

医療に活かす生体医工学

日本生体医工学会 編

コロナ社

本文中で太字となっている用語（索引にも掲載）については、下記、Web ページにある「**生体医工学ウェブ辞典**」とリンクする予定です。

<https://cyclopedia.jsmbe.org/>

ぜひ、こちらもご活用いただき理解を深めてください。

編著者・執筆者一覧

編著者

平田 雅之（大阪大学）：13 章

執筆者（執筆順）

齋藤 充弘（大阪大学），紀ノ岡正博（大阪大学）：1 章

和田 成生（大阪大学），伊井 仁志（東京都立大学），大谷 智仁（大阪大学），

武石 直樹（大阪大学）：2 章

橋爪 誠（北九州古賀病院，九州大学名誉教授）：3 章

大城 理（大阪大学）：4 章

岡山 慶太（大阪大学），坂田 泰史（大阪大学）：5 章

河野 喬仁（九州大学），村田 正治（九州大学）：6 章

佐久間一郎（東京大学）：7，15 章

篠原 一彦（東京工科大学）：8 章

江藤 正俊（九州大学），小林 聡（九州大学），牟田口 淳（九州大学），

今田憲二郎（総合せき損センター）：9 章

家入 里志（鹿児島大学），山田 耕嗣（鹿児島大学），大西 峻（鹿児島

大学）：10 章

山家 智之（東北大学）：11 章

不二門 尚（大阪大学）：12 章

松村 泰志（大阪大学）：14 章

野村 泰伸（大阪大学）：16 章

推薦のことば

本書『医療に活かす生体医工学』は、日本生体医工学会医学科 ME 教育 WG がコンセプトを着想し出版したもので、実地医療における生体医工学および生体医工学技術の活用に興味のある方、勉強してみたい方、そして、医療現場で活躍されていて現況の医療技術をさらによくしたいと思っている方、関連の開発研究に携わっている方、あるいは携わっていくことを考えている方々にぜひ読んでいただきたいと思います。

本書では、生体医工学および医療工学における先進的な分野がトピックとして取り上げられており、すでに実用化され、さらなる進化の道を歩んでいる医療工学技術、あるいは実用を見据えての開発が進められている先端医工学技術、さらには医工学技術を適切に推進させるための工学的基礎・評価システムなども紹介されていて、近い将来には、普遍的な医療技術として定着していくであろうトピックが満載されています。

各分野の斯界の雄による執筆ですので、読んで理解しやすく、過去から現在に至る道筋と今後の開発・進展における重要性などが隈なく記載されていると同時に、特筆すべき試みとしての「生体医工学ウェブ辞典」も、読者の皆さまの理解を促進する仕掛けとなっていて、読んでいてわからないところはすぐに調べて解決することができます。

本書を読むことで、生体医工学が実地医学においてどのように活用されているかを知ることができます。見方を変えると、医療技術として現状でできていることや現状でできていないことがわかります。これはとても重要なことで、限界点を正確に知ることは次世代技術への開発に向けての鍵となるからです。そのような「気付き」、すなわち次世代の医学・医療技術の開発に必要なヒントを本書では至るところで見つけることができますと思います。読者の皆さまにはそこを糸口それぞれの立場から、つぎなる飛翔への道筋を思い描いていただけたら、これ以上の喜びはございません。

最後に、このようなユニークな書を世に出していただいた執筆者および関係者の皆さまにはあらためて敬意を表するとともに、日本生体医工学会を代表して厚くお礼申し上げます。

2020年9月

公益社団法人日本生体医工学会 理事長
守本 祐司 (防衛医科大学校生理学講座)

ま え が き

本書は、医学生、高等教育機関における医工学専攻科、および工学部の学生を対象として、生体医工学がどう医療に活かされているのか、その最新の研究開発、実用化の状況を紹介する目的で、日本生体医工学会が公式のテキストとして企画、執筆いたしました。医学生には、生体医工学に興味をもち、将来自分の研究専門分野にしたいと思えるような内容を心掛けるとともに、高等教育機関における医工学専攻科、および工学部の学生には、生体医工学が臨床医学にどう応用されているのか、興味をもって読めることを目指しました。このコンセプトを実現するために、本書では写真や図をふんだんに使って、生体医工学において、現在注目されている最先端の医療応用分野をわかりやすく解説することにより、生体医工学に興味をもてる内容となるよう留意いたしました。

