

-非化学推進 アブストラクト-

<初日:会議室A>
【ホールスラスタ】

STEP-2010-001	ホールスラスタ表面の絶縁体被覆によるイオン損失低減 高橋大祐(東大・工・院)
	ホールスラスタは地球近傍ミッションに適した電気推進機としてさらなる高効率化と長寿命化にむけて開発が進められている。アノードレイヤ型のホールスラスタは推進機自体がカソード電位に保たれているのでイオンが推進機へ衝突すると電流が発生し消費電力が増大してしまう。またイオン衝突はスパッタリングによる損耗を引き起こすため、イオン衝突は可能なかぎり低減しなければならない。本研究では放電室の壁面を除くスラスタ表面を絶縁体で被覆することによってイオン衝突を低減し、推進効率の向上をはかった。
STEP-2010-002	小型ホールスラスタの推進性能及び壁面損耗評価 張科寅(東大・工・院)
	近年小型衛星の開発はますます盛んになっており、それに伴って小型電気推進機が重要性を増している。電気推進機の中でもホールスラスタは高効率、高推力密度を達成でき、構造もシンプルであるため、小型電気推進機としても非常に有望である。そのため、本研究では、チャンネル外径30 mmの小型ホールスラスタを開発し、その推進性能と壁面損耗率評価を行った。小型ホールスラスタは、通常用いられるSPT型と、プリンストン大学で開発され、小型化に適しているとされるCylindrical型の双方を比較評価した。推進性能評価では推力測定及び放電電流測定を行い、壁面損耗率評価では多層コーティング法を用いた。
STEP-2010-003	ホールスラスタの加速チャンネル構造・材質の最適化 杉本成(大阪工大・工・学)
	Magnetic-layer型ホールスラスタは、広範な作動域を持ち実用化されてはいるが、加速チャンネル壁がイオン衝突により侵食されることで耐久性に問題がある。イオン衝突による加速チャンネル壁の侵食がスラスタの性能特性にどのような影響を及ぼすのか、また数千時間に及ぶ作動がチャンネル壁にどの程度の侵食をもたらすのかを予測するために、実験と数値計算の両面からアプローチを行なった。実験では連続作動後の形状を予め模擬して削った加速チャンネルを使用し、各作動パラメータでの性能特性を測定した。数値計算では2次元Hybrid-PICコードを開発し、加速チャンネル内部プラズマ状態の物理的解明、加速チャンネルの侵食と作動の関係、放電室の材質を変化させた時の性能特性のシミュレーションを行い実験結果と比較検討を行なった。以上の結果より、最適な加速チャンネル構造と材質を提案する。
STEP-2010-004	超小型衛星用シリンドリカル型ホールスラスタの開発研究 戸川和也(大阪工大・工・学)
	ホールスラスタの低電力化においては、これまでの同軸型放電室形状より円筒型(シリンドリカル形状)がイオン量・エネルギー損失低減の面から有利である。大阪工業大学では、超小型人工衛星プロジェクト3(プロイテレス衛星3号機「月探査超小型衛星」)に利用予定の高比推力電気推進機の開発を目指し、低電力シリンドリカル型ホールスラスタの研究を行っている。試作機の作動試験の結果、30W以下の低電力でホールスラスタの安定作動に成功し、放電振動特性も得られた。本講演では、それら試作機の性能特性と今後の開発計画について述べる。
STEP-2010-005	円柱型ホール推進機の推進性能モデルと性能実験の比較 圓子義寿(八戸工業大・工・院)
	本研究では、円柱型ホール推進機の更なる低電力・高効率化のため、放電電圧や推進剤流量、磁場強度を変化させて実測値を取得し、理論モデルを立案し推進性能特性の比較検討を行った。研究成果として、本実験条件下では放電電圧-放電電流特性が非線形特性を示すこと、印加電圧に対して推力、比推力が類似の特性をもつことを示した。投入電力に対する推力、比推力はリニアな特性を示すが、推進効率は若干異なる傾向を示すことが分かった。また、推進剤流量が0.15(mg/s)のときに最適な推進性能を示し、運用が想定されている50~100(W)の低電力領域において比較的安定的に動作することを明らかにした。
【PPT】	
STEP-2010-006	Plasma diagnostics of the Pulsed Plasma Thruster SIMP-LEX SCHOENHERR, Tony(東大・新領域・院)
	The plasma created by the pulsed plasma thruster named SIMP-LEX was studied by means of high-speed camera, induction probes and emission spectroscopy. Additional performance measurements were conducted to link the conclusions drawn by the plasma investigation. Determination of current sheet velocity, plasma species temperature and number density in time and space as well as relative species concentrations were used to evaluate different thruster configurations and the physics yielding to these values.
STEP-2010-007	電熱加速型パルスプラズマ推進機の基本特性に関する実験研究 佐々木厚(八戸工業大・工・院)
	パルスプラズマ推進機(PPT)は推進剤に固体(テフロン)を用い、パルス放電を行って推進剤を昇華・電離させることで推力を発生させる。PPTは推進剤のタンクや供給配管が不要なため比較的コンパクトであり、インパルスビットは低いもののパルス推力であることから人工衛星の精密位置制御に適している。多くの研究例のある電熱加速型PPTは低推力・高比推力という特性を持っているが、時間とともに推力・電力比が下がるため小型衛星の推進機としては不利である。そのため、本研究では電熱加速型PPTよりも推力の高い電熱加速型PPTを制作し、基本特性について実験を行ったので、結果を報告する。
STEP-2010-008	超小型衛星用真空アーク推進機の基礎研究 豊田和弘(九工大)
	超小型衛星用の真空アーク推進機に関する基礎実験を行ったので報告する。本推進機では推進剤の金属ロッドで真空アーク放電を発生させ、放電によって放出される金属蒸気により推力を発生させる。

