

PIXIS2

デジタルカメラ三次元計測システム



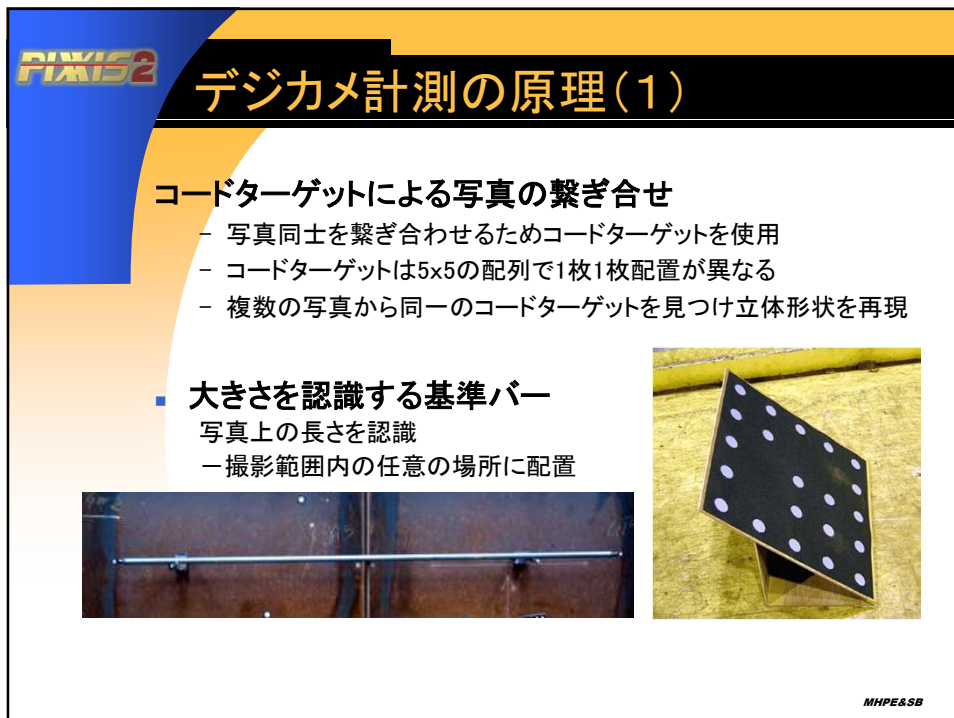
2022年5月27日

 SoftBridge株式会社
  MHIパワーエンジニアリング株式会社

PIXIS2 デジタルカメラ計測とは

- 複数の角度から撮影した写真から三次元座標を求める
 - 二次元データから三次元データを復元する技術
 - エピポーラ幾何と呼ばれる数学技法の応用
- 計測位置の自動認識
 - 計測位置にマーク(ターゲット)を設置すると複数写真上の同一点をコンピュータが自動認識する
- 計測位置を写真で確認
 - 計測位置を写真上のマークで確認する
- トータルステーションと同程度の計測精度
 - 1秒読みトータルステーションと同程度の計測精度

MHPE&SB



PIXXIS2 デジカメ計測の原理(2)

- 写真上の位置とカメラ視点から方程式を作成
 - 詳細はエピポーラ方程式(幾何)で検索

MHPE&SB

PIXXIS2 PIXXISの特徴(1)

