

コンケーブタービンを含む2段翼を備えた気液攪拌槽における所要動力

古川陽輝¹・亀井登²・加藤禎人¹⁺⁺・賀成莉¹・鈴木智也¹・多田豊¹

¹名古屋工業大学 工学部 生命・物質工学科, 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

²株式会社ダイセル, 944-8550 新潟県妙高市新工町1-1

キーワード: 混合, 気液攪拌, コンケーブタービン, 大型スパージャー, 通気動力

コンケーブタービンとRushtonタービンを組み合わせた2段通気攪拌槽の所要動力特性を実験的に検討した。さらに、翼径より大きなリング径のスパージャーも用いて攪拌所要動力を測定した。2段翼においてもコンケーブタービンと、スパージャー径と翼径の比が1.3以上のスパージャーを組み合わせることで通気動力低下を抑制することができた。

緒 言

気液攪拌槽は気泡の滞留時間を長くするために翼径と液深の比を大きくする場合が多い。そのため、細長い攪拌槽の混合をよくするために、一つの攪拌翼ではなく、多段で設計・操作される場合も多い。通気攪拌槽の設計のポイントはモーターのインニシャルコストを抑えるために、如何に無通気時の動力と通気時の動力の差を小さくするかが重要である。それは、設計時には無通気時の攪拌所要動力を基準にしてモーターを選定しなければならないからである。

筆者らは前報(Kamei *et al.*, 2012, Furukawa *et al.*, 2012)で動力低下を比較的抑えることができるコンケーブタービンと大型リングスパージャー(Kamei *et al.*, 2009)を組み合わせて通気攪拌動力を測定し、通気時の動力 P_g と無通気時の動力 P_0 の比 P_g/P_0 を1付近で操作できることを見いだした。さらにその際得られる物質移動容量係数は翼形式によらず、Sato *et al.*(1989)の示した $K_L a$ の相関式 Eq.(1) で良好に相関できることを示した。

$$K_L a = 1.8 \times 10^{-4} \{P_{av}(1/3 P_{av} + P_{gv})\}^{0.5} \quad (1)$$

そこで、筆者らは多段で操作されることの多い通気攪拌槽にコンケーブタービンと大型リングスパージャーの組み合わせを適用することを考え、さらに比較のために Rushton タービンとの組み合わせも検討し、興味深い知見を得たのでここに報告する。

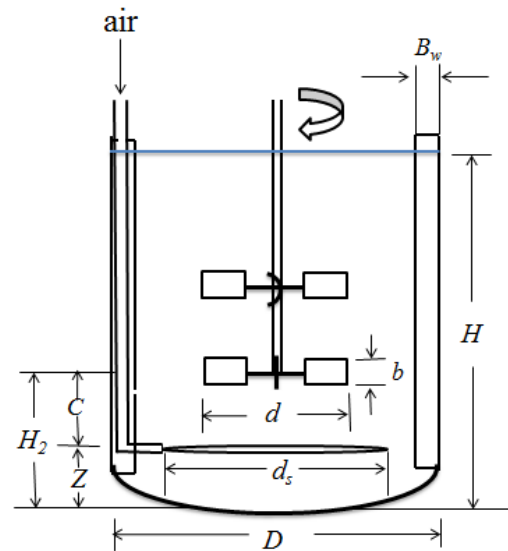


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

1. 実験装置および方法

本実験に用いた攪拌槽の概要を Figure 1 に示す。攪拌槽は内径 240mm のアクリル樹脂製 10%皿底円筒槽で、槽径の 1/10 の幅を持つ邪魔板を 4 枚取り付けた標準邪魔板条件とした。液はイオン交換水を用い、液深は 312mm とした。攪拌翼は翼径 80mm のラシュトンタービンとコンケーブタービンである。翼間距離はお互いの翼が独立して作動する翼径の 2 倍の 160mm とした。多段の組み合わせ方は次の 4 種類を検討した。Rushton タービン 2 段 (R+R), 上段 Rushton タービンに下段コンケーブタービン (R+C), 上段コンケーブタービンに下段 Rushton タービン (C+R), そしてコンケーブタービン 2 段 (C+C) である。スパージャーは単孔ノズル (シングルスパージャー) と大型リングスパージャーを用いた。

