FA 業界における画像処理を用いた位置決めの自動化技術について

稲葉　貴則　　菅野 純一

Takanori INABA and Junichi SUGANO

株式会社ファースト　t.inaba@fast-corp.co.jp

＜概要＞　画像処理を用いた位置決めはFA業界で随所に使用され，商品の組み立てや張り合わせ技術の向上に寄与している．位置決め技術単体としては画像処理の基本的な要素ではあるが，実際の現場レベルでの位置決め装置を考えるとステージの構成やカメラの設置など多岐に渡り，現場の作業者が容易に操作できることも欠かすことのできない技術である．本稿では当社における画像処理を用いた位置決めの自動化と，そのコアとなる技術であるパターンサーチについて報告する．

1. はじめに

近年，画像処理を用いた位置決め装置は様々な用途で使用され，数多くの要求がある．まず最も重要なことは高い位置決め精度に他ならないが，μｍレベルの要求はもはや当たり前のように存在する．一言にμｍレベルの精度とはいうものの，位置決めを取り巻く環境も変化しており，特に現在好調の液晶パネル業界の位置決めを例に挙げれば，ワークは大型化の一途を辿り，第７～８世代の液晶パネルにもなると，その大きさはたたみ２畳を超える程にもなる．このような大きいものに対してもμｍレベルの高精度な位置決めを求められる．

また，位置決め装置として動作や構造的に無駄の無い設計を追求すると，装置ごとのカメラやステージの設置条件は限られることになるが，装置ごとにカメラの取り付け位置やステージ構成が同じとは限らず，むしろ多岐にわたる．さらには多品種少量生産の流れにも対応するため，数多くの機能や汎用性をも持たなければならない．

2. 従来の位置決め手法について

従来の位置決め装置においても位置決め時に生じる様々な諸問題を解決するために色々な工夫がなされている．例えばオートキャリブレーションや，直動モーターのみでＸＹθの移動を実現したステージ(以下ＵＶＷステージと表記する)を使用することによって自動化や精度向上を実現している．一方で画像処理装置側の環境もＣＰＵの処理速度の向上によって今まで以上に複雑な処理が可能になり，光学技術の進歩による高倍率レンズ等，精度向上の環境も改善されている．

以下に自動化や高精度位置決めの基礎技術であるオートキャリブレーションとＵＶＷステージ，さらにはパターンサーチについて説明する．

2.1　オートキャリブレーション

オートキャリブレーションは画像処理のパターンサーチによって得られる座標データとステージ移動のデータから，カメラの傾きやカメラ倍率，カメラとステージとの位置関係を求めるものである．これにより今までに必要としていたカメラ座標等のデータ入力の手間を省くことができる．さらにオートキャリブレーションによってカメラとステージの位置関係を求めることで，位置決め装置の構成に左右されることなく一台の画像処理装置をいろいろな状況で容易に使用することが可能となる．

2.2　ＵＶＷステージ

ＵＶＷステージとは，ステージを回転させる際にモーターの回転量を直接使用するのではなく，図１の様に直動モーターを配置し，直動モーターの移動量によって，その上に乗るステージのＸＹθ移動を実現するステージである．通常のＸＹθステージを使用する場合と比較すると高精度を維持しながらステージサイズを大きくでき，さらにはステージの高さを抑えて作ることが可能である．

図１　ＵＶＷステージ
(この上にステージが乗る)

またステージ回転量の分解能をモーターのレイアウトによって細かくすることが可能であり，基本的な構造がモーター位置固定であるため配線が移動することがなくケーブルが断線する恐れも少ない．

2.3　パターンサーチ

位置決め装置に用いられる画像処理装置には無くてはならない重要な技術としてはパターンサーチ技術が挙げられる．実際に張り合わせ等の位置決め用途に求められるパターンサーチの性能は，微小な動作内の高精度位置検出が重要で，パターンの回転に追従したパターンサーチに対応する必要はあるものの，大きな傾きに対応する要求は少ない．

