

「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”

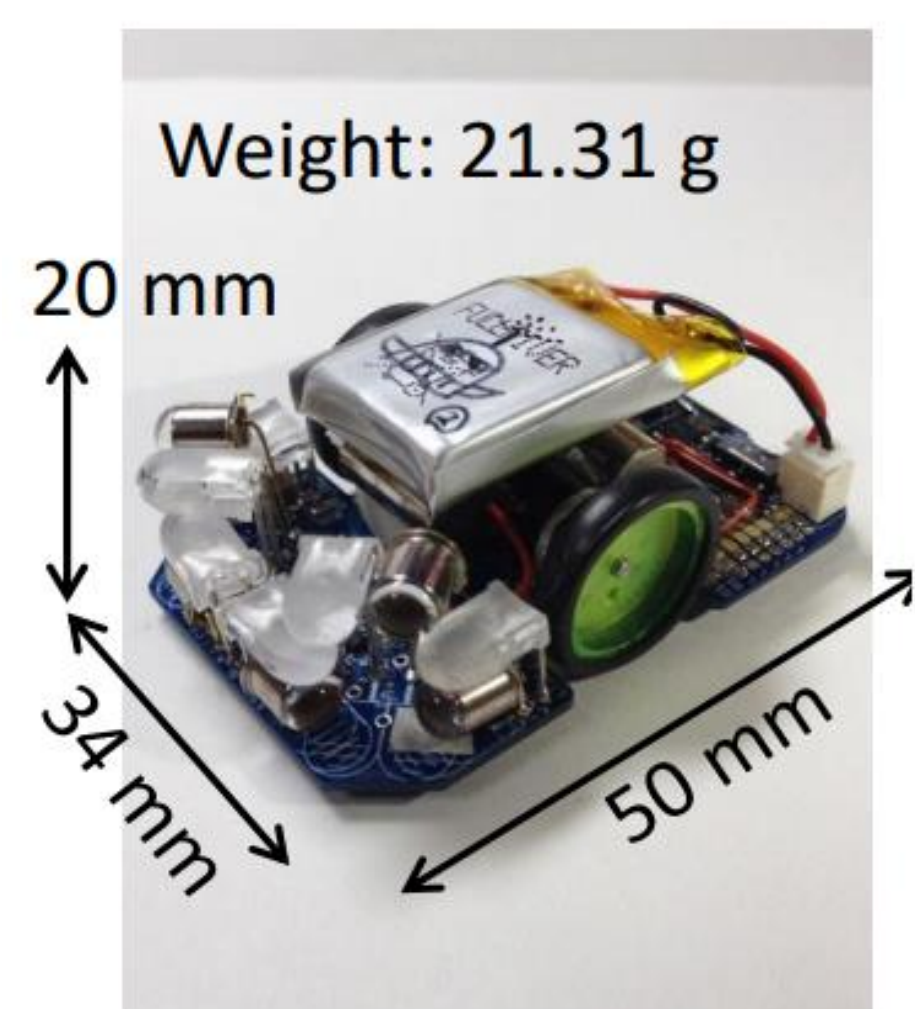
法政大学 高機能メカトロデザイン研究室 北野 友規 指導教員 田中 豊

概要

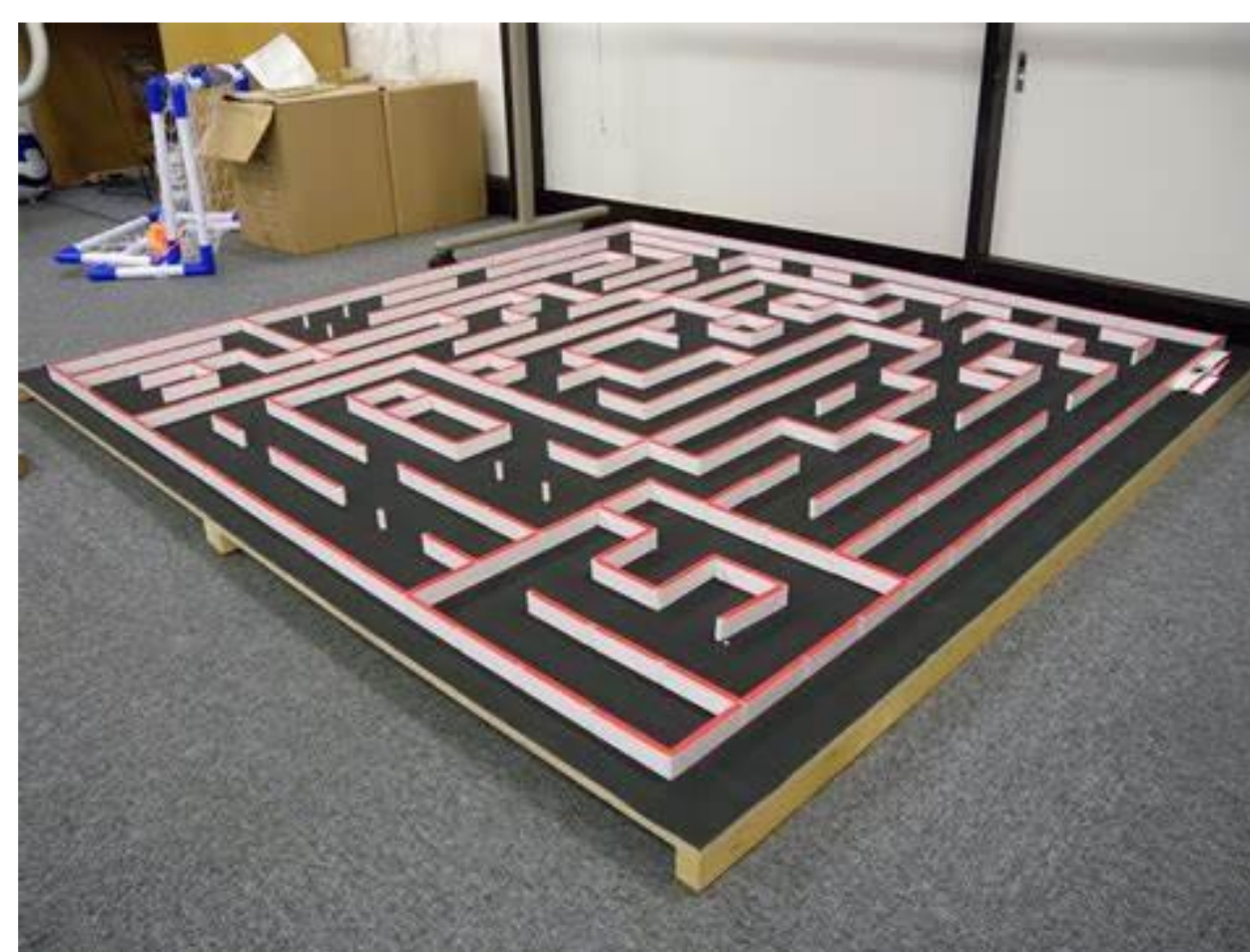
生活支援用小型ロボットは普通に我々の生活の中に普及してきており、将来的にもロボットの活用と技術的な発展は加速していくと考えられる。本研究では小型自律移動ロボットの足回り部品の強化を目的として、機能性流体を用いたブレーキングデバイスを試作し、評価実験を行ったため、その内容について報告する。

