

リワインダー「eR!」の開発

東伸
岩田 哲

1. 開発の経緯

オフラインで使用されるリワインダーは巻取製品の巻き不良の巻き直し、検査、検査で判明したウェブ不良部の除去、さらには耳落としスリットや穴あけなどの加工に利用される。ウェブの品質維持、歩留まりの向上、およびトレーサビリティの要求などから需要が高まる機械である。

一方でウェブの薄膜化や高機能化により、低張力巻取のニーズが増えてきた。それに加え、ウェブのシワやキズの発生、またはカメラによる自動検査の大敵であるウェブのバタツキを防ぐために、加減速時も含めて安定した張力で巻き取ることのできる機械が求められる。このほか、巻き直しを早く済ませたいという高速化の要望がある。また、機械はクリーンであり安全かつ合理的であるのが望まれる。

それらの要求に対応すべく次世代型リワインダー「eR!」の開発がなされた。

2. eR! の特徴

図1にeR!の外観、表1にその主要諸元をそれぞれ示す。

2.1 生産性向上

400m/minの高速化により巻取時間の短縮が実現した。原反の装着が容易にできるように昇降装置が標準で装備されている(図2)。さらに視認性が良く、直観的操作が可能なタッチパネルにより、オペレーターの作業効率が向上する(図3)。

2.2 薄膜化・新素材対応を含めた汎用性

薄いウェブは断面積が小さいため、低張力でないと巻取時の内部応力が高くなり、いわゆる固巻きになりがちである。固巻き状態ではスターディフェクトやゲージバンドが発生しかねない。図4に巻取時に発生する典型的な不具合現象を模式的に表

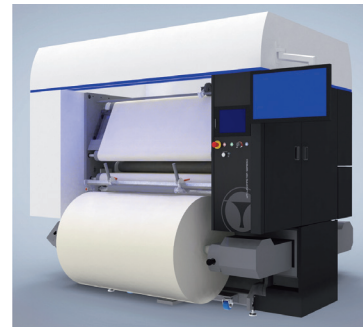


図1 eR!外観

表1 主要諸元

巻取速度 (m/min)	400
張力 (N)	20~250
巻出径 (mm)	φ800
巻取径 (mm)	φ800
寸法 (mm)	L1880×W2360×H2225
重量 (t)	2.7

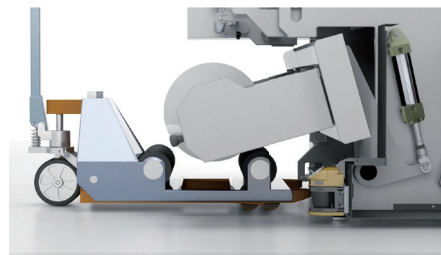


図2 ロール昇降装置



図3 視認性の良い、感覚的な操作が可能なタッチパネル

問い合わせ

✉ design@cstoshin.co.jp

す。スターディフェクトは図5の接線方向応力が圧縮となる領域で生じるウェブの座屈現象である。また、ゲージバンドはウェブの幅方向の厚さにムラがある場合に生じる永久ひずみである。それらを防ぐためにただ軟巻きにすると、ロールの巻取時や輸送中に軸方向の外乱を受けた際にスリップする不具合であるテレスコープが発生する可能性がある。そのために巻取径に応じて張力を変化させた最適巻取張力が用いられる。図6に最適巻取張力で巻き取った場合の内部応力状態の例を示す。最適条件では接線方向応力が非負であることが分かる。すなわちスターディフェクトは発生しない。また、半径方向および接線方

