

2 レーザーを用いた高精度全周三次元ばね計測 Highly Accurate Three Dimensional Measurement System For Spring Shapes With Two Lasers

西郷 知泰†, ‡ 田口 亮† 服部公央亮†, ‡ 保黒政大† 梅崎 太造 †
Tomoyasu Saigo Ryo Taguchi Koosuke Hattori Masahiro Hoguro Taizo Umezaki

1. まえがき

製造業において、三次元計測による製品品質管理の生産ライン適用が進んでいる。本稿では自動車の中においても機能/安全上特に重要な部品であるばねを対象とした三次元計測を対象とする。計測対象とされるばねには、ばね径を徐変させ、複雑な機能を持たせているものも多い。これらの性能を管理するため、ミクロンオーダーでの高精度計測による品質保証が望まれている。三次元計測手法として光切断法が確立されており[1,2]、ばね計測に適したシステムも提案されている[3-5]。本稿ではそれらシステムを更に拡張させ、徐変ばねへの適用を検討した。

2項では、計測システムと回転軸を含めた計測システムの校正が容易に可能なキャリブレーション方式について説明する。3項では、通常の半径推定に用いる手法と徐変ばねに適用する場合の課題について述べる。また、高精度化手法として用いられる区分的補完法の紹介と、徐変ばねへの適応性について述べる。最後にまとめと今後の課題について述べる。

2. 撮影装置とキャリブレーション

本研究で使用した計測システムの構成を図1に示す。本計測システムでは2本のレーザーと光学カメラを用いて計測を行う。また、ばねの全周計測を行うための回転ステージ、及び回転ステージ上に設置した並進ステージもシステム構成に含まれる。並進ステージは計測時には使用しないものの、簡易な操作でのキャリブレーションを実現のときに重要となる。

キャリブレーションは、最初に1枚のチェスボードを配置する。併進ステージにてボード位置を移動させ、レ

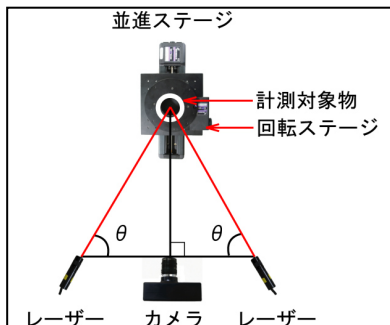


図1. ばね計測システム

ーザー軌跡を撮影することで、世界座標中でのレーザー平面の位置を知ることができる。回転ステージにより世界座標を回転させ、併進ステージを用いて同様の処理を行うことで、世界座標の回転中

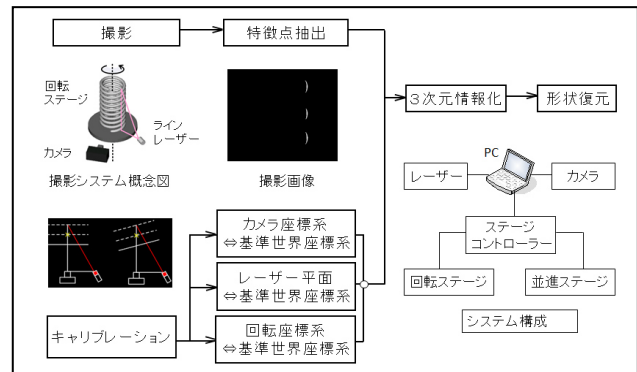


図2. キャリブレーションフロー

心を認識することができ、計測に必要な諸要素を決定することができる(図2)。このシステムにて、 $20\mu\text{m}$ 分解能の撮影系を用いて、幅 $100\mu\text{m}$ 程度のレーザーを用いることで撮影 $10\mu\text{m}$ 精度での計測が実現可能なことが既に示されている[5]。

