

Supported by  日本 THE NIPPON  
財団 FOUNDATION

**2019年度「品質管理の高度化に関する調査研究」  
報告書**

**2020年3月**

**一般社団法人 日本船舶品質管理協会**

## 目 次

1. 事業目的	1
2. 事業目標	1
3. 研究委員会	1
4. 研究内容	2
5. 2019年度期末 研究成果	4
6. まとめ	33
7. 謝辞	34
別添1 品質管理の高度化に関する調査研究委員会、作業部会員 名簿	35
別添2 2019年度 品質管理の高度化に関する調査研究委員会 組織図	36
別紙3 2019年度 品質管理の高度化に関する調査研究 事業の実施計画表	37
別紙4 品質管理の高度化に関する調査研究 成果報告会 配布資料	38

## 1. 事業目的

近年の NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 及び CO<sub>2</sub> の船外排出規制の強化、船内騒音規制の制定等に対応するため、船用機器の機構は精密・複雑化しており、その構成部品も多種・多様化している。また、船用メーカーでは、品質管理を含めた技術・技能の伝承が難しくなっている。さらに、若年層の採用は、少子化の影響で多くを見込めず、将来的な人材不足は避けられないと考えられる。船用メーカーが直面しているこのような課題を克服し、品質の高い製品を供給するためには、IoT、AI 等最新の技術を採用した高度品質管理システムを製造事業場に導入する必要がある。本事業では、高度品質管理システムのモデルを研究開発し、実用化することにより、船用機器製造事業場に対し同システムの導入を促進することを目的とする。

## 2. 事業目標

### (1) 高度品質管理システムの仕様

同研究課題として、製造プロセスの常時監視と分析、検査記録のデジタル入力と評価及び不適合検知と未然防止に大別し、それぞれ研究課題を「4. 研究内容」に示す。

①リアルタイム管理、②検査データのオンライン化、③画像、AI の活用による品質管理の効率化の3課題に区分し、品質管理の高度化に関する調査研究委員会に設けた作業部会各社が分担し研究を進めた。

### (2) 認定事業場制度との整合性

研究に当たっては、今後の認定事業場に於ける検査のあり方と、国の検査機関との連携を考慮し進めることとした。

### (3) 認定事業場への普及

認定事業場への普及を図るため、初年度進捗報告、2年間の成果報告等を通じ、研究成果の発表とPRを行うとともに、具体的に活用可能とする手段の構築や実用上有用と考えられるシステムは比較試験を行い、各社が採用できる指針を作成した。

## 3. 研究委員会（別添1参照）

(1) 昨年度に立ち上げた品質管理の高度化に関する調査研究委員会及び同作業部会は、今年度も継続し、同委員会の指導の下研究活動を進めてきた。別添1に示すように、内燃機関を製造する国内の主要な認定事業場 9 社及び一般財団法人日本海事協会より委員を派遣頂き、委員長は学識経験者をお願いし、また、オブザーバとして国土交通省海事局の出席を頂き活動を進めた。

### (2) 委員会の実施スキーム（別添2参照）

上記2. (1)項の3項目の研究を実施するため、委員会の下に作業部会を設け、作業

部会のメンバーとして委員の中より認定事業場 6 社にお願いした。研究は、上記 3 項目に対し 6 社が研究課題を分担し実施した。今年度研究の実施に当たり、日本財団の助成金を研究内容に応じて予算化し作業部会の各メンバーに研究内容を分担頂き、担当各社と委託契約を結び研究を進めた。

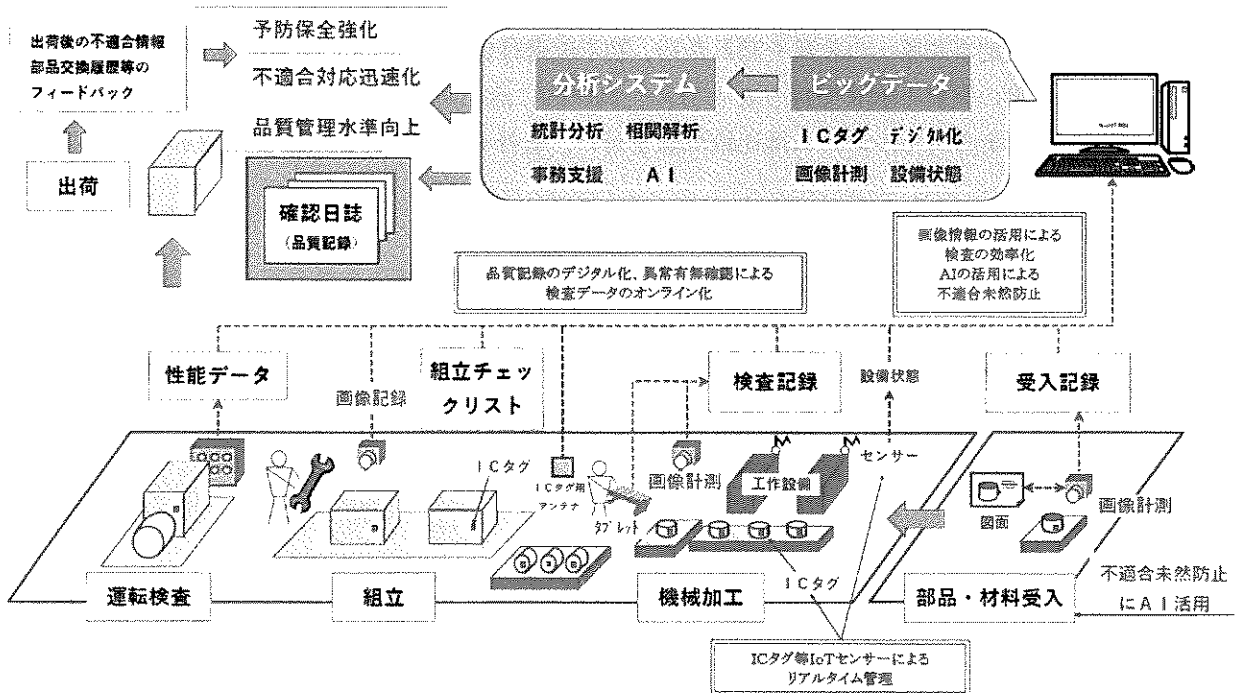
(3) 委員会開催状況

- 2019年5月27日 2019年度第1回作業部会 開催
- 6月21日 同 第1回品質管理の高度化に関する調査研究委員会 開催
- 8月27日 同 第2回作業部会 開催
- 10月25日 同 第2回品質管理の高度化に関する調査研究委員会開催  
併せて作業部会による中間報告を実施
- 12月16日 同 第3回作業部会 開催
- 2020年2月26日 同 第4回作業部会 開催
- 3月24日 同 第3回品質管理の高度化に関する調査研究委員会  
(書面審議として) 開催

4. 研究内容

高度品質管理システムを実現するための基本要素は下記 3 項目と考えられ研究課題とし、この 3 要素について、多種少量生産を特徴とする船用工業の製造現場で活用できる仕組みとするべく研究を進めてきた。代表的な製造工場における高度品質管理システムの例示を次頁の(1)~(3)と対比して下図に示す。

**高度品質管理システム導入後の認定事業場品質管理  
(IoT、AIを活用したシステム)**



(1) リアルタイム管理

部品加工及び組立状況や設備の稼働状況をリアルタイムで把握し管理する。工場内には多種類の部品や半製品が流れ常に変化し、工作設備も様々の稼働状態にあるが、これらを適正に管理することは品質管理の基本である。IC タグや IoT 技術により多量の状態データをリアルタイムで把握し管理する。

(2) 検査データのオンライン化

各製造工程の検査記録のデジタル入力とデータ評価を行い、オンラインで照合し、確認業務と直結させる。画像情報、音声入力、ハンディターミナルなどにより、全工程の多量の検査データを一元的に見える化し、分析に供することにより、品質管理の確実化と即応性の強化を図る。画像情報はトレーサビリティ等様々の用途に活用する。

(3) 画像、A I の活用による品質管理の効率化

A I は人の作業の多くをサポートできる可能性があるが、特に、重要な品質管理業務である不適合の検知と未然防止に効果が期待される。また、画像活用は製造工程において詳細を把握できる有用な技術である。これらを段階的に導入し、機能の向上と拡大を図り、品質管理における活用範囲を拡大する。

## 5. 2019年度期末 研究成果

上記2.(1)項の①～③の研究課題に関し、活動内容と2018年度、2019年度の2ヶ年で実施した研究成果について下記に報告する。また、実施日程表を別添3に示す。

### (1) リアルタイム管理

#### a) 活動内容

- ①工作機械のIoT情報を品質管理に活用。IoTによる時系列データを活用し、機械加工工程での不適合の未然防止を図る。
- ②機関部品等にICタグを取り付け、工程進捗や検査結果などをリアルタイムで管理し、品質管理の効率化、不適合の未然防止及び生産性の向上を図る。また、他工場との連携も検討する。

#### b) 研究結果

- ①工作機械のIoT化に関し、工具摩耗等の異常をリアルタイムで検知するソフトを作成した。同ソフトは機械学習機能を用いておりAI活用の一環として研究を進めたため、詳細を(3)b)③に記す。
- ②-1) ICタグシステム及び画像撮影装置を、機関主要部品の機械加工職場に設置し、実工程で運用、改善し実用化した。ICタグと画像情報の連携によって、工程進捗や滞留状況など工程詳細がリアルタイムで把握できるようになった。従来数個で構成する組単位で管理していたものが1個単位で把握できるようにもなり、製造管理や品質管理面での有用性が明らかになった。

現場での計測結果は、帳票ソフトにてQRコードで立上げた帳票に無線計測器から入力され、ネットワーク上の特定ユーザからリアルタイムで把握できる。

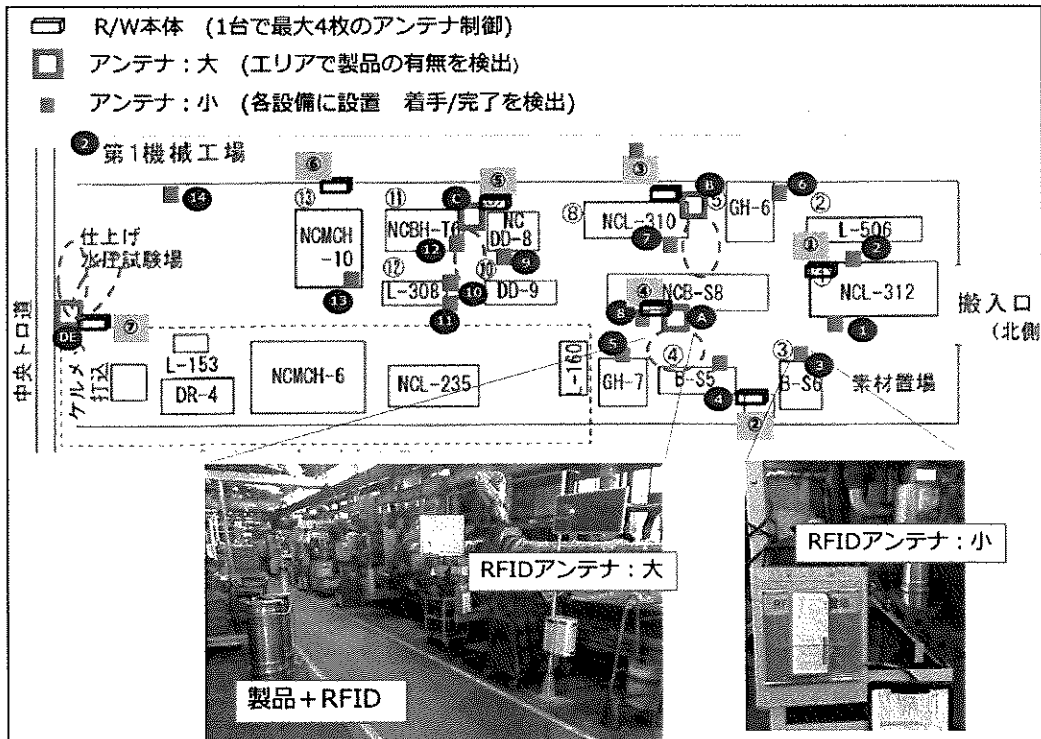
また、ICタグからの情報をデータベースから帳票ソフトに取り込み、表形式によりリアルタイムで把握でき、検査記録と工程詳細が一画面で確認できる。標準時間と異なる工程を画像で確認する等迅速な分析が可能となった。また、ICタグは、別の地域にある素材工場で情報を入力し、製品に取り付け、加工工場に輸送する仕組みも確立した。

