

低融点合金を用いた巻取型高剛性長尺アーム —加熱装置の改良と関節構造の検討—

○ 室越廉士（福島大学） 正 高橋隆行（福島大学）

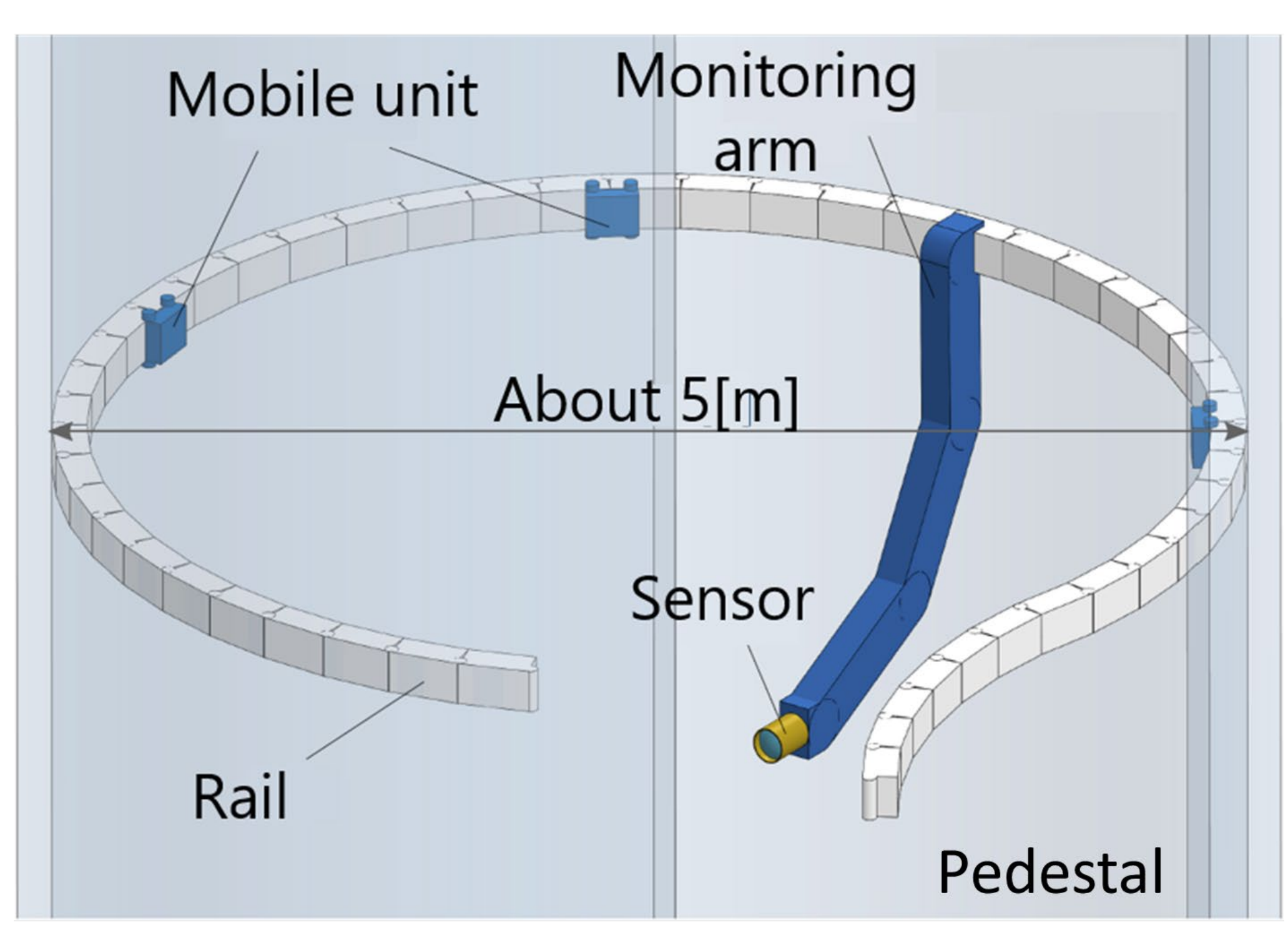
ガタつきが全くない超多関節アーム

Abstract: We are developing a winding type high rigid long arm using low melting point alloy (LMPA) for internal reactor surveys to support decommissioning operations. The joints of this arm switches their states between locked and free joints by utilizing the phase change of the LMPA. In this paper, we improve the power efficiency of the induction heating device used to melt the LMPA by re-examining the coil shape and joint structure.

研究背景・目的

福島第一原発の廃炉計画の一つとして、燃料デブリの取り出しを安全、確実かつ合理的に行うため、**取り出し作業状況モニタリングプラットフォーム**の開発が行われている

研究目的：モニタリングアームの開発^[1]

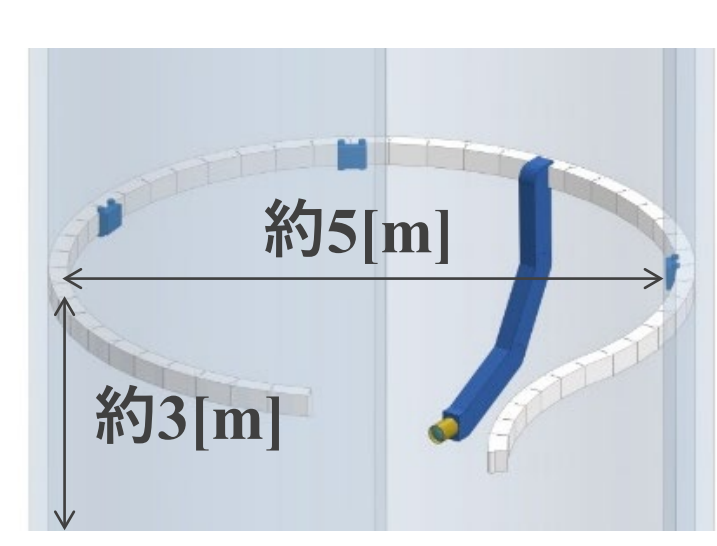


アームの要求仕様



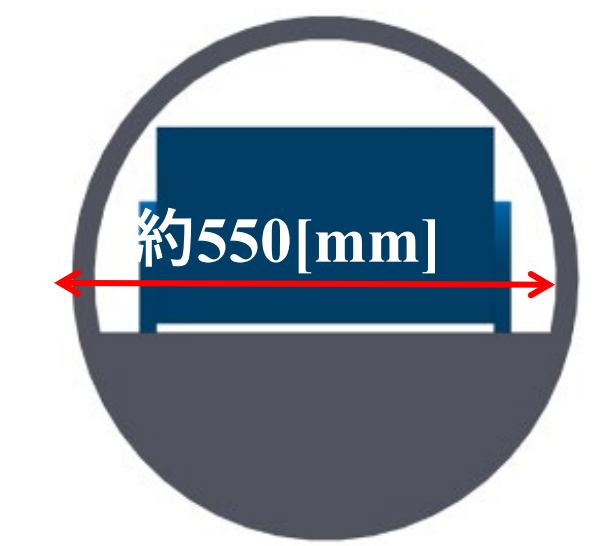
耐放射線性

放射線量：6～8 [Gy]

