

II -2-i-42

超音波を用いた材料評価の研究

客員助教授 三原 毅

閉じたき裂や部分接合状態の評価を目的として、大変位超音波計測システムを構築し、試作探触子を組み合わせ部分閉口き裂透過波の非線形挙動を測定した。実験では6.4MHz、±20～40nmの縦波大振幅超音波を用い、アルミニウム合金のき裂の開閉に伴う超音波の非線形解析を行った。疲労試験時に、き裂端部振幅をモニターし、閉口き裂の製作条件を選択した。作製したき裂は負荷により開閉させながら、垂直透過法、斜角透過法を用いて、き裂の開閉と高調波の発生挙動を調べた。その結果き裂の開閉に伴って、従来報告されている2次高調波に加え、特に斜角透過測定において非常に強い3.2MHzのサブハーモニック波が観察された。これは従来の高調波成分に比べ、き裂性状の変化に対し変化が大きく実用が期待できる。サブハーモニック波発生メカニズムについて、レナードジョーンズの質量モデルを提案し、定性的な一致をみた。実験で用いた部分閉口き裂の開口量は数nm～数十nmと考えられ、き裂以外にも不完全接合部、マイクロクラックの発生モニター等、従来スペクトロスコープしか解析手法が無かった分野に新しい計測手法をもたらす可能性がある。

j. 宇宙探査工学研究系

II -2-j-1

人工衛星用星姿勢センサの研究

教授	二宮敬虔	教授	齋藤宏文	助教授	紀伊恒雄
助教授	水野貴秀	助手	藤本龍一	助手	坂井真一郎
				技術職員	廣川英治

「はやぶさ」用に開発した小型軽量で0.05deg精度の広視野スタートラッカについて、軌道上での動作を評価し、動作パラメータのチューニングを行った。この結果を、「INDEX」用および「SOLAR-B」用の同型のスタートラッカの軌道上運用に反映させる。秒角精度の高精度スタートラッカについては、「ASTRO-E2」用および「ASTRO-F」用のものの光学性能測定および単体環境試験を行い、軌道上での予測性能を評価している。

II -2-j-2

人工衛星用太陽姿勢センサの研究

教授	二宮敬虔	教授	齋藤宏文	助教授	紀伊恒雄
助手	坂井真一郎	技術職員	廣川英治	国立天文台	清水敏文

直交する2つの1次元CCDを検出素子とする2次元高精度太陽センサを研究・開発している。精度0.05度(3σ)のものとしては、「あけぼの」、「ようこう」、「あすか」に搭載されたものをセンサ部とエレキ部を一体型し、「はやぶさ」のフライトに供した。現在、軌道上データの評価を行っている。「ASTRO-E2」、「ASTRO-F」、「INDEX」にも同型のセンサが搭載され、そのフライトモデルの製作および光学特性試験を行って、歪曲補正パラメータの算出を行った。精度1～2秒角の狭視野センサとしては、「ASTRO-F」用に視野角を2degまで広げたタイプを開発し、「SOLAR-B」用には視野角1deg、精度0.2arcsecを目指して開発している。

II -2-j-3

人工衛星用慣性センサ及びその応用の研究

教授 二宮敬虔 助教授 橋本樹明

人工衛星用慣性姿勢基準装置（FRIGおよびTDG方式）につき開発的研究をしている。特に現在は、ドリフトレート安定性の温度特性の把握を、理論解析および実測の両面から行い、ASTRO-F、SOLAR-Bで使用する際の限界性能把握を行っている。またこれらの機械式ジャイロを用いた慣性姿勢基準装置の発生する振動擾乱の測定および

その発生メカニズムの解明を行い、低減策についての研究も行っている。

II-2-j-4

人工衛星用光ファイバージャイロの高精度化の研究

教授	二宮敬虔	教授	齋藤宏文	助教授	橋本樹明
助手	戸田知朗	助手	坂井真一郎	総技研	鈴木秀人

可動部を持たないため振動擾乱の発生が無く、信頼性も高いと考えられている光ファイバージャイロの高精度化研究を行っている。ひとつは小型衛星用に、小型、安価な量産型光ファイバージャイロに対して温度制御等を行うことにより極限性能を引き出す研究を行っている。もう一方は、現在の高精度機械式ジャイロに匹敵する性能を達成するため、相対強度雑音補正機能などの各種新規技術の適用によって世界最高レベルの性能を達成する研究を行っている。

II-2-j-5

磁気軸受ホイールとその衛星姿勢制御への応用の研究

教授	二宮敬虔	助教授	橋本樹明	助手	坂井真一郎
総技研	中島 厚	総技研	鈴木秀人	総技研	井澤克彦
民間等共同研究員	齊藤光伯			民間等共同研究員	佐藤典夫

磁気軸受ホイール（特に全自由度能動制御型）を、人工衛星の姿勢制御においてアクチュエータ及びレートセンサとして使用するための、理論的及び実験的な研究を行っている。ホイールのジンバル角制御に2自由度制御系、 H_∞ 制御理論、スライディングモード制御、適応制御等のロバスト制御則を適用することにより、パラメータ変動に強い制御系を構成することを検討し、計算機シミュレーションによってその有効性を確認した。現在は、ホイールの発生する振動擾乱を軸受制御の工夫により低減する方法について引き続き研究を進めており、試作モデルを用いて振動擾乱の実測を行っている。また、実際の人工衛星への搭載を考慮し、信頼性向上のためのセンサ、制御部、電源部のFDIR（故障検出・分離・再構成）の研究も行い、実験モデルに実装してその動作確認試験を行った。

