



「きぼう」簡易曝露実験装置 (ExHAM) 利用テーマ
「炭素質ナノ粒子の宇宙風化と星間有機物進化の実証研究」

実験供試体 EE64-III の FM 同等品を用いた真空低温晒し試験
報告書

概要

本文書は、きぼう実験棟簡易曝露実験装置(ExHAM)を利用した研究テーマ「炭素質ナノ粒子の宇宙風化と星間有機物進化の実証研究」のフライト準備段階において実施する実験供試体 EE64-III の FM 同等品を用いた真空低温晒し試験の実施概要および結果をまとめた報告書である。

文書番号		QCC_cryo_cycle_160127
文書承認年月日		2016年02月13日
作成  2016. 02. 13	承認  2016. 02. 13	備考

1. 実施要領

実施日時：2016年1月27日

実施場所利用施設：東京大学大学院理学系研究科天文学専攻実験室 1033

実験協力者等：真空低温晒し試験に利用する窒素冷却デュワー、温度計は、宇宙科学研究所 塩谷圭吾助教の所有の機器を利用して実施した。

2. 検証条件と獲得目標

熱解析結果を基に、船外に置ける到達温度の下限值-84.8°Cに 16°Cのマージンを設けた-100.8°C (172.5K)を QT レベルの検証基準温度に設定する。その検証基準温度以下に 60 分間以上晒し、その後昇温し回収する。本試験では、以下の2点に着目して、低温晒し試験結果を分析した。

(1) 供試体への影響、試料穴を 8mm φとしたリン青銅板バネを採用した保持機構の低温サイクルに対する機械的安全性、アルミ製ホルダーと試料基板(新規採用材質である片面研磨 Si 基板および MgF2 基板を含む)間の収縮率の違いによる基板割れの有無を調査した。

(2) 昨年度両面研磨 Si 基板上に 10μm 程度の厚みで急冷炭素質物質 (QCC) を堆積させた試料に試料面の亀裂が見られた。この対処法を探るために、十分な堆積厚(~40μm)を実現した場合と、昨年度と同様の堆積厚み(~10μm)の場合、さらに、それぞれ両面研磨 Si 基板上に堆積させた場合と、片面研磨 Si 基板上に堆積させた場合の、合計四試料に対して、真空低温晒しの影響を調べた。なお、原子状酸素による浸食のため、堆積厚みが薄い試料はむき出しでのホルダーへの設置は行わず、MgF2 カバーを曝露面側に重ねて試料ホルダー中にインストールする。このため、本低温晒し試験においても、堆積厚みが薄い試料に対しては MgF2 カバーを重ねた状態で実験を行った。

3. 低温晒し試験

3.1 窒素冷却デュワーへの実験供試体 EE64-III の FM 同等品の設置方法

低温晒し試験において用いた液体窒素冷却用デュワーのワークサーフェスおよびQCC実験供試体EE64-IIIのFM同等品の設置の様子を図1に示す。実験供試体はアルミテープで、ワークサーフェス上に固定した。ワークサーフェスは、銅製の液体窒素タンク下部に直結し、液体窒素をタンクに入れる事で直接冷却される。温度センサーは実験供試体ホルダー側面 (ch.2) と実験供試体を設置するワークサーフェス部 (ch.8) に取り付け、ハーメチックコネクタを介して、温度センサーモニターで常時モニターした。実験供試体を取り付け後、熱シールドおよび蓋閉めを行い、真空ポンプに繋ぎ、デュワー内の真空引きを行った。その後、デュワー内の圧力が 1×10^{-2} torr 程度に下がった時点で、液体窒素を液体窒素タンクに注ぎ、冷却を開始した。

