

## 目次

刊行にあたって .....	3
まえがき .....	5

## 第1章 SDGsやカーボンニュートラルに大きく関係する資源循環

1.1 プラネタリー・バウンダリーとSDGs.....	12
1.1.1 プラネタリー・バウンダリー .....	12
1.1.2 MDGs からSDGs へ .....	14
1.2 カーボンニュートラルと資源消費 .....	18
1.2.1 カーボンニュートラルに必要な資源投入量 .....	19
1.2.2 経済成長と資源消費と環境負荷のデカップリング .....	23
1.3 サーキュラー・エコノミーの概念 .....	26
1.3.1 バタフライ・ダイアグラムが示すサーキュラー・エコノミーの概念 .....	27
1.3.2 資源効率向上による温室効果ガス削減効果 .....	29
1.3.3 資源循環を支える分離技術 .....	31
参考文献 .....	33

## 第2章 資源循環のための分離技術

2.1 金属資源開発と資源循環 .....	36
2.1.1 金属資源開発と循環のフロー .....	37
2.1.2 低エネルギーな分離技術を開発するために .....	39
2.1.3 製錬ネットワークによるレアメタルの回収 .....	42
2.1.4 金属資源開発を支える廃水処理 .....	44
2.2 カーボンニュートラルを支える分離技術の研究開発例 .....	45
2.2.1 太陽光パネルの資源循環 .....	45
2.2.2 リチウムイオン電池の資源循環 .....	50
2.2.3 プラスチックの資源循環 .....	56
参考文献 .....	59

## 第3章 分離技術開発のための電磁界シミュレーション

3.1	電磁界シミュレーションの概要	66
3.1.1	マクスウェル方程式	66
3.1.2	閉鎖系の構成関係式	67
3.1.3	準静的近似とローレンツ項	67
3.2	電気パルス放電の基礎理論	68
3.2.1	容量性エネルギー放電	68
3.2.2	表皮効果	70
3.2.3	絶縁破壊	71
3.3	リチウムイオン電池分離への活用事例	73
3.3.1	薄膜の表皮効果の計算	74
3.3.2	薄膜の抵抗および電流分布の計算	78
3.4	金属接着分離技術への活用事例	80
3.4.1	ノッチの接着体易解体への適用例	81
3.4.2	金属球添加の接着体易解体への適用例	86
	参考文献	91

## 第4章 分離技術開発のための電流伝熱および応力シミュレーション

4.1	応力とひずみについて	94
4.1.1	応力とひずみの定義	94
4.1.2	垂直応力と垂直ひずみ	94
4.1.3	せん断応力とせん断ひずみ	95
4.1.4	3次元での応力とひずみ	96
4.2	電気パルスの電流伝熱シミュレーション, 応力シミュレーション	98
4.2.1	電気パルスの電流加熱による分離に関する研究	99
4.2.2	電流伝熱シミュレーション	100
4.2.3	応力シミュレーション	101
4.2.4	電気パルス印可時の電流伝熱シミュレーション	101
4.2.5	電気パルス印加時の応力シミュレーション	104
4.3	接着体の接着強度に関する解析	106
4.3.1	接着体の易解体技術の研究開発	106

4.3.2	接着体への引張り荷重と接着剤強度の解析モデル	107
4.4	界面分離のための衝撃波の圧力解析	109
4.4.1	衝撃波を利用した分離に関する研究	110
4.4.2	衝撃波について	111
4.4.3	衝撃波の基礎方程式	112
4.4.4	音響インピーダンスを考慮した衝撃波の圧力伝播	115
	参考文献	117

## 第5章 分離技術開発のための粉体シミュレーション

5.1	粉体シミュレーションの概要	122
5.1.1	粉体シミュレーションの利点	122
5.1.2	粉体シミュレーションの手法	122
5.2	離散要素法の基礎方程式	123
5.2.1	粒子の運動方程式	124
5.2.2	粒子に作用する接触力	124
5.3	離散要素法の計算アルゴリズム	129
5.3.1	粒子の接触判定	130
5.3.2	壁面のモデリング手法	131
5.3.3	粒子の位置と速度の更新	134
5.4	離散要素法の適用事例	136
5.4.1	粉砕プロセスへ適用	136
5.4.2	混合プロセスへ適用	145
5.4.3	比重分離プロセスへの適用	146
	参考文献	149

## 第6章 地球化学コードによる溶液反応シミュレーション

6.1	資源循環における溶液反応シミュレーションの用途	154
6.2	データベースの取り扱い方	155
6.3	閉鎖反応系における化学反応モデルの構築	157
6.3.1	化学平衡計算	157
6.3.2	表面錯体モデル	160

6.3.3 反応速度論による計算 .....	170
6.4 開放試験系における化学反応モデルの構築 .....	182
参考文献 .....	186

## 付録

A.1 COMSOL Multiphysics のチュートリアル .....	192
A.1.1 ノッチなし接着体 (3D, 高さ変化) .....	192
A.1.2 楕円体ノッチあり接着体 (2D 軸回転, ノッチ周辺) .....	199
A.1.3 実試料ノッチあり接着体 (2D 軸回転, ノッチ周辺) .....	204
A.1.4 大気中金属球放電 (2D 軸回転, 実験での電流波形) .....	207
A.2 COMSOL Multiphysics のモデル開発 GUI.....	213
索引 .....	215