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磁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)

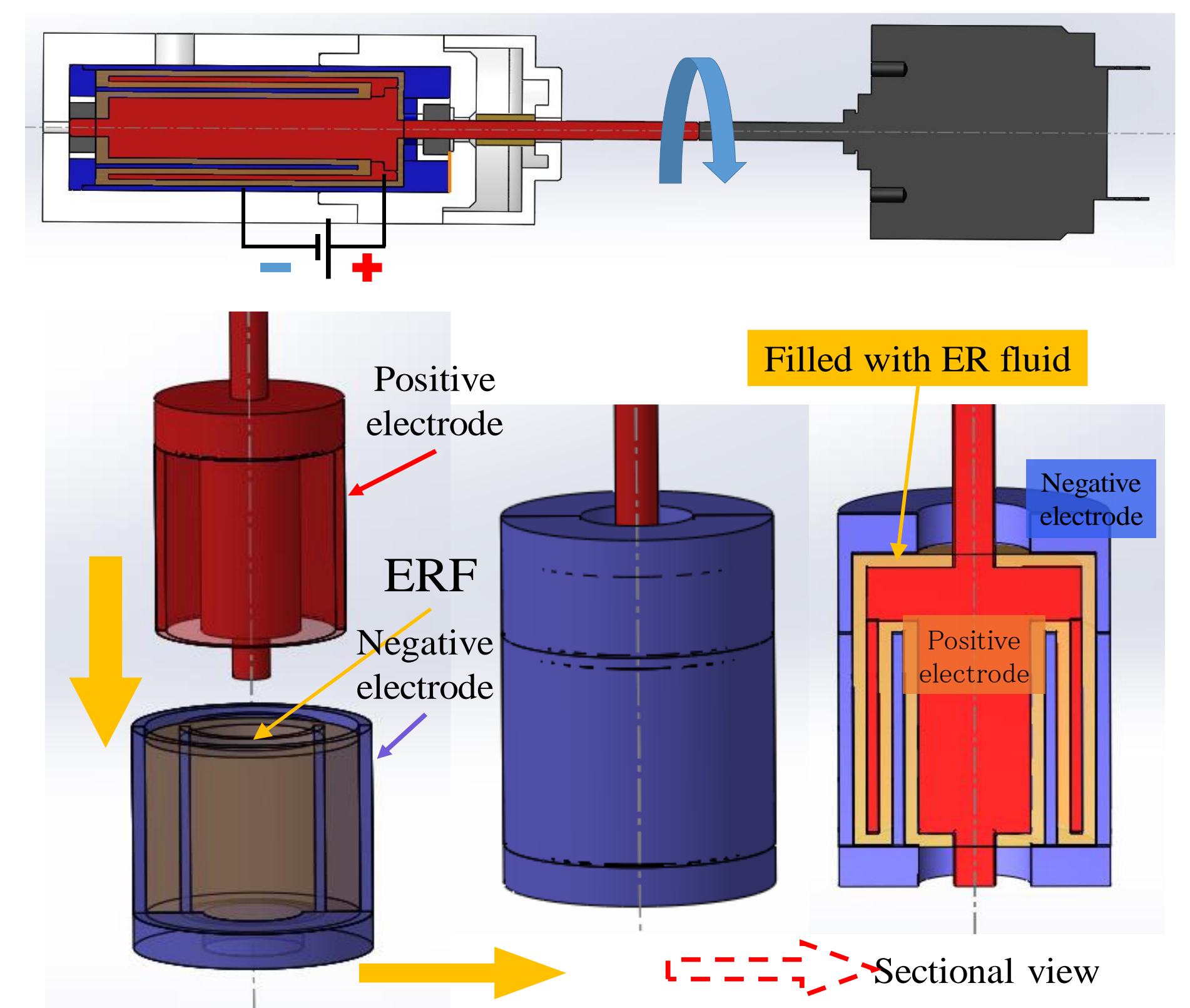


マイクロマウス競技における迷路

2. 研究目的

以上の背景から、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。

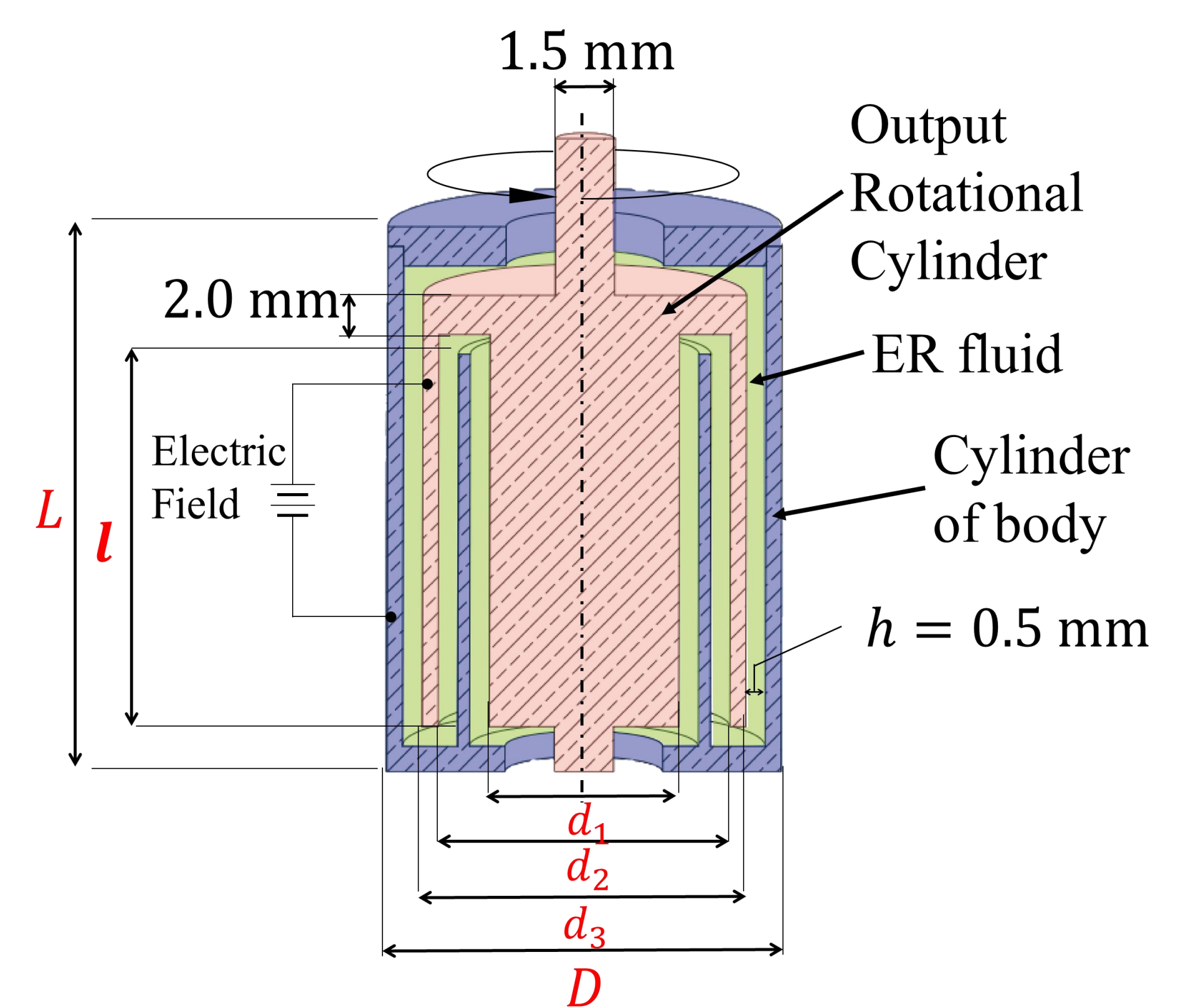
これにより、モータの回転を停止させるために必要な印加電圧を1 kVにすること。軸心を安定させることでブレーキ内でショートを起こさず安定して動作することを研究目的としている



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

