# Class NK共同研究支援事業
# 3次元レーザースキャナーによる舶用分野での有効利用モデルの研究（報告書）

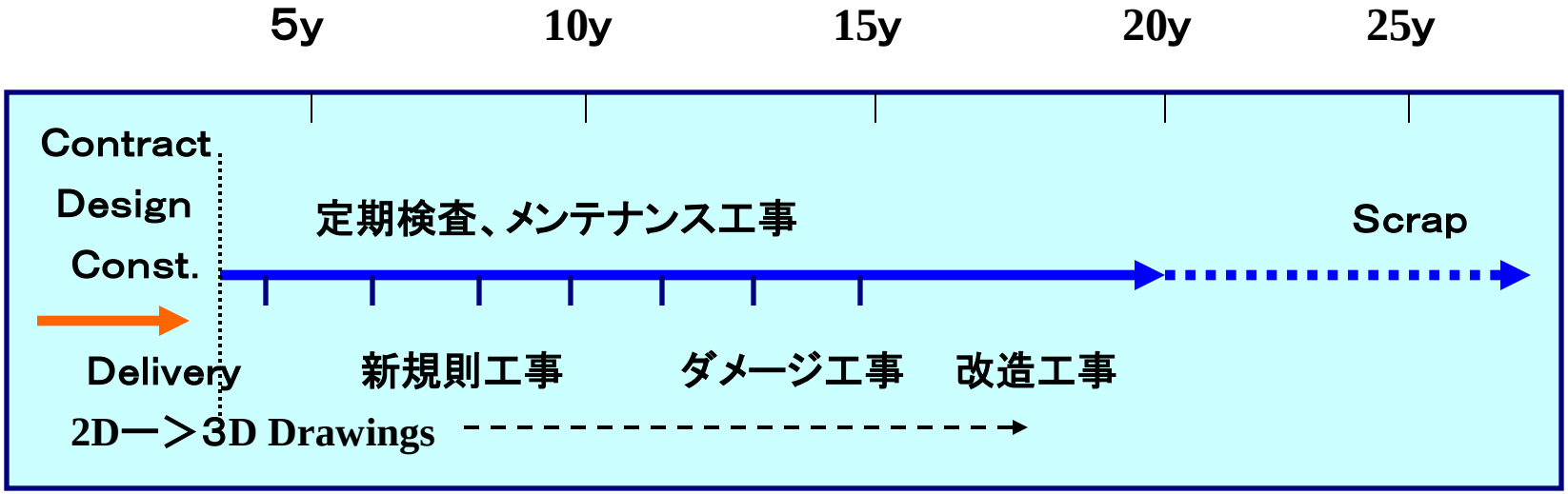
2012/01/10

研究期間　：　2011年3月11日～2012年1月10日

メンバー　：　日本郵船㈱、㈱商船三井、川崎汽船㈱
㈱MTI、佐世保重工業㈱、㈱三和ドック、
東京大学、(財)日本海事協会、
㈱SEA創研（まとめ）

研究目的　：　船舶のメンテナンス、規則要求工事などを含む各種補修工事、及び各種検査工事で、新たな競争力向上が可能な3次元レーザースキャナーによるReverse Engineering ビジネスモデルの研究

# 研究目標：3次元Reverse Engineeringによる船舶　Life Cycle サービス力の向上




船会社、修理ヤード、船級協会などでLife Cycle サービスを更に競争力ある姿にしていくには、3次元デジタルデータをベースにした新たなエンジニアリングスタイル＝ 3次元Reverse Engineeringの構築が必要。

新しい3次元 Reverse Engineeringを実行するには、3次元レーザースキャナーによる迅速且つ精度の高い形状データの取得、取得データの3次元モデル処理技術、及び3次元CAD利用技術が必要。このReverse Engineering技術を競争力ある形で実現可能にするスタイルの試行研究を行った。

# 研究テーマとして次の5項目を設定

①3次元レーザースキャナーが適用可能な就航船舶補修・ 検査業務の調査

②水バラスト処理装置（BWTS)レトロフィット工事を含む各種就航船舶の改造、外板損傷復旧・修理工事などへの適用手法の検証

③Tank,Holdの変形、板厚衰耗などの検査業務適用の開発

④スキャニングデータ利用Reverse Engineering業務展開モデル検討

⑤スキャニングデータ迅速処理システムの検討

# ①3次元Laser Scannerデータ利用による就航船舶補修・ 検査業務への適用調査

適用期待の業務として提案された項目の内、検討対象として取り上げられた項目

| | 測定場所 | 用　　途 | 技術面 | 作業面 | 経済性 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 船体外部 | 外板取替え工事（海難工事）の現場形取り作業 | ◎ | ◎ | ○ | NC切断利用、発鉄効率化 |
| 2 | 機関室内 | バラスト水処理装置BWMSのエンジニアリング | ◎ | ◎ | ◎ | |
| 3 | 船体内部 | 取換え管、あわせ管の形取り | ◎ | ◎ | ○ | 大口径管でメリット大 |
| 4 | 船体内部 | メンブレンタンクの変形計測、判定の自動化 | ○ | ○ | ○ | |
| 5 | 船体外部 | 船体寸法計測、乾弦標の取り付け | ◎ | ◎ | △ | |
| 6 | 船体内部 | PCC艙内スロープ及びショアランプを計測、走行シミュレーション | ◎ | △ | | |
| 7 | 船体内部 | コンテナ船のセルガイドを計測し、コンテナ積シミュレーション | △ | △ | | |
| 8 | 船体外部 | 船体付加物（省エネ装置）エンジニアリング | ◎ | ◎ | ○ | |
| 9 | 船体内部 | Cargo Hold、Bulkheadの腐食など板厚計測 | △ | ○ | | |
| 10 | 船体内部 | Cargo Tank/Ballast Tankの、Bulkheadの腐食など板厚計測 | △ | ○ | | |
| 11 | 船体内部 | Cargo Tank/Cargo Holdの、Bulkhead表裏計測で目違いチェック | △ | △ | | |
| 12 | 船体外部 | 搭載Block寸法精度の確認 | ○ | ◎ | | |
| 13 | 船体内部 | 大物の船内への搬入/搬出シミュレーション | ○ | ◎ | | |
| | | | | | | |

着色項目を試行対象に取り上げた。

# ②就航船舶の大型改造・修理工事への適用手法の開発

## ②-1　就航船バラスト水処理装置（BWMS)の設計エンジニアリング

・BWMS設計エンジニアリングに求められる計測精度を3次元Reverseモデルで確保する為に必要な実施要領の確立

・BWMS設計エンジニアリング実施手順、スケジュール、それに要する工数の把握

## ②-2　外板損傷（衝突・座礁などによる）復旧工事の設計エンジニアリング

・外板損傷復旧工事などにおける設計エンジニアリング実施手順、スケジュール、それに要する工数把握と問題点の抽出

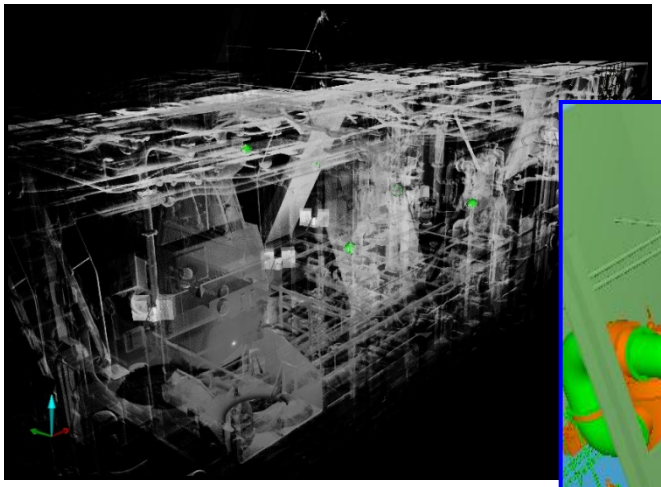
・外板損傷復旧工事などに3D Laser Scanning　Reverse Engineering手法を適用することの問題点の抽出と対応策の検討

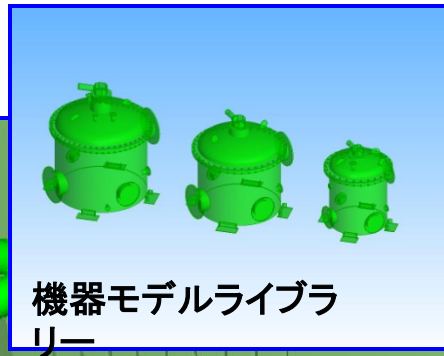
この2ケースについて試行や実業務ベースで検証を行った。

# ②-1-1　就航船バラスト水処理装置（BWTS)の設計エンジニアリング試行

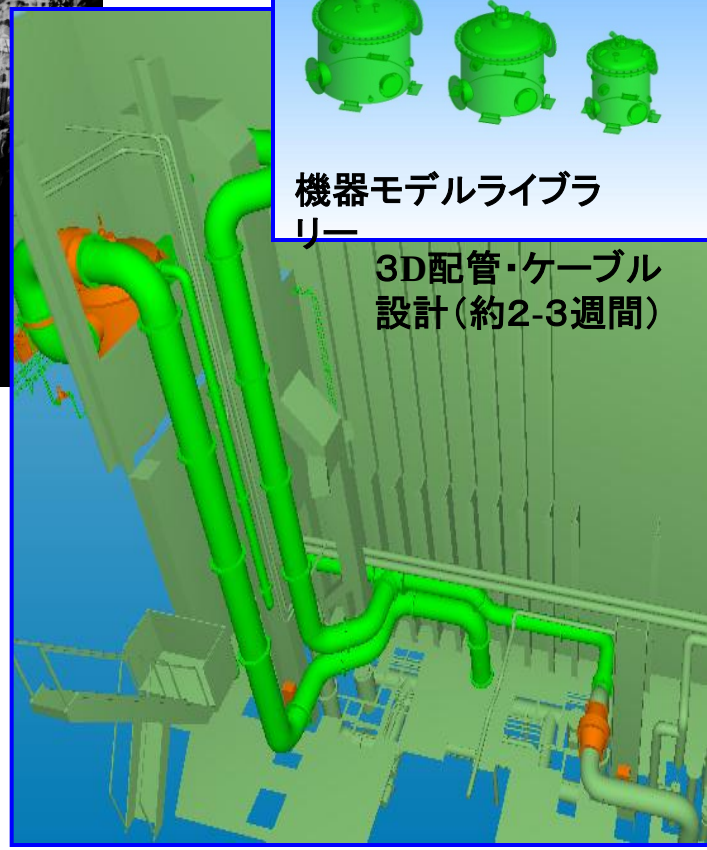
・BWTS設計エンジニアリングに求められる計測精度、その精度を3次元Reverseモデルで確保する為に必要な実施要領の確立

