

SmartPapyrus[®]1.0が提供するサービスと 進化する機能について

坂田 人丸

(株)メンテック 富士事業所 開発一課

Services and Evolving Functions Offered by SmartPapyrus[®]1.0

Hitomaru Sakata

Technology Development Team, Fuji Technology Development Center, MAINTECH CO., LTD.

ABSTRACT

Maintech has been providing paper machines with Dryer Section Passivation technology (chemical application combined with chemical product, equipment, and application methods) for over 30 years to prevent defect/sheet break due to dryer section depositions. As of July 2022, the number of applications being operated over the world has topped 800 units. In recent years, the number of problems caused by machine deposits has been increasing due to the worsening of the raw material of pulp situation. In addition, it is becoming increasingly difficult to respond to machine dirt deposits in a timely and appropriate manner due to the decrease in the working population at production sites and the retirement of experienced employees. To address this issue, we are developing “SmartPapyrus[®]”, a system to prevent defects and sheet breaks by visualizing machine dirt deposits using IoT, analyzing it using artificial intelligence, and using machine dirt deposit prevention technology. For this reason, we developed SmartPapyrus[®]1.0, a system that uses AI to automatically classify images of defects. SmartPapyrus[®]1.0 makes it possible to determine in real-time when and how many defects have occurred.

As a result, the necessity and effectiveness of countermeasures can be quantitatively confirmed. In this report, we will introduce SmartPapyrus[®]1.0 and discuss some examples of its use.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep learning, Image classification, Internet of Things, Web Inspection System, SmartPapyrus[®], Defect, Sheet break

1. はじめに

古紙を主原料として使用する板紙マシンにおいて、マシン汚れによる欠点・断紙は最大の問題であり、マシンのピッチ汚れを防止して生産性を維持することは製造現場における重要な課題の1つとなっている。当社は1980年代より、汚れ防止薬品と薬品散布装置を用いたドライパート汚れ防止技術（DSP：Dryer Section Passivation）を開発、世界の製紙会社に提供しており、2022年11月現在、11の国・地域のマシン252台で約800のアプリケーションが稼働している。その普及率は、日本国内では板紙の95%、段ボール原紙では99%、アジアで

も半分以上（いずれも生産量換算）である。また、2020年以降は欧州・北米での採用も急速に進んでいる。

近年、国内では古紙利用率の向上や原料事情の悪化にともなう原料の品質低下でマシン汚れによるトラブルが増加しているが、他方、段ボール工場からの原紙に対する品質要求は一段と厳しくなっており、最終巻取製品における継手率の低減は製造現場の大きな課題となっている。さらには、労働人口の減少、熟練者の退職により、製造現場ではマシン汚れに対するタイムリーかつ適切な対応がますます困難となりつつある。

こうした課題に対して当社はマシンの汚れをIoTで見える化、AIを用いて欠

点・断紙の予兆解析を行い、マシン汚れ防止技術を用いて欠点・断紙を未然に防止するシステム“SmartPapyrus[®]”を開発した。その第1弾では、カンバスの汚れ状態の可視化技術“SmartDepo[®]”を実用化し、カンバスの汚れ状態に応じた薬品調整、カンバス洗浄装置である“FabriKeeper[®]”との連動によるカンバス汚れの抑制が実現している。しかし一方で、カンバス汚れと欠点検出器で検出される欠点との直接的因果関係は不明であり、対策の有効性を定量的に把握することが困難であった。

そこで当社は、AI（ディープラーニング）を用いた欠点画像の自動分類を現場の熟練オペレーターと同じ精度で瞬時に



図1 欠点発生時の対応課題

行うシステム SmartPapyrus®1.0 を開発した。本システムでは「いつ、どのような欠点が発生し、その欠点は原質工程またはマシンのどのパートで発生したのか?」をリアルタイムに分析・統計処理することで、マシンオペレーターが対策の必要性を確認でき、その対策の効果を定量的かつタイムリーに確認することが可能である。

