

# まえがき

「有機電気化学」は有機分子を対象とした電気化学の総称であり、対極にある無機化合物を対象とした電気化学がこれまで主流を占めていた。現に、工業電解は無機化合物のものが圧倒的に多数を占めている。

電気化学は物理化学や溶液化学などが基盤となっており、電気化学の教科書には数式が多用され、有機化学を専門とする者には難解な学問と受け取られている。一方、有機化学はさまざまな有機化合物が登場し、反応そのものが複雑で、物理化学を専門とする者には苦手意識が強い。

有機電気化学は有機電解合成を中心として新しい有機反応論や有機合成論を取り入れ、発展してきた。21世紀は環境の世紀ともいわれている。危険な試薬を使用せず、しかも廃棄物の少ない有機電解合成はグリーンケミストリーの一翼を担うものとして大いに期待されている。さらに、有機電気化学は電解合成のみならず、近年では材料化学、触媒化学、生物化学、医療科学、環境化学などを取り込んだ融合領域としても発展しつつある。身近なものに目をやるとバイオセンサ、導電性高分子、液晶材料、EL材料、色素増感太陽電池、リチウム二次電池用有機電解液など、例を挙げれば枚挙にいとまがなく、有機分子・有機高分子が先端化学技術分野で大いに活躍している。これらを理解するには有機化学と電気化学の両者を基礎から学ばなければならない。今世紀に入り、学問領域は多様性が増し、特に大学院レベルでは有機化学、無機化学、物理化学という自分の専門の垣根を越えて、守備範囲を拡張し、理工学の基礎原理を<sup>あまね</sup>普く理解しないことには急速に進歩する先端技術の開発にはもはや携われないといっても過言ではない。

このような背景に加え、有機電気化学は電気エネルギーを利用する有機電子移動化学でもある。この点で、光エネルギーを利用する有機光化学の重要な分

野である光電子移動と類似している。有機光化学に関する基礎的な書籍はすでに多く出版されているにもかかわらず、有機電気化学に関する書籍、特に有機化合物の電極電子移動の基礎概念から応用、さらには新分野まで網羅した教科書の専門書はこれまで皆無であったといえる。

本書は著者らが大学院での講義で行っている「有機電気化学」の内容を基盤とし、最近の新しい有機電気化学の動向を加えて解説したものである。本書の特徴として、化学系学部3年終了時の有機化学の基礎知識があれば、物理化学の苦手な読者にも電気化学の基礎原理や測定法について容易に理解できるように配慮した。すなわち、基礎的な入門編から応用編、さらには最新の有機電解合成法や関連分野の動向まで含めて、大学院や企業・研究所で、これから有機電気化学を学ぼうとする人を対象とし、できるだけ平易に解説するように心掛けた。末尾に具体的な電解合成の実験例も適宜含めることとし、読者の便に供した。

本書の刊行にあたり、コロナ社には本書の企画からひとかたならぬご尽力をいただいたことに心から謝意を表す。

2012年4月

淵上 寿雄

# 目 次

## 1. 序 論

- 1.1 はじめに.....1
- 1.2 有機電気化学と有機電気化学の歴史.....1

## 2. 有機電気化学の基礎原理

— 有機化合物を対象とした電気化学の基礎 —

- 2.1 電気二重層の形成.....5
- 2.2 電極電位（酸化還元電位）.....6
- 2.3 活性化エネルギーと過電圧.....8
- 2.4 電子移動と物質輸送によって支配される電流.....9

## 3. 有機電気化学の研究手法

— 有機化合物を対象とした電気化学測定 —

- 3.1 作用電極.....14
- 3.2 基準電極（参照電極）.....15
- 3.3 補助電極.....16
- 3.4 電解溶媒と支持電解質.....17
- 3.5 電解セルおよび電源.....18
- 3.6 定常および非定常分極曲線の測定.....19

3.7	有機化合物の電気化学測定における電位の種類	22
3.8	有機電解合成研究におけるボルタンメトリー活用例	25
3.8.1	ボルタンメトリー測定を援用する生成物選択的電解合成	25
3.8.2	反応機構解析	26
3.8.3	サイクリックボルタンメトリーによるメディエーターの選定	28
3.8.4	ボルタンメトリーによる電極材料の選定	31