- デジタルカメラ計測機器としては大型構造物に対応
 - 計測対象構造物サイズ~30m程度まで
 - コードターゲットの大型化と長尺基準バーで対応

MHPE&SB

PIXXIS2 **PIXXISの特徴(2)**

- **手軽に計測**
 - 光波系測距器に比べ取扱いが簡単
 - 屋内・屋外いずれでも使用可能

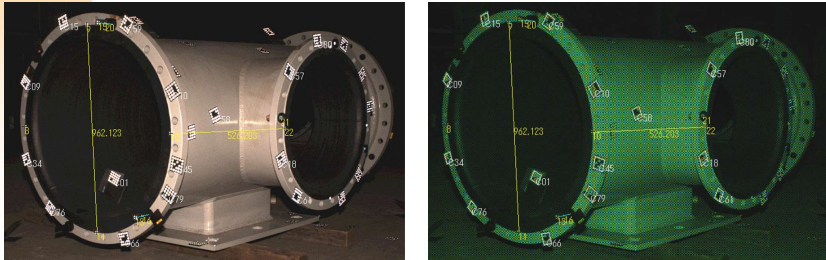


MHPE&SB

PIXXIS2 **PIXXISの特徴(3)**

- **状況写真と計測データが連動**
 - 撮影写真上で寸法を確認
 - 工事看板なども一緒に写し込み

左図JPG画像、右図RAW画像



MHPE&SB

PIXIS2 PIXXISの特徴(4)

- テープでは求めにくい三次元角度や長さを簡単に計算
 - 類似形状が多い場合部材位置を記載した用紙を一緒に撮影
 - 計測データの天地左右向きも写真を見ればわかる

	テープ計測	カメラ計測	誤差
AB寸法	400	396.07	-3.93
BC寸法	1061	1063.85	2.85
CD寸法	1170	1171.49	1.49
AB-BC角度	45	46.04	1.04
BC-CD角度	90	90.05	0.05

MHPE&SB

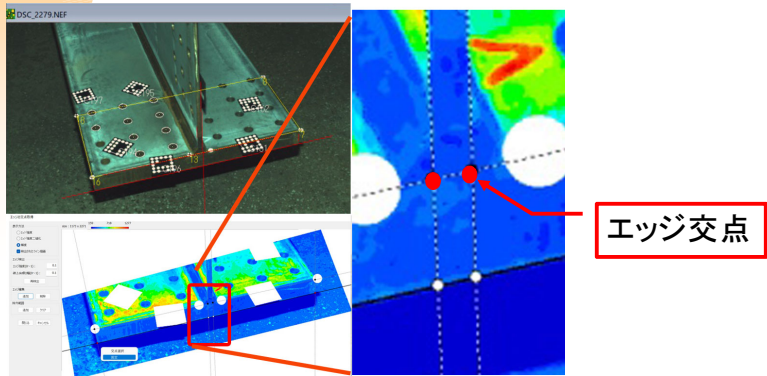
PIXIS2 PIXXISの特徴(5)

- データ取り間違いミスの防止
 - 類似形状が多い場合部材位置を記載した用紙を一緒に撮影
 - 計測データの天地左右向きも写真を見ればわかる

MHPE&SB

PIXXIS2 PIXXISの特徴(6)

- エッジ交点認識機能
 - 写真上のエッジ交点を抽出し三次元座標を求めることがきる
 - 計測位置へのシールターゲット貼り付けが不要
 - 撮影現場に戻らなくても、写真上で計測点を追加できる

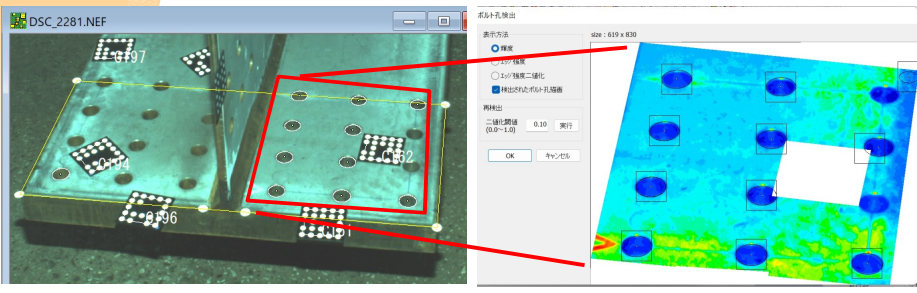


エッジ交点

MPWE & SB

PIXXIS2 PIXXISの特徴(7)

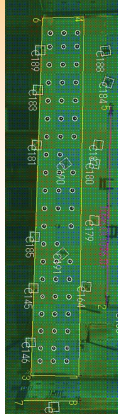
- 円のエッジ認識機能
 - ボルト孔等の円のエッジを認識し中心座標を求め



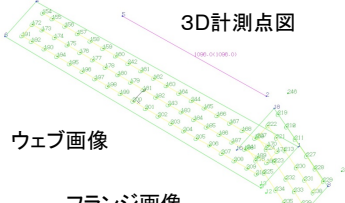
MPWE & SB

PIXXIS2 PIXXISの特徴(8)

