

# マイクロ波加熱による繊維染色加工並びに乾燥の評価研究

鈴木 誠・清水章司・中村武夫・歌田 誠  
内藤 融・黒田章一\*・高橋 司\*・花形将司\*

## Estimated Study of Textile Dyeing and Drying by Microwave Heating

Makoto SUZUKI・Shoji SIMIZU・Takeo NAKAMURA  
Makoto UTADA・Toru NAITO・Shoiti KURODA\*  
Tukasa TAKAHASHI\* and Shoji HANAGATA\*

### 1. 緒 言

マイクロ波のもつ特性を活用し、より効果的な新規利用技術の研究が各分野において行なわれているが、とりわけ、マイクロ波加熱を染色加工産業に利用することは、低温乾燥が可能のため、糸品質の保持又は向上、作業時間の短縮化による経済性向上等を考慮した場合、非常に有効な手段だと考えられる。

そこで我々は、既存の要素技術との融合を図りつつ、在米のプロセスを簡略化すると同時に、乾燥の効率化を目指した全く新しい脱水機能付き真空マイクロ波加熱乾燥機の開発研究を行い、併せて、同機による繊維染色糸の乾燥実験並びに、乾燥糸の品質性能試験を実施した。

### 2. 実験方法

#### 2-1 装置の試作

本研究開発で重要な技術的課題の一つは、遠心脱水の際に必要な機械的強度を有し、しかもマイクロ波を透過して、総糸を効率良く加熱乾燥できる回転カゴの設計である。特に、回転カゴ内張材の最適選定が乾燥効率の性能を左右するものと考えられるため、それらの基礎実験を繰返し実施し、最終的に表1の仕様による、図1のような

表1 仕 様

(1) 設計基準			
a. 処 理 量		5 kg/バッチ	
b. マイクロ波		2450MHz、最大10KW	
c. 回転カゴ回転数		脱水時 最大1100 r. P. m	
		乾燥時 10 r. P. m (固定)	
d. 機 作 圧 力		50 Torr <	
e. 熱 風 加 熱 温 度		最高70°C	
(2) 機器明細			
a. 本 体	SUS-304	φ680×1080mm	1基
	投入口	φ100	3個
	石英板付チョークフランジ		3個
	ベローズ		3個
	主軸	磁性流付レール付	1式
b. 回 転 カ ゴ	外壁	SUS 304 φ430×750mm	1個
	内張	テフロン 5L	1個
c. 駆 動 装 置			1式
	高速用	3.7KWブレーキ・モータ	1個
	低速用	0.4KWギヤード・モータ	1個
		ワンウェイ・クラッチ	1式
d. 異常振動検知器			1個
e. 真空用コンデンサ	SSG1	φ200×1500mm, 1.9m <sup>3</sup>	1基
f. 水封式真空ポンプ		700ℓ/min, 2.2KWモータ	1台
g. 熱風発生器		10KW×3本ヒータ	
		20m <sup>3</sup> /min ファン付	
h. 真空弁及び配管			1式
i. マイクロ波発振機		2450MHz, 5KW	2台
j. アイソレータ			2台
k. スリスタブ整合器			2台
l. U,Hコーナ及び導波管			1式
m. パワーモニタ		2450MHz, 入・反射用	2台
n. 操 作 盤			1式

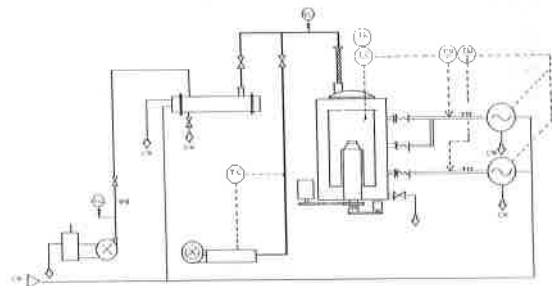


図1 脱水機能付真空マイクロ波乾燥機のプロシート

\* 東京電力株式会社

実験装置を試作した。

### 2-2 脱水並び乾燥の予備実験

試作機の性能、品質及び経済性等の総合的評価を行うため、ウール・アクリル混紡糸並びに綿糸を用い、脱水および乾燥実験を実施した。

なお実験条件は以下の通り

- ・試料重量：各 5 kg
- ・カゴ回転：脱水時 1,100 rpm  
乾燥時 10 rpm
- ・マイクロ波出力：3. 4. 5. 7. 9. 10kwの各出力
- ・槽内減圧：60. 75. 90Torrの3段階

