

-非化学推進 アブストラクト-

<初日:会議室A>

【イオンエンジン】

STEP-2009-1	<p>マイクロ波放電式イオンエンジン$\mu 10$における光ファイバを用いた内部探針 月崎竜童(東大・院)</p> <p>小惑星探査機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$\mu 10$は、グリッドシステム及び推進剤供給方法の改善により推力が25%向上し10.1mNを達成した。推進剤の供給孔のレイアウトの変更によって、エンジン内部のプラズマ分布がどのように変わったのか調査するため、光ファイバをグリッド前面より挿入し内部の発光分布測定を行った。これにより導波管部において発光を確認し、導波管におけるプラズマがマイクロ波の伝播に干渉している可能性が高いことが判明した。推進剤投入孔の変更は導波管プラズマの着火を遅らせることで性能向上に寄与したと推定される。</p>
STEP-2009-2	<p>マイクロ波放電式中和器の耐久性に関する研究 大道渉(東大・院)</p> <p>イオンエンジンの中和器として用いられるマイクロ波放電式中和器は、従来の直流放電式のそれと比較して無電極でプラズマを生成することができるため、放電電極損耗という劣化モードを根本的に解決した。しかし、ISAS/JAXAの工学実験探査機はやぶさでしか宇宙実証を行っておらず、数千~数万時間規模の劣化モードはいまだ明らかになっていない。そこで本研究では中和器の耐久性を向上させることを最終目標と設定し、耐久試験で用いた中和器を用いて劣化モードを解明する手順と経過を報告する。</p>
STEP-2009-3	<p>「$\mu 20$」イオンエンジンの開発状況 -運転6000時間- 細田聡史 (ISAS/JAXA)</p> <p>20cm級マイクロ波放電式イオンエンジン「$\mu 20$」の開発は、基礎実験を終え、昨年より長時間運転試験に突入している。長時間運転試験においては、設計の問題点を洗い出しつつ、これまでに累積6000時間の作動を達成した。本講演では、こまでの推進性能とグリッドの形状変化について報告する。</p>
STEP-2009-4	<p>小型イオンエンジンシステム$\mu 1$を用いた両極性運転の実証 ○小泉宏之(ISAS/JAXA)</p> <p>本研究では、単一のプラズマ源から電源の切替によってイオンビーム引出と電子放出を切替える事ができる(両極性作動)イオンエンジンシステムの実証を行った。本システムは、重量電力制限の厳しい小型衛星用のマイクロスラスタとして提案しているものである。中和器専用の機器を搭載することなくイオンエンジンの運転が可能となる。小型プラズマ源には1Wのマイクロ波電力で作動する小型イオンエンジン「$\mu 1$」を用いた。2台のイオンエンジン「$\mu 1$」に対して両極性作動用に設計した専用グリッドを用いて両極性作動運転の実証を行った。実験の結果、電子引出に必要な接触電圧はノミナル運転状態(投入マイクロ波電力1.0 W, 作動流量0.15 sccm, イオン電流3.7 mA)において40 V程度であり、良好な運転が可能である事が実証された。</p>
STEP-2009-5	<p>First economic massive parallel (CUDA) Finite Difference Time Domain (FDTD) simulation of the $\mu 10$ ion thruster head for evaluating electro-magnetic emission suppression concepts ○M. Bodendorfer (ISAS/JAXA)</p> <p>100 fold increase in computation speed is reported using the Compute Unified Device Architecture (CUDA), a massive parallel programming platform for desk-top PC graphics cards by NVIDIA, to perform an FDTD numeric simulation of the $\mu 10$ Electron Cyclotron Resonance (ECR) ion engine. A gap between the $\mu 10$ ECR discharge chamber and the ion extraction grids features a geometric extent larger than the microwave wavelength and therefore enables microwave transmission from inside of the thruster to the outside and free space. Since this gap volume of interest features a large length-to-thickness aspect ratio, the number of FDTD cells in the simulation becomes very large and the model cannot be computed on classic desktop CPUs within reasonable system resources and time. In CUDA, an economic and practical alternative is presented instead of using a classic supercomputer.</p>
STEP-2009-6	<p>2次元可視化イオンエンジンの大型化 ○岩崎純一(防衛大・院)</p> <p>イオン生成部からイオン抽出部までを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)を設計製作した。VIT-2のイオン生成部可視化面積はVIT-1のそれよりも約1.8倍であり、作動させた結果、VIT-1と同様の可視化を認めた。VIT-2は不均一プラズマを生成できるように主放電用電子源の位置を調整できる特徴もっており、併せて報告する予定である。</p>

STEP-2009-7	電子サイクロトロン共鳴型イオンエンジンのカップリング ○吉田英樹(JAXA)
	電子サイクロトロン共鳴型(ECR型)イオンエンジンのプラズマ解析はECR共鳴を起こす電子群が見つからないため理論化が遅れている。今年の宇科蓮でECR共鳴可能な放電プラズマ・モデルとして『スポットダンシング・モデル』を提案している。宇科蓮では主に直流電場に関する『相転移問題』を検討したので、今回は高周波電場に関する『インピーダンス整合問題』を取り扱う。整合問題は実験報告が見つからないので確定的ではないが、解析解が存在するので原理検証実験に耐えるものと期待している。

