無機と有機の融合と競合

基礎工学における材料科学という考え方、製造面における VA (Value Analysis) の考え方の導入に伴って、有機・無機の材料を総合して材料産業と見る扱い方が必要になっている。今後の社会発展に伴って、加工度の向上、情報化の傾向から、材料産業のウェイトは傾向的に下がるが、高性能材料が要求され、また再開発の必要性からマスプロ的材料の需要は根強いものがある。材料競合の現状をみると、合成高分子の成長は高いが、これまで代位してきた主要分野は、ゴム・繊維・皮革などの天然高分子であって、今後も合成木材や合成紙が最有望である。金属や、窯業材料など無機物との競合は、今後の問題であって、有機・無機相互の長所を生かし欠点を補うような、組合せ利用技術の方が発展するであろう。

内 田 星 美*

1. これからの材料産業

今後 10~20 年の経済発展と技術進歩の方向を考慮して、無機材料と有機材料がますます競合してゆくのか、あるいは無機材料と有機材料が相互補完的な性格を強めて複合材料に融合してゆくのか、どちらが材料産業の将来にとって主要な動向となるであろうかというのが、本稿の課題である。その議論に入る前に、材料産業全体の方向を簡単に検討しておこう。

鉄をはじめとする金属工業、窯業、木材をはじめとする天然高分子、合成繊維、合成ゴム、プラスチックなどの諸産業をまとめて材料産業と呼ぶようになったのは、比較的最近のことである。旧来は製品別に使用原材料と加工法が大体きまっていたので、各種材料の分野が縦割りに厳然ときまっていた。最近では、同一用途の製品をつくるのに材料間の代替性ができたので、このような材料別縦割りの産業分類がくずれた。同時に、従来まったく縁のない産業とみなさていたものを、材料産業として一括して考えるのが便利になった。このようになったのは、新金属や合成高分子の発達が何といても最大の要因であるが、最終製品の設計において、VA (Value Analysis) の考え方が出てきたこと、物性論の進歩によって、今まで別々の分野であったヤ金学・高分子化学・ケイ酸塩工業化学などが、材料科学として統一的に考えなおされたことなど、工業の進歩も関連している。つま

り材料は最終製品に必要な性能を与えるための媒体であり、これから逆に必要な性能を有するような材料を調整することが可能になり、これが材料産業の社会的な使命とみなされるようになったのである。

次に問題となるのは、このように一括してみた材料産

第1図 加工段階別出荷額推移

* Hoshimi UCHIDA 東京経済大学(東京都国分寺市南町)助教授

Competition and Coexistence of Inorganic and Organic Materials in Future

業の、国民経済における地位である。鉄鋼業や基礎化学工業は、これまで1国の基幹産業として重視されてきたが、最近では自動車工業や電機工業の方が企業規模でも産業規模でも重要になっている。篠原三代平教授は、重化学工業化につづく産業構造高度化の段階として、高加工度化の傾向を指摘した。この傾向を統計的に立証したのが、産業材料調査研究所の分析(第1図)である。この研究は、製造業を材料・加工・組立の3段階に分類して総出荷額中に占めるそれぞれのパーセンテージを見ると、昭和25~30年には材料産業は全体の55%を占めていたけれども、37~41年にはこの比率は41.6%に低下している²⁾。

このような変化が生じたについては、加工・組立段階における製品の複雑化と、製品の材料原単位の低下、労賃の上昇という三つの要因が重なっている。

さらに、将来は情報社会といわれ、脱工業社会といわれる。この動向は、一言にしていえば人間の関心が、物の生産から、無形の情報に移っていることである。したがって、物の生産の中でも、もっとも基礎的な材料産業の地位は、ますます低下することになる。

