木材細胞膜主成分の生合成

樋口 隆 昌*

1. 細胞膜形成に関する顕微鏡的知見

一般に成熟した植物細胞はセルロースを主体とした細胞膜でおおわれている。このセルロース膜が細胞のいかなる器管でどのようにして合成されるかは植物細胞組織学者、生化学者などによって現在もっとも注目されている点であろう。Porter¹⁾ らによると植物細胞は細胞分裂の際、1対の染色体がそれぞれの極に向って紡錘系によって移動している間に細胞の中央に両極の部分から小胞体 (Endoplasmic Reticulum ER) といわれるリボゾームを伴った小器管が集り、それぞれの染色体が集って再び核膜で包まれるころになると、ER は生長してたくさんに枝分れし、紡錘系と結合してフラグモプラストとよばれる構造を形成する。ついでこのフラグモプラスト中に多数の小胞 (Vesicle) (直径: 20 μm) が生じ、これが細胞の外部に向って生長し、凝固して細胞板 (Cell plate) を生ずる。この小胞の起源についてはゴルジ体 (Golgi body), リボゾーム, あるいはその両方によって形成されるという考えがあり、まだ決定していないようであるが、Mühlethaler²⁾ はゴルジ体に基くものと結論している。

このようにして生じた細胞板は多糖類を含む多量のメチルガラクトクロネイトを含んでおり、さらにこれに小

胞が加わって第1次膜に変化する。このころになると細胞板はすでに弱い複屈折性を示し、偏光顕微鏡で見ると、一様な暗色の中心層の両側をそれぞれ光って見える薄い膜がとり巻いている。この中心層が中間膜であり、両側の薄膜は分裂した各々の細胞の第1次膜に発達す

tn: 終核, cp: 細胞板, g: ゴルジ体, cw: 細胞壁, er: エンドプラズミクレティキュラム, 2% KMnO_4 で固定 ($\times 6750$)

第2図 タマネギ根端細胞分裂終期 (Porter, 1963)

(a): 細胞分裂終期, (b): フラグモプラスト Ph の形成

第1図 新しい細胞膜の形成 (Chodat, 1922)

(a): ゴルジ小胞の凝集, (b): 小胞の沈着と膜の肥厚, (c): 第1次膜への分化

第3図 細胞膜形成におけるゴルジ体の役割 (Mühlethaler, 1965)

* Takayoshi HIGUCHI 岐阜大学教授・農博
Biosynthesis of Main Components of Wood Cell Wall

る。二つの第1次膜が複屈折性を示すことは、それらがすでに少量のセルロースフィブリルを含むことを示している。このようにして分裂したそれぞれの細胞は、細胞板の部分ばかりでなく、細胞質周辺全体にわたってゴルジ小胞あるいはER性の小胞が凝固して新しい膜物質でおおわれ、第1次膜が完成する。第1次膜は可塑性のセルロース膜から成り、大部分結晶状のミクロフィブリルが膜中で互いにかみ合い分散構造(Disperse texture)をとるが、ついで生ずる第2次膜は可塑性を失い、ミクロフィブリルの配列も方向性を持ったいわゆる平行構造(Parallel texture)をとるようになる。このように細胞膜中のセルロースミクロフィブリルが第1次膜、第2次膜によって異なった方向性をとることに対しては、細胞質が重要な役割を演ずるらしい。

最近 Preston³⁾ は、ある種の海藻でミクロフィブリル形成が起こる細胞質膜部に、小さな顆粒の存在することを認め、この顆粒中に β -グルコース 1 $\rightarrow$ 4 結合を形成する酵素が含まれており、この顆粒の配列のしかたによ

って形成されるセルロースミクロフィブリルの方向性が規定されるのではないかという仮説を出している。Mühlethaler²⁾ もタマネギの根の柔細胞の細胞質膜一面に多数の微粒子(直径, 150 Å)が散在しており、この微粒子と細胞膜は多数の小フィブリル(直径, 50 Å)で連結されていることを認め、Preston と同じようにこの部分にセルロース合成の機能が含まれていると考え、この粒子の分布密度と配列のしかたによって、方向性を持ったフィブリルが形成されると考えている。一方 Ledbetter と Porter⁴⁾ は Phleum の根の細胞の細胞膜に接した細胞質中(原形質表面から 0.1 $\sim$ 0.2 μ 以内)に微細小管(Microtubules)(直径, 230 $\sim$ 270 Å)があり、この微細小管はその端が細胞壁と接しており、しかもセルロースミクロフィブリルの方向と平行して配列していることを明らかにし、このものがセルロースの合成、ミクロフィブリルの方向性に関係しているのではないかと推定している。後述するように Elbein⁵⁾ らはミトリササ

