

平成 21 年 11 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20740257
 研究課題名（和文） 月惑星探査用高精度ガンマ線分光計の軽量化
 研究課題名（英文） Reduction in weight and power consumption
 of a gamma-ray spectrometer for space use
 研究代表者
 山下 直之 (YAMASHITA NAOYUKI)
 早稲田大学・理工学術院・講師
 研究者番号：90398933

研究成果の概要（和文）：月惑星探査用高精度ガンマ線分光計の軽量化・低消費電力化のため、熱設計を最適化するというアプローチが実証された。本研究の結果、月探査衛星「かぐや」搭載品に比べ、冷凍機の消費電力を 1/3、重量を 1/10 まで抑えることに成功した。更に、冷却機構が小型化・低振動化されるためマイクロフォニック雑音の低減も期待され、分光計のエネルギー分解能向上もできる結果となった。

研究成果の概要（英文）：Optimization of thermal design has been verified to be extremely effective to reduce weight and power consumption of a gamma-ray spectrometer for space use. As a result of this research, the power consumption of weight of the cryocooler have been reduced to 1/3 and 1/10 respectively, compared to that aboard the lunar exploration satellite “Kaguya.” Furthermore, a smaller and less noisy cooler leads to the expected reduction in microphonic noise, which will greatly contribute to the improvement in energy resolution of spectrometers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2009 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：惑星探査；惑星起源・進化；リモートセンシング；ガンマ線；放射線検出器

1. 研究開始当初の背景

(1) 月・惑星の起源や進化の解明には天体の元素組成とその分布について高い精度で観測することが重要である。元素組成観測には、全主要元素、及び重要な微量元素に対して高

い感度を持つガンマ線分光法が有用である。月や火星表面のガンマ線観測により元素濃度分布が得られ、太陽系天体の歴史が明らかになりつつある。

惑星ガンマ線観測により、表面の岩石種、固化年代、熱史、天体集積位置の決定、資源

探査などを行うには、分光計のエネルギー分解能が非常に重要である。今日、惑星ガンマ線分光においてゲルマニウム検出器に優る分光計はないが、90K以下に冷却する必要があり、人工衛星に搭載する際に質量と電力が大きな問題となる。このため大きな科学的成果が期待されながらも、限られた飛翔体リソースの中で搭載を断念せざるを得ないケースが相次いだ。

(2) そこで将来予想される遠隔天体の探査や着陸計画においても、ガンマ線観測によりその天体の構成元素を調べ、天体の形成メカニズムを詳細に解明するには、高精度ガンマ線分光計の低リソース化(特に衛星搭載上問題となる重量及び消費電力)が要請されていると判断した。

2. 研究の目的

ガンマ線検出器及び冷却機構の詳細な熱設計を行い、ゲルマニウム結晶への熱流入を極限まで減らすことにより、必要とされる冷却能力を引き下げる。これにより冷凍機リソースの削減が可能となり、ガンマ線分光計の性能を落とさずに重量の大部分を占めるメカニカル部の軽量化・低電力化を図った。

同時に、ロケット打ち上げ時の振動に耐えうる強度を持っているか、試作品によって実験的に確認し、月惑星探査用高精度ガンマ線分光計の軽量化・低消費電力化のため、熱設計を最適化するというアプローチを実証する。

3. 研究の方法

ゲルマニウム結晶に流入する熱量を洗い出し、それらを極限まで抑える詳細な熱設計を行った。その上でプロトタイプ・モデルを試作した。これに各種性能・環境試験を実施して実用性を確認した上で、改善点等を評価し、宇宙探査利用への提言とした。

(1) 基礎設計

ゲルマニウム結晶及び冷凍機に対し、キャニスター、冷却棒、熱結合機構、支持構造等を熱流入の観点から詳細に検討、再設計を施した。

(2) 試作品製作

上記の設計を基に試作品を作成した。

(3) 環境・性能試験

以下の各種試験を行った。

・冷却試験：ゲルマニウム結晶温度を時間の関数として測定、実運用上現実的な冷却温度及び冷却速度を持っていることを確認した。

・耐振動試験：製作した検証用モデルが、打ち上げ時の振動に耐え得るか、実験による確認を行った。

4. 研究成果

(1) 基礎設計

様々な理論計算及びコンピュータ・シミュレーションによる最適化の結果、以下の手法が有用であることが分かった。

- ・結晶素子接続部に樹脂製の座金の採用
- ・円筒状の結晶素子上部を軸で支える構造
- ・外部部と結晶素子に表面加工

これらを採用し、熱設計を最適化しつつ打上時振動に十分な強度を持つ設計を行った結果を図1に示す。

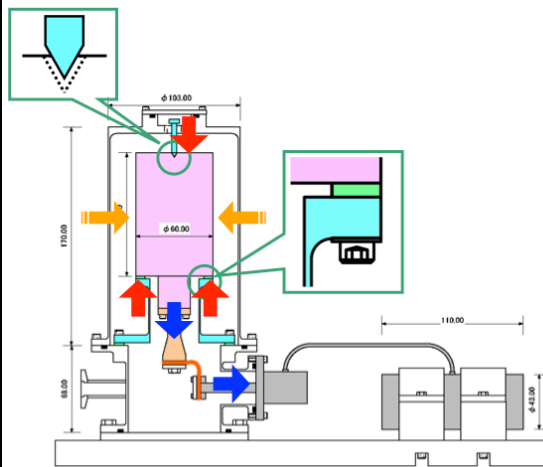


図1 本研究にて熱設計最適化を行ったガンマ線分光計の概略図。外部からの熱流入を極限まで低減するため、結晶素子上部は軸で支える構造とした。冷却時にこの軸は縮むため、更なる断熱が期待できる。同時に、大型ロケットの打上時振動に耐えうる設計となっている。

