

## FRP引抜成形品『プラアロイ®』の特徴と 太陽光発電用架台への適用事例の紹介

### Characteristics of pultrusion FRP『Plalloy™』 and introduction of application case to solar module mounting frame

金野智広\*・鈴木俊文\*\*・西田賢二\*・加藤恒之\*\*\*・高橋慎司\*

Tomohiro Konno, Toshifumi Suzuki, Kenji Nishida, Tsuneyuki Kato  
and Shinji Takahashi

---

FRPは、他材料と比較して様々な優位性があり、その特徴から、薬品タンク等の環境・化学分野、そして建材、意匠材といった建築・土木分野だけに留まらず、現在では、自動車、鉄道・車両、電気・電子等の様々な分野における製品の素材として使用実績がある。

AGCマテックス(株)では、50年以上にもわたり、主力である引抜成形FRPの製造に携わっており、お客様からの多種多様な形状、そして要求物性に応えるべく、開発を継続してきた。

本稿では、引抜成形品『プラアロイ®』について、使用原材料、成形プロセス、そして成形品の機械的特性及び特徴について、簡単に説明し、更には、本材料の特性を活かした、最近の大型適用事例である太陽光発電用架台への取り組みについて紹介する。

Fiber reinforced plastic (FRP) has various characteristic advantages comparing with other materials.

FRP is used as a material of the product not only in the fields of environment and chemicals such as chemical tank, and in the field of civil engineering and construction such as building and design materials, but also in the fields of automobile, railway, railroad vehicle, electrics, and electronics, etc. in recent years. AGC Matex Co.,Ltd. has been producing pultrusion FRP as a core product for more than 50 years, and continuing the development of various kinds of shapes and properties for the request of customers.

Here, we briefly describe the raw materials, the molding process, the mechanical properties and characteristics of the molded product, pultrusion FRP “Plalloy™”, and also introduce the approach to solar module mounting frames as a recent large size application with using the characteristics of the product.

---

\*AGCマテックス(株) 技術部 Engineering dept. AGC Matex Co.,Ltd.

\*\*AGCマテックス(株) 市場開発室 Market Development Office AGC Matex Co.,Ltd.

\*\*\*AGCマテックス(株) 製造部 Production dept. AGC Matex Co.,Ltd.

## 1. はじめに

引抜成形法の歴史は古く、1950年代にアメリカの Brandt Goldsworthy が、機械による引抜成形の基本概念を確立し、1960年代から工業化された成形方法である<sup>(1)</sup>。当時の引抜成形は、縦引き（すなわち天井から地面に向かって、もしくは、その天地逆方向で引抜く方法）による成形であったが、現在では、横引き（地面に対して水平に引抜く方法）での成形が主流になっており、近年では、熱可塑性樹脂による引抜成形の研究開発も盛んである<sup>(2)</sup>。日本でも1960年代頃から、本格的に引抜設備の導入や技術開発を進め、熱硬化性樹脂による引抜材の商業生産を開始したが、現在では、各引抜成形メーカーが独自の成形技術や特徴を生かし、多岐に渡って用途展開を行っている。

AGCマテックス(株)としても、多分に洩れず、国内引抜成形FRP材のリーディングカンパニーとして、各分野への参入を目論み、展開を進めており、以下の項において、FRP引抜成形品『プラアロイ<sup>®</sup>』の特徴、原材料、成形プロセスに関して説明し、加えて新用途への適用について紹介する。

## 2. FRP引抜成形品『プラアロイ<sup>®</sup>』の特長

本製品の特長は、以下の通りである。

### 【長所】

- 一定断面形状の製品を連続的に成形でき、理論上、長さはエンドレスで成形可能。
- 金型成形のため、内面、外面に関係なく、滑面が得られる。
- 長手方向の物性（強度、弾性率）が優れている。
- 通常の手積積層（ハンドレイアップ成形）と比較して、強化繊維基材の含有量を多く投入可能。
- 連続生産のため、生産性が高い。

### 【短所】

- 成形上で表面のエンボス形状（凹凸形状）の付与が不可能（後加工では可能）。
- 一般的に、幅方向の物性（主に強度、弾性率）が、長手方向と比較して低い。
- 型組みから成形までの前準備に時間を費やすため、小ロット生産には不向き。

## 3. 原材料

### 3.1 繊維強化基材

繊維強化基材としては、一方向連続繊維のガラスロービングやカーボントウや、等方性であるガラス繊維やカーボン繊維のマットまたは織物（コンティニュアストランドマット、クロス等）が使用されており、引抜材の板厚方向から、“マット／連続繊維／マット”と配置するのが一般的な基材構成である。また、パイプ形状等で周方向を強化したい場合には、一方向連続繊維を長手に対して直交方向にワインディングする方

法もある。

さらには、FRPを屋外で長期的に使用すると、Fig.1のように、紫外線、雨水、砂塵などによって、主として外表面が化学的、物理的な劣化を起こし、最外層のガラス繊維が浮き出る現象が発生しやすい<sup>(3)</sup>。よって、屋外で使用する場合や表面に耐食層を設けた場合などには、上記劣化を遅延させる目的で、ポリエステル製不織布を表面に配置する事で樹脂リッチ層を形成させる場合が多い。但し、不織布の厚みや施工・設置環境にもよるが、不織布を入れてもガラス繊維の露出に対する耐久性は、経験的に5～10年が目安で、それ以上はフッ素塗料などで塗装を施す事が非常に効果的である（Fig.2）。



Fig.1 The specimen of outdoor weathering test.  
(left : before, right : after)  
※Place : Saitama pref.,  
Elapsed time : 33years



※Place : Kanagawa pref.,  
Elapsed time : 23years

※Fluororesin paint “Bonnflo” produced by AGC Coat-Tech Co.,Ltd.  
→No defect was detected on the surface.

