

# 金属ポルフィリン錯体を用いた バイオインスパイアード材料

工学博士 湯浅 真【著】

コロナ社

# ま え が き

バイオインスパイアード材料とは、一般に生体分子、細胞、またそれらの集合体を含め、生体系を新たな材料開発の発想の源とする材料のことをいう。これはスーパーバイオシステムを構築する領域（生物が持つ優れた機能を人工の物質およびそれらの組み合わせで実現しようとする新しい化学の領域）で新しく提案された言葉であり、本領域では生体を発想の源とするさまざまな新しいバイオ材料およびそれらの関連材料の創製が目指されている。

『金属ポルフィリン錯体を用いたバイオインスパイアード材料』と題した本書は、血液のヘモグロビンのような哺乳類の酵素や金属タンパク質などの活性中心である金属ポルフィリン錯体に焦点を当て、関連する生物無機化学、バイオミメティックケミストリー（生体模倣化学）そしてバイオインスパイアード材料についてまとめたものである。

本書では、まず、バイオインスパイアード材料の基本概念となる金属生体分子およびその機能、すなわち、物質輸送、物質貯蔵、物質認識および物質変換について解説し、それらに関連してバイオミメティックケミストリーやバイオインスパイアード材料の研究・開発について説明する。さらに、金属生体分子の模倣とその作動安定性について、その活性中心の基本となる錯体系（非大環状錯体系、大環状錯体系および高分子金属錯体系）について述べ、金属ポルフィリン錯体系の分類、命名法、合成法、構造、特性、性質および環境評価（例えばヘモグロビンなどは、活性中心である鉄ポルフィリン錯体が存在する内側は水に溶けにくい（疎水性である）タンパク鎖（グロビン鎖）に守られている環境だが、外側は水に溶けやすい（親水性である）ので、環境評価は重要となる）などについても説明する。その後、四つのトピックとして

## ii ま え が き

- ・ 金属ポルフィリン錯体による酸素分子の運搬・貯蔵（酸素分子の結合・解離平衡反応）
  - バイオインスパイアード材料の例として、人工血液
- ・ 金属ポルフィリン錯体による酸素分子の還元（酸素分子の還元反応）
  - バイオインスパイアード材料の例として、燃料電池酸素還元触媒
- ・ 金属ポルフィリン錯体による活性酸素の検出（活性酸素の酸化反応あるいは活性酸素の検出反応）
  - バイオインスパイアード材料の例として、活性酸素センサー
- ・ 金属ポルフィリン錯体による活性酸素の利用（活性酸素の添加触媒反応）
  - バイオインスパイアード材料の例として、抗酸化型抗がん剤

について述べる。

本書の執筆にあたり、企画の段階から内容の検討など、刊行に至るまで、コロナ社の方々に多くの助言をいただいた。コロナ社の関係諸氏に心より感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

2022年9月

湯浅 真

# 目 次

## 1. 金属生体分子の機能

1.1 金属生体分子とは	1
1.2 金属生体分子の機能	5
1.2.1 物質輸送	5
1.2.2 物質貯蔵	5
1.2.3 物質認識	5
1.2.4 物質変換	6
1.2.5 バイオミメティクスケミストリーからバイオインスパイアード材料へ	6

## 2. 金属生体分子の模倣とその作動安定性

2.1 金属生体分子の模倣とは	8
2.2 非大環状錯体系	9
2.3 大環状錯体系	9
2.3.1 M-サイクラム錯体, M-ペンタアザシクロペンタデカン錯体	9
2.3.2 M-サレン錯体	10
2.3.3 M-ポルフィリン錯体	10
2.4 高分子金属錯体系	11
2.5 金属ポルフィリン錯体系の基礎	12
2.5.1 分類および命名法	12
2.5.2 合成法	16
2.5.3 X線結晶構造解析	27

