Nomenclature

- C = set of candidates
 D_i = node corresponding to pressure drop in the tank-pipeline system
 d = tolerance limit
 F_i = node corresponding to flow rate in the tank-pipeline system
 M = set of observed nodes in the weighted signed directed graph
 N = set of nodes in the weighted signed directed graph
 P_i = node corresponding to pressure in the tank-pipeline system

Literature cited

- 1) Gujima, F., B. Shibata, Y. Tsuge, H. Matsuyama and E. O'Shima: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **16**, 899 (1990)
- 2) Iri, M., K. Aoki, E. O'Shima and H. Matsuyama: *J. Oper. Res. Soc. Japan*, **23**, 295 (1980)
- 3) Shibata, B. and H. Matsuyama: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **15**, 385 (1989)
- 4) Shibata, B., Y. Tsuge and H. Matsuyama: *ibid.*, **16**, 882 (1990)
- 5) Tateno, S., B. Shibata, Y. Tsuge and H. Matsuyama: *ibid.*, **19**, 30 (1993)
- 6) Tsuge, Y., J. Shiozaki, H. Matsuyama, E. O'Shima, Y. Iguchi, M. Fuchigami and M. Matsushita: *ibid.*, **10**, 531 (1984)

Evaluation of Accuracy of a Fault Diagnosis System Utilizing Transfer Delay of the Failure

Kazuhiro Takeda, BohYoh Shibata, Yoshifumi Tsuge
and Hisayoshi Matsuyama

Dept. of Chem. Eng., Kyushu Univ., Fukuoka 812

Key Words : Systems Engineering, Fault Diagnosis, Graph Theory, Weighted Signed Directed Graph, Evaluation of Accuracy

A method of evaluating the accuracy of fault diagnosis based on a weighted signed directed graph with delay is described. A tank-pipeline system is taken as an example to show the usefulness of this method and the influence of the value of allowance on the accuracy of fault diagnosis.

流体振動による気泡塔内の液の軸方向混合特性の変化[†]

高橋憲司*・鍛冶宗義・森 茂・谷本 明

金沢大学工学部 物質化学工学科^{††}

HarbaumとHoughton³⁾は気泡塔による炭酸ガスの吸収実験を行い、振動を付加した場合に液相容量係数が40%も増加したと報告している。気泡塔内の液の混合特性

は気泡の運動に大きく影響されることを考えると、HarbaumとHoughtonの流体に振動を与えた実験では、容量係数の増大のみならず液混合特性も大きく変化していると予想されるがこの点に関する研究を見いだすことはできない。本研究では、液の軸方向混合拡散に及ぼす振動の効果を、標準気泡塔と多段気泡塔について検討した。

[†] 1992年4月13日受理；化学工学会第23回秋季大会（金沢，1990年10月）にて一部発表

^{††} 〒920 金沢市小立野2-40-20

* 北海道大学工学部 原子工学科

1. column; 2. electromagnetic vibrator;
3. piston and cylinder; 4. acceleration
pickup; 5. power amplifier; 6. electric
conductivity cell; 7. strain amplifier;
8. digital storage recorder; 9. trigger;
10. syringe; 11. check valve

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

1. 実験装置および方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。気泡塔として塔高 100cm, 内径 5.0cm の円管を用いた。塔入口部直前にはトレーサ注入口を設けてあり、塔出口部にはトレーサ濃度を電気伝導度法により検出するための白金電極を設けてある。トレーサとしては NaCl 水溶液を用い、シリンジによりパルス的に円管入口部直前より約 1cm^3 注入した。電磁バイブレーターでピストン部を正弦的に上下運動させることにより流体に正弦的振動を与えた。流体としては水道水を用いた。コンプレッサーからの空気をフィルターで洗浄した後に気泡塔底部より塔内に供給した。液は塔内で空気と並流接触し、トレーサ濃度測定用の白金電極を経て排出される。

多段化のための仕切板としては、円板に同心円の穴を開けたリング状のものを使用し、その開口比 ϕ が 0.25, 0.5, 0.75 の 3 種類を用意した。仕切板は塔内径と等しい間隔で設置した。ガススパージャーにはガラスで作成した単孔ノズルを使用した。ノズルの内径は 1.5mm である。電気伝導度セルには $10 \times 10\text{mm}^2$ の白金板を 5mm の間隔で 2 枚向かい合わせにしたものを用いた。

