

フルゾーンの表面ガス吸収特性

Gas absorption Characteristics from liquid surface of FULLZONE reactor



(化)技術部
今 中 照 雄
Teruo Imanaka

攪拌槽を用いたガス吸収反応においては、通気ガス吸収操作が一般的であるが、連続的に通気することなく、反応で消費されるガスを液の自由表面から吸収させる表面ガス操作も行われている。ガス吸収速度に関しては、もちろん前者の方がすぐれているが、仮に表面ガス吸収操作で十分な能力が得られれば、設備が簡素化され、運転操作も容易となるなどメリットが大きい。しかし、表面ガス吸収については解説された文献も少なく、攪拌機の形状と液側物質移動容量係数 K_{La} の関係が定量的に把握されているとは言えない。また、通気ガス吸収操作においても、現実には表面ガス吸収性能が大きく影響を及ぼしている場合もあり、表面ガス吸収の特性を知ることが、いずれのガス吸収操作においても重要と言える。

本稿では、フルゾーンが他の攪拌翼より表面ガス吸収性能に優れていることと、液粘度や液高さ等の操作因子と翼形状やバッフル条件などの形状因子が K_{La} に与える影響を紹介する。

In gas absorption reaction using an agitated vessel, there are two kinds of operation system. The one is aerating operation from bottom which is generally adopted and the other is sucking operation from liquid surface which is used to absorb the gas consumed in the reactions without continuous aeration. As to the reaction rate of gas absorption, the former is better than the latter. But, if the latter is improved to more efficient one than the former, it will have great advantages, such as simple facilities and easy operations. On the other hand, there are less papers reported on sucking operation from liquid surface, and the relationship between the type of agitator and overall capacity coefficient of gas absorption " K_{La} " is not clearly formulated. As the functions of sucking operation sometimes affect to that of aerating operation, it is very important in both gas absorption operations to know the characteristics of sucking operation.

This paper describes that the gas absorption of FULLZONE is superior to any other type of agitator and formation factors such as type of impeller and baffle condition affect to K_{La} .

Key Words

表面ガス吸収
 K_{La}

Gas absorption from liquid surface
Overall capacity coefficient of
gas absorption

まえがき

当社の高効率攪拌翼フルゾーンは、化学工業界をはじめ、ファインケミカル、医薬、食品用途等の広範囲の用途において順調に実績を積み重ねている。特に難易度の高い攪拌プロセスに積極的に採用され、従来の攪拌翼に比べ大きな改善効果をもたらしていることが多くのユーザーより公表されている¹⁾。

フルゾーンの優れた混合・循環特性から得られる、広い粘度域での良好な混合、高い伝熱性能、液液系及び固液系での低動力での均一分散性能等については、既報^{2)~4)}にて詳細に報告した。さらにフルゾーンは、気液系攪拌における自由表面からのガス吸収特性についても、従来翼より極めて優れた特性を有している。本稿では、このフルゾーンの表面ガス吸収特性を、パラメータとして P_v 値（単位容積当たりの攪拌動力）のみならず、粘度、液面高さやバッフル強さ等も用いて解説するとともに、通気ガス吸収特性について簡単に述べることにする。

1. ガス吸収

1.1 ガス吸収速度理論

気液系においてガスが単位接触面積当たり溶液中に溶解する速度 N_A は、固液系の溶解速度や液液系の抽出速度、さらには対流伝熱等の移動現象を考慮する場合と同様に表現することができ、(物質移動係数)×(濃度差)の形で与えられる。

$$N_A = K_L(C_1 - C) \quad (1)$$

ここで、 K_L は液側物質移動係数、 C_1 は気泡中のガス分圧と平衡な濃度、すなわちその液温度における飽和濃度、 C は任意の時刻における液中のガス溶解濃度であり、 $(C_1 - C)$ がガス吸収の推進力となる。

また、 A を気液の接触面積、 V_L を液体積とすれば、液中のガス濃度が増加していく速度 $V_L dC/dt$

はガスの溶解速度に等しいので、

$$N_A A = V_L dC/dt \quad (2)$$

と考えることができる。よって、(1) (2) 式より

$$\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V_L} (C_1 - C) \quad (3)$$

が成立する。

さらに A/V_L を単位体積当たりの気液界面積 a とおけば、

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_1 - C) \quad (4)$$

となる。

気液攪拌操作においては、単独で気液界面積 a を求めることは困難なため、 a と液側物質移動係数 K_L の積である液側物質移動容量係数 $K_L a$ が、ガス吸収性能を表現する指標として用いられる。

この他にも、 $K_L a$ と相関関係が高いホールドアップや攪拌翼背面に生じる負圧が気泡の巻き込みによって減少することによる攪拌動力の低下等も、ガス吸収性能を評価する指標として用いられることが多い。しかし、表面ガス吸収性能の場合、これらホールドアップや攪拌動力の変化は極めて小さいため、よほど測定精度を向上させない限り信頼性のあるデータをとることは困難である。