医学生が他領域の基礎的、専門的な内容に消化不良を起こして興味を失うことのないよう、本書では数式や理論を中心とした基礎的、専門的な内容に関しては解説を省いております。一方、生体信号の計測、解析、制御など、生体医工学の基礎分野の習得も重要です。したがって、本書に記載されている内容に関して、どんな基礎学問がどこにどう必要なのか、その必要性と意義についてわかりやすく理解できるよう、基礎領域の重要用語に関しては「生体医工学ウェブ辞典」とリンクして随時基礎領域の習得ができるよう工夫いたしました。

本書により、生体医工学が、関係する省庁や企業において医工学領域の学問が中心となって、生物学や理学など他分野との複合領域を形成し、今後の医学、医療の発展、ならびにライフサイエンス全般における基幹産業の根幹をなすものであることについて、読者が理解を深め、将来この領域の発展に貢献することを期待いたします。

最後に、ご多忙の中、心よくご執筆をお引き受けいただきました日本生体医工学会の諸先生に厚く御礼を申し上げます。

2020年9月

公益社団法人日本生体医工学会 医学科 ME 教育 WG 委員長

平田 雅之（大阪大学大学院医学系研究科脳機能診断再建学）

目 次

1 章 再 生 医 療

1.1 再生医療と組織工学（ティッシュエンジニアリング）	2
1.2 再生医療に用いる細胞	3
1.2.1 多能性幹細胞	3
1.2.2 間葉系幹細胞	5
1.3 細胞培養の特徴	5
1.4 細胞製造の考え方	7
1.5 おわりに	9
引用・参考文献	10

2 章 生体力学シミュレーション

2.1 計算モデルと解析手法	12
2.2 個別化医療支援に向けた生体力学シミュレーション	13
2.2.1 4次元CT画像データに基づく左心房内血流解析	13
2.2.2 脳動脈瘤治療支援のための計算力学シミュレーション	15
2.2.3 血流のマルチスケールおよびマルチフィジックスシミュレーション	17
2.2.4 全脳血液循環シミュレーション	19
引用・参考文献	22

3 章 多元計算解剖学：人体を総合的に理解する

3.1 新学術領域「多元計算解剖学」の確立	25
3.1.1 新学術領域としての目的	25
3.1.2 多元計算解剖学の概念	27
3.1.3 多元計算解剖学の四つの軸と多元化	29
3.1.4 生命理論の基盤構築	31

3.1.5 解決すべき学術的課題	35
3.1.6 国内外の計算モデルを用いた研究	39
3.2 将来への展開	41
3.2.1 自然科学への展開	41
3.2.2 人材育成	42
3.3 おわりに	43
引用・参考文献	44

4章 医療機器

4.1 数値提供型生体計測機器	45
4.2 画像提供型生体計測機器	49
引用・参考文献	53

5章 インターベンション

5.1 心臓カテーテルの歴史	56
5.2 インターベンションの歴史	58
5.3 冠動脈インターベンションの歴史	59
5.4 バルーンからステントへ	61
5.5 DES（薬剤溶出性ステント）の時代へ	62
5.6 post stent の時代へ	63
5.7 インターベンションにおける imaging modality	65
5.8 冠動脈インターベンションから心血管インターベンションへ	67
5.9 インターベンシオナリストのためのトレーニング	68
5.10 おわりに	69
引用・参考文献	70

6章 ドラッグデリバリーシステム

6.1 生体適合性	73
-----------------	----

6.2 ナノ粒子を用いたドラッグデリバリーシステム	75
6.3 ターゲティングシステム	76
6.4 外部刺激を組み合わせたターゲティングシステム	77
引用・参考文献	80

