

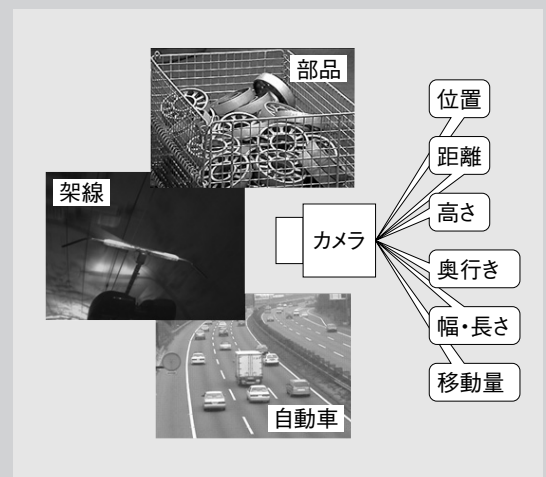
画像応用製品を支える位置計測技術

🔊 画像処理，位置計測，射影変換，ステレオ計測，三角測量

* 藤原伸行 Nobuyuki Fujiwara * 宍道 洋 Hiroshi Shinji * 庭川 誠 Makoto Niwakawa

概要

近年の計算機の性能向上及び低価格化に伴い，産業分野でも画像解析技術が多く取り入れられるようになってきた。当社は長年にわたり画像解析技術開発に取り組み，画像応用製品を実用化してきた。画像解析技術とは，基データである画像に対して「輪郭線を抽出する」，「明るい部分と暗い部分を切り分ける」，「明るさの変化する方向を求める」などの画像処理を行い，さらに画像処理を施したデータを解析して必要な情報を検出する技術である。画像解析技術の中でも位置計測技術は特に重要な技術である。画像を用いた位置計測は非接触であり，計測できる空間的な範囲が広い。当社では画像を用いた様々な方法の位置計測技術を製品に適用している。



位置計測技術

1. ま え が き

近年の計算機の性能向上及び低価格化に伴い，産業分野でも画像解析技術が多く取り入れられるようになってきた。当社でも長年にわたり画像解析技術の開発に取り組み，ピンピッキングシステム⁽¹⁾，架線検測装置⁽²⁾，侵入者検知装置⁽³⁾などの様々な画像応用製品を開発し製品化してきた。ここに挙げた製品例の中でピンピッキングシステムと架線検測装置は位置計測を伴う製品である。

ピンピッキングシステムは，カメラで撮影した部品籠の中から対象物を検出し，その三次元的な位置と姿勢を求め，ロボットアームが検出した対象物を取り上げるシステムである。

架線検測装置は，電気車両の屋根上に設置したカメラで撮影した画像を用いて，電気車両に電力を供給する架線の状態を検査する装置である。こ

*製品開発部

の検査は，架線の位置や摩耗幅などを計測することによって実現している。

本稿では，様々な画像応用製品を支える画像解析技術の中でも特に重要な位置計測技術について紹介する。

2. 位置計測技術の概要

画像解析技術とは，基データである画像に対して「輪郭線を抽出する」，「明るい部分と暗い部分を切り分ける」，「明るさの変化する方向を求める」などの画像処理を行い，さらに画像処理を施したデータを解析して必要な情報を検出する技術である。第1図に画像解析技術の概要を示す。画像解析技術の中でも，位置計測技術は応用範囲が広く重要な技術である。

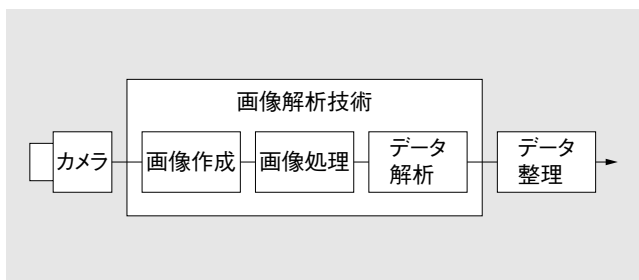
カメラで撮影した画像から位置を求めるためには，幾つかの工夫が必要である。画像から得られ