1.2 通気ガス吸収と表面ガス吸収

気液系攪拌には槽底からのガス吹き込み（通気ガス吸収）と液面からのガス吸収（表面ガス吸収）による2つの方式がある。

通気ガス吸収の場合、高いガス吸収能を得るために、ガスの微細化を目的とした、タービン翼に代表される高セン断型の攪拌翼と大きなバッフル効果を

第1表 ガス吸収に対して攪拌装置に求められる仕様

Table 1 Required specification for agitating system of gas absorption

Method of gas absorption	Aeration from bottom	Sucking from liquid surface
Type of impeller	High shear type (Flat disc turbine etc.)	Discharge-circulating type (Pfaudler etc.)
Number of stage	Multi-stage	Multi-stages
Baffle condition	Nearly full	Partly
H/D	Large	Standard
Main effected factor for rate of gas absorption	Degree of dispersion of gas bubbles	Volume of sucked gas

もつバツフルが選定される。さらに、分散された気泡の滞留時間を長くするため、槽径 (D) に対する液高さ (H) の比 H/D を大きく設計し、多段翼を採用する。これに対し表面ガス吸収の場合は、液界面の表面更新性能を重視し、吐出型の攪拌翼とバツフル効果の小さなバツフルを選定する。また、自由表面からガスを巻き込みやすくするために、H/D は一般的な値 (1.0~1.5) を採用し、液面近くにも攪拌翼を設置する。

言い換えれば、 KLa の中の気液界面積 a について注目すると、通気ガス吸収の場合は与えられたガス流量の中で気泡径をできるだけ小さくして a を大きくすることに対し、表面ガス吸収の場合は攪拌槽内の自由表面での表面更新を積極的に行うことによりガスを吸い込むことで a の増加が計られる。以上のように、従来技術においては、2つのガス吸収操作に要求される装置特性はそれぞれ異なるものであり、これらを第1表にまとめる。

しかしながら、通気ガス攪拌操作と言っても、現実には吹き込まれたガスと自由表面から吸引されたガスが混在して運転されている状況が容易に想定される。たとえば Van Dierendonck ら⁵⁾ は、通気ガス攪拌における8枚平羽根タービン翼を用いたガスホールドアップ ε (%) を次式で相関している。

$$\varepsilon = A \cdot U_g^{2/3} + B \cdot (n - n_0^*) \quad (5)$$

A, B : 装置形状及び物性値から得られる係数

U_g : 空塔ガス線速

n : 攪拌回転数

n_0^* : 気泡吸い込み開始 (特性) 攪拌回転数

この式の右辺の第2項は、攪拌によるガス分散能力だけでなく、液表面からのガス吸引も考慮された値となっている。また、岡本によっても、通気ガス攪拌におけるガスホールドアップ特性と液表面からのガス吸引との関係が説明されている⁶⁾。

ガス吸収操作において、液面からのガス吸引のみによるガス吸収操作よりも、通常は通気ガス吸収形式の操作が多い。しかし通気ガス吸収において、特に通気ガス空塔線速が遅く、比較的高い P_V 値を与えて攪拌している場合は、前述のように表面からもガスを巻き込んでいる可能性が高く、これがガス吸収速度に大きく影響を与えていることがあることは十分認識しておく必要がある。概念上、両方のガス吸収操作は、次式のように考えることができる。

通気ガス吸収の場合：

$$(KLa)_B \propto (Q_B + Q_V)^\alpha \cdot P_V^\beta$$

$$\text{但し } Q_V \propto Q_B^\gamma P_V^\delta$$

表面ガス吸収の場合：

$$(KLa)_V \propto Q_V^\theta \cdot P_V^\xi \quad (7)$$

$$\text{但し } Q_V \propto P_V^\eta$$

ここで、 Q_B は通気ガス量、 Q_V は吸い込みガス量を示す。

1.3 KLa の測定

表面ガス吸収における KLa の測定には、槽底からのガス吹き込みによる場合と全く同様に、亜硫酸ソーダの空気酸化反応においてヨウ素滴定により酸化速度を算出する亜硫酸ソーダ法と、溶存酸素計を用い液中の酸素の溶解速度を直接測定するダイナミック法が適用されることが多い。以下に、本稿で紹介するデータの採取に用いた後者のダイナミック法の測定方法について解説する。

- (1) 攪拌槽に水道水を所定量張り込む。
- (2) 槽底から窒素ガスを通気しながら攪拌する。
- (3) 溶存酸素濃度が 0.2 ppm 以下になれば、攪拌と通気を止め、液中の窒素ガス気泡が無くなるまで放置する。
- (4) 所定の回転数で攪拌し、溶存酸素濃度の経時変化を溶存酸素計により測定する。
- (5) 溶存酸素濃度が飽和濃度の 95% 程度になれば、測定を終了する。
- (6) KLa 算出式

