

# **3次元レーザースキャナーの実業務への適用に 関する研究開発**

**成果報告書  
(公表用)**

**2014年6月**

# 研究概要

■ 研究期間 : 2012年4月2日～2014年6月30日

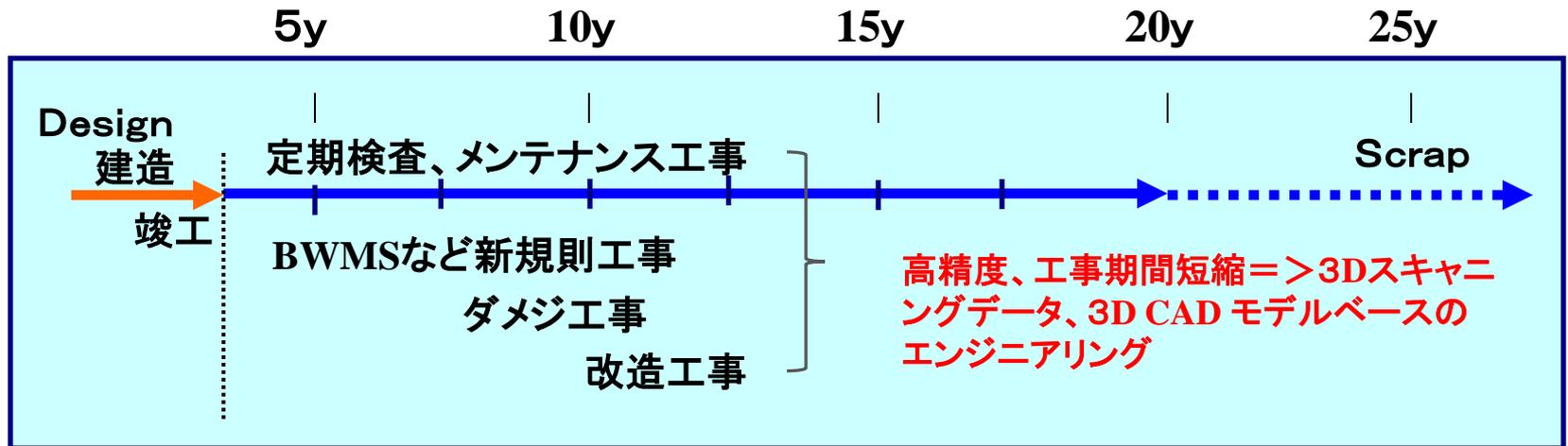
■ 実施体制 :

- 日本郵船、商船三井、川崎汽船、佐世保重工業、三和ドック、MTI、東京大学、日本海事協会、ClassNKコンサルティングサービス、エス・イー・エー創研、アルモニコスで構成される全体会議において全体を総括。
- ソフトウェア開発における詳細な仕様検討のために、関係者によるWGを適宜設置。

■ 研究内容 :

1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集
2. ソフトウェアの開発
3. エンジニアリング作業の効率化と迅速に処理するための環境整備

# 3Dレーザースキャニングの就航船舶支援サービス



修理ヤード、船会社での就航船支援エンジニアリングは、短期間工事、高品質、そしてミス防止の為に分り易さなどが求められる方向。これに応えられる、3Dレーザースキャニングデータ+3D CADモデル利用の形づくりが本NK共同研究の目的である。

迅速・正確な情報伝達に基づくLife Cycle supportの新しい形づくりを目指す。

# 研究課題

## 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

### (1) BWMSエンジニアリング手法について

BWMSエンジニアリング作業日数の大幅削減と高精度設計をいかに実現させるかについて、手法の標準化について、などを検証する。

### (2) LNGメンブレンタンク変形計測について

LNGメンブレン変形の実船計測時の試行を踏まえ手法の標準化について検証する。

### (3) バラ積貨物船の構造部材変形量の計測について

大型バラ積船の実船計測結果を踏まえて、船殻構造の変形や衰耗の高精度計測が可能かどうかについて検証する。

### (4) 現場合わせ管の計測について

現場合せ管製作に要求されるフランジ面の位置、角度及びボルト穴の位置を要求精度で計測、再現可能かどうかについて検証する。

# 研究課題

## 2. ソフトウェアの開発

(1) BWMSエンジニアリング作業日数を大幅に短縮する  
為の点群データ処理ソフト

(2) LNGメンブレンタンク変形計測データの迅速、高精度処理  
ソフト

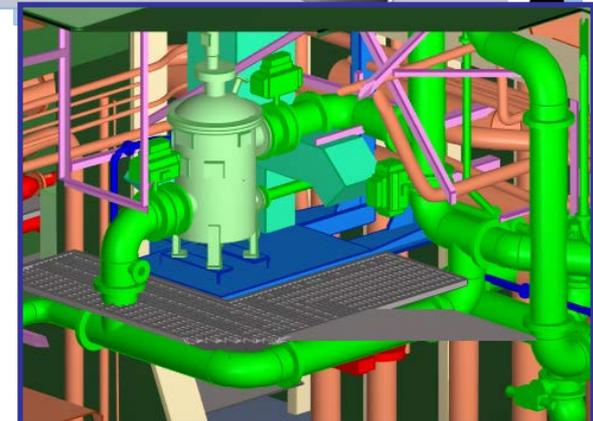
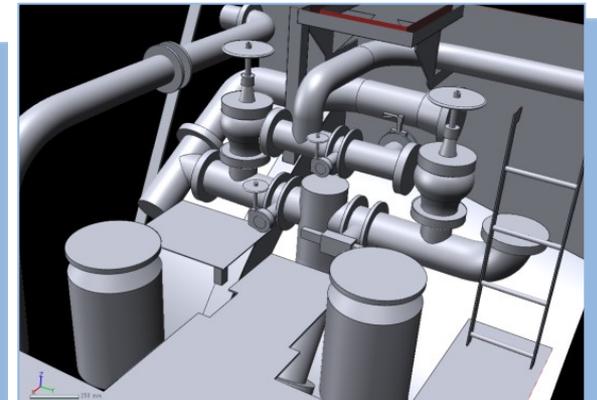
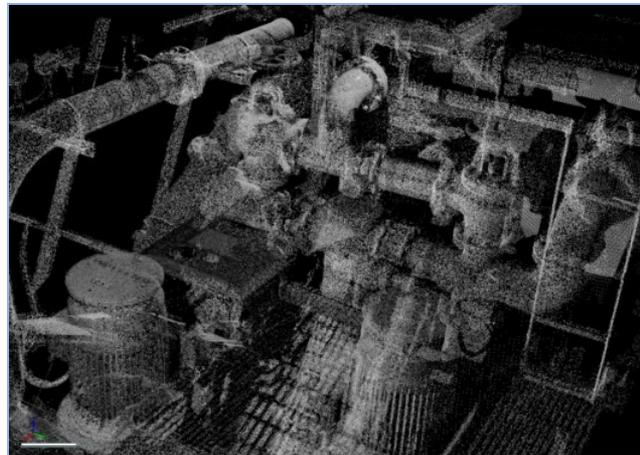
(3) 現場合わせ管計測支援ソフト(市販の平均的高精度  
レーザースキャナーによる計測精度では実船で使える合  
わせ管の製作目途が立たず、ソフト開発は中断)

## 3. エンジニアリング作業の効率化と迅速に処理するための 環境整備

# 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

## (1) BWMSエンジニアリング手法

3Dレーザースキャナーを利用した実船BWMSエンジニアリング作業が研究会メンバー会社(SSK,三和ドック、SEA創研)で実施されている。更なる迅速化と高精度設計を計るため、時前準備、3Dレーザースキャニング、スキャンデータの3Dモデル化等の最適手法について議論し、レポートをまとめた。(別資料参照)



機関室のLaser Scanning

(BWMSエンジニアリング業務用) => 3Dモデル化

# 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

## (1) BWMSエンジニアリング手法(フローの標準化案)

訪船、事前見取調査

調査不十分は、工事不具合の最大要因になる

従来型の現場調査には、ベテラン設計者と工事担当者の経験豊富な知識と鋭い感覚が必要

従来型の現場調査は、複数回の訪船が必要。訪船日時・寄港地の手配など大変、本船側も忙しい

価格競争力のある修理ヤード(中国、東南アジア・..)に力のあるベテランスタッフが揃っているか？

従来手法で見取調査？

3Dレーザースキャナー利用、リバースエンジニアリング手法の利用

Machi. Arrang't, Diagram

基本配置プラン

3Dレーザースキャニングで検討対象形状を100%復元できるか？2重底下など狭い箇所、機器の裏側など。

現在のスキャナーは小型なので結構狭い箇所に入れるが、今後を考えるとまい治具が有っても良い？

基本検討プランに基づき、どの箇所でレーザースキャニングすべきかを的確に指示できる設計ベテランが必要

計測には、設計プランを十分理解したエンジニアが一人は必要

BWMS機器、その他機器・機材の船内への搬入方法をあらかじめシミュレーションしておき、搬入経路部分のスキヤニングも必要

工事要領案をあらかじめ作成しておく

3Dレーザースキャナーによる現場計測  
・船上計測作業は3~5時間程度で行えるように計画する  
・BWMSレトロフィット設計案に基づく計測箇所の計画プランが必要  
・計測は、通常レーザースキャナー操作者1名+設計エンジニア1名(合計2名)

どのような計測をするかの計測マニュアルが必須(標準化)

レーザースキャナーデータからの復元モデルの寸法精度が3mm程度であることをチェックする。要所での寸法チェックが可能な計測を行う。

重要点の寸法チェックの為に実施する

3Dレーザースキャニングデータ利用による3Dリバーシエンジニアリング(最適化シミュレーションを踏まえた3D設計、工事要領プラン作成など)を行う

基本設計プランが適切か否か、搭載後の機器メンテナンスに問題が無いかどうかを関係者で入念に協議する

3D CAD Viewer, ネット会議などを活用する

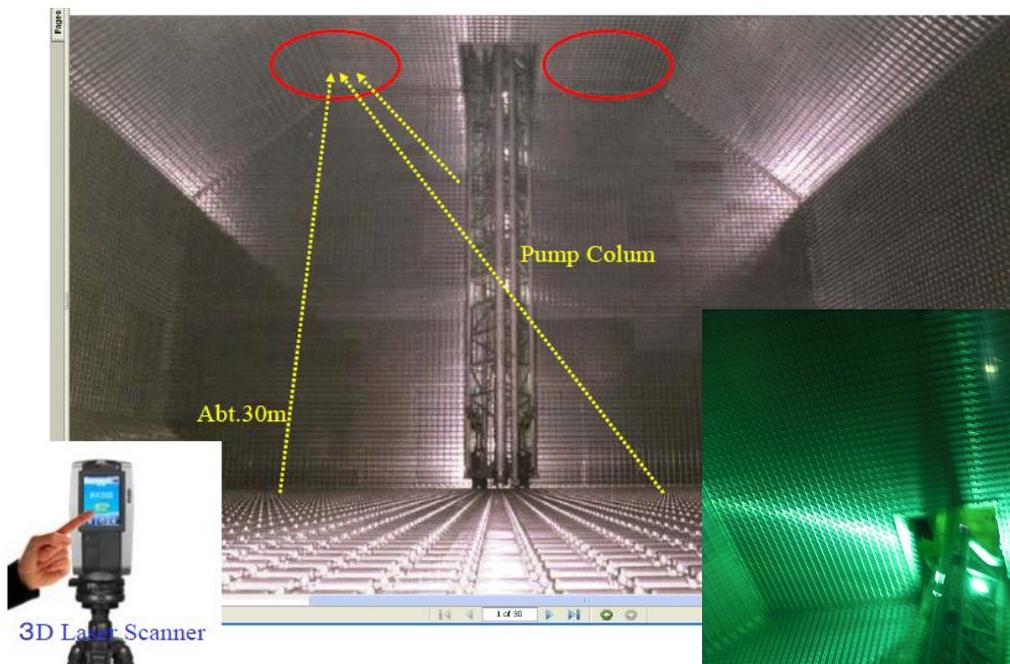
工事プランが適切か否か、大型機器の船内への搬入に支障がないかどうか等のシミュレーションを実施する

