

目次

■ 基礎編

1章 電気化学概論

1.1 電気化学の基礎.....3	1.2.3 燃料電池.....9
1.1.1 電気化学の確立.....3	1.2.4 熔融塩.....11
1.1.2 電極系における非平衡過程：微視的領域の電気化学.....6	1.2.5 表面処理.....11
1.2 電気化学の応用.....7	1.2.6 光電気化学.....12
1.2.1 電解.....7	1.2.7 生物電気化学.....13
1.2.2 電池.....8	参考文献.....14

2章 単位・物性値

2.1 単位と基礎物理量.....15	2.3.2 単体，無機化合物，有機化合物の定圧モル熱容量.....49
2.1.1 SI単位.....15	2.3.3 蒸気圧.....66
2.1.2 非SI単位とSI単位の関係.....17	2.3.4 水溶液中化学種の熱力学的性質.....68
2.1.3 物理量の表し方.....20	2.3.5 溶解度.....71
2.1.4 基礎物理定数.....23	2.3.6 熱力学データベース.....74
2.2 原子・分子の基本的性質.....24	2.4 化学平衡状態図.....75
2.2.1 周期表.....24	2.4.1 化学平衡と状態図.....75
2.2.2 イオン半径.....26	2.4.2 プールベ状態図.....77
2.2.3 イオン化ポテンシャルと電子親和力.....28	2.4.3 高温状態図.....86
2.2.4 双極子モーメント.....30	2.5 電気化学の電極系における拡散概念について.....94
2.3 主要物質の基本的性質.....31	参考文献.....98
2.3.1 単体，無機化合物，有機化合物の熱力学的諸性質.....31	

3章 電解質

3.1 電解質溶液.....99	3.1.3 電解質溶液の電気伝導率.....104
3.1.1 化学熱力学.....99	3.1.4 分子論に立脚した電解質溶液論.....106
3.1.2 イオン間相互作用.....102	3.2 電解質水溶液.....110

