

イオンエンジンのグリッド耐久認定用数値解析ツールの研究開発

Development of Grid-Life Evaluation Tool for Ion Engines

國中 均

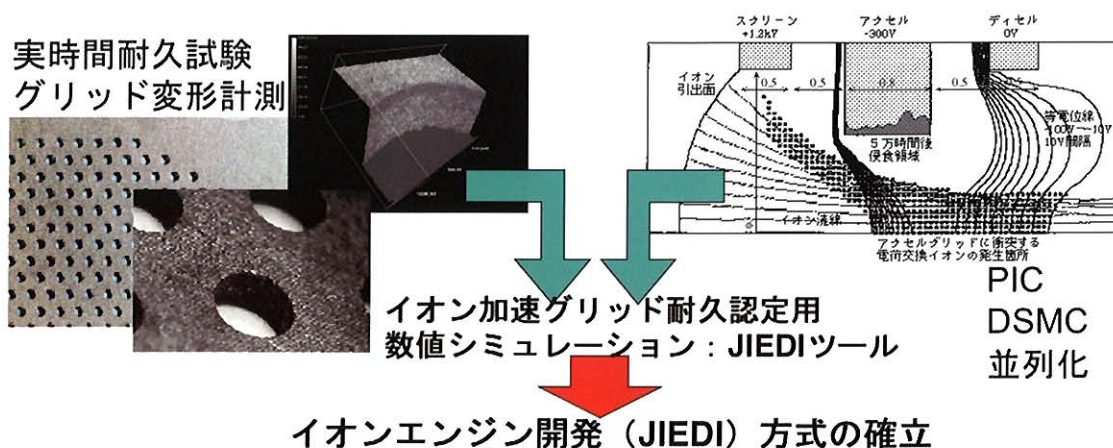
ISAS/JAXA

E-mail: kuninaka@isas.jaxa.jp

ETS-III、ETS-VI、COMETSを経て、ETS-VIIIにて静止衛星へ本格的なイオンエンジン利用が始まろうとしています。地球周辺に留まらず、はやぶさ小惑星探査機の深宇宙動力航行により、新しい宇宙観が開拓されました。地上にあつては、次期の宇宙ミッションを睨み、35cmエンジン・ $\mu 20$ ・ $\mu 10$ HIsp等へ研究開発努力が費やされています。

イオンエンジンのフライトモデル開発に当っては、これまで耐久認定のために実時間で数万時間級の寿命試験を実施してきました。耐久性が向上し、また要求寿命の進展に伴い、このような旧態然とした開発方式では、時機を得た宇宙機の実現がもはや実施不可能になっています。

イオンエンジンの数値解析に関する国内研究意欲は旺盛で、これまで世界に広く貢献して参りました。特に、90年台初頭に東京大学で開発されたイオン軌道解析ツールは、隠れた世界スタンダードであり、 $\mu 10$ イオンエンジングリッド開発に深く貢献しました。この国内蓄積に立脚し、電気推進技術をさらに発展させるために、国内の識者・研究者の英知を結集し、JIEDI(JAXA Ion Engine Development Initiatives)ツールの研究開発に着手しました。これは、イオン・オプティクス数学モデルを実作動試験結果により校正した後、数値解析により積算作動数万時間後、または特定の作動履歴後の寿命評価を実施するものです。JIEDI方式耐久認定により、世界競争力のあるイオンエンジン技術を国内に担保し、近宇宙・深宇宙への橋頭保(foothold in space)を確保することができるでしょう。



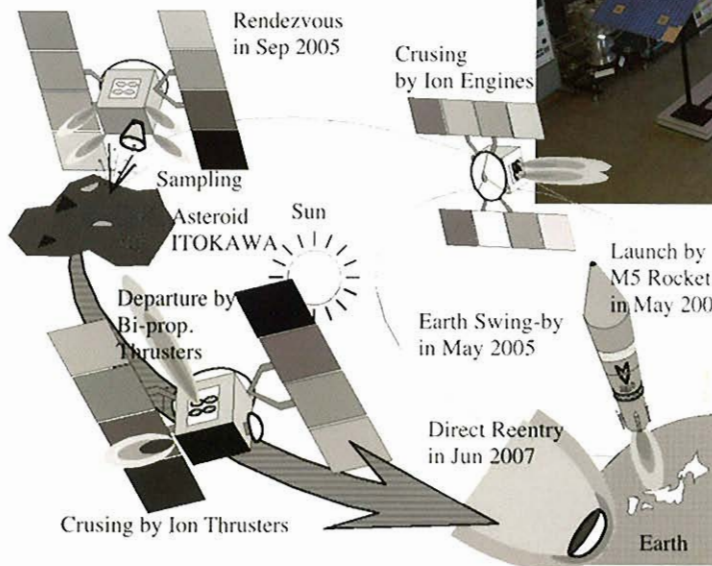
Development of Grid-Life Evaluation Tool for Ion Engines

