

水平配置円筒槽内における一様流動化の実験的研究*

鈴 川 一 己*
 田 上 華 恵**
 真 子 翠***
 永 島 徹*

The Experimental Study of How to Flow Uniformly in a Horizontal Cylindrical Vessel

Kazumi SUZUKAWA*, Hanae TANOUE**, Midori MANAGO*** and Tohru NAGASHIMA*

The some kind of vessel are horizontally set cylindrical type used by the chemical industry. For example, these included a liquid-liquid separator, defoaming vessel, an oxidation reactor, etc. With this equipment, the liquid flows in from an axis in the vessel. At the exit point of an entrance nozzle, the liquid velocity in the vessel becomes larger with this equipment. In order to make the flow velocity in a vessel more uniform, three types of internal plates were attached to it.

Key Words : horizontal cylindrical vessel, flow pattern, E-curve, internal plate

1. 緒言

水平に設置された円筒形の槽が化学工業において多く用いられる（以後水平配置円筒槽と呼ぶ）。例えば、沈降法における液液分離装置、脱泡槽、酸化反応器、バイオリクター等で用いられる。これらの装置内において断面流速分布を一様にするのが重要であるが、これらの装置内流れに関する研究¹⁾は少ない。

これらの装置では液入口を円筒の軸に平行に断面中央に設置することが多い。槽径に比べ小さい径のノズルにより槽に流体を流入させたため流速が大きく、強い噴流が発生する。これにより多数の大小の渦が生じ槽内に速度分布が生じるため、短い距離で断面流速分布を一様にするのが困難である。

そこで水平配置円筒槽の入口付近に整流板を設置し整流板下流の流れを一様にするのを検討した。前報²⁾に

おいて整流板の各種形状の影響を数値流体解析法（以下、CFD）により検討し、その中で流れの一様化に最も効果のある整流板（2種の整流板の組合せ）とその単独の整流板の計3種類について実験を行いその効果を検討した。

2. 実験装置

図1に実験に用いた実験装置の概略図を示す。供試流体は水道水で、ヘッドタンク①より流入した水はバルブ②とフロート型流量計③で所定の流量に設定し、その後トレーサー注入部④を通過し水平配置円筒槽（内径290mm、長さ1000mm）の中心軸上に取り付けたノズル（内径 $d=13\text{mm}$ ）より流入する。以後ノズル径 d を基準に整流板形状、整流板配置を示す。水位は外部堰⑦で一定（203mm）に保たれ、水は、出口（内径18mm）より外部堰を通過し、排水される。円筒槽の上部には160×100mmの四角い開口部が3カ所あるため水面は大気圧となる。この円筒槽は視覚観察のため角水槽内に設置した。

実験を行った流量は $2.50 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ 、 $5.00 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ 、 $7.50 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ である。このときの断面平均流速は各々

* 平成 25 年 5 月 31 日受付

* 化学システム工学科

** イオンリテール（株）

*** 九州大学大学院総合理工学府

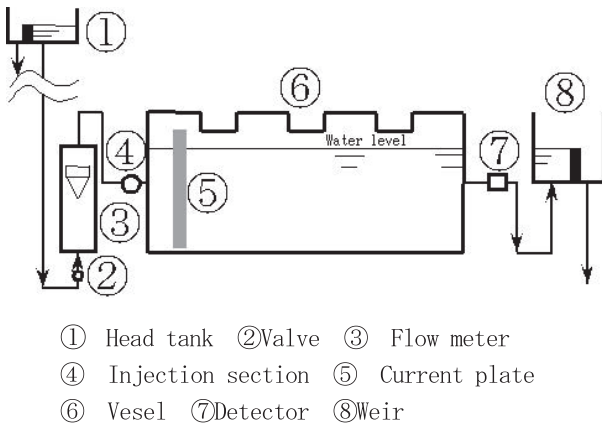


Fig.1 The schematic diagram of experimental apparatus

- ① Head tank ② Valve ③ Flow meter
- ④ Injection section ⑤ Current plate
- ⑥ Vesel ⑦ Detector ⑧ Weir

