

Space Flyer Unit (SFU) で計測されたガス環境

佐々木 進^{*1}・賀谷 信幸^{*2}・佐川 永一^{*3}

(1997年8月8日受理)

Study of Gas Environment on Space Flyer Unit (SFU)

By

Susumu SASAKI^{*1}, Nobuyuki KAYA^{*2} and Eiichi SAGAWA^{*3}

Abstract: SFU (Space Flyer Unit), the retrievable space platform developed in Japan, was launched by H-II-3 rocket and put into a circular orbit of 480km in March 1995. After experiments of various kinds, it was retrieved by STS-72 in January 1996. SFU carried an environmental diagnostic package that contains two pressure gauges and a mass spectrometer to measure the gas density and composition surrounding the SFU. The surface gas environment of SFU was measured for more than three months. It was found that the gas environment was primarily controlled by surface outgassing effect and was strongly influenced by spacecraft activities. The knowledge obtained in this study will be used to predict the gas environment surrounding large spacecraft in a long term.

概 要

1995年3月に打ち上げられ、翌年1月に回収された宇宙実験プラットフォーム SFU (Space Flyer Unit) には、電離真空計とガス質量分析器が搭載され、高度約 480 km を周回する SFU 周辺のガス環境が長期にわたり計測された。大型飛翔体周辺にどのようなガス環境が形成されるかについては、これまでスペースシャトルでのガス計測が唯一のものであるが、スペースシャトルの場合は計測期間が1週間から10日間と限られていた。SFU では、間欠的ではあるが周辺のガス環境の計測が3ヶ月以上の長期にわたって行われ、表面からの放出ガスの長期推移や SFU の運用に伴うガス環境の変動についてのデータが得られた。本研究で得られた知見は、今後大型宇宙機周辺の長期的な真空環境を予測するための重要な情報となると考えられる。

1. 序 論

スペースシャトルや宇宙基地の周回軌道である高度 250 km から 500 km の高度の真空度は、自然のガス環境モデルによれば $10^{-7} \sim 10^{-9}$ Torr である。この程度の真空度は地上の真空装置でも比較的容易に達成できる。ところが、飛翔体の周回速度 (約 7.5 km/sec) はガス分子の熱速度 (約 1.1 km/sec ; 1000°K, 酸素原子) よりは

*1 宇宙科学研究所

*2 神戸大学

*3 通信総合研究所

表1. SFU システム性能

軌道高度	: 300 km~500 km
運用期間	: 4.5 ヶ月 (実験運用期間)
質量 (打上時)	: 4000 kg (ノミナル)
(回収時)	: 3200 kg
寸法	: 4.46 m 直径×2.8 m 長さ (代表例)
最大寸法	: 24.4 m
通信	: S バンド
対地上	: 128 kbps, 16 kbps, 1 kbps
対STS	: 1 kbps
レコーダ容量	: 80 Mbits
姿勢制御	: 太陽指向 (ノミナル)
制御精度	: ±1 度 (ノミナル)
実験搭載	: ペイロードボックス (PLU) 6 個及び本体直接取付け
電力供給量	: 1000 W (最大)
μ-g 環境	: 10 ⁻⁴ g

るかに大きいため、飛翔体の逆進行側では、ウェイク効果により 10⁻¹⁴ Torr 程度の超高真空が実現しうると予測されている [1]。地上の真空装置では、実用的には 10⁻¹¹ Torr が到達真空度の限界であるため、ウェイクの超高真空を利用した分子線エピタキシなどの宇宙実験が従来から提案されている。汚染の極めて少ない超高真空の利用は、微小重力環境の利用とともに、宇宙環境利用の有望な分野の一つになりうると考えられている。しかしながら、一般に多種多様なペイロードを積載する大型の飛翔体の表面付近は、打ち上げ後しばらくは機体及び搭載機器からの放出ガスにより宇宙空間の自然のガス密度より相当高いガス密度となる。また飛翔体が気密部を持つ場合には、気密部からのガスリークによる汚染は多かれ少なかれ免れない。実際、スペースシャトルの運用が開始されて以来、その貨物搭載部 (パレット) のガス環境の計測が行われたが、搭載機器からの放出ガス、気密室からのガスリーク、スラスター動作等により、10⁻⁷ Torr のバックグラウンドに対し、最も悪い場合には 3×10⁻⁴ Torr まで真空度が下がることが報告されている [2]。このため 1994 年から行われているスペースシャトルでの高真空利用材料実験であるウェイクシールド実験 (WSF; Wake Shield Facility) では、シャトルから直径 3.7 m の円盤を展出し、そのウェイクを利用した高真空材料実験が行われている。しかしながらこの実験でも、装置をリモートマニピュレータでカーゴベイの外に展出しただけでは、オービター表面からの水分子の放出の影響を受けて、ウェイクでの最高真空度は予測値より 4 桁低い 10⁻¹⁰ Torr にとどまっている [3]。

スペースシャトルで計測される放出ガスの主成分は水分子であるが、そのフラックスは、オービター上での計測場所、パレットの温度やスラスターの動作に依存するだけでなく、打ち上げ時の天候にも依存するらしいことが報告されている。また、水分子の量はシャトルの飛翔中平均として時間とともに減少し続けるが、1 週間程度の飛翔期間では脱ガスは完了しないことが示されている。これまで飛翔体によるガス密度やガスの成分の長期間にわたる計測は行われているが、あくまでも自然の大気を対象とした計測が主であり、飛翔体からの放出ガスの影響を最大限避けるような配位 (計測器の視野に飛翔体表面を入れない配位) で計測が行われてきたため、飛翔体からのガスが本質的な役割を果たす飛翔体周辺のガス環境の長期間の計測データはほとんどないのが現状である。飛翔体周辺の真空度が、長期的にどのように推移していくかを知ることは、今後宇宙での本格的な高真空利用を考える上で重要である。

SFU (Space Flyer Unit) は、宇宙科学研究所、通産省、宇宙開発事業団の3機関で共同開発された我が国初の再使用型宇宙実験プラットフォームである。SFU はロケットまたはシャトルで打ち上げ後、高度約 500 km で半年から1年の宇宙実験や観測を行った後スペースシャトルにより回収し、10年間に合計5回のミッションを達成しうるシステムとして開発された。表1にSFUの諸元を示す。SFUには、機体上及びその周辺に形成される

宇宙環境を計測するための宇宙環境計測装置 (SEM; Space Environment Monitor) がバスシステムの一部として開発された。この計測装置には、プラズマ、電磁環境、微小重力のセンサーとともに、真空計と質量分析器から構成される中性ガスの計測センサーが組み込まれている [4]。SFU は 1995 年 3 月 18 日に我が国の大型ロケット H-II-3 号機で打ち上げられ、約 11 ケ月の軌道運用の後、1996 年 1 月 13 日にスペースシャトル 72 号機により回収された。軌道上では、各種の理工学実験、天文観測、電気炉実験、JEM 曝露部部分モデル実験が実施された。宇宙環境計測装置は、宇宙環境計測の立場から各実験の運用を支援するとともに、理工学実験機器の一つとして搭載されたプラズマ計測器 (SPDP; Space Plasma Diagnostic Package) と組み合わせて、飛翔体環境を総合的に研究するために用いられた [5]。ミッション中断続的ではあるが、真空計は約 7 ケ月間、質量分析器は約 3 ケ月間運用され、飛翔体周辺のガス環境の長期にわたるデータが得られた。本論文では、SFU で計測されたガス環境の解析結果について報告する。

