

安価・コンタミフリーで制御不要な 非接触支持型ポンプ機構

東京科学大学 工学院機械系
准教授 土方亘

2025年6月19日

従来技術とその問題点

既に実用化されている磁気浮上型のクリーンポンプ（血液ポンプ、半導体製造用ポンプ、食品用ポンプ）は、

- インペラの浮上にセンサ・電磁石・アンプ・演算部が必要
 - 外乱や配線の断線等で浮上が破綻するリスク
 - 部品の高精度加工・高精度組立が必要
- 等の問題がある。

新技術の特徴・従来技術との比較

インペラの非接触支持に“推力”を利用することで、磁気浮上型に対して以下の優位性を有する、新しい浮上機構を開発した。

- 制御システム不要で回転体を非接触支持、浮上可能
- 高精度加工不要、3Dプリンタ製でも回転体を非接触支持、浮上可能
- 大ギャップで回転体を非接触支持、浮上可能

想定される用途

- 小型，高耐久性，低血液ダメージが求められる血液ポンプや人工心臓
- 高耐久性，フリーメンテナンス，コンタミフリー，低コスト化が求められる半導体製造用ポンプや食品用ポンプ
- その他，液体送液用のポンプや送風用のファン，制御不要でシンプルに軸を非接触支持したいアプリケーション

開発に至った背景

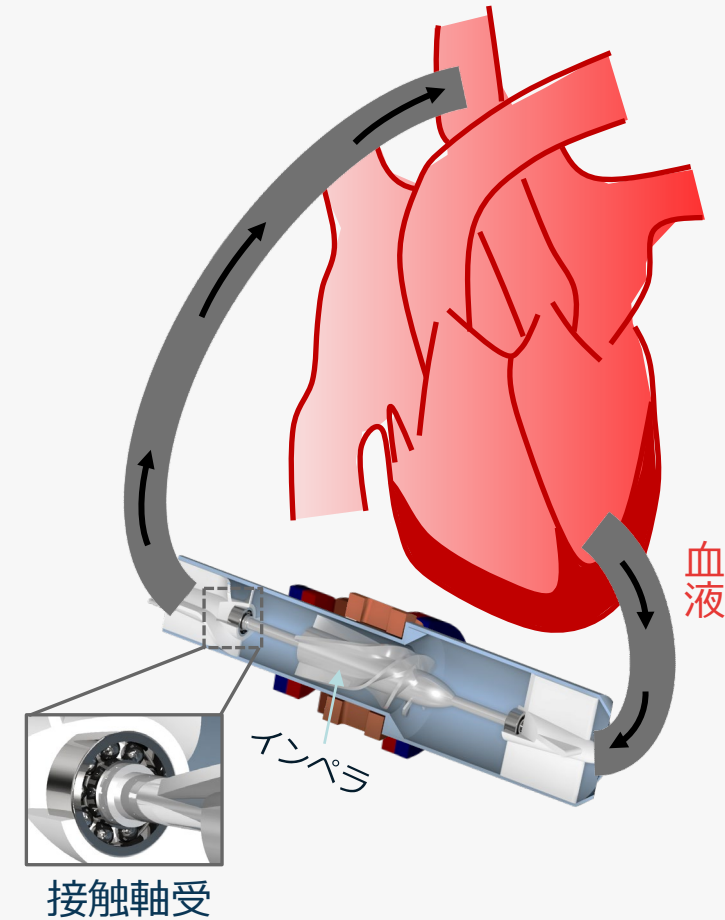
心不全の治療：補助人工心臓



接触軸受での摩擦による
血液損傷，低耐久性



非接触軸受でインペラを浮上

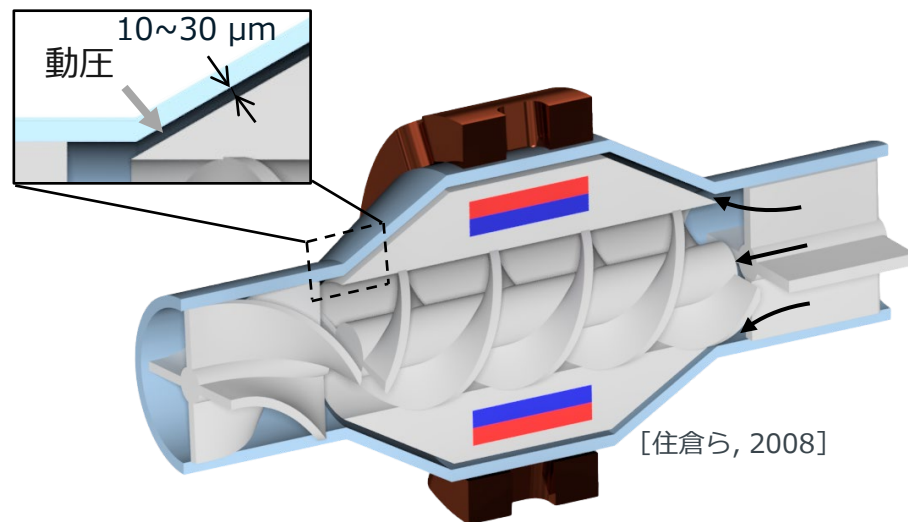


非接触軸受の現状

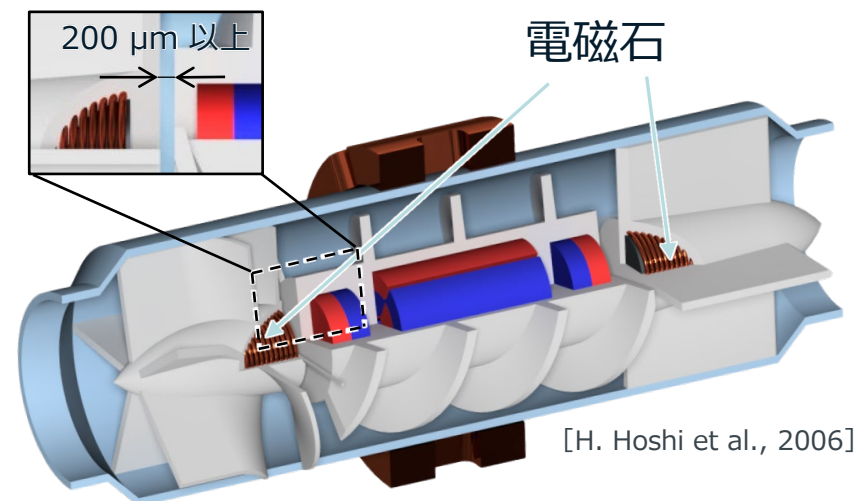
2種類の浮上方式があるが一長一短

人工心臓用非接触軸受の現状

動圧軸受



アクティブ磁気軸受



欠点

小ギャップ
血液損傷↑

アクティブ制御浮上
故障リスク↑

利点

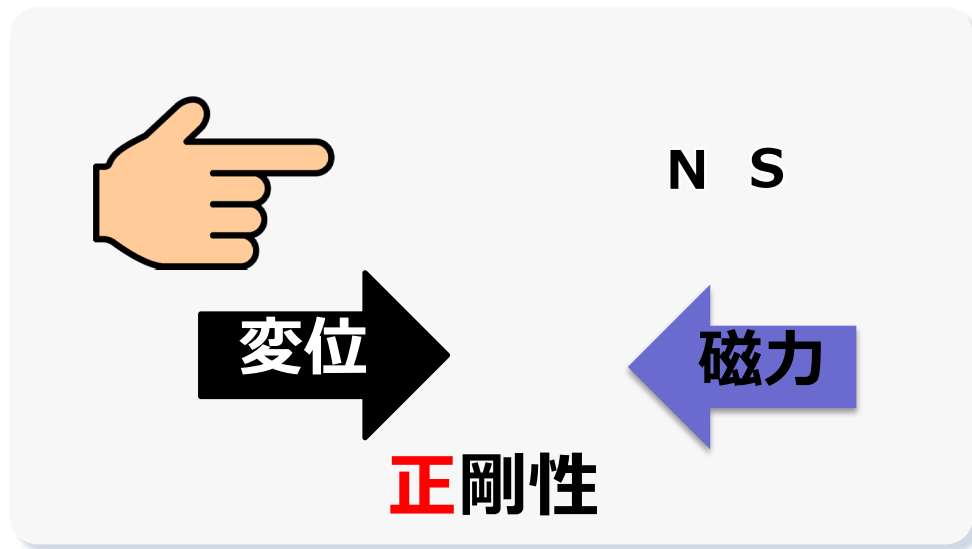
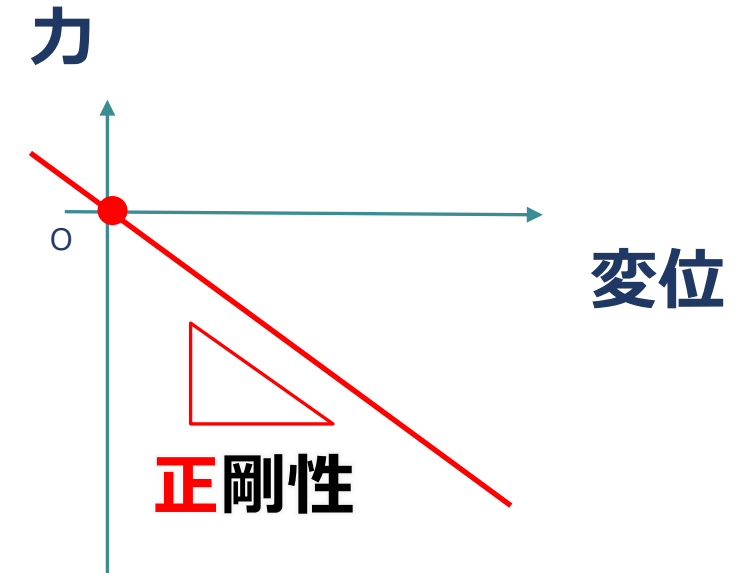
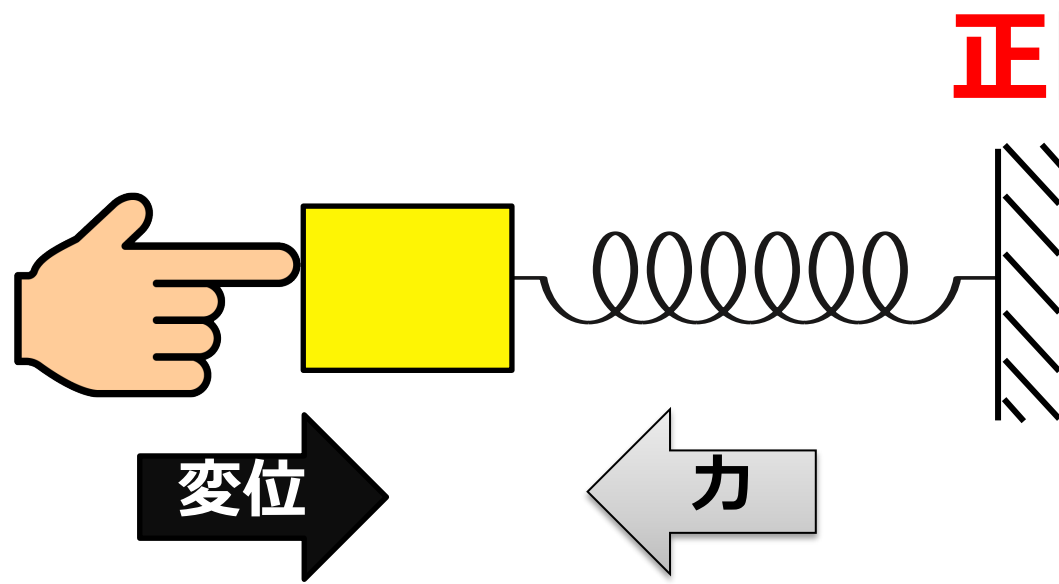
パッシブ浮上

