

平成 8 年度調査報告書
NEDO-IT-9602

先進複合材料技術に関する調査

平成 9 年 3 月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先 株式会社日鉄技術情報センター

先進複合材料に関する調査

株式会社 日鉄技術情報センター

平成9年3月 116頁

調査目的：先進複合材料は、その特徴的な性能から、強度・剛性等の力学的性能の向上を強く追求してきた。そして各種の構造の軽量化に著しい貢献を果たしてきた。今後もこの優れた性能に加えて非強度的な機能、例えば生物との親和性あるいは選択的吸着性による環境浄化、耐熱性等によるエネルギー開発等の複材料の高機能性の可能性追求は必要である。

本調査においては機能性に重点をおいて課題を抽出し、先導研究から国家プロジェクトに結び付ける開発課題を提案することを狙いとした。

| | |
|----------------------------|-----|
| 目次 | i |
| まえがき | ii |
| 調査実施責任者、委員・協力者名簿、報告書執筆分担 | iii |
| 概要 | v |
| I. 本 文 | |
| 1. 先進複合材料の従来までの経緯と機能複合の意義 | 1 |
| 2. 先進複合材料の機能の現状 | 13 |
| 2. 1 先進複合材料の耐熱機能 | 13 |
| 2. 2 先進複合材料の電気・電磁気機能 | 15 |
| 2. 3 先進複合材料の耐薬品機能 | 19 |
| 2. 4 先進複合材料の吸着機能 | 28 |
| 2. 5 先進複合材料のその他の機能 | 35 |
| 2. 5. 1 防振・耐振機能 | 35 |
| 2. 5. 2 トライボロジー機能・エロージョン機能 | 41 |
| 2. 5. 3 音響機能 | 44 |
| 2. 5. 4 生体適合機能 | 44 |
| 2. 5. 5 その他の機能 | 47 |
| 2. 6 まとめ | 50 |
| 3. 今後の重要な課題 | 55 |
| II. 事 例 | |
| 1. 事例の要約 | 56 |
| 2. 事例 | 63 |
| むすび | 116 |

ま　え　が　き

本調査研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構から、平成8年度事業として委託を受けて実施したものである。

先進複合材料、特に纖維強化複合材料は、そのすば抜けた引張特性と低比重の故に、各種の構造の軽量化に著しい貢献を果たしてきた。すなわちこの材料は、引張特性と比重の比である、比引張強さ及び比引張弾性率が、他材料ではとうてい追随できない優れた性能を持っていることによって各種構造の軽量化に大きく寄与してきた。このような優れた先進纖維強化複合材料の性能が、単に工学及び技術上の進歩に留まらず、甚大な経済効果もまたもたらしてきた。他の視点から見ると、原料素材特に炭素纖維の、ゆとりのない高価格により、これらの高強度特性によって差別化を追求してきたともいえる。

先進纖維強化複合材料は、基本的には纖維強化材とマトリックス（母材）によって構成されるが、纖維強化材あるいはマトリックスの属性に起因する、非強度（ここでいう強度性能は比引張強さと比引張弾性率に限定する）的な、そして有用な機能がある。しかし従来はあまりに傑出した強度性能の故に、省みられることの少なかった、これらの非強度的な機能に改めて注目して、その活用あるいは産業化に資することを目的として調査研究を実施した。

同一材料であっても、見る視点が変われば、新しい材料になり、新しい視界が拓けるはずである。それによって新しい産業が興る可能性もある。ただその視点が妥当であるか否かについては、どれだけの必要性、必然性があるか、そして実績があるかが、本質的な鍵となるはずである。先進纖維強化複合材料が、狭い市場から脱出して、大きな展開をはかるのは、経済的必然である。問題は、具体的に新適用分野を見出せるかである。

本調査研究では、先進纖維強化複合材料の非強度機能について、実績に関する事例を収集することに努めた。委員会委員の多大な努力だけではなく、20名近い学識経験者の御協力をえて、若干の重複はあるにしても、190件に近い実績事例を収集できた。これは予想を遥かに越える成果であった。またこれらの事例に基づいて、今後の重要な開発課題を抽出することができた。なかには国家的な経済効果を期待される課題もある。

本調査研究の報告書は、先進纖維強化複合材料に関する新しい“機能複合”のコンセプトを提唱した。このことは技術あるいは工学に新しい方向を示すだけでなく、産業界に新しい視点と新しい市場開拓の指針となろう。

本調査研究を実施し、報告書を作成することができたのは、委員会委員の方々の多大な御尽力と共に、多くの学識経験者の方々の熱心な御協力によるもので、深甚なる感謝を表する。また委員会の運営あるいは報告書の作成等に懇切なる御指導、御助言を賜った新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術研究開発部に深く感謝する。

平成8年3月

先進複合材料技術調査委員会

委員長 牧 廣

調査責任者 牧 廣 拓殖大学 名誉教授

委員名簿

委員長 牧 廣 拓殖大学 名誉教授
委員 張 惟敦 石川島播磨重工業株式会社 技術研究所 航空宇宙開発部
委員 高橋 淳 工業技術院 物質工学工業技術研究所 複合材料部 主任研究官
委員 松井 醇一 元東レ株式会社 複合材料事業部門長補佐
委員 酒谷 芳秋 株式会社モールドシステム 技術顧問
委員 佐藤 公隆 株式会社日鉄テクノリサーチ 営業企画部 部長
委員 林 龍一 元工業技術院 物質工学工業技術研究所 複合材料部 部長
現財団法人 日本産業技術振興協会 技術情報部長
委員 村山 邦彦 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 部長

オブザーバー名簿

山中 唯義 通商産業省 環境立地局 液化ガス保安対策室 室長
久保村健二 新日本製鐵株式会社 技術開発本部 先端技術研究所 化学研究部 部長
河野 太郎 同上 主任研究員
加藤徳三郎 三井物産株式会社 機能樹脂部 機能材料室 課長
伊東 賢宏 新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術研究開発部 研究開発課

協力者

赤坂 隆 中央大学名誉教授
今井 義一 日本カーボン株式会社
植村 益次 東京大学名誉教授
大石 不二夫 神奈川大学教授
亀田 謙一 ダイワ精工株式会社
神徳 泰彦 宇部興産株式会社
酒井 直樹 東邦レーション株式会社
島崎 賢司 東邦レーション株式会社
進藤 昭男 元工業技術院
杉田 稔 清水建設株式会社
高橋 儀徳 有限会社産業資材新聞社
林 直義 株式会社本田技術研究所
福島 敏夫 建設省 建築研究所
藤井 幹也 日東紡績株式会社

協力者

| | |
|-------|-------------------|
| 百島 祐忠 | 株式会社コンポジットシステム研究所 |
| 森田 幹郎 | 富山県立大学教授 |
| 柳沢 健一 | 石川島播磨重工業株式会社 |
| 山下 秀 | 三菱電機株式会社 |
| 吉川 高雄 | 財団法人鉄道総合技術研究所 |
| 小島 昭 | 群馬工業高等専門学校教授 |

報告書執筆分担

| | |
|-------------|-------|
| 第1章 | 牧 委員長 |
| 第2章 | |
| 2. 1 | 林 委員 |
| 2. 2 | 高橋 委員 |
| 2. 3 | 松井 委員 |
| 2. 4 | 張 委員 |
| 2. 5. 1 - 2 | 佐藤 委員 |
| 2. 5. 3 - 4 | 牧 委員長 |
| 2. 5. 5 | 河野 委員 |
| 2. 6 | 牧 委員長 |
| 第3章 | 牧 委員長 |

調査事務局

片山 力 株式会社日鉄技術情報センター 取締役 調査研究第2部長

報告書の概要

先進複合材料特に纖維強化複合材料は、他の追随を許さない、しば抜けた強度性能によって多くの技術革新、特に各種構造の軽量化に裨益してきた。最たるものは宇宙開発、航空機製造に関する革新等である。これは単に技術上の進歩・発展に留まらず、経済的な寄与も甚大であった。

先進纖維強化複合材料は、すでに1／4世紀を越える歴史を持つが、常に“より強く”、“より剛で”そして“より軽い”ことを追求して、ひた走りに走り続けてきた。これを経済的な面から見ると、かなり高価な材料であることから、強度性能に、材料としての差別化を求めてきたともいえよう。

同一材料でも、見る視点が変わると、新しい材料になり、新しい視界が拓かれる。その結果として新しい産業が興る可能性がある。そのような事実をわれわれは科学技術史に見てきた。ただこの視点が妥当であるかが問題であって、それには技術的あるいは経済的な必要性、必然性の有無、そして実績の有無が重要な鍵である。本調査研究委員会は、新しい視点として、先進複合材料の機能を探り上げた。

さて先進纖維強化複合材料が狭い分野や市場からの、脱出・展開を求めるのは経済的に切実である。そして本調査研究委員会が努力して収集した機能に関する実績や事例は、多少の重複、また可能性に留まるものを含めて、約190例に上ったがこの意義は大きい。

報告書は“機能複合”という新しいコンセプトとその重要性を提案した。すなわち差別化ができる、非強度機能に軸足を置く開発研究を推進すべきであるという主張である。

本報告書はまず先進複合材料の従来までの経緯と機能複合の意義を述べてから、具体的な事例に基づいて、先進複合材料の耐熱機能、電気・電磁気機能、耐薬品機能、吸着機能、防振・耐振機能、トライボロジー機能・エロージョン機能、音響機能、生体適合機能について現状あるいは今後の可能性を考察した。さらに機能複合の事例に基づく細分類案を“その他の機能”的項で提示した。

今後の重要な課題としては、特に重要なものとして、長期寿命等に関するデータ・バンクの構築とLCA（ライフサイクル・アナリシス、次いで・アセスメント）のためのデータ・ベースの構築であり、また具体的な課題としては、その技術開発が単に産業の発展だけでなく、人類の生活の質の向上あるいは社会システムの一層の合理化等への裨益が大きいと予測され、しかも実現の可能性が高く、かつ実現の曉には、国家にとっての利益が大きいと予測される課題として、1) 機能複合材料の海洋構造物への適用の可能性と、2) 水の浄化システムの可能性の2課題について、なるべく早期に Feasibility Study (FS) を実施することが望ましく、その結果として、具体的かつ経済的な提案をえることが必要なことを述べた。さらに先進纖維強化複合材料を先端技術にとどめることなく、産業材料化をはかるためには、成形技術を革新して、例えば熱可塑性プラスチックにおける高生産性をはからねばならぬことを強調した。

Summary

Advanced composite materials, especially fiber reinforced composite materials (FRCM), have remarkably contributed to many technological innovations, especially making structures light weight by their unrivaled and outstanding mechanical strength. The greatest innovations were space developments and airplanes. These superior functions of FRCM have brought not only the technological and engineering progresses but also great economical effects.

Having the history over a quarter century, advanced FRCM has always pursued such characteristics as "being stronger", "being tougher" and "being lighter". As the materials are fairly expensive from a viewpoint of economy, they had been used making a discrimination with other materials in mechanical strength.

There should be a new viewpoint for even the same material if we change the point to observe it, and new industries will be expected if the viewpoint is adequate. We can find those facts in our history of science and technology. In these context whether that viewpoint is adequate or not is the point, and the key factors at that time are technological and economical necessities, presence of inevitability, and the actual results. This investigating committee had taken up functions of the advanced composite materials as a new viewpoint.

The advanced FRCM is badly needed economically to get out and develop from the narrow fields and markets. This investigating committee had eagerly collected about 190 examples, significance of which would be very great, of course some overlapping of practical results and examples on functions might exist.

This report has proposed a new concept of "composite functions" and its importance, and in which the development works based on non-strength functions which will differentiate the other materials have been stressed.

After describing the brief history of the advanced composite materials and significance of composite functions, the present situations and future possibilities of such functions as heat resistance, electricity-electromagnetism, chemicals-proof, adsorption, vibration-proof and resistance, tribology, erosion, sound, adaptability to living bodies and etc., have been examined based on the practical examples. Furthermore, a proposal for close classification

of composite functions based on the practical examples are presented in "the other functions" term.

As the future important subjects, in which especially important ones will be a construction of data banks both for service life of materials and for LCA (Life Cycle Analysis, then Assessment). And two practical problems to be investigated, 1) Adapting possibility of materials having composite functions to marine structures and 2) Possibility of water cleaning system, which developments would have great benefit to not only industrial developments but also improvements of our quality of life or rationalization of social systems, and furthermore, which developments would have possibility of realization and have great national benefits, have been proposed. It is also described that early feasibility study should be carried out for those two problems getting the practical and economical proposals. Furthermore, in order to make these advanced FRCM industrial materials without leaving their applications only in advanced technological fields, the need innovating their forming technology has been stressed, for example the need to get high productivity being equal to that of thermoplastic resins.

I 本文

1. 先進複合材料技術の従来までの経緯と機能複合調査の意義

(1) 複合材料とは

林等¹⁾が複合材料 (Composite Materials、以下CMと略す) 工学を提唱したのは、1970年代初頭であった。当時具体的に脚光を浴びていた材料は、ガラス繊維強化プラスチック (Glass Fiber Reinforced Plastics、以下GFRPと略す) であったが、複合材料を工学として体系つけるにあたって、その範囲、分類及び定義付けに多くの困難があった。

林等は繊維強化複合材料 (Fiber Reinforced、以下FRと略す) CMの他に、分散強化複合材料 (Dispersion Strengthened Composite Materials、DSCM) と粒子強化複合材料 (Particle Reinforced Composite Materials、PRCM) を並列させ、さらにFRCMについては、マトリックスの種類に対応して、繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastics、以下FRPと略す) 、繊維強化ゴム (Fiber Reinforced Rubber、以下FRRと略す) 、繊維強化セラミックス (Fiber Reinforced Ceramics、以下FRCと略す) 及び繊維強化金属 (Fiber Reinforced Metals、以下FRMと略す) に分類した。

また『異質で異形の材料を組合せ、合成することによって、単体では持ち合わせなかつ特性を実現し、要求に適合する優れた性質を持つ材料を創造する方法を材料の複合法といい、こうしてつくられた材料を複合材料という』を複合材料の定義とした。

この定義については、まだ特に異論を聞いてはいないが、多少の実用的な効果を示す混合系にも複合材料という名称が使われることが多く、定義としてはかなり曖昧な点が残っている。また複合材料という名称が特に“流行”していた頃は、色々な材料が複合材料と称されて、かなりの混乱があったのも事実である。

定義の問題はさて置き、特にFRCMを特性つける特徴に、引張特性を比重で除した値がある。すなわち引張強さを比重で除した比引張強さ（以下比強さという）と引張弾性率を比重で除した比引張弾性率（以下比弾性率という）である。これらの値は構造の軽量化に関して極めて重要なパラメーターとなるものである。比強さと比弾性率と一緒にして強度特性と呼ぶことにする。本調査研究での対象は非強度機能である。

なお本調査研究では、実績の点からFRCM、特に先進FRCMに範囲を限定した。また先進とは、一般に広く実用されている、いわば汎用のGFRPを除外した、炭素繊維 (Carbon Fiber、以下CFと略す) 等の高強度材料を強化材としたFRPを意味している。

ここで高強度繊維強化材としては、CF以外にも多数のものがある。しかし本報告では、前述のように、事例、実績に重点を置いたことから、事実上CFあるいはCFRPに重点を置く結果となった。

現在FRCとしてはカーボン繊維強化カーボン（以下C/Cと略す）が、ある狭い範囲で実

用化されているだけであり、F RMについては全般的にまだ研究の域をでていない。F RRについては、先進といえる材料がまだ見当たらない。

さて前述もしたように、本調査研究は先進F R CMの非強度機能に係わるが、しかし従来の経緯としては強度特性を中心としてF R CMは発展してきたものであり、これを無視することはできない。

F R CM技術は決して新しい技術ではなく、例えば粘土に切断藁を混ぜて“日干し煉瓦”をつくった例に見られるように、いわば人類の知恵として長く実用されてきた歴史を持つ古来からの技術である。

それにもかかわらず、複合材料が急激に注目を集めたのには、色々な理由があったと考えられるが、その一つにG F R Pの持つ材料としての画期性、すなわち従来日用雑貨品分野の域を離れなかつたプラスチック材料をして、構造材料分野（二次構造材ではあるが）へ進出させたということ、並びに構造工学における長年の夢であり、懸案でもあった構造の軽量化を具現化したことが、プラスチック技術界だけでなく材料技術界においても、画期的というよりもまさに革新的な進歩であった。

また産業としても、例えば日本のG F R Pは、初期段階で年率41%という極めて高い生長率を約10年にわたって持続した。またこの材料の実用による構造分野での経済効果は甚大であった。多くの関心を惹起するにはこれだけでも十分であったといえよう。

なお近代化学の成果としての複合材料には、G F R P以前にも色々のものが開発されていて、例えば1839年のグッドイヤーによるゴムの加硫技術の発明、続いて1888年のダンロップによるタイヤ構造の発明があった。コンクリート構造については、すでに古代ローマの大建築の具体例があるが、19世紀の半ばまではその原料として主として天然セメントが用いられていた。ポルトランドセメントがアスプロディンによって発明されたのは1824年であり、一方鉄も鉄器時代からの長い歴史のなかで技術革新が続けられてきた。これらの技術基盤に基づいて鉄筋コンクリートが実用されたが、フランスの建築家スプロ（1713～81）がパリのサント・ジュヌヴィエーブ教会（現在のパンテオン）の柱頭部分等に鉄筋コンクリートを用いたといわれている。

これらの技術は、当時の技術基盤の水準や時代背景等を考えると、G F R Pよりはるかに高い評価が与えられて然るべきであるが、G F R Pが複合材料工学の直接のトリガーとなったのも、それなりの時代背景と理由があったといえよう。

そこでF R Pにしぶり、まずG F R Pからの経緯を述べてから先進複合材料の機能を取り上げた意義を述べることとする。

（2）纖維強化複合材料の技術及び産業の開発経緯

1929年10月に始まった世界大恐慌の、特に米国における恐怖と悲惨さは、幾つかの戯曲として残り現在でも日本の芝居小屋で時々演じられている。

31年に米国の Owens Illinois Glass Co. は、この不況からの脱出を目的として、何とか新しい製品をつくりだそうと研究所の総力を結集してガラス纖維（G F）の開発に取り組んだ。G Fの目的は電気絶縁材料であった。後に Corning Glass

Work Co. も参加して、38年に始めて実用性のある繊維が出来たが、それまでに投資した研究費は500万ドルにのぼったという²⁾。なお後に、この成果を事業化するために Owens Corning Fiberglas Co. 通称 OCFが設立された。

不飽和ポリエステル（以下UPと略す）は American Cyanamide Co. と U. S. Rubber Co. でそれぞれ独立に研究が行われていたが、その成果が発表されたのが両社同時であり、しかも同じ40年12月号の Industrial and Engineering Chemistry (米国化学会誌) 誌上であった。

41年12月の日米開戦によって全面的な第2次世界大戦になったが、大戦中における特に米国での画期的な技術革新として誠に目覚ましいものが続出した。その1つがGFRPの発明である。良くいわれるよう、GFRPは当初軍需に支えられて実用化した。

Rosato³⁾によれば、米軍における電子技術上の要求から、戦闘機や爆撃機のレーダー・アンテナの保護のために、米空軍の Wright Air Development Center でGFRPと低密度コア（心材）によるレードームが設計、製作されたが、これが最初のGFRP製品であった。さらに44年3月24日にプラスチック製の胴による航空機BT-15の初飛行が空軍基地 Wright-Patterson で行われたという。その他にゴムライニングをして被弾してもガソリン漏れをしない軍用機用ガソリンタンク、上陸用舟艇、その他の軍需に支えられて、GFRP技術は開発されたことは良く知られている。

45年の第2次世界大戦の終結によって、GFRP産業界は非常な苦境に立たされたが、しかしOCFを中心とする民需産業への転換の技術及び市場開拓が行われ、現在のGFRP技術及び産業の基盤が確立されたといわれている。Rosatoによれば、舟艇、自動車、トラック、建設、装置・器具、コンテナ、電気材料、家具、配管、タンク等の重要な材料としてGFRPは成長した。例えばGeneral Motors は53年にCorvetteの車体に適用したことなどが挙げられる。

日本では第2次世界大戦によって、UPだけではなく総ての情報が完全に途絶してしまい、情報に関する世界の孤児になってしまった。米国等先進国の戦時中に開発された技術情報が日本で始めて公開されたのは、45年11月26日、日比谷の広大な焼け跡のなかに米軍によって建てられた簡素なCIU図書館であったが、その膨大な革新技術情報の大氾濫に日本の科学者、技術者は何から読んでよいかと著しい混乱をきたした。また彼我の技術格差は絶望的とまで感じた人も少なくなかった。

48年通産省東京工業試験所（現在物質工学工業技術研究所）の片隅で牧等によるUPの研究が始まられたのが、結果的に日本における複合材料研究の始まりとなった。そして米国におけるGFRPの情報が風聞として伝わってきたのが53年からであり、その後は比較的速く確実な情報が伝わるようになった。すなわち米国の下請けとして全原料支給によりGFRP製釣竿が小さい町工場（植野精工）で作られるようになったのは、52年後半からであった。これが結果的に日本における最初の製造実績になった。また53年には、例えば日立造船等が米国占領軍の委託によって上陸用舟艇の修理を行った。

広大な植民地を一挙に失い、また極めて多数の海外引上げ者を狭くて資源のない国土に迎え入れて、いかに国としての、また個人の生計をたてられるのかと模索していた人々にとって

G F R P の情報はまさに夢であり、希望であった。多くの企業あるいは人々がボート、いす、スキー等に群がるように飛びついたが、技術的な基盤が皆無であったためにほとんど全てが失敗に帰した。

また一方ではガラス繊維に関する深刻なトラブルが 53 年前後に起こった。すなわちすでに電線の絶縁用（電線に巻き付けて被服する）として、旭硝子の子会社である東海特殊硝子が無アリカリガラス繊維を、また日東紡が含アルカリガラス繊維を生産していたが、G F R P の将来性を睨んで、旭硝子は O C F からの技術導入を通産省に申請し、日東紡はこれに大反対をして、通産省の各局、各課を巻き込んだ騒動になった。しかし通産省の計らいで決着して旭ファイバーグラスが設立され、E ガラス繊維が市販されるようになったのは 57 年であった。

一方理研合成樹脂（現在の昭和高分子）と日本触媒は、53 年に通産省の研究助成金を受けて U P の開発を行い、同年の年末に理研は市販を開始した。日本における G F R P 産業は 53 年の暮れから始まった。

前述のように色々な試みはあったが、しかし産業としての最初の G F R P 製品は、全原料の輸入による本田技研のスクーター（商標ジュノー）・ボディであり、しかもプリホーム・マッチド・メタル・ダイ（MMD）法によった。53 年からであった。ただ数年後に折角の製品は生産中止になった。ほぼ同じ頃、新井武広商店がヘルメットを、やや遅れて寿商店が椅子を MMD 法で生産し始めた。汎用途的な最初の工業製品は波板であった。

林（当時東大教授）を会長とする強化プラスチックス技術協会が、55 年 4 月に創立され、化学技術者だけでなく航空機、舟艇、建築等いわば応用物理系の専門家との共同研究によって構造設計の開発研究を積み重ねたことが G F R P 工業の技術基盤を確立し、前述のような高い生長率で産業が生長する理由となった。

すなわち林自身が通産省の研究助成金（54 年度）によって、すでにセカンダリー・グライダーの製造及び飛行実験を行っていたが、協会の基本方針として構造設計者が使えるデータを作成、収集するという思想を提示して、まず自身が推進役となり、G F R P 試験板による基礎的な材料試験データを取得した。

星野（当時東大生研教授）が中心となって、通産省の研究助成金を得て行った波板の不燃化研究（56 年度）を飛躍板にして、波板の燃焼試験を色々と実施してデータを蓄積し、波板の標準化及び施工基準等の整備を積み上げることにより、建設省告示 277 号（61 年度）同 1968 号（64 年度）を取得した。これは建築基準法によって、屋根材は不燃であることと明確に規定されているにもかかわらず、G F R P 波板の使用を是認するというものであった。

また防衛庁技研の海法、丹羽、戸田等の積極的な助力により、またあるいは日本造船研究協会等の助成により、アキオ、ヨット、潜水艦の上部構造、掃海艇の構造の一部等を含む、防衛関連装具類の実績を数々と積み上げたが、竹鼻（当時東大助教授）を中心として舟艇関係のデータの蓄積が行われた。すなわち全国モーターボート競争連合会の助成により、B 級ランナバウト、B 級ハイドロプレーン、7 m 外洋艇等の成形実験や各種落下試験、破壊試験を積み上げて船体構造の設計基準を確立した。

以上が代表例であるが、このようにして協会を中心とする技術データを積み上げたことによつて、日本の G F R P 産業の技術基盤は確立した。

以上が一般に汎用F R PといわれているG F R Pの経緯である。

先進繊維強化材による複合材料の第2世代は60年前後から始まった。すなわち50年代後半より色々な繊維強化材が主に米国で開発され始めていたが、進藤（当時工技院大阪工業技術試験所）は、59年PAN（ポリアクリロニトリル）系の炭素繊維（CF）を発明（昭34.9.7出願）して、実質的に先進複合材料開発の幕を開けた。日本カーボンと東海電極は64年に汎用CFをパイロット規模で生産を始めている。

大谷（当時群馬大教授）は、64年にリグニン系及びピッチ系のCF（特公昭41-15728）を、さらに引き続いて68年（70年にSingerによって発明されたという説もある）にメゾフェース法によるピッチ系CFを発明した。クレハ化学は70年に汎用のピッチ系CFを工業化した（62年に奥田が発明したという説がある）。

林が赤坂（当時中央大教授）と牧（当時工技院製品科学研究所）を協力者として複合材料工学の思想¹⁾を提唱し、日科技連に構造用複合材料研究会を創立したのは67年であった。なお同研究会は75年に日本複合材料学会に発展して現在に至っている。

矢島（東北大教授）は75年にポリカルボシラン系SiCF（炭化けい素繊維）連続繊維を発明し、日本カーボンは85年に工業化、商品名をニカラロンとした。

英国のRoyal Aircraft Establishmentが64年に発明した緊張下加熱法によって、高性能CF（HPCF）の製造が可能になり、PAN系のHPCFを69年日本カーボンが、71年に東レが工業化した。同年東レの委嘱を受けて、林を委員長として製品科学研究所、機械技術研究所、日東紡績強化プラスチック研究所及び東レがCFRP製ライダーを目標とした構造特性の共同研究を行った。しかし72年頃からゴルフシャフトの、また翌年より釣竿のCFRP市場が急激に開拓されたため、この研究は自然に中止された。しかし米国では、この頃より航空機への実用化研究が本格的に具体化した。

75年に東邦レーションがHPCFを工業化、さらに数社が追随したが、東レ及び東邦レーションは米国及び欧州への技術供与を実施した。

81年、通産省は同省の80年代ビジョンに基づいて、次世代産業基盤技術研究開発制度を発足したが、その第一期計画の12課題の一つとして先進複合材料が採択された。

この研究課題では先進複合材料としてCFRPと共にFRMが取り上げられた。CFRPではプラスチック系耐熱性マトリックスの開発が主となり、新しい成形技術も幾つか開発された。なおその一つの発展、展開として基盤技術研究促進センターによる3次元織布の研究開発があった。FRMはすでに米国では相當に研究開発が進められていたが、日本ではその経験を有する者が皆無であったために、手探りで成形することから始め、2~3年かけてようやく評価することができる試験片を造れるようになったが、CF及びSiCFとアルミニウム合金及びチタン合金の複合物を対象として研究開発がなされた。この他に品質評価技術及び設計技術が開発され、またデータベースの構築も行われた。それぞれに大きな成果がえられた⁴⁾が、基本的には宇宙・航空分野を具体的なターゲットと想定して実施された研究の成果であった。大きい成果の一つにFRMの研究が可能になったことと、一方向材の引張強さがFRPでは常温で2.35 GPa、250°Cで2.11 GPa、FRMでは常温で1.47 GPa、450°Cで1.32 GPaの目標値を達成したことが挙げられる。このことは単なるFRCMの高耐熱強度化

を達成したことではなく、有機材料、金属材料、無機材料を問わず、このような温度領域で高強度の材料が初めて得られたというところに大きな意義があった。

また次世代研究の期間中に、日本の中小企業が開発したアルミナ強化アルミニウム合金をトヨタ自動車がエンジン材料として実用化したことが、世界中の関心を集めた。これは前述の分散強化複合材料（DSCM）である。この材料はエンジンでのピストン等の摺動部での耐摩耗性に優れているという特徴を持つ故に実用された複合材料である。

81年、工技院九州工業技術試験所はプリメゾフェース法によるピッチ系CFを開発した。

80年代の半ば頃、前述のメゾフェース法及びプリメゾフェース法の開発が刺激となって、化学工業、製鉄業、石油精製業、その他の多数の企業がピッチ系CFの工業化研究を活発に開始した。現在数社が生産しているが、一時は30数社が参画したと伝えられた。

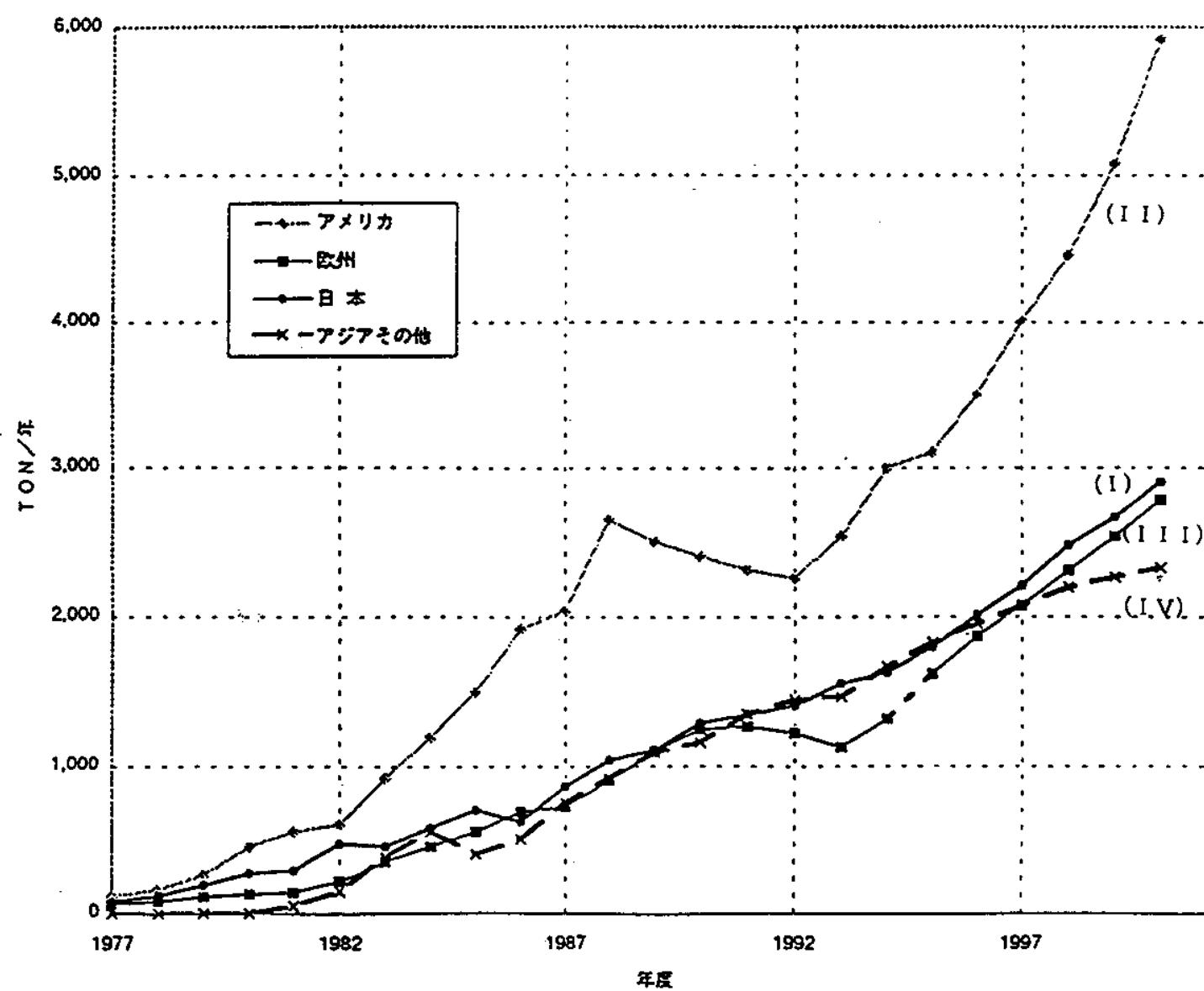
ピッチ系HPCFについては、まず85年に鹿島石油が、87年に三菱化成（現在三菱化学）が工業化した。

通産省資源エネルギー庁は、86年に石油産業活性化センター（PEC）を創設すると同時に、これらの趨勢を背景に石油精製業約10社による委員会を同センターに設置して、ピッチ系CFの応用に関する共同調査研究を始めた。石油精製業による複合材料分野への進出が始まった。

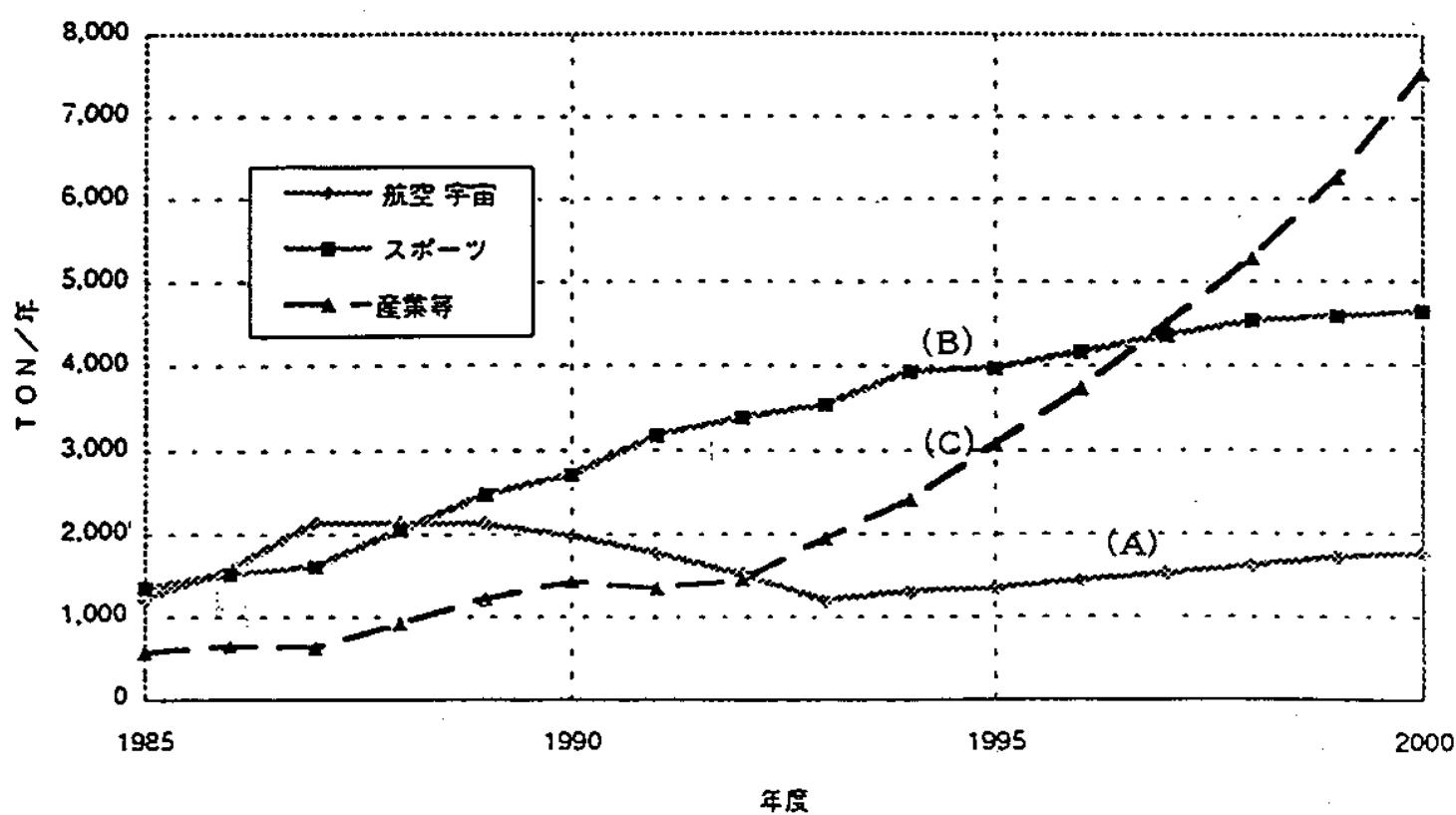
先進複合材料全体を通じて量的に多いのはPAN系HPCFによるCFRPである。第1-1図に日本（I）米国（II）欧州（III）及びアジアその他（IV）のPAN系CFの需要量の推移を示した。また第1-2図に航空・宇宙（A）スポーツ（B）及び産業用等（C）の3種類に分けてPAN系CFの需要量の推移を示した。特に比強度、比弾性率が要求される（A）及び（B）が特掲されるところに技術及び産業としての特徴が見られる。

需要構造の具体的な内容を挙げると

| | | |
|-------|------|---|
| 航空・宇宙 | 飛行機 | 主翼、尾翼、胴体等の一次構造材補助翼、方向舵、昇降舵等の二次構造材フロアーパネル、ビーム、ラバトリー座席等の内装材 |
| | ロケット | ノーズコーン、モータークース |
| | 人工衛星 | アンテナ、太陽電池パネル、チュープトラス構造材 |
| スポーツ | 釣具 | 釣竿、リール |
| | ゴルフ | シャフト、ヘッド、フェース類 |
| | ラケット | テニス、バドミントン、スカッシュ |
| | 海洋 | ヨット、クルーザー、競技用ボート、マスト |
| | その他 | 野球バット、スキー板、スキーストック、剣道竹刀和弓、洋弓、ラジコンカー、卓球、ビリヤード |
| 工業用 | | 自動車、自動二輪車、自転車、車両、機械、高速回転体、電機、圧力容器、化学装置、医療機器、土木・建築、その他の構造あるいは部品類 |



