

超高精度、超高分解能のロータリーエンコーダー — ロボットや工作機械の角度制御能力を格段に向上 —

平成 26 年 4 月 23 日
独立行政法人 産業技術総合研究所
株式会社 マグネスケール

■ ポイント ■

- ・ 高分解能ロータリーエンコーダーに産総研独自の技術を用いて角度位置を超高精度に検出
- ・ ロータリーエンコーダーを装置に組み込んだ後でも角度誤差の検出が可能
- ・ 高精度な角度位置決め技術を必要とする工作機械などの精度と生産性の向上に貢献

■ 概要 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】（以下「産総研」という）計測標準研究部門【研究部門長 千葉 光一】長さ計測科 幾何標準研究室 渡部 司 上級主任研究員は、株式会社 マグネスケール【代表取締役社長 藤森 徹】（以下「マグネスケール」という）と共同で、超高精度で超高分解能のロータリーエンコーダーを開発した。

今回開発したロータリーエンコーダーは、マグネスケールの高分解能ロータリーエンコーダーに、産総研が開発した SelfA(自己校正機能付き角度検出器) の技術を用いたもので、これまでの市販品では達成できなかった 360° を 2 の 33 乗（約 86 億）に分割した超高分解能、 $\pm 0.03''$ （角度秒）の超高精度で角度を計測できる。このロータリーエンコーダーを組み込んだ工作機械で、複雑な エンジンブレード などの加工を行うと、形状精度が上がるだけでなく加工面の表面粗さが改善され、研磨せずに 鏡面加工 を行える可能性がある。またタービン部品や風力発電の歯車のように大型化と精密加工の両立が必要となる部品の加工精度と生産性の向上が期待される。

なお、この成果の詳細は、英国科学雑誌「*Measurement Science and Technology*」に 2014 年 4 月 16 日（英国時間）にオンライン掲載された。

_____ は【用語の説明】参照



日本のものづくりに貢献する超高精度・高分解能角度計測が開く未来

■ 開発の社会的背景 ■

工作機械、半導体の直接描画装置、精密測定器や光学部品加工機などの高分解能角度計測には、高精度、高分解能、高速応答のロータリーエンコーダーが不可欠である。しかし、ロータリーエンコーダーには目盛誤差に加えて、機器の回転軸への取り付け時に発生する偏心誤差などの角度誤差要因があり、取り付け後のロータリーエンコーダーを用いて 0.1"（角度秒）を超える高精度での角度計測や制御を行うことは困難と考えられてきた。

■ 研究の経緯 ■

マグネスケールでは、高速応答できる超高分解能ロータリーエンコーダーを開発している。ロータリーエンコーダーの円盤状の目盛スケール（直径 167 mm）から出力される角度信号の分解能（角度信号パルスの数）は、通常は 360° の一回転で数万パルスから 10 万パルスが一般的であるが、マグネスケールのロータリーエンコーダーは 200 万パルス以上のアナログ信号が得られ、それを内挿分割したデジタルの角度信号では 100 億パルス以上の分解能を達成している。しかし、目盛スケールとその目盛を検出する検出ユニットが分離しているため、装置（例えばモーターや工作機械など）の回転軸に取り付けるときに、装置の回転軸中心と目盛スケールの回転軸中心の間に軸ズレ（偏心）が生じてしまう。偏心は角度誤差の要因となるため、利用時の精度を推定することが困難であり、超高分解能ではあるが高精度とはいえなかった。

産総研は、これまで SelfA の技術により 0.1"（角度秒）の精度を持つロータリーエンコーダーを開発してきたが、数十万パルス以下の分解能を対象としており、超高分解能のロータリーエンコーダーに対する SelfA の技術の実証研究は行っていなかった。

そこで両者は、超高分解能ロータリーエンコーダーに SelfA を適用するための共同研究を行うこととした。

■ 研究の内容 ■

図 1（左）に示すマグネスケールが新規開発した直径 167 mm の目盛スケール（一周あたりのアナログ正弦波信号数：2 の 21 乗=2,097,152）と、図 1（右）に示す分離型の検出ユニットを複数個用いて、SelfA 機能を持つロータリーエンコーダーを製作した。SelfA の自己校正機能を持つことで、検出ユニットが出力する角度信号に含まれる角度誤差をロータリーエンコーダー自体が高精度に検出し、補正することができる。このロータリーエンコーダーが検出できる角度誤差には、目盛誤差だけでなく、分離型のロータリーエンコーダーでは困難であった取り付け時の偏心による角度誤差も含まれているため、取り付け後の誤差も検出できる。目盛スケール上の目盛の間隔は 1 μm である。検出ユニットでこの目盛スケールを検出すると、目盛間隔がさらに 4 分の 1 になった 250 nm 周期のアナログ信号（正弦波信号）として出力される。検出ユニットの検出原理は格子干渉計方式であるためアナログ信号の信号歪が非常に小さく、内挿回路を用いて高い精度でアナログ信号を内挿分割してデジタル信号へと変換できる。今回の実験では 8 個の検出ユニットにそれぞれ内挿回路を取り付け、アナログ信号を 4096 倍に分割してデジタル信号に変換した。さらに 8 個の角度信号に対して SelfA の自己校正機能を適用することで、デジタル角度信号の角度誤差を高精度に検出することができた。