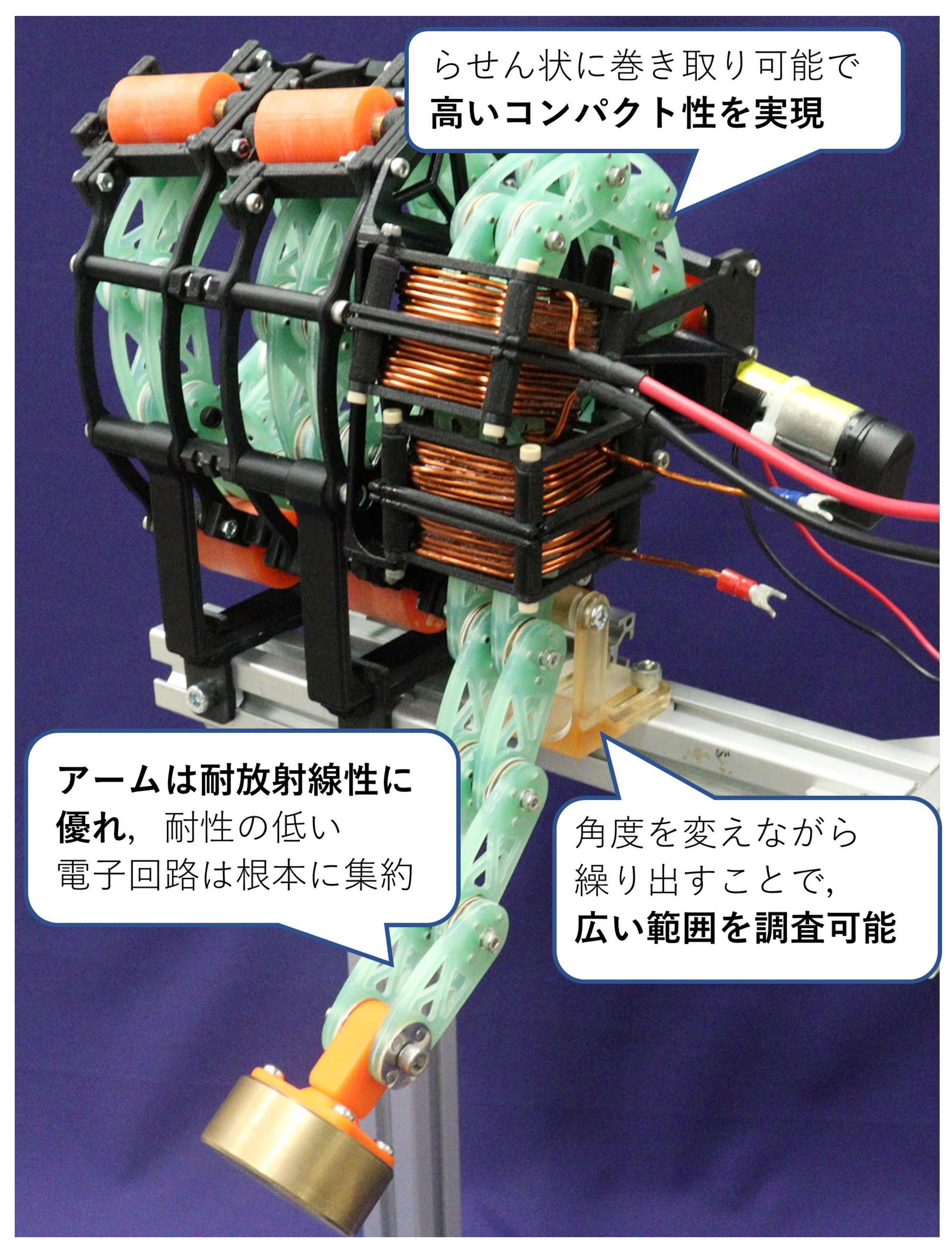


長尺性

長さ：1 [m] 搬入口直径：約550 [mm]



