

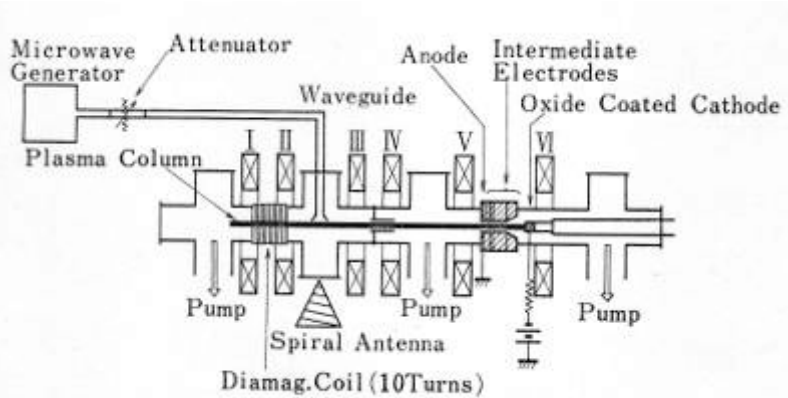
宇宙空間プラズマ環境の研究

- 宇宙空間プラズマ現象の実験室実験
- 観測ロケットによる宇宙テザー実験
- スペースシャトルによる電子ビーム放射実験
- Space Flyer Unit(SFU)による飛翔体環境科学の研究

2012年3月

宇宙空間プラズマ物理/実験室実験

波動粒子相互作用の研究(マイクロ波などの波動による粒子加熱、粒子ビームによるプラズマ波動の励起)



高密度プラズマ発生装置

不思議なプラズマ現象



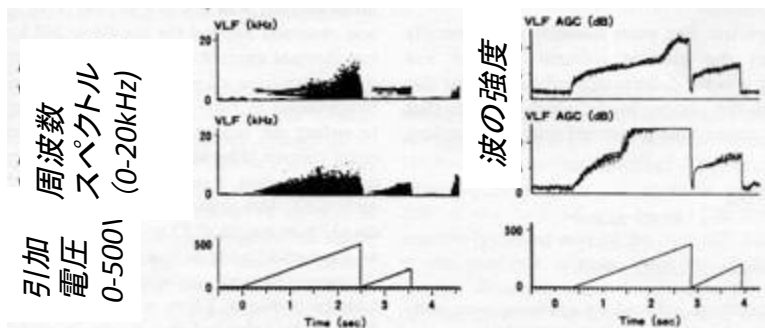
プラズマによるマイクロ波エネルギーの吸収(パラメトリック不安定性)による静電波の励起
→ 静電波による電子加熱
→ ミラー場による電子の捕捉
→ 静電不安定性によるサイクロトロン波の励起

実験室実験は自らの手で工夫しながら、次々と未知の現象を解明していくという独特の面白さ

宇宙空間プラズマ物理/観測ロケット実験

宇宙空間を巨大なプラズマ物理実験室として
利用—ロケットによるエレクトロダイナミックテ
ザー実験

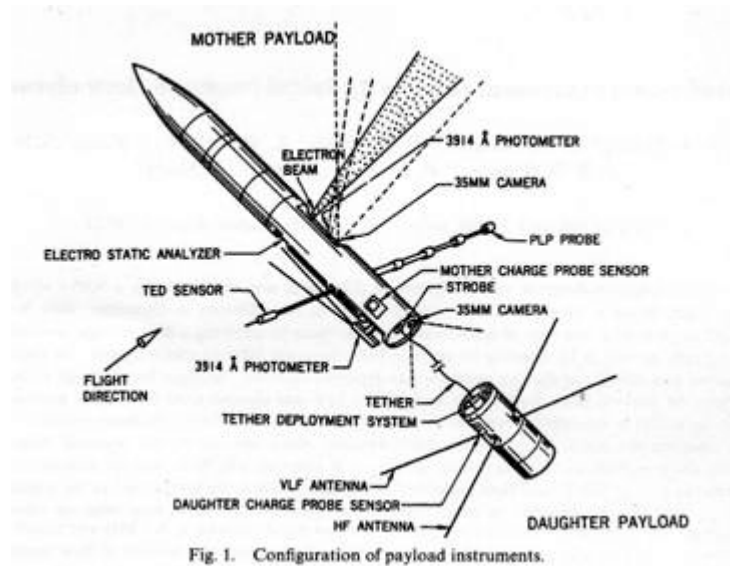
観測ロケットK-10-11、K-10-12、L-3H-8、
K-9M-46、K-9M-51、K-9M-57、K-9M-69、
S-520-2、
Black-Brant V(1)、Black-Brant V(2)