## 4. 有機化合物を対象とした電解合成法

4.1	電解槽（セル）の選び方	33
4.2	定電流電解と定電位電解	35
4.3	直接電解と間接電解	37
4.4	電極材料と参照電極	38
4.5	電解溶媒と支持電解質	40
4.6	攪拌	40
4.7	生成物および原料の追跡	41
4.8	電解液の後処理および目的生成物の単離，同定	41
4.9	電流効率および電力単位	41

## 5. 有機電極反応論

5.1	電解反応の特徴	43
5.2	有機電極反応の反応機構	45
5.3	反応論的特徴	46
5.3.1	極性変換	46
5.3.2	反応選択性	47
5.4	電子移動に関与する電子の帰属（分子軌道，結合，官能基）	53

5.5 電子補助基	54
5.5.1 分子軌道相互作用によるもの	54
5.5.2 電子移動容易な官能基によるもの	56
5.5.3 配位作用によるもの	57
5.5.4 動的配位作用によるもの	58
5.6 有機電極反応の反応型	59
5.7 電解発生中間種	67

## 6. 有機電解合成論

6.1 メディエーター反応	75
6.1.1 メディエーターの分類と種類	76
6.1.2 メディエーターを用いる有機電解合成	77
6.2 電解発生酸・塩基	82
6.3 電解不斉合成	88
6.4 修飾電極	89
6.5 両極電解合成	92
6.6 反応性電極	95
6.7 電解フッ素化	96
6.8 電解重合	101
6.8.1 芳香族モノマーの電解酸化重合	102
6.8.2 電解重合法	103
6.8.3 電解重合条件について	104
6.8.4 芳香族モノマーの電解還元重合	105
6.8.5 電解重合膜の応用例	106
6.8.6 ポリシランの電解合成	107
6.8.7 電解発生活性種を利用した連鎖重合	108

## 7. 有機電解合成の新手法

7.1	SPE (固体高分子電解質) 電解とその応用	109
7.1.1	SPE 電 解	109
7.1.2	コジェネレーション型 SPE 電解	111
7.2	固体塩基, 固体酸を用いる電解システム	112
7.3	固体担持メディエーター	113
7.4	二 相 系 電 解	115
7.4.1	エマルション電解	115
7.4.2	サスペンション電解	116
7.4.3	相関移動触媒電解	116
7.4.4	相溶性二相有機電解合成	117
7.5	カチオンプール法	118
7.6	テンプレートを利用する電解	120
7.7	超臨界流体中での電解	121
7.8	イオン液体中での電解	124
7.8.1	イオン液体の構造	124
7.8.2	イオン液体の親疎水性	125
7.8.3	イオン液体の極性	127
7.8.4	イオン液体の電気化学的特性	127
7.8.5	イオン液体中でのボルタンメトリー	131
7.8.6	イオン液体中での有機電解反応	131
7.9	薄 層 電 解 槽	141
7.10	マイクロ電解リアクタ	142
7.11	超音波照射下での電解	145
7.12	特殊な電極材料を用いる電解合成	148
7.12.1	疎水性電極による電解合成	148
7.12.2	ダイヤモンド電極による電解反応	149

7.13 光電解と光触媒	151
7.13.1 光電解	151
7.13.2 光触媒	152
7.14 高分子電解反応	153

## 8. 有機電気化学の関連分野

8.1 有機エレクトロニクス材料への応用	155
8.1.1 有機 EL	155
8.1.2 有機薄膜太陽電池	156
8.1.3 色素増感太陽電池	157
8.1.4 有機トランジスタ	158
8.1.5 エレクトロクロミズム	159
8.1.6 導電性高分子コンデンサ	159
8.2 バイオマスの有用物質への電気化学的変換	160
8.3 C <sub>1</sub> 化学への応用	162
8.4 環境浄化への応用	163

## 9. 工業化への道と工業化の例

9.1 工業化への道	164
9.2 工業化の例	165
9.2.1 アジポニトリルの電解合成	165
9.2.2 フタリドと $\epsilon$ -ブチルベンズアルデヒドの両極電解合成	167
9.2.3 その他の有機電解合成	168

付録 A 有機電解合成の実験例	171
-----------------	-----

付録 B 巻末データ	178
------------	-----

引用・参考文献	183
---------	-----

索引	192
----	-----



---

---

# 1

## 序

## 論

---

---

### 1.1 はじめに

有機電気化学は有機電解合成を基軸に 20 世紀後半に急速かつ着実な進歩を遂げ、有機化学の一分野として確固たる地位を築くに至っている。有機電解合成はクリーンな電気エネルギーを反応の駆動力として利用するものであり、環境調和型プロセスとして期待が寄せられている。今日、有機電気化学は有機電解合成のみならず他の学問領域を取り込みその領域を拡張し、発展しつつある。では有機電気化学は果たして新しい学問なのであろうか。実は以下に紹介するように有機化学の<sup>あけぼの</sup>曙 とほぼ同時期に誕生した古くて新しい学問といえる。

