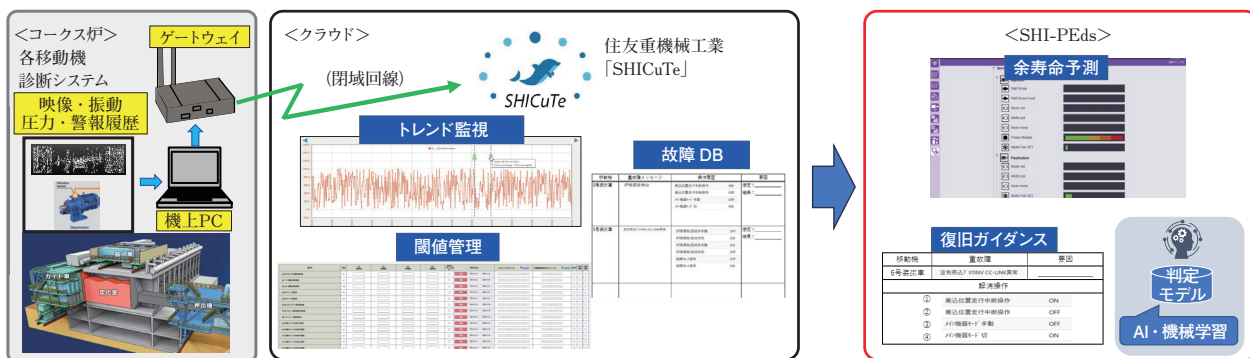


移動機診断システムの開発

Development of Process Equipment Diagnosis System

●高橋 誠* 小林 貴一* 岩朝 義典* 檜垣 明日香**
Makoto TAKAHASHI Kiichi KOBAYASHI Yoshinori IWASA Asuka HIGAKI



SHI-PEds 概要
Overview of SHI-PEds

長年、コークス炉移動機械では安定操業と設備自動化が求められてきたが、近年では製鉄各社で2050年カーボンニュートラルの実現に向け、革新的製鉄プロセス技術開発 COURSE50 を始めとする多くの環境調和を目指した技術開発が進められている。これに伴い、人員配置の最適化とさらなる効率生産体制構築が急務となっており、住友重機械プロセス機器株式会社ではコークス炉移動機械のダウンタイム削減と予防保全につながる移動機状態監視システムの開発に取り組んだ。SHICuTeプラットフォームを最大限活用するとともに、コークス炉移動機械(移動機)の短時間停止(チョコ停)分析と画像認識技術を絡めて、移動機はもちろんのこと他設備にも転用可能な状態監視システムを提供している。

For many years, stable operation and equipment automation have been required for coke oven transfer machines. Recently, steel manufacturers have been advancing the implementation of COURSE50 in the current steel manufacturing process to achieve a 30% reduction in total CO₂ emissions, aiming for carbon neutrality by 2050. Consequently, optimizing personnel allocation and establishing a more efficient production system have become urgent tasks. We have developed a transfer machine condition monitoring system that reduces downtime and contributes to preventive maintenance. By maximizing the use of the SHICuTe platform and integrating short-term stoppage (chocotei) analysis with image recognition technology, we provide a condition monitoring system applicable not only to coke oven transfer machines but also to other equipment.

1 まえがき

住友重機械プロセス機器が製造・販売している製鉄向け移動機では、長年にわたり設備の安定操業と自動化(無人化)率の向上が求められてきた。また、製鉄各社においては製鉄プロセスの効率化、経済合理性からのプロセスコストの精査と、さらなる低減への動きが顕著となっており、IoTやICT技術を活用する動きが活発となっている。

一方、移動機では、老朽化した炉体に性能や機能をすり合わせることで、差別化技術や付加価値を高めてきたが、機構や機能が複雑化しており、熟練運転員の減少も相まって不具合発生時の早期復旧や原因特定が困難になってきている。

そこで住友重機械プロセス機器では、移動機の運転状況の見える化から始まる移動機診断システムの開発に取り組んだ。顧客要望の強いチョコ停の自動帳票化を筆頭に、故障の傾向監視と予測推定、機械学習やAIによる故障の原因探求

と復旧ガイダンスの提示へと段階的なサービスを提供すべく開発を進めている。本報では、住友重機械プロセス機器のアフターサービス事業のキーとなる「移動機診断システム SHI-PEds」について紹介する。

