



# 自転車の車輪に生じる振れを修正するための 作業支援装置開発

松本 光広\*

## Development of Task Support Equipment for Correcting Deformed Bicycle Wheel

Mitsuhiro MATSUMOTO\*

### 1. はじめに

自転車のホイールは、自転車における安定した走行を実現するために、重要な役割を果たす部品である。ホイールは、ハブ、スポーク、ニップルおよびリムにより構成される。ホイール中心部のハブおよび外周部のリムは、ハブに接続されてハブから放射状に伸びる複数のスポーク、およびスポークの先端にねじで取り付けられたニップルによりリムに接続されて、相互に固定される[1]。ホイールは、ハブを中心としたリムの形状がほぼ真円となることで、自転車の安定した走行を実現できる。リムの形状が真円から変形して、許容限界の範囲から外れた状態を振れと呼ぶ。ホイールの振れは、主にホイールの組み立てにおいて生じる[2]。リムの振れを修正する振れ取りは、ニップルを回転させてリムを弾性変形させることで、振れを許容限界の範囲に収める。スポーク先端のニップルを回転させることでハブとリムの距離を変化させて、スポークに発生する張力を変化させる。スポークの張力を変化させると、他のスポークとの力の相互作用により平衡が保たれるまでリム全体が変形する[3]。

人の手でホイールを組み立ててリムの振れを取る場合、一つのニップルを回転させることでリム全体が変形して、振れが許容限界の範囲に収まるかどうかを確認する。これをリム全体について様々な位置のニップルを何度も回転させて、これを繰り返すために手間がかかる[4]。これを解消するために、工場におけるホイールの組み立てでは、リムに振れを生じさせないために、全てのニップルを同時に締付ける装置を用いる[5]。装置は複雑かつ大型である。

一つのニップルの回転量に対するリム全体の振れ量の関係を事前に把握できれば、この関係を用いて一ヶ所のリムが振れている位置に対して必要な回転させるニップルの位置と回転量を予測できる。リム全体の振れを許容限

界の範囲に収めるために予測したニップルの位置と回転量を振れを取る人に指示できれば、振れ取りにおける繰り返し作業を減らし、必要なニップルの回転のみを行えばよい。

本研究では、自転車のホイールの組み立てにおいて生じるリムの振れを対象として、人の手でニップルを回転させてリムの振れを取り、繰り返し作業を減らして効率よく作業するために、回転させるニップルの位置と回転量を人に指示する支援装置の開発を目的とする。一ヶ所のリムが振れている位置の振れ量について回転させるニップルの位置と回転量を事前に予測するために、一つのニップルの回転量におけるリム全体の振れ量の関係を明らかにする。支援装置では、ニップルの回転量におけるリム全体の振れ量の関係を用いて、実際に計測したリム全体の振れ量に対して、振れを許容限界の範囲に収めるために回転させるニップルの位置と回転量を予測する。提案した予測方法を支援装置に実装して、装置を構成する。構成した支援装置を用いて、実際に振れが生じたリムに対して、支援装置が示した振れを許容限界の範囲に収めるために必要な回転させるニップルの位置と回転量を用いて実際に人が振れを取り、その性能を確認する。

### 2. 自転車のホイール

#### 2.1 ホイールの構造

図1に自転車のホイールの構造を示す。ホイールは、ハブ、スポーク、ニップルおよびリムにより構成される。本研究では、多くの自転車のホイールに採用されている、各スポークを交差してリムに固定するタンジェント組を対象とする。ホイール中心部のハブおよび外周部のリムは、複数のスポークおよびニップルを介して相互に固定される。スポークは、ハブの外形接線上に接続されて、中心部からほぼ放射状に伸びる。ニップルは、スポークの先端に

\*准教授 経営工学科

Associate Professor, Dept. of Management  
Engineering

ねじで取り付けられて、リムの円周上に等間隔で接続される。断面図A-Aおよび断面図B-Bから、リムの円周上において隣り合うスポークは、ハブの軸方向における左右から交互にリムに接続される。ホイールでは、各スポークにおける各ニップルを回転させることで、ハブとリムの距離を変化させてスポークに張力を発生させて、ハブとリムを強く固定している。ニップルを回転させてスポークの張力を変化させると、他のスポークとの力の相互作用により平衡が保たれるまでリムが変形する。ハブを中心としたリムの形状が真円から変形して、許容限界の範囲から外れた状態を振れと呼ぶ。