JIEDI(JAXA Ion Engine Development Initiatives)



1

Asteroid Explorer "HAYABUSA"



Dimensions : 1.0m x 1.6m x 1.1m
 Weight : 380kg(Dry)
 Chemical Fuel 70kg
 Xe Propellant 60kg
 Total 510kg
 Electric Power : 2.6kW@Earth
 Communication : X band

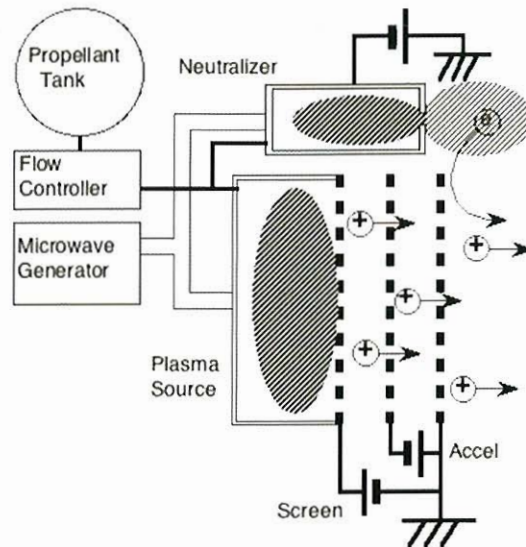
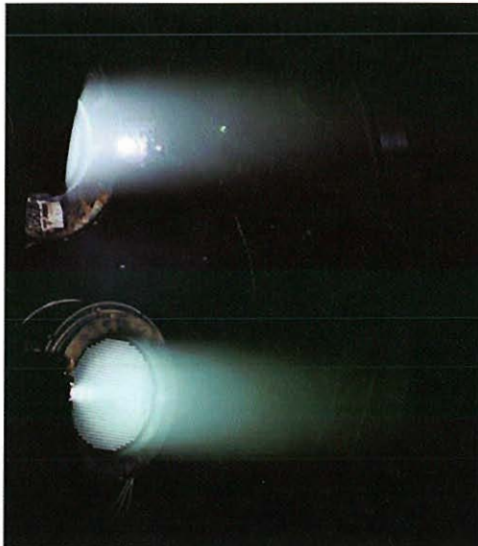
2

Microwave Discharge Ion Engine

Single microwave (4.25 GHz) generator drives Ion Source and Neutralizer without hollow cathodes.

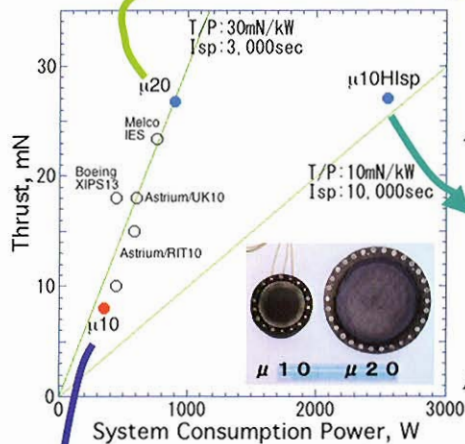
No time limitation for air exposure.

C-C composite material grids are used instead of Molybdenum.



