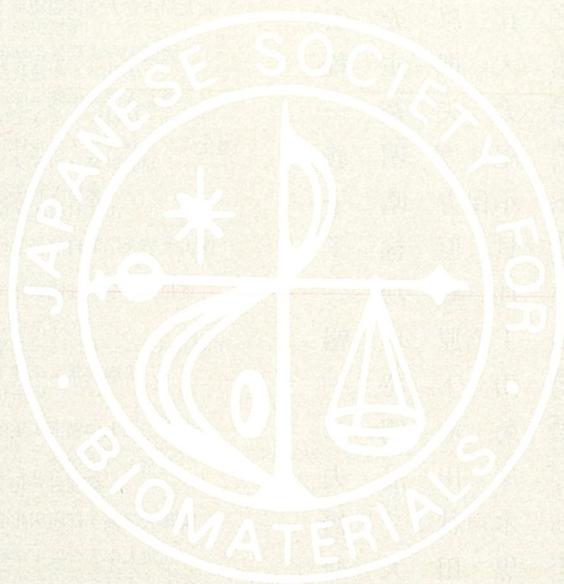


# バイオマテリアルの基礎

監修 日本バイオマテリアル学会  
編集 石原一彦・埴 隆夫・前田瑞夫



日本医学館

バイオマテリアルの基礎  
編者および執筆者一覧

監修

日本バイオマテリアル学会

編集

石原 一彦 (東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻)  
 埴 隆夫 (東京医科歯科大学生体材料工学研究所)  
 前田 端夫 (理化学研究所前田バイオ工学研究室)

執筆

物質・材料研究機構 生体材料センター	青柳 隆夫	東北大学大学院歯学研究科 歯科生体材料学分野	高田 雄京
日本メディカルマテリアル株式会社 研究部	池田 潤二	テルモ株式会社 研究開発本部	竹内 涼平
九州大学大学院歯学研究科 口腔機能修復学講座	石川 邦夫	山形大学大学院理工学研究科 バイオ化学工学専攻	田中 賢
東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻	石原 一彦	物質・材料研究機構 生体材料センター	谷口 彰良
東京大学大学院医学系研究科附属 疾患生命工学センター臨床医学部門	位高 啓史	東北大学金属材料研究所	千葉 晶彦
理化学研究所 伊藤ナノ医工学研究室	伊藤 嘉浩	九州大学大学院歯学研究科 口腔機能修復学講座	都留 寛治
関西大学化学生命工学科 化学・物質工学科	岩崎 泰彦	京都大学放射性同位元素総合 センター	寺村 裕治
国立循環器病研究センター研究所 生体医工学科	江橋 具	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	永井 亜希子
物質・材料研究機構 生体材料センター	荏原 充宏	北九州市立大学国際環境工学科 環境生命工学科	中澤 浩二
名古屋大学大学院工学研究科 結晶材料工学専攻	大槻 主税	大阪大学大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻	中野 貴由
関西大学化学生命工学科 化学・物質工学科	大矢 裕一	東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻	成島 尚之
岡山大学大学院自然科学研究科 機能分子化学専攻	尾坂 明義	旭化成クラレメディカル株式会社 知的財産マネジメント部	西村 隆雄
早稲田大学大学院先進理工学研究科	小保方 晴子	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	埴 隆夫
慶應義塾大学理工学部 応用化学科	貝原 祥子	岡山大学大学院自然科学研究科	早川 聡
京都大学再生医科学研究所	加藤 功一	東邦大学薬学部臨床化学教室	桧 貝 孝慈
東北大学大学院環境科学研究科	上高原 理暢	HOYA 株式会社 PENTAXニューセラミックス事業部	平山 泰彦
東北大学大学院医学研究科 医学専攻	川下 将一	慶應義塾大学理工学部 応用化学科	藤本 啓二
東京理科大学基礎工学科 材料工学科	菊池 明彦	東京工業大学精密工学研究所	細田 秀樹
東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	岸田 晶夫	九州大学大学院工学研究科 機能材料化学分野	松野 寿生
九州大学先端物質化学研究所	木戸秋 悟	東邦大学薬学部臨床化学教室	松本 宏治郎
鈴鹿工業高等専門学校 材料工学科	黒田 大介	九州大学大学院工学研究科 分子・生物システム工学講座	三浦 佳子
早稲田大学大学院先進理工学研究科	近藤 誠	九州工業大学大学院 生命体工学研究科生体機能専攻	宮崎 敏樹
東京大学大学院工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻	金野 智浩	神戸大学自然科学先端融合研究環 遺伝子実験センター	森垣 憲一
東京女子医科大学 先端生命医科学研究所	清水 達也	国立循環器病研究センター研究所 生体医工学科	山岡 哲二
東京女子医科大学 先端生命医科学研究所	関谷 佐智子	東京女子医科大学 先端生命医科学研究所	大和 雅之
東京大学先端科学技術研究センター	芹澤 武	東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻	吉本 敬太郎