この角度誤差検出能力を評価するために、開発したロータリーエンコーダーを図 2 に示すように産総研が持つ角度の国家標準器に取り付けて精度評価を行った結果、ロータリーエンコーダー自体が自己校正により検出した角度誤差は 360° の全角度領域で $\pm 0.03''$ （角度秒）の精度で正しいことがわかった。ロータリーエンコーダーの取り付けを変えても同じ精度が得られたことから、このエンコーダーを工作機械、半導体の直接描画装置、精密測定器や光学部品加工機などに取り付けられた後でも、SelfA による自己校正を実施することにより、全角度領域で $\pm 0.03''$ の精度が得られることになる。さらに、本研究では全体の精度だけでなく、一目盛スケール内の内挿信号の角度誤差を別途計測した結果、検出位置を変えても $\pm 0.0015''$ （角度秒）以下であることもわかった。

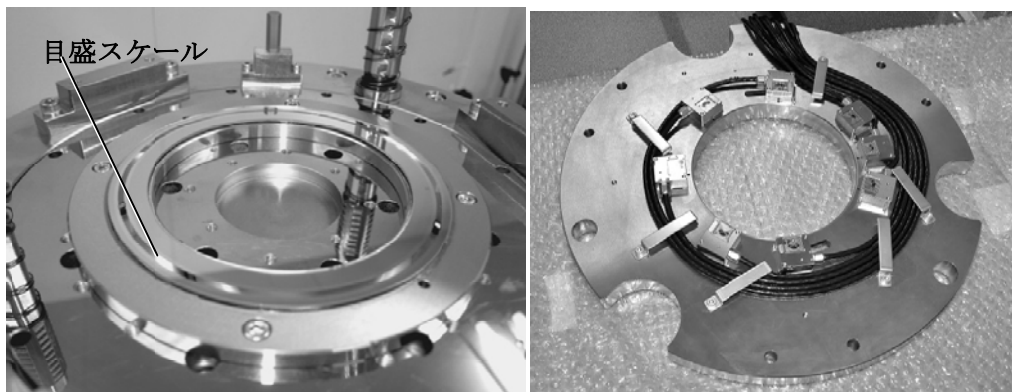


図1 マグネスケールが新規開発した直径 167 mm の目盛スケール（一周約 200 万パルス）（左）とマグネスケールの検出ユニットを 8 個使用した「自己校正機能付きロータリーエンコーダー」（右）

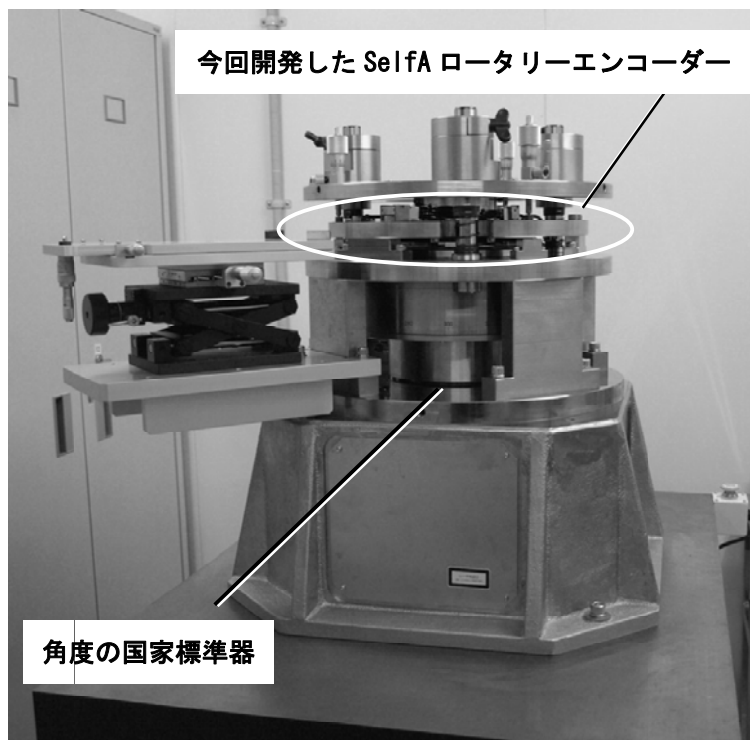


図 2 今回開発したロータリーエンコーダーを角度の国家標準器に取り付けて精度評価をしている実験の様子

■ 今後の予定 ■

原理開発は既に本研究で終了しているため、マグネスケールは、ユーザーの利便性を考慮し検出ヘッドと内挿回路をユニット化したトータルシステムの商品化をこれから検討する。また、さらなる精度改善にも取り組み、現在 $\pm 0.03''$ （角度秒）の角度誤差検出能力を $\pm 0.01''$ （角度秒）まで向上させることをめざす。

