

目 次

第 1 編

第 1 章 人類の歴史とエネルギー	1
1.1 はじめに	1
1.2 人類の歴史におけるエネルギー	4
1.2.1 要求一次エネルギーのこれまでの推移	4
1.2.2 これからの要求エネルギー	5
1.3 供給一次エネルギーの将来的展望	5
1.3.1 エネルギー消費と各資源の割合	5
1.3.2 中期および長期展望と一次エネルギー源の確保	8
1.4 エネルギー源としての水素の利用	10
1.4.1 水素エネルギーシステムを目指した燃料電池開発の課題	11
1.4.2 水素エネルギーシステム構築を目指した水素製造における課題	12
1.4.3 水素エネルギー社会構築を目指した水素の貯蔵についての課題	14
1.4.4 水素エネルギー社会の構築を目指した水素の輸送についての課題	15
1.5 まとめ	18
第 2 章 宇宙・地球における水素	19
2.1 はじめに—宇宙における水素の存在度—	19
2.2 微視的にみた水素の構造	20
2.3 宇宙における水素の創成—ビッグバン元素合成と水素原子の誕生—	22
2.4 星の燃料としての水素	25
2.5 地球に取り込まれた水素	33
2.6 おわりに	35
文献リスト	39

第3章 微生物と水素	40
3.1 水素循環と土壌	40
3.2 土壌による水素酸化の実体は水素酸化酵素(ヒドロゲナーゼ) をもつ放線菌	42
3.3 微生物の水素酸化酵素(ヒドロゲナーゼ)とはどのような酵素	44
3.4 微生物による水素生成	49
3.5 水素生産微生物の開発研究	50
3.6 腸内細菌と水素	52
3.7 水素エコノミーにおける水素漏出と抑制	53
第4章 水素のエンジニアリング	55
4.1 水素製造から消費に至る流れ	55
4.1.1 製造工程	55
4.1.2 貯蔵・輸送工程	55
4.1.3 消費	60
4.1.4 グローバルな水素フロー	61
4.2 コンビナートを中心とした水素導入のシナリオ	61
4.2.1 コンビナート内における水素ビジネス	61
4.2.2 コンビナート外への水素ビジネスの展開	63
4.3 日本の水素社会	66
文献リスト	66
第5章 水素の製造と取扱い	69
5.1 はじめに	69
5.2 水素の用途	70
5.3 現在の水素製造方法	72
5.3.1 副生水素	72
5.3.2 水素発生装置による水素製造	76
5.4 エネルギー転換期の水素製造方法	79
5.4.1 部分酸化法	80

5.4.2 バイオマス利用の水素製造	81
5.5 水素エネルギー社会における水素製造方法	82
5.5.1 水電解法	83
5.5.2 原子力を利用した水素製造法	86
5.6 水素の取扱い	89
5.6.1 取扱い上の注意点	90
5.7 おわりに	91
文献リスト	92
第6章 水素貯蔵と水素透過	94
6.1 水素の貯蔵形態	94
6.2 金属水素化物による水素貯蔵と圧力組成等温線	95
6.3 無機系液体貯蔵材料	98
6.4 有機系化合物による水素の貯蔵と移送	99
6.5 水素の金属膜透過	100
6.6 原子炉を用いた水素製造	101
6.7 熱移動と水素物質移動の解析と実験	102
文献リスト	105
第7章 燃料電池に関わる水素	106
7.1 総論(燃料電池への水素供給)	106
7.1.1 はじめに	106
7.1.2 燃料電池における水素の挙動	106
7.1.3 燃料電池への水素の供給	110
7.1.4 まとめ	113
7.2 各論(燃料電池における諸現象と最適化への課題)	114
7.2.1 開発の歴史	114
7.2.2 燃料電池の種類と構造	118
7.2.3 水素の熱力学	132
7.2.4 結 言	142

文献リスト	143
第8章 水素内燃機関に関わる水素	144
8.1 はじめに	144
8.2 水素燃料	144
8.2.1 水素燃料と化石燃料の比較	144
8.2.2 水素燃焼におけるエミッション	146
8.3 水素エンジン自動車	148
8.3.1 水素エンジン出力および効率	149
8.3.2 NO _x 対策	151
8.3.3 水素エンジン自動車の研究開発状況	152
8.3.4 水素エンジン自動車の今後	155
8.4 発電用水素内燃機関	156
8.4.1 水素ディーゼルエンジンコージェネレーションシステム	157
8.4.2 水素燃焼タービン	160
8.5 最後に	163
文献リスト	164
第9章 宇宙ロケットに関わる水素	167
9.1 はじめに	167
9.2 ロケット推進の基礎	167
9.3 化学推進	170
9.3.1 推進剤	171
9.3.2 酸化剤	172
9.3.3 液体ロケットシステム	173
9.4 非化学推進	176
9.5 原子力推進	177
9.6 電気推進	180
9.6.1 電熱加速型	181
9.6.2 電磁加速型	184