・BWTS設計エンジニアリング実施手順、スケジュール、それに要する工数の把握検証



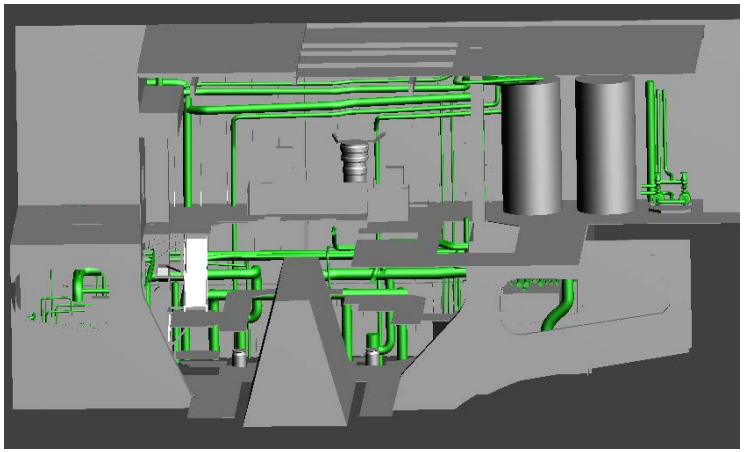


機器モデルライブラリー



3D配管・ケーブル設計（約2-3週間）

3Dレーザー計測（0.5～1日、2-3人）



点群データ->機関室の実形状モデル作成（約1週間）

# ②-1-2　就航船バラスト水処理装置（BWTS)の設計エンジニアリングフロー例

船主より検討依頼

検討用図面の入手

- General Arrangement
- Machinery Arrangement
- Piping Diagram
- Hull Structure Key Plan、他

短期間・正確な Reverse Engineering手法

初期計画設計

- BWMS　メーカー選定
- 主要機器配置＋主配管検討図の作成

3D Laser 計測（1）->モデル化

Onboard見取り（数回）

主要機器配置＋主配管等ルートの確認

約1週間

設計・工事費用の見積

発注

詳細図面の入手（？）

詳細設計・承認図書作成

3D CAD設計

機器配置・配管・機器台・電線等図面の作成（数ヶ月）

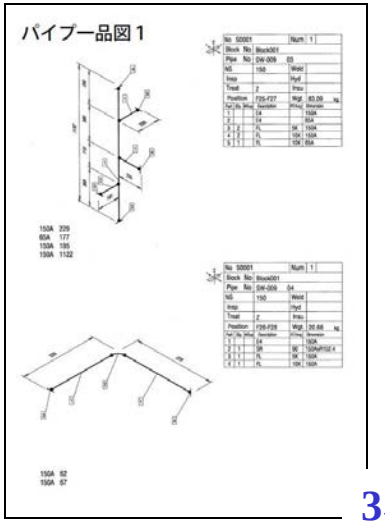
約2－3週間

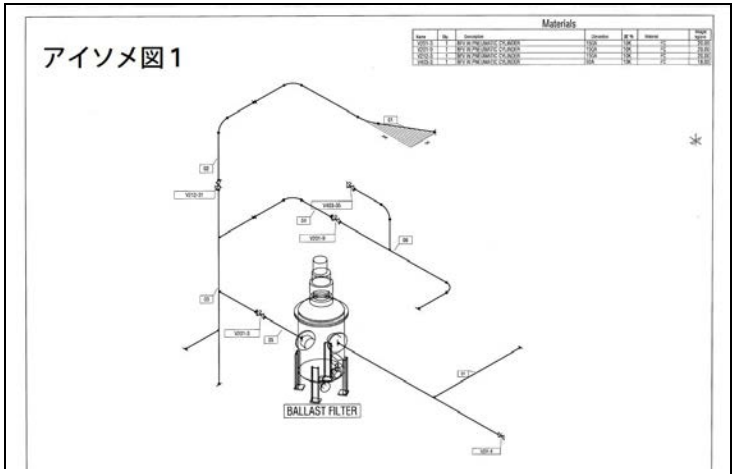
工事用図面・一品図作成

関連機器・材料発注

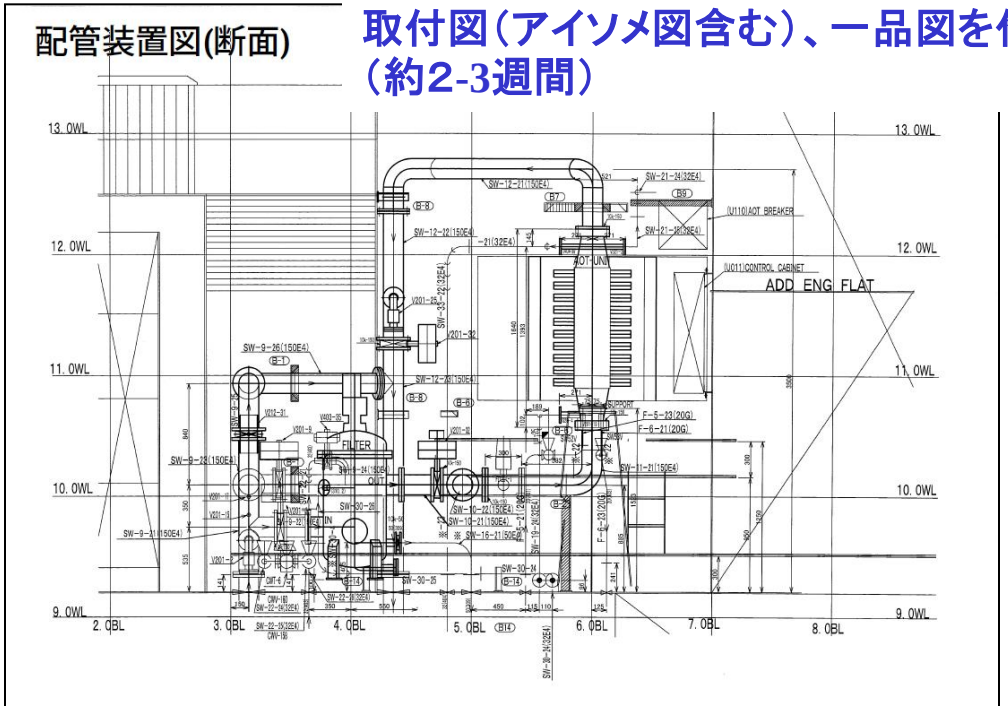
取り付け工事・試験

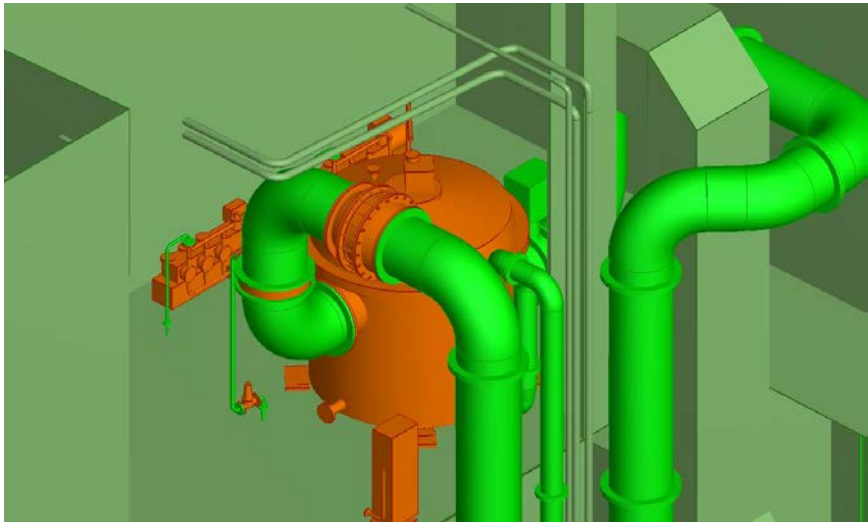
# ②-1-3　就航船バラスト水処理装置（BWTS)の設計エンジニアリング（詳細設計作業）



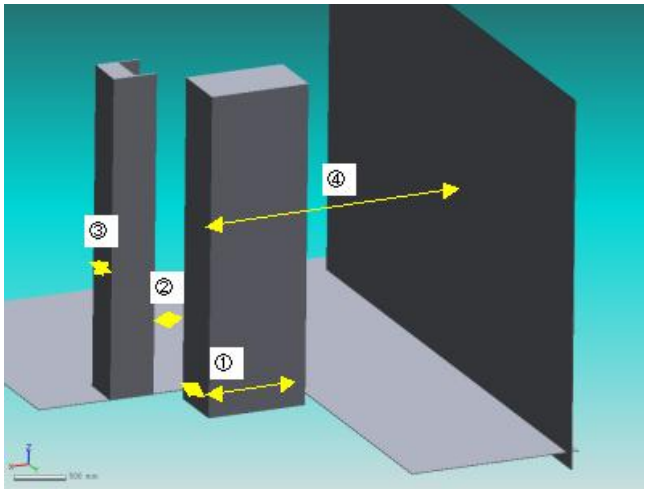
3次元CADモデルから機器・管・電線等取付図（アイソメ図含む）、一品図を作成（約2-3週間）



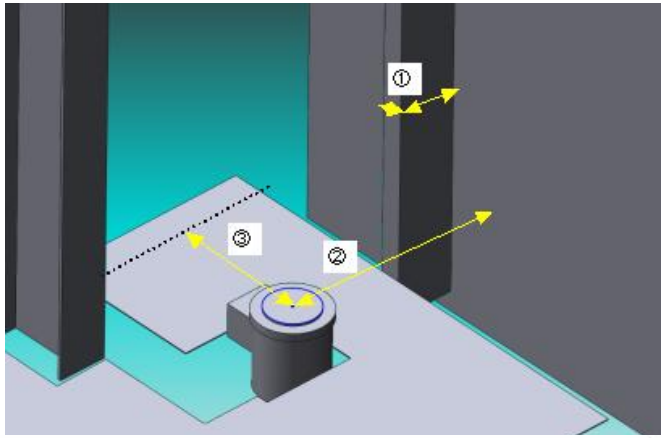



# ②-1　就航船バラスト水処理装置(BWTS)の設計
# エンジニアリング・・・測定寸法精度

| | 前回(2011/03/25) | | | 今回(2011/07/26) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 実測値 | 作成モデル | 数値差 | 実測値 | 作成モデル | 数値差 |
| ①V.Tダクト　Size | 1005×610 | 1000×626 | -5×+16 | 1008×608 | 1009×612 | +1×+4 |
| ②V.Tダクト～Pillar | 210 | 212 | +2 | 203 | 198 | -5 |
| ③Pillar 幅 | 450 | 468 | +18 | 453 | 448 | -5 |
| ④V.Tダクト～前壁 | | | | 2768 | 2767 | -1 |




点群データから作成の3Dモデルの作業必要部分の寸法精度を＋－5mmに出来る測定要領を設定

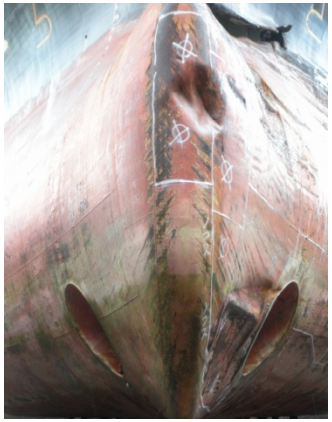



| | 前回(2011/03/25) | | | 今回(2011/07/26) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 実測値 | 作成モデル | 数値差 | 実測値 | 作成モデル | 数値差 |
| ①Frame　Size | 200×570 | 204×586 | +4×+16 | 410×605 | 413×609 | +3×+4 |
| ②Ballast Pump～前壁 | | | | 2050 | 2046 | -4 |
| ③Ballast Pump～Pillar | 1220 | 1205 | -15 | 1220(前回値) | 1216 | -4 |