(a): 第1次膜(分散構造), (b): 第2次膜(交錯平行構造)

第4図 パロニヤの細胞壁
(Steward & Mühlethaler, 1953)

(a): イーストの細胞質膜 (Moor & Mühlethaler 1963) $\times 135,000$
(b): タマネギ根端柔細胞の細胞質膜 (Mühlethaler, 1965) $\times 90,000$

第5図 細胞質膜表面の微粒子

第6図 木繊維の細胞壁模式図 (A. B. Wardrop, D. E. Bland: Proc. 4th Intern. Congr. Biochem., II, 92 (1958))

第1表 針, 広葉樹仮導管細胞壁の多糖類

多 糖 類	M+P*	S ₁	S ₂	S ₃
カバ				
ガラクトサン	16.9	1.2	0.7	0.0
セルロース	41.4	49.8	48.0	60.0
グルコマンナン	3.1	2.8	2.1	5.1
アラバン	13.4	1.9	1.5	0.0
グルクロノキシラン	25.2	44.1	47.7	35.1
スブールス				
ガラクトサン	20.1	5.2	1.6	3.2
セルロース	35.5	61.5	66.5	47.5
グルコマンナン	7.7	16.9	24.6	27.2
アラバン	29.4	0.6	0.0	2.4
グルクロノアラビノキシラン	7.3	15.7	7.4	19.4

* M+P: 中間膜+第1次膜

ゲのミトコンドリア区分に入る顆粒と結合した酵素を用いてセルロースの合成に成功しており、これが前述の顆粒あるいは微細小管を含むかどうかは、今後の研究によって明らかにされるだろう。

一般に成熟した針葉樹の仮導管細胞膜は第1次膜と第2次膜 (S_1 , S_2 , S_3 層) に区別され、さらに第2次膜の内側は原形質の分解物から成る膜様物質でおおわれる場合が多い。これは便宜上第3次膜とよばれている。一方広葉樹細胞では、一般に第2次膜の S_3 層が欠けている。

次に Meier⁶⁾ によって得られたスプルースおよびカバ材の仮導管細胞壁の分析値を示す (第1表)。第1表をみると針、広葉樹へミセルロース中、ガラクトタンとアラバンは主として中間膜+第1次膜 ($M+P$) に、 S_1 層には少量見出され、また S_2 , S_3 層にはごく少量含まれるが、一方キシランは各層を通じて一様に存在し、またスプルースでは、針葉樹に多いグルコマンナンが骨格物質としてセルロースと密接な行動をとり、第2次膜に向かってふえていることがわかる。なお成熟した細胞では $M+P$ に約 70%, 第2次膜に 10% 内外のリグニンが沈着してくる。

2. 細胞膜多糖類の生合成

前述したように細胞膜多糖類はゴルジ小胞, ER 性リボゾーム, 細胞質膜顆粒, 微細小管などを通して形成されるらしいことがしだいに明らかになってきた。第1次膜のタンパク質中からアスコルビン酸オキシダーゼ, ベクチンエステラーゼ, パーオキシダーゼ, 酸性ホスファターゼ, インペルターゼ, ウリジンジホスホグルコース (UDPG) ビロホスホリラーゼ, アデノシントリホスファターゼ, ビロホスファターゼ, グリセロホスファターゼ⁷⁾ などが検出されているので、これらの酵素のいくつかは細胞膜多糖類およびリグニンの生合成に直接あるいは間接的に関与しているものと考えられる。

一般に細胞膜多糖類の合成には糖ヌクレオチドが重要な役割を果たしており、高等植物中には単糖類の相互転換, ならびにこれらを糖ヌクレオチドに転化する酵素系が広く分布している (Feingold, Neufeld, Hassid)⁸⁾。次に糖の相互転換ならびにヌクレオチドへの転化の機構を示すと第7図のとおりである。