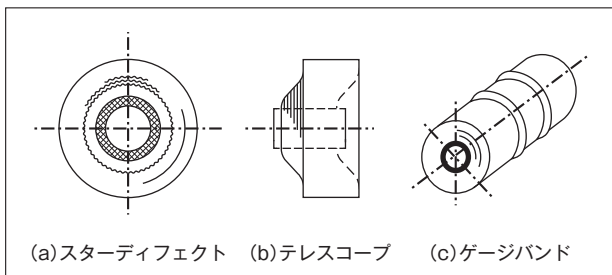


図4 ウェブの巻取時に発生する典型的な不具合現象¹⁾

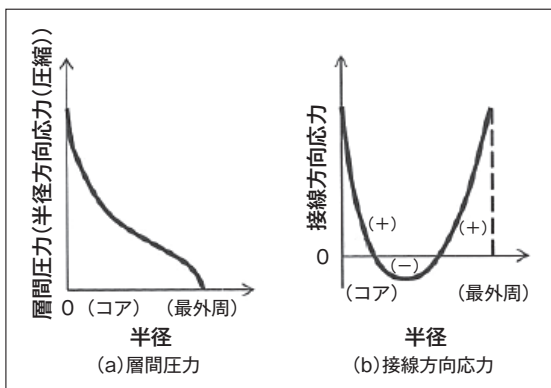


図5 固巻き状態におけるロール内部応力状態¹⁾

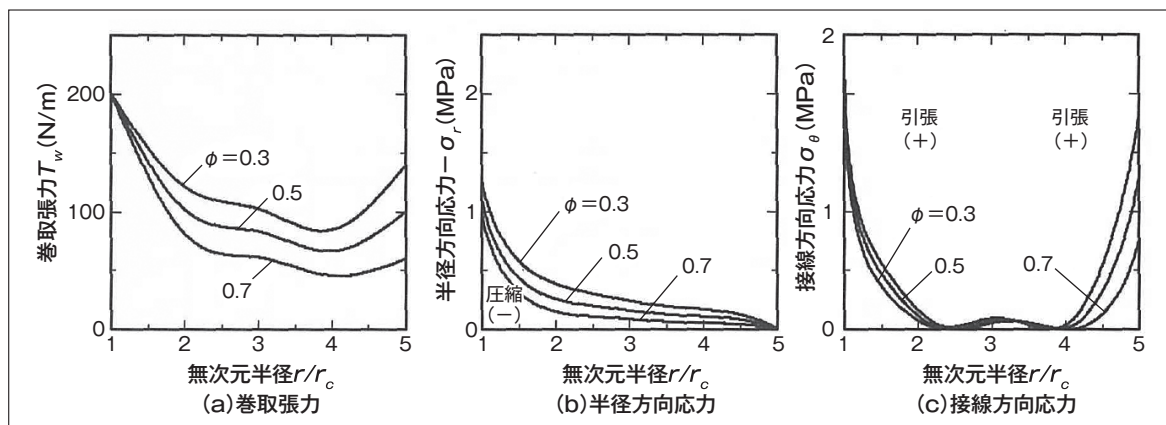


図6 最適巻取張力で巻き取った場合の内部応力状態の例²⁾

向の応力の半径方向の変化が小さくなっているためクリープも防ぐことができる。薄いウェブにおいて最適化された張力条件の巻取を実現するには機械の低張力域での制御品質が優れていることが必要である^{1), 2)}。

ウェブ搬送時の不具合現象である折れシワが発生する張力条件を式(1)に示す³⁾。

$$T > T_{cr} = \frac{2t_w^2}{\mu W} \sqrt{\frac{E_x E_z}{3(1-\nu_x \nu_z)}} \dots\dots (1)$$

ここで T は張力、 t_w はウェブ厚さ、 W はウェブ幅、 μ はウェブとローラー間の摩擦係数、 E はヤング率、そして ν は変位を示す。また、 X はウェブ流れ方向を、 Z は幅方向をそれぞれ示す。張力 T が T_{cr} より大きくなると折れシワが発生する。この式から薄いウェブは低張力でないと折れシワが発生することが分かる。

低張力対応と張力の安定化を強化するため、張力制御には設定自由度の高いダンサーローラーとサーボモーターによる速度制御を選択した(表2)。ダンサーローラーの構造には自重の影響を排除するために水平移動式を採用している(図7)。その駆動には摺動抵抗の小さいメタルシールのエアシリンダーを用いて張力精度の向上を図っている(表3)。

図8にeR!と従来機の張力変動を示す。eR!は前述のように水平移動式ダンサーローラーとサーボモーターによる速度制御で、従来機はバクトルモーターによるトルク制御である。両者とも張力検出器からのデータでフィードバックをかけている。張力を100Nに設定の上、速度を0m/minから100m/minまで加速してから60秒間運転し、その後0m/minまで減速した。加減速時間はそれぞれ10秒である。図8上がeR!の張力で、下が従来機のそれとなる。図から分かる通り、eR!の張力は加減速時含め安定しており $\pm 5\%$ 以内で推移している。これに対して従来機では特に加速側で不安定で、最大で $\pm 20\%$ 近くの変動が見られる。