第1-1図 PAN系炭素繊維の地域別需要量の推移



第1-2図 PAN系炭素繊維の用途別需要量の推移

これらの他に最近では、短纖維系の熱可塑性プラスチックをマトリックスとするCFRPすなわち一般にCFRTP（炭素纖維強化熱可塑性プラスチック）といわれる複合材料による射出成形品が、スポーツ、工業部品の分野で使われている。

以上の各製品に適用された理由として、極めて多いのは軽量化すなわち比強度、比弾性率によるものである。しかしいずれもまだ量的規模が小さい。その理由は纖維強化材の高価格にある。

CFRTPに関して、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）の上市によって、長纖維CFRTPが80年代後半から注目を集めましたが、これはPEEKが熱可塑性プラスチックでありながら耐熱性に優れていることによるもので、従来のエポキシ樹脂等の熱硬化性プラスチックをマトリックスとするCFRPと比べて、プリプレグの貯蔵安定性の優れることへの関心であった。しかし結局は特殊材料の域を出なかつた。

総じて熱可塑性プラスチックをマトリックスとするFRTPには、その期待される特性から多くの魅力が感じられ、例えば纖維長2～3cm程度のGFを強化材とする、スタンパブル・シート（金属のようにスタンピング加工できるシート材料）が随分研究開発された時期があつた。しかし外観等を理由にあまり用途が拡大していない。

マトリックスとしての熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックでは、マトリックス自体の破断のび（ひずみ）を除けば、力学的固体物性にはほとんど大差がない。

大きく異なるのは、成形時の樹脂（プラスチック原料）の纖維への含浸挙動であつて、この差はある意味で決定的である。すなわち成形性に大きな差があつて、FRCPとしては熱硬化性プラスチックの方がはるかに有利である。にもかかわらず、現在までのところ、長纖維FRTPを熱硬化性FRPと同じような使い方あるいは代替的な扱いをしているところに、伸びない原因があると思われる。2次成形性などの成形性の差を上手に利用することが、今後の重要な課題であろう。

若干話がそれるが、射出成形を主体とするエンジニアリング・プラスチックは現在でも原料樹脂の価格は相当に高価である（汎用プラスチックに比べて約1桁あるいはそれ以上高価）。にもかかわらず現在では、用途によつては鉄製品までを代替し、またフェノール樹脂その他の古くからのプラスチックよりも量的規模が大きくなつたものが少なくない。

このようになるのに約1／4世紀の日時を要したが、生長した最大の理由は、成形技術と寸法精度の点に著しい向上があつたことに思いを致すと、FRTPはもとより、高価といわれるCFRPにしても成形技術特に生産性に関する課題は極めて多いし、このことが産業としての成長の重要な鍵であることを考慮すべきである。

以上にわが国の複合材料の歴史の一端を概説したが、通覧すると従来の技術の志向した方向、特に先進纖維強化複合材料では、すべてを挙げて“より強く、より軽く”という方向にひた走ってきた。すなわち比強さと比弾性率のより高いものを追い求め続けてきたのであつた。このことは、経済的な視点から見ると、複合材料特に先進纖維強化材が、ゆとりのない高価格であることから、強度性能によって差別化を追求せざるを得なかつたといえる。このことはまさに正解であった。しかし市場の拡大には限界があつた。

(3) 複合材料の機能性の調査研究の意義

前述したようにFRCMは、他材料では到底達成出来ない傑出した強度特性（ここでは比強度と比弾性率に限定する）のゆえに発展し、特に第2次世界大戦以降、より高強度の複合材料の研究開発がなされてきた。具体的にはプラスチック系の繊維強化複合材料すなわちGFRPとCFRPが歴史を支えてきた。

ここで改めて経緯を考察すると、GFRPは高強度材料であるけれども、航空機の一次構造材や宇宙衛星に使用できる程の性能にはいたっていないこと、主原料のGFとUPが高価ではないこと等がある、例えば水廻りの部材、すなわちバスタブ、浄化槽あるいは漁船、その他のいわば汎用的な構造に利用してきた。これらの分野ではほどほどの力学的性能だけではなく耐久性、特に耐薬品性等の“属性”が製品に実用的な価値を付与していた。

複合材料の第2期はCF等の先進繊維強化材の開発によって始まった。先進複合材料の時代すなわち第2期に入ることによって、始めて一次構造材としての幕が開いた。主体はCFそれもHPCFとエポキシ樹脂であって、航空機体だけでなく、宇宙開発にも大きく寄与する時代になった。これらの強化材を用いるFRP、FRMあるいはFRCは今後ますます研究開発が進み、より強く、より剛な複合材料と構造が追求されるのが技術的な必然である。またこの技術分野における、今後の夢の一つに従来の剛性設計から“極限的な“強度設計”を実現できる技術の開発がある。この技術が開発されると先進繊維強化複合材料以上の革新性が評価されよう。

すなわち第2期における技術開発の流れは、前述のようにひたすら強度性能の高度化を追求してひた走ってきた。それは材料としての差別化の追求という、経済的な必然性とも合致していた。しかし市場の拡大という面から見ると限界があった。

本調査研究委員会が提唱するのは、先進繊維強化複合材料の“機能複合”というコンセプトであり、市場の拡大である。換言すれば先進材料の産業材料化の提言である。

機能複合という思想は既に牧等⁵⁾が76年に提唱し、機能として電気、音響、遮音、熱、ガス透過性、難燃性、及び多機能を提示した。しかしながら内容に曖昧な点があったのと、時期的に尚早の感があったのは否めず、特に強度性能の追求の極めて急な時期でもあったため特別な関心は惹起できなかった。日本複合材料学会は89年に出版した複合材料ハンドブック⁷⁾で、複合材料の物性という取り上げ方をして、力学特性と同列に電気、磁気、光学、熱、防振・制振、化学、界面の各特性と、放射線特性を併記した。

従来一般に機能という用語はよく使われるけれども、内容が曖昧なことが多く、また時には感覚的な表現である場合もある。複合材料についても同様なところがあった。

本委員会では機能複合を次のように考える。すなわち従来の複合材料は前述もしたように、異質、異形の複数の材料の複合によるものとしているのに対して、「複数の機能を複合した材料」とし、当然その一つの機能に強度性能が含まれることもある。また3種以上の機能が複合される場合を多機能と考える。

具体的に述べると、前述のように先進複合材料は強度性能のみをひたすら追求してきたが、強度性能以外の機能に軸足を置いた複合材料の開発をも推進すべきであるという主張である。具体的には、差別化できる機能（単独であるか複数であるかは別として）の開発を推進すると

いうことである。

同一材料でも別の新しい視点が確立されると、それが妥当である限り新しい技術、新しい産業、そして新しい工学が開拓されるという実例を、科学技術史上にわれわれは見ている。ここで妥当性の有無であるが、それを決する一つが経済的必然性の有無であり、他の一つが実績の有無である。

経済的な面から見ると、宇宙・航空あるいはスポーツ・レジャー分野等の狭い市場から、もっと広い市場へと拡大するのは、現況から見て切実な要求であり、また必然もある。実績については、本調査研究で190件近い事例を集めることができたということから、十分であると考える。さてわれわれかず提唱する機能複合が技術として根づくためには、まず低コストの、例えば熱可塑性プラスチックの成形技術に匹敵する高生産性の成形技術の開発が必要であり、差別化を主張できる機能を見出すことである。次いで“機能”が設計できるか、設計のための理論を構築できるかが、重要な鍵の一つとなる。

(4) 複合材料の機能に関する複合則

以下の各章には先進複合材料の色々な機能と応用事例が示されるが、これらの多くは設計された機能というよりも、副産物的な機能をそのまま（場合によっては、助長して）利用しているに過ぎない。換言すればシーズ活用事例である。

本調査研究の目的の一つは、シーズ活用段階、すなわち産業ないし技術の発展の初期段階における、色々の事例の系統的な整理を踏まえ、次のステップへの提言を行うことである。その一つの重要な方向が、ニーズに合わせた機能の設計である。

すなわちもし色々の機能を構成素材の諸特性から推定する方法が確立されれば、個々の機能の最適発現設計に有用であることはもちろん、複数機能の同時最適発現設計なども可能ならしめるものとして期待できる（もちろん比強度、比剛性も設計可能な機能の一つである）。また逆に必要とされるニーズを達成するためには、どの構成素材の、どんな性質を、どこまで改質すれば良いかを具体的に知ることも可能となり、これまでむやみにチャンピョンデータを競ったり、玩具的機能の創製に走ってきた素材業界に対して、はっきりとした開発ターゲットを与えることが可能になる。

この種の複合則的な理論的、実験的研究は前述の複合材料ハンドブック⁷⁾に詳しく紹介されており、多くの機能が素材の複合化によって効果的に（あるいは複合化によって始めて）発現可能であることと同時に、弾性率や熱膨張係数以外にも、多くの機能が理論的に設計可能であることが述べられている。代表的な機能については、次章以降に述べられるので、第1-1表に上記のハンドブック⁷⁾に示された結果のみを簡単にまとめた。すなわち理論的設計がおおむね可能となっているのは、力学的、熱的性質と電気的、磁気的性質の一部に限られるのが現状であり、防振、制振、界面物性については、一部に理論的研究がみられるが、まだまだ未確立の分野である。また化学的性質、光学、放射線特性については、実験的検討に留まっている場合が多いが、上述の他の機能との同時発現が期待される分野であり、今後の理論的研究の進展に期待したい。

いずれにせよ第1-1表に見られる機能と、次章以降の事例に見られるものを比較すると、

工業化が検討されているものは、発現可能な機能のうちのごく僅かであることが具体的になつた。本報告書の事例並びにその系統的な分析を踏まえ、今後さらに多くの機能性複合材料の研究開発、なかでも理論的設計への新たな試みが活性化することを期待する。

第1-1表 複合材料として研究されている主な機能とその複合則的予測の可能性

| 主な機能（ここでは力学的性質を含む） | | 複合則的予測 |
|--------------------|---------------------------------|--------|
| 力学的性質 | 弾性率／振動特性 | 理論式有り |
| | 強度／疲労／韌性／耐衝撃性 | 実用式有り |
| 熱的性質 | 熱膨張特性／熱応力／熱伝導率／断熱特性／遮熱特性／バイメタル | 理論式有り |
| 電気的性質 | 圧電特性 | 実用式有り |
| | 超伝導特性／誘電特性／絶縁抵抗特性／絶縁破壊特性／電磁波特性 | 概算可能 |
| | 電磁波シールド特性／超格子膜特性 | 未確立 |
| 磁気的性質 | 保磁力／磁性流体 | 概算可能 |
| | 高透磁率特性／高周波特性／磁気記録特性 | 未確立 |
| 防振・制振 | 防振・制振／摩擦・摩耗 | 一部可能 |
| 界面物性 | 吸水性／複合膜の透過／浸透膜／複合分離膜／複合イオン交換膜 | 一部可能 |
| 化学的性質 | 耐薬品性・耐食性／電食性／耐酸化性／電極材料／触媒／生体適合性 | 未確立 |
| 光学特性 | 吸収率／光磁気特性／光異性化反応／光ファイバ／透明耐熱フィルム | 未確立 |
| 放射線特性 | X線特性／電子線特性／中性子線特性 | 未確立 |

参考文献

- 1) 林 育編、複合材料工学、日科技連出版社（1971）
- 2) 牧 廣、米国におけるFRP工業（I）；強化プラスチックス Vol. 2、No. 5、p 29 (1956)
- 3) D. V. Rosato, Chap. 1 History of Composites; Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites, edited by G. Lubin; Polymer Technology Series of the Soc. of Plastic Engineers Inc. Pub. by Robert E. Krieger Publishing Inc. New York 1969.
- 4) 牧 廣編、次世代複合材料技術ハンドブック、日本規格協会（1990）
- 5) 牧 廣、島村 昭治編、複合材料技術集成、産業技術センター（1976）
本書は出版と同時に相当部数が頒布されたが出版社の倒産により購入できなくなった。
しかし島村が本書の一部の要約を次の6)として出版した。
- 6) 島村 昭治、宮入 裕夫、複合材料（複合化技術と材料の多機能化）、実教出版（1986）
- 7) 日本複合材料学会編、複合材料ハンドブック、日刊工業新聞社（1989）

2. 先進複合材料の機能の現状

2. 1 先進複合材料の耐熱機能

工学的な面から耐熱機能を考えた場合、高温特性と低温特性に分けられ、耐熱性能と断熱性能が求められるためには、熱膨張率や熱伝導率の測定と評価が素材から複合材料、その部材と製品まで必要とされる。また、信頼性ある設計データも必要とされる。

21世紀初頭に向け、航空・宇宙分野においては、スペースプレーン（大気圏では空気吸い込み式エンジンで加速し、大気圏外ではロケットエンジンで推進する超高速航空機）や超音速機（SST）、極超音速機（HST）、メタン燃料航空機などが、また、新エネルギー分野では、石炭ガス化発電、核融合炉などの様々な計画が提案されているが、これらの実現のためには、超高温などの極限環境下での耐熱性、耐摩耗性、耐酸化性、耐衝撃性、高比強度、高比剛性など、既存材料では実現不可能な要求性能を満足する構造材料が必要不可欠とされている。特に、スペースプレーンの構造部材、ガスタービンの動翼、核融合炉の炉壁材などは、1000～2000°Cもの高温に曝されるなど、厳しい環境下で使用されるので、信頼性ある超耐熱機能が要求される。このため、通商産業省の産業科学技術研究開発プロジェクト「超耐環境性先進材料」¹⁾では、金属間化合物とともに、炭素繊維強化炭素母材（C/C）複合材料及びSiC繊維強化金属間化合物複合材料の研究開発が精力的に進められ、1997年度中には、試験片レベルながらほぼ目標を達成する見込みである。

耐熱材料としてのC/C複合材料は、一般にレジンチャーフ法で成形されており、摩擦・摩耗係数が比較的安定で耐熱衝撃性と熱応力性が黒鉛より優れていることから、現在では、航空機のブレーキディスクに需要が多く、米仏露が主要生産国である。欠点は、酸化雰囲気下での劣化が大きいので耐酸化被覆技術の課題が重要である。また、多孔性のC/C複合材料では、非酸化雰囲気下での高温断熱性が優れていることから、電子部品製造用の高温真空炉の断熱材としての用途開発がなされているようである。

セラミックス系の複合材料は、耐熱機能を備えた構造材料、機能材料として注目され、現在では、ガラスマトリックスが最も実用に近いとされているが、その脆性など、力学的特性の向上が課題となっている。金属系複合材料も、寸法安定性や高温における強度、剛性の高さから注目され、半導体産業分野等の装置部材への応用展開が考えられているようである。しかし、そのマトリックス自体の開発、界面反応への適応対応など、課題が多い。

また、遡れば、1981年度にスタートした同プロジェクト「複合材料の研究開発」においても8年間の成果として、当時の比強度及び比剛性の世界記録の樹立とともに、繊維強化樹脂系複合材料の耐熱性 250°Cを達成したこと²⁾が注目される。すなわち、21世紀初頭に開発が着手されると予想され、現在、欧米、特に米国で研究開発されているマッハ2～3の大型航空機においては、この耐熱樹脂系複合材料からなる構造部材が中心になると想されているからである。ここでは、-54～+180 °Cの熱サイクルを受ける構造材料が要求されており、上記の研究開発の成果が活用されるのではないかと期待される。高温断熱材としての炭素繊維強化樹脂系複合材料（CFRP）は、高温で樹脂が分解してガスを発生しつつ炭化する特性を用いた用途開発事例がある。これは、炭化層が不融で強化炭素繊維が構造を維持することから、宇宙往還機

の外表面タイルや油田採掘のプラットフォームにおける断熱補強等に活用されていることが注目される。極低温におけるC F R P の熱伝導率は、金属や他の樹脂系複合材料と比べ小さいことから、冷熱機器を支持する桁材に利用すると熱損失が少ない利点があることも見逃せない事例であろう。

さらに、熱膨張が極めて小さいC F R P では、繊維の種類、積層角度及び繊維含有率を適当に選ぶことで線膨張係数が零の部材を成形できる。これを利用して望遠鏡の機体や反射板などに利用していることが注目される。

以上、事例、研究開発等から、先進複合材料の耐熱機能を概観したが、全体として事例等が少なく、また、具体的データが公表されない場合が多く、強化繊維、マトリックス、更にその製造方法が変われば、その特性も大きく変化する恐れがある。そのため、今後の研究開発に当たっては、信頼性あるデータベースの構築が必要となろう。

参考文献

- 1) 林龍一：第1回超耐環境性先進材料シンポジウム講演集（1990）
- 2) 牧廣編：次世代複合材料ハンドブック、日本規格協会（1990）

2. 2 先進複合材料の電気・電磁気機能

2. 2. 1 電気・電磁気分野と複合材料

本書の第1章でも述べられているように、成形性や強度の向上を目的とする異種素材の複合化は古代エジプトの日干しレンガや縄文時代の焼き物にまで遡ることが出来る。これに比べれば、複合材料と電気・電磁気分野とのかかわりはずっと最近のこととなるが、やはり同様に「複合化による絶縁材料の強度向上」からはじまっている。具体的には、1907年、イギリス人ペークランドが合成樹脂絶縁材料としてフェノール樹脂（ここではこれを粒子分散強化プラスチック複合材料と考える）を製造し（商品名ベークライト）、電気機器に利用したのが始まりと言われている。これは電気的機能を持った複合材料という観点からだけでなく、最初のプラスチックでありかつ最初の強化プラスチックであるという歴史的意味を持っている。もちろん、繊維による強化を前面に出し、様々な軽量高強度用途（当初は軍事目的）へと展開するまでには、1930年代のガラス繊維の実用化と1940年代の不飽和ポリエステル樹脂の実用化を待つ必要があったが、電気機器分野においては、フェノール樹脂以来、電気絶縁性と力学的性質を兼ね備えた強化プラスチックが絶縁構造体として電子技術の発展を支えてきたことに変わりはない。

一方、現在の複合材料を語る上で欠かせない素材となっている炭素繊維の歴史もまた電気とのかかわりからはじまっている。すなわち、19世紀の終わり頃、エジソンが竹の繊維を炭化して作った炭素繊維を白熱電灯用のフィラメントとして実用化している。その後、タンゲステンフィラメントの出現と共に炭素繊維は一時期姿を消したが、1950年代になって米ソの宇宙開発用耐熱材料として炭素繊維強化複合材料が注目され、再び炭素繊維の開発が活性化されて現在に至っている。

このように、元来複合材料は電気とのかかわりの深いものであり、現に本報告書で集めた約190件の事例中48件が電気・電磁気機能に関するものであった。

2. 2. 2 事例に見られる先進複合材料の電気・電磁気機能

工学的な面から電気・電磁気的性質を考えた場合、超伝導・誘電・導電・絶縁・圧電・電磁波（透過・吸収・シールド）・保磁・透磁・磁気記録・磁性などの多くの特性があげられ、本書の第1章本文中及び第1-1表にも示されるように、複合化により効果的にあるいははじめて発現する機能も多い¹⁾。一方、第2. 2-1表は、本報告書の事例のうち、電気・電磁気機能を活用したものを機能・用途別に整理したものであるが、実際の事例としては、炭素繊維の導電性・発熱性やGFRPの絶縁性を利用したものがほとんどであることがわかる（全48事例中、導電性28件、絶縁性9件）。以下では、事例集に共通してみられた傾向と今後の可能性を述べる。

まず、事例の半数以上を占めたのが炭素繊維の導電性を利用するものであった。これは言うまでもなく炭素繊維の力学的性質と導電性の両者を活用するところにうまいがあり、他の機能性複合材料と比較して既に実用化されているものが多く、また今後が期待されるものも多いのが特徴である。中でも、「ネフマック（Hシリーズ）」（ネフコム（株）：事例番号026）

及び「ブライトガード」シリーズ（綜合警備保障（株）：事例番号107）は構造物の補強と同時に破損のモニタリングも可能となることで注目されており、繊維強化複合材料の比強度の大きさと炭素繊維の導電性の両者をうまく活かしたもののが代表例である。その応用分野は土木・建築分野を中心として今後も広がることと思われる。

やはりこのように、複合材料ならではの分野、すなわち「比強度・比剛性+電磁気的機能」（CFRPにおける導電性・X線透過性、GFRPにおける電波透過性など）あるいは「耐摩耗性+電気的機能」という分野を開拓することが大きな市場をつかむことにつながるようである。例えば、同じく導電性機能を利用する電磁シールド材や帯電防止材（事例多数、第2.2-1表参照）に関しては、加速のとどまるところを知らない情報化社会にあってますますニーズが高まると考えられるが、残念ながら現段階ではCFRPの比強度・比剛性のメリットを十分にアピールしきれておらず、コストの面で既存材料（銅やニッケルの短纖維を埋め込んだプラスチックスなど）の競合とは考えられていない。今後、強度と電磁環境適合性（シールド性や帯電防止性）を兼ね備えた構造体の電磁シールド壁などとしてアピールに工夫し、ニーズが増大することを期待したい。

ところで、炭素繊維が通電により発熱することを利用した事例（事例番号014、016）が見られたが、本調査の範囲内では成功例はなかった。その原因としては、端子の取り方が困難であることや、発熱による炭素繊維の酸化劣化が挙げられていた。ただし、端子については、最近、電気抵抗の差からCFRP積層板の層間剥離を検出する研究において、さほど発熱のない微弱な電流ではあるが安定して流すことが出来る（すなわち端子がうまく取れる）ようになったとの報告もあり、また、発熱による酸化劣化については、上述のネフマックの成功例もあり、これらの問題は確固としたニーズがあればそれほど大きな障壁とはならないと考えられる。このように、事例集では問題点とされているものでも、素材改質等により今後解決する可能性の高いものも多く見受けられた。

この他にも、リチウムイオン2次電池の他、各種電池電極としての炭素繊維関連材料が注目されているとの事例（事例番号009、010、068）や、各種電磁気機能を活用した興味深い応用事例が数多く紹介されているが、詳細は第2.2-1表を参考に個々の事例をご覧いただきたい。いずれにせよ、今後は、強度や電気・電磁気的異方性をうまく活用できる分野での既存材料の代替並びに新分野開拓が期待される。また、複合材料が設計できる材料であることを最大限活用し、ニーズに合わせた製品を開発するような形での素材からの出直しも今後の重要な方向の一つであろう。

さらに、以上の事例は、強化繊維の機能としての電気・電磁気的性質の活用がほとんどであったが、別の分野では、導電性高分子や圧電高分子などの機能性高分子に関する研究も多く出てきており、これらの分野との連絡を密にとることもまた、「構造として種々の機能を発現する」という特徴的な分野を開拓する近道と考えられる。

第2. 2-1表 事例 に見られる先進複合材料の電気・電磁気機能

| 電気・電磁気機能 | 用途 | 事例番号(概要) |
|-----------------|------------|---|
| 導電性 (主としてCF) | 電波吸収・シールド材 | 011, 113(電子機器からの電波漏洩防止) 025(SiCファイバ) 050(コイル状CF) 080(CuFRP) 084(ソフトフェライト) 094(フェライト粒子) |
| | 帯電防止材 | 011(ICチップ運搬用トレー) 017(衣類) 061(キーホルダ, コピヤー出口) |
| | 損傷センサ | 026, 107(コンクリート構造補強) 067(地下埋設ケーブル管) 154(SiC繊維強化Si3N4) |
| | 送電線 | 117(SiC/AIワイヤー) 124(長繊維強化AI) |
| | 電池電極 | 009(リチウムイオン電池) 010, 068(C/C) |
| | ブラシ | 015(C/C) |
| | ヒーター | 014 |
| | 漁網 | 016 |
| | 武器 | 013 |
| | スイッチ | 081(短繊維による導電性ゴム) |
| 絶縁性 (主にGFRP) | 超伝導用 | 082(安定化電線) 095(コイルバインダー) |
| | プリント回路基板 | 140(高速システム用) 141(移動通信分野) 146(中空GF) |
| | 超伝導コイルスペーサ | 041 |
| | がいし | 063 |
| | 耐熱部材 | 126(Si3N4繊維強化セラミックス) |

| | | |
|-------|---------|------------------------|
| 電波透過性 | レドーム | 085 (GFRP) |
| 電波反射能 | アンテナ | 086, 167 (CFRP) |
| 赤外光応答 | サーミスタ | 153 (SiC繊維) |
| X線透過性 | 医療機器部品 | 012 (CFRP) |
| 透磁率 | 磁性流体 | 078 |
| 高透磁率 | リアクトル鉄心 | 076 |
| 恒透磁率 | | 077 |
| 抗磁力 | 永久磁石 | 079 |
| 誘電率 | コンデンサ | 083 (複合化により温度による容量変化少) |
| 非磁性 | ボルト・ナット | 115 |
| | 安全靴 | 139 |
| 圧電性 | アクチュエータ | 152 (PZT繊維強化複合材料) |

参考文献

- 1) 複合材料ハンドブック, 日本複合材料学会編, 日刊工業新聞社, (1989), pp.276-324.

2. 3 先進複合材料の耐薬品機能

2. 3. 1 G F R P の耐薬品機能

G F R P (ガラス繊維強化樹脂複合材料) の発展の経緯を見ると、最初は軍事用の航空機、舟艇、電気機器などに使用されて性能の把握が行われたが、その後の利用の拡大は耐薬品機能を生かして木材や金属を代替したこと及び電気絶縁機能が積層板並びにプリント基板に賞用されたことが大きい。

木材や鉄は水回りで使用すると腐ったり錆びたりするが、G F R P (不飽和ポリエスチル樹脂をマトリックスとする) は腐らないし日光による劣化も少ない。そのうえ力学的性質に優れている、形状の付与が容易である、少量多品種生産が可能である、などの利点があるので住宅、建設、農・漁業、舟艇、車両、海洋、化学工業などの分野において広く使用され、日本のG F R P需要の60%を耐食機能に関連のある用途が占めている¹⁾。

- 住宅 : 浴槽、浴室ユニット、洗面ユニット、トイレユニット、浄化槽、水槽
- 建設 : 型枠、水道管、フェンス、ベンチ・椅子、補強筋
- 農漁業 : グリーンハウス、サイロ、ロッド、牛乳タンク
- 舟艇 : 漁船、遊漁船(047)、レジャー・ボート、ヨット、プロペラ(071)
- 車両 : 水タンク
- 海洋 : 波力発電(039)、深海探査ステーション、海中トンネル、石油掘削海上プラント、ウォーターフロント電柱、緊結用ケーブル(以上034)、移動式灯台、安全標識、浮消波堤、浮桟橋
- 化学 : 冷水塔(044)、タンクローリー、酸洗浄槽、パイプ・配管(060)、バルブ・ベーン(056)
- 環境 : 水処理設備(038)

() 内は今回の調査で実用又はその可能性がある用途について事例番号を示した。

冷水塔主架構を例に耐薬品機能の経済効果について述べる(事例番号044)²⁾。冷水塔は化学工業用冷却水の循環使用のための設備であり、従来は主架構の構造材には米松が使用されてきたが、建設後8~10年で大がかりな補修工事が必要であり、20年間運転するには初期投資の40%の補修費がかかる。そのうえ森林の乱伐をいましめる傾向が強くなり、木材の入手が難しくなってきた。このためG F R P引抜材が検討され、1000~3000トン/時級の冷水塔が実用化されている。G F R Pは耐食・耐久性に優れているので20年以上保守が不用であり、補修費は十分の一に減少した。一方、G F R P引抜材の寸法の標準化によりコスト削減をはかり、初期投資は木製の10~15%増にとどまっている。この例のようにG F R Pはトータルコストで木材より有利な場合がある。

ガラス繊維は無機酸、アルカリ、蒸熱には弱いが、マトリックス樹脂が繊維を水や薬品から

遮断しているためG F R Pとしては優れた耐薬品・耐水性を示す。このように複合材料の耐薬品機能はマトリックス樹脂、特に不飽和ポリエスチル樹脂の性質によるところが大きい。

2. 3. 2 先進複合材料の耐薬品機能

1970年代にはボロン、炭素、アラミド、炭化けい素などの高弾性率・高強度繊維が工業化され、その優れた力学的性質を特徴にした先進複合材料の応用が活発に進められた。マトリックスは樹脂、金属、セラミック、炭素が研究された。これらの中で実用されているのは炭素繊維で強化したエポキシ樹脂複合材料（C F R P）が最も多く、用途は航空機とスポーツ用品が大半を占め、建設、機械、自動車、エネルギーなど産業分野にも使用されはじめている。炭素繊維で強化した炭素（C/C）も少量ながら要求のきびしい用途に使用されている。アラミド繊維は圧縮強さが低くクリープ変形するため、2次構造材用途に限定されている。また吸湿が大きく耐薬品機能の点では特徴を見いだせない。

以下に炭素繊維複合材料の現状を述べる。炭素繊維は化学的に安定であり、高温の空気・酸素とか高温・高濃度の酸化性酸による酸化以外によっては劣化しない。したがってC F R Pの耐食性はG F R Pに比べて1クラス上であるが、ほとんどの用途ではその特徴を必要とせず、また高価格であり、耐薬品機能が一義的に評価されている例は少ない。

(1) C F R P の耐薬品機能

C F R Pの場合にも、耐薬品機能はマトリックス樹脂によって決まる。C F R Pは軽い、剛い、強いという特徴から航空機や宇宙機器においてアルミニウムの一部を代替してきた。この用途において、耐薬品機能はポジティブな意味ではなく問題点としてクローズアップされてきた。二、三の例について説明を加える。

- ① U C C社が開発した5員環状エポキシ樹脂E R L 4 6 1 7-m P D Aは層間せん断強さと曲げ強さに優れているが、吸湿すると硬化樹脂のガラス転移温度が低下し、高温下の強度の低下が著しい。これは1970年代初頭に宇宙機器について問題になり、C F R Pのホット・ウェット強度がC F R Pの重要な評価項目にとりあげられる契機となった。
- ② チバ・ガイギー社アラルダイト914は成形性の良いエポキシ樹脂であり、エアバスをはじめ欧州の航空機には広く用いられている。この樹脂は塗装時の溶剤の作用によって微小なクラックを生じる。そのためにC F R Pが破壊することはないが、かといって見過ごすわけにもいかないと言われている。914以外の樹脂でも耐溶剤性は注意が必要である。航空機は、溶剤以外に作動油、燃料、氷の融解液が触れるため耐薬品性の評価が重視されている。
- ③ エポキシ樹脂は太陽光によって容易に劣化する。D G E B P A（例えばエピコート828）-D I C YとかT G D D M（例えばアラルダイトM Y 7 2 0）-D D Sの場合、自然暴露すると、2~3か月で表層部の樹脂が分解して粉末になり除去され炭素繊維が露出する。引張、曲げ、層間せん断強さは10年暴露しても低下しないが、外観品位で判断するとエポキシ樹脂複合材料の耐久性はきわめて短い。この対策としてウレタン樹脂などを塗装することが行われており、耐光劣化性は問題にはなっていない。なお、G F R Pに用いられている不飽和ポリエス

テル樹脂は耐光劣化性に優れているが、炭素繊維と組合させた例が少なく、これから検討課題である。

④ マッハ2以上で飛行する超音速航空機はマトリックス樹脂に耐熱性が要求される。耐熱性と韌性を兼ね備えた樹脂としてサイアネットエステル樹脂があるが、260°Cにおいて加熱するとわずかではあるが質量が減少し、観測時間内(5000時間)で減少し続け一定にならない。極言すれば最後には樹脂がなくなってしまうことになり、長期運用を前提にすると使用できないという。

ここに例示した通り航空宇宙用途では、耐薬品・耐環境機能について未解決の分野があり、日本が新規の国際共同開発に参画するのであれば、なすべき研究課題はある。

(2) PTFEの耐薬品性能

PTFE(例えばテフロン)は耐薬品性の樹脂であり、耐熱性、耐摩擦・摩耗性にもすぐれているので炭素繊維と組合せてガスケット、パッキン(事例番号018)、メカニカルシール(事例番号069)に使用されている。この場合、炭素繊維は高強度タイプである必要はなく、汎用タイプのマットや組物にPTFEのエマルジョンを含浸したパッキンは強酸から強アルカリにも犯されない。広く使用されている石綿の使用可能なpHの範囲は4~10、PTFE含浸石綿はpH2~12であり薬液が限定される³⁾。PTFE繊維にPTFEエマルジョンを含浸したパッキンもあり、可使用pH範囲は炭素繊維を用いた場合と同様であるが、クリープ変形の大きいところが欠点である。PTFE含浸炭素繊維のガスケットを熱濃硝酸中の摺動材に使用した例では、炭素繊維が酸化によって徐々に損耗し、最後にはマトリックスのPTFEのみが残った。炭素繊維は酸には強いが酸化には注意が必要である。

(3) 炭素をマトリックスにしたC/Cの耐薬品性能

炭素をマトリックスにしたC/C(CCCとも呼ばれる)は全てが炭素からできているため耐薬品性、耐熱性に優れている。ただし酸化雰囲気では短寿命である。この特徴を利用した用途の例を事例番号018について述べる。C/C製チューブの内面に直径が0.05~10ミクロンの微細な孔の炭素膜を形成したマイクロフィルターがフランスのル・カーボン・ロレヌ社で製造されている。酸化性の薬液以外であれば、ほとんどの液体に使用できるところに特徴がある。脱脂液、洗浄剤の油水分離、切削油の分離、生化学・医薬・食品プラント廃液などに使用し、コロイド、エマルジョン、金属微粒子、無機微粒子、細菌の濃縮ができる。逆洗浄によって再生できるので、寿命が5~10年あるところが特徴であるという。実物は手指のような形状のチューブであり、PAN系炭素繊維を強化材に用いた多孔性のC/Cの内面にCDCによって炭素膜を形成している。

事例番号010、068は電池への応用例である。りん酸型燃料電池は約200°Cのりん酸中で酸素と水素を反応させて電気をとりだす。このような過酷な雰囲気下で腐食に対しても形態的にも安定であり、かつ導電性、ガス透過性のある材料はC/C以外にはない。多孔性C/C板に溝を切った電極板が実用されている。またC/Cではないが炭素繊維そのものの導電性

と耐薬品性を利用したナトリウム一硫黄電池に開発が進んでいる。C/Cは耐薬品、熱膨張が小さい、高温での熱変形・強度低下がなくロッド、ボルト、ナットなどの継手部品に使用されている（事例番号064）。腐食性ガスに対してC/C以外にも炭化けい素繊維で強化した炭化けい素繊維複合材料（SiC/SiC）は耐久性があり、SO₂雰囲気でSUS板を1月で交換していたのが1年以上もつた例が報告されている（事例番号133）。

（4）コンクリートの繊維材料による強化

コンクリートを繊維材料で強化することが行われており、短繊維をモルタルに混入する方法や鉄筋代替として長繊維のFRPを用いる方法がある。事例番号021によれば、コンクリートの脆さを改良するためガラス繊維、炭素繊維、ビニロン、鋼線などを混入する方法がある。カーテンウォールのためのパネルに使用し、軽量化と亀裂の防止に効果がある。セメントはアルカリ性でありガラス繊維の場合には耐アルカリガラスを選ばなければならない。鋼線は錆びの問題があり、使用中にパネル表面に錆の色ができることがある。この対策として炭素繊維を使用する方法があり、すでに実用されている。また、カーテンウォールのためのパネルは数量が多く、しかもいちどきに必要とするため、コンクリートを自然の条件で硬化したのでは供給が間にあわない。そこで、高温・短時間に硬化するオートクレーブ養生法が使用されている。オートクレーブ内では水を含んだモルタルを加圧下に加熱するため、ビニロンやポリエチレン繊維は溶融し繊維の形態を失ってしまう。炭素繊維は不溶・不融性で、この製造方法にかなつた材料であり、耐アルカリ性以外に生産性向上の点からも好んで用いられる。

事例番号022では鉄筋の弱点の錆びの対策としての先進複合材料に触れられている。鉄筋コンクリートの橋は欧米において1900年頃から建造され、寿命は100年とされたが、交通量と車の重量の増加により亀裂が目立つようになっている。そのうえ冬季に道路の凍結防止のため塩を散布するので鉄筋が錆び、錆びた酸化鉄による体積膨張がコンクリートの亀裂をますます助長している。この問題は日本においても高速道路、鉄道橋、海砂を使用した建物で起こっており、重大な関心事になっている。日本、英国、イス、フランス、米国、カナダなどにおいてガラス、アラミド、炭素繊維のFRP引抜材を鉄筋の代替に使用する研究が進んでいる。砂が塩で汚染されているアラブ諸国、台湾及び道路に塩を散布する寒冷な地方に有望な市場がある。トンネル工事などで岩盤内に定着をとるロックアンカーボルトにはアラミド繊維及びガラス繊維強化樹脂が使用されており、軽くて作業性がよく、地下水による腐食に優れたところが特徴になっている。炭素繊維の使用も進みつつある（事例番号148）。また、CFRPパイプのトラス構造の屋根をもつた建物が研究中であり、耐食性にまさるCFRPは温泉やアクアハウスなどに適していてメンテナンスの費用を低減できる（事例番号147）。

（5）耐薬品機能のネガティブな例

事例番号100には耐薬品機能のネガティブな例として、CFRPと金属間の電気化学的腐食があげられている。炭素は耐薬品性がよいが、炭素と金属が接触して電池を形成すると金属の腐食がおこる。航空機の構造はアルミ合金が使用されるため、CFRPと接合する場合には

絶縁のためにG F R P層を挿入する方法が用いられる。また、C F R P用のボルトは防食加工品を使用する。

(6) 低放射化性能

原子炉の放射能洩れ時の対応には低放射化性であつて照射損傷が少ない構造材料が必要である、この目的にあうものとして炭化けい素繊維で強化した炭化けい素(S i C/S i C)がある。核融合炉の壁材などへの応用が欧米、日本で検討されている。原子力設備への先進複合材料の利用は今後の課題として注目にあたいる(事例番号118)。