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。電極部全体の直径を D [mm]、全体の長さを L [mm]、制動トルクの大きさに大きく関係する正極部品の直径を内側から d_1, d_2, d_3 [mm]、円筒部分が重なる箇所の長さを l [mm]とする。また電極間の隙間は $h = 0.5$ mmで固定値とする。



二重円筒形ERブレーキの構造

また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

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

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

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

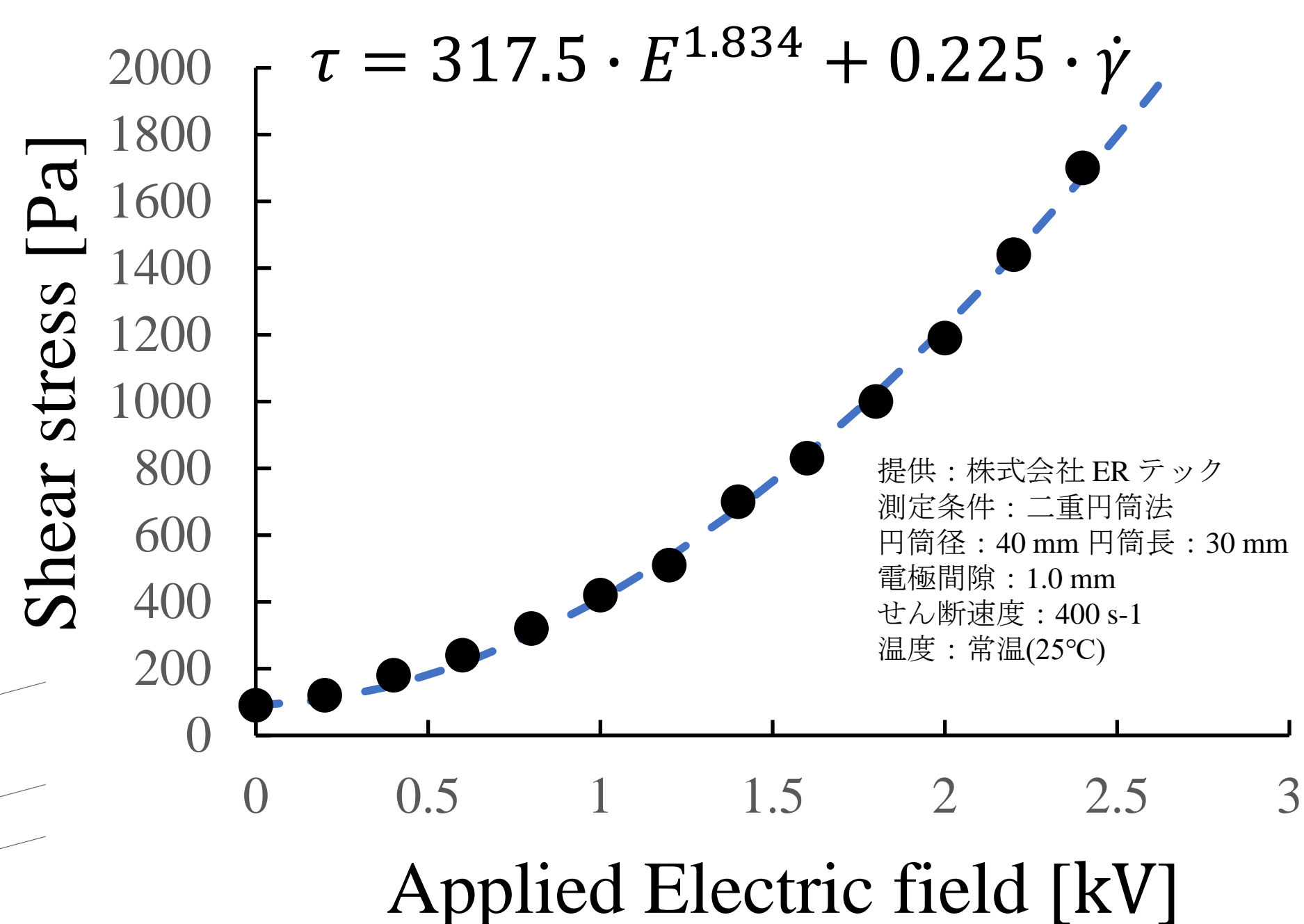
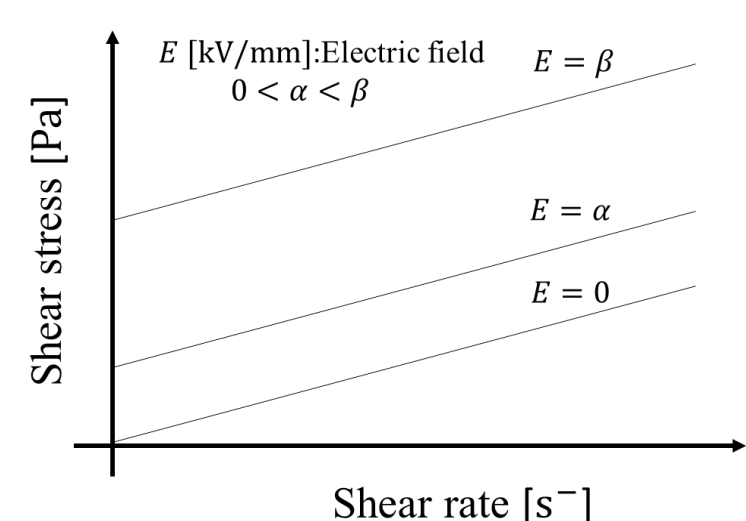
$$T_B = T_{B1} + T_{B2} + T_{B3} \quad (4)$$