3.2.1 活量・活量係数……………110

3.2.2 水溶液中での平衡定数……………113

3.2.3 電解質水溶液の密度……………120

3.2.4 水溶液中の電解質およびイオンのモル伝導率とイオンの輸率……………122

3.3 電解質非水溶液……………126

3.3.1 非水溶媒とその分類……………126

3.3.2 非水溶媒における平衡……………128

参考文献……………139

4章 電気化学理論

4.1 電気化学系……………141

4.2 電気二重層……………143

4.2.1 電気化学界面の熱力学……………143

4.2.2 電気二重層の理論……………145

4.2.3 界面動電現象……………147

4.3 電気化学平衡……………148

4.3.1 電気化学ポテンシャル……………148

4.3.2 ガルvani電池の起電力……………149

4.3.3 標準電極電位……………151

4.3.4 液間電位・膜電位……………153

4.4 電極反応の速度……………154

4.4.1 電極反応……………154

4.4.2 電荷移動過程……………156

4.4.3 電極反応における物質移動過程……………159

4.4.4 電極における電荷移動反応の原理……………164

4.5 吸着……………165

4.5.1 吸着等温式……………165

4.5.2 分子集合体……………166

参考文献……………171

5章 測定法

5.1 基本操作……………173

5.1.1 水溶液系電解質の電気化学……………173

5.1.2 非水溶液系電解質の電気化学……………175

5.2 サイクリックボルタンメトリー……………177

5.2.1 可逆系……………177

5.2.2 準可逆系……………179

5.2.3 非可逆系……………181

5.2.4 さまざまなボルタモグラム……………181

5.3 ポーラログラフィー……………182

5.4 パルス法およびステップ法……………184

5.4.1 ポテンシャルステップクロノアンペロメトリー(PSCA)……………184

5.4.2 ポテンシャルステップクロノクーロメトリー(PSCC)……………186

5.4.3 クロノポテンシオメトリー(CP)……………186

5.4.4 ノーマルパルスボルタンメトリー(NPV)……………187

5.4.5 デイファレンシャルパルスボルタンメトリー(DPV)……………188

5.4.6 スクエアウェーブボルタンメトリー(SWV)……………188

5.5 対流ボルタンメトリー……………189

5.5.1 概要……………189

5.5.2 回転ディスク(円盤)電極法……………189

5.5.3 回転リングディスク(円盤)電極法……………190

5.5.4 チャネルフロー電極法……………191

5.6 微小電極法……………192

5.6.1 基礎……………192

5.6.2 微小電極の作製と必要な装置……………192

5.6.3 データの取扱い……………192

5.7 電気化学分析……………193

5.7.1 pH測定法……………193

5.7.2 ボルタンメトリー分析……………193

5.7.3 電量分析……………193

5.7.4 電気化学滴定……………194

5.7.5 HPLC用電気化学検出器……………195

5.7.6 フローインジェクション分析(FIA)……………195

5.7.7 電気泳動分析……………195

5.8 交流インピーダンス法……………196

5.8.1 基礎……………196

5.8.2 測定装置と測定条件……………197

5.8.3 周波数応答と電気的等価回路……………197

5.9 分光法……………198

5.9.1 赤外分光法……………198

5.9.2 ラマン分光法……………202

5.9.3 紫外可視分光法……………204

5.9.4 シンクロトロン放射光の応用……………206

5.9.5 光音響分光法(PAS)……………211

5.9.6 核磁気共鳴法(NMR)……………213

5.9.7 中性子回折・散乱法……………214

5.9.8 イメージング……………216

5.10 水晶振動子測定法……………217

5.10.1 水晶振動子……………217

5.10.2 測定法……………217

5.10.3 質量変化……………217

5.10.4 注意点……………217

5.10.5 応用例……………218

5.11 ケルビン法……………218

5.12 エリプソメトリー……………219

5.13 電気化学走査トンネル顕微鏡……………222

5.13.1 走査トンネル顕微鏡(STM)の原理……………222

5.13.2 単結晶金属基板……………223

5.13.3 走査電気化学顕微鏡(SECM)……………224

5.13.4 その他の走査顕微鏡の応用……………225

5.14 熱分析……………225

5.14.1 示差熱分析(DTA)・示差走査熱量測定(DSC)……………226

5.14.2 熱重量測定(TG)……………226

5.14.3 熱膨張測定(TD)……………226

5.15 ノイズ対策……………227

5.15.1 はじめに……………227

5.15.2 ノイズの基本……………227

5.15.3 ノイズ対策……………227

参考文献……………229

6章 熔融塩・イオン液体

6.1 熔融塩・イオン液体の物性……………233

6.1.1 熔融塩・イオン液体の種類と分類……………233