2.5.4 特性と性質, および環境評価	29
コラム ① DSC のデータ	48
コラム ② A-P 曲線のデータ	55

### 3. 金属ポルフィリン錯体による酸素分子の運搬・貯蔵

#### －酸素分子の結合・解離平衡反応－

3.1 ヘモグロビン・ミオグロビンの酸素分子の運搬・貯蔵	56
3.1.1 ヘモグロビン・ミオグロビンの酸素分子の結合・解離平衡	57
3.1.2 ヘモグロビン・ミオグロビンの酸素分子の結合・解離速度	62
3.2 金属ポルフィリン錯体による酸素分子の運搬・貯蔵認識	66
3.2.1 酸素分子の運搬・貯蔵とその代替物	66
3.2.2 酸素分子の運搬・貯蔵の代替技術	67
コラム ③ リポソーム包埋ヘムのリバースポーア効果	76
コラム ④ ストップドフロー測定 of データ	79

### 4. 金属ポルフィリン錯体による酸素分子の還元

#### －酸素分子の還元反応－

4.1 呼吸と呼吸鎖電子伝達系	81
4.2 シトクロム c 酸化酵素の機能	82
4.3 シトクロム c 酸化酵素のモデル系と燃料電池電極触媒としての利用 (焼結系)	86
4.3.1 学術的な検討 (モデル系)	86
4.3.2 これまでの図のまとめ	95
4.3.3 電極触媒を視野に入れた検討: 熱処理による CoPor / C および CoPPy / C 系の応用展開	105
コラム ⑤ カーボン表面の Co 構造 (Co-N <sub>4</sub> 構造) が地球の未来を変える	121

### 5. 金属ポルフィリン錯体による活性酸素の検出

#### －活性酸素の酸化反応あるいは活性酸素の検出反応－

5.1 生体における活性酸素	122
----------------	-----

5.2 金属ポルフィリン錯体-配位子系による活性酸素計測：活性酸素センサー	123
5.2.1 in vivo リアルタイム測定	127
5.2.2 糖尿病ラットの前脳虚血再灌流試験	130
5.2.3 コリン作動性作動薬投与ラットの前脳虚血再灌流試験	132
5.2.4 中等度低体温症に関するラットの試験	136
3.2.5 子牛血液中の活性酸素計測	137
5.2.6 本活性酸素センサーの活用	139
コラム ⑥ 健康で、長寿で、有意義な社会の実現に向けて	140

## 6. 金属ポルフィリン錯体による活性酸素の利用

### －活性酸素の添加触媒反応：抗酸化型抗がん剤－

6.1 抗酸化型抗がん剤とは	141
6.2 現在使用されている抗がん剤	141
6.3 SOD-バイオインスパイアード材料とその分子設計：新規抗酸化型抗がん剤の検討	144
6.3.1 SOD-バイオインスパイアード材料とは	144
6.3.2 高分子系 SOD-バイオインスパイアード材料の分子設計のための基本要件	145
6.3.3 修飾ヘムタンパク質	150
6.3.4 高分子結合金属ポルフィリン錯体	152
6.3.5 金属ポルフィリン錯体導入リポソーム（ベシクル）	155
コラム ⑦ “かぜ” は万病のもと	162

## 付録： 2章に出てくる化合物の一覧 163

引用・参考文献 164

索引 174

# 金属生体分子の機能



## 1.1 金属生体分子とは

生体における化学組成（wt% 表示，75 kg 成人男子基準）は，水 60，タンパク質 17，糖質 0.5，脂質 15，核酸 1.2，無機物 5 である。特に，無機物 5wt% の成分は，表 1.1 に示すように，大半の金属（Ca, K, Na, Mg），微量の金属（Fe, Zn, Cu）および超微量の金属（Sn, Mn, Al, Pb, Mo, Co, Cr, V, Ni

表 1.1 生体中の無機物組成（体重 75 kg の成人男子の場合）

大半の金属	Ca	1 100 g	アルカリ金属
	K	160~200 g	
	Na	70~120 g	アルカリ土類金属
	Mg	25 g	
微量の金属	Fe	4~5 g	遷移金属など
	Zn	2~3 g	
	Cu	0.08~0.12 g	
超微量の金属	Sn	0.03 g	
	Mn	0.02 g	
	Al	0.02 g	
	Pb	0.02 g	
	Mo	0.01 g	
	Co	0.002 g	
	Cr	0.002 g	
	V	0.015 g	
Ni	極微量		

