

非接触 Roll to Roll 搬送技術の開発

Development of Non-Contact Roll-to-Roll Transport Technology

大橋 壘	技術開発本部総合開発センター機械技術開発部
平田 賢輔	技術開発本部総合開発センター機械技術開発部 課長 技術士（機械部門）
久住 智勇	技術開発本部総合開発センターロボット技術開発部 主査
石橋 希遠	株式会社 IHI 物流産業システム 事業開発部 部長 技術士（機械部門）
長谷川 敬晃	株式会社 IHI 物流産業システム プロジェクトセンターガラス FA 部 課長

ディスプレイパネル市場は、スマートフォン・タブレットに加え、スマートウォッチなどの製品も増加している。これらの製品は薄型化・軽量化とともに高精細化が進み、基板材（ガラスや樹脂フィルムなど）が極薄化し、強度の低下が著しい。このため、基板材を傷めない低張力・非接触搬送技術のニーズが高まっている。また、基板材が極薄になると柔軟な性質をもつため、巻き出しながらラミネート・成膜などのプロセスを連続的に処理できる Roll to Roll 生産方式を適用することで、生産効率を飛躍的に高めることができる。そこで、柔軟な極薄材料に向けた、従来にない低張力・非接触 Roll to Roll 搬送技術を開発した。

In the display panel market, the number of smartphones, tablets, smart watches and other such devices are increasing. With these devices becoming higher definition, lighter and thinner, the substrate materials (e.g. glass and resin) that are used have also become ultra-thin and more flexible so that they can be folded and rolled like paper or film, but this has resulted in a significant loss of strength. Accordingly, there is an increasing need for the substrate materials to be transported in a low-tension, non-contact environment that will prevent damage to them. In addition, because ultra-thin substrate materials are more flexible, the roll-to-roll (RTR) production process — which is a highly efficient mass-production method that enables processes such as lamination and coating to be continually performed while the substrate roll is being wound — is suitable for use, which will enable production efficiency to be improved dramatically. In this report, the development of a groundbreaking low-tension, non-contact RTR transport technology for flexible ultra-thin substrate materials is introduced.

1. 緒 言

近年、折り畳んだり丸めたりすることで、より自由度の高い設計・設置が可能なフレキシブルなディスプレイが実現されており、さまざまな分野での使用が期待されている。

これらのフレキシブルディスプレイは、ガラスや樹脂フィルムなどを基板材とし、成膜やラミネートといったプロセスを経て製作されている。ディスプレイの薄型化とともに基板材も薄型化の傾向にあり、プロセス間の搬送によるダメージを抑制できる非接触搬送技術のニーズが高まっている。

従来のディスプレイ製造はパネル 1 枚ずつ処理する枚葉式で行われてきた。より生産性の高い製造方法として、基板材の薄型化に伴う柔軟性向上を利用した Roll to Roll (RTR) 方式の採用が検討されている。たとえば有機 EL (Electro-Luminescence) ディスプレイ製造に RTR を適用すると、①電極成膜 ②有機材蒸着または印刷 ③封止 (ラミネート)、の各プロセスを連続的に行うことができ

るため、生産性向上が期待できる。第 1 図に有機 EL ディスプレイの RTR 製造工程のイメージを示す。

このような背景から、非接触 RTR 搬送技術の開発を行った。本稿では、非接触 RTR 搬送の技術的課題について述べ、課題をクリアするために開発した技術について紹介する。

