

# イオン加速グリッドの損耗形状測定

碓井 美由紀\*, 國中 均\*\*

## Erosion Characteristics of Ion Grid System

By

Miyuki USUI\* and Hitoshi KUNINAKA\*\*

**Abstract:** In the development of Ion Engine System, life prediction method by numerical calculation is suggested. To compare the numerical prediction with the experimental data, we measured the decel grid after an endurance test for 20,000 hours. The center hole of this grid has symmetrical property, and in the downstream side, grid holes have hexagonal geometry.

**Key words:** Development of Ion Engine System, Life Prediction Method, Endurance Test

### 1. はじめに

イオンエンジンの寿命を制限する要素にはイオン加速グリッドの損耗がある。その耐久認定には、実時間で数万時間級の耐久試験を行うという現状がある。しかし、今後のイオンエンジンを用いたミッションにおいて、耐久性の向上化、長寿命の要求等の進展により、このような長時間試験は現実的ではない。そのため、今後は実時間試験は数千時間級にし、数値寿命予測と合わせた耐久認定方法が提案されている。

本研究では、実際に2万時間耐久試験を行ったイオン加速グリッドの損耗形状測定を行い、断面形状特性、周方向角度に対する半径特性について報告をする。

### 2. 測定方法

#### 2.1. デジタルマイクロスコープ

本研究ではイオン加速グリッドの損耗形状はデジタルマイクロスコープを用いた。このデジタルマイクロスコープでは様々な焦点距離で撮影された平面高解像度画像を焦点合成することにより、全焦点画像（平面画像）と3次元画像データを生成するシステムを有している。この非接触形状測定により、上流面および下流面の形状を測定し、合成を行うことでイオン加速グリッド孔の断面形状特性、周方向角度に対する半径特性を得ることができる。図1にデジタルマイクロスコープ概観、図2に3次元画像データを示す。

---

\* The University of Tokyo

\*\* ISAS/JAXA

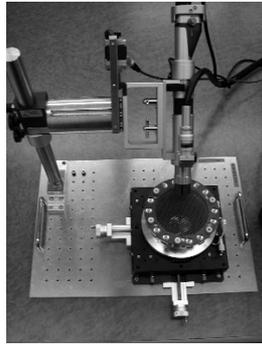


図1 デジタルマイクロスコープ

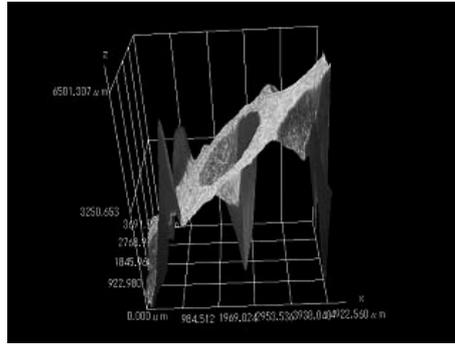


図2 3次元画像データ

## 2.2. イオン加速グリッド

今回の測定ではマイクロ波放電式 ECR 型イオンエンジン  $\mu 10$  PM の 2 万時間耐久試験後のディセルグリッドの中心グリッド孔について行った。グリッド形状については図 3，孔数は表 1 に示す。

なお，このグリッドについては，炭素繊維強化炭素複合材，厚さ  $1.0 \pm 0.02$  [mm]，孔間距離 3.5 [mm]グリッド孔径  $\phi 2.5$  [mm]，孔数 855 個となっている。

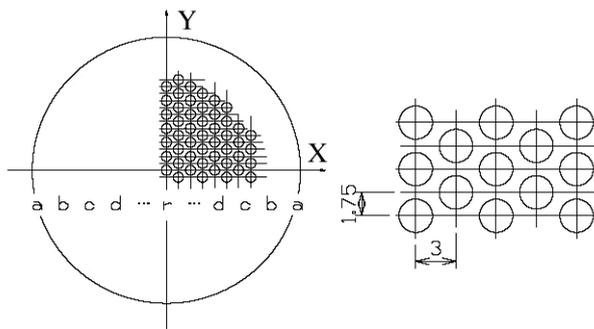


図3 ディセルグリッド略図

表1 グリッド孔数

a	b	c	d	e	f	g	h	i
10	13	16	19	22	23	24	25	26
j	k	l	m	n	o	p	q	r
27	28	29	30	29	30	31	30	31

