

# CTA 報告43: CTA 大口径望遠鏡 カメラ冷却システムの開発

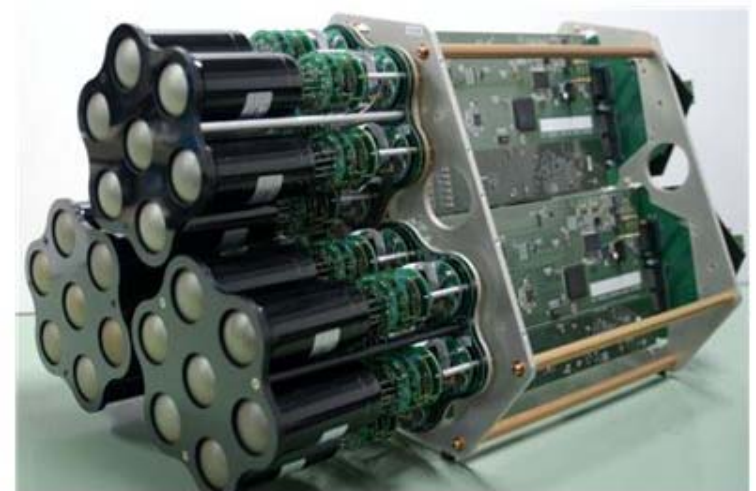
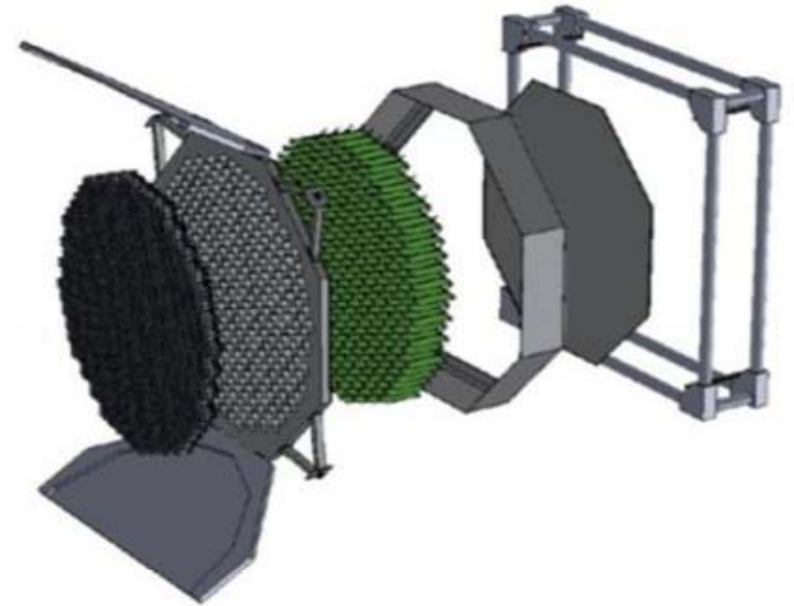
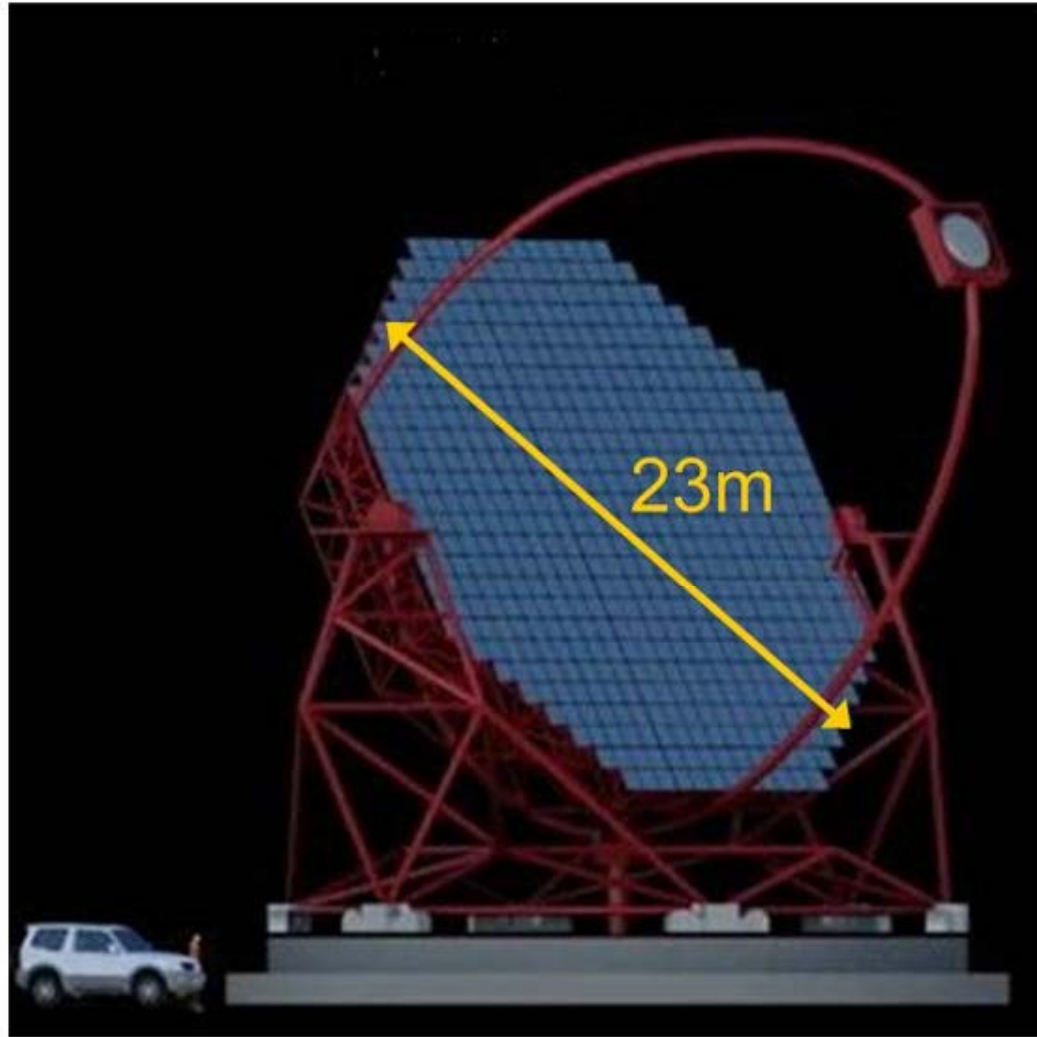
宇宙線研 大岡秀行

手嶋政廣<sup>AB</sup>, Razmik Mirzoyan<sup>B</sup>, Holger Wetteskind<sup>B</sup>, 栗根悠介<sup>C</sup>,  
上野遥<sup>D</sup>, 梅原克典<sup>E</sup>, 萩原亮太<sup>F</sup>, 奥村暁<sup>G</sup>, 折戸玲子<sup>H</sup>, 片桐秀明<sup>E</sup>,  
門叶冬樹<sup>F</sup>, 株木重人<sup>I</sup>, 岸本哲朗<sup>C</sup>, 櫛田淳子<sup>J</sup>, 郡司修一<sup>F</sup>, 小谷一仁<sup>J</sup>,  
窪秀利<sup>C</sup>, 小山志勇<sup>D</sup>, 今野裕介<sup>C</sup>, 渋谷明伸<sup>G</sup>, 菅原隆希<sup>H</sup>, 高橋弘充<sup>K</sup>,  
田島宏康<sup>G</sup>, 田中真伸<sup>L</sup>, 千川道幸<sup>M</sup>, 寺田幸功<sup>D</sup>, 中森健之<sup>N</sup>, 西嶋恭司<sup>J</sup>,  
畑中謙一郎<sup>C</sup>, 馬場彩<sup>O</sup>, 林田将明<sup>C</sup>, 日高直哉<sup>G</sup>, 深沢泰司<sup>K</sup>, 水野恒史<sup>P</sup>,  
山本常夏<sup>Q</sup>, 吉田篤正<sup>O</sup>, 他 CTA-Japan consortium

東大宇宙線研<sup>A</sup>, Max-Planck-Institut fuer Phys<sup>B</sup>, 京大理<sup>C</sup>, 埼玉大理工<sup>D</sup>,  
茨城大理<sup>E</sup>, 山形大理<sup>F</sup>, 名大STE研<sup>G</sup>, 徳島大総科<sup>H</sup>, 東海大医<sup>I</sup>, 東海大理<sup>J</sup>,  
広大理<sup>K</sup>, KEK素核研<sup>L</sup>, 近畿大理工<sup>M</sup>, 早大理工<sup>N</sup>, 青学理工<sup>O</sup>, 広大宇宙セ<sup>P</sup>,  
甲南大理工<sup>Q</sup>

