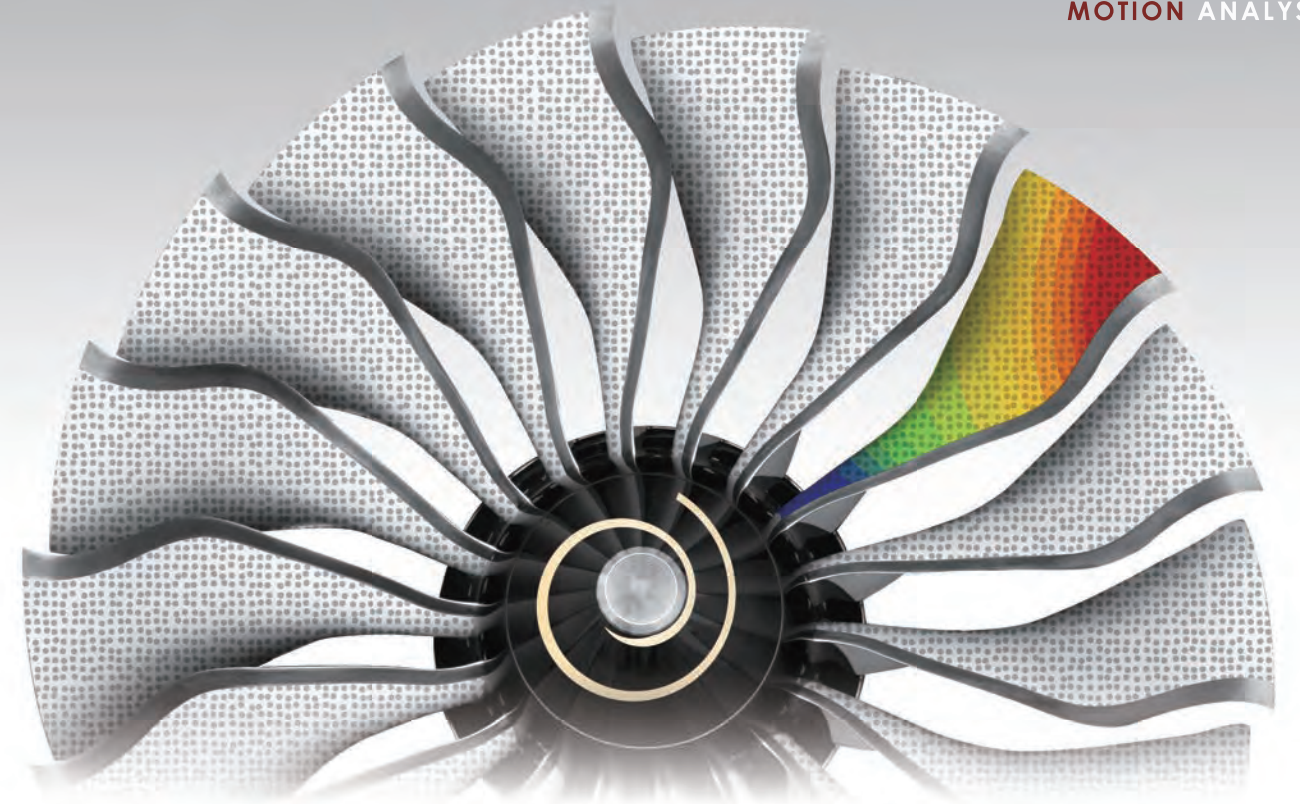


ADVANCED MOTION ANALYSIS

image
SYSTEMS
TEMA Pro



ADVANCED MOTION ANALYSIS

image
SYSTEMS
TEMA Pro

お問い合わせ窓口：システムソリューション事業本部

E-mail : image@photron.co.jp

Photron

株式会社フォトロン

本社 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-105 神保町三井ビルディング21階
TEL.03-3518-6271 FAX.03-3518-6279

名古屋営業所 〒460-0002 名古屋市中区丸の内1-5-28 伊藤忠丸の内ビル
TEL.052-232-2149 FAX.052-201-1269

豊田営業所 〒470-1206 豊田市永覚新町3-47-1
TEL.0565-30-0029

大阪営業所 〒530-0055 大阪市北区野崎町9-8 永楽ニッセイビル
TEL.06-7711-9066 FAX.06-7711-0266

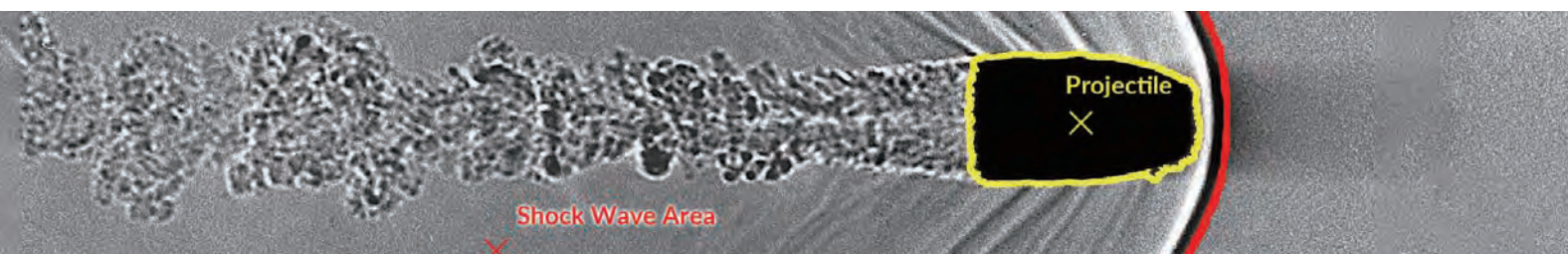
福岡営業所 〒814-0001 福岡市早良区百道浜2-1-22 福岡SRPセンタービル
TEL.092-687-5551 FAX.092-687-5552

インターネットホームページ <https://www.photron.co.jp/>

記載の意匠や仕様は、予告無しに変更されることがあります。
記載の製品名等は、各社の登録商標または商標です。

TEMA Pro は研究および産業界における高度な運動解析試験のための市場をリードするソフトウェアです。高精度、モジュール構造、計算速度、直感的なユーザーインターフェースにより、TEMA Pro はスマートフォンの落下試験からスポーツ性能の向上、さらには軌跡の追跡による自動車や航空産業におけるプロセスの最適化まで、世界中の専門家が幅広いアプリケーションで使用しています。TEMA Pro にはデフォルトパッケージに含まれるトラッキングアルゴリズムの幅広いライブラリがあり、あらゆる状況下でほとんどの種類の物体をトラッキングすることができます。

TEMA Classic のアルゴリズムセットに加えて、Outline と Digital Image Correlation がデフォルトパッケージに含まれています。これらのアルゴリズムはパターン認識やグレーレベルに基づいており、サブピクセル精度でのトラッキングを可能にします。また、TEMA がインストールされているか否かにかかわらず、あらゆる PC で読めるエクスポート可能なビューアを生成して、図やデータを操作することも可能です。これにより TEMA Pro は市場で最も先進的なトラッキングソフトウェアです。



シュリーレン画像内の発射物を輪郭追跡で解析する事例

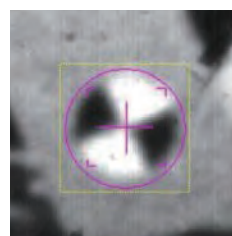
CORRELATION (相関追跡)

連続する各画像の中で最初の画像で定義されたパターンと最も相関のある領域を探します。この方法はマーカーを必要としないのでほとんどの場合に適用できます。



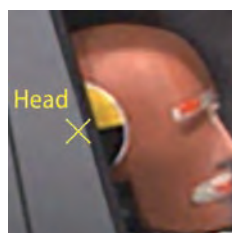
QUADRANT (対象形状追跡)

QUADRANT ターゲットの中心の位置と与えられた姿勢に対する角度を提供します。自動的に QUADRANT ターゲットの中心にロックされ、回転、スケール、光条件の変化に対して不変です。QUADRANT ターゲットは精度および自動追跡の高度な要求に対して有用です。



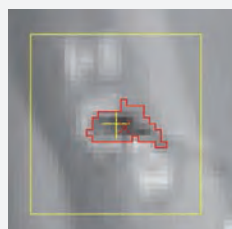
VIRTUAL POINTS (仮想点)

バーチャルアルゴリズムは、剛体上の3つ以上の追跡点を使用して、その上の任意の点の位置を三角測量します。これはトラッキング中に追跡点が隠れてしまう場合に有効です。バーチャルアルゴリズムを適用するには、点が同じグループに含まれている必要があります。



