

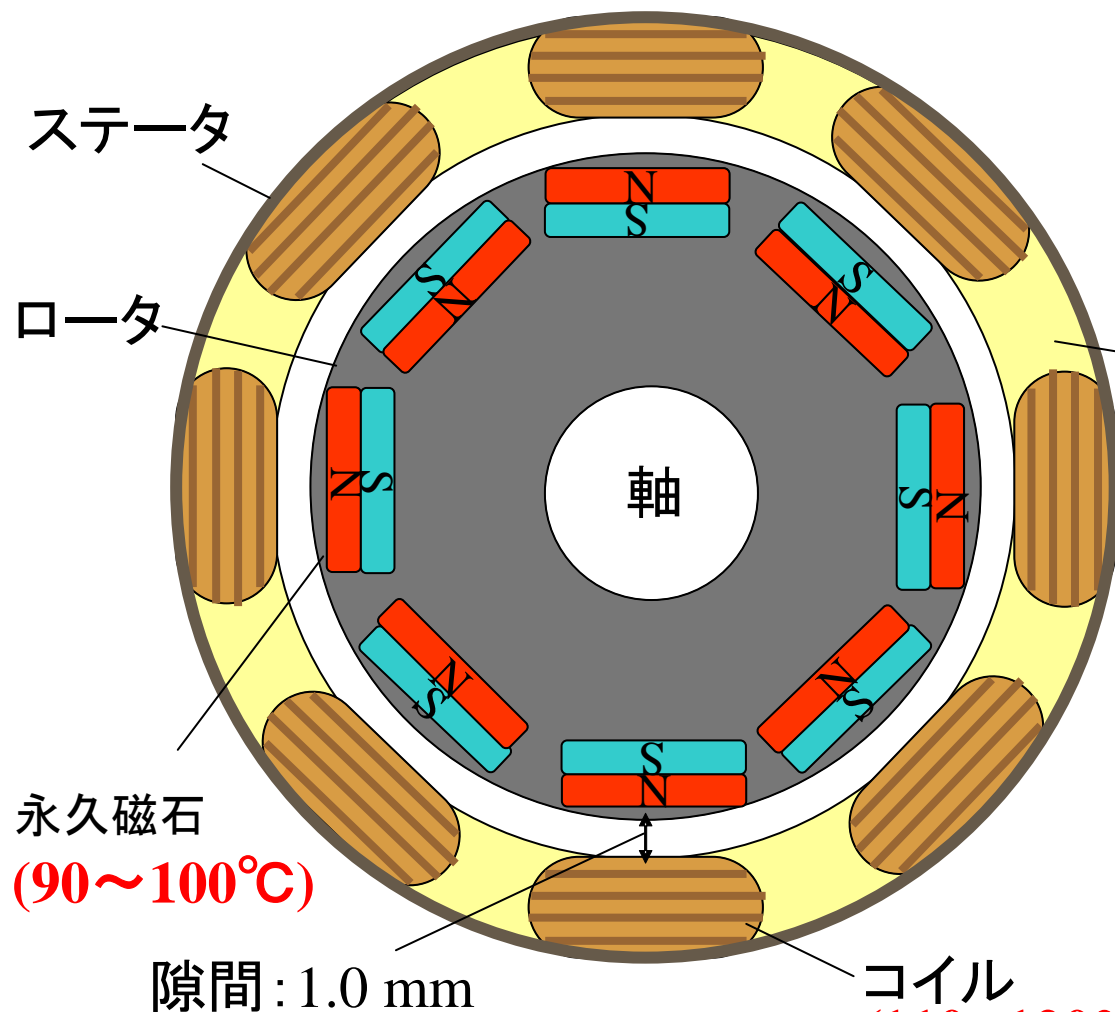


内円筒回転時における 二重円筒管内流動の可視化計測

- 学 諸見里 嘉章 (筑波大学大学院)
- 学 平野 寛 (筑波大学大学院/明電舎)
- 正 金子 暁子 (筑波大)
- 正 阿部 豊 (筑波大)

研究背景

電気自動車(EV) モータの駆動・回転中に渦電流・ジュール熱による熱が発生

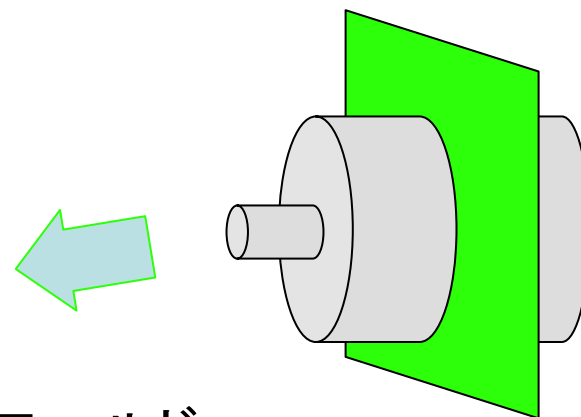


永久磁石
(90~100°C)

隙間: 1.0 mm

コイル
(110~120°C)

断面図

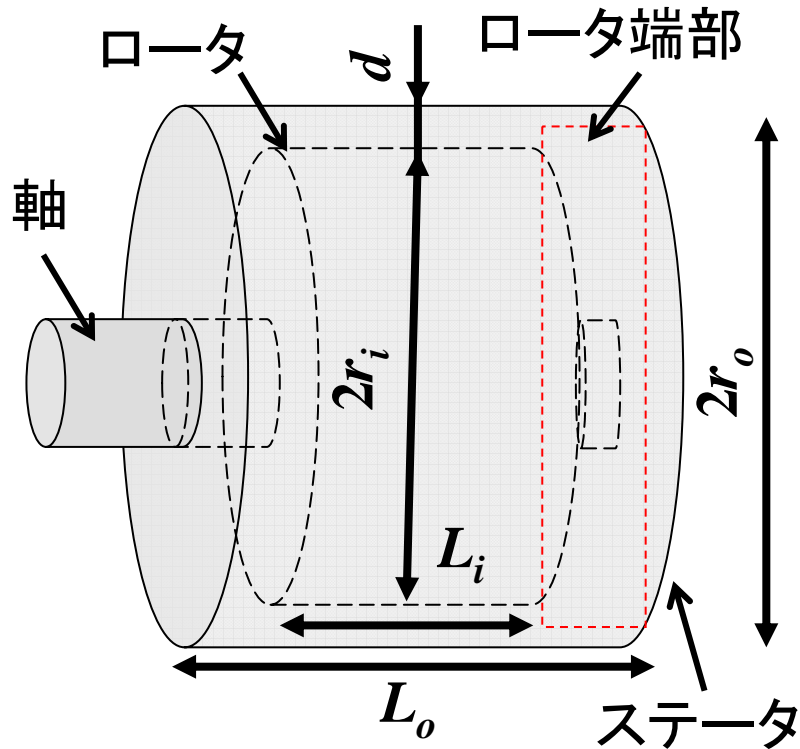


熱を放出できるような
対策が必要

モータ内部の熱・流動場
を知ることが重要

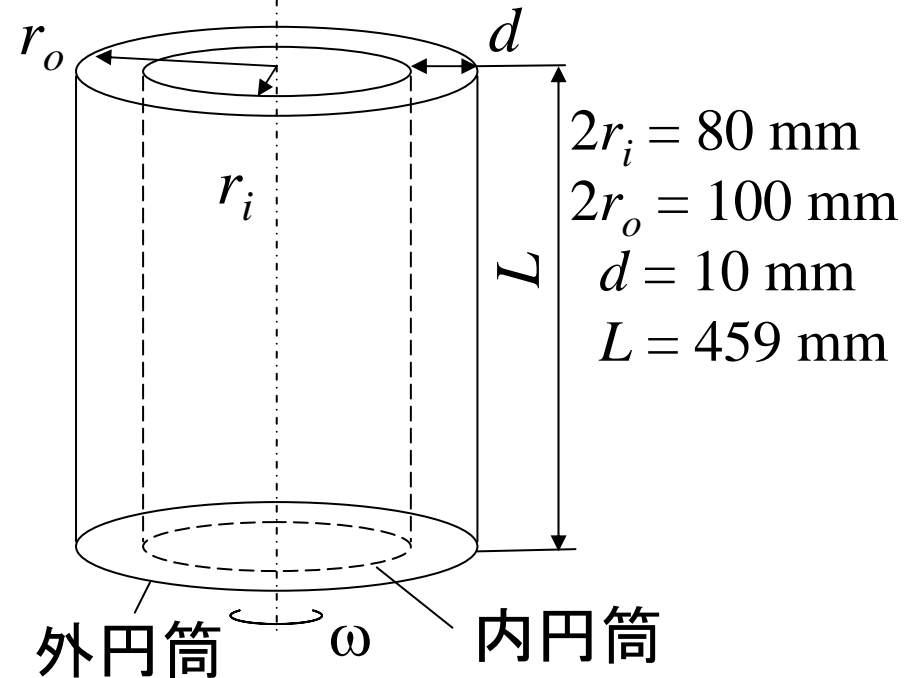
EVモータの特徴

EVモータ形状



ロータ径 $2r_i = 218 \text{ mm}$
ステータ径 $2r_o = 220 \text{ mm}$
隙間 $d = 1 \text{ mm}$
ロータ長さ $L_i = 40 \text{ mm}$
ステータ長さ $L_o = 100 \text{ mm}$

既存の二重管構造実験体系 ~テイラー渦が発生~ N. Abcha et al. (2008)



- ・ロータ径が大きい
- ・ロータ長さが短い
- ・ロータとステータ間隔が狭い
- ・ロータ端部の空間が大きい

研究目的

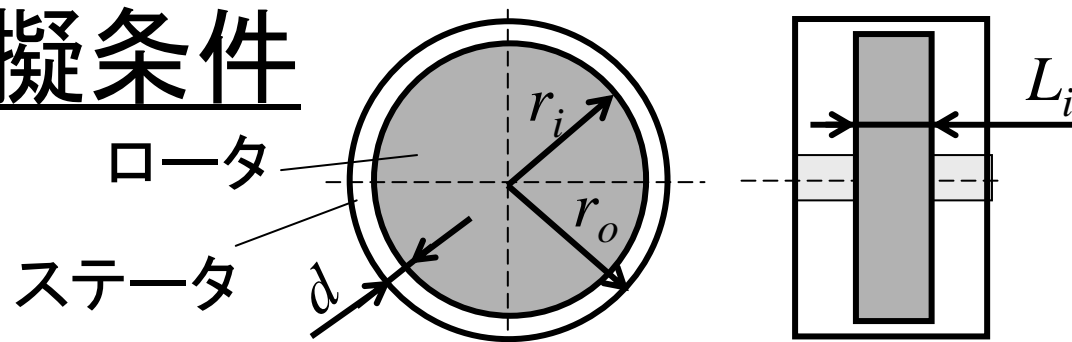
EVモータ体系における放熱特性を知るためにはEVモータ形状における流動特性を明らかにする必要がある.

