

高精度・高分割光学式アブソリュートセンサ 「ABS-EC」の開発

石井 秀幸
Hideyuki Ishii

伊藤 昭二
Shouji Itou

関根 智春
Tomoharu Sekine

1. まえがき

サーボモータ用センサは、インクリメンタルセンサとアブソリュートセンサに大別され、いずれも「微」を追求するセンサの開発が各方面で加速している。

とりわけ環境面から燃費向上に力を入れる自動車業界では、小型部品を中心に、材質を従来の鋳物から軽量のアルミニウムに切り替える動きが加速しており、この動きを受け、小型工作機械はより高精度な加工を要求されている。

当社は従来より、光学式アブソリュートセンサ「ABS-E」を、主に工作機械用として多くのユーザにご利用いただいているが、今回開発した「ABS-EC」は、この「ABS-E」で用いた技術と、新規開発した次の要素技術により達成したものである。

(1) 絶対角度精度を向上させる芯振れ補正技術(セルフアライメント)の開発と実用化。

(2) エンコーダ信号の高分割化

上記のような市場ニーズ実現のために、「ABS-EC」は、サーボ駆動装置を適用した工作機械をはじめ、FA市場に浸透して大きく貢献するものとする。

本稿では、「高精度・高分割ABS-EC」について、その高精度化と高分割化の理論とその実現のための手段について概要を述べる。

2. 芯振れ補正技術の概要

2.1 芯振れ量とジッタ量の関係

図1のごとく、回転ディスクが芯振れをしていると検出点A、Bの検出角度が変化し、ジッタとしてエンコーダ特性に現れる。表1に計算例をしめす。

① 検出角度の変化量 = $\arctan \{ L / (R-r) \} - \arctan \{ L / (R+r) \}$

② ジッタ = 検出角度の変化量 / 1ピッチの角度 × 100 (%)

2.2 ジッタ量と絶対誤差の関係

図2のごとく、誤差 α の値を補正值として減算すれば、高精度にすることができる。

2.3 実際のシステムにおける絶対誤差と芯振れの関係

検出点1の絶対角度誤差は1次式により表すことができる。

$$\begin{aligned} (\psi + \theta_{sa}) - (\psi + \theta - 6^\circ) &= \theta_{sa} - \theta + 6^\circ \\ &= \arctan \{ r \times \sin(\theta - 6^\circ) / RA \} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

検出点2の絶対角度誤差は1次式により表すことができる。

$$\begin{aligned}(\psi + \theta_{sb}) - (\psi + \theta) &= \theta_{sb} - \theta \\ &= \arctan \{ r \times \sin \theta / RB \} \dots \dots \dots (2)\end{aligned}$$

検出点1と検出点2の角度は、

$$\begin{aligned}\theta_{sb}(\theta) - \theta_{sa}(\theta) &= \{ \theta + \alpha_b(\theta) \} - \{ \theta + \alpha_a(\theta) - 6^\circ \} \\ &= \arctan (r \times \sin \theta / RB) - \arctan \{ r \times \sin(\theta - 6^\circ) / RA \} \\ &+ 6^\circ \dots \dots \dots (3)\end{aligned}$$

であり、検出点1と検出点2の検出角度誤差は次式となる。

$$\begin{aligned}\beta(\theta) &= \theta_{sb}(\theta) - \theta_{sa}(\theta) - 6^\circ \\ &= \arctan (r \times \sin \theta / RB) - \arctan \{ r \times \sin(\theta - 6^\circ) / RA \} \\ &\dots \dots \dots (4)\end{aligned}$$

図3より、検出角度誤差のプラス側最大となるのは $\theta = 3^\circ$ のときであり、

$$\beta(3^\circ) = \arctan (r \times \sin 3^\circ / RB) - \arctan \{ r \times \sin(-3^\circ) / RA \}$$

また、マイナス側最大になるのは、

$$\beta(183^\circ) = \arctan (r \times \sin 183^\circ / RB) - \arctan \{ r \times \sin(177^\circ) / RA \}$$

よって、検出点1、2の検出角度誤差(位相差)の最大・最小(=ジッタ量)を測定することにより、芯振れ量 r を検出することができる。

また、芯振れ量 r が検出されれば、(1)式により絶対角度誤差の補正量を算出することができる。

図4に実際の絶対角度誤差の評価データ例を示す。

2. 4 芯振れ補正技術のまとめ

従来、エンコーダを高精度に製作するためには、回転ディスクの芯振れを小さくすることが条件となるが、回転ディスク・ハブ組立時の芯だし精度、およびシャフトとハブの勘合精度により芯振れの大小が発生し、これがエンコーダの検出精度に大きく影響するため、高精度のエンコーダを、効率良くバラツキの無い製品を作ることが困難であった。