II-2-j-6

人工衛星の姿勢決定法の研究

教授	二宮敬虔	教授	中谷一郎	助教授	紀伊恒雄
助教授	橋本樹明	助教授	堂谷忠靖	技術職員	廣川英治

現在は主に、スタートラッカによる星撮像データとスターマップをマッチングさせる星同定法についての研究を行っている。「はやぶさ」については、全天の星から機上星同定を行うアルゴリズムを開発し、軌道上で動作の確認を行った。現在は、実運用に使用している。「ASTRO-F」については、視野内を移動する星を対象とした星同定アルゴリズムを開発し、その有効性を確認試験を行った。

II-2-j-7

人工衛星の姿勢制御方式の研究

教授	二宮敬虔	教授	平林 久	助教授	橋本樹明
助手	村田泰宏	助手	坂井真一郎	COE研究員	望月奈々子
				リサーチアシスタント	下田真吾

天文観測を目的とした科学衛星の高精度三軸姿勢指向制御方式に関し以下のような研究を行っている。

- (1) 「ASTRO-F」の姿勢制御系について、特にスキャンモードの姿勢制御方式の研究およびフライトモデルを用いた静的閉ループ試験による検証を行っている。
- (2) 超高精度姿勢安定のための制御系について、衛星に働く全トルクを最小化する考えに基づいて、最適なアクチュエータ駆動則の研究を行っている。

- (3) 姿勢変更制御（姿勢マヌーバ）方式について、最短時間で所望の姿勢変更を行う実用的制御アルゴリズムの研究を行っている。また高トルクアクチュエータとしてCMG（コントロール・モーメンタム・ジャイロ）を用いた高速姿勢マヌーバについて、その駆動方式の検討、特異点解析、制御性能評価などを行っている。
- (4) リアクションホイール故障時などを考慮して、2ホイールによる3軸姿勢制御の可能性についての研究を行っている。

II -2-j-8

月・惑星撮像カメラ兼光学航法装置の研究

教授	二宮敬虔	教授	水谷 仁	教授	中村正人
助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝	助手	飯島祐一
助手	白石浩章	神戸大・理	向井 正	神戸大・理	中村昭子
高知大・理	本田理恵	電通大	柳澤正久	東海大	十亀昭人
RESTEC	山本 彩	西松建設技研	斎藤 潤	会津大	出村裕英

「のぞみ」、[LUNAR-A]用の可視光撮像カメラ（MICおよびLIC）のフライトモデルの機能性能試験およびその軌道上データ評価を引き続き行っている。「はやぶさ」用光学航法カメラ（ONC）については、恒星撮像および較正用ランプ光源撮像による軌道上での性能評価を行った。

II -2-j-9

画像航法の研究

教授	二宮敬虔	教授	川口淳一郎	助教授	加藤隆二
助教授	吉川 真	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
				技術職員	市川 勉

探査機による月・惑星表面の撮像画像と、既にわかっているクレータ等の特徴地形の地図とをパターンマッチングすることにより、探査機の軌道・姿勢情報を含むパラメータ値が求められる。このような画像データと従来の電波航法データ・姿勢センサデータを併せてカルマンフィルタで推定を行えば、精度の高い軌道・姿勢推定が可能である。その一例として「のぞみ」の月スウィングバイ時の画像からクレータを抽出し、これを月面地図、と比較することにより航法精度を向上させることを試みた。

また、将来の月探査機の自律航法を目指して、クレータの抽出、地図データベースとのマッチングを自動的にを行い、それにより得られる情報を用いて機上にて航法精度を向上させるアルゴリズムについて研究を行い、計算機シミュレーションにより、その性能を確認している。

II -2-j-10

自然地形の特徴点を利用したランデブ・着陸法の研究

教授	二宮敬虔	教授	中谷一郎	助教授	橋本樹明
				助教授	久保田孝

小惑星等の未知天体にランデブー、着陸する際には、自然地形の撮像画像をもとに探査機の相対位置を計測し、目標点まで誘導する必要がある。従来この種の処理は高度な自然地形認識が必要と考えられてきたが、画像のフィルタリングによる自動特徴点抽出を用いることにより、高速に相対位置が計測できることがわかった。現在、この特徴点抽出アルゴリズムと探査機制御則を組み合わせ、探査機の小惑星表面への誘導シミュレーションを行っている。

II-2-j-11

画像を用いた自然地形の認識に関する研究

教授	二宮敬虔	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
		助教授	澤井秀次郎	総技研	片山保宏

天体への着陸，天体表面の移動を行うためには，当該地域の地形の認識，すなわち山であるか谷であるか平地であるか等の認識が必要になる．従来はこのような認識を行う場合，まず天体の3次元地図を作製し，その地形を評価関数にかけて分類，認識を行っていたが，膨大な計算量が必要であった．本研究では，あらかじめ分類に必要な地形カテゴリーを限定することによって，1枚の陰影画像から高速に地形分類，認識を行うことを行っている．

また着陸地点の安全度（傾斜，障害物の有無）を判定する方法として，天体表面の反射率の非線形性を利用して複数地点から撮像された陰影画像から惑星表面の状態を求める手法，ステレオ画像を用いる方法，太陽光の陰を利用する方法等を開発し，計算機シミュレーションにより各アルゴリズムの比較およびその性能の確認を行っている．