(2) 試作品製作

上記手法を設計に組み入れて試作品を完成させ、各種試験に臨んだ。完成品を図2に示す。

(3) 環境・性能試験

・冷却試験

冷凍機運転開始後の時間とダミー・ゲルマニウム結晶温度を時間の関数として測定した。その結果、約20時間で82.6Kまで達することを確認した。この結果を図3に示す。これは、月探査衛星「かぐや」に搭載された高精度ガンマ線分光計の仕様(24時間以内に

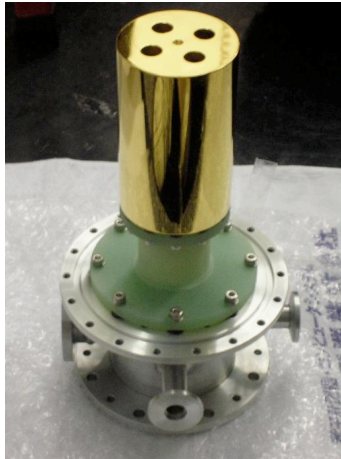


図2 本研究にて作成したガンマ線分光計試作品。本誌作品を用いて後述する各種試験を行った。

90K 以下)を超えるものであり、温度及び速度共に実用に耐えうるものと判断した。

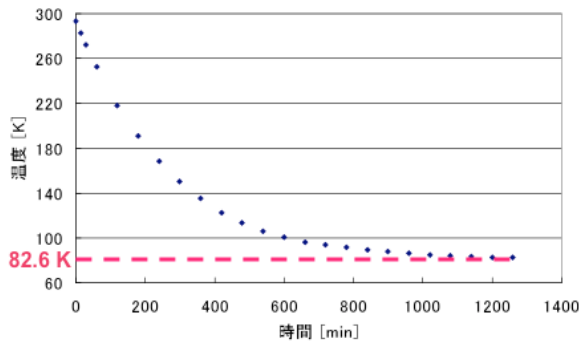


図3 結晶素子温度と冷却時間の関係。非常に小さな冷凍機でも十分に冷却可能であることが実証された。

・耐振動試験

打上時に受ける振動は搭載されるロケットによって異なる。本研究は特定の探査計画を念頭においたものではないためロケットを特定することは難しいが、本研究では「かぐや」が搭載された国産大型ロケット「HII-A」を想定した振動を加え、分光計性能に変化がないか調査することとした。

振動実験では上下・左右方向の加振試験を別々に行い、それぞれランダム振動と正弦波振動を加えた。その結果、得られた周波数応答を図4に示す。

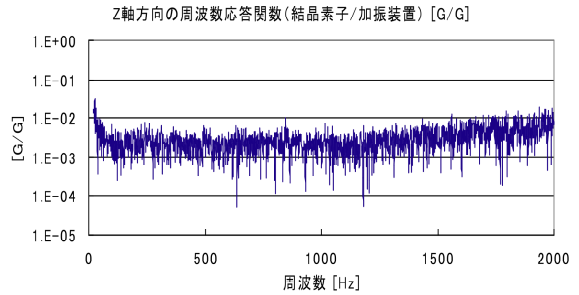


図4 加振時における結晶素子Z軸方向の周波数応答関数

図4からも明らかなように、特に共振点はなく、破壊や亀裂といった永久変形も見られなかった。また、振動試験後に再度行った冷却試験においても試験前と同等の結果が得られた。よって、本研究で熱設計最適化が行われた分光計は、打上げにも耐えられる強度を持っていることが実証された。

本研究の結果、「かぐや」搭載品と比べ、冷凍機は消費電力を1/3、重量を1/10まで抑えることに成功した。これにより、高精度ガンマ線分光計の小型衛星への搭載へは必ずみがつくものと期待される。

また、フランスの研究者との議論の中で、欧米の宇宙機関での現状を把握し、設計に反映させることができた。また使用実績のあるイスラエル・Ricor社製高性能冷凍機K508の詳細な情報を取得し、今後の検討課題とした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

(1) 根本慎平、山下直之、小林進悟、町田二郎、長谷部信行
惑星探査用 Ge ガンマ線分光計の軽量化
「放射線検出器とその応用」 (第23回)

2009年1月29日

高エネルギー加速器研究機構

(2) 山下直之、根本慎平、町田二郎、小林進悟、長谷部信行
月惑星探査用高精度ガンマ線分光計の軽量化

第56回応用物理学関係連合講演会

2009年3月30日

筑波大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 直之 (YAMASHITA NAOYUKI)

早稲田大学・理工学術院・講師

研究者番号：90398933