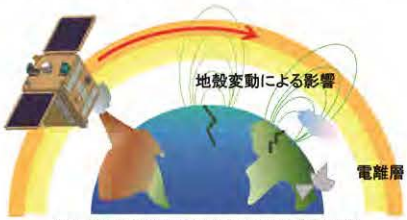
# 小型衛星搭載用電子温度密度測定器EDTPの開発

宮﨑 貴大[1]　ヨサファット テトォコ スリ スマンティヨ[1]
阿部 琢美[2]　中園 智幸[2]　小山 孝一郎[3]　児玉 哲哉[2]
（[1]千葉大学　[2]JAXA　[3]九州大学）

## 1.研究目的

電離層は大気中の原子が太陽光によって電子と陽子に分離（電離）しており，**プラズマと呼ばれる状態**である．電離層は地球の約100kmより上空にいくつかの層で存在し，電磁波の吸収や散乱，反射など様々な現象をもたらす．衛星を使用した合成開口レーダーによる観測でも，送受信波が電離層を通り抜ける際にファラデー効果と呼ばれる影響を受ける．

また，近年**地殻変動による電離層の急激な変化が観測**され地震や火山噴火等の関連性も指摘されている．いくつか仮説は提唱されているものの，**観測データの不足**により明確な答えは出ていない．




電離層を地球規模でリアルタイムに直接観測

本研究では，大型衛星よりも**研究・開発が容易**で，**コスト・運用面でも有利**な小型衛星を使用した電離層観測を実現するため電子温度密度測定器（ Electron Density and Temperature Probe :EDTP）を開発した．

## 2.電子温度密度測定器EDTPについて

プラズマ中の平面プローブの一方に正弦波（200kHz）を2種類の振幅$a$で印加し，得られた電圧$V_{fa}$と正弦波を印加しないもう一方のプローブから得られた電圧$V_f$（浮遊電圧）の差$\Delta V_f$を用いて電子温度$T_e$を計算する．また，正弦波に印加する周波数を変化させ，プラズマとの高域混成共鳴（UHR）周波数$f_{UHR}$で得られる電圧が特徴的に変化することを利用して電子密度$N_e$を導出する．

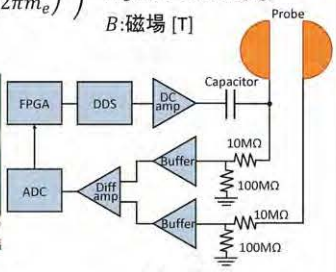
$$\Delta V_f = -\left(\frac{KT_e}{e}\right)\ln\left[I_0\left(\frac{ea}{KT_e}\right)\right]$$

$K$:ボルツマン定数 [J/K]
$e$:電荷素量 [C]
$I_0$:第1種0次変形ベッセル関数

$$N_e[cm^{-3}] = 1.24\times10^4\left(f_{UHR}^2 - \left(\frac{eB}{2\pi m_e}\right)^2\right)$$

$f_{UHR}$:UHR周波数[MHz]
$m_e$:電子の質量[kg]
$B$:磁場 [T]

開発したEDTP回路及びプローブ

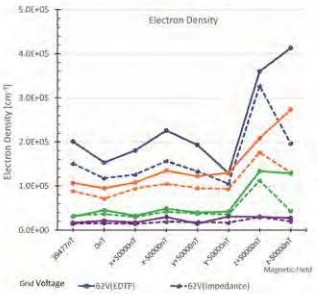


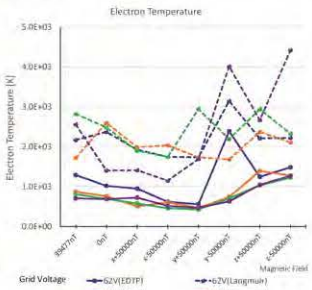

ブロック図

## 3.EDTPの基本性能実験と他手法との比較

プラズマの電子密度・温度の測定手法にはEDTPの他に電極に印加する電圧に対して得られる電流特性を利用するDCプローブ(Langmuir Probe)法，電極に高周波を加えインピーダンスの変化を利用するImpedance Probe法があるが，前者はプラズマ中での電極汚染による測定への影響があること，後者は電子密度のみ測定可能であることなど問題点がある．これら2つの測定手法とEDTPによる電子密度・温度の測定結果を比較し，EDTPの基本性能の測定及び，他の手法との比較を行った．

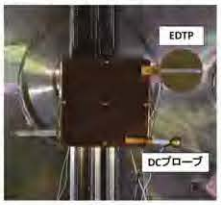
本研究で開発したEDTPでは，電子密度は$10^{-4}$個/cm$^3$から$10^{-6}$個/cm$^3$，電子温度は500Kから3000Kの範囲で測定可能である．小型衛星での電離層観測では，300km上空での測定が一般的で，今回開発した測定器EDTPは電離層観測において十分な性能を持っているといえる．



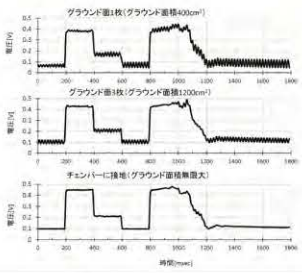



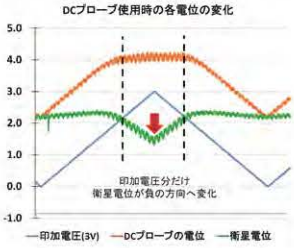

## 4.構体グラウンド変化についての技術的検証

小型衛星によるミッションにおいて**『構体グラウンドの変化』**は重大な問題であり，観測機器に大きな影響を与える．地上では，地面という無限大でほぼ変化のない基準点があるが，宇宙空間を飛行する**衛星は，限られた本体の側面などを基準点として利用**しているため，**電位が変化しやすい**．特に，小型衛星は側面を太陽電池パネル等の取り付けによって十分な大きさが確保できないことが多い．電離層（プラズマ）中でDCプローブのような電圧を加える機器を使用した場合，プローブ表面には電子（－）が衛星表面には陽子（＋）が集まる．加える電圧が一定の値を超えると，衛星表面の陽子が増え，それを打ち消すように**衛星表面の電位（構体グラウンド）が負の方向へ沈む．EDTPではこの構体グラウンドに影響されない**電子温度密度観測が可能であることをDCプローブと比較実験し確認した．




実験中の様子




謝辞: 千葉大学　環境リモートセンシングセンターから，共同研究のための支援を受けました．また，本研究で行ったスペースプラズマチェンバー実験には，『宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所スペースプラズマ共同研究設備』を利用しました．深く感謝いたします。