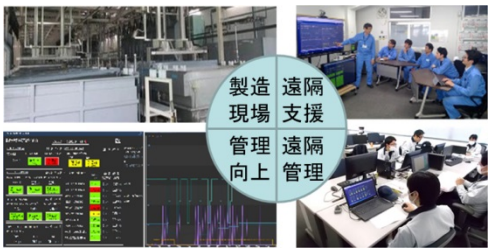
航空機部品 表面処理スマートファクトリー化

Smart Factory Solution for Surface Treatment of Aircraft Parts



担当窓口
民間機セグメント
エアロストラクチャー事業部
生産技術部 部品生産技術課

総合研究所 サービス技術部

航空機部品の表面処理では，製造プロセスにおける処理性能，品質保持のため種々の管理パラメータに基準値を設け管理を行っているが，基準値の設定には，知識と経験による処理技術と処理液濃度管理に必要な熟練した化学分析技術，及び処理技術と処理液濃度管理から生まれる処理性能管理能力が必要であり，従来，これら技術を保有した熟練技術者が必要となっていた。一方，熟練者の高齢化による技術者の減少により，今後のプラント運用のための技術伝承と安定した部品生産に懸念がある。

以上の背景より，当社は，熟練した人材に依存せず，適切な処理性能と処理液濃度管理をタイムリーに実現するため，特殊表面処理液溶液のオンライン分析装置の開発を行い，連続的に得られた処理液濃度をWeb 上で遠隔監視（モニタリング）ができ，時系列分析が可能なIoT システムを搭載した革新的表面処理管理技術（スマートファクトリー化）を構築した。

本報では，スマートファクトリーの適用事例を紹介する。

1. 航空機部品 表面処理の特徴と課題

航空機は，過酷な環境条件下（-50℃～250℃，0.2～1.0 気圧）で数十年使用されるため，航空機部品の表面処理には，高い耐食性を満たす必要があり，厳しい管理基準が課されている。耐食性の評価は，製品では確認できないため，表面処理の液成分濃度や温度・時間などの間接的なパラメータで製造プロセスを管理して品質を保証している。

しかし，現状の製造プロセス管理では，処理液成分濃度及び耐食性試験片作成から試験結果取得までに数日～数週間を要しており，品質異常の検出遅れにより，耐食性の管理基準を満たさない不適合品となった場合には，製品に使用できず，後の製造工程へ影響が発生するなどの問題を抱えている。

品質異常検出の迅速性を向上する手法として，表面処理設備に併設したオンライン分析計での液濃度管理が有効であるが，市販のオンライン（自動）分析装置では，航空機部品処理に用いる高濃度成分と不純物が混在する複雑な特殊溶液を対象とした分析への適用は困難である。

また，製造プロセス管理としてのパラメータは，それぞれ基準値で管理しているが，知識と経験による処理技術と処理液濃度管理に必要な熟練した化学分析技術，及び処理技術と処理液濃度管理から生まれる処理性能管理能力が必要であり，従来，これら技術を保有した熟練技術者が必要で，これら能力を持つ人材育成が必要となっていた。しかし，熟練者の高齢化による技術者の減少により，技術伝承と安定した部品生産に懸念がある。

更に，表面処理液の使用期限や交換頻度は，人による過去の実績や経験をもとに実施しているところが多く，データ化により，処理液管理（使用期限，交換）費用低減や産廃削減の可能性がある。

2. 技術適用プロセス

前述したような航空機部品の表面処理の特徴及び課題から，液成分を含む表面処理に関わるあらゆるプロセスパラメータをリアルタイムかつ相関分析が可能なモニタリングシステムの構築を目指した。更に，従来，熟練者の力量や過去の経験頼りになっていた表面処理液の管理について，その経験や力量を管理値設定に落とし込むとともに，管理値設定に AI を活用することで，人材に依存しない液管理システムの構築を目指した(図1)。

