熱硬化性樹脂

長谷川 喜 一*

Thermosetting Resins

Kiichi HASEGAWA (Osaka Municipal Technical Research Institute 1-6-50 Morinomiya, Joto-ku, Osaka 536-8553, JAPAN)

The article describes the demand and technology trends of thermosetting resins in the last 20 years. In the thermosetting resin, the production of urea formaldehyde resin decreased roughly, because of the reducing tendency of formaldehyde which is the major cause of the sick-house syndrome. On the other hand, epoxy resin becomes a favorable increasing production accompanied as the increasing electronic component use for the personal computer. The remarkable technical developments progressed at the fields of phenol resin and epoxy resin. In the future, synthesis of designed thermosetting polymers becomes possible, and the new application will be widely developed.

Key Words : Thermosetting Resin, Phenol Resin, Urea Resin, Melamine Resin, Epoxy Resin, Unsaturated Polyester, Polyurethane

1. は じ め に

今年2007年は、1907年にBakelandがフェノール樹脂を開発して以来100年目にあたり、プラスチック100年のエポックとなる年である。その年に「高分子化学工業の将来展望」という特集が企画されたことに、日本ゴム協会編集委員会にまず敬意を表したい。

日本においてフェノール樹脂が工業化されたのは1915年であるが、合成樹脂生産量の統計がみられるのは1935年からである。1935年にはフェノール樹脂が3千トン、セルロース樹脂が1万トン、計1万3千トン生産されている。本誌において「転換期の高分子工業」という特集が組まれた20年前の1987年には、日本でのプラスチックの生産量は初めて1000万トンを超えた。最新の統計は2006年のものであるが、1405万トンとなっており、その内熱硬化性樹脂は128万トン、率にして9%となっている。1985年の統計を見ると165万トンとなっており、減少しているかのように見えるが、実は、2001年度からシリコン樹脂の統計がなくなっており、シリコン樹脂の生産量は30万トンを超えていると予測されることを考えると、ほぼ同じ水準であるとみなせる。しかし、この20年間にはオイルショック、バブル期やその崩壊に伴う長期の不況、IT産業の隆盛、環境問題の深化、地球温暖化問題、さらには最近の原油高騰に伴う原料価格上昇など、大きな変動があり、熱硬化性樹脂の生産動向もその影響を免れていな

い。本稿では、この20年間における熱硬化性樹脂の技術動向を中心に述べ、将来展望にもふれてみたい。

2. 熱硬化性樹脂の概況

熱硬化性樹脂の主なものにはフェノール樹脂を始めとしてユリア樹脂、メラミン樹脂、不飽和ポリエステル、エポキシ樹脂、ポリウレタンなどがあり、ここ20年間の生産量の推移を図1に示した。1990年ぐらいまではどの樹脂も順調に生産量を伸ばしているが、その後、ユリア樹脂、フェノール樹脂が減少している。これは主に住宅関連産業の停滞による木材用接着剤用途の減少が原因である。その後、フェノール樹脂は2001年ごろから回復しているが、ユリア樹脂の減少傾向は止まらず、2005年の生産量は1985年の生産量の26%にまで落ち込んでいる。これは、1995年ごろから社会問題となったシックハウス症候群の主たる原因がホルムアルデヒドと目され、住宅用合板類や住宅用接着剤の低ホルムアルデヒド化によるものである。この用途はユリア樹脂からメラミン樹脂、フェノール樹脂

*大阪市立工業研究所(〒536-8553 大阪市城東区森之宮1-6-50)研究副主幹 工学博士。昭和49年、大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。昭和49年、大阪市立工業研究所入所、現在に至る。専門は、熱硬化性樹脂の合成、物性、加工。日本接着学会副会長