目的

EVモータ構造を模擬した内円筒が回転する二重円筒管内の流動特性を可視化実験により調べる.

- 流動可視化実験
 - キャリオスコープ粒子による流動可視化
 - PIV計測

実験装置の模擬条件



幾何学的パラメータ

実機形状 

半径比 $\eta = r_i/r_o \doteq 0.99$
アスペクト比 $\Gamma = L_i/d = 40$

r_i : ロータ半径
 r_o : ステータ半径
 d : 隙間
 L_i : ロータ長さ

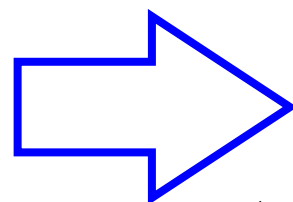
流動パラメータ

実機: **空気**

速度 = 60 km/h

回転数 $n_a = 3000$ rpm

$Re_a = 2264$



レイノルズ数
相似則

レイノルズ数 $Re = \frac{r_i \omega d}{\nu}$

可視化実験装置: **水**

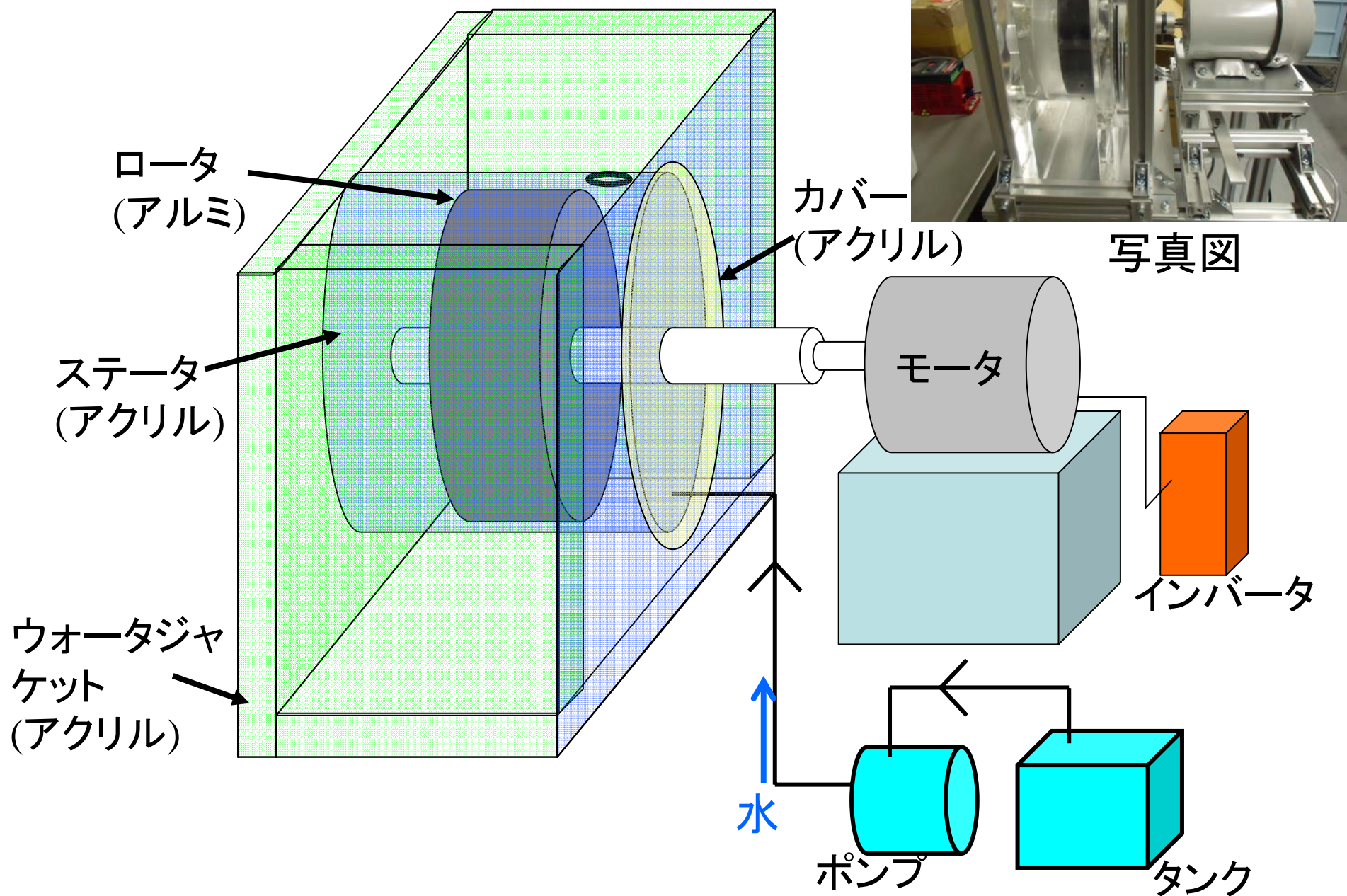
回転数 $n_w \doteq 200$ rpm

$Re_w = 2264$

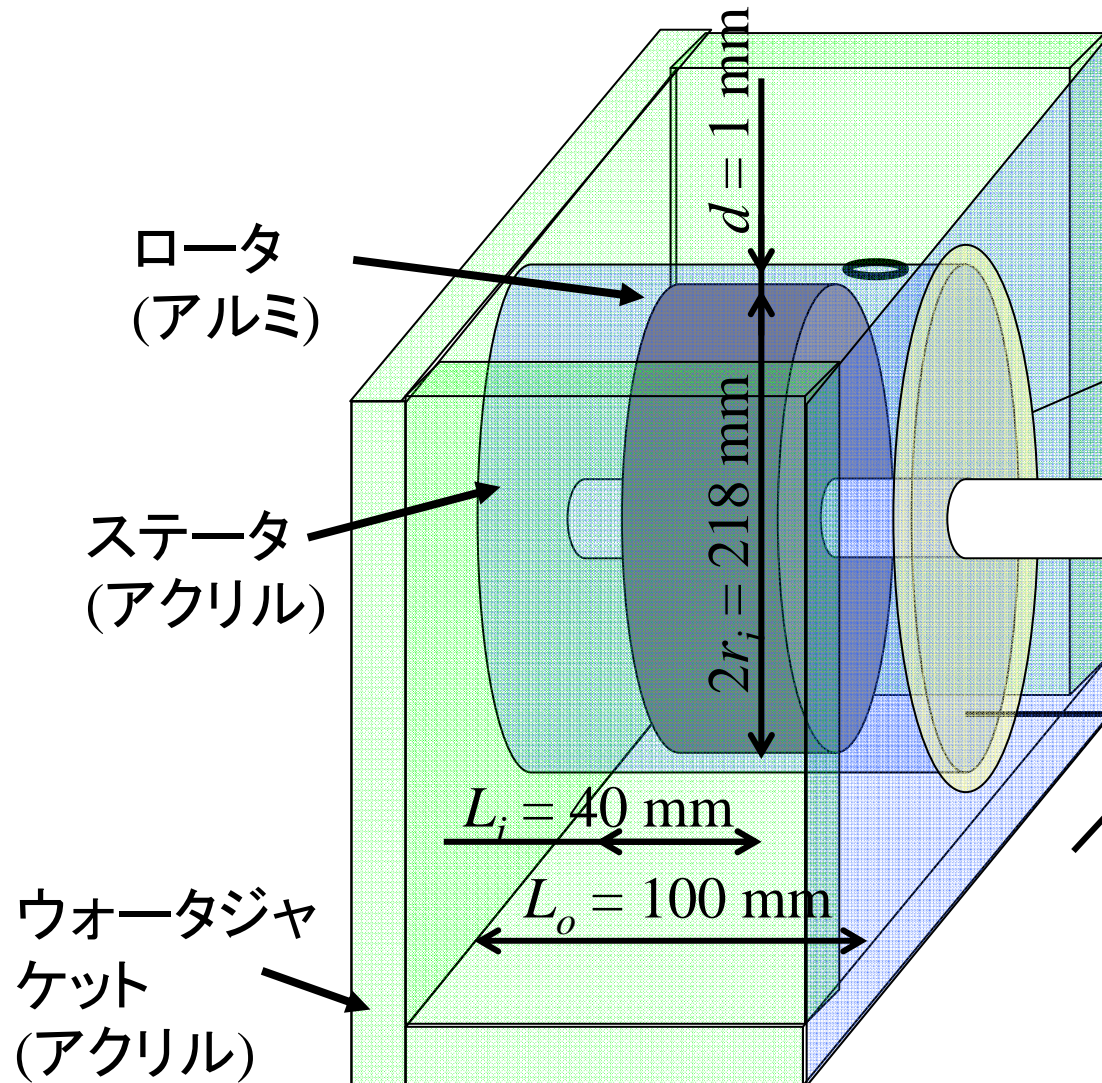
ω : ロータの角速度

