

LCGTのための単結晶サファイア鏡懸架の開発 (V)

2009年度宇宙線研究所共同利用研究成果発表研究会

2009.12.19

KEK 超伝導低温工学センター

鈴木敏一

2009 研究経費 参加研究者

査定額	研究費	旅費	計
	530000	40000	570000

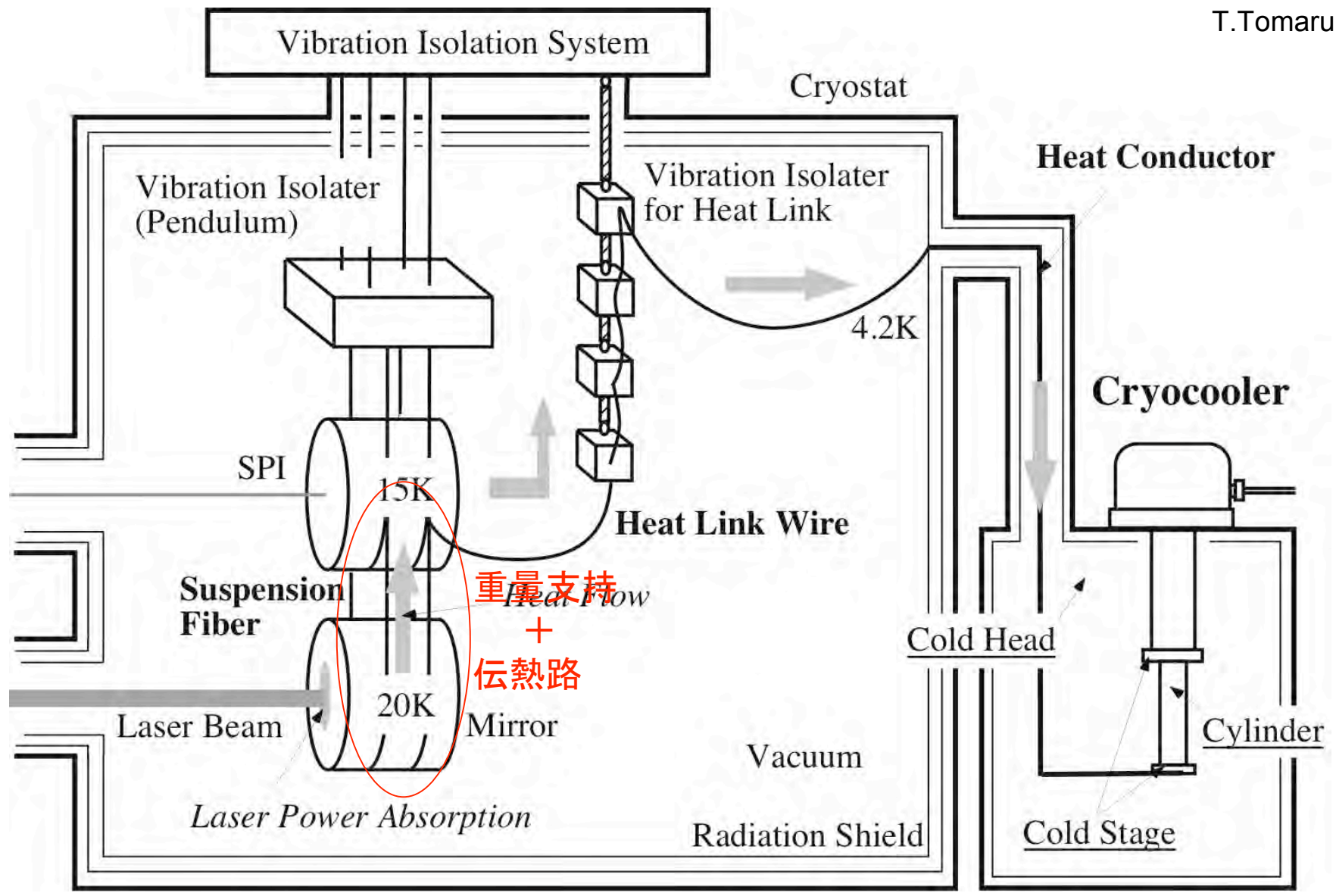
支出	ダイオード温度センサー	410550
	試験用サファイアブロック	購入予定
	旅費	つくば-柏 往復

