

5.4. 30kW キセノンランプ長寿命化の開発状況

宇宙航空研究開発機構

環境試験技術センター


和田 篤始 氏

Environmental Test Technology Center 




30kWキセノンランプ 長寿命化の開発状況

1

Environmental Test Technology Center 

ソーラシミュレータ



テスト空間
(直径:6m, 長さ:6m)

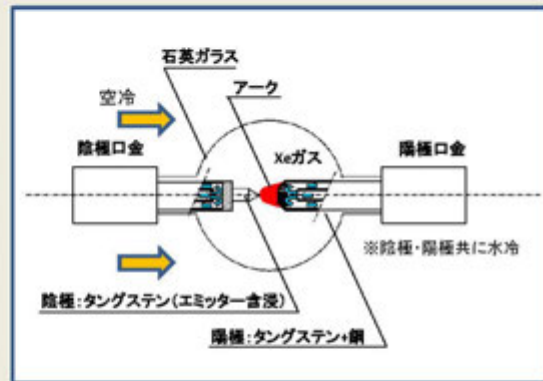
1.3 solar
(Max)

コリメータミラー

ミキサレンズ

30kW Xeランプ
(19灯)

30kWキセノンランプの構造



水平型30kWキセノンランプ (UXW-30000HS-O4)

交換基準時間: 400 hour

キセノンショートアークランプ

ランプ	用途
<p style="text-align: center;">10kW</p> <p style="text-align: center;">水冷 & 空冷</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>USHIO製25kW</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>USHIO製30kW</p> </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>スペースチャンバ用ソーラシミュレータ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>映画館用映写機</p> </div> </div>
<p style="text-align: center;">空冷</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>USHIO製15kW</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SQ製25kW</p> </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>太陽電池評価用ソーラシミュレータ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>投光機</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>自動車前照灯</p> </div> </div>
<p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ①太陽光に近いスペクトル ②アークスポットが小さく高輝度 ③瞬時再点灯が可能で短時間に安定 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>内視鏡光源</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>分光分析器光源</p> </div> </div>

Environmental Test Technology Center  

30kW キセノンランプ 開発の歴史

1989 ソーラ試験におけるランプの低い信頼性
フリッカリング、黒化、水漏れ・・・


1999 ランプと電源のマッチドペア・アプローチ
ランプと電源は相互に影響し合う
開発中
2005 2009

製造プロセスの改善

13mΦスペースチャンバ完成
30kWキセノンランプ運用開始

陰極の形状変更
顕著な改善が見られたが・・・

ESA LSSのハイソーラ化

Environmental Test Technology Center  

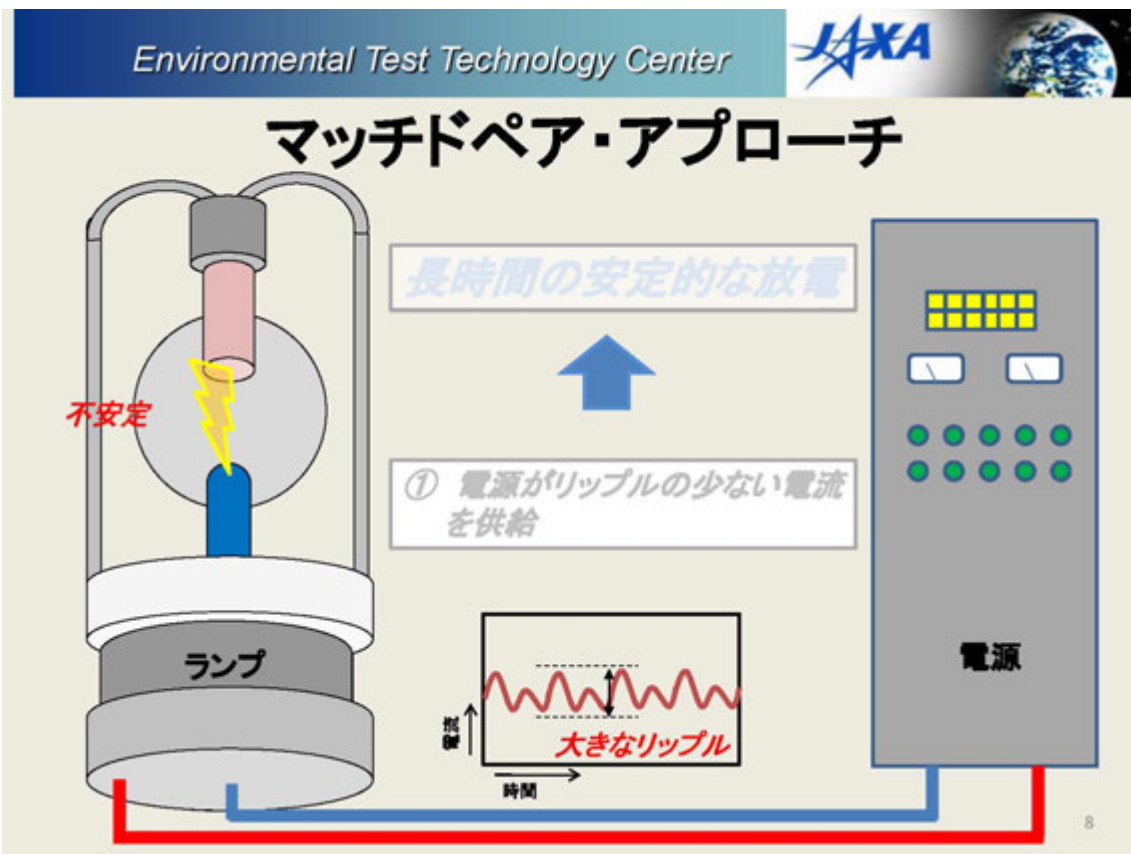
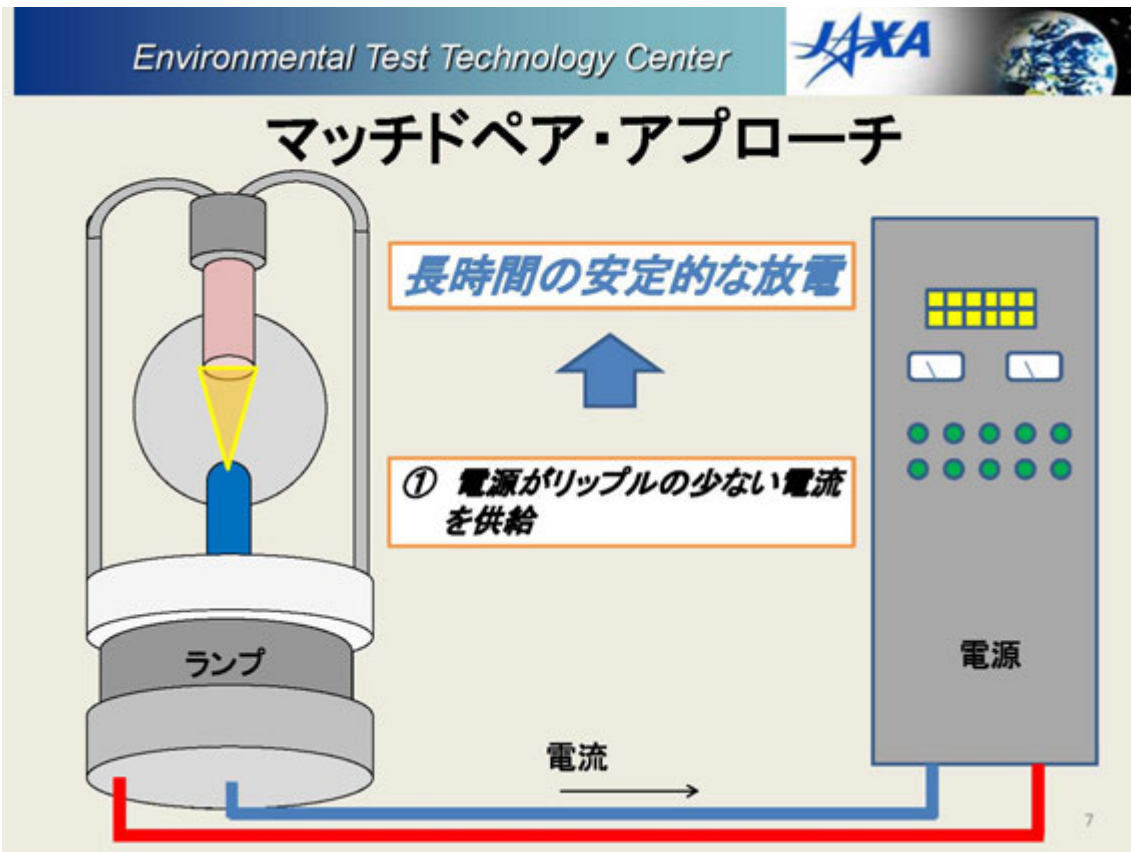
目的