## 2 1. 金属生体分子の機能

など)に分類される。これらの金属つまり**無機物** (inorganic matter) は、生体の生命活動において非常に重要な役割を担っているので “Life is inorganic too.” とも言われている (Life は生体のこと)。

このような金属を含む生体中の分子を、総称して、**金属生体分子** (metallobiomolecules) という。この金属生体分子は、おもに金属あるいは金属錯体とタンパク鎖のような生体高分子から構成されているのが一般的である。生体中の大半の金属は、骨成分、体液成分、生体膜成分などに含まれているが、注目したいのは微量および超微量の金属である。これらの金属は金属タンパク質 (物質の輸送と貯蔵を担うもの)、金属酵素 (触媒作用を担うもの) などの活性中心になっており、多くの生体内作用を担っている。特に本書では、哺乳類において、これら金属タンパク質および金属酵素の代表である金属ポルフィリンおよびヘムを有する金属生体分子あるいはそれに関連する金属生体分子について解説する。

このような金属生体分子の構造・機能などを考える学問を**生物無機化学**、その応用を考える学問を**バイオミメティックケミストリー**、さらにそれを材料まで発展させる学問を**バイオインスパイアードケミストリー** (bioinspired chemistry)、できた材料を**バイオインスパイアード材料** (bioinspired material) と言い、多くの研究がなされている。特に、本書では、生物無機化学からバイオインスパイアードケミストリー (すなわち、バイオインスパイアード材料) までの、いわゆる、基礎から応用までの内容を解説する。また、生物界におけるエネルギー変換を考慮すると、**図 1.1** に示すようなエネルギーと金属生体分子の関係<sup>1)†</sup>、すなわち太陽からの放射エネルギーをどのようにして生命活動に取り込んでいるのが重要であり、そこにおいて多くの金属生体分子が関与している。

ここで、生物無機化学、バイオミメティックケミストリー、バイオインスパイアード材料について、3章「金属ポルフィリン錯体による酸素分子の運搬・貯蔵 - 酸素分子の結合・解離平衡反応 -」で取り上げる O<sub>2</sub> 運搬体 (人工血液)

