

画像データを用いたモータの回転角度検出

Detection of rotational position of motor using image data

○吉久 靖彦, 秋山 宜万, 三浦 武, 谷口 敏幸

○Yasuhiko Yoshihisa, Yoshikazu Akiyama
Takeshi Miura, Toshiyuki Taniguchi

秋田大学
Akita University

キーワード: 画像データ(image data), スキャニングライン(scanning line)

連絡先: 〒010 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学鉱山学部 電気電子工学科
三浦 武, TEL:(0188)89-2338, FAX:(0188)37-0406, E-mail: miura@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

モータの回転角度を検出する場合, 従来から用いられている回転角度に比例したパルスを発生する光学式ロータリーエンコーダのようなセンサを用いると, モータにとって負荷となり悪影響を及ぼすことがある. CCDカメラによる画像データを用いることで, モータに非接触でかつ大きな付加物を付けることなく回転子の角変位を精密に検出することが可能であり, 本研究ではカップリング, もしくはドラムに描くパターンについて検出精度の面から最適なものがあるかのようなパターンで

く画像データをコンピュータに取り込み, 画像データをモータの回転角度に変換し, 検出を行う.

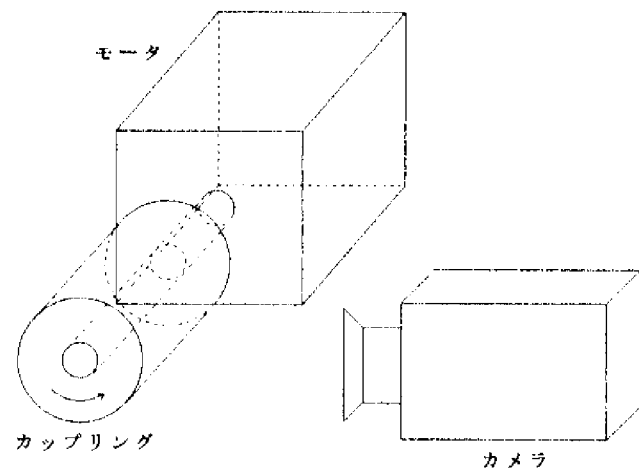


図1 配置図

2. 実験装置の配置

図1に示すようにモータとカメラを配置する. モータのカップリングもしくはドラムに模様を巻き付ける. モータが回転すると, カメラにより撮影される画像は変化し, 回転方向は図の方向を正にとると, パターンは上方向に移動する. このようにして変化してい

3. 回転角度の検出方法と実験結果

3.1 パターン1

直径 16mm のカップリングに巻き付けたパターンを図2に示す。このパターン1では画像データによるカップリングの半径のピクセル数と縦幅の中心から横線までのピクセル数を測定し、回転角度に変換する方法を用いた。このパターンを用いて撮影を行ない、得られた画像データに白黒化、コントラスト調整と輪郭線処理を行った結果およびその検出方法を図3に示す。

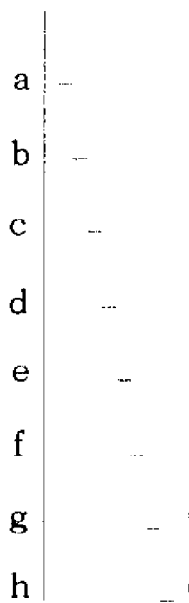


図2 パターン1

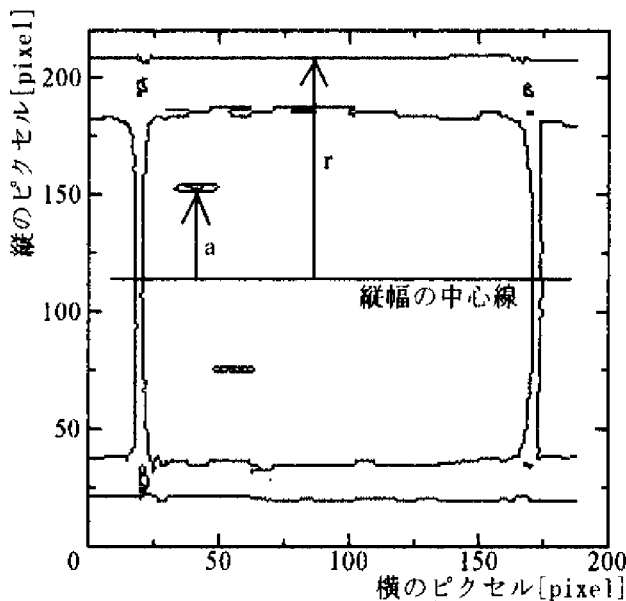


図3 画像処理の結果

このときの回転角度を算出する式を次に示す。

$$\theta = \arcsin\left(\frac{a}{r}\right) + \alpha \text{ [deg]} \quad (1)$$

ただし $\alpha = 45 \times n$ ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$)

