

平成 20 年 3 月 28 日

平成 19 年度「宇宙環境に適合する低温実験用冷凍機の開発」活動報告書

代表者所属 氏名 物質・材料研究機構 材料ラボ／強磁場共用ステーション 沼澤健則

1. 構成メンバ

氏 名	所属
村上正秀	筑波大学
佐藤武郎	東北大学
奥田雄一	東京工業大学
沼澤健則	物質・材料研究機構
神谷宏治	同上
満田和久	JAXA 宇宙科学研究本部
藤本龍一	金沢大学 自然科学研究科
藤井源四郎	国立天文台
檜崎勝弘	住友重機械
金尾憲一	同上
杉田寛之	JAXA 総合技術研究本部
飯田光人	千代田アドバンス・ソリューションズ
永井大樹	東北大学
Peter Shirron	NASA/GSFC
Donald Wegel	同上
藤平潤一	(株)フジヒラ

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第 1 回：平成 20 年 2 月 5 日
- (2) 第 2 回：平成 20 年 3 月 27 日
- (3) 航空機実験時：
平成 20 年 3 月 18 日-21 日

3. 活動目的

宇宙環境利用科学分野における低温物理実験（量子液体・固体、臨界点ダイナミクス等）を実施するのに際し、「宇宙環境で利用できる低温実験用冷凍機の開発」はその基本的な前提条件となる。17 年度-19 年度に実施される、地上公募研究「ADR 超低温冷凍機の開発」に際し、組織的に支

援し、ISS/JEM へ発展させることが第一の目的である。

さらに、宇宙観測機器分野、特に赤外線や X-線天体物理観測において、低温冷却が高感度観測の要となりつつある。これに要求される種々の冷却技術に関し、開発側と利用側が交流する機会を設け、今後予定されている観測計画へ貢献を果たすことが第二の目的である。

このような目的の実現に、極低温研究者、メーカー、天文学者、NASA エンジニア等が結集し、昨年度に続いて継続的・専門的な検討、情報交換を行うとともに、次世代の宇宙工学を輩出する若手研究者の参画を積極的に進めることも視野に入れている。

4. 活動内容

平成 19 年度も基本的に前年度の内容を継続する観点から、(1) 微小重力実験用冷凍機の開発に関する検討と支援、(2) 宇宙観測機器に要求される低温環境とシステムに関する広範囲な検討、の 2 点について引き続き取り上げるとともに、(3) ISS/JEM 利用テーマに向けた研究課題の検討を新たに行った。これは宇宙用冷却システム、特に「汎用連続型 ADR」の有用性を実証するために、ISS/JEM 利用テーマへの可能性検討を行い、採択を積極的に推進するものである。

WG の会合は 2 回実施され、いずれも平成 20 年に入ってからである。これは、航空機実験が平成 19 年 12 月と平成 20 年 3 月に実施されたことから、それぞれの実施結果をもとに開催する必要があったためである。なお、航空機実験場所におけるオンサイトでの委員会も併せて実施している。第 1 回会合では NASA メンバーも参加し、米国における ADR の研究状況について報告した。また、平行して、日米における宇宙用冷却システムに関する包括的

な情報交換も行った。以下に実施内容を示す。

(1) 汎用連続型超低温 ADR

- 要素開発に関する報告
各ユニットの要素試験結果と 3 段以上の冷凍ユニットを組み合わせた試験結果の報告。
- ADR 地上試験結果
3 段までを用いたシングルショットによる TES 冷却試験結果、および 4 段のユニットを組み合わせた連続サイクル駆動の実験結果について報告
- 航空機実験用クライオスタット
冷凍試験結果について報告、排熱用 GM 冷凍機の特性、航空機実験において想定される問題点、ADR を含む総重量が 50kg 程度と格段に軽量化が達成されたことを報告。

(2) 供試体の準備に関する報告

- マイクロカロリメータ
120mK 程度で超伝導遷移するセンサーを選択、地上では ADR によるシングルショット冷却で信号検出が可能であることを確認した。
- 固体ヘリウム生成
100mK から 300mK 程度の環境が保持できれば 30 気圧以上の加圧で固体ヘリウムの維持が可能であることが奥田 WG から示された。温度変動は 1mK 程度で問題ない。

(3) 航空機実験の実施 (1)

