

住友重機械 技報

SHI 

Jan.2023

No.209

ISSN 0387-1304

Sumitomo Heavy Industries Technical Review



ICT・DX 特集

Special issue for ICT・DX

住友重機械技報 No. 209 2023

巻頭言

「ICT・DX 特集号」に寄せて

千々岩敏彦

ICT・DX 特集

論文・報告	住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム SHICuTe	明渡 豊, 村上憲司	1
	建設DXの実現に寄与する油圧ショベルのリモートモニタリングシステム開発	因藤雅人	5
	PET診断用サイクロトン向け遠隔監視システム	白澤克年	9
	統合型遠隔監視システム SIRMS	森 真史, 青野洋己, 伊藤義和	13
	油圧ショベルの故障診断システム開発	古賀方土	19
	ベイズ最適化を用いた陽子線ビームサイズ・位置の自動調整システムの検討	中島 秀	23
	ICT・DX人材育成	佐々木靖彦, 福井基文	29
技術解説	IZANA(プラント運用支援システム)向け異常検知機能の開発	門脇正法	33
	状態監視サービスを用いた予知保全ソリューション	重見貴夫	35

Message for "Special Issue for ICT・DX"

Toshihiko CHIJIWA

Special Issue for ICT・DX

T/PAPERS	SHICuTe : Common Information Technology Infrastructure Platform in Sumitomo Heavy Industries Group	Yutaka AKEDO, Kenji MURAKAMI	1
	Development of Remote Monitoring System for Hydraulic Excavators for Purpose of Realizing Construction DX	Masahito INDOH	5
	Remote Monitoring System for PET Cyclotron	Katsutoshi SHIRASAWA	9
	SHI-MH Integrated Remote Monitoring System	Masafumi MORI, Hiroki AONO, Yoshikazu ITO	13
	Development of Fault Diagnosis System for Hydraulic Excavators	Masato KOGA	19
	Examination of Automatic Adjustment System for Proton Beam Size and Position Using Bayesian Optimization	Shu NAKAJIMA	23
	Human Resources Development of ICT・DX	Yasuhiko SASAKI, Motofumi FUKUI	29
	Development of Anomaly Detection Function for IZANA (Plant Operation Support System)	Masanori KADOWAKI	33
T/INVITATIONS	Predictive Maintenance Solution by Using Condition Monitoring Service	Takao SHIGEMI	35

「ICT・DX特集号」に寄せて

取締役
専務執行役員

千々岩 敏彦



各種メディア上でICT・DXという文字を見ない日はありません。これほどまでにICT・DXは我々に身近になってきており、当社のような重機械メーカーにとっても重要な技術となっています。

「重機械メーカーは、ICT・DXをどのように適用・活用していくの?」と思われる方も多いかも知れません。もちろん我々も他業界が行っているRPAの導入による社内業務の負担軽減のような取組みも実施しています。しかしながらより重要なのは、我々の機械を使ってくださる顧客の負担軽減、安定運用です。

世の中の動向と同様に我々の顧客においても、装置の稼働を担ってきたベテラン運転管理者不足は深刻な状況にあり、ベテラン人員に依存しない仕組みが求められています。現場に行かずとも複数台の機械の稼働状況を監視でき、ネックとなるポイントを分かりやすく人に提示できれば、人員不足の解消だけでなく生産性の向上にもつなげることができます。また、故障による計画外の装置停止は、停止時間の長期化につながり損失の増大を招くことから、異常やその予兆を検知してあらかじめ計画停止を実現することは顧客に大きなメリットをもたらします。

これらを実現するうえで、我々のICT・DXにおける取組みには家電などとは異なる特徴があります。その特徴として挙げられるのは、我々の製品はそれぞれが持つエネルギーが非常に大きく、間違った方向に誘導した場合は大きな被害につながってしまうので、信頼性の高いシステムを構築する必要があるということ、そして、特殊な使い方や運用をされる機械が多いことから、一般的なアルゴリズム適用だけでは不十分であり、当社の持つ設計・サポートノウハウと融合させることにより実現しているということです。

本特集号では、これらの内容を中心に技術・製品の解説をさせていただきます。さらに、これら技術を展開するに当たり、中心となる住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム「SHICuTe」、こうした活動を推進するうえでリソースを確保することを目的としたICT・DX人材教育に関しても触れさせていただきます。

本特集号の内容が少しでも皆様のお役に立つことができれば幸甚です。

住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム SHICuTe

SHICuTe : Common Information Technology Infrastructure Platform in Sumitomo Heavy Industries Group

●明 渡 豊* 村 上 憲 司**

Yutaka AKEDO

Kenji MURAKAMI



SHICuTe(シキューテ)は、当社工場および当社製品に関わるデータの蓄積と活用により新たな価値創出とブランド構築を実現することを目的として、M2M/IoTをベースに急激に進化している情報活用を推進し、商品や工場のスマート化に向けた知識ベースの進化を図るべく開発された住友重機械グループ(SHI-G)の共通基盤プラットフォームである。現在、20以上のアプリケーション構築の実績を重ね、顧客や自社工場内に展開されている。

SHICuTeはクラウド層、フォグ層、通信層にわたるインフラおよびソフトウェアを整備、標準化しており、これらの基盤環境を利用することで安全、安価かつ早期にアプリケーションを開発することができる。

本報では、SHICuTeの各機能の紹介や特長および実績を説明し、今後の活動や展望について述べる。

SHICuTe is a common Information Technology infrastructure platform in SHI group which has been developed to promote the evolution of the knowledge base for making products or factories smart. The development has been promoted to utilize rapidly expanded information based on M2M/IoT, and the purpose is both creating new value and strengthening our brand, due to both accumulating and using data of our products and factories. Currently, the number of applications is over 20 and they have been used at customers or our factories. SHICuTe has a standard infrastructure and software across the fog layer, communication network layer and cloud layer, and so we can create new applications more safely, early and cheaply. We introduce the functions and the features first, and also examples of the achievements, and moreover describe its future activities and prospects.

1 まえがき

当社におけるICT/IoTの取組みは、2015年にまでさかのぼる。当時、SHI-Gではデジタルデータ活用の遅れが課題となっており、機械とデジタルデータによるサービス化を進める必要があった。そこで技術本部、住友重機械ビジネスアソシエーツ株式会社、株式会社ライトウェルが主体となり、M2M/IoTをベースに急激に進化している情報活用を推進し、当社工場および当社製品に関わるデータの蓄積と活用により新たな価値創出とブランド構築を実現する(図1)ことを目的に、商品や工場のスマート化に向けた知識ベースの進化を図る活

動を開始した。その活動のなかで機能共通、データ集約、コストなどの観点から、SHI-G全体でデジタルデータを活用することができる共通基盤が必要と判断し、SHICuTeの開発に着手した。

2 SHICuTeの概要

SHICuTeは、住友重機械の略称である「SHI」と「Cute(可愛い=親しみ感、賢い、気が利く)」と「ICT」を合わせた造語で「親しみがあり賢いSHI-GのICT/IoTプラットフォーム」という意味を持つ。ロゴに関しては、当社のコミュニケーションマークが波をモチーフにしていることから、海洋

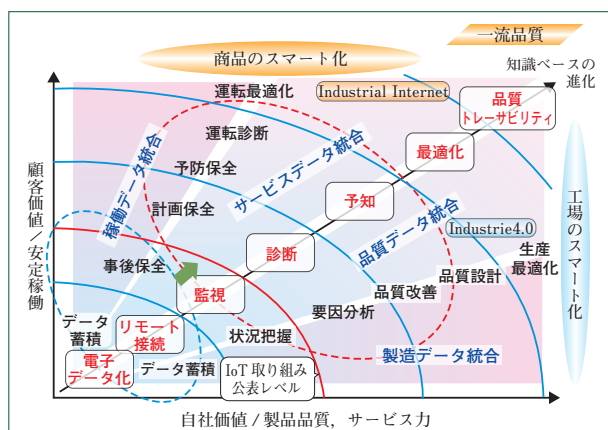


図1 SHI-Gのスマート化の価値マップ
Value map for smartification in SHI-G

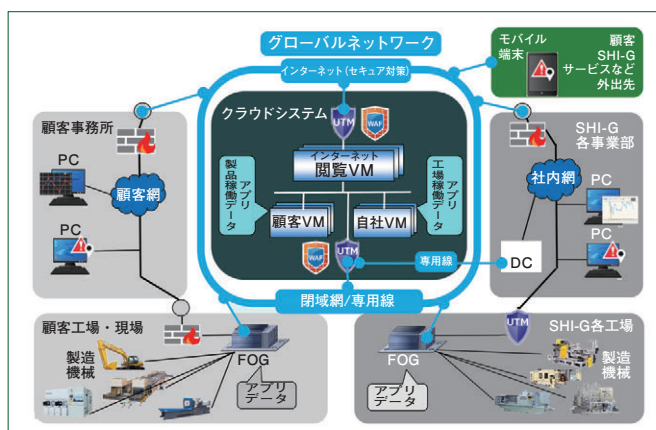


図2 SHICuTeネットワーク構成図
Network structure of SHICuTe

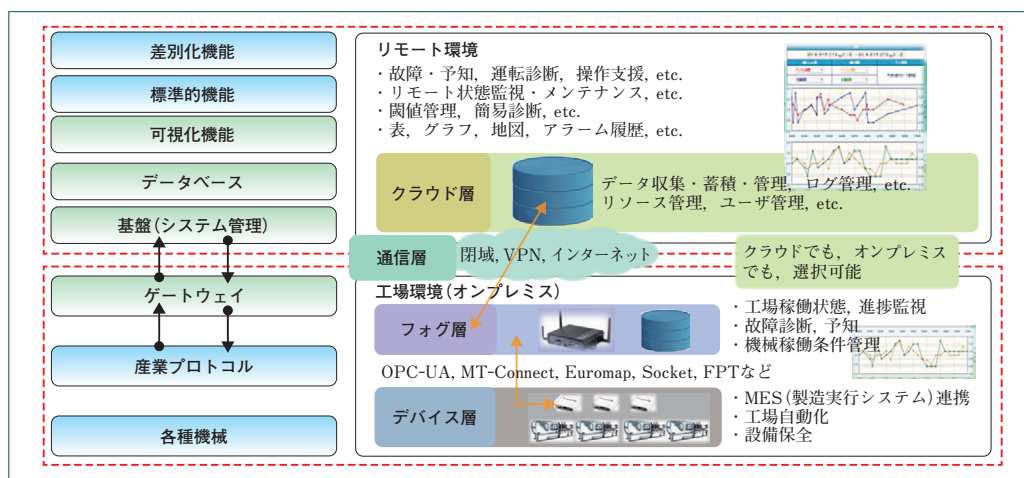


図3 SHICuTeシステム構成図
System structure of SHICuTe

生物でCuteなイメージを持つ「イルカ」を採用した。

SHICuTeは安全、安価、便利、早期構築、グローバルを目指したICT/IoTプラットフォームであり、現地側のフォグ、現地とクラウドを接続する通信、データを蓄積し処理するクラウドと広範囲にわたって整備された環境である。フォグ機器や通信網、クラウドなどのインフラを標準で備え、ソフトウェア面では標準のミドルウェアやデータベースを持っており、これらを土台とすることで安全、安価かつ早期にアプリケーションを開発することができる。また、多数の便利な標準機能をアプリケーションに組み込むことで利便性を高めている。さらに、海外の顧客も多いことから、機器や通信を含めグローバルに対応した整備を進めている。

SHICuTeは、SHI-G内のニーズをもとに作られているので、SHI-Gの事業特性に適したものとなっている。たとえば、安全面においては、事業特性上、より高いセキュリティを求められることから独自の閉域網を有し、通信不可の条件下では現地のオンプレミス環境でも完結できるシステムを構築することができる。コスト面においては、基盤環境の共用や各種標準機能の適用で開発コストが抑えられ、ランニングコストもほかと比べて低く設定されていることで、事業部門が導入しやすくなっている。また、SHICuTeはSHI-Gで内製化しており、長期的な保守観点からも、いわゆるベンダーロックイ

ンにならないようにしている。

3 構成、機能

図2にSHICuTeのネットワーク構成図を、図3にSHICuTeのシステム構成を示す。SHICuTeはクラウド層、フォグ層、通信層から成っている。

クラウド層では、UTM(統合脅威管理)、WAF(WEB・アプリケーション・ファイアウォール)やSOC(セキュリティ・オペレーション・センター)によるセキュリティが整備されており、それぞれの条件に対応したネットワーク構成とアプリケーションごとに分離されたVM(仮想マシン)が設置されている。また、クラウドやクライアントの状態を監視するシステム管理やバックアップ機能なども整備されている。

フォグ層では、デバイス層からのデータ取得や、現地での処理および機器管理、クラウド層への通信管理を行っている。また、通信不可の条件下ではフォグ層でシステムが完結できるように設計されている。

通信層は、インターネット以外に独自の閉域網を有しており、顧客環境や当社工場から安全に通信できるという特長を持つ。

図4に、SHICuTeの標準機能群を示す。ユーザ管理、ログ管理、メール配信などシステム管理だけでなく棒グラフ、折

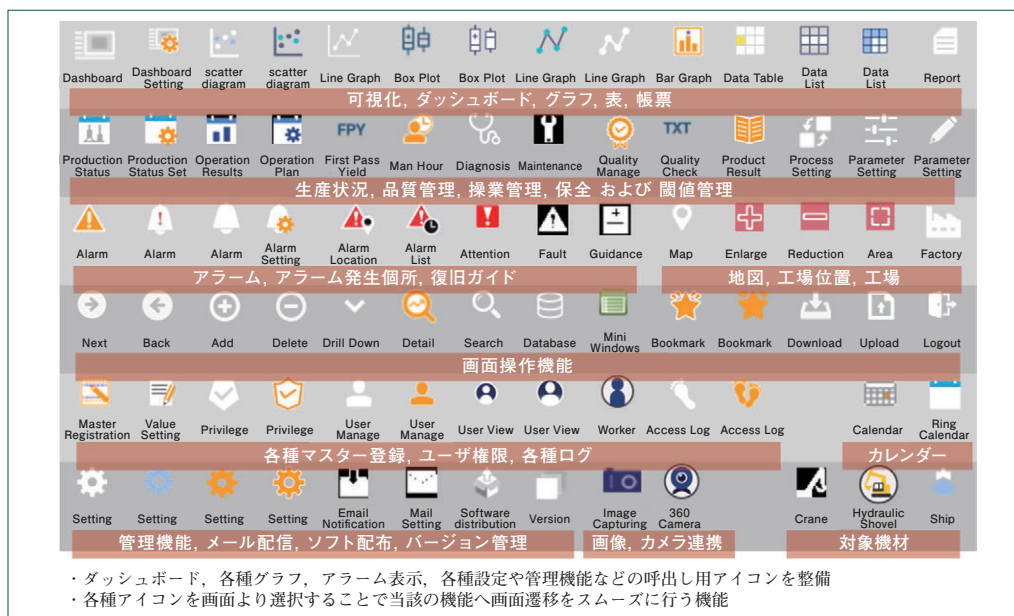


図4 SHICuTe標準機能群
Common functions of SHICuTe

れ線グラフ、散布図などのグラフ作成機能やスプレッドシート、地図、カレンダー、レポートなどの便利機能も有している。このような機能の標準部品化は、SHI-G全体の共通性や流用性の程度に基づいて判断しつつ継続的に進めており、アプリケーション開発において、コストや開発期間の面で大きく貢献している。

図5に、SHICuTeを使った一般的なアプリケーションの機能やデータの流れを示す。

- ① 現地の製品に取り付けたセンサで収集したデータをフォグ機器に伝送する。フォグ機器では必要に応じてデータの1次加工を行う。
- ② フォグ機器は、収集したデータをクラウド層にあるデータストレージに送信する。このときの通信は他から分離された独自の閉域網を使用して安全にデータ送信を行う。
- ③ クラウド層に送られたデータは、この後の計算処理や表示処理などで扱いやすくなるようにデータ整形や構造化などの加工処理を行う。
- ④ クラウド内でデータによる計算処理や分析処理を実行する。たとえば故障診断においては、分析により故障と判断された場合は担当者にメール通知を行う。
- ⑤ 利用者はWEBブラウザを介して状況を確認する。画面はグラフや地図などの標準部品を用いて分かりやすく表現される。PCだけでなくスマートフォンやタブレット端末でも確認でき、独自の閉域網を経由してアクセスするので安全に通信が行われる。顧客向けのサービスの場合、顧客と当社社員で遠隔的な情報共有により状況確認ができ、メンテナンス・サポートに活用可能である。
- ⑥ クラウド内で計算処理された結果や蓄積したデータをレポートにして出力する。これらは、定期運用報告書や障害報告書、関係機関への提出書類などに活用することができる。

これらの標準環境のもとで、基本的なシステムを安全、安

価かつ早期に構築し、そこに当社の各事業部門や技術研究所で開発した差別化機能を組み込むことで、新たな価値創出やブランド構築を可能としている。

4 適用例

現在、SHICuTe上では20以上のアプリケーションが稼働しており、今後も増えることが予定されている。SHI-Gの製品を対象にした活用実績が多いが、主にサービス部門で活用できる遠隔支援システムや、当社工場における品質トレーサビリティシステムなどの実績もある。

いくつかのアプリケーション事例を紹介する。

- (1) 射出成形機向け生産品質管理システム i-Connect(プラスチック機械事業部)

<https://i-connect.shi.co.jp/plastics/i-connect/>

成形機と周辺機器・各種センサの情報を統合し、生産現場のIoTを構築するコアアプリケーションである。成形セル全体の監視・管理機能を飛躍的に向上させ、よりハイレベルでボーダレスな効率生産を実現した。iii-System(iキューブシステム)の生産品質管理システムをWeb化し、当社の成形機以外との接続や周辺機の接続を可能とし、統合的の生産品質管理システムとしてバージョンアップしている。

- (2) CFBボイラ運転支援システム IZANA(エネルギー環境事業部)

<https://www.shi.co.jp/info/2021/6kgpsq0000001fy3.html>

循環流動層(CFB)ボイラを採用した発電設備のノウハウをベースに構築したAI(機械学習モデル)が顧客のプラントの運転データを診断し、安定運用に関わるアドバイスを提供することができる画期的なシステムである。脱化石燃料やCO₂排出削減を目指す顧客へのより充実したサービスの提供のみならず、今まで熟練したエンジニアを介していた運用のアドバイスをAIが代替することにより、顧客の業務効率の改善を図るというこれまでのサー

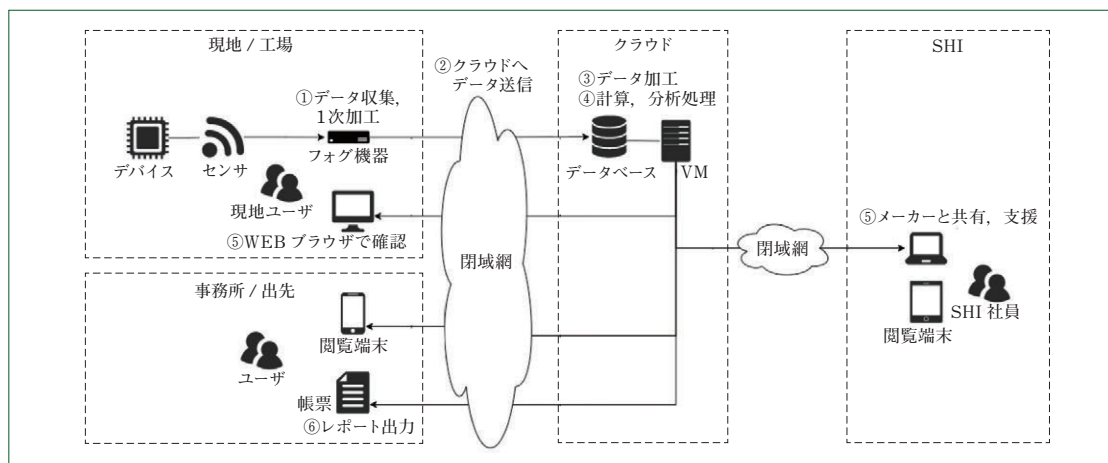


図5 アプリケーション適用例
Example of application using SHICuTe

ビスビジネスのモデルを変えるシステムであり、新たなプラントビジネスを展開するためのツールとして進化を続けている。

- (3) 運搬荷役機械統合型遠隔監視システム SIRMS(住友重機械搬送システム株式会社)

<https://www1.mlit.go.jp/common/001397712.pdf>

リモートによるリアルタイムなデータ収集と複数同時アクセスができ、操業管理支援や保守管理支援の仕組みを備えており、現場の実務結果の出力および履歴の蓄積ができるシステムである。また、クラウドネットワークの活用により、いち早く顧客の現場運営などのサポート情報を把握することができ、迅速なトラブル復旧が可能である。

- (4) 船舶監視システム AVEDAS(住友重機械マリンエンジニアリング株式会社)

<https://www.shi.co.jp/info/2022/6kgpsq000000ln8s.html>

CO₂排出量などの国際規制に対応する燃費監視・疲労解析機能を搭載し、船舶とクラウド間を接続してリモートで航路や状況監視ができるシステムである。

- (5) 建設現場での活用事例 小田島組向け現場安全管理システム(技術研究所)

<https://www.shi.co.jp/info/2021/6kgpsq000000li2h.html>

油圧ショベルの操縦室内や機械周辺の全方位映像、オペレータ心拍、各種機械データなど建設現場のさまざまな情報を常時SHICuTeへ送信することで一括管理・共有できる遠隔監視システムを小田島組と共同で開発した。これにより、ヒヤリハットや不安全行動の動画とデータを記録することができ、実現場で活用できるソリューションの提案が可能となった。また、蓄積されたデータを利用して機械との接触事故が起りやすい作業を特定したり、熟練者と初心者との技量を定量評価する機能などを構築することで機械操作の早期習熟度向上や事故のリスク軽減が期待できる。

5 今後の活動

これまでの、サービス業務における調整および確認作業は「現地に赴く」が中心であったが、IoTの導入により、現地

から離れた場所からでもリアルタイムで情報共有が図れるようになってきた。

当社では、SDGsに貢献するという観点から、手作業や目視などによるヒューマンエラーの削減などを目的として作業軽減や自動化を進めており、機械と人の両方に優しいシステムを構築している。また、稼働機械から得られるデータを設計部門や製造部門へフィードバックし、製品ライフサイクルにアナリティクスサイクルを組み込むことで、各種社会課題に対してより良い製品になっていくことが期待される。

SHICuTeはこれらを担っていくデジタルデータ活用の基盤として位置づけられており、各部門内にとどまらずSHI-G全体で活用されることを目指している。開発メンバーは定期的に事業部門を訪問し、要望や議論を進めることでシステム開発および拡張を実施してきた。これらの活動はまだ道半ばであり、今後も継続してICT/IoTの発展に向けてSHICuTeの活用およびビジネス化を進めながらアプリケーションの開発を実施していく。当社は数十の事業部門や関係会社を有し、多種多様な機種を取り扱っているが、現状ICT/IoT化が難しい部門に対しても使いやすさやコストなど導入ハードルを改善して、SHICuTeによるアプリケーション展開を進めていく。

