

材料工学研究連絡委員会報告

「複合材料システム工学機構の必要性」

平成5年7月26日

日本学術会議

材料工学研究連絡委員会

この報告は、第15期日本学術会議材料工学研究連絡委員会の審議結果を
取りまとめて発表するものである。

委員長 内田 盛也（第5部会員・帝人株式会社顧問）
幹事 今西 幸男（京都大学工学部教授）
岸 輝雄（東京大学先端科学技術センター教授）
曾我 直哉（京都大学工学部教授）
山田 瑛（理化学研究所名誉主任研究員）
委員 宇田川重和（第5部会員・千葉工業大学工学部教授）
三枝 武夫（第5部会員・株式会社関西新技術研究所副社長）
本多 健一（第5部会員・東京工芸大学短期大学部教授）
伊香輪恒雄（関東学院大学学長）
市川 昌弘（電気通信大学電気通信学部教授）
一ノ瀬 昇（早稲田大学理工学部教授）
井上 達雄（京都大学工学部教授）
大谷 杉郎（東海大学開発工学部教授）
大南 正瑛（立命館大学学長）
緒方 直哉（上智大学理工学部教授）
小野 嘉夫（東京工業大学工学部教授）
加藤 昭夫（九州大学工学部教授）
木村 脩七（東京工業大学工学部教授）
合志 陽一（東京大学工学部教授）
坂田 勝（東京工業大学工学部教授）
島田 昌彦（東北大学工学部教授）

清水 剛夫（京都大学大学院分子工学専攻教授）
白井 汪芳（信州大学繊維学部教授）
神保 元二（名古屋大学工学部教授）
鈴木 邁（千葉大学工学部教授）
中島 章夫（大阪工業大学工学部教授）
西川 友三（京都工芸繊維大学繊維学部教授）
平野 眞一（名古屋大学工学部教授）
福長 脩（東京工業大学工学部教授）
前川 一郎（東北大学工学部教授）
前田 幸雄（大阪大学名誉教授）
三位 信夫（千葉大学工学部教授）
柳田 博明（東京大学工学部教授）
山下 晋三（京都工芸繊維大学名誉教授）
横堀 武夫（帝京大学理工学部学部長）

1. はじめに

第2次大戦後、人類が入手した最も画期的な材料の一つに、先端複合材料（Advanced Composite Materials、以下ACMと略称）があげられる。このACMは、長距離の大陸間ノンストップ飛行を可能とし、月や宇宙空間に人類を送り出すことを実現し、又我々の日々の生活関連においても住宅、乗用車や運動用具などの形で、不可欠な材料となった。

このように、ACMは人類に多大の恩恵をもたらしたが、その科学技術研究対象が多岐にわたり、その開発については、対象ごとに行うため、多くの産業分野にわたっている。そのため、複数の学問領域にまたがり、個別技術のレベルアップ、それらの集積化、総合化が必要にもかかわらず、総合的に扱われていないという難点がある。この問題解決は複合材料工学の発展にとっては急務といえる。

2. 先端複合材料（ACM）の重要性

(1) ACMの役割

複合材料については、ガラス繊維とポリエステル樹脂で作った浄化槽、浴槽、エポキシ樹脂と組み合わせた釣竿、ボートなど、数多く我々の身近に見出すことができる。これらはいずれも、軽量、高剛性、強靱の上、耐腐食性で複雑な形状を簡単に作られる、という大きな特色をもつ。

一方近年、炭素繊維、アラミド繊維、セラミック繊維などの高性能繊維と高性能樹脂の開発と相まって、これらを強化繊維としたACMが登場し、更に軽量性と強靱性を要する分野に大量に使用されるようになった。旅客機、軍用機、高速艇、ヨット、テニスラケットやスキーなど、もはやACMなくしては作れない状況となっている。

また更に、次の世代のACMとして、金属マトリックスを金属強化材あるいはセラミック強化材で複合化した複合材料、Metal Matrix Composite（MMC）などが研究開発され著しい進歩を遂げている。MMCは、400～600℃中高温領域で強度が必要な用途に使用され、更に高温領域での機械、機器、構造物用途などにはセラミックマトリックスを用いた複合材料Ceramic Matrix Composite（CMC）が既に使用されはじめている。その他にCarbon/Carbon Compositeなども、超高温用途の複合材料として注目されている。このように、ACMは炭素繊維やアラミド繊維とポリマーマ