### 1.2 有機電気化学と有機電気化学の歴史

1791 年、イタリアのボルタ (Volta) の友人ガルバーニ (Galvani) はカエルの足の筋肉に鉄と真ちゅうの金属を触れると筋肉が<sup>けいれん</sup>痙攣する現象を見出した。これが電気化学の研究の始まりとされており、生物電気化学もこれに端を発するといえよう。その後、ボルタはガルバーニの実験の追試を行い 1800 年にボルタの<sup>でんたい</sup>電堆 (電池の原型) を発明した。同年、二人の英国人研究者により、このボルタの電堆を使用し、水の電解実験が行われ、水素と酸素が発生することが見出されている。

それでは有機電気化学の研究は、いつごろ始まったのであろうか。文献によればボルタの電堆の発明後、3年目（1803年）にはロシアのPetrovによりアルコールおよび油脂類の電解に関する論文が発表されている。翌年にイオンの電導機構の提案者として知られるリトアニアのGrotgusは無色のインジゴ（indigo white）の溶液を電解すると青色インジゴに酸化されることを見出した。一方、有機化学の歴史に目を転じれば、ドイツのWöhlerが1828年にシアン酸アンモニウムから尿素の合成に成功し、近代有機化学の曙を迎えた。このような背景の下、有機化合物の電解反応に関する本格的な研究は、かの有名なイギリスのファラデー（Faraday）によって開始された。彼は1833年にファラデーの法則を発見し、その翌年には酢酸塩の水溶液を電解し、炭化水素が生成することを見出した。これはまさにKolbe電解反応そのものであったが、残念なことに、彼はこの炭化水素が何なのか同定できなかった。15年遅れて1849年にWöhlerの弟子であるKolbeがイソ<sup>きつそうさん</sup>吉草酸のカリウム塩を電解し、炭酸ガスとイソブチルフリーラジカル、少量のイソブチレン、イソバレリアン酸エステルおよびイソブタノールが得られることを見出した。彼がイソブチルフリーラジカルと推定した物質の主成分は二量化体の2,5-ジメチルヘキサンの混合物の間違いであったが、Kolbe電解反応という反応名を勝ち取る榮譽に輝いた。

Kolbeのさらに20年後（1868年）、Shuttzenbergerは二酸化バリウムのようなきわめて強力な酸化剤を無水酢酸に作用させると爆発的に反応し、Kolbe電解と同様に炭酸ガスとエタンが生成することを確認した。これにより電流が二酸化バリウムと類似した強力な酸化剤として働くことが初めて明らかにされた。

その後19世紀末から20世紀初頭まで、さまざまな有機化合物の電解酸化・還元が精力的に試みられた。特にニトロベンゼンの電解還元はドイツのみならず諸外国からの参入があり、集中的に研究が行われた。この間に発表された論文数は実に800件以上にも達するものであり、有機化合物の電解反応がいかに注目されていたかを雄弁に物語っているといえよう。この隆盛期は1930年代

まで続いたが、その後長期にわたる世界的戦乱により有機電気化学の<sup>けんいん</sup>牽引役であったドイツが壊滅的打撃を受け、停滞を余儀なくされた。1964年にMonsanto社のManuel M. Baizer博士（後にカリフォルニア大学ロサンゼルス校およびサンタバーバラ校教授）により6,6-ナイロンの原料であるアジポニトリルの電解製造が実用化され、これが契機となり有機電解合成が再び大きく注目されるようになった。<sup>じらい</sup>爾来、有機電気化学は有機化学の新しい反応論や合成論を取り込むことによって飛躍的な発展を遂げ、今日に至っている。

一方、1925年にHeyrovskýと志方により発明されたポーラログラフィー（ボルタンメトリーの一種）の研究として多くの有機化合物がその対象とされ、有機電気化学の発展に大きく貢献してきたことも忘れてはならない。