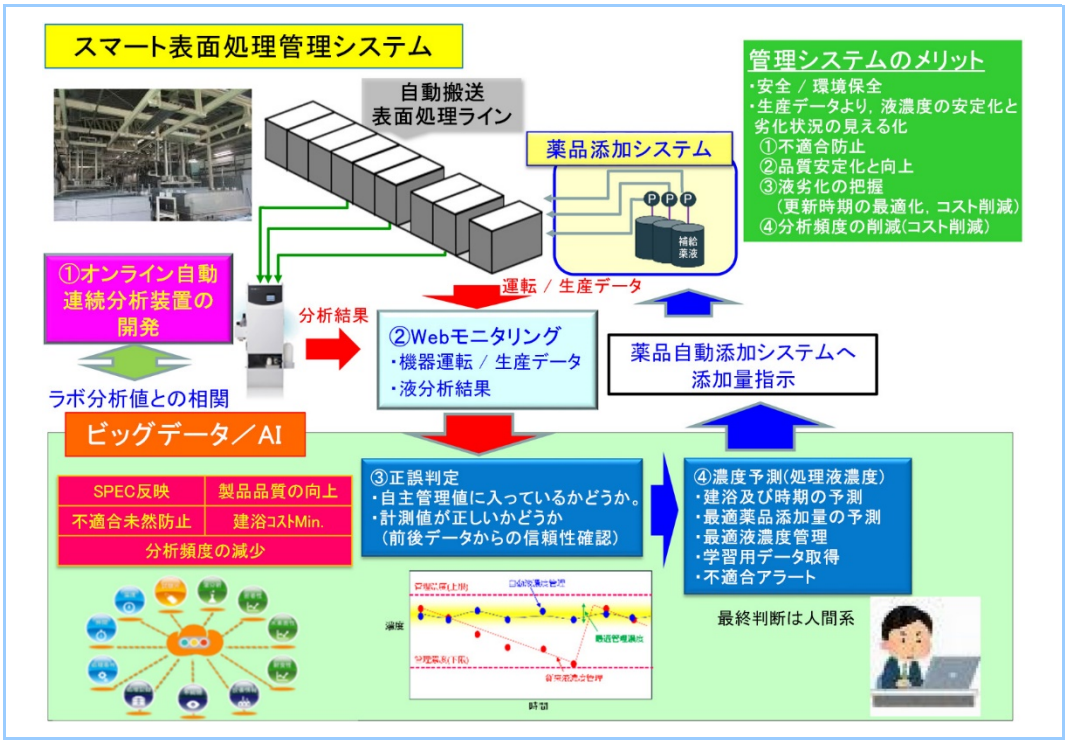


図1 スマート表面処理管理システム

具体的な適用プロセスは以下の通り。

① オンライン自動連続分析装置の開発

航空機部品で用いる高濃度成分と不純物が混在する複雑な特殊溶液は，市販の分析装置をそのまま適用できない。この問題を解決するため，液採取，希釈及び濃度検出の自動化と連続的な分析が可能な自動分析技術の開発を行い，表面処理ライン設置現場で表面処理液成分濃度をリアルタイムに濃度確認ができ，Web 上での分析結果転送による遠隔監視可能なオンライン自動連続分析計を構築した。

② プロセスパラメータのデータ化と Web モニタリング

品質安定化と処理性能の向上や表面処理液の入替え頻度設定等，表面処理液の管理を目的としてモニタリングが必要となる項目(温度，流量など)を選定し，稼働データ取得に必要なこれらセンサを設置した。センサにより取得した大量のデータを Web 上で遠隔地からリアルタイムにモニタリングでき，相関分析が可能な IoT システムを構築した。都度変化するニーズに合わせ，モニタリング画面は容易にマニュアルカスタマイズでき，高度な表面処理液の管理を可能としている。

③ ビッグデータを活用した管理の高度化

前述のオンライン自動連続分析濃度とプロセスパラメータから最適処理条件の設定が可能で，リアルタイムでの製造プロセス管理を実現したことで，異常値の迅速検出と最適な薬液濃度管理を実現している。

④ AI を活用した，人に依存しない管理の自動化の実現(今後の展開)

ビッグデータによる AI 活用の基盤を構築した。今後，AI 活用により，製造状況に応じた最適処理条件管理と液濃度予測による薬品自動添加システムの構築により，最適な液管理と処理性能の向上の実現を目指すことで，人に依存しない革新的な製造プロセス管理への移行を推進する。

