle.

In conclusion, the bubble dispersion phenomena in high temperature metal baths cannot be simulated with those in cold model baths, even if the bath dimension and the modified Froude number were adjusted.

Key words : bubble dispersion phenomena; water; mercury; molten iron; molten copper; electro-resistivity probe; bubble frequency; local gas holdup; bubble rising velocity; mean chord length of bubbles.

1. 緒 言

近年, 鉄鋼製錬において数多くのガスインジェクション技術が用いられている。吹き込まれたガスは数多くの気泡に分裂し, 浴内に分散する。そのため反応界面積が極めて大きくなり反応を促進する。また, ガス吹込みによる攪拌動力のため, 浴の均一混合時間が小さくなる, などの効果が期待される。

従来, 液体中に吹き込まれたガスからの気泡の生成機構や平均気泡径などに関する研究が行われてきており, 森, 佐野¹⁾により要約されている。電気探針法による液体中への気泡分散挙動に関する研究も, 最近, 多く行わ

れているが, それらの大部分は水浴や水銀浴を用いた常温の実験である^{2)~9)}。高温の金属浴に関する実験はウッドメタルを用いたものと¹⁰⁾, 著者らによる溶鉄浴を用いたもののみである¹¹⁾。また, これらの実験では条件がまちまちであり, 意味のある比較は難しい。そこで本実験では, 下記の条件のもとに, 常温の水浴や水銀浴と, 高温の熔融金属浴中における気泡の分散挙動を比較検討することを目的とした。電気探針法により, (1)気泡通過頻度, (2)局所的ガスホールドアップ, (3)気泡上昇速度, (4)平均気泡弦長さの諸量を求め, その浴内分布をもって気泡分散挙動を表すこととした。高温浴には溶鉄と溶銅浴を選び, 浴の幾何学的形状をそろえ, 更に,

平成2年9月本会講演大会および10月本会第6回鉄鋼科学技術国際会議にて発表

平成3年3月25日受付 (Received Mar. 25, 1991)

* 豊橋技術科学大学 工博 (Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka Tenpaku-cho Toyohashi 441)

*² 豊橋技術科学大学大学院 (現: セイコーエプソン(株)) (Graduate School, Toyohashi University of Technology, Now Seiko Epson Corp.)

*³ 豊橋技術科学大学大学院 (Graduate School, Toyohashi University of Technology)

修正フルード数をそろえた条件下で実験を行った。

2. 実験方法

2.1 水および水銀浴における実験

水および水銀浴における実験に用いた装置の概略図を Fig. 1 に示す。実験装置は浴部、ガス供給部、信号測定部から成る。容器は、内径 150 mm 高さ 250 mm のアクリル製円筒で、この中に、0.5 wt% KCl 溶液、または、水銀を、浴高さ 200 mm まで約 3.53 l を満たし、浴とした。浴底部中心に、内径 1.5 mm 外径 2.5 mm のムライト管製のノズルを垂直に固定した。ガスボンベから取り出した N_2 ガスは、2, 5 のバルブ、および、3 のフロートメーターにて所定の圧力、流量に設定した後、6 のノズルから浴中へ吹き込まれた。信号測定部は、電気探針、可変抵抗、直流電源、アナログデータレコーダー及び、オシロスコープからなる。電気探針（以下探針）には、 $\phi 0.5$ mm の黒鉛棒（市販のシャープペンの芯、硬度 2 H）を用い、これを内径 0.8 mm、外径 1.2 mm のムライト管へ挿入し、先端を樹脂で被覆した後、円錐状に先端部のみを研磨した。探針材質に黒鉛を用いたのは直流通電による電解損耗を防ぐためであり、径を、0.5 mm としたのは高温の金属浴での実験条件とそろえるためである。また、前報¹¹⁾ に述べた相関分析から速度を求めるために、2本の探針を先端部で 5 mm ずらして並置した 2重探針を用いた。直流電源には 6 V の乾電池を用いたが、データレコーダーとプローブの間に可変抵抗器を介し、導通時の信号が 1 V になるようにオシロスコー

プで波形観察を行いながら調整を行った。電圧波形はアナログデータレコーダーに記録した。浴内の測定点は、浴の中心軸、すなわちノズル中心軸からの半径方向の距離を X (mm) とし、ノズル先端からの高さを、 Z (mm) として表した。各点における測定時間は約 135 s とした。

2.2 溶銅および溶鉄浴における実験

溶銅および溶鉄浴での実験に使用した装置の概略は前報¹¹⁾ と同じである。99.99% の純度の電気銅、あるいは、鋳物用銑鉄を、内径 150 mm、外径 210 mm、高さ 350 mm の黒鉛るつば内で、静止浴高さ 200 mm となるように溶解した。この浴寸法は水モデル実験のそれと同一スケールである。るつば底部中心に、水モデル実験と同一のノズルを取り付けた。蓋にも、厚さ 25 mm 黒鉛板を用い、浴を黒鉛で覆うようにしたので、高周波誘導による浴内の循環流動は、ほぼ防げた。信号測定部の構成は水モデルと同様である。Fig. 2 に高温用探針の構造を示す。高温浴用探針には高温強度が要求されるため、2本の探針を内径 4 mm、外径 6 mm のステンレス鋼管内に固定し、更にその外側を石英管で覆う構造とした。