このとき n はパターンの a, \dots, h のどの横線を認識したかによって変わる。 a, \dots, h はそれぞれ $0, \dots, 7$ に対応し、 r は画像データによるカップリングの半径、 a は縦幅の中心から横線までの距離である。このときの角度分解能 d [deg/pixel] は

$$d = \arcsin\left(\frac{a-1}{r}\right) - \arcsin\left(\frac{a}{r}\right) \text{ [deg/pixel]}$$

である。横線の位置がカメラから最も近い時には角度分解能が約 0.6 [deg/pixel]、離れた時は 0.65 [deg/pixel] である。このパターンから得られた回転角度とロータリーエンコーダによる回転角度との誤差を図4に示す。

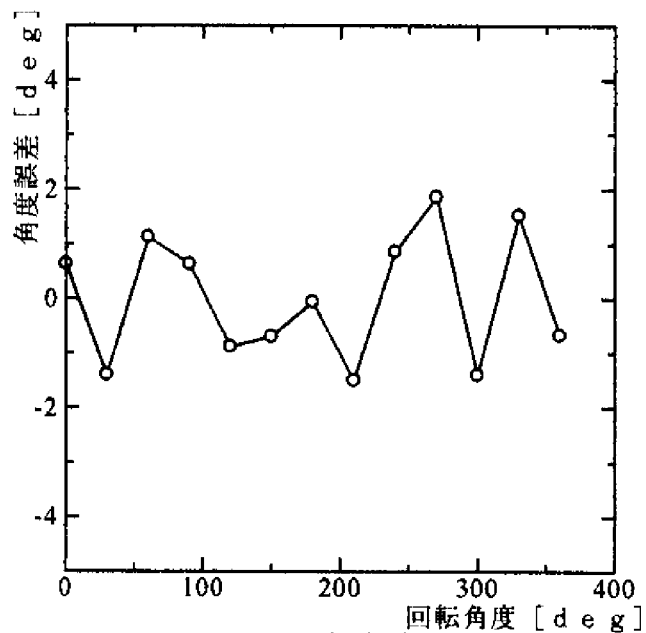


図4 回転角度誤差

回転角度誤差の幅は約 3 [deg] であり、角度分解能の約 5 倍の誤差を持つ。この原因は輪郭線処理による ± 2 [pixel] 程度の誤差が影響していると考えられる。

3.2 パターン2

パターン1を用いた場合においては輪郭線処理による誤差として ± 2 pixelの誤差を生じる。また絶対回転位置を検出するためにカップリングの縦幅全体を撮影しなければならない。カメラによる拡大ができない。これらの問題点を解決する方法としてカップリングに直接回転角度に比例した数値を書き込む方法がある。数値自体が回転角度を意味するので、部分的に数値を拡大して撮影でき、絶対回転位置も検出できる。また誤差も角度分解能以上は現れない。このパターンの角度分解能は縦に書き込んだ数値の個数によって決定される。

これらの点を考慮してパターン2を作成した、これを図5に示す。縦にできるだけ多くの数値を書き込みたいため、数値を縦に細く、横に長くする必要がある。その方法としては棒線を2進数の数値として8個横に並べることによって8 bit すなわち256個の数値を縦に書き込める。また補助として、半分の長さの棒線をつける。この補助線をカメラで正確に撮影できるように画像データの中心に配置し、左側に上位4 bit、右側に下位4 bitを配置した。このパターンを撮影して得られた画像を図6に示す。カップリングは拡大して撮影すると、わずかながらねじれを持っているため、正確な円筒をなした真鍮製のドラムを用いた。このドラムは直径30 mmでドラムの円周は94.25 mmになり、描ける数は189個であり、補助線が棒線1個につき2個書くことができるので、1回転あたりの出力線数は378 (本/revolution)となる。図7に画像の縦幅の中心位置をスキャンし、横のピクセルに対する色の濃度変化を示したグラフを示す。

