MH リール-CW 及び MH リール-CWC について*

—センタワインドリール—

三菱重工業株式会社 道 浦 克 彦

MH Reel-CW and MH Reel-CWC

—Center Wind Reel—

Katsuhiko Michiura
Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

It has been confirmed theoretically and experimentally that a center winding reel is effective to wind larger diameter paper roll without wrinkle or burst of the sheet. MHI products two types center winding reels and these names are MH Reel-CW and MH Reel-CWC.

The MH Reel-CW has the basic concept that is even and steady for paper winding. During operation, the spool moves only on the level rail without transfers of torque and nip. The first domestic MH Reel-CW has been installed to wind the super calendered paper and is operating successfully.

The MH Reel-CWC has the structure of conventional surface reel added primary and secondary center wind equipment. Therefore a conventional reel can be rebuilt easily to the MH Reel-CWC. The MH Reel-CWC in Japan are operating well and winding larger diameter paper roll than conventional reel.

分類：M₁₀ リール

1. はじめに

抄紙工程の効率向上のニーズに対応して巻取ロールの大径化、広幅化、高速化の要求が高まっている。このような条件の下でしわや破断等の欠陥のない巻取ロールとするのは幅方向、半径方向の巻き固さプロファイルの適正化が重要である。

従来のサーフェスリールでは巻き固さ制御はリール入側テンション及びドラムと巻取ロール間ニップで行っていた。しかし、大径化、広幅化した巻取ロールの巻き固さ制御を適正に行なうためにはテンション、ニ

ップ以外に巻取ロールそのものを直接駆動し（センタ駆動）そのトルクでも巻き固さを制御する事が大きな意味を持つてくる。

更に巻き固さプロファイルを適正化するには巻取ロールのたわみによる内力の分布も大きく影響している事から、ニップや自重による巻取ロールのたわみが過大になるのを防ぐために適正なスプールの選定も重要になってきている。

本報ではセンタワインドの効果の理論及び実験的検討例、弊社製センタワインドリールの製品及びそれらの実機運転例について紹介する。

*第6回製紙技術セミナー講演

2. センタワインドの効果の理論検討

2.1 巻取パラメータ

図1に一般的なリール巻取時の内部応力状態に影響を与える要因を示す。紙はある張力下でドラムで押えられた状態でスプールに巻取られる。スプールに巻取られる紙の張力はドラム上及びニップ部でのすべりによる摩擦力により変化する。またリールとドラムは自重とニップ力によりたわみ変形を起す為、両ロール間のニッププロファイルは紙幅方向で均一でなくなり、内部応力は紙幅方向に分布を持つことになる。このようにしてリール巻取径の増加と共に内部応力は時々刻々変化していく。この内部応力の変化を逐次詳細に求めることにより巻き固さや巻き状態を推定することができる。

2.2 解析理論

巻取ロールの内部応力状態を軸直角断面の二次元状態と仮定する。まず厚肉円筒理論を用いることにより、半径方向応力増分についての基礎式を求める。次にそれを差分法を用いて離散化して解くことにより各巻取状態での半径方向応力増分が求まるので、それをスプール近傍層から表面層まで重ね合わせる事により解析値を求めることができる。

2.3 巻取試験

本理論解析手法の有効性を確認する為に、パイロット試験機を用いて巻き取り試験を実施した。巻取ロールの層間圧力はプルタブ方式を用いて測定し、この測定結果と解析値との比較を行う。

図2にパイロット試験機の概要図を示す。代表寸法は紙幅 813 mm, ドラム径 915 mm, スプール径 250 mm である。供試紙は坪量 43 g/m² の新聞巻取紙である。試験条件は、ニップ圧を 1.7, 2.5, 3.2 kN/m と変化させた場合と、センタトルク有/無の場合である。

