

段ボール用ベルト加圧式段繰り機の開発

Development of Belt-Type Single Facer

技 術 本 部 丸 山 善 昭^{*1} 河 野 和 清^{*2}
鈴 村 洋^{*2} 山 口 正 博^{*3}
三 原 製 作 所 関 征 治^{*4}

従来形の段ボール製造用段繰り機では、段ロールに対して高圧力で圧力ロールを押付けるロール加圧式であるため、高速運転時に段切れが発生したり、騒音が大きくなるという問題があった。本研究では、これらの問題を解決するため、圧力ロールに代りロール間を走行するエンドレスベルトによるベルト加圧式段繰り機の開発を目標として、接着条件の適正化、ベルトの蛇行・変形制御法及び低騒音化対策の検討を行った。この結果、本方式の採用により機械速度 400 m/min で騒音 95 dB(A) 以下を達成し、プレスマークのない高品質シートを得ることができた。

With the increasing demand for higher productivity and quality, medium ruptures and the rise in noise have recently become serious concerns in the corrugating process of a conventional single facer. In order to develop a new type of single facer which uses a running belt instead of the pressure roll used in conventional units, investigations have been conducted on the rationalization of the adhesive conditions, the prevention of the unstable running and deformation of the belt and practical measures to reduce the noise level. With the belt type single facer, low noise of 95 dB(A) at the high production speed of 400 m/min has been successfully achieved without press marks.

1. ま え が き

段繰り機とは、図 1(a)に示すように段ボールシートを製造するコルゲートマシンの最初の加工工程で、中芯(なかしん)とライナ原紙から片面段ボールを製造する機械である。

当社では、1978年にフィンガレス段繰り機を世界で最初に開発して以来、国内外の顧客の多様なニーズに合わせて、段ロール交換の容易なタイプ、保守・操作性の容易なタイプと順次モデルチェンジを行い、現在までに 400 台以上の段繰り機を世界各国へ納入してきている。

しかし、現在の機械では、生産性、シートの品質、作業環境、操作・保守性等まだまだ改良すべき課題は多い。当社は、これらをブレイクスルーする方法として、全く新しいコンセプトの圧力ロールのない加圧ベルトによる貼合(てんごう)方式を採用した新型段繰り機を開発した。

本報では、新型機の開発のねらいと特徴及び要素研究について述べる。

2. ベルト加圧式段繰り機

2.1 開発のねらい

図 1(b)に示す従来型のロール加圧式段繰り機では、上下段ロール間で段繰りされた中芯はのり付けされ、圧力ロールの押付けにより瞬間的にライナと接着され片面段ボールが製造される。このとき、加圧時間が非常に短いため高い圧力による押付けが必要となる。そのため、高速になると下段ロールと圧力ロール間で共振を起こし、ライナが切れたり、騒音が高くなるという不具合があった。

これに対し、図 1(c)に示す新型のベルト加圧式を採用し、中芯とライナの接着時間を十分長くとり、低圧での押付けができるようにすることにより、騒音・振動が小さく、プレスマーク(高い圧力の押付けによりライナに生じる圧こん)のない段ボールの

生産を可能とするのが開発のねらいである。

2.2 ベルト加圧式の特長

表 1 に従来機と新型機の比較を示す。新型機の特長は以下に示すとおりである。

(1) 高品質

低級原紙でも、プレスマークのないシートの生産が可能となり、シート・箱強度の向上とともに裏ライナへの印刷、プレブリントの貼合が可能である。

(2) 環境対策

機械騒音・振動の低減。400 m/min でも 95 dB(A)、250 m/min で 88 dB(A)、200 m/min で 84 dB(A) と大幅に低減し、しかも、音色をソフトにする。