2-1. セルロースの生合成

セルロースは β -D-グルコピラノース残基が互に 1 $\rightarrow$ 4 結合した直鎖状多糖類で、細胞膜内ではセルロース分子が集ってミクロフィブリルを形成し、ミクロフィブリルの結晶領域は長さ 600 Å, 直径 50~200 Å におよび、Rånby⁹⁾ によれば、セルロースを構成するグルコース残基の平均重合度は 6,000~8,000 に達し、したがって、その分子量は 100 万以上となる。セルロースの生合成についてはまだ不明な点が多いが、グルコースヌクレオチ

- (1): ヘキソキナーゼ, (2): ホスホグルコミターゼ, (3) GDP-D-グルコースピロホスホリラーゼ, (4): ADP-D-グルコースピロホスホリラーゼ, (5): UDP-D-グルコースピロホスホリラーゼ, (6): UDP-D-ガラクトース-4-エピメラーゼ, (7) UDP-D-ガラクトースピロホスホリラーゼ, (8) D-ガラクトキナーゼ, (9): UDP-D-グルコースデヒドロゲナーゼ, (10): UDP-D-ガラクトキロン酸-4-エピメラーゼ, (11): UDP-D-ガラクトキロン酸ピロホスホリラーゼ, (12): D-ガラクトキロン酸キナーゼ, (13): UDP-D-グルコロン酸ピロホスホリラーゼ, (14): D-グルコロン酸キナーゼ, (15): UDP-D-グルコロン酸デカルボキシラーゼ, (16) UDP-L-アラビノース-4-エピメラーゼ, (17) UDP-L-アラビノースピロホスホリラーゼ, (18) L-アラビノキナーゼ

第7図 ヘミセルロース生合成に関する糖ヌクレオチドの相互転換経路

ドが重要な役割を演じている点では異論の余地がない。1957年, Greathouse¹⁰⁾ は酢酸菌 (*Acetobacter xylinum*) の磨細液から得た酵素にグルコース-1-¹⁴C および ATP を加えると、約 15% の ¹⁴C-セルロースを生じ、しかも ¹⁴C の 96.7% がグルコース残基の C₁ に入っていることから、グルコースが ATP によって直接セルロースに重合するものと考えた。また 1958年, Glaser¹¹⁾ は酢酸菌から得た酵素標品によって、UDP-グルコース-¹⁴C の D-グルコース残基がセルロースに転移されることを明らかにし、前述の Greathouse の研究は、酵素液中のウリジン成分と ATP およびグルコースから UDPG を生じ、UDPG は次の経路によってセルロースにとり込まれるものと考えた。

この反応にはグルコース受容体としてセロデキストリンを必要とするが、UDP-グルコース-¹⁴C からセルロースにとり込まれる ¹⁴C 量は 1~2% にすぎなかった。し

たがってセルロース生合成の主反応としては疑問視され、何か別の因子が欠けているのか、あるいは別の反応があるのではないかと考えられてきた。しかるに1964年になって、Elbein⁵⁾らはグアノシンジホスホグルコース(GDPG)が高等植物におけるセルロースの前駆物質であり、ミトリスサゲの芽生えから調製した顆粒状酵素標品(Particulate enzyme)によってGDP-グルコース-¹⁴Cのほぼ25%がセロデキストリン中にとり込まれることを証明した。

したがって、Glacerの実験結果も、微生物によるセルロースの生合成にはUDPGが特異的なのか、あるいは第7図に示した経路にしたがってUDPGはGDPGに転化してからセルロースにとり込まれ、UDPG→GDPG間の酵素系が比較的不活性であったのか不明である。