6.1.2 熔融塩の物性……………234

6.1.3 イオン液体の略称と物性……………238

6.2 熔融塩・イオン液体の電気化学……………245

6.2.1 無機系熔融塩の電気化学……………245

6.2.2 イオン液体の電気化学……………247

a. 参照極……………247

b. 標準電極電位……………250

c. イオン液体における電気化学測定……………250

d. 汎用室温イオン液体の輸送特性と支配因子……………251

6.3 熔融塩・イオン液体の利用法……………254

6.3.1 熔融塩の電気化学プロセスへの応用……………254

6.3.2 イオン液体の電気化学プロセスへの応用……………256

6.3.3 イオン液体を用いたデバイス……………257

参考文献……………258

7章 固体イオニクス

7.1 固体イオニクスとは……………259

7.2 固体イオニクス材料の種類と分類, 基本的性質……………260

7.2.1 物質のイオン伝導特性……………260

7.2.2 イオン伝導体の分類……………260

7.3 固体内のイオン・電子輸送現象……………262

7.3.1 欠陥平衡……………262

7.3.2 荷電粒子輸送の現象論とダイナミクス……………264

7.4 固体イオニクス材料の評価法……………266

7.4.1 全電気伝導率, 部分電気伝導率, 輸率—実験構成方法……………266

7.4.2 欠陥(てんびん, 分光法)……………269

7.4.3 拡散係数……………270

a. 緩和法(重量法および電気伝導率

緩和法)……………270

b. トレーサー法……………270

c. NMR法による拡散係数決定……………271

7.5 イオン伝導率, 輸率, 温度係数……………271

7.6 固体電解質系の電極反応論……………284

7.6.1 固体電解質系電極反応の一般的特徴……………284

7.6.2 さまざまな状態の電極と固体電解質との界面……………284

7.6.3 固体電解質系電極における過電圧の由来: 部分イオンブロッキング現象と界面における化学ポテンシャル……………285

7.6.4 固体電解質系におけるバトラー-フォルマー式の物理化学的意味……………286

7.7 電極反応測定法……………287

7.7.1 電気化学測定法……………287

7.7.2 その他の測定法……………288

7.8 固体イオニクスの関連する現象 289

7.8.1 混合伝導体と気体透過 289

7.8.2 NEMCA 効果, 触媒作用 290

7.9 ナノイオニクス現象 290

参考文献 291

8章 電気化学材料

8.1 電解用材料 293

8.1.1 電解における材料の役割 293

8.1.2 炭素電極 294

8.1.3 金属電極 296

8.1.4 金属酸化物電極 298

8.1.5 電極の形態 301

8.1.6 電解槽と電流の分布 304

8.2 二次電池用材料 307

8.2.1 二次電池における材料の役割 307

8.2.2 正極材料 309

8.2.3 負極材料 311

8.2.4 電解質材料 313

8.2.5 セパレーター 318

8.2.6 バインダー, 電解質用高分子 319

8.3 燃料電池用材料 321

8.3.1 燃料電池における材料の役割 321

8.3.2 燃料電池用電解質 322

8.3.3 電極触媒 325

8.3.4 ガス拡散電極 328

8.3.5 膜・電極接合体(MEA)材料 329

8.3.6 バイポーラープレート 330

8.4 電気化学膜プロセス 331

8.4.1 膜プロセスにかかわる基礎理論 331

8.4.2 膜プロセスにおける材料の役割 335

8.4.3 膜素材の構造と性質 336

8.4.4 応用プロセス 338

参考文献 341

9章 有機電気化学

9.1 総論 343

9.2 有機電極反応論 343

9.2.1 有機電極反応の反応型 343

9.2.2 有機電極反応の反応機構 345

9.2.3 各元素ごとの反応 346

9.3 有機電解法 347

9.3.1 はじめに 347

9.3.2 電解セル 348

9.3.3 電源 349

9.3.4 電極材料および参照極 349

9.3.5 溶媒, 支持電解質 350

9.3.6 定電流電解と定電位電解 351

9.4 新しい有機電解システム 351

9.4.1 メディエーター 351

9.4.2 電極発生酸・塩基 353

9.4.3 反応性電極 355

9.4.4 修飾電極 356

9.4.5 両極電解合成 358

9.4.6 ユニークな反応場を利用した電解 359

9.4.7 環境調和型電解 360

9.4.8 カチオンプール法 361

9.4.9 マイクロフロー電解 361

9.5 有機化合物の酸化還元電位 362

9.5.1 官能基と酸化還元電位 362

9.5.2 電位窓 368

9.5.3 データ集の検索 369

参考文献 369

10章 光電気化学

10.1 光電気化学の歩み 371

10.2 半導体電極 372

10.2.1 半導体電極と溶液との平衡 372

10.2.2 半導体電極反応理論 375

10.2.3 半導体電極の測定 376

10.2.4 半導体電極の応用 377

10.3 半導体光触媒 379

10.3.1 半導体粒子のエネルギー構造 379

10.3.2 光触媒の原理 380

10.3.2.1 光触媒反応機構 380

10.3.2.2 光誘起親水化機構 381

