

纖維の化学

工 学 博 士

櫻 田 一 郎 著

三共出版株式会社

繊維の化学

工 学 博 士
櫻 田 一 郎 著

三共出版株式会社

著 者 略 歴

1904 京都に生まる(本籍地 宮城県仙台市)
 1926 京都帝国大学工学部工業化学科卒業
 1926~35 理化学研究所研究生を経て同所研究員
 1931 工学博士
 1935~67 京都大学教授(その間2年 工学部長)
 1966 ドイツ・マインツ大学名誉理学博士
 1967~74 同志社大学教授
 現 在 京都大学名誉教授, 日本学士院会員,
 日本原子力研究所客員研究員

受 賞

1955 紫綬褒賞(ビニロンの発明)
 1974 勲二等旭日重光章
 1977 文化勲章

著 書

人造繊維要覧, 高分子, 高分子化学概
 論, 繊維化学教室より, 第三の繊維,
 高分子化学と共に, その他

織 維 の 化 学

¥ 1,500

昭和53年4月1日 初版発行

昭和53年11月1日 初版第2刷発行

© 著 者 桜 田 一 郎

発行者 萩 原 町 子

印刷者 堀 正 弘

発行所 三 共 出 版 株 式 有 限 公 司

東京都千代田区
 神田神保町3の2

郵便番号 101 電話 (264) 5711

振替 東京 1-1065

社団法人日本書籍出版協会・社団法人自然科学書協会・工学書協会 会員

Printed in Japan

用紙・中越 印刷・文弘社 製本・清澄

3058-11250-2740

序 文

京都大学の工業化学科を卒業し、理化学研究所の研究生として、喜多先生の研究室で研究生生活に入ったのは、大正 15 年のことであるから、既に 53 年になる。最初に行なった研究はセルロース（当時は繊維素と呼んでいた）誘導体の合成であった。間もなくドイツに留学し、ライプチヒ大学の物理化学教室の Wo. Ostwald 先生の研究室、ベルリン・ダーレムのカイゼル・ウイルヘルム化学研究所の K. Hess 先生の下でもセルロースに関する研究に従事した。

留学中の 1920 年代の終りから、1930 年代の初めは、繊維化学を基礎にして高分子化学が生まれようとする時期であり、またこのような学問の進展につれて、天然繊維や再生人造繊維（レーヨン）から合成繊維の誕生する前夜であったということもできる。Carothers のナイロンの発明に直接つながる研究の第 1 報が発表されたのは 1929 年であった。

繊維化学は高分子化学の一環として、しかも、最初の環として大きく発達し、合成繊維はそれとともに華々しい生長を見せた。一方新興のプラスチックの伸びも真に目覚ましいものがあった。

高分子工業の進展があまりにも急ピッチであっただけに世界的不況の今日、その沈滞は特に深刻なものがある。しかし、文化の向上、人類の繁栄は誰しもが希求しているところであり、優れた性能の高分子製品（繊維、プラスチック、ゴムなど）が十分な量を要求され、その要求が高まってくることは当然である。物質を創造し、製造するのは、化学であり、化学工業である。

本書の著者は、第 2 次大戦が終って間もなく、日本における繊維工業の復興を願って「繊維の科学」を執筆し、三共出版から発行した。初版が出てからもう 30 年近くになる。その間に、辻和一郎君（現武庫川女子大学教授）、谷口政勝君（兵庫女子短期大学教授）などの協力の下に幾度か改訂増補して、版を重ねることができた。今回は想を新にして、全面的に書きかえ『繊維の化学』と命名した。書名を変えたのは、それなり理由のあることで、分子的な見方による繊維というものを、再び原点に戻って知る必要があると考えたからである。

本著は『繊維の化学』と名づけてあるが、内容は専門書でなく「繊維化学概論」,「繊維化学入門」と呼んだ方がふさわしい。執筆に当っては、内外の関係文献を参考にし、充分の注意は怠らなかったつもりであるが、急いでしかも短く書いたために筆者の意を尽せなかった部分、思いちがいの個処もあったのではないかという懸念も絶無でない。お気づきの方から御指摘いただければ幸である。また市場にある繊維の性質の表は、すべて日本化学繊維協会の「化繊ハンドブック」1977年版を基礎にしたものであり、この機会に同協会に感謝する次第である。

世界の繊維工業が、調和のとれた活動を開始する日の遠くないことを願いつつ序文を終る。

春近い日、庭を訪れる鶯の声を聞きつつ、
京都北白川の自宅で

桜 田 一 郎

(2. 26. '78)