- ①. 高い信頼性
- ②. ソーラ試験のコスト削減
(ex. ランプ購入費, ランプ交換工数等)
- ③. 成果の世界展開

目標

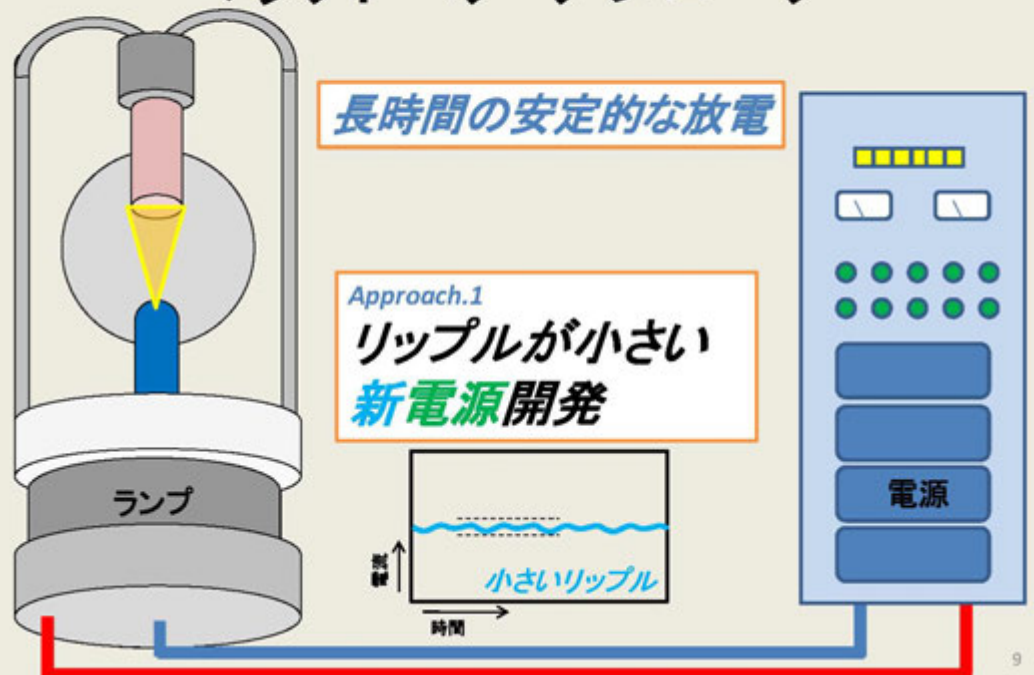
ランプ交換基準時間
400 hour → 600 ~ 800 hour

6



Environmental Test Technology Center  

マッチドペア・アプローチ





長時間の安定的な放電

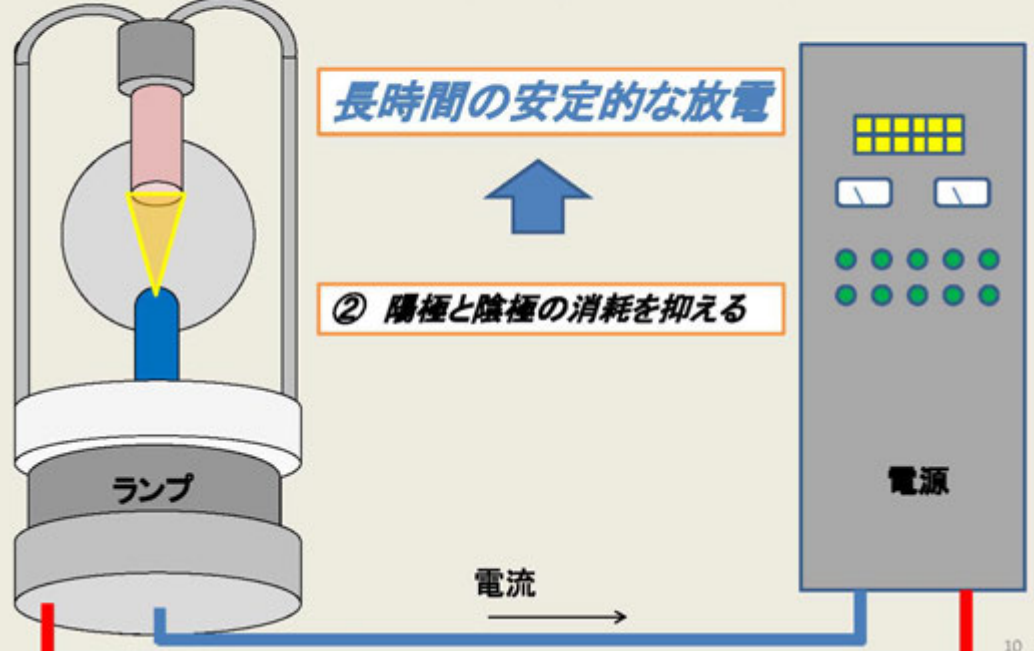
Approach.1
リップルが小さい
新電源開発

電圧 ↑
時間 →
小さいリップル

9

Environmental Test Technology Center  

マッチドペア・アプローチ



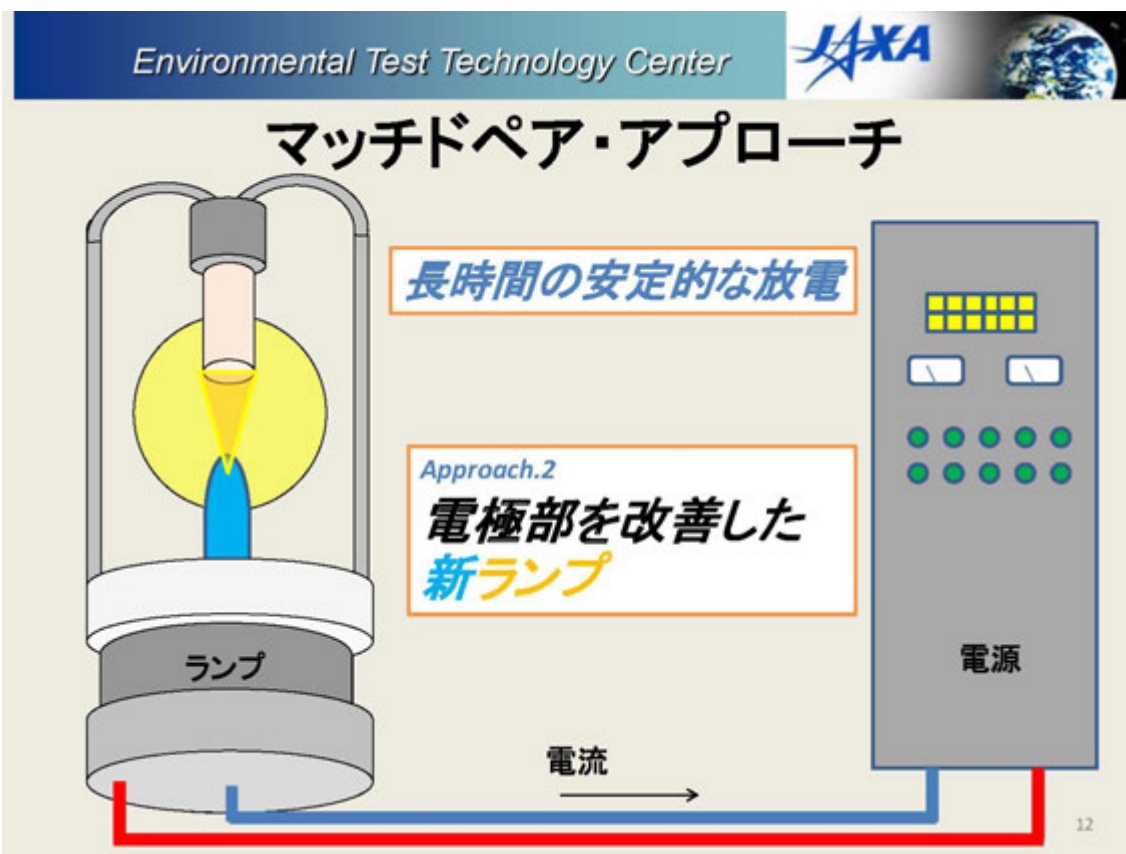
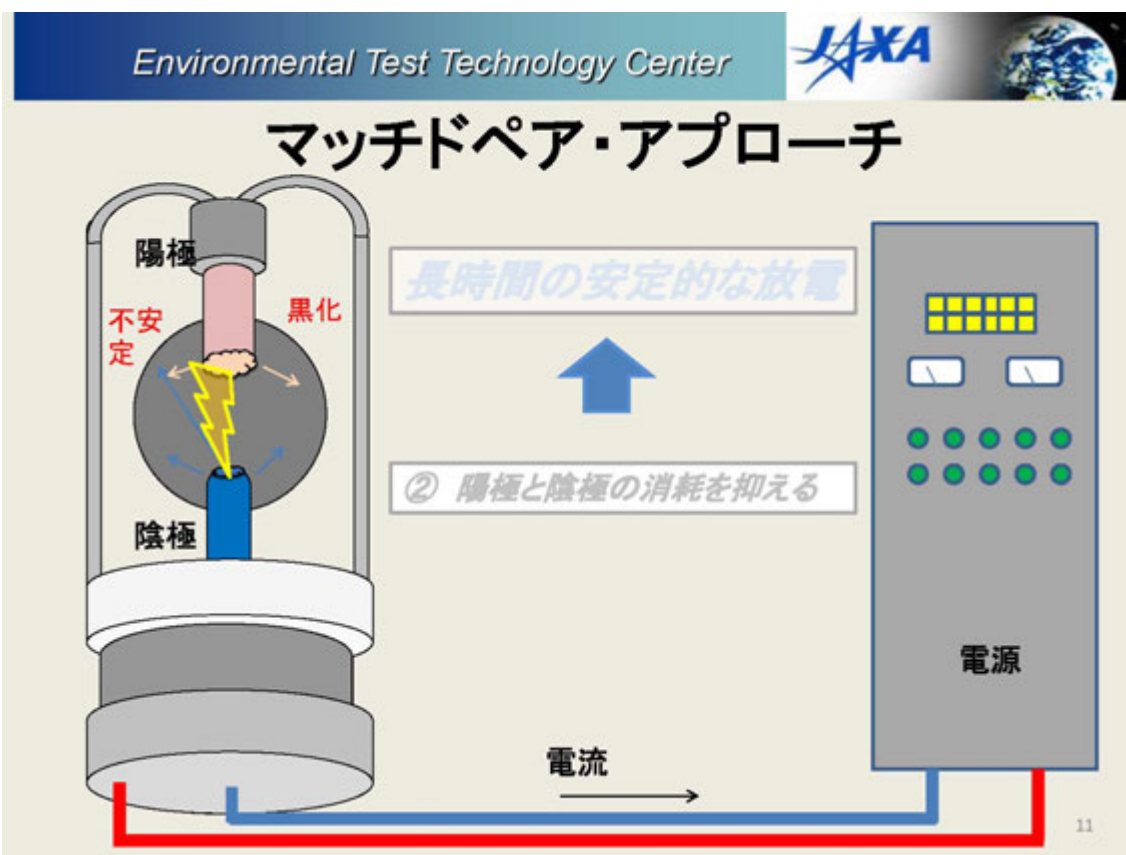
長時間の安定的な放電



↑

② 陽極と陰極の消耗を抑える

電流 →

10



Environmental Test Technology Center  



マッチドペア・アプローチ

長時間の安定的な放電

新ランプ & 新電源

小さいリップル

13

Environmental Test Technology Center  

寿命試験 計画

The life-time test		life-time
旧ランプ	旧電源	?
旧ランプ	新電源	?
新ランプ	新電源	?

14



1. 寿命試験結果 (旧ランプ & 旧電源)
2. 新電源開発と寿命試験結果 (旧ランプ & 新電源)
3. 新ランプ開発状況

15



寿命試験結果 (旧ランプ & 旧電源)

16

Environmental Test Technology Center  

寿命試験コンフィグレーション



旧ランプ

&



旧電源

制御方法：
 ①サイリスタ型定電流制御
 (上限電流 :660A)
 ②入力電力:30kW
 (手動による電流値調整)

17

Environmental Test Technology Center  

寿命試験装置





測定パラメータ

- ・ランプ電流
- ・ランプ電圧
- ・照射強度(水平)
- ・アーク画像
- etc



積分球

電圧測定点

アーク画像

18

Environmental Test Technology Center  

寿命試験装置




Result
寿命時間: 500.4 hours
 フリッカリングにより終了

測定パラメータ

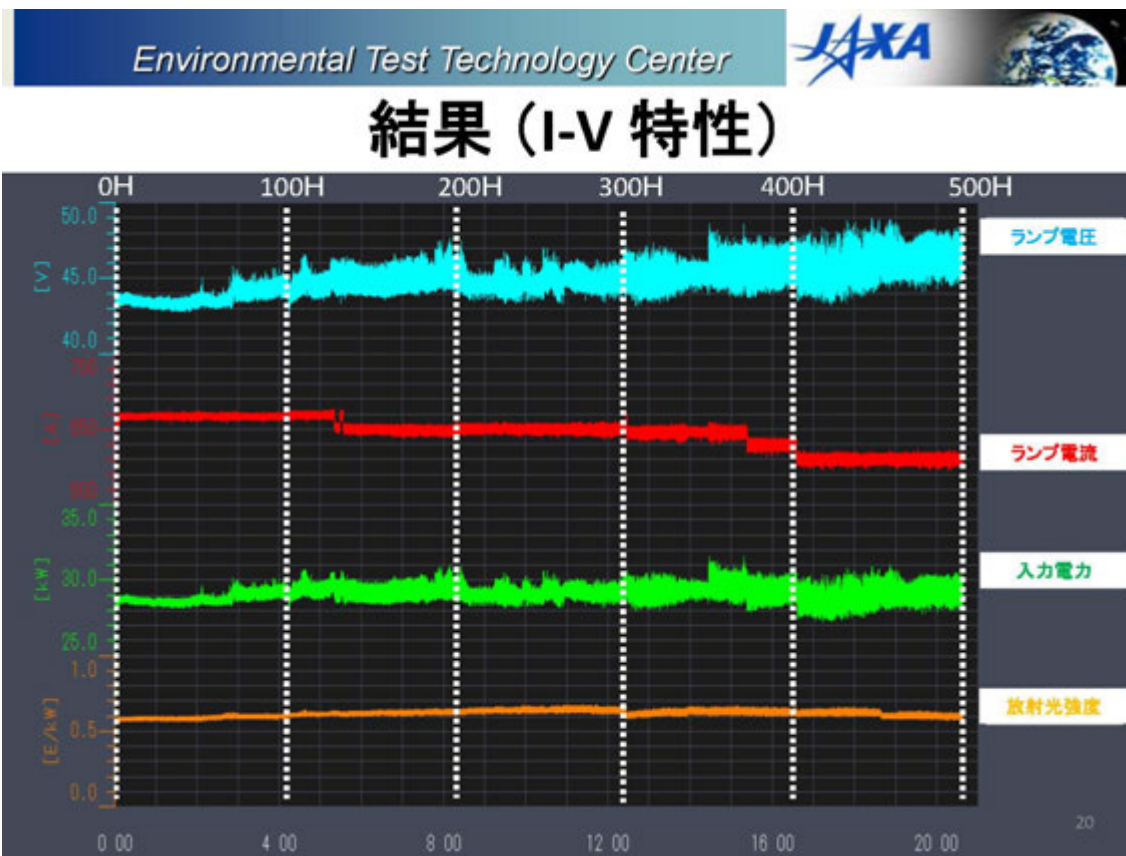
- ・ランプ電流
- ・ランプ電圧
- ・照射強度(水平)
- ・アーク画像
- etc





