衣料用途分野の世界の省エネルギー 織編物染色加工機械

山本 俊雄 YAMAMOTO Toshio
ジェネラルコンサルタント・技術士

地球環境保全のため水とエネルギー多消費型の織編物染色加工業は、一層の温室効果ガス削減努力をせねばならない。後進の中国では08年3月実施で、染色業への新規参入の条件も示され、省エネ中心の地球環境汚染防止に向かって第一歩が踏み出された。

早くからドイツとその周辺国は、合理的な染色加工の節水・省エネルギー技術で世界をリードしてきたが、その主要な技術開発はすでに10年前には出来上がっていた。

現在は後進国の台頭もあって、その技術を利用、あるいは模倣して熾烈に市場での競い合いが始まり、国際的な資本と技術の提携、統合も行われている。ドイツと周辺国技術が高水準に達したことなどもあり開発の勢いは減じ、衣料市場の広い後進国に移転が進んでいる。しかし染色加工機械の節水・省エネルギーは極めて重要である。

以下、これまでに積極的に推進されてきた世界の染色加工機械における省エネルギーの実績について、振り返り、その優れた実績について述べる。

1. 連続洗浄

連続したリラックス、糊抜き精練漂白、マーセル化、連続染色、諸後処理などの多くの工程が必要であり、節水・省エネルギーが不可欠である。実際には節水によって省エネルギー効果を上げるのが基本であり、すでにドイツ周辺国で革新されてきた。

基本的に欠かせない要素は、①向流洗浄方式②密閉構造の高温水洗浄槽③ニップもしくはヴァキュウムの利用④布の低張力⑤隔壁効果。であると考えている。

この考えは独周辺国にも定着し進展してきた。以下特筆すべき合理的洗浄装置を示す。

まずはHydro-Tex(旧 Artos)の合理的な密閉型・高温向流洗浄方式水平布走行によって節水・省エネルギーの基礎がつくられた。その後、優れたEXTRACTA(Benninger)、Brubo-MaticとBrubowell(Brugman)、Convi-Tex(図1)とcon-Tex(Babcock)、Mega-Wash(Menzel)Compacta、Turbo-Flush(Kusters)、Effecta

(Goller)Supra-Nova(Kleinewefers)等合理的な向流洗浄機能をもつコンパクトで高機能な高温密閉型の節水省エネ洗浄機が開発され、ニップと隔壁も応用されてきた。[合併で企業名変更があるが旧名称]

Convi-Texは水消費量5~8L/布Kg、Econ-Texは水消費量4~6 L/布Kgといわれ、また多くの機種で布張力を最低にするために大径ロール(20cm)が使用され、頑丈な鉄心ロールに液体窒素冷却法で軸を精巧に取り付けたロールで(ロール表面はSUSカバー)布走行性なども改良されている。浴槽に洗浄液を無くしたスプレー洗浄方式もある。

高度な理論を応用した高効率節水・省エネ型ユニットにInjecta(Benninger)があり、蒸気利用で糊材などを瞬時に膨潤、溶解できるコンパクトな節水省エネ機構である。

過去には高压下100℃以上で高温洗浄の100Plus Unit(Kleinewefers)があった。

以上述べた洗浄機には綿織物など短繊維織物用に適するものが多く開発されてきた。

繊細な薄地長繊維織物用には無張力収縮が必要で、リラックス、リテンション状態で洗浄する節水省エネ装置が必要である。

欧州にはTenpacta、Fortracta(Benninger)under liquor accumulatorがある。

図1 Convi-Tex C Babcock社カタログより

ニットや伸縮性素材には大径ドラム型の低張力が多く、節水・省エネの優れたレンジやユニットには Sintensa(Goller), 水貫通型の Trikoflex (Klenewefers, Benninger)があり、過去には Spray-TEX, Traflo-TEX (Babcock), Elanit(Kusters)があった。

