

高強度複合材料による新しいデザイン手法の応用

Application of New Design Method by High-strength Composite Material

飯田 晴彦・藤島 俊明・大淵 慶史・坂本 英俊

Haruhiko IIDA^{a*}, Toshiaki FUJISHIMA^a, Yoshifumi OHBUCHI^a and Hidetoshi SAKAMOTO^a

熊本大学大学院自然科学研究科

^a *Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto, 860-8555 JAPAN*

The purpose of this research is an application of new design method for integrating optimum strength evaluation and product design which can make the best use of composite material's characteristics obtained by experiment and analysis. Here, the collaboration of design and strength by using composite materials is carried out. Many products, which are made from high strength composite materials, need new product design technology which draws out the characteristic of material's advantage. Existing product developments tend to separate product design from product planning. The process consists of a certain flow, starting from planning the shape of the product by designers, then calculating the strength, and lastly designing the product. In new design method, it is performed a styling design by requirements from engineering point of view. By using this design method of high-strength materials, we designed new styling ZIGZAG chair made of the carbon fiber reinforced plastic with excellent strength and lightweight.

Keywords: Collaboration of design and strength, Lightweight design, Composite Material, FEM analysis, CFRP, ZIGZAG chair

1. はじめに

近年の高強度複合材料の開発・実用化はめざましいものがあり、それら材料は様々な製品に適用されている。このような状況の中で、高強度複合材料に対して、従来のデザインプロセスとは異なる工学的な視点からの新しいプロダクトデザイン手法について検討した。

高強度複合材料を使用した製品の活用例として、自動車外装におけるアルミニウム合金や炭素繊維強化プラスチック、航空機の部品としてチタン合金の使用などが挙げられる。これらのなかでも炭素繊維強化プラスチックの利用（応用）はめざましい。

高強度複合材料を使用する製品においては、その特性を十分に活かす新たなプロダクトデザイン手法が要求される。従来の製品開発では、プロダクトデザインと設計が切り離されて製品設計がおこなわれる傾向がある。デザイナーによる形体発現後に強度計算がなされ、製品が設計される。しかしながら、建築家のルイス・サリバンの言葉で「Form follows function」と言われているように本来、プロダクトデザインと設計は一体である。高強度複合材料を使用し、新しい形態を生み出すには、強度計算、接続方法など工学的知見に沿い、それらの特性を活かしたプロダクトデザインをおこなうことが不可欠である。

2. 目的

本研究の目的は参考資料 [1] における高強度複合材料のための新しいデザイン手

法の応用である。これまでのプロダクトデザインでは、まずデザインをおこなう対象物に対して、問題を認識し、解決のためのコンセプトを立案し、調査分析、デザイン要素を抽出し、アイデア展開をおこなっている。このプロセスはデザインにおける上流過程である。本研究では、下流過程における最適化デザイン段階を上流過程の調査分析に含める。高強度複合材料の強度特性から具体的な要素を示し、その要素を中心としてアイデア展開をおこなう。デザインをおこなう対象の必要な強度を最適化することで、非常に軽量で強度に優れた製品をデザインすることが可能となる。材料の特性を分析して、その材料でしか成し得ないデザイン設計である。それはエンジニアリングからデザイン設計を始めるというプロセスである。高強度複合材料を炭素繊維強化プラスチックと設定し、プロダクトデザインと最適強度設計の融合設計として、リートフェルト (GERRIT THOMAS REITVELD) が1934年デザインした ZIGZAG chair (図1) のリデザインをおこなった。この椅子は形そのままが構造となっており、新しいデザイン手法の応用に最適であると判断した。

3. デザイン要素抽出プロセス

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の材料特性からデザインの中心となる要素を抽出し、構造解析の結果を参考にしながら ZIGZAG chair のリデザイン設計をおこなった。

3.1 炭素繊維、炭素繊維強化プラスチックの特性

炭素繊維の特性として非常に高い強度と比弾性率をもっている。炭素繊維強化プラスチック（CFRP）で使用する炭素繊維には一方向のみにカーボンファイバーを揃えた UD 材と、タテヨコに織り込んだクロス材があり 繊維強化系複合材料の強度特性として強い異方性を有する。

