金属タンパク質の電子移動制御と電子機能素子の構築

熊本大学工学部 谷 口 功

Direct electron-transfer reactions of cytochrome *c*, ferredoxin and myoglobin at functional electrodes have been demonstrated and the functions of the suitable surfaces for the rapid electron-transfer have been discussed. Pyridyl promoter modified gold electrodes and positively charged polypeptide modified surfaces were effective for cytochrome *c* and ferredoxin, respectively. Highly hydrophilic surface of indium oxide electrodes gave well-defined voltammograms of both horse heart and sperm whale metmyoglobins. These functional electrodes are applicable to various bioelectrochemical measurements, to build up bioelectrocatalytic reactions with the aid of enzyme reactions, and to develop various electrofunctional devices on the basis of protein electrochemistry.

electron transfer/functional electrode/cytochrome *c*/myoglobin/ferredoxin/electronic device

1. はじめに

生体系の電子移動反応は、生体機能制御の最も重要な反応過程1つとして注目される。従って、電子伝達機能を持つ金属タンパク質の電子移動反応を制御することは金属タンパク質の機能の本質を理解する上で重要であるばかりか生体機能を応用する上での基要素技術としても重要である。

電気化学的手法は簡便で有効な電子移動制御法であるが、これまでタンパク質の電子移動を電極上で制御することは困難と考えられてきた。しかし近年、電極表面を機能化した電極を用いることで金属タンパク質の電極上での電子移動制御が可能となることが明らかになりつつある。この種の機能界面を用いた電子移動制御は、電極電位を連続的にしかも広い領域にわたって変えることができるので、(1)酸化還元電位の異なる一連の類似した金属タンパク質の電子移動反応を同じ条件下で一挙に解明できる。(2)微細な構造変化が識別できる(3)電子移動を酸化と還元の両方向にわたって制御できるなどの利点を有している。

また、電気化学法は分光学的手法との組合せも比較

的容易で電子移動反応に伴う金属タンパク質の構造変化も *in situ* にかつ動的にとらえることも可能である。

ここでは、金属タンパク質の電子移動制御のための機能電極の例とその機能発現のための主要な要素に言及しさらに生体系電子伝達分子の電子移動制御を介した機能素子の構築について述べる。

2. 金属タンパク質の電子移動制御のための機能電極表面

生体内での電子伝達タンパク質の電子移動機能を「電極」を用いて制御できれば、金属タンパク質の電子移動機能を外部から電気的に制御できることになる。しかし、タンパク質のような比較的大きな分子と電極との間の電子移動は一般的には容易ではなく、長い間タンパク質はむしろ電気化学的には不活性（電極上でうまく電子移動しない）と考えられてきた。これは電子伝達機能部位がタンパク質分子表面から少し内部に埋もれていたり電極表面という異質な表面上でタンパク質が変性してしまうことによると考えられていたからである。しかし電子伝達タンパク質は、本来、電子伝達機能の発現に都合のよい構造になっている。すなわち、一般に、分子サイズが比較的小さく（分子量<約15,000）酸化還元中心がタンパク質分子の表面近くにあることなどの特徴を有している。一方、生体系では、電子伝達のためのタンパク質分子間の複合体形成において静電的相互作用や双極子モーメントの作用に基づく結合部位のかなり厳密な認識があることも知ら

Electron-Transfer Reactions of Metalloproteins at Electrodes and Preparation of Electro-functional Devices

Isao TANIGUCHI

Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Kumamoto University

れている。したがってこれらの性質をうまく取り入れることによって、電子伝達タンパク質の電極上での電子移動が可能となっても不思議ではない。

2-1 チトクロムcの電極反応

チトクロムcは呼吸鎖末端の電子伝達タンパク質で、チトクロムリダクターゼから電子を受け取りチトクロムオキシダーゼに渡す役割を担っている。チトクロムオキシダーゼは受け取った電子を用いて酸素を水に還元することで呼吸系が完成する(図1)。チトクロムcは市販品が入手できることもあって、金属タンパク質の電極反応の研究にいち早く用いられ、最も研究例も多い¹⁾。このチトクロムcについては、電極表面に電子移動プロモーターと呼ばれる機能分子を修飾して電極を機能化する方法や酸化インジウムのような酸化物電極を用いることで、その電極反応が観測できる^{1,2)}。

