

第31回衛星設計コンテスト

アイデアの部 ミッション概要書(3ページ以内)

1. 作品情報・応募者情報

作品名 (20文字以内) 藍染衛星「Kokihanada(深縹)」
副題 (自由記入) 宇宙を藍で染め上げるんじょ！！
学校名 徳島大学

2. ミッションの概要 (プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。)

軌道上の宇宙空間において徳島の伝統文化である藍染を再現することをミッションとする。藍染とはタデ藍を用いた染色方法であり、いくつかの工程に沿って作られる。その工程を宇宙空間にて行うにはどうすればよいか検討し、軌道上にて自動で藍染を行う衛星を提案する。宇宙ならではの無重力、高真空を利用すると高精度で階調豊かな藍染 2.0 ともいえる新しい染色ができる可能性がある。

3. ミッションの目的と意義 (目的・重要性・技術的/社会的意義等)

(a) 目的

衛星を通して地元徳島のことをたくさんの人に知ってほしいと思い、「徳島」と「宇宙」をつなげる手法を考えた。徳島には地域特有の伝統文化である阿波踊りや豊かな自然が生み出す鳴門の渦潮など、さまざまな特色がある。このような中、私たちは「藍染」に着目し、藍染を宇宙で再現することを目的とする。

(b) 重要性・技術的、社会的意義等

技術的意義

衛星軌道では高真空雰囲気であるのでその環境を利用することで、上述のとおり高精度な染色が可能である。また、藍色を発色する酸化還元反応を起こすにあたり、高真空の宇宙ではこういった挙動をするのかという学術的視点においても興味深い実験であると考えられる。

社会的意義

宇宙での伝統工芸の再現を試みることはその地域の町おこしや伝統文化の継承に効果的と考えられるだけでなく、再現しようとする過程で、その仕組みや歴史について詳しく調べたり実際に体験したりするため、接点が生まれる。また、宇宙空間の高真空、微小または無重力という特殊環境を利用することで、地上環境下では実現不可能な、緻密で深い藍色の濃淡変化が実現可能になる点が特に重要である。これによって、宇宙空間での藍染の再現という域にとどまらず、伝統文化を救うきっかけやそれぞれの地域をアピールし、宇宙を身近に感じる場を提供することも可能と考えている。

4. ミッションの具体的な内容

(a) システム

本ミッションではインクジェットプリンタの仕組みを利用し宇宙で藍染を行う衛星を提案する。藍染の工程は簡略化すると「布を染色液に漬け込む→布を液から出して空気酸化させる→水で余分な染色液を洗い流す」であるが、我々はこの工程を微小重力・高真空下という状況に適した工程に改変した。我々が提案する衛星は「インクジェットノズルから染色液を射出→水の電気分解により発生した

空気酸化させる」という内部構造を持つものである。また、軌道上へ衛星を運搬し利用することを想定する。

(b) 具体的な実現方法、もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

具体的な方法

宇宙において染色液の中に布を漬け込む工程は困難であるため、少量の液体を布に噴射する手法を新たに提案する。我々の方法ではインクジェットプリンタの構造を参考に一連の藍染工程を無人の宇宙空間で実現可能なアイデアに基づき衛星を設計した。衛星の内部構造を図1に示す。

衛星内部は大きく3層構造になっている。図の第一層最下層部分には電子機器等の制御・電源基板が置かれ、電氣的なやりとり以外は他の層とは隔離することで、上層部において染色液や水が漏出した際に保護される。第二層の中層部分には染色液タンクと電気分解により発生させた酸素を一時的に蓄えるための調圧タンク、第三層最上層には電気分解装置とモーターを配置する。染色液を噴射するインクジェットヘッドと染色するための布を送る部品は第二層と第三層を貫いて置かれ、衛星全体の構造を強化する目的も兼ねている。

最初、布は筒状の布保持筒（図1の手前側）に保持されており、モーターの回転とともに板を這わせてもう一方の布保持筒へと送られる。一方、藍の染色液は、インクジェットプリンタのインクタンクと同様な構造を持つ染色液タンクに貯蔵されており、これを印字ヘッドに相当する染色ヘッドへ送出し、ピエゾ方式によって液滴を放出する。このヘッドは2ブロックに分けられており、それぞれ藍の染色液、酸素が噴出する構造になっている。これは藍染の「染色液につける→酸化させる」とほぼ同様の工程を、布が送られるライン上で連続的に自動で行う構造となっている。上述したように染色液はタンクにためられており、放出した液滴の量の分だけタンク内のピストンが動き液体が膨張しない仕組みとなっている。また酸素は水の電気分解によりオンデマンドで発生させることとした。ヘッドから酸素と水素の混合気体を放出する方法はピエゾ方式ではなく、扉開閉（シャッター）式とする。気体分子は高圧空間から低圧空間へと移動するので、ヘッドの扉を開くと酸素分子は真空へ、つまり酸素を布の方向に吹きつける形となる。使用後の混合空気については、空気を噴射する方向に衛星外と通じる穴により衛星内にとどまらないようにする。布を送るモーター、染色液と水のヘッドにかかる電圧、酸素のヘッドの扉などの電気系統の制御は、衛星1階部分に取り付けた基盤によって行う。電力は衛星外部の太陽電池パネルから得た後、必要に応じて蓄電する。これは実験衛星であるので、布に染色できているか否かを確認するために、布の様子をラインスキャナーにより走査する。

