

化学研究連絡委員会・材料工学研究連絡委員会 報告

—高分子科学研究の推進について—

平成9年6月20日

日本学術会議

化学研究連絡委員会・材料工学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議化学研究連絡委員会ならびに材料工学研究連絡委員会において、共通の課題について審議した結果を取りまとめて両研究連絡委員会連名の報告書として発表するものである。

化学研究連絡委員会

委員長	井口 洋夫	(岡崎国立共同研究機構分子科学研究所研究顧問)
幹事	大滝 仁志	(日本学術会議第4部会員、立命館大学理工学部教授)
	櫻井 英樹	(日本学術会議第4部会員、東京理科大学理工学部教授)
	本多 健一	(日本学術会議第5部会員、東京工芸大学長)
委員	池田 重良	(日本学術会議第4部会員、龍谷大学理工学部教授)
	宇田川 重和	(日本学術会議第5部会員、千葉工業大学工学部教授)
	内田 盛也	(日本学術会議第5部会員、帝人(株)顧問)
	金岡 祐一	(日本学術会議第7部会員、富山女子短期大学長)
	富永 博夫	(日本学術会議第5部会員、東京大学名誉教授)
	内藤 博	(日本学術会議第6部会員、共立女子大学家政学部長)
	西島 安則	(日本学術会議第4部会員、京都大学名誉教授)
	橋本 嘉幸	(日本学術会議第7部会員、(財)佐々木研究所長)
	松野 隆一	(日本学術会議第6部会員、京都大学農学部教授)
	村田 一郎	(日本学術会議第4部会員、福井工業大学工学部教授)
	赤岩 英夫	(群馬大学工学部教授)
	安積 徹	(東北大学理学部教授)
	安部 明廣	(東京工芸大学工学部教授)
	池上 四郎	(帝京大学薬学部教授)
	石谷 炯	((株) 東レリサーチセンター取締役社長)
	井上 祥平	(東京理科大学工学部教授)
	今西 幸男	(奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科教授)
	岩原 弘育	(名古屋大学理工科学総合研究センター教授)
	岩村 秀	(九州大学有機化学基礎研究センター長)
	遠藤 剛	(東京工業大学資源化学研究所教授)
	大城 芳樹	(近畿大学理工学総合研究所教授)
	岡崎 廉治	(東京大学大学院理学系研究科教授)
	生越 久靖	(福井工業高等専門学校長)
	小尾 欣一	(東京工業大学理学部教授)
	折谷 隆之	(東北大学農学部教授)

上野川 修一 (東京大学大学院農学生命科学研究所教授)
茅 幸二 (慶応義塾大学理工学部教授)
川崎 昌博 (北海道大学電子科学研究所教授)
川又 元夫 ((社)日本化学工業協会化学物質総合管理センター部長)
北川 進 (東京都立大学理学部教授)
國武 豊喜 (九州大学工学部教授)
桑原 保正 (京都大学農学部教授)
志田 忠正 (京都大学理学部教授)
高木 誠 (九州大学工学部教授)
武居 文彦 (大阪大学理学部教授)
竹内 敬人 (神奈川大学理学部教授)
辻田 義治 (名古屋工業大学工学部教授)
徳丸 克己 (筑波大学名誉教授)
富永 健 (東京大学名誉教授)
鳥居 滋 (岡山大学工学部教授)
中川 照真 (京都大学薬学部教授)
中濱 精一 (東京工業大学工学部教授)
中村 晃 (大阪大学理学部教授)
畑田 耕一 (大阪大学基礎工学部教授)
千鯛 真信 (東京大学工学部教授)
廣田 榮治 (総合研究大学院大学長)
御園生 誠 (東京大学工学部教授)
村井 真二 (大阪大学工学部教授)
目黒 熙 (東北大学農学部教授)
森 謙治 (東京理科大学理学部教授)
諸岡 良彦 (東京工業大学資源化学研究所教授)
山口 兆 (大阪大学理学部教授)
山本 明夫 (早稲田大学理工学部教授)
山本 嘉則 (東北大学大学院理学研究科教授)
吉原 經太郎 (北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究所教授)
四ツ柳 隆夫 (東北大学大学院工学研究科教授)
米光 宰 (岡山理科大学理学部教授)

材料工学研究連絡委員会

- 委員長 本多 健一 (日本学術会議第5部会員、東京工芸大学学長)
- 幹事 加藤 昭夫 (九州大学工学部教授)
蒲池 幹治 (大阪大学理学部教授)
澤田 嗣郎 (東京大学工学部教授)
鈴木 邁 (千葉工業大学工学部教授)
- 委員 宇田川 重和 (日本学術会議第5部会員、千葉工業大学工学部教授)
内田 盛也 (日本学術会議第5部会員、帝人株式会社顧問)
富永 博夫 (日本学術会議第5部会員、東京大学名誉教授)
安部 明廣 (東京工芸大学工学部教授)
筏 義人 (京都大学生体医療工学研究センター教授)
一ノ瀬 昇 (早稲田大学理工学部教授)
井上 達雄 (京都大学工学部教授)
逢坂 哲彌 (早稲田大学理工学部教授)
大城 芳樹 (近畿大学理工学総合研究所教授)
落合 庄治郎 (京都大学工学部教授)
小野 嘉夫 (東京工業大学工学部教授)
岸 輝雄 (東京大学先端科学技術研究センター教授)
木村 脩七 (山梨大学工学部教授)
木村 雄二 (工学院大学工学部教授)
小久保 正 (京都大学工学部教授)
真田 雄三 (北海道大学エネルギー先端工学研究センター長)
島田 昌彦 (東北大学素材工学研究所教授)
白井 汪芳 (信州大学繊維学部教授)
新原 皓一 (大阪大学産業科学研究所教授)
西 敏夫 (東京大学工学部教授)
平野 真一 (名古屋大学工学部教授)
藤田 廣志 (近畿大学理工学総合研究所教授)
牧島 亮男 (東京大学工学部教授)
升田 利史郎 (京都大学工学部教授)
三位 信夫 (千葉大学工学部教授)
水谷 惟恭 (東京工業大学工学部教授)
三橋 博三 (東北大学工学部教授)