図1 巻取パラメータ

2.4 解析結果との比較

図3に、層間圧力の実測値と解析値および周方向応力の解析値を示す。図中実測値のFR及びBKはそれぞれロールの操作側及び駆動側端部を示す。層間圧力はニップ圧を高くするほど、またセンタトルクを加える方が高くなる。実測値と解析値は良く合っており、本手法が内部応力予測手法として有効であることがわかる。同図(a)と(d)を比較すると、センタトルクを加えることによりニップ圧を高めることなく巻き固さを固くすることができることがわかる。言い換えれば巻き固さを変えない場合、センタトルクを加えることにより低ニップで運転する事が可能となり、ニップ力によるたわみの影響を抑え、ニッププロファイルを均一に近づけることが可能となる。

3. 実機巻取ロールのプロファイル

3.1 しわ、破断の発生条件

ここでは実機運転時の巻取ロールの内部応力状態を3次的に予測することにより、その巻き固さプロファイルから巻取状態を評価する。巻取状態の判定の為、前述の理論解析手法に加え、次に示す紙幅方向のニップ圧分布とロール曲げ変形による内部応力変化を考慮する。

3.1.1 スプールとドラムのたわみによる紙幅方向のニップ圧分布

図4に、ロールの自重、ニップ圧及び支持方法を考慮した有限要素法はりモデルを示す。これにより得られた接触圧は、紙幅方向中央部と端部の内部応力計算を行うときのニップ圧としてそれぞれ用いる。

3.1.2 巻取ロール曲げ変形によるせん断応力

最大径に巻いたとき、自重とニップ圧に起因する曲げ変形により巻取ロール内部にせん断応力 $\tau_{r\theta}$ が発生し、この値が限界値を超えると層間すべりを生じてしわや破断につながる可能性がある。層間圧力 p とせん断応力によるすべり発生条件は、紙層間動摩擦係数を μ_{PP} とすると次式となる。

$$p \leq \frac{\tau_{r\theta}}{\mu_{PP}} \equiv p^*$$

ここで右辺 p^* をすべり限界圧力と定義する。

図2 パイロット試験機の概要図

(a) ニップ圧：1.7 kN/m、セントトルク無の場合

(b) ニップ圧：2.5 kN/m、セントトルク無の場合

(c) ニップ圧：3.2 kN/m、セントトルク無の場合

(d) ニップ圧：1.7 kN/m、セントトルク有の場合

図 3 層間圧力と周方向応力の実測値と解析値

図4 ニップ圧分布を求めるはりモデル

3.2 計算結果例

このせん断応力を3次元有限要素法にて求める。その計算結果の例を図5に示す。せん断応力の最大値はロール端部のスプール表面近傍で生じ、これはしわや破断の発生しやすい領域に対応している。また、巻取ロールを大径化、広幅化するとせん断応力は大きくなり、逆にスプールを大径化するとせん断応力は小さくなる。

実運転においても巻取ロールの大径化、広幅化でしわや破断がより発生しやすくなることより、このせん断応力が層間すべりの主要原因であると推定できる。

図6にはスプール近傍付近での巻取ロール内部応力計算結果とすべり限界圧力を合せて示す。MH リール-CW の方がサーフェスリールよりもプロファイルがより均一になっている。

紙幅方向の不均一応力は紙面内のせん断応力をひき起こすので応力の均一化は重要であり、この意味からもMH リール-CW の方がより適正に巻取可能である事が判る。

層間圧力は全領域ですべり限界圧力以上でありすべりは生じない。しかしながら加減速トルク、紙の摩擦係数のバラツキ等を考慮すると余裕は必要である。

3.3 スプール選定基準

前項で述べた滑り限界の考え方をを用いてスプールの選定基準を策定する事が出来る。つまり実機操作のデータを利用し、あるM/Cで下巻にしわや破断が発生することなく巻取れる最大巻取径が分かれば、その時の滑り限界値を計算により求め、その値を基準値と定める。これより、紙種、紙幅、最大巻取径が与えられれば、滑り限界値が基準値を越えないように、スプール外径及びセル厚を決定すればよい。また、予め、様々な紙幅及び巻取径について滑り限界値が基準値以下となるスプール外径及びセル厚を計算により求めておけば、スプールの選定基準を定めることができる。

