「ラングミュアプロジェクト膜」特集

LB 膜研究の回顧と展望

福田 清成・中原 弘雄

1. LB 膜研究の歴史的概観

水面上の油膜の広がりを初めて科学的に観察した人は Franklin であった(1765~9 年頃)。スプーン 1 杯のオリブ油をさざ波の立つ池の水面上に落とすと、驚くほどの速さで薄く広がり、 $\sim 2000\text{m}^2$ にわたって波が消え鏡のように滑らかになった。用いた油の量(約 2cm^3)を広った面積で割ると、油膜の厚さは約 $10\text{\AA}$ となる。この値はまさに油の分子の大きさに匹敵しているが、彼の論文が発表された1774年当時はまだ原子や分子の概念が提出される以前であったから、この重要な観察の意義は100年余り埋もれることになる。Dalton の原子説(1803)や Avogadro の分子説(1811)を経て、化学の世界で分子の概念が確立されたのは1858~60年であり、物理学の分野で気体分子運動論が発展したのもほぼ同じ頃である。

水面に浮べたショウノウの小片がはげしく動きまわる現象は、Camphor dance とよばれて古くから科学者の興味を引き、これを動力として進むプラスチックの小舟とともになじみ深い。1890年 Rayleigh 卿は、水面に広がった極微量の油が水の表面張力に異常な変化を与えることに注目し、ショウノウの運動を止めるのに必要な油の最少量を求める実験から、その油膜の厚さが $10\sim 20\text{\AA}$ の範囲にあることを突きとめた。彼はこの厚さが分子の大きさと密接に関連すると考え、水面上の油の量を正確に調節するためのさらに定量的な実験方法を思案していた。ちょうどその頃(1891年1月)、Rayleigh 卿のもとヘドイツの Agnes Pockels という女性から長文の手紙が届いた。そこには、彼女自身が18才の頃から10年間にわたった1人で続けてきた実験結果が詳しく述べられて

いた。

Pockels は、 $70\times 5\times 2\text{cm}$ の長方形の浅いスズ製の水槽に水を満たし、その表面においた巾1.5cm の細長い仕切り板を移動させることにより、油膜の広がった面積を変化させるという巧妙な実験法を考案していた。そして、面積が十分広いときの表面張力は清浄な水面の値とほぼ同じであるが、油膜を圧縮していくと、ある面積で表面張力が急激に低下し、拡張すればまたもとに戻ることを見出していた。これは表面圧-面積曲線の最初の記録であり、この手紙こそ界面化学の歴史に輝く一頁を飾るものである。彼女の手紙は Rayleigh 卿の推薦により、論文として Nature 誌¹⁾に公表されたが、今日の薄膜の化学は、この大学に学ぶこともなく病弱の両親をかゝえた1人の若い女性が、家事の傍ら台所の片隅で開拓した独創の実験手法に負うところ極めて大である²⁾。Rayleigh はその後 Pockels の実験を追試し、表面張力の低下が始まる面積は、油分子が水面上に1層だけ密に並んだ単分子膜に相当すると推論した³⁾(1899)。

水面上の薄膜に関する定量的研究は、20世紀に入って Devaux, Marcelin, Hardy らにより幾分の進展を見たが、当時はまだほとんど注目を引かなかった。しかし、これらの研究の意義はやがて Langmuir に見出され、重要な発展を遂げることになる。

Irving Langmuir は G. E. の研究所において多彩な研究活動を行い、1932年にノーベル化学賞を受賞しているが、とりわけ1916~17年に発表された2編の大論文^{4,5)}は画期的である。その第1報には固体表面の吸着が扱われ、有名な単分子吸着説に基づく吸着等温式が導かれると共に、吸着に関与する力は分子内の特定の原子団に由

福田 清成氏

中原 弘雄氏

Retrospective and Prospective Views of Langmuir-Blodgett Films

筆者紹介 Kiyoshige Fukuda and Hiroo Nakahara

Department of Chemistry, Faculty of Science, Saitama University.

