



In Laboratory Now

研究室訪問

1

分子レベルの超薄膜が新たな応用化学を招く ——LB膜が再現する生体膜の機能——

藤平研究室

生体分子工学科

人間は生物のもつあらゆる機能を再現してきた。鳥の翼を飛行機が、動物の毛皮を衣服が、といった具合である。しかし、最近までは細胞レベルの機能といったことまでに、人間の手が届くことはなかった。そして、そうした機能は、「神技」として人間を驚嘆させるだけだったが、いままたその一端で事情が変わってきている。LB膜という分子レベルの薄膜が、生体における機能を人の手が再現することを可能にしつつあるのだ。そこで今回、LB膜を主な研究対象にしている藤平研究室を訪ねてみた。



藤平正道教授



新たな可能性への挑戦——生体分子工学

生物、その体内で行なわれている活動を考えるとき、われわれはその多様さと精巧さに驚かされる。遺伝情報の伝達、タンパク質合成、ATPによるエネルギーの代謝とさまざまあるが、そういった発見はまさに近年の生物学、なかでも分子生物学や生化学によるところが大きい。あ

ちらで〇〇の構造解析ができたといえ、こちらで××の人工合成に成功したという具合に次々に発見成功が重なっている現在、DNAの構造解析といった大事件も、生物の先生方などにはなつかしい話となってしまった。まさに生物科学における進歩は、階段をかけ上がるような勢い

であったと言えよう。そうした生物学の知識が集積されて行く中、その影響を受けながら応用化学の領域にいま、新しい一分野が生まれつつある。それが、生体分子工学なのだ。



分子レベルの生体機能へアプローチする応用化学

生体分子工学？——生物学に興味をもつ人の中にも、こうした感を抱かれる人は少なくないだろうと思う。「生」のつく学科が次々に新設されるなか、それらの学科の中で一体何が行なわれているのか、また行

なわれることになるのか、その学科に入ってでもない限りよくは知らないのが実情だろう。そうした訳でまずここに「生体分子工学」という言葉の意味について少し述べてみようと思う。

藤平先生のお言葉をかり、まず端的に言い表わすと、生体分子工学は「生体内の分子レベルの活動を原理的に取り出して、分子工学へ応用すること」という具合になる。無論、これだけでは端的すぎてよく分からないが、要するに「生物が自分の体の中でやっていることを、応用化学者の手の上でもやってみよう」ということなのである。生体内のある器官をそのまま再現するという視点ではなく、ここでは特にその生体内で

行なわれる主要な反応、あるいは機構だけを取りだして、それを人の手の上で…というのが生体分子工学なのである。そのことを先生にうかがったところ、本当に熱っぽく語って下さった。藤平先生はもともと電気化学と界面化学を専門とされ、長年その力量を発揮されていらした方なのだけでも、生物学と応用化学のはざまに先生がみていたのは、われわれが考えもしなかった素晴らしい未来への夢だったのである。



カエルの筋肉から始まった電気化学が再考される

「ガルバニーという人がいたんですよ。イタリアの学者なんですけどね。そのガルバニー先生がいまから200年くらい前に、いわゆるカエルの筋肉に電極を入れて電気を取りだしたということがあったんです。それが後にボルタパイルといういまの電池の原型へ発展するわけですが、そのボルタにしる、ガルバニーにしるが、実はファラデーとかアンペールとかいう人が出てくる前に電気というものを手にしていたんですよ。つまり、電気化学は、電気工学や電子工学などの今のエレクトロニクスより前にあったわけですね。」

それから後、電気の歴史は電気化学から電子工学へと進む。いままではトランジスター、LSIといった電子工学が隆盛を極めているが、そこにあるのは半導体のようなソリッドステートデバイスの類であって、カエルの筋肉のような水気を含んだものではない。実に、電気の歴史の始めにあった湿った系（いわゆる湿式系）での現象はすっかり影をひそめてしまい、カエルの神経を走るイオンと、トランジスターの中を走る電子とは全く相入れないものになってしまったのである。ところが近年になって湿式系における電気化学は再び注目を集めるようになった。——生物学での長足の進歩がなされた