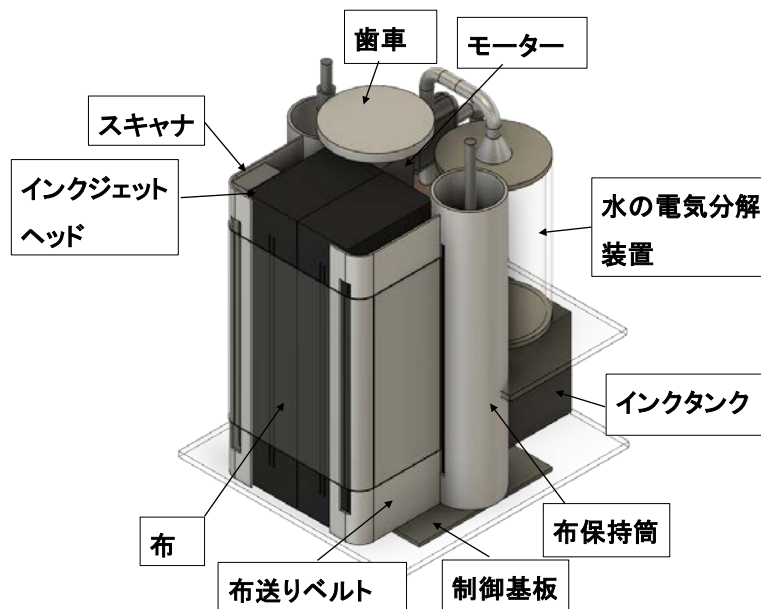


図1 衛星の内部構造

課題・開発すべき項目

実際に藍染宇宙空間で行う衛星を製作する上で以下の3項目をクリアしなければならない。1つ目は真空中で布に定着させた藍の染色液に含まれる水分の蒸発速度についての知見が得られていない点である。布ーノズル間の距離に関する最適値が現状では不明なため、ノズルから出た後の液滴がどの程

度蒸発し、布に定着するかが不明である。蒸発することなく布に到達できるのかが不透明だ。液滴表面の界面張力は液滴径が小さくなるほど大きくなり蒸発しにくくなるが、藍の染色液に関して真空雰囲気中の蒸発速度を調べる必要がある。2つ目は衛星に搭載の機器類の消費電力についてである。外壁に取り付けた太陽光パネルだけで衛星内部の消費電力が賄えるかが不透明である。インクジェットプリンタを動かすのに必要な電力計算の手法を検討する必要がある。3点目は衛星内部の機構についてしか設計できていない点である。衛星の推進機構や方向転換機構などの衛星自体の動きを制御する機器について充分検討する必要がある。

5. 主張したい独創性や社会的効果

(a) 主張したい本ミッションの独創性

本ミッションの独創性は以下の2点である。

・ 伝統工芸を盛り上げる手法を考案した点

我々は「宇宙にて伝統工芸を再現する」という前代未聞のことに挑戦する。本ミッションは、古くから伝わるのものと、今最先端を行く宇宙とをつなげる新しい試みでありそこに独創性がある。後を継ぐ者も少なく、現代人の目に触れることも少ない伝統工芸であるが、これを機に多くの人の心に留まることを期待する。

・ 藍染の精密な染色手法を確立した点

以下の点で伝統的な藍染手法と異なり新規性がある。

- ① 染色液に布を浸けるのではなく、ピエゾ形式のインクジェット方式により染色液を布に噴射すること
- ② ピエゾ形式を採用することにより、異なるサイズの液滴を噴射することが可能であり、これによって濃さを変化させることができること
- ③ 同じく、ピエゾ形式を採用することで、染色液に温度的な負荷がかからず、染色液の粘度に自由度があること
- ④ 無重量・真空環境下で染色液を噴射するため液滴が空気や重力の影響を受けず、正確な液滴を対象物まで打ち出すことができること
- ⑤ 地上では染色液から引き上げた瞬間から酸化、すなわち発色過程が始まるが、衛星では真空のためすぐには発色せず、電気分解により発生させた酸素を含んだ気体を後工程により噴射するため、気体量を制御することで発色具合を変化させることができること
- ⑥ 対象物の布を両端を巻くロール形式とし、モーターにより送り・戻りを制御することで重ね染色ができること
- ⑦ 衛星では重量削減のため、後洗浄工程を廃止し、その分の水を節約したこと