ここで、 ω [rad/s]は回転系の回転速度、 μ_0 [Pa・s]はER流体の塑性粘度である。また、 $\tau_0(E)$ [Pa]は電界強度 E [kV/mm]に依存した誘起せん断応力である。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]として計算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

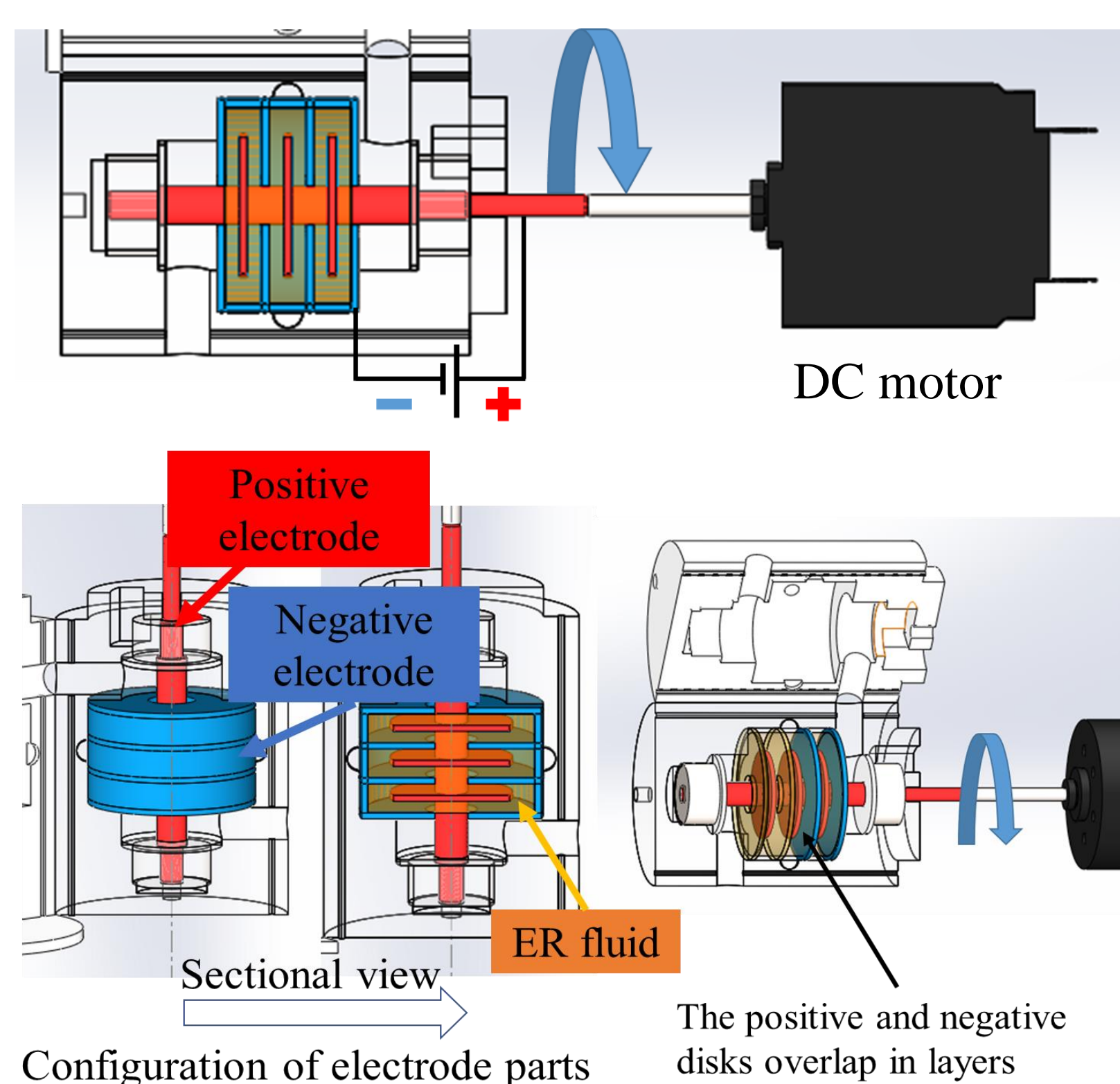


ER流体の概要



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。



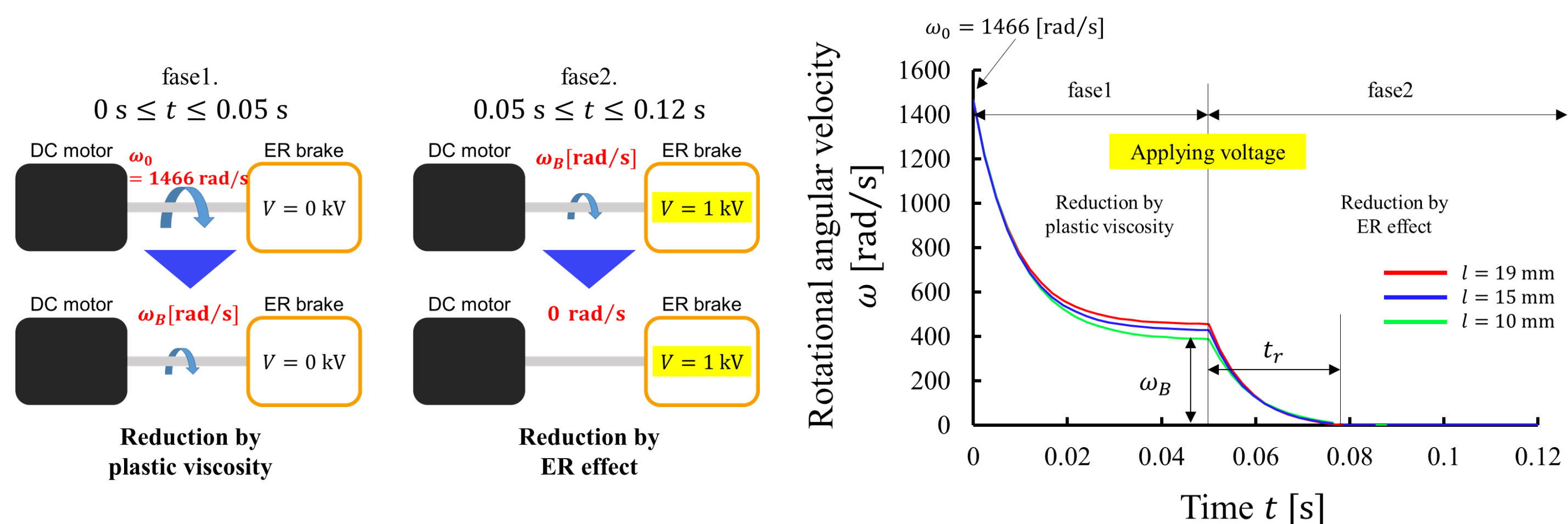
先行研究で試作された多重円盤形ERブレーキ

「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 高機能メカトロデザイン研究室 北野 友規 指導教員 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

