

竹内 崇人(青学大・院), 岡崎 峻(JAXA), 小川 博之(JAXA), 小林 聖平(東海大・院), 近藤 愛実(東海大・院), 西城 大(JAXA), 福家 英之(JAXA)

## 本研究の目的

GAPSでは気球フライト前に地上で試験を行なうために、実機においてリチウムドリフト型シリコン検出器(Si(Li)検出器)を約-40°C以下に冷却することが必要である。さらに、GAPSペイロードシステムを地上で検証するためのプロトタイプであるGAPS Functional Prototype (GFP)でも、地上でSi(Li)検出器を約-40°C以下に冷却するシステムが必須である。そこで、GAPSペイロードやGFPの形態を崩すことなく、地上でSi(Li)検出器を冷却するために、ヒートパイプ(Heat Pipe(HP))によって熱輸送された検出器発熱が排熱される放熱板をチラーからの循環液で冷却する地上試験用の冷却システムを開発中である。本研究の目的は、開発中の地上冷却システムがGFP用GAPS-HP(GFP-HP)の動作に対して有効であることを確認し、フライトモデルの地上試験の実現を検討することである。本発表では実験室環境(約25°C)におけるGFP-HPの地上冷却システムの試験モデル(GFP Thermal Control System Step2(GFP-TCS-S2))を設計・製作し、動作試験を行なった結果を報告する。

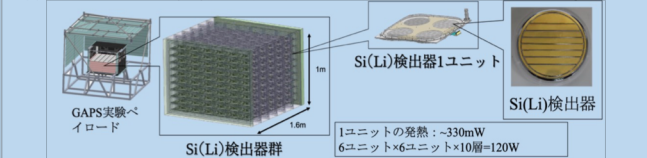
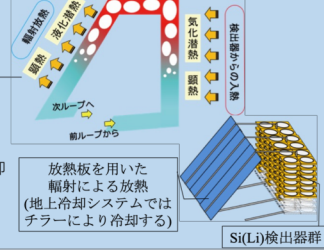
## General Anti-Particle Spectrometer (GAPS)実験

GAPS実験は南極周回気球を用いて、一次宇宙線中の低エネルギー反陽子を探査することにより、ダークマターの解明を目指すことを目的とする計画である。宇宙から飛来する低エネルギー反陽子を捕獲し、生成されたエキゾチック原子の崩壊過程で放出される特性X線のエネルギー測定やπ/p粒子群の飛跡を検出するため、GAPSではSi(Li)検出器を用いる。GAPS用Si(Li)検出器はリーク電流がノイズの主な原因となっており、リーク電流を抑制するためにSi(Li)検出器を約-40°C以下に冷却する必要がある。

## GAPS用Si(Li)検出器の冷却システム

これまでにSi(Li)検出器の発熱をペイロード外部に設置する放熱板まで輸送するためGAPSヒートパイプ(GAPS-HP)が開発されてきた。GAPS-HPは自動振動ヒートパイプとクロウズループサーモサイフオンの原理を併用しており、配管内部流体は圧力差や重力により駆動する。

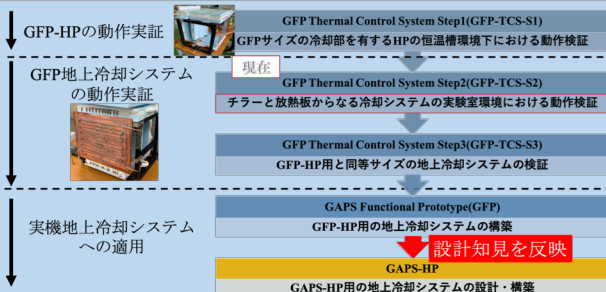
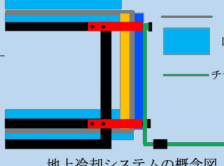
仕様	GAPS-HP	GFP-HP
フライト環境での放熱方法	輻射放熱	フライトなし
地上冷却試験	冷却板を取り付けて冷却	冷却板を取り付けて冷却
HP配管内部流体	HFC-23	HFC-23



## 地上冷却システムの開発

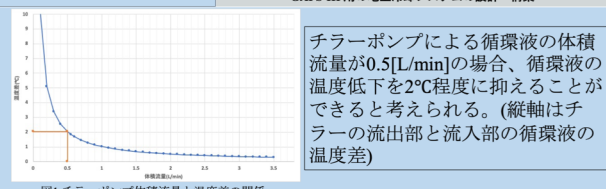
GAPS実機とGAPS Functional Prototype (GFP)の2つのシステムに対する地上冷却手法が必要である。それぞれのシステムの仕様概要を以下に示す。地上冷却では、チラーで低温化した循環液を流動させた冷却板をヒートパイプの放熱板に熱結合させる。この放熱板でヒートパイプの冷却部を冷却し、ヒートパイプを駆動させることで発熱源であるGAPS用Si(Li)検出器を冷却する。