本報告では欠点分類システムの紹介と、本システムの現場での活用事例について紹介する。

2. SmartPapyrus®の開発構想

2-1. 現場の抱える課題

マシンにおいて欠点が発生した際には、マシンオペレーターが欠点の大きさ、形状、紙へのピッチ埋もれ具合から、過去の経験、ノウハウを頼りに欠点発生箇所を推定し対策を講じる場合が多く、原因の同定や対策の精度はオペレーターの技能と経験に大きく依存している。また、欠点形状で発生箇所を特定できない場合は、高温・高湿のフード内に立ち入って汚れ状況を確認するケースもあり、いったん発生した欠点は時間とともに増加するため、全長100mを超えるマシンにおいて、長い距離を行き来して原因調査を行ったうえで対策を打つ必要があり、これらの作業は製造現場の大きな負担に

なっている。

さらに欠点対策を実施したとしても、欠点発生箇所の推察が間違っていた場合は欠点数の増加を止められず損紙が発生し、ひいては断紙につながって生産性が低下してしまう。すなわち、欠点の発生箇所と原因となる汚れの同定は生産性を維持・向上するうえで重要な課題の1つと言える(図1)。

2-2. SmartPapyrus®開発コンセプト

上記の課題に対して、当社では欠点原因の特定を行い薬品添加や洗浄など対策を行うため、欠点検出機から得られる欠点データやマシンの状態や抄造条件などの情報をビッグデータとして解析し、AIによる欠点の事前予知を行って適切な欠点対策をオペレーターに提示するシステム SmartPapyrus®を開発した。

SmartPapyrus®のシステム構成を図2に示す。欠点の原因となるマシン汚れなどの見える化を行う「人間の目」にあたる部分を SmartDepo®, 薬品やクリーナーによる汚れ防止・洗浄対策を行う「人間の手」にあたる部分を「SmartChemical®」と呼んでいる。システムの中核、すなわち「人間の脳」にあたる SmartPapyrus®では、SmartDepo.®やDCSに収集されているマシンの抄造条件から得られたデータをもとに適切な防止対策をオペレーターに提示し、その判断をベースに

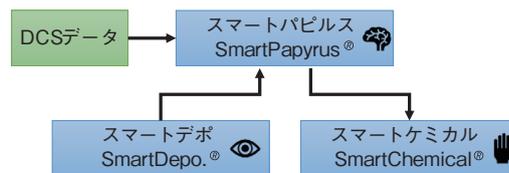


図2 SmartPapyrus®のコンセプト

欠点の原因である汚れを洗浄・抑制する対策として、SmartChemical®を介して汚れ防止薬品の増減添やクリーナーの洗浄水圧の増減などを指示する機能を有している。

3. SmartPapyrus®1.0「欠点分類システム」の開発

3-1. 開発の背景

SmartPapyrus®の開発初期においては、SmartDepo.®によるカンバス汚れの情報と欠点検出器 (Web Inspection System: 以下 WIS) の情報から欠点の原因となっているカンバス汚れを特定し、汚れ防止薬品やカンバス洗浄装置で対策することを考えていた。しかし、実際の WIS による欠点分類では、サイズ、明度、真円度などのデジタルパラメータにしきい値を設定する分類はできるものの、ドクター刃裏、カンバスピッチ、抄込みなど欠点の発生源に基づく分類ができていないことがわかった。また、分類機能を有している機種の場合であっても、設定が煩雑であり、オペレーターが分類作業に多くの時間を要するため顧客が有効に利用することが難しかった。

この点について現場の熟練オペレーターからのヒアリングを行うなかで、継手欠点が増加した際、オペレーターは長年の経験から WIS の欠点画像や継手欠点の実物を確認し、対象となる欠点のマシンのどこで発生したかを特定するノウハウを熟知しており、その判断に基づいて対策を講じていることがわかった。さらには、WIS は継手サイズ以下の微小欠

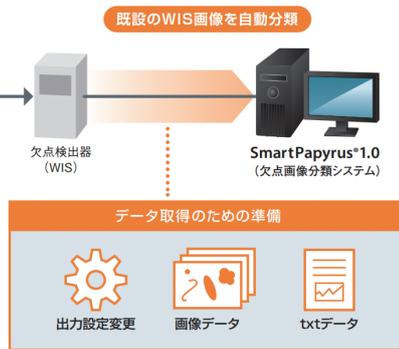
SmartPapyrus®1.0 システムイメージ

発生する欠点をAIが分類・判断

従来は、継手欠点のサンプルを採取し、一直または一日ごとに熟練オペレーターが長年のカンや経験を頼りに発生パート別に分類して報告していました。オペレーターに代わり、各種ごとに欠点を分類するので、リアルタイムの状況把握(欠点発生原因の見える化)が可能です。