以下に各システムの概略構成を示す。

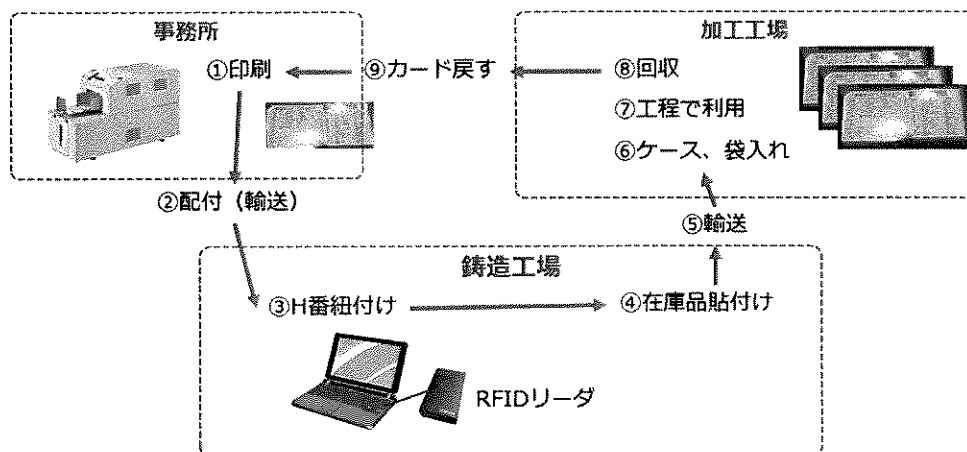
②-2) ICタグ (RFID) の流れ

仕掛品エリア及び各設備に RFID アンテナを設置。エリア内の製品滞留時間や各設備における加工時間を検知する。これにより、どの品物が現在どのような状態にあるのがリアルタイムで確認できるとともに、工程内における時間的な問題が把握できる。

各アンテナの配置を下図に示す。

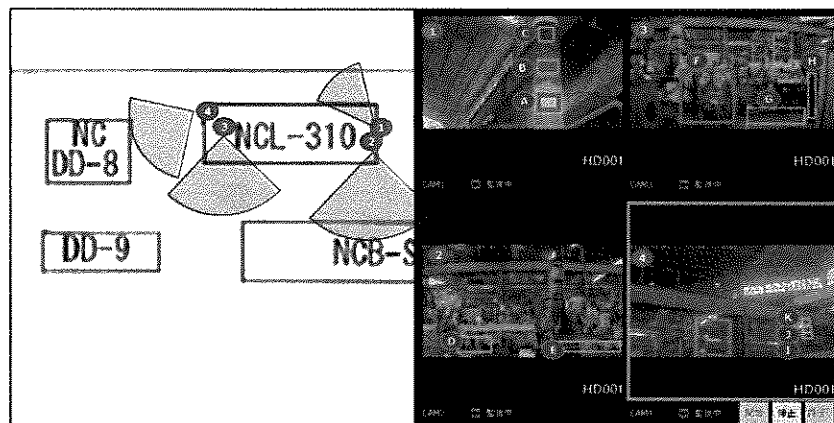


あわせて、素材の製造番号 (H 番) を RFID と紐づけることにより、鋳造工場から加工工場への工場間を跨いだトレーサビリティが可能となった。そのイメージ図を下記に示す。



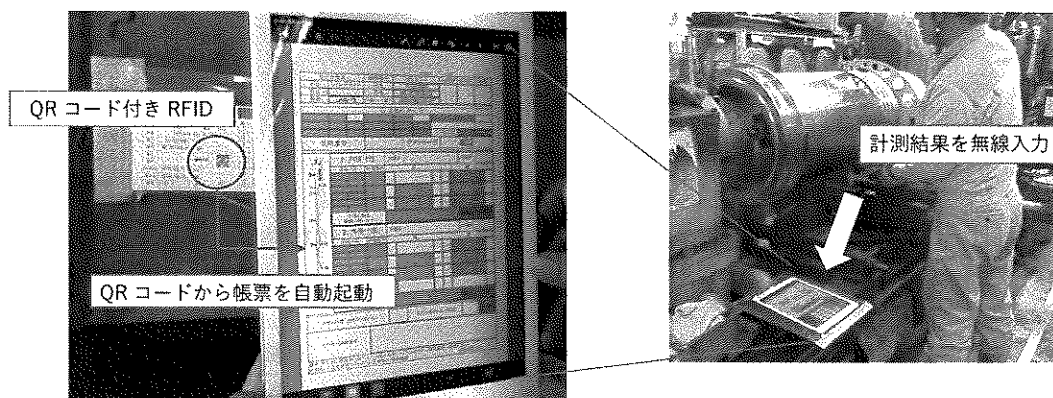
### ②-3) 画像撮影装置（カメラシステム）

設備に監視カメラを設置し LAN にて接続。ソフト側でターゲットを絞り、そこでの変化を記録する。前記 RFID により確認された時間的な問題についての検証を行うことができる。下記に現在の利用状況（画像）を示すが、これは一例であり、アイデアにより様々な活用方法があると思われる。



### ②-4) 自動帳票及び無線計測器

RFID は H 番と紐づけられているため、RFID にプリントされている QR コードをタブレットで読み込むことにより、その製品専用の検査帳票を起動することができる。帳票ソフトとしては i-Reporter を利用。タブレットと Bluetooth にて接続された無線計測器からの情報がそのまま入力されるため、計測者による修正・改ざんのしにくい仕組みとなっている。





## (2)検査データのオンライン化

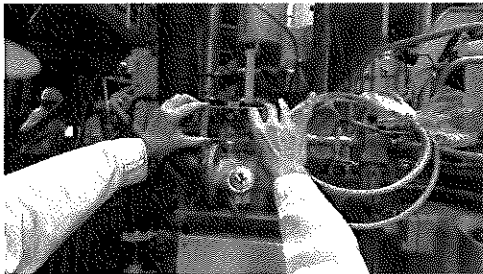
### a) 活動内容

- ①検査データデジタル入力の効率化のため、画像情報、音声入力、ハンディターミナル等を活用し、作業現場に適した検査データのオンライン化システムを研究する。
- ②検査データの精度確認と状態診断の効率化に関し、性能試験及び完成検査に於ける検査データの異常有無確認を効率化し、併せてデータ分析により状態診断など品質管理の向上に役立てる。

### b) 研究結果

#### ①-1) アナログ計器読取りシステム

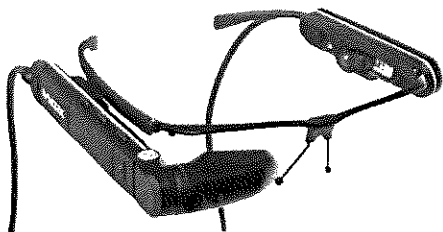
検査データのデジタル化に必要なアナログ計器読取りソフトを開発し、実機試験により操作性などを確認した。スマホを使用しアナログ計器の値をその場でデジタル化し Wifi 経由パソコンの試験成績表に反映する仕組みとしている。読取り装置としてスマホの他、スマートグラスでも作動を確認した。本システムの採用により、運転検査において習熟前の段階でも作業工数が約10%低減できることを確認した。また、目視に比べ高い精度と、高い繰り返し精度を確認しました。下記機種比較結果と実機での検証結果詳細を別紙に示す。



(スマホによる計器撮影)



(計測値と画像を記録)



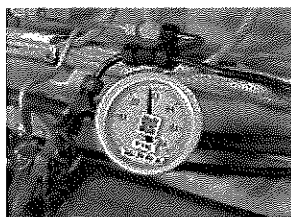
(現場で使えるスマートグラス例)



(現場での実証試験風景)

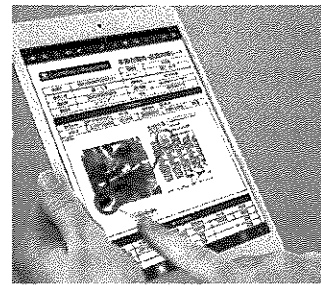


(排気温度計)



(圧力計)

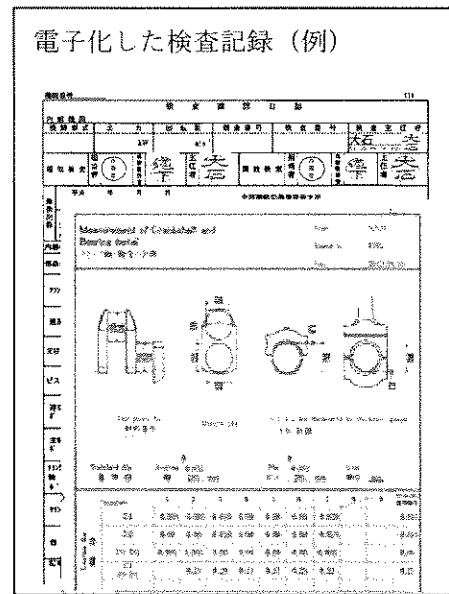
①-2) 検査記録のデジタル化と電子データの提出  
 検査記録のデジタル化のため、帳票ソフトと電子署名サービスを導入し、機械加工及び組立工程の検査記録をデジタル化した。また、運転検査記録を含めたこれらの検査記録を電子データとして提出する試験を行い、提出方法を立案した。検査記録例と書類提出手順を下図に示す。



(i-Reporter 表示例)



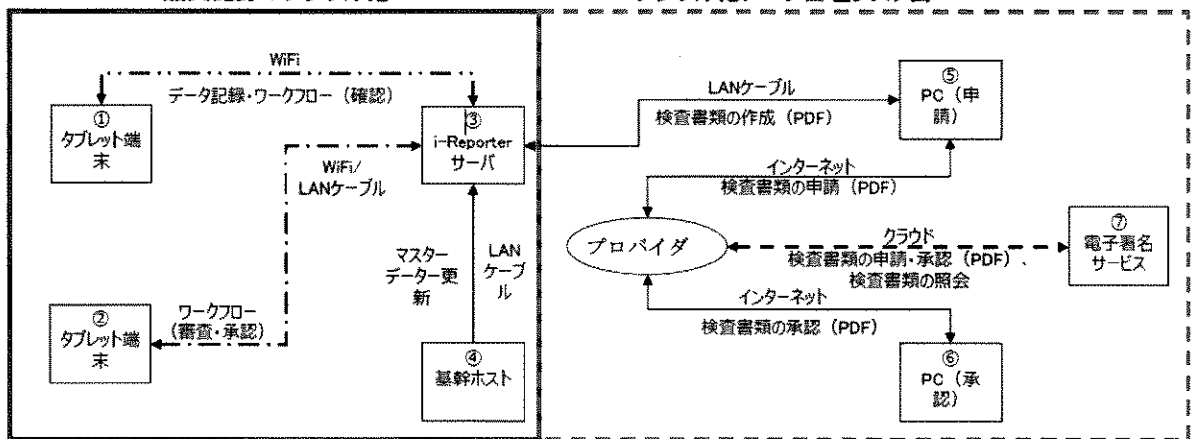
i-Reporter 入力画像 (例)



