

科学衛星 JIKIKEN (EXOS-B) の
電子ビーム実験
——磁気圏の計測手段としての有効性——

河島 信樹・赤井 和憲・村里 幸男
佐々木 進

(1983年12月3日受理)

Electron Beam Experiment on Board EXOS-B
(JIKIKEN) as a Diagnostic Powerful Tool in
the Magnetosphere

By

Nobuki KAWASHIMA, Kazunori AKAI,
Yukio MURASATO Susumu SASAKI

Abstract: Electron beam emission experiments on EXOS-B have been performed. We will show here even a weak electron beam emission can excite many types of plasma waves such as plasma frequency, electron frequency, upper hybrid frequency, etc. The instrument itself is a very small and compact, and it does not require any high gain amplifier nor a long antenna. So EXOS-B has revealed that a low power electron beam emission experiment is a powerful plasma diagnostic tool for magnetospheric and planetary plasma exploration.

1. まえがき

飛翔体からの電子ビーム放出実験は、電離層及び磁気圏での宇宙プラズマ物理の active 実験において重要な役割を担っている。これまでにロケットを用いた数多くの実験が行なわれてきており、人工オーロラの励起[1]、波動励起[2]、電子エコー実験[3]など重要な成果が得られてきた。Winckler によってそのレビューが出版された[4]

衛星による電子ビーム放出実験は、GEOS, SCATHA, EXOS-B(JIKIKEN)[5]によって行われてきた。前者の2つは各々、電場測定と衛星帯電実験に比重が置かれたが、EXOS-Bは波動励起の測定が可能である。

この報告では EXOS-B の電子ビーム実験のデータに基づき、電子ビーム放出は微小な出力の場合でも、磁気圏でのプラズマ密度と磁場の測定手段として有効であることを示す。

2. 装置

本実験の装置については既に報告されたので、[6], 概略を示す。JIKIKEN に搭載された電子銃はウェーネルト電極をもち軸対称平行ビームのピアス型である。放出孔でのビーム半径は 5 mm, ビームの拡がりは約 0.3rad である。ビーム電流と電圧は 4 段階に切り換えられる。