(b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

本ミッションで得られる成果は以下の2点である。

・ 藍染の染色技法は様々あるが大まかな模様設定のみであり、偶然にできた模様を楽しむ面も強い。しかし、この機構では地球上ではできない高精密な染色が可能であり、本ミッションにより新たな藍染の可能性を生み出すことになる。

・ 藍染について知ってもらうことが間接的に徳島を知ってもらうことになる。また、藍染は徳島だけでなく、北海道や青森、兵庫なども有名である。徳島の藍染から派生し、他の地方にも目を向けるきっかけとなる。また、藍染の伝統工芸という側面からその他の伝統工芸も人の目に触れるようになる可能性もある。

また、本実験では、藍染の色が褪せにくいという利点があるが、高真空で宇宙線にさらされる宇宙空間でもどこまで再現できるかについても調査する。

以上

第3 1回衛星設計コンテスト アイデアの部 解析書

藍染衛星「kokihanada（深縹）」

徳島大学 理工学部 理工学科 機械科学コース 2年

井上 沙羅 高橋 七那子

1. 背景と目的

衛星を通して地元徳島のことをたくさんの人に知ってほしいと思い、「徳島」と「宇宙」をつなげる手法を考えた。徳島には地域特有の伝統文化である阿波踊りや豊かな自然が生み出す鳴門の渦潮（図1）など、さまざまな特色がある。このような中で、私たちは「藍染」に着目し、藍染を宇宙で再現することを目的とした。藍染とは、日本で伝統的に行われてきたタデ藍を用いた染色技法である。藍染によって染められた衣類は、古くは平安時代から貴族の間で親しまれ、江戸時代になると庶民の普段着として広く使用された。タデ藍を染料として用いる藍染には多くの効能・効果があるとされる。虫を寄せ付けない防虫効果、汗臭さなどを抑える消臭効果、アトピー性皮膚炎にやさしい抗菌効果、日焼けを防ぐ紫外線防止効果、解熱・解毒・抗炎症薬としての効果などである²⁾。また、藍染の色は、世界各国でジャパン・ブルーと呼ばれ日本を表す特別な色でもある。特に徳島は、藍の産地であることから藍染文化が色濃く残っている。宇宙での伝統工芸の再現を試みることは地域の町おこしや伝統文化の継承に効果的と考えられるだけでなく、再現しようとする過程で、その仕組みや歴史について詳しく調べたり実際に体験したりするため、接点生まれる。

また、宇宙空間の高真空、微小または無重量という特殊環境を利用することで地上環境下では実現不可能な、緻密で深い藍色の濃淡変化が実現可能になる点が特に重要である。これによって、宇宙空間での藍染の再現という域にとどまらず、伝統文化を救うきっかけやそれぞれの地域をアピールし、宇宙を身近に感じる場を提供することも可能と考えている。



図1 徳島 鳴門海峡の渦潮¹⁾

2. 藍染の工程とメカニズムについて

2.1 藍染の化学的なメカニズム³⁾

藍染に使用されるタデアイというタデ科の植物には、インジカンという無色の物質が含まれている。葉が枯れる、破壊されるなどすると葉に含まれる酵素によりインジカンは分解され、インドキシルが生成する。インドキシルが空気にさらされると、酸化によってインジゴとなる（図2参照）。このインジゴが藍色を発色する素になるが、インジゴは水には不溶であり、そのままでは顔料としては使えても染料としては働かない。しかし、インジゴを還元して生成されるロイコインジゴは水溶性である。微生物の発酵や化学的な還元剤によりロイコインジゴを生成し、藍染の染液が作られる。染液を繊維に染み込ませた後、空気にさらすことでインジゴに酸化され、藍色に染まる。

2.2 藍の染料

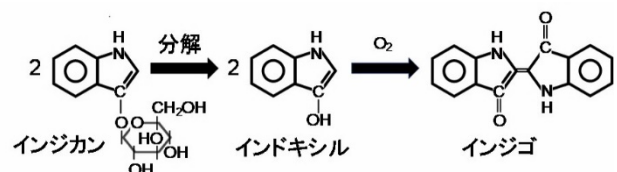


図2 藍染の化学的なメカニズム³⁾

日本では藍の染料は「すくも（菜）」と呼ばれ、タデアイの葉を乾燥後、土間で、3～4 日ごとに水をかけ、混ぜ合わせる作業をしながら、100 日ほどかけて発酵により作られる。