(3) 操作性

段ロールと圧力ロール間の加圧力とすきまの調整が要らず、ライナ切れや貼合不良が発生しない。

3. 接着条件の適正化

3.1 技術課題

新型機では、従来機と加圧方式が異なるため、従来機と同等の接着力を得る適正接着条件を把握する必要がある。しかし、これまで、加圧力、のり温度及び接着時間を含んだ理論は確立されていない。そこで、加圧力、のり温度及び接着時間をパラメータとして、加圧力を下げた場合に同等の接着力を得るための接着時間を定量化することが技術課題である。以下に、基礎試験による適正接着条件の推定方法と実機による検証試験結果を示す。

3.2 基礎試験による適正接着条件の推定

図 2 に開発した接着力測定装置を示す。この装置は、5 cm 角の中芯とライナサンプルをそれぞれジグに取付け、のり付けした後貼合及び加圧して初期接着力を測定するものである。パラメータとして、加圧力、のり温度及び接着時間を変えることができる。この装置を用いて、上記パラメータを変えて、接着強度を求め

*1 広島研究所紙・印刷機械研究推進室主務

*3 広島研究所機械研究室

*2 広島研究所レオロジー研究室主務

*4 一般機械設計部紙工機械設計課主務

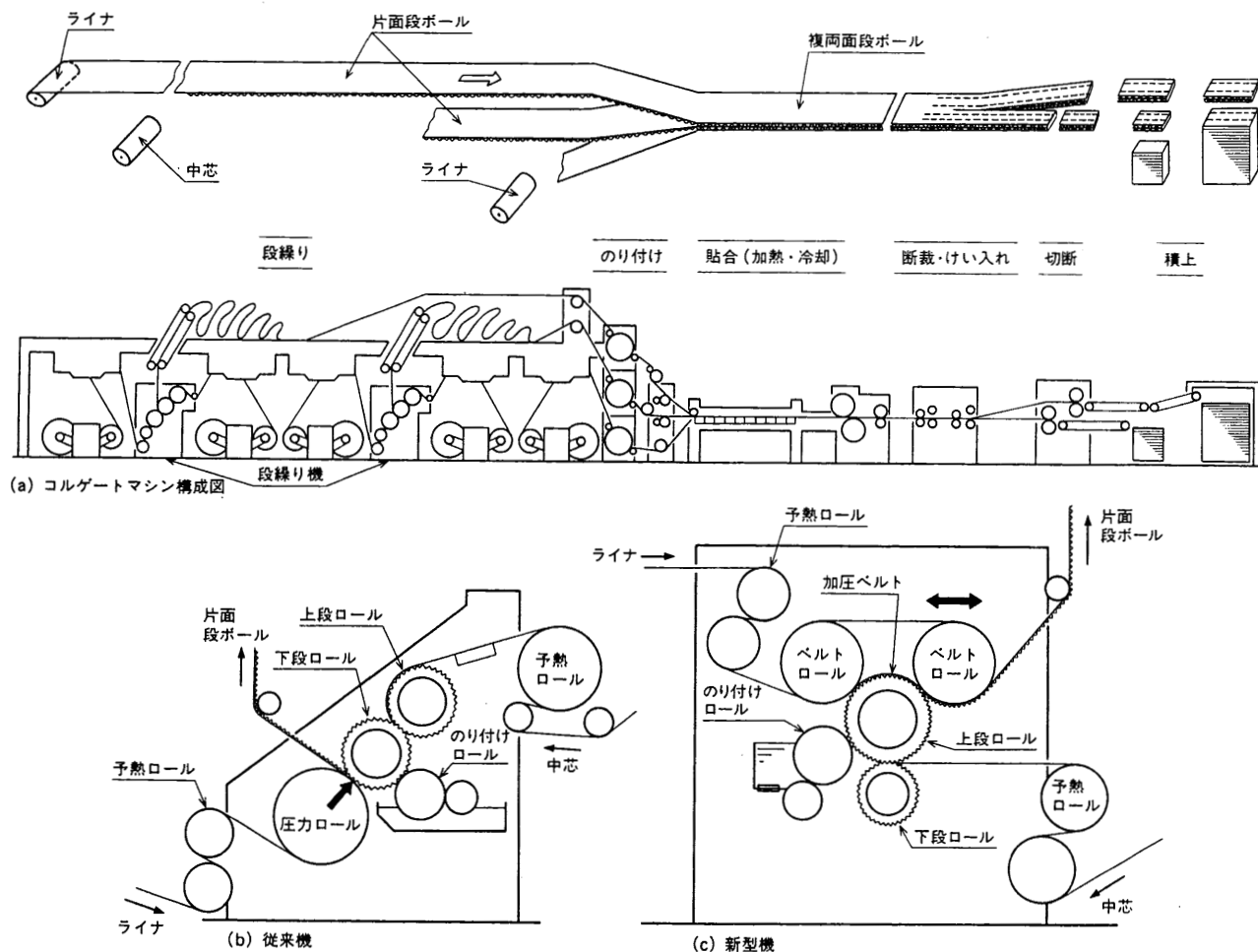


図1 コルゲートマシン構成と段繰り機レイアウト 段繰り機は中芯とライナ原紙から片面段ボールを製造する機械で、従来機ではロール加圧式、新型機ではベルト加圧式である。
Schematic view of corrugating machine and layout of single facer

表1 従来機と新形機の比較
Comparison of conventional and new type of single facer

