

# 特集 気泡・液滴・微粒子分散工学 マルチスケール混相現象の化学工学

気泡・液滴・微粒子の連続相流体への分散は、化学プロセス工学で扱われる多くの装置および操作の基礎的現象として非常に重要である。本特集では、これら現象の基礎とその応用を研究する「気泡・液滴・微粒子分散工学分科会」の最近の活動および関連する研究について紹介する。また、昨年10月に日独の研究者が中心となって開催した1st International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering (MMPE)の報告および発表された内容の一部も紹介する。

(編集担当：本間俊司)†

## 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会の紹介と最近の活動

寺坂 宏一

### 1. はじめに

気泡、液滴および微粒子が分散相として液体や気体などの連続流体相中を浮遊・分散する系は、化学工業プロセスで扱われる多くの装置内で観察され、それらの現象や状態の基礎的な理解と操作法の確立は学術上かつ実用上非常に重要である。気泡、液滴または固体微粒子の連続流体相中での分散現象の解明や技術開発は、それぞれ気泡塔、スプレー塔、流動層など装置毎の専門家集団によって実験的研究を中心に進められてきた。しかしながら目覚ましいコンピュータシミュレーション技術やセンシング技術の発展とともに、気泡、液滴、固体微粒子のように明確な相界面をもつ分散系の現象の解明において、各分野で互いに補完し合える知見や理論が顕在化してきた。

そこで、気体、液体、固体を分散相としてもち全体として流体の性状をもつ系で生じるさまざまな現象の解明および研究を推進するために、2009年に気泡・液滴・微粒子分散工学分科会が誕生した。ここでは本分科会設立の経緯

と活動を紹介する。

### 2. 歴史

気泡・液滴・微粒子分散工学分科会のルーツを遡ると、1984年に化学工学会に設置された「気泡塔・懸濁気泡塔の装置設計研究会(初代代表：小出耕造先生)」である。1994年に「気泡塔・懸濁気泡塔の装置設計特別研究会(初代代表：室山勝彦先生)」へ移行し、2002年化学工学会の部会制移行に伴い発足した「粒子・流体プロセス部会」内の6分科会(当時)の1つである「気泡塔分科会(初代代表：河越幹男先生)」に編成された<sup>1)</sup>。さらに次節で述べる経緯により2009年に「気泡・液滴・微粒子分散工学分科会(初代代表：寺坂宏一)」に改組された<sup>2)</sup>。

### 3. 設立の経緯

装置名称であるキーワード「気泡塔」を冠した気泡塔分科会は、新入会員の伸び悩み、主催する国内・国際シンポジウム講演数の低迷などの問題を抱えていた。そこで、2008年9月(化学工学会第40回秋季大会)の気泡塔分科会主催シンポジウム「気-液、液-液、気-液-固、気-液-液分散系プロセスのイノベーション」の参加者にアンケート調査を行い、分科会の将来に関する意見を募った。

図1に設問「関心のある研究キーワードをお書きください」に対する回答を示した。最近のトピックスである「マイ



Introduction of Research Party of Bubble, Drop and Particle Dispersion Engineering, and Its Latest Activities

Koichi TERASAKA (正会員)

1991年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了(工学博士)

現在 慶應義塾大学理工学部応用化学科教授

連絡先：〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

E-mail terasaka@applc.keio.ac.jp

2012年3月21日受理

† Homma, S. 平成23, 24年度化工誌編集委員(6号特集主査) 埼玉大学

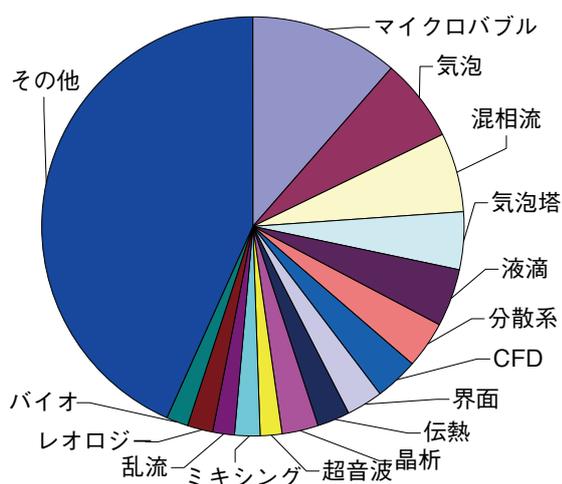


図1 設問「関心のある研究キーワードは？」への回答(延べ回答数113)