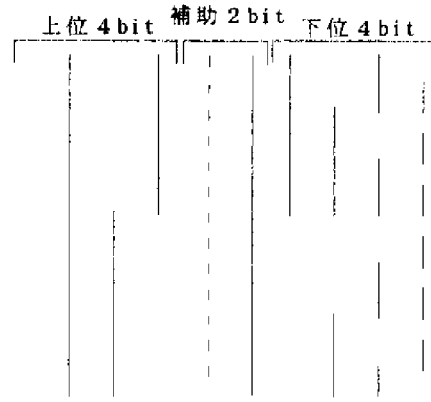


図5 パターン2

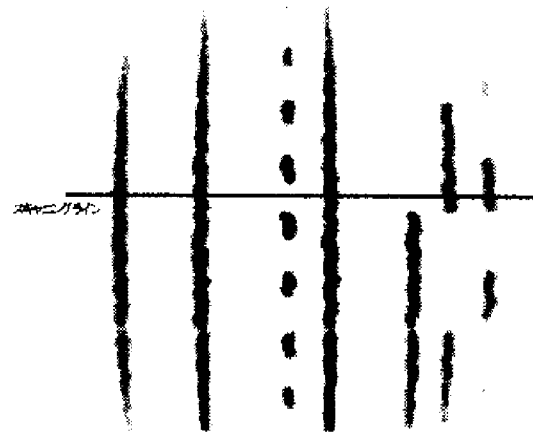


図6 画像データ

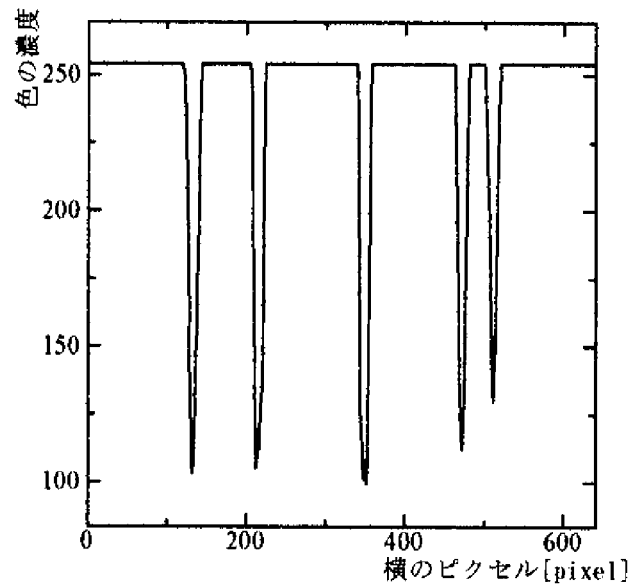


図7 色の濃度変化

色の濃度変化より横のピクセルを40ピクセルずつに区切り濃度を平均し、しきい値によって棒線があるかないかを識別する。色の濃度変化により得られた8 bit + 2 bitのデータによって、次の式より回転角度 θ [deg]が得られる。

$$\theta = \frac{360}{189} \times (8bit) + \alpha [deg] \quad (2)$$

ここで $\alpha = 0$ (補助bit = 11)
 $= 0.952$ (補助bit = 01)