大ギャップ

パッシブ・大ギャップの浮上機構

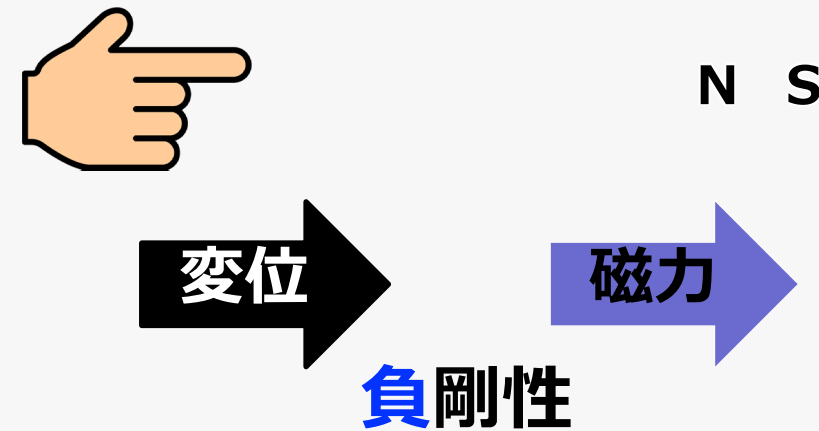
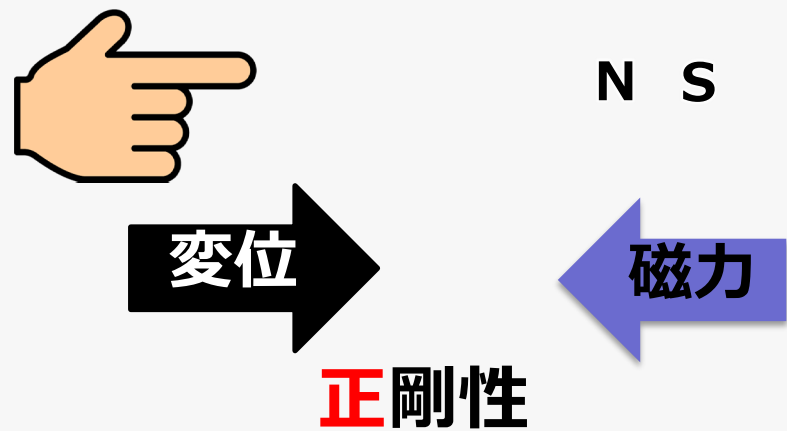
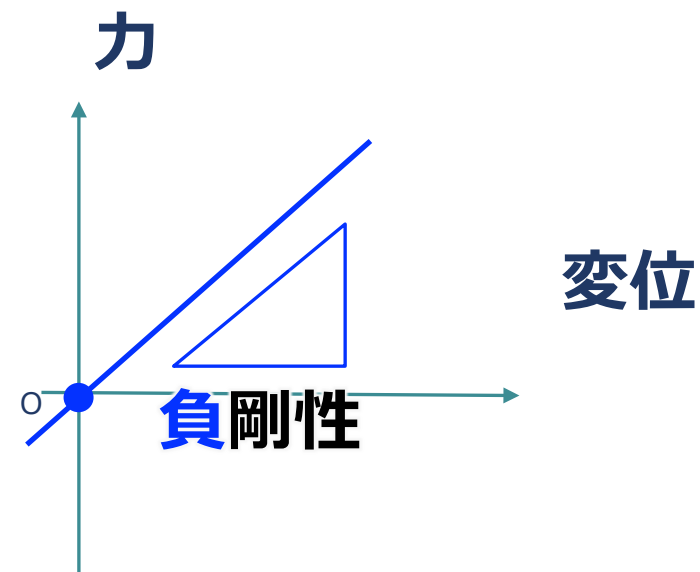
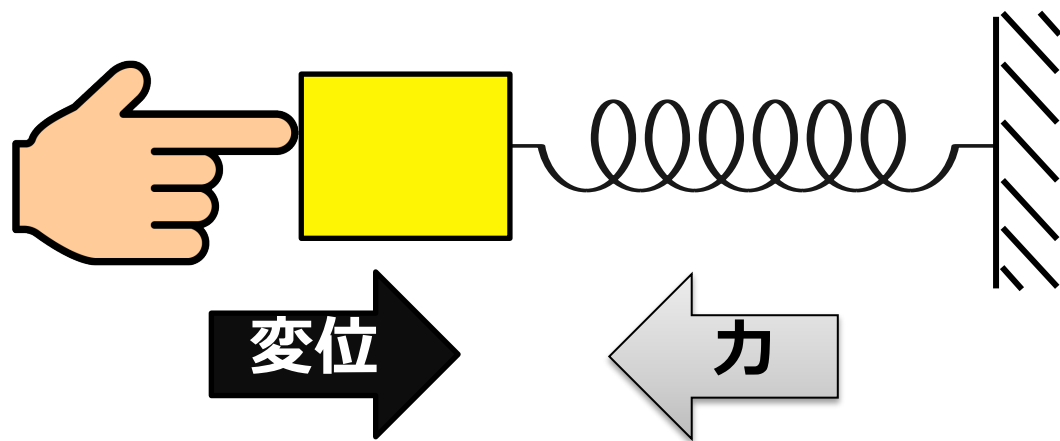
[W Hijikata et al., 2022]

制御せずに浮上させるために

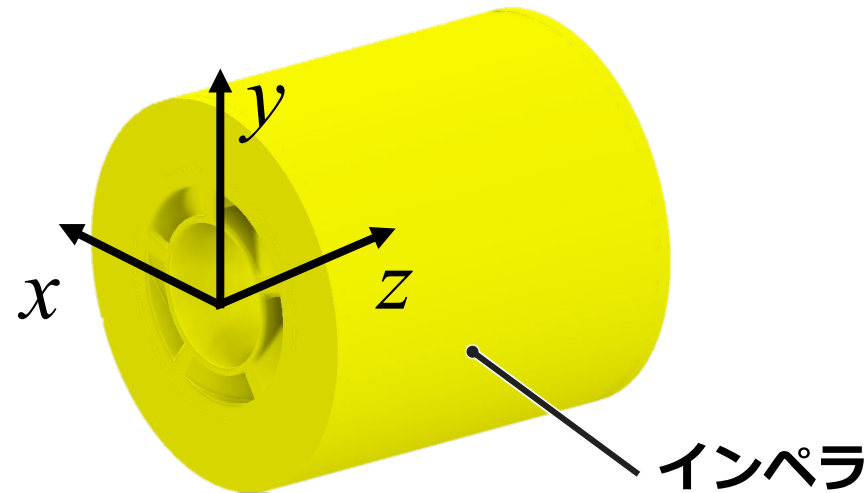
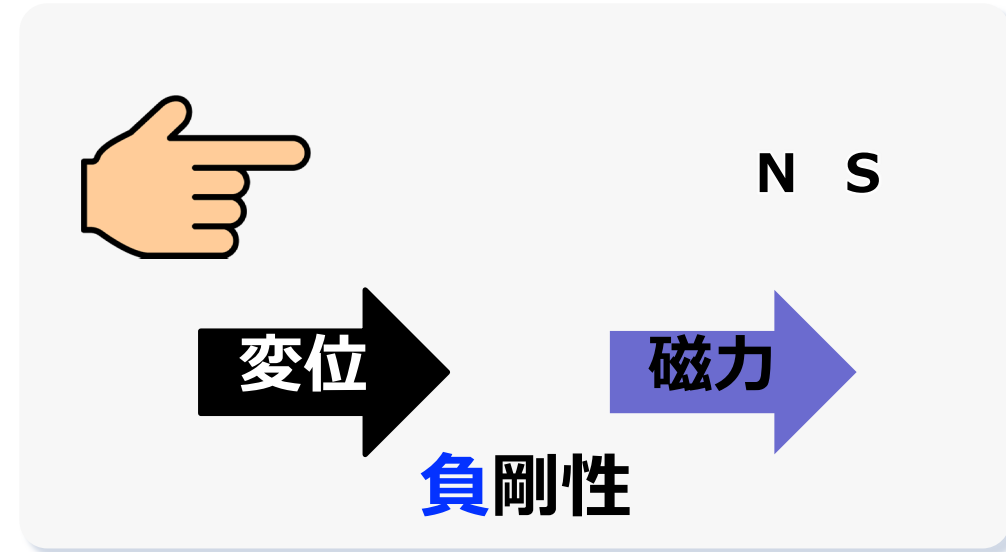
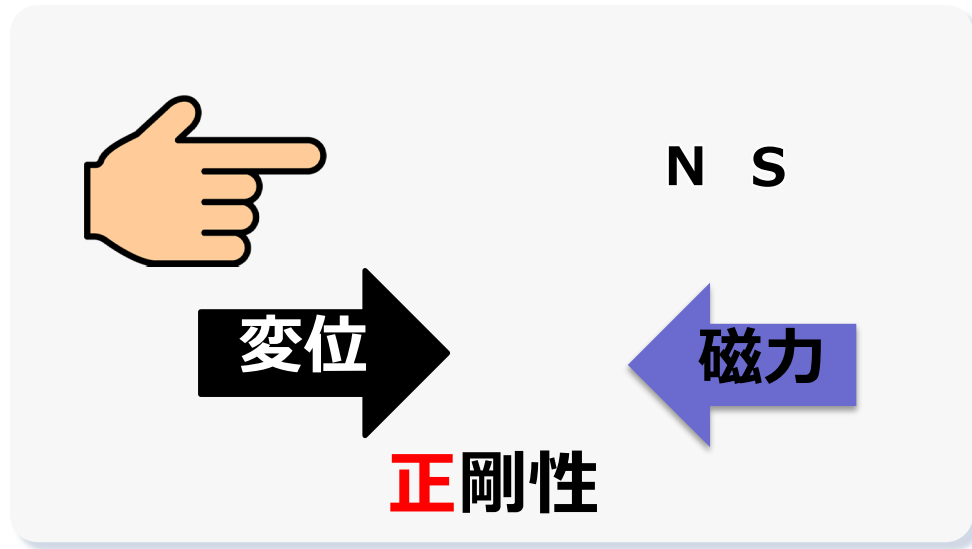


