

## 造形作品の素材開発に関する実験的研究（その2）

生産工(院) ○石田憲 生産工 日高單也 生産工 田中遵

### 1. はじめに

前稿(第41回日本大学生産工学部学術講演論文)に引き続き本稿では、身近な素材である紙をもとに造形素材の開発を行い、「液状繊維素材」を作成する。そして、それをを用いた製作を通して工法の開発及び考察を行っている。

また、現在の一般廃棄物に関する処理問題が深刻になっている。東京都の可燃ゴミとして出される紙の量は可燃ゴミ全体の45%以上であり(表1)、循環型社会のために、この紙を資源として扱う新たな方法を見出すことが急務であり、この研究がその方法の足掛かりとなる可能性があると考えられる。

表1 東京都(区部)の可燃ゴミ組成の経年変化<sup>\*1</sup>

| 項目      | 湿ベース・可燃ゴミ<br>(単位: トン) |       |       |       |       |
|---------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|         | 平成10年                 | 平成11年 | 平成12年 | 平成13年 | 平成14年 |
| 可燃ゴミ    | 92.1                  | 93.4  | 92.9  | 93.0  | 93.4  |
| 紙類      | 52.5                  | 50.9  | 46.0  | 44.5  | 42.8  |
| 厨芥      | 26.6                  | 29.9  | 31.9  | 34.1  | 37.4  |
| 繊維      | 4.0                   | 3.6   | 4.4   | 4.4   | 4.5   |
| 草木      | 9.0                   | 9.0   | 10.6  | 10.0  | 8.7   |
| 焼却不適物   | 7.1                   | 5.8   | 6.4   | 6.4   | 5.8   |
| プラスチック類 | 6.9                   | 5.7   | 6.2   | 6.2   | 5.6   |
| ゴム・皮革等  | 0.2                   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.2   |
| 不燃物     | 0.8                   | 0.8   | 0.7   | 0.6   | 0.8   |
| 金属      | 0.4                   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   |
| ガラス     | 0.2                   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.3   |
| 陶磁器等    | 0.2                   | 0.3   | 0.2   | 0.1   | 0.1   |

### 2. 研究の背景と目的

紙のリサイクルにおいて最も問題視されることは、その工程で必要となるエネルギーの大半が化石燃料を必要とするところにある。しかし、それはヒートポンプの利用やリサイクル工場の施設自体を火力発電所やゴミ焼却施設などの高い熱エネルギーが内在する施設の近くに隣接させ、その排熱利用を行うなど多くの解決方法が考えられる。

また、紙資源を造形素材に再利用する際には、製紙における紙資源の再利用では必要であった脱墨・精選・漂白といった工程の必要性が低く、本研究ではそれらの工程を省くことが可能になる。

さらに、紙の使用で大切なのは使用量そのものを減らし、長い間使うということが挙げられる。紙資源を紙として使うのではなく、造形素材及び新たな利用方法を見出し、長期利用の方法も視野に入れた研究を行う。

そのような位置づけとして、広く一般的に扱われる紙を「液状繊維素材」として用いることで「新たな資源」であると捉えなおし、石油製品である樹脂に代わる造形素材としての転用を目指し、紙

資源の新たなリサイクルの手法と活用方法となることで、「液状繊維素材」に幅広い利用価値を見出す可能性が十分にあると考えられる。

### 3. 「液状繊維素材」

#### 3-1. 「液状繊維素材」の概要

「液状繊維素材」とは、粉碎した紙を水中に分散させて繊維を回収し、さらに澱粉糊を混ぜ合わせたペースト状のもので、可塑性を有し、自由な成形が可能である。今回の製作では、紙繊維間の補強のために木工用ボンド(酢酸ビニル樹脂)を含浸させた。また、紙繊維の膠着作用により強固に互いを繋ぎとめ、さらに澱粉糊によって乾燥防止の効果をもたらすだけでなく、紙繊維と絡まり強固な結合をなすことが期待できる。もともと紙を細かく粉碎したものは、製紙業界では紙パルプとして扱われリサイクルされ再生紙になり、左官では「繊維壁塗り<sup>\*2</sup>」として江戸時代から扱われている素材でもある。このように多様な用途での使用が可能である紙資源を非木材繊維資源と捉え、造形素材として扱うために加工したものである。

