

ISO 規格に準拠した寸法の 8 条列直動ボールガイドの開発

Development of Eight-grooved Linear Motion Ball Guide with Dimensions Conforming to the ISO Standard

THK (正) *山越 竜一 THK (正) 高橋 徹

Ryuichi Yamakoshi, Tohru Takahashi

THK CO., LTD.

1. はじめに

直動ボールガイド (Linear Motion Ball Guide : LMBG) は、工作機械や半導体製造装置をはじめとした各種産業用機械から、転落防止用ホームドアや免振装置といった民生分野にまで幅広く使用されている機械要素部品である。様々な用途があるものの、LMBG に共通して求められる性能としては精度、剛性、寿命があげられる。これらの性能を高い水準で実現する LMBG として転動体の小径化、軌道面の 8 条列化、キャリッジの長尺化がなされた 8 条列 LMBG がある。しかし 8 条列 LMBG は外形寸法が ISO 規格に準拠していないため、既存の LMBG との取付け互換がない。ISO 規格に準拠した寸法で剛性や寿命に優れたものとしては転動体ころを使用した製品があるが、同寸法内で 8 条列 LMBG 相当の高精度を実現した例はない。そこで ISO 規格に準拠した寸法で 8 条列 LMBG 相当の高精度を実現するための設計を検討した。本稿では設計内容と試作品により確認した性能を報告する。

2. LMBG の運動精度阻害要因と高精度化手法

LMBG の性能に関する研究はこれまでに数多くおこなわれている。なかでも精度に関するものでは清水による精度・剛性の研究¹⁾や高橋らによるウェービングの研究²⁾などがある。ウェービングとは LMBG の運動に伴うキャリッジの微小な姿勢変化であり、次のような原理で発生する。LMBG の運動としてレールに対してキャリッジが移動する場合を考えると、内部に組み込まれた転動体は転がり運動によりキャリッジ移動量の 2 分の 1 だけ移動することになる。その間、キャリッジ移動方向最後尾の転動体が負荷域から抜けると有効転動体数は減少し、反対に無負荷域からキャリッジ移動方向先頭に転動体が入ると有効転動体数は増加する。このようにキャリッジと転動体の相対位置や有効転動体数が変化すると LMBG 内の負荷分布状態も変化するため、キャリッジは移動中に微小な姿勢変化をおこすことになる。なお転動体の移動量が転動体間距離と等しくなると、キャリッジと転動体の相対位置および有効転動体数はキャリッジ移動開始時と等しくなる。負荷分布状態およびキャリッジの姿勢も同様であるため、LMBG の運動中にキャリッジは周期的な姿勢変化を繰り返すことになる。この周期的な姿勢変化をウェービングとよぶ。

転動体を使用する LMBG においてウェービングは排除することのできない現象であり、高精度化を阻害する要因になっている。また姿勢変化量が微小であり、組立による調整や制御的な補正が困難であるため、LMBG の高精度化にはウェービングの低減が必要になる。ウェービングの低減には、キャリッジ移動中の負荷分布変動を抑制する必要がある。そのためには転動体数の増加が効果的である。その手段として、既存の 8 条列 LMBG と同様に転動体の小径化と軌道面の 8 条列化を採用した。ただし、ISO 規格でキャリッジ長さが規定されているため、キャリッジの長尺化によって転動体数を増加させることはできず、既存の 8 条列 LMBG 相当の高精度を実現するには他にもウェービングの低減対策が必要である。そこで、転動体配置に着目した対策を検討した。