4. MH リール-CW について

4.1 開発コンセプト

巻取ロール内で紙にしわや破断が発生するメカニズムを前章で述べたが、実機運転における要因分析を行なうと図7のようになる。弊社のMH リール-CW は次のコンセプトの下に開発された。

- (1) しわ、破断の発生要因の内、変動及び不均一に関係する要因が無い巻取を行なう。
- (2) ドラム入側のシートテンション (T)、ドラム巻取ロール間ニップ (N)、センタトルク (T) の

(a) MH リール-CW の場合

(b) 従来式サーフェスリールの場合

図5 巻取ロールのせん断応力分布解析結果

3つのパラメータを制御することにより巻き固さの最適化を行なう。

(3) できるだけシンプルな構造とする。

4.2 MH リール-CW の特徴

前述のコンセプトの下に開発されたMH リール-CW は次の様な特徴を有している。

4.2.1 均一ニッププロファイル

スプールは巻始めから巻終わりまでレール上を水平方向に移動するのみであり、従来式リールの様に巻取中の初期の段階において巻取ロールがドラム表面に沿って下降することがない。従って従来式リールで下巻じわの発生原因の1つとなっていたプライマリアームの下降中、巻取ロール自重のニップ方向成分が時々刻々と変わる事によるニッププロファイルの不均一等の要因が解消された。

(a) MH リール-CW

図 6 巻取ロール内部応力計算結果

図 7 しわ、破断発生要因

更に、ドラムは巻取ロールの下側から上向きにニップをかける為、ニップ圧の紙幅方向プロファイルは巻取ロールの自重たわみの影響を受けにくい。巻始めの巻取ロール自重たわみが小さい時は、ドラムは巻取ロールに鉛直下から上向きにニップをかけ、巻取ロールが太り、自重たわみが大きくなるにつれニップをかける方向を斜めにし、巻終り時には鉛直下から45°の方向からニップをかける様にする。このことにより巻始めから巻終りまで紙幅方向ニッププロファイルを均一に保ちながら巻取ることができる。

4.2.2 ショックのない巻取

従来式リールでは、巻取ロールがドラム上を降下後、セカンダリレール上に乗る為、この時に発生するショックが外乱となり巻取ロールにしわ、破断を発生させる要因となっていたが、MH リール-CW ではこのショックの要因も解消された。

4.2.3 ニップ、トルクの受け渡しがない

従来式のリールではプライマリアームからセカンダリアームへニップ加圧の受け渡しを行なっており、この受け渡し時のニップ圧の変動もまた外乱となつてしわ、破断の原因となっていた。MH リール-CW では、スプールをクランプする装置及びセンタ駆動装置はスプールが空転を始めてから巻取を完了するまでの間、同じ装置がクランプ及びセンタ駆動する。従って、巻取中におけるニップ、トルクの受け渡しがなく、この外乱要因も解消した。

4.2.4 大径巻取が可能

テンション、ニップ、センタトルクの3つを最適設定することにより、理想的な巻き固さプロファイルに巻取ることができる。このことにより、テンション、ニップでしか巻き固さを制御できない従来式リールでは不可能であった巻取ロールの大径化も、MH リール-CW では可能になった。

4.3 MH リール-CW の構造

MH リール-CW を構成する主な装置は、(1)水平レール、(2)リールドラム、(3)リールドラム昇降装置、(4)センタ駆動装置、(5)キャリッジ装置、(6)スプールストレージ装置、(7)ブレーキ装置、(8)枠替装置である(図8参照)。

4.4 MH リール-CW の運転

スプールは枠替にそなえての加速空転から巻取終了まで終始同一のセンタ駆動装置で駆動される。その時、センタ駆動装置はスプールを駆動するだけでなく、スプール軸受を下側からクランプする。また、スプールの駆動していない側はキャリッジ装置がスプール軸受を上側からクランプする。