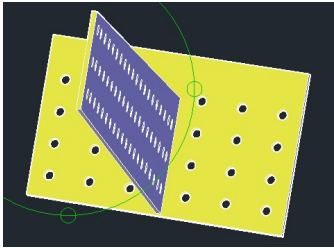
- 写真上で図化作業
 - 写真上の計測点を指定して多角形等作図できる
 - 写真上で板厚方向を確認してCADデータを作成
 - AutoCADスクリプト形式の図形データを出力



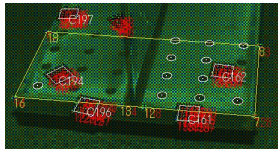
ウェブ画像



3D計測点図



AutoCAD出力図

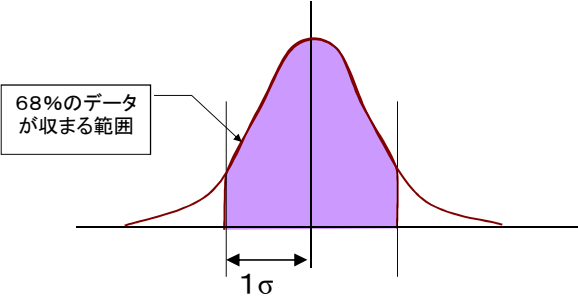


フランジ画像

MPWE & SB

PIXXIS2 PIXXIS基本計測精度

- 三次元高精度計測
 - 計測精度に影響する要因
 - カメラ素子画素数、レンズ焦点距離、被写体平均撮影距離
 - 1500万画素、24mm広角レンズ、被写体平均撮影距離3mの場合
 - $1\sigma = 0.165\text{mm}$ (三次元上の誤差)
 - 1σ : 標準偏差と言われ、約68%の確率で入る誤差
 - 計測精度は同じ計測点を繰り返し計測した場合の値のばらつき度合い