埼玉大学理学部化学科 福田氏は教授、理学博士、中原氏は助教授、理学博士。筆者らは、界面物理化学、高分子化学を専門とされ、「LB 膜とエレクトロニクス」(CMC, 1986)に執筆され、福田氏にはさらに「コロイド化学の基礎」(大日本図書, 1976)の著書がある。第4回 LB 膜国際会議では、それぞれ組織委員長と事務局長を勤められた。御趣味はそれぞれ花鳥風月を愛でることと音楽鑑賞である。

本稿では、水面上の単分子膜および固体表面上の累積膜について、研究の発展経過を歴史的にたどると共に、現状と将来の展望を概観して頂いた。

来し、吸着に際しては分子の配向が起こるという考えが提起された。第2報では水面上の単分子膜をとりあげて同様の考えで油膜の広がる原因を説明し、さらに膜の厚さ(分子の長さ)と1分子当りの面積(分子の断面積)を多くの化合物について測定比較することにより、この見解を明確に実証した。当時、物理学者の考えていた分子は気体運動論における分子、すなわち平滑な剛体球であった。一方、化学者の考えた分子は種々の化学構造式をもつ分子であるが、それは化学反応を基礎にして描かれた定性的なものであった。Langmuirは物理的分子概念のなかに化学構造式を見事にはめ込んだのである。これは今日の親水基、疎水基の概念や配向単分子層の概念を確立したものであり、この意味で彼の上記2論文は界面化学における原典ともいえるべきものであろう。Langmuirは、液体表面では吸着分子の配向によって表面のエネルギーが支配されるとして水面上単分子膜の挙動を説明したが、同様の考えは、ほとんど同じ頃、Harkinsによっても発表された。なお、同じ頃セッケンの2分子膜(黒膜)を単位とする不連続構造に関するPerrinの論文が出たことを付記しておく。1920年代、単分子膜の研究はRideal, Adamを中心とする英国グループにより大きな進展をみた。

水面上の単分子膜を固体表面に移しとって累積する手法に関する最初の記述は、Langmuirが1920年に発表した浮選についての論文の中にみられるが、彼はその中で、この実験のほとんどがBlodgett嬢によって行われたことを付記し、謝辞を述べている。当時、Blodgettは大学を卒業してG. E.の研究所に入ったばかりの22才の若さであった。その後、彼女は、Cambridge大学に留学してPh. D.を取得するなど、しばらくの間、別の研究分野に携わっていたため、累積膜に関する最初の報告は1934年、さらにまとまった論文が出たのは1935年のことである⁶⁾。彼女は引き続き一連の論文において、この多分子膜が超薄膜領域(1~100nm)のスペーサーや厚さのゲージとして役立つことを示すと共に、被膜の厚さと屈折率を精密に制御し得ることを利用して、ガラスの反射防止膜や光干渉フィルターとしての応用を開発している。

Langmuirは1934年の秋、日本電気学会の招聘で来日した折、東大理学部鮫島研究室を訪れて、自ら累積膜の新技术を伝授し、以来この分野は鮫島門下によって継承されてきた。1930年代後半、累積膜の層数と摩擦係数や接触角などに関する幾つかの論文が発表され、また1940年出版の化学実験学4、物理化学Ⅲ(河出書房)には水面上および固体面上の薄膜について赤松による詳細な解説がある。今日の我が国における累積膜研究の隆盛をみると、その基礎を築かれた鮫島実三郎、伊勢村寿

郎、佐々木恒孝、赤松秀雄、立花太郎ら、諸先達の功績を忘れることはできない。

1940年までの間に、脂肪酸など単純な長鎖化合物の単分子膜および累積膜に関する基礎研究は一応の段落に達し、さらにステロール、クロロフィル、タンパク質等へ適用範囲が拡大された。それらの成果はAdamの著書に集大成されている⁷⁾。その後第2次大戦の影響もあって、この種の研究はやゝ低調となった。ちなみに、我が国における累積膜の研究は、戦後間もない1947年、立花、福田らによる抗原抗体反応の定量的測定で再開された。彼等は当時から脂肪酸塩累積膜の構造欠陥を指摘し、5層程度重ねてはじめて下地の影響を完全に遮蔽し得ることから、有機薄膜の厚さの臨界値を論じている⁸⁾(1951)。なお、1960年代前半までの不溶性単分子膜に関する成果はGainesの著書にまとめられている⁹⁾。

