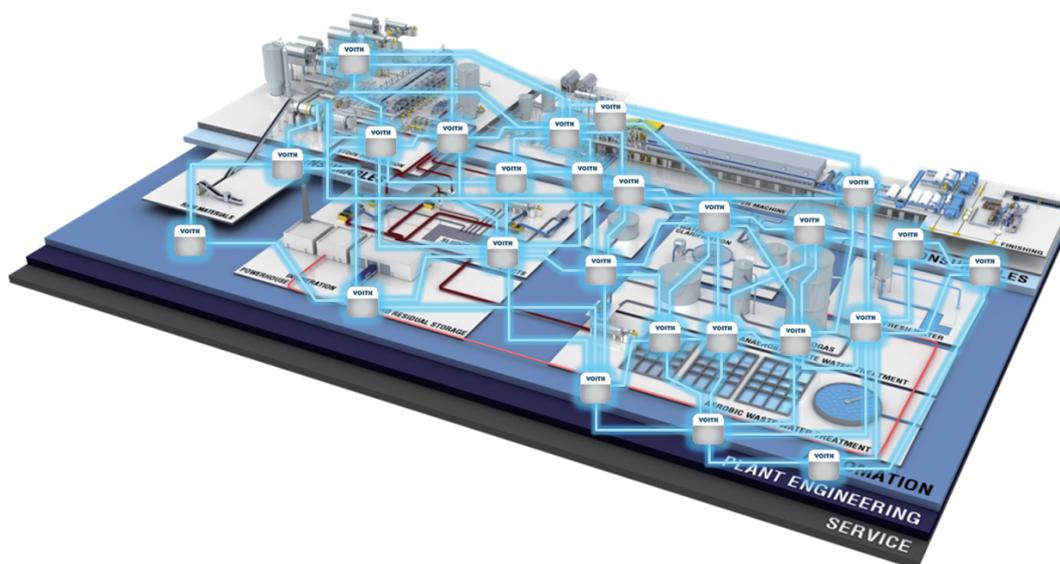




紙づくりプラントに ICT で匠の息を吹き込む

Papermaking 4.0 コンセプトに沿う 製紙プラント統合制御で安定化・最適化を実現

紙は言うまでもなくオフィスや家庭において印刷物、ティッシュ、包装用ダンボールなど欠くことのできない存在である。今、その紙づくりの現場でスマート化が進んでいる。ICT でハイテク武装した製紙産業が目指すコンセプト Papermaking 4.0 とそれを実現するソフトウェア群を紹介する。



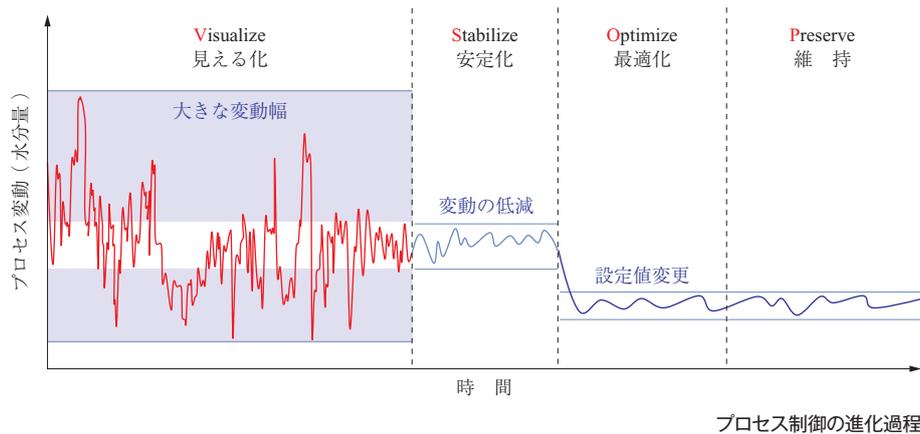
Papermaking 4.0 コンセプトイメージ

スマート製紙プラントとは

製紙プラントは幾つかのプロセスから成る。紙の原料は木材チップや再生紙から取り出された植物繊維すなわち紙パルプである。紙パルプを製品にするためには、網やロールプレスによる脱水（紙すき）工程、加熱ロールによる乾燥工程、紙の表面に塗料を薄くコーティングする塗工工程、表面に圧力や熱をかけて平滑性や光沢を与えるカレンダー工程など一連のプロセスを経る。従来、各工程は個々に自動制御されていたものの、プラント全体を統合制御していたのは現場を知り尽くした熟練技術者^{たくみ}、すなわち匠であった。ところが最近、一つのラインで厚さ、色、平滑性などが

