

第1章 ワイヤーのたわみ量評価系の開発と、自動化手法の確立

較正に使う直線偏光はワイヤーに沿う形で生成されるため、ワイヤーがたわんでいる部分から生成される光はその偏光角がワイヤーに沿う方向からずれて生成される。そのため、ワイヤーのたわみは較正の精度に影響を及ぼし、系統誤差を生む。??項では、過去に行われた評価手法について述べ、この手法にはいくつかの問題があった。本章では、初めにこの問題について今一度触れたあと、それを解決するために開発したワイヤーのたわみを評価する系について述べる。その後、評価系の性能評価を行い、最後に実際にスパースワイヤーグリッドに対して行った評価結果について述べる。

1.1 過去の測定手法における問題点と開発目標

過去の測定手法についてもう一度 review するべきか、それとも??項をもっと簡素にし、詳細な内容をこちらに持ってくるべきか、現在のように ref するだけにすべきか悩んでいる。

過去の測定手法については、??項にて述べたとおりであり、その手法にはいくつかの問題点があった。一つ目の問題点は、その測定精度が低いことである。これはたわみ量の系統誤差への寄与を必要以上に大きくしている。また、図??にて示されているように、全てのワイヤーに対してそのたわみ量は期待される量からどの程度外れているかを判別できておらず、品質の低いワイヤーを選別できていない。もう一つの問題点は、その測定手法が人力にて行われており、測定のために労力と時間がかかる点である。これによりスパースワイヤーグリッドの量産、品質の保証・管理のために繰り返し測定することが困難である。また、人力での測定はその測定結果に人依存のバイアスを産む可能性がある。

以上の問題点を解決するため、

1. ワイヤーのたわみ量 $\mathcal{O}(0.01^\circ)$ の精度で評価可能であること
2. 全てのワイヤーのたわみ量を自動的に評価可能であること

という2点の開発目標をもって新たなワイヤーのたわみ量の評価系を開発した。

1.2 評価系の概要と評価原理

1.2.1 評価系の概要

初めに、作成した評価系の概観を図 1.1 に示す。基本的な評価原理は??項にて述べた過去の手法と同様であり、ストレートエッジとワイヤーを同一写真内に映るように撮影することで、ストレートエッジとワイヤー間の距離からワイヤーのたわみを評価する。過去の評価系と異なる点は、

1. スパースワイヤーグリッドを鉛直方向に立てて撮影を行う

2. スパースワイヤーグリッドとカメラをアクチュエータを用いて自動的に動かす
3. 一つのワイヤーに対して両端と中央だけでなく、複数の点で撮影を行う

という点である。自動化の要であるアクチュエータは、スパースワイヤーグリッドを鉛直方向に動かすために Openbuilds 社の V-Slot Nema 23 Linear Actuator を、カメラを水平方向に動かすために

