

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「繊維への微細カラーマーキング実用化装置の開発」

**成果報告書
(概要版)**

平成 22 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人 関西環境管理技術センター

目 次

第1章 研究開発の目的と概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	3
1-4 当該研究開発の連絡窓口	4
第2章 研究の内容と成果	5
1 ガルバノスキャン装置及びXY テーブル駆動装置の精度向上及び応答性 (速度)改善の開発研究	5
1-1 高精度スキャナーミラーおよびf θ レンズの開発研究	5
1-2 XY テーブルの高速化加工技術の開発研究	8
1-3 微細文字を高速でマーキングするためのソフトウェア開発研究	9
2 染料薄膜塗布装置と連続真空装置の開発	10
2-1 染料を薄膜塗布する方法の研究開発	10
2-2 使用染料の選定研究	13
3 糸張力精密制御系送り装置の開発研究	15
3-1 マーキング時の糸熱膨張に追従する張力制御装置の開発研究	15
3-2 カラー薄膜塗布とマーキングのタイミングを制御する糸送り装置 の開発研究	15
4 レーザースポット収束装置の開発研究	17
4-1 波面補正を利用した光源ユニットの開発研究	17
4-2 集光径の評価	19
5 拡大モニター装置と品質管理ソフト開発研究	20
5-1 マーキング部をリアルタイムで倍率 100 倍～200 倍でモニターできる 装置の開発研究	20
6 連続洗浄乾燥装置の開発研究	23
6-1 糸の未固着染料をきれいに連続洗浄できる装置の開発研究	23
6-2 糸を洗浄後乾燥できる乾燥装置の開発研究	24
第3章 全体総括	26

第1章 研究開発の目的と概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の目的

繊維への微細カラーマーキング(文字の大きさ 20μ)技術を実用化するための量産機を開発し、直径 0.1mm の糸にフルカラーでロゴマークを書くことにより、ファッション性に優れ、なおかつ他では真似のできないデザイン性とセキュリティを両立させた偽造防止繊維加工技術を開発する。

2) 研究の概要

現在、YAGレーザーを用いて直径 100μ の黒色ポリエステルフィラメントに 60μ の大きさの白色文字をマーキング(特許:特表2006-526086「レーザーマーキング可能な繊維または繊維製品」、特開2006-283216「被加工系のレーザーマーキング方法および装置」)し、ブランド品の偽造防止用途に販売しているが、糸が黒色であることから淡色の製品に使用すると目立ちやすくファッション性も低下するという欠点がある。アパレルからは、透明な糸に更に微細なカラー文字をマーキングすることによりデザイン性とセキュリティを両立させた偽造防止用繊維開発の要求があり、これが完成するとブランド品の偽造防止手段として手軽に幅広く利用できる。

3) 研究の目標

微細カラーマーキング繊維加工技術により、フルカラーでサイズ $20\mu\text{m}$ の文字を 0.1mm 太さの繊維にマーキングすることを目標とする。各々の課題研究項目についての目標値を以下の表に示す。

課題研究項目	目標値
1. ガルバノスキャン装置およびXYテーブル駆動装置の精度向上及び応答性(速度)改善の開発研究	0.1mm の糸に 20μ の文字がマーキングできる精度。
2. 染料薄膜塗布装置と連続真空装置の開発研究	0.1mm の糸に 20μ の文字をマーキングできるように染料を薄膜塗布する。
3. 糸張力精密制御系送り装置の開発研究	0.1mm の糸に 20μ の文字がマーキングできる精度。
4. レーザースポット収束装置の開発研究	20μ の文字をマーキングできる集光精度。
5. 拡大モニター装置と品質管理ソフト開発研究	0.1mm の糸にマーキングした 20μ の文字を品質管理。
6. 連続洗浄乾燥装置の開発研究	未固着染料を洗浄乾燥。

1-2 研究体制

総括研究代表者（PL） 所属組織名：明昌機工株式会社 役職：代表取締役社長 氏名：岡本 利樹
副総括研究代表者（SL） 所属組織名：国立大学法人 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 役職：特任教授 氏名：實野 孝久

明昌機工株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
片瀬 徹也	開発部開発センターSA	1-1, 1-2, 1-3, 2-1 2-2, 3-1, 3-2, 4-1 4-2, 5-1, 6-1, 6-2
武知 孝紀	開発部システムグループ	1-1, 1-2, 1-3, 5-1
笹倉 亜規	開発部開発センター	2-1, 2-2, 6-1, 6-2
馬袋 時久	開発部システムグループ	3-1, 3-2

国立大学法人 大阪大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
實野 孝久	レーザーエネルギー学研究センター光・量子放射学研究部門レーザー光学技術グループ 特任教授	4-1, 4-2

静岡県浜松工業技術支援センター

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
植田 浩安	光電子科光スタッフ	1-1, 1-2, 1-3, 4-1 4-2

シキボウ株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
辻本 裕	商品開発課長	1-1, 1-2, 1-3, 3-13-2 5-1, 6-1, 6-2

株式会社ニデック

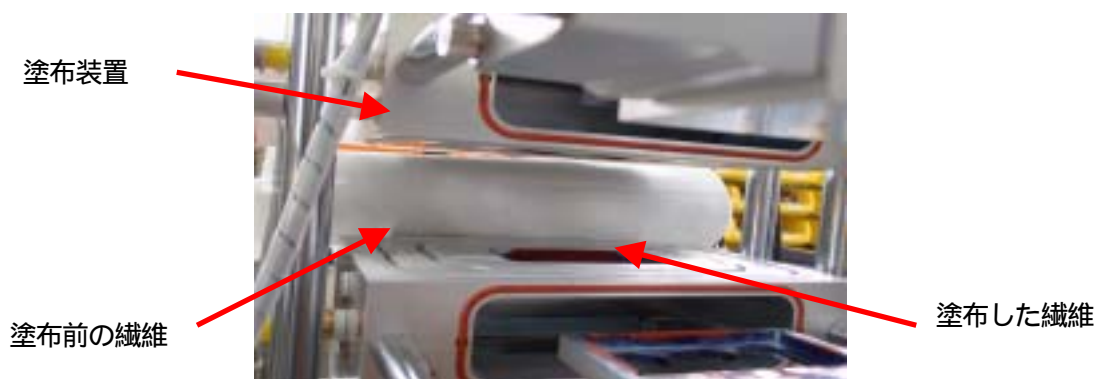
氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
犬塚 稔	コト事業部研究開発部	2-1, 2-2

1-3 成果概要

1. 微細カラーマーキング実用化装置の開発機を設計し、製作することが出来た。
2. 繊維に $20\mu\text{m}$ 文字高さの文字をマーキングすることができた。



3. 繊維に染料を塗布できる装置を開発し、その装置で最適な条件で染料を薄膜塗布するプロセスを開発することができた。



4. 開発した糸送り装置で、ピッチ送り誤差 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内で連続して糸の送り出し及び巻き取りを行うことができた。



5. 波面補正を行うことにより波面収差の rms 値が 0.21λ , PV 値が 0.48λ の LD 光源ユニットを製作することができ、 $20\mu\text{m}$ の文字をすることができるほどの回析限界に近いスポット径で集光できるレーザースポット収束装置を開発することができた。



6. 文字高さ $20\mu\text{m}$ のマーキングした文字を観察できる光学系を安価に作製することができた。



7. 糸に塗布された染料を連続的に洗浄乾燥できる装置を開発することができた。



1-4 当該研究開発の連絡窓口

所 属 : 環境技術部 分析課
 氏 名 : 早野 雅紀
 電 話 : 06-6583-7121
 F A X : 06-6583-3274
 E-mail : kansai_bunseki@ematec.or.jp

