

# 化粧鋼板用エンボス付与フィルムの開発

神田真太郎\*・河村悟史\*<sup>2</sup>・内田正幸\*<sup>3</sup>

Development of Embossed Film for Laminated Steel Sheets

Shintarou KANDA, Satoshi KAWAMURA, Masayuki UCHIDA

**Synopsis** : As interior building materials, steel sheets coated with polyvinyl chloride resin(PVC) have been generally used because of their superior heat and chemical resistance and easiness of embossing finish for surface decoration. However, the PVC coating has begun to be avoided because it generates noxious gases with an environmental load during combustion.

Instead of the PVC resin steel, we have developed polybutylene terephthalate (PBT) coated steel sheets. In this manufacturing process, embossing of the PBT coated steel sheet has been usually done after film lamination, so called post-embossing method. This method makes it possible to form an extremely fine texture on the PBT coating layer although it has a demerit that an embossing roll is easy to be damaged due to the direct contact with steel coils.

Therefore, in order to solve the problem, we have developed pre-embossed PBT film which the embossing is previously done during the film casting process.

In this paper, we investigated the relationship between transcription ratio of embossed pattern and film thickness, nipping time in the pre-embossed film before and after lamination. The transcription ratio of embossed pattern increased with an increase in the film thickness, 90 $\mu$ m thickness shows 96% of transcription ratio, while 75 $\mu$ m thickness showed only 75%. On other hand, nipping time did not affect the transcription ratio in the range of 0.025 to 0.050 seconds.

Roughness of embossed film on the steel sheet decreased with an increase in laminating temperatures. The roughness of 90 $\mu$ m thickness film became almost equal to that of 75 $\mu$ m film because of the pressure of a laminating roll.

**Keywords** : PVC-free; post-embossing; embossed PBT film; film thickness; nipping time; transcription ratio

## 1. 緒言

内装建材用途として、耐久性、エンボス加工性、耐薬品性等に優れた塩化ビニル樹脂を被覆した化粧鋼板が使用されてきた。しかしながら、塩化ビニル樹脂は、燃焼時に有害ガスが発生する等、環境負荷が大きいとされており、代替樹脂を用いた樹脂被覆鋼板の要求が高まってきた。これに対応するため、我々は、塩化ビニルと同等の耐久性、エンボス加工性等の特性を有するポリブチレンテレフタレート (PBT) 樹脂被覆鋼板を開発し、浴室壁材や冷蔵庫など様々な分野に展開してきた<sup>1), 2)</sup>。

PBT樹脂被覆鋼板にエンボスを賦形する方法を、Fig.1に示す。従来の技術は、上段に示すように製膜したフィルムを鋼板にラミネートした後、フィルム表面にエンボスを賦形するアフターエンボス方式を採用している<sup>3)</sup>。この方式は、フィルムを鋼板にラミネートした後、板温がPBT樹脂の融点以上になるまで加熱し、直ちに、エンボスロールとゴムロールで圧下、冷却することで、エンボスを賦形する方式である。このアフターエンボス方式は、非常に精密なエンボス表現が可能となるが、エンボスロールが鋼板と接触するためにエンボスロールの疵付きが発生し易いこと、鋼板エッジ部がロールに跡を付けるため