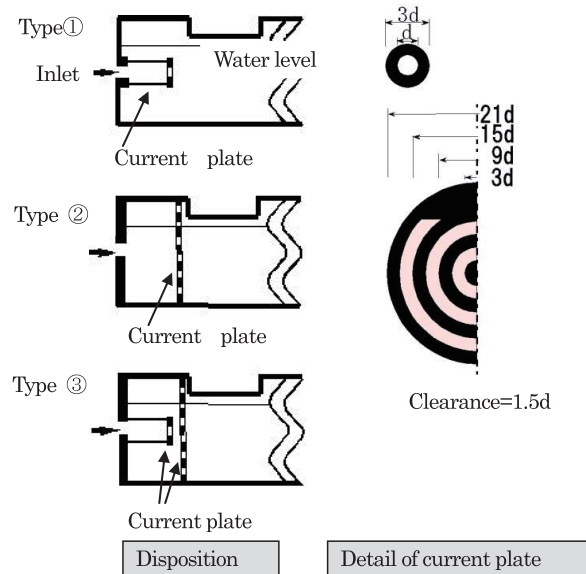


Fig.2 The disposition and structure of current plate

0.505mm/s、1.01mm/s、1.52mm/sである。また、平均滞留時間は2035 s、1017 s、678 sである。

2. 2 整流板構造

使用した整流板構造は前報²⁾においてCFDを用いて検討した物うち、整流板下流の流れを一様にする効果が最も大きいと思われる形式である (Type③と呼ぶ)。これは2種類の整流板の組合せであり、小さい整流板をType①、大きい整流板をType②と呼ぶことにする。

Type①は厚さ5mmの透明アクリル板で外径3dの中央に内径1dの穴を開けたリング状の形状である。これをノズルに取り付けた支持板に直径3mmの支持棒4本で入口より10d下流に設置した。

Type②は図2に示すように多重リング状形状である。これをType①と同様に入口より10d下流に4本の支持棒で支えている、そのうち水中にあるのは下部の2本のみである。

Type③は、入口ノズルより8dの位置にType①を、10dの位置にType②を設置した2段式の整流板である。

2. 3 滞留時間分布の評価法

流体を取り扱う化学装置において装置特性を評価する方法に滞留時間分布関数³⁾がある。そこで滞留時間分布関数の中から出口寿命分布関数 (以後E曲線) を用いて整流板の性能を評価する。

E曲線の測定はインパルス法により行う。トレーサーは食用青色色素であるインジゴカルミン水溶液を用いた。このトレーサーを注入口より注射器により注入し、出口におけるレーサーの濃度を光学的に測定し、濃度に相当する電圧の時間変化をデータロガー (グラフテック社製 GL220) を用いて記録した。この電圧の時間変化よりE曲線を求めた。

また水平配置円筒槽の流動状態を観察するため、こ

のトレーサーの流れをデジタルカメラ(カシオ計算機株式会社製EX-F1)を用いて円筒槽側面よりビデオ撮影した。

3. 実験結果および考察

3. 1 視覚観察

図3は平均断面流速1.01mm/sにおける整流板がない場合及び3種類の整流板Type①、Type②、Type③場合の流れの様子を各時刻で比較したものである。

整流板がない場合 (第一列目)、ノズルから注入されたトレーサーは塊となり槽の中央まで進み (1sから5s)、一部は入口ノズル方向に逆流する (30s)。時間の経過とともにトレーサーが槽全体に広がり (60s)混合する。

整流板Type①の場合、トレーサーは整流板の穴を通過する流れが見られる (1s)。また一部のトレーサーは整流板にあたり槽下部に流れる (2s,3s)。この流れは上流側に流れる逆流となり混合されている (5s)。その後トレーサーは水面近くを流れ槽全体に広がる (30s,60s)。

整流板Type②の場合槽内に流入したトレーサーは整流板の隙間から多く抜け流れる (2s,3s,5s)。一部の槽下部に流れたトレーサーは上流側に逆流し混合され、また整流板下流においては栓流のように流れる。また槽下部に死水域が見られる (30s)。その後槽出口の影響により水面近くを流れる (60s)。

Type③はType①とType②を組み合わせた形状である。トレーサーはまずType①の整流板にぶつかり分散され

(1s)、その後中央を通過したトレーサーはType②でさらに上下に分散される(3s~5s)。整流板下流においては栓流のように一様に槽出口に向かい流れる(30s, 60s)。これらからType③が最も槽内の流れを一様にする事が分かる。このことは前報²⁾において整流板より下流の速度分布が均一になっていることと対応する。

