

分離技術シリーズ 18

分離技術と泡技術

Separation and Bubble Technologies

柘 植 秀 樹 著

分 離 技 術 会

は し が き

気体と液体が関与する系や気体，液体と固体が関与する系が化学産業の操作にはよく見られる．ガス吸収や晶析などはこうした不均一分散系の単位操作に分類されている．しかしながら，こうした操作を連続相と分散相を構成する気相，液相，固相という立場から見直すと新しい視点が生じる．分散相としての気相は気泡，液相は液滴，固相は微粒子として取り扱われる．

液中を上昇する気泡の挙動や気泡の生成に関しては，19世紀から流体力学や物理学の分野で研究が始められた．化学工学分野でも，1950年前後から気泡や液滴に関する研究が始まり，気液系，気液固系のガス吸収などの化学装置設計にフィードバックしようとする研究が活発に行われている．

また，通常用いられるミリバブルより小さいマイクロバブルは，ミリバブルにはない特異な性質を有しており，着目されている．

一般に，「泡」は液相中に独立に存在する気泡と，気泡が集合した泡沫に分類できるが，泡沫に関する科学と技術についても多方面で検討が進められている．

重要な分離技術である反応晶析操作とこうした泡は密接に関連している．反応晶析は反応による結晶粒子の析出操作であるが，著者は海水中に溶存している資源の有効利用についても検討してきた．さらに，溶存海水資源との反応晶析による地球温暖化ガスである炭酸ガスの固定化についても，環境問題と関連して興味を持っている．

本書「分離技術と泡技術」は，従来の単位操作を中心とした分離技術シリーズとは趣を異にするが，本書が多少なりとも読者のお役に立つことができれば著者の喜びである．

2010年12月

柘 植 秀 樹

目 次

1 . は じ め に	1
2 . 気泡の挙動	3
液中での気泡の上昇挙動に関して実験的，理論的な検討が加えられているので，整理して解説する	
2 . 1 単一気泡の上昇速度と上昇経路	3
2 . 2 気泡の形状	8
2 . 3 気泡の合一と分裂	9
2 . 4 単一気泡の物質移動	10
2 . 5 単一気泡の挙動の計測	12
2 . 6 気泡群の流動領域	14
2 . 7 ガスホールドアップ	15
2 . 8 気泡群の流動場の測定	17
2 . 9 気泡群のシミュレーション	19
3 . 気泡の生成	24
液中に気泡を生成させる際の関与する因子について，実験的，理論的に解説する	
3 . 1 気泡の生成法	24
3 . 2 気泡の生成挙動	25
3 . 3 気泡生成モデル	26
3 . 4 気泡生成に影響する因子	31
3 . 5 気泡生成法の応用	46
3 . 6 気泡生成時の物質移動	46
3 . 7 蒸気泡生成時の伝熱	53

3.8	微小重力下での気泡生成と脱泡	61
4	ガス吸収装置	
	気液系のガス吸収装置について気泡の特性と絡めて解説する	
4.1	ガス吸収反応	73
4.2	ガス吸収装置	74
4.3	標準型気泡塔内の流動状態と物質移動	79
4.4	多段気泡塔の設計	81
4.5	多段懸濁気泡塔の設計	84
4.6	多段化した外部循環エアリフト型反応器の設計	86
4.7	気泡塔のスケールアップとシミュレーション	89
5	マイクロバブルの挙動	93
	最近、注目されているマイクロバブルについて特性、発生法、各分野への応用について解説する	
5.1	マイクロバブルの特性	93
5.2	マイクロバブルの発生法	111
5.3	気泡径の測定法	123
5.4	マイクロバブル・ナノバブルの応用	125
6	泡沫の科学と技術	141
	泡沫をつくる場合と泡沫を消す場合の科学と技術について解説する	
6.1	泡沫の構造・性質	141
6.2	泡沫の生成・消滅	143
6.3	泡沫の起泡性と安定性	143
6.4	起泡性・安定性と界面活性剤の構造	149
6.5	泡を消す技術	150
7	反応晶析と資源・環境問題	157
	気液反応により固体粒子が析出する反応晶析について、気泡特性と関係させ解説する。温暖化ガスの固定化の方法などについて反応晶析，ガス吸収と関係付けて述べる	

7.1	反応晶析に関する諸因子	157
7.2	反応晶析操作法	160
7.3	反応晶析装置	163
7.4	利用可能な海水溶存資源	164
7.5	炭酸ガス - 温暖化ガス - の固定化と有効利用	168
7.6	塩の固結現象	169
7.7	塩基性炭酸マグネシウムの反応晶析	170
7.8	炭酸リチウムの反応晶析	177
7.9	炭酸カルシウムの晶析特性	182
7.10	多段晶析塔による炭酸カルシウムの反応晶析	193
7.11	おわりに	201
8	これまでとこれから	204
	著者のこれまでの研究の流れをまとめる	