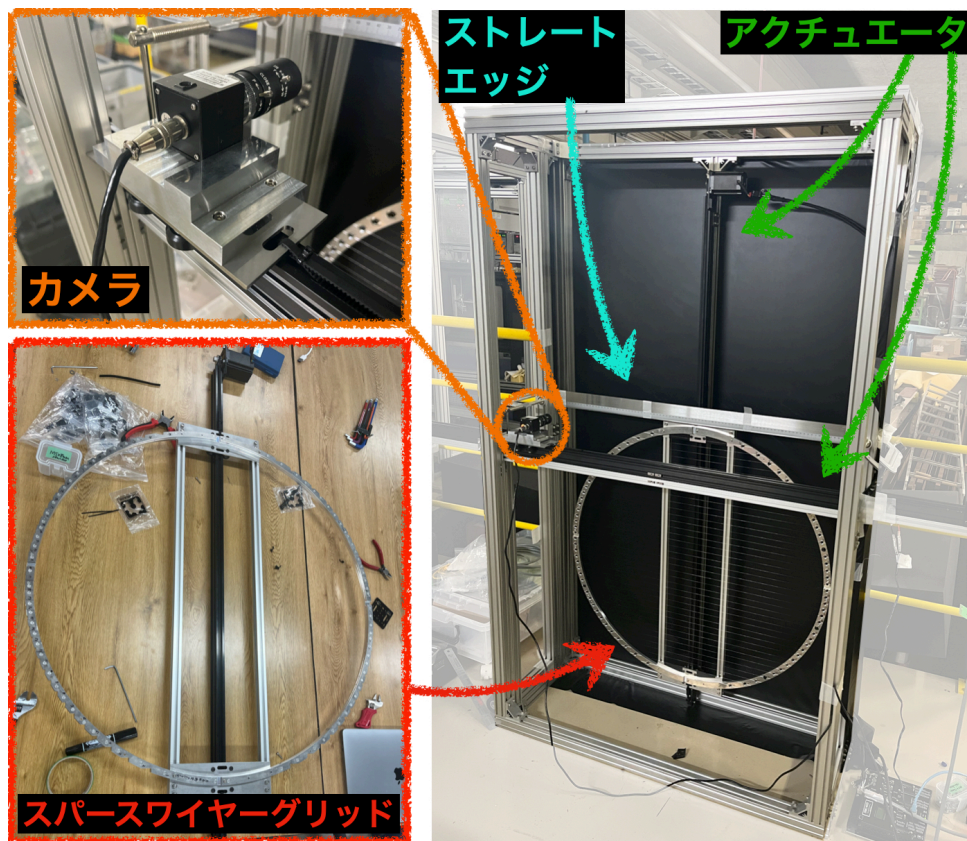


図 1.1: ワイヤーのたわみ量評価系の概観

1.2.2 評価原理

図 1.2 に評価原理の概念図を示す。 x_0, x_1, \dots, x_n は撮影箇所の位置を表し、 z_0, z_1, \dots, z_n は各写真から測定されるストレートエッジとワイヤーの距離である。得られた x_i, z_i を横軸 x 、縦軸 z でプロットすると、ワイヤーの概形を表す曲線が得られる。ワイヤーの理論曲線はワイヤーの素材、かかっている張力により決まるカテナリー曲線であるため、得られた曲線をカテナリー曲線で fitting することでワイヤーのたわみ量を評価することができる。

ワイヤーの概形を表すカテナリー曲線は以下のような式で表される:

$$f(x) = a \cosh\left(\frac{x + L_{\text{frame}}/2}{a}\right) - a \cosh\left(\frac{L_{\text{frame}}}{2a}\right) \quad (1.1)$$

$$a = \frac{T}{\rho_W \cdot \pi R_W^2} \quad (1.2)$$

ここで、 T はワイヤーにかかる張力、 ρ_W はワイヤーの密度、 R_W はワイヤーの半径、 L_{frame} はワイヤーを固定している両端間距離である。なお、この式は原点 $(0, 0)$ と $(L_{\text{frame}}, 0)$ を通る拘束条件を課したカテナリー曲線を表している。

図 1.3 にワイヤーのたわみ量の評価原理の横から見た概念図を示す。これは過去の手法における概念図??を

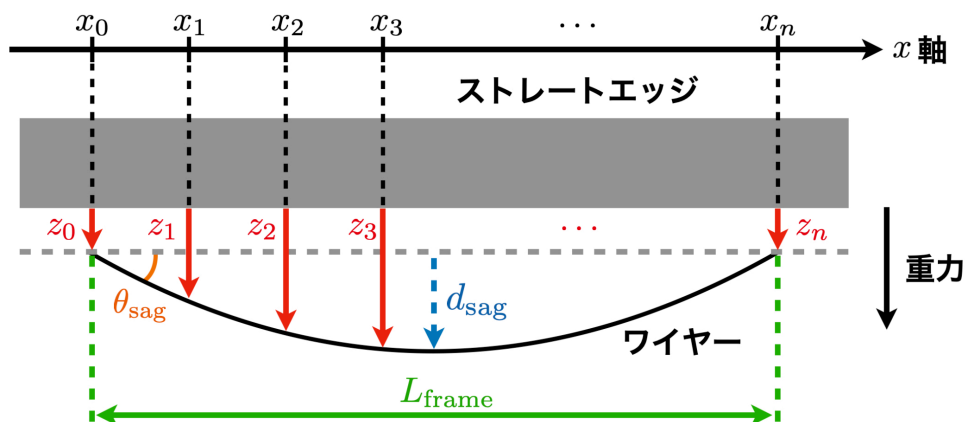


図 1.2: ワイヤーのたわみ量の評価原理

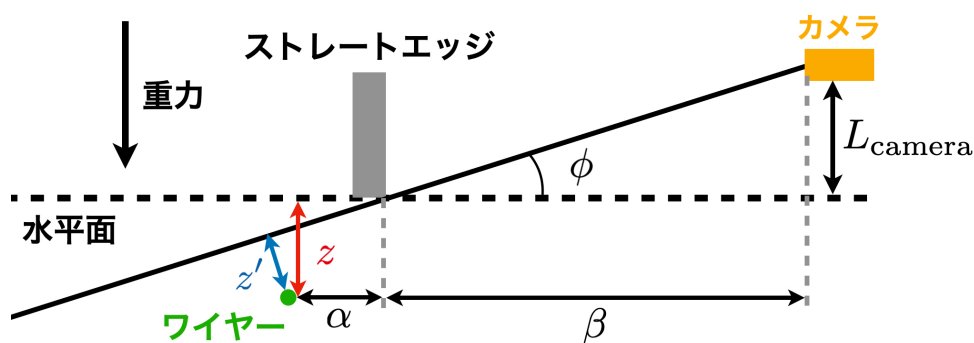


図 1.3: ワイヤーのたわみ量の評価原理の横から見た概念図

1.2.3 評価系の概要

図 1.1 に開発し、組み上げた評価系の概観を示す。

1.3 解析手法

1.4 開発した評価系のパフォーマンスチェック

1.5 スパースワイヤーグリッドのたわみ量の評価