電子化した検査記録 (例)

品質記録のデジタル化

デジタル化データ管理システム



No	説明
①	品質記録を入力して品質記録データを登録、品質記録の確認申請を行う。
②	品質記録を確認し、品質記録の審査、承認を行う。
③	品質記録帳票・データ管理、ワークフロー処理等を行う。
④	基幹システムで管理しているマスター情報を出力。
⑤	検査書類(PDF)を作成、署名、申請を行う。
⑥	検査書類(PDF)を確認、署名、承認を行う。
⑦	検査書類(PDF)について電子署名(申請、承認)、照会を行う。

<帳票電子化ソフト>

検査記録のデジタル化を効率的に進めるため、専用の帳票電子化ソフトを採用した。ソフト選定に当たっては下記3点を重視した。

- ・既存の手書き様式に近い形で簡単にデジタル帳票が作成できること。
- ・一般作業者が比較的容易に使用できること。
- ・社内ネットワーク上で報告、承認行為が容易にできること。

市場評価の高い下記3種類のソフトを検討した。比較結果を下表に示す。

- ・i-Reporter 株式会社シムトップス
- ・XC-Gate 株式会社テクノツリー
- ・BIP Smart V2.0 株式会社PFU

帳票電子化システム

NO	評価項目	3社のパッケージ比較		
1	パッケージ名	Conmas <b>i-Reporter</b> (導入実績1,231社) 2018年9月時点	<b>XC-Gate</b> .ENT(エンタープライズ) (導入実績400社超) 2018年8月時点	BIP Smart V2.0
2	パッケージメーカー	㈱シムトップス 資本金:1650万円 売上高:836百万円(2017年3月)	㈱テクノツリー 資本金:4,500万円 売上高:910百万円(2016年度)	㈱PFU 資本金:150億円 売上高:1,339億円(2017年度連結)
3	良かった点	・入力端末がiPhone、iPadに特化している為、入力が軽快、高速。 ・管理画面が充実している。 ・ノンプログラミング ・外部システム連携有り ・承認ワークフロー機能有り ・導入実績数	・WEBアプリの為、ブラウザがあれば入力可。 ・Excelだけで帳票作成可 ・外部システム連携有り ・承認ワークフロー機能有り	承認機能が無く不採用とした為対象外とした。
4	悪かった点	・入力端末にアプリインストール、アプリバージョンアップ作業が必要。 ・ベースはExcelから作成可能であるが電子帳票にするには別ソフトをインストールし帳票作成する。	・システム特性の命令文を埋め込む為、プログラミングの要素有り。必要に応じてExcel関数を併用する。	

以上の比較結果より、「i-Reporter」を採用することとした。

なお、費用については、アプリケーション価格より運用までの費用が大きく、i-Reporter、XC-Gate の詳細な比較は行っていないが、概ね同程度と考えられる。むしろ、長く使用するため、上表に記す使用上のメリットやシェア等を考慮し選定した。

＜電子署名サービス＞

検査書類の社外提出に当たり、社として責任者が署名した正式書類であることを証明する必要があり、電子署名サービスを採用することとした。選定に当たっては下記3点を重視した。

- ・認証に関し法的な効力があり、かつ全ての証跡が残り信頼性が高いこと。
- ・取扱い上の支障が少なく、作業性が良いこと。
- ・受領側では、ソフト導入が不要で、かつ容易に承認行為等ができること。

市場評価の高い下記3種類のサービスを検討した。比較結果を下表に示す。

- ・ Adobe Sign
- ・ クラウドサイン
- ・ DocuSign

3サービス比較			
運営会社	アドビ システムズ 株式会社 資本金 1億8千万円	弁護士ドットコム株式会社 資本金 439百万円(2019年9月現在)	DocuSign Inc. 資本金 記載なし
サービス名	AdobeSign	クラウドサイン	DocuSign
費用	年額12,080円/150文書	月額1万円+200円/文書	50万円/500文書
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・署名や押印など細かい設定が可能</li> <li>・本人性2要素認証、証跡管理など法的に有効</li> <li>・PDFを開くと証跡も簡単に確認できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設定が容易で広く使われている。</li> <li>・証明書付電子署名に対応していない。</li> <li>・Excelでの提出ができない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外で広く使われている。</li> <li>・法的有効性あり</li> </ul>
備考	(1ユーザー:年あたり送信件数150件)と安価にやり取りが可能なため。	(ユーザー無制限:契約書送信件数毎の費用:200円)	(1ユーザー:1か月あたり送信件数5回まで:日本語ページ有)

以上の比較結果より、「Adobe Sign」を採用することとした。

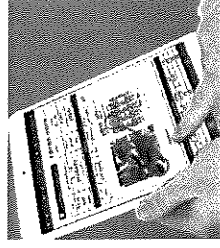
検査書類等、外部に提出する正式文書を扱うため、認証に関し信頼できること、PDF文書を正として提出することを想定しており、PDFを開発したアドビシステムズが提供しているサービスであること、年額12,080円(1ユーザー:年あたり送信件数150件)と価格面でも無理なく使用できること、等を考慮し、選定した。

## 製造認定事業場の検査書類提出電子化 実施要領提案内容

目的	製造認定事業場の検査記録など検査書類を電子データとして提出する方法の具体化
概要	製造認定事業場では、検査書類を持参または送付し、確認サインを頂いて製造を開始している。この検査書類を電子データとして提出することにより、確認期間の短縮、書類管理の効率化、検索、確認の迅速化を図ることができる。
提出方法	下記手順で検査書類を電子認証ソフトを介してメール添付により提出する。受領側の確認サイン後自動的に所定のクラウド内に保管される。
検査書類作成、提出手順	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 既存のExcelや紙情報を基に帳票ソフト (i-Reporter) を活用し検査帳票を作成</li> <li>2. 検査帳票にi-Reporter上で現場作業者が入力</li> <li>3. i-Reporter上で職場責任者にメールで自動配信され承認を得る。</li> <li>4. 職場責任者はi-Reporter上で電子サインする。サイン後自動で品質保証部に提出</li> <li>5. 品質保証部は内容確認の上、電子サインする。最終的に検査主任者がサインした後は一切修正不可となる。</li> <li>6. 社外提出の際は、電子認証ソフト (Adobe Sign) を使用。データを添付したメールが自動送信される。</li> <li>7. 送付する検査書類はPDF形式とし、これを正とする。検討用として、検査主任者がサインしたExcel形式の元データ及び受当説明資料も併せて送信する。</li> <li>8. 承認行為のプロセスはAdobe Sign上で全て証拠が残りいつでも検証可とする。</li> <li>9. 受領側は、メールで送られた書類の内容を確認の上、電子サインする。</li> <li>10. サイン後、自動で事業場に返信され、併せて、クラウド上に保存される。</li> <li>11. 承認後のファイルは、受領側が指定したクラウド内に保管され、両者より常時閲覧可とする。</li> <li>12. 事業場は、受領側の検討に供するため、検査主任者がサインした許容値一覧表、特記事項など必要書類を定められた順番で保存する。</li> <li>13. クラウド管理者は、(一社) 日本船舶品質管理協会を案とする。但し、同管理者はデータ閲覧不可とする。</li> <li>14. クラウド内には、事業者別にフォルダを作成しパスワードでロックする。</li> <li>15. 事業者別フォルダ内には、検査番号で検索できる一覧表を含む。検査番号別フォルダ内には、データファイル、許容値を含む受当性記述書、証拠を指定の順で配置する。</li> </ol>
クラウド管理	

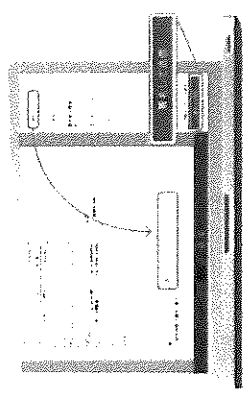
### 帳票管理ソフト (i-Reporter)

- ・従来使用の検査記録書類に近い形で電子化できる。
- ・同ソフト上で検査記録を入力する。入力支援機能も有する。
- ・出力は自動で行われ、所定のルートでメール送信される。
- ・Excel形式、PDF形式で出力でき、受領側にはソフト不要。



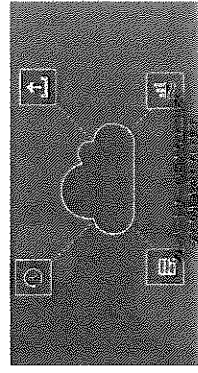
### 電子認証ソフト (Adobe Sign)

- ・第3者認証、証拠が残り、法的に有効であり信頼性が高い。
- ・統合3種類を比較し、信頼性が高く取扱性が高いことより選定した。
- ・事業場内の直接監督者、検査主任者のサイン後、メールにより自動送信され受領者のサイン後、自動返信、クラウド登録される。
- ・確認やサインを行った記録と日付が証拠として残り、関係者はいつでも確認できる。
- ・受領側にはソフト不要。



### クラウド管理

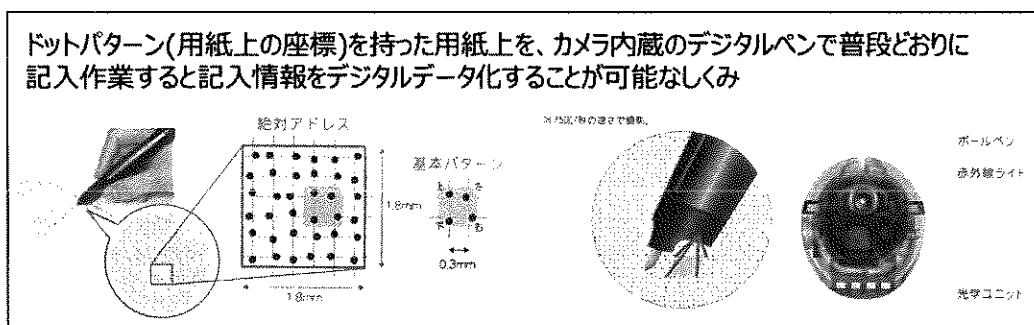
- ・クラウド業者は、AWS (アマゾンウェブサービス) を案とする。
- ・世界シェア3割で1位
- ・政府各省庁の共通導入クラウド
- ・電子認証ソフト (Adobe Sign) の運用クラウド