7章 手術ナビゲーションシステム

7.1 手術ナビゲーションとは	83
7.2 手術ナビゲーションのための技術	83
7.2.1 手術ナビゲーションに必要となる一般的処理	83
7.2.2 手術ナビゲーションに求められる医用画像処理技術	84
7.2.3 3次元位置姿勢計測技術	86
7.2.4 剛体レジストレーションと非剛体レジストレーション	88
7.3 手術ナビゲーションシステムの利用形態	89
7.4 手術ナビゲーション技術の展開	91
引用・参考文献	91

8章 内視鏡手術（消化器）

8.1 内視鏡外科手術の歴史と概要	94
8.2 内視鏡外科手術支援工学の発展と課題	96
8.3 内視鏡外科手術による外科臨床の変化と課題	98
8.4 内視鏡外科手術の教育と人間工学的課題	99
8.5 おわりに	100
引用・参考文献	101

9章 内視鏡手術（泌尿器）

9.1 経尿道的尿管碎石術 f-TUL	103
9.2 経尿道的切除術：TUR とレーザー治療	107
9.2.1 TUR 手術の概要	108
9.2.2 TUR の原理	109

9.2.3 レーザを用いた経尿道前立腺手術	111
9.3 腹腔鏡手術	112
9.3.1 腹腔鏡手術の概要	113
9.3.2 腹腔鏡手術に必要な機器	114
9.3.3 腹腔鏡手術の利点と欠点	115
9.3.4 根治的腎摘除術	116
9.3.5 副腎摘除術	117
9.4 おわりに	117
引用・参考文献	118

10章 ロボット手術

10.1 手術支援ロボット da Vinci®	120
10.2 術式の拡大	121
10.3 外科疾患に対するツールとしての手術支援ロボット	122
10.4 内視鏡外科手術適応拡大に対するメリット	123
10.5 高難易度手術に対するメリット	124
10.6 医療機器承認後から保険収載まで	125
10.7 今後の手術支援ロボットの開発	126
10.8 おわりに	128
引用・参考文献	129

11章 人工臓器

11.1 各種人工臓器	130
11.2 人工心臓と補助循環	131
11.2.1 大動脈内バルーンポンピング	132
11.2.2 ECMO	133
11.2.3 人工心臓	134
11.3 人工腎臓	138
11.4 人工食道	140
11.5 人工括約筋	142

11.6 ナノテク人工心筋	144
11.7 おわりに	146
引用・参考文献	147

12章 埋植型電子機器

12.1 人工内耳	149
12.2 人工視覚	150
12.2.1 網膜の構造	150
12.2.2 人工視覚システムの構成	151
12.2.3 人工視覚で知覚される映像	152
12.2.4 人工視覚システムの種類	153
12.3 人工網膜の課題	157
12.4 おわりに	157
引用・参考文献	157

13章 体内埋込み型ブレインマシンインタフェース

13.1 刺入針電極型と脳表電極型	160
13.2 脳情報の解読と制御皮質脳波を用いた運動内容の解読と制御	161
13.2.1 脳情報の効率的抽出	162
13.2.2 重症 ALS 患者に対する皮質脳波を用いた BMI の臨床研究	163
13.3 工学技術と医学応用の関連	167
引用・参考文献	168

14章 医療情報システム：電子カルテによる データ収集から人工知能応用へ

14.1 医療データ収集の必要性	172
14.2 医療データの電子化の経緯	173
14.3 医療の評価のためのデータ収集	174
14.3.1 テンプレートによる構造化データ登録	175
14.3.2 自然言語処理による非構造化データの構造化データへの変換	175

14.3.3	分析用のデータベース（データウェアハウス）の構築	178
14.4	多施設での横断的なデータの収集	179
14.5	個人を軸とする縦断的なデータの収集	182
14.6	人工知能（AI）の医療への応用	183
14.7	おわりに	185
	引用・参考文献	186

