



概要

GAPSは2015年度以降に南極での気球実験を計画しており、宇宙線中の反粒子の高感度探査を通じて未知の宇宙物理過程を探る事を主目的としている。気球実験にて搭載機器は希薄気体のある高度35kmの特殊な熱環境に曝されるため、気球特有の環境に適した冷却システムの構築が必要である。冷却システムの構成は、検出器の発熱を低温のラジエーターパネルまで輸送し、宇宙空間へ輻射放熱することを計画している。現在、観測とシステムの要求を満たす熱輸送デバイスとして有力視しているのは自励振動型ヒートパイプ(OHP)である。そこで、南極でのフライト(bGAPS)に向けた予備実験である、大樹町での気球実験(pGAPS)でOHPのフライト実験を行った。本報告ではpGAPSに搭載したOHP(pGAPS-OHP)のフライト実験報告と熱解析結果について報告する。

1. GAPSの検出器熱設計

熱設計に求められる要求

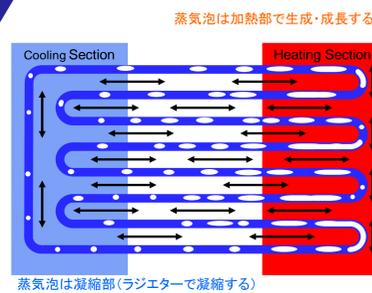
- 検出器温度を**-35deg-C以下**に抑える
- 検出器冷却・熱輸送に要する**電力の削減**
- 検出器空間内の**物質量の抑制**

要求に応える熱設計

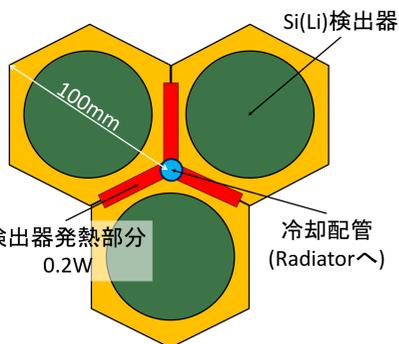
- ⇒ 検出器発熱を宇宙空間に排熱
- ⇒ ヒートパイプによる熱輸送
- ⇒ 熱輸送配管径を小さくする
- ラジエーターを側面もしくは下面に搭載



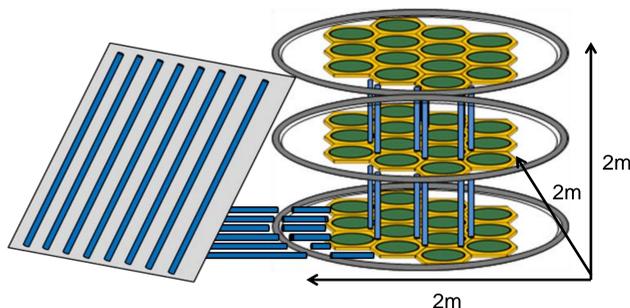
Oscillating Heat Pipe(OHP)を用いた熱設計



OHPとは加熱部と冷却部の間を数十往復する細管で構成され、細管の中に作動流体が飽和状態で封入された熱制御デバイス。作動流体が、加熱部での蒸発と放熱部での凝縮に伴い圧力振動を生じ、作動流体の移動が起きる。この移動する作動流体の潜熱と顕熱により加熱部から放熱部に熱輸送される。



各Si(Li)検出器の発熱は0.2[W]で3セルを1組とし冷却配管に熱結合



セルを400個敷き詰めたものを1層とし15cm間隔で13層重ねる

GAPSのOHPで挑戦的な点

- 配管構成がU字型である
- 高さが2[m]の検出器の熱を輸送
- 35[deg-C]以下の低温で動作が可能

気球実験目的



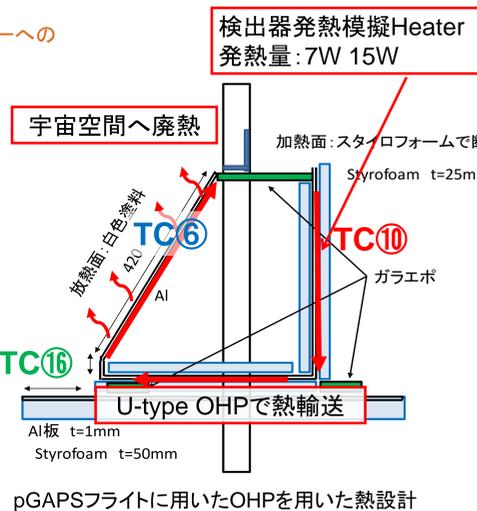
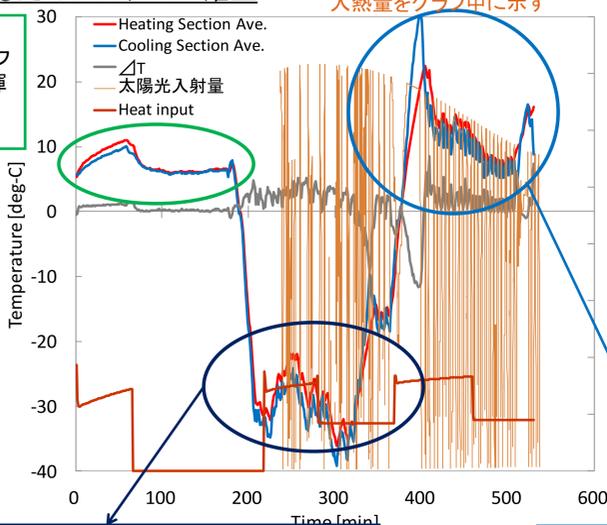
pGAPSのスケールモデルにおいて

