

「小形ロボット用二重円筒形ERブレーキの設計と試作」  
“Design and Fabrication  
of Double Cylindrical Type of ER Brake for Micro-robot”

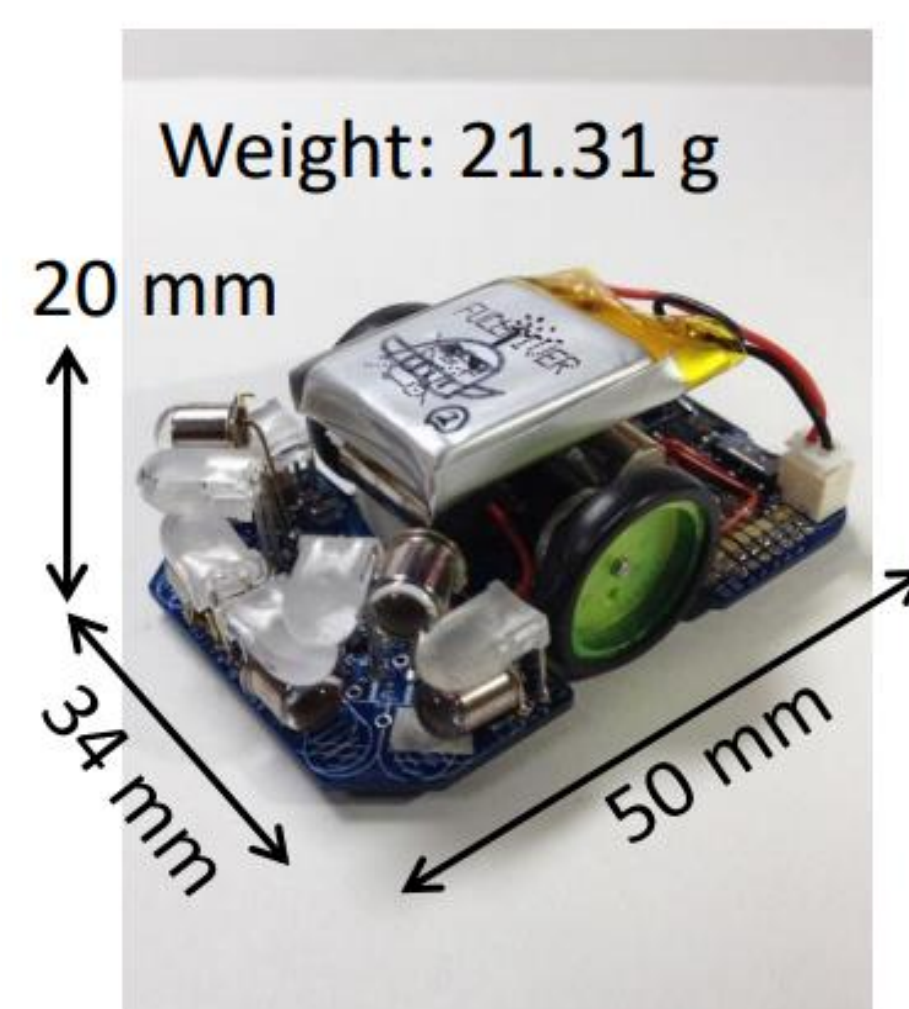
法政大学デザイン工学研究科 ○北野 友規, 佐藤悠太, 外川貴規, 田中 豊

## 概要

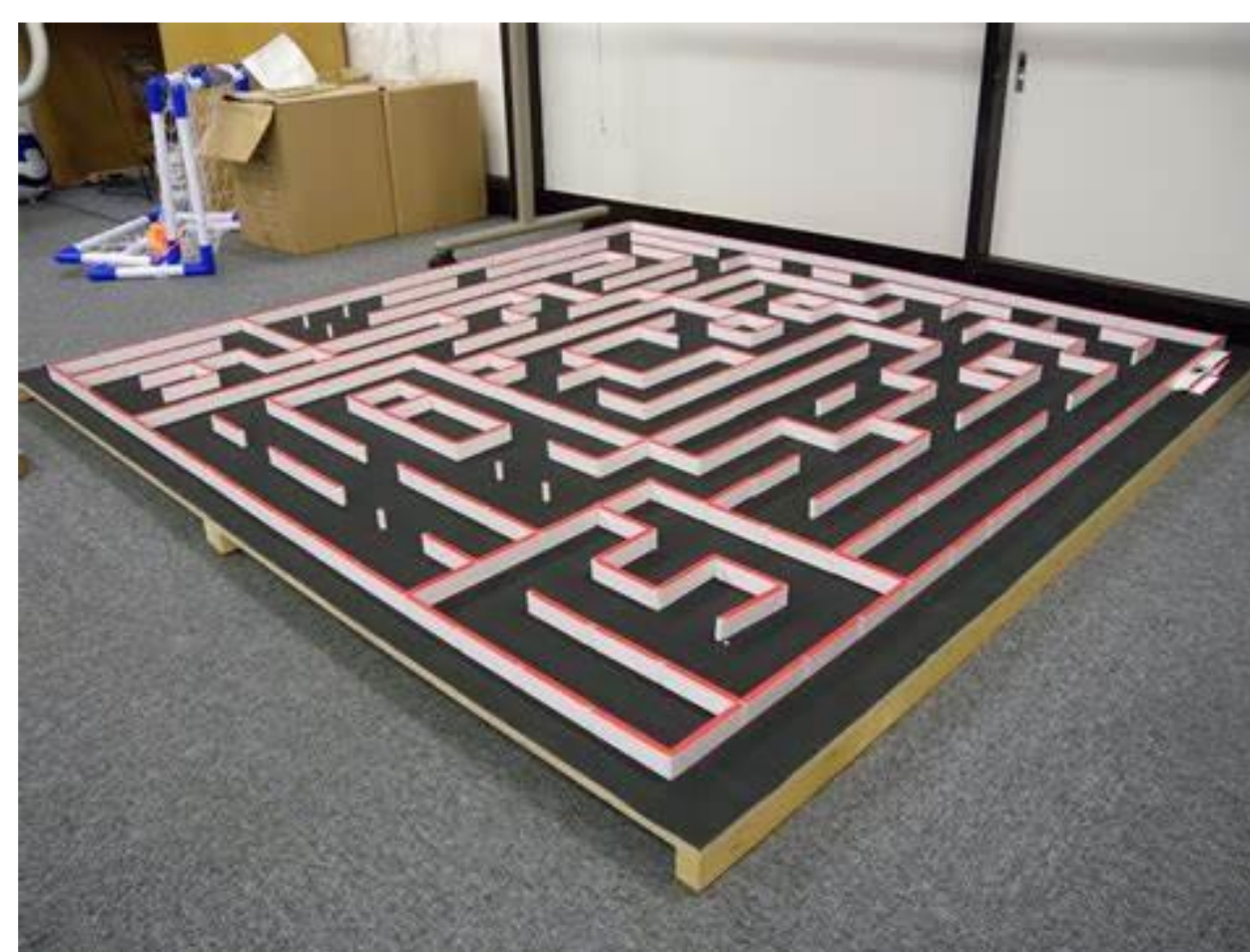
生活支援用小形ロボットは普通に我々の生活の中に普及してきており、将来的にもロボットの活用と技術的な発展は加速していくと考えられる。本研究では小形自律移動ロボットの足回り部品の性能強化を目的として、機能性流体を用いたブレーキ装置を試作し、評価実験を行ったので、その内容について報告する。