当社では濃淡情報を用いた正規化相関によるパターンサーチとパターンの輪郭情報であるエッジ情報を用いたパターンサーチ等の手法を用意し，各テーマに適した方法を適宜選択して計測を行っている．

3.　従来の位置決め手法の問題点

従来の位置決め手法には以下に述べるような様々な問題点がある．

3.1　オートキャリブレーションの問題

オートキャリブレーションにおいてはステージ移動とパターンサーチの情報を使用することから，ステージの平行及び回転移動量の大きさに精度が影響するという性質がある．そのため使用するカメラの視野があまりに狭い場合や，ステージ回転中心とカメラとの位置関係が離れている場合にはステージの移動量を大きく取ることができずにキャリブレーションを高精度に行うことが困難となる．

3.2　ＵＶＷステージの問題

ＵＶＷステージの使用に関しても，それ自体は多くの利点を持つものであるが，モーターを配置しないステージ位置での停止精度が低くなってしまう．これは特にワークの重量が重い場合には顕著に現れる問題である．またＵＶＷステージの機構にもいろいろな種類があるため，それらに応じた計算式を用意する必要がある．

3.3　パターンサーチの問題

パターンサーチに関しては，生産工程の中で生じる計測パターンの汚れや重なりによる隠蔽，低コントラスト，環境の変化によるボケや輝度変化等に強いことが求められる．特に重なりによる隠蔽への対応は，どんなに画像の調整を行いパターンサーチに適した映像を取得できるように調整したとしても透明なガラス基板の貼合せ等では必然的に起こりうるため，位置決めで使用する際には特に重要である．そしてこのような状況は正規化相関によるパターンサーチでは解決することは困難であるため，エッジを用いたサーチに頼らざるを得ない．

3.4　その他の問題

その他にも，位置決め精度を上げるための手段の１つとして高倍率レンズを使用することが考えられるが，それによりカメラの視野は狭くなり，搬送時に確実に視野に入れるためのワークの供給精度がよりシビアになる．そしてさらには被写界深度が狭くなってしまうという問題も顕著に現れる．この場合，熱変化やワークのたわみなど，被写界深度の広いレンズを使用していた際には気にならなかった程度のワークディスタンス（レンズからワークまでの距離）の変化でも焦点がずれ，映像がボケてしまう．それによりパターンサーチの精度に（ひいては位置決め精度に）悪影響が出ることになる．

4.　当社の技術面からの解決策

以上のように位置決め装置を取り巻く環境における要求や問題は枚挙にいとまがなく，特に位置決め用画像処理装置にはこれらの問題の解決を一手に請け負うことが要求される．これらの諸問題を解決するために当社では以下のような開発を行った．

4.1　キャリブレーション補正ルーチン

オートキャリブレーションにおける計算式では，入力情報に誤差が無ければカメラとステージの位置関係及びカメラの傾きや倍率値を誤差無く求めることが可能である．しかし実際には画像の計測誤差，装置側の誤差，それぞれの分解能などさまざまな要因で限界があるので，キャリブレーションの誤差を無くすことができるとは限らない．このような状況でステージの移動による情報からカメラ情報を求める場合，移動量を大きくとると精度には有利である．しかし，オートキャリブレーションではステージの移動後にマークを計測するという処理が必要となるため，マークが視野外に出ないようにステージの移動を行わなければならない．そのため物理的なステージの可動範囲に余裕があっても移動量には制限が出てきてしまう．当社ではこの問題における影響を抑えるために独自の補正ルーチンを用いることによってキャリブレーションの精度をより高めることを実現している．具体的にはＸＹθステージ上に置かれたマークのＸＹ位置を変えずにある量だけステージを回転させる処理である（図２）．この場合，回転によって移動したＸＹ分の位置補正が必要になり，この補正量をキャリブレーションによって求めたマ