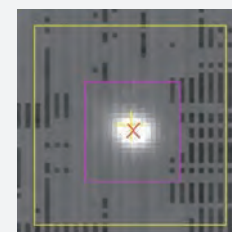
CENTRE OF GRAVITY (輝度重心追跡)

輪郭や背景と対照的なマーカー/オブジェクトの重心を検出します。検出は画像のグレーレベルに基づいて行われ、暗いオブジェクトや明るいオブジェクトに対しては自動的に、または0-255色スケールのスライダを使用して手動で閾値を定義することができます。重心アルゴリズムはスケールリングの影響を受けません。



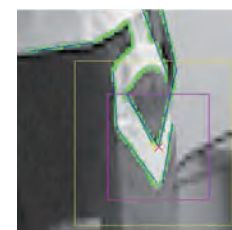
CIRCULAR SYMMETRY (同心円形追跡)

検索範囲内で画像の対称中心を見つけます。同心円や自転車の車輪のスポーク、あるいはそれらの組み合わせにも適用できます。



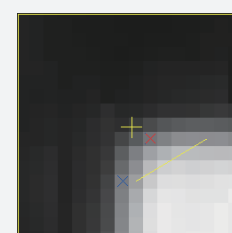
INTERSECTION (交差追跡)

任意のオブジェクト形状の交点(コーナー)を追跡します。このアルゴリズムはコントラストのあるエッジに沿って直線を外挿することにより対照的な辺の交点を検出し、必要に応じて隙間を埋めます。



CORNER CONTOUR (角追跡)

CORNER CONTOUR トラッカーはエッジを検出し、そのエッジに沿ってコーナーを見つけることができます。一つのコーナーがトラックポイントとして選択されます。



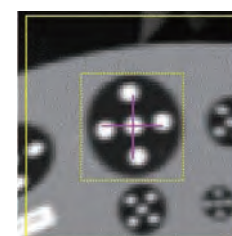
MOUSE TRACKER

画像の品質が悪いため自動追跡が失敗する場合、オペレーターはマウスポインタを使用してシーケンス内の任意のオブジェクトを手動で追跡することができます。操作補助のために再生速度を調整することができます。



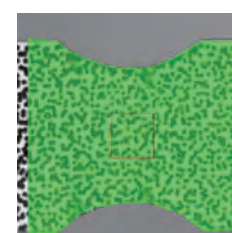
MXT (Optional)

サーチエリア内の画像の対称中心を見つけます。ユーザーは1+4および1+5 MXT ターゲットトラッキングを設定することができます。



DIC

デジタル画像相関法(DIC)では、対象物に描かれたランダムパターンの動きや変形を追跡することで、表面の変形や歪みを解析することができます。良い解析結果のためにランダムパターンにはいくつかの指標に従っている必要があります。

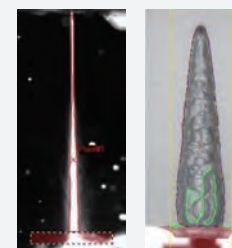


*2台以上のカメラを使用したステレオ DIC も可能です。

OUTLINE (輪郭追跡)

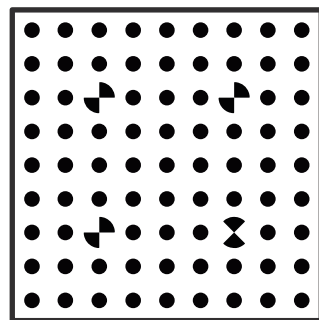
3つの異なるアルゴリズムにより物体の輪郭の変化を捉えます。

- ベーシックアウトラインは物体の輪郭と背景のコントラストがはっきりしているシンプルなケースに適しています。
- アドバンスドアウトラインは複雑な形状の物体を対象とし、物体内部の影や反射が検出の妨げになるため動的な閾値処理が必要な場合に使用します。
- アウトライン + アルゴリズムは背景を極端に抑制し、パラメータ設定可能な画像処理機能を備えており、コントラストが低い過酷な環境下でも物体の輪郭を追跡することができます。





Checked Lens Calibboard



Smart Lens Calibboard

TEMA Proでレンズの自動キャリブレーションが可能

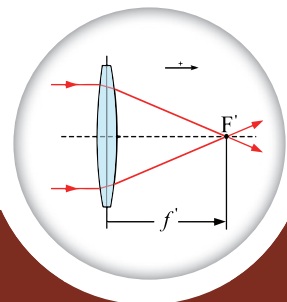
「LENSCALBOARD_A1/A3/A5/A7」は、剛性の高いフラットなボードに、マーカーが均等に配置されています。

シンプルなワークフロー

1. ボードの姿勢が異なる一連の画像をキャプチャします。
2. 各画像のチェッカーボード上の4つのQUADRANTマーカーを特定するか、連続している場合はそれらを追跡します。
3. レンズキャリブレーションの結果を確認します。キャリブレーションされたすべてのパラメータとその精度の概要、歪みの表が利用可能です。

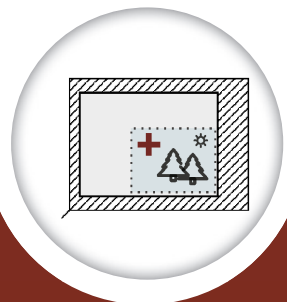
パラメーター

キャリブレーション可能な主要なパラメーター



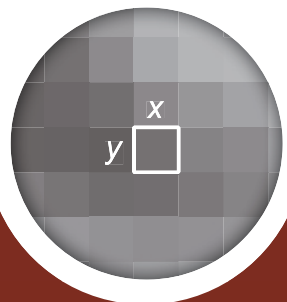
焦点距離

焦点距離はピクセル単位で測定されます。さまざまな場面で最もシャープな画像が得られるフォーカス設定は異なり、焦点距離は変化するため、算出された値はレンズメーカーが明記する公称値と異なる場合があります。



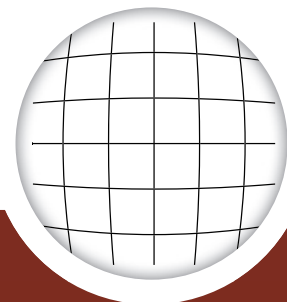
主点

主点とは画像の歪みの中心となる点を表し、カメラの光軸に対応しています。フレームレートを上げるために解像度をトリミングした場合、主点は画像の中心とは異なる場合があります。



アスペクト比

Pixel Aspect Ratio (PAR)。ピクセルの「正方形度」で、通常は「1:1」です。古いビデオ画像では画面に合わせて画像が引き伸ばされていることがあります。この形式のレンダリングでは非正方ピクセルになることがあります。



レンズ歪み

歪みは不規則であったり多様なパターンに従うこともあります。最も一般的な歪みは放射状に対称的なものです。レンズの品質や焦点距離によっては歪みが大きくなる場合があります。



自動化と正確性

キャリブレーションされた照明ツールを追跡することで、すべてのカメラの姿勢、歪み、焦点距離を同時にキャリブレーションします。



ツール概要

- キャリブレーションされたカーボンファイバークューブ
- 3Dプリンター製LED電球
- バッテリー駆動
- 六角レンチとねじによる組み立て
- 収納ケース
- 1m x 1m x 1m から 10m x 10m x 3m まで測定可能



キャリブレーション手順

1. カメラ設置
 - 30° ~ 150° 以内
 - 90° 推奨
2. キャリブレーション画像撮影
 - 高コントラスト
 - 残像のないこと
 - 室内照明
3. テスト撮影
4. 3D テスト結果の解析



主なメリット

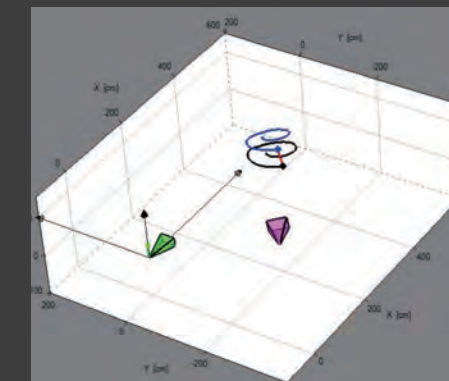
- 高速で自動化された精度レポート
- 無制限のカメラ台数とあらゆるカメラブランド
- すべてのカメラを同時にキャリブレーション
 - 焦点距離
 - レンズ歪み
 - カメラ姿勢 (x, y, z, roll, pitch, yaw)



Calibration Status Calibration Successful			
Calibrated Parameters			
Parameter	Value	Accuracy (std dev)	Unit
f	23271.13	24.44	pixels
f (length units)	113.56	0.11927	mm
Principal point x	3212.00	37.13	pixels
Principal point y	2440.80	30.87	pixels
Aspect ratio	0.99955	0.00014160	
R0	23140.00	0.00	pixels
A1	-0.19664	0.062301	
A2	-1.7674	8.2740	
A3	83.000	323.30	
B1	0.0024151	0.00027921	
B2	-0.0031458	0.00029947	
Residuals			
Mean Residual =	1.13 pixels	Max Residual =	5.92 pixels
Standard Deviation =	0.80 pixels		
Distortion Table			