電圧測定点

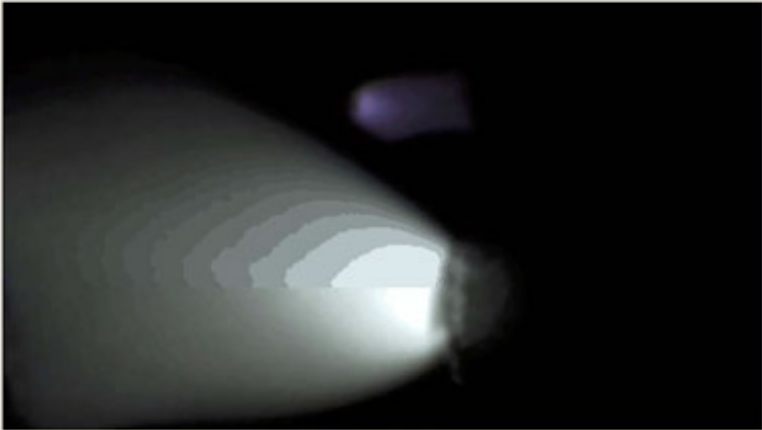
アーク画像

19



Environmental Test Technology Center  

結果（アーク観察）



寿命試験終了の瞬間: 500.4h

21

Environmental Test Technology Center  

結果（バルブ）



0 hour（試験前）

500.4 hour（試験後）
フリッカリングで終了

22

Environmental Test Technology Center 

結果（電極）



0 hour（試験前）

500.4 hour（試験後）
フリッカリングで終了

23

Environmental Test Technology Center 

新電源開発と 寿命試験結果（旧ランプ & 新電源）

24

Environmental Test Technology Center  

新電源の仕様



旧電源	仕様	新電源
サイリスタ型	制御方式	スイッチング型
2350 × 700 × 1000	サイズ	2000 × 700 × 1000
1200kg	重さ	630kg
AC3φ3W400±40V, 50/60Hz	入力電圧	AC3φ3W400±40V, 50/60Hz
DC35V~60V	出力電圧	DC35V~60V
DC400A~680A	出力電流	DC300A~680A
3%(p-p)以下	出力電流リップル (30kWXe ランプ接続時)	1%(p-p)以下
1713 [A] (Max)	突入電流 (30kWXe ランプ接続時)	700 [A] (Max)

25

Environmental Test Technology Center  

新電源の設計






排気ファン

空冷方式

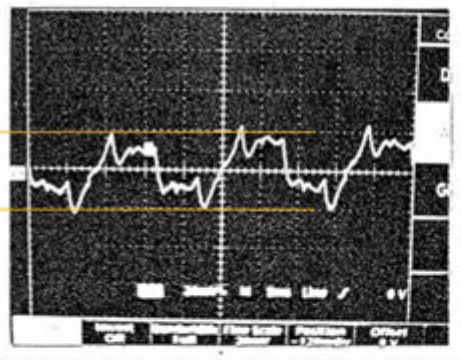
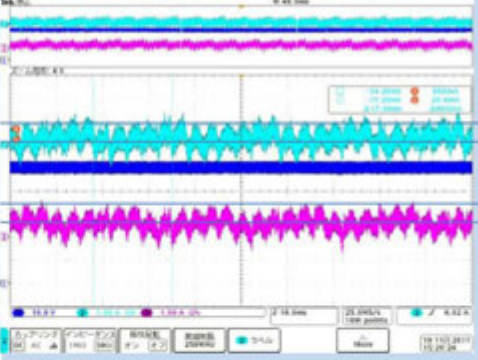


5kW パワーユニット



26

Environmental Test Technology Center  

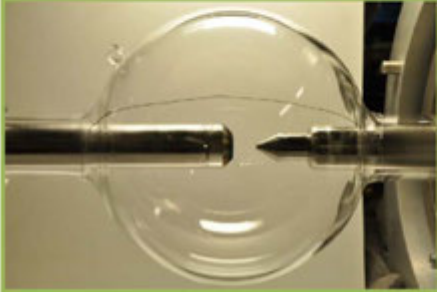

新電源のリップル性能

旧電源 (サイリスタ型)	新電源 (スイッチング型)
	<p style="text-align: center;">量産型検証モデルによる試験結果</p> 
<p>20 [A]/660 [A] = 3.03 % (@ランプ接続時)</p>	<p>1.5 [A]/600[A] = 0.25 % (@ランプ接続時)</p>

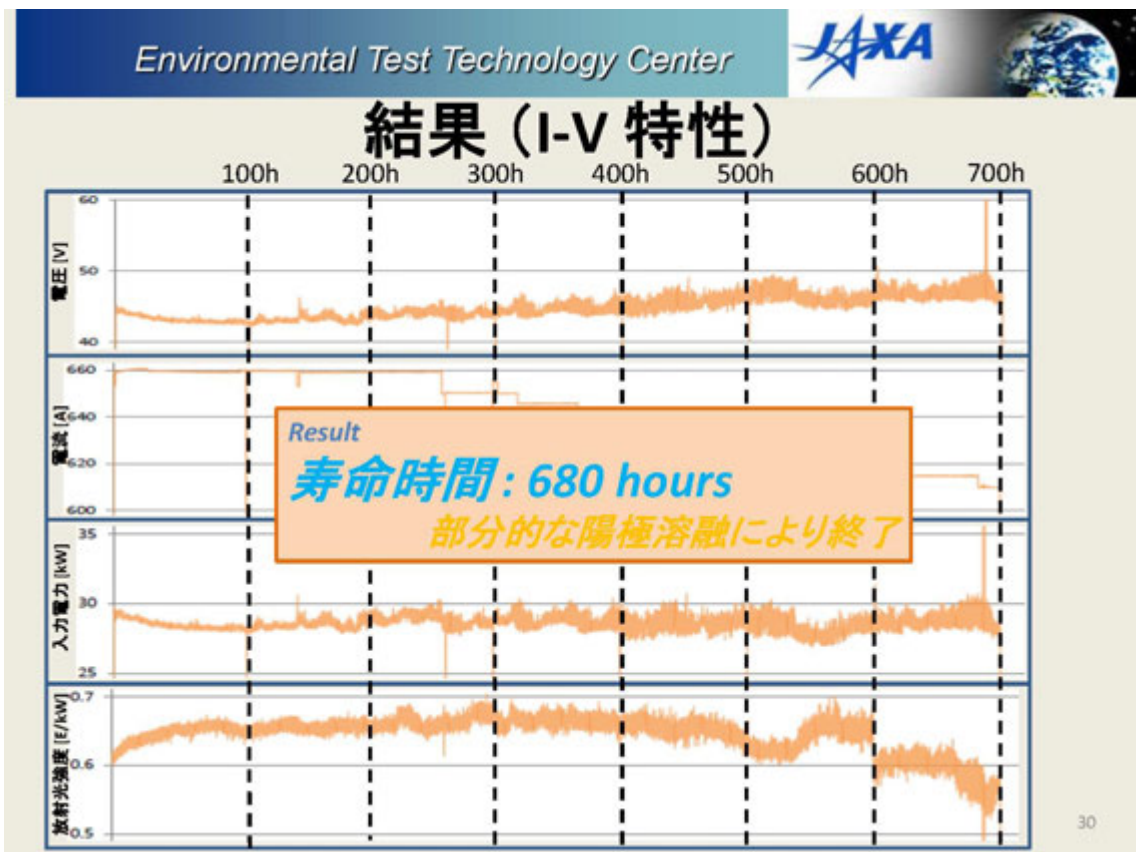
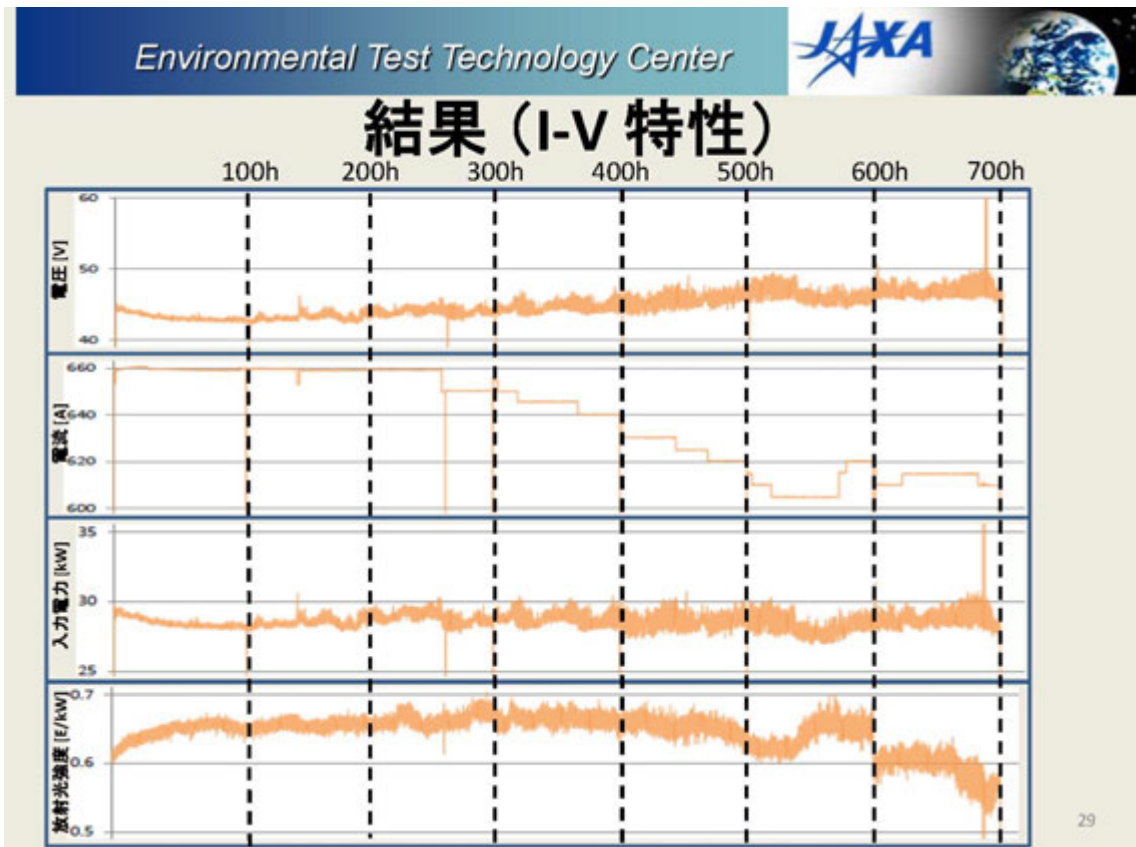
27