Fig.2 The specimen with fluororesin paint of outdoor weathering test.

### 3.2 樹脂（マトリックス）

樹脂としては、不飽和ポリエステル樹脂（UP樹脂）、ビニルエステル樹脂（VE樹脂）などの熱硬化性樹脂が一般的で、超耐食性、超高強度、耐高温性など、特殊な用途を対象とした製品の場合には、エポキ

シ樹脂 (EP樹脂)、フェノール樹脂 (PH樹脂) などが使用される。樹脂の選択は、用途や要求品質などによって異なるが、最も汎用的に使用されている樹脂は、コストパフォーマンスに優れたUP樹脂であり、次いで、UP樹脂と比較し、より機械的物性と耐アルカリ性に優れるVE樹脂である。また、比較的、特殊用途であるEP樹脂は、カーボン繊維を使用した成形品や基盤・電設用途などに多く使用されている。また、補足として、最近では、カーボン繊維と相性がよく、EP樹脂よりも生産性も高い引抜成形用樹脂が樹脂メーカーから紹介されている<sup>(4)</sup>。

引抜成形の場合、熱硬化性樹脂は、熱をかけて3次元架橋反応 (ラジカル重合反応) を促進させる事で樹脂を硬化させるため<sup>(5)</sup>、調合時には中～高温での分解特性を有する硬化剤を配合する。

また、加えて、他の添加剤として、離型剤、顔料、充填材なども添加する。ここで充填材を添加する目的は、主として製品中の繊維基材量を減らし、コストダウンするため、炭酸カルシウムが用いられる事が多いが、一方で、難燃性の効果を付加させる場合には水酸化アルミニウムを添加する場合が多い。

但し、引抜成形品が耐食用途で使用される場合には、樹脂の選択以外にも、酸、アルカリの環境に応じて、充填材の種類も適正に選択すべきである。樹脂は硬化すると、硬化収縮が発生するため<sup>(6)</sup>、完成した製品は、所定の金型寸法より小さい寸法になる傾向がある。さらに、板厚が厚い引抜材は、樹脂の硬化時の収縮や発熱により、断面にクラックが入りやすくなる傾向がある。そのため、金型寸法に近い成形品を得たり、断面クラックの防止などの目的で、樹脂 (特に、不飽和ポリエステル樹脂) に低収縮剤を配合する場合がある。この低収縮剤には、ポリスチレン (PS) や酢酸ビニル (PVAc) などの熱可塑性樹脂が使用されており、樹脂との相溶性によって低収縮効果の発現方法が異なるほか、樹脂と低収縮剤の種類の間でも、低収縮化の度合いが異なる<sup>(7)</sup>。

## 4. 成形プロセス

Fig.3に引抜成形の成形プロセスを示す<sup>(8)</sup>。

金型への繊維強化基材の導入は、金型に対して最短距離になる様に、かつ、繊維の変形及び損傷が極力小さくする様に配置し、あらかじめ成形品断面に近い形状にプリフォームした状態で導かれる。

引抜成形における技術的なポイントの一つは、この繊維強化基材を金型入口までスムーズに導くための導入ガイド類の設計技術であり、各引抜メーカーは、独自のガイド技術を有している。この導入時の工程が不十分であると、成形上及び製品のトラブル、例えば、各種繊維強化基材が損傷及び欠損し、金型入口で詰まったり、金型内で繊維強化基材が不均一な分布での配向のまま、硬化する事により、当該成形品の設計上の強度と比較して、機械的物性の低下、製品表面の粗面化、等を招く場合がある。

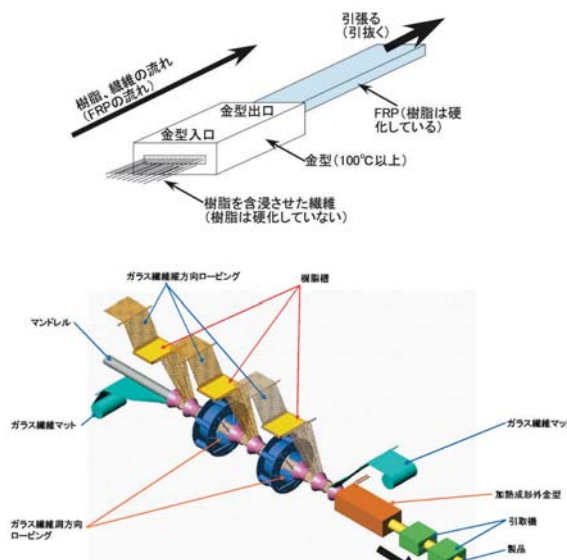


Fig.3 Example of pultrusion process. (continuous process)

※Product of flat-board and pipe-shapes.