2. 洗浄排水からの熱と水の回収

連続精練機から水と熱の50%回収を目指したのが Brubo-Matic(Brugman) (図2)であった。廃液ろ過と熱交換による回収再利用システムが開発され、さらに合成糊材の回収まで試み、他社も追従していた。ろ過面、熱交換面の汚れ付着に大きな問題があり、実際に容易には解消できなかったが、ポンプを使用しない優れたろ過装置のアイデアがあった。

3. 連続精練漂白装置 (10年前には完成され、ほとんど省エネ技術開発は終わった)

これまで積極的に省エネに取り組んできた主要3社の高度なシステムを示す。

Kusters社は1987年に綿織編物の連続精練と漂白の2段階法を1段階 (one step only) に統合し、20%の節水・省エネ法 (布速度180m/min) を開発した。高温度の高度なヴァキューム脱水と Flex nip(Kusters)による高付与 Maximam add on(1:1.5)の利用効果である。その技術で短時間 (1~2分) スチーミング糊抜きも完成している。

図2 Brubo-Matic熱回収廃液再利用システム
Brugman社カタログより

Ben-Bleach systemは①Injecta前記②Extracta前記③Impacta④Reacta⑤Fontractaの各ユニットの構成である。最も合理的な洗浄の①②を活用し、ピックアップ制御もできる③と、シングルかダブルのローラーベッドを使用するコンビネーションスチーマー④ (最適反応時間3~50分モジュラー設計) が使用された、独自の高効率の節水省エネシステムである。

Brubo-Sat(Brugman)は極小浴槽の Chemical applicatorでの均一付与と薬剤 dosing systemおよびコンベアコンビスチーマーによるスムーズな布走行性がある。省エネ・省資源のための12の process controlで徹底した管理がなされ効率を上げており、さらにACモータ駆動で布の速度と張力制御機構がある。コントロール方式に特徴があり、いずれの装置にも大径ロールが使用され、steamerは air free steamerである。

4. マーセル化

Ben-DIMENSA(Benninger)による Short and hot の理論が優れており、時間が大幅に短縮され、著しい省エネ効果がある。合理的な新技術開発による省エネである。

NaOHの迅速な浸透と綿繊維の迅速で均一な膨潤によって短時間処理が可能となり、冷却も必要がなくなった。筆者は1955年春の繊維学会で研究発表したのがセルロースのか性アルカリによる膨潤挙動であり、温度の影響は十分に行ってきた。低温度ではNaOHaqの粘度は高く、綿繊維のNaOH取得量、膨潤度のいずれも高いが、速度が遅い。しかし60℃の高温になればいずれも速くなって大差が付き、実際の織物処理では時間が約半減するのである。高温では膨潤による収縮率が少ないので性状が安定し、マーセル化工程仕上がり後における製品収縮率が改良される。

5. リラックス加工

ポリエステル長繊維強撚糸薄地織物には高压ロータリーワッシャーが有用であり、日本で開発され、その後、韓国と共に発展し多用されてきた。大型のチャンバーを用いた機械で効率を大幅に上げ、時間短縮、保温効果で節水・省エネを行ってきたのである。

一般のポリエステル長繊維織物、新合繊維織物の多くは、連続無緊張収縮 (プレリラックス) + 高压液流染色機でバッチリラックス処理が行われている。

プレリラックス処理にはボイルオフマシンが多く使用されてきたが、大容量の水と熱エネルギーを消費するので全く節水・省エネは期待できないし不合理である。

コンパクトで向流方式の under liquor 方式 (日本の花山工業、コンベヤ型) が望ましいのであって、すでに

欧州にも優れたアイデアがある。

本リラックスにはロングチューブ高压液流染色機が最適であり、布同士の衝突によるフローチューブ内での衝撃によるリラックス効果は、まだ他の機種には見当たらない。日本特有の技術開発に他ならず、リラックスと染色は求める機能が異なるのである。

6. 染色 Jet dyeing machine

加工工程中で水、エネルギーの消費量が最も多く、単品量産と多品種少量で大きな差異がある。加工内容で消費量の原単位が大きく異なるが、全工程消費に占める70%近いエネルギー消費率の事例がある。節水・省エネルギーに効果の高いのがドラム型染色機である。