排出液のトレーサ濃度の変化は電気伝導度セルにより検出し 12bit のデジタル記録計により測定した。塔出

Table 1 Experimental conditions

Inside diameter of column	d [mm]	50
Column length	l [mm]	1000
Hole diameter of partition plate	d_B [mm]	12.5, 25.0, 37.5
Compartment height	H [mm]	50
Liquid flow rate	u_L [cm/s]	0.5
Gas flow rate	u_G [cm/s]	0.5~15.0
Amplitude of fluid vibration	a [mm]	0~3.0
Frequency of vibration	f [Hz]	10.0

口とセルとの間の時間遅れは計算により補正した。多段気泡塔のモデルとしていくつかの報告^{6,7)}があるが、本研究では応答曲線の解析は拡散モデルを仮定し、液の見かけの軸方向拡散係数 $\mathcal{D}_L$ の評価を行った。滞留時間分布関数 $E(\theta)$ の最大値を与える θ_{max} の値と、あらかじめ求めておいた θ_{max} とボーデンシュタイン数 PeB との関係より滞留時間分布を解析し、 PeB を算出した⁴⁾。 PeB は通常のペクレ数 $u_L d / \mathcal{D}_L$ に変換した。実験条件を Table 1 に示した。

2. 実験結果と考察

初めに、単相流における液混合特性に及ぼす振動の影響について検討する。仕切板を有する円管内定常流に振動を付加した場合の滞留時間分布の変化を Fig. 2 に示した。流体振動の振幅 a が 2.0mm までは振幅の増大につれ $E(\theta)$ の最大値が減少し、そのときの θ の値が 1.0 に近づく傾向がみられる。一方、 $a = 3.0\text{mm}$ では、 $E(\theta)$ の最大値は増大して、プラグフロー的分布形状になり、混合特性が振動付加により大きく変化することがわかる。Fig. 3 に Pe 数の変化を示した。仕切板の開孔比 ϕ が 0.5 の場合に振動の影響が最も大きく現れ、 ϕ が 0.25 の場合には液混合特性に及ぼす振動の影響は他の場合に比較して小さい。一方、図には示していないが、仕切板を設置しない場合は、Fig. 3 に見られるほど大きな変化はないものの、振動を付加 ($a = 1.0 \sim 5.0\text{mm}$, $f = 10\text{Hz}$) したことで Pe 数は最大で 2 倍まで増大した。これは、振動付加により速度分布が平坦な分布に変化したためと考えられる。Fig. 3 には Mackley ら²⁾ による実験結果を著者らが整理して示してある。彼らは断面が三角形の仕切板を塔内 (内径 0.023m) に設置し、軸方向混合に及ぼす振動の影響 ($a = 0 \sim 5\text{mm}$, $f = 0 \sim 3.7\text{Hz}$) を研究している。彼らの得た結果では、軸方向の混合を抑える最適な振幅比が存在し、あまり大きな振幅で流体を攪乱すると見かけ上の軸方向混合が助長されることを示している。また、Fig. 3 に示した実線は、仕切板として多孔板を用いたパルスカラム (塔内径 0.032, 0.054m, $a = 0 \sim 15\text{mm}$, $f = 0.4 \sim 3.0\text{Hz}$) について Miyauchi と Oya⁵⁾ が提出した

Fig. 2 Change of residence time distribution due to fluid vibration for a single phase flow in a multi-stage column

実験式より、著者らが計算した値である。振幅比に対する Pe 数の変化の仕方は、Mackley らの $a/d > 0.04$ における傾向とにているが、 Pe 数の値自身は本結果および Mackley らの結果と大きく異なる。これは、用いた仕切板の形状が異なることに起因すると考えられる。

次に、二相流における液混合特性に及ぼす振動の影響について検討する。結果を Fig. 4 に示した。矢印で示した値は、振動を付加しない場合の Pe 数の値である。仕切板を設けない標準気泡塔では、 $u_G \leq 1.0 \text{ cm/s}$ の場合、振動の振幅の増大につれ Pe 数は増大し、本実験範囲では約 3 倍まで増加がみられた。一方、 $u_G \geq 3.0 \text{ cm/s}$ では振動の影響はほとんど観測されず、 $u_G = 3.0 \text{ cm/s}$ では逆に、振動の付加により Pe 数は減少する場合もある。