ν : 動粘度

実験装置



実験装置の主要寸法と実験条件

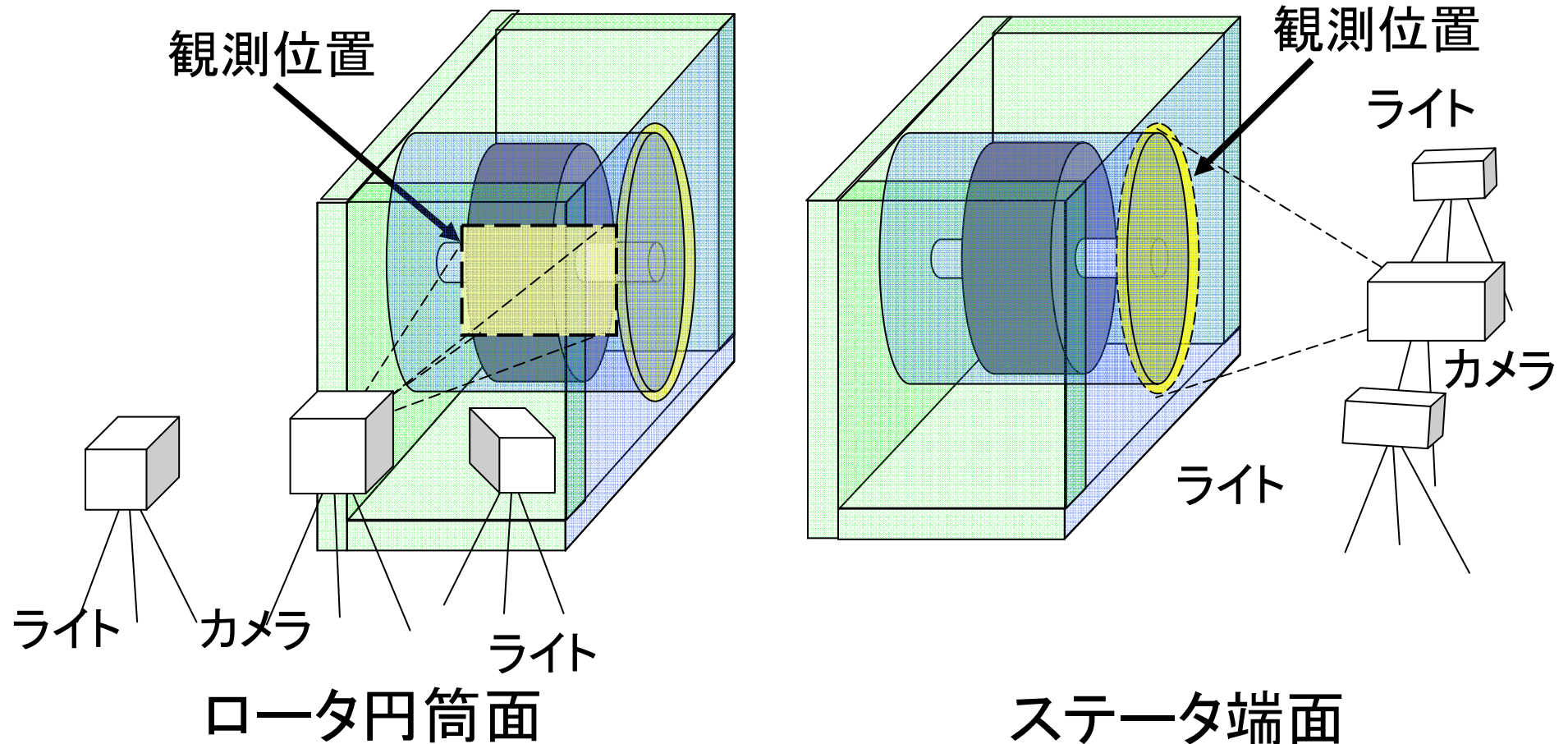


ロータ $2r_i = 218 \text{ mm}$
ステータ $2r_o = 220 \text{ mm}$
隙間 $d = 1 \text{ mm}$
ロータ長さ $L_i = 40 \text{ mm}$
ステータ長さ $L_o = 100 \text{ mm}$
半径比 $\eta = r_i/r_o = 0.99$
アスペクト比 $\Gamma = L_i/d = 40$

回転数 $n = 12 \sim 210 \text{ rpm}$
レイノルズ数

$$Re = \frac{r_i \omega d}{\nu} = 140 \sim 2407$$

ロータ円筒面・ステータ端面の流動計測

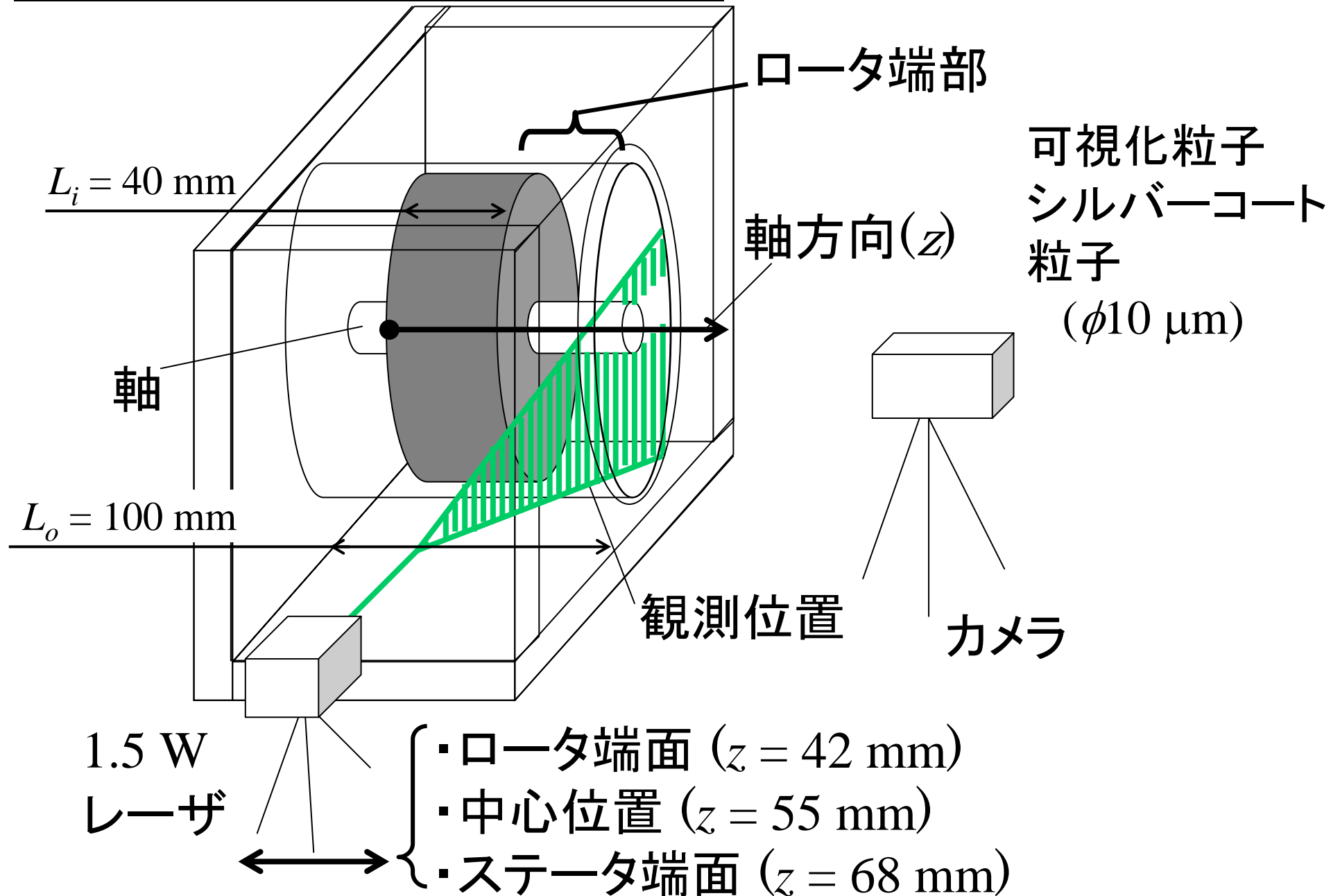


作動流体: 水

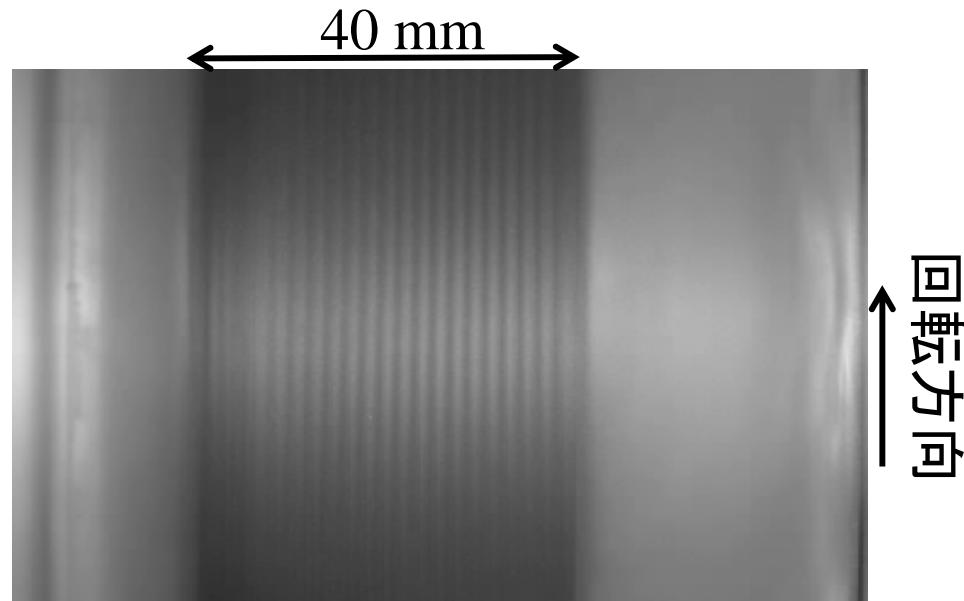
可視化粒子: キャリオスコープ

(形状: $6 \times 30 \times 0.07 \mu\text{m}$ 比重: 0.96)

