

二軸延伸フィルムプラントにおける 高効率キャスト装置

High Efficient Casting Machine for Biaxially
Oriented Film Manufacturing Plant

米 谷 秀 雄 北 嶋 英 俊 辻 浩 史
後 藤 拓 也 吉 澤 昌 宏



当社は、幅広い分野で利用される二軸延伸フィルムの生産性向上ニーズにこたえて、同製造プラントの高性能化を図り、世界トップの商用生産速度（幅8.3 m × 速度450 m/min）を達成している。同製造プラントの高性能化の一環として、水平円管流路を有する新型構造の高効率冷却ロールを開発し、キャスト装置に適用した。高効率冷却ロール（熱通過率1.5倍）により、450 m/min機での冷却ロール径を、従来のφ2600 mmからφ2000 mmに小径化し、省スペース化を図るとともに、装置小型化による立上げ時の操作性を向上させた。また、水平円管流路の適用により、冷却流路の清掃が可能となり、メンテナンス性を大幅に向上させた。

1. はじめに

工業製品、生活用品等幅広い分野で利用されているプラスチックフィルムは、多層化や新しい樹脂原料の出現もあって、その用途はますます拡大している。当社は、各種フィルムの中でも世界的に生産量が高く、その需要が拡大している二軸延伸フィルムの製造プラントを世界各国に供給している。

二軸延伸フィルムプラントの成形プロセスを図1に示す。押出機で均一に溶融された樹脂は、ダイからスリット状に押し出される。押し出された溶融樹脂は、キャスト装置において冷却固化された後、縦延伸機によりフィルム流れ方向に延伸され、横延伸機にてフィルム幅方向に延伸される。延伸工程を経た後、表面処理等を行う引取機を経て巻取機にて巻き取られる。

当社は、お客様の生産性向上ニーズに対応して、二軸延伸フィルムプラントの広幅高速化による大量生産機を開発するとともに、操作性・メンテナンス性等にも配慮した製品開発を行ってきた。最近の当社二軸延伸フィルムプラントの商用生産速度を図2に示す。同製造プラントを構成する各種機器の高性能化を図り、世界トップの商用生産速度（幅8.3 m × 速度450 m/min）を達成している。

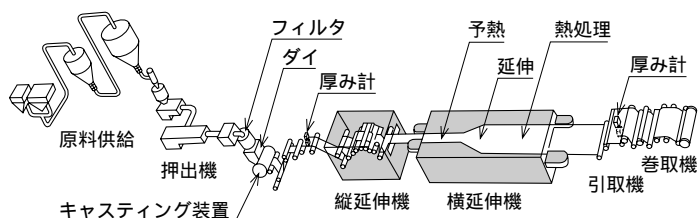
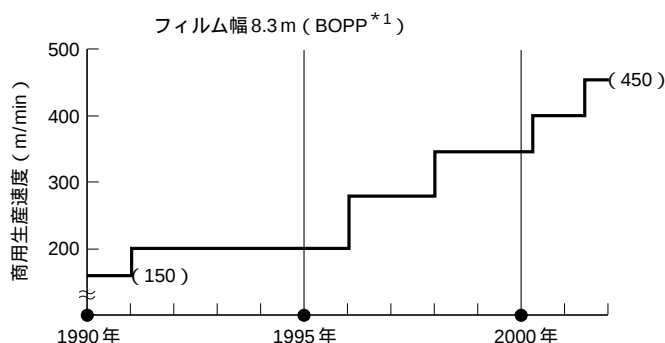


図1 二軸延伸フィルムプラントの成形プロセス ダイから押し出された溶融樹脂をキャスト装置で冷却固化させた後、縦延伸機・横延伸機で延伸し巻き取る。



*1: ポリプロピレン用二軸延伸フィルムプラント

図2 二軸延伸フィルムプラントの商用生産速度 商用生産速度（幅8.3 m × 速度450 m/min）で世界トップ。

本報では、二軸延伸フィルムプラントにおける主要構成部を成すキャスト装置について、その高性能化とともに、操作性・メンテナンス性を向上させた新型構造について報告する。