### 2-3 基礎実験の結果

基礎実験の結果を図2～4に示す。

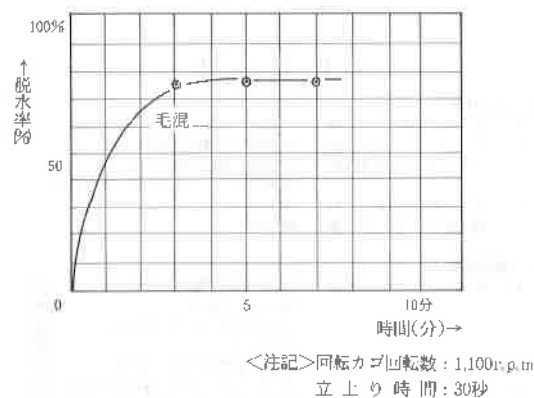


図2 脱水時間と脱水率の関係

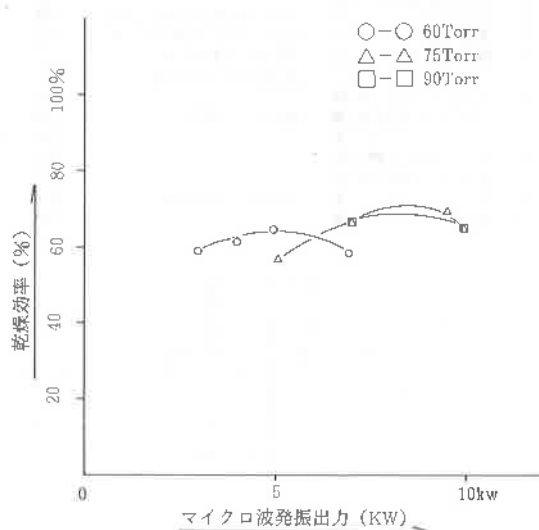


図3 マイクロ波発振出力と乾燥時間の関係

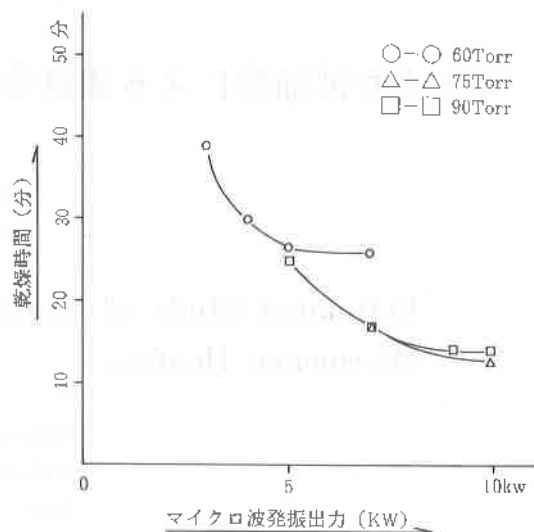


図4 マイクロ波発振出力と乾燥効率の関係

### 2-4 実用化実験

予備実験のデータを参考に、実用化のための応用実験を以下の要領で実施した。

#### 2-4-1 供試試料

使用素材を表2に示す

表2 供試試料の種類と素成

試料No	素材名	番手	素成
1	ウール	2 / 20	羊毛100%
2	アンゴラ・ウール混紡糸	1 / 15	アンゴラ40%, ラムウール60%
3	ウール・モヘア	1 / 13	AC50%, ナイロン35%, ウール15%
4	ウール・アクリル混紡糸	1 / 38	ウール30%, AC70%
5	綿・麻混紡糸	30 / 2	綿70%, 麻30%
6	レーヨン	250D	レーヨン100%

#### 2-4-2 染色方法

染色機は、糸染が噴射式総糸染色機(伸光)を、アンゴラ素材は編地染のため、後染染色機(重田)を用いた。なお使用染料は表3のとおり。

表3 使用染料

素材名	染料名
アンゴラ	アシドール ブルーTR
ウール	アシドール ネイビーTH
ウール・アクリル混	ラナゾールR2G
	ラナゾールR5B
	マキシロンRRL
モヘア	ラナゾール ブルー3R
	マキシロン レッドRL
	マキシロン ブルー2G
綿・麻混	カヤラス エローRL
レーヨン	カラヤスBFFRL