図4は最も均一に流れる整流板であるType③において、断面平均流速(0.505mm/s, 1.01mm/s, 1.52mm/s)の影響を検討したものである。第1行はトレーサーが整流板に衝突する時刻である、その後トレーサーは上下方向に移動し、一部は2枚目の整流板を通過し槽本体に流れ込んでいる(第2, 3行)。整流板の上流側ではトレーサーが混合され、また、槽本体では栓流状になった流れが観察される(第4, 5行)。時間が経過すると低流速($U=0.505\text{mm/s}$)では槽下部に死水域が見られる。 $U=1.01\text{mm/s}$, 1.52mm/s では栓流に近い流れが維持される(第6, 7行)。このように $U=0.505\text{mm/s}$ では流れの均一性が良くない部分があるものの、流速が $U=1.01\text{mm/s}$ 以上であれば流れの均一性が維持される。

図5は図4に対応するCFDの定常流速分布結果を示している。左図が槽中心断面における側面図(鉛直断面)、右図が上面図(水平断面)である。入口ノズルより流入した水は整流板Type①により槽の下方向と左右方向への流れを生じさせている。中央より流失した水は整流板Type②より下流において速度が均等になる。ただし、整流板後方の下流側に双子状の渦が見られる。なお、図中の鉛直断面(図中の黄色い線)状から流線を描いたところ、全ての流速条件で槽の3分の2の領域で流線が水平になっていることが分かる。

3. 2 出口寿命分布関数

図6は3種類の整流板および整流板が無い場合におけるE曲線を示している。図中の破線及び一点鎖線は層流、および完全混合槽の場合である。整流板がない場合は最も完全混合槽の応答曲線に近く、槽内が混合されていることが分かる。整流板形状がType①、Type②、Type③となるに従い層流の場合の応答曲線に近くなっている。これは視覚観察(図3)の30s及び60sにおける写真における流れとよく一致している。特にType③の整流板より下流においてほとんど栓流に近い流れが観測される。

4. 結言

本論文は化学工業で用いられる水平配置円筒槽に液が円筒軸上から流入する場合について、槽内の流れを一様化するため、入口ノズル付近にCFDにより予め検討した3種類の構造の整流板を設置し実験・計測を行い次の結果を得た。

1. 整流板が無い場合は濃度むらが大きく流れは完全混合槽に近い。
2. 整流板形状がType①、Type②、Type③の順にE曲線は層流の状態に近づく。
3. 整流板形状がType③の場合最も整流効果がよい。
4. 整流板選定のためにCFDによる検討が有効である。
5. CFDの予測精度が高い。

文献

- 1) 相良紘, 「入門化学プラント設計」, 培風館(1998).
- 2) 鈴木一己, 田上華恵, 真子翠, 永島徹, 福岡大学工学部集報第91号(2013) 35-40
- 3) Levenspiel, "Chemical reaction engineering", John Wiley & sons, inc., 1998

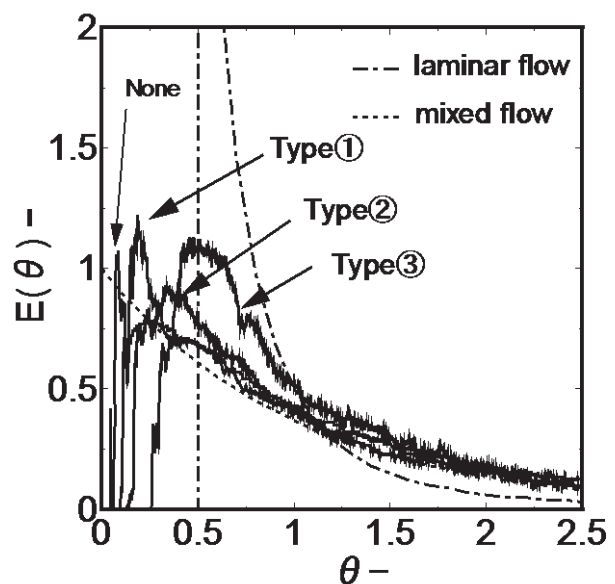


Fig.6 The E-curve of three types current plate ($U=1.01\text{ mm/s}$)