68%のデータ
が収まる範囲

1σ

MHPE&SB

PIXXIS画面

■ 操作画面

撮影写真リスト

計測点

カメラ位置

計測点

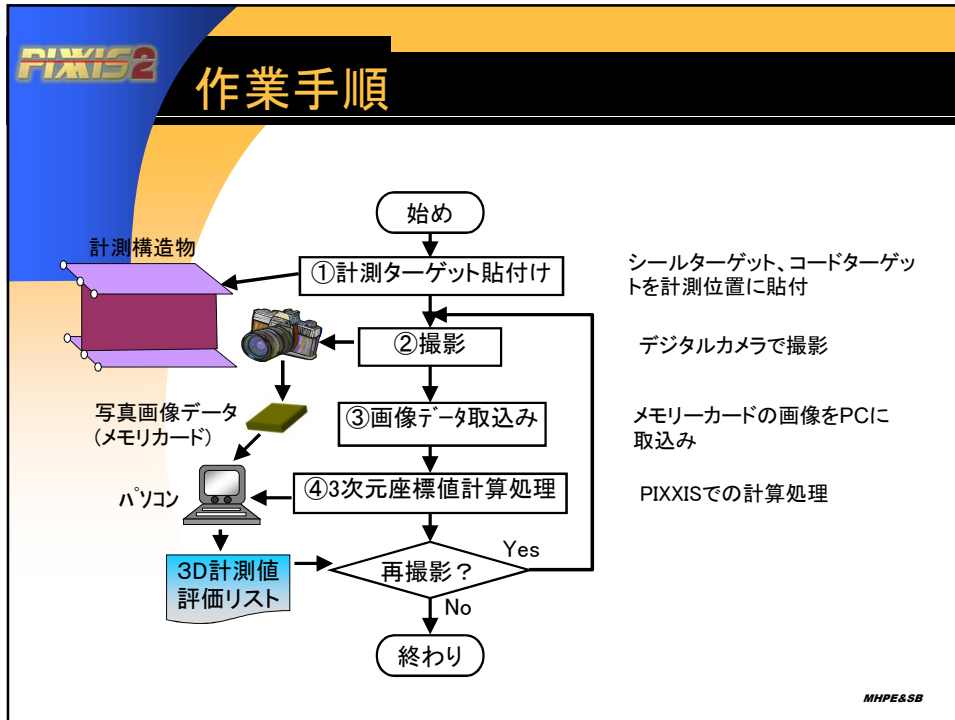
MHPE&SB

既存計測器との比較

■ 光学系三次元計測器との計測精度比較

10m長さ比較(単位mm)	計測平均値	標準偏差	計測精度
トータルステーション(MONMOS)	10000.049	0.047	1/212,767
PIXXIS(平均78枚撮影)	10000.255	0.157	1/63,696
PIXXIS(平均54枚撮影)	10000.401	0.260	1/38,463

MHPE&SB



PIXXIS2 ターゲット類貼付け

- 計測位置にシールターゲットを貼付け
- 任意位置にコードターゲットを貼付け





MHPE&SB

PIXIS2 カメラで撮影

- デジタルカメラで複数の方向から撮影




MHPE&SB

PIXIS2 パソコン操作

- 撮影画像をパソコンに取り込み三次元座標を求める




MHPE&SB

PIXIS2 作業状況ビデオ





既存形状の計測

MHPE&SB

PIXIS2 作業時間

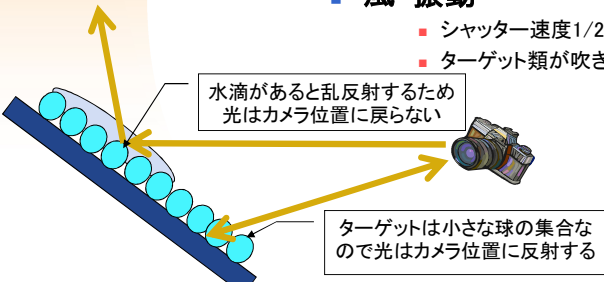
- 鋼構造物(7m×1m×2m程度の全周計測)
 - ターゲット貼付け、撮影、ターゲット撤去で1時間程度
 - ターゲット貼付け作業で脚立などの足場有無により変わる
- 既存補修現場(2m×2m程度の面)
 - ターゲット貼付け、撮影、撤去で1か所20～30分程度
 - 現場条件により変わる

MHPE&SB

PIXIS2 制限事項

- 撮影距離 1m～15m程度
 - ストロボの光が届く範囲
- ターゲット類に水滴を付けない
 - ストロボ反射光がカメラ方向に戻らない
- 温度
 - 氷点下の気温でも計測可能であるがカメラ内部温度が0～40度程度の範囲内となる時間内
- 風・振動
 - シャッター速度1/250でぶれない程度
 - ターゲット類が吹き飛ばされない程度



水滴があると乱反射するため
光はカメラ位置に戻らない

ターゲットは小さな球の集合なので
光はカメラ位置に反射する

MHPE&SB

PIXIS2 厳しい環境下での計測

- 寒冷地屋外夜間計測を実施
- 計測精度など問題なし



MHPE&SB

PIXXIS2 計測処理後に行う作業

- エッジ抽出機能を使用した座標計算
 - 板の角などエッジ交点の三次元座標計算
 - ボルト孔・リベット中心などの円中心座標と半径の計算
- 写真上の任意位置を指定した座標計算
 - 3枚以上の写真上の同一点をマウスで指定する
- 計測標系の座標変換
 - トータルステーション計測座標系への変換
 - 設計三次元座標系への計測座標変換
- PIXXIS計測データからCADデータを作成
 - 写真上の計測点を見ながら多角形。線分等の図形を作成
 - 作成した図形に色やレイヤ等の属性を付けてAutoCADデータ出力

MHPE&SB

PIXXIS2 エッジ抽出の仕組み

- SobelFilter技術 画像からエッジを検出する技術
- Hough変換 エッジの直線部分を検出する技術




図-1 橋架断面写真(オリジナル)