1960年代後半に入ると、Kuhn学派の仕事を軸に累積膜研究における新時代の幕が開かれた。すなわち、有機色素の累積膜を用いた分光学的研究や、光助起によるエネルギー移動、電子移動等に関し多大の成果が得られ、分子の次元で制御可能な累積膜の秩序構造と機能が再認識されたのである¹⁰⁾。この頃筆者らは長鎖染料誘導体の累積膜における発色団の配列制御や、累積膜中における重合反応の研究に取り組んでいた。1970年代には累積膜の電気的特性が注目されるようになり、Kuhn、杉、Robertsらによる基礎研究を経て、電子デバイスへの応用志向が芽生え始めた。一方、累積膜中では官能基の特異な配列に基づく化学反応の制御が期待されることから、光異性化反応や重合反応などの研究が興隆した。

Katharine Blodgettは今日の栄光を見ることなく、1979年の秋81才の生涯を閉じた。Thin Solid Films誌は翌年5月“Langmuir-Blodgett膜”の特集号を編み¹¹⁾、LB膜の呼び名が世に普及したのは彼女の没後である。1982年にはイギリスの古都Durhamにおいて、LB膜に関する初の国際会議が開催され、その全容が同誌に特集された¹²⁾。これを契機にLB膜に対する関心は異常なまでに高まり、膜形成物質の多様化および測定技術の飛躍的革新と相俟って、この古い手法は、新たな舞台装置のもとに再び脚光を浴びるようになった。その後、第2回(1985, Schenectady)¹³⁾、第3回(1987, Göttingen)¹⁴⁾を経て、第4回の同国際会議が1989年4月24~29日、筑波研究学園都市で開催され、多くの方々の御協力により盛況裡に予期以上の成果¹⁵⁾を収めたことは、主催者側として無量の感慨であった。表1に過去4回のLB膜国際会議における参加者と発表件数を示しておく。なお次回は1991年8月下旬Parisでの開催が予定されている。いまLB膜は、高度に組織化された機能性有機超薄膜とし

表1 LB膜国際会議

場 所	年	参加者	発表論文
第1回 Durham (U. K.)	1982	138	48
第2回 Schenectady (USA)	1985	236	115
第3回 Göttingen (FRG)	1987	279	155
第4回 Tsukuba (Japan)	1989	398	258
第5回 Paris (France)	1991	—	—

て、物理、化学、バイオ、エレクトロニクス、情報など広い学問分野にわたる学際的研究対象となり、基礎ならびに応用の両面からますます注目を集めている。

2. LB膜研究の現状と展望

個々の分子ではみられない分子集団の特異な機能を理解するうえで、物性や反応性に対する分子の配列効果を明らかにすることは、基礎科学において重要な課題である。一方、常温・常圧の穏やかな条件の下で分子を組織化できるLB膜は、高機能化・高性能化を目指す分子エレクトロニクス素子・生物素子などの構築に有効と考えられる。近年、LB膜に関する論文はおびただしい数にのぼっており、それらを網羅することは限られた紙数では不可能に近いから他にゆずるとし¹¹⁻²¹⁾、本稿では主要な事項をとりあげて現状を概観するにとどめる。なお個々の引用を省略したことを御了承いただきたい。