図3 SmartPapyrus®1.0のシステム構成



3-3. SmartPapyrus®1.0が提供するサービス

図4に示すように、一般的なAIのシステムはいくつかのステップを経て利用が可能となる。SmartPapyrus®1.0の導入にあたっては、通常、以下に示す項目を実施する必要がある。

- ・WISデータの取得インターフェイスや表1に示すようなGUI (ユーザーインターフェイス) 機能の要件定義を行う
- ・マシンのWISから得られた数万点の欠点画像データをCNNに読み込めるように正規化する (Data Normalization)
- ・虫欠点など画像データが少ない場合には、精度を高めるためにデータ数を水増しする (Data Augmentation)
- ・知見が少なく、人が判断できないデータの取扱いを確率で表示する
- ・得られた精度が低い場合には、CNNの中間層のユニット数などのハイパーパラメータを最適化する

本システムを導入するにあたって、顧客はこれらの煩わしい対応を行う必要がなくワンストップで利用を開始することができる。また、利用開始後は、

- ・原料の状態や季節ごとの変化に対してAIモデルの精度を定期的にチェックし必要に応じて再学習を行う
 - ・工場やマシンの管理で必要となる分析機能やレポート作成機能も定期的に加していく
- など、顧客の利用状況や活用状況に応じて定期的にメンテナンスやアップデートを行う必要があるため、当社ではSaaS (Software as a Service) の利用サービスとして提供している。

4. SmartPapyrus®1.0の機能紹介

4-1. SmartPapyrus®1.0の基本機能

リリース当初から実装されているSmartPapyrus®1.0の基本機能について表1に示す。AIによる熟練者と同じ判断を行い、見える化、傾向監視、分析がで

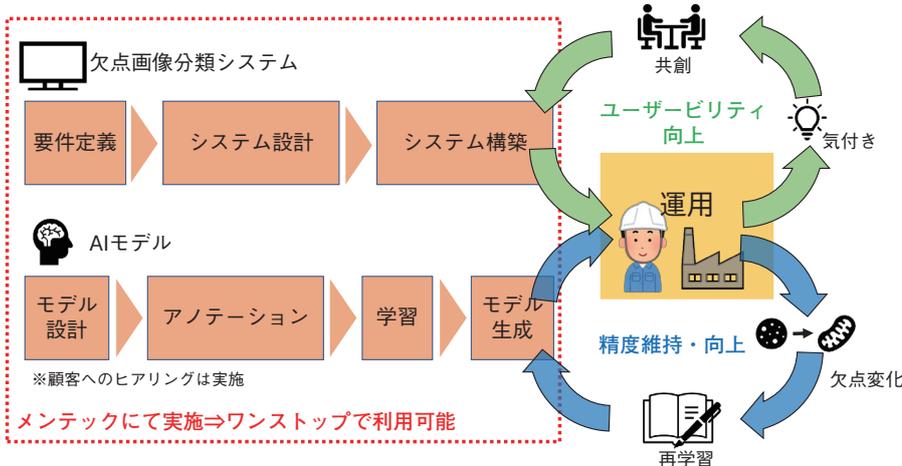


図4 SmartPapyrus®1.0が提供するサービス

表1 SmartPapyrus®1.0の機能一覧

| No. | 機能 | 特徴 |
|-----|-------------------|--|
| ① | WISとのデータ連携 | 既設WISを更新する必要なく利用が可能 |
| ② | AIによる欠点画像の分類 | リアルタイムに高い精度での分類が可能 |
| ③ | 継手サイズ以下の欠点の画像分類 | 中欠点 (ライナーでは2mm以上) の傾向を確認することで継手発生前の傾向監視が可能 |
| ④ | トレンドグラフによる欠点の傾向監視 | 欠点の増減を視覚的に把握することが可能 |
| ⑤ | 前枠との欠点数比較 | 前枠と比較して欠点の増減を確認することが可能 |
| ⑥ | 幅方向の欠点分布確認 | 欠点種別ごとの幅方向の分布把握が可能 |
| ⑦ | 欠点種別毎の画像確認 | 確認したい欠点の画像と発生位置の確認が可能 |
| ⑧ | 欠点データ自動集計 | 毎月の欠点集計レポートの自動化が可能 |
| ⑨ | イベント前後の欠点発生状況調査 | イベント実施時の定量的な効果検証が可能 |
| ⑩ | 過去データ検索 | クレーム発生時の調査を容易に行うことが可能 |