「マイクロバブル」のほか、「混相流」、「液滴」、「分散系」および「CFD」が目立っていた。

また、設問「気泡塔分科会にどのようなイメージあるいは問題点をお持ちですか」に対する回答として、「分科会がどういった集団なのか不明確」、「気泡塔だけに限定されたイメージがある」、「気泡塔という化学装置のネーミングから装置設計・運動操作をイメージするが、気液分散系を対象が制約されている」、「企業会員が少ない」、「新しい会員が少ない」などの意見を得た<sup>3)</sup>。

以上のように現状把握し、分科会の将来への道筋について約2年にわたり議論をおこなった。

2009年3月(化学工学会第74年会)で開催された気泡塔分科会総会において、次節で示した趣意を掲げる「気泡・液滴・微粒子分散工学分科会(略称:気液固分散工学分科会)」への発展的改組が議決され、粒子・流体プロセス部会幹事に提案し、部会総会で承認された<sup>2)</sup>。

#### 4. 分科会の趣意

本分科会は、「分散相と連続相が混在するプロセスの合理的な設計技術の確立と、内在する流動、伝熱、物質移動などの基礎現象の解明」を趣意として成立した<sup>2)</sup>。

連続液相中への気泡、液滴および粒子の分散、あるいは連続気相中への液滴の分散挙動の解明は、ガス吸収器、気泡塔、バイオリアクター、マイクロリアクター、液液抽出塔、スラリー塔、スプレー塔、重合缶をはじめとする装置設計や操作に非常に重要である。さらにマイクロバブル、マイクロエマルジョン、ナノパーティクルからプラント規模までマルチスケールで起こる現象の変化の推定にも欠かせない。このような重要課題の解決には、相界面の挙動や各相の流動・熱物質移動解析、新規計測技術や実験手法の

提案、CFDシミュレーションなどの技術の融合が必要である。

そこで本分科会では、実験的、理論的あるいはCFDを駆使して不均一分散現象のメカニズムを解明し、革新的または最適装置設計につながる研究を奨励し、技術の指導をおこなう。

#### 5. 分科会活動

##### 5.1 国際会議

表1に、前身である気泡塔・懸濁気泡塔の装置設計研究会以降、本分科会にかけて主催した8回の国際会議を示した。Japanese-German Symposium on Bubble Columns(日独気泡塔シンポジウム)は1988年以来3年毎にドイツと日本とで開催地を交代しながら実施された<sup>4)</sup>。2011年、キーワードを一新し、International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering(略称MMPE)にリニューアルされ、金沢で開催された。このシンポジウムは大成功裏に閉幕し、

表1 気液固分散工学分科会主催国際会議

国際会議名称	開催年	開催都市
1st German-Japanese Symposium on Bubble Columns	1988	ドイツ・Schwerte
2nd Japanese-German Symposium on Bubble Columns	1991	日本・京都
3rd German-Japanese Symposium on Bubble Columns	1994	ドイツ・Schwerte
4th Japanese-German Symposium on Bubble Columns	1997	日本・京都
5th German-Japanese Symposium on Bubble Columns	2000	ドイツ・Dresden
6th Japanese-German Symposium on Bubble Columns	2003	日本・奈良
7th German-Japanese Symposium on Bubble Columns	2006	ドイツ・Goslar
1st International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering	2011	日本・金沢

