

画像相関を用いた微小界面波を伴う薄膜流れの波速度計測

飯岡大貴 (静岡大学)

目的：蒸気タービン内を再現した環境下で流動する薄膜流れの**可視化**と**波速度計測**を行う

背景

蒸気タービンは様々な発電施設で使用されており、蒸気タービンの高効率化、長寿命化は重要なテーマとなっている。

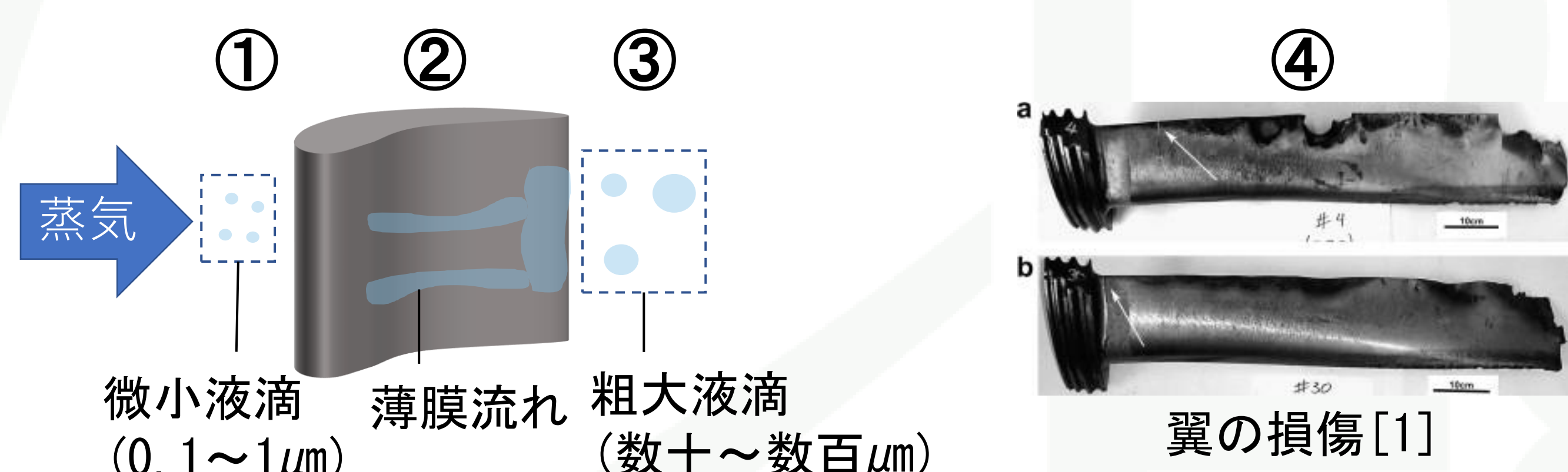
ボイラで発生した高温・高圧の蒸気は、複数のタービンを通るのに従って低温低圧となる。すると蒸気が凝縮し微小液滴が形成される。微小液滴は翼表面に付着し、**薄膜**となって翼後縁方向に流れる。そして翼後縁付近にたまり、粗大液滴となって噴霧し**損失**や翼の**損傷**を引き起こす。

これらを防ぐため、粗大液滴生成の原因となる薄膜流を翼面上に設けたスリットから吸引する方法が採用されているが、スリットが小さいと薄膜が設計したスリット上を通過しない、スリットが大きいと作動流体である蒸気も吸引されてしまうなどの課題がある。そのため翼面上に**溝加工**を施し、薄膜流を効果的にスリット方向へ送り込む方法が検討されている。

しかし現在、溝付近の薄膜流れは測定例が少なく、**実際どのような流れが生じているかわかっていない**。

損失・損傷発生メカニズム

- ①蒸気が凝縮し微小液滴が発生する
- ②微小液滴が翼に付着し、**薄膜流れ**となり翼後方に溜まる
- ③気流によって**粗大液滴**が噴出される
- ④粗大液滴が次の翼に衝突→**損失**や**損傷**