点の画像データも取得・蓄積しており、これらの大きさや数の増加トレンドを分析すると継手欠点の発生数との間に一定の相関があることもわかってきた。

そこで当社は、この熟練オペレーターの知見や判断を再現すべく、ディープラーニングを使った欠点画像の分類システム開発に取り組み、WISから得られる継手サイズ以下の微小欠点をも含めた欠

点画像データの分類をタイムリーかつ定量的に行い、それらの増減トレンドを把握できるシステムを開発した。

3-2. SmartPapyrus®1.0システム構成

SmartPapyrus®1.0のシステム構成について図3に示す。SmartPapyrus®1.0は既設のWISと接続するだけで運用でき、大がかりなシステム更新などを行わなくても利用が可能となる。

きる機能を有している。

これらの機能を活用することで、熟練者と同じ判断をAIが24時間365日同じ精度で分類することが可能となり、中欠点を含む分類種別ごとの傾向監視を行うことで継手欠点発生前の対策につながる。また、分析機能を活用することで長期間の傾向や幅方向での発生箇所を把握できるため、重点対策を行うべき欠点種を決定に利用することで、対策のための設備や作業の検討が可能となる。さらに、抄紙用具、薬品などの変更前後の欠点発生状況の比較を定量的に判断可能となり、機器や用具、薬品の導入効果の見極めを行うこともできる。

以下、実際に本機能を活用した実機での活用事例について紹介する。

(1) 欠点対策の定量的な評価

当該工場では、SmartPapyrus®1.0を導入した直後の抄出しから紙の表面に小さな欠点が多発していたが、抄紙機のどこが原因で発生しているかは明確ではなかった。

そのため、いくつかの対策を実施して本システムのトレンドグラフで示しているAIで分類したウェットパート由来の欠点の発生推移で評価することで、実施した対策の効果を確認できた(図5)。

従来はWISから出力される欠点データから「人力で」特定の欠点のみを分類して発生数を集計しなければならず、結果を得るまでに一定の時間を要し、その後には効果を評価していたが、これをシステムで自動化・リアルタイム化したことにより、定量データをもとに対策の有効性をスピーディーに評価できるようになった。

また、定量データで都度対策の効果を評価できるため、これまでの熟練者の経験則に頼った操業判断から、ある基準に達した時点で所定の対処を実行するといった形式知として整理でき、誰もが均質な操業判断を実施できるようになると