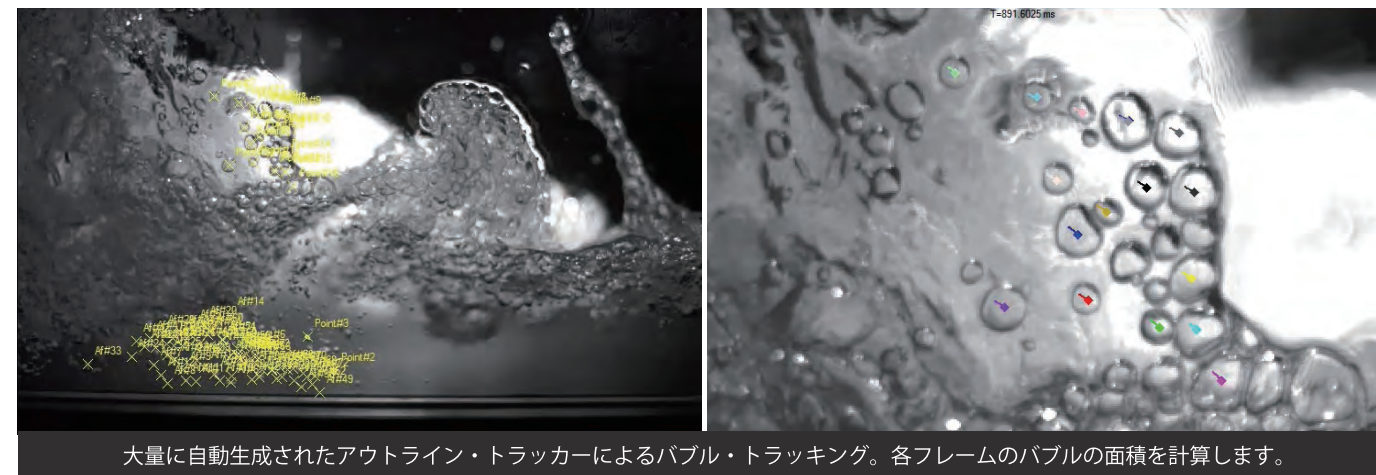
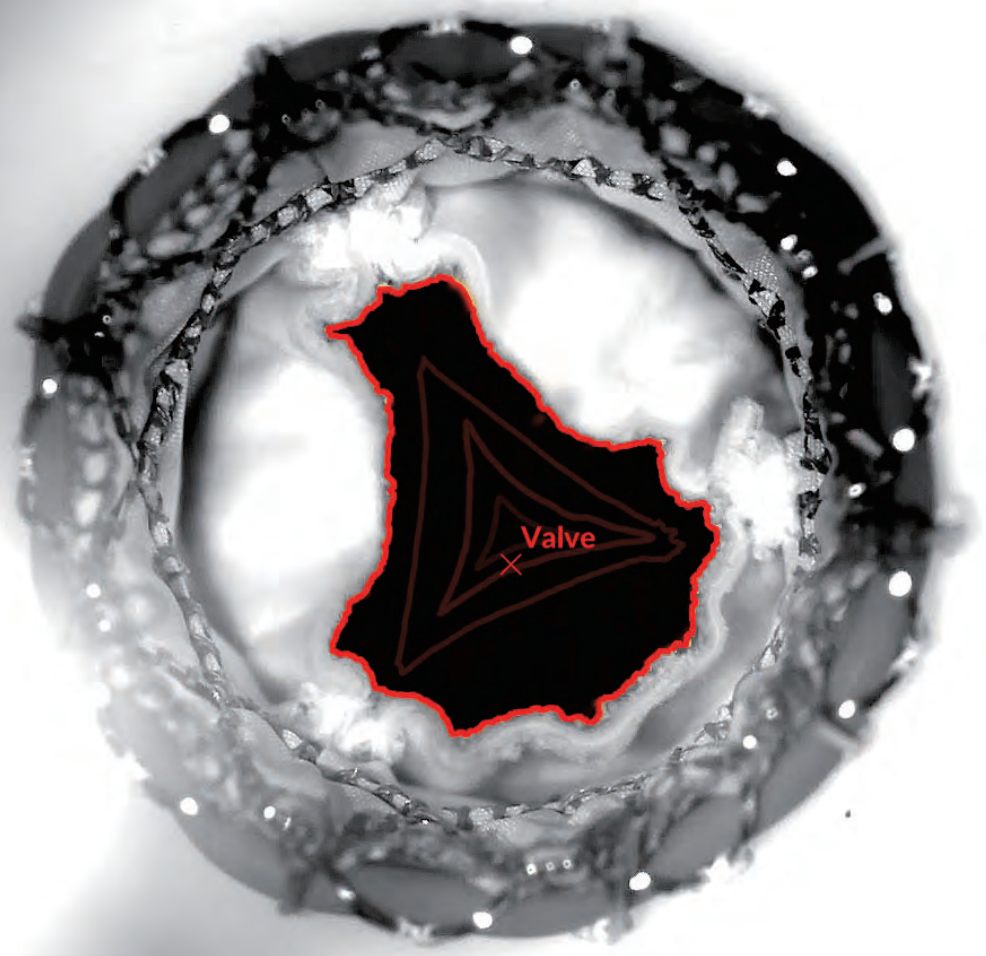
INSPECT RESULTS

- 各フレームの残差計算
- 焦点距離計算
- レンズ歪みの影響
- 放射歪み補正係数
- 最大残差点



TEMA Pro 2D

TEMA Pro を用いて行われた心臓弁の開閉解析。
 アウトラインアルゴリズムは開閉サイクルのさまざまな段階で心臓弁の輪郭を捉えるための鍵となりました。
 この輪郭上の極大点により動作の対称性を結論付け、周波数解析を行うことができました。



大量に自動生成されたアウトライン・トラッカーによるバブル・トラッキング。各フレームのバブルの面積を計算します。

2DトラッキングはTEMAの基本機能です。利用可能なライブラリから任意のアルゴリズムを使用して、画像内のマーカーまたはオブジェクトを追跡すると、2Dピクセル座標が生成されます。これらの2D座標は、速度、加速度、距離、角度の計算に使用できます。また、3Dや6DoFの計算を行う際の基準にもなります。

時間同期された様々なダイアグラムやテーブルにより、追跡されたデータを時間、フレームで表示することができます。また、周波数解析を行うこともできます。



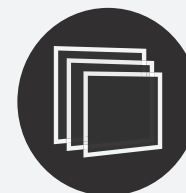
動的座標系

ユーザーは画像上で追跡されたポイントを使って独自の座標系を定義することができます。この座標系は静的なものだけでなく、動的なものも定義できます。
 この場合、座標系の位置と向きはフレームごとに再計算されるので、2Dでのカメラの振動を補正したり、2つのオブジェクト間の相対的な動きを分析したりすることができます。



斜め深度補正 (2.5D)

カメラが撮像平面に対して垂直でない場合、斜めからの見方となり、解析結果に影響します。
 TEMAは、カメラの撮像平面に対する方位角と仰角を計算し、この非垂直性を補正するいくつかの方法を提供します。



