

複雑形状部品の姿勢制御とリアルタイム測定を実現する立体駆動装置の開発

Development of a three-dimensional drive device for the posture control and real-time measurement of parts with complex shapes

福谷武司

Takeshi Fukutani

機械素材研究所 システム制御グループ

次世代自動車等で、電装配線に使われる棒線状素材を折り曲げた部品の測定を立体駆動装置を使って実現する試みについて述べる。らせん曲線を球面に配した歯車部品による装置を構築し、最も条件の良い場合で測定時間を従来手法の1/4に短縮することができた。

This paper describes the construction of a new three-dimensional drive device for measuring bent parts made from rod-shaped materials used for electrical wiring in next-generation automobiles. The device was constructed using gear parts with spiral curves arranged on a spherical surface. In the best case, the measurement time was reduced by a factor of 4 compared with that required using the conventional method.

1. はじめに

近年、次世代自動車等の普及により電装配線に用いられる銅製のバスバー、EVモーターのコイルで使われる平角線曲げ素材、搭載電池を冷却するための熱交換器等の細パイプ、水素配管など、パイプを成形した部品の需要が増えてきた。従来、これらの複雑形状部品については図1に示す非接触3次元デジタイザを用いて形状計測を行っており、精度良く緻密にデータを取得することができる。しかし測定時間が長い上、生成したデータが大きく重いために、必要な測定データを算出するまでの作業時間が長いことが問題となっていた。この問題を解決すべく本研究では学会等で注目を集めている球状歯車等の立体駆動の機構部品を使って棒線材の形状を特定の位置に送り込む立体駆動装置の開発に取り組んだ。



図1 従来の測定環境(COMET 5)

2. 開発概要

2.1 開発システムの全体像

開発システムの全体像を図2に、測定の流れを図3に示す。はじめに3D撮像装置により測定形状のおおまかな3Dデータ形状取得を行い、これにより立体駆動装置の経路データを算出する。その経路は測定対象物がレーザー変位計の測定範囲であるところの測定点に添うように送り込まれ、レーザー変位計により最終的な測定を行う。

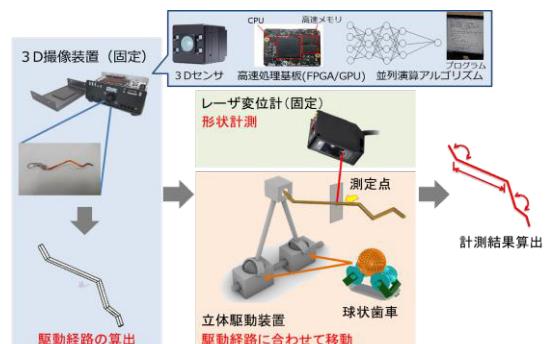


図2 開発システム全体の流れ

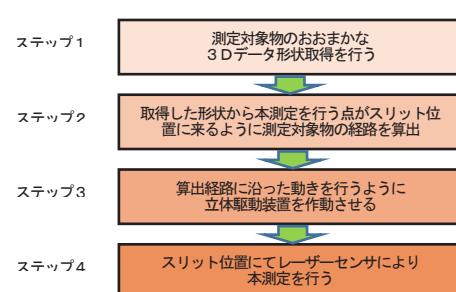


図3 測定の流れ

2.2 3Dデータの取得

3Dデータを取得するための開発環境を構築した。

開発環境構成を表1に、3Dデータ取得ユニットの外観を図4に、取得した3Dデータを図5に示す。

表1 開発環境構成

本体	CPU	ARM®Cortex™-A9 互換 (FPGA Cyclone V 上に実装)
	メモリ	DDR3LSDRAM2GB(32bit)
	VPU・AIアクセラレータ	Mustang-M2BM-MX2
	OS	LXDE(LightweightX11 Desktop Environment)
	AI画像処理	OpenVINO+OpenCV
カメラ	3Dカメラ	Arducam ToFカメラ
	インターフェース	MIPI-CSI 2
	撮像範囲	4m

【正面側】



【裏面側】



図4 3Dデータ取得ユニット

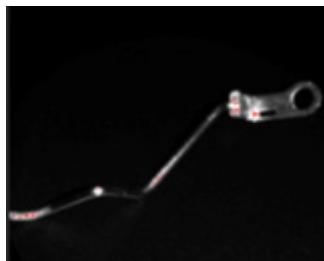


図5 取得した3Dデータ

2.3 経路の算出

図6のように測定対象物から取得したデータを利用し重心点をつないだスケルトンデータを作成する。これを経路の算出に利用した。

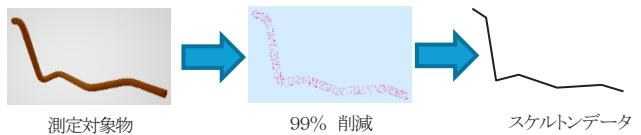


図6 点群データの軽量化

実際の経路の算出は、図7に示すRhinoceros (計算アルゴリズムを組み込むことができる3Dモデリングソフト) のIK機能 (インバース kinematic = 経路を描くとアクチュエータの動作量を逆算できる機能) を用いて行った。