宮田 清蔵 (東京農工大学工学部教授)
村瀬 平八 (山形大学地域共同開発研究センター客員教授)
横堀 寿光 (東北大学工学部助教授)

高分子科学研究の推進について

戦後50年、繊維、プラスチック、ゴムを中心とする高分子産業の発展は目覚ましいものであった。昭和30年、40年代には欧米からの技術導入が盛んに行われ、合成高分子製品は我々の日常生活のいろいろな部分に急速に入り込んでいった。高分子に関する科学、技術は進歩し、ビジネスにおいても多くの成功を生んだ。しかし、東西冷戦後の国際競争の激化につれて、高分子の産業も技術も大きく変貌しようとしている。

日本が今後ともダイナミックに変化を続けるこの分野の将来に積極的に関わって行くためには、国際的な競争と協調のなかで、世界最先端の基礎研究力を培って行くしかないのである。以下の各項目に述べる如く、高分子科学の広がり、材料としての有用性において産業と直結し、他方生体系における高分子の働きを理解するための基礎として欠かすことのできない分野である。高分子性の認識は、化学と物理の両分野で論じられてきた古くて新しい命題であり、今後とも続けられて行くであろう。高分子科学の一層の振興が重要な戦略課題であることは言うまでもない。要は限られた人材と研究費のなかで、如何に効率よく目的を達することができるか、賢く知恵を巡らす必要がある。高分子科学に含まれる広い領域のすべてが、いつも同じ早さで進展して行く訳ではない。何処に重点を置くべきかも時と共に変化する。競争と協調の時代の中で、研究者が独創性を失うことなく、共に生き生きと活動できるための基盤作りが今求められている。

このような観点から、第16期日本学術会議化学研究連絡委員会および材料工学研究連絡委員会において、それぞれ高分子化学専門委員会および有機材料工学専門委員会から提出された2冊の報告「高分子科学の研究動向と将来展望」と「高分子科学—明日への胎動」について検討を行ってきた。前者は一般に高分子研究と総称される分野の広がりをなるべく客観的、且つ定量的に捉えようとしたものであり、後者は代表的な高分子研究者25名が最も関心の高い研究テーマについて今後の展望を強調して執筆した論文集で、“高分子性に関する基礎研究とは何か”と云う問いに具体的に答えようとしたものである。

本報告書では、2年余に亘る両研究連絡委員会の審議を踏まえ、まず高分子科学の現状と将来展望に触れ、次いで高分子研究が新しい時代に入りつつあると云う認識のもとに高分子基礎研究体制を強化する必要があることを述べる。

1. 高分子科学の重要性

a) 高分子材料研究における挑戦課題

高分子材料は汎用プラスチックからエンジニアリングプラスチック（エンブラ）、さらにはスーパーエンブラへと、主として構造材料としての高性能化を中心に発展してきた。量的にはまだ少ないが、高分子材料は機能材料 — 外部からの刺激に対して、選択的或いは特異的に応答する材料 — としても先端技術を含む広範な分野で高度利用されている。

21世紀を目前にして、我が国はマルチメディアで代表される高度情報化社会が現実のものとなりつつあり、一方、高齢者人口の増加による健康・医療の問題、エネルギー・地球環境問題など様々な課題を抱えている。このような社会・経済の環境変化に応える技術革新を支える素材として、多様な応用面をもつ機能性高分子材料に対する期待は大きい。新しい需要に対して、新しい構造の高分子材料や制御技術が開発されつつある。それらの性質も用途も極く最近見いだされたものが多い。代表的な二つの分野について具体例を挙げよう。

情報・通信分野： 主に高分子の電気的性質に注目して最近急速に開かれてきた研究領域である。

- ・導電性高分子／合成メタル／超高誘電性または超低誘電性高分子／
- ・センサー／レジスト／発光ダイオード／電子写真／光導波路部品／光干渉フィルター／
- ・ホトニクス／ホログラフィー／非線形光電子／コンパクトディスク・テクノロジー／

医療・医薬・バイオテクノロジー分野： 世界的に急速な進展が期待されている分野である。現状は、すでによく知られた高分子材料について、それらの構造や性質をいかに上手に制御するかに努力が集中されている。