制御せずに浮上させるために

正剛性



制御せずに浮上させるために

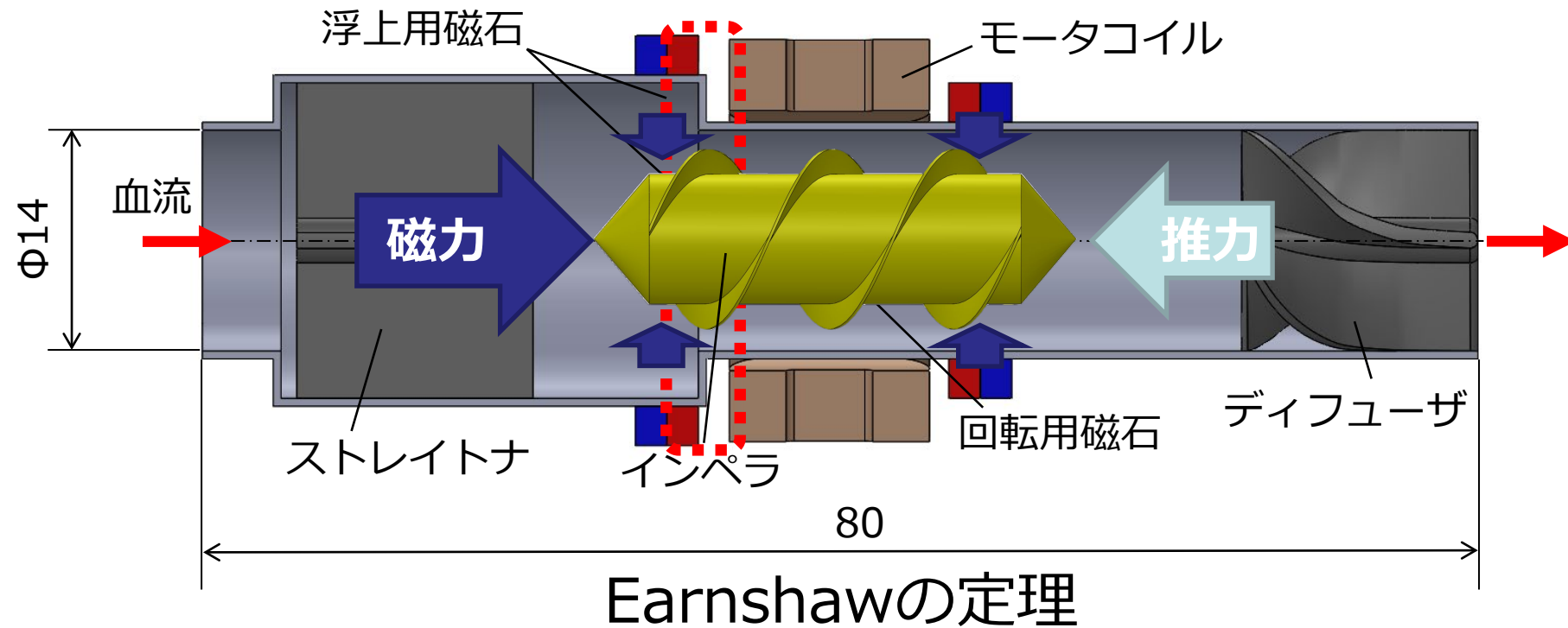


x, y, z の全方向で**正**剛性が必要

浮上機構の原理

推力と磁力を併用したパッシブ浮上機構

流路変化 ⇒ 推力変化



径・傾き方向：磁力で浮上 ➡ 軸方向：推力と磁力で浮上

設計手順

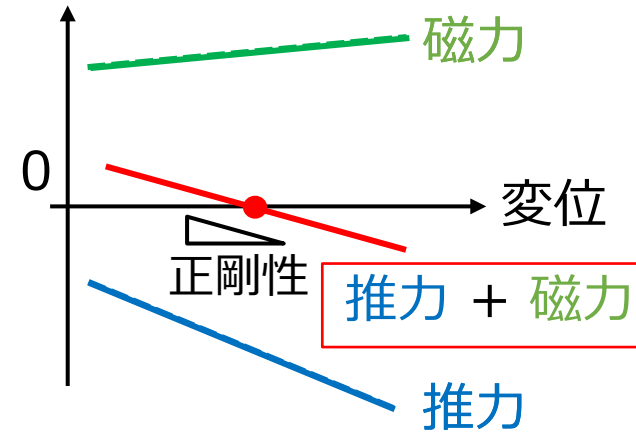
浮上設計

数値流体力学(CFD)解析

インペラの**推力**

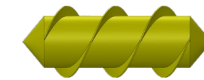
磁場解析
永久磁石の**磁力**

軸方向力

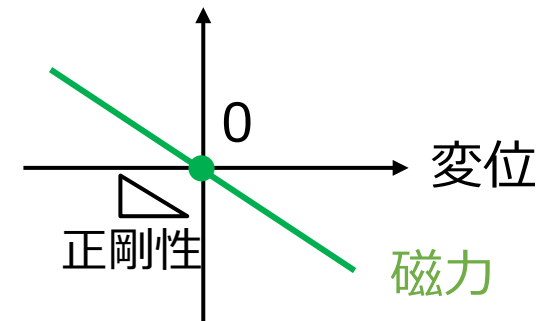


軸方向

推力+磁力

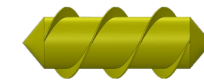


径・傾き方向力



径・傾き方向

磁力のみ



モータ設計

CFD解析