# 2

## 有機電気化学の基礎原理

### — 有機化合物を対象とした 電気化学の基礎 —

有機化学反応を扱う際に「反応がなかなか進んでくれない…」といった状況にしばしば出くわす。有機化学反応をポテンシャルエネルギーの観点から見れば、反応基質分子が超えなければならない障壁が活性化エネルギーであり、設定された実験条件において反応基質分子が活性化エネルギーを超えられないと所望の化学反応は進行しない。有機反応プロセスでは、反応速度の改善、すなわち活性化エネルギーの低減のために触媒がしばしば利用されてきたが、実働条件としては高温が要求される。

一方、電解反応は電子を電極から直接関与させて反応を行う。例えば、1.3 V の電位差は電子 1 個のエネルギーで 1.3 eV、つまり、125 kJ/mol に相当する。かたや通常の化学変化は、粒子の熱運動からエネルギーをもらって活性化障壁を超えることになり、絶対温度が  $T$  のときの熱運動エネルギーは  $(3/2)RT$  で表されるので、電解にかけた 1.3 V を  $(3/2)RT$  の  $T$  に換算すれば、およそ 10 000 °C にも相当する。このために常圧、常温下での電解でも通常の有機化学反応の熱エネルギーに比べて桁違いのポテンシャルエネルギーを有することになる。

一般に有機化合物は、高温において分解してタール物質に変化したり、あるいは副反応を併発してしまう。そのため、長時間の高温下での反応は好ましくなく、収率、選択率の低下の原因にもなる。それに比べて有機電解反応は常温下でも電位を制御するだけで実施可能であり、有機化合物の熱劣化を抑制して合成することができるので、適正な電解条件を設定すれば収率、選択率とも優れた合成法を生み出すことができる。また、電解反応は電極と反応基質間の直接電子移動に基づく酸化還元プロセスであることから、重金属などを含む酸化還元剤を必要としない環境調和型電子移動プロセスでもある。

このように有機電解反応では直接溶液中の有機化合物と電極との間で電子授受を行うため、この電子の制御を行うことは反応を円滑かつ良好な効

率で実施するために大切なことである。今日の技術においては電圧/電位、電流の制御は非常に精巧に行うことができる。もちろん、反応温度を制御することも精密に行うことは可能ではあるが、同じコストを想定した場合、電圧-電流の制御のほうがはるかに安価で、しかも精巧に実施することができる。このことから電解合成は精密合成の合成手順において、優位性を発揮するものと期待されている。

では、有機電解反応を進行させる「電圧」や「電位」とは一体何であろうか？なぜ、電極と有機化合物の間で電子移動が起こるのであろうか？こうした疑問に答えるため、本章では有機電解反応を理解するために必要不可欠な「電極界面の姿」や「電解反応の進み方」などの電気化学の基礎について説明することにしよう。

## 2.1 電気二重層の形成

十分量の電解質を含む電解液（例えば、0.1 M 硫酸水溶液）に2本の電極を挿入し、両電極間に電圧（電位差）を印加すると電解液中のイオンは即座（数百ミリ秒以内）に移動し、電解液中の印加した電圧は二つの電極-電解液界面に押し付けられ、界面には正負の電荷が向き合った厚さ1 nm ほどの電気二重層と呼ばれる液層が形成される（図 2.1）。

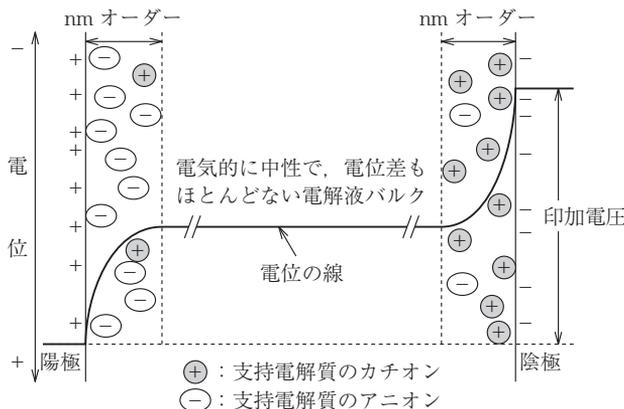


図 2.1 支持電解質イオンの移動によって生じる電気二重層

この際、電解液のバルク（沖合）にはほとんど電位の勾配は生じておらず、電位勾配はそれぞれの電極の電気二重層内にのみ生じる。さらに電圧を上げていけば、電気二重層内の電位勾配がより増大し（その電界（電場）の強さは $10^6 \sim 10^7$  V/cm 程度にも達する）、いずれは酸化還元反応が起こせる値を超えることになる。その際、電解液中の最も酸化されやすい物質（イオンまたは中性分子）が陽極において電子を奪われ、最も還元されやすい物質（イオンまたは中性分子）が陰極において電子をもらうことになる。反応が起こると陽極付近には正電荷が増え、また、陰極近傍には負電荷が増えるため、これを中和しようと、逆符号のイオンがそれぞれの電極のほうに移動することになる。これにより、定常的に電流が流れることになり電解反応が進行する。つまり、電解液中の電解質は「電気二重層の形成」と「電極近傍に生じた過剰電荷の中和」といった電解反応を進めるための二つの大きな役割を担っている。

