



# 目次

監修の辞	田村英雄
序	内田裕之/池田宏之助/岩倉千秋/高須芳雄

## 第1章 固体高分子形燃料電池とは……<渡辺政廣>… 1

第1節 なぜ、燃料電池が注目されるのか？	3
1. 21世紀の地球を取り巻くトリレンマ	3
2. 火力発電と燃料電池発電	6
3. 燃料電池の発電効率	9
第2節 固体高分子形燃料電池の特徴	16
1. 燃料電池と一次電池，二次電池の相違点	16
2. 燃料電池の分類	17
3. 燃料電池の開発小史	20
4. PEFCの開発経緯	21
5. PEFCの特徴	23

第3節	PEFCの作動原理と基本構成	24
1.	PEFCの作動原理	24
2.	DMFCの作動原理	26
3.	PEFCの基本構成	28

## 第2章 固体高分子形燃料電池の構成材料 31

第1節	フッ素系電解質膜	33
1.	はじめに	<吉武 優> 33
2.	フッ素系膜	<吉武 優> 36
2.1	燃料電池用イオン交換膜に求められる基本特性	36
2.2	パーフルオロスルホン酸	38
2.2.1	構造, 製法, 物性	38
2.2.2	不純物の影響	44
2.2.3	パーフルオロ膜の安定性	44
2.3	高耐熱性膜	45
3.	補強膜	<寺田一郎/本村 了> 51
3.1	はじめに	51
3.2	PTFE多孔体補強膜	51
3.3	フィブリラ補強膜	52
4.	加湿方法	<山田耕太/国狭康弘> 57
4.1	はじめに	57
4.2	外部加湿	57
4.3	内部加湿	57
4.4	自己加湿	58
4.5	薄膜, 高イオン交換容量膜の使用	58
4.6	その他	58
5.	おわりに	<吉武 優> 63

第2節 電 極	66
1. 電極触媒材料(白金, 白金合金) <高須芳雄>	66
1.1 はじめに	66
1.2 白金系金属の構造と吸着・触媒特性	67
1.2.1 超微粒子の表面サイト	67
1.2.2 超微粒子の露出結晶面	68
1.2.3 白金電極における水素波	71
1.2.4 結晶面と触媒活性	72
1.3 白金系合金の構造	72
1.3.1 合金組成と構造	73
1.3.2 表面組成とバルク組成, 粒子の組成の均質性	76
1.3.3 選択溶解性	77
1.4 金属・合金・超微粒子の電子構造	78
1.4.1 金属・合金の価電子帯の構造	78
1.4.2 Dowdenによる触媒活性の理論	79
1.4.3 金属超微粒子の電子構造	80
1.5 各種金属触媒の吸着特性と触媒反応活性の傾向	82
1.5.1 各種金属と吸着熱	82
1.5.2 各種金属の水素電極反応活性	83
1.6 アノード反応	84
1.6.1 メタノールの酸化	84
1.6.2 メタノールおよびCO酸化と結晶面および粒子サイズの関係	86
1.7 カソード反応	88
1.7.1 貴金属, 白金合金	88
1.7.2 白金粒子のサイズ効果	90
1.8 今後の展開	92
2. 高分散触媒とガス拡散電極(炭素担体を含む) <鶴見和則>	96
2.1 高分散へのプロローグ	96
2.2 高分散の正体	98
2.3 触媒担体と高分散担持	99

2.4	担体と電極性能	102
2.5	触媒担持率と電極性能	103
2.6	CO被毒と高分散	107
2.7	触媒の最適化と今後の課題	109
3.	ガス拡散基材	<井上幹夫> 111
3.1	ガス拡散基材の機能と要求特性	111
3.2	カーボンペーパー	113
3.3	炭素繊維織物	113
4.	膜電極接合体(ガス拡散電極構造含む)	<内田 誠> 115
4.1	はじめに	115
4.2	固体高分子形燃料電池(PEFC)	116
4.2.1	固体高分子形燃料電池の概要	116
4.2.2	固体高分子形燃料電池の要素技術	117
4.3	結言および今後の展開	129
第3節 セパレータ(炭素, 金属)		<光田憲朗> 137
1.	はじめに	137
2.	セパレータを含む単セルにおける電子とイオンの動き	138
3.	積層構造における電子とイオンの機能化学	139
4.	PEFCの電子とイオンの伝導材料と比抵抗	142
5.	垂直積層と平面積層での電子の移動距離の比較	143
6.	セパレータ構成材料の比較	145
7.	PEFCセパレータの機能	146
8.	カーボン樹脂モールドセパレータの開発(NEDOフェーズ3)	147
8.1	電気抵抗	147
8.2	機械特性	148
8.3	安定性	148
8.4	成形精度	149
8.5	製造コスト	149
9.	セパレータの流路形状	150
10.	PEFCで起こりうる腐食	150