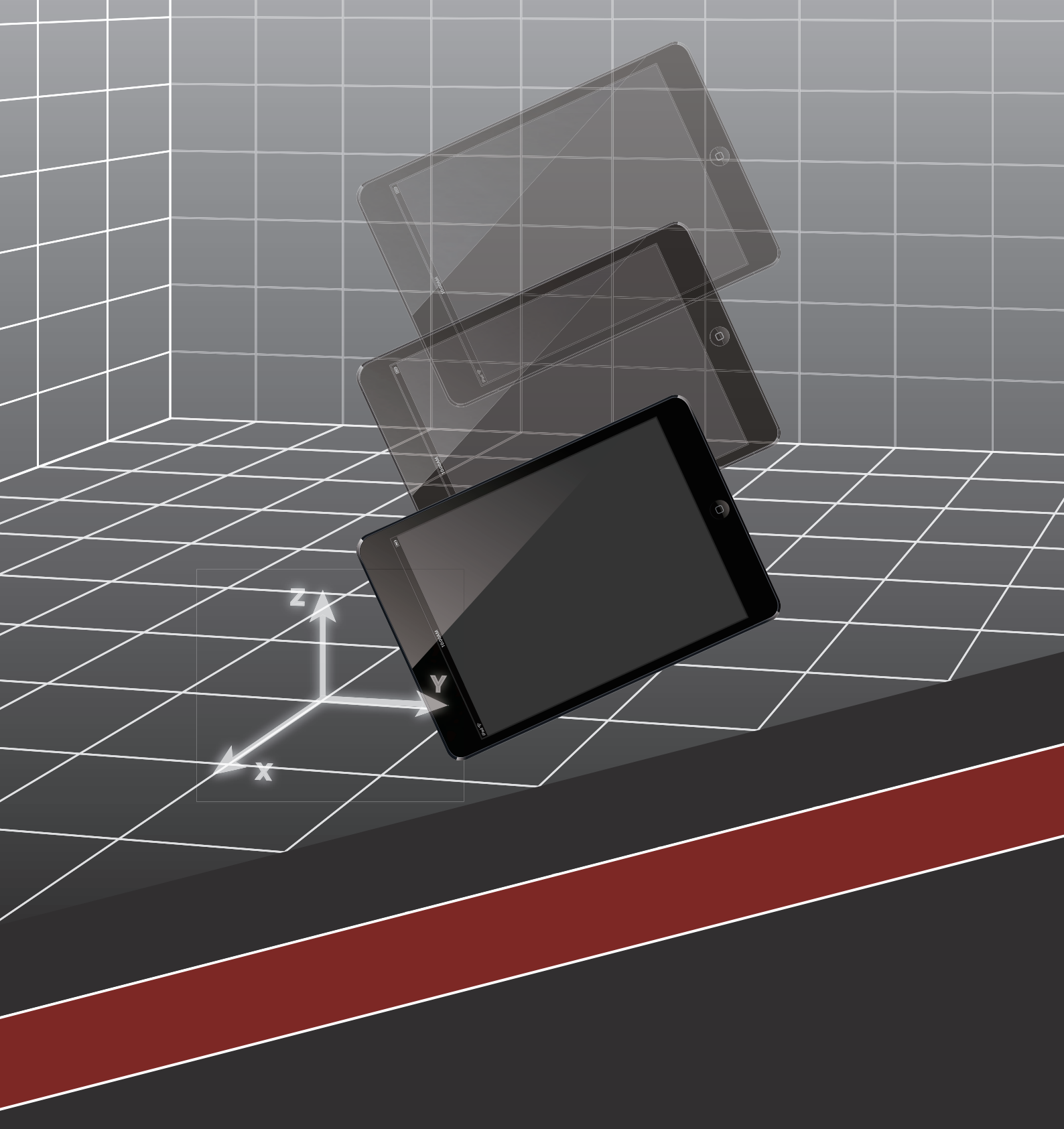
多重平行面

画像の中で点の深さが異なっていても、同じ運動面に平行して動いている場合、TEMAはポイントに既知の深さを入力することで補正し、深さのスケールアップの問題から生じるエラーを軽減します。
 この機能に加えて斜め深度補正 (2.5D) も使用できます。



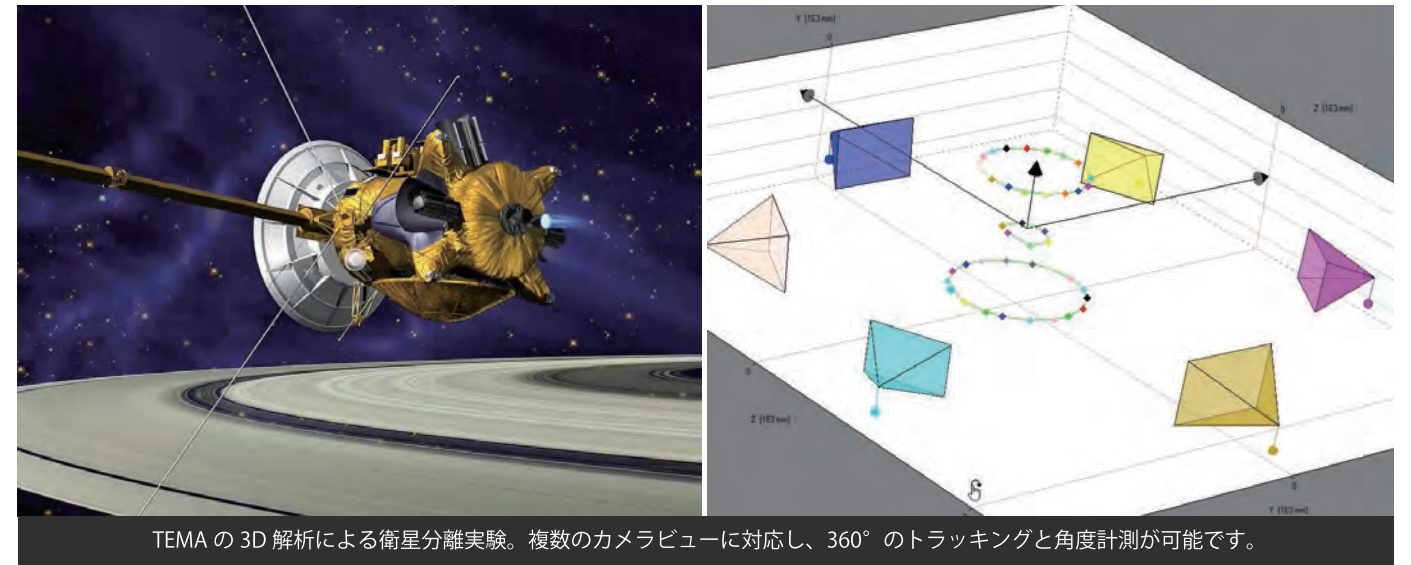
2Dデータの出力

位置、速度、加速度、距離、角度のデータ（生データまたはフィルタリングされたデータ）を、任意の座標系（デフォルトまたはユーザー定義）で、時間の関数として、またはフレームごとに、さまざまなフォーマットでエクスポートできます。
 カメラビュー、イメージダイアグラム、またはダイアグラムの組み合わせを、タイトルやテキストを載せた動画として出力し、一般的な画像 / ビデオフォーマットで簡単にレポートにすることができます。



TEMA Pro 3D

製品の落下試験を 3D トラッキングすることは、先進的なアプリケーションです。落下前後の軌道と角度は、製品の品質を評価するための重要なデータです。TEMA Pro(or Classic)3D には、複雑な状況を最大 0.01 ピクセルの精度で解き明かすためのさまざまなアルゴリズムが搭載されています。また、大型供試体を使用する試験では供試体に動的な 3D 座標系を持たせることでカメラの振動を補正し、基準となるフレームも作成できます。

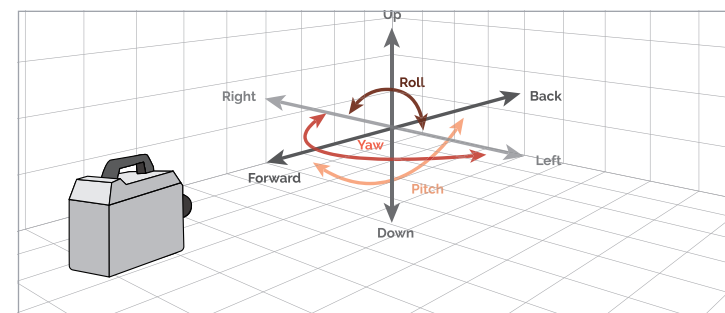


TEMA の 3D 解析による衛星分離実験。複数のカメラビューに対応し、360° のトラッキングと角度計測が可能です。

2 台以上のカメラで同じ 3D 座標系を使用することで、少なくとも 2 台のカメラで見えるターゲットはその位置が 3D で計算されます。TEMA は各カメラから追跡されたピクセル座標を取得し、各カメラからターゲットへの方向を計算して 3D 位置を三角測量します。

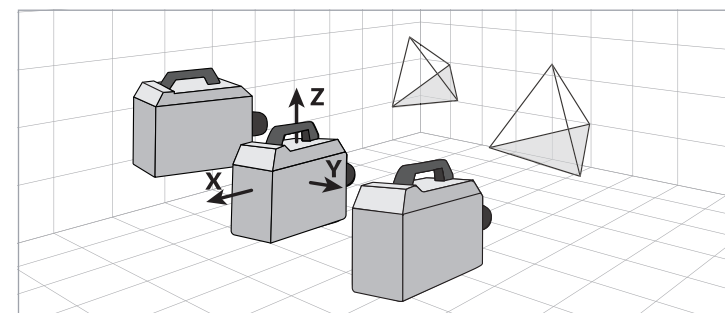
3D データの出力

デフォルト/カスタマイズされた 3D 座標に関する距離、変位、速度、加速度、角度、角加速度などを、タイムテーブル、ポイントテーブル、(多軸)ダイアグラム、3D ダイアグラムとして、生またはフィルタリングされた曲線データをエクスポートできます。



