未来都市と住空間

しゃぼん玉都市

Urbanization with SOAP (Soft, Oval, Atmosphere, People) Bubbles

江中八洲彦 Yasuhiko ENAKA, 鹿島建設(株)

浅見 邦一 Kunikazu ASAMI, 鹿島建設(株)

1. 人々の都市へ

現代の都市は、産業革命をもとに発展したものといえる。19世紀中頃にイギリスではじまったこの産業革命は、蒸気機関の発明、建築素材や建設工法の進歩、工場性工業という労働形態の出現を背景に、鉄道や道路といった交通網の整備、建築物の大規模化、居住の場と労働の場の分離という現代の都市を特徴づける動向を生みだし、第二次産業を中心とする産業構造をつくりあげた。

この結果、現在独立したファミリーとしての世帯は、第一次産業を支えていた地域共同体を離れて世帯相互の関係を弱め、人々は都市中心部との依存関係を強めている。この現象は核家族化と呼ばれており、超高齢化社会を迎えようとしているわが国においては、高齢者の単独世帯の急増といった社会問題の到来が予測されている。

一方、コミュニケーションのデジタル化などの情報技術の発展は、価値観の多様化を生み、生活様式を根本的に変え、職住接近を飛びこした職場と住居の一体化を急速に押しすすめることが予想される。このような都市での人々のあり方は、アーバンイズム（都市化）に基本からの再考を迫るものと思われる。

未来の都市がいかなるものかを考えるにあたっては、現在の延長線上に解を求めるのではなく、将来のライフスタイルを視野に入れたコンセプトで捉える必要がある。その切り口のひとつに、同一都市圏での三世代居住といったライフスタイルを想定することができるだろう。

2. しゃぼん玉都市

三世代居住の都市とは、父母とその子供夫婦が住む二世帯住居とは異なり、祖父母、父母、子供夫婦の三世代が離れてそれぞれの住戸に生活できる都市である。そしてもし、住居が従来のように土地に定着した強固な器で

はなく、しゃぼん玉のように軽く、可変性、および移動性のある状態になったら、未来の都市はどのようなメリットをもたらしてくるだろうか。

しゃぼん玉のような住居は、インフラストラクチャー（都市基盤）の力を借りながらもどこでも生活ができる機能を有すると共に、エアーシューターのようなシステムでモービルハウスのように住み手の目的に応じて自由に移動する。自由に移動できかつ容易に生活できる機能を持ち合わせることににより各世代は、核家族的な生活をするという現代都市のメリットを保持しつつ、通常は付かず離れずの距離を保ったままそれぞれの都市生活を営む。もし、ある世代が自律した生活を営むことができない事態が発生した場合には、都市における三世代の配置をその状況に対処するにふさわしいフォーメーションに変更することができる。近くに集合したり、二つのしゃぼん玉が接しながらの合体、もしくは一体になり大きなしゃぼん玉住居となるし、また、離脱もできる。それは世代相互の人々のフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションを物理的に容易にし、近未来の超高齢化社会の到来といった社会問題に、家族単位という本来の生活の活動を通じて対処することを可能にする。

また、三世代がひとつの都市圏で生活するには、そこに各世代の経済的、消費的活動を支援する環境が用意されなければならない。これは、ひとつの都市に各世代のニーズに対応した多様な選択肢の機能が配備されることを意味する。

このような多様な価値観、生活様式が共存できる都市の中にあるしゃぼん玉住居が、移動のためのみの可変膜としてだけでなく、その他の機能も持ちあわせていたらどうだろう。太陽エネルギーを享受できれば、エネルギーの自給自足が実現され、アンテナであると同時に内側がモニターやスピーカーになれば情報の受発信も可能になる。また、通気性やブラインドのような遮光性を備えれば、職住としての快適な環境を得ることができる。

素材として柔軟性に富むものであれば、間仕切りが自由自在になるばかりか、その一部はソファやベッドとして使用できる。

しゃぼん玉住居がそのメリットを最大限に発揮するには、未来のインフラストラクチャーは、従来の静的な巨大な構造物ではなく、物理的に最小、機能的には最大限のシステムを内包したフレキシブルなものが必要になる。たとえば、人々の移動のためのコミュニティーやしゃぼん玉住居のためのマス・トランスポーションシステム、情報ネットワーク、そして上下水道など。

未来の住居とインフラストラクチャーが多機能設備を備えることにより、人々は、土地に束縛されない遊牧的な都市生活を楽しむことが可能になる。しゃぼん玉住居とそれを支えるインフラストラクチャーが一体になった様子は、大きなしゃぼん玉をまとった子供達がジャングルジム（インフラストラクチャー）を楽しく自由に動きまわっているようなものになるだろう。