\* 下松事業所 製膜工場

\* 2 下松事業所 製膜工場 副主事

\* 3 下松事業所 ラミネート工場長

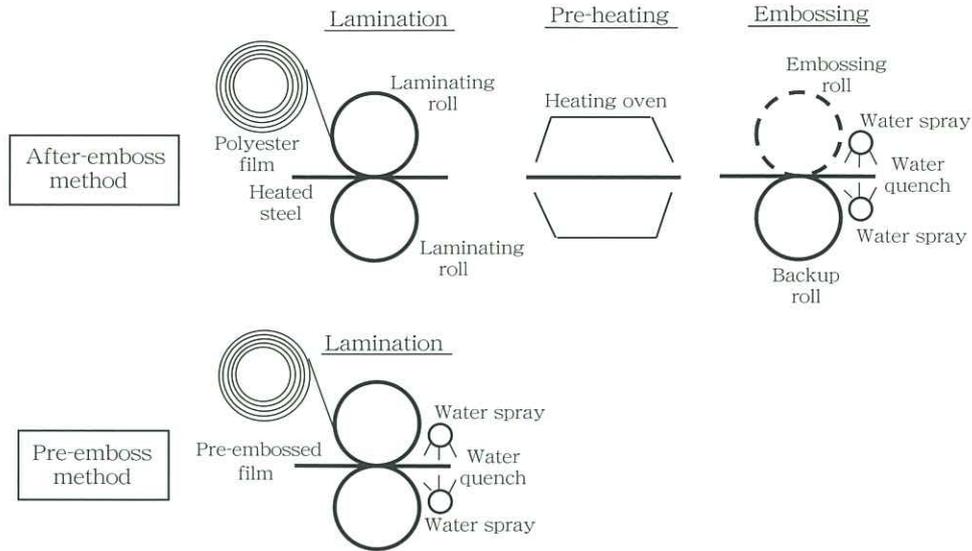


Fig. 1 Film lamination process

にエンボスロールを鋼板幅単位で持つ必要があること、などの問題がある。

そこで、フィルム製膜時にエンボスを賦形するプレエンボス方式について検討を行った。フィルム単体にエンボス賦形を行うことで、任意のフィルム幅で製膜可能となり、鋼板とのラミネートのみでエンボス化粧鋼板が製造できるため、著しい生産性の向上が期待できる。

本報では、フィルム製膜時のエンボス賦形に対するフィルム構成、フィルム厚み及びニップ圧力の影響を明確にするため、フィルムへのエンボス転写率について調査を行った。また、フィルム製膜時にエンボス賦形を施したフィルム（プレエンボスフィルム）の場合、鋼板とのラミネート時の加熱及びラミロールでの圧力によるエンボス表面状態の変化が懸念されるため、ラミネート条件がエンボス残存率に及ぼす影響についても調査を行った。

## 2. 実験

### 2.1 供試材

#### 2.1.1 プレエンボスフィルム生産設備

プレエンボスフィルム生産設備の概略をFig.2に示す。通常の製膜工程においては、Tダイから出てきた熔融樹脂をキャストロールで冷却固化し、フィルムを成形する。それに対し、プレエンボスフィルム方式では、Tダイから押出した熔融樹脂をエンボスロールとニップロール間において、エンボス賦形、冷却固化する方法を採用した。エンボスロールには、中心線粗さ  $Ra = 5 \mu m$ 、最大断面積高さ  $Rt = 40 \mu m$  の砂目模様を刻印した外径  $\phi 300 mm$  のロールを用い、ニップロールにはシリコンゴム  $30 mm$  厚みの外径  $\phi 250 mm$  のロールを用いた。

