

Research Institute

*Discussion Paper Series*

No.22

Title :

空飛ぶクルマ量産化の課題

: 株式会社童夢 調査記録

Challenges in the Mass Production of Advanced Air Mobility

: DOME CO., LTD Research Record

義永忠一 / YOSHINAGA Tadakazu

chuichi@andrew.ac.jp

2023年11月



桃山学院大学  
Momoyama Gakuin University

<http://www.andrew.ac.jp/soken/>

# 空飛ぶクルマ量産化の課題：株式会社童夢 調査記録

義永忠一

## 調査概要

調査日：2023年9月7日（木）

時間：13:30～15:45

場所：〒521-0013 滋賀県米原市梅ヶ原 2462 番地

応対者：株式会社童夢 製造部

三谷明 様

加藤福人 様

調査参加者：義永忠一（桃山学院大学経済学部准教授）

吉岡和洋（桃山学院大学経済学部 3 回生）

## 目次

- |                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 1. はじめに                | 2.5 童夢におけるカーボンコンポジットの製造工程    |
| 1.1 研究の背景              | 2.6 成形加工（工場内設備）              |
| 1.2 リサーチデザイン           | 2.7 まとめ                      |
| 1.3 方法論                | 3. おわりに                      |
| 2. 調査記録                | 3.1 空飛ぶクルマの量産可能性について         |
| 2.1 童夢の概要              | 3.2 レーシングコンストラクターとしての童夢とダラーラ |
| 2.2 童夢と東レ・カーボンマジックとの関係 | 謝辞                           |
| 2.3 カーボンコンポジット成形とは     | 参考文献                         |
| 2.4 工場見学：具体的な製品に関する説明  |                              |

## 1. はじめに

本稿は、2023年9月7日（木）滋賀県米原市に立地する株式会社童夢への聞き取り調査をまとめた調査記録である。

### 1.1 研究の背景

2022年2月24日のロシアによるウクライナ侵攻以降、経済活動のグローバル化は明確に変質した。新型コロナ禍の影響もあり、それまで海外に製造拠点を展開していた企業が、一部ではあるが国内生産に回帰する動きも2023年に入り目立っている<sup>1</sup>。経済安全保障の観点から今後の日本経済を考える際、新たな産業を興す必要が言及され、その一つの候補として「空飛ぶクルマ」がある（空の移動革命に向けた官民協議会、2023、2頁）。

2023年度義永ゼミ（3回生）において江川凌君が、研究テーマに「空飛ぶクルマ」を選択した。「空飛ぶクルマ」は依然として開発段階<sup>2</sup>ではあるが、ゼミ内でのディスカッションを通して、「空飛ぶクルマ」が今後普及した場合<sup>3</sup>、CFRP<sup>4</sup>製品の量産拠点が日本国内に立地することが重要になるのではないかと。「空飛ぶクルマ」が強度・軽量化の面でCFRP製品が必須であると考えられ、CFRP製品の量産化に向けた課題が明示できれば、今後の産業政策に対して何らかの提言ができるのではと構想するに至った。

### 1.2 リサーチ・デザイン

「空飛ぶクルマ」は、依然として開発段階にある<sup>5</sup>。そこで、「空飛ぶクルマ」を開発する

---

<sup>1</sup> パナソニック株式会社空質空調社は、日本向けルームエアコンや住宅システム機器について、「国内での研究開発及び生産体制を強化」することを発表した。「今後、国内で需要が見込まれ、省エネ性が高い、高付加価値な高級、中級モデルについては、草津工場などに設備投資を行い、広州工場から生産を移管、納品までのリードタイムを約4分の1に短縮するとともに、流通在庫を圧縮しながら欠品を防ぐ」（パナソニックホールディングス株式会社プレスリリース<2023年6月22日>）とした。2020年以降の新型コロナ禍の元で、サプライチェーンが寸断されたことの影響が現れたと推測できる。このような動きは、ロシアによるウクライナ侵攻以降も継続すると考えられる。実際に、経済安全保障の観点から新たに半導体製造拠点が建設されることの影響が出始めている。北海道千歳市では、半導体製造企業である「ラピダス」の進出決定を受け、周辺地域の基準地価が上昇したことが報告されている（『日本経済新聞』2023年9月20日朝刊）。

<sup>2</sup> 主な空飛ぶクルマの開発企業として、アーチャー（米国）、イブ・エア・モビリティ（ブラジル）、ジョビー・アビエーション（米国）、ポロコプター（ドイツ）、スカイドライブ（日本）、ウィスク・エアロ（米国）、イーハン（中国）などが挙げられる。最も早い納入時期を提示するイーハン（中国）は2023年であるが、その他の企業は、2025～2026年ごろに商用運航に必要な型式証明の取得を目指している（『日本経済新聞』2023年6月20日朝刊）。

<sup>3</sup> ニデック株式会社（旧日本電産）の永守重信会長兼最高経営責任者（CEO）は、2023年の定時株主総会で、「空飛ぶクルマ」は「将来は皆さんが1台ずつ持つ」時代がくると予測した（『日本経済新聞』2023年6月21日朝刊）。

<sup>4</sup> CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）は、炭素繊維強化プラスチックとも称される。詳しくは、「2.3」にて触れる。

<sup>5</sup> 株式会社 SkyDrive によると、空飛ぶクルマの製造を目的とした100%出資の子会社を自

企業の1つである株式会社 SkyDrive が、機体構造<sup>6</sup>に使用する CFRP 材料の材料適合試験を行なった東レ・カーボンマジック株式会社<sup>7</sup>の前身である「童夢カーボンマジック」との関係から<sup>8</sup>、CFRP 製品を非常に高度なレベルで製造・販売する株式会社童夢を調査対象企業として選定した（以下、童夢と表記）。童夢の CFRP 製品製造の現状を理解することで、CFRP 製品を製造する上での課題と限界、そして将来性に関して示唆を得られると考える。

### 1.3 方法論：半構造化インタビューによる仮説探索型調査

今回の調査は、半構造化インタビューによる仮説探索型とした。90 分間のインタビュー調査を行う予定で、CFRP 製品製造の現状とその課題（量産及び不良）に関する質問項目を準備した。結果として予定時間を超過したが、多くの示唆に富む内容が得られたと考えている。

## 2. 調査記録

本稿の調査記録者である義永は、JR 大阪駅より約 80 分間、新快速米原經由近江塩津行きに乗車し米原駅に 12:53 に到着した。到着時刻当時の天候は晴れ、気象庁の記録<sup>9</sup>によると気温は 29.9℃であった。本来ならば主調査者である江川君が調査を実施する予定であったが、数日前からの体調不良により義永が主調査者となり、インタビュー調査の実施及び記録作成に当たることになった。なお同席した吉岡君（義永ゼミ 3 回生）は、企業調査体験実習との位置付けで、遠路和歌山県海南市から参加してくれた。

### 2.1 童夢の概要

童夢は、自動車レーシングカー開発で活躍していた林みのる氏により 1975 年 11 月 11 日に創業した。創業以来の開発成果である「童夢零」は、1978 年にスイスで開催されたジュネーブ・モーターショーで公開され大成功を収める。「童夢零」の市販化を目的として、同年 1978 年 2 月 1 日に設立された。しかし「童夢零」は、当時運輸省の認可を得られず市販化を断念せざるを得なかった。その後の童夢は、レーシングカーを製作するレーシングコ

---

自動車製造企業であるスズキ株式会社と設立することを発表した。製造に向けての動きとして捉えられる。具体的な製造拠点は、「スズキグループが静岡県内に保有する工場を活用し、2024 年春ごろ、「空飛ぶクルマ」の製造開始を目指す。ただ「より具体的な条件については協議を継続し、別途取り決める予定」（株式会社 SkyDrive プレスリリース＜2023 年 6 月 19 日その 2＞）とあり、依然として開発段階である。

<sup>6</sup> 「空飛ぶクルマ」の研究開発を担う一企業である株式会社 SkyDrive では、主要構造材料に複合材（CFRP）が明示されている（株式会社 SkyDrive プレスリリース＜2023 年 6 月 19 日その 1＞）。

<sup>7</sup> 東レ・カーボンマジック株式会社プレスリリース＜2022 年 7 月 27 日＞、株式会社 SkyDrive プレスリリース＜2022 年 7 月 18 日＞。

<sup>8</sup> 東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ「企業情報 沿革」。

<sup>9</sup> 気象庁 Web ページ 過去の気象データ検索（滋賀県米原）。

ンストラクターとしての役割を主としながら、自動車製造企業からの受注に応じて開発を行う開発会社としての業務も担ってきた（インタビュー記録）<sup>10</sup>。

レーシングカーにおける CFRP（カーボンコンポジット：インタビュー調査で使用された表現）使用は 1981 年、イギリスのマクラーレン社がマクラーレン MP4/1 という F1 レース車両の主構造材に使用したことが嚆矢である（フルカーボン製モノコックシャーシ）。カーボンコンポジット使用の利点は、軽量化と安全性（衝突時の衝突エネルギー吸収挙動において一定の高荷重で逐次破壊：大きなエネルギー吸収が可能）であった（平松，2012，100 頁）。童夢では、1980 年代半ば以降カーボンコンポジットの研究・開発を行った<sup>11</sup>。

2023 年 9 月現在、童夢の従業員数は 50 名弱、その内設計者 12～3 名、製造 12～3 名、その他、レース事業、管理・購買・総務に人員が配置されている（インタビュー記録）。

## 2.2 童夢と東レ・カーボンマジックとの関係

『炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の開発と市場 2020』では、以下のような記述がある。