図1 熱硬化性樹脂生産量の推移

へ切り替えが進行しており、接着剤用途が大きな比重を占めるユリア樹脂の生産量の回復は望めない状況になっている。

一方、2000年ごろの不況期を除けば、順調に生産を伸ばしてきたのはエポキシ樹脂である。特に1995年ごろからの急成長は他の熱硬化性樹脂に比べて特に目立っている。これは、主にコンピュータを中心とする電気・電子材料用途の急速な拡大によるものである。コンピュータの回路基板、半導体封止材料用途はエポキシ樹脂の独壇場であるといえる。また2000年までの統計しかないが、シリコン樹脂の急成長には目を見張るものがある、これは、シリコンの優れた諸性質により、電気・電子、建築、自動車、機械、化学、繊維、化粧品など、ほとんどの産業分野で幅広く使用されるようになってきたからである。近年は、特にエレクトロニクスの先端分野において重要な高信頼性材料としてさらなる活躍の場を広げている。

また、フェノール樹脂、ポリウレタン、不飽和ポリエステル、メラミン樹脂は景気の変動による生産量の動きはあるものの、生産量は、ほぼ順調に推移しているといえる。これはそれぞれの樹脂において、用途に合わせて、高性能、高機能化が不断に行われてきたことに他ならない。

3. 熱硬化性樹脂の需要と技術動向

熱硬化性樹脂は、縮合型樹脂と付加型樹脂に大別される。前者ではフェノール樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂が、後者では不飽和ポリエステル、エポキシ樹脂、ポリウレタンがそれらの代表例である。縮合型樹脂は成形過程で水等を副生するため、成形圧力を付加型樹脂よりも高く設定し、副生ガスを閉じ込めている。

熱硬化性樹脂は、硬化前は低粘度の液体あるいは融点の低い固体であり、充てん材の高充てん及び長繊維による強化が容易であるため、機械的特性、耐熱性に優れた複合材料として用いられている。また難燃性または自消性である

材料が多く、燃焼時の発煙量も少ない。しかし、成形時に架橋反応がおこるため、成形収縮が大きく、脆いという大きな欠点がある。これらの欠点を改良するため、変性、改質が盛んに行われている。

3.1 フェノール樹脂

フェノール樹脂は冒頭に述べたように100年の歴史を持つ材料で、信頼性が高く、成形材料、積層板、シェルモールドや摩擦材などの工業用樹脂として使用されている。1990年代前半には、自動車、電気・電子機器などにおいて従来、熱可塑性エンジニアリングプラスチックが用いられてきた用途に、その耐熱性、機械的強度の良さから採用が進行した。また、紙基材フェノール樹脂銅張積層板は、テレビ、ビデオデッキなどの家庭用電化製品、電子ゲーム機などに広く使われており、1990年代前半は順調にその需要を伸ばしていた。ところが1990年代半ばすぎから人件費削減から弱電メーカーの海外生産移管が進展し、そのため国内の積層板生産量が大きく減少した。この傾向は2000年代にはいつてからも続いており、2001年の生産量は約7700トンと1990年の約89000トンに比べ1割に満たなくなっている。一方、化粧板コアや木材加工接着剤は、低ホルムアルデヒド化の進展からユリア樹脂の代替として生産量が増し、接着剤においては1990年の約32000トンから2001年には約43000トン、2005年には約79000トンと大幅増となっている。

図2 フェノール樹脂硬化物の構造

フェノール樹脂硬化物の構造を図2に示したが、フェノール核が短鎖のメチレンで結合された構造であるので、耐熱性に優れ、表面硬度も高く、火災等の強熱時に炭化し易く、発煙量も極めて少ない。また、フェノール性水酸基濃度が高いので水素結合等による大きな接着強さが期待される。逆に、脆く、耐アーキ性や耐アルカリ性に劣ると共に着色・変色しやすいという短所をもつ。したがって、技術開発は上記の長所を伸ばすことと短所の改善が主眼となる。靱性、寸法安定性の改善にはCTBNやATBNのような反応性基を有するエラストマーの添加が行われてきた。この場合、耐熱性を低下させる場合が多々あるので、剛直骨格を含む改質剤についても検討されている。また、原料ノボラックの高分子量化も有効な手段である。耐熱性の向上のためには、トリアジン環やイソシアヌル環、ナフタレン環等の環構造を有する多官能化合物により剛直性を高めることが行われている。難燃性の向上には、ホウ素やリンを分子内に持つ中間体の添加、熱分解後の残炭率増加には p -キシリレンやフェニルまたはナフタレン構造を積極的に導入して、芳香環の濃度を高めるのが効果的である。