参加研究者

KEK	鈴木敏一	春山富義	ICRR	内山隆	日大
	都丸隆行	山本明		三代木伸二	新富孝和
	佐藤伸明			大橋正健	
	木村誠宏			黒田和明	

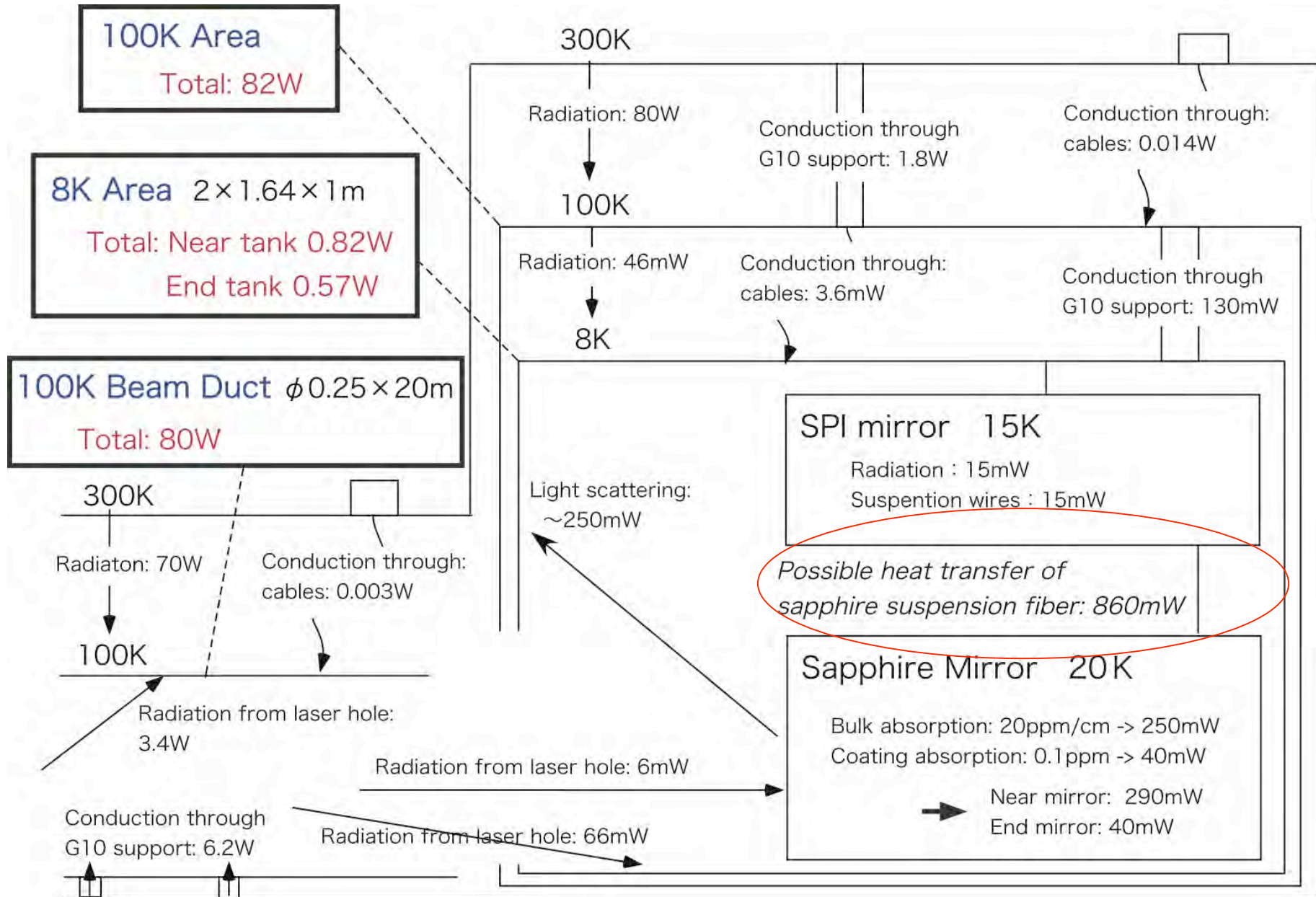
LCGT冷却系模式图

T.Tomaru



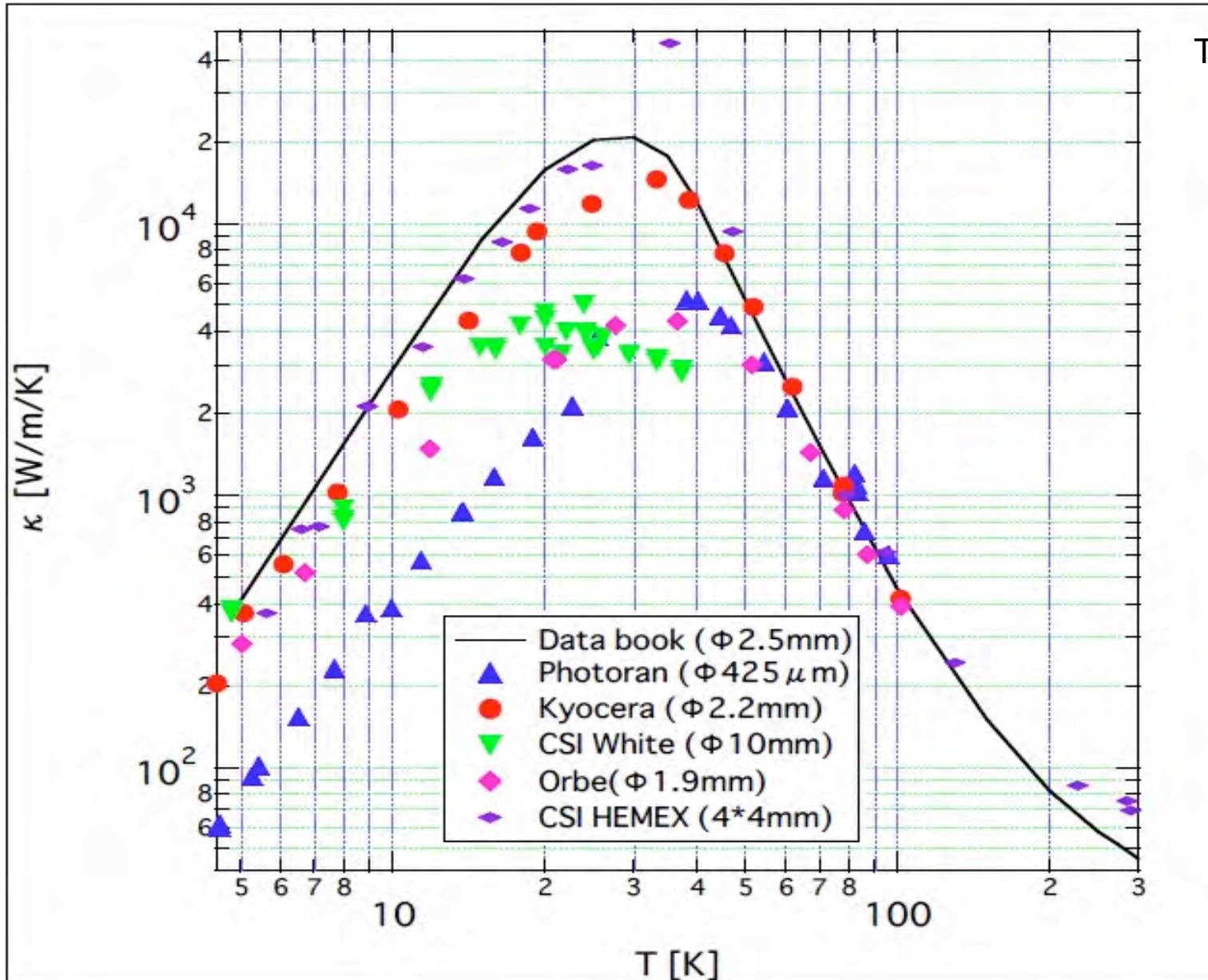
LCGT冷却系熱

T.Tomaru

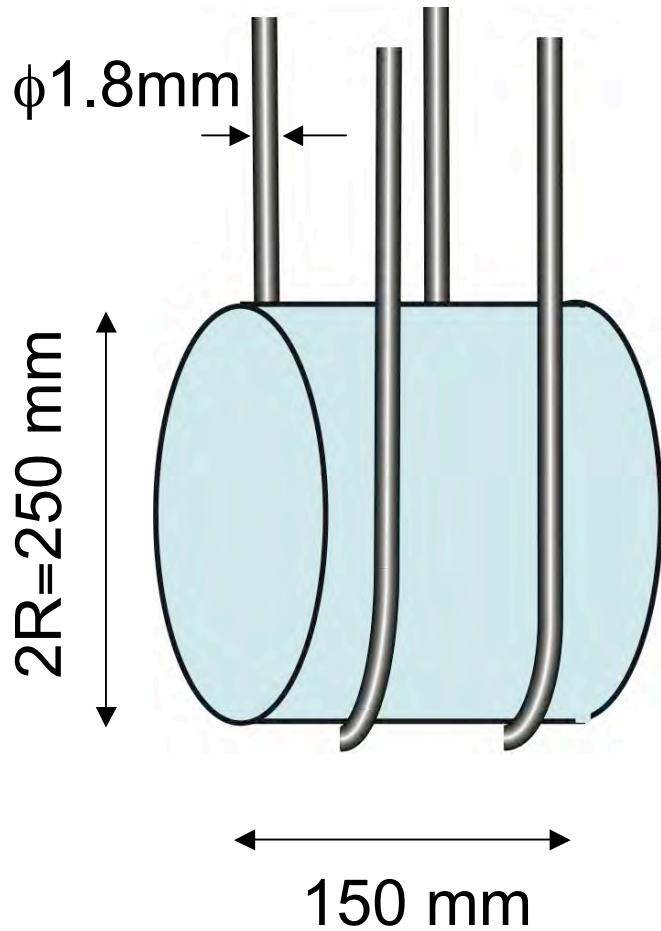


Sapphire(単結晶アルミナ)熱伝導率比較