15章 医療機器審査に関わる医療機器評価の考え方

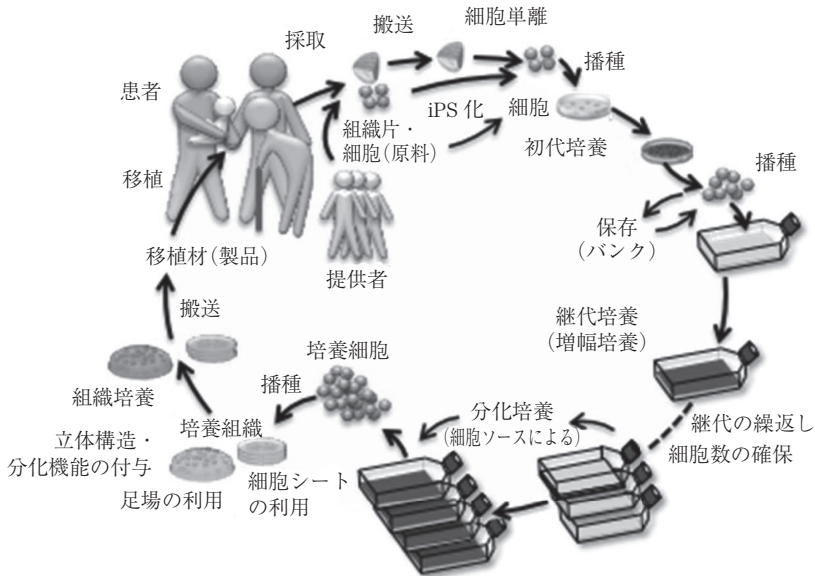
15.1	医療機器承認要件とは	187
15.2	医療機器のリスク分類と規制	188
15.3	医療機器の評価に関する考察	190
15.3.1	医療機器の性能評価において重要な視点	190
15.3.2	GLP, GCP, GMP：医療機器安全規格はなぜあるのか	191
15.3.3	医療機器の効果に関する明確化の重要性	192
15.3.4	リスクマネジメントの重要性と進め方	192
15.3.5	非劣勢という考え方	194
15.3.6	市販後調査の重要性	195
15.4	おわりに	196
	引用・参考文献	196

16章 工学的基礎

16.1	静的システムと動的システム	199
16.2	線形システムと非線形システム	201
16.3	フーリエ解析：時間軸と周波数軸	202
16.4	フィードバック制御とフィードフォワード制御	204
16.5	生体システムの確率的振る舞い	208
	引用・参考文献	209

索 引		211
-----	--	-----

1 再生医療



再生医療とは、失われた器官、臓器を再生することを目的とした治療であり、これまでの医療概念を根底から変革する「根治治療」への道を拓くことが期待されている。再生医療では、従来の医療とは異なり、細胞を体外で増幅、分化させ、必要ならば、立体的構造を有する組織化を経て、得られた培養細胞、組織を、患者疾患部へ移植し治療を行うことが多い。さらに、近年の**胚性幹細胞** (embryonic stem cells, **ES 細胞**) や**人工多能性幹細胞** (induced pluripotent stem cells, **iPS 細胞**) をはじめとする幹細胞の研究開発の進展が、その可能性をいっそう高めており、再生医療における新たな培養技術の開発が活発に行われている。本章では、再生医療に用いる細胞と、その細胞または組織の製造に関する考え方、および培養工学の観点から特徴を解説する。

1.1 再生医療と組織工学（ティッシュエンジニアリング）

人工臓器の発展は、工学技術の発展とともに目覚ましい進歩を遂げ、20世紀後半の医療を大きく変えた。実際に、人工腎臓の進歩は腎不全患者のQOL (quality of life) 向上に貢献してきた。さらに、人工心肺は、心臓の手術を安全に遂行するために欠かせない装置となっている。発展著しい人工臓器ではあるが、あくまで身体機能の代替、補強のための装置、機器にとどまり、身体機能を一生涯代替可能で、また組織修復し、自己組織に置換するような人工臓器の開発までには至っていない。