II-2-j-12

フォーメーションフライトにおける相対位置・姿勢決定に関する研究

教授	齋藤宏文	助教授	橋本樹明
----	------	-----	------

将来の光学干渉計ミッション，X線親子衛星ミッション，多点同時プラズマ観測ミッション等では，複数衛星による協調的観測が必要となるが，そのためには衛星間の相対位置・姿勢を精密に決定する必要がある．そのための一つの方法として，小型のスキャンミラー付レーザ測距計を用いたシステムを前提とした相対位置検出法を研究し，非線形最小自乗法を用いて相対姿勢，位置を精度良く推定できることを計算機シミュレーションにより確かめた．

II-2-j-13

超電導磁石を用いたフォーメーションフライト相対位置制御の研究

教授	二宮敬虔	教授	齋藤宏文	助教授	橋本樹明
		助手	坂井真一郎	大学院生	金田良介

2つの衛星が地球周回軌道を所望の相対位置関係を保って飛翔させる場合，非ケプラー運動させる必要がある．一般的には，この用途には電気推進スラスタのような高効率推進系が使用されるが，ミッション期間が長い場合は必要な燃料が膨大になる．そこで，超電導磁石の吸引反発力を利用して2衛星の相対位置を制御することが考えられる．本年度は，相対位置制御方式について，交流駆動の位相制御を用いた制御方法を提案し計算機シミュレーションによる検証を行った．

II-2-j-14

M-V用慣性航法装置の研究

教授	中谷一郎	教授	川口淳一郎	助教授	久保田孝
		技術職員	齊藤 宏	技術職員	田村 誠

M-Vに用いる慣性航法装置の各種試験及び解析を行っている．今年度は，ファイバ・オプティカル・ジャイロ，加速度計，プロセッサからなる慣性航法装置において高機能化について検討した．また誘導アルゴリズムの実装を検討した．6号機フライトモデルの解析および性能評価を行った．

II-2-j-15

ロケットの姿勢制御法の研究

教授	中谷一郎	教授	川口淳一郎	教授	森田泰弘
助教授	久保田孝	助手	津田雄一	技術職員	齊藤 宏
				技術職員	田村 誠

M-Vの姿勢制御系について，制御パラメータ，制御シーケンス，制御則等のミッションに応じた変更，搭載ハー

ドウェアの小型・軽量・低消費電力化，マイクロコンピュータを応用した地上支援装置の設計法，制御系の検討を進めた。

II-2-j-16

MEMS技術を応用した宇宙探査機システムへの応用研究

教授	二宮敬虔	教授	中谷一郎	教授	齋藤宏文
助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝	東京電機大学	原島文雄
		東大生研	藤田博之	東大生研	橋本秀紀

最新のマイクロエレクトロニクス技術を用いて，超小型・軽量・低消費電力のセンサの研究開発をめざしている。大学の専門家との強い連携を行い，宇宙探査機システムへの応用の検討を進めている。

II-2-j-17

高精度月面着陸手法の研究

教授	中谷一郎	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
				助教授	澤井秀次郎

月面探査のために高精度の着陸手法について検討を行っている。濃淡画像を用いて月表面クレータなどの地形情報をもとに高精度に着陸する手法について検討を行った。また画像情報をもとに表面地形認識を行い，障害物の検出回避および着陸誘導方法について検討を行った。

II-2-j-18

小型軽量マイクロローバの研究

助教授	久保田孝	明治大学	黒田洋司	中央大学	國井康晴
		教授	中谷一郎	助手	吉光徹雄

月や惑星の広範囲な探査を目的に，小型軽量で走破性の優れた移動探査ロボットの研究を進めている。5個の車輪で構成される新しい走行システムを開発し，重量約5kgの探査ローバを実現することができた。また超音波モータを用いて小型軽量なマニピュレータを開発し，サンプル採取実験を行った。

II-2-j-19

月面探査ローバシステムの研究

助教授	久保田孝	教授	中谷一郎	明治大学	黒田洋司
中央大学	國井康晴	助手	吉光徹雄	助手	岡田達明
東京大学	佐々木晶	北海道大学	杉原孝充	大阪大学	佐伯和人
秋田大学	秋山演亮	研究職員	大竹真紀子	教授	加藤 學

月面を無人地質探査する探査ローバのシステムに関する検討を行った。科学ミッションを定義し，その要求に応じた観測機器検討，観測シナリオ，探査シナリオ，熱解析を行った。

II-2-j-20

自律移動型地中探査ロボットの研究

助教授	久保田孝	教授	中谷一郎
-----	------	----	------

月・惑星探査において内部探査は科学者からの要求の高いミッションである。そこで内部を掘削しながら探査を行うロボットの検討を行っている。掘削ロボットの地中推進手法について，推進力の解析とモグラ型実験システムによる実験的検討を行った。

II -2-j-21

微小重力環境における移動メカニズムの研究

助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄 大学院生 下田真吾

微小重力下において従来のような車輪型ロボットを用いると、惑星表面の凹凸によりローバと惑星表面との間で常に接触を保つことができず、確実な移動を保証できない。そこで、摩擦を利用した新しい移動メカニズムを提案し、実験的検討を進めている。

II -2-j-22

探査ローバの自己位置同定手法の研究

助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄 明治大学 黒田洋司

月・火星ローバなど惑星表面を移動する探査機は、自己の位置や向きを同定するための機能を備える必要がある。太陽や星の位置、まわりの環境情報や内界センサ情報を用いて、自己の絶対位置を推定する手法を検討した。