T.Tomaru



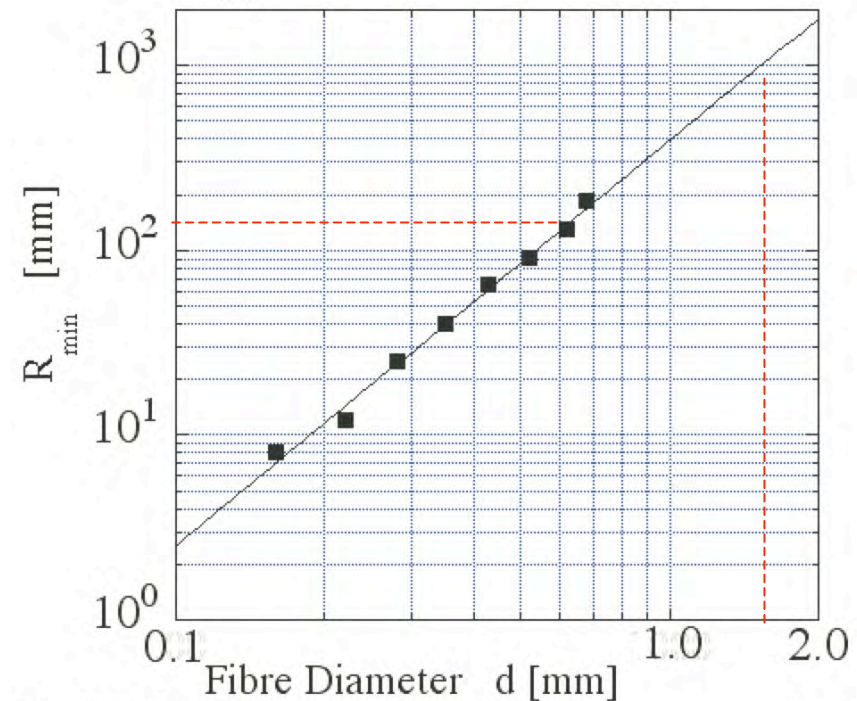
サファイア鏡の懸架支持と 支持ロッドの最小曲率半径



$\phi 1.8 \text{ mm}$ のロッドは250mmの
半径で弾性変形できない

Minimum Bending Radius of Sapphire Fibre

$$R_{\min} = 2.55 \text{ mm} * (d / 0.1 \text{ mm})^{2.19}$$