(4)式において、初期条件として

$$t=0 \text{ の時 } C = C_0 \quad (8)$$

の条件で積分すると、

$$\ln(C_1 - C) = -KLa \cdot t + \ln(C_1 - C_0) \quad (9)$$

を得る。すなわち KLa は、

$\ln\{(C_1 - C)/(C_1 - C_0)\}$ vs t のグラフの傾きとして求めることができる。

このダイナミック法による KLa の測定は亜硫酸ソーダ法に比べ測定が容易にできることが利点であるが、注意すべきは溶存酸素計の応答遅れが顕著に現れる範囲では使用できないことである。当社の計器 (0—90% 応答時間 20秒) の場合、 $KLa < 200$ (1/Hr) の範囲では遅れがほとんどないことを確認している。

2. フルゾーンの表面ガス吸収特性

前章では攪拌槽を用いたガス吸収操作一般について解説したが、本章においては、フルゾーンの表面ガス吸収特性を K_{La} を用いて説明する。尚、本稿で紹介する K_{La} は、すべて槽径 (D) ϕ 400 mm の 2:1 半楕円鏡付円筒槽を使用し、溶存酸素計を用いた前述のダイナミック法により測定された水-空気系におけるものである。

2.1 フルゾーンと他形式翼との比較

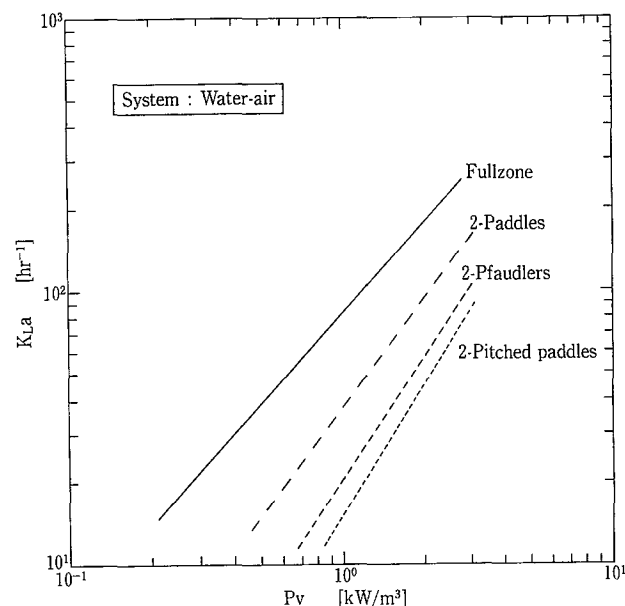
第1図にフルゾーンと他の翼形式の K_{La} の比較データを示す。これよりフルゾーンは、同一 P_v 値基準で他の翼の約 3~4 倍の K_{La} を示していることがわかる。また一例として表面から巻き込んだガスの分散状況を、写真1に示す。白濁しているのは、巻き込まれたガスが分散されているためであり、この写真からもフルゾーンの表面ガス吸収能力が優れていることがわかる。次にその理由について述べる。

表面ガス吸収性能は、翼と液面の距離に大きく依存する。このことは、前述の(5)式にて用いた気泡吸い込み開始(特性)攪拌回転数 n_0^* が、

$$n_0^* \propto Z_i^{1/2} \quad (10)$$

Z_i : 翼と液面の距離

なる関係があるとされている⁵⁾こと、さらに表面ガス吸収用途の攪拌槽には、現実に多段翼が多く用い



第1図 各攪拌翼に対する P_v と K_{La} の関係
Fig. 1 Relationship between P_v and K_{La} for each impeller

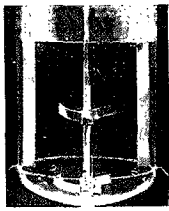


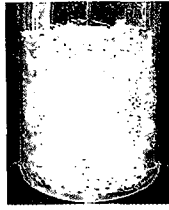


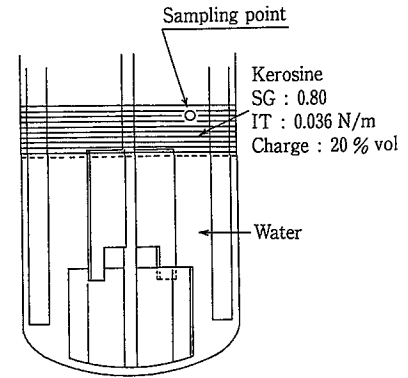
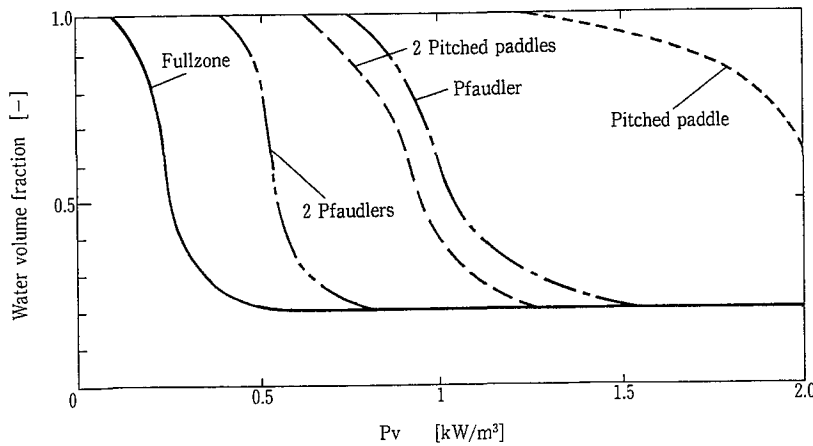
Impeller	Pfaudler(2-stages)	Fullzone
$P_v=0 \text{ KW/M}^3$		
$P_v=1.0 \text{ KW/M}^3$		
$P_v=2.0 \text{ KW/M}^3$		