10.3.3 エネルギー獲得型光触媒 382

10.3.4 環境浄化型光触媒 386

10.3.4.1 建築材料 386

10.3.4.2 水・空気・土壌の浄化 387

10.3.4.3 環境浄化型光触媒——可視光応答光触媒 388

10.3.5 光触媒のいろいろな応用 389

a. 有機合成 389

b. 冷却効果 390

c. 画像形成法としての応用 391

10.4 色素増感 391

10.4.1 色素増感の機構 391

10.4.2 色素増感の応用 393

10.5 電気化学発光 394

10.5.1 半導体電極からの発光 394

10.5.2 溶液からの発光 395

参考文献 395

11章 生命科学と電気化学

11.1 生命科学と電気化学 397

11.1.1 “生物電気化学”から“生命科学と電気化学”へ 397

11.1.2 生命システムの電子授受 397

11.1.3 生命システムのイオン移動 399

11.1.4 生命システムと電気化学テクノロジー 399

11.2 タンパク質の電気化学 399

11.2.1 はじめに 399

11.2.2 タンパク質の酸化還元電位測定 400

11.2.3 酵素触媒電極反応 401

11.2.4 DET型酵素触媒電極反応 402

11.2.5 MET型酵素触媒電極反応 402

11.2.6 メディエーターの選択 403

11.2.7 バイオ燃料電池 404

11.2.8 バイオセンサ 405

11.3 生体膜の電気化学 405

11.3.1 細胞電位解析 405

11.3.2 膜電位理論 406

11.3.3 パッチクランプ 408

11.3.4 クロスメンブランポテンシャル 409

11.3.5 細胞膜インピーダンス 409

11.3.6 細胞融合 410

11.4 細胞と電気化学 410

11.4.1 細胞に対する電気効果 410

11.4.2 細胞の電極との反応 410

11.4.3 電気化学的な殺菌・生物付着防止 411

11.4.4 直接電気刺激による細胞の遺伝子発現制御 412

11.4.5 細胞接着の制御 413

11.4.6 薬品を電氣的に経皮導入する技術 413

11.4.7 まとめ 413

11.5 細胞の操作と制御 414

11.5.1 電氣的な細胞操作と計数法 414

11.5.2 細胞インターフェイス 415

11.6 バイオセンシングとバイオイメージン 416

11.6.1 低侵襲・非侵襲センシング 416

11.6.2 バイオイメーjing, 神経機能センシング 418

11.7 生物電気化学の将来展望 419

11.7.1 はじめに 419

11.7.2 バイオセンサ・バイオエレクトロニクスの新しい時代へ—直接電子移動型のバイオエレクトロニクス— 420

11.7.3 バイオセンシング技術の次なるターゲット—臨床診断からセラノスティクスバイオセンシングへ— 420

11.7.4 人工臓器と生物電気化学—バイオデバイスの生体システムへのインテグレーション— 421

11.7.5 合成生物学と生物電気化学—未知への領域へ— 422

参考文献 422

■ 応用編

12章 工業電解

12.1 電解プロセス概論.....427	d. マグネシウム.....456
12.1.1 電解プロセスの特徴.....427	e. その他の金属.....456
12.1.2 電解プロセスのエネルギー管理.....428	f. フッ素.....456
12.1.3 工業電解の電極製造プロセス.....432	g. 三フッ化窒素.....457
12.2 水電解.....433	12.4.5 レアメタルの製錬.....457
12.2.1 水電解の原理.....433	12.5 電解無機合成.....460
12.2.2 アルカリ水電解.....435	12.5.1 電解無機合成の特徴.....460
12.2.3 固体高分子形水電解.....437	12.5.2 マンガン化合物.....461
12.2.4 高温水蒸気電解(酸化固体電解質水電解法).....439	12.5.3 ハロゲン酸塩.....463
12.3 食塩電解.....441	12.5.4 核燃料製造およびサイクルなどへの電気化学的展開.....464
12.3.1 食塩電解の原理.....441	12.5.5 過硫酸塩, オゾン, 過酸化水素.....465
12.3.2 イオン交換膜法食塩電解.....442	12.6 有機電解合成.....466
12.3.3 酸素カソード法.....446	12.6.1 有機電解合成の特徴.....466
12.3.4 その他の電解法: 隔膜法, 水銀法.....447	12.6.2 アジボトリルの電解合成.....467
12.4 金属の電解精製・電解採取.....448	12.6.3 フタリドとトプチルベンズアルデヒドの両極電解合成.....469
12.4.1 電解精製・電解採取の原理.....448	12.6.4 その他の有機電解合成.....470
12.4.2 水溶液電解精製.....448	12.7 電気透析.....471
12.4.3 水溶液電解採取.....451	12.7.1 電気透析の原理.....471
12.4.4 熔融塩電解.....454	12.7.2 海水の濃縮.....473
a. 概説.....454	12.7.3 バイポーラー膜電気透析.....474
b. アルミニウム.....455	参考文献.....475
c. 希土類金属.....455	