第2章 研究の内容と成果

1 ガルバノスキャン装置及びXYテーブル駆動装置の精度向上及び応答性（速度）改善の開発研究

1-1 高精度スキャナーミラーおよび短焦点 $f\theta$ レンズの開発研究

担当：浜松工業技術支援センター、シキボウ株式会社、明昌機工株式会社

本研究テーマの概要：

現時点での加工できる文字は 60μ であり、目標とする 20μ 文字高さの微細な文字を加工するためには、スキャン分解能の微細化と文字線巾の縮小化が必須である。スキャン分解能の微細化を実現するためには、ガルバノスキャン装置のスキャナーミラーを更に高精度に動作させる必要がある。また、文字線巾の縮小化を実現するためには、集光レンズ（短焦点 $f\theta$ レンズ）によりレーザーのスポット径をさらに小さく絞る必要がある。これらの必要性から、スキャナーミラーの高精度動作および短焦点 $f\theta$ レンズの研究開発を行い、 20μ の文字描画が可能な装置を開発する。

研究内容と成果：

1-1-1 スキャン分解能の高精度化

目標とする $20\mu\text{m}$ 文字高さの微細な文字を加工するためには、スキャン分解能の高精度化と文字線幅の細線化が必須である。スキャン分解能を上げ、高精度で位置決めを実現するために、従来のアナログ方式ではなくオールデジタル方式ガルバノスキャンシステムを採用した。このシステムの概要を図1-1-1に示す。コントローラの指令からスキャナの制御まで、オールデジタル制御を実現している。これによって、微細印字を実現した。

<MIRAMOTIONシステム構成図>

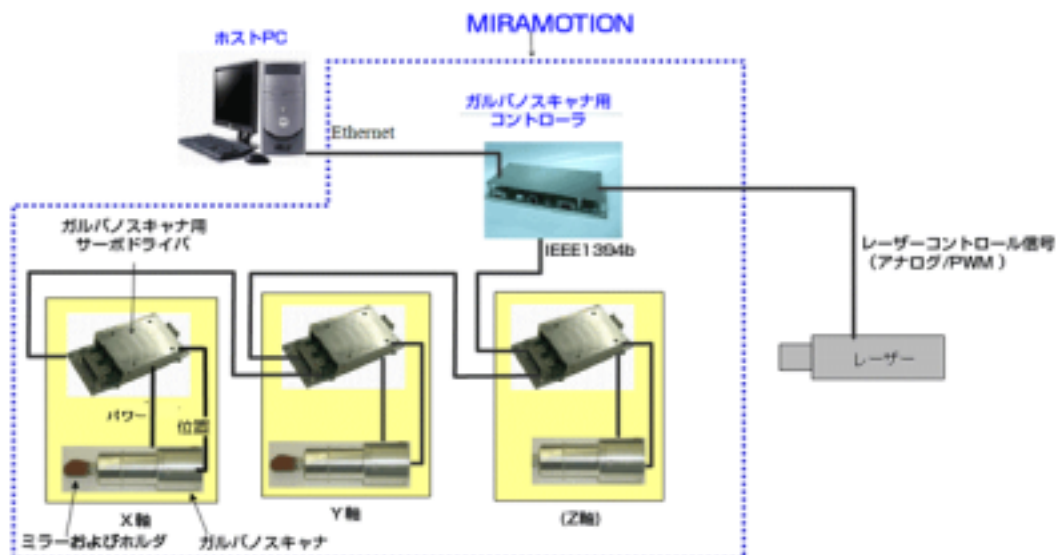


図1-1-1 システム構成図

1-1-2 短焦点 $f\theta$ レンズと加工痕の最小化

前項では、スキャン分解能を高精度化するため手法を検討したが、本項では線幅の細線化を試み

た。線幅を最小化するためには、ビームを小さく集光することや真円に近いビーム形状を得ることは重要である。本研究開発では、紫色半導体レーザーを光源として、ビーム径を $10\mu\text{m}$ ($1/e^2$) 以下の集光可能な光学系設計した。今回、実験に利用した装置の出力光のプロファイルを図 1-1-2 に示す。焦点距離 50mm の $f\theta$ レンズを使用し、 $10\mu\text{m}$ 以下の集光径が得られた。このプロファイルから装置の出力ビームは円形であることが確認できた。パルス幅を狭くするなどの方法により、与えるエネルギーを低下させて、染色スポットのサイズを小さくすることができる。染料を薄く塗布した PET 製平板上にレーザー光を 1 パルス照射したときの染色スポットを写真 1-1-3 に示す。レーザー光 1 パルスでも真円に加工でき染色スポットのサイズを約 $3.5\mu\text{m}$ まで小さくすることができた。染色スポットのサイズを $3.5\mu\text{m}$ 程度に調整できれば、 $20\mu\text{m}$ の文字の描画が可能である。

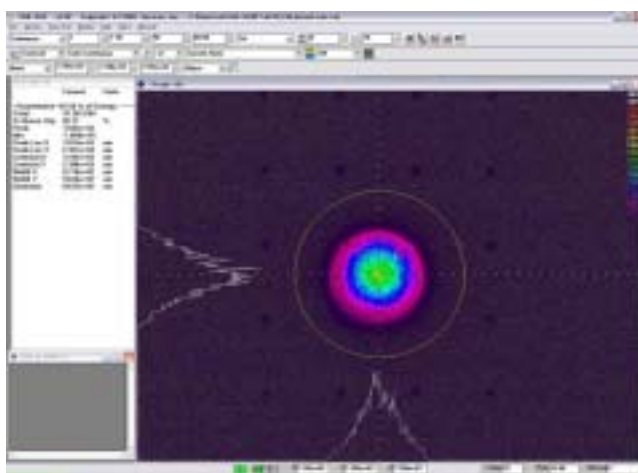


図 1-1-2 出力ビームのプロファイル

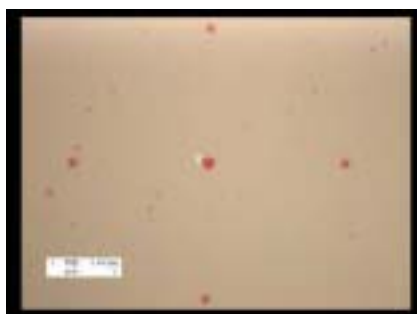


写真 1-1-3 PET 製平板上に 1 パルスでの加工痕 (約 $3.5\mu\text{m}$)

1-1-3 ガルバノスキャナーを利用したカラー微細マーキング

(a) PET 製平板へのカラー微細マーキング

PET 製平板へ赤・青・黄・茶の各色染料を薄く均一に塗布した後、レーザーを照射した。デジタル方式ガルバノスキャンシステムを用い、レーザー光をガルバノミラーで走査する方式で文字を描画した。各色共に $20\mu\text{m}$ の文字を鮮明にマーキングすることができた。各色マーキング結果を写真 1-1-4～7 に示す。



写真 1-1-4 PET 製平板への 20 μm の文字 (青色)



写真 1-1-5 PET 製平板への 20 μm の文字 (赤色)

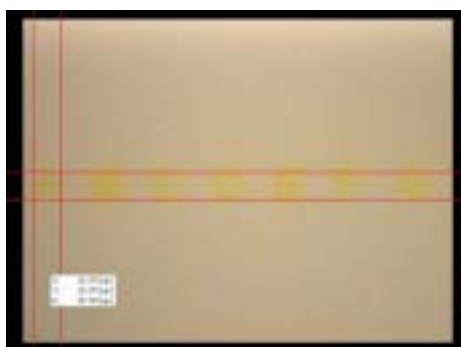


写真 1-1-6 PET 製平板への 20 μm の文字 (黄色)

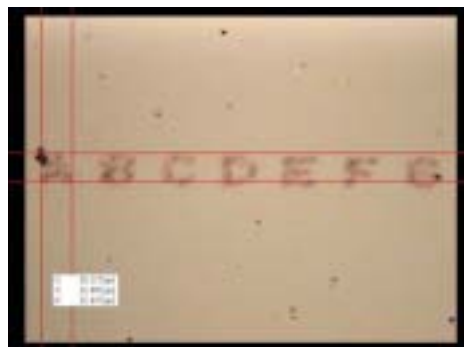


写真 1-1-7 PET 製平板への 20 μm の文字 (茶)

(b) ポリエステルモノフィラメントへの微細マーキング

ポリエステルモノフィラメント系に各色染料を薄く塗布した後、レーザーを照射した。文字の描画方法はデジタル方式ガルバノスキャンシステムを利用した。各色共にポリエステルモノフィラメント系に 20 μm の文字を明瞭にマーキングすることができた。マーキング結果を写真 1-1-8 に示す。