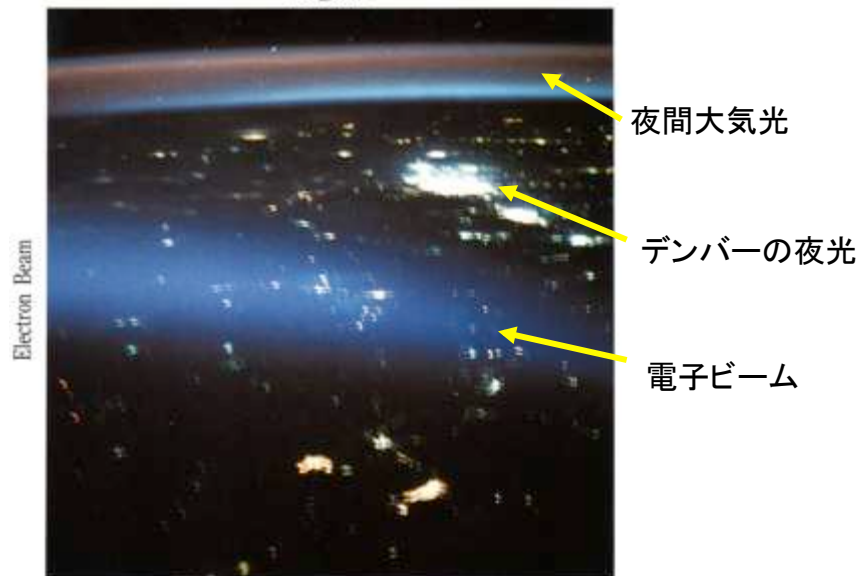
不思議な波動現象 時間(秒/div)

低周波帯のプラズマ波動の励起
イオンの運動が低域混成波 (Lower Hybrid
Resonance Wave) の励起

外国の研究者との共同作業の難
しさと楽しさ



1983年当時世界最長(400m)を記録したテザーワイヤー伸展実験
Airglow



スペースシャトルSEPAC実験への参加

宇宙空間を巨大なプラズマ物理実験室として利用—粒子ビームを用いた
宇宙科学実験 (Space Experiments with Particle Accelerators)

スペースシャトル9号機スペースラブ1に電子
ビーム装置、プラズマ加速器、計測器パッケージ、
低照度TVカメラを搭載

目的

- (1) 飛翔体帯電と中和の研究
- (2) ビームプラズマ相互作用の研究
- (3) ビーム大気相互作用の研究 (人工オーロラ)

宇宙研とNASAの共同研究 (初めての大型の日
米共同宇宙科学実験)

PI: 大林辰蔵先生

1978年スタート、1983年実験実施、1992年フ
ローオン実験終了



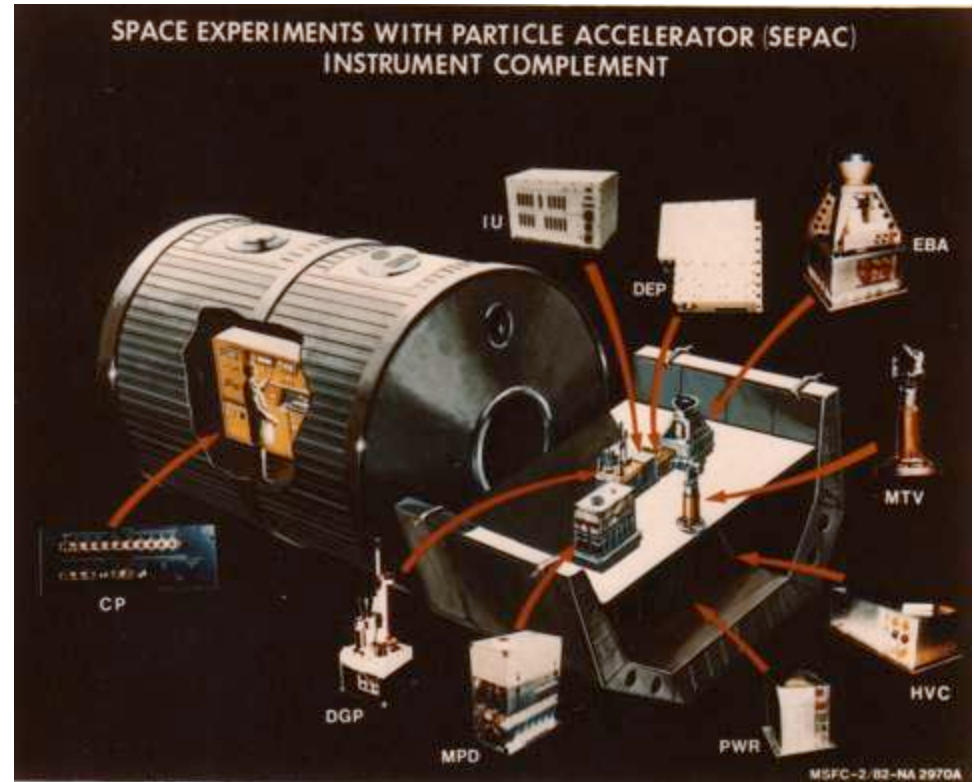
SEPAC搭載機器

日本側装置

- (1)電子ビーム加速器: 7.5kV, 1.6 A, 10ms~1sec
- (2)MPDアークジェット(プラズマ加速器): 2kJ/pulse, 1ms, アルゴンガス作動
- (3)中性ガス放射装置: 窒素ガス作動
- (4)観測機器: 低照度TVカメラ, フォトメーター, 電子エネルギー分析器, プラズマプローブ, 波動受信機

米国側装置

- (1)クーラー用コントロールパネル
- (2)実験コンピュータとインターフェイスユニット



SODA-QL(科学
データ実時間処理
解析装置)



SEPAC実験の実施

日本側チーム:

大林辰蔵 (ISAS), 河島信樹 (ISAS)
栗木恭一 (ISAS), 長友信人 (ISAS)
二宮敬虔 (ISAS), 江尻全機 (ISAS, NIPR)
佐々木進 (ISAS), 柳澤正久 (ISAS)
矢守章 (ISAS), 清水幸夫 (ISAS)
工藤勲 (ETL)