- ・人工臓器
- ・高性能診断薬／ドラッグ・デリバリー制御システム／
- ・バイオエラストマー／生体複合材料／

これらはいずれも性能について既存のレベルを超えることを要求されている。常に大きな意外性を伴う基礎研究の将来を的確に予測することは難しいが、現状の延長として語られている高分子技術革新のパラダイム論によれば、今後の高分子技術に飛躍をもたらすコンセプトは、高次構造制御と精密重合であるとされている。高次構造制御は、例えばゲル紡糸による高強度ポリエチレン繊維、高強度・高耐熱液晶高分子繊維などが理解し易い。精密重合のコンセプトは高分子の一次構造の三要素である分子量、立体規則性、連鎖分布を厳密にコントロールすることにより物性の向上を期待するものである。n個の単位からなる高分子の構造の多様性は、一個の単位に許される自由度のほぼn乗である。決まった順に連結することも容易ではないが、得られた高分子の特性解析にも大きな努力が必要である。基礎研究なくして、このような技術の確立はできない。今後の基礎研究を一言で云えば、「新しい構造の高分子を作ること、それらを正しくキャラクターゼーションすること」であろう。この言葉は10年前にドイツでMax-Planck高分子研究所が設立された際のキーワードでもあるが、化学と云う伝統的な学問の一つの側面を見事に表現している。そして現在でもその新鮮味は失われてはいない。

b) 基礎科学における未開拓分野としての高分子

地球上にある高分子の量は、生体起源のものの方が人工の合成高分子よりもはるかに多い。生体高分子は、DNA、RNA、タンパク質、炭水化物、脂肪などからなる。DNA と RNA は情報高分子であり、球状タンパク質、一部の RNA や炭水化物などは化学機能や構造形成に関わっている。対照的に、大部分の合成高分子や繊維状タンパク質（例えば、コラーゲン、ケラチン）は、情報や化学機能というよりは、構造型である。生体高分子の特徴は、鎖に沿って単量体配列が分子の構造やコンホメーションを制御する情報をもち、構造と機能がよく対応していることである。特別な場合を除いて、合成高分子化学は単量体配列を精密に制御できるところまでは至っていない。ホモポリマー、ブロック・コポリマー、ランダム・コポリマーが限度である。特定の配列で高分子が作れるようになると、生体高分子と同様、構造や機能を階層的に変えることができるようになり、情報高分子への展望が開ける。しかしながら、現状はまだ Merrifield のペプチド固相合成を超える水準に達してはいない。もっと簡単な方法で、より大量に、高度に制御された高分子の合成が可能になれば、画期的なことであろう。情報高分子の研究に要求されるのは高分子の特異的な形を原子、ナノメータースケールで解析し、構造と機能相関を求め、より基本的な分子間力からどのようにして構造や機能が発現するかを知ることである。これらは、生体、合成を問わず、高分子研究の目指すところでもあり、高分子科学、工学のすべての領域に共通の課題でもある。生物学、特に構造生物学と高分子科学には、課題や方法論に共通する部分も多く、今後研究のみではなく、教育においても交流を深めることが互いの利益につながるであろう。

このように、高分子性は至る所にみられる普遍的な現象である。ただその理解と制御が極めて難しいだけである。高分子の基礎研究に携わっている人 — 合成、構造、物性を問わず — は、非常に多くの時間を低分子の研究に費やしている。高分子系に特有の分子内・分子間協同現象が、低分子モデルに内在する性質と深く関わっている場合も多い。低分子をよく学んだ上で、なおかつ容易に理解を許さない困難さが高分子にはある。極めて地味で根気のいる仕事である。合成高分子と生体高分子との構造・物性の制御に見られる格差は、却って我々に夢と希望を与えてくれる。高分子は生物の遺伝ばかりではなく、ことによると人間の脳の働き、すなわち精神活動にも大きな役割を果たしているのかもしれないのである。高分子の概念が誕生して以来すでに 3/4 世紀を経ようとしている。この分野では、Staudinger (1953 年) を始めとして、Ziegler・Natta (立体特異性重合: 1963 年)、Flory (高分子物理: 1974 年)、de Gennes (スケーリング: 1991 年)、Ernst (NMR: 1991 年) らが Nobel 賞を授与されているが、残されている重要課題はまだ多い。新しい構造を有する高分子の設計・合成、構造解析、物性、機能発現・制御、そして高分子性への一層の理解など未開拓の広野に積極的に探検に出掛けるための体制作りが望まれる。

c) 高分子科学の学際性・国際性

高分子に関する化学の進展は化学の中だけに留まらず、物理学、生物学などの分野とも益々重要な結び付きを生むに違いない。「高分子らしさとは何か」と言う命題については、歴史的に物理学の研究者によって積極的に論じられ、高分子の基礎理論が提出されてきた。しかし、様々に異なった個性を持ち、種々な状態に存在する高分子を統一的に理解できる理論の確立は極めて困難である。これまでと同様、新しい実験結果がこの分野の研究者に課題と挑戦への手がかりを提供し、新理論が再び実験に新しい指針を与えると云う循環が繰り返されるものと考えられる。一方、比較的取り扱いの容易な高分子について特性解析の手法が進歩し、高分子性に関する認識が進めば、それは直ちにより複雑な生体関連高分子の研究に影響を与えるであろう。当然ではあるが、進展の著しい計算機化学分野では、合成高分子と生体高分子に境はなく、共通の分子力場パラメータで高分子性が検討されているのである。

先にも述べた通り、高分子物質は汎用材料、機能材料として有用であり、運輸、情報、住宅など、現代社会の殆ど全ての分野に応用されている。近未来における展開の方向として、製品リサイクルを主体とした環境整合性をもった高分子材料、ならびに高度情報化社会に必要なマルチメディアを支える高分子材料の設計などが考えられるが、いずれも高分子研究のみで達成できる課題ではない。多くの場合に、これまでの技術の組み合わせを超えた革新が望まれており、世界に英知を求めた戦略的基礎研究とその総合化が必要である。