3. 表面処理管理システムの紹介

構築した表面処理管理システムを，同様の課題を抱える遠隔パートナー（共同出資会社）の自動表面処理ラインに導入，生産に適用した事例を紹介する。

オンライン自動連続分析装置の適用は，品質不適合発生時の影響範囲の大きさ，深刻度及び発生頻度が高いことなどを考慮し，表1に示す処理液種，液成分を選定し分析対象とした。同表の“分析間隔”は，処理液を自動採取してから分析結果を取得するまでの最短時間を示したもので，本時間が短いほど製造プロセス管理へのフィードバックを迅速に実施することが可能となる。

表1 オンライン自動連続分析装置の開発対象

対象液	対象成分項目	分析間隔	
		従来	システム導入後
供給水（純水）	シリカ	10 日間程度	45 分/回
水洗水	pH	10 日間程度	1時間/回
水洗水	電気伝導度	10 日間程度	1時間/回
水洗水	6価クロム	10 日間程度	2時間/回
水洗水	3価クロム	10 日間程度	2時間/回
水洗水	硝酸	10 日間程度	2時間/回
陽極酸化処理液	硼酸	10 日間程度	10 分/回
陽極酸化処理液	硫酸	10 日間程度	10 分/回
アルカリ洗浄液	アルカリ度	10 日間程度	3時間/回

図2の通り，処理液濃度の確認に従来10日間要していたが，オンライン自動連続分析装置の導入によって数秒から数十分で分析値の確認が可能となり，また，現場で濃度確認ができることから，生産により刻々と変化する液性状の見える化を実現できた。図3に示すように，自動連続分析装置導入により，短時間間隔のデータ取得が可能になったことで，分析精度の向上，異常検知時の原因分析を迅速かつ容易にするなどの成果が得られている。

次に，実際のモニタリング画面について紹介する。図4は，各処理液における液成分濃度をオンライン自動連続分析装置で分析した結果をリアルタイムに表示した画面である。表示される分析値は，分析装置より送信される最新の分析値となっており，結果検出後自動更新される。数値の枠色は管理状態を示しており，Green/Yellow/Red が管理範囲内/限界付近/管理値超過を表し，現在の表面処理液の状態を一目で確認することが可能である。

図5は，水洗槽の水質と運転状態を表したもので，横軸に時間，縦軸に電気伝導度（水洗槽の汚染度を評価するための一つの指標）と給水流量及び製品処理タイミングをプロットしたグラフである。このように複数のプロセスパラメータを時系列で評価することで，例えば，水洗槽を正常な状態に維持するために十分な給水流量か，または，過剰に給水していないかといった判断ができる。更に，処理性能の維持と向上を図るための処理槽の運転，濃度管理についての条件検討と評価が，必要最小限のコストを考慮して可能となった。

以上，紹介した表面処理液管理システムの導入によって，次の成果を見込むことができる。

①タイムリーな処理液管理を実現し，不適合品の発生や後の製造工程への影響を低減することが可能。

②様々なプロセスパラメータ（生産情報や設備情報，液成分分析結果）をタイムリーに取り込むことで，最適処理条件管理による生産安定化と，処理液の使用期間（寿命）予測によるコスト削減