#### 3-2. 「液状繊維素材」の配合

表2は「液状繊維素材」を製作するための材料の配合を表している。水1リットルに対する紙と澱粉糊の量を示す。水が他の材料に対して量が多いのは、紙繊維の分散・叩解<sup>\*3</sup>が水を媒介として行われるためであり「紙繊維同士の結び目を弱める役割」と「澱粉糊を希釈する役割」を担っているからである。

表2 「液状繊維素材」の配合表

| 材料   | 水    | 紙   | 澱粉糊 |
|------|------|-----|-----|
| 量(g) | 1000 | 200 | 100 |
| 比率   | 10   | 2   | 1   |

#### 3-3. 「液状繊維素材」の製作に関する手順

- 水を溜めた桶に半紙を30分程度浸し、柔らかくする。
- ミキサーの中に水と半紙で8分目程度まで移し、澱粉糊を100g程度入れた後にミキサーの蓋をして、電源を入れる。
- 5秒程度攪拌したらミキサーを止め、ペースト状になった中身を30リットルの桶に移す。
- 30リットルの桶の8分目程度までできたら、以上の加工をしたペースト状の半紙の中に、木工用ボンドを500g程度加える。
- 木工用ボンドが全体に行き渡るように十分に混ぜ合わせる。
- 表面に窪みを作り、その貯まった水分を汲み出す。

- g. 粘性が出てきたら表面を平らに均し、3 日程度寝かせる。
- h. その後、型に塗布する前に 30 リットルの桶の中の「液状繊維素材」をかき混ぜて状態を均質にする。

### 3-4. 「液状繊維素材」の特徴

水の中に紙繊維が巨視的に存在するものを「パルプ懸濁液<sup>※4</sup>」というが、その中の紙繊維の濃度が高い場合、脱水時に繊維相互の接近が十分に行われないことがある。すると紙としての強度を生む紙層形成と繊維間結合が生まれず、結果的には強度発現に至らないことが起こりうると考えられる（図 1）。しかし、「液状繊維素材」の場合は澱粉糊が図 1 (b) の空隙に入り、繊維相互を結ぶ役割を担うため結果として、紙繊維の濃度が高い場合でも紙繊維同士の結びつきが強まると考えられる。

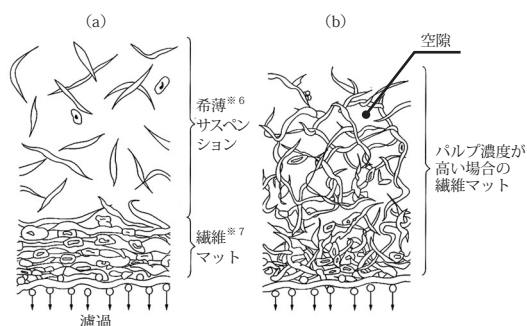


図 1 紙層形成の 2 様式<sup>※5</sup>

## 4. 実験的製作

### 4-1. 実験的製作の概要

上述の「液状繊維素材」を用いて立体作品を制作することにより、その可能性や改善点を見出す。制作にあたり、型に対して「液状繊維素材」を塗布していく「塗り工法」を採用した。

前稿（第 41 回日本大学生産工学部学術講演論文）では「収縮幅の減少・乾燥時間の短縮・素材間の結合の強化」を今後の制作のキーワードとしたが、「液状繊維素材」を製作する段階で水分を減らすことを試みた。結果として、収縮幅の減少・乾燥時間の短縮をすることができた。また、耐火性・防カビ性・耐水性についても今後の研究課題としていたがそれは、種々の樹脂・薬品などを含浸させることでそれらのような機能を付与できることが分かった。

また、「液状繊維素材」が造形素材としての有用性を得るためには再現性や緻密な表現が可能である必要があると考えられる。そこで、今回は「複雑な造形の施工とその問題点・改善点を見出すための実験的製作」とすることとした。