6 むすび

- (1) SHICuTeは、SHI-GのICT/IoTの共通基盤として開発されたプラットフォームである。
- (2) SHICuTeは、独自の閉域通信網やクラウド、多数の標準機能などを有し安全、安価かつ早期にアプリケーションを構築できる。
- (3) 現在、SHI-G内で20以上のSHICuTeを使ったアプリケーションがあり、今後も増えることが予定している。
- (4) 当社工場および当社製品に関わるデータの蓄積と活用で新たな価値創出とブランド構築を実現すべく、今後もSHI-G内で推進・普及活動を実施していく。

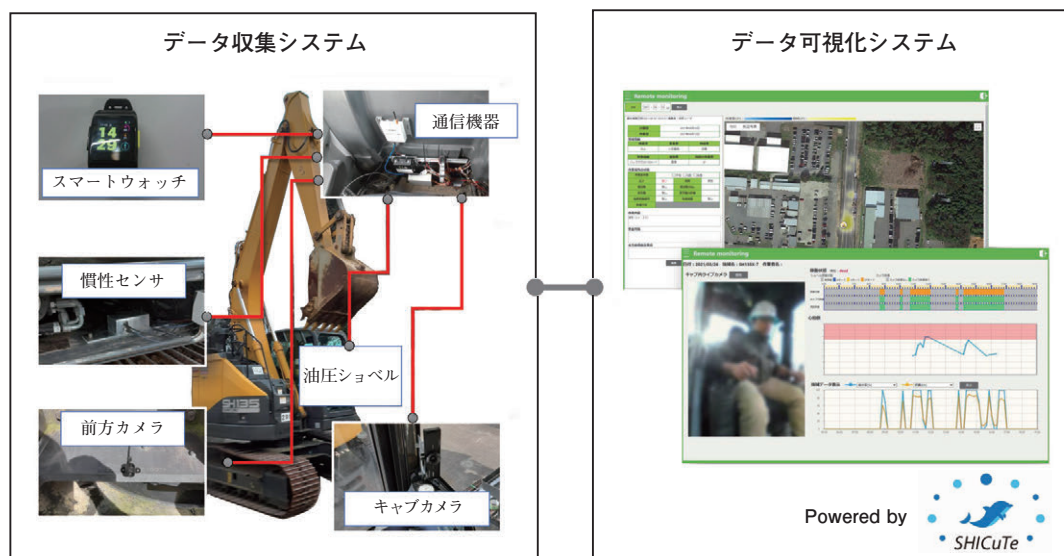
※「SHICuTe」、「i-Connect」、「iii-System」、「iキューブシステム」および「IZANA」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。
「SIRMS」は、住友重機械搬送システム株式会社の登録商標です。
「AVEDAS」は、住友重機械マリンエンジニアリング株式会社の登録商標です。

建設DXの実現に寄与する油圧ショベルのリモートモニタリングシステム開発

Development of Remote Monitoring System for Hydraulic Excavators for Purpose of Realizing Construction DX

● 因 藤 雅 人*

Masahito INDOH



油圧ショベルのリモートモニタリングシステム
The remote monitoring system for hydraulic excavators

油圧ショベルのユーザである建設業界では労働力不足、労働災害の多さ、生産効率の低さが長年の問題となっている。これを解決すべく、労働環境改善とワークエンゲージメントの向上を狙いとした建設DX(Digital Transformation)に注目が集まっている。しかし、その実現には建設業界が直面しているリアルな課題に対する理解と、実現現場の多種多様なデータが容易に集まる仕組みが必要であり、またこのデータを定量的に分析した結果を相互共有できるシステムが必須となる。

本報では、油圧ショベルと周辺環境のデータを収集して利活用するリモートモニタリングシステムの全体構成と、ユーザとともに取り組んだ実証試験で収集したデータを分析・活用した事例を報告する。

The Construction industry, being one of the users of hydraulic excavators, has been facing long-standing challenges such as labor shortage, frequent occupational injuries, and improvement in production efficiency. To solve these problems, construction DX (digital transformation), which aims to improve the workplace environment and work engagement, is drawing attention to. However, in order to realize construction DX, it's required to understand the real issues facing by the construction industry, and to construct both a simple mechanism for collecting various data from construction sites easily and a system for sharing quantitative analysis results of collected data. This report describes the overall structure of the remote monitoring system on which is utilizes collected data of excavator and surrounding environment, an example of analyzing and utilizing the data collected from the demonstration test that had been collaborated with our users.

1 まえがき

昨今、多くの産業分野でDXによる業務改善システムの必要性が叫ばれている。特に建設業界では、就労環境イメージからの労働力不足、労働災害の多さおよび生産効率の低さが長年問題となっており、労働環境の改善やワークエンゲージメントを高めることを目的とした建設DXに注目が集まっている⁽¹⁾。

DXの実現には高度なAIが必須だが、AIには多種多様なデ

ータ、いわゆるビッグデータが必要となる。その実現には、ユーザに新たな価値体験を与えながらデータ収集と購買動機を同時に満たす、ダブルハーベスト構造をいかに構築するかが重要といわれている⁽²⁾。しかしながら、図1に示すようにBtoBビジネスでの価値創造ループは、ユーザがどのような手順で業務を行っているかを正確に知る術がなく、具体的な価値体験の設定や、データ収集のメリットを付与することが困難で、効果的なダブルハーベスト構造を構築することが難しい。

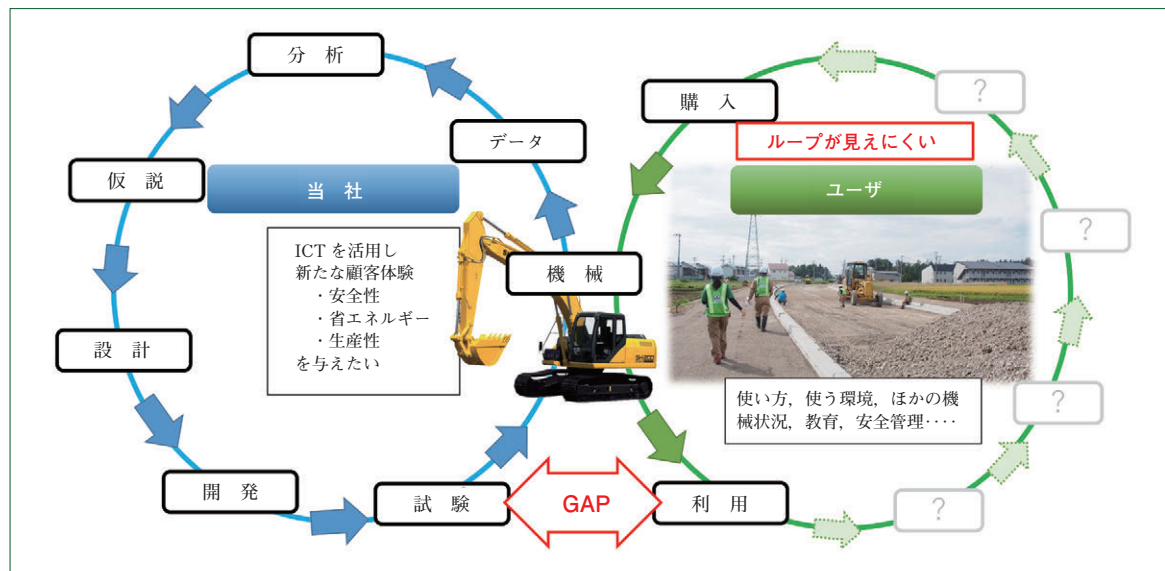


図1 機械メーカーがDXを実現する難しさ
Difficulty for machine manufacturers to realize DX

表1 データ収集システムの基本仕様
Basic specifications of data collection system

機械信号	操作量、エンジン、油圧などの機械情報
追加センサ	機械位置、加速度、角速度 オペレータ心拍
映像	車両周辺×4（うち3カメラは標準） キャブ内カメラ
データ伝送と ストレージ	LTE通信で常時アップロード 通信不可時は約20GB蓄積可能

そこで当社は、多種多様なデータを容易に収集し、定量的に分析した結果を相互で共有できるリモートモニタリングシステムの開発に取り組んだ。この取り組みでは、ユーザには直観的に分かりづらい機械信号だけでなく、キャブ内外や定点の映像など多彩な情報が収集できるシステムと、収集されたデータを閲覧するアプリケーションを住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム「SHiCuTe」⁽³⁾上に作成することで、発生している問題とデータの共有をリアルタイムに行うことを可能とした。

このリモートモニタリングシステムでは、データと映像を使った客観的なコミュニケーションを行うことで、実業務の「リアルな困りごと」と「リアルなデータ」を同時に得るといった当社の価値ループと「離れた場所からの作業進捗や業務状況確認」「定期的な巡回視察の時間短縮」「実映像を使った具体的な安全教育」といったユーザの価値ループの双方を同時に満たすことを狙いとしている。

2 リモートモニタリングシステムの構成

2.1 データ収集システム

表1に、データ収集システムの基本仕様を示す。本システムは、既存の油圧ショベルに取り付けられるように構成されており操作量、エンジン、油圧などの機械信号に加えて機械位置、加速度、角速度を計測する慣性センサを備え、オペ

ータが装着するスマートウォッチにより心拍数を収集することができる。映像は、機械周辺360°を網羅すべく油圧ショベルに標準搭載されている3つのカメラに前方カメラとオペレータ状況を観察するキャブ内カメラを加えた合計5つのカメラからの信号を同時に記録することができる。また、USBなどの汎用インターフェースの入出力やセンサネットワーク用無線通信機能を備え、ユーザの要求に応じたセンサ追加の拡張性を担保している。記録された信号と映像は、LTE回線を使用し、常時SHiCuTeへ送信される。車両が通信不可能地帯に侵入した場合には、20GBまでは本体ストレージに保存され、通信可能になれば自動で送信が開始される。データ伝送は、将来高度な分析を行うことを前提とし、平均値などの情報圧縮は行わず、最大10msサンプリングの高密度で行っている。

油圧ショベルは複数のオペレータが共有することが多く、電子機械に対する知識に個人差があることから、データ収集に特別な作業を要求しないよう配慮しなければならない。本システムでは、キーオン/キーオフで自動収集が開始/完了するよう構成されており、オペレータは特別な操作をする必要がない。このことに加え、データ収集が行われていることを特別意識せず通常業務と同様に油圧ショベルを運用することができるので自然な作業データが入手できる。

油圧ショベルからのデータ収集のほか、地上作業員の位置と心拍、定点に設置した全方位カメラの映像や気温、湿度、騒音などの環境情報を伝送するシステムを作成して機械、人、現場をトータルに管理できるようにしている。

2.2 データ可視化システム

図2に、SHiCuTeで作成した可視化システムのトップ画面を示す。画面左にある作業内容記入欄は、実際に使われている管理表を参考に作成している。その日に実施する作業内容のほか広さ、地質、架空線や埋没物の有無などの注意すべき現場状況、オペレータ名、地上作業員名、実施する安全対策などを入力し、共有することができる。画面右の稼働状況表

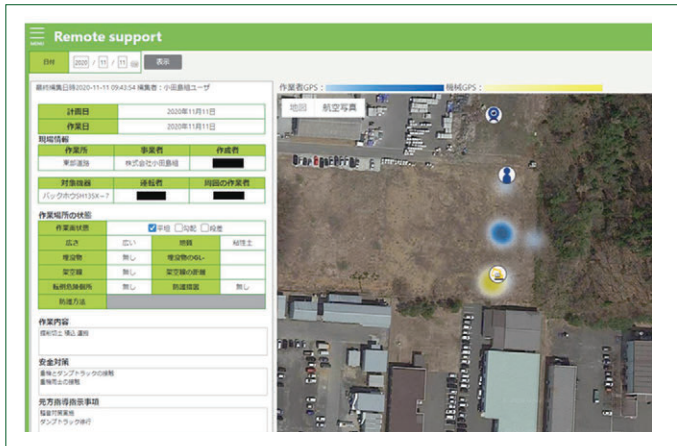


図2 データ可視化システムのトップ画面
Top screen of data visualization system



図4 実証試験現場例
Example of demonstration test site

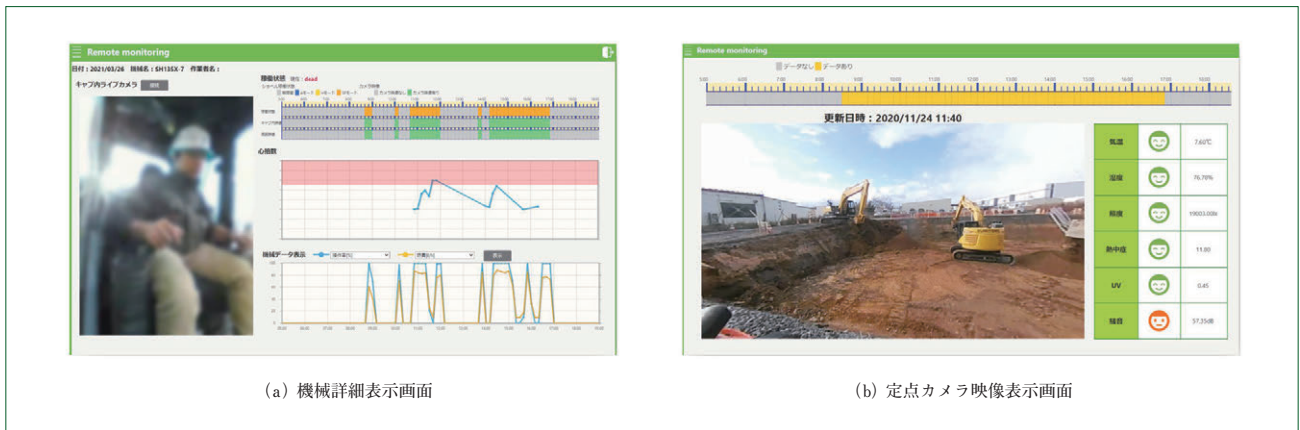


図3 データ可視化システムの詳細表示画面
Detail screen of data visualization system

示部では、機械が稼働した位置をヒートマップで表示し、併せて指定のスマートフォンを所持している地上作業員の位置も表示するので、人と機械の作業領域が重なっている場合には一目で注意喚起を行うことができる。

マップ上に配置された各種アイコンをクリックすると図3のような詳細表示画面に遷移する。機械詳細表示画面には映像表示部とデータ表示部があり、映像と信号を併せて見ることによって総合的な判断を行うことができる。映像表示部は、周辺映像とキャブ内映像を切り替えて表示することができ、必要に応じて映像のダウンロードも可能である。データ表示部には稼働情報、オペレータ心拍、機械データが表示されるが、信号情報がそのまま表示されるのではなく燃費、振動レベル、操作状況など、ユーザでも直観的に分かるように要約された形式で表示される。定点カメラを選択した場合、全方位カメラで定期的に記録された画像と併設した環境センサにより、その場所の温度、湿度、騒音、熱中症指数などが表示され、現場がどのように進捗し、どのようなリスクが潜んでいるかをリモートで確認できる。

実際の現場では、パソコンやタブレットなどの大型画面機器ではなく、スマートフォンのみを使用していることも多い。スマートフォンからアクセスした場合、大型画面用として制

作された表示では、小さな画面で使うことが煩わしいことから、スマートフォン専用画面を表示する仕組みも構築している。

3 機械学習によるデータ分析効率化

データ分析を正確に行うには、取得したデータが「いつ・どこで・何を」したなど、データが生成されたときの状況を正確に把握しなければならない。特に「何を」したかのデータは、機械の使われ方を把握するうえで非常に重要なファクターとなるが、センサ単体で把握することができない。さらに、工期中のデータは機械を使用する限り毎日増加していくので、大量のデータを効率良く分析する手段が必要となる。

この取組みでは、油圧ショベルの代表的作業である土砂ハンドリングのほか、整形・均し、吊り作業、移動、その他の5つの作業分類を定義し、機械学習により自動でデータ分類を行う作業分類システムを作成し、分析の効率化を図った。

4 実現場での利用と反響

株式会社小田島組(岩手県北上市)の協力により、2020年11月から2021年5月まで、本システムを搭載した油圧ショベルの実証試験を行った。図4に、期間中の工事現場の一例を示

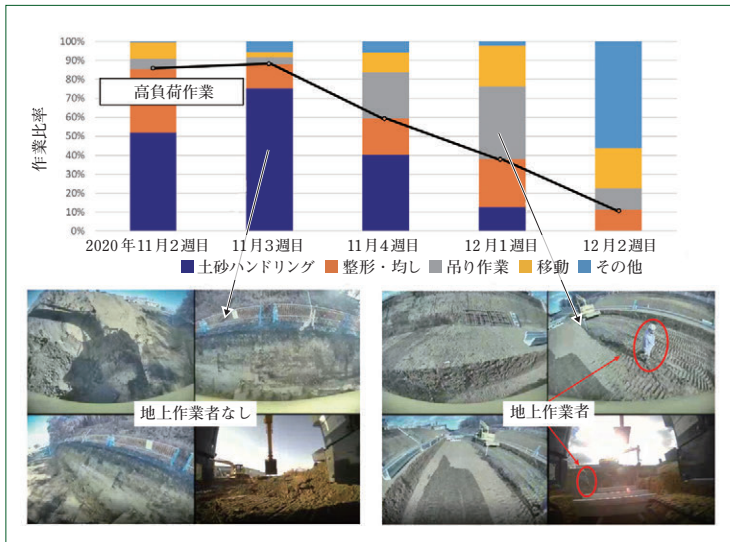


図5 作業内容推移と環境変化
Transition of work contents and changes in environment

す。この現場では油圧ショベルを、切り出し、整形、残土処理、排水機構設置などで使用しているが、工程の進捗により地形の変化、トラックや転圧機械などとの連携、人の接近といった注意すべきポイントも大きく変化していく。

図5に、機械学習による自動作業分類システムで作成した作業内容の推移と環境変化(2020年11~12月)を示す。初週は切り出された残土処理を行っているので、土砂ハンドリングや整形・均し作業が多く、工期が進むと整形された場所にU字溝を設置していく吊り作業へ変化していくことが一目で分かる。また、このときそれぞれの周辺動画を確認すると、序盤には周辺形状が複雑で人の出入りはほとんどないが、足場が悪く出力が高い作業であることから、機械が不安定となり機械の転倒や転落に気を付けなければならない。一方、吊り作業を行う後半には機械設置面は整地され、出力が小さい作業となり振動は少なくなるが、玉掛やコンパクト作業者などが頻繁に機械に接近するようになり、オペレータは人の接近に気を付けなければならない。

このような作業内容の変化と、危険な状況への対応をベテランのオペレータは当たり前前に認識しているが、経験が浅いオペレータの場合、危険な作業やポイントを認識していないことが多い。これは、データと動画をもとにケーススタディを行い、客観的な指導をすることで経験を補うことができる。

実証試験に協力いただき、より詳細なデータ分析結果とヒヤリハット動画を共有している小田島組の社長は、「このようなシステムは、あるだけで安全意識の高まりが期待できる。監視システムに関しては『見られている』というネガティブな印象が付きまとうが、実際に事故が発生したときにはオペレータの正当性の証明にもなり、安心して仕事ができるという側面もある。また、安全だけではなく技量の定量化や点数化ができれば、仕事がゲームのように変化してワークエンゲージメントが高まるのではないかとコメントしている。

本システムの将来構想に関しては、CSPI-EXPO2022(2022年5月25~27日)⁽⁴⁾の住友建機ブースにおいて実証試験と建設DXへ向けた取り組みを加速させるべく、システムの



図6 CSPI-EXPO2022展示の様子
Photo of CSPI-EXPO2022 exhibition

紹介と将来展開のプレゼンテーションを行った(図6)。

5 むすび

- (1) 実現場で使用される機械データや映像をリアルタイムに収集できるシステムを作成した。
- (2) ユーザの業務に合わせたソフトウェアを作成することで、実業務中に何を意識しているかを知ることができた。
- (3) データを機械学習で効率良く分析し、映像などの客観データと照合することで、注意が必要な作業やヒヤリハットなど新たな気づきをユーザと共有することができた。
- (4) データ収集と顧客価値のダブルハーベスト構造の基盤を構築できた。
- (5) CSPI-EXPO2022(2022年5月25~27日)の住友建機ブースにてシステムと将来展開の展示を行った。

今後は、データ収集を拡大しビッグデータを効率的に活用することで、より人間の感覚に近い高度なAIを開発し、建設機械ユーザに新たな価値体験を与えていく所存である。

最後に、本開発を行うに当たり、データ収集にご協力いただいた株式会社小田島組小田島直樹社長、ならびに小田島組社員の皆様に心より感謝を申し上げます。

(参考文献)

- (1) インフラ分野のDXアクションプラン, 国土交通省, 2022年3月, p.3.
- (2) 堀田創, 尾原和啓, ダブルハーベスト, ダイヤモンド社, 2021年4月13日, p.27.
- (3) 住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム「SHiCuTe」の開発および建設現場での活用事例の紹介,
<https://www.shi.co.jp/info/2021/6kgpsq000000li2h.html>
2022年3月17日.
- (4) CSPI-EXPO建設・測量生産性向上展 ご来場御礼,
<https://www.sumitomokenki.co.jp/cspi-expo2022/>
2022年5月27日.

※「SHiCuTe」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

PET 診断用サイクロترون向け遠隔監視システム

Remote Monitoring System for PET Cyclotron

● 白 澤 克 年*
Katsutoshi SHIRASAWA

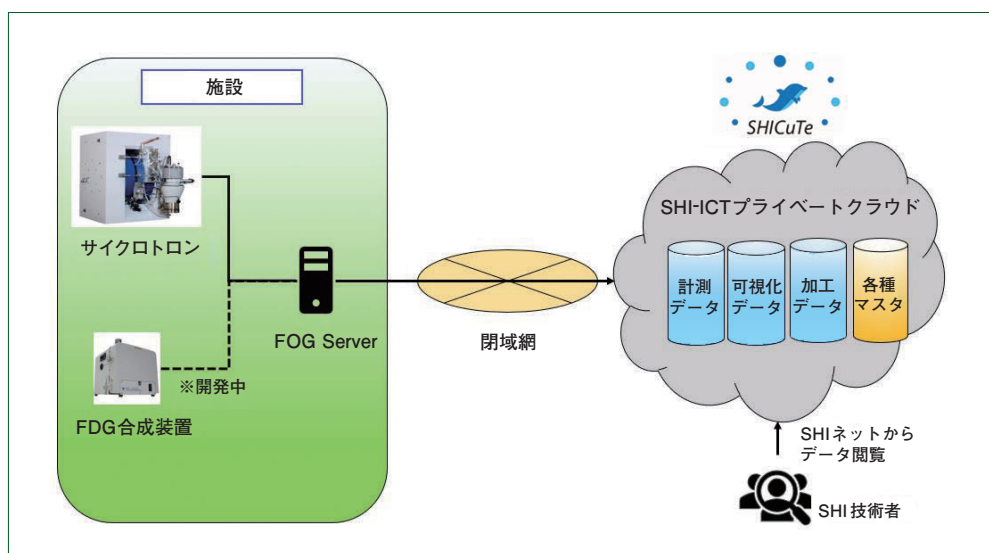


図1 システム概略図
Cyclotron remote monitoring system

当社は、PET (Positron Emission Tomography) 診断用サイクロترونを病院やデリバリー施設に納入している。サイクロترونの稼働率向上、メンテナンス効率化を目的として、遠隔監視システムを開発した。運転データが自動的にクラウドサーバに送信され、技術者はセキュリティが確保された端末から閲覧することが可能である。また、異常なデータを検知した場合には、電子メールにて通知する機能も実装されている。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. supplies PET (Positron Emission Tomography) cyclotrons to hospitals and radiopharmaceuticals companies. We developed a remote monitoring system for the cyclotrons to improve operational efficiency. Operational data is automatically sent to a cloud server. Thus, engineers are able to confirm the cyclotron status from secure terminals. In addition, this system provides anomaly detection that notify users by e-mail.