II -2-j-23

月・惑星探査におけるテレサイエンスシステムに関する研究

助教授 久保田孝 中央大学 國井康晴

月や惑星表面での移動型科学探査の強い要求がある。その際、地球からの遠隔操縦でランダまたはローバにより科学探査を行うに際して、科学者の操作しやすいテレサイエンスシステムが必要である。そこで、惑星探査用テレサイエンスシステムの構築を進めている。

II -2-j-24

惑星探査における自律システムに関する研究

助教授 久保田孝 明治大学 黒田洋司

月や惑星表面での移動型科学探査の強い要求がある。その際、地球との通信時間遅れのため、自分で判断して行動する高い自律機能が探査機に必要となる。自律惑星探査システムの構築を進めている。

II -2-j-25

惑星探査のための自律着陸制御に関する研究

助教授 久保田孝 中央大学 永松弘行

惑星表面での直接科学探査の強い要求がある。そのためには、探査機が安全、確実に着陸することが重要であり、岩やクレータなどを回避して自律的に探査機を制御することが必要となる。そこで探査機の自律着陸制御に関して研究を進めている。

II -2-j-26

非ホロノミックな宇宙機の姿勢制御の研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 助教授 橋本樹明
大学院学生 下田真吾

微小重力環境で探査を行うロボットの姿勢制御に関する検討を行っている。2自由度の制御入力で姿勢の3自由度を制御する手法について検討を行った。また、太陽方向や地球リンク姿勢など制約を受ける姿勢マヌーバ経路について、2ホイールによる姿勢経路生成手法及び制御手法について検討した。

II -2-j-27

小天体浮上移動探査ロボットの着地制御に関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 下田真吾

微小重力環境で移動探査を行うロボットの着地制御に関する検討を行っている。探査ロボットが浮上した後、再着地の際にバウンドすることなく着地する手法について検討をおこなった。エネルギー変換を効率的に行う方式について、シミュレーションおよび実験によりその有効性について評価を行った。

II -2-j-28

惑星探査における岩石研磨システムに関する研究

助教授 久保田孝 中央大学 國井康晴 助手 吉光徹雄
特別共同利用研究員 多田興平

月や惑星の地質探査において、表面のサンプルを研削研磨して詳細な観察をすることは科学的に意義が高い。そこで、惑星において効率よく研削する方式について検討を行っている。今年度は、超音波岩石研削機における個別要素法を利用した研削面の状態解析を行った。

II -2-j-29

超音波振動技術の宇宙利用の可能性に関する研究

助教授 久保田孝 中央大学 國井康晴 助手 吉光徹雄
特別共同利用研究員 多田興平

宇宙探査機には、小型・軽量・低消費電力のシステムが要求されている。そこで、新しいアクチュエータとして、超音波振動技術を利用したモータの宇宙への応用を検討している。振動試験、温度試験、放射試験を行って、その性能評価を行ない、問題点の洗い出しを行った。

II -2-j-30

月探査ローバのビジュアルナビゲーションの研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄
大学院学生 江尻理帆

カメラ画像に基づいて障害物の認識を行い、移動可能な経路を生成するアルゴリズムについて検討を行っている。さらに認識結果に基づいて移動戦略や観測戦略を行う人工知能に関して研究を進めている。

II -2-j-31

知的行動計画に関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 Lee Serin

行動計画に関する知的な立案方法に関する研究を進めている。反射的に意図された行動を経験から学習し計画する手法について検討を進めている。

II -2-j-32

移動ステレオ視による小天体のマッピングに関する研究

助教授 久保田孝 大学院学生 飯塚浩二郎

小天体まわりに探査機が停留し、撮像したカメラ情報をもとに小天体の3次元構造を復元するマッピング手法について検討を行っている。あわせてグラフィカルシミュレータを作成し、さまざまなケースでの3次元シミュレーションを進めている。

II -2-j-33

次期小天体探査ミッションの研究

助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄 大学院学生 飯塚浩二郎

小惑星マルチサンプルリターン計画において、小惑星表面での複数地点での直接移動探査や内部探査について検討を行っている。探査ロボットの自己位置同定手法、表面移動探査手法、掘削探査手法などについて検討を進めている。

II -2-j-34

微小重力移動ロボットの浮上角度に関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄
 大学院生 Andreas Wingert 大学院生 高橋 啓
 リサーチアシスタント 下田真吾

小惑星のような微小重力下における移動メカニズムの検討を行っている。重力、表面との摩擦などが移動方式にどのように影響するかを実験を通して検討を行い、移動メカニズムの解明を進めている。特に摩擦と浮上角度に関して考察を行った。

II -2-j-35

重力を考慮した移動方式の研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 助手 吉光徹雄
 大学院生 高橋 啓 大学院生 Andreas Wingert 大学院生 下田真吾

惑星探査において移動探査を行うことが科学的に重要となっている。そこで惑星環境に適した移動方式の検討を進めている。重力に着目し、その大きさの違いによる移動形態の影響を考察し、重力環境に応じた移動メカニズムについて検討を行った。

II -2-j-36

複数探査ロボットの協調に関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 松尾和芳

物体の搬送など1台のロボットではできない作業が存在する。そこで、複数のロボットがいかに協調して作業を達成することができるか、その協調メカニズムを明らかにすることを検討している。

II -2-j-37

自律探査ローバの障害物回避に関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 江尻理帆
 大学院学生 佐藤孝洋

カメラ画像に基づいて障害物を検出し回避経路を自動生成する手法について検討を行っている。実験用探査ロボットを用いて、惑星模擬地形における障害物回避実験を行い、アルゴリズムの評価を行った。