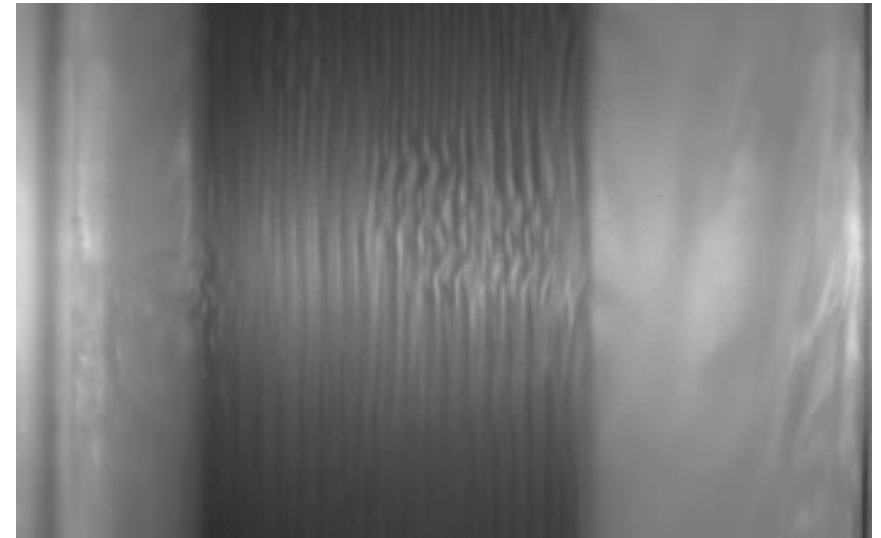
ロータ端部の流動計測



ロータ円筒面の流動構造



$Re = 479$ ($n = 42$ rpm)



$Re = 679$ ($n = 59$ rpm)

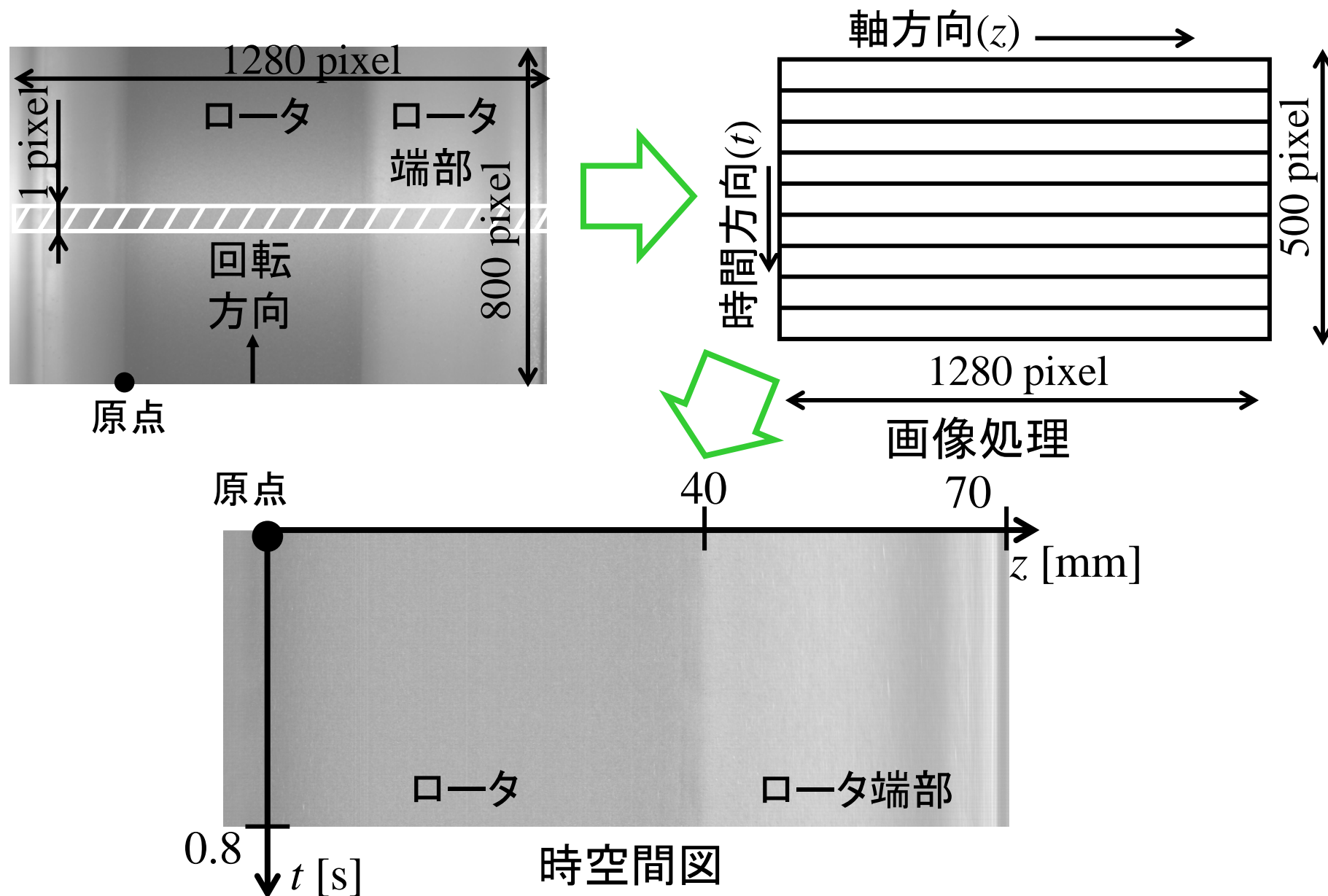


$Re = 1141$ ($n = 100$ rpm)

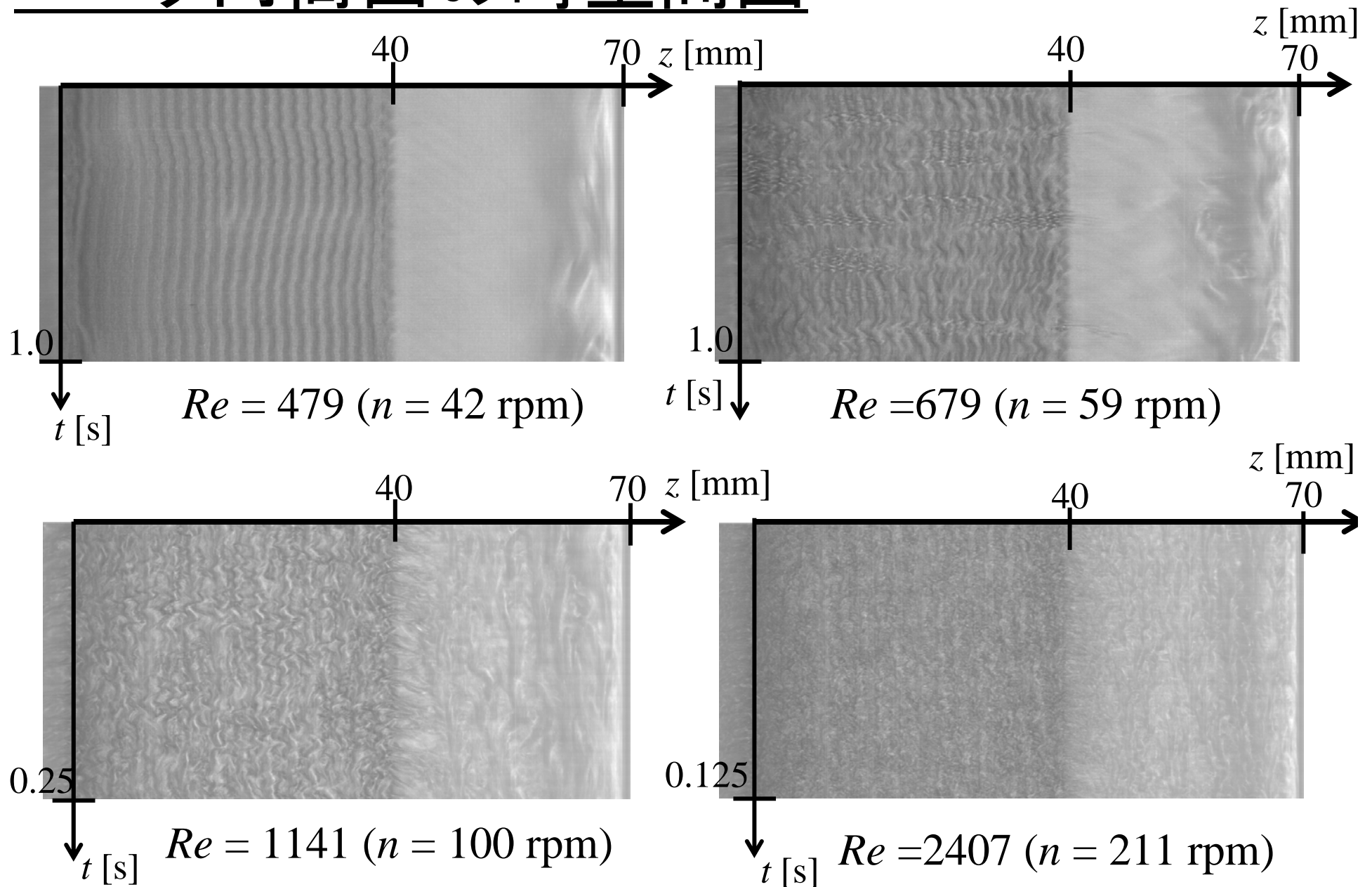


$Re = 2407$ ($n = 211$ rpm)

