
IN-SPACE ホール25年度成果



Robust Anode-layer Intelligent thruster for
Japan IN-space propulsion

高放電電圧版ホールスラストの評価

【大工大】

MSのアノードレイヤ型への適用

【東大】

TALの安定化へのアプローチ

【首都大学東京】

大電力ホールスラストの開発

【九大】

全電化衛星モデルならびに軌道移行モデルの作成と ミッション
具体例の評価

【都立高専】

クラスタ作動基礎データ取得と干渉領域解析

【岐阜大】

スマート電源のために必須のデータ収集系の開発

【宮崎大】

TAL型ホールスラスタによる 高電圧試験について

高放電電圧版ホールスラスタの評価 (TALT-2)

担当:大阪工大

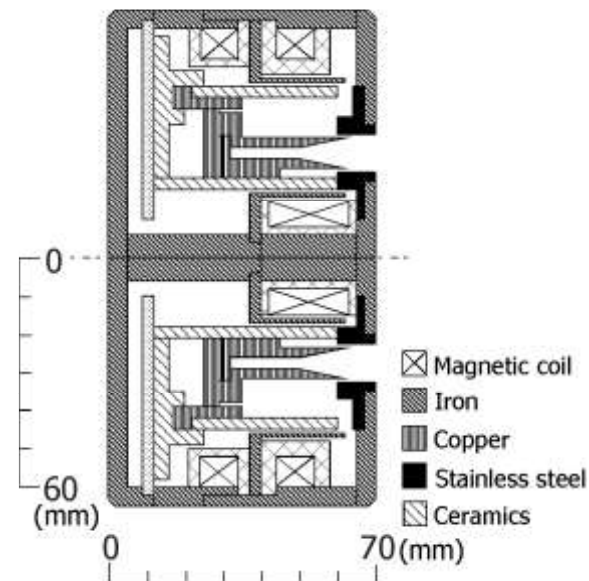
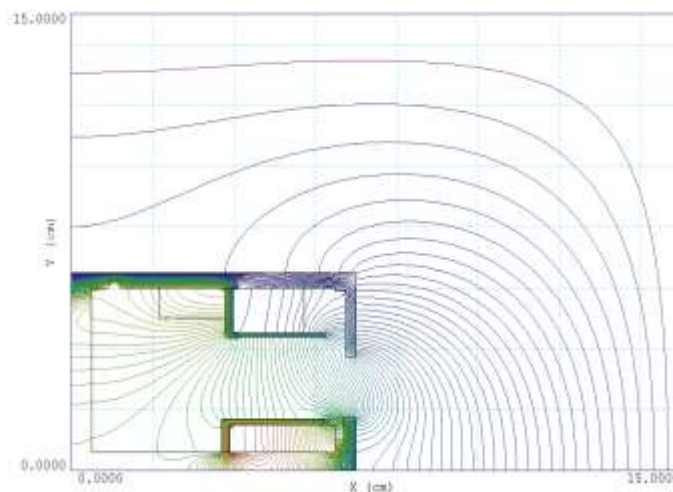
キセノン, アルゴン, クリプトン推進剤ガスを用いて, 放電電圧200-1000V(投入電力1-5kW)の作動域の性能特性を取得する.

(キセノンでは比推力2000s程度から高比推力3000sの作動域に相当)

到達目標

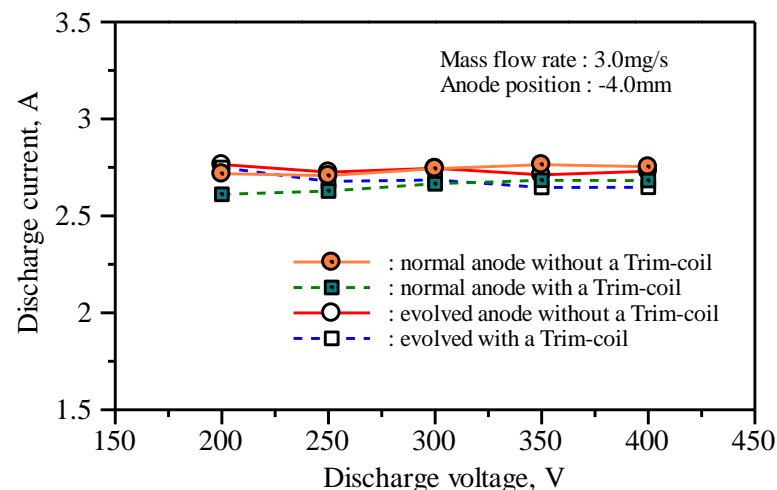
キセノンを用いて, 比推力3000sにて, 推進効率60%以上(キセノンを用いて, 比推力域2000-3000sにて, 推進効率55%以上, かつ安定作動の確立)

性能特性の向上、安定作動の確立を目指す

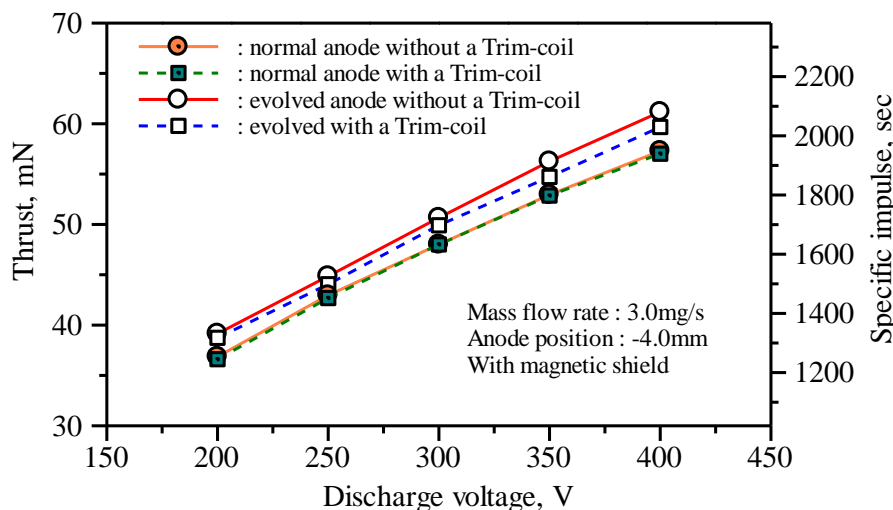


試験条件と結果

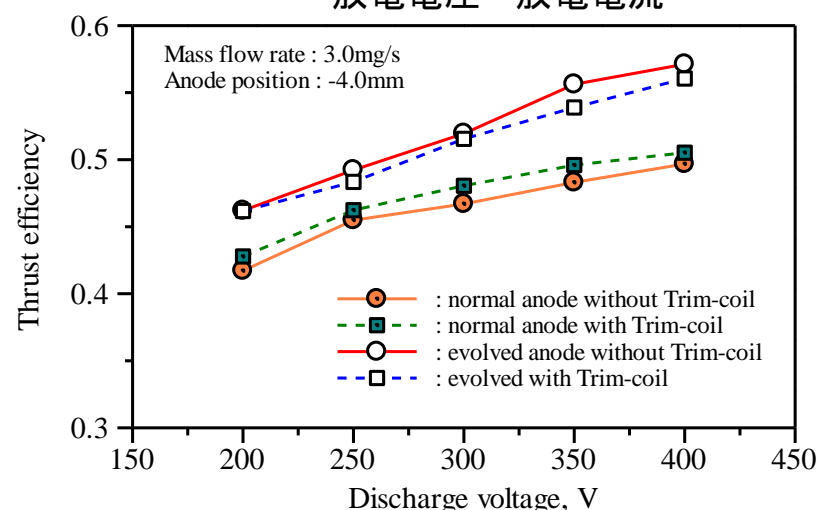
Discharge Voltage	300~550V	
Propellant	Xenon	
Mass Flow Rate	TALT-2	3.0mg/s
	Hollow Cathode	0.1mg/s
Coil Current	0.8, 0.8, 2.0A (inner, outer, trim)	
Cathode Distance	133mm	
Backpressure	1.0×10^{-2} Pa	



