

# F204

## 外部循環式エアリフトの液相物質移動係数に及ぼす気泡間相互作用の影響

(山口大)○(正)中尾勝實\*・(大島商船高専)(正)古本啓二・(山口大院医)(正)吉本 誠

**1. 緒言** 前報<sup>1)</sup>では、標準型気泡塔(NBC)と内部循環式エアリフト(ILBC)での液相物質移動係数 $k_L$ のガスホールドアップ $\varepsilon_G$ と気泡径 $d_B$ への依存性が、外部循環式エアリフト(ELBC)での結果と異なることを示した。また、NBCでの気泡間相互作用が $k_L$ を支配する機構を推定した。本報では、ELBCのライザーでの循環液流速 $u_L$ と気泡間相互作用が $k_L$ を支配する程度と機構について考察した。

**2. 実験** 本研究で用いたELBCの形状、寸法と $\varepsilon_G$ ,  $d_B$ ,  $k_L$ ,  $u_L$ などの諸特性値は、ILBC, NBCでの結果も含めて既報<sup>2,3)</sup>のとおりである。

**3. 結果及び考察** **3.1  $k_L$ に及ぼす $u_L$ の影響**  $k_L$ [m/s]は、次式で相関できた<sup>1,2)</sup>。 $k_L(\text{ELBC})=2.07 \times 10^{-4} \varepsilon_G^{0.2} \mu_L^{-0.18}$  (1),  $k_L(\text{ILBC, NBC})=1.04 \times 10^{-4} \varepsilon_G^{0.1} \mu_L^{-0.20}$  (2)。また、 $k_L$ の $d_B$ 依存性は Fig.1 で示された<sup>1,2)</sup>。即ち、 $k_L(\text{ELBC})$ は、 $k_L(\text{ILBC, NBC})$ の $k_L$ 値<sup>4)</sup>に比べて2倍程度高く、また単一気泡の $k_{L,S}$ <sup>1)</sup>を超えている。また、 $k_L(\text{ELBC})$ への静止液高 $H_T$ の影響が無視できた<sup>2)</sup>。これは、 $H_T$ に伴う $u_L$ の増大と $\varepsilon_G$ の低下<sup>3)</sup>による $k_L$ への影響が相殺した結果である。

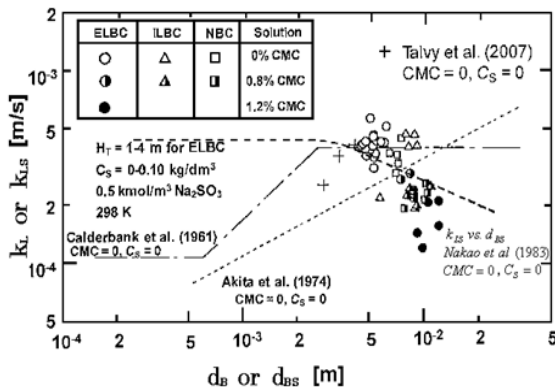


Fig.1 Dependence of  $k_L$  or  $k_{L,S}$  on  $d_B$  or  $d_{BS}$ <sup>1)</sup>

**3.2  $k_L$ の気液並流、液回分、向流による変化** 各気泡 $i$ (径 $d_{Bi}$ 、気液相対速度 $u_{Si}$ )の $k_{L,i}$ の平均値 $k_L$ は、 $d_{Bi}$ ,  $u_{Si}$ の平均値 $d_B$ ,  $u_S$ を用いた Higbie 式(3)で表わされる<sup>1)</sup>。

$k_L = \sqrt{(4/\pi)D_L(u_S/d_B)} \propto \sqrt{u_S}$  (3)。一般に、気泡群上昇速度 $u_G/\varepsilon_G$ は、Drift flux model<sup>5)</sup>の式(4)で表わされる<sup>6)</sup>。 $u_G/\varepsilon_G = u_{BS} + C(u_G \pm u_L)$  (4)。ここで+ : 気液並流、- : 向流、 $u_{BS}$ : 液回分での単一気泡(径 $d_{BS}$ )の終末上昇速度。式(4)から $u_S = u_G/\varepsilon_G \mp u_L/(1-\varepsilon_G)$  (- : 気液並流, + : 向流)は、次式で表わされる。 $u_S = u_{BS} + C u_G \pm \{C-1/(1-\varepsilon_G)\} u_L$  (5)。ここで+ : 気液並流、- : 向流。通常、 $C-1/(1-\varepsilon_G) > 0$ である。式(5)から $u_S(\text{並流}) > u_S(\text{液回分}) > u_S(\text{向流})$ が成り立ち、式(3)から次式(6)が導かれ、 $k_L$ は $u_L$ が増大するほど液回分の $k_L$ との差が大きくなる。 $k_L(\text{並流}) > k_L(\text{液回分}) > k_L(\text{向流})$  (6)。