電流……0.25 mA, 0.5 mA, 0.75 mA, 1.0 mA

電圧……-100 V, -125 V, -150V, -200 V

各々の選択は discrete command (DC) 又は organized command (OG) によって制御され

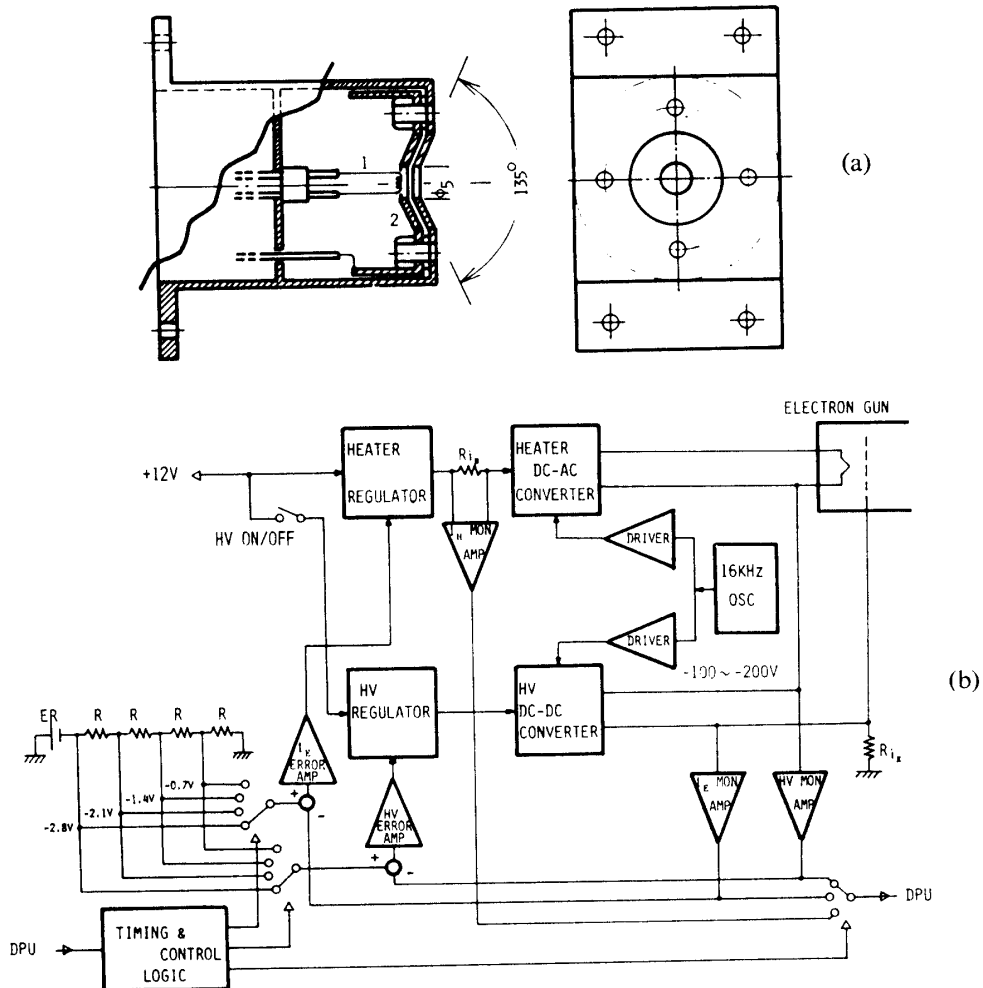


図1 (a)電子銃および(b)制御回路のブロックダイアグラム

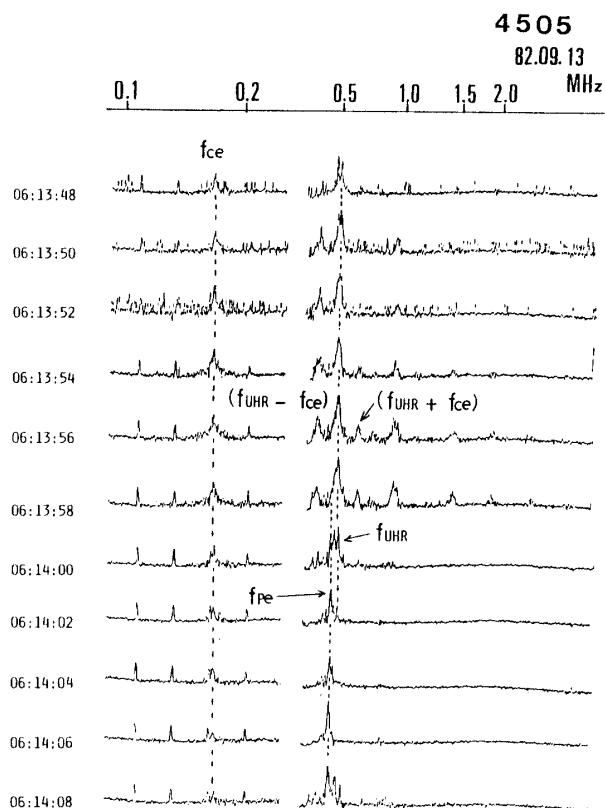


図2 Rev 4505における電子ビーム放出による励起波動スペクトラム

る。DCによれば電流電圧ともに任意に選択できるので16の組合せが可能であり、OGを用いれば8秒乃至16秒の間隔で段階的变化が自動的になされる。電子銃の外観(a)と回路のblock diagram (b)を図1に示す。

電子銃は衛星の側面に基板と 30° の角度をもって設置されている。16 KHzの矩形波のカソードヒータ電流による直熱型のため、放出されるビームが16 KHzの変調を受け、加速電圧に16 KHzのリップルが加わっており、このため後述のように波動受信機のデータに影響が現われる。

10 KHz~3 MHzの波動は110 m (tip to tip)のdipoleアンテナで受信され、2秒又は8秒の間隔でon boardに周波数解析されアナログデータとして地上に伝送される。

3. 実験結果

電子ビーム放出時の周波数スペクトルの典型的な例を図2に示す。 f_{pe} , f_{UHR} , f_{ce} は各々電子プラズマ周波数, upper hybrid周波数, 電子サイクロトロン周波数である。また、これらの非線型的結合による周波数の波も現われているが、それについては他の紙面に譲る。

f-t diagramの典型的な例を図3(a)に示す。この時、衛星は近地点に向かって動いている。最も強く励起されている波の周波数は衛星の動きにつれ高くなっている。これを拡大