レーシングカーの設計・製造を行っていた童夢グループの童夢カーボンマジックを、2013 年 4 月、東レが 100%子会社化。社名を東レ・カーボンマジックとした。童夢のレーシングカー用 CFRP 部品の生産会社の童夢カーボンマジックは、レーシングカー部品の設計・製作を通じて培った同社の設計技術力、試作提案力及び高精度オートクレーブ生産技術は高く評価されている。

東レ・カーボンマジックでは材料やコンポジット技術の調査・研究から顧客ニーズに応えた企画・計画に始まり、設計や解析を経て、試作そして評価を行い、製品化を実現。開発は日本で迅速で行い、タイで効率的な量産という大きな流れを構築している（『炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の開発と市場 2020』180 頁）。

本節ではこの記述をもとに、童夢と東レ・カーボンマジック株式会社（以下、東レ・カーボンマジック）の関係性を記述する。

### 童夢カーボンマジックの設立と売却経緯

童夢では、市場のニーズを勘案し、それまで社内の一部署としておこなっていたコンポジット業務を 2001 年に独立させ子会社化し、童夢カーボンマジックを設立した（2001 年

---

<sup>10</sup> 創業年及び設立年月日は、2023 年 10 月 19 日メールによる追加調査により確認。なお創業までの経緯については、林（2009）が詳しい。

<sup>11</sup> 「F1 などの一部でカーボンコンポジットが使われはじめた 1980 年代から研究を始めていた童夢は、85 年に世界初のオール・カーボンコンポジット・フレームをもつオートバイ、童夢 DCF-1 ブラックバッファローを開発し鈴鹿 8 時間耐久レースに出場。さらに 88 年には一体成型のモノコックタブをもつ国産初のカーボンモノコック F3000 マシン F101 や、グループ C マシンのトヨタ 88C-V の開発にも成功している」（藤原，2019a）。

10月)<sup>12</sup>。独立にあたっては、静岡県三島市の有限会社ウィスカーを買収し基礎とした<sup>13</sup>。2006年には、当時京都大原に所在した童夢と静岡県三島市の童夢カーボンマジックが、1999年から風洞実験装置として稼働していた風流舎が立地する滋賀県米原市において DOME RACING VILLAGE と称し、一つの拠点で業務を開始した<sup>14</sup>。

2005年には、タイの大手消費財関連コングロマリットである Saha グループとの合弁で童夢コンポジット・タイランドを設立した<sup>15</sup>。タイへの進出理由は、設立当時日本と比較して低かった人件費を活用し、カーボンコンポジット製品を「量産」することであった<sup>16</sup>。童夢コンポジット・タイランドの位置付けは、量産会社であり、試作開発会社ではなかった。日本の童夢カーボンマジックで試作量産したものを、仕様を煮詰めて量産化まで行い、童夢コンポジット・タイランドで量産した。試作・開発のコストと量産のコストは異なる。当時、童夢カーボンマジックは、童夢コンポジット・タイランドの量産における生産調整や管理も一部ではあるが実施していた（インタビュー記録）<sup>17</sup>。

しかし2013年に童夢は、童夢カーボンマジックの株式を東レ株式会社へ100%売却し、同時に童夢コンポジット・タイランドも、東レが75%株式を所有し子会社化した<sup>18</sup>。その理由は、創業者である林みのる氏が70歳を迎える2015年に引退することを契機に、童夢カーボンマジックの売却益などを、ロードゴーイング・スポーツカーの開発費に充てることであった<sup>19</sup>。しかし残念ながらそのスポーツカー開発計画<sup>20</sup>は、不成功に終わった<sup>21</sup>。

#### 童夢のカーボンコンポジット業務の再内製化

2013年に童夢カーボンマジックと童夢コンポジット・タイランドを東レ株式会社に売却後、童夢は自社のカーボンコンポジットの生産設備を持たない状況となった。その後2016年に、台湾のKCMGコンポジットインターナショナルと業務提携し、童夢が開発・設計を

---

<sup>12</sup> 東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ「企業情報 会社概要」。

<sup>13</sup> インタビュー記録及び2023年10月19日のメールによる追加調査により、童夢 News & Report <Nov.16.2001> 『株式会社 童夢カーボンマジック』設立のご案内」。

<sup>14</sup> インタビュー記録及び童夢 News & Report <Apr.13.2006> 「大盛況でした。DOME 桜 FESTA」。

<sup>15</sup> 東レ株式会社ニュースルーム <2013年3月18日> 「株式会社童夢カーボンマジックの買収について」。

<sup>16</sup> インタビュー記録及び童夢 News & Report <Jul.01.2005> 「童夢コンポジット・タイランド設立のお知らせ」。

<sup>17</sup> 当時の童夢コンポジット・タイランドの量産品は、自動車外装部品等であった（2023年10月19日メールによる追加調査）。

<sup>18</sup> 東レ株式会社ニュースルーム <2013年3月18日> 「株式会社童夢カーボンマジックの買収について」。

<sup>19</sup> 童夢 News & Report <Mar.18.2013 NEWS RELEASE> 「株式会社 童夢カーボン・マジックの売却について」。

<sup>20</sup> 童夢 News & Report <May.23.2013> 『I S A K U P R O J E C T』発進します。ロードゴーイング スポーツカーの開発について」。

<sup>21</sup> スポーツカー計画のその後の経緯は、林（2018）が詳しい。

担当し、CFRP 事業を継続していた。しかしカーボンコンポジットは、レーシングカー、自動車のみならず、航空宇宙、医療、ロボットなど幅広い分野に深く関わる技術となるため、安全保障上の観点から外国企業との提携が、法規上の様々な制約を生じさせる事態となった<sup>22</sup>。そこで童夢は、KCMG コンポジットインターナショナルとの提携を解消し、童夢カーボンマジックを東レ株式会社に売却後、新たな本社を設立した現在の立地場所（滋賀県米原市梅ヶ原）に『童夢 Advanced Carbon Laboratory』を創設する。そして2019年2月1日から、オートクレーブをはじめ高品質なカーボンコンポジット製品の製造を行うために必要な最新の設備を稼働させた<sup>23</sup>。

さらに童夢では、2019年4月1日より、F1級のコンストラクターの必需品ともいえる50%スケール・ムービングベルト風洞施設（レーシングカーの50%スケールモデルを用いた空力解析施設）「風流舎」の運用を再開した。童夢は、1978年の「童夢零」以来、自動車開発における空力性能の重要性を認識し、風洞実験を繰り返し行ってきた。1987年には25%スケールのムービングベルト風洞施設を童夢独自で開発・設計そして建設した。2019年4月に運用を再開した「風流舎」は、2000年に滋賀県米原市三吉に童夢が建設したが、2014年にトヨタ自動車に売却された。しかし再び童夢の元で、管理運用することになった。童夢では、これまでの風洞実験の経験と実績を生かした風洞模型の製作や数値流体力学も含めた空力開発のコンサルティングも請け負う。「風流舎」とカーボンコンポジット開発製造拠点『童夢 Advanced Carbon Laboratory』との連携を図ることで、様々なニーズ（ワンオフの小パーツから、レーシングカーのモノコック、ボディの量産に至るまで）に対応できる、童夢ならではの技術力を反映したきめ細かい研究開発・製造体制を整えることができるという<sup>24</sup>。

#### 東レ・カーボンマジックとの関係

現在も童夢と東レ・カーボンマジックは、2社で協力している部分もある。しかし東レ・カーボンマジックは、もともと童夢カーボンマジックから分かれた会社であり、レースに関する事業にも興味がある。そして東レ・カーボンマジックが開発したシャシーは、F1を頂点とするフォーミュラレースの入門カテゴリーとしてFIA（世界自動車連盟）により制定されたFIA-F4において、2024年以降の第二世代車両（Gen2）に採用された<sup>25</sup>。

---

<sup>22</sup> 童夢 News<Nov.08 2017> 「このたび株式会社 童夢は安全保障貿易管理を実施している企業として認定されました」。

<sup>23</sup> インタビュー記録及び童夢 News<Mar.14 2019> 「童夢 新 CFRP 開発・生産拠点 『童夢 Advanced Carbon Laboratory』を稼働。最新、高品質の CFRP 製品を速やかに提供できる環境が完成」。

<sup>24</sup> 童夢 News<Mar.29 2019> 「童夢の50%スケール・ムービングベルト風洞施設『風流舎』を4月1日より運用」。

<sup>25</sup> インタビュー記録及び東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ「製品事例 次世代 FIA-F4 マシン『MCS4-24』」。なお現行の FIA-F4 マシンは、童夢製（「F110」）が採用されている（童夢 Web ページ）。

### 2.3 カーボンコンポジット成形とは

本節では、童夢が採用するオートクレーブ成形を説明する前段階として、カーボンコンポジット成形についてまとめる。

#### 炭素繊維とは

まず炭素繊維とは、ISO（国際標準化機構）によると、「有機繊維を焼成して得られる炭素含有率が90%以上の繊維」とされる。有機繊維には炭素原子の他に水素原子や窒素原子などが含まれるが、これを焼成(高温加熱処理)し、ほとんど炭素原子だけからなる繊維としたのが炭素繊維である。炭素繊維の1番の特徴は、軽くて強く、そして軽くて硬いことである（平松，2012，10頁）。童夢でも使用される炭素繊維は、PAN系と呼ばれる。炭素繊維は原料や製造方法によって特性が異なる。PAN系炭素繊維は、PAN(ポリアクリロニトリル)を原料とする（平松，2012，12頁）。

炭素繊維の製品形態は、単繊維(フィラメント)を束ねた繊維束(トウ)の状態となっている。繊維状態から中間基材(プリプレグやペレット、チョップドや織物等<sup>26</sup>)状態を経て部品に成形されるまでの取扱性などの必要性から、種々の太さの繊維束の炭素繊維が生産される。単繊維(フィラメント)を1000本束ねた細束の1Kから3K、6K、12K、24000本束ねた一番太束の24Kと、フィラメント数により5種類のトウがある（平松，2012，26頁）。