スパージャーのリング径と翼径の比 d_s/d は、動力低下の小さい 1.3 および 1.5 の 2 種類を用いた。下段翼の取り付け位置は槽底からの距離を 72mm とし、スパージャー(上方吐出)の取り付け位置は槽底から 36mm とした。その他の装置条件や攪拌所要動力の測定方法は Kamei *et al.*(2009)と同様であるので省略する。

2. 実験結果と考察

2.1 通気動力特性

Figures 2~4 に横軸に通気流量数 N_A 、縦軸に通気時の動力 P_g と無通気時の動力 P_0 の比 P_g/P_0 をとった典型的な通気動力特性図を示す。Fig.2 はシングルスパージャー、Fig.3 はスパージャーのリング径と翼径の比 d_s/d が 1.3、Fig.4 は $d_s/d=1.5$ の図である。

まず、いずれの場合でもコンケーブタービンを 2 段使用した C+C の場合が最も動力低下が小さく、R+R の動力低下が最も大きいという単段の場合と同様な結果(Furukawa *et al.*, 2012)が得られた。また、Rushton タービンを 2 段使用した R+R の場合も単段の場合と同様、 P_g/P_0 が 0.5 付近まで低下することがわかる。これらは単純に単段の動力の結果と同等とする考え方で全く問題はない。さらに通気流量数が大きい領域でも R+C と C+R の通気動力比は単段の組み合わせと等しい値を取っているので問題はない。

問題は通気流量数が小さい領域でラシュトンタービンとコンケーブタービンの組み合わせである。種々の多段翼の通気動力を測定した最近の論文(Gabelle *et al.*, 2011)では下段翼が通気動力の低下を支配すると報告している。確かに Fig.2 のシングルスパージャーの場合ではその報告と同様、下段に Rushton タービンを用いた翼ほど通気動力が低下しやすい傾向にある。しかし、大型リングスパージャーを用いた場合は、必ずしもその結果とは一致していない。つまり、大型リングスパージャーを用いた場合、通気流量数が比較的小さい領域では、上段にコンケーブタービンを用いた方が通気動力の低下が少ない傾向を示しているからである。

Figure 5 に Rushton タービンを下段に用いた場合(C+R)のシングルスパージャーと大型リングスパージャーを適用した場合の気泡の分散状況を示した模式図を示す。通気流量数が小さい場合、シングルスパージャーの場合は Rushton タービンに気泡がとらえられ、キャビティがしやすい状況になり、通気動力が低下しやすい状況になっている。しかしながら、大型リングスパージャーの場合は気泡が翼に絡みにくい上、コンケーブタービンより Rushton タービンの方が吐出性能が良いためにさらに気泡が翼に絡みにくくなっている。これにより、大型リングスパージャーを

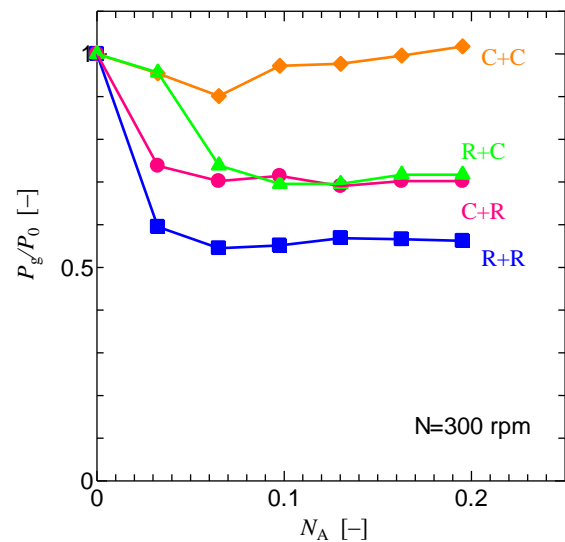


Fig.2 Effect of aeration on power consumption (single sparger)