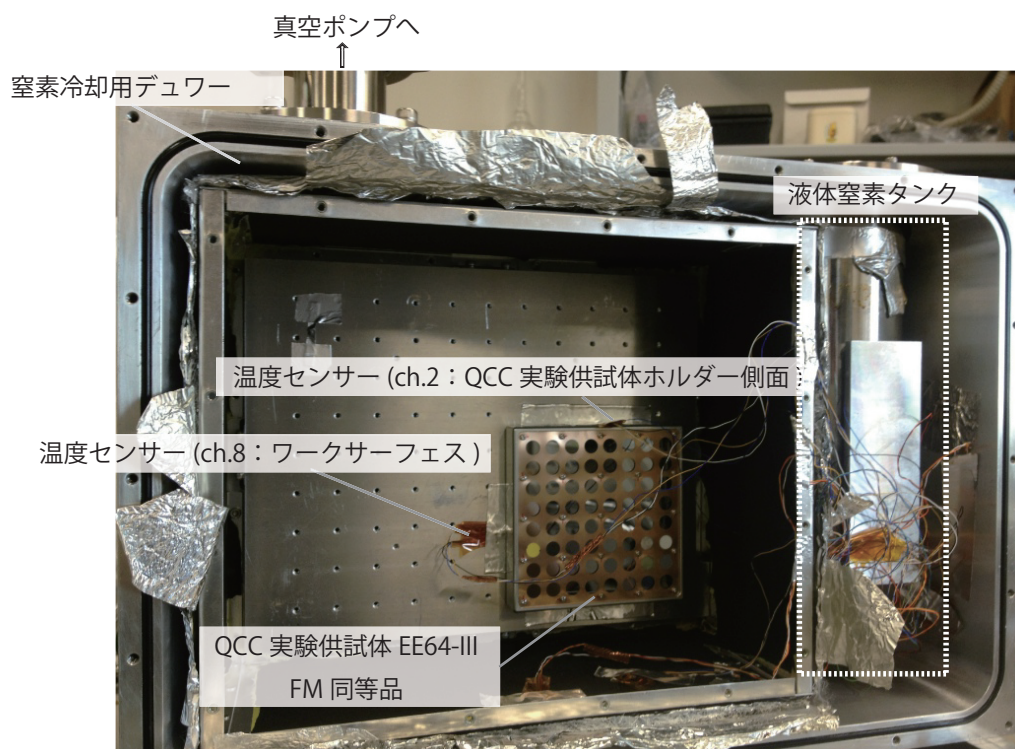


図1：低温晒し試験で用いた液体窒素冷却用デュワー及びワークサーフェス上へのQCC実験供試体の設置方法、および温度センサー(ch.2およびch.8)の設置場所の概略図。

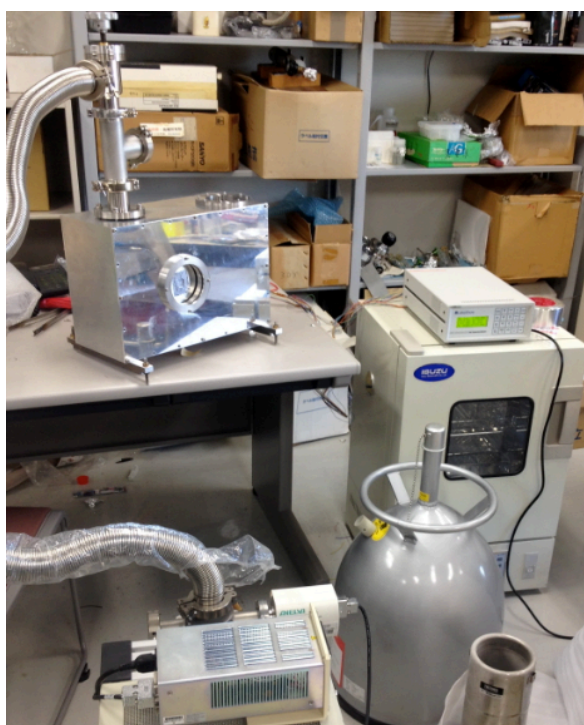


図2：低温晒し試験の実施状況。

3.2 到達温度の計測結果

液体窒素の注入開始時刻を $t=0$ として、ch.2 および ch.8 の示す温度の時間推移を図3に示す。実験供試体ホルダーの計測温度 (ch.2) は、ワークサーフェスの計測温度 (ch.8) とおおよそ同期して推移し、両者の熱接触は十分に確保できている事が分かる。液体窒素は、冷却開始後の時刻 $t\sim 180\text{min}$ で基準温度 $T_a=172.5\text{K}$ に到達した後にも継続して液体窒素の継ぎ足しを行なった。時刻 $t\sim 220\text{min}$ に窒素タンク内の液体窒素を枯渇させ、以後、自然昇温した。この結果、Ch. 2 の計測温度は、時刻 $t\sim 180\text{min}$ から時刻 $t\sim 280\text{min}$ までの間の約 100 分程度 $T_a=172.5\text{K}$ 以下の温度を実現した。