2 開発の背景

開発のきっかけは、主要顧客から操業人員の最適化を目標に、移動機のチョコ停対策を求められたことである。開発の第1段階として自動帳票化システムと称した故障情報の見える化(LV1)から取り掛かった。並行してクラウドへの故障データ蓄積を行い、傾向管理・原因分析により操業安定化・予防保全につながるシステム確立(LV2)を進めている。こうしたニーズは顧客の各製鉄所全体に広がっている。さらなるデータ蓄積により故障要因の特定、復旧ガイダンスの提示を進め、最終的には故障自動回避システムの実現(LV3)を目指している。

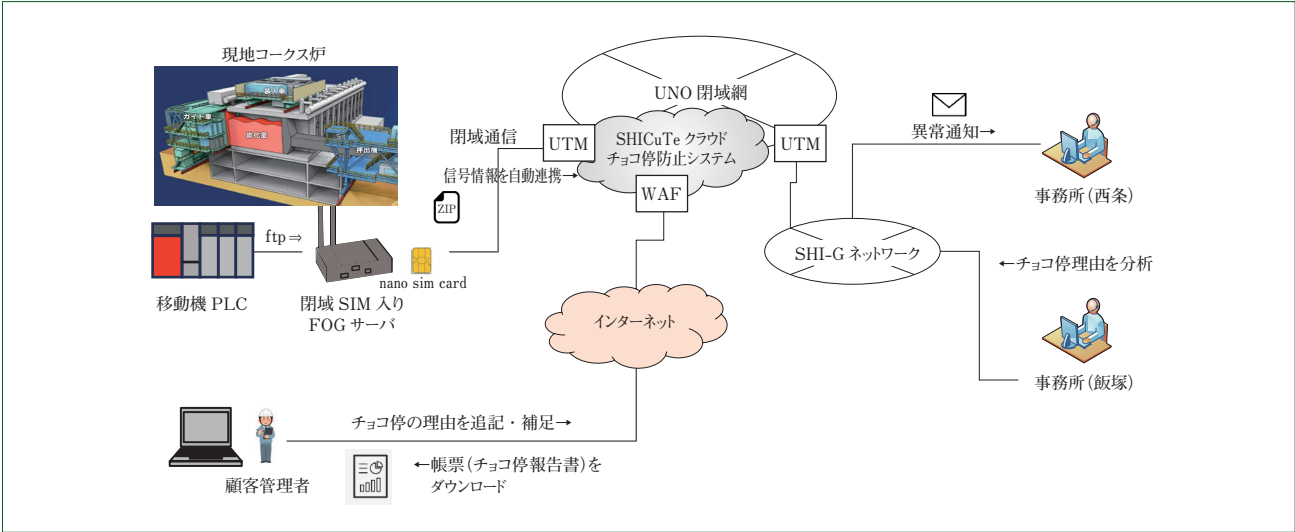


図 1 システム構成図
System configuration diagram



図 2 LV1 自動帳票化システム 帳票画面
LV1 Automated reporting system reporting screen

また、脱炭素化による移動機の減少が予測されるなかで、故障原因から設備診断やコンポーネント更新計画の提案サポートも求められている。住友重機械プロセス機器では、アフターサービスを中心とした事業の転換を図っていくうえでの差別化技術として移動機の設備診断・状態監視システムを開発し、サービスの受注拡大を図るツールとして異常情報から設備診断やコンポーネント更新計画の提案を行っている(図1)。

3 移動機診断システム

3.1 開発のステップとレベル別機能

3.1.1 LV1 自動帳票化システム

移動機では自動・無人操業を実施しているが、故障に伴うチョコ停が発生すると、そのたびに運転員が現場に駆け付け、手動で復旧操作を実施した後に再度無人操業に切り替えて対応している。また、発生したチョコ停は日報にまとめて顧客内で情報共有をしているが、その収集作業は各運転員の

操業日誌からの転記によって行われているのが実情である。

LV1では、システム導入の第1段階としてチョコ停発生時の故障履歴データを住友重機械グループ共通基盤プラットフォームSHICuTe⁽¹⁾のクラウド上に収集し、故障履歴帳票を自動的に作成する機能を搭載した。チョコ停の発生をトリガーに、警報メッセージを表示し、その故障に付随する発生年月日および時間、炉体・窯番号、移動機の号車、故障が発生した装置名をPLC(Programmable Logic Controller)にログインする。また、故障発生から復旧までに実行した操作履歴も同様に記録する。PLCからSHICuTeのクラウドに送られたそれらのデータをもとに帳票を自動作成する。日々の履歴を管理・確認できるほか、期間別や原因別などにソートできる機能も有している。帳票は月・週・日・時間別、また発生した故障ごとの回数や、復旧までに要した時間の日別・月別集計とグラフを作成することができ、日報作成に関する省力化を実現するとともに、傾向が見える化するものとなる(図2)。