3. サスティナブル*・シティー

理想都市への飽くなき追求は、居住空間がまさに、しゃぼん玉として自らエネルギーで自由に空間を飛びまわることができるであろう。

そして、しゃぼん玉住居が進化すればするほどインフラストラクチャーの負担は減少するであろう。インフラストラクチャーは木の根のように地上に現われることなく地中にネットワークをつくりあげ、都市といえども自然の中に住居（しゃぼん玉）があるのみで、ところどころに都市機能（文化、商業、アミューズメント、スポーツ）が計画され、その中で人々が楽しんでいる。

近くへは住居自ら浮遊、遠いところへは、マストラで、冬ならばゲレンデで朝食をし、一滑りして夜はみんなで会食へ。

夏なら海辺でブレイクファースト、昼間は高原でゴルフ、夜は都心でコンサート

都市・建築の領域と他分野の研究領域は深い関係にあり、切り離して考えるべきではない。しゃぼん玉都市の実現には、新材料の研究がすべての鍵を握る。特に可変性、成長、リサイクルの観点での材料にたいする研究の成果が人々をより良き未来都市へ導くだろう。私たちの生活文化とその環境をサスティナブル（持続可能）なものとして、どう都市をプランニングしてゆくかを多くの分野の人たちと考える時である。

江中 八彦彦
鹿島建設(株)設計・エンジニアリング総
事業本部プランニング部・副部長
1965年慶應大経済学部卒（都市経済学
専攻）、1969年カリフォルニア大建築
学部卒、1972年鹿島建設勤務。国内、海
外（欧米、東南アジア）で建築設計およ
び都市計画のプロジェクトに従事。

* サスティナブル・デベロップメント（持続可能な開発）とは、1992年にリオデジャネイロで開催された「地球サミット（国際環境会議）」の席上でアメリカのゴア副大統領から提言され、「リオ宣言」の基本方針として採用された言葉である。これは、豊かさの方向転換、社会生活の新しいコンセプトを示す概念であるといえる。

私達の社会生活の在り方が、天然資源を枯渇させ、気候や自然を破壊していくことが明らかになった今、私達が見直さねばならないのは、この環境を次の世代が受け継ぐことができるように、社会活動を支える思想を真剣に考え直すことにほかならない。自然と人間の精神的・物理的な活動との交錯のなかにこそ、自然と人間の共存のフレームを見い出そうとするものなのである。

浅見 邦一
鹿島建設(株)設計・エンジニアリング総
事業本部プランニング部・職員
1987年早大理工学部建築学科卒、1989
年大学院建築工学専攻修了。同年より鹿
島建設勤務。

しゃぼん玉に該当する材料は？

西 敏夫
Toshio NISHI

Materials for Bubble Cities!?

しゃぼん玉都市とは今までの都市の概念から抜け出たもので面白く読ませていただいた。これを実現するための材料とのことであるが、提案自身が大変定性的なので、回答も定性的なものにさせていただきたい。

まず何かこの概念に近くて現実的なものはないか考えたところ、3つ程具体例が浮かんだ。そのうち2つは古くからあるものである。まず頭に浮かんだのは、北京の故宮の建物のひとつである養心殿内の「三希堂」である。これは清朝全盛期の乾隆帝（在位 1735～1795 年）が読書したり、休息をとった「温室」とよばれている部屋で、室内には東晋時代（300～400 年）の王羲之、王献之、王珣の三人の書聖の世に希な書を収め、「賢を希み、聖を希み、天を希む」という理想にちなんで名付けられたという。1982 年に東京で開催された北京・故宮博物院展で原物そっくりに再現されていた。故宮の規模からいって広く豪華な部屋を予想していたが、実は三畳程しかない。そのかわり、座り心地の良さそうな座所、紫檀の小机、精巧な壁紙、極上の文房具、玉工が精魂込めて製作した香炉、小玩などが適度に配置されており、一度部屋に入ったら抜け出し難い雰囲気をつたよわせていた。その後、故宮見学の機会を何回か得たが、後宮は小さな住居が無数に配置された造りになっており、見方によっては故宮全体が皇帝とその一族のためのしゃぼん玉都市であったともいえる。ついでながら、故宮の正面の午門から入ると、太和門、太和殿、中和殿、保和殿、乾清門、乾清宮とつぎつぎに豪壮華麗な建造物に圧倒され、へきえきしたところで次の交泰殿の中をのぞくと、そこに大きな額に乾隆帝による「無為」という字が大書してある。故宮の見学は5回以上になるが、この額を見るたびにほっとすると同時に複雑な思いにかられる。