また、樹脂の含浸方法は、一般的に、Fig.4のような2種類の方法があり、①開放式の含浸槽を用いる場合と②密閉式のチャンバー内での加圧含浸方法をとる場合、がある<sup>(9)</sup>。開放式の場合は、局所排気など作業環境への対策が必要であるが、繊維状態の監視がしやすく、含浸状況の確認、その他のメンテナンスも比較的容易である。一方、密閉式の場合は、樹脂がほとんど外気に接することもなく作業環境上は好ましいが、チャンバー内での含浸時の脱泡 (空気の除去) を実施しなければ、樹脂が未含浸の部分が発生する可能性もあり、成形硬化後に、製品として完成した後では、その含浸状況を確認し難いという欠点もある。

以上の事から、現在の主流としては、含浸槽方式を採用している引抜メーカーが多い。

樹脂の硬化方法は、金型を加熱することによって硬化を行なう。金型に導入した原材料は、金型入り口において繊維強化基材に含浸した余剰樹脂を排出するプロセス (樹脂槽式の場合) の後、金型内で加熱される際に発生する樹脂の膨張圧によって、金型内に大きな内圧が発生する。

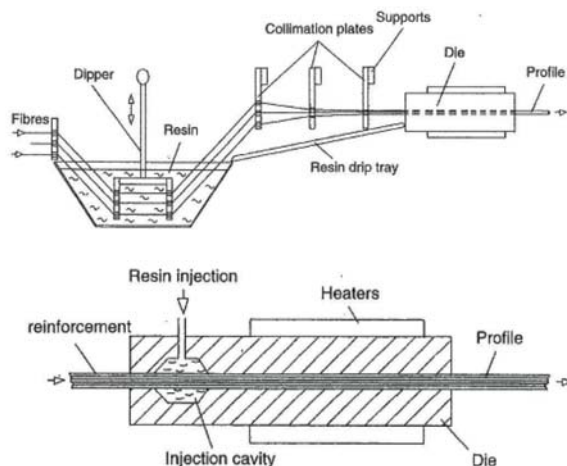


Fig.4 Resin soak process.

引抜成形品の品質は、この内圧によって成形品内のボイド発生が抑制されて安定化する。この引抜成形時の金型内の内圧力は、0.4~1.4MPa (約4~14kgf/cm<sup>2</sup>) という文献データもある<sup>(10)</sup>。金型内では液状樹脂の温度上昇による低粘度化と膨張、硬化進行によるゲル化、硬化による強度発現と収縮が、入口側から出口に向かって連続的に進行することで、表面状態のよい成形品が得られることになる。

Fig.5は、金型内での樹脂硬化までの過程を模式図で表現したものである<sup>(11)</sup>。樹脂硬化の際のポイントは、当然の事ながら、金型内で樹脂硬化を完結させることが重要で、製品が金型内に滞在している間に、樹脂の最高発熱温度を発生させる必要がある。もし仮に、金型出口から成形品が出たあとに樹脂の最高発熱温度に達した場合には硬化反応が進行中である事から、成形品には未硬化や膨れ（表面が膨らむ現象）などといった不具合現象が発生する可能性が高くなる。

金型は、所定の成形品断面に加工された鋼材の内表面に、クロムメッキなどのメッキを施したものが使用されている。金型長さは、一般的に1m前後である。また、加熱方式は、ヒーター加熱が主流で、加熱温度は、樹脂によっても異なるが、不飽和ポリエステル樹脂であれば、100~160℃である。

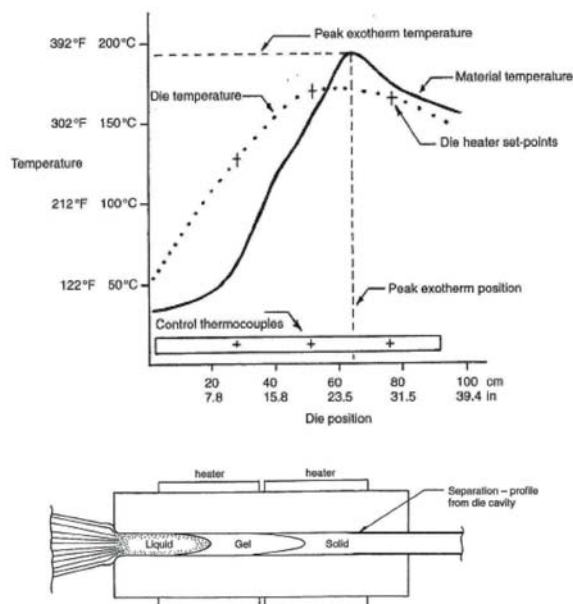


Fig.5 The state of the resin and the temperature in the metallic mold.

引取方法は、引取機によって原材料を金型へ引き込む仕組みであるが、引抜成形での引取は、成形品と引取機との接触面における摩擦力に依存している。よって、引取機のアタッチメントには、成形品を圧縮することにより、破壊が発生しないような工夫（特に、パイプ等の中空構造の成形品が対象）が必要となる。

ここで、引取機には、①グリッパー方式、②キャタピラ方式、の2種類に大別される。製品を金型から引抜くためには、金型内表面と成形製品面の接触で発生する抵抗力以上の力が必要となるが、通常、成形品の

断面積が大きいほど引取抵抗が高く、また、硬化収縮の小さい樹脂（低収縮剤添加の樹脂等）または、金型表面と接着性が高い樹脂（EP樹脂等）同様の傾向がある。

また引取機は、引取能力が100kN (約10tonf) 程度の装置が主流であるが、近年では、最大で500kN (約50tonf) 前後の設備も製作されている。このように成形された引抜材は、工程の最後で、所定の長さに切断され、素材としての最終製品となる。