1980年代後半から樹脂中間体の構造を制御することによって、フェノール性水酸基を効果的に活用して機能を大きく発現させる研究も精力的に取り組まれている。その代表的なものが、環状化合物であるカリックスアレーンである¹⁾。これにはフェノール性水酸基による各種機能、例えば金属イオンの選択的補足能や疑似酵素作用等が大きく期待されている。

フォトレジスト材料もフェノール樹脂の重要な用途であるが、 p -ビニルフェノール樹脂²⁾や特殊な触媒系による分子量制御や構造制御されたノボラック³⁾が開発されている。

上記は旧来のフェノール樹脂の改質であるが、1990年代後半以降、第二世代フェノール樹脂と呼ぶべき、酵素重合によるフェノール樹脂や付加重合系フェノール樹脂が注目され、盛んに研究開発が行われてきている。酸化酵素の触媒重合によるフェノール樹脂はホルムアルデヒドを使用しない脱ホルマリン系として興味深い。酵素触媒重合ではフェニレンユニットとオキシフェニレンユニットからなる共重合体が得られており、この構造規制が実用化へ大きな課題であったが、近年、ある程度可能になってきている⁴⁾。オキシフェニレンユニットの存在は、フェノール性水酸基濃度の減少による電気絶縁性や耐熱分解性等の向上と、エーテル結合の導入と架橋密度の減少による靱性の向上が期待されるので実用的にも意義深いものである。

付加重合系としては、ポリベンゾキサジン(PBO)が注目されている。ノボラックがヘキサミンで硬化する過程で、ベンゾキサジンが中間体として生成し、次いで開環反応によってジメチレンアミン結合となり、架橋構造に移行する

図3 ベンゾキサジンの硬化反応

が、この結合は熱に比較的不安定であるので、容易に脱アンモニアしてメチレン結合になることが知られていた。このベンゾキサジンをフェノール類とアニリンなどのアミン、およびホルムアルデヒドから合成し、その開環反応により硬化物を得る試みがなされており、大きな成果が上っている(図3)⁵⁾。この硬化系では、フェノール核間がメチレン結合よりも長鎖であるジメチレンアミン結合であるので靱性も向上し、水酸基濃度も減少するので吸水性も低下している。アミン並びにフェノール類の選択によって、目的に叶った物性の硬化物を作り出すことが可能である。一方、本系では硬化反応時にフェノール性水酸基が再生されるので、この再生された水酸基を硬化剤とする各種の硬化系も検討されており、エポキシ樹脂の潜在性硬化剤としても利用価値がある。また、フェノール類とジビニルベンゼンを付加反応させて得られるノボラック⁶⁾は、非ホルムアルデヒド系であり、エポキシ樹脂硬化剤として有用である。この反応を利用して、架橋系を形成させることもできる⁷⁾。その他にマレイミド基をノボラックに導入し、二重結合を有する化合物や芳香族ジアミンとの付加反応による硬化系も開発されている。

2000年以降になって、地球温暖化問題から、石油資源を使わずに天然物を利用する試みがなされてきている。植物系バイオマスを原料とする材料開発は古くから行われており、液化木材系フェノール樹脂が知られている。これとは別に、木材をフェノール溶媒中、強酸で処理して得られるリグノフェノール⁸⁾は、リグニンの基本骨格を維持したままの有機溶媒可溶の熱可塑性樹脂であり、機能性フェノール樹脂として、フォトレジスト、エポキシ樹脂原料、電磁波シールド材、分離膜、医薬品などへの用途展開がなされている。