II -2-j-38

自律型探査ローバの画像に基づく自己位置同定の研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 佐藤孝洋

着陸時の画像と着陸後の周囲画像を比較することにより、惑星表面での位置を推定する手法について検討を行っている。また周囲画像をもとに経路を計画し、また移動しながら自己の位置を推定する方法についても検討を進めている。

II -2-j-39

惑星探査用多脚ロボットに関する研究

教授 中谷一郎 助教授 久保田孝 大学院学生 豊川貴章
大学院学生 飯塚浩二郎

惑星探査において、脚型ロボットは不整地における走破性の高さから活躍することが期待されている。そこで、惑星表面などの複雑な地形において、走行可能な移動メカニズムと制御アルゴリズムの研究を行っている。

II -2-j-40

宇宙用多接合太陽電池の研究

教授 田島道夫 助教授 曾根理嗣 助手 藁品正敏
大学院学生 杉本広紀

III-V族化合物半導体多接合太陽電池セルは宇宙用の高効率光電変換素子として期待されている。しかし多接合構造である為、各サブセルの放射線照射効果が異なっており太陽電池劣化機構が複雑となっている。そこでデバイスのまま、非破壊、非接触にて各層の評価を行うことを狙い、放射線照射量を変化させたセルに対し順方向通電により発光ダイオードとして動作させ、そのルミネッセンスの評価を試みた。その結果、GaInP₂/GaAs/Ge多接合太陽電池セルにおいて、トップ層 (GaInP₂)、ミドル層 (GaAs)、ボトム層 (Ge) からそれぞれ固有の発光を捉えることに成功した。そしてミドル層の発光強度が最も減衰し、最も放射線の影響を受けることがわかった。これは従来の選択励起による放射線照射効果のフォトルミネッセンス解析と同様の結果であり、この方法の有効性が実証できた。

II -2-j-41

CIGS太陽電池の研究

教授 田島道夫 助教授 曾根理嗣 助手 藁品正敏
特別共同研究員 吉田和生

Cu (In, Ga) Se₂ (CIGS) 太陽電池は薄膜軽量であり、優れた耐放射線性を持つことから、次世代宇宙用太陽電池として注目されている。本研究では、高い耐放射線性の原因を解明するため、多結晶CIGS太陽電池セルに陽子線を照射し、さらにその熱処理挙動をフォトルミネッセンス (PL) 法により解析した。その結果、照射によって0.8 eVにPLピークを持つ欠陥が誘起されるが、低温熱処理によって消滅することが明らかとなり、セルの電気的特性変化との対応も良いことが示された。以上より、0.8 eVの欠陥準位が太陽電池の変換効率の変化に寄与し、そのアニール効果が耐放射線性の原因であることが示唆された。

II -2-j-42

SOIウエハーの光学的評価の研究

教授 田島道夫 助手 藁品正敏 特別研究員 李志強
特別共同研究員 満山 弘

シリコン層の厚さが0.05-0.2 μm程度の極薄膜SOI (silicon-on-insulator) ウエハー中の欠陥、不純物、および界面の評価を行うことを目的とし、同ウエハーの紫外線励起により発生する凝縮ルミネッセンスを利用した評価手法を開発している。

今年度は最先端口径の200mm SOIウエハーを各メーカーより購入し、上記のフォトルミネッセンス (PL) 法およびマイクロ波光導電減衰法により詳細なウエハーマッピングを行い、ウエハーの不均一性を調べた。その結果、両手法で極めてよく対応する各種製法に特有の不均一パターンが顕在化された。さらに顕微PLマッピング測定により、一部のウエハーではマイクロ・ボイド欠陥が検出された。一般に、数年前に製造されたウエハーと比べ最新のものでは、不均一性や微小欠陥は大幅に減少している。これらにより本研究で開発したPLマッピング装置の有効性が実証され、同装置は商品化されることとなっている。

なお本手法は、次世代の高速素子用材料として有望視されている歪みSiウエハーの評価としても有効と考えられ、

国内外のウエハー製造機関と共同研究を開始している。

II-2-j-43

フォトルミネッセンス法によるSi結晶中の窒素評価

教授 田島道夫 大学院学生 鎌田洋平

引き上げシリコン (CZ-Si) 結晶中の窒素 (N) は成長時導入欠陥を低減し、酸素析出を促進することから、実用上極めて重要な不純物である。CZ-Si結晶へのN添加技術の確立にはその濃度を正確に測定する必要があるが、実際の結晶中へのN添加量である $10^{13} \sim 10^{14} \text{cm}^{-3}$ レベルの微量窒素を検出することは極めて困難である。本研究ではNとAlの最近接ペアによるアイソエレクトロニックトラップに起因する1.1223 eVの発光線が非常に高強度であることを利用し、N添加CZ-Si結晶にAlイオン注入することでN-Alペアとして発光活性化させ、フォトルミネッセンス法で高感度検出する手法を開発した。その結果 10^{13}cm^{-3} レベルの微量検出が可能であり、相対発光強度を利用して定量分析が出来ることを示した。(特許出願)