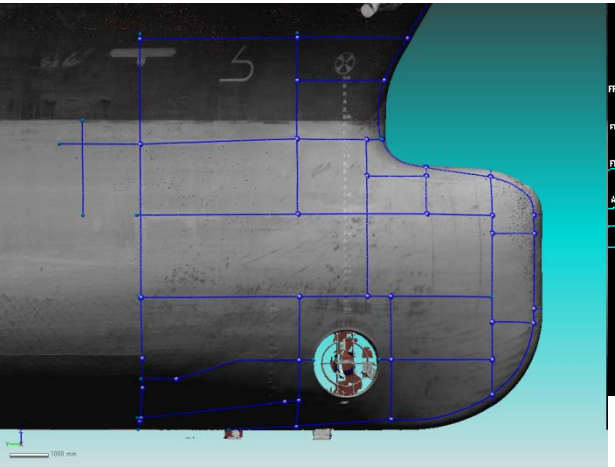
# ②-2-1　外板損傷（衝突・座礁などによる）復旧工事の設計エンジニアリング

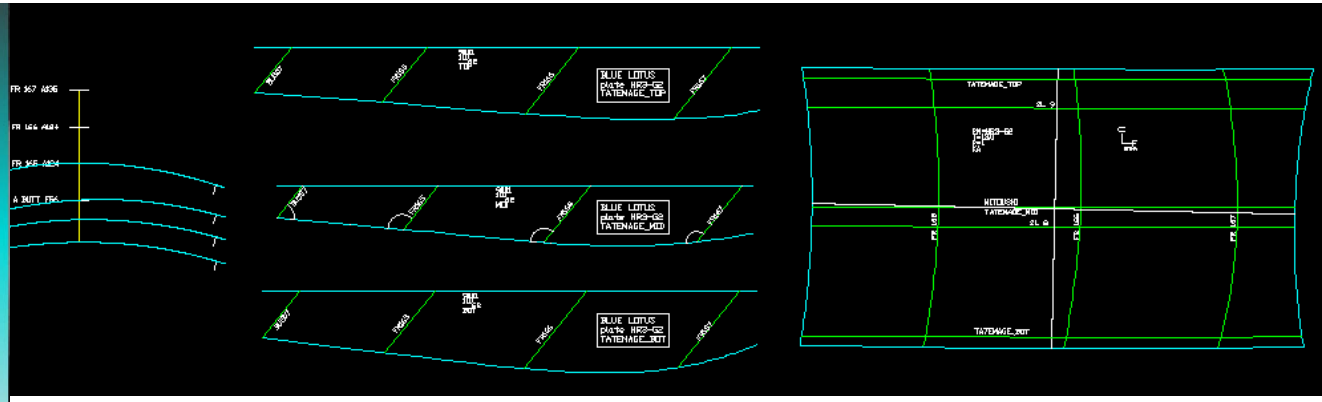
・外板損傷復旧工事などにおける設計エンジニアリング実施手順、スケジュール、それに要する工数把握と問題点の抽出

・外板損傷復旧工事などに3D Laser Scanning　Reverse Engineering手法を適用することの問題点の抽出と対応策の検討



衝突による船首部破損復旧工事（2011年10月）設計を従来手法とレーザースキャナー法で実施、三和ドック殿のご協力

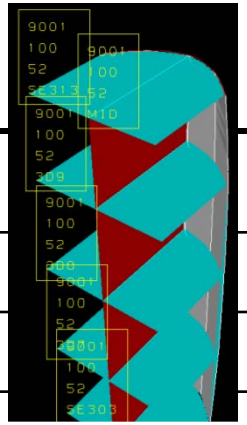


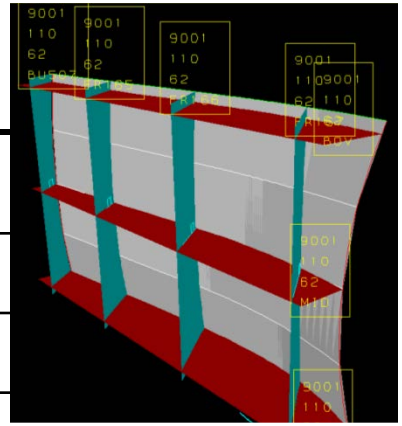


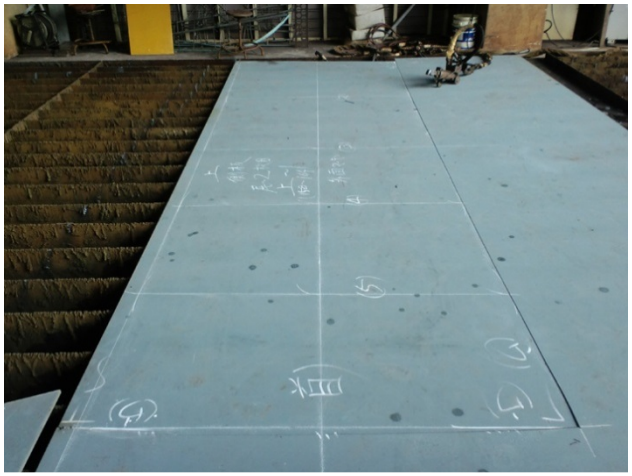

3D CADで外板展開図、Frame図を作成

# ②-2-2　外板損傷（衝突・座礁などによる）工事の設計時数と作業の自動化検討

| 作業項目 | 所要時間 | 自動化可能性 |
|---|---|---|
| 3D点群合成 (RF) | | ○ |
| 3Dメッシュ化処理 (RF) | | ○ |
| 断面形状抽出　(RF)<br>(Frame, Profile) | 2日 | ○ |
| Butt & Seam ライン抽出　(RF) | | ○ |
| 船型復原フェアリング<br>復原線図作成　(Napa) | 15 Hr | ○ |
| 3D外板モデリング (NUPAS)<br>外板一品展開＋曲げ型生成 | 30 Hr | ○ |
| 現場向け外板一品現尺展開図<br>曲げ型図作成　(AutoCAD) | 40 Hr | ○ |
| | | |
| ＊展開板枚数＝19枚の場合 | 合計2週間 | 2-3日想定 |
| | | |







# ③Tank,Holdの変形、板厚衰耗などの検査業務適用の試行

## ③-1　LNGメンブレンタンクの変形計測

・ステンレス製メンブレンタンク（天井部）を床面から計測しどの程度の精度でタンク変形の計測が可能かの検証

・ステンレス製メンブレンタンク変形量の解析が所定の精度とスピードで可能かどうかの試行

## ③-2　Bulk CarrierのHold FrameとBulkheadの板厚計測

・Frame寸法をHold底部から計測し、その計測精度の検証

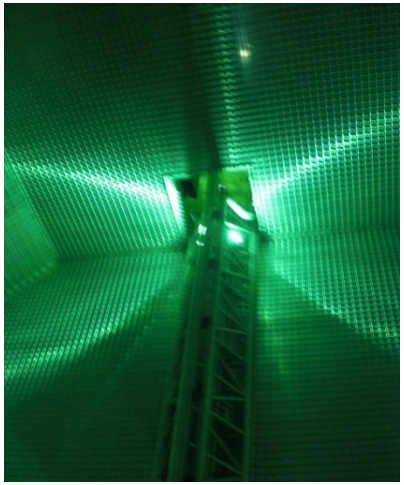
・Trans-Bulkheadの板厚計測をHatch Coaming部から計測し、その計測精度の検証

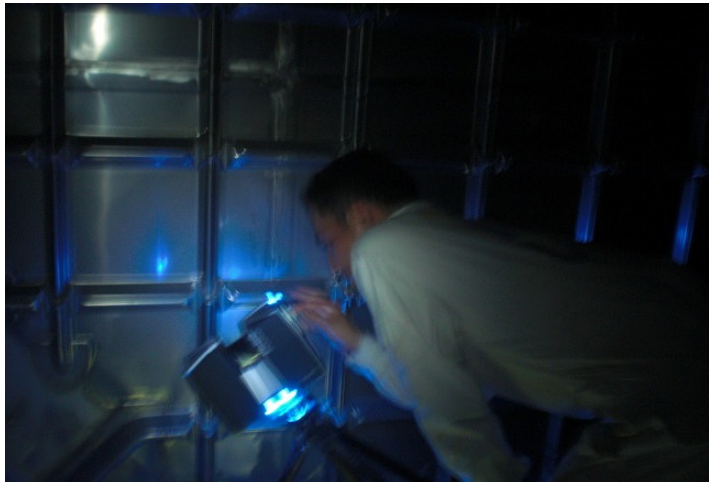
この2ケースについて取り組み手法の検証を行った。

# ③-1-1　LNGメンブレンタンクの変形計測

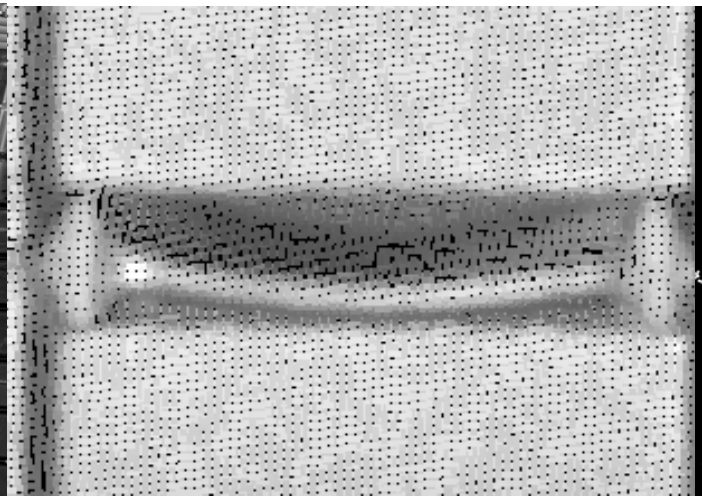
・ステンレス製メンブレンタンク（天井部）を床面から計測しどの程度の精度でタンク変形の計測が可能かの試行

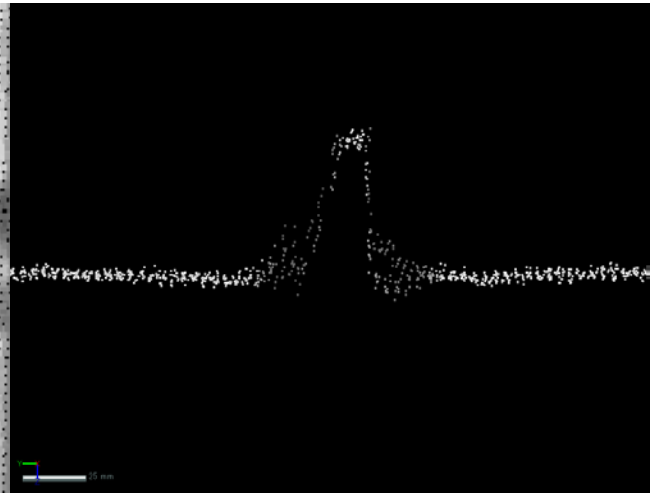
・ステンレス製メンブレンタンク変形量の解析が所定の精度とスピードで可能かどうかの試行