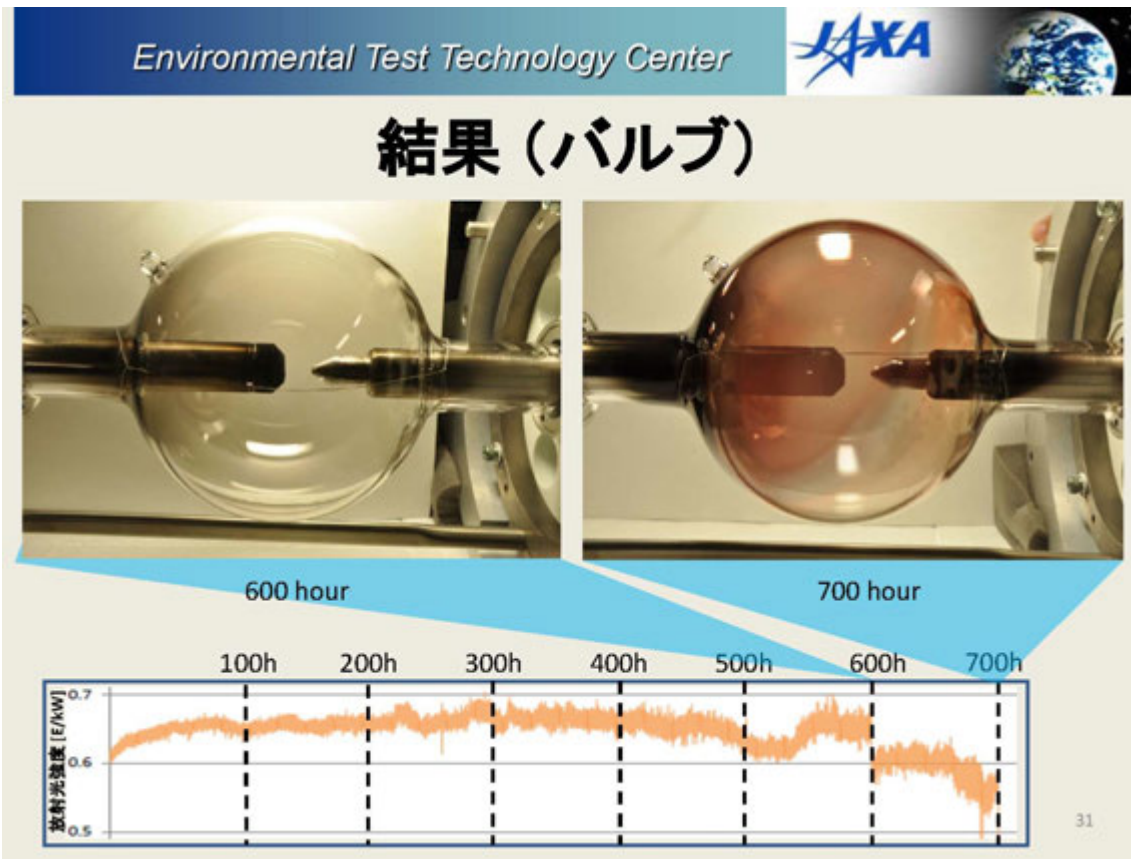
Environmental Test Technology Center  

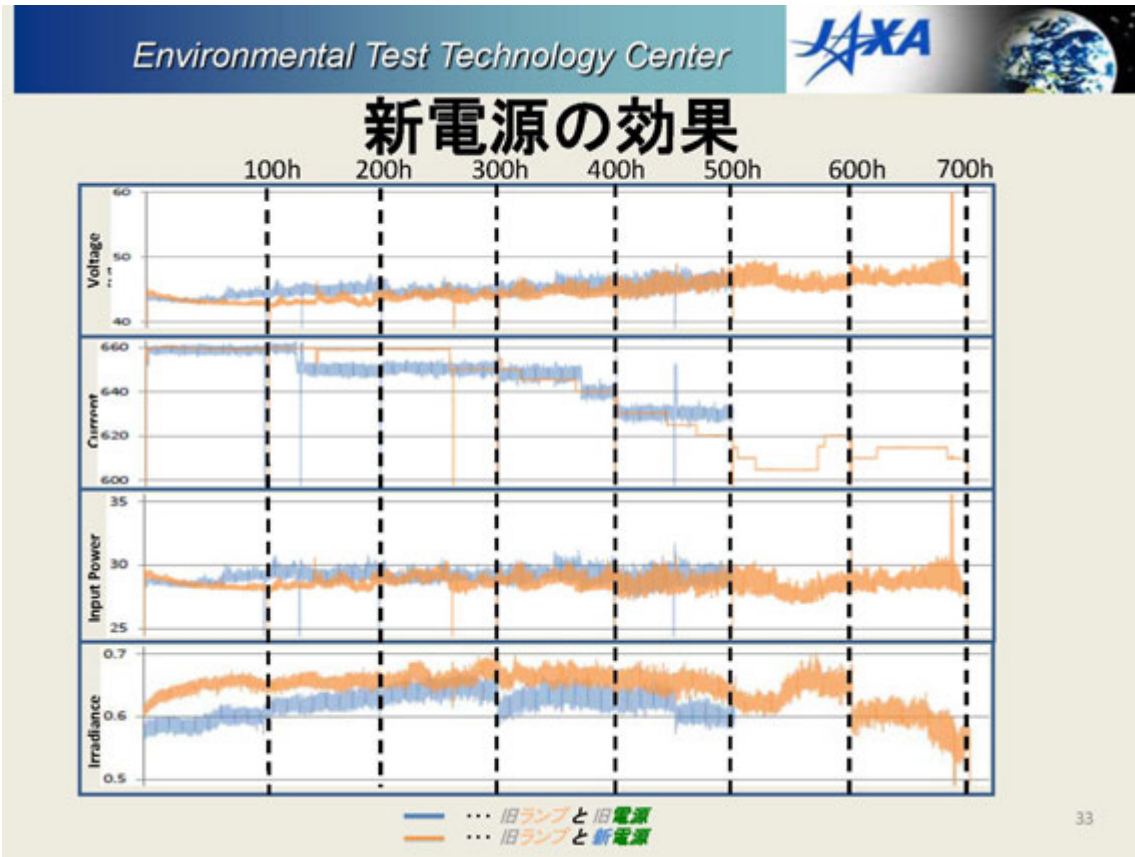
寿命試験コンフィグレーション

	<p style="font-size: 2em;">&</p> 
<p style="color: #ff9900;">旧ランプ</p>	<p style="color: #009966;">新電源</p>
	<p>制御方法:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①スイッチング型定電流制御 (上限電流 :660A) ②入力電力:30kW (手動による電流値調整)

28









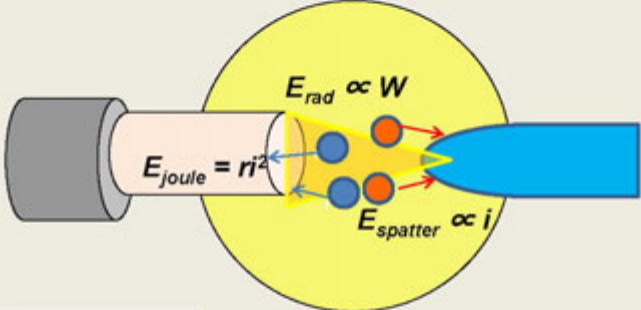
Environmental Test Technology Center  

新ランプ開発状況

34

Environmental Test Technology Center  

アプローチ





The diagram shows a cylindrical electrode on the left with a conical tip pointing towards a blue cylindrical component on the right. A yellow circular area highlights the tip. Inside this area, there are blue and red dots representing particles. Labels include $E_{joule} = ri^2$ near the electrode, $E_{rad} \propto W$ near the tip, and $E_{spatter} \propto i$ near the particles. Arrows indicate the direction of energy flow and particle ejection.

電極消耗
(蒸発)

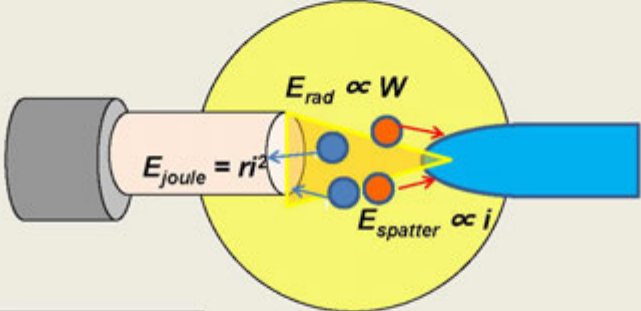
電極先端温度

- ① プラズマ粒子によるスパッタリング
- ② アーク光の輻射
- ③ ジュール熱

35

Environmental Test Technology Center  

アプローチ



The diagram is identical to the one on slide 35, showing the electrode erosion process with labels $E_{joule} = ri^2$, $E_{rad} \propto W$, and $E_{spatter} \propto i$.

電極消耗
(蒸発)

電極先端温度

- ① プラズマ粒子によるスパッタリング
- ② アーク光の輻射
- ③ ジュール熱

電流低減

電圧増加

36



解決策

- ① ガス圧増加

- ② 電極間距離拡大

37



解決策

- ① ガス圧増加
→ × (破裂リスク有り)

- ② 電極間距離拡大
→ ○



38

Environmental Test Technology Center  

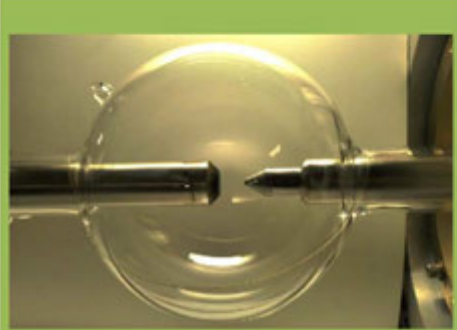

新ランプ#1

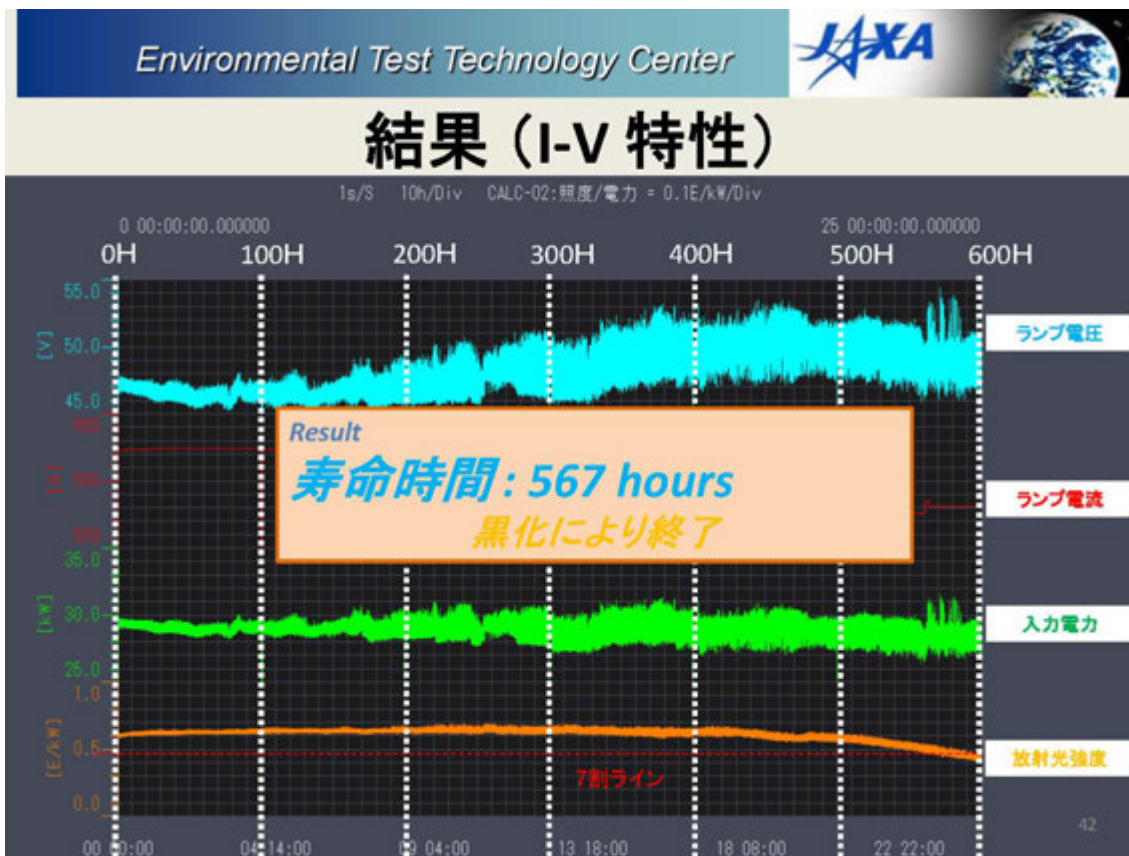
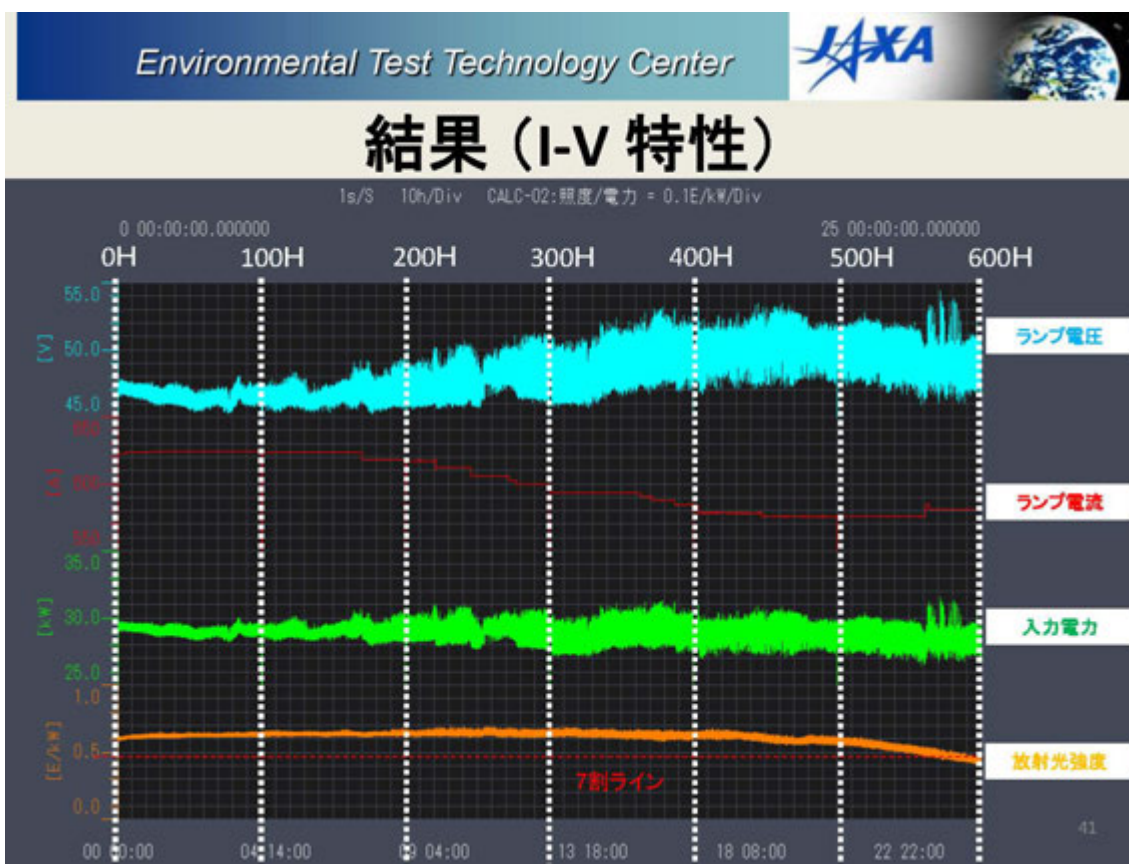