(From Fig.2 of Ling Tbng et al., Appl. Opt. vol.39 (2000) 494.)

FibreBendRadius.kgd

形状制御結晶成長

Edge-defined Film-fed Growth

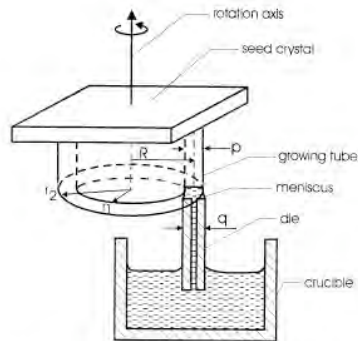
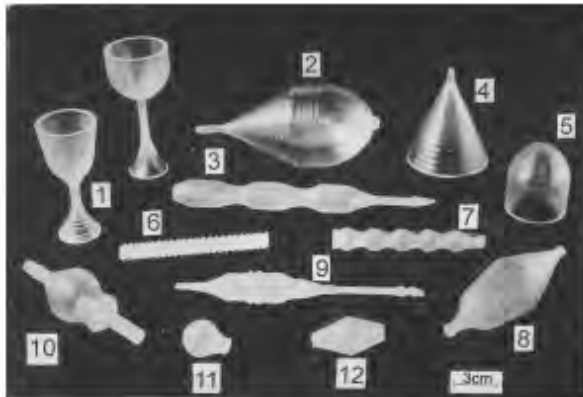
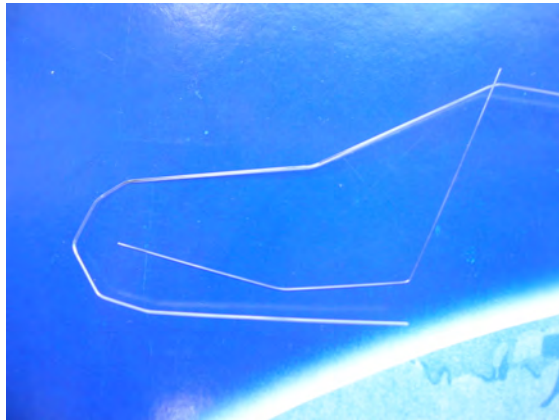


Fig. 2. The scheme of the local shaping technique.