2.1 膜形成物質の分子設計

LB膜材料としては、従来からの単純な脂質類に加えて、特異な光学的・電子的機能が期待される種々の原子団を組みこんだ分子が設計され、親水基と疎水基の種類や数および位置を変えた両親媒性化合物が合成されて、機能性原子団の配列制御が試みられている。分子の充填状態を制御するためにメソゲン部位を導入したり、高分子の側鎖に機能性原子団をもつ化合物など、1分子中に異なる機能を担う複数の原子団を含む膜材料が開発され、例えば外部刺激を受容してコンホメーションが変わる部分とこれに連動して物性の変化などで応答する部分を区別する工夫がなされている。また機能性原子団の骨格が剛直な π 電子系のような場合、炭素数4~12と比較的短い炭化水素鎖が可塑剤的な役割を果たして均一な単分子膜を与えることができる。

2.2 水面上単分子膜

近年、水面上単分子膜のマクロな力学的挙動をミクロな分子凝集状態から解析する手法が飛躍的に発展した。例えば、蛍光プローブを含む膜物質を展開するか、下層水に蛍光物質を溶解すると、蛍光顕微鏡を用いて単分子膜中の比較的大きなドメイン構造の形態が観察できる。この方法により表面圧-面積曲線における液体膨張膜、

中間状態、固体凝縮膜が必ずしも均一相からなるものではないことが明らかにされた。またダイオードアレイと光ファイバーを用いた水面上単分子膜の可視・紫外スペクトルの瞬間測定や、ラマンスペクトル等の分光学的手法、偏光解消法による光学定数の精密測定なども有用な情報を提供する。例えば、表面圧-面積曲線に対応する屈折率-面積曲線などが観測されている。さらにSOR(放射)光を利用したX線反射回折法により単分子膜中の様々な相変化が検出できるようになり、脂質類の多形現象について生体膜モデルとしての機能とともに理解が深まりつゝある。単分子膜を圧縮して形成される固体凝縮膜は二次元の結晶状態に対応するが、温度や圧縮速度および圧縮の異方性等により異なる結晶化の過程を経ることがわかり、様々な二次元結晶を得る試みがある。観測時間と分子的緩和過程の兼ね合いを配慮した等圧圧縮法を用いると、表面圧-面積等温線の解釈がいっそう明確に把握できる。また、水面単分子膜の等圧熱処理による高密度化も有意義である。さらに機能性両親媒分子を適当なマトリックス分子と組み合わせると、水面上で興味深い高次構造が実現される場合がある。また脂質単分子膜にタンパク質を吸着させてタンパク質の二次元結晶を形成する方法は、タンパク工学の立場から注目される。

2.3 固体基板への移行過程

水面上の単分子膜を固体基板に移しとるLB膜の形成過程に関しては、単分子膜の流動配向モデルなど理論的な解析が進むとともに、LB膜作製装置にも様々な改良が加えられた。膜面に垂直な方向の構造制御はヘテロ膜作製装置等を用いて比較的容易にできるが、面内の異方の分子配向を実現するためには、単分子膜中のマイクロドメイン構造の制御とともに基板の表面や形状および累積速度等を検討する必要がある。蛍光プローブを含む単分子膜の固体基板上への移行過程が、複数の光ファイバーを用いて直接観察され、また水晶発振子の上に累積しながら振動数変化をモニターして極微量の重量変化を検出することが可能になった。これらの手法により累積過程の分子論的な検討が進められている。さらに累積後にLB膜に適当な熱処理を加えると配向性が向上する場合がある。また配向性の高いポリイミドLB膜の上で液晶等を並べる試みは表示素子への応用の点から興味深い。

2.4 構造解析

LB膜の構造評価には、膜中における各分子のコンホメーションと電子状態や配向・充填状態、さらに1分子層内での結晶性・ドメイン構造から、膜の表面状態および深さ方向への繰り返し構造に関する解析など、様々な側面が考えられる。現在用いられているLB膜の主な構