項目	従来機(ロール加圧式)	新型機(ベルト加圧式)
最高機械速度	300 m/min	400 m/min
最大機械幅	2 500 mm	2 500 mm
騒音	118 dB(A)/300 m/min 110 dB(A)/200 m/min	95 dB(A)/400 m/min 88 dB(A)/250 m/min 84 dB(A)/200 m/min
シート品質	プレスマークあり	プレスマークなし

た。この結果、同一の加圧力下では、接着強度 F は接着時間 t に対して、 t が 2 s 以下の範囲ではべき乗の形で表されること、また、のり部に取付けた細線熱電対により測定した温度変化から 0~2 s 間を積分した平均温度 T_p を用いて、得られた接着強度の関係をアウレニウスプロット⁽¹⁾すると、ほぼ一本の直線に整理できることが分かった。

以上のことから、加圧力、のり温度及び接着時間をパラメータとする次に示す実験式を得た。

$$F = A_1(P + A_2) \left[\exp\left(-\frac{E}{RT_p}\right) \right] t^n \quad (1)$$

ここで、

A_1, A_2 : 定数 (-)

E : 活性化エネルギー (J/g-mol)

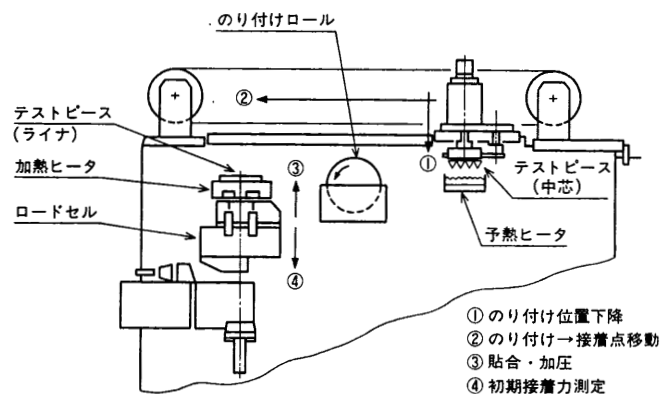


図2 接着力測定装置 実機条件をシミュレートする接着力測定装置。
Testing apparatus for adhesive strength

exp: 指数関数

F : 接着強度 (N/m²)

P : 加圧力 (N/m²)

R : ガス定数 (=8.314 J/g-mol · K)

T_p : 貼合部の平均のり温度 (K)

n : 時間項のべき乗数 (-) $n=f(P)$

t : 接着時間 (s)

