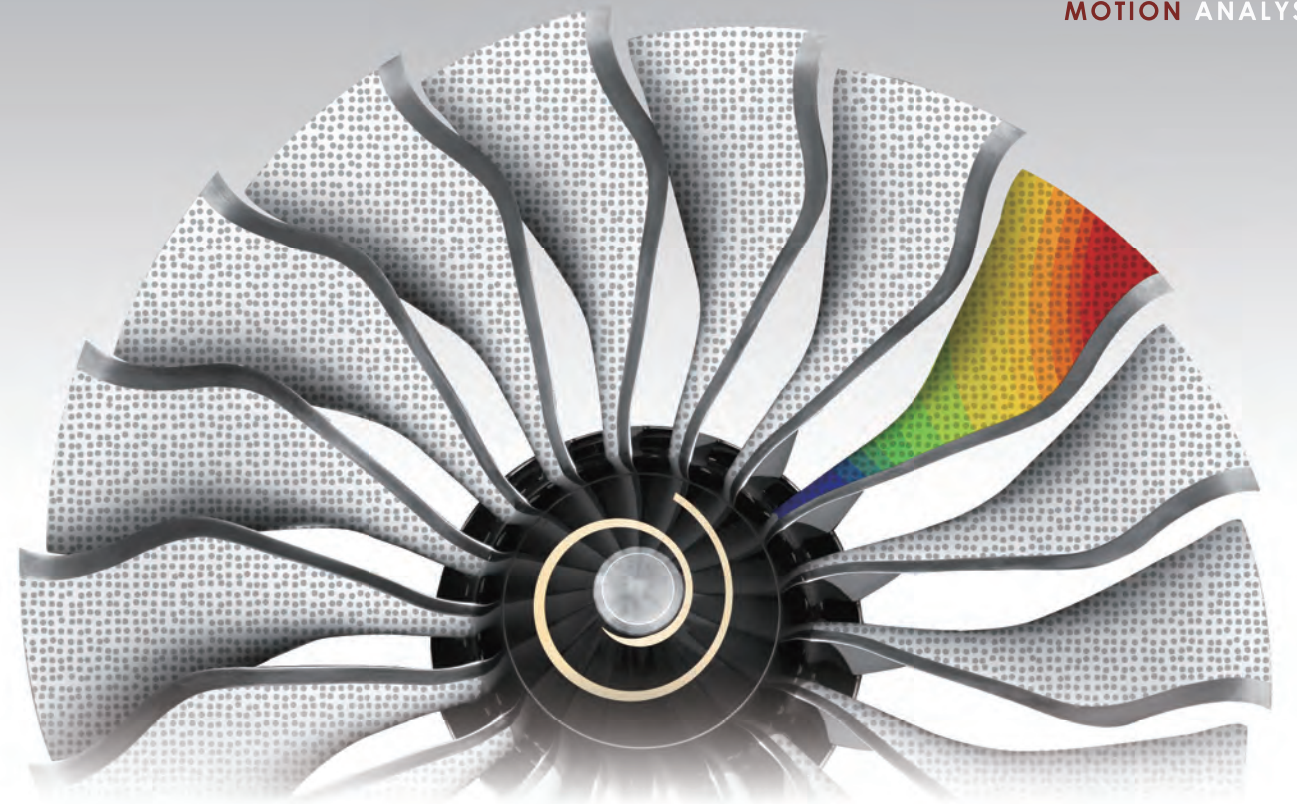


ADVANCED MOTION ANALYSIS

image TEMA Pro



ADVANCED MOTION ANALYSIS

image 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

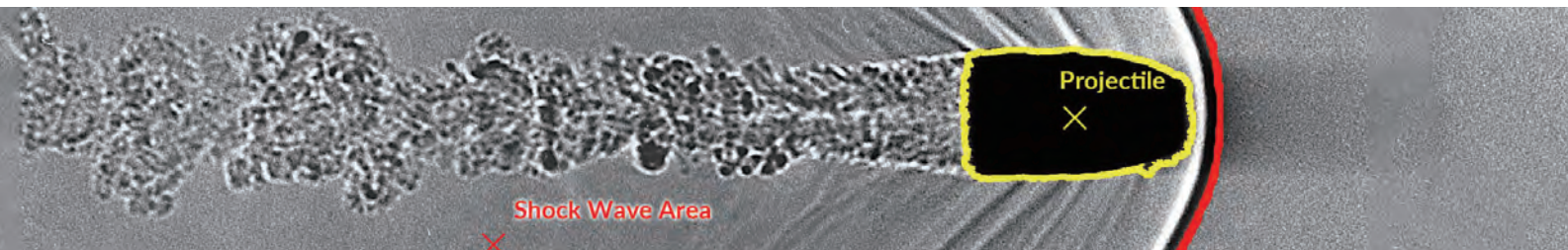
インターネットホームページ <https://www.photron.co.jp/>

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。

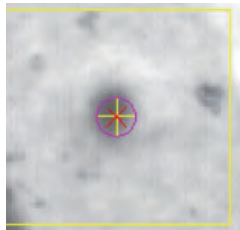


TEMA Pro は研究および産業界における高度な運動解析試験のための市場をリードするソフトウェアです。高精度、モジュール構造、計算速度、直感的なユーザーインターフェースにより、TEMA Pro はスマートフォンの落下試験からスポーツ性能の向上、さらには軌跡の追跡による自動車や航空産業におけるプロセスの最適化まで、世界中の専門家が幅広いアプリケーションで使用しています。TEMA Pro にはデフォルトパッケージに含まれるトラッキングアルゴリズムの幅広いライブラリがあり、あらゆる状況下でほとんどの種類の物体をトラッキングすることができます。

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スケールに基づいており、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。

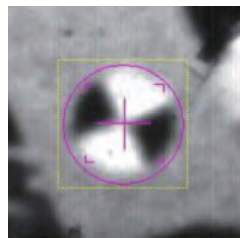


シュリーレン画像内の発射物を輪郭追跡で解析する事例



## Correlation（相関追跡）

ポイントを置いた部分のパターンと同じパターンを、次のフレームのサーチ範囲内から検出します。特徴的なパターンがあれば追跡できる最も基本的なアルゴリズムで、多くの解析に適用できます。



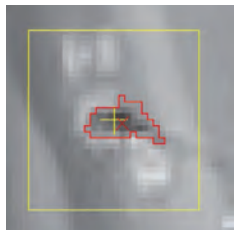
## Quadrant（対称形状追跡）

サーチ範囲内にある左図のような対称マーカを検出します。相関追跡と違い回転に強く、角度も検出できます。マーカを貼り付け / 印字する必要がありますが、高精度な追跡に向いているアルゴリズムです。



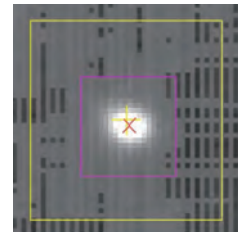
## Virtual（仮想点）

剛体上のポイントなど、位置関係の変わらないポイントと関連付けることで、位置関係を保ったまま移動するアルゴリズムです。関連付けたポイントが見えていれば追跡できるので、トラッキング中に隠れてしまう場合に有効です。