るのは二次元平面上の点であるのに対して、対象物上の計測点は三次元空間上の点であるためである。第2図にカメラと対象物との相対的な位置関係の模式図を示す。ある対象物上の計測点からの光がレンズの焦点を通過してカメラ内部にある画像センサ平面上に当たり、その光の強さを輝度値として画像上に記録する。位置計測技術では画像上に記録した光の道筋を逆にたどり、対象物上の計測点の位置を求めることになる。しかしながら、二次元情報である画像から三次元情報である対象物上の計測点の位置を求めることは、一般的には

不可能である。そこで「計測点の存在する平面とカメラとの位置関係が分かっている」、「対象物の大きさが分かっている」、「複数台のカメラで同じ計測点を撮影する」などの条件を用いることで位置計測を可能にしている。

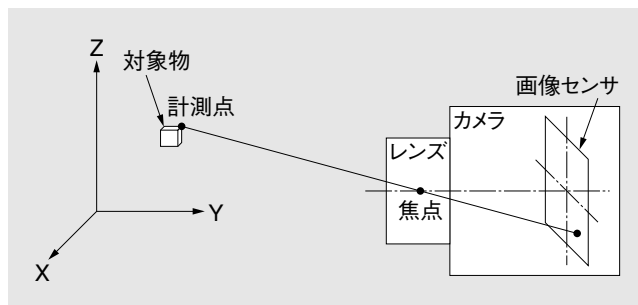
3. 平面上にある対象物の位置計測

工場の生産ラインでは、部品がベルトコンベヤ上を流れてくることが多い(第3図)。このような生産ラインでは、部品をロボットでつかむための位置決めや部品上の寸法検査などに、画像によ