となり、角度分解能は 0.952 [deg/本] となる。このパターンから得られた回転角度とロータリーエンコーダによる回転角度との誤差を図8に示す。

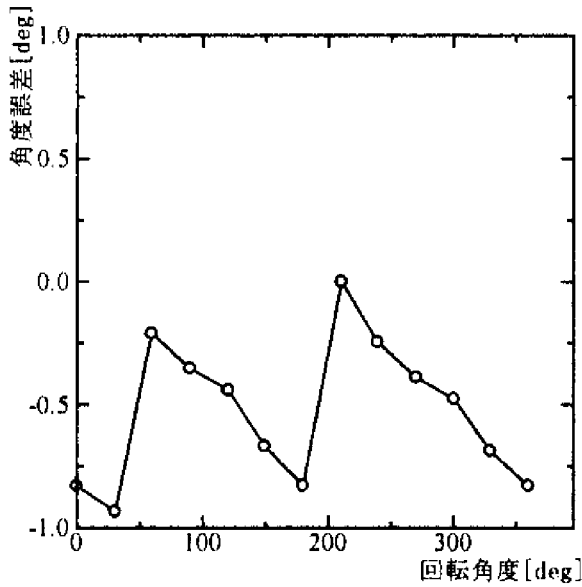


図8 回転角度誤差

ここでロータリーエンコーダとの誤差において、角度誤差がマイナスのみになるのは、ロータリーエンコーダの出力は 5000 [pulse/revolution] で、これを4逓倍し、出力線数 20000 [本/revolution] となり画像データによる出力線数 378 [本/revolution] よりも多い。このため微少な角度変化をしても画像データでは角度分解能以下であるから検出できないが、ロータリーエンコーダは検出可能であるため、画像データの回転角度からロータリーエンコーダの回転角度を引くとマイナスの値を持つことになる。

3.3 パターン3

次にパターンの補助線を2個から3個に

変えたパターンを図9示す。このパターン3の出力線数は 567 (本/revolution) となる。画像データを図10に、色の濃度変化を図11に示す。

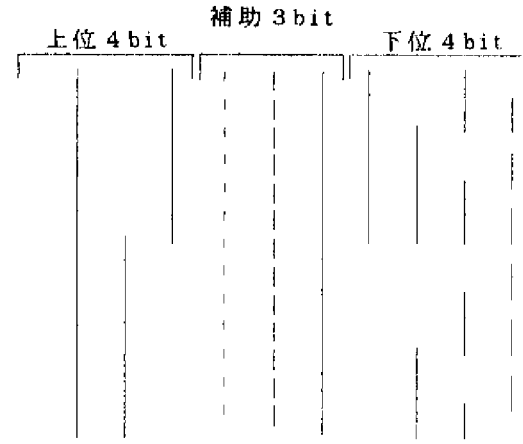


図9 パターン3

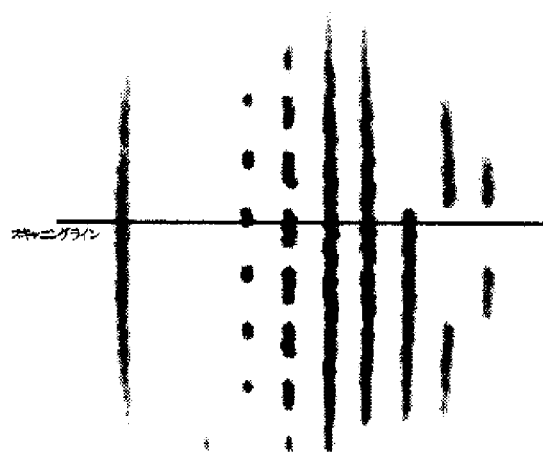


図10 画像データ

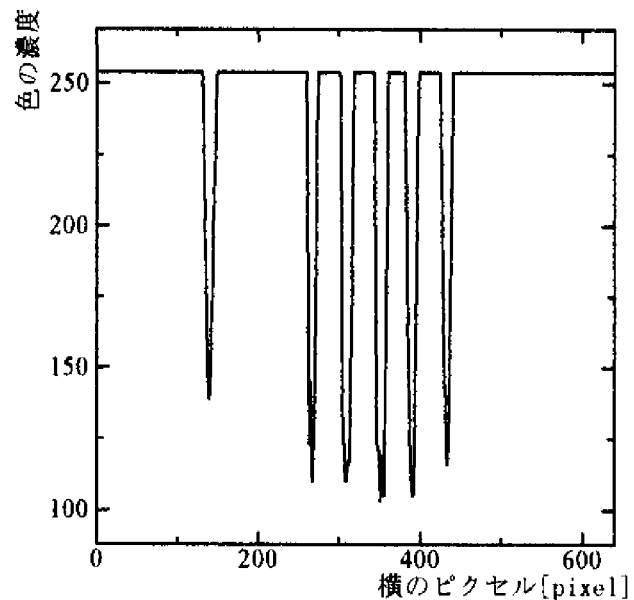


図11 色の濃度変化

色の濃度変化により得られた 8 bit + 3 bit のデータによって、次の式より回転角度 θ [deg] が得られる。

$$\theta = \frac{360}{189} \times (8bit) + \alpha \text{ [deg]} \quad (3)$$

ここで $\alpha = 0$ (補助bit = 111)
 $= 0.635$ (補助bit = 011)
 $= 1.270$ (補助bit = 001)