1 まえがき

がん診断用として広く認知されているPET (Positron Emission Tomography：陽電子放射断層撮影) システムは、2002年の保険適用を受けて全国各地の医療機関に導入されている。当社ではPET診断用サイクロترونCYPRISシリーズを国内外に200台以上納入している。当社のサイクロترون国内シェアは70%以上であり、海外でも中国を中心に90台以上が納入されている。近年IoT (Internet of Things) 技術の広まりにより、顧客からの遠隔監視・保守への要求は年々高まっており、装置稼働率の向上やカスタマーサポート部門におけるメンテナンス業務の効率化を目的として遠隔監視システムを開発した(図1)。開発に当たっては住友重機械グループ共通基盤プラットフォームSHICuTeを基盤とし、運用コスト

を抑え、導入が容易なシステムとした。また、医療機関で利用されるシステムであることから、サイバーセキュリティ対策についても対応可能な設計となっている。本システムの導入により、運転データのリアルタイム閲覧が可能となっており、迅速かつ確実な保守作業やトラブル対応を補助している。

基本的なデータ収集・閲覧システムについては開発が完了し、国内施設で運用を開始している。

2 PET 診断用サイクロترون

PETシステムでは、半減期が2～110分という短半減期のトレーサー(11C, 13N, 15O, 18F)が使用される。最も一般的な薬剤としては放射性フッ素(18F)で標識したFDG(Fluoro Deoxy Glucose：フルオロデオキシグルコース)が用いられる。FDGは、18Fで目印を付けたブドウ糖である。がん細胞が正

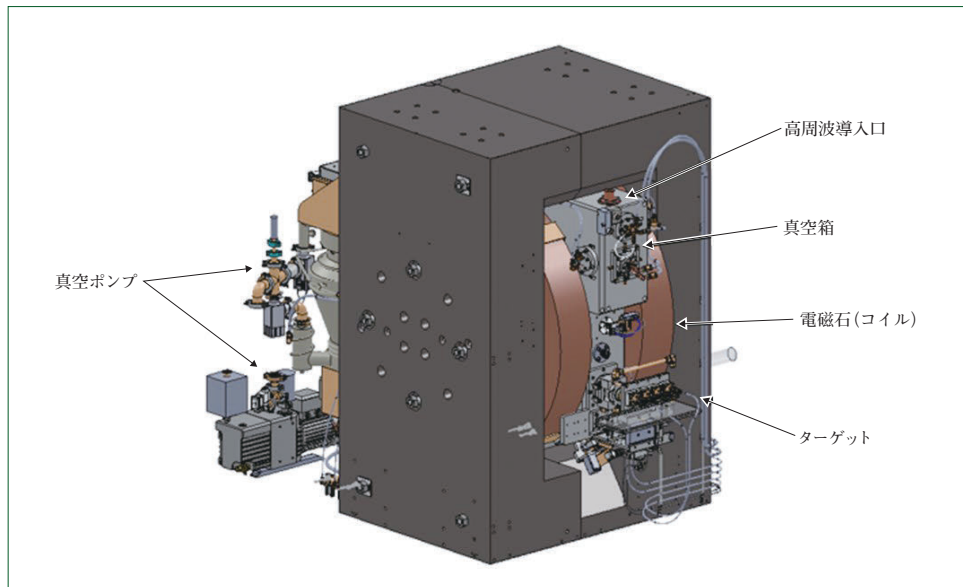


図2 HM-12SPC サイクロトロンの構造
HM-12SPC cyclotron

常細胞よりもブドウ糖代謝が活発であることを利用し、そのブドウ糖の集積をPETスキャナで画像化する。トレーサーとして使用される元素の製造には、10～18MeVの陽子と8MeV前後の重陽子が用いられる。サイクロトロンは小型であっても比較的高エネルギーの粒子を加速できることから、病院内に設置することが可能な装置となっている。

サイクロトロンは磁場を発生する電磁石と加速電極から構成される。図2に、HM-12SPCサイクロトロンの外観図を示す。粒子の通る所は真空でなければならないので、加速電極全体は真空箱の中に設置される。加速粒子はサイクロトロンの中心部に置かれたイオン源でつくられる。電磁石により水平方向に磁場が生成され、加速された粒子は磁場により垂直面内でらせん軌道を取り、ターゲットに到達する⁽¹⁾。

当社では、CYPRISシリーズとしてHM-10、12、18、20のサイクロトロンをラインアップし、放射性薬剤のデリバリー施設や院内製造向けに販売を行っている。次にサイクロトロンの各構成要素について、保守およびメンテナンスの観点から記述する。

2.1 イオン源

主にPIG型イオン源が使用されており、円筒状のアノードの両端にカソードを配置し、軸方向に磁場を加えた構造を持つ。内部に水素ガスを導入し、カソードにアーク電圧を印加するとカソードから熱電子が放出され、水素ガス分子に衝突しアノード内部でプラズマが発生する。プラズマの一部は引出し電極により引き出され、加速電極により加速される。アノードは消耗品となっており、定期的に交換が必要である。

2.2 高周波系

真空箱の中に設置された加速電極は、真空管または半導体アンプで増幅された高周波電圧(10MHz, 30～50kV)が印加される。空間的制約により電界が発生するギャップは狭くなっており、運転初期または真空箱を大気開放するようなメンテナンス直後は放電などが発生することがある。

2.3 ターゲット

PET診断に一般的に使用されるFDGの生成では、ターゲット材料として18Oの水が用いられ、1～2g程度のターゲット水に1kW以上ものビームを照射する必要がある。ターゲット容器は高エネルギーのビーム照射に耐えられるように熱伝導率の良い材料が使用されている。また、高温になってもターゲット水が沸騰しないように30～40気圧まで加圧される。真空とターゲット水は2重の薄い金属フォイルで仕切られているが、まれにフォイルバーストと呼ばれる故障が発生し、復旧に時間を要することから重要な監視項目とされている。

2.4 真空システム

イオン源から引き出された負イオンは高周波加速電極によって所定のエネルギーまで加速され、フォイルストリッパーで正イオンに変換後ターゲットに照射される。この過程はすべて真空容器の中で行われる。真空度が悪化すると、残留ガスとの衝突により加速途中でビームが失われてしまうことから、常に良い真空を保つ必要がある。真空系は24時間稼働しているが、予期せぬ停電などで真空ポンプが停止し真空度の悪化が継続した場合、サイクロトロンの稼働に影響が出る。瞬時電圧降下の場合は、基本的に自動復帰する仕組みとなっている。

3 遠隔監視システム

3.1 システムの概略(図1)

サイクロトロンの運転データはFOGサーバを通じてクラウドサーバに送信される。FOGサーバには手のひらサイズの小型コンピュータを使用しており、設置スペースによる制限を少なくしている。データの送信には携帯電話回線を使用することが可能で、専用線などを敷設する費用を抑えている。また回線はすべて閉域網となっており、外部からのアクセスを制限している。



図3 施設の稼働状況監視画面
Operation status view

クラウドサーバ上では運転データの加工とデータベース登録が行われる。権限を与えられた当社の技術者(カスタマーサポート部員, 設計部員)はセキュリティが担保された社内ネットワークに接続された端末からのみデータを閲覧することが可能である。Webブラウザを使用してシステムにログインした後, 目的とするデータにアクセスする。クラウドシステムの開発には, SHICuTeを使用した。標準部品化された機能を利用することにより, コストダウンと開発期間の短縮を図った。

3.2 遠隔監視システムの主な機能

(1) 稼働状況監視画面

各施設のサイクロترونの運転状況が一目で確認できるページとなっている。図3に, 画面例を示す。画面には次の①～⑤の情報が表示される。

① 稼働推移グラフ

1日の稼働ステータスを表示する。稼働ステータスは停止中, 待機中, 運転中, 照射中, エラー発生中に分類される。

② ステータス割合

1日に対する稼働ステータスの時間割合が円グラフで表示される。

③ トレンドグラフ

サイクロترون真空箱の真空度など常時監視が必要なデータがグラフ表示される。

④ イベント一覧

操作履歴などのイベント情報の一覧が表示される。

⑤ アラーム発生情報

アラームの発生情報の一覧が表示される。

(2) データの蓄積および可視化機能

装置からの運転データを蓄積し, グラフなどで可視化が可能である。データの表示形式はテキスト, 折れ線グラフ・箱ひげ図, 散布図が選択できる。また csv 形式でダウンロードすることも可能となっている。図4に, ト

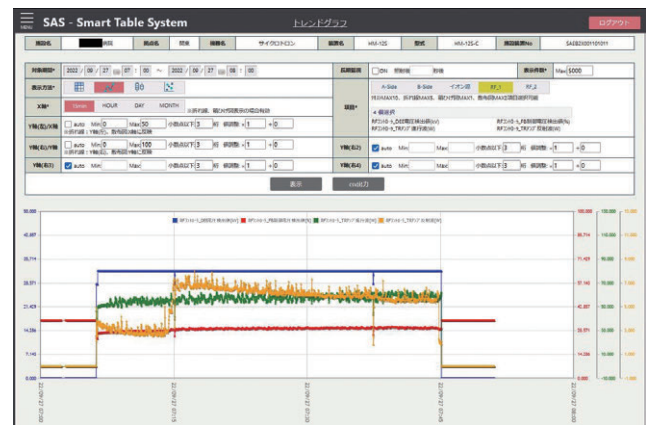


図4 トレンドグラフ
Trend Graph view

レンドグラフの例を示す。グラフ形式, 表示する項目, 期間などは任意に設定することが可能となっている。

(3) 部品の保守・ライフタイム管理機能

装置で使用している消耗部品の使用実績データを蓄積して表示する。使用率を設定することによってアラーム表示する機能となっており, 確実な部品交換を補助する機能となっている。

(4) 上下限值監視機能

個別の数値データに対して上下限値を設定して, 超えた場合には登録している電子メールアドレスにメールを発報する。

(5) 管理図機能

図5に, 管理図を示す。サイクロترون運転中の各データが自動的に管理値として取得・保存される。上方管理限界と下方管理限界を設定することが可能で, 限界を超えた場合にはメールを発報する。

(6) セキュリティ

クラウドへのデータ送信は閉域網を使用している。データへのアクセスは, セキュリティが担保された社内ネットワークからのみ可能となっている。

(7) ユーザ管理

ユーザごとにデータの閲覧や編集について権限を設定することが可能となっている。

(8) 保守点検システム

サイクロترونの保守管理を担っている住重加速器サービス株式会社により, 点検サービスの作業効率化および作業精度改善を目的としたサービスも同じプラットフォーム上に実装されている。アフターサービス業務においては点検漏れ, 記入漏れ, 発注漏れなどをなくそうとすることで作業者の負担が大きくなっている。これらの問題を解決すべく, サービス業務フローを整理して転記などの作業は可能な限り廃止し, 基準値を用いた動作確認作業に関しては, システムによる自動チェック機能を

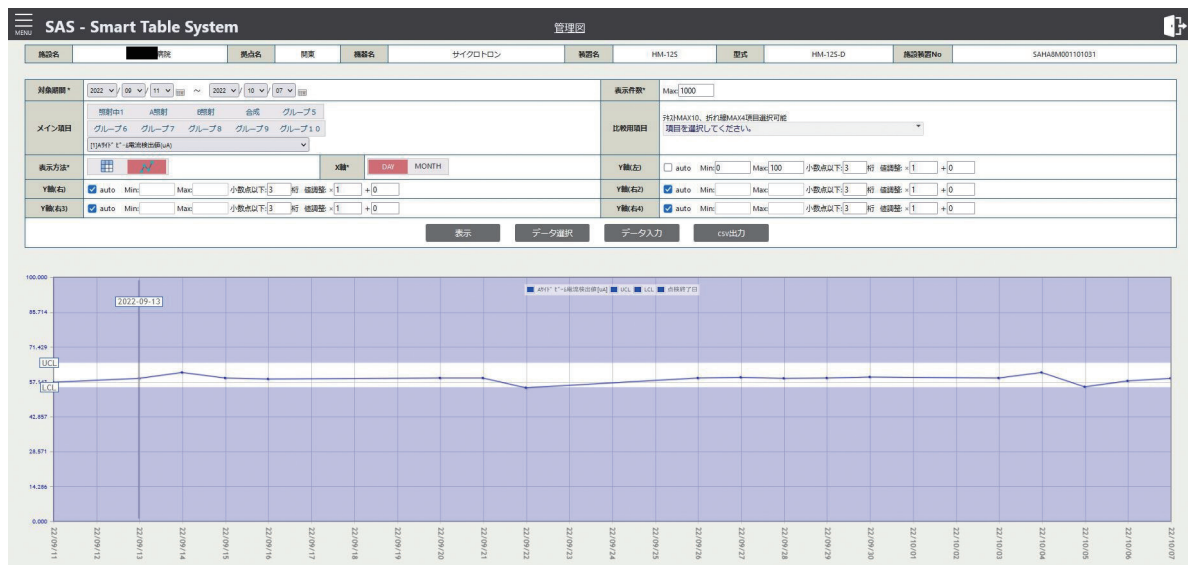


図5 管理図
Control chart view

実装している。人手による官能的な検査結果入力についても、省力化と誤記入防止を目的として、現場での制約も踏まえつつ可能な限り自動化を目指したシステムとなっており、報告書の作成から承認まで、本システム上で完結させることができる。なお、作業現場は端末がオフラインとなる環境も多いことから、オフライン時に入力された情報も、通信可能環境移行時に自動で更新される機能が実装されている。

4 導入の効果

本システムでは、遠隔にて容易にデータを取得できることにより、トラブル発生時の装置状態の確認が迅速に行えるなどの効果が出てきている。現地(カスタマーサポート部員)と工場(設計部員)の情報共有もリアルタイムのデータが使用できることから確実性が向上している。予期しない地震や停電発生時における状態確認も現地に赴く必要がなく、移動コストおよび対応時間の削減に寄与している。客先への説明も数値データを使用したグラフなどを用いることで理解を得ることができ、安心感を与えられるといった効果が報告されている。また、加速電極の放電多発時に、遠隔より運転支援を行っている事例もある。

5 今後の展望

当社では、放射性薬剤の合成装置などの機器も販売しており、それらの装置にも遠隔監視システムを展開すべく開発を進めている。また、陽子線治療システム、BNCT治療システムもPETシステムと同様にサイクロトロンからの陽子線ビームをベースとしたシステムとなっており、本システムを展開していく予定である。

遠隔監視システムに蓄積された運転データと当社の長年にわたる加速器技術を組み合わせた故障予知など、さらなる機能開発も進めている。稼働装置から得られるリアルタイムデータを保守作業だけではなく製品設計にフィードバックし、

商品とサービスの差別化を図っていききたい。

6 むすび

- (1) メンテナンス作業の効率化と装置の安定稼働を目的としてPET用サイクロトロン向け遠隔監視システムを構築し、運用中である。
- (2) クラウドシステムは、住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム SHICuTe をベースに短期間・低コストで開発された。
- (3) 定期的なメンテナンスだけではなく予期しない地震、停電発生時の装置状態確認、アラーム発生時の運転データ確認にも効果を上げている。
- (4) 保守点検システムも遠隔監視システムと同じプラットフォーム上に構築しており、作業効率化に寄与している。

(参考文献)

- (1) 熊田幸生, PET用小型サイクロトロンの開発, 加速器, Vol.2, No.2, 2005 (191-196)

※「CYPRIS」および「SHICuTe」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

統合型遠隔監視システム SIRMS

SHI-MH Integrated Remote Monitoring System

● 森 真 史* 青 野 洋 己* 伊 藤 義 和*
Masafumi MORI Hiroki AONO Yoshikazu ITO



SIRMSリアルタイム状態監視画面
Real-time status monitoring screen of SIRMS

住友重機械搬送システム株式会社(略称: SHI-MH)は、統合型遠隔監視システムとしてSIRMS(SHI-MH Integrated Remote Monitoring System)を開発し市場投入した。

従来は必要時に都度接続であったが、SIRMSではクラウドを利用した常時接続を行っている。これにより、顧客ニーズにリアルタイムに対応できるだけでなく、これまででは不可能であった客先での作業管理への適用も可能となった。

本システムは、すでに一部の顧客が利用しており、さらなる課題やニーズを抽出し日々改善を行っている。

また、今後は映像などを組み合わせた安全監視や、蓄積されたデータによるAIなどを利用した新たな付加価値を提供すべく継続的に機能強化を図っていく。

Sumitomo Heavy Industries Material Handling Co., Ltd. (SHI-MH) has developed and launched SIRMS, SHI-MH Integrated Remote Monitoring System. The system uses a cloud service, which is always connected to the cranes, instead of legacy connection to connect each time in need. Therefore, this system can apply to not only real-time customer needs, but also crane operation management, which had been impossible at customer's for a long time. The system already has been operating for some customer, and we are improving the system for new issues and needs. The system will have been continuously improved to add new functions such as safety monitoring with camera, and new valuable function uses AI and big data, in the near future.

1 まえがき

住友重機械搬送システムは、各種運搬荷役機械のリアルタイム監視と故障診断・復旧支援から保守・作業管理支援に至る統合型の遠隔監視システムとしてSIRMSを開発し、市場投入した。本システムは顧客の工場拠点をカバーリングしているので、顧客の保守戦略や拠点間の物流管理に活用でき、製品信頼性の確保と生産性の向上に貢献することができる。

2 開発の背景

2.1 従来の遠隔監視システム

2000年に遠隔監視システムを開発し、上市した。図1に、従来の遠隔監視システムを示す。従来のシステムは、専用回線を介して住友重機械搬送システムからクレーンの制御装置に直接回線接続するもので、次の機能を有している。

- ・突発故障時にクレーン制御装置の動作状況をモニタし、復旧を支援する。

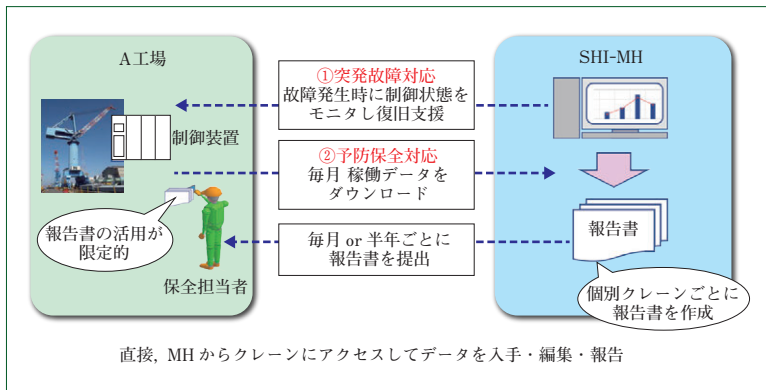


図1 従来の遠隔監視システム
Conventional remote monitoring system

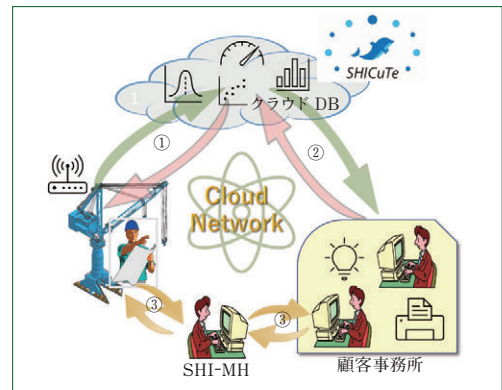


図2 クラウドネットワークによる情報共有
Information sharing with Cloud Network

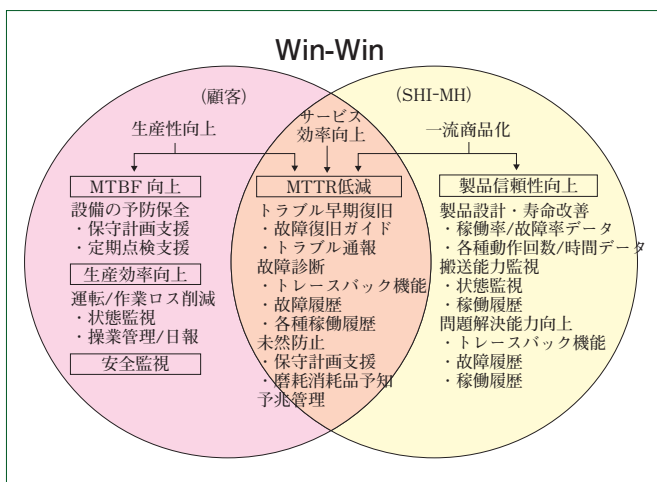


図3 SIRMSによる価値連鎖 (Win-Winモデル)
Value chain with SIRMS

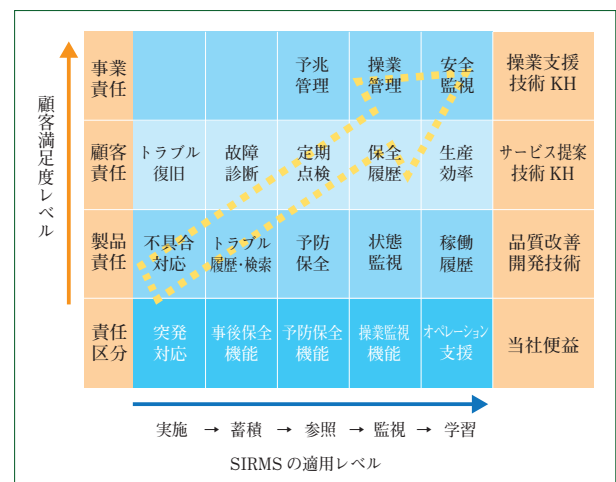


図4 顧客期待機能のベクトル整理と当社の便益
Vector arrangement for function customer needs and our benefit

・稼働情報を月ごとに集計・編集し、報告書を作成して予防保全に活用する。

ただし、記憶容量や通信速度の制限により、その機能は限定的であった。

2.2 新方式遠隔監視システムの開発コンセプト

従来方式の遠隔監視システムでは、月次報告という住友重機械搬送システムからの定期的な情報提供であることから、リアルタイム性に欠けるといった問題があった。

そこで、新方式のシステムでは、クレーンと地上事務所をクラウドを介して通信回線で結び、リアルタイムな情報共有を可能とした。図2に、クラウドネットワークによる情報共有を示し、その効用を図中の①～③と対応させて紹介する。

- ① クレーン上の各種センサのデータおよびGPSの位置情報をクラウド（SHICuTe：住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム）に上げ、リモートによるリアルタイムなデータ収集と複数同時アクセスを可能にする。
- ② 保守作業に対しては、クラウドから得られた情報により、操業管理支援や保守管理支援など現場運営のサポートを可能にする。
- ③ クラウドネットワークの活用により、住友重機械搬送