## 5. 『プラアロイ®』の断面形状について

FRP引抜成形品『プラアロイ®』は、JIS規格 (JIS K 7015: 繊維強化プラスチック引抜材) で規定された材料であり、本規格で定められた原材料、製品寸法公差、形状の種類、物性区分、試験方法などに準拠した内容となっている。

Table 1は型材、Table 2は棒材の機械的物性の区分表である<sup>(12)</sup>。表中の“型材”は、強化材として表層にマット材がある場合、“棒材（中実材）”は、強化材が全て一方向材である場合と考えて問題ない。

引抜成形材は、トータルの繊維体積含有率Vfが変わらない場合は、長手方向（引抜方向）の物性が高くなると幅方向の物性が低くなり、幅方向の物性が高くなると長手方向の物性が低くなる傾向 (Table 1のG1、G2、G3との比較) がある。

一方、Vfが高ければ、一般的に物性は高くなる傾向 (Table 2のG4、G5、G6との比較) がある。

Table 3は、断面形状の一例である<sup>(13)</sup>。アングル材、チャンネル材などの開断面形状や、丸パイプ材、角パイプ材、パネル材などの閉断面形状、さらに、板材、ロッド材などの中実材など、多種多様な形状の成形が可能である。

## 6. 引抜材の用途事例

引抜材の用途として、GFRPでは、高強度、絶縁性、耐食性、電波透過性の特徴から、橋梁などの建築構造部材、空港フェンス、アンテナカバー、電力・光ファイバー用ケーブル保護管などに、CFRPでは、GFRPに比べてより軽量、高強度、高剛性の特徴から、耐震補強部材、航空構造部材、シャフト関連などに使用されている<sup>(14,15)</sup>。以下では、最近の当社引抜材での新規用途事例として、太陽光発電用架台について紹介する。

### 6.1 太陽光発電用架台市場への取り組み及び参入について<sup>(16)</sup>

我が国の太陽光発電市場はRPS制度（電力事業者に一定量の再生可能エネルギーの導入を義務付ける制度、2003年～）や余剰電力買取制度（自家消費して余った分を電力事業者が買い取る制度、2009年～）の下、家庭用を中心に拡大してきた。加えて、2012年7月にスタートした再生可能エネルギーの固定価格

Table 1 Division mechanical characteristics of pultrusion FRP. (JIS K 7015)

| 特性区分  |      | G1               | G2        | G3        | G1S       | G2S       |
|-------|------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 引張強さ  | 長さ方向 | 230<br>MPa<br>以上 | 250<br>以上 | 350<br>以上 | 230<br>以上 | 300<br>以上 |
|       | 幅方向  | 60<br>MPa<br>以上  | 30<br>以上  | 20<br>以上  | 110<br>以上 | 90<br>以上  |
| 引張弾性率 | 長さ方向 | 17<br>GPa<br>以上  | 20<br>以上  | 24<br>以上  | 18<br>以上  | 25<br>以上  |
|       | 幅方向  | 180<br>MPa<br>以上 | 250<br>以上 | 300<br>以上 | 180<br>以上 | 250<br>以上 |
| 曲げ強さ  | 長さ方向 | 150<br>MPa<br>以上 | 100<br>以上 | 70<br>以上  | 200<br>以上 | 150<br>以上 |
|       | 幅方向  | 9<br>GPa<br>以上   | 10<br>以上  | 12<br>以上  | 9<br>以上   | 12<br>以上  |

**注記** 特性区分の説明  
 G1：長さ方向主体で長さ方向を強化する強化材が比較的割合が少ないもの。  
 G2：G1とG3との中間的な機械的特性のもの。  
 G3：長さ方向主体で長さ方向を強化する強化材が比較的割合が多いもの。  
 G1S：幅方向強化材を最大限に配した繊維構成のもの。  
 G2S：幅方向強化材が比較的多いもの。

Table 2 Division mechanical characteristics of pultrusion rod-shape FRP. (JIS K 7015)

| 特性区分  |      | G4               | G5        | G6         |
|-------|------|------------------|-----------|------------|
| 引張強さ  | 長さ方向 | 500<br>MPa<br>以上 | 750<br>以上 | 1000<br>以上 |
|       | 幅方向  | 30<br>GPa<br>以上  | 37<br>以上  | 44<br>以上   |
| 引張弾性率 | 長さ方向 | 500<br>MPa<br>以上 | 850<br>以上 | 1200<br>以上 |
|       | 幅方向  | 26<br>GPa<br>以上  | 32<br>以上  | 39<br>以上   |