備考：

②検査データの精度確認と状態診断の効率化に関し、以下に記すシステムを開発した。検査データの inputs は、デジタルペンにより手書き数値をペン先端の小型カメラで読み取り、デジタル化しているが、ごく一部に入力エラーが生じ、従来は人が確認してきた。これを自動化する「検査データの精度確認システム」が完成し、運用を開始した。本システムでは、サーバ上で過去データを整理した中間ファイルにアクセスしデータの異常を確認するとともに、グラフを自動作成し、デジタルデータの検証作業を大幅に効率化した。効果としては検証時間を1/3にまで短縮できた。研究作業は、次ページに示す4ステップに区分し段階的に進めてきたが、特に第4ステップでは、季節変動による環境補正やアラート発報に関するノウハウの蓄積、類似データの参照機能などを強化した。

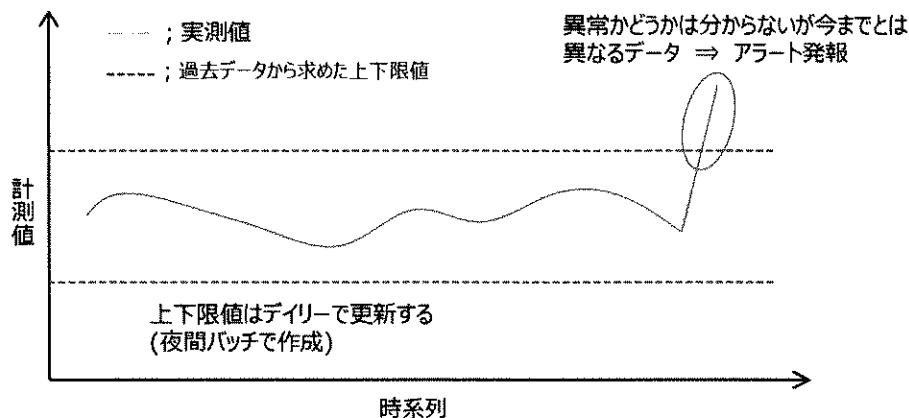
また、本システムを製造設備管理に応用するため、コンプレッサの運転記録にも適用し有効性を確認した。



(デジタルペンによるデータ電子化の仕組み)

### 過去データを教師データとし、取得データの良否を判定するシステム

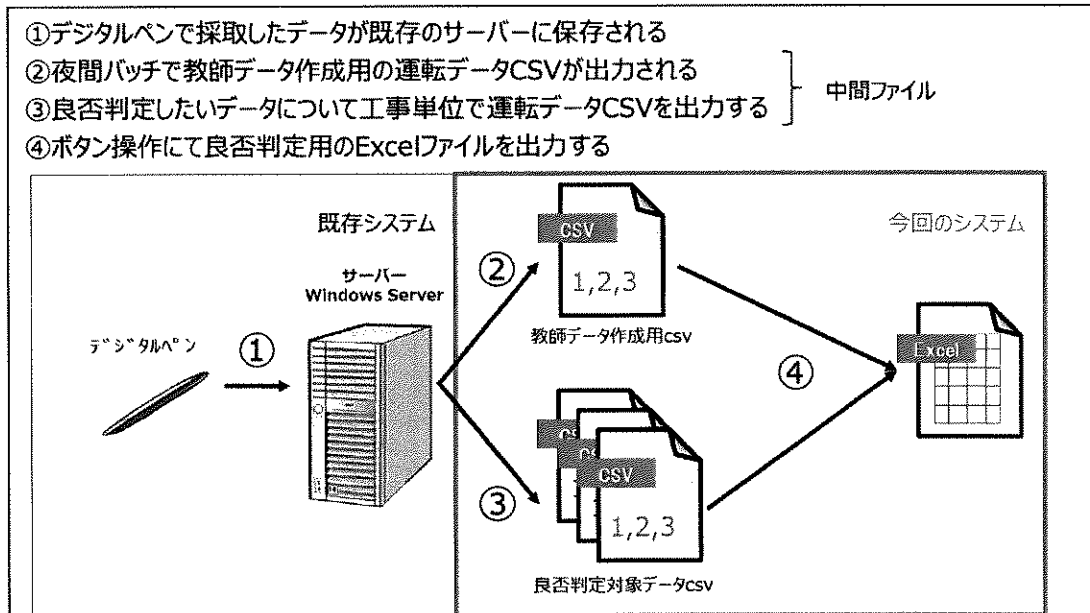
- 取得したデータの良否を判定するのは過去に取得したデータを活用(教師データ)とする
- 異常を予測するのではなく、正常と異なる状態を検知するためのシステムとする



(良否判定概念図)

フェーズ	対象データ	実施内容	導入時期
フェーズ1	・運転(性能)データ	・一部データ(主に温度データ)でモデル構築 ・データ連携は手動(スタンドアローン)で実施	'19/2
フェーズ2	・運転(性能)データ	・全データでモデル構築 ・データ連携は手動(スタンドアローン)で実施	'19/3
フェーズ3	・運転(性能)データ	・データ連携を自動で実施(サーバーにて管理) ・性能曲線、トレンドグラフなどの付随機能追加	'19/9
フェーズ4	・運転(性能)データ ・設備データ	・アラート発報データに相関するデータの自動紐付け ・教師データに季節変動などのパラメータ付与 ・他システムとの連携	'20/1

(フェーズ1～4の4段階のステップを計画し段階的に進めた。)



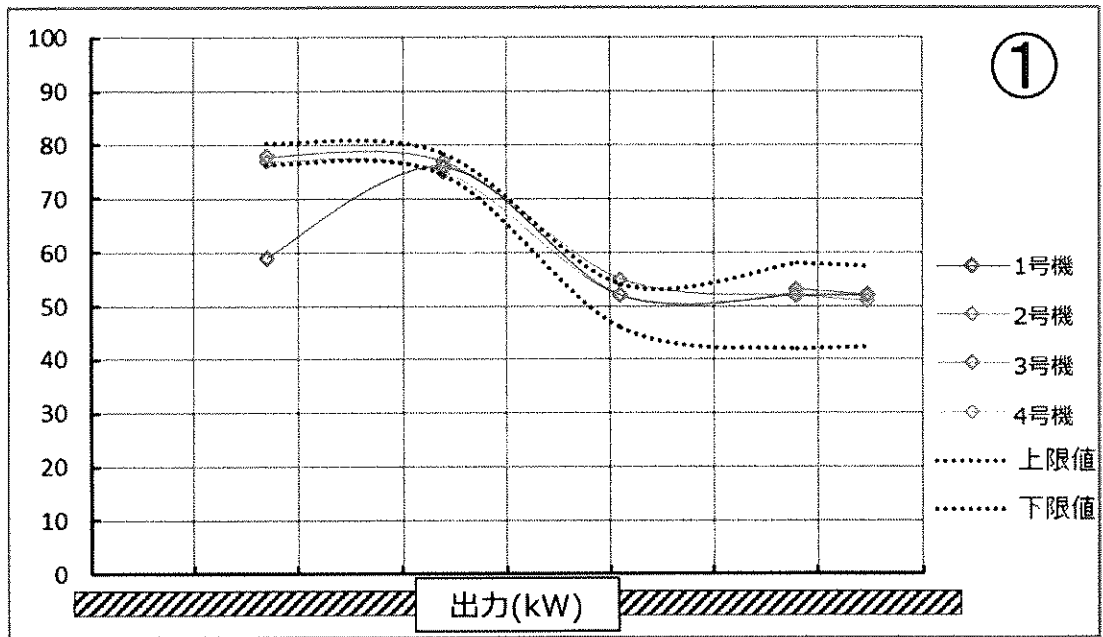
(システムイメージ)

試験成績表 ・ TEST RECORD											ヤンマー株式会社 YANMAR CO., LTD				
機関番号 Engine No.															
項目 ・ Item		計測値 ・ Measurement											グラフ 番号		
負荷 ・ Load	%	0	3.7	25	50	75	90	100	100	110	ENG100	ENG110		R75	
冷却水温度 Cooling Water Temp. ℃	空気冷却器入口 (I.) I/C Inlet (I.)	67		79	76	52		52	52	52				①	
	ジャケット入口 Jacket Inlet	68		79	78	56		58	58	59				②	
	機殻出口 Engine Outlet	70		82	83	61		63	64	65				③	
	空気冷却器入口 (L.I.) I/C Inlet (L.I.)	38		38	38	38		38	38	38				④	
	空気冷却器出口 (L.I.) I/C Outlet (L.I.)	38		38	38	39		39	39	39				⑤	
	潤滑油冷却器入口 L.O. Cooler Inlet	38		38	38	39		39	39	39				⑥	
	潤滑油冷却器出口 L.O. Cooler Outlet	39		39	40	40		41	41	41				⑦	
	淡水冷却器入口 F.W. Cooler Inlet														
淡水冷却器出口 F.W. Cooler Outlet															
潤滑油温度 Lube Oil Temp. ℃	潤滑油冷却器入口 L.O. Cooler Inlet	58		61	63	63		63	64	64				⑧	
	潤滑油冷却器出口 L.O. Cooler Outlet														
	潤滑油温度計出口 L.O. Cooler Outlet	56		57	58	58		58	58	58				⑨	
給気温度 Boost Air Temp. ℃	過給機入口 T/C Inlet	29		28	28	30		21	22	26				⑩	
	空気冷却器入口 I/C Inlet														
	シリンダ入口 Cylinder Inlet	43		45	47	46		48	49	50				⑪	
排気温度 Exhaust Gas Temp. ℃	各気筒出口 Each Cyl. Outlet	No. 1	158		292	337	356		395	402	434			⑫	
		No. 2	174		307	336	353		394	397	422			⑬	
		No. 3	139		284	318	335		375	379	406			⑭	
		No. 4	174		308	341	354		391	394	416			⑮	
		No. 5	178		309	336	346		387	388	414			⑯	
		No. 6	175		306	338	348		386	388	412			⑰	
	平均値 Average	166	#####	301	334	349	#####	388	391	417	#####	#####	#####	⑱	
	過給機入口 T/C Inlet	1~3 Cyl.	207		402	449	453		485	489	516				⑲
		4~6 Cyl.	239		435	471	472		503	504	528				⑳
	過給機出口 T/C Outlet		193		341	336	300		302	304	320				㉑

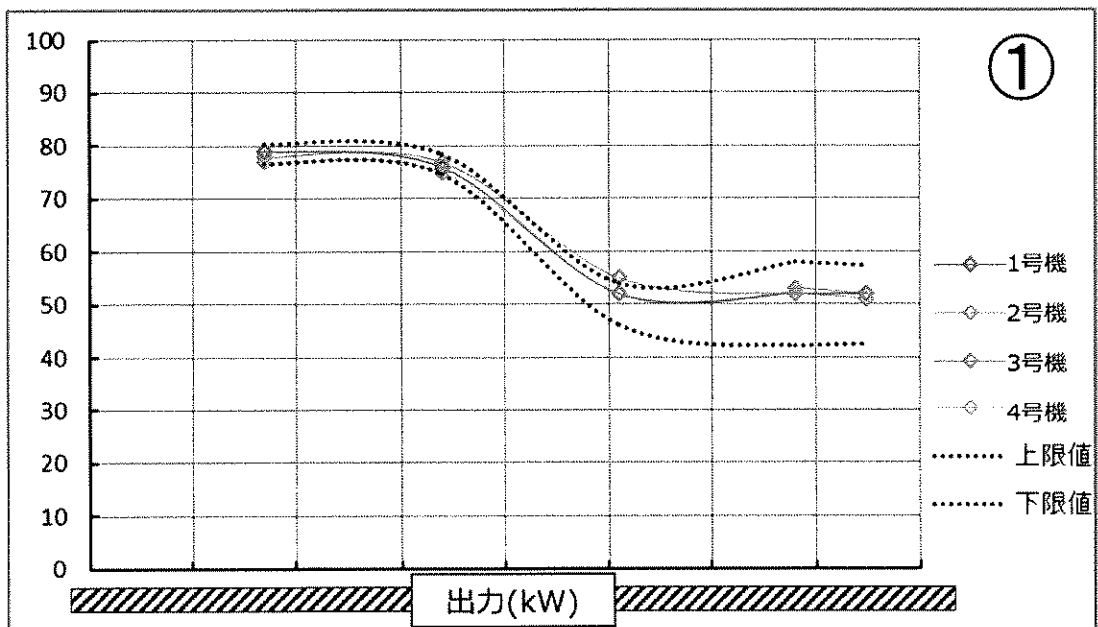
(良否判定画面イメージ)

