

目次

監修のことば
執筆者一覧

基礎編

◆ 第1章 ナノ金属	3
第1節 ナノ金属とナノテクノロジー	4
1. ナノ金属の定義	4
2. ナノ金属組織制御	4
3. ナノ金属構造	5
4. ナノ金属界面制御	6
5. 究極のナノ金属構造	6
6. ナノ金属デバイス	7
第2節 ナノテク・材料のビジネス戦略	11
まえがき	11
1. ナノテクビジネスが注目される背景	12
2. ナノテクビジネス市場	13
3. ナノテクビジネスの課題	14
4. 財務マネジメント	15
4.1 「資金」の課題	15
4.2 ポートフォリオ、マイルストーン管理	15
5. 外部連携マネジメント	15
5.1 「外部連携」の課題	15
5.2 戦略的外部連携	16
6. 起業家精神	16
7. 公的セクターの果たすべき役割	16
7.1 公的資金の柔軟性向上	17
7.2 異分野、異業種の連携促進	17
◆ 第2章 構造材料	19
第1節 ナノ構造と力学特性	20
まえがき	20
1. 力学特性（強度、延性、靱性）の一般論	20
2. ナノ構造の問題点	21
3. 強度、延性のナノ結晶粒径依存性	22
4. ナノ構造への期待	24
あとがき	25
第2節 ナノ結晶材料	27
【1】鉄鋼材料	27
1. 鉄鋼材料の組織と強度特性	27
2. 鉄鋼材料の結晶粒超微細化	29
3. 超微細粒鋼の変態組織と特性	30
あとがき	31
【2】非鉄材料	33
〈1〉アルミニウム合金の高強度化	33
まえがき	33
1. ナノ結晶分散相の生成と強度	33
1.1 液体急冷法	33
1.2 粉末冶金法	33
2. ナノ準結晶粒子分散相の生成と強度	34
2.1 液体急冷法	34
2.2 粉末冶金法	35
3. ナノ非晶質相の生成と強度	35
3.1 液体急冷法	35
3.2 粉末冶金法	36
4. 液体急冷Al合金の非平衡相生成傾向の一般則	37
5. 分散強化機構	38
6. 高強度Al合金開発設計の可能性	39
あとがき	39

《2》マグネシウム	〈河村能人〉	41
1. マグネシウム合金のナノ結晶化		41
2. ナノ結晶RS P/Mマグネシウム合金		41
《3》チタン	〈古原 忠〉	46
1. チタンの特徴		46
2. チタンとその合金における相変態		46
2.1 α 相析出と共析変態		47
2.2 β 相の2相分離および ω 変態		47
2.3 チタン合金のマルテンサイト変態および水素化物の生成		48
3. チタン合金の分類		48
4. チタン合金におけるナノ組織制御		49
《4》銅	〈石田清仁／木村太郎／津金容造〉	55
まえがき		55
1. ナノ結晶材料		55
2. ナノ結晶化の研究		56
3. 強ひずみ加工方法		57
《5》金属間化合物	〈三島良直／細田秀樹〉	60
1. 結晶構造とその安定性		60
2. 構造用金属間化合物と機能性金属間化合物		62
3. 欠陥構造		63
3.1 点欠陥の種類		63
3.2 組成的欠陥		63
3.3 熱的欠陥		64
4. 塑性変形能		65
第3節 ナノ析出粒子分散材料		68
【1】鉄鋼材料	〈高木節雄〉	68
まえがき		68
1. Orowanモデルに基づいた粒子分散強化の理論的評価		68
2. cuttingモデルに基づいた粒子分散強化量の理論的評価		68
3. セメントイトを利用した場合の限界強化量の見積り		69
4. さまざまな炭化物の限界粒子径と期待される強化量		70
5. Cuの析出を利用した粒子分散強化		71
6. Cu含有マルテンサイト鋼の時効挙動と機械的性質		71
あとがき		73
【2】非鉄材料	〈里 達雄〉	74
まえがき		74
1. 時効硬化現象		74
2. ナノクラスターの重要性		75
2.1 Al-Cu合金のナノクラスター		76
2.2 ナノクラスターと二段時効		77
2.3 無析出帯 (PFZ)		78
3. 高強度・高耐熱性マグネシウム合金		79
4. ナノマルチ組織		80
あとがき		80
第4節 バルク金属ガラスナノ分散材料	〈井上明久〉	81
まえがき		81
1. バルク金属ガラスの作製と性質		81
1.1 バルク金属ガラスの作製		81
1.2 バルク金属ガラスの3成分則		82
1.3 バルク金属ガラスの有用特性		83
2. ナノスケールな結晶および準結晶粒子分散		
2.1 ナノ結晶分散バルク金属ガラスの生成		85
2.2 ナノ粒子分散による機械的性質の改善		86
2.3 デンドライト結晶分散による、さらなる改質		86
第5節 ナノ複合材料	〈香川 豊〉	89
まえがき		89
1. ナノ複合材料の特性		89
1.1 特性の予測と複合材料の分類		90
1.2 ナノ粒子分散複合材料		91
1.3 その他のナノ複合材料		92
2. 金属系ナノ複合材料の将来性		93
3. LPO型ナノ結晶Mg-Zn-RE合金		42
4. ナノ結晶マグネシウム合金の将来展望		45
4.1 チタン合金の実際の熱処理		49
4.1.1 焼きなまし処理および溶体化処理		49
4.1.2 時効処理		50
4.2 β 型チタン合金の析出制御		50
4.3 水素化物を用いた ($\alpha + \beta$) 2相組織の微細化		52
あとがき		53
4. 実用化の例		58
5. その他		58
あとがき		58