† 肩付番号は、巻末の引用・参考文献の番号を示す。

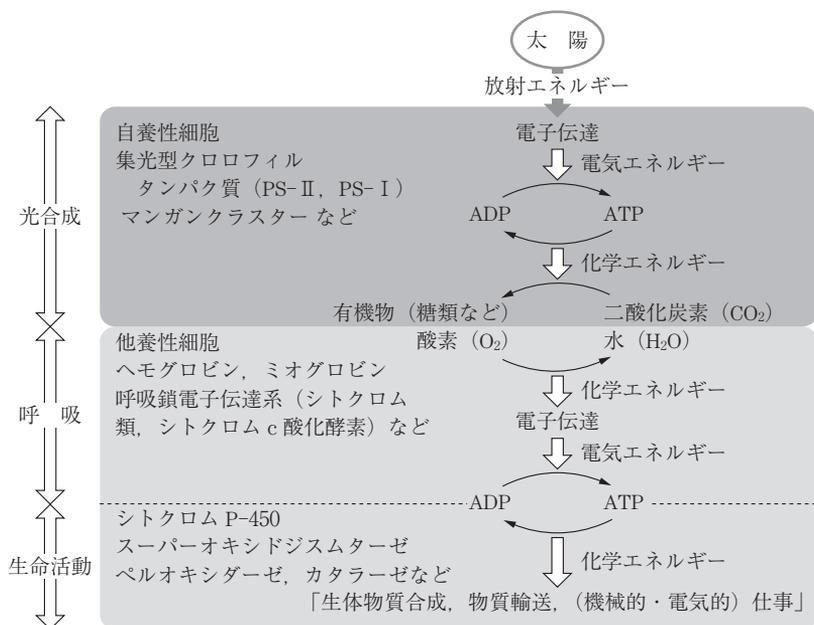


図 1.1 生物界におけるエネルギー変換と金属生体分子の関係<sup>1)</sup>

や 6 章「金属ポルフィリン錯体による活性酸素の利用－活性酸素の添加触媒反応：抗酸化型抗がん剤－」を例に説明する。

### 〔1〕 生物無機化学

**生物無機化学** (bioinorganic chemistry) とは、生体内における無機物の役割を研究する無機化学の一分野である。また、**無機生化学** (inorganic biochemistry) とも呼ばれる。一般に、無機化学の一分野なので、「基礎化学」の一部であり、合成を扱うこともあるものの、いわゆる、概念および理論が中心の世界である。特に、無機化学の金属イオン、金属錯体、高分子金属錯体などを考慮した研究が多数行われている。例えば、3 章の O<sub>2</sub> 運搬体 (人工血液) においては、p.71 に示した第 3 世代の「酸素化錯体」がその例であり、有機溶媒中で酸素化錯体を形成することを目指している。ただしその目的は、いわゆる、ヘモグロビンおよびミオグロビンのモデル化合物に留まっている。すなわち、実用的な、かつ、実践的な血液、血漿、生理食塩水などの生体内 (in vivo) の領

域での検討まではまっただくなされない。本書では、3～6章において、章の前半で、生物無機化学に関連するヘモグロビン、ミオグロビン、シトクロムc酸化酵素、スーパーオキシドジスムターゼおよびこれらのモデル物質について紹介する。

### 〔2〕 バイオミメティックケミストリー

バイオミメティックケミストリー (biomimetic chemistry) とは、日本語表記すると**生物** (または**生体**) **模倣化学**であり、生物 (または生体) の有する優れた機能を人工的に再現する「応用化学」の一分野である。特に、本書においては、ヘモグロビン、ミオグロビン、シトクロムc酸化酵素、スーパーオキシドジスムターゼのような金属酵素の機能を模倣する試みを検討し、3～6章の中間において、人工血液、燃料電池電極触媒、活性酸素センサー、抗がん剤に至る「応用化学」的な考え方、対応、実験、方法などについて、それぞれ、実践的に紹介するので、参考にしていただきたい。さらに、現在も含めて将来において、持続可能な社会の実現のためにも、いろいろな分野において検討していただきたいと考えている。

### 〔3〕 バイオインスパイアード材料

バイオインスパイアード材料とは、上記のバイオミメティックケミストリーから進展し、さらに密に生体分子、細胞などの生体物質・組織が多数組み込まれた新しい材料化学・工学の一分野である。本書では、バイオインスパイアード材料として、救急医療 (救急時の医療) などに欠かせない「人工血液 (人工酸素運搬体)」, これからのエネルギー時代を担う固体電解質型燃料電池の「(酸素極) 電極触媒」, どんな炎症性疾患も瞬時に検知できる (特に、救急搬送中に判断できる) 「活性酸素センサー」, 現代病であり深刻な病であるがんに対応した高性能な「(抗酸化型) 抗がん剤」について紹介する。さらに、工学的な化学分野なので、それらの設計指針、開発経緯、開発課題、未来予想などについても論述するので、考え方の一つとして参考にされたい。

## 1.2 金属生体分子の機能

### 1.2.1 物質輸送

生体において物質輸送・貯蔵を担う金属生体分子の金属タンパク質には、①電子輸送系、②金属輸送・貯蔵系および③酸素輸送・貯蔵系があり、よく知られている血液中のヘモグロビン (hemoglobin, **Hb**, 色素) は③に属し、シトクロム類は①に属している。

Hb は、ヒトを含むすべての脊椎動物や一部のその他の動物の血液中被られる赤血球の中に存在するタンパク質である。O<sub>2</sub> と結合する性質を持ち、哺乳類において肺から末端組織の全身に O<sub>2</sub> を運搬する役割を担っている。色素であるヘム (鉄 (II) プロトポルフィリン IX) を持っているため赤色を帯びている<sup>1,2)</sup>。