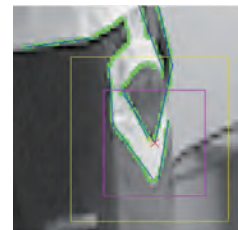
## Centre of Gravity（輝度重心追跡）

周囲と比べて明るい、または暗い部分を検出し、その重心を追跡します。難しいマーカを用意しなくても、ペンで点を打つなどして周囲と輝度差があれば追跡でき、重心計算なので回転にも強く汎用性の高いアルゴリズムです。



## Circular symmetry（同心円形追跡）

サーチ範囲内にある円形のパターンを検出します。同心円や自転車の車輪のスポークの中心を追跡するのに適しています。



## Intersection（交差追跡）

エッジを抽出し、そのエッジから交差する部分を探して検出します。画像中の交差部分を追跡するのに適しています。



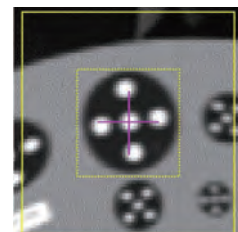
## Corner contour（角追跡）

エッジを抽出し、そのエッジから角部分を探して検出します。画像中の角部分を追跡するのに適しています。



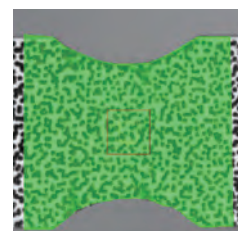
## Mouse tracker

画像の品質が悪いために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（5/6 MXTマーカ）

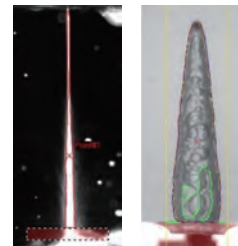
サーチエリア内の MXT マーカ中心を追跡し、変位と角度を出力します。MXT マーカは主に欧州で使用されており、5 点タイプと 6 点タイプに対応しています。



## 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。



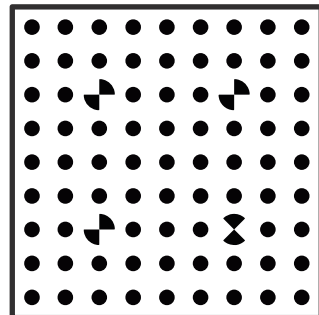
## Airbag（輪郭追跡）

指定した明るさのエリアの輪郭を検出します。結果として輪郭の面積、周囲長、中心および上下左右の変位を出力できます。エアバッグの展開や、液滴の広がり計測に適しています。「Airbag」「Advanced Airbag」「Outline+」の 3 つのアルゴリズムがあります。





Checkered 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

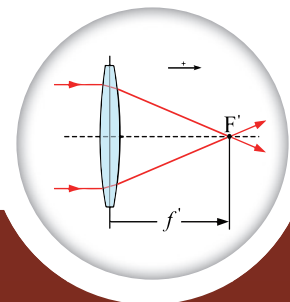
「LENSCALBOARD\_A1/A3/A5/A7」は、剛性の高いフラットなボードに、マーカーが均等に配置されています。

#### 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撮影します。
2. 撮影した各画像のボード上にある4つのQuadrant マーカーを認識させていきます。
3. 上記作業だけで、レンズキャリブレーションの結果と精度の概要と、パラメータファイルを出力します。  
パラメータファイルはレンズ条件を変えなければ繰り返し利用できます。

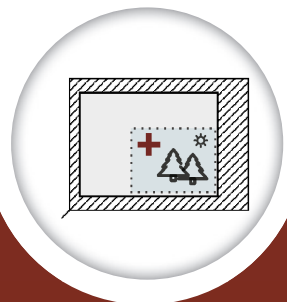
## 補正されるパラメーター

主に計測に重要な以下のパラメーターを同時にキャリブレーションします。



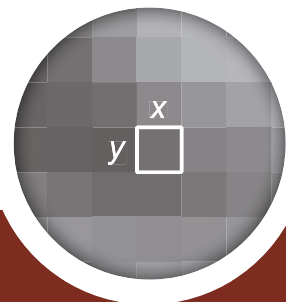
#### 焦点距離

正確な焦点距離を画像から再計算します。  
ズームレンズはもちろん、固定焦点レンズでもフォーカス位置やレンズ個体差で公称値と異なる場合があります、特に正確な焦点距離が必要な3Dや6Dで重要です。



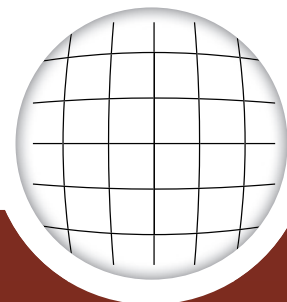
#### 光学中心

正確な光学中心を画像から再計算します。  
カメラやレンズによって光学中心もわずかに異なります。これも3D、6D等の計測に重要です。



#### アスペクト比

1ピクセルの縦横比率（アスペクト比）は基本「1:1」ですが、カメラによってはそうではない場合があります。これが間違っていると縦横の変位に大きな影響がありますので、再計算します。



#### レンズ歪み

焦点距離の短いレンズや、レンズ品質によって歪みが大きくなり、計測に影響します。  
TEMAでは最も一般的な樽型、糸巻き型の歪みを補正します。



## 自動化と正確性

専用のキャリブレーションワンドで、ワンドを撮影した全カメラの姿勢、レンズ歪み/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

- 丈夫なカーボンファイバー製
- 端部は電池駆動のLED電球になっており、TEMAでの追跡が容易
- 付属の六角レンチとねじによる簡単組み立て
- 運搬に便利な収納ケースが付属
- 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. それぞれのカメラ間を以下のような角度で設置します。
  - 30° ~ 150° 以内
  - 90° 推奨
2. キャリブレーション画像を撮影します。
3. TEMAで自動キャリブレーション実行。



#### 主なメリット

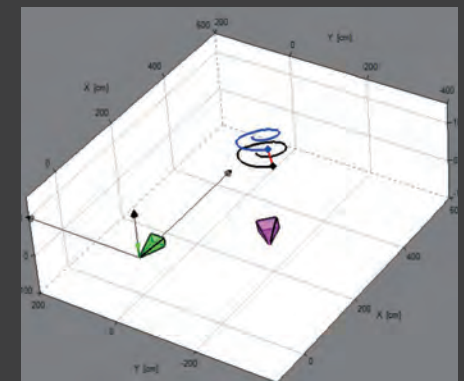
- 画像読み込み後は自動キャリブレーション可能
- カメラ台数や機種に制限なし
- 全カメラの姿勢、レンズ歪み/焦点距離を同時計算