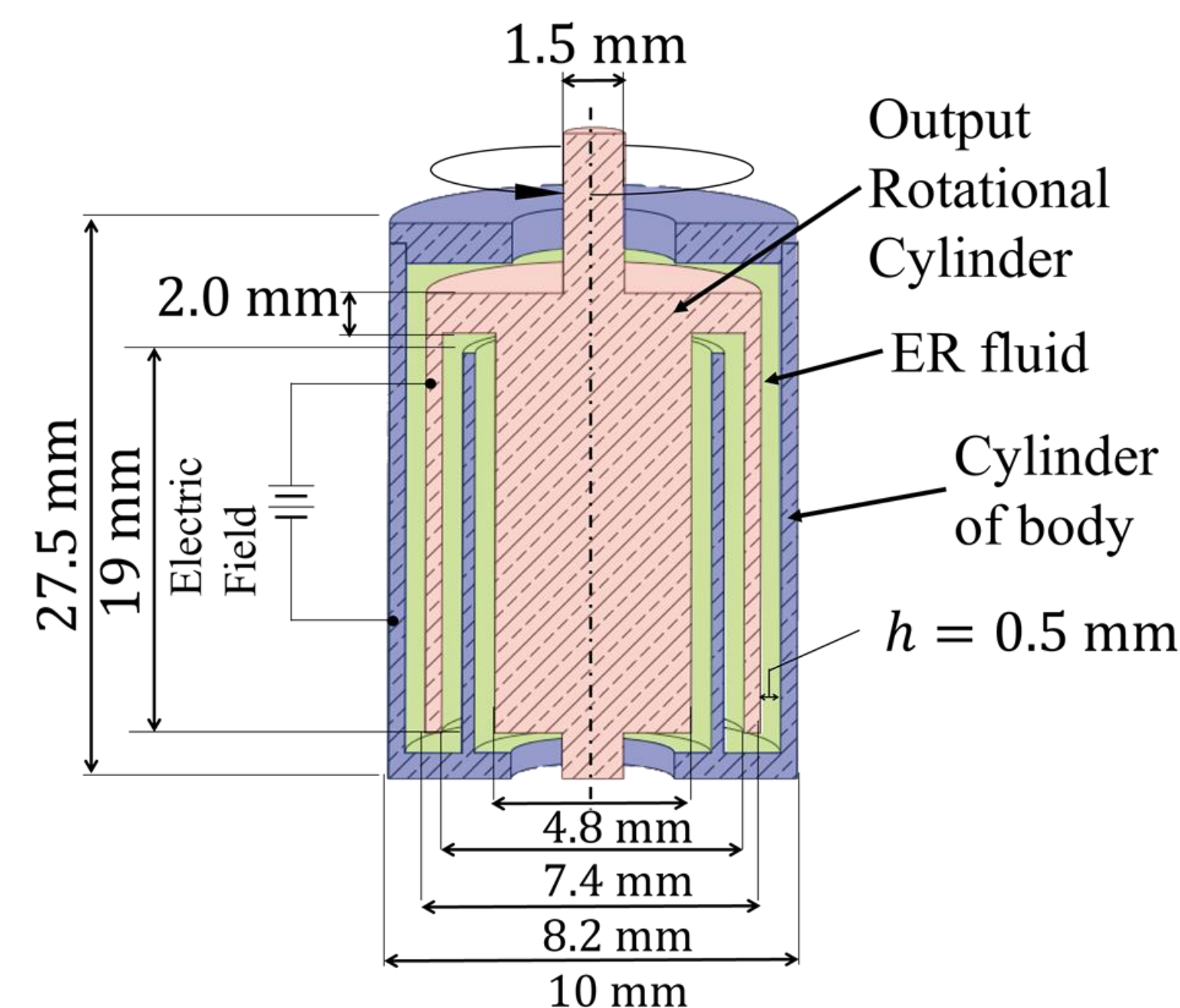
代表的なシミュレーション結果のグラフ

シミュレーション結果

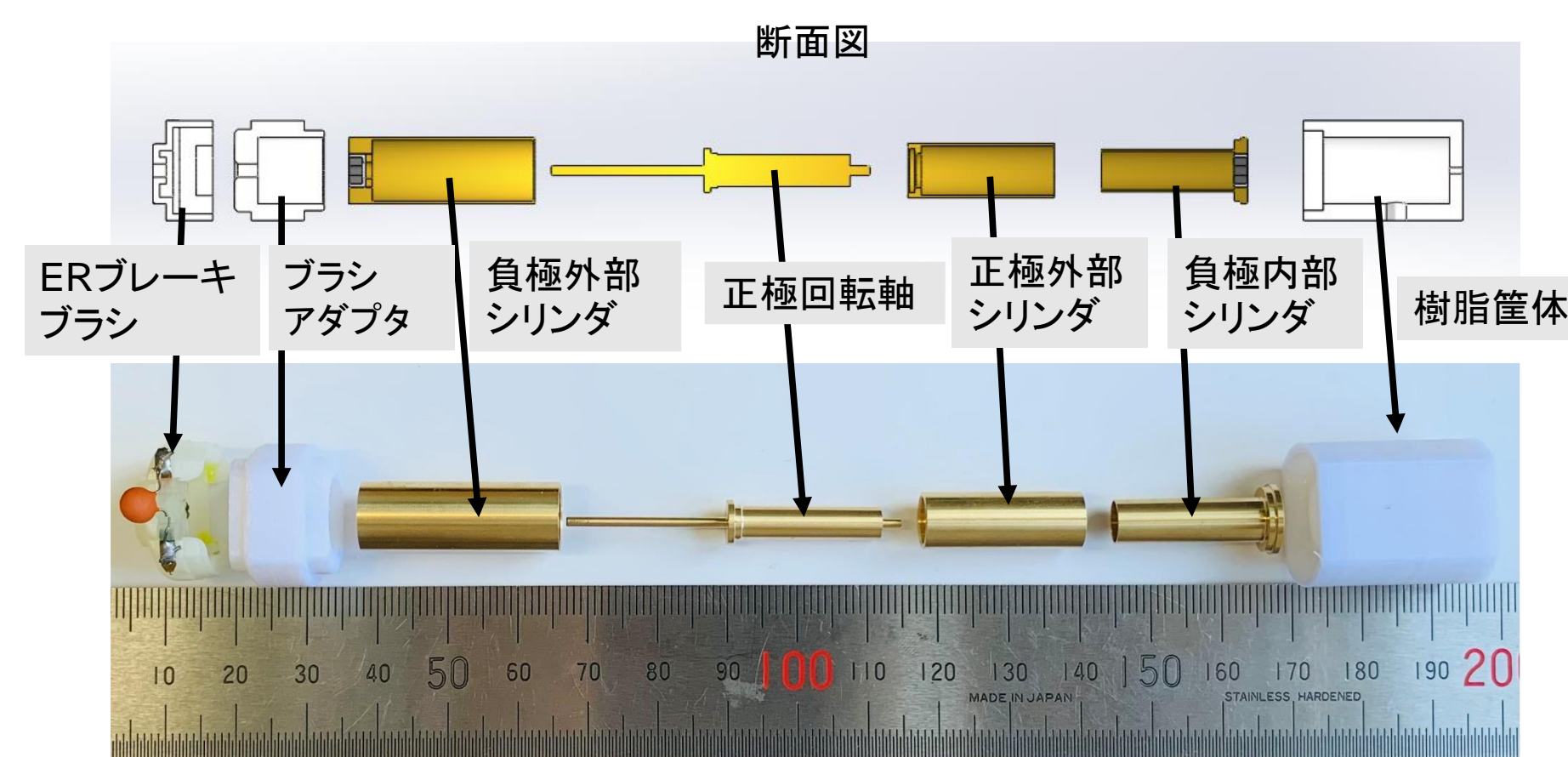
l [mm]	10	12	14	15	16	17	18	19	20
d_1 [mm]	7	6.2	5.8	5.4	5.2	5	4.8	4.8	4.2
d_2 [mm]	9.6	9	8.4	8.2	8	7.8	7.6	7.4	7.2
d_3 [mm]	10.4	9.8	9.2	9	8.8	8.6	8.4	8.2	8.2
ω_B [rad/s]	382.7	398.5	418.3	425.6	431.1	438.2	446.7	453.2	456.9
t_r [ms]	33.3	29.9	30.2	29.9	28.5	28.3	29	28.1	30.6
J [g mm ²]	128.9	118.4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

5. 試作品

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、試作品を作った。なお誤差は最大でも ± 0.015 mm程度である。