(製造コスト 10%減)を実現し，無駄な廃液・廃水を最小限とすることで SDGs 達成にも貢献。

③管理水準の定量化により技術伝承の困難さ，経験豊かな人材の退職による生産影響を解消。

④新規表面処理拠点立ち上げの際の遠隔地表面処理液管理実現による垂直安定生産立ち上げに大きく寄与。

⑤現地にスキルを有した人材が不在でも遠隔地からのオンライン管理／技術支援が可能。

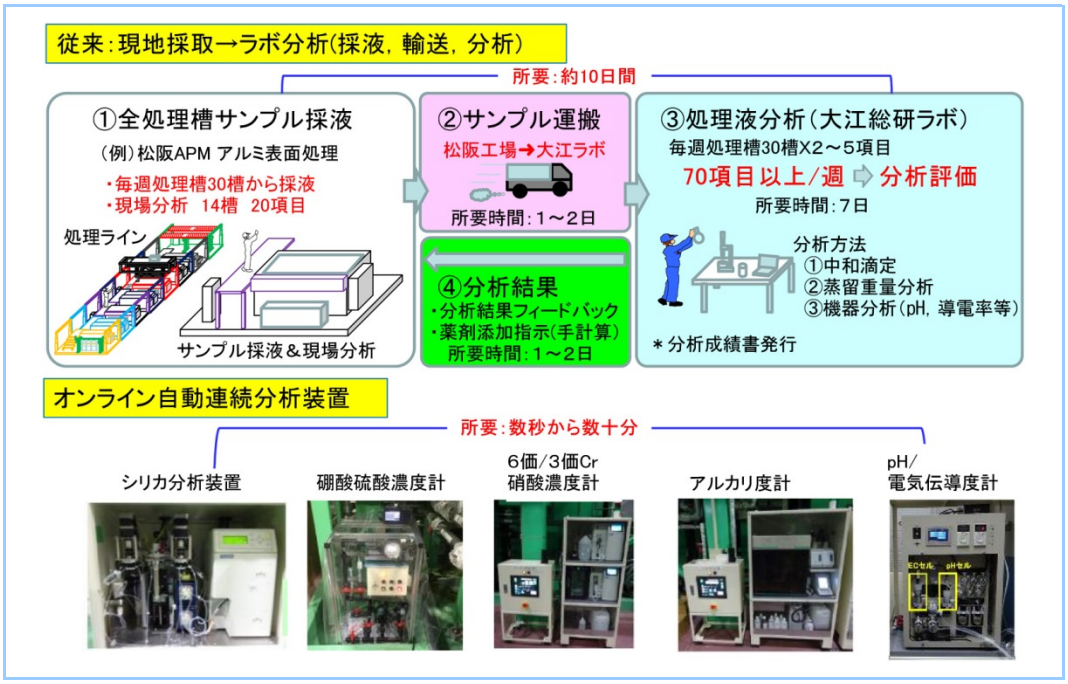
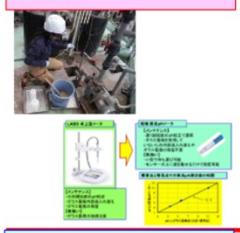


図2 オンライン自動連続分析装置開発成果①



	採液	分析値	異常値検知	メンテナンス	その他
Before	ポリビンに採取し輸送することで，容器付着物や空気中不純物が試料に混入する。(特に，純水のpH，電気伝導率分析で影響大)	サンプリング時の瞬時値となるため，採液のタイミングでは，淀み等の影響を受けた場合には液性状を正しく評価できない。	採液後，約10日後に濃度が判明するため，この間の製品に影響が出る。また，異常値が，採液方法，処理液またはその他の原因かの確認が時間を経過しており困難。	計器の校正に専門知識が必要。	-
After	オンラインで分析装置に採液することで，試料採取容器，環境雰囲気中の不純物の混入がない。	数秒～数十分毎の分析値を検出可能。データ解析により，異常値の棄却や平均値を用いることで液性状を評価できる。	数秒～数十分程度で判明。現場で，その時の値が確認できるため，異常値かどうかの判定が迅速にできる。また，液濃度の傾向が現場で容易に把握できる。	分析装置に自動校正機能搭載 薬液補給 数回/年 オーバーホール 1回/年	・連続で自動分析が行えるため，水質，処理液質の不良が発生した場合には現場で確認が可能 ・建浴時に現場で濃度確認可能