写真1 ガスの吸い込み状況
Photo. 1 Condition of sucked gas



第2図 液液系の均一分散に至る動力の比較
 Fig. 2 Comparison in power required for uniform dispersion of liquid droplets

られていることから容易に想像できる。単純に考えれば、他の翼に比べフルゾーンは、翼上端と液面が極めて接近しているため低回転すなわち低動力でガスを引き込みやすく、これが優れた性能を生み出している理由の一つと言える。

さらにもう一つの理由は、引き込んだガスを液中にホールドできる能力が大きいことである。一旦液中に引き込まれたガスは攪拌翼で分散されると同時に、攪拌翼先端の背面に発生する負圧部に集合し、局所的にみれば翼近傍部のホールドアップが増加する。よってこの負圧の大きさと負圧が生じる領域すなわち翼幅が大きいことが、ガスをホールドできる要因となる。フルゾーンの場合、他の翼と比べ同一 P_v 値では翼先端速度が遅いため負圧は小さいものの、むしろ攪拌翼が液深方向に長いことためガスが槽内全域にわたってホールドされやすいことが、大きく影響しているものと推定される。写真1からも、ファウドラ翼は翼近傍にガスが集合している傾向があることにに対し、フルゾーンは槽内全体に分散している様子がわかる。

第2図は、各攪拌翼の液液系攪拌における軽液の均一分散性能を比較したものであり、フルゾーンが他の翼形式に比べ低い動力で均一に分散できる性能をもっていることがわかる。ガスを軽い物質と考えればこの特性と表面ガス吸収は同じ理屈で説明することができ、このテストデータからもフルゾーンのガス吸収特性を理解することができる。さらに同じことが固液系攪拌の軽い粉体の分散性能にも適用できることは、容易に想像できる。

2. 2 K_{La} に影響を与える因子

2. 2. 1 P_v 値

第1図に示した通り、 K_{La} は P_v 値に大きく影響を受ける。フルゾーンは

$$K_{La} \propto P_v^{0.8 \sim 1.0} \quad (11)$$

の関係がある。 K_{La} が P_v の0.8~1.0乗に影響されることは、通気ガス操作の攪拌支配状態における K_{La} と P_v の関係⁶⁾ とほぼ同じであり、興味深い結果である。

2. 2. 2 H/D (液深/槽径)

フルゾーンを使って攪拌した時の、液面変化に対する K_{La} の変化を第3図に示す。液面を変化させることは、すなわち液面と翼上端との距離が変化することである。液面が下がってくると K_{La} は次第に大きくなり、さらに翼上端を通過すれば一定の値となる。前項でも述べたが、液面と翼上端との距離は気泡の吸い込み状態に大きく影響し、本図はそのことを的確に表している。

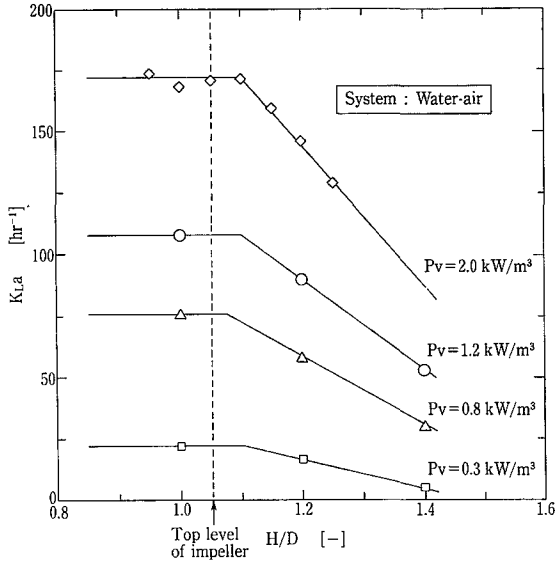
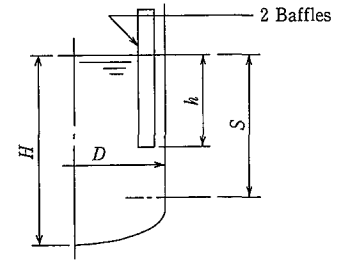
多段翼系の場合は、液面が上段の翼より下になると攪拌動力の低下と共に K_{La} も急激に低下するため、液面変化の大きいプロセスにおいては、運転操作が難しくなる。しかし、フルゾーンは液面が翼上端から下がった後の液面変化に対しても、安定した性能を発揮する。