2. SFU 搭載ガス計測器

SFU に搭載されたガス計測器は、2 台の電離真空計と 1 台の四重極ガス質量分析器である。使用した真空計と質量分析器の計測性能を表 2 に示す。これら以外にも 4 台のペイロードユニットボックス (搭載実験機器収納ボックス) 内には、搭載機器のガス気密部からのガスリークを検知するための簡易ガスモニターとして 1 Torr から 0.01 Torr までの真空度計測が可能なピラニ真空計が搭載された。電離真空計は図 1 に示すように、フィラメントとグリッド及びイオンコレクタから構成される。赤熱されたフィラメントからの熱電子は、正電位のグリッドにより加速され、真空計内部の中性ガスを電離する。電離により生成されたイオンはイオンコレクタで集められイオン電流として検出される。イオン電流は、ガス密度とフィラメントからの熱電子電流 (エミッション電流) に比例するため、計測されたイオン電流の値からガス密度 (真空度) を求めることができる。エミッション電流は 0.2mA 一定になるようにフィラメント電流はフィードバック制御される。

四重極ガス質量分析器は、図 2 に示すように、球形チェンバー、電離部、四重極分析部、イオン検出部から構成される。ガス入口から入射したガス分子は、球形チェンバーで熱化され、分析器先端の電極部で 0.2mA の電子エミッション電流により電離される。生成したイオンは質量分析部に導かれ四重極に印加された高周波に対応する質量と電荷比のイオンのみが四重極を通過し、チャンネルトロンで検出される。四重極に印加する高周波を掃引することにより質量スペクトルが得られる。

表 2. SFU に搭載された真空環境計測センサーの性能

真 空 計	
計測範囲	: $2 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-4}$ Torr
計測精度	: 10%
エミッション電流	: 0.2mA
グリッド電位	: 175V
フィラメント電位	: 25V
感度係数	: $3 \sim 5$ Torr ⁻¹
サンプルレイト	: 31 Hz max
質量分析器	
掃引質量	: 2~100 amu
計測範囲	: $1.96 \times 10^{-11} \sim 1.25 \times 10^{-5}$ Torr
質量分解能	: $m/\Delta m \geq 2$ (50%PH)
感 度	: 0.2A/Torr (CEM 電圧 2.6kV の時)
CEM 電圧	: 1.5~2.6 kV
エミッション電流	: 0.2mA
サンプルレイト	: 31 Hz max

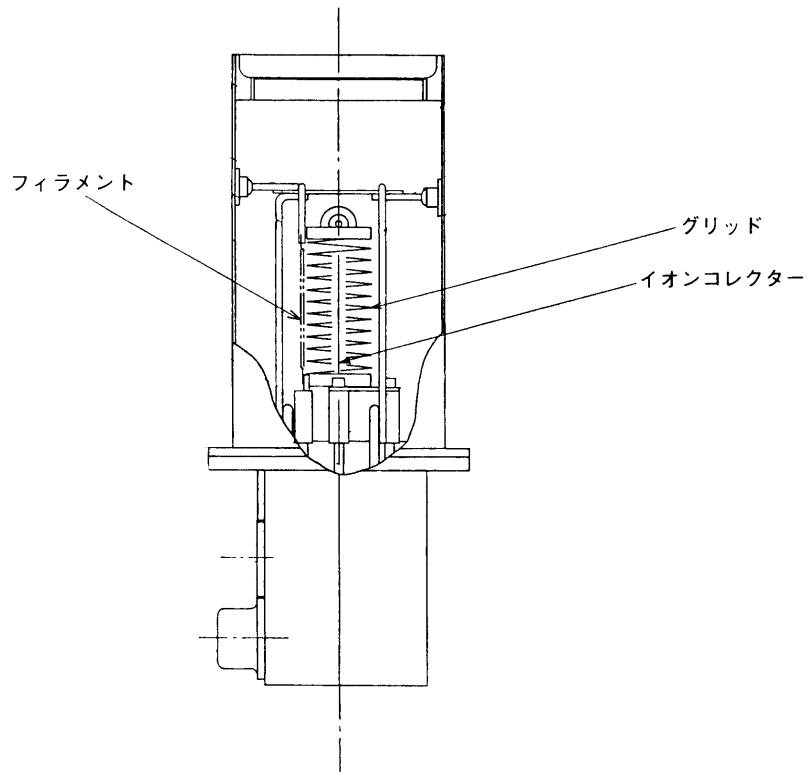


図1. 電離真空計の構成

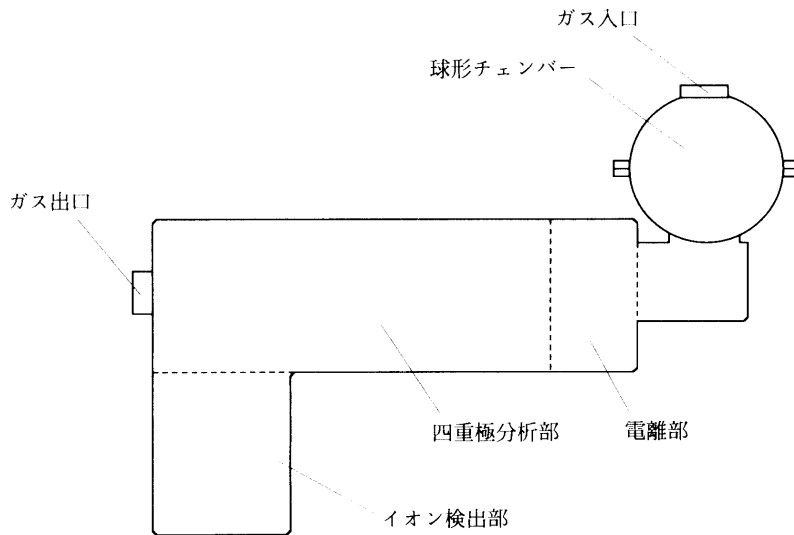


図2. 4重極型質量分析器の構成

2台の電離真空計と1台の質量分析器は図3に示すように、SEMの上部に組み込まれている。図4にSEMのSFU曝露部への搭載位置を示す。真空計1本と質量分析器の開口は太陽指向方向、もう一方の真空計の開口は太陽指向方向と直角の方向を向いている。上面の真空計の視野の一部には、曝露部中央に搭載されたJEM曝露部部分モデルの側面が入っている。側面の真空計には、曝露部搭載面が視野に入っている。