システムにおいてもいち早く情報を把握することができ、トラブルを迅速に復旧する。

2.3 統合型遠隔監視システムによる価値連鎖

DX化によるサービスレスポンスの向上は、顧客の設備における生産性向上に貢献すると同時に、住友重機械搬送システムにとっても製品の信頼性を高めるWin-Winの価値連鎖が期待できる（図3）。

3 開発ストーリー

3.1 市場調査

まずはじめに、従来方式の遠隔監視システムを導入している既存顧客を中心に、造船業界24工場（74人）から必要機能や新たに期待する機能についてヒアリングを実施した。その結果の主項目要約および個別要求事項を整理し、図4のように仮説を立てた。

その結果、不具合などの事後保全から予兆管理などの予防保全や、操業・安全などのオペレーション領域への期待が高いことが分かった。

3.2 プロトタイプ化手法

次に、市場調査による事前ヒアリングに基づき仮のシステ

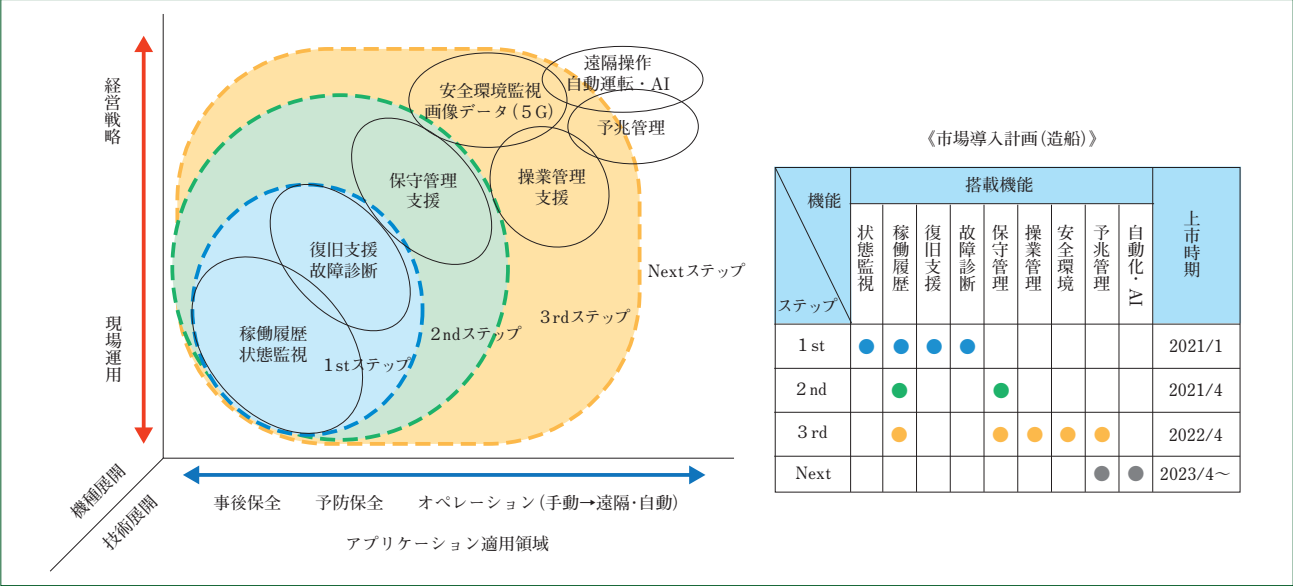


図5 システムの適用領域と市場導入計画
Application zone of system and introduction plan to market

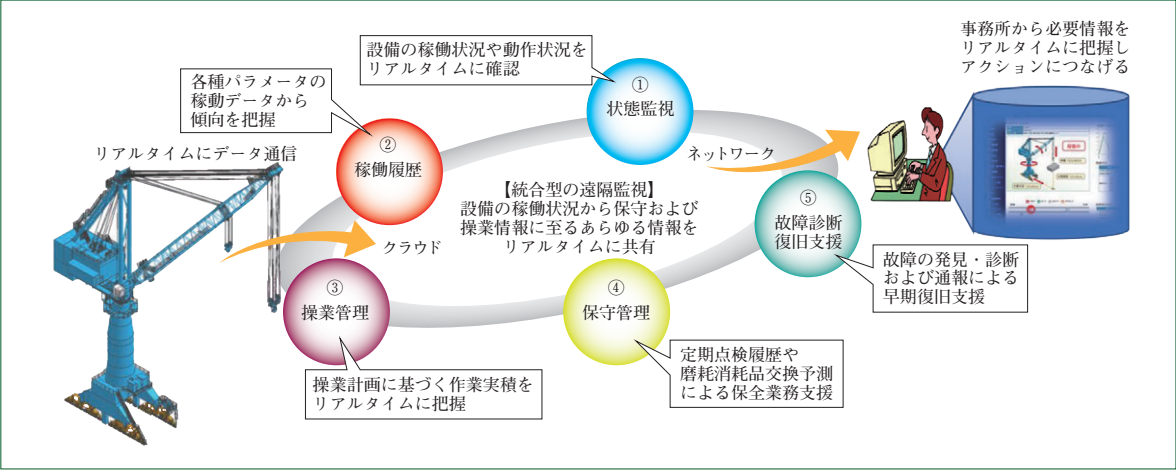


図6 SIRMSの5つの基本機能
5 basic function of SIRMS

ムをプロトタイプとして作成し、事前市場調査で一定の期待感を示した顧客(15工場)を再訪問し、本システムへの具体的な要望および要求事項を確認したうえで、本格的にシステム開発に着手した。

3.3 システムの適用領域と市場導入

システム開発に際しては、最終的搭載機能を一度に完成させるのではなく、顧客の期待が大きかった機能群から順次計画的にバージョンアップ搭載する方式とし、システムの適用範囲と市場投入時期を設定した(図5)。

現在は、3rdステップの市場導入を終え、新たなステップへの準備をしている段階である。

4 システム構成

4.1 システムの基本機能

図6に、本システムの全体構成および機能概要を示す。それぞれの役割は次のとおりである。

- ① 状態監視
現時点の設備の健全性や生産性の情報を把握する。
- ② 稼働履歴
設備の健全性を測る各種のパラメータを多面的に捉え、その経時変化や設備間の差異から保全計画の立案をサポートする。
- ③ 操作管理
日々の操業計画および変化する作業実績を共有し、生産性改善の一助とする。
- ④ 保守管理
設備の維持管理に必要な予防保全情報を提供する。
- ⑤ 故障診断・復旧支援
発生した故障の原因究明と復旧をサポートする。

4.2 クレーン上のシステム構成(図7)

クレーン上のシステム構成は、既存のクレーン(緑色)にSIRMS用の機器(黄色)を追加した構成となる。フォグサー

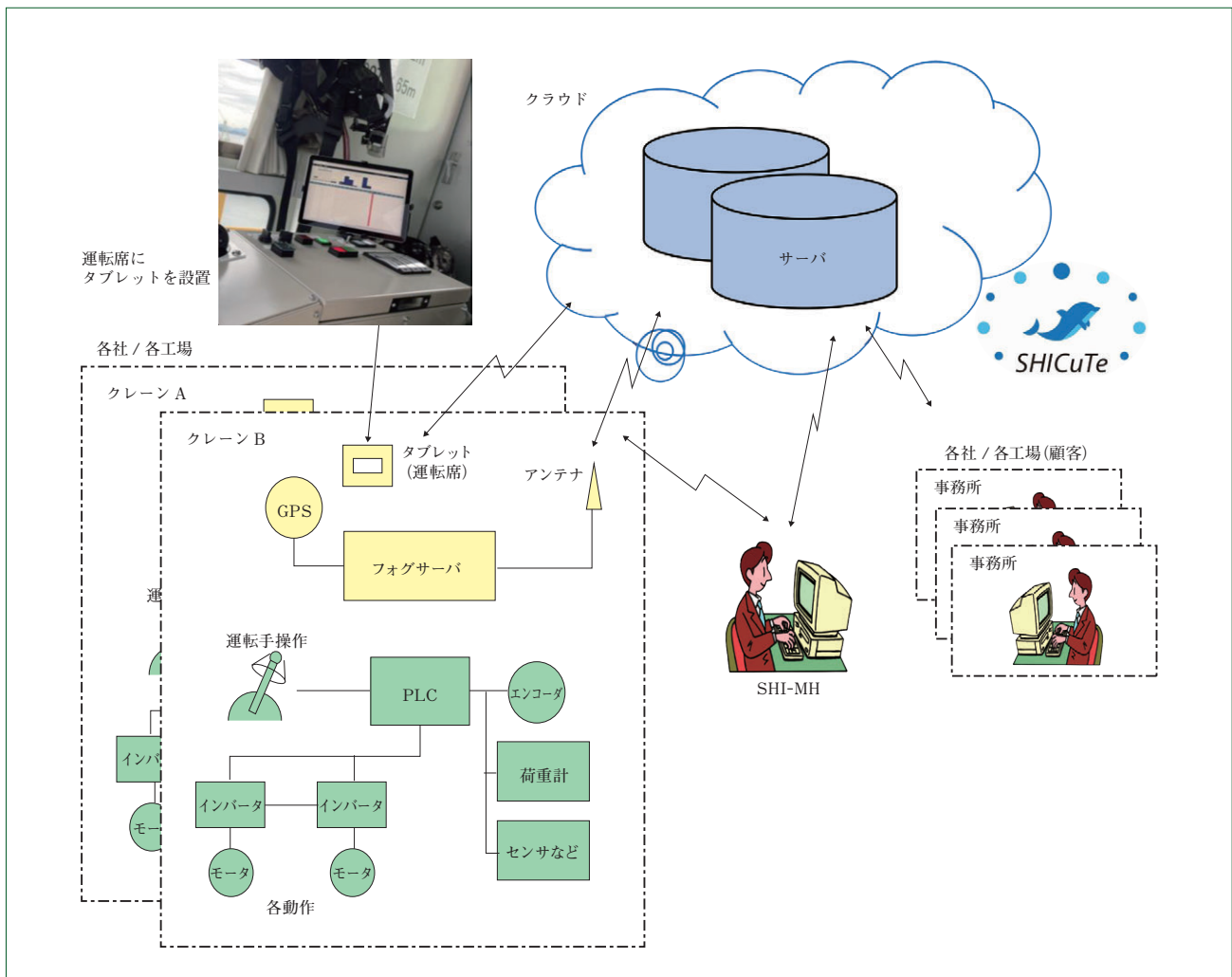


図7 クレーン上のシステム構成
System configuration of crane

は、制御装置(PLC)と通信を行いPLCが持つ各データを収集する。また、GPS機能によりクレーンの緯度・経度情報を収集することができる。最終的に、フォグサーバはこれらのデータを含むファイルを作成・圧縮し、それをクラウドのサーバへアップロードする。

タブレットは、事務所と同様の画面を閲覧可能だが、搬送計画と実績をリンクさせることを主な目的として使用する。すなわち、画面に計画リストを表示させ、これから行う作業をリストから選択する。クラウドは、そのリスト選択情報と荷重や動作などの情報から実績データを自動的に生成する。

4.3 通信回線

通信回線にはSHICuTeを使用している。LTEパケット回線を利用し、専用のSIM経由でしかアクセスできないネットワークである。

4.4 通信データ

クラウドに送信するデータは制御装置(PLCなど)の入出力データとし、次の信号を含む。

- ・運転手の操作信号
- ・検出器の状態
- ・各動作の速度指令

- ・クレーンの状態(運転モード：正常/故障など)
- ・消耗品の積算データ(動作時間、起動回数)

送信周期は制御周期(40ms)ごととした。これらによって、より細かい分析および評価が可能となった。また、ビッグデータを収集可能となり、将来のAI診断に役立てることが期待される。

5 機能紹介

5.1 機能一覧

図8に、本システムのメニュー構成とその概要を示す。

5.2 機能詳細

① 工場選択

顧客全社の監視対象拠点工場の選択および必要な諸元については工場の垣根を越えて情報を一括表示することができ、工場間の物流改善や最適運用計画に貢献している。

② 工場詳細

選択工場のリアルタイム設備配置(GPS搭載)および稼働状況を表示するとともに周辺の気象情報を提供する。

③ 状態監視

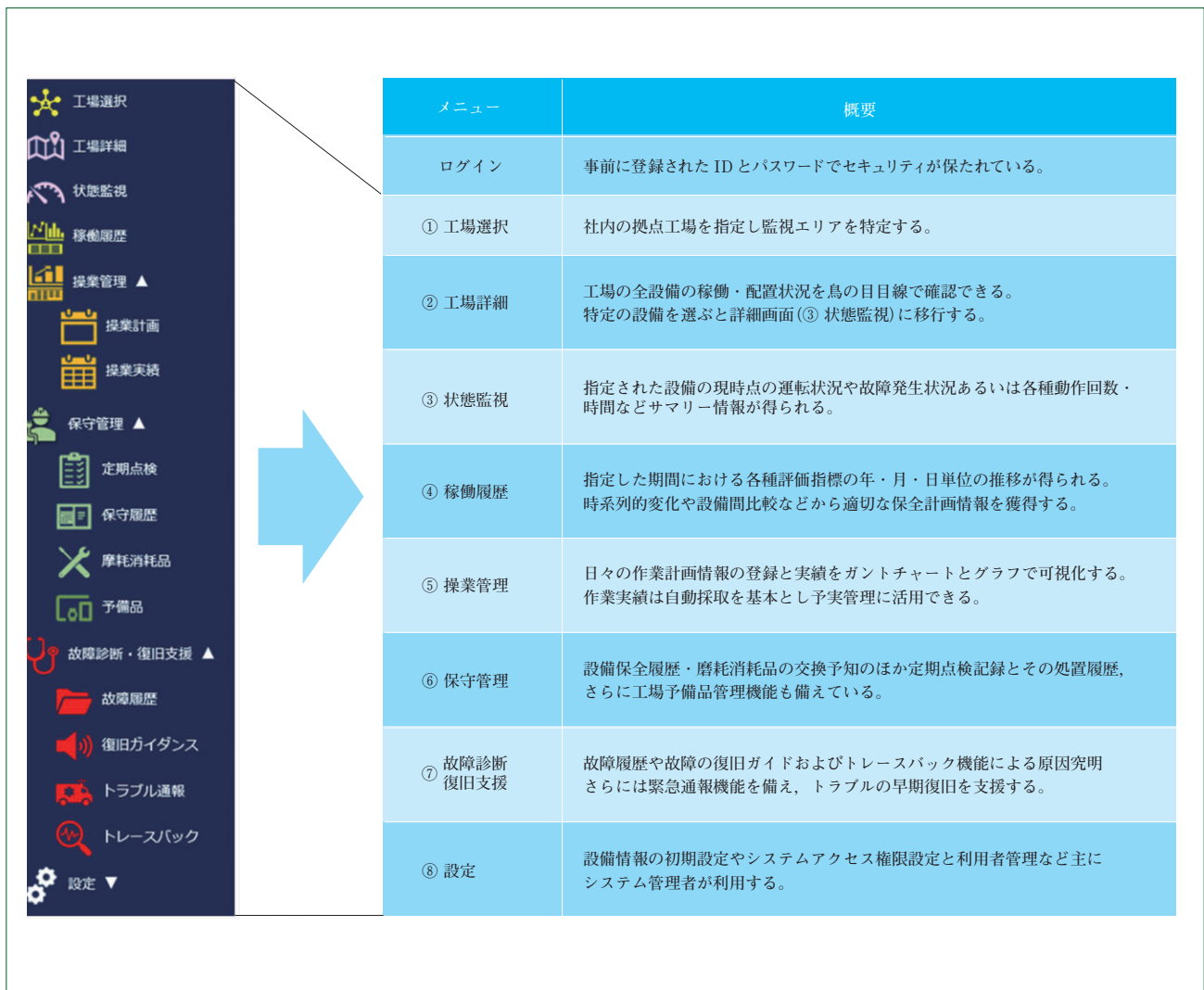


図8 SIRMSのメニュー構成と概要
Menu configuration and outline of SIRMS

指定された設備の現時点のAvailability(稼働率・作業率)、各動作モードの動作時間・回数などの運転状況、故障発生状況などサマリー情報をリアルタイムに表示する。なお、重大故障が発生した場合は、緊急アラーム情報が表示されると同時にあらかじめ登録された関係者に警告メッセージメールが自動発信される(代表図)。

④ 稼働履歴

各種評価指標の時系列的変化や設備間比較などから保全計画情報を獲得する。同時に5台まで可視化可能としている(図9)。

⑤ 作業管理

日々の作業計画情報の登録と実績の取得により、予実管理を可能とする。作業計画は日々の作業となるので、一括登録を可能とし作業の簡便化を図った。作業実績の把握においては、将来のAI判定化への備えとして搬送判定用のデータサンプリングピッチや吊上げ荷重認識下限値など9個のパラメータを設定し、チューニングを可能としている(図10)。

⑥ 保守管理

設備保全履歴や磨耗消耗品の交換予知のほか、定期点検記録とその処置履歴の蓄積が可能で、緊急保全から中長期保全まで計画を支援する。

⑦ 故障診断・復旧支援

故障ランク別の発生事象、発生日時および停止時間などの故障履歴や、故障の復旧ガイド、トレースバック機能による原因究明、さらには緊急通報機能を備え、トラブルの早期復旧を支援する。

⑧ 補助機能(設定)

a. 設備情報設定

各クレーンの主要仕様やシステム演算用の起点情報などをクレーンごとに設定でき、演算の効率化を図っている。

b. マスタ登録

アラーム設定や磨耗消耗品リストなどの一括データを導入初期または必要に応じて一時的にマスタ登録更新できる機能を備えており、利便性を高めている。

c. メール設定

本システムには、重大故障が発生した場合に警告メ

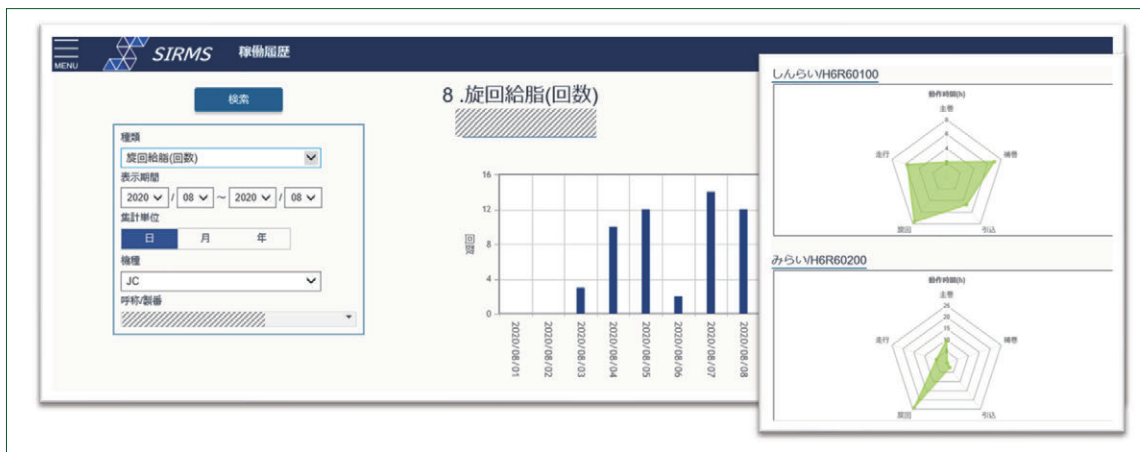


図9 稼働履歴画面例
Example of screen for operation history



図10 操作計画／実績画面
Example of screen for operation plan and result

ールが自動発信される機能が備わっているが、その際の発信先メールアドレスをここで登録する。

d. 権限設定

顧客の階層(管理者、保全者、運転者など)に応じて任意に閲覧・操作権限設定を可能としている。

6 むすび

本システムは、一部の顧客が利用しながらさらなる課題を抽出し、日々洗練化を図っている。

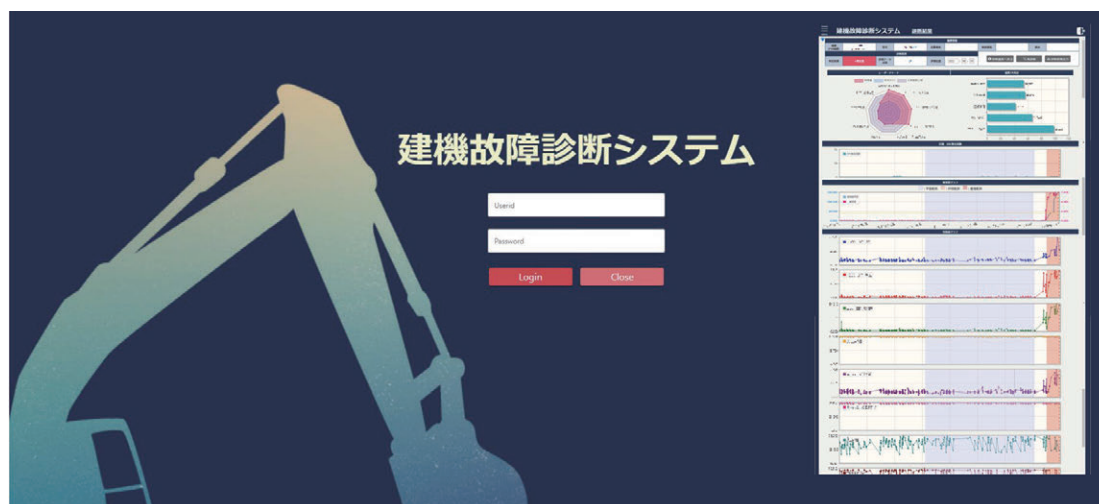
今後は映像技術やウェアラブルデバイスを組み合わせた安全監視や遠隔による保守作業支援など次世代型遠隔監視システムへと機能拡張を図る計画である。さらに、蓄積されたデータに基づきAI・IoTを活用した故障予兆管理や工程管理などスマートファクトリ化への基盤技術として継続的に機能強化を図っていく。

※「SIRMS」は、住友重機械搬送システム株式会社の登録商標です。
「SHICuTe」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

油圧ショベルの故障診断システム開発

Development of Fault Diagnosis System for Hydraulic Excavators

●古賀方土*
Masato KOGA



故障診断システム
Fault diagnosis system

近年、油圧ショベルは性能向上と高機能化が進んでその機構が複雑化し、修理作業が難しくなっている。修理作業が難しくなることでそのダウンタイムが増加することは避けなくてはならない。そこでダウンタイムを低減すべく異常発生時の予兆を捉える故障診断システムの開発を実施した。まず稼働時のデータを取得し、機械学習技術を活用して、異常発生時の変化を検出することを可能にした。そして過去に発生した不具合情報を活用して検出機能の評価を実施し、想定した不具合の現象を捉えることが可能であることを確認した。

In recent years, the more mechanism of hydraulic excavators has complicated, according to the performance improvement and high functionality, the more difficult the repair work has been. But it must prevent the machine downtime caused by these difficulties in repair works from increasing. Under this demand, we have developed a fault diagnosis system which can detect the sign. At first, operating data had been collecting, analyzing the characteristic of data, and it can be possible to detect the sign of faults, using machine learning techniques. After testing the system on past faults and evaluating the detection results, we have confirmed that it's able for the system to be detected assumed faults.