今回の新手法は、この課題解決をはかるためなされたものであり、十分に目標を達成しえたと判断している。

3. エンコーダ信号の高分割化の手法

3. 1 従来手法の問題点

エンコーダ信号を直接光学処理的に高分割するためには、回転ディスク・固定マスクのスリット幅を狭くすればよい。しかし、光の回折現象によりスリット幅を単純に狭くするには限界があり、この結果、高分割エンコーダを製作することが困難であった。

3. 2 課題点解決策の概要

(1) PD出力を差動増幅すると三角波に近いサイン波になる。この電圧を測定することで、1ピッチ分のどこに現在値があるのかを知ることができる。

(2) PDの4素子を使用し、2組みつつ差動増幅を行ない電気角で 90° ずれている

サイン波を作る。このサイン波形のクロスポイント値の測定と、直線性のあるサイン波形の傾斜区間を電圧分割することで、高分割化が実現できる。

3.3 回路ブロックフロー

原信号データから高分割信号生成までの回路フローを、[図5](#)にて説明する。

3.4 信号切替え信号および測定電圧の概要

差動増幅後の理想信号波形を[図6](#)に示す。測定する電圧は、[図6](#)のVa、Vb、Va*、Vb*の値である。

3.5 高分割化の方法

A/D変換回路の測定電圧をVx

AとB*のコンパレート出力をHIGH

BとAのコンパレート出力をLOW とすると、

高分割化した時の値Xは、

$X = [(Va - Vx) / 2 \{Va - (Vb*) + (Va*) - Vb\}] \times [\text{分割数}]$ となり、 $2 \{Va - (Vb*) + (Va*) - Vb\} > [\text{分割数}]$ であることが必要になる。

よって、A/D変換回路のビット数により分割精度が限定されるが、A/D変換回路のビット数をあげることにより、256分割までの高分割化が実現できる。

4. 高精度・高分割ABS-EC概略ブロック図

高精度化と高分割化の理論と手法をブロック図で示すと、[図7](#)のようになる。

5. むすび

以上「高精度・高分割ABS-EC」について、その高精度化と高分割化の理論と手法を概略のべた。センサの「核」を構成する検出器部位(回転ディスクモジュール・受光モジュール)については、各機種間で共通化できるように設計しているため、回路基板モジュールを載せかえることにより、上位機種から下位機種まで幅広く対応できるため、従来機種の代替ができる。

さらに、高精度・高分割であっても、今回あわせて新規開発した耐振コネクタと組付け治具の併用により、無調整組付けも実現できた。

このように、「ABS-EC」は従来用途はもちろんのこと、新しい用途および分野への可能性を持っている。

今後は、この高精度化をさらに向上させるとともに、アナログ信号の安定化によるコスト低減・データ伝送時間の高速化、およびインテリジェント化を盛り込んだASIC開発を検討・実施し、より良いコストパフォーマンス、より高信頼の製品に育ててゆきたいと考えている。

石井 秀幸

1989年入社

サーボシステム事業部設計第5部

生産技術、部品技術、生産を経てセンサの開発、設計に従事。

伊藤 昭二

1980年入社

サーボシステム事業部設計第5部

センサの開発、設計に従事。

関根 智春
1992年入社
サーボシステム事業部設計第5部
センサの開発、設計に従事。

(芯振れとジッタ量の計算例)

表1

芯振れ (mm)	ジッタ (%)
0	0
0.001	1.9
0.002	3.9
0.003	5.8
0.004	7.7
0.005	9.6
0.006	11.6
0.007	13.5
0.008	15.4
0.009	17.4
0.01	19.3
0.011	21.2
0.012	23.1

