

線スペクトル偏光分光装置 CCD dewar 真空冷却実験報告 (2)

東北大学大学院理学研究科天文学専攻
博士課程後期 2 年
秋田谷 洋

2000 年 5 月 29 日

1 はじめに

4/25 に行なった報告「CCD dewar 真空冷却実験報告 (1)」において、線スペクトル偏光分光装置の CCD デュワーでは真空引き停止とともに冷却が行なえなくなり、それがデュワー内部でのアウトガスに起因する可能性が示された。今回、真空ゲージをデュワーに直接取り付け、真空引き停止後の内部圧力を監視し、内部でアウトガスが存在するという予想は正しいかの確認と、その場合の内部部品ごとの圧力上昇の様子からアウトガス源の特定を試みた。

2 実験

カメラデュワー真空バルブ取り付け口 ($\phi 16\text{mm}$) に T 字管を接続し、真空ゲージ (PFEIFFER VACUUM PKR251) と真空バルブを取り付けた。真空バルブからは、 $\phi 16\text{mm}-\phi 40\text{mm}$ 変換フランジを介してターボ分子真空ポンプに接続した。ポンプの吸気口近傍にも従来から真空引き中に内部圧力モニターとポンプ動作制御に用いてきた真空ゲージが取り付けられている。

以下のようにデュワー内部物品を少しづつ替えて、常温にて真空引き、真空引き停止を行ない、内部圧力の時間変化を測定した。

- デュワー内全部品を含む
- cold plate 支柱に通気孔を空ける (螺孔に封入された気体を効率良く排気するため)
- CLKAMP をデュワー内から取り除く
- その他部品 (CCD chip、cold plate、支柱、吸着材、白金抵抗、熱電対) を取り除く

実験は、東北大学天文学教室光学暗室にて 2000 年 5 月 6 日から 12 日にかけて実施した。

3 結果と考察

3.1 真空ゲージ毎の圧力指示値の相違

図 1 に、「1: デュワー内全部品を含む場合」の真空引きの際の、デュワーに直接取り付けられた真空ゲージと、前回までの実験に用いてきた真空ポンプ近傍の真空ゲージそれぞれにおける圧力変化を示した。

明らかに今回デュワー近傍に設置した真空ゲージの方が1桁程度高い内部圧力を示している。自由分子条件が成立する高真空では、ポンプの排気性能は、排気管の断面積に比例する。ところで、真空ポンプ近傍の真空ゲージはφ40mmの配管に接続されているのに対して、今回新たにデュワーに取りつけた真空ゲージはポンプ側から見てφ16mmに絞った背後に取り付けられている。そのため、前者と後者の位置では、排気速度に $(40/16)^2 \sim 6.25$ 倍程度の差が生じる。これが、それぞれの指示値の相違となって現れていると考えられる。

以上より、デュワー内の内部圧力の絶対値を論じるには、これまで用いてきたポンプ近くのゲージの指示値では圧力を過小評価していたことが分かった。今後はデュワー内部圧力の値としては、デュワー近傍に取りつけた真空ゲージの値を用いることとする。

3.2 内部部品ごとの真空引き中の圧力変化

- 1: デュワー内全部品含む
- 2: cold plate 支柱に通気孔を空ける
- 3: CLKAMP をデュワー内から取り除く
- 4, 5: その他部品 (CCD Chip、cold plate、支柱、吸着材、白金抵抗、熱電対) をとり除く

及び、

- 6: 吸着材を追加した場合

の真空引き中の内部圧力変化を図2に示す。あわせて、比較のために4/4の真空引き(部品全て含む)の内部圧力変化(但し、ポンプに設置した真空ゲージの指示値)を示した。1-5までは、およそ作業を重ねる度に圧力低下に要する時間が短縮している(2で初期の圧力が1より若干高いのは、支柱工作作業時に汚れが付着したためか)。内部部品それぞれのアウトガスが寄与していることが分かる。