# LSTカメラ

カメラ筐体の構造

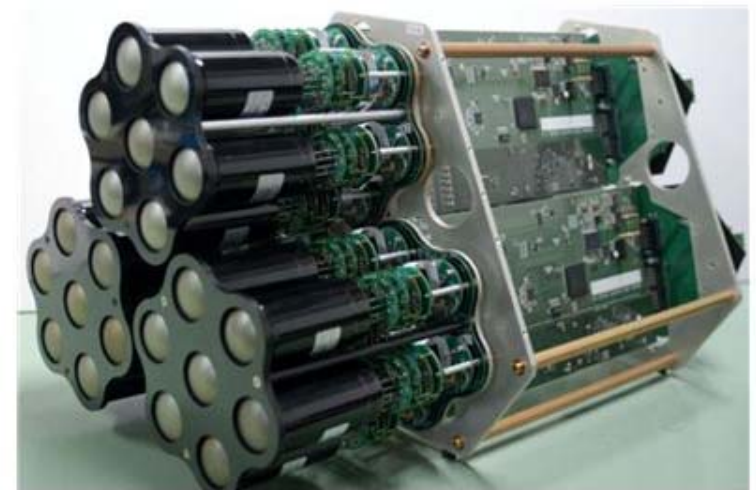
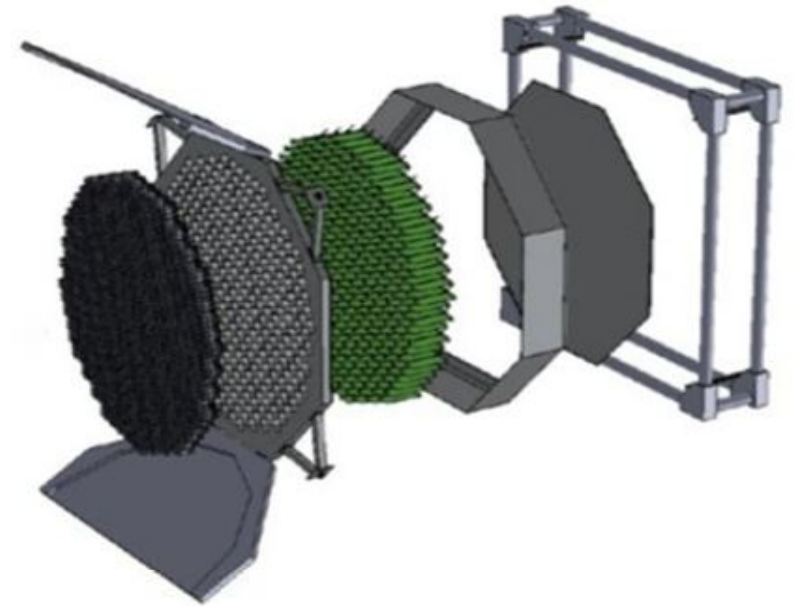
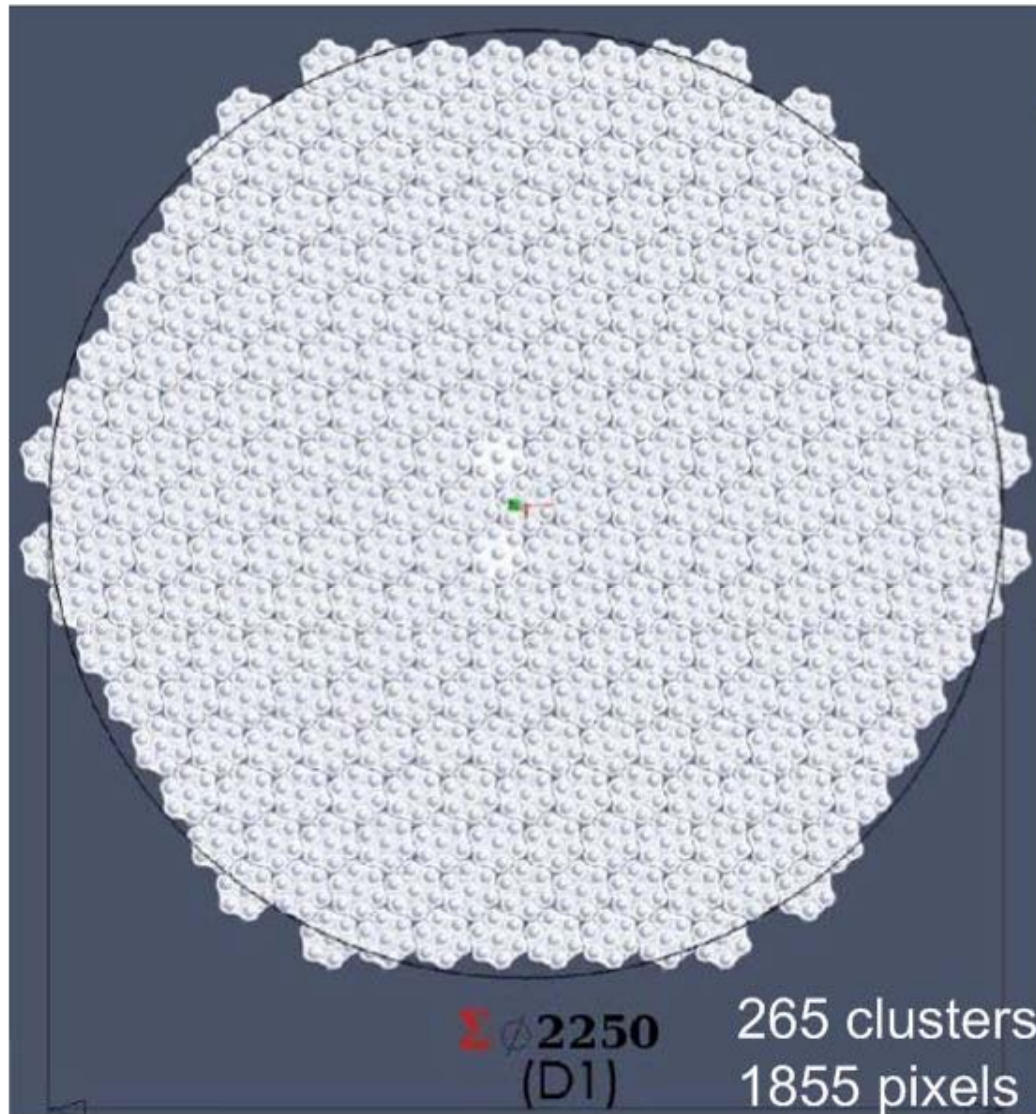


3 clusters (21 PMT)



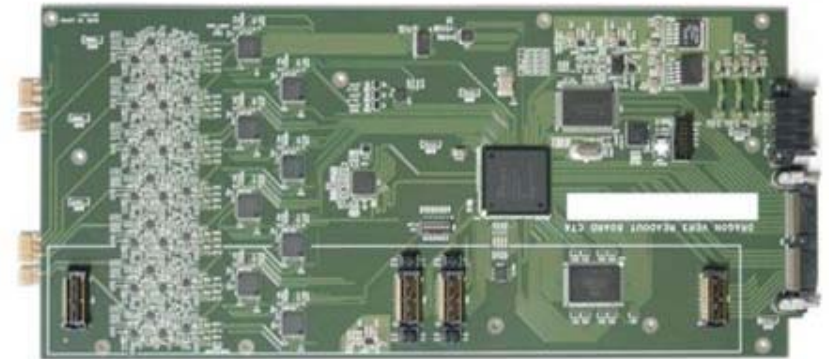
# LSTカメラ

カメラ筐体の構造

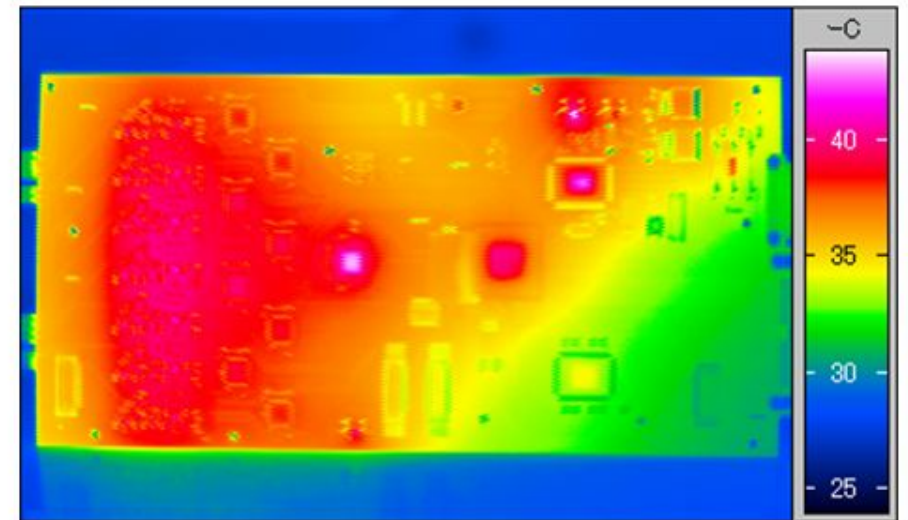


3 clusters (21 PMT)