**注記** 特性区分の説明  
 G4~G6：ガラスロービングを主体とした繊維構成のもの。

Table 3 Example of the cross-sectional shape of pultrusion FRP. (JIS K 7015)

| 一般品    |         | 規格   |     | 一般品      |     | 規格   |     | 中空品 |          | 規格    |     | 中空品    |         | 規格     |         | 中空品     |       | 規格    |      | ロッド |    | 規格 |  |
|--------|---------|------|-----|----------|-----|------|-----|-----|----------|-------|-----|--------|---------|--------|---------|---------|-------|-------|------|-----|----|----|--|
| 品名     | 品種      | A    | t   | 品名       | 品種  | A    | t   | 品名  | 品種       | A     | t   | 品名     | 品種      | A      | t       | 品名      | 品種    | A     | t    | 品名  | 品種 | A  |  |
| フラットバー | F7004   | 7    | 4   | C3024    | 30  | 24   | 4.2 | 4.2 | RP2214   | 22    | 14  | 3      | AT116   | 116    | 13      | AT179   | 79    | 74    | R2   | 2   |    |    |  |
|        | F1806   | 16   | 6   | C2030    | 20  | 30   | 4   | 4   | RP4025   | 40    | 25  | 3      | AT180   | 180    | 12      | AT180   | 80    | 70    | R3   | 3   |    |    |  |
|        | F2095   | 20   | 5   | C4020    | 40  | 20   | 3   | 3   | RP6025   | 60    | 25  | 3      | AT180-2 | 180    | 12      | AT183   | 83    | 75    | R3.5 | 3.5 |    |    |  |
|        | F2595   | 25   | 5   | C4024    | 40  | 24   | 3   | 3.5 | RP212-1  | 52    | 32  | 3      | AT21    | 21     | 14      | AT191-1 | 88    | 8     | R4   | 4   |    |    |  |
|        | F3296   | 32   | 6   | C4528    | 45  | 28   | 4   | 6.3 | RP212-2  | 52    | 32  | 5      | AT25    | 25     | 20      | AT89-2  | 89    | 80    | R5   | 5   |    |    |  |
|        | F4006   | 40   | 6   | C5025-1  | 50  | 24.5 | 3.3 | 3.4 | RP630    | 60    | 30  | 4      | AT26    | 26     | 20      | AT89-3  | 89    | 20    | R6   | 6   |    |    |  |
|        | F4010   | 40   | 10  | C5025-2  | 50  | 25   | 4   | 4   | RP630-2  | 60    | 32  | 4      | AT27-1  | 27     | 23      | AT109   | 109   | 102   | R7   | 7   |    |    |  |
|        | F4516   | 45   | 16  | C6028    | 60  | 28   | 3.4 | 3.8 | RP630-3  | 65    | 30  | 3.1    | AT27-2  | 27     | 21      | AT114   | 114   | 104   | R8   | 8   |    |    |  |
|        | F5004   | 50   | 4.5 | C6625    | 65  | 4    | 25  | 3.6 | 4.2      | RP836 | 80  | 36     | 5       | AT27-3 | 27      | 20      | AT133 | 133   | 126  | R9  | 9  |    |  |
|        | F6504   | 65   | 4   | C8027    | 80  | 28   | 4   | 4   | RP1002   | 100   | 22  | 5.5    | AT28    | 28     | 21      | AT139-1 | 139   | 130   | R10  | 10  |    |    |  |
|        | F7304   | 75   | 4.5 | C7030-1  | 70  | 30   | 4   | 4.5 | RP15075  | 150   | 75  | 4.75   | AT20-1  | 30     | 24      | AT139-2 | 139   | 120   | R12  | 12  |    |    |  |
|        | F7904   | 90   | 4   | C7030-2  | 70  | 30   | 4.5 | 4.5 | RP18070  | 180   | 70  | 5.5    | AT20-2  | 30     | 23      | AT157   | 156   | 8     | R13  | 13  |    |    |  |
|        | F10005  | 100  | 5   | C7510    | 75  | 10   | 5   | 5   | RP210110 | 210   | 110 | 5      | AT23    | 33     | 26      | AT159-1 | 159   | 151   | R14  | 14  |    |    |  |
|        | F10006  | 100  | 6   | C7320    | 75  | 20   | 5   | 5   | RP250150 | 250   | 150 | 6      | AT24-1  | 34     | 28      | AT159-2 | 159   | 150   | R15  | 15  |    |    |  |
|        | F13006  | 130  | 6   | C7325-1  | 75  | 35   | 5   | 5   |          |       |     | AT24-2 | 34      | 26     | AT165-1 | 165     | 152   | R16   | 16   |     |    |    |  |
|        | F64506  | 645  | 5   | C7325-2  | 75  | 35   | 5   | 6   |          |       |     | AT26   | 35      | 28     | AT165-2 | 165     | 135   | R18   | 18   |     |    |    |  |
|        | F78003  | 780  | 3.2 | C7540    | 75  | 40   | 5   | 5   |          |       |     | AT40   | 40      | 33     | AT185   | 185     | 175   | R20   | 20   |     |    |    |  |
|        | F100004 | 1000 | 4   | C7822    | 76  | 22   | 6.4 | 6.4 |          |       |     | AT42   | 42      | 35     | AT186   | 186     | 167   | R22   | 22   |     |    |    |  |
|        | F100005 | 1000 | 5   | C7832    | 76  | 32   | 6.4 | 6.4 |          |       |     | AT49-1 | 49      | 43     | AT187   | 187     | 152   |       |      |     |    |    |  |
|        | F50098  | 50   | 9   | C8550    | 85  | 50   | 5   | 5   | SP40     | 40    | 6   | AT49-2 | 49      | 39     | AT189   | 189     | 185   |       |      |     |    |    |  |
|        | F65098  | 65   | 9   | C10017   | 100 | 17   | 5   | 5   | SP48     | 48    | 4   | AT20-1 | 50      | 44     | AT212   | 212     | 200   |       |      |     |    |    |  |
|        | F65128  | 65   | 12  | C10020-1 | 100 | 20   | 5   | 5   | SP50     | 50    | 4   | AT20-2 | 50      | 42     | AT213-1 | 213     | 202   |       |      |     |    |    |  |
|        | F73098  | 75   | 9   | C10020-2 | 100 | 22   | 5   | 5   | SP60-1   | 60    | 3.7 | AT22   | 52      | 44     | AT213-2 | 213     | 183   |       |      |     |    |    |  |
|        | F75128  | 75   | 12  | C10030   | 100 | 30   | 5   | 5   | SP60-2   | 60    | 5   | AT26   | 56      | 50     | AT214   | 214     | 200   |       |      |     |    |    |  |
|        | F100098 | 100  | 9   | C10036   | 100 | 36   | 5   | 5   | SP60-3   | 60    | 4.5 | AT60   | 60      | 55     | AT216   | 216     | 201   |       |      |     |    |    |  |
|        | F100128 | 100  | 12  | C10048   | 100 | 48   | 6.3 | 6.3 | SP62     | 62    | 3.5 | AT61-1 | 60      | 5      | AT260   | 260     | 250   |       |      |     |    |    |  |
|        | F100148 | 100  | 14  | C10050-1 | 100 | 50   | 5   | 5   | SP75-1   | 75    | 2.5 | AT61-2 | 60      | 8      | AT267   | 267     | 251   |       |      |     |    |    |  |
|        | F125148 | 125  | 14  | C10050-2 | 100 | 50   | 5   | 6   | SP75-2   | 75    | 5   | AT63   | 63      | 54     | AT310   | 309     | 5     | AT300 | 300  | 5   |    |    |  |
|        | F165168 | 165  | 16  | C11118   | 111 | 18   | 3   | 3   | SP75-3   | 75    | 7.5 | AT76   | 76      | 3      | AT319   | 318     | 5     | AT300 | 300  | 5   |    |    |  |
|        |         |      |     | C12060   | 120 | 60   | 5   | 5   | SP18     | 76    | 6.4 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C12545   | 125 | 65   | 7.5 | 7.5 | SP90-1   | 90    | 2.5 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C13065   | 130 | 65   | 10  | 10  | SP90-2   | 90    | 4   |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C15050   | 150 | 50   | 4.8 | 5.3 | SP100-1  | 100   | 2.5 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C15075   | 150 | 75   | 6   | 8   | SP100-2  | 100   | 5.5 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C20070-1 | 200 | 70   | 8   | 7   | SP100-3  | 100   | 6.5 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C20070-2 | 200 | 70   | 8   | 7   | SP105-4  | 100   | 8   |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     | C23060   | 230 | 60   | 3   | 3   | SP103-1  | 103   | 6.3 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     |          |     |      |     |     | SP103-2  | 103   | 6.3 |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     |          |     |      |     |     | SP125    | 125   | 3   |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     |          |     |      |     |     | SP136    | 136   | 4   |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |
|        |         |      |     |          |     |      |     |     | SP150    | 250   | 11  |        |         |        |         |         |       |       |      |     |    |    |  |



