

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560263

研究課題名（和文）ロータリエンコーダの普及型高精度校正装置の開発とその評価

研究課題名（英文） Development of Low cost and high accuracy calibration system for rotary encoders and it' s estimation

研究代表者

益田 正（MASUDA TADASHI）

静岡理科大学・理工学部・教授

研究者番号：10106891

研究成果の概要（和文）：一般に高精度と言われる精度 5”程度のロータリエンコーダの校正を目的に、安価な校正装置の開発を目指した。その結果、自己校正法である等分割平均法、角度の高分解能自動測定可能な時間変換法を採用することによって、高精度基準不要、割出精度、測定回転速度、温度変化にロバストな安価な装置を製作した。±0.5”程度の高精度ロータリエンコーダの校正を行った結果、十分な精度で校正出来ることを確認した。

研究成果の概要（英文）：I aimed to develop a low cost calibration system for the accurate rotary encoders with error of about 5”. By using the equal-division-averaging-method and the time-conversion-method, that is, respectively, a self-calibration-method and an angular automatic measurement method with high resolution, the calibration system has been developed. The system was verified that it could calibrate the high accurate rotary encoder with error of ±0.5” with adequate accuracy and robustness without the high accurate reference encoder, the accurate index table and the rotational velocity drive system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：角度測定、角度校正、ロータリエンコーダ

1. 研究開始当初の背景

筆者はロータリエンコーダの超高精度、かつ実用的な校正装置の開発に長年取り組み、0.02”程度の超高精度な校正装置を開発、日本の国家標準に採用されるなどの成果を得

てきた。しかし、この装置は 1000 万～3000 万円と非常に高価であり、ロータリエンコーダのトレーサビリティ体系が制定され、ますます校正の需要が増す中、安価な校正装置の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では工作機械やロボットなどで非常に需要の多い精度5"程度の高精度ロータリエンコーダの校正を念頭に、安価な校正装置の開発を目的とする。

目標は、大きさ約300mm×200mm×200mm、重さ10kgと小型軽量、数秒の短時間測定
製作費100万円以下、1"の精度を十分に保証できる0.3"の校正精度

3. 研究の方法

これまでの高精度校正システムは、①基準エンコーダと②精密等速回転機構、③割出機構からなり、2つないしは3つの超高精度ロータリエンコーダ、2つの超精密回転型空気軸受、等速回転制御や割出制御の実現のために2つのダイレクトドライブモータと制御装置を用い、これらに④角度の高分解能自動測定法と自己校正法である⑤等分割平均法を採用してきた。これらはいずれも国内外の最高のもを使って最高精度を実現してきた。製作費も当然、高価になる。

本研究では、上記④の角度自動測定法と⑤の校正法の特長である、a) 厳密な等速性を必要とせずに高分解能測定が可能なこと、b) 厳密な割出角制御が必要でないこと。さらにc) 回転精度の悪さは、複数の検出ヘッドでキャンセルができること、また、d) 自己校正法を採用していることから、高精度基準が不要であること。温度変化にロバストであることなどを鑑みて、以下の方針で校正装置を製作した。

- ① 等速回転はフィードバック制御なしの減速機付DCモータのベルト駆動。
- ② 回転軸は一般に使われる転がり軸受。
- ③ 割出制御は減速機付パルスモータ。
- ④ 基準エンコーダとして、比較的安価なロータリエンコーダを採用し、等間隔に配置した複数の検出ヘッドを使って角度信号を

平均化する。このことによって、ロータリエンコーダの高精度化、信号のばらつき減少、軸受の回転誤差の影響のキャンセル、温度変化にロバストな基準ロータリエンコーダとすることができる。

以上の方針に基づいてロータリエンコーダ校正装置を製作し、校正データが既知の精度±0.5"程度の高精度ロータリエンコーダを校正し、製作した装置の校正精度を確認する。



