

平成 20 年 4 月 2 日

## 平成 19 年度「微小重力下における液体・固体ヘリウム」活動報告書

代表者所属 氏名 東京工業大学理工学研究科 奥田 雄一

### 1. 構成メンバー

氏名	所属
奥田 雄一	東京工業大学 大学院理工学研究科
上羽 牧夫	名古屋大学大学院理 学研究科
村上 正秀	筑波大学大学院・ システム情報工学研 究科
佐藤 武郎	東北大学名誉教授
佐々木 豊	京都大学・低温物質 科学研究センター
野村 竜司	東京工業大学 大学院理工学研究科
上野 智弘	京都大学 大学院医学研究科
阿部 陽香	産業技術総合研究所 計測標準研究部門

### 2. 本年度 WG 会合開催実績

(1) 第 1 回：平成 19 年 12 月 18 日  
名古屋ダイヤモンドエアーサービス  
社内にて  
研究打ち合わせ、宇宙冷凍機航空機実  
験実地見学  
奥田、佐藤が出席

(2) 第 2 回：平成 20 年 1 月 7 日  
物・材研究機構にて、  
ADR への固体ヘリウム実験用セル組み  
込みの打ち合わせ  
奥田、野村、阿部が出席

(3) 第 3 回：平成 20 年 3 月 19 日  
名古屋ダイヤモンドエアーサービ  
ス社内にて  
航空機実験の実施とその結果につい  
ての議論、今後の対策等を検討。  
奥田、佐藤、野村、阿部、上野の各メ  
ンバーに加え、沼澤、神谷が出席。

### 3. 活動目的

量子液体の代表である超流動<sup>4</sup>Heやそ  
の同位体である<sup>3</sup>Heとの混合液、また、  
超流動<sup>4</sup>Heから生成される固体<sup>4</sup>Heの新  
奇な現象、新しい物理現象を取り上げ、  
その科学的意義、微小重力下での研究  
の意義について検討を行う予定でWG  
活動を開始した。年度の半ばに、宇宙  
冷凍機 (ADR) の開発が進んで、航空  
機実験が年度内に可能な状況になっ  
てきたので、本来の研究会形式の本WG  
の活動を、航空機実験推進へとシフト  
させた。平成 19 年 12 月にADR単体  
の航空機実験が実現するや、その実験  
に立会い、20 年 3 月にヘリウムの実  
験の実現に向けて邁進することにし  
た。

### 4. 活動内容

本 WG は、当初、研究会形式により、  
量子液体・固体の問題発掘、コミュニ  
ティの拡大を図る予定だったが、ADR

の開発が順調に進み、平成19年12月にADR単体で航空機実験が実現できる運びとなったので、急遽、方針を変更し、3月に割り当てられた固体4Heの航空機実験の実施に向けて邁進することになった。

12月の航空機実験では、ADRの基本となるGM冷凍機（これも微小重力環境では初めての運転となる）が正常に働くことが確認された。さらに、航空機への装置の搭載に際して電源がオフになるが、エプロンでの4時間程度の待機により、もとの状態に戻ることも確認された。

大きな技術的問題は、taxiing, 離陸、乱気流による擾乱などの急激な振動に極めて脆弱であることだ。これらの振動で温度が一気に上昇してしまうことが判明した。

平成20年の1月に入って、まず、振動対策を講じた。微小重力環境での安定性も考慮して、振動を熱エネルギーに変換するバネを利用した除震装置を急遽開発した。自動車で振動試験をする予定だったが、時間の都合でかなわなかった。しかしながら、3月の実験で、この除震装置は驚くほどの性能を発揮することが分かった。ただ、離陸時に発熱する場合があります、信頼性をさらに高める工夫が必要である。

2月に入り、漸く固体ヘリウムの実験装置とADRのドッキングがなされ、3月の実験に向けて準備が進んだ。しかしながら、十分な時間がとれず、不完全な状態で航空機実験に臨まなければならなかった。

#### 4. 1 実験結果

結論からいうと、固体4Heの実験は出来なかった。その理由のひとつが、ADR自身の冷却能力である。ヘリウムの液化は十分に出来るが、液化したヘリウムを100mKまで冷却するのに多大の時間がかかってしまった。ADRは断熱消磁・磁化を繰り返すので4段ある各ステージがそれぞれある温度範囲で温度振動を繰り返すことになる。その途中で超流動転移（ラムダ転移）があり、ラムダ点における比熱の巨大な山を越えることができないことがわかった。

今回は固体の実験はあきらめて、超流動ヘリウムの実験を予備実験として行うことにした。幸いスクロールポンプ（微小重力下でも可動するポンプ）を急遽入手することができたので、サンプルセル中にコンデンスした液体を減圧沸騰させることにより超流動を生成した。この実験はうまく行き超流動自由表面の運動を捉えることができた。

ゼロGになると、超流動液体は、壁を100%濡らすことから予測されることだが、容器全体の壁を覆う。その様子をシャドウグラフ法によって映像化することができた。これは、結果としてはそれほどの驚きではないが、航空機上で初めて実現した超流動ヘリウムである点を強調したい。

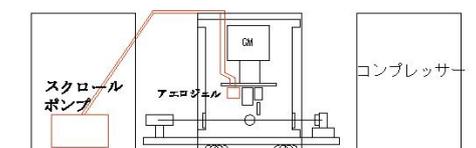
さらに興味深いのは、0.05G, 0.1Gの実験も同時に出来たことである。これはただただパイロットの腕に感謝するばかりである。0.05Gにおいて

もバルクの液体は下方に留まっており、0Gとは決定的に違っていた。しかし、自由表面の運動状態は1Gの場合とは大きく違っており、特性振動数が $G^{1/2}$ で変化していることを物語っている。詳細は解析中である。



エプロンに待機中のMU300とヘリウムガスのコンデンスのためのGHS。

今回の実験によって、航空機で固体 $4\text{He}$ の実験を行う上での諸問題が明らかになった。それらはいずれも解決可能なもので、平成20年度のスタートとともにその改良に着手する予定である。基本的なポイントは1Kポットを新設することである。これにより固体生成についての問題は解決するはずである。下図は1Kポットを取り付けた装置の概略図である。



手当てされた研究経費42万円は、つくばから名古屋空港までの実験装置の輸送費、ADRの予冷のための液体ヘリウムとヘリウムガスコンデンスの際のガス精製のための液体窒素代として使用した。

## 5. 成果

1) Superfluid-Normal Interface of  $4\text{He}$  Near a Wall, R. Nishida, J. Taniguchi, R. Nomura and Y. Okuda, J. LowTemp. Phys. 148, 109-113 (2007).

2) The Filament Formation by Impurities Embedding into Superfluid Helium, E. B. Gordon, R. Nishida, R. Nomura and Y. Okuda, JETP Lett. 85, 710-713 (2007).

3) Faraday instability of crystallization waves in  $4\text{He}$ , H. Abe, T. Ueda, M. Morikawa, Y. Saitoh, R. Nomura and Y. Okuda, Journal of Physics: Conference Series 92 (2007) 012157.

4) Faraday Instability of Superfluid Surface, H. Abe, T. Ueda, M. Morikawa, Y. Saitoh, R. Nomura and Y. Okuda, Phys. Rev. E 76, 046305 (2007).

5) 固体 $4\text{He}$ の結晶成長の新展開と航空機実験、奥田雄一、野村竜司 日本マイクロ重力応用学会誌 vol. 24, No. 2, 183-187 (2007)。