コンパクト性



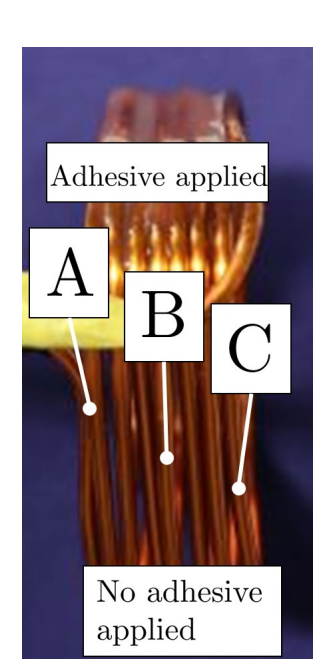
らせん状に巻き取り可能で
高いコンパクト性を実現

アームは耐放射線性に
優れ、耐性の低い
電子回路は根本に集約

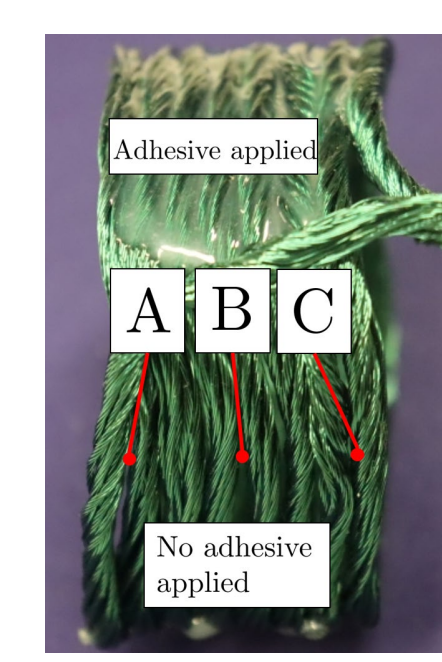
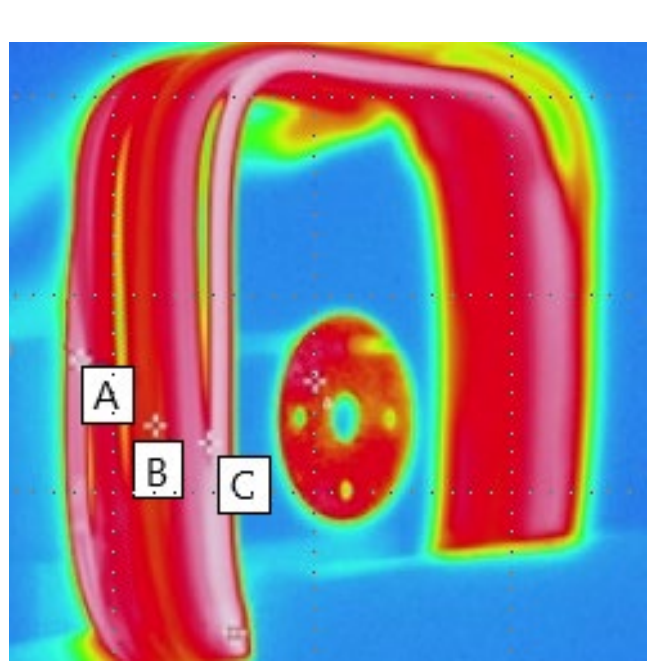
角度を変えながら
繰り出すことで、
広い範囲を調査可能

先行研究

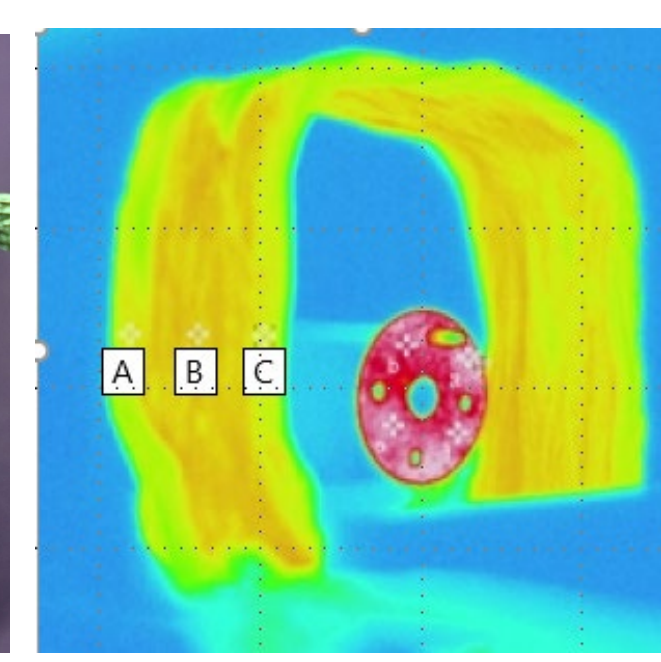
加熱装置のコイル自己発熱改善^[2]