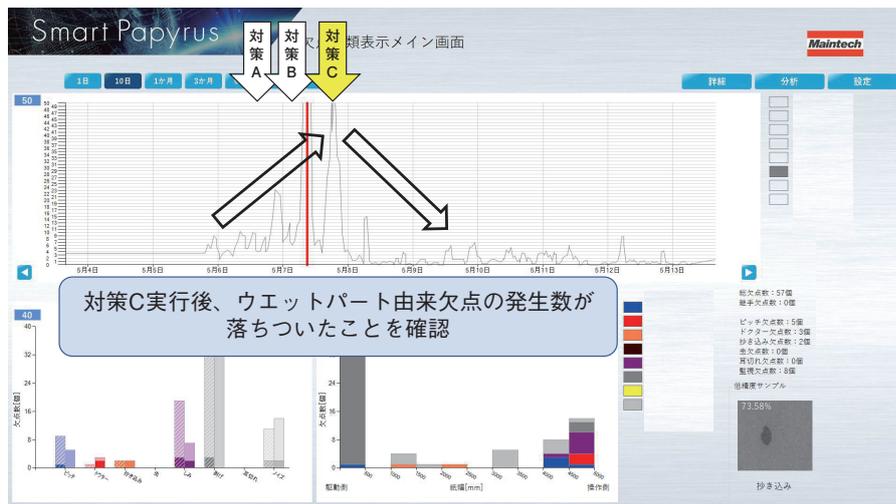


図5 定量データを用いた対策評価



図6 クレーム対象欠点の検索

考えている。

(2) クレーム対応のための特定欠点の検索

当該工場では、出荷した巻取製品への欠点クレームをユーザーから受け取った際、対象の欠点データの発生範囲を確認する必要があった。

WISから出力される紙ベースのレポートを確認したところ、レポートには画像として記録されていない欠点であり、バックアップ用として保存されている微小欠点も含んだ大量の欠点画像データから特定情報を採り出すために多大の時間を要していた。そこでSmartPapyrus®1.0を導入し、本システムの「過去データ検索機能」を利用するで、早期に特定の欠点データを探ることができた(図6)。

このように、本システムはWISから出力されるすべての欠点データに対して分

類を実施してデータベースに保存しているため、不意のクレームにも即座に対応可能である。

4-2. 実機適用後の改良

SmartPapyrus®1.0はこれまでに試運用含めて5台のマシンで適用され、実機において使用するなかで、改善点や想定外の課題が浮上してきた。本システムは前述のとおりSaaSでのサービス提供であり、リリース時の状態を使い続けるのではなく無償アップデートによる改善を実施している。

表2に、リリース後から2022年11月現在までに行った改良の内容について示す。また、以下に実機への適用によって気づいた事象や顧客の意見をもとに改良・追加を行った重複欠点削除機能、日付変更タイミングの調整機能について紹介する。

表2 SmartPapyrus®1.0の追加機能

| No. | 機能 | 特徴 | 搭載理由 |
|-----|--------------|-------------------------------|--|
| ① | 重複欠点の削除 | 欠点検出器がダブって取得した欠点を自動的に削除する | 欠点検出器上で同じ欠点をダブって取得するケースがあり、集計上の誤差となるため削除する機能を追加 |
| ② | グラフ縦軸の自動調整 | グラフの縦軸目盛りを自動調整ではなく手動調整するように変更 | 前後枠の比較する上で縦軸の目盛りが固定値の方が比較しやすいため手動調整に変更 |
| ③ | 日付変更タイミングの調整 | 1日の開始時間と終了時間を変更することができる | 欠点検出器の日付変更時間を交代制の朝番の時間に合わせて工場があり、当社システムとの時間のずれが生じたため |
| ④ | 不要枠削除 | 紙替え後の初回枠を削除する機能を追加 | 紙替え直後の損紙にする枠も欠点情報を取得しており傾向監視上のノイズとなっていたため削除機能を追加 |
| ⑤ | 座標表示修正 | 欠点発生位置表示変更 | 欠点の発生位置を(X, Y)表示から幅方向Xと流れ方向Yと明記することで視認性を向上 |

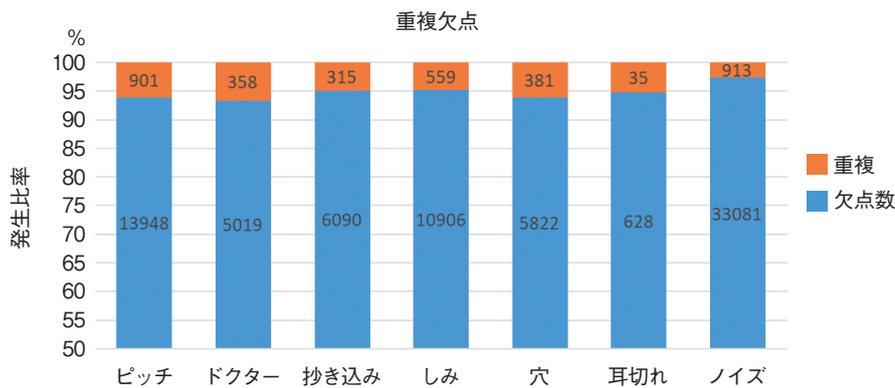


図7 重複欠点の発生状況

(1) 重複欠点削除機能の追加

〔背景〕

通常、欠点検出器ではルールベースに則ってシート上の欠点を検出している。検出するためのルールには複数の設定を持たせており、1つの欠点が2つのルールに当てはまった場合は同一欠点であってもルールごとに異なる欠点として検出するケースがある。また、幅方向に設置されたカメラ間の中央で発生した欠点については、それぞれのカメラで同一欠点を別欠点として検出する場合があることもわかった。異常品の流出を抑制することが目的の欠点検出器であれば大きな問題にはならないが、当社のシステムは傾向監視と集計機能を有しているため、重複した欠点がノイズ源となってしまうことが判明した。