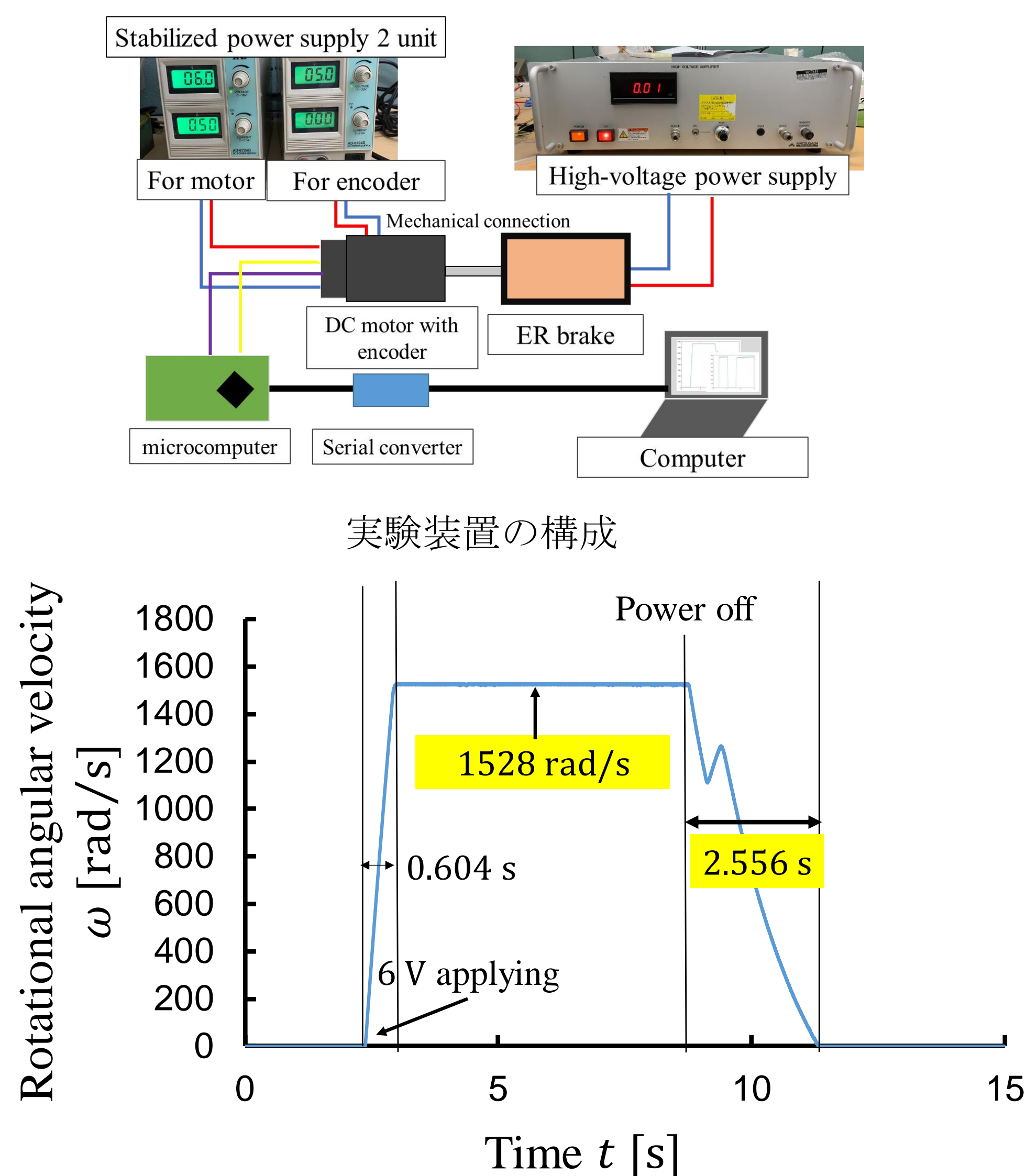
二重円筒形ERブレーキの設計値



二重円筒形ERブレーキの設計値

5. 評価実験

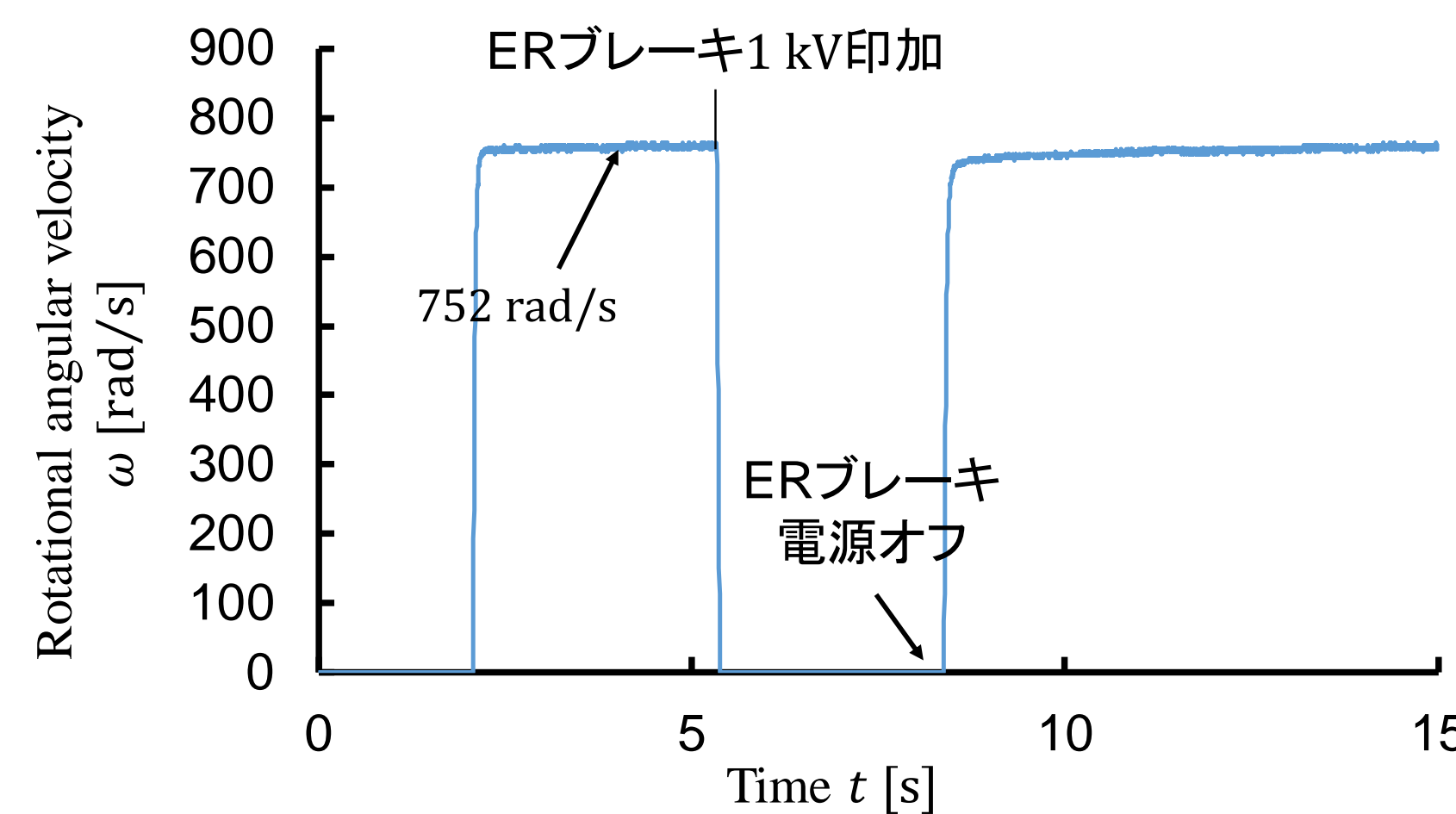
評価実験を行うにあたって以下のように実験装置を構成した。また、ERブレーキと接続した状態との比較のため、実験で使ったモータ (faulhaber1717T006SR) 単体に定格電圧6 Vを印加したときの時間に対する回転角速度のグラフも示す。