次に頭に浮かんだのは、遊牧民の移動式住居として有名なモンゴルのパオである。TVなどで見た感じでは、フェルト、ムートン、骨格からできており、空を飛ぶことができないほかは以外としゃぼん玉都市の要件を満たしている。最後に頭に浮かんだのは、箱根の彫刻の森美術館の一角にある透明プラスチック製のジャングルジムもどきである。これは一辺 1 m 程の正四面体状のブロックを不思議な形に積み上げ、ブロックを貫通する穴を迷路のようにつなぎ合わせたものである。子供でないと内部に入れないが遊びとしては面白そうである。しかし、

実際に中に入った子供に聞くと、あまり内部に入り込むと外は見えるのにどうやって外に出られるかわからなくなり、しかも内部はむしろ暑いので見かけほど快適ではないという。

一方、しゃぼん玉自身を物理的に解釈すると以下のようになろう。まず水にせっけんまたは界面活性剤を加え、水の表面張力を低下させる。これに空気を吹き込むと柔軟な薄膜が形成され、その形態は一定内圧の空気を包み込み、重力下で表面エネルギーが最小になるようなほぼ球に近いかたちに着く。薄膜内部では水、界面活性剤分子が激しく分子運動をしているので、膜の一部が薄くなりすぎ表面張力に耐えられなくなったときしゃぼん玉は破裂する。しゃぼん玉を複数接触させたときは、隔壁を含めた系全体のエネルギーを考える必要がある。簡単な実験として、シャンプーを適量溶かした水を用意して、水面上に直径 5 cm 位のしゃぼん玉をいくつか接して浮かべてみると、大変きれいな隔壁を持った系ができる。しかし、うまく並べられるのは6つ位まででそれ以上にしようとする、どれかひとつがこわれてしまう。さらに、しゃぼん玉を2階建て以上にするのは大変である。隔壁のかたちは、各々の玉の重心を結ぶ直線の垂直2等分面で決まると考えられ、これは物理学者が固体物理で用いるウィグナー・サイツセル、または数学者のいうボロノイ多面体に対応している。いずれにしても、しゃぼん玉の原理だけでこれを人間が住める大きさに拡張するのはかなり難しい。

さて、鉄、コンクリート、石、ガラス、木材など通常の建築材料に比較してみた場合の高分子材料の特徴は、高い比強度（強度／密度）、比弾性率（弾性率／密度）、柔軟性、形態賦与性にある。また、工夫すれば気密性、通気性、耐熱性、断熱性、透明性も持たせることが可能である。さらにいろいろな材料を組み合わせ、それぞれの特徴を持たせた複合材料にするのも容易である。コストさえ無視すれば、人力飛行機、太陽電池で飛ぶ飛行機、宇宙船用カプセル、熱気球なども可能である。現実的な話としては、壁材料として繊維補強エラストマーを用い、空気圧を利用してフレキシブルにしたものは東京ドームの屋根の例を引くまでもなく実現可能である。また、机、本などはコンピュータとマルチメディアの発達によりなくてもよくなるであろう。この柔軟な壁の一部

に高分子を利用した太陽電池を設定し、内部に同じく高分子を利用した軽量化バッテリーを用意すれば簡単な電源としては充分であろう。スピーカーを圧電性高分子で作るのは現在でも可能であり、TVのブラウン管が液晶や高分子液晶で置き換えられるのはもはや時間の問題であろう。難問は、ベッドやバスルーム、空間浮遊である。空間浮遊については、ヘリコプターで吊り下げて移動可能とする位かと思われる。ベッドは、空気圧か水圧を利用すればよいが、バスルームに関してはユニットバス以上に無理しないほうがよいであろう。さらに快適性を考えると、エアコン、冷蔵庫などをいかに軽量、小型化できるかも考慮せねばならない。現実的に考えると、このようなしゃぼん玉と競合するのは、モービルハウスになるであろう。逆にいえば、モービルハウスの材料と設計を高分子系材料を念頭に置いて徹底的に再検討し、地上走行のみでなく、ヘリコプターでも移動可能にするほうが、早道かもしれない。