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			

## 出力結果

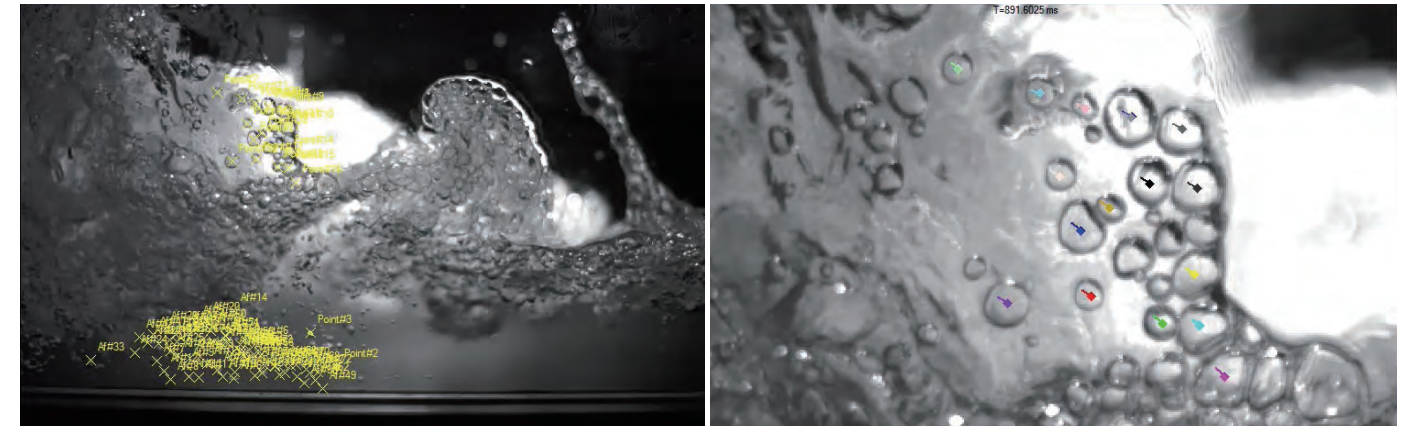
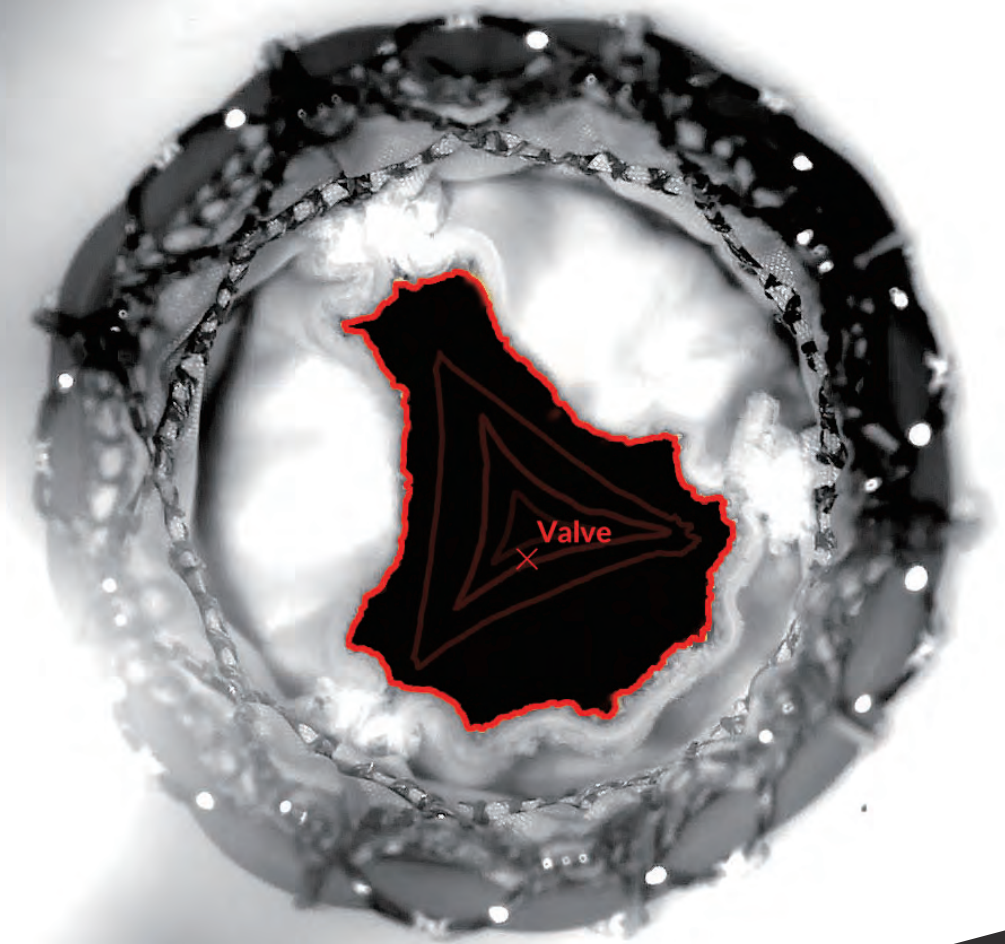
- 各フレームの残差計算
- 焦点距離計算
- レンズ歪みの影響
- 放射歪み補正係数
- 最大残差点





# 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、カメラの振動、振動試験機の動きをキャンセルした被写体の動き、被写体同士の位置関係が分析できます。



## 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。



## 深度補正

単一平面での撮影では問題ありませんが、手前と奥に計測したいポイントがある場合、画像上同じ動きでも移動距離が異なります。  
レンズパラメータとカメラからの深度を入力することで、この深度による誤差を補正できます。



## 2Dデータの出力

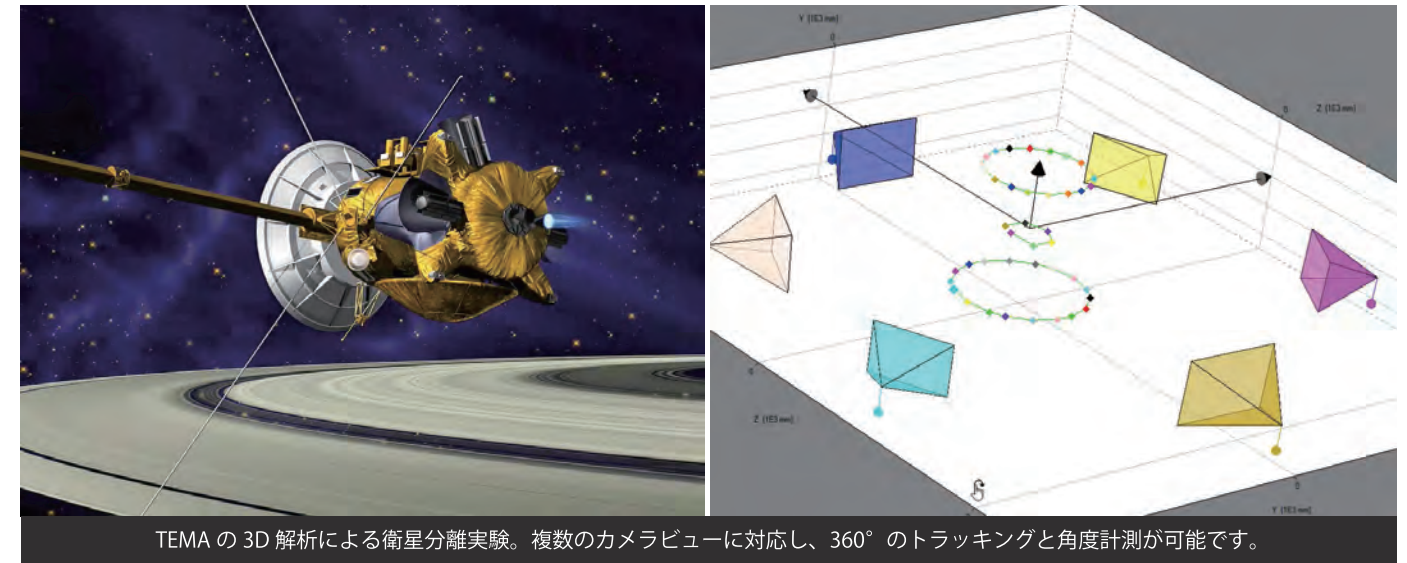
各時刻に対する位置、速度、加速度、距離、角度データを、それぞれ X、Y、絶対値で出力できます。  
出力形式はグラフや軌跡、データテーブルなど様々で、平滑フィルタも適用できます。  
これらのグラフや撮影画像、拡大画像を組み合わせ、タイトルやテキストを載せた動画として出力し、一般的な画像 / ビデオフォーマットで簡単にレポートにすることができます。