STEP-2010-009	金属細線爆発現象を利用したパルスプラズマスラスタの可能性評価 波多英寛(熊本大)
	本研究では、金属細線爆発現象を利用したパルスプラズマスラスタの可能性について検討を行っている。金属材料は化学的に安定で密度が大きい、瞬間的に高電圧・高電流を印加することによって気化・プラズマ化する。この時発生する衝撃的膨張ガスを利用することで、初期速度を持った推進ガスが生成できる。本発表では、金属材料としてアルミニウム細線(0.1mg程度)を用い、300V以下の比較的低電圧で充電したコンデンサ(最大5.4mF程度)から印加した実験を行い、推力測定を行った。その結果、インパルスビットとして5mN・s以上の推進性能を示す結果が得られた。本発表にてその詳細を報告する。
STEP-2010-010	ジメチルエーテルを推進剤として用いた平行平板型PPT 増井 創一(九工大・工府)
	パルス型プラズマスラスタ(Pulsed plasma thruster, PPT)は、液体推進剤を用いることにより供給量を制御することが可能となり、比推力の向上をはかることができるが、液体推進剤として水やエタノールを使用した場合、貯蔵するためのヒーターや供給するための加圧ガスが必要となり装置が複雑化する。そこで、凝固点が119 Kと低く、蒸気圧が6 atmで適度にあり貯蔵・供給が容易であるジメチルエーテル(Dimethyl ether, DME)をPPTの推進剤として用いることを提案する。本研究では、平行平板型の電極を有するDME-PPTを試作し、その性能を評価した結果について報告する。
STEP-2010-011	パルス型プラズマスラスタのスケーリング則および投入電力増加による推進性能評価実験 三村大樹(首都大東京・院)
	本学では、高推力の同軸型パルスプラズマスラスタ(以下PPT)および高比推力の平行平板型PPTの研究開発に取り組んでおり、同軸型PPTにおいて電力 75W、インパルスビット5.5mNs、比推力320sを、平行平板型PPTにおいて3.3W、②22µNs(→22 マイクロNs)、.960sを達成している。昨今の技術向上により、衛星に搭載する推進機もより幅広いミッションに適応出来る推進性能が求められてきている。本研究では100kg級衛星の軌道・制御用推進機として平行平板型、同軸型の双方においてスラスタサイズを変更し、投入電力を3~75Wと変化させることで幅広い推進性能を取得、評価した。本稿では、これらの結果、評価を報告する。
STEP-2010-012	大阪工業大学・超小型衛星プロイテレス搭載用パルスプラズマスラスタシステムFMの開発 中雅理(大阪工大・工・院)
	大阪工業大学・電気推進ロケットエンジン搭載小型スペースシッププロジェクト(Project of OIT Electric-Rocket-Engine onboard Small Space Ship (PROITERES:プロイテレス))では、超小型人工衛星のインドPSLVによる2011年打ち上げが決定し、衛星開発の最終状態にある。本衛星のメインミッションの1つである“電気推進ロケットエンジンによる動力飛行”に用いる電熱加速型パルスプラズマスラスタシステムFMの開発状況を報告する。スラスタヘッド本体の形状決定・性能特性、電源システムFMの設計製作・作動試験、衛星電源とのかみ合わせ試験、衛星総合電気試験について発表する。
STEP-2010-013	大阪工業大学・電気推進ロケットエンジン搭載超小型衛星プロイテレスの最終開発状況 荒木俊輔(大阪工大・工・院)
	大阪工業大学・電気推進ロケットエンジン搭載小型スペースシッププロジェクト(Project of OIT Electric-Rocket-Engine onboard Small Space Ship (PROITERES:プロイテレス))では、電熱加速型パルスプラズマスラスタによる動力飛行と、高解像度カメラを使った淀川流域の写真撮影(環境観察)を目的とした超小型人工衛星の開発を行っている。すでに2011年インドPSLVによる打ち上げが決定している。人工衛星の開発組織は衛星電源系、通信系、C&DH系、エンジン系、姿勢制御系、光学カメラ系、構体系、熱設計系の8つのグループからなり、現在開発の最終段階にある。ここでは、その最新状況について報告する。また、次期プロイテレス2計画についても触れる。

【レーザー推進】

STEP-2010-014	レーザーアブレーション推進性能に対する推進剤表面状態の影響 荻田直弥(名大・工・院)
	レーザーアブレーション推進性能に対する推進剤表面状態の影響について調べた。照射するレーザーの波長オーダーの凹凸が推進剤の表面にある場合、レーザーの吸収率が変化し、推進性能に影響を及ぼすことが予想できる。レーザーの波長オーダーの凹凸を推進剤表面に作るために、酸素プラズマによるエッチング加工を施した。推進性能は、運動量結合係数、推進剤消費量、比推力に関して評価した。力積の測定には、Force sensorを使用し、得られた力対時間のグラフより積分処理を行なうことで、力積を求めた。
STEP-2010-015	希ガスを伝播するレーザー支持デトネーションにおける多価電離モデルの影響 白石裕之(大同大・工)
	希ガスを伝播するレーザー支持デトネーション(LSD)の数値流体解析における多価電離モデルの影響を、伝播形態およびエネルギーバランスに関して論ずる。

<初日:会議室B>

【磁気セイル】

STEP-2010-016	イオン慣性長スケールにおける磁気セイルの推力特性に関する3次元ハイブリッド粒子シミュレーション 梶村 好宏(ISAS/JAXA)
	磁気セイルや磁気プラズマセイルは、宇宙機に搭載したコイルによって磁場を生成し、太陽風との相互作用から形成される磁気圏を介して推進力を得る。得られる推進力は、磁気圏の大きさに依存し、想定されている磁気圏のスケールは、太陽風のイオンの粒子効果が支配的なイオン慣性長スケール(数km~数十km)である。よって、その推力特性の評価には、イオンを粒子として扱うハイブリッド粒子モデルを用いることが有用である。本発表では、コイルの磁気モーメントの方向を太陽風の流れに対して0度~90度まで変化させた際の、推力値、推力ベクトル、トルク特性について、3次元ハイブリッド粒子モデルを用いた数値解析による結果を報告する。