写真 1-1-8 Fiber への 20 μm の文字

1-1-4 成果

スキャナーミラーの高精度動作および短焦点 fθ レンズの研究開発を行い、高精度のデジタル方式ガルバノスキャンシステムを開発し、この装置を用いて直径 0.1 mm ポリエステルモノフィラメント系に 20 μm の文字を明瞭にマーキングすることができた。

1-2 XY テーブルの高速化加工技術の開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社、

本研究テーマの概要

1 - 1 で述べたスキャナーミラー駆動での文字描画が一般的であるが、微細加工の分野では数十 nm 単位で移動できる超高精度な XY テーブルを使用している。したがって、XY テーブルを動作させて目標とする 20μ の文字を描画することは、ステージの持つ分解能からは可能である。しかし、現時点では文字描画速度がスキャナーミラー駆動に比べて遅く、ステージを高精度かつ高速に動作させることが課題であり、1 - 1 の描画方法に匹敵する応答性（描画速度）を実現するべく研究開発を行う。

研究内容と成果

1-2-1 XY テーブルの製作仕様

XY テーブルは超精密な位置決め精度と高速な応答性が必要とされることから、それらを満たすテーブルの設計仕様を表 1-2-1 のとおりにとまとめた。図 1-2-2 は XY テーブルの概念図である。

また、XY テーブルには送られてくる繊維を保持するガイドやクランプ機構および繊維の高さ位置をレーザー焦点位置に合わせるための Z 軸ステージ等の重量物が取り付けため、その負荷を十分補える剛性の高いガイドや駆動源が必要になる。

表 1-2-1 XY テーブル装置仕様

最高速度	1m/sec 程度（目標値）
駆動方式	サーボ駆動
繰り返し位置決め精度	$\pm 1\mu\text{m}$ 以下
最小分解能	$1\mu\text{m}$ 以下
案内方式	高精度リニアガイド
真直度	$5\mu\text{m}$ 以内/100mm
最大可搬質量	5kg 以上

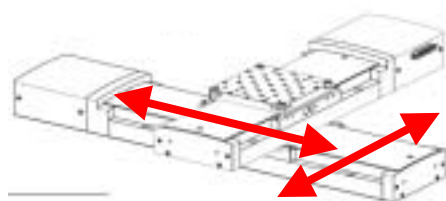


図 1-2-2 XY テーブル装置概念図

1-2-2 マーキング試験

ガルバノスキャン装置より照射位置を固定したレーザーを出力し、パソコンで作成した運転パターンで XY テーブルを駆動させて、染料を塗布したアクリル樹脂板上にアルファベットの「M」の文字を一筆書きで連続してマーキングを行った。樹脂上にマーキングされているのが写真 1-2-3、に見てとれる。文字高さが $20\mu\text{m}$ で、長さ 5mm にわたってマーキングされていて、XY ステージ

による描画方法でも、線巾が $3\mu\text{m}$ で文字高さ $20\mu\text{m}$ の文字をマーキングできることが見てとれる。描画に要した時間は60秒ほどであるが、そのうちの大半がXYステージコントローラーと位置指令を行うパソコンとの通信時間であり、描画に要した時間(XYテーブルの動作時間)は2秒程度である。通信に要する時間は、運転プログラムを内蔵できるコントローラーを使用することで省略することができる。



写真 1-2-3 マーキング結果

1-2-3 成果

1. 5mm の長さに描画時間 2 秒という高い応答性でマイクロパターンをマーキングすることができた。
2. XY ステージ動作で文字高さ $20\mu\text{m}$ の文字を描く能力があるとわかった。

1-3 微細文字を高速でマーキングするためのソフトウェア開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社

本研究テーマの概要

スキャナーミラーやXYテーブルで微細文字を高速でマーキングをするための制御には、それぞれの機械の動作コマンドと文字データーを結合させ、ビームの照射タイミングと個々の動作のタイミングを極短時間で計り、機器に指令する必要がある。高速マーキングを実現させるために、ハードを含めたソフト開発を行う。20 μ の微細文字を高速でマーキングするためのソフトウェア開発研究を行う。

研究内容と成果

1-3-1 装置構成

マーキング用光学ユニット制御について、図 1-3-1 に装置構成を示す。

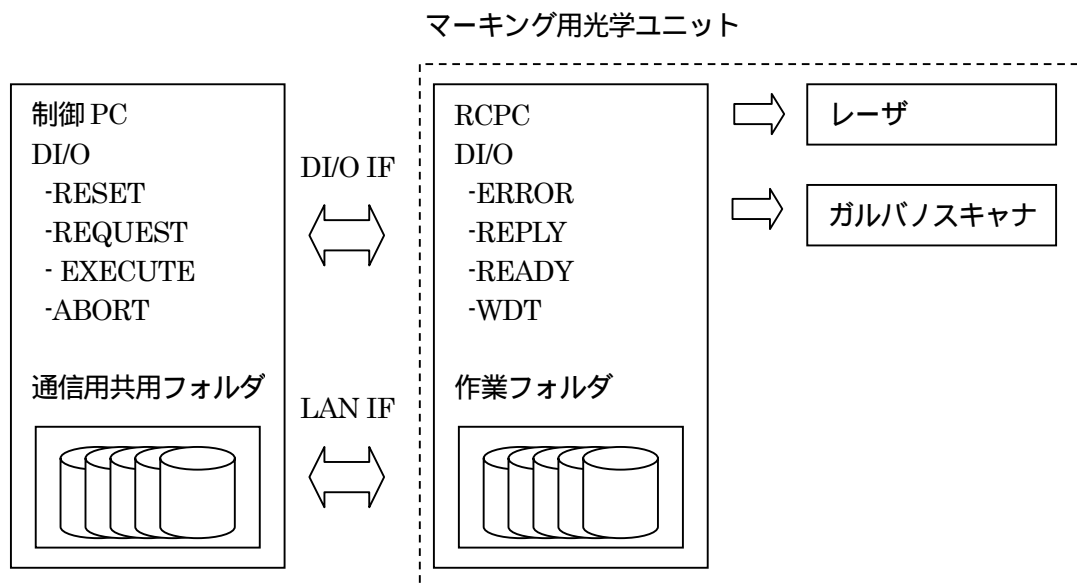


図 1-3-1 マーキング用光学ユニット制御装置構成図

1-3-2 マーキング試験

制御 PC の通信共用フォルダ内のデータファイルにてマーキング文字列を指定し、RCPC に実行要求を行い、染料を塗布した樹脂プレート上にマーキングを行ってみた。指定された文字列が樹脂プレート上にマーキングされているのが写真 1-3-2 に見てとれる。レーザーやガルバノスキャナへの指令の遅延無く、文字高さ 20 μm の文字列が瞬時にマーキングされた。



写真 1-3-2 マーキング結果

1-3-3 成果

1. 文字高さ 20 μm の文字列が瞬時にマーキングすることができた。
2. 制御 PC と RCPC との通信による制御により、各機器への指令が遅延無く行うことができた。

2 染料薄膜塗布装置と連続真空装置の開発

2-1 染料を薄膜塗布する方法の研究開発

担当：明昌機工株式会社、株式会社ニデック、

本研究テーマの概要

20 μ の微細文字マーキングを可能にするには繊維上に均一な染料の薄膜を塗布する必要がある。このため、染料インクを転写紙に印刷し、この染料を真空中で昇華させて均一な薄膜を繊維上に蒸

着させる装置を開発する。染料インクをインクジェットプリンタで印刷する事により、自由に染料膜厚を制御できる装置の開発研究を行う。

研究内容と成果

2-1-1 染料薄膜塗布装置の製作

図 2-1-1 に示すように染料薄膜塗布装置はヒーター加熱部、真空チャンバーおよび転写紙保持部から構成されている。製作した装置は、転写紙の交換を自動的にできる構造となっており、連続して運転することが可能である。製作した装置を写真 2-1-2 に示す。操作はすべて装置前面のタッチパネルで行うことができ、パラメーターも詳細に設定することができる。