電極間距離拡大

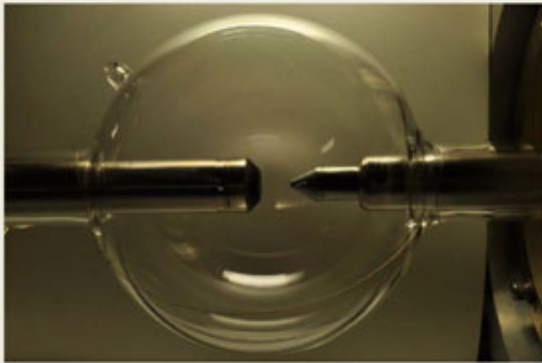
Environmental Test Technology Center  

寿命試験コンフィグレーション

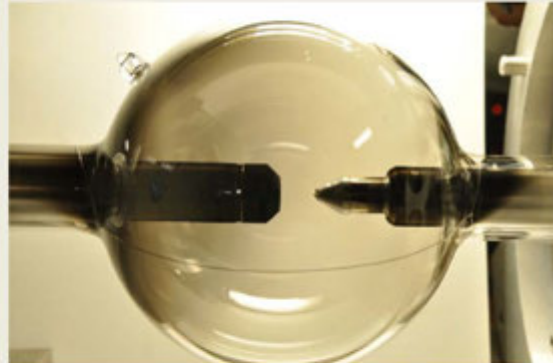
	
新ランプ #1	新電源
	制御方法： ①スイッチング型定電流制御 （上限電流：660A） ②入力電力：30kW （手動による電流値調整）



結果 (バルブ)



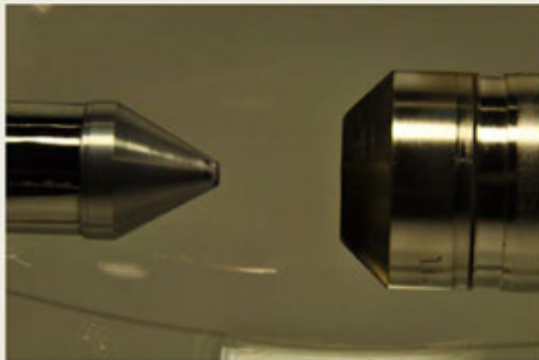
0 hour (試験前)



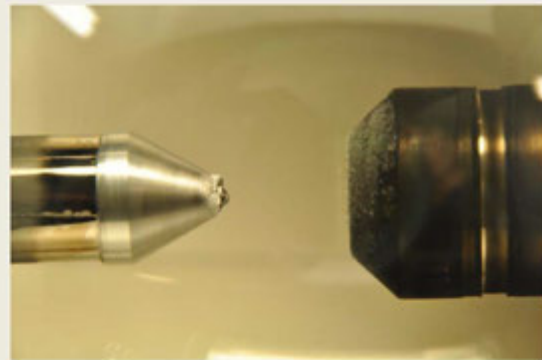
600 hour (試験後)
黒化で終了

43

結果 (電極)



0 hour (試験前)




600 hour (試験後)
黒化で終了

44

Environmental Test Technology Center 

結論

45

Environmental Test Technology Center 

寿命試験 結果

The life-time test		life-time
旧ランプ	旧電源	500.4 hours
旧ランプ	新電源	680 hours
新ランプ	新電源	FY24 1月予定

