

# ロール to ロール 走行式成膜装置

## Roll to Roll Conveying Deposition System



山田 実	Minoru Yamada	①
石田 俊道	Toshimichi Ishida	②
横山 政秀	Masahide Yokoyama	②
中静 勇太	Yuta Nakashizu	②
田窪 芳久	Yoshihisa Takubo	③
黒瀬 守	Mamoru Kurose	④
中井 清人	Kiyoto Nakai	④
原田 寿典	Hisanori Harada	④
森 孝之	Takashi Mori	⑤
上出 修	Osamu Uede	⑤
岡部 三郎	Saburo Okabe	④
上野 晴紀	Seiki Ueno	④

### あ ら ま し

当社では、走行フィルム上に多種多様な膜を付ける成膜装置の開発を進めている。本稿では、スパッタ源を搭載した装置の構成を紹介し、ITO (Indium Tin Oxide) 透明導電膜のスパッタ成膜技術と、AlのEB (Electron Beam) 蒸着技術の開発状況について説明する。また、フィルム走行制御システムの構成と、フィルムを大気中と真空チャンバー間で搬送する装置の開発状況についても報告を行う。

### Abstract

We are developing deposition systems for the various layers of conveying film. In this paper, we introduce the system with a sputtering source and explain the development status of sputtering technology for ITO (Indium Tin Oxide) transparent conductive films and of EB (Electron Beam) evaporation technology for Al. We also report on the configuration of the film conveying control system and the development status of the Air to Vacuum (Vacuum to Air) system.

## 1. 緒 言

さまざまな電子部品や家電製品が薄型化、軽量化、低価格化されていく中で、部品や製品の基板に関して、従来のガラスをフィルムに変更するニーズが高まりつつある。そこでHitz日立造船では、フィルムへの成膜手段としてロールtoロール（以下RtoR）成膜装置の開発を進めている。巻頭に開発装置の写真を示す。

従来のバッチ式による成膜装置では、静止状態のガラス基板、またはフィルムの1枚カット品の上に機能性膜を付けていたが、本装置の使用により、ロール巻きフィルムへの連続走行成膜が可能となり、生産性を

高めることができる。

本装置はフィルム上に多種多様な膜を付ける成膜装置であり、最大幅500mm、最大長さ300mのフィルムに、透明な膜で電気を通す透明導電膜をはじめ、金属膜や、酸素、水分から製品を守るバリア膜、電磁波を吸収する電磁波吸収膜などを成膜でき、膜種に応じて成膜源をスパッタや蒸着に交換できる構造としている。

本稿では、まずスパッタ源を搭載した装置の構成を説明し、ITO (Indium Tin Oxide) 透明導電膜のスパッタ成膜技術と、AlのEB蒸着技術の開発状況について報告する。次にフィルム走行制御システム構成について説明し、最後にフィルムを大気中と真空チャンバー間で搬送する装置の開発状況について述べる。

## 2. スパッタ装置構成

図1に装置の真空排気系統図を、図2に装置構成を示す。

① Hitz日立造船㈱ 精密機械本部 開発センター 真空成膜グループ長 博士(工学)

