

新世代COPフィルム SANUQI®の 製品拡大とそれを支えるDX技術

Product Expansion of New-Generation COP Film, SANUQI®, and Its Technology Driver

伊藤 康敏*
Yasutoshi ITO

間島 健太**
Kenta MASHIMA

小村 崇信**
Takanobu KOMURA

藏方 慎一*
Shinichi KURAKATA

要旨

近年、情報サービス環境の拡大やデジタル化に伴う技術革新によりディスプレイ産業は多用途展開への広がりや市場の拡大・ニーズの変化を見せている。

コニカミノルタはこれまででもフラットパネルディスプレイ業界においてサプライチェーン上で必要不可欠な価値を提供すべく、市場変化を先読みした商品を提供してきた。

また、近年のディスプレイの大型化やモビリティ分野での高耐久ニーズに伴う耐水性、光学安定性の要求に対し、コニカミノルタは、TAC (Tri-acetylcellulose) に替わる耐水性材料の製品開発を進めてきた。

結果、耐水材料とコア技術である溶液製膜法とを組み合わせることにより、コニカミノルタ独自の新世代COPフィルム SANUQIを開発した¹⁾。

SANUQIは溶液製膜法の特性を最大限に生かして、従来の熔融製膜法では達成し難い高機能な顧客価値の提供を可能とした。またSANUQIの生産ラインへ導入に際し、DX (Digital transformation) プラットフォームを新たに構築し高度な制御技術を駆使して高品質な光学フィルムを達成した。

本稿ではSANUQIの製品展開とその特徴に加えて、従来のTAC製膜からSANUQI製膜へトランスフォームを成し遂げたDX技術を報告する。

Abstract

In recent years, display has widened its applications and market due to expansion of information services and technology innovations in digitalization.

Regarding FPD (flat-panel display) industry, Konica Minolta has been providing them with various products with essential features, forecasting market changes.

Also, in response to the demand for water resistance and optical stability associated with the market needs for larger displays and higher durability in the mobility field, we have been developing water-resistant materials to replace TAC (tri-acetyl cellulose).

As a result, our new-generation COP film, named "SANUQI", has been successfully developed by combining the water-resistant materials and solution casting method, our core technology. We made the most of our solution casting method, enabling to provide high-performance customer value that is difficult to achieve with current melt casting methods. While introducing SANUQI to the production line, we have built a new DX (Digital transformation) platform and achieved high-quality optical film by making full use of advanced control technology.

In this paper, we report characteristics of SANUQI, current product development, and DX technology that has assisted the transformation from a conventional TAC film to SANUQI film.

* 材料・コンポーネント事業本部 機能材料事業部 開発統括部
** 材料・コンポーネント事業本部 機能材料事業部 生産統括部

1 はじめに

コニカミノルタではこれまで、ディスプレイ市場向けにセルロース系の材料 (TAC, 変性TAC) による偏光板保護膜および光学補償膜の事業を展開してきた。市場ニーズや市場変化を先読みし、コア技術である溶液製膜技術、添加剤をベースに顧客へ価値提供を続けてきた。

顧客ニーズの多様化により、ディスプレイの反射防止性能やUVカット能, 高耐久性と達成すべき機能が高次化し, また折り畳み型スマートフォン, 超薄膜スマートフォン等利用領域が拡大していく中で, TACに替わる新材料として新世代COP-SANUQI, 新世代アクリルSAZMA²⁾を開発した。

2 光学フィルムの製膜方法

光学用的高分子フィルムの製膜方法は溶融製膜法, 溶液製膜法に分類される (Fig. 1)。

溶融製膜法は熱を加えて原材料であるポリマーを融かすことで, 溶液製膜法は溶媒を用いることで, 原材料に流動性を与え, 流体を押し出して製膜する方法である。溶液製膜法は高分子量ポリマーに各種添加剤を加えて溶媒を用いて溶解した後, 支持体であるドラムまたはバンドベルトに流延し, ある程度溶媒が揮発した後, 自己支持性をもったところで剥離し乾燥・延伸工程を経て製品フィルムを得るものであり, 連続生産されたフィルムは円筒状の巻き芯に巻き取られ梱包することで製品形態となる。