一方で吸着材を追加すると圧力低下速度が鈍ったが、これは吸着材が常温では大きなアウトガス源となっているためであろう。

4 内部部品ごとの真空引き停止後の圧力上昇

上記1-5の場合の真空引き後、内部圧力の変化を監視したところ、いずれも時間に比例する圧力上昇が見られた(図3)。いずれの場合も数十分という短時間で内部圧力が $\sim 10^{-2}$ Torrまで上昇している。これらより、真空引き停止後の内部圧力上昇により内部気体の自由分子条件が破れて気体を通じた熱流入が生じ素子冷却が妨げられているという、前回の報告の予想が正しいことが確認された。

圧力上昇の傾きを求めると以下ようになる。

	内部圧力変化 [Torr/s]
1: 内部部品全て含む	9.7×10^{-6}
2: コールドプレート支柱に通気孔設置	6.6×10^{-6}
3: CLKAMP なし	6.0×10^{-6}
4: 内部部品なし (1時間の真空引き後)	3.5×10^{-5}
5: 内部部品なし (24時間の真空引き後)	2.5×10^{-5}

1-3にかけて、圧力上昇速度が若干低下する傾向を示した。これは、それぞれの処置でアウトガスが減少したためと考えられる。ただ、桁違いの変化は見られなかったことから、コールドプレート支柱やCLKAMP

は、全体の内部圧力上昇に対してはそれほど大きなアウトガス源として寄与しているわけではなさそうである。

一方、4、5で内部を空にした場合、アウトガス源が無くなりさらに圧力上昇速度の低下が見られると予想したが、逆に圧力上昇速度が一桁大きくなった。ここでは3に対して吸着材も取り除いている。吸着材を含んだ3以前で圧力上昇速度が遅かったのは、十分な真空引きの後には、常温においても、吸着材が気体放出ではなく気体吸収の役割を果たしていたということであろうか。

なお、5の場合の内部圧力上昇は、デュワー内部品が空であることから、ジュラルミンデュワー壁面からの気体放出が原因であると考えられる。『真空技術(林主税編集) p.443』によると、20時間の真空引き後のジュラルミンの標準的なガス放出率として、 $6.0 \times 10^{-9} \text{Torr} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ が与えられている。これと、デュワー容積 1.2ℓ 、内壁表面積 $7.5 \times 10^2 \text{cm}^2$ を用いると、ガス放出量推定値として、 $3.5 \times 10^{-6} \text{Torr/s}$ が得られる。実測値 $2.5 \times 10^{-5} \text{Torr/s}$ はこの推定値より若干大きいのが、面の荒さなどを考慮するとおおよそ一致しているといえる。

以上より、デュワー内で生じているアウトガスがの多くが、ジュラルミン壁面から生じていることが分かった。

5 まとめと今後の方針

デュワー内では $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{Torr/s}$ 程度の内部圧力上昇があり、真空引き停止後短時間でデュワー内部を自由分子条件が破れる程の高い圧力の気体で満たし、気体を通じた熱伝導により素子冷却を妨げていることが明らかになった。原因としては、デュワーそのものの内壁に付着する汚れや気体からのアウトガスであることが分かった。

一方で、吸着材の有無によって、真空引き中および真空引き停止後の圧力時間変化の振舞が大きく異なった。気体吸着、放出には吸着材の働きが大きく関与しているものと思われる。

