

画像情報の活用による検査の効率化

受入部品等の画像情報を活用し図面との対比、
画像による品質確認など検査の効率化と不適合の
未然防止に役立てる。

ダイハツディーゼル株式会社
品質管理部 道本

DAIHATSU

目次

1. 概要
2. 昨年度の取り組み内容
3. 今年度の取り組み内容
4. まとめ
5. 今後の取り組み

DAIHATSU

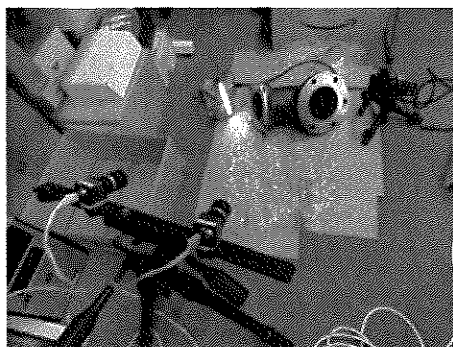
1. 概要

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防止に役立てる。

DAIHATSU

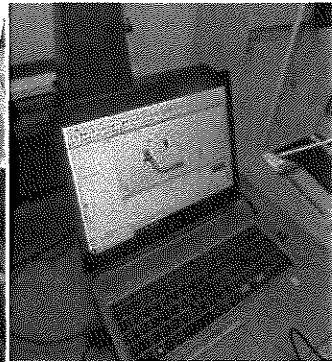
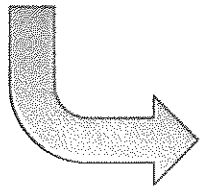
2. 昨年度の取り組み内容

光学式画像計測装置(ステレオカメラ)や3Dレーザー式計測装置の検討を行った結果、多関節アーム式3Dレーザーセンサーを導入し運用を開始。配管材等の計測において業務効率向上が見込まれる。特に長尺部品では従来の2割以下の検査工数を達成できた。



DAIHATSU

2. 昨年度の取り組み内容



DAIHATSU

2. 昨年度の取り組み内容

	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 (5000円/h)	9166円	2916円	1666円
業務効率	1.0(基準)	0.32	0.18

注) 対象となる部品により効果に差がでる。特に非磁性体の計測については従来方法より工数削減効果あり。

DAIHATSU

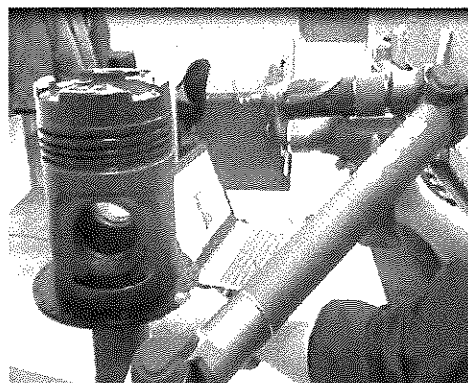
3. 今年度の取り組み内容

昨年導入のレーザースキャナー(FARO)運用活用状況①

<回転台の導入>

昨年導入したFARO用に作業効率向上を狙い「FARO8-AXIS」(回転台)を導入し、その効果を確認した。

- ・後処理で位置情報の整合作業が不要。計測する際に人が動かずに済み省スペースで検査が可能。
- ・角度情報をFAROと同期が取れる。従来はピストン等の円形状(特徴のない形状)を2姿勢で計測した場合に位置情報を合わせることに時間を要していたが、回転台を使用することで1姿勢で素早く測定ができる。



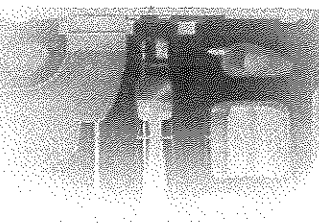
DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

昨年導入のレーザースキャナー(FARO)運用活用状況②

<仕入れ先の計測情報による社内検討>

仕入れ先にてレーザー計測機器で計測されたデータを手し、昨年度FARO用で同時に購入した計測ソフトウェアを使い3DCAD図面との比較を実施することで社内で形状の確認検討が可能になった。

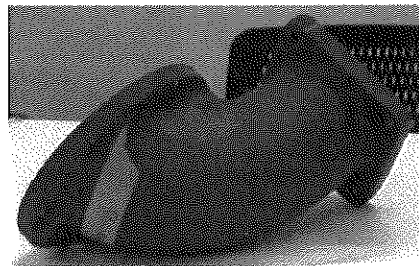


DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

光学式画像計測装置の導入

光学式画像計測について国内の画像計測会社に検証部品を送り計測を依頼した。3D計測器の結果と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。また、コストメリットも高い。



DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

光学式画像計測装置の導入

【画像計測装置の比較表】

	選択						参考
機設会社	アブライト・ビジョンシステムズ社	ヘキサゴン・メトロロジー社	HINING 3D社	Artec3D社	Artec3D社	Carl Zeiss Optotechnik GmbH	FARO社
推奨機器	プロトタイプ ステレオカメラ	アイコンプライムスキャナ	EINSCAN	Artec3D EVA	Artec3D LEO	ZEISS COMET250	Quantum S 2.5m
測定範囲	-	-	~4m	~3m	~4m	~0.255m	直径2.5m
非接触測定精度	0.10mm以上、200ms角の物体なら0.1mmの精度で計測可能。寸法まで精度悪化。	-	0.10mm	0.10mm	0.10mm	0.02m	0.048mm
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カメラ固定式測定機。	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	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。	レーザー式の3Dスキャナー
計測速度	-	未確認	1,500,000点/s	2,000,000点/s	4,000,000点/s	5,018,400点/s	600,000点/s
焦点距離	-	未確認	未確認	300mm	385mm	未確認	115mm
撮影範囲(最大)	-	未確認	312x204mm	536x371mm	543x527mm	未確認	150mm
特徴	アブライト社はハードは一式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ベンダー化が必要で不明確。物体の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。	マーカーは不要、計測対象品の品物を回転台に設置し計測するタイプ。	マーカーが必要。計測CPUと有線接続。ハンディタイプ。	マーカーは不要。計測CPUと有線接続。ハンディタイプ。	マーカーは不要。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直し。	マーカーは不要、計測対象品の品物を回転台に設置し計測するタイプ。	測定機の標本部分に原点を持っており、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)などの外部的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。測定範囲内では一定の測定精度を確保可能。
コスト	1000万円前後と予想	約1000万円	約400万円	約600万円	約650万円	約1500万円	約1800万円

DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

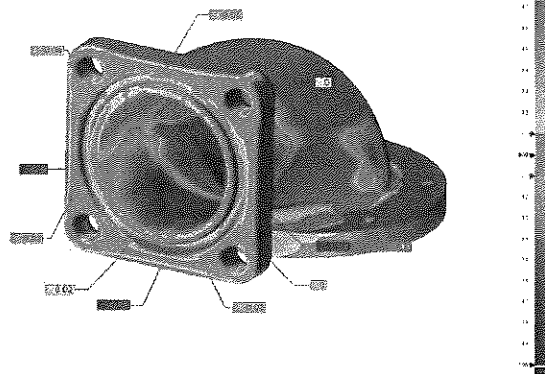
光学式画像計測装置の導入

Artec3D LEO



ケーブルレスで計測が可能に。

3DCAD図と対比した計測結果



DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

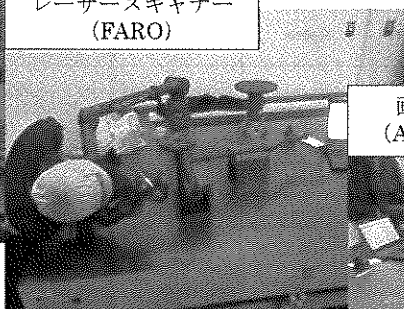
画像計測装置、レーザースキャナーによる部品寸法計測と
従来の計測方法との比較

従来方法

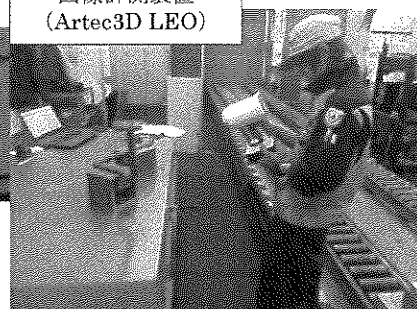


水平出しを行い金尺で計測

レーザースキャナー
(FARO)



画像計測装置
(Artec3D LEO)

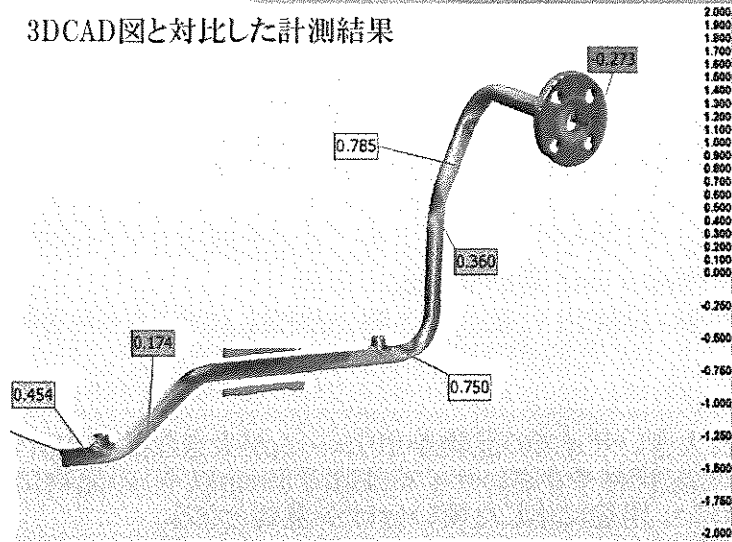


DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置、レーザースキャナーによる部品寸法計測と
従来の計測方法との比較

3DCAD図と対比した計測結果



DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置、レーザースキャナーによる部品寸法計測と
従来の計測方法との比較

	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。特に非磁性体の計測については従来方法より工数削減効果あり。

DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置、レーザースキャナーによる部品寸法計測と従来の計測方法との比較

画像計測装置 (Artec3D LEO) の特徴 (対レーザースキャナー (FARO))

- ・計測範囲が広い (HxW=843mmx527mm)
- ・計測スピードが速い

LEOは計測対象が小さなサイズになる程、不要な箇所まで計測を行い後処理で不要箇所を削除する作業が増える。

また、データを解析用CPUに転送する際の時間も必要となり所要時間が大きくなった。

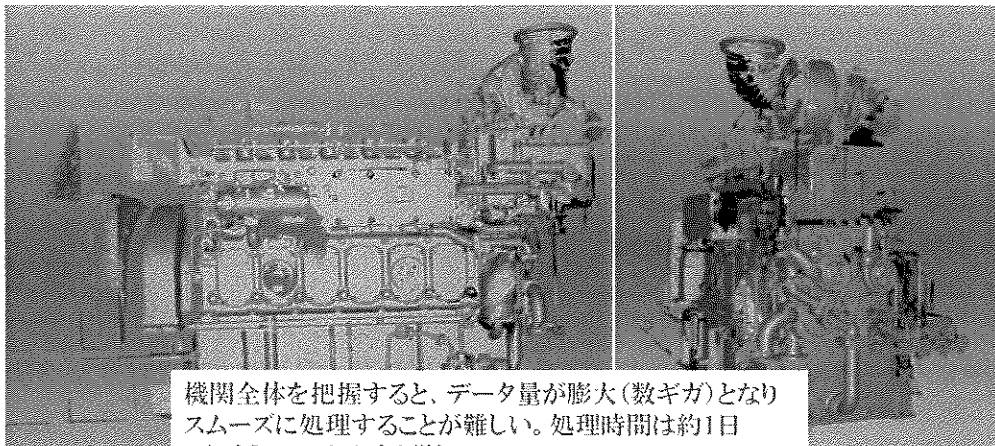
LEOは比較的大きいサイズの品物かボリュームが大きな品物の計測に適している。一方、細物配管材や小さいサイズ (およそ50cm以下) の品物にはFAROの方が効率が良い。用途に応じた使い分けが重要となる。

DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置によるエンジンのノズルオリエンテーション

Artec3D LEOは計測対象のある場所へ計測装置を容易に持ち込めるため、計測場所の汎用性が向上した。その一例としてエンジンのノズルオリエンテーションを試した。



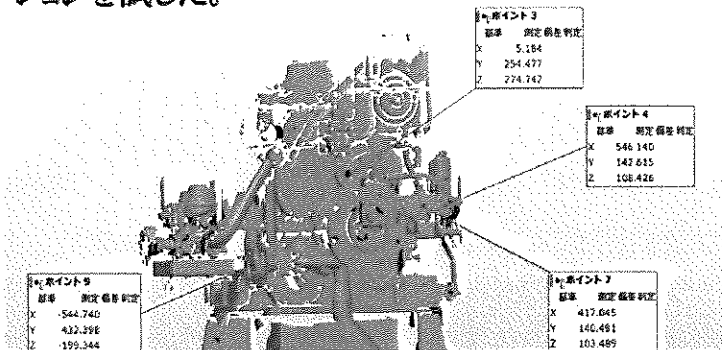
機関全体を把握すると、データ量が膨大 (数ギガ) となりスムーズに処理することが難しい。処理時間は約1日
これぐらいのサイズは厳しい。

DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置によるエンジンのノズルオリエンテーション

Artec3D LEOは計測対象のある場所へ計測装置を容易に持ち込めるため、計測場所の汎用性が向上した。その一例としてエンジンのノズルオリエンテーションを試した。



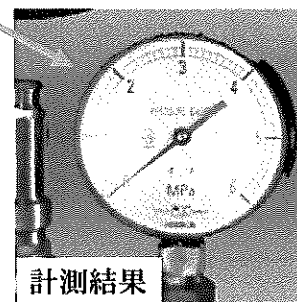
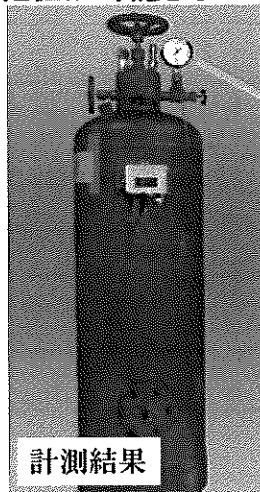
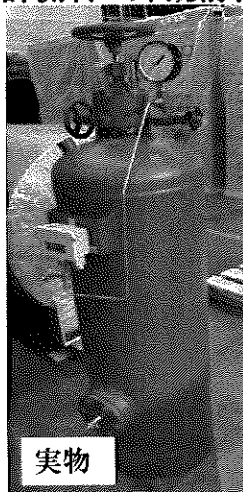
必要な個所の一部だけを計測し寸法を確認する場合は比較的速く処理が可能。約5時間

DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

画像計測装置によるエンジン付帯機器の寸法計測

Artec3D LEOは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。

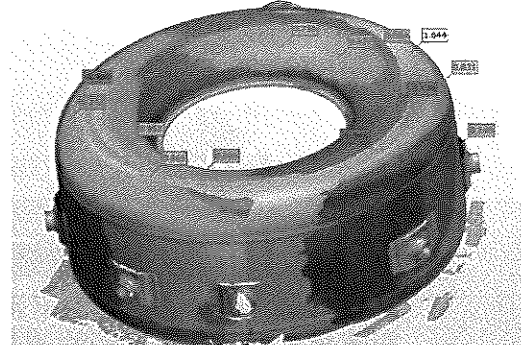
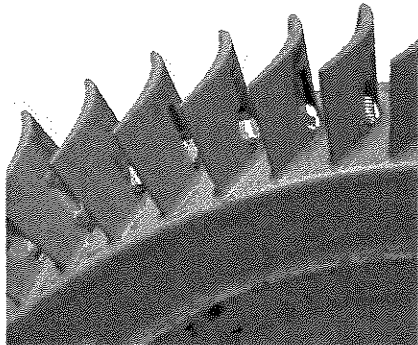


DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

その他の活用例

翼や薄肉板金物の立体形状だけでなく厚みも計測可能。
3DCAD図面と重ね合わせて品物の出来栄え評価が可能。



DAIHATSU

3. 今年度の取り組み内容

Artec3D LEOの見込まれる用途

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	

DAIHATSU

4. まとめ

	「従来方式」 手計測	「従来方式」 3次元接触式(ミツトヨ)	レーザーキャナー (FARO)	光学式画像計測装置(Artac3D LDO)
特徴	水平出しを行い、 金尺やノギス等 で寸法を確認	定置型、プローブにて計測 位置間の寸法を把握	アーム型 レーザー照射型非接触 測定器	ケーブルレス型 光照射型カメラ式非接触測定器
メリット	小型で単純な形状の品物の場合は計測速度は比較的速く実施可能。(精度0.005mm)	最も精度が高い。 (0.001mm)	精度は一般的な3Dスキャナーの最高水準。1ショットの計測範囲が狭く50cm以下の大きさの品物や細物長尺配管の計測に適する。レーザー照射範囲内での複雑な曲面形状把握や厚み計測に適する。	FAROに比較して計測スピードが速く、1ショットの計測範囲が広いため50cm以上の大きさの品物の計測に適する。光の照射範囲内での複雑な曲面形状把握や厚み計測に適する。ケーブルレスで計測場所に汎用性があるため社外仕入れ先での計測も可能。カラーマッピングが可能で品物の外観情報も取得可能。
デメリット	複雑な曲面形状把握や厚みの計測が難しい。	計測場所に制限有。 品物の大きさに制限有。 複雑な曲面形状把握や厚みの計測が難しい。	精度は0.048mm アーム式定置型。 計測場所の制限あり。	精度は0.10mm データ転送時間が必要。

計測対象や必要精度に応じた使い分けを行い業務効率化を図ることが重要である。

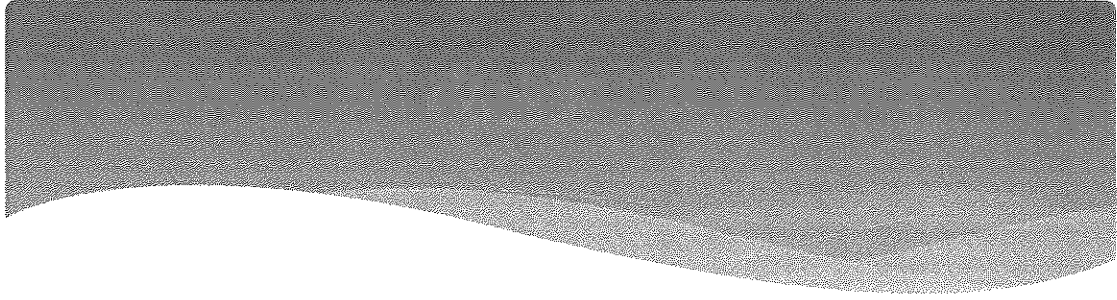
DAIHATSU

5. 今後の取り組み

レーザー計測装置、及び光学式画像計測装置を運用し、検査職場だけでなく現場や仕入れ先で計測が可能となり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、従来、計測が困難だった形状把握が可能となり検査(計測)能力向上に貢献できることを確認した。今後も使用範囲を広め工場内外の不適合の未然防止に役立てると共に製造品質向上に繋げる。

以上

DAIHATSU



ご静聴有り難う御座いました。

DAIHATSU

画像情報の活用による検査の効率化

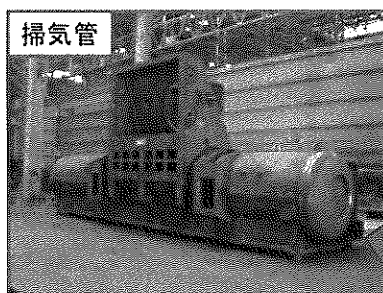
画像を用いた船用ディーゼルエンジン大型加工品の計測

2020年3月24日

株式会社三井E&Sマシナリー
玉野機械工場 生産総括部

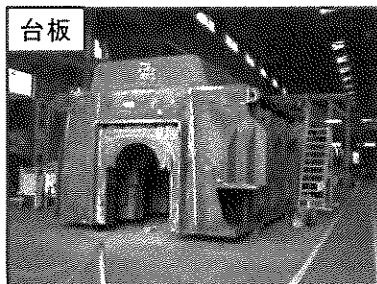


船用ディーゼルエンジン大型加工品について



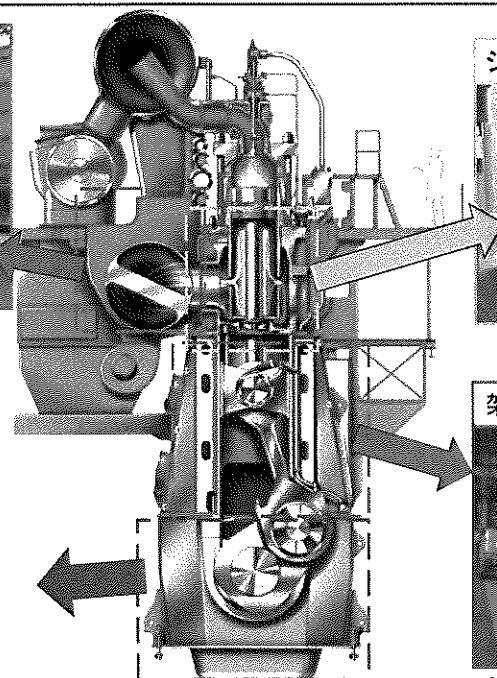
掃気管

- ・給気を各Cyl.に分配
- ・排気レシーバと過給機の土台

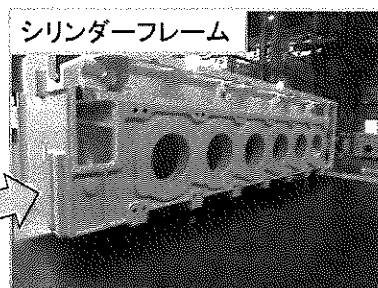


台板

- ・クランク軸を受ける
- ・オイルパン

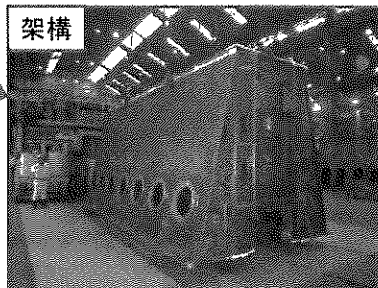


- 船用ディーゼルエンジン断面図 -



シリンダーフレーム

- ・掃気室を形成
- ・クランクケースと燃焼室の縁切り



架構

- ・ピストンの上下運動を回転運動に変換する際のガイドフォースを受ける
- ・台板と合わせてクランクケースを形成

研究目的

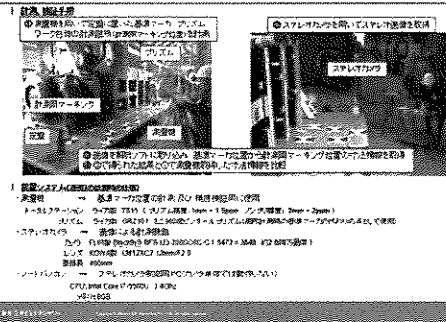
船用ディーゼルエンジンの構成部品である「大物加工品」の**芯出し計測作業**を画像計測技術を用いて容易に正確に計測出来る体系を構築する
詳細説明は補足資料

■ 現在の状況と懸念事項

- 定盤上で巻尺、差金、下げ振り、レーザー墨出し器等のアナログな道具で計測 ⇒ 目盛り読み間違いのリスク、結果を記録用紙に書き写す手間
- 計測には精度の高い定盤とそれを設置する場所が必須 ⇒ 精度が設備に依存するため製缶場所で精度が異なる
- 熟練した計測技能者が必要 ⇒ 熟練工の不足による計測精度低下

➡ **懸念事項を払拭出来るような新しい計測体系の検証が急務**

計測状況



2018年度はステレオカメラを用いて計測を実施した。



大型加工品の画像計測精度はまだまだであり、解決する課題も多いため、別の計測システムを検討、導入可否を評価した。

三次元計測機の基本構成

さまざまな種類の三次元計測機が販売されているが、基本構成は下記となる。

- ①計測機器本体
- ②計測補助治具(キャリブレーション用治具、三脚等)
- ③機器移動用の基準点(専用シール、ターゲット)
- ④PC(計測機制御、データ解析用)
- ⑤ソフトウェア(計測オペレーティング、取得データ解析用)

各製品で④以外はそれぞれ特色があり、計測対象によって得手不得手がある。

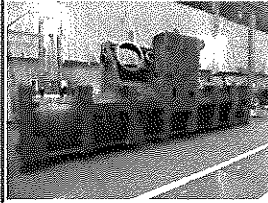
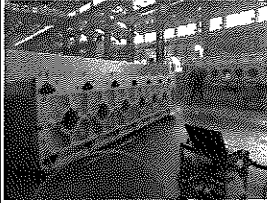

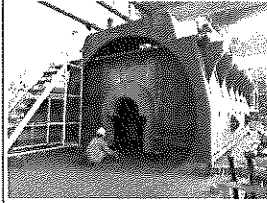
- 例) 狭隘部の計測はあるか?
 計測したい対象のサイズは?
 対象の表面に光沢はあるか?