R = 4.5

L = 1.5

基本分割数

= 8192スリット / 回転

1ピッチの角度

= $360 / 8192 = 0.044$ 度

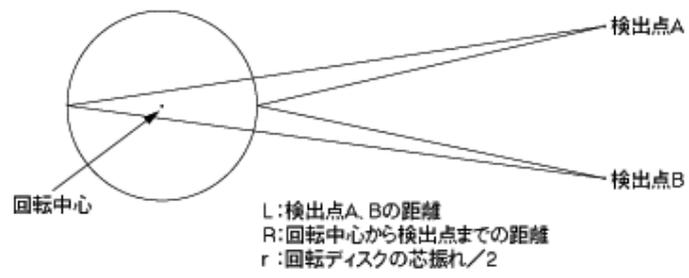


図1 芯振れ量とジッタ量の関係

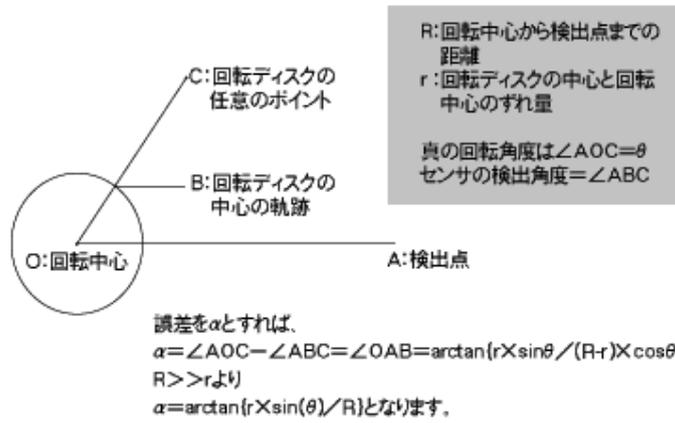


図2 ジッタ量と絶対誤差の関係

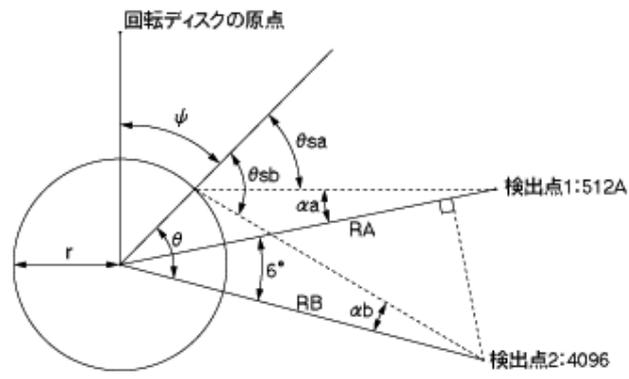