- U字型配管構成(高さ0.3m)
- 低温でのOHP動作
- フライト環境での熱設計確認

2. pGAPS OHP熱設計・実験結果

- ・OHP動作の検証
- ・気球フライト環境での熱設計の確認
- ・気球にOHPを搭載するためのシステムの確立

地上実験
恒温層での試験結果と比較しフライト直前に従来の性能を発揮し、フライトできる状態であったかの検証



熱・システム設計概要
OHP
・U字型, 逆弁, closed loop type, ターン長900mm
作動流体: R410A, 配管内径: 1.0mm, ターン数: 10ターン

全体熱設計
・ヒータ発熱は検出器発熱密度を模擬
・検出器模擬発熱はOHPによってラジエーターへ熱輸送され、宇宙空間に放射される
・ラジエーター角度60deg
・ラジエーターは-35deg-Cで20Wの放熱能力を有する
・150mm突き出した部分でアルベド・地球赤外によるラジエーターへの熱侵入を低減
・南中時に上部からラジエーターへ太陽光が差し込まない
・OHPは独立して熱評価できるように断熱取り付け

高度18kmでの試験

気球実験中で機器が最も冷える環境での熱設計確認
希薄気体による対流の影響をどの程度受けるのか熱モデルによる検証を行う

結果

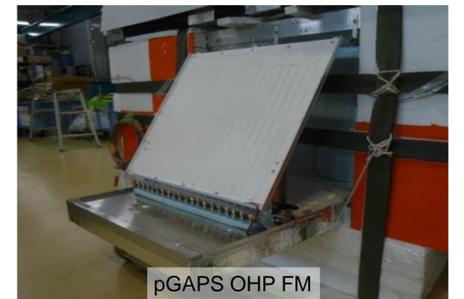
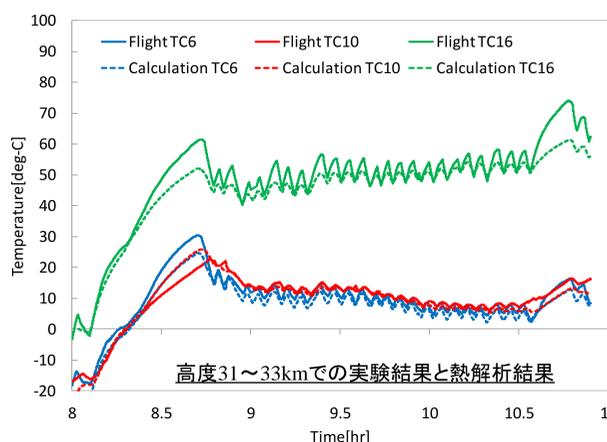
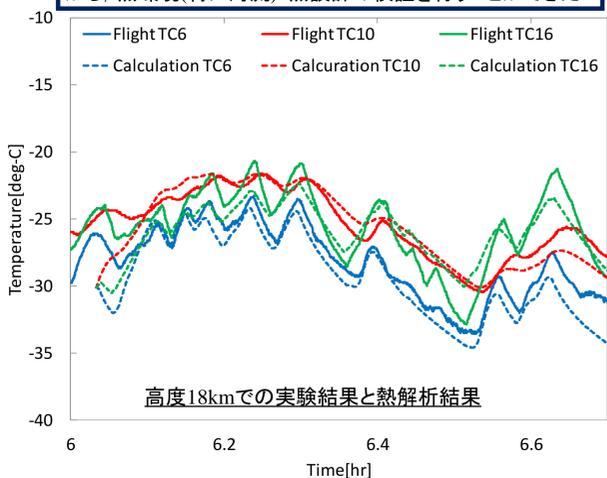
OHPは正常に動作していることが確かめられる
非定常熱解析を行い実験結果とよく一致する結果を得た事から、熱環境・熱設計の検証を行うことができた

高度31~33kmでの実験

GAPSが観測を行う環境での熱設計の確認

結果

OHPは正常に動作していることが確かめられる
非定常熱解析を行い実験結果とよく一致する結果を得た事から、熱環境・熱設計の検証を行うことができた。
pGAPSの熱設計としては対流による熱伝達は無視できる



今後の検討

今後はプレフライト実験であるpGAPSの実験結果を踏まえて南極での実験(bGAPS)に向けた熱設計を行っていく。また、bGAPSはpGAPSと比べ規模が大きくなるため、大型化を目指したOHPの研究・開発を行っていく。

	Natural Convection		OHP	White Paint		Aluminum	
	Ambient Temperature deg-C	Heat transfer coefficient W/m2K		α	ε	α	ε
高度18km	-50	2.5	5	0.277	0.924	0.33 (0.15)	0.23 (0.05)
高度31~33km	-	-	5	0.277	0.924	0.33 (0.15)	0.23 (0.05)

*黒文字: 実験結果 赤文字: 測定値 青文字: フィッティングした値
()内は文献値