一方、Colvin¹²⁾らは酢酸菌によるセルロースの生合成において、リゾチームで破壊した細胞質膜を酵素標品として使用した場合、ATP、UTPはセルロースの合成を促進するが、グアノシン、グアノシンモノ、ジ、トリホスフェイトはいずれもなんら促進効果を示さないことを明らかにし、この点ではGlacerらの実験結果と一致している。また彼らは生きた酢酸菌によるセルロースの合成においては、UDPGとセルロースの間に一種のグルコリピドの中間体を想定している。この中間体は緑色植物、酢酸菌にともに存在し、この中間体を構成するリピドはC約30のポリヒドロキシアルコールで、このものとグルコースの有機塩基誘導体が結合しており、酢酸菌の培養液中には、この中間体からセルロースにグルコースを転移重合させる酵素があると述べている。この中間体の推定は、細胞内に合成される極性の強い糖ヌクレオチドが、どのようにして菌体外へ転移されるかを困難なく説明できる点で魅力的である。特に酢酸菌の場合には、細胞菌体表面からかなり離れた場所でセルロースフィブリルの合成が電子顕微鏡で認められており、菌体内のグルコースはヌクレオチドとしてでなくグルコリピドとして菌体外に移動され、そこでセルロースに合成されるものと考えられている。

るものと考えられている。

しかし高等植物では細胞膜内でセルロースの合成が起こるので、必ずしも同様なグルコリピドの中間体を必要とせず、事実、動物の多糖類、アカパンカビの細胞壁キチン、Streptococcusのカプセルを構成するヒアロロン酸、高等植物におけるカロースなどは直接ヌクレオチドから合成されている。したがって、酢酸菌によるセルロース合成の場合のみ特定のグルコリピドが中間体として必要であるかどうか、今後解明されるべき問題を含んでいる。

2-2. ヘミセルロースの生合成

前述したように植物細胞の若い第1次膜は、主として種々のヘミセルロースから成っている。これら植物細胞壁ヘミセルロースの酵素レベルでの生合成はまだ成功していない。一般に樹木細胞膜を構成するヘミセルロースは単一単糖類から成る直鎖状多糖類に二三種の糖およびウロン酸の分枝したものが多い。針葉樹と広葉樹におけるヘミセルロースの種類およびその含有量をかけると第2表のとおりである。

2-2-1. キシラン

キシランは植物細胞壁中に広く分布し、第8図に示すようにβ-D-1→4-キシロピラノース残基から成る直鎖を主軸とし、これにキシロースの2あるいは3位で4-O-メチル-D-グルクロン酸、D-グルクロン酸、あるいはL-アラビノースなどが分枝している。またあるキシランでは一層複雑な分枝を持ち、非末端L-アラビノース、D-キシロースを含む。これらの分枝は一般にかなり多い。

Neish¹³⁾らは生育した小麦に¹⁴Cでラベルした種々の単糖類を吸収させ、5~48時間後にキシランを抽出して、¹⁴Cがとり込まれる度合およびキシラン中の¹⁴Cの分布を調べた。その結果の代表的なものをあげると第3表のとおりである。グルコース-1-¹⁴Cはキシラン中に非常によくとり込まれ、しかもとり込まれた¹⁴Cの88%がキシロース残基のC₁に見出され、また容易にC₆を脱炭酸してペントースを生ずるグルクロン酸-1-¹⁴Cがキシラン中に容易にとり込まれ、またその¹⁴CはほとんどキシランのC₁に見出された。一方D-キシロース-1-¹⁴C、D-リボース-1-¹⁴Cなどのペントースからの¹⁴Cのとり込みは、グルコースに比べてずっと悪く、しかもその¹⁴Cの分布はC₁に40~50%で、残りの¹⁴CはC₂~C₅に10~23%ずつ分布しており、ペントースがそのまま重合したとは考えがたく、ペントースはトランスケトラーゼ、トランスアルドラーゼ反応などによっていったんグルコース-6-リン酸を生じ、これから再びC₆を脱炭酸する反応を通してキシランを合成するものと考えた。す

第2表 針、広葉樹材のヘミセルロース

ヘミセルロース	広葉樹	針葉樹
4-O-メチルグルクロノキシラン	80~90%*	5~15%*
4-O-メチルグルクロノアラビノキシラン	0.1~1	15~30
グルコマンナン	1~5	60~70
ガラクトグルコマンナン	0.1~1	1~5
アラビノガラクトン	0.1~1	0.1~30
その他ガラクトース含有多糖類	0.1~1	0.1~1
ペクチンおよび同付随物質	1~5	1~5