3

Microwave Discharge Ion Engines μ family



Achieve 30mN thrust in 2005



Multisample Return



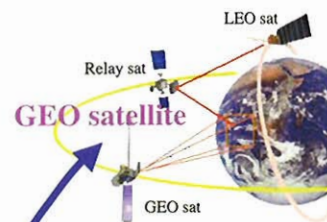
Achieve 10,000sec Isp in 2005



Solar Electric Sail

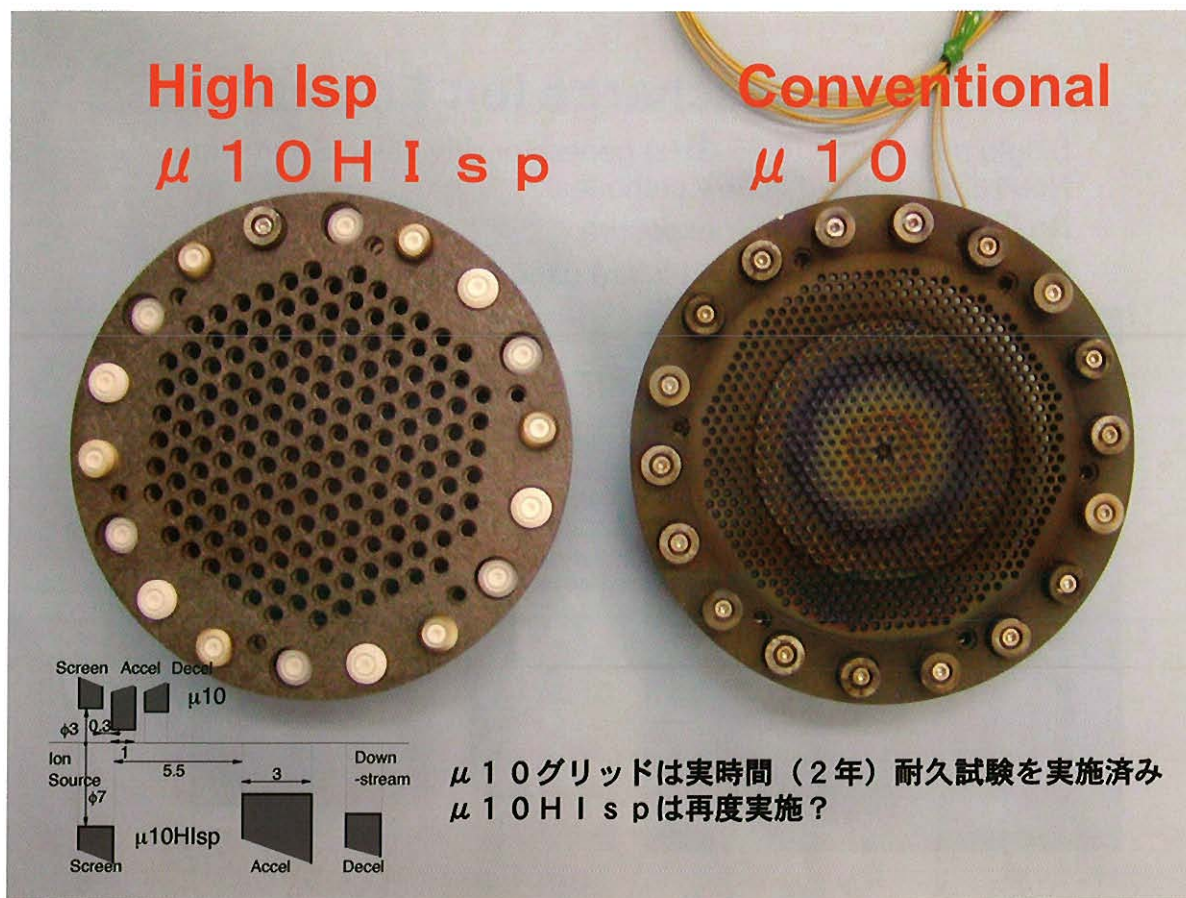


Achieve 26,000hours space operation in 2005



GEO satellite

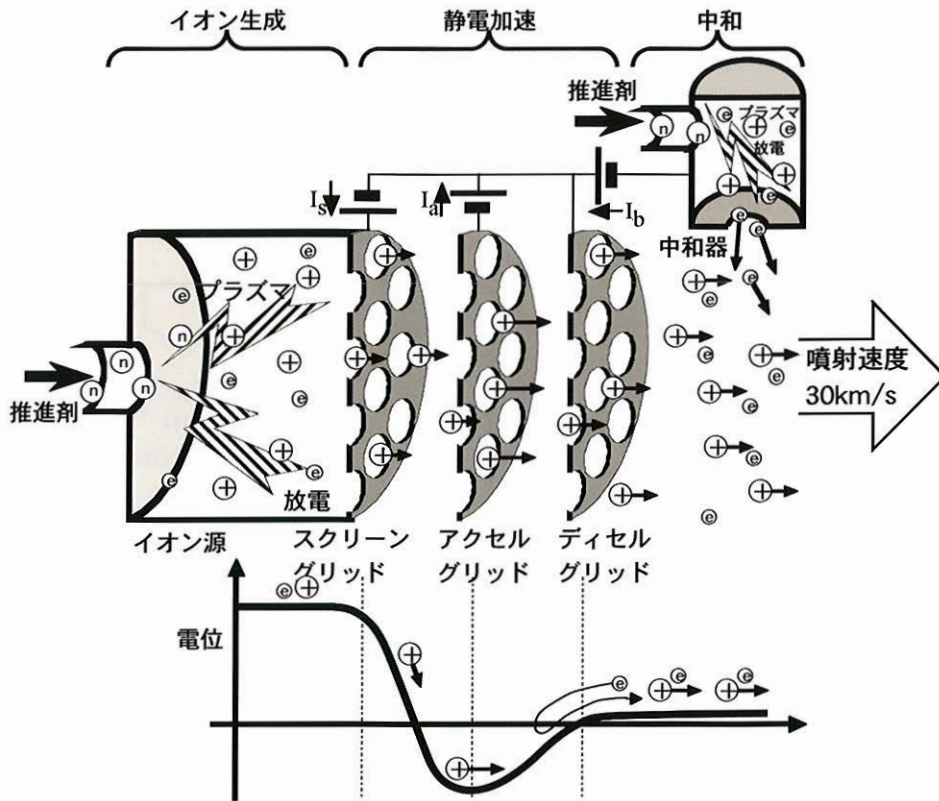
HAYABUSA Next



Failure modes on DC discharge ion engines

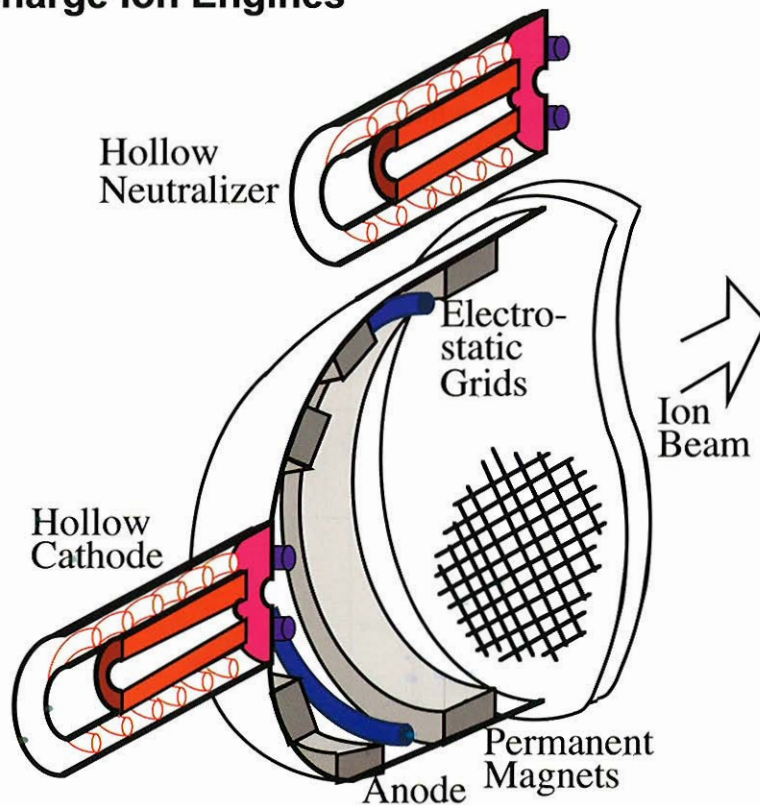
- (a) Flakes on screen grid disturb ion acceleration and causes direct impingement to accel grid and resultant structural break.
- (b) Flakes between grids cause electrical short or degrade electrical isolation.
- (c) CEX ions cause structural break of accel grid.
- (d) Enlargement of accel grid hole leads electron back flow.
- (e) Heater snapping of hollow cathodes.
- (f) Erosion of hollow cathode due to plasma impingement in ion source.
- (g) Erosion of screen grid due to plasma in ion source.

J.R. Brophy, J.E. Polk and V.K. Rowlin, "Ion Engine Service Life Validation by Analysis and Testing", AIAA-96-2715, 1996