すなわち、金や銀電極とイオウ原子との強い相互作用を利用してイオウ原子を含む機能分子を修飾固定化したプロモーター修飾電極(図2)は、チトクロムcの電極上での直接電子移動を可能にする^{2),3)}。例えば、ビス(4-ピリジル)ジスルフィド(PySSPy)は電極上にS-S結合が切れた状態で非可逆的に吸着固定化されるがこの修飾電極上では、チトクロムcの可逆な電子移動(不均一電子移動速度定数 $k^0 = 5 \sim 10 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \times 10^{-3} \text{ cm/s}$)が観察される。一方、構造の類似したジフェニルジスルフィド(PhSSPh)修飾電極上ではこのような速い電子移動は見られない(図3)。チトクロムcの場合、酸化インジウム電極も有効であり、さらに充分親水化処理した裸の金や銀電極上でも、酸化還元波が見られると言われている。使い勝手の上では、プロモーター修飾電極が電極の安定性、結果の再現性などにおいて群を抜いているがチトクロムcの電極反応については、数多くの電極が次々に出現したために電極表面に要求される性質として何が大切なのかかえって不明確になっている。電極界面の機能すなわち、どのような電極表面がチトクロムcの電極上での電子移動に有効かを考えることは、今後、新たな金属タンパク質の電子移動制御のための電極を開発する上でも重要であり、また興味深い。

チトクロムcの電極反応制御に用いられる代表的な電極の例として、PySSPy修飾金電極と酸化インジウム電極(In_2O_3)の場合についてその比較検討が行なわれている⁴⁾。例えばプロモーター修飾電極上では、市販の未精製のチトクロムcを用いた場合も比較的良好なボルタモグラムが得られるのに対して、 In_2O_3 電

図1. ミトコンドリア内膜での呼吸鎖の電子の流れ。
C: チトクロムc, a/Cu/a₃: チトクロムオキシダーゼ, b_L/b_H/FeS/C₁: チトクロムリダクターゼ

図2. チトクロムcの速い電子移動が可能な機能電極表面(電子移動プロモーター分子修飾電極)の例。表面修飾剤 PySSPy: ビス(4-ピリジル)ジスルフィド, PuSH: 6-メルカプトピリジン, PATS: ピリジンアルデヒドセミカルバゾン

図3. 修飾電極上でのチトクロムcのボルタモグラム(修飾剤分子の構造によって機能が異なる様子)。
a) ビス(4-ピリジル)ジスルフィド, b) ビス(2-ピリジル)ジスルフィド, c) ジフェニルジスルフィド修飾電極 いずれもS-S結合が開裂して電極表面に修飾される。

極上では市販品の中に含まれる変性成分を除去した精製チトクロムcについてのみ、良好なボルタモグラム

が得られる。市販チトクロム *c* の中に含まれる各成分 (大別して一部のアミノ酸が変化した成分やタンパク質分子が2分子あるいは数分子会合したものなどが含まれている) を分離して各々の電極反応を検討した結果、 In_2O_3 電極上へは、これらの変性成分が強く吸着して電極表面を不活性化するのに対して、プロモーター修飾電極上ではプロモーター分子自身が電極に強く吸着するため変性成分の電極への吸着による反応のブロッキングがなく、個々の変性成分の電気化学応答も測定できた。このことは、金属タンパク質の電気化学応答を得るために、用いる電極によってはタンパク質の精製が極めて重要な役割を果たすことを意味するとともに、金属タンパク質の電子移動のための電極表面に要求される機能の1つに、測定対象としたタンパク質自身あるいは試料中に共存するタンパク質成分などの電極表面への吸着を抑制する効果があることを示している。

一方で、プロモーター修飾分子の分子構造が、金属タンパク質の電気化学応答に相違をもたらす (図3) ことは、機能修飾剤とタンパク質分子との相互作用も要求されることを意味している。チトクロム *c* の場合、表面修飾剤のポリジン部位の窒素原子はチトクロム *c* の酸化還元中心であるヘム周辺にある正に帯電したリジン残基 ($-\text{NH}_3^+$) と相互作用する役割を有すると考えられている。積極的に負に帯電したガルボキシル基 ($-\text{COO}^-$) を電極表面に導入することで単分子程度のチトクロム *c* を配向よく並べチトクロム *c* の単分子層の電気化学応答も研究されている⁵⁾。