図- エッジ検出画像(Sobel Filter Hough変換)

断面Aエッジ強度



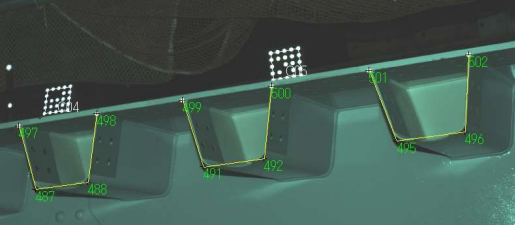
0.0 0.5 1.0

MHPE&SB

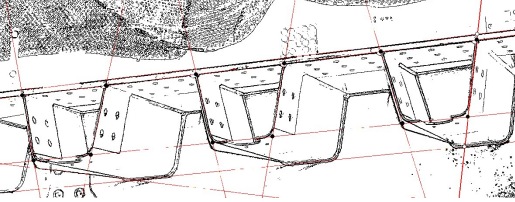
PIXIS2 エッジ交点認識手順1

- 画像からエッジを抽出する

撮影画像




画像から抽出したエッジ



MHPE&SB

PIXIS2 エッジ交点認識手順2

- 抽出したエッジ交点から三次元座標を計算
 - エッジ交点位置は利用者側で指定する



エッジの交点取得

表示方法

エッジ強度

エッジ強度二値化

強度

抽出されたライン描画

エッジ検出パラメータ

0.02/1

エッジ強度(0~1): 0.03

同一線上ドット数: 101

指定値以上の強度を無視

除外する強度 (右以上の点は除外)

1000

エッジ再検出

編集

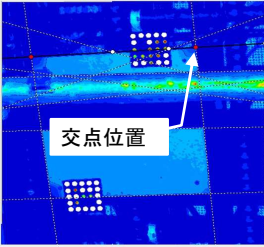
エッジ追加 エッジ削除

除外範囲指定 除外範囲クリア

交点指定 ラベル追加

閉じる キャンセル

size: 1065 x 10. 156 1874 3592

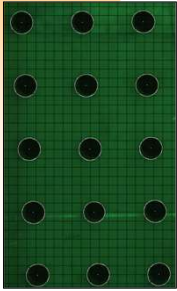


PIXISのエッジ操作

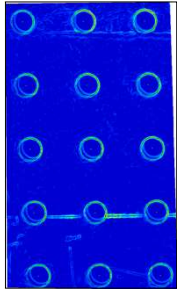
MHPE&SB

PIXIS2 円エッジ認識手順

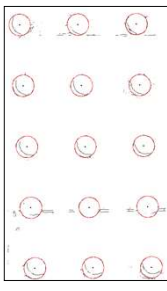
- 円のエッジを認識し中心座標を求める
 - ボルト孔円のエッジを認識し円中心点を求める




RAW画像



エッジ強度画像



2値化画像から
中心を求める

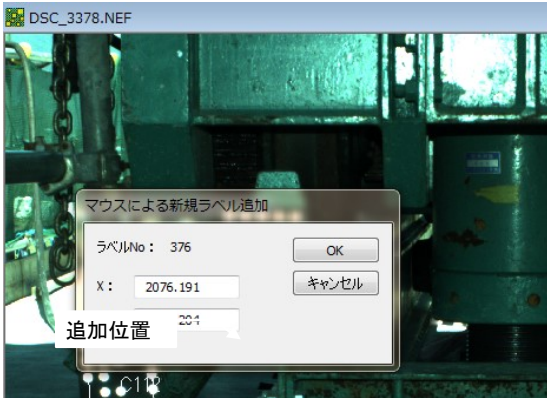


平面投影した
ボルト孔

MHPE&SB

PIXIS2 マウスを使用した計測点の追加

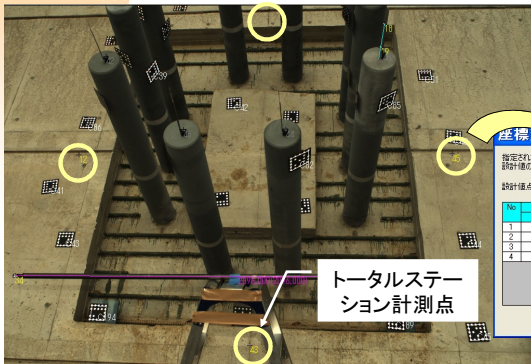
- 計測忘れ点を写真上で追加設定
 - 写真に計測点を追加することができる
 - 3枚以上の異なる角度から撮影した写真上で同一点を指定