2.3 藍染の工程

一般的な藍染の工程は次のようになる。

- ① 藍甕（あいがめ）にすくも、灰汁、消石灰、酒を入れ、しっかりとかき混ぜる
- ② インジゴの還元が進み液の表面が紫がかったところ、消石灰を加え（中石）、さらに灰汁を加える（口上げ）
- ③ 液の状態を見つつ、さらに消石灰を加えて攪拌する（止石）
- ④ 染色する布を水につけ、染液を浸透しやすくさせる
- ⑤ 1～5 分間、染液に布を浸す
- ⑥ 染液から取り出し、空気にさらす
- ⑦ 目的の濃さになるまで5、6を繰り返す
- ⑧ よく水洗いして乾燥させる



(5) 染色液につける



(6) 酸化させる



(8) 水で洗う



完成

図3 藍染の工程

3. 衛星について

3.1 藍染を行う人工衛星の概要

宇宙空間の人工衛星内では2.3の手順(4)に相当する、染色液の中に布を漬け込む工程は困難であるため、少量の液体を布に噴射する手法を新たに提案する。我々の方法ではインクジェットプリンタの構造を参考に一連の藍染工程を無人の宇宙空間で実現可能なアイデアに基づき衛星を設計した。衛星の内部構造を図4に、また

外観図を図5に示す。

衛星内部は大きく3層構造になっている。図の第一層最下層部分には電子機器等の制御・電源基板が置かれ、電気的なやりとり以外は他の層とは隔離することで、上層部において染色液や水が漏出した際に保護される。第二層の中層部分には染色液タンクと電気分解により発生させた酸素を一時的に蓄えるための調圧タンク、第三層最上層には電気分解装置とモーターを配置する。染色液を噴射するインクジェットヘッドと染色するための布を送る部品は第二層と第三層を貫いて置かれ、衛星全体の構造を強化する目的も兼ねている。

最初、布は筒状の容器1に保持されており、モーターの回転とともに板を這わせて容器2へと送られる。一方、藍の染色液は、インクジェットプリンタのインクタンクと同様な構造を持つ染色液タンクに貯蔵されており、これを印字ヘッドに相当する染色ヘッドへ送出し、ピエゾ方式によって液滴を放出する。このヘッドは2ブロックに分けられており、それぞれ藍の染色液、酸素が噴出する構造になっている。これは藍染の「染色液につける→酸化させる」とほぼ同様の工程を、布が送られるライン上で連続的に自動で行う構造となっている。上述したように染色液はタンクにためられており、放出した液滴の量だけタンク内のピストンが動き液体が膨張しない仕組みとなっている。また酸素は水の電気分解によりオンデマンドで発生させることとした。ヘッドから酸素と水素の混合気体を放出する方法はピエゾ方式ではなく、扉開閉（シャッター）式とする。気体分子は高圧空間から低圧空間へと移動するので、ヘッドの扉を開くと酸素分子は真空へ、つまり酸素を布の方向に吹きつける形となる。使用後の混合空気については、空気を噴射する方向に衛星外と通じる穴により衛星内にとどまらないようにする。布を送るモーター、染色液と水のヘッドにかかる電圧、酸素のヘッドの扉などの電気系統の制御は、衛星1階部分に取り付けた基盤によって行う。電力は衛星外部の太陽電池パネル（図4の衛

星外表面の半透明の部分) から得た後、必要に応じて蓄電する。これは実験衛星であるので、布に染色できているか否かを確認するために、布の様子をラインスキャナーにより走査する。衛星は140mm×130mm×195mmほどの大きさになるように設計した。インクジェットヘッドの幅を150 mm と定めてその大きさを基準に他の部品の寸法を決めた。インクジェットヘッドの大きさを150×52×30 mm、ベルトの幅を150 mm、インクタンクをそれぞれ52×50×30 mm、モーターの大きさを20×15×30 mm、スキャナーの大きさを20×10×150mm、とすると衛星の外壁は140mm×130mm×195mmほどの大きさとなる。