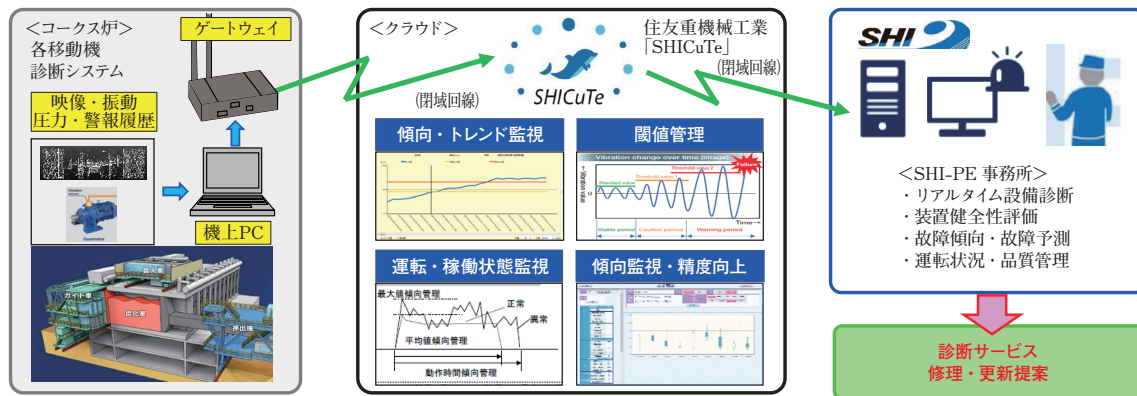


図3 LV2 機能および構成図
LV2 function and configuration diagram



図4 故障診断画面例
Example of fault diagnosis screen

自動帳票化システムの主な機能を次に示す。

(1) チョコ停履歴

トリガー：①ブロックI/L欠落 ②自動モードOFF(手動介入) ③機械停止

分類項目：①炉体・窯番別 ②移動機別 ③装置別 ④交代組別 ⑤日時別

(2) 帳票機能

表示画面、時間、回数、月別、設備、炉Noなど

3.1.2 LV2 傾向監視システム、故障予測・診断システム

LV2では、LV1で収集した故障情報に加え移動機において重要な装置(押出装置、蓋取装置、走行装置など)の各種センシングデータ(電流値、振動値など)を収集し、操業状態での変移を常時監視することで装置が故障に至る時期を予測して診断できるシステムを目指している(図3)。予測診断には機

械学習とAIを用いているが、「故障データの不足」と「学習モデルのトレーサビリティ」が懸念される。今後は顧客サイトのフィールドデータ収集のなかで検証していくが、現段階では正常データのみ学習させ、これを基準として操業情報(機器の動作状態やタイムサイクルデータ)を組み合わせた有効パラメータで、異常算出および故障予測・診断のためのアルゴリズムを設定する。このアルゴリズムはSHICuTeの標準プラットフォームをベースに開発した。

また、装置ごとに主要部品の摩耗・劣化を①使用時間、②使用回数、③消費電力、④経過時間などから定義し、部品ごとに上限を定義して注意喚起の警告を発報する仕組みも取り入れた。これにより各装置の故障前の予防保全が可能となる。このほかLV2には基本機能として、各データの状態トレンドとそれをもとにした将来の傾向予測の表示、閾値

故障要因箇所分析 画面イメージ

移動機	重故障メッセージ	操作履歴	要因
6号装炭車	炉端過走検出	乗込位置走行中断操作 ON	想定：_____
		乗込位置走行中断操作 OFF	結果：_____
		メイン機器モード 手動 OFF	
		メイン機器モード 切 ON	
6号装炭車	空気吸込ブ 07INV CC-LINK異常	炉頂掃除/回収炭手動 OFF	想定：_____
		炉頂掃除/回収炭切 ON	結果：_____
		炉頂掃除/回収炭手動 ON	
		炉頂掃除/回収炭切 OFF	
		故障リセット操作 OFF	
		故障リセット操作 ON	