電気銅、または鋳物用銑鉄を、ノズル保護のために約 5.0 NI/min の流量で窒素ガスを流しながら溶解し、1250°C まで昇温した。この温度で保持した後、窒素ガスを Table 1 に示した流量で流した。次に、探針固定スタンドに、探針を取り付け、約 1 min 程度、黒鉛るつば上部にて、予熱を行った。その後、探針をゆっくり浴中へ挿入し、所定の測定位置に探針先端が位置するように固定し、約 135 s 計測を行った。なお、探針寿命は約

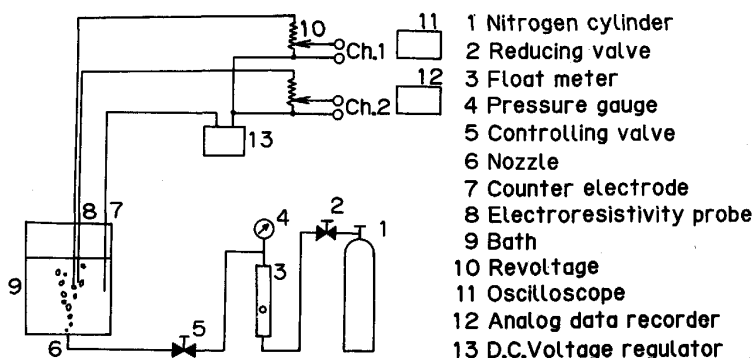


Fig. 1. Experimental apparatus for the measurement in water and mercury baths.

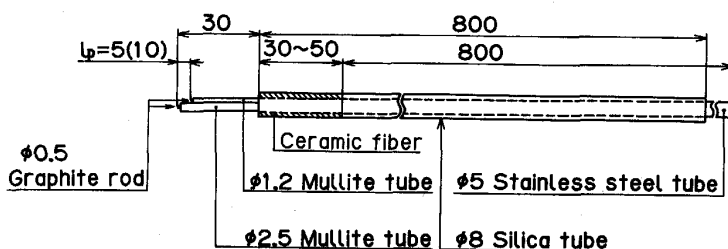


Fig. 2. Construction of electroresistivity probe for the measurement in molten iron and copper baths.

3 min であったが, 溶鉄浴では短いものもあった. その場合には, 探針を取りかえて所定時間の測定を行った.

2.3 データ処理方法

測定されたアナログデータは, 高速 A/D 変換ボード (変換速度 10 μs) を介して 16 bit パーソナルコンピュータに取り込んだ. それより, (1) 気泡通過頻度 ($f_b [s^{-1}]$), (2) 局所的ガスホールドアップ ($H [%]$), (3) 気泡上昇速度 ($v_b [m/s]$), (4) 平均気泡弦長さ ($l_{ba} [mm]$) の諸量の浴内分布を求めた. (1) から (3) の諸量の定義および算出方法は前報¹¹⁾ と同じである. 各測定点における気泡の上昇速度 v_b が測定されると, これに気泡が占めていた時間 t_b (s) を掛けることによって, 探針が個々の気泡を貫通する長さ, すなわち気泡弦長さ l_b (mm) が求められる.

$$l_b = v_b \cdot t_b \dots\dots\dots (1)$$

また一定時間 (30 s) 内に測定されたすべての気泡弦長さ l_b の平均値 l_{ba} は, 次のように計算される.

$$l_{ba} = \sum (v_b \cdot t_b) / N_b \dots\dots\dots (2)$$

サンプリングタイムは, 気泡通過頻度, ガスホールドアップ, 気泡弦長を計算するときは 1 ms とし, 気泡上昇速度を相互相関技術によって, 計算するときは 0.25 ms とした.

2.4 実験条件の設定

浴内の気泡分散挙動の整理に, 修正フルード数を用いることが, いくつか試みられている⁴⁾⁹⁾. 本実験でも, 何らかの基準で条件をそろえる必要があり, 修正フルード数を用いることを試みた. ノズル出口での修正フルード数は (3) 式で定義される.

$$Fr = \frac{Q^2 \rho_g}{g d_0^5 (\rho_l - \rho_g)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで, Q : ガス流量, g : 重力加速度, d_0 : ノズル内径, ρ_g : ガス密度, ρ_l : 液体密度である. 以前の研究で, 溶鉄中の気泡分散挙動の測定を行った時, ガス流量は 10, 15, 20 NI/min とした. そこで, そのデータと比較するため, まず, 溶鉄のこのガス流量に対する修正フルード数を計算した. この際, ガス膨張が完了したと考えられる場合では, 1250°C に換算したガス流量およびガス密度, ガス膨張を考えない場合は, 25°C でのガス流量およびガス密度を用いて計算した. (3) 式によって計算される修正フルード数を合わせて, 水, 水銀, および溶銅の各浴における実験のガス流量を逆算する式は次のようになる.

$$Q_0 = \sqrt{\left(\frac{Fr g d_0^5 (\rho_l - \rho_g)}{\rho_g} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

(3), (4) 式によって計算された, 修正フルード数 Fr ,

Table 1. The modified Froude number and gas injection rate in different baths.