以上可能性と問題点を思いつくままあげてみた。現在の都市が抱えている土地問題、三世代居住、居住の場と労働の場、移動性などを考えるとしゃぼん玉都市はひとつの解になりそうであるが、それ自体の問題もかなりある。日本全体がしゃぼん玉都市になるのは無理なので、ある特定の地域で実際に実験してみたらどうであろう。個々のしゃぼん玉に関しては、できないことはない気がする。ただし、私自身はもう少し広いスペース（アメリカの大都市郊外や地方都市ではごく普通の1エーカー位（約1200坪））を使用して、生活のコア部分は建築してもらい、あとは必要に応じて高分子を使った軽量、高強度材料で日曜大工で好きなように作り移動は別的手段としたほうが楽しいと思っている。マルチメディアを本

格的に活用すれば大都市、高層集合住宅の意義も低下し、土地問題も解消するような気がする。また材料というのは、その形態、複合などによってそれを使った製品や部分の力学特性等を大幅に変化させることができる。しゃぼん玉都市やその要素も、具体的な大きさ、剛性または柔軟性、気密性、断熱性などを与えれば、高分子材料や高分子をベースとした複合材料を基本に設計可能と考えられる。アメリカなどでは、趣味としての手作り飛行機も盛んであり、その気になりスペースさえあればできない相談ではないであろう。先日見た衛星放送の番組では、小型飛行場を備えた住宅団地のガレージで、ケブラーや炭素繊維を用いた複合材料を使用して自家用飛行機を製作する様子を放映していた。年に1度世界各地からある地点に集合し、そのデザインや性能を見せ合うお祭りが開かれているそうである。なかには、ジェットエンジン付のヘリコプターまで自作してしまう人もいるとのこと。日本では、規制問題で実現は難かしいかもしれないが、これを車に置き換えて考えれば、最近のRV車ブームなど、このような傾向はかなりあるのであろう。

新素材とそれを用いた新構造体・新機能体技術に関しては、現在宇宙開発で進められている、伸縮自在のソーラーパネルと支持体、金属蒸着ポリマーフィルムによる断熱技術などが将来普及してくれば、かなり現実性のある話になってくると考えられる。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻・教授、工博、専攻長
1965年東大工学部物理工学科卒、1967年大学院修士課程修了。同年ブリヂストン勤務、米国ベル研客員研究員を経て1980年より東大、1990年教授。
専門は高分子物性、複合材料物性。

故宮の乾清門、内廷の入口で、養心殿はこの左手。

未来都市と住空間

未来住宅の材料

Materials for Future House

Patent drawing for
Edison's proposed
method of cast-in-place
construction.
(Bruce and Sandbank,
A History of
Prefabrication)

岩井 一幸 Kazuyuki IWAI
東京家政学院大学

1. 現在の住宅材料の特性

住宅は普通の製品と異なる性格を持つため住宅に新材料を導入する動きに対しては保守的であった。その理由は以下のようなものであろう。

(1) 国は国民の基本的な権利として、住宅を保証し、住宅の最低性能を建築基準法によって定めており、使用材料、作り方について規制が厳しい。建築基準法に規定する以外の材料の使用は特別な認定が必要で、実験的試みは求められていない。実体として新材料が構造安全性、火災安全性、耐久性を長期に確保していることを証明するのは困難である。

(2) 住宅は、地域材料による地域技術として発展してきた。木造軸組工法の日本、2×4 木造パネル住宅の米国、レンガ組構造のヨーロッパ等と住宅技術は地域の気候、材料、文化を反映している。建築法は国別に異なり、材料の開発は行われにくく、ユーザは、在来からの自然材料が持つ「厚み」という材質感を本物として指向し、高価な住宅ほど新材料を使用しない。

(3) 技術そのものは単純で、部品点数は多くとも、他の工業化分野と比して必ずしも専門的な高度の技術は必要ではない。誰もが住めるように国民に居住を保証するには、選ばれた高度な技術では対応しにくく、簡単に扱える自然材料で十分であった。

(4) 住宅のボリュームは大きく、材料の使用量が多く、材料費は基礎を含め 500 円/kg 以下で野菜や果物より安い。一戸建住宅と集合住宅、工業化住宅と在来工法住宅が同じ値段である。工業的に考えれば材料や作り方が違うのに同じコストということは有り得ず、木造軸組のコストに追いついた所でバランスしている。

(5) 住宅材料は多目的に使用するために、複合した機能を要求され、単一の機能が優れていても安易に採用で

きない。材料に求められる性能は極限性能が要求されないかわりにすべての性能に一定のレベルが必要とされ、安価な割にトータルな性能が要求される。

(6) 住宅生産では工場生産部品と建設現場納入部品があり、組立工程を行う現場が最終製品を設定する場である。現場で使用される材料により住宅の性能が定まるために新材料を用いた工場生産部品を高機能に定めても効果が少ない。