11. セパレータ流路の工夫	155
12. おわりに	156

### 第3章 水素の製造と輸送・貯蔵 159

#### 第1節 副生水素 <秋山友宏> 161

1. 水素製造方法	161
2. 水素需要供給予測	162
3. 食塩電解	164
4. コークス炉副生ガス(COG)	166
5. 廃熱利用によるメタン改質	168
6. コ・プロダクションによる水素製造	173
7. 廃棄金属アルミニウムによる水素製造	175
8. 都市ガス, LPG改質によるオンサイト供給	178
9. 水素供給システムの現状	179

#### 第2節 水電解 <西村靖雄> 183

1. はじめに	183
2. 水電解による水素製造例	185
2.1 アルカリ水電解	185
2.1.1 商業用アルカリ電解槽	186
2.1.2 改良型アルカリ電解槽	186
2.2 固体高分子形水電解法	188
2.3 高温高圧型高分子水電解	190
2.4 可逆セル	191
2.5 高温水蒸気電解	192
2.6 水素製造装置の応用例(水素供給ステーション)	192
2.7 米国水素製造プロジェクトの動向	193
3. おわりに	194

### 第3節 各種炭化水素系燃料からの水素製造技術

.....	<岡田 治>... 196
1. 燃料電池における燃料改質技術.....	196
1.1 燃料電池の種類と使用可能燃料.....	196
1.2 燃料と改質システム.....	197
1.3 燃料電池用天然ガス改質システム.....	200
2. 脱硫触媒.....	204
2.1 一般的な脱硫方式.....	204
2.2 より高次の脱硫.....	206
3. 改質触媒.....	207
3.1 改質方式.....	207
3.2 水蒸気改質法.....	208
3.3 部分酸化法およびオートサーマル法.....	210
4. CO変成触媒.....	214
5. CO除去触媒.....	214
6. PEFC用燃料改質システムの開発状況.....	217
7. おわりに.....	219
第4節 バイオマス水素製造.....	<谷生重晴>... 223
1. バイオマスの性質.....	223
1.1 バイオマスのエネルギー量.....	223
1.2 バイオマスの生産性.....	224
1.3 C <sub>3</sub> 植物とC <sub>4</sub> 植物.....	226
1.4 未利用バイオマス資源量.....	226
2. 熱化学的ガス化による水素製造.....	227
3. 発酵による水素製造.....	229
3.1 なぜ発酵で水素を発生するか.....	229
3.2 発酵の水素収率と代謝産物.....	232
3.3 水素発生速度.....	234
3.4 利用に適したバイオマス.....	235

第5節 水素の貯蔵・輸送	＜栗山信宏＞	239
1. はじめに		239
2. 圧縮水素としての貯蔵		240
3. 液体水素としての貯蔵		245
4. 水素貯蔵材料による貯蔵		248
4.1 水素吸蔵合金		248
4.2 無機系水素貯蔵材料		252
4.3 有機系水素貯蔵材料		256
4.4 炭素系材料		257
5. おわりに		258

## 第4章 固体高分子形燃料電池の用途 263

第1節 燃料電池車(FCV)	＜有田正司＞	265
1. はじめに		265
2. 燃料電池システム		266
2.1 水素式燃料電池システム		266
2.2 改質式燃料電池システム		269
3. FCVの開発動向		275
3.1 コスト		277
3.2 効率(燃費)		279
3.3 運転性		280
3.4 信頼性		281
3.5 搭載性		281
4. おわりに		282
第2節 家庭用コージェネレーションシステム	＜三宅泰夫＞	285
1. はじめに		285
2. 家庭用コージェネレーションシステムの構成		286
3. 家庭用コージェネレーションシステム導入による効果		288





5.2.4	地域による導入効果の差	320
5.2.5	住宅の躯体構造(省エネルギー基準)による導入効果の差	320
5.2.6	給湯量(生活様式の違い)による導入効果の差	321
5.2.7	燃料価格の影響	322
5.2.8	二世帯での共同利用による効果	323
6.	おわりに	325
第4節	マイクロ燃料電池	<安田和明> 326
1.	マイクロ燃料電池開発の背景	326
1.1	マイクロ燃料電池への期待	326
1.2	マイクロ燃料電池と二次電池との比較	329
1.3	マイクロ燃料電池とkW級PEFC(自動車用・家庭用燃料電池)との比較	330
2.	マイクロ燃料電池の発電特性	331
2.1	携帯電子機器用途に適した燃料電池	331
2.2	DMFCの反応と特性	331
3.	マイクロ燃料電池の構造とシステム	334
3.1	マイクロ燃料電池のセル構造	334
3.1.1	平面型スタック	334
3.1.2	積層型スタック	339
3.2	マイクロ燃料電池のシステム	340
3.2.1	マイクロDMFCシステム	340
3.2.2	改質型マイクロPEFCシステム	345
3.2.3	純水素型マイクロPEFCシステム	347
4.	マイクロ燃料電池の燃料	348
5.	マイクロ燃料電池の技術課題	349
5.1	マイクロDMFCにおける燃料の濃度	349
5.2	マイクロ燃料電池のための技術開発	351
6.	マイクロ燃料電池の今後	353
第5節	PEFCの利用・開発動向	<本間琢也> 357
1.	PEFC利用上の問題点	357