Fr	Gas injection rate (NI/min)			
	Molten iron	Water	Mercury	Molten copper
a) 61	10.0	3.78	14.0	10.7
b) 311		8.54	31.0	
a) 137	15.0	5.67	—	16.0
b) 701		12.8	—	
a) 244	20.0	7.56	—	21.4
b) 1247		17.1	—	

The gas temperature was assumed as room temperature in a) and as the bath temperature in b).

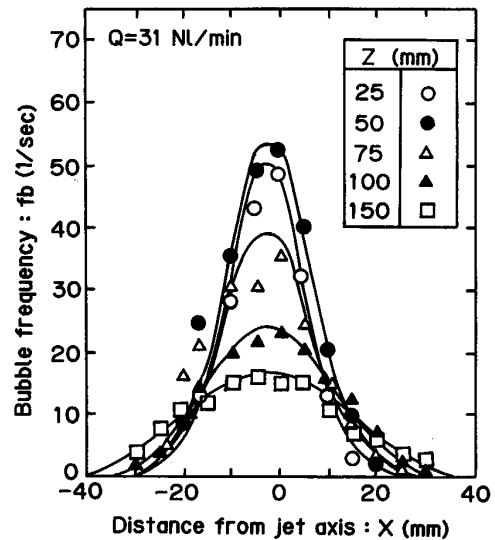


Fig. 3. Radial distribution of bubble frequency in mercury bath with the gas injection rate of 31.0 NI/min.

および, 各浴におけるガス流量をまとめたのが, Table 1 である. なお, 各段の上下の数字は, それぞれガスの温度を 25, 1250°C とした時の修正フルード数を示す. 溶銅浴では密度が大きいので, ガス流量は溶鉄浴の約 7% 増となった.

3. 結果および考察

3.1 気泡通過頻度の分布および気泡分散相の広がり

Fig. 3 に, 水銀浴中における気泡通過頻度の分布を示す. 半径方向の分布は軸中心にピークをもつ単峰の分布であり, (5) 式の二次元ガウス分布によくのっていた. また, 浴の上部ほどピークは下がり, 分布は半径方向になだらかに広がっていた. 水浴中の分布形状はこれと同様であった. Fig. 4 に溶銅浴中における気泡通過頻度の分布を示す. 分布形状は水銀浴中とほぼ同様であったが, 浴上部でもピークはあまり下がらず, 半径方向への広がりが大きくなった. 溶鉄浴でも同様の分布が得られた.

以前の研究では⁸⁾¹¹⁾, 気泡分散相の広がりを上記二次

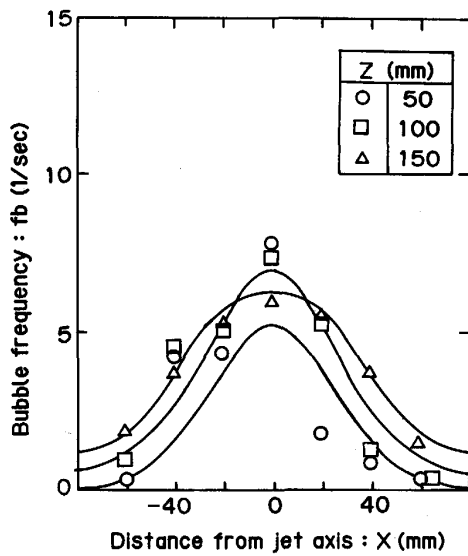


Fig. 4. Radial distribution of bubble frequency in molten copper bath with the gas injection rate of 10.7 NI/min.

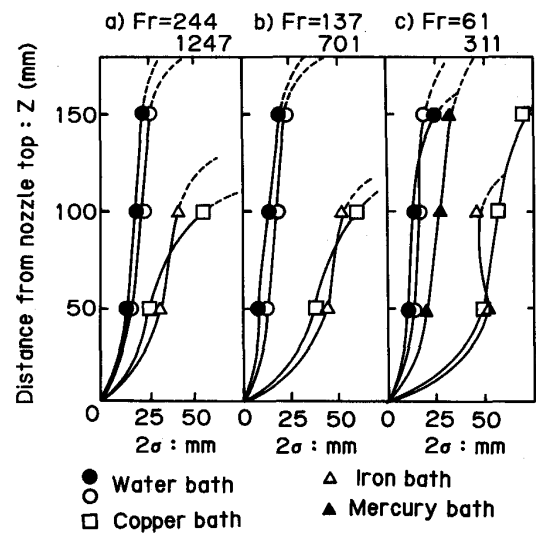


Fig. 5. Boundary of bubble dispersion zone defined by 2σ of Gaussian distribution function of bubble frequency in different baths. The closed circles correspond to higher Fr values.