# LSTカメラ



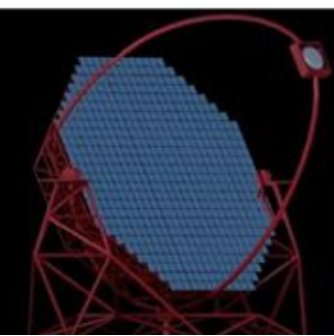
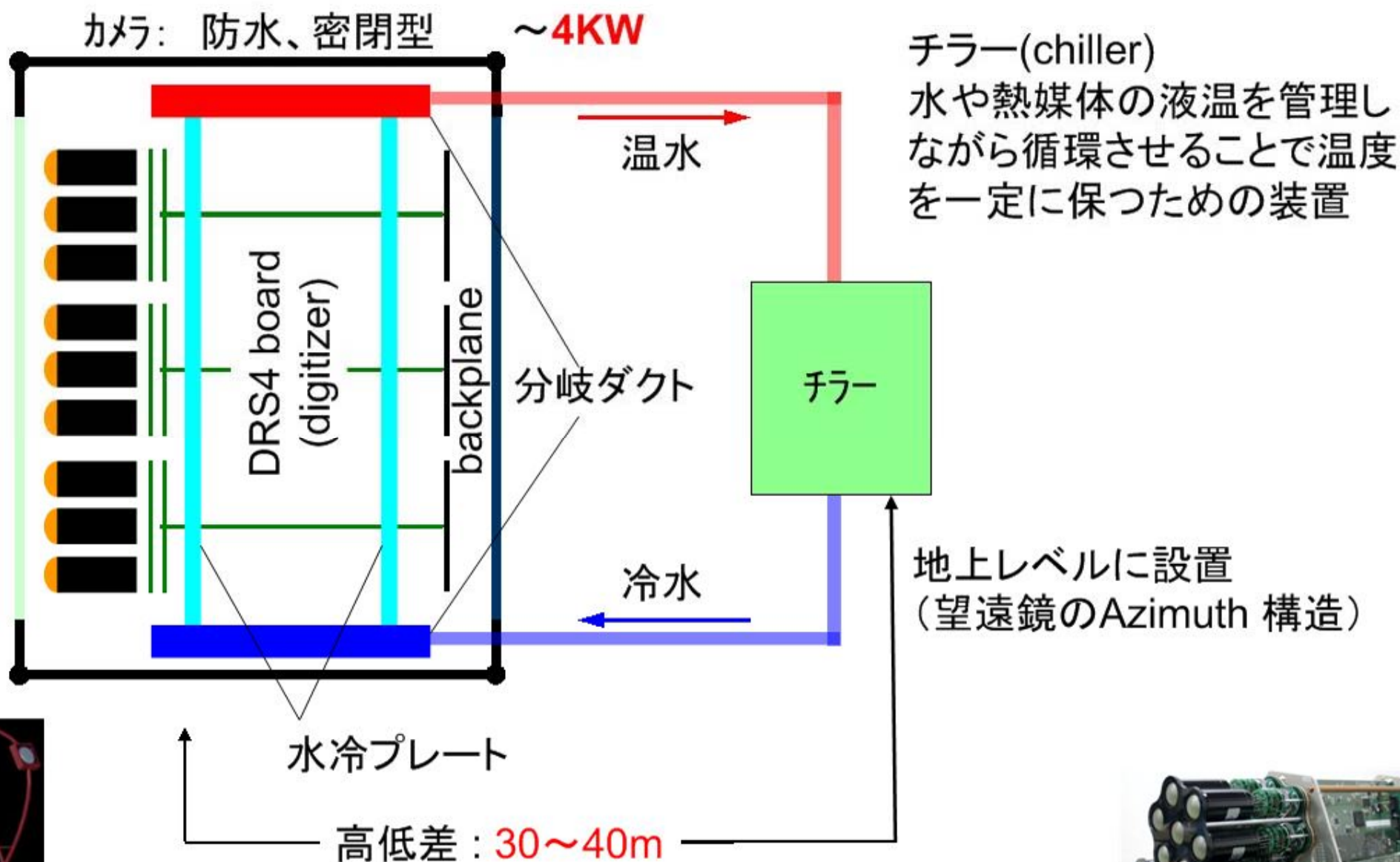
読み出し回路(DRS4ボード)