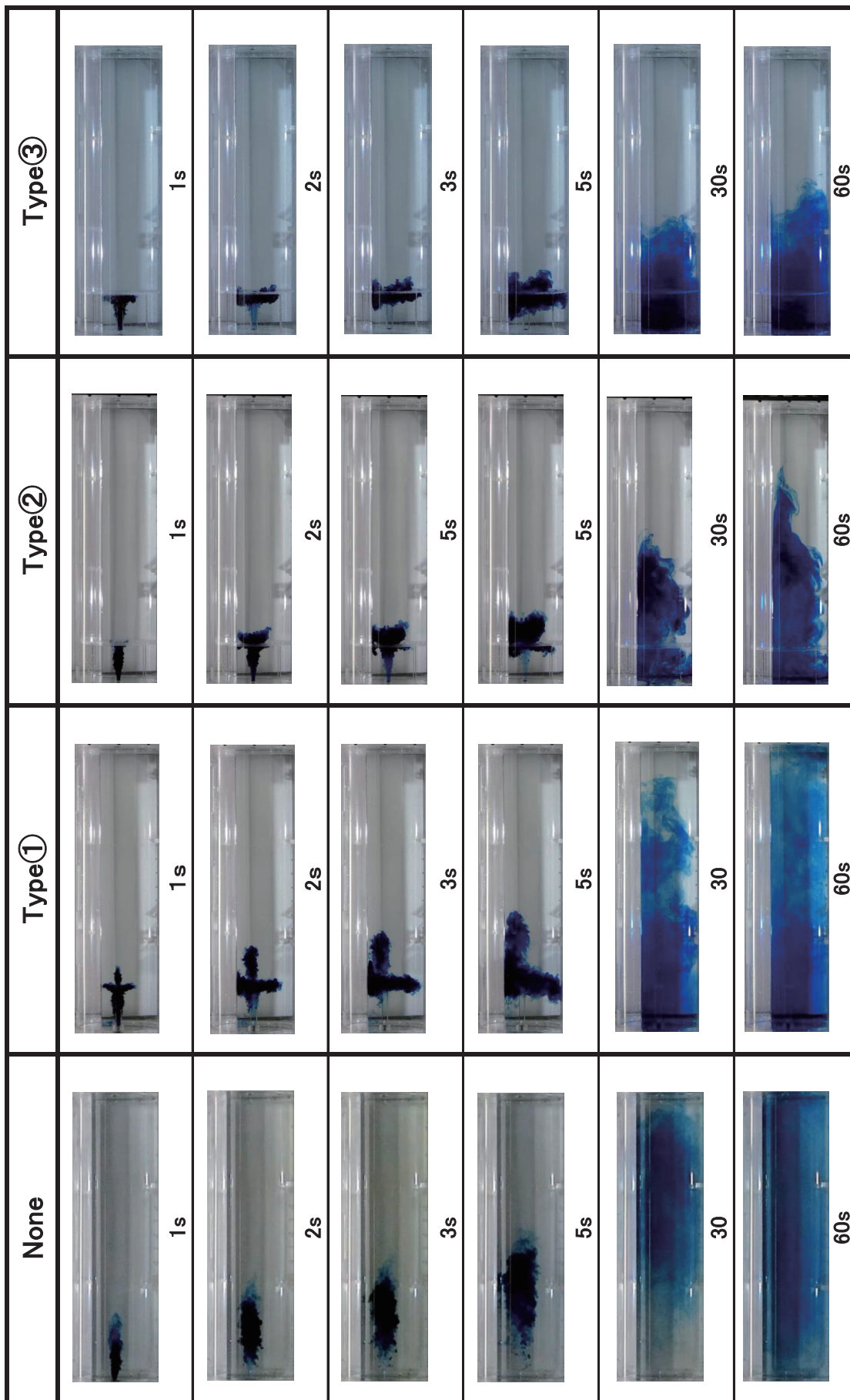


Fig.3 Flow pattern of three type current plates ($U=1.01\text{mm/s}$)






