## 1. 研究背景

マイクロマウスに代表される小形ロボットには急激な加減速が必要であるが、現状備わっている電氣的なブレーキのみでは走行性能に限界がある。



マイクロマウスの外観(ハーフサイズ)

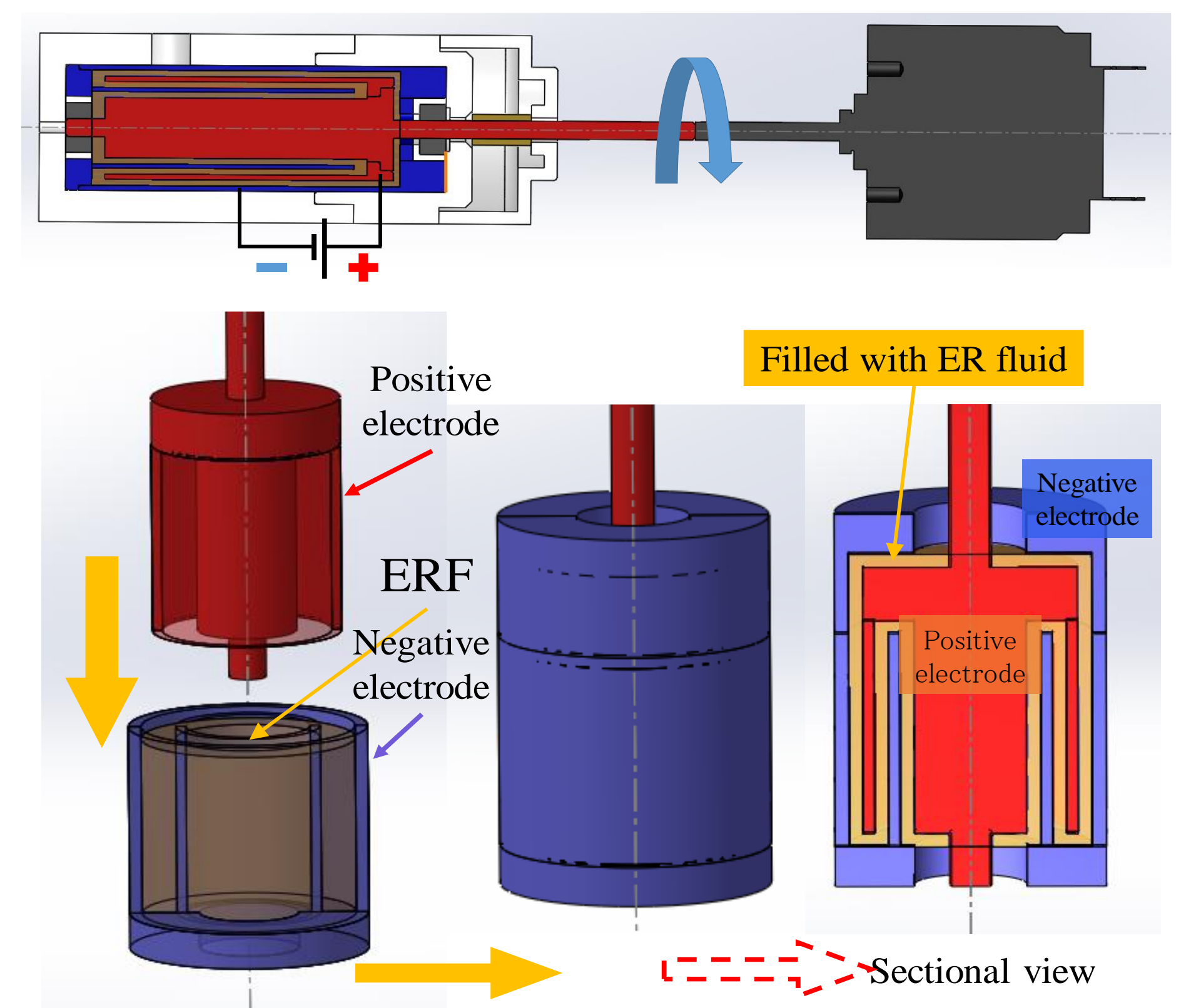


マイクロマウス競技における迷路

## 2. 研究目的

本研究では新たな構造として二重円筒形構造を提案し、設計・試作した。

モータの回転を停止させるために必要な印加電圧を1 kVにすること、軸心を安定させることでブレーキ内でショートを起こさず安定して動作することを目指す。

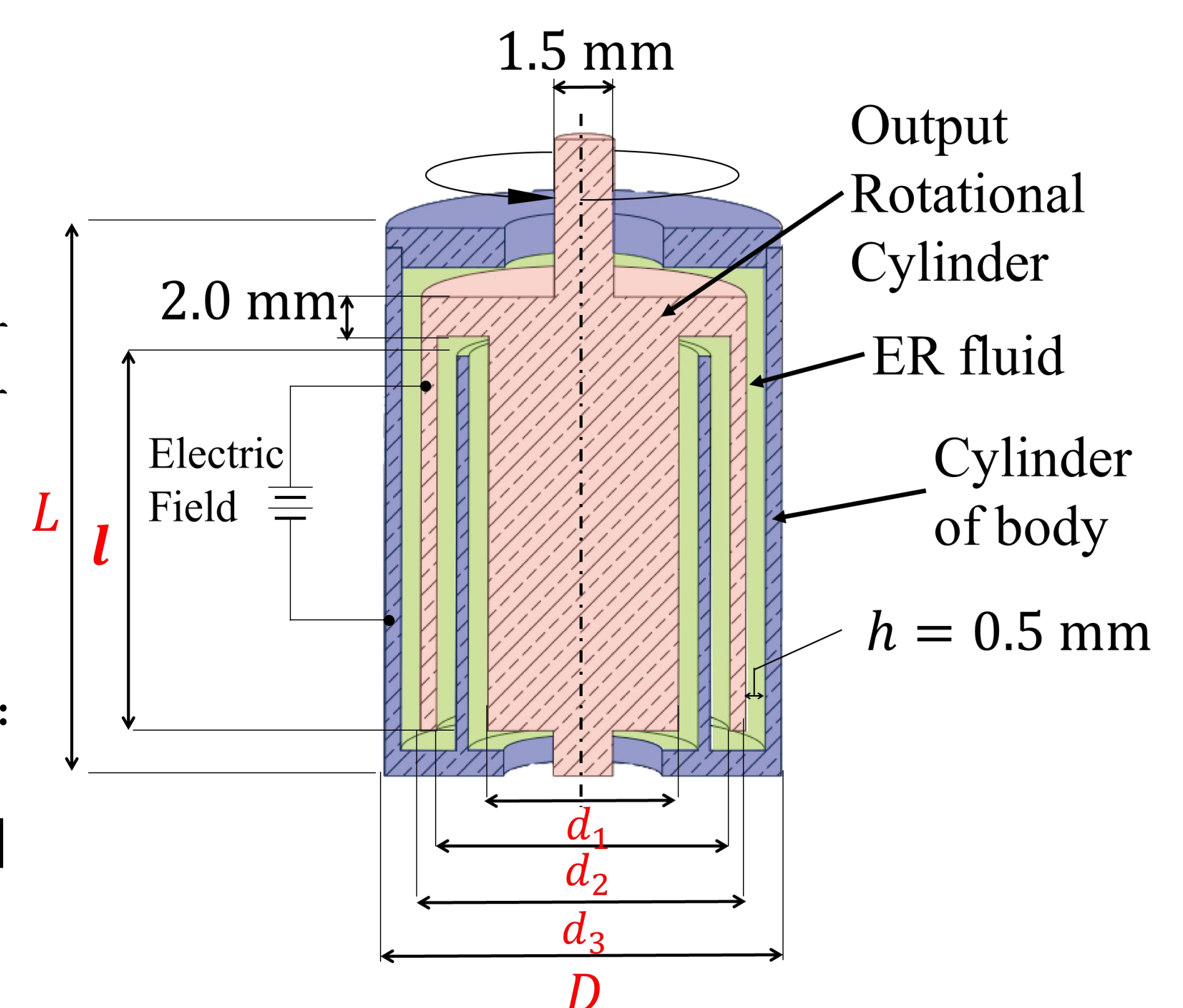


本研究で提案する二重円筒形ERブレーキの概観

## 3. 二重円筒形ERブレーキの構造と数学モデル

二重円筒形ERブレーキの構造と形状パラメータを右図に示す。

全体の直径:  $D$  [mm]  
全体の長さ:  $L$  [mm]  
電極部直径(内側から) :  $d_1, d_2, d_3$  [mm]  
電極部有効長さ:  $l$  [mm]  
電極間隙:  $h = 0.5$  mm (固定値)



二重円筒形ERブレーキの構造

## 数学モデル

以上の形状パラメータの値から、二重円筒形ERブレーキの制動トルク  $T_B$  [N・mm]は以下の式(1)～(4)のように示される

$$T_{B1} = 2\pi l \frac{\omega}{h} \left( \left( \frac{d_1}{2} \right)^3 + \left( \frac{d_2}{2} \right)^3 + \left( \frac{d_3}{2} \right)^3 \right) \cdot \mu_0 + 2\pi l \left( \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 + \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 + \left( \frac{d_3}{2} \right)^2 \right) \cdot \tau_0(E) \quad (1)$$

$$T_{B2} = 2\pi(h+2) \frac{\omega}{h} \left( \frac{d_3}{2} \right)^3 \cdot \mu_0 + 2\pi \left( \frac{d_3}{2} \right)^2 (h+2) \cdot \tau_0(E) \quad (2)$$

$$T_{B3} = \frac{\pi\omega}{2h} \left( \left( \frac{d_3}{2} \right)^4 - \left( \frac{1.5}{2} \right)^4 \right) \cdot \mu_0 + \frac{2\pi}{3} \left( \left( \frac{d_3}{2} \right)^3 - \left( \frac{1.5}{2} \right)^3 \right) \cdot \tau_0(E) \quad (3)$$

$$T_B = T_{B1} + T_{B2} + T_{B3} \quad (4)$$

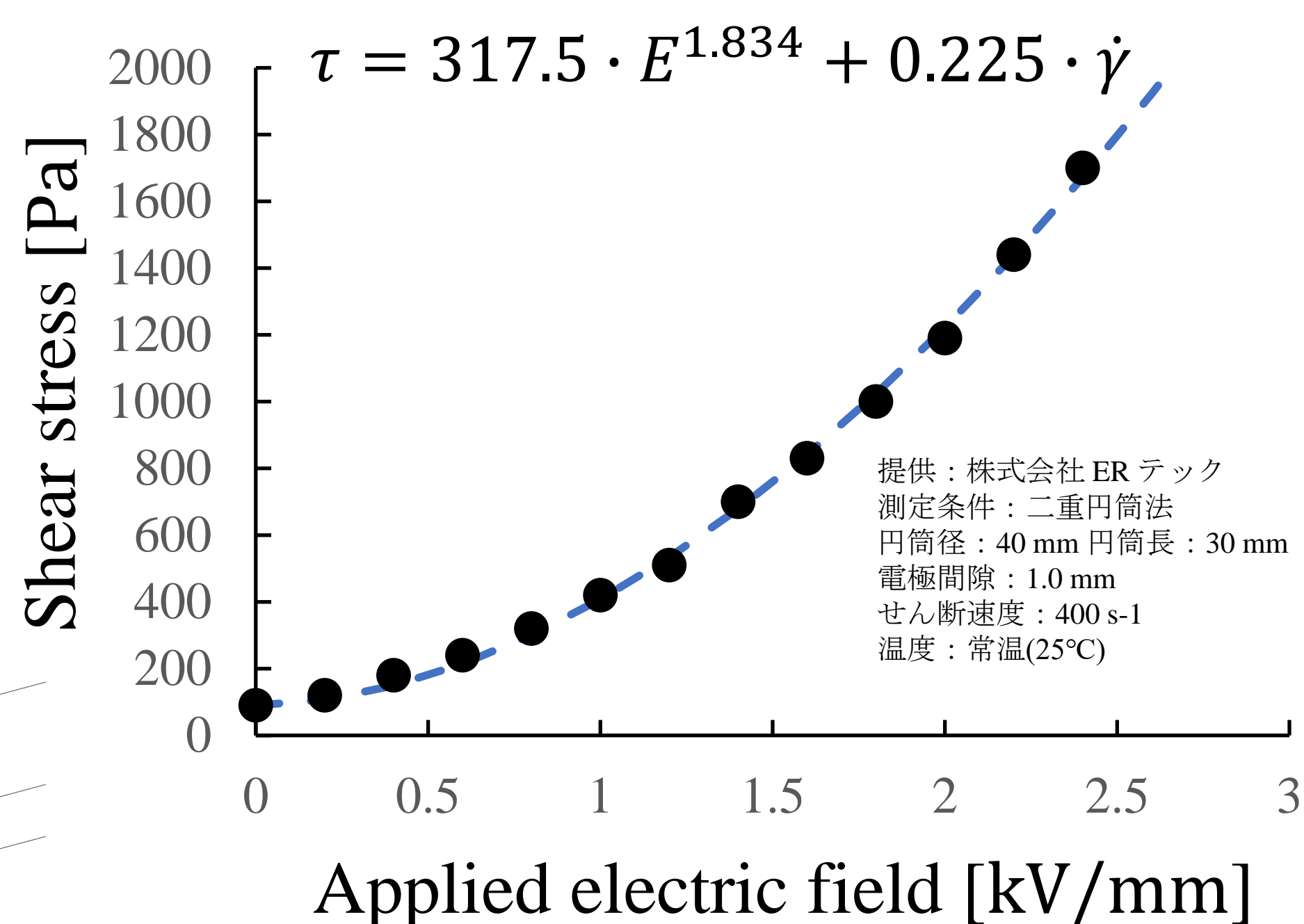
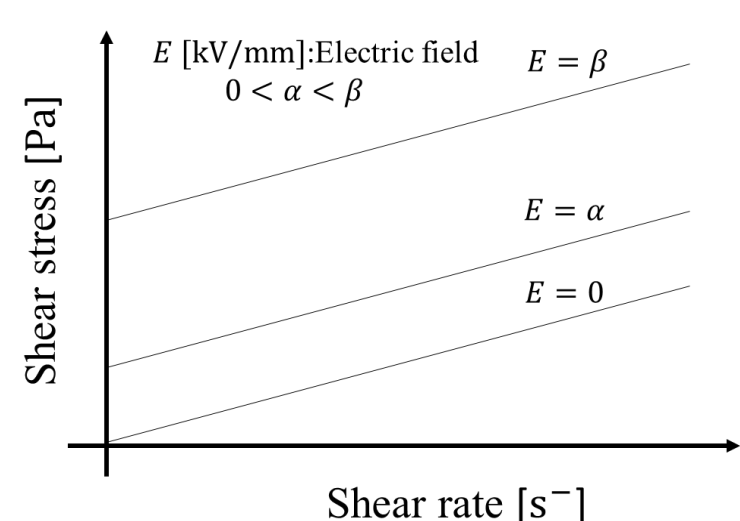
$\omega$  [rad/s]: 回転系の回転速度、 $\mu_0$  [Pa・s]: ER流体の基底粘度、 $\tau_0(E)$  [Pa]: 電界強度  $E$  [kV/mm]に依存した誘起せん断応力