全ての計測対象に対して使いやすい計測機は無く、選定が必要。



計測したい大物加工品適した機器を調査した

三次元計測適応対象部品と検討機器

対象製品	掃気管	シリンダーフレーム	架構	台板	
					
対象物のサイズ (単位:m)	L	5.8 ~ 9.5	1.8 ~ 6.5	6.3 ~ 12.0	6.5 ~ 9.1
	W	2.6 ~ 3.8	1.7 ~ 2.4	3.2 ~ 5.3	3.2 ~ 5.7
	H	1.5 ~ 2.5	1.4 ~ 2.8	3.2 ~ 5.0	2.3 ~ 4.0
内面計測の有無	×	×	○	○	
要求計測精度	±0.5mm	±0.5mm	±0.5mm	±0.5mm	
検討した機器	トータルステーション ステレオカメラ	トータルステーション 3Dスキャナ (MetraSCAN、ATOS) レーザースキャナー (Artec Ray)	トータルステーション レーザートラッカー (FARO/Leica) カメラ計測(V-stars)	ワイドエリア三次元測定機 (キーエンス) レーザートラッカー (Leica)	

□: 資料内で紹介

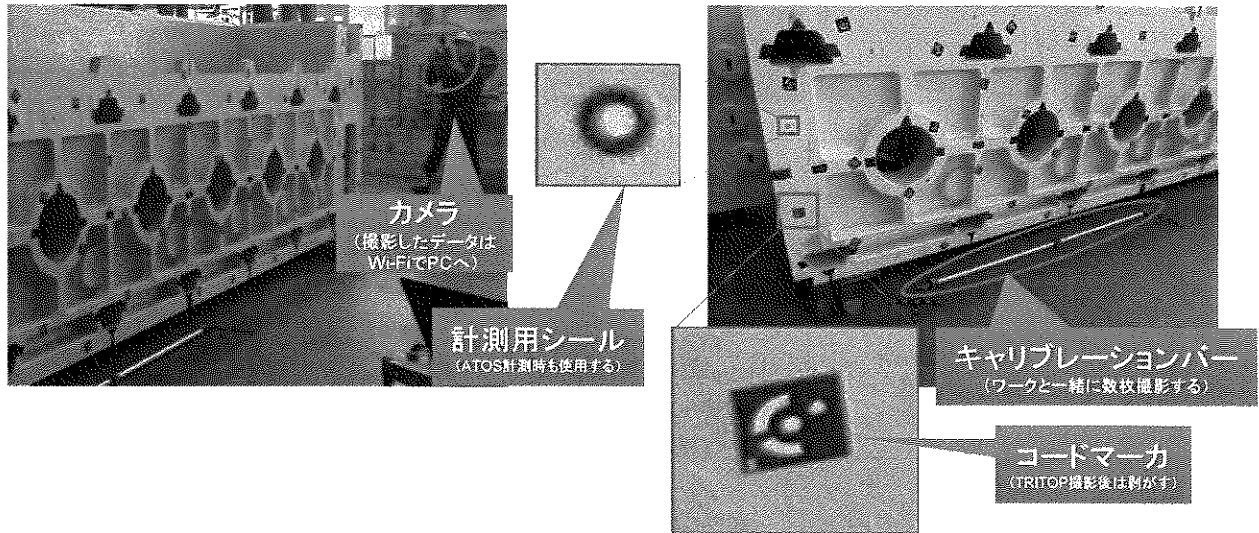
三次元計測器の調査まとめ

検討項目	シリンダーフレーム				架構(台板)			
	GOM	Creabaru	データデザイン	Leica Geosystems	Leica Geosystems	FARO	TACC	キーエンス
メーカー	GOM	Creabaru	データデザイン	Leica Geosystems	Leica Geosystems	FARO	TACC	キーエンス
機器名称	3Dスキャナー ATOS Compact Scan	3Dスキャナー MetraSCAN SD(760)	レーザースキャナー Artec Ray	レーザートラッカー AT960-KR	レーザートラッカー AT8600	レーザートラッカー Vantage E6	カメラ計測機 V-STARS(N(ブラチナ))	ワイドエリア三次元 測定機 UM-3000
制御ソフト	GOM Inspect	Geomatic Control X	Geomatic Control X	Polz Works Inspector Premium	Polz Works Inspector Premium	Polz Works Inspector Premium	付属ソフト	付属ソフト
測定対象物	○	△	×	○	△	△	×	×
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 金属製の測定可能	計測が容易で早い 機器構成が少ない 機器移動が容易 販売不要	オプションが豊富で フロー計測、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) 目線高い点群計測可能	Leicaより安価 設置の導入簡便あり	計測が容易 (専用のカメラ撮影) 機器構成が少ない 販売不要	比較的低価 計測点を直感的に把握し やすい 販売不要
欠点	シール貼りや手動 本体を容易に移動、固定 できる治具が必要	マーカー貼りや手動 計測トリガーが重たい ため、長時間作業が 機器移動時の計測データ 合わせ込み精度が大きい	機器移動時の合わせ込み 精度が大きい 穴径の計測精度が低い	増設が容易 機器移動が手動	ノンプリズム計測時の 精度が不明確 機器移動が手動	フロー計測も可能な が、Leica/T-Probe による 機器移動が手動	シール貼りや手動 計測後の処理結果の利用 可否の判断に難し、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 機器移動が手動
計測精度	0.1mm	0.03mm	0.7mm@15m	0.02mm@1m	0.02mm@1m	0.02mm@1m	0.01mm@1m	0.05mm@3m
計測範囲	10m程度	10m程度	50m(製品モード)	直径120m	直径160m	直径70m	不明(製品距離)	5m程度
内面計測可能	×	×	×	○	○	○	△	△
面計測可能	×	×	×	×	×	×	×	×
対象の移動	○	○	○	×	×	×	○	×
加工の要否 き手法有無	△	×	×	○	×	×	△	×
参考価格	87百万円 (周辺機器含む)	19百万 (周辺機器含む)	11百万円	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)	25百万円	6.6百万円 (リース15.6万円/月)
取扱会社	丸紅(株)システム	三共(システムクリエイト)	日本3Dプリンター	東京製鉄テクノシステム	東京製鉄テクノシステム	FARO JAPAN	三井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ため代表例を記載。
 ※3:計測途中に計測対象を移動できるかどうか(反転等の向き変え可否) ※4:計測、解析後にPCモデル上で決定した加工を現実のワークに書き出す手法。○が可能、△が手法は検討済みだが未検証、×が不可。
 ※5:取扱会社はあくまで代表例であり、他にも取り扱っている商社あり。

< 機器構成_GOM: TRITOP(トライトップ) >

計測対象物にコードマーカ[※]と計測用シールを貼って複数方向から撮影し、二次元画像を取得する。
※コードマーカは縞柄が全て違うため、個体識別されて位置が認識される。
 二次元画像から得られる視差情報を元にコードマーカの三次元座標とカメラ位置を算出し、その結果を元に対象物上のすべての計測用シールの三次元座標を算出する写真測量システム。



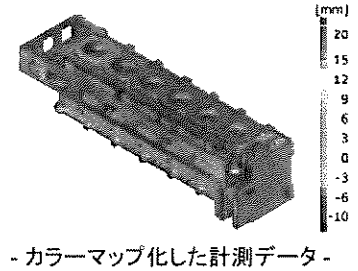
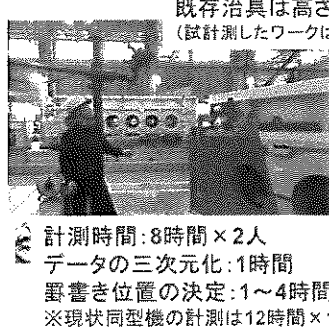
< 機器構成_GOM: ATOS Compact Scan >

プロジェクターレンズから縞のパターンを計測対象物に照射し、その模様を左右のCCDカメラで読み取ることで表面形状を取得する。
 カメラで一度に読み取れる範囲に限られる(写真青色部)ため、計測用シールを対象物に貼りつけて撮影し、シールを基準にしてデータのつなぎ合わせを行う。ATOS単体の計測では基準となるシールの計測位置にもATOSの計測誤差が含まれるため、それらをつなぎ合わせるにより誤差が積み重ねられて表面形状の計測精度が悪化してしまう。TRITOPで事前に計測用シールの三次元位置を取得しておけば、それを正にして各データのシール位置を合わせこむことが出来るので、計測精度の悪化を防げる。



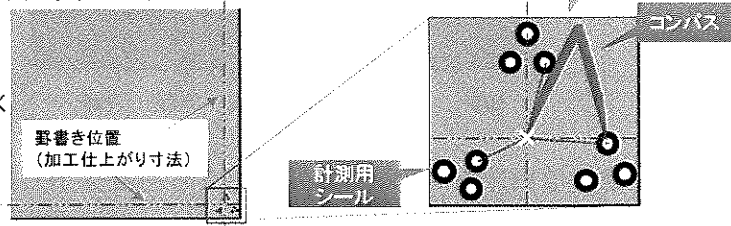
実施内容: 三次元計測器の調査<GOM: TRITOP / ATOS Compact Scan >

鋳物製品(シリンダーフレーム)の芯出し計測作業をATOS Compact Scanで代替出来ないか検討、計測実施
 ⇒現場計測と同精度の計測が可能であることを確認した
 >ただし、定盤作業の代替には、以下の課題をクリアする必要あり



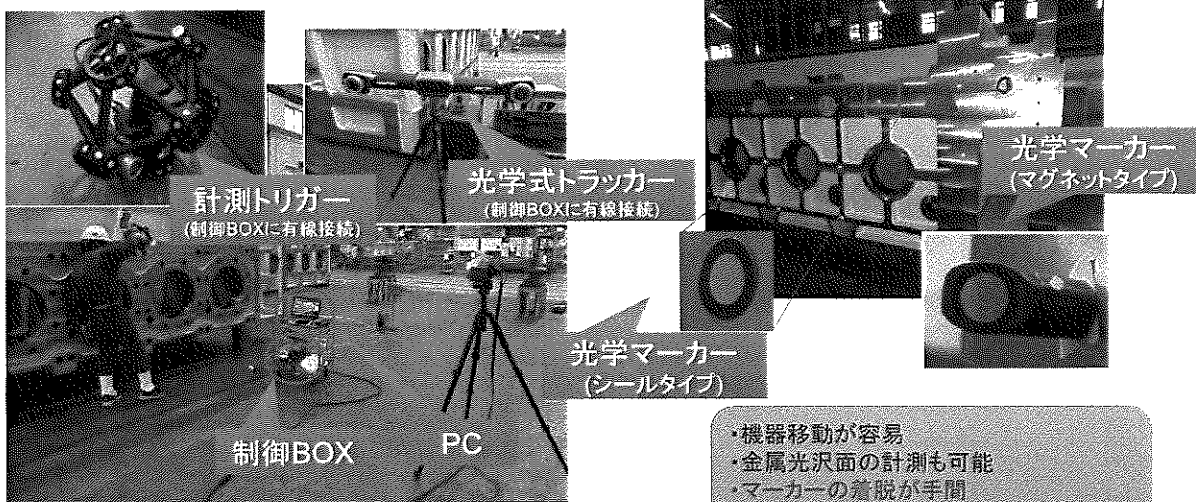
計測結果から算出した野書き位置をワークに転写する方法の検討が必要

- 例)
- 計測で使用した各シールから野書き位置までの距離を算出
 - 各シールからの距離にコンパスを合わせ、ワーク上に弧を描く
 - 弧の交点にポンチを打つ
 - ポンチを元に機械オペレータが加工を行う



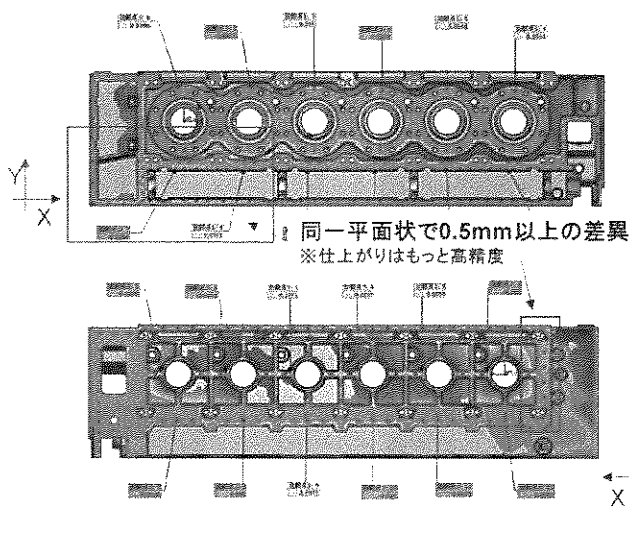
<機器構成_Creaform: MetraSCAN 3D(750)>

光学マーカーを計測対象に貼り付け、光学式トラッカーでマーカーの位置を検出して三次元空間認識を行う。
 光学式トラッカーで計測トリガーの位置を認識させつつ、トリガーから照射される7本のクロスレーザーを使って
 対象の表面情報を取得できる。
 一度マーカーの位置を認識すれば、途中でトラッカーの位置やワークを動かしても計測が可能。



実施内容: 三次元計測器の調査<Creaform: MetraSCAN 3D(750)>

光学式の三次元計測機で苦手な金属光沢面の計測可否を確認。
機械加工後に行っている精度確認を代替できないか検証。
計測時間: 4Hr程度(一部を計測)