図2に本研究で用いるホイールの座標系を示す。ホイール、ハブおよびリムの中心を原点 $O_W$ とし、原点からリムの半径方向を $X_W$ 軸、リム上において $X_W$ 軸に直交する軸を $Y_W$ 軸、ハブの軸方向を $Z_W$ 軸とした座標系を $X_W$ - $Y_W$ - $Z_W$ とする。 $X_W$ - $Y_W$ 平面上において、 $X_W$ 軸

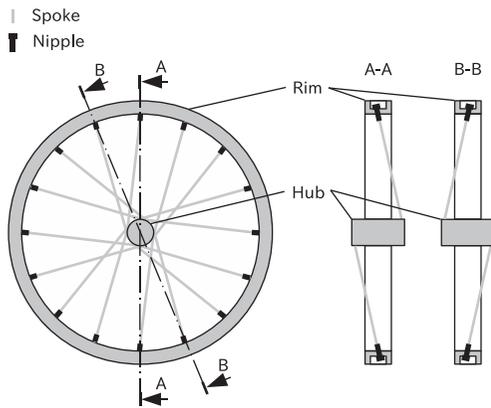


図1 自転車のホイールの構造

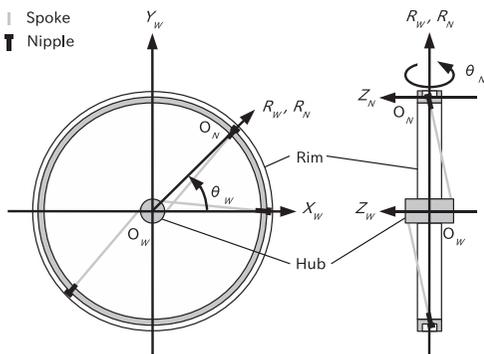


図2 ホイールの座標系

から角度 $\theta_W$ の軸を $R_W$ 軸とする。スポークの先端に設置されたニップルについて、 $R_W$ 軸方向におけるニップルとリムの接触点を原点 $O_N$ とし、原点からリムの半径方向を $R_N$ 軸、 $R_N$ 軸におけるニップルの回転方向を $\theta_N$ 、リムの厚さ方向を $Z_N$ 軸とする。なお $R_W$ 軸は $R_N$ 軸と同軸上にあり、 $Z_W$ 軸は $Z_N$ 軸と平行とする。

## 2.2 リムの振れの特徴

### 2.2.1 測定装置

図3に、リム全体の変位を測定するホイールおよびセンサを示す。ホイール調整スタンドにホイール、リム変位センサおよびスポーク検出センサを取り付ける。 $Z_N$ 軸方向におけるリムの幅は27.4mm、原点 $O_W$ から原点 $O_N$ におけるリムの半径は325mmである。リムの材質はアルミニウムである。 $Z_N$ 軸方向プラス側、 $R_N$ 軸方向および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの変位をそれぞれ測定する。 $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサ、 $R_N$ 軸方向のリム変位センサおよび $Z_N$ 軸方向マイナス側のリム変位センサをリムの回りに設置する。測定範囲は30mm±5mm、分解能は1μmである。スポーク検出センサは、スポークを検出する。検出距離の範囲は1.5m、レーザのスポット径は1.5m先でφ2mmである。

表1に測定で用いたホイールのスポーク数 $p$ 、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサの $Z_N$ 軸上の位置 $s_{Z_N+}$ 、 $R_N$ 軸方向のリム変位センサの $R_N$ 軸上の位置 $s_{R_N}$ 、および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリム変位センサの $Z_N$ 軸上の位置 $s_{Z_N-}$ を示す。リム変位センサは、測定面をそれぞれ位置 $s_{Z_N+}$ 、位置 $s_{R_N}$ および位置 $s_{Z_N-}$ に固定して用いた。スポーク検出センサがスポーク番号 $i$ のスポークを検出したときに、リム変位センサが $Z_N$ 軸方向プラス側、 $R_N$ 軸方向および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置を測定する角度 $\theta_W$ は、