# 編集の序

先端医薬・医療の分野で、材料と生体あるいは生体を構成する器官や組織、細胞や細胞外基質との相互作用を巧みに生かした、新しい診断や治療の方法がきわめて重要となってきた。生体やその構成要素と直接あるいは間接に接触させて、傷んだ組織や器官あるいは機能の診断や治療を行い、さらにある場合には損傷部を補ったり置き換えたりするために用いる材料をバイオマテリアルとよぶ。

しかし、ひとくちに材料といっても、有機、無機、金属、高分子など、それぞれに異なる性質を有しており、当該材料の専門家以外には理解しにくいことも少なくない。バイオマテリアルに関係する研究者・技術者がより緊密な学際協力を推進するためには、基本的な概念や手法、研究の進め方など、お互いの研究基盤を理解しあうことが不可欠である。

日本バイオマテリアル学会は、バイオマテリアルの教育、研究、産業に関する情報の交換を通し、新学問領域としての体系化と確立および臨床医療への応用を図るために1978年に設立された。生体に関わる材料を共通の基盤として、基礎科学者、生命科学者、臨床家、企業研究者など、専門やバックグラウンドの異なる研究者・技術者が集う学際的なフォーラムであり、分野融合が最も有効に進んだ学術団体の一つである。しかしこのプロの科学・技術者集団にとっても“材料間の壁”は少なからず存在する。ましてやバイオマテリアルに興味を持った初学者や、同分野への参入を図ろうとする企業研究者にとって、これは大きな障壁となる。

そこで同学会編集委員会では、学会誌「バイオマテリアル—生体材料—」において「バイオマテリアルの基礎」といったテーマにて、材料別に特集することにした。出身学部・学科が異なっても互いに内容が理解できるようになるための、基本的な知識体系を伝えることに主眼を置き、“まったくの専門外の人にとって、当該分野の俯瞰的ナビゲーターとなるような解説”をこころがけた。

この連載企画は、前田・埴・石原とつづく3代の編集委員長が企画・編集し、これを引き継いだ。メタル、セラミックス、ポリマーといった材料の個別特性のみならず、材料共通の課題としての表面・界面の物理化学や、生体側の理解のための分子生物学・細胞生物学の基礎についてもわかりやすく解説し、最先端の再生医療へと結び付ける構成とした。

この連載が好評のうちに完了したことを受け、1冊の教科書としてまとめることに

なった。全体を通して構成を見直し、執筆者には大幅改訂をお願いして、成書としての統一性やストーリー性を整えた。本書を通じてバイオマテリアルの基礎の共通理解が進み、当分野の研究が発展し、ひいては人類の福祉につながることを願っている。最後に、出版の提案をいただいた日本医学館の菊澤俊明氏ならびに編集に尽力いただいた田中 和氏に感謝したい。