(7) 半導体製造装置への利用

半導体製造装置の一部には重金属をきらいアルミが好まれる。おそらく重金属が溶けだして汚染するためと考えられる。温度上昇による寸法変化と剛性低下のためアルミ単体では使用できないが、炭化けい素繊維で強化したアルミは候補である(事例番号128)。また、ビール缶のためのアルミは不純物の除去をきびしくする必要があり、溶融アルミにガスを吹き込んだり、かきませたりして不純物を浮上させている。溶融金属と反応しにくい、酸化しない、力学的性質にすぐれた繊維強化セラミックは金属加工、板ガラスへの応用の可能性がある(事例番号130、131)。

第2. 3-1表 産業用途別にみた「耐薬品機能」の事例

| 産業分野 | 事例 | 事例番号 | 内容の骨子 |
|------|-------|------|---|
| 舟艇 | 外洋遊漁船 | 047 | ・難燃性不飽和ポリエステル樹脂を用いたG F R P |
| | 舟艇部品 | 071 | ・推進用プロペラ、水中翼船翼などは耐水中劣化性の格段に高いC F R Pの使用が望ましい |
| 海洋 | 波力発電 | 039 | ・ブレードなどには耐腐食性のG F R Pを使用 |
| | 海洋構造物 | 034 | ・深海探査ステーション、海中トンネル、石油掘削海上プラント、ウォーターフロントの電柱、浮き棧橋緊結用ケーブルなどに可能性がある |
| 車両 | | 005 | ・石油掘削海上プラットフォームの耐火性改善のためなどにG F R P、C F R Pが使用されている |
| | | 054 | ・強度、剛性、軽量性とともに耐食性に優れたF R Pが検討されている |
| 航空機 | 内装材 | 151 | ・難燃性のフェノール樹脂を用いたF R Pを使用 |
| 土木建築 | 鉄筋代替 | 036 | ・鉄筋の錆びによるコンクリートの破損を解決するためF R Pロッド、F R Pネットを使用 |
| | 型枠材 | 022 | ・繰返し使用が可能なコンクリート打込み用型枠材にF R Pが使用されてきた |
| | | 108 | ・地球環境対策として長寿命とリサイクルのため熱 |
| | | 108 | |

| | | | |
|------|--------------------|------------|--|
| 化学 | ロックアンカーボルト 屋根架構 | 148 147 | <p>可塑樹脂マトリックス複合材料の開発中</p> <ul style="list-style-type: none"> 岩盤内に定着をとるボルトに軽量で作業性が良く地下水による腐食に優れたFRP棒が使用される CFRPパイプのトラス構造は鋼製の三分の一の重さであり耐食性が良いので塗装の維持管理費が不要 温泉・アクアハウスに適する |
| | 吊り橋ケーブル 冷水塔架構 | 044 | <ul style="list-style-type: none"> 強度、剛性、耐食性が必要ゆえ可能性がある 木材からGFRPに変更して補修費用が十分の一に減少した |
| | 破壊検知・防護センサー | 107 | <ul style="list-style-type: none"> CFRPとGFRPをハイブリッド化した補強筋をビルの壁面に埋設する |
| | 地下埋設電力 ケーブル管 | 026 067 | <ul style="list-style-type: none"> 酸性軟弱地盤に埋設するGFRP電線管にCFを同時成形し通電して破壊を検知する |
| | 耐食機器 | 056 060 | <ul style="list-style-type: none"> 大型バルブ本体、ベーン、バタフライベーンなど、配管にCFRP、GFRPが使用されている |
| | 化学設備壁材 | 133 | <ul style="list-style-type: none"> 腐食性ガス雰囲気でもSiC強化SiCは劣化しにくい |
| | 水処理設備 水処理膜 | 038 018 | <ul style="list-style-type: none"> 耐食性に優れたFRPが部品に使用されている C/C管の内面に炭素膜を被覆したフィルターはほとんど全ての薬品、高温に耐えるので廃水処理、濾過、濃縮に使用されている |
| | 熱交換器 | 160 | <ul style="list-style-type: none"> SiC強化セラミックは1000°C以上、腐食性の条件下でも使用の可能性がある |
| | 気体分離回転胴 | 169 | <ul style="list-style-type: none"> 腐食性気体の遠心分離による精製に使用できるウラン濃縮にも使用か？ |
| | 摺動材 | 018 069 | <ul style="list-style-type: none"> 腐食性雰囲気のパッキン、ガスケット、メカニカルシールにふつ素樹脂を含浸した炭素繊維、CFRPが使用されている |
| 圧力容器 | | 150 | <ul style="list-style-type: none"> FRP製が認知された |
| | | 171 | <ul style="list-style-type: none"> LPG容器にも可能性がある |
| 電池 | Na-S電池 | 010 | <ul style="list-style-type: none"> 高温の耐硫化性があり硫黄を含浸保持するために炭素繊維フェルトが使用されている |
| | リン酸型燃料電池 | 068 010 | <ul style="list-style-type: none"> 電気伝導性、熱伝導性、ガス・液不透過性、耐食性が必要なセパレータにC/Cが使用される |

2. 3. 3 先進複合材料の耐薬品機能利用の展望

(1) 耐薬品機能の重要性

現在使用されているか、あるいは用途開発が進んでいる複合材料は、力学的性質に耐薬品性

(ここでは広義にとらえ耐環境性も含める) をプラスして始めて金属、木材、樹脂とコスト対パフォーマンスにおいて対抗しうることを事例をもとに説明した。

(2) 耐薬品機能の評価体制作り

これからの中材選択においては製造、運用、補修、リサイクル、終末処理までのトータルエネルギーのバランスが重要な因子であり、なかでも可使用寿命の長短がその鍵になる。わが国の漁船の70%、レジャー・ボートのほとんど全てがGFRP製である理由の一つに、腐食の激しい環境下での長寿命とメインテナンスの容易さをあげることができ、初期投資プラス補修費用を使用年限で除したコストが有利なためである。これはトータルエネルギーについても同様であり、長く使うことができればエネルギー消費が少ないはずである。橋梁、道路は鉄鋼とコンクリートの世界であるが、10年位前から繊維及び複合材料を積極的に活用する動きがあり、建設省の総合プロジェクトに取り上げて研究が行われてきた。まだ評価を下すところには至っていないが、複合材料の大市場になる可能性をもっており、雨露、風雪、寒暖、日光・紫外線、火災、雷撃、塩分、排気ガス、酸性雨などに対する耐久性の評価を行い鉄鋼、アルミ、コンクリートとの共存の可能性や建設物の寿命延長効果を判断する時期にきている。事例番号034は耐塩性が必要な海洋構造物への応用の可能性をのべたものであり、一部は事例番号005の北海石油採掘プラットフォームにしめされるように実用の段階に至っているし、化学のデュポン社と石油のコノコ社は深海の石油採掘のための綱を先進複合材料で試験中と伝えられる。事例番号119、124では炭化けい素繊維強化アルミが耐塩・海水性にすぐれた材料の可能性を提起している。問題は評価体制であり、産学官がお互いに関連のないままに複合材料の諸データの採取を行っているので、材料データベースの構築にはほど遠い。金属における科学技術庁金属材料研究所に相当する複合材料研究所を設立して広く関連機関を統括する必要がある。

(3) ライフサイクル・アナリシスのための基盤整備

耐薬品機能にまざることはリサイクルや廃棄処理が難しいことにも通じる。炭素繊維に光増感剤を塗布すると酸化しやすいことに着目して、CFRPの自然劣化を促進するアイデアが事例番号112にあり、埋めるか燃やす以外の処理方法の可能性があるかもしれない。強化材と樹脂の分離も難しい上、仮に樹脂を熱分解で除去しても強化材をそのまま再使用することは考えにくい。短繊維、粉末にしての2次的なリサイクルが精一杯である。樹脂についても問題が多く、耐候性にすぐれた不飽和ポリエステル樹脂は熱硬化性樹脂であり、リサイクルは容易ではない。樹脂成分の終末処理の場合、PTFEに含まれるふつ素、エポキシ樹脂中の塩素と硬化剤や変性剤に含まれるイオウの除去も難しい。こうして考えてみると複合材料はリサイクル、廃棄においてはむしろ不利な材料に区分すべきであるが、使用寿命の長さおよび軽量化による運用時の省エネルギーの利得とのバランスを定量的に把握し、その上で採否を議論すべきである。そのためには、ライフサイクル・アナリシス(LCA)が必要であるが、データベースの整備が不十分のため、手始めに複合材料の製造及び運用にかかるエネルギー、炭酸ガスなど

排出ガス量の把握から進めなければならない。この作業は関連する企業及び業界団体の協力なしには進まないことから行政面からの施策を考える必要がある。

(4) 新しい耐薬品機能の創出の仕組み

既存の素材、新しい素材の組合せが可能な複合材料には耐薬品性についての新機能を期待することができる。超耐環境性を狙ったC/Cの酸化雰囲気下の寿命延長の研究はその一例である。また、劣化現象は樹脂マトリックス、炭素マトリックスが実用されているが、勢いを失いつつあるセラミック、金属、エラストマーをマトリックスとする複合材料について耐薬品機能の点から見直す必要がある。

複合材料は機能を設計できるところに特徴があるので、このような機能があればこのような利用があるといった使用者からの要求の汲みあげが肝要である。必ずしも適切な例ではないが、米国航空局が複合材料を航空機の機体に使用するにあたり、疲労強さを損傷許容性によって保証するように方針転換したことが「衝撃によって損傷した積層板の圧縮強さ」の改良を促し、新材料が生れ、破壊靭性の研究が進んだことは顧慮に値する。一般に、材料の技術者は応用については無知であり、性能の創出は研究者の独善によるので、新しい材料が現れてもなかなか実用にならないのが実情である。応用の技術者にとって材料は与件と考えがちであり、こうすればよいという声はあまり聞こえてこない。聞こえてきても材料研究者が耳を傾けるほど新規性がないか感覚的であって目標を設定しにくい。真の交流がないところに技術革新は生まれないので、有意義な意見交換の場の設定が望まれる。

(5) 標準化のすすめと機能の予測手法の開発

複合材料のデータベース構築が遅々として進まない理由の一つに、組合せの変数が余りに多く、基準となるべき材料が決まらないことがある。新機能の創出の必要性について述べたその直後にこんなことを言うのは矛盾もいいところであるが、容易に（先のことを考えずにと言い換えるもいいが）バリエーションを作り出す姿勢は改めなければいけない。もの作りを続ける限り、いまより良いもの、かわったものを生み出していかざるをえないが、その行為が余りに場当たりであれば、逆に複合材料の価値を小さくしていることに気付いていない。鉄鋼やコンクリートと共生するためには複合材料の標準化、試験方法の標準化を進め、他の材料と比較できるデータベースを提供することが必須である。

GFRPでは耐薬品機能について蓄積があるが、繊維をガラス繊維から炭素繊維又はアラミド繊維に変えたり、樹脂を不飽和ポリエステルからエポキシやポリエチレンに変更した場合の予測がまったく立たない。もう一度、はじめからデータの取り直しをする以外に方法がないのは経済性及び時間の無駄使いであり、力学的性質における複合則のごとき予測の手法が望まれる。

(6) 炭素繊維製品の量拡大上の問題

事例番号005は英国の造船所 Devonport Royal Dockyard のバーンズの論文⁴⁾によるが、この中で海洋構造物への基礎検討が進んでおり、遠からず実用になる。問題は炭素繊維、ガラ

ス繊維、複合材料製の部品などの供給にあり、現状では良いプログラムがあつても材料の生産能力がついてこないのではないかと疑問を呈している。（2）において鉄鋼、アルミ、セメントとの共生のための技術事項を述べたが、このほかに生産規模の拡大にかかわる問題がある。

炭素繊維を例にとると、現在の世界生産能力は約1万トンであり、鉄鋼の日本の生産量の1万分の1にすぎない。海洋構造物に使用するためには、少なくとも100万トン／年の生産規模が必要であり、そのための投資は1兆円ないし2兆円を必要とする^{注)}。炭素繊維の主要な製造者は日本の合成繊維および石油精製企業であり、この投資に耐える事業基盤を持ち合わせない。また、複合材料は消費地近傍に原料から加工の設備をもつことが望ましく、製品輸出型ではなく技術輸出型になる。炭素繊維の生産技術は日本にのみ所在するため、現地資本との効果的な提携が必須であり、政策的な課題である。

注) PAN系高強度タイプ1000トン／年規模の設備投資額は100億円ないし200億円とされる。

参考文献

- 1) 宮入裕夫ら編集 複合材料の事典 pp 302-333 朝倉書店 1991。
- 2) 加藤寛治ら 石川島播磨技報 33 (1) 19-25 (1993)。
- 3) 大谷杉郎、奥田謙介、松田 滋 炭素繊維 pp 620-631、pp 637-642
近代編集社 1983。
- 4) F.J.Barnes, SAMPE Journal, 32, No.2, March/April p.12-17(1996).

2. 4 先進複合材料の吸着機能

先進複合材料に用いられる炭素繊維は、焼成温度を低くして多孔性にすると、活性炭と同様の吸着性を持つようになる。この性質を利用して、東邦レーヨン（株）や東洋紡績（株）は活性炭素繊維（Activated Carbon Fiber : A C F）を昭和52年頃より市販している¹⁻⁴⁾。市販当初は、一般の粒状炭に比べ高価であり、ユーザーの使いこなし方が十分に理解されず、販売量の伸び悩み状態であった。しかし、近年、その特性の認知およびユーザーの使いこなし方の理解が進み、従来の活性炭と異なる機能ゆえに注目されている。1995年の市場（売り上げ）として120億円、2000年で200億円以上になると予測されている¹⁾。

活性炭素繊維に関する研究開発の歴史を第2. 4-1表に示す。第2. 4-1表からもわかるように、活性炭素繊維には大きく分けて次の4種類がある。

- (1) レーヨン系
- (2) PAN（ポリアクリロニトリル）系
- (3) フェノール系
- (4) ピッチ系

昭和40年代（1960年代中旬）に英国でレーヨン系ACFが開発されたのが始まりで、以後国内においては、1975年に東洋紡績（株）がレーヨン系ACFを、1976年には東邦レーヨン（株）がPAN系ACF、日本カイノールがフェノール系ACFを、さらに10年ほど遅れて大阪ガスとユニチカ（株）とが共同でピッチ系ACFを開発している。このうち商品化されたのは日本国内だけで、海外では実用化されていないようである。応用分野は主にフィルター装置に組み込まれているのは同表に示すように東洋紡績（株）の溶剤回収装置（事例075）や除湿装置、東邦化工（株）の溶剤回収装置などである。その他脱硫・脱硝装置にも適用されている。

ここでは先進複合材料の吸着機能について委員会で得られた事例を基に、それぞれの応用例を概観する。

2. 4. 1 事例

委員会で集まった事例は3件のみ（020、075、および164）であるがこれを後頁に示す。事例020中の3項目のそれぞれに対応して参考文献があるので、併せて載せておく。項目（1）に対しては参考文献の1-4、項目（2）に対しては参考文献の5、項目（3）に対しては参考文献の6がそれぞれ対応する。また事例075に関しては、事例020の第一項目と事例164は事例020の第二項目と関連しているのでその中で言及する。

（1）活性炭素繊維

活性炭素繊維は形態的に繊維状のため、紙状、織物状、フェルト状など多様な形に加工でき、さらにこれらを中間原料として、成形加工品の開発および商品化が進められている。たとえば東邦レーヨン（株）からはポリアクリロニトリル系（PAN系、商品名：ファインガード³⁾）、東洋紡績（株）からはセルローズ系（レーヨン系ともいう。商品名：K-フィルター⁴⁾）が市

販されている。それぞれの詳細については参考文献を参照されたい。なお活性炭素纖維の長所と短所とをまとめると次のようになる。

活性炭素纖維の長所は大きく分けて2点ある。第一に粒状炭に比べて吸着速度が非常に速いこと。第二に加工性である。第一点の吸着速度は径の二乗に反比例すると言われている。粒状炭の径が約 $1000\text{ }\mu\text{m}$ であるのに対して、活性炭素纖維の径は約 $10\text{ }\mu\text{m}$ であることからも両者の吸着速度の差は歴然としている。第二点の加工性はカット・ファイバー、ペーパー、フェルト、フィラメントおよび織物として用途に合わせて供給できるということである。これらの長所に対し、活性炭素纖維の最大の短所はコストが高いことにある。第2. 4-2表に示すように、粒状炭では $500\sim2,500$ 円/kgなのに対して、活性炭素纖維では $9,000\sim40,000$ 円/kgにもなる。同表では、東邦レーヨン(株)のファインガードと粒状炭との比較を行った。

活性炭素纖維の応用例は先の第2. 4-1表に示したように、溶剤回収装置(事例075)、除湿装置、脱硫・脱硝装置、浄水装置や清酒脱色装置などがある。開発メーカーは東洋紡績(株)、東邦レーヨン(株)、東邦化工(株)、大阪ガス、クラレケミカルなど数社である。

たとえば東邦レーヨン(株)¹⁻³⁾では食品工業へ応用している。食品工業と活性炭との関係は古く、精糖、醸造、グルタミン酸、乳酸などの精製、脱色に活性炭が応用されている。これらの製品は主として発酵により行われるが、共通して問題となるのはアミノカルボニル反応により生じるメラノイジン系着色成分(茶褐色)である。このメラノイジン系着色成分の分子量は数千~百万で、従来の活性炭素纖維では細孔が小さいために吸着が難しい。この分子の吸着には、より細孔が拡大した活性炭素纖維を用いる必要がある。そのため国税庁醸造試験所の協力を得て、清酒脱色用に適した細孔が拡大した活性炭素纖維を開発し、応用展開を図っている。活性炭素纖維を用いた清酒脱色装置については参考文献2および3に詳しいので参照されたい。これ以外に活性炭素纖維の用途では浄水器への応用がある。各活性炭素纖維製造メーカーでは、浄水器用フィルターを開発して商品化し現在普及し始めている。浄水器用フィルターの例として、東邦レーヨン(株)のファインガードを用いた浄水フィルターの種類と通水速度を第2. 4-1写真に示す。

活性炭素纖維は大物よりも小物に適用する方が機能とコストとを含めたトータルコストで良く、現在の適用用途では、この浄水フィルターがもっとも多い。しかし第2. 4-1表にも示したとおり、基礎研究も大学等で行われており、今後の新しい用途開発へ結びつくよう期待したい。

(2) コールタール纖維

これはピッチ系纖維で、参考文献5(事例164に要約)にあるように、原子力発電における使用済み核燃料の再処理工場から出る放射性廃液中のプルトニウム(発がん作用があり、放射能が減りにくい性質をもっている)だけを吸着することに応用されようとしている吸着材である。この吸着材はコールタールを処理して太さ百分の一ミリほどに延ばしたもの纖維からなっており、表面に小さな穴がたくさんある。1グラムで表面積は約二千平方メートルにもなり、プルトニウム1ミリグラムを吸着するとと言われている。吸着材にはガラス纖維も加えられているようである。

日本原子力研究所とユニチカ（株）はこの吸着材を1989年より共同開発しており、現在この吸着材を使った実験が米国コロラド州のロッキーフラツ核兵器生産工場で行われつつある。本情報は新聞記事によるもので、現時点では詳細についてはわからないが米国コロラド州のロッキーフラツ核兵器生産工場で行われる実験により吸着効果が確かめられれば、核施設での廃液処理はもとより、原子力発電における廃液処理に役立つことが期待できる。

（3）炭素材料による水質浄化

この応用例は複合材料としての応用というより、炭素繊維単体としての応用といった方が良い。現在から近い将来にかけてのキーワードとも言える「環境問題」について、炭素繊維がもつ吸着機能を利用して水質浄化を行なうものである。炭素繊維自体、生物親和性に優れていることから、人工心臓弁として世界で60万人の人々に使用されているばかりでなく、人工歯根材や人工骨などとしてもこれまでに種々試みられた。このような優れた生物親和性を積極的に利用して、炭素材料を生物膜形成用基材（接触材）として汚水中に入れ、そこに成育した微生物によって水質浄化を行なっている例もある。この報告（参考文献6）によれば炭素繊維の微生物固定については、炭素繊維の種類および曝気日数による影響、曝気空気量による影響、炭素繊維の種類および季節による影響を明らかにしている。また水質浄化について、炭素繊維の本数、炭素繊維表面のサイジング剤の有無、炭素繊維の表面処理剤（サイジング剤）の除去方法、炭素繊維の機械的強度による影響を明らかにしている。研究内容の詳細に関しては参考文献6を参照されたい。文献中にも書かれているが、このような研究はスタート地点に立ったばかりであり、詳細はすべてこれからであるといえる。

今後、一般の河川水浄化だけでなく、工場廃水の浄化や薬液の浄化などにも応用展開できる研究開発が期待される。

2. 4. 2 まとめ

近年、先進諸国に限らず開発途上国でも盛んに「環境問題」が取りざたされている。地球規模で起こっているオゾン層破壊による環境温暖化、先進諸国では廃棄物処理やリサイクル、開発途上国では熱帯雨林の減少や先進諸国からの廃棄物移転問題など、環境に関する問題は今後ますます増えていくことであろう。身近な問題で言えば熱硬化性樹脂を使った炭素繊維強化複合材料が、やがては産業廃棄物となるのも環境問題の一部であると言える。このような問題に対して炭素繊維材料自体が持っている優れた生物親和性、つまり自然環境に逆行しない材料であるという特色を最大限に活かすことができるよう、この材料を地球の自然環境保護のために役立ててもらえる研究開発が今後盛んに行われていくことを期待したい。

最後に、いろいろな資料、ご意見をいただいた東邦レーション（株）研究所の島崎賢司氏に感謝の意を表したい。

第2. 4-1表 活性炭素繊維に関する研究開発の歴史

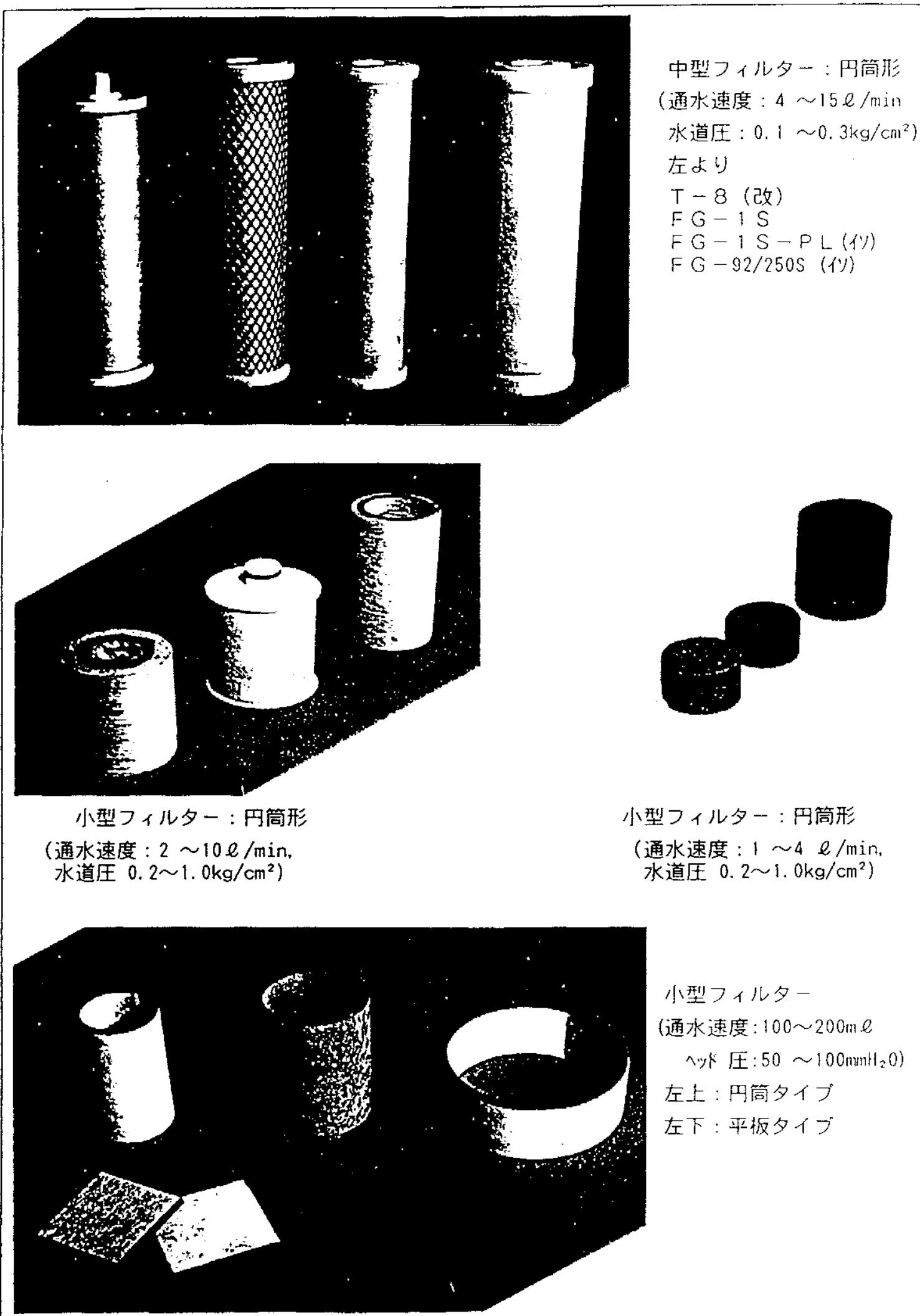
| | 1960-1969 | 1970-1979 | 1980-1989 | 1990-2000 |
|--------|---------------------------|--|--|--|
| | | I | II | III |
| 製造関係 | 1966 レーヨン-ACF (UCC) | 1975 レーヨン-ACF (東洋紡) 1976 PAN-ACF (東邦レーヨン) 1976 フェノール-ACF (日本カイノール) | 1980 フェノール-ACF (クラレケミカル) 1988 ピッチ-ACF (大ガス・ユニチカ) | 1993 フェノール-ACF (群栄化学) 1993 ピッチ-ACF (二村化学) |
| 応用 | | 室内・車内エアフィルター オゾン除去フィルター 生理用ナプキン 鮮度保持 冷蔵庫脱臭剤、キャニスター | コンデンサー 防御服(化学戦用) 浄水(抗菌)フィルター ハードディスク | 小型高性能の浄水フィルター 温水净化用フィルター |
| 装置・その他 | | 1977 溶剤回収装置(東洋紡) 1978 溶剤回収装置(東邦化工) 1977 除湿装置(東洋紡) | 1983 浄水場プロジェクト 1986 清酒脱色 " 1987 脱硫・脱硝 " | 1990 溶剤回収装置(大ガス) 1992 浄水装置(大ガス) 1995 浄水装置 (クラレケミカル) 1992 清酒脱色装置 (東邦化工) |
| 基礎研究 | | | リチウムイオン電池(立教大) 脱硫・脱硝(九大) 脱硝(千葉大) 浄水用ACF(明治大・東理科大) 脱トリハロ(東大・東理科大) | 通電殺菌(東農工大) 微生物処理(群馬高専) SiCの原料(新王子 製紙) |

第2. 4-2表 活性炭素繊維と粒状活性炭との特性比較

(東邦レーヨン(株)ファインガードの場合)

| 活性炭 特性 | A C F (ファインガード) | 粒状活性炭 |
|------------------------|---|--|
| | | 主要メーカー: クラレケミカル、武田薬品 二村化学、ソルビコール |
| 繊維径 (粒径) | 細い (0.007mm ~ 0.015mm) | 粗い (0.2mm~5mm) |
| 塩素除去性能 | ◎ ・小型サイズで高速の通水においては粒状活性炭に比べ優位。 ・より大型サイズで低速の場合特徴を出しにくく、コスト面においても優位性出ず。 | ○ ・活性炭素繊維の5~10倍の重量必要。 |
| 親水性有機物 (BOD成分、着色成分) | ○ ・小型、高速通水においては、粒状活性炭に比べ優位性あり | ○ |
| カビ臭 | ○ ・小型、高速通水においては、粒状活性炭に比べ優位性あり | ○ |
| 中空糸膜との組合せでの特徴 | ・鉄分、濁り、その他の微粒子の除去性能(プレフィルターとして)より、中空糸膜の汚染が防止され、膜寿命が向上する。 | ・微粒子の透過性能が低い為、中空糸膜の汚染により、目詰まりしやすい。 (プレフィルターで対応必要) |
| その他 | ・内部構造のシンプルなカートリッジ作成可能。 | ・より高性能な活性炭になるほど微粉末が発生し易くなる為、カートリッジ内部の工夫が必要。 |
| A C F 単価 (円/kg) | 9,000 ~ 20,000(カットファイバー) 30,000~40,000(フェルト) ・現状では、フェルトタイプでは、コスト面で粒状活性炭と競合できない状況になっている。 | 500~2,500 |

第2. 4-1写真　浄水フィルターの種類と通水速度
(東邦レーション(株)ファインガードの場合)



参考文献

- 1) 島崎賢司, 酒井直樹, 「活性炭素纖維の進歩」, 炭素素原料科学の進歩VIII, C P C研究会, 1996.
- 2) 島崎賢司, 赤尾興一, 「活性炭素纖維を用いた清酒脱色装置の開発」, Adsorption News, Vol.10, No.4, 1996.
- 3) 活性炭素纖維に関する東邦レーヨン(株)のカタログ
- 4) 活性炭素纖維に関する東洋紡績(株)のインターネット・ホームページ資料
- 5) プルトニウム吸着に関する朝日新聞記事(1996.8.14 報道)
- 6) 小島昭, 「環境浄化と複合材料(炭素纖維を利用した水質浄化)」, 日本複合材料学会・複合材料セミナー(テーマ:環境保護のための積極的な複合材料の利用), 1996.

2. 5 先進複合材料のその他の機能

2. 5. 1 防振・耐振機能

産業、経済の著しい発展とともに種々の公害・環境問題が最近特に重要視されてきているが、その中でも「騒音」問題は市町村などの自治体が受ける公害クレームのトップで30～40%を占めるといわれている。「騒音」は悪臭とともに「感覚公害」と呼ばれるが、この問題は高速道路、新幹線、航空機などによる公害から、狭い範囲ではステレオ、ピアノ、カラオケなどの公害なども含まれる。さらに、騒音は労働衛生法上でも「作業環境」でクローズアップされている。

このような騒音に対する対策としては、発生源を完全にカバーして遮音することにあるが、その難しさは発生源が汚染物質のような「物質」ではなく空気振動という「エネルギー」であることに留意しなければならない。そのため、種々の制振材、防振材が開発されており、それは「遮音材」と「吸音材」に大別される。

(1) 事例の分類

各方面からご提案いただいた事例の中から、「防振・耐振機能」さらに「耐衝撃吸収機能」に関わるものも含めて選別し、該当する事例を用途面から産業分野別に分類してみた結果を第2. 5. 1-1表に示す。この表から「防振・耐振機能」がほとんどの産業分野で横断的課題であることを読み取ることができる。

(2) 材料面からの展開

また、これらの事例の中から材料のシーズ的観点でそれに類するものを採り上げてみると、例えば下記のようなものが挙げられる。

① CFRPシートとアルミシートの積層材 [事例番号：074]

この材料はすでに検討されており、耐衝撃性、成形性に優れているところから、各種容器、ヒートシンクなどに活用が期待される。

② FWチューブの軸方向特性活用 [事例番号：001、145]

軸方向に衝撃圧縮すると層間が劈縫開して大きいエネルギーを吸収するので、自動車の衝突安全の見地から研究が進められている。

③ 高減衰ハイブリット材料 (CFRPとAFRPの積層) [事例番号：093]

CFRPとAFRPを交互に積層させたハイブリット材料は、要求される剛性と振動減衰能を発現させるように設計することによって、IC組立時の溶接用ロボットアームの製作への応用が考えられている。

④ ゴム粒子微分散マトリックス (PP/EB) の新CFRTP [事例番号：065]

CFRPは、構造材料として利用する場合、衝撃荷重によって層間剥離現象を起こしやすいことが知られている。それを改善する一つの方向として、ゴム入りマトリックス [ポリプロピレンにエチレン-ブチレンを20nm単位で微分散させたもの] が注目されており、

新しい耐衝撃性C F R Pの創出の可能性が示唆されている。

⑤フェライト粒子分散樹脂(ポリエスル、エポキシ)複合材料〔事例番号: 094〕

優れた振動吸収能を有する材料の一つとして、ポリエスル樹脂やエポキシ樹脂にフェライト粒子(マグネタイトを主成分とする)分散、複合したものが知られている。

⑥衝撃吸収性F R T P〔事例番号: 048〕

炭素繊維、ガラス繊維、ケブラー繊維強化の熱可塑性樹脂系(熱硬化性の場合もある)の複合材料(F R T P)は、衝撃吸収性に優れており、軽量の点からも将来性が期待されている。

⑦衝撃吸収性F R M〔事例番号: 122〕

軽量、高強度で衝撃が強烈な耐弾材料の一つとして、長繊維強化アルミニウムが有力な候補材料とされる。

(3) 「防振・耐振機能」を生かす産業材料

遮音材における遮音性能は、「遮音材の質量則」で近似的に評価されるが、重い材料ほど効率がよく、単位面積当たりの重量が大きいほど優れた遮音性能を示すことが知られている。すなわち、

$$\text{遮音性能 (dB)} = 20 \log [\text{単位面積当たり重量}(\text{kg}/\text{m}^2)] + 20 \log [\text{音の周波数}(\text{Hz})] - 47$$

で表現される。

一般に、遮音材としては「コンクリート」とか「鋼板」などが、また吸音材としては「ロッカール」、「グラスウール」、「金属繊維材料」や「多孔質材料」などが知られている。しかし、騒音の発生源は機械、モータ、冷蔵庫、洗濯機をはじめ、自動車、電車など無数にあるが、発生源を完全に抑えることは無理である。

そのため、最近では粘弹性系高分子材料などを付着タイプの「防振シート」、「防振ゴム」や「サンドイッチ型制振鋼板」、「防振合金」、「防振塗料」なども有効に活用されている。

振動・騒音問題は、現在大きな社会問題になっており、有効な材料が生まれれば大きな市場が形成されるものと期待される。このニーズは、家電、自動車・車両、建築・土木などで特に大きく、またあらゆる作業環境もその市場として含まれる。このような観点から「材料メーカー」、「機械メーカー」、「装置メーカー」などの共同研究の場が必要であり、その実現が期待される。

ここで、現在使用されている代表的な制振・防音材料をまとめて第2. 5. 1-2表に示す。

(4) 今後の課題

以上に述べた「防振・耐振機能」の観点から、今後取り組むべき課題について言及してみたい。

ここで、第2. 5. 1-1～2表を対比してみると、興味深い傾向が認められる。

まず、騒音と感覚の関係は第2. 5. 1-1図に示すようになる。

第2. 5. 1-1表、第2. 5. 1-1図に示すように、「防振・耐振機能」を有する材料のニーズはあらゆる産業分野で強く、特に鉄道、自動車、航空・宇宙、海洋・船舶などの輸送分

野、一般産業機械、さらには表中にはたまたまないが建築・土木分野などを中心として、あらゆる産業においてその傾向があることが認められる。そして、その対象になる材料は、金属系、プラスチック系、セラミック系、あるいは複合材料系などを問わず特に制約がなく、ニーズさえ合致すれば用途はあり、市場は拡大するであろうことを読み取ることができる。

| <感覚への影響> | dB | <騒音源> |
|----------|-----|---------------|
| 疼痛感 | 130 | ジェット機の離陸(60m) |
| 非常に不快 | 120 | |
| | 110 | 自動車の警笛(1m) |
| | 100 | 列車(鉄橋、ガード下) |
| 不快感 | 90 | 新幹線／大型貨物自動車 |
| 会話困難 | 80 | 小型貨物自動車 |
| 圧迫感 | 70 | 乗用車 |
| | 60 | 二輪車 |
| | 50 | タイプライター |
| 静か | 40 | 静かな事務室 |
| | 30 | 郊外深夜 |
| 非常に静か | 20 | |
| | 10 | |
| やっと聞こえる | 0 | |

第 2.5.1-1 図 騒音と感覚との関係の一例

ここで、プロジェクトレベルで取り組むべきテーマの一つとして、例えば「環境適応性制振システム（仮称）」を挙げ、その在り方について考えてみたい。

- ①まず作業環境、生活環境における「騒音」とそれを防ぐニーズを出し合い、それを何らかの傾向に従って分類してみる〔家電製品、AV/OA機器、輸送機器、精密機械、土木・建築などの産業分野における作業環境、使用環境、また日常の生活環境を含めてみるのがよいと思われる〕。
- ②かなり興味深い傾向を見いだされるものと期待される。
- ③既存材料、既存システムを当てはめてみると、たぶん多くの空欄ができると想定される〔候補材料としては、例えば上述（2）のようなシーズ、アイデアなどが挙げられる〕。
- ④その空欄に位置づけられている材料としてどのような特性が必要なのかを追究し、整理する。狙いとする材料特性、システムなどのイメージを絞り込み、目標を設定する。
- ⑤産業機械などのメーカー、装置（システム）メーカー、材料メーカーなどの各産業分野を網羅し、かつそれを横断した新しいプロジェクトを構築できるように思われる。

第2.5.1-1表 産業用途別にみた「防振・耐振機能」の事例

| 産業分野 | 事例 | 事例番号 | その内容の骨子 |
|--------|------------------------|------|---|
| ①鐵道 | *車両用台車 | 109 | ・軽量化と乗り心地改良への寄与 ／設計手法の構築が必要 |
| | *車両用バネ部材 | 110 | ・「たわみ継手」のCFRP化 |
| | *マクラギ | 114 | ・衝撃力負担の大きい場所（橋梁、分岐箇所など）に生かされる環境に優しいマクラギ |
| ②自動車 | *耐衝撃吸収性車体など | 001 | ・レーシングカー／FWチューブ軸方向特性 |
| | *装甲車など | 145 | ・耐衝撃性に、高耐熱性の付与 |
| | *プロペラシャフト | 123 | ・騒音減少 |
| ③航空・宇宙 | *ヘリコプター | 024 | |
| | | 122 | ・操縦座席、計器類の保護用耐弾材への高衝撃吸収特性FRM |
| ④海洋・船舶 | *長大橋架橋時の補助用ケーブル | 027 | ・鋼製に比べて重量が1/5、自重によるたわみが軽減／CFRPによる架橋への足掛かり |
| | *船殻外層 | 106 | ・衝突、擦過損傷の軽減（AFRP） |
| ⑤産業機械 | *機械部品 | 024 | ・工作機械ベッド、コラム、織機長尺ヘルドフレームなど |
| | *汎用圧縮機シリダーピン、ピストンリングなど | 035 | ・騒音低減など |
| | *トランスファー プレス用クロスバー | 045 | ・振動低減と交換作業性向上 |
| | *各種容器など | 074 | ・CFRPシートとアルミシートの積層材の活用 |