このような状況のなか、1993年『Science』で、米国MITのLangerおよびハーバード大学のVacantiが**組織工学**（ティッシュエンジニアリング, tissue engineering）という概念を提唱した^{1)†}。彼らは、組織工学を、「生物学と工学を応用し、組織を修復しうる生物学的代替品を開発する研究分野」と定義した。つまり、生体から単離した細胞と、適切なスキャホールド（足場材料）、制御因子（増殖因子）とを組み合わせることで、新たな組織を構築するという考えである。この概念は、人工臓器を革新的に発展させるものとして、大きな期待を集めた。さらに組織工学は、発生生物学、幹細胞研究、遺伝子治療、ドラッグデリバリーシステム（drug delivery system, DDS）、バイオマテリアル（biomaterial, 生体材料）などの最先端技術の知見を取り込むことで、**再生医療**と呼ばれる、組織、器官の再生を統合的に目指す治療体系へと発展した。

先に述べたように、組織工学の重要な要素として① 単離した細胞、② スキャホールド（足場材料）、③ 制御因子（増殖因子）の3要素が挙げられる。初期の組織工学は、組織の形状に合わせて成形加工した生分解性高分子材料に細胞を播種し、体外培養系もしくは生体内で組織構造を再生させるというものであり、実際に皮膚、骨、軟骨などの作製が試みられ、比較的単純な組織構造

† 肩付き番号は、章末の引用・参考文献番号を表す。

と生理学的機能を再生することは可能となった。このように、骨、軟骨のような、細胞以外の成分（細胞外マトリックス）を豊富に含む組織を構築する手段として、初期の組織工学技術は非常に有効な手段であった。しかし、心臓、肝臓、腎臓のように、複雑な組織構造と生理学的機能、そして豊富な血管網を有し、細胞成分が主体の組織を構築するには、これまでの組織工学技術だけでは限界があるのも事実である。図 1.1 に再生医療と組織工学の関係を示す。

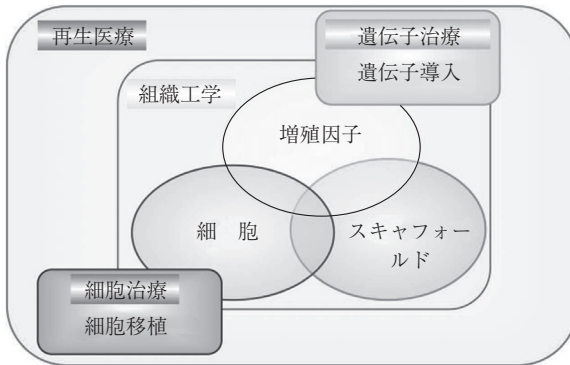


図 1.1 再生医療と組織工学の関係

1.2 再生医療に用いる細胞

1.2.1 多能性幹細胞

ヒトの体は 60 兆個もの細胞が、200 種類以上の異なる機能をもった細胞に分化することで、組織（皮膚、骨、筋肉など）や器官（胃、肝臓、膵臓など）を構成している。一般的に、高等動物の細胞において、分化は不可逆的であるが、受精卵だけは完全な分化万能性を有している。ES 細胞（胚性幹細胞）は、受精卵が分裂を繰り返して胚盤胞まで成長したときの内部細胞塊から単離、培養された細胞で、ES 細胞もまた**分化万能性**を有している²⁾。

ES 細胞は、上述のように分化万能性と増殖性を併せもっていることから、適切に分化誘導すれば、目的とする細胞、組織、器官を作り出すことも可能と

4 1. 再生医療

なり、さまざまな治療への応用が期待されている。一方で、ヒト ES 細胞を用いる場合の倫理的問題は避けて通れない。つまり、ES 細胞を樹立する際、生命の萌芽である受精卵を破壊することが必須のため、わが国も含めヒト ES 細胞を用いた研究には多くの規制を設けている国もある。

ES 細胞の潜在的問題点を解決する目的で、京都大学の山中伸弥らのグループは、ES 細胞の分化万能性維持に重要な働きをもつ 24 因子に注目し、その中から Oct3/4, Sox2, Klf4, c-Myc の 4 因子を細胞に導入することで、ES 細胞に類似した iPS 細胞（人工多能性幹細胞）を樹立することに成功³⁾し（**図 1.2**）、2004 年にノーベル医学生理学賞を受賞している。