STEP-2009-10	中型イオンエンジン用主放電電源の特性評価 ○大須賀弘行(三菱電機)
	32Vから50Vの広い入力電圧範囲で、出力電圧が+1100Vに達するビーム電源を初め、イオンスラスタに適合する中型イオンエンジン用電源の研究開発を行っている。イオンスラスタの主放電電源は、プラズマ放電の開始時に急峻な電流変化を伴うため、プラズマ放電前の定電圧制御とプラズマ放電後の定電流制御を適切に制御モードの移行ができない場合は、制御切り替え特性に不整合を生じて、放電と消滅を繰り返す電気インターフェース上の課題がある。本稿では、この主放電電源の特性評価として、実機イオンスラスタとの組合せ試験を行い、良好なプラズマ放電点特性を得ることができたので、その評価結果を報告する。

STEP-2009-11	イオンスラスタグリッド近傍の電子温度・電子密度計測へのレーザートムソン散乱法の適用 ○栗田知明(九大・総理工・院)
	現在イオンスラスタの最重要課題は加速グリッドの耐久性である。JAXAではイオンスラスタ加速グリッドの耐久性を評価するための数値解析ツール(JIEDI tool)の開発が行われている。この計算を行う上でプラズマ密度や中性粒子密度、スパッタ率、再付着率などを入力する必要があり、これらの物性値を精度よく測定することが望まれている。本研究では、それらのインプット条件であるイオンスラスタのグリッド近傍のプラズマ状態すなわち、電子温度・電子密度の計測を光学計測法の一つであるレーザートムソン散乱法を用いることによって、擾乱を与えずに高精度に測定が可能であることを示す。

【プレナリー講演】

STEP-2009-8	はやぶさイオンエンジンの現状 ～地球帰還に向けて～ ○西山和孝(ISAS/JAXA)
	はやぶさ小惑星探査機搭載マイクロ波放電式イオンエンジンμ 10は2010年6月の地球帰還を目指し運用中である。単体推力8mN、消費電力350W、4台搭載のシステムである。2010年3月までの計画で2009年2月よりイオンエンジン1台を用いて第2期軌道変換を開始した。その後2009年11月4日に中和器電圧上昇のためスラスタD停止、11月12日からはスラスタAの中和器AとスラスタBのイオン源Bを組み合わせたクロス接続により軌道変換を再開した。11月22日現在、宇宙作動積算時間3万7千時間・台、発生ΔVは2000m/s、地球帰還までの残りΔVが200m/sとなっている。

STEP-2009-9	都木恭一郎先生を偲んで ○國中均(ISAS/JAXA)
	電気推進の発展にご尽力された都木恭一郎先生が急逝された。先生の業績と人柄を偲び追悼す

【スパッタ&グリッド解析】

STEP-2009-12	Xe蓄積によるグリッド損耗の促進効果 ○剣持貴弘(同志社・生命医)
	Xe照射による炭素スパッタリングについては、入射Xeの炭素中への蓄積が、炭素グリッドの損耗に大きな影響を与えることを明らかにした。特にこの効果は低エネルギー領域において顕著であり、同様のXe-C相互作用の変化が粒子反射についても生じるものと予測される。そこで、この点についてスパッタリング解析コードACATを用いた解析を更に進め、スパッタリングが促進されるのに伴い、入射Xeの反射率が大きくなるという結果が得られた。例えば、入射エネルギー200 eV、入射角60°においてはスパッターされた炭素よりも大きな反射Xe流束が生成されることが分かった。

STEP-2009-13	低エネルギー炭素粒子再付着のMDシミュレーション ○村本哲也(岡山理科大)
	低エネルギーの炭素原子・炭素分子が炭素表面に再付着する確率を分子動力学法によるシミュレーションを通じて評価した。分子動力学法とはNewtonの運動方程式を数値計算で解き、多粒子系の運動を追跡する方法で、原子間相互作用ポテンシャルが適切であれば種々の現象(スパッタリングや吸着・拡散など)を原子過程として扱うことが可能である。これらのシミュレーション結果は、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、グリッド損耗に伴い発生するスパッタ粒子の再付着過程の情報として利用できる。

STEP-2009-14	Xe照射による炭素スパッタリング計測 ○村松賢一(同志社大・工・学)
	Xe+がCをスパッタする閾値エネルギーは160.84 eVであるが、最近の研究報告ではそれ以下でも有意なスパッタ収率が観測されている。Doerner et al., Kolasinski et al.の報告に見られる、閾値以下でのスパッタ現象の詳細なメカニズムを明らかにするため、新規に実験装置を構築した。Xe+は小型Duo-plasmatronより引き出し、四重極レンズにより焦点調整を行い、質量選別後にQCM上に生成した炭素膜に入射し、QCM, QMSの2つの計測系で測定する。引き出し電圧2 kVで0.3 μ A程度のビーム電流が得られており、1 keV以下のXe+ビームに対する炭素スパッタ率を測定中である。
STEP-2009-15	Full-PIC法によるイオンエンジン解析と損耗評価 ○宮坂武志(岐阜大・工)
	イオンエンジン内のビーム解析評価を、「Full-PIC (Particle in Cell)」法を用いて行った。即ちすべての粒子を粒子的に扱うことによって電子等のモデルによる仮定を極力減らした解析を行った。解析結果を基に、各粒子(電子・イオン)の分布の評価、及び各グリッドへの粒子衝突による損耗について評価した。
STEP-2009-16	イオン加速グリッド耐久認定用数値解析JIEDIツールの開発状況 ○中野正勝(産技高専)
	イオンエンジンの寿命予測と耐久性認定を高精度かつ短時間に行うことを目標として、イオン加速グリッド耐久認定用数値解析(JIEDI)ツールの開発が行われている。JIEDIツールの主要部は、3次元イオンビーム軌道解析コードを中心としたスパッタ損耗評価部と、スパッタ損耗に応じて計算領域のリメッシングを行うメッシングツールにより構成されている。現在、スパッタ損耗評価部の開発は終了し、メッシングツールと組み合わせた評価を行っている段階である。また、JIEDIツールの精度向上には、高精度なスパッタ率モデルの確立が必要不可欠であるため、実験と数値解析によるモデル構築も併せて行っている。これらJIEDIツールの開発状況について報告を行う。

