

スペースシャランバ内の粒子状コンタミネーション環境について

1. 背景と目的

<背景>

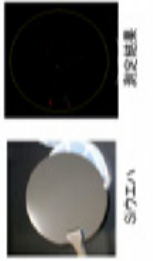
通常クリーンルームにおける粒子状コンタミネーションのモニタは気中パーティクルカウンタによって行われる。しかしながら、熱真空試験中は気中パーティクルカウンタを使用することができない。またクリーンルームは一般的にダウンフローの気流があるのに対し、スペースシャランバ内は真空排気・大気圧戻しによる気流が発生する。そのためスペースシャランバにおける粒子状コンタミネーション環境はクリーンルームと異なる可能性がある。

<目的>

- ・熱真空試験中のスペースシャランバ内の粒子状コンタミネーション環境を把握する。
- ・熱真空試験中の粒子状コンタミネーションを低減する。

2. 測定方法

熱真空試験中にウエットネスプレート上に堆積した粒子状コンタミネーションをパーティクルカウンタによって粒径及び粒子数を計数する。



ウエットネスプレートは44イン치의Siウエハを使用する。またパーティクルカウンタはシーズ社のOTSP30-01を使用する。OTSP30-01はSiウエハ上の粒子に光を照射しその散乱光から粒径を算出している。測定面積は直径80mmであり、直径30μm以上の粒子を計数可能である。

3. 測定結果

FY23より筑波宇宙センターの大型スペースシャランバ(13mφスペースシャランバ、8mφスペースシャランバ、6mφ放射計スペースシャランバ)において実施された熱真空試験中に粒子状コンタミネーションの計測を行った。測定結果は下記のMIL-STD-1246Cの表面清浄度規格に基づいて評価を行った。

$$\log M(x) = C [\log^2 X_1 - \log^2 x]$$

x : 粒径[μm]
 $M(x)$: 粒径 x μm以上の粒子数密度(個/μ²)
 X_1 : 表面清浄度
 C : 規格化定数(0.926)

下表に各スペースシャランバにおける表面清浄度を示す。粒径の評価区分は[30μm以上、66μm以上、96μm以上]の3区分とした。

表面清浄度	各スペースシャランバにおける表面清浄度		
	13mφ	8mφ	6mφ
30μm以上	100 ~ 300	100 ~ 400	100 ~ 300
66μm以上	100 ~ 400	100 ~ 400	100 ~ 400
96μm以上	200 ~ 400	200 ~ 500	200 ~ 400

4. 考察

<粒径ごとの粒子数分布について>

MIL-STD-1246Cでは注目する粒径の対数の2乗と粒子数の対数が比例すると仮定しており、その比例定数を C としている。

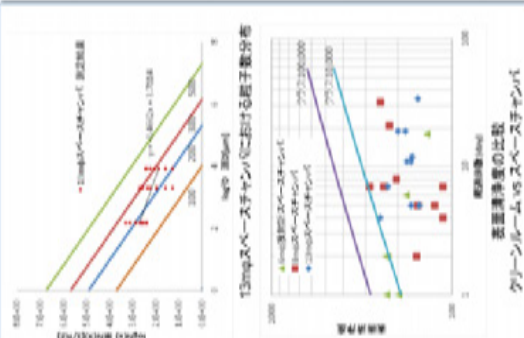
$$C \propto \log N(x) / (\log x)^2$$

MIL-STD-1246Cでは C の値を0.905としているが、宇宙機用クリーンルームにおいてはこの値より小さくなる傾向があることが報告されている。右図は13mφスペースシャランバにおける粒径と粒子数の関係であるが、比例定数は0.466であった。これはMIL-STD-1246Cにおいて仮定されている粒径分布に比べ粗大粒子の割合が多いことを意味する。MIL-STD-1246Cでは、 C ある粒径における表面清浄度から他の粒径における表面清浄度や、濃縮積集(PAC)の換算式を与えているが、この値を0.905を前提としていることに注意する必要がある。

<試験日数と表面清浄度の関係>

参考文獻(2)では、クリーンルーム清浄度と表面清浄度の関係の経験式を与えている。右図はその経験式と、各スペースシャランバの表面清浄度と試験日数をプロットしたものである。

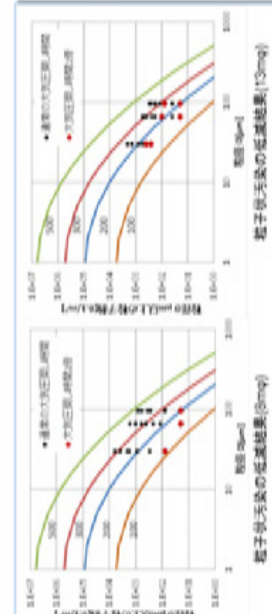
クリーンルームでは日数が進むにつれ、表面清浄度は単調増加しているが、スペースシャランバでは日数と表面清浄度の関連は見られない。これはスペースシャランバにおいては真空引きや大気圧戻し時に発生する気流が表面清浄度に対し支配的であるからと考えられる。



5. 低減方法について

熱真空試験中に発生するスペースシャランバ内の気流を低減することを目的に、大気圧戻し時を通常の2倍に延長した。

その結果、通常の大気圧戻し時に比べ、大気圧戻し時間を2倍にしたほうが、熱真空試験中の粒子状コンタミネーションを低減できることが分かった。



6. 結論

- ・筑波大型スペースシャランバの熱真空試験中の表面清浄度は100 ~ 500であった。
- ・スペースシャランバ内の粒径ごとの粒子数分布はMIL-STD-1246Cにおいて仮定されているもの比べて、粗大粒子が多い傾向にある。
- ・スペースシャランバ内の表面清浄度は試験日数との相関は見られない。
- ・大気圧戻し時間を長くすることで、表面清浄度を改善することができる。

参考文献

1. MIL-STD-1246C PRODUCT CLEANLINESS LEVELS AND CONTAMINATION CONTROL PROGRAM
2. Buch, J. D., and Barski, M. K., "Analysis of Particulate Contamination Buildup on Surfaces," Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Optical System Contamination: Effects, Measurement, Control, Vol. 777, pp. 43-54, (1987).