2. キャスティング装置における開発ニーズ

二軸延伸フィルムプラントにおけるキャスト装置を図3に示す。同装置は、冷却ロールを有する第1水槽と第2水槽から構成される。ダイからスリット状に押し出された溶融樹脂は、エアナイフにより冷却ロールに密着された後、第1水槽及び第2水槽において冷却固化される。キャスト装置で成形されたシート断面写真を図4に示す。同図には、反ロール面を空気放冷した場合と水槽冷却した場合の断面写真を示す。反ロール面を空気放冷の場合に比べて、水槽冷却した場合には、反ロール面側が急冷され、結晶粒は小さく結晶成長が抑えられている。キャスト工程におけるシートの結晶状態は、その冷却特性に依存し、後工程での延伸性や最終製品の強度・透明性等に大きく影響する⁽¹⁾⁽²⁾。なお、

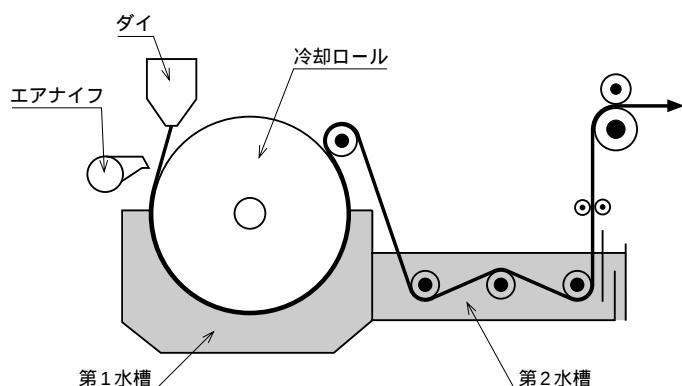


図3 キャスティング装置 ダイから押し出された溶融樹脂をエアナイフで冷却ロールに密着させた後、第1水槽及び第2水槽にて冷却固化させる。

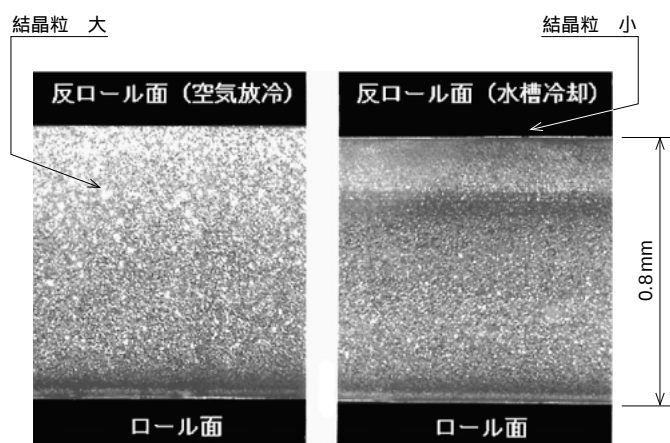


図4 キャスティングシートの断面写真 シートの結晶状態は冷却特性に依存し、空気放冷した場合、反ロール面の結晶が成長。

上記は反ロール面の冷却特性と結晶状態について示したが、冷却ロールの性能もシートの結晶状態に大きく影響し、品質向上を図る上で、その高効率化が求められる。また、従来の450 m/min機では、高速化に伴い冷却ロール径がφ2600 mmとなり大型化していた。このため、冷却ロールの小径化による省スペース化や立上げ時（特に通紙時）の操作性向上が求められていた。こうしたニーズに対応して、冷却ロールの高効率化（小径化）を図るとともに、メンテナンス性を向上させた新型構造を開発した。以下に、その高効率冷却ロールの構造及び性能について示す。