異なる種類の紙を注文に応じた量だけ作るのが当たり前になってきた。異なる種類の紙を続けて生産するとき、紙の種類が切り替わってから品質が安定するまでにある程度の時間が必要になるため、その間に生産される紙はどちらの紙でもない「ムダ」となってしまう。現場では 30 分の切り替え時間さえタイムロスとなって許されないのが実情なので、さすがの匠にも難題となってきた。

そんな課題を解決するコンセプトがドイツの Voith Paper GmbH & KG (Voith) によって提起された Papermaking 4.0 である。このコンセプトはドイツ政府が推進する Industrie 4.0 を製紙産業に展開したものであり、製紙プラントのスマート化を目指している。



プロセス制御の進化過程

Papermaking 4.0 の狙いは三つの製品，すなわちスマートコントロール，スマートメンテナンスおよびスマートサービスとして具体化された。

プロセスの見える化

プロセスの安定制御にはまずプロセスの状態を正確に把握してフィードバックすることが基本である。製紙プロセスは 99%の水と、木材チップから取り出された 1%の植物繊維から成り、さまざまな薬品も混入されている。主要な計測項目は流量、圧力、温度、濃度、乾燥度などである。繊維の方向がランダムでよく分散されていることが望まれる紙では、パルプの中の繊維の方向を乱すために、脱水の前段階で水と繊維を攪拌して噴射する。このときの噴射圧力、流量や濃度などは計測が可能なデータである。しかし、例えば脱水（紙すき）工程途中での湿紙水分量や繊維の分散性、乾燥後の紙の強度は重要な品質管理項目であるが、これらは直接計測するセンサーがなかった。これに対し、Voith が開発したマイクロ波応用センサー「FormingSens」を用いてオンラインで計測できるようになった。上図はプロセス変動を見える化することによって問題を把握し、変動幅を小さくする制御（あるいは操作）によって、より安定した範囲に収められることを示している。水分量のほかにも現在では紙の強度もオンラインで予測できるようになっている。データ分析を応用したバーチャルセンサー（物理量の間接計測）で初めてプロセスの変化がリアルタイムで見える化された。また、全工程の時々刻々の計測データは膨大で、結果的にビッグデータを扱うことになった。以上でプロセス安定制御に必要なデータ環境は整った。

プロセス全体の安定化・最適化

上述のような、運転条件変更時のプロセス制御において、個々の工程を独立して制御するシステムには限界があり、相互干渉による変動の大きさや変動が収まるまでの時間の短縮が難しくなっていた。スマートコントロールシステムのポイントは ① 工程ごとの個別フィードバック制御から全体の統合フィードフォワード制御への進化 ② AI (Artificial Intelligence) 技術による匠の経験・ノウハウのソフト化、である。このシステムを中核となって支えているのが見える化されたデータも含めたビッグデータである。従来よりもはるかに広範囲をカバーする予測制御は系全体の同時制御による安定化を実現し、さらに最適化や予知保全も可能にした。上のプロセス変動の図に安定化制御の結果水分量の変動が小さく抑えられることや、最適化によって水分量の安定レベルが最適な範囲（下限）に収まっているようすが示されている。また、スマートコントロールシステムはお客様の日々の運用データを自動学習して進化していく。つまり、お客様のプラントに導入されたときを出発点としてさらなる進歩を遂げることになる。なお、この制御システムはモジュール単位の導入が可能で、段階的にシステム拡張できる。すなわち、お客様の運用データによる自動学習ばかりでなく、制御システムの構成もカスタマイズできる極めてフレキシビリティの高いシステムである。

さらに、スマートコントロールシステム導入によるメリットは、プラントの安定化や効率向上のみならず、薬品使用量の削減による環境問題への貢献も見逃せない。再生紙を原料とする場合、脱墨設備によるパルプの漂白が必要になる。ここで添加される漂白剤の