時空間処理

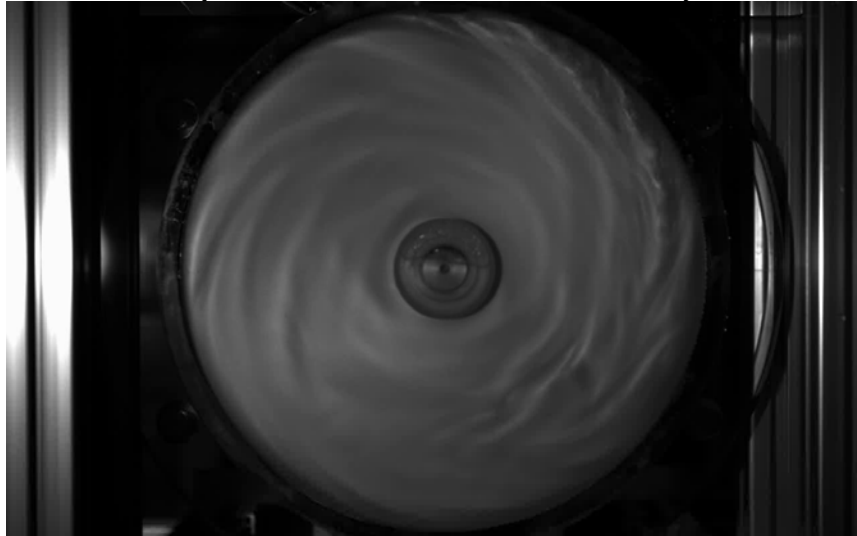


ロータ円筒面の時空間図



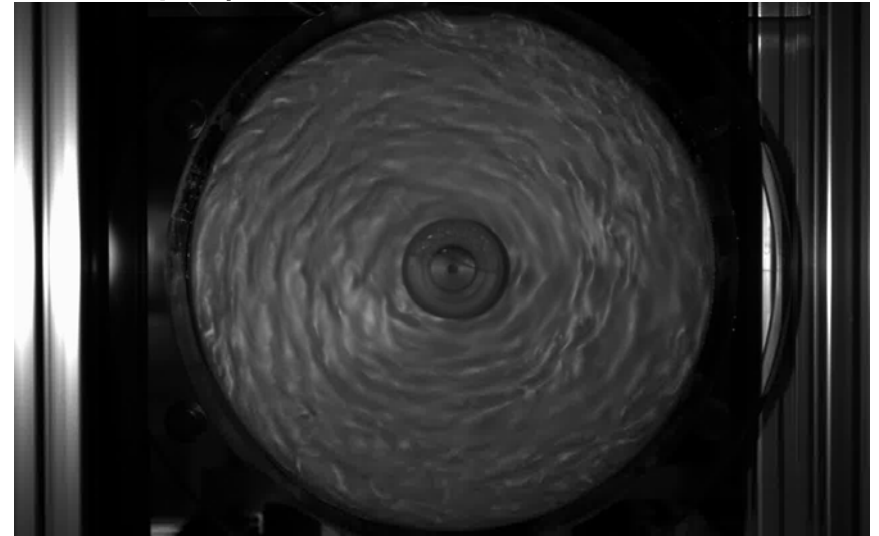
ステータ端面の流動構造

← 220 mm →

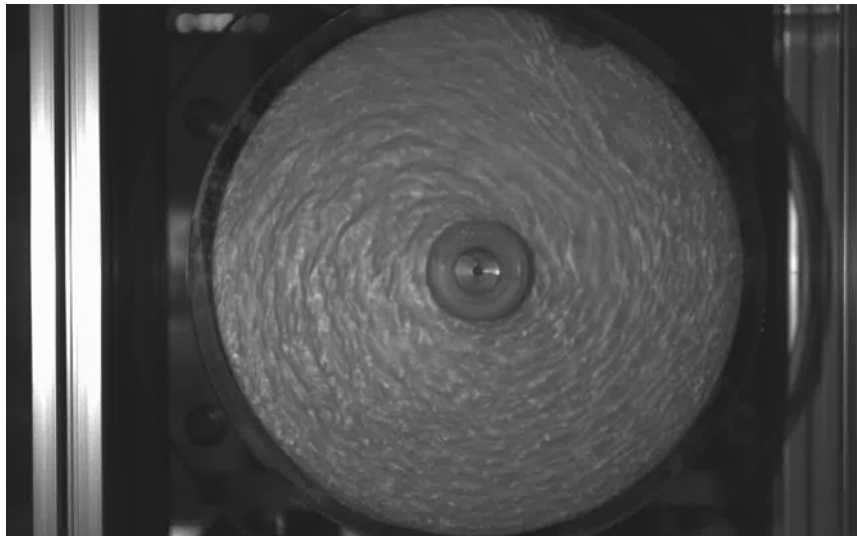


$Re = 140$ ($n = 12$ rpm)

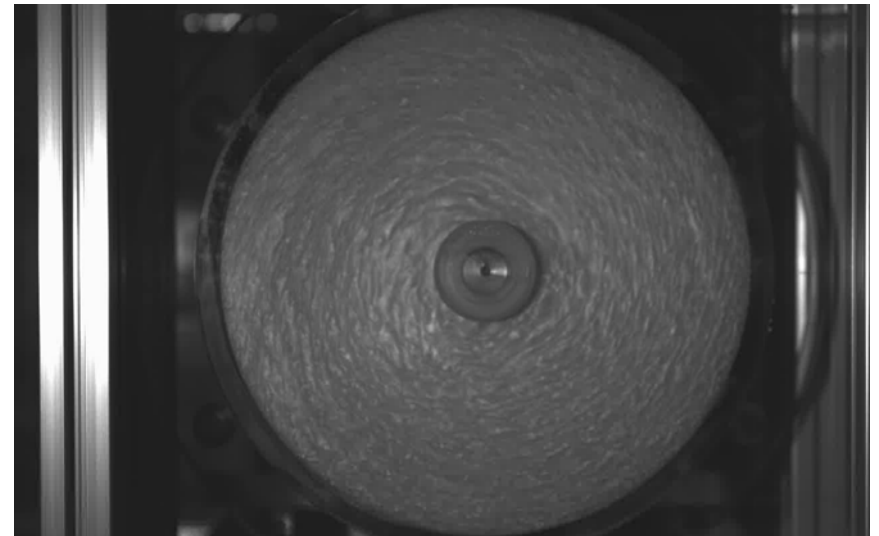
回転方向 →



$Re = 546$ ($n = 48$ rpm)



$Re = 1465$ ($n = 128$ rpm)



$Re = 2098$ ($n = 184$ rpm)