6.1 高压エアフロー染色機

画期的なエアロダイナミック染色技術が、1983年にドイツ THEN 社で確立されて25年、世界ではエアーストリーム利用が進んでいる。高温で水の粘性が変わり、表面張力も下がるので良いミストが形成されて均一染色しやすくなる。浴比が極小なので水、熱、薬剤が大幅に削減され節水・省エネ効果が高い。染料のストライクが迅速で吸尽性が向上し反応染料の加水分解も僅少となる。さらに迅速法による節水と時間短縮、急速加熱と冷却が可能であるなど多くの革新が行われてきた。近時、染色浴槽から染色液を無くしてさらに浴比を下げるなど最高度に節水、省エネ化されている。

Then 社はこれで技術開発の決着とあって07年にドラム型 Then-Airflow-Synergy を発表した。染色浴槽には No dye liq. と誇示して染色浴を無くして、浴比1:1.5~2、布速度700m/min、布容量150Kg/ch に革新され、時間も短縮されたのである。

①テフロン PTFE ロッド製スライディングボトム②整然とした布プレーティング③高いリフターリールによる安定した高速度布走行を達成し、④ Hot drop といわれる合理的なミスト発生によって優れたエアロダイナミック染色加工技術が確立された。

精巧な制御・コントロール方式が採用され、迅速水洗法 VPR 等がある。

ロングチューブ型のエアフロー染色機 Then Airflow-Lotus (図3) が07年に発表された。

高率エラストンニットに開発され、難度の高い繊細な長繊維薄地織物、高密度長繊維織物素材を目標としている。安定した高速度布走行と布からの染色浴分離が容易でなく大きな課題があり、解決の鍵でもある。

Thies 社は回転ケージコンベア Free wheeling のアイデアを利用してエアフロー染色機 Luft roto に始まった。ノズルから染料液、エアの順に均一に布面スプレーして染料液ミストを形成させ噴霧する機構である。改良が繰り返され作業性の良い Luft roto-plus II が07年 ITMA

に展示され、布振り幅が3段階の18機種(100Kg~1.5ton)が発表された。リフターリールを垂直に高くした特有の構造で、染料液ミストのジェット方式が改良され、リール直前の上昇布に先ず染料液を噴射し、リール直後のエア噴射で染料液をミスト化して布に均一付与する方式に変更された。プロアーによる拡布とプレーティングに特徴があり、スムーズな布走行が実現して、No dye liq. によるミニマム浴比1:2、布速度600m/min に改良された。

6.2 高压液流染色機 Conventional hydrauric jet dyeing machine

缶体がドラム形状(主に厚地、量産)とロングチューブ形状(多品種、繊細)がる。節水・省エネルギーはドラム形状が効果的でありやりやすい。

6.2.1 ドラム型高压液流染色機(量産型)

均一染色のコントロール技術を進展させた、驚異的な大型染色機が出現し、高い生産性とともエアフロー染色機に近い低浴比を実現させ、節水・省エネルギーが大きく進展している。

Multiflow(MCS), Saturno HTF(Brazzoli), eco soft plus(Thies), Jumboflow(fong's), Techno Dye(ATYC) がある。トルコの Dilmenler, Vega, Alkan やインドも加わって量産型の低価格大型染色機で競い合い、大きな後進国需要を背景として勢いが増している。

中でも Multiflow(MCS) が代表的で、缶体径2.2m の大型缶内にクロスしたチャンネルを設け、順次フローを変える特有の1本のエンドレスロープの巡回・循環方式である。巡回で①フロー間の色差解消②作業性の大幅改善③布長不揃いトラブル解消などが可能になった。

12フローで布3.6トンの大容量染色機で、浴比は1:3(合繊)~5(木綿)というエアフロー並みの水準である。大量の布を染色することで節水・省エネが大きく改善され、さらに2連結して7.2t の大容量も可能になっている。量産による省エネ事例である。