表2 LB膜の構造解析に利用される主な手法と得られる情報

1. Ellipsometry	膜厚, 光学定数
2. Optical Microscopy (Fluorescence, Interference)	膜の均一性, ドメインの形状, 欠陥
3. Electron Microscopy (TEM, SEM)	ミクロ構造
4. Scanning Tunnelling Microscopy (STM)	原子・分子レベルの画像解析
5. X-ray or Electron Diffraction	層間距離, 分子配列
6. X-ray or Neutron Scattering	長距離秩序性
7. Near-Edge X-ray Fine Structure (NEXAFS)	面内の分子凝集状態
8. Electron Spin Resonance (ESR)	面内の分子配列異方性
9. IR and Raman Spectroscopies	官能基の配向, 化学組成
10. UV-vis Spectroscopy	発色団の配列状態
11. UV Photoelectron Spectroscopy (UPS)	膜分子の電子状態
12. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)	表面および垂直方向の原子分布
13. Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS)	最外層の原子組成
14. Penning Ionization Electron Spectroscopy (PIES)	最外層の電子軌道, 表面組成

造解析技術を表2に示す。通常分光法においても、試料がきわめて微量の超薄膜であるために高感度測定が要求されるが、各種検出器の発展とフーリエ変換分光法等の様々なシステム導入により、LB膜の測定が可能となった。通常のLB膜は部分的に配向した分子が共存するランダム系と考えられるから、偏光分光法による二色比の測定等から配向度を見積もることも重要である。近年、ナノテクノロジーとして原子レベルで画像解析ができる走査型トンネル電子顕微鏡(STM)によるLB膜測定が試みられているが、再現性など今後の検討課題も多い。一方、トンネル電子分光法は局所部分の振動スペクトルを与える点で興味深い。SOR光を連続X線源として各種原子の内殻電子による吸収測定から、それらの結合状態や分子配列状態を調べることができ、また真空紫外光による光電子分光法とその角度分解から、LB膜中における電子状態と分子配向がわかる。ペニングイオン化電子分光法は最外膜表面の電子軌道を直接観測できる利点がある。

比較的粗大領域における膜の不均一性に関しては光学顕微鏡、特に干渉顕微鏡により観測できるが、また電気化学的に金属を透過・付着させて観察しやすくする試みもある。微小領域の結晶性やドメイン構造については各種の電子顕微鏡および電子線回折が適用されているが、それらの結果は試料調整に依存する面も多いように思われる。

2.5 LB膜の諸機能

LB膜のもつ諸機能とこれに関連して期待される応用例を表3に示す。

LB膜の最大の特徴は分子あるいは原子の次元で厚さが制御できる点であり、その受動的機能として極めて薄い絶縁膜が期待される。実用化を目指すに当たっては、例

表3 LB膜の諸機能と期待される応用例

1. レジスト	マイクロリソグラフィ
2. 超薄膜絶縁膜	電界効果型トランジスタ
3. 電導率異方性	分子配線, 有機超電導材料
4. 光励起電子移動	光電変換素子, p-n 接合
5. 電界発光	表示素子
6. 焦電・圧電効果	熱線センサー, 圧力センサー
7. 非線形光学効果	周波数変換, 光スイッチング
8. 光学的異方性	光導波路
9. フォトクロミズム	光記録, 表示素子
10. 磁気異方性	二次元有機強磁性体
11. 分子認識	化学センサー, バイオセンサー
12. 選択透過性	分離膜
13. 表面特性	表面改質(潤滑, 機能界面)
14. 生体膜倣機能	生物素子, バイオリアクター

えば非晶質膜の利用など、欠陥のない均一なLB膜を迅速に得るための様々な工夫とともに、LB膜の高分子化による熱的・機械的安定性の向上も重要な課題である。種々の高分子LB膜やLB膜中での重合反応が研究されているが、最近、ポリアミド酸長鎖アルキルアミン塩の単分子膜を基板上に累積して無水酢酸、ピリジンで処理する湿式法、あるいはポリアミド酸長鎖エステル膜の加熱縮合による乾式法を用いて、1層当たりの厚さが4~5 Åで、400°C以上の耐熱性を持つポリイミド膜が開発された。一方、分子次元の厚さで均一性の高いLB膜中での光または電子線重合は、マイクロリソグラフィにおけるレジストへの利用が検討されている。