流動比較~ロータ円筒面とステータ端面~ 1/2

回転方向 →



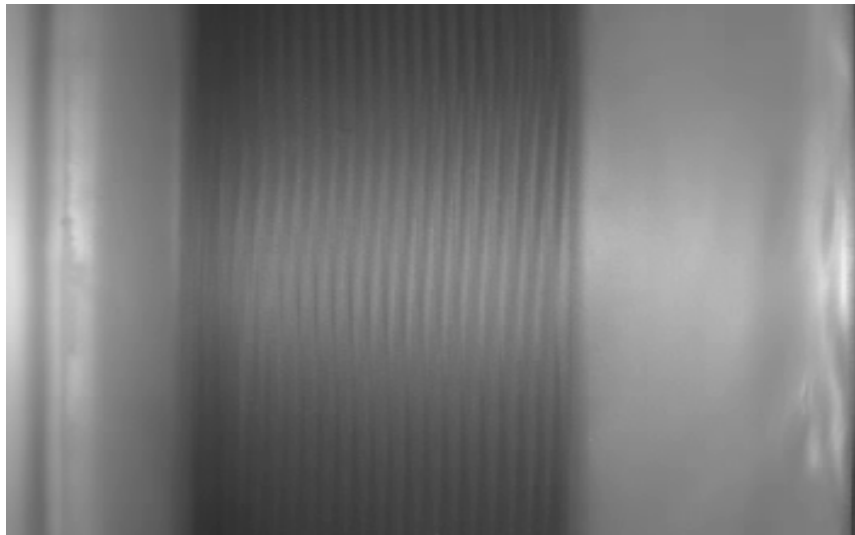
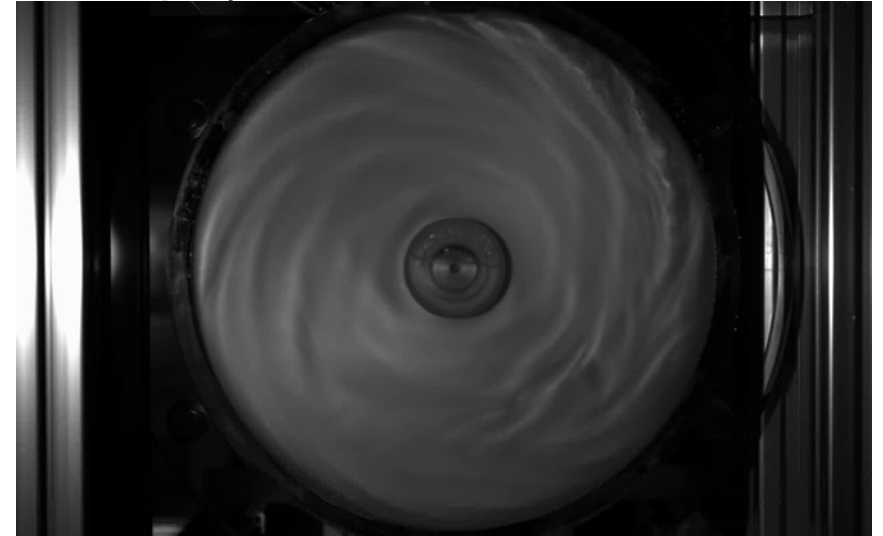
↑
回転方向

40 mm

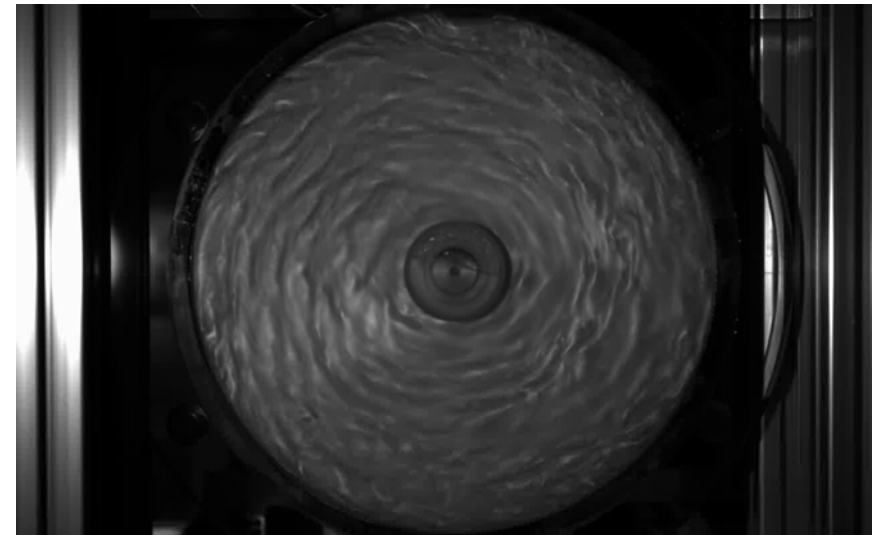


$Re = 140$ ($n = 12$ rpm)

220 mm

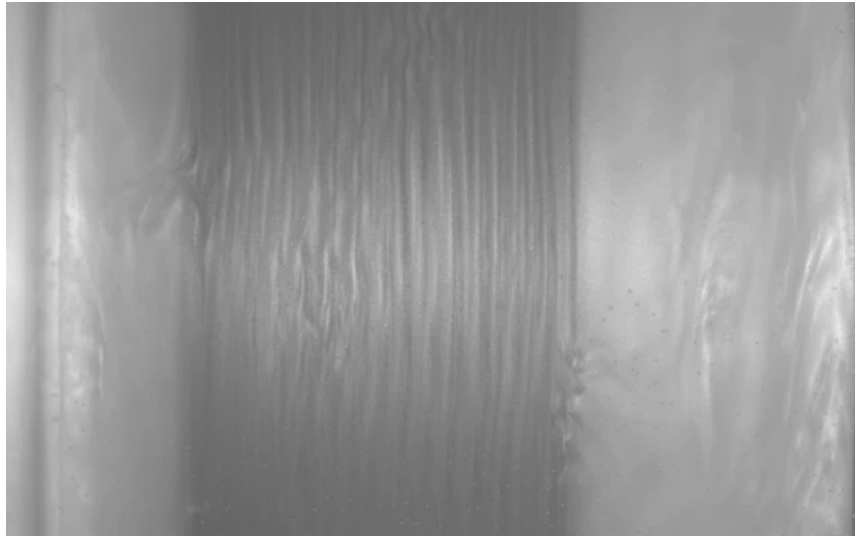


$Re = 546$ ($n = 48$ rpm)



流動比較~ロータ円筒面とステータ端面~ 2/2

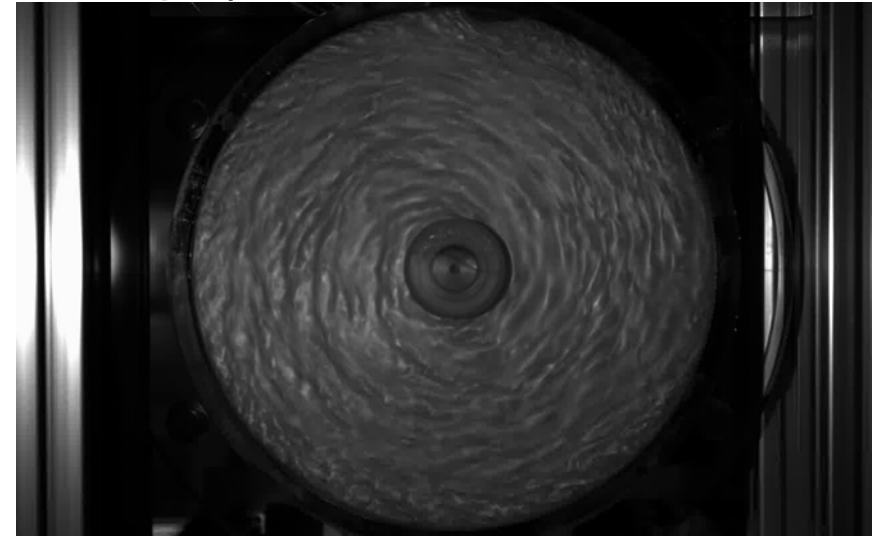
回転方向 →



↑
回転方向

40 mm

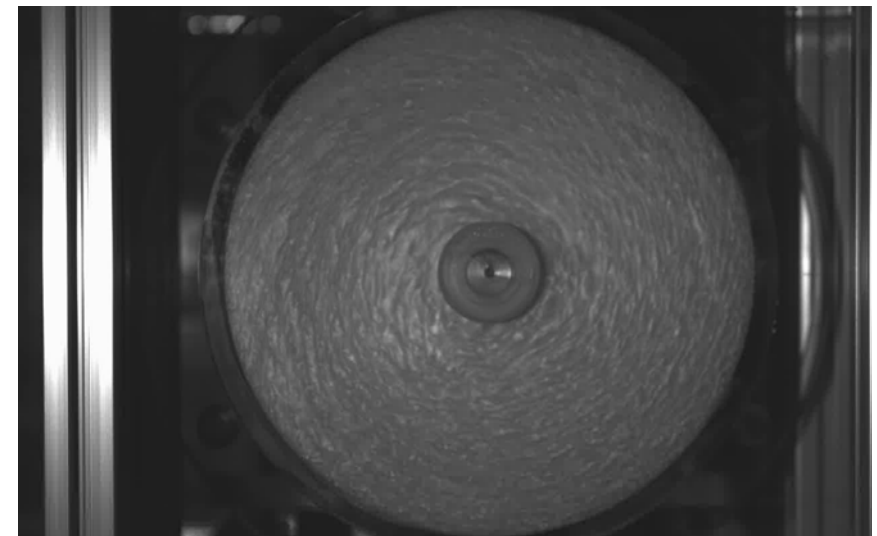
$Re = 812$ ($n = 71$ rpm)



220 mm



$Re = 2098$ ($n = 184$ rpm)