◆ 第3章 機能材料 I 電磁気的性質

95

第1節 ナノ構造と電磁気機能	〈高梨弘毅〉	96
1. ナノ構造の概念と作製		96
1.1 微粒子, クラスタ, ドット		96
1.2 グラニューラー構造		96
1.3 ナノ結晶, ナノコンポジット		96
1.4 細 線		96
1.5 超薄膜		96
1.6 人工格子, トンネル接合		96
2. ナノ構造と電磁気機能		97
2.1 低次元効果		97
2.2 界面効果		98
2.3 準安定相形成効果		98
2.4 相互作用効果		98
2.5 複合効果		98
第2節 ハード磁性材料	〈福永博俊〉	100
1. ハード磁性材料の基本条件		100
2. ハード磁性材料の種類		101
3. ナノコンポジット磁石とその可能性		102
4. ナノコンポジット磁石の現状		103
4.1 ナノコンポジット磁石の作製法		103
4.2 等方性ナノコンポジット磁石の磁気特性		103
4.3 異方性ナノコンポジット磁石の磁気特性		104
第3節 ソフト磁性材料	〈牧野彰宏〉	106
1. ソフト磁性材料の基礎		106
2. アモルファスソフト磁性材料		106
3. ソフト磁性金属ガラス		107
4. ナノ結晶ソフト磁性材料		107
5. ナノグラニューラーソフト磁性材料		110
第4節 磁気記録媒体材料	〈井上 修〉	112
1. 磁気記録媒体材料に求められる特性		112
2. 磁気記録媒体材料の研究開発状況		112
2.1 Co合金系薄膜材料		113
2.2 L1 ₀ 構造 FePt, CoPt規則合金		113
2.3 パターン記録媒体		114
3. 今後の課題		115
第5節 巨大磁気抵抗材料	〈小野輝男〉	117
1. 巨大磁気抵抗 (GMR) 効果の発見		117
2. GMR効果のメカニズム		118
3. 磁気記録再生ヘッドへの応用		120
第6節 トンネル磁気抵抗材料	〈安藤康夫〉	123
1. トンネル磁気抵抗効果		123
2. 強磁性材料		123
2.1 3d強磁性金属		123
2.1.1 多結晶3d遷移金属		124
2.1.2 単結晶金属		124
2.1.3 アモルファス		124
2.2 ハーフメタル材料		124
2.2.1 ペロブスカイト型Mn酸化物		124
2.2.2 ホイスラー合金		125
2.2.3 その他のハーフメタル		125
3. 絶縁層材料		125
第7節 超伝導材料	〈長村光造〉	129
まえがき		129
1. 磁束ピンニングと臨界電流密度		129
2. 低温超伝導材料		130
3. 高温超伝導材料		132
あとがき		133
第8節 熱電材料	〈梶谷 剛〉	134
まえがき		134
1. Bi ₂ Te ₃ の結晶構造と熱電特性		135
2. 強相関物質系熱電素子材料		136
2.1 Na _x CoO ₂ の結晶構造と熱電性能		137
2.2 Co-121(Ca349)の結晶構造と熱電性能		138
2.3 ミスフィット型Co酸化物熱電半導体群		140
3. その他の熱電素子材料		142
3.1 PbTeの結晶構造と熱電性能		142
3.2 TAGSの結晶構造と熱電性能		143
3.3 充填Skutteruditeの結晶構造と熱電性能		143
3.4 half-Heuslerの結晶構造と熱電性能		144
3.5 Clathrate熱電素子材料		145
3.6 ホウ素化合物の結晶構造と熱電性能		145
第9節 Si半導体デバイス用配線材料	〈村上正紀／守山実希〉	150
まえがき		150
1. Cu配線とAl配線の形成プロセスの相違		150

2. ナノスケールCu配線材料の課題	151	2.2 Cu膜中の微小ボイド形成	153
2.1 Cu配線材における粒成長挙動	151	あとがき	155
第10節 磁歪材料			〈荒井賢一／石山和志〉 156
1. 磁歪材料とは	156	4.2 フェライト系磁気弾性材料	158
2. 磁歪定数	156	4.3 超磁歪材料	158
3. 電気機械結合定数	157	4.4 鉄系アモルファス材料	159
4. 代表的な磁気弾性材料とその特性	157	5. 磁気弾性材料を利用したセンサーおよび アクチュエーター	159
4.1 金属・合金系磁気弾性材料	157		
第4章 機能材料Ⅱ 化学的性質	161		
第1節 ナノ構造と化学機能	162		〈折茂慎一／渡邊英一〉 162
1. 具体例——最近のトピックスから	162	3.3 共沈法	165
2. 表面と粒界（界面）	164	3.4 イオン交換法	165
3. 合成法	164	3.5 急冷凝固法	165
3.1 ゴル-ゲル法	164	3.6 メカニカルミリング法	165
3.2 マイクロエマルジョン法	164	4. 多様な化学機能	165
第2節 超微粒子，ナノクラスター材料	166		〈野城 清〉 166
1. 特異な機能性の発現	166	4. 製法によって異なる金属超微粒子，金属 ナノクラスターの特性	167
2. 超微粒子とナノクラスターの違い	167		
3. 量子サイズ効果	167		
第3節 触媒材料	170		〈村松淳司／高橋英志〉 170
まえがき	170	3. 液相還元法	173
1. ナノサイズの金属粒子合成	171	4. 液相還元選択析出法	173
2. 還元反応を伴う粒子形成	171	あとがき	175
第4節 電極材料	178		〈須藤雅夫／岡島敬一／牧野孝二〉 178
まえがき	178	2.3 プラズマCVD白金微粒子担持活性炭電極	179
1. 工業電解電極	178	3. 固体高分子形燃料電池電極	180
1.1 DSA®電極	178	3.1 電極触媒	180
1.2 ダイヤモンド電極	178	3.2 触媒層の作製法	180
2. 電気化学キャパシター電極	179	3.3 スパッタリング白金担持電極の直接メタ ノール形燃料電池カソード特性	181
2.1 電気二重層キャパシター電極	179		
2.2 擬似容量キャパシター電極	179		
第5節 腐食・防食材料	183		〈浅見勝彦〉 183
まえがき	183	3. ナノ結晶相を含む高耐食性合金	186
1. 結晶粒微細化による高耐食化	183	あとがき	188
2. ナノ結晶を含むアモルファス合金の耐食性劣化	184		
第6節 固体電解質材料（イオン伝導材料）	190		〈工藤徹一〉 190
まえがき	190	2.2 低温型	192
1. 酸化物イオン伝導体	190	3. リチウムイオン伝導体	193
2. プロトン伝導体	191	4. ナトリウムイオン伝導体	195
2.1 高温型	191		
第7節 水素透過材料	196		〈山浦真一／井上明久〉 196
まえがき	196	3. 水素透過に及ぼす微細組織の影響	197
1. ナノ組織における界面の評価	196	あとがき	198
2. 水素透過に対する粒界拡散の寄与	196		