これまでに使用した吸着材はたかだか数g程度の少量であるため、これを増量し十分低温に冷却することで、内部圧力上昇を大幅に抑えられる可能性がある。

今後、冷凍器コールドフィンガー付近に吸着材を大量に配置し冷却し、気体吸着により内部圧力上昇を抑制することを検討することとする。

6 Figures

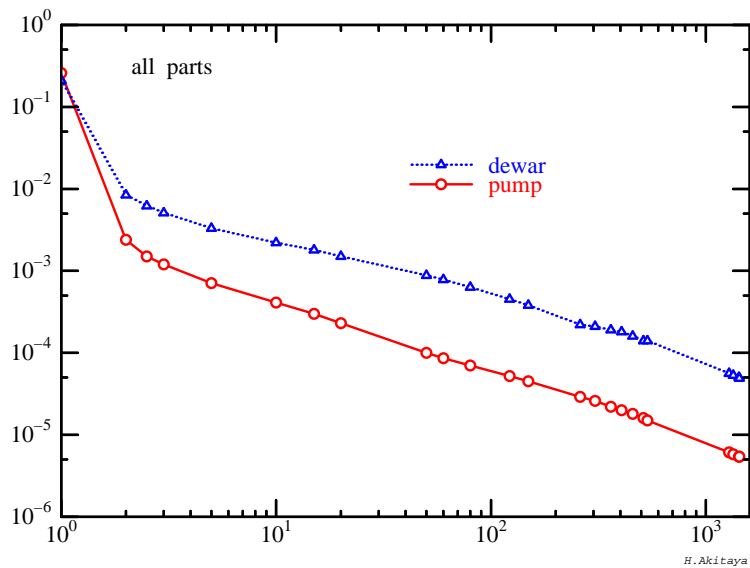


図 1: ポンプ近傍とデュワー近傍それぞれの位置の真空ゲージにおける内部圧力指示値の相違。デュワー内部部品を全て含めての真空引き中。

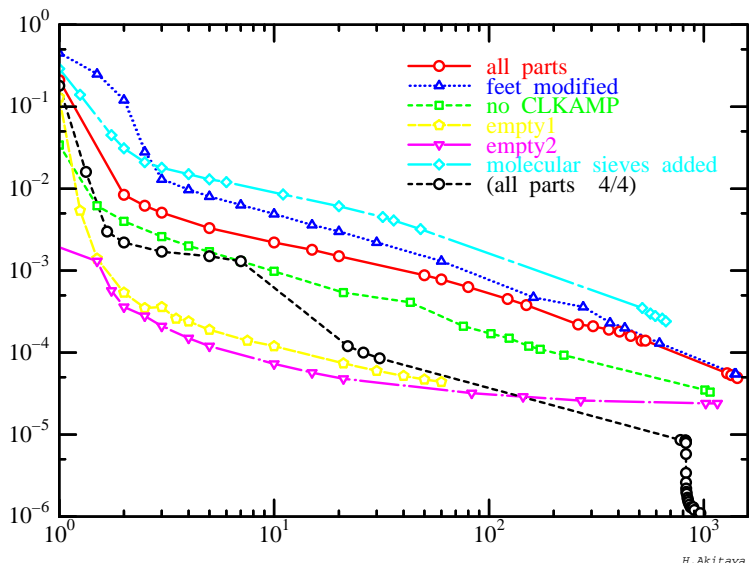


図 2: 真空引き中の内部圧力の変化

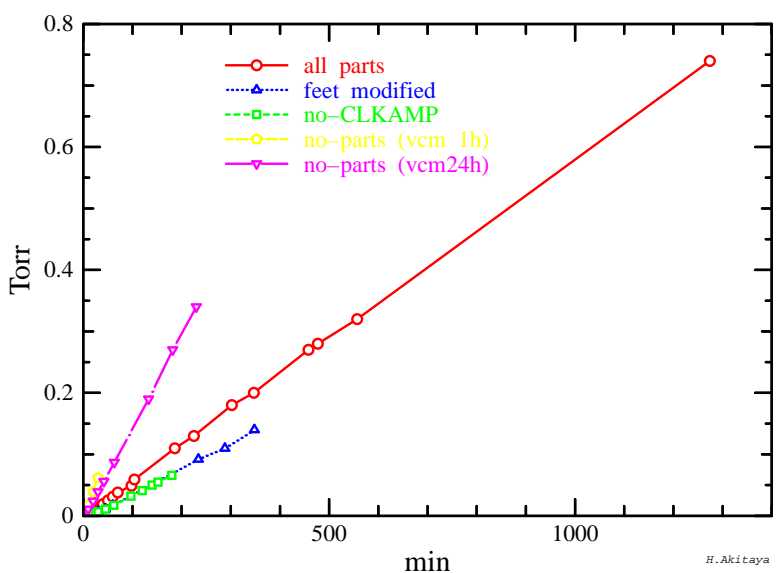


図 3: 真空引き停止後の内部圧力の変化