# 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。

## 3D ANALYSIS

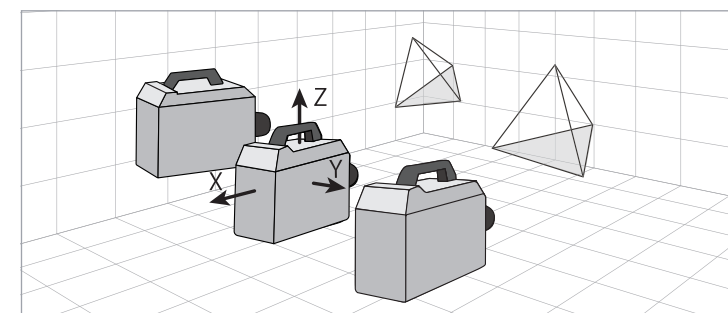
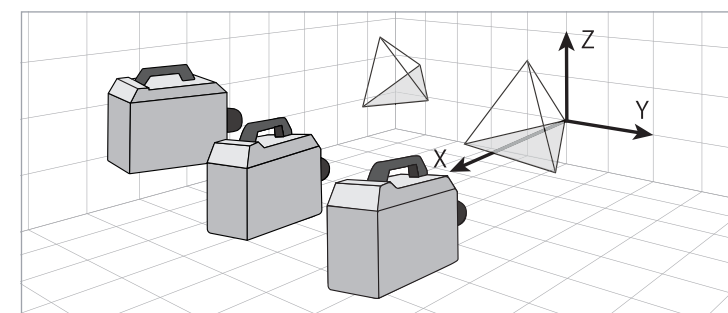


TEMA の 3D 解析による衛星分離実験。複数のカメラビューに対応し、360° のトラッキングと角度計測が可能です。

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 位置を計算します。

### 3D データの出力

キャリブレーションにより構成された 3D 座標系に対する各時刻の位置、速度、加速度、距離、角度データを、それぞれ X、Y、Z、絶対値で出力できます。出力形式はグラフや 3D 軌跡、データテーブルなど様々で、平滑フィルタも適用できます。

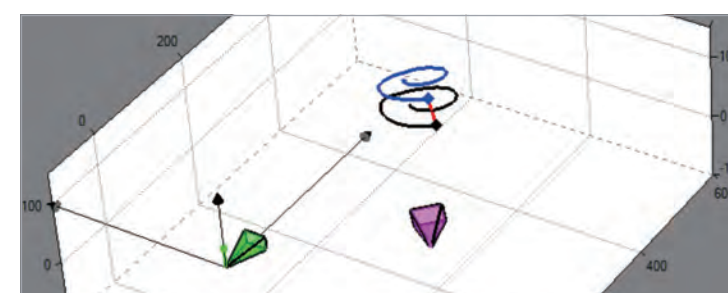


### 静的/動的な座標系

- デフォルトではキャリブレーションツール座標基準の 3D 座標系となり、ポイントを使った任意な座標系も構築できます。
- キャリブレーションツールを映し続ける事により、動的なキャリブレーションにも対応します。

### 相対的な座標系

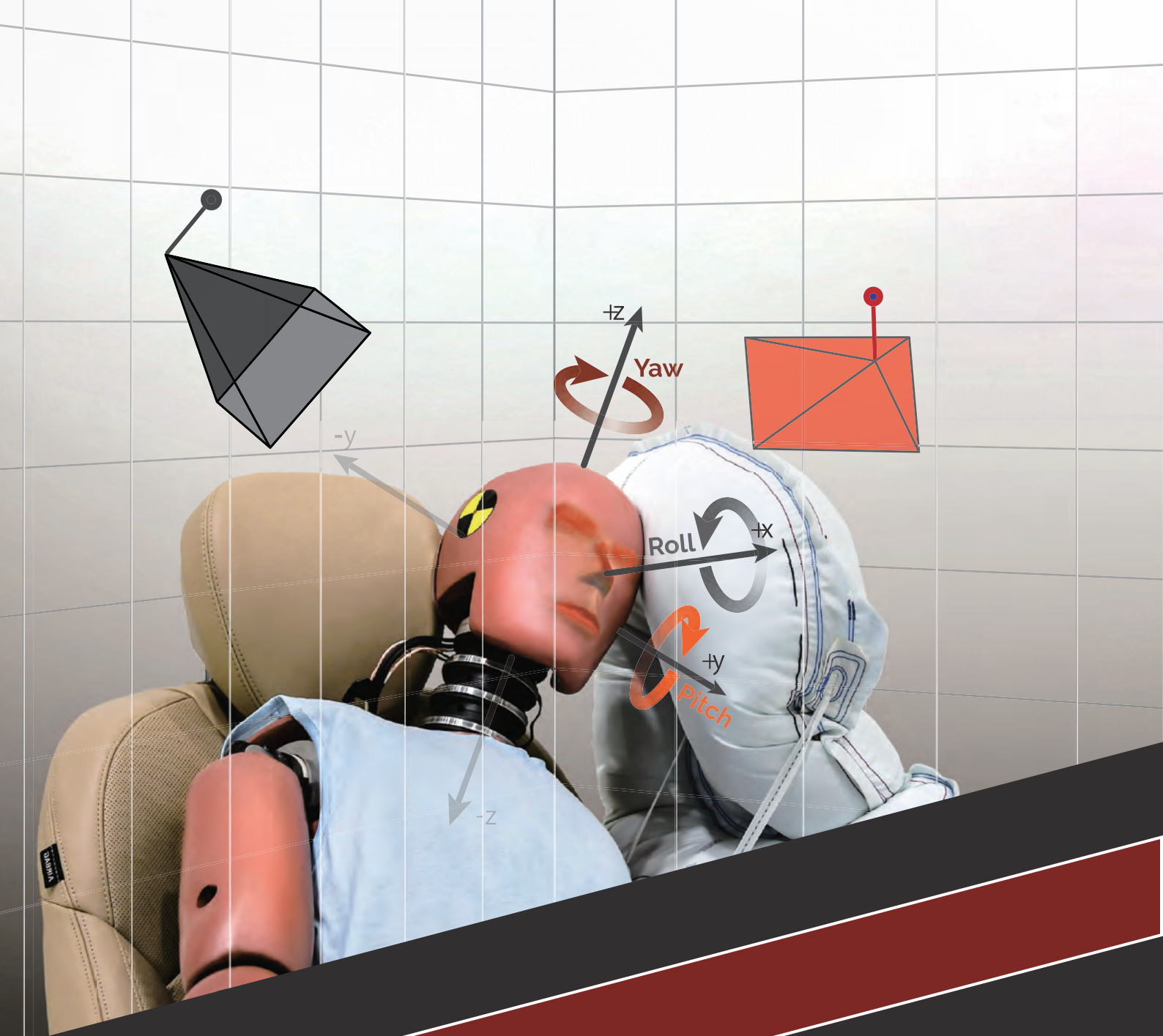
- マスターカメラ位置基準の 3D 座標系となり、ポイントを使った任意な座標系も構築できます。
- キャリブレーションツールを必要とせず、より簡単に 3D 計測ができます。
- 計算はカメラ 2 台ペアにのみ対応し、それ以上にカメラを用意する場合は 2 台ペアで計算します。