対策と課題

薄膜流れを溝で誘導し、スリット(吸引口)で**吸引**する

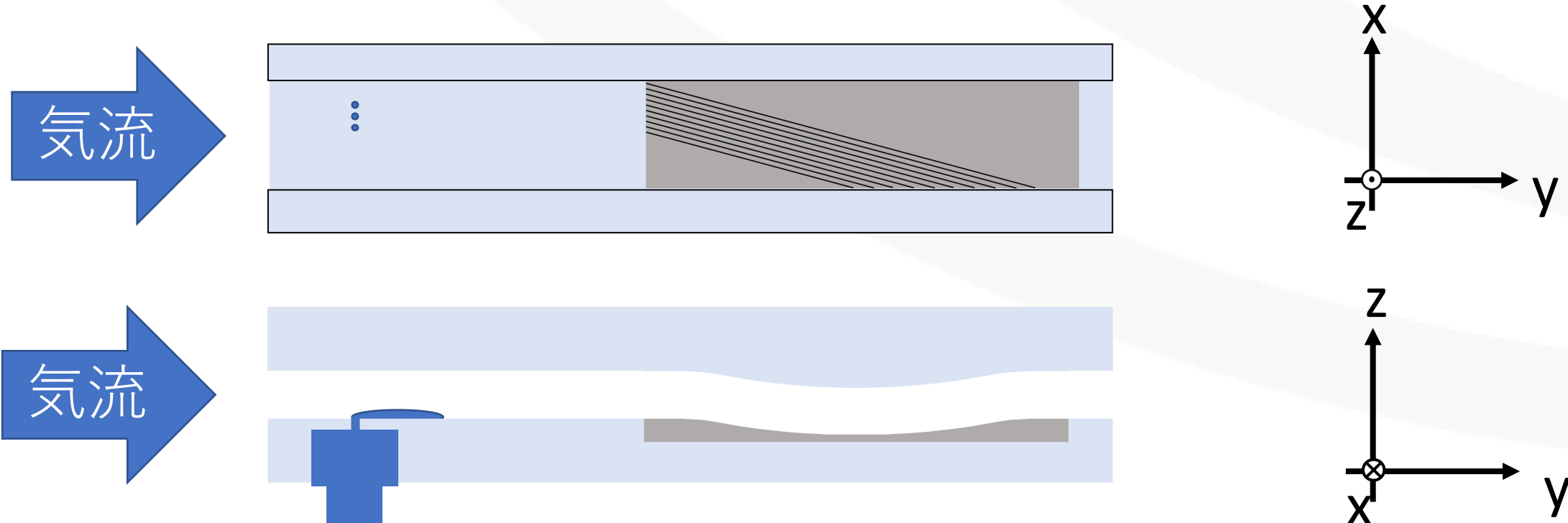


実験方法・撮影範囲

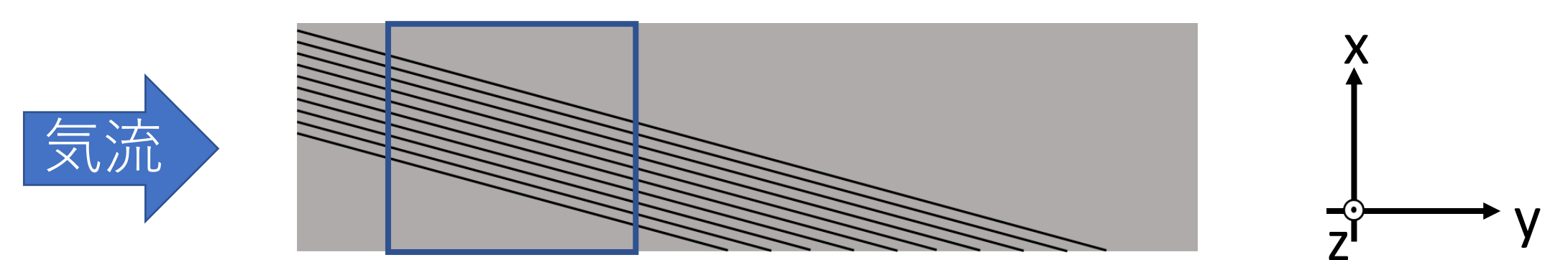
本実験では長方形断面となっている流路に高速気流 (93.6 m/s) を流入させ、蒸気タービン内の環境を再現した。試験片は、翼形状を再現し曲率を持たせた。流路上流に設けた3つの孔へ水を流入させる構造となっており、水面上を高速気流が通過する際の強いせん断力で試験片上に薄膜流を生成させる。