## 2.2 電極電位（酸化還元電位）

2.1 節で述べたように電解質を含む電解液に2本の電極を挿入し、両電極間に電圧（電位差）を印加した場合、印加電圧は二つの電極-電解液界面に分配されることになる。仮にいま注目している反応が陽極反応（図 2.1 における左側の電極で起こる反応）だとして（この場合、注目している陽極が作用電極、陰極が補助電極に当たる）、陽極電位の変化による反応挙動を調べるために電圧を変化させたとしよう。その際、陰極の電位も同時に変化してしまうので、結果として陽極電位が一体どれだけ変化したのかはわからなくなってしまう。このような場合には、陽陰極以外に陽極電位をモニター・制御するための基準電極（参照電極ともいう）を新たに導入する必要がある。基準電極にはこれを構成する電極と電解液の間に迅速な電気化学平衡が成立し、かつ一定の条件下ではつねに電位が一定となるものが用いられる。3章で詳述する銀-塩化銀電極や飽和カロメル電極は基準電極の代表的なものといえる。陽極電位を知るためにはポテンシostatを用いて基準電極との電圧、すなわち電位差を測

# 索 引

<b>【あ】</b>		極性変換	46	スーパーオキシドイオン	86
アジポニトリル	165	銀-塩化銀電極	15	セル	33
<b>【い】</b>		<b>【く】</b>		<b>【せ】</b>	
イオン液体	124	グリーンケミストリー	113	遷移金属錯体メディエーター	79
イオン交換膜	109	<b>【こ】</b>		<b>【そ】</b>	
位置選択性	49	交換電流密度	11	掃引重合	103
<b>【う】</b>		光電変換	156	相間移動触媒	116
ウェーブクリッピング	26	高分子修飾電極	91	疎水性電極	148
<b>【え】</b>		高分子電解反応	154	<b>【た】</b>	
エレクトロクロミズム	159	固体塩基	112	ダイヤモンド電極	149
エレクトロクロミック	138	固体高分子電解質	109	炭素種	67
<b>【か】</b>		固体高分子電解質電解	109	<b>【ち】</b>	
外圈型電子移動	44	固体酸	112	超音波	145
化学修飾電極	90	コルベ電解反応	39	超原子価化合物	79
拡散限界電流密度	12	<b>【さ】</b>		超臨界流体	121
拡散層	12	サイクリックボルタンメトリー	20	直接電解法	28, 37
カチオンプール	119	作用電極	6, 14	<b>【つ】</b>	
カチオンプール法	119	酸化電位	8	通電量	35
カチオンフロー法	119, 143	参照電極	6, 15, 39	<b>【て】</b>	
活性化エネルギー	9	酸素過電圧	39	定常分極曲線	20
過電圧	9	三電極系	7	定電位電解	36
還元電位	8	<b>【し】</b>		定電流電解	35
間接電解反応	75	色素増感太陽電池	158	電圧	5
間接電解法	28, 37	式量電位	22	電位勾配	6
官能基選択性	48	支持電解質	17	電位差	5
<b>【き】</b>		修飾電極	89	電位窓	14, 40, 130
基準電極	6, 15	触媒電流	30	電界効果トランジスタ	158
キャピラリーギャップセル	141	<b>【す】</b>		電解重合	101, 137
		水素過電圧	39		