2-2 フェレドキシンの電極反応

チトクロム *c* のように電子移動制御が可能な数多くの機能電極が知られている金属タンパク質は未だむしろ少なく、多くのタンパク質については機能性電極の開発が現在進められているところである。

最近、筆者らは、中性領域で負電荷を帯びた非ヘム系酸性タンパク質であり光合成系における重要な電子伝達機能を有するフェレドキシンの明確なボルタモグラムの測定に成功した⁶⁾。

チトクロム *c* の速い電子移動が観測される In_2O_3 電極あるいは機能分子修飾電極上では、高純度のフェレドキシンを用いた場合でもその電子移動反応はほとんど観測されない。これは例えば In_2O_3 電極の場合を考えると、 $\text{pH}6.0$ 以上では In_2O_3 電極表面もフェレドキシンも負に帯電しており、この静電的反発がフェレドキシンの速い電子移動を妨げている要因の1つと考えられる。また、PySSPyなどの機能分子修飾金電極そ

図4. フェレドキシンの速い電子移動が可能なカチオン性ポリアミン修飾電極の例。p-L-Lys: ポリ-L-リジン

のものではフェレドキシンと適切な相互作用ができないものと考えられる。そこで、電極表面の静電的狀態を変えるため正電荷を有するポリ-L-リジン (p-L-Lys: $\text{pKa}(\text{Lys})=10.5$) などを存在させると中性から弱アルカリ性溶液中で、フェレドキシンの明瞭な酸化還元波が得られた。ポリ-L-オルニチン (p-L-Orn: $\text{pKa}(\text{Orn})=10.7$) やポリ-L-アルギニン (p-L-Arg: $\text{pKa}(\text{Arg})=12.5$) をプロモーターとして共存させても同様にフェレドキシンの明瞭な酸化還元波が観測される⁷⁾。

これらのポリペプチドのプロモーター機能が主に電極表面上の静電的效果に起因することを示すために、p-L-Lysのアミノ基とカーボン電極表面のカルボキシル基とのアミド結合によって、あるいは、 In_2O_3 電極上にポリペプチドを非可逆吸着させる方法や、化学的にアミノ基を末端にもつ分子を導入固定化する方法 (図4) などを用いて修飾電極が作成できる⁷⁾。これらの修飾電極上ではいずれの場合もフェレドキシンの酸化還元波が得られ、電極表面の正電荷がプロモーターとしての機能を有することが示された。ハウレン草由来のフェレドキシンに対して得られたボルタモグラムの解析から、修飾電極上での不均一電子移動速度定数は 10^{-3} cm/s オーダーの極めて速い電子移動が達成されている。この電極は、ハウレン草由来のフェレドキシンばかりでなく、トウモロコシ由来のものやそのアミノ酸の一部改変体などにも広く有効であることが示されている⁸⁾。

2-3 ミオグロビンの電極上での直接電子移動

ミオグロビンは筋肉組織に見られる分子量18,000程

度のヘムタンパク質で、その生理的機能は酵素貯蔵および運搬であり電子伝達体ではないが、その機能は還元体であるフェロミオグロビンのヘム鉄との強い親和力に由来している。ミオグロビンの電極反応は、これまで種々の電極系を用いて測定が試みられてきたが、電子移動速度が小さく、明確なボルタモグラムを得るには至らなかった。ミオグロビンは電子伝達タンパク質に比べ分子サイズが大きくヘム部位も分子中に若干埋もれていることから、その電極上での直接電子移動は困難と考えられ、半ばあきらめられていた。しかし最近、著者らはウマ心筋由来のミオグロビンを用いて pH6.5 の溶液中、窒素雰囲気下 In_2O_3 電極上で明瞭な酸化還元波を得た⁹⁾。この場合、市販ミオグロビンの精製によって含まれている二量体成分や酸化還元中心の欠落したアポミオグロビンなどを除去した高純度のミオグロビンを用いた。pH6.5 でのウマミオグロビンの不均一電子移動速度定数 k^0 は $3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ で、これまで報告されているもののなかで最も大きな値である。 k^0 の値には pH 依存性が認められ、pH6.5 付近で最も大きくなるが、興味深いことに等電点が異なるウマ ($\text{pI}=6.8$) およびクジラ ($\text{pI}=8.25$) ミオグロビンともに、 k^0 の pH 依存性に大きな変化は認められなかった⁸⁾。ウマとクジラのミオグロビンのアミノ酸配列は 18 カ所異なるが、ミオグロビンの酸化還元中心であるヘム近傍のアミノ酸配列が類似していることから、ミオグロビンの電極反応には、分子全体のアミノ酸配列よりは、むしろヘム付近の局部的荷電が影響を与えることを示唆している。ミオグロビンの場合、ヘム近傍にプロピオン酸残基が存在し、負に帯電していることから、p-L-Lys がこの部分と相互作用して電子移動反応を促進すると考えられたが、フェレドキシンの場合とは逆に p-L-Lys の添加あるいは電極表面修飾では電子移動反応は完全に抑制された。一方、ミオグロビンの電極反応は In_2O_3 電極表面の親水性とよい相関を示し、高い親水性表面で速い電子移動反応が認められた¹⁰⁾。窒素雰囲気下でのミオグロビン（メトミオグロビン）の酸化還元反応は、ヘム鉄の第 6 配位子座での水分子の配位-脱離を伴うことと関係しているものと考えられる。事実、第 6 配位にシアニ化物イオン (CN^-) を有するシアノミオグロビンの電極反応の観察には、メトミオグロビンの場合のような高親水性表面が要求されるわけではない。