表2 張力制御方式の比較

方式	張力発生源	張力自由度
速度制御	ダンサーローラー	大 ↑ ↓ 小
	エアブレーキ	
トルク制御	パウダーブレーキ	
	モータートルク	

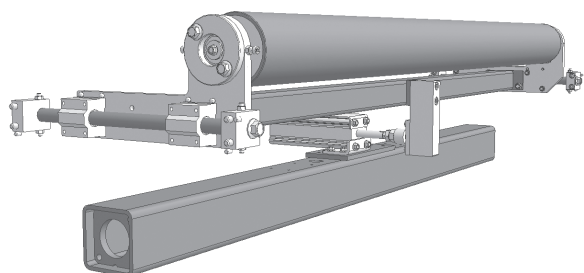


図7 水平移動式のダンサーローラーユニット

表3 エアシリンダー方式による摺動抵抗の違い

エアシリンダー方式	摺動抵抗 (N)
エアベアリング	<0.01
メタルシール	0.05
ダイヤフラム	1
樹脂シール	2
低摺動摩擦パッキン	10

※φ40エアシリンダーで0.5MPaの空圧をかけた時の参考値

張力絶対値に対する変動割合が大きくなりがちな低張力時はどうであろう。図9にそのデータを示す。張力を20Nに設定の上、速度を0m/minから10m/minまで加速してから56秒間運転し、その後0m/minまで減速した。加減速時間はそれぞれ2秒である。eR!の張力変動はおおむね±3N以内に収まっているのに対し、従来機はそもそも20Nの低張力は保証していないこともあり（従来機の保証張力:40~250N）、特に加速側で大きな変動が見られる。

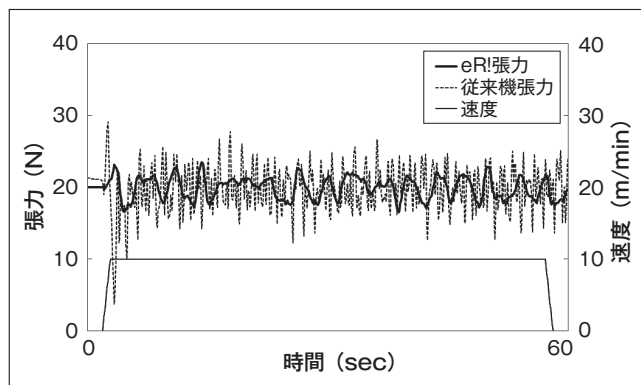


図9 張力変動（20Nに設定時）。速度を0m/minから10m/minまで加速してから56秒間運転し、その後0m/minまで減速。加減速時間はそれぞれ2秒

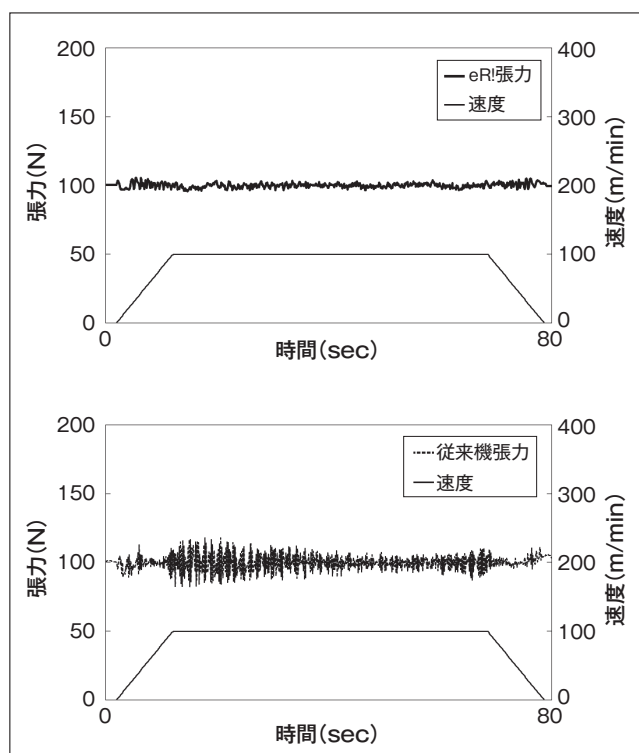


図8 張力変動（100Nに設定時、上：eR!、下：従来機）。速度を0m/minから100m/minまで加速してから60秒間運転し、その後0m/minまで減速。加減速時間はそれぞれ10秒

デリケートな材料では、巻取ロール層間に適切にエアを含ませながら巻き取ることが望まれる。そのためタッチローラーをあえて使わず、巻取ロールと近接ローラーのギャップを保ちながら巻くギャップ巻取が好まれる。eR!はコンパクトで場所を取らない直動式の近接ローラーユニットを標準装備している。このユニットの先端には着脱可能な加圧タッチローラーが付き、通常のタッチ巻取にも対応している（図10）。