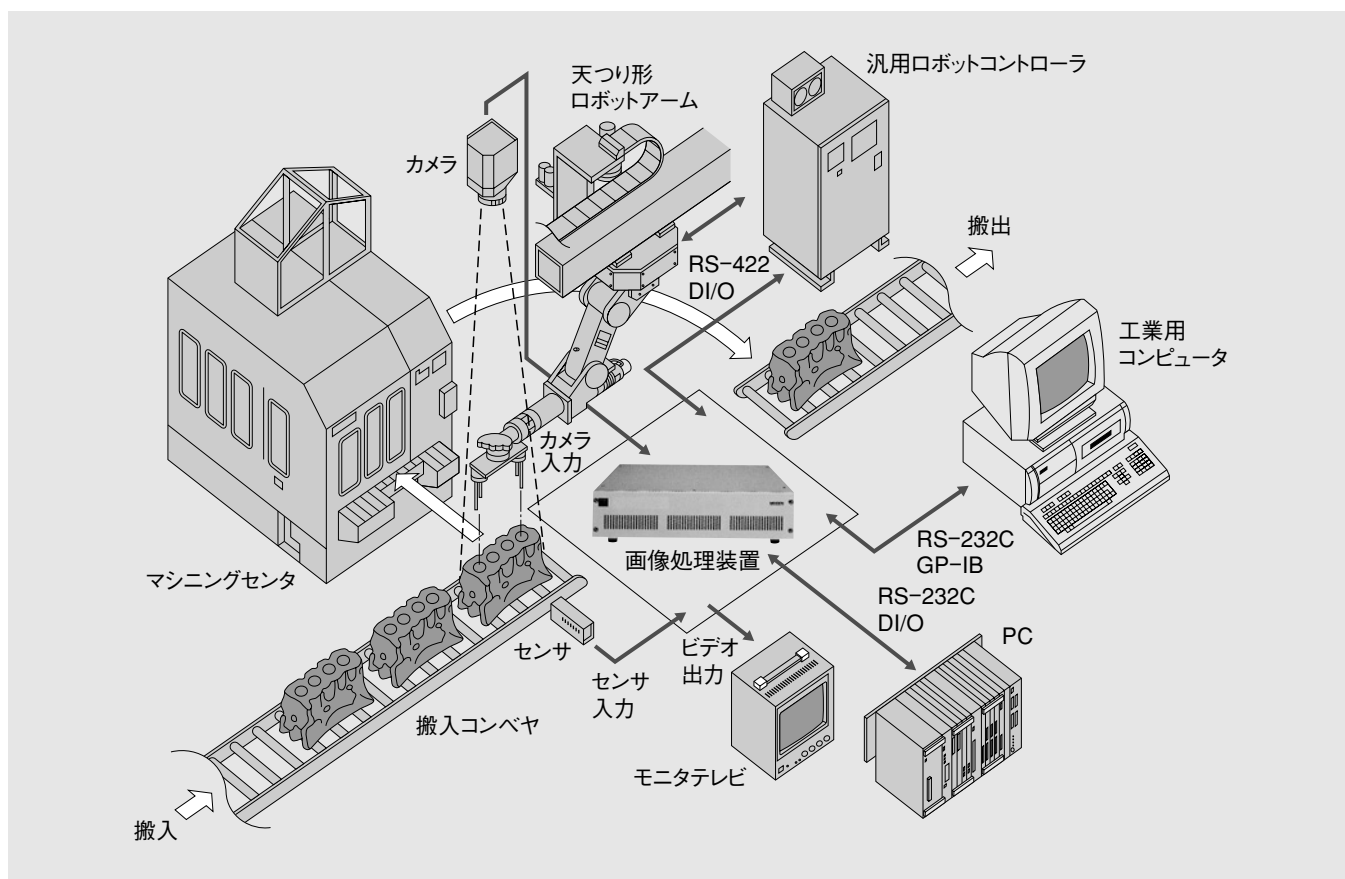
第1図 画像解析技術の概要

画像解析技術とは、基データである画像に対して画像処理を行い、さらに画像処理を施したデータを解析して必要な情報を検出する技術である。



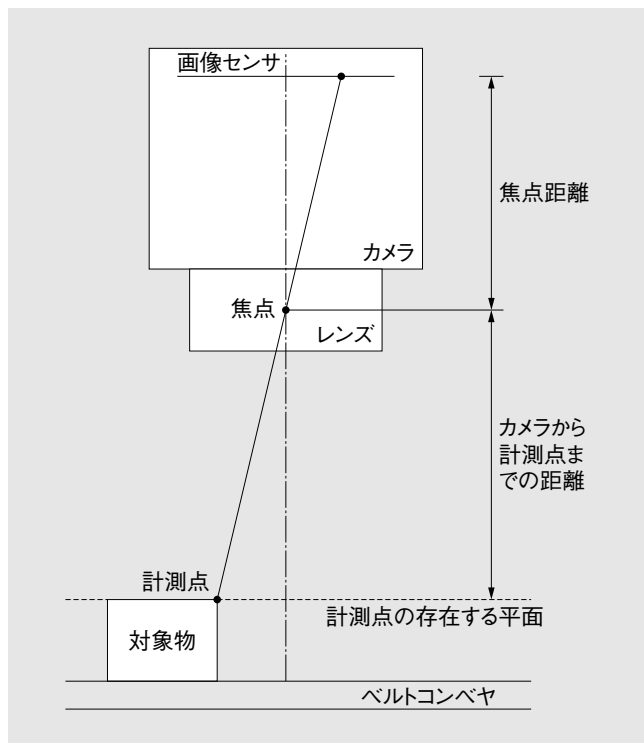
第2図 カメラと対象物との相対的な位置関係

計測点からの光がレンズの焦点を通過してカメラ内部にある画像センサ平面上に当たり、その光の強さを輝度値として画像上に記録する。



第3図 工場の生産ラインの例

工場の生産ラインは、部品がベルトコンベヤ上を流れてくることが多い。



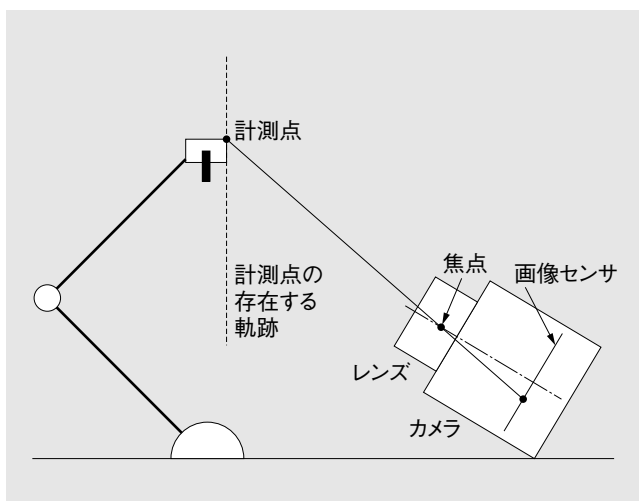
第4図 カメラとベルトコンベヤの位置関係
カメラ内部の画像センサの平面とベルトコンベヤの平面が平行の位置関係にある。

る位置計測技術を用いている。カメラをベルトコンベヤと正対する位置に配置するため、カメラ内部の画像センサの平面とベルトコンベヤの平面が平行の位置関係にある（第4図）。さらにカメラから部品までの距離が分かっている。この場合、画像上での計測点の位置が特定できれば、簡単な比例関係によって三次元空間上の対象物の計測点の位置を求めることができる。