1 まえがき

住友建機株式会社が製造・販売する油圧ショベルの業界では、排出ガス規制に対する対応や省エネルギー対応により、その機構が複雑化して多様な機能を備えるようになった。また、IoTやICT技術の進歩により、遠隔で油圧ショベルの稼働データを収集して稼働を管理するシステムが一般的になっており、取得した稼働データを使用した新たなサービスの提供が盛んになっている。

一方で、その性能や機能の高度化が進むことで部品点数が増加し、機器や機能が複雑化しており、不具合発生時にはその原因の特定や修理が困難になってきている。さらに管理台数の増加でサービスマンの負担も大きくなっている。ユーザには計画通りに工事を完了させる必要があり、計画外停止は

回避しなければならないことから、急な修理対応を求められることもある。機械の性能や機能の向上に加え、保守の面でもユーザの安心を確保することは非常に重要であるが、サービスマンの負荷を軽減しながらにサービスの質を上げていくのが大きな課題になっている。

住友建機では稼働時間、位置情報、定期交換部品などの通知機能に加え、盗難防止機能を有する遠隔稼働管理システムG@Nav⁽¹⁾(図1)をすでに開発している。本システムは、特定の異常を閾値や条件式で検出して故障コード(DTC: Diagnostic Trouble Code)として通知することで遠隔地でも確認でき、ユーザだけでなくサービスマンにも必要不可欠なものになっている。しかし、検出するべき異常のなかには、センサ値としては正常範囲であってもその変化や挙動、その他のセンサ値との関係によっては機械停止につながる異常の



図1 遠隔稼働管理システムG@Nav
Remote operation support system

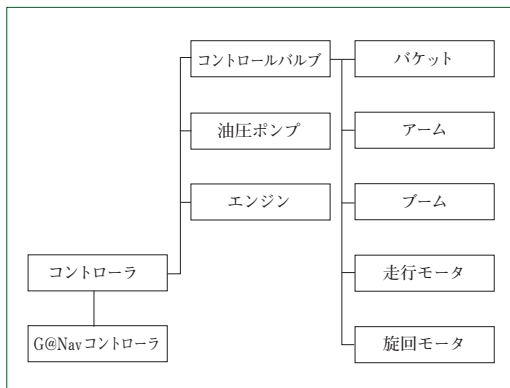


図2 油圧ショベルの機器構成
Equipment configuration of hydraulic excavator

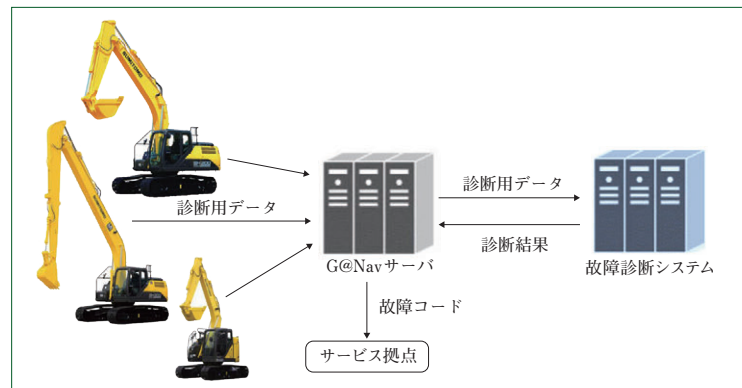


図3 故障診断システムのシステム構成図
System configuration diagram of the fault diagnosis system

予兆と判断すべきものがあり、単純な閾値判定では検出するのが困難な場合もある。

センサ値の変化を監視して機械停止につながる予兆を捉えることは、ユーザの油圧ショベルのダウンタイム低減や、サービスマンの負荷軽減につながると考えられる。そこで、特徴量と機械学習を活用し、センサ値の挙動を特徴量で表現する故障診断システムの開発を進めた。

2 故障診断システム

2.1 油圧ショベルおよびG@Navの構成

図2に、油圧ショベルの機器構成を示す。油圧ショベルはディーゼルエンジンを動力源として油圧ポンプを駆動し、コントロールバルブを介して各アクチュエータを作動させる。油圧ショベルは汎用性が高い機械であり、ユーザによってさまざまな用途で使用される。人の腕のように動き、自在な作業が可能な油圧ショベルは、一般土木の掘削作業を行う場合にはアーム先端にバケットを装着する。また、碎石作業などではブレーカを、解体作業や林業では対象をつかむグラブを装着することが可能であり、アーム先端部分を交換する

ことでさまざまな作業に対応できる。

その多様な動作はエンジンや油圧ポンプなどをショベルコントローラで制御して行う。G@Navコントローラはショベルコントローラの情報を取得し、必要な情報をG@Navサーバへ送信している。故障診断システムで必要な診断用データについても、G@Navコントローラを介して取得している。

2.2 検出処理の構成とシステム構成

図3に示すように、診断用データは各機体からG@Navサーバに蓄積され、そのデータを定期的に今回開発した故障診断システムで受け取り、異常度算出などの処理後、診断結果をG@Navサーバへ返している。診断結果に基づいて割り当てられた故障コードを通知する仕組みとし、G@Navの管理画面上でも従来の故障コードと同様に確認できるようになった。

2.3 故障診断機能のコンセプトと構成

図4に、故障診断システムにおける異常度算出の流れを示す。処理の流れは、一般的な機械学習による故障診断手法とおおむね同様である。機械学習技術を故障診断に使用する際の問題として「故障発生時のデータ不足」と「学習モデルの

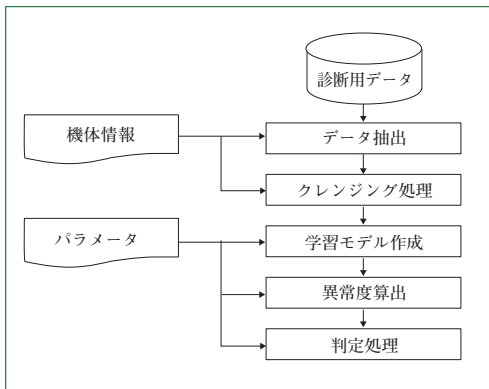


図4 故障診断システムのデータ処理フロー
Data processing flow of fault diagnosis system

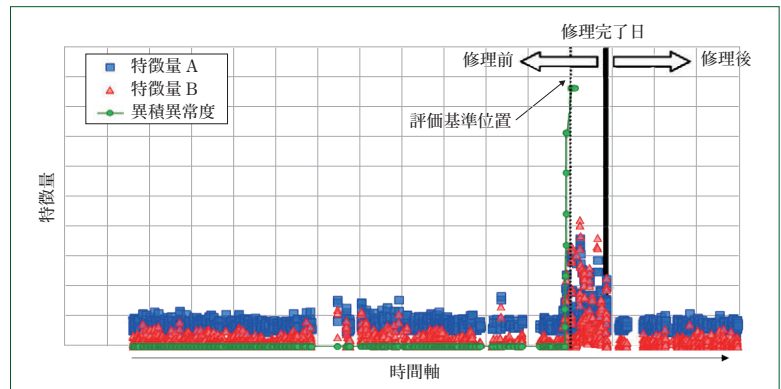


図5 特徴量と累積異常度のグラフ
Transition of feature value and cumulative anomaly

劣化」が挙げられる。

「故障発生時のデータ不足」の原因は、そもそも故障が発生すること自体が少ないので、データが存在しないことや、存在していても少量であることが多い。これにより正常と異常を分類する学習モデルを作成することが困難な場合がある。そこで、正常データのみを使用した学習モデルを採用することとした。稼働している油圧ショベルから得られるデータの大半は正常稼働しており、その正常データを基準として、評価対象のデータがどの程度離れているかで異常度を算出する⁽²⁾。

「学習モデルの劣化」は、ここでは季節変化や機器の劣化により機体の正常範囲が徐々に変化し、学習モデルが対応できなくなっていく状態を指している。本システムでは、基準とする正常データを再設定し、学習モデルを再構築して異常度を算出することで季節変化と機器の劣化による正常範囲変化の影響を軽減する。

また、油圧ショベルはその汎用性の高さから作業環境も多様でオプション機能も多いことから、故障予兆を検出する学習モデルを共通化して評価を行うことは困難と考え、データ抽出では機体情報に基づいて各機体の学習データを準備し、学習モデルを作成することとした。

クレンジング処理においては、評価に適さないデータを切り除く処理を行っている。動作環境や作業によってセンサ値が大きく変動する。その変動が操作によるものなのか、異常によるものなのかを区別することは、現場でその機体の状況を確認しない限り容易ではない。このことから、異常度算出の際に使用するデータは機体情報から評価に適したものをを使用することとした。

学習モデルは、異常度算出時の基準となるデータを決定した後、設定したパラメータに基づいて学習データを決定して作成する。異常度の算出は、定期的にバッチ処理で実行しており、バッチ処理のタイミングにおいて、最新日時のデータを基準とした。そのデータを起点に学習データ範囲を設定して、不具合発生時の仮説に基づいて決定した特徴量を使用し異常度を算出している。異常度算出は、異常検知に用いられる数種類のアルゴリズムから選択して設定し、定期的に行われる。

判定処理では、基準データを起点に設定した評価範囲内の異常度の累積値を使用し、閾値判定を行っている。判定処理

後は、計算した異常度と判定結果をG@Navサーバ側へ返すシステムとした。

このシステムを構築するに当たり、不具合品として回収された部品を使用した再現試験を実施してデータ収集を行っていた。市場の不具合を再現試験で網羅することは不可能であり、市場に出た後に対象機体側のパラメータ調整を都度行うことは効率やコストなどの観点から好まれることではない。最終的なパラメータ調整を機体側ではなくサーバ側で行えることが本システムの利点だと考えている。

3 故障診断機能の検証

構築した機能の検証として、特定の不具合を対象に不具合情報に基づく検証とテスト運用による検証を実施した。

3.1 不具合情報に基づく検証

診断用データは過去数年分が存在しており、その間に発生した不具合情報から適切な検出が可能であることを検証した。異常度算出の流れは前述のとおりで、使用する特徴量は事前の不具合発生時の仮説と再現試験結果に基づいて決定した。

図5に、過去に発生した不具合の修理完了日と、その機体から得られた代表的な特徴量の変化を示す。横軸が時間を示しており、修理完了日を基準に左側が修理前、右側が修理後になる。特徴量AおよびBの値が修理完了日前に上昇し、修理完了後に上昇前の状態に戻っていることが確認できる。また、特徴量AおよびBが上昇したタイミングで、算出した累積異常度が増加を開始し、評価基準位置まで上昇している。今回の検証は、評価基準位置を時間軸の左から右方向へ進めた場合にどの時点で検出可能かを評価したもので、閾値を超えて異常と判定した評価基準位置以降の異常度の算出は行っていない。検証結果から、図5に示す機体のデータについては、選定した特徴量とアルゴリズムが適切に不具合を捉えたと考えている。

一方で、特徴量に変化が見られず不具合情報があっても検出できなかったケースもある。今回の方法に限らず、センサ値を使用した検出方法は、センサ値に表れる現象を捉える方法であり、使用しているセンサ値に変化がない場合、その現象を捉えることができる別のセンサが取り付けられていなければ検出できない。したがって、これらを改善するには、その不具合について詳細な調査が必要になる。

表1 テスト運用結果
Test operation result

No.	機番	現地調査時の状況	コメント	作動油量	黒煙		白煙		部品回収後 調査結果	調査結果No
					有・無	発生時期	有・無	発生時期		
1	000001	気付きなし	—	規定値未満	無し	—	無し	—	△	000001
2	000002	始動不可	部品交換後エンジン始動	規定値以上	無し	—	有り	—	×	000002
3	000003	気付きなし	—	規定値以上	無し	—	無し	—	×	000003
4	000004	始動不可	部品交換後エンジン始動	規定値以上	有り	—	有り	—	×	000004
5	000005	始動不可	部品交換後エンジン始動	—	有り	—	有り	—	×	000005
6	000006	黒煙	—	規定値以上	有り	—	有り	—	△	000006
7	000007	黒煙	〇〇で温度上昇不足	規定値以上	有り	—	無し	—	×	000007
8	000008	始動不可	部品交換後エンジン始動	—	—	—	—	—	×	000008
9	000009	黒煙	—	規定値以上	有り	—	有り	—	×	000009
10	000010	黒煙	—	規定値以上	有り	—	無し	—	○	000010

今回対象とした不具合について、不具合情報がある機体を検出できなかった場合を失報、不具合情報がない機体を検出した場合を誤報として検出機能の評価を実施した。

3.2 テスト運用による検証

故障診断システムの判定結果に基づいて、現地での実機確認と部品交換および回収調査を実施して検証を行った。過去の不具合情報を用いた評価では、失報や誤報の要因を調査することが難しい。特に誤報では、特徴量が変化した要因が不明であることから現地での実機確認および回収調査を行うこととした。ただし回収調査は、システム側で異常検出した機体についてユーザから合意が得られた場合のみ新品部品と交換して実施した。

表1に、調査結果の一覧を示す。一覧には回収時の状況と回収後の調査結果を記載している。「部品回収後調査結果」には、回収した部品の調査結果を簡易的に3段階で記載しており、○は正常で、異常や性能低下が確認できなかったもの、△は何らかの異常や性能低下が確認できたもの、×は明らかに異常や性能低下が確認できたものとしている。調査結果から、10件中9件で何らかの異常や性能低下を確認した。

故障診断システムで検出した機体の10件中4件は「現地調査時の状況」に記載のとおり現地調査時にはエンジンが始動不可になっていた。始動不可になる前に交換することはできなかったが、重大な不具合を事前に検出することができた。いずれも部品交換後には稼働可能な状態になったことを確認しており、テスト運用により、本システムに一定の効果が期待できることが分かった。

4 課題と今後の展望

故障診断システムの開発により、遠隔地であってもこれまで以上に機械の状態が把握できるようになった。これにより、サービスマンは重大な不具合発生前に準備でき、機械停止につながる不具合の低減に活用できると考えている。一方で、機械のダウンタイム低減、サービスマンの負荷軽減、サービスの質の向上という目的を達成するには、次の3つの課題を解決する必要がある。

- ① 検出対象とする故障が限定的
- ② 不具合の早期検出
- ③ 診断システムの性能向上

①については、発生した不具合情報と照合しながら検出対象とする故障の事例を徐々に拡張していく必要がある。不具合の現象を検出するという考え方で、センサ情報からその故障が確認できるのであれば、そのほかの不具合への対応も可能であると考えている。②では、より小さな変化を捉える方法や、不具合時の現象が現れやすい状況で取得したデータを評価することで対応可能と考えている。一方で、小さな現象を捉えようとすると誤報も増加すると予想されることから、そのバランスについては考慮する必要がある。③は、現状では現象を捉える機能のみだが、現象の特徴から原因を判断する機能についても検討を進めている。

今後は、現場における活用実績と現在活用できていない情報とを組み合わせて使いやすさや診断性能を向上させ、適用範囲を拡大していきたい。

5 むすび

- (1) 油圧ショベルから得られる稼働データを特徴量に変換し、その特徴量と機械学習技術を活用した故障診断システムを構築した。本システムにより、単純な閾値判定では困難な不具合の検出が可能になった。
- (2) テスト運用において、システムが検出した機体の部品を回収調査し診断結果の妥当性を確認した。

(参考文献)

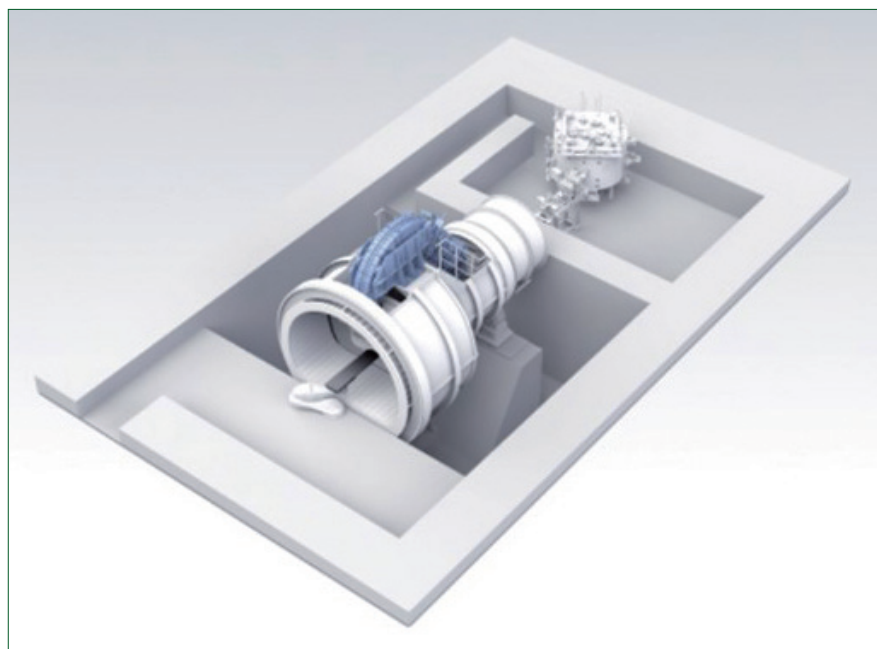
- (1) 三鷲 勇, 塚本浩之, 坂井紀幸, 新型油圧ショベルSH200-5 LEGEST, 住友重機械技報, No165, 2007, p.7.
- (2) 井手 剛, 杉山 将, 異常検知と変化検知, 講談社, 2015.

※「G@Nav」は、住友建機株式会社の登録商標です。

ベイズ最適化を用いた陽子線ビームサイズ・位置の自動調整システムの検討

Examination of Automatic Adjustment System for Proton Beam Size and Position Using Bayesian Optimization

● 中 島 秀*
Shu NAKAJIMA



次世代陽子線治療システム
Next-generation proton therapy system

陽子線がん治療装置の据付け後の調整で時間を要している作業がビーム輸送系の調整であり、輸送する陽子のエネルギーごとにビーム輸送系を構成する各電磁石のパラメータを最適化する必要がある。ビーム輸送系の調整は、輸送計算を理解した熟練作業者による実施が不可欠であるが、熟練作業者のリソース不足という問題を抱えており、作業の標準化や効率化が急務である。その解決策としてAIを使ったビーム調整の可能性についてビーム軌道シミュレータを用いて検討した。

The most time-consuming tuning work after installation of the proton therapy system is the adjustment of the beam transport system, and it is necessary to optimize the parameters of each electromagnet that constitutes the beam transport system for each proton energy to be transported. Adjustment of the beam transport system must be carried out by skilled workers who understand transport calculations, but standardization and efficiency of work are urgently needed due to the problem of resource shortages for skilled workers. As a solution, we investigated the possibility of AI-based beam adjustment using a beam transport simulator.

1 まえがき

現在のがん治療は外科・化学・放射線治療が主流となっている。特に放射線による治療はQOL (Quality of Life: 生活の質) が高いという点から注目されており、そのなかでも陽子線治療システムは、当社が年間1～2台の受注を目指すべく重点的に取り組んでいる機種である。近年の陽子線市場は成熟してきており、その動向から装置システムには小型、低価格および短納期が求められ、短時間照射や呼吸性移動臓器の治療が主流になってきている。特に納期については、競合他社と比較すると据付けから治療開始までの期間が約1.5倍長いことから短縮が求められている。全体工程の大まかな内訳

は、機器の据付け：40%、ビーム調整：30%、コミッショニング：30%となっている。

この背景のもと、現地におけるビーム調整はビームの輸送計算を理解している設計者が行っている。また、調整作業には相当な熟練度が必要であり、新人の設計者がすべての調整を行うことは不可能である。また、ビーム調整期間中はほかの設計業務に携わることはできない。そこで、その解決策として、AIを使ったビーム調整が可能であるかをシミュレータを用いて机上で検討した。AIがビーム調整を行うことにより設計者が現地に行かずに済み、ロバストにビーム調整が完了することが期待される。

今回、調整方法には機械学習のハイパーパラメータ探索に

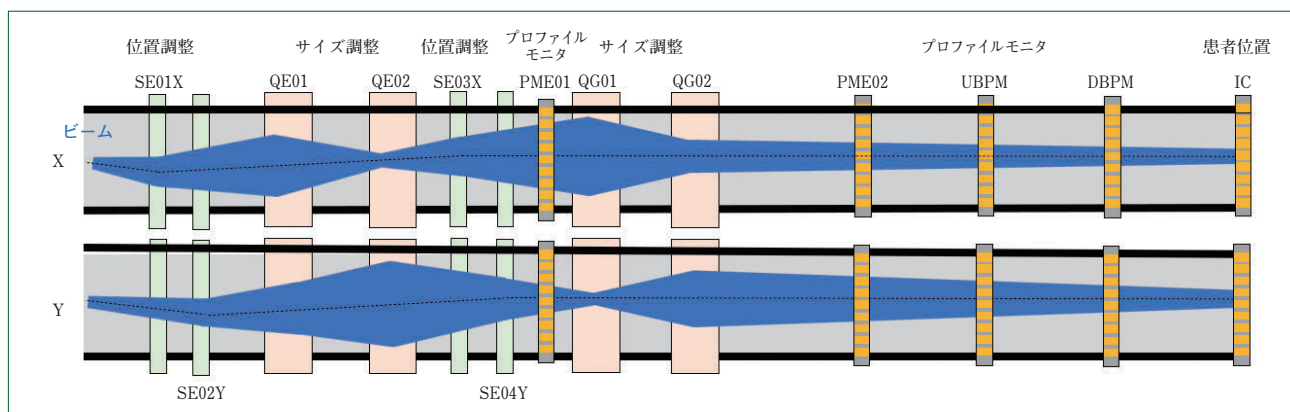


図1 西条APDCビーム輸送系
Saijo APDC beam transport system

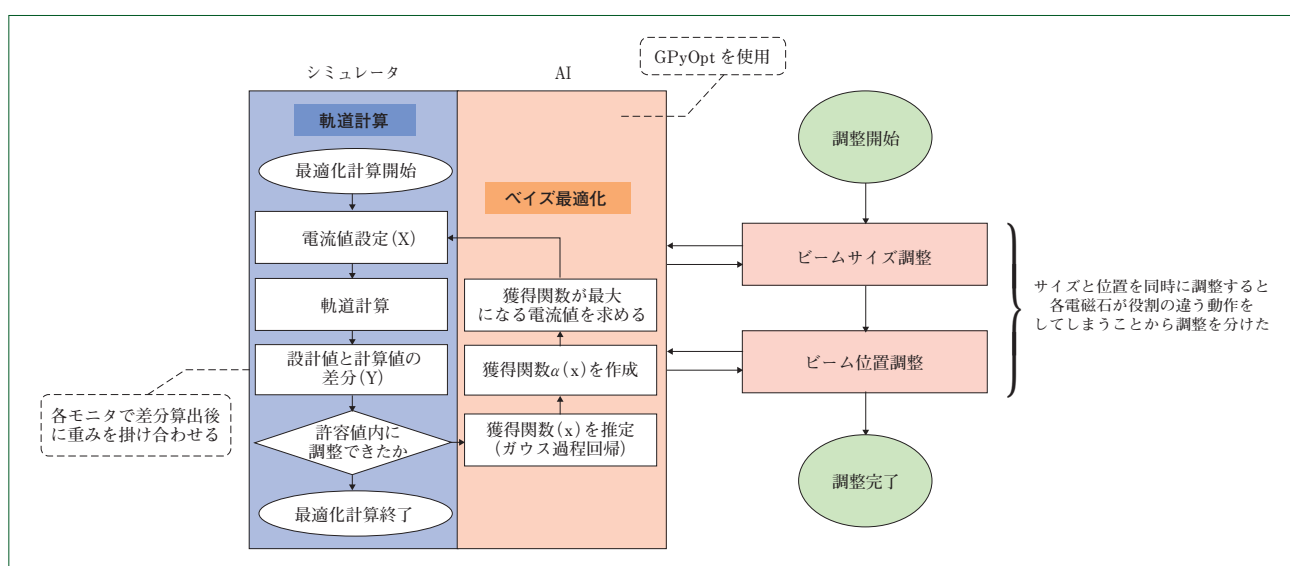


図2 最適化のワークフロー
Workflow of optimization

使用されるベイズ最適化⁽¹⁾を用いた。ベイズ最適化は学習フェーズを必要とせず、最適化したい関数の形状が分からない場合にも使用できる。また、活用と探索をうまく行えば調整回数も減らせるのではないかと考えた。ベイズ最適化の結果を判断すべくNelder-Mead法⁽²⁾でも調整を行い、調整精度や回数を比較した。