第2.5.1-1表 産業用途別にみた「防振・耐振機能」の事例（続）

| 産業分野 | 事例 | 事例番号 | その内容の骨子 |
|------------|--|---|--|
| (続き) | *ロボットアーム (I C組立溶接用) *フェライト振動減衰材料 | 093 094 | ・高減衰ハイブリット材料で、C F R PとA F R Pを交互に積層設計 ・フェライト粒子を樹脂に分散複合／制振材料、遮音材料、除振台などへ応用 |
| ⑥スポーツ・レジャー | *楽器 *高減衰材料 | 024 092 | ・バイオリン、チェロ、ギターなどへの応用 ・スキー板、ゴルフシャフト、テニスラケット、バトミントンラケット、釣竿など |
| ⑦その他／共通用途 | *防弾用A F R P *車椅子用スロープ *衝撃吸収複合材料部材 *ゴム粒子微分散マトリックス *高周波用磁性複合材料 *安全靴先芯 | 023 028 043 048 065 076 139 | ・防弾盾、防弾材、機体損傷防止ケースなど ・アルミ製に比べて1/6に軽量化／2~4mの超長寸も可 ・F R T P／防弾・防護盾、防護コンテナー、ヘルメット、高速車両、自動車など ・樹脂の耐衝撃性改良〔P P／エチレン-ブチレン(～20nm)分散配合〔新C F R Pの創出へ〕 ・周波数変電所リアクトル鉄心、電車モータのアノードリアクトル鉄心など ・F R T P／耐衝撃性、軽量化、強磁界の影響なし |

第2.5.1-2表 現在使用されている代表的な制振・防音材料

| 材料名 | 主な材料構成 | 主な用途 | 市場規模 |
|-------------|---|--|-----------|
| ①制振鋼板 | ◆2枚の金属系薄板(鋼板、ステンレス、アルミなど)の間に粘弾性高分子をサンドイッチ | ◆電気洗濯機、クーラー、スピーカーフレーム、冷蔵庫など ◆自動車／オイルパン、フロアパネルなど | *5~6万トン／年 |
| ②制振合金 | ◆強磁性タイプ(フェライト(13Cr)系ステンレス鋼) ◆複合タイプ(Zn-Al系合金など) | ◆ソレノイド、タービンブレード、スピーカーフレーム、バケットコンベア／バケット、パワー排出口 | *~500トン／年 |
| ③制振・防音高分子材料 | | | |
| ◆合成ゴム／ポリマー | ◆ブチルゴムなど | ◆自動車エンジンマント、金属バネカバー、コンベアベルト、洗濯機モータ下部など | *~10万トン／年 |
| ◆熱可塑性エラストマー | ◆塩化ビニル系、ウレタン系、スチレン系、オレフィン系など | ◆自動車／モールド、ハンドル、ノブ、ブーツなど、電線用シース、家電用部品など | *不詳 |
| ◆複合材料 | ◆PVC、PPにフィラーを入れた複合材料 | ◆スピーカーキャビネット、2輪車モータカバー、エアクリーナー、音響製品のインシュレーターなど | *不詳 |
| ④制振・防音塗料 | ◆例えば、エポキシ系樹脂に鱗片状充填材、ケイ砂、石膏、有機・無機繊維、炭化カルシウム、タルクなど | ◆車両、船舶、自動車、機械 | *不詳 |

参考文献

- 1) 制振・防音材料の市場とメーカー戦略 [ハイテクマーケットシリーズ No.5] p.2, 199, 1990 [シーエムシー]。
- 2) 日本複合材料学会編：複合材料ハンドブック、1989 [日刊工業新聞社]。
- 3) 材料実用百科、1993 [日経BP社]。

2. 5. 2 トライボロジー機能・エロージョン機能

この機能は、摩擦・摩耗現象が基本であり、多くの材料系が開発されているが、その代表的なものを列挙すると第2. 5. 2-1表に示すようになる。この表から、材料の種類を問わず繊維強化材や固体潤滑剤を充填した複合系材料が耐摩耗性効果を発揮することが認められる。

摩擦・摩耗現象は、あらゆる産業分野において、材料が使用されぐ部位で関与している。身近なところでは例えば「カメラ」において、鏡枠でしゅう動性・耐摩耗性が必要な部位には「成形品に4フッ化エチレンを主成分とした固体潤滑塗装を施しているし、また駆動部品でギアには低摩擦係数のPOM（ポリアセタール）などが賞用されており、先進複合材料へのこの機能付与の期待は大きいといえる。

(1) 事例の分類

多くの事例の中から「トライボロジー機能・エロージョン機能」に関係するものを選別してみると、第2. 5. 2-2表に示すようになる。これをさらに材料別に分類すると、次のようになる〔事例番号で表示〕。

- ①PMC (F R P) : 069、106、116、137
- ②CMC (F R C) : 121、130、131
- ③MMC (F R M) : 088、089
- ④C/C : 003、137
- ⑧その他 : 090

(2) 「トライボロジー機能・エロージョン機能」を生かす産業材料

高分子系は、環境温度や摩擦熱による表面温度上昇があまり高くないところでの使用に適しているが、その中でフェノール樹脂系は比較的耐熱性がよく、また水中でも優れており、一般的用途には広く使われている。一方、金属系、無機系は、耐熱性を生かした用途に期待されるので、潤滑物質を残留、保持しながら高温でも硬さと耐食性を発揮できるような合金元素の添加などを配慮しなければならない。

何れにしてもこの機能を生かす材料は、その環境条件を十分配慮して個別に設計をする必要がある。

(3) 今後の課題

この機能も、2. 5. 1の「防振・耐振機能」と同じように、あらゆる産業分野に関係している。しかも、その使用目的、環境条件などに応じて、材料を個別に設計する必要がある。このような背景から、今後の課題としては目標とする産業材料を念頭において「高温材料へのトライボロジー機能・エロージョン機能の付与の在り方とその材料設計基準の体系化」にあると考えられる。

第2.5.2-1表 耐摩耗性複合材料の例

| | 主 材 料 | 充 填 材 | 特 徵 |
|---------|--|---|---|
| 高 分 子 系 | ①自己潤滑性高分子 (PTFE、ポリエチレン、ポリイミドなど) | *強化材 (ガラス繊維、炭素繊維、金属粉) | ◆摩擦が低く滑りやすい ◆凝着摩耗が少ない ◆アブレシブ摩耗が多い |
| | ②非潤滑性高分子 (ナイロン、フェノール、ポリフェニレンサルファイトなど) | *固体潤滑剤 (PTFE、黒鉛、MoS ₂) *強化材 (ガラス繊維、木綿糸、炭素繊維、木粉) | ◆高PV値に耐える ◆耐熱性良好 |
| 金 属 系 | ③多量の金属 (Cu, Ag, Fe, W, Ta, Moなど) | *固体潤滑剤 (黒鉛、WS ₂ , MoS ₂) | ◆摩擦が低く滑りやすい ◆凝着摩耗が少なく、高温に耐える |
| | ④少量の金属 (Co, Ti, Ni, Al) | *硬質材 (WC, TiC, Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃) | ◆アブレシブ摩耗に強い |
| 無 機 系 | ⑤炭素 | *含浸強化材 (金属、樹脂) *強化材 (SiC ウイスカ、炭素繊維) | ◆軽量・変化に富む |
| | ⑥セラミックス (サイアロン、窒化ケイ素) | *固体潤滑剤 (HBN, 炭素) | ◆超高温に耐える ◆耐食性がよい |

第2.5.2-2表 「トライボロジー機能・エロージョン機能」の事例

| 事例 | 事例番号 | その内容の骨子 |
|-----------------------|------|--|
| ①耐熱材料としてのC/Cコンポジット | 003 | ・耐熱、機械特性に優れる／摩耗・摩耗特性が良好／耐酸化性制御が課題 |
| ②メカニカルシール用CFRP | 069 | ・CF／フッ素樹脂系（液不透過性、耐腐食性、滑動性／船舶用が多い） |
| ③耐摩耗性ウィスカー強化アルミニウム | 088 | ・高硬度高融点物質で強化した軟質金属複合材料（耐融着性に優れた耐摩耗材料の創出）／纖維（ウィスカ）系として Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , AlN , C など |
| ④自己潤滑型ウィスカー強化アルミニウム | 089 | ・ウィスカー強化アルミニウムの中に、自己潤滑性のある粒子／纖維 (Mo_5Si_3 など, BN, 黒鉛など) を複合（高荷重下、高真空中、溶剤中でも適用できる耐摩耗材料の創出） |
| ⑤金属纖維強化クラッチ材料 | 090 | ・クラッチ板、ブレーキパッド向け／アスベストの代替（？） |
| ⑥船体外板のAFRP化 | 106 | ・海上浮氷などとの衝突、擦過損傷の軽減 |
| ⑦アブレージョン冷却ロケットノズル | 116 | ・フェノール系樹脂・シリカガラス系。 |
| ⑧不定形耐火物としてのCMC | 121 | ・操業安定化（高耐熱性、高強度、高破壊靭性の観点から） |
| ⑨溶融亜鉛メッキ浴部材としてのCMC | 130 | ・耐熱性、耐酸化性、金属との濡れ性の改善の観点から |
| ⑩溶融アルミニウム取扱い部材としてのCMC | 131 | ・（同上と同じ観点から） |
| ⑪変速機用クラッチ材料 | 137 | ・自己潤滑性を持ち、空孔を有する複合材料（プラスチック／ゴムを配合したCFRP、あるいはC/Cコンポジット） |

参考文献

- 1) 日本複合材料学会編：複合材料ハンドブック、p.374, 1989 (日刊工業新聞社)。
- 2) 森田幹郎、金原 熟、福田 博共著：複合材料、p.159, 1988 (日刊工業新聞社)。
- 3) 材料実用百科、1993 (日経BP社)。

2. 5. 3 音響機能

音の問題で実用上重要なのは、構造における吸音機能と遮音機能である。ここで吸音機構と材料の関係は二つに区分され、一つは材料の粘性による減衰機構を持つ材料であり、他の一つは材料の内部損失による機構を持つ材料である。前者は通常の吸音材料として利用されているが、例えばガラスウール、ロックウール等多孔質材料が該当する。このような吸音材料は、吸音性能という面だけで考える時は、単一材料で済むが、通常はその使用条件、使用環境から、耐熱、耐水等の性能が要求されるために、サンドイッチ構造あるいはカナッペ構造のようなマクロな複合構造として使用され、纖維強化という形の複合材料の範疇では考えにくい。

後者の場合は共鳴周波数の音波を受け、それを機械的振動に変えて吸収するというもので、例えば小さい孔を持つ材料を想定し、その孔の中に、ある種のより小さい材料をいれる。すなわち鈴のような構造をつくって音波を吸収するという思想であるが、残念ながら、まだ成功の話は聞いていない。纖維強化か否かは別として、極めて興味深い課題である。

次に遮音機能であるが一般に構造物の遮音性能は、材料の質量と構造の気密性に強く依存する。ここで材料の機能としては質量則に支配されるので（さらにコインシデンス効果の問題がある）、纖維強化複合材料には馴染み難い分野である。

以上のように吸音、遮音という領域では、まだ大きな効果を期待し難いけれども、オーディオの分野では、色々と実用されている。すなわち楽器には広く使われた実機がすでにあり（事例番号024）、バイオリン、チェロ（大きい楽器は、木では作り難い）、ギター（特にネック部）、ドラム（胴）、クラリネット（特別の木を必要とし、しかもその75%がスクランプ化する）、フルート、ビブラホン等に販売実績があるという。またスピーカーコーンとしては広く実用されている歴史がある。ただこの分野では、需要者の個人的な趣味、趣向に左右されるという特性がある。概して弾性率が大きく、減衰の良い纖維が好まれるようである。

石川島播磨では、極めて興味深いC F R P（炭素纖維強化プラスチック）製の振動板を93年に開発した（事例番号046）。すなわち油圧駆動力を利用したコンサート・ホール用の低音再生専用スピーカーで、直径1,000mmの振動板である。これは表面材がC F R Pで、コア材がアラミド・ハニカムを用いている。最低固有振動数が150Hz、重さが2.5kgであったという。これは複合材料の使用によって始めて大口径化、大ストローク化が可能となり、また低周波を大音圧で再生できるようになった。

次に今後の課題を整理すると前述もしたように、楽器やオーディオの分野では、需要者の趣味、嗜好に強く支配され、またデザインの問題も大きい。そのため材料技術としてみた時は、苦労の多い割に地味な印象が残っている。しかし弾性率あるいは比弾性率の利点を活かしたオーディオ関連分野はまだ広い分野が未踏の状態で残されている。上手に開拓すれば量的にもこれから伸びるはずであるし、何よりも高付加価値製品であるのでレジャー製品分野に匹敵する大きな市場となる可能性を持っていると考えられる。

2. 5. 4 生体適合機能

医学と工学の研究者が一緒になって、日本バイオマテリアル（B M）学会を創立したのは、78年であった。ここでB Mは、生体由来材料ではなく人工臓器用の生体適合機能（B i o c

compatibility)を持つ材料との理解のもとに活動が始められた。(本学会の創立はこの分野の研究を著しく促進した。)

さて天然の骨は、その70%が水酸化アパタイト $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ からなっており、したがって無機固体材料であるセラミックスは、金属や有機高分子材料に比べて、骨修復材料として優れていることは良く知られている。例えば焼結アルミナは高硬度と力学的強度が優れたBMであり、Bioglassすなわち $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系ガラスや焼結水酸化アパタイトは骨と自然に結合する生体活性を持つことが知られている。しかし後二者は曲げ強さがヒトの皮質骨の強さに及ばないので、小久保¹⁾は骨と良く似た構造の複合体をつくった。すなわち骨はアパタイトの微粒子集合体がコラーゲン線維によって巧みに補強された構造であることから、それを模擬して、白色の纖維状天然β-ワラストナイト $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ を $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2$ 系のガラスと共に粉碎して $5\ \mu\text{m}$ 以下の粒度として成形後 $1,050^\circ\text{C}$ で焼結してワラストナイトを再び纖維状に結晶化させて、FRC(纖維強化セラミックス)化し、緻密で均質な結晶化ガラスで、皮質骨以上の曲げ強さを持つ生体適合性人工骨に成功している。これらの例から、セラミックス系マトリックス(母材)を適当に選択してCFで強化することにより、極めて高強度、高弾性率の人工骨あるいは体内埋込み(インプラント)用材料を製造できる可能性が高い。したがって目的、用途に適合した性能の材料を調整することによって、これが画期的な医療技術が開発できる可能性があると考えられる。例えば腰椎ヘルニアで知られる各種の腰椎、腰仙椎症その他の外科的治療では、主としてチタン系金属材料により、例えばスクリュー類、フック類、プレート/ロッド類、ボルト類等、多様な形態のインプラント材、すなわち治具様の用具類があり、これらを体内に一定期間埋込んで矯正する方法がとられているが、矯正後再手術によってインプラント材は除去しなければならない。もし十分な強度、弾性率を持つセラミックスをマトリックスとするCF複合材であれば、インプラント材の必要寸法を最小にすることが可能であり、しかも再手術による除去を要さないはずである。これは患者の肉体的負担を軽減するだけでなく、保険に関する国家財政の負担にも好ましい結果を及ぼすはずである。

炭素は人工臓器用材料すなわちBMとして重要な素材であり、生体適合性に優れている。例えば炭素纖維強化炭素(C/C)が人工骨や歯根に利用された実績が既にあり、また英国で韌帯や腱が切断された際にCFでつなぎ合わせる外科手術が行われたが、CFが腱の再生を促進する作用があったといわれている(事例番号019及び059)。また小島²⁾は、Bokros等が低温等方性熱分解炭素で製作した人工心臓弁に成功したと報じている。事実であれば生体適合性(特に抗血栓性)の問題だけでなく、疲労特性という点からみた力学的性能に極めて優れている貴重な材料ということである。

小島は²⁾、95年頃にCF(カーボン纖維)が微生物等との間に何らかの興味深い関係を持つことを発見した。まだ機構は解明できていないが(その意味で生体適合性という用語が適切か否かという議論はあるかも知れないが、本調査研究においては論じない)、実用面から見て極めて重要な現象の数々が見出されている。

まず小島は活性汚泥が存在する水中にCF(12kのヤーン)1本を垂直に吊るしたところ、汚泥(微生物集団)が纖維表面に集まって塊を作り、それが成長するような、あるいは増殖す

るような形で汚泥ボールを形成した。当然比例して水は清澄になり浄化された。この塊はCFに強固に固着するが、しかしそのうちに段々小さくなる。それは生物の食いによることが明らかになった。良く観察した結果、まず粘菌が付着し、その上に単細胞生物等が着き、ボール塊が大きくなってくると、糸ミミズがでてきて、その後にモエクラ貝やタニシがでてきた。さらに水槽を大きくして実験を続けたところ、メダカがボール塊に卵を産み付けるのを認めた。すなわちCFを吊るすことによって、水質の浄化に極めて顕著な効果があり、BODが著しく低下することが認められた。必要条件として、対象が特に好気性微生物においては、CFを水中でゆるがすことと曝気量を多くすることである。この応用として考えられるのは、池の中のヘドロの除去、また例えばダムの底部に滞留する死水の処理等である。さらにすでに実験で確認されているが、都市下水の処理場への利用であって、ダンゴ塊になった微生物が汚物を処理する現象の活用が考えられる（200人用の前橋の下水処理場での実験によれば、約1kgのCFで十分であった）。もしこの効果が確認されて、大都市の下水処理に実用されれば、全体としてのCF需要量は膨大と思われる。

このような現象は、海水中でも同様に観測されたが、例えば田子の浦では、ダンゴ塊に小さい海老や蟹がついていた。また外洋での実験によれば、CFのゆらめきのない状態であったが1ヶ月で牡蠣殻がついていることが認められたり、オハグロベラという魚がいることも認められた。すなわち海洋牧場に極めて有用と考えられる。

これらの現象に関連して、CFと微生物との関係を寒天培地での実験で追及した結果、対照試料としての木綿、ポリ塩化ビニリデン、テトロン（ポリエチレンテレフタレート）の各繊維に比べて、CFは圧倒的に多量の微生物を増殖し、またCFも高弾性率よりも高強度CFの方が優れていることが認められた。すなわちCFはグラファイト化が進まない状態の方が良いことが判った。もちろん通常CFは、表面にサイジング加工が行われているが、これは除去する要がある。また納豆菌の増殖に対しては、対照試料としての上記の各繊維にガラス繊維を加えて比較実験したが、CFは極めて高い増殖率を示し、またKCIや銅が存在する条件さえも増殖することが確認された。

次に細胞レベルでの生体適合性ではないが、装具に関する生体への適合性に“蒸れ”的有無がある。牧ら（事例番号187）は、通気性という新しい機能を付与したCFRP製装具を現在開発している。すなわち太番手で低織り密度の3軸CF織布を強化材に用いることによって、“竹籠構造”的目の粗い、しかし極めて薄肉の膝関節保護用の装具（ブレース）である。このようなブレース類やコルセット類は患部を保護して、痛みをやわらげるだけではなく、長時間装着することが可能で、適当な運動ができれば、リハビリテーション効果によって、患部の筋肉が強化されて、症状を治癒する可能性がある。しかし従来の装具は、決して軽いとはいえないし、また蒸れるために長時間の装着は難しい。

高齢社会を迎ってしまった現在及び今後は、どうしても骨粗しょう症による膝関節患者の増大はまのがれない。症状の程度によっては外科的治療、すなわち手術も必要になるので、もし良い装具が開発されて、リハビリテーション治療すなわち非侵襲治療が可能になれば、患者にとっての福祉になるだけでなく、保健行政上でも国家的な利益となろう。このような材料は例えばスポーツ分野でも活用できるはずである。

次に今後の課題を整理すると、生体適合性を活用する複合材料の分野は、現在まだ未踏分野であり、またこれからの中の分野である。インプラント材の場合は、これらの材料に強い関心を持つ医師をいかに見出して、共同研究できるかということと、厚生省の認可を取得するための研究費負担に耐えることが必要条件となる。しかし製品はいずれも高付加価値製品であり、生産量はともかくとして、経済規模は非常に大きいので、真剣に取り組むべきである。

ただし小島の研究成果のような環境保全、むしろ汚染水の浄化は、経済性を含めて実現の可能性が非常に高いので、できるだけ早く開発研究を推進すべきであろう。しかし実用化の段階になると、どうしても国家規模でないと推進はできない。技術的な見通しは、すでに小島が立てているので、研究課題としてはパイロットによる実証が主となるが、しかしながらハンドリングの問題が残っている。すなわちCFを水中でゆるがすにはいかなる方法があるかである。一つの方法としてはCF束を部分的に編むことが考えられる。あるいは何等かの複合化技術の利用もあるかも知れない。さらに大きなプロジェクトとして海洋牧場を実現する場合は、人工藻場の形成、魚の餌場等に大きく寄与できるが、牧場としての他の必要条件を整えることが重要である。

参考文献

- 1) 小久保 正, 整形外科材料の現況と将来 硬組織修復材料としての新しいセラミックス、骨、関節、韌帯 vol. 6, no. 2 (1993. 2)
- 2) 小島 昭, 生物・生体分野への応用, 炭素材料学会編 新・炭素材料入門 第3章

2.5.5 その他の機能

性質の異なる複数の材料から成る複合材料は、多種多様な機能、構造を賦与することが可能である。ここでは一般的な分類で、纏めることが難しい機能を持った複合材料の事例を紹介する。

(1) 異なる機能を有する材料からなる複合材料

①従来からある材料の欠点を複合化によって補った複合材料

複合化により従来から使われていた材料の欠点を補う技術が多く開発されている。アルミ製の送電線は軽量だがクリープしやすい欠点を持つ。これをSiC繊維と複合化し、軽く丈夫な送電線を作る技術が開発されている(事例番号117など)。また金属が持つ強度物性の高さを生かしつつ、熱膨張係数が大きいという欠点を補強繊維により克服したFRMの、高精度化が進む半導体製造装置用への応用(事例番号128)、ガラスの透明性を維持しつつシリカ繊維によって強度を向上させる技術(事例番号125)などの例が見られる。

②従来からある材料に新しい機能を賦与した複合材料

従来から使用されている材料に複合化によって新たな機能を賦与し、付加価値を高めることができる。炭素繊維の電気伝導性を利用してFRP管にセンサー機能を賦与する技術(事例番号067など)、形状記憶合金ワイヤーをFRP板に組み込んで農業用ビニールハウスの温度調節用のハッチとすることにより、動力を必要とせず温度の変化に応じてハッチを自動的に開閉さ

せる技術（事例番号066）などが例として挙げられる。

③異なる機能を持つ材料を組み合わせ複数の機能を発現させた複合材料

機能が異なる材料を組み合わせ、両者の機能を合わせ持った複合材料とする技術である。炭素繊維と熱可塑性樹脂から作られた義肢は、加熱により使用者の体の形状に合わせこむことができる（事例番号103など）。この場合、熱可塑性樹脂は変形能と形状保持を、炭素繊維は強度向上をそれぞれ分担する。また樹脂の変形能と繊維の強度物性の複合化により衝撃吸収特性を持つ材料が作られている（事例番号048など）。

④繊維の物性を利用する複合材料

繊維をマトリックスで賦形し、繊維の持つ物性（強度物性、熱物性など）を利用した最も一般的な複合材料である。例えば炭素繊維（比強度、比剛性が高く、熱膨張係数の小さい）を熱硬化性樹脂で賦形した複合材料は、宇宙空間で大きな温度変化に曝されても変形を小さく抑えることができるため、人工衛星のアンテナや構体に用いられている（事例番号029など）。

また従来、金属材料が用いられていた強度部材に、軽量化を目的としてFRPが適用された例としてポータブル軽量車いすが挙げられる（事例番号028）。これは優れた強度物性を持つ炭素繊維を樹脂によって賦形し、製造されたものである。

（2）構造の組み合わせにより新しい機能を作り出した複合材料

異なる材料を組み合わせながら、形状の工夫により新しい機能を生みだした例も見られる。コア材に3次元中空構造ガラス織物を採用し、中空部分に熱媒を循環させたサンドイッチ構造のFRP製のタンク（事例番号102）、ガラス繊維で補強した膜構造を利用した大型構造物（事例番号168）が例として挙げられる。

（3）異なる材料が隣り合い、界面が生ずることにより機能を発現させた複合材料

材料の複合化により界面が生ずる。界面の性質（接着性など）を利用して複合材料に機能性を賦与することも可能である。例えば、GFRPのフィラメントワインドチューブの層間の劈開によりエネルギーを吸収する（事例番号001など）、またCFRP用のマトリックスとしてポリプロピレンにエチレン-ブチレンの微粒子を分散させて、耐衝撃性を付与する技術が開発されている（事例番号065）。

（4）物性に異方性を持たせた複合材料

材料の配向や含有率をコントロールすることにより複合材料に異方性を持たせることができる。例えば炭素繊維を一方向に引き揃えたCFRPは熱伝導性、電気伝導性、強度物性などに大きな異方性が生ずる。ピッチ系炭素繊維で作られたシールド工法に用いられる補強筋は十分な引張特性を有しつつ、横方向からの剪断で容易に破壊するため工事の能率が高められるという機能を有する（事例番号032）。

また複合材料中の成分に分布を持たせることにより機能を発現させることも可能である。熱可塑性樹脂またはゴムにカーボンブラックを分散させた材料に圧力をかけると電気伝導性が変化することから、感圧機能を付与することができる。

冒頭に述べたように複合材料は多くの組合せが存在し、新しい機能を獲得する可能性は無限にあると言える。しかし材料同士の相性、混合、コストが問題になることも多く、複合化によ

り材料の悪い面のみが現れるということも起き得ることから、今後も更なる技術力向上が必要である。

第2.5.5-1表 機能別分類

| 分類／キーワード | 事例番号 | | | | |
|---------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| (1)異なる機能を有する材料からなる複合材料 | | | | | |
| (1)-1従来からある材料の欠点を複合化によって補った複合材料 | | | | | |
| 耐クリープ特性 | 002 | 117 | | | |
| 熱膨張率制御 | 008 | 052 | 053 | 073 | 098 |
| | 120 | 128 | 156 | 157 | |
| 光学的性質 | 125 | | | | |
| 放射化特性 | 096 | | | | |
| (1)-2従来からある材料に新しい機能を賦与した複合材料 | | | | | |
| センサー機能 | 066 | 067 | 081 | 107 | |
| 自己補修能 | 099 | 100 | 101 | | |
| 耐久性 | 037 | | | | |
| 光学的性質 | 042 | | | | |
| (1)-3異なった機能を持つ材料を組み合わせ複数の機能を発現させた複合材料 | | | | | |
| 熱可塑の利用 | 103 | 142 | | | |
| 強度特性改善 | 091 | | | | |
| (1)-4繊維の物性を利用する複合材料 | | | | | |
| 熱膨張率制御 | 029 | | | | |
| 軽量 | 028 | 043 | 104 | | |
| 衝撃吸収特性 | 023 | 048 | 122 | 123 | 139 |
| 易施工 | 031 | | | | |
| (2)構造の組み合わせにより新しい機能を作り出した複合材料 | | | | | |
| 新規構造物 | 102 | 168 | | | |
| (3)異なる材料が隣り合い、界面が生ずることにより機能を発現させた複合材料 | | | | | |
| 衝撃吸収性能 | 001 | 065 | 145 | | |
| (4)物性に異方性を持たせた複合材料 | | | | | |
| 異方性利用 | 032 | | | | |
| (5)その他 | | | | | |
| デザイン性 | 049 | | | | |
| リサイクル性 | 108 | | | | |
| 吸着水制御 | 087 | | | | |
| 硬度特性 | 127 | | | | |
| 耐アブレージョン性能 | 116 | | | | |
| 新成形技術 | 051 | | | | |

2. 6 まとめ

「先進複合材料の従来までの経緯と機能複合の意義」では、まず複合材料の種類と定義を示し、さらに主として繊維強化複合材料に関する技術史を俯瞰した。また先進複合材料の産業としての規模を、カーボン繊維強化プラスチック（C F R P）の用途と需要量の推移で示した。

次いで本調査研究の意義として機能複合について考察し、委員会として機能複合という新しいコンセプトを提案した。同一材料であっても、新しい別の視点を確立することにより、新しい材料技術、さらには産業が展開する可能性があることを指摘した。なお先進繊維強化複合材料をいつまでも先端技術の一つに留めるのではなく、産業材料としての発展を期待するならば、一つの重要なバリヤーである、生産性の問題を克服しなければならない。すなわち例えば熱可塑性プラスチックに匹敵する生産性、成形性の確立が必要である。さらに機能に関する理論の成否について論じた。

「先進複合材料の耐熱機能」では、工学的には高温特性と低温特性に分類され、また耐熱性能と断熱性能を求めるには、熱膨張係数や熱伝導率の評価が必要なことを述べ、かつ信頼性のあるデータが必要なことを述べた。

このような性能が強く要求される分野として、宇宙、航空分野、例えばスペースプレーン、超音速機、極超音速機、メタン燃料航空機等があり、新エネルギー分野では、石炭ガス化発電や核融合炉等様々な計画が挙げられる。そしてこれらの開発に関しては、超高温下での耐熱性、耐摩耗性、耐酸化性、耐衝撃性、高比強度、高比剛性等について高い要求値が求められることを述べた。特にスペースプレーンの構造部材等では、1,000～2,000°Cという高温に曝されるという厳しい環境下で使用されるので、通産省の産業科学技術研究開発プロジェクト「超耐環境性先進材料」でカーボン繊維強化カーボン（C/C）や炭化けい素繊維強化金属間化合物等の研究開発が進められた。また多孔性のC/Cは非酸化性雰囲気下での高温断熱性が優れているので、電子部品製造用の高温真空炉の断熱材としての用途開発がなされている。耐熱性が最も優れているのはセラミックスであり、セラミックス系複合材料は耐熱機能を持つ構造材料としての期待が持たれているが脆性の欠点がまだ解決していない。特にガラスマトリックスが最も実用に近いとされているが、脆性の解決が課題として残されていることなどを述べた。

次にこれらよりも低い温度域では、かつて通産省の次世代プロジェクト「複合材料」で250°Cに耐えるC F R Pと450°Cに耐える繊維強化金属（F RM）が開発された。

この技術は21世紀初頭に開発が着手されると予想されているマッハ2～3の大型航空機の構造材として活用されるものと期待されている。またC F R Pは線熱膨張係数がゼロの部材を製造できるので、望遠鏡の機体や反射板等に利用されている等のことを述べた。

「先進複合材料の電気・電磁気機能」では、炭素繊維の導電性とガラス繊維の電気絶縁性の利用にはほぼ限定されている。すなわち導電性のないプラスチックに炭素繊維を複合して導電性と強度を付与するという使い方が実用されているし、かつこの技術が土木・建築分野で今後さらに発展すると期待されている。さらに、今後ますます発展すると予測される情報化社会で、ニーズが高まると考えられる電磁波シールド材や帯電防止材としてもC F R Pは大きく期待されるはずであるが、まだ一般に性能を認識されていない。

またC F の通電による発熱に関してはまだ技術的に未解決な問題が残っている。しかし決し

て解決できない問題ではなく、市場さえあれば開発はできることを述べた。

続いてリチウムイオン2次電池等各種の電池の、電極としてのCF関連材料が現在注目されていることを述べた。

「先進複合材料の耐薬品機能」では、プラスチック系の先進繊維強化複合材料で実用されているのはCFRPで、少量ではあるがC/Cが使用条件の過酷なところに使われている。CFは酸化性環境以外では化学的に極めて安定であり、CFRPの耐薬品性・耐環境性は、マトリックス（母材）の性能が支配的である。また現段階では個々に問題や課題があるにしても、しかし他材料に比べて、腐食、錆等に対して非常に強く、日光による劣化も比較的に少ないことから、例えばCFRPよりも一段低性能で、しかし安価なGFRPが水廻り等、非常に広い分野で活用されてきたことを指摘し、特に構造体の補修費の点では極めて有利な材料であることを強く指摘した。従来のこれらの分野への適用は、高強度・高剛性であることが理由ではあったが、実際には耐薬品性等の機能の寄与によって実用された。しかしながら、他の機能と同様に、耐薬品性も繊維強化プラスチックの1つの属性とされてきた。

すなわち耐薬品性・耐環境性という機能を主体として積極的に研究開発を推進すると、従来とは異なる分野が展開すると考えられる。例えば現に繊維強化セラミックスであるC/Cは、相当に過酷な条件で使用される電池の分野、例えりん酸形燃料電池等の分野では極めて有利な材料と考えられている。

次に地球環境の悪化や砂等の骨材の汚染などに起因する鉄筋コンクリートの問題から、鉄筋に替わる材料としての先進繊維強化プラスチックの利用等が重視されていることを述べ、また原子炉材料としての炭化けい素繊維強化炭化けい素（SiC/SiC）が、日本及び欧米で検討されていることを指摘、繊維強化金属であるが、炭化けい素繊維強化アルミ合金が、半導体製造装置の一部に実用される候補となっていることを述べた。さらに橋梁や道路材料としての繊維強化複合材料の可能性については、すでに10年以前から積極的な動きがあることを指摘した。すなわちこれらの土木分野では、今後の問題として、雨露、風雪、寒暖、日光・紫外線、火災、雷撃、塩分、排気ガス、酸性雨等への対策上、鉄鋼やコンクリート等の従来の他材料との共用、共存が必要になると予想されている。特に例えば北海石油採掘プラットフォームのような極めて厳しい用途への適用の問題は、今後非常に重要な課題になると予想される。すなわち北海では石油採掘のために英国は200個以上のプラットフォームをつくったが、その維持費は膨大といわれている。また英国ではCFRPが非常に耐塩性に優れていることから、海洋構造物への基礎検討が進んでいて、遠からず実用になると予想されているが、耐食性の点、すなわち維持費の点から、CFRP等は最適材料であるとされている。しかし問題は素材の供給能力である。すなわちカーボン繊維だけを取り上げても、現在の世界の総生産能力は1万t／年に過ぎないが、海洋構造物に本格的に使用するためには、少なくとも100万t／年は必要であり、そのための投資は1～2兆円を必要とすることを指摘した。そして1)これだけの投資に耐える企業は日本国内にはないこと、2)この事業は製品輸出形ではなく、技術輸出形であること、さらに3)カーボン繊維の生産技術は日本にのみ所在することから、今後政策的な課題となるであろうことを述べた。良く調査した上で早目に対応を検討すべき問題である。

耐環境性が優れていることと関連する大きな問題は廃棄・リサイクルである。廃棄・リサイ

クルは今後の製品開発と材料選択の上で非常に重視される課題となる。特にプラスチック系複合材料は、放置された場合に大きいスペースを占有することと、腐食しないことが難点となる。

しかしながら、地球環境問題の一環として捉えると、製造、運用、補修、リサイクル、終末処理までのトータル・エネルギーのバランスが最重要であり、製品、材料の可使用寿命の長短が鍵になる。すなわち製品・材料の全寿命における消費エネルギー、別の表現をすれば地球環境への負荷を如何に小さくできるかが重要であって、長寿命であること、理想をいえば、“廃棄しない”のが最善である。

ここで二つの問題を提起した。一つはデータ・ベース、特に寿命に関するデータ・ベースの構築である。現在は産学官が相互に関連のないままに、それぞれで特性を採取しているが、データ・ベースの構築にはほど遠い。例えば科技庁の金属材料研究所に相当する、複合材料のデータ・ベース構築並びに評価体制確立のための統括機関が必要である。第2の問題はLCAすなわちライフ・サイクル・アセスメント（次の段階のアセスメント）のデータ整備が緊急に必要である。前記のデータ・ベースの整備ができていないことが問題ではあるが、まずは複合材料の製造、運用に係わるエネルギー、炭酸ガスなどの排出ガス量の把握だけでも早急に行う必要がある。そしてこれらの実施には、行政面からの施策が必要であることを述べた。

「先進複合材料の吸着機能」では、一般に炭素が吸着剤として優れていることは良く知られている。従来の高強度、高弾性率CFの生産では、高温で焼成する必要があるが、逆に低焼成温度にして多孔質のCF、すなわち活性炭素繊維にすることによって、活性炭よりも高性能の吸着性を持つことと、この材料が77年頃より市販されていることを述べた。なお英国でも60年代後半に開発はされたが、現在生産販売しているのは日本の4社だけである。これらの原料は、レーヨン系、PAN（ポリアクリロニトリル）系、ビッチ系及びフェノール系である。

活性炭素繊維は、普通の活性炭（粒状）の径が約 $1,000\mu\text{m}$ であるのに対して、繊維径は約 $10\mu\text{m}$ であって、吸着速度が著しく大きいことが特徴で、食品工業特に発酵によって生じる着色物質の除去に威力を発揮し、浄水にも効果が大きいことを述べた。またコールタールからのCFは、原子力発電における使用済み核燃料の再処理工場からなる放射性廃液中のプルトニウムだけを吸着する。この技術は日本で開発され、現在米国で実験が行われているが、効果が確かめられれば、原子力発電の廃液処理に大きく寄与するであろうことを指摘した。

「防振・耐振機能」では、これらの機能が広い産業分野での横断的な課題であることを指摘し、機能を1) 高減衰能、2) 遮音、防振能に分類。前者にハイブリッド複合材、フェライト複合材、（音響用）CFRP、（スプリング）CFRPとGFRPが、後者にクラッド材があることを示した。

また産業横断的な材料の具体例として、CFRPシートとアルミシートの積層材等7例を示した。さらに適用の可能性のある産業分野を分類し、それぞれの材料を明示した。

「トライボロジー機能・エロージョン機能」では、多くの材料系が開発されているが、それらの代表を一覧表にまとめた。すなわちプラスチック基複合材料、セラミックス基複合材料及び金属基複合材料に分類され、これらにC/Cその他が加わるとした。またそれぞれの特徴をまとめた。