$$\theta_W = \frac{2\pi}{p}i \quad (1)$$

と表せる。式(1)を満たす位置に、スポーク検出センサを設置した。なお $R_N$ 軸方向のリムの変位は、ニップルのすぐ横のリム部を測定した。

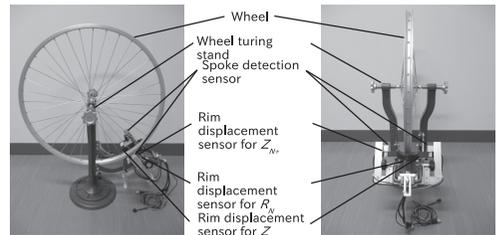


図3 ホイールおよびセンサ

表1 ホイールのスポーク数 $p$ , リム変位センサの位置 $s_{ZN+}$ ,  $s_{RN}$ および $s_{ZN-}$

$p$	$s_{ZN+}$	$s_{RN}$	$s_{ZN-}$
36	43.6mm	31.9mm	-43.6mm

### 2.2.2 測定方法

測定では、ホイールを $-\theta_W$ 方向に手で回す。スポーク検出センサがはじめに検出したスポークのスポーク番号 $i$ を0として、 $\theta_W$ 方向について1から $p-1$ まで検出した順番にスポーク番号 $i$ をつける。また $-\theta_W$ 方向について、 $-1$ から $-(p-1)$ までスポーク番号 $i$ をつける。なお本測定では、スポーク番号 $i$ が0であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向マイナス側に位置することとした。スポーク検出センサがスポーク番号 $i$ のスポークを検出したときに、リム変位センサがスポーク番号 $i$ における $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサの測定値 $m_{ZN+}(i)$ 、スポーク番号 $i$ における $R_N$ 軸方向のリム変位センサの測定値 $m_{RN}(i)$ 、およびスポーク番号 $i$ における $Z_N$ 軸方向マイナス側のリム変位センサの測定値 $m_{ZN-}(i)$ を測定する。スポーク番号 $i$ が0から $p-1$ まで測定する。

測定値 $m_{ZN+}(i)$ 、測定値 $m_{RN}(i)$ および測定値 $m_{ZN-}(i)$ から、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの位置 $z_{N+}$ 、 $R_N$ 軸方向のリムの位置 $r_N$ および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置 $z_{N-}$ は、

$$z_{N+}(i) = s_{ZN+} - m_{ZN+}(i) \quad (2)$$

$$r_N(i) = s_{RN} - m_{RN}(i) \quad (3)$$

$$z_{N-}(i) = s_{ZN-} - m_{ZN-}(i) \quad (4)$$

と表せる。

### 2.2.3 測定結果

スポーク番号 $i$ が0におけるニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ について、これを変化させたときのスポーク番号 $i$ と $Z_N$ 軸方向のリムの位置 $z_N$ および $R_N$ 軸方向のリムの位置 $r_N$ の関係を調べた。図4にニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が0、図5にニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が $6\pi$ 、図6にニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が $-6\pi$ における、スポーク番号 $i$ とリムの位置 $z_N$ およびリムの位置 $r_N$ の関係を示す。図5は、スポーク番号 $i$ が0のニップルについて、ニップルを回転させて、回転角度 $\theta_N(0)$ を $6\pi$ とした。この場合、 $Z_N$ 軸方向プラス側および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置 $z_N$ が、図4と比較してプラス側に変化していることが分かる。図6は、スポーク番号 $i$ が0のニップルについて、ニップルを回転させて、回転角度 $\theta_N(0)$ を $-6\pi$ とした。この場合、 $Z_N$ 軸方向プラス側および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置 $z_N$ が、図4と比較してマイナス側に変化していることが分か

る。スポーク番号 $i$ が0であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向プラス側に位置する場合、 $Z_N$ 軸方向プラス側および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置 $z_N$ は、図5および図6において $Z_N$ 軸方向プラス側と $Z_N$ 軸方向マイナス側の値を入れ替えることで示される。図5および図6から、 $Z_N$ 軸方向プラス側および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置 $z_N$ の変化は同じであり、 $R_N$ 軸方向のリムの位置 $r_N$ の変化は小さい。したがって、以後 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの位置 $z_N$ のみを用いる。

リムの振れについて、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの許容限界位置 $l_{ZN+}$ 、および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの許容限界位置 $l_{ZN-}$ とする。本研究では、これらの許容限界位置を越えたりみを振れているとした。表2に本測定で用いたリムの許容限界位置 $l_{ZN+}$ およびリムの許容限界位置 $l_{ZN-}$ を示す。27.4mmのリムの幅から、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの理想の位置は13.7mmとなり、リムの理想の位置から $\pm 0.4$ mmを許容限界位置とした。図4から、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの位置 $z_N$ は、表2に示すリムの許容限界位置 $l_{ZN+}$ およびリムの許容限界位置 $l_{ZN-}$ と比較して、この範囲に収まりリムの変形が小さく、リムが振れていないことが分かる。図5から、表2に示すリムの許容限界位置 $l_{ZN+}$ およびリムの許容限界位置 $l_{ZN-}$ と比較して、この範囲から外れてリムの変形が大きく、リムが振れていることが分かる。

ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ を $-6\pi$ から $6\pi$ まで変化させたとき、スポーク番号 $i$ と $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係を調べた。図7にスポーク番号 $i$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係を示す。リムの変位は、図4に示すリムの位置からの差を示す。ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ を変化させると、リムの変位 $d_{ZN+}$ は、スポーク番号 $i$ が0のリムの位置で大きく変化することが分かる。また、スポーク番号 $i$ が8、18および28のリムの位置についても、小さく変化することが分かる。したがって、スポーク番号 $i$ におけるニップルの回転角度 $\theta_N(i)$ を変化させると、スポーク番号 $i$ の周辺の変位のみならずリム全体の変位が変化する。

0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について、ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係を調べた。図8にニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係を示す。図8から、ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ およびリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係は、ほぼ線形であることが分かる。

0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について、ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係を線形近似式として表す。図8からニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ について、線形近似式の傾きを $a_{ZN+}(i)$ 、切片を $b_{ZN+}(i)$ とする。スポーク番号 $i$ が0であるスポークが

図2における $Z_N$ 軸方向マイナス側に位置する場合は、

$$d_{ZN+}(i) = a_{ZN+}(i)\theta_N(0) + b_{ZN+}(i) \quad (5)$$

と表せる。また、スポーク番号 $i$ が0であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向プラス側に位置する場合は、傾き $a_{ZN+}(i)$ および切片 $b_{ZN+}(i)$ を用いて、

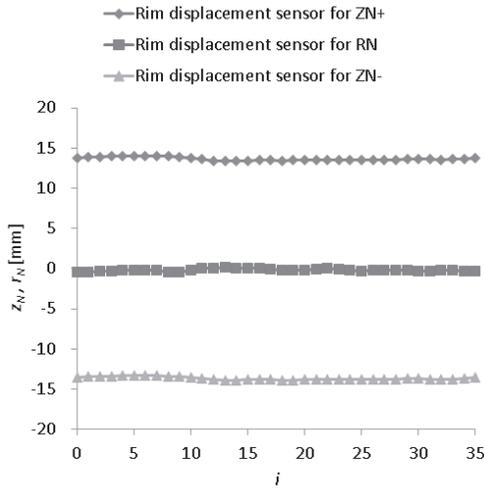


図4 ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が0におけるスポーク番号 $i$ とリムの位置 $z_N$ およびリムの位置 $r_N$ の関係

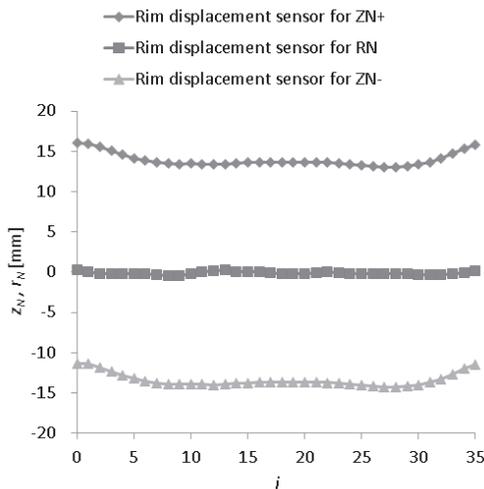


図5 ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が $6n$ におけるスポーク番号 $i$ とリムの位置 $z_N$ およびリムの位置 $r_N$ の関係

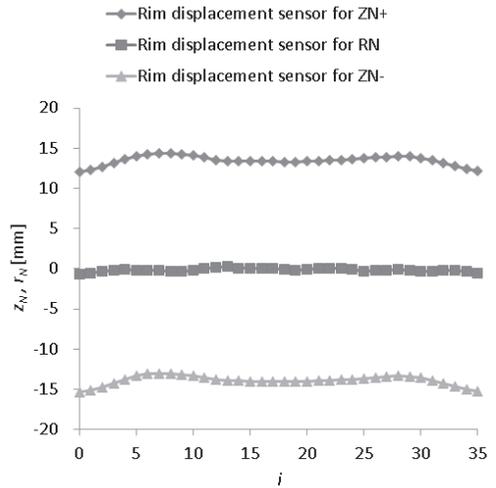


図6 ニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ が $-6n$ におけるスポーク番号 $i$ とリムの位置 $z_N$ およびリムの位置 $r_N$ の関係