#### 炭素繊維複合材料(CFRP)の特徴

炭素繊維は、樹脂などとの複合材料(コンポジット)として用いられる。複合材料とは、2つ以上の材料を組み合わせ得られる材料のことであり、例えば鉄筋コンクリートは、セメントと鉄筋を組み合わせ得られる複合材料と言える。複合材料は、強化材と母材(マトリックス)で構成される。繊維強化樹脂複合材料では、強化材として繊維(炭素繊維：カーボンファイバー、ガラス繊維：グラスファイバー)、母材(マトリックス)として樹脂が用いられる。炭素繊維複合材料で最も多く使われているのは、母材にエポキシ樹脂を用いた、炭素繊維強化(エポキシ)樹脂複合材料である。中でも、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)は、母材に熱硬化性樹脂を用いている（平松，2012，40-41頁）<sup>27</sup>。

CFRPの大きな特徴の一つに、異方性材料である点が挙げられる。金属やプラスチックは等方性材料だが、CFRPは繊維と樹脂という性質の異なる材料の組み合わせであり、繊維の配向方向や材料種類を変えることで剛性や強度を変えることが出来る。例えばアルミよりも軽く、また、配向の方向によっては鉄以上の剛性を実現することも可能になる（東レ・カーボンマジック(株) Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」）。繊維の配向方向を変えるには、複数のCFRP材料を積層する。

CFRPの部材間の接合には、接着が用いられ、金属材で一般的に使用されている溶接を用

---

<sup>26</sup> 中間基材には、あらかじめ樹脂を含浸させたタイプ(プリプレグ・ペレット・SMC)と、成形時に樹脂を加えるタイプ(チョップド・織物)の2種類がある（東レ・カーボンマジック(株) Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」）。

<sup>27</sup> 母材に熱可塑性樹脂を用いた場合は、CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics：炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料)である。



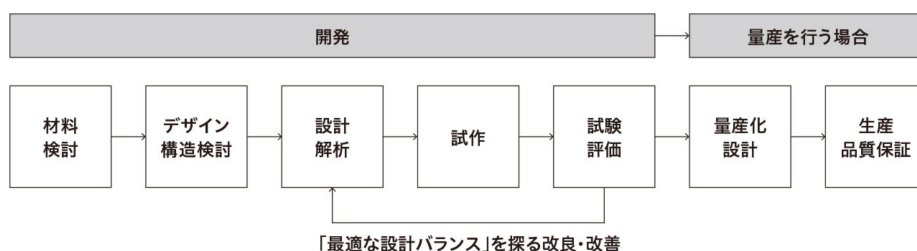
いることは困難である。CFRPは、その材料的な特徴から、異方性や積層、接着といった金属とは異なる設計項目が多くあるため、設計に対する考え方を大きく変える必要がある（東レ・カーボンマジック（株）Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」）。

童夢でも採用されるカーボンコンポジット（CFRP）は、コンポジットの中の1つの方法であって、製品や部品に対して、どのような性能や要求、そしてコストを実現するかの手段でしかない（インタビュー記録）。

### CFRP 製品の開発

CFRPは、金属材と同様に形状や使用材料の他、成形方法や積層設計といった複合材料特有の設計項目を追求するため、解析を行うことはもちろん、試作や試験評価のトライ&エラーを行い、設計の最適バランスを追求する。特に開発から量産に移行するには、製品設計・製法の完成度を極めて高く維持する必要がある。性能や品質・コスト要求を高い次元で満たす「最適な設計バランス」を探るため設計・解析・試作・試験・評価のプロセスをいかに効率的に進めるかが重要となる（東レ・カーボンマジック（株）Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」：図1）。

図1 CFRP製品の開発



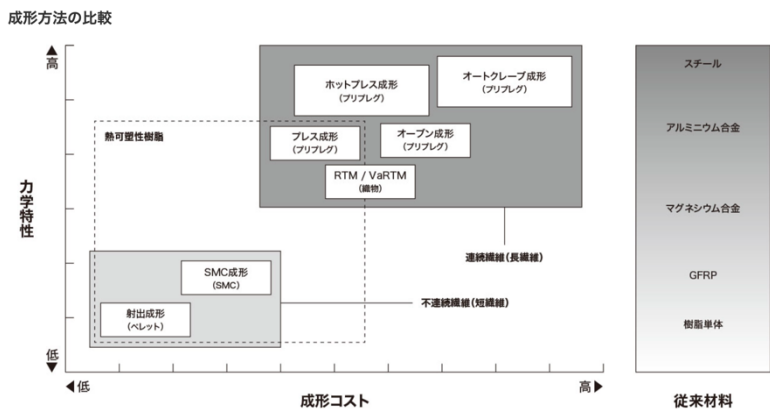
出所) 東レ・カーボンマジック（株）Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」

### CFRP の成形方法とその選択理由

CFRPの成形方法は、要求特性やコスト、生産量に応じて発展し、その成形方法に応じて炭素繊維の基材や樹脂が開発されている。成形コストが最も高い位置にあるオートクレーブ成形（図2参照）は、成形品が部品単位で比較するとコストが高いイメージがあるが、多品種小ロット生産では逆にコスト的なメリットが出る事もある。炭素繊維の繊維長を保ったまま成形できる為、高い力学的特性が得られ、複雑な3次元形状の成形も可能になる。それにより、部品を一体化することで組み立て工数を削減することも可能で、コストを部品単位ではなく、トータルコストで比較する必要がある（東レ・カーボンマジック（株）Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」及びインタビュー記録）。

ここまでCFRP（カーボンコンポジット）成形について整理してきた。次に、実際の工場見学の内容についてまとめる。

図2 CFRPの成形方法とその選択理由



出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPとは？」

## 2.4 工場見学：具体的な製品に関する説明

工場見学を実施した際に、まず童夢本社のエントランスで展示されている車両に基づき説明があった。エントランスには、これまで童夢が製作した「童夢零」を始め様々な車両が展示されているが、その内の2台について説明があった。以下、指摘がない場合は全てインタビュー記録によるものである。

### FIA-F4 車両 (写真 1)

FIA-F4 とは、FIA-F4 シリーズと呼ばれる自動車レースで使用される車両である。FIA-F4 シリーズとは、国際自動車連盟 (FIA : the Fédération Internationale de l'Automobile) が新たなエントリーフォーミュラカテゴリーとして提唱し、2014 年のイタリアを皮切りに、世界各国でシリーズが開催されるようになった。次世代のモータースポーツを背負う若いドライバーたちが腕を競い合い、切磋琢磨するこの FIA-F4 は、日本では 2015 年から展開されている(F4 JAPANESE CHAMPIONSHIP Web ページ)。

写真 1 FIA-F4 車両



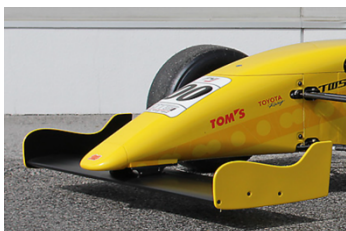
出所) 童夢 Web ページ。

写真 1 からは判別できないが、コックピットモノコックと呼ばれるドライバーが乗り込

む車体の構造部品と、ノーズコーンと呼ばれる車体の先端部分には、カーボンコンポジットが使用されている。これはレースで使用される車両に関する規則で、ドライバーを保護する部分には、カーボンコンポジットの使用が定められているからだ。しかし、ノーズコーン以外の外装品（カウル）は、GFRP（Glass Fiber Reinforced Plastic：ガラス繊維強化プラスチック）で製作されている。

レースカテゴリーごとに、キャッププライス（上限価格）が決められている。説明を受けた車体の場合は、500万円～600万円となっており、価格に見合う材料として、GFRPを使用して製作されている。ノーズコーンの下部に位置するフロントウイングは、アルミ材の引き出し成形で作成されている。イメージとすれば、引き出し成形で加工されたアルミ材の板材を、定められた長さに切断し、仕上げることになる。

写真 1-1 フロントウイング：アルミ引き出し成形



出所) 童夢 Web ページから一部抜粋。

製品は、2次図面から寸法公差（各部分の長さ）が規制されており、さらに、必要などころに幾何公差（形状や平行さ・傾き・位置・振れ）で規制された要求を達成している<sup>28</sup>。次に、制限なくカーボンコンポジットを使用した車両の説明をうけた。

### 童夢 S102.5（写真 2）

童夢 S102.5 は、2008 年に童夢がフランスのル・マンで行われる四輪自動車による 24 時間耐久レースに S102 として参加し、そして 2012 年に再挑戦した際にアップデートした車両である。

写真 2 童夢 S102.5



出所) 藤原よしお（2012）

<sup>28</sup> インタビュー記録及び株式会社キーエンス Web ページ「幾何交差の基礎と測定ノウハウゼロからわかる幾何公差」。

童夢 S102.5 は、プロトタイプと呼ばれるカテゴリーに属しており、「予算は天井知らず」であった。それ故、軽量化を目的として、ドアヒンジ（ドライバーが車両に乗り込む際のドアの蝶番：写真 2-1）までカーボンコンポジットを使用している。

写真 2-1 ドアヒンジ



出所) 童夢 S102 伊藤大輔 夢への挑戦【Best MOTORing】  
2008 2分36秒。

注1) 厳密には、調査当日に説明された車両ではなく、2008年にルマンに参戦した童夢 S102。

注2) 枠の強調は筆者加筆。

適材適所にカーボン製品を作ることは、童夢の業務として含まれるが、カーボン製品を作ることが童夢の目的ではない。良い製品を世の中に出すこと、すなわち「お客様のニーズに応える」「設計開発やものづくりを行う」ことが童夢の目的である。