トリックスの有機 A C M の他にも、多面的な展開が期待される。

これらの A C M を含む複合材は、有機複合材、無機複合材、あるいは有機無機混合複合材のいずれであっても、共通の研究要素をもっている。複合における界面の状態、すなわち強化材とマトリックスの異界面間の接着及び強度破壊に対応する界面につながる多層構造の機構解明などが、共通的に重要な因子である。

近年、A C M の大量採用によって、航空機、船舶、自動車などは、軽量化と高性能化を同時に達成し、燃料の大幅な節約をもたらした。又、種々のスポーツ、レジャー用品では、プロ選手並みの能力や感触を味わうことが出来るようになり、我々の生活をより豊かにすることに結びついた。

この A C M の性能は、炭素繊維で代表される強化材としての高性能繊維、エポキシ樹脂で代表される付形材としてのマトリックス材料及び、これらの特性を組合せて立体的複層構造を設計し加工して複合材とする複合化技術の、三者の統合化によって実現されたものである。したがって、これらの三者のいずれの基礎科学・技術及び関連産業が欠落していても、十分な性能を達成することはできない。今日、その最終製品の製造は別として、主な A C M の科学技術研究開発が、日本、米国、西欧に限られているのは、これらの三地域に巾広い科学技術、産業の基盤があるからである。

A C M は、強化材、マトリックス、及びそれらの複合化の科学と技術に立脚した、高度にシステム化された科学技術の集積であり、21世紀には、人類にとって最も重要な材料の一つとなる、と考えられている。

(2) A C M の将来展望

A C M の各用途分野への応用は、まず軽量性と強靱性が求められる用途に使用されてきた。米国と西欧は、航空／宇宙／軍事の用途が中心となり、我が国においては、スポーツ／レジャー／産業の用途が中心である。

米国／西欧型の市場構成と、日本型の市場構成は、それぞれ、これまでの弱い市場を今後拡充し、航空／宇宙、産業、レクリエーションの3用途分野がバランスする方向に向かう、と予想される。したがって、我が国の A C M 用途においては、航空／宇宙分野が今後最も高い伸び率を示し、年平均10%の成長が予想される。一方、レクリエーション分野では年6%の成長と予測されており、欧米型の航空／宇宙に比重を移した市場構成により近づくことになろう。

世界の A C M は、現在約38億ドルの市場であるが、1996年には、約50億ドルに到達

し、引き続いて年率11%程度で成長する、と予測されている。航空／宇宙分野は、現在61%の市場シェアを全世界平均で持っており、我が国のその18%前後とは格段の開きがある。

航空宇宙分野におけるACMのシェアと重要性は、現在使用されている旅客機の更新時期が集中する1990年代後半には急上昇する、と考えられている。旅客機の一斉更新とは別に、今後人々の大陸間の往復、宇宙開発の活発化、レクリエーションの充実等により、代替更新用途の他に、長期的観点から新規のACM需要が、確実に増加すると見てよい。

又、ACMに関する工学はターゲットを持って、それに対応する設計を行うテーラーリング工学であり、コンピューター技術との組合せによって革命的な展開可能な力をもっている。特に、次世代航空機の設計に寄与し、その飛躍的性能向上が可能となるであろう。

ACMの将来展望としては、個々の素材技術はもとより、設計技術、成形技術、信頼性の評価技術、廃棄物処理技術及びそれらに関連づけたシステム工学が今後拡大し重要になると考えられる。我が国はこれらの技術についても、個々の技術については世界のトップレベルにあり、ACMの展望を開く原動力となりうる。