また, 溶液製膜法は, ドラム方式とベルト方式に分類される。コニカミノルタでは, キャスト後の乾燥時間制御が容易であり, 薄膜製膜に対しても有効なベルト方式を選択している。

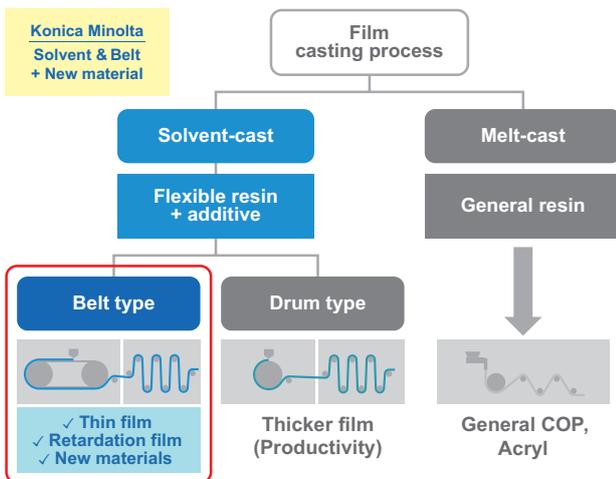


Fig. 1 Three types of film casting processes.

Methods of manufacturing polymer films are divided roughly into two types; solution casting and melt casting. In solution casting, either a drum type or a band belt type of support is used. We use band belt support because its wide allowance of film thicknesses allows easy control of the long drying process after casting.

3 SANUQIの製品展開

3.1 SANUQI材料の特徴と製品群

SANUQI樹脂は, シクロオレフィンポリマー (COP) の一種で, 耐水性・耐熱性・透明性に優れた特性を有しており, 特に溶液製膜法との親和性を高めるために通常より高分子量に調整した。結果, 従来の溶融製膜法による耐水性フィルムでは達成し難い顧客価値を提供する材料とした。SANUQIの材料特性と機能を生かした商品群領域をFig. 2に示す。

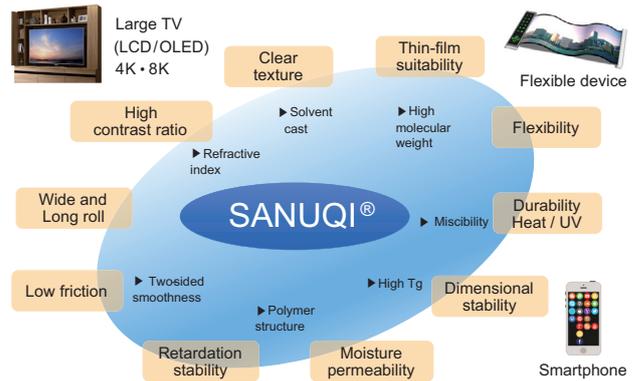


Fig. 2 Characteristics and functions of SANUQI film.

The figure shows the characteristics and functions of SANUQI with suitable applications.

SANUQIは大型テレビ・サインージ領域用途のVA位相差フィルム (SANUQI-VA)・OLED用反射防止フィルムと中小モバイル・車載領域用途のUV保護フィルム (SANUQI S+), 偏光サングラス対応UV保護フィルム (SAN-KQ), タッチパネル用基材 (SANUQI-TSP) に大別される。後者の商品は膜厚10μm台での作製も可能であり, フレキシブルデバイスへの展開においても最適なものとなっている。

以下にSANUQIシリーズの代表的な物性値をTable 1に示す。

Table 1 Specifications of SANUQI films.

Typical applications of SANUQI are; 1) Retardation film of large television/signage, 2) Anti-reflection film for OLED, 3) UV-cut film for small-mid mobile/automobile display, 4) UV-cut film for polarized sunglasses, 5) Touch-panel substrate. 3)-5) are available at the thickness around 10micrometers. Therefore, they are very suitable for flexible devices.

	SANUQI A	SANUQI B	SANUQI C	SANUQI D	SANUQI E
Thickness (μm)	30~40	40~50	10~30	10~30	10~40
Width (m)	1.1~2.5	1.3~2.0	1.3~1.6	1.3~1.6	0.5~1.6
Retardation R0 (nm)	20~70	around λ/4	5~20	around λ/4	0~10
ΔR0 under hydrous condition (nm)	0	0	0	0	0
Heat shrinkage <0.1 %	over 105°C	over 105°C	over 105°C	over 105°C	over 130°C
UVA transmittance	—	—	0~2%	0~2%	—
Bending test: 200,000 times clear	—	—	Φ1~Φ6	Φ1~Φ6	Φ1~Φ6

また、種々の色素・改質剤を添加したSANUQIや、さらなる超薄膜機能層を提供可能とするAir SANUQIも開発中である (Fig. 3)。



Fig. 3 "Air SANUQI", new thin film under development.
Further performance improvement is expected by thinner film.