角度分解能は 0.635 [deg/本] となり、このパターンから得られた回転角度とロータリーエンコーダによる回転角度との誤差を図 1 2 に示す。

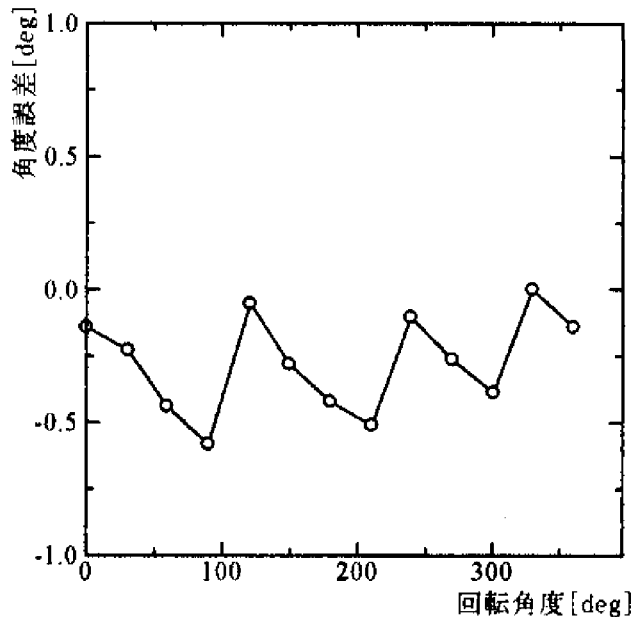


図 1 2 回転角度誤差

3.4 パターン 4

次に補助 bit を横に位相差 90° で横に並べて書いたパターンを図 1 3 に示す。このパターンはパターン 3 の 2 倍の出力線数 1 1 3

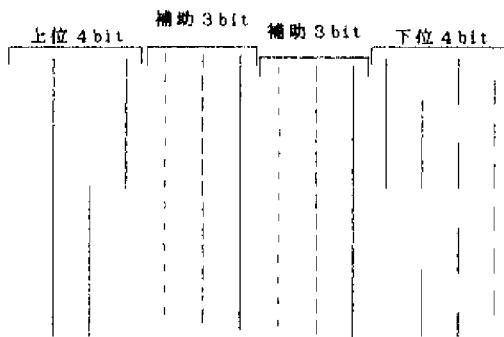


図 1 3 パターン 4

4 [本/revolution] が得られる。

画像データを図 1 4, 色の濃度分布を図 1 5 に示す。

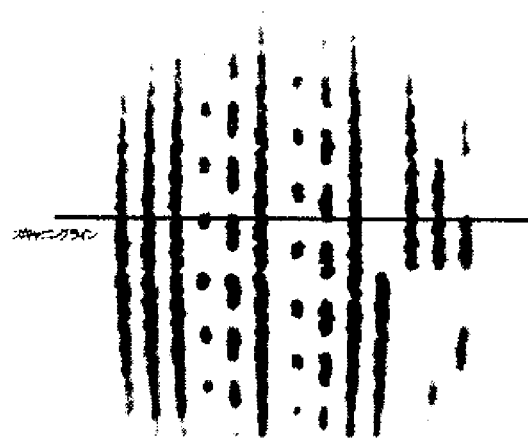


図 1 4 画像データ

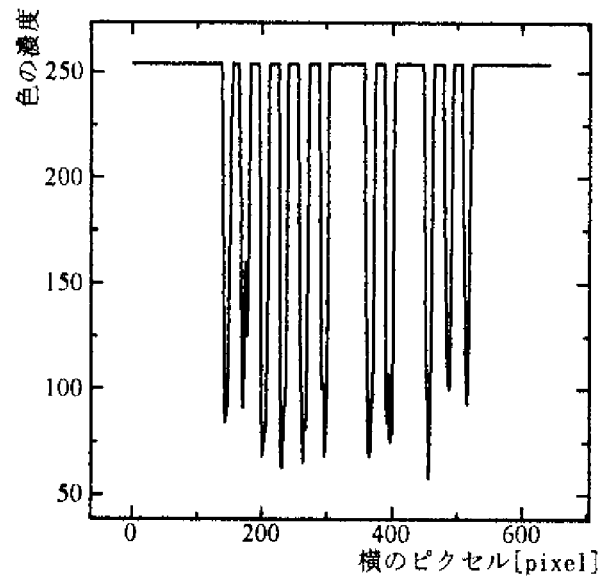


図 1 5 色の濃度変化

色の濃度分布により得られた 8 bit + 3 bit + 3 bit のデータによって、次の式より回転角度 θ [deg] が得られる。

$$\theta = \frac{360}{189} \times (8bit) + 0.317 \times n \text{ [deg]} \quad (4)$$

ここで $n = 0$ (補助bit = 111011)
 $= 1$ (補助bit = 111001)
 $= 2$ (補助bit = 011001)
 $= 3$ (補助bit = 011111)
 $= 4$ (補助bit = 001111)
 $= 5$ (補助bit = 001011)