2010年10月

編者一同

石 原 一 彦  
埜 隆 夫  
前 田 瑞 夫

# バイオマテリアルの基礎

## 目次

INTRODUCTION……………1

### 1

## 金属系バイオマテリアル

### 1.1 金属系バイオマテリアル概観

- 1. 必要性と特徴……………6
- 2. 臨床応用と問題点……………6
- 3. 研究開発……………9

### 1.2 金属系バイオマテリアルの種類と性質

- 1. ステンレス鋼……………10
- 2. コバルトクロム合金……………13
- 3. チタンとチタン合金……………17
- 4. 形状記憶と超弾性合金……………21
- 5. 貴金属合金……………25
- 6. その他の合金……………27

### 1.3 金属系バイオマテリアルの内部構造と力学的性質

- 1. 結晶と結晶構造……………31
- 2. 弾性変形と塑性変形……………31
- 3. すべり変形……………32
- 4. 転移……………34
- 5. 強化法……………35
- 6. 代表的な金属インプラントにおける力学的性質を  
支配する因子……………36
- 7. 骨の微細構造を考慮した強度設計……………37
- 8. 力学的性質評価法……………40

### 1.4 金属系バイオマテリアルの表面と耐食性

- 1. 電気化学の基礎……………42
- 2. 腐食……………43
- 3. 腐食の評価法……………46

## 1.5 金属系バイオマテリアルの表面処理

1. 表面形態制御 ..... 48
2. 表面組成と相制御 ..... 49

# 2

## セラミックス系バイオマテリアル

### 2.1 セラミックス系バイオマテリアルの特徴と種類

1. 歴史的背景 ..... 60
2. 人工関節用セラミックス ..... 60
  - アルミナ 61
  - ジルコニア 62
3. 骨修復用セラミックス(人工骨) ..... 63
  - 生体活性ガラス 64
  - 生体活性結晶化ガラス 65
  - ヒドロキシアパタイト(HAp)焼結体 66
  - リン酸三カルシウム焼結体 66
  - 自己硬化性材料 67
4. 深部がん治療用セラミックス ..... 68

### 2.2 セラミックス系バイオマテリアルの合成

1. ガラス ..... 69
2. 結晶化ガラス ..... 70
3. 多結晶焼結体 ..... 70
  - 製造プロセス(緻密な焼結体の作製法, 多孔体の作製法) 70
  - アルミナ, ジルコニア 72
  - ヒドロキシアパタイト 73
  - リン酸三カルシウム 73
4. コーティング ..... 74
5. ゾルーゲル法 ..... 74
6. 擬似体液を用いたバイオミメティック法 ..... 75

### 2.3 セラミックスの構造解析

1. X線回折法 ..... 77
2. 赤外分光法 ..... 78
3. 電子顕微鏡 ..... 80
4. X線光電子分光法 ..... 81
5. 固体核磁気共鳴法分光法 ..... 83
6. 多孔体の構造解析 ..... 85

### 2.4 セラミックスの物性

1. 骨の特徴 ..... 86
  - 骨の無機成分 86

- 骨の細胞と成長因子 87
- 骨の形態 89
- 2. セラミックスの化学的特性と生体との反応 ..... 89
  - 骨結合性の化学 89
  - セラミックスと体液の相互作用 90
  - 化学的特性の設計と制御 91
- 3. セラミックスの機械的特性の支配因子 ..... 92
  - 化学結合 92
  - 結晶内のイオン配列構造 93
  - 微細構造 93

## 2.5 セラミックス系バイオマテリアルの臨床応用の評価

- 1. 要求される特性 ..... 94
  - 人工関節材料 94
  - 生体活性コーティング材料 95
  - 骨修復用セラミックス(人工骨) 96
- 2. 評価の項目と手法 ..... 97
  - 材料特性・機械的安全性 97
  - 生物学的安全性評価 98
  - 臨床試験 99
- 3. 最近の評価法と標準化 ..... 99
  - 人工関節 99
  - 人工骨 99

