



〈研究紹介〉

半導体中の不純物と欠陥の評価

宇宙科学研究所 田島 道夫

高度エレクトロニクスの発達を抜きにして宇宙開発を語ることはできません。そして、エレクトロニクスのハードウェアにおける主役は半導体です。私は筑波の電子技術総合研究所で半導体材料の研究を行ってまいりました。宇宙研に着任してからまだ1か月に満たないので、ここでは、電総研での私の研究の紹介と今後の抱負などをお話させていただきたいと思います。

半導体は、その名が示す通り、金属ほどには電気を通さないが、絶縁体よりは通す性質を持っています。このような性質は、半導体中の不純物や欠陥によって大きく左右されます。希望の特性を持つデバイスを作るには、所定の電気特性の半導体を作製しなければなりません。ここで、不純物や欠陥を精密に制御する技術が必要となります。従来は不純物により特性を制御していましたが、最近では、欠陥の持つ性質を積極的に利用し、よ

り高性能かつ高信頼性のデバイスを作るという方式も採り入れられています。

したがって、不純物や欠陥をどのくらい精度よく制御できるかがデバイスの特性を決めるキーポイントとなります。そのためには、不純物や欠陥を精密にかつ高感度で評価することが必要になります。私の電総研での仕事は、こうした結晶評価を行うことでした。手法としては、フォトルミネッセンス(PL)法を主体にしました。これは、低温に冷やした結晶にレーザーのような強い光を照射した際に、結晶から発せられる光(PL)を分析して、結晶中の不純物や欠陥についての情報を得るものです。装置には色々な工夫をくわえ、従来より約2桁程度感度の高いものを開発しました。

私がまず始めに手懸けたのは、シリコン(Si)結晶中の極微量不純物の定量分析です。赤外線検出器や電力用素子には高純度結晶が使われていま

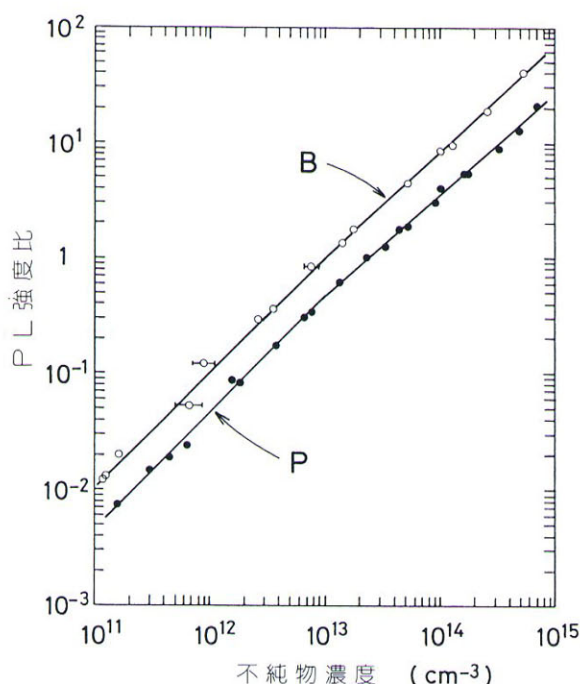


図1 Si結晶中の硼素(B)および燐(P)不純物に対するPL法の検量線。

す。またICなど通常の素子用材料においても、不純物の精密制御を行うためには微量残留不純物の評価が不可欠です。市販されている高純度結晶のPLスペクトルを測定したところ、Siに固有の発光線の他に、原子比で1ppb（1億分の1）以下の微量残留不純物に起因する発光線が明瞭に観測されました。このような低濃度の不純物の種類を判別し、その定量を行うことは、従来殆ど不可能とされていました。

そこで私は、Siに固有の信号と不純物信号の強度比と不純物濃度の間には、図1に示すような単純な関係があることを見出し、これを検量線とする不純物定量法を提案しました。そして我が国の世界最高の結晶育成技術を背景に、多くの方々のご協力を得てこの手法の標準化を図りました。その結果、この手法の検出感度は約0.002ppb程度であることが確認され、国内外の研究機関、結晶メーカーで広く利用されるに至っております。今年からは世界的にもっとも権威のある米国測定標準（ASTM）に、日本独自で開発した技術としては初めて正式登録されました。