#### 2-4-3 脱水および乾燥条件と試料編地の作成条件

供試試料の脱水並びに乾燥条件を表4に、試料

編地の作成条件を表5に示す。なお、熱風乾燥温度は100℃、マイクロ波加熱温度は60℃である。

表4 脱水乾燥処理条件

試料	乾燥条件	原糸(原糸)		脱水時間 (分)	脱水前後 重量 (g)	水分率 (%)	乾燥時間 (分)	乾燥前後 重量 (g)
		重量 (g)	重量 (g)					
アンゴラ (1/15)	熱風(自然)	4,400	10	—	—	—	1,440	4,100
	マイクロ波	4,000	5	5,300	32.5	20	—	3,750
綿糸	熱風	4,700	10	6,250	33.0	45	—	4,900
ウール (2/20)	マイクロ波	5,500	5	7,350	33.3	20	—	5,200
	熱風	4,950	10	5,820	19.6	90	—	4,750
ウール混 (1/30)	マイクロ波	5,050	5	6,150	21.9	15	—	5,060
綿糸	熱風	4,800	10	5,420	13.2	30	—	4,580
モヘア (1/13)	マイクロ波	5,000	5	5,940	16.8	13	—	4,870
綿糸	熱風	5,100	3	9,800	88.2	180	—	4,850
レーヨン (2500)	マイクロ波	4,950	5	6,650	34.9	50	—	5,000
綿糸	熱風	4,350	5	7,360	49.7	125	—	4,850
綿・麻 (30/2)	マイクロ波	4,950	5	7,590	54.7	21	—	5,000

<注記> 水分率(%) =  $\frac{\text{脱水前後重量差}}{\text{脱水前重量}} \times 100$

表5 編地の作成条件

素材名	番手	糸使い	編機ゲージ	編組数	備考
ウール	2 / 2.0	2本	8 G	ゴム編	紺
アンゴラ・ウール	1 / 1.5	2本	8 G	平編	紺
ウール・モヘア	1 / 1.3	2本	8 G	平編	ブルー
ウール・アクリル	1 / 3.8	2本	1.2 G	平編	ピンク
綿・麻	3.0 / 2	2本	1.2 G	ゴム編	イヌロー
レーヨン	2.5 / 0.4	2本	1.2 G	平編	ウックス

2-4-4 染色糸の性能評価試験

(1) 物性試験

- a. 水分率、 JIS L-1018に準拠
- b. 単糸引張強伸度試験 同上
- c. 編目密度 同上
- d. 引張強さ及び伸び率 同上
- e. 伸長回復率 同上
- f. 圧縮率及び圧縮弾性率 同上
- g. 剛軟度 同上
- h. ピリング JIS L-1076A法に準拠
- i. 収縮率 JIS L-1018D法に準拠

(2) 染色堅牢度試験

- a. 耐光試験 JIS L-0842カーボンアーク燈光20時間照射
- b. 洗濯試験 JIS L-0844A-2号準拠
- c. 摩擦試験 JIS L-0849に準拠
- d. 汗試験 JIS L-0848A法に準拠
- e. ドライクリーニング試験 JIS L-0860に準拠
- f. ホットプレッツング試験 JIS L-0850A-2号準拠

3. 結果と考察

3-1 物性試験

(1) 水分率

- a) ウール、アンゴラ、モヘア、ウール・アクリル混紡糸については、いずれも公定水分率を下回った。
  - b) レーヨン、綿・麻混紡糸については、水分の偏在が見られ、乾燥不十分であった。
- 以上の結果から、乾燥条件の設定方法について、今後さらに検討する必要がある。

(2) 単糸引張強伸度試験

アンゴラ素材は、編地作成後に染色、乾燥したため、測定できずここでは除いてある。  
ウール、モヘア、レーヨン素材とも、熱風乾燥、マイクロ波乾燥の双方とも大差なく、特に問題はない。

ウール・アクリル混紡糸は切断強度において、8%マイクロ波乾燥の方が強くなっている。これは、この試料に関しては、過去何回もの予備試験を繰り返しており、最適条件が確立されているために起因するものと思われる。

また、綿・麻素材については標準偏差値、変動率も大きく、測定値に大きなバラツキが生じているが、その要因については不明である。

(3) 編目密度

測定値で見ると、両者の乾燥方法による編地密度への影響はないものと、認められる。

(4) その他の物性試験(素材別)

a) ウール

引張り強さ及び伸び率は、若干バラツキはあるが、両者の差が4%以下に収まっており、問題はない。

伸長回復率及び圧縮率及び圧縮弾性率についてもほとんど同じ値になっている。

ドレープ試験、ピリング試験についても差異は認められなかった。なおウールの結果を表6に示す。

表6 編地の試験(ウール)