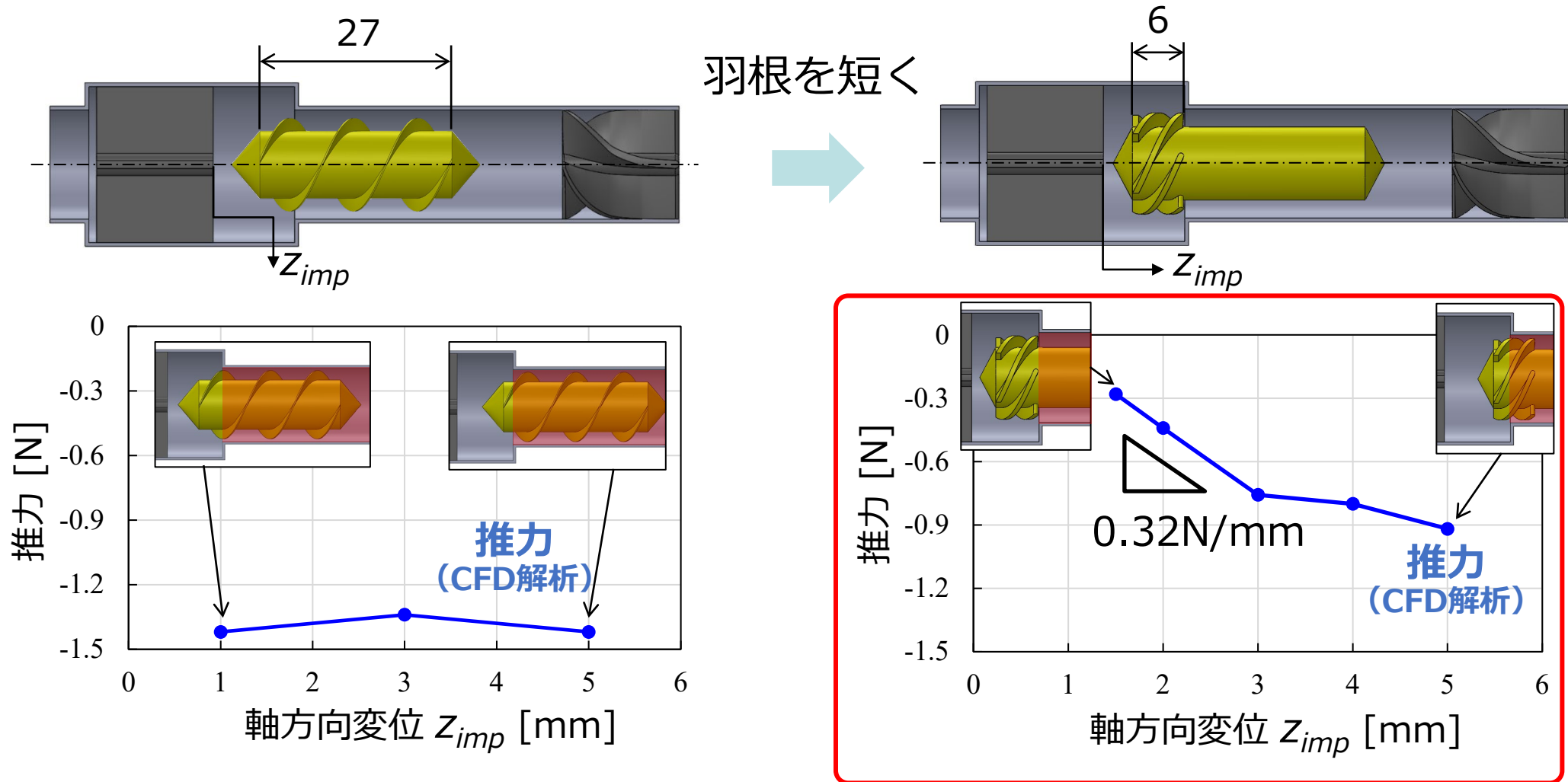
必要なトルク

磁場解析

トルク計算

軸方向力の設計（推力）

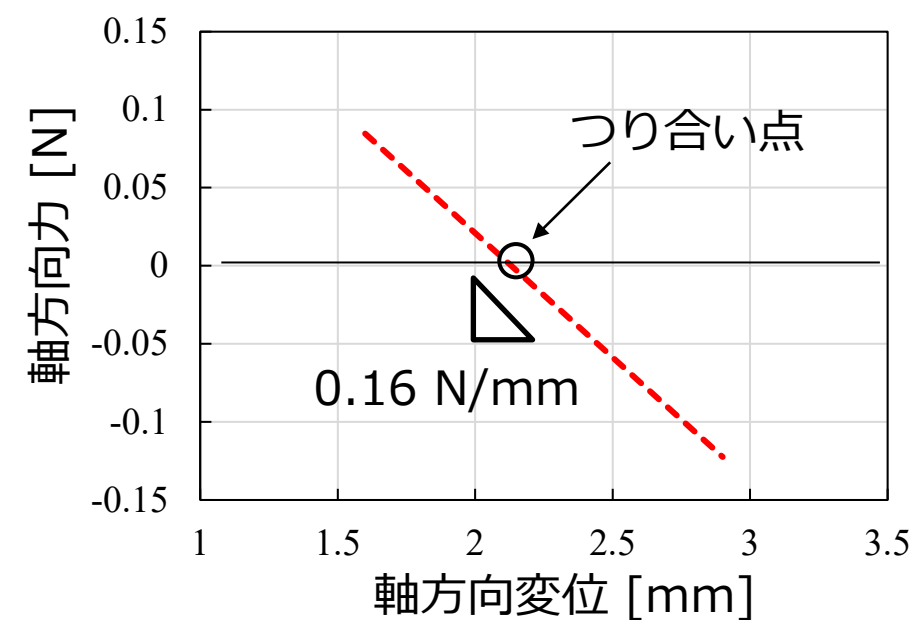
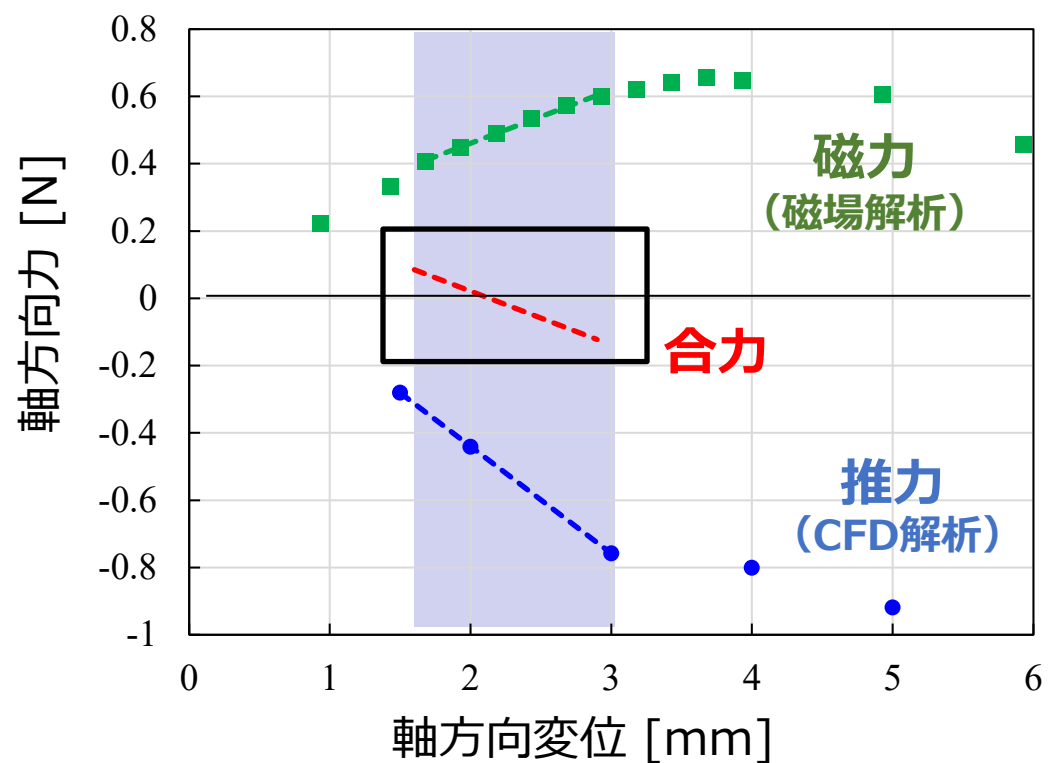
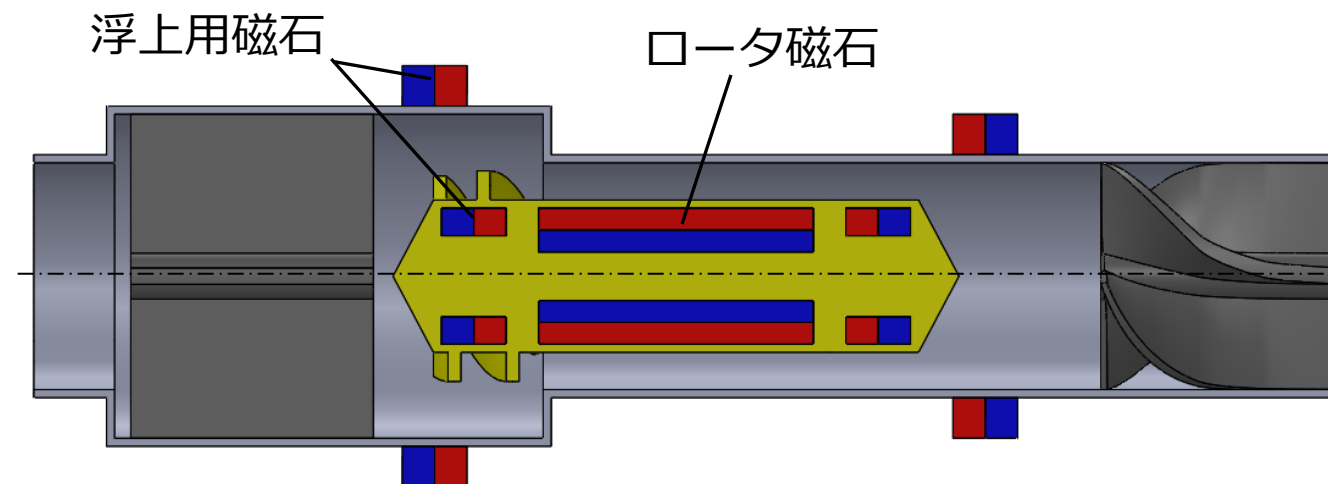
推力が**正剛性**となるよう設計
解析条件：1.5L/min 10,000rpm



× 推力変化なし
↑ 羽根全長 >> 変位

推力が正剛性となる設計

軸方向力の設計（磁力）

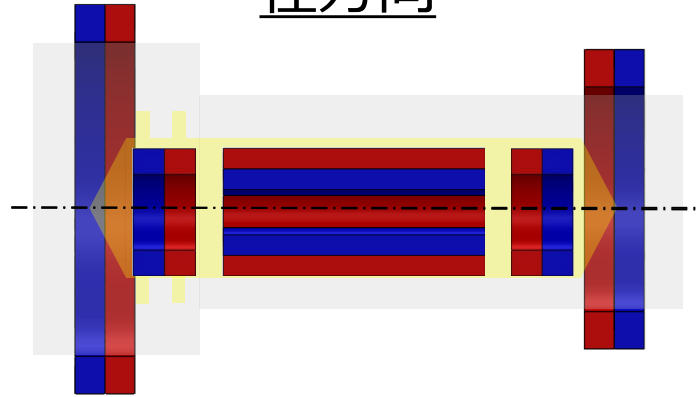


軸方向に浮上する設計

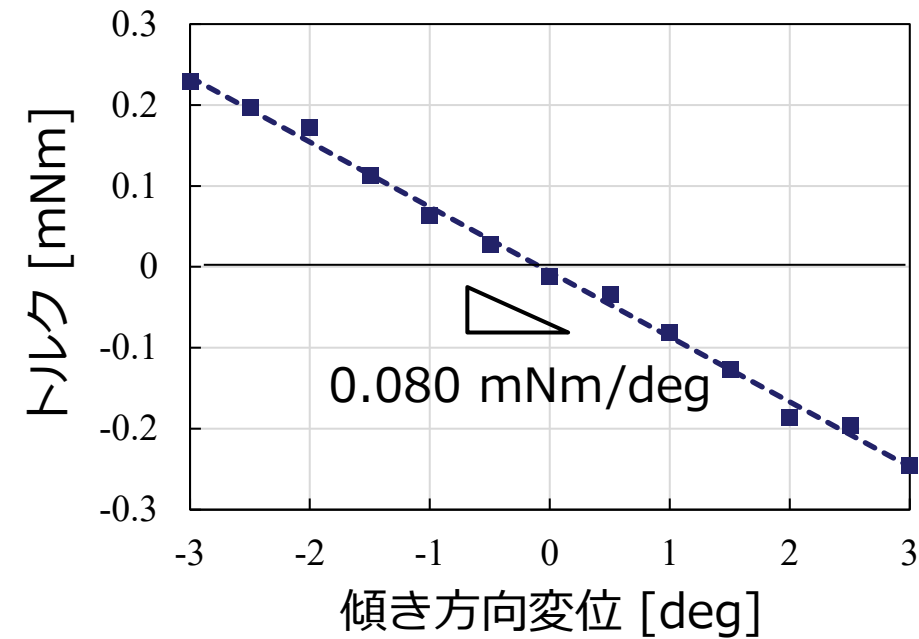
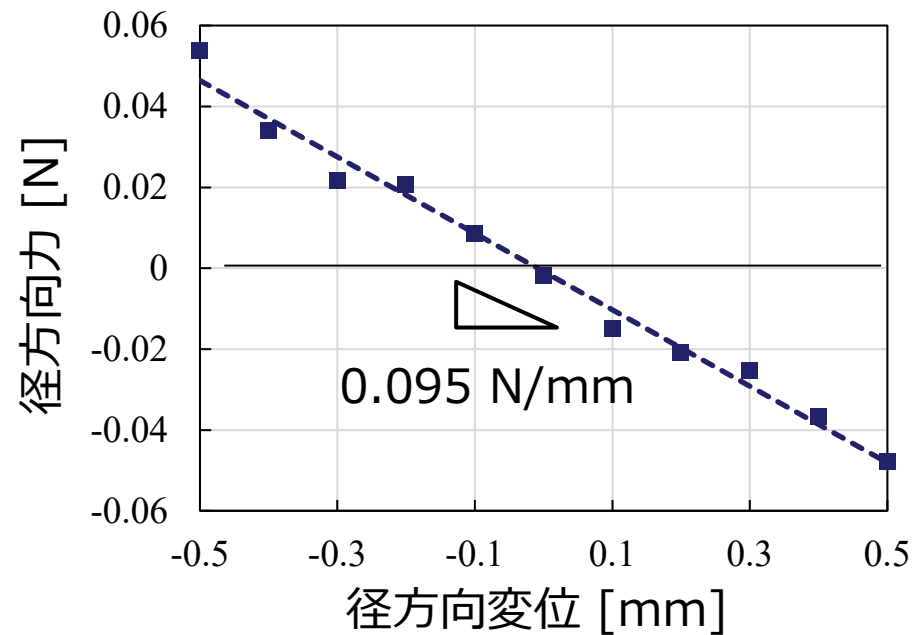
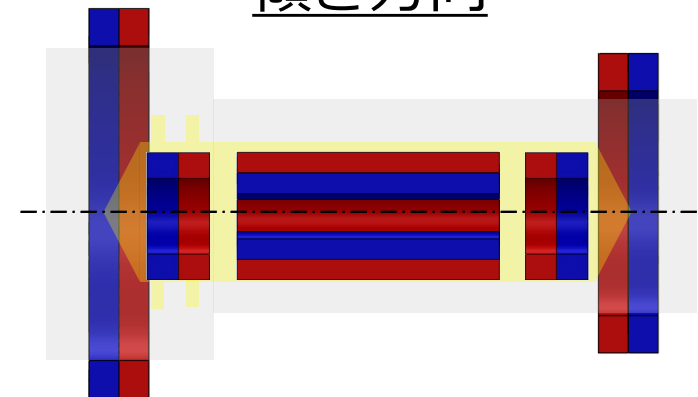
径・傾き方向力の設計