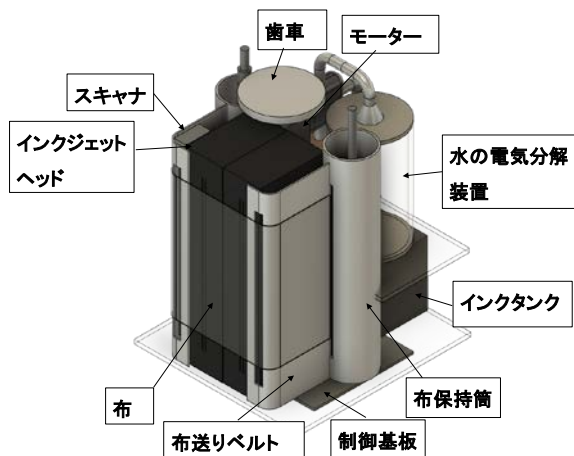


図4 衛星の内部構造

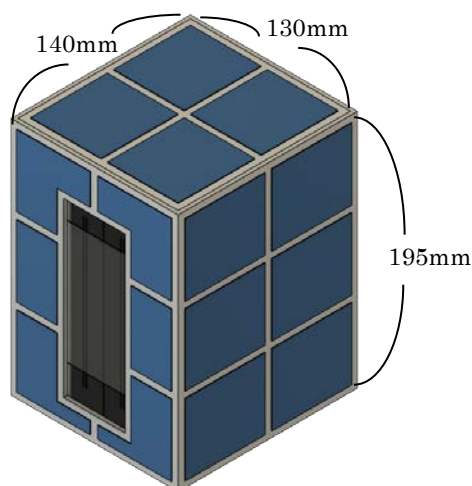


図5 衛星外観

3.2 高真空・無重量状態を利用した藍染

宇宙には酸素がないことに着目すると、藍染では染色液に布を付けた後「布を液中から出し

て空気酸化させる」という工程があるが、地上では先に述べたように染色液中のロイコインジゴが酸素と反応することでインジゴに変化し、布が藍色に染まる。地球上では空気中に酸素が含まれるために、布を染色液から出したとたんに酸化が始まってしまうが、宇宙空間では高真空で無酸素状態であるので酸化を制御することができる。このことから、真空状態を利用し、酸化のタイミングを細かく制御することで地球とは違った藍染ができるのではないかと考えた。これが藍染のインクジェット方式を考案した経緯である。染色液を放出した後でも空気酸化することなく布に液がしみこみ、その後、酸素を吹きかけ酸化させ発色させる。

また、微小重力下において液滴は落下しない。衛星の姿勢に関わらず重力の影響を受けないためまっすぐ発射でき、精密な染色が可能となる。高真空では空気抵抗が存在せず、液滴が球形を保つこともそれに寄与する。

3.3 ピエゾ方式

電圧を加えることで物体が変形する逆圧電効果を利用した受動素子をピエゾ素子という。電流を流すことによりインクをインク管からヘッドに向かって押し出すことで液滴を放出する⁴⁾。藍の染色液は高温に弱く、劣化してしまうため、熱を加えるサーマルジェット方式ではなく、逆圧電効果により液滴を制御するピエゾ方式のヘッドを用いる。ピエゾ方式は市販のインクジェット方式印刷技術として広く普及しているため部品の入手性・改良が容易であると思われる。

3.4 酸素発生方法

国際宇宙ステーションで実用化されている酸素発生方法は、水の電気分解によるものである。その装置はエレクトロンと呼ばれ、図6はその写真である。ステーション内部の空気から除湿により回収した水を電気分解して酸素と水素に分離し、酸素は船内、水素は船外に放出される⁶⁾。今回の藍染衛星でも水の電機分解による酸素発生方法を用いる。本衛星での酸素発生装置の概

略図を図7に示す。太陽光パネルにより発電した電流により水を電気分解し、酸素と水素の気泡を発生させ、ポンプによる循環によって気液分離装置まで気液混相流を運ぶ。分離装置では気液水を膜を通して空気と液体に分離する。この装置は真空により空気を吸いだしているが、宇宙の高真空環境を利用することで電力を使わずに装置を作動させることが可能である。



図6 エレクトロン⁶⁾

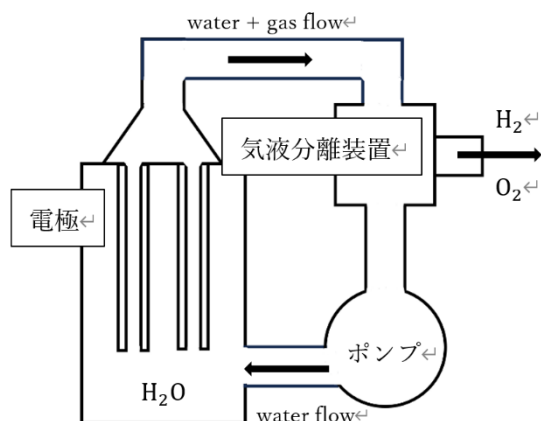


図7 気体発生装置の概略

3.5 洗浄工程について

染色工程を見直し、衛星内部の配置を最適化することで不要とした。

その理由は、インクジェット方式では少量の染色液を吹き付けるために十分に染色液が酸化され、染色液が余分となることがないからである。洗浄の目的は、余分な染色液を落とし、藍染の美しい色合いを阻害するしみを防ぐことにあることから、この場合洗浄は必要ないと判断できる。染色工程でしみが現れる要因は、伝統的な藍染では多量の染色液に漬け込む際に染色液が発色のために必要な酸素量よりも過多になり、酸化されない染色液が残るためだからである。