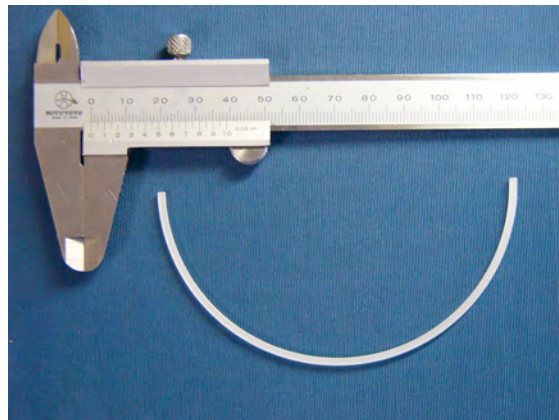
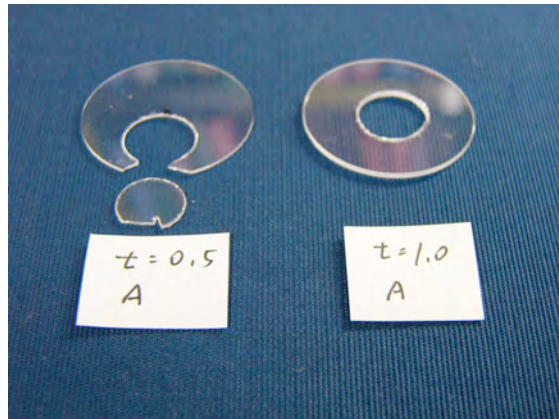
- 目的形状に結晶を成長させる
- $\phi 1.8\text{mm}$ 、長さ $\sim 300\text{mm}$ 以上でU字が作れるかは不明
- 製造のための設備投資を賄う必要あり

塑性変形



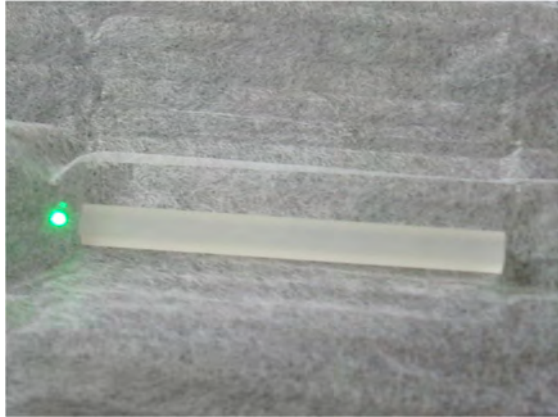
- 炭酸ガスレーザーによる加熱
- 細い($<\phi 0.8\text{mm}$)ロッドは80Wクラスの炭酸ガスレーザーで塑性変形が行われている
- 変形部分は直線部分に比べて熱伝導率が1/4ほどに低下する
- LCGTで使う $\phi 1.8\text{mm}$ ロッドでは80Wは不足
- kWクラスのレーザーでは、熱応力によるひび割れ、過剰入熱による融解が起きやすく、制御が難しい。

レーザー切断 機械加工



- サファイアのレーザー切断は、切断線の縁が欠けやすい。(アルミナセラミックではきれいに切れる。)
- 機械的な切断(ワイヤー+ダイヤモンド砥粒)による2mm板からの切り抜き。幅2mm、半径50mm
- 半径50mmの半円に100mmの直線部をつけた形状でも加工できている。

接合

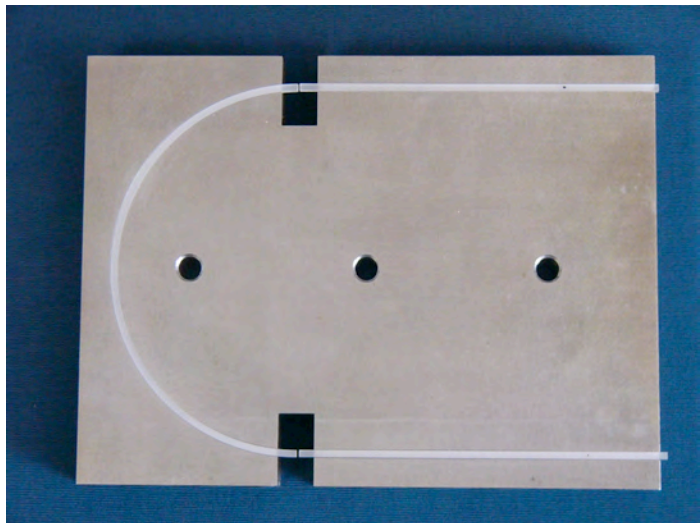
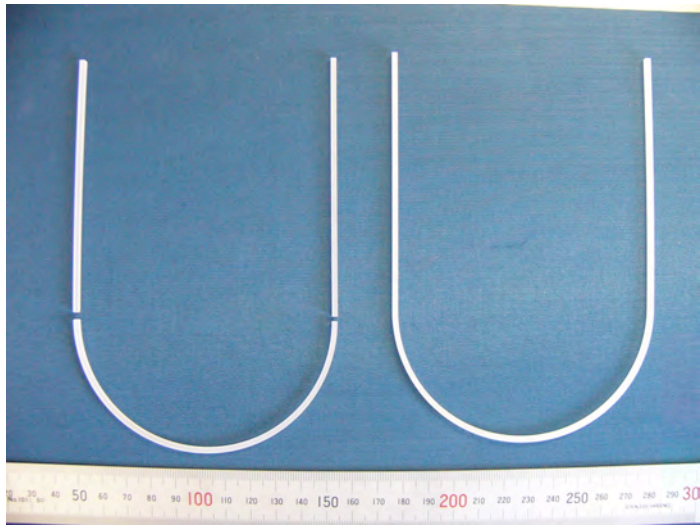