* 全ヘミセルロースに対するパーセンテージ

第3表 種々の単糖類からキシランの生成

基 質	キシロース残基にとりこまれた ¹⁴ Cの%				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
グルコース-1- ¹⁴ C	88.0	2.1	3.2	2.0	4.7
グルクロノラクトン-1- ¹⁴ C	88.0	1.9	2.9	2.0	5.2
キシロース-1- ¹⁴ C	36.3	19.0	12.1	9.5	23.1
リボース-1- ¹⁴ C	49.5	12.6	14.1	8.3	15.5
セドヘプチュロース-2- ¹⁴ C	15.1	37.2	9.7	8.3	29.7

第8図 針・広葉樹のキシラン

なわち、Neish らはキシランの生成の際にはグルコースの C₆ を脱離する反応が主として起こり、ごく一部がトランスアルドラーゼ、トランスケトラーゼ反応を通して生ずるものと考え、セルロースの生合成の場合と同様、キシラン生合成の直接の前駆物質はウリジンジホスホキシロース (UDPX) であろうと考え、第9図の反応経路をあげている。なおこの反応経路にかかげた各反応を触媒する酵素は広く高等植物に分布している。また前述したようにキシランには二三の糖およびuron酸の分枝が認められており、これらの分枝を触媒する酵素については全く不明であるが、おそらくアミロペクチンおよびグリコーゲン中の $\alpha\text{-D-グルコース 1}\rightarrow\text{6 結合}$ に Q-酵素が必要なように、主軸の合成に関与する UDP-ペントーストランスグリコシルラーゼ以外に特定の酵素が必要であらう。

第9図 植物における多糖類生合成経路

2-2-2. アラバン

アラバンは唯一のフラノース環単糖類 (L-アラビノフラノース) を主体とした細胞壁多糖類である。したがって加水分解に対して鋭敏で、分離調製中分解しやすい。Hirst, Jones¹⁴⁾, Hough, Powell¹⁵⁾ らは 1 $\rightarrow$ 5 および 1 $\rightarrow$ 3 結合の多い高度に枝分れたアラバンを分離し、構成単位として少量のガラクトース、ラムノース、ガラクトン酸なども含まれていることを明らかにした。また最近の研究によるとキシランの場合と同様に、構造的にもまた糖の組成の上でも種々の異なった型のアラバンが知られてきている。これらのアラバンの生合成に関する酵素的研究は知られていないが、キシランの場合と同様アラビノースヌクレオチドが関与するものと推定される。

第10図 針葉樹アラビノガラクトンの基本構造

2-2-3. マンナン, ガラクタン

植物細胞壁の主要ヘミセルロースの一つとしてグルコマンナンが知られている。グルコマンナンは基本的には D-グルコースと D-マンノースから成る $\beta\text{-1}\rightarrow\text{4}$ 結合の直鎖状多糖類で、ときに D-ガラクトースの単一分枝を含むものもある (ガラクトグルコマンナン)。一方ガラクトンも細胞壁に広く見出され、一般に β 結合であるが、結合炭素は 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4, 1 $\rightarrow$ 6 などガラクトンの種類によって異なっており、また分枝もきわめて一般的で、分枝は主としてガラクトース単位から成る場合が多い。またしばしばアラビノースから成る分枝も知られている (アラビノガラクトン)。高等植物のマンナン, ガラクタンの生合成に関する研究はほとんど認められないが、最近 Algranati¹⁶⁾ らはイーストマンナンの生合成において、GDP-マンノースの関与を明らかにしており、また Dankert¹⁷⁾ らはトウモロコシ種子から ADP-マンノースを分離しているので、植物細胞壁マンナンの生合成にもこれらのヌクレオチドの関与する可能性が考えられる。

第11図 針葉樹のO-アセチルガラクトグルコマンナンの基本構造

第 14 図 キノンメチドと水の反応によるグワヤシ
ルグリセロール-β-ピノレジノールの生成

第 15 図 キノンメチドとコニフェリルアルコ
ールの反応

すると述べている。また最近 Brown は ^{14}C -ラベルフェラ酸を小麦に与えると、これが実際に *dl*-ピノレジノールにとり込まれることを確認し、Freudenberg 説を裏づけている。

Freudenberg らの研究を総合すると、コニフェリルアルコールは次の五つの反応を経て細胞膜中で高分子化していくものと考えられる。

すなわち、

1) ラジカルどうしが結合して生じたキノンメチドに水が入る反応 (例、グワヤシルグリセロール-β-ピノレ

第 16 図 キノンメチドの重合

第 17 図 キノンメチドと糖の反応

ジノールの生成)