参考:ファームウェア開発中+Trigger待ちの状態

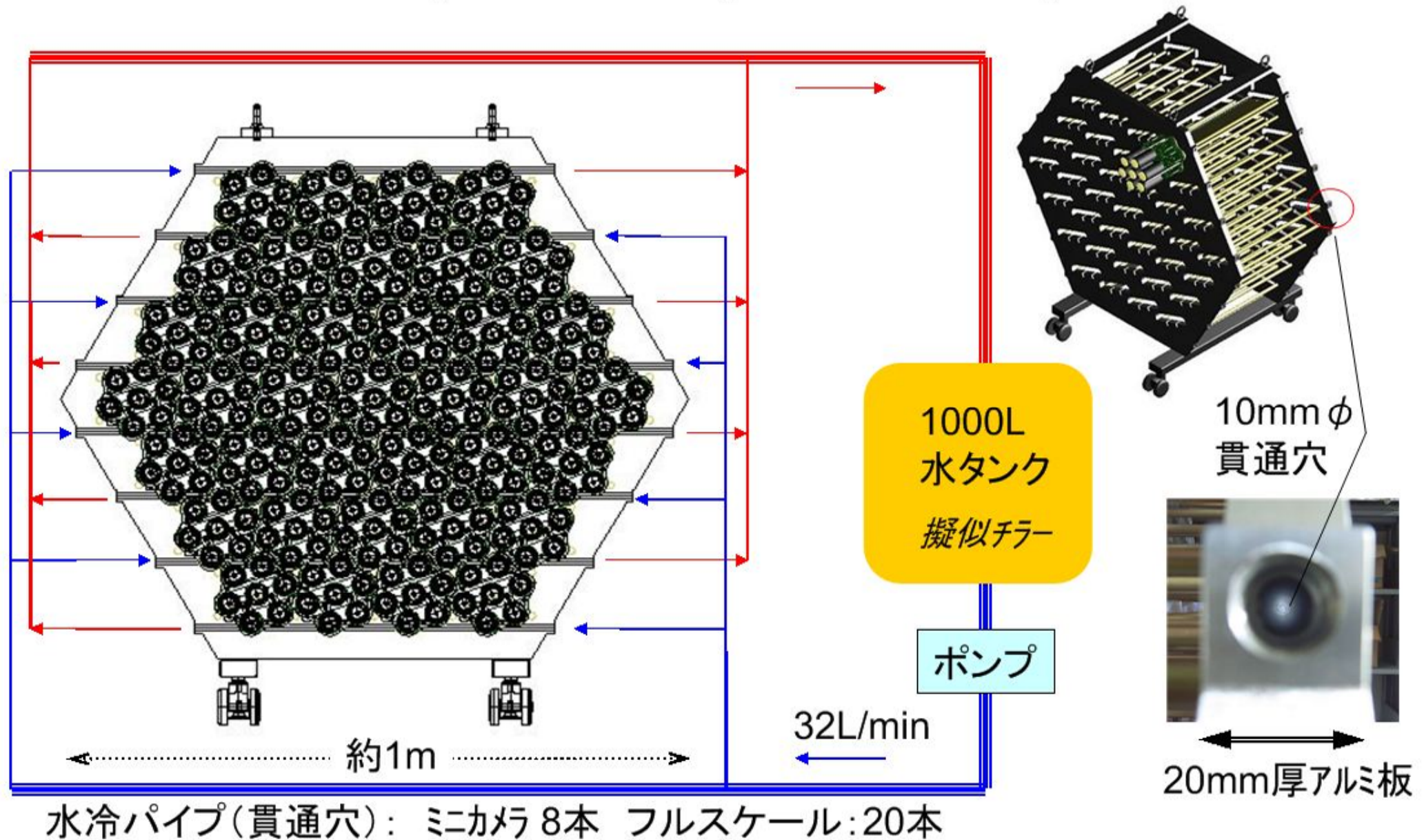


# 放熱経路



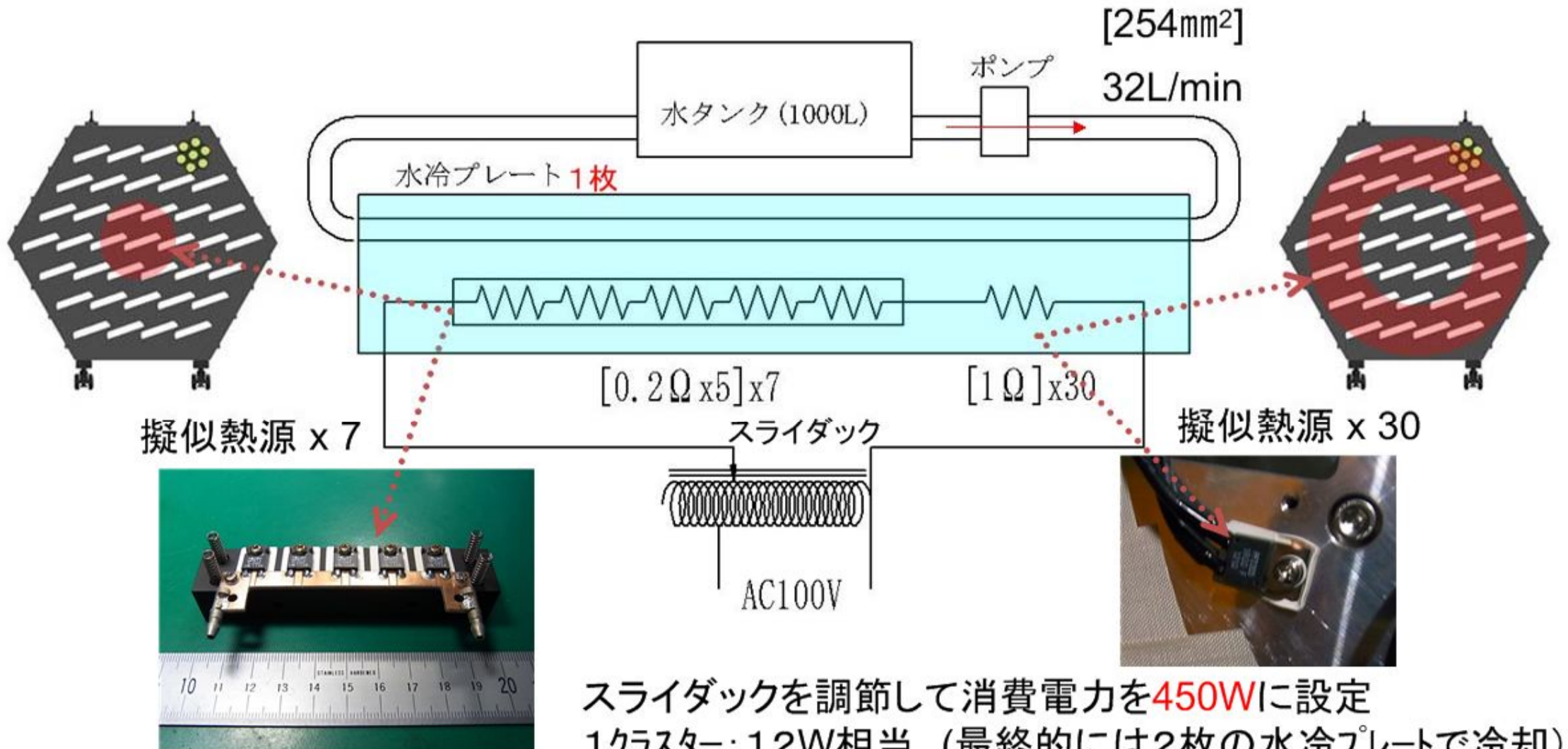
# パネル冷却実験の概念図

ミカマ(37clusters) 1/8モデル(LST)





# 実験方法



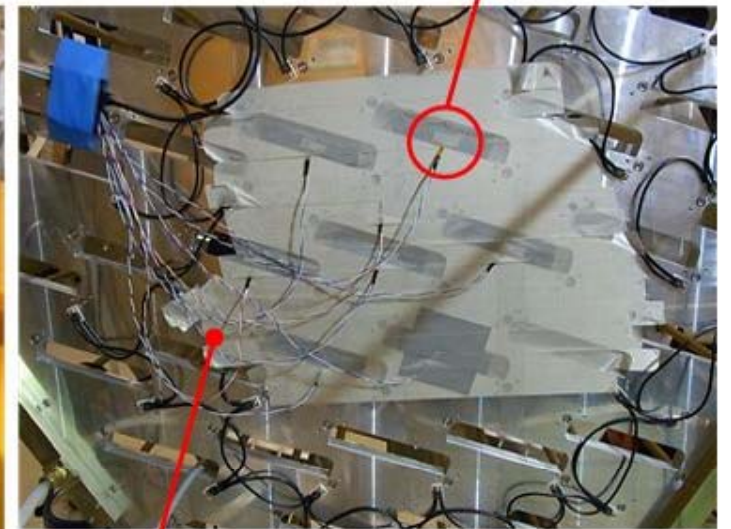
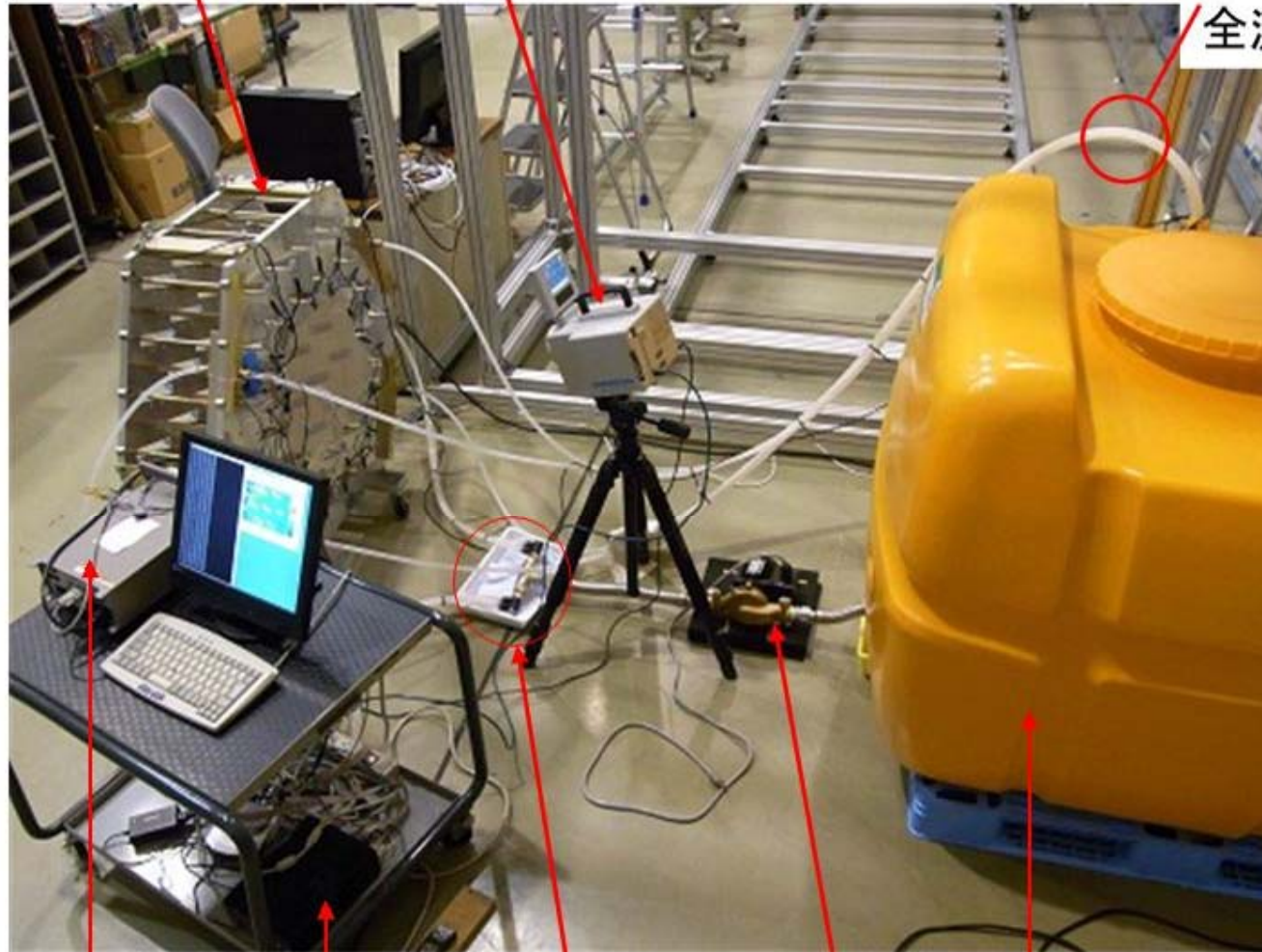
スライダックを調節して消費電力を**450W**に設定  
1クラスター: 12W相当 (最終的には2枚の水冷プレートで冷却)