STEP-2010-017	磁気セイル磁気圏における電流分布計測 大塩裕哉(総研大)
	次世代の深宇宙航行用推進システムの候補として磁気セイルが提案され研究が進められている。磁気セイルは、コイルのみで構成され、太陽からやってくるプラズマ流である太陽風を人工の磁場で受け止めることにより磁気圏を形成する。磁気圏境界に流れる電流とコイルとの相互作用により推力が発生することが、電磁流体解析によって明らかになっている。地上実験においても、推力の直接計測が行われているが、コイルに働くトルクや推力ベクトルなどの計測には至っていない。そこで、本研究では新しく製作した電流プローブを用いて磁気セイル磁気圏の電流分布を計測し、磁気セイルに働く力を定性的に評価する。

【ヘリコン】

STEP-2010-018	密度ヘリコンプラズマを用いた無電極電気推進研究計画 篠原俊二郎(東京農工大・工)
	ヘリコン波プラズマ生成は、無電極かつ柔軟な外部パラメータで、高電離・高密度プラズマが達成可能である利点を持つため、核融合、宇宙プラズマモデリング、推進、産業応用等の種々の分野で広く用いられている。我々はこの高密度ヘリコンプラズマを用いて、深宇宙探査などに重要な完全無電極(長寿命)で高効率の電磁推進研究をプロジェクトとして始めた。講演では本研究計画を、ヘリコンプラズマ生成結果と新提案の推進法と共に紹介し、一例として回転磁場を用いた推進法の初期研究についても述べる。

STEP-2010-019	高密度ヘリコンプラズマを用いた無電極電気推進(リサーチ加速における電場浸透解析) 松岡健之(ISAS/JAXA)
	高密度ヘリコンプラズマを用いた無電極電気推進におけるプラズマ加速の方式として、リサーチ加速が実験的に研究されている。リサーチ加速におけるテスト粒子軌道モデルによると、推力はプラズマに印加した電場の二乗に比例するのでプラズマへの電場浸透を予測することは重要である。1次元解析モデルと粒子シミュレーションを比較したところ両者に定性的な一致がみられ、電界浸透はある無次元スケールパラメータであらわされることが分かった。

STEP-2010-020	誘導性結合プラズマによる無電極電機推進の数値解析 原口宣彦(筑波大・院)
	近年推進機の寿命を延ばすための方法として、無電極電気推進の開発が研究されている。本研究では、誘導結合プラズマを用いた電熱加速型の推進機の推力評価を、電磁流体コードを用いて、投入電力、周波数などを変えて数値解析を行った。解析結果から、投入電力の増加と共に、比推力が上昇していくことがわかった。具体的に示すと、投入電力が1.0kwの際に、比推力は百数十秒得られている。しかし、投入電力の増加により推進効率の低下が見られた。したがって、投入電力が有効に運動エネルギーに変換されなかったことが示唆された。また、周波数の変動によって表皮効果に及ぼす影響も検討した。

STEP-2010-021	誘導プラズマ加熱と回転磁場を用いた無電極電気推進機の開発 榎伯仁(名大・工・院)
	高周波を用いた無電極電気推進機を開発し、その作動特性を実験的に検証した。推進剤は径方向に配置された4本のパイレックスガラス管を通して供給され、そのガラス管内で誘導加熱により電離する。さらに、プラズマは中央のパイレックスガラス管に導入される。それぞれの径方向ガラス管にはコイルが巻きつけてあり、これらに交流の電流を流すことで中央ガラス管内に回転磁場が形成され、電子が回転磁場の磁力線に沿って動くことで、周方向に電流が生じる。この電流に対し定常の磁場を印加することで、ローレンツ力を発生させプラズマを加速する。本研究ではプラズマの生成を確認しており、その結果について報告する。

【軌道計画法】

STEP-2010-022	電気推進を用いたSOLAR-C軌道計画問題の多目的設計探査 大山聖(ISAS/JAXA)
	多目的設計探査技術をもちいて、電気推進を用いたSOLAR-C軌道計画問題のもつ特性を明らかにする。本研究では、第1周回軌道の設計最適化問題および第5周回軌道の設計最適化問題の多目的設計探査を行い、初期の軌道設計問題と後期の軌道設計問題の持つ特徴の違いを明らかにする。

【電熱加速】

STEP-2010-023	低毒性推進剤HANを用いた直流アークジェットスラスタの性能特性 藤田雄也(大阪工大・工・学)
	直流(Direct Current: DC)アークジェットスラスタの推進剤として多く用いられてきたものにヒドラジン(N ₂ H ₄)がある。しかしヒドラジンは発がん性物質であるため、安全管理が難しくコストや時間の面で問題があった。HAN(ヒドロキシルアンモニウムナイトレート(NH ₃ OHNO ₃))系推進剤はその点においてヒドラジンを超える燃焼性能、低毒性であることから取り扱いも非常に安全であるため、海外の研究機関などで注目されている。しかし、HAN系推進剤はその急激な燃焼性能から安定した燃焼が困難であるとされている。本研究では高真空チャンバ内で実際にHAN系推進剤の主燃焼生成物H ₂ O、CO ₂ 、N ₂ 混合物、もしくはHANそのものを使用して噴射実験を行い、アーク加熱流が電極に与える影響を評価した。さらにアークジェットスラスタの推力特性を調べた。