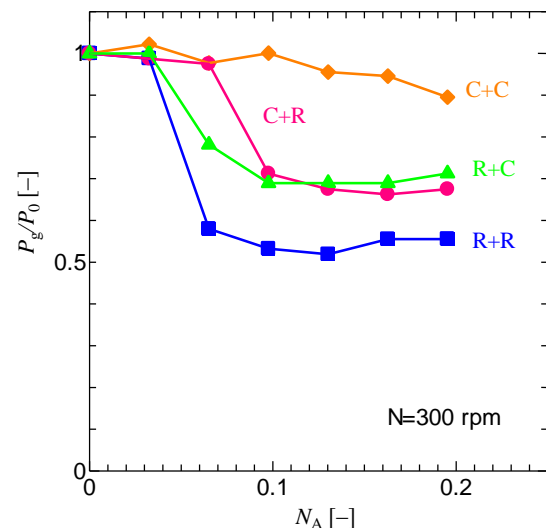


Fig.3 Effect of aeration on power consumption (ring sparger $d_s/d=1.3$)

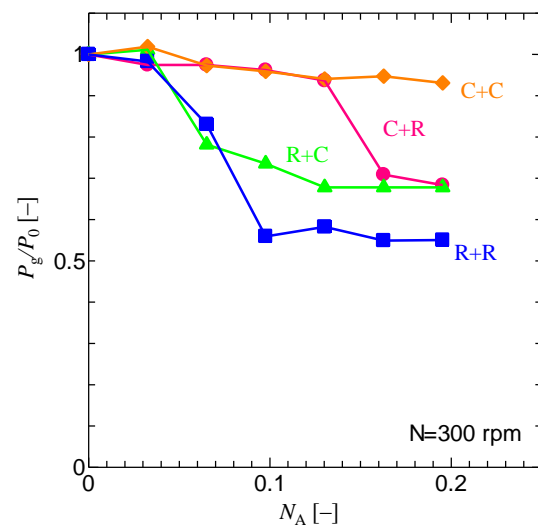


Fig.4 Effect of aeration on power consumption (ring sparger $d_s/d=1.5$)

用いた場合、下段に Rushton タービンを用いた方が、キャビティができにくく通気動力が低下しにくいことになっていると解釈できる。よって、シングルスパージャーと大型リングスパージャーを用いた場合、C+R と R+C の通気動力曲線が逆転していると考えられる。Figs.2,3,4 のグラフ全体の傾向に着目すれば、C+C および R+C という下段にコンケーブタービンを設置した場合は、3 つのグラフで傾向はほとんど変化しておらず、スパージャー径の影響は受けにくい。一方、R+R および C+R といった下段にラッシュトンタービンを設置した場合は、スパージャー径が大きくなるにつれて動力が低下する N_A の値が右側にずれており、スパージャー径の影響を大きく受けると解釈できる。

イニシャルコストを考えた場合、コンケーブより Rushton タービンの方が低コストである。また、無通気動力は Rushton タービンの方がコンケーブより大きい。また、大型リングスパージャーを用いて、通気動力低下が小さい領域で操作すればコンケーブ 2 段よりも上段にコンケーブと下段に Rushton タービンの組み合わせの方が大きな物質移動容量係数を得られることもあると考えられる。

結 論

多段翼の場合でもコンケーブタービンと大型リングスパージャーを組み合わせることにより気液動力の低下を抑制できることが明らかになった。下段にコンケーブタービンを備えた方が操作特性は安定するが、大型リングスパージャーを用いて Rushton タービンとコンケーブタービンを組み合わせた場合、通気流量の小さい領域では Rushton タービンを下段に用いた場合の方が動力低下が小さい場合があった。