式(1)～(3)は二重円筒形ERブレーキの制動トルクが発生する三箇所をそれぞれ  $T_{B1}$ ,  $T_{B2}$ ,  $T_{B3}$  [N・mm]とした数学モデルである。

電気信号を機械的出力へ直接変換できる機能性流体である、ER流体を用いたERブレーキをモータへ接続することで機械的なブレーキによる急激な制動を可能にする

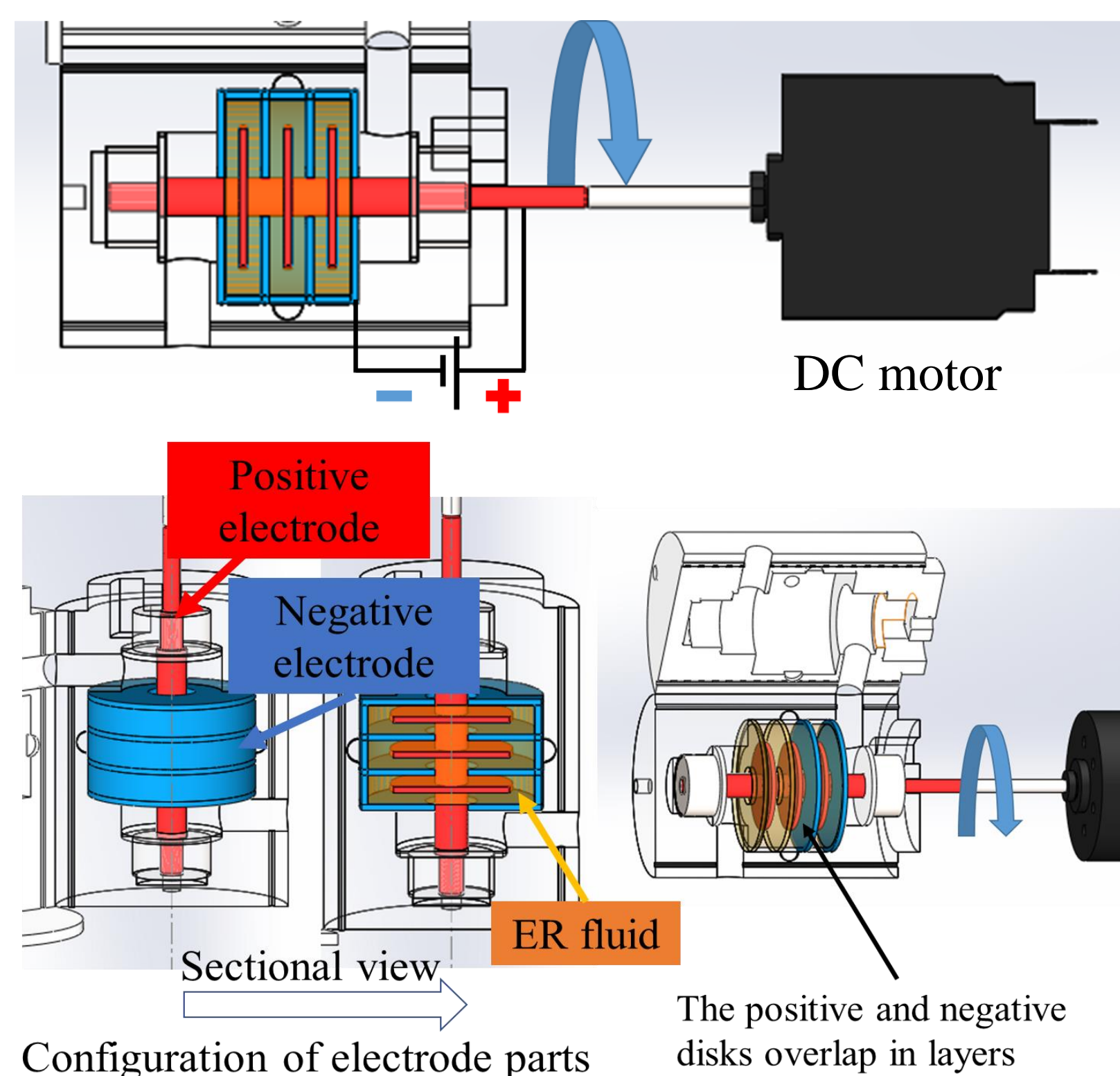


ER流体の概要



ER流体の電界強度とせん断応力の関係

先行研究では、ER流体を利用したブレーキアクチュエータとして多重円盤形ERブレーキが試作、評価された。電極を兼ねた正極円盤と負極円盤が層状に重なることでER流体に電圧を印加できることが特徴である。性能評価実験からわかった課題として、ERブレーキに印加する必要がある電圧が3 kV以上と大きいことや軸心の不安定さが指摘された。



先行研究で試作された多重円盤形ERブレーキ



先行研究: T. Togawa, T. Tachibana, Y. Tanaka, J. Peng, "Hydro-Disk-Type of Electrorheological Brakes for Small Mobile Robots," International Journal of Hydromechanics, Vol.4, No.2, pp.99-115, 2021, DOI: 10.1504/IJHM.2021.116955.