3. 高効率冷却ロールの構造

従来タイプ及び新タイプの冷却ロール構造を図5に示す。従来タイプは、外筒内面に設けられた矩形螺旋流路に冷却水を通水する。外筒と冷却流路は独立構造をとり、外筒内面全域に水圧がかかる。このため、ロールの大径化に伴い強度確保のため、外筒を厚くする必要があり、結果的に熱通過率が低下するといった課題があった。

新タイプでは、水平円管流路を外筒に埋設した構造をとる。外筒と冷却流路の一体構造をとることにより、強度を確保するとともに、冷却流路とロール表面との近接化により冷却効

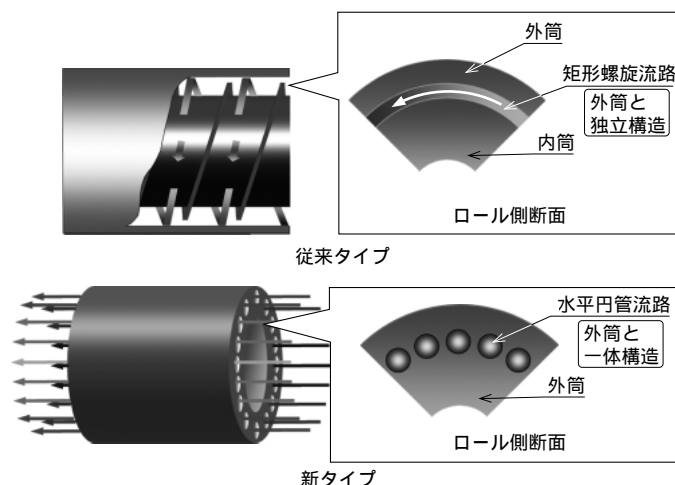


図5 冷却ロールの構造 従来タイプの矩形螺旋流路構造に対して、新タイプでは外筒に水平円管流路を埋設した構造を適用。

率を向上させることを可能にした。以下に、その特徴について示す。

4. 高効率冷却ロールの特徴

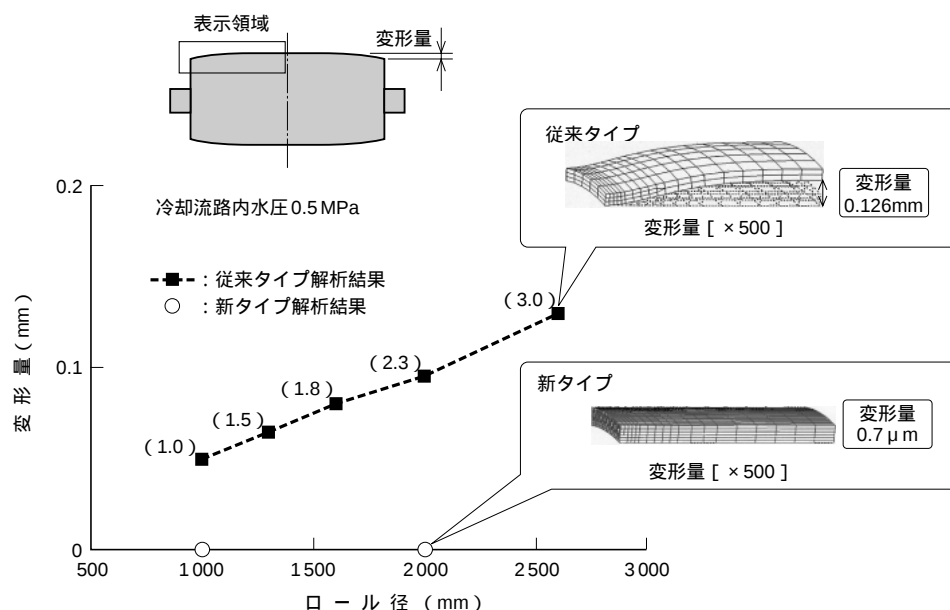
4.1 強度特性

冷却流路内水圧0.5 MPaを想定した場合の、従来タイプ及び新タイプの冷却ロール径と水圧によるロール変形量の解析結果を図6に整理する。図中のカッコ内数値は、従来タイプにおけるロール径φ1000 mmの外筒厚みに対する各ロール径での外筒厚みの比を示す。なお、同図中に従来タイプ（φ2600 mm）及び新タイプ（φ2000 mm）における外筒変形の解析事例を示す。