適切な3Dシミュレーションツールを準備する

# 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

## (2) LNGメンブレンタンク変形計測について

LNGメンブレン変形の実船計測試行結果を踏まえ手法の標準化を目指した。(MOL殿運航船で実施)

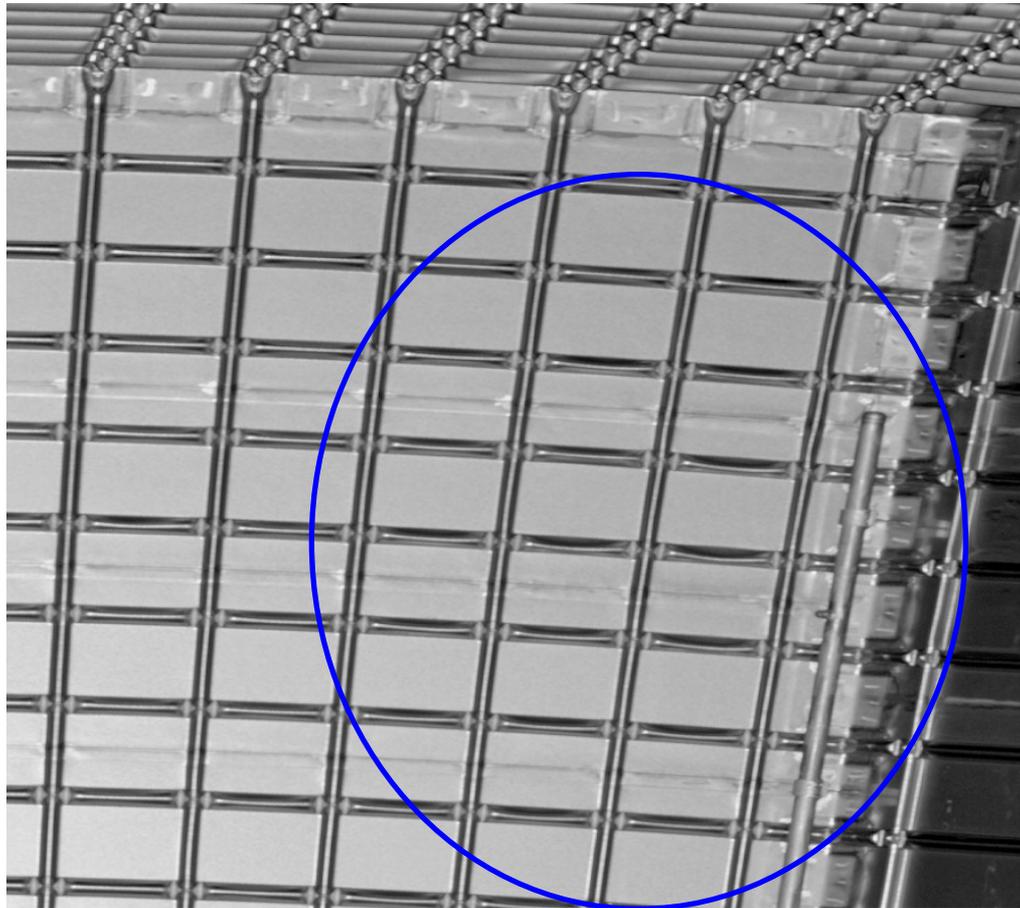


IBRA LNG(Mark III 148,000m<sup>3</sup>)

計測場所 : MMHE (Malaysia Marine and Heavy Engineering)

計測日 : 2011/07/15～17日 (3日間)

## (2) LNGメンブレンタンク変形計測について



Laser Scanning点群データ(一部)

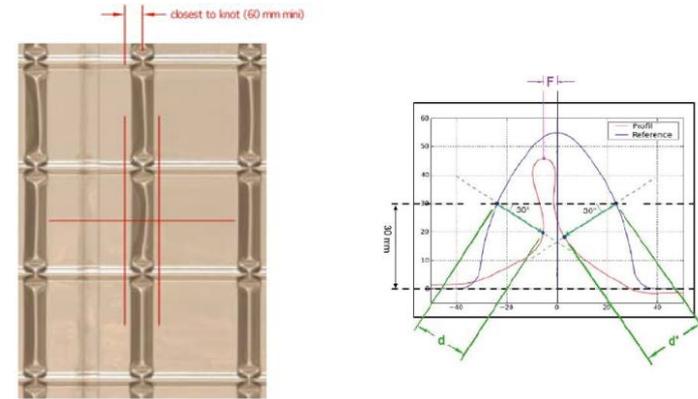


Figure 18: Lines of

頂部変形

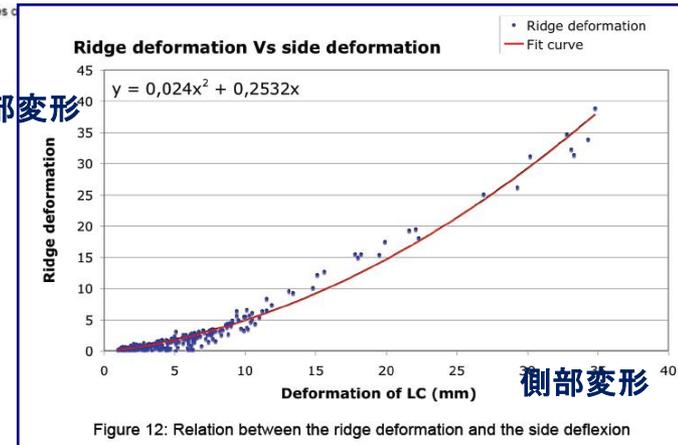


Figure 12: Relation between the ridge deformation and the side deflexion

GTT社のメンブレン変形実験カーブ

LNGメンブレンタンク天井部変形は、接近しての変形計測が現実的に難しい為、現在は床面からの静止カメラによる撮影画像からメンブレン頂部の変形量を求め、その数値から側部最大変形量を実験カーブにより求める手法である。この手法では、変形数値を基にメンブレン修理が必要か否かの決定が直ぐにできず、迅速対応が必要な修理ヤード要望に応えられない。これの改善策としてレーザースキャニング利用を試みる事とした。

# 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

## (3) バラ積貨物船の構造部材変形量の計測について

大型バラ積船の実船計測結果を踏まえて、船殻構造の変形や衰耗の高精度計測が可能かどうかについて検証した。

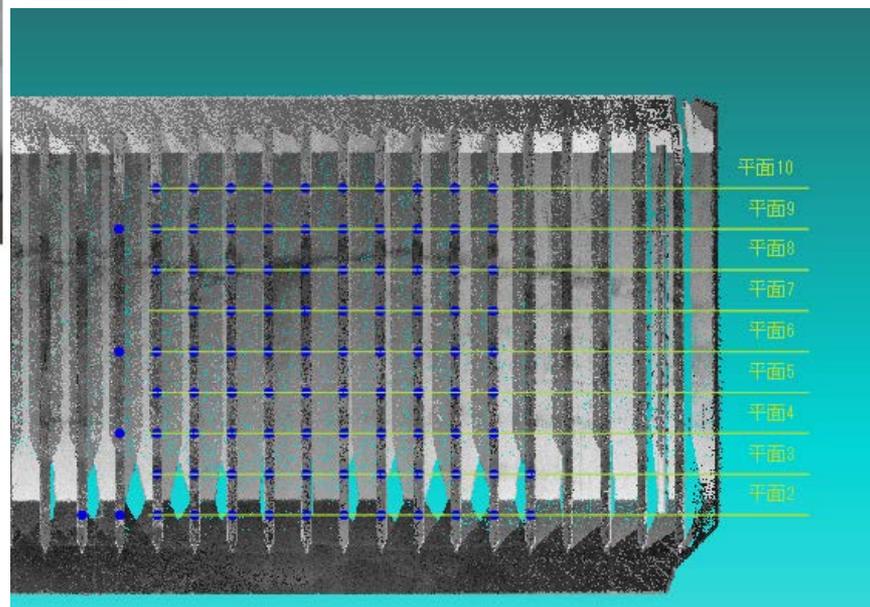
### 1) Hold Frame計測/データ解析



対象船: VEGA DREAM (MOL 殿運航船)

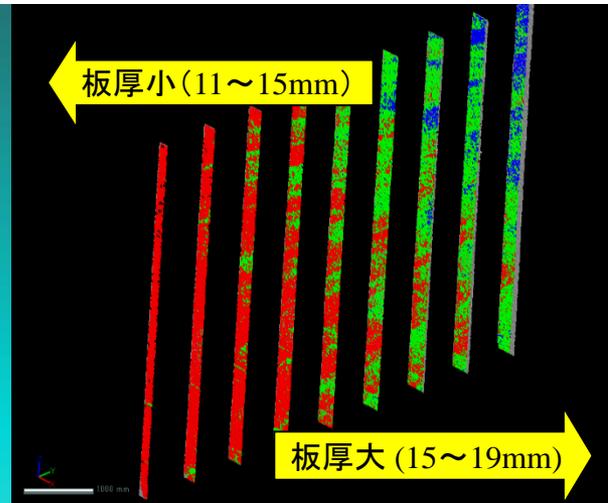
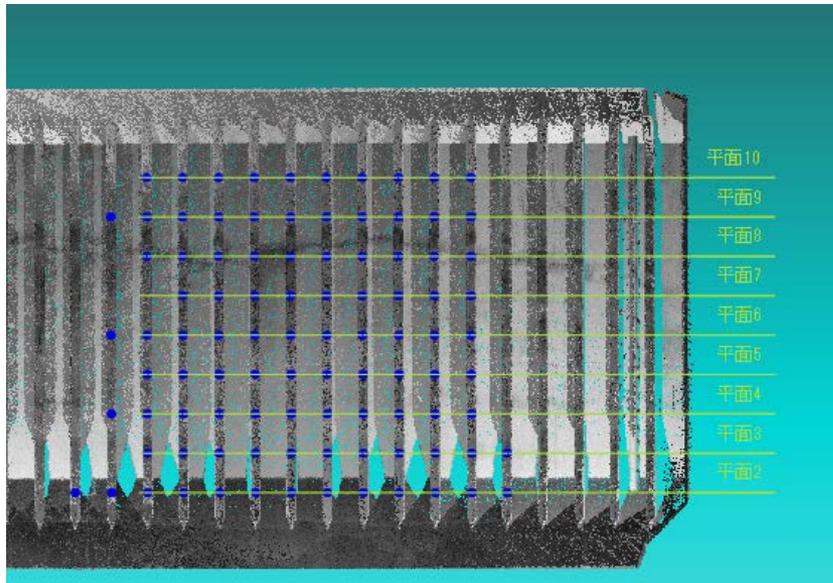
計測日: 2011/08/17, 19, 25

場所: 佐世保重工業株式会社

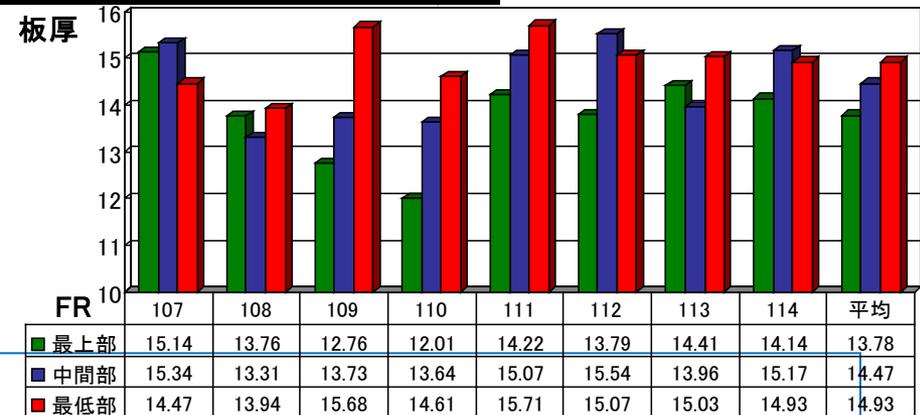


計測点が多く、板厚衰耗判定の要求が厳しいHold FrameとCorrugate Bulkheadについて計測・解析。

### (3) バラ積貨物船のホールドフレーム材変形・衰耗量の計測



Web部分のみメッシュ化  
(スムーズ修正有り)  
偏差表示 (緑: 13~18mm  
赤: 12mm以下  
青: 19mm以上)