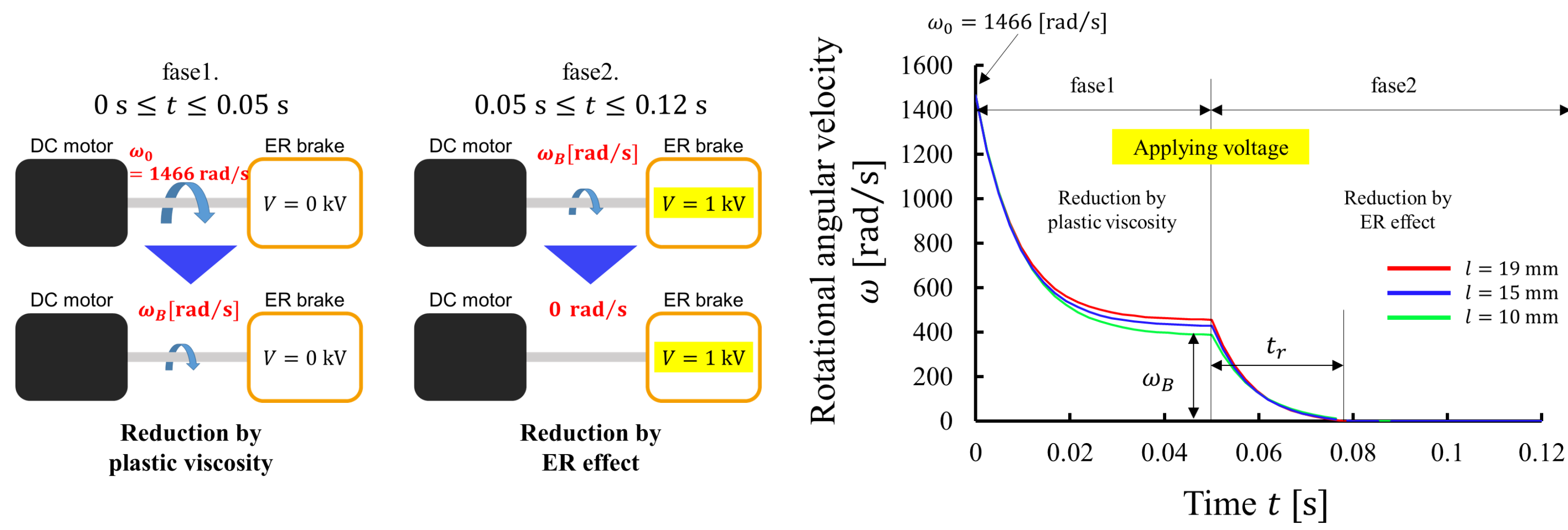
# 「小形ロボット用二重円筒形ERブレーキの設計と試作」

## “Design and Fabrication of Double Cylindrical Type of ER Brake for Micro-robot”

法政大学大学院デザイン工学研究科システムデザイン専攻 ○北野 友規, 佐藤悠太, 外川貴規, 田中 豊

### 4. シミュレーションによる設計パラメータの選定

二重円筒形ERブレーキのシミュレーションを行った。以下には想定したシミュレーションの状況とシミュレーションの結果について示す。



シミュレーションで仮定した状況

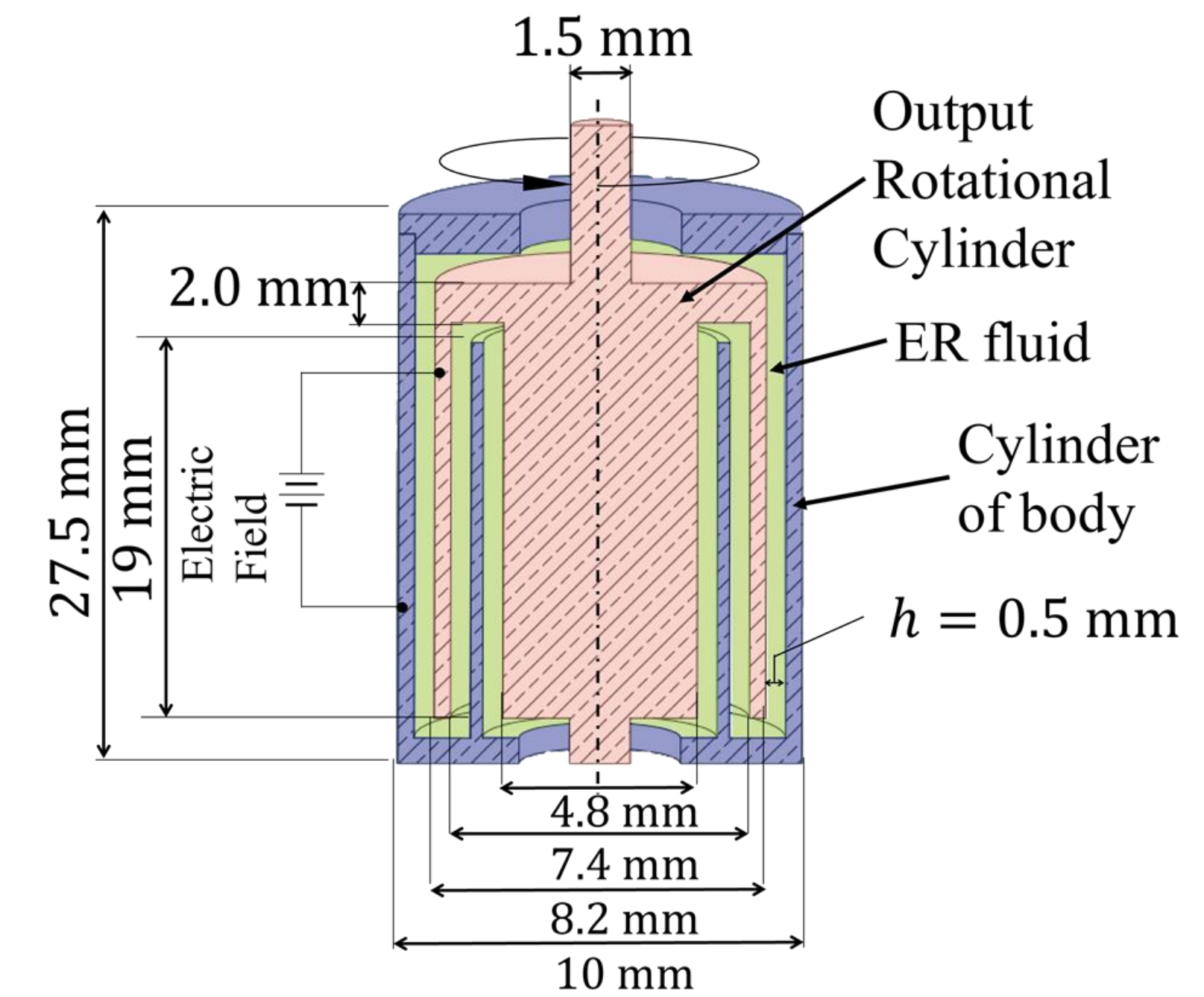
代表的なシミュレーション結果

シミュレーションに使用した形状パラメータと選定結果