U=0.505mm/s		U=1.01mm/s		U=1.52mm/s	
Time		Time		Time	
1s		1s		0.5s	
5s		3s		2s	
10s		5s		4s	
20s		10s		6s	
50s		30s		10s	
100s		100s		20s	
500s		200s		100s	

Fig4. The influence of liquid velocity with Type③ current plate

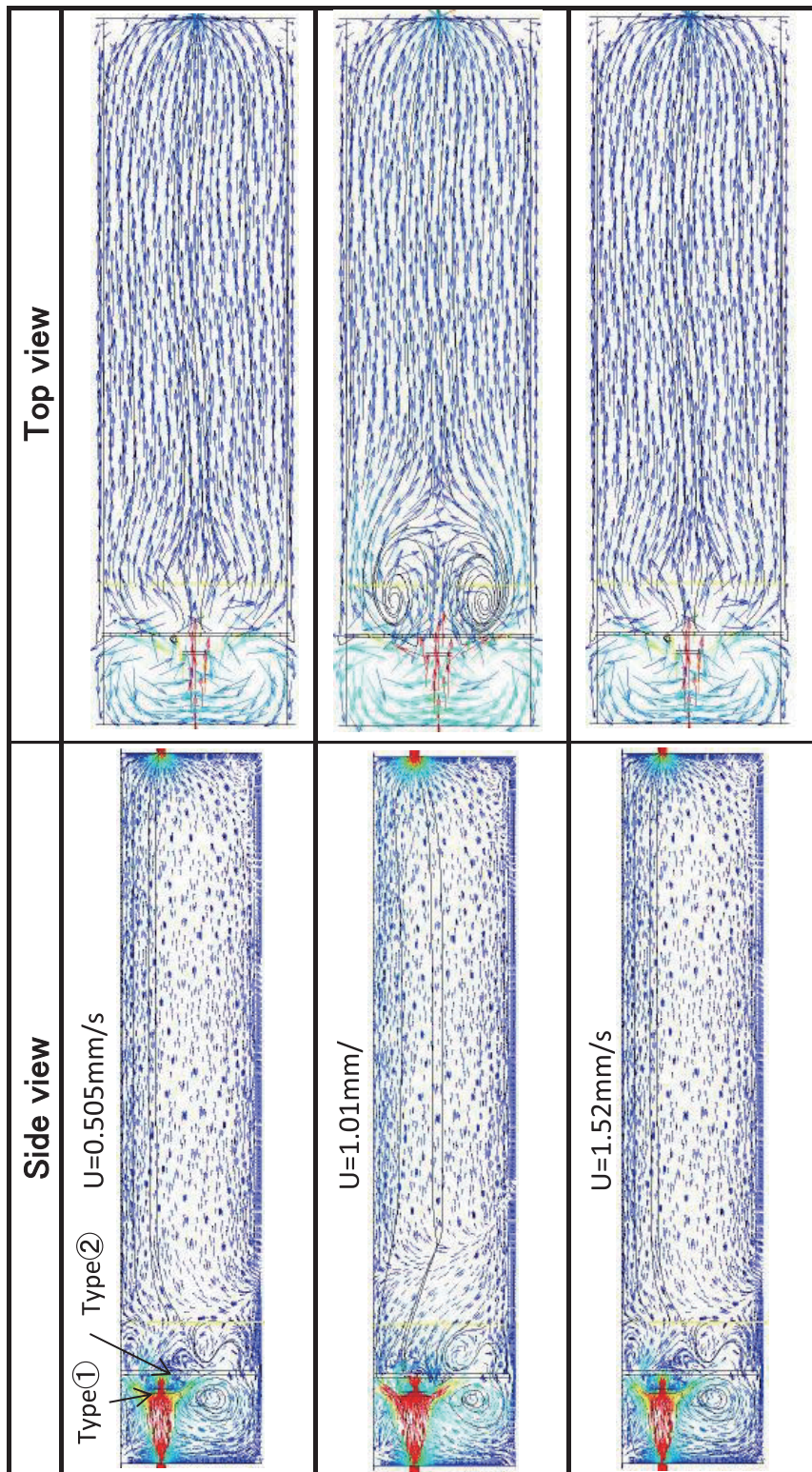


Fig.5 The velocity distribution of Type③ by CFD