目 次

1 章 繊維の歴史

1. 天然繊維	1
2. 繊維と機械革命	3
3. 人造繊維	5
4. 合成繊維	8
5. 将来の繊維工業	10

2 章 繊維と高分子化学

1. 繊維とは何か	13
2. 紡織繊維として必要な性質	14
3. 高分子化合物	17
4. 高分子化合物の具体的な例	20

3 章 天然繊維

1. セルロース繊維	24
a. 木綿繊維の微細構造	24
b. セルロースの分子構造	26
c. 繊維構造	26
d. セルロースの分子量	29
e. 繊維の結晶部分と非結晶部分	31
f. セルロースの化学反応	32
2. 絹	33
a. 生糸	33
b. フィブリン分子	35
c. フィブリンのアミノ酸組成	35
d. フィブリンの結晶格子	37
e. 家蚕以外のフィブリン分子	38
f. フィブリンの分子量	38
3. 羊毛	38

a. 羊毛繊維	38
b. 羊毛ケラチンの分子構造	39
c. ケラチンの結晶構造	40
d. 羊毛ケラチンの化学反応	41
e. 羊毛繊維の微細構造	42
4. コラーゲン繊維	42
5. 天然繊維の性質	43

4章 再生繊維と半合成繊維

1. 繊維の形成(紡糸)	44
a. 紡糸液	44
b. 紡糸	45
c. 繊維構造の実現	49
2. 原料化合物	50
a. パルプ	50
b. タンパク質	51
3. レーヨン	52
a. ビスコース法の化学	52
b. 強力人絹, 強力スフ, ポリノジック	56
c. 銅アンモニア法人造繊維(キュプラ)	59
d. レーヨンの樹脂加工	60
4. 酢酸セルロース人造繊維(アセテート)	62
a. 原料	62
b. アセテートの化学	63
c. 紡糸	65

5章 合成繊維総論

1. 石油化学工業	67
2. モノマー類の合成	68
a. C ₁ 留分, メタン	69
b. C ₂ 留分, エチレン	69
c. C ₃ 留分, プロピレン	70
d. C ₄ 留分	71
e. 芳香族留分, BTX	71

3. 高分子の生成(重合反応)	74
a. 重 縮 合	74
b. 重 付 加	75
c. 連鎖重合	76
d. ラジカル重合	77
e. イオン重合	79
f. 配 位 重 合	81
g. 共重合, グラフト重合, ブロック重合	83
h. 重合反応実施の形式	84

6章 合成繊維各論

1. ナイロン	86
a. ナイロン 66	86
b. ナイロン 6	88
c. 種類の脂肪族ナイロン	90
d. 環を含むナイロン	92
e. 全芳香族ポリアミド繊維	93
2. ポリエステル繊維	96
a. 普通のポリエステル (PET) 繊維	96
b. 種類の芳香族ポリエステル	99
c. ベンゾエート繊維	101
d. 脂肪族のポリエステル	101
3. アクリロニトリル繊維	103
a. ポリアクリロニトリルの溶剤	103
b. PAN 繊維の工業化	104
c. アクリロニトリルの共重合繊維	107
d. タンパク質との混合繊維	108
4. ポリ塩化ビニル繊維とポリ塩化ビニリデン繊維	108
a. ポリ塩化ビニル繊維	108
b. ポリ塩化ビニリデン繊維	111
5. ポリビニルアルコール繊維(ビニロン)	113
a. ポリビニルアルコール (PVA)	113
b. 紡糸と後処理	114
c. 性能と用途	116
d. PVA の混合繊維	117

6.	ポリオレフィン繊維	118
a.	種類のポリオレフィン繊維	118
b.	ポリエチレン	118
c.	ポリプロピレン	120
7.	その他の繊維	123
a.	弾性繊維	123
b.	フッ素繊維	126
c.	フェノール系繊維 (Novoloid)	127
7章	無機繊維	
1.	ガラス繊維	129
2.	炭素繊維	131
8章	繊維の物理的ならびに機械的性質	
1.	織度と比重	136
2.	繊維の強さと伸び	139
3.	繊維の弾性率(ヤング率)	142
4.	伸長弾性度(伸長の回復性), 伸長仕事	144
5.	繊維の疲労	145
6.	繊維の機械的性質とガラス転移温度	147
7.	微細構造と繊維の機械的性質	149
8.	種類の物理的性質	152
9章	繊維の化学的ならびに コロイド化学的性質	
1.	吸湿性	154
2.	湿潤性と浸透性	157
3.	洗濯	161
4.	染色	164
5.	繊維の脆化	167
6.	耐熱性, 耐炎性	168
索引	引	173