3.2 ユリア樹脂

ユリア(尿素)とホルムアルデヒドとから作られる樹脂であり、硬化物の構造を図4に示した。樹脂中間体にセルロース等の充てん材を添加して混練後、乾燥させた成形材料と充てん材を加えない水溶液又は減圧乾燥させた接着剤とがある。ユリア樹脂の用途の大部分は接着剤で占められている。1997年までは熱硬化性樹脂の中で最大の30万ト

図4 ユリア樹脂硬化物の構造

ン以上の生産量を示していたが、2000年前後から、社会問題となったシックハウス症候群の主要原因と目されたため、急激に接着剤用途が減少し、2005年の生産量は約12万トンにとどまっている。一方、成形品は耐溶剤性がよく、鮮明な色調に自由に着色でき、しかも低価格であるので、漆器、容器のキャップ、ボタン、麻雀牌、また耐アーク性が良好なのでソケット、スイッチ等の配線器具に用いられている。しかし、電気機器用途では熱可塑性樹脂への素材転換が進んでおり、ユリア樹脂の生産減少傾向はまだまだ続くものと予想されている。

3.3 メラミン樹脂

メラミンとホルムアルデヒドとを反応させることによって作られる樹脂である。硬化物の構造を図5に示した。ユリア樹脂と同様に接着剤用途が大半を占めている。樹脂中間体にセルロースなどを充てんした成形材料は、硬度が大きく着色性が高いことから、樹脂中間体を含浸した印刷紙を組み合わせて絵付き食器として用いられている。またユリア樹脂と同じく構造中に芳香族環を含まないため、耐アーク性が優れており、電気機器に用いられている。さらに硬度が高く傷つきにくいこと、及び難燃性に優れていることからプリント化粧板が家具、建築物、車両等に多用されている。ここ数年間の低ホルムアルデヒド化の推進によるユリア樹脂からの代替の動きもあり、生産量は15万トン前後を推移している。

技術開発動向としては、メラミン樹脂の優れた耐アーク性を維持しながら、耐熱性をさらに向上させるため、フェノールとの共縮合体や、短所である強靱性を改善するため、

図5 メラミン樹脂硬化物の構造

図6 不飽和ポリエステル硬化物の構造

熱可塑性樹脂による変性が行われている。また環境対応技術として、充てん材として木材資源パルプから草本資源パルプであるケナフを用いる試みもなされている。

3.4 不飽和ポリエステル

不飽和酸、ポリオール等を反応させて得たプリポリマーに架橋剤としてスチレン等のビニルモノマー、粘度調節剤、強化材などを加えた後、硬化触媒であるラジカル開始剤により架橋反応(ビニル重合)によって硬化させる。硬化(成形)は大気圧下又は金型中で行う。硬化物の基本的な構造を図6に示す。原料の種類が豊富であるので、使用目的に合致した材料の選択が可能である。本樹脂とガラス繊維からの複合材料がFRPの代表例となっている。

機械的強度が大きく、成形材料の形態が液体から固体まで多様であること、硬化反応がビニル重合で進行するので大きな成形圧力を必要としないので、多種類の成形加工法を適用する事ができるという長所を持つ。一方、樹脂の基本構造中にエステル結合が存在するので耐アルカリ性に少し劣り、二重結合及び芳香族環があるので耐候性もそれ程良くない。樹脂製品の主な分野はFRPが群を抜いている。FRPとして、建設資材、工業用機材(タンク・パイプ・電気部品など)、輸送機器(船艇・船舶・自動車)、その他(保安帽・スポーツ・雑貨)に使用されている。非FRP用途では注型品、塗料・化粧板などがある。

1980年代後半から、ユニットバスなどの住宅機材、自動車の外装材関連の需要が増え、生産量を順調に伸ばしてきたが、1990年をピークに緩やかな減少傾向に転じた。1995年ごろに一時回復したが、その後は減少傾向にある。

