

氏名(本籍)	五 <sup>ご</sup> 家 <sup>か</sup> 建 <sup>たて</sup> 夫 <sup>お</sup> (茨城県)		
学位の種類	博士(システムズ・マネジメント)		
学位記番号	博甲第2,007号		
学位授与年月日	平成11年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	衛星の放射線による誤動作と極値モデルに関する研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	吉澤 正
副査	筑波大学教授	工学博士	橋田 温
副査	筑波大学助教授	工学博士	椿 広計
副査	筑波大学助教授	博士(理学)	牧本直樹
副査	筑波大学助教授	Ph. D. (統計学)	金澤 雄一郎
副査	中央大学教授	工学博士	鎌倉 稔成

## 論文の内容の要旨

軌道上の人工衛星内部の半導体デバイスが、宇宙放射線粒子1個の侵入によって、誤動作や破壊現象を起こし、その結果、人工衛星システムに障害が生じる影響をシングルイベントという(英語ではSingle Event Effectsという。以下SEE と略す)。最近では半導体デバイスの超小型化により、SEE は、人工衛星だけでなく航空機や地上機器にまで観測されるようになり、半導体デバイスを使用する多くの機器で信頼性に関する重大な問題となっている。

本論文の第1章では、研究の対象となる技術課題を示し、研究の背景とその方向性を示している。課題は次の6つにまとめられた：①SEE の発生メカニズムの解明；②半導体デバイスのSEE に対する耐性向上の研究；③地上での放射線照射試験技術と評価試験の研究；④宇宙環境モデルの精度向上研究；⑤軌道上でのSEE 発生率予測；⑥軌道上での実測による上記技術の総合評価。

第2章では、宇宙放射線環境とそのモデルを中心に関連する既存研究と問題点をまとめ、第3章では、課題①SEE 発生のメカニズムの解明について、基本的な発生メカニズムの解明、評価試験法の確立、SEE 発生予測方法検討のための実験サンプル製作や加速器試験、ならびに計算機シミュレーション試験や関連実験についてまとめている。

第4章では、課題②半導体デバイスのSEE 耐性向上の研究について、破壊現象(ラッチアップ)と誤動作(アップセット)の2種のSEE に関しそれぞれの耐性の向上に成功した成果についてまとめている。また、課題③地上での放射線照射試験技術について、サイクロトロン加速器などを用いた実験と、実験室レベルで簡易に試験できる照射試験法として「シングルイベント評価室」の設計構想を立て、1989年に筑波宇宙センター内に整備した研究をまとめている。

第5章では、技術課題④宇宙放射線の宇宙環境モデルの精度向上について、日本の3つの衛星「おおぞら」「あけぼの」「ETS-VI」で観測された放射線データを使って、低高度の実験版放射線帯モデル(電子、陽子、 $\alpha$ 線の3種)の作成を行ったことが報告されている。

第6章では、課題⑤軌道上のSEE の発生率予測計算技術について、まず、重イオンによるSEEの発生率予測に関して、米国の既存モデルに対して日本の長期にわたる計測データを用いて精度を向上させたこと、ならびに

陽子による発生率予測に関して2パラメータ実験式とその推定法を提案して成果を得たことをまとめている。最近のデバイスでは2パラメータ式の方が良く合うことが広く知られ、世界の標準的計算法となった。また、課題⑥軌道上でのSEEの実測による上記技術の総合評価について、SEEの軌道上の実測値と予測値との比較などを行い、既存モデル及び本研究で提案した2パラメータ式によるモデルの検討が行われて、モデルの限界も明らかにされた。

第7章では、SEEの太陽フレアによる異常発生率への極値モデルの適用可能性を検討し、SEE最大発生率データが極値分布モデルとしてGumbel分布が最も良い近似であることを確かめ、太陽活動極小期では極値データがGumbel確率紙上で一本の直線上にのり、太陽活動極大期では折れ線の2直線で表示されることが明らかにされた。極小期とは明らかに傾きの違う極大期の直線部分は太陽フレアの影響に対応するので、極値分布を用いて太陽フレアの影響の判別及び最大発生率の予測が可能となる。

最後の第8章において、以上の研究成果の総括を行い、今後の課題ならびに展望を与えている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、五家氏が本学での研究成果と所属する宇宙開発事業団での研究プロジェクトで主導的な役割を果たした成果とを体系的にまとめたものである。本論文は大規模なプロジェクトの成果報告という側面もあるが、氏の貢献部分についてはそれぞれの時期に電子情報通信学会やIEEEなどで多数の論文や研究速報として発表されており、氏のオリジナルな研究が十分に貢献したものと認められる。また、本学企業科学専攻における研究は、直接には確率統計モデルの構築検証にあり、間接的にはデータベースの構築やその活用方法、さらにはプロジェクトマネジメントに生かされており、在学中の研究が3件の論文としても発表され、高度専門職業人の養成という本学の目的に合うものといえる。本研究は、半導体デバイスの超小型化に伴う実用的に重要な信頼性問題を扱っており、実測データの蓄積、モデルの構築とその改善、地上及び実軌道上での実証という体系的な構想の下で優れた成果を上げていると評価される。

以上、本論文は宇宙空間での放射線による衛星の誤動作に関する理論及び実証方法について体系的な貢献を行ったものと認められる。

よって、著者は博士（システムズ・マネジメント）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。