1983年打上

米国側チーム:

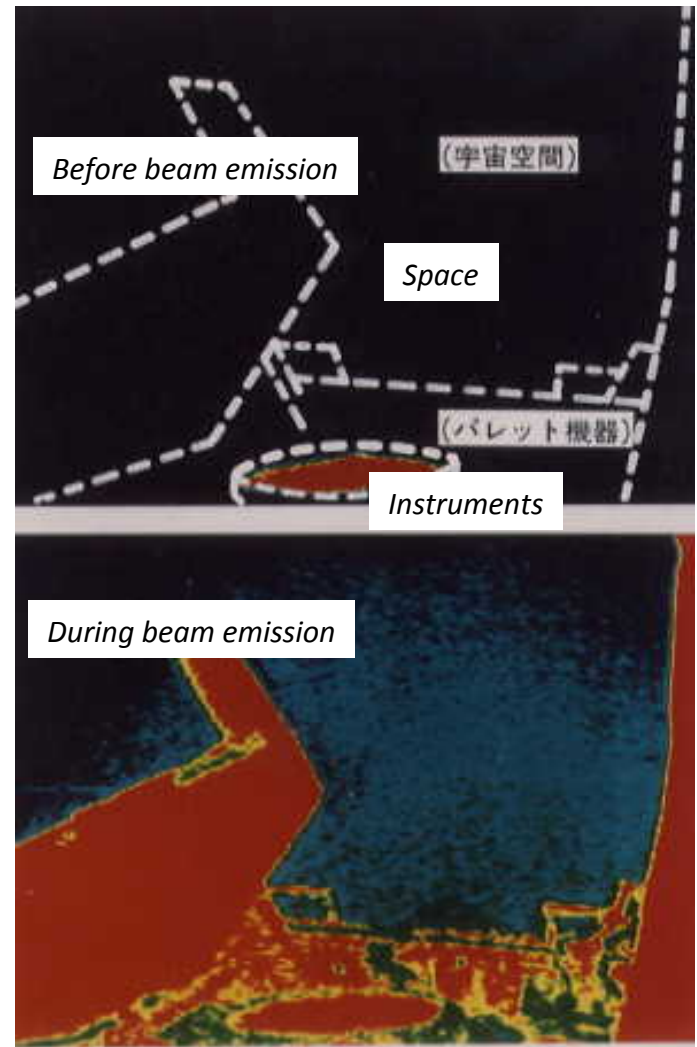
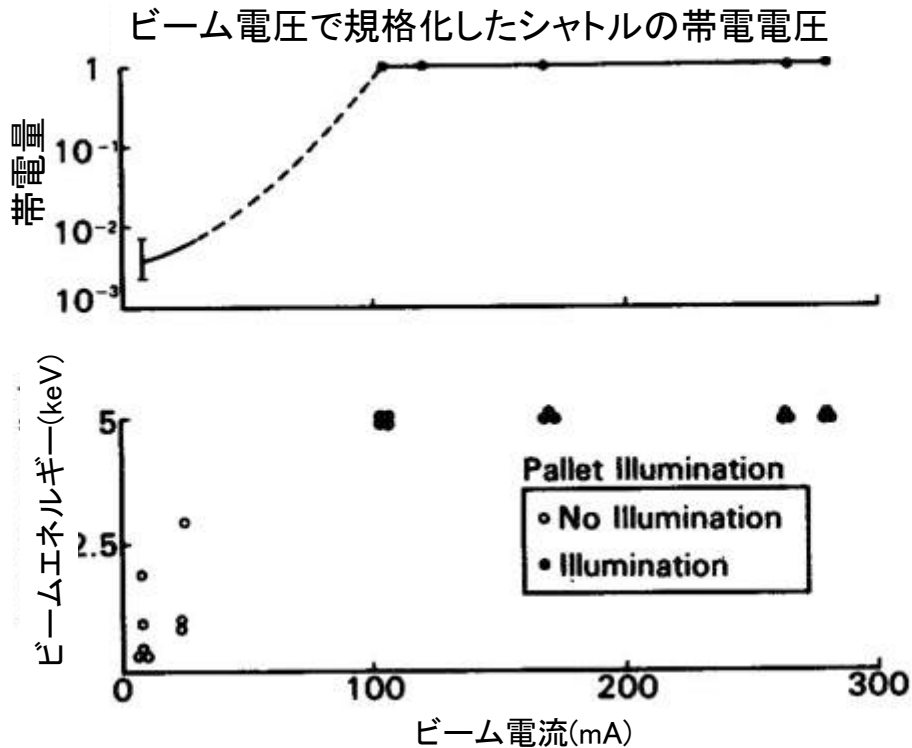
W.T.Roberts (MSFC), C.R.Chappell (MSFC)
D.L.Resoner (MSFC), J.Burch (SWRI)
W.L.Taylor (TRW), P.M.Banks (Stanford Univ.)
P.R.Williamson (Stanford Univ.), O.K.Garriott (JSC)