3. 転動体配置の変更

Figure 1 に既存の 8 条列 LMBG である SPS 形のリテーナと新規設計のリテーナを一部抜粋した 3D モデルを示す。なお本稿における図や数値は全て呼びサイズ#25 のものである。SPS 形と新規設計はともに隣り合う 2 つの軌道面の転動体を 1 つのリテーナで保持している。SPS 形は側面から見た際に両軌道面の転動体が重なる配置となっている。そのため両軌道面の転動体に位相差がなく、キャリッジ移動中に転動体が負荷域に入ったりするタイミングは両軌道面で同時となり、転動体数の増減は必ず 2 個同時になる。一方、新規設計では両軌道面の転動体に位相差を与え、両軌道面の転動体が側面から見える配置にした。これにより両軌道面の転動体が負荷域に入ったりするタイミングに差が生じ、転動体数の増減は必ず 1 個ずつになる。また転動体数を可能な限り増加させるため転動体径を SPS 形の 2.381 mm よりも小径の 2.000 mm とした。以上の設計を適用することで負荷分布の変動幅が抑制され、大幅なウェービングの低減が可能となる。

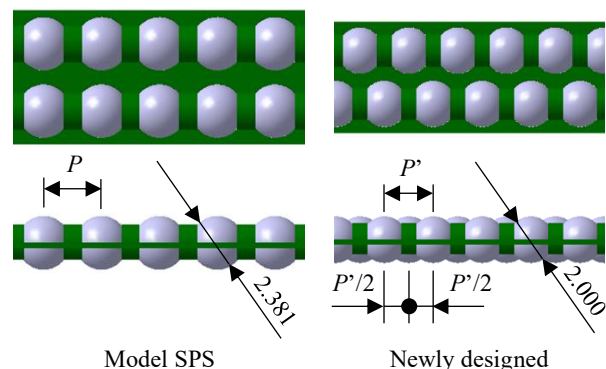


Fig.1 Retainers of model SPS and newly designed

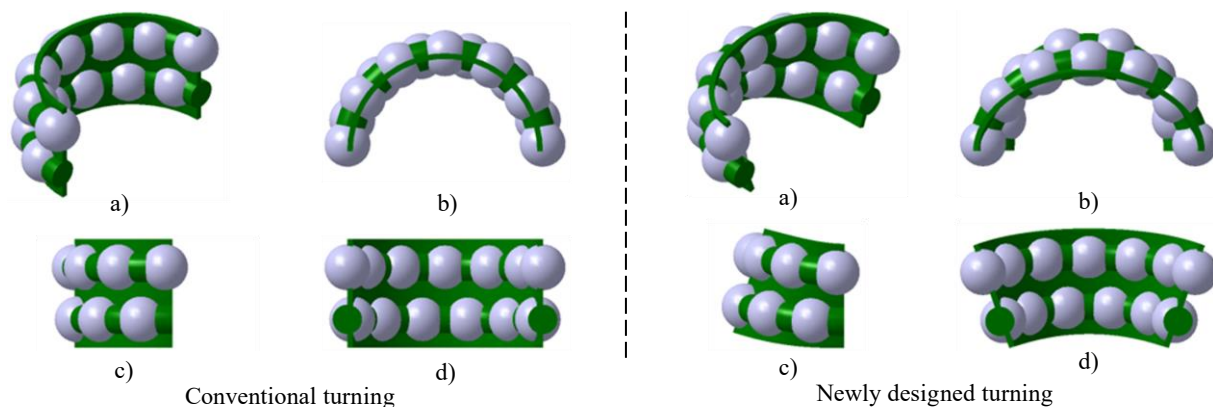


Fig.2 3D model of the retainer during conventional turning and newly designed turning