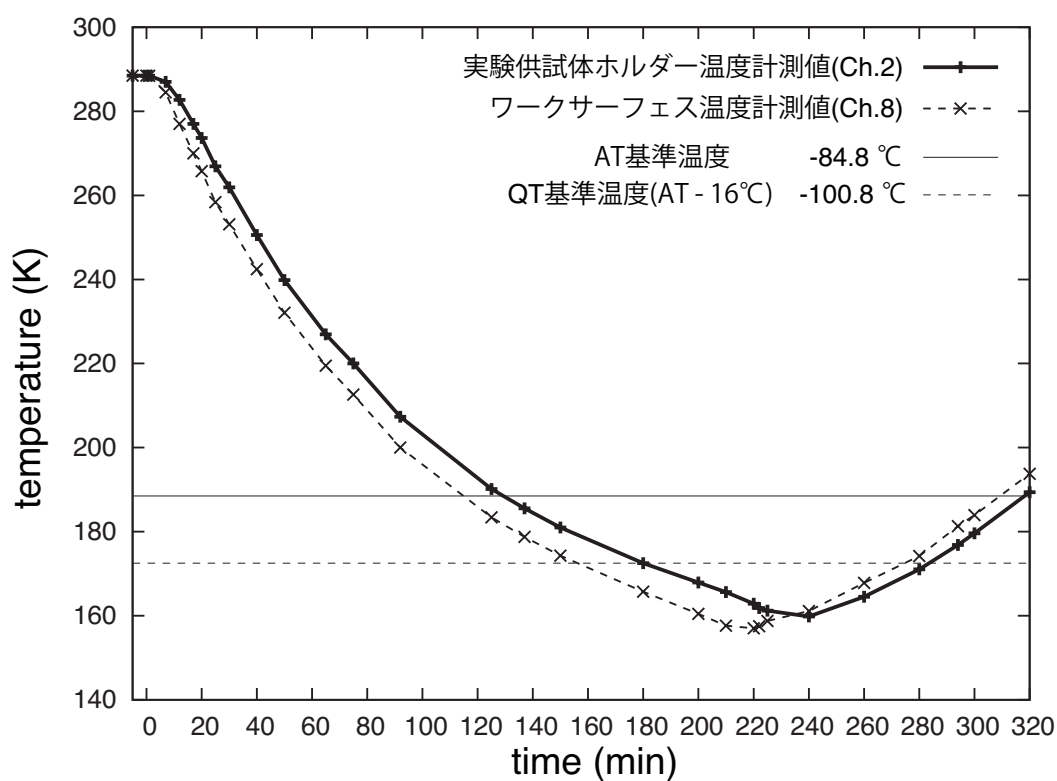


図3：低温曝し試験での、実験供試体EE64-IIIの試料ホルダー (ch.2) およびデュワー内ワークサーフェス (ch.8) に設置した温度センサーが記録する温度推移の様子。

3.3 低温晒し試験前後での実験供試体への影響

(1) 試料保持機構および採用材質の機械的安全性評価

低温晒し試験終了後、液体窒素冷却デューワーから取り出した QCC 実験供試体 EE64-III の画像を図4に示す。まず、今回の低温晒し試験の結果、供試体の構造に異常はなく、その結果、供試体を構成するリン青銅板バネ、試料ホルダー、試料ホルダー台共に、低温温度サイクルに対する構造上の耐性が確認された。また、試料基板(新規採用基板である片面研磨 Si 基板および MgF₂ 基板を含む)の破損は無く、アルミ製のホルダーの試料スペースと試料基板のクリアランスが、低温晒しに対して問題ない事が確認された。