2-4 金属タンパク質の電子移動制御と機能電極表面の設計

今日ではチトクロム c、フェレドキシン、ミオグロ

ビンの他にも、いくつかの金属タンパク質の電極上での速い電子移動が実現されている。電子伝達機能タンパク質であるアズリンやプラストシアニンなどのブルー銅タンパク質は、タンパク質全体としては中性あるいは酸性タンパク質で中性溶液中では負電荷を有するが、塩基性タンパク質であるチトクロム c に対して有効であった PySSPy 修飾金電極を用いた電極表面上での速い電子移動が可能である。チトクロム c₃ のような分子量 10,000 以下の分子の中に 4 つの酸化還元中心（ヘム）を有するものなどは、通常の電極上で直接電子移動が観察されている。カーボン電極を用いて特別に電極表面を修飾することなく、あるいは必要に応じて溶液中に多価イオンを適量存在させることで金属タンパク質の電子移動が観測されることもある。これらの結果は、金属タンパク質の電子移動制御のための電極表面に対する考え方を一見極めて複雑なものにしている。

最近では、少しずつチトクロム c 以外のタンパク質についての機能電極に関する知見も増大してきた。また、タンパク質工学の進歩や X 線結晶学によるタンパク質の構造の解明など、金属タンパク質自身についての知見も増大してきており総合的な判断ができるようになった。これまでの研究結果から、対象となるタンパク質の性質や電極上での速い電子移動を可能にするメカニズムが必ずしも一つではないと考えられることから、電極表面に要求される性質を一言で表現することは容易ではない。しかし、一般に、タンパク質の電子移動制御を可能にする機能電極上では(1)タンパク質の電極上での吸着変性が抑制されていること、(2)電極とタンパク質と無用な静電的反発が排除されていること、(3)タンパク表面となじみ易い電極表面になっていること、さらに、(4)電極表面と特に酸化還元中心近傍の局部的なタンパク表面の特性との間に適切な配向を保つための相互作用が維持できること、などの界面機能が関わっていると考えられる。電極上でのタンパク質の電子移動反応に種々のメカニズムが考えられ（図 5）、電極表面やタンパク質に依存して異なるメカニズムを介した電子移動が進行するとすれば、いくつかの界面機能の中の一つの側面が支配的となって現れることも極めて妥当な帰結である。

3. 電子機能素子の構築

金属タンパク質の電子移動の制御が可能な機能電極は生体分子にアクセスするための 1 つの電子機能素子であり、また、金属タンパク質の電子移動反応を利用

図5. 水溶性金属タンパク質の速い電子移動を可能にする機能電極表面創製概念(上)と機能電極上での金属タンパク質の電子移動様式(下)の例.

- a) 電極との弱い相互作用を介して電子移動する場合
b) 電極上に吸着固定化された金属タンパク質分子を介して電子移動する場合.

した素子と考えられる.