からである。

生物体内の活動を理解する上で、電気化学という視点は欠かすことができない。電気化学というと、とかくメッキだとか、銅の精練といったものが思い起こされがちだが、生体内で行なわれている様々な反応や活動を統合しているのも、よく知られるように、イオンや電子である。このような例ひとつとってみても、生物に対する理解が進んだことで、湿式系の電気化学が活性化されたことは理解されるだろう。いま、このように、電気の歴史の始めにあった湿式系の電気化学が再び注目を集め始めているのだが、歴史の循環性といったものを考えあわせるとき、非常に興味深いものを感じる。

注) Galvani Luigi 1737-1798

イタリアの解剖学者、物理学者。電流現象の発見者として有名である。カエルの筋肉に金属をおしつけることによって電流のおこることを発見した。一般に、Galvaniの動物電気、として知られる。



生体分子工学が新しい触媒への道をひらく

文頭でも述べたが、生体分子工学の背景として、生化学の存在は欠かすことができない。そして、その生化学という分野そのものの成果についても枚挙のいとまのないくらいなのだが、例えば酵素については、生体内のある酵素がなぜそうした触媒作用をするのかといったことが、現在分子レベルで分かってきている。動物でいえばチトクロムといった酵素が生体内での酸化反応に関与していることがわかっているが、これなどは、その活性部位をまねた化合物をつくることで、いうなれば擬似生体触媒ともいうべき新たな触媒への道をひらくものである。そして、もしこれが実現すれば、われわれは酵素由来の高選択性と緩やかな反応条件とを合わせもつ触媒を手にするることになって、例えば、従来燃料電池

の酸化還元触媒として用いられていた白金などの高価な金属触媒を、その未来の触媒が取ってかわるといったことも起こり得るだろう。まあ、これはほんの一例であるが、これに限らず生体内における基礎的な研究の成果が、生体分子工学という分野を通すことによって社会的に高い価値を生み出して行く例は、いま現在は少ないにしても、将来的には数多く見出されると思われる。事実、いくつかのものは研究室において肯定的な方向で実験が進められている。藤平先生の研究なさっているLB膜というのも、その応用方面として、葉緑体における光合成をまねた光電変換（光をエネルギーあるいは信号として電気にかえる）と深く関わりを持つものである。



人が創る光合成——LB膜と光電変換の研究

光電変換に関するプロジェクトは既に10年ほど前から始まっており、デバイスとしての実現を可能にしたLB膜（ラングミュア・ブロッジェット膜）については、約半世紀の歴史がある。LB膜とは、界面化学者ラングミュアらによって開発された固体表面上の単分子膜のことで、平たくいえば、分子が固体表面上に沿って規則正しく一列に並んだものということができる。物質表面に膜をつくる技術には他にも化学結合や物理的強吸着を用いた方法などさまざまあるが、分子を一定の秩序に従って並べ、その空間秩序に由来する機能を発現させることは、LB膜の開発以前には困難なことであった。つまりLB膜以外のものを用いた場合、物質表面にある物質はその表面物質のもつ機能をそのまま発現させることは可能であっても、以下に詳しく

述べる光電変換のような、分子の並びに由来する機能を発現することは不可能だったのである。しかし、もし、光合成や生体膜におけるエネルギー変換を模した分子構造を人の手の上で再現させようとするれば、そういった空間秩序性をもつLB膜は欠くべからざるものであり、50年近く界面化学者らによってのみ研究されていたLB膜がにわかに脚光を浴びるようになったのも、こうした背景によるところが大きい。

LB膜の基本原理は、イメージとしてはそれ程難しいものではなく、水面に両親媒性化合物を浮かべ、その分子が水面上に広がったところで物質に付着させていくというものである。両親媒性化合物とは、親水基と疎水基とを持つ分子のことで、これが水面上では親水基を下側に向けて広がる訳なのだが、ここで分子を

アヒルに例えると、あたかもアヒルは疎水基の頭を水面に並べるといった具合になる。そしてLB膜としては、あとはそのアヒルの頭を付着すべき物質へくっつけていくことになるのだが、そうした付着の方法のひとつとして垂直浸漬法というのが挙げられる。水面に浮いている両親媒性化合物の上から、分子を付着させる固体物質（通常は板状のもの）を押し下げて行くものである。分子は物質の表面へたぐりよせられるように付着して行く。（これはちょうど