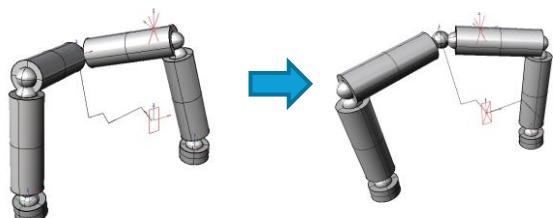


図7 IKによる経路計算

2.4 立体駆動装置

立体駆動装置を作るにあたってらせん曲線を用いた新規形状のらせん球歯車を作成した。らせん曲線を用いたのは、歯車の歯のピッチとらせん曲線が等ピッチになることを意図したものである。

形状を作成するには、球面上のピッチが等間隔になるらせん曲線を作成し、その上を直径 $\phi 3.2\text{ mm}$ 齒数32の歯車の歯の一つをらせんに沿わせて押し出す。

二重らせんとしたのは、単らせんでは球状にらせんを描いた場合の軌道を歯車の山のピッチと合わせることが困難であり、二重らせんを適用することでピッチを合わせることができたためである(図8)。

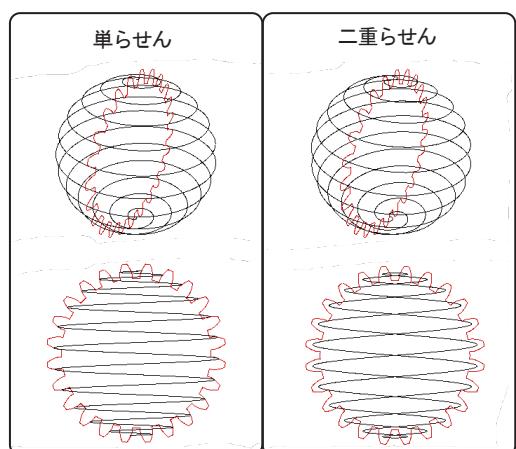


図8 らせん曲線と歯車ピッチの比較

逆にらせんの経路を四重以上に多くすると、ピッチ間隔が狭くなり作成自体が困難となった。(図9)。

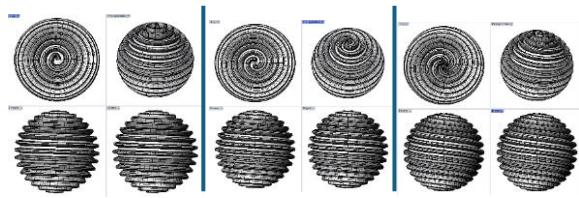


図9 らせん曲線を溝に用いた球状歯車モデル
(左:单らせん,中:二重らせん,右:四重らせん)

これらの球面らせん曲線の作図は Rhinoceros 上の作図用 Python プログラムで行った (図10)。

```

1 import rhinoscriptsyntax as rs
2 import math
3
4 def create_spherical_double_helix_one_direction(
5     .....radius=10.0,
6     .....turns=6,
7     .....segments_per_turn=50,
8     .....offset=math.pi
9     .):
10    .....points1 = []
11    .....points2 = []
12
13    total_segments = turns * segments_per_turn
14
15    for i in range(total_segments + 1):
16        .....t = float(i) / total_segments
17        .....theta = math.pi * t
18        .....phi = 2 * math.pi * turns * t
19        .....x1 = radius * math.sin(theta) * math.cos(phi)
20        .....y1 = radius * math.sin(theta) * math.sin(phi)
21        .....z1 = radius * math.cos(theta)
22        .....points1.append((x1, y1, z1))
23
24        .....phi2 = phi + offset
25        .....x2 = radius * math.sin(theta) * math.cos(phi2)
26        .....y2 = radius * math.sin(theta) * math.sin(phi2)
27        .....z2 = radius * math.cos(theta)
28        .....points2.append((x2, y2, z2))
29
30    .....curve1 = rs.AddInterpCurve(points1)
31    .....curve2 = rs.AddInterpCurve(points2)
32
33    rs.ZoomExtents()
34
35    create_spherical_double_helix_one_direction()

```

図10 球面上の二重らせん曲線を作るプログラム

さらに歯車の歯が対称になるように、右回りらせんと左回りらせんを合成した形状を作成した。

これは右回りらせん球歯車に対して、左回りのらせん球の谷部分を合成したものである。(図11)

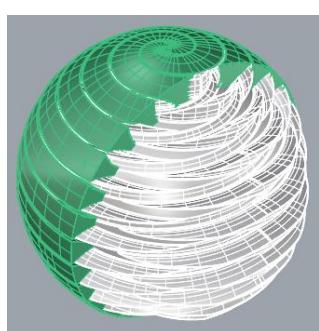


図11 らせん球歯車の制作過程におけるカット形状断面
(緑部分をカットする)