この手法は欠陥の評価にも非常に有効であることがわかりました。超LSIプロジェクトに参加し、欠陥制御技術の主役とも言える酸素析出物の高感度検出に成功しました。また、次に参加した光技術共同研究所では、砒化ガリウム（GaAs）中のEL2と呼ばれる欠陥の評価に取り組みました。この欠陥は深い準位を形成し、結晶に殆ど電気を通さないような性質（半絶縁性）を持たせることができます。これによって、高速IC作製用基板の素子間分離が簡単に行え、素子特性も高速化します。しかし、研究当初、深い準位の物性は未開拓の領域であり、EL2準位についてもその正体、生成機構、エネルギー準位など殆ど解っていませんでした。世界中で数多くの研究が報告されましたが、互いに矛盾する場合が少なくなく、EL2準位の精密制御をする上で、大きな障害となっていました。

光共研では共同研究所の特色を活かし、EL2準位の総合的評価を行いました。随分回り道をしましたが、先に述べた高感度PL装置の開発により、EL2準位の励起スペクトルの測定に成功しました。そうして、「EL2準位は伝導帯と価電子帯の両方と電子の授受を行い、ともに発光を呈する」という従来知られていなかった深い準位に特有の電子遷移機構が存在することを発見しました。これにより、これ迄の報告にあったもやもやは霧が晴れたようにすっきりと説明されました。

この成果には大きな副産物がありました。それは、装置を高感度化したおかげで室温でPLを測定できるようになったことです。従来、PL測定は液体ヘリウム温度が常識でしたが、深い準位のPLでは室温でも十分な情報量の信号が得られることがわかりました。図2は、EL2準位が市販のGaAsウエハー上でどのように分布しているかを、室温PL法で調べた結果です。ご覧の通り決して均一ではなく、これがデバイス特性の不均一性の原因になっています。この手法は、将来、宇宙空間で作製される高均一性材料の評価にも威力を発揮するものと考えています。

以上、これまでの私の研究を紹介して参りましたが、現在の半導体で問題となっているのは、初

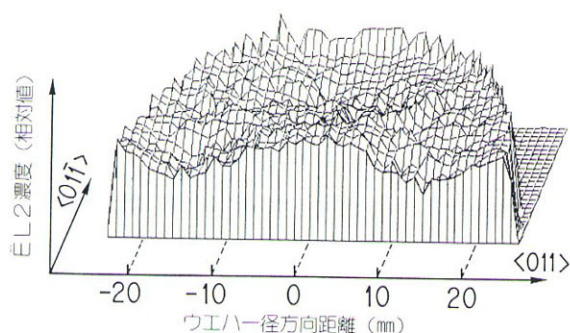


図2 半絶縁性GaAsウエハーの1/2面上のEL2欠陥濃度分布。

めにも述べたとおり不純物と欠陥の精密制御です。とくに、空格子、格子間原子などの固有点欠陥は種々の欠陥の基本的構成要素であり、また不純物の拡散現象を支配しているため、その挙動を正確に把握することが、最重要検討項目として挙げられています。先程のEL2準位も、母体のGa原子とAs原子が置き換わったアンチサイトと呼ばれる点欠陥が原因であることが解っています。また化合物半導体で重要な組成比制御にも、点欠陥が関係しています。さらに宇宙用デバイスにおいて、最近深刻な問題となっている放射線照射損傷は、点欠陥発生が主原因のひとつです。一般に、「不純物と点欠陥を制したものが半導体を制するであろう」とまで言われています。しかし、点欠陥の直

接的評価や制御は、現在の技術では殆ど不可能であると言わざるをえません。

こうした状況を打開する一つの鍵が宇宙空間の利用にあると思います。宇宙空間の微小重力下での結晶成長においては、熱対流の抑制、無容器材料プロセッシングによって極めて完全性の高い結晶が得られる可能性があります。こうした結晶では、点欠陥の振る舞いが顕在化され、その精密評価を行えるようになると期待されます。さらに、この評価結果をもとにして、完全性の高い結晶において、点欠陥の制御が初めて可能となるものと思われる。