このようなすう勢は、材料産業としてある程度やむをえないこととして受け止めなくてはならないのであるが、情報社会とは、人間が、会話や身ぶりで感情を伝えあうことのみを行っていた原始時代に戻ることはない。高度情報社会においては、情報伝達の媒体として、また情報処理の手段として、より高度な物を必要とする。物をはなれた情報はないのであって、材料産業にはますます高性能な材料の便利な形態での供給を要請される。問題は、物を媒体とする情報に対して最終的に支払われるであろう金額を、情報サービス業と加工業と材料産業がどう分け合うかであって、その比率は、素材や加工法の選択、設計において、どの段階が主導権を持つかによって決まってくるであろう。

このように一般的には、将来の材料産業では単なる生産量の増大よりも、技術向上を反映した質が重要になるのであるけれども、今後10~20年の日本経済では、特殊に、比較的低コストの材料の大量需要が存する。それ

は、世界史上にもまれな高密度社会が形成されるということであって、その建設のためには、既存の構造物や道路の破壊と再開発が必要になる。昨年作成された経済企画庁の国土開発長期計画によっても、今後全国的に高速道路網・新幹線鉄道網・データ通信網が整備され、また都市改造、港湾埠頭の拡大の必要が説かれている。このような再開発工事は、既存の材料をたえず新しい材料におきかえてゆくものにほかならないので、その大量需要に応ずるために、鉄鋼・セメント・汎用プラスチックなどの、大規模工場におけるローコスト生産が引き続いて要請されるわけである。

ただし粗資源に乏しく、かつ高密度社会であるため公害問題など工業地帯の集積に問題の多い日本では、海外の資源地帯に立地する材料産業から、製品を輸入する動きが当然出てくる、これは材料産業の資本輸出となって現われる。この場合、国内の大規模工場のスケールメリットと海外の低労賃とのかね合いで製品輸入の有利、不利が決定されるが、相手国との外交関係ももちろん重要な要因である。今後の材料産業全体としての発展を占うに際して考慮すべき点は、以上の諸点である。

2. 無機材料・有機材料競合の現状

鉄鋼・窯業製品などの無機材料に比して、合成高分子の成長が著しいであろうことは諸々の需要予測が一致している。たとえば Gerritsen に呼べば、全世界の材料消費は、重量で1970年から2000年までに約6.7倍にふえるが、鉄鋼を主体とする金属材料は4.8倍にとどまり、高分子材料は50倍にふえるだろうという。体積比においては、1980年代にプラスチックが鉄鋼を上回るようになると予想している²⁾。

Gerritsen の推定対象とした材料は、金属のほか合成高分子と、天然高分子の中ではゴムと繊維のみをあげているが、現実に合成高分子が現在競合していると思われる、または今後競合するだろうと思われる、窯業材料および、天然高分子の木材および紙を加えて、昭和43年におけるわが国の全材料の生産規模を、重量・体積・金額の三つの単位で比較したのが第1表である。重量で比較すると、鉄鋼、セメント、木材が圧倒的に大きく、合成高分子は全体の1割にも満たない。けれども重量比較は、比重が軽いという有機材料の特性を無視することになるので、体積比でみると、有機と無機の構成は逆転する。そして、天然高分子、特に木材や紙のシェアが大きくなる。

しかし、経済的な比較には、金額比が最も適当であろう。金額では木材や紙やセメントの地位は後退し、合成高分子は天然高分子の60%、無機材料の30%の地位を得ている。合成高分子の体積あたり価格は未だ高いということを示しているが、反面合成高分子は量産と製造プロセスの進歩によって最もコスト引下げの可能性を有して

内田星美氏
1948年東京大学
第2工学部応用
化学科卒業、
1954年東京大学
経済学部卒業、
産業技術史を専
攻。著書に「合
成繊維工業」「日
本紡織技術の歴
史」など。

いるのに反し、他の材料は資源の制約のため、むしろコスト上昇の傾向を有しているから、今後の競争条件は合成高分子にとって有利に働くという見方もできる。

つぎの問題は、これまで合成高分子がどの材料と競合し、その分野を食って伸びてきたかということである。第2表は合成高分子の現在の使用分野を、もし合成高分子

子になかったならば何の材料を使っていたらどうかという見地から分類し、合成高分子の現在価格で評価したものである。これはかなり乱暴な方法であって、特に、合成高分子の用途中には、加工食品のフィルム・パッケージのように新しく創造した需要分野のあることを無視しているなどの欠点はあるが、大体の傾向はつかめると思う。