3.1 生体分子にアクセスするための電子機能素子としての機能電極

機能界面を用いた金属タンパク質の電子移動は、一般に、電極電位を巾広くかつ連続的に変化させて電子移動を酸化と還元の両方向で制御できる。この特徴を生かして、機能電極をプローブとして金属タンパク質の生体機能の評価・解明のための生物電気化学的計測が可能である。例えば、タンパク質は温度やpHによって構造を変えることでその機能を発現・維持していると考えられるがその変化を酸化還元電位 (E^0) の温度やpH依存性という形で評価できる¹¹⁾。さらに、電子移動に伴う構造変化およびそのダイナミクスの解明から金属タンパク質の電子移動の方向制御のメカニズムの解明が期待される¹²⁾。最近のタンパク質工学の進展とも相まって、金属タンパク質分子の機能発現に対する個々のアミノ酸残基の役割の解明にも寄与できる。タンパク質分子内及び分子間の電子移動経路や分子認識に関する知見を得ることもできる^{8), 13)}。

金属タンパク質は今後の電子機能素子に関するアイディアの宝庫であり、これらのタンパク質の特性や機能を理解することは電子機能素子構築の基本的な要素として極めて重要である。そこには電子機能素子の可

能性をいくつも拾うことができる。酸化体と還元体で吸収スペクトル、円二色性スペクトル、などが異なることは表示素子やスイッチング素子としての可能性を示している。pHや温度で構造が変わることで酸化還元電位が異なることも、スイッチング素子や熱電変換素子としての要素である。

3.2 人工光合成系の構築

光合成系の末端に存在する電子伝達タンパク質であるフェレドキシンは光励起された電子のその後の反応過程を制御する重要なタンパク質である。フェレドキシンの電子移動反応を制御することで、数多くの人工光合成反応系を構築できる。すなわち、還元体フェレドキシンの還元力に適当な酵素反応系を組み合わせると自然界類似の興味ある精密有機合成化学反応の展開が可能になる。例えば、フェレドキシン-NADP⁺還元酵素を用いて、フェレドキシンを電子伝達媒体としたNADP⁺からNADPHへの変換が制御できる。この反応は、電極上でのフェレドキシンの触媒還元電流の増加として容易に観測される。さらに、NADPHを補酵素とする酵素反応を組み合わせると、用いる酵素によって種々の酵素反応系が構築できる可能性がある。炭酸ガスの固定化やアミノ酸生成などの有機化学反応、さらに窒素酸化物イオンの還元などが試みられている^{6), 8), 14)}。これらの反応系は、フェレドキシンの電子移動制御電極を用いたバイオリアクターを組み立てることによって人工光合成システムになる。また、機能修飾電極上にタンパク質を配向性よく固定できれば、人工光合成反応のための電子機能素子となる可能性もある。これらはエネルギー変換や分子変換のための電子機能素子へのアプローチの1つである。

フェレドキシンの中には窒素固定に関わるものもあり反応系を選ぶことで、窒素固定も可能になると期待される。また、光電気化学反応でフェレドキシンの電子移動制御ができれば、簡単な人工光合成系が構築できることになる。

3-3 生体機能電子素子

生体系での電子伝達にかかわる機能を積極的に利用することで、あるいは、それにヒントを得て機能素子ができると考えられる。細胞膜では電子移動の方向制御が行なわれている。例えばミトコンドリア内膜の呼吸鎖におけるチトクロムcオキシダーゼはチトクロムcから受け取った電子を分子内で膜の反対側まで運び酸素に電子を与える(図1)。すなわち、膜中に埋め込まれたタンパク質はその配向が制御され、また、分子内の酸化還元系のレドックス電位の差を利用するこ

とで、電子移動の方向を制御している。タンパク質を電極表面に配向性よく修飾固定化できれば、細胞膜類似の方向性を持った電子伝達機能素子となる。また、この種のダイオード機能のモデル素子を有機薄膜を用いて作製することも試みられている¹⁵⁾。

情報変換を目的として生体分子の分子識別能を利用した電子機能素子としてのセンサは、既に実用レベルのものも数多く知られているのは周知の通りである。

4. おわりに

生体分子の電子移動制御のための機能修飾電極は、多様な機能分子の存在を考えれば無限の可能性を有している。今後、機能界面が原子・分子レベルで詳細に解明されるに従って、その機能発現に関する本質的な理解が進むと考えられる。生体系の電子伝達に関わる数多くの金属タンパク質と対話のできるプローブを得ることで、生体系の機能や特性が急速に明らかにされることは確かである。生体系にアクセスできる機能界面は、今後の電子機能素子構築の基礎として益々重要になる。