今回、実機適用した工場で3ヵ月間に発生したの重複欠点の数を確認したとこ

ろ、中欠点を含めた全欠点数約7万9,000個に対して重複欠点の数は約3,500個と全体の4.4%に及んでおり、無視できない数の重複欠点が発生していた(図7)。

〔追加機能〕

欠点の座標情報をもとに、重複欠点を自動的に削除する機能を追加で搭載した。対象とする座標の設定はマシンごとに可変でき、機能の有効化と設定値のカスタマイズができるように設計している。

〔実機適用結果〕

適用した工場ではドクター由来欠点の発生数に基づいて対策を検討していたが、重複欠点が発生しているため、都度画像を確認したうえで発生数を数える必要があった。しかしソフトウェアのアップデート後は重複欠点が除去されたことで数値のみでの判断を行うことができるようになり、利便性の向上につながったとの評価を頂いている(図8)。

(2) 日付変更タイミングの調整機能の追加

〔背景〕

SmartPapyrus®1.0を実機適用した翌日に経過確認を行ったところ、欠点推移を確認するトレンドグラフにおいて、朝のデータが1日前のデータとして出力されていることを確認した。調査を行った結果、交代制のスタートである朝6時を起点に欠点検出器の日付を更新しており、0時から6時までのデータは1日前の日付で欠点検出器から出力されていたことが判明(図9)。この時間のズレによって時系列が前後逆転してしまい、トレンドグラフによる傾向監視ができない状態になっていた。対策を工場と協議した結果、欠点検出器側の変更を行うと工場の運用を変える必要が出てくるためSmartPapyrus®側でソフトウェア改修を行うこととした。

〔追加機能〕

指定した時間帯に対して日付を1日加えたうえで画面上に表示する機能を新たに追加することで、欠点検出器上の時間ではなく日本の標準日時に合わせる形に変更した。

〔実機適用結果〕

トレンドグラフの表示が正規の時系列に表示されるようになり、実運用上の課題を解決することができた。本来であれば欠点検出器の方の設定を変えるべきところであるが、SmartPapyrus®1.0側の改修により、これまでの工場の運用を変えることなく対応できたことに対し好評価を頂いた。

4-3. 今後のアップデート予定

表3に示すように、SmartPapyrus®1.0では今後も更なるアップデートを予定している。

一般的にシステム導入時はサンプル画面やプレゼン資料から使用方法をイメージしたうえで購入を行うが、実際に使用してみると想定と異なるケースも多分に発生しているものと思われる。当社シス