放電電圧—放電電流



放電電圧—比推力

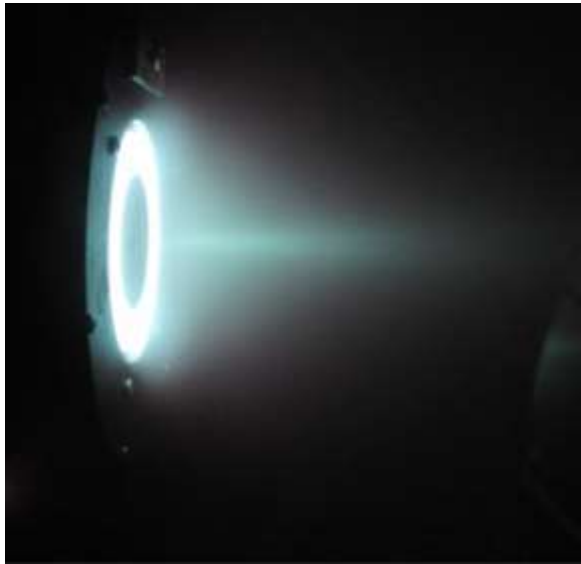


放電電圧—推進効率

■ 印加電圧400V程度までは比較的安定した作動が見られた。

■ 400V以上の電圧域では作動が不安定となり、現在も安定作動条件を模索中

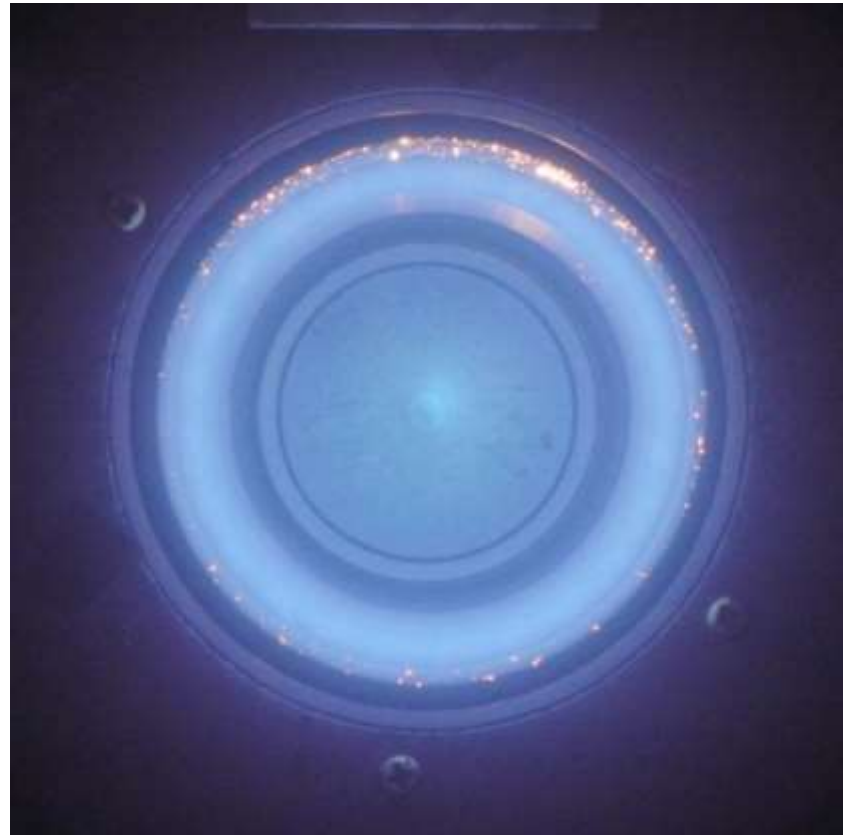
作動時の写真



300Vの時



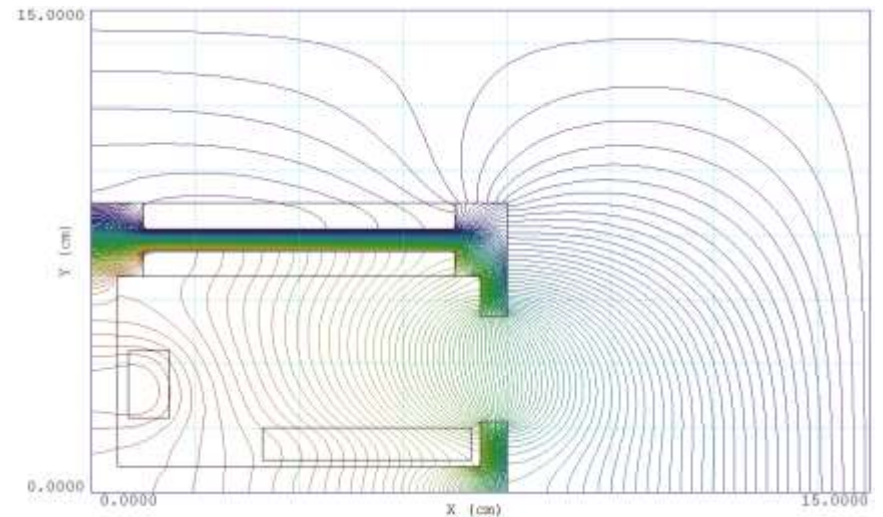
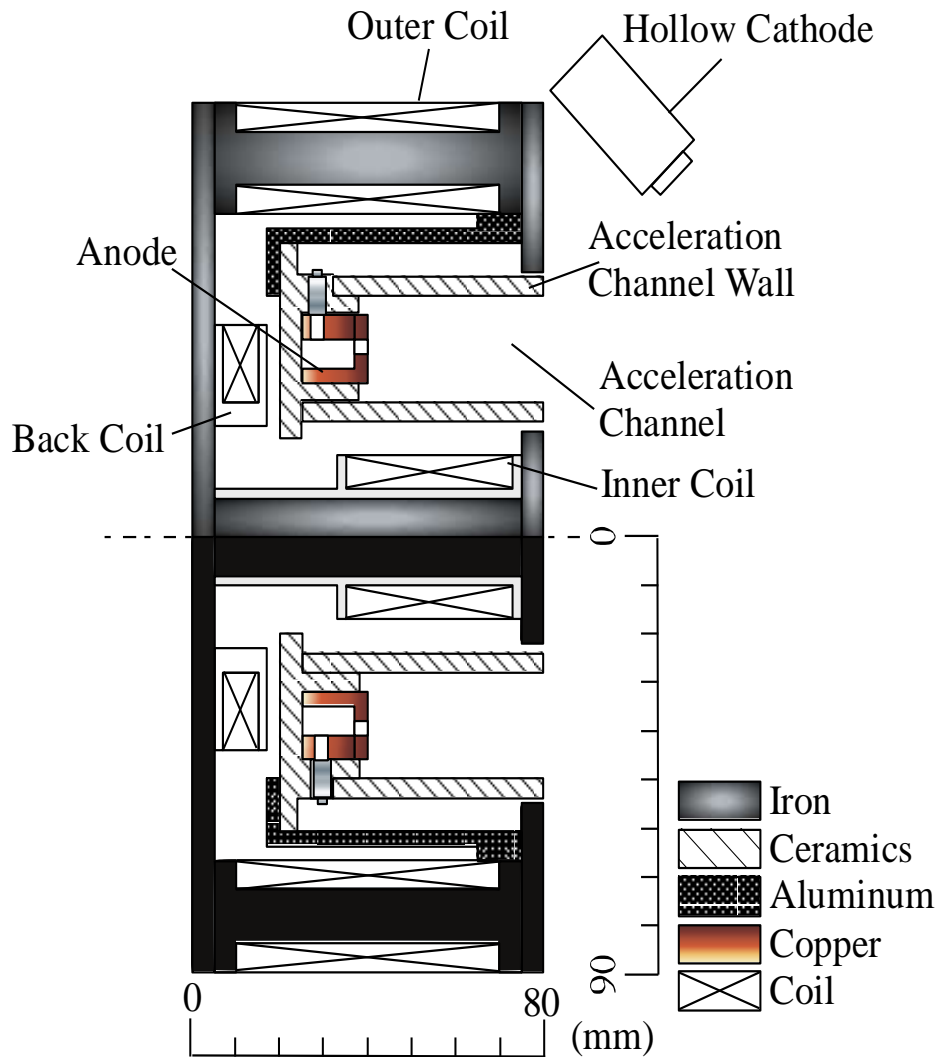
950Vの時



950Vの時（下流部より）

- 950Vの時，作動後すぐにホローアノード先端部が赤熱する傾向があった。

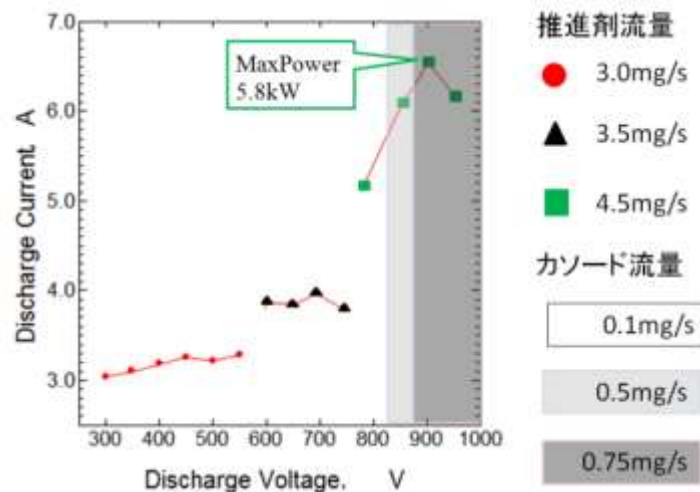
高放電電圧版ホールスラストの評価 (THT-VI)