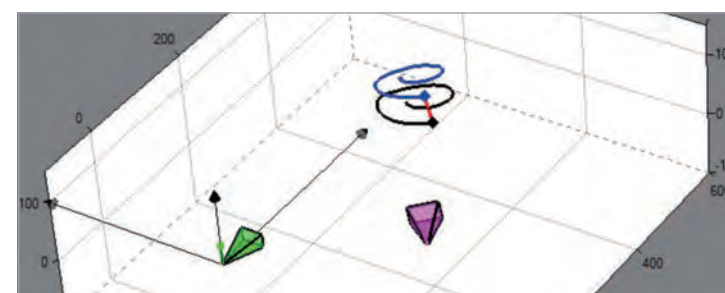
静的/動的な座標系

- デフォルトでは、計測ファイルから 3D 座標系が抽出されます (3D トラッキングポイントを使って編集することも可能)
- 計測された基準物を使用することで、より高い精度を実現
- カメラの動きを補正したり、オブジェクトの相対的な軌跡を計算することが可能です



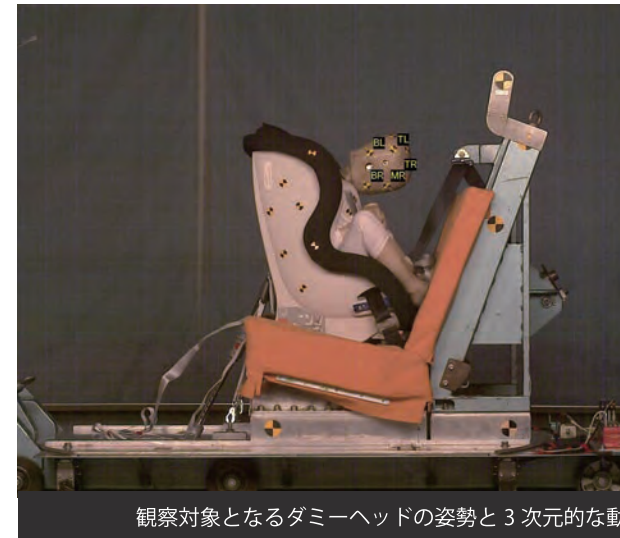
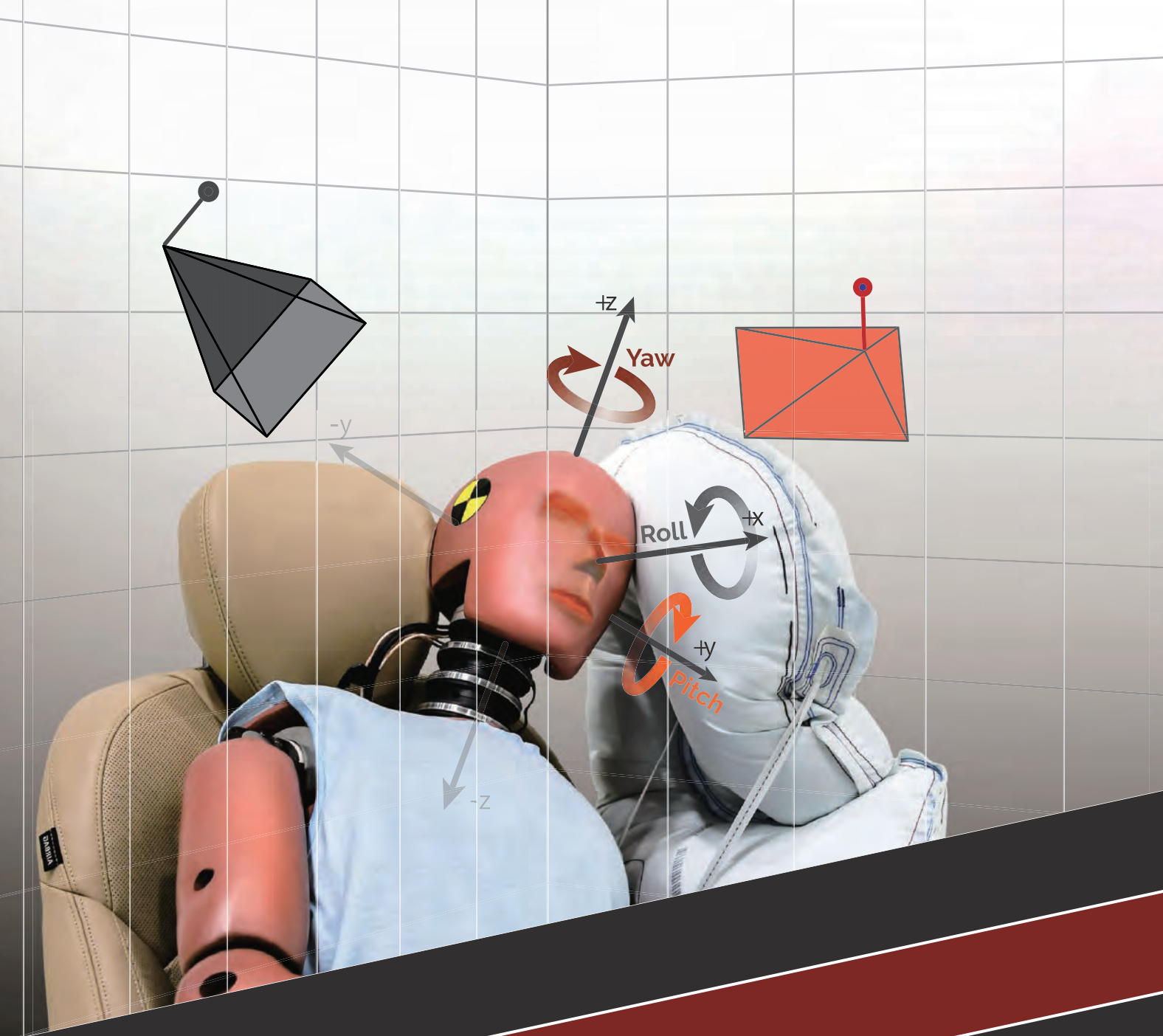
相対的な座標系

- 基準カメラに取り付けられたデフォルトの 3D 座標系 (3D トラッキングポイントを使って編集可能)
- 2 つ以上のカメラビューがある場合は、ペアで計算する必要があります
- 短時間のテストや基準となるものがないテストに適しています



3D Wand (Optional)

- キャリブレーションは高速かつ自動で行います
- すべてのカメラ (2 台以上) を同時にキャリブレーション - レンズ歪み - カメラ向き
- 精度レポートを作成できます



観察対象となるダミーヘッドの姿勢と3次元的な動きは、シングルカメラビューのTEMA Classic 6DoFで測定されます。

6自由度トラッキング (6DoF) はTEMAのオプション機能で、剛体の追跡対象物の位置 (x, y, z) と3次元姿勢 (roll, pitch, yaw) を計算します。各対象物ごとに、明確なポイントで3D座標系を設定してターゲットモデルを作ります。ターゲットは個々の点が相対的に移動しない剛体構造である必要があります。TEMA Proの6DoF計算は剛体に取り付けられた座標系の原点だけでなく、モデルの他の点の3D位置も計算します。



Robust

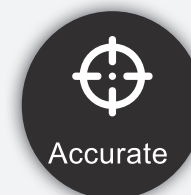
- 無制限の追跡可能ポイント数
- シングルカメラによる6DoFソリューション
- 6D Onboardでは複数のカメラビューを組み合わせることで6DoF解析を行うことができます。2つの剛体間の相対的な6DoF解析を行うことで、カメラの振動を動的に補正することができます。
- 6DoF解析を行うためにはカメラビューの各フレームにおいて、剛体上の体積または面積に広がる最低4点(より多くの点を推奨)を追跡する必要があります。6D Onboardの場合、この4点は複数のカメラビューで共有することができます。



Flexible

TEMAの6DoF解析に使用する座標系の指定は、様々なアプリケーションに合わせて複数の方法で行うことができます。

- t0でのターゲット座標系
t0時点での対象物の姿勢に対する6DoF解析
- カメラ座標系
カメラに取り付けられた座標系を基準にした対象物の6DoF解析
- 外部座標系(6Dオンボード)
オンボードカメラの振動や動きを、基準となる剛体を用いて取り除く相対的な6D



Accurate

- 0.01ピクセルのトラッキング精度
- マルチカメラによるオンボード6DoFでは、衝突試験の際にポイントを拡張測定することでより高い精度を実現しています。



Visualized

- 3Dメッシュやテクスチャを簡単にインポートし、トラッキングポイントを使ってカメラビューの画像と位置合わせすることで、複雑なオブジェクトの場合でも正確な6DoFトラッキングを維持することができます。
- 結果は様々な表、図、画像のエクスポート形式で視覚化できます。