角度分解能は0.317 [deg/本]となり、このパターンから得られた回転角度とロータリーエンコーダによる回転角度との誤差を図16に示す。

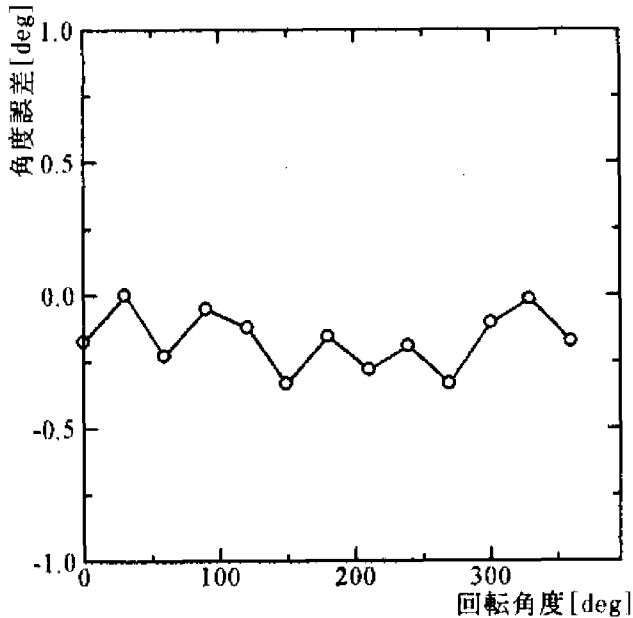


図16 回転角度誤差

これらのパターンは720 dpi×720 dpiのプリンタで描かれており、この解像度で直径30mmのドラムの円周に理論上描くことができるdot数は2671 [dot/revolution]であるから、2 dotの棒線を用いると1335 [dot/revolution]となり、インクのにじみを考えるとほぼこのパターンで得られた出力線数になっていることがわかる。

既存の5000 [pulse/revolution]の出力を持つ光学式ロータリーエンコーダの直径は60mm程度であるから、実験で用いたドラムを60mmのものにすると、出力線数は2倍の2268 [本/revolution]となる。

パターン自体に描ける出力線数はプリンタの解像度、カメラの解像度によって決まるため、これらの性能を上げれば出力線数は増えるが、本実験装置を用いてさらなる出力線を得るには、スキヤニングラインの本数を増やすことがあげられる。その方法は図17に示すように画像による回転角度は階段状になっ

ており、階段の水平部分を2分割するためにスキヤニングラインの本数を3本にする。aは従来のスキヤニングラインであり、そこから±4 pixelずらした部分b, cもスキヤンすると、b, cどちらかの値がaに対して変化する。この変化を検出することによって角度分解能を今までの半分にすることができる。図18に画像データを拡大したものを示す。