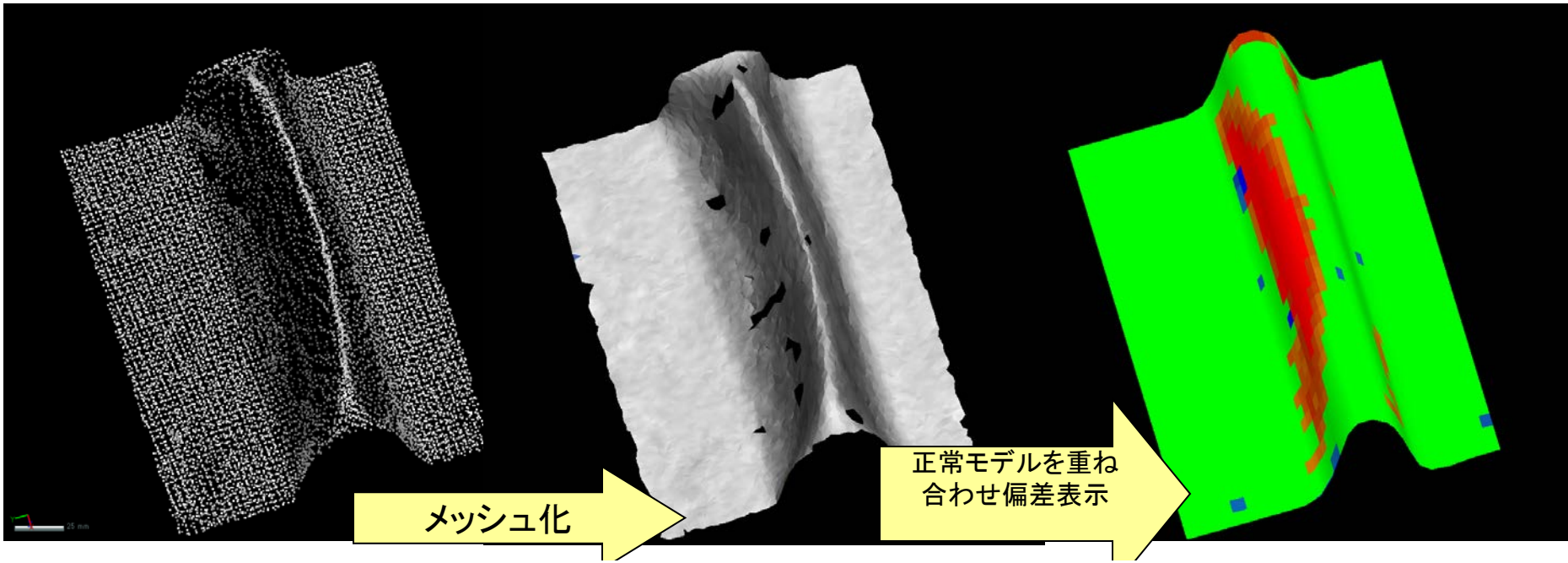


148，000m3LNG船（GTT　MKⅢ方式）で検証（2011年8月、マレーシア）、商船三井殿のご協力

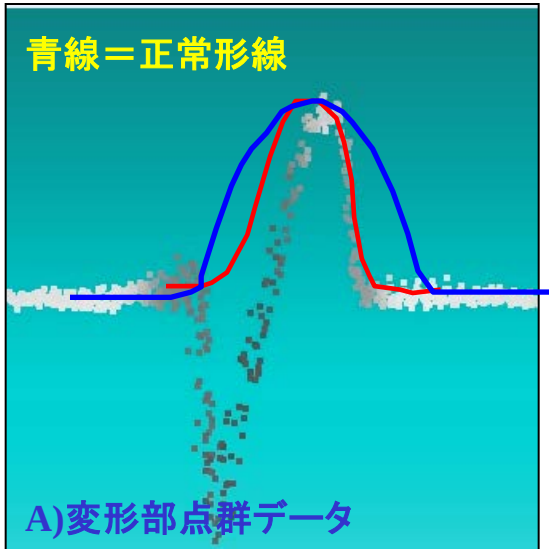


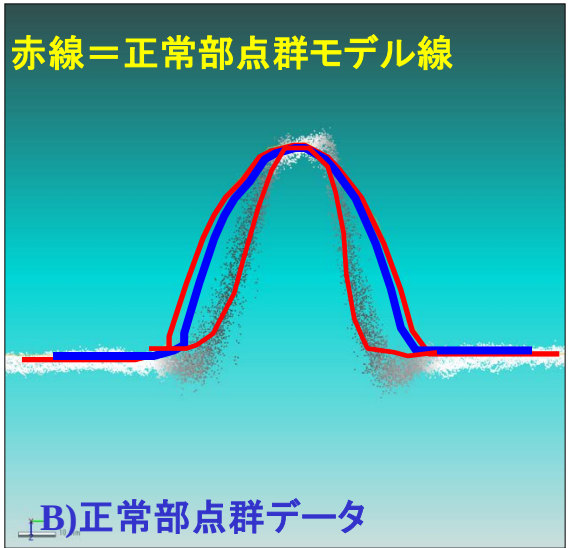


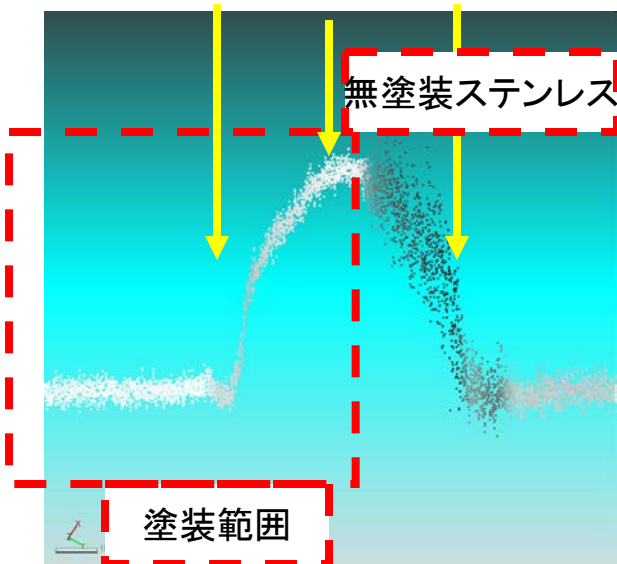
# ③-1-2 LNGメンブレンタンクの変形計測結果




傾斜ステンレス面は10数mmの形状誤差発生、コルゲート変形部の点群はA)様に、コルゲート頂部変形は数mmの精度



# ③-1-3 LNGメンブレンタンクの変形解析

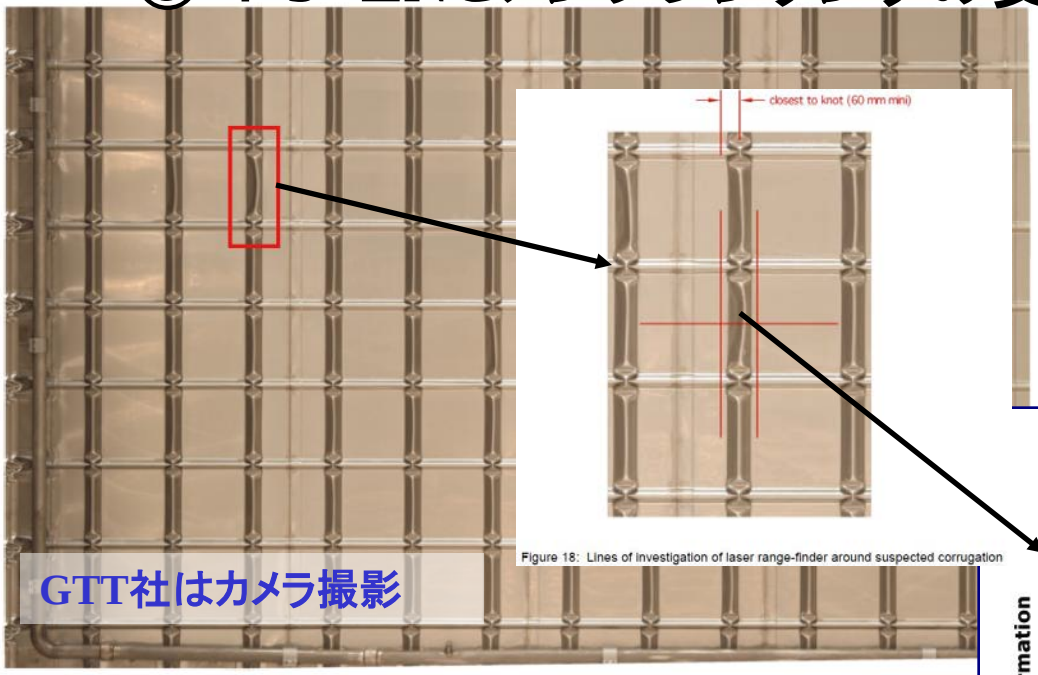
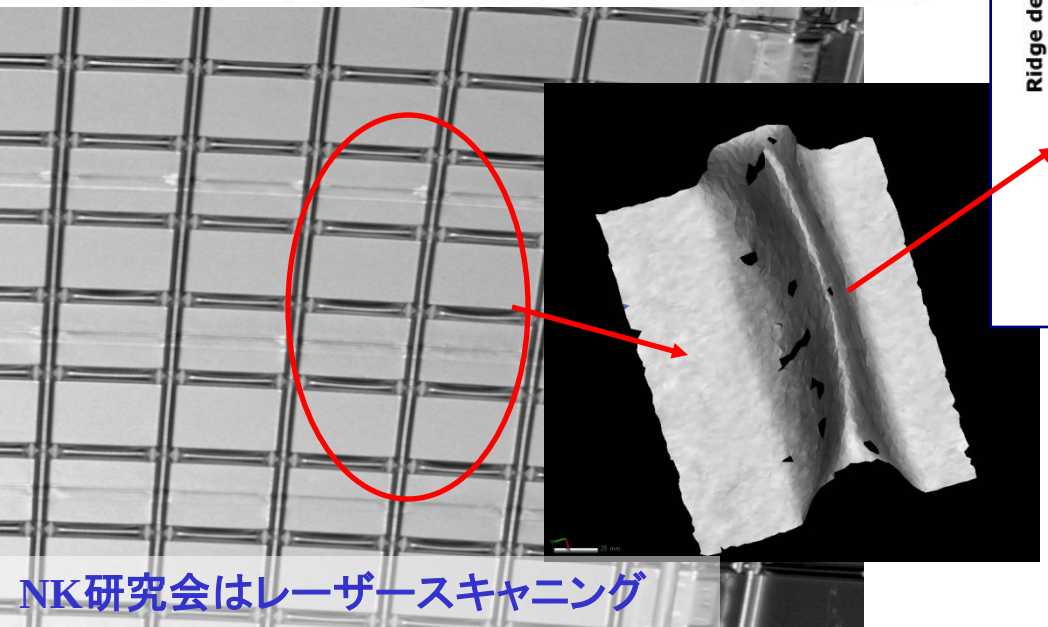
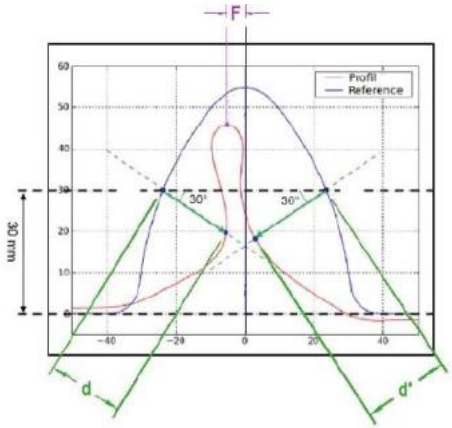



Figure 18: Lines of investigation of laser range-finder around suspected corrugation

Figure 16: Example of correct photography aspect for photometry (ceiling position).