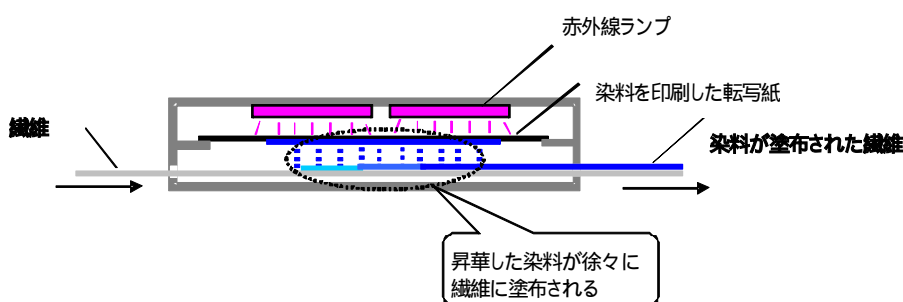


図 2-1-1 染料薄膜塗布装置構成図



写真 2-1-2 染料薄膜塗布装置

2-1-2 染料薄膜塗布試験

開発した装置で、ポリカーボネイトフィルム上に染料を均一に塗布できるか実証試験を行った。薄膜塗布は真空雰囲気で行い、加熱時間を变化させた時の塗布状況の違いと同一パラメーター（最適パラメーター）で薄膜塗布を行った時に均一かつ同品質に塗布できるかを検証した。

加熱時間と塗布状況の関係をまとめたものを表 2-1-3 に示す。結果から加熱時間 20 秒の時間がきれいに塗布できているのがわかる。また、加熱時間 20 秒の同一条件で複数回塗布を行ったが、均一にできていた。

表 2-1-3 染料薄膜塗布試験結果

番号	加熱時間	塗布結果写真	塗布結果
1	5 秒		無着色
2	10 秒		周辺部着色無し
3	20 秒		良好に全面着色
4	30 秒		中心に発色部があり NG
5	40 秒		中心に大きく発色部があり NG

塗布条件がほぼ確立したところで、繊維に連続的に染料塗布を行った。染料を塗布した繊維の写真 2-1-4 に示す。繊維に赤色の染料が塗布されているのがわかる。開発した装置で繊維上に染料を連続的に塗布できる装置を開発することができた。

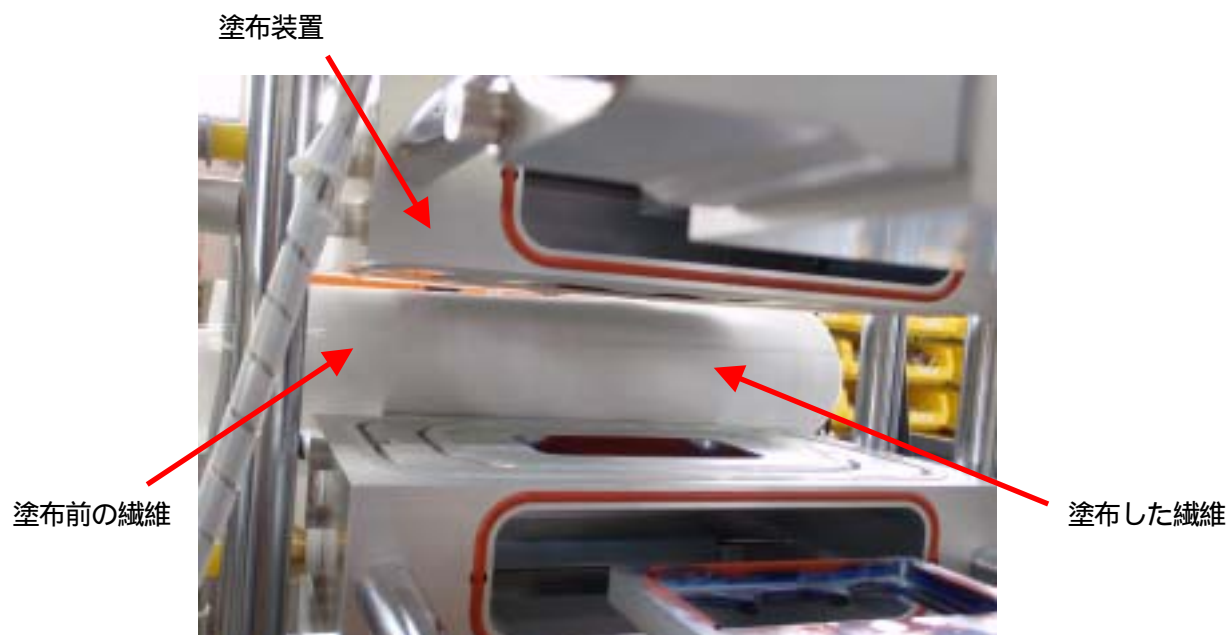


写真 2-1-4 染料を塗布した繊維

2-1-3 成果

1. 染料を繊維に塗布できる装置が完成し、その装置で最適な条件で染料を薄膜塗布するプロセスを開発することができた。
2. 繊維への染料薄膜塗布が連続的に行うことができた。

2-2 使用染料の選定研究

担当：株式会社ニデック、明昌機工株式会社

本研究テーマの概要

手可能な染料インクの中で、 20μ の微細文字をマーキングする場合の色の耐光性や生産性を考慮し、定着性の良い昇華性のある染料インクの選定を行なう。

研究内容と成果

2-2-1 染料別発色性テスト

気相転写で使用でき可能性のあるインク（染料）を3色（Red、Yellow、Blue）にそれぞれ3種ずつの合計9種の候補がある。この中でPET繊維に着色しやすい染料を選定するために、繊維に9種の染料をニデック製気相転写装置（TTM-2000）で塗布した後マーキングテストを行い、発色性の良い染料を選定した結果、全ての染料でマーキングできることが分かったが、染料毎にマーキングした線の濃さに差が見られた。Blueについては、Blue-1が一番濃く発色、Yellowに

ついてはYellow-1が、RedについてはRed-1とRed-3が濃く発色することがわかった。

使用染料：Blue-1	Blue-2	Blue-3
Yellow-1	Yellow-2	Yellow-3
Red-1	Red-2	Red-3

プリンタ：EPSON PX-6250S

印刷量：(株)ニデック製印刷ソフトウェア TTS-PS2.1.1 を使用し、0512(2倍)で印刷

レーザ：VLD (405nm) 60mW

2-2-2 耐光性テスト

気相転写で使用でき可能性のあるインク(染料)を3色(Red、Yellow、Blue)3種合計9種の耐光性を調べて使用する染料を選定する予定であったが、繊維に微細マーキングしたものを定量的にうまく評価する方法がない。よって、PETの板にニデック製気相転写装置(TTM-2000)で染料を塗布した後にオーブンで加熱して発色させ耐光試験を行った結果が表2-2-1である。耐光試験前の色度と耐光試験後の色度から色の退色量(色差 E^*)を計算してまとめた。これよりRedはRed-1、YellowはYellow-2、BlueはBlue-2の退色量が小さい。耐光性を考えると、YellowはYellow-2、BlueはBlue-2を選択することになるが、PET繊維の発色性を考えると、発色性(染色性)に課題がある。発色性も含めて判断すると選定する3色の染料はRed-1、Yellow-1、Blue-1が良いと判断した