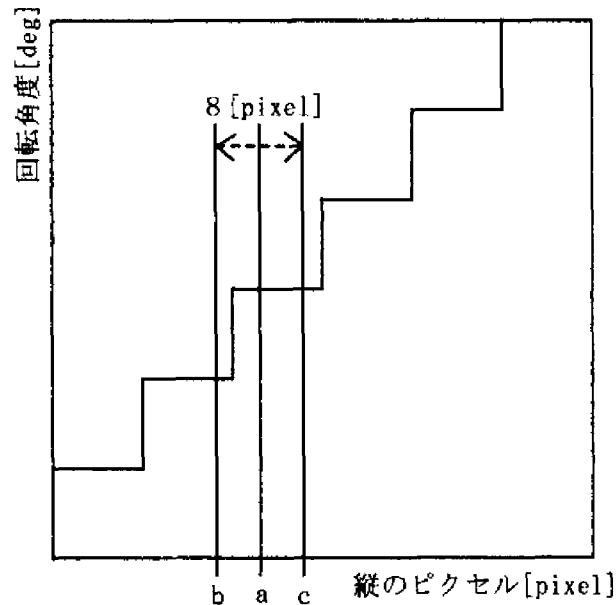


図17 スキヤニング方法

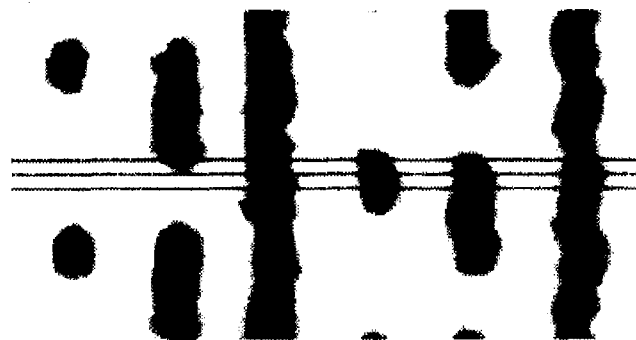
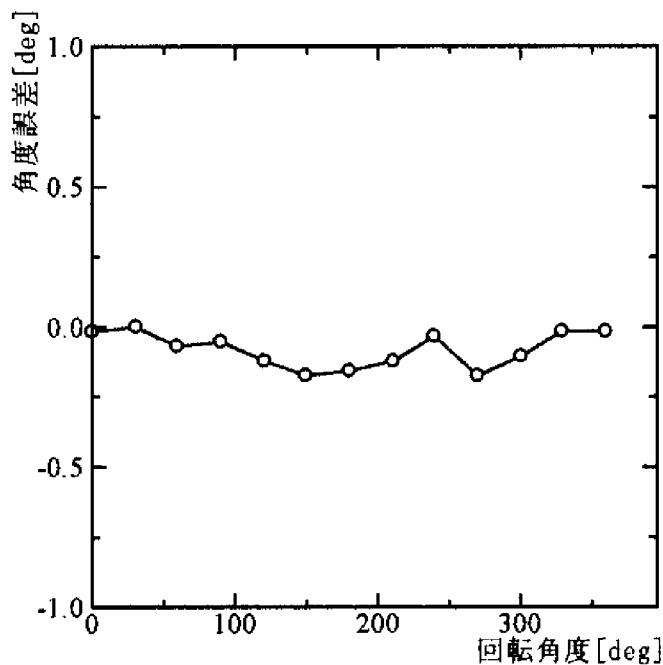


図18 画像データの拡大図

このパターンから得られた回転角度とロータリーエンコーダによる回転角度との誤差を図19に示す。このときの出力線数は2268 [本/revolution]となり、角度分解能は0.158 [deg/本]となり、この場合の光学式ロータリーエンコーダの物理的な大きさと比較すると、4536 [本/revolution]となる。



するとすれば4536 [本/revolution]の出力線数を持つことになる。

図19 回転角度誤差

4.まとめ

ドラムにモータの回転角度に比例した、数値に変換する事ができる棒線を用いることによって、ドラムの一部のみを拡大しても絶対回転角度検出が可能になる。大まかな角度を8bitで読みとり、これより小さな回転角度を補助ビットとしての3bitを使用し3倍の出力線数を得て、またそれを位相差90°で横に並べて描くことによって2倍の出力線数を得ることができた。

次にパターンに描かれた角度分解能以上の精度を、スキヤニングラインを3本にすることによって2倍の出力線数を得ることができ、最終的には2268 [本/revolution]という出力線数を誤差が角度分解能の範囲内に収まるように得られた。

これらの出力線数は使用したプリンタがインクジェット式であるため解像度が低い。プリンタの解像度を上げればそれに比例して出力線数もあがる。

5000 [pulse/revolution]の出力を持つ光学式ロータリーエンコーダの物理的な寸法と、本研究で用いたドラムの大きさを同じに