※「移動機」「重故障メッセージ」「操作履歴」はそれぞれ帳票画面から転記
※「要因」の想定欄はロジックをPE（+技術研究所）で検討後、連絡

図5 故障要因分析の画面イメージ
Image of failure cause analysis

故障時操作パターン提示

移動機	重故障	要因
6号装炭車	空気吸込ブ 07INV CC-LINK異常	_____
解消操作		
①	乗込位置走行中断操作	ON
②	乗込位置走行中断操作	OFF
③	メイン機器モード 手動	OFF
④	メイン機器モード 切	ON

※「移動機」「解消操作」は故障要因分析画面の「操作履歴」から転記

図6 LV3 故障復旧ガイダンスのイメージ
Image of LV3 fault recovery guidance

の設定と管理、メンテナンスを促すアナウンス機能などを装備する(図4)。

傾向監視・故障予測・診断システムの主な機能を次に示す。

(1) 傾向監視・故障予測

主要装置の各種データトレンド、閾値管理、機械学習・AIによる故障予測診断

(2) 余寿命予測

主要部品の摩耗、劣化情報、交換推奨情報

3.1.3 LV3 故障復旧ガイダンスシステム, 故障自動回避システム

LV3ではLV1, LV2で蓄積した各種データおよび故障情報、操作履歴をクラウド上でデータベースにまとめ、運転員の復旧操作をパターン化する(図5)。そこから各故障要因と復旧操作を紐づけ、各故障要因に対する復旧ガイダンスとして運転員に提示するシステムの開発を目指している。移動機の重故障1件につき、データベースより複数の復旧方法をガイダンスし想定要因を表示する(図6)。操作員は最適と思われる復旧方法を選択し、操作を行うこととなる。さらに、この

復旧操作手順のデータベース化が進めば、運転員の習熟度に伴う復旧時間差異の平準化や故障時のダウンタイムが低減できる。提示したガイダンスの有効性や確からしさが担保されれば、将来的に運転員の操作を介さずともガイダンスに従って移動機が自動で故障から復帰する故障自動回避システムが可能となり、ダウンタイムゼロ化の移動機が実現する。将来的な人口減少を見据え、現場の作業者の負担を軽減することにより適切な人材投資にも貢献できるようにしたい。

3.2 画像認識技術の適用

移動機診断システムに、別途開発した画像認識による状態判定技術を適用することで、さらなる高機能化が可能となる。移動機の一つである装炭車の蓋着工程において、炉への蓋装着状態を画像で判定することで、蓋の隙間から噴出している火炎を映像上の動きで検知し、蓋着の正常/異常の判定が可能となっている(図7)。燃えカスなどの動きのない外乱については、RGBの色情報で判別するとともに、特定の色(火炎の場合：R)の検出で識別する。検証実績として異常判定正解率100%、正常判定正解率99.7%を達成した。

