

204 パラレルリンク機構に関する研究

- 球ジョイントの開発 -

A Study of Parallel Link Mechanism

-Development of ball joint-

正 榎村 幸辰(東電大) ○ 学 寺門 純(東電大院)

Yukitatsu Kashimura, Tokyo Denki University

Jun Terakado, Tokyo Denki University

Key words: ball joint, Fluctuation angle, parallel link mechanism, working area

1. 緒言

工業製品の生産形態が少品種多量生産から多品種少量生産へ変化した現在、工作機械には高いフレキシビリティが求められている。しかし、従来型のシリアル機構の工作機械をベースにした改良は限界に達している。そこで、新たな構造形態としてパラレルリンク機構の適用が注目されている。しかし、パラレルリンク機構においてはエンドエフェクタの可動範囲を大きくすることが課題である¹⁾。エンドエフェクタの運動を制限している原因のひとつとして、エンドエフェクタとリンクを結ぶ球ジョイントの可動範囲による制限が挙げられる。市販の球ジョイントの多くはパラレルリンク機構のジョイントに求められる高剛性、高精度、広揺動角度および低トルクの要求を満足せず、特に揺動角を大きく取ることができない²⁾。そこで、本研究では、球ジョイントの構成と可動範囲に着目し、球ジョイントの試作を行った。試作した球ジョイントと市販の球ジョイントをパラレルリンク機構に組み込み、試作した球ジョイントの有用性について検討をした。

2. 球ジョイントの開発

試作した球ジョイントの仕様を表1に、寸法、形状を図1に示す。材質はアルミニウムであり、揺動角度は $\pm 45^\circ$ である。この球ジョイントは5点の部品から構成されている。③、⑤のテーパ穴を持つ受で上下方向から球を保持している。また、①と④はねじによって締結されているので、③のばね定数2.94N/mmのばねによって軸方向に予圧が与えられる。ばねによって与えられる予圧は、ばねを自然長から最大たわみ量までの範囲内で④をねじ込むことで任意に変化させることができる。この予圧によって、球の動く軌道は上下のテーパ面に挟まれた領域内に束縛され、球の中心を球ジョイントの可動中心とすることができる。

3. 荷重による球の変位

試作した球ジョイントにおいて、ばねが自然長の状態から2mm縮むように①と④を調節した状態において荷重試験を行った。

図2に示すように球ジョイントにリンクを取り付け、ロードセルで球に垂直方向の圧縮と引張荷重を作用させ、垂直方向の荷重によるリンクの変位をダイヤルゲージで測定した。

球に垂直方向の荷重を作用させたときの荷重と球の変位の関係を図3に示す。圧縮荷重を作用させた場合、球は-6N近傍までは変位しない。-6Nを超えればばね定数と変位の積に比例した力で球は変位する。このことから予圧の設定を①と④のねじ込みによって行うことが可能であることを確認できる。

Table 1 Specification ball joint

Material	Aluminum
Fluctuation angle	$\pm 45^\circ$
Spring constant	2.94N/mm
Pitch of screw on ④	M17P0.5

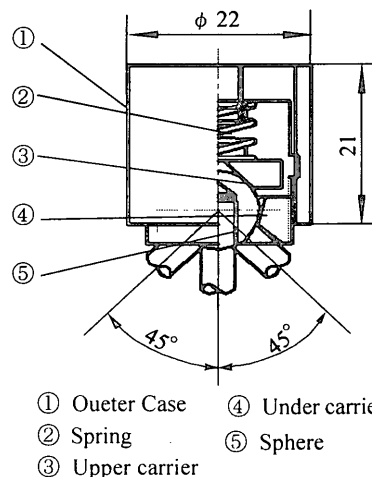


Fig. 1 Ball joint

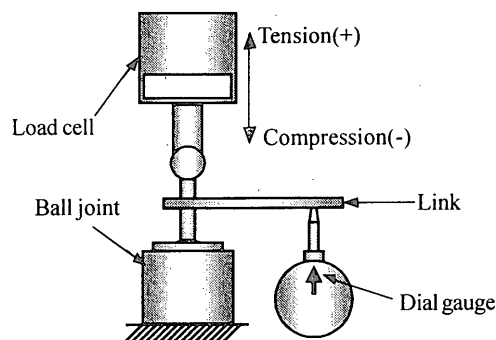


Fig. 2 Load test

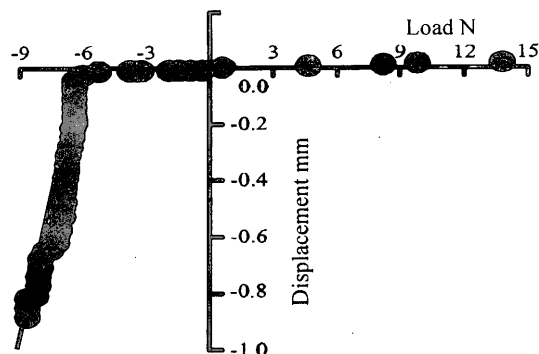


Fig. 3 Load-displacement

引張荷重を作用させた場合、13.7Nの荷重で球の変位は18 μmであった。引張荷重に対して、②の下部球受けのテーパ面とテーパのつば部の応力状態を確認するために、FEMによる解析を行った。結果を図4に示す。球に13.7Nの引張荷重を与えたとき、テーパ面には最大22.3N/mm²の応力が発生している。テーパのつばの部分には変形は生じていないので、テーパのつばの部分は球を支えるに十分な剛性を有していると考えられる。