これらの結果、住宅材料は在来からの材料の改良が大部分で、住宅に関する材料の革新的開発が行われにくかった。住宅に高分子材料を積極的に取り入れるには、これらの条件を変えることが必要ということになる。

しかし変化も現れてきた。最近、建築法に国際化とも関連し、性能アプローチの動きが出てきており、他の工業材料と同様な材料開発が可能になってきた。

また 1957 年のモンサント社の未来の家のように住宅を全部プラスチック化にするという考えから、GE プラスチックによるコンセプトハウスに見るように基本構造は木、コンクリート、鉄骨構造とし、内装にも木、石なども使用、在来材料との調和の中で高分子材料の優れた機能特性を活用し、部品ごとにプラスチック化を進め、無理なく住宅に高分子材料を導入しようという動きになっている。現在 135 m² の住宅でも約基礎 20 t、建物 20 t の重さになるが、試算では 1 戸当たりプラスチック使用量は、現状で塗装等すべてを含め最大 1700 kg、平均 400 kg にもなっている。

2. 未来住宅のための材料の要求条件

今日未来住宅の開発課題としてあげられているキーワードについて高分子材料への要求条件の観点から考えてみよう。

(1) 長期的未来住宅に望まれる新材料の課題は、前述の新材料使用の阻害条件をクリアする住宅材料、すなわち構造体に使用できる強度、防耐火性、耐久性をもち、

カット：1907 年トーマス エジソン提案の実験住宅の特許図面
(型枠にコンクリートを流しこむ方式、ネガブレハブとも呼ぶ)

表 1 未来住宅のための高分子材料開発の課題

住宅開発のキーワード	未来住宅への要求条件	高分子材料の課題
1) 外観デザイン対応	環境に合った景観設計が課題になり、景観に配慮できる材料が求められている。	材料が機能特性として優れているだけではなく形態特性も本物感覚を持つ模倣材料。
2) 性能対応	エンブラが住宅に普及するための条件は防火性に尽きる。	防耐火に関する高分子材料。トータルな防火設計や防煙設計に対応する高分子材料。
3) 高齢社会対応	吸音・遮音をコントロールする。 人生 60 年時代から 90 年時代への住宅の基礎的寿命と高齢者特性に適合する。	制震・吸音・遮音高分子材料。 悪臭分解機能高分子、歩行感、肌触りのよい材料、高分子芳香剤など高齢者にやさしく接する材料。
4) 快適性対応	生物学的人間特性に根ざした基本的な快適性を確保する。	吸熱高分子、蓄熱高分子による輻射暖冷房や、涼感にゆらぎを取り入れた呼吸高分子材料のように、感覚や感性を考えた新しい快適性の概念による材料。
5) ストック価値対応	日本の住宅にはフローとしての性格が強く、ストックとしての性格がなかったが、将来はストック価値が重要になる。	100 年もつ長寿命住宅のための長期的耐久性材料。部品交換をシステムティックに行う住宅のためのライフタイムをコントロールできる材料。
6) 環境共生対応	環境に共生する材料、自然材料のように自然に帰る高分子材料。ユーザが本物志向であるという時に、住宅分野で言われるのは自然材料を使うことであるが、おもちゃのレゴのようにプラスチックでも特性を生かしたものは、本物と言われる。	高分子材料でなければ不可能な住宅材料で、本物に値するものは何か？。コスト的に供給できるなら自然材を使うという、大部分の住宅設計者を説得する材料開発。
7) 部品化対応	バススペース、キッチンスペースなどの密度の高い空間は工業化が進んでいる。工業化の進んでいる分野の部品は、工業化の過程で高分子材料が取り入れられ、多数使われる。人手不足から現場工事をなくし、工場生産の割合を増すために、さらにリサイクルの観点からも分別設計が求められ、部品化がいっそう進む。	組立分解に有効な種々の高分子接着剤や高分子剥離剤が課題。
8) リサイクル対応	最後にゴミにならないように材料を考えるには、住宅を耐久消費財と考えるのではなく、材料のライフタイムをコントロールし、材料を回流させ、リサイクルするように住宅を位置づける。	バランスのとれた性能が求められる住宅では、単一性能を複合して複合材料として使用することが進められてきたが、複合材料はリサイクルしにくい点から、複合材料を単一材料に戻せる材料の開発。
9) 省エネルギー対応	太陽エネルギー利用機器、太陽電池など多くのエネルギー総合利用のプロジェクトがある。	個々の部品には、多くのより効率的な機能高分子材料。
10) 要求高度化対応	人間の要求の高度化に対応して製品・設備の性能を高度化する。	性能の変わる断熱材、パッシブヒートポンプのような方向性をもつ断熱材、夜と昼で変わる透過性のあるガラスで可変性をもつ材料など、要求にダイナミックに追従する高分子材料。
11) 情報化対応	国際化の進展、マルチメディアの発展に対応する。	インテリジェント住宅化するための電磁波シールド材、光ファイバーなどの高分子材料。
12) 海中・地中・宇宙など特殊居住対応	未来住宅としてスペース拡大のために、地上の普通住宅とは異なる特性の材料が求められる。	光ファイバーによる集光、吸水性樹脂、高耐久性塗料などの高分子材料。
13) 健康対応	人間と直接に接触する材料は、人間の好み、ホルマリンなど有害揮発性物質、地中からのラドンなど健康に対する影響、高齢者配慮など、繊細な配慮が必要とされる。	人間特性にきめ細かく対応できる高分子材料。高性能仕上げ材。
14) 時間価値化対応	時間をかけたものに味がでる時間価値を製品化する。	ワインのようにエイジングが価値に変わる高分子材料