多段気泡塔では、ガス流速が 3.0 cm/s 以下では、振動の振幅が増大するにつれ Pe 数は増大し、極大値を示した後に減少する傾向がある。ガス流速が 8.0 cm/s 以上では、多段化しない場合と同様に振動の影響はほとんどない。

$u_G \leq 1.0 \text{ cm/s}$ では、仕切板を設けた場合の Pe 数の増加はせいぜい 1.5 倍であるのに対し、仕切板を設けぬ場合では 2.5～3 倍の Pe 数の増加となっている。このことは、仕切板を設けた場合は定常流においてもすでに逆混合が抑えられており、振動を付加しても顕著な変化は現れないためと解釈できる。一方、仕切板がない場合では、振動の付加が仕切板を設置したと結果的には同様の

Fig. 3 Effect of fluid vibration on Pe number for a single phase flow in a multi-stage column

Fig. 4 Change of Pe number due to fluid vibration in a single-stage and a multi-stage bubble columns. Colored symbols show results for the single-stage bubble column. White symbols show results for the multi-stage bubble column.

効果を示し、逆混合の抑制として作用したものと考えられる。

気液二相流に振動を付加し、流体を加速、減速することによる気泡運動の変化が液混合特性へ及ぼす影響とし

て考えられることはいくつかある。それらは気泡の振動運動による液の攪乱、気泡上昇速度の減少に伴う液の逆混合の減少および気泡の合体である。

気泡形が小さく球形とみなし得る場合、振動流中での気泡の運動方程式を積分することにより、気泡の変動速度として次式を得る¹⁾。

$$v_B = \frac{\rho + \rho C_m}{\rho_a + \rho C_m} u_v \quad (1)$$

空気-液系では $\rho \gg \rho_a$ であり、また仮想質量係数として $C_m = 0.5$ と仮定すると Eq. (1) より、 $v_B = 3u_v$ を得る。つまり、気泡は流体の振動振幅の3倍の振幅で運動する。このことは、振動の付加により混相全体の攪乱が大きくなり、管半径方向のホールドアップが均一化し、結果として逆混合が抑制されると考えられる。また、振動振幅が大きいときの塔内の気泡の運動を目視により観察したところ、気泡の平均上昇速度は振動を付加しない場合より極端に遅くなっていた。振動流中における気泡は、高振動数では上昇せずに安定な浮遊化状態を保つことが知られているが、液側混合の点からみると、気泡の運動速度が遅くなることにより逆循環流が小さくなり、液の軸方向混合を抑える作用と考えられる。Fig. 4 に示した低ガス流速での Pe 数の増加はこのような理由によると考えられる。

一方、振幅比が大きい場合およびガス流速が大きい場合では、 Pe 数は減少あるいはほとんど変化はないが、その理由は次のように考えられる。ガス流速が大きい場合は気泡のもつ運動量が大きく、振動を付加しても気泡の運動の変化は小さい。また、仕切板なしで $u_G = 3.0 \text{ cm/s}$ および仕切板ありで振幅比が大きい場合では、Mackley らが得た単相流における振動の効果つまり振幅比が大きい場合における軸方向混合の助長、および気泡の合体による影響と考えられる。

本実験で得られた結果より、仕切板を設けない気泡塔で、低ガス流速では流体の加速度運動により液の混合特性を改善できることが示された。

【謝 辞】 本実験を行うにあたり、山本大介君、(故)宮川修君(当時金沢大学4年生)には多大なるご協力を頂きました。また、北海道大学工学部の今井弘助教授には貴重な討論、ご助言を頂きました。ここに深く感謝いたします。

Nomenclature

a	= amplitude of oscillation	[m]
C_m	= virtual mass coefficient	[—]
d	= column diameter	[m]
d_B	= hole diameter of partition plate	[m]
$E(\theta)$	= residence time distribution function	[—]
$\mathcal{D}_L$	= longitudinal dispersion coefficient of liquid phase	[m ³ /s]
f	= frequency of oscillation	[1/s]
l	= column length	[m]
Pe	= Peclet number, $u_L d / \mathcal{D}_L$	[—]
Pe_B	= Bodenstein number, $u_L l / \mathcal{D}_L$	[—]
u_G	= superficial velocity of gas	[m/s]
u_L	= superficial velocity of liquid	[m/s]
u_v	= fluctuating velocity of liquid	[m/s]
v_B	= fluctuating velocity of bubble	[m/s]
θ	= dimensionless time	[—]
ρ	= liquid density	[kg·m ⁻³]
ρ_a	= air density	[kg·m ⁻³]
ϕ	= d_B / d	[—]