従来タイプでは、外筒と冷却流路が独立構造をとっており、ロール側板で拘束された外筒内面全域に水圧がかかり、ロール端部に対して中央部が凸の変形を生じる。このため、ロールの大径化に伴い、図中のカッコ内に示すように外筒を厚くすることにより変形を抑制している。

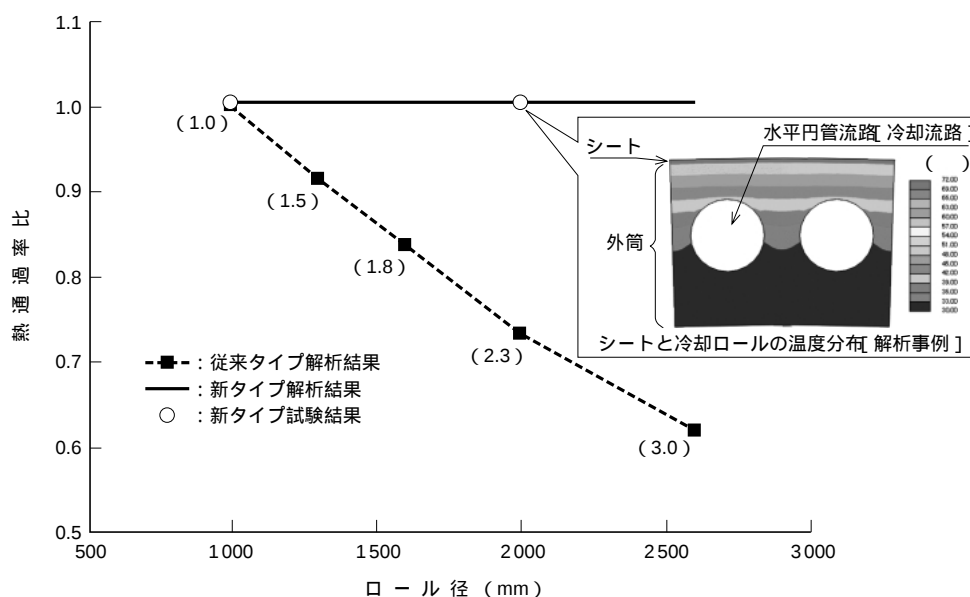
新タイプ（φ2000）では、外筒と冷却流路が一体構造をとっており、水平円管流路間の外筒部材が強度メンバとなり、水圧による変形を抑制する。このため、従来タイプ（φ2600 mm）での変形量0.126 mmに対して、新タイプ（φ2000 mm）での変形量は0.7 μmと極めて小さい。新タイプでは、従来タイプの構造強度面での課題（冷却ロール大径化に伴う外筒厚肉化）を改善するとともに、従来からある冷却ロールの水圧による外筒変形を解消し、耐久性の面でも、その信頼性を大幅に向上させた。

4.2 伝熱特性

従来タイプ及び新タイプのロール径と熱通過率比を図7に整理する。熱通過率比は、従来タイプにおけるロール径φ1000 mmの熱通過率に対する各ロール径での熱通過率の比を示す。図中のカッコ内数値は、従来タイプにおけるロール径φ1000 mmの外筒厚みに対する各ロール径での外筒厚みの比を示す。上記に示したように、従来タイプでは、ロールの大径化に伴い外筒が厚くなる。このため、図7に示すように、冷却ロールの大径化に伴い熱通過率が低下する。ロール径φ2600 mmでは、ロール径φ1000 mmに比べて外筒厚み