STEP-2010-024	Xバンドマイクロ波を用いた電熱加速型マイクロスラスタの性能評価 鷹尾祥典(京大・工)
	高機能な超小型衛星実現に不可欠となる超小型推進機を対象として、これまでに筆者らは4 GHzのマイクロ波を用いた電熱加速型マイクロスラスタを作成し、実験と数値解析の両面から研究開発を行ってきた。本研究では、更なるプラズマ源の小型化と推進性能の高性能化を目指してXバンドマイクロ波(11 GHz)を用いたマイクロスラスタを作成し、その性能評価を行った。周波数の上昇に伴い、プラズマ源の長さは10 mmから4 mmへと短くなり、同じ投入電力に対して電力密度が増加するため、プラズマ源の電子密度およびガス温度は10%程度上昇し、その結果、推力および比推力ともに同程度の向上が得られた。

STEP-2010-025	マイクロ・マルチ・プラズマジェット・アレイ推進機の作動性能評価 人見亮輔(東海大・院)
	本研究では、Nd:YAGレーザー第5高調波(波長213nm)を用いて微細加工したマイクロアレイノズルのコールドガス作動及び、放電作動時における推進性能評価および長物体距離光学系による観察を行った。マイクロノズルは厚さ0.5mmの石英板ガラスに加工し、ノズル出口角は500&#amp;#61549;m, スロートサイズは $dt=60\mu\text{ m}$ と $90\mu\text{ m}$ とした。3×3マイクロ・マルチ・プラズマジェット・アレイ推進機を用いて放電作動試験を行った。各推進剤流量における放電特性を観察し、放電形態の遷移を確認した。放電作動時の推進性能は推進剤流量が11.25mg/secの時、 $dt=60\mu\text{ m}$ では推力8.6mN, 比推力78sec, $dt=90\mu\text{ m}$ では推力6.9 mN, 比推力62secとなり、スロートサイズの縮小による推進性能の向上を確認した。

【材料スパッタリング】

STEP-2010-026	斜入射粒子によるスパッター粒子の角度分布 剣持貴弘(同志社大・生命医科)
	スパッター粒子の角度分布は、計算機シミュレーションでイオンエンジンのアクセルグリッド損耗を評価する上で、その初期条件として重要な物理量となる。しかしながら、スパッター粒子の角度分布を与える公式として信頼性が高いものは、垂直入射に対するコサイン分布のみである。グリッド損耗は斜入射粒子によるスパッタリングが主であり、より詳細なグリッド損耗評価を行うためには、斜入射粒子によるスパッター粒子の角度分布を与える公式が必要とされる。本研究では、斜め入射のスパッタリング機構を考慮し、理論的に斜入射粒子によるスパッター粒子の角度分布を与える公式を導く。その結果をシンポジウムにおいて報告する。

STEP-2010-027	低エネルギーXe+ビーム照射による炭素スパッタリング収量測定 村松賢一(同志社大・工・院)
	イオンエンジンの寿命評価には詳細なXe-Cのスパッタデータが必要である。理論的に予測されるXeIによる炭素スパッタ閾値エネルギー約160eVに対して、それ以下のエネルギーでも有意なスパッタ収率が観測されるとの実験報告がある。この閾値エネルギー以下での炭素スパッタの詳細なメカニズムを明らかにするため、1keV以下のXe+ビームによる炭素スパッタ収量の精密な測定を行う。磁場偏向型質量分析装置によりXe+を質量分離し、分離されたXe+ビームを、炭素薄膜を形成したQCMセンサー(水晶振動子微量天秤)に照射することによりスパッタ収量測定を行う。今回は500eVにおいてもスパッタ収量測定が可能でビーム電流量を得たので、この実験結果について報告する。

STEP-2010-028	炭素材料表面における粒子バランスの基礎研究 村本哲也(岡山理科大)
	現在、開発が進められているイオンエンジンのグリッド耐久認定用数値解析ツールにおいて、グリッドの損耗や変形をもたらす低エネルギー範囲でのスパッタリング・再付着現象に関する情報が必要とされている。今回の発表では、これらのスパッタリングや再付着の素過程に関するデータベース整備のために試みられた分子動力学シミュレーションについて紹介する。

STEP-2010-029	JIEDIコードへの微分スパッタ収量モデルの組み込みとその評価 中野正勝(産技高専)
	多大なコストと時間がかかるイオンエンジンの耐久性能評価を数値的に支援するためにイオン加速グリッド耐久認定用数値解析ツール(JIEDIツール)が開発されている。これまでに開発されたグリッド損耗計算コードではWilliamsの実験から得られたスパッタ収量データを用いていたが、今回はJIEDIツールの研究開発により得られた微分スパッタ収量モデルを組み込み比較と評価を行った。その結果について報告する。

STEP-2010-030	イオンエンジングリッド損耗解析における電子モデルの検討 宮坂武志(岐阜大・工)
	イオンエンジンのミッション時間の長期化に伴いグリッド損耗等の最近、実時間による試験に代わるイオンエンジン評価法として注目されているのが数値シミュレーションによる評価である。エンジン内のイオン、電子をすべて粒子として取り扱うと計算コストが膨大になる。そこでFlux-tube等のモデルを導入することにより計算時間の短縮化が行われている。本発表では、特に電子密度評価に用いられているBoltzmannの関係式のモデルが損耗評価に与える影響について着目し、電子を粒子として取り扱うモデルを適用した場合とBoltzmannの関係式を適用した場合について解析・比較を行った結果について報告する。