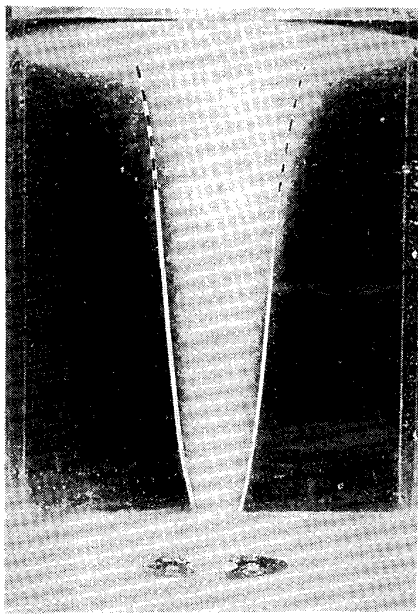


Photo. 1. Long time exposure photograph of bubble dispersion zone in water bath and locus of the 2σ .

元ガウス分布の標準偏差の3倍、すなわち、 3σ で定義した。これは、 3σ 以内に測定された気泡の99.7%が入っているためである。今回の実験の水浴中の気泡分散相を長時間露光写真撮影したところ、Photo. 1が得られた。写真の曲線は気泡通過頻度の分布測定から得られた 2σ の軌跡であるが、気泡分散相の境界はほぼ 2σ の軌跡と一致した。そこで、以後、気泡分散相の広がりを 2σ の軌跡で定義することとした。

$$f_b = \frac{I}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(5)$$

Fig. 5に、各浴での気泡分散相の広がりを比較する。図中、a), b), c)は溶鉄浴でのガス流量が、それぞれ20.0, 15.0, 10.0 NI/minの場合に対応している。いずれの場合も、浴寸法と修正フルード数を合わせたにもかかわらず、水および水銀浴と溶鉄および溶銅浴の間で、気泡分散相の広がりは異なっている。気泡分散相の広がりは、水、水銀、溶銅、溶鉄浴の順に広がっている。ただし、溶銅と溶鉄浴の間に、あまり差はない。室温浴では、気泡分散相の広がりはガス流量に依存しない。一方、溶銅浴では、気泡分散相の広がりはガス流量の増加とともに狭くなった。同様の傾向は、溶鉄浴についても見られた。このように、高温の熔融金属浴では気泡分散相の広がりはガス流量の増加と共に狭くなる。これは、気泡分散相が容器壁近くまで広がっており、壁効果が現れたためと考えられる。さらにガスの熱膨張に伴う攪拌動力も加わり、ガス吹込みに伴う攪拌動力が大きく、浴内の循環流動により気泡分散相が中心軸方向に閉じ込められたためと考えられる。

3.2 局所的ガスホールドアップの分布

Fig. 6に、溶鉄中における局所的ガスホールドアップの分布を、一例として示す。半径方向の分布は中心軸上にピークをもつ単峰の分布であった。また、気泡通過頻度の分布と同様、(5)式と同様の二次元ガウス分布によくのっていた。また、浴の上部ほど曲線の裾が広がるが、曲線の下面積は増加する。溶銅浴においても同様の結

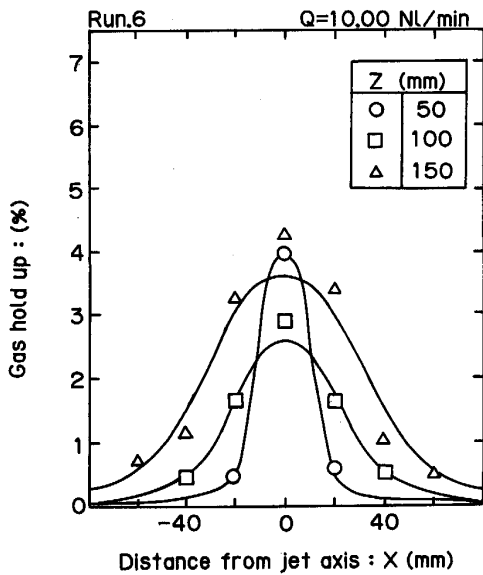


Fig. 6. Radial distribution of local gas holdup in molten iron bath with the gas injection rate of 10.0 NL/min.