「音響機能」では、すでにバイオリン等各種の楽器の材料としてCFRPが製造販売された

ことと、スピーカーコーンに各種の繊維や繊維強化複合材料が使われていることを述べた。また直径1,000mmの振動板を用いたCFRP製の低音再生専用スピーカーも製作された例を示した。

「生体適合機能」では、人工臓器等に利用できる、生体適合性を持つ材料の1つに炭素があり、すでに人工心臓弁や人工歯根等に成功した症例のあることを述べた。

現在最も可能性の高いのは骨修理材料である。すなわち天然の骨は、その70%が水酸化アパタイトであり、セラミックスで生体適合性材料をつくり易いところから、すでに実用できる繊維強化セラミックス(FRC)がつくられていることと、これらのセラミックス材料をマトリックスと考えたカーボン繊維等との複合材料を開発すれば、例えば腰椎ヘルニア等の外科用材料として画期的な治療法が開発できる可能性があることを示唆した。

最近見出された現象にカーボン繊維と微生物との興味深い関係がある。まだ機構は解明されていないが、活性汚泥の存在する水中にCFを吊るしておくと、CFを中心として微生物の集団である汚泥が集まって汚泥ボールを形成し、水は清澄になり浄化される現象である。しかもボール状汚泥は微生物や生物の食いによって消滅する。この現象は海水中でも同様に起こり、これらのことから、水中のヘドロの除去、ダム底部に滞留する死水の処理、都市の屎尿等の生活排水の有効処理あるいは海中牧場への活用などが十分に可能と考えられる。さらにCFは、微生物の増殖に極めて有効なことも明らかにされた。

以上から、CF及びCFRPは水に関する環境保全からさらに一步を進めた環境浄化に、かなり低コストで寄与できること、また前述の海洋構造物とも関連して、牧場を含む海洋開発に大きく寄与する可能性があることを述べた。

さらにCFの太番手低織り密度の3軸織布によるCFRPが通気性のある製品を与え、軽量性と関連して膝関節用装具あるいはコルセットとして、長時間の装着を容易にできることから、リハビリによる治癒効果のある装具開発が可能になったことを述べた。この通気性という機能は運動具等他の分野でも活用できるはずである。

「その他の機能」では、上述のような一般的な機能分類でくくることが難しい複合材料を分類して、それぞれの事例を示した。すなわち、(1)異なる機能を有する材料からなる複合材料、(2)構造の組み合わせにより新しい機能を作り出した複合材料、(3)異なる材料が隣り合い、界面が生じることにより機能を発現させた複合材料及び(4)物性に異方性を持たせた複合材料の4種に分類。さらに、(1)を次の4種に細分した。

すなわち、1) 従来からある材料の欠点を複合化によって補った複合材料として、例えばアルミ製の送電線に炭化けい素繊維を複合することによって軽量でクリープし難い送電線にした。2) 従来からある材料に新しい機能を賦与した複合材料として、例えばCFの電気伝導性を利用してGFRP管にセンサー機能を賦与した。3) 異なった機能を持つ材料を組み合わせ、複数の機能を発現させた複合材料として、例えばCFと熱可塑性樹脂からなる義肢は、樹脂が熱による変形能とマトリックスとしての形状保持性を、またCFは強度を分担している。4) 繊維の物性を利用する複合材料として、従来の高強度、高弾性率の繊維強化複合材料がある。以上である。

次に、(2)構造の組み合わせにより新しい機能を作り出した複合材料であるが、例えばコ

ア（心）材に3次元中空構造ガラス織物を用いて、その中空部に熱媒を循環させたサンドイッチ構造のGFRP製タンクがある。

(3) 異なる材料が隣り合い、界面が生じることにより機能を発現させた複合材料として、例えばGFRPのフィラメントワインド・チューブの層間のへき開によってエネルギーを吸収する構造がある。

(4) 物性に異方性を持たせた複合材料として、例えばCFを一方向に引き揃えたCFRPは強度だけでなく、熱伝導性や電気伝導性に大きな異方性がある。

以上のような機能複合の分類を提案したが、まだ事例が少なく、十分に吟味する時間もなかったので、今後さらに吟味を重ねて新しい工学大系を構築したいものである。すなわち新しい工学を創造するには、最も重要なのは必要性と必然性であるが、その上にたって、まず事柄（ここでは材料）の説得力のある分類、そして用語の定義と基礎理論の構築である。本調査研究によって、これら基本的な条件はほぼ揃う見通しがえられたことは大きな成果である。本調査研究委員会が“機能複合”というコンセプトを提案する所以でもある。

3. 今後の重要な課題

本調査研究によって多くの貴重な成果をえたが、その最たるものは機能複合というコンセプトを提案し、差別化できる非強度機能の積極的な研究開発によって、広範な市場分野が開拓される可能性を見出したことである。さらにこれらの開発は単に産業上の発展だけでなく、人類の生活の質の向上あるいは社会システムの一層の合理化等への裨益が大きいと予測される課題が多い。ただ当面重要なのは廃棄・リサイクルの問題であり、それへの対処としても早急に推進すべきことは、複合材料に関するライフ・サイクル・アセスメント、LCAのための信頼性の高いデータの整備である。さらにLCAを完備するためにも、例えば金属材料研究所のようなデータ・ベース構築組織の整備である。これらの推進は業界だけでは無理なので行政上の施策が必要であると思われる。

さて、上述のように生活の質の向上、社会システムの合理化等への寄与が考えられる課題が見られたが、これらの課題はまだ可能性の示唆に留まらざるをえない状況にあった。しかしこれらの内で、かなりの実現の可能性が高く、しかも実現の暁には、国家にとっての利益が大きいと予測される次の課題は、なるべく早期に Feasibility Study (FS) を実施することが必要である。

(1) 機能複合材料の海洋構造物への適用の可能性

橋梁、道路等ともかなり共通する点があるが、耐塩性が抜群であることから、まずは海洋構造物を対象として技術的な見通し、できれば環境アセスメント等のための基礎調査を実施する。

(2) 水の浄化システムの可能性

水の浄化については、CFの有効性すなわちBODの低減効果が大きいことを述べたが、この技術は相当の確度があるので、例えばメルカプト化合物等による悪臭の除去、植物によるCODの低減等の関連技術を吟味して最も有効で、経済性の高いシステムの構築を具体的に提言できるようにする。

II. 事例

1. 事例の要約

事例は、複数の著者から提供された事例をそのまま著者別にファイルしたものであり、内容の重複や機能分類の不統一があるばかりでなく、機能別又は材料別に索引することができない。この点を補うため、事例を機能別に分類し索引の便宜を図った。なお、先進複合材料の特徴は「軽い、強い、剛い（比強さ、比弾性率）」にあり、それに加えて耐衝撃性、耐熱性、耐薬品性等の機能に優れているために使用されているのが実情である。比強さ及び比弾性率が高いゆえに使用されている事例は多くあるが、優れた機能性のみによって実用される例は少ない。また、複数の用途や機能の複合効果をあげる事例が多くあり、索引はできるだけ多くの項目を採録した。

機能は次の通り分類した。

- 0 力学機能
- 1 耐熱機能
- 2 電気・電磁気機能
- 3 耐薬品機能
- 4 吸着機能
- 5 その他の機能
 - 5-1 トライボロジー機能、エロージョン機能
 - 5-2 音響機能
 - 5-3 生体適合機能
 - 5-7 その他機能

機能別分類は、さらに機能、用途、事例番号および材料に小分類した。

材料の略号は慣例に従って次のようにした。

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| F R P | G F R P の場合と繊維強化樹脂一般を指す場合がある |
| A F R P | アラミド繊維で強化した樹脂 |
| C F R P | 炭素繊維で強化した樹脂 |
| G F R P | ガラス繊維で強化した樹脂 |
| F R T P | 繊維で強化した熱可塑樹脂 |
| C (またはG) F R T P | 炭素（またはガラス）繊維で強化した熱可塑樹脂 |
| C F · G (A) F ハイブリッド R P | 炭素繊維及びガラス（アラミド）繊維で強化した樹脂 |
| C F / フェノール樹脂 | 炭素繊維で強化したフェノール樹脂 |
| 炭素繊維／ふつ素樹脂 | ふつ素樹脂を含浸した炭素繊維 |
| ふつ素樹脂含浸 C F R P | ふつ素樹脂を含浸した C F R P |
| C / C | 炭素繊維で強化した炭素 |
| S i C / 樹脂（アルミ、ガラス） | 炭化けい素繊維で強化した樹脂（アルミ、ガラス） |
| S i C / セラミック | 炭化けい素繊維で強化したセラミック一般 |
| S i C / S i C | 炭化けい素繊維で強化した炭化けい素 |

S i C ウイスカ／アルミ
C F ・アルミナ繊維／アルミ

炭化けい素ウイスカで強化したアルミ
炭素繊維とアルミナ繊維で強化したアルミ

O 力学機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|-----------|-------------------------|---------------|---------------------|
| 比強さ・比弾性率 | 人工衛星部品 | 0 2 9 | C F R P |
| | 飛行機・飛翔体 | 1 6 6 | F R P |
| | 鉄道車両台車 | 1 5 1 | F R P |
| | フライホイール | 1 7 0 | F R P |
| | 遠心分離機胴 | 1 6 9 | C F R P、A F R P |
| | スポーツ用具 | 1 6 5 | C F R P |
| | 送電線 | 0 0 2、1 1 7 | S i C／アルミ、C F R P |
| | 車椅子スロープ | 0 2 8、0 4 3 | C F R P |
| | 車椅子 | 1 0 4 | C F R T P |
| 圧力容器 | 0 3 0、1 3 4、1 5 0、1 7 1 | F R P、C F R P | |
| 屋根架構 | 1 4 7 | C F R P | |
| 吊り橋ケーブル | 1 4 9 | C F R P | |
| 横揺れ防止ケーブル | 0 2 7 | C F R P | |
| 建築物補強 | 0 3 1 | C F R P | |
| 地下掘削用ケーブル | 1 2 4 | 長繊維強化アルミ | |
| 鋳物用砂型治具 | 1 0 5 | C F R P | |
| 低せん断強さ | コンクリート補強筋 | 0 3 2 | C F R P |
| 耐衝撃性 | 自動車、円筒 | 0 0 1 | C F R P、G F R P |
| | 円筒 | 1 4 5 | C F R T P、G F R T P |
| | 船外板 | 1 0 6 | A F R P |
| | 防弾板・盾 | 0 2 3、0 4 8 | A F R P、G F R T P |
| | 耐弾材 | 1 2 2 | S i C／アルミ |
| | 装甲車 | 1 2 3 | S i C／ガラス |
| | 安全靴 | 1 3 9 | G F R T P |
| | 容器 | 0 7 4 | C F R P－アルミ ラミネート |
| | 構造材 | 0 6 5 | ゴム入り樹脂使用C F R P |
| 振動減衰性 | トランスマッピングレス | 0 4 5 | C F R P |
| | ロボットアーム | 0 9 3 | C F ・A F ハイブリッドR P |
| | スポーツ用具 | 0 9 2 | C F ・A F ハイブリッドR P |
| | 自動車プロペラシャフト | 0 2 4 | C F R P |
| | 鉄道車両用台車 | 1 0 9 | C F R P |
| | 鉄道車両用ばね | 1 1 0 | C F R P |

| | | |
|-----------|-----|------------|
| 鉄道用まくらぎ | 114 | F R P |
| 制振・遮音材料 | 094 | フェライト粒子／樹脂 |
| 工作機械ベッド | 024 | F R P |
| 織機ヘルドフレーム | 024 | C F R P |

1 耐熱機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| 高温強さ・剛性ブレーキディスク | | 003、058 | C/C |
| 高温・核融合炉材 | | 033、072 | C/C |
| ボルト・ナット | | 064 | C/C |
| プレスマールド | | 070 | C/C |
| 溶融亜鉛設備 | | 129 | S i C/セラミック |
| 溶融アルミ設備 | | 130 | S i C/セラミック |
| ガラス製造設備 | | 131 | S i C/セラミック |
| ガスタービン遮熱板 | 132 | | 繊維強化セラミック |
| 製鉄設備補強 | | 162 | S i C/セラミック |
| 触媒担体 | | 006 | 炭素繊維 |
| 原子炉配線 | | 126 | S i 3 N 4 繊維編物 |
| 断熱性 | 高温炉断熱材 | 004 | 多孔性C/C |
| | ディーゼルエンジン | 135 | セラミックで鋳包んだエンジン |
| | アブレーション冷却 | 005、055、116 | C F 又はG F /フェノール樹脂 |
| | 極低温断熱材 | 007、040、111 | C F R P、G F R P |
| 熱伝導性 | 高温熱交換器 | 155、160 | C/C、S i C/セラミック |
| | ヒートジャケット | 102 | 3次元中空ガラス織物F R P |
| | 超電導安定化電線 | 082 | N b T i /銅/ステンレス線 |
| | シリンドラボア | 158 | C F ・アルミナ繊維/アルミ |
| | クラッチ・ブレーキパッド | 090 | 金属繊維 |
| 熱膨張率 | アンテナ・望遠鏡 | 008 | C F R P |
| | 測定工具 | 052 | C F R P |
| | 人工衛星構体 | 098 | C F R P |
| | 成形ツール | 053 | C F R P |
| | 高温パッキン | 136 | 炭素繊維 |
| | 電力用半導体素子 | 073 | 炭素繊維/銅 |
| | 半導体素子接合部 | 157 | 炭素繊維/銅 |
| | ガスタービンブレード | 097 | セラミック被覆耐熱合金 |
| | 送電線 | 117 | S i C/アルミ |
| | 航空機計器 | 120 | 繊維強化アルミ |

| | | |
|------------|--------|-----------------|
| 半導体製造設備 | 128 | SiC／アルミ |
| コンプレッサベーン | 159 | SiC／アルミ |
| LNGタンク | 138 | 繊維強化アルミ |
| クランクダンパブーリ | 156 | アルミナ・シリカ／アルミ |
| 超電導コイルバインダ | 095 | 高純度銅テープ／タングステン線 |
| 熱再加工性 | 義肢・義足 | CFRT P |
| 形状記憶性 | 温度調節装置 | 形状記憶合金線入りFRP |
| | 自己補修材料 | セラミック、金属 |

2 電気・電磁気機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|--------|------------|-------------|------------------|
| 導電性 | ブラシ | 015 | C/C、炭素繊維 |
| | ヒータ | 014 | 炭素繊維 |
| | 衛星放送受信用反射鏡 | 167 | FRP |
| | 通信用大型アンテナ | 086 | CFRP |
| | 感圧導電体 | 081 | 導電性フィラー／エラストマ |
| | 漁網 | 016 | 炭素繊維 |
| | 静電気除去衣料 | 017 | 炭素繊維、鋼繊維 |
| | 静電気除去樹脂 | 011、061 | CFRT P、CFRP、炭素繊維 |
| | 武器 | 013 | 炭素繊維 |
| | 超電導コイルバインダ | 095 | 高純度銅テープ／タングステン線 |
| 絶縁性 | 地下掘削用ケーブル | 124 | 長繊維強化アルミ |
| | りん酸型燃料電池 | 010、068 | C/C |
| | ナトリウム硫黄電池 | 010 | 炭素繊維フェルト |
| | リチウムイオン電池 | 009 | 炭素繊維、黒鉛粉末、微小球体 |
| | キャパシタ | 010 | 活性炭素繊維マット |
| | 破壊検知センサ | 026、067、107 | CF・GFハイブリッドRP |
| | 破壊検知センサ | 154 | SiC/WC・Si3N4 |
| | がいし | 063 | GFRP |
| | 超電導コイルスペーサ | 041 | GFRP |
| | プリント回路基板 | 140 | GFRP |
| 誘電率 | 原子炉配線 | 126 | Si3N4 繊維編物 |
| | プリント回路基板 | 140、141 | GFRP、Dガラス繊維FRP |
| | プリント回路基板 | 146 | 中空ガラス繊維FRP |
| | 広温度範囲コンデンサ | 083 | BaTiO3-NaNbO |
| 電磁波吸収性 | レーダ電波吸収材 | 025 | SiC／樹脂 |
| | 電磁波吸収材 | 050、113 | コイル状炭素繊維 |

| | | | |
|--------|------------|-------|--------------------------|
| | 電磁波吸収材 | 0 8 4 | N i - Z n フェライト／樹脂 |
| | 電子機器ハウジング | 0 8 0 | 銅線 |
| 電波透過性 | レドーム | 0 8 5 | G F R P 、 G F / セラミック |
| X 線透過性 | 医療用 X 線機器 | 0 1 2 | C F R P |
| 熱応答性 | 赤外線検知サーミスタ | 1 5 3 | S i C 繊維 |
| 圧電性 | 圧電素子繊維 | 1 5 2 | P Z T 繊維、 N b - P Z T 繊維 |
| 磁性 | リアクトル鉄心 | 0 7 6 | 鉄系磁性材料粉末の固化物 |
| | 磁気楔材料 | 0 7 7 | 磁性材料粉末の固化物 |
| | 磁性流体 | 0 7 8 | 磁性微粒子の液体分散物 |
| | 永久磁石 | 0 7 9 | 鉄ウイスカ |
| | 非磁性ボルトナット | 1 1 5 | C F R P |
| | 非磁性安全靴先芯 | 1 3 9 | G F R P |
| 放射化性 | 原子炉用容器 | 0 9 6 | S i C / アルミ |
| | 原子炉用構造材料 | 1 1 8 | S i C / S i C |

3 耐薬品機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|--------|------------|---------------|-------------------|
| 耐水・海水性 | 外洋遊漁船 | 0 4 7 | G F R P |
| | 舟艇部品 | 0 7 1 | C F R P |
| | 鉄道車両台車 | 1 5 1 | F R P 、 C F R P |
| | 波力発電ブレード | 0 3 9 | G F R P |
| | 冷水塔主架構 | 0 4 4 | G F R P |
| | 水処理設備 | 0 3 8 | G F R P |
| | 海洋構造物 | 0 3 4 、 0 0 5 | F R P |
| | 魚雷 | 1 1 9 | 繊維強化アルミ |
| 耐薬品性 | 化学プラント部材 | 0 5 6 、 0 6 0 | G F R P 、 C F R P |
| | 高温熱交換器 | 1 6 0 | S i C / セラミック |
| | 溶融アルミ設備 | 1 3 0 | S i C / セラミック |
| | 気体分離超高速回転胴 | 1 6 9 | C F R P 、 A F R P |
| | 通信用アンテナ | 0 8 6 | C F R P |
| | 圧力容器 | 1 5 0 、 1 7 1 | F R P |
| | 半導体製造設備 | 1 2 8 | S i C / アルミ |
| | 化学設備壁材 | 1 3 3 | S i C / S i C |
| | 水処理膜 | 0 1 8 | C / C |
| | 電池電極 | 0 1 0 、 0 6 8 | C / C |
| | パッキン・摺動材 | 0 1 8 | 炭素繊維／ふつ素樹脂 |
| | メカニカルシール | 0 6 9 | ふつ素樹脂含浸 C F R P |

| | | | |
|--------|-----------|-------------|----------------|
| | 破壊検知センサ | 026、067、107 | CF・GFハイブリッドRP |
| | コンクリート補強材 | 022、108 | FRP、FRTP |
| | コンクリート型枠材 | 108 | FRP、FRTP |
| | ロックアンカボルト | 148 | GFRP、AFRP、CFRP |
| | 地下掘削用ケーブル | 124 | 長繊維強化アルミ |
| | 屋根架構 | 147 | CFRP |
| | 吊り橋ケーブル | 149 | CFRP |
| 不燃・難燃性 | 海洋構造物 | 054 | 繊維強化フェノール樹脂 |
| | 航空機内装材 | 036 | 繊維強化フェノール樹脂 |
| | 金庫内壁材 | 127 | SiC/SiC |
| | ロールスクリーン | 143 | 塩ビ被覆ガラス織物 |
| | 壁紙 | 144 | エマルジョン塗装ガラス織物 |
| 酸化劣化性 | 自己崩壊性CFRP | 112 | CFRP |

4 吸着機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|-----|----------|-------------|-------------|
| 吸着性 | 溶剤回収装置 | 020、075、163 | 活性炭素繊維 |
| | 浄水器 | 163、057 | 活性炭素繊維 |
| | 食品脱色 | 163 | 活性炭素繊維 |
| | プルトニウム除去 | 020、164 | コールタールピッチ繊維 |
| | 水浄化 | 020 | 炭素繊維 |

5 その他の機能

5-1 トライボロジー機能、エロージョン機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|------|--------------|---------|-----------------|
| 耐摩耗性 | シリンドラ弁 | 035 | CFRP |
| | ピストンリング | 088、158 | アルミナ繊維／アルミ |
| | ピストンリング | 088 | SiCウイスカ／アルミ |
| | ピストンヘッド | 158 | SiC／アルミ |
| | シリンドラボア | 158 | CF・アルミナ繊維／アルミ |
| | シリンドラブロック | 161 | セラミック繊維／アルミ |
| | コンプレッサベーン | 159 | SiC／アルミ |
| | 自己潤滑耐摩耗材 | 089 | ウイスカ・自己潤滑粒子／アルミ |
| | クラッチ・ブレーキパッド | 090 | 金属繊維 |
| | 変速材用クラッチ | 137 | ゴム添加CFRP、C/C |

| | | |
|-------------|---------|-------------|
| 高炉出銑口用耐火物 | 121 | S i C強化耐火物 |
| 航空機ブレーキディスク | 003 | C/C |
| パッキン・摺動材 | 018、062 | 炭素繊維／ふつ素樹脂 |
| メカニカルシール | 069 | ふつ素樹脂含浸CFRP |

5 その他の機能

5-2 音響機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|------|----------|------|------|
| 振動特性 | 楽器 | 024 | FRP |
| | 液圧駆動スピーカ | 046 | CFRP |

5 その他の機能

5-3 生体適合機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|-------|--------|---------|-------------|
| 生体適合性 | 人工骨・歯根 | 019、059 | C/C、人工アパタイト |
| | 靭帯、腱 | 019 | 炭素繊維 |

5 その他の機能

5-3 その他機能

| 機能 | 用途 | 事例番号 | 材料 |
|-------|-----------|---------|-----------------|
| 切削性 | コンクリート補強筋 | 032 | CFRP |
| 膜材 | 大型膜構造 | 168 | ガラス繊維強化膜 |
| | アクチュエータ | 091 | シリカ微粒子/PVA膜 |
| 自己補修性 | 自己補修材料 | 099、100 | セラミック、金属 |
| | 自己補修材料 | 101 | PMMA樹脂 |
| 成形方法 | FRP電子線硬化 | 051 | FRP |
| | 高温短時間養生 | 021 | 炭素繊維強化セメント |
| 装飾性 | 自動車内装 | 049 | 炭素繊維織物FRP |
| | 住宅屋内表面材 | 037 | 熱硬化性ポリエステル樹脂複合材 |
| 光学特性 | 建築物内外装 | 042 | 透明なGFRP |
| | 透明・偏光性FRP | 125 | 透明なシリカ繊維FRP |
| | 破壊検知センサ | 134 | 光ファイバ入りCFRP |
| 嗜好性 | 蒲鉾・こんにゃく | 087 | 蛋白質・水複合材料 |
| 環境調和性 | 自己崩壊性CFRP | 112 | CFRP |
| | コンクリート型枠材 | 108 | FRP、FRTP |
| | FRPマクラギ | 114 | FRP |

2. 事例

本調査研究委員会では、事例の収集に努力した。多くの方々の御尽力によって約190件の事例を集めることができた。その全てを以下に列記した。

これらの事例を集めるに当たり、御協力者には、御存じの事例ができるだけ多く提供して戴くために文献等の根拠には全然拘らないということと、御名前の公表をしないという条件で御願いした。その結果、ここに示したように極めて多数の事例を集めることができた。若干の重複はあるが無責任な情報は全くない。

以上の事情から、各事例ごとに001よりの3桁の事例番号を付し、さらに執筆者の御名前はアルファベット1文字に記号化して、3桁番号の末尾に付した。なお本文中に引用する際はこれらのアルファベットは省略した。下記に示した文章は、原則としてフロッピーで戴いたものを原則そのまま再録した。

本文が機能別の編集を行ったので、詳細に点検すると、章あるいは項の間に入ってしまい、引用しなかった事例があるかも知れないが謹んで御詫びする。

そのようなことも考慮すると本事例集は、それだけ読んでも非常に興味深い情報を引き出せるはずである。是非活用して戴きたい。

1. 事例番号：001A

2. タイトル：衝撃吸収が大きい繊維強化樹脂複合材料（F R P）
3. 機能分類：力学的性質（耐衝撃性）
4. 内容：（1）炭素繊維F R Pは衝突によって小さい破片に壊れるため衝撃吸収が大きい。高速で走行するレーシングカーの車体にC F R Pを使用し始めてから、衝突による人命事故が激減した。

（2）G F R Pのフィラメントワインドチューブは軸方向に衝撃圧縮すると層間が劈開して大きいエネルギーを吸収する。ケンブリッジ大学ハル教授が英国政府の契約のもと自動車の衝突安全について研究していた。京都工芸繊維大学 浜田研究室が継承している。

1. 事例番号：002A

2. タイトル：高圧電線芯材への繊維強化樹脂複合材料（F R P）の利用
3. 機能分類：力学的性質（引張強さ、密度、クリープ）
4. 内容：フランスは電力の輸出国であり、電気輸送の効率化を研究中。そのひとつとして、電気抵抗が小さいアルミを用い、機械的性質はC F R Pの芯材にもたせる方法を検討した（結果はネガティブであった）。日本では、すでに鋼芯アルミ電線が実用化されている。現在炭化けい素繊維をこの目的に使用すべく研究されていると聞く。カテナリーが小さくなり1%でも短くできれば、また抵抗が1%でも小さくなると電力輸送時のエネルギー節減の効果はきわめて大きい。

1. 事例番号：003A

2. タイトル：耐熱材料としての炭素繊維強化炭素（C/C）
3. 機能分類：熱的・力学的性質
4. 内容：特徴は耐熱・機械的性質であり弾性率は1,750°Cまで、強度は1,500～1,600°Cまで持つ。不溶・不融、耐熱衝撃・熱応力性が黒鉛より優れ破壊靭性が大きい。熱伝導が高い。熱膨張が小さい。摩耗・摩擦係数が比較的安定。耐アブレーション・エロージョンに優れる。電気伝導性。低密度。アウトガスがない。放射線劣化しにくい。985°C×100時間暴露に耐える唯一材料。欠点は酸化雰囲気下の劣化が大。マトリックス支配の性質が低い。高価格。
5. コメント：主要生産国は米、仏、ロシア。
- (1) 需要量 1990年世界需要230トン。81%が航空機ブレーキディスク、18%がロケットのノースチップ、ノズル。ブレーキディスクは年率12%成長。
- (2) 価格 2D中密度品\$110～400/kg、2D構造用\$440～2900/kg、3D、4D大型ビレット\$1100～3300/kg。
- (3) 技術 強化繊維はほとんどがPAN系炭素繊維。2D、3D織物が主流。焼成後にCV-D/CVI又はHIPにより高密度化。現在はバッチ式で製造。
- (4) 技術課題 耐酸化被覆の開発

文献 D.Schmidt et al., SAMPE J. 32, (4) 44-50 J/A 1996.

1. 事例番号：004A
2. タイトル：高温断熱材料としての炭素繊維強化炭素（C/C又はCCC）
3. 機能分類：熱的性質
4. 内容：多孔性のC/Cは非酸化性雰囲気下の高温断熱材として使用されている。電子部品製造用の高温真空炉の断熱材など。炭素粒子や炭素繊維よりも取扱いが容易である。

1. 事例番号：005A
2. タイトル：高温断熱材料としての炭素繊維強化樹脂複合材料（CFRP）
3. 機能分類：熱的性質（アブレーション性能）
4. 内容：(1) 炭素繊維、石綿、耐熱ガラス繊維などで強化したフェノール樹脂複合材料は、高温で樹脂が分解しガスを発生しつつ炭化する。このときガスが断熱層を形成するとともに気化によって複合材料の表面温度を低下する。炭化層は不融であり、繊維によって強化されているため高温下でも構造が保たれる。このため、宇宙往還機の外表面タイルとして高温の断熱材料に使用されている。
- (2) 北海油田の石油採掘プラットフォームの保安上の課題として、火災発生時の安全対策がある。1988年のパイパーAプラットフォームの爆発炎上に端を発して、鉄鋼構造の断熱補強が検討されガラス繊維、炭素繊維で強化したポリエステル、エポキシ、フェノール樹脂（GFRP、CFRP）とセラミックスのコア又はフェノール樹脂発泡体を芯材にしたGFRP波板のコアを組合せた断熱材が使用されている。炎の温度は1100°C以上であり、エポキシ樹脂のアブレーション性能が生かされている。

文献 F. Barnes, SAMPE J. 32, <2> 12-17 M/A 1996.

1. 事例番号 : 006A
2. タイトル : 耐熱材料としての炭素繊維
3. 機能分類 : 熱的性質
4. 内容 : 炭素繊維は非酸化雰囲気下の耐熱性に優れており、表面積が大きく、形状付与し易いので、表面に貴金属触媒を担持させ、自動車の排気ガスの無害化フィルターに使用されているという。

1. 事例番号 : 007A
2. タイトル : 極低温断熱材料としての炭素繊維強化樹脂複合材料 (CFRP)
3. 機能分類 : 熱的性質
4. 内容 : 極低温における CFRP の熱伝導率は金属、ガラス繊維強化樹脂複合材料 (GFRP 又は FRP) に比べて小さく、冷熱機器を支持する桁材などに使用すると、熱損失が少ない。

1. 事例番号 : 008A
2. タイトル : 热膨張が極めて小さい炭素繊維強化樹脂複合材料 (CFRP)
3. 機能分類 : 熱的性質
4. 内容 : CFRP 一方向材の常温付近の線膨張係数は $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ の桁にあり、金属やプラスチックに比べて極めて小さい。また、炭素繊維の種類、積層角度及び繊維含有率を選ぶことによって線膨張係数が零の CFRP を作ることができる。ハッブル宇宙望遠鏡の構体、人工衛星のアンテナ、東京大学野辺山電波望遠鏡の反射板、長さ計、製図板などに低熱膨張の CFRP が利用されている。

1. 事例番号 : 009A
2. タイトル : リチウムイオン電池の負極材としての炭素繊維
3. 機能分類 : 電気・電磁気的性質
4. 内容 : 黒鉛とリチウムのインターラーションを利用したリチウムイオン 2 次電池がある。負極には天然黒鉛をはじめ種々の炭素材料が使用されており、炭素質と黒鉛質及び粉体、微小球体、ミルド繊維の優劣についてはまだ決着を見るに至っていない。このなかで高結晶性メゾフェーズピッチ系炭素繊維を粉碎したミルドファイバーが実用段階に至っている。
5. コメント : (1) 需要予測 小型 2 次電池はニッカド、ニッケル水素、リチウムイオン電池が競合。1995 年の生産量はそれぞれ 9 億個、3 億個、4 千万個。2000 年にはリチウムイオン電池が 30~40%、4 億個との予測もある。負極材は天然黒鉛（輸入）、炭素粉体（呉羽化学、三菱化学、三菱瓦斯化学）、黒鉛微小球体（大阪ガス）、黒鉛粉体（日本カーボン）、黒鉛ミルド繊維（ペトカ）が製造。電池 1 個あたり 5~6 g 使用し 2000 年には 2000~2500 トン程度。

1. 事例番号：010A
2. タイトル：電池電極としての炭素繊維関連材料
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：炭素繊維及び炭素繊維強化炭素（C/C）は電気伝導性、化学的安定性、強度、形態付与のし易いから電池電極に使用ないし検討されている。
 - (1) 大容量2次電池としてのナトリウム－硫黄電池は300～350°Cの高温でナトリウムと硫黄を反応させるため、高温の耐硫化性が求められ、また硫黄を含浸保持するため硫黄側に炭素繊維のフェルトが用いられる。
 - (2) 燃料電池として実用されているリン酸型は200°Cで運転され、水素燃料と空気を送るために多孔性C/Cのリブ付き板が電極に用いられる。
 - (3) 小型電子機器やマイコンのバックアップや乗用車の窓開閉モータの電源に用いられる電気二重層キャパシタは、活性炭素繊維のマットや織物を分極電源に使用している。

1. 事例番号：011A
2. タイトル：炭素繊維によるプラスチックの静電気発生防止、導電性付与
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：(1) プラスチックの摩擦帯電の防止方法の一つとして炭素繊維の混入が行われている。例えばICチップ運搬用トレー。
(2) 電子機器からの電波遮蔽のためプラスチックに炭素繊維を混入して導電性を付与することが行われている。例えばトランシーバやパソコンのハウジング、自動車のボンネット、GFRP船舶の無線室。
(3) 清涼飲料水の自動販売機の水位のセンサーに金属を使用すると、金属が溶けだしてジュースに金属臭が移るが、炭素繊維強化樹脂の一方向材をセンサーに用いると金属臭が防げる。
5. コメント：(1) 競合性 帯電防止、電波遮蔽には種々の技術があり、高価な炭素繊維を使用できる用途は限られている。

1. 事例番号：012A
2. タイトル：医療用X線機器のための炭素繊維強化樹脂複合材料（CFRP）
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：CFRPはX線透過性がアルミの10倍であり、医療用X線機器部品として天板、カセットに使用されている。天板は被検者を支えるため高弾性率が必要である。CTのために大量の撮影を行うようになり、被爆を抑えるうえではCFRP化が効果的である。
5. コメント：(1) 需要予測 日本ではX線診断設備は飽和し、需要増は期待できない。

1. 事例番号：013A

2. タイトル：炭素繊維の導電性に着目した武器
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：炭素繊維の単繊維は細く、軽いため電気・電子設備の短絡事故原因になる。これを逆に利用し、イラクの発電所の攻撃に使用されたという。
5. コメント：電話交換機、交通信号などの破壊に使用されると極めて重大な状況を招来するので、テロ犯罪の予防のための措置が必要である。炭素繊維は輸出貿易管理令の該当貨物であるが、複合材料の強化材として管理されており、導電性には着目されていない。

1. 事例番号：014A
2. タイトル：炭素繊維のヒーター
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：炭素繊維の体積固有抵抗はニクロム線と同等であり、通電によって発熱する。コンクリート中のような腐食環境下での利用、あるいはしなやかなヒーターとしての利用が試みられているが、まだ成功例はないようである。端子の取り方が難しく、金属板でかしめる、導電塗料を塗布する、炭素繊維をメッキしたうえ銅線とはんだ付けするなど試みられているが、接触抵抗が大きい、金属が電食によって腐食するなどのため安定して電気が流せない。多数の糸に並列で通電すると、局部が発熱し、温度が高くなると抵抗値が小さくなるため（室温から700°Cまで）益々電気が流れ易くなり、均一な面加熱ができない。織物、マットでも温度の不均一が起こる。
5. コメント：面発熱は金属線をもちいるもの、カーボンブラックをフィルムに塗布したもののが以前から実用されており、炭素繊維でなければならない用途は少ない。

1. 事例番号：015A
2. タイトル：炭素繊維強化炭素（C/C）のブラシ
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：
 - (1) 金属線などの電気加熱のための導入用ブラシにC/Cを使用すると従来の炭素ブラシに比べて大容量の電流が流せる、との研究報告がある。
 - (2) 炭素繊維そのものをブラシにすることについても報告がある。

文献 I. R. McNab & W. R. Gass, IEEE Transaction on components, hybrids and manufacturing Technology, Vol. CHMT-3, No. 1, p. 26-30, March 1980.

I. R. McNab, 13th Biennial Conf. Carbon (1997).

1. 事例番号：016A
2. タイトル：炭素繊維漁網に通電し藻の付着を防止する方法
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：魚の養殖のための網に藻が付着するのを防止するため、炭素繊維製の網に微弱な電流を通電する方法が試験されている。通電によって炭素繊維が酸化劣化するため失敗したという。

1. 事例番号：017A
2. タイトル：炭素繊維を混織した衣料品
3. 機能分類：電気・電磁気的性質
4. 内容：（1）数年前イタリアで炭素繊維を混織した衣料品を着用すると精神が安定し、イライラしないと発表し、注目を集めた。継続していないのであやしげなものであったのかもしれない。（2）静電気除去衣料として鋼繊維、炭素繊維を混織した衣料品がある。合成繊維の制電性の改良も行われて実用化されており、鋼繊維や炭素繊維が必須ということではない。

1. 事例番号：018A
2. タイトル：炭素繊維強化炭素（C/C）などの化学プラントへの利用
3. 機能分類：耐薬品性
4. 内容：（1）C/C製チューブの内面に0.05～10ミクロンの孔の炭素分離膜を形成したマイクロフィルターがフランスのル・カーボン・ロレーヌで製造されている。脱脂液の処理（機械加工、塗装前処理、化学処理、メッキなど）、洗浄剤の油水分離（機械、車両、酸・アルカリ洗浄液など）、機械加工液（切削油）、生化学・医薬・食品プラント廃液などに使用し、コロイド・エマルジョン・金属微粒子・無機微粒子・バクテリアの濃縮ができる。ほとんど全ての薬液に使用でき、寿命が5～10年あるところが特徴。（2）炭素繊維マット、組物にテフロンを含浸したガスケット、パッキンが耐薬品・耐熱装置に使用されている。

文献 大谷杉郎、奥田謙介、松田 滋、炭素繊維 pp. 620-642、近代編集社(1983)。

1. 事例番号：019A
2. タイトル：炭素繊維強化炭素（C/C）などの生体への利用
3. 機能分類：生体適合性
4. 内容：炭素は不活性な材料であり、C/Cが腰骨や歯根に使用されている。また、靭帯や腱が切れたときに炭素繊維でつなぎ合わせる外科手術が英国のジェンキンスらによって行われている。この場合、炭素繊維が腱の再生を促進する効果があり、炭素繊維が体内で分解されるのか消滅してしまい取出す必要がないというリーダースダイジェストの記事がある。

1. 事例番号：020A
2. タイトル：活性炭素繊維
3. 機能分類：吸着性
4. 内容：（1）焼成温度が低く、多孔性の炭素繊維は、活性炭と同様の吸着性がある。東洋紡績（株）、東邦レーヨン（株）が製造販売している。（2）コールタールピッチの繊維が原発の使用済み核燃料の再処理工場からでる放射性廃液からプルトニウムだけを吸着し、90%以上除去できる。日本原子力研究所とユニチカ（株）が

1989年から行ってきた研究の成果。朝日新聞1996-8-14に報道された。

(3) 活性汚泥処理のとき、炭素繊維を共存すると水質浄化の効果が向上する。1996-12-11日本複合材料学会 複合材料セミナー「環境保護のための積極的な複合材料の利用」において小島 昭氏（群馬工業高専）の講演が行われた。

1. 事例番号：021A

2. タイトル：繊維強化セメント板の生産性向上

3. 機能分類：熱的性質

4. 内容：建築用パネルに短纖維強化セメントが使用され、軽量化、破壊ひずみの増大、亀裂進展の防止、破片の落下防止などの効果をあげている。繊維としてはガラス、鋼、ビニロン、炭素繊維など種々の材料が用いられているが、耐アルカリ性及び生産性の点で炭素繊維が有利な場合がある。大量生産のためにはオートクレーブによる高温養生、短時間硬化が必須であり、不溶・不融の炭素繊維が好まれる。

5. コメント：短纖維補強セメントについては実施例多数。呉羽化学、鹿島建設の論文あり。

1. 事例番号：022A

2. タイトル：鉄筋代替としての繊維強化樹脂複合材料（FRP）

3. 機能分類：耐薬品性

4. 内容：鉄筋コンクリートの欠点に錆の問題がある。耐薬品性に優れたFRPの筋の検討が行われており、日本は先導的な地位にある。英国では通産省の指導により全欧洲開発プログラム「ユーレカ」のテーマに取り上げコンクリート橋の寿命延長を推進中。フランスでも建設省が推進中。砂が塩で汚染されている台湾、アラブ諸国の建設用途、融雪のために塩を散布するカナダ、北欧に需要の可能性があるという。

文献 例えば、中辻照幸 日本複合材料学会誌 22(4) 129-135(1996).