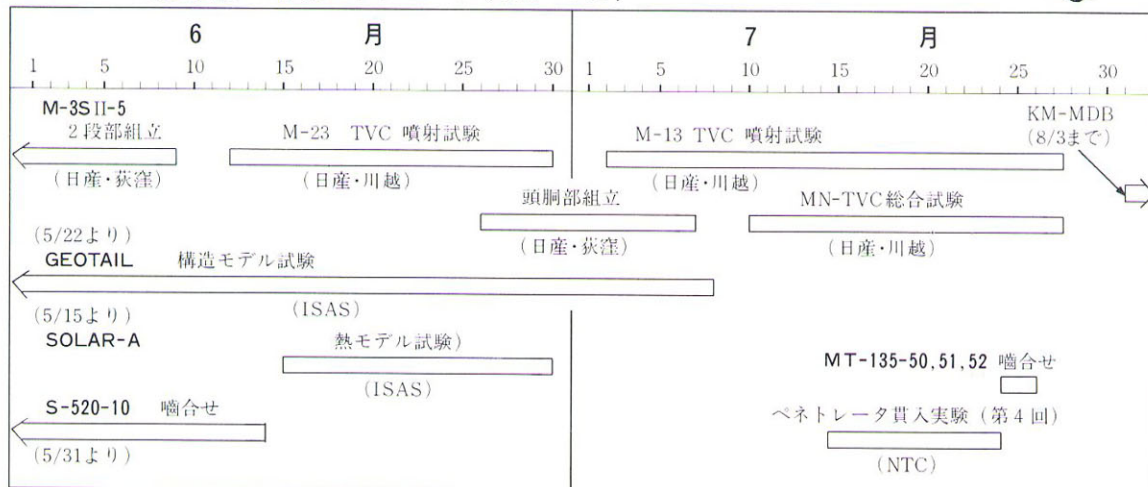
SiやGaAs結晶の宇宙生産は経済的に引き合わないと言われています。しかし、ここに述べたような不純物や欠陥に関する基礎的な物性データを採取する上で、宇宙空間は非常に魅力ある理想的な場に違いありません。そしてそこから得られる知識の波及効果は極めて大きいと確信しています。我が国は半導体結晶・素子製造技術、評価技術の分野で先導的立場にあり、このような宇宙材料工学を進展させる責務があると考えます。皆様方のご指導、ご協力をいただき、この分野を開拓してゆく所存です。どうぞよろしくお願い致します。

(たじま・みちお)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール(6月・7月)



★人事異動

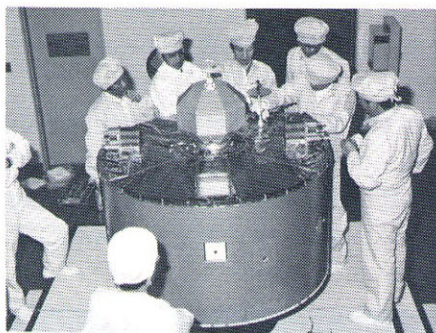
発令年月日	氏 名	異動事項	現(旧)官職
1. 3. 20	殿河内 啓 史	(採 用) 管理部	
1. 3. 27	梶 川 完 之	管理部 (定年退職)	
1. 3. 31	石 上 千 鶴	定年退職 (昇 任)	
1. 4. 1	宗 形 郁 夫	和歌山大学事務局長	管理部長
"	佐 藤 省 二	東京工業高等専門学校会計施設係長	管理部施設課電気係
"	加勇田 清 勇	能代ロケット実験場助手	能代ロケット実験場教務職員
"	喜久里 豊	観測部打上管制課保安管制班地上機器係長	観測部打上管制課保安管制班地上機器係長
"	廣 川 英 治	技術部機器開発課機器開発班搭載機器第二係長	技術部機器開発課機器開発班搭載機器第一係
"	中 田 篤	観測部打上管制課ロケット管制班ランチャ係長	観測部打上管制課ロケット管制班ランチャ係
"	大 島 勉	観測部打上管制課保安管制班地上機器係長	観測部観測管制課データ管制班データ伝送係
"	周 東 晃四郎	観測部観測管制課データ管制班データ伝送係長	観測部観測管制課データ管制班データ処理係
"	高 橋 義 昭	管理部庶務課情報資料第二係主任	管理部庶務課情報資料第二係主任
"	山 本 行 実	管理部契約課契約第三係長	管理部契約課契約第三係主任
"	白 坂 友 三	鹿児島宇宙空間観測所総務係長	鹿児島宇宙空間観測所総務係長心得
"	室 田 繁 和	管理部研究協力課課長補佐	東京大学学生課専門職員
"	渋谷 仁 司	管理部主計課課長補佐	東京大学経理部契約課専門職員
"	大 津 勝 美	管理部主計課用度係長	東京大学経理部経理課出納第一掛主任
"	井 手 郁 夫	(採 用) 鹿児島宇宙空間観測所技官	鹿児島宇宙空間観測所技術補佐員
"	小 関 徳 彦	(転 任) 東京大学教養学部研究交流掛長	管理部研究協力課研究協力係長
"	吉 澤 國太郎	東京大学農学部林産学科事務主任	管理部研究協力課共同利用係長
"	堀 辺 正 章	東京大学物性研究所経理課用度掛長	管理部主計課用度係長
"	松 江 光 昭	東京大学施設部企画課工事契約掛長	管理部契約課契約第三係長
"	柳 沼 隆	東京大学環境安全センター事務室主任	管理部研究協力課観測事業係主任