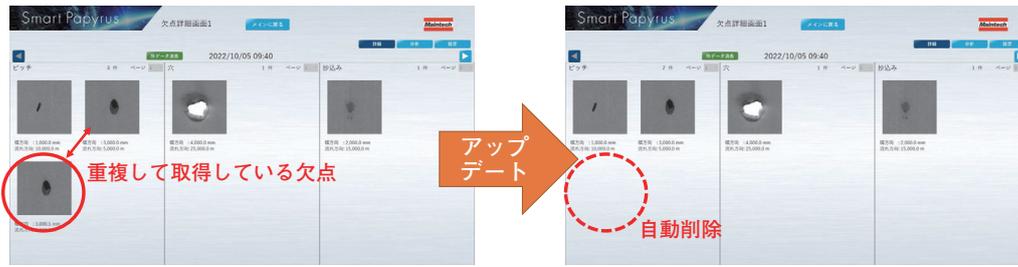


図8 重複欠点の削除

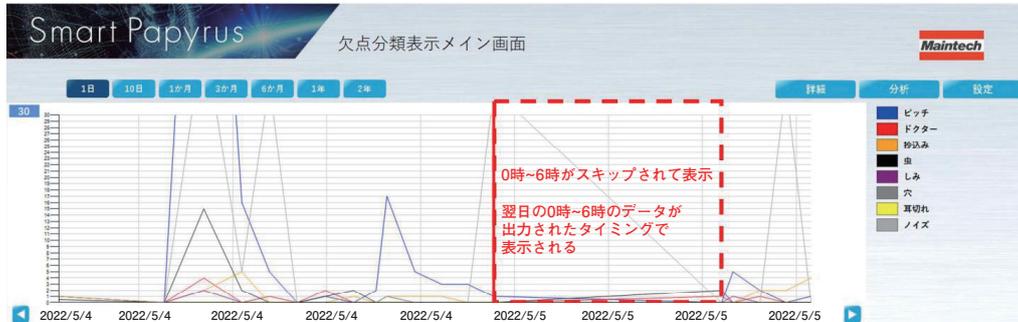


図9 欠点検出器の時間ズレによるトレンドグラフ表示状態

表3 今後実施するソフトウェアアップデート機能

| No. | 機能 | 特徴 | 搭載理由 |
|-----|---------------|---|---|
| ① | ワインダ支援 | 枠内の欠点発生箇所を視覚的に表示し、補修欠点情報をまとめることでワインダ工程を支援する | 欠点検出器で分類した欠点情報で補修対応する際に、実際の欠点を目視確認する必要があり手間となっているが、欠点種別ごとに表示することで対処すべき欠点を事前に把握できる |
| ② | データ集計の拡張 | 工場での集計と同様にするために小巻単位での欠点発生状況を集計 | 上記の機能追加にもない小巻情報入手できるため、小巻ごとの欠点集計機能を付与する |
| ③ | カタ欠点判定 | カタ欠点を検知し画面上に表示 | カタ欠点の発生を早期に発見するために機能を追加する。また、カタ欠点1回で複数の別の欠点としてカウントしており、集計上の誤差が発生しているため、カタ欠点のカテゴリを追加する |
| ④ | 密集欠点判定 | 密集欠点を検知し画面上に表示 | 密集した欠点を複数の欠点としてカウントしており、集計上の誤差が発生しているため、密集欠点のカテゴリを追加する |
| ⑤ | 銘柄フィルタリング | 欠点検出器の銘柄情報を活用して銘柄別に画面表示 | 銘柄依存の欠点増減が画面上で判別できないため、銘柄ごとにフィルタリング機能を追加する |
| ⑥ | 欠点サイズ別フィルタリング | 欠点情報を活用して欠点サイズ別に画面表示 | すべての欠点に対して傾向監視はできているが、継手サイズなどの大きさ別で表示ができないことから、ユーザビリティ向上のため欠点サイズ別のフィルタリング機能を追加する |

テムの実使用後に感じた使いにくさに対しては継続的にアップデートを行うため、購入前後のズレを解消することができ、さらには「こんなことができたなら良い」といった利便性向上に対する意見に対して前向きにアップデートを検討し、長期にわたって活用し続けて頂けるサービスの提供を行っていく。

5. まとめ

SmartPapyrus®1.0は、欠点に対する熟練者の知見や判断を再現させるディープラーニングを活用した欠点画像の分類システムである。欠点を熟練者が行う分

類と同等に傾向監視することで異常箇所の特定につなげるとともに、欠点を分類したデータを欠点分析画面で分析することで、欠点発生源の恒久対策に向けた打ち手の検討にも利用可能なシステムとなっている。

通常、メーカーは機器やシステムを販売し、その後は購入者が既存の機能だけを使って利用していく形になることが多いが、当社の場合はシステムを販売・提供して終わりではなく、システムを活用するうえでのフォローを行い、分類精度向上のためにAIモデルの見直しやソフトウェアのアップデートを行っていくこ

とで、継続的に活用してもらえるようにしている。そのため、商品の供給形態も売り切りの単価販売ではなく、サービス提供のSaaSの形態をとっている。

SaaSでは最新のソフトウェアが利用できるだけでなく、毎月の支払額が平準化できることや部品の故障時に突発の支出を抑制できることもメリットとして挙げられる。

SmartPapyrus®1.0は、これからもお客様と一緒に利便性を高めるためのソフトウェアアップデートを行い、時間が経過しても使い続けられるシステムとしてさらに進化させていく所属である。