# 3

## ポリマー系バイオマテリアル

### 3.1 ポリマー系バイオマテリアルの生体に学ぶ分子設計

- 1. ポリマー系バイオマテリアルの特色 ..... 104
- 2. ポリマーの精密合成と生体機能界面の設計 ..... 104
- 3. 自己組織化と超分子化学 ..... 105
- 4. 分子認識とデリバリー技術 ..... 106
- 5. 刺激応答性とヒドロゲル ..... 107
- 6. 生分解性と薬剤徐放 ..... 108
- 7. 力学特性と組織融合 ..... 109

### 3.2 ポリマー系バイオマテリアルの合成

- 1. 重合とは ..... 110
- 2. 連鎖重合 ..... 111
  - 付加重合 111
  - ラジカル重合 111
  - イオン重合 112

■ 配位重合	112
■ リビング重合	113
■ 開環重合	114
3. 逐次重合	115
■ 重縮合	115
■ 重付加	116
4. ポリマーの構造制御	116
■ 共重合	116
■ グラフト重合と分岐構造制御	116
■ 立体構造制御	117
5. 天然ポリマーと合成ポリマーの複合体	117

### 3. 3 ポリマーの化学構造の解析

1. ポリマーの溶解度パラメーター	118
2. 化学構造の解析	118
■ 赤外線吸収スペクトル	118
■ 核磁気共鳴スペクトル	120
3. ポリマー分子の形と大きさ	121
■ ポリマーの形と大きさ	121
■ ポリマーの排除体積効果	122
4. ポリマーの分子量	122
■ ゲル浸透クロマトグラフィー法	122
■ 光散乱法	123
■ 粘度法	123
5. 混入低分子物質の影響	124

### 3. 4 バルクと表面解析の基礎

1. ガラス転移点	124
2. 結晶性ポリマー	124
3. 示差走査型熱量分析	125
4. 粘弾性の理論と測定	125
5. ポリマー表面の物性	127

### 3. 5 ポリマー系バイオマテリアルの臨床応用

1. 血液浄化	128
■ 血液透析	128
■ 血漿浄化	130
■ 吸着浄化	130
■ 白血球除去	131
2. 輸血関連	132
■ 白血球除去フィルター	132
■ ウイルス除去フィルター	133
■ 血液保存容器	133
3. 循環器系人工臓器	133
■ 人工血管	133

- 人工心臓 133
- 人工肺 134

## 4

# 生体機能ソフト界面の設計

### 4. 1 スマート界面

1. 9000年前のバイオマテリアル界面 ..... 138
2. 表面極性の on-off スイッチ ..... 138
3. 蝶の羽の on-off スイッチ ..... 139
4. 刺激応答性ポリマーの on-off スイッチ機能 ..... 140
5. スマート化のダウンサイジング ..... 142

### 4. 2 バイオミメティック界面

1. 生体機能界面 ..... 142
2. 細胞膜界面(化学・生物学的) ..... 143
3. リン脂質ポリマー界面の特性 ..... 144
4. ポリエチレングリコール界面 ..... 145
5. 有機-無機ハイブリッド ..... 147

### 4. 3 細胞の挙動を操作する微視的培養力学場の設計

1. 細胞接着のメカノバイオロジー ..... 148
2. 弾性勾配界面設計による細胞メカノタクシスの誘導 ..... 150
3. 弾性マイクロパターン化界面設計による細胞機能操作 ..... 151

### 4. 4 リン脂質機能界面

1. 生体膜のモデルシステム ..... 153
2. 固体基板表面に固定化されたモデル生体膜 ..... 153
3. 支持型脂質平面膜のバイオマテリアルとしての特徴 ..... 154
4. 安定な脂質膜界面を創製する試み ..... 155