スキャナーデータ処理結果をみると、

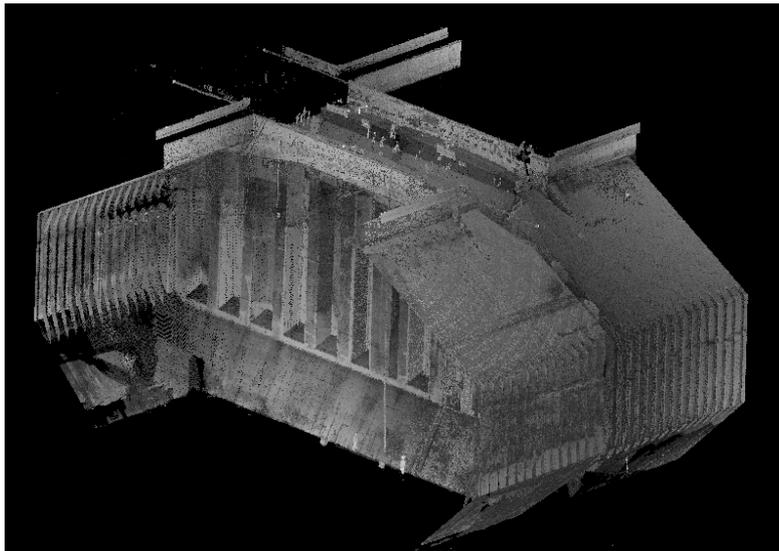
- ・Frame1本を上下方向で見ても均一な幅で続いている。
- ・断面の場所により点群のバラつき範囲が様々で同フレーム内でも場所により数mmのズレが発生する。
- ・実測値(17mm)とはズレが大きい(-4~+8mm)

0.2-0.3mmの精度が必要な構造材の変形計測への適用は難しいと思われる。

### (3) バラ積貨物船のコルゲート隔壁の変形量の計測

大型バラ積船のコルゲート隔壁の構造変形や衰耗の高精度計測が可能かどうかについて検証した。

#### 2) Corrugated Bulk Head計測/データ解析



ホールド内3地点  
UpperDeck上から1地点

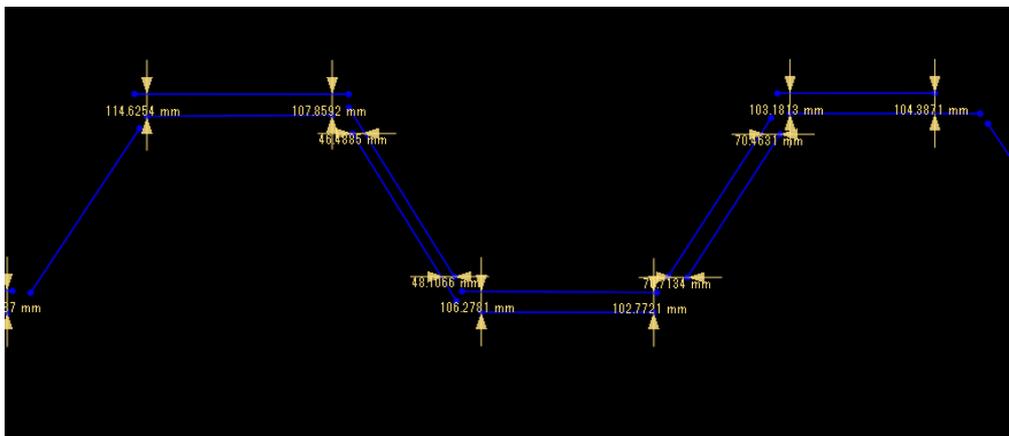
×

2ホールド

合計8地点の点群データを合成

スキャナーデータ結果をみると、

- ・場所により数値は様々。
- ・UpperDeck上からの計測データの位置合わせによりズレが生じている
- ・基準球同士の相違値は少なく逆光撮影等取得データ自体が原因の可能性もあり。



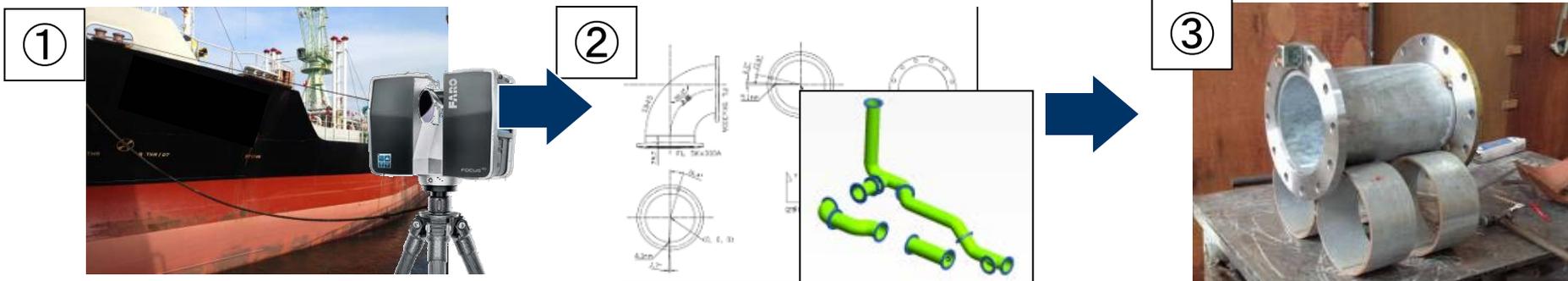
コルゲート隔壁も0.2-0.3mmの精度が必要なので、変形計測への適用は難しいと思われる。

# 1. 3Dレーザースキャナ計測手法の確立及び実船データの収集

## (4) 現場合わせ管の計測について

現場合合せ管製作に要求されるフランジ面の位置、角度及びボルト穴位置を要求精度で計測、再現可能かどうかについて検証

### 取替え管計測による実業務工程イメージ



積荷降ろし時等、着岸しているわずかな時間(2h~4h)で計測を行う。

点群データを持帰り解析し、取替え管の図面を作成する

船が工事の為に入港する前に高精度の取替え管を作成する。

### レーザースキャナを利用する事で考えられるメリット

- ・造船所に入港する前に管を作成することができる
- ・高い精度で復元できれば、現場合わせの必要が無くなる

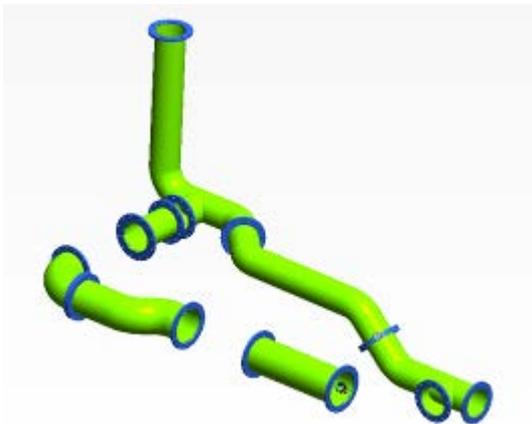
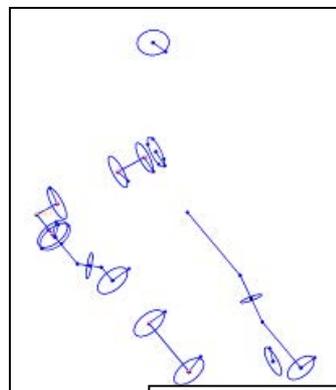
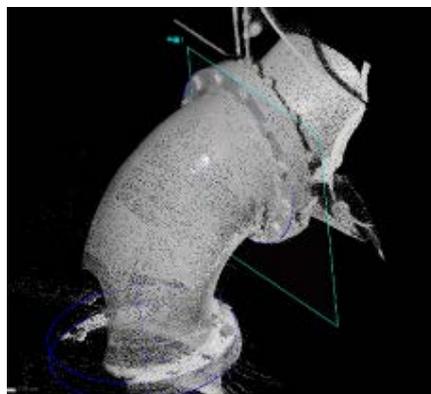


**工期短縮  
費用削減**

## (4) 現場合わせ管の計測

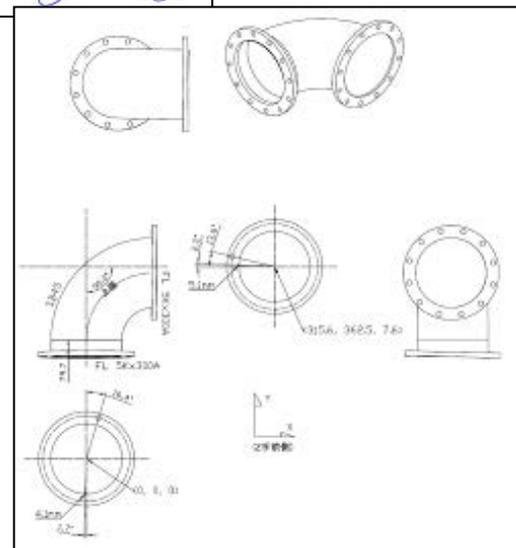
### ■ レーザースキャナ計測 [ (2012/9/12)8:00~12:00 ] 約4時間

- 計測場所: 三和ドック殿
- 解像度: 1/2 、品質: 4×
- 計測時間: 8:00~12:00(1スキャン 30分×5スキャン)



処理の流れ

- ・計測、点群データの取得
- ↓
- ・3D CADによるモデル化
- ↓
- 2次元CADで一品図作成
- ↓
- 配管作成



## (4) 現場合わせ管の計測について

対象の実物の管と3Dレーザースキャナー計測データから作成の管とを比較した。

### 作業手順

- ・取り外した管に同規格のフランジをボルトで止める
- ・フランジ部分を床に溶接して固定する
- ・管を撤去する=>合わせ管型の完成



点群データで作成した管を金型と合わせるが、ズレが多く発生。

直管部分だが10mm近く間が空いている

直管長さも数mm誤差があったので切り合わせている

## (4) 現場合わせ管の計測について

### ■ 検証まとめ

現場合せ管作成に必要な精度が得られない原因として以下が考えられる。

- ▲ 3Dレーザースキャナーの計測誤差
- ▲ 点群処理ソフト(RapidForm)による面抽出方法の精度レベル
- ▲ フランジボルト穴位置の抽出精度
- ▲ 管の工作精度
- ▲ 塗装の考慮(1mm程度、影響は少?)