機器移動前後の計測データ合わせこみを行う際に、ズレが発生した可能性がある。
※計測中にはわからない。

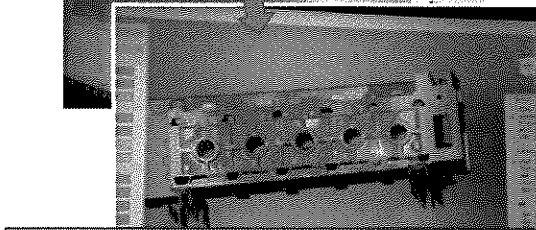
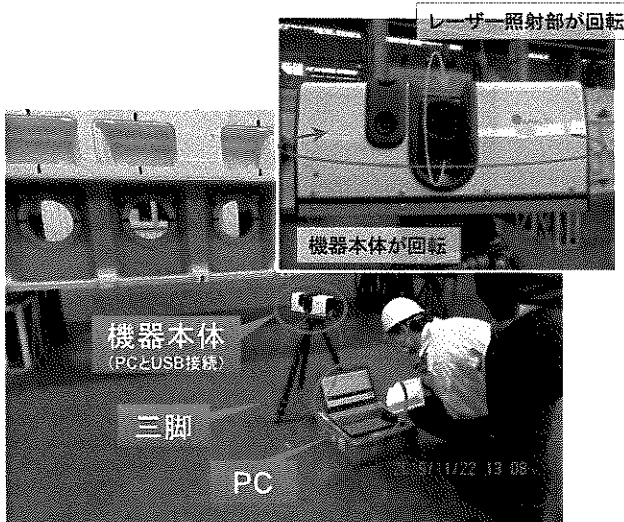
計測トリガーが重く、初心者は5分程度の作業でも腕がパンパンになる。
※全面計測する場合は6-8Hr程度かかる予想。

➤ 計測自体は出来たが、カタログスペックの精度は出ておらず、加工後の計測には使用できないと判断した。

<機器構成(デモ)_Artec: Artec Ray>

機器本体からレーザーを照射し、計測対象の表面情報を取得する。計測対象の裏側等、機器本体から見えない位置にはレーザーが当たらないため、機器移動させて計測する必要がある。
ただし、位置合わせのための基準点が不要で、得られた三次元データの特徴的な点(付着物、穴、凹み等)で位置合わせ、結合して三次元計測データを取得することが可能。

機器移動によりデータの原点がバラバラ
※測定した場所ごとで色を変えて表示

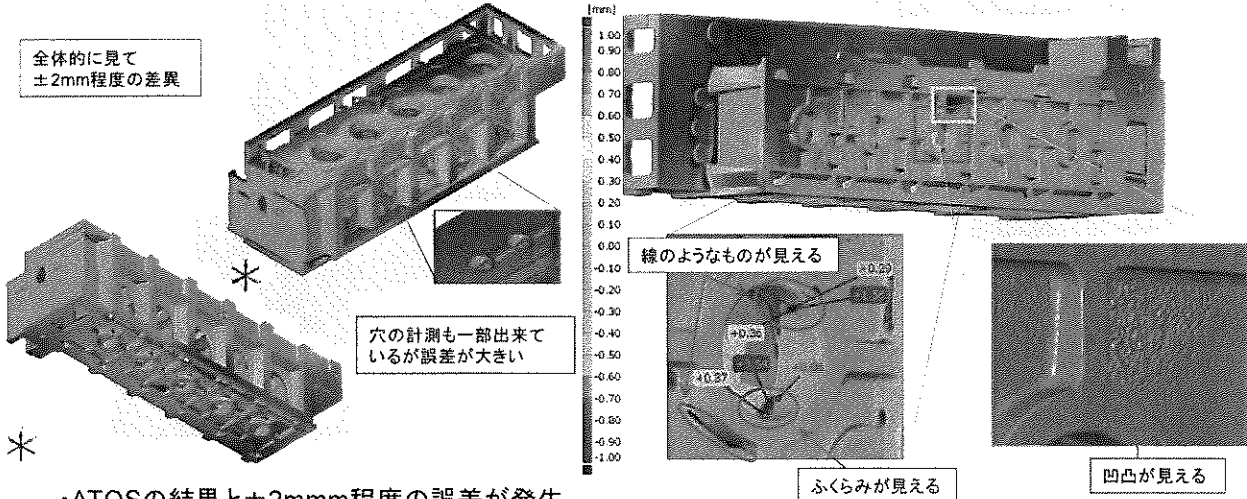


ソフト上で各計測データの何処と何処が同じ点かを数箇所指定するだけで位置合わせが可能

- ・計測が容易で早い
- ・機器構成が少なく、移動が容易
- ・暖気不要

実施内容: 三次元計測器の調査<Artec: Artec Ray >

ATOSで取得した鋳物製品(シリンダーフレーム)の三次元データとArtec Rayで取得したデータの差異を確認した。
 スキャン回数: 16回、計測時間: 約3.5Hr(ワーク反転時間含む)で6面すべての表面形状をスキャン出来た。



全体的に見て
±2mm程度の差異

穴の計測も一部出来て
いるが誤差が大きい

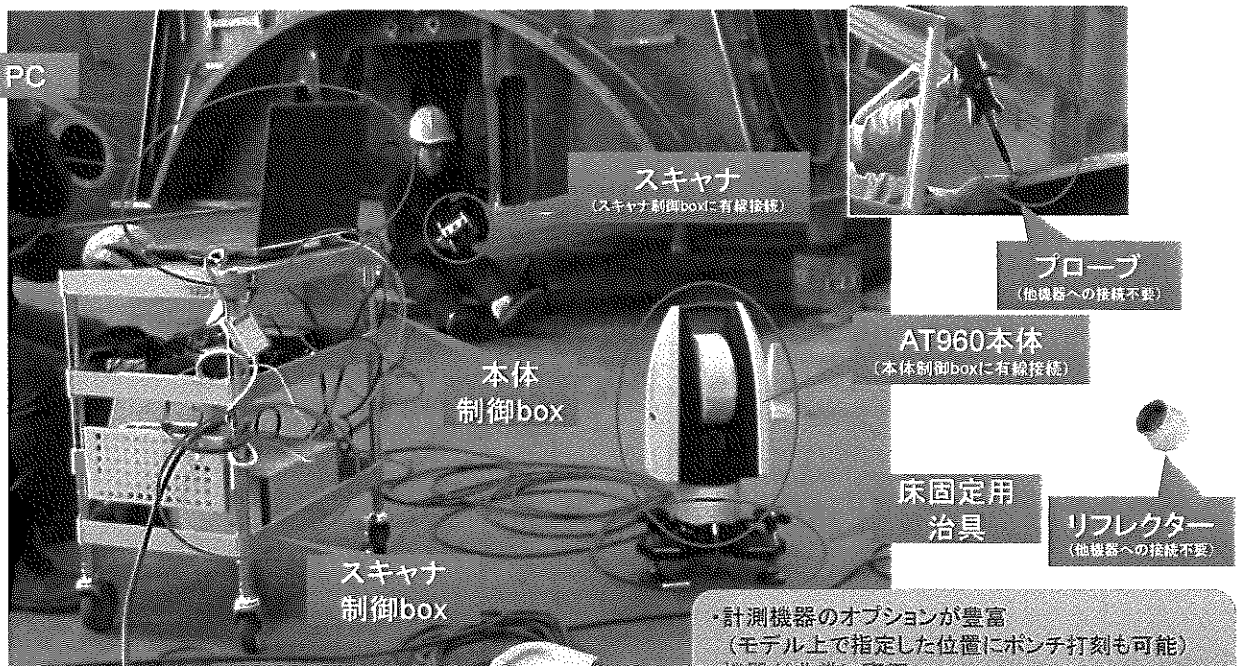
線のようなものが見える

ふくらみが見える

凹凸が見える

- ・ATOSの結果と±2mm程度の誤差が発生
 - ・本来平滑な部分に線やふくらみ、細かな凹凸が見えた
- 原因として、機器移動による累積誤差の影響、光の反射によるノイズ、取得した点群密度による影響などが考えられる。
 ※計測中にそれらを判断することや、ズレ量を定量化する術が無かったため、検討中止した。

<機器構成_Leica: AT960>



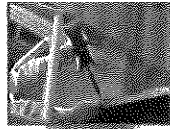
- ・計測機器のオプションが豊富
(モデル上で指定した位置にボンチ打刻も可能)
- ・機器が非常に高価
- ・機器移動が手間

実施内容: 三次元計測器の調査<Leica: AT960>

大物加工品(架構)の芯出し計測作業をLeica AT960で代替出来ないか検討、計測実施。
 ⇒現場計測と同精度の計測が可能であることを確認した。
 >ただし、定盤作業の代替には、以下の課題をクリアする必要あり。



スキャナ測定の様子



計測は2人作業
 ※現状は1人作業

人が足りない

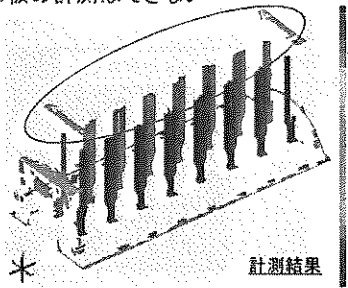


PC作業が必要であり
 専属の作業者が必要
 ※ソフトウェア使用に熟練度が必要

人が足りない

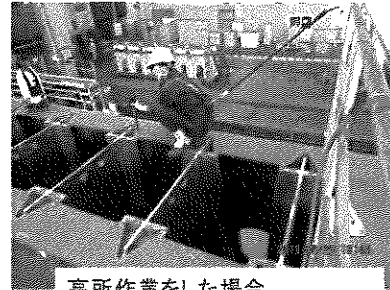
高所作業をしない場合、
 上部板の計測はできない

高所計測時の
 安全対策が必要



計測結果

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

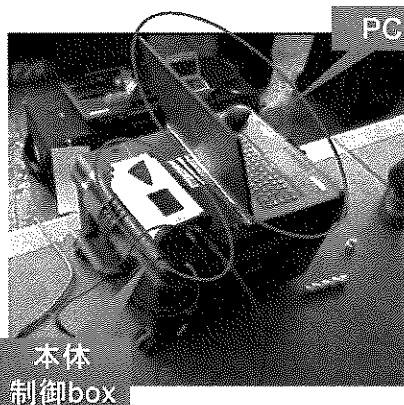


高所作業をした場合、
 計測時間は12時間×2人
 ※現状同型機の計測は8時間×1人

工数改善必要

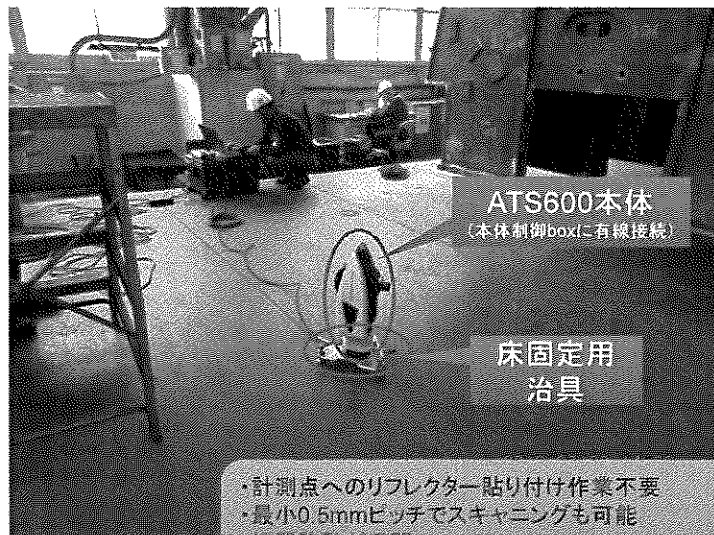
<機器構成_Leica: ATS600>

レーザートラッカーでは必須となるリフレクターを使用せず高精度な計測(誤差±0.3mm)が可能。
 ただし、AT960のようにスキャナやプローブを使った計測は出来ない。
 事前にワークの三次元モデルに対して計測したい点をプログラミングしておけば、自動計測も可能。



本体
 制御box

PC



ATS600本体
 (本体制御boxに有線接続)

床固定用
 治具

- ・計測点へのリフレクター貼り付け作業不要
- ・最小0.5mmピッチでスキャンも可能
- ・機器移動が手間
- ・リフレクターをばわす計測した際の精度が不明確

実施内容: 三次元計測器の調査<Leica: ATS600>

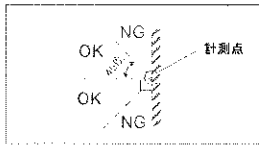
2019年4月に販売開始された新型レーザートラッカー(ATS600)を用いて、本体を床面に置いた状態で
※リフレクター、ノンプリズム計測が可能(スキャナ、プローブ計測不可)