MPWE & SB

PIXIS2 他の三次元計測器との連携

- トータルステーション計測座標系にPIXIS計測座標を変換
 - 工事全体の主要点はレーザを使用したトータルステーションで計測
 - 主要点内の細かい計測点はPIXISで計測
 - PIXISの計測座標系合わせ機能により全体座標系に変換



基準4点のトータルステーション座標を入力

座標変換 - 設計値へすりつけ

指定された点の座標値が、入力された設計値に最も近い座標に変換されます。設計値の点数に一致しない場合は、及びその点を選択して下さい。

設計値点数: 4

No	X	Y	Z	高さ	設計値	適合率
1	32999.000	4348.000	845.751.000	45	1.483	0.043
2	31583.000	2849.000	847.982.000	96	-1.458	-0.648
3	32917.000	1349.000	845.742.000	12	1.668	0.792
4	33934.000	2849.000	844.487.000	45	-1.698	-0.097

実行 閉じる

MPWE & SB

PIXIS2 計測座標を設計座標系に変換

- 三次元設計座標に対応する計測点を指定して変換
 - 設計値に対応する3点以上の計測点を指定して全ての座標を変換
 - トータルステーション座標系変換と同じ機能

PIXIS3次元画面上の点を指定する

座標変換 - 設計値へすりつけ

指定された点の座標値が、入力された設計値に最も近い座標に変換されます。設計値の点数に一致しない場合は、及びその点を選択して下さい。

設計値点数: 8

No	X	Y	Z	高さ	設計値	適合率
1	-1500	12082	262	83		
2	1500	12082	262	84		
3	-1500	12243	262	88		
4	1500	12243	262	89		
5	-1500	-4593	327	64		
6	1500	-4593	327	66		
7	-1500	-4594	327	69		
8	1500	-4594	327	70		

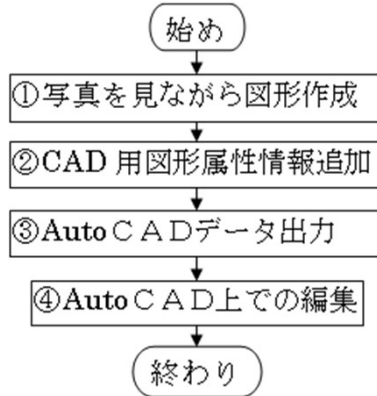
実行 設計値で拘束を解除 閉じる

設計三次元座標

MPWE & SB

PIXIS2 CADデータ作成(1)

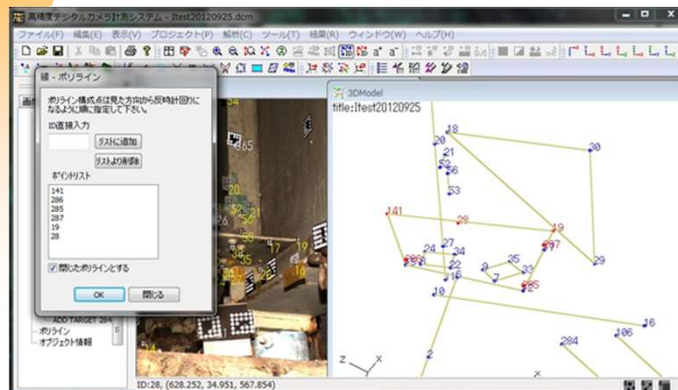
- 手順は次の通り



MPWE & SB

PIXIS2 CADデータ作成(2)