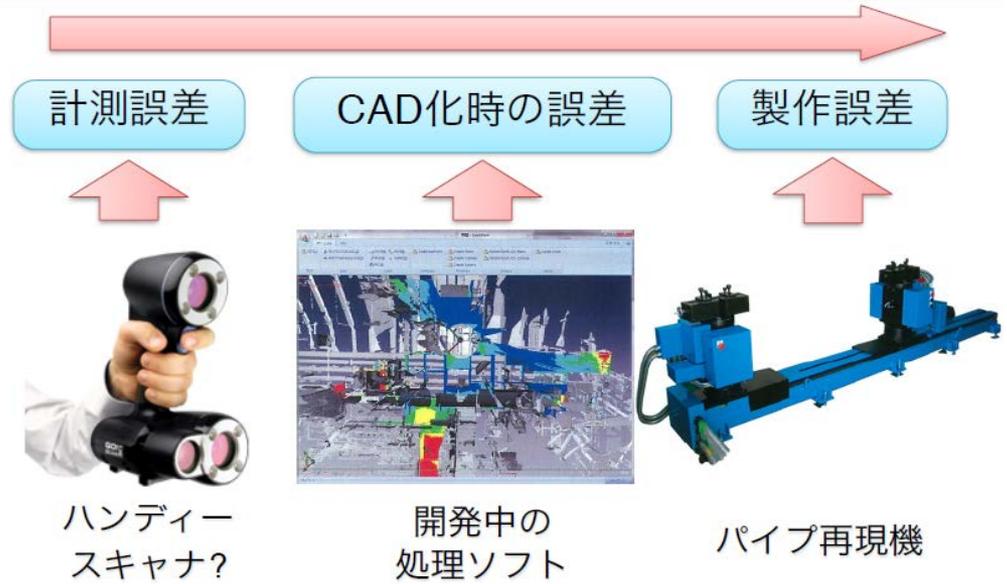
### 実用化に向けた今後の課題

- スキャナ設定でのノイズ軽減の期待はできない為、計測後の適切なノイズ処理の手法が求められる。
- 高精度なフランジ平面抽出の方法の確立
- ボルト穴の中心位置の抽出手法の確立

# (4) 現場合わせ管の計測について 実用化に向けたその他の取組(三和ドック殿資料)

REAFORM社のハンディースキャナのスペック 配管のリバーエンジニアリング成功のために

|   | 計測原理                               | 計測範囲                                 | 計測精度                              | ホ                             |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| <b>HADY SCAN 3D</b><br> | クロス形状の赤色レーザーを放射しその変化を映像で捉えて形状認識    | スタンドオフ<br>300mm<br>計測範囲<br>210x210mm | 1.0m<br>→0.1mm<br>2.0m<br>→0.2mm  | 20<br>間                       |
| <b>GO!SCAN 3D</b><br>   | 一定の模様がついた画像を照射し、その形状の変化を映像で捉えて形状認識 | スタンドオフ<br>400mm<br>計測範囲<br>380x380mm | 1.0m<br>→0.3 mm<br>2.0m<br>→0.6mm | 変<br>な<br>(必<br>要<br>な<br>cm) |



GO!SCAN 3D 計測風景



本件取組の背景と結果：  
 FAROのレーザースキャナーで実験を行ったが必要な精度を得られなかった。この為、より高精度計測が可能なハンディースキャナーで計測を試みた。  
 しかし、ハンディースキャナーでもフランジの傾き、ボルト穴の位置等について要求精度を満たす結果は得られなかった。  
**⇒ 合わせ管支援ソフトの開発を断念**

## 2. ソフトウェアの開発

(1) BWMSエンジニアリング作業日数の大幅短縮ソフト

(2) LNGメンブレンタンク変形計測データの迅速、高精度処理

検討の結果、上記のソフト開発を(株)アルモニコス社に委託決定

### 利用対象

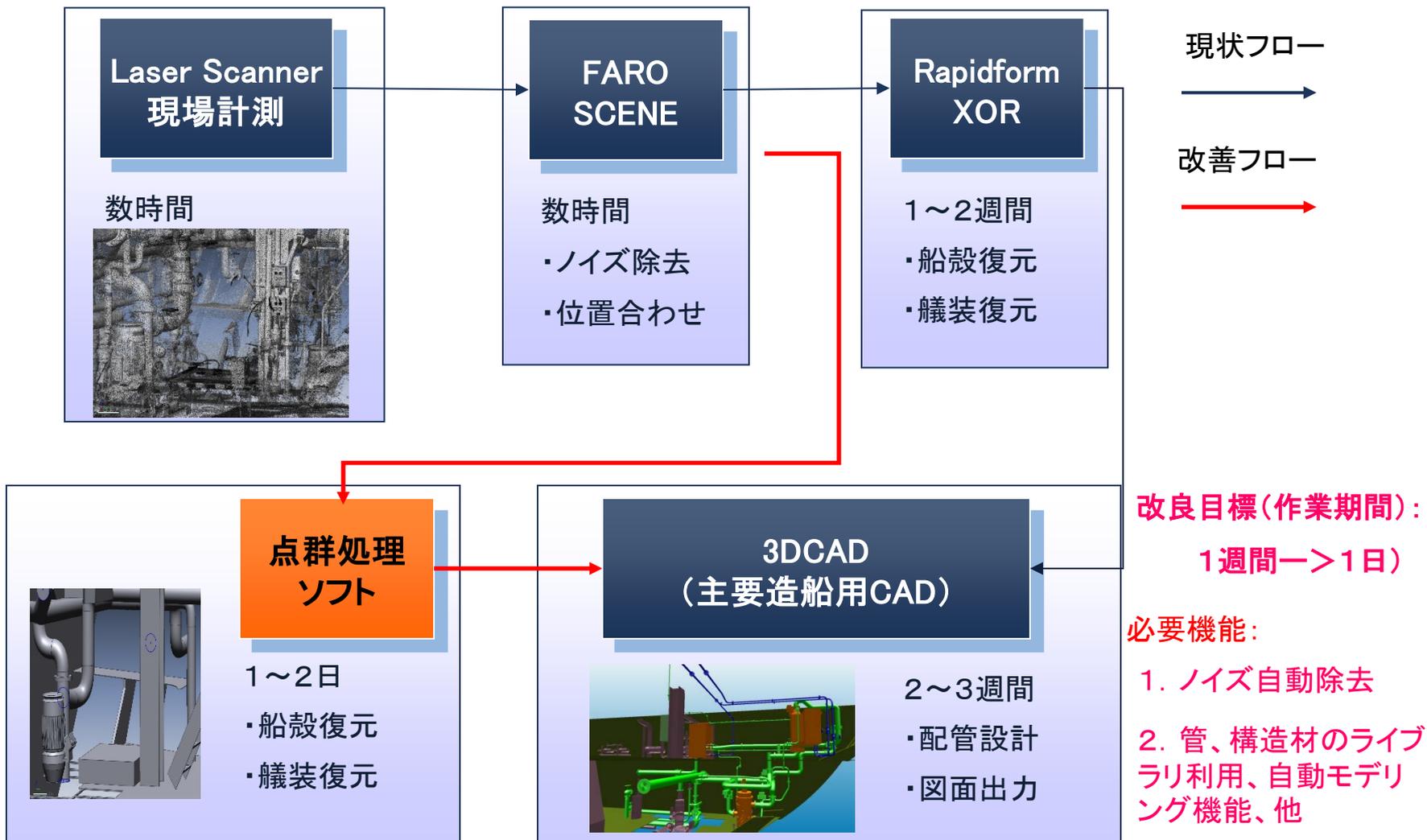
### 利用適用度

- |                                      |        |                                     |
|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 1. 機関室BWMSリバースエンジニアリング               | ◎      | 精度±5mmOK、作業迅速化要望                    |
| 2. LNGメンブレンタンク変形計測<br>メンブレンタンク頂部変形計測 | △<br>○ | 精度、材質、形状、ハードル高い<br>精度、処理迅速化ハードル高いが可 |
| 3. ホールド板厚計測(衰耗量計測)                   | △      | 精度、形状、復元は難しい                        |
| 4. 現場合せ管計測(就航船)                      | △      | 精度、形状、ハードル非常に高い                     |

## 2. ソフトウェアの開発

### (1) BWMSエンジニアリング工程の大幅短縮ソフトの開発

#### 現状工程と改良案

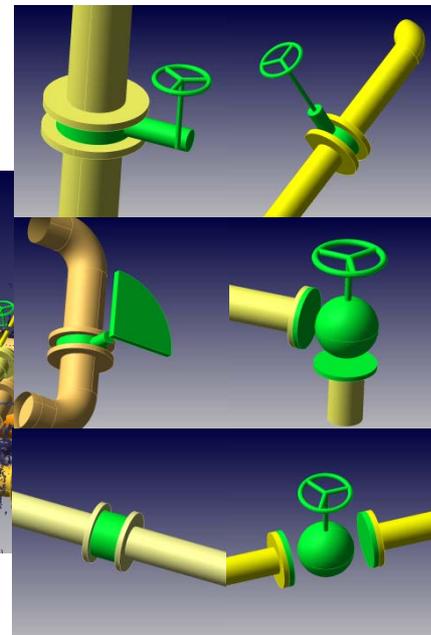
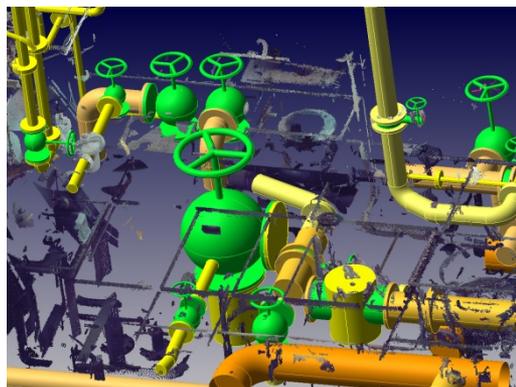
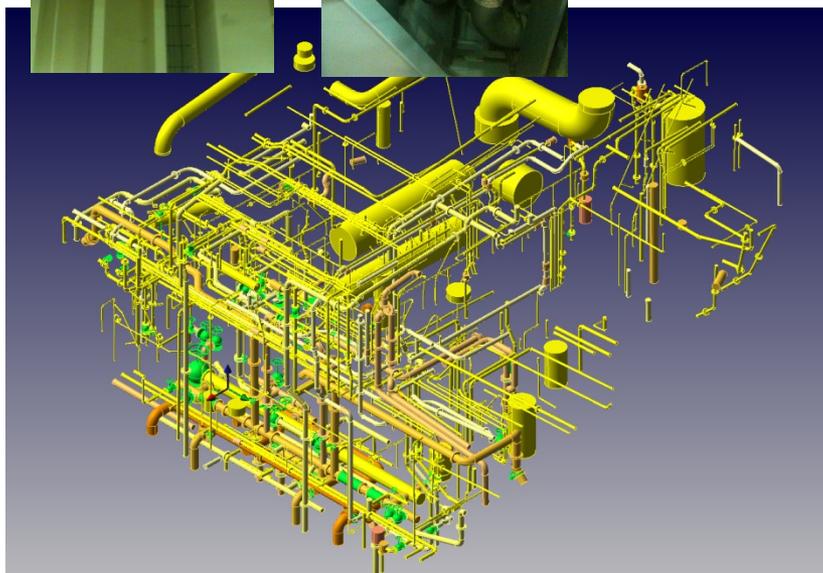