技術動向としては、1990年代において、住宅機材の高級化、たとえばキッチンカウンター用人造大理石や24時間風呂の普及などから、耐温水性能、耐変色性の向上が行われた。一方、地球資源保全の観点から、1990年代からFRPの再資源化が大きな課題となってきた。熱硬化性樹脂は硬化後は不溶不融であるため、一般にリサイクルは困難とされているが、その中で不飽和ポリエステルは加水分解しやすいエステル結合を有しているため、ケミカルリサイクルも比較的容易であり、この方面の検討が数多く行われるようになった。さらに2000年ごろからVOC規制が強く言われるようになり、不飽和ポリエステルにおいてもスチレンモノマーの臭気が問題視され、ノンスチレン、ある

いは低スチレン樹脂の開発が活発化した⁹⁾。またFRPのリサイクルについても、亜臨界水分解などによるケミカルリサイクル¹⁰⁾、またセメント原燃料を中心としたマテリアリサイクルなどが実用化されてきている。

3.5 エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は分子内にエポキシ基を2個以上もつ化合物とポリアミンや酸無水物のような硬化剤と反応させ、様々な特性を持つ硬化樹脂を与える。ジアミン硬化エポキシ樹脂の構造を図7に示した。エポキシ樹脂はエポキシ化合物、硬化剤とも原料の種類が豊富であるので、使用目的に合致した材料の選択が可能である。長所としては、電気絶縁性、接着性、寸法安定性、耐熱性、耐薬品性や着色性に優れ、成形材料の形態も低粘度の液体から固体まで幅広く、成形性も良い。短所としては、比較的脆く、強酸・強酸化性酸には侵される。用途分野は大きく3分割されており、電気部品(IC封止材、印刷回路用基板、コンデンサー)、塗料(自動車用カチオン電着塗料、ジンクリッチプライマー、飲料缶)、土木建築・接着剤、となっている。

生産量は順調な伸びを示しており、特に1980年代後半に入ってから電気・電子材料分野を中心とした需要の拡大にはめざましいものがあり、1985年には10万トンならずであったのが、1996年には20万トンを超えた。この時期はパーソナルコンピュータの爆発的な普及と重なっており、この用途に使用されるエポキシ樹脂の耐熱性、強靱性、耐湿性などの高性能化が強く求められ、この間の技術の進歩には目覚ましいものがあった。2000年代に入っても増減はあるものの安定した生産動向となっている。また、その頃から環境対応が強く要求されるようになり、たとえば、鉛フリーはんだへの転換に伴う高耐熱性化、ダイオキシン問題に伴う非ハロゲン系難燃剤の転換などが話題となった。さらに近年になって、環境対策・安全問題が重要視され、塗料関係ではVOCフリー対応のため水系、ハイソリッド、粉体塗料への流れが大きくなっている。電気・電子材料用途では、2006年7月に発効したRoHS(有害物質使用規制指令)対策のため、重金属、ハロゲン系物質の不使用が進行している。以下に高性能化に関する技術動向について示す。

半導体封止材料や印刷回路基板では耐はんだリフロー性が要求され、エポキシ樹脂の高耐熱性化が進行した。官能基数が多いエポキシ樹脂は、硬化物の架橋密度が高く耐熱性を向上させることから、*o*-クレゾールノボラック型エポキシ樹脂が使用されていた。架橋密度の増大につれて耐熱性が向上するが、その反面、自由体積の増加による吸湿性の増大が半導体封止材料の耐はんだクラック性を低下させることが問題点として指摘され、剛直な骨格をもち、官能基数の少ないエポキシ樹脂が用いられるようになった。たとえば、ビフェニル骨格やナフタレン環を導入したもの

図7 ジアミン硬化エポキシ樹脂の構造

が、低架橋密度にもかかわらず耐熱性が良好である¹¹⁾。

エポキシ樹脂硬化物は他の熱硬化性樹脂と同じく架橋構造体であるため、もろいという欠点をもつ。そのためCTBNのような官能基をもつエラストマーが使用されていたが、最近では、シリコーンやウレタンによる変性が行われている。上記のエラストマーによる改質は高架橋密度のエポキシ樹脂系にはあまり効果がないとされている。一方、熱可塑性樹脂、特にポリエーテルイミドのようなエンブラとのアロイによる改質は、高架橋密度系にも有効であり、耐熱性、強靱性ともが改良される¹²⁾。