従来機の線圧に対応する加圧力 P と接着時間 t 及びのり温度 T_p を用いると、式(1)により接着強度 F_1 が求まる。次に、同一

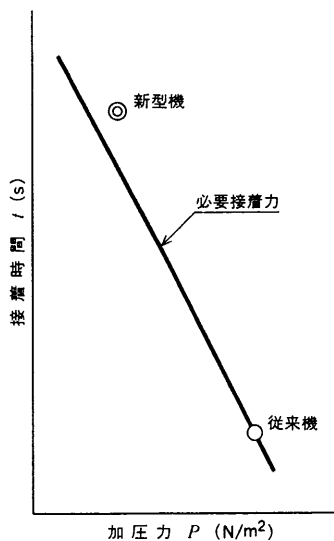


図3 加圧力と接着時間の関係
この関係から新型機の加圧力と接着時間が決まる。
Relation between pressure and time of adhesion

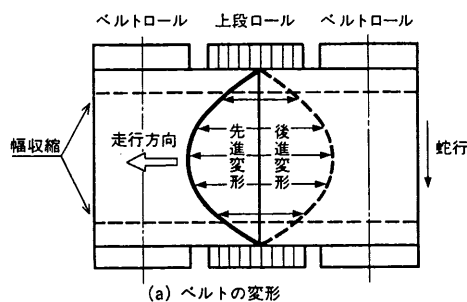


図5 ベルトの蛇行・変形解析 ベルトとロールの剛性、ロールの平行度とクラウン及び滑り摩擦力を考慮したベルト蛇行・変形理論解析モデル。
Analysis model of running and deformation of belt

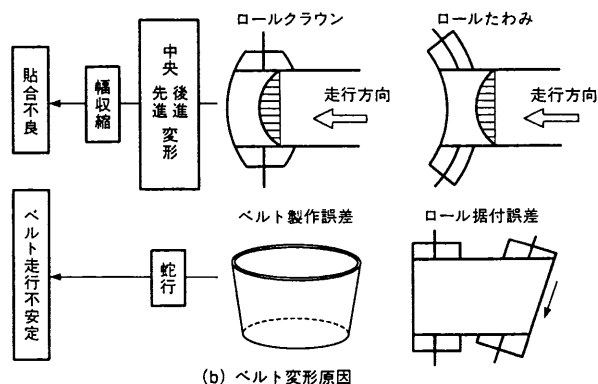


図4 ベルト走行安定化のための技術課題 ベルト安定走行のためには先進あるいは後進変形、幅収縮変形と蛇行を防止しなければならない。

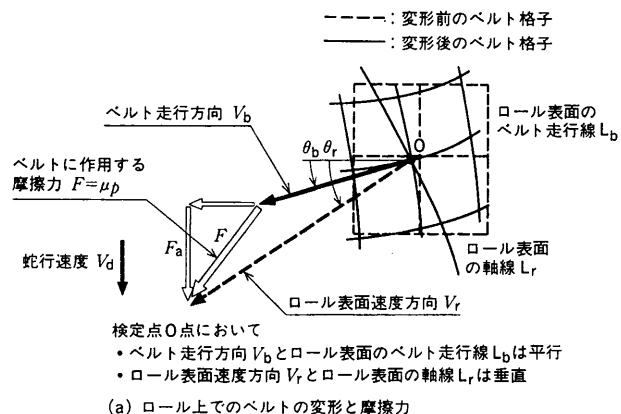
Technical themes for stable running and deformation of belt

の接着強度 F_1 とのり温度 T_p の条件で、式(1)を満足する加圧力と接着時間の関係を求めると、図3の条件が得られる。新型機の操作条件は、この必要接着力 F_1 一定のラインから求めることができる。

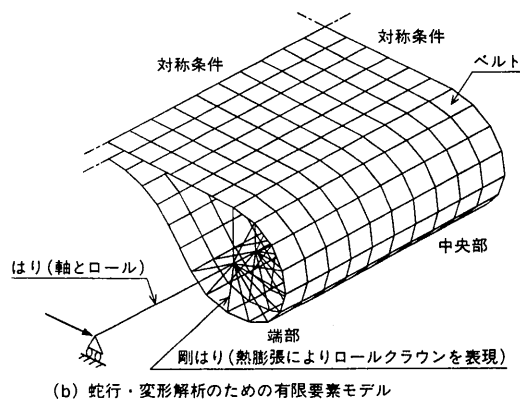
3.3 実機による検証試験

上記のように、適正接着条件を満足するベルト加圧条件を決定し、実験式の妥当性確認のためパイロットテストを実施した結果、その製品のピンテスト値（中芯の段頂とライナの接着部の引きはがし抵抗値）による接着強度は従来機の値以上であることが分かった。