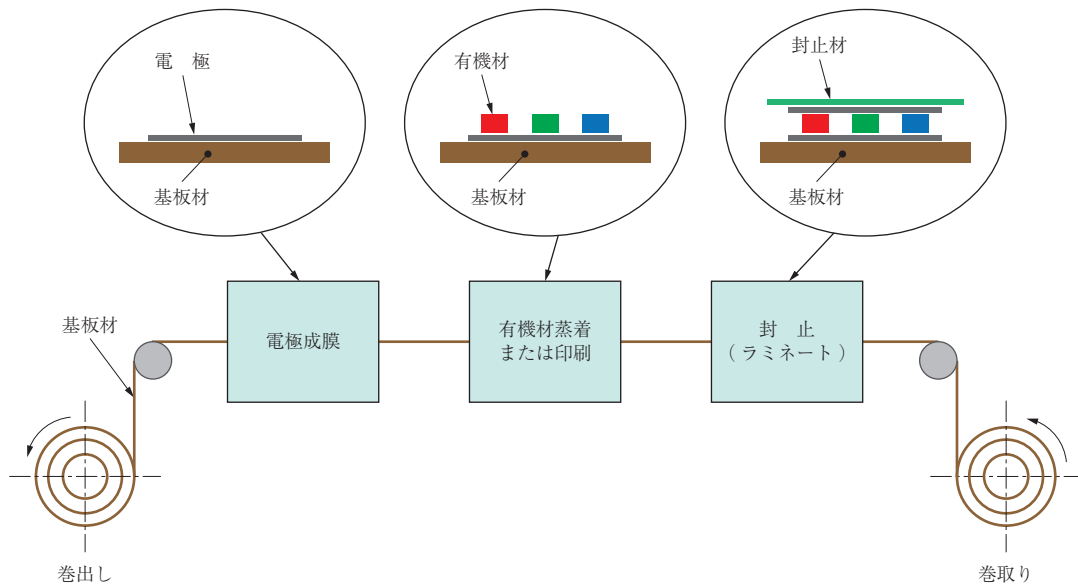
2. 技術的課題

第 2 図に非接触 RTR 搬送装置のイメージと課題を示す。ロール状に巻き取った基板材を巻出し装置によって巻き出し、途中に成膜やラミネートなどのプロセスを経て巻取り装置によって再びロール状に巻き取る。巻出しと巻取りの間は、空気によって常時基板材を浮上させながら搬送する。

このような非接触 RTR 搬送装置の開発には、以下の三つの技術的課題がある。

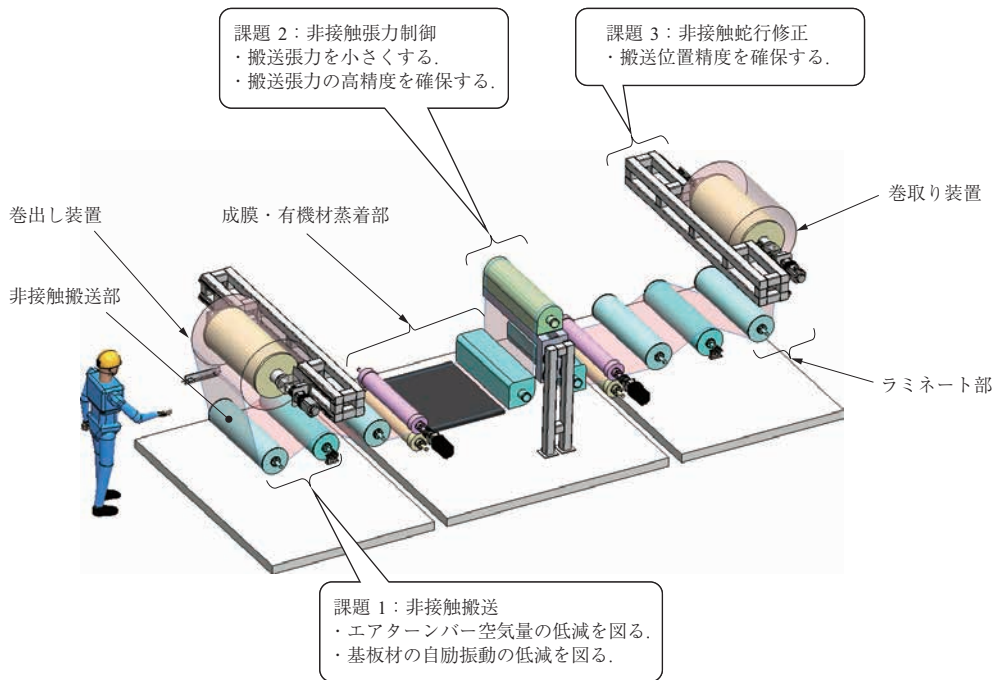
(1) 非接触搬送

従来、水平方向での非接触搬送は空気浮上技術が



第 1 図 有機 EL ディスプレイの RTR 製造工程イメージ

Fig. 1 Illustration of the roll-to-roll production process for an organic Electro-Luminescence display