改良前 単線コイル

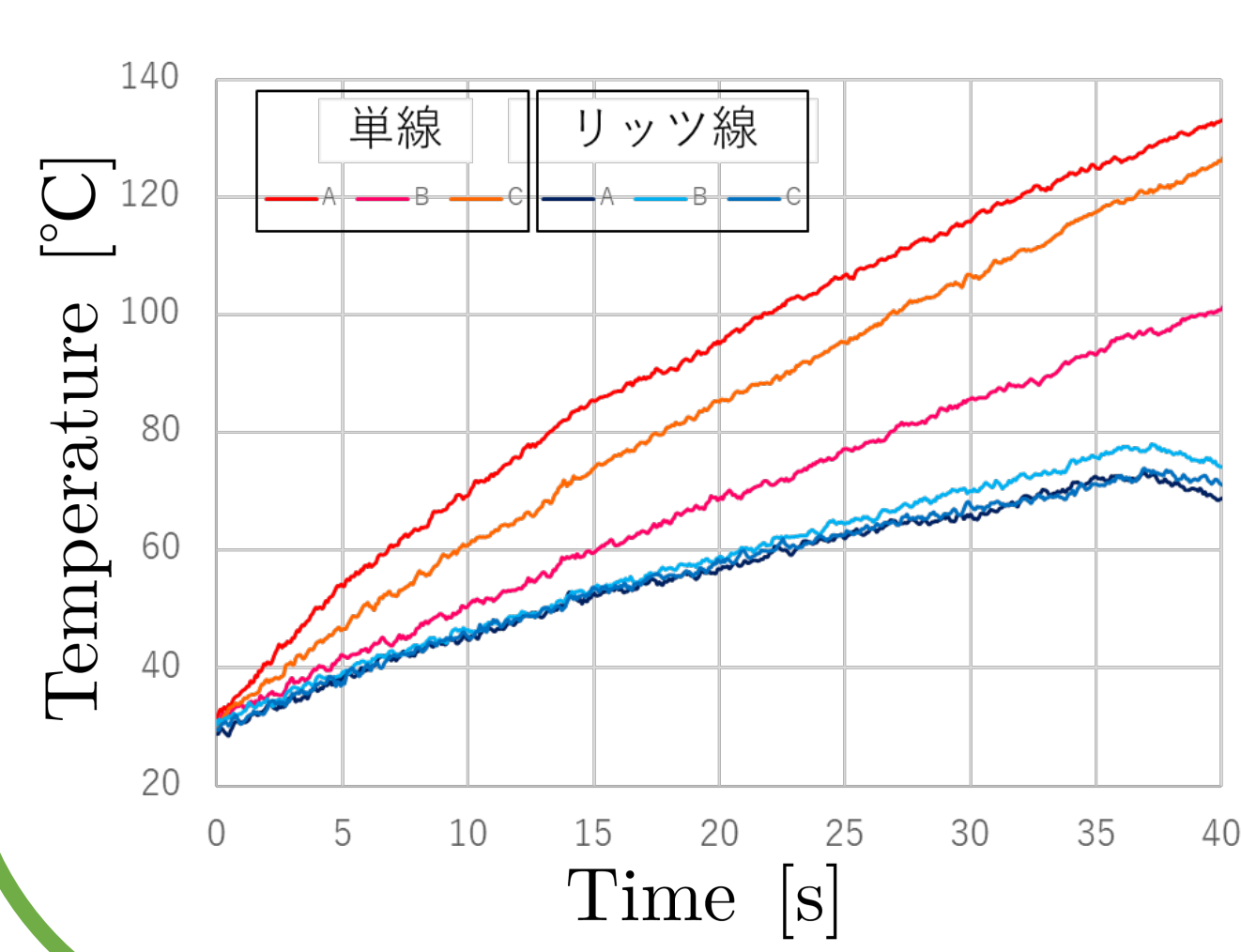


改良後 リッツ線コイル



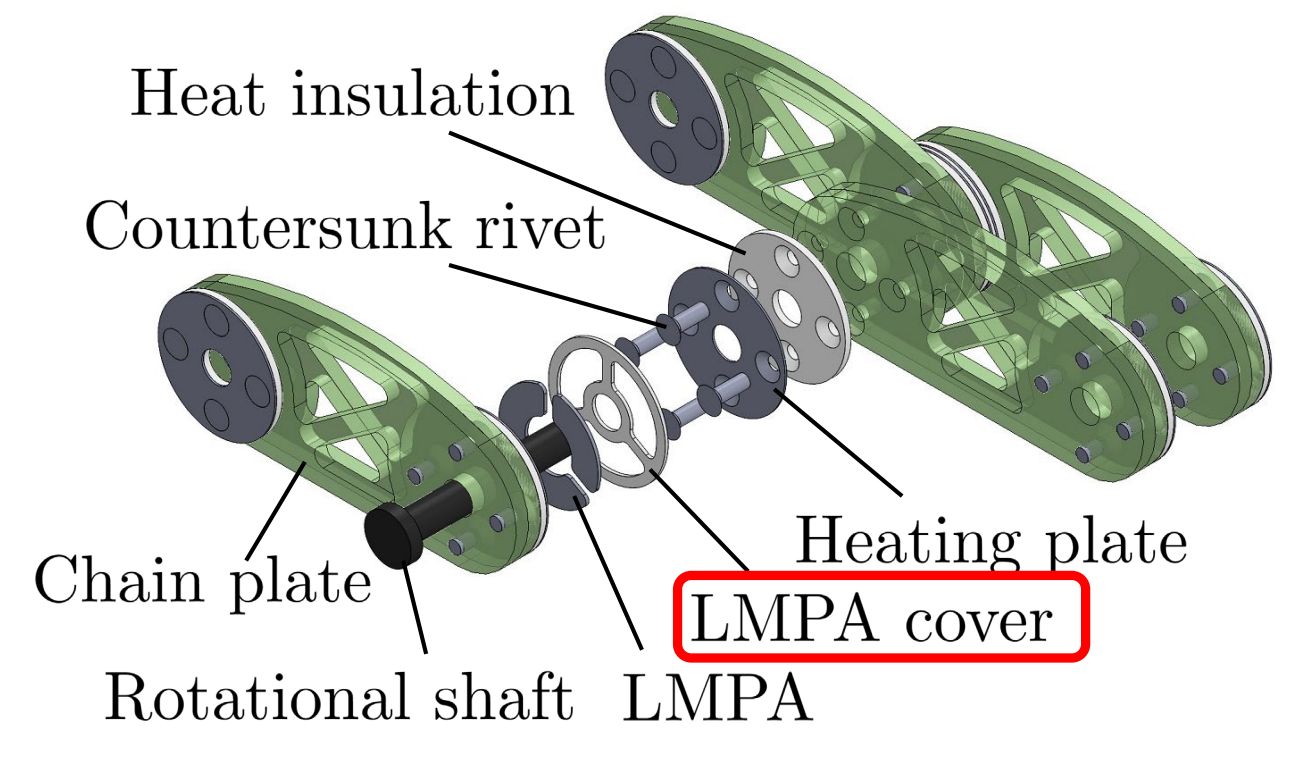
改良効果

- ・リッツ線の採用により表皮効果、近接効果を抑制
- ・その結果、コイルの自己発熱を抑制
- ・コイル端部の温度上昇を110 [°C]から70 [°C]へ低減



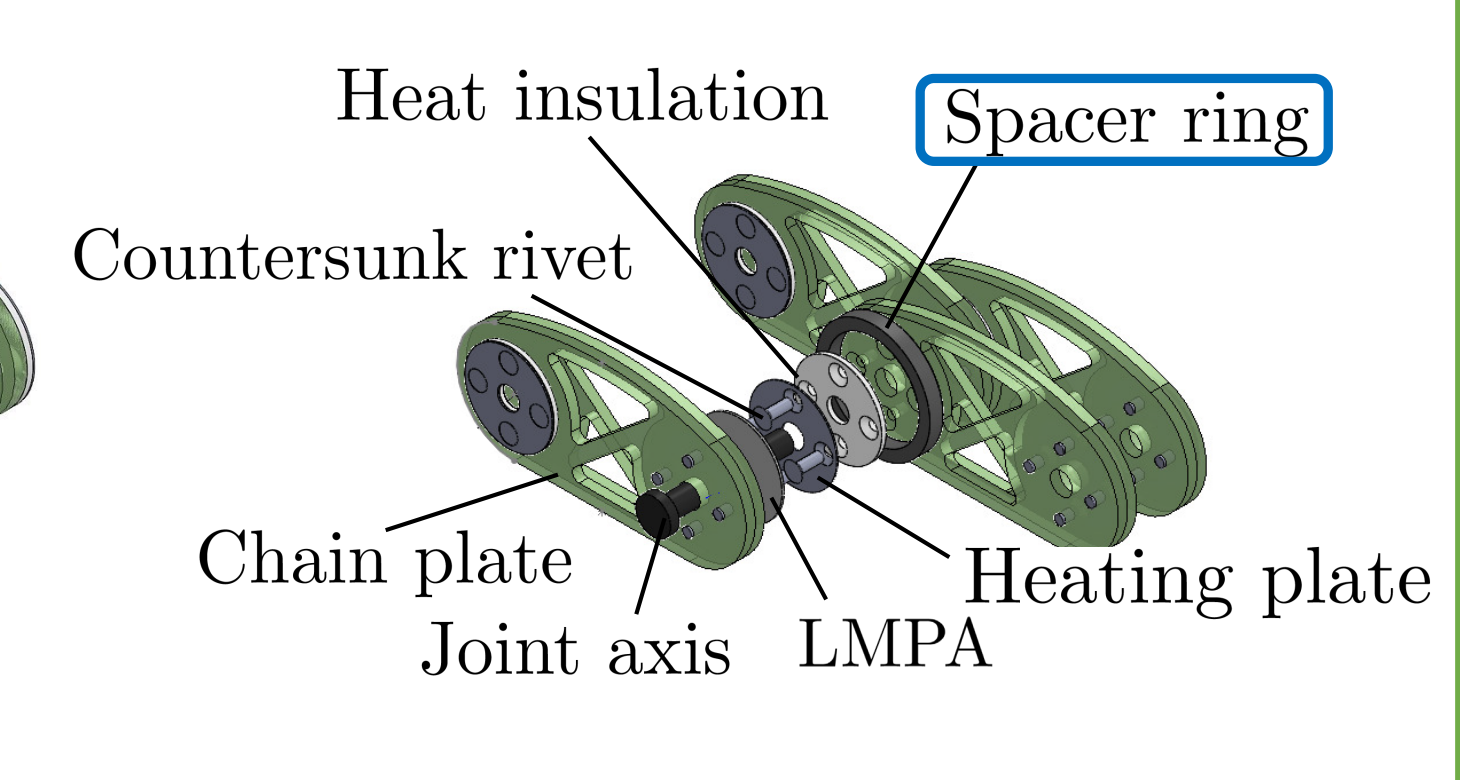
関節構造の改良^[2]

改良前



課題
数回の動作でLMPAが漏れる
LMPA coverの変形によって漏れる
LMPA coverを廃止

改良後



LMPAの漏洩を防ぐため、**Spacer ringを追加**
改良後
20回の動作でも漏れない

[1] 横田開ほか, "低融点合金を用いた巻取型高剛性長尺アーム-関節構造の改良およびアーム軽量化, 巻取システムの具現化", ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2025, 1A1-O07