② Hitz日立造船㈱ 精密機械本部 開発センター 真空成膜グループ

③ Hitz日立造船㈱ 精密機械本部 システム機械BU 設計部 プロポーザルグループ

④ Hitz日立造船㈱ 精密機械本部 システム機械BU 設計部 プロセス搬送グループ

⑤ Hitz日立造船㈱ 精密機械本部 電子制御BU 第1設計グループ

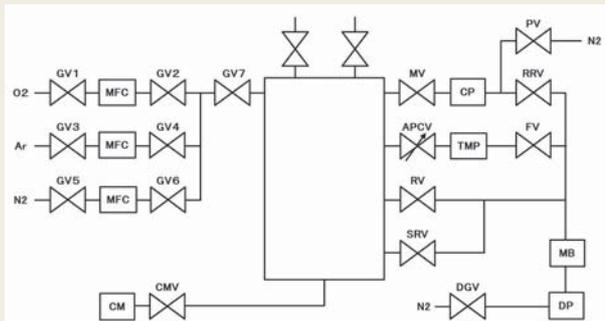


図1 真空排気系統図

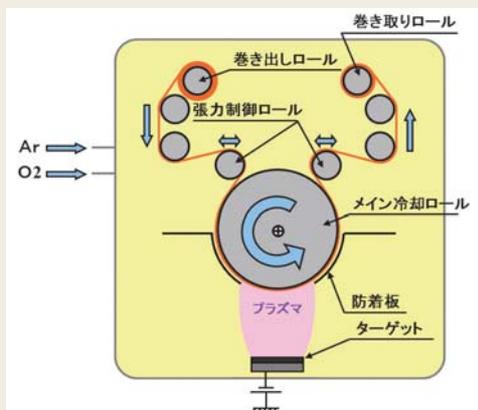


図2 装置構成

真空排気系は、ドライポンプ (DP)、メカニカルブースターポンプ (MB)、ターボ分子ポンプ (TMP)、クライオポンプ (CP) により構成されている。ガス流量制御にはマスフローコントローラ (MFC) を使用している。動作は、大気から20Pa程度まで粗引きバルブ (RV) を開放して排気した後、RVを閉め、自動圧力コントロールバルブ (APCV) を開放し、メインバルブ (MV) を開にし、1時間程度で10E-4Pa台 (高真空状態) となる。未使用フィルムが入っている場合には、もう少し時間がかかる。成膜時は、ガスバルブ (GV) を開にして、Ar、O<sub>2</sub>等のガスを導入し、MVを閉にして、APCVで真空度を制御し0.6Pa程度で処理を行う。

装置内のフィルム走行系は、巻き出しロール、巻き取りロール、張力制御ロール、メイン冷却ロール等で構成されている。この間フィルムを真空中で走行させながら、メインロールの下のカソード電極のターゲットに、負の電圧を印加してプラズマを発生させ、薄膜をフィルム上に形成する。

<装置仕様>

- フィルム厚み：50～200 μm
- フィルム長さ：最大300m
- フィルム幅：300～500mm
- フィルム張力：30～200N
- フィルム搬送速度：0.5～10m/min

### 3. 高効率カソードの開発

ITOのマグネトロンスパッタ成膜において、従来のカソードではターゲット材が局所的に消耗し、ターゲットの利用効率が20%未満であった。RtoR成膜の場合、走行成膜中にターゲット材が底をつくことは許されない。

そこで本開発においては、ターゲット材の利用効率を向上させることを検討した。その考え方を、図3に示す。

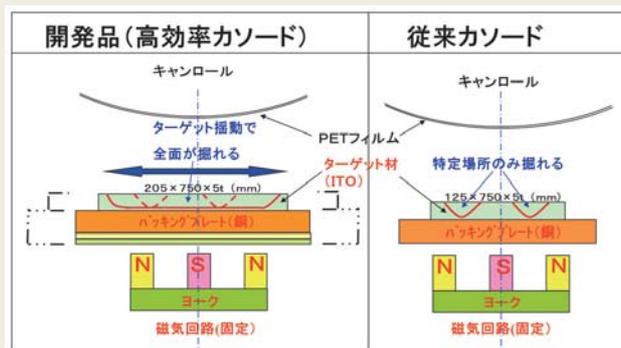


図3 高効率カソードと従来カソードの比較

ターゲットを揺動させることで、ターゲットが一様に消耗し、利用効率を改善できることがわかる。また、磁気回路を固定とすることで、キャンロールに対する放電状態を一定に保持することができる。

上記の考え方で磁場シミュレーションソフトを活用してカソードを試作し、利用効率を実測した結果、40%台の効率を得ることができた。

図4に高効率カソード (左) と従来カソード (右) の写真を示す。従来カソードと比較して高効率カソードのターゲットは局所的な消耗はなく、一様に消耗していることが確認できた。また、高効率カソードではプラズマによるターゲット温度上昇が抑えられ、さらには異常放電の一因であるノジュールが発生し難くなることも判明した。