軸方向つり合い点での磁力

径方向

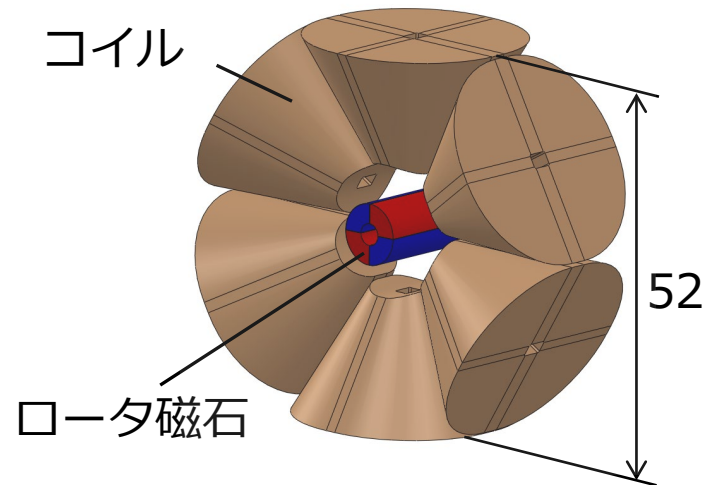
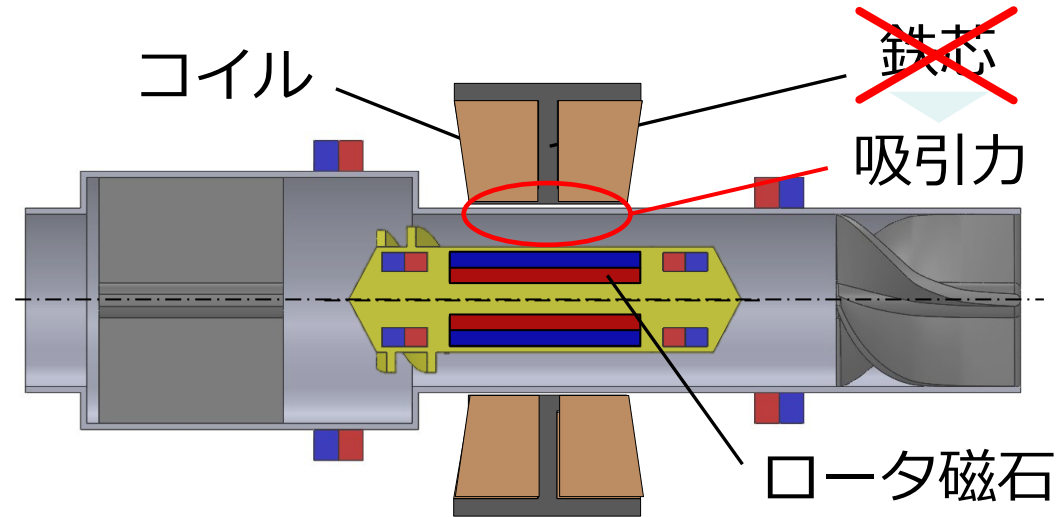


傾き方向

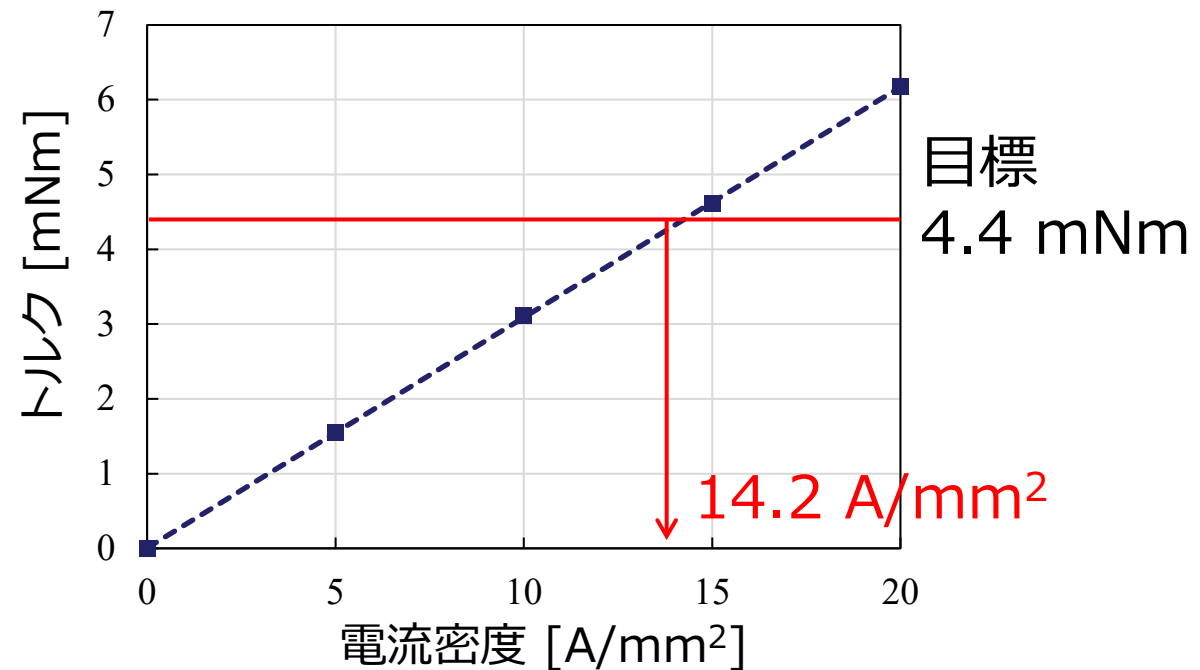


すべての方向で浮上する設計

モータの設計

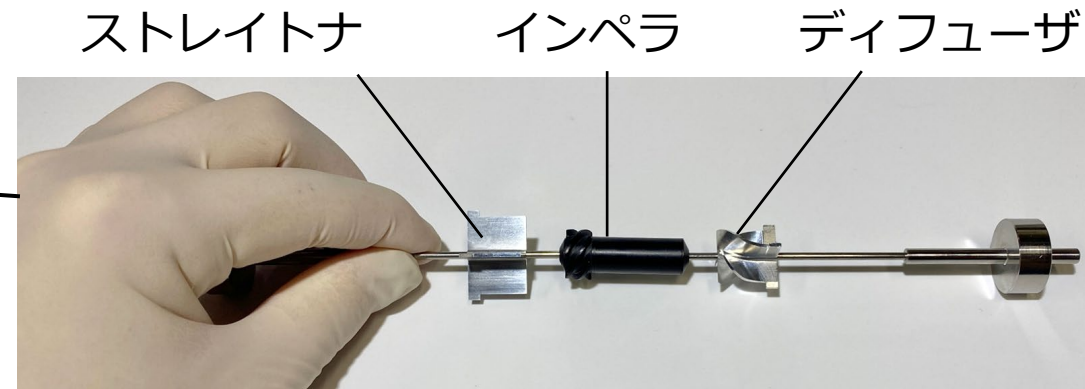
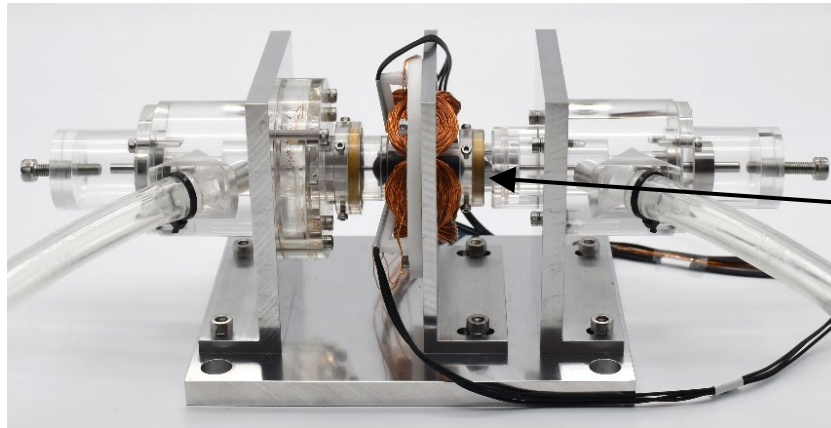


ブラシレス
コアレスDCモータ
(3相6スロット)