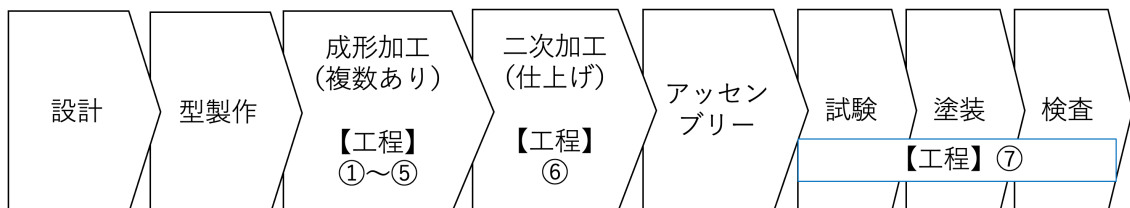
## 2.5 童夢におけるカーボンコンポジットの製造工程

次に製造工程を理解する為、童夢におけるカーボンコンポジットの製造工程を工場見学の過程をもとに、段階を整理して以下にまとめる。

### カーボンコンポジットの製造工程全体の流れ

カーボンコンポジットの製造工程全体の流れは、以下となる。

図3 カーボンコンポジット製造工程全体の流れ



出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ「製造工程・設備」を参照し、インタビュー記録から筆者作成。

注1) A/C成形の場合（2023年10月19日メールによる追加調査により確認）。

注2) ①～⑦の数字は、以降の【工程】とリンクしている（図3-1参照）。

## 設計

童夢における設計部門には、常駐設計者が 12~3 名いる。東レ・カーボンマジックに隣接する風洞実験設備（風流舎）があり、施設が分散し人員も分かれて配置されている。設計部門の関連業務としては、自分達が作っているレーシングカーの設計開発や受託設計開発、そして風洞実験設備の運営がある。

顧客から求められる製品の異なる強度特性や方向性を実現するための設計が行われ、カーボンコンポジットのオートクレーブ（後述）における成形加工の積層工程は、手作業で行われる。製品によって、積層構成（使用するプリプレグの種類、配向、何層積むか）は設計段階で確定させる。実際の作業中での説明では、量産品の積層作業が行われていた。作業者は、童夢が作成した手順書（作業要領書）通りに積層作業を実施していた。この「作業要領書」には、童夢オリジナルである積層構成（レイヤー）指定した図面により作成された作業要領書もある。

オートクレーブ成形は、手間がかかる。しかし長所は、強度が必要なところには厚く貼ることができ、不必要なところには貼らず軽量化に対応できることである。特に、レースの目的に合致する<sup>29</sup>。一度に生産する量（ロット）は、少量多品種であり、1 ロットが 1 個、3 個、5 個となる。

型は、多くの場合 1 個しか製作しない。製品が複数必要な場合は、型を複数個作る場合もあり得る。オートクレーブの成形サイクル（1 サイクル、1 バッチ）は、非常に長い。童夢の場合、1 日に型 1 個に対して 1 製品を成形する。オートクレーブ加工は、夜間に実施し、翌日仕上げることになる。ラミネート（プリプレグを貼る）の時間、そして焼く時間（オートクレーブでの加圧・焼成工程）が必要となる。例えば、型が 1 個あれば、月産 25 個の製品ができることになる。もし、1 ヶ月に 50 個製品が必要な場合は、型 2 個が必要となる。このような童夢の成形工程を想定して、お客様との相談を受ける。

自動車レース用フロントカウル部分の製品の場合、カーボンコンポジット製品が複数接着して構成されている。抜き方向（セクション）ではないのでスライド金型は作れない。よって、ある程度部品を分ける設計・製作し、その後接着する。パーツごとの分割は、発注者からの指定の場合もあるが、童夢側が作りやすい方式に合わせて分割する場合もある。もともと発注者の設計図面で分かれてある製品を、童夢側の作業工程から困難であるので、一括成形にしてほしいと提案する場合もある。

---

<sup>29</sup> 「実際、カーボンファイバーの複雑な性質を逆手に取り、F1 チームはレギュレーションの穴を突いてきた。FIA の静荷重テストには合格するが、ある部分では剛性が弱く、コース上で負荷がかかるとフレキシブルウイングとして機能するウイングを投入してきた」（『mortorsports.com』 Web ページ）。レースの主権者側の規則に従いつつ、顧客から求められる製品の異なる強度特性や方向性を実現するための設計が、童夢のノウハウだと推測できる。

カーボンコンポジット製品を接着する際、金属製のボルトなどで締結を行う場合もある。この場合カーボンコンポジット製品を、NC 工作機械を用いて金属用ドリル（CFRP 専用ドリルの場合もある）で切削加工する。切削加工を行う際にカーボンコンポジット製品を、ジグを用いて加工する場合もある。顧客の要求によって（図面の要求公差によって）、加工方法を選択する。この 2 次加工において工夫がある。また、全てが全て NC 工作機械を用いて加工するわけではない。

カーボンコンポジット製品を製造する各社と同様に、童夢も独自のノウハウを持っている。童夢は、顧客の要求に応えつつ、可能な限り安価で効率的な加工方法を模索する。例えば、カーボンコンポジット製品の成形時に最初から穴が開けられた成形型を設計することなどを実施している。カーボンコンポジット製品成形の為の設計における童夢の強みは、強いていうならば「画一化しないこと」だという。童夢の製造技術において「得意分野」を決め過ぎてしまうと、先入観を持ってしまう。そうすると、特定分野以外ではできないと言いがちだ。できないと言わないことを、「画一化しない」という意味としている。

### 型製作

型は、雌型になる。凹みのある雌型に、炭素繊維の中間材料（プリプレグ）を積層する。型の素材については、3 種類存在する。まず、石膏型である。石膏型は、試作・開発段階の初品やレース用部品（少数品）向けに用いられる。石膏型は、硫酸カルシウム（建材によく使用される石膏ボードの材料）にエポキシ樹脂を含浸させた素材を加工する。石膏型の素材は、切削性も良く、安価であり、熱膨張が少ない。しかし、耐久性がない。石膏型の耐久性（使用可能回数）は、形状によりまちまちであるが、おおむね 10～20 ショット程度で、欠け、破損等が発生して使用出来なくなる（2023 年 10 月 19 日メールによる追加調査により確認）。それ以外の型は、カーボンコンポジット製と、金属製（主としてアルミ）の型がある。石膏型以外の型は、石膏型と比較して製品が複数個、繰り返し求められる場合に作成する。

### 2.6 成形加工（工場内設備）

成形加工を行うコンポジットエリアは、2019 年から稼働し型製造から製品塗装まで一貫生産が可能となっている。以下で説明する成形加工は、「LAYUP ROOM」で行われる。

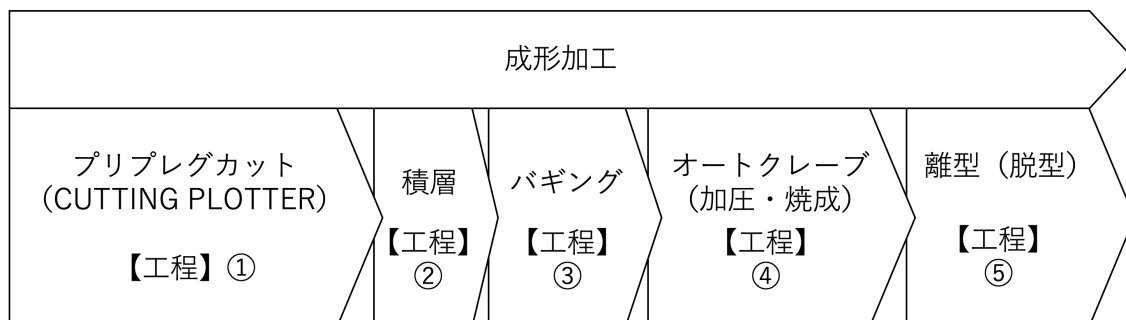
成形加工は、複数加工に分かれ、以下のようなになる（図 3-1）。

写真 3 LAYUP ROOM【工程】①②③



出所) 童夢 Web ページ。

図 3-1 成形加工 【工程】①～⑤



出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ「製造工程・設備」を参照し、インタビュー記録及び2023年10月19日のメールによる追加調査から筆者作成。

童夢が主として採用する加工方法は、オートクレーブ成形である。

オートクレーブ成形とは、オートクレーブ（圧力容器）を用いて、強化材となる炭素繊維に樹脂が含浸されたプリプレグと呼ばれるシート状の中間材料を使用し、加熱・加圧・真空引きをしながら樹脂を硬化させる成形法である。所定の形状にカットしたプリプレグを、設計された所定の位置／方向に必要な枚数を積層する。その際に層間に空気が残らないようにすることが重要である。そのため、フィルムバックで覆い、内包された空気を吸引、かつ、フィルム内を真空化状態とすることで積層したプリプレグの型への密着性を高める。その後、オートクレーブ内で加熱・加圧しながら、真空吸引を継続し、成形品の中から空洞（ボイド）を極力取り除くことにより、高品位な成形品が得られる。オートクレーブでは昇温／降温含めて約1～8時間程度の時間を必要とし、製造コストが高いが、材料、形状など設計の自由度が高く、CFRPの特長や性能を最も引き出しやすい製法と言える（東レ・カーボンマジック (株) Webページ「CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法」）。

以下、童夢の Web ページで公開されている写真とともに、東レ・カーボンマジック (株) Web ページ「CFRP の基礎知識 CFRP の成形方法」で公開されている図を合わせつつ、カーボンコンポジット成形工程を説明する。