試験項目	熱風乾燥	マイクロ波乾燥	
見掛け番手(編度) (2/20)	2/20.8	2/21.1	
引張強さ及び伸び率	タテ方向 引張強さ(kgf)	66.7	65.9
	伸び率(%)	100.6	105.1
	ヨコ方向 引張強さ(kgf)	28.8	28.9
定伸長時 伸長回復率	伸び率(%)	388.7	404.5
	ヨコ方向 条件(100%) (%)	45.3	43.6
圧縮率(%)	条件(250%) (%)	8.3	6.4
	圧縮弾性率(%)	21	21
剛軟度 (ドレープ法)	剛軟度	89	87
	平面ドレープ係数	44.381	46.305
	側面ドレープ係数	28.134	26.981
ピリング試験(級)	3-4	3-4	

b) アンゴラ

伸長回復率において、マイクロ波によるヨコ方向の値が、熱風乾燥に比較して50%以上高い値になっている。しかし、その他の測定値はほとんど大差なく、試料自体が有する性能のパラッキ範囲内の結果になっている。

表7 編地の試験 (アンゴラ)

試験項目		熱風乾燥	マイクロ波乾燥
引強さ及び伸び率	タテ方向 引強さ (kgf)	21.0	23.8
	伸び率 (%)	142.4	141.3
	ヨコ方向 引強さ (kgf)	19.2	20.8
	伸び率 (%)	181.6	195.5
定伸長時	タテ方向 条件 (10%) (%)	29.3	28.7
伸長回復率	ヨコ方向 条件 (130%) (%)	8.4	12.8
圧縮率 (%)		35	38
圧縮弾性率 (%)		86	87
剛軟度 (ドレープ法)	平面ドレープ係数	33.808	32.252
	側面ドレープ係数	21.524	17.219
ピリング試験 (級)		4	3-4

c) モヘア・ウール混紡糸

全般的にみてマイクロ波による試料が優れた結果を示している。特に、定伸長時伸長回復率タテ方向において、その差が現われているが、この結果についても、他の試験項目を考慮すると必ずしも差があるとは言えない。

表8 編地の試験 (モヘア)

試験項目		熱風乾燥	マイクロ波乾燥
見掛け番手 (織度) (1/13)		1/12.9	1/13.2
引強さ及び伸び率	タテ方向 引強さ (kgf)	61.4	85.2
	伸び率 (%)	149.4	146.3
	ヨコ方向 引強さ (kgf)	46.2	46.4
	伸び率 (%)	222.2	231.1
定伸長時	タテ方向 条件 (50%) (%)	66.0	71.1
伸長回復率	ヨコ方向 条件 (170%) (%)	68.0	86.9
圧縮率 (%)		31	30
圧縮弾性率 (%)		86	86
剛軟度 (ドレープ法)	平面ドレープ係数	41.826	43.811
	側面ドレープ係数	27.789	24.004
ピリング試験 (級)		4	4

d) ウール・アクリル混紡糸

特筆すべき差は認められない。

表9 編地の試験 (ウール・アクリル)

試験項目		熱風乾燥	マイクロ波乾燥
見掛け番手 (織度) (1/34)		1/33.8	1/33.7
引強さ及び伸び率	タテ方向 引強さ (kgf)	53.7	57.3
	伸び率 (%)	101.0	99.2
	ヨコ方向 引強さ (kgf)	31.2	33.7
	伸び率 (%)	188.1	204.0
定伸長時	タテ方向 条件 (40%) (%)	40.0	36.4
伸長回復率	ヨコ方向 条件 (120%) (%)	49.9	53.1
圧縮率 (%)		24	23
圧縮弾性率 (%)		84	86
剛軟度 (ドレープ法)	平面ドレープ係数	40.878	42.181
	側面ドレープ係数	25.538	27.264
ピリング試験 (級)		3-4	3-4

e) 綿・麻混紡糸

特に大きな差はなく、データのバラツキが目につくが、強いて指摘すると、ドレープ試験において、マイクロ波が大きな値を示した。これは編地が硬く、ドレープ性に欠けていることを意味するが、これについては、マイクロ波試料の一部に焦げた跡が多々発見されたことに、起因するものと考えられる。

表10 編地の試験 (綿・麻)