1. 事例番号：023A

2. タイトル：防弾材としてのアラミド繊維強化樹脂複合材料（A FRP）

3. 機能分類：力学的性質（耐衝撃性）

4. 内容：アラミド、高強度ポリエチレン繊維と樹脂の多孔性複合材料は銃弾が貫通しない（ボイドのない通常の複合材料は容易に貫通する）。軍、警察などの防弾盾、防弾材に使用されている。また、ジェットエンジンの事故時にブレードが飛び出して機体を損傷するのを防止するため、ケースにA FRPを使用している。材料の明細は不詳ながら、メルセデスベンツから爆弾テロ用の乗用車が発売されており、防弾材が使用されていると聞く。国連PKO監視車が1995年パリにおける欧州複合材料展示会（JEC）に展示された。

1. 事例番号：024A

2. タイトル：楽器への繊維強化樹脂複合材料（FRP）の利用

3. 機能分類：力学的性質（振動特性）

4. 内容：(1) F R Pを楽器に用いた例は、バイオリン、チェロ（大きい楽器は木では作りにくい）、ギター（特にネック部）、ドラム（胴）、クラリネット（特別の木を用い75%がスクラップになるので）、フルート、ビブラホンがある。再生装置ではスピーカーコーン、ウーハ振動板。レコードのピックアップアーム。

文献 Performance Materials Vol. 11, No. 10 (1996-2-19).

(2) F R Pは振動が減衰しやすく工作機械ベッド、コラムに応用した例がある（機械技術研究所1983）。

(3) 織機の長尺ヘルドフレームにC F R Pサンドイッチ構造を使用し、上下運動の振動が小さくなり高速化ができた。

(4) 自動車のプロペラシャフトにC F R Pを用いると騒音が減少する。

1. 事例番号：0 2 5 A

2. タイトル：電波吸収材としての炭化けい素繊維強化樹脂複合材料

3. 機能分類：電気・電磁気的性質

4. 内容：炭化けい素繊維で強化した樹脂複合材料はレーダ波を吸収するのでステルス航空機に使用されている。1000°C前後（と記憶するが）で焼成した炭素繊維は、炭化けい素繊維と同様に電波吸収能があるが、繊維の引張強さ・弾性率が低く構造用途には適しない。炭化けい素繊維は1500°C前後の温度で焼成すると電波吸収能が発現し、強度性質も優れてい る。

5. コメント：日本カーボン“ニカラソン”及び宇部興産“チラノ”が使用されている。

(1) 競合性 電波吸収材には抵抗損失材料（導電纖維の織物、酸化金属を蒸着したフィルム、金属纖維を分散した発泡体）、誘電損失材料（炭素含有発泡ポリスチレン）及び磁気損失材料（フェライト又は鉄カルボニルを含有するゴム）が実用されており、炭化けい素繊維複合材料は高価なため航空機のような特殊な用途に限定される。

(2) 法規制 電波吸収材は輸出貿易管理令の該当品目。

1. 事例番号：0 2 6 A

2. タイトル：土木建築構造の変形センサーとしての炭素繊維強化樹脂複合材料

3. 機能分類：電気・電磁気的性質

4. 内容：C F R P一方向材は導電性、耐蝕性、低伸度であり、コンクリート構造のなかに埋め込んでおくと、地震などで変形した場合に強化材の炭素繊維が切断し電気抵抗値が変化する。C F R Pはコンクリートの補強材の機能と構造物の安全性のモニタリングの機能をあわせもっている。東京大学柳田研究室と清水建設の共同研究。

文献 中辻照幸ら 日本複合材料学会誌、18、144-150(1992).

1. 事例番号：0 2 7 B

2. タイトル：架橋時の横揺れ防止C F R P製ケーブル

3. 機能分類：防振・耐振

4. 内容：長大橋架橋時の工事用空中足場（キャットウォーク）の補強用ケーブル（ステーケーブル）への利用。このCFRPケーブルは本ケーブル架橋時の工事用足場が横風によつて揺れるのを防ぐために有効。CFRPは、スチール製に比べ重量が1／5と軽量で、自重によるたわみが軽減される。長大橋へのCFRPケーブルの適用に向けて足掛かりとして期待は大きい。

5. コメント：（1）需要予測：極めて大（長大橋／本ケーブルとして本格的に採用された場合）。

1. 事例番号：028B

2. タイトル：車椅子用折りたたみ式スロープ

3. 機能分類：

4. 内容：高密度PVCとFRPの複合素材による折りたたみ式構造スロープのデッキ部（甲板）に炭素繊維を採用することにより、アルミ製と比較して1／6に軽量化される。炭素繊維の適用により2～4mの超長寸スロープも可。養護施設、老人ホームなどの他、各種交通機関（JR、私鉄など）、選挙投票場の高齢者、身体障害者の段差解消アクセスとして有効。

1. 事例番号：029C

2. タイトル：衛星用部材

3. 機能分類：情報・通信

4. 内容：軽量化の要求が最も強い。CFRP使用による軽量化により、推進ロケットの小型化が可能となり、衛星の高性能化、大型化が図れる。アンテナ、太陽電池パネルなどに用いられる。

5. コメント：（1）需要予測 約100基／年（サテライト数、世界合計）

（2）価格 0.1～10百万/kg（推定値）

（3）技術 超高弾性炭素繊維の薄目付け品が使用される。

（4）競合性 アラミドFRP、アルミ合金、チタン合金など

（5）技術課題 機械的特性向上（高弹性化）、熱的特性向上

1. 事例番号：030C

2. タイトル：CNGタンク

3. 機能分類：輸送

4. 内容：自動車燃料に二酸化炭素排出の少ない天然ガスを使う動きに対し、FRP補強の計量高圧容器が用いられる。

5. コメント：（1）需要予測 20万台（2000年 日本ガス協会の予測）

（2）技術 アルミライナー、鉄ライナーをFWにより繊維補強

（3）競合性 価格により鉄が競合

（4）技術課題 低コスト化

1. 事例番号：031C
2. タイトル：建築物補修・補強用シート
3. 機能分類：力学機能
4. 内容：一方向配列の炭素繊維強化シートを常温硬化樹脂を用いてコンクリート表面に貼り付け、構造物の耐荷力向上を図る。
5. コメント：
 - (1) 需要予測 耐震性、耐久性の向上用途が現在、急増中
 - (2) コスト・価格 数千円～数万円/m²/層（シートの価格）
 - (3) 技術 補修法として確立されている。
 - (4) 競合性 鉄板の貼り付け、溶接と競合する。
 - (5) 技術課題 施工性の向上が必要である。

1. 事例番号：032C
2. タイトル：コンクリート用補強筋
3. 機能分類：切削性
4. 内容：たとえばNOMST工法（シールドの発進・到達工法）で使われるプレキャストコンクリートの補強筋として用いられる。シールド機のカッタービットで切削できる土留壁の製造が可能になる。
5. コメント：
 - (1) 需要予測 都市部での地下鉄工事、上下水道工事などの増加に伴い需要は増加中
 - (2) 技術 NOMST工法として完成されている。

1. 事例番号：033C
2. タイトル：高温炉用C/C
3. 機能分類：耐熱機能
4. 内容：大型な高温雰囲気炉の炉材（壁材、ワーク、ヒーターなど）としてC/Cを使用する。
5. コメント：
 - (1) 需要予測 炉の大型化、省エネルギー化（低熱容量化）に伴い、大型なC/Cの需要が増加する傾向にある。
 - (2) コスト・価格 炭素繊維の価格が原料費に跳ね返り、高価な材料となっている。
数万円～数十万円/kg
 - (3) 技術 多数のメーカーが各種の技術を開発している。アクロスのプリフォームドヤーン法が有名である。
 - (4) 競合性 炭素材料、SiCなどが競合材料である。
 - (5) 技術課題 コスト低減、耐酸化性の賦与が課題である。

1. 事例番号：034C
2. タイトル：海洋構造物
3. 機能分類：耐薬品性（耐塩性）

4. 内容 : 深海探査ステーション、海中トンネル、石油掘削海上プラント、ウォーターフロント向けポール（電柱）、浮き桟橋緊結用ケーブルなど

5. コメント : (1) 技術課題 強度設計、耐圧性、耐食性など課題は多数ある。

1. 事例番号 : 035D

2. タイトル : 汎用圧縮機のシリンダー弁、ピストンリングなど

3. 機能分類 : 騒音低減、耐摩耗特性

4. 内容 : 汎用圧縮機のシリンダー弁の樹脂化による騒音低減。ピストンリングには耐摩耗性に優れたCFRPを利用。

1. 事例番号 : 036D

2. タイトル : 航空機用内装部材

3. 機能分類 : 難燃性

4. 内容 : 航空機用内装部材には、フェノール樹脂を使ったFRPなど難燃性の複合材を用いている。

1. 事例番号 : 037D

2. タイトル : 住宅屋内における硬質表面用複合材

3. 機能分類 : デザイン

4. 内容 : 台所カウンタートップ、タブ周り、家具等に熱硬化性ポリエスチル樹脂を適用。

5. コメント : 従来のラミネート、木材、タイル、石材等よりも性能とデザインで優れる。

1. 事例番号 : 038D

2. タイトル : 水処理利用環境関連設備の部材

3. 機能分類 : 耐食性

4. 内容 : 首記設備部材には、耐腐食性に優れたGFRPを用いている。

1. 事例番号 : 039D

2. タイトル : 波力発電関連装置（ブレード等）

3. 機能分類 : 耐食性

4. 内容 : 波力発電関連装置のブレードなどには、耐腐食性を活用してGFRPが利用されている。

1. 事例番号 : 040D

2. タイトル : 極低温用支持部材

3. 機能分類 : 熱伝導特性

4. 内容 : クライオスタットあるいは、超伝導磁石の支持部材には、FRPの低熱伝導特性を活かして、LHe (4K : -269°C) ~ LN₂ (77K : -196°C) の温度範囲では

C F R P を、 L N₂ 以上の温度範囲では G F R P を利用している。

1. 事例番号：0 4 1 D
2. タイトル：超伝導コイルのスペーサ
3. 機能分類：電気絶縁特性
4. 内容：超伝導コイルのスペーサに G F R P が利用されている。電気絶縁特性を活用している。

1. 事例番号：0 4 2 D
2. タイトル：透明度可変構造用 F R P
3. 機能分類：
4. 内容：現状の G F R P よりもはるかに透明度の高い G F R P 。樹脂の透明度、樹脂とガラスの屈折率の制御により透明度を向上させる。この表面に導電性があり、かつ電気が流れると色が変わるコーティングを施す。
5. コメント：建築物の内外装として使用する。（現行の消防法下では、一般建築物には使えないが）ガラス窓+カーテン、ブラインドの機能を持ち、かつ高強度。

1. 事例番号：0 4 3 D
2. タイトル：車イス用折りたたみ式スロープ
3. 機能分類：医療・福祉関連
4. 内容：車イス用移動式スロープに、高密度 P V C と F R P の複合素材と独自の折りたたみ構造を適用し、従来のアルミ製移動式スロープに比べて軽量でコンパクトなものを実現している。重量は従来のアルミ製の半分から三分の一になる。また、炭素繊維の軽量、高強度という優れた物性を生かして 2-4 メートルの超長寸スロープもできる。
5. コメント：（参考資料）化学工業日報記事（1996-12-16 報道）

1. 事例番号：0 4 4 D
2. タイトル：大型冷水塔用部材
3. 機能分類：耐食性
4. 内容：大型冷水塔用の主架構に G F R P を利用。他に冷水塔用のファン・ブレードなどにも耐食性に優れた G F R P を利用。
5. コメント：（参考資料）石川島播磨技報 33 (1) 19-25 (1993)

1. 事例番号：0 4 5 D
2. タイトル：トランスマップレス用 C F R P クロスバー
3. 機能分類：振動減衰特性
4. 内容：自動車用大形トランスマップレスのパネル搬送装置に用いるクロスバー（パネル搬送ビーム）に従来の鋼より高い比剛性をもつ C F R P を適用することで、運転時のクロス

バー振動低減とクロスバー交換作業性が向上する。

5. コメント：（参照資料）石川島播磨技報 33(6) 390-392 (1993)

1. 事例番号：046D

2. タイトル：液圧駆動スピーカ用CFRP振動板

3. 機能分類：音響特性

4. 内容：液圧駆動スピーカは油圧駆動力を利用した低音再生専用スピーカで、従来機（ボイスコイル型）と比べて振動板の大口径化、大ストローク化が可能であり、低周波を大音圧で再生することができる。低周波音を発生する振動板は、大ストロークを実現するためにエッジレス構造となっており、特に軽量で剛性が高いことが要求される。この振動板にCFRPを表面材、アラミドハニカムを心材（コア材）としたサンドイッチ構造を採用している。

5. コメント：（参照資料）石川島播磨技報 33(6) 393-396 (1993)

1. 事例番号：047D

2. タイトル：FRP製外洋遠征遊魚船 (sports fishing vessel)

3. 機能分類：難燃性、耐食性

4. 内容：米国船籍のFRP製外洋遠征遊魚船を建造するのに、その船殻構造の材料に難燃性不飽和ポリエステル樹脂を使用している。これ以外にも、耐食性に優れていることを利用して、GFRP船が建造されている。

5. コメント：（参照資料）石川島播磨技報 33(6) 397-401 (1993)

1. 事例番号：048E

2. タイトル：衝撃吸収複合材料部材

3. 機能分類：その他

4. 内容：炭素繊維／ガラス繊維／ケブラー繊維強化の熱可塑性樹脂系（場合によっては熱硬化性樹脂）複合材料はその衝撃吸収性に優れることから衝撃吸収材や防弾板、防護盾、ヘルメット、スポーツ用品に適用される。

5. コメント：高速車両、自動車の分野にも広く使用できる。

(1) 需要予測 防弾、防護盾、防護コンテナー、ヘルメット類、高速車両、自動車用など範囲は広い

(2) コスト・価格 (3) 項のうち前者がコスト的に有利と思われるが後者もIntegrateの程度により競争力あり

(3) 技術 単純形状（成形しやすいもの）を組み合わせる方法とIntegrateして部品にする方法を考える

(4) 競合性 最近のクラッシュモード研究などでその優位性が認められ、軽量の点からも将来性あり

(5) 技術課題など 上記(3)と同じ

1. 事例番号：049E
 2. タイトル：装飾用複合材料部品
 3. 機能分類：その他
 4. 内容：炭素繊維織物の織り目の特徴を生かし最近自動車用内装部品として装飾部品に適用が考えられている。2輪車ではエンジン排気マフラのパイプ等で既に使用されているものもある。
 5. コメント：特異な面白い分野である。
 - (1) 需要予測 これからの感性の時代に乗って、意外に発展が早いかもしれない
 - (2) コスト・価格 一般CFRP(織物素材使用)コスト並
 - (3) 技術 各種特長のある織物の開発
 - (4) 競合性 特異分野であるが一般の化粧板との競合も考える必要あり
 - (5) 技術課題など 上記(3)と同じ
-
1. 事例番号：050E
 2. タイトル：電磁波吸収部材
 3. 機能分類：電気磁気機能
 4. 内容：電磁波を吸収するCoil状のCFは従来のスponジや板状のCarbonに比べ大幅な吸収効果があるとされ、これを利用した吸収部材を考える。
 5. コメント：CFプラスαで望みたい
 - (1) 需要予測 電磁波吸収部材：誤作動防止(医療機器、その他計器類)
 - (2) コスト・価格 不明
 - (3) 技術 Coil状CFの適用(数千分の数ミリ径、長さ1ミリ)
 - (4) 競合性 従来のスponジや板状のCarbonとの対比
 - (5) 技術課題など コイル状CFは岐阜大・長崎大共同開発。以前、信州大もコイル状カーボン繊維開発していた模様である。
-
1. 事例番号：051E
 2. タイトル：複合材の電子線硬化
 3. 機能分類：成形方法
 4. 内容：電子線硬化(EBc)による低コスト高性能大型複合材構造の製造
 5. コメント：新しい硬化法として着目する必要あり
 - (1) 需要予測 現状：ロケットモータケース等大型複合材構造物
 - (2) コスト・価格 成形To1費50%、硬化時間90%低減(フランス アエロスパシアル社発表例)
 - (3) 技術 EBcは発熱なし、加熱も不要。そのため低コスト型使用可。さらにResin Matrix硬化度制御ができ残留応力も生じないので高品質製品がえられる。
 - (4) 競合性 赤外線、UV、高周波架橋法
 - (5) 技術課題など 初期設備費の検討

1. 事例番号：052E
2. タイトル：複合材料製精密計測機類
3. 機能分類：先進複合材料の耐熱機能
4. 内容：CFRPは線膨張係数がゼロ、もしくは小さく、測定工具等の計測器分野に使用。
5. コメント：今後この分野で使用が増加すると思われる。
 - (1) 需要予測 精密機械類など、たとえば 1) マイクロメータ 2) ブロックゲージ
 - (2) コスト・価格 現金属製品より数10%アップするが精度がよいのでCost/Performanceの点から発展性大
 - (3) 技術 現成形技術、加工技術で対応可
 - (4) 競合性 とくになし
 - (5) 技術課題など 大型品成形技術の開発

1. 事例番号：053E
2. タイトル：複合材料成形ツール
3. 機能分類：耐熱機能
4. 内容：CFRPは線膨張係数が小さいとともに比剛性が大きく、さらに易成形性のため複合材料成形用治工具類に大巾に使用できる。
5. コメント：今後この分野は大巾に拡大される。
 - (1) 需要予測 今後複合材料部材とくに高度の寸法形状を要求される構造用複合部材の成形には必須で現金属製 or FRP 製が CFRP 製ツールに置き変わっていく。
 - (2) コスト・価格 現ツールより材料費（プリプレグ）が高価のため 1.5～倍
 - (3) 技術 汎用性成形法に限らず更にAdvanceの成形法、要開発
 - (4) 競合性 Cost/Performanceから見れば大きく競合しない
 - (5) 技術課題など (3)と同じ。

1. 事例番号：054E
2. タイトル：フェノール樹脂系複合材料部材
3. 機能分類：耐熱機能
4. 内容：Matrix ResinとしてPhenol系を用いたCompositesが 1) fire retardant、2) Corrosion Resistance、3) Strength の向上、で見直され offshore マーケットに適用される。
5. コメント：フェノール樹脂系複合材料の見直し
 - (1) 需要予測 offshore 分野や化学装置 Plant 分野の各種部材 (ex、Grating パネル、Grid パネル)、手すり、構造部材) に適用されていく。
 - (2) コスト・価格 従来の金属材料に対応要
 - (3) 技術 低コスト成形技術—プレトルージョン法などの開発、及びResin Matrix

i x の低コスト化要

- (4) 競合性 上記(2)と同じ
- (5) 技術課題など 上記(3)と同じ。耐食性／耐久性データ取得大切

1. 事例番号: 055E

2. タイトル: アブレーション複合材料部材

3. 機能分類: 耐熱機能

4. 内容 : フェノール樹脂系複合材料 (Fiber: GF, CF etc) 製アブレーション機能部材、フェノール樹脂系複合材に高Heat Flux (Q) が入った場合、熱分解ガスによるCoolingと生成炭化層により優れた耐熱アブレーション性能を示す。これを生かした耐火、耐熱材。

5. コメント: 要低コスト化。

- (1) 需要予測 耐火、断熱、耐熱部材、例えば車両、バス、建築物等への分野
- (2) コスト・価格 従来の材料より Cost / Performance に優れるためにはコスト低減がポイント。
- (3) 技術 強度、機能面を Integrate した構造の開発
- (4) 競合性 従来材に比しコスト競争力が必要。
- (5) 技術課題など 縮重合 Resin のため、より低圧・低温成形技術の開発も重要。

1. 事例番号: 056E

2. タイトル: 化学工業用耐食機器類への応用

3. 機能分類: 耐薬品機能

4. 内容 : CFRP or GFRP の耐食、耐薬品性を利用した化学工業用のとくに大型耐食機器類。例えば大型バルブの本体、ベーン、バタフライベーンなどへの応用。

5. コメント: 現在、高価な耐食性金属部品に置き換える。

- (1) 需要予測 化学工業用装置、プラント全体にわたっての需要が考えられる。
- (2) コスト・価格 現用耐食性金属材料製と同等もしくはそれ以下のこと。
- (3) 技術 荷重部材、機能部材等を Integrate した成形技術。
- (4) 競合性 上記(2)と同じ
- (5) 技術課題など 耐久性評価。

1. 事例番号: 057E

2. タイトル: 水の浄化機能を持つ部材

3. 機能分類: 吸着機能

4. 内容 : ピッチ系炭素繊維が吸着性に優れることから水道水の浄化を必要とする機器への応用。

5. コメント: 使用分野の範囲は広い。このCF機能を応用した部品の開発が主眼。

- (1) 需要予測 産業・工業用部品をはじめ一般家庭用品まで。

(2) コスト・価格 ピッチ系CFのCostにも左右されるが機器の機能(ex. 易使用性、構造の簡易性)も重要。

(3) 技術 大量処理機能部品に仕上げて行く技術。

(4) 競合性 とくになし。

(5) 技術課題など 易使用性、及び上記(3)の事項。

1. 事例番号: 058E

2. タイトル: Carbon/Carbon Composite製耐熱部品

3. 機能分類: 耐熱機能

4. 内容: (1) 航空宇宙分野—ロケットノズル、ノーズコーン、エンジン部品、構造材

(2) 鉄道車両—高速車両用ブレーキディスク

(3) 自動車・単車—ブレーキディスク、クラッチ板

(4) 原子力関係—隔壁ほか

(5) 産業機械—炉内部品(耐熱材、ヒーター、成形型など)

5. コメント: 要コストダウン。高温物性はよいが、現状では高価。

(1) 需要予測 上記4.(1)~(5)のとおり、一部既に実用化されているがまだ小量。

(2) コスト・価格 現状では高価。製造期間が長くプロセスの大改改善要。

(3) 技術 高温酸化されやすく、耐酸化コーティング技術向上が重要。ILSSが低く、さらなる改善が望まれる。

(4) 競合性 >1400°Cの各種耐熱材中で高比強度も示す有望耐熱材料。

(5) 技術課題など 上記(2)、(3)を改善していくための技術開発が必要。

1. 事例番号: 059E

2. タイトル: Carbon/Carbon Composite製人工骨

3. 機能分類: 医療福祉関連分野

4. 内容: Carbon/Carbon Compositeのもつ生体親和性、強度、韌性を生かし人工骨(大腿骨等)や人工歯根などに適用。

5. コメント: 現状ではまだ高コスト

(1) 需要予測 人工骨(大腿骨等)、人工歯根などに適用発展。

(2) コスト・価格 現状では製造コストが高い。

(3) 技術 一部臨床実験中

(4) 競合性 Ceramic系(人工アパタイト等)とのCost/Performanceの把握が必要。

(5) 技術課題など 巾広い臨床実験を続けると同時に更なる材料特性向上。

1. 事例番号: 060E

2. タイトル: 化学プラント用部材

3. 機能分類: 耐薬品機能

4. 内容 : CFRP or GFRPは耐食性が必要な化学用プラント配管部材に多用される。

5. コメント : 今後、金属製に代わって、多用拡大の方向にある。

(1) 需要予測 新規化学プラント部材。従来の耐食性金属部材のリプレース。(例: 管、エルボウ、チーズ)

(2) コスト・価格 一般CFRP、FRPなみの価格にすれば大巾にのびる。

(3) 技術 成形技術、とくに自動化、高速化技術の要進展。

(4) 競合性 国際競争可能な価格にすること。

(5) 技術課題など 強化繊維配ソフト及び特殊F/Wマシンの開発推進。

1. 事例番号 : 061E

2. タイトル : 静電気帯電防止部材の開発

3. 機能分類 : 電気・電磁気機能

4. 内容 : CFRPは静電気帯対策としてキーホールダー等の部材に用いられている。また、CF独自でもコピヤー出口に装着し、同用途に使用されており今後この地道な分野だが徐々に進展していく。

5. コメント : (1) 需要予測 下記(5)と同じ

(2) コスト・価格 一般CFRPなみのコスト。

(3) 技術 現成形技術で対応可能。

(4) 競合性 軽量という面で有利となる。色彩の面ではやや不利。

(5) 技術課題など 部品毎のさらなるコスト低減を計り、一般汎用部品まで適用をはかる。

1. 事例番号 : 062E

2. タイトル : 複合材料摺動部品

3. 機能分類 : 耐摩耗性

4. 内容 : 工業用品として、CFRPはその摺動特性を生かした摺動部品に使用出来る。例えばCFとTelephone系複合材料など。

5. コメント : 使用範囲は広いと推定される。

(1) 需要予測 上記コメントと同じ。さらに苛酷な環境条件下での使用分野も有望と思われる。

(2) コスト・価格 素材のコスト低減要。

(3) 技術 各種条件下での耐久性データー(PV値など)の整備要。

(4) 競合性 上記(3)もからめたCost/Performanceを見極め(汎用材との対比)

1. 事例番号 : 063E

2. タイトル : Composite Insulator

3. 機能分類 : 絶縁性

4. 内容 : GF(またはPowder, Grain)+Resin Matrix系複合

材料による電気絶縁材料 例えば樹脂系がいし。

5. コメント：大型複雑形状品の開発が重要。

- (1) 需要予測 電力送電分野での需要が見込まれる。(現セラミック焼結系がいしの置換)
- (2) コスト・価格 従来がいしに対比要
- (3) 技術 小型～大型品の低コスト製造プロセス技術の確立。
- (4) 競合性 上記(2)と同じ。
- (5) 技術課題など 高性能品(ex. Void Freeなど)、性能／耐久性データー確立。

1. 事例番号：064E

2. タイトル：Carbon/Carbon Composite製継手類

3. 機能分類：耐熱性

4. 内容：Carbon/Carbon Composite製ロッド、ボルト、ナット等の継手部品。耐熱、耐食性を生かし巾広く利用可。(熱膨張係数も小さく高温での熱変形、強度低下ほとんどなし)

5. コメント：ボルト、ナット以外の継手の創造が望まれる。

(1) 需要予測 各産業分野で一部適用。

(2) コスト・価格 現状まだ高価。

(3) 技術 製造プロセスの改良、強度、ILSSの向上など。

(4) 競合性 最近Preformed Yarn法など新方法も出現し、コストダウンに努力中。さらにコストが低減、性能向上すれば適用範囲拡大。

(5) 技術課題など 上記(3)と同じ。

1. 事例番号：065F

2. タイトル：ゴム粒子微分散マトリックスをもつCFRP

3. 機能分類：耐衝撃性

4. 内容：構造材としてのCFRPは衝撃荷重によって層間剥離を起こし易い。最近ポリプロピレン(PP)にエチレン一ブチレン(EB)を20nm単位で微分散したダイナロン(Dynaron)が日本合成ゴムによって開発され、樹脂の耐衝撃性が著しく改良された。このようにゴム入り樹脂をマトリックスとする新しい耐衝撃性のあるCFRPが開発される可能性があると思われる。

5. コメント：構造用材料としては、耐衝撃性のほかに、耐熱性、耐疲労性、耐候性、及び剛性保持の有無が問題になるので、試作後のこれらの検討が必要である。

1. 事例番号：066G

2. タイトル：ビニル温室内の温度調節装置

3. 機能分類：形状記憶性

4. 内容：農業用ビニルハウス内の温度と外気温とのバランスを取るために、在来は人手に

より裾部と天井部を開け閉めしているが、形状記憶合金ワイヤーをC F R P（炭素繊維強化プラスチック）あるいはG F R P（ガラス繊維強化プラスチック）積層材に組み込み、温度の変化に応じ可逆的に形状変化せしめる機能を獲得せしめた部材を構成する。この部材を温室の所要部位に設置することにより形状記憶合金ワイヤーに記憶させた温度範囲で気温を感知して人手、動力を必要とせず自動的に開閉し外気を温室内に導入、室内の気温の調節を行うことができる。

5. コメント：工業技術院、和泉鉄工株式会社、コンポジットシステム研究所の3者の共同出願申請中。（特願平7-294396） 北海道旭川地区にて開発中。

1. 事例番号：067G

2. タイトル：C F R Pをセンサーとした地下埋設F R P電力ケーブル管

3. 機能分類：自己修復性

4. 内容：泥炭層などの酸性軟弱地盤に埋設する電線管は地盤の動きと耐酸性に柔軟に対応可能なF R P管が適用されている。通常引抜成形法により長尺G F R P（ガラス繊維強化プラスチック）管が用いられているが、この工程中にC F（炭素繊維）連続繊維を同時成形し、接続後弱電を通電しておくことにより管自体の破損をC F（炭素繊維）の破断によって感知して対応することができる。

5. コメント：自己修復機能をもつスマート化まで進展させることが考えられる。

1. 事例番号：068H

2. タイトル：燃料電池用炭素繊維－炭素複合材料（C/C）

3. 機能分類：電気伝導性、熱伝導性、耐腐食性

4. 内容：130-205°Cで作動するリン酸型燃料電池のセパレーターには、燃料ガスと空気との混合を防止するための、ガス・液不透過性、電気・熱伝導性、耐腐食性の高いC/Cが適している。2000年度には燃料電池想定量は225万kwに及ぶ（東京電力）。

1. 事例番号：069H

2. タイトル：メカニカルシール用炭素繊維／ふつ素樹脂複合材料

3. 機能分類：耐摩耗性、耐薬品性

4. 内容：メカニカルシールには液不透過性、耐腐食性、摺動性の良好なことが要求される。炭素繊維成形体にふつ素樹脂を含浸させたものが使用されている。船舶用の使用が多い。

5. コメント：日本ピラー工業KKが市販

1. 事例番号：070H

2. タイトル：ホットプレス用モールド炭素繊維／炭素複合材料

3. 機能分類：耐熱性、力学特性（高温強度）

4. 内容：ホットプレス用モールド材には耐熱性と耐内圧性が要求される。この種のモールドでは、内圧に耐えられるように炭素繊維が配列させられる。

5. コメント：現在実用されている。

1. 事例番号：071H
2. タイトル：水中構造物用CFRP
3. 機能分類：耐水性、力学特性（比弾性率、比強さ）
4. 内容：船艇などの構造材にはGFRPが多く使用されているが、推進用プロペラ、水中翼船翼等は、GFRPに比べて耐水中劣化性の格段に高いCFRPの使用が望ましい。

1. 事例番号：072H
2. タイトル：核融合炉第一壁用炭素繊維／炭素複合材料（C/C）
3. 機能分類：耐熱性、熱伝導性
4. 内容：核融合炉第一壁あるいはダイバータはプラズマに面して設置される構造物であり、プラズマからの熱負荷、粒子負荷を受ける。黒鉛材料はプラズマ中への不純物の混入を低減させる点からも良好な材料であり、耐熱衝撃性も高い。しかし、第一壁あるいはダイバータの受ける熱負荷が極めて厳しいため、プラズマに接触する面に直角方向に放熱をより良好にさせる必要がある。これには、その方向に高熱伝導度炭素繊維（高弾性炭素繊維）を配列させたC/Cが適している。
5. コメント：日本原子力研究所に状況を確認すること

1. 事例番号：073H
2. タイトル：電力用ダイオード用炭素繊維／銅複合材料（C/Cu）
3. 機能分類：熱膨張率
4. 内容：電力用半導体素子として、シリコンペレットを（C/Cu）で挟む構造のものである。C/Cu材の熱膨張係数は、負の熱膨張係数を持つ炭素繊維の含有率を変えることによって調整できるので、シリコンペレットの熱膨張係数に合致したものにして、使用中熱応力の発生によるシリコンペレットの破壊を避けることができる。炭素繊維は、平織、スパイラル、その他、形状を変えることができ、それによるC/Cuの熱膨張係数も代えることができる。
5. コメント：1983年ごろ開発されている。

1. 事例番号：074H
2. タイトル：CFRP／アルミ積層複合材料
3. 機能分類：耐衝撃性、比強さ、比弾性率、熱伝導性
4. 内容：CFRPシートとアルミシートの積層材であって、単味のCFRPに比べて耐衝撃性が高く、成形に便であり、各種容器、ヒートシンクその他に使用できる。

1. 事例番号：075H
2. タイトル：空気浄化用活性炭素繊維成形体
3. 機能分類：吸着性

4. 内容：活性炭素繊維は外表面積が大きいため、通常の粒状活性炭に比べて吸脱着性が高い。また繊維形状をとっているので成形してその形状を保持させることができる。そこで、成形して、たとえば回転体の枠に取り付けて、二つの空間の間に配置して回転させ、一つの空間で溶剤等を吸着させ、他の空間（高温）で脱着させる等のことができる。有毒溶剤等を混入している空気の浄化に連続運転が可能である。

5. コメント：東洋紡績が装置を市販

1. 事例番号：076 I

2. タイトル：高周波用磁性複合材料

3. 機能分類：磁性、振動減衰性

4. 内容：数十キロヘルツの高周波領域まで透磁率が低下せず、かつ高い磁気飽和密度を有する磁性材料各種インバーターやリアクトル鉄心用に要求されているが、これに応える材料である。純鉄、けい素やアルミニウムなどを含む鉄系合金などの鉄系磁性材料の粉末を、相互に絶縁して固化したものである。用途は、周波数変電所のリアクトル鉄心、電車モーターのアノードリアクトル鉄心その他に用いられている。

5. コメント：堀江宏道他：日本金属学会誌、50, 228 (1986)

1. 事例番号：077 I

2. タイトル：恒透磁率磁性複合材料

3. 機能分類：磁性

4. 内容：大型モーターなどの磁気楔材料として実効透磁率を一定の大きさに制御した材料が必要である。磁性材料粉末を相互に絶縁した材料を固めて鉄心を作る場合、磁性粉末の粒度、体積含有率などを調節することによって任意の恒透磁率磁性材料を作り得る。

5. コメント：M. Morita et al : ASTM STP-846, p. 405 (1985)

1. 事例番号：078 I

2. タイトル：磁性流体

3. 機能分類：磁性

4. 内容：磁性微粒子を水その他の媒体に分散させ、粘性を利用してカップリング材やダンパーなどに利用する。固体と液体との複合材料としてその特性を制御できる。特殊な用途としてはこれを研磨材として用いることができる。

1. 事例番号：079 I

2. タイトル：永久磁石

3. 機能分類：磁性

4. 内容：ESD磁石は鉄単磁区磁石（鉄針状結晶）を水銀電解法によって得ているが、

この鉄針状結晶のかわりに鉄ウィスカーを用いる安価な磁石。特性的には半硬質磁石が期待できる。

5. コメント：フェライト磁石と希土類磁石の中間の特性で、実用性は少ないかもしれない。

1. 事例番号：080I

2. タイトル：銅線複合電磁波シールド材料

3. 機能分類：電磁波吸収性

4. 内容：電子機器のハウジングなどに使われる電磁波シールドを目的としたコンパウンド。導電性の高い銅線を複合することによって、フィラーの量を最小限に抑えることができ、耐衝撃性に優れた材料を提供できる。

1. 事例番号：081I

2. タイトル：導電性ゴム

3. 機能分類：導電性

4. 内容：カーボン短纖維、ニッケルメッキカーボン短纖維、グラファイト粉末など導電性を有するフィラーをエラストマーと複合し、感圧導電体としてスイッチ、フューズなどに使用する。

5. コメント：類似商品あり

1. 事例番号：082I

2. タイトル：超電導安定化電線

3. 機能分類：導電性、熱伝導性

4. 内容：超電導を利用する電力機器において、コイルに発生する常伝導状態に基づく電流をバイパスし発熱を速やかに冷却して除いてやる必要がある。そのため超電導体を常伝導の金属でくるんだ複合線が必要である。金属（NbTiなど）あるいは金属間化合物（Nb₃S_nなど）超電導体には、銅あるいはアルミニウム合金をマトリックスとし補強用にステンレス鋼線などが用いられ、また高温超電導体であるセラミックス系には銀をマトリックスとする試みがある。

1. 事例番号：083I

2. タイトル：広い温度範囲で使用可能な誘電体

3. 機能分類：誘電率

4. 内容：例えば常温領域で特性の優れた誘電体と、高温領域で高い誘電率を有する誘電体を複合することによって、広い温度範囲で平坦な容量を持つコンデンサを作ることができる。BaTiO₃ - NaNbO₃ 系などがある。