第8節 水素貯蔵材料	〈亀川厚則／高村 仁／岡田益男〉	200
まえがき		200
1. 水素吸蔵合金		200
2. 水素吸蔵過程		200
3. 水素貯蔵材料の特性とPCT曲線		201
3.1 水素吸蔵・放出速度		202
3.2 活性化処理		202
4. 水素貯蔵材料とナノオーダーの微細構造		203
4.1 ミリング法		203
4.2 薄膜法		203
4.3 水素吸放出による自己ナノ構造化		203
第9節 生体適合材料	〈塙 隆夫〉	206
1. 生体適合性		206
2. 医療における金属材料		206
3. 生体適合合金		208
3.1 チタン合金		208
3.2 Niフリーステンレス鋼		208
3.3 NiフリーCo-Cr-Mo合金		209
3.4 Niフリー形状記憶・超弾性合金		209
3.5 アモルファス合金		209
4. 表面処理		209
4.1 ドライブプロセス		209
4.2 ハイドロプロセス		209
5. 表面形態制御		210
6. 機能性高分子修飾		210
あとがき		211
◆ 第5章 プロセス技術		213
第1節 ナノ組織具現化プロセス	〈東 健司〉	214
まえがき		214
1. 組織微細化プロセス		214
2. 古典的再結晶（バイモーダル）理論による 微細化メカニズム		215
2.1 再結晶とは		215
2.2 再結晶の必要条件		215
2.3 バイモーダル組織の実用化加工熱処理例		216
2.4 実験室レベルでの微細化プロセス		217
3. 微細化プロセスのエネルギー論的解釈 （格子欠陥密度）		217
4. 新規材料プロセスの構築		218
4.1 アモルファスから結晶化する方法		218
4.2 電解析出を利用する方法		218
4.3 電子ビーム溶解による気体からの連続 蒸着を利用する方法		218
5. 微細化プロセスのマルチスケール的方法論 の構築を目指して		219
5.1 第一原理計算シミュレーションによる 構造安定性元素の探索		219
5.2 新学問領域「粒界塑性」の創成		220
あとがき		220
第2節 液体急冷プロセス	〈松崎邦男〉	222
まえがき		222
1. 急冷薄帯作製法		222
1.1 単ロール法		222
1.2 双ロール法		224
2. 急冷線材作製法		224
2.1 回転液中紡糸法		224
2.2 溶湯抽出法		225
2.3 ガラス被覆溶融紡糸法		225
3. 急冷粉末作製法		225
3.1 ガスアトマイズ法		225
3.2 双ロール噴霧法		227
3.3 ガス急冷遠心噴霧法		227
3.4 回転電極法		227
あとがき		228
第3節 凝固制御プロセス	〈工藤昌行／大笹憲一〉	229
1. 凝固組織制御の有用性		229
2. 鑄造組織と主軸間隔，側枝間隔		229
3. 柱状晶・等軸晶遷移		231
4. 結晶微細化		231
5. 凝固組織形成シミュレーション		232
第4節 固相変態プロセス		235
【1】相変態プロセス	〈宝野和博〉	235
まえがき		235
1. 析出と相分離		235
1.1 古典的核生成論		235
1.2 拡散界面理論		236
2. アモルファスの結晶化		238
2.1 初晶結晶化を用いたナノ結晶組織の形成		238
2.2 初晶結晶化を利用した実用材料		239
3. 析出の応用		240

3.1 析出現象を利用した材料の強化	240	あとがき	242
3.2 準安定相の析出	240		
【2】加工熱処理プロセス		〈足立吉隆〉	243
まえがき	243	ロアロイの効果	245
1. 制御圧延・制御冷却のプロセスと原理	243	3. キネティクス制御のいっそうの追究——	
1.1 制御圧延とは	243	ナノフェライト組織を目指して	246
1.2 制御冷却とは	244	3.1 マイクロバンド組織の導入	246
1.3 制御圧延と制御冷却の組み合わせによる		3.2 バリエーション規制問題の回避	246
効果	244	3.3 三次元動的な高時分割測定技術の開発	248
1.4 核生成サイト密度増加の原理	244	あとがき	248
2. 制御圧延による組織制御に及ぼすマイク			
第5節 気相急冷プロセス			249
【1】スパッタ法		〈隅山兼治〉	249
1. グロー放電とスパッタリング	249	3. 気相急冷非平衡合金の形成	252
2. スパッタ成膜法	250	3.1 気相急冷の有効性	252
2.1 直流2極スパッタ方式	250	3.2 気相急冷と他の方法の組み合わせ	253
2.2 高周波スパッタリング方式	250	4. クラスター合成	253
2.3 マグネトロンスパッタリング方式	250	4.1 プラズマガス凝縮クラスター堆積装置	253
2.4 高効率イオン化スパッタリング方式	251	4.2 サイズのそろったクラスターの合成	254
2.5 対向ターゲットスパッタリング方式	251	4.3 コアシェルクラスターの合成	255
2.6 イオンビームスパッタリング方式	251	あとがき	255
2.7 スパッタ成膜法の特徴	251		
【2】真空蒸着法		〈三谷誠司〉	257
まえがき	257	2.1 清浄表面におけるエピタキシャル成長	
1. 真空蒸着法の基礎と成膜装置	257	の観察	260
1.1 基本原理	257	2.2 RHEEDの強度振動現象	261
1.2 成膜装置	258	2.3 単原子層積層による新規ナノ構造の作製	261
2. 原子層成長	260	3. 真空蒸着によるナノ構造の創製	262
第6節 粉末固化成形プロセス		〈河村能人〉	264
まえがき	264	2.2 ナノ結晶固化成形体の作製	267
1. 粉末固化成形法	264	3. クローズド粉末固化成形プロセス	268
1.1 動的高圧成形法	265	3.1 クローズドプロセッシングシステム	268
1.2 静的高圧成形法	265	3.2 粉末の加熱脱ガス挙動	268
1.3 塑性加工成形法	265	3.3 クローズド粉末固化成形プロセスの利点	269
2. アモルファス合金粉末の固化成形	267	4. 粉末固化成形プロセスの展望	269
2.1 アモルファス固化成形体の作製	267		
第7節 微細加工		〈久保田均〉	271
まえがき	271	の微細加工	272
1. ハードディスクドライブに用いられている		3. 磁性金属のエッチング技術	273
磁気ヘッドの微細加工	271	4. 集束イオンビーム (FIB) 支援金属微細構造	
2. 磁気ランダムアクセスメモリー (MRAM)		作製技術	275
第8節 溶射プロセス		〈福本昌宏〉	277
まえがき	277	3. ナノ組織形成法	279
1. 成膜における支配因子——理論解析としての		3.1 非平衡成膜プロセスの活用	279
とらえ方	277	3.2 ナノ組織粉末の活用プロセス	280
2. 実際の溶射プロセス制御因子	278	あとがき	280
第9節 耐酸化コーティング		〈村上秀之〉	282
まえがき	282	1. 耐酸化コーティングとは	282

2. 耐酸化コーティングに必要な特性	283	4. 最近の研究	285
3. コーティング材料	284	4.1 既存材の改良	285
3.1 MCrAlY系合金被覆	284	4.2 新合金開発	285
3.2 Alの拡散浸透処理(アルミナライジング処理)	284	あとがき	286
第10節 メカニカルアロイング			〈木村 博〉 288
まえがき	288	2.2 固相反応制御	291
1. 非平衡反応ミル法と粉体ナノテクノロジー	288	3. MA粉末焼結とバルクナノ機能設計	292
2. アモルファス・ナノ粉末の製造	289	あとがき	293
2.1 時系列プロセス	289		
第11節 強ひずみ加工法			〈辻 伸泰〉 294
まえがき	294	2.3 CEC法	296
1. 強ひずみ加工とは	294	2.4 ARB(繰返し重ね接合圧延)法	296
2. 強ひずみ加工プロセス	295	2.5 その他のバルク強ひずみ加工プロセス	298
2.1 HPT法	295	2.6 表層強ひずみ加工	298
2.2 ECAP法	295		
第12節 電解析出法による高強度ナノ結晶合金の作製とマイクロ成形			〈山崎 徹〉 301
まえがき	301	のための条件	304
1. 電析ナノ結晶材料の機械的特性	301	4. 電解析出法を利用したナノ結晶材料のマイ	
2. 高強度Ni-Wナノ結晶電析合金の作製	303	クロ成形技術	306
3. ナノ結晶合金における高強度・高靱性発現		あとがき	307
◆ 第6章 解析技術			309
第1節 構造・組織・物性評価法			〈宝野和博〉 310
まえがき	310	3. 分散ナノ粒子の評価法	311
1. ナノ金属の開発	310	4. ナノスケールの物性評価法	313
2. TEMの役割	311	あとがき	313
第2節 構造			314
【1】電子顕微鏡(電子回折, HREM)			〈弘津禎彦〉 314
まえがき	314	2.4 結晶構造と回折強度	320
1. 電子顕微鏡法の基礎知識	314	2.5 電子回折図形と構造の解析	321
1.1 物質中での電子線の振舞い	314	2.6 TEMによる電子回折: 制限視野回折	323
1.2 電子顕微鏡の機能	315	3. 高分解能電子顕微鏡法(HREM)	323
2. 電子回折	316	3.1 弱位相物体近似	323
2.1 回折条件, Ewald球	316	3.2 結晶構造像	324
2.2 電子線の物質からの散乱振幅・強度	319	3.3 高コントラスト格子像	325
2.3 結晶からの電子回折強度	319		
【2】放射光			328
《1》X線異常散乱法			〈松原英一郎〉 328
まえがき	328	2. DAFS法	331
1. AXS法とEXAFS法	328	2.1 DAFS法の解析(1)	331
1.1 AXS法の原理	328	2.2 DAFS法の解析(2)	332
1.2 最近接領域での原子相関の決定	329	2.3 DAFS法の特徴	332
《2》XAFS法			〈野村昌治〉 334
まえがき	334	3. XAFS実験法と濃度限界	336
1. XAFS法の概要	334	あとがき	339
2. 放射光とXAFS	336		