大物製品(架構)の内外面や高所の計測等が出来ないかデモ計測を実施した。

上部付近はリフレクタ無しで計測

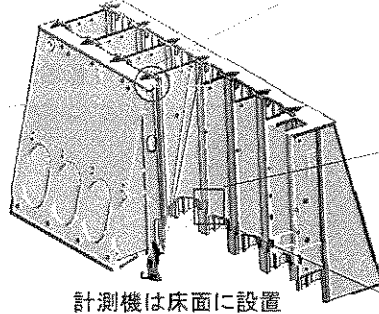


計測角度が大き過ぎて計測不可
 ※レーザー入射角45度までは±0.3mmの精度をLeicaが保証

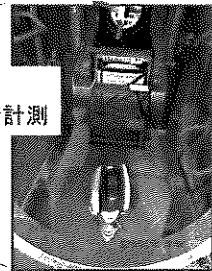


計測ポイント
(赤いレーザー部をリフレクタ無しで計測)

上板はエンジン内面側ならリフレクタ無しで計測できた



下部付近はリフレクタ無しで計測

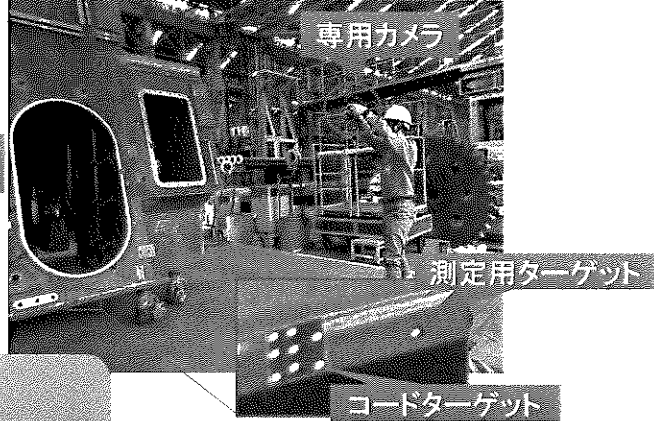


高所作業無しで上部付近を計測するためには(計測角度45度以内となるように)門型設備等を段取りし、床側とは別に最低一台以上ATS600を設置することが必要。

<機器構成(デモ)_TACC: V-STARS / N (プラチナ)>

計測対象物にコードターゲットと測定用ターゲットを貼り付け、カメラ式の計測機を用いてそれらを撮影することで測定用ターゲットの三次元座標を取得する。

コードターゲットは全て別の柄であり、それを撮影すればどのコードか特定できるため、様々な角度から撮影することで各撮影データを合成、コードターゲットの位置とカメラの位置を特定し、その付近に映りこんでいる測定用ターゲットの座標情報が得られる。

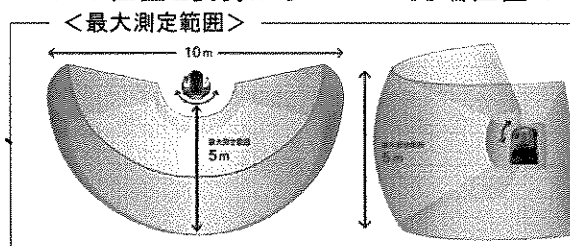


- ・計測は容易で機器構成が少ない
- ・暖気不要
- ・シール貼りが手間
- ・精度よく計測できているかどうかの判断に経験と知識が必要

➤ 狭隘部の撮影等、計測対象物との距離が近すぎて複数のターゲットを同時に撮影できなかつたり撮影角度が鋭角になりすぎる等すると精度が出ないため、適用断念。

プローブから発する近赤外光を本体カメラで認識し、プローブの位置と姿勢からプローブ先端位置の三次元測定が可能。

プローブに搭載されたカメラで計測対象を撮影すれば計測した場所をPC上で直感的に理解できる。精度保証されている測定範囲と最大測定範囲は異なり、W3.5m×D1.5m×H1.5mが保証範囲



撮影した写真上に計測した点が投影される



中、小物対象であれば良いが、大型製品の計測には適していない。

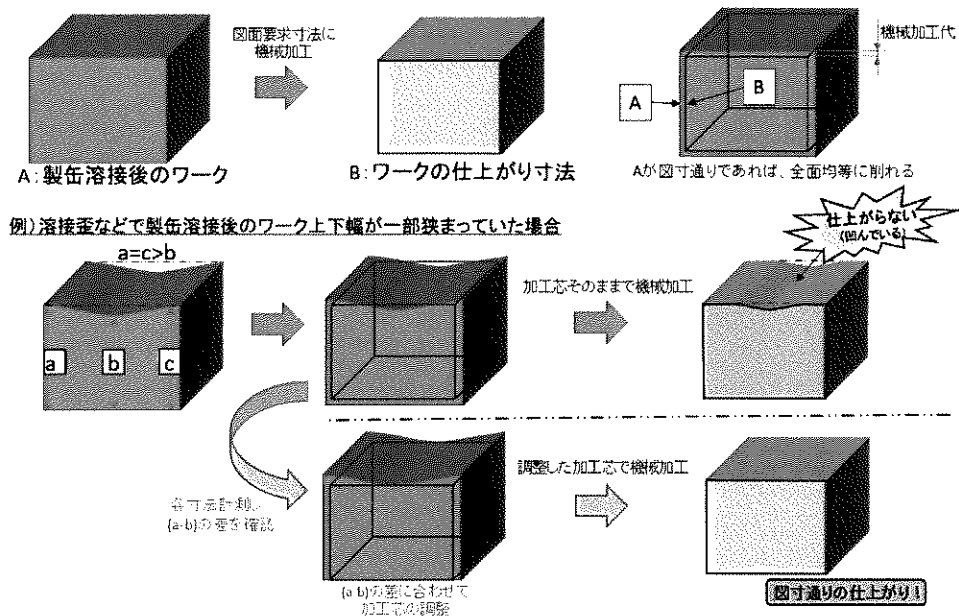
考察と今後の展望

様々な三次元計測機を検討したが、運用する上での主な課題は以下である。

- ①三次元計測専属の作業者が2人必要(人が必要)
- ②計測用ソフトウェアの扱いに熟練度が必要(育成期間が必要)
- ③計測時間が現状と比較して最大3倍かかる(工数悪化)
- ④ワークの上に登る必要があるため安全対策設備が必要(追加費用要)
- ⑤計測後に決定した加工芯をワーク側に罫書く手法が必要

現時点で大物加工品の内外面計測作業を三次元計測機で代替するメリットは無い。ただし、今後も情報は収集し、適用可否を検証していく。

<補足_製品品の寸法計測(芯出し作業)が必要になる理由>



機械加工が可能かどうか、製品寸法を確認し、ワーク修正の要否、加工芯調整の要否を確認するために寸法計測(芯出し作業)が必要

A I 技術の活用による 不適合未然防止の研究

IHI *N/GATA* 

2020年 3月24日

株式会社 IHI 原動機

生産センター品質管理部

長谷川正則

生産センター生産改革部情報システムグループ

柳沢徹雄

IHI Power Systems

内 容

IHI Power Systems

1. 分類問題（不適合予測）
 - 1-1 目的
 - 1-2 機械学習の概要
 - 1-3 試行結果
 - 1-4 汎用化Webアプリ開発
 - 1-5 業務への反映
2. 時系列問題（機械故障予防） ～基礎研究～
3. 画像判断（ピストン鑄巣判断） ～基礎研究～
4. まとめ

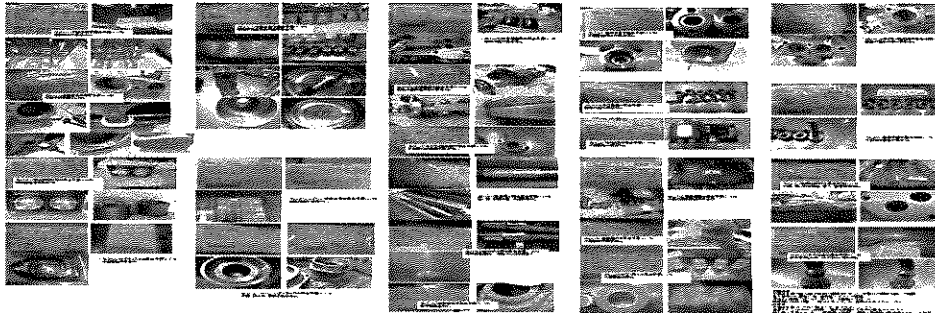
1. 分類問題（不適合予測）

IHI

1-1. 目的

調達情報の分析にAI技術を活用して不適合発生を予測し、未然防止に役立てる。
合わせて工程内不適合への適用など応用範囲の拡大を研究し、品質管理の向上を図ることを目的とする。

下の写真のように、工場では毎日様々な部品を多数検査しなければならない。
今回の研究を通じて、受入検査の重点検査対象の選定に役立てるとともに、その他の分類問題にも応用できるような、汎用的なAIの開発を目指す。



3

1. 分類問題（不適合予測）

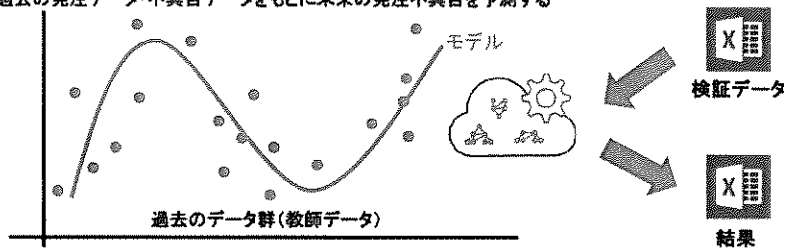
IHI

1-2. 機械学習の概要

機械学習（Machine Learning）とはAI（人工知能）の1分野で、集めたデータをコンピュータに学習させて、そのデータに潜むパターンや特性、特徴を発見して、予測させることをいう。

機械学習は主に、教師あり学習、教師なし学習、強化学習と3種類あるが、今回の目的から教師あり学習で行うこととし、発注データに対して、「不適合発生か正常か」の分類を行い、正解（不適合発生）を当てることを目的とする。

この発注は不具合となるか？（どのような不具合が発生するか）
過去の発注データ・不具合データをもとに未来の発注不具合を予測する



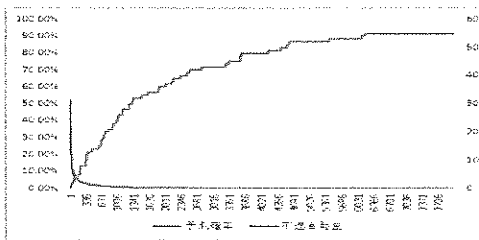
4

1. 分類問題（不適合予測）

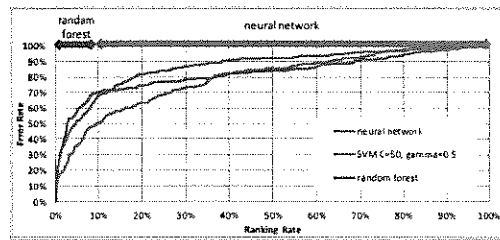
1-3. 試行結果

弊社は2006年より損報システムと命名した不適合を管理するシステムの運用を開始しており、2017年度までの12年間で約5万件ほどの不適合データが登録されていた。過去の発注データにこの不適合情報を付与することで、不適合が発生した発注情報の特定を行うことができる。まずはこのデータをもとに、AI（機械学習）を活用して、不適合の未然防止に取り組むこととした。

弊社独自でもAmazonML等の学習済みで提供されているAIを利用して解析を行ったところ、あまり高い精度を出すに至らなかったが、海上技術安全研究所殿のAI解析結果は、不適合予想率の高い順で並べると、全体の1割ほどで不適合の約7割を当てることができ、十分検査業務の効率化に資すると思われる。