量は脱墨後の抄紙工程を通過する時間によって決められる。ところが、この時間には数十分から数時間のばらつきがあるために余裕を見込んで過剰投入せざるを得ない。しかし、スマートコントロールシステムには漂白剤の添加量を適切に制御するモジュールがあるので、薬品削減による環境負荷を大幅に低減できる。

スマートメンテナンス と スマートサービス

制御手法の高度化や AI 化によってプロセスの見える化が図られた結果、メンテナンスやサービスも進化が可能になった。例えば、プロセス機器に不調の兆候を見つけたとき、故障してからラインを停止する前に「先行アドバイス」して適切に対処することが可能になりトラブルによる生産への影響を小さくできるようになった。

制御プラント実機への制御システム導入やその後のメンテナンスやサービスにあたっては、お客さまそれぞれの国や地域、製品のグレードによって異なる操業ノウハウや運転経験をスマートコントロール、スマートメンテナンスそれぞれのシステムに組み込み、カスタマイズする必要がある。スマートサービスによるこれらの調整やオンサイト・サービスは株式会社 IHI フォイトペーパーテクノロジー (VPIT) のようなローカルサプライヤーが長年築いてきたお客さまとの信頼関係があるからこそ成立している。

以上、Papermaking 4.0 の考え方を紹介した。以下に具体的な製品の構成を概説する。

Papermaking 4.0

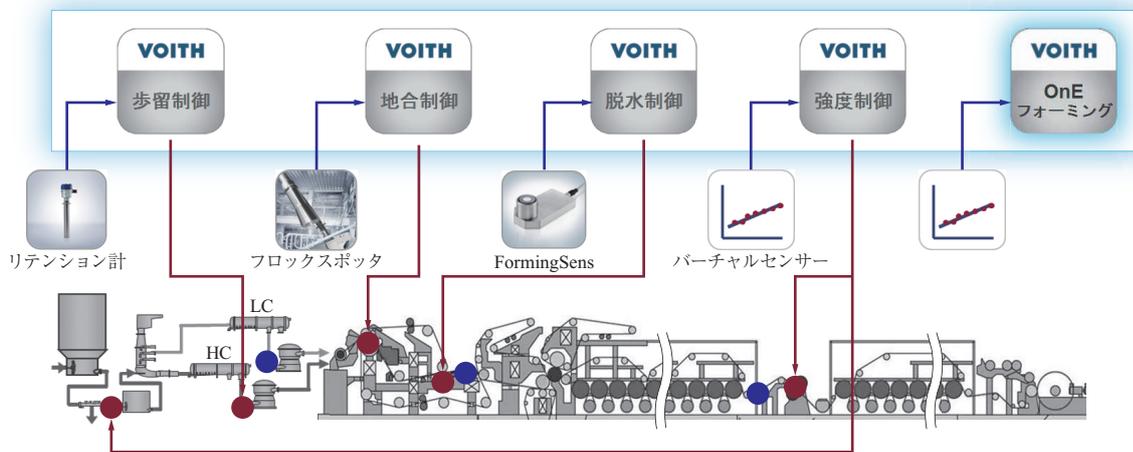
Papermaking 4.0 は、スマートコントロールの OnEfficiency (OnE)、スマートメンテナンスの OnCare という二つのソフトウェアとそれらを実現させるためのスマートサービスから構成される。

OnE は、ビッグデータ解析を利用した自律分散型制御モジュールで、見える化 (Visualize)・安定化 (Stabilize)・最適化 (Optimize)・維持 (Preserve) の 4 段階 (V・S・O・P) でプロセスのスマート制御を実現する。ビッグデータを有する既設の他社製システムを流用しつつ、Voith が開発した専用センサーや専用アクチュエータを導入して、設備の最高性能を長期間維持する。