ニップロール表面を冷却ロールで  $25^\circ C$  に制御し、エン

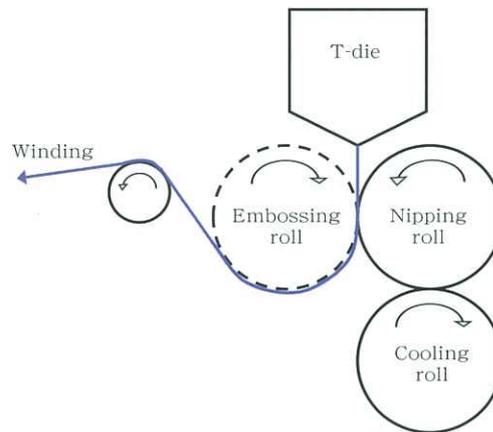


Fig.2 Embossing system

ボスロール温度  $35^\circ C$ 、エンボスロールとニップロール間の圧下力は  $2.0 MPa$ 、ニップ長  $10 mm$  で試験を行った。

#### 2.1.2 樹脂及びフィルム構成

PBT樹脂（ポリプラスチック製、融点  $T_m = 225^\circ C$ ）及びイソフタル酸共重合ポリエチレンテレフタレート（Co-PET）樹脂を用いて、2層フィルムを製膜した。Co-PETは、PET/IA7.5（イソフタル酸  $7.5 mol\%$ 、 $T_m = 238^\circ C$ 、 $IV = 0.9$ ）及びPET/IA15（イソフタル酸  $15 mol\%$ 、 $T_m = 215^\circ C$ 、 $IV = 0.9$ ）を用いた。フィルム構成をFig.3に示す。PBT樹脂はエンボス賦形性、加工性に優れているため、表層となるエンボスロール側は、白色顔料（酸化チタン  $98\%$  以上）を重量比で  $20\%$  になるように配合したPBT樹脂層とした。下層となるニップロール側は、シリコンゴムに対する離型性及びエンボス賦形性への影響を確認するため、2種類（PBT樹脂、PET/IA15）の樹脂で検討を行った。また、フィルム層比の影響を調査するために、Co-PET樹脂層の厚みを2水準及び、PET/IA7.5樹脂についても検討を行った。

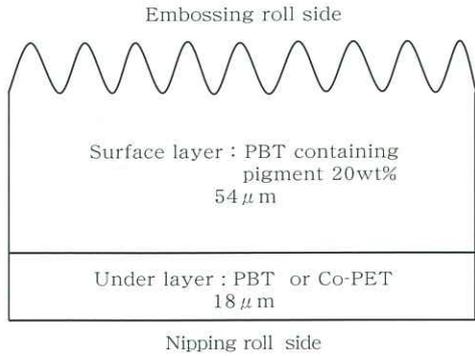


Fig.3 Film structure

### 2.1.3 プレエンボスフィルム

2.1.2に記した供試樹脂フィルムについて、フィルム厚み変更の際には、製膜速度20m/min（エンボスロールの速度一定）になるように押出機の吐出量を調整し、35～100 $\mu$ mのプレエンボスフィルムを製膜した。

また、ニップ時間の影響を調査する際には、フィルム厚みを75 $\mu$ mとし、押出機の吐出量及びライン速度を変更することで、ニップ時間0.025、0.034、0.05sにおけるプレエンボスフィルムを作製した。

### 2.1.4 ラミネート条件

ラミネート後のエンボス表面状態の変化を確認するため、簡易ラミネート装置で、ラミネート温度及びロール圧下力を変更した試験を行った。板厚0.5mmの溶融亜鉛めっき鋼板の片面にポリエステル系接着剤を乾燥膜厚2 $\mu$ mになるように塗布した後、所定の温度（190 $^{\circ}$ C～250 $^{\circ}$ C）に加熱した接着剤塗布済み溶融亜鉛めっき鋼板にプレエンボスフィルムのラミネートを行った。ラミネートにおいては、鋼板側にフィルムの非エンボス賦形面（製膜時のニップロール側）が接するようにした。ラミネート圧下力は、0.1～0.5MPaの範囲で行った。

## 2.2 エンボス転写率

エンボスロールによるフィルムへのエンボス賦形状態

を評価するため、フィルムの粗度及びエンボス転写率の調査を行った。粗度測定は、接触式表面粗度計（東京精密製Surfecom1400D-3DF）を用いた。プレエンボスフィルムの表面粗度 $Ra_f$ 及び $Rt$ を測定し、さらにフィルム表面粗度 $Ra_f$ を、ロール表面粗度 $Ra_r$ で除した値をエンボス転写率 $Ra_f/Ra_r$ とし、エンボス性の指標とした。また、光干渉式粗さ計（Veeco NT9100）を用いて、フィルム表面の3次元形状の可視化を行った。

## 2.3 エンボス残存率

ラミネート後の表面粗度 $Ra_f$ を測定し、プレエンボスフィルムの表面粗度 $Ra_f$ で除した値をエンボス残存率 $Ra_f/Ra_f$ とし、ラミネートにおけるフィルム表面状態の変化の指標とした。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 ニップロール側の樹脂種の影響