[2] 室越廉士ほか, "低融点合金を用いた巻取型高剛性長尺アーム-加熱コイルおよび関節の改良-", 計測自動制御学会東北支部第355回研究集会2025, 355-2

誘導加熱装置の電力効率の測定

電力効率を上げたい

これまでの加熱装置
電力効率：4 [%] 投入電力量：3000 [J]

効率が低い

電力効率測定方法

電力効率の式 $\eta = \frac{Q}{W} \times 100 [\%]$

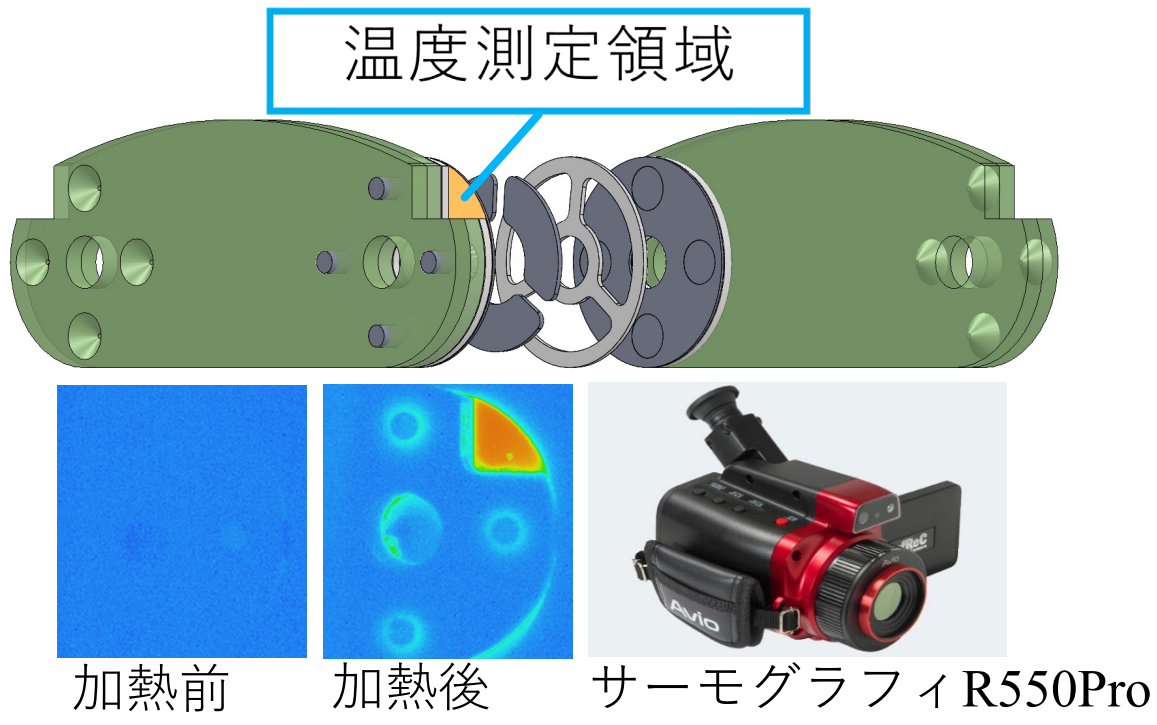
消費電力量Q

$Q = mc\Delta T$

m [kg]：重量, c [J/(kg・K)]：比熱
ΔT [K]：温度変化

計算に使用した物性値

発熱材 (1 枚)	m_p	0.00061	kg
LMPA	m_L	0.00105	kg
発熱材	c_p	461	J/(kg・K)
LMPA	c_L	176	J/(kg・K)