#### プリプレグカット (CUTTING PLOTTER) 【工程】①

まずプリプレグから説明する。プリプレグとは、東レや三菱ケミカルが販売する中間素材で、主として使用する原反は幅1メートルのロール状で提供される。プリプレグは、炭素繊維の織物にエポキシ樹脂を含浸させ、半硬化状態（B ステージ）で納品される。炭素繊維の織り方が、複数ある（平織・綾織など）。そして、繊維の太さや、積層する厚さにより、強度が異なる。

調査時に説明を受けたプリプレグは、綾織で、12K と 3K のものであった。12K の方が、3K より1束の繊維が太い。PAN 系炭素繊維であった<sup>30</sup>。童夢が使用するプリプレグは、熱

<sup>30</sup> PAN 系炭素繊維：PAN プリカーサー(ポリアクリロニトリル繊維)を炭素化して得られるもので、高強度・高弾性率の性質をもつ。航空宇宙や産業分野の構造材料向け、スポーツ・

硬化性樹脂なので、常温保管だと 3 ヶ月から半年で硬化してしまう。よって、保管は冷凍保管庫で行い、必要な量だけを「LAYUP ROOM」に出す。冷凍保管庫の温度は、基準ではマイナス 19 度であるが、調査時の実際の冷凍庫の数値はマイナス 21.5 度であった。

写真 3-1-0 冷凍保管庫（「LAYUP ROOM」内） 【工程】①②③



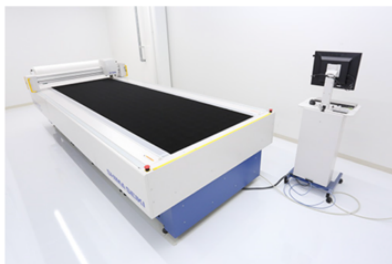
出所) 童夢 Web ページ (LAYUP ROOM) から一部抜粋。

「LAYUP ROOM」内には、積層作業中の作業の方がおられた。そのすぐ後ろに、自動車レース用フロントカウル部分の製品（バンパー）の型が置かれていた。この型は、ある程度の量を繰り返し生産する為（顧客からの要望）、型自体がカーボンコンポジットで作成されていた。自動車レース用フロントカウル部分は、シート状であるプリプレグを 3 次元に成形する必要がある。1 枚のシートでは貼れないので、複数枚貼る必要がある。その為には、プリプレグを原反から一定量をシート状にカットし、そのシート状のプリプレグを、設計通りに、そしてコンピューターによる計算に基づき無駄なく精密にパターンを切り出す工程が必要となる（プリプレグカット）。

プリプレグカットでは、積層する 1 レイヤー（階層）ごとに切り出すパターンが決定され、カッティングプロッターで切り出す。切り出す際は、アパレル製品が縫い代の設定を行うのと同様に、カーボンコンポジットの場合もラップ（重ね）させる部分を設定し切り出す（ラップさせない場合もある）。カッティングプロッターが設置されている部屋は、扉を閉めた状態であった。

写真 3-1-1 カッティングプロッター 【工程】①

■CUTTING PLOTTER



製造元：島精機製作所  
型式：P-CAM 120C  
裁断エリア：1200 x 3636  
裁断速度：70m/min  
機械精度：±0.5mm

出所) 童夢 Web ページから抜粋。

---

レジャー分野など広範囲な用途に使われている（炭素繊維協会 Web ページ）。

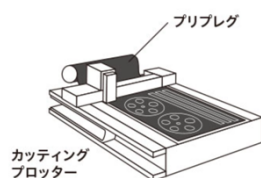


写真 3-1-2 カuttingプロッターの設置場所 【工程】①



出所) 童夢 Web ページ (LAYUP ROOM) から一部抜粋。

<参考 プリプレグカット> 【工程】①



①プリプレグカット

出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法

### 積層【工程】②・バギング【工程】③

次に、カuttingプロッターが設置されている部屋を出て、カットされたプリプレグを積層する作業中の作業者の方の隣で説明を聞いた。作業者は、童夢が作成した手順書(作業要領書)通りに積層作業を実施していた。この「作業要領書」は、童夢オリジナルである積層構成(レイヤー)を指定した図面により作成された作業要領書である。

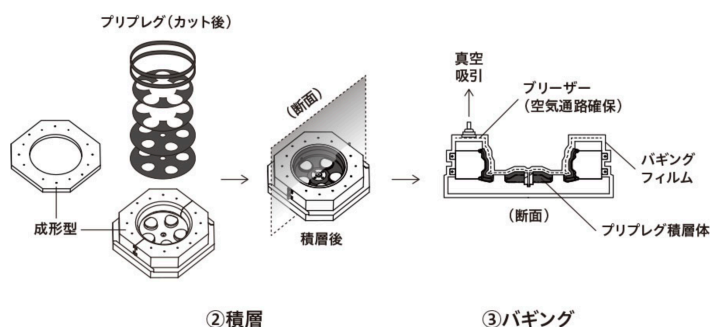
作業者は、「作業要領書」を見ながら、製品ごとに、パターンにカットされた所定のプリプレグをエリアごとに何プライ積むかの指定された枚数を確認して作業を行う(2023年10月19日メールによる追加調査により確認)。異なる強度特性や方向性を実現させるために、手作業が求められる作業と言える。

写真 3-2-0 積層作業場所 【工程】②



出所) 童夢 Web ページ (LAYUP ROOM) から一部抜粋。

<参考 積層・バギング> 【工程】②・【工程】③



出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法

次に、バギング工程を説明する。プリプレグの積層作業では、層間に空気が残らないようにすることが重要である。そのためフィルムバックで、型と積層したプリプレグ全体を覆い密閉し、内包された空気を吸引、かつ、フィルム内を真空化状態とする。これにより積層したプリプレグの型への密着性を高める（東レ・カーボンマジック (株) Webページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法）。

写真 3-2-1 バギング作業場所 【工程】③



出所) 童夢 Web ページ (LAYUP ROOM) から一部抜粋。  
注) 天板が黒いテーブルを一箇所にとめた場所でバギング作業を行っていた。

バギングの材料には複数種類があるが、基本的にナイロン製でチューブ状のバックフィルムを使用し、ブチルテープで密閉し真空で吸引する。以上で、オートクレーブに投入するまでの作業が完成となる。

写真 3-2-2 バギングの材料 【工程】③



出所)  
童夢 Web ページ (LAYUP ROOM) から一部抜粋。  
注) 奥の壁に設置されている白・赤・緑がバギングの材料。

## オートクレーブ（加圧・焼成） 【工程】④

オートクレーブとは、加熱・加圧しながら、真空吸引を継続し、成形品の中から空洞（ボイド）を極力取り除き、成形品を熱硬化させる容器である。オートクレーブでは、昇温／降温含めて約1～8時間程度の時間を必要とする（東レ・カーボンマジック（株）Web ページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法）。童夢は、オートクレーブを2機所有するが、大きくて主力であるオートクレーブ2号機の前で説明を受けた。

写真4 オートクレーブ2号機 【工程】④

### ■AUTO CLAVE

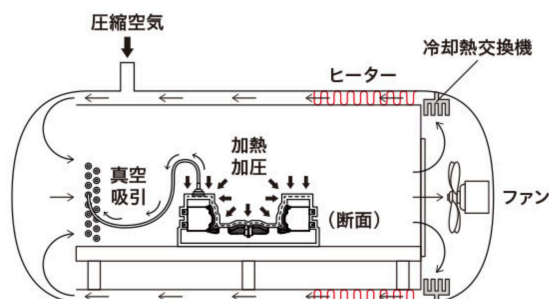


製造元：芦田製作所（奈良県）  
缶内寸法：Φ口径 2000x L 奥行き 3500  
最高温度：250℃  
最高圧力：0.98Mpa

出所) 童夢 Web ページから抜粋。

口径 2M 奥行き 3.5M のオートクレーブでは、おおよそ自動車用の部品(レーシングカー)には十分なサイズであるが、航空機サイズには少し小さい。オートクレーブ内で、焼成するときは、中がヒーターで空気が温められ、熱風が循環する（<参考 オートクレーブ>参照）。更に、容器内は、コンプレッサーで空気を汲み上げて圧力をかける。製品は、個別に真空ポンプで吸引しながら加圧・焼成が行われる。童夢がよく使う硬化温度は 130℃、圧力は 0.3Mpa [メガパスカル] (3b [パール] 相当：3気圧) である。

<参考 オートクレーブ> 【工程】④



### ④オートクレーブ内での加熱・加圧

出所) 東レ・カーボンマジック（株）Webページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法

写真 4-1 オートクレーブ横の管理用 PC 【工程】④



出所) 童夢 Web ページ (AUTO CLAVE) から一部抜粋。

次に、オートクレーブ横の管理用 PC について説明があった (写真 4-1)。

オートクレーブ内を、指定温度まで加熱する時間や、設定温度 (例えば 130℃) で維持する時間などは、すべてプログラムで決められている。調査時は、「7 番」のプログラムが提示された。グラフが示す内容は、縦軸に、温度を赤で、圧力を緑で、横軸に時間が示されていた。また、真空過程もプログラムに含まれている。

更に運転記録が、全て記録されている。どのプログラムで加圧・焼成したのかについても管理している。ただし PC で管理するのは一部であり、全ての記録は手書きによるバックアップをとっている。日付、オートクレーブ内に何が含まれていたかが記録されていた (台帳管理)。これによって、トレーサビリティを可能としている。

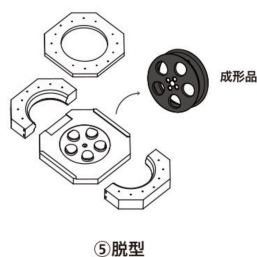
説明時に提示されたオートクレーブ内の温度・圧力を管理するプログラム「7 番」は、登録番号であり、実際によく使うプログラムは 6 種類とのことであった。プリプレグにより固まる樹脂の温度が異なったり、製品の大きさによって熱の入りやすさが異なったりするので、温度・圧力を管理するプログラムの種類を変える。