GTT社作成の頂部変形とサイド変形相関グラフ

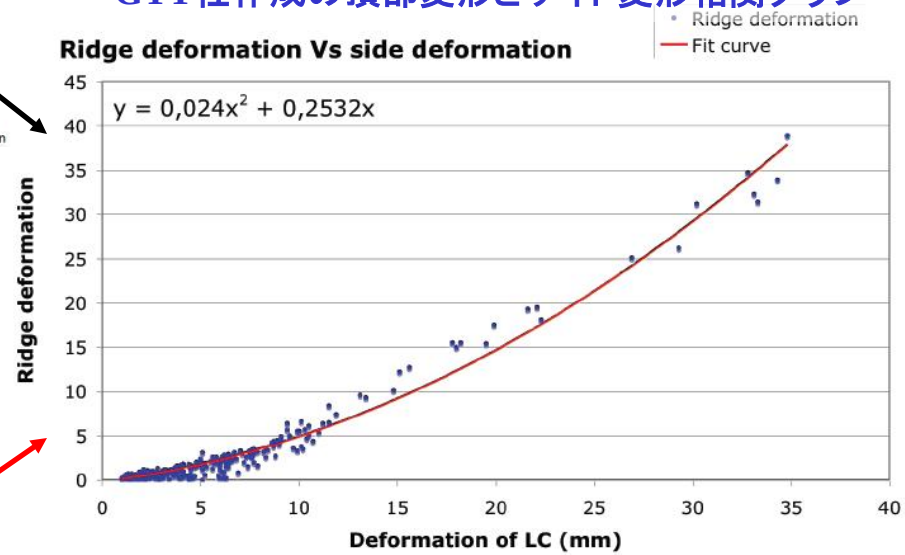


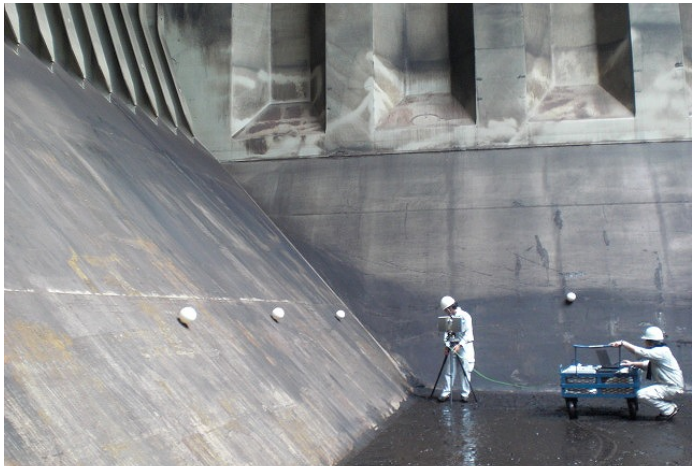

Figure 12: Relation between the ridge deformation and the side deflexion

レーザースキャニングデジタルデータ処理は特殊な技術なしに様々なデータ解析が可能

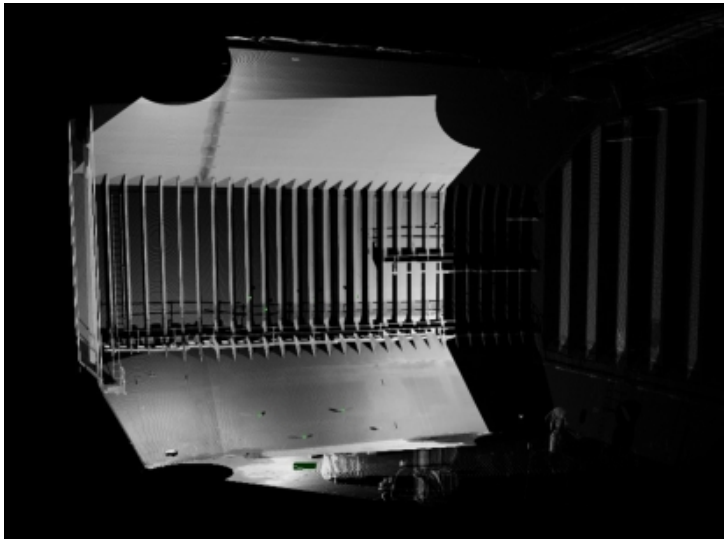
# ③-2-1　Bulk CarrierのHold FrameとBulkheadの板厚計測

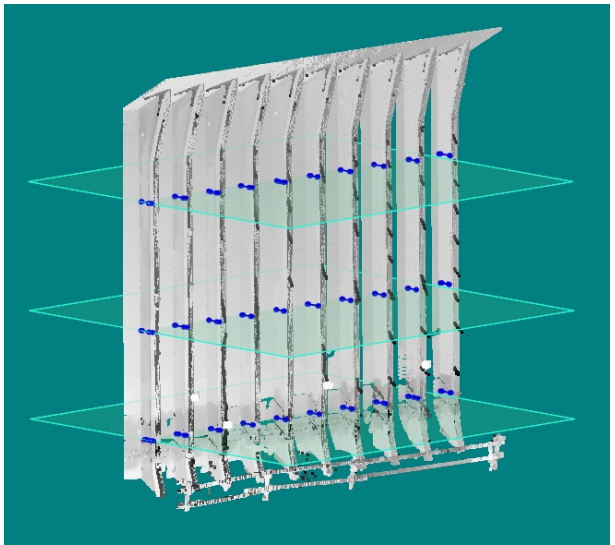
・Frame寸法をHold底部から計測し、その計測精度の検証

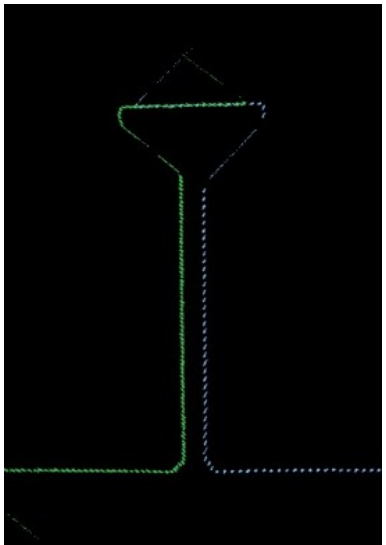
・Trans-Bulkheadの板厚計測をHatch Coaming部から計測し、その計測精度の検証



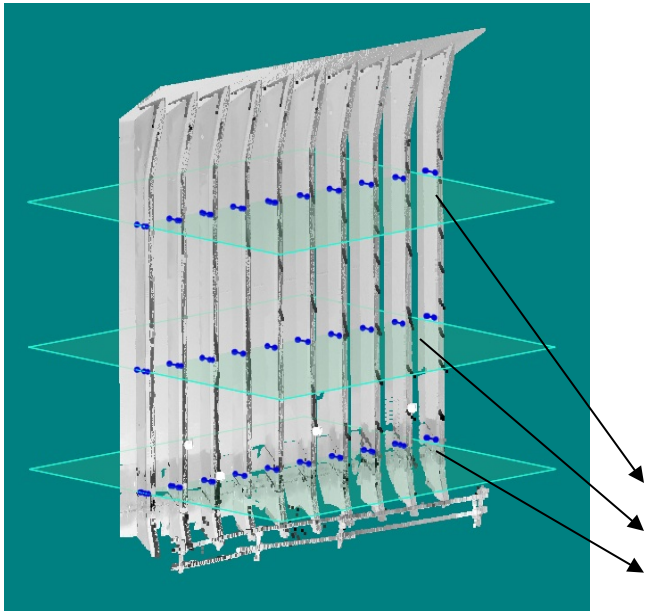
**Bulk Carrier（就航後1年）のHoldで計測、商船三井殿、SSK殿のご協力（2011年、8月、11月）**



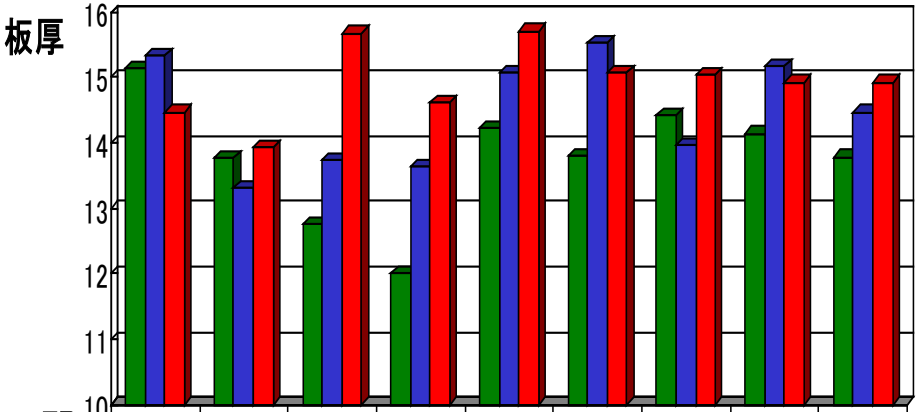




# ③-2-2 Bulk CarrierのHold Frameの板厚計測結果



図面値14.5mm

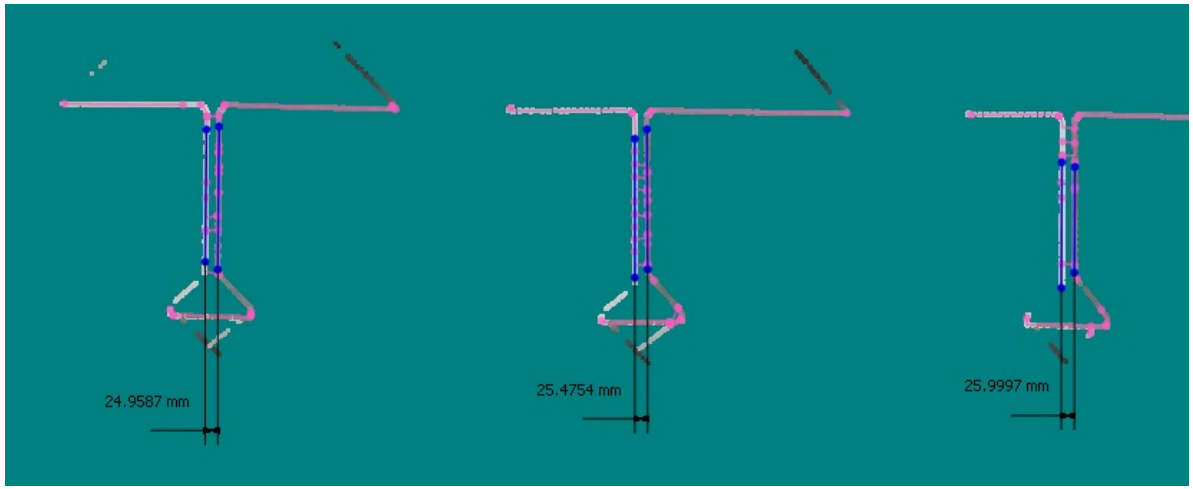



| FR | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最上部 | 15.14 | 13.76 | 12.76 | 12.01 | 14.22 | 13.79 | 14.41 | 14.14 | 13.78 |
| 中間部 | 15.34 | 13.31 | 13.73 | 13.64 | 15.07 | 15.54 | 13.96 | 15.17 | 14.47 |
| 最低部 | 14.47 | 13.94 | 15.68 | 14.61 | 15.71 | 15.07 | 15.03 | 14.93 | 14.93 |