<初日:会議室B>
【ホールスラスタ】

STEP-2009-17	ホールスラスタ用アノード電源の設計 ○大須賀弘行(三菱電機/長崎大学)
	10mNから30mNクラスの電気推進装置として、その搭載が期待されるホールスラスタの電源の研究を行なっている。ホールスラスタの特徴的な動作としては、放電時に10kHzから30kHzの低周波振動電流がアノードに発生するため、振動電流が過大になると放電が消滅するという問題がある。近年この対策は電源の出力等を適切に制御することで、振動電流を抑制できることが、知られてきている。そこで、筆者らは、この放電振動特性を調査し、ホールスラスタの放電を安定に維持することが可能となるアノード電源の設計を行なった。本稿では、この検討を行ったホールスラスタの特性とアノード電源の設計結果について報告する。
STEP-2009-18	ホールスラスタを作ってみる ○山本直嗣(九州大学・総理工)
	電気推進の製作を通じた教育的効果の検証が昨年度、防衛大学の中山先生が提案されたが、これを受けて、学部生にホールスラスタの設計・製作をしてもらい、その性能を測定した。本報告では、そのプロセス、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予定である。
STEP-2009-19	小型衛星用ホールスラスタの開発 ○江崎徹(九州大学・総理工)
	近年、小型衛星の主推進・姿勢制御用として電気推進機の需要が高まっている。その中でもホールスラスタは高エネルギー効率と高比推力を達成でき、イオンエンジンと比較して推力密度も大きいいため小型衛星への搭載が期待される。本研究室ではホールスラスタの小型衛星への搭載を目的としてホールスラスタの小型化・省電力化を行っている。本研究では小型ホールスラスタを製作し、その性能評価を行う予定である。
STEP-2009-20	ホールスラスタの振動特性と形状相似則 ○民田太郎(三菱電機)
	ホールスラスタは次世代の電気推進装置として期待されているが、放電振動現象の抑制や、長寿命化といった課題ある。放電振動については、横軸を磁束密度に、縦軸をアノード電圧とガス流量の積で表した「振動モードマップ」によって、安定領域が明確に示すことができることを既に報告した。今回、著者らは、大きさの異なる250mN級、50mN級の2つのホールスラスタについて、この振動特性を取得した。この結果、安定制御領域とスラスタの形状との間に相似則が見出されたことを報告し、このことがスラスタの設計および経年劣化時の特性予測を行なううえで重要な指針となることを述べる。