オートクレーブの加圧・焼成プログラムにより、必ずしも一日一回の焼成とは限らないが、童夢の基本的なサイクルとして、夜間にオートクレーブによる加圧・焼成工程を実施する。朝は、オートクレーブから成形品を取り出し、「離型処理」<sup>31</sup>を行う。そして、型を掃除し (離型)、型にプリプレグを積層し、バギング、そして夕方にオートクレーブの加圧・焼成となる。童夢としては、夜間にオートクレーブを稼働させるので、大きい製品を加圧・焼成する場合は、余剰気味に熱を入れる。これは、保険の意味もある。製品に熱が入っていないと、どうしようもない。

余剰気味に熱を入れる理由は、童夢が行う作業は、繰り返し量産品を生産するわけではないので、効率的な熱硬化のタイミングまでは考慮していないためである。扱う製品は形も様々で、それを混載しているので混載しているものが全部焼けていることが重要である。

<sup>31</sup> 「離型処理」とは、「離型剤」を型に塗ることをいう。「離型剤」とは、離型をしやすくするために使用される薬剤のことである (2023 年 10 月 19 日メールによる追加調査により確認)。

<参考 離型・脱型> 【工程】⑤



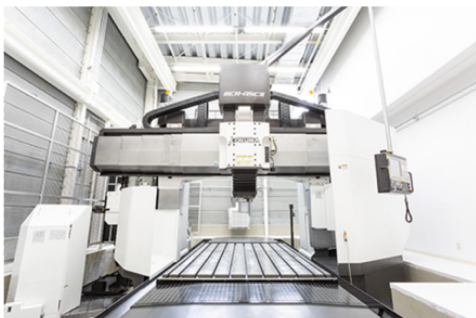
出所) 東レ・カーボンマジック (株) Webページ CFRPの基礎知識 CFRPの成形方法

二次加工 (金属加工) : ⑥・アッセンブリー (組立)・試験・塗装・検査 : ⑦

次に、大型 5 軸加工機を見学した。大型 5 軸加工機の加工可能サイズ (ベッドサイズ) は、オートクレーブのサイズに合わせている。使用用途は、型の切削加工と、金属部品の切削である。

写真 5 大型 5 軸加工機 型製作・【工程】⑥

■ MACHINING CENTER



製造元 : オークマ  
型式 : MCR-A5C II  
ベッドサイズ : 2500 x 3000  
Z ストローク : 800mm  
主軸回転速度 : 30~6000min

出所) 童夢 Web ページから抜粋。

次に、組立スペースを見学したが、扉は閉じられていた。その横並びに、オーブンがある。接着剤の硬化や、離型剤を塗ってから型の温度を上げるために使用される。

写真 6-1 オーブン 【工程】⑤等



製造元 : ANDEX  
サイズ : 2920x 3200x 2360  
最高温度 : 200℃

出所) 童夢 Web ページ (OVEN & PAINT BOOTH) から一部抜粋。

オーブンの右隣には、塗装ブースがあり、型の準備にも用いられる。

写真 6-2-1 塗装ブース 【工程】⑦



塗装ブース  
製造元 : ANDEX  
仕様 : プッシュプル型  
サイズ : 3245x 4220x 2700  
最高温度 : 80℃

出所) 童夢 Web ページから抜粋。

写真 6-2-2 塗装ブースの扉が閉められている状態 【工程】⑦

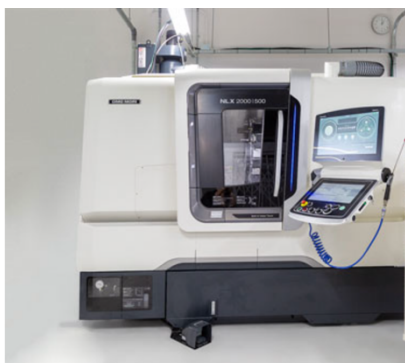


出所) 童夢 Web ページ (OVEN & PAINT BOOTH) から一部抜粋。

塗装ブースの向かい側（塗装ブースの扉が閉められている状態の写真の、見切れている右側にある。）には、型の整理棚があり、石膏型が多く見られた。種類も形も様々で、童夢が多品種少量生産をする証左と考えられる。

続いて金属加工ブースを見学した。「ターニングセンタ」「立形マシニングセンタ」「ワイヤカット」があった（写真 7-1・7-2・7-3）。

写真 7-1 ターニングセンタ



製造元 : DMG MORI  
型式 : NLX2500/500Pr  
仕様 : Y 軸オプション付  
最大加工径 : 460  
最大加工長 : 450

出所) 童夢 Web ページ (MACHINING CENTER) から一部抜粋。

写真 7-2 立形マシニングセンタ



製造元：DMG MORI

I 型式：CMX800V

加工範囲：800x560x510

出所) 童夢 Web ページ (MACHINING CENTER) から一部抜粋。

写真 7-3 ワイヤカット



製造元：ソデック

型式：VL600Q

加工範囲：600x400x270

出所) 童夢 Web ページ (MACHINING CENTER) から一部抜粋。

以上の金属加工機と、大型 5 軸加工機（門型 5 軸と呼称）と合わせて、大抵のものは加工可能とのことであった。金属加工ブースにある 3 つの工作機械は、金属加工にのみに使用している。石膏型などのような様々な材料を加工するのは、門形 5 軸が担っている。

次に、検査ブースを見学した。製品を出荷する際に、幾何公差における平行度の検査などに 3 次元測定器を使用している。

写真 8-1 検査ブース 3 次元測定器 【工程】⑦

■ INSPECTION ROOM



出所) 童夢 Web ページから抜粋。

次に、材料試験機が設置されているブースを見学した。金属やカーボンの物性の試験を行う。特に新しい部品を製作する際には、童夢自ら試験片を作成し強度の確認を実施している。

写真 8-2 材料試験機 【工程】⑦

■ LABORATORY



インストロン試験機

出所) 童夢 Web ページから抜粋。

材料試験機がある部屋には、3D プリンタが設置されていた。主な使用目的は、治具やゲージ作成である。使用材料は、熱可塑性の樹脂であり、炭素繊維を含んだ材料は使用していない。炭素繊維に対応する 3D プリンタは、主として微小な炭素繊維を用いており、童夢が求める強度は得られず用途はない。

#### 工場内設備（レーシング部門）

次に、レーシング部門に関する場所を見学した。調査当日は、レースが頻繁に開催される時期であり、フォーミュラカーは出払っていたが、ホンダシビック(PCR カテゴリ)のレース車両が、メンテナンスを受けていた。童夢は、レース車両のメンテナンス及びパーツ販売の代理店業務を行なっている。メンテナンス作業の他、車両組み立ても行う場所となっている。レース事業と管理・購買・総務の人員は、12~13名となっている。

## 2.7 まとめ

本節では、工場見学を不良品対策と品質管理の 2 点に絞って整理する。オートクレーブ成形は 1 サイクルがどうしても長時間になる。その際、不良が出てしまうと納期などの問題で非常に深刻な問題となることが想像できる。そこで、不良に対する対策や品質管理が重要になる。

#### 不良に対する対策：オートクレーブ成形

オートクレーブ成形後（プリプレグを加圧・焼成後）に、製品不良が発見されることがある。対応策としては、一つ一つの不良に対して、原因を追求して再発防止する。そして、再発防止に対して最も効果的な対策を取る。作業員に対しては、異常に対して敏感であって欲しいと求めている。作業員はベテランが多いが、異常に対して判断して報告するように求めているとのことであった。

童夢が行う作業は、毎日が特殊工程との認識を持っている。例えば、塗装工程と同じだ



とする。塗装を施しても、塗料が材料に適切に密着しているかどうかは、塗装作業完了後にしか判断できない。もし塗装後に、塗料が密着しているかどうかを検査してしまうと、塗装自体が剥がれてしまい、塗装工程自体が無駄になる。そのため、このような検査は、試作・テストで行う。

童夢も同様に、試作・テストで行った工程を、そのまま実践していくことが求められる。特定の形状（パターン）にカットされたプリプレグを、複数枚確実に貼れているか、間に異物が入っていないかを、試作品（パイロット）で確認する。試作品製作過程で確定した工程を繰り返すことが、非常に大切になる。

オートクレーブによる加圧焼成工程も、コンピューターのプログラムにより同じ工程を繰り返し行う。プリプレグも、同じ寸法で切りだされる。積層作業における作業員も、習熟・教育した上で図面や作業書を見て、同じ作業の繰り返しが求められる。以上のような品質管理手法は、たとえ企業規模が大きくなっても、作業・工程の管理に差はない。

ただし顧客のオーダーによって、カーボンコンポジット製品を管理するポイントが変化する。例えば顧客がプリプレグを型に積層する際に、正しく貼り付けられたかを管理してほしいとの要望があった場合は、プリプレグの台紙やフィルムの数を残しておいて管理する手法が考えられる。プリプレグには台紙やフィルムが貼ってあるので、正しくプリプレグを貼り付ける際に、台紙やフィルムを適切に剥がしてプリプレグを貼り付けたことを証明するデータとなる。このような管理は、童夢社内で提案するのではなく、顧客からの要求によるものである。次項で、詳しくまとめる。

#### **品質管理体制について：顧客への対応**

オートクレーブ成形において、製品によるカーボンコンポジット成形の工程自体に差はない。そして、量産規模による差もない。しかし、違いはあるとのことであった。その違いとは、顧客が求める内容に違いがあるとの指摘であった。以下では、顧客による要求の違いを整理する。顧客として、自動車関連、航空機関連、レース関連、医療関連を想定している。