### 4. 5 糖鎖機能界面

1. 糖鎖界面の形成と基本的な性質 ..... 156
  - 糖鎖高分子を利用した基板表面の修飾 156
  - 糖鎖自己組織化膜の調製 156
  - 糖鎖固定化薄膜の基本的な生体機能 156
2. 糖鎖が認識する病原体や細胞 ..... 157
  - 糖鎖-タンパク質の相互作用と多価効果(糖クラスター効果) 157
  - 糖鎖が認識する病原体や細胞 157
3. 糖鎖とタンパク質の相互作用と病原体のセンシング ..... 158
4. 糖鎖マイクロアレイ ..... 159

## 4. 6 ペプチド機能界面

1. ペプチドに秘められたポテンシャル	160
2. ペプチド探索の実際	161
3. ペプチドの結合特性と界面構築	162
4. ペプチドのターゲットとしての合成高分子	163
5. 高分子結合性ペプチド	164

# 5

## バイオマテリアルの分子生物学による評価と設計

### 5. 1 分子生物学の基礎知識

1. 遺伝子工学の基礎	174
■ ヒト遺伝子の機能	174
■ ヒト遺伝子の構造	175
■ 遺伝子発現のしくみ	176
■ 遺伝子発現の測定	177
2. 細胞工学の基礎	178
3. 生物学的評価技術の基礎	178
4. タンパク質工学の基礎	179
5. 糖鎖工学の基礎	179

### 5. 2 バイオマテリアルの安全性評価

1. 生体と材料の相互作用	180
2. 生体安全性評価	181
3. 生体適合性評価	181
■ 細胞とバイオマテリアルの相互作用	182
■ 分子生物学的手法による生体適合性評価	183

### 5. 3 バイオマテリアルの生物学的評価技術

1. 細胞接着とシグナル伝達に用いる評価法	184
2. ターゲット細胞の遺伝子発現の評価法	186
3. 細胞の応答	187
■ 細胞死(細胞障害性)	187
■ 細胞増殖と遊走	188
■ 分化	188
4. 組織学と顕微鏡	189
■ バイオマテリアルの <i>in vivo</i> 評価	189
■ バイオマテリアルの安全性と有効性	189
■ 組織学と顕微鏡	190
5. 生体イメージング	193

## 5. 4 タンパク質工学を用いたバイオマテリアルの設計

1. 生物を利用した人工タンパク質の合成	199
2. 人工タンパク質のデザイン	200
3. 人工タンパク質の固定化	200
4. タンパク質性基材とポリペプチドの複合化	201
5. 材料へのポリペプチドの担持	202

## 5. 5 組換えタンパク質の発現と糖鎖修飾

1. 組換えタンパク質の発現	203
2. 翻訳後修飾と糖鎖修飾	205
■ 糖鎖の種類	205
■ 糖鎖の生合成	205
■ 糖鎖の役割	206
3. 組換えタンパク質の糖鎖修飾と機能	207
■ エリスロポエチン	207
■ 抗体医薬(イムノグロブリン)	208

# 6

## 再生医療とバイオマテリアル

### 6. 1 幹細胞と再生医療

1. ES 細胞	214
2. iPS 細胞	217
3. 体性幹細胞	217
4. 幹細胞のためのバイオマテリアル	219

### 6. 2 バイオマテリアルとしての細胞

1. 神経細胞	220
2. 血液細胞	223
3. 肝細胞	228
4. 膵細胞	231
5. 骨芽細胞	233
6. 心筋細胞	236
7. 口腔粘膜上皮細胞	240

### 6. 3 再生医療に必要なバイオマテリアル

1. 足場材料	242
2. 細胞成長因子	245

索引(和文索引, 欧文索引)	253
----------------	-----

## 本書の執筆分担一覧

### ● INTRODUCTION

#### 1 金属系バイオマテリアル

- 1.1 金属系バイオマテリアル概観
- 1.2 金属系バイオマテリアルの種類と性質
  1. ステンレス鋼
  2. コバルトクロム合金
  3. チタンとチタン合金
  4. 形状記憶と超弾性合金
  5. 貴金属合金
  6. その他の合金
- 1.3 金属系バイオマテリアルの内部構造と力学的性質
- 1.4 金属系バイオマテリアルの表面と耐食性
- 1.5 金属系バイオマテリアルの表面処理