STEP-2009-21	ホールスラストの作動実験とプラズマ粒子シミュレーションによる性能評価及びチャンネル材質の影響 ○藤田 剛(大阪工大・工・院)
	Magnetic-layer型ホールスラストは構造上、作動安定性が高いという長所を持つと同時に、加速チャンネル壁が侵食されることで耐久性が問題視されるという短所を持っている。イオン衝突による加速チャンネル壁の侵食がスラストの性能特性にどういった影響を及ぼすのか、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コードを作成し、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。
STEP-2009-22	低電力円柱型ホール推進機のプラズマ計測と性能モデルに関する研究 ○圓子義寿(八戸工大)
	地上100~300kmの超低軌道における衛星運用を目的とし、小型・低電力を特徴とする円柱型ホール推進機を用い、新たな磁場配位の下で実測データを調べた。電気特性としては、電圧・電流特性が非線形特性を示すことを確認した。また、電圧・電流・電力に関する経験則を導出した。推力および比推力特性においては、実測値と従来の理論を比較すると両者の間には若干のずれがあるため、その要因を考慮する必要がある。また、推進効率の実測に対して従来の理論は対応関係が成り立たないため、新たなモデルを立案し比較した。その結果、ある程度の対応があるが必ずしも一致しない。課題として、実験データと従来の推進性能に関する理論が必ずしも対応しない原因を特定する。電場配位は変化しないが、磁場配位が変わったことから生成プラズマ粒子の運動状態が大きく変わったことによる噴出イオン収束の最適制御、構造設計の最適化が必要である。
【レーザー推進】	
STEP-2009-23	矩形型レーザー・電磁加速複合推進機の作動特性評価 ○岸田佳晃(東海大・工・院)
	矩形型レーザー・電磁加速複合推進機の作動特性について評価した。推進特性評価においては、スラストスタンドを用いたインパルスビット計測ならびにマスショットを実測することで比推力および推進効率を評価し、レーザーエネルギーや充電エネルギー(0~8.6 J)を変化させた各場合について比較検討した。計測の結果、推進性能は主として充電エネルギーに依存し、比推力5,300~7,100 secで推進効率11.8~21.3%を得た。すなわち、マスショットを制限することで、比較的高い比推力が実現可能なことを確認した。
STEP-2009-24	レーザー推進用小型高出力高繰り返しレーザー装置の性能評価 ○篠原真生(東海大・工・院)
	レーザー電気複合推進機に用いるファイバー増幅レーザーの構築及び基礎性能評価を行った。ファイバー増幅システムは種光であるレーザー発振器とファイバー増幅器で構成されたシステムである。ファイバー増幅器の利得ファイバーには希土類元素であるYb元素が添加され、高繰り返し周波数(数百kHz)で平均出力が数十Wレベル、ピーク出力が数百kWの高ピーク出力パルス増幅が可能で、固体表面(推進剤)に照射した時に有効にプラズマ生成が可能である。また、熱散逸が良く高度な水冷装置を必要としないため装置を小型化することが可能である。本研究では、基本的な動作試験を行い、スロープ効率、光-光変換効率について評価した。
STEP-2009-25	RP型レーザー宇宙推進システムに関する多サイクル性能解析 ○中森 学(大同大・工・院)
	先端宇宙推進システムで有望視されているものの一つとしてレーザー推進システムが挙げられ、連続使用型(CW型)とパルス型(RP型)に分類される。本発表ではRP型レーザー宇宙推進システムについて数値流体解析を実施し、排出・吸気を含めた多サイクルにおける非定常性能について言及する。
STEP-2009-26	ポリアセタールのパルスレーザーアブレーションの数値解析 ○市橋克弘(名大・工・院)
	レーザーアブレーションにより発生する力積を求める数値シミュレーションコードの開発現状についてシミュレーション結果と測定結果との比較を通じて報告する。開発した数値シミュレーションコードは、熱伝導方程式とオイラー方程式を同時間発展的に計算することでレーザーアブレーション中のターゲット内部や流れ場の種々の物理量を非定常的に求めることができる。本研究室で行ったポリアセタールにTEA CO2レーザーを照射させたときにレーザー中心部で発生する力積の時間履歴やレーザー照射面全体で生じる力積、アブレーションによるターゲットの損耗質量などの測定結果とシミュレーション結果との比較を行う。
STEP-2009-27	レーザー粉体アブレーション推進の性能測定 ○荻田直弥(名大・工・院)
	レーザーアブレーション推進のターゲットに粉体を用いた実験の結果を報告する。粉体を用いることで、液体・気体には必要な高圧タンクが不要になり、簡単・軽量化が可能になる。表面状態をコントロールすることが可能になるなどといったメリットが考えられる。推進性能は、固体、粉体それぞれにおける力積、運動量結合係数(Cm)、質量損失に関して評価をした。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うことで、力積を求めた。

STEP-2009-28	レーザーパルスアブレーション推進における力積発生過程に対する繰り返し照射の影響 ○鈴木進悟(名大・工・院)
	TEA-CO2レーザーをポリアセタールのシートに照射させてレーザーアブレーションを起こした時にポリアセタールに発生する力積を調べるため、シート裏面の速度変化を速度干渉計を利用して高時間解像で測定する。レーザーパルスの繰り返し照射によるアブレーション推進の力積発生の影響を調べるために、アブレーションが起こらない程度の小さいエネルギーをもつレーザー光でのクリーニングショットの有無をパラメータとした力積の測定や、同じ位置に複数回のレーザー照射を行い、アブレーションにより表面のポリアセタールが除去され、形状が変化した後のレーザーパルスアブレーション推進により発生する力積の変化を調べ報告する。

STEP-2009-29	パルスレーザー推進におけるエネルギー収支および効率について ○佐宗章弘(名大・工)
	パルスレーザー推進におけるエネルギーバランスおよび効率について議論する。とくに、大気中での作動におけるエネルギーバランス、定義については、注意を要する。

<2日目:会議室A>

【MPDスラスト】

STEP-2009-30	直交外部磁場印加時の二次元MPDスラストの挙動 ○岩川輝(東京大学)
	外部磁場型二次元MPDスラストは、直交外部磁場を印加することができ、外部磁場によって直接推力を増強できる点で、外部磁場と推力の関係を明らかにするのに適している。先行研究において、推進剤流量200mg/sとした場合、直交外部磁場の増大に伴い、放電電圧、推力の双方が増大することが確認されている。流量を100mg/sとした場合、推力レベルが200mg/sの場合とほぼ同等であり、強磁場印加中においては電磁加速が支配的であることが確認された。本講演においてはこれらの実験結果の詳細を報告する。

STEP-2009-31	MPDスラストの各種推進剤における電圧振動について ○中田大将(室蘭工大)
	自己誘起磁場型同軸MPDにおいて、アルゴン、キセノン、水素を推進剤として用いた場合のOnset電圧振動特性を取得し、そのスペクトルについて調べた。アルゴンについては数百kHzのオーダーから電流増加につれて周波数が高くなってゆく様子が観察された。水素においては1MHz程度の周波数の振動がごく低い電流領域から観察され、振動の様子からOnsetの閾値を判断することは極めて困難であると分かった。Princeton, Pisa大学の例も交えて比較検討する。