ークの位置を用いて計算することになる．ここでキャリブレーションの値に誤差がある場合には，マークはその位置に留まろうとせずに移動してしまうが，このときの移動したマークに対して再度パターンサーチを行い，この計測値を用いてＸＹ位置の補正を行うことで，より精度良くステージとカメラの位置関係を求めることが可能となる．

補正式を用いた場合と用いなかった場合にはキャリブレーションの精度に表１のような差が出ることがシミュレーションによって確認できる．キャリブレーションの精度に差が出ることによって，4.2 で述べる繰返し位置決めにおける初回位置決め時の精度，そして収束までの繰返し回数に悪影響を与え，トータルの処理時間が増えることで生産効率の低下が懸念される．ワークの大型化が進み，さらに視野サイズも狭くなる現状では，キャリブレーション時に移動するステージの移動量はあまり大きく取ることが期待できない．このような場合に補正処理を用いてキャリブレーションの精度をできるだけ高めておくことは位置決め装置としての性能向上のためには有効な手段である．

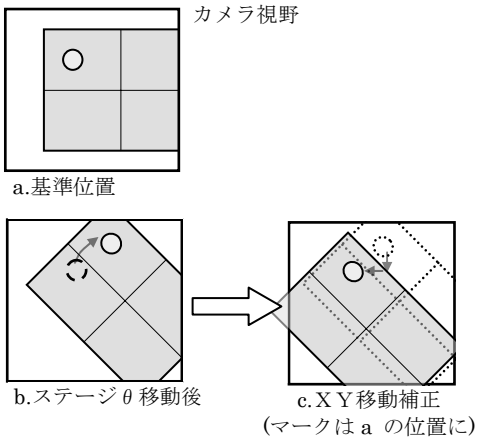


図２　キャリブレーション補正の動作

4.2　繰返し位置決め

オートキャリブレーション同様に位置決めの計算式だけを考えると，キャリブレーションデータや位置決め時の入力情報に誤差が無ければ位置決めも誤差無く行うことが可能である．しかし実際の位置決め時にも様々な要因による限界があるので，必ずしも要求精度を満たすことができるとは限らない．このような場合には繰返しの位置決めを行うことで最終的な要求精度を満たすよう追い込んでいく動作を行う．本手法により位置決めが収束していく過程の実測例を次ページの図４に示す．

4.3　４軸ステージ

直動モーターを３軸使用したＵＶＷステージでは，ステージの下に配置されているモーターの存在しない個所が生じる．４軸ステージはその位置にもう１軸，図３のＲ軸のようにモーターを配置し，合計４軸を用いて停止精度を高める効果を得るものである．通常ＸＹθステージの制御を行う場合には，その自由度から見て３軸あれば十分であるが，もう１軸モーターを追加することによりステージの剛性を高めることができ，位置決めの信頼性向上につなげることが可能となる． ただし，ＵＶＷステージのような機構では３軸の場合には各モーターを単独で動作させることが可能であったが，４軸を用いた場合には１軸ごと単独で動作をすることが許されない．このため４軸すべての軸の協調動作を実現することによって実用化している．