II-2-j-44

SiC結晶の光学的評価の研究

教授 田島道夫 助手 藁品正敏 特別共同研究員 菅原岳樹

本研究においては、パワーエレクトロニクス、宇宙用高温エレクトロニクス等の用途のSiC (炭化硅素) デバイスの高性能化を目的とし、デバイスプロセスの各段階におけるウエハー中の欠陥の生成・消滅過程をフォトルミネッセンス (PL) 法により詳細に解析した。とくに高空間分解能のPLマッピングにより、イオン注入やそれに続く熱処理過程における欠陥の振る舞いを調べた。その結果、イオン注入のマスクパターンに対応した深い準位の発生および熱処理によるイオン注入不純物の活性化を捉えることに成功し、本手法が欠陥とデバイス特性の関係を調べる極めて有効な手段となることが示された。

II-2-j-45

擬似太陽電池電源の開発

教授 田島道夫 助手 高橋慶治 技術職員 河端征彦

従来、科学衛星の飛翔前試験の一環として行われている電源系総合試験においては、ソーラシミュレータから光を照射し、太陽電池パドル (もしくは、パネル) の発生電力により衛星を動作させ、電源系の動作確認や搭載機器のチェックを行ってきた。

衛星の大きさは、M-V型で大型化し、それに伴い太陽電池パドルも大面積となっている。したがって、従来の光を照射する試験方法の適用が難しくなったため、平成2年度から太陽電池パドル出力に相当する特性を持った擬似太陽電池電源の研究開発を開始し、擬似ソーラアレイ電源架の基本ユニットを製作した。各種試験及び上記基本ユニットの改善検討を行った後、同ユニットを直列・並列に接続し、250Wの電力が供給可能な擬似太陽電池電源を平成5年に製作した。平成6年度にはMUSES-B以降PLANET-B迄の電源系試験に適用するため、250W分の増設を行い、現在、合計500Wの能力を持つ。今後SOLAR-B衛星に対応できるよう1kW迄の更新、開発を計画している。

II-2-j-46

衛星搭載用二次電池の研究

教授 田島道夫 助教授 廣瀬和之 助手 高橋慶治
助教授 曾根理嗣 技術職員 河端征彦

衛星搭載用二次電池には、長寿命性、高信頼性、そして軽量性が要求される。従来、科学衛星にはNi-Cd電池が用いられ、各ミッションにおいて長期にわたる安定な動作が確認されている。本研究においては、最近のミッションの高度化に伴う電池の軽量化の要求に応えるため、これまでの安定性を損なうことなく軽量化を実現するよう検討を進めている。

まず、Ni-Cd電池については、正負極板の軽量化、正負活物質の高密度化、電槽の薄板化等により、従来品に比べてエネルギー効率比較で約20%強の軽量化を達成し、ASTRO-E用30Ahの電池を製作した。しかし、LUNAR-A、PLANET-Bにおいては、軽量化要求が非常に厳しく、より一層の軽量化が必要となったため、最近民生用に普及している水素吸蔵合金を負極に用いるNi-MH電池の宇宙用電池の開発に着手した。これまでに、公称容量15AhのFMのNi-MHセルを製作し、最新のセパレータでは約25,000サイクルの充放電を経て寿命試験を継続中である。また、火星等へ巡航中の最適トリクル充電条件について、検討を行っている。さらに、ASTRO-F用に22Ahのセルの開発も行っている。

最近是一段と厳しい軽量化要請が課せられたMUSES-Cのため、正極にLiCoO₂負極に人造黒鉛を用いたLiイオン電池の開発を進めており、第1ステップとして公称容量13.2Ahの電池で80Wh/kg以上のエネルギー密度を達成したが、年率10%以上の容量低下の改善のため、105Wh/kg以上の容量で2%以下の低下立の研究および低温保管の検討を進めている。

また、将来の軽量蓄電デバイスとして、ラミネート型リチウムイオン二次電池等の宇宙機適用手法について、検討をおこなっている。

II-2-j-47

高温エレクトロニクス

教授 田島道夫 助教授 廣瀬和之 助手 薬品正敏
技術職員 狛 雅子

将来計画である月・惑星探査ミッションの実現にあたっては、衛星の熱設計に対してこれまでにない苛酷な条件が課せられる。この問題を解決するためには、高温で動作する半導体デバイスの開発が急務である。本年度は、高温エレクトロニクスを支える半導体界面の熱的安定性についての基礎研究を進めるとともに、宇宙ばかりでなく、航空・自動車・地下資源探査等の分野で開発が進められている高温エレクトロニクスの先端開発状況にスポットをあてた第14回高温エレクトロニクス研究会を開催した。

II-2-j-48

宇宙用半導体デバイス界面の耐放射性・耐熱性の研究

教授 田島道夫 助教授 廣瀬和之

将来ミッションとして計画している「高機能探査衛星を利用した惑星探査」を成功させる上で、衛星搭載用として高機能性・小型軽量性に加え耐放射性・耐熱性に優れた高信頼性半導体デバイスの開発が必至である。本研究においては、このような民生デバイスの開発とは一線を画す極限デバイス開発のための基盤研究として、デバイス動作の要である半導体界面に対する精緻な制御・評価技術を確立し、衛星搭載用デバイスの問題点を把握、最適構造の検討および極限プロセスの開発を計っていく計画である。

今年度は、具体的に以下の二点を明らかにした。

- 1) これまでに、MOSデバイスの放射線耐性を決定するSiO₂/Si界面の電荷トラップ密度を評価するために光電子分光法を用いた新たな手法を開発して、最先端MOSデバイスへの適用が検討されているSiO₂膜形成プロセスを検討してきた。本手法を用いて電子線照射時にSiO₂/Si界面に界面準位が発生する過程を詳細に評価できることを示した。
- 2) 先端MOSデバイスのゲート絶縁膜材料として、SiO₂膜より高い誘電率を有するHfAlO_x膜の研究開発が実用化を目指して進められている。光電子分光法を用いた新しい評価手法を、MOSデバイスの性能ならびに信頼性を決定するHfAlO_x膜中の電荷トラップ密度の評価に適用した。その結果、HfAlO_x膜の形成プロセス最適化のための重要な知見を得た。