本カソードはITO以外の材料にも展開が可能である。

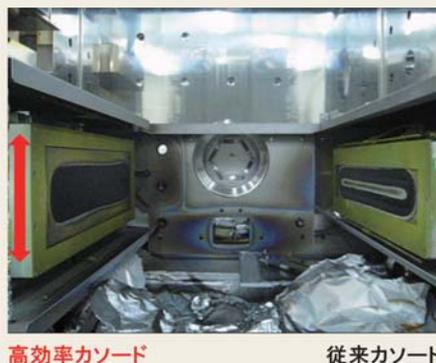


図4 高効率カソード(左)と従来カソード(右)

## 4. 長尺方向の ITO シート 抵抗安定化検討

ITOを成膜するフィルム基板としてPET、PEN、PI等が用いられるが、これらの樹脂フィルムは水分を吸湿しやすく、この水分が真空成膜中に脱ガスし、膜質に影響を及ぼすと考えられている。

今回、ITO成膜中に水分分圧をモニターした結果、シート抵抗との間に強い相関関係があることが判明した。このため、フィルムを脱気し水分分圧の変化を極力抑えた状態で成膜データの取得を行った。

図5は、100 $\mu$ mのPET基板にITOを搬送速度:0.5m/minにて長さ75m成膜した時の長手方向のシート抵抗分布（幅方向の抵抗を平均化）を示したものであり、抵抗のばらつきが $\pm 1\%$ 程度に抑えられていることがわかる。ITOの膜厚は100nmである。



図5 シート抵抗の長手方向分布

図6は、長尺75m、400mm幅エリアのシート抵抗分布を示したものであり、 $\pm 4\%$ 程度の抵抗分布が得られている。

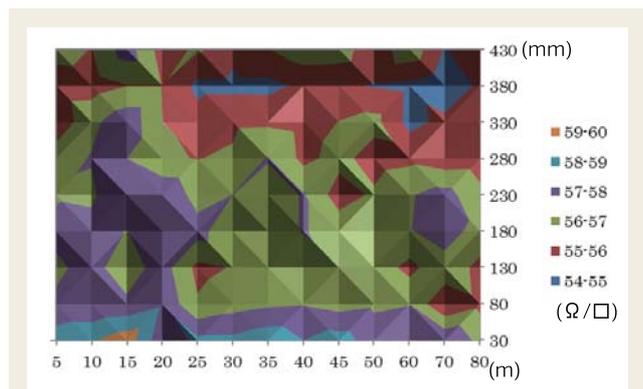


図6 長尺75m、400mm幅のシート抵抗分布

## 5. RtoR 成膜装置への EB 蒸着源の搭載

図2において、ターゲットの設置されているカソード電極を取り外し、当社が開発した低ダメージEB蒸着源を搭載して、RtoR連続成膜技術確立のための検討を行った。

蒸着源がポイントソースに近い場合、膜厚均一性を確保するにはフィルム巾に応じて蒸着源を巾方向に増

設する必要がある、これら成膜速度のコントロールが重要な課題となる。基板静止の場合、最終膜厚を基板面内で均一にすればよいので、成膜中の成膜速度コントロールは重要でないが、基板が走行する場合は、複数蒸着源の成膜速度を常に一定に保持しなければならないため、成膜中の成膜速度コントロールが非常に重要となる。

まず、EB蒸着源を2基使用し、Al成膜速度コントロールの最適化を行った結果を報告する。ULVACの成膜コントローラCRTM-9000を使用して成膜速度をモニターし、EBのエミッション電流をPI (Proportional-Integral) 制御することにより、成膜速度を一定値にコントロールした。図7にその制御フローを示す。