電荷移動錯体を含むLB膜は低次元有機導電材料として注目され、また長鎖ピロール誘導体を累積してから電解重合すると、面内電導率 10^{-1} Scm^{-1} をもつ薄膜が得られる。さらにLB膜中で混合原子価状態を実現する試

みとして、長鎖ピフェロセン誘導体の BF_4^- 塩やジチオラートニッケル錯体の長鎖アルキルアンモニウム塩のLB膜が報告されている。これらの中には、導電率の温度変化に超電導的挙動を示すものがあり、有機超電導体における電子-フォノン相互作用等の機構解明とともに今後の発展が興味深い。

π 電子系を含む両親媒性分子の膜を電極上に累積し、光励起によるエネルギー移動・電子移動を利用した様々な光電変換素子が検討されている。電子供与体と受容体の距離および配列状態は脂肪酸塩などの膜をスパーサーとして調節できるが、最近、同一分子内に電子供与部と受容部および増感部を有する三つ組み分子を利用する試みがあり、光合成モデル系として薄膜を隔てた電荷分離が期待される。また異なる半導体特性をもつ発色団を組み合わせた複合ヘテロLB膜中でp-n接合型ホトダイオードを形成する試みも興味深い。LB膜中で π 電子系とともに、それに連結した機能性原子団を配列制御できれば、光・熱・電気・磁気などの外部刺激に応答する分子導線が考えられ、分子エレクトロニクス素子として夢が描けるであろう。

大きな電子分極構造をとる分子のX膜・Z膜あるいは交互ヘテロ膜など、反転対称中心をもたないLB膜における有機超格子構造の形成は、非線形光学素子や焦電・圧電素子として期待されている。

LB膜中では発色団の配向や充填状態を容易に制御することができ、また官能基の高い局所濃度を実現し得るから、化学反応の速度および生成物の構造を規制することが期待され、クロミック反応を通してエネルギーや情報の変換機能素子として広く関心を集めている。視覚物質ロドプシンにおけるレチナールの光受容機構への興味とも関連して、膜中におけるマトリックス分子や包接化合物の利用など、分子環境を変えて光異性化反応が検討されている。スピロピラン長鎖誘導体の場合、LB膜中で温度などの反応条件を選ぶとホトクロミック反応の可逆性が制御できる。またシクロデキストリン長鎖誘導体のLB膜中に包接されたアゾベンゼン類では、照射光の波長により可逆的なシストランス異性化が起こる。これらのLB膜は光記録材料への応用が考えられる。一方、有機半導体として知られるフタロシアニン誘導体に適当なアルキル置換基を導入することにより、有機溶媒に可溶性LB膜素材となり、電極上に累積してエレクトロクロミズムやセンサー機能などの検討が進んでいる。

近年、酵素や抗体タンパクを含む単分子膜を電界効果型トランジスタ(FET)のゲート表面に累積し、タンパク分子を高密度に配列制御する試みがあり、バイオセンサーとしての応用が期待される。

3. おわりに

覚えず懐旧談に紙数を割いて未来への夢が手薄になった。最近数年間の日本化学会年会におけるコロイド・界面化学部門をみると、約半数が膜が占め、そのまた過半数がLB膜関連である。さらに他部門に目を移すと随所にLB膜が顔を見せる。応用物理学会、高分子学会、電気化学会等々におけるLB膜の躍進振りも目を見張るものがある。世界のLB膜人口は恐らく1000人を越えるであろう。ひと頃のLB膜フィーバーは多少の落ち着きを見せ、第二の堅実なステップに入ったように思われる。

ちょうど一世紀前、無名の若い女性が日蔭の土地に種を播いて育てた苗木が、大科学者の後だてを得て陽の目を見、半世紀後もう1人の若い女性によって新芽を伸ばした。その古株がいま再び生氣をとり戻して大きく枝を広げ、その枝先にとりどりの蕾がふくらんでいる。いかなる大輪の花が開くか、そしてどんな実を結ぶであろうか。「夢を描こうとする者は十分に目覚めていなければならない」と若者に語りかける筆者は、いま夢の中で夢をみている。