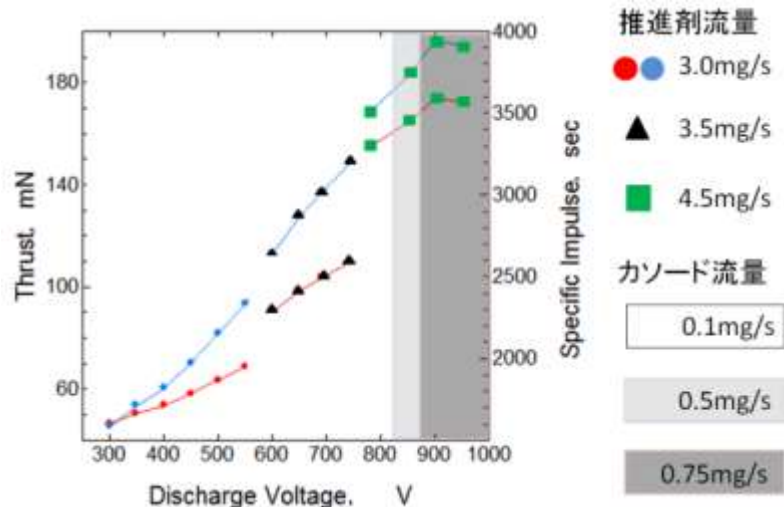
■ SPTタイプのホールスラストに対しても同様の高電圧作動試験を行った。

試験条件と結果

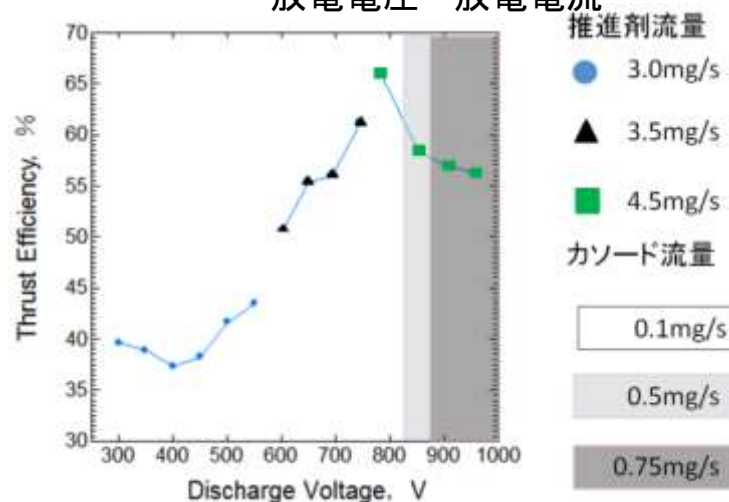
Discharge Voltage	300~1000V	
Propellant	Xenon	
Mass Flow Rate	THT-VI	3.0~4.5mg/s
	Hollow Cathode	0.1~0.75mg/s
Coil Current	0.3, 0.3, 0.9A (inner, outer, trim)	
Cathode Distance	200mm	
Backpressure	3.0×10^{-2} Pa	



放電電圧—放電電流



放電電圧—比推力



放電電圧—推進効率

- 印加電圧を上昇に伴い、安定作動させるため推進剤・カソード流量を増加させる必要があった。
- 900V以上の印加電圧の場合、直後は比較的安定しているものの、時間の経過とともに作動が不安定となった。

作動時の写真



300Vの時

■ 印加電圧1000V時の試験により、内部の配線が焼損するなど、更なる熱対策の必要であることが判明した。



1000Vの時

■ 本試験により、解決すべき問題はあるものの、印加電圧1000Vでの作動を確認した。

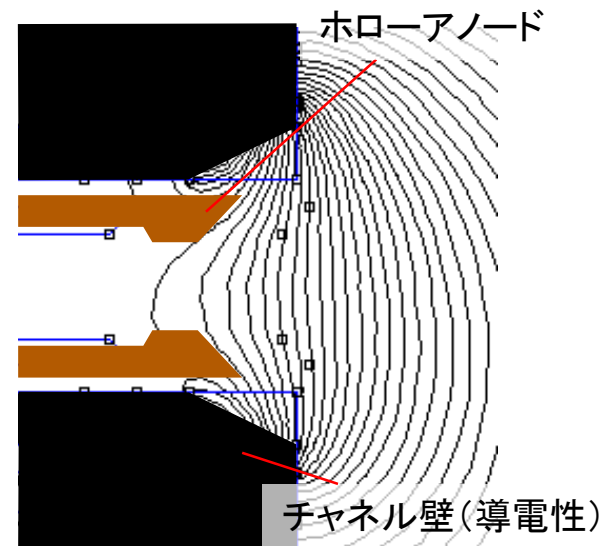
MSのアノードレイヤ型への適用

- UT-58の推進性能と放電安定性
 - UT-38からの出力アップが目標
 - 効率&放電振動マップの作成
 - アルゴン推進剤時の性能評価とアルゴン用最適チャンネル径の推定

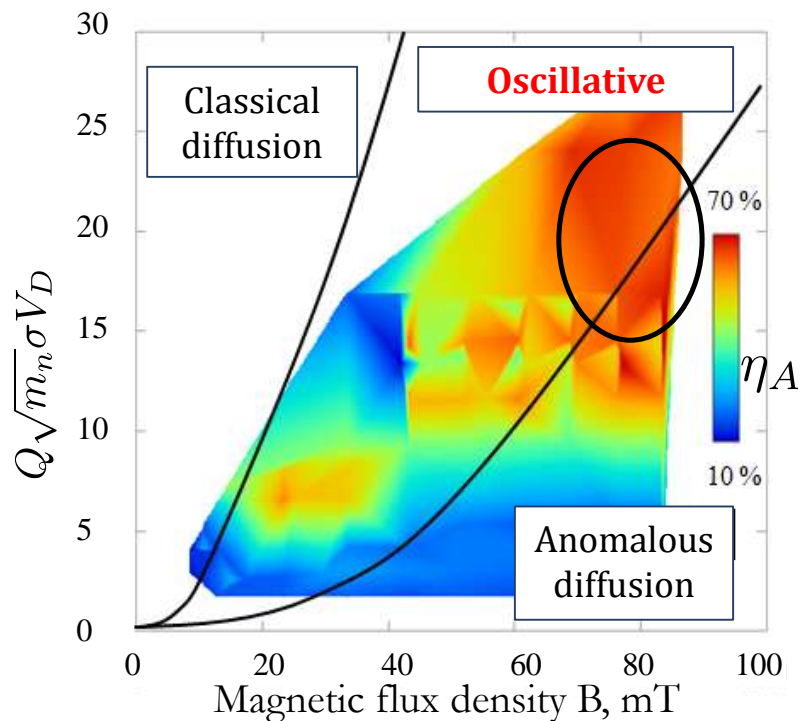


UT-58外観

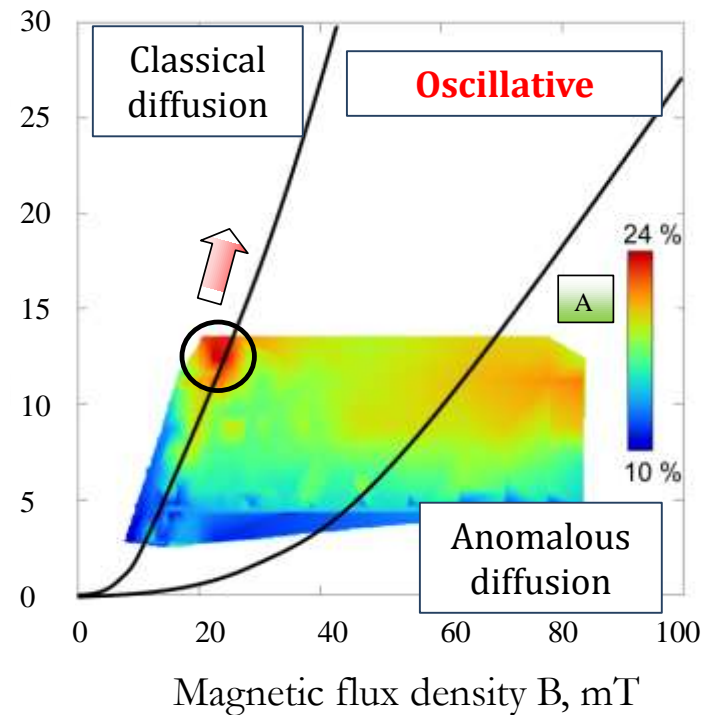
- TALへのMagnetic Shielding (MS)検証
 - チャンネル壁面と磁力線を並行に配置してイオンスパッタを低減し、それに起因する寿命制限を取り除くことが目標
 - ガードリングイオン電流と壁面近傍電界分布の測定より評価



放電チャンネル周り磁場形状



Xeでの推進効率マップ



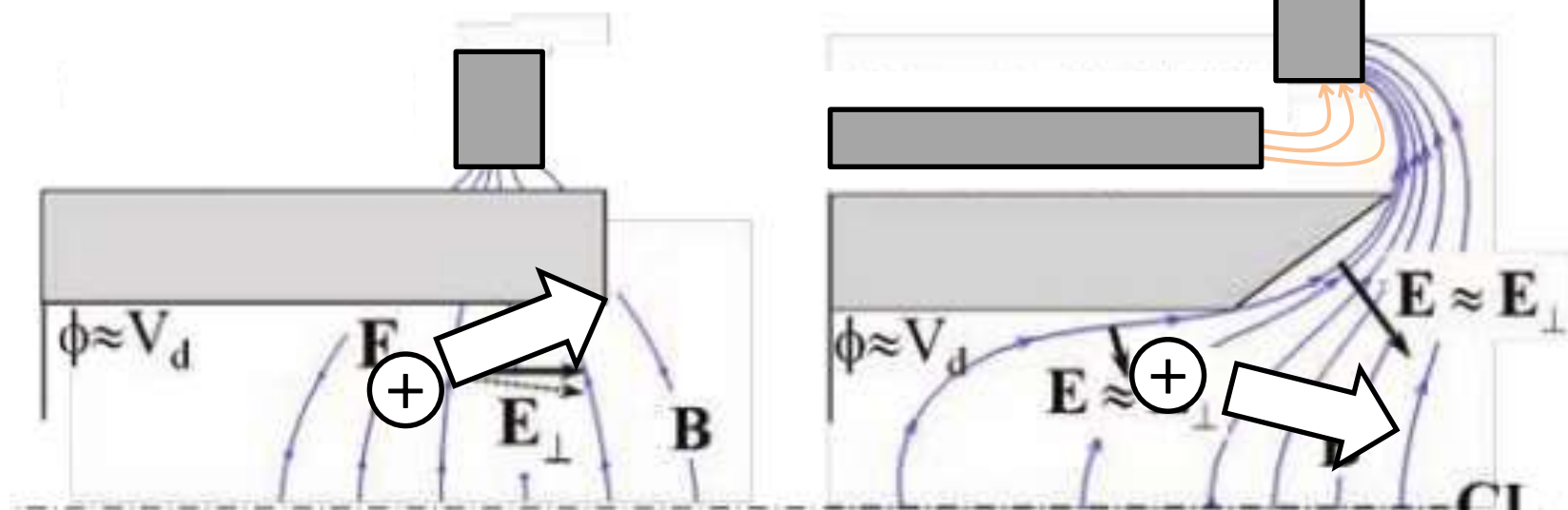
Arでの推進効率マップ

- ・Xe推進剤で世界最高水準のアノード効率73%@(1800秒, 1kW)を達成
- ・Ar推進剤ではアノード効率23%@(1800秒, 2kW)であるが、低磁束密度側に高効率な作動点が存在
- ・Arでの効率改善には、Xeの設計と比較してよりコンパクトにすべき