46



今後の展開

- ① 新ランプの電圧振れ改善
- ② 寿命のばらつき評価
- ③ 試験空間での照射光強度変化の把握
- ④ リフレクタの最適化
- ⑤ 成果の世界展開



47





ご清聴ありがとうございました。

48




Environmental Test Technology Center  

Bepicolombo プロジェクト



MPO



MMO

試験設備への要求： 10sc, 3mφ

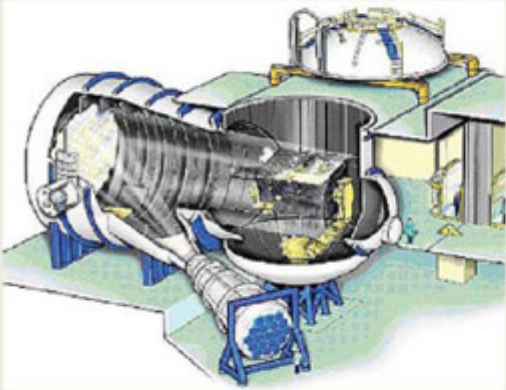
51

Environmental Test Technology Center  

LSSのハイソーラ化

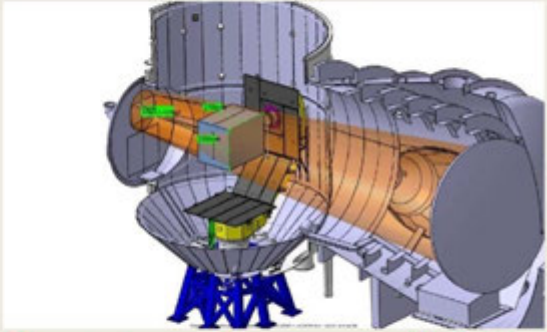
1 sc コンフィグレーション

照射面積：φ 6m





10 sc コンフィグレーション

照射面積：φ 3m

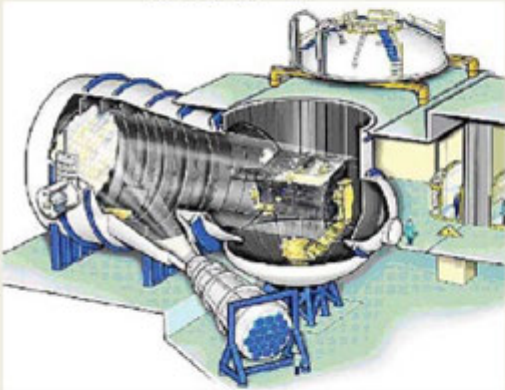


- ① コリメータミラーの集光化
- ② キセノンランプの高出力化
→ 25kWランプを
30kWランプへ変更 ⁵²

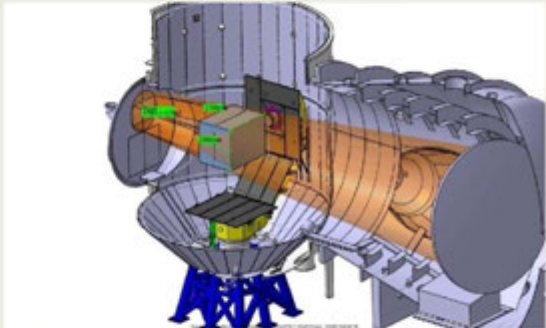
Environmental Test Technology Center  

LSSのハイソーラ化

1 sc コンフィグレーション
照射面積 : ϕ 6m

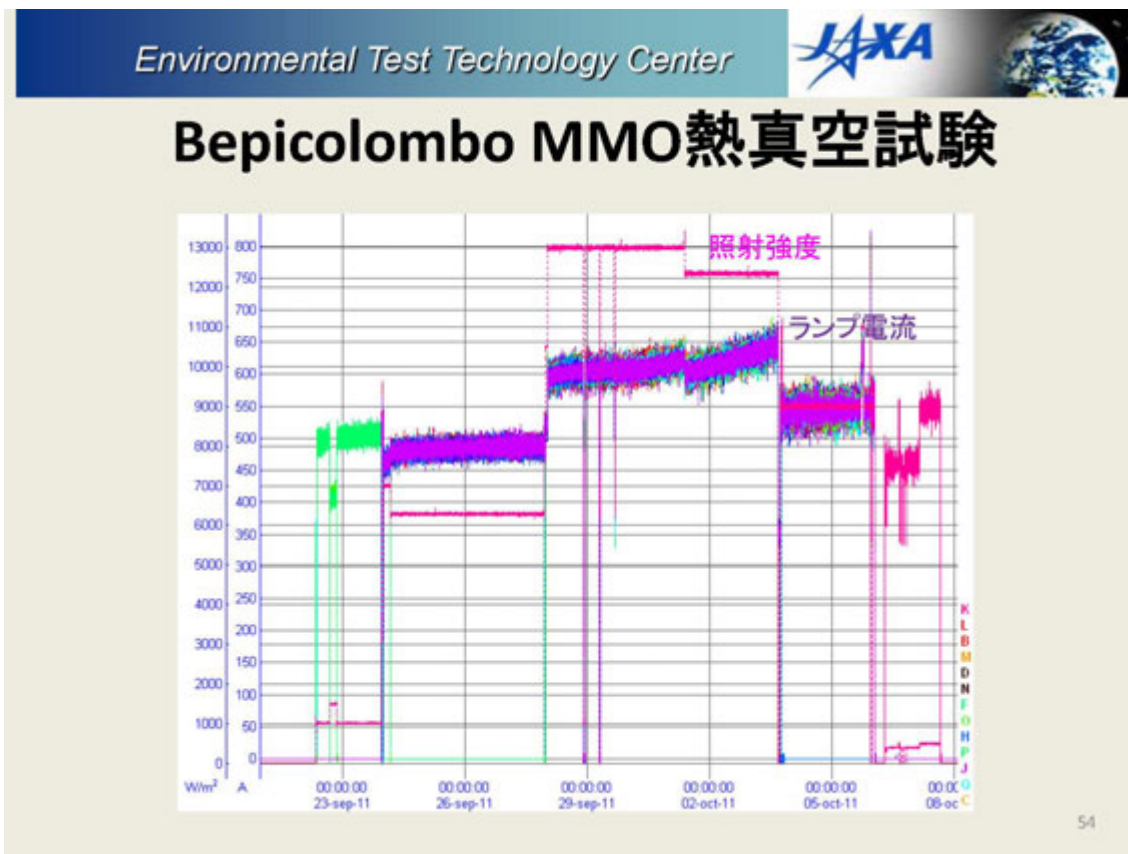


10 sc コンフィグレーション
照射面積 : ϕ 2.7m



- ① コリメータミラーの集光化
→ **成功**
- ② キセノンランプの高出力化
→ **25kWランプに
27kW入力**

53



Environmental Test Technology Center



試験後のランプ



55

Environmental Test Technology Center





Back up

56

Environmental Test Technology Center  

Anode Improvement with Conventional lamp

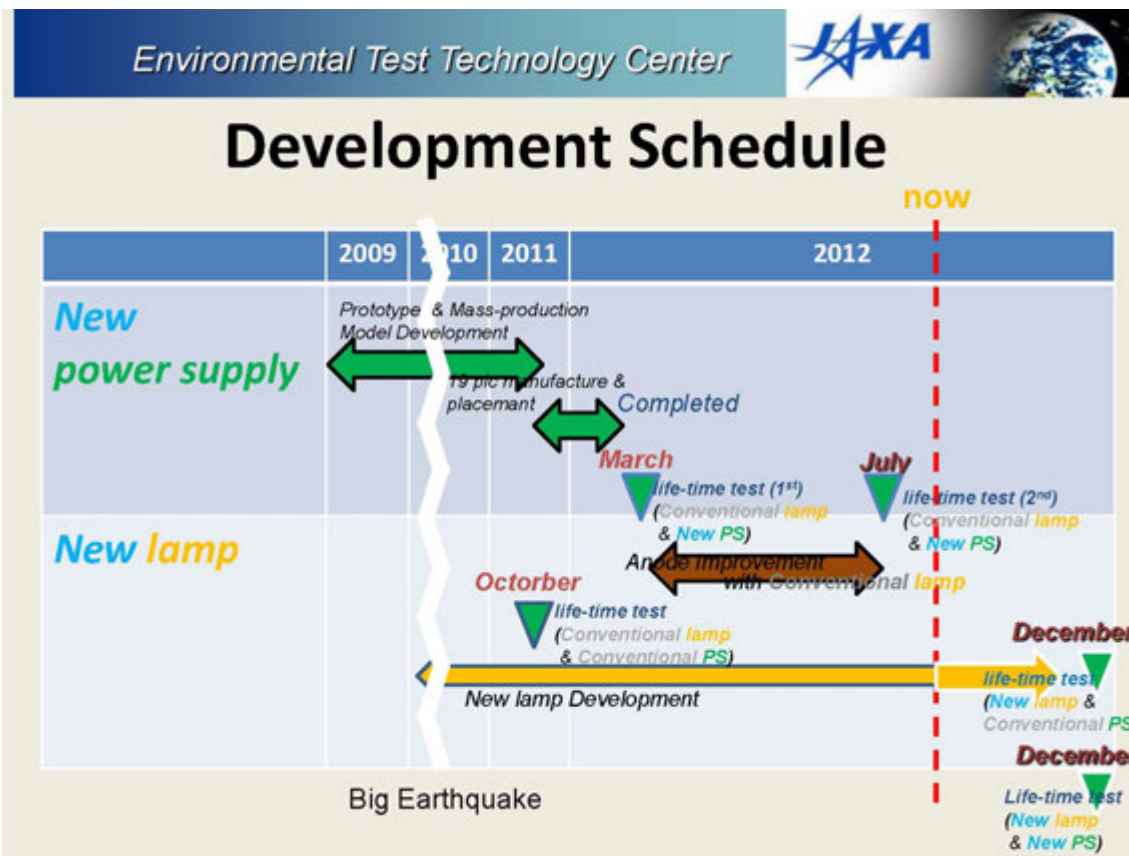
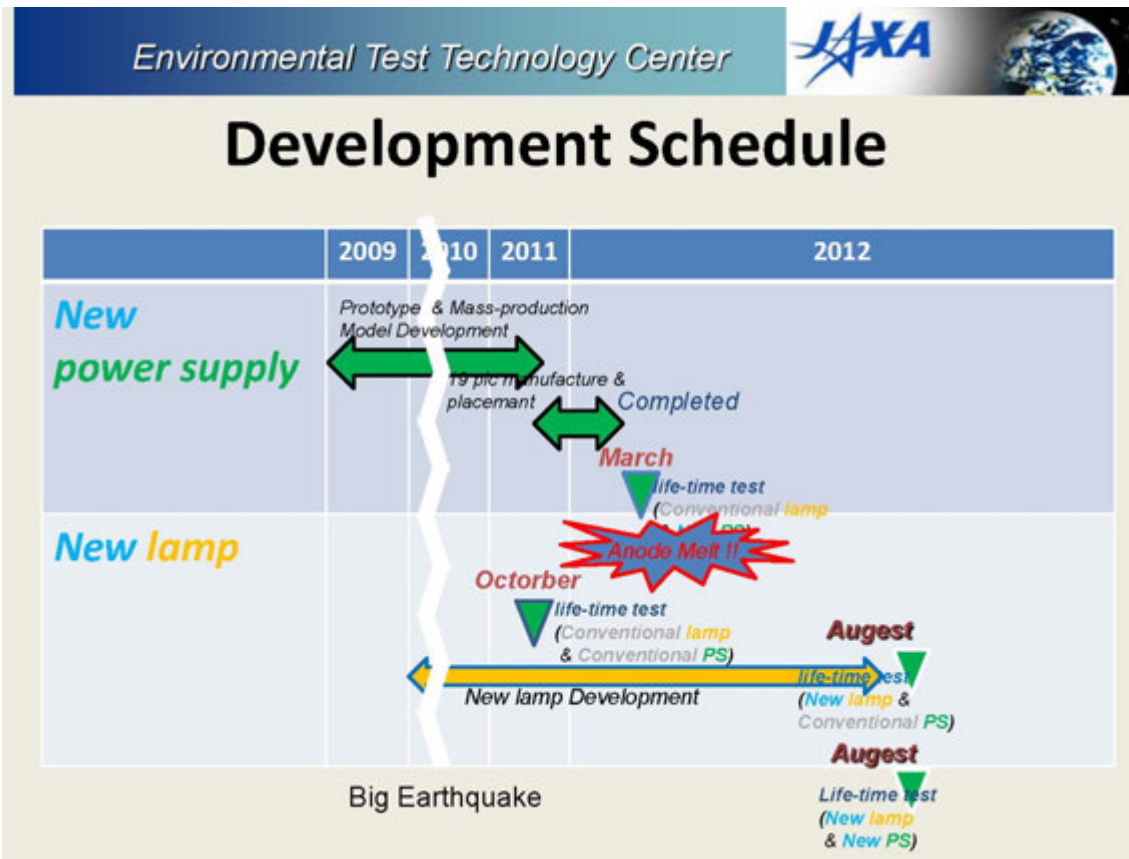
57



Environmental Test Technology Center  

Development Schedule

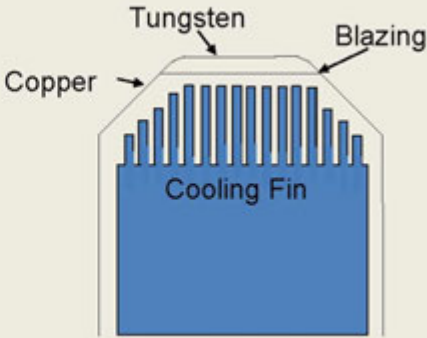


	2009	2010	2011	2012
New power supply	Prototype & Mass-production Model Development	Prototype manufacture & placement	Completed	March life-time test (Conventional lamp & New PS)
New lamp		October life-time test (Conventional lamp & Conventional PS)	New lamp Development	August life-time test (New lamp & Conventional PS) August Life-time test (New lamp & New PS)

Big Earthquake





Environmental Test Technology Center  

Anode Structure

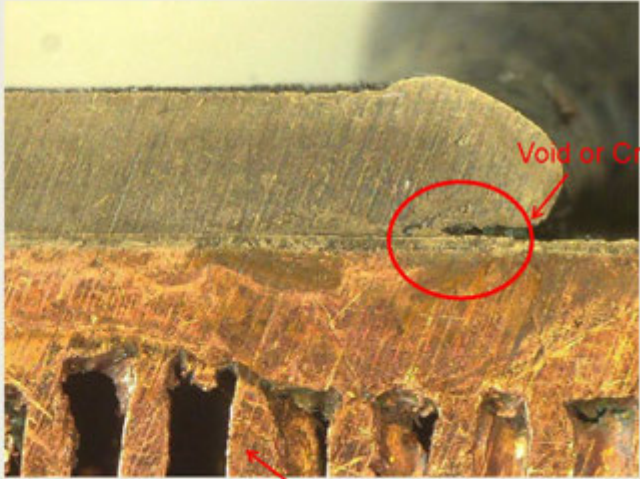



The diagram illustrates the anode structure. It features a tungsten tip (Tungsten) with a blazed surface (Blazing) on top. Below this is a copper layer (Copper) containing cooling fins (Cooling Fin). A microscopic image shows the physical structure, and a schematic diagram labels the components.

61

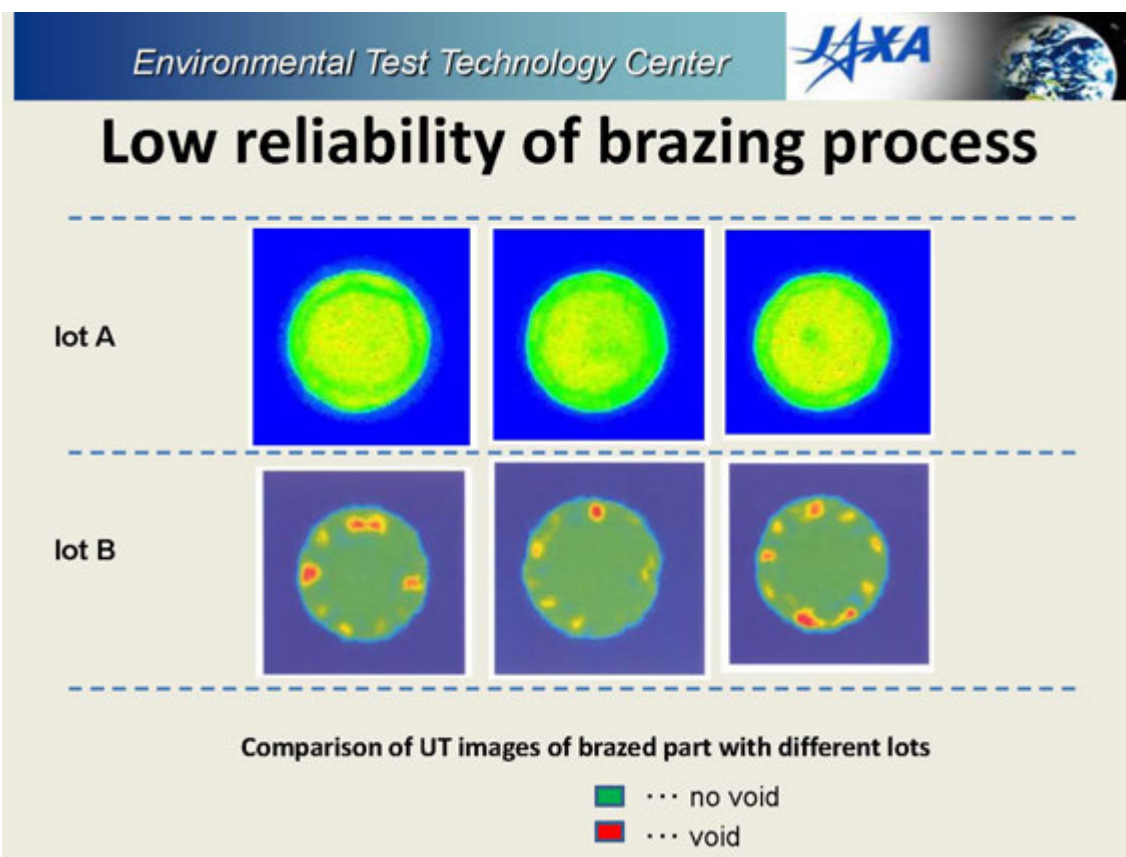
Environmental Test Technology Center  

Mechanism of Anode Melt



The diagram illustrates the mechanism of anode melt. It shows a tungsten tip (W) and a copper layer (Cu) with cooling fins (Cooling Fin). A void or crack is visible in the tungsten layer. A microscopic image shows the physical structure, and a schematic diagram labels the components.