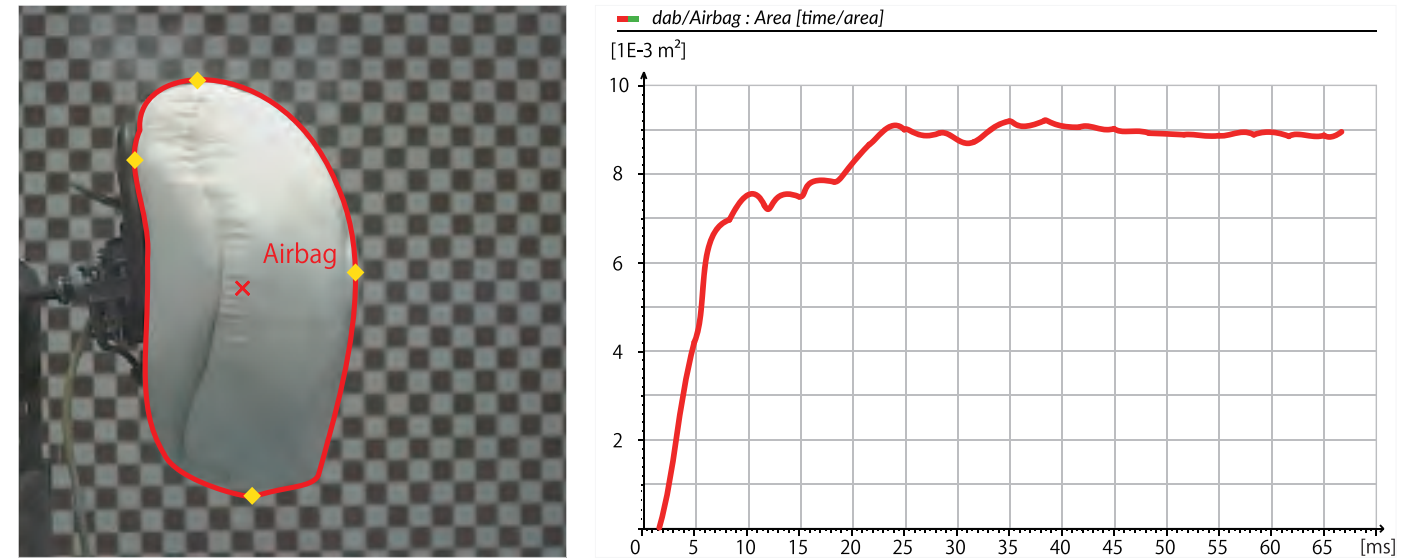
image SYSTEMS

TEMA Pro 6DoF/ 6D Onboard

歩行者への衝撃や衝突試験など、剛体の挙動を解析しなければならないアプリケーションには、TEMA Pro 6DoF または 6D Onboard が市場で最も適したソリューションです。解析に加えて3DモデルやCAD図面をインポートすることで、よりリアルな図を表現することができます。

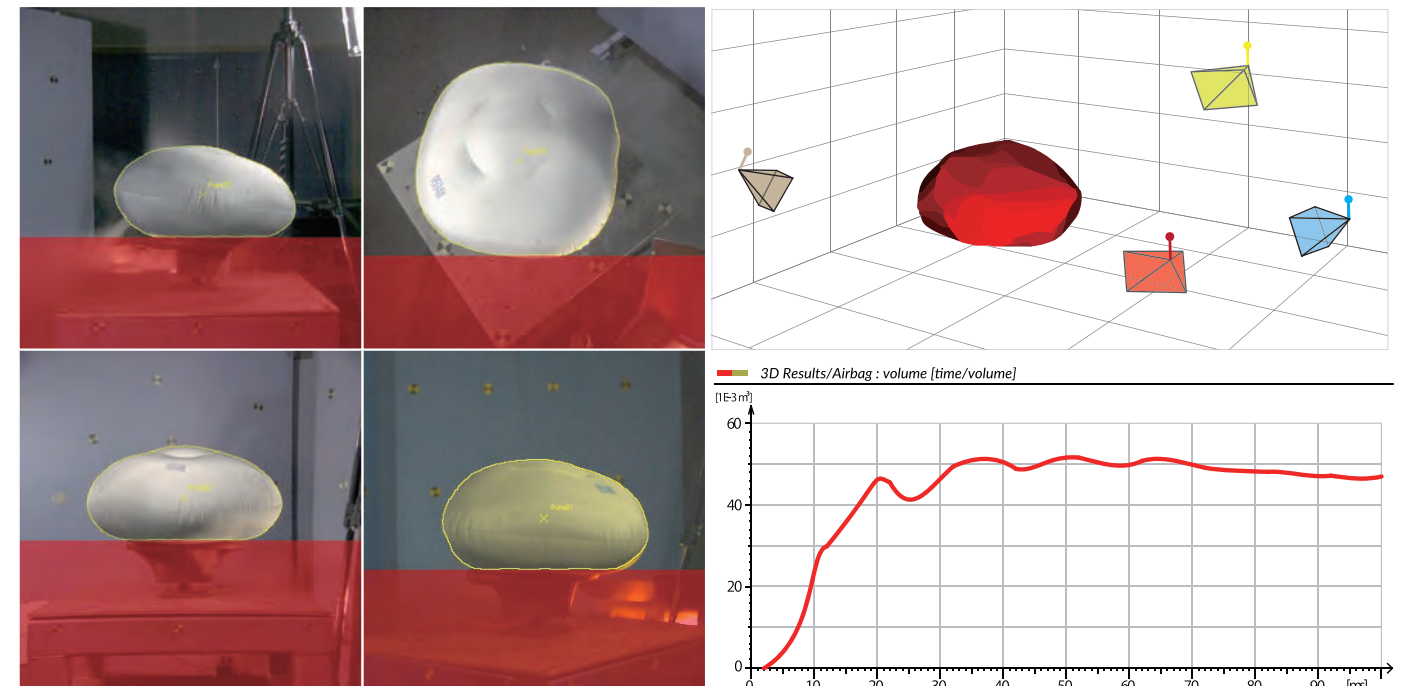
Airbag AREA

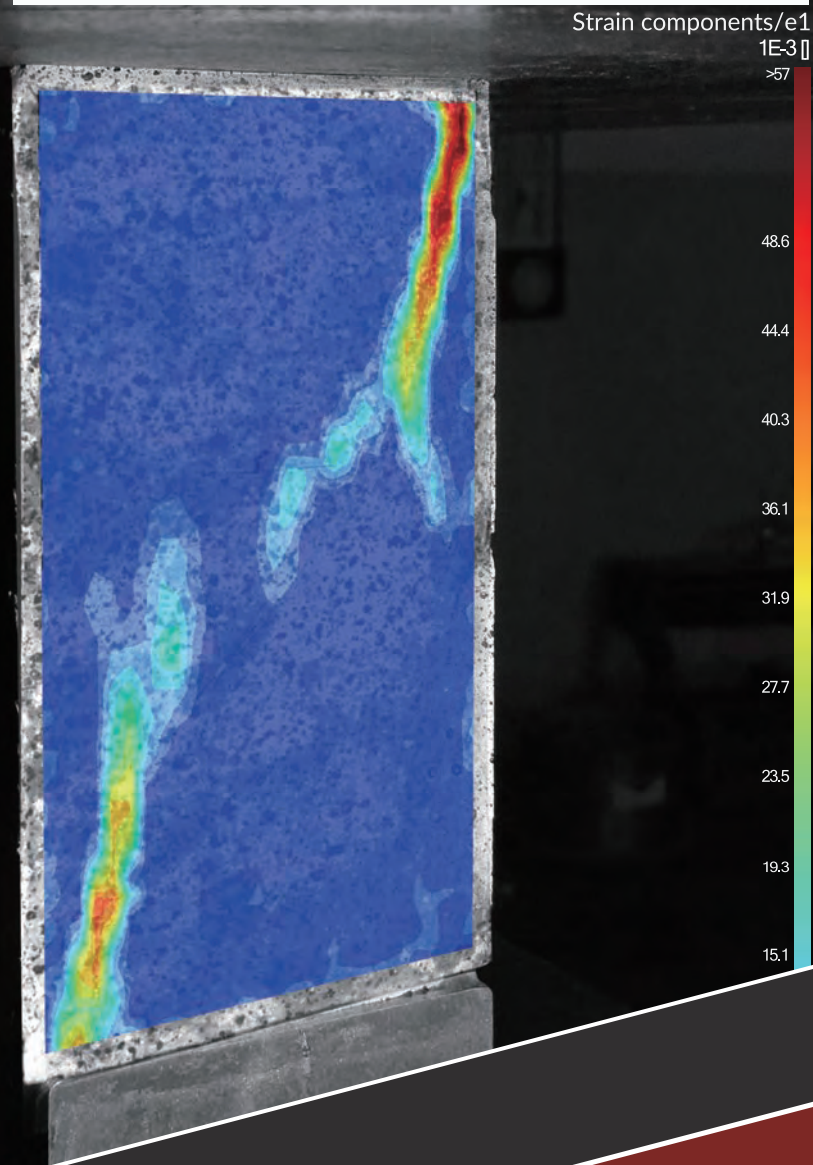
背景抑制機能と逆再生解析を用いて、展開中のエアバッグの輪郭を正確に追跡することができます。検出された輪郭で覆われた領域と、輪郭からの極端な点の位置 / 速度 / 加速度を時間に対して表示し、自動車エンジニアが期待するクッションの動作を確認することができます。