2.1.1の設備におけるプレエンボスフィルムの製膜で、ニップロール側にPBT樹脂及びCo-PET樹脂を適用する検討を行った。PBT樹脂では、ニップロールからの剥離が安定せず、ロールへの樹脂融着が発生したが、Co-PET樹脂では、ニップロールとの離型性は安定していた。所定の位置においてフィルム表面温度を測定した結果をFig.4に示す。ニップ出口（位置②）のフィルム温度は約70 $^{\circ}$ Cであった。樹脂のガラス転移温度（ $T_g$ ）は、PBT樹脂が約40 $^{\circ}$ C、Co-PET樹脂が約75 $^{\circ}$ Cであり、ニップ出口温度よりも低い $T_g$ のPBT樹脂においては、軟化した樹脂がニップロールに融着したと推測される。この結果から、以下の実験はニップロール側樹脂として、Co-PET樹脂を用いて行った。

### 3.2 フィルム厚みとエンボス転写率の関係

エンボスロールによるフィルムへのエンボス賦形状態を評価した結果について、フィルム厚み毎の表面粗度（ $Ra$ 、

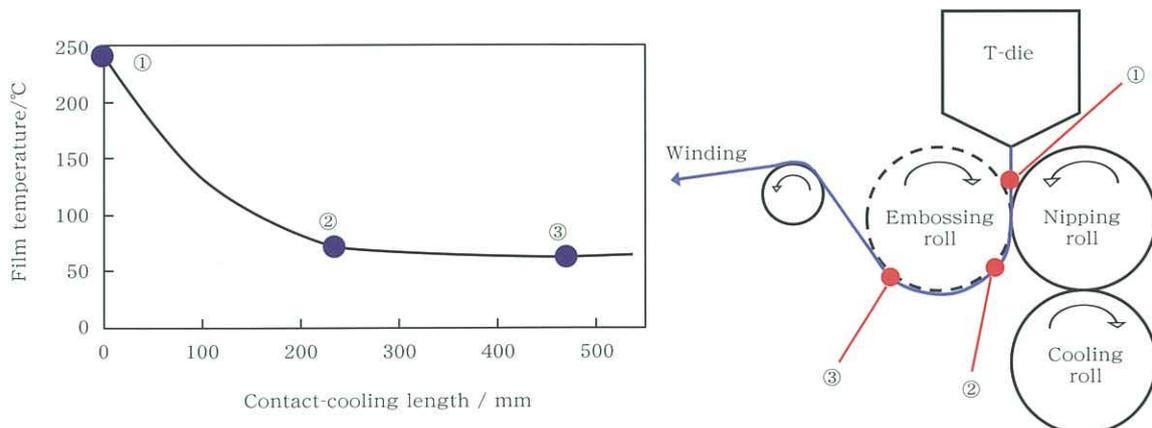


Fig.4 Relation between film temperature and contact-cooling length

Rt) を Table1 に、フィルム厚みに対するエンボス転写率  $Ra_f/Ra_r$  の変化を Fig.5 に示す。フィルム厚み  $90\mu\text{m}$  以上ではエンボス転写率 90% 以上であったが、それ以下のフィルム厚みでは薄くなるほどエンボス転写率が低くなる傾向が見られた。各フィルム厚みにおける二次元粗度チャートを Fig.6 に、フィルム厚み  $90\mu\text{m}$  及び  $50\mu\text{m}$  におけるフィルム表面の三次元形状観察結果を Figs.7, 8 に示す。

Table 1 Roughness of roll surface and embossed film for various thickness ( $Ra$  and  $Rt$ )

Sample	Average roughness ( $Ra/\mu\text{m}$ )	Maximum roughness ( $Rt/\mu\text{m}$ )
Roll replica	5.54	35.95
$90\mu\text{m}$ film	5.34	31.63
$75\mu\text{m}$ film	4.15	25.44
$50\mu\text{m}$ film	3.21	20.53
$35\mu\text{m}$ film	2.55	17.88