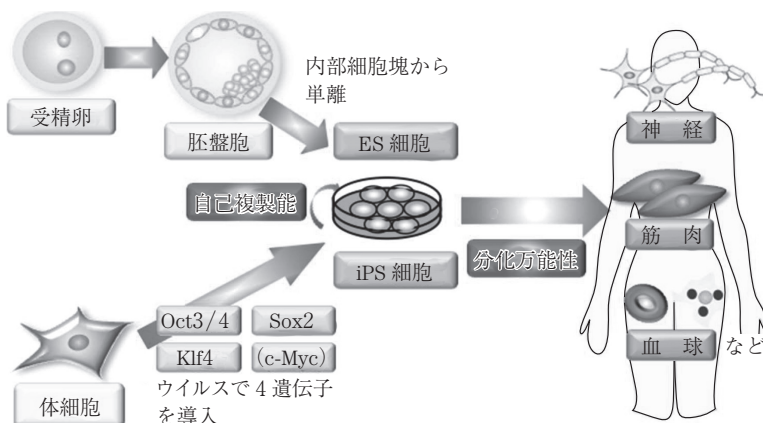


図 1.2 ES 細胞, iPS 細胞と再生医療

iPS 細胞の樹立によって、倫理的問題を排除した万能細胞を獲得する手段を得たことの意義は非常に大きく、再生医療の実現に向けた大きな進歩である。さらに、iPS 細胞は、再生医療への応用のみならず、患者自身の細胞から iPS 細胞を作製し、その iPS 細胞を特定の細胞へ分化誘導することで、従来は採取や培養が困難であった組織の細胞を得ることが可能となる。そして、治療法が確立していない疾患に対して、その病因や発症のメカニズムを解明するために、患者自身の細胞を用いて研究を行うことができ、まったく新しい手法で医学研究を進めることができる可能性をもっている。

1.2.2 間葉系幹細胞

間葉系幹細胞は、中胚葉性組織に起源をもつ体性幹細胞の一種で、骨髄や脂肪、^{さいたい}臍帯血などに多く存在している。採取する組織によってその性質が異なると言われている。今日の細胞移植治療において最も注目され、心筋細胞ほか多彩な細胞に分化することが期待されている。しかしながら、幹細胞である定義付けが確立されておらず、その名称に関しても“mesenchymal stem cell”, “marrow stromal cell” など多彩である。ES 細胞と同様な特徴をもつこの細胞は、患者から採取（自家細胞移植治療）が可能であることから理想的な細胞と考えられている。

間葉系幹細胞のもう一つの特徴として、生体内に投与すると組織傷害部位に集積して免疫抑制作用を示すことが知られている。この機能を臨床応用し、移植片対宿主病（graft versus host disease, GVHD）の治療に応用され、JCR ファーマ社より「テムセル[®]HS 注」として上市[†]されている⁴⁾。

1.3 細胞培養の特徴⁵⁾

iPS 細胞や間葉系幹細胞など、動物細胞の場合、生体から取り出されて初代培養により得た細胞を**初代培養細胞**という。初代培養細胞は、生体内での細胞の性質が比較的よく保たれているが、細胞の純度、性質などが元の生物の状態や実験条件に左右されるため、均一な条件を整えることが困難である。この正常細胞を、長期間にわたって継代することにより、体外で維持され、一定の安定した性質をもつに至った細胞を**株化細胞**と呼ぶ。腫瘍細胞も含め株化細胞を対象とした**継代培養**は、細胞特性を維持しつつ増幅させることを目的とする。一方、細胞治療、再生医療への適用を目指す細胞は、株化されていない細胞、いわゆる初代培養細胞であり、継代培養中に、細胞の純度、性質などが変化することが知られており、移植材としての質を管理することも重要であると考え