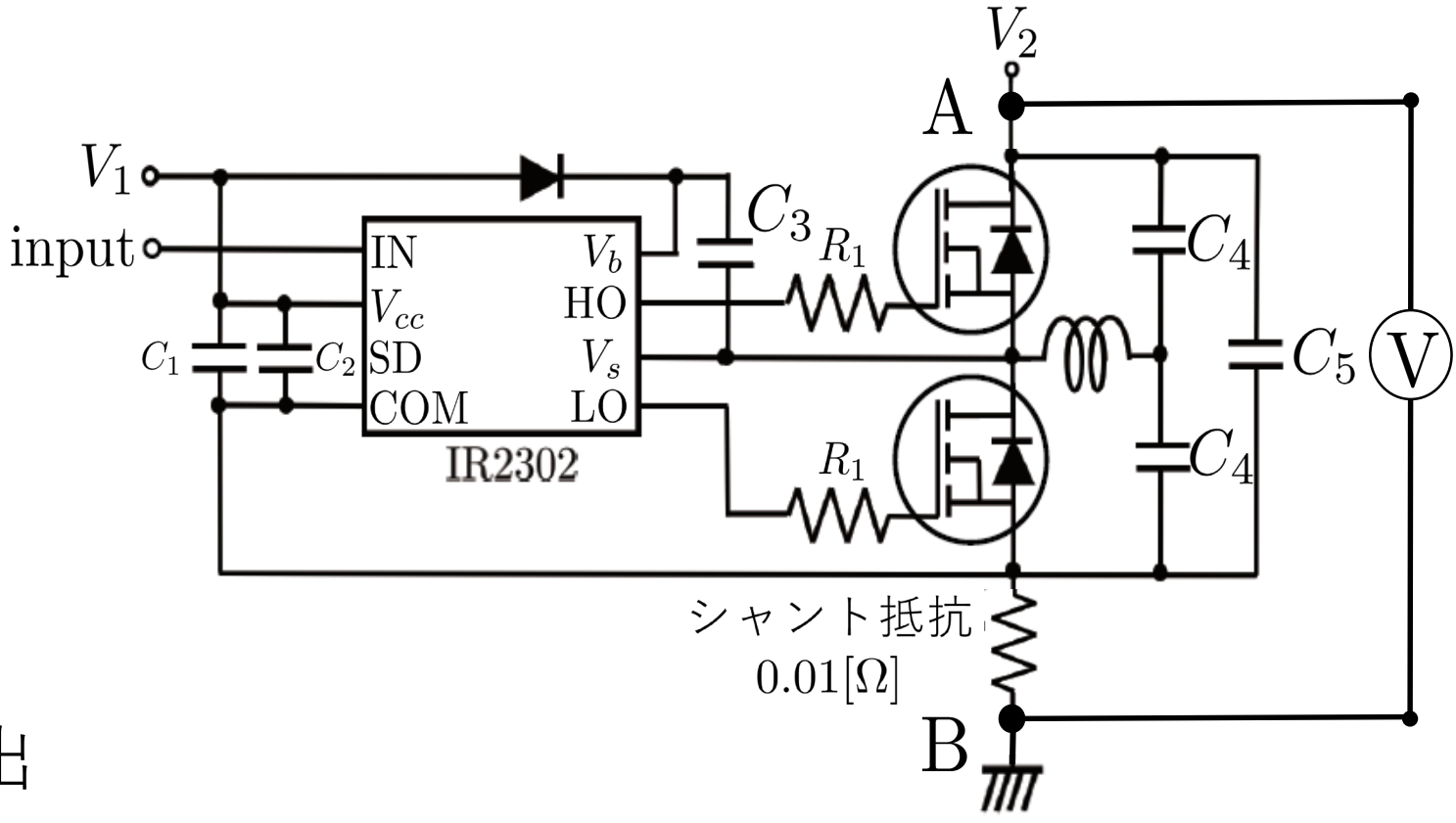
発熱材の加熱前後の
温度差から ΔT を算出

投入電力量W

$W = VIt$

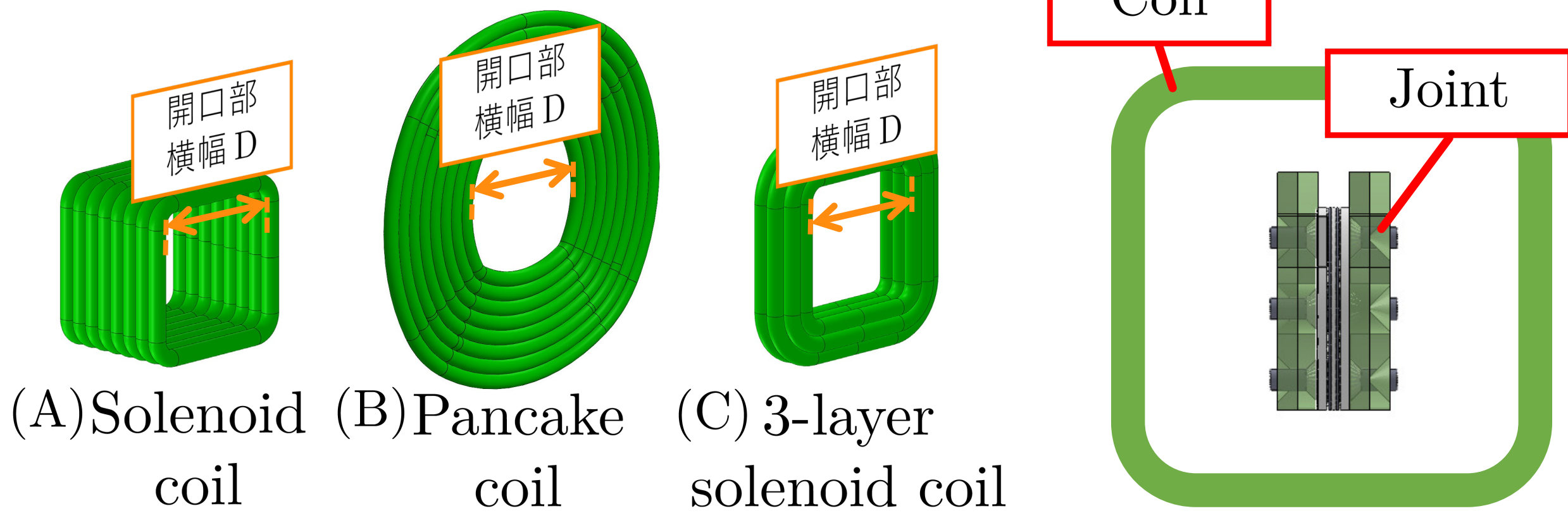
V [V]：電圧, I [I]：電流
t [s]：加熱時間

- 電圧V：点A-B間の電位差
- 電流I：点B下部に抵抗 (0.01[Ω])を挿入
両端電圧を測定し
オームの法則から算出



オシロスコープ（Tektronix社製，TBS1154）で測定