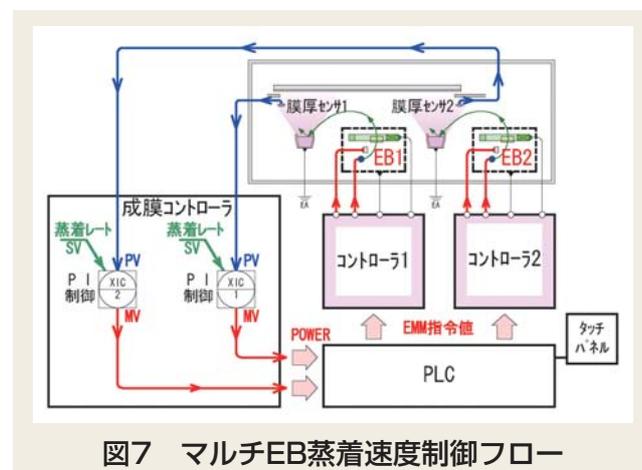


図7 マルチEB蒸着速度制御フロー

EB1とEB2は独立制御とした。EB1の成膜速度にEB2を追従させる従属制御の条件だしも行ったが、追従性が悪く、数秒の遅れが生じたため採用を見送った。図8にその結果を示す。

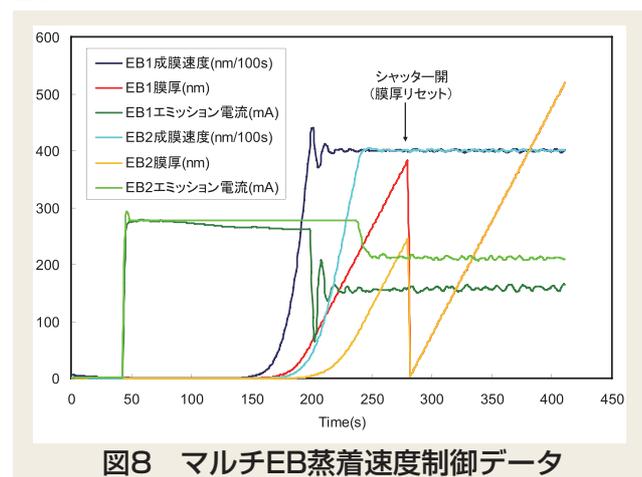


図8 マルチEB蒸着速度制御データ

EBの加速電圧を1.7kV、成膜速度を4nm/s一定とした。PI制御パラメータを最適化することにより、EB間の成膜速度のばらつき、及び各EBの成膜速度の時間変動値を $\pm 1\%$ 以下とすることができた。EB1とEB2において、エミッション電流値に若干の差異がみられるが、ルツボ断熱性にばらつきが生じたことが原因と考えられる。この結果より、静止成膜の場合はもちろん、RtoR走行成膜の場合でも、膜厚変動の小さい安定した成膜を行える目処を得た。

現在、図9のようにRtoR装置へEB蒸着源2基を搭載し、材料連続供給技術の検討を行っている。



図9 RtoR装置へ搭載した材料供給機構付EB蒸着源(2基)

## 6. 搬送制御システム構成

**6.1 搬送制御システム構成** 搬送装置は、搬送用軸と溜め込み用軸とアライメント微位置出用軸で構成される。駆動軸は、全てサーボモータで構成され、停止精度・張力・速度の運転制御能力を高めることを目的としている。

制御イメージを図10に示す。

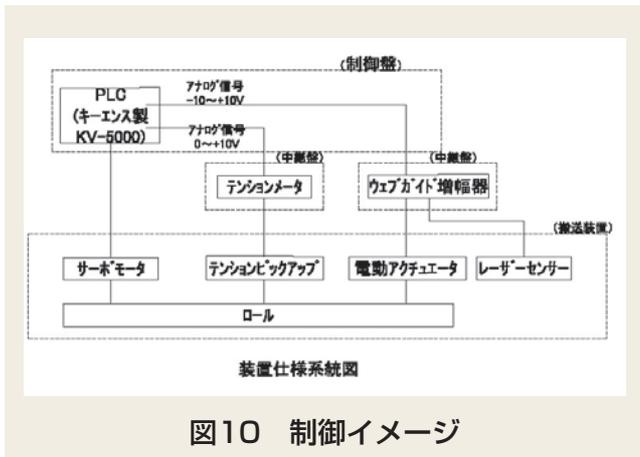


図10 制御イメージ

搬送制御は、インフィードロールと称するサーボモータ駆動軸を基準ロールとして位置決めモードで制御する。他の搬送軸も同じくサーボモータで駆動し、速度制御+張力補正制御(PID制御)を行い、ロール間で発生するメカロスや摩擦ロスによって生じる張力変動に対応する。

