

# 人工二重膜の電気的特性

籠田 和 徳\*

## 1. ま え が き

しゃぼん玉は物理的に非常に興味深い研究材料を有しているので、古典的に有名な学者 Boyle (R, Boyle, 1627~91), フック (R, Hook, 1672) および アイザック・ニュートン (1642~1727), ギブス (W, Gibbs, 1876) など数多くの人々によって調べられ、その結果、表面張力や光の干渉などの物理現象に関する有名な研究がなされてきた。

しかし、しゃぼん玉については全く分っていないが、しゃぼん玉の膜が最終的に薄い場合であると考えられる黒い膜<sup>1-2)</sup>の状態が近年測定技術の進歩によって明らかになって来たことにより、しゃぼん玉の本質はさらに解明されるであろう。

この黒い膜の厚さは大体  $50 \text{ \AA}$  位と言われているが、このような黒い薄膜の状態は、界面活性剤などによるしゃぼん玉の形成のみでなく、生体膜についても存在している。

本報では生物体中の生体膜と類似の膜を人工的に作った再構成膜<sup>3-4)</sup>として、卵黄から抽出したレチシン ( $P_L$ , C) など、二分子層膜 (二重膜) を作り、この膜の有する電気的特性の測定結果などを報告する。

## 2. 二重膜の構造と厚さ

一般に二重膜は極性基部分と炭化水素鎖部分からなるりん脂質分子が蛋白質分子と結合して層状に重なり合ったもの同士が、互に疎水性部分 (炭素鎖部分) を向き合わせた対称的構造をしていると考えられる。これは石けん分子によってできた黒膜の場合に較べて、炭素鎖部分と極性基の部分の配列がちょうど逆になっているが、構造的には非常に類似している。

このような構成をしている二分子層の膜厚はかなり薄いことが予想される。膜が干渉色を呈する場合その色によって厚さを推定することが可能であるが、黒い膜の場合には色による推定はできないので、一般に薄膜の厚さを測定する干渉計による方法や光の反射率の測定結果より推定される。Rayleigh によれば反射率  $R$  を

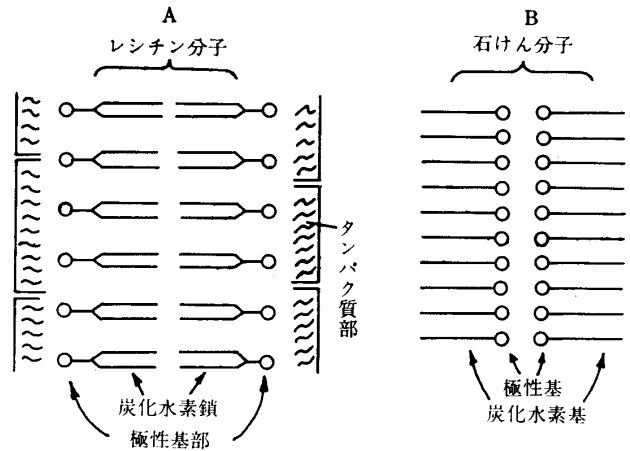


Fig. 1 Schematic diagrams of the double membrane

A : Lecithin molecules

B : Soap molecules

$$R = \frac{I}{I_0} = 4 \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \sin^2 \left[ \frac{2\pi nd}{\lambda} \right] \cos \theta \quad (1)$$

$I_0$  および  $I$  : 入射光および反射光の強さ,  $\lambda$  : 光の波長,  $n$  : 膜の屈折率,  $\theta$  : 膜の中の屈折率,  $d$  : 膜の厚さのように導いている。(1)式より,  $R$  がわかれば, 膜厚  $d$  が求まる。

石けん分子による最も薄くなった黒膜の場合には、前述のように約  $50 \text{ \AA}$  であるといわれる。

一方二重膜の静電容量からも膜厚が決定される。図 1 より静電容量が形成されていることが推定されるが、二つの炭化水素鎖を平行板コンデンサ (厚さ  $d \text{ m}$ ) と仮定すれば、二重膜の厚さは

$$d \doteq \frac{\epsilon_0 \epsilon_s S}{C} = \frac{\epsilon S}{C_0} \quad (2)$$

$\epsilon$  : 誘電率 ( $n$  : デカンが存在する場合 2,001)

$C_0$  : 静電容量 ( $\text{F/m}^2$ )

にて求められるわけである。

以上のことから測定された結果は、分子の構造から推定された値  $46 \text{ \AA}$  とよく一致している。

## 3. 二重膜の形式と電気的特性

### 3.1 二重膜 (黒膜) の作り方<sup>4)</sup>

\* 現在佐賀大学理工学部

膜構成物質として、卵黄からレシチン ( $p_{LC}$ ) 0.5mg をとり  $n$ -デカン 1 ml をその溶媒とした。

まづテフロン製円筒の測面の一部分を薄くした所に約 1 mmφ の穴があいたものを利用し、このテフロンポットの内外両面に  $p_{LC}$  試料を一様に小筆で塗る (まえぬり)。このまえぬりは  $p_{LC}$  が自然に乾くまで放置して何度も行ない、試料の油相がテフロン表面に均一に広がるようにする。