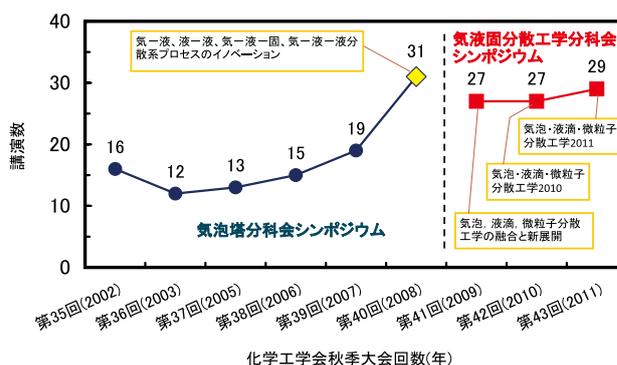


図2 化学工学会秋季大会シンポジウム講演数の推移

2014年にドイツ・Hamburgにて第2回MMPEが開催される予定である<sup>5)</sup>。

## 5.2 気泡・液滴・微粒子分散工学シンポジウム

国内においては、図2のように化学工学会秋季大会の粒子・流体プロセス部会セッションにおいてシンポジウムを開催している。気泡塔分科会主催当時は20件以下の講演数であったが、2008年に気液固分散工学を提案したシンポジウム、2009年のキックオフシンポジウムを経て、気泡・液滴・微粒子分散工学分科会主催のシンポジウムは概ね30件弱(1日半)の規模を維持している。2010年度以降は分科会名を冠したシンポジウム名称が定着しており、参加者からも好意的な感想を得ている。

## 5.3 気液固分散工学サロン

表2にこれまでに6回(実質は5回)開催された気液固分散工学サロンを紹介した<sup>6)</sup>。気泡塔分科会主催で13回にわたって開かれた気泡塔サロンと同様に、化学工学会の秋季大会および年会の初日の夕方に講演会場を借用し、気泡、

液滴、微粒子およびCFDなどの分野で活躍している旬の研究者による講演会と懇親会を開催している。本分科会ならではの気さくでアットホームな雰囲気と参加者の専門境界領域での熱い議論を特徴とする非常に有意義で楽しい場となっている。

## 5.4 見学会・講習会

本分科会では分科会の会員向けに知識と経験の共有化とスキルアップのために見学会や講習会を企画・主催している。主なイベントを紹介する。

(1) 旬の技術・見学講演会「新潟GTL実証プラントによるクリーン燃料製造技術の最前線」

2009年9月25日に化学工学会関東支部と共催し、新潟東港地区に建設された500バーレル/日のGTL(Gas To Liquid)実証プラントの見学をおこなった(図3)。GTLとは天然ガスを原料とした石油製品やクリーン燃料を製造する技術で、反応器内は、気泡(炭酸ガスを含む天然ガス)が固体粒子(FT触媒)とともに液相(オイル・ワックス)中を浮遊する系で、ま

表2 気液固分散工学サロン

回	開催日	会場	講師(敬称略)	所属	講演題目
1	2009年9月16日	広島大学	松隈洋介	九州大学	格子ボルツマン法を用いた不織布や充填層内の流れの数値解析
2	2010年3月18日	鹿児島大学	山本徹也	広島大学	AFMによる微粒子生成・分散機構の解明と微粒子分級への応用
3	2010年9月6日	同志社大学	山本剛宏	大阪大学	高分子流体中の微粒子分散系のブラウン動力学シミュレーション
4	2011年3月22日	東京農工大学	東日本大震災のため中止		
5	2011年9月14日	名古屋工業大学	真田俊之	静岡大学	メゾスケールでの気泡挙動モデリング
6	2012年3月15日	工学院大学	酒井幹夫	東京大学	粉体シミュレーションの実用化に関する研究



図3 新潟GTL(500BPD)実証プラント見学会(背景はFT塔)

さしく気泡・液滴・微粒子分散工学の知見を結集している。合わせておこなわれた講演会では、千代田アドバンス・ソリューションズ(株)前川宗則氏により、気泡塔内気泡流に関する数値解析方法の基礎、塔内ガスホールドアップ分布の推算と実測値との比較が示された<sup>3)</sup>。