表2 リムの許容限界位置 $l_{ZN+}$ およびリムの許容限界位置 $l_{ZN-}$

$l_{ZN+}$	$l_{ZN-}$
14.1mm	13.3mm

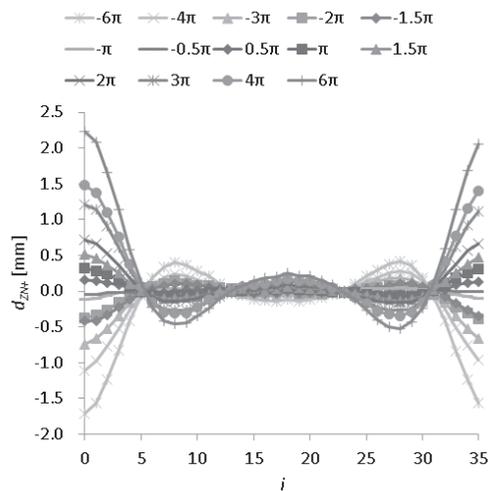


図7 スポーク番号 $i$ とリムの変位 $d_{ZN+}$ の関係

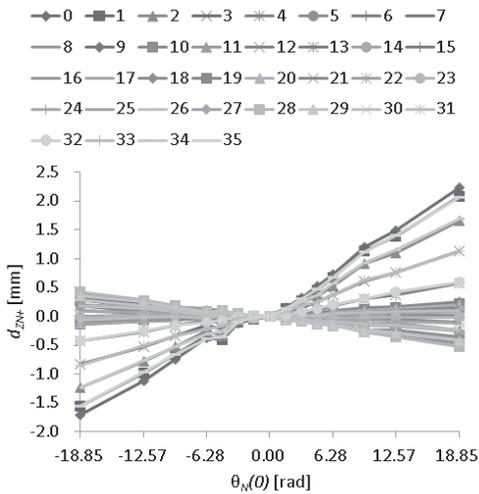


図8 ニップルの回転角度  $\theta_N(0)$  とリムの変位  $d_{ZN+}$  の関係

$$d_{ZN+}(i) = -a_{ZN+}(i)\theta_N(0) - b_{ZN+}(i) \quad (6)$$

と表せる。

### 3. 支援装置

自転車のホイールの組み立てにおいて生じるリムの振れを対象として、人の手でニップルを回転させてリムの振れを取るために、回転させるニップルの位置と回転量を人に指示する支援装置を構成する。支援装置では、ニップルの回転量におけるリム全体の振れ量の関係を用いて、実際に計測したリム全体の振れ量に対して、振れを許容限界の範囲に収めるために回転させるニップルの位置と回転量を予測する。人が振れを取る場合に、同じニップルを何度も回転させないために、回転させるニップルの位置と回転量を事前に予測して、この予測をもとに個々のニップルを回転させることを考える。支援装置では、リムの許容限界位置に対して、リムにおけるアルミニウムの表面について変位センサによる測定の誤差を許容するために、許容限界位置よりも範囲の小さい許容目標位置を設定する。回転させるニップルの位置と回転量を予測するために、リムの位置と許容目標位置の差が最も大きいリムの変位から、これ一つずつ修正するために必要な回転させるニップルの回転量を、リムの変位と回転量の関係から計算する。リムの位置が許容目標の範囲を満たすまで、計算を繰り返して、計算されたニップルの回転量を合計して、この値を示す。構成した支援装置を用いて、実際に振れが生じたリムに対して、支援装置が示した振れを許容目標の範囲に収めるために必要な回転させるニップルの

位置と回転量を用いて実際に人が振れを取り、リムの許容限界の範囲に収まるかを確認する。

### 3.1 装置の構成

#### 3.1.1 ハードウェアの構成

図9に実際の支援装置を示す。装置の測定部の詳細は、2.2.1節の測定装置に示す。なお、 $R_N$ 軸方向のリム変位センサおよび $Z_N$ 軸方向マイナス側のリム変位センサは用いない。 $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサおよびスポーク検出センサは、それぞれ $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサコントローラおよびスポーク検出センサコントローラに接続される。リム変位センサコントローラおよびスポーク検出センサコントローラはデータコントローラに接続される。データコントローラはUSBを介して、メインコントローラに接続される。

リム変位センサコントローラのサンプリング周期は100  $\mu\text{s}$ であり、リム変位センサで計測した値をアナログ電圧値として出力できる。スポーク検出センサコントローラの応答速度は500  $\mu\text{s}$ であり、物体を検出すると制御出力として電圧を出力する。データコントローラのクロック数は48MHzであり、ADコンバータ、割り込み処理およびシリアル通信の各機能を有する。シリアル通信は、USBシリアル変換器を介してメインコントローラとUSBで接続される。メインコントローラのCPUのクロック数は2.4GHzであり、USB接続端子を有する。