- ・ 過去データから作成した上下限値を外れると赤く着色される
- 上記赤色部分は誤変換データで、正しくは79℃





(性能曲線イメージ\_異常データ修正前)



(性能曲線イメージ\_異常データ修正後)

### (3)画像、AIの活用による品質管理の効率化

#### a)活動内容

- ①画像情報の活用による検査の効率化に関し、受入部品等の画像情報を分析し、図面との対比、画像計測による品質確認など画像を活用した検査の効率化と不適合の未然
- ②大型構造物の画像計測については、初年度に画像計測方式による計測と解析を行い、さらに、精度向上試験<sup>へき</sup>実施した。計測結果より実用精度に近づいたが、精度を向上させるため、次年度にレーザー計測及び各種の画像計測による試験を実施した。精度面、計測時間、取扱性を評価し、運用上の効果と課題を明確にした。

#### b) 研究結果

- ①-1) 受入検査場で画像活用による検査の効率化のため、3D レーザー計測装置及び光学式画像計測装置について検討を開始し、デモや国内の画像計測会社に検証部品を送り計測を行い、3D 計測器の結果と比較した。その結果を受け最適な機器を導入した。

また、光学式画像計測については更に、6種類の装置について比較検証を行い評価した。精度面ではレーザー式と比べ精度は劣るが全体形状や主要寸法の評価など精度に応じた用途で有用と考えられる。同じく比較計測結果に基づき最適な装置を導入し、運用と検証を行った。その結果、計測対象のある場所へ計測装置を持ち込め、計測場所の汎用性が向上した。それにより計測対象も増加した。また、カラーマッピングも可能であり、寸法や形状だけでなく計測物の外観情報も把握が可能となった。その実施状況を以下に示す。

【3D計測装置の比較表】

機器会社	クレアフォーム社	FARO社	GOM社	アプライン・ビジョン・システムズ社
推奨機器	HandyScan 700	Quantum S 2.5m	Atos II Triple Scan	プロトタイプ ステレオカメラ
測定範囲	直径4mまで	直径2.5m	490 - 2000 mm	
非接触測定精度	0.020mm+0.060mm/m (計測対象の大きさで精度が 変化)	0.048mm	0.05mm	
精度保証規格	ISO 10360-8 Annex D	ISO 10360-8 Annex D	VDI/VDE 2634 Part3	-
計測原理	レーザー式の3Dスキャナー			
計測速度	480,000点/s	600,000点/s		-
特徴	多くのターゲット(マーカー)が必要でそれを基準に位置を把握。ターゲットのみの可動式。計測対象の大きさにより計測精度が変化(低下)する。 ターゲット(マーカー)は25cm角に4個入るようにセットが必要。対象物の置き方を要える場合は対象物に貼ったターゲットをずらさないようにする必要有り。	測定機の根本部分に原点を持っていて、軸の回転角度+アームの長さから、先端の位置情報やスキャナの向きを常に把握している為、ターゲット(マーカー)などの外的な目標を使って位置合わせをする必要が無い。 アーム型測定機では複数のデータを位置合わせする必要が無い為、測定範囲内では一定の測定精度を担保可能。	ターゲット(マーカー)またはロータリーテーブルの回転角度情報が必要。計測器が固定式であるため、計測対象は表面上に見えてはいる箇所のみ、陰に隠れている箇所は不可能。	アプライン社はハードは一式1.5~3百万円程度であるが、ソフトウェアは開発が必要でパッケージ化が必要で不明確。物体のRが付いたエッジ部を把握するのが困難で実用化には相当の時間と労力が必要。
コスト	約1100万	約1800万円	約2000万円	1000万円前後と予想
納期	約1.5ヶ月	約1.5~2ヶ月	約2ヶ月	ソフトウェア開発で1年以上かかる恐れあり
供試品計測結果 供試品: 鋳物水L型配管 (参考: ミットヨ3次元接触式計測器での値は90.01°)				
フランジ2面間角度	89.98°	90.03°	-	89.7°

【画像計測装置の比較表】

(青字は留意事項を示す。)

機器会社	アブライト・ビジョン・システムズ社	日本3Dプリンター(株)	(株)データ・デザイン	東京貿易テクノシステム(株)
推奨機器	プロトタイプ ステレオカメラ	EINSCAN	Artec3D EVA	ZEISS COMET250
測定範囲	-	~4m	~3m	~0.255m
非接触測定精度	0.10mm以上、20cm角の物体なら0.1mmの精度で計測可能、大きさと精度悪化。	0.10mm	0.10mm	0.02m
精度保証規格	-	-	ISO10360-8	
計測原理	ステレオカメラ画像による形状把握	光照射型カメラ式非接触測定システム	光照射型カメラ式非接触測定システム	光照射型カメラ式非接触測定システムカメラ固定式測定機。
計測速度	-	1,500,000点/s	2,000,000点/s	5,018,400点/s
特徴	同社はハードは一式1.5~3百万円程度であるが、ソフトウェアは開発が必要でバックアップ化が必要で不明確。物体のRが付いたエッジ部を把握するのが困難で実用化には相当の時間と労力が必要。	マーカが必要。計測CPUと有線接続。ハンディタイプ。	マーカは不要。計測時は本体のみで可能でPCは不要。WifiおよびSDカードでデータを受け渡し。	マーカは不要。計器固定型の品物を回転台に設置し計測するタイプ。
コスト	1000万円前後と予想	約400万円	約600万円	約1500万円
供試品計測結果 供試品: 鋳物水L型配管 (参考: ミットヨ3次元接触式計測器での値は90.01°)				
フランジ2面間角度	89.7	90.03	89.91	90.005

(3D レーザー計測装置の運用状況)



エンジン部品など複雑な形状のものは  
レーザー計測でより早く正確に計測でき、  
3D図面との対比も可能

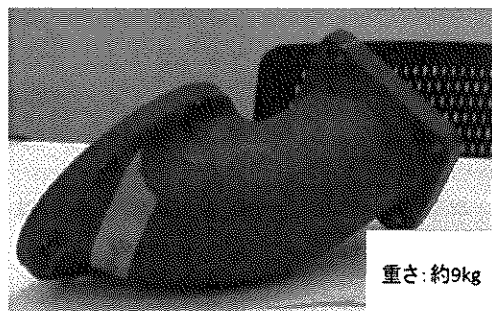
(アーム式3Dレーザー計測機)

	従来	レーザースキャナー (3DCAD 図面無し)	レーザースキャナー (3DCAD 図面有り)
作業人員	2	1	1
所要時間	約55分	約35分	約20分
検査工数	1.0	0.32	0.18

注) 対象となる部品により効果に差がでる。

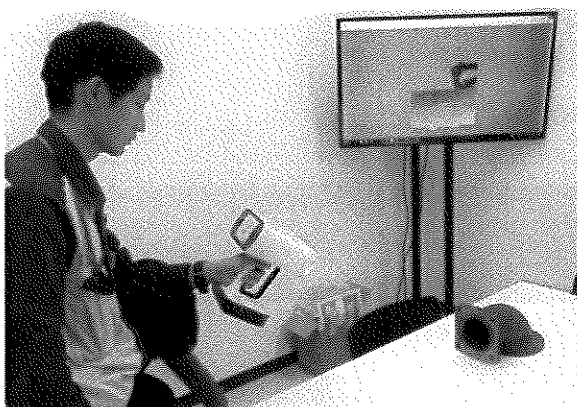
(レーザー計測装置による検査工数低下効果)

(3D 画像計測装置の運用状況)

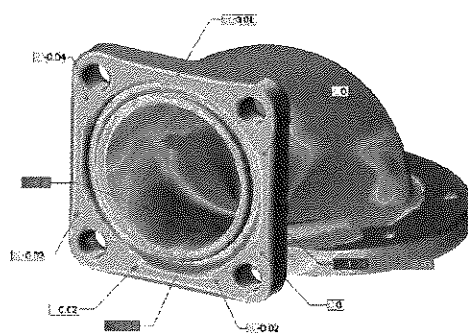


(画像計測比較用エンジン部品)

(画像計測装置例とエンジン部品の計測状況)



(3D 図面と対比した上記計測結果)



図面より+側が暖色で、  
一側が寒色で示される。

①-2) また、3D 計測装置を用い各検査品の寸法計測、形状把握、ノズルオリエンテーション (配管接続位置) 等に適用し効果を確認した。以下に適用例と活用が見込まれる用途について以下に記載する。

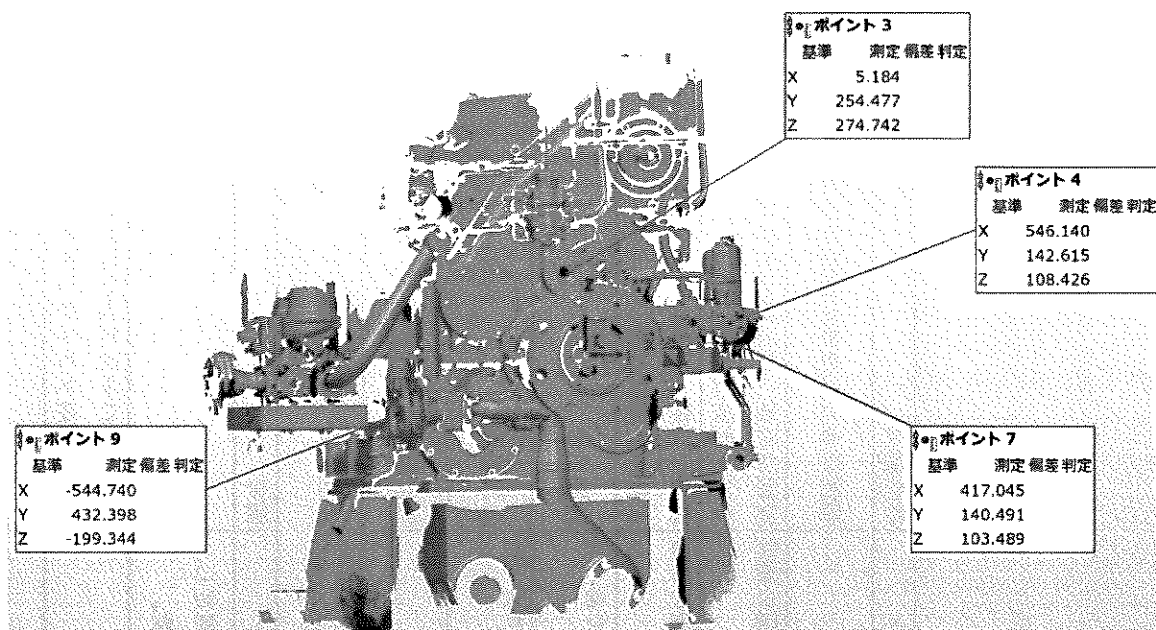
【画像計測装置の使用実績一覧】

用途	供試部品	計測要目	計測上のメリット	計測結果	備考
受入部品の寸法計測	配管材等	寸法、角度、形状	業務効率化	精度に合った品物の選定が必要	別途比較表有
エンジンのノズルオリエンテーション	機関本体	配管取り合い位置	取り合い位置把握の精度向上	現状は可能、対象物の大きさにより測定時間が長い	別途計測状況有
エンジン用付帯機器の寸法計測	レシーバー	配管取り合い位置	取り合い位置把握の精度向上	現状は可能、対象物の大きさにより測定時間が長い	
形状把握	ラジエターファン等の翼形状	曲面形状	従前計測が困難であった情報の収集	計測可能	
形状把握	薄肉板金部品	肉厚、曲面形状	従前計測が困難であった情報の収集	計測可能	
形状把握	ピストン外形	寸法、曲面形状	業務効率化	計測精度の問題があり不向き	