## 3. 測定結果・考察

### 3.1. ディセルグリッド損耗形状

まずディセルグリッド全体の損耗状況について記す。図 3 で示している座標軸の中心から X 方向へスライドしていったときの，グリッド面に対して垂直方向から見た損耗状況について，下流側を図 4，上流側を図 5 に示す。まず，これらの図を見てわかることは，下流側前面では六角形に大きく広がるように，上流側前面では円形に損耗していることが観察できる。このことから断面形状は上流側から下流側に向かって広がるようなテーパのかかった損耗であることが理解できる。また中心部，最外周部にあるグリッド孔の損耗具合が大きく，中心部から半径 1/2 の周付近での損耗は少ない。グリッド孔損耗の対称性については特に最外周部で成り立たなくなる様子が見て取れる。

次にディセルグリッドの中心にあるグリッド孔について，垂直方向から見た下流面，上流面をそれぞれ図 6(a)，図 6(b) に示す。このグリッド孔における損耗形状特性については 3.2，3.3 で記す。

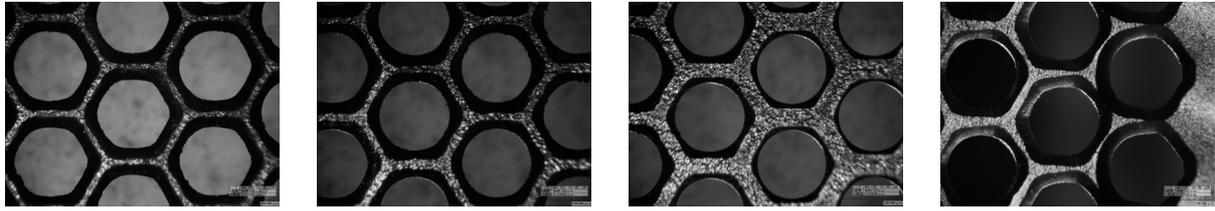


図4 下流側のディセルグリッド損耗状況（最左図：グリッド中心部，最右図：グリッド外周部）

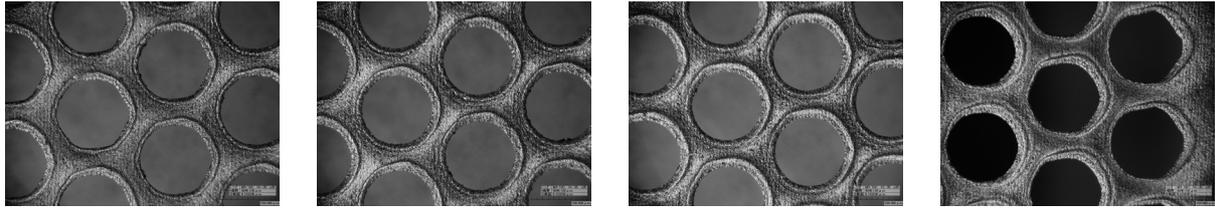
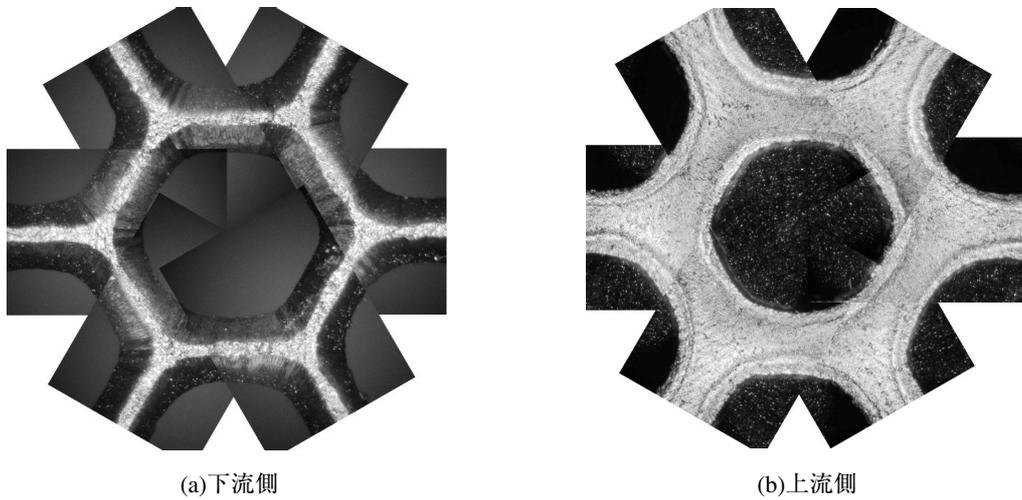