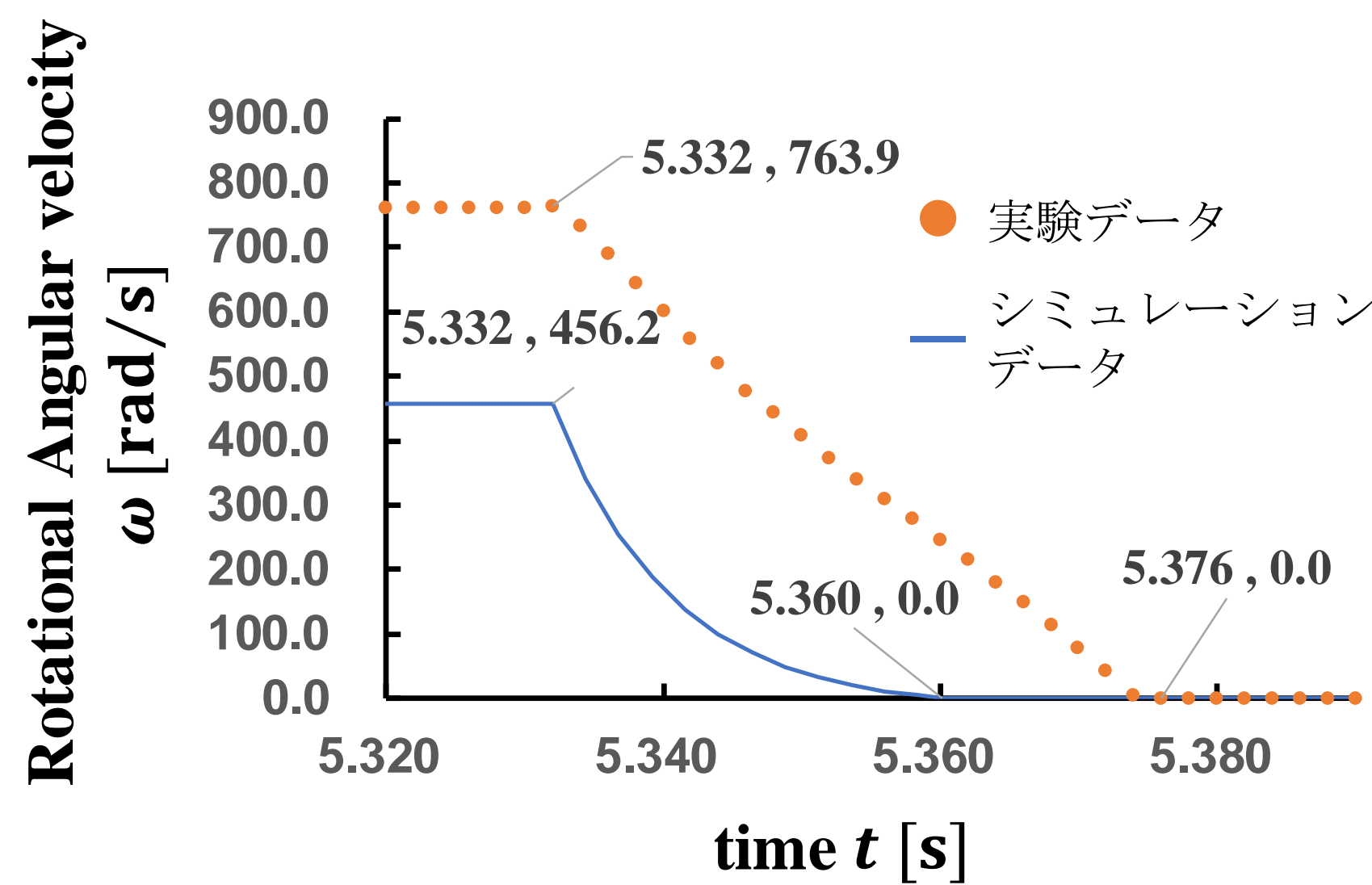
実験装置の構成

二重円筒形ERブレーキの設計値

実験結果を示す。またERブレーキに電圧を印加してから回転系の回転が停止するまでの5.32 s – 5.38 s 間でのシミュレーションと実験の比較をさらに下に示す



ERブレーキに1 kVの電圧を印加したときの回転角速度



5.32 – 5.38 s 間でのシミュレーションと実験の比較

実験結果から二重円筒形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小型化を目指し研究を進める予定である。