3シフトでの日米混成チームによる運用

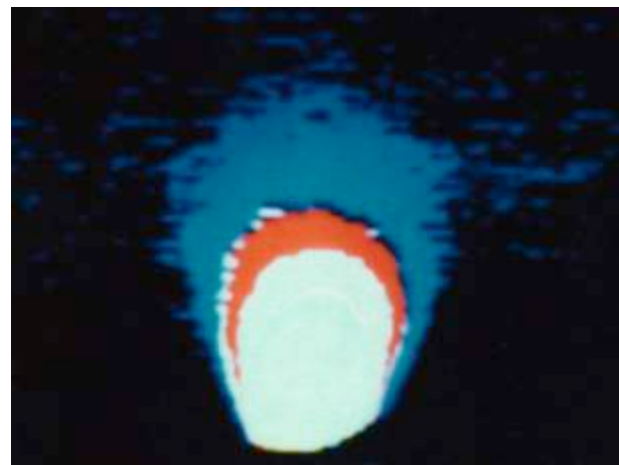
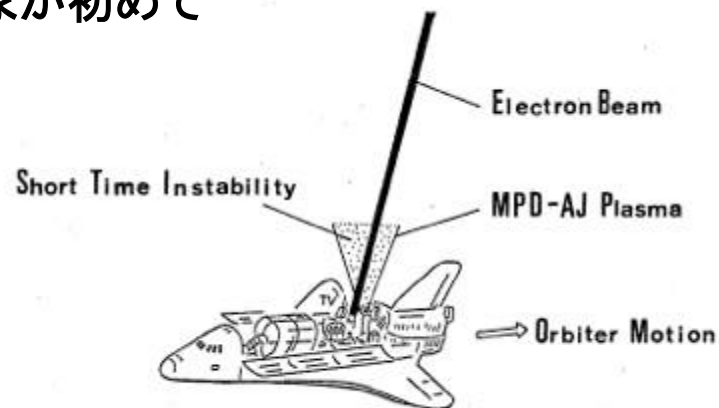
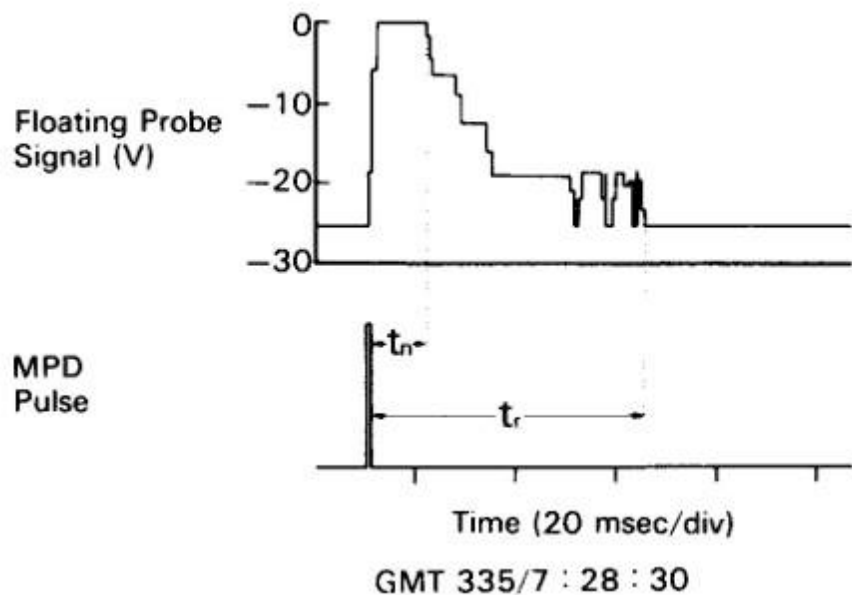
帯電スペースシャトルがキロボルトまで帯電した！