**3.3  $k_{L,S}$ の気液並流、液回分、向流による変化** 気液並流と向流での単一気泡の上昇速度 $(u_G/\varepsilon_G)u_{G \rightarrow 0}$ (並流)と $(u_G/\varepsilon_G)u_{G \rightarrow 0}$ (向流)は、気液相対速度を $u_{BS}$ (並流)と $u_{BS}$ (向流)とすると、それぞれ式(7a)と(7b)で表わされる。

流)とすると、それぞれ式(7a)と(7b)で表わされる。

$(u_G/\varepsilon_G)u_{G \rightarrow 0}$ (並流) =  $u_{BS}$ (並流) +  $u_L$  (7a),  $(u_G/\varepsilon_G)u_{G \rightarrow 0}$ (向流) =  $u_{BS}$ (向流) -  $u_L$  (7b)。一方、式(4)を単一気泡の場合( $u_G \rightarrow 0$ )に適用し気液並流と向流に対して得られる式を、それぞれ式(7a)、(7b)と連立させると、それぞれ式(8a)と(8b)が導かれる。 $u_{BS}(\text{並流}) = u_{BS} + (C-1)u_L > u_{BS}$  (8a),  $u_{BS}(\text{向流}) = u_{BS} - (C-1)u_L < u_{BS}$  (8b)。両式から $u_{BS}(\text{並流}) > u_{BS} > u_{BS}(\text{向流})$ となり次式(9)が得られ、 $k_{L,S}$ は $u_L$ とともに液回分の $k_{L,S}$ との差を増す。 $k_{L,S}(\text{並流}) > k_{L,S}(\text{液回分}) > k_{L,S}(\text{向流})$  (9)。

### 3.4 $u_L$ と気泡間相互作用が $k_L$ を支配する機構

**[1]  $u_L$ が $u_{BS}$ を支配する機構** まず、 $u_{BS}(\text{並流}) > u_{BS}$ となるのは、並流の循環液乱流中の単一気泡には、静止液中に比べて、気泡上昇を加速する液慣性力が働くとともに、気泡のウエークが液乱流渦に干渉されて発達し阻害され、気泡上昇運動への抵抗が減少するためと考えられる。一方、 $u_{BS}(\text{向流}) < u_{BS}$ となるのは、上述の2つの作用が気泡に対して逆に働くためである。**[2]  $u_L$ が $u_S$ と $k_L$ を支配する機構** 並流液中の各気泡は液回分液中に比べて、ウエークが発達しにくい。そのため各気泡は独立して運動し易く、 $u_{BS,i}$ (液回分)を超える $u_{BS,i}$ (並流)を維持し易く、気泡間相互作用も合体がない。後続気泡の加速が支配的と考えられる。その結果、 $u_S(\text{並流}) > u_S(\text{液回分})$ ,  $k_L(\text{並流}) > k_L(\text{液回分})$ となる。一方、向流液中の各気泡は、ウエークを発達させて後続気泡を接合あるいは集合させて $u_{Si}$ を低下させ易い。従って、 $u_S(\text{向流}) < u_S(\text{液回分})$ ,  $k_L(\text{向流}) < k_L(\text{液回分})$ となる。

### [3] $u_L$ と気泡間相互作用が $k_L(\text{ELBC})$ を支配する機構

$k_L(\text{ELBC}) > k_{L,S}$ となるのは、ライザーでの気液並流の $u_L$ による $k_L$ 増大効果に起因する。 $k_L(\text{ELBC}) \propto \varepsilon_G^{0.2}$ は、 $u_G$ とともに $u_L$ と $\varepsilon_G$ が増大するため、上述の $u_L$ による $k_L$ 増大効果と $\varepsilon_G$ による $k_L$ 増大効果<sup>1)</sup>の総合した結果と考えられる。尚、 $k_L(\text{ILBC, NBC}) \propto \varepsilon_G^{0.1}$ の結果は、液上昇流部の $u_L$ (並流)による $k_L$ 増大効果が、液下降流部の $u_L$ (向流)による $k_L$ 低減効果を超えた正味の結果と解釈できる。

**4. 結言** 単一気泡と気泡群の気液相対速度、従って物質移動係数が、気液並流、液回分、向流の順に低下することを導いた。これは、気泡上昇運動への液慣性力と液乱流渦の干渉による気泡ウエークの発達度に起因するものと推定した。これらの知見に基づき、ELBC ライザーの並流液中の気泡群の $k_L$ を支配する機構を示した。

**文献** 1)Furumoto et al., SCEJ 41<sup>st</sup> Autumn Meeting, E107(2009); 2)Yoshimoto et al., Chem.Biochem. Eng. Q., **21**,365(2007) 3)Nakao et al., *ibid.*, **21**, 373(2007); 4)Akita and Yoshida, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., **13**, 84(1974); 5)Zuber and Findlay, Trans. ASME J. Heat Transfer, **87**,453 (1965); 6)Bando et al., Kagaku Kogaku Ronbunshu, **14**, 182(1988).

\*E-mail: knakao@yamaguchi-u.ac.jp