<2日目:会議室A>
【テザー】

STEP-2010-031	エレクトロダイナミックテザー(EDT)を用いた小型衛星の軌道解析と姿勢制御に関する研究 吉村尚倫(静岡大)
	近年、小型衛星が低予算・短期間で開発ができることから、大学教育や商業利用の分野で活発になっており、小型衛星に搭載できる高効率の推進方法が求められている。EDTは、導電性テザーに電流を流し、地球磁場との相互作用によるローレンツ力を利用する推進方法で、推進剤を殆ど使わない高効率の推進方法として、スペースデブリの廃棄や人工衛星の軌道保持などに利用できるとして期待されている。本研究では、EDTを搭載した小型衛星の1年の運用を想定し、小型衛星の運用期間中の軌道保持と運用期間後の衛星破棄性能を解析により求めた結果について報告する。
STEP-2010-032	カーボンナノチューブを用いた導電性テザー用電界放出カソードの電位条件と動作特性に関する研究 松本拓也(静大・工・院)
	現在、軌道に増加しつつあるスペースデブリの除去方法として、エレクトロダイナミックテザー(EDT)システムが有力視されている。EDTシステムの性能を決定する大きな要因として電子放出源の性能が挙げられ、電子放出源の性能の向上が重要である。JAXAでは、カーボンナノチューブ(CNT)を使用した電界放出型カソード(FEC)の開発を行っている。EDT用FECでは、周辺プラズマや宇宙機との相対的な電位関係により、電子放出性能が影響を受ける。このため、本研究では電極の電位条件と電子放出性能の関係について模擬実験とFlux-Tube(FT)法を用いた数値解析を行った。その結果について報告する。
STEP-2010-033	エレクトロダイナミックテザー用ホローカソードの動作特性とその評価 宇戸昌聡(静大・工・院)
	現在研究が進められているスペースデブリ除去システムであるエレクトロダイナミックテザー(EDT)システムの電子放出源として、ホローカソード(HC)を用いることを想定し、研究を行っている。EDTシステムでは、従来のHCの動作領域よりも少ない放出電流領域(~ 0.4 [A])での動作点が要求され、本研究では、そのような運用に特化したHCの動作条件を検討するのが目的である。一般にHCは低放出電流領域では動作が不安定になりやすく、過去に同条件下での特性についての情報があまり多くないため、今回、EDTシステムにおいて運用が可能な動作点での特性の評価と構造の検討を地上試験に基づき行ったので、その結果を報告する。
STEP-2010-034	エレクトロダイナミックテザー用電界放出カソードの基本性能と制御手法について 村田文彦(静大・工・学)
	現在、エレクトロダイナミックテザー用の電子放出源として、カーボンナノチューブを使用した電界放出カソード(FEC)の研究・開発を進めている。FECの性能を決定する重要な要因の一つとして β 値と呼ばれる電界増倍係数が挙げられる。本研究ではアノード-カソード間の二枚の電極間隔を変化させ、 β 値の測定実験を行い基本性能の評価を行った。一方で、宇宙空間でFECを運用するためには一定した電流が必要であり、電極間の電圧制御が必要不可欠である。これより、実験より得られた基本性能を元に軌道上での運用を想定したFECの制御プログラムの作成を行い、プログラムの妥当性について評価を行った。
STEP-2010-035	S520-25による導電テザー荷電粒子収集実験の結果について 高木暁生(静大・工・院)
	現在、推進剤を必要としない様々な推進方法が研究されており、その一つとして、導電テザーと呼ばれるワイヤに流れる電流と地球磁場の相互作用により推力を得る方式が注目されている。テザーに電流を流すためには軌道上のプラズマから荷電粒子を収集、放出する必要があり、収集理論として軌道運動制限(OML)理論が提唱されているが、決定的ではなく、この理論は等方、静止プラズマに関する理論のためプラズマとテザー間に相対的な流れがある軌道上では適用できない可能性がある。そこで、実際に宇宙でOML理論が適用可能か検証する必要があり、2010年夏に観測ロケットによる実験が行われた。本研究では、その実験の概要と結果について報告する。
STEP-2010-036	スターダスト推進機のための推進剤供給装置の開発 石井克典(静大・工・学)
	現在の宇宙輸送システムでは、推進剤を全て地球から持参するために搭載できるペイロード質量が大きく制約されてしまう。イオンスラスタのような推進機でさえ、外惑星探査ではそのような制約を受けてしまう。そこで、我々は宇宙塵に注目し、ミッション途中で回収した塵を推進剤として利用することでペイロード増加を図る可能性について研究している。宇宙塵のサイズは数 μ m \sim 数十 μ mとされており、昨年度は50 μ mの炭素粒子を用いてプラズマを介して帯電させ加速する実験を行い、推力の測定に成功した。本報告では、5 μ mの炭素粒子を用いた加速実験結果報告及び、無重力下での使用を想定した粒子供給装置について述べる。

【プレナリー】

STEP-2010-037	はやぶさサンプラーコンテナの受け入れとサンプルキュレーション 藤村彰夫(ISAS・JSEPC/JAXA)
	キュレーション設備では、はやぶさのサンプラーコンテナを受け入れ、コンテナの開封を実施し、内部からサンプルの回収を行っている。サンプラーコンテナが破損することなく、予定通り回収されたことで、その後のキュレーション作業は順調に進んでいる。回収された固体サンプルは、総量は非常に少ないが、総数は膨大な微細粒子であったが、小惑星イトカワ由来であることが明らかとなった。これらサンプル回収の状況、走査電子顕微鏡などで得られた記載情報の例、イトカワ由来であることの根拠、また、今後、このサンプルが世界中にどのように配布され研究に供されるのかについても述べる。
STEP-2010-038	マイクロ波イオンエンジンの商業展開 堀内康男(NEC)
	「はやぶさ」で軌道上実証されたマイクロ波放電型イオンエンジン μ 10の商用事業化計画について紹介する。「はやぶさ」の7年間のフライトを通じて示された、マイクロ波イオンエンジンの特徴であるロバスト性、取扱容易性は海外においても高く評価されている。NECは米国エアロジェット社との間で μ 10をベースに改良を加えた汎用型イオンエンジンの開発・製造・販売に関する事業提携契約を締結した。本講演では、汎用型イオンエンジンの開発状況と事業提携内容、および今後の事業活動計画について述べる。