帯電電圧が計測され、帯電中和装置(プラズマ放射、中性ガス放射装置)を動作しない限りオービターはビームの電圧付近まで帯電した。



帯電中和ーガスやプラズマ放射により帯電が予定通り中和した

プラズマ放射にともなう飛行体の帯電中和現象が初めて明確に示された。



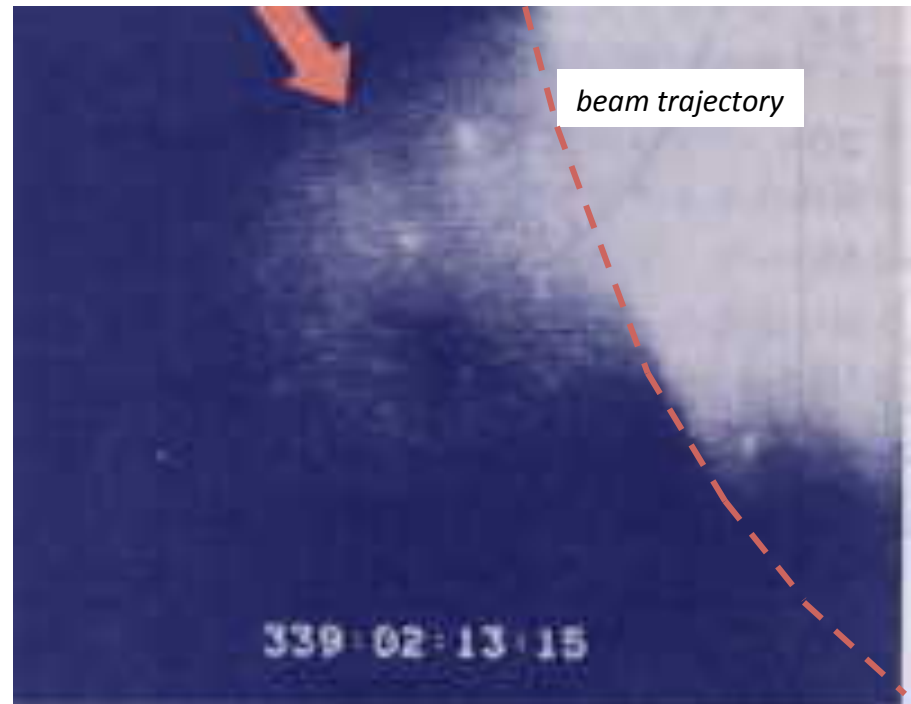
ビームプラズマ放電現象が宇宙空間で実証された

壁のない宇宙空間でビームプラズマ放電現象が初めて検証された。

BPD in Laboratory



BPD in space



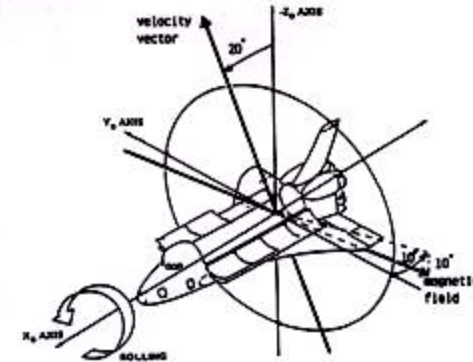
臨界速度放電現象が宇宙空間で実証された



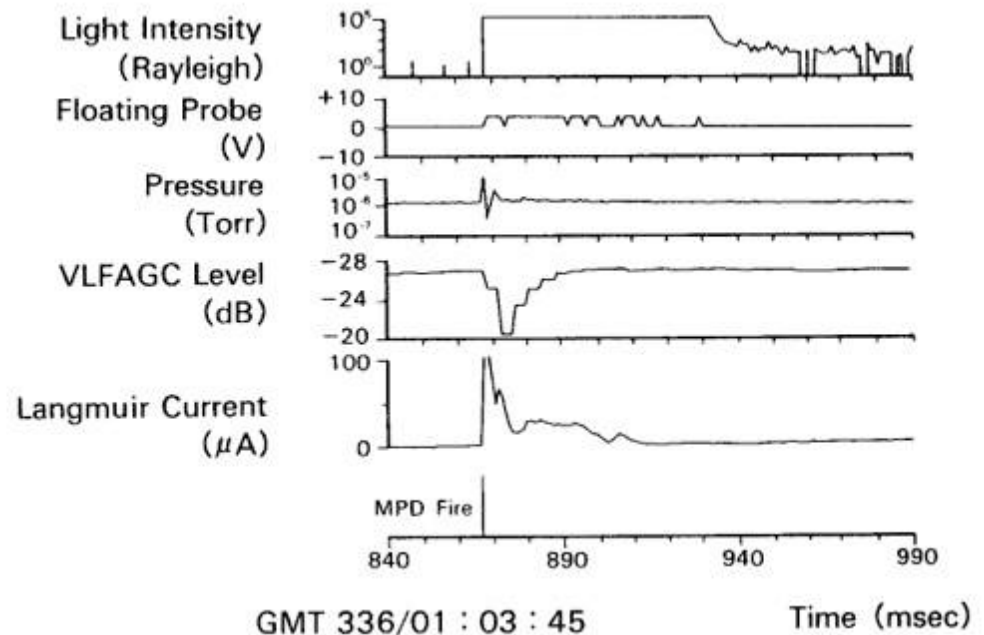
Alfvenの臨界速度放電現象：
磁場中を中性ガスが高速で流れると
き運動エネルギーが電離ポテンシャル
と等しくなると自己電離する。

Experiment	Year	Increase Ionization
SEPAC	1983	yes
XANI	1989	yes
STS 39	1991	no
ATLAS 1	1992	yes
APEX	1993	yes
North Star	2000	yes
ARGOS	2000 and 2001	no

宇宙空間での臨界速度放電現象の検証



ガス放射時の現象



SEPAC 実験の宇宙科学・宇宙開発への貢献

1. 宇宙プラズマ物理上新しい発見と驚きがあった。特に粒子・波動相互作用や宇宙帯電現象など。
2. 宇宙能動実験 (Active Experiments) の分野の研究を切り開いた。その後スペースシャトルによる20km級テザー実験、衛星によるガス雲放射実験、などの先がけとなった。
3. 最初の大型の国際協力の宇宙科学実験として、科学者、技術者を育てた。メーカーの技術者の方を含め参加した多くのメンバーがその後の日米の宇宙科学、宇宙開発の場で活躍した。



SEPAC実験の感慨、教訓

1. 電子銃が不具合を起こし最大出力の実験(人工オーロラの生成)はできなかった。全体として科学成果は挙げたが、新聞や政府筋から非常に厳しい批判を受けた。⇨是非は別として、大型計画に対する日本の社会の見る目は厳しい(米国での反応と比較して)。
2. 最大出力での人工オーロラ生成を目指したりフライト実験は、その後チャレンジャー事故の影響により、9年後の1992年に実施され成功したが、科学成果として大きく注目されることはなかった。⇨科学研究にもタイミング(旬)がある。

たかがナット、されどナット——1回目の失敗

いろいろと幸運も重なり、大林の実験計画はいわゆるアクティブ実験として、スペースラブの最初の飛行で行われることになった。日本側は主要機器である電子ビームとプラズマの加速器および観測機器を開発し、米国側はスペースラブ搭載用管制装置とソフトウェアを担当した。大林からその装置を開発する日米合同チームのプロジェクトエンジニアに任命されたのが、長友信人だった。