ホットミルクにスプーンを入れるといった感じになるのだ。冬などの寒い季節には、しばらく置いておいたホットミルクにスプーンを入れると牛乳の脂肪の薄膜がスプーンについて、なかなかとれないということがあがあるが、イメージとしてそれを思い浮かべると理解の助けになる。）そして、水面に並んだ分子は当然親水基を下に向けていたから、分子は向きをそろえたまま固体表面上に固定されていく。これを空間秩序性といっている訳なのである。

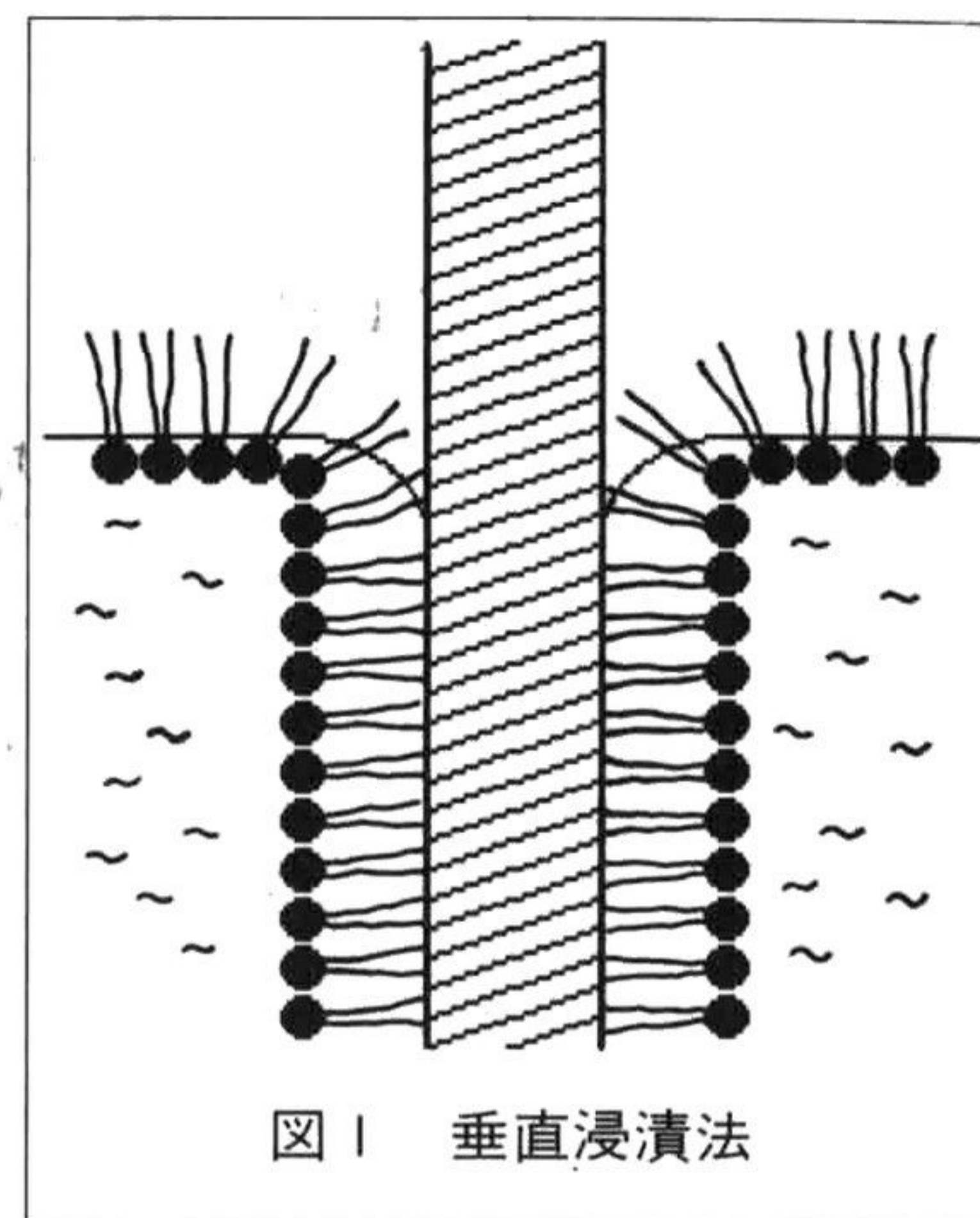


図1 垂直浸漬法

光電変換では、こうしてできたLB膜を下地の金属単結晶などの上に電子アクセプター(A)、増感色素(S)電子ドナー(D)といった物質の各層を重ねていくことになる。これがすなわちA/S/D系と呼ばれる光電変換の最も基本的なシステムである。そして、その作動原理としては、増感色素の電子を光子がたたき出し、その電子がアクセプターの低い準位へ移動し、それがさらに下地金属の安定な低い準位へ移動するというもので、この電子の移動が電流となるのである。そして、電子のたたき出

