

熱圏観測用ケミカルペイロードに関する研究

○羽生 宏人, 吉田 裕二, 阿部 琢美 (ISAS/JAXA)
 山本 真行 (高知工科大), 渡部 重十 (北海道大), 山本 衛 (京都大)
 Miguel F. Larsen (Clemson Univ.), 横山 竜宏, Robert F. Pfaff (NASA/GSFC)

1. 概要

熱圏大気観測実験は、トリメチルアルミニウム (TMA)、リチウム (Li) やナトリウム (Na) などの元素を所定高度に放出し、これをトレーサとして地上から拡散の様子を光学的に観測することにより中性風の運動を解析する。わが国では、2007年にS-520-23号機によって高度250 km付近の熱圏大気観測実験を行った実績があり、当該実験には宇宙科学研究所が独自に開発したリチウム噴射装置 (Lithium Ejection System: LES) を採用している。

近年は、わが国のみならず諸外国でも類似の実験に対するニーズはあるものの、LESのような実用装置は今のところ保有されていないのが現状である。NASA-ISASの国際共同ミッション「Daytime Dynamo Experiment (昼間下部熱圏風観測実験)」は、このような背景から、わが国が米国の実施する高層大気観測ミッションにLESを提供することによって日米共同の高層大気観測実験が実施されることとなった。ロケットはNASAの観測ロケット Terrier Orionを2機用いる予定である。

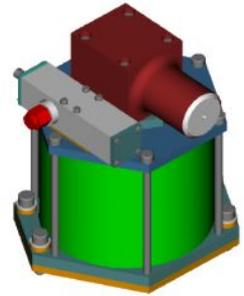


Fig.1 Lithium Ejection System (LES)

2. ケミカルペイロード

ケミカルペイロードは、観測目的高度にLi, NaやBaなどの金属ガスを直接噴射し、光学トレーサを散布する役割を担う。当該装置には、Trail (長秒時噴射) あるいはBlob (短秒時噴射) と称する放出時間の異なる方式があり、目的に応じて使い分ける。装填された金属の沸点は一般に1300K以上であることから、瞬時にガス化するための高温かつ多量の熱源が必要となる。そこで熱源には遷移金属酸化物とアルミニウムを混合したテルミット剤が用いられる。テルミット反応は、金属酸化物と単体金属の間で行われる酸化還元反応の一種である。



(1) 式に示すような酸化鉄/アルミニウム系テルミットでは2300K以上の鉄融液が生成する。一般には激しい反応を示し、酸化鉄以外には酸化銅なども適用可能である。

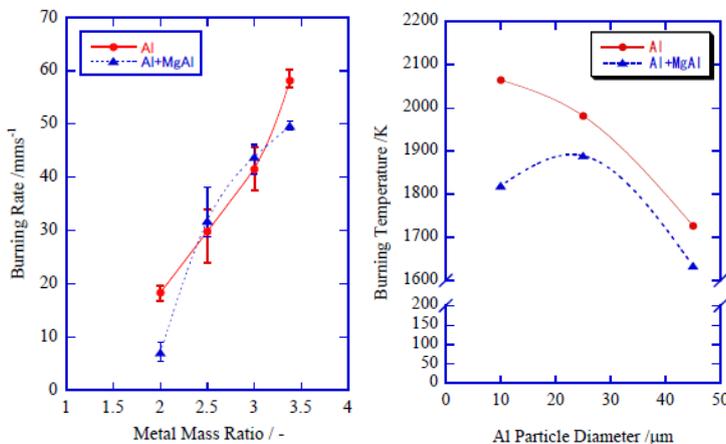


Fig.2 LESの地上試験の様子

3. LES用テルミット剤の組成設計

テルミット剤の組成については、宇宙科学研究所工学委員会における研究テーマ「ケミカルペイロードの研究」において組成および反応特性について検討を行ってきており、本設計には研究で得られた充填密度と燃焼速度の相関に関わる情報等の研究成果を反映している。

Fig.3Aにテルミット剤組成と燃焼速度の関係、Fig.3BにAl粒度と燃焼温度の関係を示す。燃焼速度は、テルミット反応表面が進行する速度と定義した。酸化鉄/Al配合比は、酸化鉄の質量10に対してAlまたはAl-MgAl等量混合物を質量2.0, 2.5, 3.0, 3.38の割合で混合し、これをMetal Mass Ratio: MMRと定義した。ここで、MMR:3.38は当該反応系の化学量論比である。適用したAlは、粒度分布で3水準用意し、それぞれ平均粒径は10 μm, 25 μm, 45 μm (細粒, 中粒, 大粒と表記)であった。マグナリウム (AlとMgの合金)は50/50mass%の粉碎品で平均粒径は45 μmであった。



(A)組成と燃焼速度の関係

(B)粒径と燃焼温度の関係

Fig.3 テルミット剤の燃焼特性

Fig.3-Aに示すように、MMR=2.0の組成から MMR=3.38まで4種類の組成について大気圧雰囲気において燃焼速度(rb)を測定したところ、幅広い燃焼特性を有することが分かった。MMR=2.0, MgAl混合組成ではrb=7.9 mm/s, MMR=3.38, Al組成でrb=58.2 mm/sとなり、組成の変更により7倍程度の燃焼速度制御幅を有することが示された。燃焼温度に対するAl粒径の影響について検討した結果がFig.3Bである。結果から、いずれの組成もリチウムの沸点 (1600K) 以上の温度を有していることが示された。テルミット剤の組成設計にあたり、AlとMgAlの混合比を変えることで燃焼速度と燃焼温度を制御する幅が広く設定できる細粒Alを材料候補として選定した。