第 2 図 非接触 RTR 搬送装置のイメージと課題

Fig. 2 Illustration of and issues concerning a non-contact roll-to-roll transport device

用いられてきた。空気浮上技術とは基板材に複数の空気孔を設け、空気を吹き出すことで基板材を浮上させながら搬送を行うものである。RTR 搬送の場合は基板材の水平方向のみではなく、ほかの方向に変換して（たとえば垂直方向）搬送することも必要である。

空気浮上による非接触での方向変換を行うには一般的にエアターンバーが用いられている。エアターンバーは円筒形状の外面に複数の孔が開いており、

孔を通して空気が吹き出す部品で、基板材を浮かせながら任意の方向へ転換させることができる。第 3 図に接触ローラとエアターンバーの比較を示す。しかし、従来のエアターンバーは空気消費量が多く、また基板材の自励振動が問題になるケースがあったため開発を行った。

(2) 非接触張力制御

RTR 搬送では基板材を安定して搬送させるため、

方向転換の方法	接触ローラ（接触）	エアターンバー（非接触）
接触と非接触時の方向転換の比較		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 基板材の搬送幅方向の位置を保持しやすい。 コストが低い。 	<ul style="list-style-type: none"> 摩擦による基板材へのダメージはない。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 摩擦による基板材へのダメージの恐れがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 基板材の搬送幅方向の位置を保持しにくい。 浮上させるエネルギーが必要、コストが高い。

第3図 接触ローラとエアターンバーの比較
Fig. 3 Comparison of a contact roller and an air turn bar (i.e. a non-contact roller)

張力を一定にする必要がある。張力の変動が大きい場合は基板材の変形が不均一になり、プロセス不良の原因となってしまう。また、搬送張力が大きい場合基板材への負荷が大きくなり、破損の原因になる。このため、非接触で搬送張力を一定かつ小さい値に維持できる張力制御技術が必要になる。

(3) 非接触蛇行修正

非接触搬送では搬送中に摩擦力が働かないうえ、搬送張力も小さくなるため、基板材の横ずれが発生しやすくなる。従来の蛇行修正技術は接触式で、基板材とローラの摩擦を利用したものであるため、非接触搬送に対応した独自の蛇行修正技術が必要になる。

3. 要素試験装置の開発と性能確認試験

第4図に開発した非接触 RTR 試験装置の外観と仕様を示す。巻出しおよび巻取り装置では、基板材を巻き取ったロールをダイレクトドライブサーボモーターで駆動してお

り、トルク・速度制御の両方が可能である。

巻出しおよび巻取り装置間にはエアターンバーによって構成される張力制御装置と蛇行修正制御装置を設けた。また、基板材として PET (Polyethylene Terephthalate) を使用した (厚み : 0.1 mm) 。また PET 以外に、ガラスとアルミニウムも使用した。

第1表に非接触 RTR 搬送装置と従来装置の性能確認試験結果を示す。各項目の目標値として、従来の接触式搬送装置の諸元を参照した。

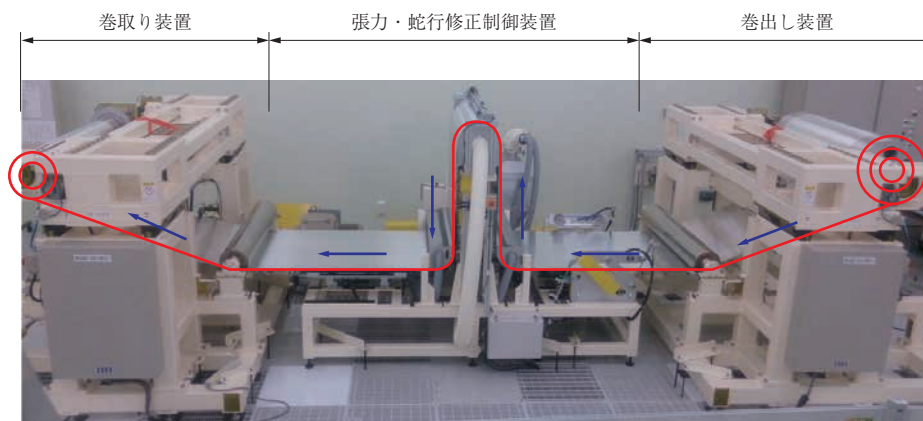
3.1 非接触搬送

3.1.1 エアターンバーの開発

以下の2種類のエアターンバーを開発し、空気消費量・基板材振動測定試験を行った。従来方式および開発したエアターンバーの概要を第5図に示す。

(1) スリットタイプ (第5図-(b))