【その他、活用が見込まれる用途】

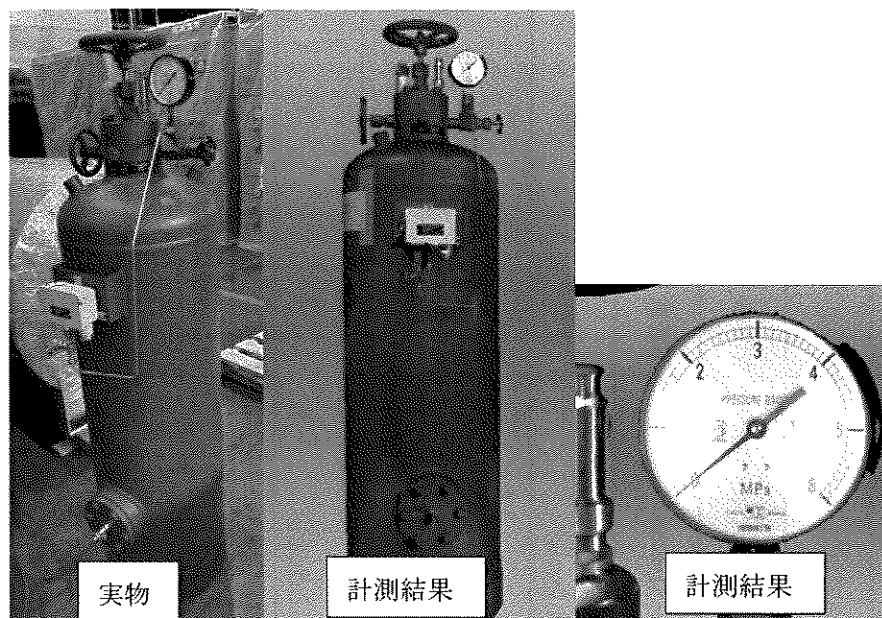
用途	計測要目	計測上のメリット	備考
初品加工時の進捗確認	寸法、角度、形状	加工機器にセットした状態で原点設定を変えずに測定し、計画通りに加工が進められているか進捗確認が可能。	
リバーエスエンジニアリング	寸法、角度、形状	治具類や図面情報がない品物を図面化	別途、リバーエスエンジニアリング用の専用ソフトウェアが必要
社外における計測業務	寸法、角度、形状	仕入れ先訪問による検品	

(エンジンのノズルオリエンテーション)



3D計測後、指定ポイントのXYZ座標が示される。

(エンジン用付帯機器の寸法計測 (エアレシーバー))



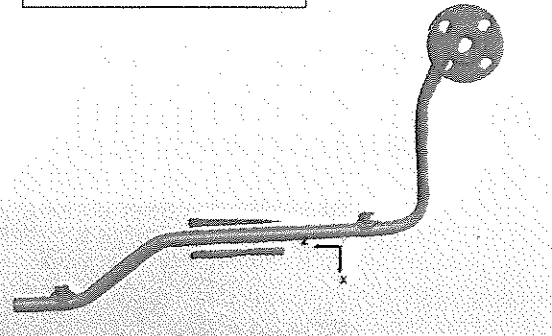
3D形状が塗装色や貼付紙情報を含め記録できる。



(受入部品の寸法計測)



各方式による計測状況  
対象部品



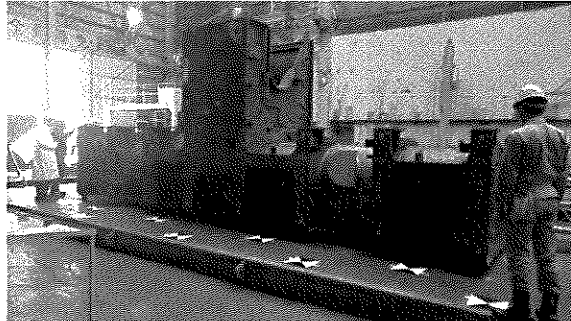
	従来	レーザースキャナー (FARO)	画像計測装置 (Artec3D LEO)
初期投資	—	約18000千円	約6500千円
作業人員	2	1	1
所要時間	約12分	約9分	約23分
検査工数	1.0	0.38	0.96

注) 対象となる部品により効果に差がでる。

(受入部品の寸法計測における画像計測装置、レーザー計測装置の検査工数低下効果)

②大型建造物の画像計測については、初年度に画像計測方式による計測と解析を行い、さらに、精度向上試験実施した。計測結果より実用精度に近づいたが、精度を向上させるため、次年度にレーザー計測及び各種 3D 計測装置による試験を実施し、精度面、取扱性を評価し、運用上の効果と課題を明確にした。

(大型建造物の初年度画像計測状況)



① 測量機を用いて定盤に置いた基準マーカ、プリズム、ワーク自体の計測箇所(計測用マーキング位置)を計測

② ステレオカメラを用いてステレオ画像を取得

③ 画像を解析ソフトに取り込み、基準マーカ位置から計測用マーキング位置の寸法情報を取得  
④ ③で得られた結果と①で測量機取得した寸法情報を比較

(次年度に実施したレーザー計測装置及び画像計測装置各機種種の計測状況)

・ レーザートラッカー (AT960) による大型建造物の芯出し計測状況

計測は2人作業  
※現状は1人作業

高所作業をしない場合、  
上部板の計測はできない

計測結果

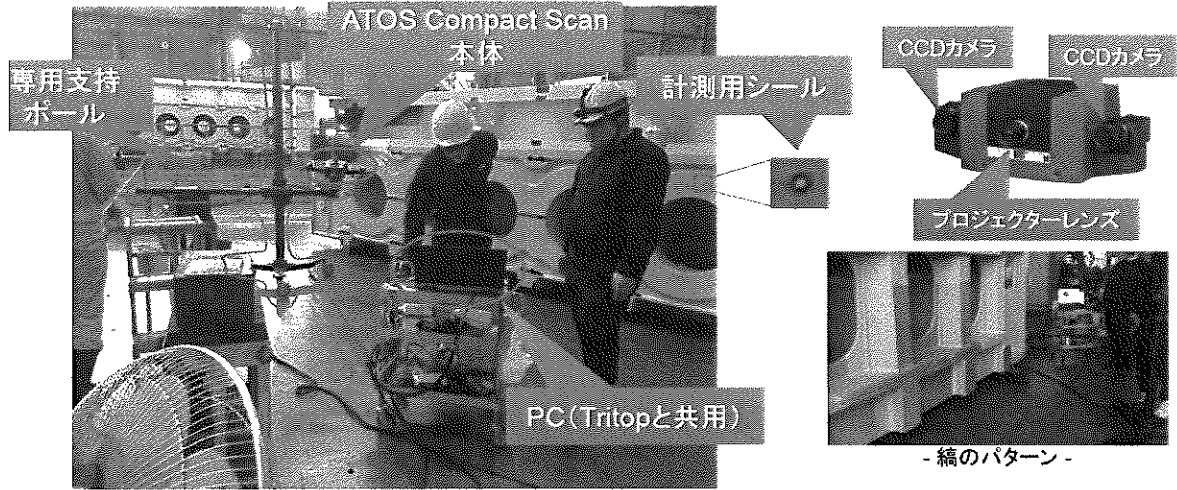
AT960本体  
(本体別@boxに有付付体)

床固定用  
治具

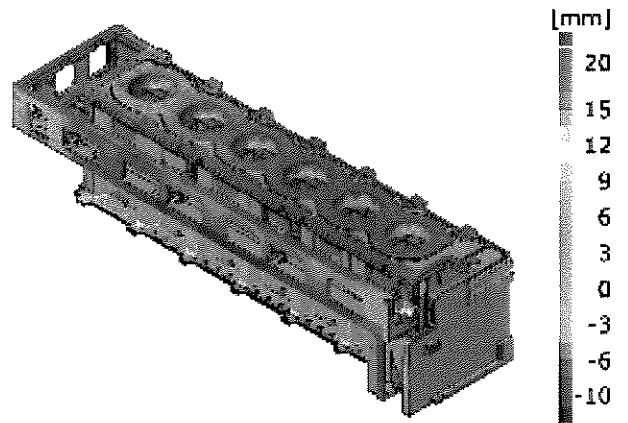
PC作業が必要であり  
専属の作業員が必要  
※ソフトウェア使用に熟練度が必要

他社においても、三次元計測機器での計測  
専属の担当者が2人で実施してる。

・画像計測装置（GOM 社 ATOS）による大型構造物の芯出し計測状況



(3DCAD データと比較し  
カラーマップ化した計測データ)



大型構造物計測用として各種計測装置を検討した結果を下表に比較して示す。

メーカー	GOM	Creaform	データデザイン
機器名称	3D スキャナー ATOS Compact Scan	3D スキャナー MetraSCAN3D(750)	レーザースキャナー Artec Ray
可否判定 <sup>※1</sup>	○	△	×
利点	結果処理が容易 (ソフトが使いやすい) 一度に広範囲のスキャン が可能	機器移動が容易 金属光沢面の計測可能	計測が容易で早い 機器構成が少ない 機器移動が容易 暖気不要
欠点	シール貼りが手間 本体を容易に移動、固定 できる治具が必要	マーカー貼りが手間 計測トリガーが重いため、 長時間作業が× 機器移動時の計測データ 合わせ込み誤差が大きい	機器移動時の合わせこみ 誤差が大きい 穴径の計測精度が×
計測精度 <sup>※2</sup>	0.1mm	0.03mm	0.7mm@15m
計測範囲 <sup>※2</sup>	10m 程度	10m 程度	50m (高品質モード)
参考価格	27 百万円 (周辺機器、TRITOP 含む)	19 百万 (周辺機器含む)	11 百万円
取扱商社 <sup>※3</sup>	丸紅情報システム	三共(システムクリエイト)	日本 3D プリンター
			