電子材料用エポキシ樹脂には厳しい難燃性が要求されているが、エポキシ樹脂自体は燃えやすいので、一般にハロゲン系難燃剤が添加されている。しかしハロゲン化合物の使用に関する規制が強まり、リンやシリコーンなどの非ハロゲン系難燃剤への代替が行われている。リンの難燃化の機構は、燃焼時にリンの部分がポリマーマトリックスに比べて低い温度で分解し、リンリッチのチャーが生成し、このチャーが熱伝導を妨げる層として働き、可燃性ガスの生成を低減するといわれている。添加型難燃剤は成形性や耐湿性に影響を与える場合があり、エポキシ樹脂骨格中にリンを導入したものや硬化剤にリンを導入したものが多数開発されている¹³⁾。シリコーンも非ハロゲン系難燃剤として注目されているが、シリコーンだけで実用性のある難燃化までは達成できておらず、リン系との併用となっている。燃焼時、リンはチャーを生成しやすく、シリコーンはチャーの熱安定性を向上させるために相乗効果が生まれる。また、エポキシ樹脂の骨格構造を制御して難燃性を達成しようとする試みもある。たとえば、ビフェニル骨格をノボラック構造に含むフェノールアラールキル型のエポキシ樹脂と硬化剤の組み合わせで、難燃剤を使用しなくても十分な難燃性を達成している¹⁴⁾。チャーを生成しやすく、また架橋密度が低く燃焼時に架橋体が軟らかくなるため安定な発泡層の生成が難燃化に寄与している。

ここ数年、ポリマー系ナノコンポジットが注目を集めている。無機物とのナノスケールでのハイブリッド化によって耐熱性が向上し、また弾性率の向上、熱膨張係数の低下など力学的性質が改善される。適用例は熱可塑性樹脂が多

いが、エポキシ樹脂系においても活用され始めている。手法としては、アルコキシシランをエポキシ樹脂に溶解させ、ゾルゲル硬化反応で硬化物中にシリカをナノスケールで分散させる方法¹⁵⁾と、粘土鉱物の一種である層状ケイ酸塩を塩化アルキルアンモニウム塩などで親有機化処理した後、エポキシ樹脂中で混合し、層間剥離させた状態で硬化させる方法がある¹⁶⁾。前者では硬化中に揮発物が生成するため、厚膜製品を得にくい、透明なものが得られる。後者の場合は層間剥離を完全に行わせることが困難で、含量が増えると不透明になる。

3.6 ポリウレタン

芳香族のポリイソシアネートと脂肪族ポリオールとの付加反応によって製造される材料である。硬化物構造を図8に示した。原料の種類が豊富であるので、使用目的に合致した材料の選択が可能である。付加反応で硬化するため成形圧力が小さくてよいし、また硬化反応が非常に速いので反応射出成形(RIM)に適したマトリックスでもある。ウレタン結合($-\text{NH}-\text{COO}-$)によって分子量が増大しているので、耐衝撃性、耐摩耗性、接着性、引裂き強度、耐油性、ゴム弾性に優れている。イソシアネートは水と反応して炭酸ガスを生成するので、発泡成形性も良い。しかし、加水分解し易く、芳香族ジイソシアネートからなる系は熱や光で黄変し易い等の欠点がある。用途としては、クッション性に優れた軟質フォーム類、断熱性に優れた硬質フォーム、エラストマーや弾性繊維、耐摩耗性を活かした塗料、人工皮革等の用途がある。