これによって見ると、合成高分子の獲得した分野は、天然高分子に代替した場合が全体の約8割を占める、このような結果になったのは、単価の高い合成繊維の影響が大きいかもであるが、最も広範に各種無機・有機材料と競合しているプラスチックのみをみて、天然高分子との代替分野は、無機材料との代替よりも大きかった。

これはむしろ当然のことである。構造的・物性的に合成高分子は天然高分子に近く、歴史的にも合成高分子は天然高分子の代用品として発明された経過から見れば当然のことである。

これを相手側の材料からみて、現在の生産金額に対し合成高分子に奪われた金額の比率をみると、ゴムおよび天然繊維が100%以上で最も高く、ついで皮革が50%、陶磁器60%、ガラス20%、木材・紙15%の順になり、金属はわずか3%しか合成高分子に市場を奪われていないという、数字的な結果が出る。

これから、合成高分子とゴム・天然繊維、皮革、陶磁器との競合はほぼいきつくところまでできたこと、つぎの有望な競合分野は、天然高分子のうち残された大市場である木材および紙の分野と、ガラスであると見当がつく。木材および木材を原料とする紙は資源が枯渇化しコスト高になってゆく傾向が最も顕著であるから、現在における合成高分子の価格的なデメリットは逐次解消すべき方向にあるわけで、高分子業界の注目が合成紙および合成木材に集まっているのも道理である。

最後に残された、金属およびセメント、ガラスとの競合こそ、今後の無機と有機の競合の本舞台であるといえよう。しかしそれは、天然高分子と合成高分子との競合とは、ちがった状態で展開するに相違ない。

3. 無機と有機の融合

人間の材料利用の歴史を、大きく石器時代、青銅時代、鉄器時代に分ける慣用になっているが、これは無機材料

第1表 昭和43年における各種材料の生産規模

材 料 名 (単位)	重 量 (10 ³ t)	体 積 (10 ³ m ³)	金 額 (10 ⁹ 円)	備 考
無機材料				
金属材料				
鉄 鋼	70,000	9,000	2,200	(粗鋼)
ア ル ミ	600	230	120	(地金)
そ の 他 非鉄金属	1,500	200	400	(ク)
窯 業 品				
セメント	47,000	15,000	250	
ガ ラ ス	3,200	1,200	250	
陶 磁 器	1,500	600	100	
そ の 他	3,000	1,000	150	
計	126,800	27,230	3,470	
有機材料				
天然高分子				
木 材	35,000	70,000	700	(丸太・パ ルプ薪炭用 除く)
紙	10,000	12,000	650	
天然繊維	900	600	450	(輸入十生糸)
天然ゴム	250	270	30	(輸入生ゴム)
皮 革	200	130	30	(原皮)
小 計	46,280	83,000	1,860	
合成高分子				
プラスチック	3,300	3,500	440	(レジン)
化学繊維	1,200	1,300	500	(フィラメン ト十ステー ブル)
合成ゴム	400	420	60	
小 計	4,900	5,220	1,000	
計	51,180	88,220	2,860	
総 計	177,980	115,450	6,330	

第2表 合成高分子の競合分野推定(昭和43年)

(単位: 10⁹ 円)

競合物資	金属	ガラス	陶磁器	(小計)	木 材	紙	天然繊維	ゴ ム	皮 革	(小計)	総 計
合成高分子											
プラスチック	70	50	60	(180)	85	80	40	40	15	(260)	440
合 成 繊 維							500			(500)	500
合 成 ゴ ム								60		(60)	60
計	70	50	60	(180)	85	80	540	100	15	(820)	(1,000)