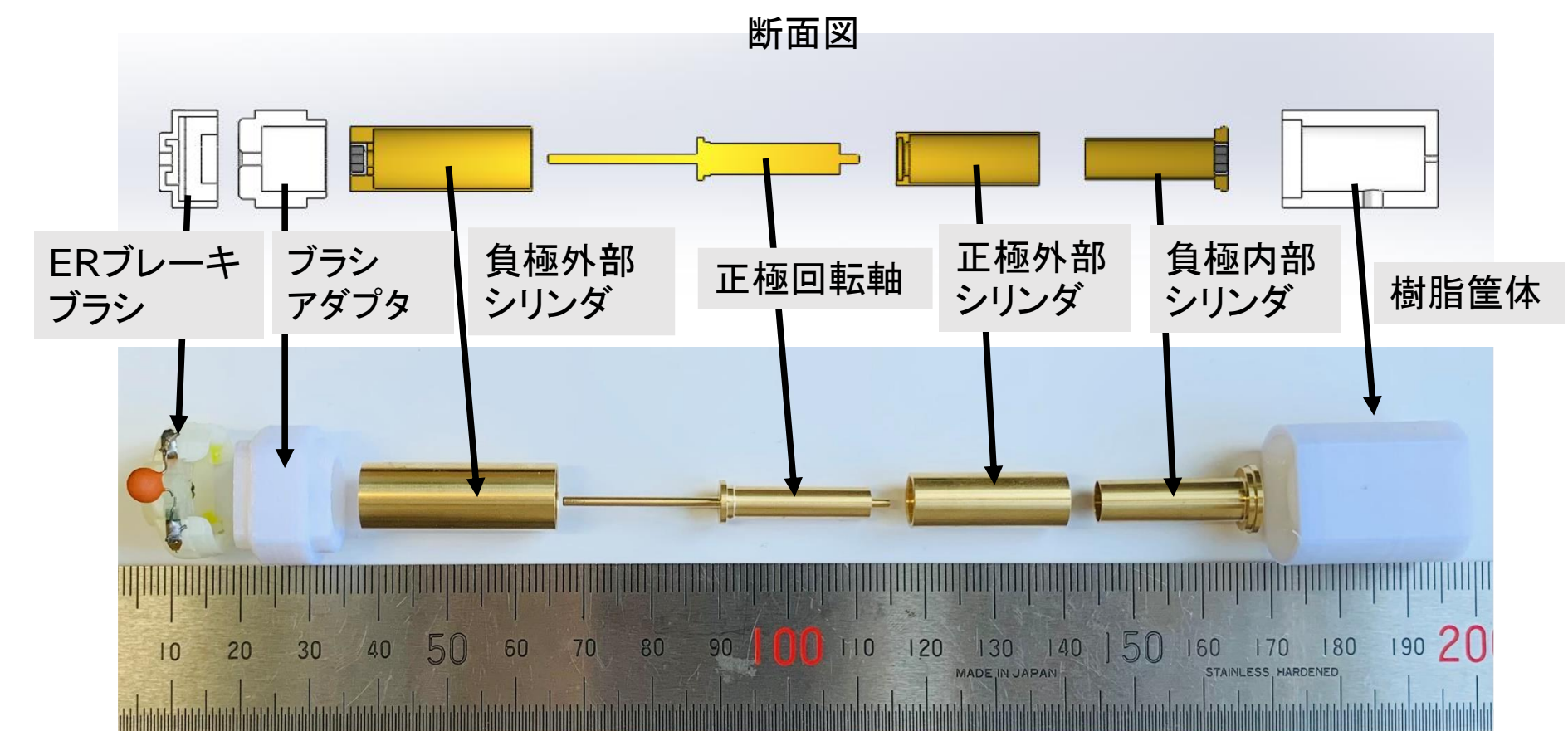
$l$ [mm]	10	12	14	15	16	17	18	19	20
$d_1$ [mm]	7	6.2	5.8	5.4	5.2	5	4.8	4.8	4.2
$d_2$ [mm]	9.6	9	8.4	8.2	8	7.8	7.6	7.4	7.2
$d_3$ [mm]	10.4	9.8	9.2	9	8.8	8.6	8.4	8.2	8.2
$\omega_B$ [rad/s]	382.7	398.5	418.3	425.6	431.1	438.2	446.7	453.2	456.9
$t_r$ [ms]	33.3	29.9	30.2	29.9	28.5	28.3	29	28.1	30.6
$J$ [g mm <sup>2</sup> ]	128.9	118.4	111.6	107.6	105.4	103.2	100.9	99.9	103.2