《3》高エネルギーX線回折法	〈鈴木賢太郎／小原真司〉	340
まえがき		340
1. ナノ材料における回折法の変遷		340
2. 回折法による非晶質物質の構造解析		340
3. 高エネルギーX線回折の特徴と実験装置・測定例		342
3.1 高エネルギーX線回折の特徴		342
3.2 実験装置		342
3.3 測定例		342
4. 適用例——非晶質物質の構造解析		343
《4》コヒーレント散乱	〈石川哲也〉	349
まえがき		349
1. コヒーレント散乱顕微法の基礎		349
1.1 点電荷によるX線の散乱：トムソン散乱		349
1.2 分布電荷によるX線の散乱		350
1.3 問題点		350
2. 位相回復の方法		351
3. 応用例		351
あとがき		352
【3】STM（走査トンネル顕微鏡）	〈酒井 明〉	353
1. STMの原理		353
2. STM装置		354
2.1 試料および探針		354
2.2 STMユニット		354
2.3 制御システム		354
2.4 探針の影響		355
2.5 測定環境		355
3. STM像		355
3.1 清浄表面		355
3.2 吸着表面		356
3.3 電子状態の可視化		356
4. 走査トンネル分光（STS）		357
5. STMとAFM		357
第3節 組織		359
【1】分析電子顕微鏡		359
《1》X線エネルギー分散分光法	〈松村 晶〉	359
まえがき		359
1. X線の測定		359
2. X線分析の空間分解能		361
3. 局所組成の定量分析		361
4. 走査像観察機能を併用した元素マッピング		363
5. 動力学的回折条件におけるX線分光		364
あとがき		365
《2》電子エネルギー損失分光法（EELS）	〈田中信夫〉	366
1. ナノ金属とEELS		366
2. EELSの理論		366
3. 実際のTEM－EELSの装置		367
4. EELSのナノ金属への応用		368
4.1 元素の同定と分布の可視化		368
4.2 低エネルギーEELSスペクトル		369
4.3 プラズモンスペクトル		370
4.4 コアロススペクトルの微細構造		370
4.5 ホワイトライン比		371
4.6 二色性スペクトル（Linear dichroism）		371
5. まとめ——EELSの今後		372
《3》Energy-Filter TEM	〈金子賢治〉	374
1. 弾性散乱と非弾性散乱		374
1.1 透過電子		374
1.2 弾性散乱電子		374
1.3 非弾性散乱電子		374
2. 代表的な非弾性散乱過程		374
3. エネルギーフィルター		375
3.1 インコラム型エネルギーフィルター		375
3.2 ポストコラム型エネルギーフィルター		376
4. フィルター像		376
4.1 エネルギー損失像		376
4.2 ゼロロス像		376
4.3 コアロス像		376
5. 像の取得		377
5.1 Two-window法によるエネルギーフィルター像の取得		377
5.2 Three-window法によるエネルギーフィルター像の取得		377
5.3 スペクトラム・イメージング（SI）法		

によるエネルギーフィルタリング	377	6.3 空間分解能	379
6. その他	378	6.4 回折コントラストの影響	379
6.1 エネルギーフィルター像の定量化	378	6.5 結合状態のエネルギーフィルター像	379
6.2 厚みマップ	379		
《4》 HAADF/Zコントラスト法による局所組成解析	381		
1. HAADF-STEM法	381	3.2 環状検出器上のTDS強度計算	383
2. HAADF-STEM法の基本結像過程	381	3.3 高感度・高空間分解能の局所組成分析法	383
3. HAADF法の特長	382	あとがき	386
3.1 高角散乱領域の測定	382		
【2】 三次元アトムプローブ	387		
まえがき	387	3.1 焼結磁石合金の解析	390
1. 三次元アトムプローブ	388	3.2 ナノコンポジット組織の解析	392
2. 試料作製法	389	3.3 ナノ析出物の解析	392
3. ナノ組織解析例	390	あとがき	393
【3】 小角散乱 (X線, 中性子異常散乱)	394		
1. 小角散乱によるナノ組織解析の基礎	394	2.1 散乱コントラストの増強と散乱源の識別	396
1.1 X線小角散乱法	394	2.2 多成分系材料における元素選択的構造解析	397
1.2 X線小角散乱装置	396	3. 中性子を利用した小角散乱実験	398
2. 異常分散効果と小角散乱法	396		
第4節 物性評価	400		
【1】 ナノインデンテーション法	400		
まえがき	400	2.3 pile-up, sink-inを考慮した測定	402
1. 主な測定装置の特徴	400	2.4 弾性定数 (ヤング率) の算出	403
1.1 装置開発の歴史	400	3. 種々の材料への応用例	403
1.2 圧子	400	3.1 薄膜・コーティング	403
1.3 イメージング機能併用装置	401	3.2 バルク材への応用	404
2. 荷重-変位曲線の解析方法	401	3.3 荷重-変位曲線上の特徴からみる材料の変形挙動	405
2.1 解析方法の要点	401		
2.2 塑性深さの算出	402		
【2】 ナノ領域磁性評価	407		
《1》 電子線ホログラフィーとローレンツ顕微鏡法	407		
まえがき	407	3.1 デイフォーカス法 (フレネル法)	411
1. 電子線ホログラフィーの原理	407	3.2 インフォーカス法 (フーコー法)	412
2. 電子線ホログラフィーによるナノ結晶磁性体の観察	409	4. ローレンツ顕微鏡法および電子線ホログラフィーによるナノコンポジット磁性体の観察	412
3. ローレンツ顕微鏡法の原理	411	あとがき	413
《2》 内殻磁気円 (直線) 二色性顕微分光	415		
1. 特徴——元素選択性, 定量性, ダイナミクス	415	6. 交換結合バイアス系の顕微観察	419
2. 原理	415	7. 磁気モーメント定量評価——分光学的展開	419
3. 実験手法	416	8. 放射光ストロボ法による磁化ダイナミクス解明	420
4. 強磁性磁区構造と磁壁	417		
5. 反強磁性磁区構造	418		
《3》 磁気力顕微鏡 (MFM)	424		
まえがき	424	3. 磁場中MFMを用いた磁化反転磁場の測定	427
1. 磁気力顕微鏡の原理	424	4. 磁気記録媒体中の反転磁場マップ	428
2. 磁場中磁気力顕微鏡とその分解能	426	あとがき	429