繊維の歴史

1. 天然繊維

現在人類が生産し使用している繊維の総額は重量にして全世界年産は約2400万トンであり、その内訳は次のようである。

木 綿	50%	合成繊維	31%	*レーヨン	12%
羊 毛	7%	絹	0.1%		

*（レーヨンの中にはアセテートも含まれる）

一方わが国の繊維（この場合は糸）の年間生産高は 218 万トンであり、内訳は下記のようになっている。

木 綿	26%	合成繊維	53%	*レーヨン	12%
羊 毛	8%	絹	1.3%	その他	—

このような繊維を人間がどうして使うようになったかということを簡単に調べて見よう。

4 万年前はちょうどアダムとイヴの物語にあるように人間は木葉衣や獣皮を被服の目的に用いていたが、これらの植物性あるいは動物性の原料から、繊維を分離採取して、布に加工して使うというようなことは無かったようである。

約 1 万年前のことは偶然の機会から明らかにされた。今から 100 余年前にスイスとイタリーの国境近くの湖水が涸乾して、湖底から古い都市が発掘され、その中からいろいろなものが見出されたが、繊維についても参考になる種類の資料が得られた。それによるとこの時代にすでに麻類、獣毛などの繊維を手で紡績して糸を紡ぎ布に織っていたことは明らかである。すなわち麻類の繊維、獣毛などの繊維は人類が最も古く用い始めたものであるといえることができる。

繊維を紡績して糸とし、糸を織って布にすることをわれらの遠い祖先が発明したのは、野羊の毛が自然によれよれになって、フェルト布となることに気がつき、それが、毛皮自身よりもしなやかで軽く、しかも温いことを知り、これを模倣したのが初めであると想像されている。

麻類その他の植物性の繊維の使用は、暑熱の地方で始まったものと考えられる。今から 4000 年前すでにエジプトにおいては麻織の技術が完成し、寺院は麻織場を設け、その麻布は有名であり、ミイラとともに墓から見出される織物には今日の最高技術による製品と比べても劣らないものがある。

木綿繊維を用いることは印度で最初に行なわれた。印度河の河谷の町で発見された綿布は 5000 年前の綿織匠の技術がすでに優秀であったことを物語っている。

絹に関しては約 4500 年前、中国の黄帝の妃西陵氏が養蚕の技を起し、織機を発明したことが書物に記されている。

このように麻、羊毛、木綿、絹の天然の 4 大繊維は少なくとも 5000 年ほど前から相当巧みに利用されていたことは明らかである。

バビロニア人のキャラバンはペルシャの毛織物、印度の綿布、中国の絹などを地中海の沿岸都市に輸入し、長年月の間巨利を得た。やがて棉は地中海沿岸に移植され、西暦 1 世紀及び 2 世紀にはエリスは大棉作地となった。

養蚕は長い間中国における秘密の技術であったが、西暦 5 世紀頃、ある中国の王女が印度の王子のもとに嫁ぐ時に、蚕の卵と桑の実を文庫に秘めて持出して行ったことによって外部に伝わった。また西暦 552 年にはビザンチンの 2 人の僧侶が、アジアへの伝道の旅の帰路蚕卵を竹枝にかくしてヨーロッパへ持ち帰ったというような話が伝えられている。

中国の絹織業がわが国に初めて伝えられたのは西暦 4 世紀末の頃と考えられる。朝鮮や中国の史書によれば 4 世紀の半ばから末にかけて日本は盛んに百済や新羅を攻略していたが、それがきっかけとなっていていろいろの大陸の文化が朝鮮半島を通じてわが国に渡来してきた。その 1 が絹織業である。日本書紀にはこれは応神天皇の御代と記されている。すなわち、そのころ、かねてから百済に移住していた秦人融通王（弓月の君）や漢人阿智王らがそれぞれ多くの民をひきつれて日本に帰化し、養蚕、機織の術を伝えたのが日本における絹織業の

始まりとなった。わが大和朝廷では彼らに秦(はた)、太秦(うずまさ)、漢(あや)などの氏姓を名のらせ、土地や官位をも与えて厚くこれと遇するとともに、歴代の天皇またしばしば使を南中国に遣わして織縫の工女を求めるなど積極的に機織の振興をはかれたので、絹織の業が大いに興り、広く日本各地にも行きわたった。