† 新薬を製品として市場に出す（市販する）こと。製薬業界の業界用語。

索引

【あ】	冠動脈バイパス術	56	サポートベクターマシン	161
アクティブターゲティング	間葉系幹細胞	5	【し】	
	【き】		視 覚	148
アナログ集積化アンプ	機械学習	159, 161	時間軸	29
アナログ信号	義 手	162	視細胞	148
安全性	機能軸	30	システム同定	209
【い】	境界条件	13	市販後調査	195
位相コントラスト MRI	局所集合電位	160	シミュレーション	12
イメージベーストシミュレーション	虚血性心疾患	56	集中定数モデル	12
医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律	【く】		周波数帯域	149
医療機器	空間軸	30	手術支援ロボット	119
医療機器承認	【け】		手術ナビゲーション	82
医療情報システム	経カテーテル的大動脈弁置換術 (TAVI)	67	手術用ロボット	96
【う】	計 測	198	受動計測	45
ウェアラブル化	継代培養	5	受容野	157
埋込み境界法	血液透析	140	上工程 (上流工程)	7
【か】	血管カテーテル	15	承認審査	187
概日リズム	血管造影	20	初代培養細胞	5
カオス	血管内視鏡	65	人工括約筋	142
拡張現実	血管内超音波 (IVUS)	65	人工視覚	148
拡張現実感技術	血 栓	16	人工食道	140
下工程 (下流工程)	血中滞留性	73	信号処理	46
画像処理	【こ】		人工心筋	144
活動電位	抗血小板薬 2 剤併用療法	63	人工心臓	130, 131
カテーテル	格子ボルツマン法	12	人工腎臓	138
カテーテルアブレーション	剛体レジストレーション	88	人工心肺システム	133
	高分子ミセル	75	人工多能性幹細胞	1
	根治的腎摘除術	113	人工知能	11, 32, 127, 161, 171
	コントロールドリリリース	72	人工透析	140
株化細胞	【さ】		人工内耳	148
桿 体	再生医療	2	人工網膜	148
冠動脈形成術	座標変換	86	心室細動	202
冠動脈造影			心臓カテーテルシミュレータ	68
			心臓不整脈	202
			心電図同期	13

- | | | | | | |
|---------------|-----|---------------|----------|--------------|--------|
| 心不全 | 56 | ディープラーニング | 32, 128 | 非剛体レジストレーション | |
| 信頼性 | 188 | 低侵襲 | 67 | 皮質脳波 | 88 |
| 診療報酬 | 119 | デコーダ | 151 | 非ニュートン性 | 160 |
| 診療報酬点数 | 125 | デコード | 151 | 標的指向性 | 19 |
| 【す】 | | データウェアハウス | 171 | 病理軸 | 73 |
| 数理統計学 | 25 | 電気回路 | 167 | 非劣勢 | 30 |
| 頭蓋内電極 | 160 | 電子カルテ | 172 | | 194 |
| ステルス性 | 77 | 電子カルテシステム | 171 | 【ふ】 | |
| ステント | 61 | 【と】 | | フィジオーム | 29 |
| 【せ】 | | 動的システム | 199 | 腹腔鏡手術 | 112 |
| 制御 | 198 | 動脈硬化 | 54 | 副腎摘除術 | 113 |
| 生体計測機器 | 45 | 独立行政法人医薬品医療機器 | | 腹膜透析 (CAPD) | 140 |
| 生体適合性 | 72 | 総合機構 | 189 | フーリエ変換 | 167 |
| 生物医学統計 | 172 | 独立成分分析 | 162 | ブレインマシンインタフェ | |
| セグメンテーション | 84 | ドラッグデリバリーシステム | 72 | ス | 159 |
| せん断速度 | 16 | トレーニング | 119 | 分化万能性 | 3 |
| 全置換型人工心臓 | 134 | 【な行】 | | 分布定数モデル | 12 |
| 先天性心疾患 | 55 | 内視鏡 | 104 | 【へ】 | |
| 【そ】 | | 内視鏡外科手術 | 93, 119 | 平衡方程式 | 12 |
| 組織工学 | 2 | ナノテク人工心筋 | 145 | 閉塞性動脈硬化症 | 58 |
| 【た】 | | ナノ粒子 | 73 | 並列計算 | 21 |
| 大動脈内バルーンポンピング | | ナビエ-ストークスの式 | 12 | 弁膜症 | 55 |
| | 132 | 尿管結石 | 103 | 【ほ】 | |
| 体内埋込み装置 | 165 | 脳循環 | 19 | 保険収載 | 123 |
| ダイナミクス | 202 | 能動計測 | 45 | 補助循環 | 131 |
| 大脳皮質視覚領 | 150 | 脳波 | 160, 167 | 補助人工心臓 | 135 |
| ターゲティング | 72 | 【は】 | | ポリエチレングリコール | 74 |
| 多元計算解剖学 | 25 | バイオメカニクス | 12 | ホルミウムレーザ | 103 |
| 多元計算解剖モデル | 25 | 胚性幹細胞 | 1 | 【ま行】 | |
| 多孔質体モデル | 16 | 排便をコントロールするため | | 膜型酸素化装置 | 133 |
| 【ち】 | | の「人工括約筋」 | 143 | マスタスレーブ型 | 120 |
| 遅発性血栓症 | 62 | 白色ガウス雑音 | 208 | 無菌環境 | 6 |
| 超音波ドップラー | 13 | パッシブターゲティング | 77 | 網膜 | 150 |
| 聴覚 | 148 | バルーンカテーテル | 59 | 【や行】 | |
| 【て】 | | パワースペクトル | 209 | 薬剤溶出性ステント | 62 |
| ティッシュエンジニアリング | | 反応速度論 | 208 | 有限差分法 | 12 |
| | 2 | 【ひ】 | | 有限体積法 | 12 |
| | | 光干渉断層法 | 65 | 有限要素法 | 12, 89 |