注) () 内数値は、従来タイプにおけるローラ径 $\phi 1000$ mm の外筒厚みに対する各ローラ径での外筒厚みの比
図 6 冷却ローラ径と変形量 水圧 0.5 MPa でのローラ変形量の解析結果を示し、新タイプでは、水平円管流路間の外筒部材が強度メンバとなり変形を抑制。



注) () 内数値は、従来タイプにおけるローラ径 $\phi 1000$ mm の外筒厚みに対する各ローラ径での外筒厚みの比
図 7 冷却ローラ径と熱通過率比 従来タイプでは、ローラの大径化により熱通過率が低下するが、新タイプではローラ径に依存せず熱通過率は一定。

が 3 倍となり、熱通過率は 2/3 に低下する。

これに対して、新タイプでは、冷却流路とローラ表面との距離を一定に保ち、ローラ径に依存せず高い熱通過率を得ることができる。図中に、新タイプにおけるローラ径 $\phi 1000$ mm 及び $\phi 2000$ mm における試験結果を示すが、従来タイプのローラ径 $\phi 1000$ mm と同等の熱通過率が得られる。なお、水平円管流路を適用した新型構造では、ローラ周方向（円管ピッチ間）で、シートを均一に冷却することが重要なポイントとなる。同図中には新タイプにおけるシートと冷却ローラの非定常熱伝導解析事例を示す。同図に示すように、水平円管流路の形状及び配置を適正化することにより、ローラ

周方向（円管ピッチ間）でのローラ表面温度及びシート温度の均一化を図っている。

4.3 メンテナンス性

従来タイプでは、外筒とローラ側板は溶接構造をとっている。このため、スケール付着等に伴う冷却流路の清掃は、化学洗浄を行っている。化学洗浄の場合、その取扱いが容易でないことに加え、長期のライン停止を要する。また、洗浄後の清掃度合が確認できないといった問題があり、冷却ローラのメンテナンス性向上が求められていた。