基礎研究の特徴の一つは、国家間の壁を越えた共同研究が比較的容易に行えることである。世界に開かれた高分子基礎研究機関の存在によって、情報の流れが一層よくなり、国家間で起こり勝ちな研究テーマの重複を避け、競争と協調の中で日本全体の高分子研究の効率化が図られることも期待の内にある。

2. 高分子科学研究推進のために望まれる施策

太平洋戦争後の日本における高分子産業の急成長を人材の育成と言う面で支えてくれたのはアメリカであったと言っても過言ではない。当時、我が国における産業の発展は目覚ましく、研究の規模、内容ともにこれに追い付かなかったのである。高分子研究の生い立ちを考える時、このやや特異的な背景を見過ごすことはできない。日本において高分子教育が組織化され、卒業生を社会に送り出せるようになったのは、少し遅れてのことであった。高分子の科学の誕生から今日までを振り返って見ると、現在は節目にあると位置づけることもできよう。高分子がいろいろな局面で材料としての有用性を高く評価されたあまり、かえって純粋科学としての対象としての位置づけに自ら混乱をまねいた恐れはある。すなわち、産業の成長は研究者（大学・大学院卒業生）の需要となって表われ、ことさら基礎研究を強く叫ばなくても比較的順調にここまでは来れたのである。しかしながら、上にも述べた如く高分子科学に今後期待されている課題の達成は、基礎に徹した研究の活

性化なしには成し得ないのである。高分子の特徴は、分子内自由度の大きいことにあり、その分、分子間の相互作用も飛躍的に複雑になる。知識の体系化が学問の使命であるとすれば、高分子性の理解については、まだ未知の部分が多く、目標達成までの道は遠いのである。

さて、このような研究の推進には活動の中心となる共同利用機関の設置も有効であろう。この研究機関は、高分子の化学や物理に関する国内外の研究者が専門知識を生かしながら共通の目標に向かって努力を結集するための中核となるものである。現存の各種大学共同利用機関の活動なども参考にして、今後、高分子科学推進の目的に沿った研究機関の設立を図ることが望ましい。このような機関に必要なとされる要件を以下に列記する。

a) 国際的な先端研としての機能

研究者人口の増加、基礎研究の大型化につれて、研究テーマの重複を避けることが世界的にも最重要課題となりつつある。日本が何らかの形で世界に開かれたステーションを持ち、国内外の研究者の共同利用の場として機能すれば、人と情報が同時に出入りすることになり、基礎研究における最先端の動きが自然に捉えられることになる。予め重複を避けながら、独自のテーマの選択が可能になる。高分子産業の育成をこれからの課題とするアジア諸国からも、日本における高分子基礎研究所（仮称）に大きな期待がよせられている。国内外の研究者に開かれた場であるために必要な設備・経費が充実されなくてはならない。関係者の熱意と努力が、困難を克服して、構想の実現に至ることを願っている。

b) 物理・化学・生物など広領域にわたる高分子性を総合的に研究する場

1920年代に入って、高分子物質に関する理解が急速に進展したのは、それまでに体系化の進んでいた有機化学や物理化学などに負うところが大きかった。今後の高分子科学は、「化学」の中の他分野は勿論、さらに「物理学」、「生物学」などより密接に関連した課題に挑戦し、新しい概念や研究手法を生み出して行くことになる。これらの諸領域にまたがった「高分子性」を軸とした特有の領域、学問分野があると考えらるべきであろう。このような学問の性格上、関連の深い大学共同利用機関を始め、大学等の研究機関と広く、かつ密接な協力をもつことが望ましい。研究機関の前例に囚われない、大胆な運営が要請される所以である。

c) 中核的組織の必要性

高分子科学は、他の基礎科学の分野と同様に、大変人手と時間のかかる学問である。このことが高分子に基礎研究機関の設立を、と希望する声の一要因でもある。先端的な研究のできる場を多くの優れた研究者が共有する体制が最も望ましい。端的に、数多くの合成ステップを要する新規構造の高分子サンプルを1グラムと云う単位で、一研究室で作ることはとても困難なことである。しかし、多方面から構造と物性の関連を検討するためには、

かなりの量のサンプルが要求される。また、低分子から高分子にわたる広い領域で分子はさまざまな運動性の変化をみせる。測定も市販の装置では間に合わないこともしばしばである。これらの例にも明らかのように、高分子の更なる発展のためには、合成面でも、物性面でもこれまでの研究環境にはなかった何らかの研究支援体勢を必要としているのである。先端的な研究機関が設立されて、これとプロジェクトを組むことによって研究がタイミングよく進むとすれば、この分野全体の研究の効率化に果たす役割は計り知れない。高分子基礎研究機関の重要な機能の一つは機動的に研究者への協力、支援ができる体勢の確保にある。

初期の高分子科学の確立がそうであったように、今後期待される高分子科学の画期的な発展には、異分野の研究者との血の混じり合いが是非とも必要である。高分子の研究者が必要に応じて低分子の研究をすることはこれまでも当然であったが、今後は低分子の研究者の興味を如何に惹き付けるかと云うことにも意を注がねばならない。高分子基礎研究機関の設立－いわば研究体制の立体化－が、研究の新しい環境作りにも有効に作用することを期待する。

d) 学産協同研究の場合

一方で、高分子を含む有機材料産業、生物化学関連産業などとの情報交流を密に行うことが、戦略研究上、学・産両者にとって有益である。研究機関は世界各国の企業からの研究員、寄付口座の受け入れなど流動的に対処することが望ましい。研究機関を設立するには産業界の意見を十分に聴取すべきであろう。基礎研究の成果は公の財産であり、基本的に公開されるべきである。研究に関する学産間の契約、特許などに関して齟齬のないような配慮が必要であることは云うまでもない。