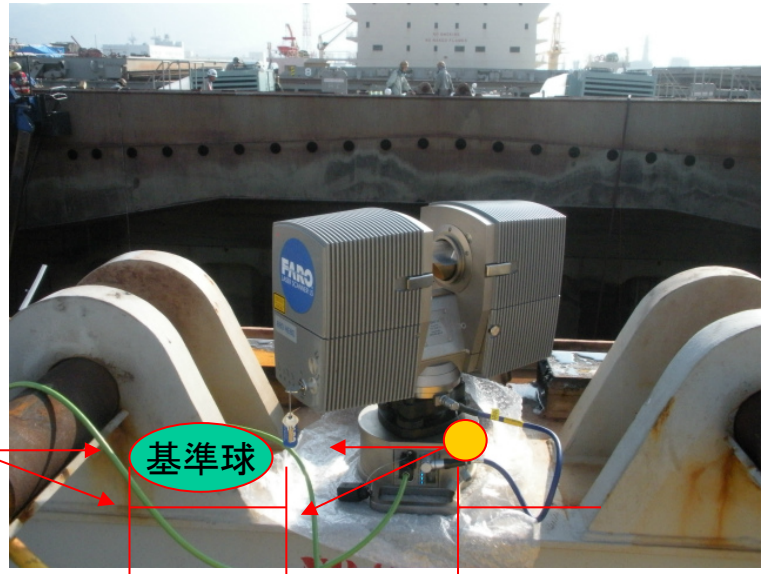
最小値

最大値

Rapidformで位置合わせを行う事で、誤差は最大2.5 mmに出来た。
また計測距離による誤差のバラツキは少ないが有る。下部（7-8mの距離）では0.5mm程度の誤差に押さえられる可能性有り。



# ③-2-3　Bulk CarrierのBulkheadの板厚計測

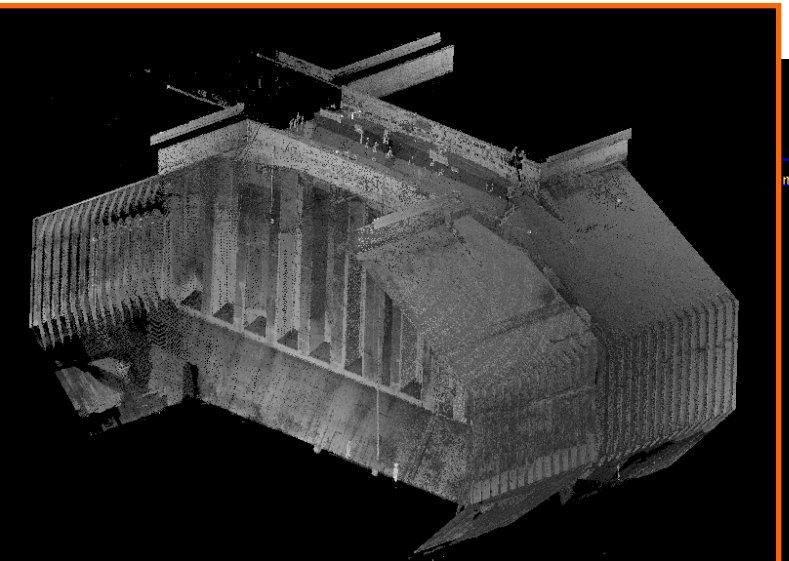


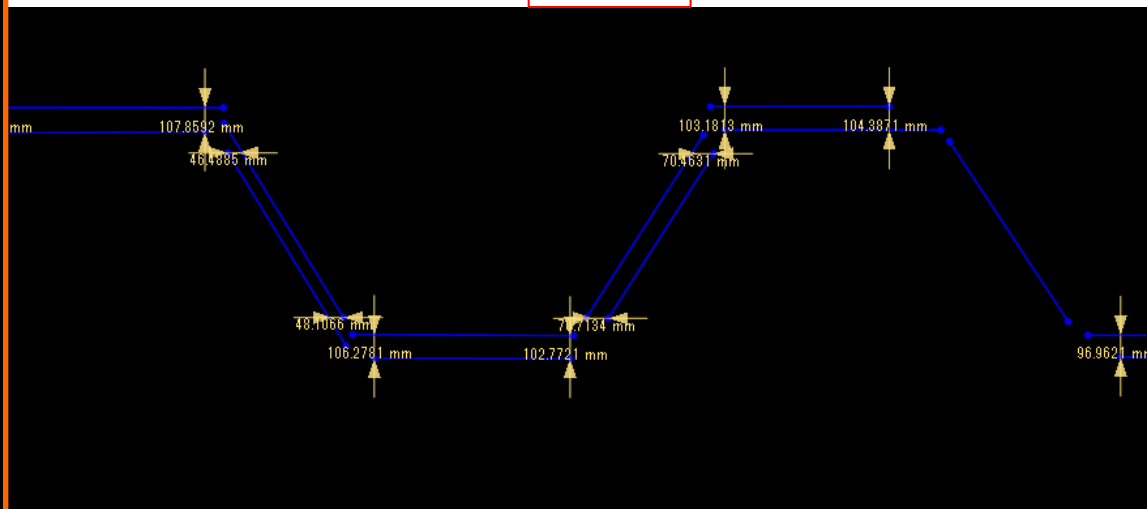

基準球

No7C/H

No6C/H

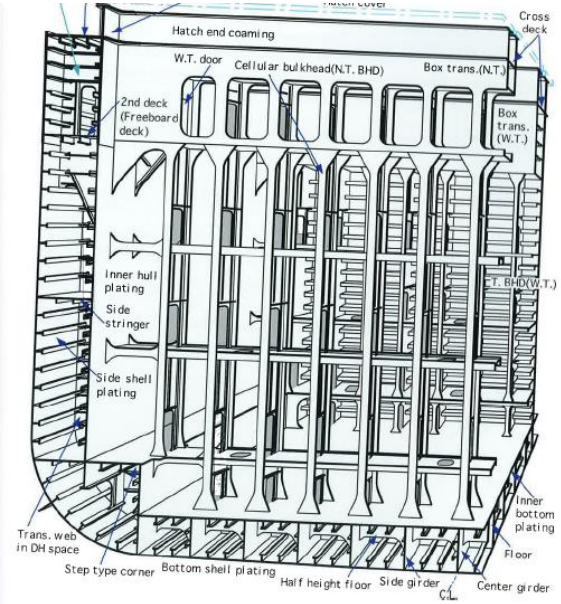
上甲板Cross Deck部から測定、十分な精度を出せず

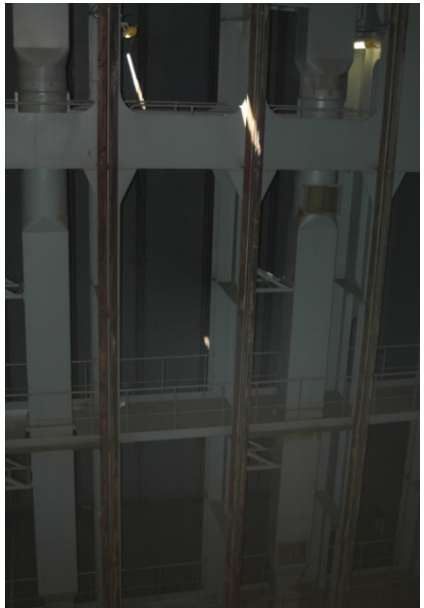




# ③-3　Container船のCell Guide寸法計測

**Cell Guide製造精度チェックをレーザースキャナー計測で行えるか否か検証、本ケースは測定が難しい、NYK殿ご協力**



# ④-1.スキャニングデータ利用Reverse Engineering業務展開モデル検討

・3DスキャニングReverse Engineeringの下記4作業をいかに合理的なスタイルで競争力あるビジネスモデルとして構築していくかの検証を実施

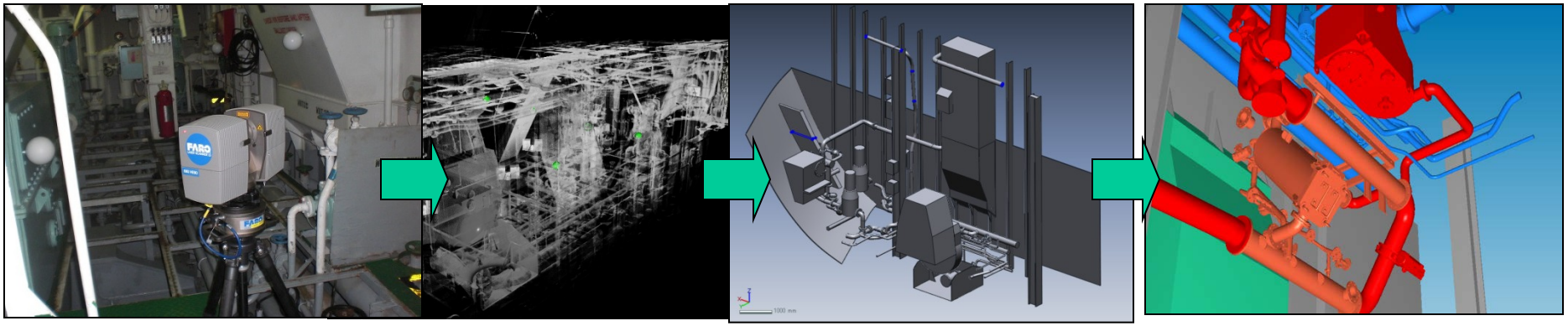
1）3Dスキャニング計測（Faroスキャナー）

2）スキャニングデータの処理->3Dモデルの作成（Rapid Form)