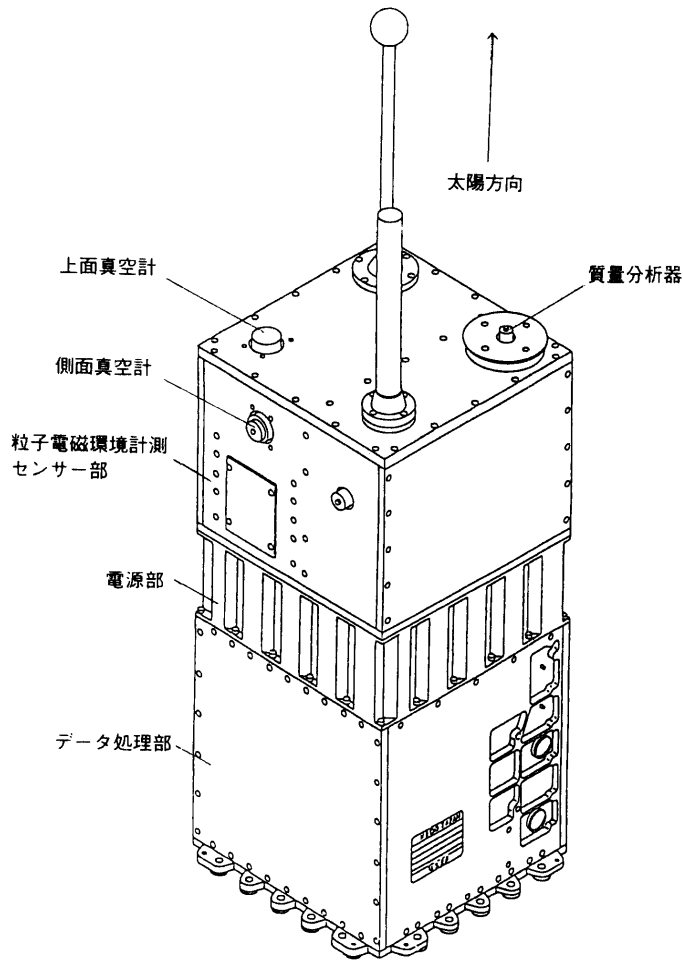


図3. 環境計測装置 (SEM) に組み込まれた電離真空計と質量分析器のセンサー位置

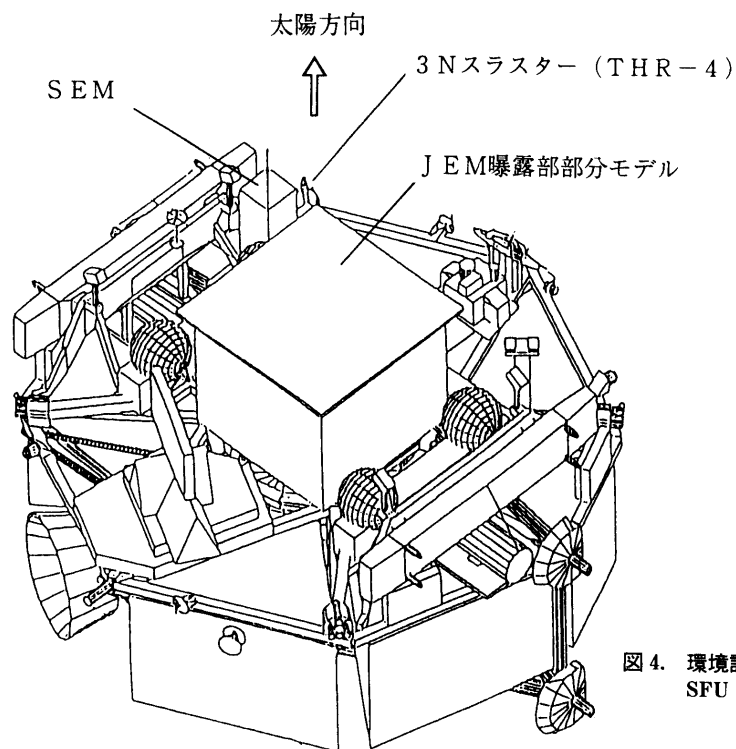


図4. 環境計測装置 (SEM) の SFU への搭載位置

3. 計測結果

3.1. 真空度の長期変化

真空計を動作させてから約5分間の計測値の時間的変化の典型的な例を図5に示す。電離真空計のフィラメント点灯時に、センサー内の電極からガスが放出されるが、通常は数分程度で真空度はほぼ安定する。但し後述するように、真空計の動作休止時間が長い場合には放出ガスの発生量が多くなりフィラメント点灯後安定するのに要する時間は一般に長くなる。図6に打ち上げ後から約7ヶ月(1995年3月下旬から10月中旬まで)の間、断続的に合計約120回計測されたSFU曝露部の真空度の変化を示す。図では、上面と側面の2本の電離真空計のデータを日照と日陰に区分し4種類のデータセットとして表示している。真空計は通常30分間通電されるが、1分毎に上面と側面の真空計を切り替えるモードと、上面の真空計のみで30分間連続計測する2つのモードで運

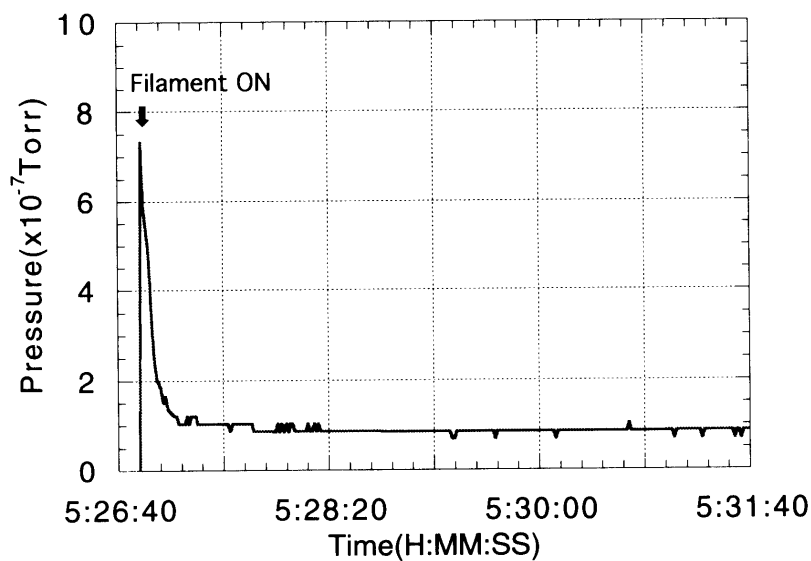


図5. フィラメント点灯時の真空度の変化(典型例)