図3 Then Airflow-Lotus 気流式染色機
Fong's 社カタログより

大量大型機染色のためにはフローごとの①布量②染料③温度④薬剤の均一供給が行われる必要があり、高精度のコントロールシステムの完備が不可欠である。

6.2.2 ドラム型高压液流染色機 チャンバーサイズアジャスト型

節水・省エネが最も合理的で優れた中量液流染色機に eco Master(Thies)がある。

MCD(Multi Contact Dyeing)染料液ジェットによる2段階染料液噴射浸透方式が採用され、特殊なプレートで整然と布が振り落とされ、浴比は合繊で1:3綿は1:5である。

布種(厚さ、サイズ)によって布走行をアジャストできる Vario chamber式可変装置があって、少量パッチや薄地に対応できるので、繊細な長繊維薄地合繊織物にも利用可能で汎用性がある。RINSE tronic, CCR システムによって節水、水洗時間が短縮できる。

6.2.3 ロングチューブ型高压液流染色機

浴槽底部に角材並べた浴比1:4の Piroga(Flainox)があったが隙間で使用が限られ、最も合理的な事例では浴比1:6が限界で、この型では省エネに適切な浴比である。

ECO88D(Fongs)(図4)は太いロングチューブ缶内に2フローで布を走行させ、浴比を最低の1:6に下げることができた。前高に傾斜する缶体を使用され、浴槽に PTFE ロッドをスライディングボトムに利用して Hydro Ski systemで最高度にスムーズな表面とし、布走行性を改良した優れたアイデアがある。

筆者は省エネルギー染色機構でS59年に科学技術庁長官賞を受けた科学技術振興功績者(染色業界でまだ一人)であるが、今もその機構は変わらず、技術革新が待たれる。

7. その他の染色機、後処理装置

7.1 高压ジグガーの代表2例

ジグガーの必要性が高まる中、節水・省エネが進展している。HT jigger Tiro(Thies)には①染色浴循環②布走

図4 ECO88D ロングチューブ省エネ染色機
Fong's社カタログより

行長による染料薬剤注入コントロール③熱交換器加熱による染色液の循環④布張力制御の4新技術がある。浴槽を最小にして貯留管に移して布量に無関係に浴比1:2を保持させようとしている。JigとJetの技術融合に他ならない。

Henriksen社のHT Jiggerも同様に布量にかかわらず浴比1:2に出来る最小の浴槽構造がある。抜群の布低張力制御技術があり、布の安定した低張力高速布走行が出来る。

7.2 高压ビーム染色機

水と電力、熱エネルギー消費量削減が課題である。Rotora, Riviera Eco(Alliance)は布400gに水1tという大幅な浴比低減で節水・省エネできる Rotating beam 染色機が開発された。説明では水、エネルギー、助剤、染色時間が半減されたようだ。

7.3 染色後処理 染色堅牢度向上有機溶剤洗浄機

Nova(Superotto Rimar-Santex group com.)は有機溶剤を溶媒として活用し、水とエネルギーを大幅に削減した。①迅速な疎水性汚れの洗浄②分散染料染色物など乾摩擦堅牢度向上これが普及し、10年前から日本を除く世界各地に広く普及している。

有機溶媒は低表面張力で繊維組織内に浸透性が高く、蒸発に必要な熱量は水の1/12なので、装置がコンパクトで溶剤回収率が高い。

シリコン油剤、エステル化油など脱落困難な油剤洗浄には極めて大きな威力がある。さらに繊維界面に迅速に浸透して表面に付着する未染着の分散染料を脱落させるので、染色後の還元洗浄省略と乾摩擦堅牢度向上、コスト削減に多く利用されている。

迅速高率の洗浄、特に還元洗浄省略も可能な堅牢度向上に利用された、節水・省エネ効果が非常に高く、5年前には世界で238設置された。

8. 低付与と高付与 ミニマムアプリケーション、マキシマムアドオン装置

多様な低ウエットピックアップ装置が仕上剤処理中心に開発され、乾燥省略、速度向上、コスト削減、マイグレーション防止、吸湿等に効果が高く、省エネが追求されてきた。吸水率の高い綿織物はマイグレーション出現の臨界水分率が高く利用価値が高い。