有効性 188	リードレスペースメーカー 67	レベルセット法 13
有毛細胞 148	リポソーム 75	連続体力学 12
ユーザインタフェース 48	リミットサイクル振動 202	連続の式 12
【り】	粒子法 12	【わ】
リスクアセスメント 192	リン脂質 74	ワイヤ駆動 120
リスク分類 188	臨床試験 190	ワイヤレスデータ通信回路 165
リスクベネフィットバランス 187	【れ】	
リスクマネジメント 192	レーザ 108	
立体内視鏡 97	レジストレーション 85	

AI 11, 127, 171	GMP (good manufacturing practice) 191	PCPS (percutaneous cardiopulmonary support system) 133
balloon angioplasty 59	IABP (intra-aortic balloon pumping) 132	PEG 74
BMI (brain-machine interface) 159	ICA (independent component analysis) 162	PHR (personal health record) 171
BRS (bioresorbable vascular scaffold) 64	IEC (International Electrotechnical Commission) 191	physiome 29
CABG 56	iPS 細胞 1	precision medicine 171
computer vision 88	ISO (International Standard Organization) 191	renal denervation 68
da Vinci 119	JIS (Japanese Industrial Standards) 192	r-TUL 103
DCB (drug-coated balloon) 65	Judkins カテーテル 57	SHD (structural heart disease) 68
DDS (drug delivery system) 72	late stent thrombosis 62	SLR (sparse linear regression) 162
DES (drug-eluting stent) 62	LLD (local drug delivery) 62	stealth 栓 77
Dotter 法 (Dotter 効果) 58	MCA-based medicine 32	surgeon console 120
ECMO (extra corporeal membrane oxygenator) 133	motion scaling 121	surgical data science 34
effectiveness 195	MRI-CT 83	SVM (support vector machine) 161
efficacy 195	MCA (multidisciplinary computational anatomy) 32	Swan-Ganz カテーテル 57
EHR (electronic health record) 171	N-イソプロピルアクリルアミド (NIPAM) 78	vision cart 120
EndoWrist 120	OCT 65	VOF (volume of fluid) 法 12
ES 細胞 1	patient-side cart 120	X 線 CT 83
filtering 機能 121	PCI (percutaneous coronary intervention) 54	~~~~~
f-TUL 103		3次元医用画像 89
GCP (good clinical practice) 191		3次元画像 120
GLP (good laboratory practice) 166, 191		3次元プリンタ 164
		3次元プリンティング 68
		4次元 CT 13

医療に活かす生体医工学

Clinically Oriented Biological Engineering

©公益社団法人 日本生体医工学会 2020

2020年11月30日 初版第1刷発行

検印省略

編者 公益社団法人
日本生体医工学会
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07247-1 C3047 Printed in Japan

(大井)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上の例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。