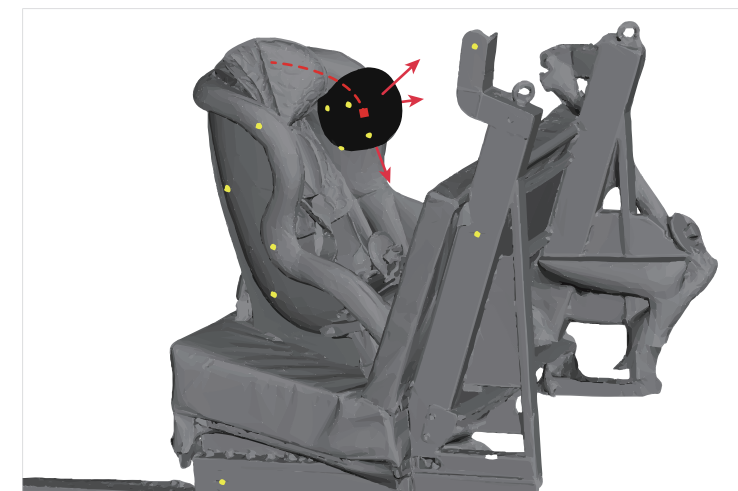
### 3D Wand (Optional)

- 専用ワンド、または 2 点間の分かっている剛体を撮影してキャリブレーションします。
- 画像読み込み後は自動キャリブレーションできます。
- カメラ台数や機種に制限はありません。
- 全カメラの姿勢だけではなく、レンズ歪み / 焦点距離を同時に補正できます。





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。



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。

6DoF(6 自由度トラッキング) は、剛体を対象として 3 次元座標が分かっている複数点をトラッキングすることで、3 次元位置 (x, y, z) と姿勢 (roll, pitch, yaw) を計算します。

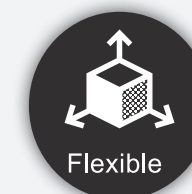
オプションにより複数の剛体や、1 つの剛体の姿勢に対する別の剛体の相対的な姿勢も算出できます。

また、3D スキャナーのモデルデータを読み込むことでポイントを貼り付けていない部分のデータも出力できます。



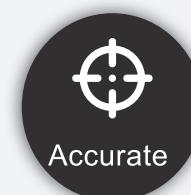
- シングルカメラで姿勢が算出できます。
- 剛体上で 3 次元座標の分かっている 4 点 (推奨 10 点) 以上のポイントが追跡できていれば計算できます。
- 6D Onboard オプションでは複数カメラを利用でき、1 つの剛体を基準とした相対的な解析ができます。

これにより例えば車載カメラが揺れてしまった時にフレーム部分を基準にダミーの姿勢算出といった使い方ができます。

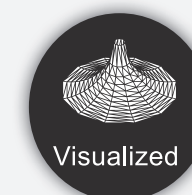


TEMA 6DoF で使う座標系は、複数の方法で指定できます。

- 時刻 0 秒時点の剛体座標  
0 時刻からの姿勢変化が出力できます。
- カメラ姿勢  
カメラを基準とした姿勢変化が出力できます。
- 外部座標系 (6D Onboard)  
キャリブレーションツールを含めた、他の剛体からの相対的な姿勢変化が出力できます。



- 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。

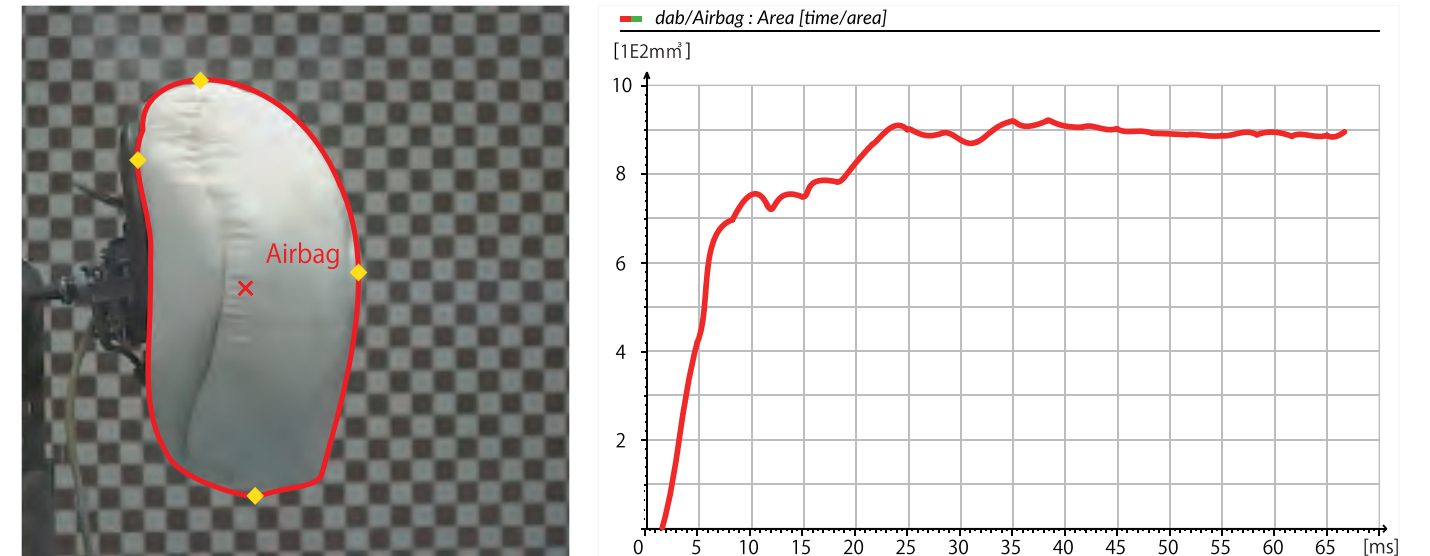


- 3D スキャナーで取り込んだ 3D メッシュ、テクスチャを 6DoF データと関連付けることで、簡単に 3D モデルデータを取り込むことができます。
- 各時刻に対する位置、速度、加速度および姿勢データを出力できます。  
出力形式はグラフや軌跡、データテーブルなど様々な形式で視覚化できます。