STEP-2009-32	MPDスラストにおける推進剤種依存性に関する電磁流体解析 ○佐藤博紀(総研大)
	MPDスラスト(MPDT)における推進性能の推進剤種依存性を調べるために、ArおよびH2それぞれを推進剤(1.37 g/s)とするMPDTの電磁流体解析を行い、流れ場および電圧を比較検討した。その結果、代表的な動作条件(放電電流 J_{dis} /理論臨界電流 $J_c \sim 0.92$)では、H2の推進効率はおおよそ41.0%で、Arの33.4%よりも高い値であった。これは、H2の凍結流損失(40.8%)がAr(46%)よりも低いためである。また、実際のMPDTを考えた場合、プラズマのバルクにかかる電圧 V (計算値)と、電離電圧程度と仮定したシース電圧 V_{sh} の比(V/V_{sh})はH2の方が高い。これは、H2を推進剤とした場合のシース損失の割合が低くなり、結果として推進効率がArより高くなることを示唆している。

STEP-2009-33	外部磁場を印加したMPD推進機の数値シミュレーション ○島倉和也(東北大・工・院)
	Applied-Field MPD(AFMPD) Thruster内の電磁場およびプラズマ流を数値解析する。AFMPD推進機は大きな推力密度と高い比推力を持つため、深宇宙における有人宇宙探査に適する推進機として期待されている。数値解析では、流れ場と電磁場の連成解析を行う。ノズル形状や計算条件はAFMPD推進機の実験に準ずるようになっている。外部磁場、放電電流を変化させたテスト計算を行う。結果をもとに、外部磁場と放電電流が流れや推力へもたらす影響、コード妥当性を検証する。

STEP-2009-34	外部磁場印加型定常作動MPDアークジェットの低推進剤流量領域における電磁加速特性 ○米元聖貴(名大工)
	外部磁場印加型定常作動MPDアークジェットスラストの推進性能評価を報告する。推進剤流量を低くしていくとホール加速が卓越する作動条件を得られることが過去の研究でわかっている。その低推進剤流量領域において、推進剤の種類、放電電流、印加磁場強度を変化させたときの電磁加速特性を実験的に明らかにする。

STEP-2009-35	各希ガス種を用いた外部磁場重畳型MPDの動作特性 ○高橋直大(東北大)
	MPD推進機に軸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。我々はこれまでの実験において、Heを動作ガス種として外部磁場重畳型MPDの動作特性を測定し、磁気ノズルの有効性を明らかにしてきた。今回、より大きな推力を得るために、Heよりも質量の重いNe、Ar、Kr等の各希ガス種を用い、マッハ数、プラズマ流速、推力、温度、密度等を計測し、外部磁場重畳型MPDの動作特性を測定した。本講演ではそれらパラメータを比較、検討した結果について報告する。

【PPTスラスタ】

STEP-2009-36	SIMP-LEX – A German-Japanese Pulsed Plasma Thruster Project ○SCHOENHERR, Tony (東大・新領域・院)
	The pulsed plasma thruster SIMP–LEX is developed at IRS of the University of Stuttgart in close cooperation with the University of Tokyo in order to serve as main propulsion system for the planned small satellite missions Perseus and Lunar Mission BW1. Following the development of an engineering model and several researches at IRS, the project was extended into this international cooperation for an improved insight into the physics and the discharge behavior of the thruster. A short overview about the project and former researches is given, and details about the setup in Japan are provided. Further, first researches aiming at the characterization of the discharge and its dependencies are explained and the results shown.
STEP-2009-37	大阪工業大学・超小型人工衛星搭載用パルスプラズマスラスタシステムFMの開発研究 ○中 雅理(大阪工大・工・学)
	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PSLVIによる2010年打ち上げが決定し、衛星開発が急ピッチに進められている。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・製作について発表する。
STEP-2009-38	大阪工業大学・電気推進ロケットエンジン搭載超小型人工衛星プロイテレスの開発状況 ○藤原達也(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2010年インドPSLVIによる打ち上げが決定している。人工衛星の開発組織は姿勢制御系、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。
STEP-2009-39	インパルスビット増大に向けた同軸型パルスプラズマスラスタの推進性能評価 ○梅田恭平(首都大・シスデザ・院)
	当研究室では小型衛星搭載に向けて同軸型パルスプラズマスラスタの研究・開発を行っている。現在までに50kg級小型衛星の三軸姿勢制御用推進機として、投入電力10Wにおいて平均インパルスビット0.3mNs、平均比推力400s、トータルインパルス160Nsの推進性能を達成している。現在は、100kg級小型衛星の主推進機としての搭載を目指し研究を進めており、本研究ではインパルスビット向上のために大電力下(25W-75W)における推進性能を評価した。その結果、最大インパルスビット6.3mNsの推進性能を得た。本論文にてその詳細を報告する。
STEP-2009-40	ジメチルエーテルを推進剤として用いた同軸型PPTの推進性能 ○福永真人(九工大・工・院)
	ジメチルエーテル(Dimethyl ether: DME)は、凝固点が低く液体貯蔵が容易なため、推進剤としてDMEを用いたパルス型プラズマスラスタ(Pulsed plasma thruster: PPT)を提案しその研究を行ってきた。今回は同軸型PPTを試作し、マスショット、充電エネルギー、電極間距離をパラメータとして作動実験と推力測定を行った。電極間距離20mmにおいて、マスショット10-100μg、充電エネルギー1-13Jの範囲で作動確率は100%であった。また、マスショット10μg、充電エネルギー9Jのとき、インパルスビット68μNs、比推力675sが得られた。