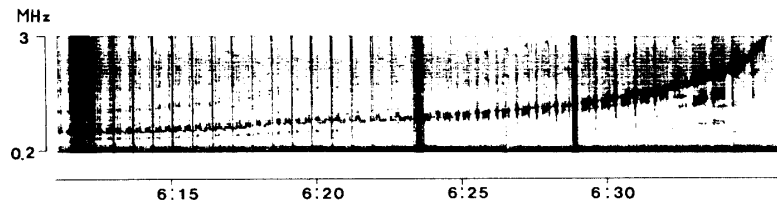
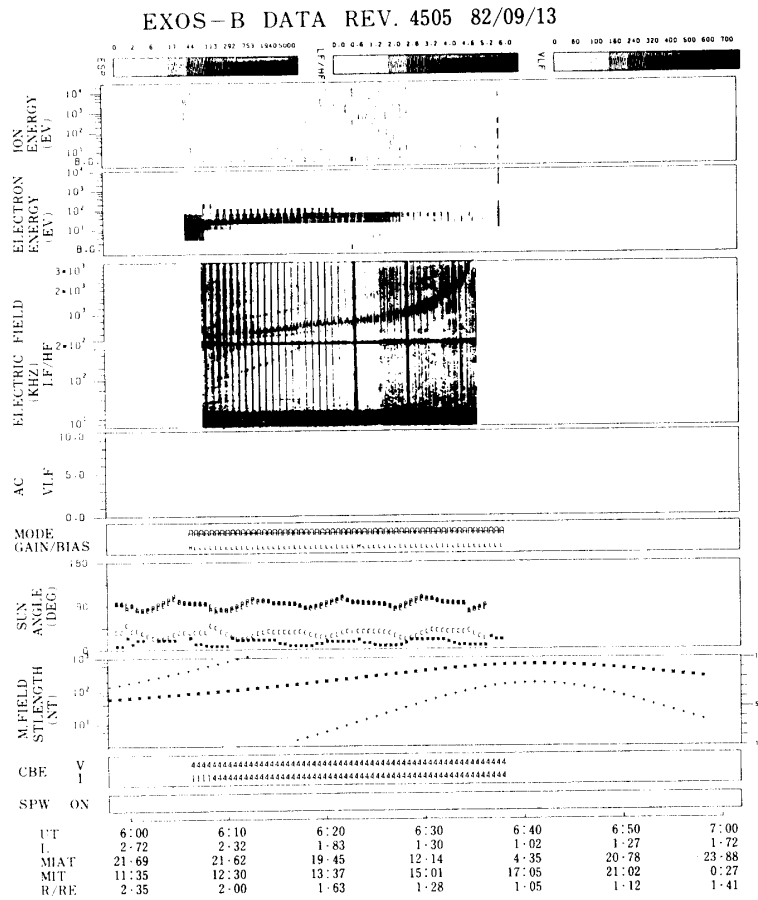
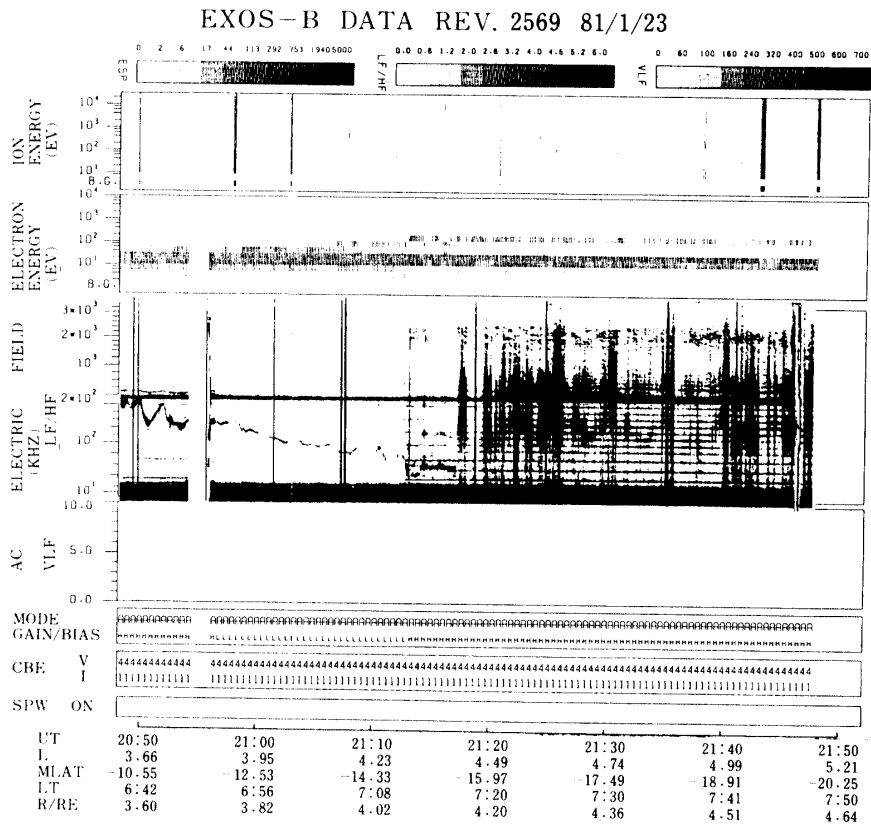