1. 事例番号 : 084 I
 2. タイトル : 広域電磁波吸収及び電磁波シールド材料
 3. 機能分類 : 導電性
 4. 内容 : Ni-Znフェライトなどのソフトフェライトとプラスチック或いはエラストマーとの複合材料で、優れた電磁波吸収特性を有する。
-
1. 事例番号 : 085 I
 2. タイトル : レドーム材料
 3. 機能分類 : 電波透過性、比強さ
 4. 内容 : 電波透過能と力学的特性を両立させるためGFRPを利用している。高温特性、赤外線透過特性なども必要な場合にはマトリックスをリン酸アルミニウム系のセラミックスに代えて用いる。
-
1. 事例番号 : 086 I
 2. タイトル : アンテナ材料
 3. 機能分類 : 導電性、比強さ、化学特性（耐蝕性）
 4. 内容 : 通信用大型アンテナは電波反射能、強度などの点からCFRPが使われ、その基礎は鋼構造物で構成されるのが一般である。CFRPは導電性があるためそのままでは電気的腐食により鋼材の腐食が激しくなる。これを防ぐため絶縁層を複合する。
 5. コメント : 材料というよりも構造である。しかし一つの材料のみに注目しても実用するには気配りが必要という例。CFRP製のヨットでも同じ現象が生じる。
-
1. 事例番号 : 087 I
 2. タイトル : 液体－固体複合材料
 3. 機能分類 : 嗜好性
 4. 内容 : 蒲鉾、こんにゃく或いは各種果物など食品の多くは纖維質（蛋白質やセルローズなどの固体）と水（液体）との複合材料である。この水は、固体と反応して結晶水のような形、吸着水或いは単に混合している遊離水として含まれている。この水の状態と量、纖維の太さや絡み合いの仕方でもって食品の持ついわゆる嗜み味が異なってくる。もっとも人間にとつて好ましい嗜み味を工学的に造り上げる。
 5. コメント : 蒲鉾などの伝統の味を解明できる。
-
1. 事例番号 : 088 I
 2. タイトル : 耐磨耗性ウィスカーハードアルミニウム
 3. 機能分類 : 耐摩耗性
 4. 内容 : 硬度の高い高融点物質を、軟質金属に複合することによって、耐溶着性に優れ

た耐磨耗材量が得られることが知られている。その例としてアルミナ系耐火物繊維をアルミニウム合金に複合したものが自動車エンジン用ピストンリング材として実用になっている。このアルミナ系繊維を極めて径の小さいシリコンカーバイドウイスカーに置き換えることにより、繊維の脱落を防ぎ耐磨耗性を一段と向上させることができる。シリコンカーバイド以外にアルミナ、窒化けい素、窒化アルミニウム、炭素などのウイスカーの複合も同様な効果が期待できる。

5. コメント : T. T. Long et al. : Trans. JIM, 29, 920 (1988)

1. 事例番号 : 089 I

2. タイトル : 自己潤滑型ウイスカー強化アルミニウム

3. 機能分類 : 耐摩耗性

4. 内容 : ウイスカー強化アルミニウムの中に、自己潤滑性のあるモリブデンシリサイド、窒化ほう素、グラファイトなどの粒子、あるいはカーボンなどの繊維を複合し、自己潤滑性を持たせた材料。高荷重下、高真空下あるいは溶剤中のような過酷な条件下でも十分作動する耐磨耗材料が得られる。

5. コメント : T. T. Long 他 : 日本金属学会誌、51, 864 (1988)

1. 事例番号 : 090 I

2. タイトル : 金属繊維強化クラッチ材料

3. 機能分類 : 耐摩耗性

4. 内容 : クラッチ板やブレーキパッドに金属繊維（ステンレス鋼繊維、銅合金繊維など）を複合し、高熱伝導性を持たせ、焼き付けを防止した材料。アスベストパッドの代替品として高負荷用の特性を狙うものである。

5. コメント : アイディアのみである。

1. 事例番号 : 091 I

2. タイトル : ゾルーゲル膜によるハイブリッドアクチュエーター

3. 機能分類 : 力学的機能（高強度、高硬度）、化学特性（膨潤）

4. 内容 : アクチュエーターとしての利用を考えられているポリビニルアルコール（PVA）のような高分子材料は、弾性率が小さい、硬度が低いなど力学的特性に難点がある。これを改良する目的でゾルーゲル法により例えばシリカ微粒子をPVAに分散させ、高硬度でかつ比較的高温まで安定であり、しかもある程度の膨潤可能な膜を提供できる。

5. コメント : シリカを分子オーダーで分散させた材料は、着色可能な表面処理膜としての応用も考えられる。

1. 事例番号 : 092 I

2. タイトル：スポーツ用高減衰材料
3. 機能分類：力学的機能（振動減衰）
4. 内容：C F R P にアラミド繊維複合材料をハイブリッドさせることにより、高剛性でありながら適当な減衰率を有し、人体に対して大きな衝撃を与えない材料。
用途として、スキー板、ゴルフシャフト、テニスラケット、バトミントンラケット、釣竿などがある。

1. 事例番号：093 I
2. タイトル：高減衰ハイブリッド材料
3. 機能分類：力学的機能（振動減衰）
4. 内容：C F R P と A F R P を交互に積層して作製した板で、I C 組立て時のロボット溶接用アームを作製する。高速で作動させるため軽量化を計りなおかつ正確に位置決めするために振動の減衰を大きくする必要がある。弾性率と振動減衰能は慣用材料では一義的に決まるが、ハイブリッド化することにより要求される剛性と振動減衰能に合わせて、例えば積層する順序を変えることにより、必要な機械特性を発現させることができる。

1. 事例番号：094 I
2. タイトル：フェライト振動減衰材料
3. 機能分類：力学的機能（振動減衰）、電気・電磁気機能（電波吸収体）
4. 内容：マグネタイトを主成分とするフェライト粒子をポリエステル樹脂やエポキシ樹脂で複合した材料は、優れた振動吸収能を有するので、制振材料、遮音材料などに用いられる。また構造材料としても除振台などにも応用できる。
5. コメント：なおフェライトは磁気材料であるからこの特性を利用して電波吸収材料や、電磁波シールド材料としても応用できる。

1. 事例番号：095 I
2. タイトル：超電導コイルバインダー
3. 機能分類：力学的機能（高強度）、電気・電磁気機能（高電気伝導）、熱的機能（熱膨脹）
4. 内容：高純度銅板（テープ）の片側に補強用としてタングステン線を埋め込んだバインダー用テープ。銅線のみではコイルの反発力が大きくこれを締め付けておくには強度が低過ぎる。そこで、タングステンで補強する。片側に埋め込むのは銅とタングステンの熱膨脹の差を利用し、作動温度で締め付ける方向に変形し、締付け力を増す工夫である。一種のバイメタルであるため強度ならびに変形量はタングステン線の体積含有率により調節可能である。

1. 事例番号：096 I
2. タイトル：残留放射能の低い金属基複合材料

3. 機能分類：力学的機能（高強度、高クリープ特性）、電気・電磁気機能（低残留放射線）
4. 内容：SiC ウィスカーハードアルミニウムは軽元素で構成されているため、原子炉中で照射されたあとも放射能は速やかに減衰し、残留放射能は極めて低い。一方ウィスカーハード材料は高力アルミニウム合金よりも耐熱性が高くクリープ特性も優れている。この両者の特性をいかし、解体・再組み立てが頻繁に行われる実験用原子炉の原子力容器や、ボルト・ナットなどの部品に使用する。

1. 事例番号：097I
2. タイトル：熱膨脹をコントロールした傾斜機能膜
3. 機能分類：熱的機能（無熱応力膜）
4. 内容：金属の耐熱向上のため耐熱合金の表面にセラミックス耐火膜を熱防護膜としてコーティングし、ガスタービンやジェットエンジンのブレードなどに用いられている。セラミックスと金属の熱膨脹差に基づく熱応力を緩和するため組成を徐々に変化させた傾斜機能膜を界面に用いれば、熱応力による破損は防止可能である。

セラミックスにポイドを導入し、金属界面では多くのポイドを発生させ、表面に近付くにつれ例えればレーザーなどで溶融して緻密化してやれば、傾斜成分材料と異なり長時間安定に使用することができる。傾斜成分材料は、熱力学的に不安定であるため、長時間経過すると拡散あるいは反応して、傾斜機能が失われる恐れがある。

1. 事例番号：098I
2. タイトル：寸法変化の小さい複合材料
3. 機能分類：熱的機能（熱膨張）
4. 内容：カーボン繊維は軸方向の熱膨脹係数が極めて小さく、場合によっては負の熱膨張を示す。したがって複合材料中の繊維の方向を調節することによって特定の方向の熱膨脹係数を零に近く設計でき、温度変化に対する寸法の安定性を高めることができる。大型人工衛星の構体やアンテナなどに利用できる。

1. 事例番号：099I
2. タイトル：自己補修形金属基複合材料
3. 機能分類：熱的機能（形状記憶機能、応力誘起拡散機能）
4. 内容：NiTiなどの形状記憶合金材料とアルミニウムなど比較的低温で拡散できる材料を組合わせ、変態温度以上に加熱して形状記憶効果によって応力を発生させて、マトリックスに生じたクラックを拡散により消滅させる。

M. Tay a : Smart Structural System Symposium, pp. 1-9 (東大、Mar. 1996)

1. 事例番号：100I
2. タイトル：自己補修形セラミックス複合材料
3. 機能分類：熱的機能（応力誘起拡散機能）
4. 内容：粒界に存在するガラス相を利用し、そのガラス転移点 T_g 以上に加熱して拡散させ、マトリックスに生じたクラックを治癒させる複合材料の可能性がある。
三友 譲、池上隆康：セラミックス、28, 554 (1993)

1. 事例番号：101I
2. タイトル：自己補修形プラスチックス
3. 機能分類：化学的機能（膨潤）
4. 内容：ポリメチルメタクリレートのような高分子材料中にメタノールを拡散させると、ケースII拡散が生じ、拡散相と未拡散相の間に明瞭な境界を生じこの境界に大きな応力が発生する。PMMAの表面に発生したクラックを持つ材料をガラス転移点 T_g より高温に加熱してやると、この応力を駆動力としてクラックが消滅し、自己補修可能となる。
5. コメント：自己補修インテリジェント材料開発のヒントが得られる。

川越 誠他：高分子学会第45回高分子討論会、(Oct. 1996)

1. 事例番号：102J
2. タイトル：3次元織物を使った食品タンク用ヒートジャケット
3. 機能分類：熱的機能
4. 内容：サンドイッチ構造のFRP製醸造用食品タンクのコア材に3次元中空構造ガラス織物を採用したヒートジャケットシステム。
中空部分に温調用の流体を強制循環させることにより、従来一般的だったタンク外周に金属管を螺旋状に巻きつけるシステムより工事が容易なうえはるかに優れた温調効果が得られる。
しかも、メンテナンスフリーで長持ちする。
5. コメント：(1) 開発者 蝶理(株)と日本容器工業(株)の共同開発
(2) 使用材料 3次元中空構造ガラス織物(パラビーム3D)

1. 事例番号：103J
2. タイトル：形状修正可能な義肢
3. 機能分類：熱的機能
4. 内容：CFと熱可塑性アクリル樹脂のプリプレグを使って成形された義肢は、使用者の体格や使用部位の形状に合わせて可塑化微調整をすることが可能。剛性と軽量化を目的に開発され、先行しているCFエポキシ樹脂複合材料製品は、熱硬化性なので、製品化後の修正は困難であった。
5. コメント：(1) プリプレグ・メーカー 三菱レイヨン(株)

1. 事例番号：104J
2. タイトル：ポータブル軽量車いす
3. 機能分類：力学的機能（軽量化）
4. 内容：車椅子の主要部分にCF強化ナイロン成形品を採用することにより、全体重量を約5kgに軽量化。複合材料製の座いすと背板部分を組み合わせると手提げカバン（タテ49cm、横46cm、幅15cm）になり、車椅子の全部品がこのカバンの中に納まる。軽度の身障者を同行する場合の外出用を目的として開発された。
5. コメント：
 - (1) 製造会社 (株) フジワラ (愛知県)
 - (2) 成形法 圧空成形法
 - (3) 発売予定 平成9年4月
 - (4) その他 NEDOより2000万円の開発補助金が支給されている。金属製の本格的な車椅子の総重量は20kg前後である。使用目的が異なるため比較は困難だが、軽量化の意義は大きい。（福祉用具実用化開発推進事業）
 - (5) 販売価格：15万円

1. 事例番号：105J
2. タイトル：鋳物砂型の湯口穿孔治具
3. 機能分類：力学的機能（軽量化）
4. 内容：鋳物用砂型に湯口をあけるための治具として、これまでアルミ製の治具が使われているが、これをCFRP化した結果、アルミ製品に比べて約30%軽量化することに成功して作業性の改善に役立った。

既存のアルミ製治具は、重いため過って落としたりすると、割れて使いものにならなくなつたが、CFRP製治具ではこの点の心配がなくなった。しかも複雑な形状の治具も容易に成形できる点も評価されている。

5. コメント：
 - (1) 成形企業 (株) フジワラ (愛知県)
 - (2) 成形法 オートクレーブ

1. 事例番号：106J
2. タイトル：船板外板のAFRP化
3. 機能分類：力学的機能（耐衝撃性、耐摩耗性）
4. 内容：1988年に建造された北海道庁所属の監督測量船「こまどり丸」の船殻外層にAFRP層を積層することにより、海上浮氷などとの衝突や摩耗による外板の損傷を軽減することに成功している。

1. 事例番号：107J
2. タイトル：構造物用破壊検知・防護センサー
3. 機能分類：電気・電磁気機能
4. 内容：破壊検知を受け持つ導電性のCFと、破壊防護に威力を發揮するGFRPをハ

イブリッド化した補強筋をビル等のコンクリート壁面に埋設することにより、外部から破壊侵入を検知するシステム。

5. コメント：（1）開発会社 旭硝子マテックス（株）
（2）実用会社 総合警備保障（株）
（3）商品名 ブライトガード、ブライトウォール、ブライトシャッター、ブライトフェンス

1. 事例番号：108K

2. タイトル：リサイクル性に富む連続繊維強化プラスチック建築への利用

3. 機能分類：力学的機能、環境調和性

4. 内容：従来、連続繊維強化プラスチック（F R P）は、軽量・高強度・高耐食性などの力学的性質を利用して、コンクリート用補強材あるいは繰り返し使用可能なコンクリート打込用型枠材などの応用が図られてきたが、地球環境問題の重要性と共に、長寿命性とリサイクル性の両立を図る必要が増している。このため、従来の熱硬化性樹脂（エポキシ樹脂、ビニルエステル樹脂）ではなくて、熱可塑性樹脂（ポリカーボネート及びポリ塩化ビニル）を利用した炭素及びガラス連続繊維強化プラスチック（C F R P 及びG F R P）が開発され、リサイクル性を配慮した建築材料としての応用が図られている。

5. コメント：関係先；（株）筒中プラスチック及び（社）強化プラスチック協会

1. 事例番号：109L

2. タイトル：軽量化車両（鉄道車両用台車）へのC F R P の応用

3. 機能分類：力学的機能（振動減衰特性）

4. 内容：（1）C F R P を用いて製作された鉄道車両用台車枠が一時ドイツで試作され、試験中の記事があった。これは比強度の高さを利用して鉄道車両の軽量化を図るとともに、高剛性、高減衰特性を利用して乗り心地改良にも寄与する。

（2）C F R P 台車枠や軸箱は鉄道総研でも試作して、試験運行を試みた。その後の報告がなされていないので詳細は不明であるが、振動減衰等に著しい効果が認められたものの、コスト等の面で実用には至っていないと思われる。

5. コメント：（1）現在の鉄道台車試作は、金属など従来材料を前提にした旧来の設計手法を踏襲しており、C F R P などを使用して特性を発揮させるにはその特徴を生かした設計手法に変更する必要があると思われる。

1. 事例番号：110L

2. タイトル：車両用バネ部材へのC F R P の応用

3. 機能分類：力学的機能（振動減衰特性、疲労特性）

4. 内容：（1）鉄道車両用部材にモーターと減速歯車の軸調節を行いつつ動力を伝達する「たわみ継ぎ手」とよばれる部材がある。従来は鉄板を組み合わせたものが使用されていたが、最近の車両ではC F R P のもつ高振動減衰特性や疲労特性に着目して、C F R P 板材を使った車両が実用されている。また、同様な観点から自動車の駆動軸への応用事例がある。

1. 事例番号：111L
2. タイトル：極低温断熱材料としてのCFRP
3. 機能分類：熱的機能、力学的機能
4. 内容：（1）CFRPは極低温領域では、CFRPよりも小さい熱伝導率を有している。リニアモーターカーでは超電導現象を利用した磁石を車両に積載しており、磁石に発生する浮上、推進、案内力を伝達する部材(断熱支持材)にCFRPを使用している。

1. 事例番号：112L
2. タイトル：自己崩壊性CFRP
3. 機能分類：耐薬品機能、力学的機能、環境調和性
4. 内容：（1）CF表面を酸化処理することにより、樹脂との親和性を増し、界面接着力を改良して、複合材料の力学的性質を向上させることは既知である。
（2）CFの表面処理方法として、光増感剤法(炭素, No. 164, pp. 230-236(1994)がある。この方法は光増感剤をCF表面に塗布して自然光あるいは紫外線光にさらしておこなうだけで、CF表面が酸化される現象を利用したものである。
（3）一方、複合材料はその耐久性の良さから廃棄した場合にもいつまでも腐食することなく残存するため、廃棄物処理の観点からも不便であるが、本現象を廃棄物処理に利用することができれば、自然光にさらして放置しておくだけで劣化がすすむことになり、自己崩壊性CFRPとして新規用途が期待できると思われる。

1. 事例番号：113L
2. タイトル：電磁波吸収材としてのCFの応用
3. 機能分類：電気・電磁気機能、力学的機能
4. 内容：（1）パソコンや携帯電話などから発生する電磁波による人体や精密機器への影響が懸念されつつある。
（2）岐阜大学元島教授らは、コイル状炭素繊維が効率よく電磁波を吸収することを発表(97年2月14日付、日経産業新聞)している。先端材料の電磁波に関する応答研究は少なく、本素材に限らず大量供給が可能な複合材料として開発の余地は大きいと考えられる。
（3）適用が考えられる分野としては、パソコン、携帯電話など民生分野の他にも、リニアモーターカー沿線への電磁波遮蔽等も考えられ、その開発効果は非常に大きいと予想される。

1. 事例番号：114L
2. タイトル：環境調和型FRP製鉄道用マクラギの開発
3. 機能分類：力学的機能(減衰特性、疲労特性)
4. 内容：（1）鉄道用レールはマクラギによって支えられており、マクラギは重要部材であるが、その材料となる木材は年々供給が細っており、近年ではコンクリートマクラギがその主流となっている。

(2) しかしながら、橋梁や分岐箇所等衝撃力負担の大きいところでは木マクラギに代わる素材は見あたらず、現在でも木材が主に使用されている。

(3) 10年以上も前からF R Pマクラギが開発され良好な実用経緯を示している（鉄道総研報告, Vol. 11, No. 2）が、複合材料の有する高減衰性を積極的に活用することにより、防音防振に優れた環境に優しいマクラギ開発が可能と考えられる。

1. 事例番号：115M

2. タイトル：非磁性・高強度を目的としたボルト・ナット

3. 機能分類：電気・電磁気機能

4. 内容：超伝導マグネットを使用する機器の場合、磁化すると困る部分がある。それらの場所に使用することを目標にC F R Pのボルト・ナットを開発しようと試みていた。

1. 事例番号：116M

2. タイトル：アブレージョン冷却ロケットノズル

3. 機能分類：耐火機能

4. 内容：フェノール系樹脂とシリカガラスを使用したF R Pでアブレージョン冷却ロケットノズルを試作している。これは、フェノール系樹脂の加熱時の発生ガスを利用してノズル壁面を保護すると同時に、残留炭素によってノズル形状を保持する機構となっている。シリカガラスは耐熱性が良いことで残留炭素を保持し、その結果ノズル形状を保持できる。

1. 事例番号：117N

2. タイトル：大容量、低弛度の送電線へのF RMの利用

3. 機能分類：熱的機能（熱的寸法安定性、耐熱性）、力学的機能

4. 内容：現在、日本をはじめ送電線は鋼芯アルミ電線（A C S R）が汎用である。これは、張力を負担する芯材として鋼線を撚り、そのうえに通電用のアルミ線を撚り合わせたものである。

電力需要の増大に対応した大容量化送電線、あるいは高層建物の増加による架線弛みの低減に呼応した低弛度送電線が求められている。A C S Rでは比較的重く、発熱による伸びによって弛みが大きくなる等の問題がある。

S i C 繊維（ニカロン）強化A 1 複合ワイヤーは、線材そのものに張力負担と通電機能を兼ねそなえ、且つ上記の諸問題を解決するものとして電力会社を中心に開発が進められている。

1. 事例番号：118N

2. タイトル：低放射化性の良いS i C 繊維強化S i C複合材料（CMC）

3. 機能分類：電気・電磁気的機能（放射化性、放射損傷性）、力学的機能

4. 内容：原子炉の放射能洩れ等の事故が稀にあるが、原因究明や修復工事などのためには、早期に人間が近づける必要がある。それには低放射化性の良い構造材料が求められている。同時に照射損傷の少ない材料であることはもとよりである。

S i C 繊維もマトリックスのS i Cとともに低放射化性が良いのでS i C/S i C複合材料が原子炉関係（例えば核融合炉の壁材など）への適用の検討が欧米日とも進められている。なお、S i C 繊維でもT i やZ r 等金属原子を含有するものは不適であると聞いている。

5. コメント：文献名「核融合炉材料フォーラム 13」S i C/S i C複合材料研究会（代表 香山 晃 京大エネルギー理工学研究科 Tel 0774-31-4625 Fax 0774-31-4629）

1. 事例番号：119N
2. タイトル：海洋用途材へのF RMの利用
3. 機能分類：耐薬品機能（耐食性）、力学的機能
4. 内容：たとえば魚雷の類の構造部材としては、比強度、比剛性といった力学的性質に加えて、海水に対する耐食性が要求される。繊維強化A 1 複合材料の適用は可能であると思われる。

1. 事例番号：120N
2. タイトル：航空機等の計器類部材へのF RMの利用
3. 機能分類：力学的機能（寸法安定性、比剛性）
4. 内容：航空機や人工衛星などの計器類の中には極めて高い寸法安定性や剛性を必要とする金属製の部材、部位があると聞いている。それには軽量の繊維強化A 1 複合材料の適合が可能と考えられる。

1. 事例番号：121N
2. タイトル：不定形耐火物としてのF RC (CMC) の利用
3. 機能分類：力学的機能（高温強度、耐摩性）
4. 内容：高炉の出銑口などには不定形耐火物が多用されている。高耐熱性、高強度、高破壊靭性の点から、例えばS i C 繊維（ニカラロン）の短纖維で強化した不定形耐火物は、出銑による摩滅が少なくなるため、一回当たりの出銑量も多くでき、また操業の仕方もより安定したものになり得ると考えられる。

1. 事例番号：122N
2. タイトル：衝撃吸収が大きい繊維強化金属材料（F RM）
3. 機能分類：力学的性質（耐衝撃性）
4. 内容：自動車の衝突時の衝撃吸収にはF RPも一部に使用されている。さらに衝撲の強烈な耐弾材料には各種の材料が砲弾の種類によっていろいろ使い分けられている。

軽量、高強度で、耐衝撃性が良いと考えられる長纖維強化A 1 は候補材料の一つとして考えられる。例えば、S i C 繊維（ニカラロン）強化A 1 合金は、ヘリコプターの操縦座席や計器類の保護用耐弾材の可能性があると思われる。

1. 事例番号：123N

2. タイトル：衝撃吸収が大きい纖維強化ガラス、ガラスセラミックス複合材
3. 機能分類：力学的性質（耐衝撃性）
4. 内容：装甲車のようなところには、従来高比重の分厚い金属材料が耐弾材として使われていたが、弾の進歩により耐弾材料の方も、単に耐衝撃性だけでなく、火炎などに対する高耐熱性が要求されるようになったと聞いている。

例えば、SiC 纖維（ニカラロン）強化ガラス複合材料は、軽量で破壊靭性が高いことからかかる用途に適合するものと考えられる。一部で基礎的研究が進められていると聞いている。

1. 事例番号：124N
2. タイトル：地下掘削用ケーブルへのFRM線材の利用
3. 機能分類：電気的性質（導電性）、力学的性質（比強度）
4. 内容：地熱発電その他で地下をボーリングして、深く穿孔する場合、刃物類を懸垂したり、また機器を駆動させたりする必要がある。現在は前者には鋼線を、後者には銅線を使用していると聞く。孔が深いときには、線そのものの自重も馬鹿にならない。

長纖維強化Al線材は、力学的性質（比強度）だけでなく、導電性も良く、また耐食性にも優れているので適合の可能性があると思われる。このような特性を活かした用途は他分野でもあり得ると思われる。

1. 事例番号：125N
2. タイトル：SiO₂ 纖維強化ガラスの透明性・偏光性の利用
3. 機能分類：光学的性質（透明性・偏光性）
4. 内容：ガラスはその透明性を活用した用途に広く使用されているが、欠点として、強度が高くなく、破壊靭性も低いことが挙げられる。これを纖維強化することで、その欠点をカバーすると新しい用途があるものと思われる。

例えば、SiO₂ 纖維の屈折率に合わせたマトリックスのガラス（ガラスの屈折率は組成の変更で比較的容易に変えられる。）にすれば透明度を失わずに、強度を上げられる。さらには、この複合材料には偏光性もあるので特殊な用途への適合が可能と思われる。

5. コメント：東大生研の香川助教授が研究を進めている。

1. 事例番号：126N
2. タイトル：Si₃N₄ 纖維強化セラミックス複合材料の利用
3. 機能分類：電気的性質（絶縁性）、熱的性質（耐熱性）
4. 内容：現在、強化纖維の主流は炭素纖維であり、これに炭化ケイ素纖維が追随している。しかし、これらは電気良導体、もしくは不導体領域の電気抵抗を示す。即ち、電気絶縁体ではない。

例えば、原子炉関係の配線の被覆には絶縁性と耐熱性を要求され、一部でSi₃N₄ 纖維の編物が被覆材料に試用されていると聞いています。但し、これは編組品であって複合材料ではない。このような性質を必要とする複合材料の使途も必ず有るものと思われる。Si₃N₄ 纖維強化セ

ラミックス (e.g., Si_3N_4 , Al_2O_3) 複合材料の用途も充分考えられる。

1. 事例番号 : 127N
2. タイトル : 金庫などの内壁材への SiC/SiC複合材の利用
3. 機能分類 : 耐火性、硬質性
4. 内容 : 金庫などは火災時にも有用であってほしいし、また火炎をもって孔を焼きあける盗難などに対しても有用でなければならぬ。

その点、耐熱性に優れかつ硬質な炭化ケイ素繊維強化炭化ケイ素複合材料はアーク溶断に要する時間も長く適合の可能性がある。銀行等の金庫‘室’などにも有効と思われるが、コスト的な問題の解決が必要となろう。

1. 事例番号 : 128N
2. タイトル : 半導体製造装置部材への FRC の利点
3. 機能分類 : 尺寸安定性、高温剛性
4. 内容 : 詳細は不明だが、半導体製造装置の一部には重金属を嫌い、Al などが望まれる。しかし乍ら操業中の温度上昇で寸法安定性が悪くなり、また剛性も低下するのが問題であると聞いている。

このような部位には、例えば SiC 繊維で強化した Al 材は適合するものと考えられる。台座的な部材だけでなく、例えば Si ウェハーを掘り出し／移し替えの腕状のものでも、剛性が高く、振動減衰性の良い複合材料は位置決め等でも精確となるので適合するものと考えられる。

1. 事例番号 : 129N
2. タイトル : 熔融亜鉛を扱う部材への FRC の利用
3. 機能分類 : 耐熱性、耐酸化性、金属との低反応性、力学的性質 (韌性、耐摩耗性)
4. 内容 : 自動車、家電用品、建築部材の鋼板は、現在、熔融亜鉛浴中を通した亜鉛メッキ鋼板である。例えば浴中ロールでは耐熱性、耐酸化性 (出し入れ時の)、金属との濡れ性 (反応性) が必要である。また耐摩耗性や軽量 (回転同調の駆動が不要となる) なのも要求されている。

このような条件においては繊維強化セラミックス複合材料 (FRC) はその特徴を発揮するものと考えられる。浴中ロール以外でも浴の浄化のための装置の部材として、あるいは溶融亜鉛の汲み上げ用ポンプの部材にも適合が可能と考えられる。

1. 事例番号 : 130N
2. タイトル : 熔融アルミニウムを扱う部材への FRC の利用
3. 機能分類 : 耐熱性、耐酸化性、金属との低反応性、力学的性質 (韌性、耐摩耗性)
4. 内容 : 薄肉の Al 缶が非常に普及しているが、その為には溶融 Al 中の不純物の除去を厳しくする必要がある。浮遊する不純物を浮上させて除去するためにガスを吹込んだり、攪拌したりしている。ガス吹込管や攪拌羽根などに繊維強化セラミックス複合材料 (例えば Si

C 繊維／S i Cなど) が適すると考えられる。カーボン材では耐酸化性や耐エロージョン性が不十分であり、またモノシリックなセラミックス材はショックによる割れ・欠けの問題がある。F R Cは耐酸化性、韌性に優れるほか、金属とは低反応性であり、また耐摩耗性も良い。吹込管等の他にも適合する部材があると考えられる。

1. 事例番号：1 3 1 N
2. タイトル：ガラス製造工業への繊維強化セラミックスの利用
3. 機能分類：耐熱性、耐食性、力学的性質
4. 内容：繊維強化セラミックス複合材料は力学的性質に優れる上に、耐熱性等も優れている。が、炭素繊維／炭素複合材は酸化消耗という本質的な弱点がある。この点、例えばS i C繊維S i C複合材料(ポリマー含浸／焼成法)は耐酸化性が優れている。

板ガラスの製造は数十m長さの窯の中で熔融Zn浴の上を溶融ガラスを帯状に流し送って製造する。そのガラスの流れ方を炉側壁から挿入した長い棹で操作している。軽量な材料だと作業性も良く、強度や耐酸化性に優れるS i C／S i C複合材料は適用が可能と思われる。また、ガラス瓶製造などの耐摩耗性を要するところにも適応可と考えられる。

1. 事例番号：1 3 2 N
2. タイトル：(発電用) 高効率ガスタービンへのCMCの利用
3. 機能分類：耐熱性、力学的性質(破壊韌性 その他)
4. 内容：ガスタービン部材へのCMCの応用としては動翼や静翼が一般的に言われているが、これらは使用条件の最も厳しい所であり、力学的・熱的性質の要求度が最も高い。

これらの部位以外でもCMC化が期待できる所はあり、同時に要求特性もやや緩和されたり、要求性能も異なる部位がある。静翼の遮熱板とか、排ガス流出筒のトランジションピースなどもその例と言える。

1. 事例番号：1 3 3 N
2. タイトル：腐食性ガス雰囲気でのCMC壁材の利用
3. 機能分類：耐食性
4. 内容：製造工程上洩れるS O₂などの腐食性ガスにより装置や建物など金属部が腐食される。事例ではSUS板では1ヶ月程で更新していたところが、S i C／S i C(ポリマー含浸・焼成法で製造)の大版板材を貼ることで1年以上も寿命が伸びた。このように耐食性を要し、且つ軽量その他CMCが適合する用途にはCMCを利用する可能性があると考える。

1. 事例番号：1 3 4 O
2. タイトル：CNG用リユース可能高圧CFRP容器
3. 機能分類：輸送／機力学的性質
4. 内容：CNGは代替的エネルギー、CO₂低減クリーンエネルギーとして自動車内燃機関用の将来燃料として期待されている。自動車用でみると、重量、容積効率から、CFRP

が現在最も良いが、高価且つ寿命15年（規格）が問題。

CFRPの中に光ファイバ等を同時に組み込み、使用過程の応力センシングから残存寿命予測を行い、高圧容器のリユースを可能とすることで平均価格を下げる考えを考へる。これは資源的にも再使用という点で価値が高いと考えます。

5. コメント：最近ホンダで、CNG車をPRした。タンクはオールCFRP（w/o金属ライナー）である。

1. 事例番号：1350

2. タイトル：断熱ディーゼルエンジン用部品

3. 機能分類：輸送／熱的性質

4. 内容：地球温暖化問題でCO₂の低減が要求されている。自動車では、パワープラントの高効率化が課題で、米国のPNGU計画、EUでのCar of tomorrow等で、3倍燃費がターゲットになっており、内燃機関では難しく、Fuel Cellとモーターといつといわゆる電気自動車が最終的な姿と考えられている。しかし、技術的な困難さと価格の大巾上昇が問題。

燃焼チャンバー、シリンダライナー、ピストントップ、バルブ及び排気ポート等をセラミックスを鋳包んだ断熱ディーゼルエンジンは熱効率が50%と3倍の効率を出せるが、セラミックスを応用する技術が未完である。

セラミックスを纖維強化すると同時に、鋳包み時にマトリックス金属側へアンカーとして接合及び熱膨張にダンパーとする手法が考えられる。

1. 事例番号：1360

2. タイトル：シールパッキン材

3. 機能分類：輸送／熱的性質

4. 内容：自動車に用いられるパッキン材は燃焼ガス中とか燃料、冷却水、オイル通路に介在しており、金属の溝等にボルトで締結されている。一般的に高温時パッキン隙間が縮小するとともにパッキンの熱膨張でパッキンが高温下で座屈し、低温時隙間があいて漏れる現象となっている。

カーボン纖維の熱膨張の異方性を利用して、隙間方向をネガティブ熱膨張係数とすると、締結ボルト等のサイズダウンを含め継手部の効率化が計れるので価値が出されると思われる。

1. 事例番号：1370

2. タイトル：変速材用クラッチ（プラスチック及びゴムを配合したFRP or C/Cコンポ）

3. 機能分類：力学的性質（耐摩耗性）

4. 内容：（1）炭素纖維の自己潤滑性と母材に空孔を持たせて、オイルの流動可能とすることにより、摺動で発生した摩擦熱を分散させる。材料強度は樹脂中に纖維を分散させることにより強度を確保する。

（2）纖維強化方向が母材材質を工夫することにより、圧縮特性、耐摩耗性をある程度コントロ

ール出来る。

(3) 一部気孔を持たせた炭素繊維成形体が検討されているが摩耗が多く使用出来ない。

1. 事例番号：1380

2. タイトル：LNG用AIタンク（FRM）

3. 機能分類：力学的、熱的性質

4. 内容：LNGタンクは-162°Cもの低温になるため、低温時の強度が必要で、また温度変化における熱膨張変化が大きい。そこで、アルミのタンク材をFRMとすることにより熱膨張が小さく、また強度も向上することにより板厚が小さく出来る。熱膨張が小さくなることにより、外側に設置した断熱材との形状変化差が小さく、より効率的な断熱が可能となる。全体としての軽量化が図れるため、船の高速化、省エネ化が可能となる。

1. 事例番号：139P

2. タイトル：安全靴先芯への繊維強化熱可塑性樹脂複合材料（FRTP）

3. 機能分類：力学的性質（耐衝撃性）、電気・電磁気的特性

4. 内容：ガラス繊維は耐衝撃性に優れている。しかし熱硬化性樹脂を用いた場合樹脂の韌性が低く、思うような耐衝撃性は得られないが韌性の高い熱可塑性樹脂とFRTPにすることにより、耐衝撃特性は向上する。安全靴の先芯が金属からFRTPへの採用が増加している。衝撃特性に合格することができた為と軽量化、さらにはFRTPは非磁性体である為に金属探知器に反応しない、強磁界の影響を受けない等の新しい用途を広げている。

5. コメント：衝撃特性にはガラス繊維の繊維長も大きく起因し、従来のインジェクション成形ではガラス繊維が0.4mm程度となり、思うような耐衝撃性が得られない。スタンピング成形等で繊維長1/2 inch以上で耐衝撃性は得られる。

1. 事例番号：140P

2. タイトル：プリント回路基板

3. 機能分類：電気・電磁気的特性

4. 内容：ガラス繊維は絶縁性があり、誘電特性に優れているのでプリント回路基板に基材に使われている。高速化のシステムプリント回路基板に要求される項目は、

(1) 信号の伝播遅延を小さくする

(2) クロストークを小さくする

(3) 特性インピーダンスの制御

(4) 信号の誘電損失を小さくすることである。

伝播遅延を小さくするには、回路長を短くすること、プリント回路基板の比誘電率を小さくすることが行われる。低誘電率樹脂の開発が先行していたが、樹脂の開発もスローダウンしており、強化繊維の低誘電率化が求められている。プリント回路基板に用いられるガラス繊維の中で低誘電率を上げているのは、Dガラス繊維の4.3である。（価格が問題）

5. コメント：技術 樹脂の誘電率は、3前後であるがEガラス繊維の誘電率5.8であるた

め誘電率の低いガラス繊維の開発が進められている。

アラミド繊維を使用するもあるが、価格、寸歩安定性、ドリル加工性が問題である。

1. 事例番号：141P

2. タイトル：プリント回路基板

3. 機能分類：電気・電磁気的特性

4. 内容：携帯電話に代表される移動体通信分野は、800～900MHz、1.5GHz等マイクロ波（高周波）領域の使用が増大しつつある。高周波回路板における信号の誘電損失は、次式で表される。

$$\text{誘電損失 (dB/in)} = (27.3 \times f/C) \times \sqrt{\epsilon} \times \tan \delta$$

C : 光速, f : 周波数

ϵ : 誘電率, $\tan \delta$: 誘電正接

プリント回路基板を構成する樹脂の誘電率は、その種類によって、2～5程度の範囲であるのに対し、誘電正接は、0.0002～0.0200程度の範囲であることから、低誘電損失の回路基板用には、より低誘電正接の樹脂、強化材を選択する必要がある。

Eガラス繊維の誘電正接は、0.001 Dガラス繊維は0.0007である。

5. コメント：現在Dガラス繊維が開発されたが価格が問題である。

1. 事例番号：142P

2. タイトル：義足

3. 機能分類：医療、福祉関連分野

4. 内容：米国のベンチャー企業は、低融点の熱可塑性樹脂と炭素繊維からなる義足を開発。特定の寸法に大量生産し、コストダウンを狙う。寸法調整は、熱可塑性樹脂の再加工性を利用し、その場で温め、患者のサイズに合わせる。