【マグセイル】

STEP-2009-41	レーザー核融合による磁気ノズルの推進性能評価 ○花屋倫生(九大総理工)
	現在、核融合エネルギーを利用するための研究が盛んに行われている。その中で、核融合反応を用いた、磁気ノズルによる宇宙推進技術について研究を行っている。これは、レーザー核融合により爆発的に発生する高エネルギーのプラズマを磁場により制御して推力を得る技術であると考えられている。今回の研究では、磁気ノズルの体系をモデルとした実験を行った。実験では、レーザー生成によるプラズマを磁場中で発生させ、磁場によってプラズマが制御され、これによって得られる推力、および磁場変化の測定を行った。この実験結果から、磁気ノズルの性能について考察した。
STEP-2009-42	3次元ハイブリッド粒子モデルによる磁気プラズマセイルの推力評価 ○梶村 好宏(京大・生存研)
	磁気プラズマセイルでは、宇宙機に搭載したコイルによってダイポール磁場を生成し、宇宙機からのプラズマ噴射によってそのダイポール磁場を広範囲に拡大する。その後、拡大した磁場によって太陽風から推進力を得て宇宙を航行する。磁気プラズマセイルが想定する拡大後の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スケールになると予想され、推力発生メカニズム及び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、太陽風イオンの慣性長スケールにおける磁気プラズマセイルの磁気圏展開現象および発生する推力の評価について、数値解析による結果を報告する。

STEP-2009-43	惑星間磁場を考慮した磁気プラズマセイルの電磁流体解析 ○山本直樹 (ISAS/JAXA)
	磁気プラズマセイルの推進原理は太陽風を超伝導コイル、プラズマ噴射を用いて形成した人工磁気圏で受け止めることで太陽風動圧を推力に変える推進システムである。この推力特性は磁気圏境界付近で起こる複雑な物理に大きく左右される。一方、太陽系内には惑星間磁場と呼ばれる太陽から発生した磁場が広がっており、この磁場の磁場強度は磁気圏境界面の磁場強度と同程度であり、推力に影響がでると予想される。実際に惑星間磁場を印加した場合の電磁流体解析を行った結果、推力はやや減少した。このメカニズムについて議論する。
STEP-2009-44	回転電場を用いたヘリコンプラズマの電磁加速に関する基礎研究 ○西田浩之 (東京農工大)
	電気推進の長寿命化の方法のひとつは、プラズマの生成・加速の全てを無電極で行うことである。無電極でのプラズマ生成としてはヘリコン波やマイクロ波などを用いた方法が確立されつつあり、無電極加速としては磁気ノズルを用いた熱加速の研究が精力的に行われ一定の成果を挙げている。本研究ではより高い比推力を実現することを目指し、無電極でのプラズマの電磁加速方法について基礎研究を行っている。我々が取り組んでいる電磁加速方法は、数十MHzの回転電界によりプラズマ内に電流を誘起し、外部磁場とのローレンツ力でプラズマ加速を行うというものであり、小型ヘリコンプラズマ源を用いた実験と粒子シミュレーションにより電磁加速方法の実証を行う。
STEP-2009-45	磁気セイル実験におけるイオンスケール磁気圏の動的現象 ○大塩裕哉 (総研大・院)
	磁気セイルは、太陽風をコイル磁場によって受け止めることにより推力を得るセイル推進の1つである。これまで、磁気セイルシミュレータによる地上実験では太陽風イオンのラーマ半径 r_L と磁気圏サイズ L の比 $r_L/L \sim 0.1$ スケールでの実験を行い、磁気圏の変動が計測されている。今回の発表では、より実機スケールに近い $r_L/L \sim 1$ のスケールでの実験を行い計測されたイオンスケールの磁気圏の変動について報告する。磁気圏の変動は、磁気プローブによる磁場の変動、高速度カメラによる撮像、ダブルプローブによるプラズマの変動を計測した。
STEP-2009-46	惑星間磁場を考慮した磁気セイルの模擬実験 ○上野一磨 (総研大・院)
	磁気セイルは宇宙機周りに作り出す人工磁場によって太陽風を受けて推進力を得る次世代型深宇宙航行システムのひとつである。惑星間空間には惑星間磁場と呼ばれる磁場が存在するが、これまでに数値解析によって人工磁場と惑星間磁場との干渉によって磁気セイル推力に影響を与えることが示唆されている。本研究では惑星間磁場を外部コイルによって模擬することで、実験室サイズで惑星間磁場が磁気セイル推力に与える影響について評価を行った。
<2日目:会議室B>	
【先進概念】	
STEP-2009-47	大気吸込式イオンエンジン(ABIE)のための高層大気模擬シミュレータに関する研究 ○久本泰慶 (総研大)
	大気吸込式イオンエンジン(Air Breathing Ion Engine ; ABIE)は高度150∼200kmの超低軌道を、高層大気を推進剤とするイオンエンジンで大気抵抗を補償する新たなコンセプトの電気推進機である。ABIEは希薄な高層大気を吸込み、放電室では圧力を高めるところに特徴がある。そのため研究する上で超低軌道の大気を模擬する風洞が必要不可欠となる。本研究では $\mu 6$ (6cm級のECRプラズマ源)を用いて軌道速度で流入する原子状酸素の生成と、ポリイミドでコーティングされたQCMを用いてフラックスの測定を行った。
STEP-2009-48	電界放出型電気推進FEEPスラスタの試作 ○中山宜典 (防衛大)
	FEEPスラスタは微小推力を高精細に発生できるため、ESAが進める重力波観測衛星LISAの試験衛星LPIFに搭載される予定である。日本においても同様の観測を行うDECIGOおよびその試験衛星であるDPFが計画されており、FEEPスラスタはその搭載推進機の一候補となっている。本研究では、セシウムを推進剤としたFEEPスラスタの試作を行い、実験準備を進めており、その現況を高電圧対策および液体金属供給の問題と併せて報告する。
STEP-2009-49	ビームエネルギー推進を用いた宇宙太陽光発電の輸送 ○嶋村耕平 (東大・院)
	ビームエネルギー推進は、レーザーを用いて外部から推進エネルギーを得るため、化学ロケットに比べ高いペイロード比を実現できる。また、一度建設したビーム発信源を非常に多数の回数にわたって使用することが可能であり、打ち上げシステムへ適用することで大幅な打ち上げコストの低減を期待することができる。このため、ビームエネルギー推進はSPSのような大規模な宇宙構造物の建設において、低コスト化が実現可能で、有利な輸送手段であると考えられる。