#### 3.1.2 ソフトウェアの構成

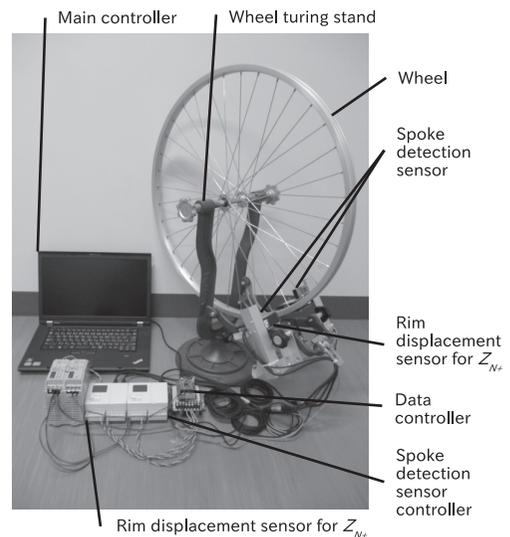


図9 支援装置

回転させるニップルの位置と回転量を予測する方法を以下に示す。人の手で一方向に回転させた自転車のホイールについて、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置を測定する。測定された位置から、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について、リムの位置が許容目標位置の範囲に収まるか外れるかを判断する。収まる場合は、回転させるニップルについてスポーク番号 $i$ および回転角度を0として表示する。外れる場合は、リムの位置を許容目標位置の範囲に収めるために、線形近似式を用いて最も大きなリムの位置との差からニップルの回転角度を算出する。算出したニップルの回転角度は、スポーク番号 $i$ について積算される。算出した回転角度を用いてニップルを回転させた場合の、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ におけるリムの位置を計算する。計算された0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ における位置が、許容目標位置の範囲に収まるか外れるかを再び判断する。収まる場合は、回転させるニップルについてスポーク番号 $i$ および回転角度を表示する。外れる場合は、許容目標位置の範囲に収まるまで、リムの位置の計算を繰り返す。

データコントローラは処理を開始した後、スポーク検出センサコントローラから制御出力を取得する。はじめに制御出力を得たときのスポーク番号 $i$ を0とする。 $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサコントローラから、スポーク番号 $i$ における $Z_N$ 軸方向プラス側のリム変位センサの測定値 $m_{ZN+}(i)$ を取得する。測定値 $m_{ZN+}(i)$ をメインコントローラへ出力する。

図10にメインコントローラの処理を示す。メインコントローラは処理を開始した後、2.2.2節の測定方法を用いて、リムの位置 $z_{N+}(i)$ を取得する。0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について、リムの位置 $z_{N+}(i)$ と、リムの許容目標位置 $t_{ZN+}$ およびリムの許容目標位置 $t_{ZN-}$ をそれぞれ比較する。リムの位置と2つの許容目標位置を比較して、許容目標位置よりリムの位置が小さい場合、回転させるニップルに接続されたスポークのスポーク番号 $j$ およびスポーク番号 $j$ について必要なニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ を0として、メインコントローラの画面に表示して、終了する。許容目標位置よりリムの位置が大きい場合、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの位置と許容目標位置の差 $e_{ZN+}(i)$ および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの位置と許容目標位置の差 $e_{ZN-}(i)$ は、

$$e_{ZN+}(i) = z_{N+}(i) - t_{ZN+} \quad (7)$$

$$e_{ZN-}(i) = z_{N+}(i) - t_{ZN-} \quad (8)$$

と表せる。0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について差 $e_{ZN+}(i)$ および差 $e_{ZN-}(i)$ を比較して、最も大きな差

におけるスポーク番号 $i$ を $j$ とする。最も大きな差におけるスポーク番号 $j$ について差 $e_{ZN+}(j)$ および差 $e_{ZN-}(j)$ から、最も大きな差を打ち消すために必要なニップルの回転角度 $n_{\theta N}(j)$ を計算する。スポーク番号 $i \neq 0$ であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向マイナス側に位置する場合において、差 $e_{ZN+}(j)$ が最も大きい場合は式(5)を用いて、

$$n_{\theta N}(j) = -\frac{e_{ZN+}(j) + b_{ZN+}(0)}{a_{ZN+}(0)} \quad (9)$$

と表せる。差 $e_{ZN-}(j)$ が最も大きい場合は式(6)を用いて、

$$n_{\theta N}(j) = \frac{e_{ZN-}(j) - b_{ZN+}(0)}{a_{ZN+}(0)} \quad (10)$$

と表せる。また、スポーク番号 $i \neq 0$ であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向プラス側に位置する場合において、差 $e_{ZN+}(j)$ が最も大きい場合は式(6)を用いて、