3.6 染色液の管理について

藍染の染料である「すくも」が発酵により作られるように、染色液には染色に大きく関わる菌が生息している。菌の状態によって布への染着具合が変化するため、菌が活動しやすい環境を作ることが重要になる。菌が活動しやすい環境は、 pH が、中性からややアルカリ側で液温度が $25\sim 27^\circ\text{C}$ の環境である。1日に1回藍甕内の pH を測定し、酸性ならアルカリ剤を投入し、アルカリ性であるならばなにもせずそのまましておく。今回、ミッションが終わるまでは不要と判断する。

3.7 衛星の運用について

印刷する写真を読み込むことで、インクジェットヘッド内のピエゾ素子の電圧をかける位置を計算するプログラムを用意する。このプログラムは既存のプリンターの白黒印刷を参考に作成する。地球上にて写真を入力し、宇宙空間に到達し軌道に乗った際に機器を作動させ藍染を開始する。染色された布はラインスキャナーで順次スキャンすることで染まり具合を確認する。これらのデータを参考に考察を行う。布を巻く、戻すという作業を繰り返し、宇宙空間における藍染の耐候性を検証する。

3.8 精密な藍染手法の確立

地球上において藍染は、染色液に布を漬け込むことで染色するため精密な模様にも染め上げることは難しい。染色しない部分に糊をつけることで精密さを表現する手法は存在するが、これでは染色の正確さに限界がある。インクジェット方式にすることでこの問題が解決する。ノズルの直径は数 $10\ \mu\text{m}$ であるので、緻密な模様も難なく描くことができる⁷⁾。インクジェット方式にすることで生じる問題は、しみこんだ液滴同士による布のにじみであるが、真空において薄い布上の水分は比較的早く蒸発するのでにじむことなく染色できる。また、地球上では酸素があるためにこの手法で精密な藍染ができない。

藍染は染める回数を増やすことでその濃淡を

調整する。我々が想定する衛星においても、ヘッドからの吐出量を調整することで濃淡を調整することが実現可能で、しかも地上で染色液に浸す染色方法に比べて、インクヘッドからの吐出量は細かく制御でき、しかも液滴が微細であるため、非常に高精密な藍染が可能である。モノクロ写真のような精密な藍染が可能と考えている。3.10 に具体的な手法を示す。既存のインクジェットプリンタのように、データを転送するだけであとはプログラムに従いヘッドのピエゾ素子とモーターが動くだけなので、比較的簡単に作動させることができる。

3.9 温度と藍染の関係について

表1は綿、セロファン、絹について、インジゴの吸着量の標準親和力と温度の関係を記したものである⁸⁾。この表より、標準親和力が最も高いのはセロファンであるが、我々は布（繊維）への染色を目的としているので、2番目に標準親和力が高い綿を衛星に使用することとした。また、この表より、温度が40℃を越えると標準親和力が減る傾向にあるので、衛星内の染色液はある程度保温する必要がある。しかし、標準親和力は急激に小さくなるわけではないので、20～70℃に保温できればよい。ラジエータで放熱し多層断熱材（MLI）で断熱することで衛星内部を保温する。MLIには宇宙外部環境からの人工衛星への入熱を抑える役割、外部搭載された高温となる太陽電池パネルから入射される人工衛星への放射熱を抑える役割、人工衛星から宇宙空間へ排出する熱放射を抑える役割などがある。その仕組みは、低放射のアルミニウムを蒸着した薄いフィルムを多層にすることで、MLI内部の熱放射結合を小さくし、断熱を実現する⁹⁾。

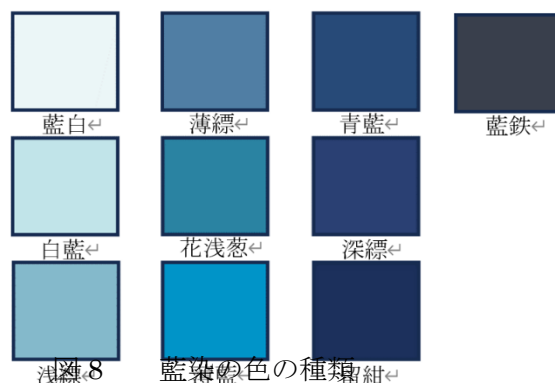
表1 インジゴの吸着の標準親和力と温度の関係⁸⁾

Temp. (°C)	Standard affinity (kcal/mol)		
	Cotton	Cellophane	Silk
20	1.74	1.83	1.46
30	1.63	1.76	1.42
40	1.62	1.56	1.32
50	1.53	0.66	1.09