STEP-2010-039	超低高度衛星技術試験機(SLATS)計画 高畑博樹(JAXA)
	超低高度衛星は、従来の周回衛星と比較して地表面との距離が短くなるため、観測分解能の大幅な向上や、センサの小型化・低消費電力化が期待される。しかし、超低高度軌道では、大気抵抗により従来の衛星では3日から1週間て落下してしまうため、継続的に運用するためには、常に大気抵抗を補償して高度保持を行うことが必須である。超低高度衛星技術試験機(SLATS)では将来の実用衛星の実現に向けて、イオンエンジンによる高度保持実験を実施する。JAXAは、将来の実用ミッションの実現に向けた超低高度衛星技術の実証を目指し、SLATSの基本設計を開始している。本講演では、SLATSの計画について報告する。

STEP-2010-040	「はやぶさ2」ミッションの概要 吉川真(JAXA)
	「はやぶさ2」は、「はやぶさ」が小惑星イトカワへのタッチダウンを予定通りに行えなかったことを受けて、2006年に提案されたものである。当初の提案では、「はやぶさ」と同等のミッションをイトカワとは別の種類(C型小惑星)の小惑星について行うというものであったが、その後、人工クレーターを作るという新たなミッションも追加したものとして再提案された。技術的な目的は、「はやぶさ」で挑戦した技術をより確実なものにすることであり、理学としての目的はC型小惑星を探索しサンプルリターンを行うことで、鉱物に加えて有機物や水の起源にも迫るというものである。ここでは、これまで検討されたミッションの内容について報告する。

【MPDアークジェット】

STEP-2010-041	外部磁場印加型2次元MPDスラスタにおける推力の磁場強度依存性 田窪将也(横浜国大・工・学)
	MPDスラスタは高い推力密度と高比推力の2つの特長を併せ持つ電気推進機であり、自己誘起磁場型と外部磁場印加型の2つのタイプに分類できる。また、さらにそれぞれのタイプを電極形状によって同軸型と2次元型に分類することが出来る。自己誘起磁場型のMPDスラスタは十分な性能を発揮するために数百kWの電力が必要で、近い将来の実用化を目指すには現実的でない。一方、外部磁場印加型では外部から磁場を供給することで放電電流を低く抑え、投入電力が小さくとも高効率を達成できる可能性がある。本研究は外部磁場を独立電源から供給し外部磁場印加型2次元MPDスラスタの推進性能における供給磁場強度依存性の取得を目指すものである。

STEP-2010-042	外部磁場重畳型MPDでの推進効率改善効果 高橋直大(東北大・工・院)
	MPD推進機に外部磁場を重畳することで推力増加、電極損耗の回避など有用な効果が期待される。今回、He、Ne、Ar、Kr等の各希ガス種を用い、マッハ数、プラズマ流速、温度、密度等を計測し、噴出されたプラズマ諸量を評価することで推力と比推力の算定を行った。0.4Tまでの外部磁場を重畳することでAlfven臨界速度を超えて軸方向速度が増加し、あわせてプラズマ密度・温度が上昇した結果、MPDで発生した推力も増加し、推進効率が向上する結果を得たので報告する。

STEP-2010-043	MPDスラスタにおける電極シースの形成と推進性能に関する数値計算 瀧口貴一人(東工大・総理工・院)
	本研究はMPDスラスタ電極近傍におけるシース領域での電圧降下について数値計算によって求め、シース電圧を考慮に入れた電極間電圧からより精確な推進性能の評価を目的としている。計算モデルとして陽極・陰極表面にイオンシースを仮定し、プラズマ・プレシース境界の電子温度・電子数密度・電流密度からシース電圧の値、電子による熱損失を評価した。本発表では、推進剤Ar(0.8g/s)のもと放電電流値を変化させた場合のシースの挙動、推進性能について報告する。

STEP-2010-044	ホローカソードを用いた定常作動型2次元MPDスラスタの作動特性 米元聖貴(名大・工・院)
	陰極にホローカソードを用いた定常作動型2次元MPDスラスタの作動特性を報告する。MPDスラスタの問題として、電極の劣化が挙げられる。これを背景とし、陰極には2%トリウム入りタングステンの代わりに、寿命が長く電子生成効率の良いホローカソードを用いたスラスタを製作した。外部磁場は推進剤を直接加速させる向きに印加する。このスラスタを用いて、外部印加磁場、放電電流、推進剤流量、陽極陰極間距離を変えたときの放電電圧、推力を取得し、作動特性を評価する。

STEP-2010-045	Numerical Investigations of an MPD Thruster with Repetitive Operations 朱國源(東工大・総理工・院)
	The performance of a self-field MPD thruster under repetitive operations has been examined numerically. For an input power of 100 kW and argon propellant of 1.15 g/s average injection rate, thrust and thrust efficiency were surveyed for various discharge frequencies under operations of continuous and repetitive propellant injection. The results suggest that thrust efficiency of repetitive discharge and steady injection operation can be improved with increasing discharge frequency owing to a relatively high time-averaged electro-magnetic thrust and suppressed aerodynamic thrust deterioration. However, the thrust performance cannot be improved further under repetitive injection operation.