4. 方向転換方法と貫通穴位置の変更

LMBG の運動に伴い移動した転動体はキャリッジ両端部に組みつけられた循環部品により方向転換し、キャリッジに設けられた貫通穴の中を通過して循環する。従来は転動体が単一円弧を描くように方向転換していたが、新規設計で同様に方向転換させると貫通穴がキャリッジの取付穴や底面と干渉するため、方向転換方法と貫通穴位置の変更が必要となった。そこで新規設計では転動体が 2 方向の円弧を複合した軌跡を描くように方向転換させることで貫通穴を各箇所と干渉しない位置に設計した。Figure 2 に従来の方向転換時と新規設計の方向転換時におけるリテーナの 3D モデルを示す。図中 a) がアイソメ図、b) が上面図、c) が側面図、d) が正面図である。正面図で比較すると新規設計の方向転換時にはリテーナが逆ハの字状にひねられていることがわかる。なお、ひねりを加えたことにより方向転換時にリテーナに発生する応力が従来よりも増加すると考えられる。そこで方向転換時にリテーナに生じる応力が使用する材料の S-N 線図における疲労限以下となるように、FEM による応力解析を用いてひねり角を決定した。

以上の設計を適用した試作品を製作し性能を評価した。

5. 試作品による性能評価

Figure 3 に試作品におけるウェービングの実測結果を示す。測定機および評価手法は既報³⁾と同じである。本図は真直精度からウェービング成分のみを取り出した結果であり、横軸はストローク、縦軸はウェービングによるキャリッジの垂直方向の変位量である。なお、参考として ISO 規格に準拠した寸法である SHS 形と既存の 8 条列 LMBG である SPS 形の結果を重ねて示す。本波形はそのままウェービング振幅の大小として比較可能である。図中においてウェービング振幅は SHS 形から大幅に抑制できており、SPS 形と同程度となった。Table 1 はストローク全体におけるウェービング振幅の平均値、最大値および最小値を比較した結果であるが、試作品のウェービング振幅は平均値、最大値、最小値いずれも SPS 形と同程度であった。ISO 規格に準拠した寸法での SPS 形相当の高精度の実現には、転動体配置の変更による効果が大きいと考えられる。

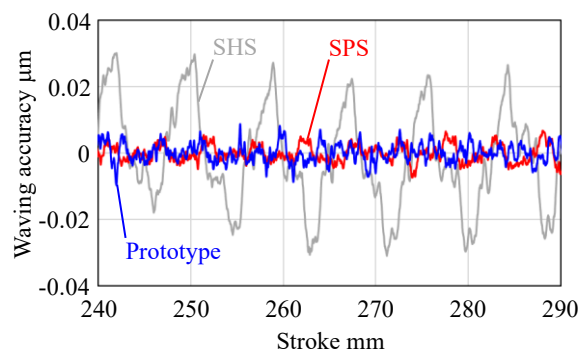


Fig.3 Excerpt of waving measurement results

Table 1 Comparison of actual waving amplitude

	Ave., μm	Max., μm	Min., μm
Prototype	0.012	0.020	0.007
Model SHS	0.034	0.058	0.013
Model SPS	0.011	0.018	0.007

6. おわりに

転動体配置および方向転換方法を従来から変更し ISO 規格に準拠した寸法の 8 条列 LMBG を設計した。転動体を小径化した上で隣り合う 2 つの軌道面における転動体に位相差を与えることで寸法制約によるウェービングの増大を抑制した。また転動体が 2 方向の円弧を複合した軌跡を描くように方向転換させることでキャリッジ取付穴や底面と干渉しない位置に貫通穴を設けて、ISO 規格に準拠した寸法を実現できた。試作品を用いてウェービングを実測したところ、同じく ISO 規格に準拠した寸法である SHS 形と比較して大幅な高精度化が実現でき、既存の 8 条列 LMBG である SPS 形と同等のウェービング振幅であることが確認できた。今後は剛性および寿命についても評価をおこなう。

文献

- 1) 清水：直動ボールガイドシステムの負荷分布と精度・剛性に関する研究，精密工学会誌，56，8 (1990) 1445.
- 2) 高橋・清水：直動ボールガイドシステムの走行性能 -クラウニングとウェービングの関係-，2001 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，565.
- 3) 高橋・山越・大橋・野口：直動ボールガイドシステムの高精度化に関する研究 -ミスアライメントがウェービング振幅値に与える影響の実験検証-，精密工学会誌，87，9 (2021)，765.