新タイプの高効率冷却ローラ（ $\phi 1000$ mm）の外観写真を図 8 に示す。また、新タイプのメンテナンス構造を図 9 に

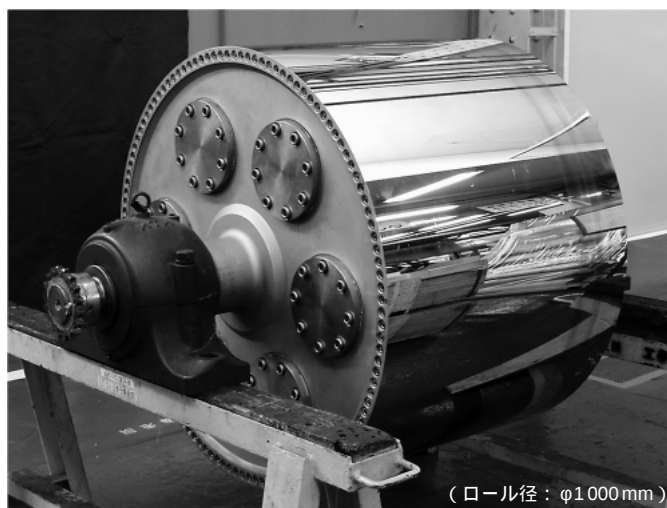


図8 高効率冷却ロールの外観写真 ロール径 ϕ 1000mm の高効率冷却ロール外観を示す

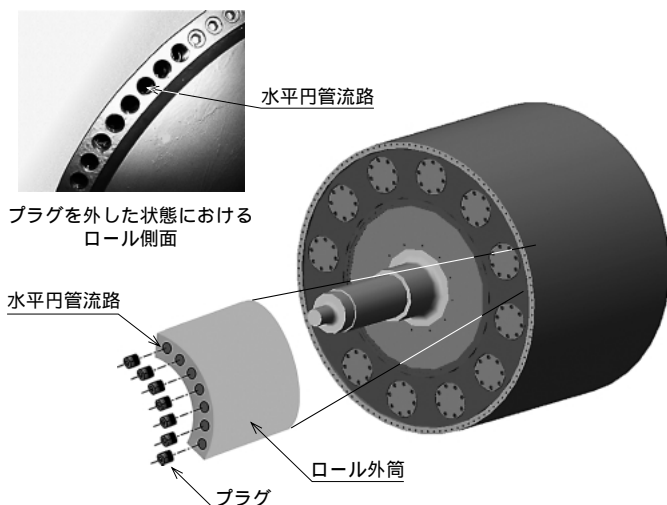


図9 高効率冷却ロールのメンテナンス構造 メンテナンス時には、各水平円管流路に設けられたプラグを取り外し、冷却流路の清掃が可能。

示す。ロール側板には、各水平円管流路に対応して、取外し可能なプラグが設けられている。図9に示すように、メンテナンス時には、同プラグを取外し、ブラシ等により清掃することが可能であるとともに、清掃度合も容易に確認できる構造となっている。新タイプでは、水平円管流路を適用することにより、冷却流路の清掃が可能となり、メンテナンス性を大幅に向上させた。

5. キャスティング装置の最新仕様

現在稼働中の高効率冷却ロールを適用したキャスト装置仕様を表1に示す。最新の広幅高速機（幅8.3m×速度450m/min）において、従来タイプの1.5倍の熱通過率を有する高効率冷却ロールを適用し、冷却ロール径を ϕ 2600mmから ϕ 2000mmに小径化し、省スペース化を図った。また、これによって、ロール径及び装置全体の小型化が図られ、立上げ時（通紙時）の操作性を向上させた。

表1 新型キャスト装置の仕様
二軸延伸フィルムプラント（幅8.3m×速度450m/min）の場合

対象樹脂	ポリプロピレン
冷却能力	max. 5000 kg/h
シート厚み	0.6～3.0mm
機械速度	max. 110 m/min
冷却ロール径	ϕ 2000 mm (ϕ 2600 mm)
冷却ロール幅	1500 mm

() 内数値は従来タイプのロール径

6. ま と め

二軸延伸フィルムプラントの主要構成部をなすキャスト装置について以下にまとめる。

- (1) 従来タイプの矩形螺旋流路を有する冷却ロール構造に対して、水平円管流路を有する新型構造の高効率冷却ロールを開発した。
- (2) 高効率冷却ロールにより、従来からある冷却ロールの水圧による外筒変形を解消し、耐久性の面での信頼性を大幅に向上させた。
- (3) 高効率冷却ロール（熱通過率1.5倍）により、450m/min機での冷却ロール径を、従来の ϕ 2600mmから ϕ 2000mmに小径化し、省スペース化を図った。また、装置の小型化による立上げ時の操作性を向上させた。
- (4) 水平円管流路の適用により、冷却流路の清掃が可能となり、メンテナンス性を大幅に向上させた。

本報で紹介した新型キャスト装置に加え、当社では、今後も二軸延伸フィルムプラントの生産性向上を始め、操作性・メンテナンス性向上といった、お客様のニーズにマッチした製品開発を行っていく所存である。

参考文献

- (1) 筒井美光ほか、二軸延伸フィルム成形技術の開発、三菱重工技報 Vol.22 No.4 (1985-7)
- (2) 米谷秀雄ほか、プラスチック成形における結晶化挙動の研究、三菱重工技報 Vol.28 No.5 (1991-9)



米谷秀雄
技術本部
名古屋研究所
プラスチック機械研究推進室主席



北嶋英俊
技術本部
名古屋研究所
プラスチック機械研究推進室



辻浩史
産業機器事業部
産器技術部
プラスチック機械設計課



後藤拓也
産業機器事業部
産器技術部
プラスチック機械設計課



吉澤昌宏
産業機器事業部
産器技術部
プラスチック機械設計課