引用文献

- 1) A. Pockels, *Nature*, **43**, 437 (1891)
- 2) 福田清成, *化学教育*, **21**, 380 (1973)
- 3) J. W. S. Rayleigh, *Phil. Mag.*, **48**, 331 (1899)
- 4) I. Langmuir, *J. Am. Chem. Soc.*, **38**, 2221 (1916); **39**, 1848 (1917)
- 5) 立花太郎, 福田清成訳, *化学の原典シリーズ7, 界面化学*(日本化学会編)(東大出版会)(1975)
- 6) K. Blodgett, *J. Am. Chem. Soc.*, **56**, 495 (1934); **57**, 1007 (1935)
- 7) N. K. Adam, *The Physics and Chemistry of Surfaces*, 3rd ed., Oxford Univ. Press (1941)
- 8) T. Tachibana, K. Fukuda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **24**, 4 (1951)
- 9) G. L. Gaines, Jr., *Insoluble Monolayers at Liquid-Gas Interface*, Intersci. Pub. (1966)
- 10) H. Kuhn, D. Möbius, H. Bücher, *Physical Methods of Chemistry*, Pt. IIIB, Chap. VII, Wiley-Intersci. (1972)
- 11) *Thin Solid Films*, **68**, No. 1 (1980)
- 12) *Thin Solid Films*, **99**, (1983)
- 13) *Thin Solid Films*, **133**, (1985)
- 14) *Thin Solid Films*, **159**, **160** (1988)
- 15) *Thin Solid Films*, **178-180** (1989)
- 16) 福田清成, 中原弘雄, *化学総説***40**, 82 (1983); *季刊化学総説***5**, 75 (1989)

- 17) 福田清成, 杉 道夫, 雀部博之編, 「LB 膜とエレクトロニクス」(シーエムシー)(1985) 19) 応用物理, 55, 9号(1986); 58, 7号(1989)
18) 日本化学会誌, 特集「薄膜の形成と構造」(11号) 20) 油化学, 39, 小特集「LB 膜」(3号)(1990)
(1987) 21) 表面科学, 11, 特集「有機薄膜」(4号)(1990)
(平成2年7月2日受理)
-

第7回極限材料研究会講座

主題=光学機能の極限を探る

一分子および高次構造設計の立場から一

主催: 高分子学会 極限材料研究会

協賛: 繊維学会ほか

日時: 平成2年9月13日(木) 10:00~17:00

会場: 国立教育会館

(東京都千代田区霞ヶ関3 ☎03-580-1251)

参加要領: 1) 定員50名 2) 参加費 会員(含協賛学協会会員)会社10,300円, 大学・官公庁4,120円, 学生1,030円, 会員外20,600円(極限材料研究会メンバー 会社8,240円, 大学・官公庁3,600円) 3) 申込み方法 氏名, 勤務先, 連絡先(電話番号も), 会員番号, 送金月日をハガキに明記し, 下記までお申し込みください。

連絡先: 〒104 東京都中央区銀座5-12-8 高分子学会
第7回極限材料研究会講座係

マテリアルライフ学会講演会

主題=寿命予測

期 日: 平成2年9月14日(金)

場 所: 日本私学振興財団(JR:飯田橋駅, 営団地下鉄・有楽町線, 東西線:飯田橋駅 下車5分)
(TEL:03-230-1324)

参加費: 正会員:10000円, 大学・官公庁:6000円
学生会員:1000円, 非会員:20000円

申込方法: 御氏名, 御所属, 住所, TEL, FAX, 会員もしくは非会員を明記のうえ, 葉書にてお申込み下さい。

申込先: マテリアルライフ学会

〒113 東京都文京区弥生2-4-6

学会センタービル内

(TEL)03-817-5801 (FAX)03-817-5800