3. 諸外国の努力と国内の準備態勢

ヨーロッパでは、1947年フランスがいち早く国立の高分子研究所 (Centre de Recherches sur les Macromolecules) を Strasbourg に設立し、その後のこの分野の進展に寄与したことはよく知られている。ドイツでは、古くから大学における高分子基礎研究の伝統が根付いており、なかでも Freiburg、Mainz 両大学の高分子学科は研究者養成の拠点の役目も果たしてきた。1980年、この分野におけるそれまでの議論を受けて、ドイツの Max-Planck 財団は、高分子科学のための研究所の設立を決定した。この判断の正しさは、1983年に発足した研究所のその後の活況に如実に示されている。Max-Planck-Institut für Polymerforschung (Mainz) 設立の経過、ならびに10年を経た今日の研究所の運営状況は参考にするべき点が多い。イギリスにおける高分子研究の流れは、Manchester、Leeds 大学を中心に Cambridge、Bristol、Liverpool、Durham、Bradford 大学などに研究者が散在している。国立の研究所などのハードな組織を持たないかわりに、

ソフトな集まりとして英国工学自然科学研究会議 (EPSRC) の下に Interdisciplinary Research Centre for Polymer Science and Technology という組織を設け、Leeds 大学を中心に研究の活性化を図っている。イタリアは、Politecnico di Milano に G. Natta 博士以来の高分子立体規則性に関する研究の伝統がある。旧東側の国では、チェコの高分子研究所 (Institute of Macromolecular Chemistry、1959年) からの基礎、応用両面での貢献が広く知られている。ロシアには、Moscow、St. Petersburg 大学などに高分子研究の拠点があり、この他に科学アカデミーの下に高分子関連の研究所もある。ここ数年の混乱期を抜ければ、再び基礎研究での存在感が戻ってくるものと思われる。このように見てくると、ヨーロッパ全体にはかなり多くの高分子研究拠点があることに気が付く。これらが相互に有機的な結びつきを保ちながら活動をしているのである。

一方、戦前から戦後にかけて、高分子研究におけるアメリカのリーダーシップは、基礎から応用まで、非常に幅広いものであった。戦後アメリカの高分子関連産業が隆盛にあった時、基礎研究のかなりの部分は民間の研究所で行われていた。代表的な例を DuPont 社の研究所の歩みに見ることができる。一方大学では、むしろ Polymer Institute の名称でソフトな横断的組織を作り、関連する学科を包含する形で身軽に運営されることが多かった。その先駆となったのは、H. F. Mark 教授で有名な Polytechnic Institute of Brooklyn (ブルックリン工科大学) の Polymer Research Institute 設立 (1944年) であった。この方式を引き継いで Massachusetts 州立大学の努力は1961年に始められている。1970-80年代にかけて次第に民間会社の研究余力が減じ、基礎研究は大学でという傾向が強まってきたのを受けて、Massachusetts 州立大学では州の援助を軸に高分子科学・工学科の建物、研究設備を大幅に増設し (1994年)、現在政府 (NSF) ならびに民間会社からの支援を中心に益々活発な活動を行っている。このほかアメリカには、Akron 大学を始め数多くの州立大学、Case Western Reserve 大学他の私立大学に高分子学科、高分子研究所が設置されている。かくの如く、欧米では高分子科学のフロンティアの拡大につれて、または研究のより一層の活性化を図るために、国際的に開かれた研究施設の新設、拡充が行われてきている。

翻ってわが国の現状はどうであろうか。1960年代の初めに京都大学を始め幾つかの拠点校に高分子関連の学科が開設され、その後しばらく学科増設の傾向が続いたが、最近では学科再編成の気運の中で数は減少しつつある。この間、唯一の公的な研究所であった工業技術院の繊維高分子材料研究所も、1993年改組により物資工学工業技術研究所と名称変更された。先進諸外国に較べて、高分子基礎研究の活性化への努力に大きな差があることは明白であろう。このような環境の中で、産業界において高分子の研究に携わっている研究者の大部分が、大学で高分子化学の授業を受ける機会に恵まれなかったことが統計にはっきり現われている。本邦の高分子学会はその会員数では世界一であり、我が国からの学術雑誌への投稿数はアメリカを遥かに超えるところまで成長している。しかしながら、国際交流の中心は依然として国際学術会議の開催が主体である。学会中心の運営では、

現状が精一杯なのである。昨今、アジア各国における高分子研究も盛んになりつつある。我が国としても、国内外の第一線の研究者が協力して高分子の新しい合成、構造、物性、機能に関する基礎的研究を実施できる場を世界に提供すべき時であると信じる。