発令年月日	氏 名	異動事項	現(旧)官職
1. 4. 1	猿 田 智 男	信州大学理学部会計係	管理部主計課司計係
"	峯 岸 秀 子	東京大学医学部附属病院分院施設掛	管理部契約課契約第四係
"	南 雲 道 男	管理部庶務課情報資料第二係長	山梨医科大学教務部図書課管理係長
"	阿久津 秀 美	管理部主計課司計係	東京大学経済学部会計掛
"	相 見 治 義	管理部契約課契約第一係	管理部契約課契約第一係
"	荒 木 ゆ き	管理部契約課契約第四係	東京大学医学部附属病院分院施設掛
"	福 本 國太郎	(配 置 換) 東京芸術大学庶務課長	管理部庶務課長
"	堀 品 美	京都大学経理部管財課長	管理部契約課長
"	橋 本 敬 輔	東京芸術大学施設課長	管理部施設課長
"	菅 家 邦 一	東京大学経済学部事務長補佐	管理部研究協力課課長補佐
"	北 川 嘉 一	東京大学理学部事務長補佐	管理部主計課課長補佐
"	成 田 正 直	技術部技術専門職員	観測部技術専門職員
"	安 田 誠 一	観測部打上管制課	観測部打上管制課工作機械工
"	山 田 三 男	白田宇宙空間観測所	白田宇宙空間観測所電工
"	春日 景 子	管理部主計課情報処理係	管理部主計課管財係
"	余 米 賢 三	管理部長	信州大学経理部長
"	古 賀 信 夫	管理部庶務課長	富山医科薬科大学総務部庶務課長
"	松 本 仁	管理部契約課長	大阪教育大学経理部経理課長
"	上 山 政 美	管理部施設課長	国立歴史民族博物館管理部施設課長
"	西 方 利 夫	(併任解除) 管理部主計課管理係長	管理部主計課総務係長
"	室 田 繁 和	(事務取扱) 管理部研究協力課研究協力係長	管理部研究協力課課長補佐
"	橋 元 保 雄	(事務取扱免) 観測部打上管制課保安管制班長	観測部打上管制課長
"	櫻 井 洋 子	観測部観測管制課データ伝送係長	観測部観測管制課データ管制班長
"	中 村 龍 雄	管理部庶務課情報資料第二係長	管理部庶務課課長補佐
"	殿河内 啓 史	(命) 研究協力課観測事業係	管理部
"	梶 川 完 之	主計課管財係	管理部



★MUSES-A(FM)第一次計器合せ合わせ試験

来年1月打上げ予定のMUSES-A衛星のFM(フライトモデル=実機)試験が3月27日より飛翔体環境試験棟科学衛星組立試験室で始まっている。一部輸入部品的大幅な入手遅れのため、当初スケジュールよりも4ヵ月も遅れている。このため予備日が殆ど取れず、トラブルシューティング等のため休日返上も余儀なくされている。MUSES-Aは今後の月・惑星探査ミッションに必要な各種工学実験を行うもので、その中には超小型の衛星を月周回軌道に投入する実験も含まれている。(橋本正之)



超小型月衛星と結合されたMUSES-A
(太陽電池は未装着)

★「あけぼの」高圧電源投入オペレーション

去る3月27日から4月2日にかけて、「あけぼの」の電圧電源投入オペレーションが行われた。

高圧電源を使用しているのはオーロラ撮像装置(ATV)、低エネルギー粒子計測装置(LEP)、電場計測装置(EFD)、そしてカナダの搭載機器であるスプラサーマルエネルギー粒子質量分析装置(SMS)で、日本の観測装置だけでも16台の高圧電源を使用している。しかも1台で数種類の電圧を発生する電源もあり、放電事故を引き起こす危険度が非常に高い。この観点からプラズマ波動観測装置(PWS)の高周波電圧も同類と見なされ、高圧投入オペレーションに組み込まれた。最大発生電圧としては、ATVの8500Vを筆頭にLEPの5300V、EFDの3000V等があり、これら日本の観測装置の高圧電源装置には、今回初めて採用されたバリレンコーティングがなされている。高圧電源