パラレルリンク機構に実装した場合、試作した球ジョイントはエンドエフェクタの自重、リンクの可動によって生じる圧縮、引張荷重への対応が可能である。

4. 球ジョイントの評価

図5に球ジョイントを実装するパラレルリンク機構の初期姿勢と能動対偶であるスライダの進行方向を示す。

試作した球ジョイントの有用性を確認するために、揺動角度±22.5°を持つTHK製RBL5Dを比較対象とし、Z軸方向の並進、X、Y軸周りの回転を自由度として持つ3自由度パラレルリンク機構に実装した。可動範囲の測定は図6に示すエンドエフェクタ上の3つの測定点から可動範囲を求めた。可動範囲の評価はZ軸方向の最大変位量によって行った。また、次式に示す座標変換式によって、可動範囲³⁴⁾を求めた。

$$S' = \begin{bmatrix} \cos\theta_x & -\sin\theta_x \sin\theta_y + \cos\theta_x & \cos\theta_x \sin\theta_y + \sin\theta_x \\ -\cos\theta_y & \sin\theta_x \sin\theta_y + \cos\theta_x & \cos\theta_x \sin\theta_y + \sin\theta_x \\ -\sin\theta_y & -\sin\theta_x \cos\theta_y & \cos\theta_x \cos\theta_y \end{bmatrix} S + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、S'は変換後の座標、 θ_x 、 θ_y は軸周りの回転角、Sは変換前の座標、Tは平行移動量である。

RBL5Dを実装したパラレルリンク機構においては、計算で得られたZ軸方向の可動範囲は22.4mmであり、実験では図7に示す19.7mmであった。試作した球ジョイントを実装したパラレルリンク機構においては計算で得られたZ軸方向の可動範囲は31.3mmであり、実験では図8に示す30.5mmであった。実験時において能動対偶であるスライダはRBL5Dを用いたパラレルリンク機構においては10mmの可動であるのに対し、試作した球ジョイントを実装したパラレルリンク機構においては40mm可動ができた。この結果から、理論可動範囲、計測した可動範囲において試作した球ジョイントを用いた場合に可動範囲が広がることが判明した。

5. 結言

本報告では以下の結果を得た。

1. 球ジョイントに球の軌道保持にテーパ面を用いることの有効性を確認した。
2. 試作した球ジョイントがパラレルリンク機構の可動範囲の拡大に有効であることを確認した。

参考文献

- (1) 武田 生行；パラレルメカニズムの解析・設計の基礎技術、精密工学会 第236回講習会テキスト、(1997)7-11.
- (2) ヒーハイト精工 HP；<http://www.hephaist.co.jp/>
- (3) PE.Jハウグ著、樫村幸辰 他訳；コンピュータを利用した機構解析の基本DADS理論マニュアル、大河出版、(1996)45-110.
- (4) 中村達也；ロボットの基礎工学、コロナ社(2000)、148-152.

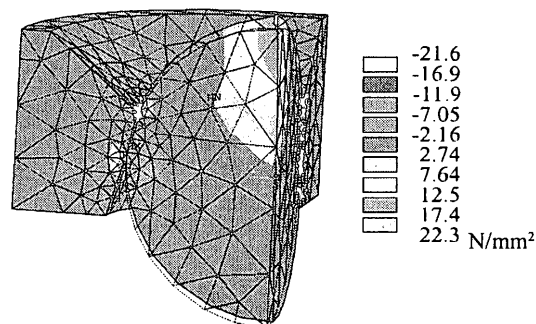


Fig. 4 Stress analysis by FEM

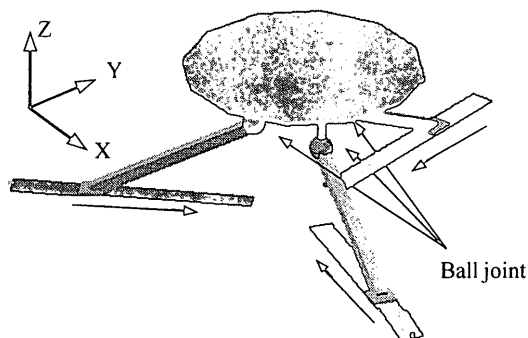


Fig. 5 Model of parallel link mechanism

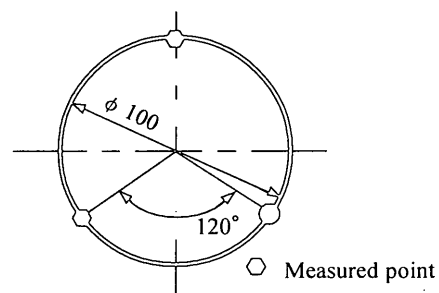


Fig. 6 Measured point on end effector

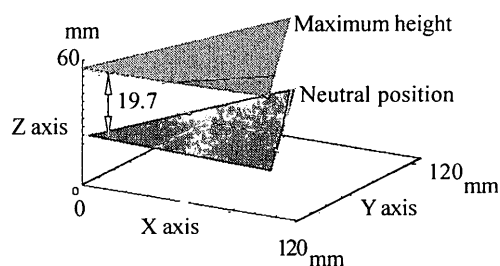


Fig. 7 Working area by RBL5D

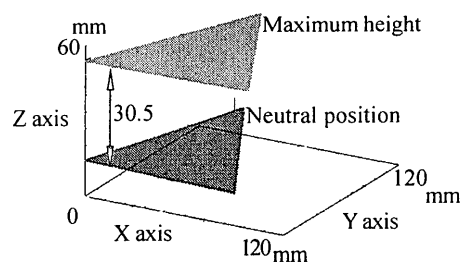


Fig. 8 Working area by developed ball joint