**6.2 張力制御** 搬送制御の特徴部について以下に示す。

装置全体にニップロールを装備し、チャンバ毎に異なる張力制御を可能とする。張力制御は、成膜の数ヶ所で行い任意での設定を可能としている。

搬送制御にとって、加減速時の張力を一定値に維持しながら制御することが求められるが、本装置では、張力補正制御(PID制御)を組合せることにより設定値に対し仕様速度の範囲での変動幅を実現している。

搬送制御ループ図を図11に示す。

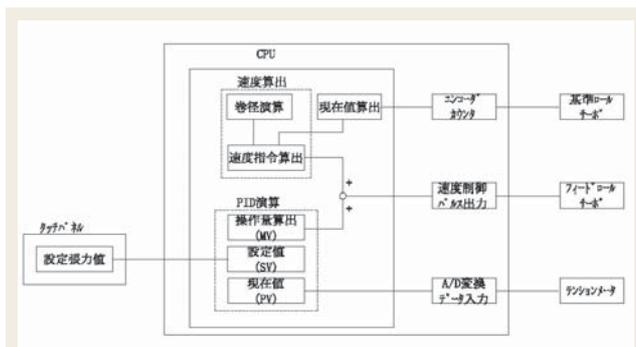


図11 搬送制御ループ図

**6.3 速度制御** 基材の巻出、巻取まで連続で変化する。その変化に追従した速度制御を行うにあたり、回転速度を算出する為の巻径の正確さが必要になった。

一般には、機材の厚みを設定して1回転毎に足しこむ方式や、直近のフィードロールとの回転比を出すことで巻径を演算する方式が用いられる。

しかし、二例とも、機材の張力等の外力による絞まり具合の違いによって径の大きさが変化する為に、常に補正を加えていかなければならず、最適な補正量を見出すには多くの調整時間をかけ傾向を導き出す必要があった。

それ以上に、ワークの厚みが途中で変化するために、上記の制御方式では切り替わり部分を判断する手段がなく、非常に困難な補正制御を加える必要があった。

本装置では、巻出、巻取1回転に対して直近のフィードロールの搬送距離を算出し、そこから径を換算する方式を採用した。結果として、1回転毎にほぼ実際値に等しい値を得ることが可能であり、これにより巻径計算で算出したロール回転速度と、基準ロール速度の誤差を最少限に抑えることが可能となった。

しかし摩擦ロスや微細な速度差による張力差は現れるため、速度指令に張力ループのPID制御のMV値を加えることにより補正を行い、速度差を打ち消している。

**6.4 停止精度** この装置の運転操作は、搬送の停止精度を高くする必要があった。その為、基準ロールに位置決め制御モードを選択している。ロールでの滑りを考慮せず制御が可能である。これは、大気、真空環境でも精度が変化する傾向は現れず、補正制御の時間短縮、つまりタクトタイムの短縮につながっている。

**6.5 蛇行制御** EPCと称するエッジポジションコントロールを設置する。設置する場所に適するよう二種類の構造を有し、ロール台座スライド型、ロールスイング型で構成する。真空チャンバとしては、スライド型特有の機能を有している。

真空状態にすると、ベローズ部で台座が引きこまれる方向に作用し、EPCのアクチュエータの調整能力では位置を保持することが出来ない。そうすると基材に

ストレスをかけ、過張力や、パターン破損を起こしてしまう。

その防止策として、EPCアクチュエータの駆動力の補助としてシリンダ（電空バルブにて制御）を装備し、真空度により変化する力に合わせバランスするよう制御を行っている。EPCは、基材にストレスを与えないようなるべく急激な動作と搬送停止状態での動作をさせている。

今回使用したAE1000は、制御電圧を下げることで速度を落とすことが出来るが、作動トルクにも影響するため、速度トルク両面をふまえた設定が必要となる。これは、上記の電空バルブの制御にも関連する為、搬送テストより最適値を模索する必要があった。