試験項目		熱風乾燥	マイクロ波乾燥
見掛け番手 (織度) (30/2)		33.7/2	32.7/2
引強さ及び伸び率	タテ方向 引強さ (kgf)	35.8	33.2
	伸び率 (%)	95.2	96.1
	ヨコ方向 引強さ (kgf)	23.2	24.8
	伸び率 (%)	200.4	199.7
定伸長時	タテ方向 条件 (50%) (%)	45.3	47.2
伸長回復率	ヨコ方向 条件 (140%) (%)	38.8	37.8
圧縮率 (%)		18	18
圧縮弾性率 (%)		76	77
剛軟度 (ドレープ法)	平面ドレープ係数	41.710	44.426
	側面ドレープ係数	25.984	28.296
ピリング試験 (級)		5	5

f) レーヨン

測定結果は全般にわたって、マイクロ波による乾燥試料が僅かずつではあるが、劣った値を示している。

この要因として考えられる点は、レーヨン素材は脱水率も乾燥効果も極めて悪いため、乾燥途中で何回か機械を停止し、乾燥具合の点検を繰り返したため、原糸が荒れてしまい、フィラメントの切断が多発し、原糸の劣化を生じたものと思われる。

表11 編地の試験 (レーヨン)

試験項目		熱風乾燥	マイクロ波乾燥
見掛け番手 (織度) (2500)		259.29	263.10
引強さ及び伸び率	タテ方向 引強さ (kgf)	47.0	45.6
	伸び率 (%)	61.9	71.8
	ヨコ方向 引強さ (kgf)	21.2	20.8
	伸び率 (%)	116.3	116.9
定伸長時	タテ方向 条件 (25%) (%)	49.1	42.1
伸長回復率	ヨコ方向 条件 (80%) (%)	82.3	53.5
圧縮率 (%)		14	13
圧縮弾性率 (%)		80	81
剛軟度 (ドレープ法)	平面ドレープ係数	23.986	28.927
	側面ドレープ係数	16.602	14.580
ピリング試験 (級)		5	5

g) 収縮率

収縮率についても特筆すべき差はなかった。

3-2 染色堅牢度試験

耐光、洗濯、摩擦、汗、ドライクリーニング、ホットプレッシングに対する染色堅牢度については、熱風、マイクロ波とも差異がなく、乾燥方法

の違いが堅牢度に影響ないことが認められた。

表12 染色堅牢度(級)

試料	乾燥条件	ウール		アンゴラ		モヘア		ウール・アクリル		綿・麻		レーヨン	
		熱風	マイクロ波	熱風	マイクロ波	熱風	マイクロ波	熱風	マイクロ波	熱風	マイクロ波	熱風	マイクロ波
耐光 (JIS L 0842) 20時間照射		4-	4-	4-	4-	4	4	4-	4-	3	3	4-	4-
洗濯 JIS L 0844 A-2号	変退色	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5
	汚染	3-4	3-4	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5	5	5
摩擦 JIS L 0849	乾擦	4	4	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5	5	5
	湿擦	2-3	2-3	4	4	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5
汗 JIS L 0848 A法	変退色	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	汚染	4	4	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5	5	5
	変退色	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5	5	5
	汚染	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ドライ クリーニング JIS L 0860	変退色	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	汚染	4	4	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5	5	5
	レーヨン	4	4	4-5	4-5								
	ナイロン					5	5	5	5			5	5
ホット プレス JIS L 0850 A-2法	変退色	5	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5	5	5
	汚染	5	5	5	5	4-5	4-5	5	5	5	5	5	5
	変退色	5	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5	5	5
	汚染	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

### 3-3. 官能試験

- ウール素材では、マイクロ波に対して熱風はやや硬めの感じになっているが、両者の優劣はつけにくい状態である。
- アンゴラ素材では、マイクロ波による試料が、なめらかで柔らかく、肌触りが良いと評価する人が多かった。
- 綿・麻混素材については、両者のバラツキが大きく現われており、両者間の差はないといえる。
- モヘア素材、ウール・アクリル混素材の双方とも有意差はなく、両者間の差は認められない。
- レーヨン素材については、マイクロ波によ

る試料は糸割れが多く、編地の表面にも毛羽立ちが発生していたので、熱風乾燥の方が多く選ばれたが、これは外観による判断であって、風合性能としては、判断しにくいものと思われる。

### 4. 結論

本研究の結果、繊維染色加工における乾燥工程へのマイクロ波加熱乾燥技術の適用について、基本的な課題は一応解決され、その有効性が確認された。

今後は、乾燥方法について、ハード・ソフト両面から最適化を図るとともに、制御性、操作性、経済性等の面から総合的な評価を行い、実用化に向けてさらに検討を続ける予定である。