### 5. 試作したブレーキ装置

シミュレーション結果から以下のように二重円筒形ERブレーキの設計値を定め、試作品を製作した。なお製作誤差は最大 $\pm 0.015$  mm程度である。



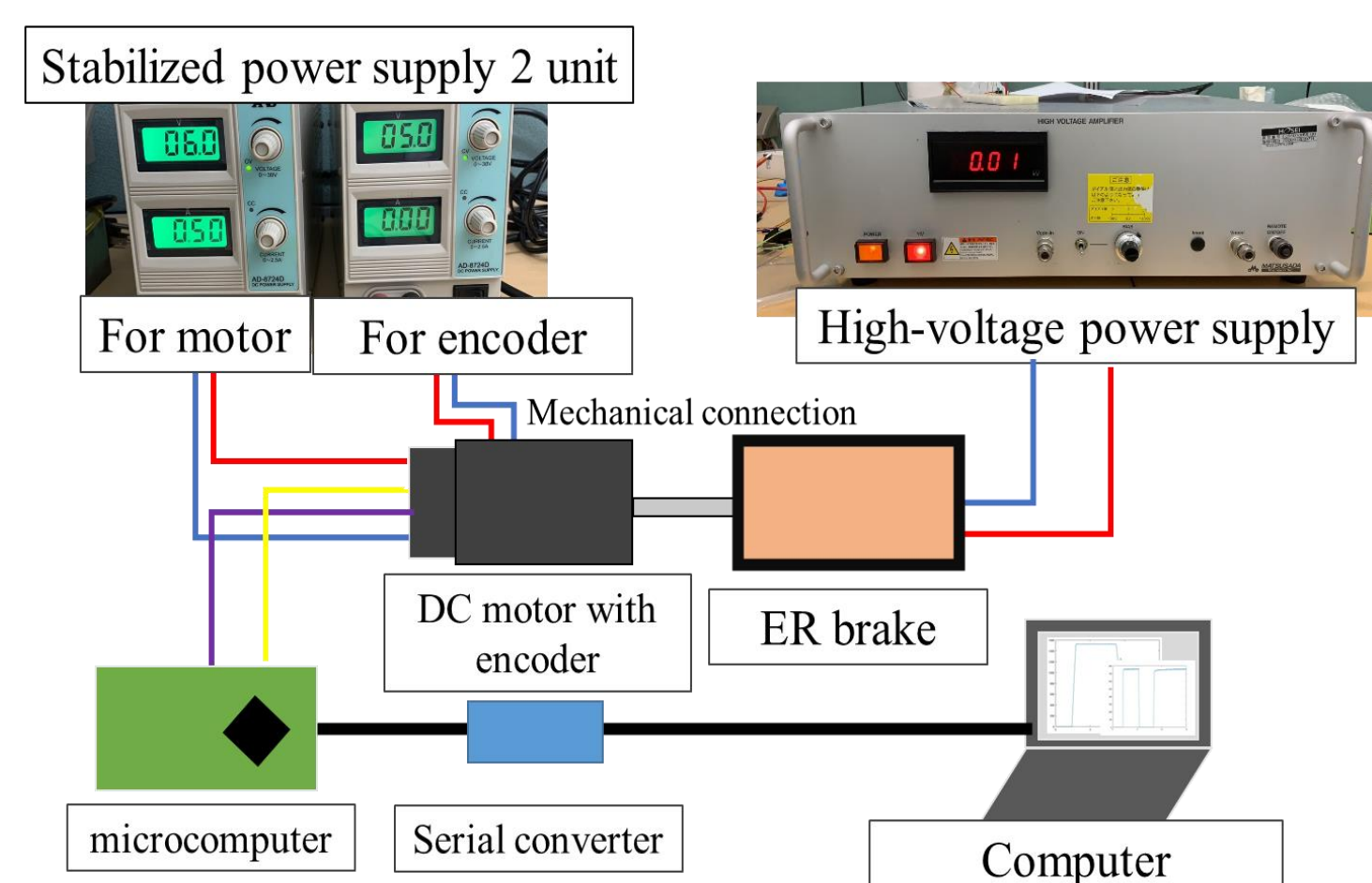
二重円筒形ERブレーキの設計値



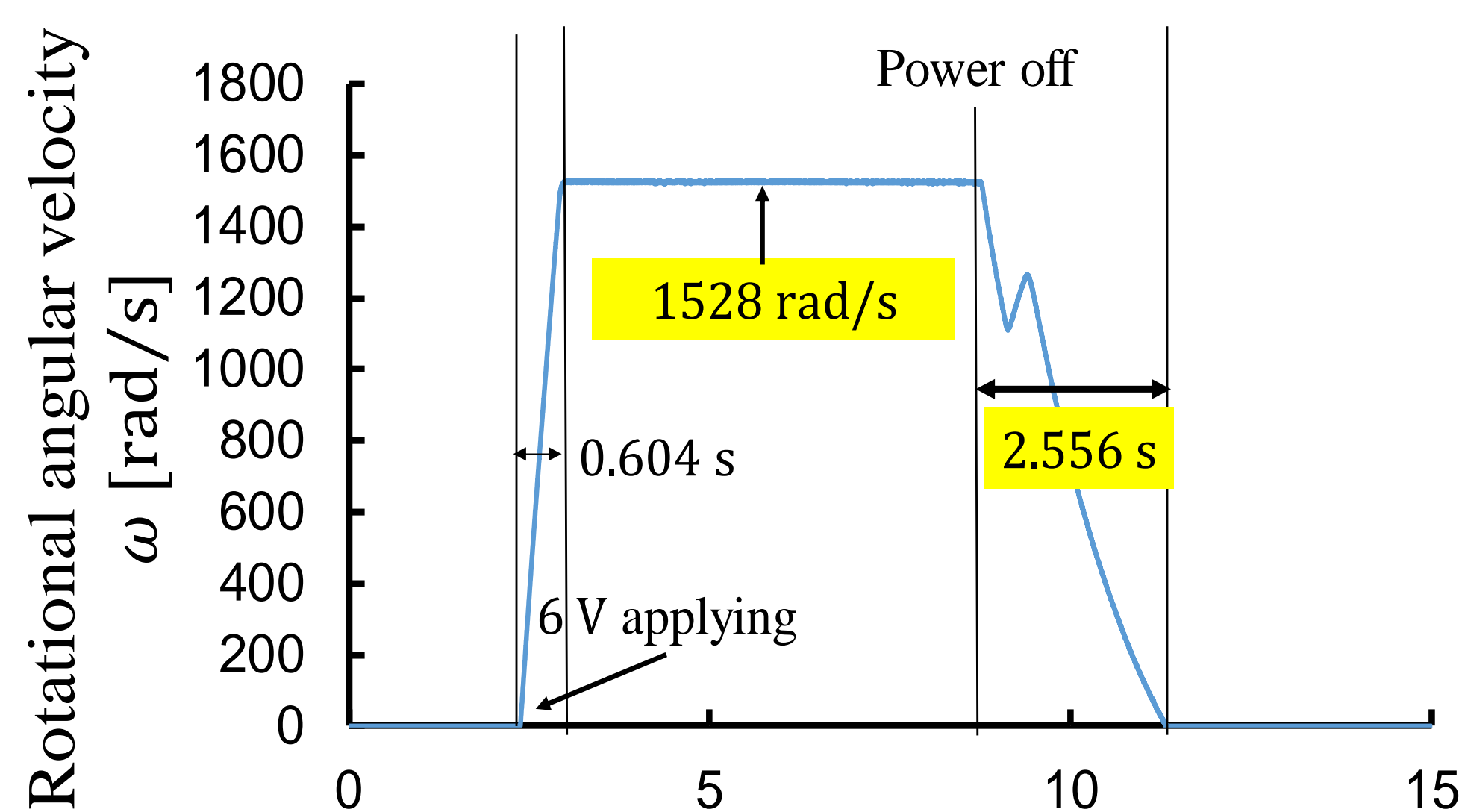
試作したERブレーキ装置

### 6. 評価実験とその結果

評価実験を行うにあたって以下のように実験装置を構成した。また、ERブレーキを接続した状態との比較のため、実験で使用したモータ (faulhaber1717T006SR) 単体に定格電圧6 Vを印加したときの時間に対する回転角速度の変化の様子も示す。