#### 2 セラミックス系バイオマテリアル

- 2.1 セラミックス系バイオマテリアルの特徴と種類
- 2.2 セラミックス系バイオマテリアルの合成
- 2.3 セラミックスの構造解析
- 2.4 セラミックスの物性
- 2.5 セラミックス系バイオマテリアルの臨床応用の評価

#### 3 ポリマー系バイオマテリアル

- 3.1 ポリマー系バイオマテリアルの生体に学ぶ分子設計
- 3.2 ポリマー系バイオマテリアルの合成
- 3.3 ポリマーの化学構造の解析
- 3.4 バルクと表面解析の基礎
- 3.5 ポリマー系バイオマテリアルの臨床応用

#### 4 生体機能ソフト界面の設計

- 4.1 スマート界面
- 4.2 バイオミメティック界面
- 4.3 細胞の挙動を操作する微視的培養力学場の設計
- 4.4 リン脂質機能界面
- 4.5 糖鎖機能界面
- 4.6 ペプチド機能界面

#### 5 バイオマテリアルの分子生物学による評価と設計

- 5.1 分子生物学の基礎知識
- 5.2 バイオマテリアルの安全性評価
- 5.3 バイオマテリアルの生物学的評価技術
  1. 細胞接着とシグナル伝達に用いる評価法
  2. ターゲット細胞の遺伝子発現の評価法
  3. 細胞の応答
  4. 組織学と顕微鏡
  5. 生体イメージング
- 5.4 タンパク質工学を用いたバイオマテリアルの設計
- 5.5 組換えタンパク質の発現と糖鎖修飾

#### 6 再生医療とバイオマテリアル

- 6.1 幹細胞と再生医療
- 6.2 バイオマテリアルとしての細胞
  1. 神経細胞
  2. 血液細胞
  3. 肝細胞
  4. 膵細胞
  5. 骨芽細胞
  6. 心筋細胞
  7. 口腔粘膜上皮細胞
- 6.3 再生医療に必要なバイオマテリアル
  1. 足場材料
  2. 細胞成長因子

石原一彦  
塙 隆夫  
塙 隆夫

黒田大介  
千葉晶彦  
成島尚之  
細田秀樹  
高田雄京  
中野貴由  
中野貴由  
高田雄京  
成島尚之  
大槻主税  
川下将一・上高原理暢

宮崎敏樹・大槻主税  
早川 聡・都留寛治  
尾坂明義・石川邦夫  
池田潤二・平山泰彦  
前田瑞夫  
岩崎泰彦  
大矢裕一  
菊池明彦  
青柳隆夫  
西村隆雄  
岩崎泰彦  
荏原充宏  
金野智浩・吉本敬太郎

木戸秋 悟  
森垣憲一  
三浦佳子  
芹澤 武・松野寿生  
谷口彰良  
谷口彰良  
岸田晶夫

永井亜希子

竹内涼平・清水達也

加藤功一  
桧貝孝慈・松本宏治郎  
菊池明彦  
伊藤嘉浩

田中 賢  
山岡哲二・江橋 具  
中澤浩二  
寺村裕治  
位高啓史  
関谷佐智子・清水達也  
大和雅之・近藤 誠

藤本啓二・貝原祥子  
大和雅之・小保方晴子

(太字の氏名は編集幹事)

# INTRODUCTION

医療デバイスの開発はその歴史的背景を考えると、きわめて実学に近い分野でなされてきている。本来ならば、医療デバイスに求められる要求性能、特性を十分に考慮して、使用するマテリアルの選択がなされるべきである。高齢社会の医療を支えるために、医療の質を高め、先端医療や低侵襲医療、あるいは予防医療の確立を目指すならば、最適なバイオマテリアルの創製が強く求められる。このことを考えたときに、バイオマテリアルに関連した学問領域が未成熟であることに気付くであろう。すなわち、バイオマテリアル科学の創成こそがこれらの課題を解決するために不可欠である。ここでは、学問融合領域としてのバイオマテリアル科学の創成を考えてみよう。