# 実験風景

水冷プレート IRカメラ

ホース4本(内径9mm)  
全流量:32L/min

温度センサー



黒体テープ  $\epsilon = 0.95$

スプリング

熱伝導  
ラバー



PC

4分岐

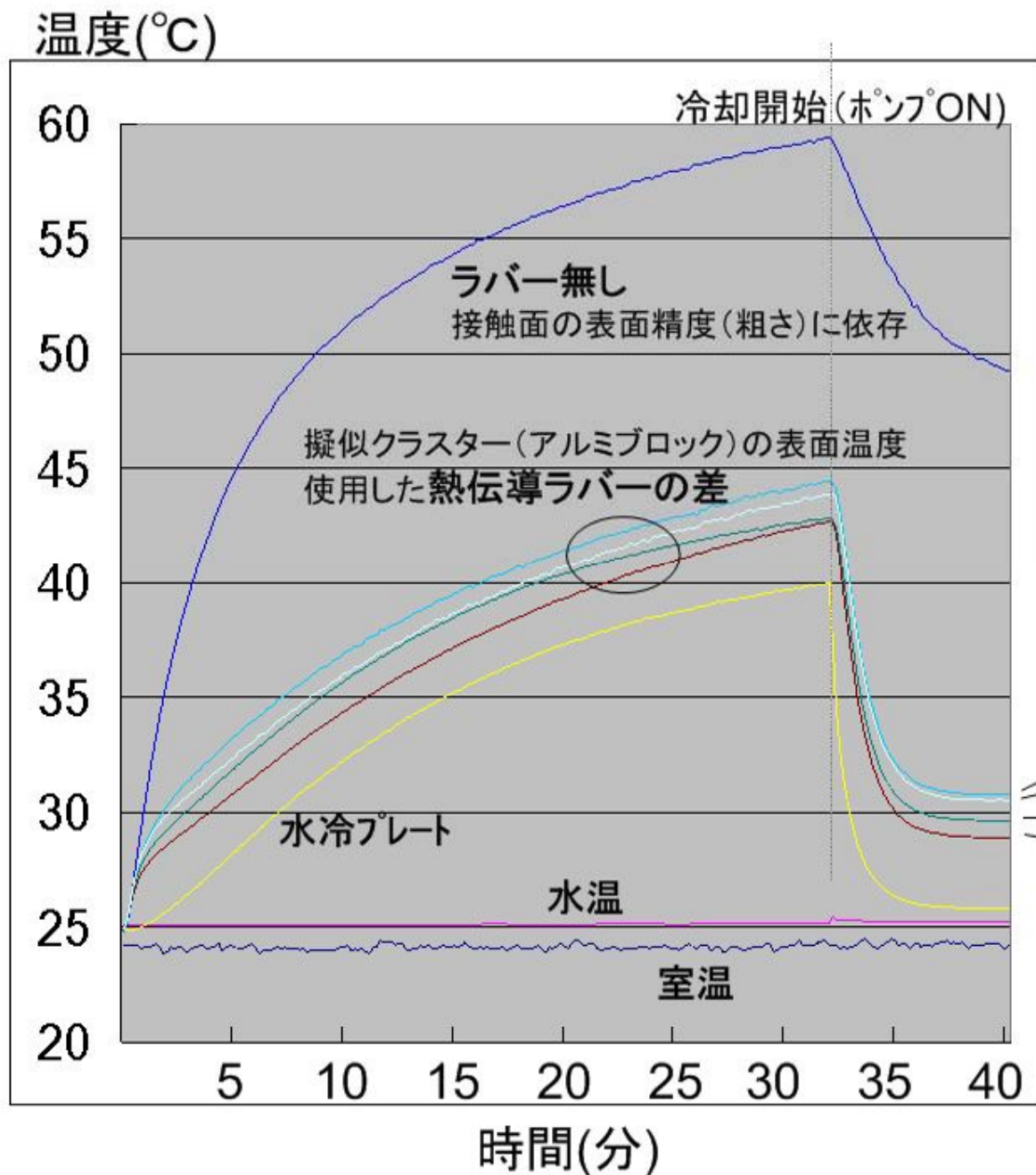
ポンプ

水タンク(1000L)

DMM: 温度測定用(サーミスタ使用)