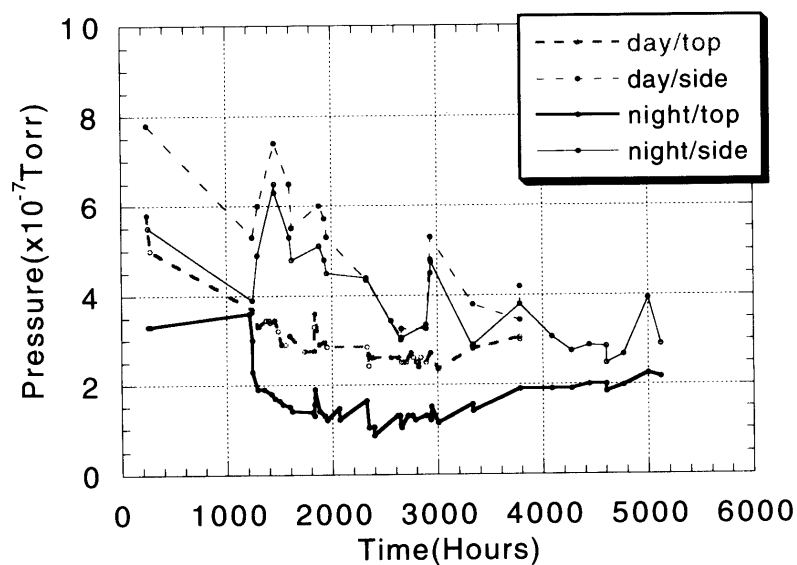


図6. 打ち上げ後約7ヶ月間の真空度の変化

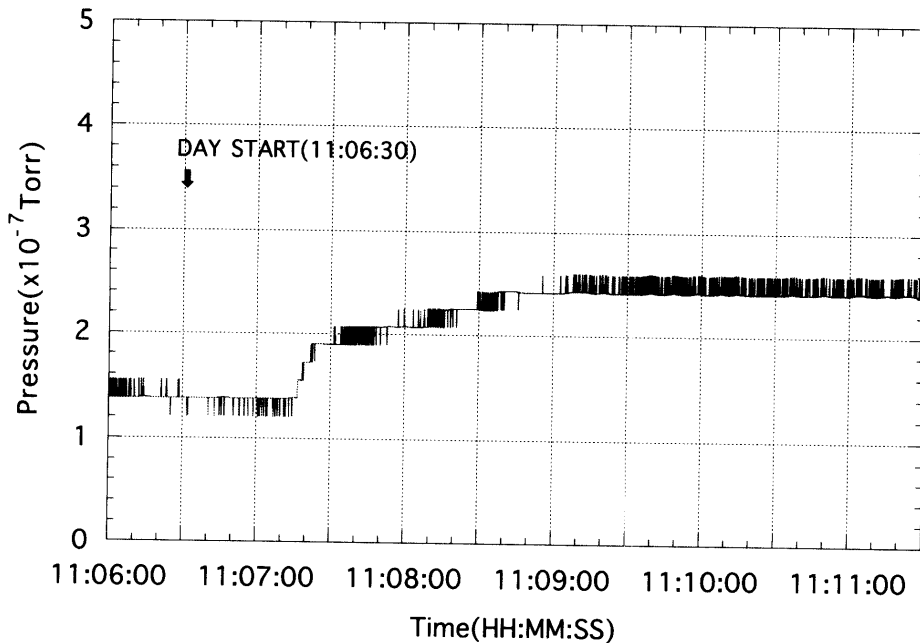


図7. 日陰から日照へ変化した時の真空度の変化（上面真空計）

用された。30分より短い運用モード（最も短いもので10分）の場合、あるいはSFUを回転しながらのように時々刻々真空度が変化する場合には、上面の真空計のみで計測した。図6では原則として計測終了直前のデータを代表データとしてプロットしている。ここにはスラスター噴射中のデータは含まれていない。図に示されているように、SFU曝露部のガス密度は打ち上げ後の時間の経過とともに単調減少するのではなく、当初3ヶ月（約2000時間）は平均として減少傾向が見られるものの、全体として真空度は大きく変動している。これらの変動は姿勢制御モードや回転運動などのSFUのアクティビティを反映している。

上面真空計の真空度には日照と日陰とで明らかな差（ $1\sim 1.5\times 10^{-7}$ Torr相当）がある。実際、真空度の計測中に軌道が日陰から日照又は日照から日陰に変化した時には、10秒から20秒という短時間に $5\sim 8\times 10^{-8}$ Torrの急激な真空度の変化が観測される。日陰から日照へ変化した時の上面真空計の真空度の変化の典型例を図7に示す。軌道上定義される日照開始より約50秒遅れて真空度の急激な変化が見られる。また日照時にはフィラメントを点灯していない時でもグリッド電圧を印加しただけで $0.9\sim 1.3\times 10^{-7}$ Torr相当のイオン電流が検出された。日照時ガス密度が高く計測されるのは、日照時太陽の光によりイオンコレクタ表面（表面積約 2×10^{-2} cm²）で光電子が発生しグリッドに流れ込むため、見かけ上ガス密度が高く計測されたものと考えられる。一般に光電子放出は数nA/cm²程度（イオンコレクタ面積で数十pA）であり、計測された真空度の変化量 10^{-7} Torr（約80pAのコレクタ電流に相当）とはほぼ合致する。側面の真空計は、日照の影響を直接には受けないのでこのような日照、日陰の大きな差はないが、一般に日照時は日陰時に比べて真空度が低い。実際、図8に示すように日照開始時からの時間経過とともに真空度が低下する傾向が見られる。日照、日陰時ともに側面の真空計の方が上面の真空計よりも真空度が低い。

また、センサー特有の現象として、休止している時間が長い場合には、フィラメント点灯時の放出ガスの影響が大きく、センサーに吸着したガスの再放出の影響が顕著に見られた。特にこの傾向は休止期間が200時間を越すとはっきり認められた（図9）。吸着ガスの影響は、上面真空計に顕著に見られ、側面センサーではその影響は少ない。

3.2. 質量分析結果

図10に打ち上げ後約2ヶ月後に取得した典型的な質量分析結果を示す。水、OH、窒素、酸素、炭化水素が主

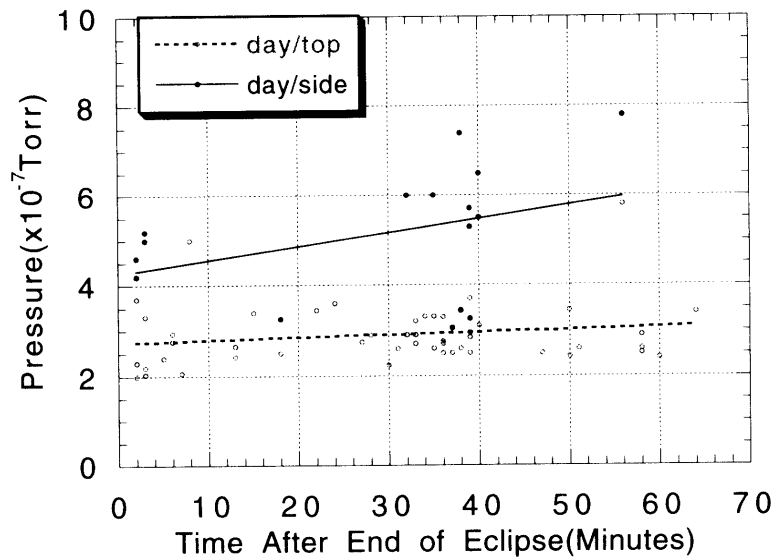


図8. 日照開始からの真空度の変化

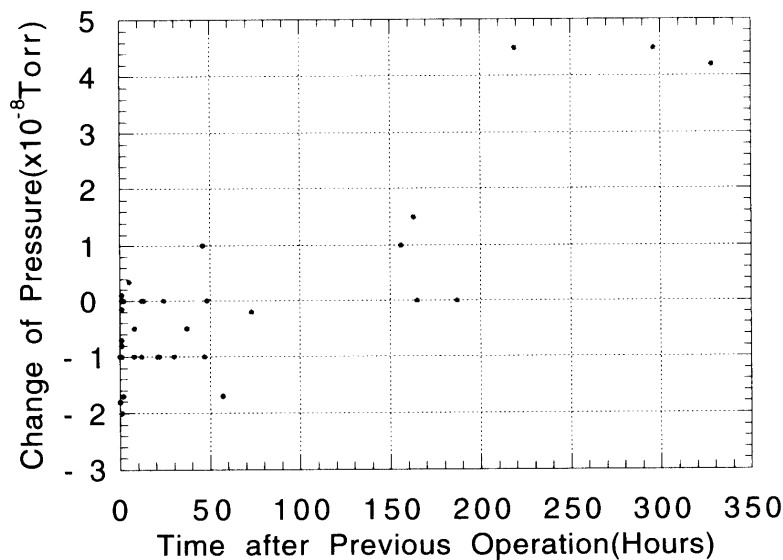


図9. 運用休止時間に対する真空度の変化の依存性

要成分として検出された。図11に打ち上げ後から、約3ヶ月間(1995年3月下旬から6月下旬)までの水、OH、窒素、酸素の量の時間変化を示す。質量分析器は約3ヶ月後にはハイゲインチャンネルでの信号とノイズ比が悪くなったため運用を打ち切った。本分析器で水を分析した場合は、水、OH、酸素の比はほぼ20:5:1である。計測されたデータもほぼこの比となっており、OHとOはセンサーの電離部で水から派生したものが主成分であろうと考えられる。図12にSFUを回転させラムからウェイクへ約6分間で変化させた時の質量分析結果を示す。この例だけでなく一般に計測器がラム方向を向いている時はノイズレベルが高く、ノイズレベルの増大は流入したプラズマによるものと思われる。センサー部にはイオンの流入を阻止するための3枚構成の正電位グリッド(+15V)をとりつけていたが、日照時には太陽電池パネルの起電力にふられSFUの電位そのものが数十ボルトまで負に沈んだため、センサー内へのイオンの流入が発生し、計測に影響を与えたと考えられる。図13にSFUの電位と質量分析器のノイズレベルの相関の代表的な例を示す。この例では3時17分17秒に日陰から日

