複合材料の変遷 10 年史

濱 田 泰 以*

複合材料の分野で最も明るい話題は、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の航空機体への大量使用である。ボーイングの次期主力旅客機 787 の燃費向上のためのカギを握る軽量化技術はこの CFRP であり、その材料は東レなどの繊維メーカーより提供されており、構造体の成形は三菱重工、川崎重工、富士重工の 3 社で行われている。それぞれの担当を図 1 に示す。炭素繊維の使用料は 1 機あたり 30 ton に達している。

CFRP の成形において注目されている技術は VaRTM である。バーキュームアシスト RTM、真空樹脂含浸製造法と呼ばれており、これによって図 2 に示すような 6 m の構造物が作られている。従来の CFRP の製造法はオートクレーブ成形である。これは、プリプレグ (あらかじめ樹脂が含浸され、半硬化状態のシート) を所定の大きさなどに積層し、それを釜の中に入れ、加圧、加熱、硬化させ、構造物を作る方法である。RTM はレジントランスファーモールドディングであり、繊維集合体の中に樹脂を流し込み含浸していく方法であり、VaRTM は繊維集合体を真空にし、空気を抜いておき、樹脂の含浸を促す方法である (図 3)。プリプレグを用いるオートクレーブと違い、ドライなファブリックを用いるために様々な強化材を適用できることは大きなメリットである。これら軽量化技術である複合材料を用いた構造体成形技

術の進歩とともに、三菱重工では国際旅客機の製造に乗り出す。座席数 70-80 のリージョナルジェット MRJ である。ここでも VaRTM が構造体成形の技術の中心である。安全が最も重要なキーワードの旅客機において、新しい成形方法 VaRTM で作られた構造体の長期寿命について詳しいデータの公開とともに、広い深い認識が必要ではないかと思われる。これら特性の理解には界面特性が重要であろう。

ガラス繊維強化プラスチックは CFRP に対比して GFRP と言われるが、従来は FRP と言えば GFRP のことであり、それと区別するために CFRP があった。さて GFRP の用途別出荷量を表 1 に示す。48 万 ton の 1996 年から 2005 年では 36 万 ton と減少している。一方、それらの成形方法を表 2 に示す。ここで MC 法とはモールドコンパウンディング法のことで SMC (Sheet Molding Compound) などの材料での成形のことを指している。いわゆる機械化成形方法が 50% を超えているものの、ハンドレイアップ法やスプレーアップ法などの手作業に関するものが 20% 以上を占めているのが GFRP の特徴である。ハンドレイアップ法は簡単な成形方法であり便利であるが、人件費を考えると日本におけるものづくりには不適かもしれない。革新的ハンドレイアップ法の考案などが必要かも知れない。ガラス繊維に代わるものは何か？それは天然繊維である

図1 B787における日本企業の担当部位¹⁾

* Hamada, Hiroyuki
京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 先端ファイプロ科学部門
京都市左京区松ヶ崎御所海道町 (〒606-8585)
2008.7.1 受理

というのが近年の流れである。地球環境を守るための大合唱に押されており、多くの文献が世の中に送り出されている^{5)~9)}。天然繊維を用いた複合材料の成形において注意しなければならないのは天然繊維の乏しい耐熱性である。セルロースの熱分解温度や、それ以外のリグニン、ヘミセルロースの熱分解にも注意を払う必要がある。また繊維が含んでいる水分も重要である。繊維によって異なるが飽和水分量が15%以上にも達することがあり、それが成形中にどのような挙動を示し、成形品にどのような影響を与えるかは、極めて重要である。また、繊維物性のばらつきも問題となる。複合材料の弾性率を計算する最も簡単な式は複合則であるが、それに用いる繊維の弾性率に大きな幅があり、水分との兼ね合いで決め難い。