つぎにならしの操作に移る。まえぬりの終わったポットを 0.1N NaCl 溶液中におき、ポットの内外に同じ形状をした白金黒電極を挿入する。二電極を短絡したまま、油相をポットの外面および穴の部分にすみやかにつけたのち 2~3 時間放置する。

ならしの効果は  $p_{LC}$  の分子がテフロンポットの表面より水の表面まで一様に広がって行くためと言われている。また同じ二つの電極を短絡することは、膜の形成が充分進んでなくわづかの内外の電位差や圧力差により膜の形成がさまたげられるのを防止するためと考えられる。

膜の形成状態は光のスポットを当てた状態を遊動検微鏡にて観察する。初め干渉色がみられるが次第に黒膜ができてくる様子が分り、金環色の状態にて静止する (バックに黒い紙をおく)。また膜の表面にごみのような不純物がある場合や周囲の空気泡を取り去るには約 D・C 80mv 程度の電圧を加えて膜をこわしたのち、再び前の要領で膜作りをくり返す。あまり続けてこれをくり返すと穴の囲りを荒すから注意する。

ならしが充分進んで電極を短絡しても油相が安定になれば、再び短絡してしばらく放置し、ポットの穴の部分に油相を静かにつける。これであまくゆけば干渉色を呈する比較的厚い膜より次第に二重膜と見られる黒膜に変り安定する。しかし黒膜の状態は数時間保たれる場合もあるが直ちに破れる場合もある。これは膜を薄くする力に左右されるものと考えられる。

この場合、膜の有するポテンシャルと厚さの関係はかなり分っているが、最終的に薄い黒膜がどうして破れ易いかなどということは未だ種々の問題点を含んでいる。

#### 4. 膜の電気的特性の測定

安定した黒膜が生成したならば、図 2 のように両白金黒間を測定素子とした交流ブリッジ回路につなぎ、素子の有するキャパシタンス  $C$  やコンダクタンス  $G$  の周波数特性を求めた例を図 3 に示した。この場合、測定中し

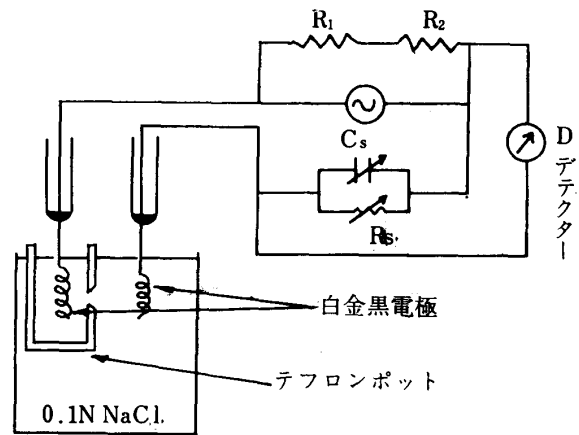


Fig. 2 Schematic view of the measuring apparatus

ばしば黒膜が破れることがあるので再び初期からやり直さなければならない。また安定は黒膜といえども測定中多少その性質が変化することもあるから、すみやかに測定することが要求される。

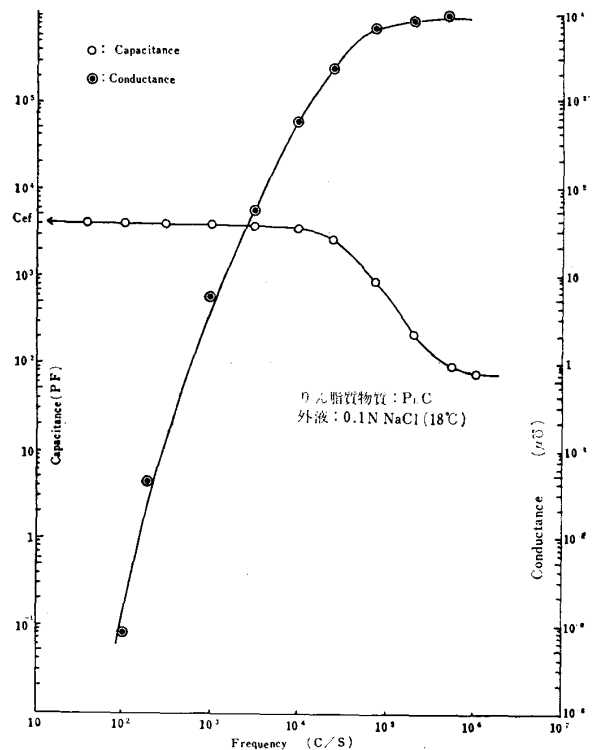


Fig. 3 Relations between Capacitance, Conductance and Frequencies

図 3 より明らかに膜のキャパシタンスおよびコンダクタンスの周波数依存性は前者の場合  $10^1 \sim 10^6$  Hz の範囲において後者の場合には  $10^5$  Hz 以下の領域に著しくみとめられることがわかる。