2 シミュレータ

次世代陽子線システム用の超電導サイクロトロンの開発が行われている西条APDC (Accelerator Application Development Center) のビーム輸送系のシミュレータを加速器向け粒子軌道計算コードMAD-X⁽³⁾を用いて作成し、ベイズ最適化の検討を行った。図1に、西条APDCのビーム輸送系を示す。

ビーム輸送系は8つの電磁石および5つのプロファイルモニタ(PM)から構成される。PMはビーム位置、サイズ、強度を測定することができる。PME, UBPM, DBPMは各場所に設置されたPMの一種であり、IC(isocenter)は放射線が最

も集中して照射される部分で、ビーム輸送のゴール地点である。

各電磁石の役割は、

- ・SE(Steering magnet at ESS)：ビーム位置を調整
- ・QE/QG(Quadrupole magnet at ESS/GTS)：ビームサイズを調整

であり、電磁石に流す電流値を上げ下げすることでビームの状態を変化させる。

作成したシミュレータでは、ビームサイズおよび位置の測定結果をAIへ渡し、AIから最適化後の電磁石の電流値を受け取り、これらを繰り返すことで最適化を行う。シミュレータ内部では、AIから受け取った電流値を磁場に変換させ、輸送計算を目的としたインプットファイルを作成する。作成したインプットファイルをMAD-Xのトラッキング計算機能でビーム輸送し、各プロファイルモニタ位置にてビームの分布を出力し、フィッティングからビームサイズおよび位置を算出する。

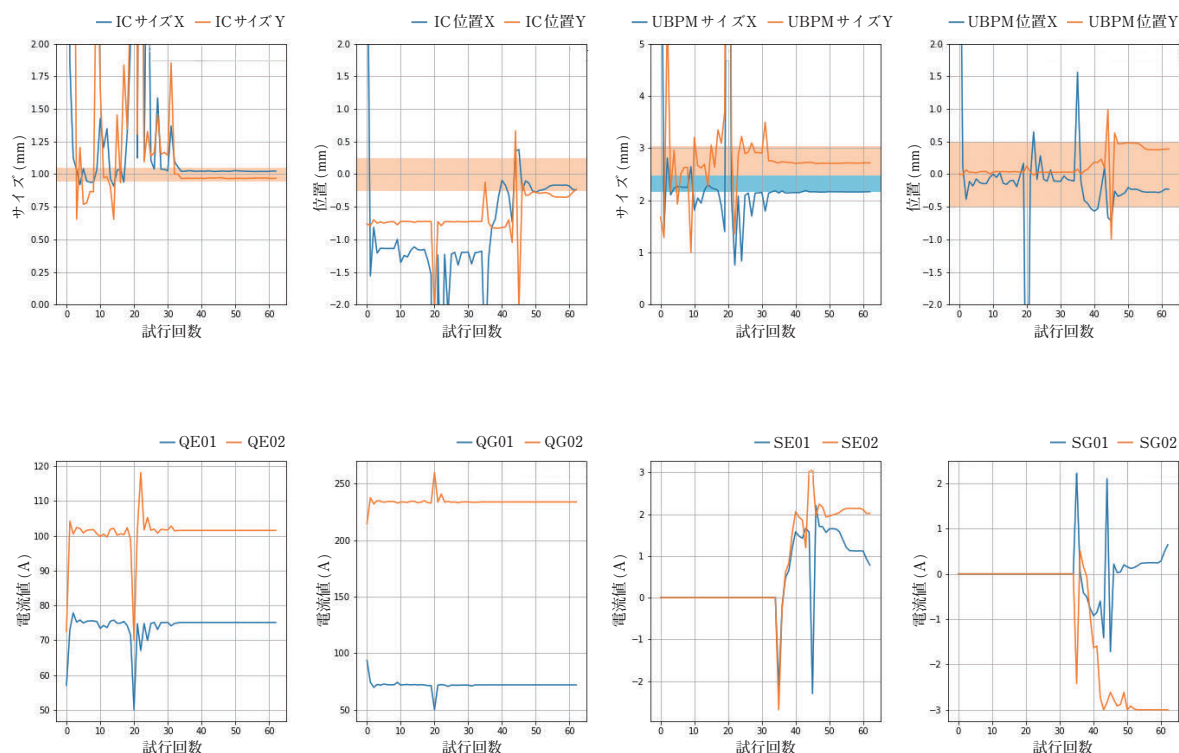


図3 ICとUBPMのweightを同じにしたときの調整結果
Adjustment result when weights of IC is as same as UBPM

3 ベイズ最適化の適用

ベイズ最適化はブラックボックス最適化で使われる最適化手法の一つで、入出力データ $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ からガウス過程によって $Y=f(X)$ を確率変数と見立てた確率分布(期待値 $\mu(X)$ と標準偏差 $\sigma(X)$) で推定し、それらを獲得関数に入力してその値が最も大きい(小さい)候補を選択していく手法である⁽⁴⁾。

ガウス過程は確率過程(stochastic process)の一種である。確率過程は、入力の集合 $X\{X_k \mid k=1, 2, \dots, n\}$ に対応する確率変数の集合 $Y\{Y_k \mid k=1, 2, \dots, n\}$ に同時分布 $P(X, Y)$ を与える確率モデルである。どんな N 個の入力の集合 X についても、対応する Y の同時分布 $P(X, Y)$ が多変量ガウス分布に従うとき、 X と Y の関係はガウス過程に従う。

ある入力 X が与えられたとき、対応する出力 Y の値を予測することを回帰といい、ガウス過程回帰は線形の回帰分析手法であり、非線形のモデルに拡張できる。ガウス過程回帰の特長として、目的変数 Y の推定値だけでなく、推定値の分散も計算できることから推定値の信頼性を確認できることが挙げられる。

ガウス過程回帰の流れを①～⑤に示す。

- ① 線形モデルを仮定する。 $Y=f(X)$
- ② サンプル間の Y の関係は、サンプル間の X の関係によって決まる。

- ③ Y にはノイズ(測定誤差など)が含まれることから、そのノイズの大きさを仮定して再び②の関係を求める。
- ④ カーネルトリックにより非線形モデルに拡張する。
- ⑤ n 個のサンプルである $X_k (k=1, 2, \dots, n)$ と、 $n+1$ 個目のサンプルの X_{n+1} との関係および n 個の Y_k の値を用いて $n+1$ 個目の Y_{n+1} の値を推定する。

ビーム調整における入力 X は電磁石の電流値で、出力 Y は計算結果(実機では測定結果)と設計値の差分になる。図2に、最適化のワークフローを示す。

4 ベイズ最適化の実験結果

調整回数は最大100回に設定しているが、ICとUBPMのビームサイズ、位置が許容範囲内に調整できた場合、または最適化で局所解に陥った場合はそこで調整完了としている。電流値の探索範囲は、各陽子線施設で登録されているパラメータと設計値を比較して最大で25 A程度(定格の15%)のズレが見られる施設があったことから、設計値 ± 25 A程度の範囲を探索するように設定した。ハイパーパラメータを調整する際には、活用と探索の頻度を決めるパラメータ AW (Acquisition Weight) はサイズ調整用プログラムと位置調整用プログラムで分けることにした。QE/QGの探索範囲が50 Aであるのに対し、SEは6 Aと探索範囲が異なるのは目的関数に与える感度が違うことによる。また、各モニターでのビームサイズ、位置のweight調整も行った。ICは患者にビームが当たる最も重

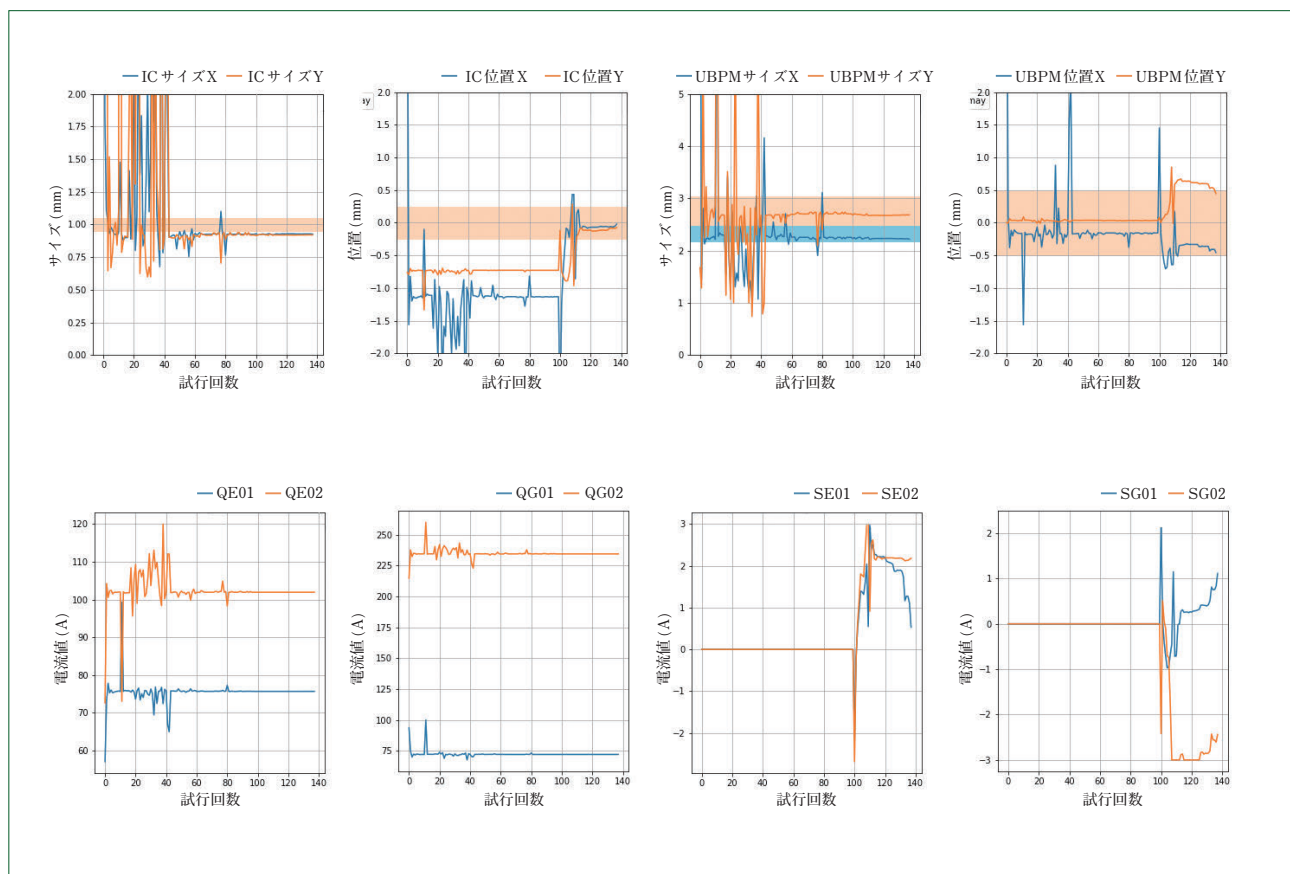


図4 ICのweightをUBPMの2倍に設定したときの調整結果
Adjustment result when weight of IC is set to twice UBPM

要な場所で、ほかのモニタより高い調整精度が要求されることから高いweightを設定した。制御系の要求によりUBPMの位置でもモニタの中心付近を通る軌道になっている必要があり、ほかのモニタより高いweightに設定した。

図3に、QM調整用プログラムのAWを $1.0E-04$ 、STR調整用プログラムのAWを $1.0E-10$ 、weightはICとUBPMで10、ほかのモニタでは1で調整した結果を示す。上の段は左からICのサイズ、ICの位置、UBPMのサイズ、UBPMの位置の探索履歴を示している。グラフ中の青がX、橙はY、青と橙の帯はそれぞれの許容範囲を示している。下の段は左からQE01とQE02の設定電流値、QG01とQG02の設定電流値、SE01とSE02の設定電流値、SE03とSE04の設定電流値を示している。AWの設定により前半がビームサイズ調整、後半がビーム位置調整となっており、それぞれ30回程度で調整が完了している。ただし、探索時にビームサイズが広がってしまい透過効率が一時的に下がることがあった。

この調整ではICとUBPMの許容値内に入っているが、ICのビームサイズ対称性が悪いので、ICのweightを10から20に上げて、サイズの対称性が向上するかを調査した。図4に、調整結果を示す。ICのサイズが目標値より若干小さめにはなるが、サイズの対称性が上がりUBPMにおけるビーム調整も許容値を満たした結果となった。探索に使用するAWとモニタにかけのweightを調整することで、どの項目を重視してビーム調整を行うかある程度制御できることが分かった。

次に、ベイズ最適化がどの程度摂動に強いかわかる調査を行った。実際の陽子線システムでは設計(理想)どおり各機器を据え付けることは不可能で、そこには必ず据付け誤差やたわみが存在する。また、サイクロトロンから出射されるビームも日々変動することから、設計値からのズレがどの程度なら調整できるかを次の①～③の項目で調査した。

- ① QM磁石の設定電流値
- ② 初期ビーム位置、角度
- ③ 初期ビーム条件(Twiss parameter: ビームサイズ、角度広がり)

①～③に設計値と異なる値を初期値として入力し、各条件でビームが調整できるかを検討した。

QM磁石の設定電流値を一律5Aからスタートして調整させた結果、最終的な解が設計値までたどり着かなかった。これは、設定した電磁石のパラメータが設計値と大きく乖離していることが原因と考えられる。設定したパラメータでは、ICにおけるY方向のビームサイズは設計値の10倍ほどの値となっていた。実際のビーム調整ではこれほどかけ離れたところから調整が始まることはないが、各施設の設定値が設計値から20Aを超えて登録されている状況からも、比較的大きなズレがあった場合でも調整できることが必要となる。よって、現状では設計値からかなり離れたところからの調整はベイズ最適化では難しいことが分かった。

初期ビーム位置および角度を西条APDCにおける日々の測

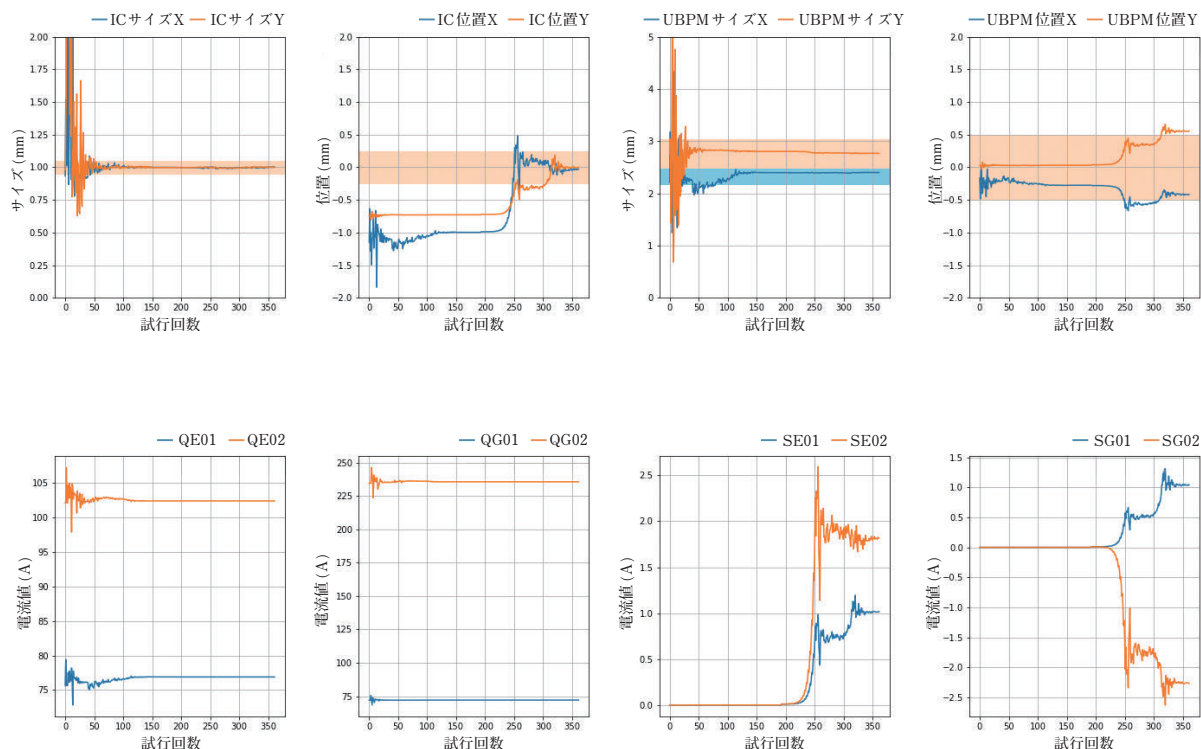


図5 Nelder-Mead法 調整結果
Adjustment result of Nelder-Mead method

定結果から 2 mm, 2 mrad ずらして調整させた結果, SE が最大値に張りついてしまったが, 調整可能な範囲で IC の調整が優先的に完了していることが確認できた。よって, 初期ビーム位置および角度が変動しても調整できることが分かった。

初期ビーム条件を設計値と異なる値に設定して調整させた結果, 前述の条件と同様に調整可能な範囲で IC の調整が優先的に完了していることが確認できた。よって, 初期ビーム条件が変動しても調整可能といえる。

これらの結果から, 最初にビームを通したときにビームサイズが設計値から離れすぎると調整できないが, ビームの初期状態ではある程度設計値と乖離していても調整できることが分かった。

5 Nelder-Mead 法の実験結果

ベイズ最適化のビーム調整と比較することを目的として Nelder-Mead 法を用いたビーム調整を実施した。Nelder-Mead 法は古くから存在する最適化手法の一種であり, ダウンヒルシンプレックス, 消降シンプレックスなどとも呼ばれており, MAD-X のビーム最適化でも使用されている。Nelder-Mead 法は, n 次元の最適化したい関数に $n+1$ 次元の点の単体を変形(反射, 膨張, 収縮)させながら最小値を探し出す手法である。Python 上のライブラリでは Scipy に標準機能としてあり, 比較的容易に実装し計算することができる。目的関数はベイズ最適化と同じものを使用した。ベイズ最適

化と比べて調整回数が増えることが予想されることから, 最大探索回数を 200 回に設定した。Nelder-Mead 法の調整には, 許容値に調整できたときに完了するような条件は追加していない。また, ステアリングの設定電流値を 0 A から始めると調整が完了しなかったので 0.01 A から探索を開始した。図 5 に, 調整結果を示す。サイズの調整は 70 回を超えたあたりで許容値内に入ってきているが, 位置の調整では 100 回以上を必要としている。ベイズ最適化と比較してビームサイズの広がりやビーム位置の飛びが小さいので, 透過効率は高い位置でビーム調整が完了しているが, すべての調整が完了するまでにベイズ最適化の 3 倍以上の調整回数を必要としている。

ベイズ最適化では少ない回数で効率良く調整を行うことができるが, 探索時にビームサイズが大きくなりすぎてしまい, 実機に適用するとダクトが放射化するなど機器の破損リスクが上がってしまう。Nelder-Mead 法では機器の破損リスクは低い, 調整回数がベイズ最適化より多くなってしまった。そこで, ベイズ最適化で粗く調整を行い, その後 Nelder-Mead 法で細かく調整するプログラムを作成し, ビーム調整を実施した。図 6 に調整プロセスを, 図 7 に調整結果を示す。ベイズ最適化から Nelder-Mead 法に切り替えるパラメータ α は 1.5 に設定している。ベイズ最適化ではサイズ調整 42 回, 位置調整 25 回の合計 67 回であるのに対して, 組み合わせ時ではサイズ調整 44 回, 位置調整 71 回の合計 115 回となった。結果の挙動はベイズ最適化とほとんど変わらなかったことから, さらな

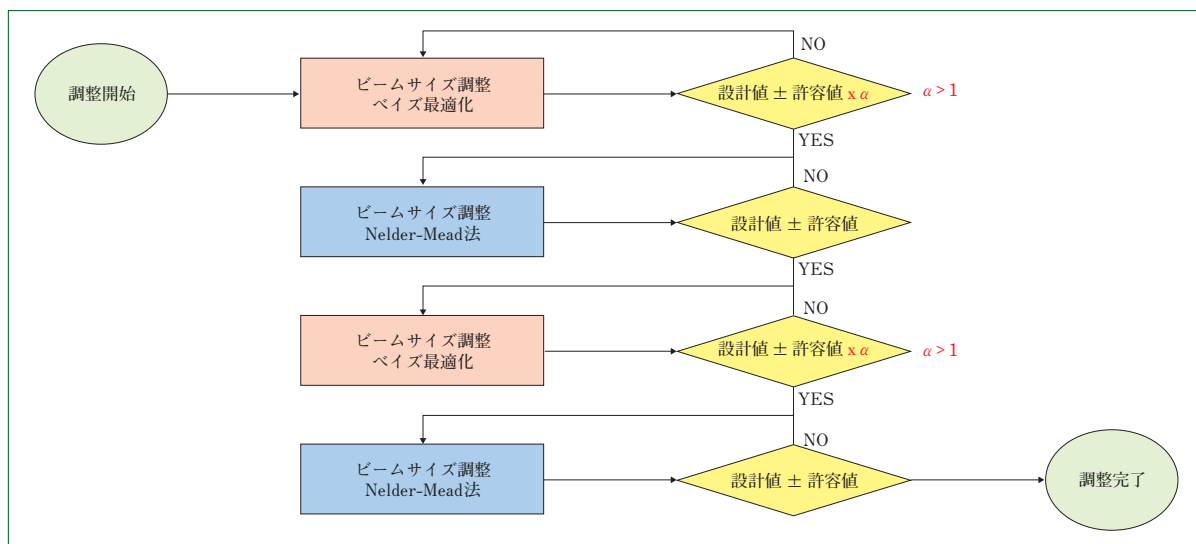


図6 ベイズ最適化とNelder-Mead法を組み合わせたワークフロー
Workflow combining Bayesian optimization with Nelder-Mead method

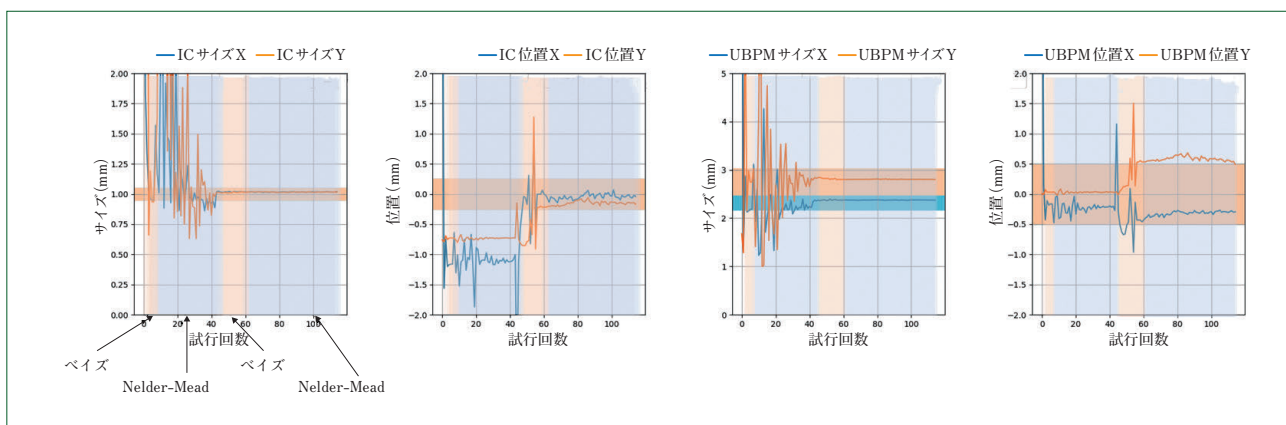


図7 ベイズ最適化とNelder-Mead法を組み合わせた調整結果
Adjusted result of combining Bayesian optimization with Nelder-Mead method

る検討が必要である。

6 むすび

- (1) 西条APDCのビーム輸送系シミュレータを作成し、ベイズ最適化の机上検討を行った。
- (2) 最初に設定する電磁石のパラメータのズレが大きすぎると調整できない。
- (3) 最初に設定するビームの初期状態がある程度変わっても調整は可能である。
- (4) ベイズ最適化は、Nelder-Mead法と比較して調整回数は少なく済むが、メリットである探索がダクトの放射化や機器破損のリスクにつながる可能性がある。
- (5) 実機への搭載は、ベイズ最適化+Nelder-Mead法の組み合わせが良いと考え、さらなる精度向上を目指す。

(参考文献)

- (1) 持橋大地, 大羽成征, ガウス過程と機械学習, 講談社, 2021.