2) ラジカルの結合によって生じたキノンメチドに、コニフェリルアルコールが結合する反応 (例、グワヤシルグリセロール-β-, γ-ビスコニフェリルエーテルの生成)

3) キノンメチドの重合

4) ベンジルアリルエーテルのジフェニルメタンへの転移、および γ-炭素とフェノールの結合が、γ-炭素と C_5 あるいは C_2 位の結合に転移する

5) キノンメチドへの糖の結合

これらの反応を通じて明らかなことは、コニフェリルアルコールの脱水素によるフリーラジカルの生成において、水素原子が減少するが、2) の反応では脱水素が起こらず、また 1) で示したように、キノンメチドの水との結合が反応の重要な部分を占めていることである。

なお Freudenberg らは上記五つの反応を経て生じた DHP とスプルーシリグニンの比較研究において、前述した分解生成物からリグニン中の結合様式を推定するとともに、官能基分析、IR 分析、核磁気共鳴、炭素素分析などの分析結果を総合して、スプルーシリグニンに対して第 18 図のような模式図を明らかにするとともに、スプルーシリグニンのメトキシ基量は C_9 あたり 0.92 であることから、同リグニンはコニフェリルアルコールのみからなるのではなく、*p*-クマールアルコール-コニフェリルアルコール-シナピルアルコール (14 : 80 : 6) の

第 18 図 スプルスリグニン模式図

脱水素共重合体であるとし、グナリグニンは C_9 あたりのメトキシル基量 1.41 から考えて、上記アルコール 5 : 49 : 46 の分子組成のものが、脱水素共重合して生成するものと考えている。

以上概述したように、リグニン生成の全ぼうはしだいに明らかにされつつあるが、糖からコニフェリアルコールに至る反応の主要部は、ほとんど生きた植物によるトレーサー実験によって得られたもので、現在一つ一つの反応の酵素系がいろいろの植物組織を用いて確認されつつある。特に最近 Gamborg²³⁾ はミトリササゲの胚軸の組織をしんとう液体培養したものは、キネートデヒドロゲナーゼ、デヒドロキネ酸デヒドラターゼ、シキメートデヒドロゲナーゼ、プレフェネートデヒドロゲナーゼ、フェニルアラニントランスアミナーゼ、フェニルアラニンアンモニリアーゼ、すなわち、第 12 図の反応系を触媒するほとんど全酵素系が含まれていることを確認している。

樹木組織においてもフェニルアラニンアンモニリアーゼ、デヒドロキネートデヒドロゲナーゼ、シキメートデヒドロゲナーゼなどが確認されている²³⁾。しかし多くの人々の努力にもかかわらず、まだ酵素レベルでのシンナミック酸からシンナミックアルコールへの還元機構が明らかにされていない。シンナミック酸類は ATP, CoA の存在の下にシンナミック酸の CoA エステルになり、これがそれらのアルコールへの還元の間体になることが推定されているがまだ成功していない。また、

リグニンは第二次膜の S_1 層が形成されるころ、第一次膜の隅のところから生じ、しだいに中間膜に及ぶことが明らかになっているが、この際、セルロースの生合成におけるように、なんらかの細胞質小器管あるいは細胞質膜がその合成に関与するかどうか今後明らかにされるべき問題である。

文 献

- 1) K. R. Porter, R. D. Machado: *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **7**, 167 (1959)
- 2) K. Mühlethaler: *Cellular Ultrastructure of Woody Plants*, Syracuse Univ. Press. 51 (1965)
- 3) R. D. Preston: *The Formation of Wood in Forest Trees*, 169 (1964) Academic Press.
- 4) M. C. Ledbetter, K. R. Porter: *J. Cell Biol.*, **19**, 239 (1963)
- 5) A. D. Elbein, G. A. Barber, W. Z. Hassid: *J. Am. Chem. Soc.*, **86**, 309 (1964)
- 6) H. Meier: *The Formation of Wood in Forest Trees*, 137 (1964) Academic Press.
- 7) E. H. Newcomb: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **14**, 43 (1963)
- 8) D. S. Feingold, E. F. Neufeld, W. Z. Hassid: *Modern Methods of Plant Anal.* **5**, 1 (1964) Springer
- 9) B. G. Rånby: *Encyclopedia of Plant Physiology*, **6**, 268 (1958) Springer
- 10) G. A. Greathouse: *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 4503 (1957)