AmazonMLを使用した弊社解析結果



海上技術安全研究所殿解析結果

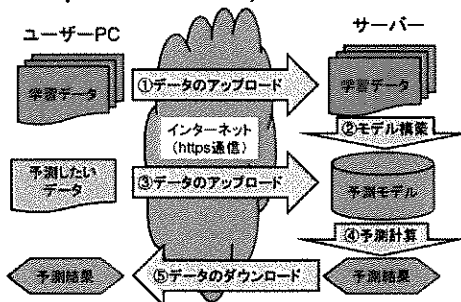
1. 分類問題（不適合予測）

1-4. 汎用Webアプリ開発

他社でも利用できるシステムを検討

・分類問題については2018年度の研究成果を汎用的に活用できるシステム化を海上技術安全研究所に依頼した。要件は以下の通り。

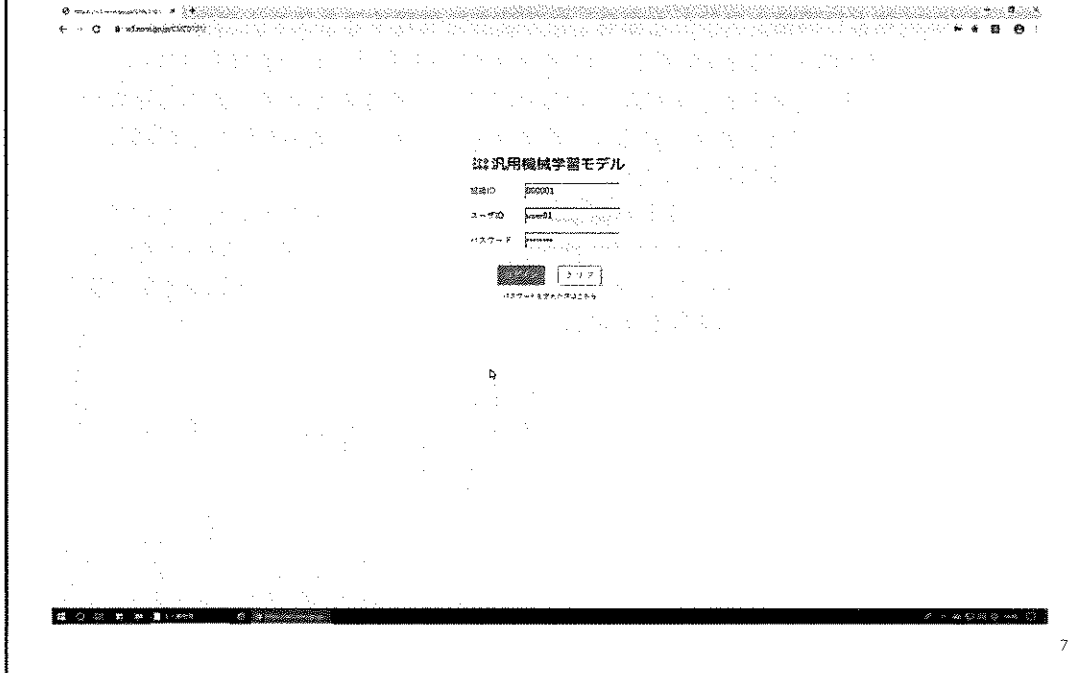
- ①ユーザーが用意した様々なフォーマットのデータベースを自動で定量化
- ②機械学習のハイパーパラメーターを自動で最適化
- ③二項分類問題（Y/Nの予測）及び回帰問題（数値の予測）の両方に対応
- ④変数の感度解析（重要度評価）も最適化の過程で実施
- ⑤https通信を使用し、WEBブラウザ（Google Chrome）を用いて操作



つまり、学習させるべきデータ、検証したいデータがCSVファイルで用意できれば、自分の席にいながら、汎用Webアプリ経由で海技研のAIに解析してもらえます。しかも、CSVファイルをAIにアップロードすれば、ほぼオートマチックで型や予測の種類などの判定をしてくれますので、ユーザーはデータさえ準備できれば良いのです。

1. 分類問題（不適合予測）

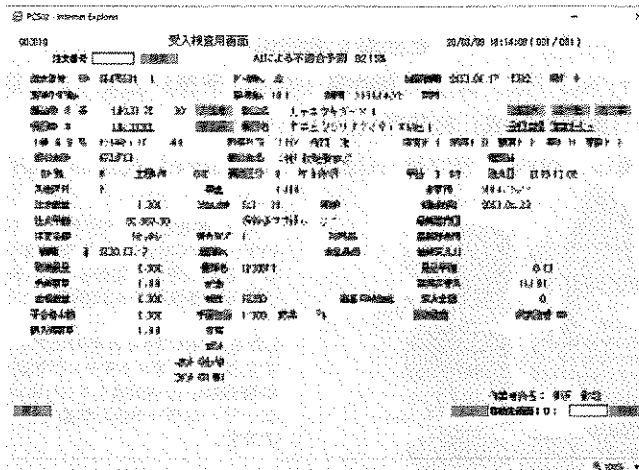
1-4. 汎用Webアプリ開発（実際の動画）



1. 分類問題（不適合予測）

1-5. 実務への反映

受入検査担当が検査時に確認する「受入検査用画面」に、AIによる不適合予測確率を表示する。海技研のAIをWebアプリにて使用、既に作成されているモデルに、検証用データを通して解析した結果を、生産管理システムとリンクして画面表示させるような仕組みを開発した。



1. 分類問題（不適合予測）

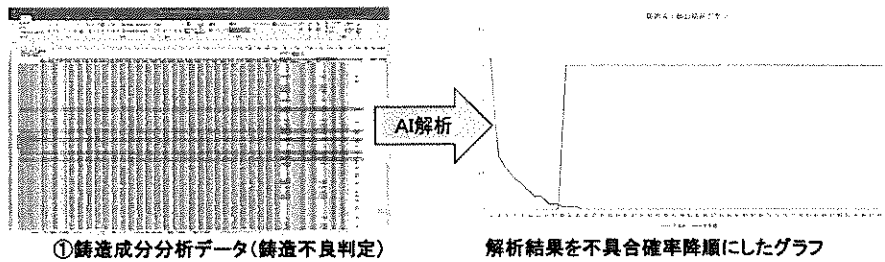
IHI

1-5. 実務への反映

自席から海技研のAI（機械学習）が使用できるようになったため、社内各部門より、機械学習にて導き出したいデータ（結果）について募集したところ、何点かのデータが集まった。

そのうち、鑄造工場より鑄造成分分析データとその各データに対する適合・不適合の結果をマッチさせたデータの提供を受けた。

用意できたデータが800件ほどと少なかったが、そのうち700件でモデルを作成し、残り100件で検証してみた。不適合予測確率降順でグラフを作成したところ、最初の20%で不適合全件を検出できた。また、件数が少ない場合はランダムフォレストが一番良い精度で予測できることが分かった。



9

1. 分類問題（不適合予測）

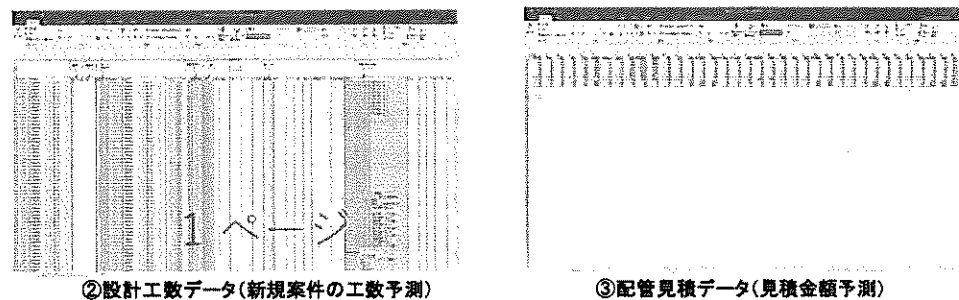
IHI

1-5. 実務への反映

その他、設計部門からは、過去の設計工数データをもとに、新規案件の工数がどのくらいになるかという要望をもとに、設計工数データを提供してもらった。

また、調達部門からは、過去の配管の見積データをもとに、新規見積金額の予測を行いたいとの要望をもとに、配管の見積データを提供してもらった。

予測したいデータと教師データの単位が違ったり、そもそも件数が少なすぎるなど問題があり、そのままAIで解析、とはいかなかったが、教師データを見直したりデータ件数を貯めるなどして、活用していきたい。



10

2. 時系列問題（機械故障予防）～基礎研究～

IHI

工作機械からは、振動や温度、電流など様々なデータを得ることができる。
工作機械の故障予防に役立てられないかとそれらデータを取り続けてみたが、工作機械の故障は稀なため、データとして正解（故障）を与えることができなかった。
そんな中、弊社のシリンダヘッド加工ラインで、ドリル加工のモーターの電流データを取っていることが分かり、そのデータからドリル劣化の特徴をつかみ、ドリル交換のタイミングを取得できないかと考えた。



加工中のドリルの様子



工作機械(NC加工機)

11

2. 時系列問題（機械故障予防）～基礎研究～

IHI

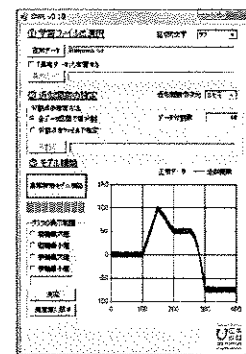
出力波の異常を自動判定するアプリケーションの開発

- ・時系列問題については、弊社がシリンダヘッドのドリル加工データを提供し、海上技術安全研究所に基礎研究として作業を依頼したところ、出力波を学習し、波形の正常・異常を定義して異常検知モデルを出力する異常検知モデル構築プログラムと作成した異常検知モデルを用いてファイルを検査し、異常と判定された場合、警報を鳴らす異常検知プログラムを開発していただいた。

異常検知モデル構築プログラム OWL

(Output Wave Learning app)

応答曲面法（教師あり機械学習の一種）を利用し、学習用波形データを多次元関数に近似する。近似関数と学習用波形データの差の①平均、②分散、③最大/最小を取得して、それぞれの正常データの値域と異常データの値域をデータベース化。上記近似関数及びデータベースを異常検知モデルとして出力するプログラム。



OWL(異常検知モデル構築プログラム)

12

2. 時系列問題（機械故障予防）～基礎研究～

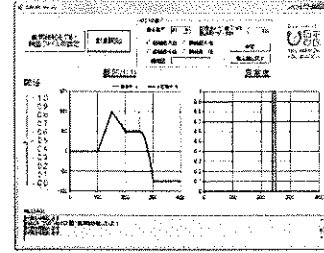
IHI

異常検知プログラム CROW

(Caution and Reading for Output Wave app)

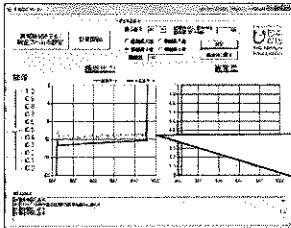
OWLにて出力した異常検知モデルを用いる。

指定したフォルダを定期的に確認し、更新日時が最新の波形データを自動で読取って、異常な波形と判定された場合、アラームが鳴るプログラム。

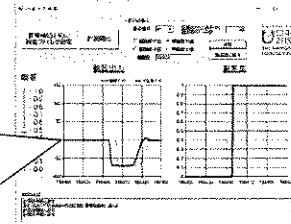


CROW(異常検知プログラム)

弊社でCROWで解析できるようにCSV化したシリンダヘッドを加工したデータが数十件あるため、まずはOWLで作成してもらったモデルを検証しながら学習させていき、ドリルの摩耗状況等が検出できるのか研究を行った。



左図のように、青線の正常波形よりオレンジ線の実測波形の方が高い、右図のように正常な波形からずれているなどあったら、アラームが鳴るが、明らかに正常な場合はモデルに対してこの波形は正常である、と学習させることもできる。



13

2. 時系列問題（機械故障予防）～基礎研究～

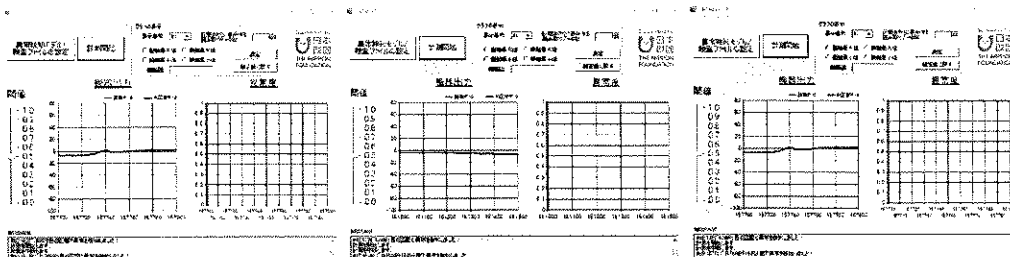
IHI

シリンダヘッドのドリル加工のデータは、水平のX軸モーター負荷、垂直のY軸モーター負荷、進行方向のZ軸モーター負荷、モーター本体の主軸モーター負荷の4種類のデータがあるので、4軸それぞれに対してOWLでモデルを作成した。

Index	Time	PCSF	PCSF	PCSF	TCMD	TCMD	TCMD	SPC32	TCMD
0	0	0.0000	0	0.0025	-1.688054402	12.55142684	-1.840153804	275	0.422348524
1	1	<0.0000	0	0.0025	-1.66163142	12.51020037	-1.810153804	280	0.511635564
7	2	0.0000	0	0.0025	-1.66163142	12.51020037	-1.840153804	50	0.050517578
8	3	0.0000	0	0.0025	-1.60163142	12.51020037	-1.823882240	280	-0.012207031
9	4	0.0000	0	0.0025	-1.67863142	12.51020037	-1.823882240	280	0.000000000