本書では、物質の輸送・貯蔵の例として、O<sub>2</sub> の輸送をする人工血液 (人工赤血球) について3章で詳しく紹介する。

### 1.2.2 物質貯蔵

1.2.1 項で述べたように、生体において金属生体分子の金属タンパク質が物質輸送する例として、O<sub>2</sub> の輸送を担う Hb がある。同様に、金属生体分子の金属タンパク質が物質貯蔵する例として、O<sub>2</sub> の貯蔵を担うミオグロビン (myoglobin, **Mb**) がある。

Mb は筋肉中にあり、代謝に必要なときまで O<sub>2</sub> を貯蔵する色素タンパク質である。例えば、クジラ、イルカ、アザラシなど水中に潜る哺乳類は大量の O<sub>2</sub> を貯蔵しなければならないので、これらの筋肉には Mb が特に豊富に含まれている。また、一般に動物の筋肉が赤いのはこのタンパク質に由来する<sup>1~4)</sup>。

### 1.2.3 物質認識

触媒作用を担う金属酵素には、やはり ①加水分解酵素、②酸化還元酵素お

# 索引

<b>【あ】</b>	活性酸素	6, 122	コリン	15	
亜鉛錯体	21	活性酸素種	122	<b>【き】</b>	
アルキル化剤	142	カルボキシフルオロセイン	37	サイクリックボルタンメト	
アルデヒド誘導体	18	環電流効果	29	リー	105
アロステリック	61	<b>【き】</b>		再構成ヘモグロビン	150
アロステリックモデル	61	キサントシン	125, 128	PEG 修飾 ——	150
安定度クラス	25	キサントシンオキシダーゼ	125, 128	多量化 ——	150
<b>【い】</b>		共焦点レーザー顕微鏡	158	最高被占軌道	29
異性体シフト	45	金属生体分子	2	最低空軌道	29
イミダゾリウム	84	金属ポルフィリン	15	ザフツ	50
イミダゾール	83	金属ポルフィリン錯体	10	サレン配位子	9
イミダゾレート	83	金属ポルフィリン錯体導入		酸素還元反応	84
インターフェロン	141	リボソーム	155	酸素呼吸	81
<b>【え】</b>		<b>【く】</b>		酸素運搬体	77
エチオ型	34	クロリン	15	<b>【し】</b>	
エッジ面パイロリテック		<b>【け】</b>		シアノポルフィリン	21
グラファイト	96	蛍光プローブ	158	磁気円偏光二色性	42
円偏光二色性	42	血色素	5	シトクロム c 酸化酵素	6, 82
磁気 ——	42	<b>【こ】</b>		ジピロールメテン	18
電気 ——	42	抗酸化型抗がん剤	155	ジミリストイルフォス	
<b>【お】</b>		抗生物質	142	ファチジルコリン	33
オキシミノケトエステル	18	高分子金属錯体系	11	シヤム群	128
オキソフォロリン	15	高分子化金属ポルフィリン		修飾 Hb	68
オキソロド型	34	錯体	98	修飾ヘモグロビン	68
オクタエチルポルフィリン	15, 17, 27	高分子系 SOD ミミックス	150, 155	触媒活性	150
<b>【か】</b>		後方散乱	50	植物アルカロイド	142
回転ディスク電極測定	105	コバルト(チエニルトリアル		<b>【す】</b>	
核磁気共鳴	29	キル)ポルフィリン錯体	99	ストローマフリーヘモグロ	
拡張分子力学法 2	89	互変異性体	28	ビン	68
				スーパーオキサイド	6
				スーパーオキシドアニオン	
				ラジカル	122

スーパーオキシドジスム  
ターゼ 6, 122

【せ】

生体適合性 150  
生体模倣化学 4  
生物無機化学 2, 3  
生物模倣化学 4  
赤外吸収スペクトル 39  
赤色素 5  
赤血球 61

【そ】

ソーレー帯 34

【た】

代謝拮抗薬 142  
多重層リポソーム 157  
多量化再構成ヘモグロビン 150

【ち】

置換ポルフィリン錯体  
β位置—— 17  
メソ位置—— 19

【て】

鉄(III)プロトポルフィリン IX 16  
鉄(II)プロトポルフィリン IX 5, 12  
テトラフェニルポルフィリン 15  
デューテロヘミン 15  
デューテロポルフィリン IX 16