口一々端部流動可視化



口一々端面
流動可視化動画

$z = 42 \text{ mm}$

$Re = 1141$

回転数

$n = 100 \text{ rpm}$

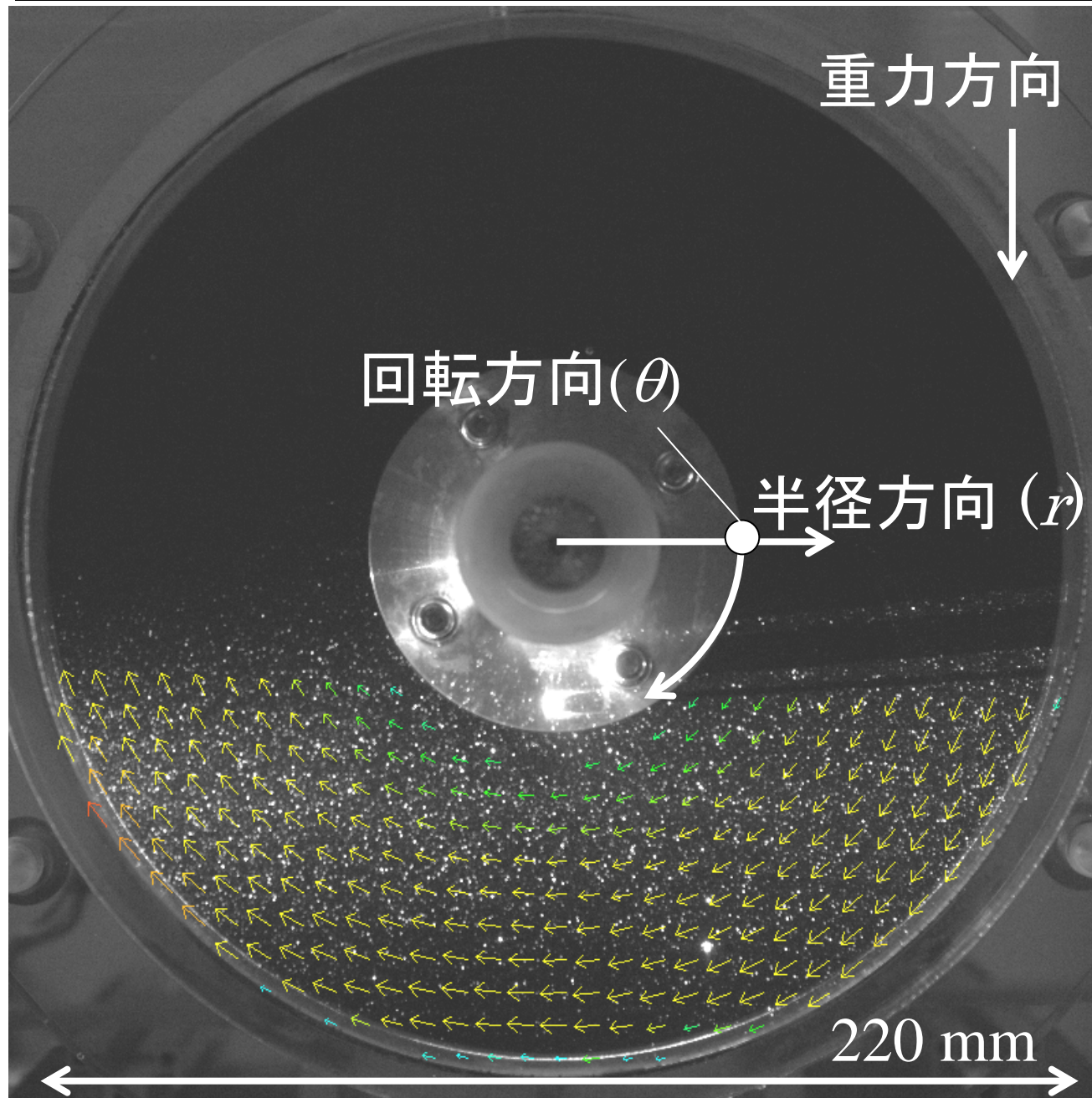
撮影速度: 1000 fps

再生速度: 30 fps

220 mm



平均速度ベクトル場~ $Re = 1141$ $z = 42$ mm ~



回転数 $n = 100$ rpm

・撮影条件

撮影速度: 1000 fps

800 × 800 pixel

・PIV処理条件

平均枚数: 2000枚

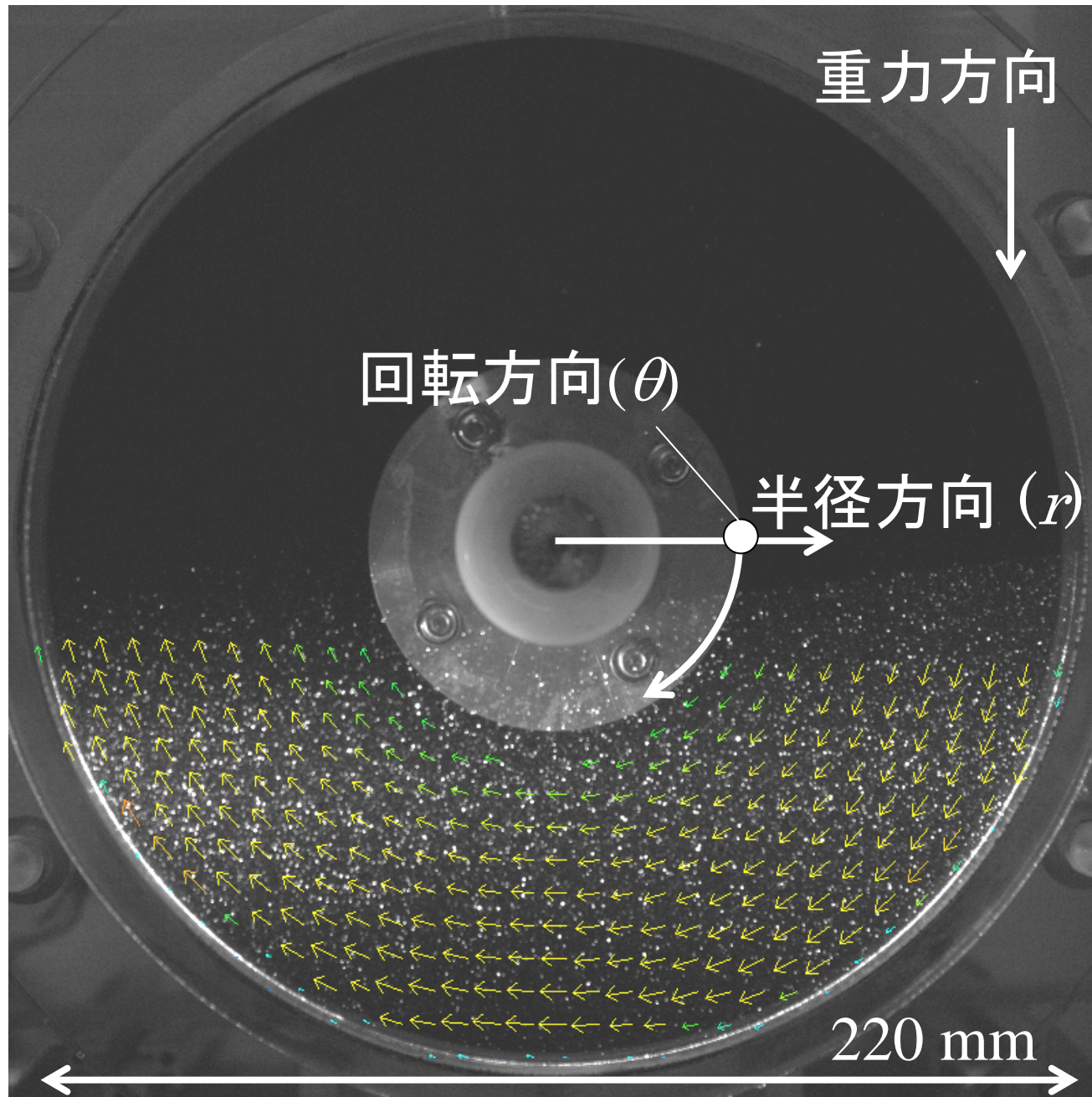
窓関数: 48 × 48 pixel

空間分解能: 0.284 mm

MAX: 400 mm/s

MIN: 0 mm/s

平均速度ベクトル場~ $Re = 1141$ $z = 55$ mm ~



重力方向

回転数 $n = 100$ rpm

回転方向(θ)

半径方向 (r)

