

断熱消磁冷凍機向け ヒートスイッチの開発

宇宙物理実験研究室

高岡 朗

本研究の目的

断熱消磁冷凍機 (Adiabatic Demagnetization Refrigeration=ADR)にて

- ・目標到達温度: 50mK
- ・目標保持時間: 24時間 の達成



ヒートスイッチに着目し、ON/OFF時の
熱流入の改善を図る

ヒートスイッチ (Heat Switch=HS)について

HSの役割:

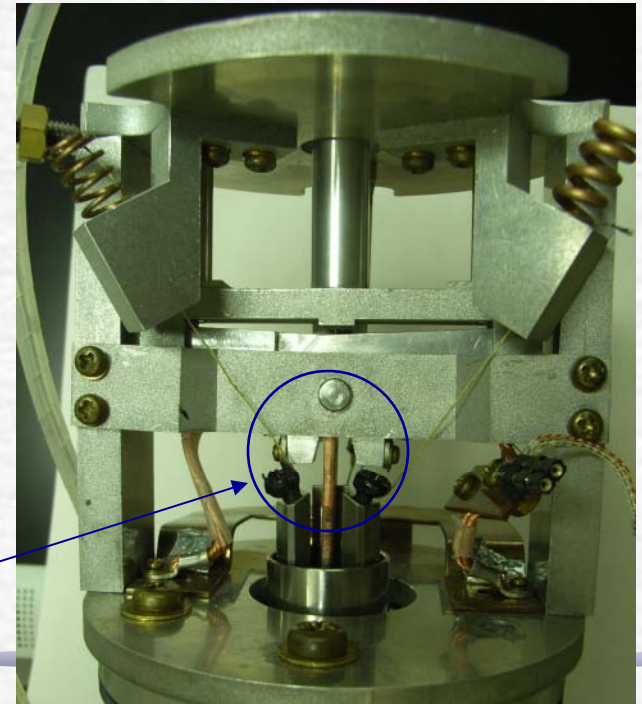
試料の温度をコントロールするため、試料と熱浴とを熱伝導(ON)、熱絶縁(OFF)させる装置

HSの種類:

①機械式.....

機構的に部品を動作させ
接触/非接触にてON/OFFを行う

スイッチング部



ヒートスイッチ (Heat Switch=HS)について

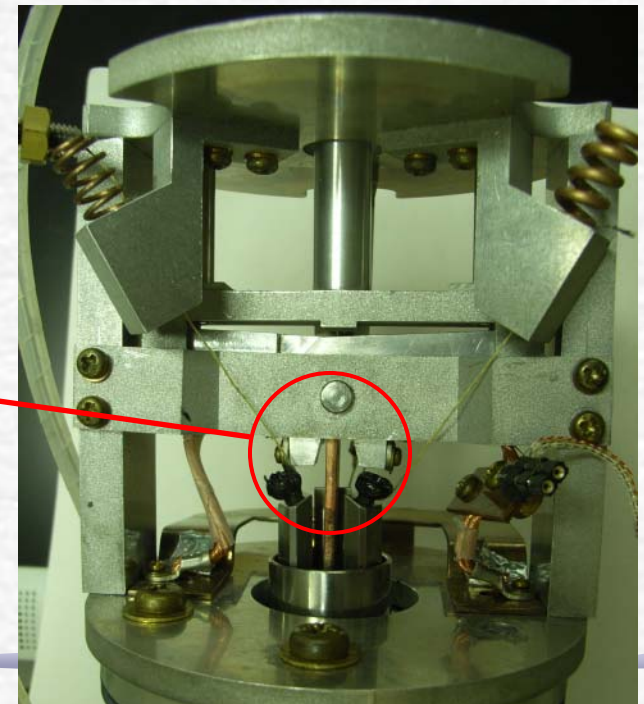
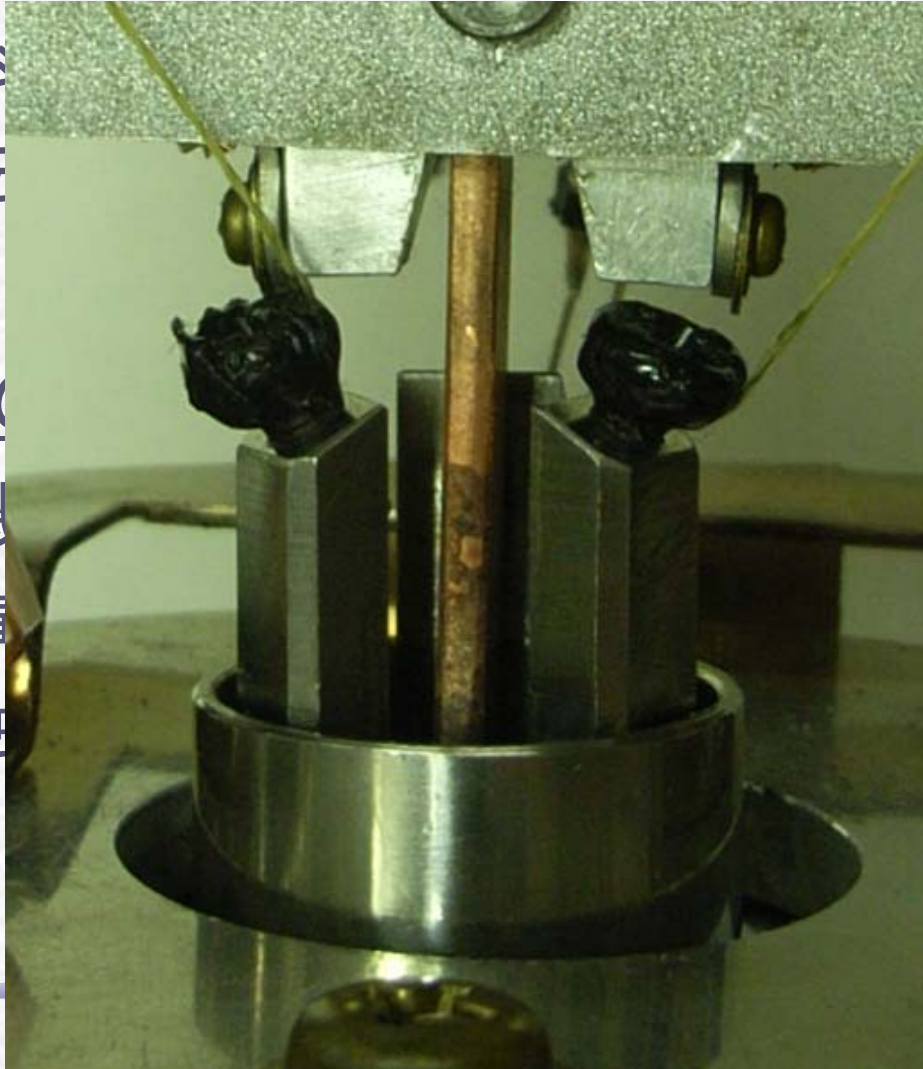
HSの役割:

試料
熱伝

力、試料と熱浴とを
装置

HSの

①機
機構
接触



ヒートスイッチ (Heat Switch=HS)について

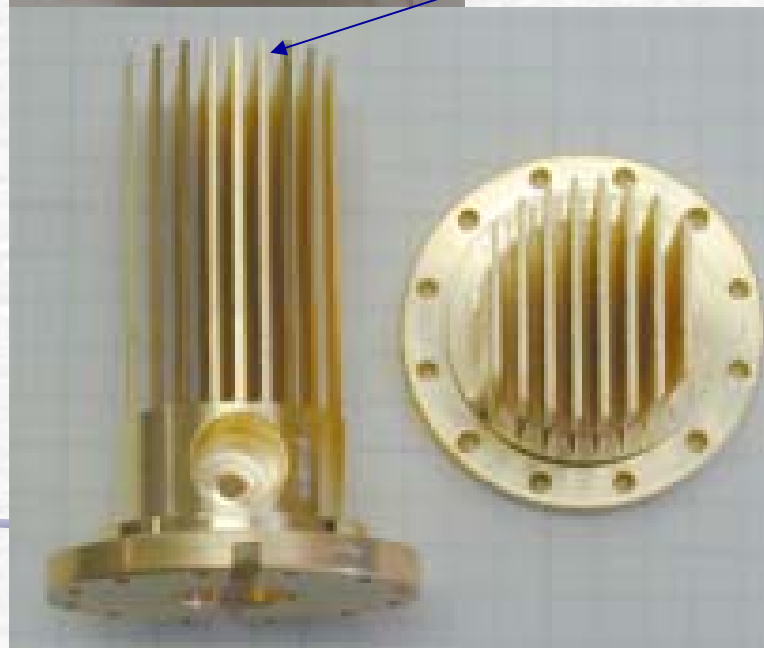
②超伝導式・・・

超伝導体に対して、
磁場を印加してON/OFFを行う

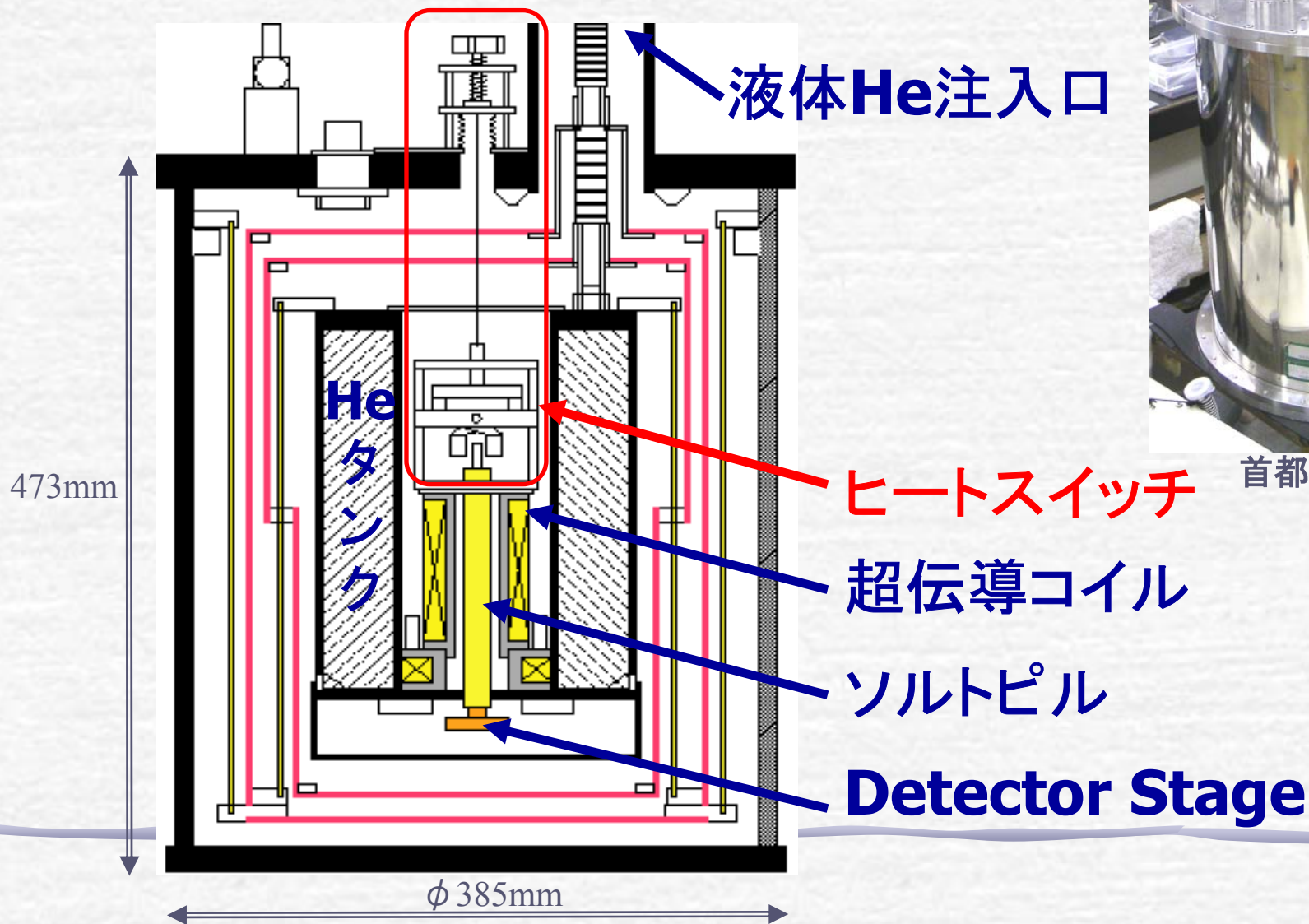


③ガスギャップ (Gas Gap=GG) 式・・・

試料・熱浴間に幅の狭いギャップを
設定し、ギャップ部への熱交換ガス
の出し入れによりON/OFFを行う



首都大ADRの構造



首都大ADR用HSの課題と目標性能

現状機械式HSの課題

ON/OFF動作にケブラーワイヤーを使用

→動作の安定性、熱流入に難あり

製作するガスギャップヒートスイッチ(GGHS)の目標性能

● ON時熱伝導度@2K:

6 mW/K以上 (現状 <2 mW/K)

● OFF時流入熱量@2K-0.05K:

0.7 μ W以下 (現状 1 μ W)

● 首都大ADRに設置可能な大きさ(全長~120 mm)

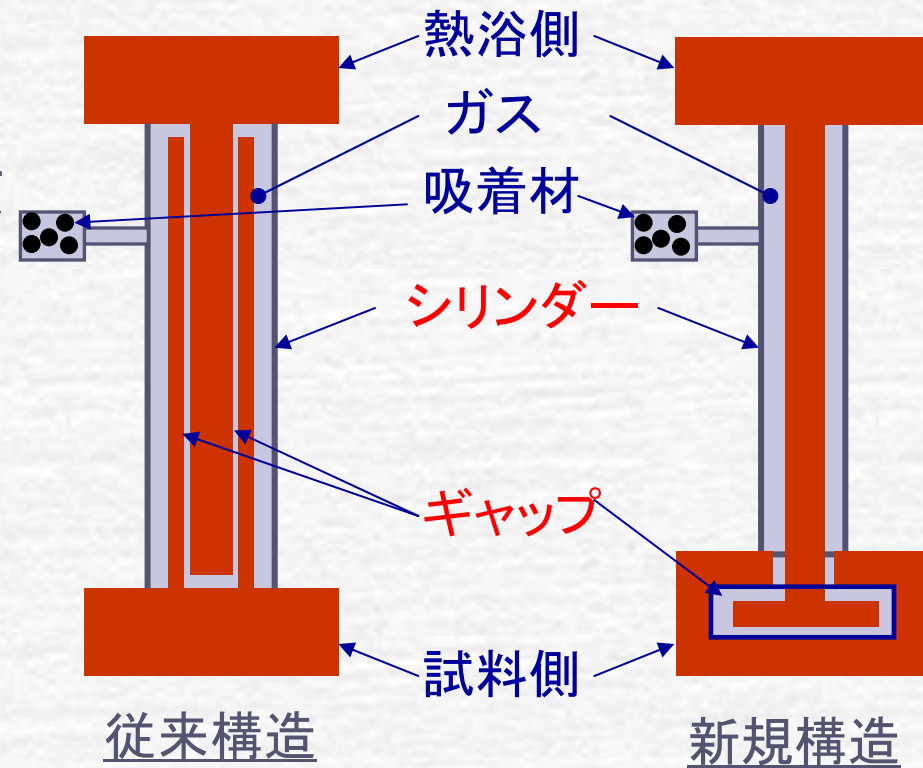
GGHSの構造検討

ON時熱伝導度の決定因子:

- ・ギャップ幅
- ・ギャップに面する部分の面積
- ・ガス(^4He)の熱伝導率

OFF時流入熱量の決定因子:

- ・長さ
 - ・断面積
 - ・熱伝導率
- シリンダーの



→従来構造ではON/OFFの熱伝導度を
独立に決められない

→シリンダーとギャップを構造的に切り離す

GGHSの熱設計

ON時熱伝導度: $G_{ON} = 2 \times \frac{\pi b^2}{4} \times \frac{1}{g} \times \kappa(T) \times 10^{-4} \text{ [W/K]}$

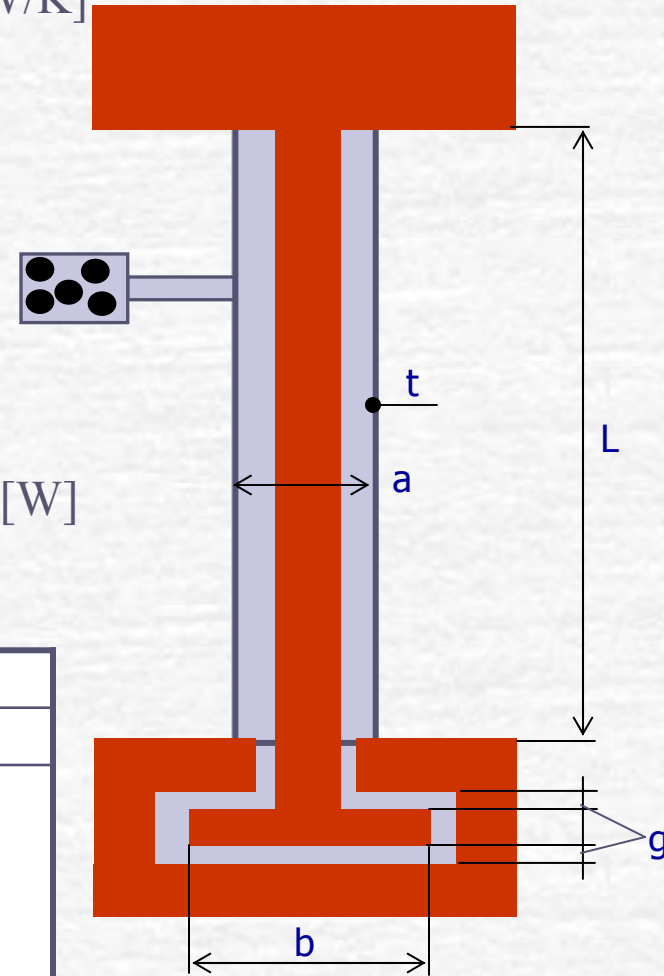
ON時熱計算数値一覧

温度 T[K]	2
熱交換部直径 b[mm]	20
ギャップ g[mm]	0.5
熱伝導率	$0.033 \times T^{0.67}$
熱伝導度 G_{ON} [mW/K]	6.6(>6,OK)

OFF時流入熱量: $\dot{Q}_{OFF} = \frac{\pi at}{L} \times \int_{0.05}^2 \kappa(T) dT \times 10^{-4} \text{ [W]}$

OFF時熱計算数値一覧

		仕様1 SUS	仕様2		total
			Vespel-SP1	SUSフイル	
温度 T[K]		2-0.05	←	←	
シリンダー	長さL[mm]	100	←	←	
	直径 a[mm]	9.55	9.5	←	
	板厚 t[mm]	0.08	0.45	0.008	
熱伝導率 κ [mW/K/cm]		$0.74 \times T$	$1.8 \times 10^{-2} T^{1.2}$	$0.74 \times T$	
流入熱量 Q_{OFF} [μ W]		3.6(>0.7,NG)	0.5	0.2	0.7(=0.7,OK)



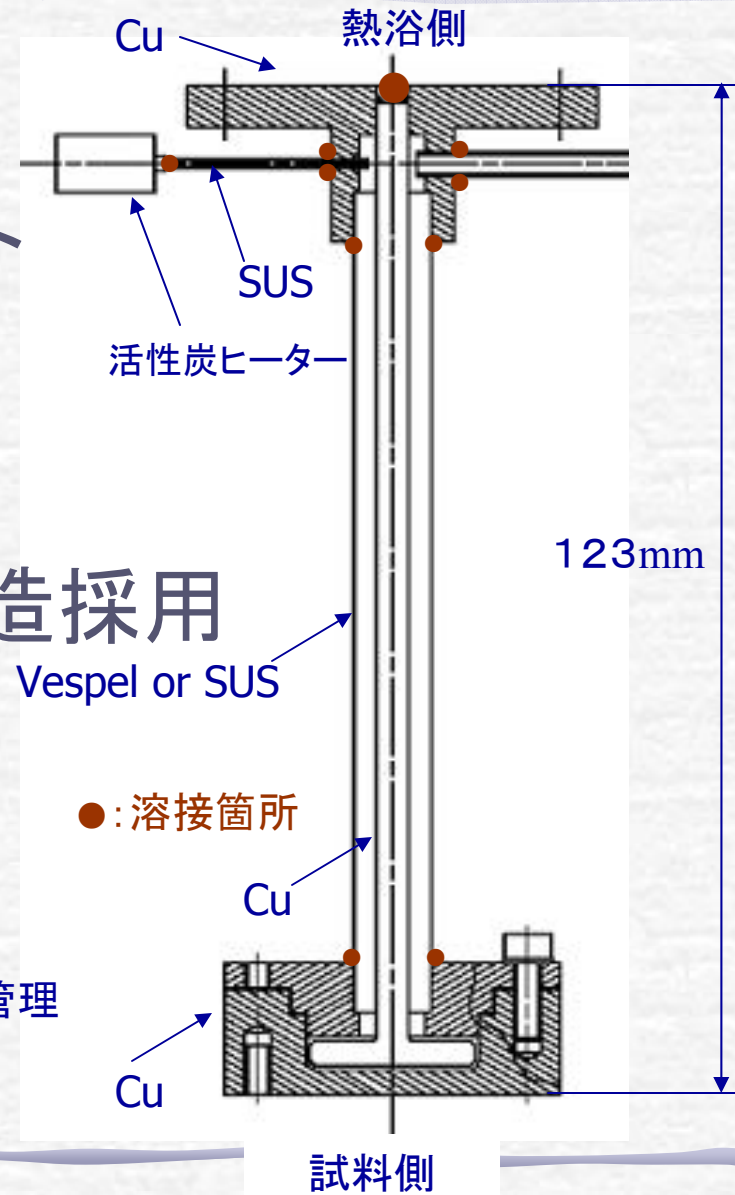
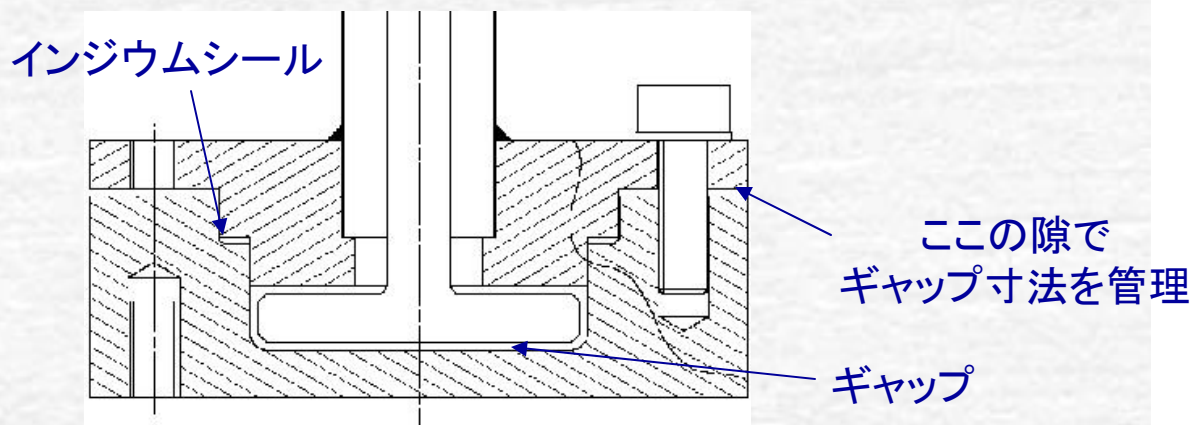
GGHSの構造設計

構造設計のポイント

ギャップの精度を確保がポイント

- ・溶接後に確認可能な構造
- ・寸法を管理できる構造

→インジウムシールで閉じる構造採用



まとめ

- ガスギャップヒートスイッチの新構造を提案
- 目標性能を満たす構造設計を行なった
- SUSシリンダーを用いた試作品製作

今後の予定

- 仕様1 (SUSシリンダー) でON時熱伝導度を確認
- 仕様2 (Vespelシリンダー) の組み立ておよびOFF時流入熱の確認
- Vespel、SUS試料の単品熱伝導率測定
- 活性炭の吸着量測定



仕様1完成品

お終い