**6.6 機械、チャンバの特性の影響** 真空と大気環境ではチャンバ壁面の歪みの状態が変化する。それが要因となって、チャンバに固定されているロールの微少な位置変化が生じPLCに取り込まれる張力値に変化が現れる。

真空時には、チャンバが萎み基材が弛むことで張力が低くなり、大気ではチャンバが元に戻って基材が張り、張力が高くなる症状が現れる。

この為、張力を設定値で維持するよう、対策を加えて解消している。

以上が今回の真空搬送の要点・特徴であり、以下が今後の装置において、より改善を要す項目である。

#### 【今後の課題】

- (1) 搬送速度の高速対応
- (2) 低張力1N制御の実現化
- (3) 蛇行補正能力の向上（巻取形状の向上）

## 7. 大気から真空へ（膜面非接触）ATV装置

**7.1 概要** Air to Vacuum (ATV) 装置は、フィルム状基材を大気圧から高真空成膜プロセスへ導入する装置で、設備稼働率の向上を目的として開発を進めている。ATV開発機は、前後室と差圧ユニットで構成され前室圧力・スリット隙間・搬送速度・張力などを変数として、基材が損傷無く搬送されることを判定基準とし、許容差圧、騒音及び流入量を定量化し、ATVシステム設計基準を確立するものである。図12に外観図を示す。

### 7.2 実験機材料・性能

- (1) 使用基材
  - 材質：PET・PEN
  - 幅：500mm
  - 厚み：50 $\mu$ m～200 $\mu$ m
  - 膜面接触エリア：端部より15mm以内
- (2) 実験機仕様
  - 搬送速度：1.0～30m/min
  - 張力制御：10～200N
  - 前室圧力：大気（100kPa）～10Pa

後室圧力：大気圧近傍～ $1.0 \times 10^4$ Pa  
 ユニット最終到達圧力値： $1.0 \times 10^4$ Pa

チャンバは、3分割構成（前室、仕切差圧室、後室）搬送は、巻き出しロール、仕切りロール、巻き取りロール、ロール間のテンションロールのフィルム搬送系により構成される。



図12 ATVユニット外観図

仕切りロールの隙間を通過時の接触損傷だけでなく膜面側段付ロールによる気流、張力による凹み損傷を与えることなく搬送でき、バタツキ、傷、破損の不具合が生じることなく連続に大気から高真空へフィルム搬送をする装置を提供するものである。

原理：流路抵抗+スリット噴出動圧

- 特徴：(1) 噴出動圧を小さくできる。  
 (2) 騒音が低減される。

実験結果の例を図13に示す。仕切りロールを挟んで、高圧側の圧力をP1、低圧側をP2とし、両チャンバ間の流量を単位SLMで表現した。圧力特性においてフィルムに傷無く搬送可能であることを実験にて確認できた。

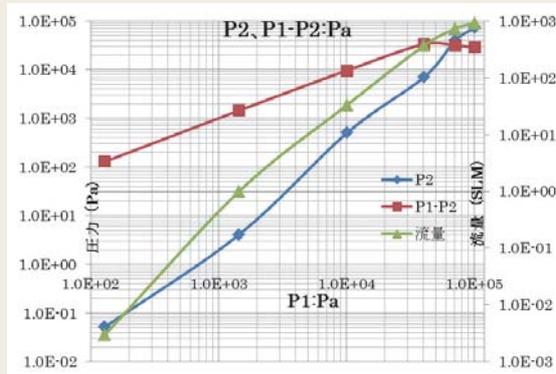


図13 実験結果

### 7.3 ローラ隙間流れの負圧流体解析

- (1) 解析条件
  - スリット隙間：0.4mm
  - 入口圧：101.3kPa
  - 出口圧：20～90kPa
  - 搬送速度：30m/min(ATV)