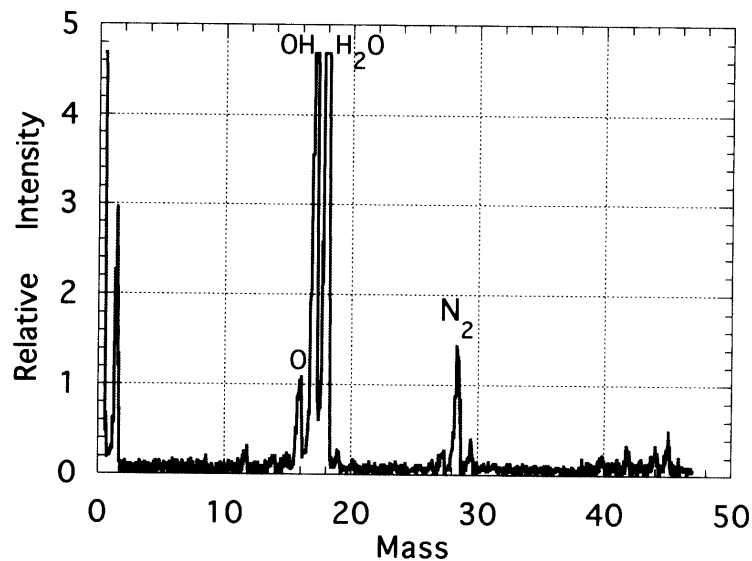


図10. 打ち上げ後約2ヶ月後の質量分析結果

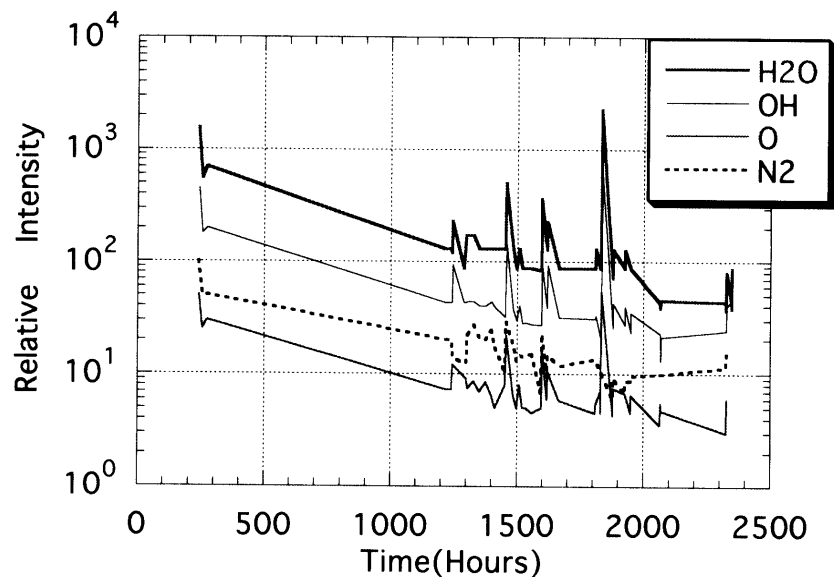


図11. 打ち上げ約3ヶ月間の分圧の変化

照へ変化したが、その約2分前からSFUの電位が変化し始めており、同期して質量分析器のノイズが増加し始めている。図12ではラム時の方がO16がやや多く検出されているように見えるが、ラム時のO16の計測値はノイズレベルと同レベルのため定量的な評価は困難である。

3.3. スラスタ運用時のガス環境の変化

SFUでは、姿勢制御用のスラスタを動作させ、ガス環境の変動を調べる実験を行った。この実験では、図4で示した位置にある姿勢制御用3Nスラスタ(THR-4)を、1分ごとに1秒間動作させ真空度の変動を計測した。このスラスタはガス計測器の開口位置から水平に約75cm、下方に約60cm離れた位置にあり、スラスタプルームは斜め上方60度の方向に放出された。スラスタ出口でのプルームのガス成分と重量比は、アンモニア分解率を69%として、NH₃22%、N₂69.4%、H₂8.6%とされている。図14にスラスタを動作させた時の上面と側面の真空計の応答を示す。上面真空計では 7×10^{-8} Torrの上昇、側面真空計では 4.5×10^{-6} Torrの上昇が見

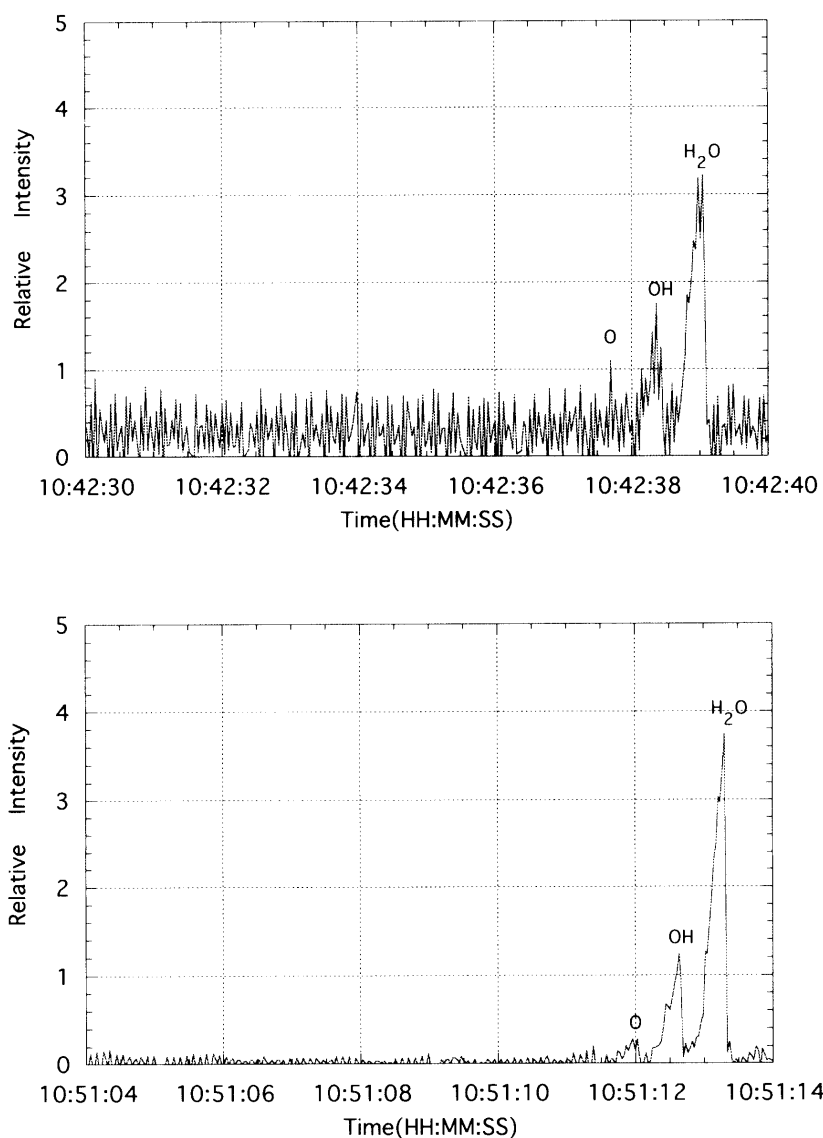


図 12. ラム時 (上パネル) とウェイク時 (下パネル) の質量分析結果の比較

られた。側面真空計の真空度はスラスタ放射前の値に戻るためには40秒以上必要であった。また、図15にスラスタ放射から約5-18秒後の質量分析データを示す。この場合は質量は1AMUから20AMUまで掃引している。ヒドラジンプルームの主要ガスである窒素分子から派生した窒素原子(14AMU)の顕著な増加が見られる。また同時に水成分の増加が観測され、スラスタ放射は表面からの水分子放出の一時的な増大をもたらすことを示している。