目標トルクを実現可能なモータを設計

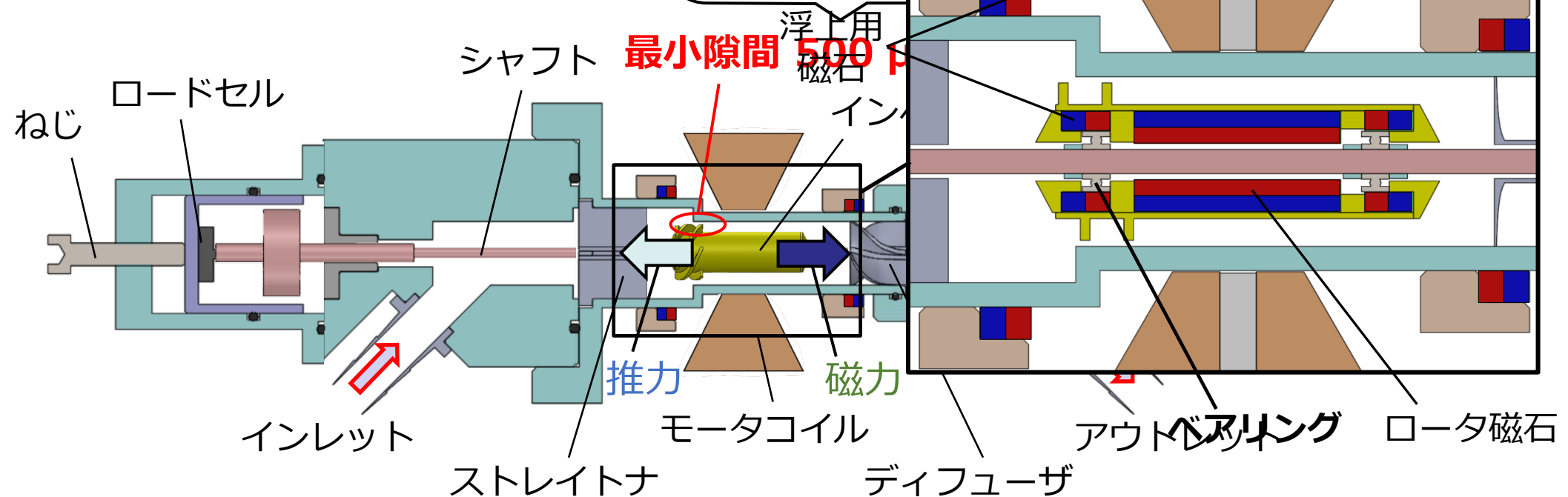
実験機の製作



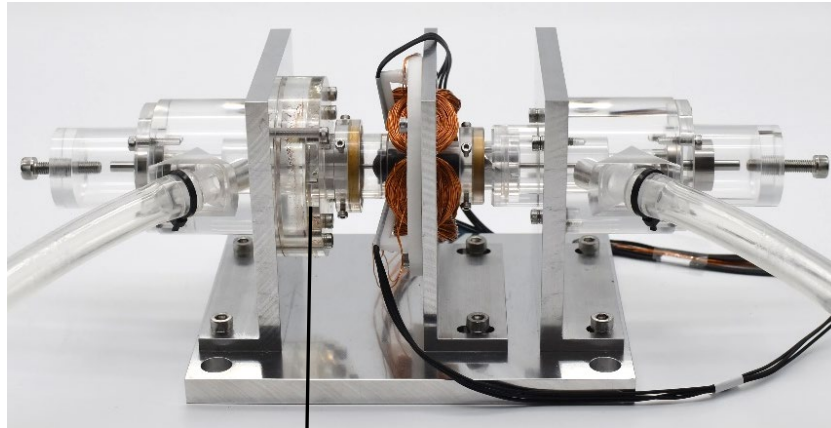
軸方向力の測定

軸方向の浮上検証

0~ 径・傾き方向の浮上検証



モータ性能の評価



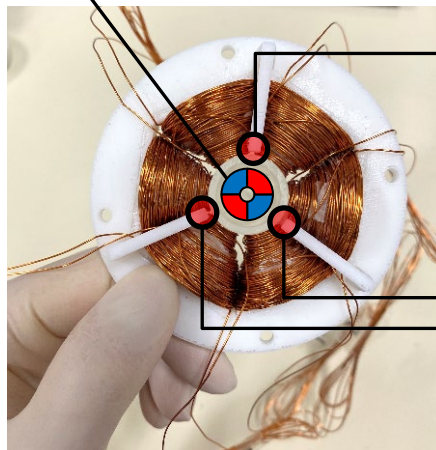
ロータ磁石



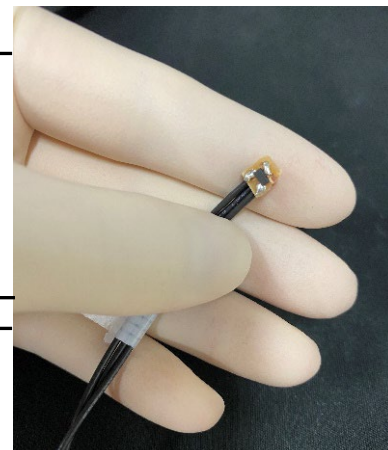
インペラ内部

浮上用磁石

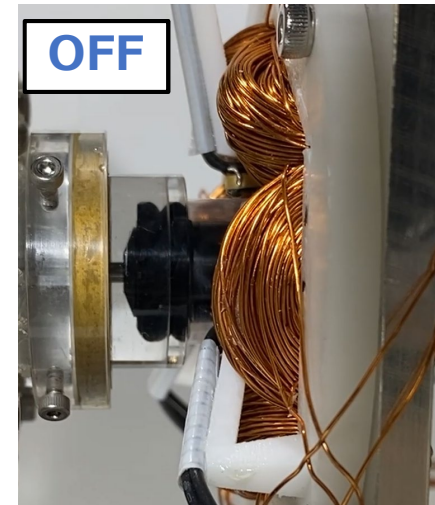
ロータ磁石



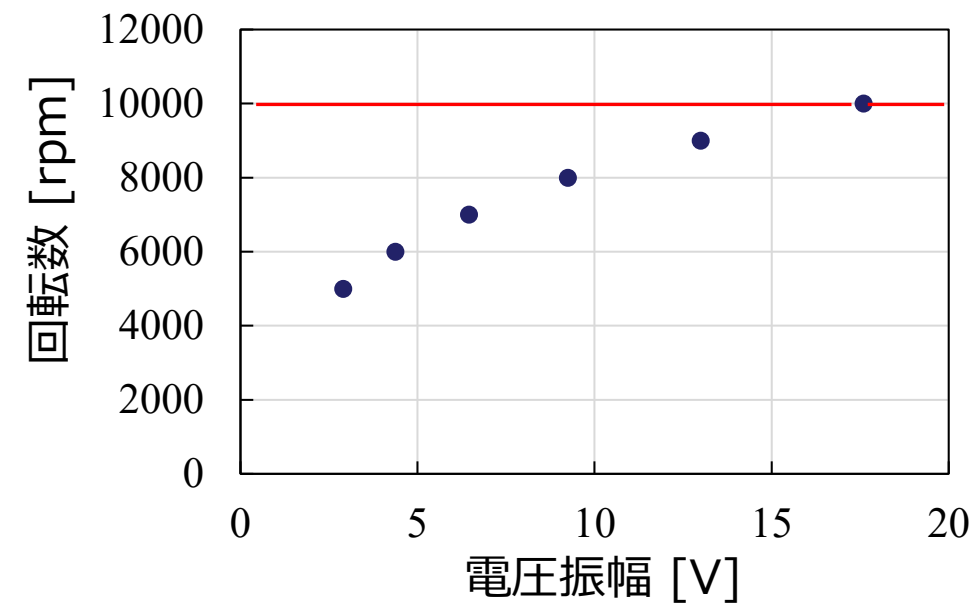
ステータコイル（自作）



ホールセンサ