エアターンバーに開いている2本のスリットから空気を吹き出すことで、スリット間に空気層を形成させ、



(注) 試験装置仕様
 ・最高搬送速度：40 m/min
 ・搬送張力：8～90 N/m
 ・対応基板材幅：0.5～1.0 m



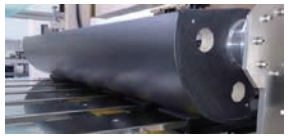
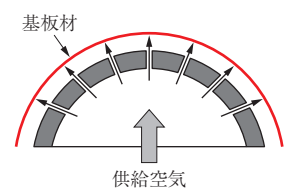
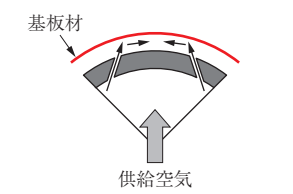
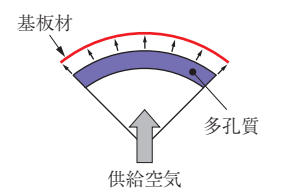
第4図 非接触 RTR 試験装置の外観と仕様
Fig. 4 Appearance and specifications of a non-contact roll-to-roll test device

第 1 表 非接触 RTR 搬送装置と従来装置の性能比較

Table 1 Performance comparison for the non-contact roll-to-roll transport device and a conventional device

装置区分	空気消費量／最大振動 ((m ³ /min)/G ^{*1})	搬送張力 (N/m)	搬送張力精度 (%)	位置決め精度 (mm)
非接触 RTR 搬送装置	0.018 (圧縮空気)/0.08 G	30 ~ 100	±3.4	±0.15
従来装置	12/0.2 (孔タイプエアターンバー)	300 以上 (接触 RTR 搬送装置)	±3 ~ 5 (接触 RTR 搬送装置)	±0.3 (枚葉ラミネート装置)

(注) *1 : 9.8 m/s²

項目	従来型	新規開発型	
	(a) エアターンバー (180 度)	(b) エアターンバー (90 度)	(c) 精密浮上ユニット (90 度)
タイプ	孔	スリット	多孔質
外観			
構造			

第 5 図 エアターンバー
Fig. 5 Air turn bar

少ない空気消費量で浮上量を維持することができる。

(2) 多孔質タイプ (第 5 図 - (c))

エアターンバー表面は多孔質 (カーボン材) であり, 表面全体に形成された極小径の孔から空気を吹き出す。浮上量は少ないが, 張力の変動による浮上量の変動を抑制することができる。

3.1.2 エアターンバー性能確認試験

従来タイプ (孔タイプ) のエアターンバー (第 5 図 - (a)) および, 開発した 2 種類のエアターンバー (第 5 図 - (b), - (c)) の空気消費量と基板材振動を評価するため, 要素試験を行った。第 6 図に振動計測要素試験

の概要を示す。基板材を装置に通した後, エアターンバー (180 度, 孔タイプ) とエアターンバー (90 度, スリットもしくは多孔質タイプ) から空気を吹き出し, 基板材を浮上させる。張力は巻取り装置によって調整した。エアターンバー (90 度) とエアターンバー (180 度) の中間部 (センサ A 部) とエアターンバー (90 度) 付近 (センサ B 部) について, レーザ変位計で振動を計測した。エアターンバー (180 度) の振動は頂点 (センサ C 部) で計測した。