文 献

- 1) 谷口功 (1990) 現代の電気化学, 第8章, 新星社, 名古屋; 谷口功 (1990) 生物化学素子とバイオコンピュータ II, p. 81-87, サイエンスフォーラム社, 東京; 谷口功 (1985) 表面, **23**, 597-614 谷口功 (1988) 電気化学, **56**, 158-162; 谷口功 (1992) 化学工業, **43**, 279-285など
- 2) Taniguchi, I. (1988) *Redox Chemistry and Interfacial Behavior of Biological Molecules* (Dryhurst, G., Niki, K., eds.) 113-123, Plenum Publ., New York; Taniguchi, I. (1990) *Charge and Field Effects in Biosystems II* (Allen, M. J., Cleary, S. F., Hawkridge, F. M., eds.) 90-100, Plenum Publ., New York.
- 3) Taniguchi, I., Toyosawa, K., Yamaguchi, H., Yasukouchi, K. (1982) *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1032-1033; Taniguchi, I., Toyosawa, K., Yamaguchi, H., Yasukouchi, K., (1982) *J. Electroanal. Chem.*, **140**, 187-193.
- 4) Taniguchi, I., Kurihara, H., Yoshida, K., Tominaga, M., Hawkridge, F.M. (1992) *Denki Kagaku*, **60**, 1043-1049.
- 5) Song, S., Clark, R. A., Bowden, E. F., Tarlov, M. J. (1993) *J. Phys. Chem.*, **97**, 6564-6572; Bowden, E. F. (1993) *Rev. of Polarogr.*, **39**, 28-31.
- 6) Taniguchi, I. (1991) *Proc. Int. Symp. on Chem. Fix. of Carbon Dioxide* (Ito, K., ed) p.81-88, Chem. Soc., Jpn., Tokyo; Taniguchi, I. (1990) *Rev. of Polarogr.*, **36**, 40; (1991) *ibid.*, **37**, 12; (1992) *ibid.*, **38**, 17-18.
- 7) Taniguchi, I., Hayashi, K., Tominaga, M., Muraguchi, R., Hirose, A. (1993) *Denki Kagaku*, **61**, 774-775; Taniguchi, I., Hirakawa, Y., Iwakiri, K., Tominaga, M., Nishiyama, K. (1994) *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, in press.
- 8) Taniguchi, I. (1993) *Rodox Mechanisms and Interfacial Properties of Molecules of Biological Importance* (Schultz, F. A., Taniguchi, I., eds.) p. 9-20, Electrochemical Society, Inc., Pennington.
- 9) Taniguchi, I., Watanabe, K., Tominaga, M., Hawkridge, F.M. (1992) *J. Electroanal. Chem.*, **333**, 331-338.
- 10) Tominaga, M., Kumagai, T., Takita, S., Taniguchi, I. (1993) *Chem. Lett.*, 1771-1774.
- 11) Ikeshoji, T., Taniguchi, I., Hawkridge, F.M. (1989) *J. Electroanal. Chem.*, **270**, 297-308; Taniguchi, I., Iseki, M., Eto, T., Toyosawa, K., Yamaguchi, H., Yasukouchi, K. (1984) *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **13**, 373-383.
- 12) Yuan, X., Sun, S., Hawkridge, F. M., Chlebowski, J. F., Taniguchi, I. (1990) *J. Am. Chem. Soc.*, **112**, 5380-5381; Taniguchi, I., Muraguchi, R., Nishiyama, K. (1994) *Denki Kagaku*, to be published.
- 13) Tominaga, M., Hayashi, K., Taniguchi, I. (1992) *Anal. Sci.*, **8**, 829-836.
- 14) Taniguchi, I., *Ext. Abstr. for the 185 Meeting of the Electrochem. Soc.*, (San Francisco, U. S. A.) in press.
- 15) Taniguchi, I., Shimoota, T., Tominaga, M., Nishiyama, K., (1994) *Microchem. J.*, in press.

たにぐち いさお

昭和22年10月24日生。工学博士。昭和45年東京工業大学理工学部応用化学科卒業, 50年同大学院博士課程修了, 熊本大学工学部助手, 講師, 助教授を経て, 平成2年より熊本大学工学部教授。

専門分野は電気化学, 特に生物電気化学, 界面分光電気化学, 触媒電気化学, 計測化学など。趣味は旅行。The harder you work, the luckier you get がモットー。

連絡先 〒860熊本市黒髪2-39-1 熊本大学工学部応用化学科(勤務先)

TEL 096-344-2111 内3655 FAX 096-345-1576