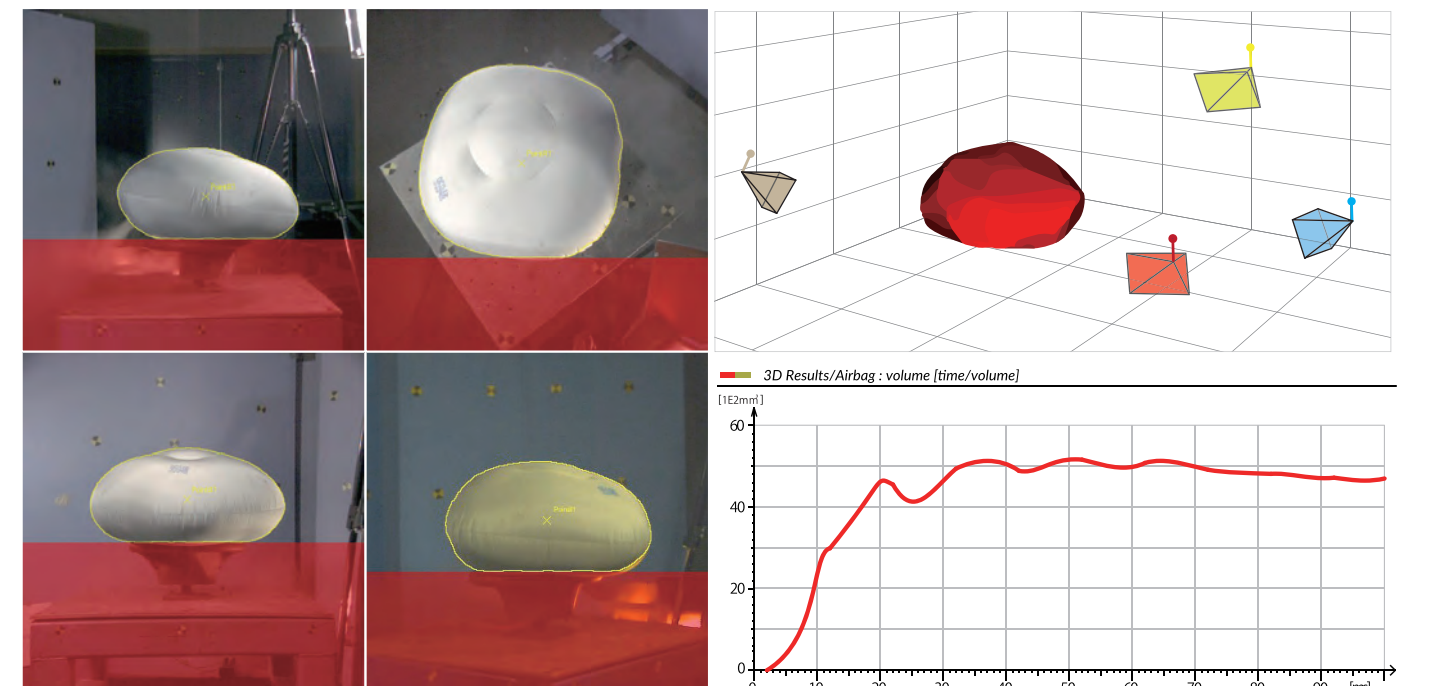
## Airbag AREA

背景除去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、輪郭の上下左右最大位置 / 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。

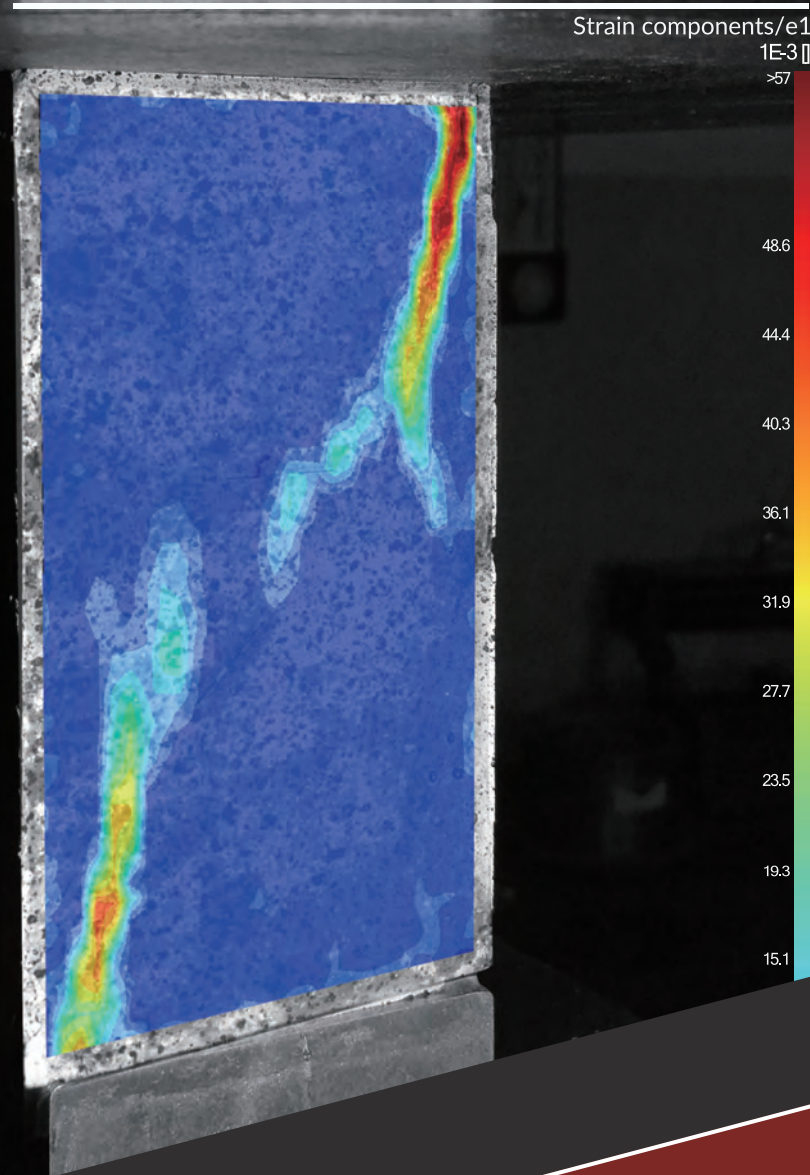


## Airbag Volume

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、4 台以上のカメラを組み合わせて、展開中のエアバッグの体積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変化を捉えるため、出来るだけ多くのカメラを用意する必要があります。各カメラビューの輪郭を統合し、エアバッグのへこみや広がり方を正確に検出して 3 次的に体積を計算します。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。