ただしそれからが大変だった。アメリカ人同士でも言いたいことは表現を変えて3回は繰り返さなければならないような複雑なシステムの中で、金貨そのものをスピーディに出来ない日本人チームは随分と苦労を重ねた。しかしアメリカ側の辛抱強さにも大いに助けられ、最終的には大切なことはもれなくコミュニケーションができ、日本人チームは最終的にはスペースラブの搭載科学者の訓練計画まで作成し、参加した宇宙飛行士たちが評価表に賛辞を書き連ねるほどの実施計画が完成した。

スペースラブ1号の飛行は遅れに遅れた。その間、東京大学宇宙航空研究所は1981年に文部省宇宙科学研究所になり、世の中で宇宙ステーションが話題になり始めた1983年11月、SEPACはSTS-9に搭載されて打ち上げられた。SEPACが軌道上の最初のチェックアウトを無事にパスしたとき、長友は救われた気持ちでジョンソン宇宙センターの管制室から解放され、宇宙ステーションのワークショップが開かれるワシントンDCに移動した。

ホテルの部屋で、テレビに映し出されるスペースラブの様子を見つめていた長友は、画面が時々明るくなるのを見て、「あ、これはMPDアークジェットの光だな。いいぞ、いいぞ」と思いつつも、電子ビームが出てくる様子がないので、「電子ビームはテレビには映りにくいのだ」と勝手に判断していた。まさかその時すでに電子銃の電源が故障していたことは知る由もなかったのである。

シャトルが地球に帰還して、電源の中にナットが1個見つかった。これが宇宙で浮遊して悪さをしてフューズがとび、人工オーロラの生成を含む高エネルギーの実験は実施できなかったのである。実験は失敗と評価され、計画は事実上打ち切りとなった。