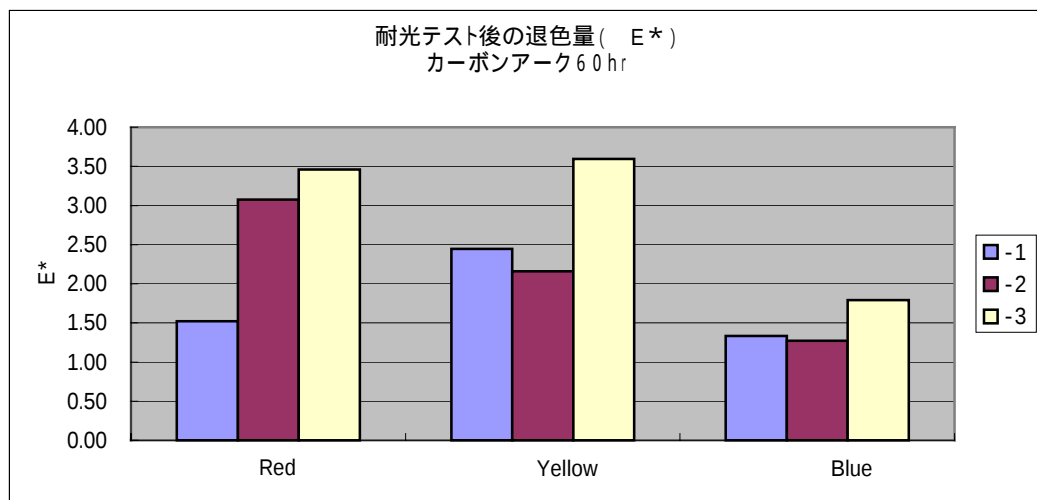
使用染料：Blue-1 Blue-2 Blue-3
Yellow-1 Yellow-2 Yellow-3
Red-1 Red-2 Red-3

プリンタ：EPSON PX-6250S

印刷量：(株)ニデック製印刷ソフトウェア TTS-PS2.1.1 を使用し、0512(2倍)で印刷

耐光試験条件：カーボンアーク 60hr

表 2-2-1 耐光試験後の色の退色量(E^*)



2-2-3 選定染料による気相転写テスト

選定したインク(染料)Blue-1、Yellow-1、Red-1を印刷し、実際に作製した繊維用の染料薄膜塗布装置で気相転写を行った。評価し易いようにポリカーボネートシートに塗布して評価した結果、写真2-2-2のようにポリカーボネートシートに均一に塗布できる事を確認できた。

プリンタ：EPSON PX-6250S

印刷量：(株)ニデック製印刷ソフトウェア TTS-PS2.1.1 を使用し、0512(2倍)で印刷

条件：排気時間 60 sec、照射時間 20 sec 両面から転写

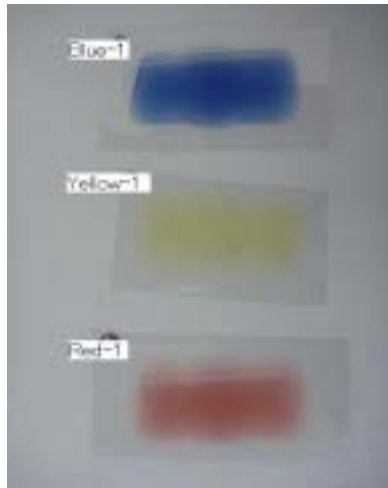


写真 2-2-2 気相転写後のポリカーボネートシート

2-2-4 成果

定着性の良い昇華性のある染料について発色性テスト、耐光性テスト、気相転写テストを行いレーザーマーキングに最適な3原色の染料が選定できた。

3 糸張力精密制御糸送り装置の開発研究

3-1 マーキング時の糸熱膨張に追従する張力制御装置の開発研究

3-2 カラー薄膜塗布とマーキングのタイミングを制御する糸送り装置の開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社、

本研究テーマの概要

レーザーマーキング時の糸熱膨張により、糸の位置ズレが生じる。このズレを防ぐために糸のズレを追従する張力制御装置の開発および条件設定を行い20 μ の文字を精度良くマーキングできるようにする。

また、カラー薄膜塗布装置とレーザーマーキング装置の動作タイミングを精密制御しなければ糸の正確な位置に20 μ の文字をマーキングすることができない。これを克服するためにカラー薄膜塗布とマーキングのタイミングを制御する糸送り装置を開発し制御条件設定を行う。

研究内容と成果

3-1-1 糸送り装置の製作

レーザーマーキングや染料塗布において加熱を伴うプロセスがあり、そのため糸が膨張して、糸送り精度にずれが生じてしまう。それを防ぐため、膨張した分を上流側の一方方向に逃がすような張力調整機構を持つ糸送り装置を設計し、製作を行った。染料塗布装置およびレーザーマーキング装置より下流側には糸が膨張して伸びないように繊維をクリップするニップ装置を設け、繊維をニップしながらステッピングモーター駆動でローラーを回転させて定尺送りを行う。染料塗布装置およ

びレーザーマーキング装置の上流側には熱膨張で伸びた弛み分を吸収するアキュム装置を設けた。アキュム装置による張力制御はウエイトバランスで行っている。糸送り装置のアキュム装置の付いた糸送りだし部とニップ装置を写真 3-1-1、3-1-2 に示す。



写真 3-1-1 糸送り装置 送り出し部

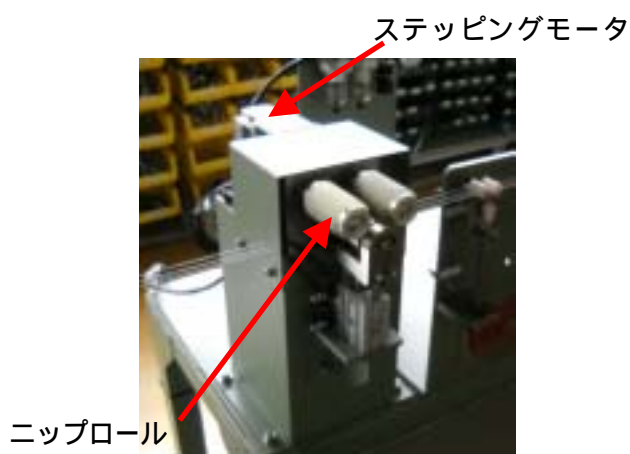


写真 3-1-2 糸送り装置 ニップ装置

糸の巻き取りは、専用のポビンに糸をトラバースさせながら行う。ニップ装置の下流側にアキュム装置を設け、弛みなく巻き取りができる構成となっている。巻き取り装置を写真 3-1-3 に示す。



写真 3-1-3 糸送り装置 巻き取り部

3-1-2 糸送り試験

実際に薄膜塗布装置を使用して繊維が加熱されるプロセスがある工程で糸送り試験を行った。開発した糸送り装置によって、繊維加熱による熱膨張による伸びを吸収し正確に定尺送りができているかを、送りピッチ誤差をスケール及び拡大カメラで測定する方法で確認を行った。試験は加熱プロセスがある場合と無い場合の比較も行った。その結果を表 3-1-4 に示す。結果から、加熱プロセスの有無にかかわらず平均 $\pm 0.1\text{mm}$ の位置ずれで定尺ピッチ送りができているのがわかる。また、30 回連続して糸の送り出し及び巻き取りが行うことができた。

表 3-1-4 糸送り試験結果

	送り回数	糸送り前位置	糸送り後位置	移動量
加熱プロセスなし	1 回目	50.0	80.1	30.1
	5 回目	49.5	79.4	29.9
	10 回目	51.4	81.5	30.1
	30 回目	52.2	82.3	30.1
加熱プロセス有り	1 回目	51.8	81.9	30.1
	5 回目	50.7	80.7	30.0
	10 回目	52.8	82.9	30.1
	30 回目	51.0	80.9	29.9

3-1-3 成果

1. 開発した糸送り装置で加熱プロセスの有無にかかわらず、ピッチ誤差 $\pm 0.1\text{mm}$ 程度で糸を定尺送りすることができた。
2. 連続して糸の送り出し及び巻き取りが行うことができた。

4 レーザースポット収束装置の開発研究

4-1 波面補正を利用した光源ユニットの開発研究

担当：大阪大学、明昌機工株式会社、浜松工業技術支援センター

本研究テーマの概要

使用する半導体レーザー光源は波面の歪みが大きく、そのままでは集光出来ないため、専用のコリメータレンズを取り付け、その出力光の波面を測定して、阪大で開発した短波長紫外レーザーによる波面補正を行い、精密に集光可能なユニットを開発し、 20μ の微細文字がマーキングできるようにする。波面測定および波面補正は阪大が保有する装置を使用する。