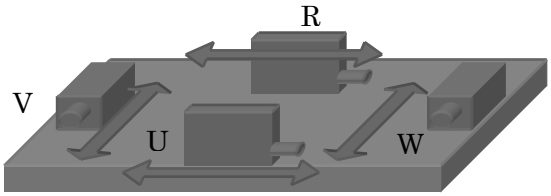


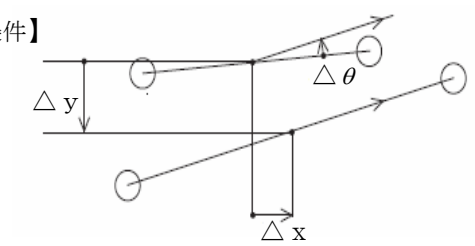
図３　４軸ステージ

表１ 補正による効果 正解位置(150.0,100.0)(mm)との誤差

	補正なし			補正あり		
試行	Ｘ位置 (mm)	Ｙ位置 (mm)	距離 (mm)	Ｘ位置 (mm)	Ｙ位置 (mm)	距離 (mm)
1	150. 141	99. 265	0. 748	149. 960	100. 015	0. 043
2	150. 974	99. 307	1. 195	150. 006	99. 986	0. 015
3	150. 387	102. 006	2. 043	149. 979	99. 990	0. 023
4	149. 796	100. 965	0. 986	149. 990	99. 970	0. 032
5	150. 540	100. 333	0. 634	149. 976	99. 994	0. 025
3σ	1. 321	3. 480	**1. 677**	0. 051	0. 049	**0. 032**

※キャリブレーション時回転量 0.1 度，補正回転量 0.5 度，視野１ｍｍ，±0.5 画素以内の計測誤差を与えた場合の結果

【収束条件】



X,Y,θの位置補正により位置合わせを行っている.

【位置決め精度実測例】

注意：使用テーブルにより異なる.

- 環境
  カメラ視野：２mm，１画素：４μm
- 位置決め時間
  約４秒（2 回補正移動した場合）
  １回目　　大きく移動
  ２回目　　小さく移動

	X 方向(mm)	Y 方向(mm)	θ 方向(rad)
補正前	0.118817	0.072135	0.007365
補正１回目	0.007362	0.008360	0.000447
補正２回目	0.000138	0.001445	0.000002

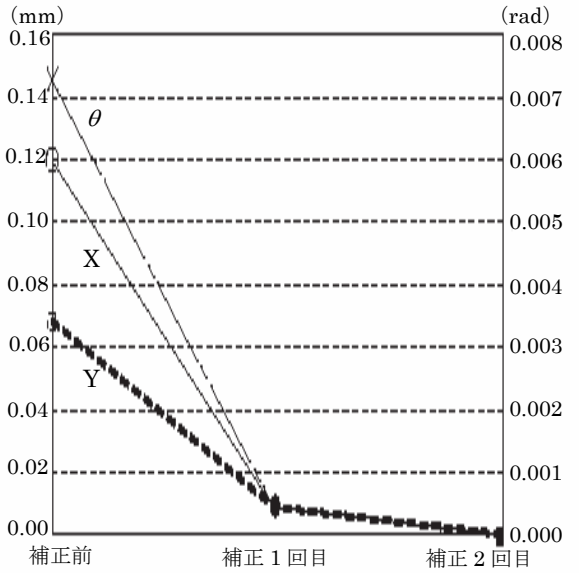


図４　位置決めの実測例

4.4　新パターンサーチ

当社では先に挙げた悪条件に対応すべくパターンサーチ技術の向上に努めている．特にノイズや重なりによる隠蔽，低コントラスト等品質の悪い画像に対する問題を解決することをターゲットにエッジ情報を用いたパターンサーチ技術を新たに開発中である．現段階では認識性能，安定性能において実用的な処理時間を損なうことなく当社に既存のエッジ情報を用いたパターンサーチ手法の結果を上回るデータが得られている．

5.　FV-alignerの紹介

当社が開発,販売している FV-aligner はこれらのニーズに応えると共に，「手間なし」を追求して開発を進めた汎用位置決め専用画像処理装置である．ここでは FV-aligner の応用事例と,応用的な機能の一部を紹介する．