2. 燃料電池自動車 (FCV) の開発	359
2.1 わが国における FCV の開発	359
2.2 海外動向	360
3. FCV の実証運転試験	362
4. 燃料選択に関する考察	366
5. 家庭でのコージェネレーション用燃料電池	369
5.1 家庭用燃料電池の動作条件	369
5.2 家庭用固体高分子形燃料電池 (PEFC) コージェネレーション 実証実験	371

## 第5章 固体高分子形燃料電池の最近の研究開発動向

### 第1節 新規電解質膜 (炭化水素, 高温型) <陸川政弘> 377

1. はじめに	377
2. 高分子電解質膜	378
3. 新規電解質膜	381
4. 新規フッ素樹脂系電解質と部分フッ素化電解質膜	383
5. 炭化水素系電解質	386
6. 耐熱性高分子を用いた炭化水素系高分子電解質	387
7. おわりに	395

### 第2節 合金電極触媒材料 <内田裕之/渡辺政廣> 398

1. 電極触媒と電極構造	398
2. 酸素還元カソード触媒	399
2.1 カソード触媒開発の概要	399
2.2 カソード触媒作用に対する表面電子状態の効果	400
3. 耐CO被毒アノード触媒	405
3.1 Pt電極触媒のCO被毒	405
3.2 耐CO被毒アノード合金触媒の設計	406
3.3 耐CO被毒性に対する表面電子状態の効果	408

第3節 高活性高分散触媒の開発——炭素担持 PtRu アノード 触媒の調製プロセスと性状・物性の関係 .....<杉本 渉/高須芳雄>.....	415
1. はじめに.....	415
2. 炭素担持白金ルテニウム電極触媒の調製法.....	416
2.1 貴金属コロイド化学還元法(液相).....	417
2.2 貴金属酸化物コロイド気相還元法.....	419
2.3 貴金属錯体含浸-還元熱分解法.....	420
2.4 表面修飾コロイド-還元熱分解法.....	422
3. 種々の PtRu/C 調製プロセスにおける PtRu ナノ粒子の性状 .....	424
4. PtRu ナノ粒子の性状と CO 被毒耐性, メタノール酸化活性 .....	430
4.1 表面修飾コロイド-還元熱分解法における還元剤・安定剤の影響 .....	431
4.2 含浸-還元熱分解法における Ru 前駆体種, 還元熱分解温度の影響 .....	432
4.3 含浸-還元熱分解法における Pt 前駆体種の影響.....	434
4.4 カルボニル錯体含浸-還元熱分解法とコロイド気相還元 (亜硫酸錯体)法の比較.....	435
5. PtRu/C 調製プロセスにおける炭素担体の影響.....	436
6. おわりに.....	438
第4節 燃料プロセッシング触媒.....<江口浩一>.....	445
1. 燃料電池の燃料適応性.....	445
2. メタノールおよび含酸素化合物の改質.....	447
3. 炭化水素からの水素製造.....	449
4. CO 被毒の対策.....	458
5. 水性ガスシフト反応.....	459
6. CO 選択酸化.....	464
7. おわりに.....	465

## 第6章 将来展望(普及戦略と期待)……<岡野一清>… 469

第1節 はじめに…………… 471

第2節 すべての燃料電池の普及に関する共通の課題…………… 472

1. 規制緩和…………… 472
2. 一般ユーザーである市民の啓蒙・教育…………… 472
3. 導入初期のコスト高への対応…………… 473

第3節 燃料電池自動車…………… 473

1. 燃料電池自動車のコスト低減…………… 474
2. 信頼性と耐久性の確保…………… 474
3. 水素インフラの確立…………… 475
4. 燃料電池車の導入目標…………… 476
5. 燃料電池自動車に対する規制緩和…………… 476

第4節 定置用燃料電池…………… 476

1. 家庭用燃料電池…………… 477
2. 業務用燃料電池…………… 478

第5節 移動用など小型燃料電池…………… 478

第6節 電子機器用超小型燃料電池…………… 479

第7節 おわりに…………… 479

おわりに……………池田宏之助/内田裕之