上記適正接着条件式を用いることにより、新型機のロール設計条件と操作条件の決定が可能となった。



(a) ロール上でのベルトの変形と摩擦係数



(b) 蛇行・変形解析のための有限要素モデル

4. ベルトの蛇行・変形制御

4. 1. 技術課題

新機種ではエンドレスベルトが2本のベルトロールと上段ロール上を高速走行する。このようなエンドレスベルトの走行性安定化のためには図4に示す技術課題がある。つまり、ロールのクラウンやたわみ変形はベルト幅中央部の先進あるいは後進変形を誘起し、また、ベルト製作誤差やロール据付誤差などにより各ロールが平行でない場合にはベルトの蛇行が発生し、これらが大きくなると走行不安定、あるいは貼合不良につながる。ベルトの走行性安定のためには、このベルトの面内変形と蛇行の防止が重要となる。

以下では、これらの蛇行・変形現象の理論解析手法と実機による検証試験結果を示す。

4. 2 蛇行・変形理論

ベルトの蛇行と変形状態は、ベルトがロール上を走行するとき受ける摩擦力の方向と大きさの分布により決まる。図5(a)に示すようにベルトとロールは変形前に直線であったものが、変形後は図中の曲線格子と軸線 L_r のように変形し、ロール表面速度 V_r とベルト速度 V_b の方向差が生じる。この速度差の方向にベルトにはロールから摩擦力 F が作用し、ベルトは面内変形するとともに、ロール軸方向の摩擦力の成分 F_a がベルト蛇行を引き起こす。定常的な蛇行状態では、ベルトは2本のベルトロールと上段ロールから上記摩擦力を受けながら走行し、このとき、ベルト全体に作用するロール軸方向の摩擦力の合力は平衡状態にある⁽²⁾。つまり、ベルトの蛇行速度を V_d とすると、次に示す平衡条件式が成立する。

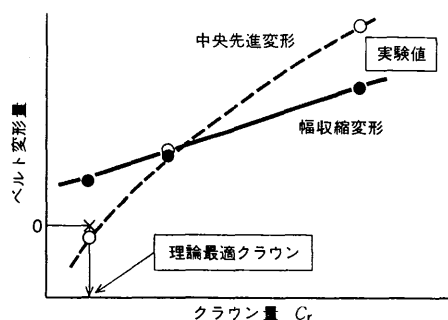


図6 実機による検証試験 最適ロールクラウンにより面内変形、幅収縮は大幅に低減。
Experimental results of belt deformation

$$\int [\operatorname{sgn}[V_r \cdot \sin \theta_r - (V_b \cdot \sin \theta_b + V_a)] \mu p dA] = 0 \quad (2)$$

上式において、記号 sgn は $[\]$ 内が正のとき 1、負のとき -1 の値をとり、 $\mu p (=F)$ は摩擦力、 $\int \cdot dA$ はベルトとロールの全接触面上の積分を表す。ベルトとロールの速度 V_b と V_r 、角度 θ_b と θ_r はロール形状と荷重条件を考慮して図 5(b) に示す有限要素法モデルを用いて計算する。ロールクラウンは剛はりに熱膨張を与えて表現する。蛇行速度 V_d はベルトの変形状態に依存するので上式の計算では、まず蛇行速度を仮定し変形を求めた後、蛇行速度を修正する方法で上式が満足されるまで反復計算を行う必要がある。このようにしてベルト蛇行速度とベルトの変形を求めることができる。