- 11) L. Glaser: *J. Biol. Chem.*, **232**, 627 (1958)
- 12) D. T. Dennis, J. R. Colvin: *Cellular Ultrastructure of Woody Plants*, 199 (1965) Syracuse Univ. Press.
- 13) A. C. Neish: *Biochemistry of Wood*, 82 (1958) Pergamon Press.
- 14) E. L. Hirst, J. K. N. Jones: *J. Chem. Soc.*, 2311 (1948)
- 15) L. Hough, D. B. Powell: *J. Chem. Soc.* **16**(1960)
- 16) I. D. Algranati, H. Carminatti, E. Cabib: *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **12**, 504 (1963)
- 17) M. Dankert, S. Passeron, E. Recondo, L. F. Leloir: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **14**, 358 (1964)
- 18) 樋口隆昌: *化学と生物*, **4**, 239 (1965)
- 19) H. Nimz: *Holzforsch.*, **20**, 105 (1966)
- 20) 和田 功, 太田路一, 榊原 彰: 第11回リグニン化学討論会講演要旨集, 62 (1966)
- 21) E. Adler: *Chimi. Biochimie Lignine, Cellulose et Hémicelluloses*, 73 (1964) Les Imprimeries Réunies de Chambéry
- 22) O. L. Gamborg: *Can. J. Biochem.*, **44**, 791 (1966)
- 23) 樋口隆昌, 島田幹夫: 未発表論文

接 着

—理論と応用—

改訂増補版完成!

改訂増補にあたっては、座右の書としても役立つよう規格編に重点をおくとともに、利用者に便利のため総索引をも新たに加え、資料編も新しい製品の紹介をいたしました。

体裁 A5判 890ページ

上製函入美装本

定価 2800 円 発売所 丸善株式会社

▶お問合せは 高分子学会 会員課 バックナンバー係

電話 東京 (03) (543) 3771 (代表)

[内 容]

I 理論篇

総 論	東工大・日大	金丸 競
分子間力と接着	小林理研	押田 勇雄
帯電と接着	富士フイルム	竹中 治夫
ぬれと接着	東京都立大理	佐々木恒孝
単分子膜法による接着試験		

お茶の水女大	立花 太郎	
界面化学と接着	東大	山口文之助
金属表面と接着	日本電気	服部 浩彦
分子構造と接着	京大化研	辻 和一郎
接着と化学構造 (合成の立場から)		

京大工	岡村 誠三	
化学結合による接着	東大工	岩倉 義男
接着の動力学	京工大	古川 淳二
接着のレオロジー	東京都立大理	岡 小天
接着の力学	阪工理	小島陽之助
試験法	前 東工大 故	井上 幸彦

II 応用篇

慶大工	荒井 溪吉	
総 論	林業試	堀池 清
木材の接着 (I)		
〃 (II)	農工大	堀岡 邦典
ガラスの接着	大日本ガラス	関野 政一
金属の接着	日立	福村 勉郎

プラスチックの接着	セメダイン	芝崎 一郎
ゴムと繊維の接着	藤倉ゴム	占部 誠亮
ゴムと金属の接着	明治ゴム	進藤吉三郎
プラスチックと金属の接着	東芝	間中 和夫
ポリエステルによる接着		

理研合成樹脂	秋田 務	
エポキシ樹脂による接着		
小西儀助商店	沖津 俊直	
合成樹脂エマルジョンによる接着		

高分子化学工業	桑原富士雄	
アイソトープの接着への応用		

竹原化成	新保 正樹	
粘着テープ (I)	積水化学	上野 透
〃 (II)	ニチバン	前田邦夫, 遠山三夫
各種工業分野における接着の応用		
日大工	長井 潤	

III 規格篇

第1章	接着強度の試験法
第2章	接着剤の試験法
第3章	木材の接着に関する規格
第4章	ゴムの接着に関する規格
第5章	粘着テープに関する規格

IV 資料篇

接着関係諸会社製品紹介

索 引