図1の統計にはウレタンフォームだけを示してあるが、大体25万トンから30万トンの間にあり、安定した生産量であることが分かる。ポリウレタンにおける技術課題の一つは発泡剤である特定フロンの削減である。1989年には特定フロン規制法が実施され、順次削減され、1996年には特定フロン全廃となった。特定フロンに代わる発泡剤として水処法による炭酸ガス、HCFC141bを中心とした代替フロン、シクロペンタンなどの有機溶剤の3つが主流である。代替フロンもいずれ削減が予定されているし、有機溶剤は火災の危険があるので、水処法がもっとも有望である。また近年、超臨界炭酸ガス発泡技術も開発されている。

また環境対策としてバイオマスポリオールの利用の試みがなされてきている。ポリ乳酸系ポリオールやひまし油、大豆油など天然由来素材を原料としたポリウレタンの検討がなされている。枯渇性化石資源の節約に寄与するとともに炭酸ガス排出削減の手法として注目されている。

4. 熱硬化性樹脂からネットワークポリマーへ

熱硬化性樹脂の研究発表の場として、熱硬化性樹脂メーカーの集まりである合成樹脂工業協会主催の熱硬化性樹脂講演討論会が1950年から始まっている。途切れることな

図8 ポリウレタン硬化物の構造

く、昨年56回を迎え、ますます盛況となっている。この討論会の名称が1996年の第46回からネットワークポリマー講演討論会と名称変更され、それに伴い、我国で唯一の熱硬化性樹脂関連の学会誌である「熱硬化性樹脂」が「ネットワークポリマー」に名称変更されている。これは、名称変更後の最初の「ネットワークポリマー」誌に故 井本稔先生が次のように書かれていることにつぶさに示されている。すなわち“現在では熱硬化性樹脂という言葉の意味は、反応によって共有結合で三次元化しているプラスチックのことであってその製品の種類は無数に広がるというべきであろう。つまり”net work“構造をもつポリマーと要約される。”とある。筆者が付け加えるならば、従来の熱硬化という範疇におさまらない架橋型樹脂、たとえば光硬化性樹脂などが増えてきたこと、硬化物が不溶不融であるため構造解析が困難であった時代から、分析機器の進歩により漸く構造解析、精密設計が可能な時代に移ってきたことなどから、より広範囲のポリマーを扱い、よりアカデミックな研究を発展させるため、名称変更されたものである。

さて、ネットワークポリマー(熱硬化性樹脂)の将来であるが、本年4月に(社)高分子学会に精密ネットワークポリマー研究会が設立された。その趣旨文から引用させていただくと、従来“ネットワークポリマーは網目状の分子構造を持ち、熱や溶媒に不溶不融であるため分析が困難で、ネットワーク形成の反応機構、形成されたネットワークの化学的あるいは物理的構造を十分に明らかにすることは困難とされている。また、そのネットワーク構造に起因した分解の困難さやリサイクル性の低さなどから、ネットワークポリマーはもっとも環境負荷の大きな材料の一つと考えられている。”、こうした現状を打破するために“本研究会の目的は、ネットワークポリマーの反応や構造を精密制御することによってその機能や性能をさらに進化させて次世代型ネットワークポリマーへの発展の方向を探ることである。①分子量、分子構造を精密に制御したプレポリマーの合成、②可動性の橋かけ構造など架橋点の構造制御、③解重合あるいは分解可能なネットワーク構造の創成、④ネットワークの2Dあるいは3D配列制御、⑤有機および無機ネットワークの最適複合化技術など、ネットワークポリマーのより精密な構造制御を可能とすることによって次世代ネットワークポリマー材料への道を拓くことが出来るものと考

えている。”以上に述べられているように、ネットワークポリマー(熱硬化性樹脂)の将来展望としては、それぞれのネットワークポリマーにおいて、最終製品の要求性能に合わせた分子設計を行い、新規用途を拡大していくものと考えている。これから伸びる用途としては、軽量化がさらに進行すると考えられる自動車や車両、航空機などの輸送機器分野である。その際、いわゆる高性能・高機能化に加えて、いかに長持ちし(耐久性)、いかに省資源か(リサイクル性)、いかに環境に優しいか(安全性)がキーワードとなろう。