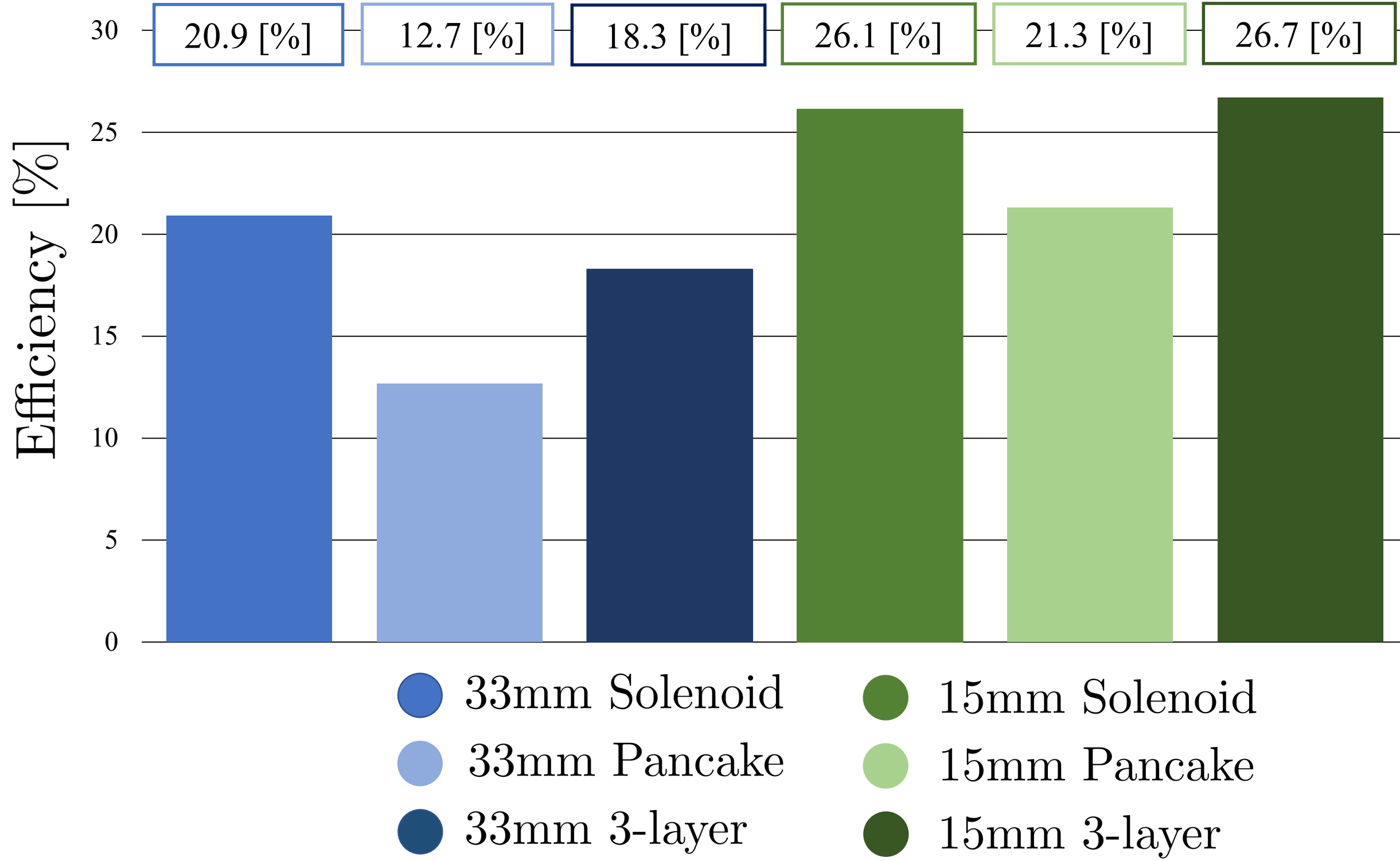
関節とコイルの配置



- コイルの形状：A, B, C
 - 開口部横幅D：15 [mm], 33 [mm]
- 計6種類のコイルで検討

関節はコイルの中央に
配置

実験結果



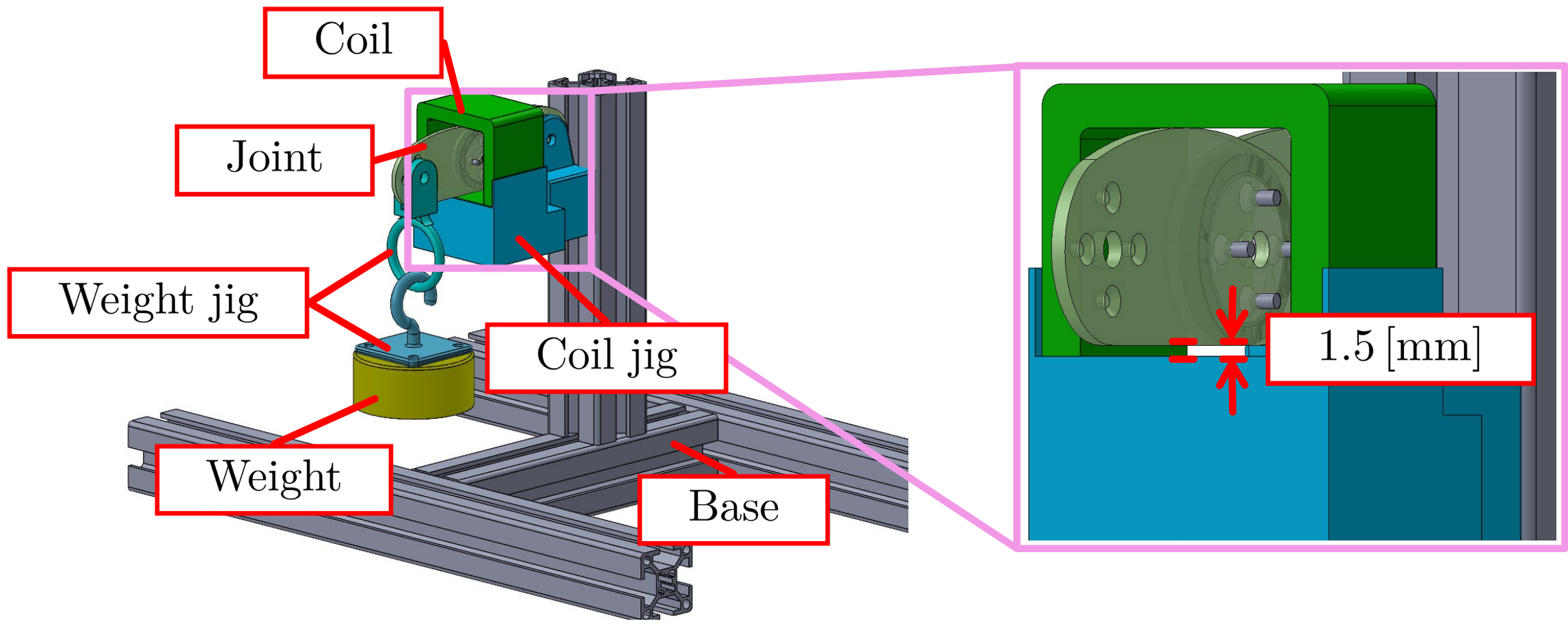
(A) ソレノイド， (C) 3層ソレノイドコイルの効率が
高い
コイルの横幅は狭い方が効率が

効率確認実験

電力効率測定実験で求めた効率が信頼できるのか確認を行う

実験環境

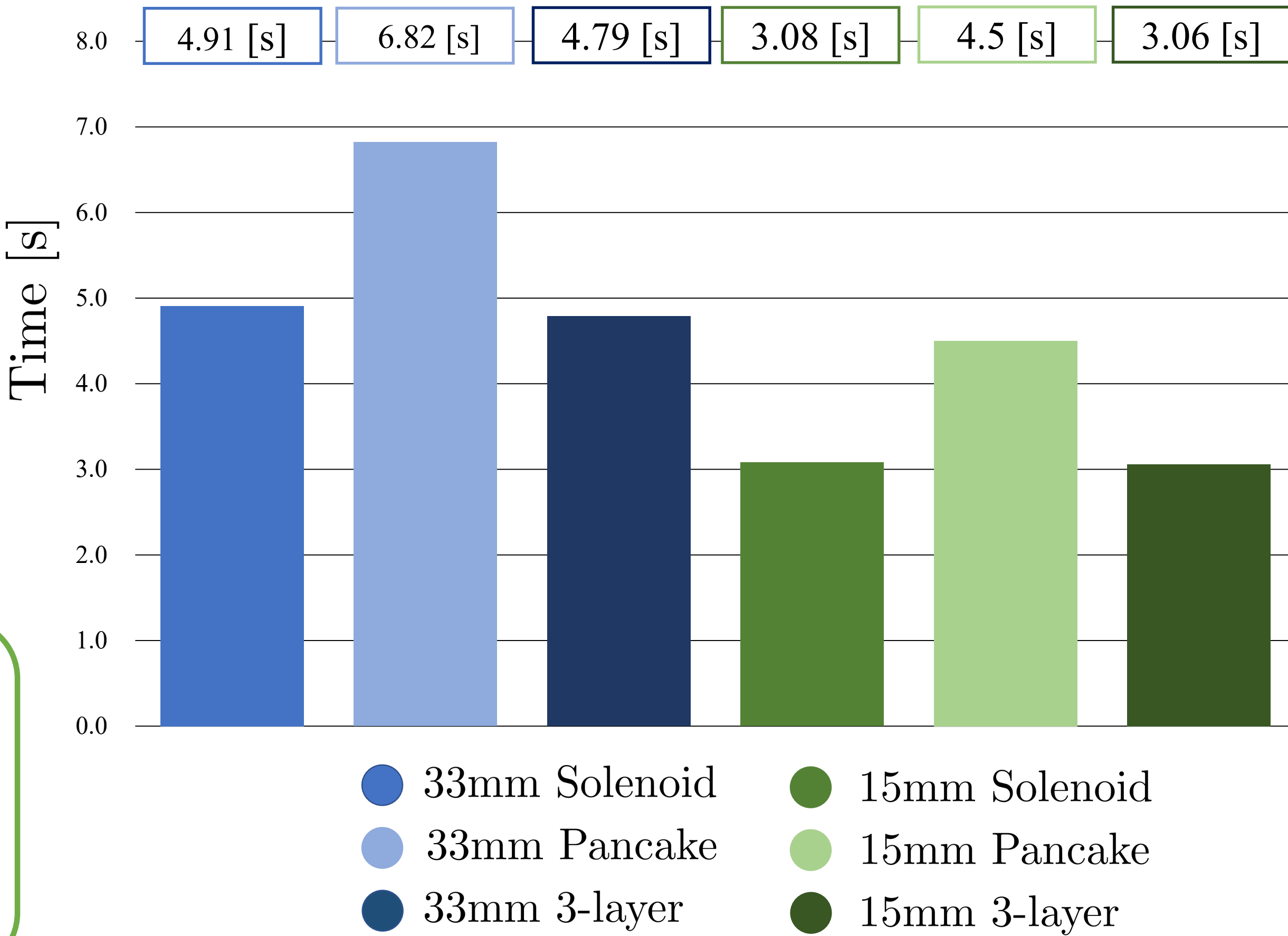
使用したコイルと関節の配置は電力効率測定実験と同じ



実験方法

- 投入電力は300 [W]
- オシロスコープ（TBS1154）で測定
- 加熱開始からLMPAが溶融し、
関節が治具に接触するまでの時間
- 各コイル3回測定し、平均値で評価

実験結果



効率が高いコイルほど溶けるまでの時間が短い

まとめ

- 誘導加熱装置の電力効率向上に向け、コイルの形状の検討を行った
- 実験の結果、幅が狭いソレノイド・3層ソレノイド形状のコイルが高い効率を示した
- また、効率確認実験の結果、効率が高いコイルほどLMPAの溶融までに要する時間が短いことも確認した
- 両実験結果の傾向が一致したことから、本効率測定の結果は信頼できると考える