



Study on LEO Satellite Charging and Associated Plasma Disturbance in the Ionosphere

NIZAM, AHMAD

(Degree)

博士 (計算科学)

(Date of Degree)

2019-03-25

(Date of Publication)

2020-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7519号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007519>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏 名 Nizam Ahmad

専 攻 計算科学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Study on LEO Satellite Charging and Associated Plasma

Disturbance in the Ionosphere

(電離層における地球低軌道衛星の帯電とそれに伴うプラ

ズマ擾乱に関する研究)

指導教員 臼井 英之

(注) 2, 000 字～4, 000 字でまとめること。

(氏名 : Nizam Ahmad NO. 1)

Satellites in space will always be affected by space environment resulting in various impacts from temporary to permanent failures. Anomaly events commonly occur during the period of high geomagnetic activity that also triggered the plasma variation in low earth orbit (LEO) environment. We selected recent 20 LEO anomaly cases registered in satellite news digest (SND) database, and study electron data from MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector) onboard NOAA 15 satellite in addition to fluctuated electron fluxes associated with geomagnetic disturbances within period of 3 days prior to and after the anomaly days. Satellite local time is determined by using propagated two line elements (TLE) of Simplified General Perturbations-4 (SGP4) to calculate the Longitude of Ascending Node (LAN) of satellite. The results showed that the majority of satellite anomalies were linked to the low energy electron fluxes of 30 - 100 keV and associated with the magnetic perturbations which had higher correlation coefficient (~90%) on the day of anomaly. The mean local time calculation during the day of anomaly with respect to the nighttime migration of energetic electrons revealed that the majority of anomalies (65 %) occurred on the night side of the Earth from dusk to dawn sector of magnetic local time.

We then investigated the failures related charging on LEO satellites since the majority of failures subject to environmental charging. In the absence of perturbations from auroral electrons, overall the potential on the spacecraft is less than 3V (negative), whereas the cases by including auroral electrons impact insignificantly contributes to high level charging. This is due to smaller flux ratio of auroral electrons to ambient plasma. In general, ion void region in the near-wake exists in most cases, but more distorted as the object potential becomes more negative. The distorted ion void is more pronounced in the presence of auroral electrons. Simulation done for 20 LEO cases shows the potential dependence on electron temperature rather than density of which floating potential decreases as the electron temperature increases reaching confidence level of 99%.

Simulations done by increasing auroral electron density give rise to increasing magnitude of negative potential, but being still less than 20V. There exists ion focusing inside the wakefield in addition to ion void structure. It is likely to be related to ion trajectory deflection by the electric field as the potential of the spacecraft becomes much more negative. Furthermore, the inclusion of photoelectrons in spite of auroral electrons in simulation disappears the ion void structure and turns out to be ion focusing in the near-wake spanning up to mid-wake region. The ion-back flow due to potential distribution might be contribute to defocusing ion in this region. The confirmation of ion focusing structure is done through numerous simulations using fixed and floating potential. There exists discrepancy between two cases where the ion focusing in the former case is temperature ratio and potential dependence, whereas the latter case is likely to be attributed to flux ratio of auroral electrons to ambient plasma giving rise to ambipolar electric field. This field plays role to accelerate ions in the wake field leading to ion-rich region.