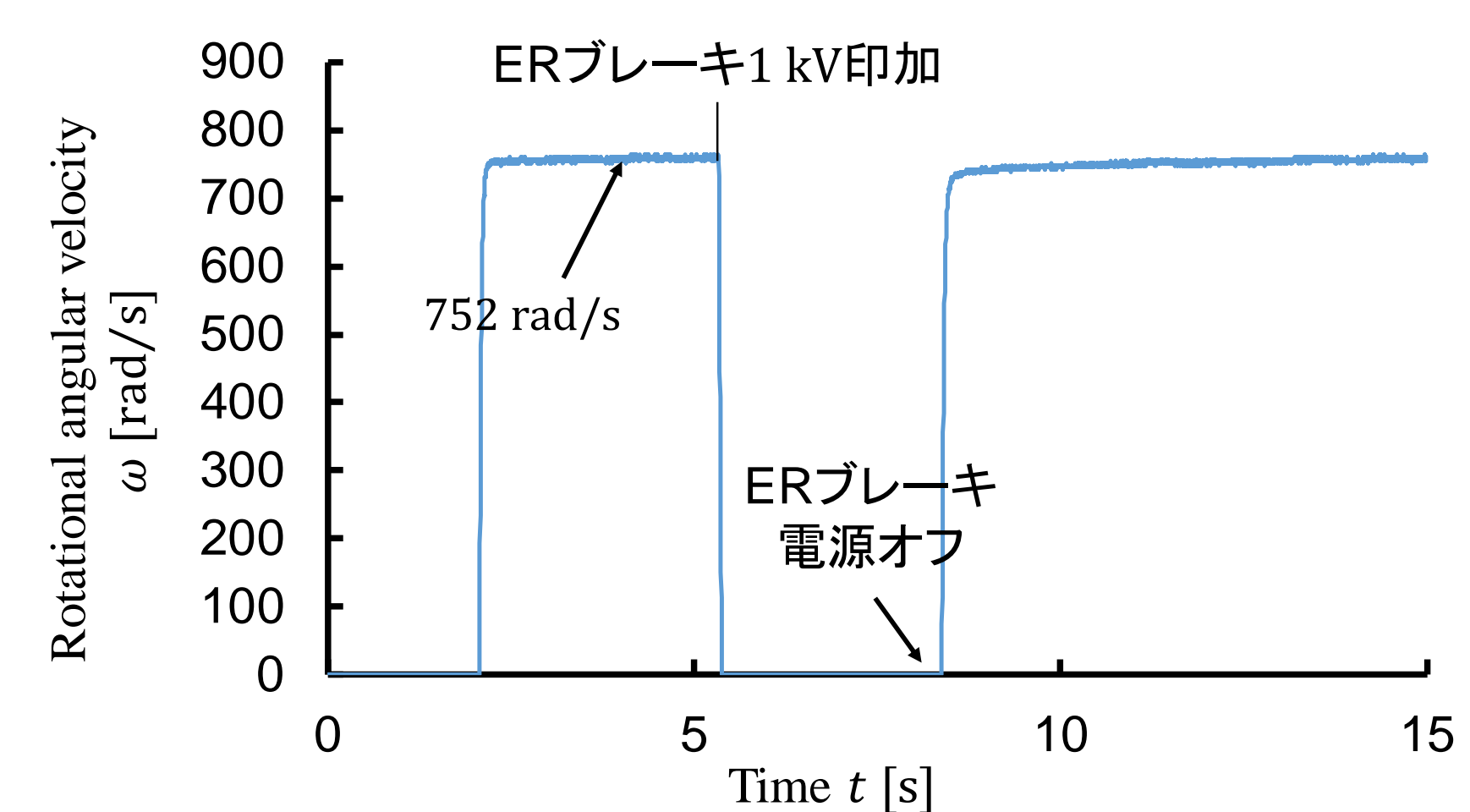


実験装置の構成

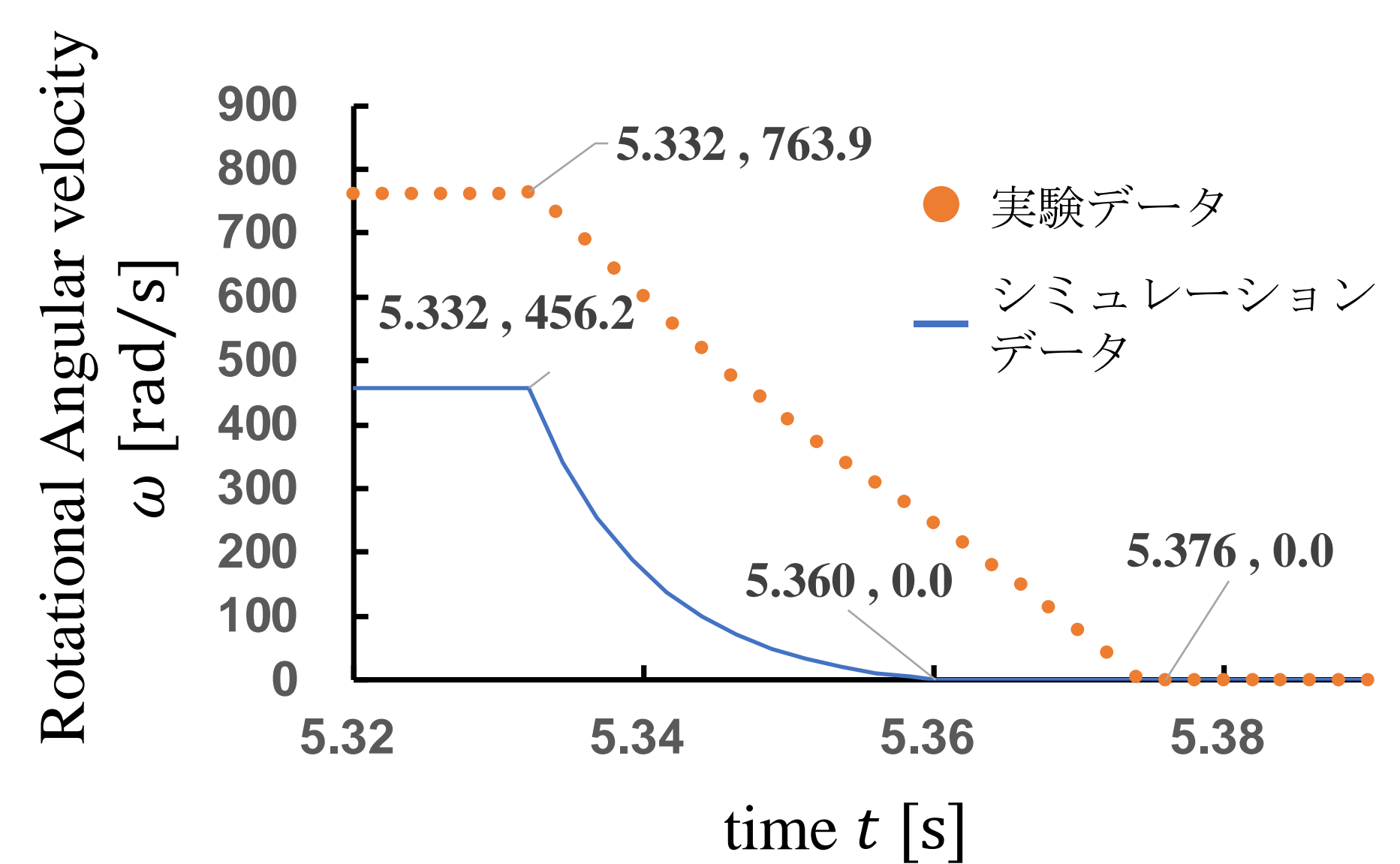


モータ単体の特性

### 実験結果



ERブレーキに1 kVの電圧を印加したときの回転角速度の変化



5.32 – 5.38 s 間でのシミュレーションと実験の比較

実験の結果、試作した二重円筒形ERブレーキは1 kVでモータの回転を止めることができることがわかった。また実験中、ブレーキは内部の接触によるショートを起こさず、安定して動作していた。このことから二重円筒形ERブレーキは多重円盤形ERブレーキの課題を克服できたといえる。

### 今後の展望

本研究では、先行研究で試作された多重円筒形ERブレーキの課題点を解決することを目的に二重円筒形ERブレーキを設計、試作した。今後はERブレーキとDCモータを一体化することによる全体のさらなる小形化を目指し研究を進める。