エポキシ樹脂を基材とした CFRP、GFRP、AFRP の特性を比較すると、

- 1) CFRP は単位重量当たりの強度および弾性率が高い。CFRP の比強度、および比弾性率は鉄やアルミに比べ約 5 倍の値を示す。
- 2) 圧縮強度を比べた場合、CFRP は GFRP の 2 倍、AFRP の 4 倍となる。

参考資料 [2] より。

3.2 ZIGZAG chair の概要

ZIGZAG chair は元々スチールの曲げ加工で作られていたが後に、背もたれ、座面、脚部、底面の 4 枚の板を組む方式のデザインに変更された。椅子は木製で、座るという機能を最小限に表現した作品である。図 1 より、製作には 4 枚板の組継ぎを隅木で補強する手法を取り、金属部品は一切使用されていない。木材はチェリー材。独創に満ちた造形は、新造形運動にも携わったリートフェルトの思想を表現したものである。この椅子は木材の特性を最大限考慮し設計されている。



図 1 ZIGZAG chair 参考資料[3]より

ZIGZAG chair は、これまでに多くのデザイナーの手によってデザインされてきている。その代表的なものが 1967 年に VERNER PANTON がデザインした Panton chair (図 2) である。これは ZIGZAG chair からインスパイアされ、FRP の一体成型でデザインされている。現在はインジェクション成形に置き換えられ、ポリプロピレンを材料として製作されている。また、アクリルで一体成型された製品、竹を使用した製品などが存在する。



図 2 Panton chair 参考資料[4]より

デザインする上で考えなければならないのは、座、脚部などに掛かる圧力であり、その分布である。このような圧力分布は設計図 (図 3) から CAD を用いて 3 次元化し、FEM でシミュレーションが可能である。

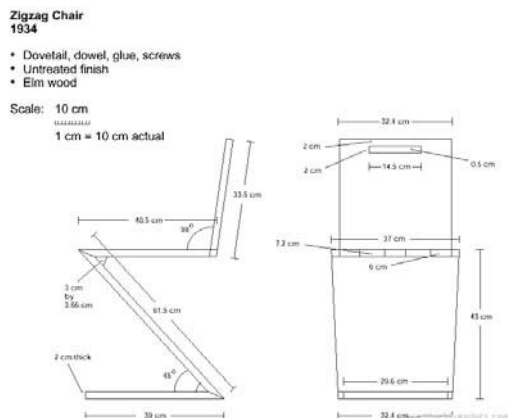


図3 ZIGZAG chair dimension 参考資料[5]より

3.3 木材とCFRPとの比較

実際の製品（カッシーナ製）はチェリー材で製作されている。木材は異方性が高く、繊維と並行か直角かによって機械的強度は大きく変化する。縦方向の引張強さは、日本国内の針葉樹で81-143 MPa、広葉樹で61-204 MPa、すべての木材で強いものでは306 MPaというものもある。これを、強さを密度で割った「比強度」で表すと、針葉樹180-300 kN・m/kg、広葉樹158-200 kN・m/kgとなり、鉄の53-132 kN・m/kgを上回る性質を示す。これが横方向になると1/20から1/30と極端に低下する。木材でもCFRPに近い比強度を示すものも存在するが、曲げ強さではCFRPの1/2-1/3、せん断強さでは1/10-1/15である。また、木材は一体成型には不向きであり、CFRPのように一体成型することで、引張強さを生かした設計をおこなうことが可能となる。

3.4 デザイン要素

上述の調査分析より、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は単位重量当たりの強

度および弾性率が高く、比強度および比弾性率は、鉄やアルミに比べ約5倍の値を示し、圧縮強度をもGFRPの2倍、AFRPの4倍で木材では不向きな一体成型をおこなうことが可能である。

これら材料特性で注目したのが、強度と弾性率の高さである。弾性率が高いということは変形しにくいということである。この特性を活かし、スタイリングの中心を、強度を生かし変形を抑える構造とした。変形を抑えるために考えられる方法として1) リブ構造、2) ボックス構造、3) 折り構造を検討した。