# (1) BWMSエンジニアリング工程の大幅短縮ソフトの開発

## 1) 開発ソフトの特徴

### ① 配管モデリング

部品データベースを使い、配管部品(ベンド、フランジ、各種バルブ等)を配置することにより、配置時間及び編集時間の短縮を達成する。

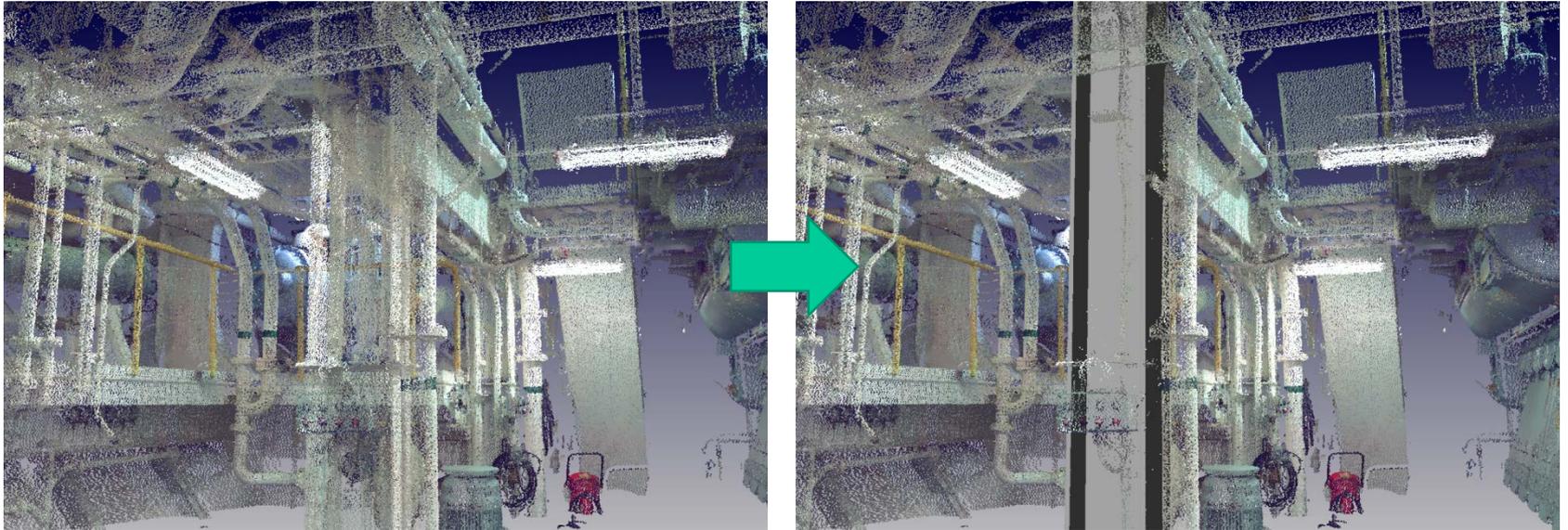


# (1) BWMSエンジニアリング工程の大幅短縮ソフトの開発

## 1) 開発ソフトの特徴

### ② 鋼材モデリング

部品データベースを使い、鋼材（H形鋼、I形鋼、アングル鋼、平鋼、球平形鋼、T形部材）を1コマンドでモデリングできる。

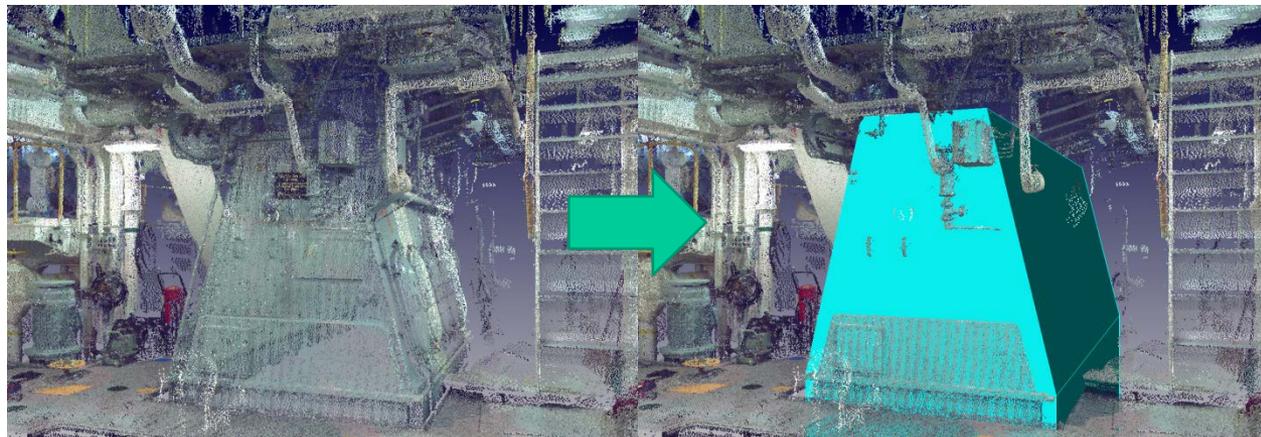


# (1) BWMSエンジニアリング工程の大幅短縮ソフトの開発

## 1) 開発ソフトの特徴

### ③ 設備モデリング

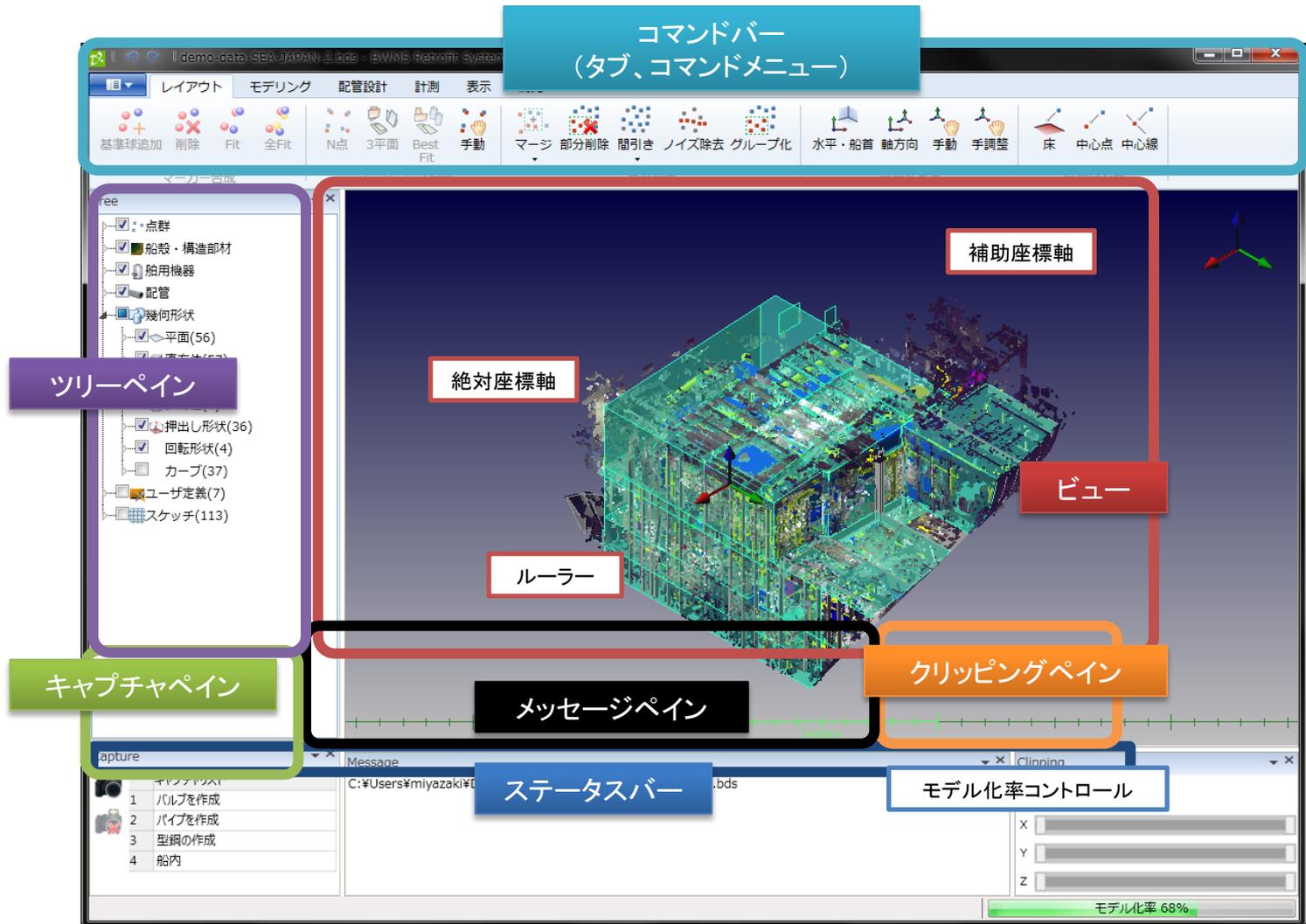
船内の機器(主機等)を1コマンドで作成できる。点群データが一部分しかなくても配置が可能。



# (1) BWMSエンジニアリング工程の大幅短縮ソフトの開発

## 2) 開発ソフトの操作画面

分かり易い操作画面とシンプルな操作性の実現で、迅速な作業が出来るようになっている。



### 3)BWMS点群処理ソフトの 評価表

(汎用点群処理ソフトRapidFormの操作性を1.0とした時の各社評価)

|   | 項目         | 三和  | SSK | SEA | 総評  | 備考  |
|---|------------|-----|-----|-----|-----|---|
| 1 | データ読み込み    | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 高速に読み込み/書き込みが出来る。<br>解析中は保存を多く行うのでかなりの時短。                 |
| 2 | ノイズフィルタリング | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 三: なかなか良い<br>S, E: 現状問題なし。<br>今後、人影等の自動除去機能など要望           |
| 3 | 位置合わせ      | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 三: RFはできない基準球を使った位置合わせ<br>S, E: 基準球を使わない位置合わせで、合わない箇所がある。 |
| 4 | 傾き補正       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 最終的には人間の目で確認し、修正を行う。<br>より簡単で正確に補正出来る方法を考える。              |
| 5 | スケッチ機能     | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 三: RFではガイド線が表示されるがPLでは基本目視<br>S, E: 作画するツール機能が少ない。        |
| 6 | 鋼材配置       | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 三: 形鋼作成機能はGOOD<br>S, E: RFに無い機能。かなりの短縮。                   |

|    | 項目           | 三和  | SSK | SEA | 総評  | 備考   |
|----|--------------|-----|-----|-----|-----|--|
| 7  | 配管復元<br>一般形状 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 径の誤認識がもっと少なくなれば一段と良い。<br>連続してエルボを含む管等が作成できない。(フランジ/エルボ/レデューサー作成が直管に依存している) |
|    | 複雑形状         | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |  |
| 8  | 曲がり外板        | 0.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 三: フレームから作成が厳しい。点群から面を作るべき。  |
| 9  | モデル編集<br>機能  | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 三, S: 作成後はすべて編集出来るのが理想。  |
| 10 | 操作性          | 1.5 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 三: ビュークリップに癖がある。<br>S, E: カメラ回転等、今後要望として挙げていく                              |
| 11 | 精度           | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | S, E: RFと比べ、曲がり、枝の箇所では±3mmほどの誤差がある。  |
| 12 | 解析時間         | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 三: (習熟度にもよって変わる)<br>S, E: 50%の削減。  |
| 13 | データ互換<br>性   | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | S, E: IGESしかエクスポート出来ない。<br>外部CADのモデルを取り込めない。                               |

|     | 項目                | 三和       | SSK      | SEA      | 総評        |
|-----|-------------------|----------|----------|----------|-----------|
| 合計値 | RapidformXOR(13点) | 16.9(+4) | 15.1(+2) | 15.6(+3) | 16.9 (+4) |

