

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630349

研究課題名(和文) 気泡塔を利用したスマートグリッド装置の開発

研究課題名(英文) Development of smart grid system using bubble column

研究代表者

寺坂 宏一 (Terasaka, Koichi)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：00245606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：気泡塔を用いた新しい発電システムを提案し、このシステムの実現可能性を検討するため、実験室規模の高さ5.5mの気泡塔を用いて気液二相流の実験を行った。液空塔速度は、ガスの吹き込み流量と浸水率とともに増加し、最大でガス空塔速度が0.14m/sのとき、0.8m/sの液空塔速度が得られた。また、最大のプロペラの回転速度として280rpmが得られた。これらの結果から、気泡塔を用いた発電システムの可能性を示す結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：A new electricity generation system using a bubble column is proposed. In order to examine the feasibility of new electricity generation system, gas-liquid two-phase flow is studied using a bubble column of laboratory scale with a height of 5.5 m. The water superficial velocity increased with the air flow rate and submerge ratio. The highest value of the superficial velocity was 0.8 m/s at gas superficial velocity of 0.14 m/s. Rotation speed was linearly proposed to the water flow rate and maximum value was 280 rpm. This value is considered to be sufficiently high to drive the generator.

研究分野：化学工学

キーワード：発電システム 気泡塔 気液二相流 グリッドシステム

### 1. 研究開始当初の背景

化学工学分野で深く研究されてきた反応器の一つに気泡塔がある。気泡塔は液体を満たした容器に気体を気泡として供給し、気液間の物質移動および反応を行う装置である。同時に気泡に作用する浮力により、機械的な操作なしに液体を循環できる特性を持つ。極めて単純な構造で、建設および維持管理が容易に行えることから、反応器として数多くの運用がなされてきた。一方で、気泡塔を化学工学以外の分野に展開した例は世界的にほとんど見受けられない。本研究では、この気泡塔をスマートグリッドの中で重要な技術として位置づけられる蓄電装置として利用することを提案し、気泡塔で誘起させた循環流を用いて水車タービンを動かし、発電を行う装置の開発の実現可能性を調べることとする。

### 2. 研究の目的

本研究では、気泡塔を用いた発電技術を開発することを最終目的とし、実験室規模の装置を用いて、気泡によって誘発される液体の上昇流により、発電が可能か否かを調べることを目的とする。気泡塔は、直径 0.23 m、高さ 5.5 m であり、この気泡塔に水道水を満たし、コンプレッサで加圧した空気を吹き込むことで上昇流を発生させる。本設備に回転翼、変速機および発電機を設置し、吹き込みガス流量と上昇液流速の関係、および上昇液流速とプロペラの回転速度を調べ、本実験装置により、発電が可能かどうかを調べることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験装置

Fig. 1 にガスリフト法を用いた大型気泡塔の発電装置の概略を示す。装置の高さ 6250 mm、上昇管の内径 23 mm、下降管の内径 460 mm、プロペラは上部タンクの底から 900 mm 下に取り付けた。装置内に送るガスは最初に①のコンプレッサで圧縮し、②のドライヤーによって空気内の水分を蒸発させる。④マスフローメータを通し、ガス流量を測定して上昇管下部に送り込む。送り込まれたガスによって2つの管内密度差により実験装置内に液循環が発生し、プロペラが回転した。また、測定開始条件として、ガス流量は始め液流量が最大となる値とし、次第に流量を減らしながら、測定を行い、プロペラが停止した時点で終了とした。④のマスフローメータでガス流量、上昇管下部に取り付けた⑥の電磁流量計で液流量、装置上部に取り付けた⑧のタコメータでプロペラの回転数を測定し、測定した数値をすべて⑨のデータロガーに記録した。また、プロペラの回転数は、高速度カメラで撮影した画像からも算出した。

