B 3 1 0

水電解における水素気泡発生に関する画像計測

榊原 昭彦[○](福井大学・院), 黒田 一郎(福井大学・院), 笹木 俊男(特許庁)

永井 二郎(福井大学・院), 村井 祐一(北海道大学・院), 山本 富士夫(福井大学・院)

Image Measurement of Hydrogen Bubble Generation in Water Electrolysis

Akihiko SAKAKIBARA[○], Ichiro KURODA, Toshio SASAKI

Niro NAGAI, Yuichi MURAI and Fujio YAMAMOTO

ABSTRACT:

Water electrolysis is one of the methods for hydrogen gas production. The objective of this study is to investigate the effect of the electrode surface roughness on the bubble generation from a viewpoint of the multiphase-flow engineering. We vertically set two electrodes into water tank and capture the images of hydrogen bubbles generated from cathode surface using the high-speed video camera. As a result, we found that bubbles are generated and released from fixed positions of the electrode surface. The size and velocity of released bubbles were measured.

Keywords: Water electrolysis, Bubble generation, Visualization

1. 緒論

水素関連技術の研究は、CO₂規制問題により現在再び注目されている。水電解はエネルギー源が唯一非化石系である確立された伝統的な水素製造法であり、将来的には、原子力発電の off-peak 電力を用いた水電解が期待されている⁽¹⁾。

水電解において、これまで多くの研究者が電解中に発生する気泡に注目してきた。Bruggeman は発生気泡を含む電解液の抵抗率 r^* [Ωcm] をボイド率の関数として次式を提案した⁽²⁾。

$$r^* = r_0 (1 - \alpha)^{-1.5}, \quad (1)$$

ただし、 r_0 [Ωcm] は单相時の電解液の抵抗率を示す。このようにボイド率をパラメータとして、水電解の一次元モデルが検討されてきたが、これまで気泡の発生と挙動を直接解析するような混相流のアプローチは殆ど行われていない。

本研究では気泡発生と挙動が電気抵抗とどのように関係するかを研究する初期段階として、まず、高速度ビデオカメラによる水電解気泡の撮影を基に水電解における気泡の発生と電極表面粗さとの関係を調査することに目的を絞る。

2. 実験装置

本実験装置の構成及び電極の概要図を Fig. 1, Fig. 2 に示す。電極はアクリル製の電極支持体(幅 10mm x 厚さ 5mm x 高さ 100mm)に白金めっき板(5mm x 5mm x

40mm)を固定し作成される。水電解反応を行う面以外はシリコン接着剤で被覆されている。アクリル製の電解槽(内容積 50mm x 50mm x 205mm)内にこの電極を設置し、蒸留水を高さ 150mm まで満たし、水電解装置を形成する。電極間(陰極—陽極間)の距離と電圧値をそれぞれ 3.0mm, 2.7 及び 7.0V に固定した定電圧試験を行う。画像観察において気泡の挙動が確認しやすいように、VTR 観察により任意的にこれらの値は定められている。照明法にはバックライト法を採用し、高速度ビデオカメラを用いて陰極の電極下端から 10 (電極下部), 20 (中央部), 30mm (上部) 近傍の画像を撮影する。

Fig.1 Experimental apparatus

3. 画像計測方法

気泡の発生位置及び気泡直径を得るために、得られた気泡画像に対し二値化処理を行う。本実験に関する計測

は気泡が球形であると仮定して、気泡発生位置に関しては投影気泡像の重心計測結果を用い、気泡直径に関しては画像の構成ピクセル数より直径を算出する。

4. 実験結果及び考察

4.1 気泡の発生位置と離脱気泡直径の計測

電極高さ方向における気泡の発生位置と離脱気泡直径の計測結果を Table 1, 2 に示す。表はそれぞれ、2.7V 負荷時の陰極中央部、7.0V 負荷時の陰極側の計測結果であり、D 及び Y は、それぞれ離脱時の気泡直径、気泡の発生位置（電極下端からの高さ）を示す。