SPT における Magnetic Shielding

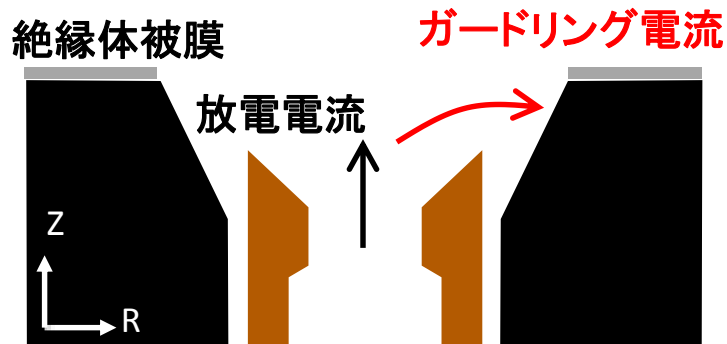
MS なし

MS あり



TALにおけるMagnetic Shielding (MS)効果

- ガードリングイオン電流



ガードリング電流
放電電流

を算出

UT-58 (MSあり)	UT-38 (MSなし)
3.8%	9.6%

➡ MSにより壁面に衝突するイオンが減少

- 放電チャンネル内二次元電位分布



Measured plasma potential contours

半径方向の電位勾配小
壁面へ加速されるイオンが減少

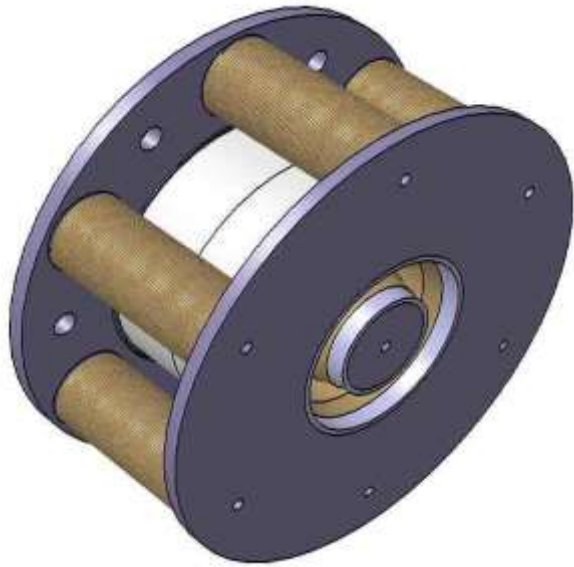
TALにおいてもMSは壁面損耗低減へ効果的であるがまだ不十分

TALの安定化へのアプローチ

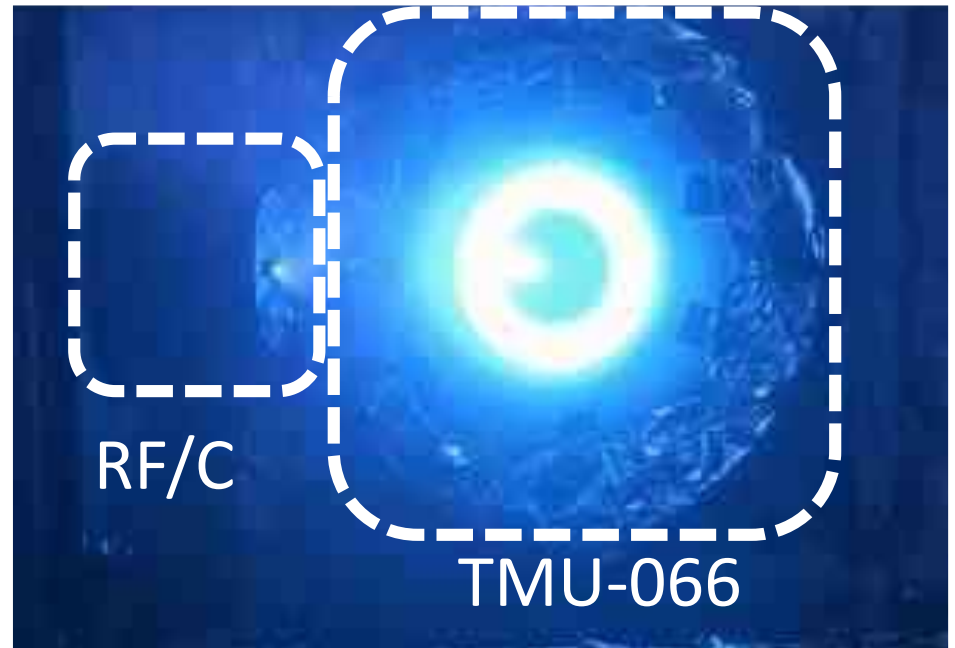
TAL型ホールスラスタ@ 首都大学東京

RF/Cが適用可能であることを確認

- TMU-066 の製作
- RF/C Inner Coil を用いた点火に成功



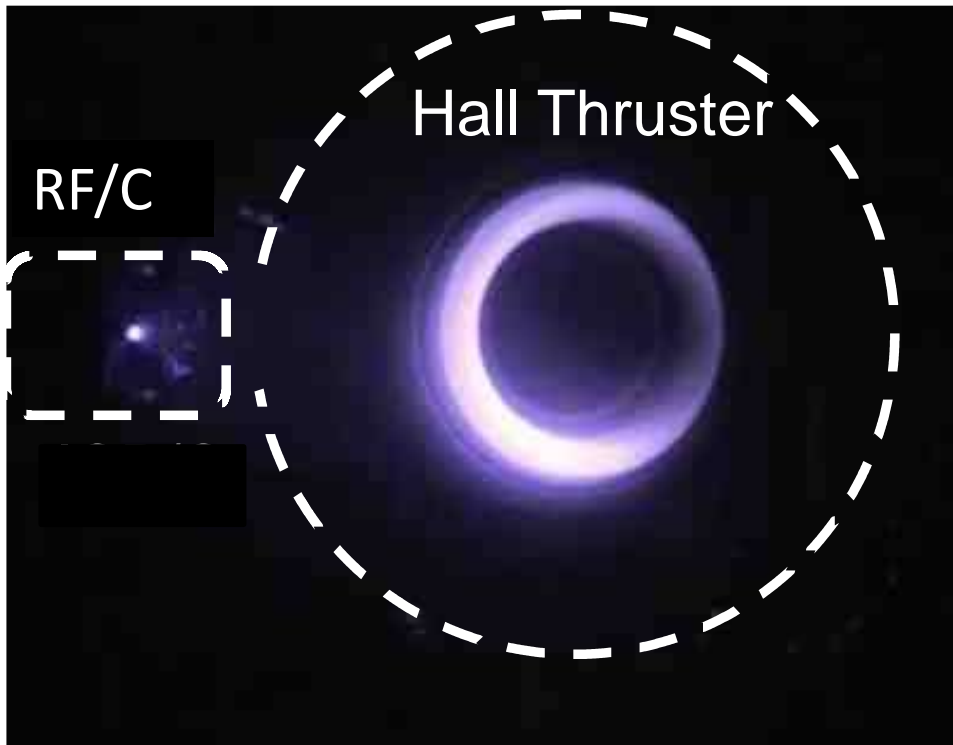
TMU-066



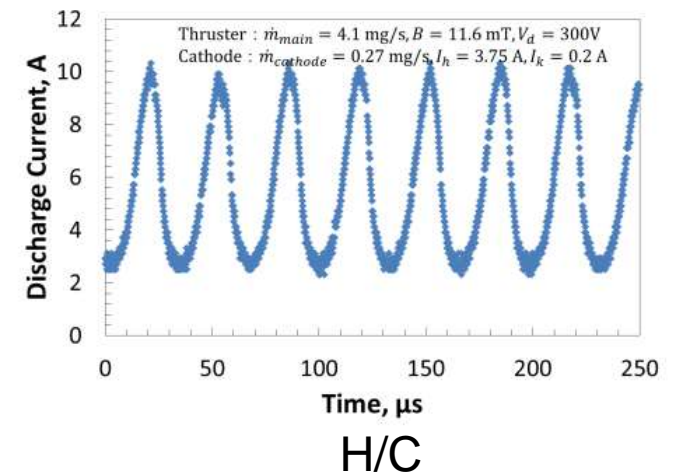
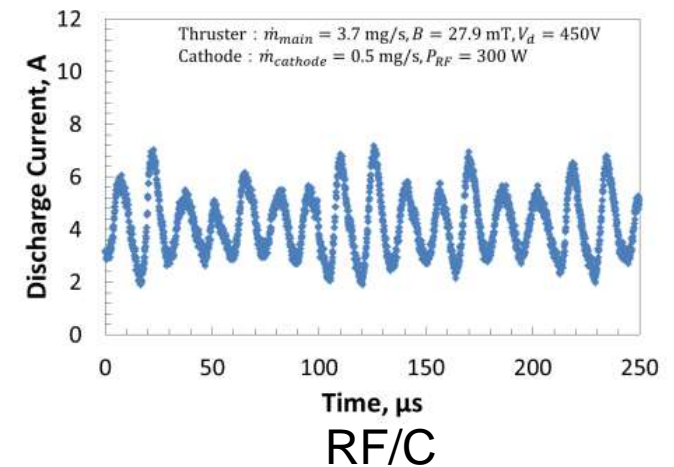
60 mNでの作動