架線検測装置²⁾では、屋根上に設置したカメラが電車のパンタグラフを斜めに見上げるカメラ配置になっている（第5図）。この装置は、トロリ線がパンタグラフ上面に常に接触していると仮定して、パンタグラフ上面の位置を計測することでトロリ線の高さを求めている。パンタグラフのリンク機構の機械的な拘束で、カメラから見たパンタグラフの側面の動作は所定の軌跡を描く。つまり平面ではないもののカメラに対する対象物の存在できる位置関係が分かっている（第6図）。この場合は、画像上で計測点の位置が特定できれば、透視変換によって三次元空間上の対象物の計測点の位置を求めることができる。透視変換に必要な各変換パラメータはカメラに対する対象物の軌跡との位置関係から計算する。



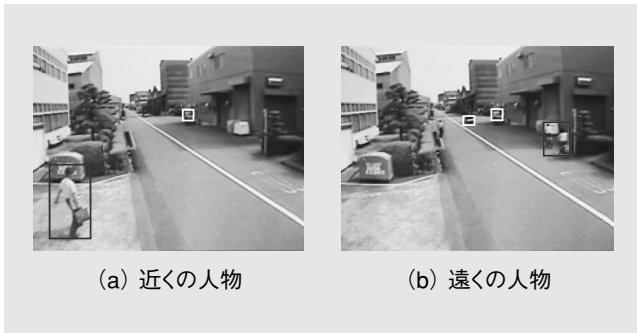
第5図 架線検測装置のカメラ配置
屋根上に設置したカメラが電車のパンタグラフを斜めに見上げるカメラ配置になっている。



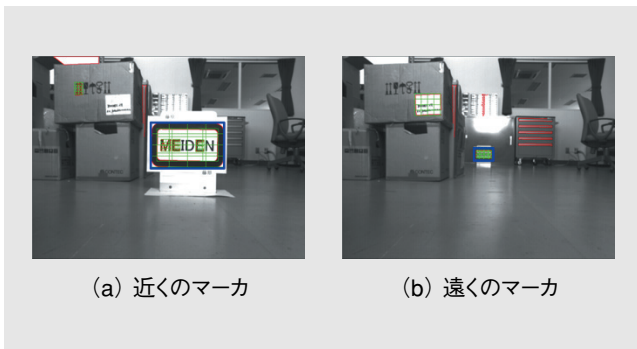
第6図 カメラとパンタグラフ側面の位置関係
カメラから見たパンタグラフの側面の動作は所定の軌跡を描く。