図 8 MH リール-CW の構造

センタ駆動装置とキャリッジ装置にクランプされたスプールは紙を巻取中巻太りに合わせてブレーキ側へ移動していく。

ドラムは油圧シリンダで下から持上げられ、かつ、巻取ロールに所定のニップ圧で押しつけられる。ドラム昇降装置は上方向にドラムを持上げる力の制御を行ない、ドラムの高さは巻取ロールの位置と巻き径から二次的に決まる。

巻取ロール径が満巻に近づくとき枠替準備が始まる。それまで休止していたもう 1 組のセンタ駆動装置がスプールストレージに待機している次のスプールをクランプし駆動を始める。同時にやはりそれまで休止していたもう 1 組のキャリッジがスプールの反対側をクランプする。

枠替準備時は満巻ロールの移動速度を早め、ドラムを上昇させる。そしてドラムが空転している新スプールにタッチした直後に枠替をする。

枠替後、満巻ロールはブレーキ部へ蹴り出され、新しい巻取ロールが移動を始める。

図 9 に MH リール-CW の巻取中の動きのサイクルを示す。

4.5 MH リール-CW の実機運転状況

国内初号機がオフマシンコート用リールとして納入され、'97 年 5 月運転を開始した。その運転状況を紹介する。

このオフマシンコートはコートライン中にスーパーカレンダが配置されており、MH リール-CW ではスーパーカレンダがけされた紙を連続的に巻取る。MH リール-CW の主な仕様を表 1 に示す。

スーパーカレンダがけされたコート紙は通気度が非常に低い為、巻取ロールの紙層間に巻き込まれたエアの抜けが悪く、紙層間にエアが残りがち。また、平滑度も大きい為、紙層間の摩擦係数が小さいので、層間ですべりがおきやすい。

図 9 MH リール-CW の巻取中の動きのサイクル

表 1 MH リール-CW 国内初号機の仕様

設計速度	1,800 m/min
最高運転速度	1,600 m/min
最大紙幅	7,290 mm
最大巻取径	φ3,500 mm
紙種	A 2, A 3 塗工紙 (スーパー仕上平滑品)
坪量	64~157 g・m ²

この様にすべり易い紙であるが、本 MH リール-CW では巻き取りロールが横ずれ（ディッシング）することなく、最高運転速度で最大巻取径まで問題なく巻取っており、順調に稼動中である。

また、海外では、9 台が既に稼動中で、国内では 2 号機が 2001 年 4 月運転開始予定である。

5. MH リール-CWC

5.1 MH リール-CWC の構造

MH リール-CWC は従来型のリールにセンタ駆動装置を追加した構造をしている。操作側にプライマリセンタ駆動装置が、駆動側にセカンダリセンタ駆動装置が配置されている。C はコンベンショナル（従来式）

を意味する。

プライマリセンタ駆動装置はプライマリアーム内スプールクランプと一体構造になっており、スプールが紙を巻取り、巻太るにつれてクランプ装置及びプライマリセンタ駆動装置がプライマリアーム内をスライドする。

プライマリセンタ駆動装置はスプールスタータも兼ねており、枠替が近づく与新スプールの空転を始める。枠替後、プライマリアームが下降し、巻取ロールが水平レール上に降り、ニップの加圧がプライマリからセカンダリに移行後、トルクの移行がプライマリからセカンダリに行なわれる。

その後、巻取ロールは巻太りに合わせて水平レール上を移動するがその間次の枠替が行なわれるまでセカンダリセンタ駆動装置にてセンタ駆動が行なわれる。

セカンダリセンタ駆動装置は駆動側に設けられ、モータ、減速機、クラッチがレール上に乗っており、巻取ロールの巻太りによるスプールの移動に合わせて水平に移動する。図 10 に MH リール-CWC の概略図を示す。

5.2 MH リール-CWC の特徴

MH リール-CWC は下記の特徴を有している。

- (1) トルク、ニップ、テンションの 3 つを最適値に設定することで巻き固さプロファイルを理想的な形で巻取ることが可能。

図 10 MH リール-CWC レイアウト

- (2) 既存のサーフェスリールにセンタ駆動装置を追加する改造工事だけでセンタワインドリール化が可能。即ち、低コストでセンタワインドリールに改造が可能。

弊社は MH リール-CWC は国内外合わせて新設 M/C に 6 台、既設サーフェスリールを MH リール-CWC 化に改造した M/C が 1 台、合計 7 台納入している。