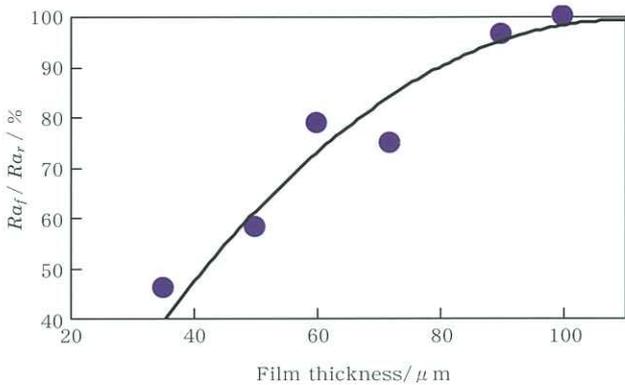


Fig.5 Relation between  $Ra_f / Ra_r$  and thickness of embossed film

これらの図から、フィルム厚みが薄くなるにつれて、エンボスの深い凹凸部分が転写されていないことが確認できた。使用したエンボスロールの表面は、 $Rt=40\mu\text{m}$  であり、フィルム体積が小さい（フィルム厚みが薄い）場合、深い凹凸部分に樹脂が十分に流入できず、その結果、フィルムへのエンボス転写率が低くなったと推測される。このような薄膜の場合については、押出し温度を高温にして樹脂の流動性を上げる等の製膜条件でエンボス転写率を向上させる可能性があるが、現時点においては、薄膜時に膜厚ムラが発生するため、今後の課題である。

### 3.3 ニップ時間の影響

製膜速度を変更した場合、エンボスロールとニップロール間の接触時間（ニップ時間）が変化することから、エンボス賦形状態も変化することが懸念される。そこで、プレエンボスフィルムへの転写率が 70% 以上と比較的高い、フィルム厚み  $75\mu\text{m}$  におけるニップ時間の影響について調査を行った。エンボス転写率とニップ時間の関係を Fig.9 に示す。フィルム厚み  $75\mu\text{m}$  において、ニップ時間を変化させても転写率に大きな変化は認められず、短いニップ時間（少なくとも  $0.025\text{s}$  まで）でも、エンボスの転写は十分に行われていることが確認できた。

### 3.4 ラミネート条件のエンボス表面への影響

プレエンボスフィルムは、フィルムにエンボス賦形を施しているため、加熱した鋼板とのラミネートにおける熱により、フィルム表面状態が変化することが懸念される（「エンボス戻り」と言われている現象）。そこで、ラ