3.2 SANUQIフィルムの主要特性

3.2.1 光学特性

コニカミノルタでは、LCD用偏光板保護フィルムとして、高性能な視野角拡大できるVA-TACフィルムを上市している。今回VA-TACの優れた特徴を活かしつつ、優れた透明性、耐水性、均一性、を付与し、更に高機能なVA用位相差フィルムとしてSANUQI-VAを開発した。SANUQIは、偏光子に使われるポリビニルアルコール (PVA) の屈折率を同等にすることで光学ロスを低減し、パネルとして従来比で約10%のコントラスト上昇および、またざらつきが少なくすっきりと見える特性を付与した。

3.2.2 靱性

2項で説明したように光学用高分子フィルムの製膜方法は溶融製膜法、溶液製膜法に分類される。SANUQIは、溶液製膜法の以下のような特徴を生かしフィルム加工を施している。

- ・高耐熱性、高分子量ポリマーの使用が可能である
- ・添加剤の選択幅が広い
- ・ポリマーを均一に溶解できる(ポリマー鎖が広がる)
- ・薄膜化に有利である
- ・生産時に発生する不要な端材フィルムのリサイクルが可能である

ここで、SANUQIと溶融品COPの繰返荷重をかけた後のフィルム表面写真を Fig. 4 に示す。

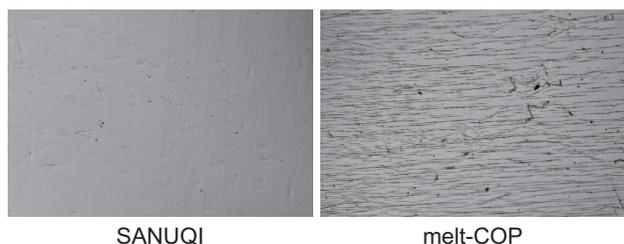


Fig. 4 Close view of films after cyclic load test. Left: SANUQI, right: melt casted COP film.
SANUQI has higher stress crack resistance compared with melt casted COP.

結果SANUQIは溶融品COPと比較して亀裂耐性が高く良好な結果を示している。この優れた靱性を活かして、ホール加工、しずく型加工、V字加工といった、様々な異形加工への加工適性が期待できる。また、有機EL方式におけるFoldableやRollable, Flexibleといった新ディスプレイへの適用が期待される。

3.2.3 添加剤による機能化

一般的に添加剤とバインダの相溶性が十分でない場合、添加剤が表面に浮き出てくるブリードアウト現象や凝集挙動が生じ、機能を果たさなくなる。SANUQIは、添加剤との相溶性が良好な特徴を持つため機能を保持することが出来る。

Fig. 5 に色素をSANUQIへ添加した系 (in SANUQI) と粘着剤へ添加した系 (in PSA) のキセノンランプ暴露下の耐光試験の結果を示す。1000時間において、in SANUQI は in PSA の8倍の光安定性を持たせることが出来た。

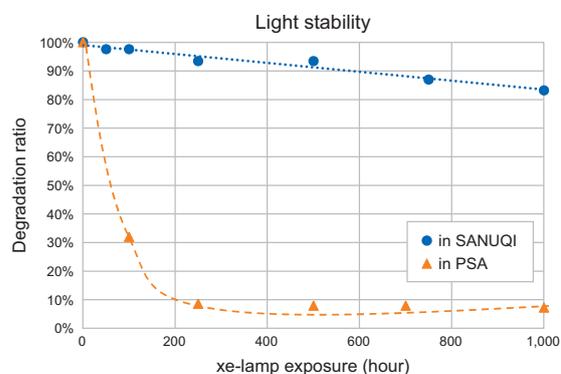


Fig. 5 Comparison of degradation by Xenon test. Blue circle: Dye is added in SANUQI film, orange triangle: dye is added in adhesive layer (PSA) on the film.