62

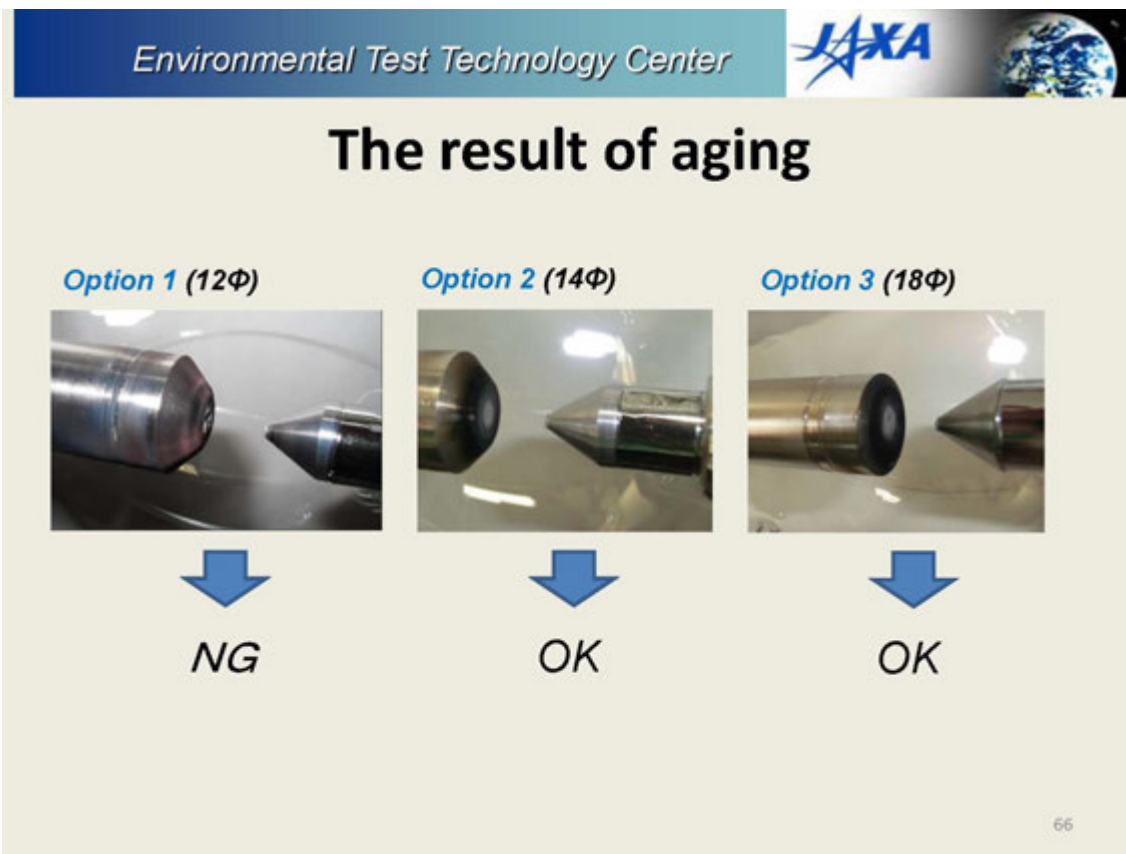
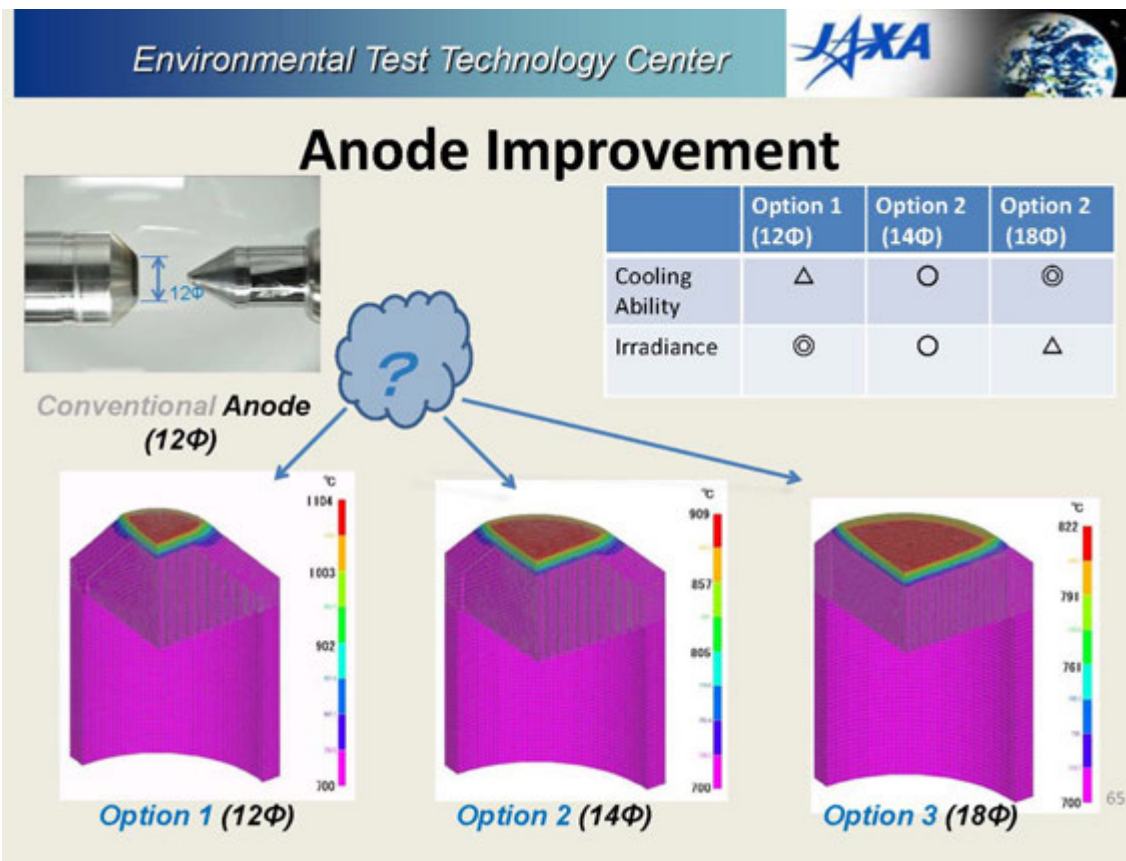




Environmental Test Technology Center  

Improvement Policy




No W chip, No blazing


64



Environmental Test Technology Center  

The result of aging

<i>Option 1 (12Φ)</i>	<i>Option 2 (14Φ)</i>	<i>Option 3 (18Φ)</i>
		
↓	↓	↓
NG	OK	OK

 High Irradiance

67

Environmental Test Technology Center  

Conventional lamp with anode improved



Φ14

68

Environmental Test Technology Center



14φの孔食



69

Environmental Test Technology Center

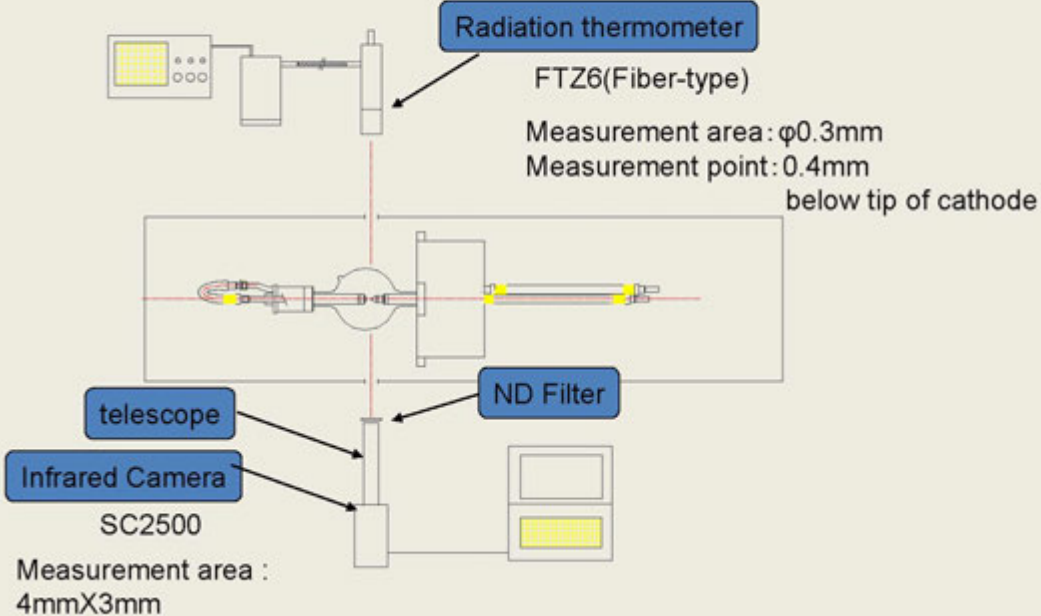


The Former Approach

70

Environmental Test Technology Center  

Cathode Temperature Measurement



The diagram illustrates the measurement setup for a cathode. A radiation thermometer (FTZ6, fiber-type) is positioned to measure the cathode tip. The measurement area is $\phi 0.3\text{mm}$ and the measurement point is 0.4mm below the tip. An ND filter is placed between the thermometer and the cathode. A telescope and an infrared camera (SC2500) are also used for observation. The camera's measurement area is 4mm x 3mm.

Radiation thermometer
FTZ6(Fiber-type)
Measurement area: $\phi 0.3\text{mm}$
Measurement point: 0.4mm below tip of cathode

telescope

Infrared Camera
SC2500
Measurement area : 4mmX3mm

ND Filter



Environmental Test Technology Center  

The long-life 30kW lamp

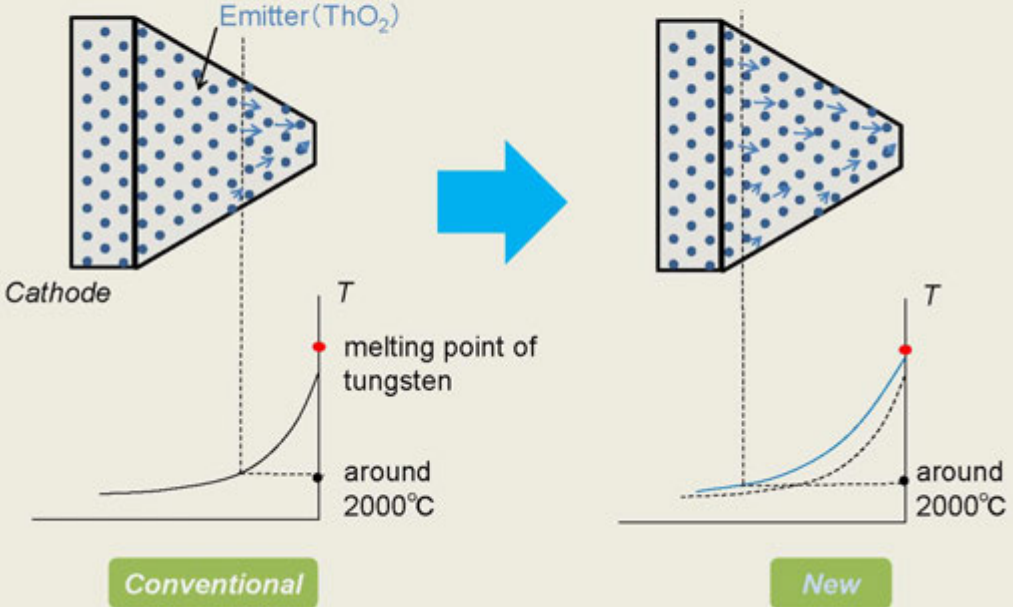


A photograph of a large, spherical, glass-enclosed lamp. A yellow question mark is overlaid on the lamp, indicating a point of interest or a question about the lamp's design or operation.