TAL型ホールスラスタ : RF/Cとの組合せ実験@首都大学東京

- 点火状態のRF/CとTMU-066(Xe流入、磁場／電場未印加)での発光現象
 - RF/CとTALとの容量性カップリング現象の存在
 - RF/Cによる放電振動低減の可能性を確認

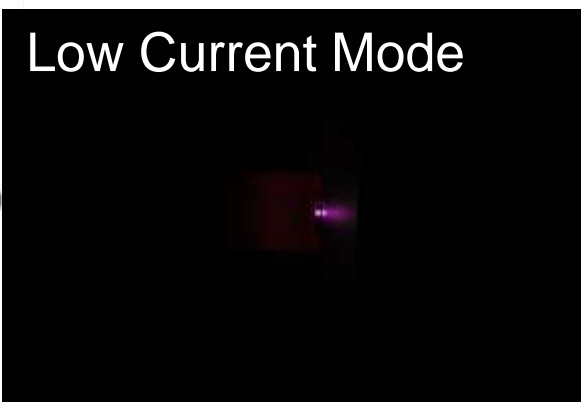
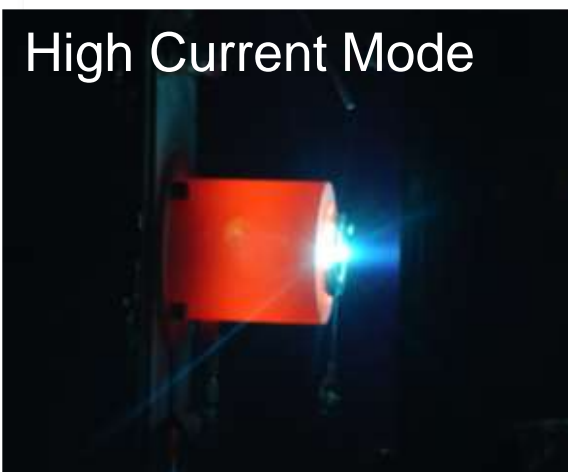
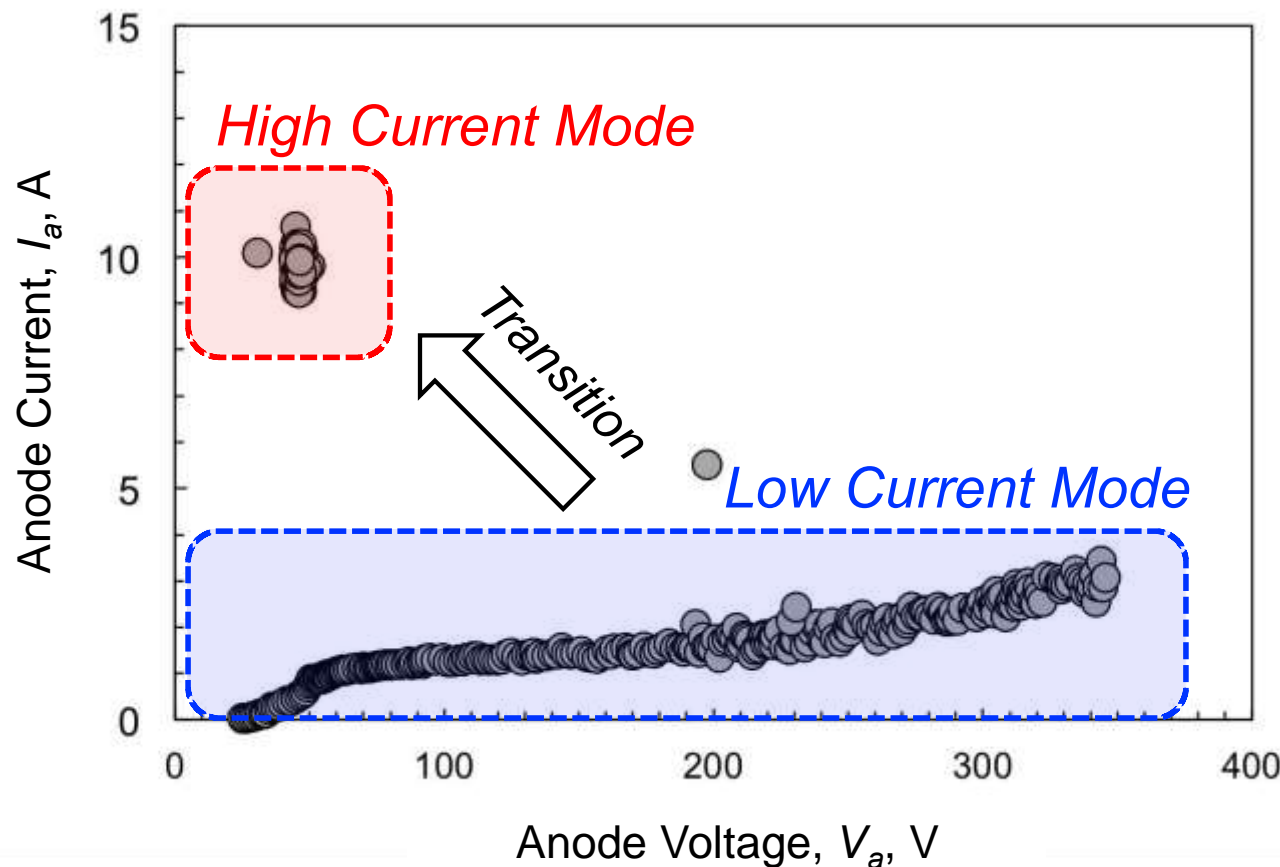


RF/Cを作動, TMU-066にガスのみ投入



RF/C Inner Coil でのHigh Current Mode の存在を確認

→現在、50Aまで(電源の制限のため)@首都大学東京



大電力ホールスラスタの開発

大電力ホールスラスタの開発

Development of 5 kW/15 kW dual mode Hall thruster

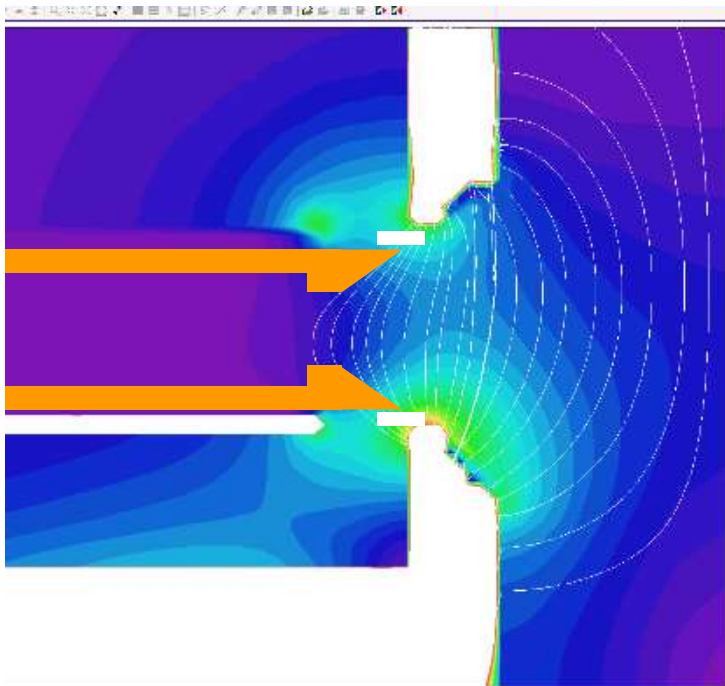
Power	Thrust	I_{sp}	Mass flow rate	efficiency	Vd	Id
5 kW	300 mN	1900 s	17 mg/s	0.60	300 V	17 A
14 kW	500 mN	3000 s	17 mg/s	0.55	800 V	17 A
3 kW	250 mN	1300 s	20 mg/s	0.58	150 V	21 A