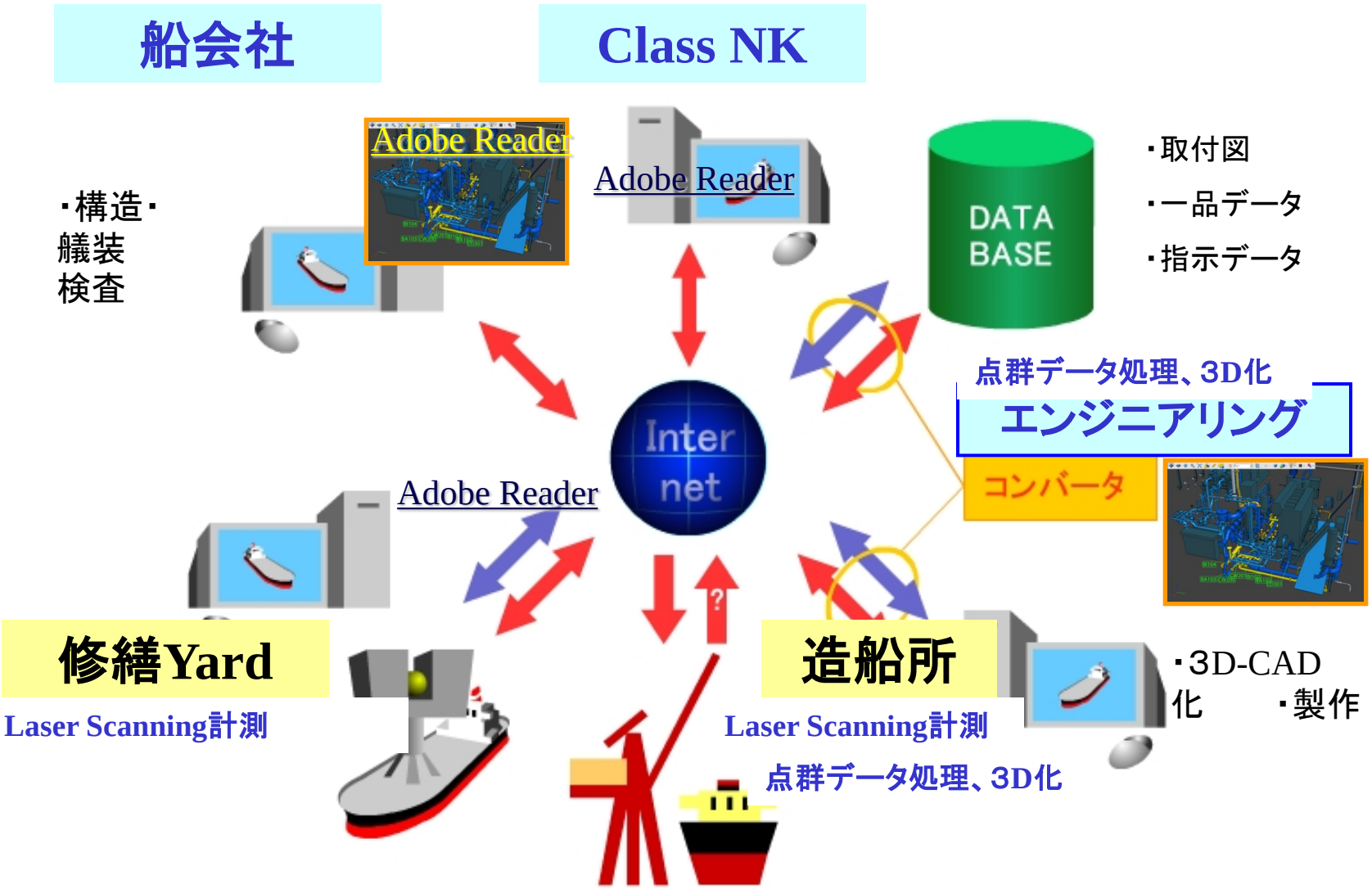
3）3D配管艤装CADによる機器配置、配管モデルの作成->取り付け作業図面の作成、管一品図・管サポート図・補機台図などの作成（例えばCadmatic)

4）3D船殻CADで、外板展開データ、NC切断データの作成（例えばNupas)

0.5～1 日　　約1週間　　約2－3週間

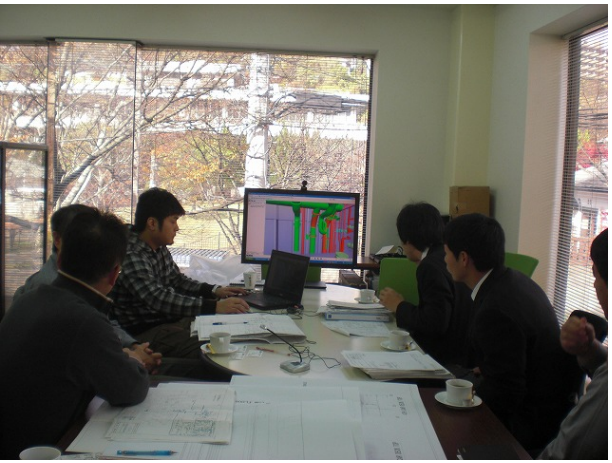


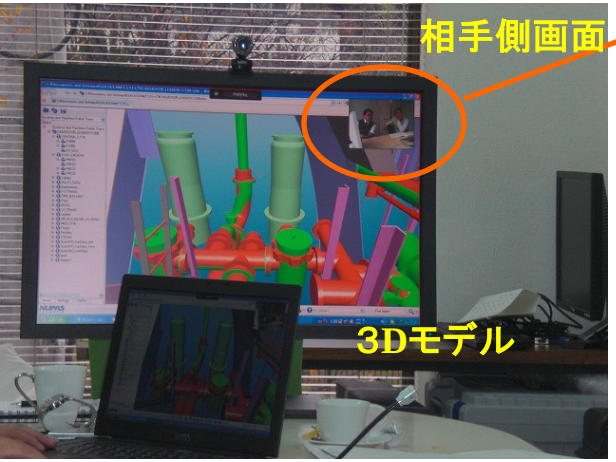
# ④-2.スキャニングデータ利用Reverse Engineering展開
# モデル検討、インターネットによるデータ交換・協業



# ④-3.スキャニングデータ利用Reverse Engineering展開
# モデル検討、インターネットによるデータ交換・協業の例

船会社（東京）






Skypeサービスによる
Online会議

Internet

Class NK

修繕Yard

造船所

エンジニアリング会社（佐世保）

# ⑤スキャニングデータ迅速処理システムの検討

## ⑤-1　汎用スキャニングデータ処理ソフト（RapidForm)の問題点の抽出

## ⑤-2　スキャニングデータ処理を現状より数倍のスピードで処理する為の機能仕様の策定

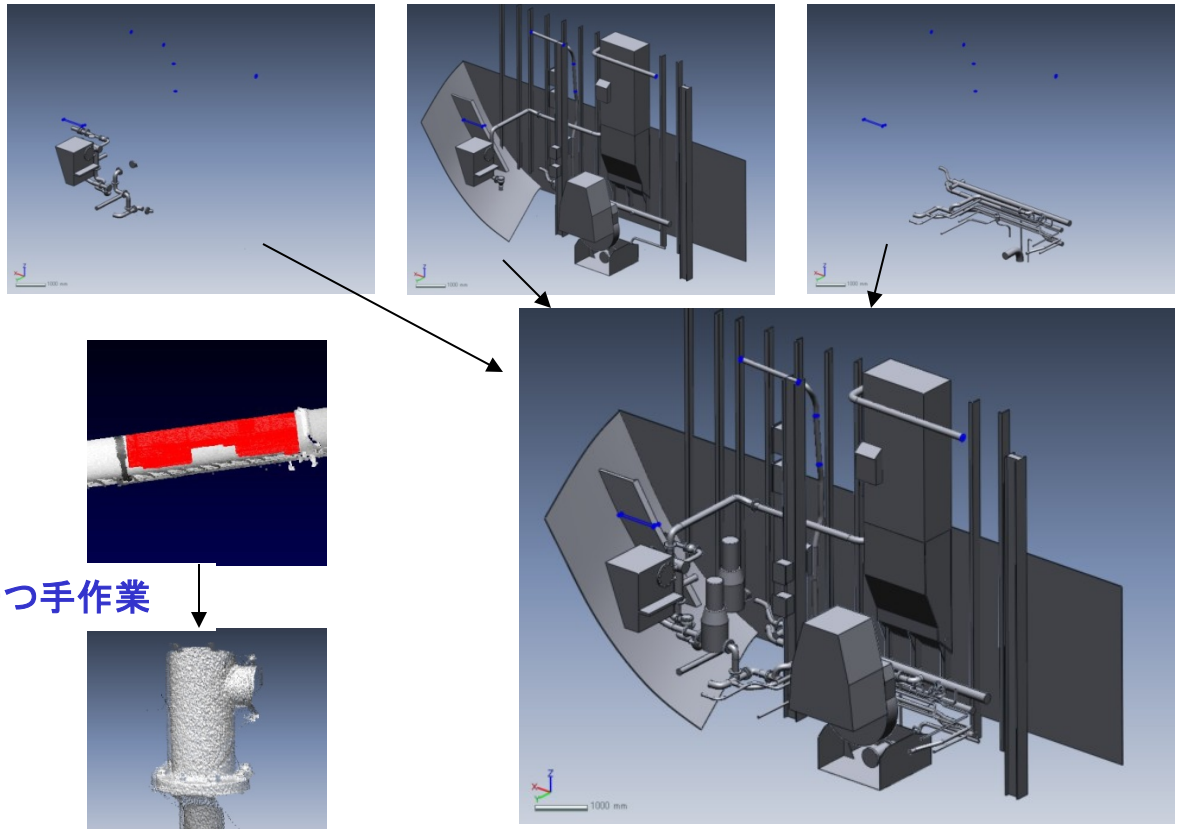
・就航船のBWMSレトロフィットエンジニアリングのようにCase by Caseで様々な処理が必要な場合の迅速処理機能

・外板損傷復旧工事のようにほぼ定型化したSteel Work処理を迅速タイムリー　に処理する専用機能

## ⑤-3　スキャニングデータ高速処理ソフト開発構想

・スキャニングデータ高速処理に特化した専用ソフト開発について東大（稗方研究室）との共同取り組みプランの策定

# ⑤-1　汎用スキャニングデータ処理ソフト（RapidForm）の問題点の抽出



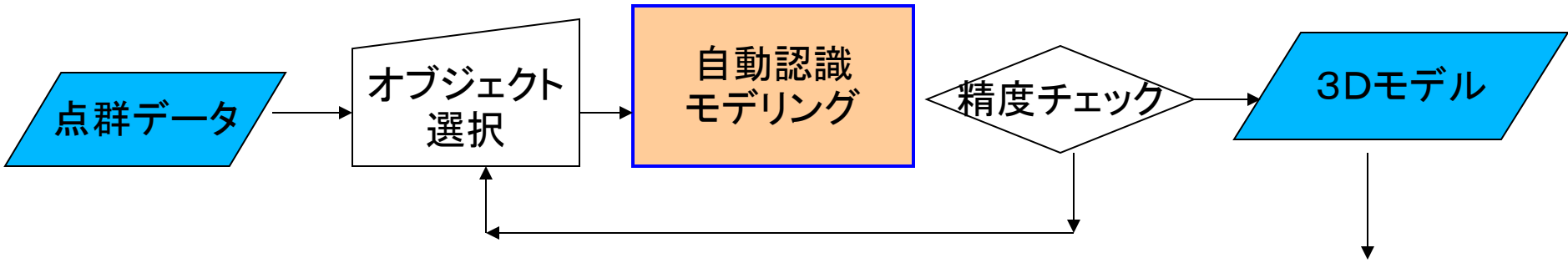

現状では1工事の背景モデルを作成するのに1週間程度の工期が必要だが、その工期の殆どが手作業の為のロスとも言える。また人為的な精度劣化も発生する恐れがある。
完全自動認識モデリングは難しいが、ユーザーが任意の点群を選択して定型形状の三次元モデルを自動生成する機能があれば、大幅な工期短縮が望める。

# ⑤-2-1　スキャニングデータ処理を現状より数倍のスピードで処理する為の機能仕様の策定

## 点群データ活用ソフトの今後展開案

レーザースキャニングデータ活用ターゲット項目と適用度合い（現状）

| | 利用適用度 | |
|---|---|---|
| 1．機関室BWTSリバースエンジニアリング | ◎ | 精度＋－5mmOK、　作業迅速性要望 |
| 2．LNGメンブレンタンク変形計測 | ○ | 精度、材質、形状、ハードル高い |
| 3．外板ダメッジ修復工事 | ○ | 精度、材質、形状OK、処理迅速性難 |
| 4．ホールド板厚計測（衰耗量計測） | △ | 精度、形状、ハードル高い |
| 5．（コンテナセルガイド精度計測） | △ | 精度、形状（一気にスキャニング難） |