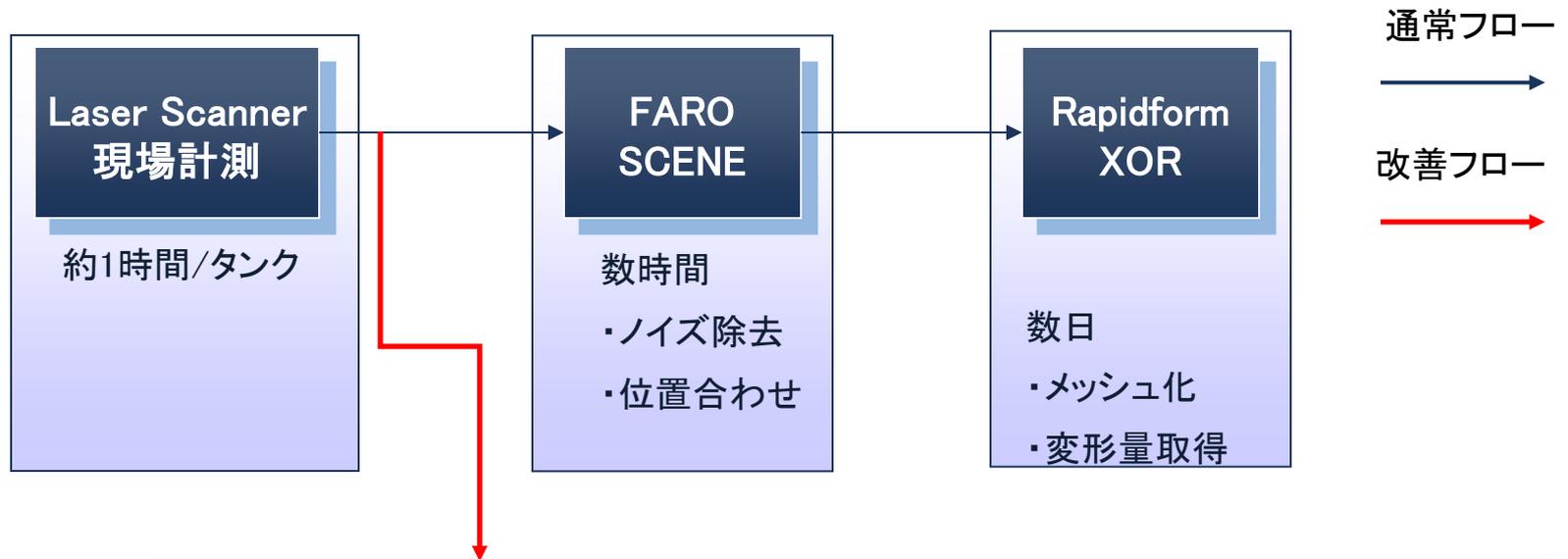
### テスト結果として

- 1) 点群の自動処理により初期の目標迅速性については 1 週間で 2 日位迄短縮できたことは評価できる。
- 2) 作業迅速化の観点から改善点があり、BWMSエンジニアリング本番前までに対応が望まれる。

## 2. ソフトウェアの開発

### (2) LNGメンブレンタンク変形計測データの迅速、高精度処理ソフト

#### 1) 開発方針



**点群処理=>メンブレン  
頂部変形量取得ソフト**

処理: 約1時間  
・変形量自動処理  
・経年変化図作成

実測値より経年変形変化の推定

The software interface displays several components: a 3D point cloud visualization of the membrane tank, a data table with columns for time and deformation, and a graph showing the estimated annual deformation change over time. The graph has a grid and a red line with data points, and a dashed red line indicating the trend.

## (2) LNGメンブレンタンク変形計測データの迅速、高精度処理ソフト

### 2) 開発ソフトの仕様

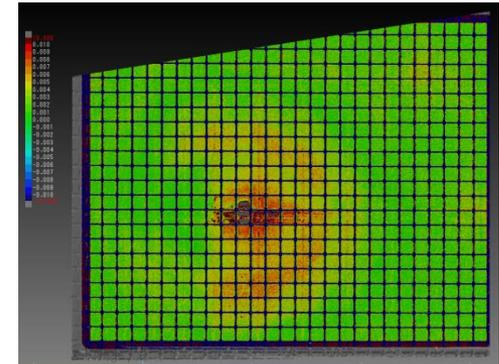
メンブレンタンク 3Dレーザスキャン

#### メンブレンタンク計測処理

- (1)座標系定義
- (2)コルゲート形状の頂点部への直線定義
- (3)直線と点群の位置関係確認 (目視) ・調整
- (4)測定値計算

#### u/vの (i,j) 番のコルゲートのパラメータ計算

- (1)uまたはv方向の (i,j) 番目のコルゲート測定部の対して、両端に近い部分を除いて指定ピッチでサンプリング位置を決める
- (2)サンプリング位置を見たとき、直線から近いN点をサンプリング
- (3)サンプリングした頂部近傍点群から2次曲線を定義する
- (4)2次曲線の中点とコルゲート形状の頂点部距離値を計算し、それをu/vの (i,j) 位置の測定値とする
- (5)測定値毎に、色分けして2次曲線を表示
- (6)データ出力

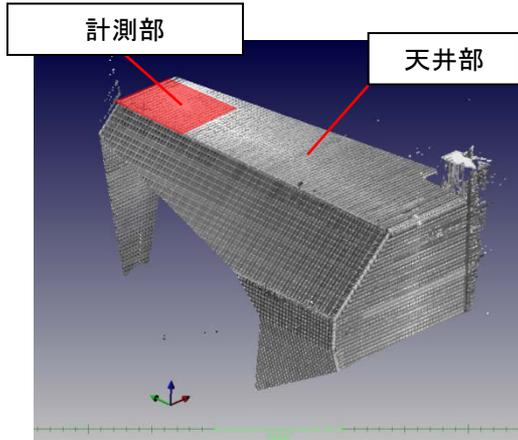


メンブレンタンク  
の測定値  
(CSV)

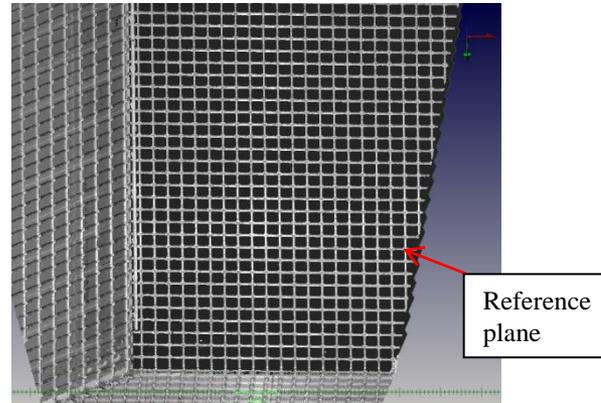
Excelでの評価

## (2) LNGメンブレンタンク変形計測データの迅速、高精度処理ソフト

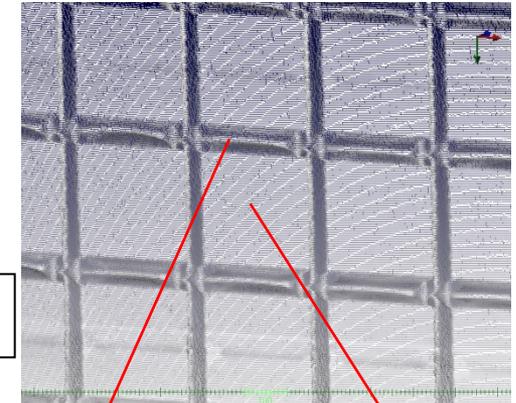
### 3) 開発ソフト処理フロー



1. LNGタンク天井の変形発生部をスキャン

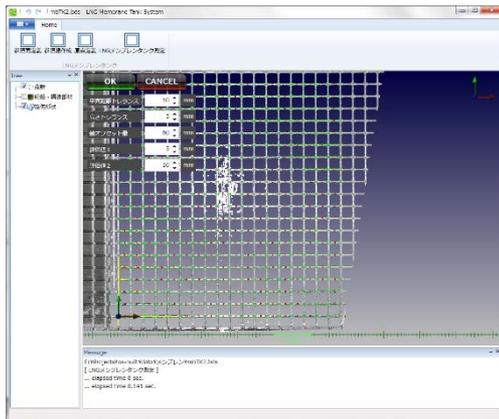


2. スキャンデータ処理範囲の設定.

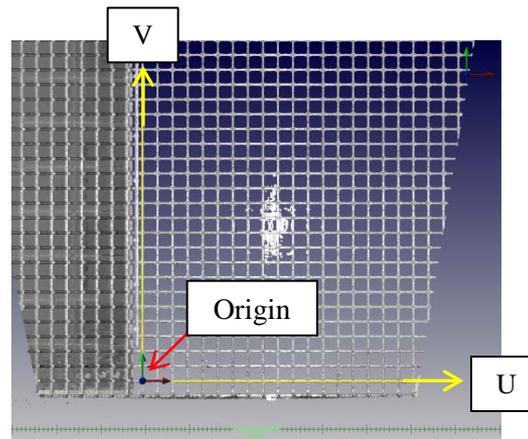


コルゲート頂部

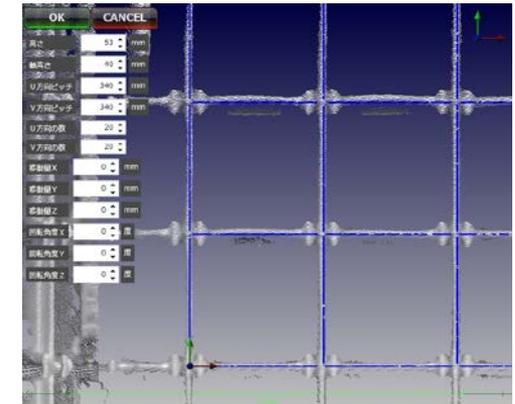
平面部



3. 基線となるコルゲート頂部データを選択



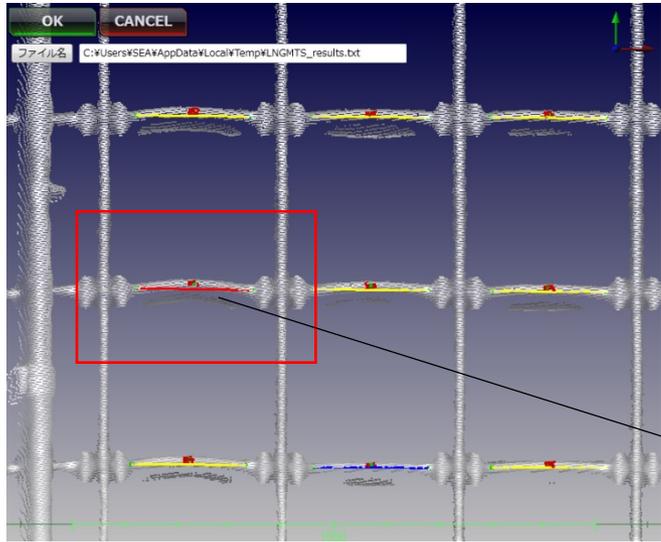
4. U軸、V軸を設定



5. コルゲート頂部升を自動設定 (調整)

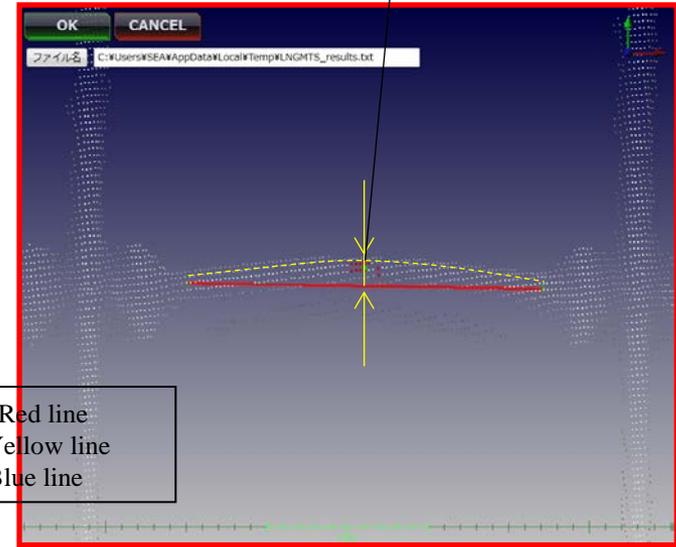
BWMSのシステムと同様、直感的な操作でメンブレン変形の状態把握が可能。

### 3) 開発ソフト処理フロー



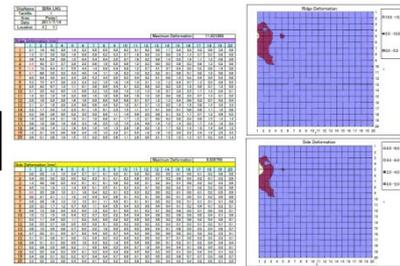
変形量 above 10mm : Red line  
 変形量 above 5mm : Yellow line  
 変形量 below 5mm : Blue line