### 4-2. 塗り工法（パーツ制作）

#### 4-2-1. 概要

膨らませたゴム風船を型とし、型に対して「液状繊維素材」を塗布していく。薄く、広い面を短

時間で仕上げる事が出来る工法である。

### 4-2-2. 特徴

この工法で製作を行った結果、「液状繊維素材」を造形素材として扱う際の長所・短所を下記に挙げた。

#### 【長所】

- ① 浮き・剥離・ひび割れの故障がない。
- ② 薄く塗布するため乾燥がし易く工期の短縮につながる。
- ③ 故障箇所を埋めてならずことで、補修が容易である。
- ④ 可塑性があり脱型可能な範囲で自由な造形を可能にする。

#### 【短所】

- ① 「液状繊維素材」が乾燥する前にゴム風船の型が割れる恐れがある。
- ② 自然乾燥では時間がかかり、加熱と送風が必要である。
- ③ 「液状繊維素材」が乾燥するまで成形した形を維持する工夫が必要である。

#### 【短所に対する工夫・対応】

短所①に対しては、扇風機の吸気部分の後ろ側にヒーターを置き、作品に乾燥した空気を送り、「液状繊維素材」の乾燥を早める工夫をした。

短所②に対しては、製作期間の関係上で乾燥を早める措置を取ったが、簡易の乾燥室（1 辺が 1 m 程度の立方体）を設け、その中で熱を逃がさない工夫をした。

短所③に対しては、型に「液状繊維素材」を塗布し終えたものを乾燥させる際に一定箇所に固定するためにざるの上に置いた。その際、ざるとの設置面にはタオルを巻くことで、ざるの目が「液状繊維素材」の表面に残ることを防ぐ工夫をした。

### 4-2-3. 使用した材料及び道具

製作を行うにあたって、「液状繊維素材」・ゴム風船・ざる・不織布・家庭用ミキサー・30 リットルの桶・扇風機・ヒーターを使用した。

### 4-2-4. 工程及び工法

- a. 「液状繊維素材」を製作  
配合および作成手順に関しては 3-2. と 3-3. を参照とする。
- b. 「液状繊維素材」の水分調節  
1 辺を 10 cm の正方形に切った不織布に団子状にした「液状繊維素材」を乗せ、厚さ 10 mm 程度になるように不織布全体に広げる。その上に同じ大きさの不織布を乗せ、水分を手で絞る。それを 10 個程度重ねてさらに手で圧力を加えて水分を絞る。
- c. 型（ゴム風船）への塗りつけ  
b で水分を減らした「液状繊維素材」を少量ずつ型に押しつけて塗りつけていく。型全体に一度塗りつけを終えたら、それを 3 回程度繰り返し、塗り厚が 5mm 程度になるまで塗布する。「液状繊維素材」を型から剥がれ落ちないように

に注意しながら手で表面をならしていく。

d. 乾燥（送風：常温）

扇風機で風を当てながら乾燥を行う。半日程度で型であるゴム風船を抜いても形が崩れない程度の強度が得られる。

e. 養生（送風：温風）

平らな場所に、板で四方と上部を閉じた簡易な箱を作り、その中に作品を置き、ヒーターの温風を当てながら養生する。表面が焦げるのを避けるために 30 cm ほどヒーターから離れた場所で乾かす。また、時間が経つにつれてさらに強度が得られた。

#### 4-3. 分割工法（組み立て）

##### 4-3-1. 概要

求める造形に対して、部分を構成する型しか得られない場合や、大きな造形作品を分割して製作する場合に用いるのに有効である工法である。

##### 4-3-2. 特徴

この工法で製作を行った結果、造形手法として採用した際の長所・短所を以下に挙げた。

###### 【長所】

- ① 硬化後も金属用のはさみやカッターなどで切る加工が可能である。
- ② 接合部分に「液状繊維素材」を用い、接着剤の役割を持たせることで乾燥後に接合箇所が目立たなくなる。
- ③ 部分を作りそれらを組み立てることで全体を構成することが比較的容易である。

###### 【短所】

- ① 一度に大きなパーツを作るのは乾燥や脱型の工夫を必要とするので作る大きさに制約が生まれてくる。
- ② 厚さが 5 mm 以上になってくると切る加工が手作業では難しくなってくる。