4. 単眼カメラによる距離計測

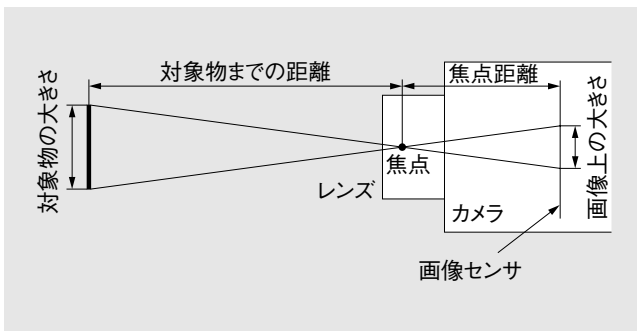
対象物の大きさが分かっている場合は、1台のカメラで対象物までの距離を求めることができる。例えば人物であればカメラから遠い方が小さく見え（第7図）、標識などの平面的なマーカはカメラからの距離に応じて画像上の大きさが変化する



第7図 カメラで撮影した人物の見え方
人物であればカメラから遠い方が小さく見える。



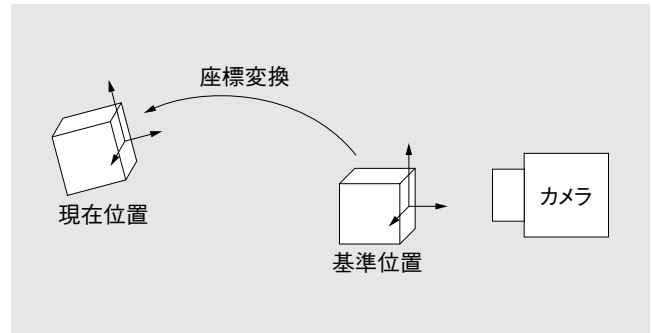
第8図 カメラで撮影した標識などのマーカの見え方
標識などの平面的なマーカはカメラからの距離に応じて画像上の大きさが変化する。



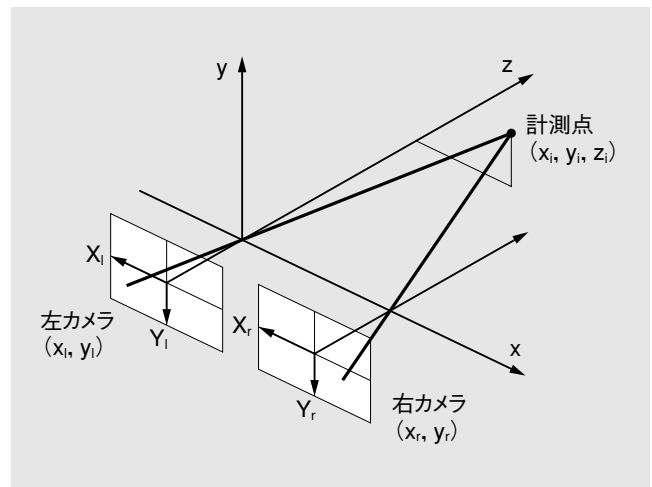
第9図 カメラと正対する対象物との位置関係
カメラ内部の画像センサの平面と対象物の計測点が存在する平面が平行の位置関係がある。

(第8図)。この画像上での対象物の大きさの変化を基に対象物までの距離を計測する。

第9図にカメラと対象物が正対している場合の対象物とカメラの位置関係を示す。カメラ内部の画像センサの平面と対象物の計測点が存在する平面が平行の位置関係にある。この場合は、画像上で対象物の大きさが特定できれば、簡単な比例関係によってカメラから対象物までの距離を求めることができる。カメラと対象物が正対しない場合は、対象物の平面上で位置関係の分かっている計測点が4点以上あれば、カメラから対象物までの距