・撮影条件

撮影速度: 1000 fps

800 × 800 pixel

・PIV処理条件

平均枚数: 2000枚

窓関数: 48 × 48 pixel

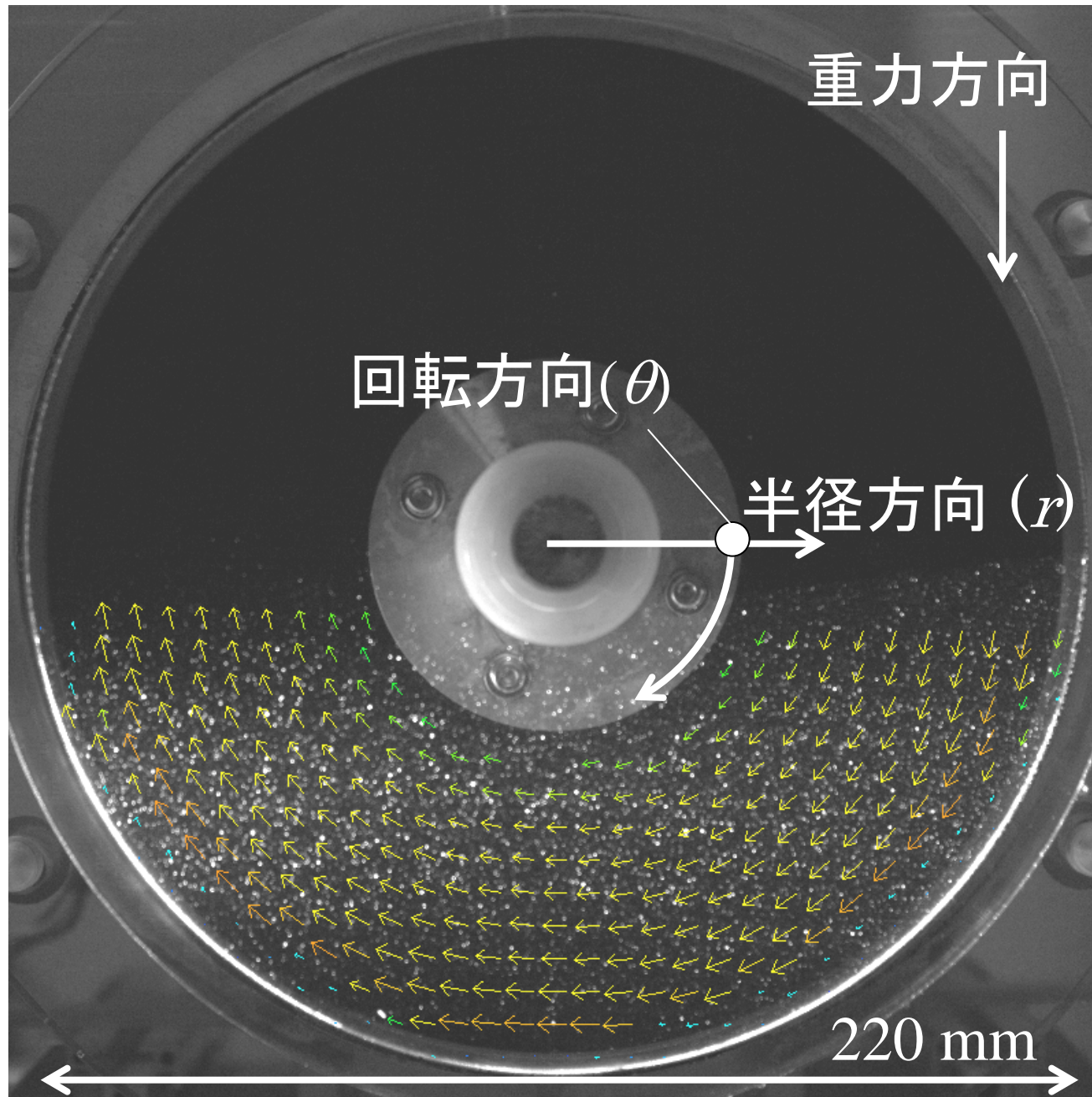
空間分解能: 0.284 mm

MAX: 400 mm/s

MIN: 0 mm/s

220 mm

平均速度ベクトル場~ $Re = 1141$ $z = 68$ mm ~



重力方向

回転数 $n = 100$ rpm

回転方向 (θ)

半径方向 (r)

・撮影条件

撮影速度: 1000 fps

800 × 800 pixel

・PIV処理条件

平均枚数: 2000枚

窓関数: 48 × 48 pixel

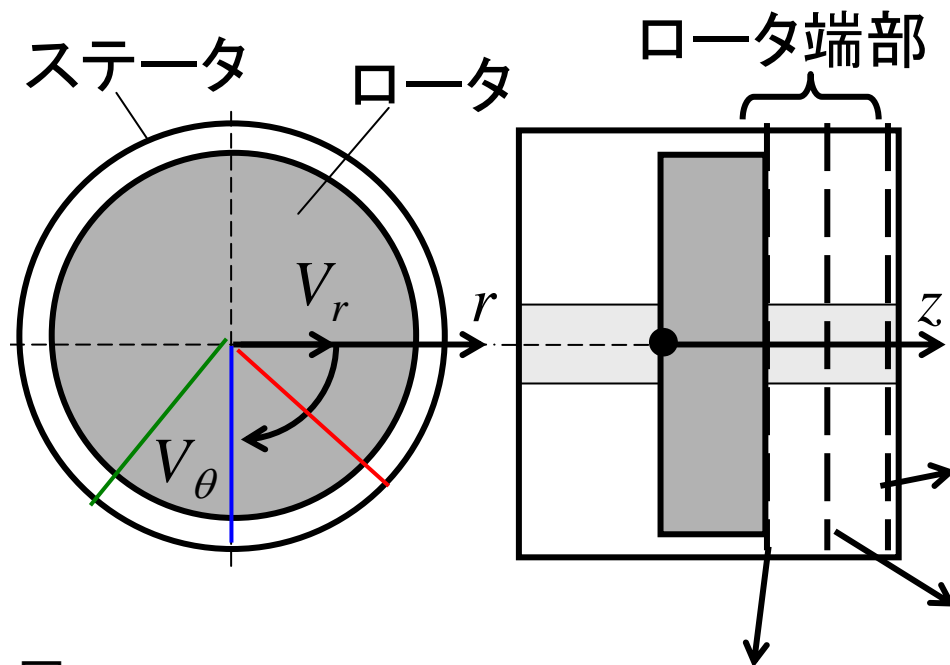
空間分解能: 0.284 mm

MAX: 400 mm/s

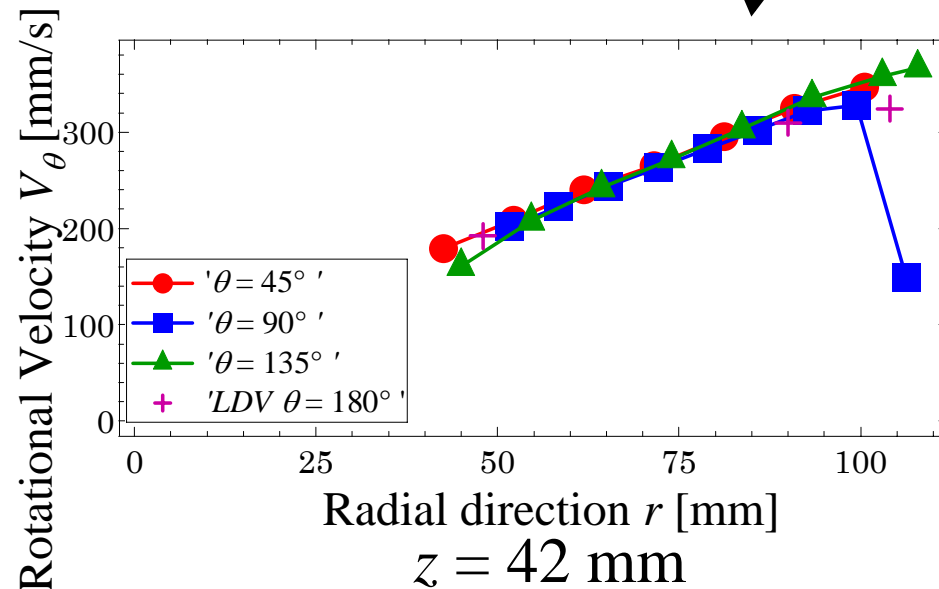
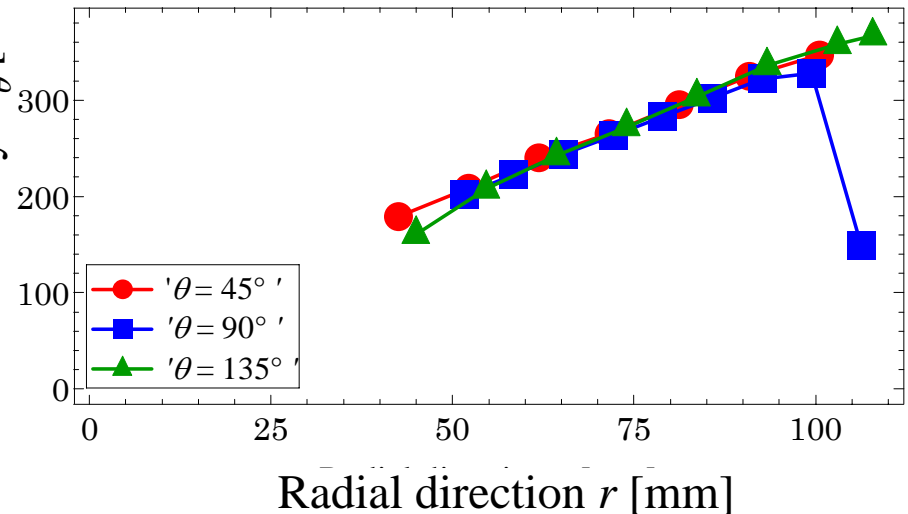
MIN: 0 mm/s

回転方向平均流速分布

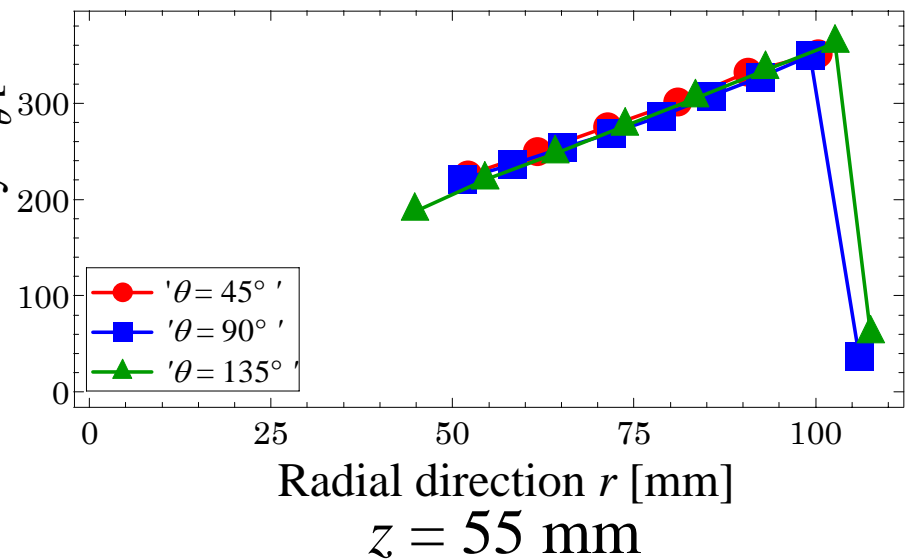
$Re = 1141$ ($n = 100$ rpm)



Rotational Velocity V_θ [mm/s]



Rotational Velocity V_θ [mm/s]



半径方向平均流速分布

$Re = 1141$ ($n = 100$ rpm)