###### 【短所に対する工夫・対応】

短所①に対しては、手に入る型の種類や大きさなどが限られてくるため、型から生まれるデザインの可能性を考えて製作した。また、大きな作品にする際も、分割の個数は増えるが「液状繊維素材」を接着剤の代用としてパーツを接着していくことでそれぞれが一体化した作品ができる。

短所②に対しては、金属用のはさみで切ることのできる厚さ 5 mm 程度で作品を構成した。それ以上の厚さを必要とするときはドリルで穴を開けた後に、糸のこなどで切り、切り口を紙やすりなどで整えるか「液状繊維素材」を新たに塗りつけて継ぎ足すことが可能である。

##### 4-3-3. 使用した材料及び道具

組み立てを行うにあたって、「液状繊維素材」と金属用はさみを使用した。

##### 4-3-4. 工程及び工法

a. パーツの加工

4-2. で制作したパーツを組み立てるために接合する形に加工した。「液状繊維素材」を用いて

5 mm 程度の厚さで造形したものを金属用のはさみで切ることができた。

b. パーツ相互の接合

「液状繊維素材」を接着剤の代用として用いて、パーツ同士の接合を行った。

c. 乾燥

組み上がった作品の表面が焦げるのを避けるために 30 cm ほどヒーターから離れた場所で乾燥させた。接合に用いた「液状繊維素材」が乾くと接合部分が目立たなくなる。

以上の工程を完了したものが図 2 である。

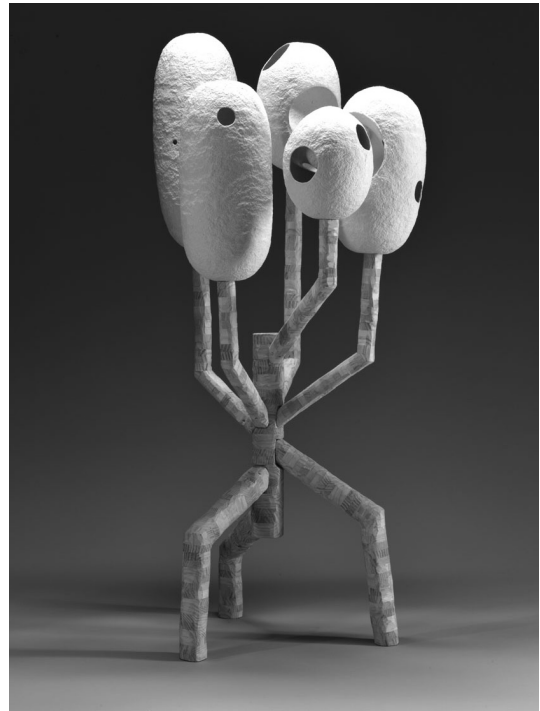


図 2 完成作品

（第 93 回新制作展スペースデザイン部 入選

タイトル：重顔の奏で / エガオノカナデ）

#### 5. 「液状繊維素材」の可能性

前稿（第 41 回日本大学生産工学部学術講演論文）では「液状繊維素材」の可能性として、「経済性」、「媒介性」、「可塑性」の 3 つを挙げることができた。それを前提として今回は複雑な造形をするための工法を考えて製作にあたった。そこで新たな可能性の展望として挙げられる事は「機能性（添加物により「液状繊維素材」の用途を開拓できる）」、「緻密性（複雑な造形が可能である）」の 2 つである。

##### 5-1. 機能性

紙と澱粉糊で作られた「液状繊維素材」に木工用ボンドを添加して製作を行った。木工用ボンドを入れたことで作品の表面が滑らかになり、強固になった。液状である性質を生かし、機能を付加するために「液状繊維素材」に種々の樹脂・薬品などを含浸させることができる利点がある。



## 5-2. 緻密性

塗り工法と分割工法を用いて「液状繊維素材」で造形作品を制作した場合、複雑な造形が可能であることが分かった。さらに、パーツ同士の接合箇所も目立たないため後々に細かな細工を施すことができる(図3)。