図1 製作した校正装置

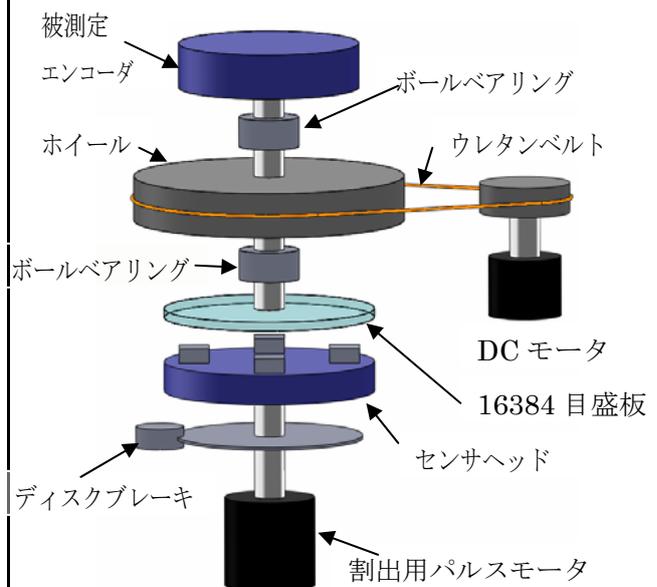


図2 製作した装置の構成

4. 研究成果

(1) 校正装置

製作した装置の写真を図1に、構成図を図2示す。回転を安定させるためのフライホイールがあり、その回転軸をボールベアリングで支えている。この上部には被校正ロータリエンコーダ（今回は高精度ロータリエンコーダを使う）が、下部には本装置の16384P/Rの基準ロータリエンコーダが同軸に固定され、減速機付直流モータでベルトを介して、一体として回転する。基準ロータリエンコーダのセンサー部は90度間隔に4つの検出ヘッドが取り付けられている。このセンサー部は、割出用の減速機付パルスモータの回転軸に固定され、任意の角度の割り出しが可能で、割出完了後に、電磁ディスクブレーキが作動し、完全固定される。直流モータの電圧により回転速度を設定。角度測定は、基準ロータリエンコーダと被校正ロータリエンコーダの角位置信号を誤差測定回路に取り込み、平均化演算や比較測定値、校正値算出、フーリエ成分分析などをコンピュータで行う。

(2) 測定回転速度と比較測定値の標準偏差

校正精度に影響のある比較測定値のばらつきと速度との関係を測定した。図3は基準ロータリエンコーダの4個の単一ヘッドと被校正ロータリエンコーダの比較測定値の標準偏差と速度の関係を示す。5~10rpmでばらつき

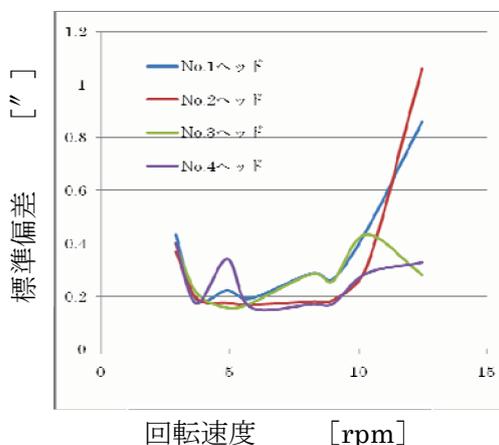


図3 測定速度と角度測定値の標準偏差

が小さく、単一ヘッドの場合で、その標準偏差は0.2" ~ 0.3" 程度を確認した。

(3) 複数検出ヘッド信号の平均化

90度間隔に配置した4つの検出ヘッドから得られる角位置信号を平均化して、その平均化効果を見た。5.8rpm時の比較測定値の角位置誤差の標準偏差が、1ヘッド、2ヘッド、4ヘッド平均で、それぞれ0.174"、0.061"、0.057"であった。2ヘッドの平均化効果は大きく、ボールベアリングの回転誤差の影響をキャンセルする効果は大きい。それに比して、4ヘッドの改善効果はそれほど見られないが、比較に使っている高精度ロータリエンコーダのばらつきが常に一定量含まれているため、この方法では確認することができない。