## 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。このモジュールには、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、ひずみ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。

## DIC ANALYSIS

2D およびステレオ DIC 解析を成功させるためには、正確なカメラ、照明配置での撮影が不可欠です。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

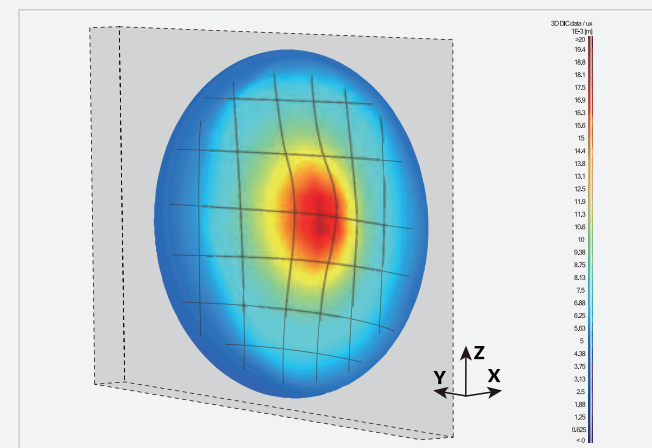
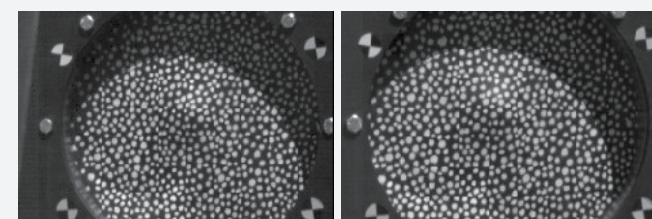
- 堅牢なデザイン、容易なセットアップ
- 固定式ステレオ FOV で高解像度を実現
- 低～中程度のフレームレートが可能
- キャリブレーションされたレンズ、低歪み
- 連続点灯
- DAQ システムとの互換性
- リアルタイム (20fps 未満) での測定
- 引張・圧縮試験に最適



### DIC Elite System

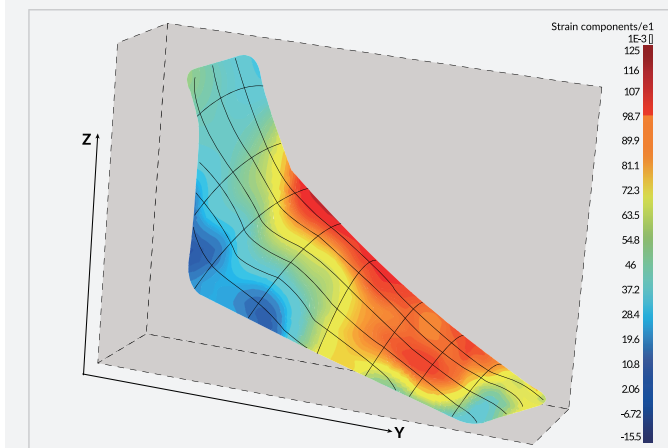
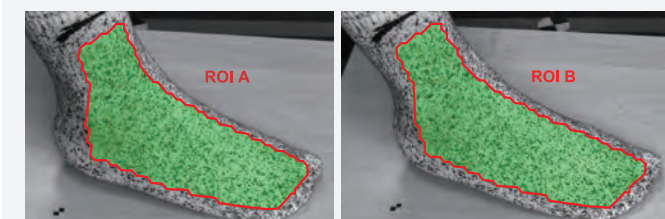
- 柔軟なデザインとスマートなアライメントツールにより、簡単なセットアップと高品質な結果を実現
- 様々な解像度でカスタマイズされたポジショニング
- 産業用、高速 (ストリーミング) カメラに対応
- 交換可能なレンズ、柔軟な FOV
- カスタマイズ可能な照明
- DAQ システムとの互換性
- リアルタイム (20fps 以下) での測定

### 衝撃による挙動の解析例



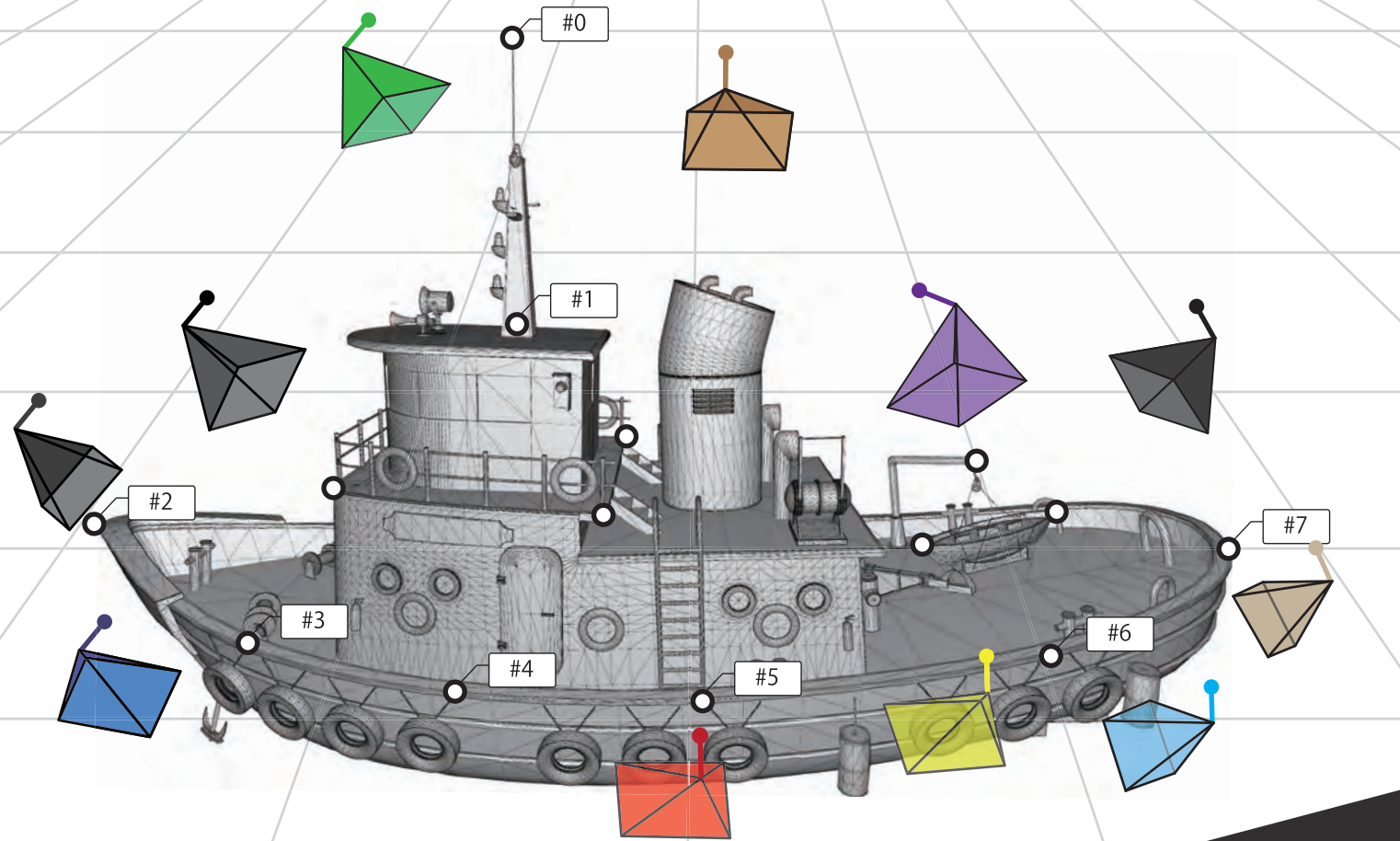
高速度カメラで記録された爆風衝撃波の作用下にある金属板の動的な立体変形を、TEMA Pro と 3D モジュールを使って簡単に解析することができます。爆風の挙動を完全に理解するために、3D 変位およびひずみの主成分 / 副成分をカラーマップ付きの 3D ダイアグラムで表示したり、カメラビューを重ねて表示したりすることができます。表面上に注目点を配置することで、衝撃波で振動するプレートの周波数と同様に局所的な変位の最大値を測定することができます。