投入の時期は、衛星内部からのアウトガスや過去の経験を考慮して、打上げ後約1ヵ月とされた。

高圧投入オペレーションは関係者の間で最も恐れられている？作業で、高圧投入直後でも異変に気づいた時にはすでに遅く、衛星狂乱、関係者半狂乱という代物である。とは言うものの、実際には心配された放電事故の兆候もなく、衛星が狂乱状態に陥ることもなく順調に毎日の作業を進めることができた。ただし粒子系の観測担当者は高圧ON直後に出現した放射線帯粒子のカウントデータを見て、その強烈さに半狂乱になっていたようである。4月2日にはカナダのSMSが4kVの印加電圧モードを確認して、高圧投入オペレーションを終了した。オーロラ画像が見られるのは、軌道との関係からもう暫く先になりそうであるが、これで「あけぼの」は全ての搭載機器が本格的観測体勢を整えたことになる。(大島 勉)

★宇宙科学研究所移転記念式典

(表紙写真撮影：佐瀬、杉山)

去る5月2日(火)、当研究所の移転記念式典が、所内に関係者多数を招いて、盛大に執り行われた。

午前中の式典は、会議場に国会議員、相模原市長、文部省関係者、大学関係者約2百余名を集め、所長の式辞、管理部長の移転経過報告、文部大臣祝辞、東京大学総長祝辞、相模原市長祝辞と続き、祝電披露があつて閉式となった。

式典に引続き「M-3S II-4あけぼの」のビデオが上映されたのち、松尾弘毅観測部長の事前説明を経て所内施設の見学へと移った。

飛翔体環境試験棟のスペースチェンバー室、磁気シールド室、科学衛星組立試験室、電波無響室が披露され、午後からは構造機能試験棟において、祝賀会が催された。

祝賀会は4百人を超える参加者を集め、所長の挨拶、齋藤成文評議員の祝辞、永田武評議員の音頭で乾杯、古在由秀評議員、伏見康治国会議員の祝辞が続き、小田稔前宇宙科学研究所長のスピーチでしめくくり、午後2時過ぎ閉会となった。

(古賀信夫)

【特別記事】 近づくボエジャー海王星オカルテーション実験

河島 信樹

NASAの惑星探査機ボエジャー2号は、12年たった今も元気に宇宙の孤独の旅を続けている。本年8月25日に最後の勤めにして現在太陽系で最も遠方にある海王星に29,000kmの距離まで接近する。いままでの木星などと同様にすばらしい科学成果が得られることが期待されている。

宇宙研では、この機会に臼田の64mアンテナを用いてNASAが豪州のキャンベラにもつ70mアンテナと共同でこの歴史的な瞬間をとらえようと準備を進めてきた。丁度海王星最接近のときが太平洋地域でしか見られないのが幸いであった。

惑星探査機が惑星の後側にまわると電波は遮られるが、海王星のように大気をもった惑星の場合には、探査機がたとえ惑星の真後にいても電波は完全には遮られず、大気で屈折して回り込んでくる。この曲がり具合や電波の周波数の広がりから惑星の大気密度、温度分布、乱流状態、雲の分布、プラズマ密度分布、リングの分布、リングを構成する粒子の大きさの分布など実に多くのことを知ることができる。この種の実験をオカルテーション（えんべい）実験と呼んでいる。