尚、液面が翼上端近くまで下がってくると、特に低粘度の場合液滴の飛沫が生じやすくなるため、このことが問題となる時は H/D が 1.1~1.2 の範囲で

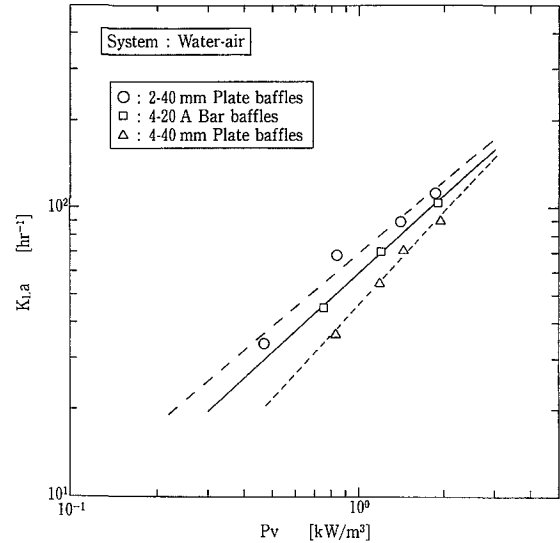
第 2 表 バッフル挿入深さと表面ガス吸収性能の比較

Table 2 Comparison of h/S for performance of gas absorption from surface

Imp.	Turbine (Single-stage)		Pfaudler (Single-stage)		Fullzone	
	P_v	K_{La}	P_v	K_{La}	P_v	K_{La}
(-)	(kW/m ³)	(1/Hr)	(kW/m ³)	(1/Hr)	(kW/m ³)	(1/Hr)
1.0	1.5	4.0	1.5	3.1	0.35	14.1
0.25	1.5	88.4	1.5	94.5	0.35	54.8



第 3 図 フルゾーンの液高さと K_{La} の関係
Fig. 3 Relationship between H/D and K_{La} of FULLZONE



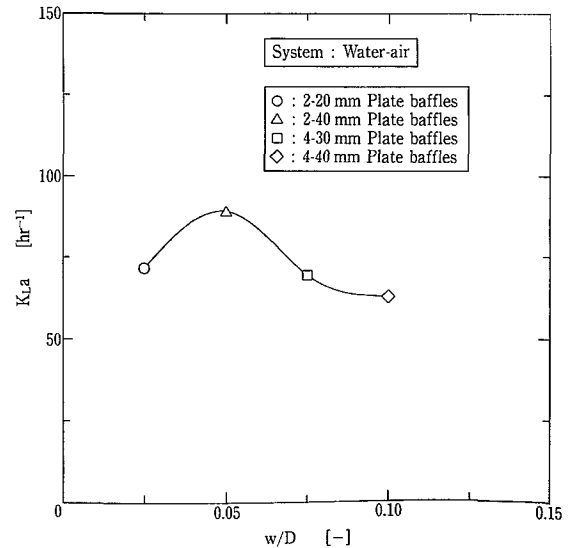
第 4 図 フルゾーンの各種バッフルに対する P_v と K_{La} の関係
Fig. 4 Relationship between P_v and K_{La} for each baffles of FULLZONE

使用することが望ましい。

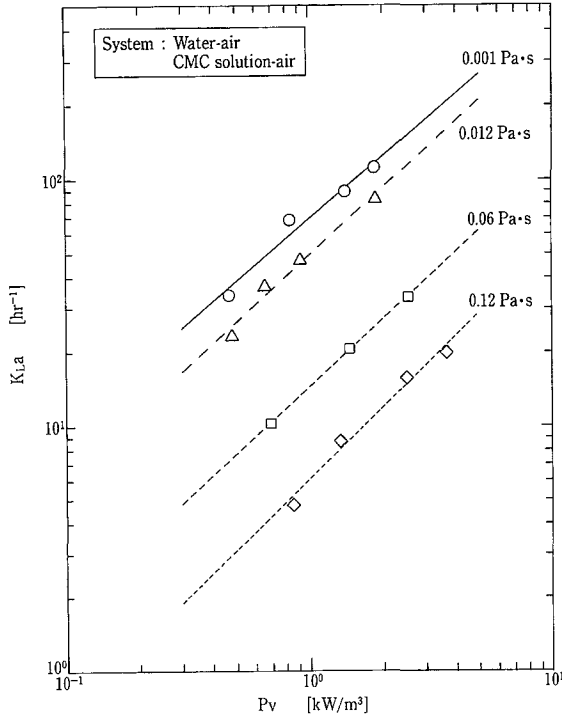
2. 2. 3 w/D (バッフル強さ)

従来から表面ガス吸収の向上には、バッフル抵抗を弱めることが有効とされてきた。バッフルを弱めることで、円周方向の流れが強くなりボルテックスが積極的に形成される結果、自由表面(気液界面)の面積が大きくなると同時にガスを巻き込み易くなる。その一例を第 2 表¹⁾に示す。これは、バッフルの液面からの挿入深さを変えることで、バッフル効果を変化させた場合の K_{La} の変化を示したものであるが、従来翼(タービン翼、ファウドラ翼)ではバッフル効果を弱めることで極端に K_{La} が増加していることがわかる。一方フルゾーンの場合、従来翼ほどバッフル挿入深さの影響は受けない。