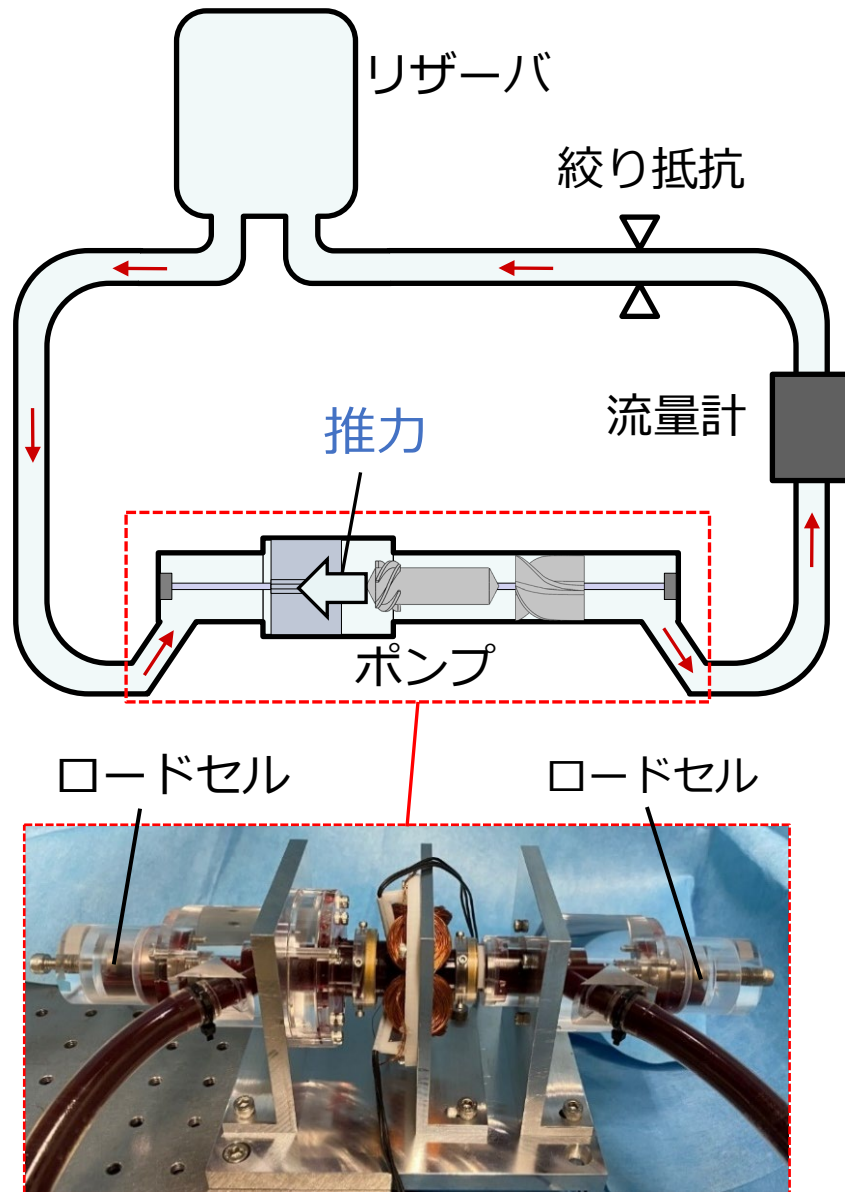


水中
1.5 L/min

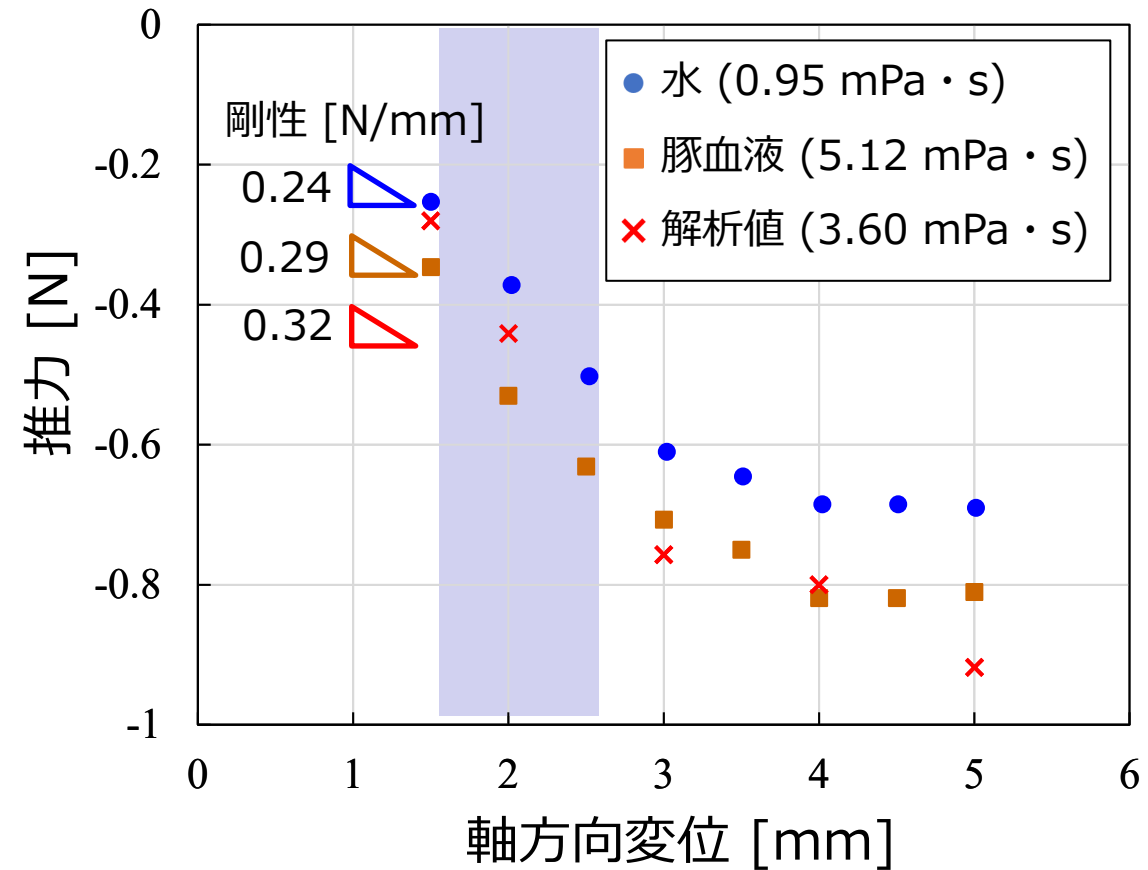


目標回転数**10,000 rpm**を実現

軸方向力の測定（推力）



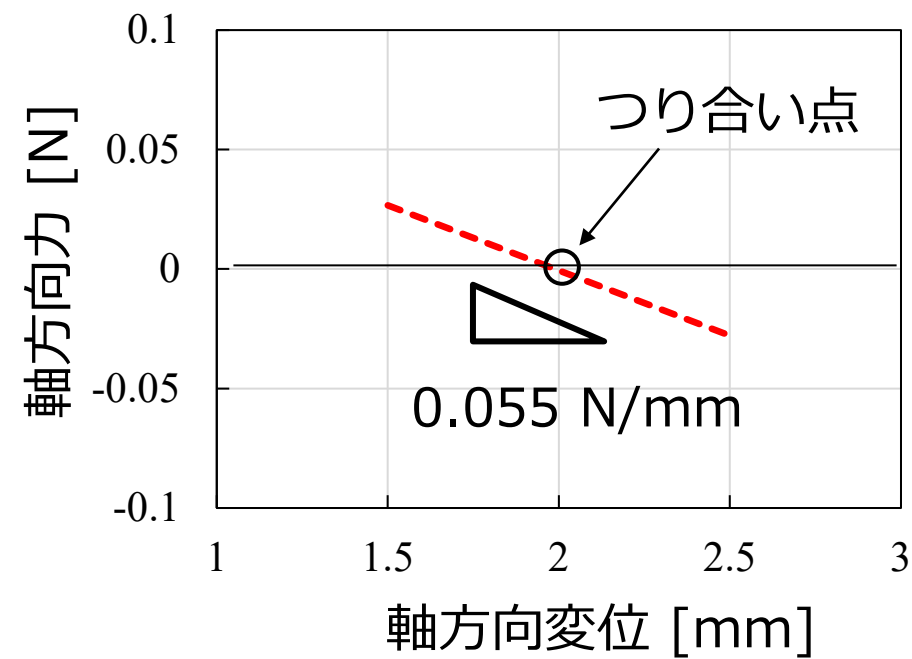
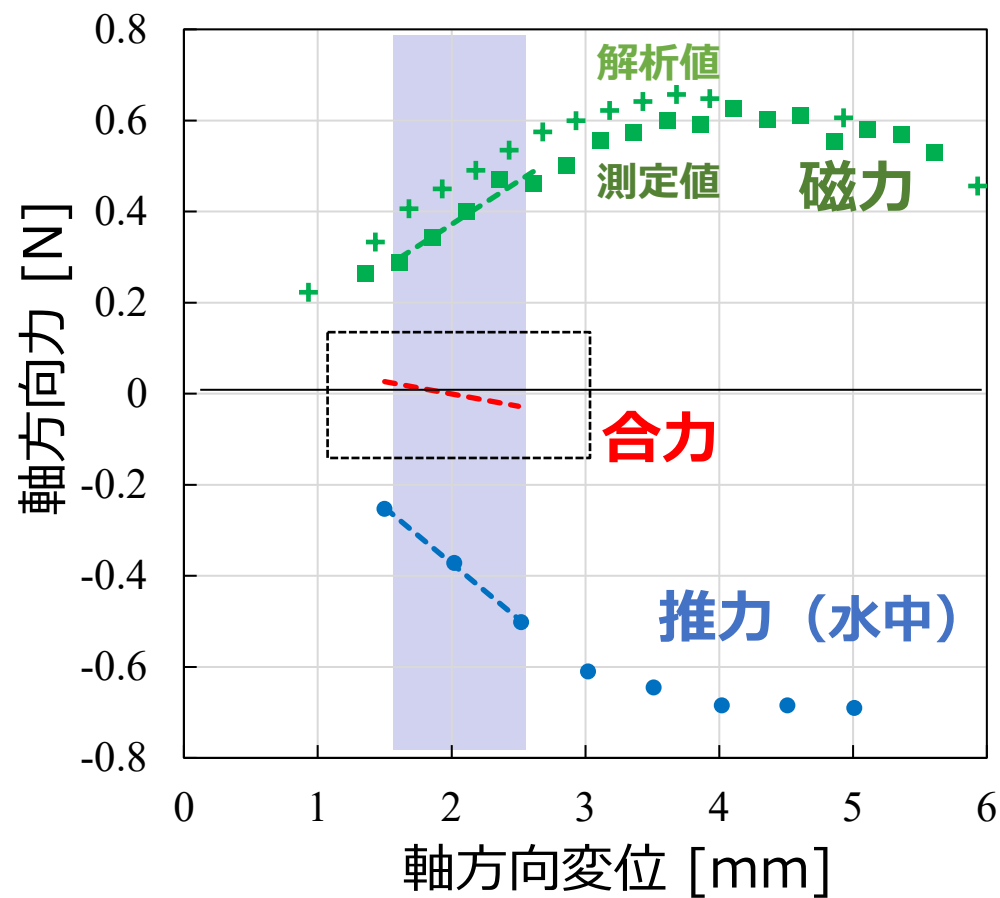
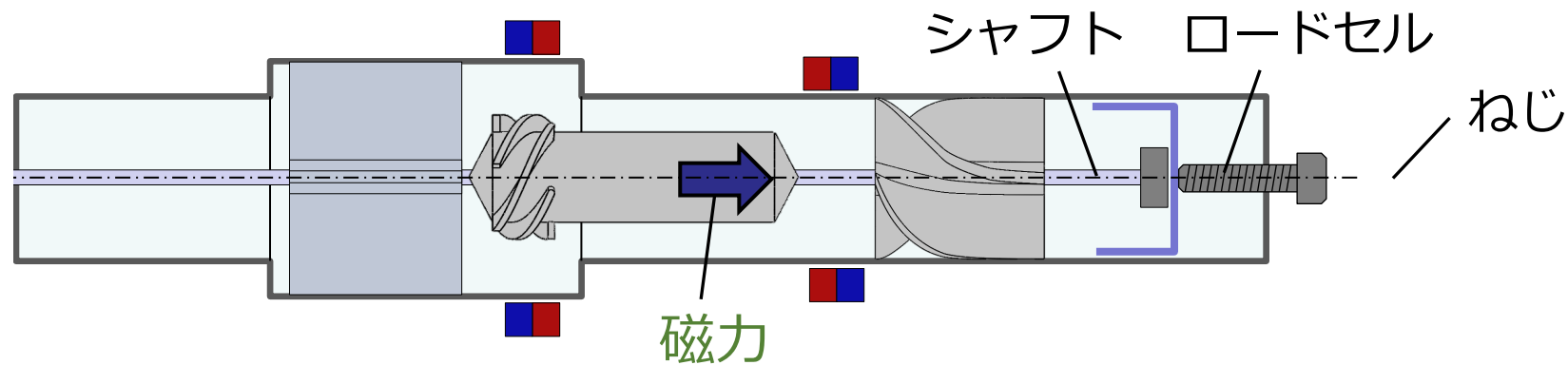
10,000 rpm 1.5 L/min
流体：豚血液，水



CFD解析とよく一致

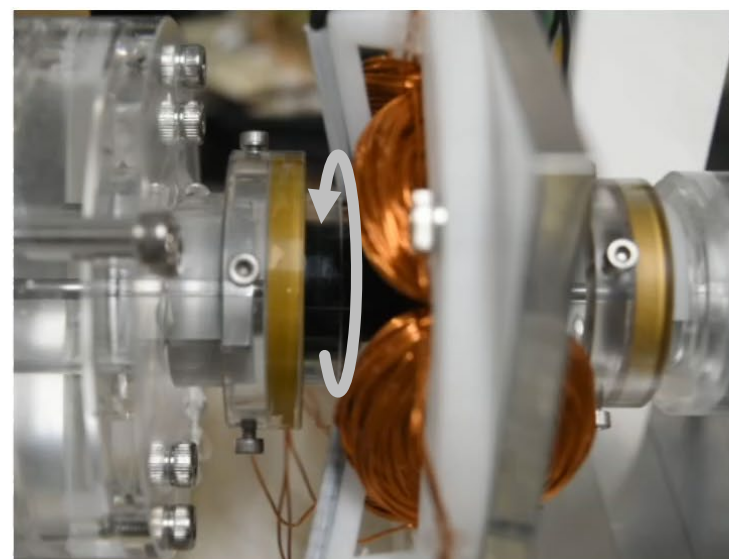
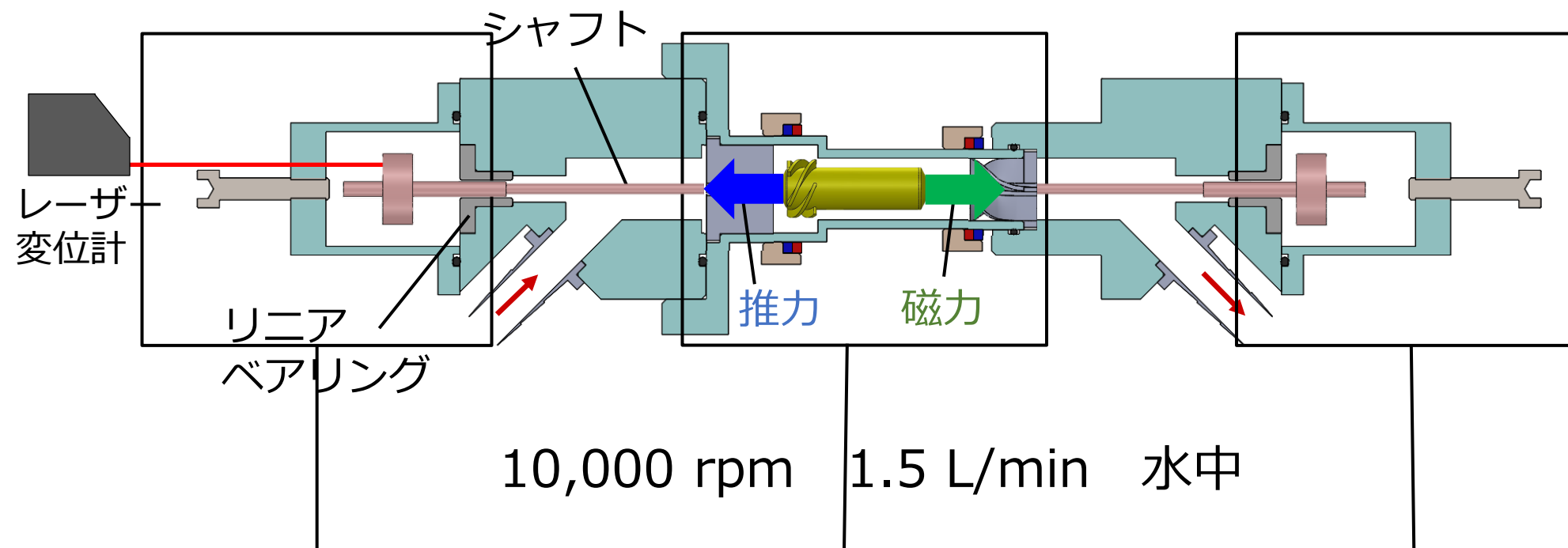
推力が**正剛性**となることを確認