日本における麻の歴史ははるかに古い。正倉院に 1200~1300 年前の日本人の衣料が蔵されているが、それを見ると当時は天皇から庶民に至るまで、広い階層にわたって麻がその一般衣料として広く使用されていたことがわかるが、最近縄文土器の中から麻やしゅろの葉が発見され、さらに当時の草炭層の中からも麻の種が発見されたため、日本では少なくとも 4000~5000 年も前から麻の使用されていたことが推測されるようになった。

棉は桓武天皇の御宇、天竺人が三河国に漂着し、棉の実を献じ、栽培法を教えたのが初めである。この種はその後いくばくもなくして根絶した。

豊臣秀吉の時代に、彼は内藤如安を明国に遣わし、綿実を輸入して、大和地方に栽培した。しかし本邦においても、絹、木綿などは貴重品で、徳川時代の半頃までは普通の被服はこうぞ、麻、葛、苧などからつくられ、それ以後東北地方、寒い山間部落などを除いて、殆ど全国的に綿が栽培され木綿は一般的な被服材料となった。

アジアとヨーロッパをつなぐ道が、いわゆるシルクロードと呼ばれていることを見ても、古代から繊維の輸出入が、東西文化の交流にいかに重要であったかがわかるが、西暦 1291 年にマルコポーロが北京へ到着した世界旅行の旅の費用が、ヴェニスの絹商会および木綿商会から支出されたものであり、ヴェスコダガマが 1498 年にカルカッタに上陸したのは、彼が『金を織り込んだ綿布を産出している国』と急速に連絡したいと希望していた呉服商の依頼を受けていたものであるということは、興味のある事実である。インドへの海路を見出そうとして、アメリカを発見したコロンブスはゼノアの呉服商の息子であった。

2. 繊維と機械革命

18 世紀の半頃までは繊維は手工業として、紡績され、糸になり、織られて

布となった。その方法は 5000 年前とほとんど何らの変化は無かった。その間ヨーロッパの人口は次第に増加し、食糧、被服はますます多量を必要とするにもかかわらず、羊の飼育や亜麻の栽培のために、より多くの土地を供するということは不可能であった。木綿は、手工業的に紡績するには亜麻、羊毛などに比べて繊維が短いために困難な点が多く、また大量をヨーロッパ以外の土地から輸入するには輸送の不便があり、『白色の黄金』たる木綿は依然として貴重品であった。

イギリスにおいては、發育盛りの小児が紡績工場で酷使され、婦人労働者は苛酷な労働のため死期を早めるものが多かった。ランカシャーの一理髪師リチャード・アークライトは水力や蒸気力で動き 1 人で何錘も受けもつことのできる紡績機械を発明しようと企て、遂に 1769 年これに成功した。この紡績機により 1 人の成年男子と 4 人の小児により、簡単な紡車をもった 600 人の婦人よりもより多くを紡ぐことが可能になった。

繊維工業における第 2 の大きい発明はオクスフォードの医師で詩人であるエドムンド・カートライトによって 1787 年に行なわれた蒸気力で動く織機である。

大量の繊維を蒸気力で容易に糸に変え、布をつくることが可能になった。従来の羊毛や亜麻は量の点で、これらの機械を満足させるに足りない。綿は新しい大陸の米国から輸入される。しかし、ここに 1 つの難点があった。それは綿実から、綿花を分離するのに一時に多くの人手を要することである。ぐずぐずしておれば綿実は腐ってしまう。奴隷は農場にも、綿繰りにも必要である。機械は大きい口を開いて待っているのに奴隷の不足から綿繰りができない。この問題はアメリカ人エリー・ホイットネーにより 1793 年綿繰機の発明によって解決された。

今や新大陸の広大な農場で栽培された綿花は、ホイットネーの発明した機械で繊維にされ、海を渡ってイギリスへ送られ、アークライトの機械で糸になり、カートライトの機械で布となり、一部は国内で消費されるとともに、他は再び海を渡って海外へ送られた。綿花は動かない王者の地位を獲得した。

わが国においては幕末、浜崎太平が、島津斉彬公に舶来の綿糸を献上した時、公はその精巧に驚き、この糸が何の原料でできているかを西陣に送って鑑定さ

せた。西陣においても『獣毛に似て獣毛にあらず、綿毛なればかくの如き精巧なる糸の製出し得る筈無し』としたが、遂に絹綿交織と鑑定したとのことである。公が御庭奉行石河正竜に、一卷の書物と一束の総糸を示し、木綿の将来の日本における重要性を説き、その研究に力を傾けるように命じたことは有名な話である。