買取制度によって、非住宅用の導入が大幅に拡大する好機を迎えた。

当社はこのような需要の高まりを受け、2009年に東京ビッグサイトで開催されたPV EXPOにFRP引抜成形品『プラアロイ®』を使用した太陽電池架台を参考出展したのを皮切りに、旭硝子㈱と共同で国内外のPV関連展示会に出展し、市場情報の収集を行うとともに、市場参入に向けて営業活動を開始した。

また、PV関連市場におけるFRP適用可能な用途の検討段階では、太陽電池モジュール用の架台のほか、モジュールのフレーム枠材やバックシート材などが適上に乗ったが、いずれも要求品質とコストの面で実現の可能性が低いと判断し、太陽電池架台市場への参入に注力することとした。

記念すべき第一号の案件は、2010年1月に納入した都農第一発電所（宮崎ソーラーウエイ㈱）向けの試

験施工用架台1基で、宮崎県のリニアモーターカー実験線の軌道上に設置された（Fig.6）。



Fig.6 GFRP frame of the solar module for MIYAZAKI solarway.

ここで、FRP太陽電池架台のターゲット市場として、当社も当然ながらメガソーラーへの参入を目指していたが、まずは中小規模の案件で実績を作り、経験値を高めることが重要と考え、FRPの軽量、高強度の特長を活かせる公共案件向けの陸屋根設置の架台の受注活動を展開した。2011年10月に、初の屋上設置案件となる札幌市の公共施設向けの架台 (20kW) を納入した (Fig.7)。



Fig.7 GFRP frame of the solar module for the public facilities in Sapporo.

これは北海道という場所柄を考慮し、架台を約1m嵩上げし、モジュールの設置角度を50度で設計する、という積雪対応の厳しい条件での設計であったために、苦慮する点が多かったが、施工時の留意点などを含め、引抜成形材単体の物性及びその構築物全体としての強度のみならず、数多くの知見を得ることができ、非常に有益であった。

次いで、同年12月には陸屋根設置架台としては最大規模となる愛知県知多郡の旭硝子(株)社員寮案件 (60kW) を納入した (Fig.8)。

この頃になると、架台設計及び部材構成もシンプルなものとなり、現在、当社として標準仕様として設定している陸屋根設置架台の設計・形状仕様に近い構造となっている。



Fig.8 GFRP frame of the solar module for the company's dormitory (AGC).