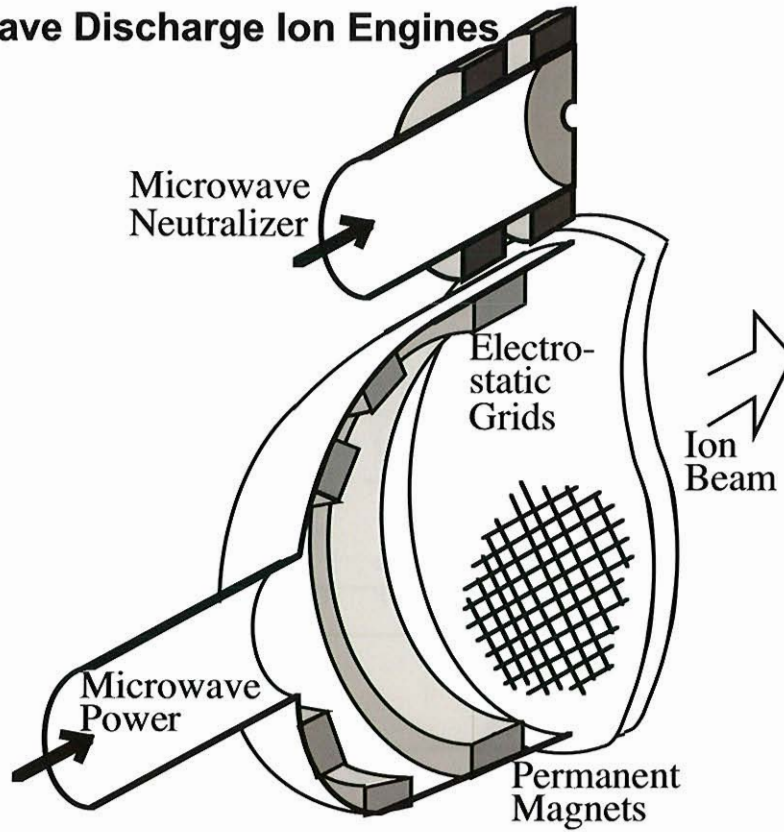
7

DC Discharge Ion Engines



8

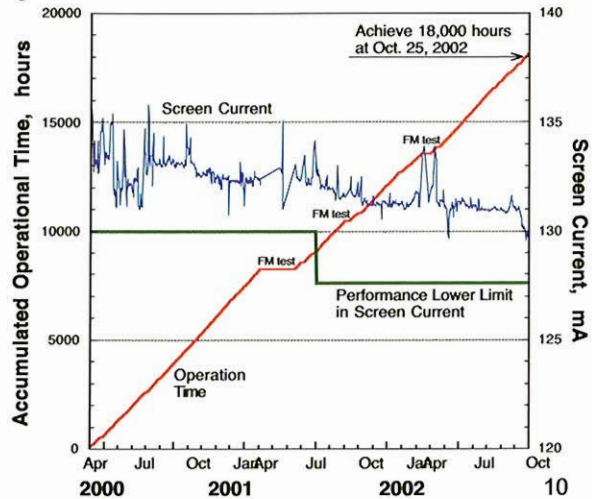
Microwave Discharge Ion Engines



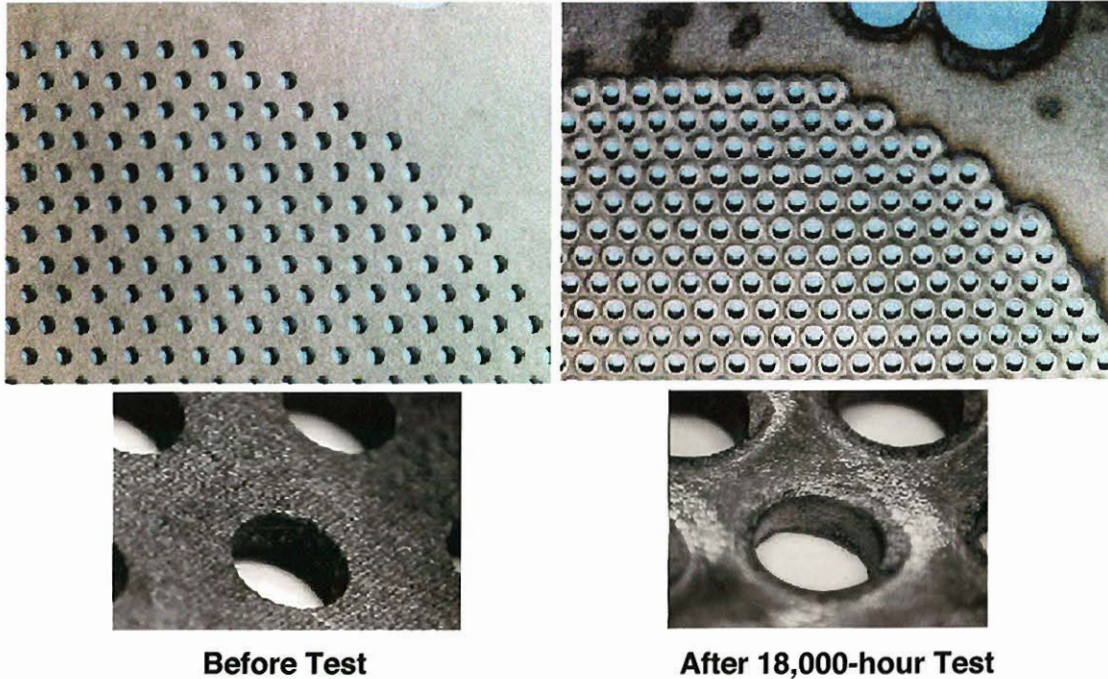
9

PM-Phase Endurance Test History

PM-phase endurance test achieved 20,000 hours at end of 2002. Whole PM ion thruster head with neutralizer has generated screen current enough to I/F performance during test. There was no interruption except FM performance test and maintenance of test facility.