3.10 藍染の色について

藍染には多種多様な色が存在する(図8)¹⁰⁾。図の10種の色のように、衛星についても染色のノズルからの吐出量を変化させることにより多階調の色分けが可能である。

衛星の名前を「Kokihanada(深縹)」としたのは、宇宙の色である暗い色の中でも縹色という藍特有の色の言い回しを含んでおり、藍染らしさを感じたからである。



4. 実験

我々の提案する衛星内で行われる藍の染色工程では、以下の点で、地上で行われる従来の伝統的な工程とは異なっているのが特徴である。

- ① 染色液に布を浸けるのではなく、ピエゾ形式のインクジェット方式により染色液を布に噴射すること
- ② ピエゾ形式を採用することで、異なるサイズの液滴を噴射でき、これによって濃さの変化が可能であること
- ③ 同じく、ピエゾ形式を採用することで、染色液に温度的な負荷がかからず、染色液の粘度に自由度があること
- ④ 無重量・真空環境下で染色液を噴射するため液滴が空気や重力の影響を受けず、正確に対象物まで打ち出すことができること
- ⑤ 地上では染色液から引き上げた瞬間から酸化、すなわち発色過程が始まるが、衛星では真空のためすぐには発色せず、電気分解により発生させた酸素を含んだ気体を噴射するため、気体量を制御することで発色具合を変化させることができること

- ⑥ 対象物の布は両端を巻くロール形式とし、
モーターにより送り・戻りを制御することで重ね染色ができること
 - ⑦ 衛星では重量削減のため、後洗浄工程を廃止し、その分の水を節約したこと
- このうち、①と⑦に関して検証実験を行った。

検証実験1 「染料の噴霧による染色実験」

インクジェット方式により布に染色できるか確認するため、染料の噴霧による染色を行った。以下の手順により実験を行った。

実験手順：

- ① 10cm 角の 10 枚の木綿の布を準備し、試験片とする
- ② 霧吹きにより、布に染色液を噴霧した
- ③ 霧吹きの回数を 50 回、100 回、150 回、200 回、250 回、300 回と変化させ、それにより染色がどう変化するか確認した。

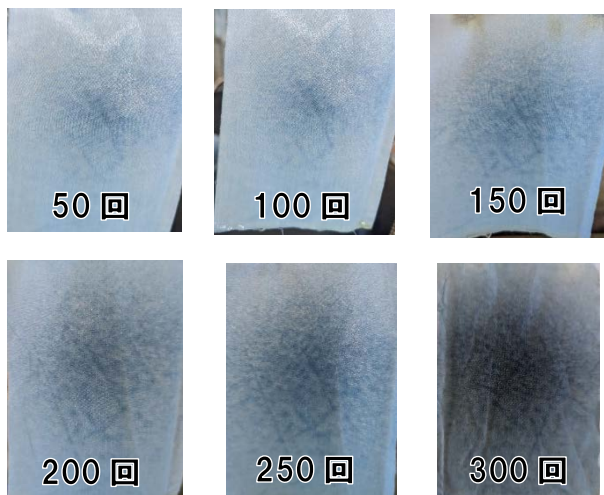


図9 検証実験1の結果

実験により、噴霧で布に染色できることが確認できた。また、噴射回数と色の濃さに相関関係がみられることから、グラデーションを用いた精密な模様が描けることが確認できた。これにより、ピエゾ方式のインクジェットでも藍染が可能だと考えられる。

図9は検証実験2の結果である。50回噴射時、100回噴射時というように並んでいる。

検証実験2 「後洗浄工程の有無の比較実験」
後洗浄工程を行わないことで、藍染めが正しく

発色するか検証を行った。伝統的な藍染めでは布を染色液に浸し、A) 空気中で酸化させ発色させたのち水で洗浄する、または、B) 流水中で水中酸化と洗浄を同時に行う、という方法を用いる。我々の衛星では重量軽減と節約のため、この後洗浄を行わない。洗浄を行わなくても染色によって発色が可能であることを以下の手順で確かめた。

実験手順：

- ① 10cm 角の 10 枚の木綿の布を準備し、試験片とする
- ② すべての試験片を染色液に3分間漬ける
- ③ 染色液から試験片を引き上げ、その後3分間空気にさらす
- ④ 試験片のうち、2枚を回収し、そのうち1枚を洗浄した
- ⑤ 手順2～4をあと4回繰り返し、その都度、2枚回収、うち1枚を洗浄とする