- (2) Nelder-Mead Optimization | Sachin Joglekar's blog (wordpress.com).
- (3) MAD Methodical Accelerator Design.
<https://mad.web.cern.ch/mad/>
- (4) 金子弘昌, Pythonで学ぶ実験計画法入門 ベイズ最適によるデータ解析, 講談社, 2021.

ICT・DX人材育成

Human Resources Development of ICT・DX

●佐々木 靖彦* 福井 基文*
Yasuhiko SASAKI Motofumi FUKUI

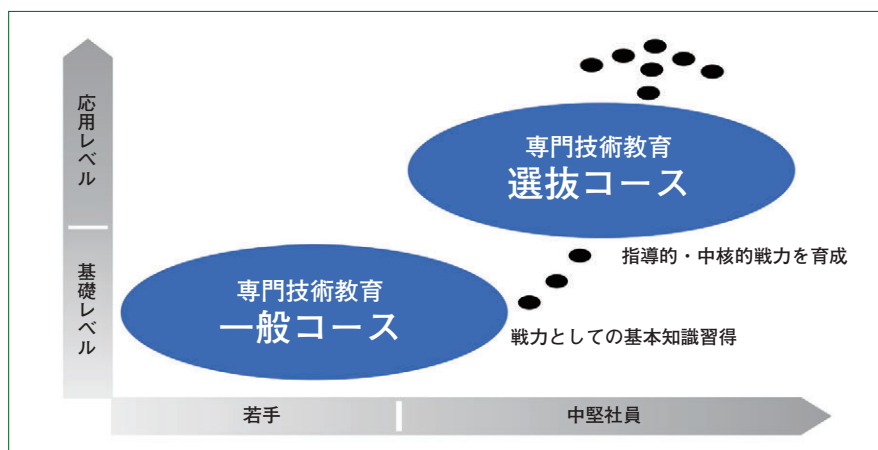


図1 専門技術教育の受講対象と目標レベル
Participants and level for specialized technical educational program

世の中では急激な時代の変化に対応すべく、DXへの取組みが活発である。その一方、DX人材の不足が指摘されており、内部人材を自前で育成することが急務といわれている。住友重機械グループ(SHI-G)では、主に技術系の人材育成を目的として、さまざまな技術分野を対象とした専門技術教育制度を運用しており、ここ数年は情報系講座の拡充を図ってきた。具体的には、基礎知識を得る一般コースと実課題を題材にして問題解決する選抜コースの両輪で、DXを推進できる自律した人材を育てる教育環境を構築してきた。本報では、この取組みの概要を紹介する。

Recently, Japanese society has been active in accelerating Digital Transformation (DX) initiatives in order to adapt to the rapid global changes of the times. Meanwhile, the shortage of human resources for promoting DX activities has been noted, and they say it's urgent matter to develop lots of such leading talents by themselves. In Sumitomo Heavy Industries Group, mainly for human resources in the engineer field, we have been operating a specialized technical educational program for various fields, such as Mechanical and Materials. Additionally, we have been expanding educational courses in the fields of information technology, such as Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT), which were not enriched in our group a few years ago. We operate the following two kinds of educational program. One is a general course for acquiring the basic technical knowledge on information, and the other is a selective course to learn for solving processes for practical issues in each business sector. In this report, we present summary of our attempt.

1 まえがき

製品開発においては、高速化や高効率化など製品性能の向上に加え、AIやIoTなどを用いた故障予知、プロセス最適化、安全管理などの付加価値の提供が必要になってきている。ビジネス環境は急激に変化しており、それに対応すべくDXへの取組みを加速させなければならない。

このような状況において、デジタル先端技術に強い人材が必要とされている。2022年の情報通信白書⁽¹⁾によると、DXの課題として日本企業の7割が「人材不足」を挙げており、SHI-Gも例外ではない。本報では、社内の人材の能力を底上げし、自律してDXを推進できる人材を育成することを目的

とした取組みを紹介する。

2 技術人材育成制度⁽²⁾

SHI-Gでは、主に技術系の人材を育成すべく専門技術教育制度を運用している。専門技術教育は、図1に示すように一般コースと選抜コースの2つに大別される。一般コースは、主に新入社員から若手社員を対象として各専門分野の「戦力として基礎知識」を学ぶ場であり、選抜コースは、主に若手社員から中堅社員を対象として「指導的・中核的戦力」を身に付ける場と位置付けている。

図2に、専門技術教育講座の一覧を示す。2022年度は全80講座を用意しており、一般コースではいつでもどこでも学

区分	機械・材料	電気・電子	制御	ソフトウェア	情報	生産技術
選抜 コース	熱流体 振動・騒音	摩耗・潤滑 構造・疲労		制御技術	機械学習	
一般コース 実践	振動測定基礎 CAE実験室(流体) CAE実験室(伝熱) CAE実験室(振動)	材料力学実験室 CAE実験室(構造) CAEの依頼ポイント				
一般コース 実習	構造CAE(ANSYS) 設計者構造CAE 金属腐食対策 構造CAE II(FEM) 構造CAE I(FEM)	公差設計・解析技術 設計施工溶接技術 熱流体CAE 設計者熱流体CAE 製品図面の読み方	発生ノイズ対策 オープン回路 FPGA開発技術 IoTアプリ開発技術	実践制御 電気実務PLC II 電気実務PLC I 電気実務INV/サーボ	構造化分析ロボット演習 構造化モデリング-動的 構造化モデリング-静的 新人向け設計技法基礎 USDM マイコン制御 アーキテクト育成 アーキテクチャ設計実践	画像処理 画像認識実践 深層学習実践 機械学習実践 データ解析実践
一般コース 講義	振動工学Ⅱ 騒音防止 振動工学Ⅰ 材料力学 構造CAEの設計応用	トライボロジー基礎 事故解析 鋼構造物の疲労設計 伝熱工学		アーキテクチャ設計基礎 ソフトウェアテスト基礎 エンジニアリング入門Ⅱ エンジニアリング入門Ⅰ	データ解析基礎	溶接技術 切削加工 測定技術 治具設計 塗装技術 SHIPS現場実習 SHIPS自職場実践
一般コース オンライン	金属材料学 機械力学 流体力学	工業力学 機構学 材料力学	電気回路 電子回路	品質工学基礎 制御工学	Python入門 深層学習 機械学習	鍛造技術 SHIPS座学

図2 専門技術教育講座体系図
System of specialized technical educational program

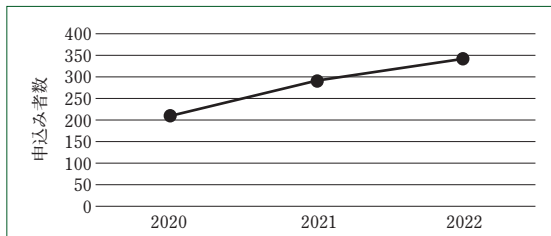


図3 一般コース情報系講座の申込み者数の推移
Number of applicants to information educational program of general course

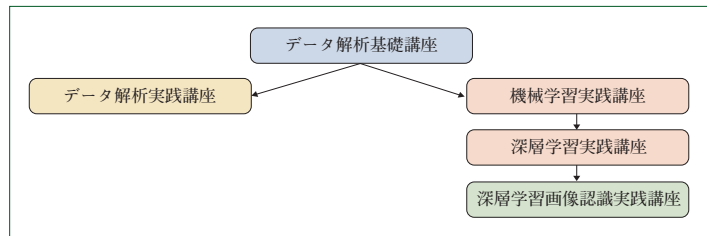


図4 一般コース情報系講座の位置関係
Relationship among information educational programs of general course

べるeラーニング、モノに触って体で覚える実践系の講座を増やすとともに、機械学習、深層学習、データ解析といったAI、IoTに関連する情報系講座の充実を図った。選抜コースでは、機械学習の基礎から実課題への適用までを学べる講座を新設した。さらに、講座で解決できない課題は、ICT本部でフォローする体制とした。

一般コースの情報系講座の申込み者数の推移(図3)を見ると、申込み者数は年々増加し2022年度は300名を超えた。選抜コースの機械学習も定員の目安である5名以上で推移しており、関心の高さがうかがえる。アンケート結果を見ても満足度はおおむね高く、引き続き講座の質・量ともに充実させていく予定である。一般コースおよび選抜コースの内容を3、4章で紹介する。

3 専門技術者教育 一般コース

SHI-Gでは、DX関連の業務に対応可能な人材を内製化することを目的に、株式会社キカガクとAIおよびIoT分野の人材育成に関する業務提携を2020年度に締結し、積極的に専門技術教育講座を導入してきた。2021年度より機械学習関連の3講座(機械学習実践講座、深層学習実践講座、深層学習画像認識実践講座)を一般コースに導入した。さらに、機械学習という言葉から受ける「習得難易度の高さ」への抵抗感の緩和や、データの预处理部を積極的に学びたいという社内ニーズに応えるべく、2022年度より新たにデータサイエンス分

野の2講座(データ解析基礎講座、データ解析実践講座)を導入した。現在キカガクと提携したこれら5講座を開講しているが、今後もSHI-Gにとって必要な情報系分野の講座の拡充を計画している。

図4に、5講座の関係性を示す。機械学習実践講座および深層学習実践講座は、広い意味でAI分野の講座であり、深層学習画像認識実践講座は、機械学習の知見を活用する応用分野特化型の講座である。データ分析能力は近年技術系社員だけでなく、全社的に必要な能力であり、いずれの講座も受講者から高評価を得ている。2022年度のデータ解析基礎講座の受講者の半数は、企画・営業などの事務系社員および生産系社員が受講している。その他4講座にはeラーニング形式の事前学習を設けており、受講に当たり最低限必要な知識を身に付けることが義務付けられている。また、事前学習は受講者のレベルをそろえることにも寄与し、講座の円滑な実施に有効である。

これら5講座はコロナ禍の影響もあり、いずれも対面形式ではなくZoomを使ったオンライン形式で開催されている。情報系講座とオンライン形式の相性は良く、受講者にとってはさまざまな環境から受講できるという利点がある⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

次に、各講座で学べること、講座の対象者、受講の目標について紹介する。

3.1 データ解析基礎講座

(1) 学べること

表1 5講座の受講者と日程
Number of participants and period of 5 programs of general course

講座名	日程	2021年度受講者	2022年度受講者
データ解析基礎講座	1日	—	90名
データ解析実践講座	2日	—	57名
機械学習実践講座	3日	25名	20名
深層学習実践講座	3日	19名	20名
深層学習画像認識実践講座	2日	8名	14名

Excel ベースのデータ分析結果に基づいて、プロジェクトの改善から課題解決の施策までを5つのステップで体験する。

(2) 対象者

ビジネスの現場でデータ分析を行いたいデータサイエンス初学者、経験や勘だけではなくデータに基づき企画立案や意思決定を行いたい人、Excel をベースにノンプログラミングでデータ分析を行いたい人。

(3) 目標

回帰分析や仮説検定の統計用語や手法を理解すること、Excel ベースで統計的手法を実装し、ビジネスで役立つ分析が独自で行えること、分析結果の可視化や出力結果から、ビジネスアイデアや施策を検討できること。

3.2 データ解析実践講座

(1) 学べること

課題設定から施策まで一連のデータ分析技法を学ぶ。データ解析基礎講座との大きな違いは、Python ベースで実際にプログラミングを体験することで、より複雑なデータ分析技法が習得できる点である。

(2) 対象者

データ解析基礎受講修了者およびそれと同等の知識を保有する人のなかで、実データでデータ分析の実践力を身に付けたい人、課題発見や問題解決を実現するデータ分析手法を学びたい人、データサイエンスを基礎から体系的に学びたい人。

(3) 目標

目的に応じてデータ加工・可視化を実施する能力を身に付けること、探索的データ分析を通じて課題を発見し、適切なデータ分析、仮説の検証、理論の反証ができること、分析結果を正しく解釈し報告書をまとめられること。

3.3 機械学習実践講座

(1) 学べること

決定木に代表される教師あり学習だけでなく、K-Means 法などの教師なしクラスタリング技法や、重回帰分析などの統計的手法を広く学ぶ。

(2) 対象者

機械学習を学びたいが、何から始めればよいかかわからない人、機械学習を中心としたデータ分析力と実装能力を身に付けたい人、実データに対してのアプローチを体系的に学び、問題解決能力を高めたい人。

(3) 目標

データ分析の基礎と機械学習の実装方法を習得して状況に応じた機械学習手法を選択し、適切な評価指標を用

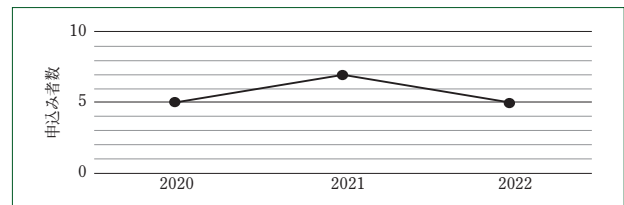


図5 選抜コース機械学習の申込み者数の推移
Number of applicants to machine learning program of selective course

いて判断する能力を身に付けること、データから課題を見出し、解決へのアプローチを自力で提案する能力を身に付けること。

3.4 深層学習実践講座

(1) 学べること

深層学習の学習に必要な用語や、最急降下法などの数学的背景とともに、PyTorch Lightning フレームワークによる実装を通じて処理の全体の流れを学ぶ。また、画像認識や自然言語処理などの具体的な課題以外に、LSTM などの時系列データ解析手法も学ぶ。

(2) 対象者

機械学習実践講座修了者およびそれと同等の知識を保有する人のなかで、深層学習を中心とした機械学習分野の基本となる技術や数学的素養を学びたい人、実践で活用することが可能な深層学習を用いた画像・自然言語処理を学びたい人。

(3) 目標

深層学習の理論を理解し、画像・自然言語などのデータを使ってAIモデルを実装する能力を身に付けること、モデルの性能を向上させるべくデータの事前処理やモデルのハイパーパラメータのチューニングを自力で実施する能力を身に付けること。

3.5 深層学習画像認識実践講座(中上級者向け)

(1) 学べること

深層学習のなかでも最も活性化している分野である意味的領域分割と物体検出を題材に、実装技法と最新手法のアルゴリズムを学ぶ。

(2) 対象者

深層学習実践講座修了者およびそれと同等の知識を保有する人のなかで、深層学習の基礎を習得した後の学習指針がほしい人、画像領域の独学での学習に苦勞している人、実際の業務に活用しているものの理論のより深い理解が必要な人。

(3) 目標

意味的領域分割と物体検出を理論から理解し、それを実装する能力を身に付けること、転移学習などの実践的テクニックを習得し、画像認識関連の課題への活用イメージを構築する能力を身に付けること。

3.6 今後の展望

表1に、5講座の受講参加者と講座開催期間を示す。データ解析系の2講座は2022年度に開始したので、2021年度の受講者は存在しない。しかしながら2講座ともに50名を超える受講者が見込まれている人気講座となっている。

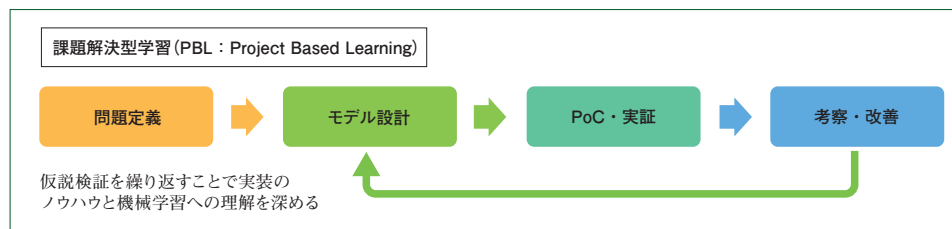


図6 PBLの流れ
Flow of PBL

SHI-GではAI・IoT技術を使ったサービスを内製化できる人材や外部SIerを活用する際に相手任せにせず、対等な立場で議論できる人材を育成することが急務となっている。一般コースは、そのような人材を育成する役割を担っている。

また、受講者は貴重な時間を使って講座に参加しており、学んだ知見が実際の業務にどの程度活用できているのかを見極める必要がある。習得した知識を利活用するには、顧客のニーズを満たす機械メーカーならではのサービス製品の開発や、AI・IoTの知見を活用した業務改革を積極的に実施することを是とする文化形成が重要になると思われる。

講座終了後の受講者アンケートを通じて、さまざまな意見が寄せられている。それらの意見を参考にしつつ、講座の充実化を図っていききたい。また、受講者のニーズを捉え、業務に必要な新講座の開発を積極的に行っていきたい。

4 専門技術教育 選抜コース

文部科学省は、社会の急激な変化に対応した教育改革を実現すべく2014年頃からアクティブ・ラーニングを推奨し、主体的・対話的で深い学びを浸透させようとしている。課題解決型学習(PBL : Project Based-Learning)は、それを実現させる手法の一つであり、座学などから得られる受動的な知識習得にとどまらず、自ら問題を発見し必要な知識を獲得することによって問題を解決していく能力を身に付けることを目指した学習法である⁽⁶⁾。

選抜コースの機械学習は、2020年度からキカガクの協力のもと約6カ月の期間で実施している講座であり、その実施形態としてPBLを取り入れている。図5で示すように毎年5名程度の参加者がおり、キカガクの講師陣に加えて、ICT本部からチューターが講師として参加している。選抜コースの最初の2カ月間は知識の事前習得を目的としたeラーニング実施期間である。先に紹介した機械学習実践講座、深層学習実践講座、深層学習画像認識実践講座と同じ内容のものを自分のペースで学習することができるとともに、自分に必要と思われる箇所を集中的に学習することも可能である。講師は参加者の学習進捗度を可視化し、受講者が現在どの技術領域を学習中かを知ることができる。残りの4カ月が本研修の主体であるPBLになっており、週1回程度の打合せをオンライン形式で実施している。

図6に、PBLの全体図を示す。問題定義、モデル設計、PoC・実証、考察・改善の4つのカテゴリで構成される。問題定義では、受講者の所属部門の業務から自らの課題を持ち寄り、具体的な目標値を定める。課題の実現に必要なデータ収集も自力で実施する。モデル設計では、定めた課題を解決

すべくモデルの候補を列挙して、順番に具体的な設計をしていく。重要なポイントは、複数のモデル候補を取り上げて、その順位付けを実施することである。PoC・実証では、設計したモデルの妥当性を自ら収集したデータで検証する。問題定義で定めた目標に未達であった場合、考察・改善においてデータの前処理やモデルの改善に取り組み、それでも未達の場合は別のモデルに移行する。この一連の流れで特に重要視されるのは、講師とともにモデルの候補を列挙しつつ、必要な技術や実装技法を積極的に学んでいくことである。受講者にとっては自部門の課題であり、自ら収集したデータを使った分析になるので、データに対する前提知識が豊富であり、改善策を想起しやすいという利点がある。

選抜コース「機械学習」は開始して3年目であり、改善の余地が多分に残されている。たとえば、PBL期間が4カ月程度であり、掲げた問題定義の解決に至らないケースが見られる。これに対しては選抜コースの期間終了後に、アフターフォロー会などを実施して対処している。選抜コースの参加者が学んだ問題解決のプロセスを各部門に展開することにより、それぞれの部門においてDXを推進する立場になることが期待される。その実現を目標に、引き続き選抜コースの充実を図っていききたい。

5 むすび

- (1) 本報では、住友重機械グループにおける情報系教育の取り組みについて紹介した。
- (2) 住友重機械グループではAI・IoT分野の技術者が不足している状況であり、本報で紹介した情報系教育講座はそれを解消することを目的とした試みの一つである。
- (3) 各事業部門のニーズを聞きつつ、今後とも教育講座の充実を図ることにより、社内で情報系の人材を育成していきたい。

(参考文献)

- (1) 令和4年版情報通信白書，総務省。
- (2) 中島聡，佐々木靖彦，宗清洋一郎，住友重機械グループにおける技術人材育成制度について，日本マリンエンジニアリング学会誌，2021年，56巻1号。
- (3) プログラミング人材育成の在り方に関する調査研究報告書，総務省，2015年。
- (4) 村上正行，対面授業と遠隔授業の混合実施における学生の学びを考える，大阪市立大学『大学教育』，第18巻，第2号，2021年。
- (5) 大学のデジタル変革-DXによる教育の未来，井上雅裕編著，東京電機大学出版局，2022年。
- (6) https://en.wikipedia.org/wiki/Project-based_learning，WikiPedia