(3) ACMのインパクト

ACMは、その軽量性と強靱性で、金属では達成出来なかった性能の素材となり、まず航空／宇宙分野での利用が進んだ。今日、ACMはこの分野では、もはや不可欠の素材となっており、またその技術と関連産業の将来性から大きなインパクトを持つに至っている。軽量で高強度、高剛性である、という性質は、何も航空／宇宙分野のみに求められる条件ではなく、その他の用途においても重要な条件である。特に、省エネルギー、省資源、地球環境の保全等の観点からは、ACMが一般産業分野や自動車、車両などの分野に、もっと広く採用されることが期待される。そのためには、コストや生産性といった経済的問題の解決が必要である。もしこれらの問題が解決されるならば、ACMは急速に用途を拡大し、人類社会に計り知れない大きなインパクトを与えることになるであろう。

既にACMは、我々のレクリエーション生活を一変させ、土木建築、農水産の分野でも大きなインパクトを与えつつある。塩害に悩む海岸地帯の護岸、橋梁には鉄筋に代わってACMロッドやワイヤーが採用されつつあり、更新期間を半永久的にする効

果をもたらしている。

21世紀において、人類が必要とする素材は、地球の資源から取り出した単一の材料ではなく、種々の材料の組合せによって生まれたより完成度の高い素材でなければならない。ACMは、正にこの発想から生まれた素材であり、21世紀の社会に与える効果は非常に大きなものとなる、と期待される。

3. 複合材料研究とその体制の問題点

ACMを含めて、複合材料の問題点には、専門技術的な未解決課題を除いても、大きな課題がいくつか見出される。

その中でも、最も大きな課題は、複合材料の科学と技術が、全体として統合された形のシステム工学としての体系にまとめられていないといった研究体制、機構である。特に、我が国においては、複合材料の研究開発は、全く個々にバラバラで、大学、公立研究機関、企業の各々が、お互いに興味のある所を進めている、というのが現状である。

一方、西欧、特に米国では、ACMが米国の基幹産業の一つである航空機産業に不可欠の素材であり、又国防上にも必要な素材であるため、体系化のために必要な Center of Excellence (COE) の設立に、積極的な支援を行ってきた。我が国は、ACMに必要な、炭素繊維をはじめとする強化材については、その技術と生産において、圧倒的な強みを持っている。しかるに、強化材とマトリックスを組み合わせるACMの生産となると、米国の1/5から1/6の規模にとどまり、はるかに弱体である。総合的に複合材料の科学技術を総合化する研究機構を持たず、体系化されない研究開発を、ただやみくもに進めている現状では、当然の結果であって、航空/宇宙市場を持たない、という理由だけではない。大学の研究においても、マネジメントのフレキシビリティの欠落を含めて、総合化された研究機構としての機能が期待できない状況にある。

ACMについて、その構成材料としての強化材やマトリックス樹脂の科学と技術、又これを組み合わせACM化する複合化の科学と技術、更にできたACMを、その特性を最大限に生かして使用する最終製品化の科学と技術、そしてこれら三つの分野を幅広く覆う設計の工学体系が、全体として最適に機能するシステムに組み上がっていることが必要である。

A C Mのように、多くの学問や要素技術の集積化によって成り立っているものは、これを有機的に体系化し、工学システムとしてまとめることによって、強力な応用展開を図らねばならない。

このような工学システムを構築するための核となる研究機関、あるいは研究機構を持つことが、急務と考えられる。

4. 複合材料研究開発の有機的体系化の世界の現状

A C Mを中心とする複合材料の研究開発は、米国、西欧、日本で主として進められており、特に米国のそれが強大である。以下に、これら3極の研究開発と、A C M分野への人材供給を行う大学教育がどうなっているかについて、簡単に説明する。

(1)米 国

米国では早く1974年頃から、国防省、N A S A等が宇宙航空分野におけるA C Mの必要性を認め、各大学や研究機関に研究費の支援を大々的に行ってきた。そして、1987年頃から、これらの大学の中から、C O E的な複合材料センターに発展していくものが続出した。デラウェア大学のCenter for Composite Materials, ミシガン州立大学の Composite Materials and Structures Center , レンセラー工科大学のCenter for Composite Materials and Structure 等が、中でも有名であり、規模も大きく、C O Eとしての実績も高い。これらの研究開発機関は、大学の研究機関ではあるが、産官学の協同研究開発体制を取っており、複合材料研究の体系化を各々行って、システム工学としてアプローチを試みてきた。