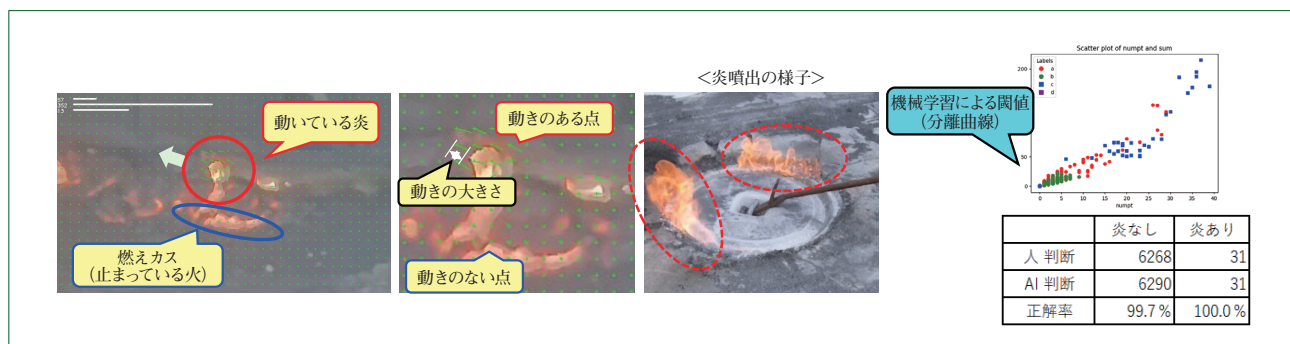


図7 装入蓋着状態の画像認識による判定技術
Recognition-based detection technology for cover status

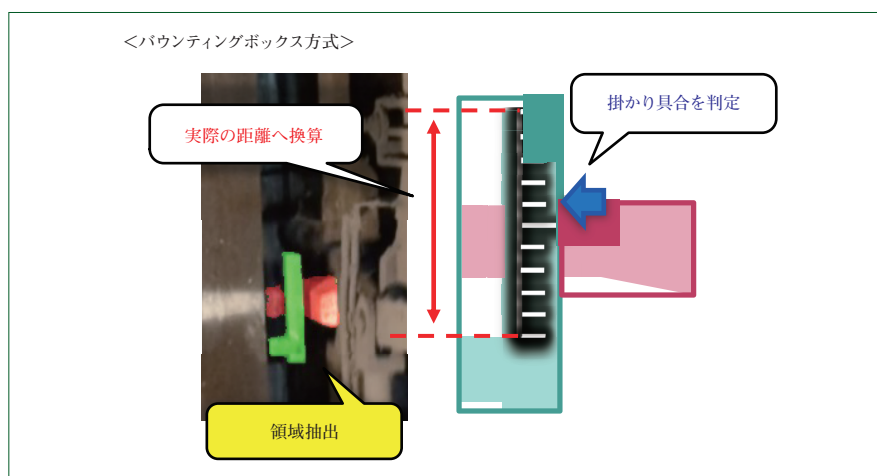


図8 画像認識技術の応用例
Application example of recognition-based detection technology

この判定技術の適用範囲を広げ、その他移動機の押出機・ガイド車の蓋着検知(図8)やコークス炉トロリの湾曲、走行軌条レールの歪みなどの診断機能として応用し、状態監視の高機能化につなげる。

3.3 SHICuTeプラットフォームの活用

前述のように本システムの構築にはSHICuTeプラットフォームを最大限に活用している(図9)。今まで顧客の内部情報として現場にしかなかった移動機の運転データや稼働情報をSHICuTeに常時集めることによって、データの一元化や移動機の運転データの活用、評価結果の共有が可能になる。移動機の稼働状態を現場の管理者はもちろん、メーカー側もリアルタイムに把握できるようになる。

SHICuTeを生かすことで、他事業部で持っているDXに関する知見、技術、ノウハウを活用でき開発を加速させることができる。また、本開発で得られた診断技術をSHICuTe全体のシステムに還元することで、住友重機械グループ全体の技術革新のサイクルに寄与できると考える。

4 診断技術の確立 データ収集とフィールドテスト

4.1 故障予兆検知と余寿命予測

SHICuTeには、プラント運転支援システムにおける故障予兆検知として、噴破などの異常検知を構築した事例²⁾や、MT法(Mahalanobis-Taguchi method)を用いた故障診断システムを

構築した事例などが存在する。移動機の各種機器データを蓄積・分析して装置の故障予兆を検知し、余寿命を予測することにより(図10)移動機の稼働停止が防止でき、適切なタイミングでの保全計画立案のサポートが可能となる。また、ユーザの主観に寄らない正確な稼働率の実態を把握することも期待できる。移動機診断システムではこれらをベースとして、顧客サイドでのフィールドテストで有効性を評価し、最適なアルゴリズムを構築する。

4.2 故障要因分析とガイダンス機能

チョコ停発生時の故障要因と作業指示を記録し続けることにより、チョコ停の発生データが溜まりデータベース化が進めば、発生した事象から操作員へ最適な故障対応ガイダンスを出すことが可能となる。いずれは現場に知見のある作業員がいなくても、ノウハウが失われずに機械への復旧作業指示を自動的に出せるようになり、より「壊れない、停まらない」移動機が提案できるようになる。

5 今後の展望と課題

今後の展望として、移動機だけでなく炉体設備や他機種への適用も視野に入れている。現在はガイド車と装炭車に適用しており、これらの移動機専用カスタマイズされた構成となっている。移動機の構成や制御方法、経年状況など製鉄所ごとにそれぞれ独自の特徴を持っていることから、適用先を