大電力ホールスラストの開発

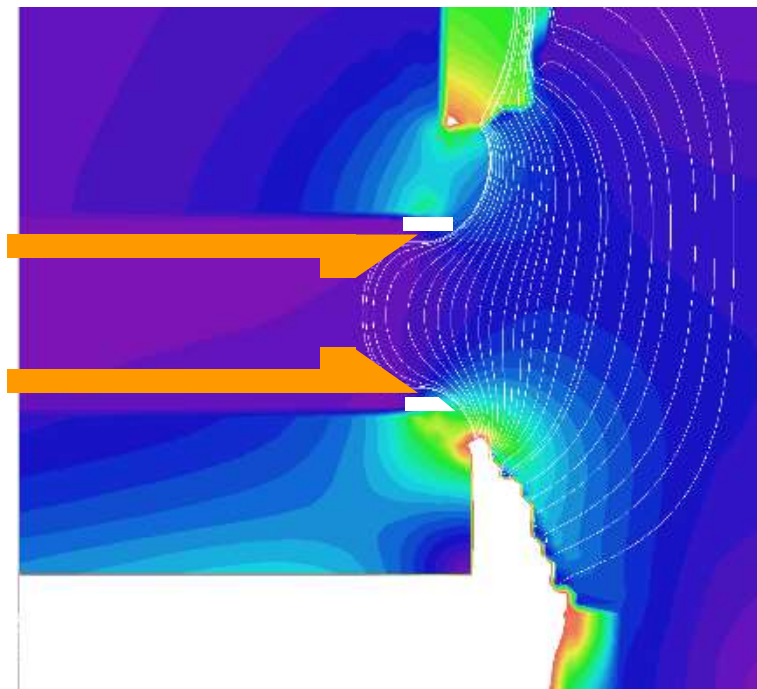
Magnetic Shieldingの適用

- コイルの増強

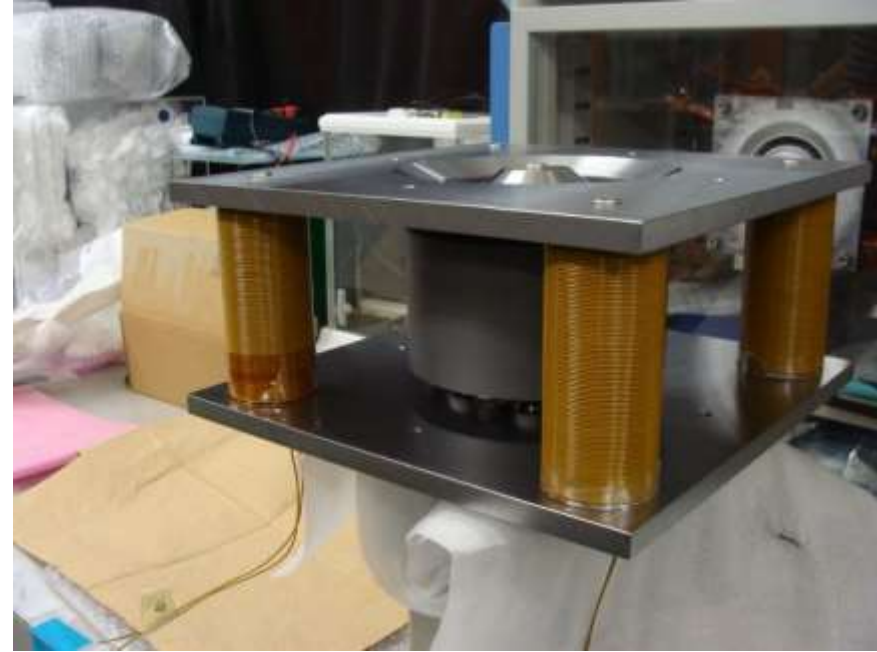
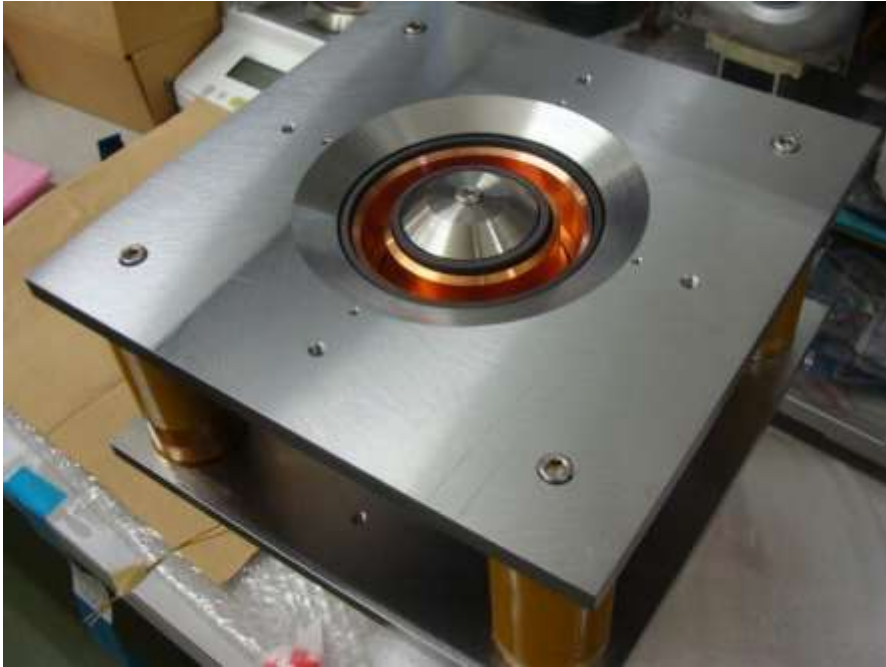
Normal