SEPACのオーロラ生成実験イメージ画



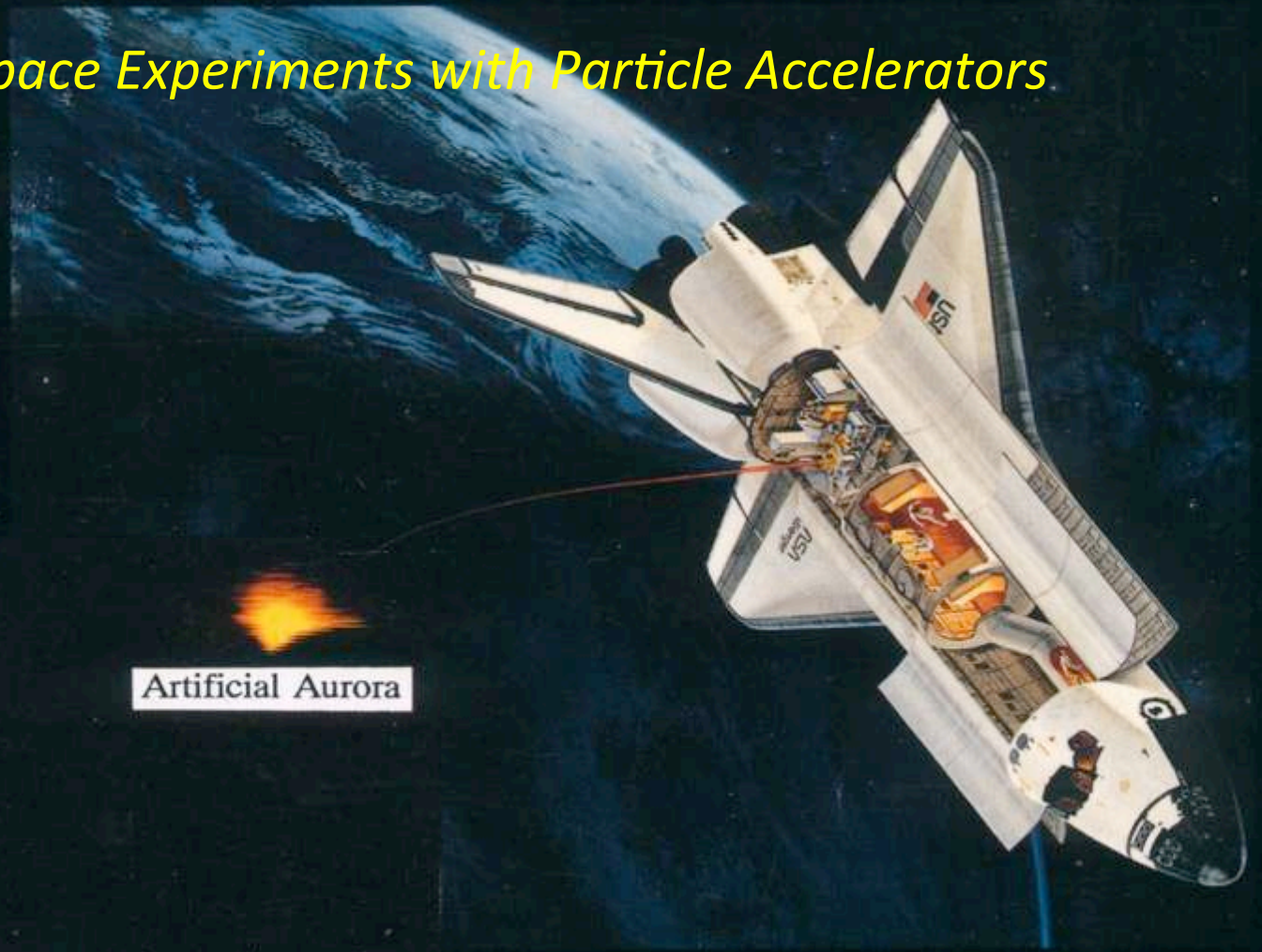
SEPAC実験装置配置図



SEPAC実験装置

Space Experiments with Particle Accelerators

Edited by
Nobuki Kawashima



Artificial Aurora

Natural Aurora



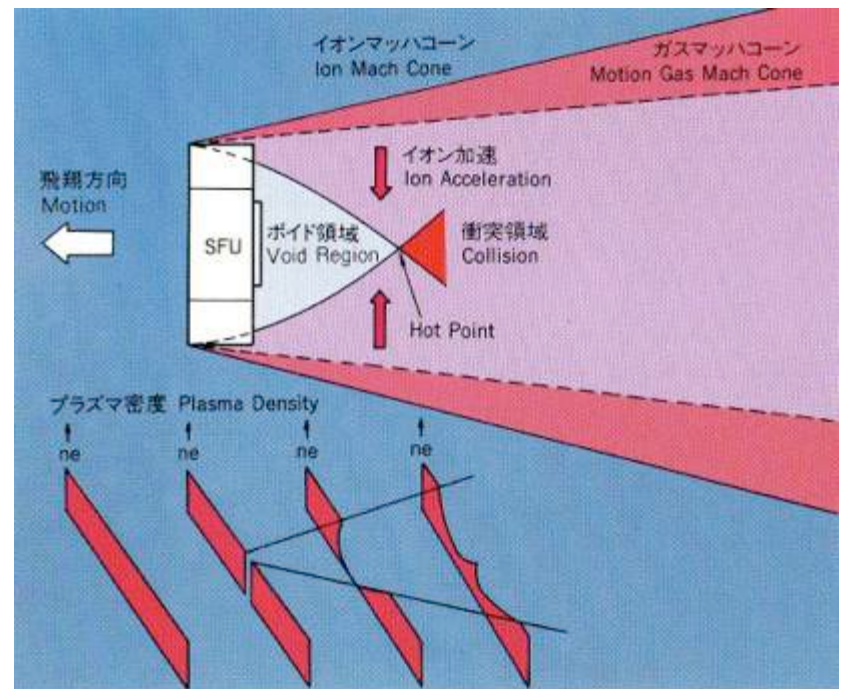
飛翔体環境科学の研究

人類が宇宙に出て行くとき、飛翔体周辺にどのような環境が形成されるのか？
宇宙機や搭乗員にどのような影響をあたえるのか(宇宙植民地にはどのような周辺環境が形成され居住者はどのような環境に住むことになるのか)。

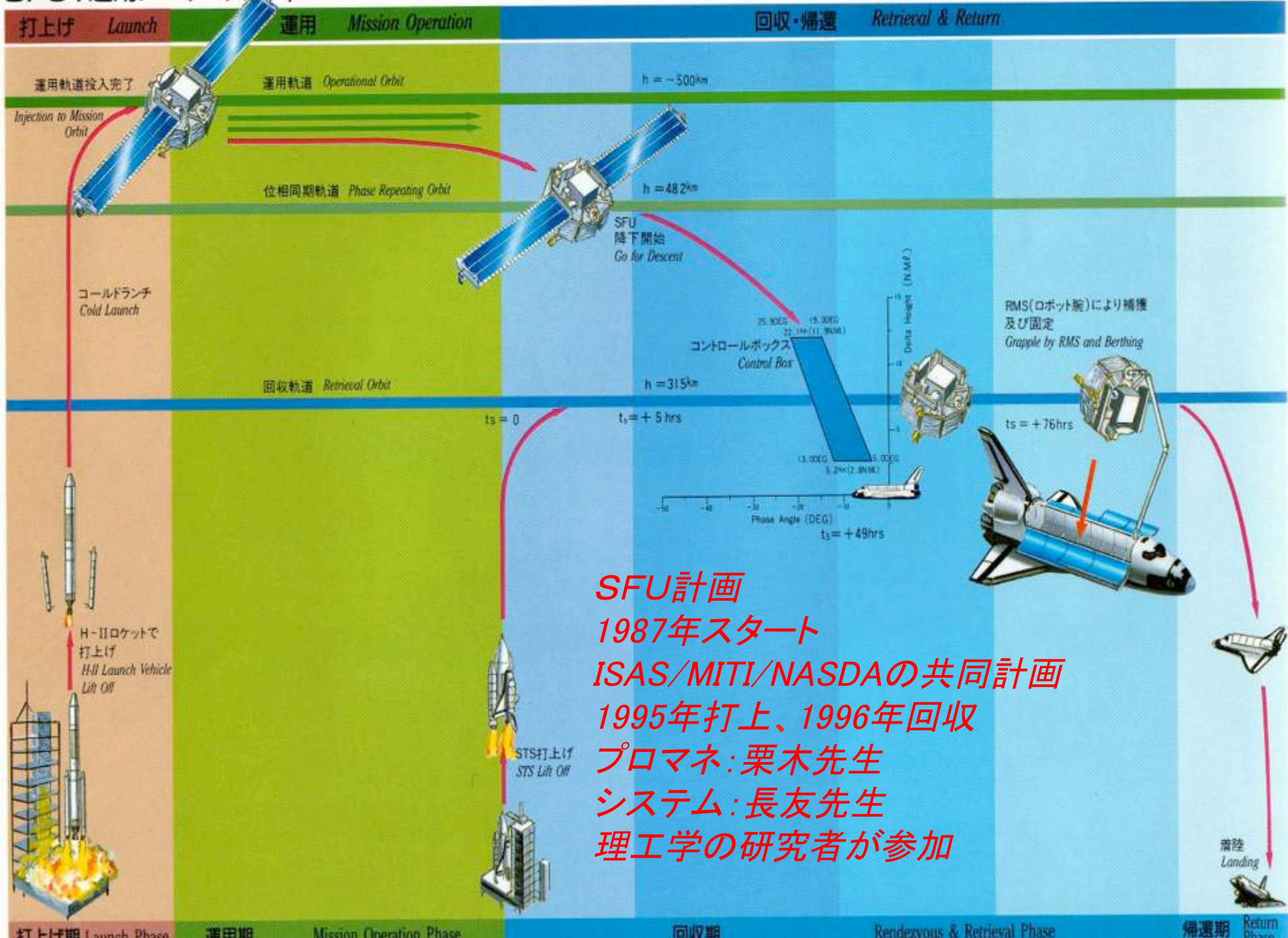
SIE(Spacecraft Induced Environment)という新語を作った。(Space whetherという新語も米国で生まれかけていた)。