バイオマテリアル創製の最終目的は、人の健康を守り楽しい人生を送れるように支援する医療に、安全で、効果的な医療デバイスを提供することである。そのためには多くの過程が存在する。バイオマテリアル科学の創成から、医療デバイスの開発、臨床応用までの道筋を図1に示した。新しいバイオマテリアルが設計され、創出されるまでに、多岐にわたる情報の整理がなされなければならない。また、これらの情報を各分野にフィードバックしていくことも重要である。このような情報のキャッチボールがなされ、さらに融合していく過

程で、バイオマテリアル科学が創成される。また、これを支える周辺学問領域も同時に成熟し、より高いレベルの情報を発信できるのである。

基礎医学や生物学は、バイオマテリアルが使用される環境において、対象となる生体側の反応を理解するうえで重要な学問領域である。最近のこの分野の発展は、たんに材料表面における生体反応の現象を観察するだけではなく、タンパク質や遺伝子のレベルで分子論的に解明できるようになってきた。たとえば、異物反応を示すか示さないかは、これまで動物に埋入し、組織を経時的に観察することでなされてきたが、細胞を利用した遺伝子解析において、この反応を推定できるようになりつつある。そう考えるとこれまで使われてきた“生体適合性”という言葉の意味がかなり変わってくるであろう。“生体適合性”は定量的でなくきわめて曖昧であったが、これからはバイオマテリアルの満たすべきスペックを提案するうえでも定量的に考えることが求められる。すなわち、使用する部位や時間などの環境を厳密に定義し、それに応じた評価が求められる。このような指針を掲げた際には、分子論的な評価がより大きな意味合いを持つであろう。特に、これからの組織再生医療に利用する細胞ソースについては、このような観点からの評価が求められるに違いない。

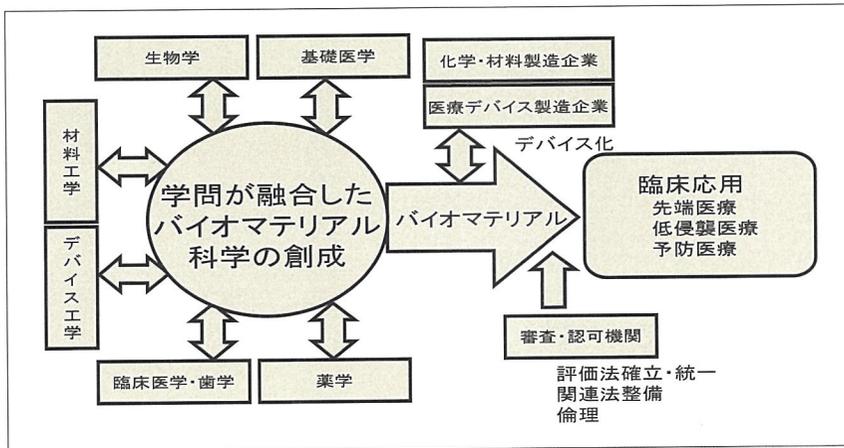


図1 関連分野の融合によるバイオマテリアル科学の創成と波及効果

一方、出口側に近い臨床医学・歯学あるいは薬学の分野からの情報提供は、バイオマテリアル研究の目標やつくりあげるマテリアルのスペックを決定するにあたって不可欠であるばかりでなく、実際に臨床の現場で使用される医療デバイスの創製に臨床医の視点からの要求を入れるためにも重要である。特に、臨床現場における医療デバイスの使用感は、マテリアルベースで変化することも多いであろう。また、患者に接し治療する時間や手間なども考えて、それに適応できるバイオマテリアルの創出も必要であろう。臨床の現場に携わる方にも、バイオマテリアル科学の理解を求めたい。実際にどのような生体反応が生じる可能性があるか？ 医薬品とのマッチングはよいのか？さらには、体調が変化していった際には、どのような反応が予期されるのか？ などの疑問に答えるべく、バイオマテリアル科学が存在意義を持つといえよう。