Airbag Volume

TEMA Pro のエアバッグボリュームおよび 3D モジュール (オプション) を使用すると、少なくとも 4 台のカメラを組み合わせて、展開中のエアバッグのボリュームを計算することができます。カメラはエアバッグの複雑な形状の変化を多角的に複数位置でカバーする必要があるため、推奨されるカメラの数が多くなっています。各カメラビューでエアバッグの輪郭を分析し、TEMA ソフトウェアが多角形の交点に基づいて 3D ボリュームを計算します。この 3D オブジェクトは選択したフレームの .obj または .stl としてエクスポートし、シミュレーション結果と比較することができます。





2Dおよびステレオ DIC 解析を成功させるためには、優れた実験セットアップが不可欠です。イメージシステム社は、自動車、軍事、航空などの産業界だけでなく、機械エンジニアからのフィードバック、アドバイス、要求を集め、2つの正確で高品質なターンキーシステムを開発しました。



DIC Embedded System

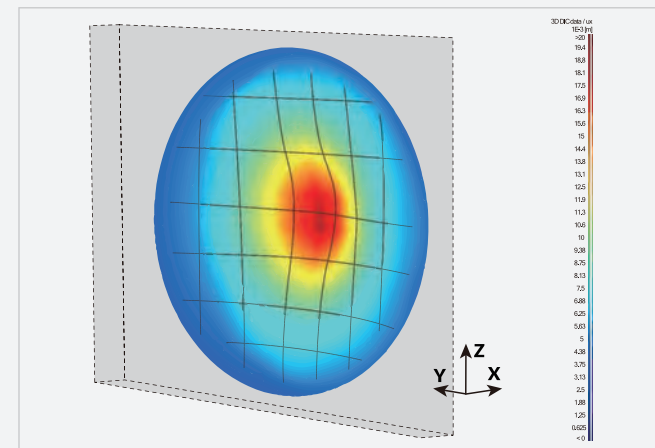
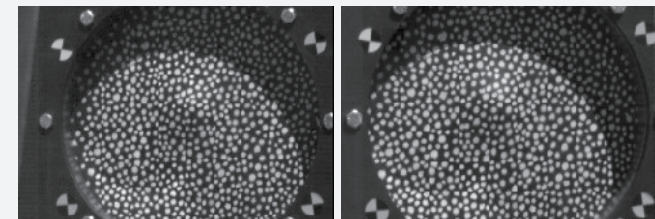
- 堅牢なデザイン、容易なセットアップ
- 固定式ステレオ FOV で高解像度を実現
- 低～中程度のフレームレートが可能
- キャリブレーションされたレンズ、低歪み
- 連続点灯
- DAQ システムとの互換性
- リアルタイム (20fps 未満) での測定
- 引張・圧縮試験に最適



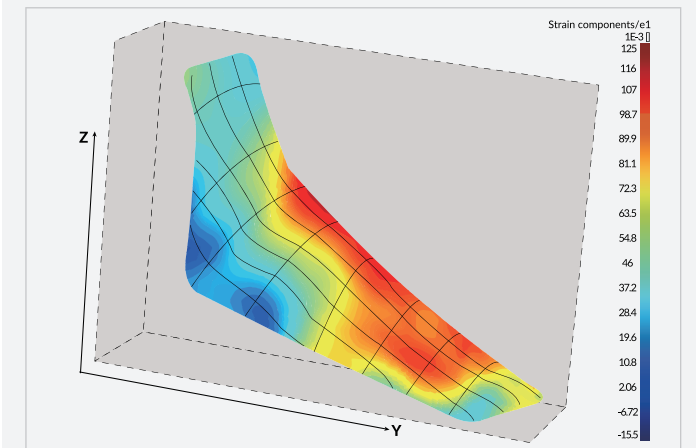
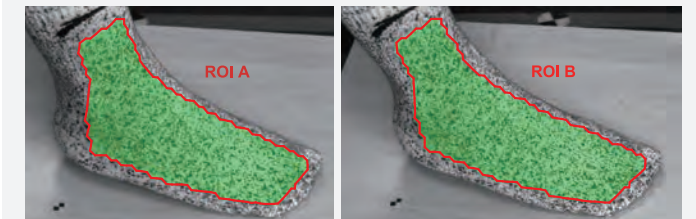
DIC Elite System

- 柔軟なデザインとスマートなアライメントツールにより、簡単なセットアップと高品質な結果を実現
- 様々な解像度でカスタマイズされたポジショニング
- 産業用、高速 (ストリーミング) カメラに対応
- 交換可能なレンズ、柔軟な FOV
- カスタマイズ可能な照明
- DAQ システムとの互換性
- リアルタイム (20fps 以下) での測定

衝撃による挙動の解析例



布や肌の変形解析例



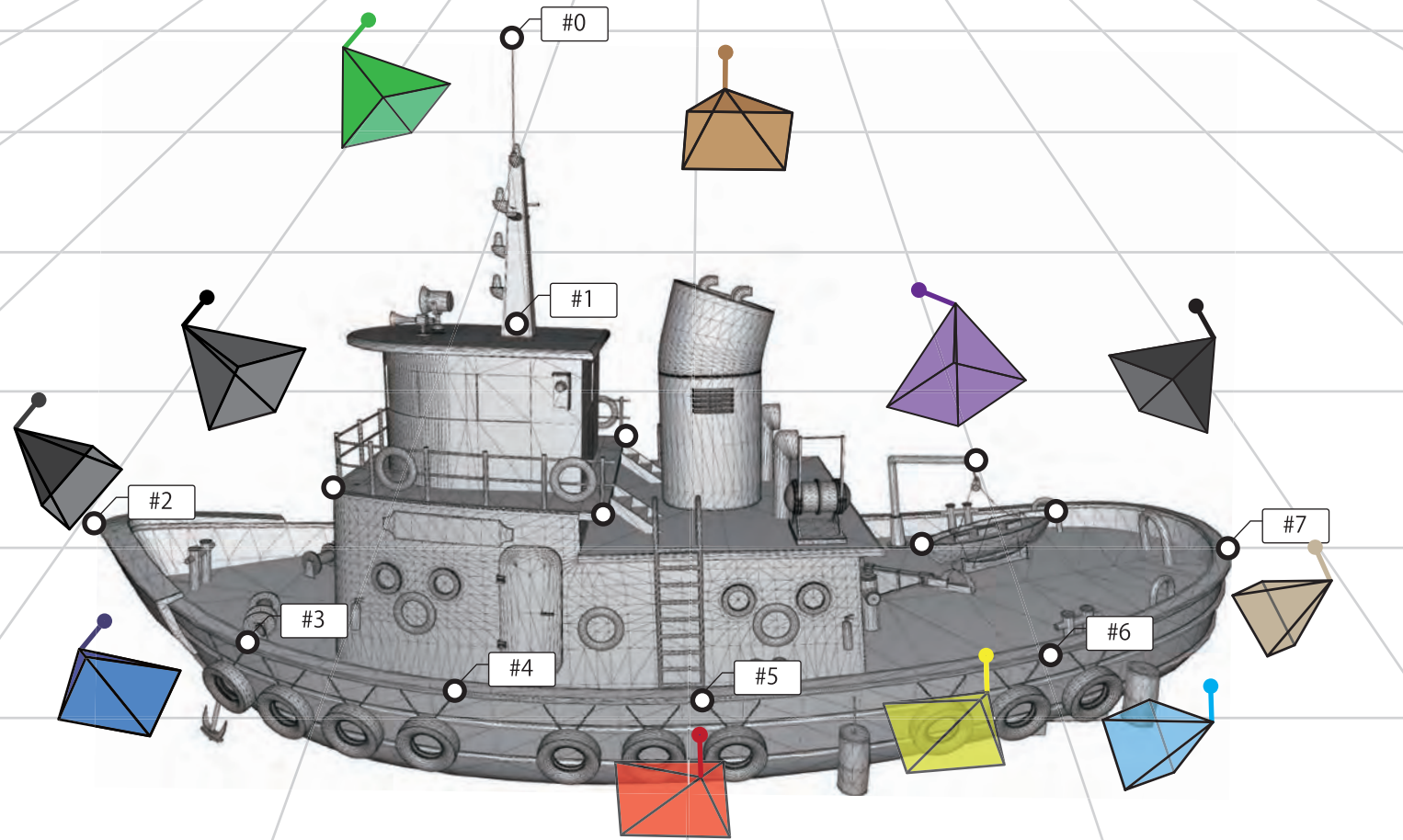
TEMA Pro DIC

DIC (Digital Image Correlation) は対象物に描かれたランダムパターンの動きや変形を追跡することで、全体的な表面変形や歪みの解析を可能にします。このパッケージには、検査ライン、仮想伸び計などの特定の DIC ツールのセットが含まれており、表面の統計情報をさらに多く提供します。