Nomenclature

C	= clearance between sparger and impeller	[m]
D	= vessel diameter	[m]
d	= impeller diameter	[m]
d_s	= sparger diameter	[m]
H	= liquid depth	[m]
H_2	= clearance between vessel bottom and center of impeller blade	[m]
$K_L a$	= volumetric gas-liquid mass transfer coefficient	[s ⁻¹]
n	= impeller rotational speed	[s ⁻¹]

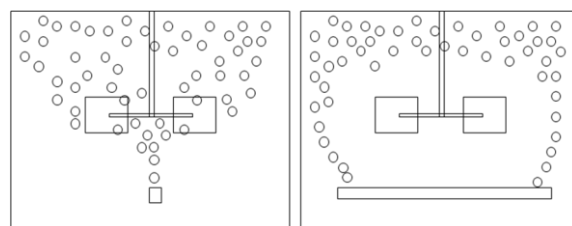


Fig.5 Comparison of single sparger with ring sparger for gas dispersion

N_A	= aeration number ($=Q/nd^3$)	[-]
P_0	= power consumption under no aeration	[W]
P_g	= power consumption under aeration	[W]
P_{av}	= aeration power consumption per unit volume ($=\rho g H Q/V$)	[W·m ⁻³]
P_{gv}	= agitation power consumption per unit volume under aeration	[W·m ⁻³]
Q	= gas flow rate	[m ³ · s ⁻¹]
V	= liquid volume	[m ³]
Z	= clearance between vessel bottom and sparger	[m]

Literature Cited

- Furukawa, H., E. Oda, C.L. He, Kamei, N., Y. Kato and Y. Tada; "Power Consumption and Mass Transfer in Gas-Liquid Mixing Vessel with Concave Turbine and Large Ring Sparger," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **38**,209-211(2012)
- Gabelle, J.C., F.Angier, A.Carvalho, R.Rousset and J.Morchain; "Effect of Tank Size on $k_L a$ and Mixing Time in Aerated Stirred Reactors with Non-Newtonian Fluids," *Can. J. Chem. Eng.*, **89**, 1139-1153(2011)
- Kamei, N., Y. Kato, Y. Tada, J. Ando and Y. Nagatsu; "Effects of Sparger Geometry on Power Consumption and Mass Transfer in Gas-Liquid Agitated Vessels with Disk Turbine," *J. Chem. Eng. Japan*, **42**,664-668(2009)
- Kamei, N., K. Mitsuhashi, E. Oda, H. Furukawa, Y. Kato and Y. Tada; "Scale up and Effect of Sparger Position on Power Consumption and Mass Transfer in Mixing Vessel with Disk Turbine," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **38**,203-208(2012)
- Sato, K., H. Shimada and Z. Yoshino; "Gas Absorption Efficiency of Gas-Liquid Constructors with Mechanical Agitation," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **15**, 733-739 (1989)

Power Consumption in Gas-Liquid Mixing Vessel with Dual Impellers including Concave Turbine and Large Ring Sparger

Haruki FURUKAWA¹, Noboru KAMEI², Yoshihito KATO¹⁺⁺, Chengli HE¹,
Tomoya SUZUKI¹ and Yutaka TADA¹

*1Department of Life and Materials Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi
466-8555, Japan*

2 Daicel Chemical Industries, Ltd., Shinkocho 1, Myoko-shi, Niigata, 944-8550, Japan

E-mail address of corresponding author: kato.yoshihito@nitech.ac.jp

Keyword : Mixing, Gas-Liquid Mixing, Concave Turbine, Large Sparger, Power Consumption

The aerated power consumption was measured in mixing vessels equipped with dual impellers that combined a concave turbine and a Rushton turbine with a large ring sparger. When the ratio of sparger diameter to impeller diameter was ≥ 1.3 , no decrease was observed in aerated mixing power consumption.