コルゲート頂部の変形量を計算

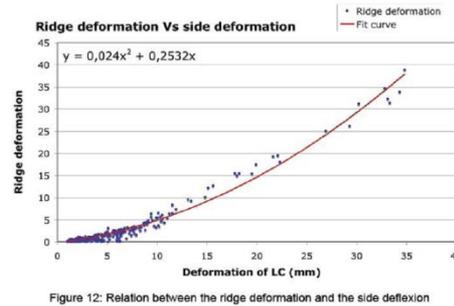


### 6. 頂部変形量の計算

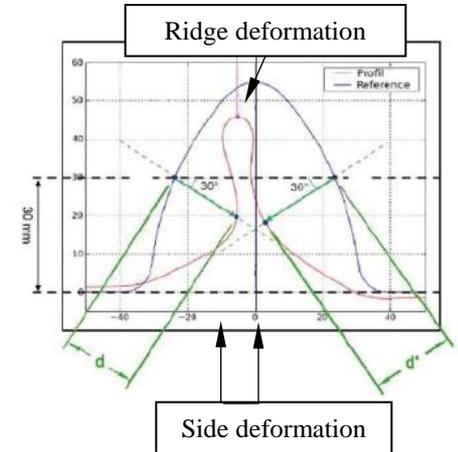
7頂部変形値をExcelに出力



8. メンブレン側部の最大変形量の表示。(GTT試験カーブより)



GTT試験カーブ



現状のメンブレン変形測定手法をベースにシステム化を図っている。

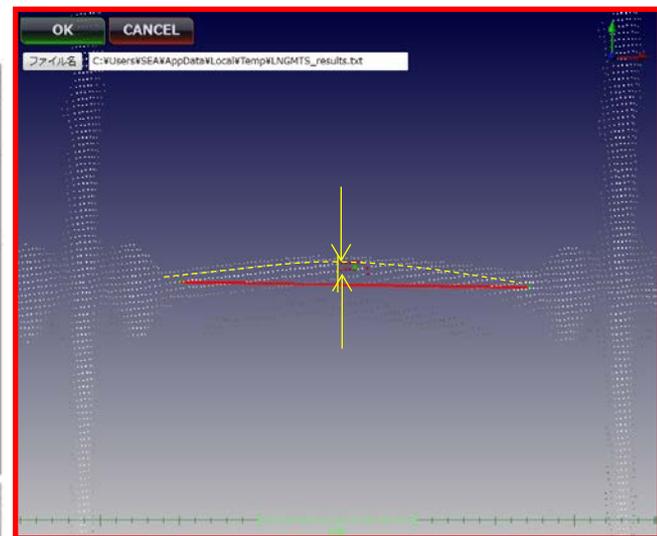
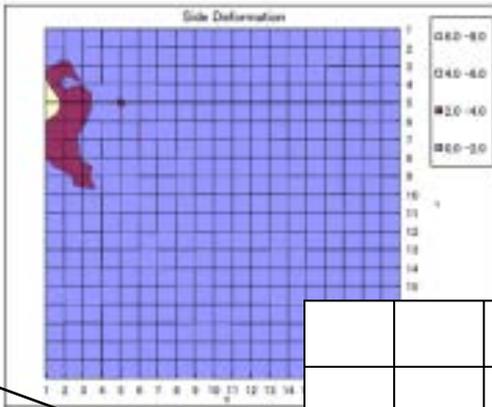
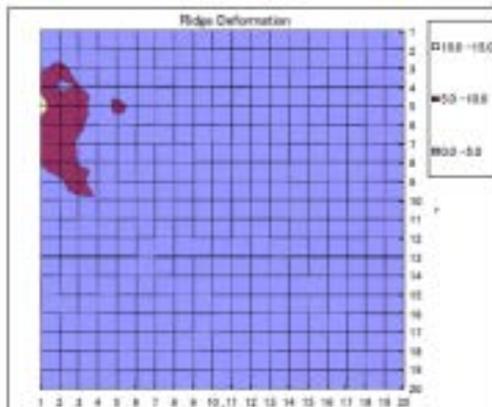
### 3) 開発ソフト評価

コルゲート頂部及び側部最大変形量の表示

|          |           |
|----------|-----------|
| System   | IBSA Ltd  |
| LawNo    | 1         |
| Area     | Port      |
| Date     | 2017/7/14 |
| Location | X Y       |

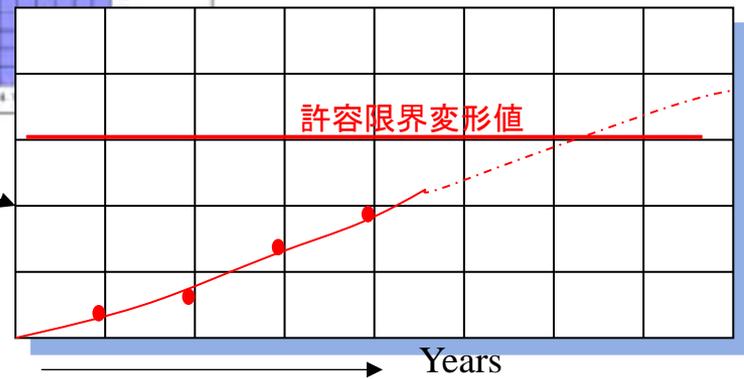
| Max. Deformation (mm) |      | Maximum Deformation |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1:431800 |
|-----------------------|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|                       |      | 1                   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |          |
| 1                     | 0.1  | 1.8                 | 4.0 | 2.8 | 1.4 | 2.3 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 1.7 | 0.4 | 2.0 | 0.3 | 0.8 | 1.0 | 0.8 | 0.8 |          |
| 2                     | 1.2  | 0.1                 | 0.8 | 0.8 | 1.9 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 3                     | 3.8  | 0.4                 | 1.8 | 0.8 | 1.9 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 4                     | 0.0  | 0.0                 | 0.1 | 3.7 | 3.8 | 3.2 | 0.8 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 5                     | 11.8 | 1.8                 | 0.4 | 3.1 | 3.8 | 4.4 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.8 | 0.3 | 0.8 | 1.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 6                     | 0.1  | 0.8                 | 0.2 | 3.2 | 4.3 | 4.8 | 1.4 | 1.7 | 1.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 7                     | 0.0  | 0.4                 | 0.2 | 3.4 | 3.4 | 3.8 | 0.2 | 2.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 8                     | 1.2  | 1.8                 | 0.7 | 2.8 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 1.8 | 1.8 | 1.4 | 1.2 | 2.1 | 1.2 | 1.2 | 0.4 | 0.1 | 1.8 | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 9                     | 2.8  | 4.2                 | 0.7 | 1.3 | 1.1 | 0.7 | 1.8 | 0.8 | 0.4 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.8 | 0.8 | 0.1 | 1.2 | 0.8 |          |
| 10                    | 0.1  | 0.8                 | 0.2 | 4.5 | 1.9 | 0.8 | 1.2 | 1.8 | 0.8 | 1.4 | 1.7 | 1.8 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 1.7 | 1.2 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |          |
| 11                    | 1.2  | 0.2                 | 1.9 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 1.9 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 1.8 | 1.0 | 0.0 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.7 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |          |
| 12                    | 0.2  | 1.8                 | 1.2 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 |          |
| 13                    | 1.1  | 0.1                 | 1.8 | 1.8 | 1.4 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 14                    | 1.2  | 1.2                 | 0.2 | 1.8 | 1.2 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 15                    | 0.2  | 0.8                 | 1.8 | 0.8 | 0.2 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 16                    | 1.8  | 0.2                 | 0.4 | 0.1 | 1.8 | 2.1 | 1.8 | 0.8 | 0.1 | 0.7 | 1.3 | 2.1 | 0.0 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 1.8 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |          |
| 17                    | 0.8  | 1.8                 | 0.8 | 1.8 | 0.8 | 0.2 | 1.8 | 0.2 | 1.8 | 0.2 | 1.8 | 1.4 | 0.0 | 1.1 | 1.4 | 0.4 | 1.8 | 1.8 | 0.4 | 1.8 | 1.8 |          |
| 18                    | 0.8  | 1.8                 | 1.4 | 1.2 | 1.8 | 0.4 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.2 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |          |
| 19                    | 1.8  | 0.1                 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 1.8 | 1.2 | 0.2 | 0.1 | 0.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |          |
| 20                    | 0.8  | 0.1                 | 0.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 0.1 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 1.8 |          |

| Max. Deformation (mm) |     | Maximum Deformation |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1:800190 |
|-----------------------|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|                       |     | 1                   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |          |
| 1                     | 0.0 | 0.8                 | 1.4 | 1.8 | 0.4 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 2                     | 0.4 | 0.8                 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 3                     | 1.2 | 0.8                 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 4                     | 4.8 | 1.4                 | 1.8 | 1.4 | 0.8 | 0.1 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |          |
| 5                     | 0.0 | 0.8                 | 0.8 | 1.8 | 3.7 | 1.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 6                     | 0.0 | 0.7                 | 0.1 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |          |
| 7                     | 1.2 | 1.2                 | 1.2 | 1.2 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 8                     | 1.0 | 0.2                 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 9                     | 0.8 | 1.2                 | 1.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 10                    | 1.0 | 1.2                 | 1.8 | 1.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 11                    | 0.2 | 1.1                 | 0.4 | 0.0 | 1.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 12                    | 0.8 | 0.8                 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 13                    | 0.8 | 1.8                 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 14                    | 0.1 | 0.8                 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |          |
| 15                    | 0.1 | 0.1                 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 1.8 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 16                    | 0.8 | 0.1                 | 0.1 | 0.8 | 0.8 | 1.8 | 0.8 | 0.2 | 1.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 17                    | 0.2 | 0.8                 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 1.8 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |          |
| 18                    | 0.4 | 0.8                 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |
| 19                    | 0.4 | 0.8                 | 0.1 | 0.8 | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.8 | 0.1 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |
| 20                    | 0.2 | 0.8                 | 0.2 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 0.1 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |          |



変形量 above 10mm 赤字  
 変形量 above 5mm : 黄字  
 変形量 below 5mm : 青字

変形実測値より数年後の  
 変形量推定

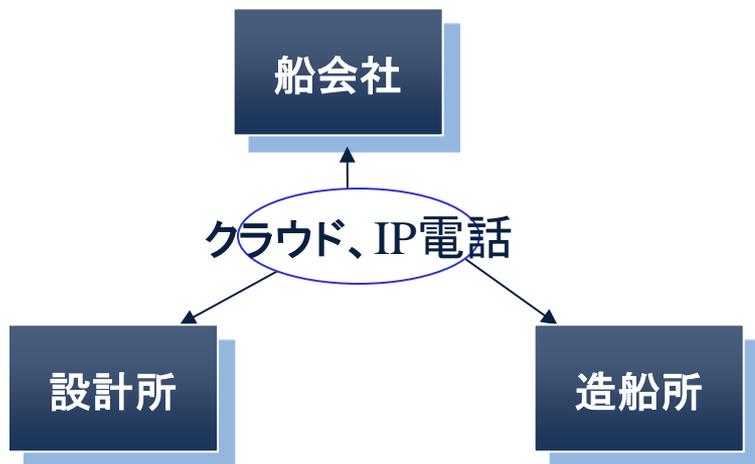


短い時間(約30分)の直感的な操作でメンブレンの状況把握が可能。

### 3. レトロフィットエンジニアリング作業の効率化と迅速に 処理するための環境整備

#### 1)レトロフィットエンジニアリングを関係者間でより迅速・正確に進めるため 、インターネットクラウドを利用した協業スタイルに！

船会社、造船所、設計事務所の会議をIP電話を利用してネットワーク経由で行う。  
遠方にある会社の場合、移動時間がない為スムーズな意思疎通が可能となる。  
またスペースを取らないので、会議室の予約など不要となり、時間に融通が利く。