自動車関連の場合、試作品の段階では細かな指示はない。しかし量産段階になると、トレーサビリティが非常に大事になってくる。そして、書類作成及び提出が求められる。

医療関連の場合は、クリーンルームでの作業の実施や、人体に有害な物質を工場内で使用していないか、または在庫していないかの確認が求められる。例えば、マスキングテープを医療関連製品の製造に使用していた場合が挙げられる。マスキングテープ自体は、製品に直接関係はない。しかし、そのマスキングテープが廃盤になった際、童夢が独自に異なる種類のマスキングテープを使用することは認められていない。

このように、顧客によって求める条件が異なる。顧客が求める条件をクリアした上での量産であって、試作レベルの製品を 100 個作ったからといってそれは量産とは言えない。かつて童夢カーボンマジックで実施した量産は、顧客毎に求められる様々な要求を、いかに作業員に伝えるのかが重要であった。

量産を行うまでの童夢では、レース活動においてスピードを重視するとの考えの元、次のレースまでに何とか製品を仕上げるといったものづくりをしていた。しかし量産を行う際は、プリプレグの台紙を必ず剥がしたか、一品一品の製品を確認したかといったものづくりになった。同じカーボンコンポジットの成形工程ではあるが、「違い」がある。その「違い」を、どのように工程に落とし込むか、正確に作業者に浸透させるのかによって不良率に影響が出てくる。作業における機の配置の仕方や物の配置決め、必要な工具の準備などに至るまで確定させる必要がある。

航空機関連の顧客からの要望に対して応えることが困難だとして、「私たちは航空部品はやりません」「私たちは航空部品はできません」というカーボンコンポジット成形企業もあり得る。またクリーンルームなどの設備投資を実施し医療関連顧客に対応したカーボンコンポジット成形企業は、医療関連以外の仕事は断らざるを得ない場合があり得る。医療関連以外の製品製造過程で、人体に有害な物質が紛れ込む可能性があるからだ。しかし童夢は、昔からの社風で比較的何でもやって、トライしようとする文化として根付いてきた。顧客の要望・要求に対して一番の最適解は、製品ごとに「違う」のである。

### 3. おわりに

本調査記録を終えるにあたり、調査対象者の方々から得た空飛ぶクルマに対する情報を以下にまとめる。

#### 3.1 空飛ぶクルマの量産可能性について

オートクレーブ成形で製造する製品個数には、生産サイクル（焼成サイクル）の問題で限界が存在する。それは、年間数千個だという。まずこの年間数千個のオーダーが、市場のニーズに合うかどうか問題となる。童夢の製造関連に所属する12～13人では、数千個のオーダーには対応できない。例えば10万個製造する必要性が出てきた場合、オートクレーブを100台設置する工場が合理的かという問題がある。

世界最大のカーボンコンポジット成形の量産工場は、イタリアのHPコンポジット<sup>32</sup>で、従業員は500人程度とのことであった。高級スポーツカー・フェラーリ向けの製品を製造している。フェラーリのように、高価格帯の商品で販売数が安定していれば成立する（求められる物性と費用の関係）。

オートクレーブは、型代（石膏型など）が安いので、他の成形方法に比べるとイニシャルコストが低い。しかし、製品費は人件費の関係で高額になる。万単位の数量で、オートクレーブ成形を採用する経済的合理性がない。できるだけ物性を落とさずに、連続繊維を使ってプレス成形を実現している加工方法もあるができる形状が限られる<sup>33</sup>。この点で、棲

---

<sup>32</sup> <https://www.hpcomposites.it/en/equipments.html> 参照。

<sup>33</sup> 連続繊維利用の場合は、ホットプレス成形やRTM等が該当する（2023年10月19日メールによる追加調査により確認）。具体的な成形方法については、東レ・カーボンマジック

み分けがされている。

年間 10 万個のニーズが、オートクレーブ成形品で求められて、オートクレーブを 100 台設置しても、仕事が継続しなければ事業として成り立たない。更なる設備投資と人員増を継続して維持できる販売量がなければ、継続できない。また量産実現を想定した場合は、オートクレーブ成形自体を選択することの経済的合理性が低下すると考えられるとの指摘である。

2013 年頃、ドイツの自動車メーカー BMW が、i3、i8 にカーボンコンポジット成形部品を採用した。これを機会に自動車産業でカーボンコンポジット成形部品の量産適応が加速するとの機運が高まった。しかし、現在は自動車産業におけるカーボンコンポジット成形部品の量産適応ブームは去っている。BMW の i3、i8 でカーボンコンポジット成形部品を採用したが、実際はそこまで必要性はなかったし、ユーザーニーズもなかった。街乗り目的（一般的なニーズ）では、カーボンコンポジット成形部品へのニーズはない。

フェラーリのような高付加価値、高価格のイメージに、カーボンコンポジット成形部品は沿うものである。量産向け（一般大衆向け）にカーボンコンポジット成形部品が普及するという動きは、材料メーカーが描くイメージに近い。カーボンコンポジット成形部品は、素晴らしい製品であるが、コストの点で技術的なハードルが存在している。量産向け（一般大衆向け）に普及するのであれば、材料費の低下も必要ではないか。また飛行機へのカーボンコンポジット成形部品の採用も、ボーイング 787 がピークであった。ボーイング 787 の反動で、カーボンコンポジット成形部品の使用率は低下した<sup>34</sup>。

空飛ぶクルマについてであるが、現時点では空飛ぶクルマは量産する対象ではない。法整備等など、超えなければならないハードルが多数存在する。似た事例では、高級自動車や航空機のように高付加価値、高価格であれば、存続できるのではないか。

さらに、国産旅客機 MRJ の問題と同じで空飛ぶクルマには、グローバル戦略の欠如という問題が存在するのではないか。他にも法的な規制や、実際の運行の問題が存在する。

翻って、もしこれらの問題が解決したとしても、需要が 20 台であればカーボンコンポジット成形部品で対応できるが、200 台であれば、カーボンコンポジット成形部品でなくてもよい。空飛ぶクルマは、現在はまだ試作段階であり、規格が確定し、例えば難燃性が規格に付加されると、現在の試作段階での製作過程が量産にそのまま活かせるかどうかはわからない。現状では、空飛ぶクルマは量産対象とはならないとの認識である。

---

(株) Web ページ「CFRP の基礎知識 CFRP とは？」参照。

<sup>34</sup> (公財) 航空機国際共同開発促進基金【解説概要 23-2】によると、ボーイング 787 以降航空宇宙分野での CFRP の使用は増大したが、素材・設備の高コストが課題であると指摘する。そして課題解決の努力を怠ると、アルミ素材に「引き返す道を迎えることにもなりかねないと危惧している」(8 頁：発行年不明)。

### 3.2 レーシングコンストラクターとしての童夢とダラーラ

調査項目は以上であったが、追加質問として以下の内容をお聞きした。日本国内における最高峰のフォーミュラカーレースである「スーパーフォーミュラ」は、特定メーカーの製品を使用したワンメイクレースとなっている（車体はダラーラ製〈SF19〉、タイヤは横浜ゴム製、性能を揃えたトヨタ製・ホンダ製のエンジンを搭載）。またその次のカテゴリーである「全日本スーパーフォーミュラ・ライツ選手権」でも同様に、車体はダラーラ製（ダラーラ 320）が採用されている。現在世界中のレース車両に、ダラーラ・アウトモービリティ社の製品が供給されている<sup>35</sup>。

ワンメイクレースの場合、レースを主催する団体がどのメーカーのシャシーを採用するかを決定する。童夢は、現行の FIA-F4 のシャシーを提供しているが、2024 年からは東レカーボン・マジック製が採用された。今後童夢が、ダラーラ・アウトモービリティ社のようなフォーミュラカーの量産工場になれるかどうかについて質問した。その意図は、童夢がダラーラ・アウトモービリティ社のような量産体制を確立するための課題をお聞きするためである。童夢の現状の設備状況で対応可能かどうか。もし問題があれば、人力的な問題なのか、資金的なものか、どのようなことが必要なのかをお聞きした。

回答として第一に、自動車業界に関連する事柄が存在し、第二に、童夢が極東に位置していることも関連するという。FIA は、フランス・パリにあり、FIA が決定するレギュレーションはヨーロッパ主導である。

童夢自身が、新しいレーシングカーを作っていく事は可能である。ダラーラ・アウトモービリティ社は、ワンメイクシャシーの競争に勝ち続けたメーカーとの認識にある。ダラーラ・アウトモービリティ社は、後発<sup>36</sup>での F3 カテゴリーへの参入であった。当時の F3 は、シャシーは様々なコンストラクターが出られるレースであり、それらのレースでダラーラ・アウトモービリティ社は、優秀さを示した。そして当時、競合していたローラやレイナードなどのレーシングコンストラクターを駆逐した。その後ダラーラ・アウトモービリティ社は、ワンメイク・レースに自社シャシーが採用される方向に経営の舵を切った。その後、ダラーラ・アウトモービリティ社は規模を大きくしていった。ダラーラ・アウトモービリティ社は、経営が上手かったとの認識である。

ダラーラ・アウトモービリティ社は、イタリアに立地する地域性（低い労働賃金）と、レース活動の拠点であるヨーロッパに立地することが優位性であると認識している。レース車両として認可を受ける際には、FIA の指定荷重試験所で認可を受ける必要がある。童夢のように極東に立地していると、輸送費などのコストがかかる。ダラーラ・アウトモービリティ社のようになりたかったメーカーは、数多く存在し、童夢もその内の一つである。

<sup>35</sup> ダラーラ・アウトモービリティ社の簡単な歴史については、小野（2023）参照。

<sup>36</sup> 小野（2023）によると、ダラーラ・アウトモービリティ社のアメリカのオープンホイール・レース（フォーミュラカー）への参戦は、1997 年が初年であった（99 頁）。しかし、ダラーラ・アウトモービリティ社の設立は、1972 年となっている（102 頁）。