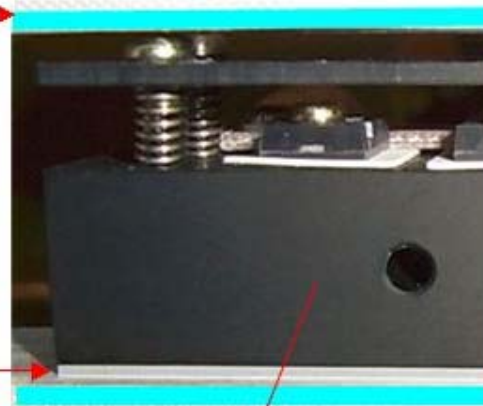


# 冷却性能



水冷プレート

熱伝導ラバー



表面温度測定

信越シリコン TC-100TEX 1t 3.3W/m·K

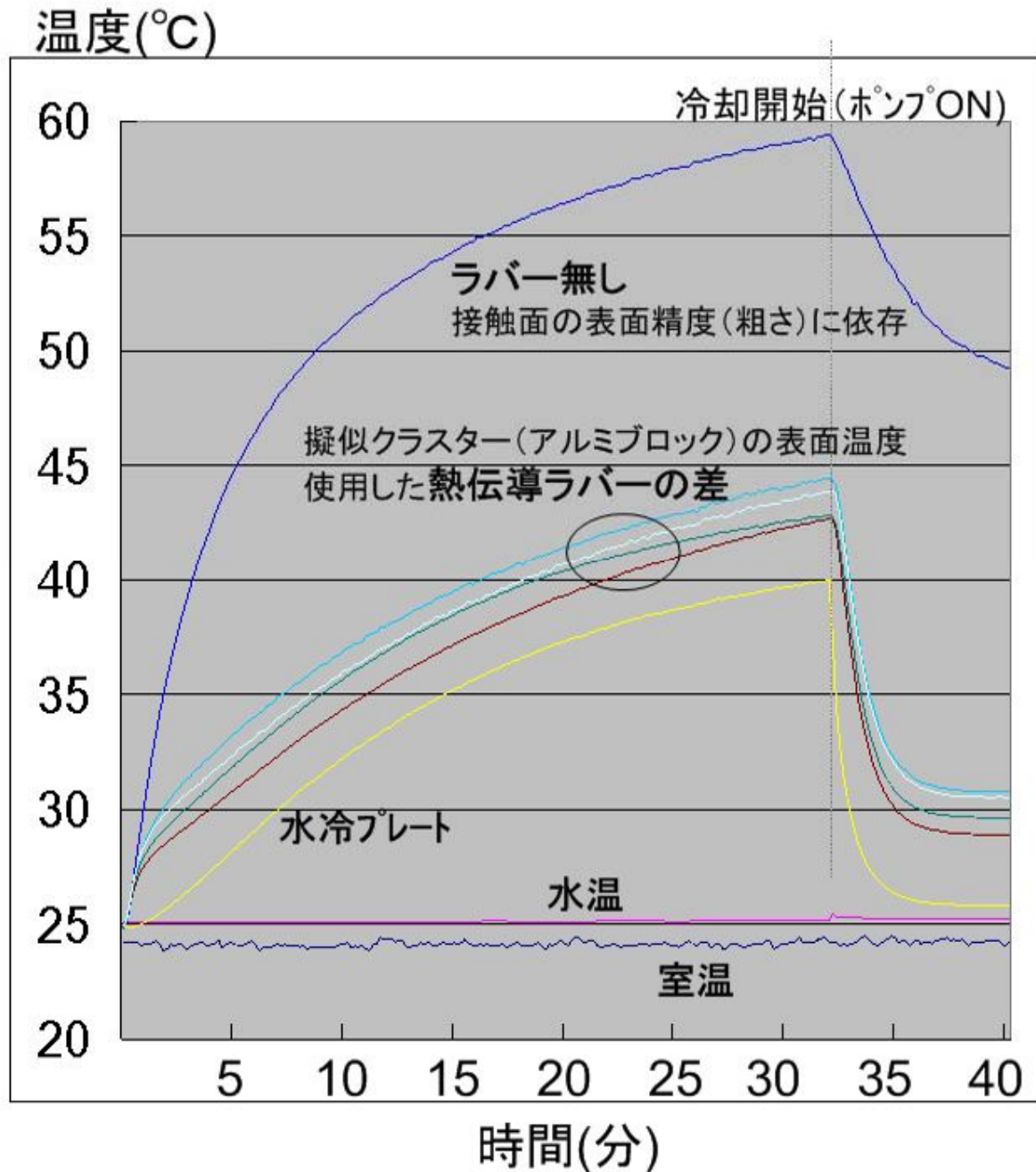
TC-100TEX + 0.1t x 80 x 80 銅板

ポリマテック PT-UT 1t 15W/m·K

ポリマテック MANION50α 1t 50W/m·K

熱伝導率はカタログ値

# 冷却性能



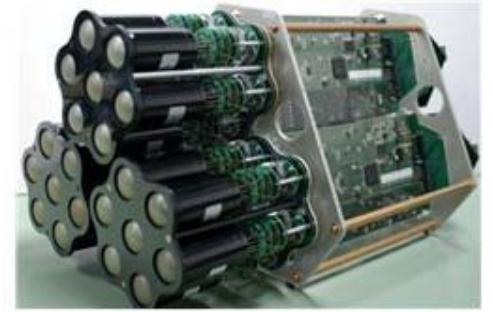
全て同じ熱伝導ラバーを使用



種類の異なるラバーを使用

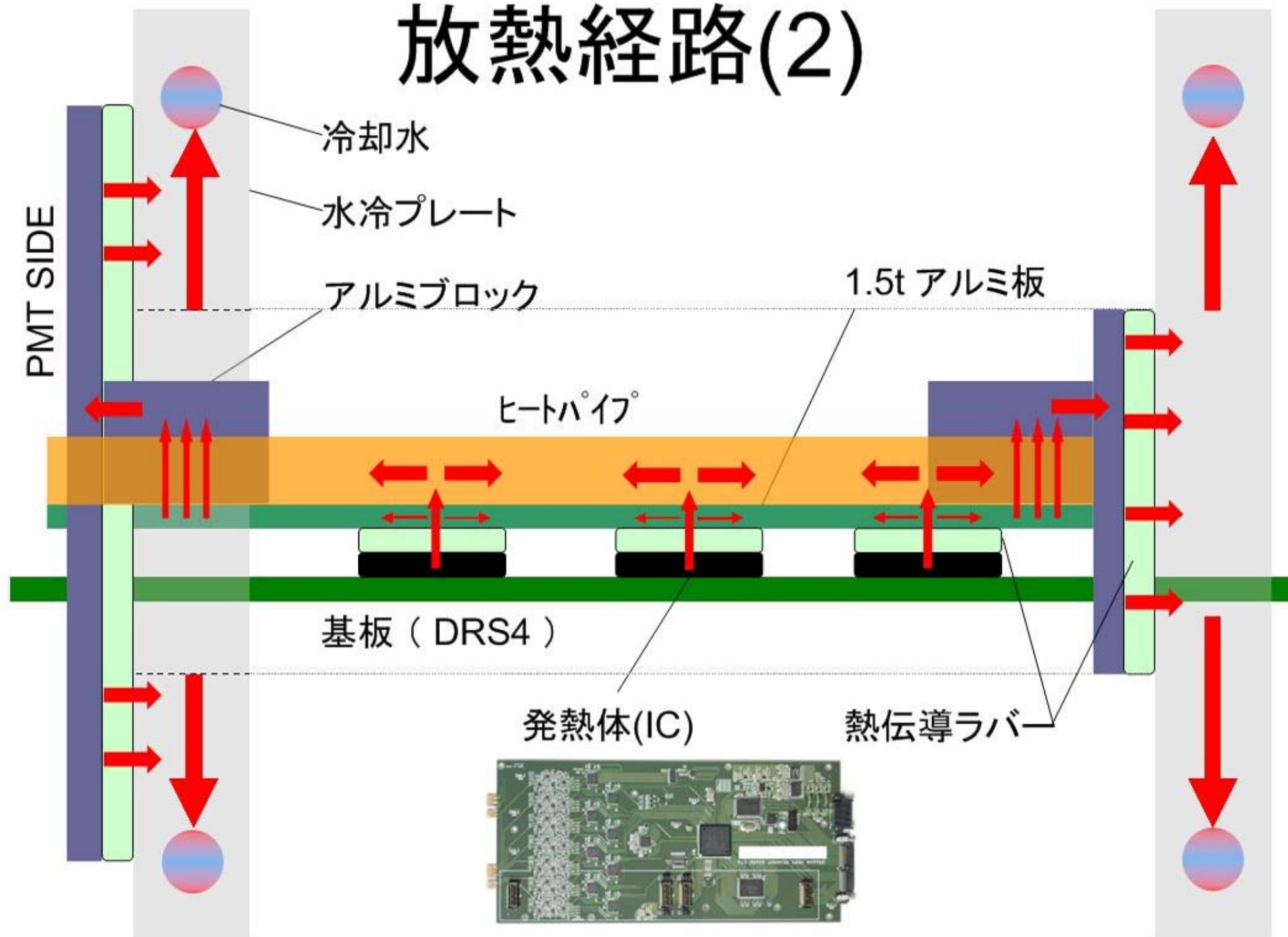






## (DRS4)ボードの冷却

# 放熱経路(2)

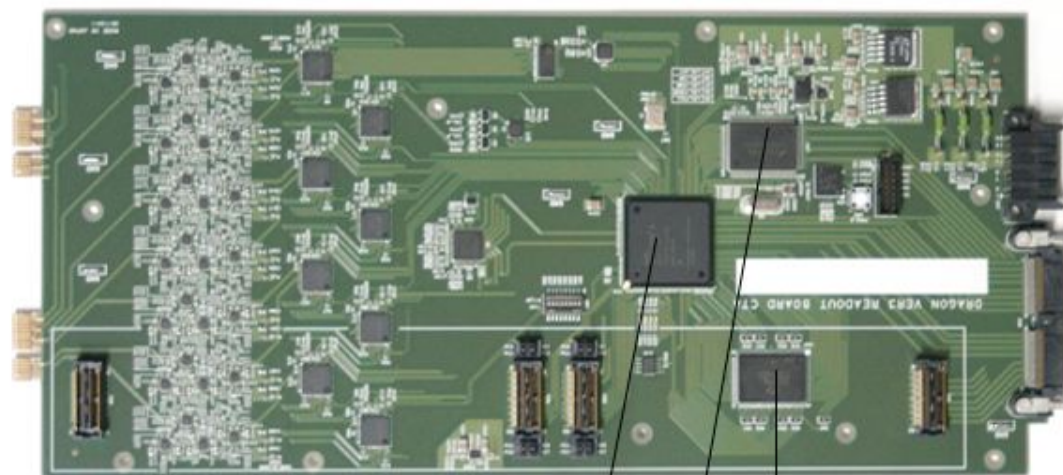




# ボード冷却実証試験

擬似ボード

IRカメラ



DRS4ボード

SRAM 1W

Gbit PHY 1W

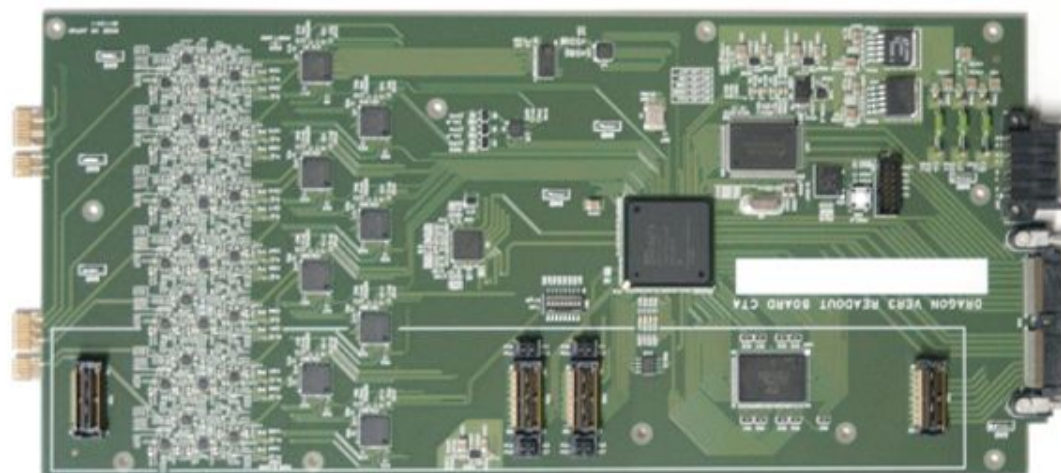
FPGA 2.4W