《4》スピンSEM	〈小池和幸〉	431
まえがき		431
1. 原理		431
2. スピン検出器と磁化方向の決定		431
3. 分解能と画像取得時間		432
4. 装置構成		432
5. 観察例		433
あとがき		435
【3】走査型マルチプローブ顕微鏡 (MPSPM)	〈中山知信〉	437
まえがき		437
1. MPSTMの概要		437
2. MPSTMによる計測例		439
3. MPSPMへの展開と今後の展望		440
【4】機械的強度	〈肥後矢吉〉	442
まえがき		442
1. 試験機		442
2. 試験片		443
3. 機械的強度試験		444
あとがき		445
❖ 第7章 ナノ金属設計		447
第1節 第一原理計算法	〈川添良幸〉	448
1. 概要		448
2. Born-Oppenheimer近似		448
3. 密度汎関数法と局所密度近似		449
4. 第一原理計算の実際		450
5. 第一原理計算の限界と発展		450
第2節 分子動力学法	〈下野昌人〉	452
まえがき		452
1. 原子間ポテンシャル		452
2. 液相冷却シミュレーション		452
3. アモルファスの局所構造と振動状態		453
4. 金属ガラスの形成能を決定する支配因子		454
5. ナノ組織形成予測		456
あとがき		457
第3節 Phase-field法	〈小山敏幸〉	458
まえがき		458
1. 界面ダイナミクス		458
2. 秩序変数場のダイナミクス		459
あとがき		463
第4節 モンテカルロ法を用いた計算機シミュレーション	〈廣澤渉一／里 達雄〉	465
まえがき		465
1. モンテカルロ法の原理とアルゴリズム		465
1.1 モンテカルロ法		465
1.2 アルゴリズム		466
2. シミュレーション結果		467
2.1 アルミニウム合金の相分解シミュレーション		467
2.2 低合金鋼の相分解シミュレーション		468
3. シミュレーションモデルの拡張および高精度化		469
3.1 実時間との対応づけ		469
3.2 相互作用エネルギーの算出法と妥当性		470
3.3 格子緩和と構造変化		470
あとがき		470
第5節 熱力学計算法	〈大谷博司〉	473
まえがき		473
1. 状態図計算の手法		473
2. 相互作用パラメータの評価		475
3. 状態図の数値計算法		475
4. 外的因子の相平衡への影響		477
4.1 磁気変態の影響		477
4.2 ひずみエネルギーの影響		477
4.2.1 臨界膜厚以下の領域		478
4.2.2 臨界膜厚		478
4.2.3 臨界膜厚以上の領域		478
第6節 クラスター変分法	〈毛利哲雄〉	481
まえがき		481
1. Bragg-Williams近似 (BW)		481
2. 対近似		482
3. クラスター変分法 (CVM)		483
4. 第一原理自由エネルギー		484

応 用 編

◆ 第1章 構造材料

489

第1節 超鉄鋼材料	〈長井 寿〉	490
まえがき		490
1. ナノ析出物利用による使用強度上昇		490
1.1 水素一時トラップ能向上による遅れ破壊強度上昇		490
1.1.1 遅れ破壊を抑制するための方策		490
1.1.2 超高力ボルトへの挑戦		491
1.2 高温組織安定化による耐熱強度上昇		491
1.2.1 複雑な不均一変化が生じる高温変形		492
1.2.2 粒界近傍組織の長時間安定化に基づく9Cr鋼の合金設計		492
1.3 固相急冷による硫化物介在物のナノ化		493
2. サブミクロン多結晶体のバルク化		494
2.1 高Z-大ひずみ加工の必要性		494
2.2 バルク材作製のポイント		494
第2節 ナノハイテン自動車の軽量化を実現するナノテク鋼板	〈船川義正／細谷佳弘〉	496
1. ナノハイテン開発背景		496
2. 従来の高強度鋼板とナノハイテンの加工性		496
第3節 銅 (Cu) 添加極低炭素鋼	〈長谷和邦〉	501
まえがき		501
1. 技術コンセプト		501
1.1 ミクロ組織制御		501
1.2 析出制御技術		502
2. 開発鋼の特性		504
2.1 化学組成とミクロ組織		504
2.2 機械的特性		505
2.3 被削性		505
あとがき		506
第4節 超高強度アルミニウム合金 “メゾアライト”	〈長村光造／足立大樹〉	507
1. 高強度アルミニウム材料の現状		507
2. メゾアライト合金の微細組織の特徴		507
3. 降伏強度		508
4. 用 途		509
第5節 気相急冷ナノ Al 合金	〈喜多和彦〉	510
まえがき		510
1. ナノ結晶 Al 合金		510
2. 高強度・高靱性		514
あとがき		515
第6節 バイオソフトチタン	〈王 新敏〉	516
1. バイオソフトチタンの概要		516
1.1 バイオマテリアルと其中的チタン合金		516
1.2 バイオソフトチタンの定義		517
1.3 バイオソフトチタンの力学特性への期待		517
2. バイオソフトチタンの結晶粒微細化		517
2.1 材料の塑性と結晶粒微細化		517
2.2 結晶粒微細化の組織と機械的性質		517
3. 高強度、低ヤング率と合金構成元素		519
4. バイオソフトチタンの生体用材料への応用		519
4.1 超難加工の生体用ワイヤー、毛細管の用途		519
4.2 バイオソフトチタンワイヤー		520
4.3 バイオソフトチタンステント		520
4.4 その他の用途		520
あとがき		520
第7節 パーライト鋼線	〈田代 均〉	522
まえがき		522
1. パーライト鋼線の組織と強化法		522
2. セメントイト分解現象		527
3. 線径効果		528
あとがき		529
第8節 アモビーズ®——ピーニング向け高強度、長寿命アモルファス合金投射材の開発	〈奥村 潔〉	532
まえがき		532
1. ショットの種類		532
2. ねらいとした金属ガラス組成		533
2.1 組成探査		533
2.2 開発合金の特性		534
3. ショットとしての評価		535
4. ピーニング特性		536
4.1 重力投射方式		536
4.2 加圧投射方式		536
4.3 防爆性		536