仕様	GAPS	GFP
検出器個数	1440個	144個
検出器の発熱量	~120W	~12W
検出器要求温度	約-40°C以下	約-40°C以下



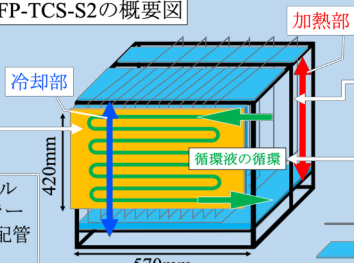
## GFP-TCS-S2の放熱板設計とチラーの循環液流量計算

- 【本発表における課題】
  - GFP-TCS-S2の内部流体を冷却する放熱板の設計検討
  - 放熱板の冷却に必要なチラーの循環液の流量見積り
- 【GFP-TCS-S2製作に向けた計算】
  - GFP-TCS-S2全体への実験室環境からの熱流入は約10Wと見積もった。
  - チラーから送られる循環液(エタノール)の体積流量を計算し、放熱板上の流入部から流出部までの温度差を見積もった(計算の物性値はメタノール)。



## GFP-TCS-S2の設計概要

GFP-TCS-S2のHP配管は放熱板(銅製の裏面にアルミテープで取り付けた(写真では見えない)。チラーからの循環液を放熱板の表面に取り付けた1/4in配管に流すことで放熱板と冷却板を一体化。



GFP-TCS-S2の加熱部は、検出器を模擬するヒーターを3個×12loop=36個取り付けている。

チラーとの結合時の写真。この写真の状態からさらに断熱材で覆う。

## GFP-TCS-S2の試験結果

【実験条件と仕様】

- 実験環境: 実験室
- 冷却目標: -45°C以下@加熱部
- チラーの液槽温度設定: -75°C
- チラー循環液の配管外径: 1/4インチ
- チラー循環液の配管長: 約14m(放熱板側: 約6m リザーバー側: 約7m, その他: 約1m)
- HP配管の放熱板への固定方法: アルミテープ
- チラー配管の放熱板への固定方法: はんだ付け

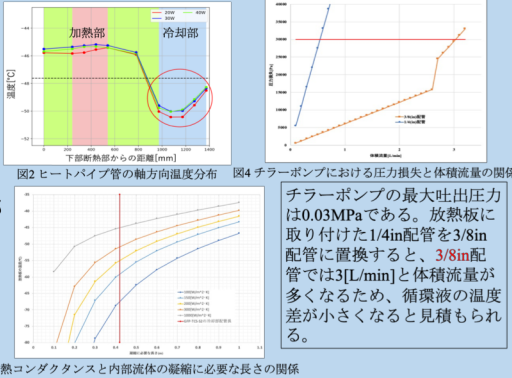
HP配管は放熱板に対してこのように固定されている

【ヒートパイプの動作検証結果】

図2のように、ヒートパイプの冷却部下部で配管表面の温度上昇が見られた。  
→HP配管と放熱板の接触コンダクタンスが小さいことが原因と考察され(図3)、両者の接触面積を増やすことで接触コンダクタンスを改善できると考えられる。

【チラーポンプの流量検証結果】

チラーポンプによる循環液の体積流量の実測値は約0.5 [L/min]程度。しかし、実験では循環液の流出部と流入部の温度差は約6°Cあり、事前の見積もりと異なった。  
→外部からの熱流入によって温度が上昇したと考えられるため、断熱の強化が必要と考えられる。また、チラーポンプの体積流量は、配管径に依存するため、配管径を大きくすることで改善できる可能性がある。



**GFP-TCS-S2(現在)**

- 循環液用の配管: 1/4in
- 放熱板への配管の固定方法: アルミテープで固定

**GFP-TCS-S3(これから)**

- 循環液用の配管: 3/8in 程度
- 放熱板への配管の固定方法: 放熱板に配管を埋めることで、接触コンダクタンスを増やす。
- 熱流入への対策: 断熱の強化

## 今後の計画

上記の結果とその他課題解決をもとにGFP-HPの地上冷却システムを製作し、このシステムが南極実験で用いるフライトモデルの地上試験でも有効であることを検証する。