図3 Rev 4505における励起 HF スペクトルと粒子エネルギー

した図 (図 3(b)) から見られるように、周波数は衛星のスピンのより変調を受けており、 f_{pe} あるいは f_{UHR} は磁場に対するビームの方向に依存しているのがわかる。不運にも磁場計測器が既に不能であるため衛星の姿勢すなわちビームの方向が決定できないが、物理的には、 f_{pe} はビームが磁場に平行な場合に、 f_{UHR} はビームが磁場に垂直な場合に励起されるはずである。それは、 $\sqrt{f_{UHR}^2 - f_{pe}^2}$ から求まる磁場の値と、 f_{ce} から求まる磁場とを比較することによって確認された。 f_{ce} は常に励起されているわけではないが、その場合は衛星の位置があまり遠くなければ、磁場モデルと比較できる。励起された f_{pe} からプラズマ密度が得られるが、観測データから、 $n \geq 10/\text{cm}^3$ に至るまで f_{pe} の励起がみられる。つまり、電子ビ

ーム放出実験をプラズマ測定の手段としての観点からみた場合、磁気圏中で $n \geq 10/\text{cm}^3$ に至るまでプラズマ密度計測手段として有効であることがわかる。とりわけ、図4に示すようにプラズマポーズの検出に役立つ。プラズマポーズの端においてはプラズマ密度が急激に変化し、プラズマポーズの外側では広い周波数領域にわたってスペクトルが noisy になっている。帰還する電子のエネルギースペクトル（図4の上部）がらわかるようにプラズマポーズの外側では衛星はビームエネルギーに対応する電位に帯電しているの、この noise は帯電による何らかのコロナ放電によりできたのであろう。



(プラズマポーズ内 ←————→ | ←———— プラズマポーズ外)

図4 Rev 2569における HF スペクトルおよび粒子エネルギー

4. 議 論

衛星から弱い電子ビームを放出することにより、磁気圏においてプラズマ密度や磁場の強さを測定する有効な手段となることが示された。また、密度測定は $n \sim 10/\text{cm}^3$ まで可能であり、プラズマポーズの位置も明確に得ることができる。

装置そのものは非常に小さくコンパクトであり、重量はわずか 1.39 kg である。波動測定器が必要となるが、EXOS-B では精巧な感度の良い波動受信機と 110 m のアンテナが塔

載されている。しかし励起された波はかなり強く、低ゲインモードでも飽和してしまうことがあるほどであり、Fig.1で見られるように、高調波を伴うことが多い。さらに、EXOS-Bは打上げ後3年経た時、長い dipole アンテナが不能になり、それ以降は磁気圏で起こる自然の波動は受信不可能となったが、それにもかかわらず、電子ビーム放出により励起される波動は以前と同様に観測されている。このことから波動励起現象は衛星の近傍での現象であり、その観測には長いアンテナも、高感度のアンプも不要である。

結論として、EXOS-Bの観測データから、低出力の電子ビーム放出実験は磁気圏及び惑星間空間のプラズマ研究にとり、有効なプラズマ計測手段であることがいえる。

5. 謝 辞

長時間にわたってデータ解析の労をとってこられた牛越淳雄氏に感謝いたします。また、多大の支援と有益な助言をいただいた EXOS-B チームの大林辰蔵教授、大家寛教授、木村磐根教授、久保治也氏、久保俊文氏、橋本弘蔵氏、森岡昭氏、小野高幸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Hess W N, Trichel M G, Davis T N, Beggs W C, Kraft G E, Stassinopoulos E & Maier E J R 1971, Artificial Auroral Experiment: Experiment and Principal Results, J Geophys Res 76, 6067-6081
- [2] Cartwright D G & Kellogg P J 1974, Observations of Radiation from an Electron Beam Artificially Injected into the Ionosphere, J Geophys Res 79, 1439-1457
- [3] McEntire R W, Hendrickson R A, & Winckler J R 1974, Electron Echo Experiment 1, Comparison of Observed and Theoretical Motion of Artificially Injected Electrons in the Magnetosphere, J Geophys Res 79, 2343-2354
- [4] Winckler J R 1980, The Application of Artificial Electron Beams to Magnetospheric Research, Reviews of Geophys and Space Phys 18, 3, 659-682
- [5] Kawashima N, & the JIKIKEN (EXOS-B) CBE Project Team 1982, Wave Excitation in Electron Beam Experiment on Japanese Satellite "JIKIKEN" (EXOS-B)", Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies 101-110
- [6] Kawashima N, Ushikoshi A, Murasato Y, Morioka A, Oya H, Ejiri M, Miyatake S & Matsumoto H 1981, Beam-Plasma Interaction Experiment in the Magnetosphere by Emitting an Electron Beam from Satellite JIKIKEN (EXOS-B), J Geomag Geoelectr 33, 145-159