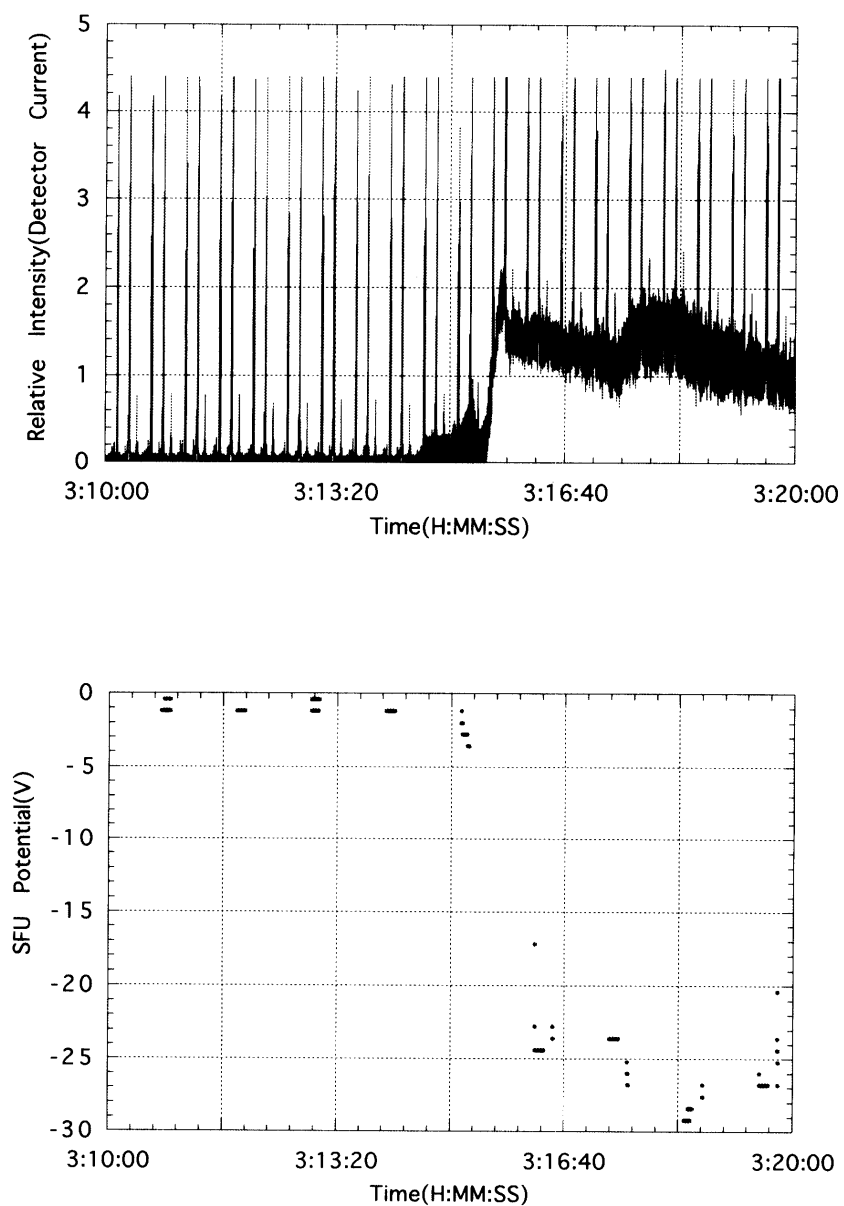


図 13. 質量分析器のノイズレベルとフローティングプローブで計測した SFU の電位との関係。質量分析器のデータは約 30 秒毎に 1-50 AMU の掃引を繰り返している。

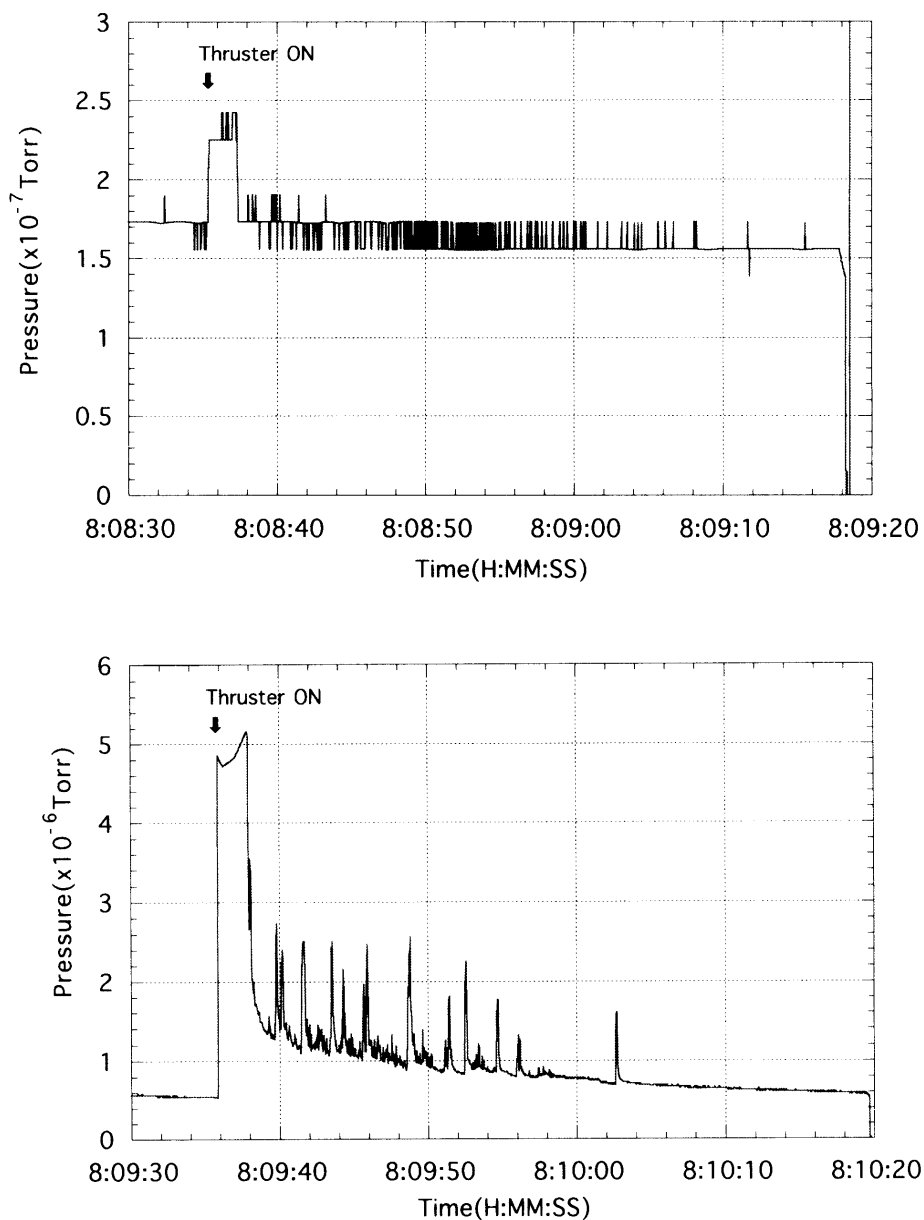


図 14. スラスタ動作時の真空度の変化. 上パネルは上面真空計のデータ, 下パネルは側面真空計のデータ.