STEP-2009-50	ミラー系によるミリ波長距離伝送技術を用いたマイクロ波推進 ○山口敏和(東大・新領域・院)
	地上から機体にビームエネルギーを照射するビーミング推進において、マイクロ波はレーザー光に比べて指向性に劣るが、直径数メートルのビームを用いることで地球周回軌道に投入するに十分な指向性を得られると考えられている。ビームウェスト20mmの大電力ミリ波を複数の放物鏡の組み合わせにより120mmのビームへと広げ、これを推進機上で再集光した。集光されたエネルギーにより大気中に空気プラズマを生成し、衝撃波を駆動することで推進機内に推力を得た。この方式にて、1～4mの大気中伝送をした上で推力を得られることが示された。
STEP-2009-51	成層圏エレベータ構想 ○山極芳樹(静大・工)
	最新の材料技術開発等によって、かつて、空想の産物であった宇宙エレベータは現実味のあるシステムとして、近年、研究が活発化しつつある。しかし、一般的に検討されている静止軌道を核とする宇宙エレベータを実現するのは困難であり、段階を踏んで開発を進める必要がある。本研究では、本格的な宇宙エレベータの初期技術検証として高度20～30kmに滞空する成層圏プラットフォームと地上を結ぶエレベータを提案する。この高度であれば、既存の材料・技術でもエレベータ構築は可能であり、宇宙エレベータ技術の検証だけでなく、プラットフォームの保守による長期滞空さらに宇宙への入口としての宇宙旅行に供することも可能となる。
STEP-2009-52	プラズマを利用した帯電固体粒子を推進剤とする宇宙推進機に関する研究 ○一ノ瀬大介(静岡大学)
	本研究室では宇宙空間に多数存在する数 μ サイズのスターダスト(宇宙塵)を推進剤として利用することでミッション途中での推進剤補給を可能とし、推進剤の初期搭載量を低減できる固体微粒子加速装置を考案した。その加速装置は固体微粒子をプラズマによって帯電させ、静電加速を用いて噴射することにより推力を得るシステムである。推進に静電加速を用いることから固体微粒子の帯電量が装置の性能に大きく影響するため、微粒子の効率的な帯電が必要とされる。そこで本研究では固体微粒子の帯電率を上げるためにプラズマ状態と微粒子の帯電特性の関係を実験により明らかにした。そして帯電した微粒子を加速・排出させ、推力を測定した。