試作した光源ユニットの性能を評価するために、出力光の波面収差の測定値から集光性を回折計算により求めると共に、実際に集光した場合のスポットサイズを実測することにより光源ユニットの集光特性を掌握する。これにより 20μ の微細文字がマーキングできる集光精度をめざす。回折計算および集光特性の測定には阪大が保有するソフトおよび測定器を使用する。

研究内容と成果

4-1-1 目的

繊維などの樹脂上に染料をコートし波長 405nm の半導体レーザー（LD）光を集光し線を描くことで樹脂上に細い線状の染色が出来る。文字の大きさが $20\mu\text{m}$ で描けるようなレーザー収束装置を製作する。

4-1-2 達成方法

レーザー光を微小に集光するには高精度な組み立てと半導体レーザーの持つ非点収差の低減が不可欠である。それには非点収差なくすために縦と横方向で曲率の異なるコリメートレンズを使用し、レンズを通した光の波面収差を計測して、レンズを高精度に位置決めを行う。さらに、レーザーアブレーション加工法を用いて LD 光の位相の遅れを補正することにより、より高精度なコリメート光

が作られる。これを収束することで微細なスポットが得られる。

4-1-3 光源ユニットの製作

出力 60mW の青色 LD の入手が困難なため、レーザー出力 120mW 仕様の LD を使用した。変更に伴い LD の放熱のための LD ホルダーの形状変更が生じた。また、コリメート光を収束するレンズを含めて一体とする必要があり新規に設計製作した。その形状を図 4-1-1 に示す。

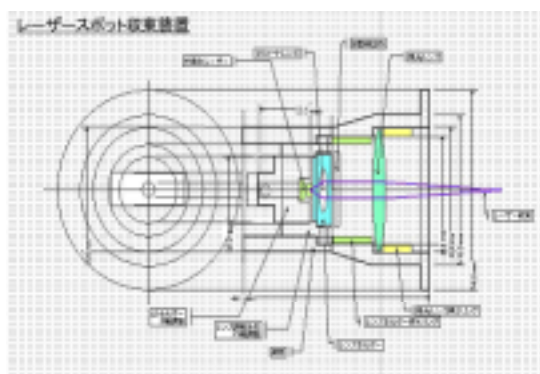
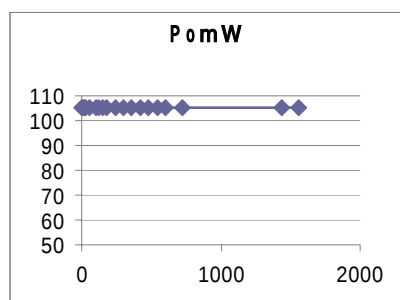


図 4-1-1 レーザースポット収束装置

次に、レーザーの出力が大きくなった事による収束装置の出力安定性を検証した。その結果をグラフ 4-1-2 に示す。レーザー出力が安定していることが分かる。集光レンズには焦点距離 50mm のレンズを使用した。焦点距離 35mm のレンズ集光特性との差が無く、作業性を重視して焦点距離 50mm のレンズを採用した。組み立て補正加工後の完成製品(製品名：LD ユニット)を写真 4-1-3 に示す。



グラフ 4-1-2 LDの安定性 (パワーVs 時間 (s))



写真 4-1-3 LD ユニット外観写真

4-1-4 成果

LD コリメート光の波面の補正：LD 上にコリメートレンズを組み立てさらに位相補正板をつけて、この補正板上でレーザーアブレーション加工により波面の計測と補正加工を繰り返して波面の補正を行ない光源ユニットを完成した。

4-2 集光径の評価

担当：大阪大学、明昌機工株式会社、浜松工業技術支援センター

4-2-1 集光径の評価

各ユニットにおいて、F50mm のレンズでの焦点位置のスポットの形状を計測した、計測は対物×10 レンズを用いて拡大投影してスポットの大きさを半値幅で求めた。集光径を表 4-2-1 に示す。

LD ユニットと基準光のスポット径と変わらず、また、回折による限界スポット径に近い事などから性能良く組み立てと補正加工が出来たことがわかる。

表 4-2-1 集光径 (μm)

ビームから	LDユニット1	LDユニット2	LDユニット3	基準光	限界スポット
半値幅					ビーム: 2ϕ
X軸(slow)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.7
Y軸(fast)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.7

4-2-2 染色加工

完成した LD ユニットを用いてレーザー染色による加工線幅の確認をおこなった。ポリカーボネート (PC) 樹脂上に水性インクをスピンコートし、加熱乾燥後、3 軸ステージを用いて焦点位置に加工物を置いてスキャンした。装置の概要を写真 4-2-2 に示す。図 4-2-3 には加工線の顕微鏡写真を示す。

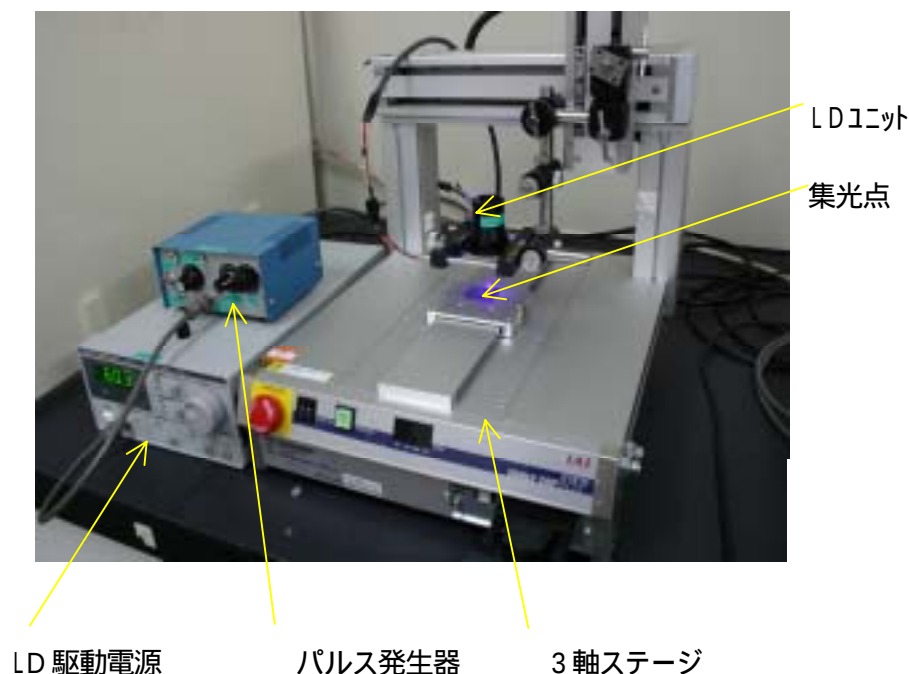


写真 4-2-2 レーザー染色加工の装置の概要

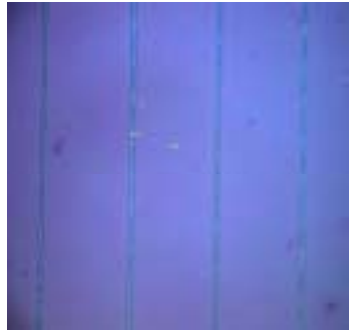


図 4-2-3 レーザー染色による加工物の顕微鏡写真（線間隔は 0.2 mm）

4-2-3 成果

完成した LD ユニット（レーザースポット収束装置）の集光特性は回折限界の集光径に達していた。PC 樹脂上で染料インクのレーザー染色を行い、照射の移動速度、パルスコリメート光を広げて集光することでさらなる微小スポットが得られることになる。

20 μm の文字を書くためには 5 μm 前後の線幅が必要と考え、目標条件を満足できるようなレーザースポット収束装置の開発ができた。

4-2-4 課題点

さらに線幅を細くするには、集光スポットを小さくする必要がある。それには LD コリメート光を現在 2 ϕ であるが、これを倍にすると限界集光径は 6.3 μm となることから、LD コリメート光を広げて集光することでさらなる微小スポットが得られることになる。最近数 mm の焦点距離をもつガラス製レンズが市販されている。このレンズを用い LD 光の非点収差を補正加工で低減し微小スポットを有する LD ユニットを検討していく。