更に、これら体系化された研究体制の下で、次の世代を担う学生の教育を行い、米国国内はもちろん、広く世界に人材を供給する役割も果たしてきている。

(2)西 欧

西欧の複合材料研究開発は、米国程明確に、C O E的色彩を帯びた形では、進められていない。しかし、オックスフォード大学には、Center for Advanced Materials and Composites と名付けられた機関があり、国、産業界、E C機関などからの資金によって研究が進められている。一方、ケンブリッジ大学にも、センターの形は取っていないが、複合材料の研究を系統的に進めているグループがある。

フランスは、ヨーロッパの複合材料科学技術のリーダー国の一つであるが、ヨーロッパ統合を踏まえた国際規格等への国の関与が大きい。

西欧には、Air Bus で代表されるように各国が協力して、一つの A C M 製品を作り上げている実績があり、相互の協力によって工学システムにまとめあげていく風土を持っている。

(3)日 本

我が国の複合材料研究開発においては、大学における研究では、米国の場合のような C O E 的な研究機関がなく、公立研究所，企業の研究開発は系統化への動きもなされておらず、バラバラに進められている、というのが現状である。

総合的な工学システムの核となる機関がないため、個々には非常に優れた研究が行われてはいるものの、特定の研究に集中しており、国全体としての観点から工学として総合化と体系化に欠けている。

したがって、次世代を担う人材の育成についても、個別の研究機関，大学にゆだねている結果として、米国のように、基礎から応用までの総合工学について巾広く高度かつ良質な教育を受けた研究者や学生が、社会に供給されることにはなっていない。

5. 複合材料システム工学機構の設立

我が国が、将来とも、複合材料の科学技術を永続的に発展させて行くためには、現状のような状況では大きな問題があるといわざるを得ない。もし、現状のような状況が続くならば、我が国は、A C M 技術の中の補強用繊維素材だけを供給する供給国にとどまることになろう。21世紀には最も重要な先端材料の一つとなる A C M の宇宙航空分野で、その科学技術力を失うばかりでなく、今後民生用途の拡大が期待される電気機器，自動車，船舶，家庭用品等の分野での産業発展にも大きく遅れをとることになろう。これらの多くは、将来とも、我が国の基幹産業であり、複合材料システム工学で大きな遅れをもつことは許されない。

したがって、A C M を含めた複合材料分野で、既に生じつつある遅れを取り戻し、21世紀に向けての布石を打つために、複合材料工学システムの体系化を図る必要がある。そのためには、まず、体系化，システム化の核となる研究機構を設立し、産官学の協同研究協力，運営が望ましい。

この研究機構の機能として研究機能，教育人材育成機能，コミュニケーション機能と調査企画機能をもつことが考えられる。

研究機能としては、プロセッシング研究，マテリアル研究，エンジニアリング研究，耐久性及びデザイン研究の5分野をカバーする研究が必要である。教育人材育成機能としては、研究機関の下で進められる各研究テーマに、受入研究員として参加することによる研究開発実務を通しての教育及び、大学院レベルの教育が必要となる。コミュニケーション機能には、科学者・技術者の国際交流の推進とその工学の社会への普及・浸透，ACMの研究機構としての情報発信・交流の活動が期待される。調査企画機能は、研究機構の上述の3機能が効果的に活動できるように計画立案するのみでなく、広く世界的視野に立ったACM科学技術の振興と推進についても関与することが望まれるべきであろう。

〔附記〕

本報告は、下記の方々のご協力をもとに取りまとめたものである。

大鍋 寿一（石川島播磨重工業株式会社エンジン構造技術部長）

小野 伝（富士重工業株式会社取締役）

上村 誠一（日本石油株式会社中央技術研究所副所長）

清藤晋一郎（三菱重工業株式会社航空宇宙システム製作所次長）

富浦 梓（新日本製鉄株式会社常務取締役）

八田 博志（宇宙科学研究所助教授）

平岡 康一（川崎重工業株式会社部長）

細村 建夫（日産自動車株式会社宇宙技術部長）

山下 秀（三菱電機株式会社主任研究員）

吉岡 直範（三菱レーヨン株式会社研究企画部長）

吉田 矩雄（帝人株式会社主幹）