メーカー	Leica Geosystems	Leica Geosystems	FARO
機器名称	レーザートラッカー AT960-XR	レーザートラッカー ATS600	レーザートラッカー Vantage E6
可否判定 <sup>※1</sup>	○	△	△
利点	オプションが豊富で プローブ計測、スキャナ ー計測が可能	ターゲットを貼る必要が 無い（ノンプリズム計測 可能） 目は粗いが点群計測可能	Leica より安価 旧型の購入実績あり
欠点	機器が高価 機器移動が手間	ノンプリズム計測時の 精度が不明確 機器移動が手間	プローブ計測も可能だ が、Leica/ T-Probe に劣る 機器移動が手間
計測精度 <sup>※2</sup>	0.02mm@1m	0.02mm@1m	0.02mm@1m
計測範囲 <sup>※2</sup>	直径 120m	直径 160m	直径 70m
参考価格	63 百万円 (周辺機器含む)	22 百万円 (周辺機器含む)	20 百万円 (周辺機器含む)
取扱商社 <sup>※3</sup>	東京貿易テクノシステム	東京貿易テクノシステム	FARO JAPAN
			

メーカー	TACC	キーエンス
機器名称	カメラ計測機 V-STARS/N (プラチナ)	ワイドエリア三次元 測定機 WM-3000
可否判定※1	×	×
利点	計測が容易 (専用カメラで撮影) 機器構成が少ない 暖気不要	比較的安価 計測点を直感的に把握し やすい 暖機不要
欠点	シール貼りが手間 計測後の評価結果の利用 可否の判断に経験、知識 を要する	1 度に計測可能な距離が 短い 計測精度が不明確 機器移動が手間
計測精度※2	0.01mm@1m	0.05mm@5m
計測範囲※2	不明(焦点距離)	5m 程度
参考価格	25 百万円	8.6 百万円 (リース 15,6 万円/月)
取扱商社※3	三共(TACC)	キーエンス
		

※1：現状のアナログな手法との代替可否判定。○が可能性ややあり、△が可能性は低い、  
×が可能性はかなり低い。

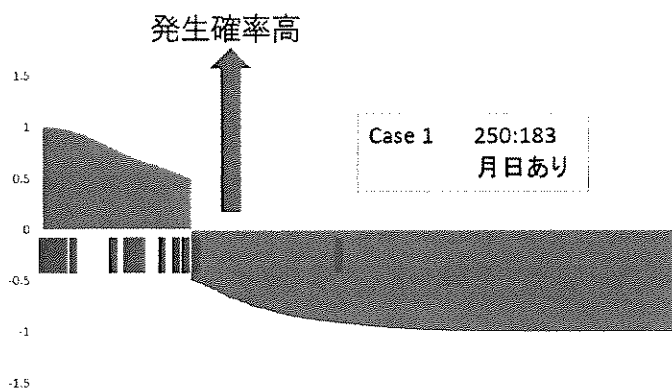
※2：計測手法、計測対象などにより変わるので代表例を記載。

※3：取扱商社はいくまで代表例であり、他にも取り扱っている商社あり。

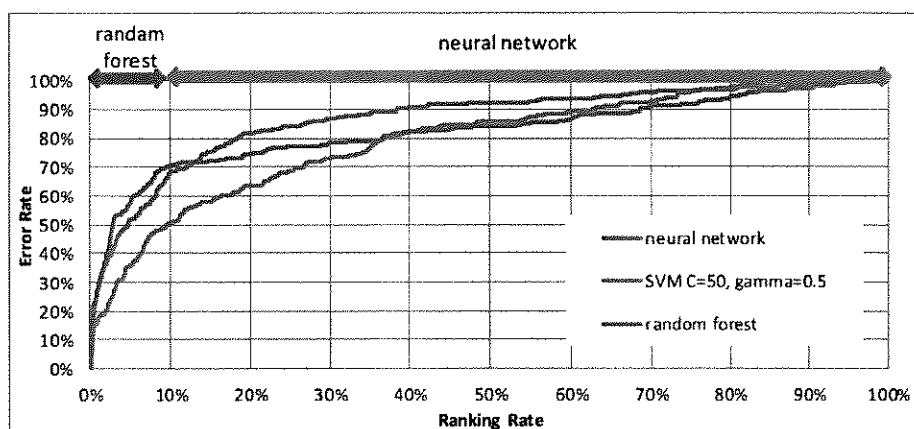
③-1) AIの活用については、下記3項目に関し研究を進めた。

- ・「調達品の不適合予測」
- ・「画像による欠陥検出」
- ・「工作機械のIoTデータなど時系列データによる不適合検知」

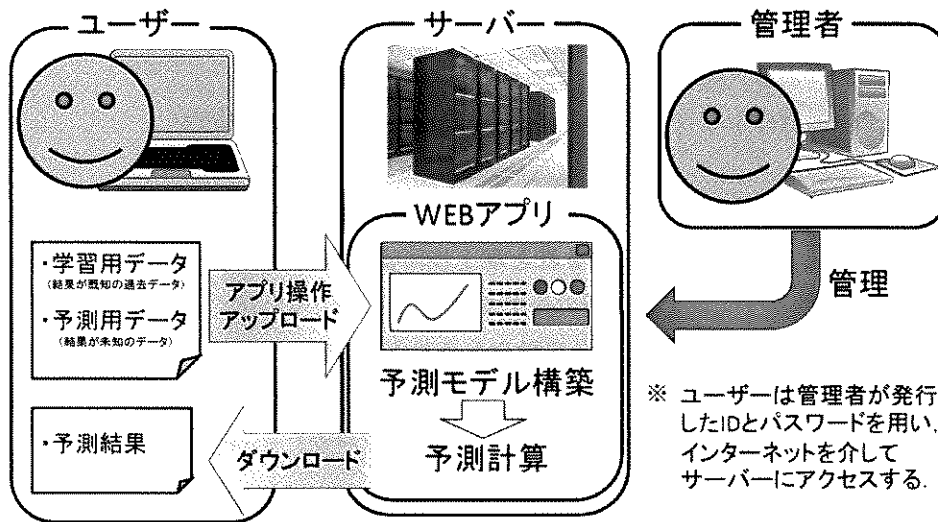
「調達品の不適合予測」については、37万件の発注データを用い検証を行い、AIソフトはAmazon、Googleの2社と海上技術安全研究所を比較して解析を進めた。この結果、海上技術安全研究所のモデルによる予測精度が良く、同モデルを汎用化するため入力データの変換などを自動化し各社からアクセスできるシステムを構築し、汎用機械学習ソフトとしてWeb上で公開した。機械学習手法3種類（ランダムフォレスト、サポートベクタ、ニューラルネットワーク）を選択可とした。以下に各解析結果を示す。



Google AIにより2万5千件のデータより不適合予測を行った例  
発生を予測する青色の上向きのグラフと実際に発生した赤色の発生実績が高い確率で一致している。

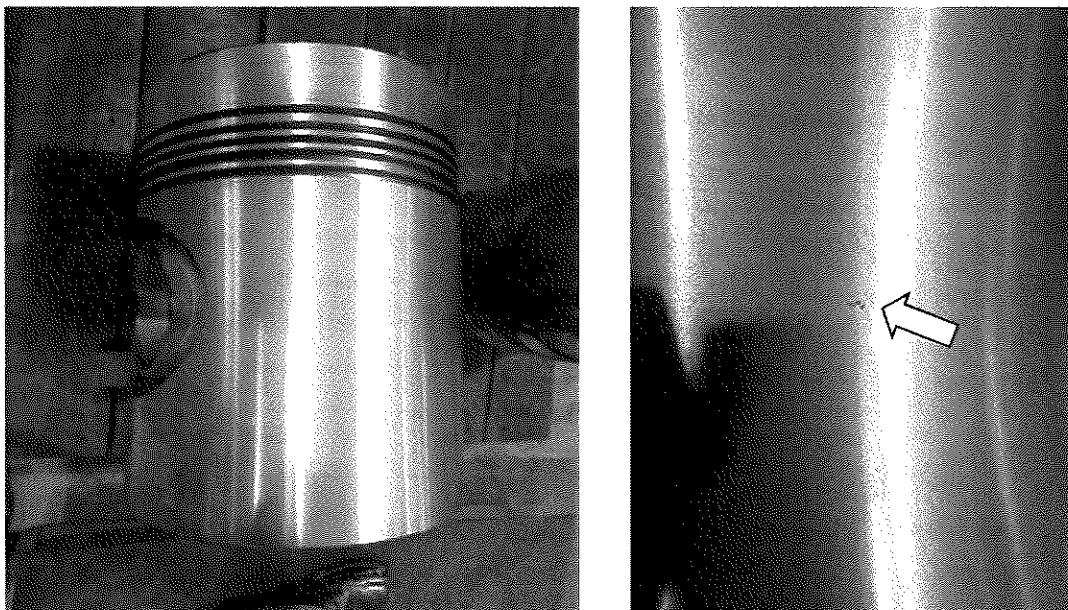


(海上技術安全研究所では、37万件の発注データに関し、3種類の方法を比較して解析を行った。上図のようにニューラルネットワーク法では全件数の20%までで実不適合の80%まで予測している。)



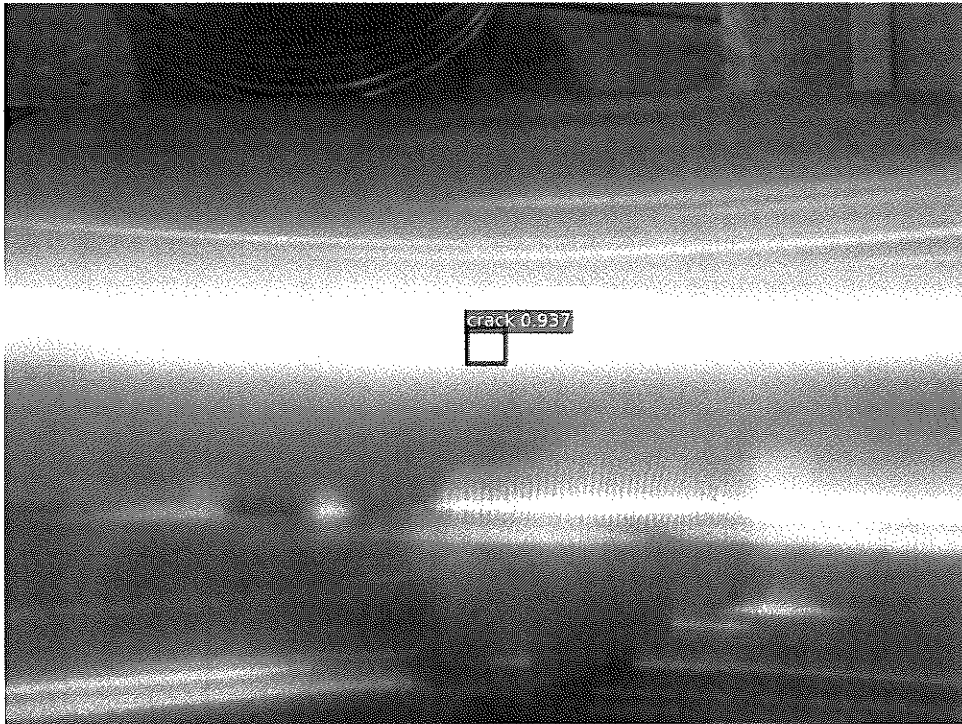
(各社からアクセスできる Web 化ソフトの概念図を示す。)

③-2) AI を活用した「画像による欠陥検出」に関する課題については、エンジン部品の一つであるピストンを題材として取り上げ、正常写真と欠陥写真を入力し研究を進めた。水増しした欠陥画像約 7,000 枚のデータを基に学習させ、ピストンの全体写真から、同学習結果を用いて微小欠陥を 93.7% の確率で認識でき、実用できる水準となった。