4. 高分子科学の基礎研究分野

高分子合成研究

新規な構造を有する高分子の合成法を研究することを使命とする。高分子の合成研究においては、これまでも数多くの新しい反応や反応制御の手法が見い出されてきたが、天然・生体起源の高分子の示す高機能性に近づくには、今一層の努力が必要である。高分子合成のための有機化学の展開は、必ずや化学全般にも大きな影響を与えることになる。

a) 高分子設計研究 — 高分子の構造と性質の相互関係をできる限り理論的に解析し、合成に先立って、望ましい機能をもつ分子の構造を設計することは研究効率の向上のためにも大切な仕事である。しかし高分子は分子内に大きな自由度を有し、多様な三次元形態をとるため、分子間相互作用も複雑になり、最近の計算機化学の進歩にもかかわらず一次構造から集合体の性質を満足のゆく精度で予測できる状態ではない。信頼度の高い分子力場パラメータを低分子モデル化合物を用いて決定する作業などは、構造・物性部門の研究者と共に取り組む課題である。さらに、高分子材料の機能設計プログラムの確立のためには、まず分子内・分子間の電子的、磁氣的相互作用に関する精度の高い実験的知見が必要であり、このためには関連分野の研究者との協力が必須であろう。立体規則性高分子の合成には、有機金属化合物が有用であるが、限られた空間で起こる触媒反応に対しては計算機による設計の成功例も報告されており、今後計算機化学が合成反応に有力な手段を提供することになる。主要なテーマを下に列記する。

- ・高分子鎖の構造制御
- ・均一ポリマーの調製
- ・末端基の構造を制御した高分子の合成
- ・新しい高分子重合法の展開

b) 高分子合成・反応研究 — 合成研究は物質に関する科学、技術の進歩のあらゆる局面において重要な基礎であったし、これからもそうあり続けるであろう。過去10年間にも数々の進展があった。リビング重合の進展によって新しい種類の反応中間体が生み出された。新しい単量体、多分岐高分子、無機高分子や無機・有機ハイブリッド高分子の合成反応の制御、生化学的手法による高分子合成の効率化などを挙げるができる。高分子合成・反応研究で取り上げる課題は下記のようなものである。

- ・優れた熱的安定性や有用な電氣的性質をもつ高分子の設計と合成
- ・ポリマー表面の化学修飾
- ・反応成形への挑戦
- ・有機・無機・生物化学の連携による新規高分子物質の合成

高分子構造・物性研究

激しい国際競争を続けながら急速に成長しつつあるハイテク分野を中心に、高分子材料に対する期待は強い。情報産業、宇宙航空産業、バイオテクノロジー分野などでは、物性に対する要求水準は益々高度化してきているが、それらに応えられる限りにおいて高分子の需要は膨大なものである。しかしながら、このような高い要求水準を満たすためには、高分子物質の構造・物性に関するより深い理解が必要である。これまでの化学工業の主流であった汎用高分子の場合よりも、はるかに大きな研究努力が求められている。これまでの多くの例において、新しい高分子の出現には、並行して構造解析手法の進歩が伴っていた。

a) 高分子構造研究 — 新しい構造の高分子の特性解析には未知の困難が付きまとうことが多い。最近の物理化学的手法の進歩により高分子の構造と物性・機能の関連付けが急速に進み、高分子の一次構造、集合体の構造、表面や界面などの研究には大きな進展があった。一般的に用いられているこの分野の分類を下に示す。

- ・孤立鎖の構造解析
- ・高分子溶液、融体、エラストマーの特性解析、ことに高分子鎖のダイナミックス
- ・高分子固体の構造と物性の解析、ことにミクロスコピック領域の知見の進歩
- ・高分子表面と界面の特性解析、ことに深さによる組成・構造の変化
- ・生化学技術の進展を支える生体高分子関連の特性解析

b) 高分子物性研究 — 構造解析と物性研究は車の両輪の関係にある。これからも大きな進歩が期待される構造解析手法や統計力学などの数学的技法を駆使して取り組むべき主要課題を下に記す。

高分子の静的状態

- ・高分子溶液
- ・高分子の非晶・結晶状態
- ・液晶高分子
- ・高分子ブレンド

- ・ブロック共重合体
- ・ポリマー表面・薄膜・界面
- ・生体高分子

高分子の動的状態

- ・高分子の局所的分子運動
- ・液晶ポリマーのレオロジー
- ・高分子の機械的性質
- ・高分子の電子特性

c) 高分子理論・計算研究 — 理論や計算が、物質に関する理解を深めるために極めて有用であることは論をまたない。ことに、分子内、分子間の相互作用が複雑に絡み合っている高分子集合体系においては、これまでに理論や計算が果たしてきた役割の大きさは計り知れない。実験結果の総合的な解釈を可能にするのみではなく、新しい構造、高性能材料の成形加工プロセス、物理的性質などを予測し、実験者に新しいアイデアを提供し、実験を方向づけるのに有用であった。理論と計算は相互に関連した部分も多いが、大きく分けて、理論は与えられた系について物理的または数学的モデルを構築し、基本方程式を解いて系の性質を求め、実験 — 実際に行う、行わないに関わらず — の結果を予測しようとする。一方、計算は理論を応用して系の性質を予測、または系の挙動を実験では観測できないレベルまでシミュレーションにより解き明かそうとする。シミュレーションは理論の検証に役立ち、また新しい理論や理論の改良に必要なデータをも提供する。最近低価格ワークステーションの計算能力が向上し、計算速度、記憶容量が大幅に改良され、グラフィック機能も著しく進歩した結果、実在鎖に関するエネルギー最適化や各種顕微鏡写真の高精度図形解析による高分子表面の構造解析などが比較的簡単にできるようになるなど、実験、計算両分野の協調は今後益々進むものと思われる。高分子系は一般にパラメータが多く、計算機への期待が極めて大きいのである。

d) 新規研究手法研究 — 化学の研究一般に共通することであるが、高分子分野でも各種の分光学的手法を中心に新しい研究手段が開発、利用されている。この方向は今後益々加速されて行くであろう。新しい原理を応用した装置開発、新しい装置とその利用法に関して常に最新の情報が集まる体制を維持するとともに、必要に応じて最先端の装置開発研究が手掛けられるような環境を確保したい。ことに、高分子の構造・物性の研究においては、試料によって市販の測定装置が、時間周期、温度範囲などの制約でそのままの仕様では十分に満足できない場合も多い。研究機関付設の工作室で装置の手作り、または一部手直しが試みられるような支援体制が是非必要である。戦後、日本の大学からは機器の自作を支援する工作室が殆ど消えてしまったが、欧米ではまだかなりこのような支援システムが確保されている。一例として、トンネル顕微鏡の原理が発表されると、ドイツの Max-Planck