Accel Grid Erosion on EM endurance test



Before Test

After 18,000-hour Test

11

Objectives

Construction of Development Scheme of Ion Engine System
 JAXA Ion Engine Development Initiative (JIEDI)
 Development of Grid-Life Evaluation Tool

Grid-Life Approval Method

JIEDI Tool + Long Term Operation

Development Scheme

Workshop 2006-2007

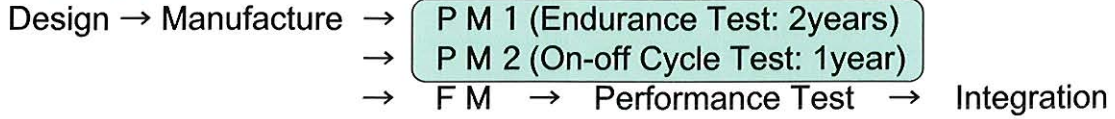
Preliminary Version will be applied to HAYABUSA2

Tool Development 2008-2009

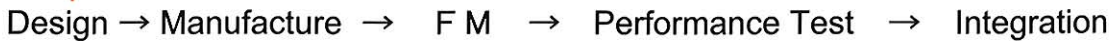
12

JAXA Ion Engine Development Initiatives (JIEDI) Endurance Qualification Scheme

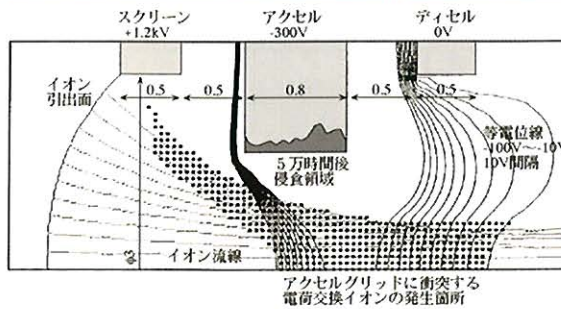
Old Method



Proposed Method

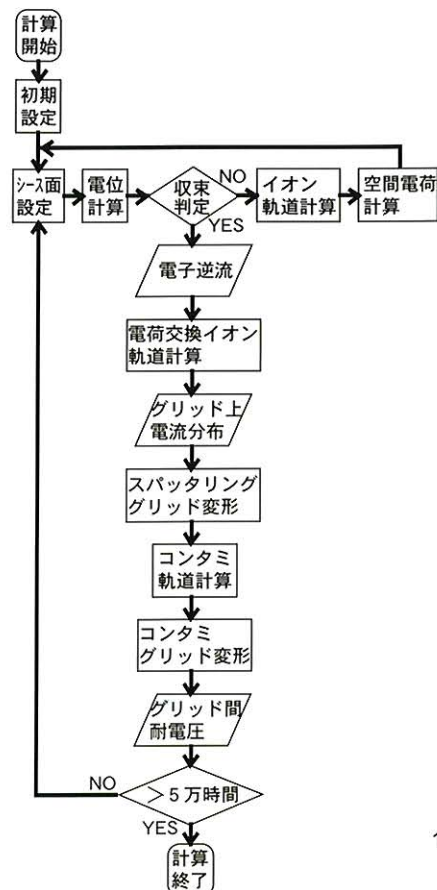
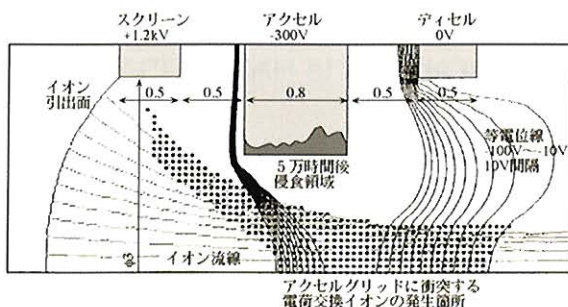