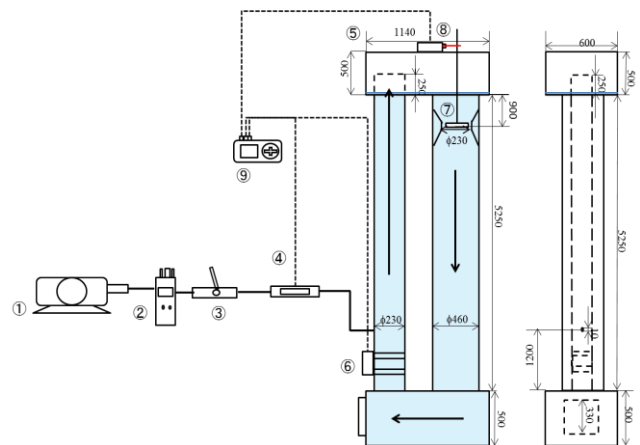


Fig.1 Experimental apparatus

#### (2) 下降管内の詳細

Fig. 2 に下降管の上部に設置したプロペラの写真を示す。



Fig. 2 The picture of propeller

下降管の上部にはドラフトチューブを設置した。プロペラの回転数を上げるためであり、内径は 380 mm から 320 mm へと変化する形状である。実験に使用したプロペラは上部タンク層の底から 900 mm の位置に設置し、幅 150 mm の 3 枚翼の汎用プロペラを使用した。

#### (3) 浸水率の定義

気泡塔の全長は 5500mm であり、上昇管の端は上部タンク底面より 250 mm 上方に突き出ている。これは、気液分離を行う働きがある。気泡が上昇することによって、水面が上昇し、下降管に流入するようになっている。このため装置上部のタンクの底からの液面の高さを  $h$  とし、浸水率  $E_L$  を、上昇管の中に存在する水の割合として、以下の式で定義した。

$$E_L = \frac{5500 - (250 - h)}{5500} \quad (1)$$

Fig. 3(a)にガス吹き込み付近の下部の様子を、Fig. 3(b)に装置上部の気泡の様子を示す。

下部では空気が壁面に寄っているが、上部に到達するにつれて、小さな気泡が管内に均一に分散していることが確認できる。このことより、ガスの吹き込み口の形状による循環への影響は少ないものと考えられることができる。

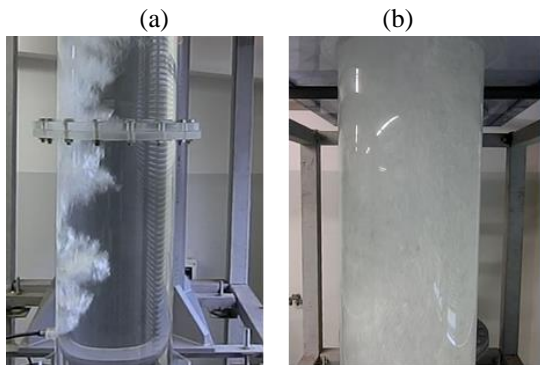


Fig. 3 Flow pattern in riser pipe

実験は浸水率  $E_L$  と  $h$  がそれぞれ 0.93 - 0.95、0.1-0.2[m] の範囲で、また、ガス流量  $Q_L$  は 134 - 3500 L/min の範囲で行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 液空塔速度とガス空塔速度

Fig.4 に  $E_L=0.95$ 、ガス流量  $Q_L=270$  L/min でのプロペラ設置部の流動状態を示す。下降管内に設置されたドラフトチューブ内には、上部のタンクで分離しきれなかった気泡の巻き込みが確認できる。



Fig. 4 Snapshot of propeller section

Fig. 5 にプロペラの設置前と設置後の液空塔速度  $U_L$  とガス空塔速度  $U_G$  の関係を示す。中実のプロットはプロペラ部を設置した状態での結果を、中空のプロットはプロペラを設置する前の結果である。図より、ガス空塔速度の増加と共に液空塔速度は増加し、最大 0.85 m/s の空塔液流速が得られた。また、水位  $h$  の増加と共に、同じガス空塔速度でも、大きな液空塔速度が得られることが分かった。また、プロペラを設置することによって速度は変化していないことが確認できた。プロペラの設置による流動抵抗は少ないとわかる。プロペラ設置後の液空塔速度とガス空塔速度は、以下の関係式