処理濃度を下げてより多くの処理液を飽充付与させる maximum add on方式は、小さなバスを使用し、常に多くの細いパイプから処理液を補給する方式である。処理液の付着バラツキを抑え、エンディングが防止でき、Wet on wet処理もできるので省エネ効果がある。非常に多くの方式があって利用されているが、主な3例を挙げる。

ロータダンピング装置(Weco) (図5) は高速回転による遠心力で放射状に噴霧する低付与方式で噴霧量調節ができる。非接触なので伸縮性素材に利用され、高粘性処理に適し、乾燥省略して wet on wet 処理するので省エネ、省力化の効果は大きい。

Raco-Yet(R.Kleinewefers)は連続精練で精練剤を外部ミキシング方式ノズルでエアゾルスプレーする省エネ付与方式である。低付与と高付与が可能で薬液自動制御で供給され回収再利用される。

Flex nip(Kusters)は槽幅1.8mで3~9Lの極小浴槽でエンディングや残液ロスを最小に減らす高付与方式で、連続漂白やコールドパッドバッチ染色アルカリ含浸に利用される。Wet on wet 処理されて省エネ効果があり、反応染料の加水分解もなくなった。

9. 脱水

水の蒸発熱は極めて大きく、乾燥で非常に重要なのが脱水であり、脱水効率向上で乾燥速度を上げ省エネすることである。脱水には遠心力、ニップ、ヴァキュウム、噴射、毛管が利用されているが省エネで重要なのはヴァキュウム脱水とマングルである。

マングルではスイミングロール(Kusters)の均一強圧技術が抜群であり、省エネ効果は絶大である。現在注目されているのが Matex5000(Monforts)である。硬質ロール Top S を用いた脱水、低水分付与による省エネである。マングルはニップ利用なので脱水率に限界があり、大幅改善は容易ではない。

ヴァキュウム脱水は連続脱水では最も効果が高く、乾燥速度向上と wet on wet 処理による乾燥省略ができるので、省エネ効果は特に大きくなる。

脱水理論に基づき毛細管現象付着の自由水を除けるエキストラクターを研究開発してきたのが、主に TVE, EVAC, Optitexma の3社であり、Opti Vac(Optitexma) (図6) による乾燥省略で仕上げ剤処理法の省エネ効果は優れている。

図5 低付与装置 (ロータダンピング)
WEKO社カタログより

温度上昇で水の表面張力を下げることには極めて高い効果があって、大きな省エネができるとともに優れた仕上げ剤処理ができる。①ノズル内減圧度検知とポンプ制御②超高分子量PE使用ノズル③スロットシーリング④管内汚染防止と処理液回収再利用⑤圧力損失防止(気水分離とフィルタ)などが行われている。

10. 乾燥

乾燥機に機種は多いが革新的な省エネ技術開発は減り、旧態依然としている。

リラクソドライヤーの多くは電力を使い過ぎており、重要な排気量管理と熱回収再利用には進展がなく、多くの課題がある。その中であって海外には積極的で真面目な動きもある。

古くからのシリンダー乾燥機は革新され、Rotodry(CIMI)は特有の直立型4シリンダユニットを直列配置した構造に集中加熱システム制御(60~160℃)が確立できた。決定的な欠陥であった布張力は自動コントロールされ、エネルギー消費の非常に少ないシリンダードライヤーに高品質素材への対応が進んでいる。Simple, fast, better といっている。

HotflueのThermex6500(Monforts)で、綿編織物を RH25~30%, 120~130℃で2分という最も合理的な連続反応染色法 Econtrol Dry Process が確立されている。絶大なる省エネのみならず薬剤を1/20に大幅削減できる実績があり革新されている。

BASF時代に Monforts 社との技術開発で、スチーミングやサーモフィックスを省き、染料固着率が高く簡単に深色の得られる画期的な Dy Star 社の連続染色法 Econtrol である。