Endurance Qualification by JIEDI Tool

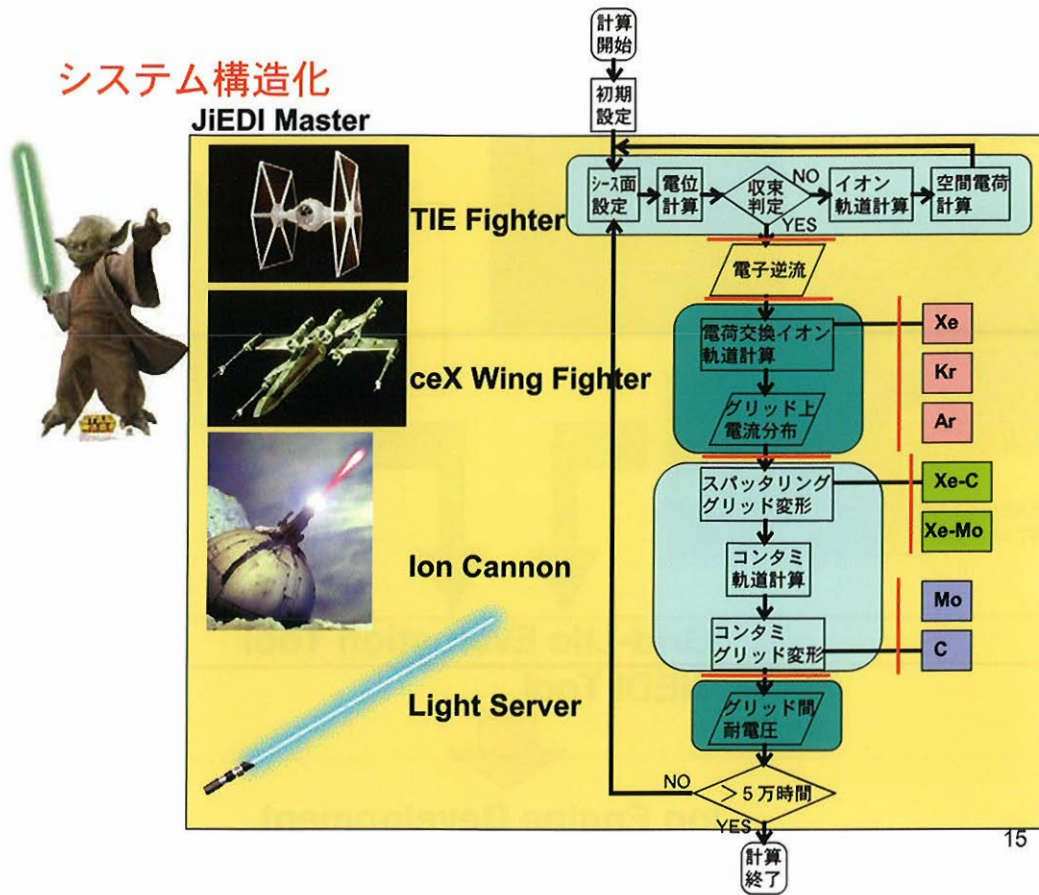


Outlines of JIEDI Tool

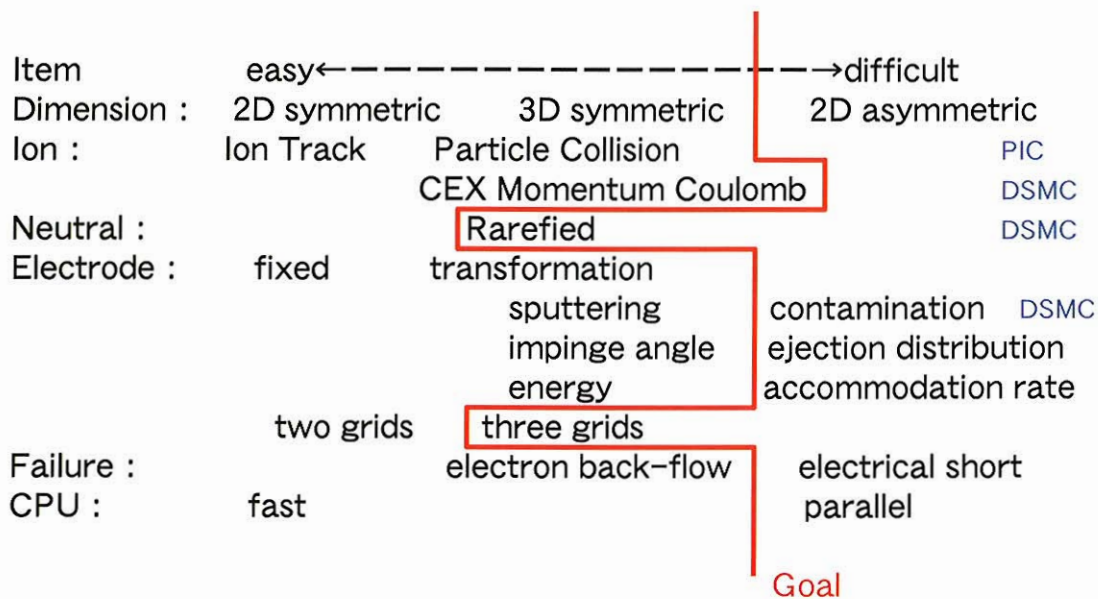
- (1) Three dimensional and asymmetric
- (2) Constant and Time-dependent Bias
- (3) Collision between ions and neutrals
- (4) Grid deformation due to sputtering and contamination
- (5) Failure modes:
 - Electron back-stream
 - Electrical isolation between grids