72



Environmental Test Technology Center  

Theory of long-life lamps



Conventional **New**

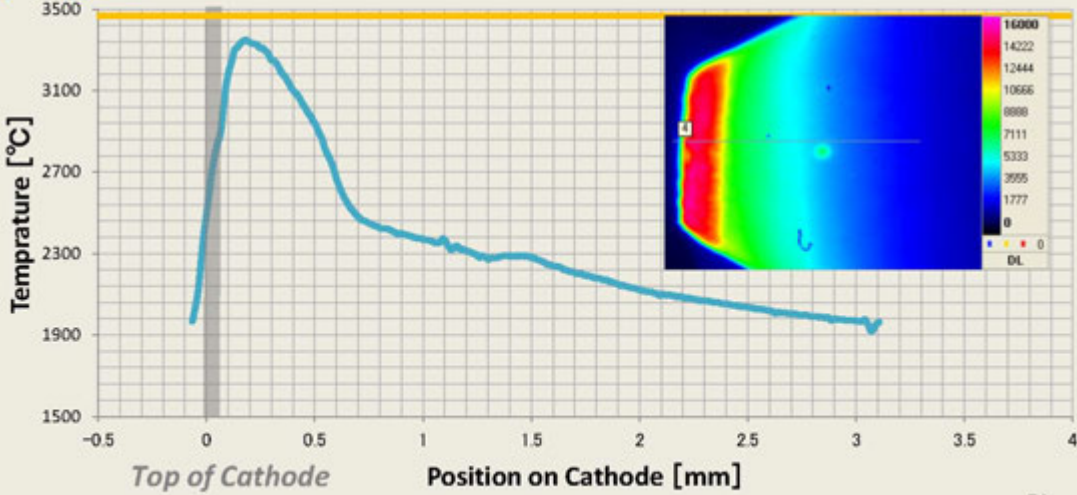
Labels in diagram: Emitter(ThO₂), Cathode, T, melting point of tungsten, around 2000°C

Environmental Test Technology Center  

Cathod Temperature Distribution of Conventional 30kW lamp

Melting Point of Tungsten

— running time : 0h

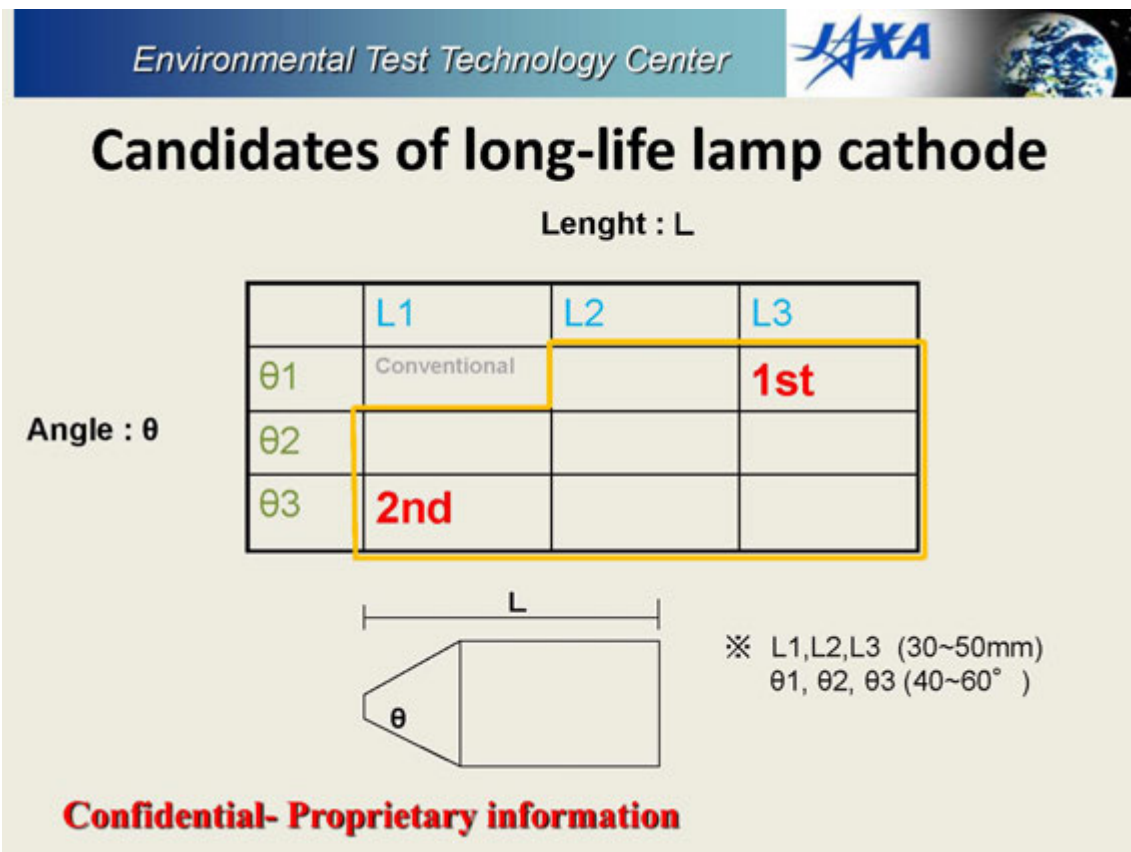
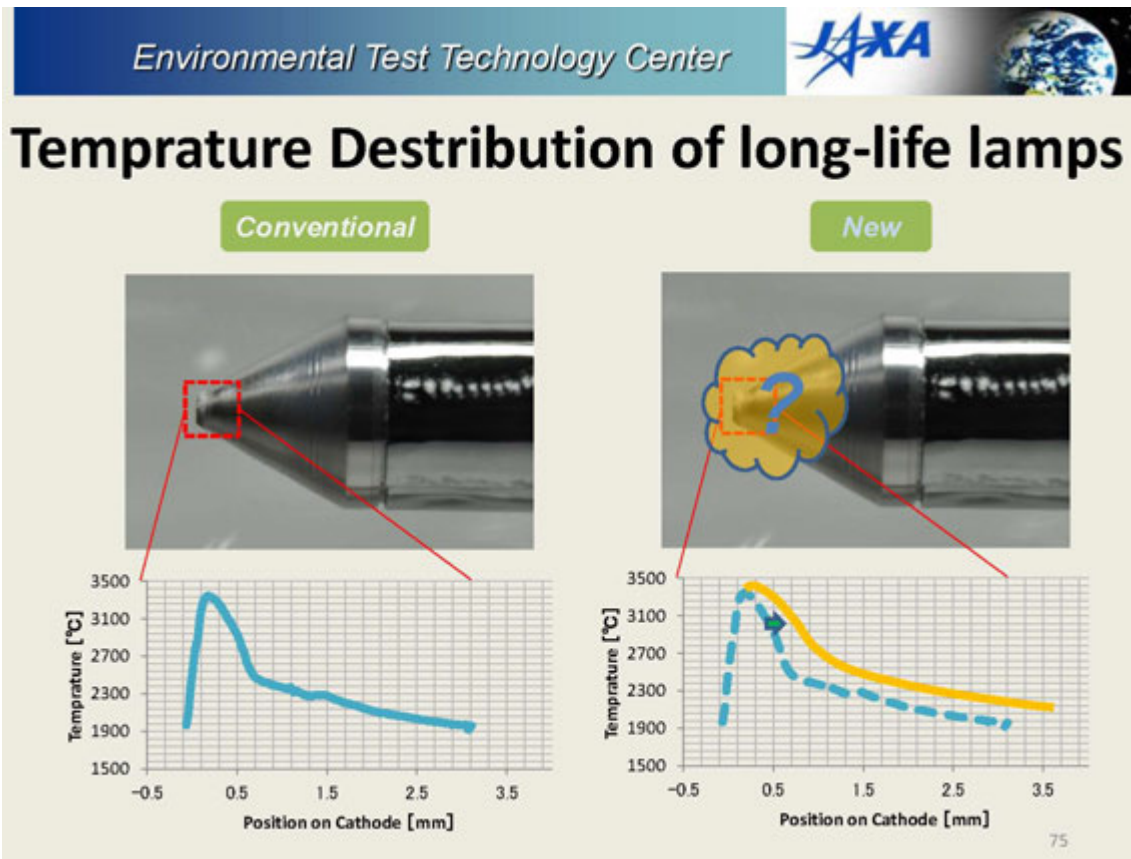


Temperature [°C]

Position on Cathode [mm]

Top of Cathode

Color scale: 16000, 14222, 12444, 10666, 8888, 7111, 5333, 3555, 1777, 0, DL



Environmental Test Technology Center 

Candidates of long-life lamp cathode

Lenght : L

	L1	L2	L3
$\theta 1$	Conventional		life-time test in May 2012
$\theta 2$			
$\theta 3$	life-time test in August 2012		

Angle : θ

Confidential- Proprietary information

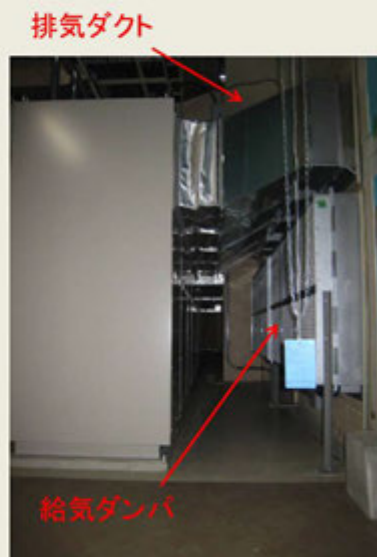
Environmental Test Technology Center 

新電源開発

78



13mΦスペースチャンバへの導入

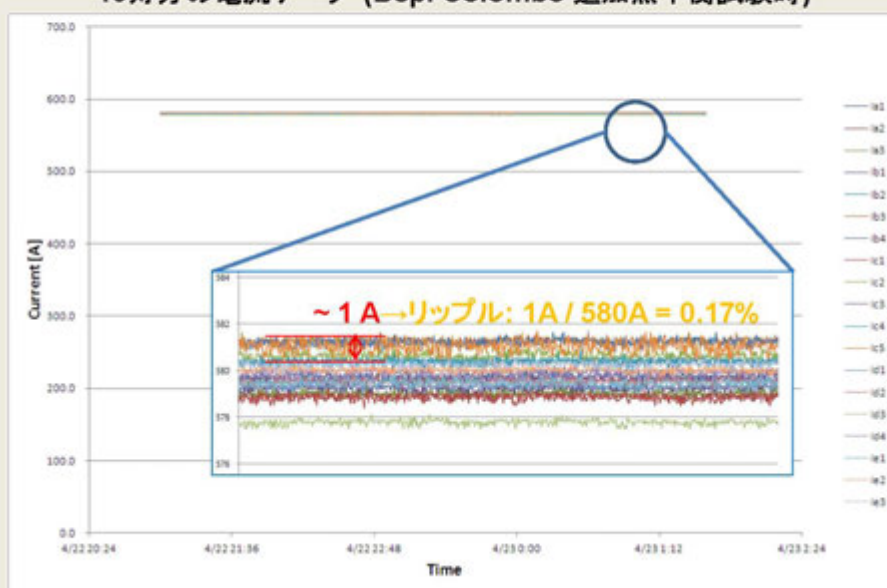


79



運用結果

19灯分の電流データ (Bepi Colombo 追加熱平衡試験時)



80

質疑応答

質問者① (JAXA 渡邊氏)

ランプ寿命試験データにおいて、ステップ状に変化するポイントがあるようにみえますが、ここで何が起きているのでしょうか？

発表者

寿命試験では、100 時間毎にランプを消灯し、ランプの様子を観察を行っています。このデータは 100 時間毎のデータをつなぎ合わせて連続したデータとしているため、消灯したところはステップ状に変化しているようにみえています。

ゆえに、ステップ状の変化はランプの性能によるものではありません。

質問者② (TIS 三枝氏)

長寿命化は何時間を狙っていますか？それが試験にどのような効果を与えるのでしょうか？

発表者

寿命は 800 時間を狙っています。単純に寿命が 2 倍になれば、ランプコスト・ランプ交換関連費が半分になります。また寿命を長くすることで、長時間のソーラ試験にも対応でき、信頼性を上げることで、不測の不具合によりランプが消灯し、最終的に試験を中断してランプ交換をしなければならないという事態を避けることができます。

質問者③ (JAMSS 海道氏)

ランプの開発当時関わっていたが、当時ランプ寿命で問題になっていたのは、タングステンの枯れ、極の形が大切だったと記憶しています。電極の形状やキセノンの封入圧もランプの寿命に関連があると思っていますが、そういった観点での追及はしていないのでしょうか。

発表者

我々も陰極の形状を変化させ、寿命を長くするというを以前は検討していました。しかし、それをやっても今のランプに対しては効果が見られなかったのが実態です。陰極の形状を変化させて何を狙ったかという、陰極形状を変化させることで陰極の温度分布を変化させ、放電をしやすくする物質であるトリアが陰極先端に継続的に供給される温度分布にすることです。しかし、何本か試作して寿命とトリア消費量の関係を比較しましたが、あまり相関性は見られませんでした。そこで、そのアプローチをやめ、現在行っている極間を離すというアプローチで検討を始めています。