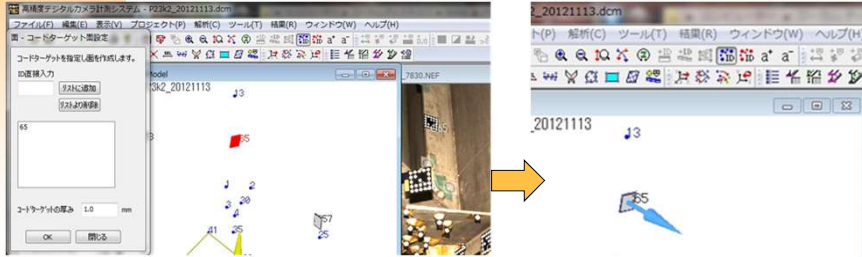
- 写真や3Dモデル上の図形を見ながら作成
 - 下図は多角形指定画面の例



MPWE & SB

PIXIS2 CADデータ作成(3)

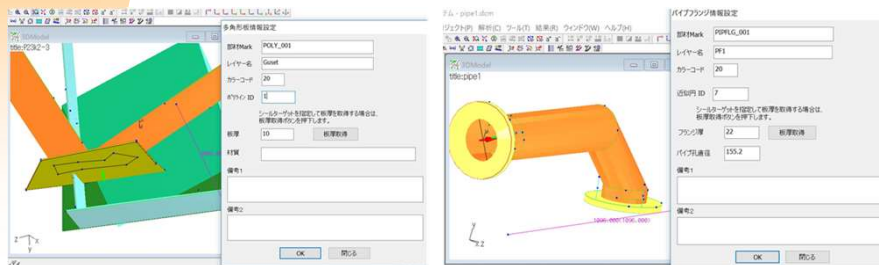
- コードターゲットを指定して面を作成
 - コードターゲット表面を面として作成
 - 複数のコードターゲットを指定して平均平面を作成



MPWE & SB

PIXIS2 CADデータ作成(4)

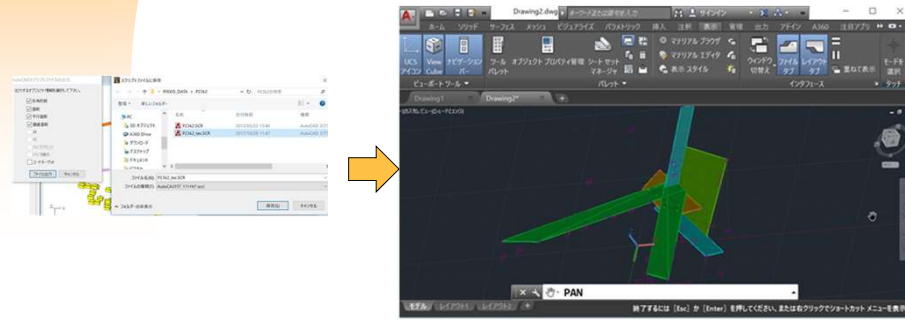
- CAD図形属性の追加
 - 色・レイヤ名等の指定
 - 板厚・管径等の指定
 - ボルト孔・隣接面等の指定



MPWE & SB

PIXIS2 AutoCADデータ出力


- AutoCADスクリプト形式データを出力
 - AutoCADに読み込み編集
 - AutoCADはAutoCAD2019以降を推奨
 - AutoCAD LTは3Dデータのスクリプト実行できないため作図不可



MPWE & SB

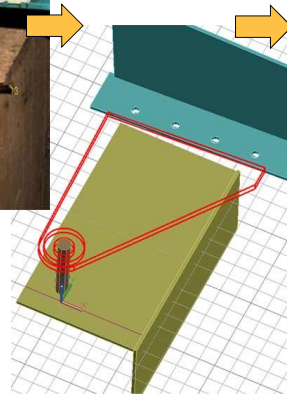
PIXIS2 三次元CAD利用例1


- 三次元空間上の部材形状を簡単に作成



ボルト孔位置関係を計測

三次元CADに計測データを出し部材形状を作成





製作した部材を取付

MHPE&SB

PIXIS2 三次元CAD利用例2

- 既設構造物三次元形状CAD出力

撮影作業

PIXIS画面

AutoCAD三次元形状出力

MHPE&SB

PIXIS2 立体面の二次元投影図を作成

- 側面・上面の位置関係を持つ投影図を作成(市販CAD)