氏名	Nizam Ahmad		
論文 題目	Study on LEO Satellite Charging and Associated Plasma Disturbance in the Ionosphere (電離層における地球低軌道衛星の帯電とそれに伴うプラズマ擾乱に関する研究)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	臼井 英之
	副 査	教 授	陰山 聡
	副 査	教 授	的場 修
	副 査	准教授	三宅 洋平
要 旨			
<p>概要</p> <p>人工衛星は宇宙環境から様々な影響を受ける。中でも衛星障害は深刻な問題であり、その要因は、衛星軌道や太陽活動や地磁気擾乱、衛星表面材質などが考えられ、障害の度合いも軽度のものから衛星全損に至るものまで様々である。本論文で扱う高度 2000 km 以下の地球低軌道(Low Earth Orbit)の人工衛星については、強い地磁気擾乱時に見られる電離層プラズマ変動が衛星障害の大きな要因に挙げられている。本研究では、まず、LEO 衛星障害と電離層電子との関係に着目し、統計的解析を実施することによりその因果関係について詳細解析を実施した。また、衛星障害の重要な要因である衛星帯電に着目し、電離層プラズマを膨大な数の荷電粒子として扱うプラズマ粒子シミュレーション手法を用いて、特に極域電離層環境における衛星帯電とそれに伴う衛星周辺での電離層プラズマの応答、特に衛星下流に形成されるイオン高密度領域について詳細な解析を実施した。</p> <p>本論文は以下の 6 章から構成される。</p> <p>第 1 章では、本論文のキーワードである人工衛星障害と衛星帯電を中心に本研究の背景と目的、および論文の構成について説明をしている。</p> <p>第 2 章では、LEO 人工衛星の障害の要因となる地磁気活動や電離層電子の特性を紹介している。</p> <p>第 3 章では、2000 年から 2008 年までに発生した 20 基の LEO 人工衛星の不具合に着目し、それぞれの場合における地磁気変動や電離層変動に関する様々なパラメータとの相関を統計的に調べている。その結果、LEO 人工衛星障害の多くは、主に 30-100 keV の低エネルギーをもつ電子フラックスおよび高い地磁気擾乱と大きな相関があることを定量的に明らかにした。また、人工衛星不具合の約 65%は地球の夜側の夕方側から朝側にかけた領域で発生することも明らかにした。これらの研究成果は、査読付き国際論文誌である Earth, Planets and Space に投稿し、既に採録されている。</p> <p>第 4 章では、第 3 章で取り上げた 20 基の衛星の電離層環境における衛星帯電についてプラズマ粒子シミュレーションを実施し、それぞれの衛星の帯電具合や衛星の下流に形成されるウェイクと呼ばれるプラズマ擾乱領域について定量的な詳細解析を行っている。得られた研究成果は 2 件の査読付きプロシーディングを伴う国際学会 (the 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology and 18th Asia Simulation Conference) において、ポスターおよび口頭発表を行っている。そのうちに 1 件は、Best Poster Award を受賞している。また、これらの内容を査読付き国際論文誌である Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering (JASSE) に投稿し、採録が決定している。</p> <p>第 5 章では、第 4 章で取り上げた衛星のうち、極域軌道を取る衛星の帯電についてプラズマ粒子シミュレーションを実施している。極域では、背景の電離層プラズマに加えて、磁力線沿いに振り込むオーロラ電子流が存在する。このオーロラ電子により、衛星帯電は通常よりも負になるが、その度合は背景プラズマとオーロラ電子の比に依存する。本研究により、衛星帯電はオーロラ電子の温度に大き</p>			

氏名	Nizam Ahmad
<p>く依存することを突き止めた。また、オーロラ電子により帯電した衛星の下流ではイオン密度が高くなるイオンフォーカス現象が見られることを明らかにしている。通常、このイオンフォーカス現象はイオン温度が電子に比べて非常に小さいときに見られる現象であるが、極域環境の場合、オーロラ電子により衛星が大きく負に帯電するため、それが上流から流れてくるイオンを引きつけることにより衛星の下流側でイオンフォーカス現象が顕著に見られることを初めて明らかにしている。この研究成果について、現在、査読付き国際論文誌に投稿準備中である。</p> <p>最後に、第 6 章では、本論文のまとめと今後の課題について述べている。</p> <p>以上のように、本論文は、LEO 人工衛星障害とその近傍プラズマ応答について、電離層電子の相関関係および極域衛星帯電と衛星後方に形成されるウェイク領域およびイオンフォーカス現象をデータ統計処理および数値シミュレーションにより研究したものであり、電離層プラズマ中における人工衛星帯電とその周辺プラズマ応答現象について重要な知見を得たものとして価値ある集積である。提出された論文はシステム情報科学研究科学学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の Nizam Ahmad は、博士 (計算科学) の学位を得る資格があると認める。</p>	