Literature cited

- 1) Batchelor, G.K.: "An Introduction to Fluid Dynamics", Japanese ed., p.456, Tokyo Denki Daigaku Syuppan, Tokyo, Japan (1972)
- 2) Dickens, A.W., M.R. Mackley and H.R. Williams: *Chem. Eng. Sci.*, **44**, 1471 (1989)
- 3) Harbaum, K.L. and G. Houghton: *ibid.*, **13**, 90 (1960)
- 4) Miyauchi, T.: *Kagaku Kogaku*, **24**, 769 (1960)
- 5) Miyauchi, T. and H. Oya: *AIChE J.*, **11**, 395 (1965)
- 6) Nishiwaki, A. and Y. Kato: *Kagaku Kogaku*, **36**, 1112 (1972)
- 7) idem: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **1**, 86 (1975)

Change of Longitudinal Mixing Character of Liquid in Bubble Column Due to Fluid Oscillation

Kenji Takahashi*, Muneyoshi Kaji, Shigeru Mori
and Akira Tanimoto

Dept. of Chem. and Chem. Eng., Kanazawa Univ., Kanazawa 920

Key Words : Bubble Column, Residence Time Distribution, Fluid Vibration, Oscillation, Virtual Mass

Effects of vibration on longitudinal mixing of liquid were studied both in a multistage and a single-stage bubble column. Peclet numbers increased with increasing amplitude of fluid vibration at low gas velocities in the single-stage column. When the gas velocities were greater than 3.0 cm/s, however, there was little change in the Peclet number in the single-stage column. In the multistage column, Peclet numbers showed maximum value when the amplitude ratio was 0.04 and when the gas velocities were smaller than 3.0 cm/s. When the gas velocities are greater than 8.0 cm/s, vibrations have no effect on the Peclet number. The effects of fluid vibration on longitudinal mixing were discussed, based on the motion of a bubble in an accelerating fluid.

* Dept. of Atomic Sci. and Nuclear Eng., Hokkaido Univ.

円管内脈動流に関する複合対流物質移動の特質[†]

高橋憲司*・川端 茂**・森 茂・谷本 明

金沢大学工学部 物質化学工学科^{††}

北浦ら⁵⁾は気流中で振動する球からの複合対流物質移動について次式を導いている。

$$Sh_{fv}^3 = Sh_f^3 + Sh_v^3 \quad (1)$$

ここで、 Sh_f は気流のみ、 Sh_v は振動のみにおける物質移動を表す。Jorne⁴⁾は自然対流と強制対流が共存する平板からの熱、物質移動について、Eq.(1)のべき乗和の関係と同様の結果を導いている。また、栗山ら⁶⁾は、気流中で振動しながら回転する球からの複合対流熱移動について実験を行い、北浦らが得た式と同意の式により実験結果が相関されることを報告している。これらの結果

からは、自然対流、強制対流、振動による二次流、回転流のいずれか複数が共存する複合対流下における熱、物質移動速度は、Eq.(1)のべき乗和の関係で表され、しかも平板、球の場合についても成立することが予想される。しかし、北浦らおよびJorneの研究ではいずれも流れの重ね合わせが可能であるとして、個々の流れの線形和を仮定した解析を行っている。はたして、それら流れの間に重ね合わせが常に適用できるのであろうか。本研究では、高シュミット数における円管内定常流、振動流および脈動流の物質移動を対象として上記問題を検討する。

1. 実験装置と操作方法

本実験では、電気化学的方法を用いたせん断応力の測定を行った。せん断応力測定用のテストセクションは、アクリル板をNC フライス盤で半円管状に精密に仕上げたものを2つ作成し、それぞれの面を重ね合わせて円管

† 1992年4月17日受理；化学工学会第23回秋季大会（金沢，1990年10月）にて一部発表

†† 〒920 金沢市小立野2-40-20

* 北海道大学工学部 原子工学科

** ニッコー（株）