total: 10W

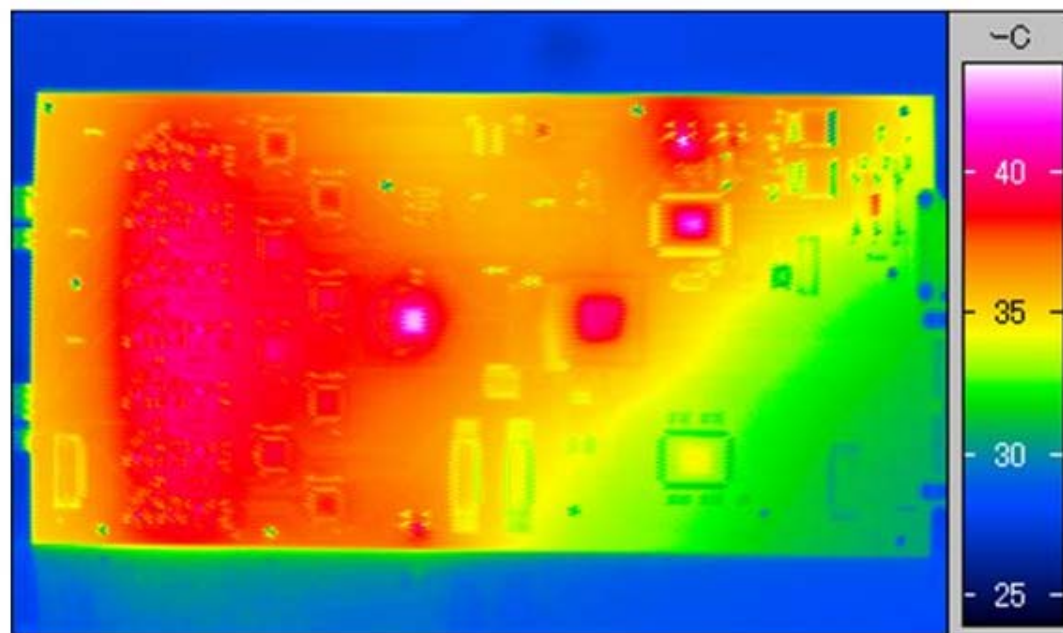
# ボード冷却実証試験

擬似ボード

IRカメラ



DRS4ボード

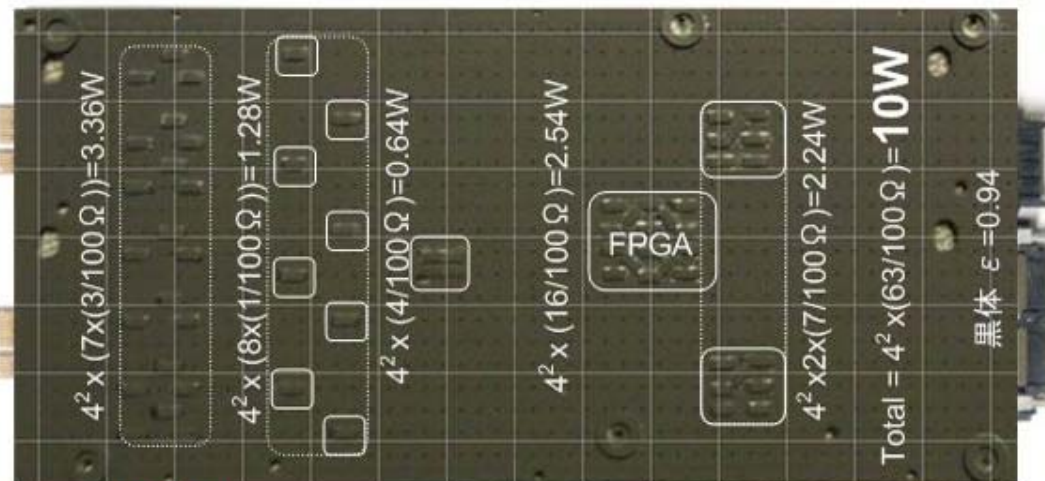




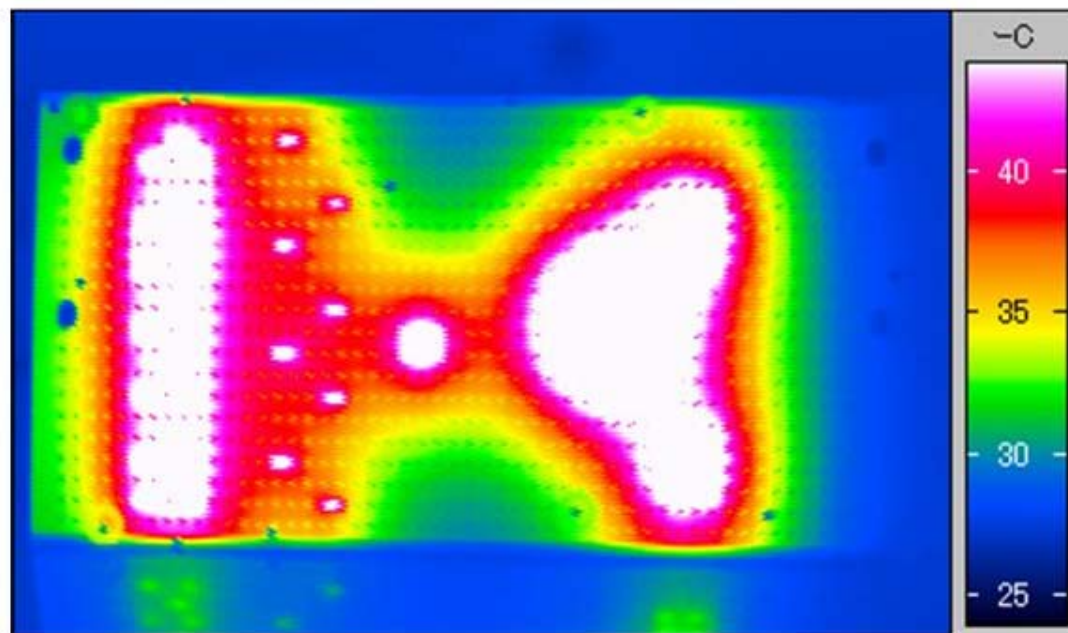
# ボード冷却実証試験

擬似ボード

IRカメラ



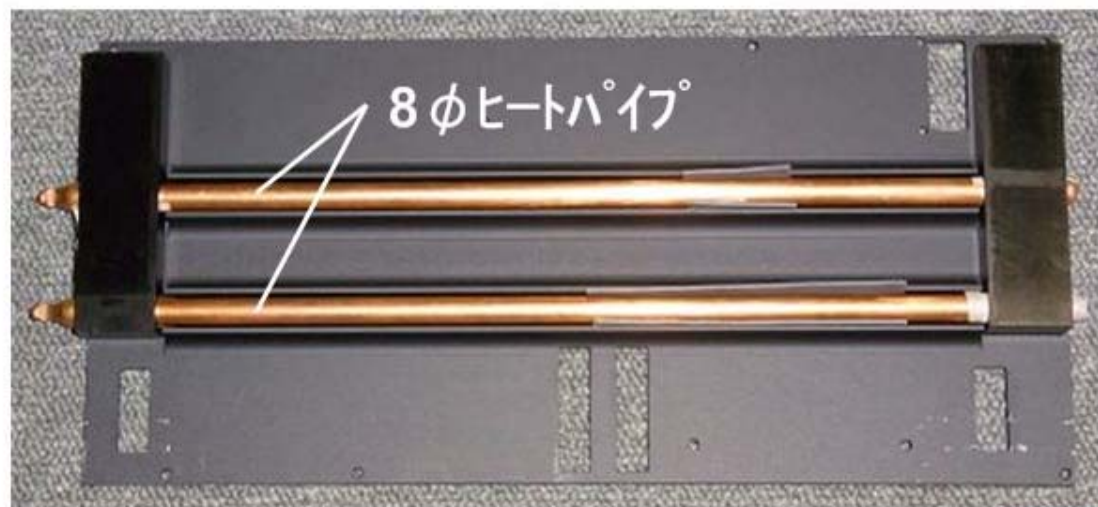
擬似 DRS4ボード



# ボード冷却実証試験

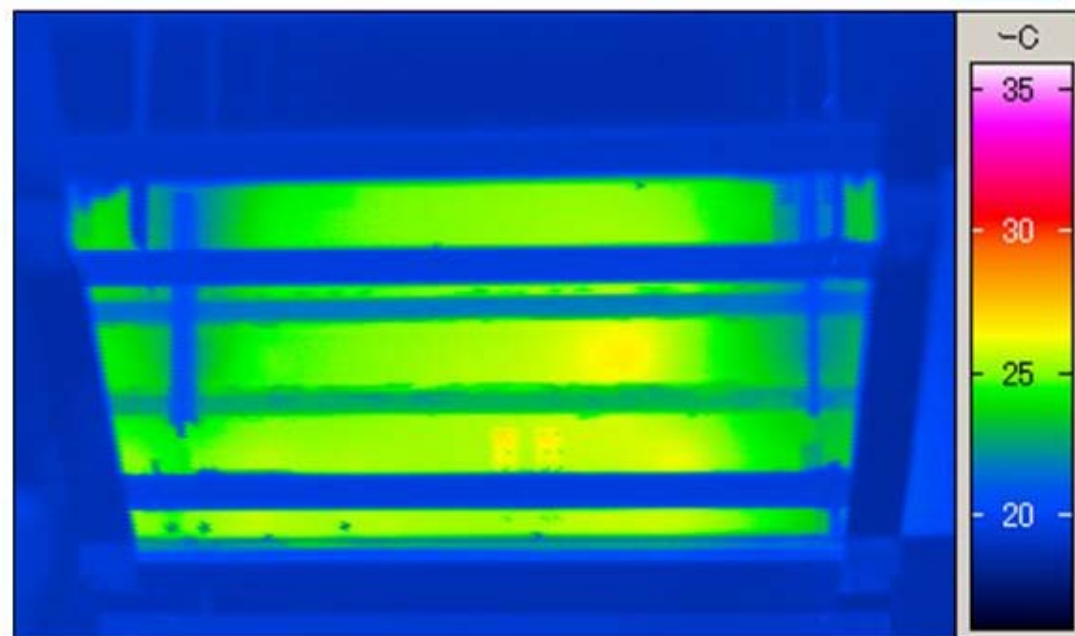
擬似ボード

IRカメラ



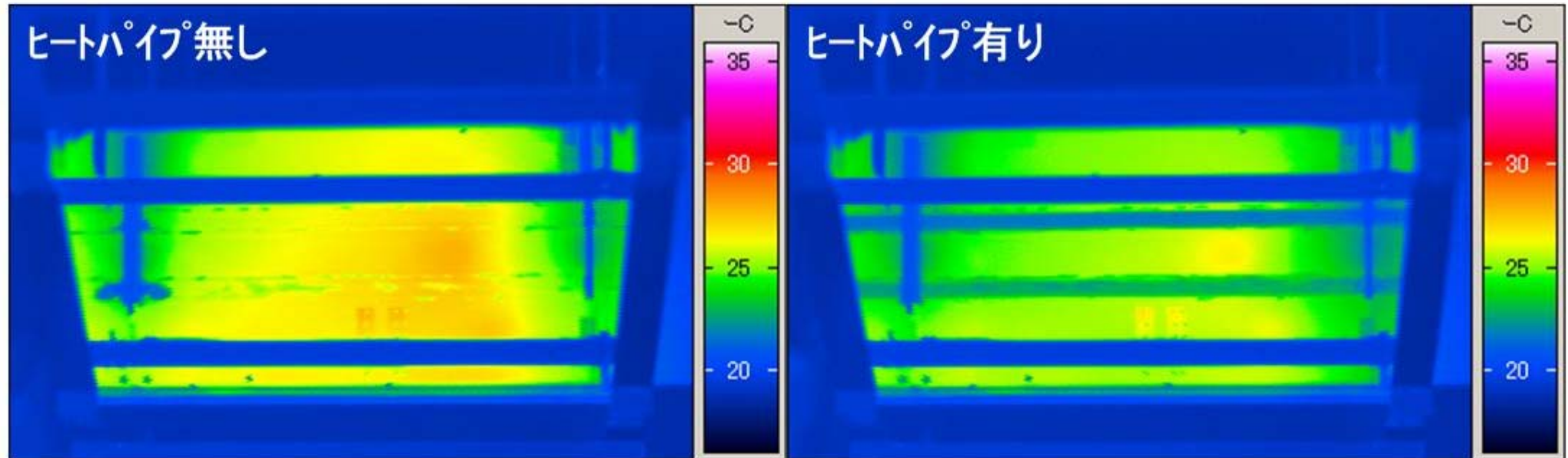
冷却板 1.5tアルミ

3D

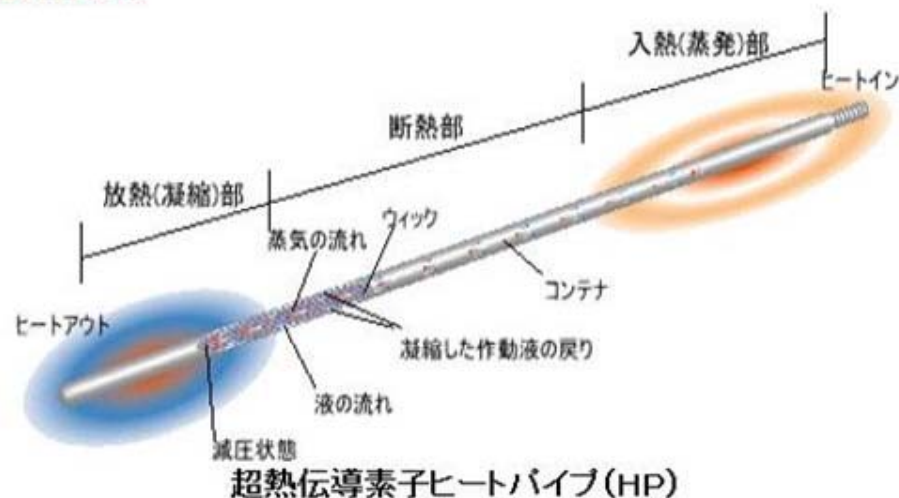




# ヒートパイプの効果



## ■ 動作原理

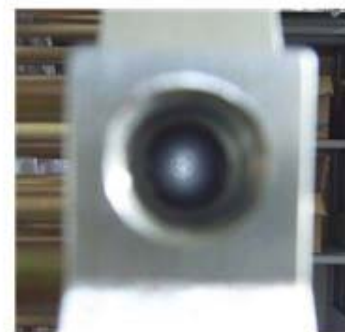


ヒートパイプとは、密閉容器内に少量の液体(作動液)を真空封入し、内壁に毛細管構造(ウイック)を備えたもの