棒の中央が接合面。長手方向に通した光は散乱されていない



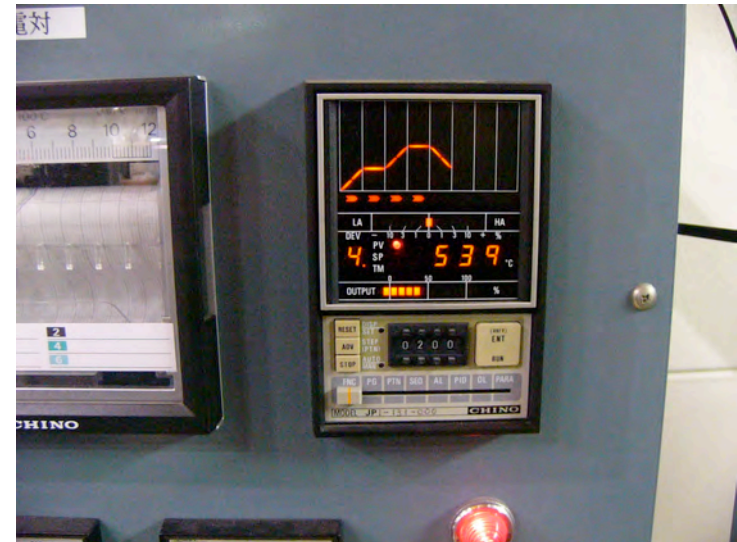
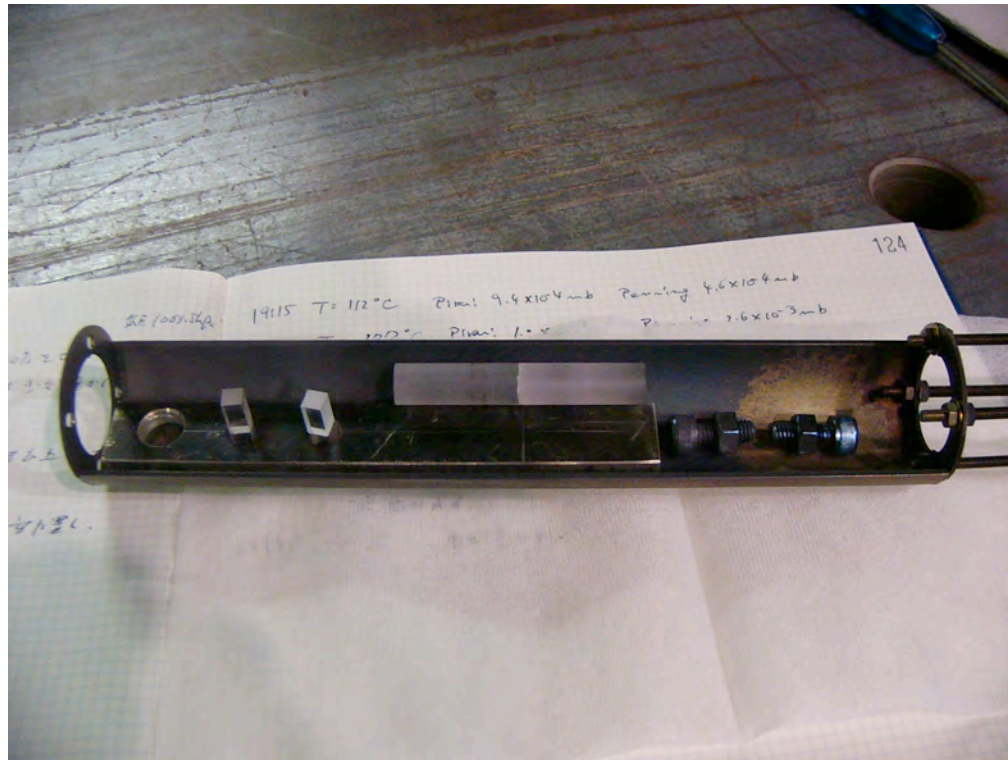
- 固相接合。光学研磨面同士を合わせて、1300°C～1400°Cに加熱する。接合面の強度はほぼバルクと同じオーダーで熱抵抗も小さい。
- シリケート接合。準光学研磨面を必要とし、KOHやNaSiO₃の水溶液を補助剤として用いる。常温で処理。接合面の強度、熱抵抗は固相接合に劣るが、実用には耐えるレベル。
- 現在のLCGT設計はシリケート接合を前提している。