実験結果と考察：



図10 検証実験2の結果

図10は検証実験2の結果である。上列の布切れは後洗浄工程なし、下列の布切れは後洗浄工程ありの場合である。左から右へ染色の回数を増加させたものである。

洗浄の有無による発色の違いを比較すると、どの染色回数でも洗浄していない場合の試験片は色が濃く発色しているが、一方で色味は藍色がくすんだような色合いとなっている。しかし、洗浄の有無に関わらず染色回数が増えると色が徐々に濃くなり、洗浄していない試験片でも染色回数によるグラデーションが確認できた。

洗浄していない試験片で色がくすんでいたの

は、染色液に含まれる灰汁（アク）が原因であると考えられる。アクは、藍を建てるために染色液に加えるものであり、黄色や灰色の色素を含んでいる。アク自体は洗浄することで簡単に落ちるので、水で洗浄すると綺麗な藍色が現れるが洗浄しないとアクの色素のためにくすんだ色になってしまう。今回の実験で水洗浄を行わなくても充分発色することから、発色と積載重量削減との兼ね合いから本衛星内では染色後の水洗浄を不要とする。

5. 今後の課題・まとめ

5.1 今後の課題

実際に藍染宇宙空間で行う衛星を製作する上で以下の3項目をクリアしなければならない。1つ目は真空中で布に定着させた藍の染色液に含まれる水分の蒸発速度についての知見が得られていない点である。布-ノズル間の距離に関する最適値が現状では不明なため、ノズルから出た後の液滴がどの程度蒸発し、布に定着するかが不明である。に蒸発することなく布に到達できるのかが不透明だ。液滴表面の界面張力は液滴径が小さくなるほど大きくなり蒸発しにくくなるが、藍の染色液に関して真空雰囲気中の蒸発速度を調べる必要がある。2つ目は衛星に搭載の機器類の消費電力についてである。外壁に取り付けた太陽光パネルだけで衛星内部の消費電力が賄えるかが不透明である。インクジェットプリンタを動かすのに必要な電力計算の手法を検討する必要がある。3点目は衛星内部の機構についてしか設計できていない点である。衛星の推進機構や方向転換機構などの衛星搭載機器類について充分検討する必要がある。

5.2 まとめ

我々は、藍染の酸化工程に注目することで、宇宙が真空であることを利用して新たな藍染ができないか思案した。その結果、酸化のタイミングを制御することで地球とは違った藍染の可能性を発見することができた。それが今回作成した藍染衛星である。宇宙での伝統工芸の再現

を可能とただけでなく、インクジェット式により精密な藍染という道も開拓できた。今回、コンテストに参加することで、我々は地元「徳島」の伝統工芸について知る機会を得た。宇宙という途方もなく遠い場所と地元を結びつけることができたと感じている。このようにして、その土地に住む学生などが地元の伝統工芸の再現を宇宙にて試みることで、その側面や伝統文化を受け継ぐ重要性を知るきっかけとなる。

6. 参考文献

- 1) 鳴門の渦潮 徳島県観光情報サイト阿波ナビ
<https://www.awanavi.jp/archives/gallery/20841>
(閲覧日時 2023/6/30)
- 2) 藍染とは？藍の持つ効果と歴史 水野染工場
<https://www.hanten.jp/column/aizome/indigo1>
(閲覧日時 2023/7/2)
- 3) 牛田智.「藍染を化学の視点から」、日本化学会誌「化学と教育」、Vol.64、No.8、pp.406-407、2016.
- 4) インクジェットプリンターとは キーエンス
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/marker/inkjetprinter/> (閲覧日時 2023/6/30)
- 5) 桜井誠人・島明日香・大西充、「有人宇宙探査のための酸素製造に関する研究」、第58回宇宙科学技術連合講演会講演集、2014.
- 6) Oxygen has its ups and downs on space station
<https://www.nbcnews.com/id/wbna6800245>
(閲覧日時 2023/6/30)
- 7) 甘利武司・鈴木健司、「インクジェット印刷の化学」、色材協会誌、Vol.72、No.11、pp.691、1999.
- 8) 木村光雄・清水慶昭、「天然染料の染着機構に関する研究（第2報）」インジゴの木綿および絹に対する染着・拡散挙動」、日本家政学会誌、Vol39、No1、p40-44、1988.
- 9) 小林明秀、「宇宙機の熱制御における表面処理」、表面技術協会誌、Vol.66、No.6、pp.256-257、2015.
- 10) 藍産業振興協会、藍の本、徳島県商工労働観光部観光政策課、pp.51、2020.