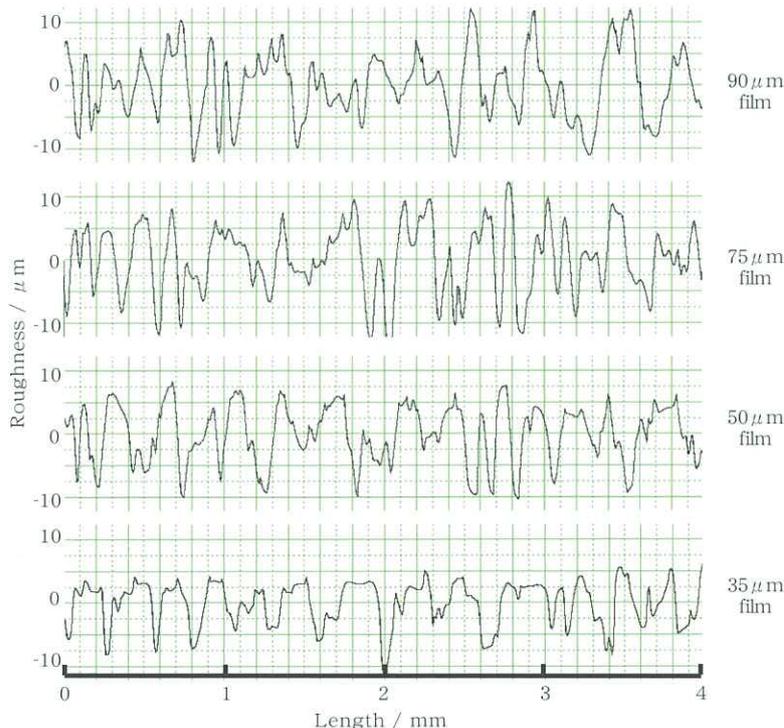


Fig.6 Roughness chart of embossed film

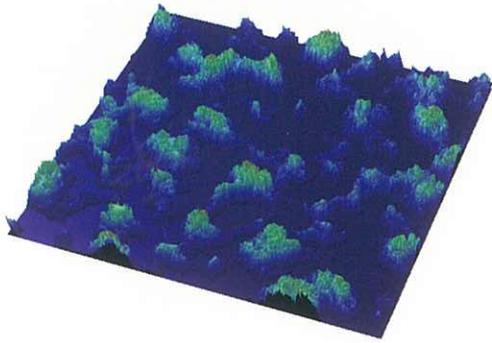


Fig.7 3D surface image of embossed film (Film thickness = 90 μm)



Fig.8 3D surface image of embossed film (Film thickness = 50 μm)

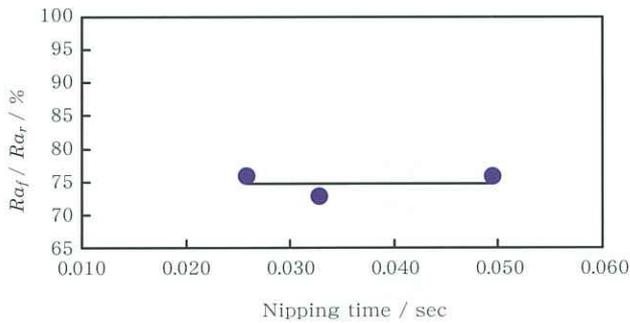


Fig.9 Relation between  $Ra_f / Ra_r$  and nipping time (Film thickness = 75 μm)

ミネート条件とエンボス表面状態の関係について調査を行った。厚みの異なるプレエンボスフィルムのラミネート温度に対する、表面粗度の変化をFig.10に、エンボス残存率  $Ra_f / Ra_r$  の変化をFig.11に示す。いずれの厚みのフィルムにおいても、ラミネート温度が高くなるにつれ、表面粗度、エンボス残存率ともに減少する傾向が見られた。また、フィルム厚み90 μmと75 μmについて比較すると、プレエンボスフィルムにおける表面粗度は90 μmの方が大きいのにに対し (Table1参照)、ラミネート後の表面粗度はほぼ同程度、すなわち、より低いエンボス残存率であった。ここで、これらの厚みのフィルムのラミネート前後における2次元粗度チャートをFig.12に示す。この図から、フィルム厚み90 μmにおけるプレエンボスフィルムの方が、深い凹凸が減少する傾向が顕著にみら