## 謝辞

今回の調査を受け入れて下さった松村晃行様、そして多忙な中丁寧な説明・対応をして下さった三谷明様、加藤福人様に対して心から謝意を表したい。なお本稿の内容に関する責は、一切筆者が負うものである。

## 参考文献

林みのる (2009) 『童夢へ』 幻冬舎。

林みのる (2018) 『ブラジャー VS レーシングカー』 第三書館。

平松徹 (2012) 『トコトンやさしい炭素繊維の本』 日刊工業新聞社。

小野光陽 (2023) 「インディ 500 で切り開いた新大陸」 CG (Car Graphic)』 2023 年 10 月号, 98-105 頁

## 報告書

(公財) 航空機国際共同開発促進基金【解説概要 23-2】「複合材の航空機適用への課題と国際競争力強化」

(公財) 航空機国際共同開発促進基金 Web ページ 技術資料提供>航空機等に関する解説概要 <http://www.iadf.or.jp/document/pdf/23-2.pdf> 2023 年 10 月 28 日閲覧。

『炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の開発と市場 2020』 シーエムシー出版。

## 新聞

「空飛ぶクルマ、離陸間近 パリ航空ショー、初の専用エリア 開発企業の顔ぶれ多彩」『日本経済新聞』 2023 年 6 月 20 日朝刊。

「ニデック永守氏、後継「株価上げる人に」 幹部 5 人から選抜 (株主総会 2023)」『日本経済新聞』 2023 年 6 月 21 日朝刊。

「パナソニック、空調 1700 億円 国内生産回帰や開発に投資」『日本経済新聞』 2023 年 7 月 19 日朝刊。

「基準地価回復、地方に波及」『日本経済新聞』 2023 年 9 月 20 日朝刊。

## Web

株式会社童夢 Web ページ

<https://www.dome.co.jp/index.html> 2023 年 10 月 10 日閲覧。

童夢 News & Report <Nov.16.2001> 『株式会社 童夢カーボンマジック』設立のご案内」

[https://www.dome.co.jp/news/news/news\\_report\\_011116.html](https://www.dome.co.jp/news/news/news_report_011116.html) 2023 年 10 月 19 日閲覧。

童夢 News & Report <Jul.01.2005>

「童夢コンポジット・タイランド設立のお知らせ」

[https://www.dome.co.jp/news/news/news\\_report\\_050701.html](https://www.dome.co.jp/news/news/news_report_050701.html) 2023 年 10 月 10 日閲覧。

童夢 News & Report <Apr.13.2006 >

「大盛況でした。DOME 桜 FESTA」

[https://www.dome.co.jp/news/news/news\\_report\\_060413.html](https://www.dome.co.jp/news/news/news_report_060413.html) 2023年10月10日閲覧。

童夢 News & Report <Mar.18.2013 NEWS RELEASE >

「株式会社 童夢カーボン・マジックの売却について」

[https://www.dome.co.jp/news/news/dt\\_122.html](https://www.dome.co.jp/news/news/dt_122.html) 2023年10月10日閲覧。

童夢 News & Report <May.23.2013 >

『I SAKU PROJECT』発進します。ロードゴーイング スポーツカーの開発について」

[https://www.dome.co.jp/news/news/dt\\_124.html](https://www.dome.co.jp/news/news/dt_124.html) 2023年10月10日閲覧。

童夢 News <Nov.08 2017 >

「このたび株式会社 童夢は安全保障貿易管理を実施している企業として認定されました。」

[https://www.dome.co.jp/news\\_n/news\\_20171104.html](https://www.dome.co.jp/news_n/news_20171104.html) 2023年10月10日閲覧。

童夢 News <Mar.14 2019 >

「童夢 新 CFRP 開発・生産拠点 『童夢 Advanced Carbon Laboratory』を稼働。最新、高品質の CFRP 製品を速やかに提供できる環境が完成」

[https://www.dome.co.jp/news\\_n/news\\_20190314.html](https://www.dome.co.jp/news_n/news_20190314.html) 2023年10月10日閲覧。

童夢 News <Mar.29 2019 >

「童夢の 50%スケール・ムービングベルト風洞施設『風流舎』を4月1日より運用」

[https://www.dome.co.jp/news\\_n/news\\_20190329.html](https://www.dome.co.jp/news_n/news_20190329.html) 2023年10月10日閲覧。

FIA (国際自動車連盟) Web ページ

<https://www.fia.com/> 2023年10月14日閲覧。

F4 JAPANESE CHAMPIONSHIP Web ページ

<https://fiaf4.wordpress.com/> 2023年10月14日閲覧。

藤原よしお (2012) 「2012.05.04 Friday DOME S102.5 鮎子田さんのスパ便り」

『Motor Press (モータープレス藤原よしおの極個人的自動車偏愛日記)』

<http://motorpress.jugem.jp/?eid=530> 2023年10月14日閲覧。

藤原よしお (2019a) 「クールジャパン」のレーシングコンストラクターが復活！ 再び動き出した「童夢の野望」とは？ (前編) 『LEVOLNT CARS MEET WEB』2019/03/06 19:00

<https://carsmeet.jp/2019/03/06/93075/> 2023年10月2日閲覧。

藤原よしお (2019b) 「クールジャパン」のレーシングコンストラクターが復活！ 再び動き出した「童夢の野望」とは？ (後編) 『LEVOLNT CARS MEET WEB』2019/03/12 07:15

<https://carsmeet.jp/2019/03/12/93167/> 2023年10月2日閲覧。

株式会社キーエンス Web ページ「幾何交差の基礎と測定ノウハウゼロからわかる幾何公差」

<https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/gd-and-t/basic/about.jsp> 2023年10月14日閲覧。

気象庁 Web ページ 過去の気象データ検索 (滋賀県米原)

[https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/hourly\\_a1.php?prec\\_no=60&block\\_no=1524&year=2023&month=9&day=7&view=](https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/hourly_a1.php?prec_no=60&block_no=1524&year=2023&month=9&day=7&view=) 2023年9月25日閲覧。

『mortorsports.com』 Web ページ「特集 | F1 マシンはどのように作られる? 製造工程や品質管理、その値段は? 2022/04/29 12:30」

<https://jp.motorsport.com/f1/news/insiders-guide-how-is-an-f1-car-made/9981325/>

2023年10月14日閲覧。

パナソニックホールディングス株式会社プレスリリース<2023年6月22日>「日本向け住宅システム機器の研究開発、生産体制を強化」

<https://news.panasonic.com/jp/press/jn230622-1> 2023年9月25日閲覧。

株式会社 SkyDrive プレスリリース<2023年6月19日その1>

「空飛ぶクルマ、仕様変更等のお知らせ」

<https://skydrive2020.com/archives/37772> 2023年9月25日閲覧。

株式会社 SkyDrive プレスリリース<2023年6月19日その2>

「空飛ぶクルマの製造に向け、スズキと基本合意」

<https://skydrive2020.com/archives/37769> 2023年9月25日閲覧。

株式会社 SkyDrive プレスリリース<2022年7月18日>

「型式証明取得に向け進捗。東レ・カーボンマジックと複合材機体構造の開発を推進、「材料適合性試験」を開始」

<https://skydrive2020.com/archives/13665> 2023年9月25日閲覧。

空の移動革命に向けた官民協議会(2023)「資料4 空飛ぶクルマの運用概念 ConOps 本文案」国土交通省 Web ページ第9回(2023年3月31日開催資料)

<https://www.mlit.go.jp/common/001598463.pdf> 2023年9月25日閲覧。

炭素繊維協会 Web ページ

<https://www.carbonfiber.gr.jp/contact/index.html> 2023年10月7日閲覧。

東レ株式会社ニュースルーム<2013年3月18日>

「株式会社童夢カーボンマジックの買収について」

<https://www.toray.co.jp/news/details/20130318000903.html> 2023年10月10日閲覧。

東レ・カーボンマジック株式会社プレスリリース<2022年7月27日>

「SkyDrive 社の「空飛ぶクルマ」実装に向けて」

[https://www.carbonmagic.com/news/news\\_20220727.html](https://www.carbonmagic.com/news/news_20220727.html) 2023年9月25日閲覧。

東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ

「会社概要」

[https://www.carbonmagic.com/aboutus/abo\\_01.html](https://www.carbonmagic.com/aboutus/abo_01.html) 2023年10月10日閲覧。

東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ

「企業情報 沿革」

[https://www.carbonmagic.com/aboutus/abo\\_05.html](https://www.carbonmagic.com/aboutus/abo_05.html) 2023年9月25日閲覧。

東レ・カーボンマジック株式会社 Web ページ

「製品事例 次世代 FIA-F4 マシン『MCS4-24』」

[https://www.carbonmagic.com/products/69\\_detail.html](https://www.carbonmagic.com/products/69_detail.html) 2023年10月10日閲覧。

東レ・カーボンマジック (株) Webページ

CFRP の基礎知識 CFRP とは？

<https://www.carbonmagic.com/cfrp/about.html> 2023年10月10日閲覧。

東レ・カーボンマジック (株) Webページ

CFRP の基礎知識 CFRP の成形方法

<https://www.carbonmagic.com/cfrp/molding.html> 2023年10月10日閲覧。

東レ・カーボンマジック (株) Webページ

製造工程・設備

[https://www.carbonmagic.com/process\\_facility.html](https://www.carbonmagic.com/process_facility.html) 2023年10月14日閲覧。

YouTube

童夢 S102 伊藤大輔 夢への挑戦【Best MOTORing】2008

[https://www.youtube.com/watch?v=yK\\_T\\_9DPmEU](https://www.youtube.com/watch?v=yK_T_9DPmEU) 2023年10月5日閲覧。

以上 (2023年11月1日)。