STEP-2010-046	2次元軸対称流モデルを用いたMPDスラスタの電極形状最適化 高橋好学(日大)
	MPDスラスタは、高い比推力と推力密度を持ち、月や火星への大規模軌道間輸送、有人探査ミッションの主推進器として期待されている。しかしながら、抱える問題も多く、未だ実用化には至っていない。特に、電力から推力への変換効率を表す推進効率は、他の電気推進器と比べると低く、実用化の妨げの1つとなっている。そこで、我々は推進性能が電極形状に依存していることに着目し、形状を最適化することで推進効率の改善を目指す。具体的にはCFD計算を行い、得られた性能を元に最適化手法を用いて、さらに高性能となる形状の探索を行う。そして、高効率を発揮するMPDスラスタの設計指針の獲得を目指す。本発表ではその結果を報告する。

STEP-2010-047	水素MPDスラスタにおける放電室流れ場の放電電流依存性 佐藤博紀(総研大)
	MPDスラスタ(MPDT)の推進効率は推進剤に依存し、水素推進剤を用いた場合に比較的高性能を達成できるが、同時に、理論臨界電流より低い放電電流作動でも放電電圧が振動していることが報告されている。放電電圧の振動は実用上、好ましくないため、対策を考えるためにも原因を探る必要があるが、軸対称MPDT放電室内部のプラズマ流を詳細に診断するのは難しい。そこで、本研究ではフレア形状の水素MPDT放電室内部を、各種実在気体効果を考慮した電磁流体方程式を数値解析的に解くことで数値模擬し、水素MPDT放電室流れ場の放電電流依存性について調べたので、その結果について報告する。

<2日目:会議室B>
【イオンエンジン】

STEP-2010-048	3D Microwave CUDA simulation and measurement of the μ 10 ECR ion engine M. Bodendorfer (ISAS/JAXA)
	A massive parallel 3D microwave simulation was created to analysis the microwave field distribution inside the μ 10 ECR ion engine. The simulation allows to investigate the microwave leakage from the thruster head into open space at an unprecedented level of detail. At a resolution of $500 \times 500 \times 510$ cells (127.5 Megacells), the simulation time to steady state requires less than 24 hours on a C1060 GPU card. Microwave measurements with a newly designed microwave transparent PTFE gimbal mechanism allow field pattern mapping of the ion engine of 4π space angle. Comparing the measured with the simulated microwave field pattern enables the calibration of the simulation. Subsequently, microwave suppression concepts can be designed in the simulation before the hardware implementation. This procedure can significantly reduce development time of such microwave modification structures. Furthermore, the high resolution of the ECR discharge chamber of the μ 10 ECR ion engine enables the development of a plasma simulation. This would allow the investigation of the interaction between incident microwaves and the ECR plasma.
STEP-2010-049	大気吸込式イオンエンジンのための原子状酸素風洞開発 久本泰慶(総研大・院)
	人工衛星や高々度観測気球で直接観測できない高度域を、全地球規模で長期間観測するという理学的関心は近年非常に高くなってきている。大気吸込式イオンエンジンは、高層大気を推進剤とするイオンエンジンで大気抵抗補償を行うプロペラントレス電気推進機である。希薄な高層大気を吸込み放電室において圧力を高めるところに最大の特徴があり、このコンセプトを実証するためには超低軌道環境を模擬する事が必要不可欠である。本発表では開発中の原子状酸素風洞の性能について報告する。
STEP-2010-050	小型イオンエンジンのグリッド設計 山本直嗣(九大)
	電気推進の製作を通じた教育的効果の検証が一昨年、防衛大学の中山先生が提案された。これに触発され、昨年は学部3年生に、小型ホールスラスタの設計・製作およびその性能の測定をしてもらった。今年はイオンスラスタのグリッド設計をしてもらい、これらを通して、宇宙や工学に興味を持ってもらうことを目的とする。、彼らが構築した設計指針およびその結果としての推進性能を報告し、合わせて、教育的効果についても述べる。
STEP-2010-051	小型マイクロ波放電型イオンスラスタのマイクロ波周波数依存性 杉田健策(九大・工・院)
	本実験では小惑星探査機はやぶさに搭載され、その優位性を示したマイクロ波放電型イオンエンジンを小型衛星用に小型化したスラスタを使用している。小惑星探査機はやぶさの推進剤 μ 10では4.2 GHzの高周波を使用している。しかし、投入するマイクロ波の周波数が高くなるとケーブルや部品などでの損失が大きくなる。なので、低周波でも高周波と同様の推進効率が達成できるとシステム全体の効率は向上する。そこで本研究では、マイクロ波周波数依存性を調べることを目的とした。結果として、マイクロ波周波数4.2GHzと2.45 GHzと比べても0.9GHzで十分に推力、推進効率が得られ、マイクロ波周波数は0.9GHzの使用が望ましいと考えられる。
STEP-2010-052	強誘電体材料を用いた静電加速型マイクロスラスタにおけるイオン・電子放出の基礎特性評価 北西駿典(京大・工・院)
	今後の宇宙開発において超小型衛星は重要な役割を担うことが期待されている。その姿勢・軌道制御にはマイクロスラスタが不可欠であり、著者らは強誘電体材料を用いた中和器不要の静電加速型マイクロスラスタの実現を目指して研究開発を行っている。このマイクロスラスタは、強誘電体に高圧両極性パルスを印加することでその表面にプラズマを生成するとともに、印加された正負それぞれの高圧パルスによりイオン・電子双方を加速放出することで推進力と中和機能の両機構を作り出す。本研究では、基礎特性評価として様々な条件下における種々の強誘電体材料(SLN, CLN, PLZT, Soft BTO)からのイオン・電子放出量を測定した。
STEP-2010-053	超低電力小型イオンエンジン μ 1の研究と開発状況 小泉宏之 (ISAS/JAXA)
	本発表では、超低電力小型イオンエンジン μ 1の研究と開発状況を報告する。 μ 1は10-100kg級小型衛星用の並進および姿勢制御をターゲットとしたマイクロスラスタである。 イオン源は投入マイクロ波電力1.0Wおよびキセノン流量15 μ g/sにおいて、 推力0.29mN、イオン生成コスト210 W/A、推進剤利用効率46%の性能を有する。また、同型プラズマ源を電子放出源として転用し、イオン源と同レベルの小型中和器の開発に成功した。この結果、中和器の電力・流量を考慮したイオンエンジンの性能評価が可能となった。また、ヘッド開発に並行して、現在 μ 1に適合するサブコンポーネント(マイクロ波電源、小型バルブ、etc)の開発・選定を行っている。これらの結果を合わせて、本発表では現時点における μ 1システムの性能評価結果を報告する。
STEP-2010-054	はやぶさイオンエンジンの性能履歴と運用に関する考察 西山和孝(ISAS/JAXA)
	史上最長の25000時間以上の宇宙動力航行を達成した「はやぶさ」イオンエンジンの性能変化の履歴をまとめる。また、多大な労力を投入したエンジン・探査機運用を振り返り、イオンエンジンを用いる将来の深宇宙ミッションに向けた改善策を考える。