(4) 校正結果

本装置の基準ロータリエンコーダと比較に使った高精度ロータリエンコーダに自己校正法である等分割平均法を適用して、校正値を求めた。まず、5分割、7分割などの等分割平均法を行い、両ロータリエンコーダの校正値のフーリエ成分を予測し、それに基づいて、

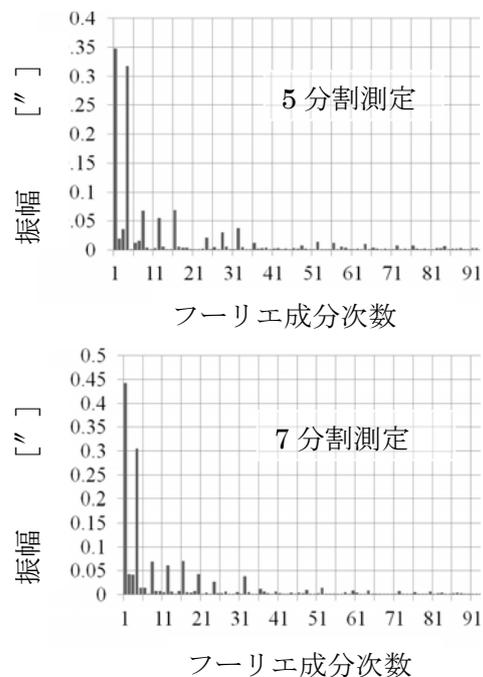


図4 基準エンコーダのフーリエ成分

分割数を決める。

5分割、7分割時の基準ロータリエンコーダのフーリエ成分分析結果を図4に示す。

5分割フーリエ成分より5の倍数次成分以外の大きさがもとまり、7分割フーリエ成分から7の倍数次成分以外の大きさが求められる。図4より、基準ロータリエンコーダの成分は1次成分が $0.4''$ 程度、2、3次成分が $0.04''$ 程度あるほかは、4の倍数次成分が目立つ。この4次成分は4検出ヘッドを用いているためである。5分割測定時のフーリエ成分から28次成分が $0.04''$ 程度あることが分かる。このため7分割測定では、この成分を見つけないことが出来ないの、9または11分割以上の等分割平均法が必要である。

図5に11分割の等分割平均法で求めた基準ロータリエンコーダ校正値とフーリエ成分を示す。基準ロータリエンコーダは取り付け誤差、回転軸の誤差を含めると単一検出ヘッドでは $100''$ 位の誤差となるが4ヘッド平均化で、 $\pm 0.7''$ と非常に高精度となり、かつ安定