しかし、 $20\mu\text{m}$ 分解能の場合、全長 30mm 程度の小型ばねに用途が限られる。今回、全長 100mm まで対応可能なよう機器の変更を行った。また、高速撮影により角度ピッチを細かくするため、画像サイズはVGA(640×480)としている。このため、1画素あたりの分解能は $200\mu\text{m}$ であり、計測精度としては[5]で紹介したものより落ちている。レーザーはカンタムエレクトロニクス社、回転/並進ステージは駿河精機製のものを用いた。

3. 徐変ばねの半径推定

徐変ばねの場合、ばね径はばね端点を基準とする角度 φ (ばね位相と呼ぶことにする)の関数として表現される。ここで、 φ は $0\sim 2N\pi$ (N はばねの巻き数)の値を取る。

$$r = r(\varphi) \quad \dots (1)$$

レーザーの輝点から得られる基準世界座標系でのばねの三次元データから回転軸を考慮した実際のばねの形状の求め方を以下に述べる。ここで、表記を簡単にするため、回転中心を世界座標とし、設置時のばね中心を $(a, 0)$ となるように x, y 軸を定義しているが、これにより一般性を失うことはない。

ばね位相 φ 上の点は回転ステージの回転により、

$$x = a \cos \theta + r(\varphi) \cos(\theta + \varphi) \quad \dots (2)$$

$$y = a \sin \theta + r(\varphi) \sin(\theta + \varphi) \quad \dots (3)$$

に移動する(図3)。式(2)、(3)で示されるばね外形部とレーザー平面 $y = Ax + B$ との交点をなす位相 φ での三次元点が光切断法により求めることができる。ここで、 x, y, a のみが既知であるため、ここから r を推定することは困難である。そこで、以下の評価関数を定義した。

† (株) マクシス・シントー, Maxis Shinto Inc.,

‡ (独) 名古屋工業大学, Nagoya Institute of Technology

†‡ (独) 中部大学, Chubu University

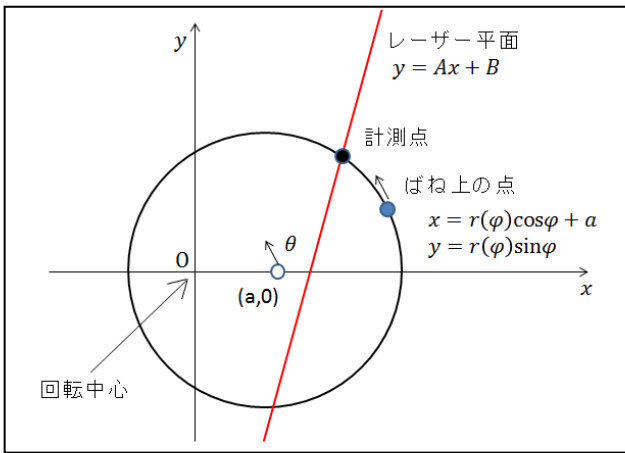


図3. レーザー平面との交点

$$F(\theta) = x\cos\theta + y\sin\theta = a + r(\varphi)\cos\varphi \quad \dots \quad (4)$$

ばね径が固定であれば、 $F(\theta)$ の平均、1次Fourier係数によってばねの中心位置やばね半径を求めることができる。ここで、 φ は θ に対して線形ではないためその分の誤差は生じるがその影響はここでは述べない。

一方、ばね径が徐変する場合、上記評価では対応できない。その場合には区分的最小二乗法が有用である。区分的最小二乗法では、以下のフローを実施する。

- Step.1 ばね位相にて π の区間を3次関数にて補完
- Step.2 ばね位相を $\pi/2$ シフトさせて3次関数補完
- Step.3 Step.1,2で得られる補完データそれぞれに対し、テント型重みづけを行って和を取る

この手法では、3次関数を逐次フィッティングするため、徐変ばねであっても適したノイズ除去を行うことができる。

区分的最小二乗法による精度向上例を以下に示す。ただし、ここでは(4)式ではなく $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ に対して評価している。そのため、ばね中心と回転中心のずれによる半径の振動が見られる。単純な移動平均の結果と区分的最小二乗法での補完結果を図4,5に示す。計測ノイズが消え、ばね径の測定を行うのに適したデータが得られていることがわかる。また、1画素 $200\mu\text{m}$ という撮影条件にて、単純繰り返し精度が $55\mu\text{m}$ であったデータに対し、区分的最小二乗法を適用することにより精度が $34\mu\text{m}$ (ばね