本物として安価でかつ大量に得られる自然材料のような高分子材料の材料開発を考えることである。これには住宅の生産方法の開発も同時に行われなければならない。

(2) 短期的未来住宅に望まれる材料の課題は、個別の部品・材料の性能より優れたトータル性能を確保し、現在のものにとって変わる材料を考えることである。住宅に高分子材料を使用するメリットは、1) デザインの自由性、2) 成形加工性、3) 部品の統合による加工組立の簡易性、4) 防錆性、耐腐食性、5) 耐高温高湿性、6) 軽量性、7) 成形との同時着色性、8) 高寸法安定性などが主なものである。これらの性能を超える性能の開発が高分子材料には期待される。未来住宅のための高分子材料開発課題

には表1に示すテーマが考えられる。

生活に密着した材料開発のためには、これらの高分子材料開発の結果、どういう住宅をつくることができるかを実験住宅の形で提示し、ユーザによる実験住宅の評価を経ることが必要である。このようなプロセスを含めて実行した時に未来住宅のための材料開発という設定が意味をもつことになる。

岩井一幸
東京家政学院大学・教授
1939年千葉大学卒。製科研を経て1989年より現職。
専門は生活システムデザイン。

未来都市と住空間

Short comment

防火性の高い高分子材料

Fire-Retardant Polymeric Materials

21世紀における高分子材料は、木材、鉄・アルミ、ガラス・セメントコンクリートなどに並び、生活に欠くことのできない汎用材料の役割を担うことになるであろう。汎用材料の使用量（容積）とその価格には反比例の関係があり、価格低減は高分子材料汎用化の必須要件である。一方、安全性への要求はますます高まる。人間が居住する住宅の主要材料が、燃えやすい木材である現在の状態は、いつまでも許されることではない。

材料の価格に、今後大きなインパクトを与える要因として環境との調和がある。例えば、100年以上の長期にわたって再利用可能な建材を開発できれば、他のリサイクルが困難な材料の使用自粛や、リサイカブルポリマーの使用を促進する制度導入などにより汎用化の道が拓ける。一方、燃えにくい材料はリサイクルを困難としてきた。したがって、難燃性建材の普及を図ると同時に、マテリアルリサイクルを可能とするシステムを新たに構築し、リサイクル問題を解決するべきである。

今日、マテリアルリサイクルで脚光を浴びているアルミニウムも、半世紀前は高価な材料であった。1960年代には精密な異形押出加工や耐食・発色技術の進歩があり、アルミニウムのサッシ、アコーデオンカーテン、パーティション、屋根材、ビル外壁材などの用途が拓け、現在では建材として確固たる地位を占めている。1970年代半ばにはアルミニウム軸組工法も開発されたが、普及はしなかった。熱・電気の高導体を柱・梁に用いると結露・漏電が懸念され、また金属の輝きと冷たい感触もその印象を助長し不利に働いたに違いない。屋内

小田 英輔

Eisuke ODA
(社)電線総合技術センター
センター長

での使用において、高分子材料にはこのような問題は無い。木材に代わって住宅を火災から守るため、住宅構造の基本となる柱・梁の難燃化を命題とし、かつリサイクルについても考慮し、候補ポリマーを提案する。