$$n_{\theta N}(j) = \frac{e_{ZN+}(j) - b_{ZN+}(0)}{a_{ZN+}(0)} \quad (11)$$

と表せる。差 $e_{ZN-}(j)$ が最も大きい場合は式(5)を用いて、

$$n_{\theta N}(j) = -\frac{e_{ZN-}(j) + b_{ZN+}(0)}{a_{ZN+}(0)} \quad (12)$$

と表せる。スポーク番号 $j$ について必要なニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ は、

$$\theta_N(j) = \theta_N(j) + n_{\theta N}(j) \quad (13)$$

と表せる。リムの位置 $z_{N+}(i)$ は、スポーク番号 $i \neq 0$ であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向のマイナス側に位置する場合は式(5)を用いて、

$$z_{N+}(i) = z_{N+}(i) + \{a_{ZN+}(i-j)n_{\theta N}(j) + b_{ZN+}(i-j)\} \quad (14)$$

と表せる。スポーク番号 $i \neq 0$ であるスポークが図2における $Z_N$ 軸方向のプラス側に位置する場合は式(6)を用いて、

$$z_{N+}(i) = z_{N+}(i) + \{-a_{ZN+}(i-j)n_{\theta N}(j) - b_{ZN+}(i-j)\} \quad (15)$$

と表せる。0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ について、リムの位置 $z_{N+}(i)$ と、リムの許容目標位置 $t_{ZN+}$ およびリムの許容目標位置 $t_{ZN-}$ をそれぞれ比較する。リムの位置と2つの許容目標位置を比較して、許容目標位置よりリムの位置が大きい場合、上記の計算を繰り返す。リムの位置と2つの許容目標位置を比較して、許容目標位置よりリムの位置が小さい場合、回転させるニップルに接続されたスポークのスポーク番号 $j$ およびスポーク番号 $j$ について必要なニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ をメインコントローラの画面に表示して、終了する。この表示を作業する人が確認して、指示されたニップルを回転させて振れ取りを行う。

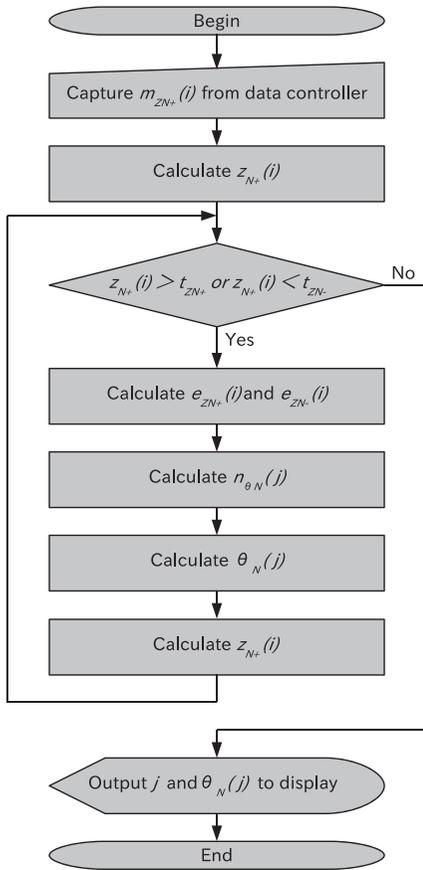


図10 メインコントローラの処理

表3  $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの許容目標位置 $t_{Z_{N+}}$ および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの許容目標位置 $t_{Z_{N-}}$

$t_{Z_{N+}}$	$t_{Z_{N-}}$
14.0mm	13.4mm

3.2 装置の性能確認

3.2.1 実験方法

振れが大きく複数ヶ所に生じているリムを用いて、構成した支援装置を運用して、振れ取りを行った。支援装置を運用する前に、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置 $z_N$ を測定した。支援装置を運用してメインコントローラの画面に表示されたスポーク番号 $j$ およびニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ を用いて、人の手でニップルを回転させてリムの振れを取った。振れを取った後に、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置 $z_N$ を再び測定して、各位置が表2に示すリムの許容限界位置 $l_{Z_{N+}}$ お

よびリムの許容限界位置 $l_{Z_{N-}}$ に収まっているか確認した。なお生じたリムの振れは、図8に示すニップルの回転角度 $\theta_N(0)$ とリムの変位 $d_{Z_{N+}}$ における線形の関係が成り立つ範囲とした。表3に本実験で用いた $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの許容目標位置 $t_{Z_{N+}}$ 、および $Z_N$ 軸方向マイナス側のリムの許容目標位置 $t_{Z_{N-}}$ を示す。27.4mmのリムの幅から、 $Z_N$ 軸方向プラス側のリムの理想の位置は13.7mmとなる。リムの理想の位置から $\pm 0.4$ mmを許容限界位置としたことに対して、リムの理想の位置から $\pm 0.3$ mmを許容目標位置とした。