研究所では間髪をいれず試作を試み、市販機種の登場に先んじて応用し、大きな成果を挙げたことを指摘しておきたい。このような研究支援体制を持つ全国共同利用の研究機関は、残念ながら我国の高分子研究分野にはまだ無い。

高分子機能研究

イオン交換樹脂、選択透過膜、高吸水性樹脂、医用高分子、感光性樹脂、導電性高分子などに代表される機能性高分子は、幅広い分野で実用化されている重要な材料である。これらの機能は高分子の構造形成能に深く関わっており、高分子性をさらに追求することにより新規かつ高度に制御された機能発現が可能になると考えられる。機能性高分子の研究は、新しく有用な機能の創成という観点から、将来とも重要な高分子基礎科学の一分野である。

a) 高分子機能化研究 — 生体系においては、高分子は構造材として働くばかりではなく、精緻な機能発現にも重要な役割を果たしている。例えば、ヘモグロビンや光合成において機能を担う中心原子団の金属ポルフィリン錯体は、タンパク質によって構築された高分子環境によって取り巻かれているが、そのことが光合成などで重要な役割を演じている。鉄ポルフィリンやマグネシウムポルフィリンを単独分子として取り出してきても、それ自体では可逆的な酸素結合や光誘起電荷分離を引き起こすことはなく、金属ポルフィリン錯体が高分子が生み出す特異な分子環境に固定されてはじめてこのような機能が発現する。自然はタンパク質のもつ高分子性を巧みに利用している。合成高分子分野における高分子性の利用はまだほんの緒についたばかりと言ってもよい。見事な自己組織化機能など、自然から学ぶことは非常に多い。

b) 特異的物性の研究 — 高分子の分野では、一種類の高分子がいろいろな目的で利用されることが多い。その結果、研究がしばしば典型的な材料、例えばポリエチレンテレフタレートについて、高強度繊維としてばかりでなく、フィルム形成能、電気絶縁性などの研究も行われることになる。この分野では、逆に、高分子の特異的な性質、なるべく通常ではない性質が興味を中心におかれ、その物性発現機構の解明が課題となる。例えば、

- ・ 導電性高分子の電荷担体の特定と電場、あるいは磁場中での動き、電磁波との相互作用
- ・ 光通信用ウェーブガイドにおける光の減衰機構
- ・ 高分子の熱伝導性：高分子チャンネルによる半導体表面からの熱除去
- ・ 高分子超薄膜の示す非線形光学特性

c) 高分子材料プロセス研究 — 高分子をうまく成形加工し、思うがままの製品に仕上げて行くのが高分子工業の大きな特徴の一つである。高分子工業をここまで発展させたのは、まさにこの成形加工技術である。高分子材料の性能がよくなればなるほど、益々加工

プロセス技術の発展が必要になる。例えば、高分子を十分に引っ張り、試料全体を伸びきり状態にもたらすことで、スチールよりも丈夫な、いわゆる超高弾性率高分子が製造されている。この場合、極限状態の伸びきり構造にいかにして到達するかという一点に成否がかかっている。すなわち、素材の構造および加工プロセスにおける構造変化などについての徹底的な基礎研究なくしては、思うがままの製品を得ることは到底できない。この研究分野では、高分子の固体構造、レオロジーの分子論、高分子材料の疲労と機械的性質の非線形挙動の研究など産業界との連携を保ちながら有機的にテーマ設定を行うことが望まれる。

5. 高分子基礎研究体制強化の必要性

今日の高分子科学研究の推進にとって最も重要なことは、基礎研究の充実である。すなわち、高分子の物質としての多機能性、材料としての有用性を十分認識した上で、徹底的に基礎に戻ることである。前項（項目4）の内容を踏まえて、今後高分子科学推進のために、国が主体性を持ち、産、官、学が力を結集する形で、全国共同利用の高分子基礎研究機関の設立を図るなど、各種の研究体制強化策を構想するにあたって、そこで考慮されるべき研究の範囲、具備すべき要件を、以下の如く集約することができよう。

1) 研究の範囲

高分子合成系

- 高分子設計研究
- 高分子合成研究
- 高分子反応研究

高分子構造・物性系

- 高分子構造研究
- 高分子物性研究
- 高分子理論・計算研究

高分子機能系

- 高分子機能研究
- 特異物性研究
- 高分子材料プロセス研究

研究機関に付設が望まれる部門

- ・高分子解析センター

解析センターには高分子科学基礎研究機関及び全国の高分子科学研究者の研究に必須の大型共通機器を集中設置し、その効率的使用を図る。解析センターはこのための機器類の維持管理を行うとともに、機器利用の高度化を目指したハード・ソフトの両面での開発研究を行う。