【プラズマ特性】

STEP-2009-53	数値計算によるソーラーセイル周辺のプラズマ挙動解析 ○村中崇信(JEDI/JAXA)
	本研究では大規模数値計算によって、ソーラーセイル周辺のプラズマ挙動解析を行った。ソーラーセイルは太陽風プラズマ環境中に展開される大面積の構造物であり、構造物のスケール長は太陽風のデバイ長より大である。そのため、ソーラーセイル周辺のプラズマ挙動を解析する事は、ペイロードあるいはセンサー搭載位置の検討に有用であると言える。ここでは、太陽風プラズマに加えて、光電子放出も考慮した数値解析を行い、ソーラーセイル周辺の電位構造とプラズマ挙動について報告する。
STEP-2009-54	アバランシェ・フォトダイオードによる微少フラックスENA検出 ○小川卓哉(静大・工・院)
	イオンスラスト排出ビームを用いた高層大気のリモートセンシングに使用することを目的としたENA(Energetic Neutral Atoms)検出器を開発中である。ENA検出器として、固体検出器の一種であるアバランシェ・フォトダイオード(APD)を用いることを検討しており、これまでにAPDが数keV程度のENAに対して感度を有することを実験的に確認している。次なるステップとして、APDによる微少なENAフラックスのパルス測定を行ったので、その結果について報告する。
STEP-2009-55	宇宙機搭載用QCMの開発(その2) ○西山和孝(ISAS/JAXA)
	将来の電気推進搭載宇宙機周辺やその他の一般的な分子状汚染環境のモニター用や、原子状酸素に対する宇宙用材料の損耗計測用などの用途を想定して、宇宙機搭載用水晶振動子式微小天秤(QCM)の開発を行っている。神戸大学田川雅人研究室やJAXA研究開発本部の電子部品・デバイス・材料グループの石澤淳一郎氏らの協力の下、明星電気において設計・製造を行うという体制をとっている。今年度は、放射線耐性を持つ電子部品を用いたフライトモデルの製造を進めるとともに、昨年度製造したプロトタイプを用いた各種環境試験や、振動子単体の真空中での長時間作動試験を行っている。未だ実現は確定的ではないものの、本QCMを搭載する小型実証衛星の検討や審査会などが着々と進められている。
STEP-2009-56	数値解析による軌道上のベアテプテザーによるイオン収集量の検討 ○神戸篤(静大・院)
	現在、宇宙空間における推進方法として、エレクトロダイナミックテザー(EDT)を利用した方法が検討されている。EDTの作動には、EDTと宇宙プラズマの間でコンタクトにより電氣的閉回路が構成される必要があるが、導電部をむき出しにしたベアテザーの使用が有望視されている。テザーによる電子収集はEDTシステムによる推進の際の電子コレクタとして検討されており、また、イオン収集に関してはイオン衝突の際の二次電子を用いた高層大気観測が期待されている。そのときの収集電流は軌道運動制限理論により導かれているが、宇宙空間での流れに関する影響は未解明である。そこで、本研究では数値解析により流れ中でのイオン収集に関する電流電圧特性を得る。

STEP-2009-57	テザーロケット実験におけるブームによる電子収集に関する研究 ○若槻賢(静岡大学)
	エレクトロダイナミックテザー(EDT)とは、テザーと呼ばれる導電性のひもに流れる電流と地球磁場との相互作用で発生するローレンツ力を推進力とするシステムである。来年度に行われる予定のS-520観測ロケットを用いたテザー実験においては、テザーでのイオン収集、ブームでの電子収集を行いテザーシステムの電流収集特性に関する検証が行われる。ここで、ブームによる電子収集については、シース厚さに対するブーム本体が大きくないため端効果の影響が生じることなどが考えられる。そこで、本研究では、テザーシステムの電流収集特性を調べるために事前実験として真空槽を用いた地上実験を行い、ブームによる電子収集について実験値、解析値、理論値との比較・検討を行う。

【伝熱スラスタ】

STEP-2009-58	ジメチルエーテルを用いたアークジェット推進機の性能評価 ○別府 真司(九工大・工・院)
	電気推進機の中では高推力電力比という特徴のあるアークジェット推進機の推進剤として、これまで主にヒドラジンが用いられてきた。しかし、ヒドラジンは、強い毒性を持つため取扱いが危険であり、凝固点が高く、貯蔵には温度管理が必要である。そこで、ジメチルエーテル(Dimethyl ether, DME)が無毒で適度な蒸気圧を有するために供給時に加圧ガスが不要であり、凝固点が低いことから液体としての貯蔵が容易であることに着目し、アークジェット推進機に用いることを提案する。DMEを推進剤に用いたアークジェット推進機の推力測定を行った結果、DME流量60 mg/sのとき、比推力261 s、推進効率15.5%となった。

STEP-2009-59	直流アークジェットスラスタの低毒性推進剤分解ガス適合性に関する研究 ○岡野悠介(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 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DCアークジェットスラスタの性能特性を調べた。

STEP-2009-60	電熱加速型マイクロプラズマスラスタの設計改良と性能評価 ○高橋岳志(京大・工・院)
	近年、ミッションコストの大幅な削減を目標として、質量10 kg以下の超小型衛星の実現に必要な不可欠なマイクロスラスタの開発が求められている。これまでに著者等はArガスを推進剤とする電熱加速型マイクロプラズマスラスタを試作し、推進性能およびプラズマ源の特性を実験と数値解析の両面から調べてきた。本研究では超小型衛星への実機搭載に向けて、数値計算を活用してプラズマ源の最適化を行い性能を向上するとともに、機械的強度や連続運転時間の問題解決と両立させた。発表では推進性能測定などの実験や数値解析を通じた性能評価について報告する。

STEP-2009-61	マイクロ・マルチ・プラズマジェット・アレイ推進機の作動特性評価 ○萩原秀志(東海大・工・院)
	本研究では、Nd:YAGレーザー第5高調波(波長213nm)を用いてマイクロアレイノズルを微細加工し、コールドガス作動及び、放電作動における推進性能評価を行った。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500μm、スロートサイズはdt=60μmと90μm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=60μmでは推力8.6mN、比推力78sec、dt=90μm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。