リブ構造をもとにCFRPによる試作をおこなったものが（図4）である。

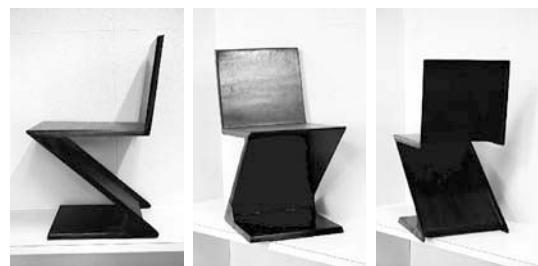


図4 リブ構造試作 ZIGZAG Chair

この試作では強度も十分に確保でき、変形も抑えることができた。FEMによる構造解析結果も良好な結果を得られた。ボックス構造は一体成型が難しいため試作を断念した。次に折り構造については量産化に最も適していると考えられたので以下の章で詳細を検討した。

4. デザイン（スタイリング）プロセス

4.1 解析1 平板の2枚折り

折り構造デザイン（スタイリング）をお

こなう前段階として、折りによる強度変化の解析をおこなった。図5に示すようなモデルを作成し、変位、剛性など解析した。解析により得られた折角度に対する変位の変化を図6に示す。

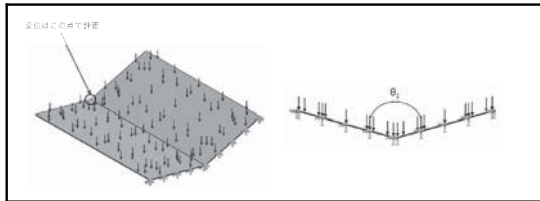


図5 折りモデル1

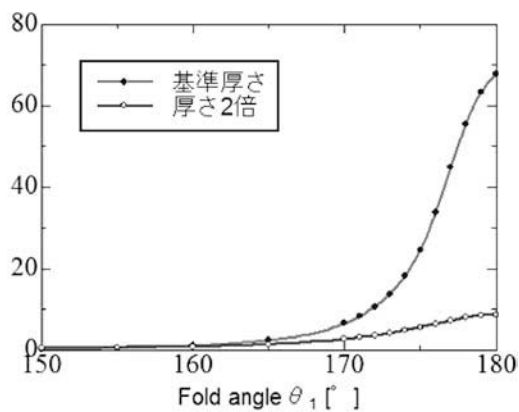


図6 折り角度に対する変位

解析モデル図5は平板を組み合わせたもので、1つの側面を拘束した状態で、2枚の板のなす角度（折り角度 θ_1 ）を変化させ等分布荷重を垂直方向に加えた際の、拘束面と反対側の面の折り目の点での変位の値で評価をしている。平板（ $\theta_1 = 180^\circ$ ）に角度を付けていくと、急激に剛性が増加していき、 170° で平板の10倍以上の剛性を持ち、それより小さい折り角度では緩やかに剛性が増加するという解析結果となった。厚さが2倍になると平板の場合は、厚さの3乗に比例する断面二次モーメントI

の値が8倍になり、その結果変位の値は1/8となる。

4.2 デザイン（スタイリング）

FEMによる折りの解析結果、構造に折りを入れることにより、剛性が大きく増加することが明らかになった。この結果を踏まえデザイン設計をおこなった。解析のみで最適形状を導き出すことも可能であると考えられるが、あくまでもエンジニアリングからのデザイン設計であり、デザイナーの感性も活かさなければならない。よって、折による形状の変化を確認しつつ、構造と美しさのバランスを考えアイデア展開をおこなったのが図7である。

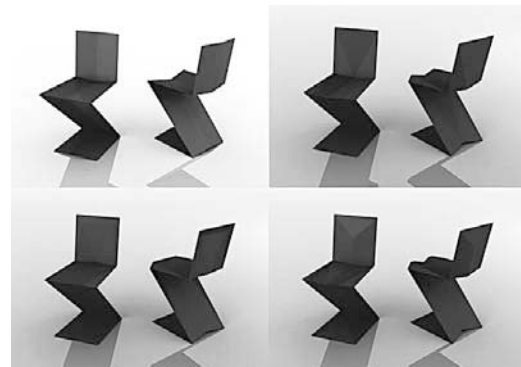


図7 アイデア

アイデア展開ではできるだけ薄く見え、そして形状が単調にならないよう考えた。折りの深さは木製のZIGZAG chairの材料の厚さ20mmを超えないようデザインをしている。このアイデア展開から導き出したデザイン提案が図8、図9である。