高分子を合成し、構造と物性の関連を明らかにするためには多くの機器が必要不可欠である。高性能の大型機器は特に有用であるが極めて高価であると同時にそれらの維持管理には高度の専門知識と習熟を必要とする。従って、これら大型機器等は各部門で占有せず、共通機器として本センターに設置し、これらの機器について専門的知識と測定技術をもつ者による管理のもとに、研究機関内外の研究者が共同して使用することが大型機器を効率的に利用する上で有利である。さらに、既設の大型機器の活用を特に高分子科学の研究に対して効果的にするため、装置の改良、新しい利用技術の開発を行うことが望ましい。また、本研究機関においては、広範囲に専門の異なる研究者との協同研究が期待されるため、未経験者に対する測定支援を機能の一端として考慮しておく必要がある。

・高分子試料センター

研究機関内外の研究者の求めに応じて、高分子の合成や分別精製を支援し、高分子試料のキャラクタリゼーションを行う機能を持つことが望まれる。

本研究機関の多くの部門で高分子の合成が行われることになるが、特別の条件下（例えば、低温下、高圧下、特殊雰囲気下など）で実験する設備や、類似物質の分離などの目的には特殊な装置・設備を必要とし、それらを管理運営するセンターの設置が効率的である。一方、高分子の構造・物性の研究においては十分に精製された比較的多量の試料を必要とする場合が多いが、合成グループからの支援を受けられないために、最も興味のある分子構造の高分子に関する研究をあきらめねばならないことも多い。今後の研究における一つの方向が、より新規な構造を有する高分子の合成とより精度の高いキャラクタリゼーションに向かうであろうことを考えると、構造・物性研究グループに対するこのような協力、支援体制の確立が強く望まれる。

2) その他重点的に考慮されるべき要件

外国からの客員研究者の受け入れ

基礎科学研究の推進には国際交流、国際協調が不可欠で、内外の研究者が研究実践の場において共同作業に従事することの必要性は多言を要しない。学術交流の実を挙げるためには種々の形態が必要で、経験豊かな指導者的研究者のほか中堅、若手など多様な研究者の参加がなくてはならない。期間も、数カ月から数年に及ぶ幅が考えられる。そのような目標を達成するために、半年ないし3年程度の期間を目途に優れた研究者を招き、共同研究を実施する場を整備することが望ましい。なお、海外対応の中には、戦略研究色の強い共同プロジェクトの推進もあり、これらについては、純粋な学術交流とは一線を画した取

り扱いが必要であろう。

産業界との人的交流

研究テーマについて、多くの人が、ある時にはシーズがニーズを生み、また逆にニーズがシーズの着想を助ける時もあることを経験している。両者の関係を効率よく研究テーマ化できるかどうか、戦略研究の成否を決めることになる。高分子の歴史には、基礎研究における新しい知見、手法の飛躍が、材料の改良、生体機能の理解などに直結した例が多い。このような研究分野の性格から考えても、産業界とは常に密接な交流を保つことが望まれる。有効な手段の一つとして、産業界からの寄付講座などの受け入れがあるが、一歩進めてそれらを効率的に改廃できるような風通しのよいシステム作りも必要であろう。一定の規律は必要であるが、なるべく両者間の垣根を低く、積極的な交流を図るべきであろう。

なお、研究経費の20～30%を民間からの資金に依っている Massachusetts 州立大学の Polymer Research Institute の場合には、民間との Cooperate Research を効率よく推進するために、専任の担当者（2名）を置いている。参考にすべき例であろう。

6. おわりに

手元の資料によると、かつて昭和39年に高分子科学を推進するための研究所構想が一度検討されたことがある。高分子科学総合研究所（仮称）と云う呼称で、設立趣旨書が14頁にわたる冊子にまとめられている。この研究所設立計画は、日本学術会議化学研究連絡委員会の審議の入口まで行きながら、それ以上は進まなかった。本報告書冒頭でも触れたように、その当時と今日では高分子分野の様相は大きく異なっている。今日では日、米、欧の間で研究水準は横一列と考えられ、いよいよ高分子科学の研究が新しい時代に入りつつあると云う認識も共有している。今期の化学研究連絡委員会の審議においては、先端テーマに関する国際共同研究はもとより、国内においても全国に散在している研究者が共同して戦略研究を効率よく進めるための広場を持ちたいと云う関係者の希望が強く支持された。国際的に基礎研究も競争と協調の時代にあることを考慮して、運営効率のよい新しい形の基礎研究機関構想が今後具体的に提案されることを期待する。

「付記」

本報告書の作成にあたって、下記の方々の御協力を得た。ここに感謝する次第である。

- | | |
|-------|-------------------|
| 安藤 勲 | (東京工業大学工学部教授) |
| 相田 卓三 | (東京大学大学院工学系研究科教授) |
| 石津 浩二 | (東京工業大学工学部教授) |
| 大野 弘幸 | (東京農工大学工学部教授) |
| 岡田 守 | (東京工業大学工学部助教授) |
| 亀山 敦 | (神奈川大学工学部助手) |
| 澤本 光男 | (京都大学大学院工学研究科教授) |
| 嶋田 一夫 | (東京大学薬学部教授) |
| 田代 孝二 | (大阪大学大学院理学研究科教授) |
| 土井 正男 | (名古屋大学工学部教授) |
| 西久保忠臣 | (神奈川大学工学部教授) |
| 野瀬 卓平 | (東京工業大学工学部教授) |
| 畑中 研一 | (東京工業大学生命理工学部助教授) |
| 藤重 昇永 | (東京家政大学教授) |
| 堀江 一之 | (東京大学工学部教授) |
| 高彦 武 | ((社) 高分子学会前常務理事) |
| 志田 憲一 | ((社) 高分子学会常務理事) |