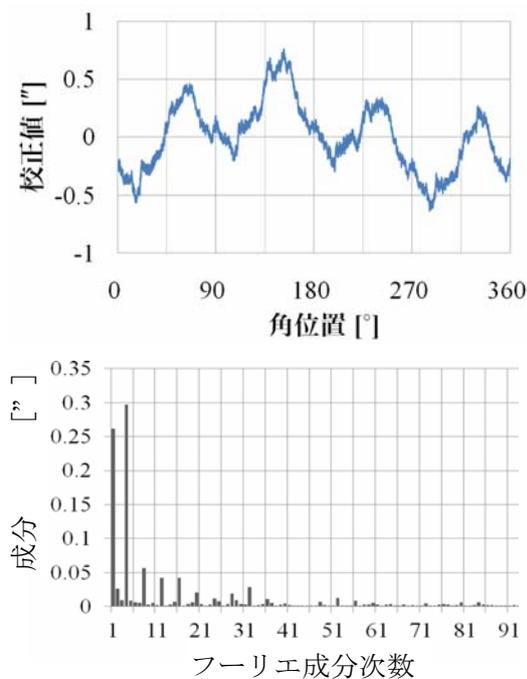


図5 基準エンコーダの11分割校正値

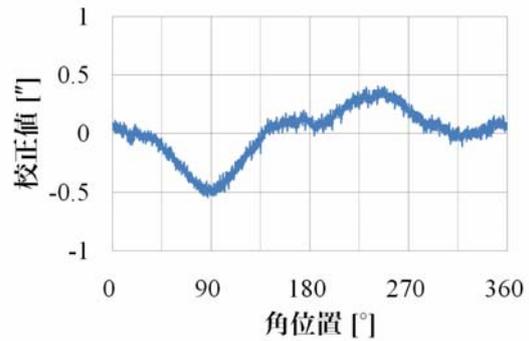


図6 高精度エンコーダの11分割校正値
している。1次成分が $0.25''$ の他は4次成分が $0.3''$ 、他の4の倍数次の8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 52, 56が $0.01''$ 以上の大きさを持つ。特に28, 56次成分が無視できないことから、この基準ロータリエンコーダで等分割平均法を行うには、9分割以上の等分割平均法を適用する必要がある。

同時に求められた高精度ロータリエンコーダの校正値を図6に示す。校正値は $\pm 0.5''$ である。このメーカーが添付している校正値データとほぼ一致している。このことから、この校正装置は $\pm 0.5''$ の高精度ロータリエンコーダの校正にも十分適応できることを確認した。

(5) 基準ロータリエンコーダの安定性

この基準ロータリエンコーダのロバスト性を見るために、温度変化 20 度と 23 度、 26 度に室温を変化させて、校正値の変化を見た。図7に各温度における校正値を重ねて示す。ただし、温度変化での校正値変化は低次成分であるので、5分割の等分割平均法で求めた校正値にさらに100目盛の移動平均処理したものを示す。また、比較のために、高精度ロータリエンコーダも同様な条件で、図8に示す。図7より、温度 6 度の変化で $0.2''$ 程度の変化であり、高精度エンコーダと同程度であった。また、日をおいて校正した再現性も $0.2''$ 程度の変化であった。

静岡理科大学 理工学部・教授
研究者番号：10106891

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし

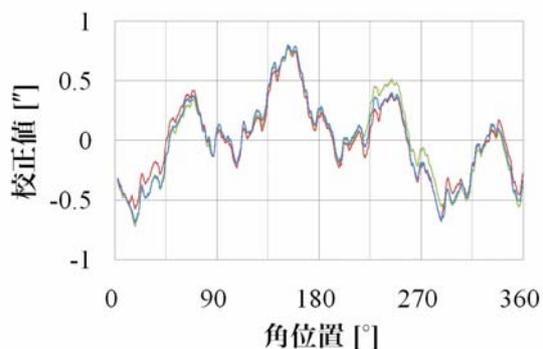


図7 温度変化と基準エンコーダ

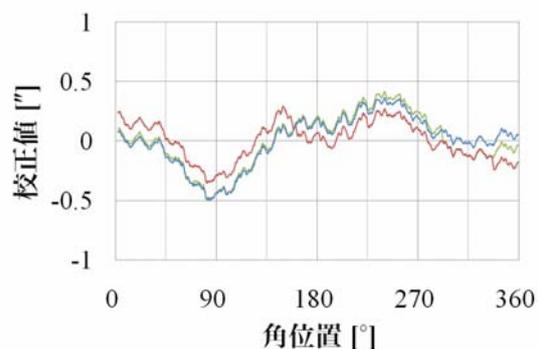


図8 温度変化と高精度エンコーダ

(6) まとめ

5"程度の高精度ロータリエンコーダの校正に使える安価な校正装置開発を目標として、研究してきた。その結果、特別なロータリエンコーダ、軸受、割出装置、モータ制御などを使うことなしに、 $\pm 0.5''$ の高精度ロータリエンコーダを校正するに十分な性能を持つ装置を開発することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

益田 正 (MASUDA TADASHI)