これらの基盤、応用学術分野を踏まえて、材料工学やデバイス工学からのバイオマテリアル科学への貢献は、重要な位置を占めることはいうまでもない。材料工学は金属や無機材料の長い歴史を振りかえるまでもなく、機械的強度や加工精度などが重要な要素として掲げられてきた。確かに、構造材料としての特性は、バイオマテリアルとして応用する際も同様である。長期埋め込み医療デバイスは、故障したり、機能が著しく低下したりしても簡単に入れ替えることが出来ない。また、

マテリアルの劣化自体が生命の危機を招くことも考えられる。したがって、これらの対応は常に考慮されるべき問題である。

生体環境は比較的穏やかであるとの見方もあるが、実はマテリアルにとってはかなり厳しい環境であることを忘れてはならない。事実、金属ではイオンの溶出、セラミックスでは溶解などが問題としてあげられており、生体に対してアレルギーを引き起こす危険性も示唆されている。ポリマーでも、長期埋め込みによる生体反応の惹起はよく理解しなければならない。表面の官能基構造のわずかな違いが、生体分子や細胞により増幅されて、極端に異なる反応を示す場合がある。一般的な医療デバイスは、単一のマテリアルで製造されることはまれで、いくつかのマテリアルを複合化して利用している。生体とのマッチングとマテリアル間のマッチングの双方を同時に考えることも重要である。

バイオマテリアルの設計は、生体に対してなじむけれども特異的な反応を誘起させない特性の付与が大きな目的となっていた。これに対して、最近のマテリアルに求められる性質に、生体に対して積極的に働きかけることがあげられ、特に整形外科領域や循環器領域での組織再生の促進に結実させている。組織再生医療では、マテリアルと細胞との関係をより積極的に捉える方向で研究がなされている。多角的な視点でのバイオマテリアル設計が今後望まれるであろう。

これらのさまざまな歴史を持つ材料工学間の連携・融合は、バイオマテリアル科学の創成には不可欠であり、互いにその長所を生かしながら、欠点を補い十分な医療機能性を発現するようにならなければならない。バイオマテリアル科学の創成には電気・電子、機械など他の工学分野の融合も求められる。これは、デバイス工学として展開されてきており、最適なマテリアルを利用したデバイスの設計、逆に医療機能性の高いデバイス創製のためのマテリアル設計につながる。

学問の融合は、異なった分野へのチャレンジであり多くのエネルギーを必用とするであろう。しかしながら、基盤となる学問を持ちながらも、まったく新しい学問領域を開拓していくことの楽しみもあることを理解していただきたい。これにより、医療や先端バイオ関連分野に有用なバイオマテリアル創製につながる。

もちろん、基礎評価ですぐれた特性を示すバイオマテリアルを大量に安定供給できるようにする

ためには、化学・材料の各メーカー企業の協力がなくてはならない。また、医療デバイスメーカーがデバイスを製造することも必要である。さらに、医療デバイスの安全性や医療機能性を審査し、臨床使用を認可する機関の役割も大切であることはいうまでもない。これらの情報のインターフェイスとしてもバイオマテリアル科学の存在意義は大きい。したがって、ぜひとも多くの情報を取得するとともに、情報を発信していただきたい。

本書は、さまざまな分野で育ってきた研究者、開発担当者がともに理解できるようにバイオマテリアル科学の基礎・基盤情報を共有し、それぞれの分野からの視点とバイオマテリアル科学への理解を併せて持つために企画されている。わが国はもとよりグローバルな視野より、新規な医療デバイス創製と革新医療の創出により、健康維持に貢献し、楽しい社会が構築できるようになれば幸いである。