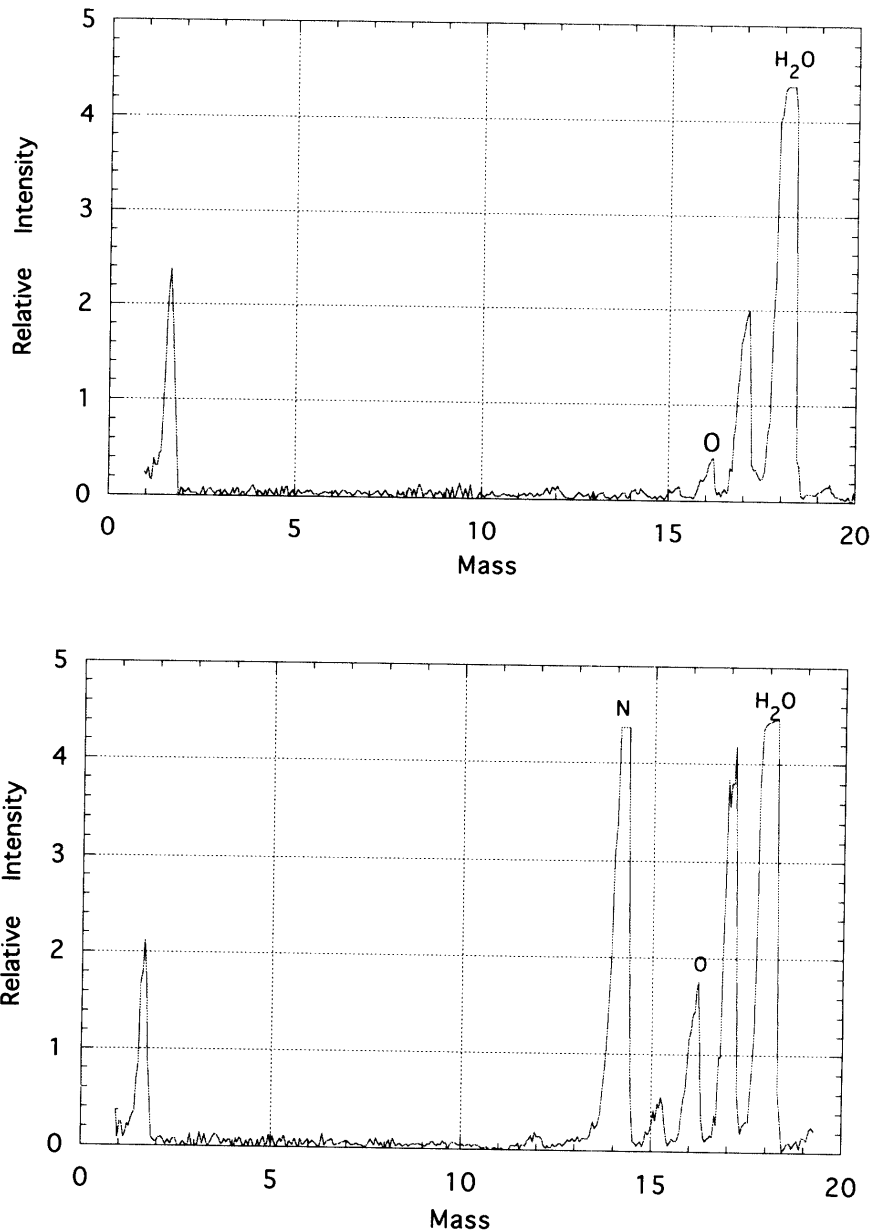


図15. スラスター動作から30秒以上経過した後の質量分析結果(上パネル)とスラスター動作直後の質量分析結果(下パネル).

4. 考 察

4.1. SFUのガス環境

SFUで計測されたガス環境は、高度480kmの典型的な自然の真空度約 10^{-9} Torrよりも100倍程度高いこと、SFUの運用条件により真空度が大きく変動すること、という2つの特徴を持っている。

計測されたガス密度が自然のガス密度よりも高い原因として、真空計内部の壁面、フィラメント、電極からの放出ガスが当初考えられたが、地上での熱真空試験時の計測値の方が低いこと(地上でのSEM単体熱真空試験では約5日目で 10^{-8} Torr台に達しているが、SFUでの実計測では打ち上げ後約10日でも 6×10^{-7} Torr程度にとどまっている)、真空計内部の放出ガスが主成分であれば時間とともにガス密度は単調減少するはずであるが

SFUの運用状態に応じて変化している点から否定される。計測されたガス密度が自然のガス密度よりも高い原因はSFU表面及び搭載機器からの放出ガスを検出したためと考えられる。質量分析器のデータも地上での熱真空試験時のスペクトルと大きく異なっており（地上では N_2/H_2O は約1なのに対しSFU上では0.5以下）、質量分析器も計測器内部のガス環境ではなくSFU周辺のガス環境を反映していると考えられる。検出されたガスの主成分は放出ガス起源の水分子であり、SFUの表面付近のガス環境はSFU表面や搭載機器からの放出ガスが支配的であったことを示している。上面真空計はJEM曝露部部分モデル側壁を立体角として約5%、側面真空計はSFU本体表面を約30%視野に入れていた。側面真空計で計測された真空度が上面真空計で計測された真空度よりも1.5~4倍程度高いのは、側面真空計が上面真空計より多くSFU表面を視野に入れていたためであろうと考えられる。計測された真空度がSFUの運用条件（日照、日陰や姿勢制御モード）により大きく変化した理由は、SFU表面からのガス放出がSFUの運用条件により変化したためと考えられる。

側面真空計の測定値からSFU表面からの放出ガスを評価することができる。SFUの機器搭載面（側面真空計が視野にいた面）を xy 面とし、側面真空計が z 軸上 h の高さにあり、センサー開口面（ S_o ）が y 軸を向いているとする。SFU表面からの放出ガス量は場所によらず一定 i (Torr·liter/sec·cm²)であるとすれば、真空計への入射粒子フラックス（ I_{in} ）は

$$I_{in} = iS_oG \quad (1)$$

$$G = \iint (x^2 + y^2 + h^2)^{-3/2} y dx dy \quad (2)$$

で表わされる。積分を真空計の視野の中にあるSFU搭載面について行くと、 $G=0.584$ となる。一方、ガス分子は真空計内部で壁と衝突し熱化して開口面から出ていくとすれば、そのフラックス（ I_{out} ）は、

$$I_{out} = pvS_o/4 \quad (3)$$

p ：真空度

v ：ガスの平均速度

で表わされる。真空計内のガス分子のマックスウェル分布を仮定すれば、

$$v = (8kT/\pi m)^{1/2} \quad (4)$$

k ：ボルツマン定数

T ：ガスの温度

m ：ガス分子の重量

である。ガスの温度を300°K、ガスを水分子とし、側面真空計の代表的な計測値 $p=3 \times 10^{-7}$ Torrを代入すれば、SFU表面からの放出ガス量 i は 7.6×10^{-6} Torr·liter/sec·cm²と計算される。一方、宇宙規格の非金属の放出ガスは通常 $10^{-11} - 10^{-9}$ g/sec·cm²のオーダーと言われている[6]。これは、放出ガスを水とした場合、 $10^{-8} - 10^{-6}$ Torr·liter/sec·cm²に相当し、SFUでの放出ガス量の解析結果はこれらの値より高い。またSFUの解析結果は、スペースシャトルで計測された質量分析器による水分子の放出量の測定例（ $(0.6-1.3) \times 10^{-6}$ Torr·liter/sec·cm²、打ち上げ後約2日の数値[7]）よりも高く、放出ガス量の評価の妥当性について更に検討を進める必要がある。

図6に示された真空度の変動の代表的な要因は、以下のように解析される。

(1) 経時変化

打ち上げ後約3ヶ月程度までは平均的に放出ガスが減少するが、その後は放出ガスは平均的には大きく変化しない。

(2) 日陰、日照変化

日照中は、時間とともに表面温度が上昇し放出ガスが増大する。一方日陰中は、時間とともに放出ガスが減少する。これらの変化は真空度で数十%程度に相当する。

(3) 制御モード

SFUの姿勢は、リアクションホイール制御モードとスラスタ制御モードの2つのモードで制御されたが、スラスタ制御モードの場合は間欠的にスラスタガスが放出されるため、SFU周辺の真空度が低下する。スラスタ制御モードでの真空度の変化はファクター2から一桁程度変化する。

(4) 局所的な機器の温度変化

打ち上げ後1800時間付近に見られる真空度の短期的な増大は、環境計測器の温度が連続運転により50度Cを超えたため、環境計測器そのものからの放出ガスが増大したことが原因となった。この場合、ファクター3程度の変化が計測された。