作成したモデルをCROWにセットし、実際の加工データを検証したところ、ドリル交換前3回の加工で共通してエラーとなるZ軸の加工時間帯が特定できた。

実運用を通じてモデルを都度学習・成長させていき、さらに検証・改善を図る。



ドリル交換3回前の加工データ

ドリル交換2回前の加工データ

ドリル交換直前の加工データ

14

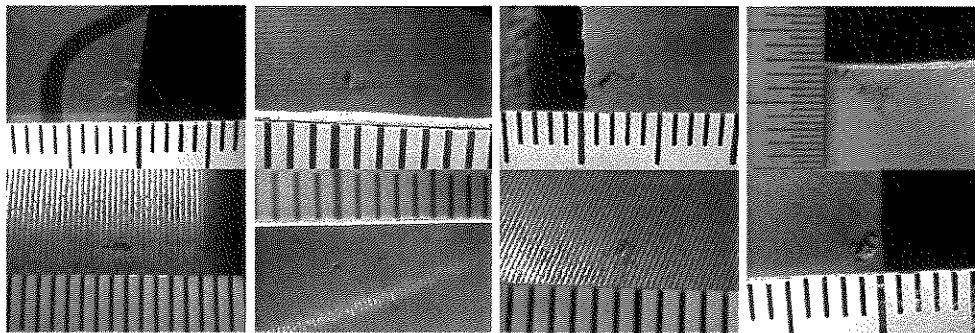
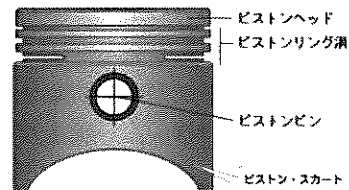
3. 画像判断（ピストン鑄巣判断）～基礎研究～

IHI

画像によるピストンの鑄巣判断

- ・ピストンの検査については、現在は各メーカーとも検査員の目視により行っているため、時間がかかるとともに、その検査レベルも検査員の技量による差が危惧される。

この検査について、画像による判断ができないかピストンスカート部の鑄巣に絞って写真を集め、研究することとした。



15

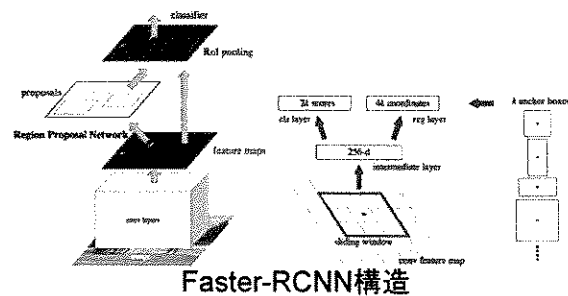
3. 画像判断（ピストン鑄巣判断）～基礎研究～

IHI

画像によるピストンの鑄巣判断手法

- ・画像判断については、ダイハツディーゼル株式会社殿と弊社がピストン写真を提供し、海上技術安全研究所に基礎研究として、画像から鑄巣を検出する作業を依頼した。

Faster-RCNNというディープラーニングの一種で、画像と正解ラベルを放り込んで学習させる手法で研究していただいたが、提供できた写真の数が少ないため、コントラスト、色、解像度を変えたりする技術で写真を水増しして進めていただいた。



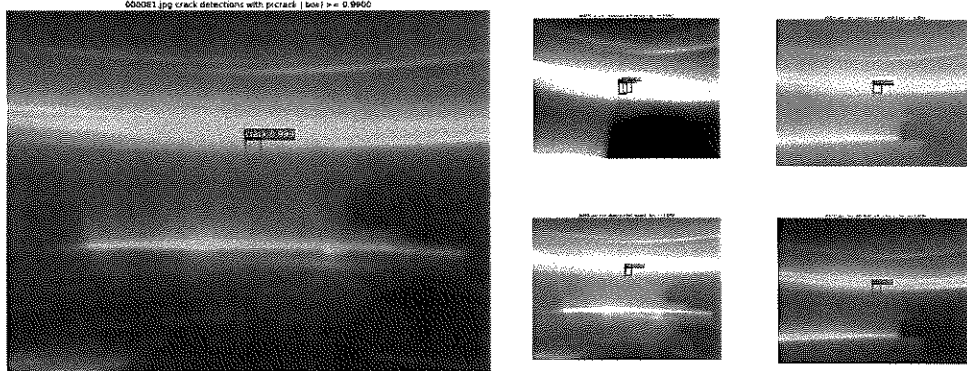
16

3. 画像判断 (ピストン鑄巣判断) ~基礎研究~

IHI

クローズアップ画像によるピストンの鑄巣判断

・提供した欠陥写真について、最終的に約7000枚ほどに水増しした写真をもとにモデルを作成し、下の画像のように欠陥を画像の中に赤枠でマークを表示し、欠陥である確率についても表示させることができた。ただし写真は2000万画素で撮影した、まさに傷がクローズアップされている状態の写真のため、傷から離れた位置から撮影した写真でも検証してもらった。



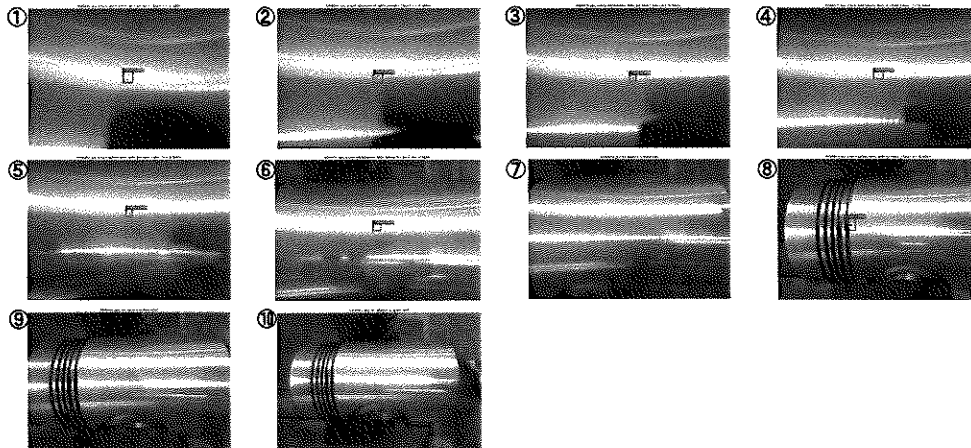
17

3. 画像判断 (ピストン鑄巣判断) ~基礎研究~

IHI

距離を置いた画像によるピストンの鑄巣判断

・ピストンの傷に対して、下のように10段階で撮影位置を傷の接写からどんどん離れて撮影していった写真について、検証してもらったところ、かなり離れた⑥の位置まで検出することができた。⑧については誤検知ではあるが、これが自動で撮影され自動で検出する仕組みができれば、十分に検査業務改善に資することができる。



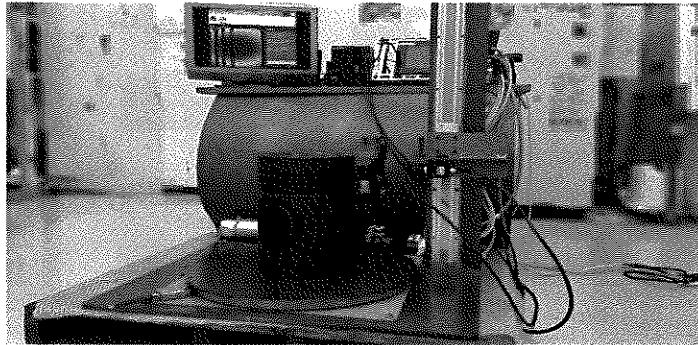
18

3. 画像判断（ピストン鑄巣判断）～基礎研究～

IHI

ピストン検査用写真の自動撮影機能

・ピストンスカート部の鑄巣の画像判断についてはかなりの精度を出すことができたが、その判断のための写真撮影については、人がこれを行うとすると、実際の目視での判断よりも総合的な労力がかかることになる。これを、ピストンを360度回転させながら、上下の高さも数段階で自動撮影できる仕組みを開発し、AIに自動で写真を供給できるようにした。この仕組みでAIに提供できる画像を増やしていき、実運用を通じてさらに検証・改善を図る。



19

4. まとめ

IHI

1. 分類問題（不適合予測）については、1年間かけて機械学習についての研究を行うことで、機械学習に対する知識の向上及び、ニューラルネットワーク・サポートベクターマシン・ランダムフォレストといった3種類の研究を進めることができた。2年目には1年かけたAI研究の成果を、汎用Webアプリを開発することで、メーカー各社が活用できる仕組み作りも行えた。業界全体でこのAIを育てていくとともに活用していくことで、業界全体のレベルアップが図れるものと思われる。
2. 時系列問題（機械故障予防）については、ドリル加工の時系列データから、異常を検知するシステムの開発を行い、実際にドリル交換前の数回の加工で、異常が発生する時間帯の特定ができたことで、一定の成果が得られたものと思われる。モデルについては実運用の中で都度学習させることができるため、実運用の中で精度を向上させていくことができる。
3. 画像判断（ピストン鑄巣判断）については、鑄巣の検知についてかなりの精度を出すことができた。見た目にはっきりわかるクローズアップだけでなく、離れた位置から撮影された画像でも検知することができたことで、一定の成果が得られたものと思われる。さらには、今後、画像が蓄積されていく中で更なる精度向上も期待できる。以上、3つの活動について、海上技術安全研究所の全面的なご協力をいただき、成果を出すことができたが、今後、実運用の中でさらに改善を図っていく。

20

IHI Power Systems

IHI N/GATA 

ご清聴ありがとうございました

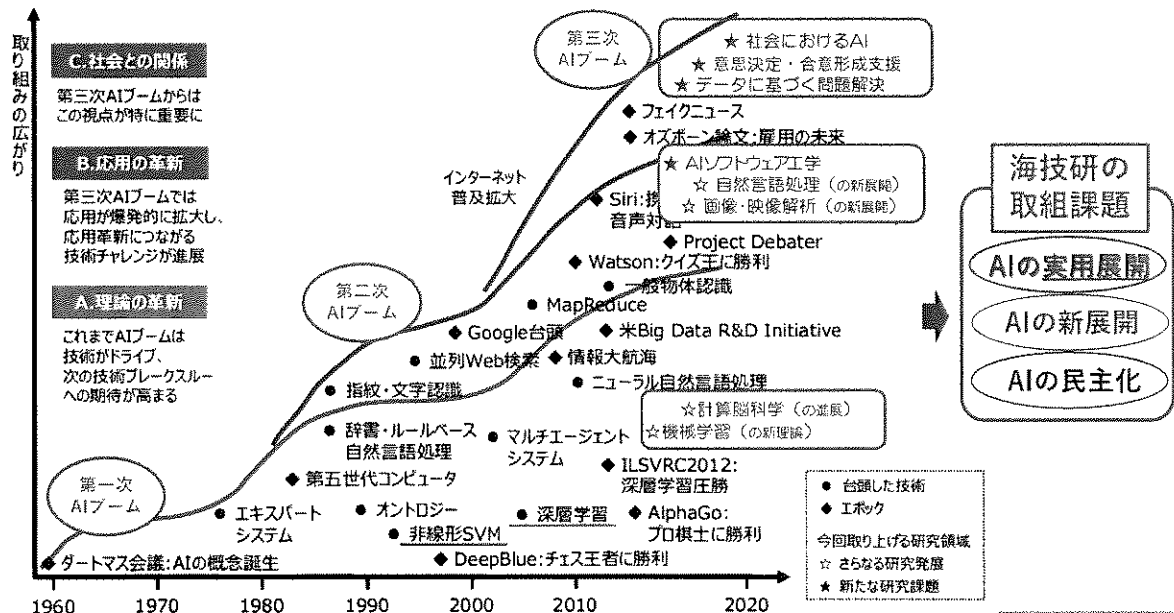
海技研における AI研究の取り組み

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

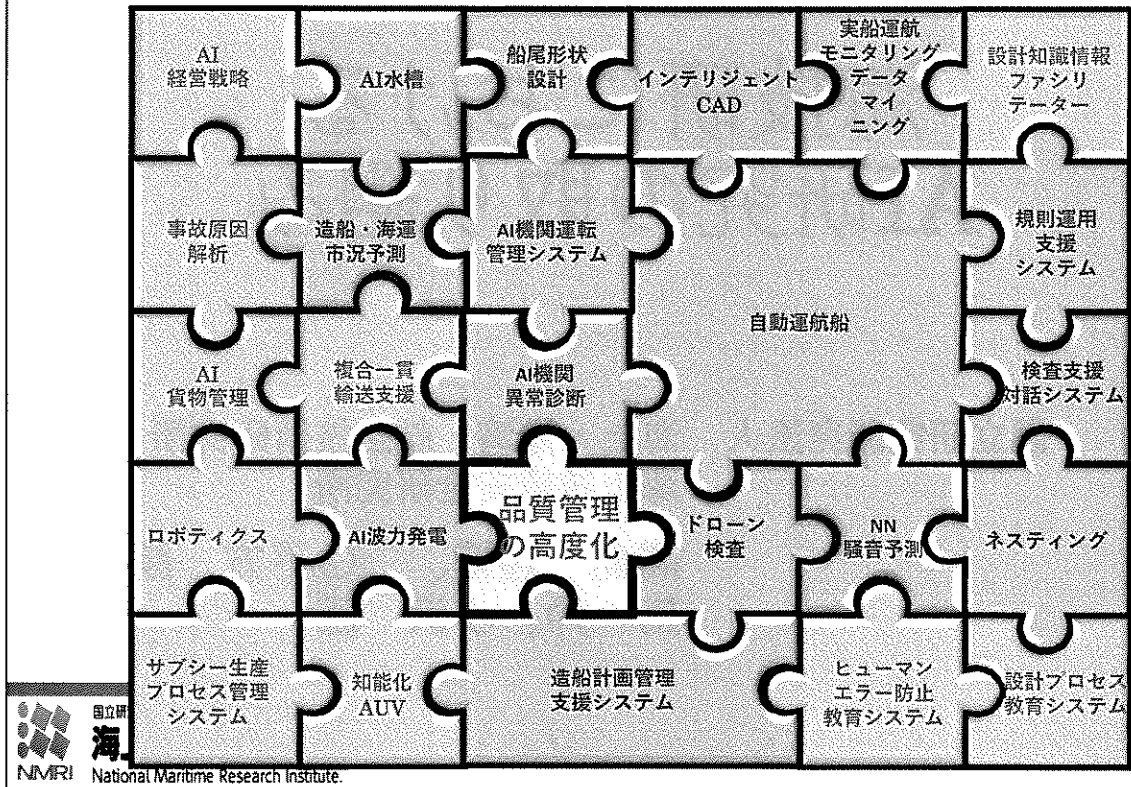
間島 隆博、○平方 勝
馬 沖、小沢 匠

人工知能・ビッグデータ

データに基づく実世界現象・活動の精緻な把握・予測を可能にし、複雑課題の解決、スマートな社会・産業への変革を推進



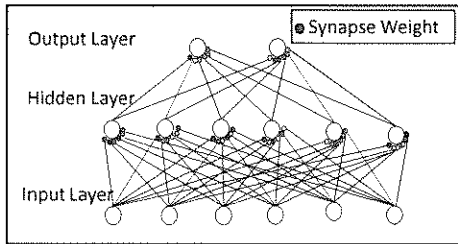
海技研のAI研究テーマ



NIMRI 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
National Maritime Research Institute.