図3 オンライン自動連続分析装置開発成果②

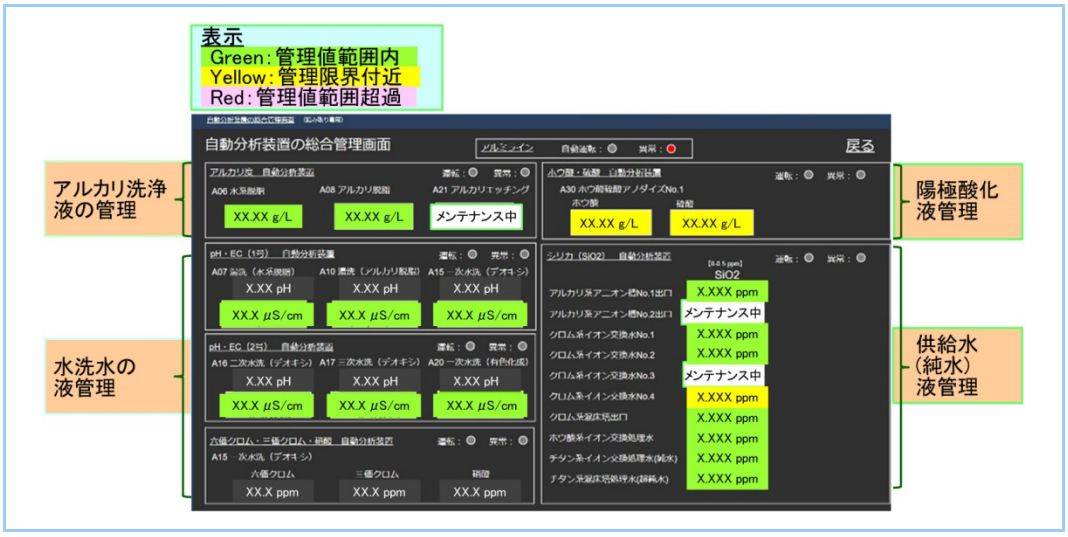


図4 オンライン自動連続分析値 モニタリング画面

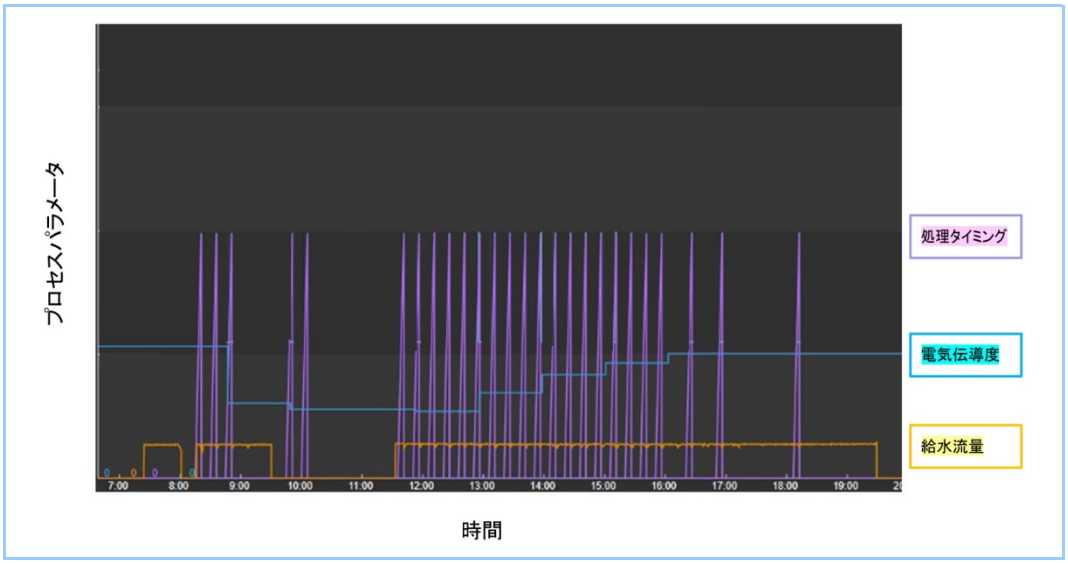


図5 水洗槽モニタリング画面（相関分析）

4. 今後の展開

現在は，熟練者の経験や力量を管理値設定に落とし込むことで，表面処理液管理に関する知識の定量化・共有化を進めている。今後は，ビッグデータを基にした AI 活用により，製造状況に応じた良品条件管理や液濃度予測による最適な液管理の実現を目指すことで，従来の人に依存しない製造プロセス管理への移行を目指す。