### 布や肌の変形解析例

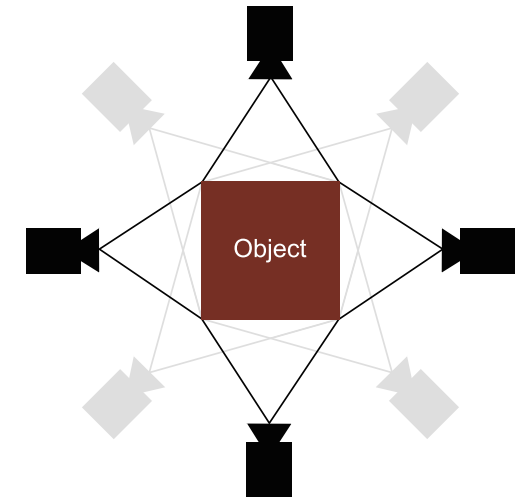


体の動きや衝撃、衝突などの影響を受けて、皮膚（または皮膚上の布地）は弾性変形することがあります。この変形を TEMA Pro の DIC アルゴリズムで解析することにより、その際に身体がどのような歪みを受けているかを確認し、定量化することができます。これは腰痛の原因となる身体の非対称性を特定するための、バイオメディカル分野での応用に特に役立ちます。例えばシューズなどのスポーツ用品のデザインにも応用でき、地面から体にかかる負担の定量化にも利用できます。





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

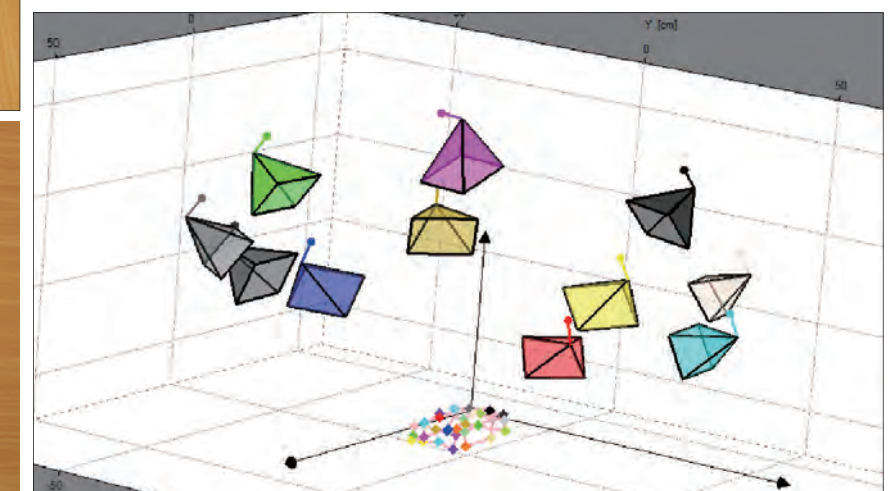
- 高精度な 3D モデリング
- 大規模な物体の計測にも柔軟に対応
- デジタル一眼レフカメラと主要なレンズの組み合わせによるコストパフォーマンスの高さ
- 遡っての測定が可能
- 様々なエクスポートフォーマット (DDXF、ASCII、CSV ファイル、CAD ソフトへのエクスポートなど)

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 つの共通点が写っている必要があります。計測対象ポイントは、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がわかっているれば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	Views	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Parallel (cm)	h	From	To	Distance (cm)
1	Adjusted	6	17,267	-3,285	-3,459	0,00213		24	25	9,462
2	Adjusted	6	18,382	-0,017	-3,820	0,00372		32	33	9,727
3	Adjusted	6	17,352	3,364	-3,432	0,00732				
4	Adjusted	5	13,609	5,317	-2,000	0,00159				
5	Adjusted	7	13,287	2,804	-1,706	0,00327				
6	Adjusted	6	13,829	0,000	-1,316	0,00339				
7	Adjusted	6	13,808	-2,798	-1,316	0,00197				
8	Adjusted	8	13,892	-3,478	-2,288	0,00162				
9	Adjusted	6	11,474	-3,144	-1,882	0,00482				
10	Adjusted	8	7,872	-3,225	-0,187	0,00442				
11	Adjusted	9	7,428	2,575	-0,108	0,00383				
12	Adjusted	7	11,380	3,574	-1,459	0,00468				
13	Adjusted	10	0,000	0,000	0,000	0,00446				
14	Adjusted	7	1,341	3,138	0,111	0,00463				
15	Adjusted	6	-2,055	-5,238	-1,201	0,00446				
16	Adjusted	7	-0,943	5,105	-0,901	0,00395				







## TEMA Model 3D

3D モデリングは剛体の 3D または 6DoF モーション解析の精度を向上させる重要な要素であり、特に対象物が隠れてしまったり、追跡が困難な場合に有効です。複数の 3D モデルまたは 1 つの 3D モデルと基準点との最短 3D 距離を時間軸上で計算することが可能です。カメラから直接見えなくても剛体間の接触や干渉を見つけることができます。



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。Model 3D では、モデル表面全体に座標データを持っているので、表面上の任意の点の 3D 位置が取得できます。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。

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。

### オプション機能

技術仕様	Space Spider	Eva	Leo
3D ポイント精度 (mm)	0.05	0.1	0.1
3D 解像度 (mm)	0.1	0.5	0.5
作動距離 (m)	0.2 - 0.3	0.4 - 1	0.35 - 1.2
ポリウムキャプチャーゾーン (cm)	2,000	61,000	160,000
3D 再構成 (fps)	7.5	16	22



### Key Features

- メッシュ、テクスチャデータを取り込んで 3D、6DoF データと関連付けることで、3D グラフ上での可視化が可能
- 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