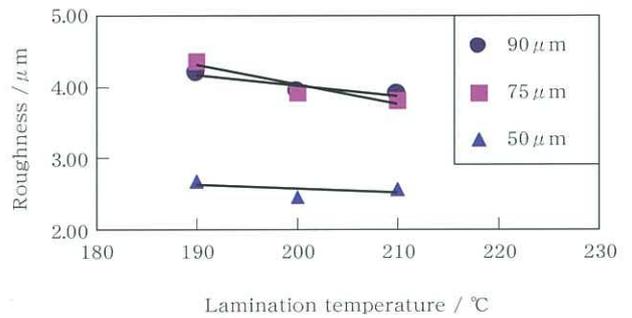


Fig.10 Effect of lamination temperature on roughness

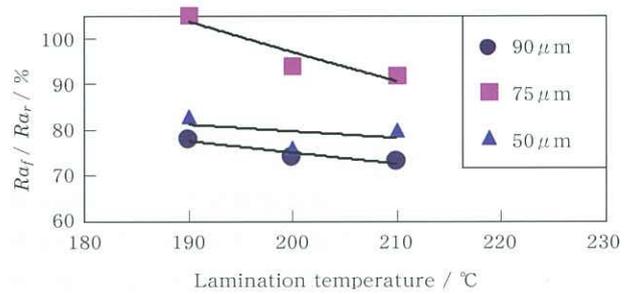


Fig.11 Effect of lamination temperature on  $Ra_f / Ra_r$

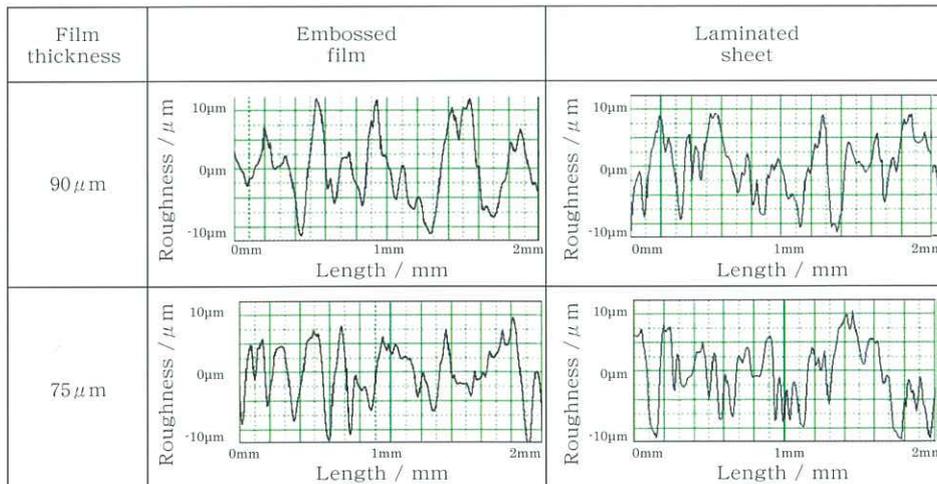


Fig.12 Roughness chart of embossed film and laminated sheet

れることがわかった。この減少傾向により、 $90\mu\text{m}$ のフィルムのエンボス残存率は、 $70\mu\text{m}$ の値より大きく低下したと考えられる。

なお、深い凹凸のエンボスが保持できない原因としては、  
①ラミネートロールの圧下によって、物理的に凸の部分が潰される。

②軟化したCo-PET樹脂層の変形に伴って凹凸が小さくなる。

などが推測される。

そこで次に、ラミネートにおけるロールの圧下力とフィルムのエンボス残存率の関係をFig.13に示す。板との密着性を確保するため、通常0.1MPa以上の圧力でラミネートを行っている。この図から、圧下力0.1MPa程度ではエンボス残存率を70%程度維持し、0.2MPa以上ではいずれも60%程度となったが、さらに低下する傾向はみられなかった。この傾向から、ラミネートロールの圧下で凸部分が潰されること以上に、エンボス残存率に対して影響を及ぼす要因があると考えられる。

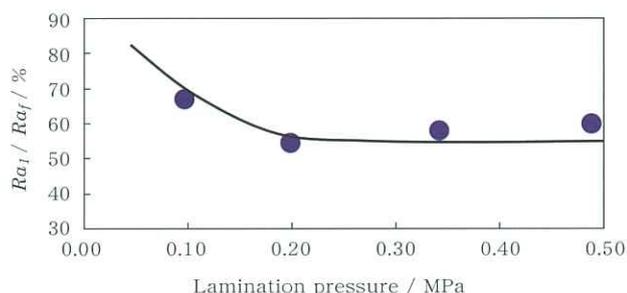


Fig.13 Relation between  $Ra_1 / Ra_2$  and lamination pressure

### 3.5 下層樹脂の融点の影響

プレエンボスフィルムの表面粗度がラミネート時に減少する要因として、前述の通り、ラミネートにおける鋼板からの熱によりCo-PET樹脂層が軟化するが、PBT樹脂層までは十分に加熱されず、さらにプレエンボス工程で結晶化が進んでいるPBT樹脂層は軟化しにくい可能性もあるため、深い凹凸が下層のCo-PET樹脂層に押し込まれることも考えられる。