天然繊維複合材料の成形には、従来からのGFRPに用いられた成形法で十分であると言われており、今までの方

図2 VaRTM工法による6m実大主翼構造²⁾

法を応用している。しかし、それで十分であろうか。天然繊維に内包する問題点を明確にし、物性予測理論の再考察とともに、成形方法についてもアイデアが必要かもしれない。

SMCは、GFRPの中心である。前にも述べたように、GFRPの半分はSMCである。住宅機器関連への応用が活発である反面、自動車への応用は低調である。SMCと環境との関係は厳しい。スチレンモノマーの放散という成形前の問題、そしてリサイクルの困難さという使用後の問題の両者をかかえこんでいる。SMCはGFRP成形法の中で機械化成形法として安定した品質を送りだすことのできる材料である。しかし、良好な表面外観、Aクラスサーフィスの成形品ということが、SMCの応用を狭めていないかという疑問を持つ。GFRPの中での機械化成形法対応の材料であるSMCという位置づけで考えると、それを支えているのは樹脂部分のコンパウンディング技術である。容易に機械化成形に対応できうる樹脂部を作り出せる。流すことで生じる繊維の不ぞろいなどを気にせず、機械化できる材料としての新たな概念のSMCが出現することが期待される。

熱可塑性複合材料、特に射出成形を用いる分野での注目度は、長繊維強化ペレットであろう。コンパウンディング中や射出成形中に繊維長が短くなってしまうことが、成形品の物性を低下させ、そして製品内厚を増し、そして応用範囲を狭くしていたのである。成形品中での残存繊維長を長くする方法の一つとしてペレットにおいて繊維を長くする方法がある。図4にそのラインの概略を示す。ロービングスタンドより繊維が送り出され、二軸混練押出機より送り出された樹脂と含浸ヘッドで含浸し、繊維束内に樹脂が含浸

図3 複合材成形法の差異³⁾

表1 GFRPの用途別出荷量⁴⁾

分類	1996年	2003年	2004年	2005年	2005年*	'06.1~5月*
建設資材	45,100	50,700(102)	61,700(122)	60,700(98)	46,100(75)	21,100(91)
住宅機材	123,000	97,300(101)	91,000(94)	90,600(100)	119,900(132)	55,900(96)
浄化槽	107,100	48,100(87)	47,900(100)	46,500(97)	49,300(103)	24,300(103)
舟艇/船舶	24,100	10,800(96)	11,000(102)	10,400(95)	10,500(95)	5,400(100)
自動車/車両	22,300	24,200(114)	27,100(112)	28,700(105)	39,000(144)	19,800(102)
タンク/容器	42,400	26,800(94)	24,500(91)	23,200(95)	25,800(105)	11,700(87)
工業機材	60,100	38,200(99)	39,400(103)	36,700(93)	41,700(106)	20,300(102)
雑貨	42,400	29,800(95)	33,200(111)	35,500(107)	25,900(78)	14,000(116)
その他	13,000	11,500(91)	6,600(57)	5,100(77)	5,800(88)	3,400(117)
合計	479,500	377,400(98)	342,400(101)	337,400(98)	364,000(106)	175,900(98)

単位：トン、()は前年比% '06.1~6は前年同期比%

2004年より浴槽/浴室ユニットを住宅機材に名称変更、2002年以降輸入硝子繊維数量を加算

2005年より各用途別の充填材含有量の算定方法を変更、*印は新算定方式による出荷統計

強化プラスチック協会(原料部会)資料より引用

図4 10ライン型LFP製造装置の概略図¹⁶⁾

表2 GFRPの成形方法⁴⁾

成形法	(単位: %)				
	'01	'02	'03	'04	'05
ハンドレイアップ法	19	20	21	18	19
スプレイアップ法	19	17	16	12	12
MC法	45	46	45	52	51
他のプレス成形	2	2	2	2	1
FW法	5	6	7	7	7
連続成形法	5	5	4	5	4
その他	5	4	5	4	6
合計	100	100	100	100	100