ポリエステル系液晶ポリマー

剛直な分子鎖が成形方向に配列し (extended chain molecule) 結晶化する特長を利用し、ポリエステル系液晶ポリマーを用いて精密なプロファイル押出により柱・梁を製造する。曲げ剛性が最大となる異形断面構造とし、切断後に端部となる位置には軸組工法に適した嵌合部品を、また柱・梁の所定の間隔に、壁パネル組立用嵌合部品をインサート、または射出成形を組み合わせ一体成形する。この柱・梁は剛性、耐クリープに優れ、アルミにはない制振効果もある。標準化され、かつ最適設計により軽量化された柱・梁は、建設現場での組立性が天然木材や金属を上回る。

防火性能については、ポリマー自体が難燃性であり、塩素、臭素などのハロゲンやアンチモンを含有しないため、住宅用材料として最適である。リサイクル性については、嵌合により組み立てるので、住宅を取り壊す際の解体・回収が容易である。経年劣化せず、簡単な洗浄と押出時の異物除去により、新ポリマーと同様の加工が可能である。ポリマーの価格が高い点は、国民の環境保全へのコンセンサス形成を待って克服するべき課題である。加工コストの問題もあり、超大型押出機の開発など、国の補助を必要とする。

超高分子量ポリオレフィンの配向結晶とノンハロゲン

難燃化

ポリエチレン・ポリプロピレンなどポリオレフィン
は、建材としては可燃性で剛性、耐クリープが低いこと
が欠点であるが、超高分子量ポリマーの採用と高度に配
向（折り畳みを抑え）、結晶化させることによりこれらを
抑制する。超高分子量ポリマーを加工して Extended
chain molecule 構造を発現させるには、例えばロング
ダイによる超高压押出のような特別の装置を必要とする
であろうが、ポリエステル系液晶ポリマーの場合と同
様、異形断面構造の柱・梁のプロファイル押出を行う。

難燃性の付与については、軽量・安価な材料である利
点を活かし、柱・梁表面露出部に感触の改善と化粧効果
も兼ね、2色押出によりノンハロゲン難燃ポリオレフィ
ンの層を設け、内部を保護する。難燃化技術としては、
燃焼時の発生熱量を極小とし（火災荷重の増大回避）、ま
た、黒煙、刺激臭の発生が少ない無機フィラー高充填な
どの方法を採用する。

リサイクルについては、回収は容易であるものの、超
高分子量ポリマーを使用するので用途は限定され、特別
な装置により製造される柱・梁への再利用になろう。

無可塑塩ビの RIM、塩化水素捕捉剤配合

汎用材料として唯一の難燃性プラスチックである塩ビ

は、廃棄物処理・処分時のダイオキシン、鉛問題が懸念
されているが、建材用クローズドシステム構築を狙い積
極的な活用を考える。柱・梁自体は耐熱性を必要としない
ので、鉛安定剤を不要とする塩ビの RIM（反応成型）
を採用する。異形断面構造の柱・梁を押出加工する点は
他候補材料と同じであるが、可塑化効果をもちグラフト
重合しやすい多官能性モノマーを塩ビに配合し、押出後
モノマーをグラフト重合させ剛性を高める。モノマー配
合量は押出加工時の塩ビの熱分解を抑える程度の少量に
留め、剛直な塩ビポリマーに大きな剪断力を与え、配向
効果により高強度を得る。成形後の重合反応は、低線量
のガンマ線照射により行う。柱・梁の表面露出部分には、
炭酸カルシウムなどの微粉を塩化水素捕捉剤として
多量配合した層を設ける（2色押出）。

塩ビのリサイクルには特に十分な配慮が必要である。
住宅を取り壊す際の解体は容易でほぼ 100% 回収でき
る。可塑剤の代わりに用いたモノマーがグラフト重合時
に網状化するので、機械的・熱的特性が高められている
反面、熱可塑性を失っている。もとにもどすには、多量
の放射線照射や薬品処理など、グラフト枝を解重合させ
る方法の開発も必要となろう。

吸熱・蓄熱・呼吸高分子材料

Polymeric Materials for Absorption・Storage of Heat and Respiration

これからの産業の発展は、地球的規模の環境、資源エ
ネルギーに関する諸問題を同時に考慮せずには困難とな
るであろう。これらの問題は、つきつめればわれわれ一
人一人の生活環境を安全で、かつ快適とすることができ
るかかどうかである。若年層人口の減少や高齢化社会の
熟成といった深刻な社会問題の解決にも共通するもの
と思われる。そこで、われわれの生活の基礎というべき住
居の構造材料について、上記したような問題の解決と快
適な生活空間の創造の可能性を念じつつ、日頃抱してい
る願望や夢について述べさせていただく。