Sapphire-Sapphireの接着

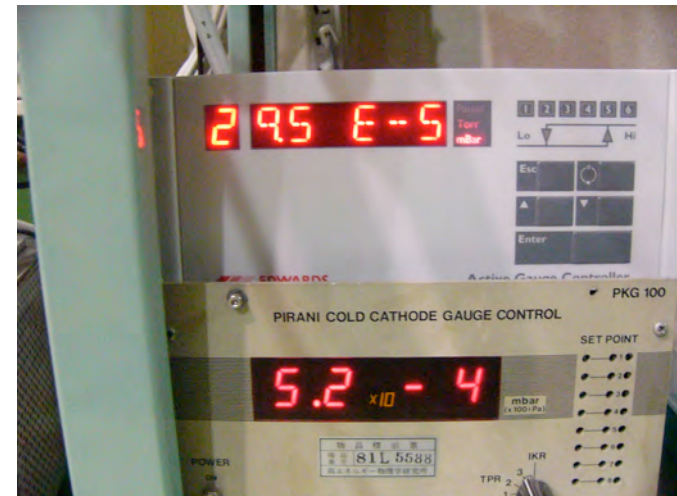


- 機械的切断で懸架ロッドの部品をつくることはできるが、固相接合やシリケート接合を行うための研磨は困難。
- ロッドの部品を接着でつなぐことができればU字の形成が可能になる。
- 接着剤として燐酸アルミニウム水溶液+アルミナ微細粉を用いて、空中乾燥後に電気炉中で熱処理
- 接着の場合は接合面の光学研磨を必要としない