3.2.2 実験結果

支援装置を運用する前におけるリムに振れが生じる、および支援装置を運用した後におけるリムの振れを取った、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置 $z_N$ について、図11に振れが大きく複数ヶ所に生じているリムについて示す。支援装置を運用してメインコントローラの画面に表示されたスポーク番号 $j$ およびニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ について、表4に振れが大きく複数ヶ所に生じているリムについて示す。図11から、表4に示すスポーク番号 $j$ およびニップルの回転角度 $\theta_N(j)$ を用いて、人の手でニップルを回転させてリムの振れを取った後、0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置 $z_N$ は、表2に示すリムの許容限界位置 $l_{Z_{N+}}$ およびリムの許容限界位置 $l_{Z_{N-}}$ に収まることを確認した。

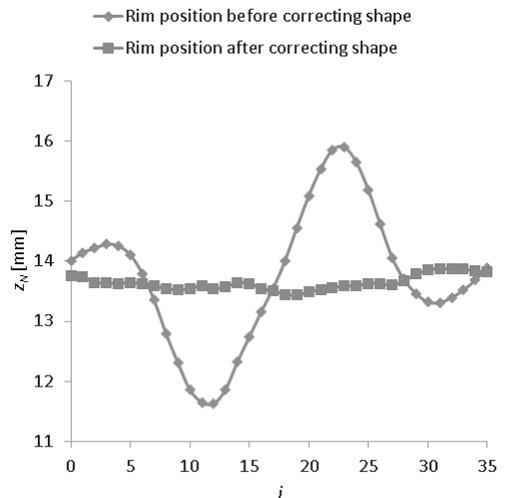


図11 振れが大きく複数ヶ所に生じているリムについて0から $p-1$ の各スポーク番号 $i$ についてリムの位置 $z_N$

表4 メインコントローラの画面に表示されたスポーク番号 $j$ およびニップルの回転角度 $\theta_N(j)$

$j$	$\theta_N(j)$
11	-2.79
22	-0.67
23	2.81
24	-0.32

#### 4. おわりに

本研究では、自転車のホイールの組み立てにおいて生じるリムの振れを対象として、人の手でニップルを回転させてリムの振れを取り、繰り返し作業を減らして効率よく作業するために、回転させるニップルの位置と回転量を人に指示する支援装置の開発した。一ヶ所のリムが振れている位置の振れ量について回転させるニップルの位置と回転量を事前に予測するために、一つのニップルの回転量におけるリム全体の振れ量の関係を明らかにした。本研究で用いたホイールでは、ニップルの回転量とリムの変位量の関係は線形であった。支援装置において、ニップルの回転量におけるリム全体の振れ量の線形の関係を用いて、実際に計測したリム全体の振れ量に対して、振れを許容限界の範囲に収めるために回転させるニップルの位置と回転量を予測する方法を提案した。提案した予測方法を支援装置に実装して、装置を構成した。構成した支援装置を用いて、実際に振れが大きく複数ヶ所に生じたリムに対

して、支援装置が示した、振れを許容限界の範囲に収めるために必要な回転させるニップルの位置と回転量を用いて実際に人が振れを取った。振れを取った後に、リムの位置を測定して、振れが許容限界の範囲に収まっていることを確認して、支援装置の有効性を確認した。

今後、リムの大きさや材質の違いにおいても対応できる支援装置を開発していく。

#### 謝辞

本研究は競輪の補助（25-120）を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] 井上重則, 車輪の組み方の話, 自転車技術情報, No.68 (1995), pp.1-6.
- [2] 藤川尚, 河治宏泰, 吉野秀雄, 服部四土主, 鈴木重義, 横山克義, 岡安征雄, 長谷川一秋, 車輪組立方法の調査研究, 自振協技術研究所報告, No.8 (1977), pp.57-81.
- [3] 自転車産業振興協会, 車輪自動狂い取り装置の自動化について, 自転車技術情報, No.34 (1987), pp.46-48.
- [4] 横山克義, 鈴木重義, 服部四土主, 自転車車輪組立機, 機械設計, Vol.23, No.12 (1979), pp.48-51.
- [5] 自転車産業振興協会, 車輪締上機の高性能化の調査研究, 自転車技術情報, No.65 (1994), pp.49-50.