下層はCo-PET樹脂で検討しているが、結晶性が低く、熱により軟化しやすい。そこでCo-PET樹脂層の厚みを1/2に、または、Co-PET樹脂層を高融点のPET/IA7.5樹脂とした場合の、プレエンボスフィルム及びラミネート板の表面粗度、エンボス残存率の変化について調査を行った。

エンボスフィルムのラミネート前後の表面粗度とエンボス残存率をTable 2に示す（ラミネート温度：230℃、圧力：0.5MPa）。エンボスロールからのフィルムへのエンボス転写率はCo-PET樹脂層の違いによる有意差が認められなかったが、エンボス残存率は高融点のPET/IA7.5樹脂の方が若干高くなる傾向が見られた。

Table 2 Roughness and  $Ra_1 / Ra_2$  of embossed film for various Co-PET layer

Co-PET for under layer (Thickness)	Roughness of pre-embossed film ( $Ra_1 / \mu\text{m}$ )	Roughness after lamination ( $Ra_2 / \mu\text{m}$ )	$Ra_1 / Ra_2$ (%)
PET/IA15 (18 $\mu\text{m}$ )	4.61	2.50	54
PET/IA15 (9 $\mu\text{m}$ )	4.93	2.62	53
PET/IA7.5 (18 $\mu\text{m}$ )	4.70	2.78	59

したがって、鋼板へのラミネートによる表面粗度の減少は、ラミネートロールの圧下によりエンボスが潰される影響もあるが、主要因は凹凸が下層のCo-PET樹脂層に押し込まれるためであると考えられる。

## 4. 結 言

フィルム製膜時のエンボス賦形において、フィルム構成、フィルム厚み、及びロール圧下力がエンボス転写率に及ぼす影響を調査し、さらに、プレエンボスフィルムの鋼板へのラミネートにおいて、鋼板加熱温度及びラミネートロール圧下力がエンボス残存率に及ぼす影響について調査を行った結果、以下のことがわかった。

フィルム製膜において、

- (1) ニップロールに接する下層樹脂としては、ニップ出口のフィルム温度より高い $T_g$ を有するCo-PET樹脂の方が、ニップロールから剥離し易くなるために、PBT樹脂よりも適していた。
- (2) エンボス転写率は、フィルム厚みに比例して高くなる傾向があり、 $90\mu\text{m}$ 以上では90%以上、 $75\mu\text{m}$ で75%程度であった。
- (3) エンボス転写率に対するニップ時間の影響はほとんど見られなかった。

プレエンボスフィルムの鋼板へのラミネートにおいて、

- (4) ラミネートした後のプレエンボスフィルムの表面粗度は、ラミネート温度が高くなるにつれ、減少する傾向が見られた。また、ラミネート前の表面粗度が最も大きい、膜厚 $90\mu\text{m}$ のフィルムについては、ラミネート後の表面粗度が膜厚 $75\mu\text{m}$ とほぼ同程度となり、深い凹凸が下層のCo-PET樹脂層に押し込まれる傾向が見られた。

## 参 考 文 献

- 1) Y. Takesue, K.Taguma, K.Fujii, F.Terauchi and K.Seiki: ECCA Autumn Congress Transcript. (1999), 165
- 2) 田熊幸治, 武居芳樹, 藤井行治, 清木和浩, 寺内文子: 材料とプロセス, 12 (1999), 1350
- 3) 森田俊一, 岩下寛之, 田熊幸治, 藤井行治, 武居芳樹: 表面技術Vol.52, No4 (2001), 353