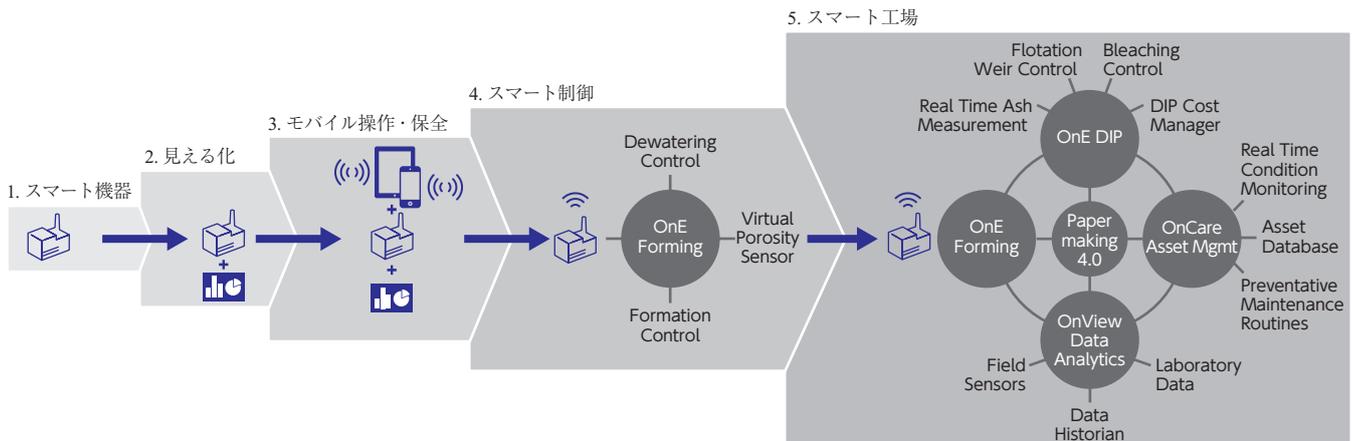
OnCare は、状態監視システムによる予知保全システムと、保全管理コンピュータシステムによるスマート保全管理システムから成る。OnE を含めたシステム間で連携したビッグデータ分析による高性能な自己診断機能が、設備の異常情報・対応方法を携帯端末へ自動配信することで迅速な不具合対応を可能にし、定期保全計画から予備品・消耗品管理までコンピュータが日常の保全作業をサポートする。

スマートサービスは、データ分析や設備診断・プロセス最適化などの現地サービスに加えて、緊急時にはインターネットを利用したリモート接続サービスにより、VPIT の専門技術者が納入設備のトラブルシューティングや性能維持をサポートする。

従来のシステムと差別化される重要な要素は、



制御システム OnE の構成モジュールとセンサー



モジュール化とシステム拡張性

① 高度なモジュール方式 ② 段階的な更新アプローチ方式 ③ 生産運転と保全作業の調和によって、生産コスト削減や品質の安定・向上を実現し、すぐに効果を実感できることである。

モジュールの導入ステップ

国内市場は低迷した状態が続いているため設備投資の予算も限られている。まずは、数多くの実績のある水分計 **FormingSens** を導入してワイヤパート（脱水工程）出口の水管理をオンラインで見える化する。専用ソフトウェアプラットフォームにリアルタイムでのデータ分析を実現するインテリジェント分析機能モジュールを追加して、**OnE Cockpit** と呼ぶスマート製品を第2ステップで導入する。これは埋もれているプロセスデータの見える化に加えて、将来プラント内に発生する事象を事前に予知できる。無線通信を利用して携帯端末での操作や保全を実現するステップは同時でも構わない。次に、**FormingSens** を使用した脱水制御や地合（紙繊維の分布状態）制御、ビッグデータ解析で実現したバーチャルセンサーと組み合わせることにより、リアルタイム（オンライン）での品質管理・制御が可能となる **OnE Forming** を導入する。段階的に制御モジュールを追加することで、さらに品質向上・生産性向上・コスト削減が達成できる。スマートメンテナンスの製品との連携も可能で、生産と保全の両方で統合的な運用、つまりスマート工場の実現が期待できる。

今後の展開

Papermaking 4.0 のコンセプトを実現できるのは、製紙プラントの計装技術のみならず機械制御やプロセス全体の技術をカバーしている **VPIT** ならではの自信と自負している。今後は実機の稼働データを学習した新しいスマート制御モジュールを計画的にリリースする予定である。単なる設備装置メーカーではなくライフサイクルパートナーとして、抄紙つまり **Papermaking** のノウハウをソフトウェアとサービスに反映させた最新コンセプトをベースにして、お客様の豊富な経験もシステムにカスタマイズしていくことで、紙パルプ産業の将来に確実な価値を提供できるよう開発・支援を継続していく所存である。

問い合わせ先

株式会社 IHI フォイトペーパーテクノロジー
 営業本部
 電話 (03) 6221 - 3103
 URL : www.voithihi.com/