にのみ注目した区分であって、木材などの有機材料の利用は石器と同等あるいはそれより古い。残存の遺物を唯一の手がかりとする実証科学である考古学の立場からいえば腐朽して根跡を残さぬ有機材料は無視されたため上記の時代区分ができたのであるが、石器の形状をみても明らかに木の棒に結びつけて斧や槍として利用していたことがわかる。わが国に鉄器のもたらされたのは弥生時代からであるが、初期の鉄器は木器の工作用にもっぱら用いられたと判断される。このように有機材料と無機材料は古くから相互補完的に用いられてきたので、そこには競合関係はほとんどなかった。そしていわゆる鉄器時代を通じて、金属は武器や鍋釜、工具、農具、釘針以外にはあまり使われずにきたとみるのが正しい。金属が今日のように大量に使われだしたのは、18世紀以来の溶鉱炉、パドル炉、平炉・転炉の技術的発明によるもので、これによって従来木や石を使用していた分野に金属が代替するようになった。これを第1次の材料革命といってもよい。経済史家 Sombart は近代資本主義の特徴の一つとして、有機材料から無機材料への転換をあげているのも、その意味である⁹⁾。

現代、合成高分子が金属の分野を奪い返そうとしているのは、有機から無機への逆襲であって、第2次の材料革命と呼ぶことができよう。しかし最初に述べたように、一面において材料では、それぞれ特殊な高性能が要求され、また融通性のきく分野では経済性から自由な選択が行こなわれるような社会になっているので、無機材料と有機材料をそれぞれ単品で比較、競合させるよりは、双

方の長所を生かし欠点を相補なうようにうまく組み合わせる使用することが、材料設計の要点になる。

第2次材料革命は、単なる有機材料の巻き返しというよりも、むしろ無機と有機の共存、融合技術の発展に乗じて、有機材料の用途が広がってゆくとのみ見るのが正しかりう。

このような見地で、現在すでに広く行なわれている無機材料と有機材料の補完的利用の例をあげると

- (イ) 磁気テープ
- (ロ) 電線ケーブル
- (ハ) FRP
- (ニ) プレハブ建築
- (ホ) 道路舗装

など数多くの例をあげることができる。今後は、建設用材料のような低コスト・マスプロ型の分野でも、エレクトロニクスや宇宙、海洋開発のような高性能材料の要求される分野でも、無機材料と有機材料の組合せ技術がますます発展するであろう。したがって、材料産業の側でも、有機、無機の伝統的な技術分野にこだわらないことが必要になってくると思われる。

文 献

- 1) 産業材料調査研究所「来るべき時代の工業構造の展望」(1968年12月)
- 2) “Kunststoffe” (1968年8月号)
- 3) ゴムバルト、梶山 力訳:「高度資本主義」, 第1巻 1940, p 165

研究論文集「高分子化学」内容紹介

高分子の物理, 化学および一般基礎工学の研究論文

第26巻・第294号・1969

〔物 理〕

- [95] スチレン-ブタジエンブロック共重合体の研究榎 本 聡・和田 尚之
- [96] 結晶性ポリスチレンの熱的挙動畠 山 立 子・金 綱 久 明

〔基礎工学〕

- [97~98] 放射線によるポリ塩化ビニルへのブタジエンの気相グラフト共重合
第1報 グラフト共重合反応の動力学森島洋太郎・原 山 寛・相 根 典 男
第2報 グラフト共重合温度効果原 山 寛・森島洋太郎・田 上 順 子・相 根 典 男

〔化 学〕

- [99] 直流および交替直流によるアクリロニトリルジメチルスルホキシド系の電解重合菊 池 康 男
- [100] メタクリロニトリルのラジカル重合野 間 央 之・川 岸 洋 司・丹 羽 政 三
- [101] 環状オレフィン類の重合に関する研究
第4報 液体亜硫酸中におけるジシクロペンタジエン重合山 口 格・小 野 堯 之・工 藤 悦 三 郎