住居を構成する材料のうちで、特に外壁や屋根に使用
する材料に、図に示すような熱と気体に関する機能を付
与した高分子材料が適用できないものであろうか。

すなわち、熱に関しては昼間の太陽熱を積極的に吸熱
し、これを蓄熱すると同時に、夜間に室内に放熱する機
能である。蓄えた熱をヒートポンプやヒートパイプによ
り蓄熱密度を増加させて冷暖房用媒体に伝達すればさら
なる有効利用が果せるであろう。気体に関しては屋外の
酸素を吸収し、これを室内に供給すると同時に室内の炭

田中 真人
Masato TANAKA
新潟大学工学部
化学システム工学科
教授

酸ガスを屋外に排出するようないわゆる呼吸機能であ
る。さらに、気体に関しても蓄積機能を持たせれば、室
内で発生する炭酸ガスを濃縮することが可能となり、植
物による固定化、すなわち、室内菜園システムを構築す
ることができる。このことは、水蒸気に対する呼吸機能
をも付与することにより支援されるし、また、室内の調
湿も可能となる。これらの機能を一つの高分子材料に付

図 吸熱・蓄熱・呼吸機能のモデル

与することが困難であったり、あるいは、たとえ付与することが可能であっても住宅全体の構造安全性、火災安全性、耐久性等を満足することが困難であれば、一部の機能（例えば、気体の呼吸機能）を窓ガラスの代替材料に付与すれば十分効果は期待できる。また、一部の機能を発現する材料をカプセル化して構造材料中に傾斜配合するような方法も考えられる。このような吸熱、蓄熱、呼吸機能は、液晶の分子配向が電氣的刺激によって制御できると同じように、そのマイクロ構造が外部刺激（温度、

O_2 , CO_2 , H_2O 等の気体濃度）によって制御できるという特性を高分子材料に付与することで発現できないであろうか。例えば、熱や特定気体によって分子構造が可逆的に変化するような機能（分子構造の変化による熱の吸排出、包接化合物のような特定分子の捕獲）である。このような高分子材料が開発できれば、生活環境は大きく変化するであろう。

素人の夢物語として終わってしまいそうな内容であるが、未来の材料開発の目標にはなるであろう。

液晶シャッターウインドウ

Liquid Crystal Shutter Window

電圧の印加によって白濁状態から透明状態に変換させる調光ガラスはすでに実用化されている。これはネマチック（糸状のという意味）液晶が電界方向に配向する性質と高分子のマイクロカプセル技術を利用している。われわれはネマチック液晶とアクリルモノマーの溶液をUVで重合相分離させることによって、SEM写真で示されているようなネマチック液晶中にアクリルポリマーの三次元網目構造を形成したポリマーネットワーク液晶(PNLC)を開発した。SEM写真にはPNLCの表面（左上）と断面（中央右）が写っており、白い部分がポリマーの網目で、その間がネマチック液晶である。棒状で20～30Å位の長さのネマチック液晶分子はアクリルポリマーの界面に水平に配向する。網目状のポリマーの向きはランダムであるので、この界面に水平に配向した液晶分子は全体としてランダムに配向する。ランダムに配向した液晶の屈折率の異方性と網目状のポリマーのため、表面方向から入射した光は異なる屈折率の部分を何回も通過し、散乱して白濁状態となる。電圧を印加すると、

高津 晴義

Haruyoshi TAKATU
大日本インキ化学工業(株)
記録材料技術本部
グループマネージャー

液晶分子は電界方向すなわち写真の表面に垂直に配向し、表面から入射した光は一定の屈折率の部分を通過するので透明となる。PNLCは従来のマイクロカプセル化法のものと比較すると低電圧で駆動することを特徴とする。従来の調光ガラスは60V以上の電圧を印加しないと駆動できなかったが、PNLCで作製すれば5V以下で駆動することができる。このため数字や文字を表示することも容易である。ネマチック液晶相を示すアクリルモノマーなど新しい材料の開発によって、表示特性は飛躍的に進歩してきている。

高分子と液晶を用いた研究は世界中で精力的に行われている。オフ時透明、オン時白濁の逆モードも開発されている。さらに、高分子の機能と液晶の特性を利用して電子新聞や高品位テレビも具体的なものとなっている。情報の表示も兼ねる液晶シャッターウインドウを実現するための基本的な材料と技術はすでに研究されているといってもよいだろう。

PNLCのSEM写真

瞬間調光ガラス（日本板硝子(株)カタログより引用）

未来都市と住空間

Short comment