■ 本件問い合わせ先 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所
計測標準研究部門 長さ計測科 幾何標準研究室
上級主任研究員 渡部 司 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第3
TEL : 029-861-4041 FAX : 029-861-4049
E-mail : t.watanabe@aist.go.jp

【プレス発表／取材に関する窓口】

独立行政法人 産業技術総合研究所 広報部 報道室 北澤 知子
〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2
つくば本部・情報技術共同研究棟 8F
TEL : 029-862-6216 FAX : 029-862-6212 E-mail : press-ml@aist.go.jp

株式会社マグネスケール 社長室 田中 卓治
〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川 45
TEL : 0463-92-2133 FAX : 0463-92-7978 E-mail : info-mgs@magnescale.com

【用語の説明】

◆ロータリーエンコーダー

分度器のようなもので、産業用ロボットや工作機械、モーターなどの回転軸に取り付けられ、角度の位置決め制御に用いられる重要な部品である。

◆SelfA（自己校正機能付き角度検出器）

角度の国家標準器は、取り付けられた外部ロータリーエンコーダーを等分割平均法という自己校正方法を用いて校正する。SelfA は角度の国家標準器を内蔵させることにより等分割平均法を単体で行うことを可能としているエンコーダーである。しかし、その構造は単純で複数個の検出ユニットを等角度分割位置に配置するだけである。

◆エンジブレード

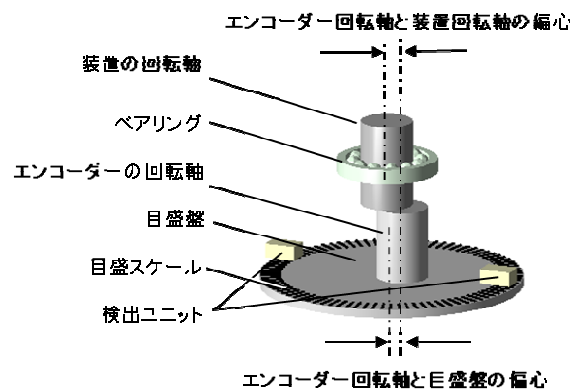
ジェット旅客機などのエンジンの中に入っているタービンの羽。

◆鏡面加工

鏡のように表面を滑らかに加工すること。通常の金属加工では加工の跡が残る。これをバフ研磨などで追加工すると鏡面状になるが、非常に分解能の高い高精度加工を行うと加工の跡を残さず最初から鏡面にできる。

◆角度誤差要因

ロータリーエンコーダーは、分度器のように目盛盤上に描かれている目盛スケールを検出ユニットが検出し、目盛の数をカウントして角度情報を出力している。ロータリーエンコーダーの角度誤差要因には、メーカーの製造過程で発生する先天的偏差要因と、ユーザーの使用状況に起因する後天的偏差要因がある。目盛スケールの誤差は使用時の測定環境により目盛盤がゆがむことによりさら角度誤差が増大する場合もある。エンコーダーの回転軸の中心と目盛盤の中心がずれている偏心誤差は先天的偏差要因であるが、ロータリーエンコーダーの回転軸を装置の回転軸に取り付ける際に発生する偏心誤差は後天的偏差要因になる。これは取り付け時に発生するため、軸偏心による誤差は検出が困難である。



◆内挿分割

ロータリーエンコーダーの検出ユニットは、90度位相の異なる二つの正弦波アナログ信号を出力する。内挿回路はこの信号をADコンバーターでデジタル信号に変換し、二つのデジタル信号で作られるリサージュ内の角度を数値計算することで、一信号出力内の分解能を上げる。(本エンコーダーの場合、正弦波出力の数は2の21乗、リサージュ信号の360度を4096(2の12乗)分割で計算しているので、2の21乗×2の12乗=2の33乗の分解能が得られる。

◆格子干渉計方式

格子干渉計方式は、スケールとして使用する回折格子によって回折された光に含まれる回折格子の位相を干渉によって検出する方式。光の波の性質を使って格子の位置を検出する。一般の光学式スケールで使用されるモアレ方式に比べ、スケール格子の波長が光の波長より短くなっても検出可能であるため分解能が高いという利点がある。