- 実施場所・時期・回数
名古屋空港 (ダイヤモンドエアサービス)、平成 19 年 12 月、4 回
- 実験内容
ADR の冷凍特性と TES カロリメータの微小重力における作動特性試験を中心に実施した。
- 実験準備における問題点
航空機搭載が実験当日となるため、冷凍機を一時的に止めなくてはならず、この間約 10 分間でベース温度は 10K まで上昇することが分かった。ここから所定の冷凍温度に到達するには 1 時間以上が必要であり、手動で冷凍プ

ログラム制御を行う必要があった。

- 冷凍特性
飛行場移動時および離陸時に大きな振動が発生し、ADR 熱スイッチがショートする現象が見られた。これによって、空域到着までに定常運転に到達することが困難となった。
- このような悪条件にもかかわらず、機内における最低到達温度 140mK を達成した。

(4) 航空機実験の実施 (2)

- 実施場所・時期・回数
名古屋空港 (ダイヤモンドエアサービス)、平成 20 年 3 月、4 回
- 実験内容
ADR を搭載し液体ヘリウム、超流動ヘリウムの微小重力下における挙動観察を中心に実施した。
- 改善点
航空機搭載前の一時的停止に対して、エプロンで 3 時間近く待機することで ADR を定常運転にすることができた。また、連続作動モードも達成した。
- 振動の問題
除振機構を大幅に改善したものの、離陸時に ADR の熱スイッチショートが確認された。これによってヘリウムの冷却が困難となったため、ヘリウムのみの観察に切り替えた。
- このような悪条件にもかかわらず、機内における最低到達温度 120mK を達成した。

(5) 今後の ADR 開発に関する検討

- 除振機構の大幅な改善が航空機実験では不可欠であることが示された。
- 微小重力下では特性はむしろ安定しており、宇宙冷凍機としては所定の水準を満足していることが確認された。
- TES カロリメータの作動には現状の ADR で問題のないことがわかった。
- 奥田 WG における固体ヘリウム生成に関しては、セルを支える機構やヘリウム配管からの熱侵入が過大であり、現状の ADR では冷却が困難であることが分かった。
- これを改善する方策として、1K 領域

でヘリウム予冷を行う ADR ユニットの設けることが検討された。現状では直ちに製作できないため、1K ポットを設置してこれをシミュレートすることが提案された。

(6) ISS/JEM 実験への検討

航空機実験の結果を踏まえ、宇宙でヘリウム実験をどのように実施するのかの検討を行った。安定した微小重力環境では連続型 ADR の作動に問題がないものと結論されたが、すでに JEM において提案してある 5 段 ADR システムの構築がヘリウム実験には不可欠であることが、奥田 WG の航空機実験からより鮮明となった。これを受けて、5 段システムの設計を早めながら、引き続き WG として支援することになった。

(7) NASA における ADR 開発

JAXA/ISAS で検討中である 2 段、あるいは 3 段のシングルショット型 ADR について、NASA 側の取り組みの説明がなされた。

以上のように、航空機実験結果の報告や検討をはじめ多数の課題が設定され、本 WG での活動は大変活発であった。また、JEM 搭載を目指した宇宙用冷凍機に関しても幅広い議論がなされた。

5. 成果

沼澤健則、神谷宏治（物質・材料研究機構）、Peter Shirron (NASA/GSFC)、満田和久 (JAXA/ISAS)、微小重力に適合した汎用超低温発生 ADR システムの開発、第 24 回宇宙利用シンポジウム、2008.1.18

沼澤健則、神谷宏治、高橋健太（物質・材料研究機構）、P. Shirron, D. Wegel (NASA/GSFC)、宇宙用磁気冷凍機の開発
(4) 冷凍試験結果、低温工学・超電導学会、2007.11.21、仙台

高橋健太、沼澤健則、神谷宏治（物質・材料研究機構）、P. Shirron, D. Wegel (NASA/GSFC)、宇宙用磁気冷凍機の開発

(3) クライオスタット及び熱スイッチの熱設計、低温工学・超電導学会、2007.5.17、千葉

K. Takahashi, K. Kamiya, H. Nakagome, T. Numazawa (NIMS) and P. Shirron (NASA/GSFC), Development of a Cryogen-Free Continuous ADR System for Micro-gravity Experiments, Submitted to Advances in Cryogenic Engineering, vol. 50 (2008).

以上。