Table 1 は、2.7V 負荷の場合で、気泡の発生位置及び離脱気泡直径の計測値の分散が小さく、同位置から気泡が一定の周期で発生・離脱している場合の結果である。電極表面が粗い場合は滑らかな電極に比べて、気泡の発生周期が短く気泡直径も小さい。一方、Table 2(a)と(b)は 7V 負荷の場合の結果で、気泡の発生位置に関しては分散値がきわめて小さいことから、2.7V 負荷の場合と同様、同位置から気泡が発生・離脱していることがわかる。気泡の直径に関しては Table 1 の 2.7V 負荷の場合の結果に比べて、大きい分散値となった。電極中央、上部では離脱気泡直径の分散値が電極下部に比べ大きく、電極の上部ほど離脱気泡直径が小さくなった。ここで、画像観察により、7V 負荷の場合、電極に付着している気泡に浮上気泡が接近し、一緒に浮上していく様子が多く見られた。このような現象は電極上部程多く、このため、離脱気泡直径が小さくなったことが考えられる。また、 $Ra=0.12\mu\text{m}$ と $0.45\mu\text{m}$ の電極の離脱気泡直径を比較すると、2.7V 負荷の場合と比べ、離脱気泡直径に大きな違いが見られなかったことも浮上気泡に因る影響が考えられる。

以上の結果は、電圧値や電流値のみでなく電極表面の凹凸構造も気泡の離脱に対する一つの因子となることを示唆するものである。

4.2 気泡成長速度の計測

気泡の成長速度の計測結果($Ra=0.12\mu\text{m}$)を Fig. 2 に示す。縦軸は気泡の投影画像より算出した気泡直径、横軸は気泡発生からの経過時間を示す。これは J. P. Glas⁽³⁾と同様、気泡直径がほぼ $\sqrt{t}$ に比例して増加しており、物質拡散が支配的であると考えられる。

5. 結言

本研究では、画像処理により水電解における水素気泡の発生位置、気泡直径、成長速度を測定し、電圧に因らず気泡は決まった位置から発生し、電極上部に付着した気泡が浮上気泡の接近とともに、一緒に動くなどの現象が観察された。

Table 1 The result of image measurement (2.7V)

Ra [μm]		0.12	0.45
D [μm]	Average	192	20.7
	Max	196	22.5
	Std. Dev.	2.01	0.920
Y [mm]	Average	21.4	20.4
	Std. Dev.	1.45×10^{-3}	3.41×10^{-3}
Cycle of bubble generation [s]		6.31	0.674

Table 2 The result of image measurement (7V)

(a) Smooth cathode ($Ra=0.12\mu\text{m}$)

Y=9.93 [mm]	D [μm]	Average	218
		Std. Dev.	4.98
Y=12.17 [mm]	Y [mm]	Std. Dev.	2.27×10^{-3}
	D [μm]	Average	217
Y=22.03 [mm]	D [μm]	Std. Dev.	4.54
	Y [mm]	Std. Dev.	8.29×10^{-3}
Y=22.03 [mm]	D [μm]	Average	144
		Std. Dev.	12.1
Y=29.49 [mm]	Y [mm]	Std. Dev.	4.53×10^{-4}
	D [μm]	Average	80.8
Y=29.78 [mm]	D [μm]	Std. Dev.	14.2
	Y [mm]	Std. Dev.	1.08×10^{-3}
Y=29.78 [mm]	D [μm]	Average	55.5
		Std. Dev.	14.1
Y=29.78 [mm]	Y [mm]	Std. Dev.	2.42×10^{-3}
	D [μm]	Average	58.8
Y=29.78 [mm]	D [μm]	Std. Dev.	13.5
	Y [mm]	Std. Dev.	3.55×10^{-3}

(b) Rough cathode ($Ra=0.45\mu\text{m}$)

Y=29.49 [mm]	D [μm]	Average	68.2
		Std. Dev.	9.31
Y=31.52 [mm]	Y [mm]	Std. Dev.	4.53×10^{-3}
	D [μm]	Average	78.6
Y=31.52 [mm]	D [μm]	Std. Dev.	25.2
	Y [mm]	Std. Dev.	1.24×10^{-3}

Fig. 2 Growth rate of hydrogen bubble

参考文献

- 1) 石田康人ほか:FAPIG, No. 165. (2003) pp. 21-26.
- 2) Bruggeman, D. A. G.: Annalen der physik, Vol. 5. No. 24. (1935) pp. 636-679
- 3) J. P. Glas and J. W. Westwater: Int. Heat Mass Transfer, Vol. 7, (1964) pp. 1427-1443