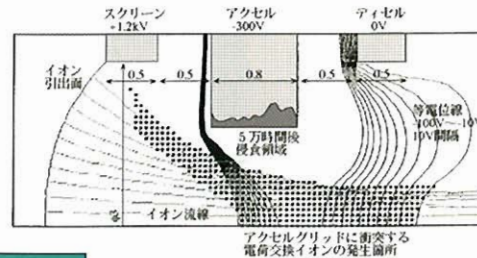
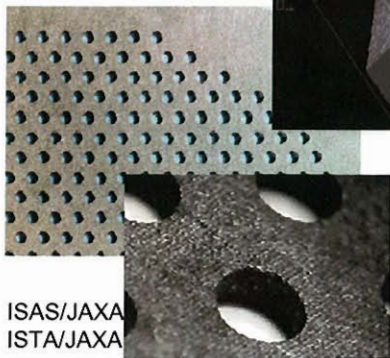
システム構造化



Technologies for JIEDI Tool



Real Time Endurance Test
Grid Deformation



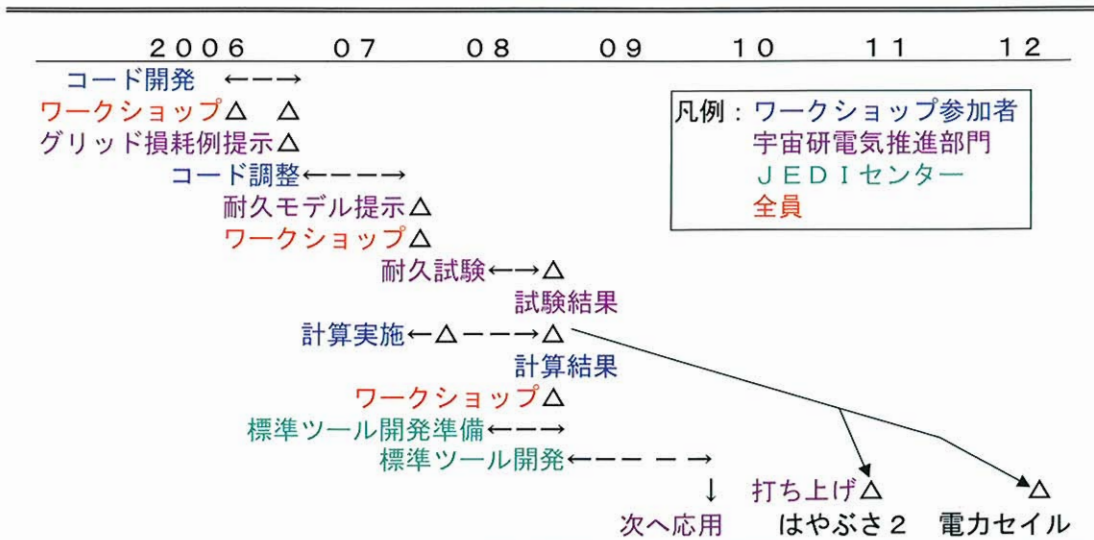
PIC
DSMC
並列化

Grid-Life Evaluation Tool
JIEDI Tool

Ion Engine Development

17

イオン加速グリッド耐久性評価用
数値ツール(JIEDI)の開発



18年度・19年度：ワークショップ方式（大学系研究者の参画）
リファレンス：PM耐久2万時間試験後のグリッドデータ
アウトプット：直近ミッション用グリッドの1千時間及び3万時間耐久試験結果予測
JAXA研究報告として出版
20年度以降：標準ツールの開発

18