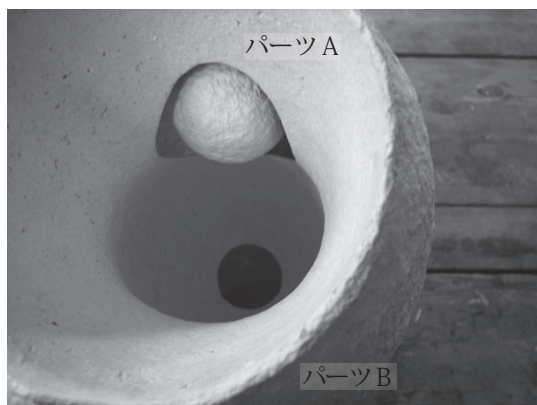


図3 パーツA・Bの接続箇所

## 6. 考察

「液状繊維素材」は、紙すきによる紙が持つような繊維の近接が進んだ密な網状構造を形成しにくい作成方法であり、作品制作において「液状繊維素材」が造形素材として成立しているのは繊維間に入り込む澱粉糊や木工用ボンドが繊維同士を結び付ける役割をしているからであると考えられる。特性を持たせる素材を含浸させることで風合いの改善や伸縮性や透明性など新たな機能を持たせることが可能であり、造形素材としての多様性を持たせることができると考えられる。

パーツを制作して相互を接続する場合や、汚れやゆがみなどを補正する場合などに、「液状繊維素材」を塗布した箇所がその周辺となじみ、境目が目立たなくなるのは紙の持つ膠着作用によるものであると考えられる。

今回の実験的製作では作品の構成の複雑さと接合部など細部に対して期待できる結果を得られ、制作した作品が第93回新制作展スペースデザイン部に入選し、造形素材としても客観的評価を得ることができたと考えられる。

## 7. まとめ

「液状繊維素材」を用いた作品制作では、複雑に構成をされた立体作品も実現可能であることが分かった。

「液状繊維素材」は、添加する素材によってその性質や機能を付加したり、質感を変化させることができると分かった。今後は造形素材としてその形状に対する工法と添付する素材の研究と、高強度な資材への転換のための手法の研究を進めていくことが「液状繊維素材」の可能性を具体的にしていくことであると考えられる。もし、それが実現すると紙資源の長期利用を視野に入れた活用

方法の一つとすることができると考えられる。

造形素材として扱うためには自由な型を創造する手法とその脱型の手法も合わせて開発することが必至である。その点、ゴム風船を用いて型を作りパーツを作り造形する手法は、脱型のしやすさという点からみた場合に型として有用であると言える。

「液状繊維素材」の活用方法を発展させていくことは、非木材繊維資源の利用方法として位置付けることができ、紙資源をゴミもしくは紙への再利用としての扱いから脱却させ、既存のリサイクル手法とは違ったものとなる。また、リサイクルという観点から、「液状繊維素材」を用いた造形では同一の素材で構成することが可能であり、不純物を限定できるため紙資源の三次的利用につなげることができると考えられる。

今後は「液状繊維素材」が持つ特性を生かした活用方法を導くことと、経年変化による問題点を視野に入れた具体的な解決策を研究課題としていくことが重要なことである。また、造形素材として扱うためには厚みのある立体作品にも対応できるものにする必要があり、「液状繊維素材」に含まれる水分を成形後に効率よく減らす機構の構築は必須であり、外部から加熱して蒸発させる方法だけではなく、薬品を利用した方法も今後の課題とする。

## 注

1. 東京都環境局：東京都環境白書 2004  
<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kikaku/hakusho/2004/data/pdf/2-8.pdf>
2. 技術資料研究開発委員会：左官施工法 2008、(社)日本左官業組合連合会、1997年10月25日
3. 製紙原料を水の中で分散・膨潤させ、機械によって圧潰・切断すること。
4. 門屋卓：新しい紙の機能と工学、株式会社華房裳、2001年11月25日、p22
5. 門屋卓：新しい紙の機能と工学、株式会社華房裳、2001年11月25日、p29
6. 水99:繊維1以下の希薄な繊維と水の系のこと。
7. 金属によって濾過される際に、金網面に形成される繊維の濾過層のこと。