4.2. スラスタガスの影響

スラスタ噴射に伴う真空度の低下は上面真空計で 7×10^{-8} Torr相当なのに対し、側面真空計では 4.5×10^{-6} Torr相当であり、両真空計で60倍以上の大きな差が認められた。上面真空計には幾何学的にスラスタガスが直接入射することなく、JEM曝露部部分モデルの側壁からの反射とプルームからの後方散乱によるガス分子が検出されたものと考えられる。一方側面真空計の開口はスラスタノズルの中心軸から71度の位置にあり半頂角77.8度(限界角度)で広がるガスプルームの境界付近に位置していた。スラスタの性能表及びプルームの密度分布モデル(図16)から、側面真空計の位置でのプルームガス密度(p_g)は $(1 \sim 2) \times 10^{-9} \text{ kg/m}^3$ 、流速(V_s)は1890m/secで与えられる。また、開口面へのプルームガスの入射角(θ)は開口面に対し35度である。従って、スラスタガスの真空計への入射ガス量は、

$$I_{in} = p_g S_o V_s \cos \theta \quad (5)$$

で与えられる。また、真空計から出ていくガスのフラックスは(3)(4)で与えられる。窒素ガスについて入射フラッ

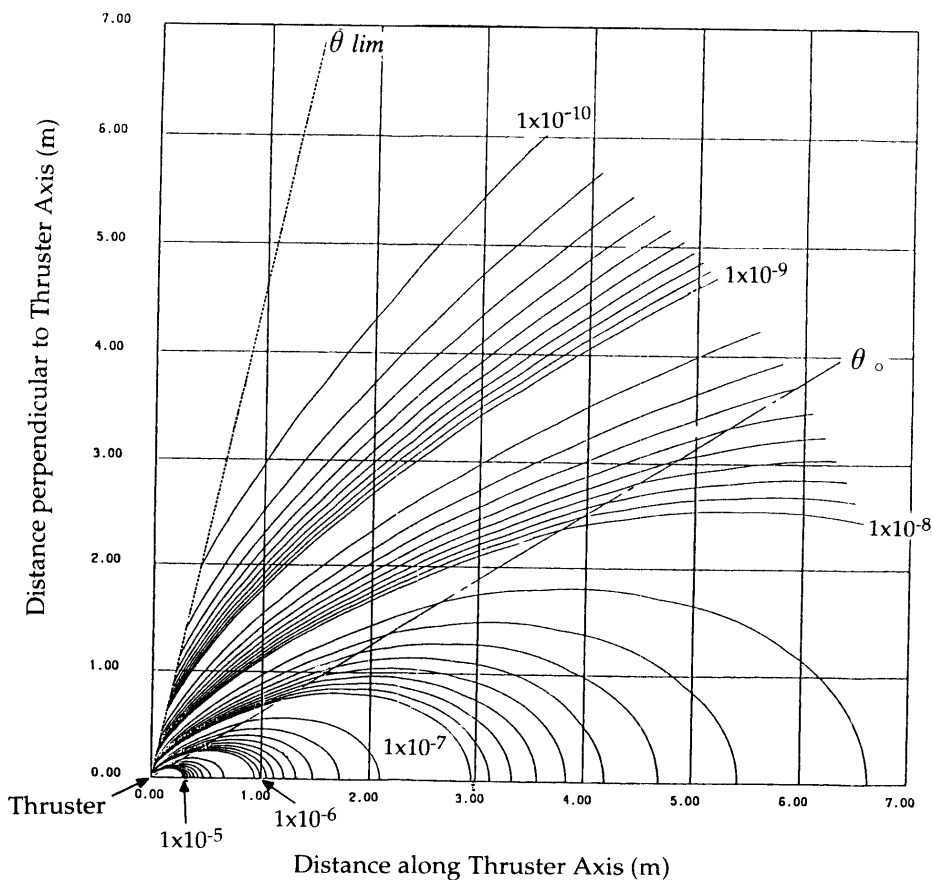


図16. スラスタプルームのガス密度分布。密度の単位は kg/m^3 。

クスと放出フラックスが等しいとし、入射ガスは真空計内の壁で熱化され、真空計からのガスの放出速度が720 m/sec程度(マックスウエル分布を仮定した時のN₂温度680°Kに相当)であったとすれば、側面センサーでの代表的な計測値 4.5×10^{-6} Torr(性能表のガス密度 7.4×10^{-7} Torr)よりも約6倍高い値)が定量的に説明できる。

側面真空計の計測データには真空度の回復時20秒程度にわたり0.1秒程度の幅を持つパルスのような真空度の低下が見られるが、これは真空計壁面または真空計周辺に付着したスラスタースラスターガスが断続的に離脱したためと考えられる。パルスのような真空度の低下はスラスタースラスター運用中の1/3から1/4に達しており、スラスタースラスター運用による真空度の低下を回避する必要がある場合には、スラスタースラスター運用終了後少なくとも数十秒間は待機する必要があることを意味している。

5. 結 論

SFUに搭載された真空計と質量分析器により、SFU周辺のガス環境の長期推移のデータが得られた。SFU表面のガス環境はSFUの表面及び搭載機器表面からの放出ガスが支配的で、自然のガス密度よりも100倍程度ガス密度が高く、SFUのスラスタースラスター動作によりさらに数~数十倍程度ガス密度が上昇することが観測された。質量分析器により放出ガスの主成分は水分子と窒素分子であることが同定された。真空度から算出したSFU表面からの放出ガスの量は、スペースシャトルのパレット部よりも数倍高く、評価法について今後さらに検討する必要がある。ガス密度は日照時は時間とともに増大し、日陰時は時間とともに減少した。日陰、日照によるガス密度の変化は数十%に達した。スラスタースラスター噴射中の真空度は最大 5×10^{-6} Torrまで低下した。スラスタースラスター噴射時のガス密度の上昇は主として窒素分子によるものであるが、噴射終了後も数十秒間欠的にガス密度の増大が観測された。

謝 辞

本研究は、SFUプロジェクトチームの支援と、無人宇宙実験システム研究開発機構、(株)デンソー、(株)明星電気、(株)日本真空の協力で行われたものであり、心より感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] R. J. Naumann, Prospects for a contamination-free ultrahigh vacuum facility in low-Earth orbit, *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 7, No. 7, pp. 90-99, 1989.
- [2] S. D. Shawhan, G. B. Murphy, and J. S. Pickett, Plasma Diagnostic Package Initial Assessment of the Shuttle Orbiter Plasma Environment, *J. Spacecraft*, Vol. 21, No. 4, pp. 387-391, 1984.
- [3] A. Ignatiev, The Wake Shield Facility and Space-Based Thin Film Science and Technology, *Earth Space Review*, Vol. 4, No. 2, pp. 11-17, 1995.
- [4] S. Sasaki, Y. Watanabe, K. Oyama, N. Kawashima, N. Kaya, T. Sai, T. Yokota, S. Miyatake, E. Sagawa, M. Ohta and F. Tohyama, Study of Spacecraft Environment on SFU, ISAS Rept. SP. No. 11, pp. 79-96, 1990.
- [5] S. Sasaki, Y. Watanabe, N. Kaya, T. Yokota, E. Sagawa, S. Miyatake, M. Ota, F. Tohyama and S. Matsuoka, Measurement of Space Environment of Space Flyer Unit, 20th ISTS, Gifu, 1996.
- [6] D. J. Martin and C. R. Maag, The Influence of Commonly Used Materials and Compounds on Spacecraft Contamination, *Acta Astronautica*, Vol. 30, pp. 51-65, 1993.
- [7] S. J. Young and R. R. Herm, Model for Radiation Contamination by Outgassing from Space Platforms, *J. Spacecraft*, Vol. 25, No. 6, pp. 413-419, 1988.