海事分野へのAIの適用 (1)

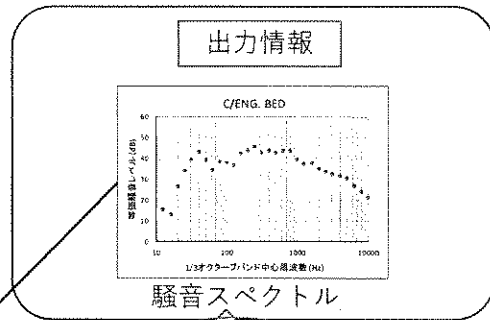
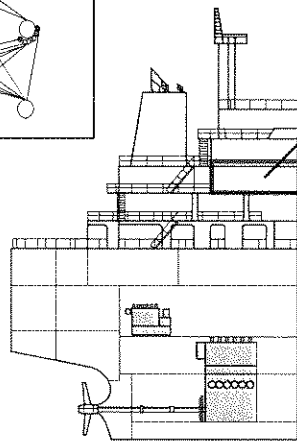
船内騒音予測への適用(1)



<比較>

音響騒音レベル[dBA] [ref = 2e-5 Pa]

SEA法：要素間のパワー平衡を定式化し、各要素のエネルギー値を求める方法<分析ツール>

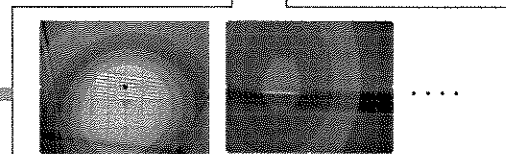


パターン学習
記憶

<設計ツール>
経験ベース

入力情報

船舶要目 (L, B, D, ...)
機関要目 (メーカー, 型式...)
内装仕様 (挿入損失, 吸音率, ...)

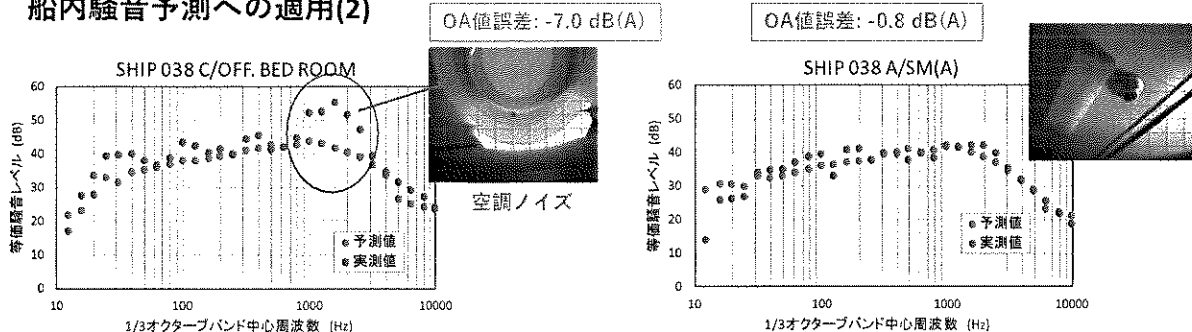


国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
NIMRI National Maritime Research Institute.

平方勝, ニューラルネットワークによる騒音予測Webアプリシステムの構築, 第18回海技研発表会, 2018

海事分野へのAIの適用(2)

船内騒音予測への適用(2)

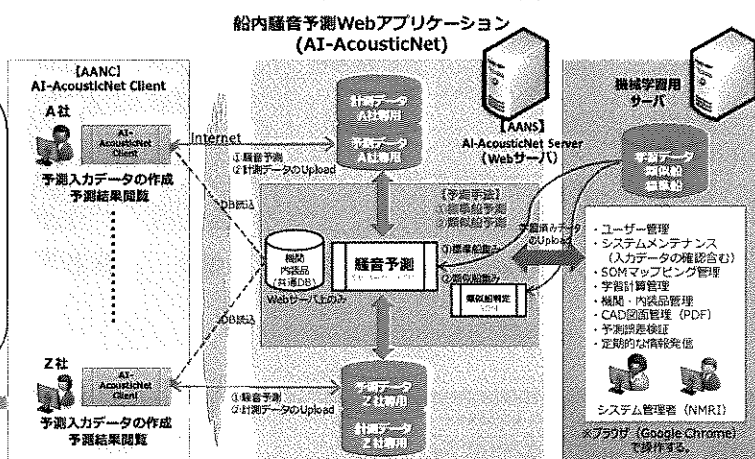


<運用>

<目的>

- ✓ 騒音予測精度・信頼性向上
- ✓ 船種や船体構造の多様性を増し、教師データ数を増やす

教師データとなる騒音データをサーバー側で一元管理
(教師データの充実)

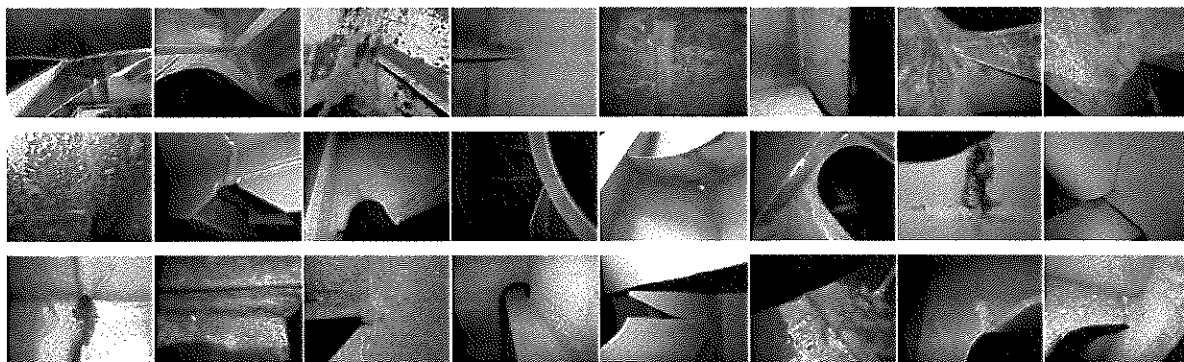


海事分野へのAIの適用(3)

船舶タンク内損傷認識(1)

点検者がデジタルカメラで撮影した画像を利用
き裂箇所に接近し、照明をあてて撮影した画像を利用

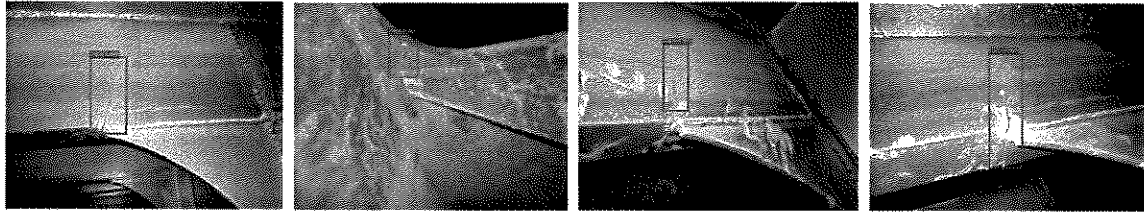
訓練データ：95画像
検証データ：28画像
テストデータ：9画像



図：訓練データ一例

海事分野へのAIの適用 (4)

船舶タンク内損傷認識 (2)

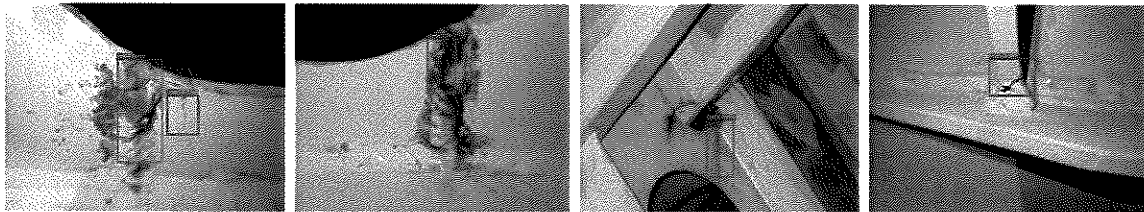


損傷認識率：0.999

損傷認識率：0.001

損傷認識率：0.042

損傷認識率：0.508



損傷認識率：0.154,
0.049

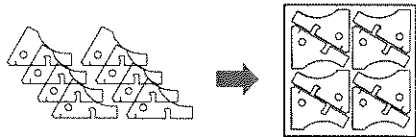
損傷認識率：0.003

損傷認識率：0.004

損傷認識率：0.682

海事分野へのAIの適用 (5)

深層強化学習を活用したネスティング —鋼板から材料を効率よく切り出すAI活用事例— (1) ¹⁾



- ・歩留まり率が良くなるように配置
- ・自動ネスティング後に人手の修正が入る

従来の自動ネスティング

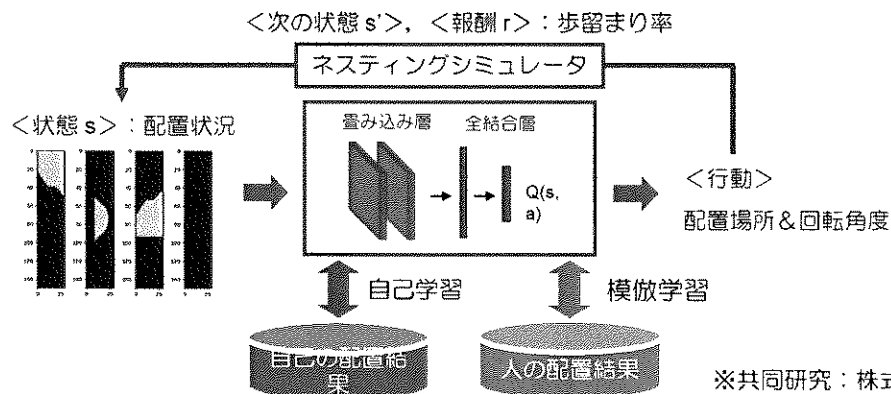
NF法, BL法, 遺伝的アルゴリズム等

強化学習・模倣学習

最適配置の作り方を自律的に学習

人間の結果を真似できるように学習

Double Deep Q Network (Double DQN, 2015) ²⁾ + Dueling Network(2016) ³⁾ + Prioritized experience replay(2016) ⁴⁾



※共同研究：株式会社大島造船所

1) 谷口智之, 最新の人工知能技術の活用—ネスティングAIと画像認識による点検—, 海技研発表会, 2019

2) Hado van Hasselt, Arthur Guez and David Silver, Deep Reinforcement Learning with Double Q-learning, 2015

3) Ziyu Wang, etc., Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning, 2016

4) Tom Schaul, John Quan, Ioannis Antonoglou and David Silver, PRIORITIZED EXPERIENCE REPLAY, 2016

まとめ

海技研は、「AIによる船用機器の品質管理高度化に関する調査研究」をテーマに、

- ▶ AIによる不適合納品物未然防止に関する研究
 - ▶ AIによる画像からの欠陥品の検出に関する研究
 - ▶ AIによる工作機械IoTデータによる不適合予測に関する研究
- を実施した。

海技研は、国立研究開発法人として、最新のAI研究・技術（画像・映像認識，深層強化学習，言語・知識処理等）を導入した研究を行い、海事産業のAI活用を研究面からバックアップしていく。



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

NMRI

National Maritime Research Institute.

8