された増感色素の空の準位には、ドナーの電子が落ちこむことになり、これで一通りの電子の動きが完了するのだが、実際には電子が上に述べたような方向に必ずしも動くとは限らない。例えば、電子がDからSへ移動する速度に比べ、AからSへ移動する逆電子移動の速度が大き過ぎると、光電変換の効率は悪くなってしまい、実用化からは遠ざかってしまうことになる。一口に光電変換の実用化といっても、そこには様々な難しい問題が伴うということなのだ。

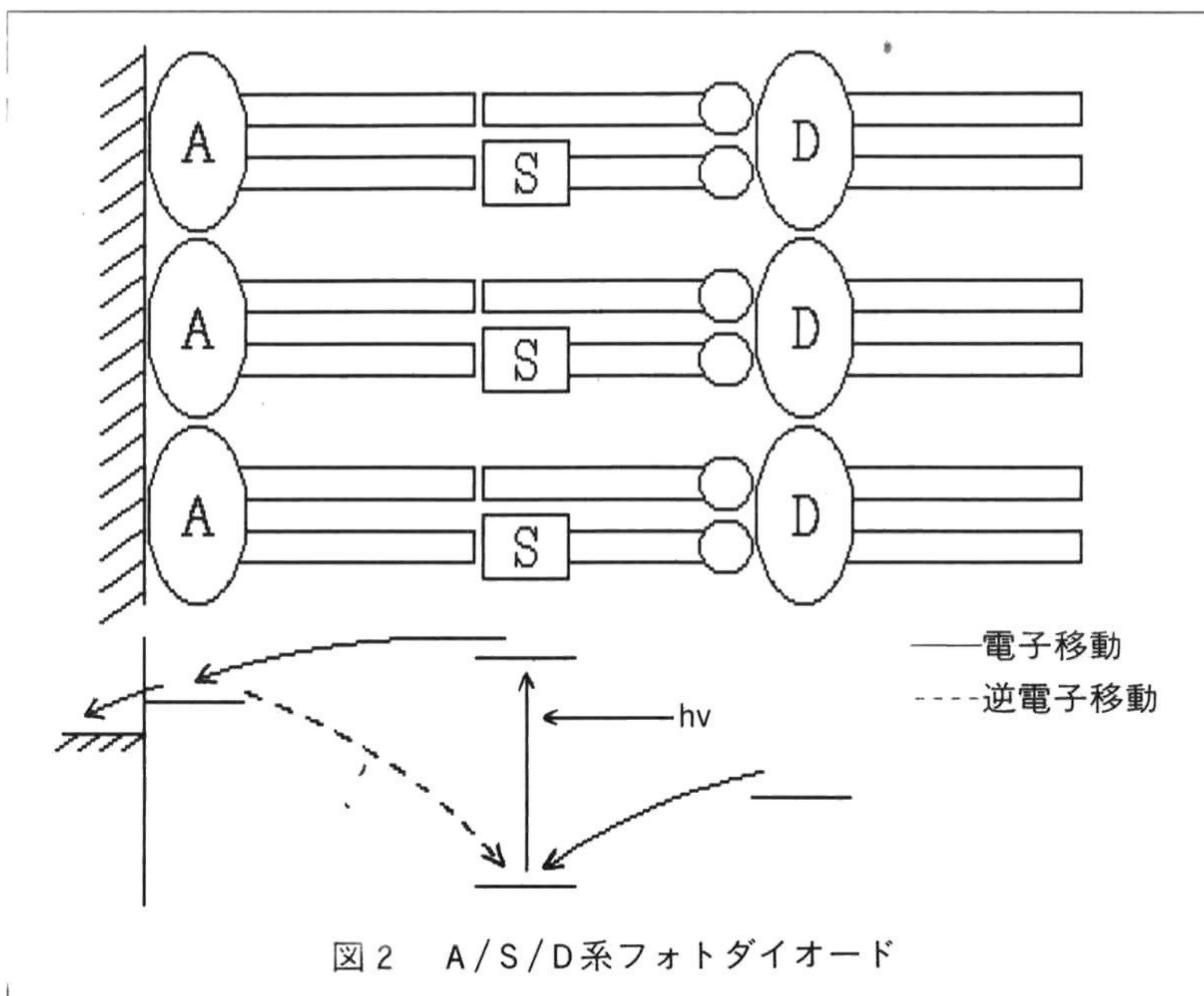
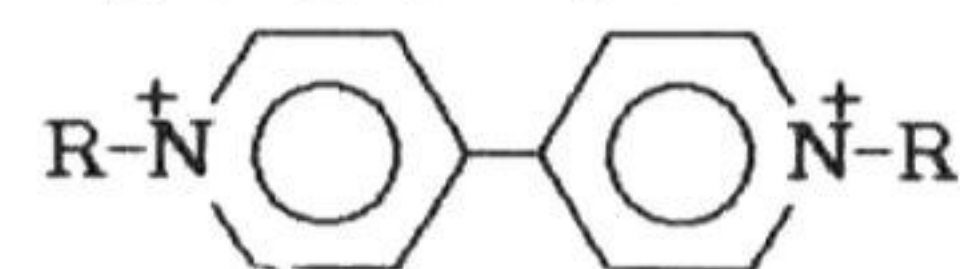
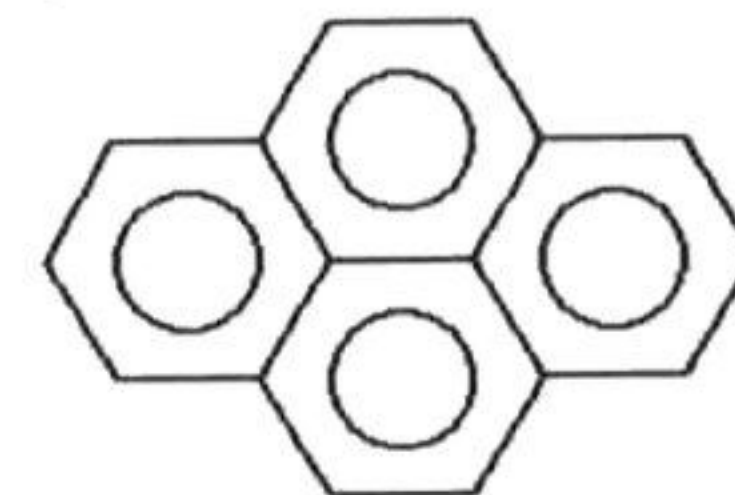