5. 今後の展開	537
第9節 制振合金	〈殷 福星〉 538
1. 振動低減技術と制振材料	538
2. 制振材料と制振性能指標	538
3. 制振合金の分類と特徴	539
3.1 制振挙動の特徴による分類	539
3.1.1 緩和型制振挙動	539
3.1.2 ヒステリシス型制振挙動	539
3.1.3 相変態型制振挙動	539
3.2 組織の特徴による分類	539
3.2.1 複合型制振合金	540
3.2.2 転位型制振合金	540
3.2.3 強磁性型制振合金	541
3.2.4 双晶型制振合金	541
3.2.5 新型の制振合金	541
4. 実用化に向けた制振合金の評価	543
4.1 共振試験	543
4.2 低周波強制振動試験	544
4.3 自由減衰試験	544
5. M2052制振合金の実用評価例	544
5.1 平面研削盤用ジャッキボルトと据付けマウント	545
5.2 放射線探測器の制振連結管	546
あとがき	546
第2章 機能材料	549
第1節 燃料電池用高分散触媒	〈久保佳実〉 550
1. 燃料電池の種類と触媒	550
1.1 燃料電池の種類	550
1.2 燃料電池の触媒	551
1.2.1 高温型	551
1.2.2 低温アルカリ型	551
1.2.3 低温プロトン(酸性)型	551
2. 燃料電池の構造	551
3. 高分散担持触媒と触媒電極の構造	552
4. 高分散触媒の諸問題	554
4.1 Pt系触媒の高分散担持法	554
4.2 Pt触媒の粒成長	554
4.3 PEFCにおける触媒電極の劣化	556
4.4 触媒の微細化と「サイズ効果」	557
4.5 合金化効果	557
あとがき	558
第2節 ナノ触媒	〈斉藤泰和〉 561
まえがき	
——ナノ金属触媒が注目されるのはなぜか	561
1. ナノ金属触媒粒子のキャラクタリゼーション	561
2. ナノ金属粒子の触媒機能	563
3. バイメタリックナノ粒子の調製と触媒機能	564
4. バイメタリックナノ粒子の触媒機能発現	565
あとがき——ナノサイズの酸化物触媒はどうか	566
第3節 クラスター触媒	〈金田清臣／乗松陽子〉 568
まえがき	568
1. ナノクラスターの調製	569
2. 金属クラスターの液相有機合成反応触媒への応用	569
あとがき	571
第4節 色素増感太陽電池	〈正木成彦／柳田祥三〉 573
まえがき	573
1. 色素増感太陽電池の構造と動作機構	573
2. 酸化チタンナノ粒子の合成と多孔質膜の細孔構造の制御	574
3. 酸化チタンナノ粒子の特性と多孔質電極の電子輸送特性	575
4. 光散乱層を積層した酸化チタン多孔質電極	576
あとがき	577
第5節 光触媒	〈安保重一／松岡雅也／竹内雅人〉 580
1. 光触媒とその作用機構	580
2. 光触媒の環境浄化への応用	581
2.1 有害物を含む汚染水の無害化・清浄化	581
2.2 窒素酸化物(NO_x)の分解除去	581
2.3 防汚・防臭・防曇機能	582
3. 太陽光・可視光で作動する酸化チタン光触媒の開発	583
3.1 イオン注入法による酸化チタン光触媒の可視光化	583
3.2 酸化チタン薄膜光触媒の可視光化	584
4. ゼオライト細孔内に構築した金属酸化物の光触媒作用	584

第6節 自動車触媒（排ガス浄化）	〈杉浦正治〉	588
まえがき		588
1. 自動車触媒の基本技術		588
2. 三元触媒		588
3. 貴金属のコントロール		589
3.1 貴金属ナノ粒子		589
3.2 貴金属の反応性		590
3.3 貴金属粒子のナノ制御方法		591
3.3.1 貴金属の合金化		591
3.3.2 アルミナ担体		592
3.3.3 貴金属が担体に固溶・析出するパラ ジウム(Pb)ペロブスカイト触媒		592
4. 酸素のやり取り		592
4.1 白金の酸素貯蔵能		592
4.2 セリア-ジルコニア固溶体		593
5. 担体の細孔利用——ゼオライト吸着材		594
6. リーンバーンエンジン用NO _x 吸蔵還元型触媒		594
あとがき		596
第7節 水素透過材料	〈上宮成之〉	598
まえがき		598
1. 燃料電池用水素の製造		598
1.1 固体高分子形燃料電池用高純度水素の 製造		598
1.2 メンブレンリアクターで使用可能な水素 選択透過金属膜		600
2. ナノ金属集合化としてのめっき薄膜の作製		600
2.1 水素透過金属膜の薄膜化		600
2.2 無電解めっきによるパラジウムの薄膜化		601
3. 金属薄膜の水素透過性		602
3.1 金属の微細構造と水素透過性		602
3.2 無電解めっき法で作製したパラジウム 膜の水素透過性		602
あとがき		603
第8節 Ni水素電池材料	〈久慈俊郎〉	605
1. 二次電池の現状と将来像		605
2. Ni水素電池の動作機構とその特徴		605
3. 負極水素吸蔵合金への要求特性		605
3.1 求められる吸蔵特性		605
3.2 高容量Ni水素電池		607
3.3 構造および組織形態		607
3.4 化学的安定性について		608
あとがき		609
第9節 リチウム二次電池	〈高見則雄〉	610
まえがき		610
1. 炭素ナノスペースとリチウム電池		610
1.1 黒鉛質材料		612
1.2 難黒鉛化性炭素		612
2. ナノ技術と次世代リチウム二次電池		613
あとがき		615
第10節 圧力センサー	〈長坂 宏〉	617
まえがき		617
1. 車載用圧力センサー（中圧・高圧）の現状と 金属ガラス材料の利用		617
2. 金属ガラス製圧力センサー（素子）		618
3. ダイアフラム部材の製作		619
4. 薄膜形成プロセス		620
5. 素子の接合		620
6. 素子特性		621
第11節 生物学および力学的生体適合性金属系材料	〈新家光雄〉	622
まえがき		622
1. 最近の生体用チタン合金		622
2. 低弾性率型生体用チタン合金の生物学的 生体適合性		623
3. 低弾性率型生体用チタン合金の力学的生体 適合性		624
4. 高力学的性能化		626
5. 機能性の付与		626
6. 生体活性表面修飾		628
あとがき		629
第12節 ナノ結晶軟磁性材料“FINEMET[®]”	〈吉沢克仁〉	631
まえがき		631
1. 「ファインメット [®] 」の製造プロセスとミク ロ構造		631
2. 「ファインメット [®] 」の磁気特性		633
3. 「ファインメット [®] 」の応用		635
あとがき		638
第13節 ナノパームTMとその応用	〈内藤 豊〉	640
まえがき		640
1. ナノ結晶Fe-M-B(M = Zr, Hf, Hb)合金 の微細構造と軟磁気特性		640
2. ナノパーム TM の応用		642
2.1 コモンモードチョークコイル		642
2.2 ギャップ付きトロイダルコア		643
あとがき		644