撮影

3D位置関係図

完成

ボルト孔二次元加工図

BASE_1	
1449.91	1517.41
1448.89	1517.88


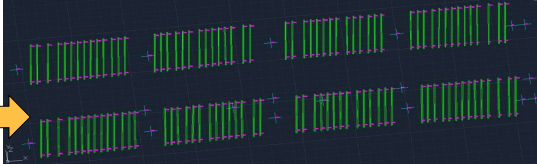
MHPE&SB

PIXIS2 **ボルト上下端二次元投影図を作成**

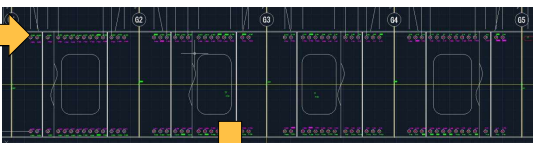
- 橋梁下部工鉄筋を計測し橋梁上部工製作図面に反映
 - オプション機能

計測結果三次元CAD図


撮影状況

上部工製作図に計測ボルト位置を重ね合わせ




拡大図



MHPE&SB

PIXIS2 **配管三次元形状計測**

- 既存管を計測し三次元CADデータを作成
 - オプション機能




MHPE&SB

PIXXIS2 配管加工帳票の作成

■ PIXXIS計測データから管加工図帳票を作成
— オプション機能

The technical drawing shows the following dimensions and angles:

- Lengths: L1=528.0, L2=317.0, L3=679.8, L4=362.0
- Angles: 曲f1=29.08度, 振れ3=-179.82度, 振れ5=179.72度, 曲f4=37.32度
- Other dimensions: 1.14度, 3.0 (0.9°), 2.2 (0.6°), 0.9 (0.2°), 9.3 (2.5)

MHPE&SB

PIXXIS2 港湾構造物計測事例

■ 構造物遊間を三次元計測

The 3D model shows a port structure with measurement points labeled C01 through C13. The table below provides the 3D coordinates for these points.

Point ID	名称	x	y	z	RMS-X	RMS-Y	RMS-Z
1	TARGET 1	130.962	-1.023 895	-50.157	0.148		
2	TARGET 2	-812.956	-824.941	632.071	0.148		
3	TARGET 3	874.197	-885.219	-253.115	0.165		
4	TARGET 4	817.398	-892.924	-232.398	0.168		
5	TARGET 5	1065.458	-897.696	-118.663	0.211		
6	TARGET 6	-885.275	-1038.037	384.032	0.155		
7	TARGET 7	74.432	-1168.659	-331.529	0.066		
8	TARGET 30	-885.288	817.050	304.201	0.151		
9	TARGET 37	863.752	-1100.826	-134.144	0.148		
10	38	-1048.134	934.450	376.127	0.154		

MHPE&SB

PIXIS2 **コンクリート構造物計測事例**

- シールドトンネルセグメント計測



PC橋形状計測

MHPE&SB

PIXIS2 **高精度な変位量計測**

コンクリート構造物変位量計測

- 計測対象物とカメラ間距離が1m程度の場合±0.05mm程度の精度
 - 下記写真は「PC道路橋の健全度評価の高度化に関する共同研究」
 - 社)プレストレスト・コンクリート 建設業協会, 国土技術政策総合研究所 提供



MHPE&SB

PIXIS2

技術論文雑誌運用報告

■ 雑誌「橋梁と基礎」2008年5月号

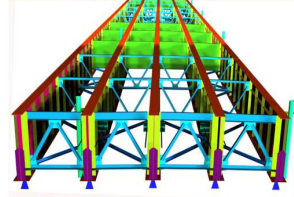
- デジタルカメラ計測を使用した数値仮組立てと架設計測との比較

■ 雑誌「配管技術」2011年9月号

- デジタルカメラを使用した三次元計測技術

■ 雑誌「橋梁と基礎」2014年1月号

- デジタルカメラ計測の橋梁補修補強工事への適用



MHPE&SB