慶応2年島津忠義公は新納、五代の兩人を紡績業研究のためイギリスに派遣し、プラット会社の設計に基づき、鹿児島紡績所を起し、イギリス人6名を招いて指導に当たらせ、慶応5年（一説には3年という）操業を開始した。その後明治になるとともに官営工場、民間工場が相ついで設立され、多大の困難に打ち勝ち、日清、日露、第1次世界大戦を経て、第2次世界大戦前には、日本の綿紡績業は量的に見て世界第1位となり、東洋、南洋はもちろん、欧州の土地にまで安価な綿布を供給していた。

その間綿花の栽培は、綿畠は徳川末期においては全国的に広がっていたが、明治維新とともに外国貿易が開始されるに及び、在来綿は質的にも、また価格の点からも外綿の競争者たり得ず、綿畠は水田その他に変わり、日本ではどこへ行っても綿の花咲く景色は見られなくなった。

綿花を全く産しないわが国が綿業で世界の第1位を獲得することができたのは、経営者の苦心、技術者の努力に負うところ少しとしないことはもちろんであるが、いわゆる豊富かつ安価な労働力が決定的要素であったことは明らかである。

第2次世界大戦前には日本から綿布を輸出していた東、南洋の各国においても綿業は発達し、かつては日本から大きい打撃を与えられて壊滅の道をたどった英国のランカシヤと同じように、今度は日本が新興国からの打撃を受けることになった。その上に紡績の中心は木綿から化学繊維、特に合成繊維に移ろうとしている。

3. 人 造 繊 維

木綿、羊毛、麻類等の繊維と絹とを比べて見ると、絹が非常に大きい特徴を有していることがわかる。それは絹を除いた他の繊維はいずれも繊維長は短く、したがって紡績、すなわち短い繊維を平行に並べ燃りをかけて糸にしなけ

ればならない。これに対して絹はほとんど無限に長いと称してもよい程の長さをもっている。すなわち紡績しなくても糸になっており、必要があれば撚糸をすればよい。その上に絹は細く、美しく輝き、しなやかで、しかも強度、弾力などは他の繊維と比較にならないほど優秀であった。また養蚕製糸には特殊の技術と経験を必要とし、東洋の特産として容易に他の模倣を許さない。このようにして絹は古来ヨーロッパにおいて黄金にも代え難い貴重さを保存していた。

石を黄金に変えることを夢みたアルケミストの流れを汲む化学者が、黄金よりも貴い絹を蚕の口を借りずに人間の頭で、その手でつくり出そうと考えるのは当然であろう。

1655年イギリス人フークは膠のようなもので人工的に糸をつくる考案を述べており、1734年には烈氏寒暖計の発明者であるレオムールがゴム汁、樹脂液から絹糸様繊維をつくることを考えた。これらの原料は必ずしも豊富に得られるとはいえないが、1846～1847年シェーンバインが木綿を硝化して硝酸セルロースを得ることを発見してから人造絹糸の製造の考案は具体化するに至った。すなわち硝酸セルロースを溶剤に溶解すると粘性液を与え、その粘液は膠やゴム汁、樹脂液と同様に人工的に糸をつくるのに適当と思われる。

1855年アウデマースは桑の木からセルロースを分離して硝酸セルロースを得、これを溶剤に溶解して粘液をつくり、糸をひき出して人造絹糸を紡糸することを唱えた。これより数年後オザナムは、糸をひき出す代りに、細い孔から粘液を押し出して紡糸する考案を発表した。これは今日人造繊維の製造に専ら用いられている方法と原理的に同じである。

1884年フランス人シャルドンネ伯は硝酸セルロースから人造絹糸を造る特許を得、1889年パリーの大博覧会に出品して好評を得た。彼以前にも類似の考案は数多くあったが、初めて工業化に成功したという意味において彼が人造絹糸の創始者と呼ばれている。

シャルドンネより少し以前にイギリス人スワンは人造絹糸をやはり硝酸セルロースからつくり、これをロンドンの博覧会に出品し、このとき初めて人造絹糸 (artificial silk) なる名を与えたが、スワンの興味は人造絹糸よりも、エジソンの発明になる電球のカーボンフィラメントの原料になる有機物のフィラメントを得ることに向かったため、人造絹糸の研究はそれ以上発展しなかったわ

けである。

1892 年イギリス人クロス、ベバン、ビードルの 3 人はいわゆるビスコース溶液を作り、それより人造絹糸を製造することを発明した。現在世界における人造セルロース系繊維（レーヨン）の大部分はこの方法で作られている。