第 4, 5 図は、フルゾーンを使って攪拌した時の、バッフル形式、バッフル抵抗が K_{La} に与える影響を示す。但し、いずれもバッフルは下鏡 T. L. まで挿入している。第 5 図からは、 $w/D=0.05$ の時に最も大きな K_{La} が得られていることがわかる。



第 5 図 フルゾーンの各種バッフルに対する P_v と K_{La} の関係
Fig. 5 Relationship between w/D and K_{La} of FULLZONE



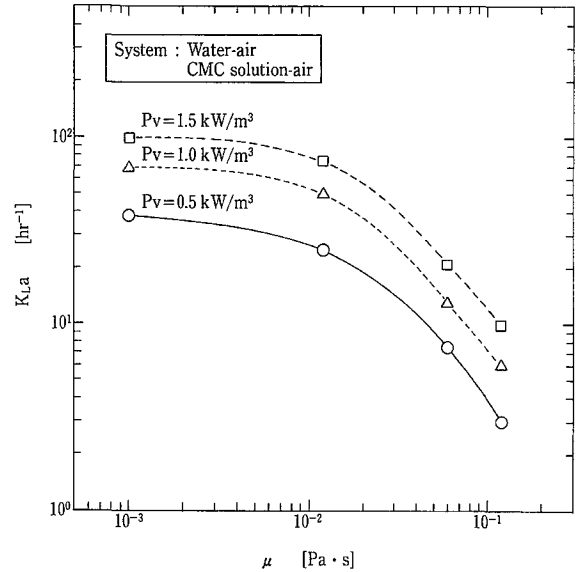
第6図 フルゾーンの各粘度に対する P_v と K_{La} の関係
 Fig. 6 Relationship between P_v and K_{La} for each viscosity of FULLZONE

前述よりフルゾーンの場合、従来翼に見られるほどバッフル抵抗を弱めることが必ずしも K_{La} の増加に寄与するとは言えず、かつ、全体的にバッフル効果が K_{La} に与える影響も小さいと言える。一方、バッフル効果を混合特性から見た場合、2枚の10%幅平板バッフル ($w/D=0.05$) を下鏡 T. L. まで挿入することで最短の混合時間を得ることができ、これをフルゾーンの標準バッフルとして採用している。この混合性能も考慮に含んだ場合、 $w/D=0.05$ のバッフルを T. L. まで挿入することが適切であると考えられる。

従来翼とフルゾーンではバッフル効果が K_{La} に与える影響が異なり、従来翼に比べフルゾーンは比較的強いバッフル条件下でもボルテックスを形成することなく、ガスを引き込む特性がある。したがって、特に伝熱のための蛇管コイルや多数のヘアピンコイルなどが設置されている(バッフル抵抗が強い)場合でも、フルゾーンは容易に表面ガス吸収を行わせることができる。

2. 2. 4 液粘度

第6図と第7図は、フルゾーンを用いて水及び数種の CMC 水溶液を攪拌した時の、見かけ液粘度に対する K_{La} の変化を示したものである。第6図か



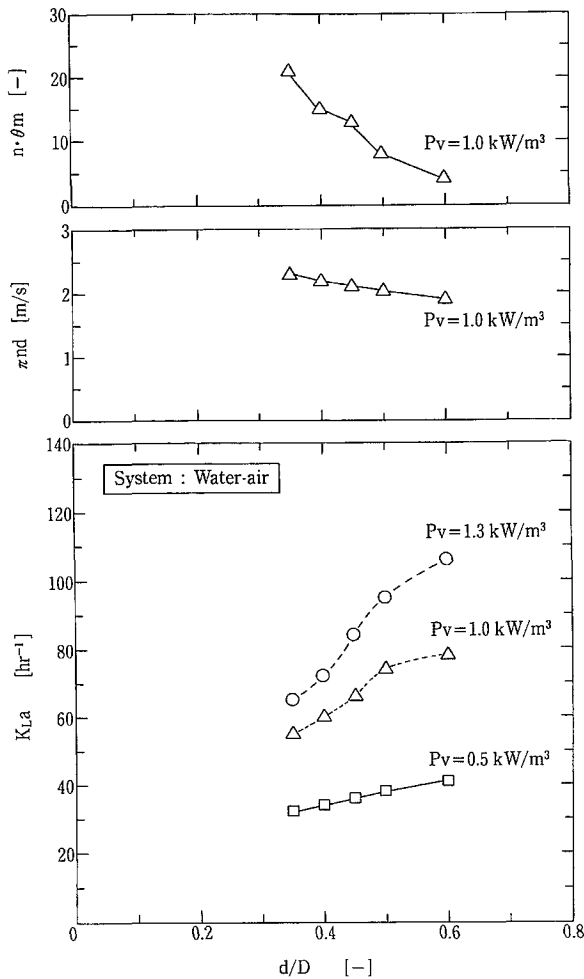
第7図 フルゾーンの粘度と K_{La} の関係
 Fig. 7 Relationship between viscosity and K_{La} of FULLZONE