ヒートパイプの一部が加熱されると、

- (1)加熱部で作動液が蒸発(蒸発潜熱の吸収)
  - (2)低温部に蒸気が移動
  - (3)蒸気が低温部で凝縮(蒸発潜熱の放出)
  - (4)凝縮した液が毛細管現象で加熱部に環流
- という一連の相変化が連続的に生じ、熱が素早く移動

# ガントリルマシン(深穴加工機)



ガントリルマシン



20tのアルミ板のに10φの横穴を貫通

20t × 1525 × 3050 が最大

LST用カメラ(直径2.2m)の場合は2分割

貫通穴の加工精度 : 1mm (3mの場合)

外形等は別加工



ガントリル





# まとめ

- 水冷プレートの効果を確認
  - 3°C以内での温度制御は十分実現可能（チラーの能力に依存）
  - 水冷プレートとカメラモジュールとの熱コンタクトが重要
    - 着脱性＋熱伝導性を考慮したデザイン
    - 熱伝導ラバーは実際の使用条件での比較（性能評価）が必要
- 水冷プレートはカメラの機械構造の一部
  - 2枚の水冷プレートでDRS4 カード、PMT 等を支える
  - 直径2.2mの水冷プレートの製造は可能
  - フルサイズでは水冷プレート1枚250kg
  - 軽量化 ⇒ 構造解析、熱解析が必要