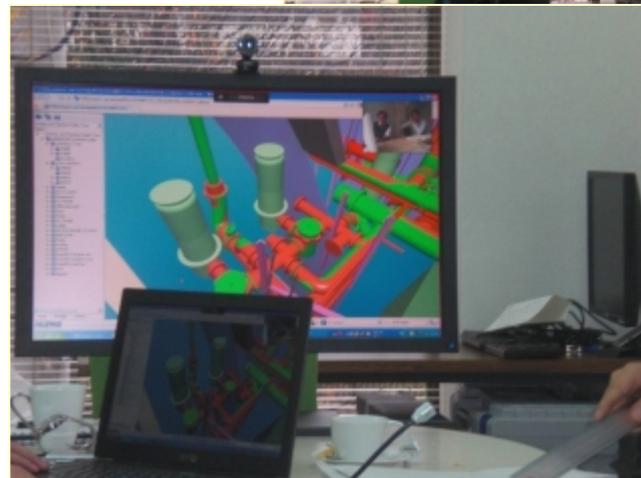


代表ソフト

- ・Skype
- ・AT&T Connect
- ・MSN等



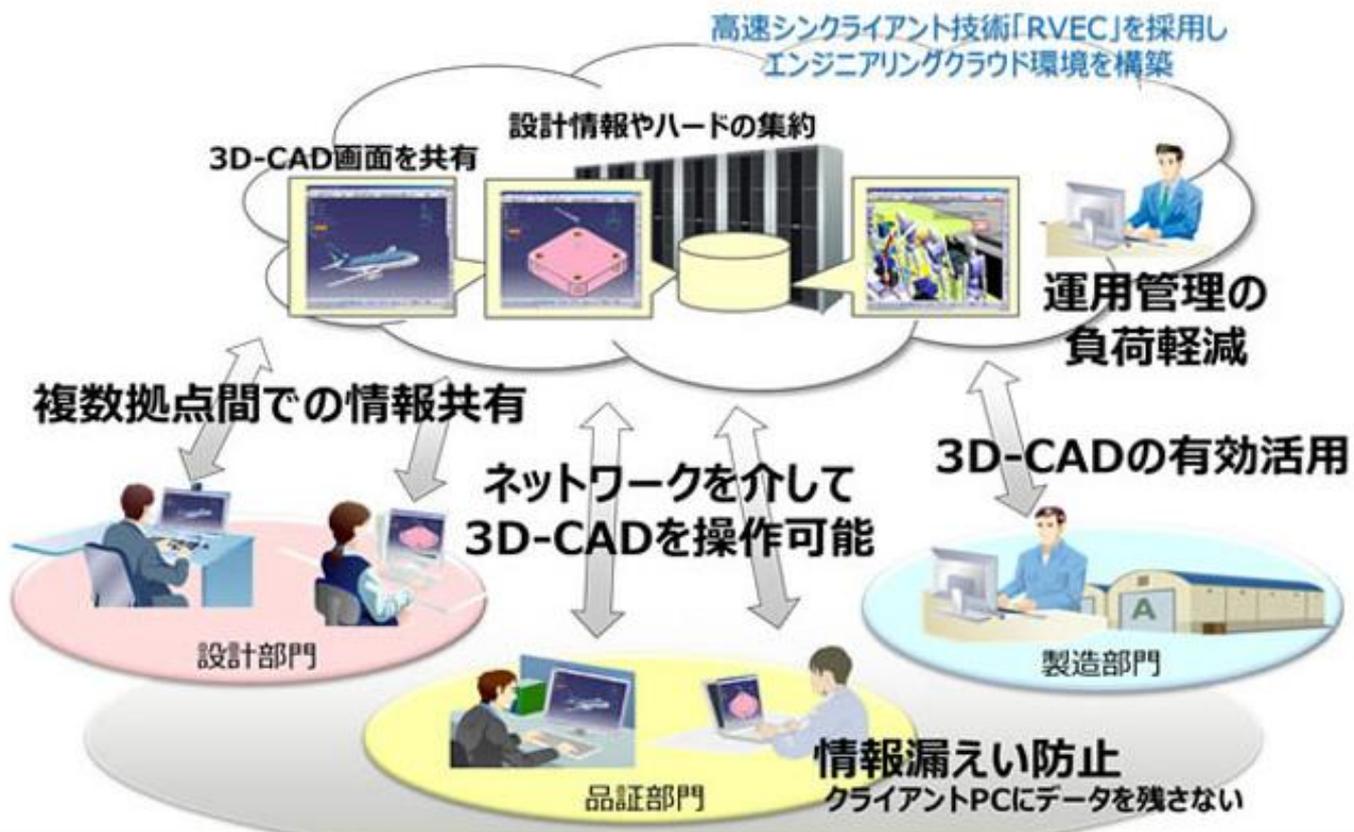
Webカメラ、  
マイクを接続



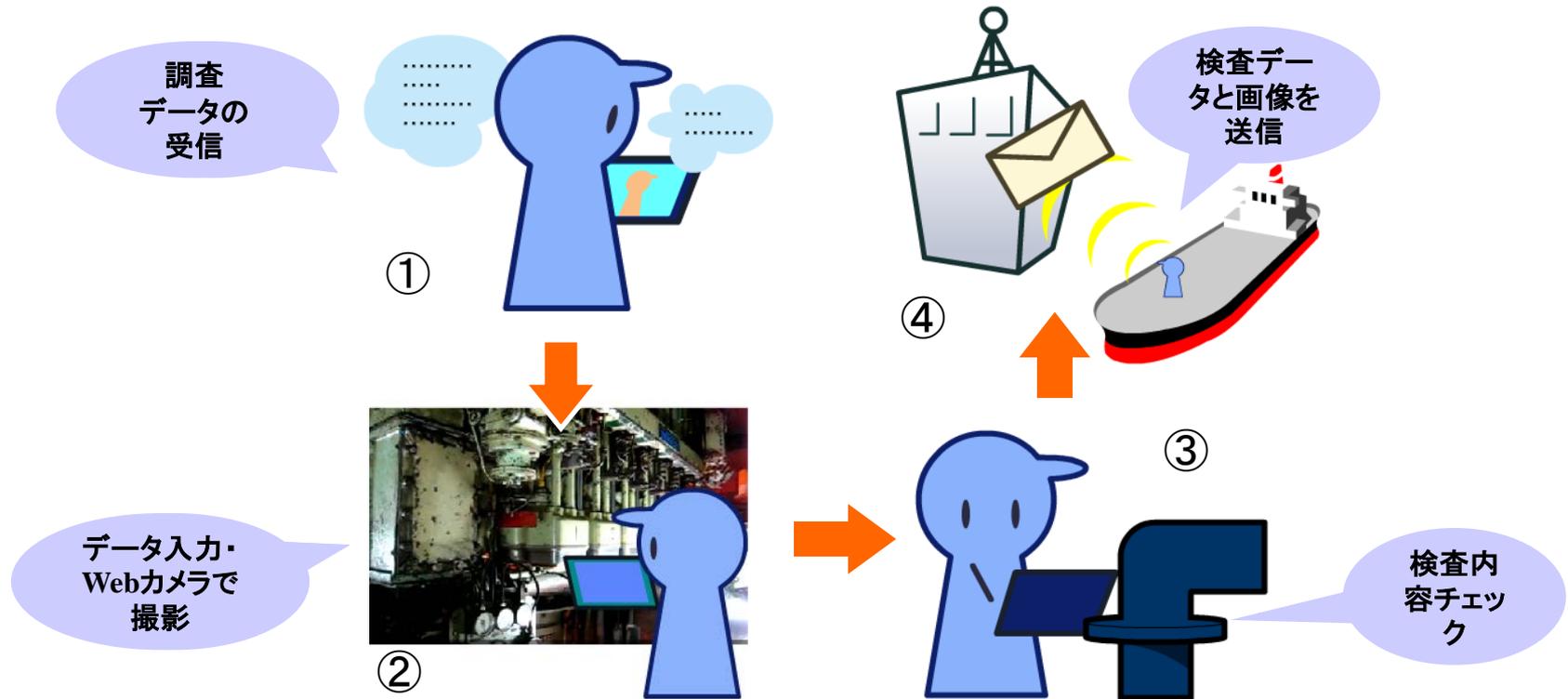
3DCADの画面を共有

## 2)レトロフィットエンジニアリングを関係者間でより迅速・正確に進めるため、 インターネットクラウド環境を利用した協業スタイルに！

クラウドサーバー上の3Dレーザースキャニングデータ、3D CADモデル、関連情報を関係者がいつでも、どこからでも利用できるよう、十分なセキュリティを確保して！



### 3) モバイルPC・スマートフォンの レトロフィットエンジニアリング現場利用



- ① 内蔵Webカメラで静止画と動画の撮影が可能。離れた場所からの指示を受けながらの検査等。
- ② 現場で検査ソフトの操作やエクセルシートなどをその場で作成。
- ③ Wifi環境が無い場合でも、3G(携帯規格)通信で現場から検査結果を送信。

## 4. 3次元レーザースキャナの実業務への適用に関する研究開発のまとめ

- 1) 3Dレーザースキャナー利用したエンジニアリングは、就航船舶 の様々なレトロフィット工事、BWMSのような新たな機器追加、機器取替等のエンジニアリングを迅速に精度よく行う事に非常に有効である事が確認できた。
- 2) 構造などの変形・衰耗量の検査、等の目的で3Dレーザースキャナーを利用するのは、要求精度(1mm以下)とツール計測精度(数mm)にギャップがあり適用は難しい事が確認できた。
- 3) LNGメンブレンタンク変形については、形状が規則正しく整形されている事もあり、メンブレン頂部変形量の計測は床面から精度よく行える可能性がある事を確認した。

- 4) 就航船の様々なレトロフィット工事は、船が修理ヤードにDocking後極めて短期間で行われるのが通例である。このような短期工事に対応する為、3Dレーザースキャナーデータを作業目的に合致した形で極めて短期間・高精度で処理できるソフト開発が計画され、BWMSエンジニアリング用、LNGメンブレン変形処理のソフトが開発された。
  
- 5) BWMSエンジニアリング用のソフトは、スキャニングデータの中の管、構造等の自動認識機能、及び部品データベース参照・利用機能の利用で、従来作業日数を半分～1/3に短縮できる事が確認された。
  
- 6) LNGメンブレン変形量処理ソフトは、LNGタンク天井部のメンブレン頂部スキャニングデータ取得後、その場でスキャニング範囲の変形量をシンプルな操作で約30分程度で求める事が出来る事を確認した。今後、このソフトを実際の計測業務に活用する為、メンブレン頂部変形のスキャナー計測データとその処理精度についての検証を実施する事が計画されている。

- 7) 開発されたソフトは、今後関係者によって実業務での利用を重ね、より効果的な機能を追加することによりレーザースキャニングを使ったレトロフィットエンジニアリングの迅速化・高品質化に貢献するものと考えられる。
- 8) 就航船のレトロフィット工事は、船主、造船所、設計会社、船級協会等、多くの関係者と協議を行いつつ迅速・正確なエンジニアリング作業を行う必要がある。3Dレーザースキャニングデータ、処理後の3D CADデータ、関連図面等の電子データを十分なセキュリティーを保ちながらインターネット環境でデータ共有、協業できれば、より効果的な利用が可能になる。このような検証を試みたが実業務的な検証は十分行われなかった。今後の取組が期待される。
- 9) 3Dレーザースキャナーを利用したレトロフィットエンジニアリング手法はまだスタート段階にある。より効果的で競争力ある就航船のレトロフィットエンジニアリング手法を確立していくためには、出来る限りの標準化を今後とも継続していく必要がある。