(2) 解析結果 図14に示す。

噴出流速：67～311m/s

基材表裏の差圧：1.5～136 Pa

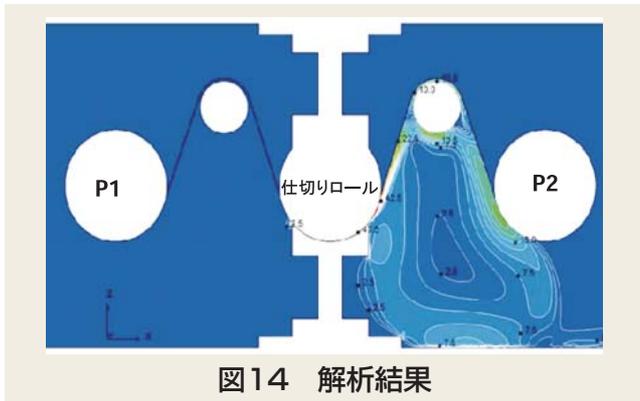


図14 解析結果

**7.4 結果** スリット間隔0.43mmで100 $\mu$ m基材、前室は大気圧から40kPa、搬送速度30m/minの条件で膜面に損傷を与えない許容差圧30kPaが確認できた。

7.3解析結果より前後室差圧P1-P2=30kPa前後で基材表裏差圧が急上昇する傾向ともよく合っている。実験、試算結果から必要ユニット数も大気圧から10kPaは、3段10kPa から1.0E-5Paは3段で減圧できる目処がつき、大気から1.0E-5Pa台の真空度は6段ユニットで達成できる見込みがあった。

この時の大気流入量は1,000SLM以下、真空ポンプ実負荷動力：約10Kwであった。

**7.5 今後の活動** RtoR装置での搬送準備工程に時間及び真空状態での作業のため2-3名必要がある。真空作業を効率よくする為に大気中でのWD、UWDのセットが出来れば、作業人員の削減と時間短縮ができる。1ユニットでの7.4結果より大気より成膜室まで10-5Paで供給が可能と想定できる。

6ユニットのATVを経由にて基材搬送を行い、成膜室の真空度10<sup>-4</sup>Paにまで下げ成膜蒸着を行い、6ユニットVacuum to Air (VTA) を経由して大気に戻す、膜面非接触ATV-VATを2012年に実用化する予定である。また、フットプリント縮小のため縦型配置も検討していく。

今後はATV機構を組み込んだビジネスモデル化ラインの提案を行い、受注に繋げていきたい。

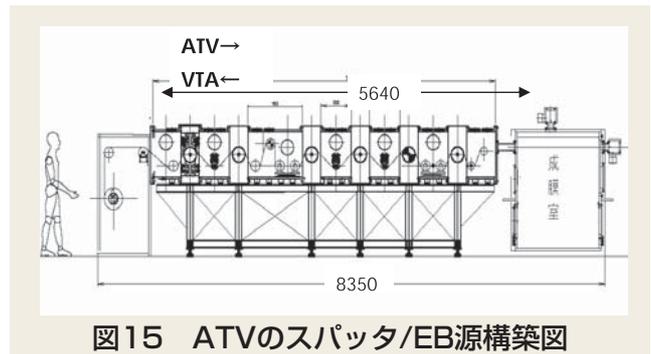


図15 ATVのスパッタ/EB源構築図

## 8. 結言

- (1) ITO透明導電膜のスパッタ成膜において、材料利用率:40%以上の高効率カソードを開発した。
- (2) 長尺方向のITOのシート抵抗を安定化するには、チャンバー内の水分コントロールが重要であることがわかった。
- (3) AlのEB蒸着において、マルチEBでの蒸着速度制御技術を確立した。
- (4) フィルム走行制御システム技術を確立した。
- (5) ATV装置の大気-高真空フィルム搬送技術を確立した。

## 参考文献

- (1) ロールtoロール要素技術と可能性 (情報機構)

### 【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 精密機械本部

開発センター

山田 実

Tel : 06-6551-9206 Fax : 06-6551-9849

e-mail : yamada\_mi@hitachizosen.co.jp



山田 実



石田 俊道



横山 政秀



中 静 勇 太



田 窪 芳 久



黒 瀬 守



中 井 清 人



原 田 寿 典



森 孝 之



上 出 修



岡 部 三 郎



上 野 晴 紀