最終的に立体駆動装置に採用したらせん球歯車を図12に示す。



図12 らせん球歯車

本形状は、図13に示すようにらせん曲線とほぼ垂直に交差する縦線方向に回転したとき素早く振り上げの動きを行い、横線方向に動くときにウォームギアのような大きな減速比で動くことができる。この仕組みを用いて図14のような立体駆動装置を作成した。

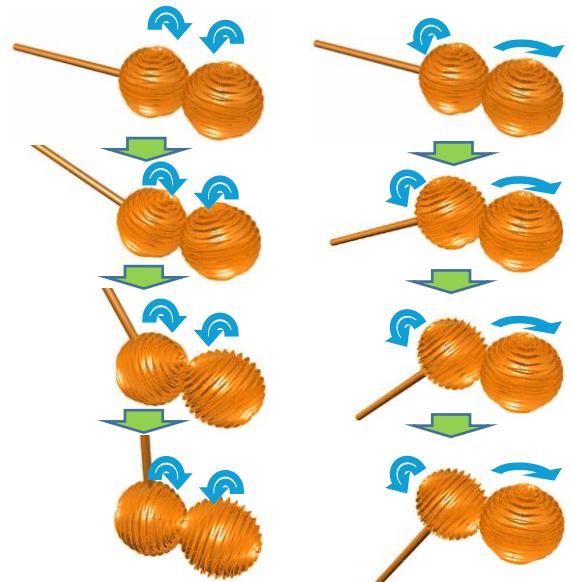


図13 らせん歯車による動作

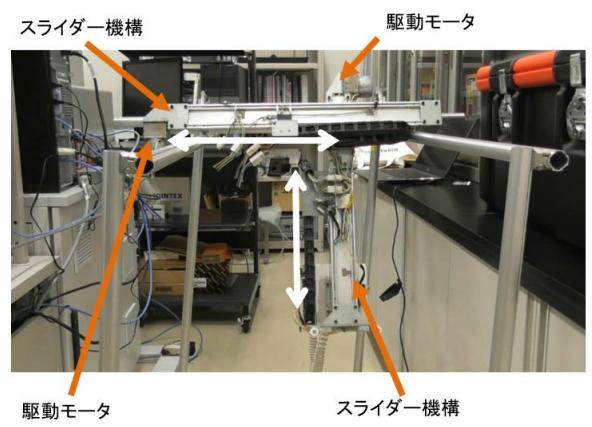


図14 立体駆動装置

2.5 測定結果

測定は表2に示すようなレーザー変位計を用いて行った。

表2 レーザー変位計仕様

検出距離	71mm
光源	赤外線(部分コヒーレント光源)
レーザークラス	CLASS2(IEC/JIS)
解像度	0.1 μ m
スポット径	ϕ 5 μ m

表3に測定結果、図15に測定物を示す。

表3 測定結果

	設計値	従来手法 (非接触3次元デジタルメタリック)	提案手法 (開発システム)
長さA[mm]	40.64	40.65	40.66
角度B[°]	115.5	115.5	115.5
角度C[°]	90.0	89.9	89.8
測定時間[min]	-	60	15



図15 測定物

提案方法は従来方法に比較して若干誤差が大きいものの測定時間を大幅短縮できることで良好なものと言える。

3. 考察

このように、立体駆動装置による棒線材測定が可能になったが、現場に投入するにはまだいくつか課題がある。それは次のようなものである。

立体駆動装置に今回のような球状歯車を使った場合、歯の噛み合いを確保するために駆動速度を緩和する必要が生じた。

今回の測定物のようにバスバーの湾曲が鈍角のものであれば問題ないが、90度以上の折り曲げがある場合は送り出し機構の測定物への接触が避けられない等の理由により測定が難しい。そのため、現状では測定対象物が限られている。90度以上の折り曲げに対応する機構の改善として多軸化等で対策する必要がある。

また、歯にかかる力の均一性についての解析等詳細検証についての余地がある。

4. おわりに

演算量の多い3次元空間処理に関して、棒線材の測定に必要なデータを抽出し、形状精度判定に必要なデータを取得できた。今後、3Dデータ形状計測分野は、バスバーのみならず、様々な複雑形状を取り扱う場面が予想されるが、より高性能なレーザーセンサや3Dセンサ、またエッジコンピューティング製品の発展に伴うオンライン計測にも活用可能な、より利便性の高い製品も今後期待されることから、その動きを注視し、県内企業に役立つ技術として展開させ普及を図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 多田隈 理一郎, 球状歯車が拓く新しい機械工学の可能性, 年次大会, 2024, 2024 卷, セッション ID F112-4, p. F112-4
- 2) 株式会社近藤電子工業ホームページ
<https://kd-group.co.jp/keim-cvsoc-download/>