When dye is added in the film, it is more stable than in PSA by 8 times, in Xenon weather meter.

溶液製膜法では溶融製膜法とは異なり高温工程がないため選択できる有機添加剤の範囲が広い。ここで、色素の種類を選択すれば、波長制御・位相差制御・波長カット等様々な機能付与が可能になる。

4 SANUQI製品拡大を支える デジタルトランスフォーメーション (DX)

4.1 DXプラットフォームの構築

コニカミノルタでは、これまで溶液製膜法を用いて高品質なTACフィルムを安定的に提供してきた。

ここで、TACからSANUQIに工場を変革するにあたり、DX技術を導入し、カメラ・センサー及びそこから得られたデータを基に解析、監視を行う情報専用ネットワークを含んだプラットフォームを新たに構築した。

このプラットフォームを活用することで、従来の20倍のデータ量を1/50の時間で解析することが可能となった (Table 2)。

Table 2 Comparison of data volume and time of analysis before and after DX.

Our DX platform includes cameras, sensors and network system to monitor and analyze the data. By using the platform, 20 times larger amount of data is analyzed in 1/50 time.

	Before	After
Data Collection Method	offline	online
Data Volume	1	20
Analysis Time	1	1/50

以下にこのDXプラットフォームを用いた効果事例を紹介する。

4.2 フィルム中の溶媒濃度測定

溶液製膜法において、各工程でのフィルム内の溶媒濃度は、位相差等の機能発現や品質と関連しており重要なパラメータとして制御する必要がある。

SANUQIを生産ラインに導入する上で溶媒濃度を可視化し、工程毎に適切なプロセス条件を構築、制御が求められた。そこで、赤外線（IR）スペクトルを利用してフィルム中の溶媒濃度測定の検討を行った。Fig. 6 に測定したIRスペクトルを用いて算出したフィルム中の溶媒濃度の結果を示す。

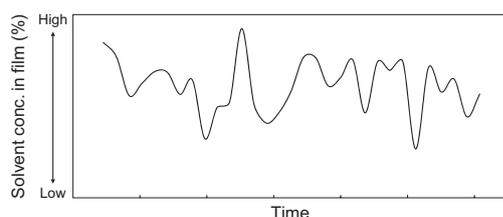


Fig. 6 Solution concentration by using IR spectrum measurement. In solution casting method, concentration at each step is important to control because it affects the performance, such as retardation and film quality itself.

この手法は、フィルム中の溶剤濃度を非接触で測定できるため、生産ラインを止めずに、適切なプロセス条件を迅速に反映することが可能となる。今後は、制御系への自動フィードバック機構につなげることやプロセスインフォマティクスの説明変数の一つとして溶媒濃度のトレンドデータの取扱いを広げていく。

また、近年、赤外分光器をはじめとする測定機器の小型化、IoT化が進み、設置の自由度が高まっている。今までは設置が難しかった場所の測定も可能になることで、よりきめ細かいデータ収集、解析が可能となり、さらなる安定生産や品質向上への寄与が期待できる。

4.3 膜厚データの高周波フーリエ変換（FFT）による品質課題解決

前述のとおり、SANUQIでは新たなプラットフォームの構築により、生産ラインに多数のセンサーが設置され、常にデータ収集、監視が行われている。一部の収集データは高速サンプリングしたものであり、例えば毎分数十

MBの情報が生み出される。リアルタイム処理・解析を行う上で、一般的な表計算ソフトExcelを用いるのではこのような規模のデータを快適に取り扱うことは難しい。そこで、Pythonを用いてデータベース化を行い、リアルタイムで解析が可能なプログラムを新たに作成した。

このプログラムを活用した課題解決事例を紹介する。

SANUQI検討の当初、搬送方向に周期性を有する膜厚ムラが課題となった。周期は数mm程度で、溶解された原材料が流延された金属ベルト上の膜厚計でこの膜厚ムラが検出されていた（Fig. 7）。

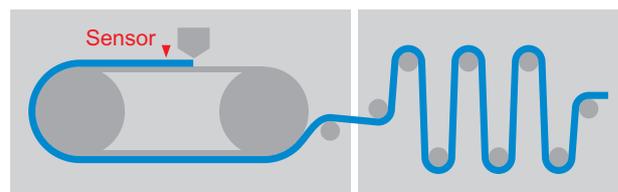


Fig. 7 Sensor setting to detect unevenness of film thickness. In the beginning of the development, periodic unevenness was an issue. It was detected by a thickness sensor on metal belt.