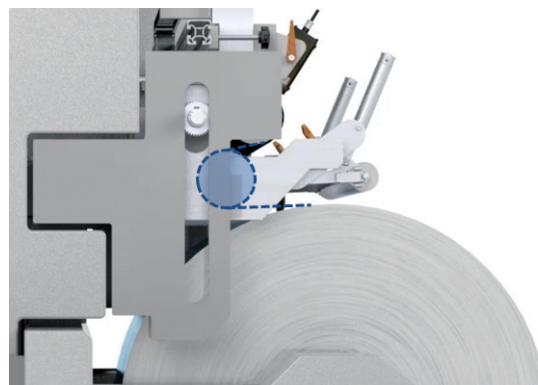


図10 直動式の近接ローラーユニット（ローラーは点線の位置に配置）。先端に着脱可能な加圧タッチローラーを備える

2.3 コンパクト化

FEM解析などによりフレームを薄肉化し軽量化を推進した。その結果、標準でキャスターを付けることができ、工場のレイアウト変更など永続的な改善に貢献できる。スペースを要するアーム回転部は極力直動に置き換えるなど各ユニットを徹底的に小さくした。その結果従来比25%のコンパクト化に成功した。

2.4 クリーン化・安全性の確保

全方向から視認できる警告灯により、オペレーターは機械の状態を一瞥できる(図11)。凹凸が少ないデザインを採用し、清掃しやすく危険箇所の少ない外観を実現した。また、CEマーキングやULなどの各国の認証には標準オプションで対応している(図12)。

3. 今後の展望

コロナ禍に始まり、各種災害およびウクライナ侵攻による原材料や燃料の高騰などを経て、サプライチェーンの混迷は増すばかりである。機械を製造しようにも部品が入ってこないのがある。先達の努力により、それまでの長い間、いかに不自由なくものづくりに邁進できていたかと今更ながら実感する。個別受注として対応してきた当社ビジネスも、ある程度の変化を余儀なくされている。すなわち市場要求をまとめ、絶対的な競争力のある標準的な製品を開発し、そのオプションを充実化させることで、顧客の個別要求を満たしつつ短納期で供給できる体制を構築する。大変困難ではあるが、この努力を怠る者は淘汰されていくかもしれない。

一方、今後無視し得ないものとして、DXの強化がある。製品や部品、そしてそれに付随する仕事、それらすべてを体系化標準化する方向に変えていくことによってデジタル化しやすくしていかなければならない。

強いものづくりの実現のため、時代に即した新たな製品体系の構築を強く推進していく必要があると考えている。

<参考文献>

1) 橋本巨：ウェブハンドリングの基礎理論と応用，加工技術研究会（2008），第7.3節 巻取ロール内部の応力状態と巻き品質の関係，pp.161-164.

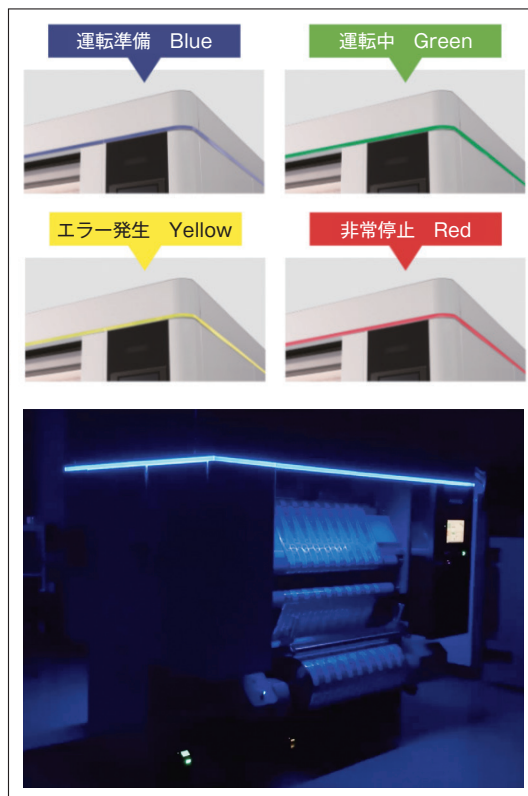


図11 警告灯



図12 CEマーキング（標準オプション）

- 2) 橋本巨：ウェブハンドリングの基礎理論と応用，加工技術研究会（2008），第7.7節 Hakielモデルに基づく計算例，pp.174-179.
- 3) 橋本巨：ウェブハンドリングの基礎理論と応用，加工技術研究会（2008），第6.4節 理論予測モデルの定式化，pp.142-149.