5 拡大モニター装置と品質管理ソフト開発研究

5-1 マーキング部をリアルタイムで倍率 100 倍～200 倍でモニターできる装置の開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社、

本研究テーマの概要

糸に 20 μm の印字が正常にマーキングできているか、製造時においてリアルタイムに判別する必要がある。本研究では、マーキングした微細文字をカメラで常時モニターすることにより正常に描かれているか判断し、その結果をリアルタイムでフィードバックすることにより NG 判別を瞬時に行うことができる装置を開発する。

研究内容と成果

5-1-1 拡大モニター装置の製作

拡大モニター装置はマーキング文字を拡大して観察する光学機器および CCD カメラ、文字判別を行う画像処理装置、および繊維を保持する機構より構成される。拡大モニター装置を写真 5-1-1 に示す。また、装置仕様を表 5-1-2 に示す。

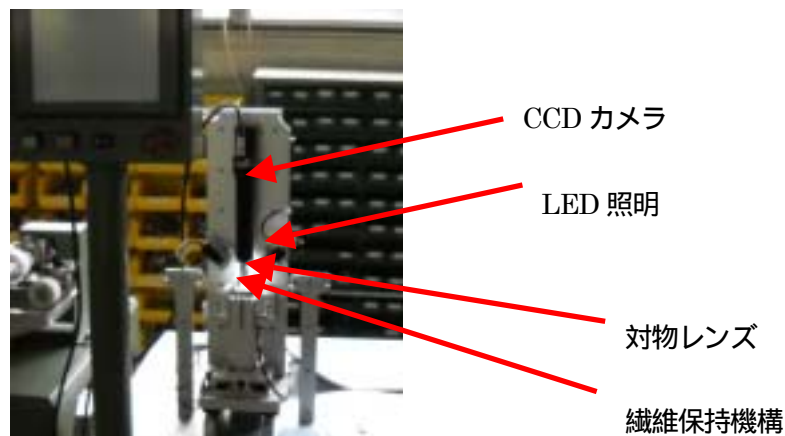


写真 5-1-1 拡大モニター装置

表 5-1-2 拡大モニター装置仕様

拡大レンズ	対物レンズ 倍率 10
モニターカメラ	1/3 " CCD カメラ
照明	白色外部 LED スポット照明
画像処理装置	文字認識画像センサー、MVS-OCR、 MVS-DN (オプテックス製)
焦点位置調整	マイクロメーターヘッドで調整

拡大光学系は分解能を考慮し対物レンズを使用した。倍率が 10 の対物レンズを採用し、NA が 0.25 で分解能は $1.3\mu\text{m}$ ($\lambda = 550\text{nm}$ 時) ほどあり文字高さ $20\mu\text{m}$ の文字判別には十分の能力を持つ設計とした。CCD は入手性やコストを考慮して 1/3 " のものを採用し、倍率 10 の対物レンズで観察したときの実視野は $0.32\text{mm} \times 0.48\text{mm}$ であり、太さ 0.1mm の繊維を視野内に収めることができる。対物レンズでは焦点深度は数 μm と浅く、文字が繊維の最上面にある時でないとは観察できないため、繊維をねじって回転させる機構を設け、回転する繊維を観察し、瞬時に文字判別する。そのため、画像処理装置には高い応答処理速度が要求されるが、採用した画像処理装置の応答速度は 45ms であり、1 秒間で繊維を一回転させても文字は認識できる。また、画像処理できるマーキングの種類は簡潔にするため文字のみとし、その機能に特化した高精度かつ高性能な画像処理装置を採用した。画像処理の外観を写真 5-1-3 に示す。写真左の画面に撮影した文字(文字高さ $60\mu\text{m}$) が明確に映し出されているのが確認できる。画面はタッチパネルになっていて、コントラストや文字判別の閾値等のパラメーターを詳細に設定できる。



写真 5-1-3 画像処理装置

5-1-2 文字認識試験

マーキングした文字を観察し、文字として認識できるかの確認試験を行った。

確認した文字は文字高さ 20 μ m、文字幅 20 μ mのアルファベットで、染料を薄膜塗布した樹脂板にレーザーマーキングしたものである。写真 5-1-4 にマーキングした文字を観察したモニター画面を示す。

マーキングした G～S までの文字を、画像処理装置が認識した結果を表 5-1-5 に示す。重なってマーキングされた G の文字が文字として認識されておらず、マーキング NG を判別することが出来ている。また、O と Q、N や M のように形が似たような文字どうしでは、その違いの判別はむづかしいが、文字として認識できることがわかった。P や L 等の形状が独特な文字に関しては正常に文字を認識しており、そういった文字を NG 判別に使用することによって、より高度な品質管理が出来ることがわかった。



写真 5-1-4 画像処理したモニター画面

表 5-1-5 画像処理判別結果

マーキング文字	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
マーキング状態	悪	良											
画像処理で認識した文字	?	H	I	J	K	L	N	N	O	P	O	R	Q
判別結果	正	正	正	正	正	正	誤	正	正	正	誤	正	誤

5-1-3 成果

1. 文字高さ 20 μ mのマーキングした文字を観察できる光学系を安価に作製することができた。
2. 文字高さ 20 μ mのマーキングした文字を NG 判別できるモニター及び画像処理装置ができた。

6 連続洗浄乾燥装置の開発研究

6-1 糸の未固着染料をきれいに連続洗浄できる装置の開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社

本研究テーマの概要

マーキング後の糸の未固着染料をきれいに洗浄しなければ、鮮明に20 μm のカラー文字を浮かび上がらせることができない。鮮明に20 μm のカラー文字を浮かび上がらせるために、マーキング装置と連動して連続で糸をきれいに洗浄できる装置を開発する。

研究内容と成果

6-1-1 連続洗浄装置の製作

糸に塗布された染料を取り除き、書かれた文字を浮かび上がらせるため、4個のローラーを洗浄液中で同時に回転駆動させて糸上の染料をこすり落とす設計で連続洗浄装置を製作した。装置は洗浄液をためておく浴槽と、その内部に1カ所の強力回転洗浄ブラシと3カ所の回転洗浄ブラシが配置されている。また、減ってきた洗浄液を自動供給できるよう貯蓄タンクを設けた。写真6-1-1に洗浄部を示す。

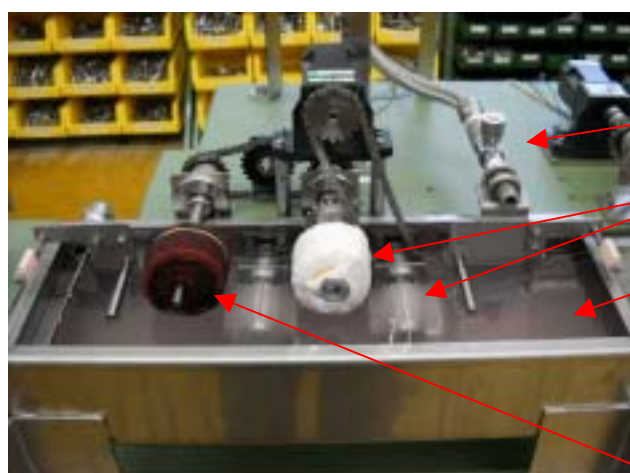


写真 6-1-1 洗浄部

洗浄液滴下コック

洗浄ブラシ

洗浄液

強力洗浄ブラシ

6-1-2 洗浄試験

染料を塗布した糸を連続的に、きれいに洗浄できるかの検証を行った。洗浄液は天然物系有機溶剤を含有した精練剤を使用し、洗浄ブラシの通過前後で染料の洗浄具合を目視にて確認した。

強力洗浄ブラシが糸を押しつけるように回転することで洗浄され、ブラシ通過後には染料がきれいに洗浄されているのが写真6-1-3に示すとおりに見てとれる。また、今回使用した天然物系有機溶剤が染料をきれいに洗い流してくれている。