図3 絶対誤差と芯振れの関係

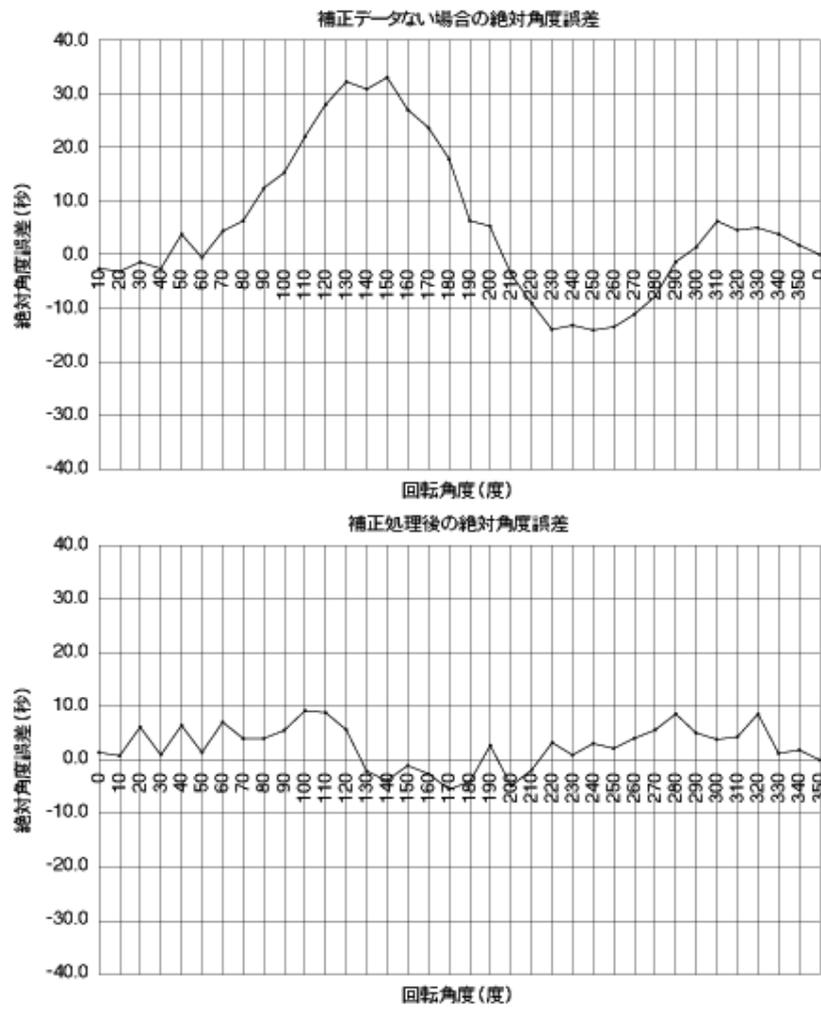


図4 実機評価データ例

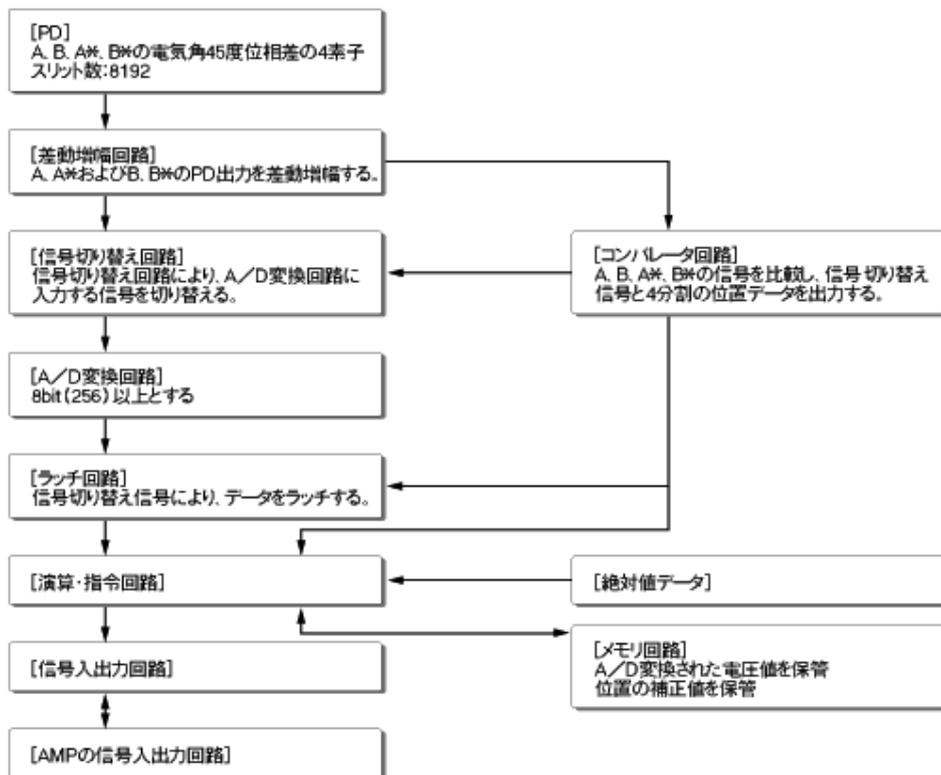


図5 回路ブロックフロー

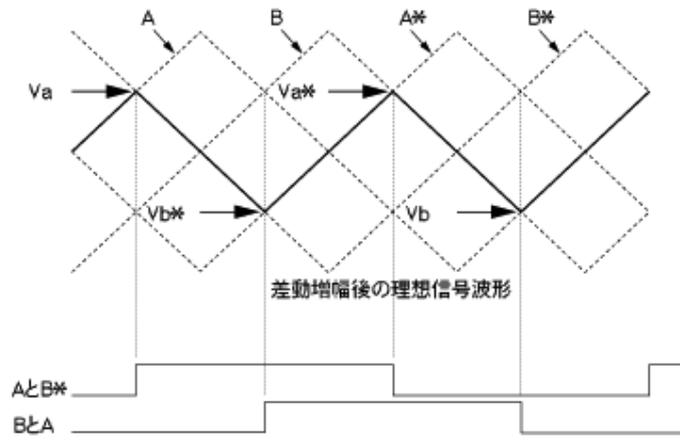


図6 コンパレータ回路の出力波形

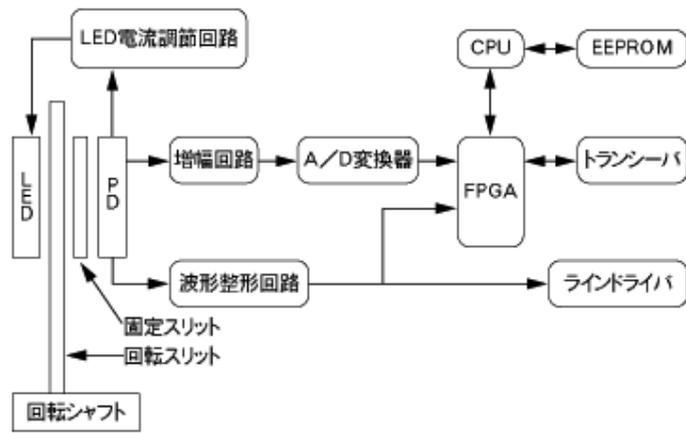


図7 高精度・高分割ABS-EC概略ブロック図