1899 年にはグランツシュトフ社によって、1857 年のシュワイツェルの発明を基礎とするセルロースの酸化銅アンモニア溶液を紡糸液に用いる人造絹糸の工場が設立された。

本格的なビスコース法の工場としてコートールド社のそれがつくられたのは 1905 年のことであるが、その間に次第に硝酸法、銅アンモニア法、ビスコース法の工場が欧州各地に設立され、本邦においては 1916 年米沢に、今の帝人株式会社の前身ともいえるべきビスコース法の会社が、久村清太、秦逸三両氏の研究を基にして設立された。

非常に燃えやすい硝酸セルロースの代りに酢酸セルロースを繊維やフィルムに使用することはかなり以前から考えられたが、それが具体化したのは第 1 次世界大戦後のことである。すなわち戦時中、布製航空機の塗料として酢酸セルロースが最も適しているため、各国でその研究が行なわれ製造設備が設けられた。戦後その工業の転換として競って人造絹糸の製造が考えられ 1919 年にはセラニーズ社から本格的な製品が発売された。

今まで述べたのはいずれも人造絹糸、すなわちエンドレスに長い人造繊維の製造であるが、第 1 次世界大戦中、羊毛および綿花の不足に悩んだドイツは人造絹糸を適当に短く切断してこれを綿の代用に用いることを考案実行し、シュターペル・ファーザー（ステープル・ファイバー）と命名した。大戦の終結とともに、ほんの戦時中の間に合わせに過ぎなかったステープル・ファイバーは市場からは姿を消したが、根強い研究は継続され、繊維資源をもたないドイツにおいてはナチスの天下になるとともにアウトアルキーの見地から 4 ヶ年計画に取り入れられ、本格的な努力の結果ドイツ国の白色の黄金たるツェルワレにまで発展した。ドイツとほぼ似た国情にあったイタリアおよび日本も国家として人造繊維を取り上げ、その技術並びに工業は質的にも量的にも短時日の間に目覚ましい進歩を遂げた。

硝酸法、銅アンモニア法、ビスコース法、酢酸法などいずれの人造繊維も、

原料としては、化学的に見る時にはセルロースを用いているのであるが、1935年、イタリアにおいてはフェレッチの発明により牛乳カゼインを原料とする人造繊維ラニタール（イタリア羊毛）を発売した。これはエチオピア侵略によって経済封鎖を受け、羊毛の輸入が不能になったイタリアの宣伝もあり、多少大きく宣伝されすぎた嫌いはあるが、実質的にも充分注目されてしかるべきであり、第2次大戦前すでにドイツにおいてもカゼイン羊毛がつくられ、ポーランド、オランダなどでも計画された。これに刺激されて、わが国では大豆タンパク質を用いて繊維を製造することが各所で研究され、太平洋戦開始前にシルクールなる商品名で少量が市場に出された。その後タンパク質人造繊維としてはピーナツやコーンを原料とする Ardil, Vicara が工業化されたが、今日では生産されていない。

セルロース以外の天然原料を用いて人造繊維を製造することに関しては、魚肉、鯨肉あるいは穀類のタンパク質、キチン質、海藻アルギン酸、こんにゃくマンナン等世界各国で各方面から研究が行なわれた。

4. 合成繊維

実際の応用的見地により、天然の化合物中から人造繊維の原料が探求されている間に、純学術的研究は、化学的にどんな分子が繊維を形成するのに最も適当しているかということをはっきりと明らかにした。それは簡単に説明すれば、繊維を形成する分子は、分子自身も細くて長いことが最も望ましいということであった。さらにその分子が結晶をつくる能力のあるのが好ましいと考えられた（1920年代の終りから30年代の初め）。これらの基礎研究と、その間に発達した有機合成化学が結合して、糸のように細くて長い分子、すなわち糸状分子（線状分子）を合成しようという考案を生んだ。この研究に正面から取り組み、成功したのが、ナイロンの生みの親 Du Pont 社の W. H. Carothers であった。

カロサースの研究とは別に、粘ばい液を細い管から押し出して、糸状に固めようという、人造繊維の流れを素直に受けついだ研究からも合成繊維が生まれた。合成樹脂が粘ばい液を与えることが明らかになった以上、それを繊維化する考案も生まれてくるのは当然である。フェノール樹脂などの中間物から繊維をつくろうという考案は別としても、ポリ塩化ビニルから繊維をつくろうとい