尚、上記と同タイプの架台は、翌年も公共施設向け

を中心に実績を重ね、さらに2013年以降はグリーンニューディール基金の影響で、東北地方を中心に公共案件の納入実績が増加している (Fig.9)。



Fig.9 GFRP frame of the solar module for the public facilities in Tokyo.

また、上述までの紹介では、ビル・マンション等構築物の屋上に設置する陸屋根を対象にしたものであるが、地上に設置する形式の野立て案件においても、2011年11月に岡山県瀬戸内市の塩田跡地に10kWの架台を納入した実績がある (Fig.10)。

これは、独立行政法人産業技術総合研究所が瀬戸内市の塩田跡地に開設した暴露評価サイトへの設置であり、ここでは、国内外の数社の太陽電池モジュールの屋外暴露試験が行われており、それと同時に、モジュールの支持フレームである鋼製架台の耐久性評価も実施しており、その比較対象として、耐久性が高く、塩害地域に有用な特性を有する本FRP架台の設置が決定したものである。



Fig.10 GFRP frame of the solar module for the experimental facilities in Setouchi.

## 6.2 メガソーラー市場への参入

2012年7月に導入された再生可能エネルギーの固定価格買取制度の影響で、2011年末の時点で50件程度だったメガソーラー計画案件数が、2012年末には10倍以上に膨れ上がったといわれている。更には、42円/kWhという高い設定の買取価格は、新規参入を

加速させ、市場拡大を牽引した。

当社が、陸屋根設置案件や中小規模の野立て案件での納入実績を重ね、太陽電池架台市場のニーズを理解し、設計ノウハウを蓄積しつつあった2012年夏に、旭硝子株の保有地（北九州市若松区）にメガソーラーを設置する計画が浮上した。

計画予定地は、沿岸部の重塩害地域で、塩害に強く錆びないFRPにとって、まさに好適地であったが、20.5MWという北九州地区最大級の規模に対応する生産能力に加え、本案件で旭硝子株とその共同事業主、及びEPC（設計（engineering）、調達（procurement）、建設施工（construction）の一連の工程を請負う業者）であるシステムインテグレーター（以下、SIer）の理解が得られる架台価格の実現達成が、採用に向けての鍵となった。

これは、案件規模や設置場所の違いによる設計条件の差があるものの、本件の架台は、当時、公共案件向けに納入していた架台の価格レベルに対して、約1/3の価格実現が必須という、従来では考え難い、極めて高いハードルでもあった。

更には、当然ながらターゲットとなるのは、鋼製架台と同等レベルの価格であり、それが実現できて初めて、FRP採用のメリットが出る（架台価格が同じなら、軽量のFRPは施工性で勝る）という構図でもあった。

以上のような、大幅なコスト低減と大量生産への対応という二つの課題をクリアするため、まず当社内にプロジェクトを立ち上げるべく、社内の体制を整え、更には、旭硝子グループから材料、設備等に関する専門家を召集し、オールAGC体制での改善プロジェクトを発足し、本テーマの達成に向けての活動を推進した。

本活動の中での特筆すべき改善点としては、設計最適化と加工費の削減である。

まず、設計においては、従来の標準的な設計の架台と比較して、部材使用量を約1/3に低減した（Fig.11）。

また、加工費に関しては、専用自動機の導入により、手加工中心であった従来工程に対し、約90%の工数削減を実現した。これらの活動により、鋼製架台並みの価格の実現に加え、計画通りの納期対応が可能な生産能力の実現に目処が立ったことを受けて、同案件（正式案件名：エネ・シードひびき太陽光発電所）20.5MWの全施工面積に対して、FRP架台が採用される運びとなった（Fig.12）。

ちなみに、同案件に使用するモジュールは2種類あり、半数が三菱電機株製の従来製品で、残り半数は、旭硝子株の化学強化ガラス『Leoflex®』を両面に使用した開発製品が採用された。

ここで、従来型のモジュール用架台は、一般的な固定方法である、モジュール背面の下穴を使用してボルト固定（4箇所）する方式（在来工法架台）を採用（Fig.13）しているが、一方、開発モジュールに適用する架台については、施工性に配慮した新設計の架台とすべく、SIerと共同開発を進めた。施工者側として