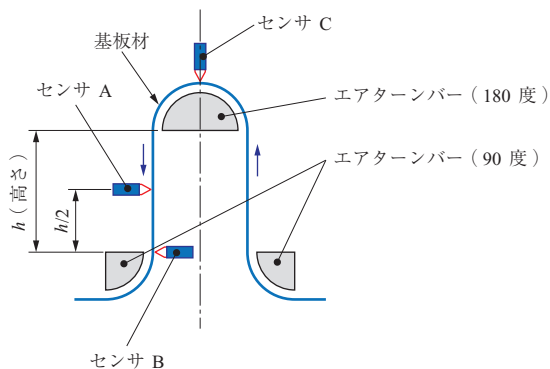
エアターンバーの性能比較結果を第 2 表に示す。スリットタイプは空気消費量を抑えることができる一方, 振動加速度が大きいことが分かる。また, 多孔質タイプは空気消費量は少ないが, 浮上高さを大きくすることは原理的に困難である。振動加速度は小さく, センサ B 部ではほとんど振動していないことが分かる。孔タイプは, 両者の中間的な特性である。

搬送ラインに求められる特性に応じて, 各タイプのエアターンバーを使い分けることで, 効率的な非接触 RTR 搬送システムを構築することができる。

3.2 非接触張力制御

3.2.1 非接触張力制御機構の開発

一般的な RTR 搬送装置において, 張力制御は巻出し・



第 6 図 振動計測要素試験の概要
Fig. 6 Overview of the vibration measurement test

第 2 表 エアターンバーの性能比較
Table 2 Performance comparison for air turn bars

項 目	単 位	(a) エアターンバー (180 度)	(b) エアターンバー (90 度)	(c) 精密浮上ユニット (90 度)
タ イ プ	-	孔	スリット	多孔質
エア供給方式	-	ブロウ	ブロウ	圧縮空気
流 量	m ³ /min	12.0	9.4	0.018 (0.1 MPa)
浮上高さ *1	mm	>1.0	1.0	<0.5
振動加速度 *2	G	0.20 (センサ C)	0.35 (センサ B)	0.08 (センサ B)
主 な 用 途	-	張力調整	搬送補助	精密加工
特 長	-	浮上量大	空気消費量小	振動小

(注) *1: 搬送張力 = 90 N/m 時
*2: 1 G = 9.8 m/s²

巻取り装置のモータトルク制御によって行われる。しかし、長距離の搬送を行うと基板材の厚さによって巻出し・巻取り径の変化や、ロールの慣性モーメントなどの原因によって精度の高い制御が難しい。このため、特に張力の要求精度が高いプロセスの直前で張力を制御する必要がある。

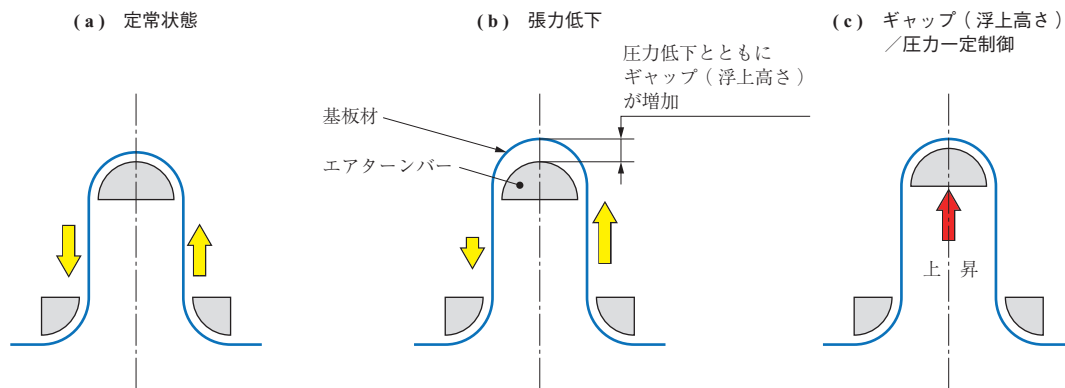
第 7 図に示す非接触張力制御の原理を用いて、第 8 図に示す非接触張力制御機構を開発した。非接触搬送中の基板材に掛かる張力が変化すると、基板材とエアターンバー間のギャップ（浮上高さ）および圧力が変化する。これ