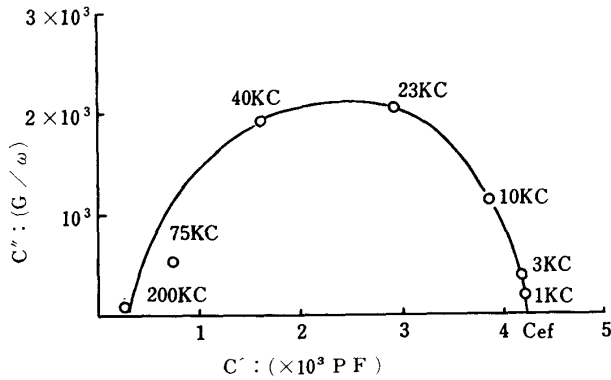


Fig.4 Relations between  $G/\omega$  and Capacitance

図4は図3の測定結果より計算した複素容量円線図であり、縦軸に  $C'' = \frac{G}{\omega}$  を横軸にキャパシタンス  $C'$  を示した。図では曲線は完全に円弧を形成していないが、これは測定中膜の状態が多少変化したためと考えられる。

図3および図4において低周波数時におけるキャパシタンス  $C_{ef}$  を外挿して求めれば、約  $4.2 \times 10^8 pF$  程度の膜の実効キャパシタンスが求められる。

以上の結果より二重膜が形成されていることがわかる。またさらに温度特性や電圧—電流特性などを求めれば、膜の電気的挙動が明らかになる。

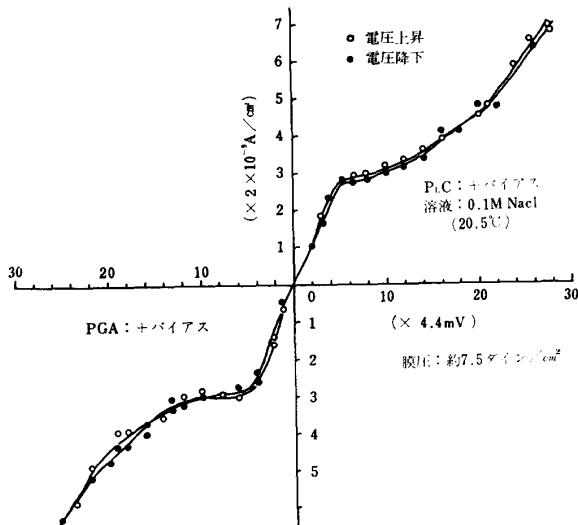


Fig.5 Relations between Voltages and Current

図5は別の測定法<sup>5)</sup>によった場合の電圧—電流特性の例である。この場合膜の形成はダイフロンシート上の約2mm程度の穴の上に作られている。膜構成物質は前述のように両側同一でなく、ホスファチジルセリン  $P_L S$  (1.3mg/11ml 水溶液) およびポリグルタミン酸

$P.G.A$  (5 mg/20ml 水溶液) を使用した。

図においては電圧上昇時と降下時の特性は正逆何れの場合の場合にも、測定誤差以内において殆んど同様な傾向を示している。これはかなり安定な二重膜が形成されているためと考えられる。実際この場合には数時間膜の形成が保たれた。また図では何れの場合の場合にも、特性はかなりの非直線性を示し多少の負性抵抗がみられるが、この負性抵抗はかなり著しく示される場合がある。

5. あとがき

しゃぼん玉の黒い膜と類似する二重膜を生体から抽出したレシチンなどを用いて作り、その電気的特性の例を示した。この人工生体膜の機構は実際の生物細胞膜に比較してかなり異なる場合があるものと推察されるが、物理的、電気的特性においてこの再構成膜と生細胞膜の間には種々の類似性が示されている<sup>4)</sup>。

そこで、以上のように比較的簡単に生体膜のモデルが実現できれば、その機能面からみた生体のシミュレーションがあるが、ある分野でかなり容易になるものと考えられ、生体の機構を明らかにするのに役立つかも知れない。

本稿は1967年12月初旬、大阪大学理学部生物学教室で行なわれた生体膜講習会時における実験結果の一部を利用したものである。おわりに、ご丁寧に種々のご指導などを頂いた京都大学化学研究所 花井啓也博士および大阪大学理学部 高木雅行、岸本卯一郎の諸先生や生物学教室の各位の方々に深謝の意を表します。

文 献

- 1) P. Mueller, D. O. Rudin, H. Ti Tien, W.C Wescott, Circulation, 26 1167 (1962).
- 2) 立花太郎: 自然, 第22巻, 第12号, 1967.
- 3) たとえば P. Mueller, D.O. Rudin, H.Ti Tien, W.C Wescott, Nature, 194, 979 (1962).
- 4) 花井哲也: 表面, 4, 643 (1966).
- 5) M. TAKAGI, K. AZUMA, U. KISHIMOTO: Annual Report of Biological Works Faculty of Science, Osaka University 13 (1965).

(昭和42年12月25日受理)