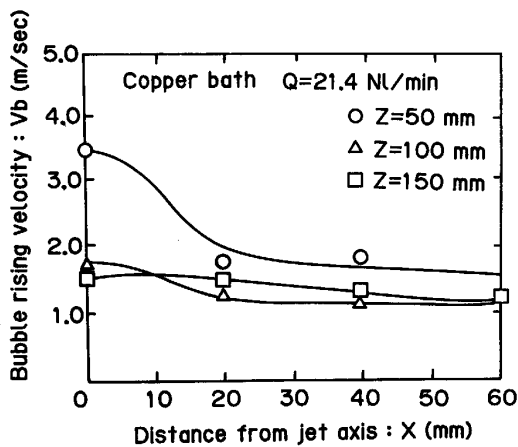


Fig. 7. Radial distribution of bubble rising velocity in molten copper bath with the gas injection rate of 21.4 NL/min.

果が得られた。水浴および水銀浴では分布曲線の形は同様であったが、曲線の下面積は一定に保たれながら浴の上部ほど曲線の裾が広がった。

3.3 気泡上昇速度の分布

Fig. 7 に、溶銅中における気泡上昇速度の分布を、一例として示す。浴の下部では、気泡上昇速度の半径方向分布は中心にピークを持つ形をしていた。浴の上部ほど曲線はなだらかになり、 $Z=150$ mm では、ほぼ一様になった。Fig. 8 に、 Fr を 1247 と上記の溶銅浴に合わせた条件下の水浴中における測定結果を示す。分布の傾向はほぼ溶銅浴中とおなじであった。両浴中の気泡上昇速度の絶対値を比較すると、どの位置においても水浴中

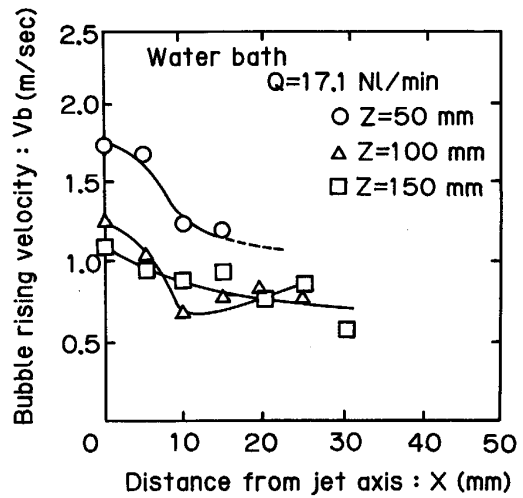


Fig. 8. Radial distribution of bubble rising velocity in water bath with the gas injection rate of 17.1 NL/min.

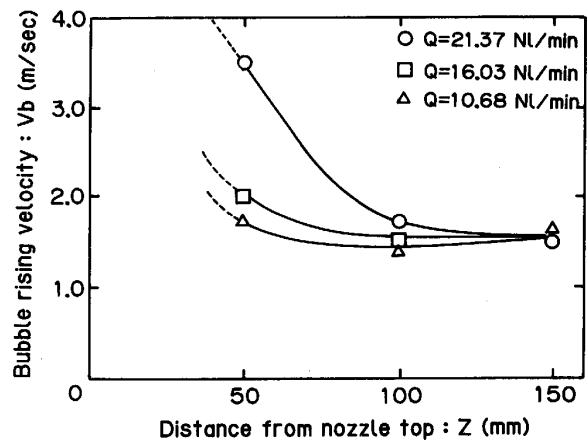


Fig. 9. Vertical distribution of bubble rising velocity on the central axis in molten copper bath at different height.

の値は溶銅浴中の約 2 分の 1 であった。Fig. 9 に、溶銅浴中における中心軸上の気泡上昇速度の垂直方向分布を示す。速度は浴上部になるほど小さくなり、ノズルから 100 mm 以上ではほぼ一定となった。ガス流量が増すとノズル近傍では増すが、浴上部ではガス流量によらず一定となった。Fig. 10 に、水銀浴中における同様の分布を示す。速度はいずれのガス流量でも、 $Z=75$ mm 以上の位置では一定の終端速度となった。しかし、溶銅浴とは異なり、終端速度はガス流量と共に増加した。 $Fr=311$ のデータを拾い水銀浴と溶銅浴中の気泡上昇速度を比較すると、水銀浴の $Q=31.0$ NL/min のデータと溶銅浴の $Q=10.7$ NL/min のデータは比較的よく一致している。しかし、 $Fr=61$ に対応する水銀浴の

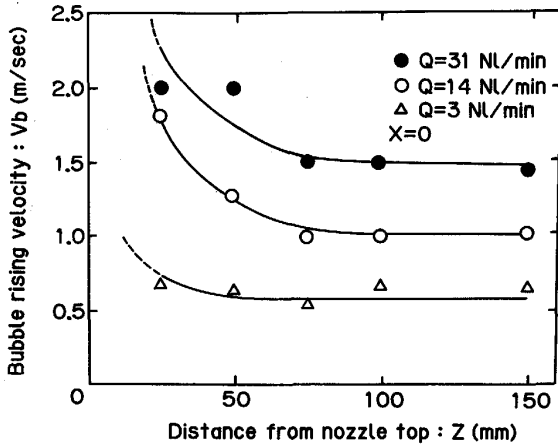


Fig. 10. Vertical distribution of bubble rising velocity on the central axis in mercury bath at different height.