IZANA (プラント運用支援システム) 向け異常検知機能の開発

Development of Anomaly Detection Function for IZANA (Plant Operation Support System)

● 門 脇 正 法*
Masanori KADOWAKI



IZANA (プラント運用支援システム)
IZANA (Support system for plant operation)

1 はじめに

近年、CFB (Circulating Fluidized Bed) ボイラを備えたプラントは、より信頼性の高い高稼働率設備への要求が強まっている。IZANA (プラント運用支援システム) は、このような要求に応えるべく、顧客のプラントから収集・蓄積した運転データを解析することで、オペレータが安定的かつ高効率に設備を運用することを支援する(図1)。その結果、安定稼働・効率の維持、不具合の未然防止、効率改善支援、運用の省力化、人材育成・ノウハウの伝承にも効果的であると期待している⁽¹⁾。その主な機能として重要評価指標の可視化、異常検知、アラーム発生時におけるメーカー独自のガイダンス、アラーム解析、レポート作成、分析ツールなどがある⁽¹⁾。これらは「メーカーノウハウを盛り込んだ評価アプローチ」と「独自開発の機械学習モデル」で実現した。

本報では異常検知機能、特にプラント非常停止につながる噴破(ボイラチューブからの蒸気漏れトラブル)を早期に診断する噴破検知機能について紹介する。

2 従来のプラント監視と問題点

噴破は、ボイラチューブから蒸気漏れるトラブルで、プラントの非常停止につながる重大インシデントである。大規模システムで発生するプラントの非常停止は、安全性や生産性の点から影響が大きく、好ましくない。噴破の発生を早期に検知できれば、その拡大でボイラが大きく破損することを防止したり、従来に比べて計画的な停止操作や補修計画を立案でき⁽¹⁾、損害の最小化が期待できる。

噴破に限らず、プラントの異常を見つけるには一般的に2つのアプローチが取られる。1つはオペレータによる中央操作室での運転データ監視で、プラント制御用の常設センサの信号群に、異常の兆候が表れていないかを確認する。ただし、常設センサは数が多く、その総数は数百個にのぼる。もう1つは巡回員による現場点検で、現場のメータや各種機器の外

観や音に異変がないかを確認する。この場合も、ほかの産業機械の監視に比べ点検対象となるメータや機器の数が多く、巡回範囲も広範囲にわたる。このようにプラントのような大規模システムの監視は、人の五感や経験に頼るだけではかなりの手間がかかるうえ、見落としも生じやすい。

従来の噴破監視の問題点を具体的に挙げる。

(1) 噴破の兆候が小さく見逃しやすい

噴破初期は破損の程度が小さいので、運転データにその兆候が表れにくく、表れていたとしてもわずかである。このことから見落としが生じやすく、仮に疑わしい兆候を見つけたとしても、ノイズなどに起因した一時的なゆらぎと見分けがつかず、オペレータは判断に迷う。このようなケースではしばらく様子を見て、運転データに表れていた兆候が「継続しているか」や「拡大傾向か」を確認したり、現場巡回で異変の有無を確認するなどの裏付けを取ってからプラント停止作業に入るので、停止までに時間がかかり、破損が拡大することがあった。

(2) 運転条件の変更を噴破と取り違える

運転データに疑わしい兆候が表れたとしても、実際には噴破が発生していないこともある。これは運転条件を変更した際、変更内容によっては噴破と似た兆候が表れることに起因する。また燃料などの影響で運転状態が変化した場合にも同様のことが起こり得る。こうした疑わしい兆候が見られたときには、噴破によるものか、それ以外の要因によるものかを見極める必要がある。具体的には、兆候が見られたタイミングで、オペレータは「運転条件が変更されていないか」や「運転データを見て運転状態変化がないか」を確認する。しかし、この作業は時間がかかるうえ誰でもできるというわけではなく、ノウハウを持ったベテランオペレータのスキルが必要となる。

3 噴破検知機能の特長

噴破検知機能は、運転データに機械学習技術を適用し、正

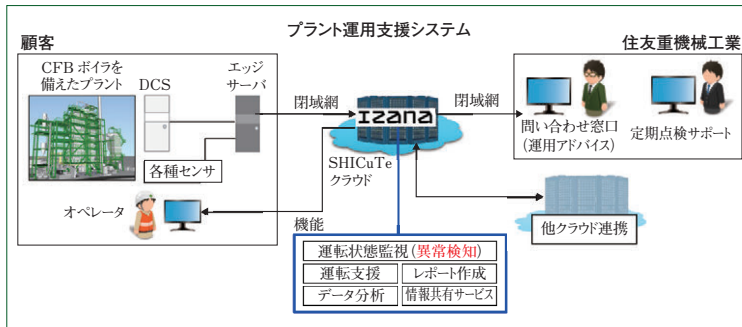


図1 IZANAの概念図
Flowchart of IZANA

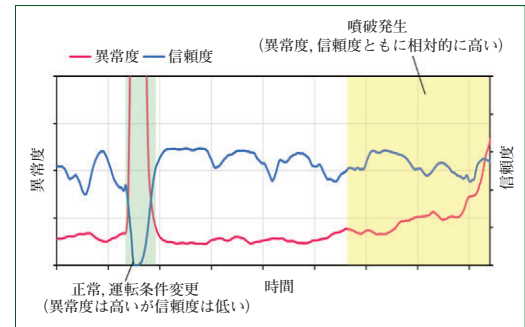


図2 異常度と信頼度の推移
Example of change of abnormality and reliability

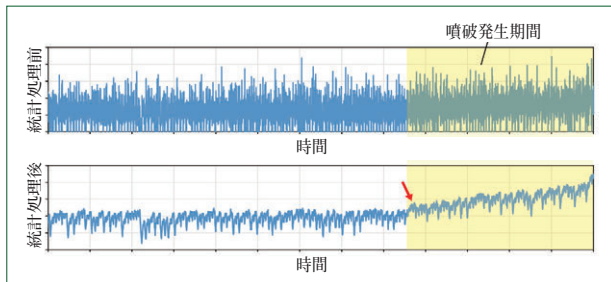


図3 統計処理前, 処理後の運転データ
Process data before and after statistical processing

常な運転パターンから逸脱したパラメータを検知・報知することで、オペレータの監視業務を支援する。この際に「製品知識などのメーカーノウハウ」も組み入れることで、信頼性の高い診断を可能とした。また、プラント制御用の常設計器のみで診断可能で、追加計器の設置も必要ない。

噴破検知機能の主な特長を紹介する。

(1) スコア化

噴破検知機能は、時々刻々と得られる運転データに対して異常度と信頼度の2つのスコアを算出する。異常度のスコアが高いほど運転データに噴破の兆候が強く表れていることを意味し、信頼度のスコアが高いほどその時点の異常度が信頼できることを示す。

図2に、異常度と信頼度の一例を示す。実際に噴破が発生していた期間(黄色部分)で異常度と信頼度が高く、噴破の兆候を捉えていることが確認できる。また時間が進むに従って異常度が高まり、噴破の兆候が強まっている様子も確認できる。一方、実際は正常だったが運転条件の変更が発生していた期間(緑色部分)では、異常度は高く信頼度が低いことを確認できる。これは、その兆候の要因が噴破以外であることを示しており、噴破の可能性は低いことを意味している。

このようにオペレータは、異常度を見ることで、運転データに噴破の兆候が表れているかを一目で確認でき、さらに、信頼度と組み合わせることで、実際には正常であっても見かけ上噴破の兆候が表れている状況を誤って噴破と判断することを防止できる。

(2) 異常兆候の強調

噴破検知機能は、運転データに統計処理を施すことで噴破の兆候を強調する。これにより処理前の運転データ

に含まれるノイズや運転条件変更などの影響が抑制され、噴破の兆候がより分かりやすくなり、早期検知につながる。図3に、統計処理前と処理後の運転データの一例を示す。実際に噴破が発生していた期間(黄色部分)について処理前と処理後の運転データを比較すると、処理前はばらつきが大きく傾向の変化を捉えにくいのに対し、処理後はばらつきが抑制され、赤矢印時点から上昇トレンドを明確に確認できる。

なお、前述の異常度および信頼度は強調処理した結果に基づいて算出される。そこで異常度や信頼度と併せて強調処理した結果もオペレータに提示する仕様にした。プラントの非常停止判断は、その影響が非常に大きいので診断結果を提示するだけでは意思決定に至りにくいですが、診断結果の根拠となる情報を提示することでオペレータは納得感や安心感を持って意思決定できる。

これらの特長により、微小な破孔による噴破を検知でき、さらに運転条件の変更や燃料などの影響による運転状態の変化に対しても、ロバストな診断が可能となる⁽¹⁾。最終的な判断はオペレータに委ねられるが、本機能によって常に一定の評価が得られることになり、プラント運用を支援することができる。

4 おわりに

- (1) IZANA に搭載された噴破検知機能は、「製品知識などのメーカーノウハウ」と「独自開発の機械学習モデル」に基づいて運転データを解析することで、噴破の早期検知とロバストな診断を可能にし、オペレータのプラント監視を支援する。
- (2) 噴破箇所の特定までが可能になると、必要にして十分な補修準備につながり、さらなる設備への悪影響軽減が期待される。将来的には異常箇所の特定にも取り組み、さらなる価値向上につなげたい。

(参考文献)

- (1) 藤井大也, 渡邊建聖, 青木七海, IZANA™(プラント運用支援システム)の開発, 住友重機械技報, No. 206, 2022, p. 25, 住友重機械工業株式会社。

※「IZANA」および「SHiCuTe」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

状態監視サービスを用いた予知保全ソリューション

Predictive Maintenance Solution by Using Condition Monitoring Service

● 重 見 貴 夫*
Takao SHIGEMI



予知保全サービス
Predictive maintenance service

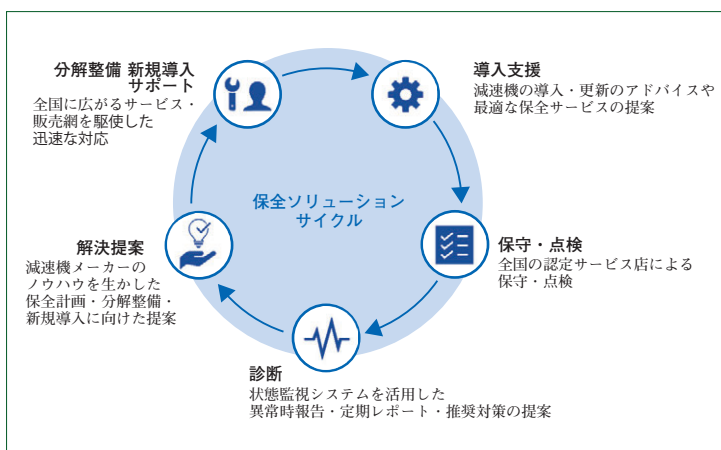


図1 トータル保全ソリューション
Total maintenance solution

表1 状態監視サービスのラインアップ
Line up of condition monitoring service

計測形態	サービス名	機器外観
スポット計測	① TYPE-P	
	② S-CMS	
常時監視	③ CycloSMART™	
	④ TYPE-I-8/16	
	⑤ TYPE-I-G	

1 はじめに

当社は、減速機の導入支援から設備保全計画や新規設備導入のサポートまで、顧客が設備を長く安心して使用することができるよう一貫したソリューションを提供している(図1)。

本報では、そのソリューションの一つである減速機、回転機器を対象としたさまざまな状態監視システム(CMS: Condition Monitoring System)のサービスラインアップから、TYPE-I-8/16について解説する。

2 故障診断システムを用いたサービスラインアップ(表1)

測定したい部位の異常を簡単に検知できるポータブルタイプのTYPE-Pから、異常部位の特定や損傷状態まで検知できる高性能タイプのTYPE-Iまでさまざまなサービスラインアップとなっている。

- ① TYPE-P: 測定したい部位の異常を簡単に検知できるポータブルタイプ
- ② S-CMS: 機能を絞った簡単操作で導入しやすい常時

監視システム

- ③ CycloSMART™: 診断からデータ保存まで現場で完結する高性能タイプ
- ④ TYPE-I-8/16: 異常部位の特定や損傷状態まで検知できる高性能タイプ
- ⑤ TYPE-I-G: 配線が不要で設置の自由度が高い無線タイプ

3 状態監視サービスのメリット

製品の状態を見える化することで、定期的な点検よりも早く正確に損傷を把握することができ、次のようなメリットが得られる。

- ① 故障によるダウンタイムの短縮
- ② 早期発見による設備の延命化
- ③ 部品交換・保全工数の削減
- ④ 長期点検データによる効率的な更新計画
- ⑤ 遠隔監視による安全な点検作業
- ⑥ 減速機の状態を数値で管理

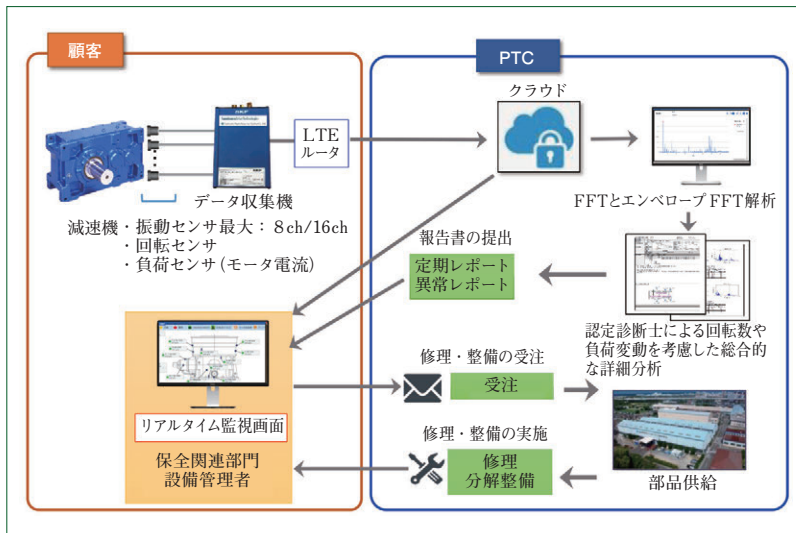


図2 サービス構成
Service configuration

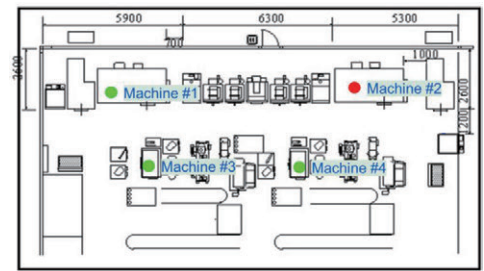


図3 工場内の故障診断機器配置図
Layout of condition monitoring equipment in plant

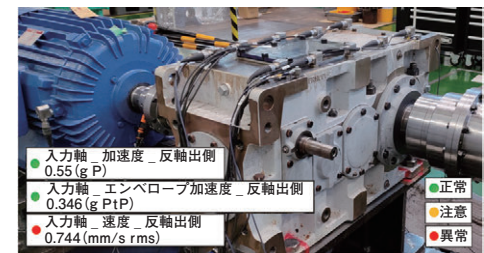


図4 減速機へのセンサ配置図
Layout of sensors on gearbox

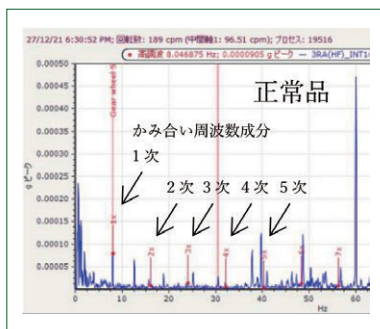


図5 正常品の周波数分析結果
Frequency analysis result of normal gearbox

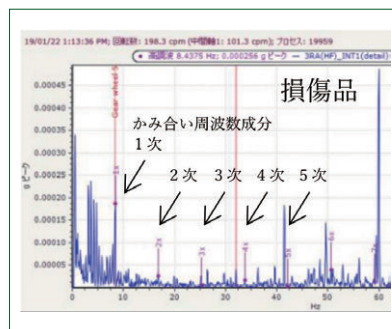


図6 損傷品の周波数分析結果
Frequency analysis result of damage gearbox

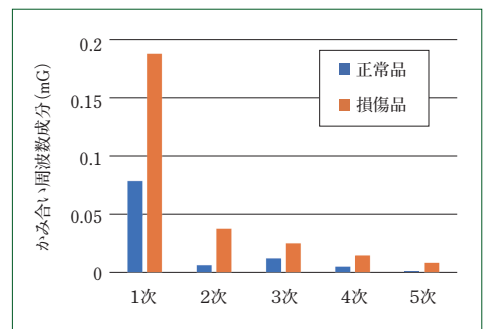


図7 かみ合い周波数成分の比較 (1~5次)
Comparison of meshing frequency components (1st to 5th order harmonics)

4 サービス事例紹介

状態監視サービスの一つであるTYPE-I-8/16の事例を紹介する。図2に、そのサービス構成を示す。

4.1 監視画面

本システムは、タブレットやPCを用いて減速機の健康状態をリアルタイムに監視することが可能である。たとえば、工場内に配置された複数の減速機を一括表示し、振動センサによる振動加速度、振動速度、温度の状況に加え振動オーバーオール値の傾向も監視できる(図3、図4)。本サービスの特長は、当社においても日常監視を行い、異常発生時の振動値の傾向や周波数分析などの総合的判断結果を顧客に提供できることである。

4.2 診断事例

図5~7に、減速機の周波数分析結果を示す。本事例では、基本周波数成分や高調波成分に着目することで、中間軸の大歯車の歯面損傷を早期に発見することができた。当社では減速機の構造、設置状況および負荷状況などを考慮して根本原因を推定し、考えられる解決策の提案を行う。

4.3 報告書

減速機の状態を診断することを目的として、当社の専門家が定期的に測定データを分析し「定期レポート」を提出する。閾値が警報レベルを超えた際、第1報で異常発生を連絡し、その後、詳細な分析結果とともに異常原因と推奨対策を示した「異常レポート」を第2報として提出する。オーバーオール値の閾値判定に加え、周波数成分に着目した診断をすることで、より早期の異常を検出できる。多くの分析結果を専門家が総合的に判断することで、異常の有無だけでなく損傷部位の特定や損傷程度を推測し、報告書として提出する。

5 おわりに

当社の状態監視サービスの活用により、減速機の状態が見える化し、保守計画や分解整備などを行うことができる。機械・設備の安全稼働は言うまでもなく、生産性の向上、時間的・経済的な損失の回避、保全活動員の安全の確保、環境負荷低減など、さまざまなメリットを生み出すことが可能となる。

住友重機械技報第209号発行に当たり

住友重機械技報第209号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2023 年 1 月

〒 141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先)	(発信元)
住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2357	貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.

住友重機械技報第209号の送付先の確認と読後感などの件		
送 付 先 変 更	(旧送付先)	(新送付先)
	送付番号 _____	送付番号 _____
	組織名称 _____	組織名称 _____
	担当部署 _____ ➡	担当部署 _____
	所在地 _____ 〒 _____	所在地 _____ 〒 _____
新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。	
	組織名称 _____	
	担当部署 _____	
	所在地 _____ 〒 _____	必要部数 _____ 部
本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。	
	2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。)	
	1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。	

主要営業品目

変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモータ
アルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワー遊星歯車
減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルパディボックス，
プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイボニッ
ク減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルパディボックス，ラ
イタックス減速機，HEDCON ウォーム減速機，小形ウォーム減速
機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機，バイエル・
サイクロ可変減速機，[電気式変速機]インバータ，インバータ搭
載ギヤモータ，サーボドライブ，DC ドライブ
サイクロ，アルタックス，コンパワー，パラマックス，パディボックス，プレスト，
ハイボニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル・
サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機，射出吹込成形機，ディスク
成形機，セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機，フィルム製
造装置，ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●成形システム・金型：
射出成形用金型，PET システム，インジェクションブロー成形シス
テム，インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニール装置 ●YAG レーザと加
工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池，タッチパネル，有機EL
用) プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ
●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マ
イクロマシン ●レーザアニール装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層 (CFB) ボイラ，
気泡流動層 (BFB) ボイラ，ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設
●大気関連プラント：電気集塵装置，灰処理装置 ●水関連プラント：
上水処理施設，下水処理施設，浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器、医療機器、精密機器、極低温機器、超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン ●電
子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS，
標識化合物合成装置，陽子線治療システム ●冷凍機：パルス
チューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，MRI 用冷凍機，クライオポンプ
●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウム
フリー超電導マグネット

CYPRIS は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム
●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォージングプレス，油圧プレス，フォージングロール，
超高圧発生装置 ●工作機械，クーラント処理装置 ●SPS(放電プ
ラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ，水平引込みクレーン，橋形クレーン，港湾荷役
クレーン (コンテナクレーン，タイヤマウント式ジブクレーン，
タイヤマウント式 LLC，トランスファークレーン)，ジブクレーン，
ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，自動クレーン，
コイル搬送台車，ヤード機器 (スタッカ，リクレーマ，スタッカ／
リクレーマ)，シップローダ，ベルトコンベアおよびコンベアシステム，
リフティングマグネット装置，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，石油製品運搬船

化学機械、プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置，化学装置，原子力装置 ●圧
力容器：リアクタ，塔，槽，熱交換器 ●攪拌混合システム：マック
スブレンド攪拌槽，スーパーブレンド (同心 2 軸型攪拌槽)，バイ
ボラック (横型 2 軸反応装置)
マックスブレンドおよびバイボラックは，住友重機械プロセス機器株式会社の登録
商標です。

建設機械、フォークリフト

油圧式ショベル，杭打機，道路舗装機械，クローラクレーン，基礎機械，
フォークリフト

タービン、ポンプ

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鍛造品，防衛装備品 (各種機関銃，機関砲およびシス
テム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

事業所

本社	〒 141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)	技術研究所	〒 237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒 530-0005	大阪市北区中之島 2丁目3番33号 (大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒 792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号
中部支社	〒 461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号 (栄大野ビル)		(新居浜)	
九州支社	〒 812-0025	福岡市博多区店屋町 8 番 30号 (博多フコク生命ビル)			
田無製造所	〒 188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
千葉製造所	〒 263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番1号			
横須賀製造所	〒 237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒 474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒 713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島 8230番地			
愛媛製造所					
新居浜工場	〒 792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒 799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

本号に関するお問い合わせは，技術本部技報編集事務局 (電話番号は
下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <https://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委 員	鈴木 哲史	委 員	阿部 昌博
	大西 良孝		白澤 克年
	井上 千晶		村澤 崇
	梶谷 純平		中川 崇
	針ヶ谷 崇		霜鳥 貴之
	有吉 政博		坂根 剛
	石川 賢治		石倉 武久
	諏訪 義和		志摩 孝洋
	幾島 悠喜		前野 亮一
	小林 友和	事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第209号 非売品

2023 年 1 月 10 日印刷 1 月 20 日発行

発行	住友重機械工業株式会社
	〒 141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
	(ThinkPark Tower)
	お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2300
発行人	千々岩敏彦



住友重機械工業株式会社
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.