第14節 炭化物分散型ナノ結晶軟磁性薄膜 Nanomax[®]	〈長谷川直也〉	645
まえがき	—Hyper Nanomax [®] , Fe-(Si, Al)-Hf-C 合金膜	645
1. ナノコンポジット組織の形成過程（非晶質 からのナノ結晶化）		645
2. Nanomax [®] のバリエーション		648
2.1 (Fe, Co, Ni)-M-C系合金膜		648
2.2 高飽和磁束密度, 高耐熱性Fe/Fe-Hf-C 多層膜		648
2.3 さらに軟磁気特性の改善と耐食性の改善		
第15節 SPRAX[®]（スプラックス[®]）	〈広沢 哲〉	652
1. SPRAX [®] の磁気特性		652
2. SPRAX [®] の組成設計		653
3. SPRAX [®] の製造プロセス		654
第16節 高密度磁気記録媒体	〈稲葉信幸〉	657
1. 磁気ディスクの記録密度の推移		657
2. Co-Cr系磁気記録媒体		658
2.1 媒体に求められる特性と課題		658
2.2 Co-Cr系面内記録媒体		658
第17節 高飽和磁束密度軟磁性材料（CoNiFe系-めっき法の適用）	〈逢坂哲彌／杉山敦史〉	663
1. 電気めっき法による高飽和磁束密度CoNiFe 軟磁性薄膜の形成		663
1.1 有機硫黄系添加剤による低保磁力化		663
1.2 有機硫黄系添加剤フリーによる低保 磁力化		663
1.3 パルスめっき法による安定な成膜		664
1.4 比抵抗の改善		665
2. $B_s = 2.4\text{T}$ を有するCoFe軟磁性薄膜作製の		
第18節 スピンバルブGMRヘッド	〈岩崎仁志〉	670
まえがき		670
1. スピンバルブGMRの構造と動作原理		670
2. ピンド層		670
3. フリー層		671
第19節 ナノグラニューラ磁性材料	〈大沼繁弘〉	675
まえがき		675
1. 試料作製方法		675
2. 組成と特性		676
2.1 軟磁気特性		676
2.1.1 Co-Al-O系膜		676
2.1.2 Co-Zr-O系膜		676
2.2 磁気抵抗効果		678
第20節 超伝導材料	〈竹内孝夫〉	682
1. 輸送電流特性とナノ構造		682
2. 実用超伝導材料のピン止め中心		682
3. Nb ₃ Al		683
3.1 状態図		683
3.2 Nb/Al拡散対サイズと化学量論組成		683
3.3 bcc相→A15相への変態機構と積層欠陥		685
3.4 高温変態による積層欠陥の抑制		686
あとがき		687

新 展 開 編

◆ 第1章 概 説	—	〈渡邊英一〉	691
第1節 異分野との融合・複合化	692		
まえがき	692	2. 融合領域のナノマテリアル	692
1. 「金属」と他の分野間でのトピックス	692		
第2節 融合領域の最近の研究動向	693		
1. 超分子金属錯体および超分子金属錯体集積体にみる融合領域	693	1.5 ポルフィリン超分子金属錯体	700
1.1 多座配位子による配位高分子	693	1.6 金属錯体型DNA超分子	700
1.2 デンドリマー金属錯体	697	1.7 有機配位子/ナノ粒子ハイブリッド	700
1.3 カリックスアレーン金属錯体	697	1.8 π -コンプレックス型金属錯体	701
1.4 カテナン・ロタキサン金属錯体	699	2. 産業への応用	701
		あとながき	703
◆ 第2章 金 属	—		705
第1節 スピンエレクトロニクス	706	〈猪俣浩一郎〉	706
1. スピンエレクトロニクスの世界	706	3.3 MRAMの開発状況	708
2. スピンエレクトロニクスを拓く重要課題	706	4. ギガビット級MRAMの開発に向けて	710
3. 強磁性トンネル接合とMRAM	707	4.1 ハーフメタル	710
3.1 トンネル磁気抵抗 (TMR)	707	4.2 スピン注入磁化反転	711
3.2 MRAMの原理	708	あとながき	713
第2節 ナノポーラス金属	715	〈吉見享祐〉	715
まえがき	715	2. ナノポーラス金属の観察例	717
1. ナノポーラス金属の合成	715	2.1 凝集過程	717
1.1 原子空孔の導入	715	2.2 材料内部のナノボイド・メソボイド	718
1.2 空孔濃度と自由エネルギー	716	2.3 材料表面のナノポア (ナノピット)	719
1.3 空孔形成エネルギーと移動エネルギー	716	2.4 巨大な刃状転位芯によるナノポア	719
1.4 原子空孔の凝集	717	あとながき——期待される応用分野	720
1.5 空孔複合体の次数と自己エネルギー	717		
◆ 第3章 金属との融合体	—		723
第1節 磁性細菌とその工学的応用	724	〈松永 是／吉野知子〉	724
まえがき	724	2.3 抗体をアセンブルした磁気微粒子による細胞分離	727
1. 磁性細菌のつくる磁気微粒子形成機構解明	724	2.4 受容体をアセンブルした磁気微粒子によるリガンド結合試験	728
2. 機能性磁気微粒子の工学的応用	725	あとながき	729
2.1 機能性磁気微粒子の作製法	725		
2.2 DNAをアセンブルした磁気微粒子による遺伝子多型検出	727		
第2節 超分子金属錯体	730		
【1】レドックス超分子材料	730	〈平尾俊一／雨夜 徹〉	730
まえがき	730	は低分子の複合錯体	730
1. 金属-レドックス活性 π 共役系高分子また		2. 機能材料への展開	733

2.1 触媒材料としての展開	733	2.3 センサー材料としての展開	733
2.2 光電子デバイスとしての展開	733	3. 今後の展望	735
【2】デンドリマー・金属ナノ粒子複合体			〈今栄東洋子〉 737
まえがき	737	3. デンドリマー・金属ナノ粒子複合体の機能	742
1. デンドリマー・金属ナノ粒子複合体の合成	738	4. デンドリマー・金属微粒子複合体の組織化	742
2. デンドリマー・金属ナノ粒子複合体の生成 機構と構造	740	あとがき	743
【3】三次元空間を有する自己集合性金属錯体			〈楠川隆博〉 745
まえがき	745	2. 分子フラスコとしての利用	746
1. 自己集合による三次元型錯体の構築	745	あとがき	748
【4】ポリロタキサン			〈原田 明／山口浩靖〉 750
まえがき	750	3. クラウンエーテル誘導体からなるロタキ サン	755
1. シクロデキストリンを環状成分とするロタキ サン・ポリロタキサン	751	4. 金属とその配位子が輪と軸の両者を担う ポリロタキサン	756
2. ククルビトウリルを環状成分とするロタキ サン・ポリロタキサン	753	あとがき	757
【5】人工DNAの分子設計と機能化			〈塩谷光彦〉 760
まえがき	760	4. 金属錯体型人工塩基対によるDNAの高次 構造安定化	762
1. DNAの構造特性と人工化	760	5. 金属錯体型人工DNAによる金属集積化	763
2. 水素結合同型および非水素結合同型人工塩基対を もつDNA	760	6. 今後の展望	764
3. 金属錯体型人工DNAのデザイン	761		
【6】配位高分子の新しい機能——ナノ空間材料			〈北浦 良／北川 進〉 766
まえがき	766	3. その他の機能性	769
1. 超高比表面積材料としての多孔性配位高分子	766	3.1 キラルな多孔性構造の構築	769
2. 分子凝集場としての多孔性配位高分子	767	3.2 反応空間の構築	769
第3節 錯体水素化物		あとがき	770
1. 錯体水素化物とは	771		〈中森裕子／折茂慎一〉 771
2. 高密度水素貯蔵材料としての期待	772	4. 原子構造および電子構造に関する理解	774
3. 高機能化のための開発指針	772	4.1 最新の原子構造解析 —— Li_2NH (イミド相) の原子構造	774
3.1 元素置換	772	4.2 電子構造の系統性 ——金属水素化物から錯体水素化物へ	775
3.2 複合化	773	あとがき——革新的機能を目指して	776
3.2.1 水素化物との複合化	773		
3.2.2 錯体水素化物どうしの複合化	774		
第4節 粉末冶金製品（セラミックス/金属系）超微粒超硬合金			〈林 宏爾〉 778
まえがき	778	——数値計算による検討	782
1. 超微粒超硬合金の製法	779	5. $0.3\ \mu\text{m}$ 以下の超微量超硬合金を得るための 検討事項	784
2. 超微粒超硬合金の作製原理と課題	780	5.1 粒成長抑制剤の量	784
3. 分散粒子成長理論および粒成長抑制機構	780	5.2 焼結温度・時間	784
4. いっそうのWC微粒化の可能性			
第5節 金属・有機複合ナノ粒子			〈中西八郎／及川英俊〉 786
まえがき	786	2. 金属（コア）-J-会合体色素（シェル）ハイ ブリッドナノ複合体	788
1. 金属（コア）-PDA（シェル）ハイブリッド ナノ結晶	786	3. 金属コート複合ナノ結晶の作製	789
1.1 「共沈法」と形態観察	786	あとがき	790
1.2 光学特性とコア-シェル界面相互作用	787		