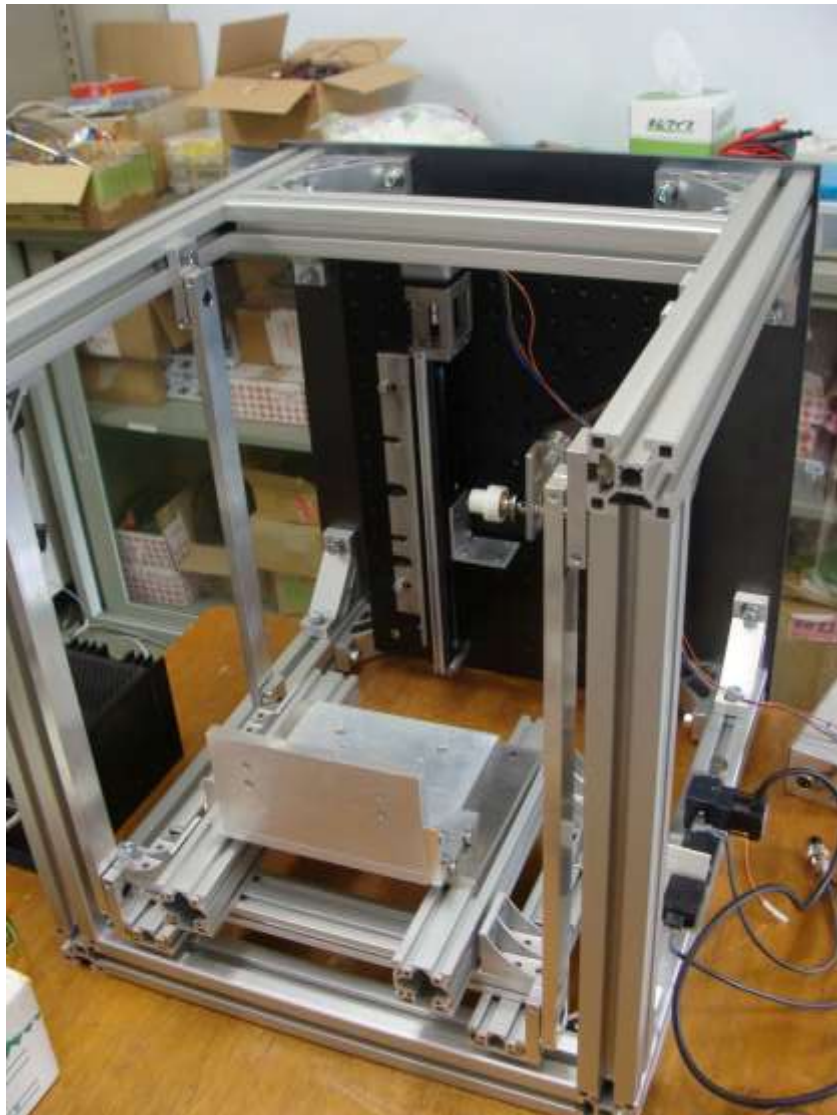
MS



大電力ホールスラストの開発



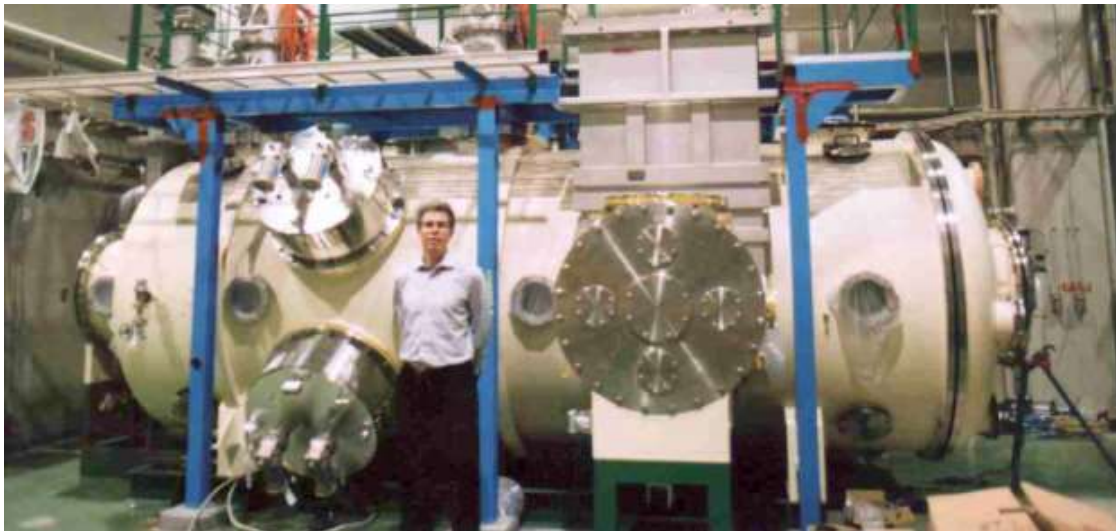
大電力ホールスラストの開発



大電力ホールスラスタの開発

ISAS/JAXAでの試験

- 4月から6月に実施予定
- 推力、温度を計測予定



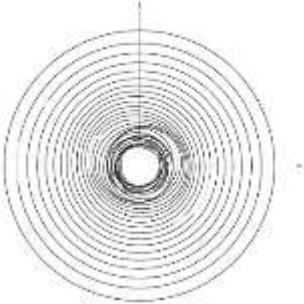
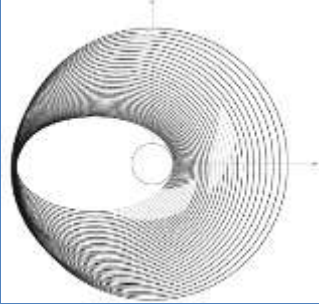
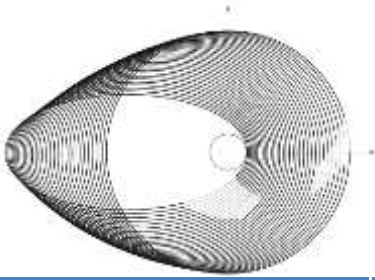
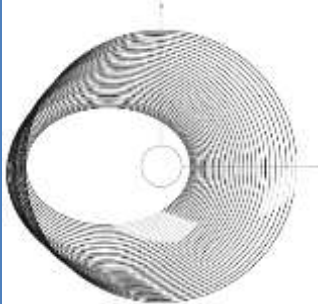
全電化衛星モデルならびに軌道移行 モデルの作成とミッション具体例の評価

全電化衛星モデルならびに軌道移行モデルの作成とミッション具体例の評価

平均化と非線形計画法を用いた手法により、螺旋状の軌道移行を最適化可能とした
 蝕、J2項、放射線劣化を導入

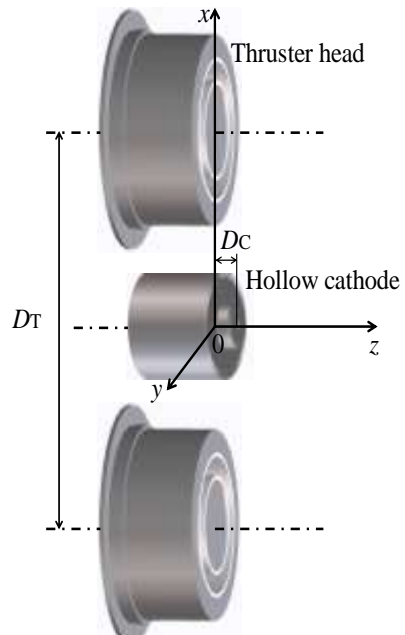
全電化衛星モデルは軌道移行結果からただちに構築可能

ミッション具体例の評価：“新型ホールスラストによる全電化静止衛星バスの開発戦略”のp.5軌道移行部分を詳細に解析

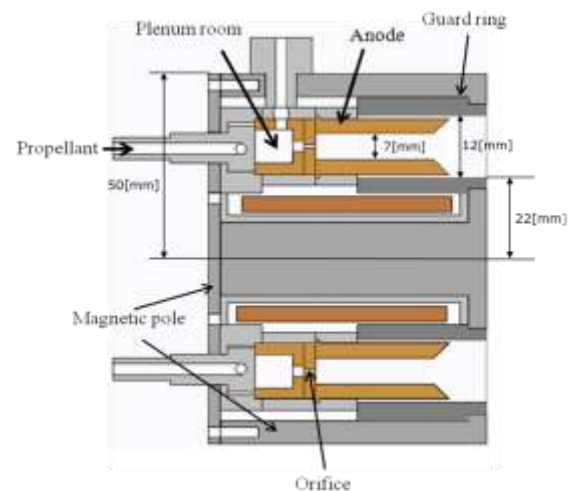
IF軌道		LEO	GTO1	Super synchronous	GTO2	
		 a=6628 km, e=0, i=30.4°	 a=24503 km, e=0.7295, i=28.5°	 a=42003 km, e=0.8422, i=28.0°	 a=25728 km, e=0.6472, i=20.3°	
H2A202能力		10 ton	4.0 ton	3.2 ton	2.9 ton	
CP	遷移期間		数日			
	GEO質量	2.3 ton	2.1 ton (ΔV=1.8 km/s)	1.9 ton (ΔV=1.6 km/s)	1.7 ton (ΔV=1.5 km/s)	
EP 1 2000s	遷移期間(劣化無)	1060 days	195 days	129 days	116 days	
	遷移期間(劣化有)	到達不可能	218 days (87%)	140 days (91.4%)	128 days (90.0%)	
GEO質量		7.22 ton (ΔV=6.05 km/s)	3.42 ton (ΔV=2.88 km/s)	2.81 ton (ΔV=2.38 km/s)	2.55 ton (ΔV=2.33 km/s)	
EP 2 3000s	遷移期間(劣化無)	1545 days	271 days	179 days	161 days	
	遷移期間(劣化有)	到達不可能	318 days (84%)	196 days (90.6%)	187 days (87.6%)	
GEO質量		8.14 ton	3.62 ton	2.95 ton	2.68 ton	
コメント		放射線劣化によりGEO投入不可能	IF軌道における投入質量を反映したGEO投入質量となる。飛行時間とのトレードオフ			

クラスタ作動基礎データ取得と干渉領域 解析

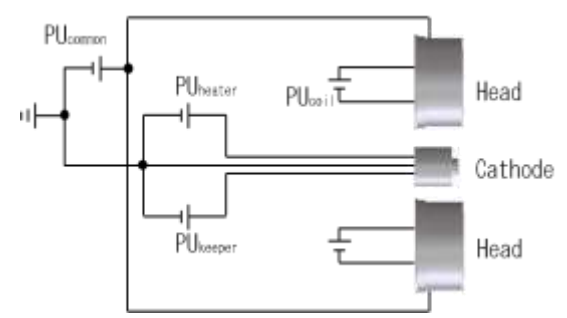
クラスタ作動基礎データ取得を目的に、Anode-layer型ヘッドGAK1基、ホローカソード1基によるSBSシステムを構築。プルーム測定,推力測定を実施した。



Side By Side (SBS)システム



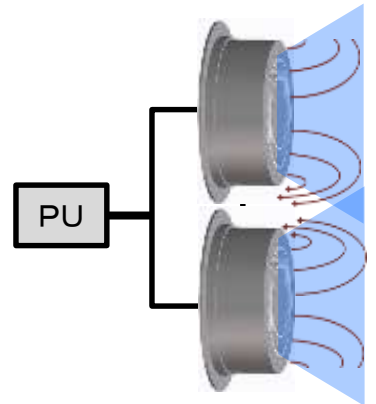
Anode-layer型ヘッド, GAK1



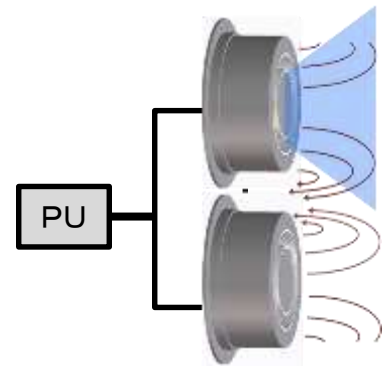
SBS作動時の電源系

作動条件(GAK1)
 推進剤: Xenon 14sccm(1基あたり)
 コイル電流1.5A, 放電電圧125V

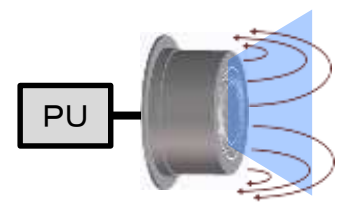
作動モード



SBS作動



Solo作動



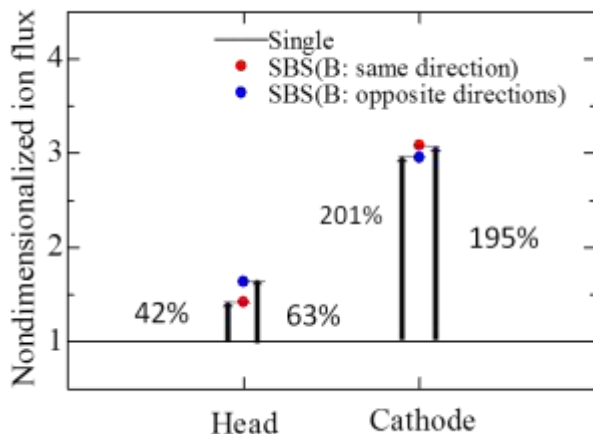
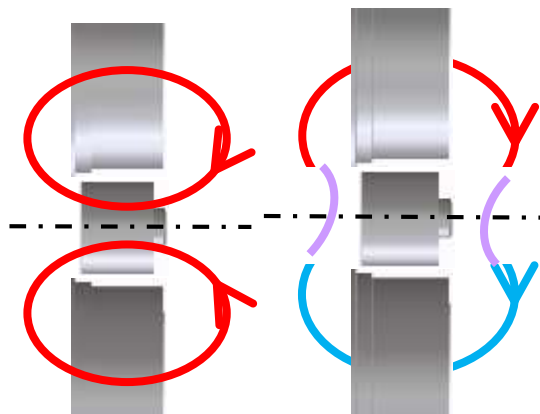
Single作動