STEP-2010-055	<p>誘導結合プラズマを用いた電子源の内部プラズマ診断 渡邊裕樹(首都大・院)</p> <p>高比推力、低推力を特徴とするイオンスラスタは、所定の総力積を達成するために数万時間の作動を要求し、現在、その長寿命化および高信頼性が課題となっている。これらを克服するため、従来のホローカソードに代わり、誘導結合プラズマを用いた電子源のイオンスラスタへの適用検討をこれまでにを行い、その実現性を確認したが、実用化には電子源の消費電力の低減が必要であることがわかった。本研究では、電子源の低電力化を目指して、探針法による電子源内部プラズマの診断を行い、プラズマ物性が電子放出特性に与える影響を評価した。これにより、内部プラズマの電子数密度と放出電子電流に強い関係性が確認されたので、報告する。</p>
STEP-2010-056	<p>可視化イオンエンジンによるビーム軌道計測 岩崎純一(防衛大・院)</p> <p>イオン生成部からイオン抽出までを2次元可視化したイオンエンジン(VIT-1)を用いてイオンビーム軌道計算コードの検証を行ってきており、より詳細な検証を行うことを目的として、大型化した2次元可視化イオンエンジン(VIT-2)を製作した。VIT-2は、電子源位置、バップル、磁場形状、放電経路の変更が容易に可能であり、不均一性を持ったプラズマを生成することができる。このVIT-2を用い、様々な生成プラズマに対するビーム軌道を可視化計測した。また、2次元イオンビーム軌道計算コードigx_2Dの計算結果との比較も行ったので、併せて報告する。</p>
STEP-2010-057	<p>小型マイクロ波放電式イオンエンジンの両極性作動における中和性能の評価 泉雄大(静大・学)</p> <p>現在、小型衛星への搭載を目的とする小型推進系の研究として、高比推力で多くの作動実績を有するイオンエンジンの小型化が行われている。この小型化に対して、複雑な構造と低電力化が困難であることが問題であったが、マイクロ波放電式の利用やアンテナおよび磁場の最適設計により実現されつつある。この小型イオンエンジンに対して、イオン源と電子源の選択が可能なプラズマ源を用いる新しい動作方法が提案された。従来、一組のエンジンの電子源位置は最適化されてきたが、イオン源から大きく離れた位置の電子源に対する研究は行われていない。本研究では、この新しい動作方法に対して、イオン源と電子源の配置による中和性能の変化を評価する。</p>
STEP-2010-058	<p>マイクロ波放電式中和器の性能低下モデルとその実験的検証 大道渉(東大・院)</p> <p>マイクロ波放電式イオンエンジン&#181;10は小惑星探査機「はやぶさ」に搭載され、1つのシステムとしての積算作動時間は4台で40,000時間に迫り、世界一の宇宙実績と高い信頼性を示している。しかしながら「はやぶさ」プロジェクト終盤に、中和器と呼ばれる主要コンポーネントの性能低下によってイオンエンジンが自動停止した。これはすぐに復旧されたものの中和器の性能低下がイオンエンジン全体の寿命を律速してしまっていることを際立たせた。本研究では中和器の耐久性向上を最終目的としている。本学会においては、中和器性能低下モデルとそのモデルの実験的検証について発表する。</p>
STEP-2010-059	<p>マイクロ波放電式イオンエンジンにおける中性粒子数密度測定 月崎竜童(東大・工・院)</p> <p>「はやぶさ」に搭載されたマイクロ波放電式イオンエンジン&#181;10は、グリッドの設計・推進剤の供給方法を変更することで推進性能の改善に成功した。この過程において、エンジン内部にどのような変化が起き、性能改善につながったのか解明するため、Xe(823 nm)を対象にレーザー吸収分光法を光ファイバ活用してエンジン内部に適用した。光ファイバは絶縁性や耐熱性に優れ、従来にラングミュアプローブなどに比べマイクロ波電磁場に対する擾乱も小さい。さらにファイバを掃引することで光路長が変化し、測定対象域を変化させることを可能にした。今回、エンジンの中心部における導波管から放電室にかけての中性粒子数密度分布の取得に成功した。</p>
STEP-2010-060	<p>SOLAR-C極域観測ミッション案向けイオンエンジンの開発・検討状況 細田聡史(JSPEC/JAXA)</p> <p>黄道面離脱型太陽観測ミッション向けに検討中の、マイクロ波放電式イオンエンジンμ 20の開発・システム検討状況について報告する。イオン源の長時間運転試験では、比推力2800秒仕様で10000時間の累積作動時間を達成した。目下の課題は中和器の寿命確保とDCブロックの損失低減さらなる高比推力化である。</p>