強化プラスチック協会(原料部会)資料より引用

される。その後に冷却、引っ張り、カッティングが行われ、ペレット長(カット長)と同じ長さの繊維がペレット内に残存することになる。繊維束内への含浸性を向上させ、かつ生産性を下げない工夫などがこれら機械の中に盛り込まれている。これにより、成形品物性の向上が見込まれており、今後多くの分野で利用されていくものであろう^{10)~15)}。

複合材料の成形における界面の役割、複合材料構造体物性における界面の役割は重要である。界面を制するものは複合材料を制するとも言われ、複合材料界面に特化した国際会議が二つもあり、毎年開催され、日本にあっては界面の研究会が組織されてきた。筆者もそれに関与してきた者の一人である。しかし、ここ数年、いやこの十年の界面研究の少なさは驚くべきものがある。その二つの国際会議は中止となり一つにマージされた。界面の研究会のシンポジウム前刷りの厚さは薄くなってきた。これは界面研究が終了したのか? いや、もちろんそうではないであろう。成形という観点に加えて複合材料の長期寿命、安心度合、信頼性を語るに界面は重要であり、やはりさけて通れない。今一度同志の集結が必要である。

参考文献

- 1) http://www.centralport.jp/latest_info/003/09.html
- 2) <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/425/425220.pdf>
- 3) 武田文人, 西山茂, 林賢吾, 子守康裕, 須賀康雄, 浅原信雄: “航空機複合材一次構造へのVaRTM適用化研究”, 三菱重工技報, **42**(5)(2005-12)
- 4) 斎藤俊: “強化プラスチックの需要動向-2006年”, 強

化プラスチック, **53**(2), 72(2007)

- 5) 竹村兼一: “天然繊維を用いたFRP(成形・問題)” 強化プラスチック, **52**(4), 175(2006)
- 6) 高橋淳: “天然繊維を用いたFRP(LCA・社会受容性)” 強化プラスチック, **52**(5), 585(2006)
- 7) 藤井透: “天然繊維を用いた環境に優しいFRP” 強化プラスチック, **51**(12), 35(2005)
- 8) 萩原慎二, 岡田明久, 小林訓史: “天然繊維を用いた生分解性複合材料の力学的特性評価”, 材料システム, 35(平成19年2月)
- 9) SAHEB, D.NABI and JOG, J.P.: “Natural Fiber Polymer Composites: A Review”, *Advances in Polymer Technology*, **18**(4), 351(1999)
- 10) 奥村欽一, 浅井俊博: “長繊維強化熱可塑性樹脂の自動車部品への適用”, *KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS*, **47**(2), 73(Sep 1997)
- 11) 葭原法: “ガラス繊維強化PETに関する繊維調制御と物性”, 成形加工, **18**(6)(2006)
- 12) Arzondo, L. M., Vazquez, A., Carella, J. M. and Pastor, J. M.: “A low-cost, low-fiber-breakage, injection molding process for long sisal fiber reinforced polypropylene.”, *Polymer Engineering and Science*, **44**(9), 1766(2004)
- 13) Arzondo, L.M., Perez, C.J. and Carella, J.M.: “Injection Molding of Long Sisal Fiber-Reinforced Polypropylene: Effects of Compatibilizer Concentration and Viscosity on Fiber Adhesion and Thermal Degradation”, *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE*, 613(2005)
- 14) Senthil Kumar, K., Ghosh, Anup K. and Bhatnagar, N.: “Mechanical Properties of Injection Molded Long Fiber Polypropylene Composites, Part 1: Tensile and Flexural Properties”, *POLYMER COMPOSITES* (2007)
- 15) Han, K.-q. and Liu, Z.-j.: “Preparation and Mechanical Properties of Long Glass Fiber Reinforced PA 6”, *Composites Prepared by a Novel Process, Macromolecular Materials and Engineering*, **290**(7), 688(2005)
- 16) 田中達也, 平野康雄: “長繊維ペレット製造装置 天然複合材(エココンポジット)への応用”, *KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS*, **51**(2), 62(Sep 2001)