図8 デザイン01

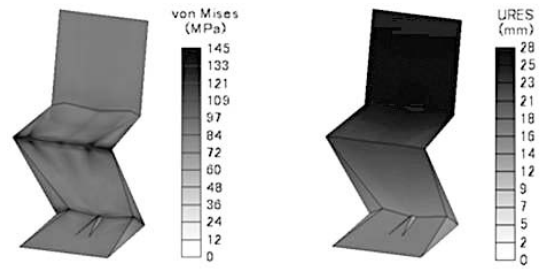


図10 デザイン01の強度解析

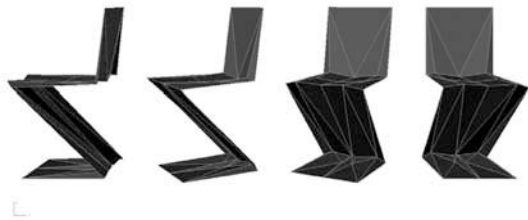


図9 デザイン02

デザイン 01 と 02 の違いは底面の折りの部分で、デザイン 02 は折りをより強調する形状としている。

4.3 デザインモデル解析

開発したデザイン手法を応用したデザイン 01 (図 8) の強度解析をおこなった。デザイン 01 に対して、通常座った際に加わる荷重を想定した条件で解析をおこなった。座面に対して垂直方向に 780 N の、背面部に対して垂直方向に 100 N の等分布荷重を加え、底面部を拘束しているという解析条件である。積層構成は、CFRP クロスを全体に 16 ply 積層したものである。応力分布図と変位図の結果を図 10 に示す。応力は座面部と支持部の境界、支持部と底面部の境界に集中がみられるものの、最大応力は 145 MPa である。合成変位の最大値は

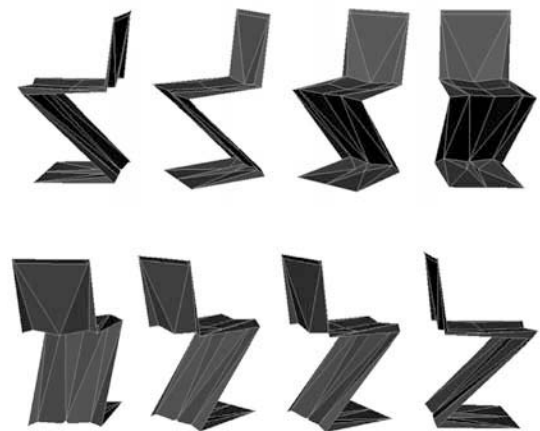


図11 デザイン03 最終デザイン

背面部の上部で生じ、その値は 28 mm である。折りを入れることにより一箇所に集中していた応力が分散され、全体の変位量も小さくなっている。

解析結果をもとに細部を検討し、デザイン 02 の背もたれ上部に折りを入れたデザイン 03 (図 11) を最終デザインとした。

5. 考察

本研究での成果はデザイン設計であるが、今後は実際のモデル製作を検討している。新しいデザイン手法の応用により、強度解析など工学的な視点で、構造、力学など材料の持つ特性を明らかにすることで、材料

を最大限に生かした、これまでにない新しい製品のデザイン設計が可能となる。また、エンジニアからのデザイン設計というようにデザインのポイントを見つけ出し、設計に応用することも可能である。はじめに述べたように、機能と形態は切り離すことができない。デザイナーの領域とエンジニアの領域の交わる部分は今後ますます大きくなりつつある。本研究はまさに、その交わった部分の新しいデザイン手法の応用である。

[References]

- [1] Development and Application of New Design method by High-strength Composite Material
Haruhiko IIDA, Hidetoshi SAKAMOTO, Yoshifumi Ohbuchi
Applied Mechanics and Materials Vol. 372 (2013)
pp. 17-20
- [2] 複合材料を知る辞典 日本複合材料学会編
- [3] Information on
<http://www.cassina-ixc.jp/shop/g/gzig-zag/>
- [4] Information on
<http://www.design-museum.de/de/sammlung/100-masterpieces/detailseiten/panton-chair-panton.html>
- [5] Information on
http://www.the-blueprints.com/blueprints/misc/rietveld/3370/view/rietveld_zigzag_chair/