海外では 10 年以上前から MH リール-CWC が運転されており運転実績も 20 台を越える。また従来式リールを MH リール-CWC に改造し、下巻損紙が半減したという報告も多くされている。

5.3 実機運転状況

ここでは国内の数社の例について紹介する。

- (1) A 社 上質 M/C

最大巻き径：3,500 mm

下巻損紙：300 m 以内

- (2) B 社 新聞紙 M/C

最大巻き径：3,500 mm で問題なし

(但しセンタワインド不使用時の巻取可能最大径：2,500 mm)

- (3) C 社 新聞紙 M/C

最大巻き径：3,200 mm

下巻損紙：400 m

- (4) D 社 新聞紙 M/C

サーフェスリールを MH リール-CWC に改造

改造前	改造後
最大巻き径：2,200 mm	3,000 mm
下巻損紙：1,200 m	350 m

6. ま と め

本報では弊社製センタワインドリールである MH リール-CW と MH リール-CWC それぞれのリールの特徴、構造、実機運転状況について紹介した。弊社では巻き取りに関する基礎研究及び次世代 M/C の開発業務を継続的に行っており、今後も高速、広幅、大径化等のニーズに対応していく所存である。

最新のリールについて —センター巻き TF リール—

石川島播磨重工業株式会社 紙・プラスチック設計部 小竹 寛

近年、巻取サイズの大型化、及び製品の多様化が進んでいる。従って、皺や紙切れなく製品を巻取ることが以前よりも難しくなってきた。これらの問題を解決するためには、最適なトルクで巻取ることが必要である。

しかし、従来式のサーフェスリールでは巻取り時のトルクがニップ圧に依存するため、トルクの制御には限界があり、これら最近のニーズを十分満足するが難しくなってきた。そこでこれらの問題を解決するために、弊社ではセンタードライブ式の新型“TF リール”を開発し、巻きのトルク制御を自由に制御可能となった。

(本文 16 ページ)

MH リール-CW 及び MH リール-CWC について —センタウィンドリール—

三菱重工業株式会社 道浦 克彦

抄紙工程の効率化により、抄紙機の高速度がますます進み、それに伴って巻き取りロールの大径化が進んでいる。この様な状況でしわや破断無く大径に巻き取るためにはセンタウィンド式リールが有効であることを理論的、及び実験的に確認した。

弊社は2種類のセンタウィンドリール、つまり MH リール-CW 及び MH リール-CWC を製作、納入している。

MH リール-CW は従来式サーフェスリールで発生するしわ、破断の発生要因のうち、不均一及び変動に関する要因をなしに巻き取ることを基本コンセプトとして開発されたリールである。運転中、スプールは水平レール上を移動するのみであり、また、ニップやトルクの受け渡しもないため、理想的な巻き取りができる。国内初号機がスーパーカレンダー紙巻き取り用リールとして H 9 年 5 月に運転を開始しており、順調に稼動している。

また MH リール-CWC は従来式サーフェスリールにプライマリ及びセカンダリセンタ駆動装置を設置した構造をしており、従来式サーフェスリールを部分的に改造するのみでセンタウィンドリールに改造可能であり、国内各社でセンタ駆動装置を使用した方が大径巻き取り可能である運転実績が得られている。

(本文 22 ページ)

抄紙機における BM 計の最先端制御技術について

横河電機株式会社 IA 事業本部環境機器事業部 P&W システムセンター 佐々木尚史

横河電機の BM 計 (BM 9000 CS) には、さまざまなタイプの抄紙機に対応した各種制御機能が搭載されている。本稿では、それらのうち、カレンダーにおける CLP プロファイル制御の最新アルゴリズムと、ドライヤ乾燥モデルを用いた新しい蒸気圧抄替制御について紹介する。

最新の CLP プロファイル制御は、時定数の長いプロセスでも最短時間で目標値に整定させることの