染料が塗布された糸

強力洗浄ブラシ

ブラシ通過後の糸

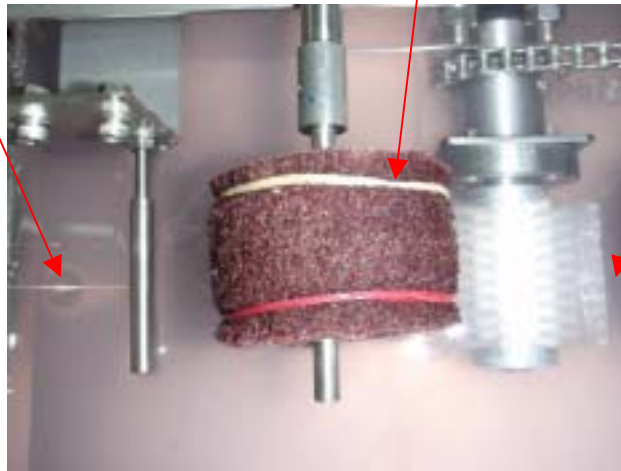


写真 6-1-3 洗浄試験
(糸の送り方向は左→右)

6-1-3 成果

1. 糸に塗布された染料を連続的に洗浄できる装置を開発することができた。

6-2 糸を洗浄後乾燥できる乾燥装置の開発研究

担当：明昌機工株式会社、シキボウ株式会社、

本研究テーマの概要

20 μ のカラー文字をマーキングした糸を洗浄後乾燥するには、洗浄装置と連動して乾燥しなければならない。洗浄装置と連動して乾燥条件を制御することができる乾燥装置の開発を行う。

6-2-1 連続乾燥装置の製作

糸は洗浄時に洗浄液中で洗浄した後、糸を乾燥させる必要がある。乾燥装置は洗浄装置と組み合わせる形で設計し、製作を行った。乾燥方法としてエアブロー等があるが、拭き取りによるものが簡便でコスト的に優位であることから、その方法を採用した。回転するフェルトローラーがその上を通過する糸に付着している洗浄液を拭き取る方法で行った。1個目のローラーにはより水分を拭き取りやすいようガーゼを巻いた。

乾燥装置の写真を写真 6-2-1 に示す。

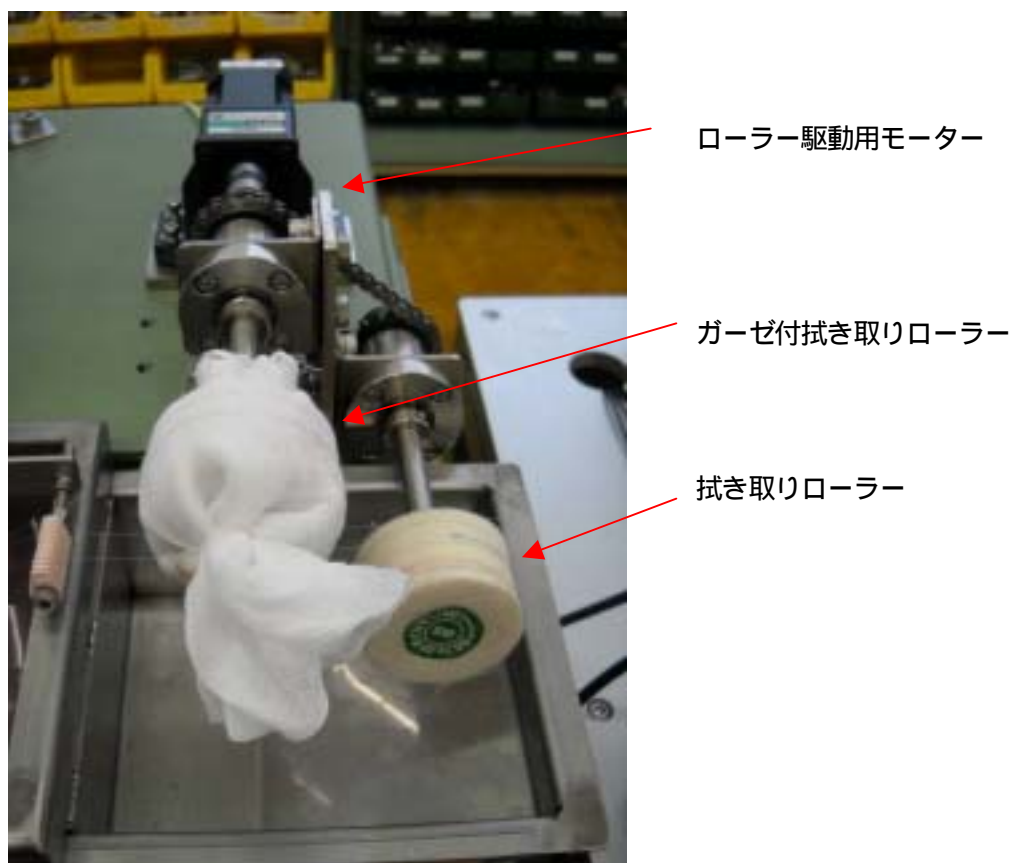


図 6-2-1 乾燥装置の全体写真

6-2-2 乾燥試験

糸に意図的に水滴をつけ、ローラーを通した後の水滴の状態を比べた。糸の一部に目印となるマークをつけ、そのマークの近くに洗浄液の水滴状になるように洗浄液を付着させた。その後、糸を送り出しローラー通過後の状態を確認した。写真 6-2-2 は洗浄液付着時、写真 6-2-3 は乾燥ローラー通過後のものである。水滴状の洗浄液は拭き取られており、乾燥ができている。

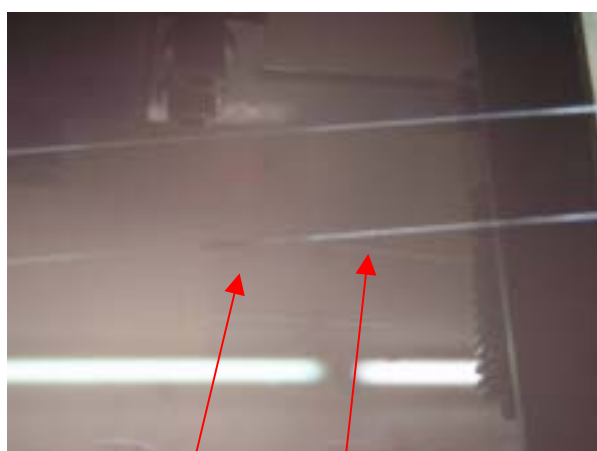


写真 6-2-2 洗浄液付着時



写真 6-2-3 ローター通過後

6-2-3 成果

1. 糸に付着した洗浄液を連続的に乾燥することができる乾燥装置を開発することができた。

第3章 全体総括

21年度事業として掲げていた各研究項目について研究および検討試験を行い、繊維へのカラーレーザーマーキングを行うための各装置ユニットが完成した。個々の装置を使用して研究を行った結果、直径0.1mmのポリエステルフィラメントに20μmのカラー文字を印字することに成功した。

今後は、各ユニットを連動させ、連続的にポリエステルフィラメントに20μmの文字を印字できるように量産化のための試験研究を行い実用化に向けて、繊維製品や紙製品への応用検討をおこなっていく必要がある。

また、本研究により明らかになった課題を下記に示す。

- ・今回開発したガルバノスキャンシステムでは、レーザー照射部分を見ることができないので、糸へのピント調整や位置決めが非常に難しいのでガルバノスキャンシステムに画像装置を組み込む必要がある。
- ・今回開発した染料薄膜塗布装置は塗布に時間がかかるため生産効率が悪い、量産化を図るため染料薄膜塗布装置のスピードアップ化を行い目標である200m/hの生産量を達成しなければならない。
- ・今回開発したガルバノスキャンシステムの印字ソフトでは英数字しか印字できない、市場ニーズに答えた量産を図るためにはロゴマーク等のデザインを印字しなければならない、そこでデザインが印字できるソフト開発を行う必要がある。
- ・今回開発した拡大モニター装置と品質管理ソフトでは印字後の糸を拡大し、英数字の認識はできるがロゴマーク等デザインまでは認識できない、そこで印字したロゴマークの拡大画像を認識し品質管理できるソフトの研究開発を行う必要がある。
- ・事業化に向けて印字した糸の繊維製品（および紙製品）への応用開発が必要である。