II -2-j-49

推進系との統合システムによる燃料電池の研究

教授 川口淳一郎 助教授 曾根理嗣 助手 羽生宏人
教授 田島道夫

惑星探査衛星のように長期間にわたり全日照状態におかれる宇宙機においては、推進系で使用する推進薬を使用した燃料電池により電力を生み出すことにより、搭載する二次電池の質量軽減が見込まれる。また、このような燃料電池システムが成立すれば、周回衛星の姿勢喪失等に際しても太陽電池からの電力が立たれた後の運用性を確保することが可能となるため、衛星のデブリ化防止の観点からも検討の意義がある。本研究では、衛星の推進剤として使用されるヒドラジン、モノメチルヒドラジン (MMH)、アンモニア等の燃料を四酸化二窒素 (NTO) 等の酸化剤と電気化学的に反応させる燃料電池の検討を行なった。特に、酸化力の強いNTOと還元力の強いMMHに対して、燃料電池用セパレータの浸漬試験を実施し耐性のある材料を見出すと共に、ダイレクトメタノール形燃料電池を応用することにより発電試験を実施している。

II -2-j-50

閉鎖型燃料電池の研究

助教授 曾根理嗣 助教授 齋藤芳隆 教授 山上隆正
教授 田島道夫

航空宇宙機における電源系の小型軽量化を目指し、水素/酸素を使用する固体高分子形燃料電池 (PEFC) の研究を行なっている。航空宇宙機に代表される閉鎖環境においては、燃料電池自体が閉鎖型運転を可能とすることが求められる。ここではJAXAにより研究が進められてきた無加湿運転が可能な閉鎖型燃料電池の小型軽量化を行い、気球による高々度での自立運転を目指した検討を行なっている。

II -2-j-51

放射率可変型ラジエータに関する研究

助手 大西 晃 技術教員 太刀川純孝

本研究は、強磁性材料であるペロブスカイト構造Mn酸化物に多層薄膜を施し、太陽光吸収率が小さく、かつ全半球放射率の温度依存性の優れた新しい放射率可変型ラジエータ (SRD: Smart Radiation Device) の開発を目的としている。このラジエータは従来のサーマルルーバと異なって機械的な要素がなく、かつ電力なしの軽量化が期待できるものである。これまで、遺伝的アルゴリズムを適用した多層薄膜付SRDの設計法を提案し、全半球放射率の温度依存性の性質を失うことなく、かつ太陽光吸収率を小さくすることに成功した。

今年度は、強磁性転移温度における全半球放射率 (ϵ_H) のカット特性と、 $\Delta \epsilon_H$ のさらなる向上を目指して、正孔注入、電子注入、バンド幅変化、及びMnやOリッチ等をパラメータにした試料の作製準備と、単結晶劈開面と多結晶研磨面について性能を調べた。また、熱制御材料としてはじめて「はやぶさ」に搭載された多層薄膜無SRD (多結晶3元系) のデータ取得を開始した。

II -2-j-52

高熱伝導性グラファイトシートを用いた自律型吸放熱デバイスに関する研究

助手 大西 晃 共同研究員 長野方星

本研究は、ラジエータの高機能化を目指し、高熱伝導性・異方性・フレキシビルのグラファイトシートを活用した自律型吸放熱デバイス (RTP: Reversible Thermal Panel) の開発を目的としている。RTPはサーマルダブラーと宇宙空間に面した放熱フィンが一体となった構造で、搭載機器温度に対応して放熱フィンが開閉することでラジエータやアブソーバの機能を有したデバイスである。これまで、グラファイトシートの面内・面外の熱拡散率、比熱、温度伝導率、全半球放射率等の温度依存性や太陽光吸収率の入射角度依存性等を明らかにした。そして、これら熱物性を基に自律型吸放熱デバイスを提案し、その性能を熱数学モデルと熱構造モデルから確認した。

今年度は、放熱フィンの開閉に形状記憶合金ばねとバイアスばねを併用したトーションスプリング型二方向素子の受動型可逆回転アクチュエータを提案し、自律型吸放熱デバイスの性能評価を行った。

II-2-j-53

熱電効果による宇宙用熱制御に関する研究

助手 大西 晃 共同研究員 長野方星

本研究は、小型でクリーンな電力システムを基本に、宇宙用能動型熱制御システムを新たに提案・構築することを目的としている。このシステムは、宇宙で容易に得られる温度差を利用した熱電発電により、小型モータを駆動する。つまり、電力なし、かつ小型、軽量の流体ループシステムの開発を狙っている。

今年度は、まず、熱電発電システムの宇宙機熱制御への適用性の検討と、熱電発電材料のゼーベック係数と比抵抗等の測定が可能な簡便な装置を試作した。次いで、2種類のペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ （多結晶）、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ （単結晶、多結晶）について、233～353Kの温度範囲のゼーベック係数、比抵抗を求めた。