国際協力による宇宙基地の周辺環境研究計画(PIMS計画)・・・実現されず(一部JEMで実現)

SFU (Space Flyer Unit)を用いた小型宇宙プラットフォームの環境研究・・・実現



SFU1運用シーケンス Operation Phase and Events of SFU 1



SFU計画
1987年スタート
ISAS/MITI/NASDAの共同計画
1995年打上、1996年回収
プロマネ: 栗木先生
システム: 長友先生
理工学の研究者が参加

飛翔体環境計測システム



ミッション系観測装置

バス系観測装置

バス系観測装置

電離真空計(方向を変えて2ヶ)

ピラニゲージ4セット分散

質量分析器

プラズマプローブ(センサーは4ヶ所)

フローティングプローブ

インピーダンスプローブ

波動受信機(VLF帯、HF帯の2帯域)

マイクロGメーター(3軸)4セット分散

曝露材料劣化試料(回収後分析)

ミッション系観測装置

分光器+材料劣化試料(実時間分析)

曝露材料劣化試料(回収後分析)

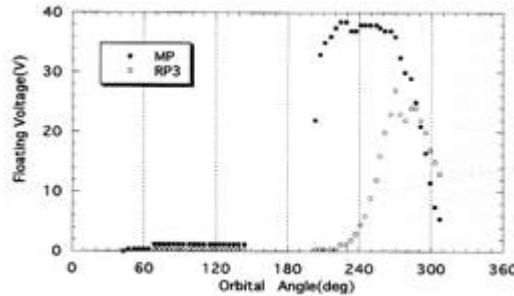
磁力計

電子密度変動計測器

共同研究者: 佐川先生(通総研)、賀谷先生(神戸大)、横田先生(愛媛大)、大田先生(都立大)、遠山先生(東海大)、渡辺勇三さん(宇宙研)

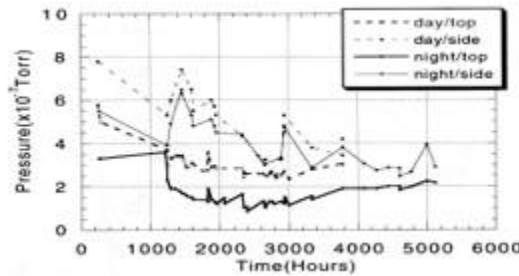
SFU環境計測で解明された主な新しい結果

電位変動



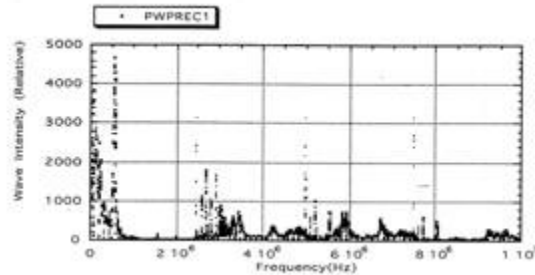
太陽電池パネルを持つ衛星の電位は、周辺プラズマとの作用により、太陽電池起電力により決定されることを示した。

長期ガス密度の推移



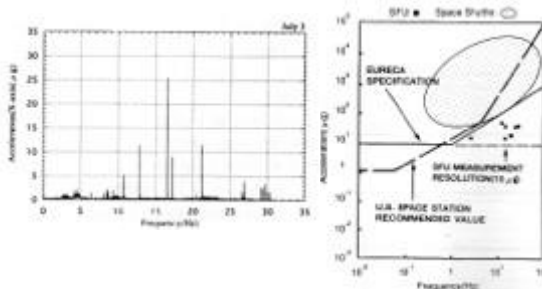
衛星表面の真空度は、軌道投入半年程度までは、表面からのアウトガスが支配的。主成分は水。

電磁環境



大型衛星衛星周辺には、飛翔体が形成する周囲のプラズマ密度勾配に基づくと思われる低周波のブロードバンドノイズが常時存在する。

マイクロG環境



無人の小型宇宙プラットフォームの μg 環境は宇宙基地よりはるかに良い。ただし構造の特性周波数は常時残存。