9.7 推進システム性能比較	186
9.8 まとめ	187
文献リスト	188

第2編

第10章 太陽電池に関わる水素	189
10.1 アモルファスシリコン系薄膜太陽電池の課題	189
10.1.1 はじめに	189
10.1.2 高速製膜用 VHF プラズマ源の開発	189
10.1.3 VHF プラズマの特性	191
10.1.4 VHF プラズマの大口径化	192
10.1.5 ラダー型電極による VHF プラズマの大口径化の試み	194
10.1.6 高速・高品質製膜用 VHF プラズマの生成	195
10.1.7 終わりに	195
10.2 水素-シリコン表面反応	196
10.2.1 太陽電池と水素	196
10.2.2 水素吸着構造	199
10.2.3 水素原子の吸着過程	202
10.2.4 水素原子の表面拡散	206
10.2.5 水素による吸着水素の引抜き反応	207
10.2.6 水素原子によるエッチング	214
10.2.7 水素原子のバルク吸収	215
10.2.8 プラズマ CVD での水素反応の役割	216
文献リスト	219

第11章 材料中の水素－水素の溶解・捕獲・拡散・透過－	224
11.1 はじめに	224
11.2 水素と他の元素との相互作用	225
11.3 材料中の水素の検出	226
11.3.1 金属中の水素の位置や存在状態を知ることは極めて難しい	226

11.3.2 セラミック中の溶解水素の研究はあまり進んでいない	228
11.3.3 水素と材料表面あるいは材料中の不純物との相互作用が重大な影響を及ぼす	229
11.4 金属中への水素の蓄積および吸放出	229
11.4.1 金属中への水素の溶解・拡散・透過	229
11.4.2 金属中への水素の溶解・捕獲・拡散・透過の測定	231
11.5 金属 (Fe, Cr, Ni)-水素-酸素の熱力学	235
11.6 金属中への水素溶解・捕獲・拡散・再結合・透過の速度論	238
11.7 Fe, Ni, Fe-Ni 合金系での水素の拡散・透過	243
11.7.1 Fe	243
11.7.2 Ni	246
11.7.3 Fe-Ni 合金系	246
11.8 ステンレス鋼	248
11.8.1 溶解・拡散・透過	248
11.8.2 水蒸気が共存する場合 (酸化膜による水素透過抑制)	250
11.9 水素捕獲座	253
11.10 非平衡状態での材料と水素	255
11.11 共有結合性, イオン性材料への水素の溶解	257
11.12 おわりに	258
文献リスト	259
第 12 章 核融合炉における水素	263
12.1 核融合炉トリチウムの課題	263
12.1.1 はじめに	263
12.1.2 融合炉燃料系におけるトリチウム	266
12.1.3 核融合炉ブランケットにおけるトリチウム	267
12.1.4 核融合炉のトリチウム安全対策 (トリチウムの挙動の把握)	269
12.1.5 水素の仲間におけるトリチウムの特異とみなされる性格の考察	271
12.1.6 核融合炉における水素の製造	274
12.1.7 まとめ	276

12.2 炉心プラズマ	277
12.2.1 核融合出力と水素同位体	277
12.2.2 燃料補給	282
12.2.3 高エネルギー水素同位体イオンの磁場中挙動	286
12.2.4 高温プラズマ中の水素同位体イオンの拡散挙動	287
12.2.5 水素同位体の壁およびダイバーター分布	288
12.2.6 水素同位体および灰排気	291
文献リスト	292
第 13 章 水素同位体分離	294
13.1 はじめに	294
13.2 蒸留法	294
13.3 同位体交換法	295
13.4 熱拡散法	296
13.5 金属水素化物による水素同位体分離	296
13.5.1 水素の吸蔵サイト	296
13.5.2 同位体分離係数	297
13.5.3 一理想段に相当する高さ (HETP)	299
13.5.4 充てん層クロマトグラフィによる分離結果	300
13.5.5 擬似移動層による水素同位体連続分離	303
13.5.6 Pd管による水素同位体分離	304
文献リスト	305

索引	307
----	-----