それには熱効率の高い Exxo-therm 間接加熱にて染料の燃焼ガス障害を無くした。さらに、Energy Tower

図6 Opti Vac F2 Wet on Wet真空式装置
Optitexma社カタログより

7000で排気から30%に及ぶ熱回収再利用やTherom Cut法によって不要な熱風を遮断する多くの省エネと改善もなされている。300mの小さなロットに利用でき、他のpad染色に併用のIRプレドライヤーにも大型の熱回収再利用装置が実用化している。

リラックスドライヤーは循環熱風ファンに大量の電力を消費し、タンブリングといっって行き過ぎた多消費がみられ、まだ省エネの余地は多い。

Santa Shrink 5 type(Santex)は、上下交互に配置の直線流ノズルで、近距離から強い循環熱風で布を波動させ、熱と電力の利用効率を上げている。整流による省エネ効果は大きく、さらに外気侵入量制御と排気の自動排気量制御によってエネルギーを削減している。

Dyn Air 6500(Monforts)には優れたDyn airリラックスシステムがある。機体からの輻射熱損失を減らし、接続部のシーリングと布出入り口のエアロックなどの省エネ法があり、またCAD stream Eによる熱風ジェット幅自動コントロールで15%以上の省エネ効果があるようだ。熱回収再利用ユニットがあり、ノズル効果とともに省エネには積極的である。

Krantz SyncroのEcon Airflow control sysytemやStrahm Hi Per Shrinkのノズルと熱回収再利用など、他社にも特徴ある省エネ法がある。

11. ヒートセットテーター

大量の熱が排気とともに排出され、省エネに排気量削減と廃熱回収再利用は避けられない。

Econ Air排気システム(Babcock)は循環熱風を継続的に再利用を繰り返し、汚染率の高い後室に排気を統合する合理的で効率的な方式で、35%の省エネと排気削減が実現し、Krantz社でも採用された。

さらに排熱回収再利用・清浄化には大型のTurbo KleenやVortex scrubberが使用されてきた。今は改められArtos社はSUS板を円筒状に重ねた多層構造の熱交換法に変わった。

Montex5000(Monforts)以来採用のCAD streamEはjet幅をコントロールする20%の省エネ機構である。排気の熱回収再利用はMontex6000以降Koenig sysytem

図7 Koenig社熱交換ユニット Monforts社カタログより

の熱交換器(図7)が設置され交換壁面の洗浄が好評で、15~35%の再利用実績があるといわれている。

Bruckner社はDuo Thermo systemに変わった。

ほかの省エネ方式やアイデアは非常に多くあるが、記述が膨大になるので削除する。

12. 蒸気発生、供給

ボイラには給水加熱、空気加熱、スケール、ブロー率と連続ブロー、アキュムレーター、空気比、重油粘度などへの対策が必要である。

蒸気供給にも重要な蒸気漏れ、バルブ取り扱い、蒸気圧、スチームトラップ、などの影響を受ける。筆者は20年以上日本ボイラ協会の県支部長を続けているが、まだ改善の余地がある。

廃液からの熱回収はプレート式が断然効果が高く、根気よく清掃して効率を高める必要がある。保温は微小の空気セルを持つ含有空気容積の多いクッション性のある断熱保温材で複雑部分にも施工せねばならない。

13. まとめ

省エネには幅広く、多くの、正しい知識が求められる。理論も大切だが実践であり、目標管理である。すべて金額で経済効果を出さねば、生きた省エネ活動はできない。

山本 俊雄 (やまもと としお)

日本ボイラ協会福井支部長、元(株)ダナックス専務取締役、繊維学会北陸副支部長、日本長繊維織物染色工業組合企画委員長、福井県繊維技術協会染色部会長、福井県染色同業会技術運営委員長、日本絹化繊維物染色工業組合技術委員長、福井大学地域共同研究センターコーディネーター他、技術士(繊維部門)

大臣表彰 科学技術庁長官賞1984(省エネ染色機構)、科学技術功績者

厚生労働大臣賞2006(安全衛生功労)

研究発表 繊維学会1995繊維素のアルカリ挙動、京都工繊大

著書 解説織物染色設備他共同執筆等4冊