SBS作動時の干渉効果の比較検討のため

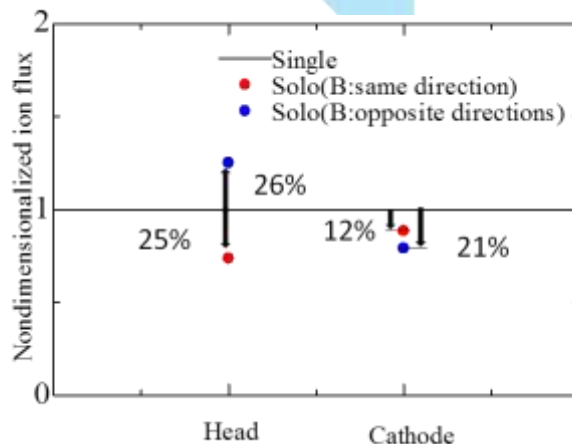
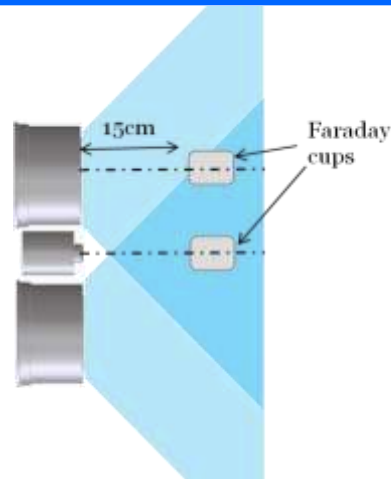
- ・2基作動の「SBS作動」に加え
- ・推進剤を1基のみに供給し電場, 磁場はSBSと同様に印加する「Solo作動」,
- ・単体で作動させる「Single作動」

の3つのモードで測定を行った。

磁場印加方向組み合わせの影響を評価

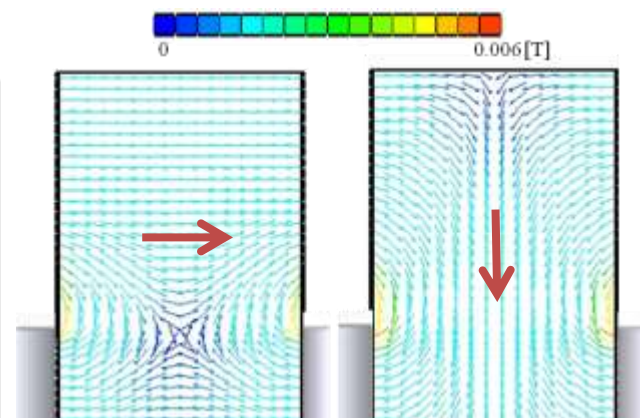


Ion flux: SBSとSingle比較
(Single結果で無次元化)



Ion flux: SoloとSingle比較
(Single結果で無次元化)

プルーム中のイオン流束測定
ファラデーカップを
ヘッド前面中心, カソード先端から
それぞれ下流へ15cmの位置に
設置し同時測定



(a) 磁場逆方向印加 (b) 磁場同方向印加

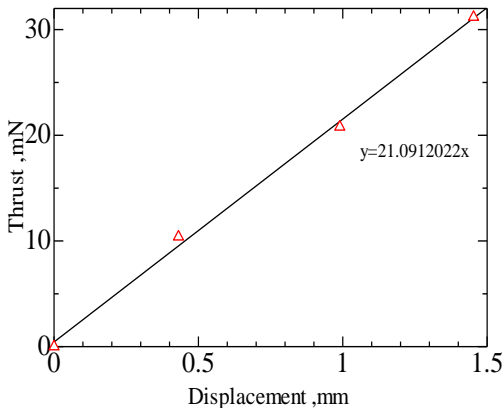
磁場解析による検討(干渉領域)

磁力線形状に明確な違い

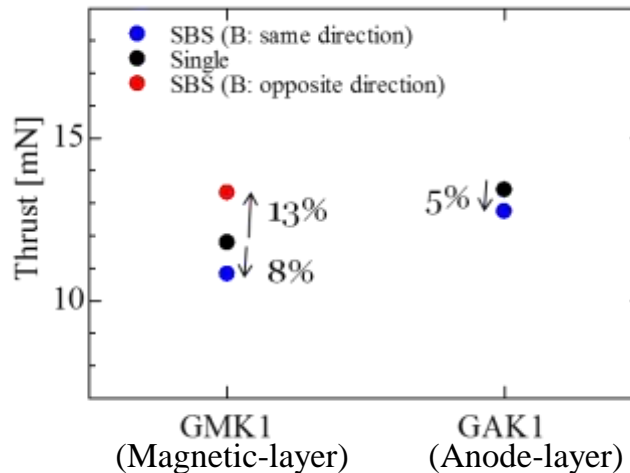
- ・同方向印加: 等電位面が軸方向へ
→ プルーム発散増大
- ・逆方向印加: 等電位面が半径方向へ
→ プルーム発散抑制

干渉により単体作動時に比べ
ヘッド前においてもイオン流束が増加
→ 電子電流増加による放電不安定や
放電電流値の増加

ヘッド前イオン流束:
Solo(磁場逆) < Single < Solo(磁場同)
→ 干渉領域側プルーム発散角の順



較正曲線



SBS作動とSingle作動との推力比較

(SBSは1基あたりの推力)

推力

SBS(磁場同方向印加):

GMK1, GAK1ともにsingle作動時より推力低下

SBS(磁場逆方向印加):

GMK1ではsingle作動時より推力増加 (GAK1は陽極部破損のため測定無)

⇒ プルーム発散傾向と一致

推進効率

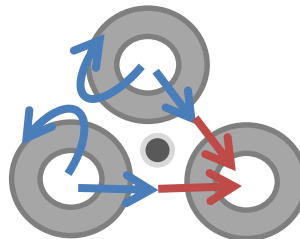
SBS作動時は放電電流値の増加によりGMK1磁場逆方向印加時でもSingle作動時と同程度
磁場同方向印加の場合は, GMK1,GAK1どちらの場合も低下した.

総括

- ・プルームのヘッド近傍までの干渉効果がみられ, 作動不安定, 放電電流増加につながった.
- ・干渉領域側のプルーム発散は, 2基のヘッドの磁場を同方向に印加する場合に単体作動時よりも増加し
磁場を逆方向に印加した場合には減少した.
- ・磁場の印加向き組み合わせの違いにより, プルーム発散傾向と一致する同様な推力増減がみられた.

今後の予定

- ・GAK1磁場逆印加時の推力データ測定.
- ・SBS作動時のB-I特性の習得.
- ・3基構成等の場合の2次元磁場干渉効果の評価



スマート電源のために必須の データ収集系の開発

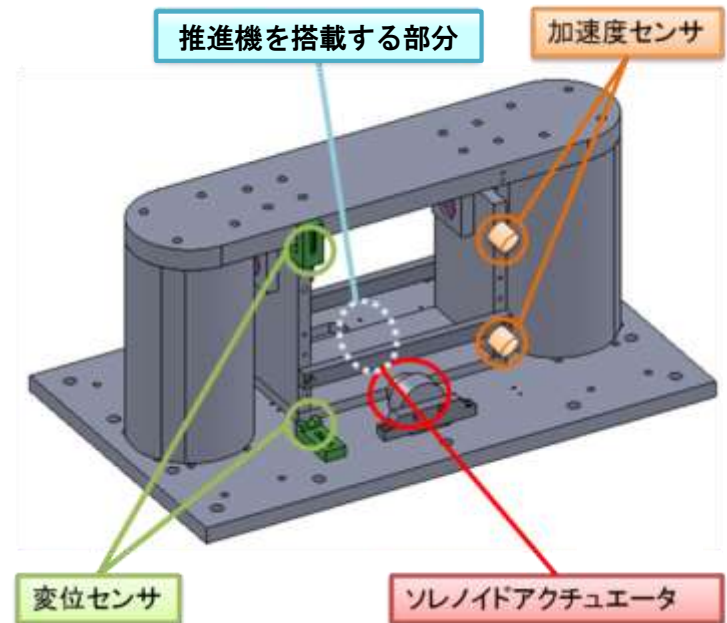
スマート電源の開発

- 推力をIn-situ, real timeに計測する方式
 - インテリジェント性の向上のため
 - 推力測定値をフィードバックして、所要の推力を生成する.
 - 経年劣化の計測
 - スロットリングの向上

スマート電源の開発

- 平成25年度着手
 - 推力変動を評価可能な推力測定装置の試作
 - 零位法と加速度計測の併用
 - 推力測定装置本体の試作
 - 零位法用のボイスコイルモータVCM
 - VCM用駆動回路
 - ソフトウェアの開発
 - VCM駆動電流
 - 加速度

計測



来年度の課題

- **高放電電圧作動(high Isp)化**
アノード位置の最適化、廃熱の再検討
- **MSの効用の確認**
MSの最適化、5kWへの適用、寿命計測
- **インテリジェンス電源の開発**
推力をモニタしての制御等
- **RF/Cの大電力化**
大電流化、効率の向上、安定性への評価
- **ミッション解析**