II-2-j-54

反応活性種ラジカルによる劣化の地上模擬試験方法に関する研究

助手 大西 晃 共同研究員 岩田 稔

本研究は、熱制御材料の荷電粒子放射線等による劣化について、正当な評価方法を地上において見出すことを目的としている。これまで、ポリイミドフィルムを対象に地上模擬試験で発現した着色が、生成されたラジカルの振舞いに影響を受けることを見出した。そのラジカルの消滅挙動は、保管温度の上昇と共にラジカルの消滅が促進されること、また、照射後の試料を不活性ガス雰囲気保管した場合でもラジカルの消滅が生じ、照射直後の着色が永久に凍結されないこと、などが分かった。

II-2-j-55

宇宙用熱制御（熱防御）材料の高温放射特性に関する研究

助手 大西 晃 共同研究員 矢島大輔

宇宙往還機などの機体表面は、大気圏再突入の際に高温に曝されることにより変質し、熱設計上重要な放射率も変化するものと予想される。本研究では高温下における試料表面の垂直分光放射率と、光学定数や膜厚の時間的変化など表面状態との関係を同時に明らかにすることを目的としている。これまで、分離黒体法による試料表面の垂直分光放射率測定と偏光解析法による光学定数の同時測定法が可能な装置を構築した。

今年度は、アブレータ材料で代表されるように、高放射率、低熱伝導率の特性の材料では高温域において熱電対による表面温度の決定に不確かさが生じるため、ここではクリスチャンセン効果と放射温度計による試料表面温度決定法を提案し、装置の試作を行った。そして、SUS304、チタン合金、セラミックタイル、アブレーション材料について、温度範囲700～1500Kの垂直分光放射率、光学定数の同時測定を行った。

II-2-j-56

簡易型太陽光吸収率、全半球放射率測定装置の開発

助手 大西 晃 技術職員 太刀川純孝 共同研究員 長野方星

宇宙機の熱設計では、熱制御材料の太陽光吸収率、全半球放射率の特性を打上直前まで正確に把握しておくことが必要不可欠である。本研究は太陽光吸収率、全半球放射率の測定を、研究室レベルの性能を有しつつ、その場測定が迅速にでき、かつ小型・軽量である簡易型測定装置の開発を目指している。

太陽光吸収率測定装置は手の平サイズに納めることを前提に、ツェルニー・ターナ型を基本に測定波長範囲250～2600nmの光学系と積分球から構成される装置を提案、試作を始めた。また、全半球放射率測定装置は小型黒体炉光源、積分球、サーモパイル・センサから成る装置を試作し、予備実験を開始した。

II -2-j-57

無線式マルチチャンネル計測システムの開発

助手 大西 晃 技術職員 太刀川純孝

本研究は1円玉サイズに小型送受信機、各種センサ（温度、加速度、画像等）を搭載した無線式マルチチャンネル計測システムの開発を目指している。本システムはセンサ部と、データ処理部から構成されている。1つのデータ処理部で500～1000チャンネルの計測が可能である。本システムの導入により、技術的には飛翔前に行われる振動・衝撃試験時のケーブル重量の軽減、また、熱真空試験ではケーブルの熱損失が抑えられ、構造・熱設計の信頼性が向上される。また、経済的には試験のための複雑なセンサ配線図面の簡略化とセンサ貼付作業工程の短縮化、プラスセンサの再利用が可能であること、システム構成が単純となり、真空チャンバ等の設備経費が安価にできること、が挙げられる。

今年度は、温度計測を主に、ICチップ温度センサの性能評価、小型送受信機の回線検討、及び機能性の確認と、センサ、送受信機、アンテナ、及び電池等のセンサ部を1円玉サイズに納めるための小型化の検討を行った。

II -2-j-58

科学衛星とM-V型ロケット第3段計器部の熱設計

助手 大西 晃 技術職員 太刀川純孝

今年度の科学衛星の熱設計に関する作業状況は、以下の通りである。

- ・小惑星探査衛星「はやぶさ」は全運用中の詳細熱解析を行い、熱設計の整合性を確認した。
- ・X線天文衛星「ASTRO-E II」は「ASTRO-E」を基本にシステム熱設計の再構築と、各サブシステム間（推進系、XRSデュワ）のインタフェースの整合性の確認を行った。また、ラジエータパネルの性能評価試験を行った。
- ・月探査衛星「LUNAR-A」は搭載機器変更によるシステム熱設計の再検討と、それに伴う各サブシステム間（推進系、ペネトレータ）のインタフェースの整合性の確認を行った。また、熱制御材料の熱放射特性について、経年変化データの取得と評価を行った。
- ・赤外線天文衛星「ASTRO-F」は熱真空試験結果を反映した飛翔用熱数学モデルを構築した。
- ・太陽観測衛星「SOLAR-B」は熱真空試験結果を反映した飛翔用熱数学モデルを構築し、全運用中の熱設計の整合性と、各サブシステム間（推進系、望遠鏡等）のインタフェースの整合性の評価を行った。
- ・金星惑星探査「PLANET-C」は金星観測モードの高温フェーズと地球近傍運用モードの低温フェーズについて、熱設計の概念設計を開始した。

また、M-V型ロケット第3段計器部の熱設計は6号機の熱計装について検討を行った。

II -2-j-59

飛翔体テレビ伝送装置の開発

助手 大西 晃 教授 山本善一

ロケットの飛翔保安等への活用のため、ロケットのエンジンの燃焼、各段の分離状況等を地上に伝送するためのロケット搭載用テレビ伝送システムの開発を行っている。

今年度は、M-V-5号機の飛翔後のデータ解析を行った。具体的には第1段モータ燃焼中に生じた入力オーバの現象について、実験から検証し、その対策案を見出した。