らを検出し、エアターンバーを昇降させ、ギャップおよび圧力を一定に制御することで非接触状態を維持したまま、搬送張力を安定させる。

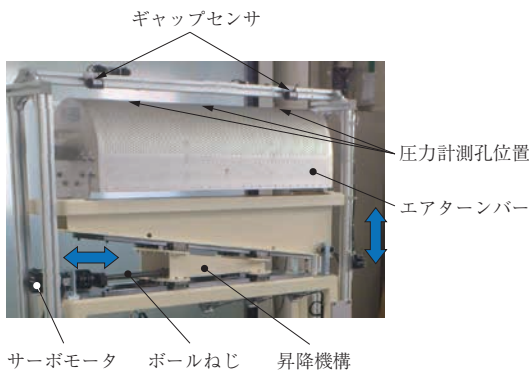
昇降動作はエアターンバー下部に設置されたくさび形の部品を左右に移動させることで行われる。

3.2.2 張力制御機構性能確認試験

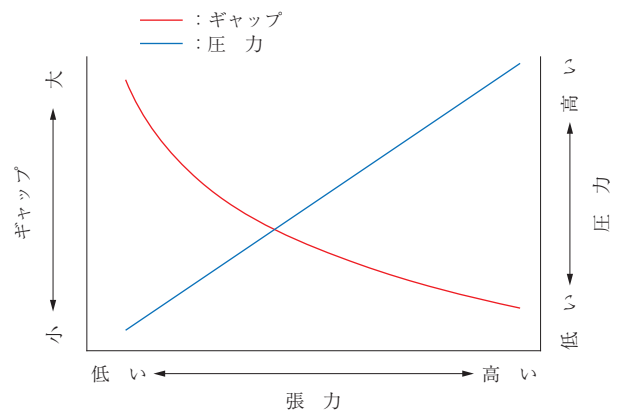
張力制御機構の性能確認試験に先んじて、張力制御装置に通した基板材の張力を変化させたときのギャップ・圧力を計測した。第 9 図にギャップ・圧力と張力の関係結果を示す。張力は、直近の接触式ローラに設置したロードセ



第 7 図 非接触張力制御の原理
Fig. 7 Principle behind non-contact tension control



第 8 図 非接触張力制御機構
Fig. 8 Non-contact tension control mechanism



第 9 図 ギャップ・圧力と張力の関係
Fig. 9 Relationship between the pressure/gap and tension

ルによって計測している。張力の上昇に伴い、ギャップが小さくなり、圧力が高くなることが分かる。逆に、ギャップや圧力を一定にすることで、張力を一定の値に安定化することができる。

この計測結果を基に非接触張力制御を行った。第3表に非接触張力制御の結果を示す。参考として、基板材としてガラス・アルミニウムを使用したときの結果をともに示す。張力制御装置を使用することで、搬送中の張力が安定することが分かる。また、ギャップより圧力を一定にした方が、より安定性が高くなることが分かる。一方、ギャップセンサは外付けが可能のため、圧力センサと違って事前にエアターンバー内部に設置する必要がなく運用しやすいメリットがある。したがって、運用上求める精度によってギャップによる制御または圧力による制御を使い分けるの

が望ましい。

3.3 非接触蛇行修正

3.3.1 非接触蛇行修正機構の開発

非接触 RTR 搬送では、搬送中に摩擦力が働かないため、接触式の搬送に比べて基板材の横ずれ（蛇行）が発生しやすい。このため、本稿では非接触で蛇行を修正する機構を開発した。

第10図に非接触蛇行制御の原理を示す。エッジセンサによって下流側のエッジ位置を検出し、2本のエアターンバー（90度）を平行に傾動させて、非接触でエッジを目標位置に合わせる。