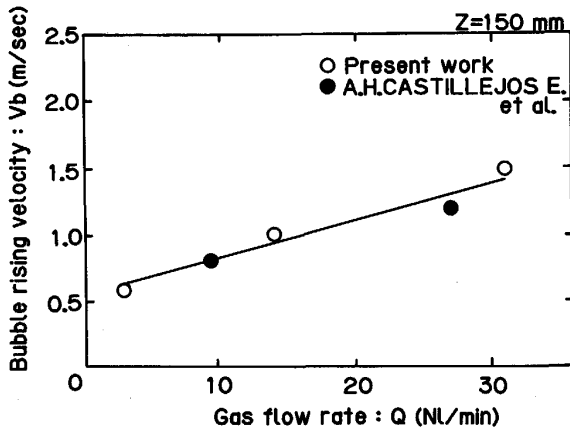


Fig. 11. Change in terminal rising velocity of bubbles in mercury bath with the gas injection rate.

$Q = 14.0 \text{ NL/min}$ のデータは溶銅浴のデータより小さかった。すなわち、吹き込まれたガスの熱膨張を考慮すれば、水銀浴と溶銅浴中の気泡上昇速度は一致した。Fig. 11 に、水銀浴中における終端速度の吹き込みガス流量依存性を示す。両者の間には直線性が認められる。また、本実験結果は CASTILLEJOSE らの結果⁵⁾ と良く一致した。

3.4 平均弦長さの分布

確率論的考察によれば、平均弦長さは平均気泡径の $2/3$ であることを別報で示した¹²⁾。そこで、平均弦長さによって分散気泡のおおよその大きさを推定する。Fig. 12, 13 に、水浴および溶銅浴中における平均弦長さの分布の例を示す。両浴とも半径方向の分布は一様であった。このことは、気泡通過頻度の分布が2次元ガウス分布に従うと、局所的ガスホールドアップの分布も2次元ガウス分布に従う理由と考えられる。また、浴内の上部ほど平均弦長さは小さくなっており、気泡は上昇中に分

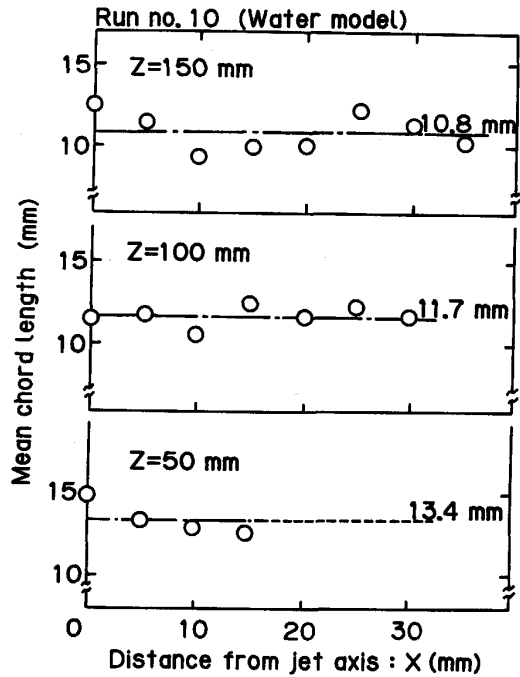


Fig. 12. Radial distribution of mean chord length of bubbles at different height in water bath.

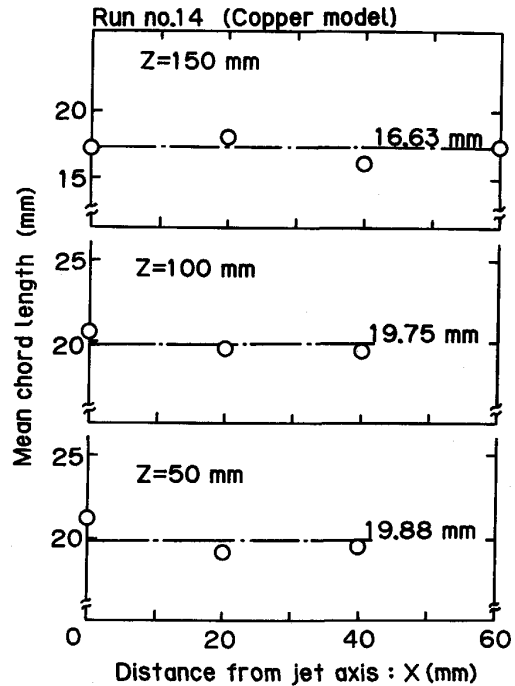


Fig. 13. Radial distribution of mean chord length of bubbles at different height in molten copper bath.