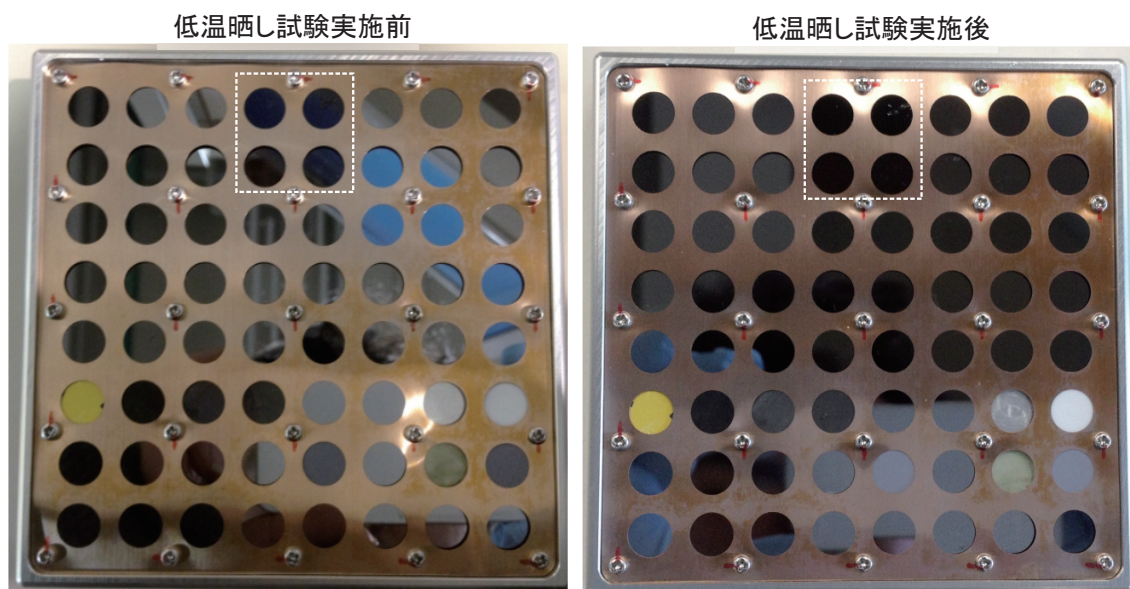


図4：低温晒し試験実施前（左）及び、試験後（右）の QCC実験供試体 EE64-III の試料面の様子。

(2) 基板上への堆積厚み及び基板の研磨状態が低温熱晒し試験の結果に及ぼす影響の調査

今回の低温晒し試験では、図4 白点線枠で囲まれた4つのスロットに、以下の4種の試料を搭載した。

- ・ [左上] 片面研磨 Si 基板上に QCC(堆積厚 40 μ m)を堆積させた試料
- ・ [右上] 両面研磨 Si 基板上に QCC(堆積厚 40 μ m)を堆積させた試料
- ・ [左下] 片面研磨 Si 基板上に QCC(堆積厚 10 μ m)を堆積させた試料、表面に MgF2 基板を重ねる
- ・ [右下] 両面研磨 Si 基板上に QCC(堆積厚 10 μ m)を堆積させた試料、表面に MgF2 基板を重ねる

図5に、低温晒し試験実施前後での4スロットの拡大図を示す。



図5：低温晒し試験実施前（左）及び、試験後（右）の各種条件（厚み、基板研磨状態）で堆積させた QCC 堆積試料の詳細画像。

今回の低温晒し試験の結果、QCC を 40 μ m 堆積した試料については、両面研磨 Si 基板を用いた場合（右上スロット）も、片面研磨 Si 基板（左上スロット）を用いた場合も、膜割／剥離等は確認されなかった。一方、QCC を 10 μ m の堆積した試料については、両面研磨 Si 基板を用いた場合（右下スロット）には、昨年同様低温晒し試験によって堆積物質の膜割が確認されたが、片面研磨 Si 基板を用いた場合（左下スロット）には、堆積物質の膜割／剥離等は一切確認されなかった。

このことから、十分な堆積厚みで堆積させた場合には、両面研磨 Si 基板の場合も、片面研磨 Si 基板の場合も、試料の剥離の心配は無いと判断できる。一方、堆積厚みが薄い場合には、両面研磨 Si 基板を用いた場合には、剥離のリスクがあるが、これらは試料面に MgF2 基板を重ねてホルダー内にインストールしている為、試料の宇宙空間への飛散のリスクは無い。また、堆積厚みが薄い場合でも、片面研磨の非研磨面に試料を堆積させた場合には、両面研磨の研磨面に試料を堆積させた場合と比べて、低温サイクルを経ても剥離のリスクに対して、明白な優位性がある事が確かめられた。

2.4 結論

本曝露実験の実験供試体 EE64-III の構造および試料保持機構は、機械的強度／耐久性の観点から、低温晒しに対して問題ないと結論される。一方、薄膜（～10 μ m）堆積試料に対しては、両面研磨 Si 基板の研磨面に堆積した試料薄膜膜にひび割れが認められたが、それらは曝露面側に MgF₂ 基板によるカバーを付けるため、宇宙空間への飛散のリスクは無く、実験目的遂行の上で致命的なリスクはないと結論できる。また、片面研磨 Si 基板の非研磨面に堆積する試料は、両面研磨 Si 基板の研磨面に堆積する試料に対して、膜割れ／剥離の起こり難さにおいて、低温サイクルに対する優位性があると結論できる。