第10図 対象物の基準位置から現在位置への座標変換
対象物の平面上で位置関係の分かっている計測点が4点以上あれば、カメラから対象物までの距離を求めることができる。



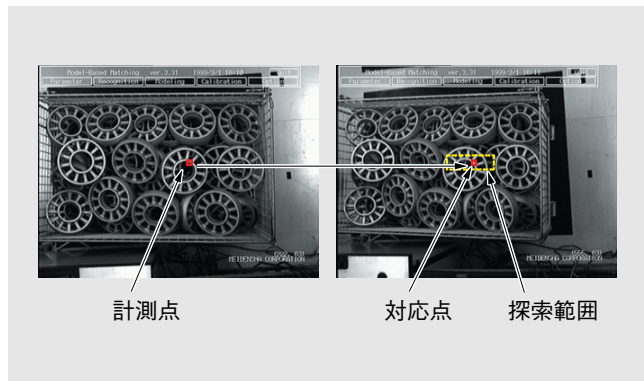
第11図 三角測量法
各画像上の計測点と対象物上の計測点を結ぶ三角形を求めると、対象物までの距離を計測する。

距離を求めることができる。これは第10図に示すように、対象物の基準位置から現在位置への座標変換を求める方法を用いる。

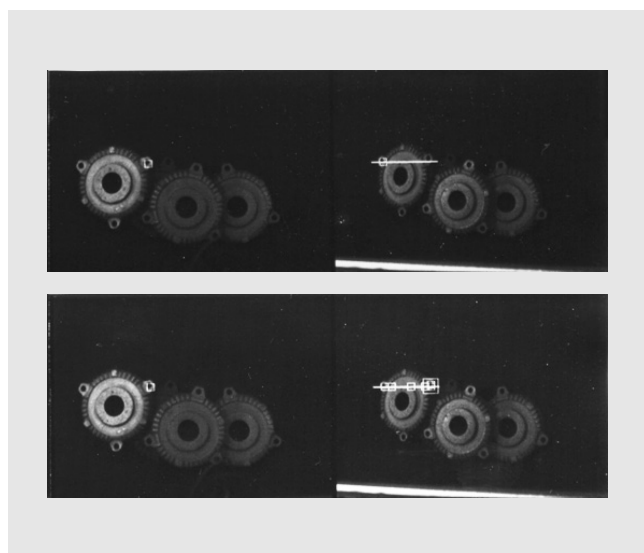
5. ステレオカメラによる三次元位置計測

同じ対象物を複数の場所から撮影することで、対象物上の計測点の三次元位置計測を行うことができる。これはステレオ計測と呼ばれる方法である。基本的には2台のカメラで同じ対象物を撮影し、それぞれのカメラの画像上において計測点を特定した後、各画像上の計測点と対象物上の計測点を結ぶ三角形を求めると対象物までの距離を計測する(第11図)。これは三角測量法と呼ばれ、元々は測量器を用いて地形の測量を行う方法を画像解析に応用したものである。

ステレオ計測で重要なことは、対象物上の同じ計測点を2台のカメラのそれぞれの画像上で正しく見つけることである。これを一般に対応点探索問



第12図 対応点探索
左カメラの画像上で対象物上の計測点を設定し、この計測点に対応する対応点を右カメラの画像上で探索する。



第13図 対応点探索の実験結果例
大小2段階のサイズの画像小領域を用いて正しく対応点を探索することで、対応点の候補（小さな四角）を複数点挙げ、最終的に正しい対応点（大きな四角）を求めた。