References

- 1) Shinkai, S.: *J. Network Polymer, Japan*, **17**, 169 (1996)
- 2) Fujiwara, H.; Matsumoto, T.: *J. Thermosetting Plastics, Japan*, **8**, 25 (1989)
Matsumoto, T.: *J. Thermosetting Plastics, Japan*, **13**, 108 (1992)
- 3) Arita, Y.: *J. Network Polymer, Japan*, **21**, 126 (2000)
- 4) Uyama, H.: *J. Network Polymer, Japan*, **20**, 90 (1999)
- 5) Takeichi, T.: *J. Network Polymer, Japan*, **23**, 33 (2002)
- 6) Mori, K.; Inoue, T.; Ikeda T.: *J. Network Polymer, Japan*, **19**, 1 (1998)
- 7) Mori, K.; Inoue, T.; Miwa, K.: *J. Network Polymer, Japan*, **18**, 190 (1997)
- 8) Funaoka, M.: *J. Thermosetting Plastics, Japan*, **16**, 151 (1995)
- 9) Mimaki, H.; Oda, K.: *Reinforced Plastics, Japan*, **52**, 256 (2006)
- 10) Nakagawa, T.; Urabe T.; Maekawa, T.; Hidaka M.; Miyazaki, T.;

- Oka, K.: *Matsushita Electric Works Technical Report*: **54**(1), 23 (2006)
- 11) Kaji, M.; Nakahara, K.; Ogami, K.; Endo, T.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **75**, 528 (2000)
- 12) Tomoi, M.: *J. Network Polymer, Japan*, **20**, 97 (1999)
- 13) Wang, C. S.; Lin, C. H.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **75**, 429 (2000)
- 14) Iji, M.; Kikuchi, Y.: *Polym. Advan. Tech.*, **12**, 393 (2001)
- 15) Goda, H.: *Japan Plastics*, **53**(7), 81 (2002)
- 16) Kornmann, X.; Lindberg, H.; Berglund, L. A.: *Polymer*, **42**, 1303 (2001)

日本語表記参考文献

- 1) 新海征治：ネットワークポリマー，**17**，169 (1996)
- 2) 藤原 寛；松本 理：熱硬化性樹脂，**8**，25 (1987)
松本 理：熱硬化性樹脂，**13**，108 (1992)
- 3) 有田 靖：ネットワークポリマー，**21**，126 (2000)
- 4) 宇山 浩：ネットワークポリマー，**20**，90 (1999)
- 5) 竹市 力：ネットワークポリマー，**23**，33 (2002)
- 6) 森 邦夫，井上唯之，池田尚志：ネットワークポリマー，**19**，1 (1998)
- 7) 森 邦夫，井上唯之，三輪広治：ネットワークポリマー，**18**，190 (1997)
- 8) 船岡正光：熱硬化性樹脂，**16**，151 (1995)
- 9) 三牧博昭，小田敬一：強化プラスチック，**52**，256 (2006)
- 10) 中川尚治，卜部豊之，前川哲也，日高 優，宮崎敏博，岡 健司：松下電工技報，**54**(1)，23 (2006)
- 12) 友井正男：ネットワークポリマー，**20**，97 (1999)
- 15) 合田秀樹：プラスチック，**53**(7)，81 (2002)

*

*

*

*

*

本会発行出版物ご案内

ゴ ム 工 業 便 覧

(第四版)

B 5 版 1350 頁

(1994.1 発行)

定 価 36,750 円 (税込)

会員価格 33,075 円 (税込)

送 料 (当方負担)

〔 ゴムの物性から製造，加工，製品，測定，分析に至るまでを，現在第一線で活躍中の
界の権威者 150 余名の執筆陣により，最も新しいゴムの科学・技術を提供いたします。 〕

* お申込の場合は，必要事項(送付先住所，勤務先，氏名，電話番号など)をご記入のうえ，FAX して下さい。

社団法人 日本ゴム協会 図書係あて

FAX 03 (3401) 4143