まず、TAC製膜の知見に基づき、原因と疑われるプロセス条件を調整したが、改善が見られなかった。

そこで、この膜厚計データのFFT(Fast Fourier Transform)処理を行い、原因周期を時間軸で調査した。結果、原因となる周波数が発生している時間帯を特定できた（Fig. 8）。

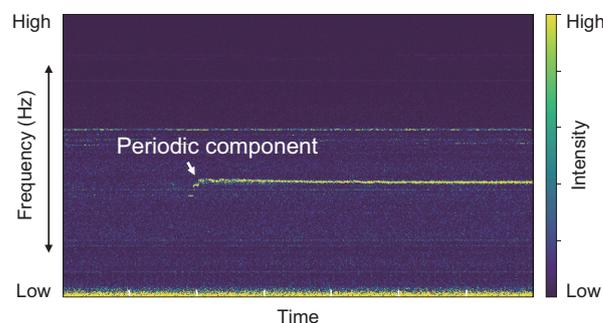


Fig. 8 Analysis result of film thickness data. The periodic signal is visualized by FFT processing of the thickness data. Hence, the period and its cause were identified after investigation based on this result.

同様の周波数を発生させている原因が生産ラインのどこかにあるという仮説を立てて調査したところ、膜厚ムラが観測されたベルトからは遠く離れたプロセスの空調機の振動が、配管を通じて影響していることが判明した。この空調機運転条件を適切にすることで、振動伝搬が抑えられ、周期性の膜厚ムラを解消した。

このようにセンサーデータの収集からハンドリング、FFT解析、課題解決の一連の取り組みは、従来のデータ量、サンプリング速度では解決は出来なかったものである。IT技術やIoT機器を活用することで、情報量も課題解決速度も飛躍的に向上してきており、製造業において今回のような課題解決法はますます影響度を持つてくる。

今後、幅広い課題の早期解決のため、センサー機器の増設、リアルタイム処理の拡充を計画している。

さらに、このような高度な品質制御技術とSANUQIのもつ、滑り性・寸法安定性の特徴を合わせて、巻芯から巻外まで故障欠陥がなく使用できる高品質フィルムロール作製技術を開発し順次製品適用を開始している。こちらは経時での巻形状の変化も最小限になるように設計を施しており、顧客の生産性の向上へ貢献すると考えている。

4.4 スマートグラスを活用したデータ表示

今回構築したプラットフォームを利用することで、様々なデータをスマートグラス上に表示することを実現した (Fig. 9)。



Fig. 9 Realtime data about film making process displayed on smart glass. Operators monitor the process information in real time and operate properly by using the system. It also enables smooth, real-time information sharing among operators in different places, leading to more stable manufacturing process.

これにより、生産現場のオペレーターは必要な情報をリアルタイムで確認しながら、適切なオペレーションが可能となった。また、スマートグラス上で情報共有することで異なる場所にいる複数の人とスムーズに連携し安定生産へとつなげている。

4.5 DXの今後

今回、監視カメラや高速センサーデータといった膨大な情報を、必要に応じてリアルタイムで計算処理し、タイムリーな顧客要望に対応できる機動性をもちつつ、情報セキュリティ確保を満たした、専用のインフラ (専用ネットワーク、サーバ、データ処理サーバ) を構築した。

当初は少数の監視カメラ、熱電対・センサー機器であったが、今や1日に発生する情報量は1工場あたり200GBを超えてさらに負荷が増大している

今後は多様なアプリケーション (BI技術、リアルタイム機械学習と制御フィードバック、インライン画像分析等) を支えるため、高速なインフラ技術 (10Gbit回線化、データ処理サーバ増強、DB統合化、ローカル5G導入等) を先行技術として進めていく (Fig. 10)。

なお、これまで光学フィルム事業に関わる技術者は、化学や機械を専門とする人材が中心を占めていたが、DXを促進するにあたり、情報処理技術、データサイエンス、画像処理技術のスキルを持つ人材も重要となる。さらなる事業発展を鑑みて、社内外含めて継続的なDX人材強化を進めている。