5.1　応用事例について

以上に挙げた機能を組み合わせることによって，実際に FV-aligner を用いて実現可能な応用事例の一部を示す（図５）．

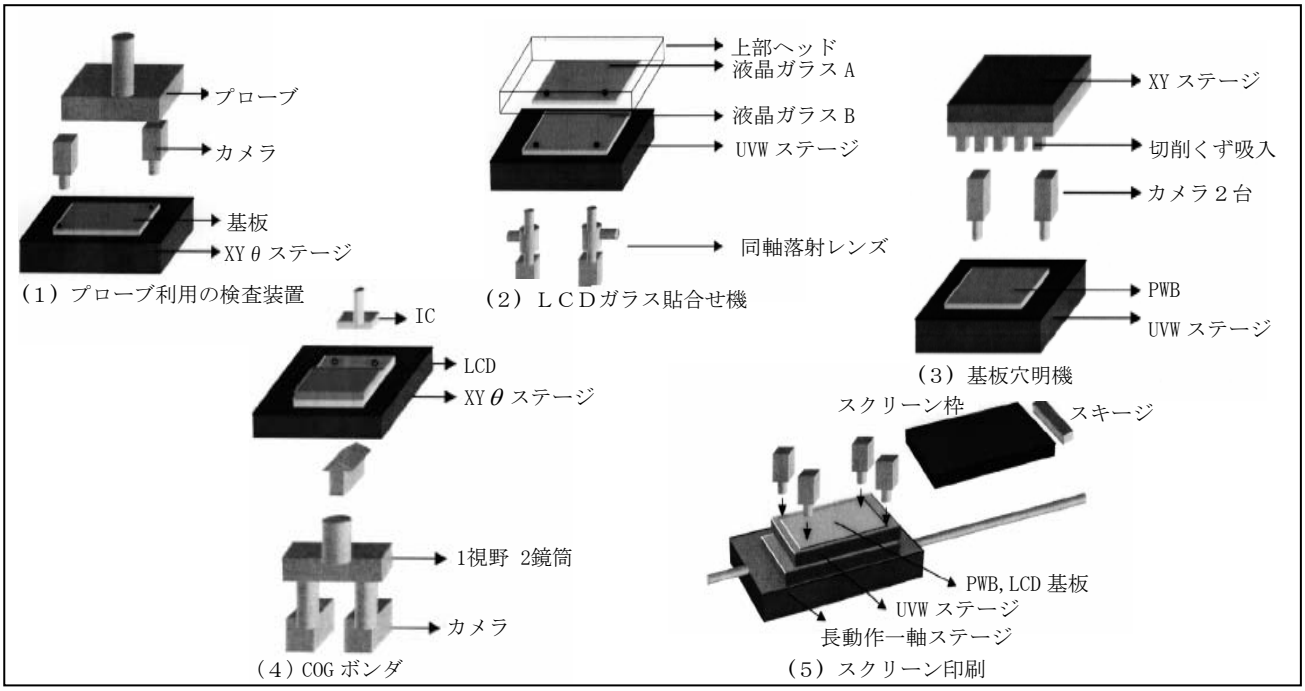


図５　FV-aligner の応用事例

5.2　応用機能について

ここで紹介している機能は FV-aligner に搭載されている機能の一部であり，その他にもユーザーからの要望に合わせた機能の追加を随時行っている．例えばオートフォーカスやマーク探索等，高精度そして信頼性の高い位置決めを実現するための実践的な付加機能も充実したものとなっている．

6.　まとめ

以上のように位置決め用途における画像処理装置に求められることは，画像処理に関する機能だけに留まらない．今後の位置決め画像処理技術に求められることとしては，作業者がより簡単に操作できるような更なる自動化ルーチンを組み込んでいくことが重要であると考えている．目指すところはそれこそボタン一つでパターンサーチに用いるためのマスターパターンの登録やステージとカメラの位置関係の算出等，全ての登録が完了し位置決めを実現するような位置決め装置である．また，精度についても現状のキャリブレーション補正は有効なルーチンであるが，まだ限界がある．これについても追究を行い，さらなる性能向上にも努めなければならない．

参考文献

[1] 2005 画像処理システム市場の現状と将来展望，
株式会社富士経済

[2] 高木幹雄，下田陽久：新編 画像解析ハンドブック，
東京大学出版会，2004

[3] Chris Rorres ,Howard Anton：線形代数の応用，
株式会社現代数学社