裂すると考えられる。水銀浴及び溶鉄浴では、データのばらつきが大きかったが、ほぼ同様の結果が得られた。平均弦長さの絶対値は、水銀、溶鉄、溶銅浴ではほぼ等しく、水浴ではそれらより小さかった。これは表面張力

の影響が大きいと考えられる。

一方, 佐野ら¹³⁾はノズル先端で生成する気泡径について詳細な実験を行い, 水銀, 溶融銀および溶鉄中で発生する気泡径を統一的に表す実験式を導いている。それによれば, 蓄気室容量が小さい場合, 気泡径は表面張力, 密度, ノズル外径および吹込みガス流量の関数で表される。また, IRONS と GUTHRIE¹⁴⁾は 1250°C の炭素飽和鉄中で測定を行い, 蓄気室容量の影響を含む詳細な検討を行っている。これら二つの研究結果を本実験の比較的大ガス流量域に当てはめると, 生成気泡径はノズル外形とガス流量のみでほぼ決まる。また, 生成気泡径は外径と共に大きくなるので, IRONS と GUTHRIE による測定での最大外径 2.5 cm の結果を基に, 本実験の溶鉄浴および溶銅浴での生成気泡径を推定したところ, 5~6 cm となった。ところが, 本実験では, ノズルは炉底に埋め込まれており, 外径を決めることはできないが, 生成気泡径はこれより大きくなると考えられる。平均弦長さを 1.5 倍して求めた平均気泡径は 3 cm 以下であるから, 気泡は上昇中に分裂していることが確かめられた。

3.5 測定精度の検証と溶銅浴における気泡温度の推定

浴内の各測定高さの断面を通過するガス流量は, 測定された局所的ガスホールドアップと気泡上昇速度の積を気泡分散相の全域にわたって面積分することにより, 計算することができる。すなわち,

$$Q_{cal} = \int_0^{2\sigma} 2\pi r \cdot H \cdot v_b dr \dots\dots\dots(6)$$

一方, 浴内に吹き込まれたガスは浴内の静水圧や熱膨張の影響を受ける。そこで, (6)式で計算される浴内の各測定高さの断面を通過するガス流量を NI/min で表したガス流量 Q^* に換算するために, KATO ら¹⁵⁾により示された次の関係式を用いる。

$$Q^* = \frac{298}{273+t} \left(1 + \frac{Z_0-Z}{760+13.6/\rho} \right) Q_{cal} \dots\dots\dots(7)$$

ここに, t は浴の温度 (°C), Z_0 は静止浴高さ, Z は浴の高さ (mm), ρ は浴の密度 (g/cm³) である。

Table 2 に, 予備実験として行った水浴中に 2.0 NI/min の流量でガスを吹き込んだ場合の各浴高さにおける Q_{cal} と Q^* の計算結果を示す。両者共, 吹込みガス流量とほぼ一致していた。Table 3 に, 水銀浴中における同様の計算結果を示す。 Q_{cal} は吹込みガス流量と比べて小さかったが, Q^* はほぼ一致した。すなわち, 水銀浴では浴の密度が大きい静水圧補正が必要であった。このように, 常温浴においては Q^* は吹込みガス流量とほぼ一致したことから, 局所的ガスホールドアップと気泡上昇速度の精度はほぼ満足できるものであるこ

Table 2. Gas flow rate calculated from equations (6) and (7) at different height in water bath at $Q=2.0$ NI/min.

	Vertical distance from nozzle : Zmm				
	25	50	75	100	150
Q_{cal} l/min	2.1	2.4	2.0	2.0	1.7
Q^* NI/min	2.1	2.4	2.0	2.0	1.7

Table 3. Gas flow rate calculated from equations (6) and (7) at different height in mercury bath.

		Vertical distance from nozzle : Zmm				
		25	50	75	100	150
$Q=14.0$ NI/min	Q_{cal} l/min	13.2	8.6	7.9	7.3	8.6
	Q^* NI/min	11.3	11.7	12.0	12.4	13.1
$Q=31.0$ NI/min	Q_{cal} l/min	16.0	19.8	14.5	18.4	18.4
	Q^* NI/min	26.0	25.9	27.5	28.3	30.0

Table 4. The bubble temperature estimated from equations (6) and (7) at different height in molten copper bath at $Q=10.7$ NI/min.