電解重合 99  
電気円偏光二色性 42  
電子常磁性共鳴 44  
電子スピン共鳴 44

【と】

糖尿病ラット 130

特性吸収端 50  
ドラッグラゲ 141

【な】

内毒素症ラット 128  
ナノドラッグデリバリーシステム 147

【ね】

熱重合 99

【は】

バイオインスパイアード  
ケミストリー 2  
バイオインスパイアード材料 2

バイオミメティック  
ケミストリー 2, 4  
配置間相互作用 35

パイロリティック  
グラファイト  
エッジ面——  
ベール面——

バクテリオクロリン 15  
白金製剤 142  
パーフルオロカーボン 67

【ひ】

ヒスチジン 83  
非大環状錯体系 9  
ピロール 17  
ピロール誘導体 18

【ふ】

フィロ型 34  
プラチナ製剤 142  
フローサイトメトリー 158  
プロトヘミン IX 16  
プロトポルフィリン IX 15  
プロトポルフィリン IX ジメチルエステル 16  
プロモポルフィリン 21  
フロリン 15

分子標的薬 143

【へ】

ベール面パイロリティック  
グラファイト 99  
ベシクル 155  
ヘマトポルフィリン IX 16  
ヘム 5, 12  
ヘモグロビン 5  
ヘモソーム 68  
ペルオキシ 84

【ほ】

ポーア効果 62  
ポリ(L-リシン) 152  
ポリエチレングリコール 150  
ポリ(スチレン-co-マレイン酸無水物) 152  
ポルフィリノーゲン 15  
ポルフィリン 12  
ポルフィン錯体 16  
ホルモン剤 142

【み】

ミオグロビン 5

【む】

無気呼吸 81  
無機生化学 3  
無機物 2

【め】

メスパウアースペクトル測定 45  
メソ位置置換ポルフィリン錯体 19  
メソ-ジフェニルポルフィリン 18  
メソ-テトラフェニルポルフィリン 14  
メソポルフィリン IX ジメチルエステル 16  
メチルイミダゾール 41

免疫賦活剤	143			小さな1枚膜の——	157
		<b>【り】</b>		リポソーム包埋へム	72
<b>【よ】</b>		リバー スポー ア効果	76	リポ多糖	128
四極子分裂	46	リピド-ハム	33		
		リポソーム	32, 157	<b>【ろ】</b>	
<b>【ら】</b>		大きな1枚膜の——	157	ロド型	34
ラウリルイミダゾール	41	多重層の——	157		

		<b>【A】</b>	CoThTAIP	99	Fischer 命名法	12
			CV	105	flow cytometry	158
allosteric model	61		Cyt c oxi	6, 82	<b>【H】</b>	
allosteric	61	<b>【D】</b>			Hb	5
AMM2	89	differential scanning			hemoglobin	5
augmented molecular		calorimetric thermograms		48	hemosome	68
mechanics2	89				highest occupied molecular	
<b>【B】</b>		dimyristoyl			orbital	29
backscattering	50	phosphatidylcholine	33	+H-Im-H	84	
basal -plane pyrolytic		DMPC	33	HOMO	29	
graphite	99	DSC 測定	48	HT-CoPPy/C	53, 111	
B band	34	<b>【E】</b>		<b>【I】</b>		
bioinorganic chemistry	2	ECD	42	Im-	83	
bioinspired chemistry	2	edge-plane pyrolytic graphite		Im-H	83	
bioinspired material	2		98	inorganic biochemistry	3	
biomimetic chemistry	2	electric circular dichroism	42	inorganic matter	2	
Bohr effect	62	electrolytic polymerization	99	IR スペクトル	39	
BPG	99	electron paramagnetic		IS	45	
B 帯	34	resonance	44	iso-shielding map	32	
<b>【C】</b>		electron spin resonance	44	isomer shift	45	
carboxyfluorescein	37	EP	99	IUPAC 命名法	12	
CD	42	EPG	98	<b>【L】</b>		
CF	37	EPR	44	large unilamellar vesicle	157	
characteristic absorption end		ESR	44	LIm	41	
	50	EXAFS 振動	50	liposome	31, 157	
CI	35	extended X-ray absorption		liposome-embedded heme	72	
circular dichroism	42	fine structure	50	lowest unoccupied molecular		
CLSM	158	EYL	37	orbital	29	
configuration interaction	35	<b>【F】</b>		LPS	128	
confocal laser scanning		FCM	158	LUMO	29	
microscope	158	Fenton 反応	144	LUV	79, 157	
CoPPy/C	53, 111					