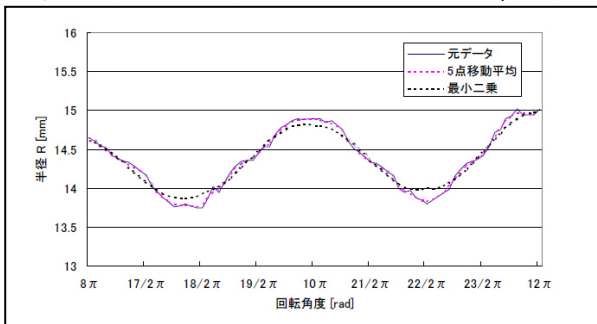


図4. 区分的最小二乗と単純移動平均での補完結果

表1. 区分的最小二乗法による繰返し精度

回転角度	標準偏差 σ_x [μm]	標準偏差 σ_y [μm]
0~2 π	94.26	33.77
2 π ~4 π	28.24	52.07
4 π ~6 π	23.30	47.76
6 π ~8 π	13.56	61.20
8 π ~10 π	9.63	61.43
10 π ~12 π	9.97	66.50
12 π ~14 π	11.30	65.69
14 π ~16 π	14.89	64.37
16 π ~18 π	18.52	64.63
18 π ~20 π	22.07	50.83
全体	34.32	57.70

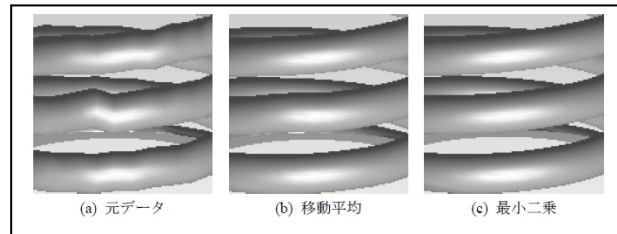


図5. 三次元形状復元結果

端部を除けば $10\mu\text{m}$)と大幅に向上した。本フォーラムでは、徐変ばねに対し、式(4)による区分的最小二乗法による結果を紹介する。

4. まとめ

本稿では光切断法によるばねの全周計測を対象とし、徐変ばねでの外形計測に適したフィッティング方法である区分的最小二乗法を提案した。また、徐変ばねに対してばね径を計測するためのノイズ除去に有用な式を示している。また、半径固定のばねであるが、区分的最小二乗法により、低解像度であっても高い繰返し精度を実現可能なことを示した。本フォーラムでは、徐変ばねに対する計測結果を発表する。

参考文献

- [1] 大池 裕輔, 新宅 宏彰, 池田 誠, 浅田 邦博: 光切断法による高精度・実時間3次元撮像システム, 映像情報メディア学会誌, Vol.57(9), 1149-1151, 2003.
- [2] 松岡 浩仁, 賀勢 晋司, 和田 武朗: 微小モジュール歯車の歯型精度測定への光切断法の応用, 精密工学会誌, Vol.66(8), 1226-1230, 2000.
- [3] 西郷 知泰, 松井 敦史, 田口 亮, 梅崎 太造: 光切断法による螺旋状物体の高精度三次元形状計測, 電気情報通信学会技術報告会(PRMU), 2008-110, 125-130, 2008.
- [4] 西郷 知泰, 楊 文祺, 田口 亮, 梅崎 太造: 未校正な光学系を用いた高精度全周形状計測, 画像センシングシンポジウム, SSII2009, IS1-5, 2009.
- [5] 西郷 知泰, 田口 亮, 梅崎 太造: インライン運用に向けた高精度ばね計測手法の開発, 画像センシングシンポジウム, SSII2014, IS3-29, 2014.