Height (mm)	50	100	150
Temperature (°C)	364	862	1578

とがわかった。

溶銅浴では, Q_{cal} は, Q の数値の数倍になっていた。これは吹き込まれたガスの熱膨張によるものである。そこで, (6)式を用いて計算した Q_{cal} を(7)式に代入し, Q^* に吹込みガス流量を代入して気泡の温度を推定した。その結果, 各高さにおける温度は Table 4 に示すような値になった。浴の温度は 1250°C であるから, 気泡内のガスの熱膨張は, $Z=100$ mm では完了していないと考えられる。なお, $Z=150$ mm で温度が浴の温度より高く計算されたのは, 局所的ガスホールドアップの測定誤差によると考えられる。すなわち, 浴表面が激しく上下するため, 探針が浴表面に出てしまった時間も, 局所的ガスホールドアップにカウントされたためと考えられる。溶鉄浴についても同様の推定を試みたが, 温度はマイナスの値になった。これは, 気泡分散相が偏心し, 局所的ガスホールドアップの測定が気泡分散相の中心からずれたところで行われたためと考えられる。すなわち, 気泡分散相の中心が X 軸と直角方向にずれていたにもかかわらず, 測定は X 軸に沿って行ったため, 局所的ガスホールドアップが小さめに測定されたためと考えられる。

4. 結 言

浴の寸法と修正フルード数をそろえた条件下で, 水銀

鉄, 溶鉄, 溶銅浴中にガスを吹き込み, 各浴内での気泡分散挙動を調べ, 以下のことが明らかとなった.

1) 気泡通過頻度の半径方向の分布は, いずれの浴でも 2 次元ガウス分布で表された. その標準偏差の 2 倍で気泡分散相の境界を定義した. 気泡分散相の広がり, 水, 水銀, 溶銅および溶鉄浴の順に広がった. 後 2 者では, 差は認められなかった. また, 前 2 者では気泡分散相の広がり, 吹込みガス流量に依存しなかったが, 後 2 者ではガス流量の増加とともに, 狭くなった.

2) 局所的ガスホールドアップの半径方向の分布は, いずれの浴でも 2 次元ガウス分布で表された.

3) 気泡上昇速度の半径方向の分布は, いずれの浴でも中心軸上でピークをもつ単峰の分布であった. しかし, 高い位置ほどその分布は滑らかになった. 溶銅浴中の気泡上昇速度は水浴中の約 2 倍であった.

4) 平均弦長さの半径方向の分布は, いずれの浴でも一様であった. また, 高い位置ほど平均弦長さは小さくなり, 気泡は上昇中に分裂する傾向にあった. 平均弦長さは, 水浴中より金属浴中の方が大きかった.

5) 局所的ガスホールドアップと気泡上昇速度のデータより浴内の各高さ断面を通過するガス流量を計算し, 吹込みガス流量と比較することにより常温浴における測定精度を確認した. また, 溶銅浴中に吹き込まれたガスの熱膨張は, ノズルから 100 mm の位置では完了していないことを明らかにした.

以上のように, 水, 水銀, 溶鉄, 溶銅浴内の気泡分散挙動は定性的には似かよっていた. しかし, 浴の寸法と修正フルード数を揃えたにもかかわらず, 定量的には,

かなり異なっており, 常温の浴を用いて高温の金属浴中の気泡分散挙動をシミュレートすることはできないことがわかった.

本研究は, 文部省の昭和 63 年~平成元年度科学研究費補助金(一般研究 C)を受けて, 行われた.

文 献

- 1) 森 一美, 佐野正道: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 672
- 2) T. C. HSIAO, T. LEHNER and B. KJELLBERG: Scand. J. Metall., **9** (1980), p. 105
- 3) 川上正博, 富本 登, 柳沢清春, 伊藤公允: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 774
- 4) K. H. TACKE, H. G. SCHUBERT, D. J. WEBER and K. SCHWERDTFEGGER: Metall. Trans. B, **16** (1985), p. 263
- 5) A. H. CASTILLEJOSE and J. K. BRIMACOMBE: Metall. Trans. B, **18** (1987), p. 659
- 6) S. TANIGUCHI, A. KIKUCHI, H. MAZUZAKI and N. BESSHO: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **28** (1988), p. 262
- 7) 井口 学, 谷 潤一, 植村知正, 川端弘俊, 竹内博明, 森田善一郎: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1785
- 8) 井口 学, 竹内博明, 森田善一郎: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 699
- 9) 井口 学, 川端弘俊, 岩崎敏勝, 野沢健太郎, 森田善一郎: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 840
- 10) Y. K. XIE, S. ORSTEN and F. OETERS: Proc. IISC, **1** (1990), p. 421
- 11) M. KAWAKAMI, Y. KITAZAWA, T. NAKAMURA, T. MIYAKE and K. ITO: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **25** (1985), p. 394
- 12) M. KAWAKAMI, N. TOMIMOTO, Y. KITAZAWA and K. ITO: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **28** (1988), p. 271
- 13) 佐野正道, 森 一美, 佐藤哲郎: 鉄と鋼, **63** (1977), p. 2308
- 14) G. A. IRONS and R. I. L. GUTHRIE: Metall. Trans. B, **9** (1978), p. 101
- 15) Y. KATO, T. SAKURAI, T. FUJII and H. NOMURA: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **28** (1988), p. 746