<b>[M]</b>	
magnetic circular dichroism	42
Mb	5
MCD	42
M-cyclam 錯体	9
mesotetraphenylporphyrin	14
metallobiomolecules	2
MIm	41
MLV	157
M-salen 錯体	9
multi lamelar vesicle	157
myoglobin	5
Mössbauer spectol	45
M-アミノポリカルボン酸錯体	9
M-キノリノール錯体	9
M-サイクラム錯体	9
M-サクカリン酸錯体	9
M-サレン錯体	9
M-デスフェーラル錯体	9
M-テトラアザシクロテトラデカン錯体	9
M-トリスピラゾリルボレート錯体	9
M-ピリジルポリカルボン酸錯体	9
M-ピリジン錯体	9
M-ブリミン錯体	9
M-ペンタアザシクロペンタデカン錯体	9
M-ポリピリジン錯体	9
M-ポルフィリン錯体	10
<b>[N]</b>	
n-DDS	147
NMR	29

N, N'-ビス (2-ヒドロキシベンジリデン) エチレンジアミン	9
nuclera magnetic resonance	29
<b>[O]</b>	
O <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	82
O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	6, 122
ORR	86
oxygen carrier	77
oxygen reduction reaction	86
<b>[P]</b>	
PEG	150
PEG 修飾再構成ヘモグロビン	150
PFC	67
PLL	152
PMP	98
polymer metal complexes	11
porphyrin	12
protoporphyrin IX	14
<b>[Q]</b>	
Q band	34
QS	46
quadrupole splitting	46
Q 帯	34
<b>[R]</b>	
RBC	61
RDE 測定	105
reactive oxygen species	122
red blood cell	61
ring current effect	29
ROS	122

<b>[S]</b>	
SF-Hb	68
SMA	152
small unilamellar vesicle	157
SOD	6, 122
Soret band	34
stability class	25
superoxide anion radical	122
superoxide dismutase	6
superoxide	6
SUV	79, 157
<b>[T]</b>	
thermal polymerization	99
TP	99
TPP	39
<b>[X]</b>	
XAFS	50
XAN	123, 126
XANES	51
XOD	123, 126
X-ray absorption fine structure	50
X-ray absorption near edge structure	51
X 線吸収微細構造	50
<b>[Z]</b>	
Z メソ-テトラヒドロキシボルフィン	21
<b>[ギリシャ文字]</b>	
ΔEQ	46
β 位置換ポルフィリン錯体	17
β-ジケトン	18

— 著 者 略 歴 —

- 1983 年 早稲田大学理工学部応用化学科卒業  
1985 年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了 (応用化学専攻)  
1988 年 早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了 (応用化学専攻)  
工学博士  
1998 年 東京理科大学助教授  
2001 年 東京理科大学教授  
現在に至る

## 金属ポルフィリン錯体を用いたバイオインスパイアド材料

Bio-inspired Material Using Metal Porphyrin Complexes

© Makoto Yuasa 2022

2022 年 11 月 18 日 初版第 1 刷発行



検印省略

著 者 <sup>ゆ</sup>湯 <sup>あさ</sup>浅 <sup>まこと</sup>真  
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 978-4-339-06663-0 C3043 Printed in Japan

(柏原)



**JCOPY** <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構 (電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上で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。