5. コメント：その後の開発動向は分からぬ。企業名はスバルタ社だったと思う。

1. 事例番号：143P

2. タイトル：ロールスクリーン

3. 機能分類：寸歩安定性、不燃性

4. 内容：ガラス繊維に塩ビ樹脂をコーティングした繊維を織物にしたもののが、不燃性、寸法安定性に優れ、中型店舗、ビルなどの大型窓のロールスクリーン（ロール状のブラインド）として、市場を伸ばしている。

5. コメント：技術 環境問題上脱ハロゲンが言われており、脱塩ビ樹脂の開発が進められている。価格、難燃性が開発のポイント。

1. 事例番号：144P

2. タイトル：壁紙

3. 機能分類：不燃性

4. 内容 : ガラス繊維織物に水性エマルジョンを塗装した壁紙が難燃性及び接着剤を用いないことから脱ホルマリンで一般住宅などに普及し始めている。欧洲ではここ数年で塩ビの壁紙からこのタイプの壁紙に変わりつつある。

1. 事例番号 : 145P
2. タイトル : 吸收エネルギーが大きい繊維強化熱可塑性樹脂複合材料 (F R T P) 円筒
3. 機能分類 : 力学的性質 (耐衝撃性)
4. 内容 : F R T P の円筒を内圧成形し、軸方向から衝撃を与えた結果、炭素繊維は吸收エネルギーの速度依存性が高いが、ガラス繊維は吸收エネルギーの速度依存性が低いことが確認された。

| | |
|--------------------------------|--------------|
| 炭素繊維／P E E K樹脂 Static (6 m／hr) | ~220 (kJ/kg) |
| Dynamic (55 km／hr) | ~90 (kJ/kg) |
| ガラス繊維／P A 6樹脂 Static (6 m／hr) | ~80 (kJ/kg) |
| Dynamic (55 km／hr) | ~70 (kJ/kg) |

この研究は、まだ基礎段階であるが自動車分野のエネルギー吸收部品を狙ったものである。

5. コメント : 技術 横浜ゴム、早稲田大学の川田教授が研究を進めている。

1. 事例番号 : 146P
2. タイトル : 中空ガラス繊維
3. 機能分類 : 力学的性質、電気・電磁気的特性
4. 内容 : ガラス繊維を中空にすることにより、力学的特性を80%に維持しつつ、比重を軽くすることを米国のO C F社が開発し上市した。このO C F社の発表と関係なく、N E Cの研究者がマイクロバルーンを用いた低誘電率プリント回路基板の開発報告の中で、中空ガラス繊維を用いた時のプリント回路基板の特性向上(実行誘電率)を示唆していた。
5. コメント : 中空ガラス繊維を実際にプリント回路基板に用いた時の工程性、ドリル加工後のメッキ液の染み込み等の問題点は言及していなかった。

1. 事例番号 : 147Q
2. タイトル : C F R P製立体トラス
3. 機能分類 : 力学的性質、高耐久性
4. 内容 : C F R P製パイプ構造材を用いて、複層立体トラス構造を構築し、軽量で大スパンの屋根架構が出来る。従来の鋼製トラスに比較して、架構重量で約1/3と軽量であり、比強度・比剛性の高い炭素繊維の特徴を生かして、開閉式の屋根材として最適なものとなる。また、耐食性に優れており、塗装等の維持管理費が不要でメンテナンスが容易である。温泉・アクアハウスなどの耐食性が要求される施設の屋根架構には最適である。
5. コメント : 既に建設大臣の認定を得て実現する予定である。

1. 事例番号 : 148Q

2. タイトル：ロックアンカーボルト
3. 機能分類：力学的特性、高耐久性
4. 内容：トンネル工事等で多用される岩盤内に定着を取るロックアンカーボルトとしてCFRP棒材が展開されている。トンネル内の作業のため軽量で作業性に優れ、また高耐食性から酸性水などの地下水による腐食に優れている。
5. コメント：アラミド繊維やガラス繊維では既に実施されている。

1. 事例番号：149R
2. タイトル：吊り橋のメインケーブルへの炭素繊維の利用
3. 機能分類：力学的性質（強度・剛性）・耐食性・軽量性
4. 内容：炭素繊維（CF）の卓越した強度・剛性・耐食性を活かして、吊り橋のメインケーブルへ応用することが可能と思われる。
かつて、ジブラルタル海峡の架橋に提案されたと聞くが実現されていない。わが国で先鞭をつけるべきテーマとして、提案したい。
5. コメント：開発委員会を編成し、本四架橋公団、鉄道建設公団、道路公団、東レ、東邦レーヨンなどにヒヤリングすること。

1. 事例番号：150R
2. タイトル：家庭用LPGボンベへの繊維強化樹脂複合材料（FRP）の利用
3. 機能分類：力学的性質（強度・剛性）・耐食性・軽量性
4. 内容：繊維強化樹脂複合材料（FRP）の強度・剛性・耐食性・軽量性を活かして、家庭用LPGボンベへ応用することが可能と思われる。
5. コメント：開発委員会を編成し、LPG各社とFW成形各社などにヒヤリングすること。

1. 事例番号：151R
2. タイトル：鉄道車両の台車への繊維強化樹脂複合材料（FRP）の利用
3. 機能分類：力学的性質（強度・剛性）・耐食性・軽量性
4. 内容：繊維強化樹脂複合材料（FRP）の強度・剛性・耐食性・軽量性を活かして、鉄道車両の台車へ応用することが可能と思われる。
ドイツ国鉄において、試作されて試験的に営業列車に試用されているし、筆者らも鉄道総研にて、CFRPで実物大の試作を行ったことがあるが、まだ、実用化されていない。
5. コメント：開発委員会を編成し、JR各社と日本車両などと協力することが必要。

1. 事例番号：152S
2. タイトル：圧電素子としてのPZT繊維およびNb-PZT繊維で強化した複合材料
3. 機能分類：電気的性質
4. 内容：PZTおよびNb-PZTを繊維化する方法としては、これらの前駆体を繊維

状母材に含浸したのちに焼成する方法、これらの前駆体ゾルを紡糸したのちに焼成する方法がある。ゾルから製造されたP Z T 繊維およびN b - P Z T 繊維は、従来の圧電素子と同様な圧電性を示す可能性の高いことが示されている。ただし、これらの繊維の引張り強度は4.0～7.5 MPaと低いため、複合材料へ応用し力学的強化も併せた複数の複合効果を考えた場合、力学的強化効果を補助するための強化材が必要である。

D. J. Waller et al., J. Am. Ceram. Soc., 73, 3503 (1990).

U. Selvaraj et al., J. Mater. Res., 992 (1992).

S. Yoshikawa et al., Am. Soc. Mech. Eng. Aerosp. Div., 87 (1993).

S. Yoshikawa et al., Proc. 6th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, Nov. 11-12, 1993.

5. コメント：セラミックス繊維をアクチュエータとして検討した例は非常に少なく、従来のアクチュエータ材料を繊維化した例がほとんどである。

1. 事例番号：153S

2. タイトル：赤外線検知用サーミスタとしての炭化けい素系繊維

3. 機能分類：電気的性質

4. 内容：セラミックス繊維をセンサとして実用化した例は非常に少ないが、N i c a l o n およびT y r a n n o 繊維が赤外光照射により迅速な熱応答性を示すことから、これらの繊維の赤外線検知用サーミスタとしての可能性が検討された。これらの繊維について、繊維本数、繊維径、繊維の電気抵抗、繊維長を変えて応答速度および感度が調べられ、長さを短くすることにより熱時定数が小さくなり応答性が改善されること、繊維径、抵抗および本数を選択することにより熱時定数を制御できることが明らかになり、赤外線検知用サーミスタとして利用できることが示された。

武藤他, 日本セラミックス協会学術論文誌, 97, 1304 (1989)

N. Muto et al., J. Am. Ceram. Soc., 73, 443 (1990)

5. コメント：N i c a l o n については人体の放射する赤外線検知用サーミスタとしてセキュリティー関係分野で実用化されつつある。

1. 事例番号：154S

2. タイトル：破壊検知型の炭化ケイ素繊維強化窒化けい素複合材料

3. 機能分類：電気的・力学的性質

4. 内容：破壊検知材として、炭素繊維強化窒化けい素ロッドあるいは炭化けい素繊維強化炭化タングステンロッドのような導電性連続相を導入した複合材料を使用し、荷重負荷時の電気抵抗の変化により窒化けい素複合材料の破壊検知を試みている。この方法の特徴は炭化けい素繊維強化窒化けい素複合材料の一部に上記のロッド材を使用し、強化と同時に破壊検知用として用いていることである。

高田他, 第32回セラミック基礎科学討論会, 262 (1994)

5. コメント：ファインセラミックスセンターの松原氏が詳しい。

1. 事例番号：155S
2. タイトル：熱伝導性の優れた炭素繊維強化複合材料（C/C）
3. 機能分類：熱的・力学的性質
4. 内容：ピッチ系炭素繊維は熱伝導率が高いため、一方向で強化したC/Cの場合には高弾性率の繊維を用いることにより、V_fと共に繊維軸方向の熱伝導率を大幅に向上することが出来る。例えばUD-C/Cの繊維軸と直角方向の熱伝導率が50W/mK以下であるのに対して、繊維軸方向では約700W/mKと鋼の1.7～1.8倍の熱伝導率であるという報告¹⁾がある。このような優れた熱伝導性、熱伝導の異方性を利用して、熱交換器用部材としての応用が検討されている。
1) 武藤他, 第21回炭素材料学会年会, 140 (1994)
5. コメント：C/Cの優れた耐熱性と繊維軸方向の優れた熱伝導性を利用し、将来の核融合炉用熱交換器への適応が具体的に検討されている。

1. 事例番号：156S
2. タイトル：クランクダンパープーリーへの繊維強化金属（FRM）の利用
3. 機能分類：熱膨張特性
4. 内容：クランク軸との締結ボス部をアルミナ・シリカ短繊維で強化したアルミ合金が使われた。これは、この複合材料が、鋼製のクランク軸の熱膨張係数に近い値にコントロールできることと耐クリープ性も優れていることを利用したもので、軽量化が図られた。

1. 事例番号：157S
2. タイトル：電子部品への繊維強化金属（FRM）の利用
3. 機能分類：熱膨張特性
4. 内容：(1) 半導体素子のシリコンヘッドと銅との接合部における熱応力緩衝材として炭素繊維／銅複合材料を用いた例がある。
(2) シリコンやアルミナ基盤に熱膨張率を合わせた軽量の炭素繊維／アルミ複合材料のパッケージ材の検討が行われた事例がある。

1. 事例番号：158S
2. タイトル：エンジン部品への繊維強化金属（FRM）の利用
3. 機能分類：耐摩耗性
4. 内容：(1) ディーゼルエンジンのピストンのリング溝部にアルミナ・シリカ短繊維、アルミナ短繊維で強化したアルミ合金が実用化されている。これにより耐摩耗性の向上と軽量化が達成され適用は拡大している。
(2) ボート用エンジンのピストンヘッドにSiCウイスカで強化したアルミ合金が実用化されている。これにより12.5%のパワーアップが達成された。
(3) シリンダーブロックのシリンダーボア部分をカーボン短繊維とアルミナ短繊維で強化

したアルミ合金が実用化されている。これにより、耐摩耗性コントロールができ、熱伝導性がよく、且つ軽量化でき、エンジンの高出力対応が可能となった。

1. 事例番号：159S
2. タイトル：ロータリーコンプレッサーへの繊維強化金属（FRM）の利用
3. 機能分類：耐摩耗性、熱膨張特性
4. 内容：エアコンのロータリーコンプレッサーのベーンにSiCウイスカ／アルミ合金（7075）複合材料が実用化された。これはこの複合材料が高耐摩耗性、軽量、アルミ合金より低熱膨張であることを利用したもので、ポンプ効率の向上のための高回転化が図られた。

1. 事例番号：160N
2. タイトル：特殊熱交換器へのFRICの利用
3. 機能分類：熱伝導性、耐食性、耐熱性
4. 内容：特殊な熱交換器、例えば1000°C以上の高温とか、腐食性の高い条件下での熱交換器においては、更に良熱伝導率もを利用して熱交換器の部材として使えるものと考えられる。詳細は不明だが、米国などではSiC繊維強化セラミックス複合材料での開発が進められていると聞いている。

1. 事例番号：161N
2. タイトル：自動車エンジンのシリンダーブロックへのFRMの応用
3. 機能分類：耐摩性、寸法安定性、力学的性質
4. 内容：セラミックス繊維の円筒状プリフォームにAl合金をスクイーズキャスト法でFRM成形体をつくり、自動車エンジンのシリンダーブロックにしている。
5. コメント：本田技研で開発しているようである。

1. 事例番号：162N
2. タイトル：セラミックス部品を補強するCMCの利用
3. 機能分類：耐熱性、力学的特性
4. 内容：阪神大震災以降、コンクリート建造物の補強としてCFRPを貼りつける炭素繊維の需要が急上昇している。同じ原理で、但しCFRPではもたない高温、酸化性雰囲気で、セラミックス部品の補強にポリマー含浸／焼成法によるSiC/SiC材を補強材とする用途があり得ると考えられる。例えば、製鉄所などのノズルとか桶への補強などである。

1. 事例番号：163T
2. タイトル：活性炭素繊維の電気及び吸着機能
3. 機能分類：電気機能、吸着機能
4. 内容：活性炭素繊維はミクロポア構造の差により、従来の活性炭と異なる吸着機能を持つことから、電気の分野では、その電気的機能を利用したコンデンサー、リチウムイオン電

池の電極材、通電殺菌装置の電極材等への応用が検討されている。

吸着機能の利用として、気相系での溶剤回収装置の開発研究が推進されている。

精糖、醸造、グルタミン酸、乳酸等食品工業での利用も検討されているが、pH、金属分などの酒質に変化を与えることなく脱色できることが認められており、食品工業における脱色工程での高速処理を可能とし、また脱色だけではなく、酒質の改善に利用できる可能性があるといわれている。また浄水器への応用はもち論、纖維に銀を胆持させることにより、浄水器中に水が滞留した場合の抗菌効果の付与もできる。

現在メーカーとして、東洋紡（K-フィルター）、東邦レーヨン（ファインガード）、クラレケミカル（クラクティブ）大阪ガス（リノベス）があり、1995年の売れ上げが120億円、2000年には200億円以上の規模が期待されている。

1. 事例番号：164T

2. タイトル：プルトニウムの吸着

3. 機能分類：吸着機能

4. 内容：1996年8月に報道された朝日新聞の記事によれば、原発での使用済み核燃料の再処理工場から出る放射性廃液から、発癌性があり、放射能の半減期の長いプルトニウムだけを吸着する纖維を原始力研究所とユニチカが開発した。

これが実用化すると将来のエネルギー問題と環境問題に大きく寄与すると期待される。

1. 事例番号：165U

2. タイトル：軽量化のための炭素纖維強化プラスチック（CFRP）の利用

3. 機能分類：力学的性質（比弾性率・比強度・異方性）、

4. 内容：（1）纖維方向の比弾性率が非常に高いため、望まれる剛性の物を作るのに細径・薄肉化ができるので、軽量化に非常に貢献している。

そのため、ガラス纖維強化プラスチックの頃は7.2mで700gあった釣竿が、9.0mで236gにまで軽量化されている。

（2）材料に異方性を利用して、積層する材料の方向・量を組み合わせることにより自由な特性の物を作ることができる。

たとえばゴルフシャフトの場合、メタルシャフトではできないフレックスとトルクの自由な設計が可能になった。

（3）比強度・比弾性率の高さを利用して、形状の自由度を持たせることができる。

テニスラケットの場合は、CFRP化によって強度が確保されたことから、デカラケ・厚ラケ・長ラケなど様々な形状のラケットを作ることができるようになった。

1. 事例番号：166V

2. タイトル：航空機・ロケット・衛星など飛翔体構造へのFRPの利用

3. 機能分類：電波透過性・耐蝕性・力学的特性（高比剛性、高比強度）

4. 内容：飛行機・飛翔体は地球重力に対抗して飛行するため、高比強度・高比剛性が強く要

求され、任意曲面形状にも成形可能なF R Pは、高級マルエージング鋼・高力A I合金と共に、胴体・翼など各種任意形状の構造体材料として用いられる。東大ロケット（カッパーK型、ラムダL型、ミューM型ロケット）の数種の上段胴体・チャンバーがフィラメント・ワインディング（F W）法で製作され、安定な飛翔性能の向上に貢献した。

5. コメント：F W法によるF R Pチャンバーの製作（住友電工・日産自動車（？）・三菱重工（名航））

参考文献：1) 飯田一・植村益次；フィラメント・ワインディング圧力容器の力学的特性，材料（日本材料学会誌），24巻266号，pp. 1044/1050，(1975/11)

2) 植村益次・井山向史・福永久雄・生田義光・寺田正弘；C F R Pロケットモーターの開発研究，東大宇宙航空研究所報告，第15巻第4号，pp. 821/862，(1979/11)

3) 福永久雄・植村益次；内圧を受ける積層複合円筒かくのカップリング効果について，材料（日本材料学会誌），28巻315号，pp. 1146/1152，(1979/12)

4) 飯田一・植村益次；F W圧力容器の力学的特性（耐圧強度），日本航空宇宙学会誌，33巻381号，pp. 592/600，(1985/10)

1. 事例番号：167V

2. タイトル：衛星放送受信用F R P反射鏡（アンテナ）への利用

3. 機能分類：電気的性能・力学的耐久性・耐熱変形性

4. 内容：衛星放送では高品質の画像と音声が得られるが、地上での電波の強さが微弱になつてしまつたため、電波受信用アンテナは効率良く電波を捕える能力をもつことが極めて必要かつ重要であり、長期間に亘って良好な電気的性能を維持しつつ、力学的耐久性なども持つ必要がある。強化プラスチック協会内に、昭和58～59年に専門委員会を設置して、昭和62年1月にF R P製反射鏡の技術基準を取りまとめ、引続き長期暴露試験を行ない、電気的性能および変形と強度の力学的性能などの観点からその有用性を確かめた。

参考文献：（社）強化プラスチック協会，衛星放送受信用F R Pアンテナ専門委員会

1) 試験研究報告書（平成5年12月）

2) 強化プラスチック製反射鏡の技術基準（平成5年12月）

1. 事例番号：168V

2. タイトル：大型膜構造への繊維強化膜の利用

3. 機能分類：力学的性質（高比強度）・気密性・建築の簡便性と移動性

4. 内容：近年、綿・化繊に代わって、ガラス繊維をはじめ各種強力繊維を用いた膜を利用した膜構造として（1）サスペンション膜（テント）構造と（2）空気膜構造が出現してきた。

（1）の膜構造は大型化したきたが、更に（2）の密閉型では、2重扉の出入口を設置し、構造内気圧を僅か加圧（例えば（1／1000）気圧=10 kgf/m²）させることで空気膜構造が維持でき、建築費が少なく、工期も短かく、折り畳み収納可能なので、大型展示会場、屋内スポーツ場を始め催物会場として利用されるようになった。

参考文献：1) 植村益次；大型テント膜面に発生する張力について，第1報；基本的な一次元

的膜における検討と設計資料、建築材料、第6卷第11号、pp.39/44、(1966/11)、第2報；同、建築材料、第7卷第12号、pp.1/7、(1967/12)

2) Masaji UEMURA; Membrane Tension and Deformation in Cylindrical Pneumatic Structures Subject to Wind Loads, Proc. 1971 IASS Pacific Symposium, Part 2 on Tension Structures and Space Frames, Tokyo and Kyoto, Paper No. 2-6, pp. 199/210, (1972), Architectural Institute of Japan

3) K. Kondo & M. Uemura; Deformation and Stresses of Orthotropic Rectangular Membrane under Uniform Lateral Pressure, Proc. 1971 IASS Pacific Symposium, Part 2 on Tension Structures and Space Frames, Tokyo and Kyoto, Paper No. 2-7, pp. 211/222, (1972), Architectural Institute of Japan

4) 植村益次；円筒型エーテントの風圧による変形と張力、テント構造研究会、ニューマチック構造力学の研究1、(1969/5)

5) 植村益次；Wrinkleしたエアビームの耐荷能力、テント構造研究会、ニューマチック構造力学の研究2、(1969/6)

6) 越智信夫・植村益次；直交異方性矩形平面膜の面圧による撓み特性、東京大学・宇宙航空研究所報告、第10卷第3号(A)、(1974/7)

7) M. Uemura & N. Ochi; Deflection of Orthotropic Rectangular Membrane under uniform Pressure Composite Materials & Structures (Fukugo Zairyo Kenkyu) Vol. 3, No. 2, (1974/6)

1. 事例番号：169V

2. タイトル：気体分離用超高速回転胴へのFRPの利用

3. 機能分類：力学的性質（高比強度・高比剛性）・耐蝕性

4. 内容：分子量の異なる各種気体の混合ガスから、各構成ガスを分離濃縮するための超高速回転胴では、回転遠心力に耐える高比強度と共に、回転安定性のための高比剛性が要望される。例えばCFRP、KFRPなど先進複合材料が注目される。ウラン濃縮は、原子力発電など平和利用にも使われる所以必要である。

5. コメント：国内ではウラン濃縮関係は動力炉・核燃料開発事業団が担当している。技術委員会に参画したが、問題の性格上成果は公表されていない。

1. 事例番号：170V

2. タイトル：FWフライホイールへの利用

3. 機能分類：力学的性質（高比強度）

4. 内容：資源に乏しい日本にとって、エネルギー開発・省エネルギーは重要課題である。高速回転のFWフライホイールは（1）水力発電による電力不需要時の余剰電力を回転エネルギーの形で貯蔵し、ピーク時の補足動力源として用いたり、（2）自動車・車両等に搭載し、制動エネルギーをフライホイールに貯蔵し、エンジンと併用して発進加速や登坂走行性能の向上に役立てれば、排気公害を緩和できる。軽量で高比強度のFRPフライホイールは、高速回転可能でエネルギー密度を大きくでき、又破壊しても軽量粉末になって飛散するので爆発破壊力が弱く、

安全性も比較的高いと思われる。回転強度を向上させるため、内・外縁のFW材の種類・金属材の配分を工夫すれば望ましい4)。

参考文献：1) O. Byon & M. Uemura; Optimal design of fiber composite flywheels reinforced besides circumferentially, Proc. 23rd National SAMPE Conf., (Anaheim), pp. 728/739, (1975)

2) 植村益次・野口義男；フィラメント・ワインディング円筒の高速回転特性の研究，第一報。CFRP回転胴の破壊強さ，日本機械学会論文集，42巻364号，(1976/2)

3) 植村益次；複合フライホイールの最近における開発研究(1)(2)(3)，機械の研究，第30巻第10，11，12号，p. 1139, 1257, 1377, (1978/10, 11, 12)

4) 邁吾一・植村益次・遠藤眞宏；Optimization of laminated flywheels reinforced by carbon-fiber, 日本機械学会論文集, 45巻, pp. 505/515, (1979)

5) 植村益次；超高速回転FW円板の残留熱座と座屈，東京大学・宇宙航空研究所報告，17巻1号(B)，pp. 341/356, (1981/3)

6) 植村益次・井山向史・福永芳子；FW円板の残留応力と回転強度，日本材料学会誌，30巻339号，pp. 1177/1182, (1981/12)

7) M. Uemura, H. Iyama & Y. Fukunaga; Rotational Strength and Optimal Design of a Hybrid Filament-Wound Disk; Composite Structures; Proc. 2nd Intern. Conf. Comp. Structures, Paisley, pp. 14/16, (1983)

1. 事例番号：171V

2. タイトル：FRP圧力容器への利用

3. 機能分類：力学的性質（強度），耐蝕性

4. 内容：第一種圧力容器の材料は、昭和56年までは、鋼材またはそれと同等の金属材料しか認められていなかったが、同年特定の用途に関するFRP圧力容器の申請が労働省愛知労働基準局管内に申請されたのを契機として、日本ボイラーアソシエーションにFRP製圧力容器委員会が設置され、昭和57・58年度に労働省の研究助成をうけて審議と実験を行った結果に基づき、FRP製第一種圧力容器の規格として(1)構造規格・同製造許可基準と(2)性能検査基準が作成され、耐蝕性と軽量性の利点でFRP圧力容器が社会的に認知され、活用されるようになった。

参考文献：1) K. Kawata, M. Uemura & D. Mori; On Some Analysis and Development of FRP Rocket Motor Case, Proc. 7th. Intern. Symp. Space Tech. & Sci., (1967)

2) 植村益次・河田幸三・竹中幸彦・住友電工(??他3名)；FRPロケットチャンバー，“住友電工”102号，(1970/9)

3) M. Uemura & K. Yamawaki; Fracture Strength of Helically Wound Composite Cylinders, Proc. 1971 Intern. Conf. on Mechanical Behavior of Materials, vol. 5, pp. 135/145, (1972)

4) 山脇弘一・植村益次；ヘリカル巻きFW円筒の破壊強度(・内圧強度)，“材料”(材料学会誌)，21巻233号，pp. 337/342, (1972)

5) M. Uemura, H. Iyama, M. Shiraishi & M. Noguchi; Developmental Research on Fiberglass

Reinforced Plastic Cylindrical Chamber for Kappa Rocket, Proc. 10th Intern. Symp. on Space Tech. and Sci., Tokyo, (1973)

6) 飯田一・植村益次；FW圧力容器の力学的特性，“材料”（材料学会誌），24巻266号，pp. 1044/1050, (1975)

7) 飯田一；FW圧力容器の力学的特性（非線形挙動の解析），日本複合材料学会誌，4巻4号，pp. 163/167, (1978)

8) 福永久雄・植村益次；内圧をうける積層複合円筒かくのカップリング効果について，“材料”（材料学会誌），28巻315号，(1979)

9) M. Uemura & H. Fukunaga; Stress Distributions in Laminated Composite Cylinders under Internal Pressure, Proc. 3rd Intern. Conf. on Composite Materials, Paris, France, "Advances in Composite Materials", (1980/8)

10) M. Uemura & H. Fukunaga; Burst Strength of Filament-Wound Cylinders Subjected to Internal Pressure, Proc. Japan-USA Conf., Tokyo, (1981)

11) 飯田一・植村益次；FW圧力容器の力学的特性（カップリング効果を考慮した非線形解析），日本機械学会論文集A編，47巻420号，(1981/8)

12) 福永久雄・植村益次；FW圧力容器の最適設計（第1報）圧力容器の構造解析と破損基準に基づく最適ドーム形状，日本航空宇宙学会誌，29巻331号，pp. 432/439, (1981/8)

13) 福永久雄・植村益次；FW圧力容器の最適設計（第2報）ロケットモーターの性能係数に基づく最適ドーム形状，日本航空宇宙学会誌，29巻331号，pp. 439/446, (1981/8)

14) H. Fukunaga & M. Uemura; Optimum Design of Helically Wound Composite Pressure Vessels, Composite Structures ?, pp. 31/49, (1983)

15) 植村益次；FW圧力容器の最適設計，材料システム3巻（金沢工大），(1984/7)

16) 飯田一・植村益次；FW圧力容器の力学的特性（耐圧強度），日本航空学会誌，33巻381号，(1985)

17) 植村益次；FRP製圧力容器の安全性に関する研究報告（同委員会報告），ボイラ研究, pp. 2/5, (1986)

18) 植村益次；FRP圧力容器の力学と最近の開発動向，日本複合材料学会誌，13巻1号，(1987)

19) M. Uemura & H. Fukunaga; Probabilistic Burst Strength of Filament-Wound Cylinders under Internal Pressure, Jour. Composite Materials. Vol. 15, (1981/9)

20) 植村・井山・白石・野口；カップパロケットチャンバの開発研究，東大・宇宙航空研報告，第9巻第4号，(1973/10)

21) 飯田一・植村益次；FW圧力容器の力学的特性（第2報. 材料非線形性を考慮した耐圧強度），日本機械学会論文集，446号，(1982)

1. 事例番号：172W

2. タイトル：防振複合材料

3. 機能分類：防振・耐震

4. 内容：4軸強化三次元複合材料の高エネルギー吸収性能を生かした防振材料。強化材として一方向GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）ロッドを用い、マトリックスとして可とう性付与エポキシ樹脂を用いている。三次元的に配向された強化材による高耐荷重性能と低クリープ性能、可とう性を有するマトリクスによる高減衰性能、が特徴。現在斜張橋主桁主塔部の耐震構造および落橋防止構造への実用化が検討されている。

5. コメント：（1）需要量 防振・耐震材料および構造については新耐震基準の制定により今後一層の需要の伸びが予想される。性能的には高減衰積層ゴムと同レベル。

（2）コスト 高減衰積層ゴムと同レベル

1. 事例番号：173W

2. タイトル：スキッドセンサー用極低温容器

3. 機能分類：電気・電磁気的性質

4. 内容：外層が金属メッキ炭素繊維を強化材とするCFRP（炭素繊維強化プラスチック）、内層がGFRPからなる2重構造の極低温容器。スキッドセンサーを収納する微弱な磁気を探知する磁力計への適用が考えられる。微弱な磁気を検出するスキッドセンサーはマイクロ波センサーでもあることから電磁干渉を受けやすく、外部ノイズはもちろんのこと電波ノイズもシールドされた環境下での使用が必要となる。金属メッキされた炭素繊維を用いることにより、シールド特性をコントロールすることが可能となる。

1. 事例番号：174W

2. タイトル：スピーカ振動板

3. 機能分類：力学的性質

4. 内容：らせん織物からなるFRPを表皮材とし、アルミハニカムをコア材とするハニカムサンドイッチ構造からなるスピーカ振動板。表皮材にらせん織物を用いているので半径方向と周径方向の特性の異方性が低減され、かつ半径方向糸に炭素繊維を、周方向糸にアラミド繊維を使用しているので高比弾性率、高振動減衰性が達成され、振動板全体としての音質の改善が図られている。

5. コメント：（1）需要量 今後は情報通信端末用スピーカへの適用が増加する。

1. 事例番号：175W

2. タイトル：高熱伝導性CFRP

3. 機能分類：熱的性質

4. 内容：高熱伝導性ピッチ系炭素繊維を強化材とし、シアネット樹脂をマトリックスとしたCFRP。アルミと同レベルの高熱伝導性および低吸湿や低熱膨張による高寸法安定性を特徴とし、主にアンテナやパドルなどの衛星用部材への実用化が進められている。

5. コメント：需要量 素材および成形方法において十分な低コスト化が達成されれば高比弾性率、高熱伝導性、電磁シールド性を生かした携帯端末用ケース材料への適用が可能。

1. 事例番号：176B
2. タイトル：CFRP製立体トラスの建築物への適用
3. 機能分類：耐食性
4. 内容：CFRPを三角形や四角形に立体的に組み合わせた構造物を、東レ(株)愛媛工場食堂棟の屋根(351m^2)に採用。清水建設(株)、東レ(株)、日本アルミ(株)が共同開発。
 - (1) 一般の鋼製トラスと同等の強度で、重量が $1/3$ 。
 - (2) 軽量・高強度のため、内部に柱がない空間ができる。
 - (3) さび止め塗装などの維持補修の手間を減らせる。
5. コメント：(1)コスト・価格 鋼製の1.5倍〔10年分の維持補修コストを含める」と、ほぼ同等〕。

〔日経産業新聞：1997.3.7〕

1. 事例番号：177B
2. タイトル：コンポジットロール
3. 機能分類：軽量、作業性の改善、など
4. 内容：新聞輪転機のゴムロール。
 - (1) 軽量(鋼製の $1/4$ の重量)。
 - (2) ロール交換時の作業性が大幅に向ふ。
 - (3) 歩留り、製品品質の向上。
 - (4) 自重たわみが小。
 - (5) 高温度領域で使用可能。
5. コメント：(1)競合性：新聞輪転機に関して、ゴムロールの90%を占有。

1. 事例番号：178B
2. タイトル：面状発熱体〔床暖房システム、電気畳暖房システム、など〕
3. 機能分類：電気特性
4. 内容：つぎの特徴を持つ〔床暖房システム〕。
 - (1) ニクロム線と比較して、腐食や断線故障の心配がない。
 - (2) 熱とともに遠赤外線が発生し、床をすばやく効果的に暖める。
 - (3) ヒータパネルは、軽量薄型で、厚さ5.6mm。新築、リフォームにも適する。

1. 事例番号：179B
2. タイトル：電磁波吸収する炭素繊維
3. 機能分類：電磁波特性
4. 内容：コイル状の炭素繊維(カーボンマイクロコイル)。これをハウジング材に添加すれば、電磁波被害を回避。
 - (1) 原料はアセチレンガスで、特殊な触媒の上で成長させる。
 - (2) コイルの直径は数μ、長さは0.5mm～1cm。
 - (3) 12～20GHzの電磁波でほぼ100%吸収。
 - (4) 電磁波防護服への応用。
5. コメント：(1)技術課題：製造に時間がかかる〔現状では、大量生産不可〕。

1. 事例番号：180B

2. タイトル：海洋浮遊構造物〔浮桟橋、ブイ〕
3. 機能分類：耐久性、耐候性、強度
4. 内容：FRCの適用〔ポリマーコンクリートを念頭においている〕。
5. コメント：(1) 技術課題：軽量化、製造方法の簡略化、補強繊維との複合化

1. 事例番号：181B
2. タイトル：高層ビルの構築工法の改善（永久型枠、化粧型枠）
3. 機能分類：軽量性
4. 内容：FRCの適用〔狙いは「施工性の簡略化」〕。
5. コメント：(1) 技術課題：型枠の接合法

1. 事例番号：182B
2. タイトル：内装工事の簡略化（内壁パネル、間仕切り壁、天井パネル）
3. 機能分類：軽量性ほか
4. 内容：FRCの適用〔狙いは「機能性と美しさのドッキング、経済性」〕。
5. コメント：(1) 技術課題：防湿、防音、防振性、断熱性。

1. 事例番号：183B
2. タイトル：海洋構造物（橋脚、護岸壁、人工島）
3. 機能分類：耐久性、耐食性ほか
4. 内容：FRCの適用〔狙いは「長期寿命、都市景観とのマッチング」〕。
5. コメント：(1) 技術課題：耐久性、防水性の向上、安全性。

1. 事例番号：184B
2. タイトル：道路交通システム（道路舗装、道路橋床板）
3. 機能分類：耐摩耗性、耐久性
4. 内容：FRCの適用〔狙いは、「都市空間の再開発、経済性、都市景観とのマッチング」〕。
5. コメント：(1) 技術課題：耐摩耗性、耐久性の向上。

1. 事例番号：185B
2. タイトル：水利用システム（U字溝、パイプ）
3. 機能分類：耐久性、耐食性、軽量化
4. 内容：FRCの適用〔天然水、雨の再利用〕
5. コメント：(1) 技術課題：接合部の改良、耐水／耐薬品性の向上

1. 事例番号：186X
2. タイトル：膝関節装具への3軸織布CFRPの適用
3. 機能分類：生体適合性（通気性）
4. 内容：膝関節装具（ブレース）やコルセット等の装具類は、単に患部の痛みをやわげるだけでなく、長期間の装着によって、患者に適宜な運動を行わせることによって、リハビリテーションで患部周辺の筋肉を強化して、治癒効果を挙げることができる。しかし従来の装具

用材料は、決して軽いとはいえないことと、蒸れるために長時間の装置は極めて難しい。牧らは、太番手低織り密度の3軸織りCF布を強化材として、目の粗い竹籠構造のCFRPをつくれることを認め、これを骨粗しょう症患者の膝関節プレースに応用する開発研究を行っている。これに成功すれば、症状が重く、外科的治療しかない患者に非侵襲治療による治癒の恩恵を与えることができ、生理的、心理的福祉になるだけでなく、保健行政にも寄与できると考えられる。またこのような竹籠構造のそはすせはスポーツ関連用具にも応用されると考えられる。

5. コメント：普及するためには保健点数の問題がクリヤーされる必要がある。また3軸織布の製造技術が非常に難しく、メーカーが限定される可能性がある。

1. 事例番号：187V

2. タイトル：FRP浄化槽とFRP高置水槽

3. 機能分類：耐水性・耐蝕性と力学的性質（強度）

4. 内容：家庭・工場や長距離車両からでる汚物を含む廃水をそのまま排出すると、環境汚染につながるので、一旦浄化槽に入れ、浄化後に一般の排水管につなぐ必要がある。また高層ビルでは一旦屋上に設置された高置水槽に貯水した後に各階に配水される。このようにFRP製水槽は地下に埋めても外部圧力に耐え、静水圧の他地震による液圧にも耐え、むしばまれないし腐らないので浄化槽・高置水槽の材料として最適である。

5. コメント：昭和36年 FRP浄化槽の製造販売を開始

昭和37年 水タンクの製造販売を開始

昭和38年 新幹線車両用汚物タンクの量産開始

昭和43年 FRP高置水槽公団規格作成委員会を設置

昭和44年 建設省浄化槽の構造基準（建設省告示第1736号）、FRP製が主流を占める。

昭和53年 伊豆大島近海地震（1月14日）および宮城県沖地震（6月12日）

昭和54年 強化プラスチック協会内に、建設省の要請により「FRP水槽耐震設計基準委員会」（委員長 渡部 丹）設置。地震に伴う外力基準を審議する

昭和56年3月 「FRP水槽構造設計計算法」（委員長 植村 益次）を設置・審議して、建設同計算法を作成し、刊行

昭和58年5月 「FRP水槽構造設計計算法（増補改訂版）」刊行

むすび

先進複合材料は、その特徴的な性能から強度・剛性等の力学的性能の向上が強く追求されてきた。今後も生物との親和性あるいは選択的吸着性による環境浄化、耐熱性等によるエネルギー開発等の複合材料の高機能性の追求は必要である。

この度、平成8年度事業として機能性に主眼をおいた調査を実施した。特に今回は現在担当している委員による意見の他に、広く有識者からの協力を得て各方面で利用される事例を集めた。

これらの情報を活用して今後の重要な課題について整理した。これらの課題について更なる検討が進められることを期待する。

本報告書の内容を公表する際はあらかじめ
新エネルギー・産業技術総合開発機構
産業技術研究開発部の許可を受けて下さい。

電話 03-3987-9355
FAX 03-3981-1536