軸方向力の測定（磁力）

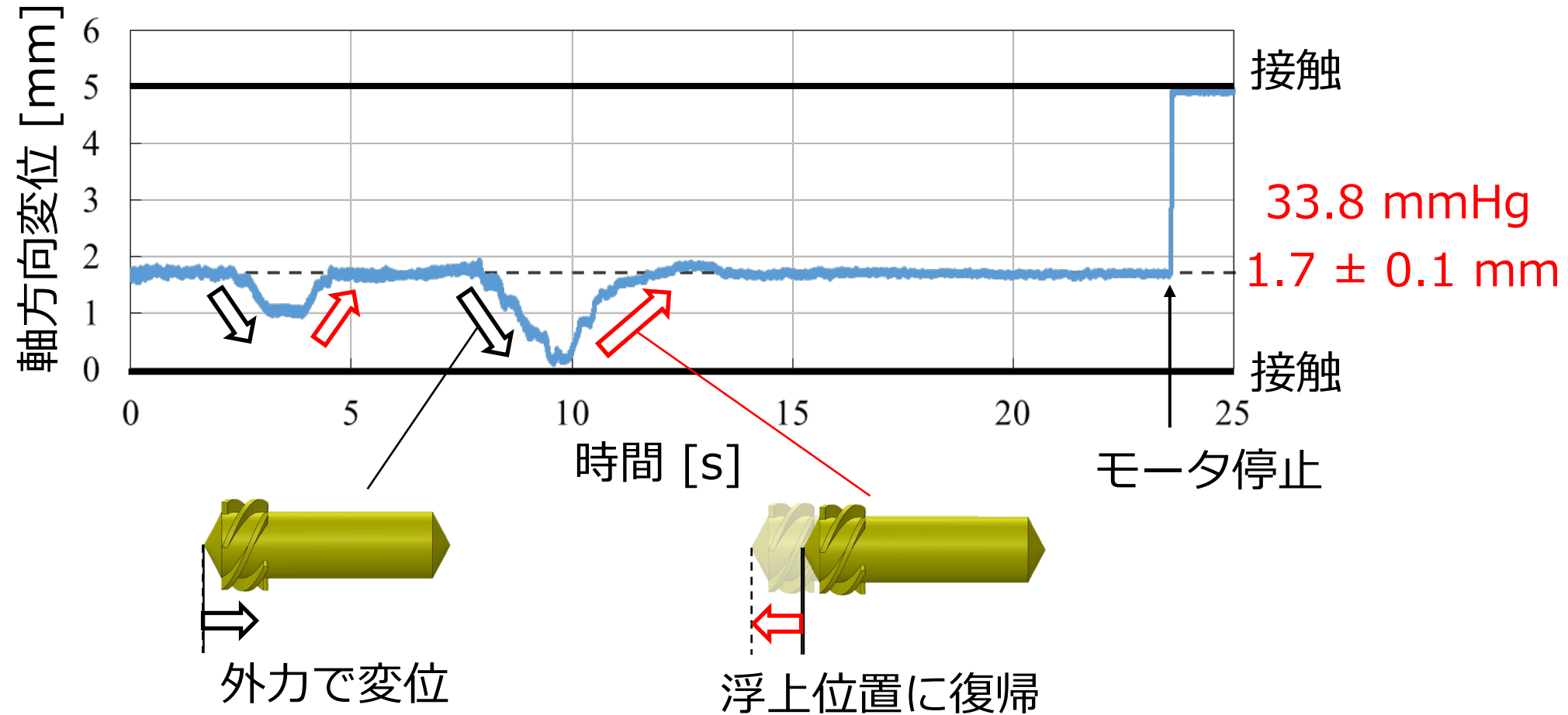


軸方向に浮上可能

軸方向の浮上検証

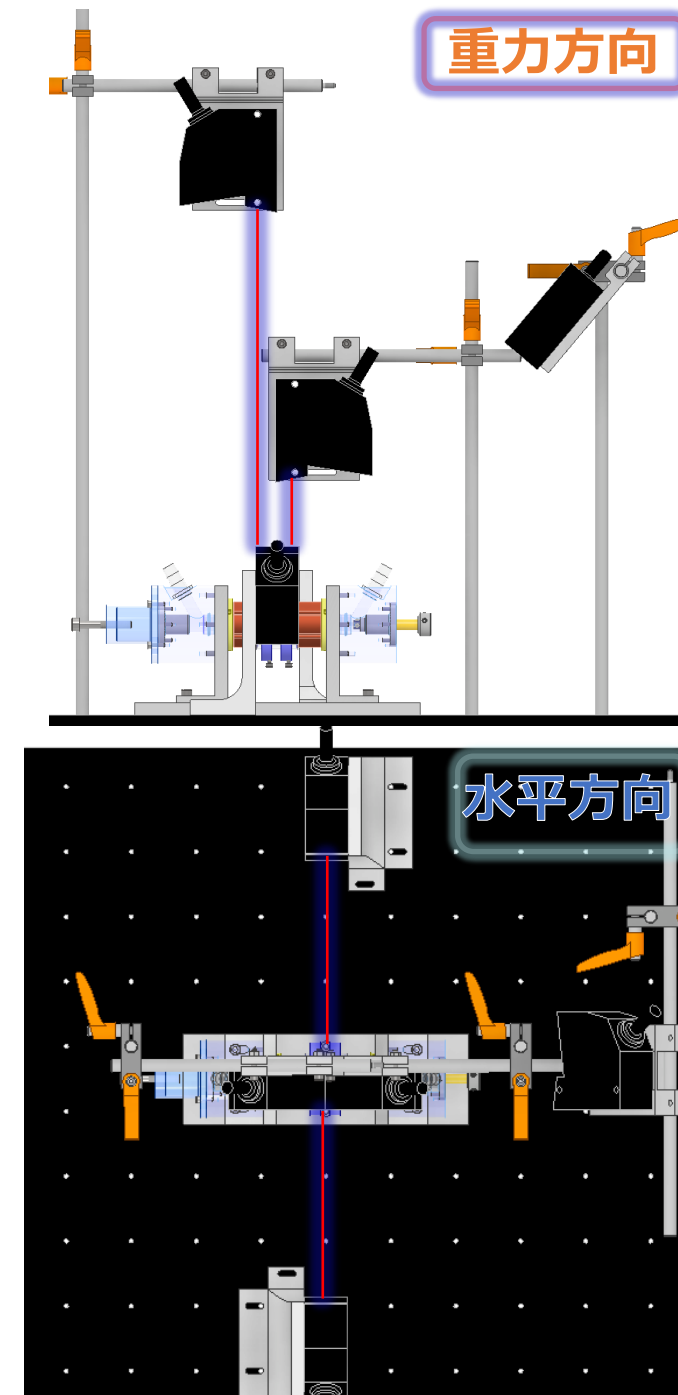
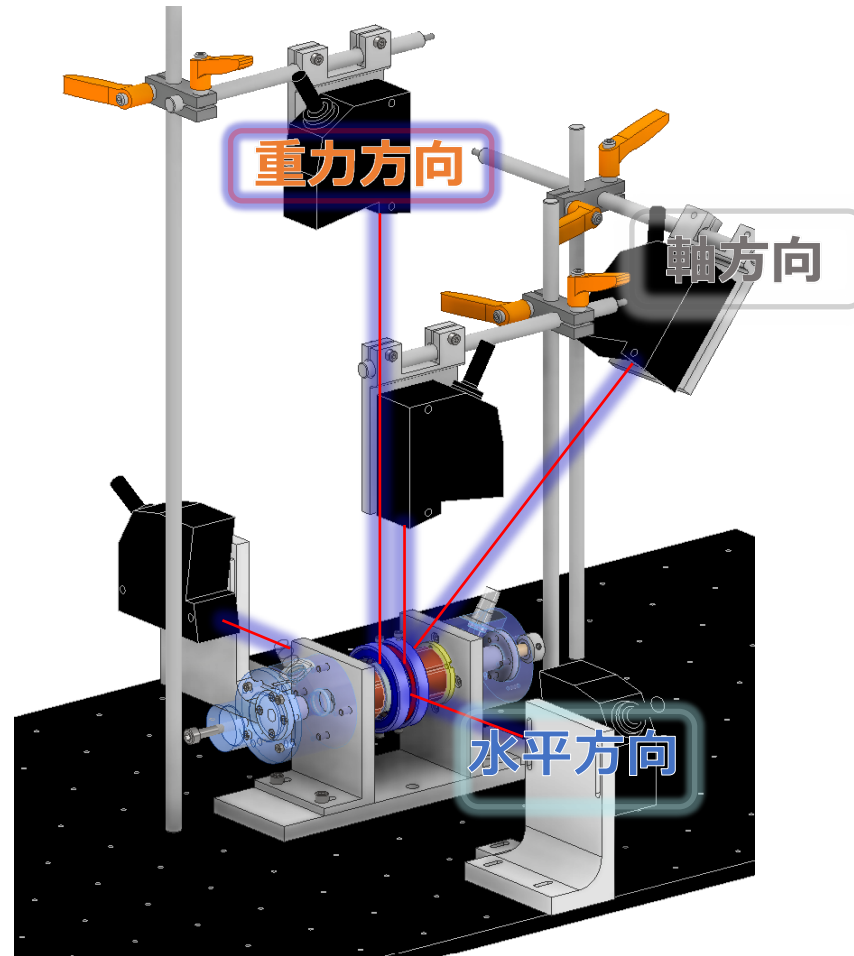


軸方向の浮上検証



推力と磁力を併用し
500 μmの大ギャップかつアクティブ制御なしで
軸方向の浮上を示した

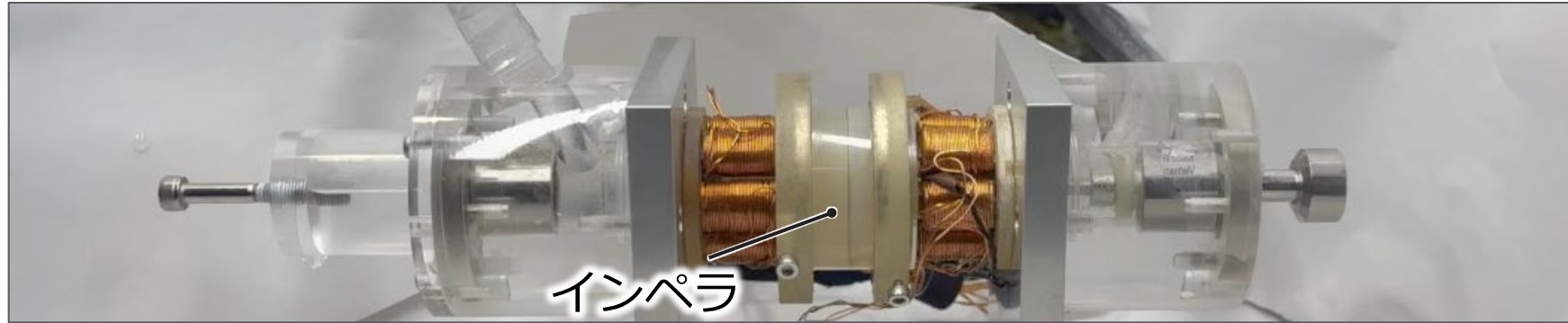
全方向浮上実験：実験装置



軸方向，径方向(重力方向，水平方向)変位
を計5台のレーザ変位系で計測する

全方向浮上実験

◎ xy 方向および z 方向の同時浮上を実証



浮上！



実用化に向けた課題

- 推力の利用で完全に浮上可能なところまで実証済み
- 原理検証用のトライアルデバイスのため、浮上可能な回転数が限られている
- 実用化に向けて、推力剛性を向上し、広範囲で浮上可能とする設計論を確立する

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・推力を用いた浮上原理を提案	
現在	・流体中でのインペラの完全な浮上を実現	
1年後	・推力剛性を向上し, 広範囲で浮上可能な設計法の確立	浮上デモンストレーション実施 AMEDやJSTへの予算申請
2年後	・CAEベースでの設計法確率(数値流体力学解析, 磁場解析) ・5 L/min, 13 kPa・s級の血液ポンプへの応用	評価用試作血液ポンプの提供
3年後	・50 L/min級の産業用ポンプへの応用	評価用試作産業用ポンプの提供

企業への期待

- 浮上可能範囲の向上は設計法の確立と設計最適化により実現可能と想定
- 産業用ポンプの開発経験がある企業には、本技術の導入が有効であると考えている
- その他、ポンプに捉われず回転体のシンプルな非接触支持機構として利用したい企業との連携に期待

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ポンプ機構
- 出願番号 : 特願2022-521927
- 出願人 : 東京科学大学
- 発明者 : 土方 亘

お問い合わせ先

東京科学大学 (Science Tokyo)

産学共創機構技術プロモーション室

T E L 03-5734-3817

e-mail consult@cim.isct.ac.jp