らいずれの粘度においても直線の傾きはほぼ同じであり、 K_{La} の P_v 値への依存率にほとんど差異が無いことがわかる。また、第7図からは、粘度が $0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ と $0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ とを比較すると、 P_v 値が 1.0 kW/m^3 では K_{La} がそれぞれ約70と約7であり、約1/10に減少していることがわかる。

K_{La} が、液粘度の影響を大きく受けることは、通気ガス吸収操作においてはよく知られたことである。これは、液粘度が上昇すると気泡まわりの境膜が厚くなるなどにより物質移動係数 K_L が抑制されること、粘度が高い液中では気泡が細分化されづらく気液界面積 a が低下することによる。表面ガス吸収においても、全く同様の理由で K_{La} が低下しているものと考えられる。

さらに第7図においては、0.02から0.03 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ あたりから急激に K_{La} が低下している傾向が見受けられる。CMC 水溶液は粘度が約0.03 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ を越えると凝塑性を示す。凝塑性流体を攪拌すると翼周辺での粘度は下がり、翼から離れた部分では粘度が上がる。このため、翼から離れた部分では気泡が合一しやすく、気液界面積が減少する。凝塑性が強まるほどにこの傾向は強まり、ついには攪拌翼の周辺にしか気泡を保持し得ない状態となる。このため、CMC 水溶液の場合、見かけ粘度の上昇による急激な K_{La} の低下が生じるものと推定される⁸⁾。

このように考えた場合、他の翼形式と比べフルゾーンはガスをホールドできる翼幅が広いという点にお



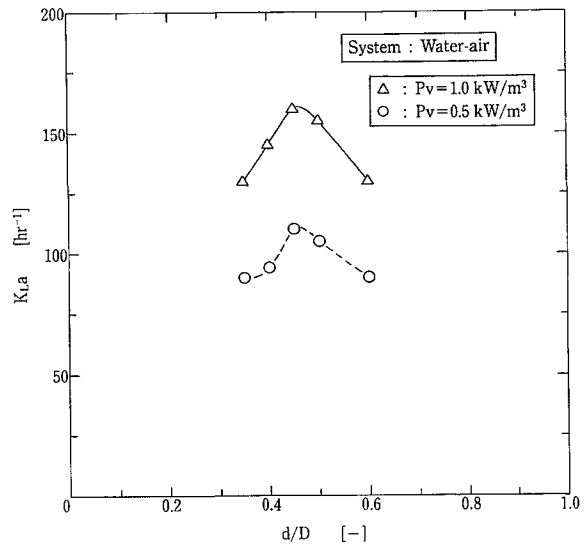
第8図 フルゾーンの d/D と K_{La} の関係(表面ガス吸収)
 Fig. 8 Relationship between d/D and K_{La} of FULLZONE

いて、 K_{La} の低下の度合も小さいものと推定するが、むしろガスホールド量の分布が槽長手方向に均一であることのほうが、実際の反応操作面においては有益であると考えられる。

2. 2. 5 翼スパン

第8図はフルゾーンの翼スパンを変化させていった場合の K_{La} の変化を示す。翼スパンが大きくなる、すなわち d/D が大きくなるにしたがって、 K_{La} は増加する傾向にあり、今回テストを行った範囲では、フルゾーンの標準スパンである $d/D=0.6$ が、最も大きい K_{La} を示した。

第8図には、 P_v 値が 1.0 kW/m^3 時の翼先端スピード πnd と混合時間 $n \cdot \theta m$ の変化も同時に示している。 d/D の増加と共に πnd が小さくなっている、すなわちガスの微細化能力は低下しているにもかかわらず、 K_{La} が増加傾向を示しているのは、ガスの吸い込み能力がそれ以上に高いために気液界面積 a



第9図 フルゾーンの d/D と K_{La} の関係(通気ガス攪拌)
 Fig. 9 Relationship between d/D and K_{La} of FULLZONE (aeration from bottom)

が増加していることによる。また、ガスの吸い込み能力が高いことは、表面更新性に優れ混合時間 $n \cdot \theta m$ が短くなっていくことと同じ意味を持つと考えられる。