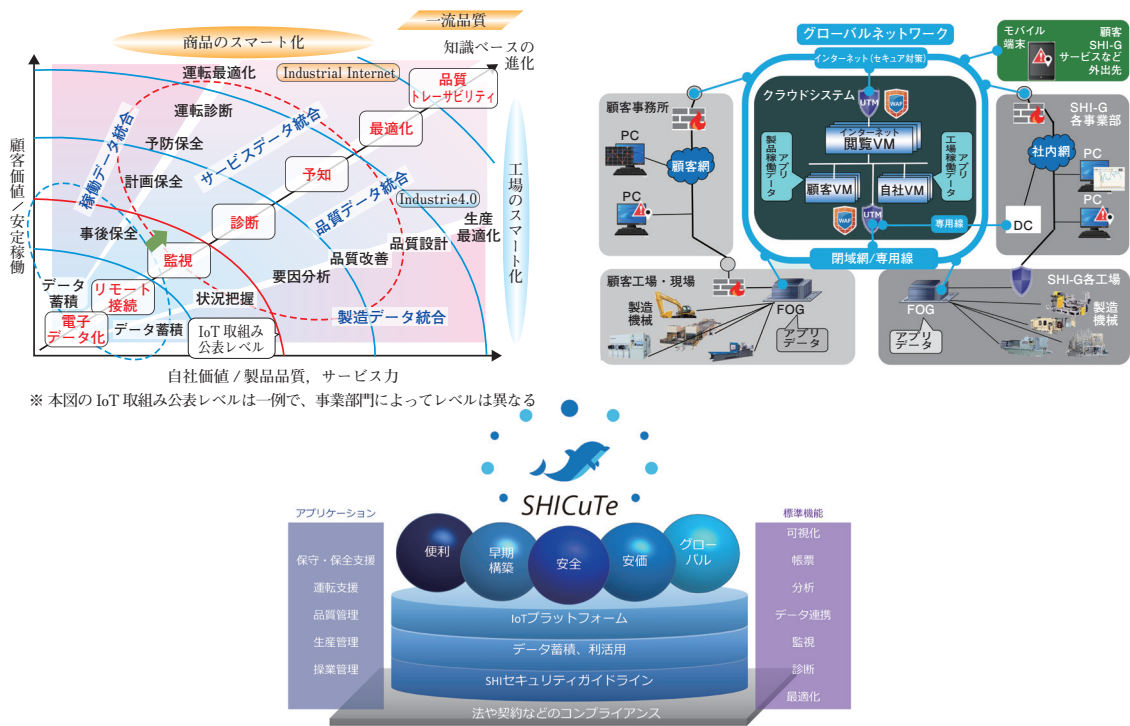


図9 SHICuTeの概要
Overview of SHICuTe

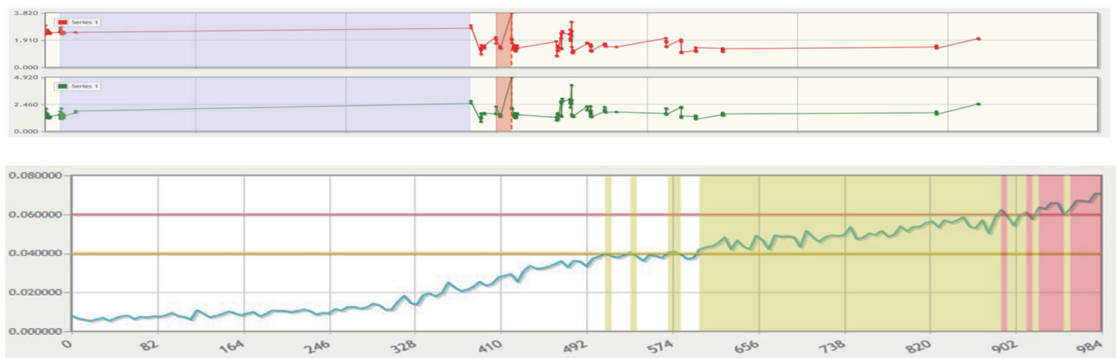


図10 故障・余寿命診断システム例
Example of failure and remaining useful life diagnosis system

広げていくための幅広いデータ収集が今後の課題となる。

6 むすび

- (1) 移動機において、予防保全とダウンタイム削減を目的とした診断システムの開発を行っている。
- (2) SHICuTeを最大限活用して、移動機診断システムをLV1：自動帳票化システム，LV2：傾向監視システム，故障予測・診断システム，LV3：故障復旧ガイダンスシステム，故障自動回避システムとに位置付け，現在LV2の開発まで完了しており，今後LV3の開発に取り組んでいく。
- (3) フィールドテストにて有効性を確認し，他機種含め

適用先を広げていく。

(参考文献)

- (1) 明渡豊，村上憲司，住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム SHICuTe，住友重機械技報，209 (2023)，1-4.
- (2) 門脇正法，IZANA(プラント運用支援システム)向け異常検知機能の開発，住友重機械技報，209 (2023)，33-34.

※「SHICuTe」は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。