第6節 金属微粒子（ナノ粒子）分散型複合材料（高分子系）	〈目崎令司〉	792
まえがき		792
1. 複合材料開発と「知識の構造化」技術		792
2. 高分子系ナノ金属粒子分散型複合材		792
3. 複合材の構成成分		792
4. ホストおよびゲスト材製造法		794
4.1 ホスト材料		794
4.2 ゲスト材料		794
5. 複合材の製造法		795
5.1 直接混合法		795
5.2 その場重合法		795
5.3 スパッタリング法と共スパッタリング法		795
5.4 イオン注入法		795
5.5 湿式化学法		795
5.6 LBL法		796
6. 複合材の構造と用途		796
7. 「知識の構造化」技術の利用		796
あとがき		797

◆ 第4章 金属バイオ

第1節 蛍光ナノ粒子による分子の動態計測	〈山本健二〉	800
1. 生命のユニット		800
2. 細胞内のさまざまな物理現象		800
3. 細胞の戦略		801
4. 物質の細胞内動態		801
5. 量子ドットの細胞内局在化		802
6. 細胞の生体内動態		804
第2節 バイオ検出用金ナノ粒子	〈石井武彦／長崎幸夫〉	806
まえがき		806
1. 金ナノ粒子の調製法		806
2. バイオ検出ツールとしての金ナノ粒子		807
3. 安定金ナノ粒子の分子設計		808
4. 安定金ナノ粒子による分子認識		809
5. 将来性		810
あとがき		810
第3節 カーボンナノチューブバイオセンシング	〈後藤正男〉	812
まえがき		812
1. バイオセンサーとしてのナノバイオセン シングへの応用		812
1.1 電極材料としての使用		812
1.2 ガスセンサーとしての使用		813
1.3 カーボンナノチューブのさらなる機能化		813
2. プローブとしてのナノバイオセンシング への応用		814
3. カーボンナノチューブの有用性と課題		814
第4節 熱応答性磁性ナノ粒子開発とバイオ領域への展開	〈近藤昭彦／大西徳幸〉	816
まえがき		816
1. 磁性ナノ微粒子材料		816
2. 刺激応答性高分子とは		817
3. 熱応答性磁性ナノ粒子		818
4. 熱応答性磁性ナノ粒子のバイオ領域への 展開例		819
4.1 タンパク質などの生体分子分離への応用		819
4.2 遺伝子工学からゲノム・プロテオーム 解析への応用		819
4.3 細胞分離・アッセイへの応用		821
4.4 医療分野への応用		821
5. 将来展望		822
第5節 癌中性子捕捉療法における増感原子のデリバリー	〈福森義信／市川秀喜〉	823
1. 分子・粒子の生体内分布挙動		823
2. 中性子捕捉療法の原理		823
3. ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）の現状		824
3.1 ホウ素化合物		824
3.2 ホウ素化合物の体内動態		825
3.3 ホウ素クラスターBSHのナノ粒子キャ リヤー		826
4. ガドリニウム中性子捕捉療法へのナノ粒子 の適用		826
4.1 体循環経路での腫瘍内へのガドリニウム の送達		826
4.2 腫瘍内直接投与のためのキトサン粒子 の設計と調製		828
4.3 その他の試み		830
あとがき		830
第6節 金属錯体合成と応用	〈西岡琢哉／松本和子〉	833
まえがき		833
1. 希土類錯体の蛍光特性		833
1.1 pH, pO_2 , アニオンセンサー		834
1.2 蛍光標識試薬としての応用		834

1.2.1 時間分解蛍光測定法の原理	834
1.2.2 標識剤として用いられる希土類蛍光 錯体	835
1.2.3 ホモジニアス時間分解蛍光DNAハイ	

ブリダイゼーションアッセイ	836
2. 希土類錯体の触媒機能	837
3. ガドリニウム錯体を用いたMRI診断	837
あとがき	838

第5章 金属クラスター 839

第1節 金属内包ナノカプセル・ナノチューブ 840

1. 金属内包カーボンナノカプセルの特徴と 作製	840	2.6 VIおよびVII族遷移金属元素 (Cr, Mo, W, Mn, Re)	841
2. ナノカプセルに内包される金属微粒子の 種類	840	2.7 半導体・半金属元素	842
2.1 希土類およびアクチノイド元素	840	3. 金属内包ナノチューブ (ナノワイヤー)	842
2.2 鉄族元素 (Fe, Co, Ni)	841	3.1 自己形成型ナノワイヤー：同時蒸発法	842
2.3 アルカリ土類元素	841	3.2 空のナノチューブへの注入：毛管現象 を使ったプロセス	842
2.4 貴金属および白金族元素	841	3.2.1 乾式法	842
2.5 IVおよびV族遷移金属元素 (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta)	841	3.2.2 湿式法	843

第2節 シリコンフラーレン 845

1. 概 要	845	3. シリコンナノチューブ	847
2. 金属内包シリコンクラスター	845	4. 関係する構造体と将来展望	847

第3節 フラーレン・ナノチューブネットワーク材料 849

まえがき	849	4.1 固体からのアプローチ	851
1. フラーレンとナノチューブの構造	849	4.2 ピーポッドの合成	852
2. フラーレンとナノチューブの合成	849	5. フラーレンからナノチューブへの変換	853
3. フラーレンポリマー	850	あとがき	854
4. 新たな炭素ネットワークの研究	851		

索 引 855