また撮影範囲は以下の図の通りとなっており、高速度カメラにてフレームレート 5000fps、露光時間 1/40000[s] で撮影を行った。

実験装置



撮影範囲



可視化

高速度カメラで撮影された画像は流れが見えにくい。そこでMATLABを用いた画像処理によって流れをより明確に可視化することを試みた。

まず薄膜流れは波を伴う流れとなっており、撮影された画像では輝度の違いから波の存在が確認できる(波がある場所は輝度が大きい)。つまり流れのある個所では画像ごとで輝度に変化があり、流れがない個所では輝度に変化がない。そこで連続画像間で各ピクセルの輝度値の差(絶対値)をとり、流れが存在する個所を判別する。またその作業を複数の画像間で行い、各ピクセルの輝度値を積算することにより流れをより明確化する。

可視化処理



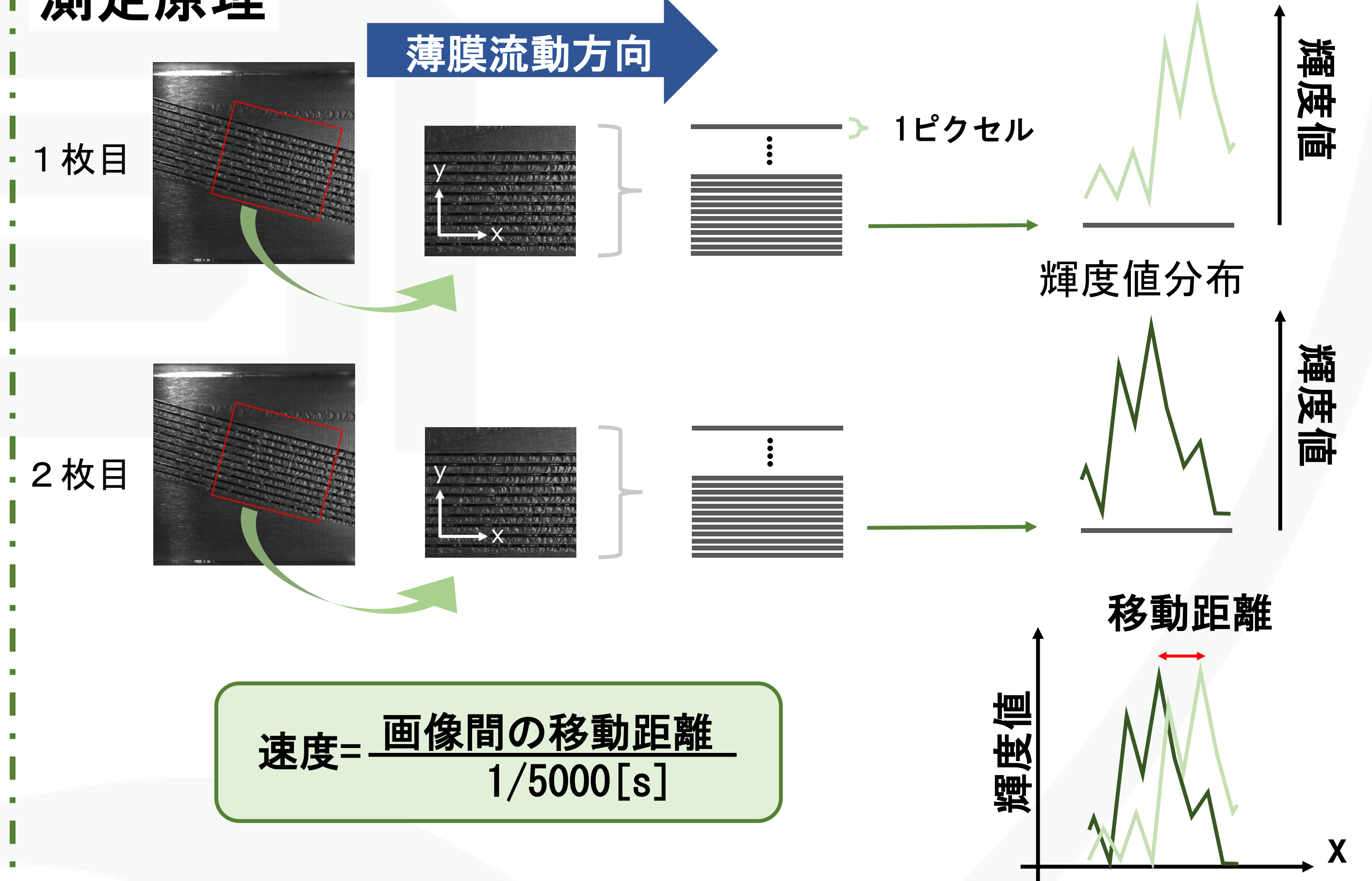
速度測定

薄膜流れの波速度測定を行う。先ほどの可視化処理と同様に薄膜流れが波を伴う流れであることに着目し、MATLABで輝度値分布の変化を比較した。

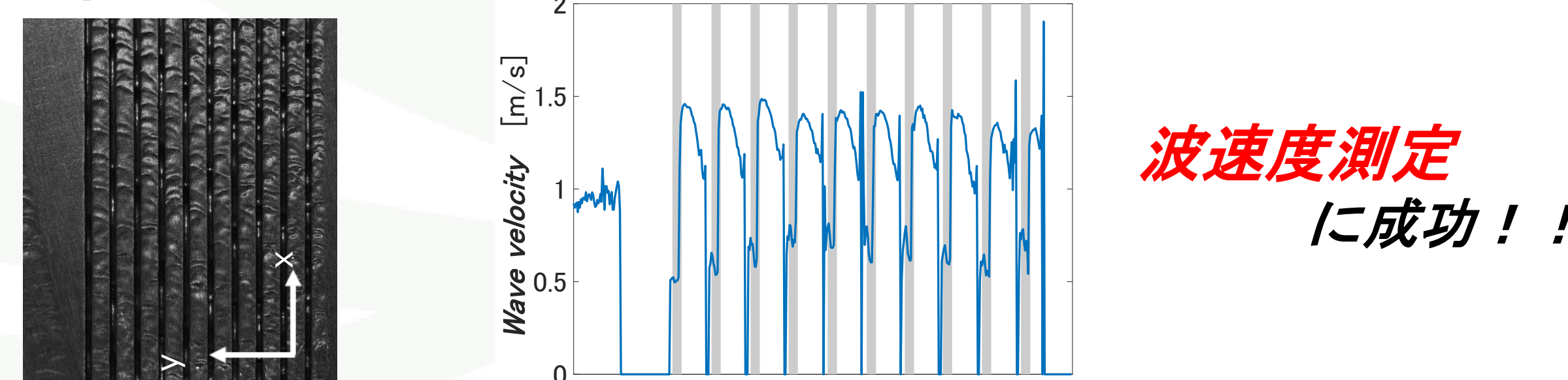
まず撮影画像から波速度測定を行う個所を切り抜き(下図赤枠)、流れが水平となるように回転させる。次にx軸と平行に1ピクセルごと分割し、2枚の連続画像の輝度値分布を比較する。輝度値分布のズレが何ピクセルあるのかを計算し、それが画像間の薄膜の移動距離となる。本実験はフレームレート 5000fpsで撮影を行っているため、連続画像の時間間隔は1/5000[s]である。よって速度は以下の式で求まる。

測定結果は以下ようになった。グラフ中、グレーの帯が溝の位置を示している。従来研究においては表面速度は一定であると考えられてきたが、溝部と丘部で速度が異なることが分かった。

測定原理



測定結果



結言

- 薄膜流れの可視化を行った。輝度の差を積算することにより明確に可視化することに成功した。
- 薄膜流れの波速度計測を行った。輝度値分布の比較によって速度を導出することに成功した。

参考文献

[1] Azevedo, C. R. F., and Sinátorá, A., Erosion-fatigue of Steam Turbine Blades, Engineering Failure Analysis, 16(7), 2290-2303 (2009).