13章 腐食・防食

13.1 腐食の基礎.....477	13.3 防食法.....491
13.1.1 腐食機構.....477	13.3.1 防食の原理.....491
a. 水溶液腐食.....477	13.3.2 表面被覆.....491
b. 大気腐食.....479	13.3.3 環境処理.....493
c. 高温腐食.....480	13.3.4 電気防食.....495
d. 熔融塩腐食.....481	13.4 防食の実例.....496
13.1.2 腐食現象と形態.....482	13.4.1 鋼構造物.....496
13.2 腐食の評価・試験法.....486	13.4.2 動力, エネルギー関連機器.....497
13.2.1 腐食速度の評価法.....486	13.4.3 環境技術・公害防止関連機器.....497
13.2.2 局部腐食初期過程の評価.....488	13.4.4 電子部品.....501
13.2.3 局部腐食の電気化学的試験法.....489	参考文献.....503

14章 表面処理

14.1 総論.....505	14.5.2 電解加工.....542
14.2 電気めっき.....505	14.5.3 エッチング.....543
14.2.1 電気めっきの基礎.....505	14.6 その他の湿式表面処理.....545
14.2.2 電気めっき各論.....510	14.6.1 電 鑄.....545
14.2.3 特殊なめっきプロセス.....522	14.6.2 電着塗装.....547
14.3 無電解めっき.....523	14.6.3 化成処理.....547
14.3.1 無電解めっきの基礎.....524	14.6.4 有機単分子処理.....549
14.3.2 無電解めっき各論.....526	14.7 乾式法による表面処理.....549
14.4 アノード酸化.....529	14.7.1 PVD.....550
14.4.1 アルミニウムのアノード酸化.....529	14.7.2 CVD.....553
14.4.2 ほかの金属のアノード酸化.....534	14.7.3 溶 射.....555
14.4.3 半導体のアノード酸化.....538	14.7.4 今後の期待.....556
14.5 電解研磨と電解加工.....541	参考文献.....556
14.5.1 電解研磨.....541	

15章 電池

15.1 電池の形式と分類.....559	15.3 二次電池.....586
15.1.1 電池の発電原理.....559	15.3.1 鉛蓄電池.....586
15.1.2 電池の構成要素.....559	15.3.2 ニッケル-カドミウム電池.....590
15.1.3 電池の用語.....561	15.3.3 ニッケル-金属水素化合物電池.....594
15.1.4 電池の分類.....562	15.3.4 その他の二次電池.....596
15.1.5 電池の用途.....565	15.4 リチウムイオン二次電池.....602
15.2 一次電池.....568	15.4.1 概要と構造.....602
15.2.1 マンガン乾電池.....568	15.4.2 負極材料.....605
15.2.2 アルカリマンガン電池.....572	15.4.3 正極材料.....607
15.2.3 リチウム電池.....575	15.4.4 電解質.....610
15.2.4 空気電池.....581	15.4.5 その他の部材.....611
15.2.5 その他の一次電池.....582	参考文献.....613

16章 燃料電池

16.1 燃料電池の形式と分類.....615	16.3.2 アルカリ形燃料電池.....621
16.2 燃料電池の熱力学とエネルギー変換.....616	16.3.3 固体高分子形燃料電池.....623
16.2.1 燃料電池反応と効率.....616	16.3.4 熔融炭酸塩形燃料電池.....628
16.2.2 効率低下要因.....616	16.3.5 固体酸化物形燃料電池.....631
16.2.3 熱の発生と除去.....617	16.3.6 直接形メタノール燃料電池.....634
16.2.4 燃料電池の効率と熱機関の効率.....617	16.3.7 その他の燃料電池.....636
16.3 各種燃料電池のシステムと材料.....618	参考文献.....637
16.3.1 りん酸形燃料電池.....618	