図2 (注)物質の説明

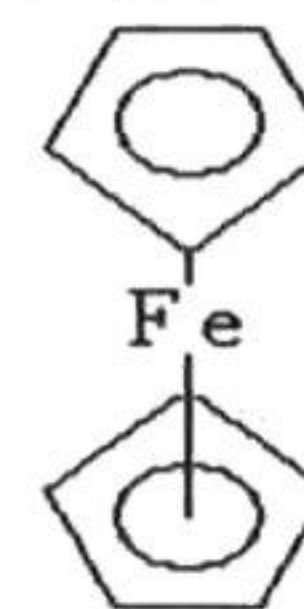
A: ビオロゲン



S: ピレン



D: フェロセン



こうした実際上の問題を解決するため、幾種もの光電変換のシステムがこの他にも考えだされているが、A-S-D系と呼ばれる、A、S、Dの全ての部位を有する単分子を用いたシステムもそのひとつである。

光電変換については、上で述べたようなほんのさわりの部分しか紹介できなかったが、生体を模した分子集合体にLB膜が非常に有効な技術として活躍することはわかっていた

だけたと思う。生体膜の単位構造がリン脂質の2重の分子膜であることを考えあわせると、LB膜が生体分子工学において重要な武器になることは容易に推測されよう。

藤平研究室が長年LB膜を研究してきたということは、まさに生体分子工学という未知の分野にも既に確固たる足がかりのあるということを裏付けるものである。

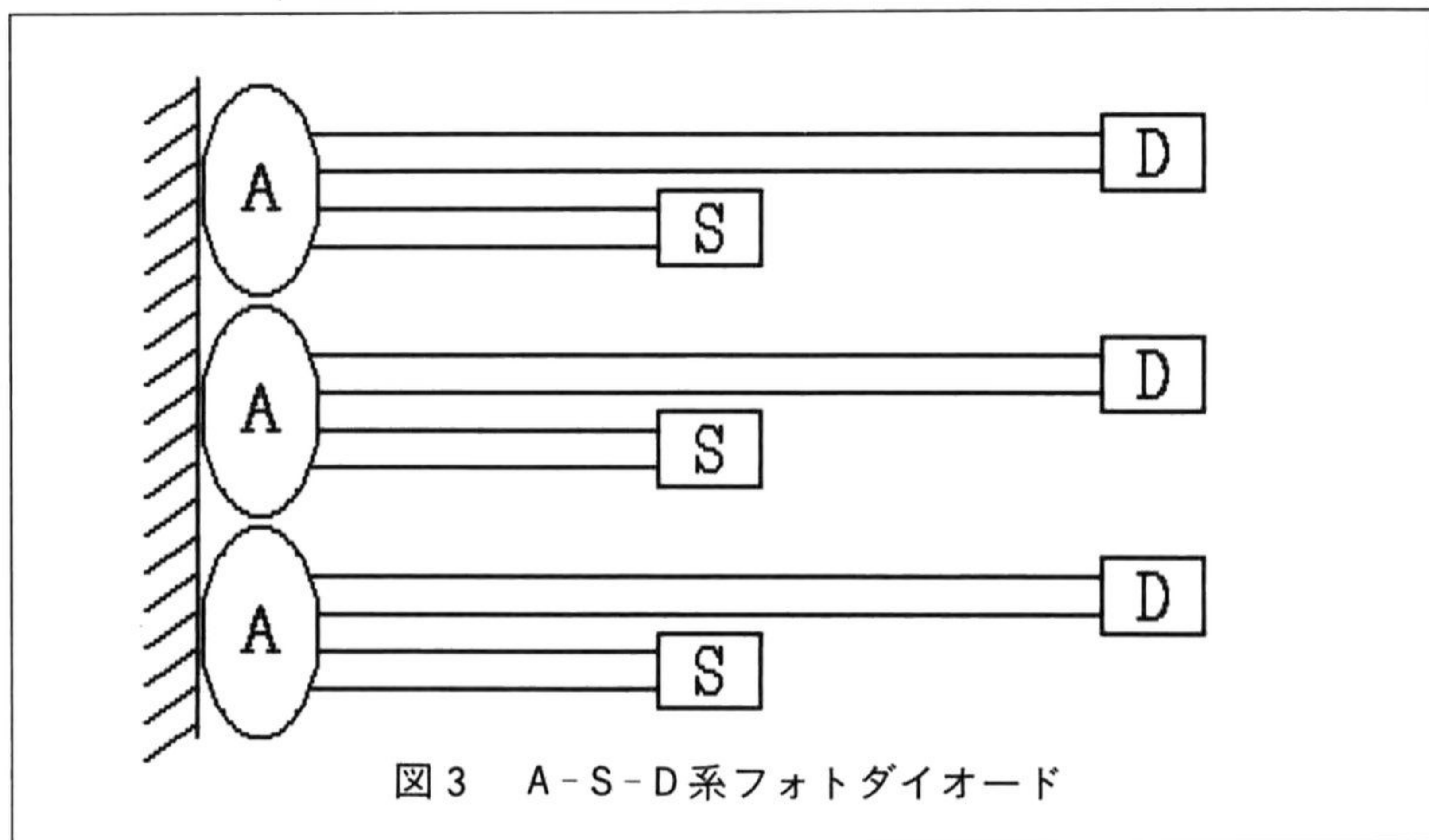


図3 A-S-D系フォトダイオード



五感のシミュレーション——高性能センサーの開発

生体を原典とする生体分子工学の領域は本当に広い。先生の「本当は生体すべての現象を扱いたいくらいなんですけどね。」という言葉も、まるでこの学問の広さに嘆息しているかのように印象深く耳に残ったが、そうした広い生体分子工学の領域の中で、東工大では今後何をやっていくことになるのだろうか。藤平研究室の当面の研究対象というものからうかがってみた。「さしあたって私たちが考えているのは、いわゆる五感ですかね。見る、聞く、それから触覚、嗅覚…あとテイストですか。聴覚とか触覚は別として、それらのうち視覚、嗅覚、味覚というのは、かなり化学の範囲で考えられる訳です。この種のものはまさに生物が信号処理しているんですが、それは、ひとつには凄い高感度ですよ。そ