図5 上流側のディセルグリッド損耗状況（最左図：グリッド中心部，最右図：グリッド外周部）



(a)下流側

(b)上流側

図6 グリッド中心部のグリッド孔

### 3.2. 断面形状特性

まず図3におけるX軸を0-180 [deg] 断面とする。この断面を基準に、30 [deg] ずつずらした断面、30-210, 60-240, 90-270, 120-300, 150-330 [deg] の6断面の形状を測定した。その結果、0-180, 60-240, 120-300 [deg] の3方向断面、30-210, 90-270, 150-330 [deg] の3方向断面がそれぞれよく一致した断面となった。ここでは代表的に0-180, 30-210 [deg] の2断面図を図7, 図8にそれぞれ示す。

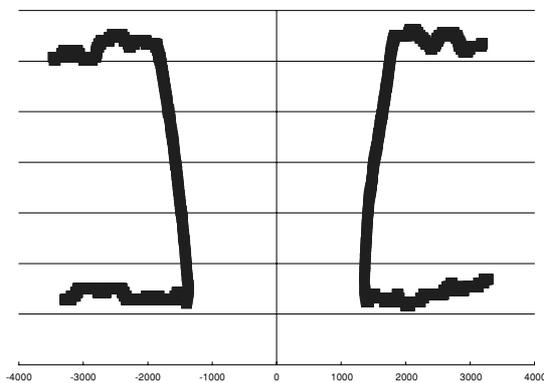


図7 断面形状 0-180 [deg] (単位：μm)

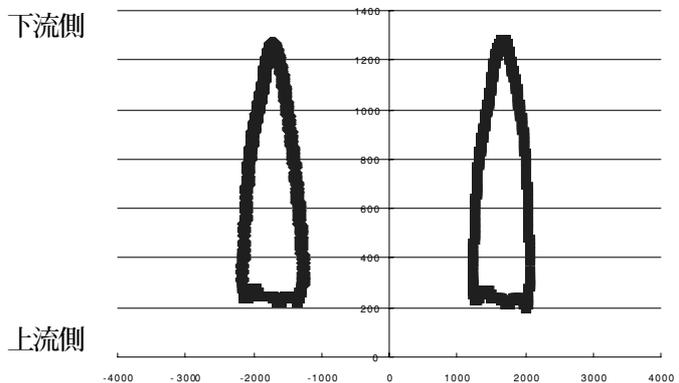


図8 断面形状 30-210 [deg] (単位：μm)

### 3.3. 周方向角度に対する半径特性

耐久試験前グリッドにおける上流面を厚さ0%，下流面を100%とする。このとき、耐久試験後ディセルグリッドの厚さ10%，50%，90%における周方向角度に対する半径特性を図9に示す。

厚さ10%ではほぼ初期状態の円形と変わらないが、90%ではほぼ正六角形の形に変化していることが測定結果からもわかる。また50%では初期状態の円形に接するような正六角形の形に変化していることから、厚さ0~50%では損耗は少なく、50~100%において急激に損耗していることが理解できる。

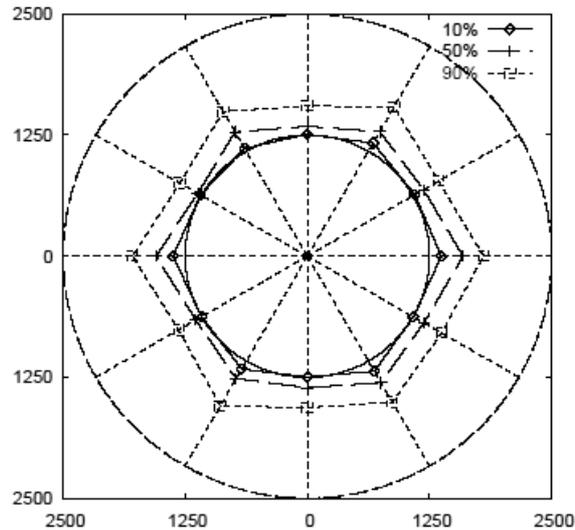


図9 周方向角度に対する半径特性

## 4. まとめ

本研究では、マイクロ波放電式イオンエンジン $\mu 10$ プロトタイプモデル2万時間耐久試験後のイオン加速グリッドについて、損耗形状測定を行った。中心部のグリッド孔では対象性があり、六角形の形状に損耗していることから、それぞれ0, 60, 120 [deg] 断面, 30, 90, 150 [deg] 断面でほぼ一致するような損耗形状になっていた。また、上流から下流に向かって損耗が広がっており、下流出口付近での損耗は最も大きいこともわかった。

今後は非対称性が見られるグリッド外周部のグリッド孔や、アクセルグリッド、スクリーングリッドでのグリッド孔の損耗状況について測定を行い、数値寿命予測との比較、検討に用いる予定である。