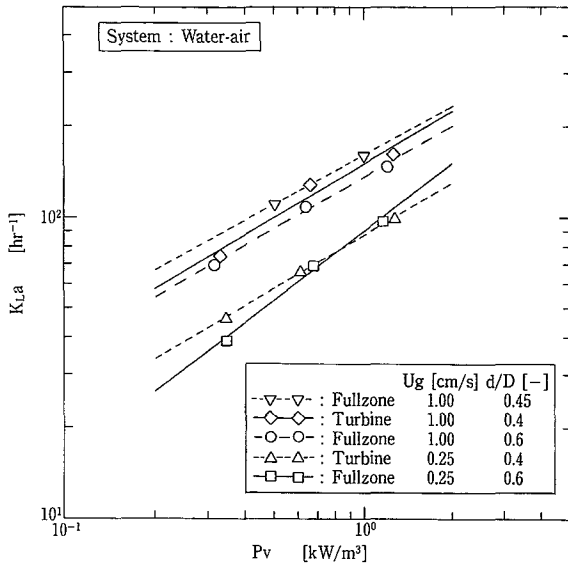
3. フルゾーンの通気ガス吸収特性

フルゾーンの通気ガス吸収特性についても、簡単に紹介する。

フルゾーンは、通気ガス攪拌には最適と言われているタービン翼に比べ、 P_v 値一定条件においては翼先端スピードが小さくなるため、せん断力すなわちガスの微細化能力が小さくなる。フルゾーンはむしろ低せん断型に分類される攪拌翼である。しかし、これまでに述べたようにフルゾーンは表面ガス吸収に極めて優れた性能を持っているため、通気ガス攪拌操作においても空塔ガス線速が小さくかつ攪拌動力が大きい攪拌支配領域では、タービン翼と同等以上のガス吸収速度を發揮する。

第9図は、空塔ガス線速 U_g を 1 cm/sec とした時の、 K_{La} に与える d/D の影響を調べたものであるが、表面ガス吸収の特性(第8図)とは異なった状況を示す。すなわち、 d/D に対し K_{La} は変極点をもち、通気ガス吸収においては $d/D=0.45$ が最適であることがわかる。

つぎに、フルゾーン ($d/D=0.6, 0.45$) と2段タービン翼 ($d/D=0.4$) の比較データを第10図に示す。 $U_g=0.25 \text{ cm/sec}$ の時、 P_v 値 $< 0.9 \text{ kW/m}^3$ の領域では、フルゾーンよりタービン翼の方が大きい K_{La} を示すが、 P_v 値が 0.9 kW/m^3 を越えると逆転する。



第10図 U_g と d/D に対する K_{La} 関係(表面ガス吸収)
 Fig.10 Relationship between P_v and K_{La} for each U_g and each d/D

この程度の通気速度域では、フルゾーンの表面ガス吸収能力が K_{La} の増加に大きく寄与している。 $U_g = 1.0 \text{ cm/sec}$ の時、通気ガスによるガスの上昇流れが強まるため、表面からのガス吸収は押さえられ、通気ガスの分散状態が K_{La} の支配的要因となる。よって、 $U_g = 0.25 \text{ cm/sec}$ で見られたような逆転は起こることない。 $d/D = 0.6$ ではタービン翼の方が高い K_{La} を示すものの、 $d/D = 0.45$ にすればフルゾーンの方が高い K_{La} を示している。

前述の結果から、フルゾーンは、 $U_g \leq 1.0 \text{ cm/sec}$ の範囲の通気攪拌において、翼スパンを適切に選定すれば、2段タービン翼と同等以上のガス吸収性能を示すことがわかる。尚、本テストにおいてはあくまで攪拌翼のガス分散特性を比較するために、ガスはいずれの翼に対しても単孔ノズルから通気させた。

4. 改善事例

フルゾーンを適用する事によって実現できた、水添反応におけるプロセス改善事例を紹介する。

水添反応においては、表面ガス吸収性能のみならず、固体粒子の均一浮遊性能、伝熱性能や均一混合性能等が求められるが、第11図に示すように3段タービン翼からフルゾーンに変更することによって、次に示す改善効果が確認された。

(1) K_{La} の増加

表面ガス吸収性能に優れているため、 K_{La} は約2倍の値が得られた。

(2) 触媒使用量の低減

	Before improvement	After improvement
sketch		
Impeller Type	6-blades turbine	FULLZONE
Number of stage	3 stages	
Bafful Type	Flat plate	Flat plate
Width	$0.1 \cdot D$	$0.1 \cdot D$
Number	4 piecies	2 piecies

第11図 フルゾーンを用いた改善事例
 Fig.11 Illustration of improvement by FULLZONE

槽底部、槽壁部に偏在していた触媒を、槽内均一に浮遊させることができたため、触媒の使用量を10~20%低減できた。

(3) 触媒破壊の防止

局所的な強せん断域がなくなったため、触媒破壊が減少した。

(4) 伝熱係数の向上

総括伝熱係数が約20%向上した。

(5) 前述の効果により、反応時間を1/2にすることができ、触媒使用量の削減によりコストダウンできた。

5. まとめ

次にフルゾーンの表面ガス吸収に対する特性をまとめる。

(1) フルゾーンは他形式の2段翼に比べ、同一 P_v 値基準で3~4倍の K_{La} を示す。

(2) 液面が翼上面より上昇してくると K_{La} は減少傾向を示すものの、逆に液面がそれより下がってきても K_{La} は変化せず一定の値を示す。

(3) 表面ガス吸収性能は液粘度の影響を大きく受ける。特に凝塑性流体の場合は影響が大きい。

(4) 表面ガス吸収に優れた翼スパンとバッフル強さは、それぞれ $d/D = 0.6$, $w/D = 0.05$ (2枚の平板バッフル) である。これは、最も混合性能が優れている組み合わせと同じである。

(5) 通気攪拌操作においても、比較的空塔ガス線速が小さい ($U_g \leq 1.0 \text{ cm/sec}$) 領域であれば、