・FAROソフトによる下処理
・現状テキストベースでの読込

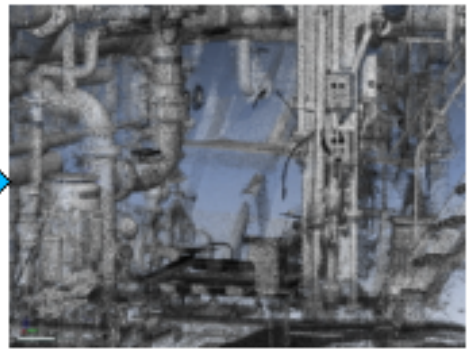
・選択された点群から自動モデリング
・オブジェクトの数だけ実行

・外部CADへ出力
・IGES,STEP,SAT等

# ⑤-2-2 スキャニングデータ処理を現状より数倍のスピードで処理する為の機能仕様の策定

機関室リバースモデリング 点群処理の現状(➡)と改良フロー(➡ )

Faro 3D Laser Scanner計測
(数時間)



Faro ソフトによるデータ合成
(数時間)

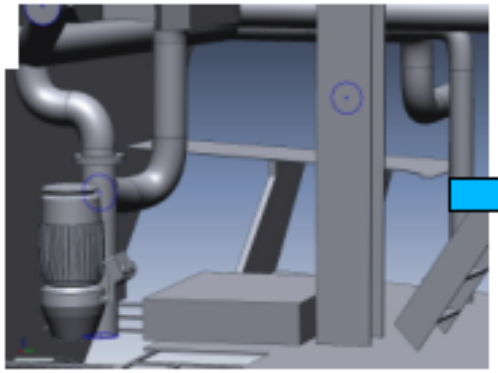
改良案(1週間ー>1日)

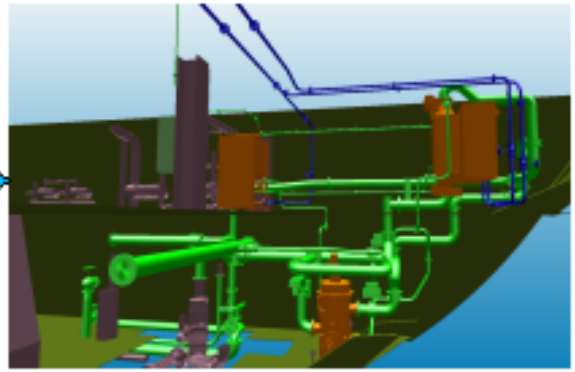
1. ノイズ自動除去
2. 管、フレーム材のライブラリ利用、自動モデリング機能
3. その他

RapidFormlによるデータの3Dモデル化(1週間)

3D-CADlによる配管艤装3Dモデル化(1-2週間、数人)

点群の自動位置合せにやや難が！



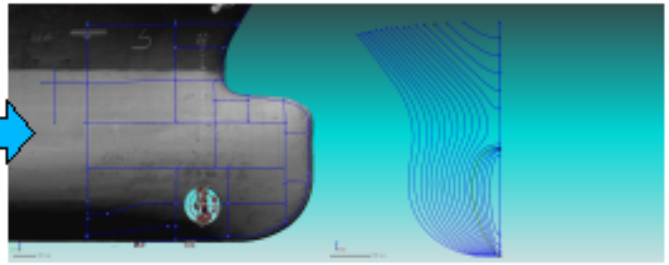


# ⑤-2-3　スキャニングデータ処理を現状より数倍のスピードで処理する為の機能仕様の策定

外板損傷修復処理の現状(➡)と改良フロー(➡)

Faro　3D Laser Scanner計測(数時間)

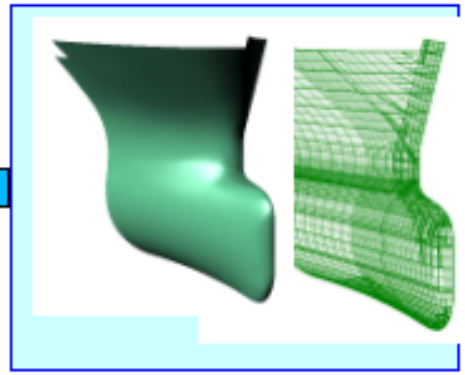
Faroソフトによるデータ合成（数時間）

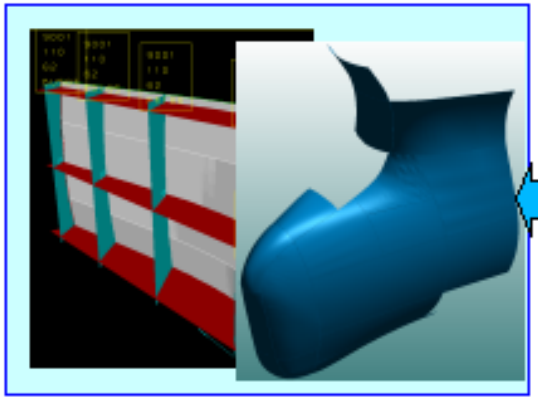


RapidFormlによる形状の3Dモデル化(数日)

直接出力機能案
（作業1週間ー＞数時間）

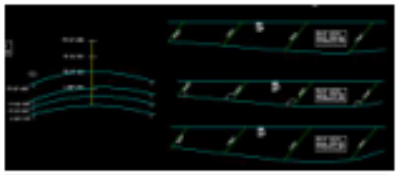
Napalによる船型復元
（数日）

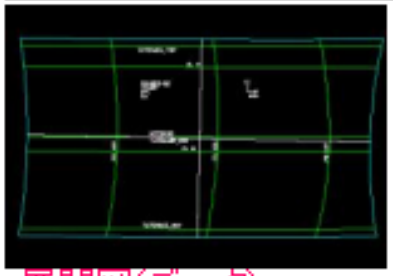




3D　船殻CADによるモデリング(数日)

Frame型板図(データ)



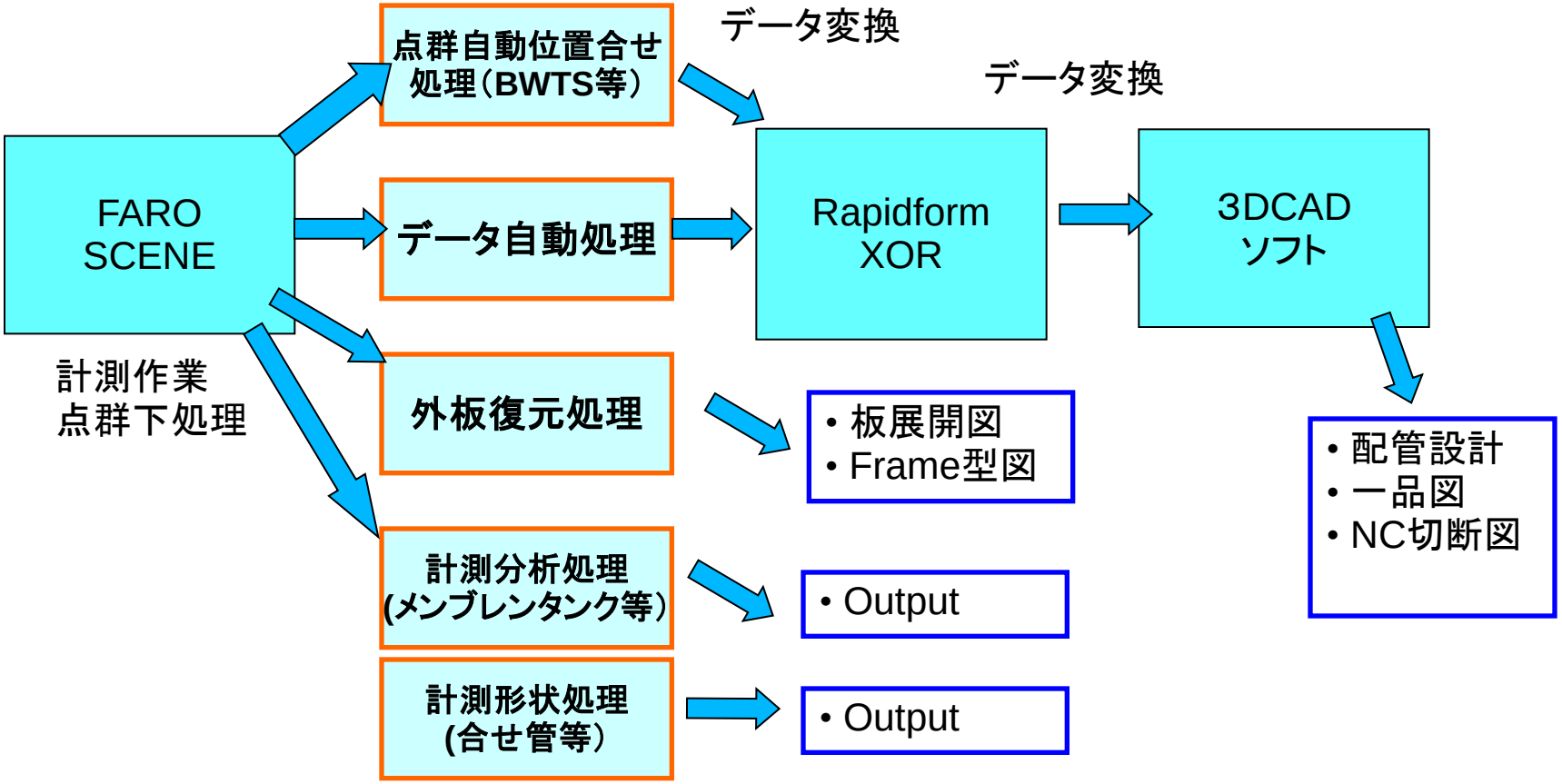


展開図(データ)

# ⑤-3　スキャニングデータ高速処理ソフト開発構想（案）

・スキャニングデータ高速処理に特化した専用ソフト開発を東大（稗方研究室）との共同取り組みプランの策定

## 改良点群処ワークフローイメージ




**対象ベースソフト：Pupulpit(ウニークス)**

# ⑥3次元レーザースキャナーによる舶用分野での　有効利用モデルの研究まとめと今後

・高精度の移動型3次元レーザースキャナーを使った3次元Reverse Engineering手法は舶用分野の様々な業務で競争力のあるビジネススタイルを作れることの検証ができた。同時に現状のレーザースキャナー機能ではまだ利用が難しい業務、例えば1mm以下の精度が必要な検査等への検証（第一段階）が行えた。

・　３次元レーザースキャナーEngineeringを新しい強力なビジネススタイルとしていくには、現場での３Dレーザースキャニング作業、レーザーデータの3次元処理作業、3次元復元モデルを利用しての３D配管・構造設計作業、承認作業などを如何に迅速・的確に進めていくかのスタイルつくりが必要である。
　現状のIT通信環境を更に活用したスタイルつくりも必要である。

・３次元レーザースキャナーEngineeringを更に強力な形にしていく為には、現状の汎用データ処理ソフトでは限界が有り、　更に正確で素早い処理ソフトが必要。このソフトには研究会で得た様々な知見を盛り込むことになるので独自開発が望まれる。

本研究開発は、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより同協会の研究支援を受けて実施しているため、これを公表の際には、この趣旨を発表内容に加えることと致します。

以上