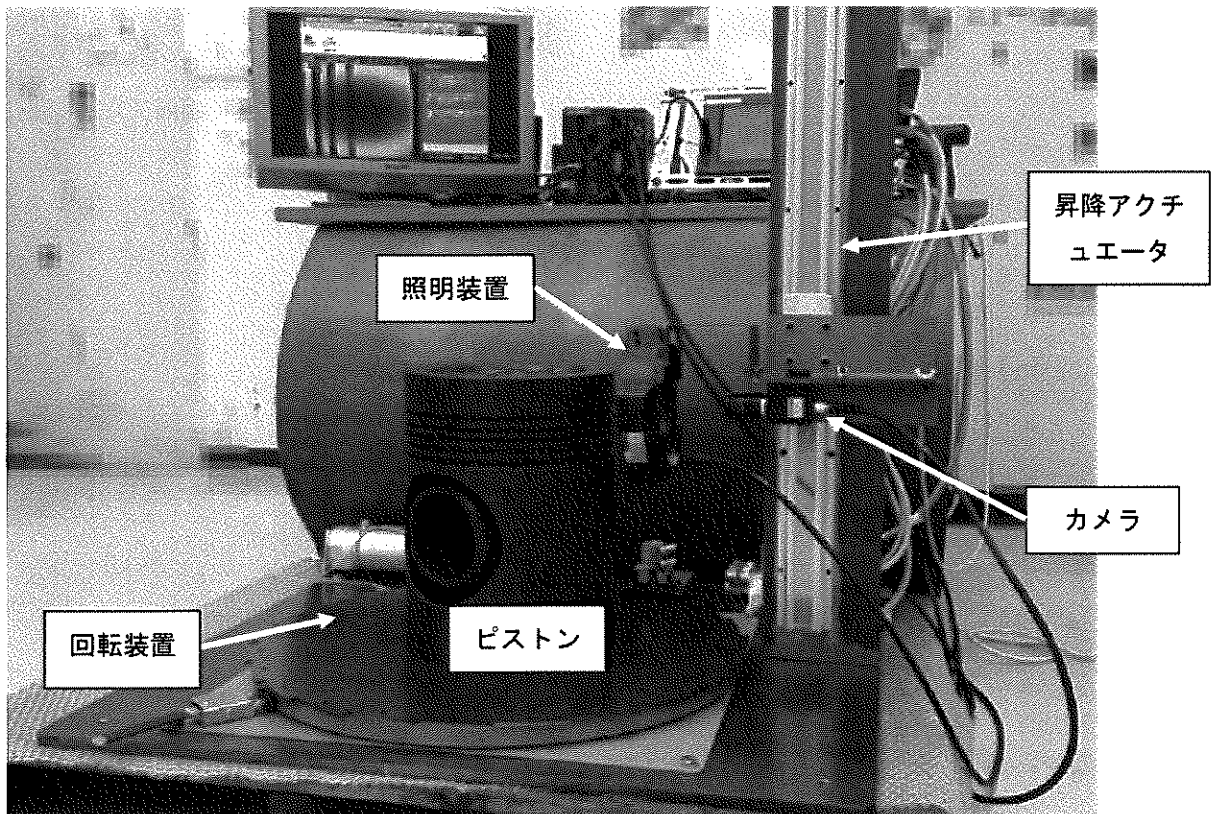


(ピストン写真及び矢印で示す欠陥写真例)





(前頁欠陥のA Iによる検出例 (確率 93.7%))

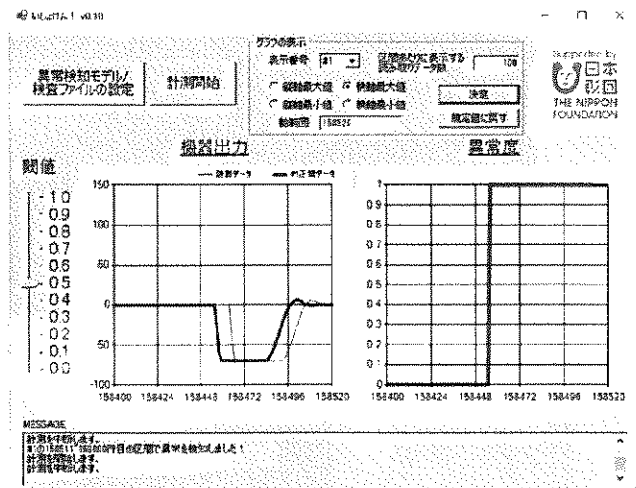


(ピストン検査装置)

③-3) 工作機械のIoT化に関し、エンジン部品加工用の工作機械の工具駆動用電流値をデジタル化し、収集したデータを分析した。併せて、工具の摩耗による不適合を未然防止するためのソフトを作成した。機械加工時の時系列データに関し正常時の波形を機械学習によりパターン化し、同正常パターンからの逸脱時にアラームを発する仕組みとした。

適用例として、ドリルによる穴明加工データについてモデル作成を行ったところ、摩耗によるドリル交換前の数回の加工において、アラームが表示され工具交換タイミングが特定でき、実用できる水準となった。

左側の青色カーブは正常時の値であり赤色カーブの様に逸脱した場合、逸脱の程度を右側の異常度で示し、併せてアラームを発する。



(異常検知設定画面例)

## 6. まとめ

### (1) リアルタイム管理

①工作機械のIoT化を品質管理で役立てるため、電流値などの時系列データを分析し不適合を検出するソフトを開発した。同ソフトを運用し、問題無く異常を検出でき、切削工具の寿命管理などに有用であることを確認した。

②ICタグと画像による工程詳細の確認システムを部品生産ラインに適用、運用し、併せて、帳票システム及び無線式計測器を連携させ検査記録入力を効率化し、実用的なシステムとして完成させた。また、工場をまたぐ工程進捗が画面上でリアルタイムに確認でき、管理精度も大幅に向上した。

### (2) 検査データのオンライン化

#### a)課題と進め方

①アナログ計器読取りシステムを開発し、温度計や圧力計などの読取りとデジタル化を可能とした。同システムにより、スマートホン及び、スマートグラスを使用した運転検査における運用方法を確立した。この結果、運転検査に要した時間が習熟前段階でも約10%低減できることを確認した。

また、品質記録のデジタル化に関し、帳票ソフト及び電子認証ソフトを運用し、検査用帳票類をデジタル化の上、社外に電子データとして提出する方法を具体化した。併せて、この内容を検証のため、(一社)日本船舶品質管理協会とクラウド上で共有する実証試験を行い、問題無く運用できることを確認した。

②検査データの精査に関し、記録データの異常を発見するシステムを開発し、併せて関連データを呼び出す仕組み、及び季節変動を自動補正する仕組みを確立した。同システムを日常検査業務に適用し、問題無く使用できることを確認し、従来主力機種種の検査データ確認に要した時間が約1/3に低減できることを確認した。

### (3) 画像、AIの活用による品質管理の効率化

#### a)課題と進め方

①3Dレーザ計測装置及び画像計測装置を比較検討の上、各最適な装置を導入し、検査職場及び現場で運用し、費用対効果を明確にした。併せて代表的な検査事例に適用し、対象部品により効果に差があるが60%減に及ぶ効果があることを確認した。また、画像を活用したエンジン部品の欠陥検出に関する研究では、部品画像撮影装置を製作し、AIを使用した画像による欠陥検出システムを開発した。

②大型構造物の画像計測に関し、各種画像計測装置、レーザ等を使用した3D計測装置を含め8種類のシステムを実ワークで検証した。この結果を踏まえ、適用できる

大型構造物の寸法範囲、精度を明確にし、用途に対応した最適なシステムについて指針を作成した。

③A I 活用による不適合発生予測手法、及び各種数値データの分析を、各事業場から Web 上で活用できる仕組みを開発した。また、画像による欠陥検出及び工作機械の IoT 化で得られる時系列データの分析システムを開発し、実際の検査データにより問題無く使用できることを確認した。これらの研究成果を踏まえ、A I 技術の認定事業場での活用指針を作成した。

#### (4) 普及活動の実施

昨年度に続き、品質管理の高度化に関する調査研究成果報告会の開催を計画した。しかし、新型コロナウイルスの影響により、3月開催が延期となった。このため、参加予定者及び製造認定事業場検査主任者に関係資料を送付、周知し理解を深めた。また、研究成果を踏まえた具体的な活用手段について、各社が検討できる指針を作成した。今後、改めて成果報告会及び説明会を開催し、引き続き認定事業場での活用を促進する。

#### 7. 謝辞

最後になりましたが、本調査研究にあたり、日本財団をはじめ、国土交通省、海上技術安全研究所、並びにご協力頂きました多くの皆様に多大なご指導ご支援を賜りましたこと厚く御礼申し上げます。

以上

2019年度品質管理の高度化に関する調査研究委員会、作業部会委員名簿

(一社)日本船舶品質管理協会

委員会		作業部会				備考		
担当	氏名	所属	役職	担当	氏名	所属	役職	備考
委員長	荒木 勉	東京理科大学 上智大学	教授 名誉教授	部会長	荒木 勉	東京理科大学 上智大学	教授 名誉教授	
委員	島田 毅	一般財団法人 日本海事協会	技術本部 機関部長	部会員	長谷川 正則	株式会社 IHI 原動機	生産センター 品質管理部長	
委員	長谷川 正則	株式会社 IHI 原動機	生産センター 品質管理部長	部会員	柳沢 徹雄	株式会社 IHI 原動機	生産センター生産改革部 情報システムグループ長	
委員	榎 稔	株式会社 IHI 原動機	船用事業部 相生品質管理部 次長					
委員	大石 敏明	株式会社赤阪鐵工所	品質保証部 部長	部会員	黒田 透	株式会社赤阪鐵工所	技術部 次長 制御技術課長 (兼) 事業企画室課長 (兼)	
委員	遠本 修司	ダイハツディーゼル株式会社	生産購買統括本部 守山工場 品質管理部 部長	部会員	長島 久樹	株式会社赤阪鐵工所	品質保証部 品質保証課 課長代理	
委員	田中 孝弘	阪神内燃機工業株式会社	取締役執行役員 カスタマーサポートセンター長	部会員	遠本 修司	ダイハツディーゼル株式会社	生産購買統括本部 守山工場 品質管理部 部長	
委員	好井 美貴	株式会社マキタ	品質保証部 品質管理グループ マネージャー	部会員	前田 卓也	阪神内燃機工業株式会社	カスタマーサポートセンター 品質管理課 課長	
委員	小林 圭	株式会社三井E&Sマシナリー	玉野機械工場 生産総括室 生産技術グループ長	部会員	小林 圭	株式会社三井E&Sマシナリー	玉野機械工場 生産総括室 生産技術グループ長	
委員	花井 誠一郎	三菱重工エンジン&ターボチャージャー株式会社	生産本部 品質保証部 主幹					
委員	山家 正俊	ヤンマー株式会社	エンジン事業本部 特機エンジン統括部 品質管理部 検査第一グループ課長	部会員	新田 周平	ヤンマー株式会社	エンジン事業本部 特機エンジン統括部	
関係官庁	野宮 雅晴	国土交通省 海事局 検査測定課	船級協会業務調整官					
事務局	澤山 健一	一般社団法人 日本船舶品質管理協会	専務理事					
事務局	岡田 裕	同	常務理事	事務局	岡田 裕	一般社団法人 日本船舶品質管理協会	常務理事	
	中西 孝志	同	上席技師		中西 孝志	同	上席技師	

## 2019年度 品質管理の高度化に関する調査研究委員会 組織図