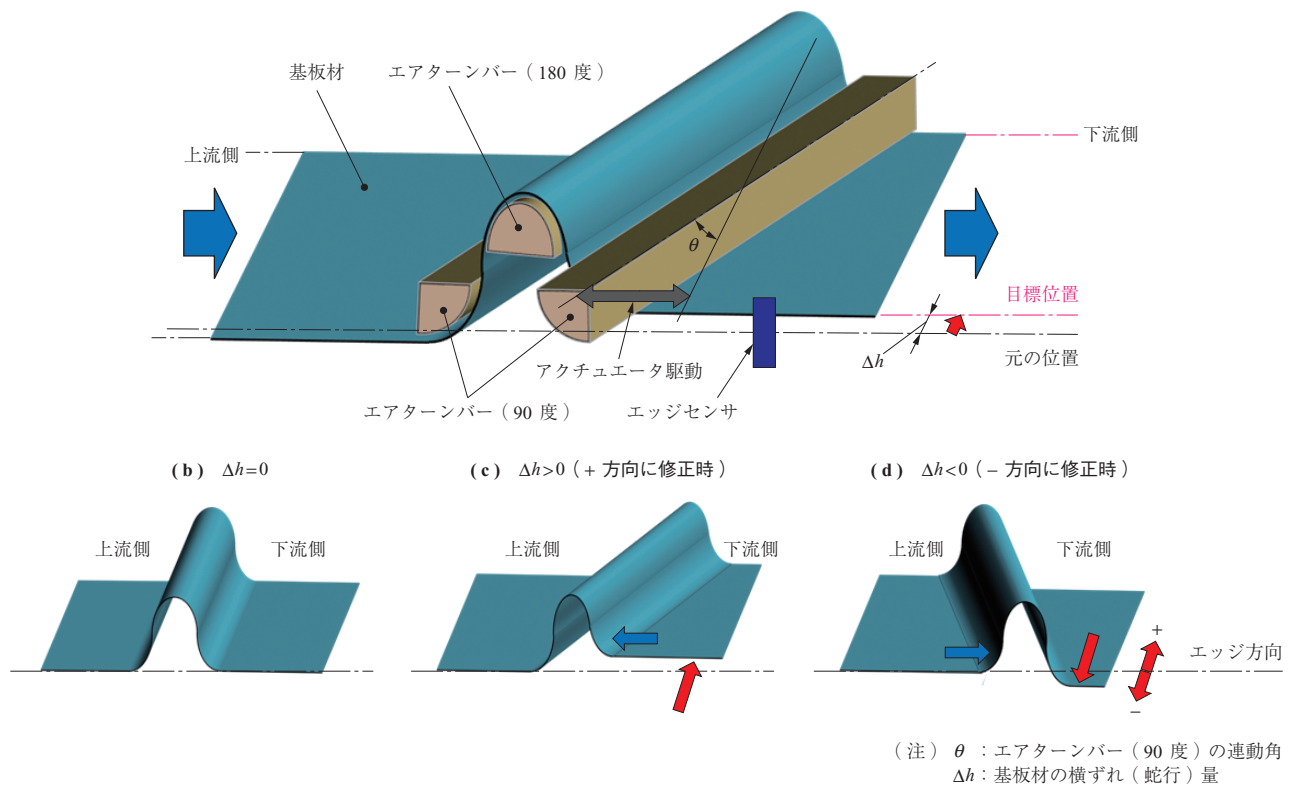
3.3.2 非接触蛇行修正機構性能確認試験

蛇行修正機構の性能を確かめるため、RTR 搬送試験を行い、エッジセンサの計測結果および巻取り状態によって

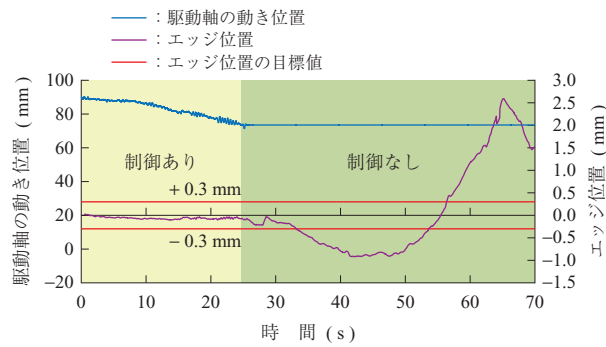
第3表 非接触張力制御の結果
Table 3 Results of non-contact tension control test

項目	単位	張力制御装置					
		不使用	使用	使用	使用	不使用	
基板材	材質	-	PET	PET	PET	ガラス	アルミニウム
	厚さ	mm	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10
使用センサ	-	ギャップ	ギャップ	圧力	ギャップ	ギャップ	ギャップ
張力精度	%		±13.6	±6.3	±3.4	±8.6	±10.0