4.3 実機による検証試験

上記理論の妥当性を確認するため、実機を用いて試験を行った。図 6 に面内変形量とロールクラウンとの関係を示す。図中、×印は蛇行速度が零となる理論最適クラウン量である。試験の結果、最適クラウンのときベルトの面内変形と幅収縮は大幅に低減し、しかも、蛇行は許容範囲内に抑制することができた。新型機では、この考え方にに基づきロール形状と荷重条件から最適クラウン量を決定した。

5. 振動・騒音の低減

5.1 振動の低減

従来機では、平滑な表面を有する圧力ロールが凹凸を有する下段ロールに加圧されるため、圧力ロールに断続的な圧力が作用し、ロール振動やシート切れの原因となっていた。これに対し、新型機では同時に加圧される段山の数が多いため、回転に伴う加圧力の変動が小さいので、振動が原理的に低減する。このため、高速化、高品質化はもとより、次に述べる低騒音化も可能となる。

5.2 騒音の低減

従来機の騒音の要因は、圧力ロール/上段ロールの発生音（寄与度約 70%）と段ロール同士のかみあい音（寄与度約 30%）が主体である。これに対し、新型機では前者が皆無となり、騒音が大幅に低減されることになる。

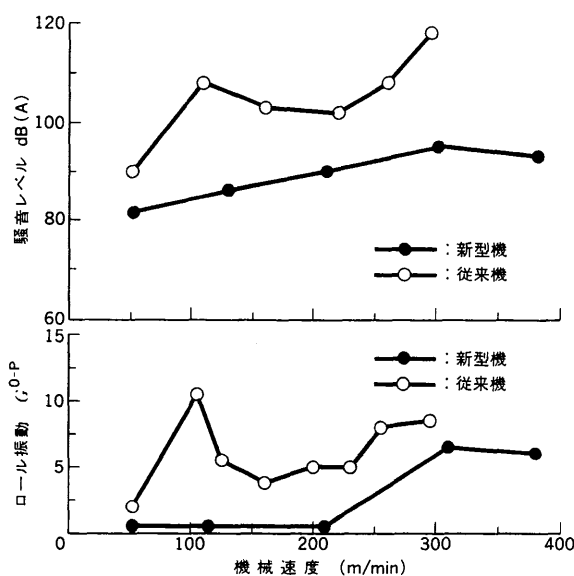


図7 新型機と従来機の騒音・振動の比較 新型機は従来機に比べて低騒音と低振動が達成されている。
Comparison of noise and roll vibration

図 7 に騒音と振動の低減効果の実測データを示す。騒音については、従来機の最大 118 dB(A) (300 m/min 時) に対して、新型機では最大 95 dB(A) に、ロール振動は 11 G^{0-P} が 7 G^{0-P} に低減している。これは、下段ロールを加圧する圧力ロールがベルトに置換されたためであり、圧力ロール共振による騒音・振動のピークもなくなっている。このため、高速 (400 m/min) まで安定した運転が実現されており、シートの高品質化につながっている。

6. む す び

本研究では、従来のロール加圧式に代りベルト加圧式段繰り機の開発のため、接着条件の適正化、ベルトの蛇行・変形制御法及び低騒音化対策検討を行い、400 m/min で 95 dB(A) の低騒音を達成し、プレスマークのない高品質シートを得ることができた。

新型機は、1992 年 11 月米国へ初号機納入以来、1994 年 1 月現在計 7 台（海外 4 台、国内 3 台）が順調に稼働中である。本新型機により、段繰り機の世界速度アップによるコルゲートマシン全体の生産性向上、低騒音達成による作業環境の改善、さらに、面倒な加圧力とロールすきまの調整なしに、プレスマークのない良品質のシートの生産ができる等、客先のニーズに十分こたえているものと考えている。しかし、95 dB(A) は決して満足できるものではなく、今後もさらに騒音の低減化を進めていく計画である。

参 考 文 献

- (1) 増岡岑夫, 接着強度を支配する諸因子, 日本接着協会誌 Vol.16 No.8 (1980) p.332
- (2) 福島丈雄ほか, ロールによる鋼帯の蛇行の理論解析, 三菱重工技報 Vol.30 No.5 (1993) p.447