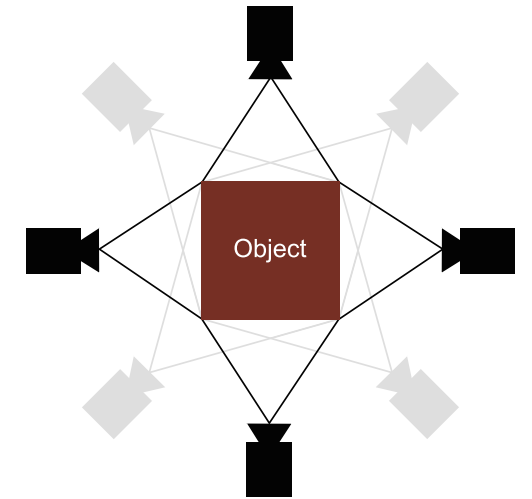
疲労試験や材料の特性評価、あるいは制約下にある構造物の挙動の理解に最適なこの非接触技術は、ストレインゲージと組み合わせることでさらに精度を高めることができます。

高速度カメラで記録された爆風衝撃波の作用下にある金属板の動的な立体変形を、TEMA Pro と 3D モジュールを使って簡単に解析することができます。爆風の挙動を完全に理解するために、3D 変位およびひずみの主成分 / 副成分をカラーマップ付きの 3D ダイアグラムで表示したり、カメラビューを重ねて表示したりすることができます。表面上に注目点を配置することで、衝撃波で振動するプレートの周波数と同様に局所的な変位の最大値を測定することができます。

体の動きや衝撃、衝突などの影響を受けて、皮膚（または皮膚上の布地）は弾性変形することがあります。この変形を TEMA Pro の DIC アルゴリズムで解析することにより、その際に身体がどのような歪みを受けているかを確認し、定量化することができます。これは腰痛の原因となる身体の非対称性を特定するための、バイオメディカル分野での応用に特に役立ちます。将来的にはシューズなどのスポーツ用品のデザインにも応用でき、地面からの繰り返しの力に体が耐えられるようにすることができます。



Static 3D は静止画像を用いて、静止した物体や環境から 3D モデルや計測データを生成することができる強力なソフトウェアツールです。計測ポイントは画像中から手動で選択するか、マーカーを使って自動的に特定することができます。画像内のポイントを手動で選択すると、マーカーが配置されていなくても画像から遡って計測データを導き出すことができます。



Key Features

- 高精度な 3D モデリング
- 大規模な物体の計測にも柔軟に対応
- デジタル一眼レフカメラと主要なレンズの組み合わせによるコストパフォーマンスの高さ
- 遡っての測定が可能
- 様々なエクスポートフォーマット (DDXF、ASCII、CSV ファイル、CAD ソフトへのエクスポートなど)

校正されたカメラを使用してオペレーターは測定対象物や環境の一連の画像を撮影します。

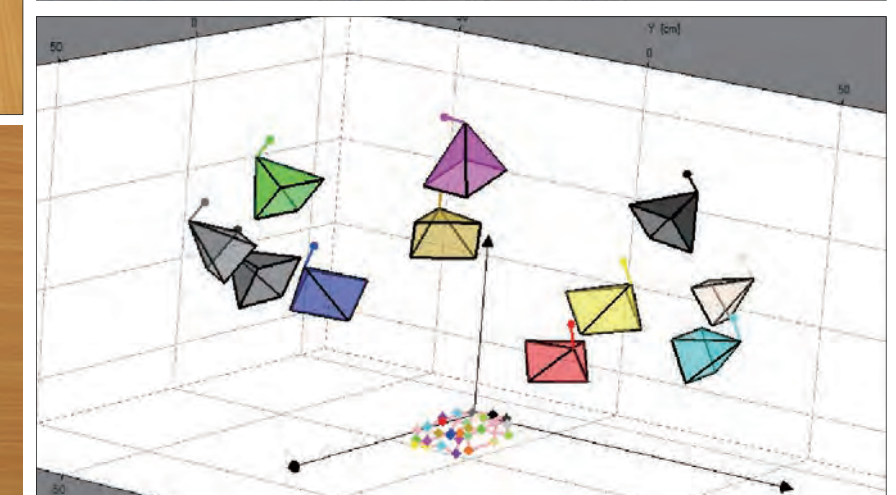
一連の画像には少なくとも 6 つの共通点 (より多くの点を推奨) が写っている必要があります。ポイントは、QUADRANT マーカー、手書きのマーカー、または対象物の形状 / 輪郭のいずれかです。最後に、2 つのポイント間の物理的な距離 (スケールとして機能する) がわかっている場合プロセスは完了します。

その後、ソフトウェアウィザードにより、マーカーおよび / または手動で選択した点の X、Y、Z データが生成され、3D ターゲットモデルが作成されます。

ターゲットモデルのデータは、ポイントテーブル (X、Y、Z) や、検証用の 3D ダイアグラムで可視化することができます。



Point	Status	View	x (cm)	y (cm)	z (cm)	parallel (cm)	h	Fcam	Zo	Distance (cm)
1	Adjusted	6	17,267	-3,265	-3,459	0,00213		34	35	9,462
2	Adjusted	5	18,382	-0,017	-3,820	0,00372		32	33	9,727
3	Adjusted	6	17,352	3,354	-3,432	0,00732				
4	Adjusted	5	13,609	5,317	-2,009	0,00159				
5	Adjusted	7	13,287	2,334	-1,706	0,00327				
6	Adjusted	6	13,029	0,008	-1,516	0,00339				
7	Adjusted	6	13,908	-2,798	-1,514	0,00197				
8	Adjusted	8	13,992	-3,475	-2,288	0,00182				
9	Adjusted	6	11,474	-1,164	-1,854	0,00482				
10	Adjusted	8	7,492	-3,228	-0,187	0,00442				
11	Adjusted	9	7,429	2,976	-0,108	0,00483				
12	Adjusted	7	11,385	3,974	-1,459	0,00468				
13	Adjusted	10	0,000	0,000	0,000	0,00468				
14	Adjusted	7	1,341	3,138	0,111	0,00463				
15	Adjusted	8	-2,055	-5,238	-1,201	0,00446				
16	Adjusted	7	-0,943	5,105	-0,901	0,00395				



様々な携帯型 3D スキャナーに対応しており、TEMA に統合してすぐに使うことができます。

Optional Features:

Technical Specifications	Space Spider	Eva	Leo
3D point accuracy, up to (mm)	0.05	0.1	0.1
3D resolution, up to (mm)	0.1	0.5	0.5
Working distance (m)	0.2 – 0.3	0.4 – 1	0.35 – 1.2
Volume capture zone (cm ³)	2,000	61,000	160,000
3D reconstruction, up to (fps)	7.5	16	22



Model 3D は、3D スキャナーや CAD で作成した剛体や正確な 3D ターゲットを TEMA の 3D ダイアグラムに統合することができるオプションモジュールです。表面テクスチャを持つ高密度の 3D ターゲットを使用することで、3D または 6DOF 解析の理解度が飛躍的に向上しますが、同時にデータ量も増えます。3D モデル機能では高密度の 3D ターゲット内の任意の点の 3D 位置を取得することができます。実際に追跡された点だけでなく、カメラに映っていない、例えばダミーヘッドの裏側の仮想点データもすべて取得できます。



Key Features

- 6DoF テストの準備において、実物から 3D モデルを取得する最も柔軟な方法
- メッシュやテクスチャを用いた 3D モーションの再構築により、3D ダイアグラムでの可視化が可能
- 動作解析時の剛体の 3D 点データを、見えない部分も含めて全て取得可能
- スキャンされた面や点の間の距離や角度の計測
- 市場で最も正確なソリューション