して高選択でもある。人間なんかはそうでもないですけど、こうしたことを知って、それを利用すれば、もっと良いセンサーができるんじゃないかと思っているんです。」

普通にセンサーと聞くと単なるパーツとしてしか響いてこない人もあると思うが、実際上の利用を考えると、実に豊かなものを含んでいる。具体的に挙げるとすれば、医療面での応用ということがある。われわれが病気にかかればとりあえずは病院に行き、内科ならまず尿検査といったところだが、そこでこのような化学センサーが役に立つ。つまり、尿はもともと様々な化学物質の寄せ集めだけれども、こういったセンサーを使うことで、そのひとつひとつを高選択に、そして高感度に見わけることができるというのである。セン

サー1本を尿の中に浸すだけで、糖の量、タンパクの量、その他の化学物質についても一瞬でわかってしまう。もちろん、それは尿だけとい

わず、血液などでもかまわないだろう。創造力ひとつで利用範囲が広がるということ、それがセンサーの特色と呼べるかも知れない。



生物というのは、時間の関数としてしか定義できない

では、以前に生体の機能をまねたものが、人間生活に役立てられてこなかったのか、というところではない。繊維・建築材料などの分野では既に行なわれていた訳で、例えばそれは、最近の合成繊維だとか、建材用ボードだったりするのだが、実際その応用を見ると、それは必ずしも分子レベルの生体の機能あるいは機構といった視点からなされてきたものとは言い難い。確かに合成繊維などでは、湿気の発散をよくするだとか、汗の吸収をよくするだとかいっ

たことがなされてはきたが、それは動くものとしての生体機能を応用したというよりも、実質は静的な分子の形をまねたという域を出ていないのである。では、ふりかえって、東工大ではどんな具合にアプローチしていくのだろうか、ということになるが、そこで出てくるのが生体機能の動的な把握ということになるのである。藤平先生のグループによって本年度より開講された生体分子プロセスという講座は、まさにそれを言い表わしたものと言えよう。

「生命現象の動的な把握」ということに対して、先生が関心を抱く裏側には、「生物自体が動的なものである。」という概念が存在している。

「生物というのは…これは私の主観が非常に強いんですけど、非生物とは違って時間の関数でしか定義できないんですね。時間を無限にとったら、生物というのは絶対に存在しない。結局、生物というのは決して止まっているものじゃなくて、動いているものなんです。時間の関数として生まれ、成長して、そして死んでいく…。生物というのはある瞬間しか生きてないんですよ。」そう先生は語って下さった。無論、それは生物に限ったものではなく、多分地球上に存在するもので時間の関数とならないものはないだろう。色のあるものは色あせる、形あるものは崩れていく、それは確かに生物・非生物を問わないものかも知れない。しかし、逆に考えて、時間の関数として

対象を見ることにしたときに、最も興味深い関数を抱く対象として、実に生物は注目すべきものとなり得るのではないかと思う。先生のお話の中でも、「生物はろうそくの炎のようだ。」というある医師の例えが引用されたが、生物はそれを外から眺めるよりもはるかにその内側では、動的で、複雑な歯車が一秒一秒を刻んでいる。ろうそくの炎の形はせいぜい風に揺らぐくらいだけれども、その中では次々と燃焼ということが行なわれていて、物質が反応をしつつ流れて行く。ロウソクには、「ロウソクの科学」という本があって、それにまつわる考察が様々な角度から述べられているが、生体というものの中にもまだまだ到底本などでは著しきれない何かが秘められていることは確かである。本のないフロンティアには一体どんな宝が眠っているのか、これからの生体分子工学、生物4学科に期待したい。

(太田)