<p>電解セル 18</p> <p>電解槽 33</p> <p>電解発生塩基 82</p> <p>電解発生酸 86</p> <p>電解不斉合成 88</p> <p>電解フッ素化 96, 133</p> <p>電解ベルフルオロ化 168</p> <p>電解溶媒 17</p> <p>電気化学アクチュエータ 139</p> <p>電気化学的ドーピング 102</p> <p>電気二重層 5</p> <p>電極触媒 38</p> <p>電極触媒反応 75</p> <p>電子移動速度 9</p> <p>電子補助基 54, 100</p> <p>電流効率 42</p>	<p style="text-align: center;"><b>【は】</b></p> <p>バイオマス 160</p> <p>薄層電解槽 141</p> <p>バトラー・フォルマーの式 10</p> <p>反応経路選択性 48</p> <p>反応性電極 95</p> <p>半波電位 24</p> <p>半ピーク電位 23</p> <p style="text-align: center;"><b>【ひ】</b></p> <p>光触媒 152</p> <p>光電解 151</p> <p>ピーク電位 22</p> <p>非定常分極曲線 20</p> <p>標準電極電位 22</p> <p style="text-align: center;"><b>【ふ】</b></p> <p>フェルミ準位 7</p> <p>物質輸送速度 9</p> <p>プロトン伝導性 110</p> <p>分解電位 24</p> <p>分子内動的配位 58</p> <p style="text-align: center;"><b>【へ】</b></p> <p>ヘテロ原子種 67</p> <p style="text-align: center;"><b>【ほ】</b></p> <p>飽和カロメル電極 15</p>	<p>補助電極 6, 16</p> <p>ポテンシオスタット 19</p> <p>ポリシラン 107</p> <p>ボルタモグラム 19</p> <p style="text-align: center;"><b>【ま】</b></p> <p>マイクロ電解リアクタ 119, 143</p> <p style="text-align: center;"><b>【む】</b></p> <p>無害化処理 163</p> <p style="text-align: center;"><b>【め】</b></p> <p>メディアエーター 29, 37, 76</p> <p style="text-align: center;"><b>【ゆ】</b></p> <p>有機 EL 155</p> <p>有機 FET 158</p> <p>有機エレクトロニクスデバイス 155</p> <p>有機電解反応 4</p> <p>有機トランジスタ 158</p> <p>有機薄膜太陽電池 156</p> <p style="text-align: center;"><b>【り】</b></p> <p>立体選択性 51</p> <p>両極電解合成 92, 167</p> <p>理論通電量 36</p>
<p style="text-align: center;"><b>【と】</b></p> <p>導電性高分子コンデンサ 160</p> <p>導電性高分子ナノシリンドラ 123</p> <p>トリアリールアミン 78</p> <p style="text-align: center;"><b>【な】</b></p> <p>内圈型電子移動 44</p> <p style="text-align: center;"><b>【に】</b></p> <p>二相系電解 115</p>	<p style="text-align: center;"><b>【あ】</b></p> <p>Ex-cell 式 37</p> <p>FET 158</p> <p>In-cell 式 37</p> <p style="text-align: center;"><b>【お～わ】</b></p> <p>O<sub>2</sub><sup>-</sup> 86</p> <p>PTFE 繊維被覆電極 148</p> <p>SPE 109</p>	<p>SPE 電解 109</p> <p>TEMPO 81, 114</p> <p>Walden 則 129</p> <p style="text-align: center;"><b>【ギリシャ文字】</b></p> <p>β 効果 55</p>

— 編著者・著者略歴 —

**淵上 寿雄** (ふちがみ としお)  
1969年 群馬大学工学部合成科学科卒業  
1974年 東京工業大学大学院博士課程修了  
(化学工学専攻) 工学博士  
1974年 東京工業大学助手  
1986年 東京工業大学助教授  
1998年 東京工業大学教授  
2012年 東京工業大学特命教授・名誉教授  
現在に至る

**稲木 信介** (いなぎ しんすけ)  
2002年 京都大学工学部工業化学科卒業  
2007年 京都大学大学院博士後期課程修了  
(高分子化学専攻)  
博士(工学)  
2007年 日本学術振興会特別研究員  
2007年 東京工業大学助教  
2011年 東京工業大学講師  
現在に至る

**跡部 真人** (あとべ まひと)  
1993年 中央大学理工学部応用化学科卒業  
1995年 東京工業大学大学院修士課程修了  
(電子化学専攻)  
1996年 東京工業大学大学院博士課程中途退学  
(電子化学専攻)  
1996年 東京工業大学助手  
1998年 博士(工学)(東京工業大学)  
2002年 東京工業大学講師  
2007年 東京工業大学准教授  
2010年 横浜国立大学教授  
現在に至る

有機電気化学—基礎から応用まで—

Organic Electrochemistry

— From Fundamental Aspects to Applications —

© Fuchigami, Atobe, Inagi 2012

2012年6月8日 初版第1刷発行

★

検印省略

編著者 淵上寿雄  
著者 跡部真人  
稲木信介  
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

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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06624-1

(金) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



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おります。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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたしません