

# 重力波検出器の冷却技術の 高性能化

*東大宇宙線研共同利用成果発表会*

高エネ研, 東大宇宙線研<sup>A</sup>

都丸隆行、鈴木敏一、佐藤伸明、春山富義、山本明、新富孝和、  
山元一広<sup>A</sup>、内山隆<sup>A</sup>、三代木伸二<sup>A</sup>、大橋正健<sup>A</sup>、黒田和明<sup>A</sup>

# H18年度宇宙線研共同利用研究の項目

1. CLIOクライオスタットの入熱解析
2. ヒートリンク部の接触熱抵抗の低減

# 1. CLIOクライオスタットの入熱解析

CLIOクライオスタットの仕様

Inner Shield: 8K以下、入熱量10mW以下

← 鏡の温度: 20K

ところが...

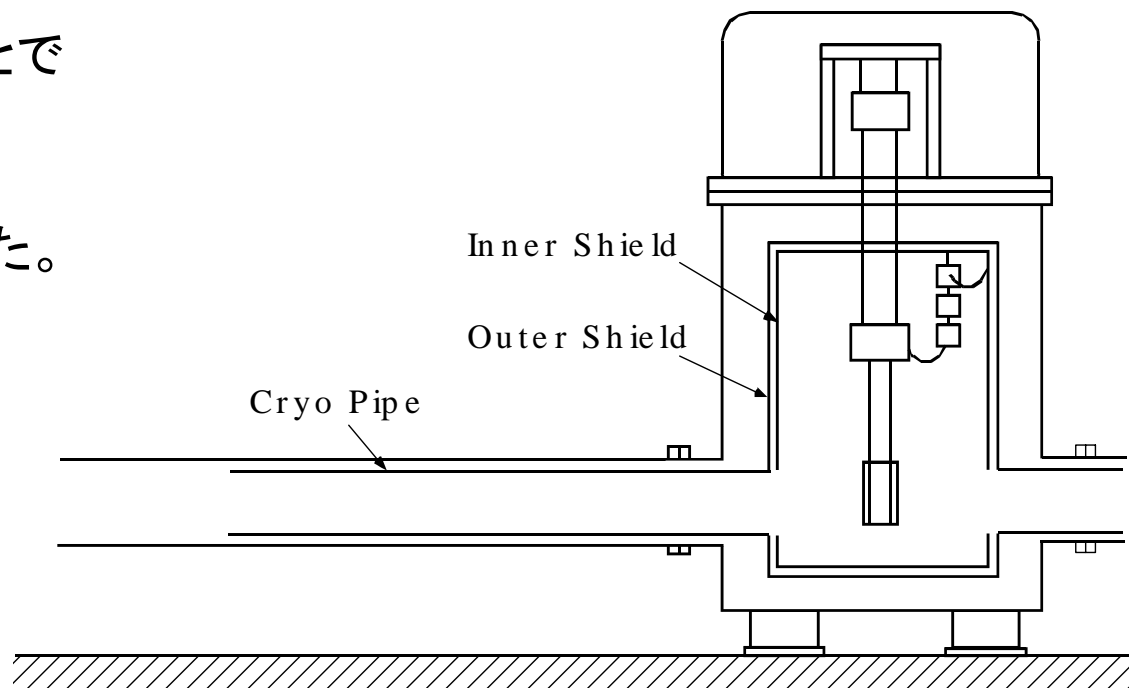
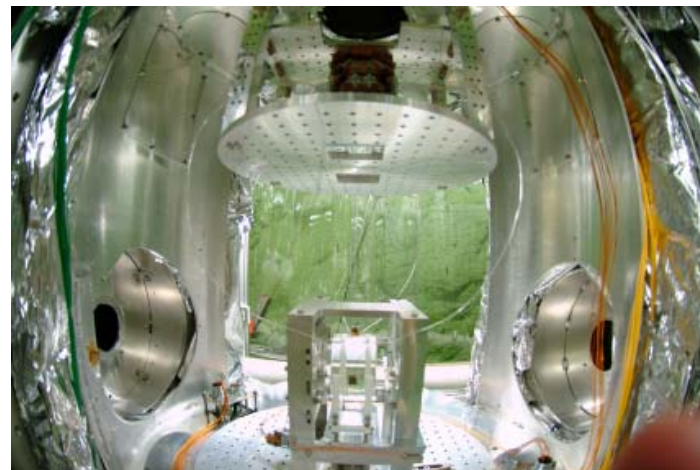
初期冷却試験: 12.6K、入熱量 > 3W



Cryo Pipeの開口を絞ることで

Inner Shield: 7.3 K

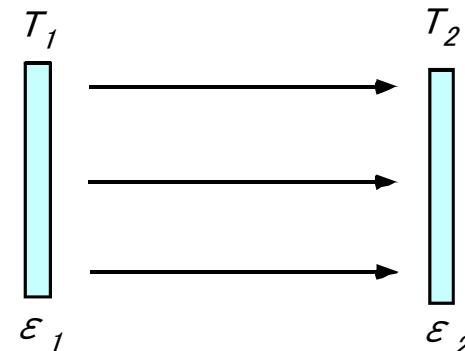
と仕様を満たすことが出来た。



# 輻射による入熱と思われるが、メカニズムが不明。

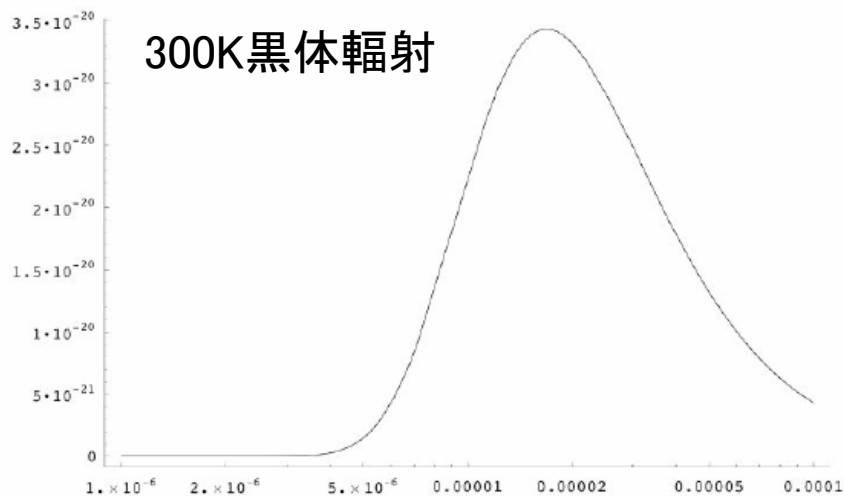
一般的な輻射の計算

$$P = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2} \sigma (T_2^2 - T_1^2) A \frac{\Omega}{2\pi}$$

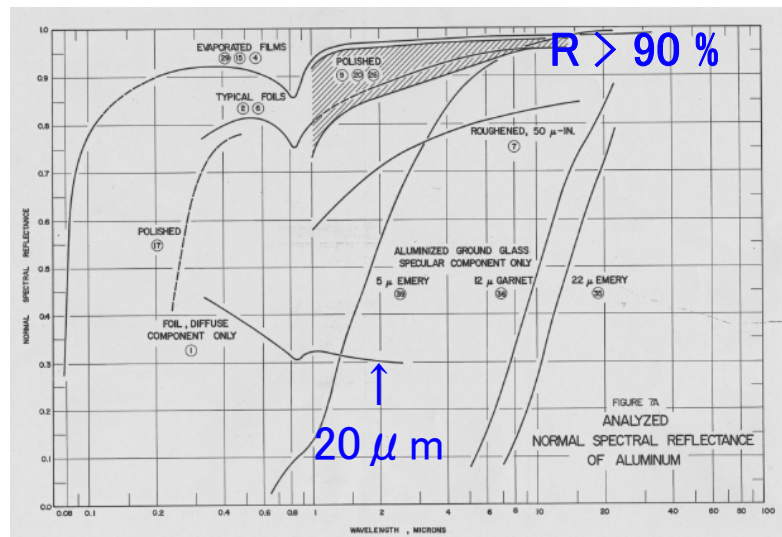


黒体輻射のスペクトラム

$$u(\omega) = \frac{\hbar}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1}$$

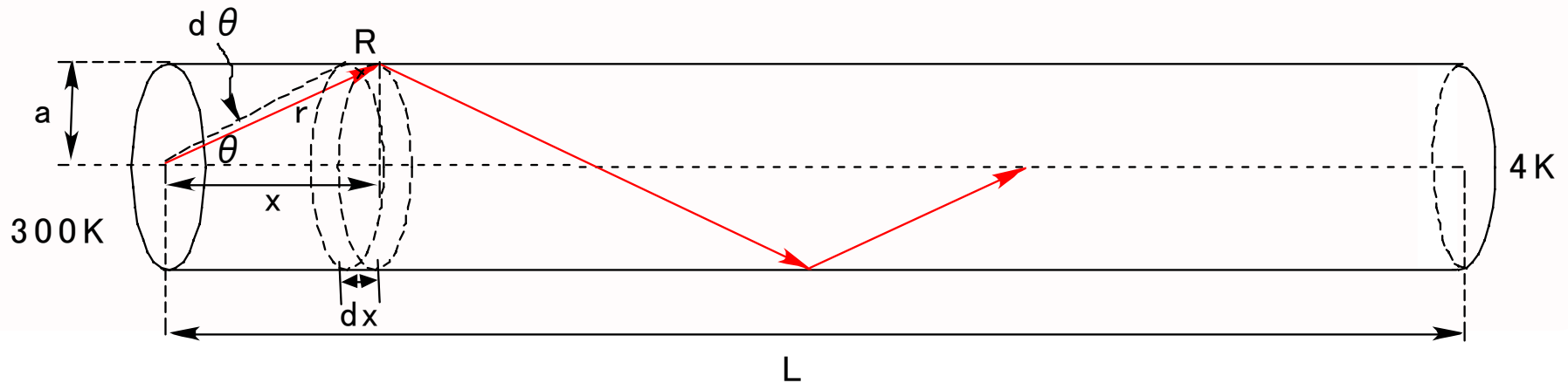


アルミの反射率スペクトラム



波長域数  $\mu m \sim 100 \mu m$  (ピーク  $\sim 20 \mu m$ )  
の赤外線と思って良い。

# Ray TraceモデルによるCryo Pipe内の輻射伝搬の計算



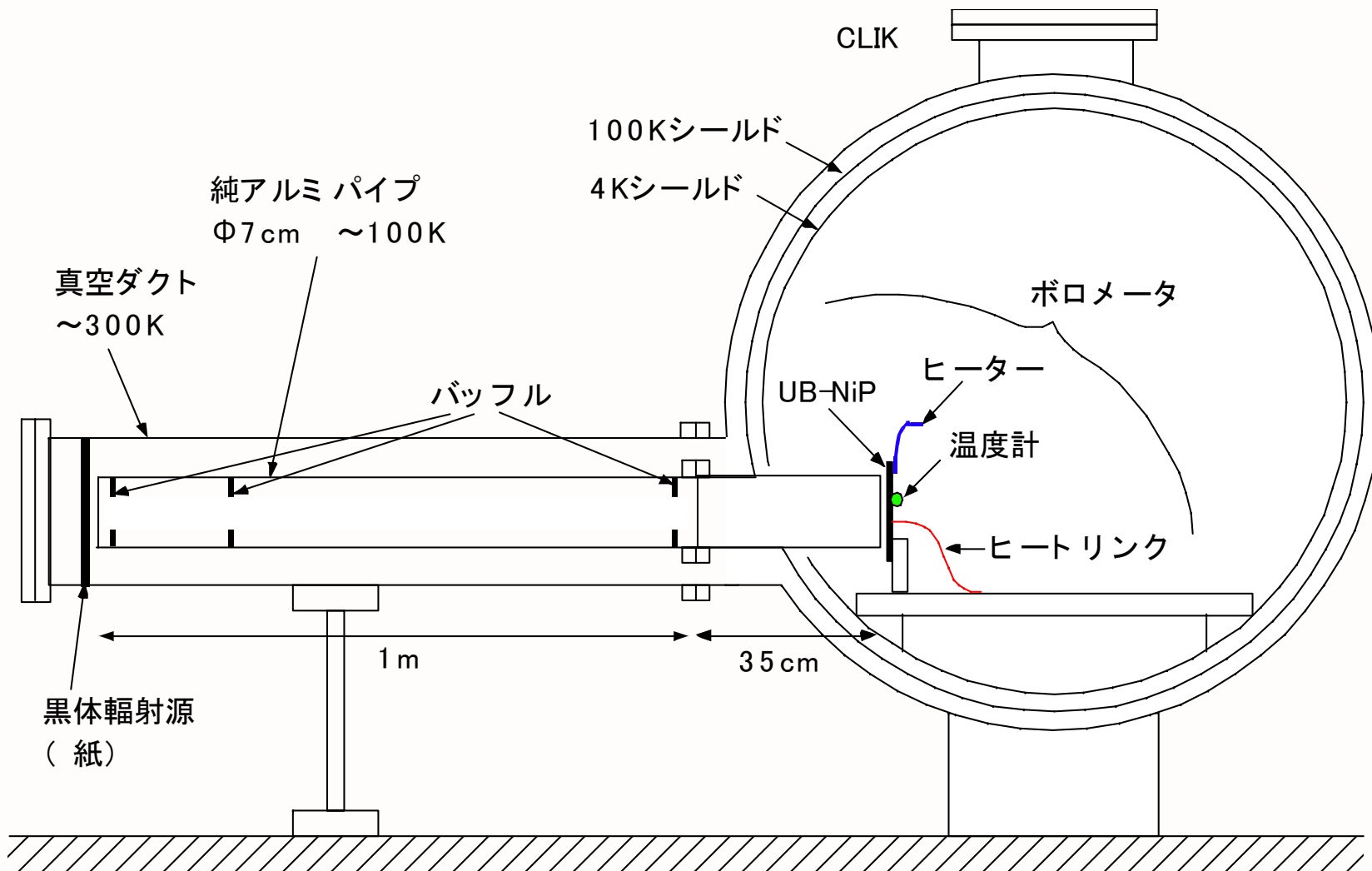
ダクト内の伝搬を考慮した時

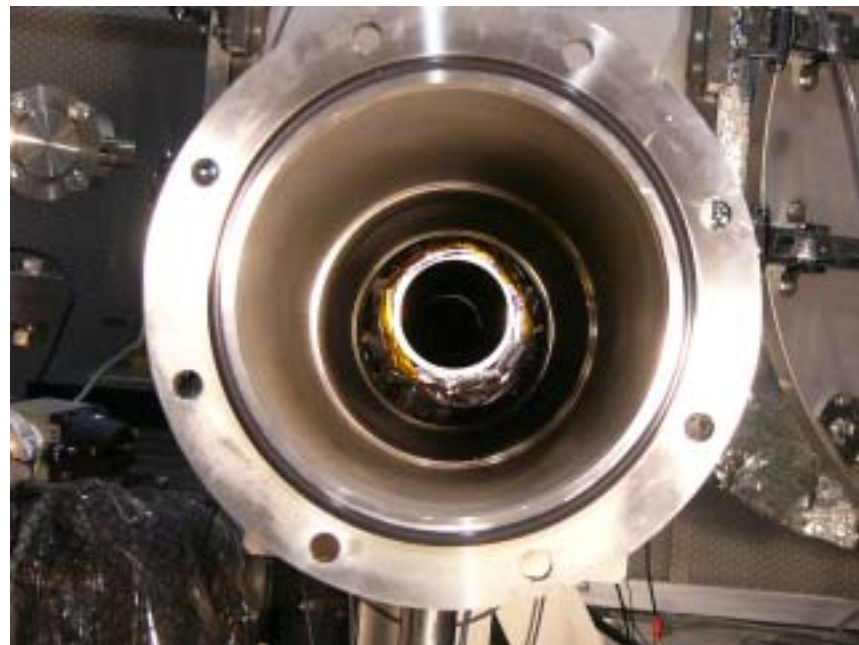
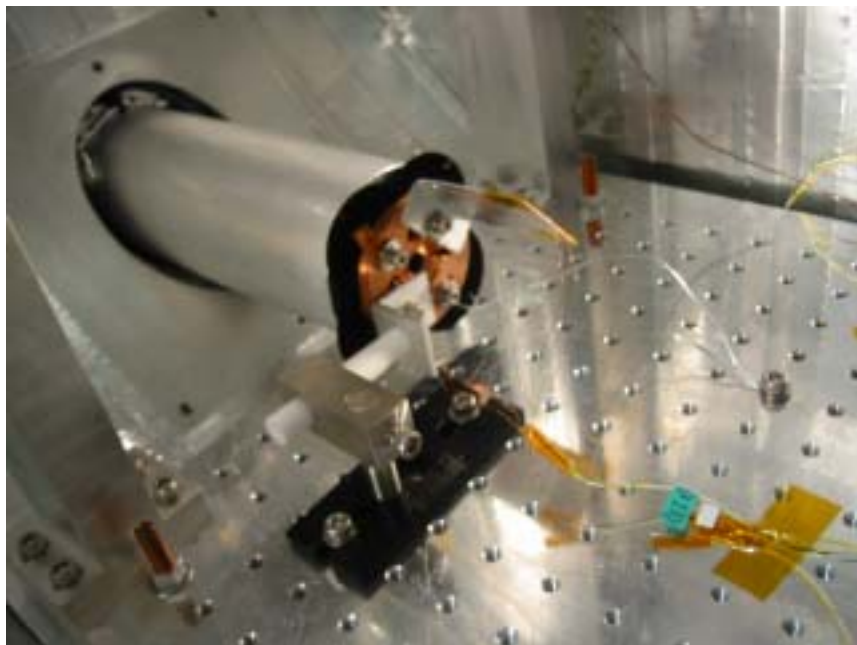
	$R = 0.90$	$R = 0.95$	$R = 0.97$
$(P_{ref} + P_{th}) / (P_{th})$	307	622	898
$P_{ref} / P_0$ の割合	14%	28%	40%

ダイレクト入射に比べ数100倍程度の輻射伝搬効果があり得る。

# CLIKによる検証実験

# ダクト部・バッフルのアスペクト比は大体CLIO・LCGTと同じ。





## (1) 300 K輻射による入熱量

(setup 1)

ボロメータの温度

1回目: 14.13 K、2回目: 14.28 K

2回の実験での平均入熱量: 394 mW

ダイレクト入射熱量 : 0.53 mW

*UB-NiPの吸収率*  $\sim 0.8$   
*紙のemissivity*  $\sim 0.9$ と  
した

$$\rightarrow P_{\text{meas}} / P_{\text{direct}} = 740\text{倍}$$

輻射伝搬効果を実験的に確認。

モデル計算から導かれた平均ダクト内面反射率は0.950。

→ 東理大赤外FELを用いたダクト内面の反射率とおよそ一致。

## (2) 両端に1/3径のバツフルを入れた場合 (CLIOに対応)

ボロメータの温度 (setup 2)

1回目: 18.3 K、2回目: 19.4 K

2回の平均入熱量 : 7.9 mW

→ 低減率 : 98 % ( $\sim 1/50$ )

CLIOの方がこれより入熱は大きい  
が、オーダーは一致。

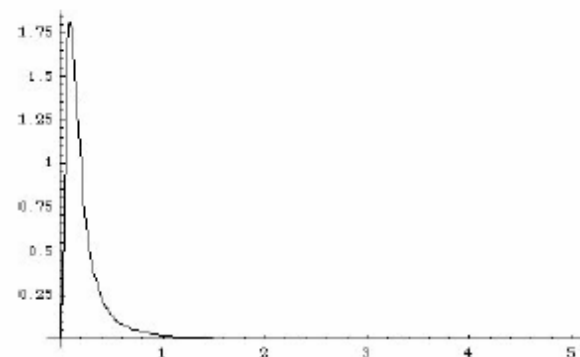


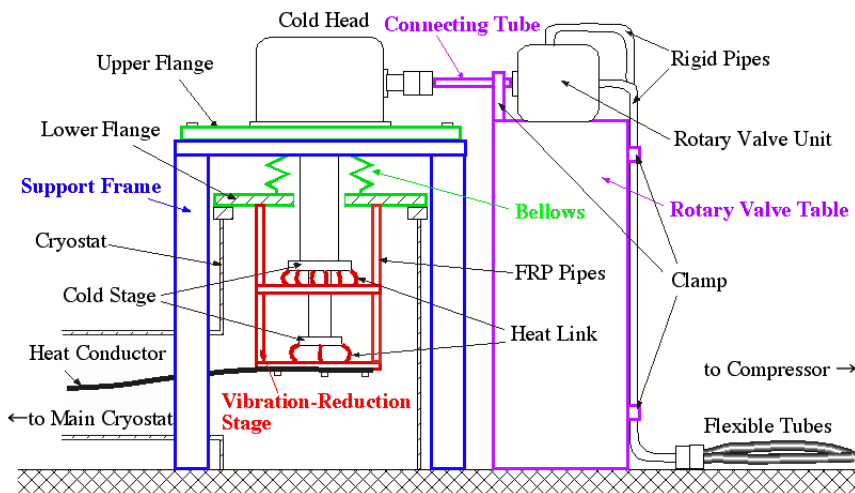
図 4: 式 3 の被積分関数をプロットしたもの。横軸は 300 K 開口部からの距離 (m)。



## 2. ヒートリンク部の接触熱抵抗の低減

CLIO用超低振動冷凍機システム開発に成功

→ さらなる高性能化のためにはヒートリンクの接触部の抵抗を低減し、伝熱性能を向上させることが重要。



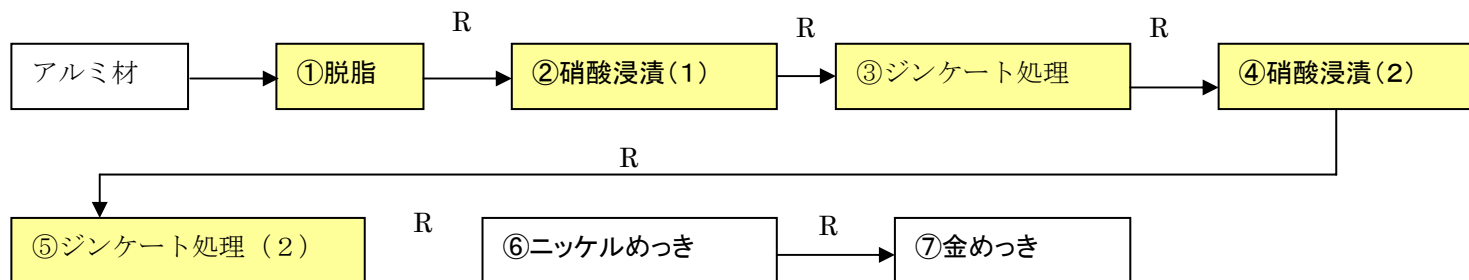
ヒートリンクには非常に柔らかい純アルミ撚り線を開発。

アルミの課題:

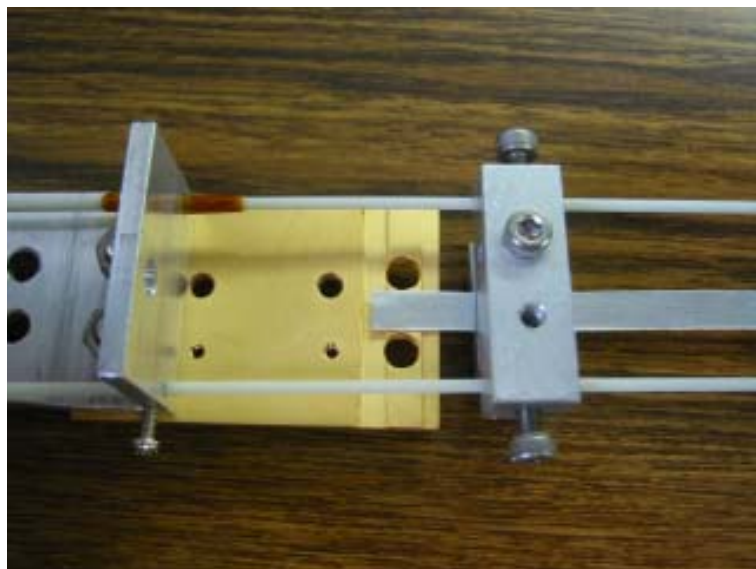
表面の強固な酸化皮膜のため接触抵抗が大きくなる。

接触抵抗低減の一案 → アルミ表面の金メッキ処理による安定化 + 圧着

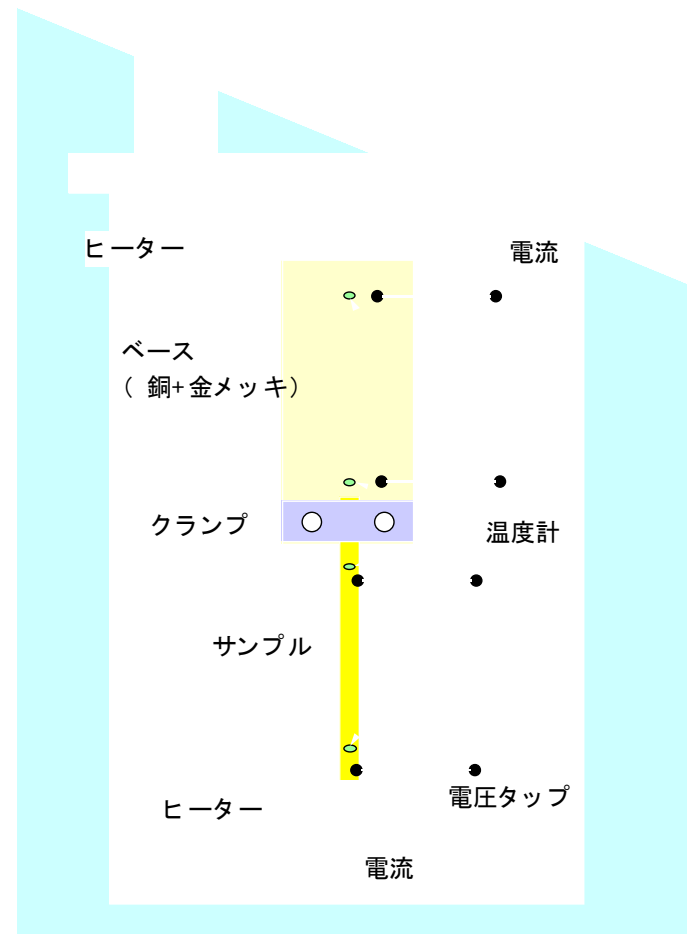
*R. M. Muller et al. RSI 49 (1978) 515.*



## 製作したサンプル



## セットアップ



電気抵抗計測時の発熱が大きく、  
セットアップを改良して再計測準備中

# まとめと今後の課題

## 1. CLIOクライオスタットの入熱解析

- ・ 輻射伝搬効果による入熱を確認
- ・ バッフルによる輻射伝搬率の低減を確認

### 今後の課題

- ・ より効率的なバッフルの設計と配置

## 2. ヒートリンク部の接触熱抵抗の低減

- ・ 金メッキ処理によるアルミヒートリンクの接触熱抵抗の計測実験を推進中。年度内には計測終了予定。

### 今後の課題

- ・ アルミ撚り線ヒートリンク実機の製作・試験