17章 キャパシタ

17.1 キャパシタ概論……………639	17.2.3 マイカキャパシタ……………654
17.1.1 キャパシタの原理……………639	17.2.4 ガラスキャパシタ……………654
17.1.2 キャパシタの発展の歴史……………641	17.2.5 電解キャパシタ……………655
17.1.3 キャパシタの種類と特徴……………642	a. アルミニウム電解キャパシタ……………655
17.1.4 キャパシタの今後の展望……………642	b. タンタル電解キャパシタ……………660
17.2 各種キャパシタの構造と性能および用途……………647	c. 有機ポリマーキャパシタ……………665
17.2.1 フィルムキャパシタ……………647	17.2.6 電気二重層キャパシタ……………666
17.2.2 セラミックキャパシタ……………649	参考文献……………674

18章 センサ

18.1 総論……………675	18.3.2 イオン感応性電界効果トランジスター……………696
18.1.1 物理センサ……………675	18.3.3 イオンセンサの新展開……………697
18.1.2 化学センサ……………677	18.4 バイオセンサ……………698
18.2 ガスセンサ……………677	18.4.1 概説……………698
18.2.1 概説……………677	18.4.2 グルコースセンサ……………699
18.2.2 固体電解質ガスセンサ……………680	18.4.3 酵素センサ……………701
18.2.3 半導体ガスセンサ……………682	18.4.4 DNA センサ……………702
18.2.4 湿度センサ……………685	18.4.5 免疫センサ……………703
18.2.5 接触燃焼式ガスセンサ……………686	18.4.6 細胞センサ……………704
18.2.6 マイクロガスセンサ……………687	18.4.7 微生物を利用したバイオセンサ……………705
18.2.7 電気化学式ガスセンサ……………688	18.4.8 表面プラズモン共鳴を利用したバイオセンサ……………706
18.2.8 圧電式ガスセンサ……………689	18.4.9 電気化学イメージングセンサ……………707
18.2.9 光学式ガスセンサ……………690	18.4.10 ホトイメージセンサ……………708
18.2.10 電界効果式ガスセンサ……………691	18.4.11 バイオセンサの新展開……………709
18.2.11 ガスセンサの新展開……………692	参考文献……………710
18.3 イオンセンサ……………693	
18.3.1 イオン選択性電極……………693	

19章 電子・情報材料

19.1 シリコンと半導体デバイス……………713	19.3.1 磁気ディスク・ヘッド材料……………732
19.1.1 シリコンウェハー……………713	19.3.2 光ディスク材料……………736
19.1.2 シリコン半導体デバイス……………719	19.3.3 ハードコピー材料……………738
19.1.3 半導体集積回路と周辺技術……………722	19.4 電子部品材料……………744
19.2 化合物半導体と光デバイス……………726	19.4.1 回路実装材料……………744
19.2.1 化合物半導体の性質と特徴……………726	19.4.2 表示材料……………750
19.2.2 発光および受光デバイス……………729	19.4.3 MEMS……………754
19.3 メモリー・記録材料……………732	19.5 マイクロファブリケーション……………759

19.5.1 ホトレジスト材料……………759	参考文献……………771
19.5.2 電鍍・ナノインプリント……………768	

20章 環境・エネルギーへの応用

20.1 エネルギー総論……………773	20.3 環境と電気化学……………785
20.1.1 エネルギーとは……………773	20.3.1 水処理……………785
20.1.2 エネルギー資源……………775	20.3.2 産業廃棄物処理……………787
20.1.3 エネルギーと環境問題……………776	20.3.3 地球温暖化問題……………789
20.2 エネルギー論……………777	20.3.4 クリーン環境と電気化学……………791
20.2.1 原子力エネルギー……………777	20.3.5 環境浄化……………794
20.2.2 水素エネルギー……………780	20.3.6 環境モニタリング……………794
20.2.3 太陽エネルギー……………783	参考文献……………795