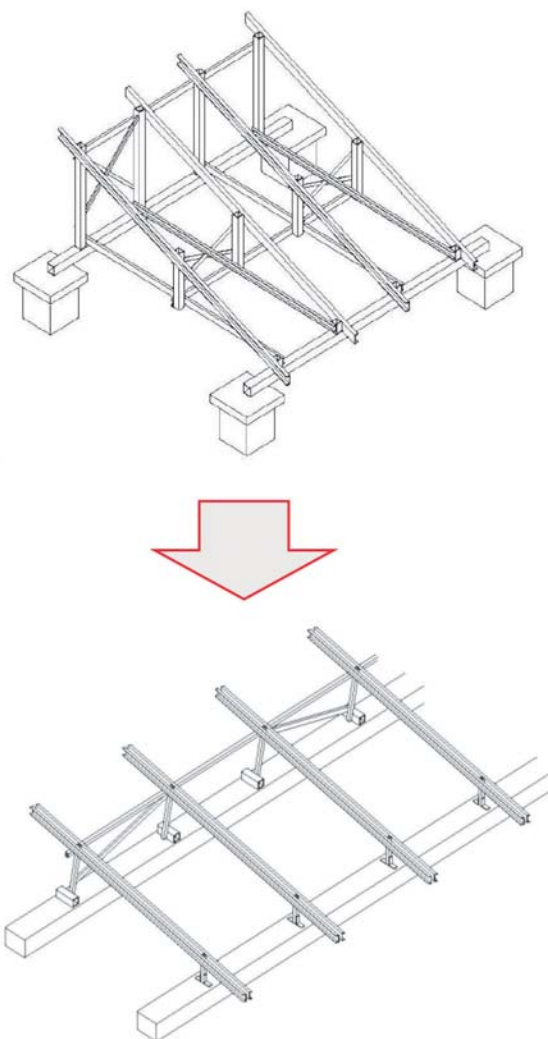


Fig.11 Reduction in quantity of the parts by design optimization.



Fig.12 The view of a panorama for “Ene-Seed HIBIKI” photovoltaic power plant.

の知見が豊富なSIerの要望に応える形で、検討と協議を重ねた結果、施工時にモジュールを垂木（モジュールを固定する部材）上で滑らせる事で所定の位置まで移動させ、モジュール上面（受光面）側から金具で固定する方式（スライド工法架台）を採用した。



Fig.13 GFRP frame of the solar module by conventional method of construction .

このスライド工法架台の特長は、FRPの形状自由度を活かし、垂木の形状をユニークな $\pi$ 形としたことである。これにより、従来であれば、1列のモジュールに対して2本の垂木が必要であったが、隣り合うモジュールの垂木を共用、一本化する事により、垂木数量の半減を実現した。

更には、 $\pi$ 形垂木の上面中央部に突起を設けたことも大きな特徴である。この突起が、施工時にモジュールを滑らせる際のスライドガイドとなるとともに、東西方向のモジュール間隔を一定に保つためのスペーサーの役割を持つ。この事により、施工性の向上と同時に、いわゆる“収まり（見栄え）”も良くなるという、構築物の意匠性の向上にも寄与する結果が得られた（Fig.14）。



Fig.14 he GFRP-beam similar to the character of “ $\pi$ ”.

また、このスライド工法架台については、(株)NTTファシリティーズと共同で特許出願を行っている。

更に、特筆すべきは、FRPの特長を活かして優れた施工性を実現していることが評価され、2014年度のグッドデザイン賞を受賞した（Fig.15）。

同賞受賞のPR効果で、多くの引き合いや更なる需要拡大が期待される一方で、2014年末の時点では、

九州電力をはじめとする電力会社による接続保留が続いている影響で、太陽光発電市場全体が若干トーンダウンしている感は否めない。

但し、大きな流れとしての再生可能エネルギーの導入拡大は必須であり、FRPとしての商機も確実に存在するはずである。



Fig.15 GFRP frame of the solar module by slide construction method.

## 7. さいごに

引抜成形などの連続成形法だけではなく、日本全体のFRP生産量は、2008年以降落ち込んだ後、横ばい状態が続いている。

今後、国内のFRP引抜メーカーが再び成長軌道にのせていくためには、第一として技術面では、安価な海外引抜材や様々な他材料との差別化（成形技術、品質、機能性、精度、コストパフォーマンス、リードタイムなど）を図っていく必要があり、また、他材料、特に鋼材、アルミ材などと比較して、素材としての歴史が浅いFRPを拡販し、かつユーザーが安心して様々な物件に適用できる素材を目指すためには、メーカーの責任として、データ蓄積に多くの時間を費やす長期的物性（耐久性含む）についても、より知見を蓄えていく必要があると考える。

更には、市場開拓を含めた営業面からみると、上述のような太陽光発電市場を成功事例として、その他の再生可能エネルギー関連分野等を含め、FRPの優れた特性を活かした更なる新規市場の開拓に向けて、水平展開すべく、『チャレンジ』を継続していく事も、併せて重要であると考えます。

—参考文献—

- (1) Trevor F.S.: Pultrusion for Engineers, Woodhead Publishing Limited, p. 8, 2000.
- (2) 例えば、強化プラスチック、社団法人強化プラスチック協会, p.452, 2013.12
- (3) 植村益次、FRP構造設計便覧、社団法人強化プラスチック協会, p.55, 1994.9
- (4) 例えば、強化プラスチック、社団法人強化プラスチック協会, p.163, 2014.5
- (5) 宮入裕男、FRP入門（新版）、社団法人強化プラスチック協会, p.42, 1996.8
- (6) Ibid., p.52, 1996.8
- (7) 強化プラスチック、社団法人強化プラスチック協会, p.73, 1989.3
- (8) Trevor F.S.: Pultrusion for Engineers, Woodhead Publishing Limited, p.22, 2000.
- (9) Ibid., p.24, 2000.
- (10) Ibid., p.52, 2000.
- (11) Ibid., p.43, 2000.
- (12) JIS-K-7015、繊維強化プラスチック引抜材、日本工業規格会, p.11, 2013
- (13) Ibid., p.5, 2013
- (14) 例えば、FRP用途事例集、社団法人強化プラスチック協会, 2000.3
- (15) 強化プラスチック、社団法人強化プラスチック協会, p.21, 2015.1
- (16) 強化プラスチック協会誌、社団法人強化プラスチック協会、印刷中