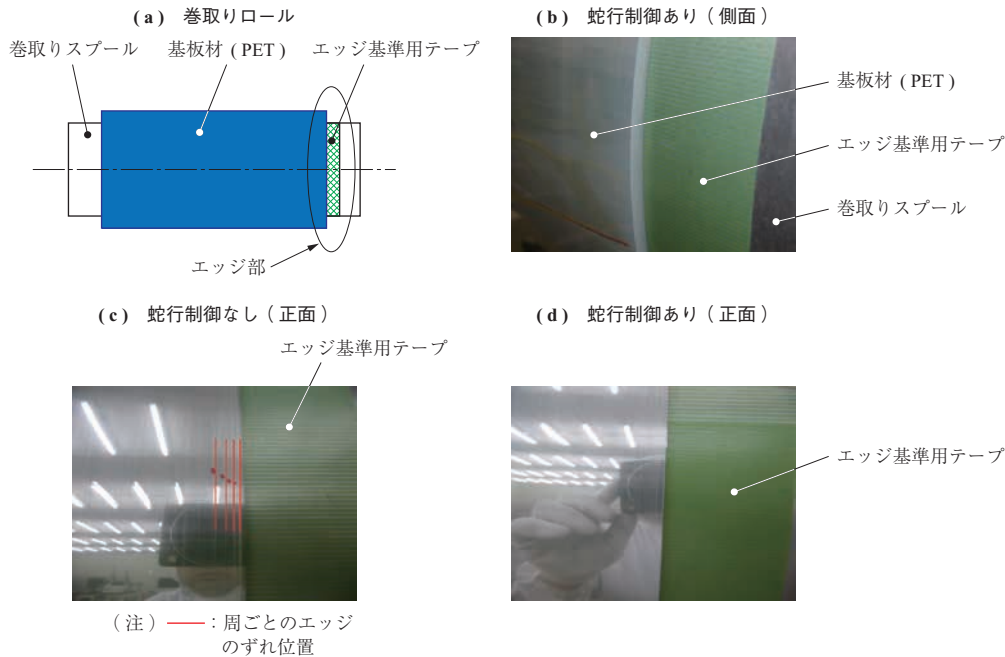
(a) 非接触蛇行制御機構の構成



第10図 非接触蛇行制御の原理
Fig. 10 Principle behind non-contact meander control



第 11 図 非接触蛇行制御によるエッジ位置計測結果
 Fig. 11 Results of edge position measurement test using non-contact meander control



第 12 図 非接触蛇行制御による基板材の巻取り効果
 Fig. 12 Effect of winding substrate materials by using non-contact meander control

評価を行った。

第 11 図に非接触蛇行制御によるエッジ位置計測結果を示す。蛇行修正制御機構を使用したとき（制御ありの領域）、基板材のエッジ位置は目標範囲（ $\pm 0.3 \text{ mm}$ ）以内に保つことができています。一方、蛇行修正制御機構を使用しないとき（制御なしの領域）、基板材のエッジが大きく目標値から外れる様子が分かる。

第 12 図に非接触蛇行制御による基板材の巻取り効果を示す。蛇行修正機構を使用しないときは巻き取ったエッジが 1 周ごとにずれているが、蛇行修正機構を使用すると、エッジがきれいにそろえることが確認できた。

4. 結 言

本稿では、非接触 Roll to Roll 搬送技術をテーマとし、エアターンバー浮上技術、非接触張力制御および非接触蛇

行制御の三つの課題を抽出した。またそれぞれの課題に対して技術を開発し、要素試験をとおして性能の確認・評価を行った。そしてこれらの技術を統合し、非接触という高い付加価値をもった Roll to Roll 搬送システムを開発した。結果として第 1 表に示すように従来の搬送装置相当、また、高い性能を実現した。今後は IHI グループで協力しながら、ディスプレイパネルや、素材メーカー向けの非接触 Roll to Roll 製造ラインを実現していきたい。

参 考 文 献

- (1) 橋本 巨：入門ウェブハンドリング 加工技術研究会 2010 年 10 月
- (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 年 4 月