$$U_L = 4.0 U_G^{1/2} E_L^{10} \quad (2)$$

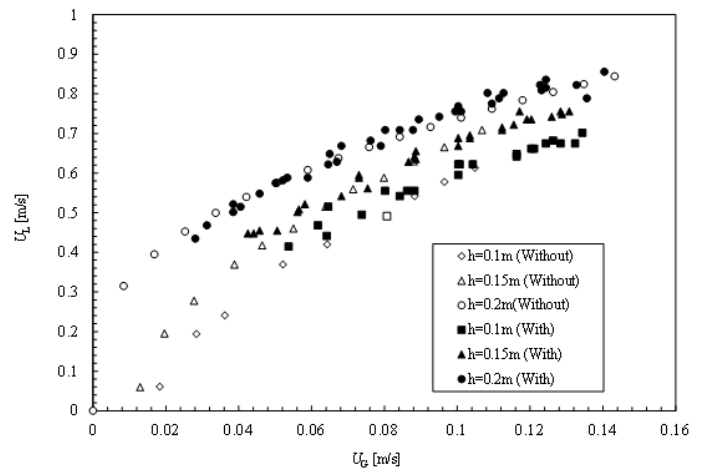


Fig.5 Relationship between  $U_L$  and  $U_G$

により、誤差 15% 以内で整理できることが分かった。

##### (2) 液空塔速度とプロペラ回転数

Fig. 6 に浸水率  $E_L$  を変更し、それぞれ測定した場合のプロペラの回転数  $R$  と液空塔速度  $U_L$  の関係を示す。白塗のプロットはタコメータを使用し、黒塗のプロットはデジタルカメラを用いて測定した数値である。図より空塔液速度  $U_L$  が 0.5 m/s 以下になると回転数  $R$  は急激に減少し回転が止まることが確認できた。また測定法の違いによる数値の誤差は小さいことが確認できた。回転数  $R$  の最大値は  $E_L=0.93$ 、 $U_L=0.86$  で 278 rpm となった。この結果を整理して、プロペラの回転数は液空塔速度の二乗に比例することが分かった。

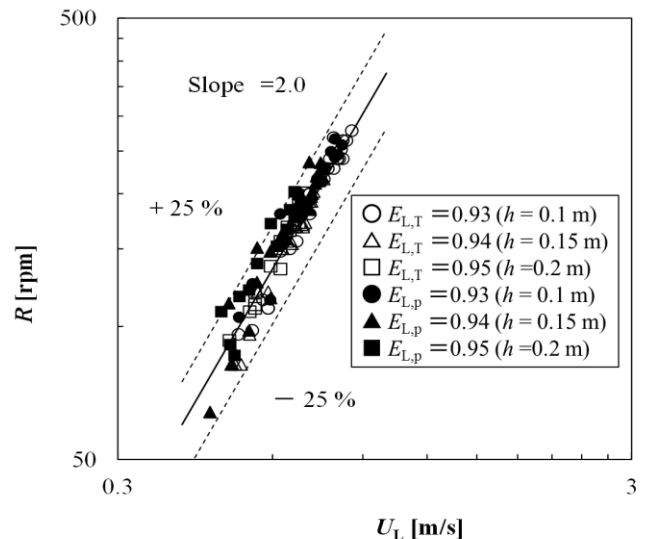


Fig. 6 Relationship between  $R$  and  $U_L$

これらの結果を以下にまとめる。

1. 空塔液速度  $U_L$  と空塔ガス速度  $U_G$  は、浸水率  $E_L$  に依存し、空塔速度に及ぼすプロペラ

の設置の影響は認められなかった。

2. 下降管を流下する空塔液速度  $U_L$  は、空塔液速度  $U_G$  の 1/2 乗に比例して増加し、浸水率  $E_L$  が大きくなるほど大きくなった。  $U_L$  と  $U_G$  の関係は以下の式で表される。

$$U_L = 4.0 U_G^{1/2} E_L^{10} \quad (3)$$

3. プロペラの回転数  $R$  はプロペラの回転数  $R$  は、液速度  $U_L$  の 2 乗に比例して増加した。  $R$  と  $U_L$  の関係は以下の式で表される

$$R = 3.8 \times 10^2 U_L^2 \quad (4)$$

4. 式(3),(4)を組み合わせるにより、プロペラの回転数  $R$  は以下の式で表される。

$$R = 6.08 \times 10^3 U_G E_L^{20} \quad (5)$$

上記の結果と下降管の液流により、プロペラの回転が確認できたことから、ガスリフト法における発電は可能であることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

Y. Matsukuma, N. Shimada, K. Terasaka, S. Iwata, M. Ohta, S. Fujioka, S. Honma, K. Mizuta, New electricity generation system using a bubble column 2nd International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering (MMPE2014), 2014年9月27日, ハンブルグ (ドイツ)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

寺坂宏一 (TERASAKA, Koichi)  
慶應義塾大学理工学部：教授  
研究者番号：00245606

### (2) 研究分担者

松隈 洋介 (MATSUKUMA, Yosuke)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号：70282241