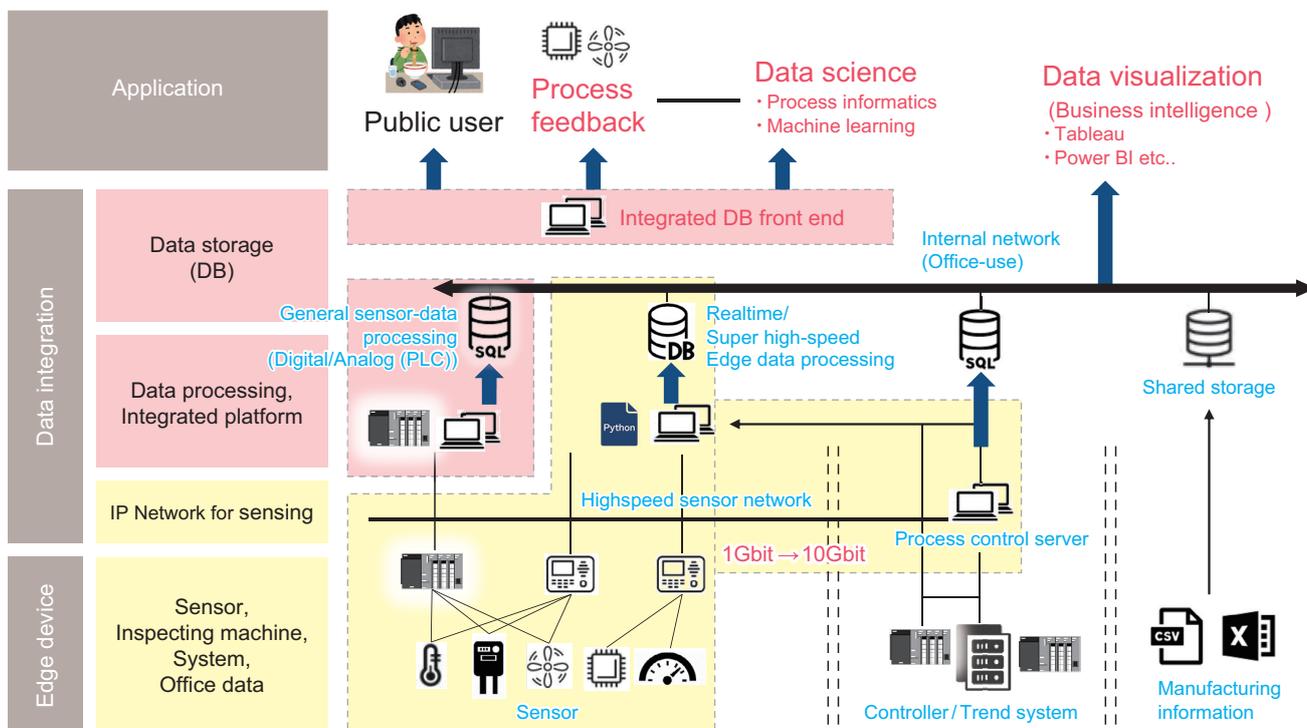


Fig. 10 Conceptual diagram of our DX platform. In order to realize various future applications, such as BI, real time machine learning and feedback, in-line image analysis, high speed network infrastructure is now under consideration; 10G-bit LAN, data processing servers, local 5G, and so on.

5 まとめ

耐水材料とコア技術である溶液製膜法とを組み合わせることにより、新世代COPフィルムSANUQIを開発した。

SANUQIは溶液製膜法の特性を最大限に生かして、従来の熔融製膜法では達成し難い高機能な顧客価値の提供を可能にした。また、優れた特徴を持つSANUQIフィルムを安定生産並びに品質向上を担保するためDX技術を導入して工場変革を行った。この変革が顧客への安心および顧客価値の向上につながるものと確信している。

●参考文献

- 1) 森田亮, 高木隆裕, 梅田博紀 “溶液製膜による次世代光学フィルムの開発” Konica Minolta Tech.Rep., pp.127-130 Vol.16 (2019)
- 2) 建部隆, 廣瀬達也, 梅田博紀 “溶液製膜による次世代材料光学フィルムの製品展開” Konica Minolta Tech.Rep., pp.86-90 Vol.17 (2020)