題と呼ぶ。もし2台のカメラのどちらかで計測点を間違った場所に見つけた場合は、正しい三角形を求めることができず、三次元位置計測の結果も正しくない。対応点探索は次の手順で行う。左カメラの画像上で対象物上の計測点を設定し、この計測点に対応する点（対応点）を右カメラの画像上で探索する（第12図）。この探索には、左カメラの画像上で設定した計測点付近の小領域の画像を、右カメラの探索範囲内の画像と比較することで求める方法を用いることが多い。しかしながら、第12図に示すように同じ部品が並んでいる画像では、対応点を間違った位置に検出する場合が少なくない。同じ部品が並んでいる状況は、実際の工場の生産ラインでは比較的多く存在する。そこで当社は、大小2段階のサイズの画像小領域を用いて

正しく対応点を探索する方法を開発し、この課題を解決した⁽⁴⁾。第13図に簡単な実験結果を示す。図の上段が通常に対応点探索結果で、下段が大小2段階のサイズの画像小領域を用いた対応点探索結果である。当社が開発した対応点探索方法では、対応点の候補（小さな四角）を複数点挙げ、最終的に正しい対応点（大きな四角）を求めていることが分かる。

6. 位置計測精度向上のための課題

画像による位置計測精度を向上させるためには、大きく三つの課題がある。量子化誤差とレンズひずみ及びカメラ位置校正である。

6.1 量子化誤差

量子化誤差は、画像が画素単位で区分されたデータ構造を持つことに起因する。画像上の位置データは、画素サイズごとの離散的な値を持つため、基本的には画素サイズ単位での離散的な位置計測結果しか求めることができない。この対処としては、高解像度カメラを用いることと、サブピクセル推定と呼ばれる画素間の確からしい位置に計測点の位置を推定する方法がある。

6.2 レンズひずみ

カメラで対象物を撮影すると実際の形状よりも画像の外側がゆがんで写ることがある。これがレンズひずみである。レンズひずみに対しては、レンズメーカーが提供する低ひずみレンズを使用することで、現在ではほぼ対応できるようになってきている。さらに高精度な計測を行う場合は、レンズひずみを多項式などでモデル化してひずみ補正を行う対処方法もある。

6.3 カメラ位置校正

画像による位置計測を行う上で、カメラと対象物との位置関係を正しく求めることは重要である。この対処として、カメラ位置校正がある。カメラ位置校正は複数の計測済みの基準点を撮影し、各基準点の三次元空間上の位置と画像上の位置を基に、カメラの位置と姿勢を計算する。

7. む す び

当社は、長年にわたり画像解析技術の開発に取り組み、様々な画像応用技術を開発し製品化してきた。本稿では、これらの画像応用製品を支える

画像解析技術の中でも特に重要な位置計測技術を紹介した。画像を用いた位置計測は非接触で、かつ計測できる空間的な範囲が広い。カメラを精度良く設置すれば、非接触で対象物の位置を計測できる手軽さから、産業分野でも部品の位置決めや寸法検査を中心に広く利用されている。当社は、今後とも画像解析技術の開発に取り組み、世の中に役立つ画像応用製品の実用化に貢献していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) 恩田・藤原・阿部・森：「三次元円検出による部品位置決めと事前のハンド干渉チェックにより実現した視覚ベースピンピッキングシステム」, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.7, 2000, pp.93-100
- (2) 庭川・渡部・藤原・木下・佐藤：「画像処理による総合架線状態検測装置の開発」, SSII2008講演論文集, 2008, pp.IN3-10-1-IN3-10-2
- (3) 藤原・秋元：「ネットワーク経由の監視カメラ

画像から侵入者を検知する監視システムの開発」, 明電時報310号, No.5/2006, pp.38-42

- (4) 恩田・庭川・藤原：「工業部品の三次元位置同定のための高精度ステレオ計測」, 電気学会C部門誌, Vol.121-C, No.5, 2001, pp.848-853

《執筆者紹介》



藤原伸行 Nobuyuki Fujiwara

コンピュータビジョンの研究開発に従事



宍道 洋 Hiroshi Shinji

コンピュータビジョンの研究開発に従事



庭川 誠 Makoto Niwakawa

架線検測の製品開発に従事