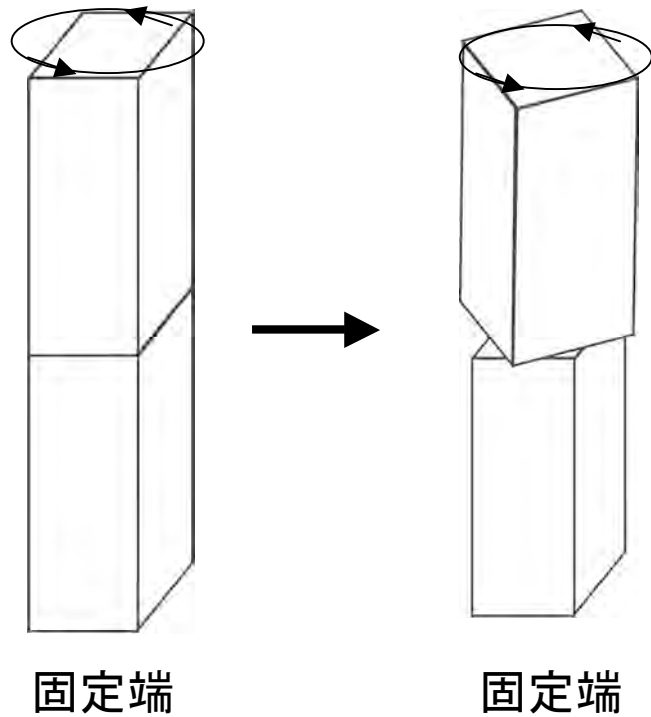
真空炉での焼成固化



340°C 1時間+540°C 1時間
真空度 $\sim 10^{-4}$ mb



剪断強度試験



Sapphire block

5mm x 5mm x 10mm同士の

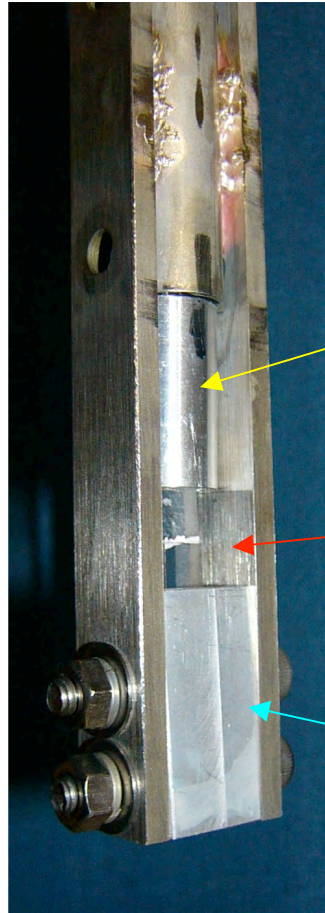
5mm x 5mm 面を接着

一方を固定、他方にトルクを与えて
破断させる

トルクメーターでピーク値を記録

T=300K とT=4.2Kで測定。

剪断強度試験のための治具

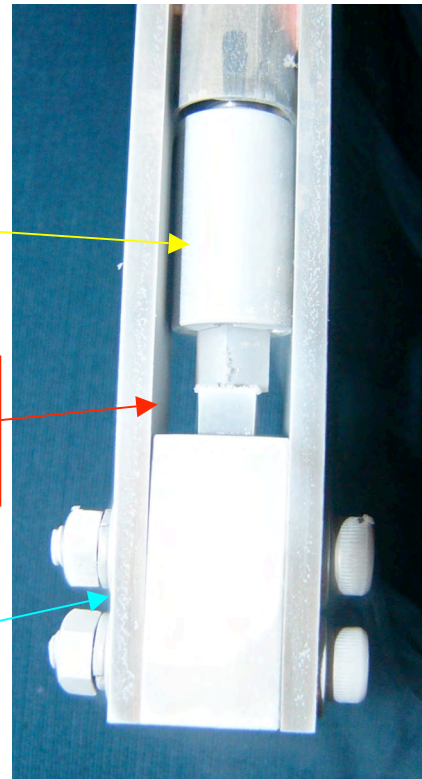


T=300 K

回転部

試料

固定



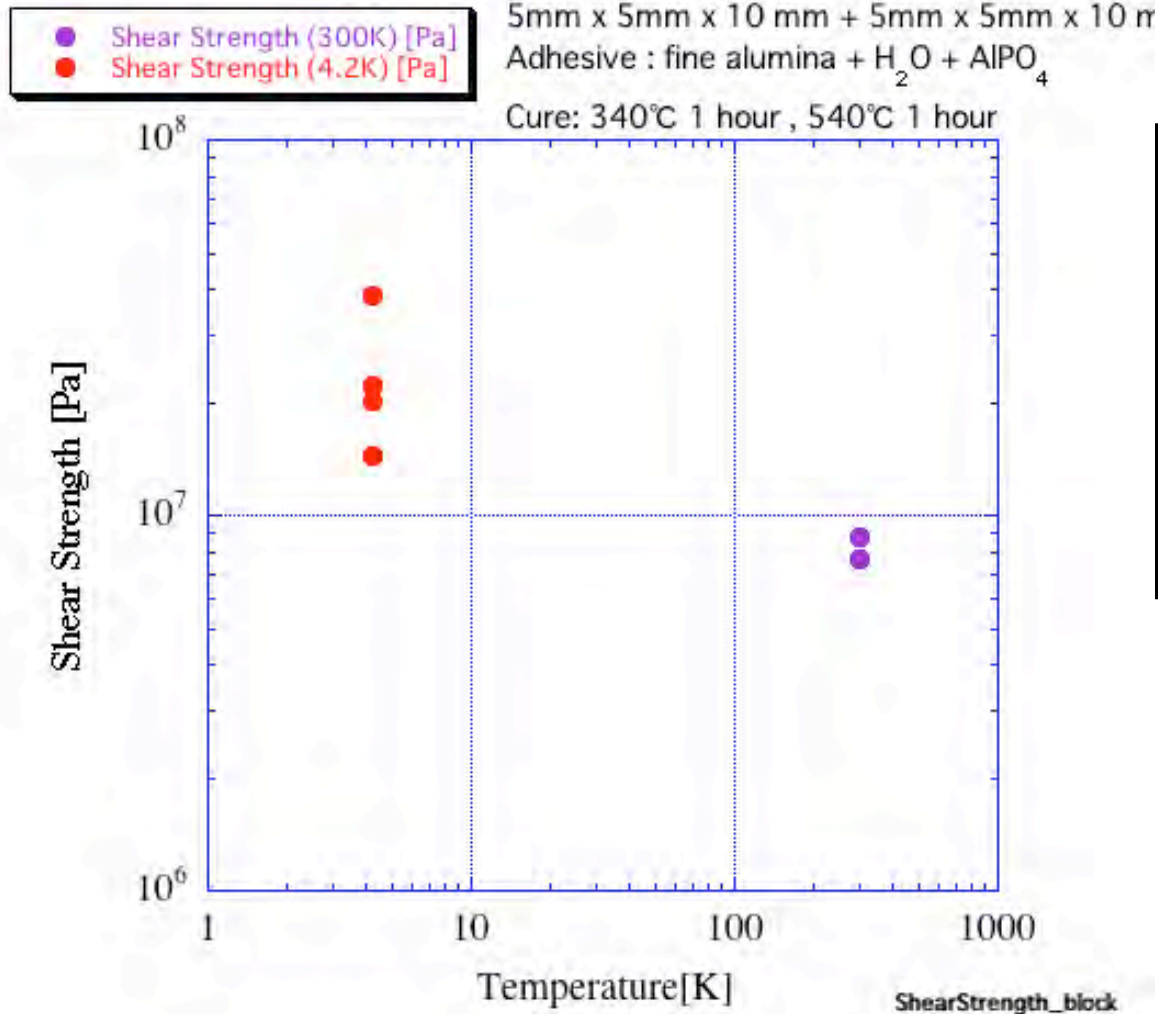
T=4.2 K
測定の直後



4.2K
で記録した
最大トルク

300Kと4.2Kにおける接着剪断強度

Sapphire接着 剪断強度



	剪断強度 [MPa]	
T=300K	8.80	
	7.63	
T=4.2K	38.3	
	22.2	
	22.1	
	20.2	

現状まとめ

- 接着によるサファイア接合面の強度
 - 300Kで8MPa程度の強度
 - 4.2Kで20MPa程度の強度(最高値は38MPa)
- バラツキが大きいので品質コントロールに工夫が必要。
- 今後熱抵抗の測定等を予定している