(2)講習会「化学工学計算の並列化基礎～OpenMPと流体解析を中心に～」

各種物性、材料、粒子・流体、反応プロセスなどより複雑で幅広い計算へのニーズが高まる一方で、計算負荷や計算時間の制約に悩まされることも多く、近年では計算機の並列演算化が注目されているが、プログラミングも並列化させる必要がある。そこで、2012年5月18日東京理科大学において、最も簡便な並列化の一つであるOpenMPの講習会と、流体解析を対象とした並列化の体験実習会をおこなった<sup>7)</sup>。

### 5.5 気液固分散工学ニュースレター

気泡塔分科会初代代表河越先生の発案により、「気泡塔ニュースレター」が9号にわたって発刊された。引き続き気泡・液滴・微粒子分散工学分科会改組後も「気液固分散工学ニュースレター」と改称してすでに6号が発行されている。概ね年に2回、分科会ホームページ<sup>6)</sup>を通じて配信されており、最新の分科会の活動状況、関連の深い国際会議や国内学会の案内、新入会員の紹介など、分科会会員間のコミュニケーションのために活用されている。

### 5.6 発行書籍とバックナンバー

気泡塔・懸濁気泡塔の装置設計研究会以降、本分科会ではその時点での技術を整理したテクニカルレポート、国内シンポジウムの内容を深めたシンポジウムシリーズを発刊している。また現分科会への改組を区切りとして、これまでの気泡塔に関する研究の歴史を綴った「気泡塔研究史」を編纂した。昨秋完成し、分科会会員に無料で配布した。

表3に本分科会で在庫を有するバックナンバーおよび国際会議予稿集を示した。ご要望いただければ分科会ホームページ<sup>6)</sup>よりご購入いただける。

## 6. おわりに

本分科会では、今後も気泡・液滴・微粒子分散工学を対象とし、実験的、理論的あるいはCFDを駆使した手法を

表3 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会 発行書籍バックナンバー

書籍名称	発行年月	定価(税込)
化学工学テクニカルレポート9 気泡塔・懸濁気泡塔の装置設計	1985年11月	2000円
化学工学シンポジウムシリーズ50 多様化する気泡塔・懸濁気泡塔の基礎と応用	1996年2月	2500円
化学工学シンポジウムシリーズ68 多様化する気泡塔型装置の基礎と応用	1999年3月	2500円
化学工学シンポジウムシリーズ77 進展する気泡塔～現象解明と応用～	2003年3月	2500円
Preprints of The 6th Japanese-German Symposium on Bubble Columns	2003年11月	4000円
化学工学シンポジウムシリーズ81 気泡、液滴、微粒子分散工学の融合 と新展開	2010年1月	3000円
気泡塔研究史	2011年9月	無料(会員限定頒布)
Proceedings of The 1st Symposium of Multiscale and Multiphase Process Engineering	2011年10月	3000円

利用して装置設計を実現する研究成果や技術を検証および報告し、広く普及に努めたい。

そのためには化学工学分野の研究者だけでなく、学際分野の研究者、関連分野あるいは関心をもつ企業の参加を促進し、より多くの研究報告の収集と公開、学生や初心者への教育、国際研究連携の推進、日本発の知的財産や技術の保護と産業の活性化に寄与したい。

もし本分科会の趣意にご賛同いただき積極的にご参加いただける方および企業がありましたらぜひ分科会ホームページ<sup>6)</sup>よりご入会いただければ幸いです。

### 引用文献

- 1) 気泡塔分科会：気泡塔ニュースレター, No. 1 (2002)
- 2) 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会：気液固分散工学ニュースレター, No. 2 (2009)
- 3) 気泡塔分科会：気泡塔ニュースレター, No. 9 (2008)
- 4) 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会：気泡塔研究史(2011)
- 5) 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会：気液固分散工学ニュースレター, No. 6 (2011)
- 6) 気泡・液滴・微粒子分散工学分科会ホームページ：<http://www.applc.keio.ac.jp/~terasaka/BUDROPE/>
- 7) 化学工学, 76(3), 会告30(2012)