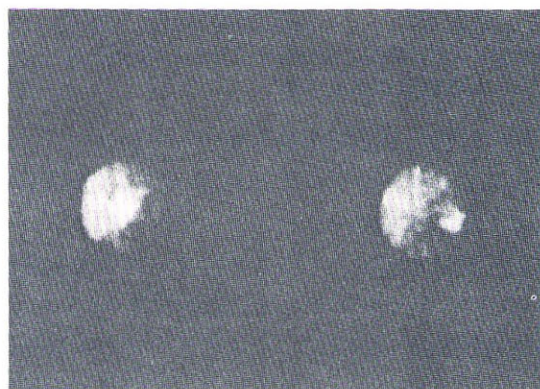
いままで、この種の研究の基盤のなかったわが国として海王星のオカルテーション実験に参加できることはそれだけでも意義が大きいですが、今回の共同研究の主目的は「臼田とキャンベラでとったデータを重ね合わせて信号と雑音の比をあげる」ことである。もともと45億km：電波が到達するのに数時間もかかる遠いところからやってくる電波は弱い。その上ボエジャーが海王星の裏側に回り込むと電波は極端に減衰する。この減衰した電波は、しかし海王星大気の深いところを通ってきたもので、大気だけでなく雲による減衰もある。木星以遠の外惑星は木星のあの神秘的な表面の渦模様に代表されるように地球などと違って硬い表面がない。大気の奥深くの情報はこの外惑星の神秘を解くのに重要なものである。2つのステーションの信号を合わせることによって海王星の大気の奥深くを解明することができる：これが今までになかった今回の実験の大きな特色である。

このオカルテーション実験において異なるステ

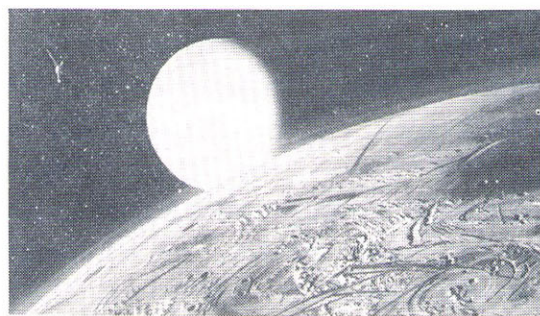
ーションのデータをデータ取得後に重ね合わせる事が可能になるためにはデータ取得の面で工学的に厳しい注文がつけられる：基本になる精密な原子時計水素メーザー、低雑音のメーザー増幅器、位相連続性の保存など、現在の遠距離通信工学の極限技術が最大限に活用される。

さて、得られたボエジャーからの電波信号のデータは、雑音が殆どであるが、そこに埋もれたボエジャーの信号をとりだすこと、大量のデータから必要なデータのみを取り出しデータ量を減らすデータ圧縮、大気分布などの科学データ解析において従来の衛星データ処理とは一味違ったものが要求される。

こうして理工両面でわが国の宇宙科学に新しい領域を開くこの実験：いよいよ秒読みの段階にかかってきた。今世紀中にはもう2度と機会がめぐってこないわずか40分の歴史的な瞬間の緊張への期待に胸がふくらむ。



最近ボエジャーのテレビカメラが捕えた海王星の画像：白い大きな雲が目立つ



ボエジャーとその衛星トリトンの予想図



宇宙版・ローソクの科学

東京大学工学部 河野 通方

表題は、マイケル・ファラディ（1791～1867）が英国王立研究所で青少年を対象として行った公開講演集の原題“The Chemical History of a Candle”の日本語訳（岩波文庫）に基づいている。内容はまずローソクの燃焼を例にとりあげ、さらに広く燃焼という現象をわかりやすく説明したもので、今でも通用する優れた燃焼の教科書である。さて、ローソクといえば、誕生日のお祝いケーキの上で無事に吹き消されるのを待っているものや、暗闇で所々に灯されたローソクの明りで美女を相手に、明るい所ではどんな御面相だろうなどと想像しながら過ごした時間を思い出される方もいらっしゃるであろう。今ではローソクは往時のように明りとして用いられることは少なく、むしろ生活のアクセントとして多用されている。

さて、宇宙のような無重力環境でローソクを点灯すれば、もっとも火災防止上使用禁止の可能性は高いが、そのときにはどんなことが起こるであろうか。実はこの状況を予想することができる実験がNASAの落下塔を用いて行われている。わずか2.2秒間での観察記録であるが、ローソクの火炎は次第に球状になって縮小していく。やがて、消滅することは容易に想像される。すなわち、無重力下では、仮にうまく点灯できたとしてもローソクは燃え続けることができない。これは、ローソクの燃焼がいわゆる拡散燃焼であり、燃料と空気が互いに拡散し合い、混合して化学反応を起こすような形式であることによる。すなわち、反応によって生成する水とCO₂の高温のガスに包まれてしまって、周りの空気からの酸素が供給されなくなってしまうためである。通常の重力下では、原版「ローソクの科学」にもあるように自然対流という流れが発生し、高温ガスは上方に昇り、伴って新鮮な空気が下方から供給されるので燃焼が定常的に継続する。

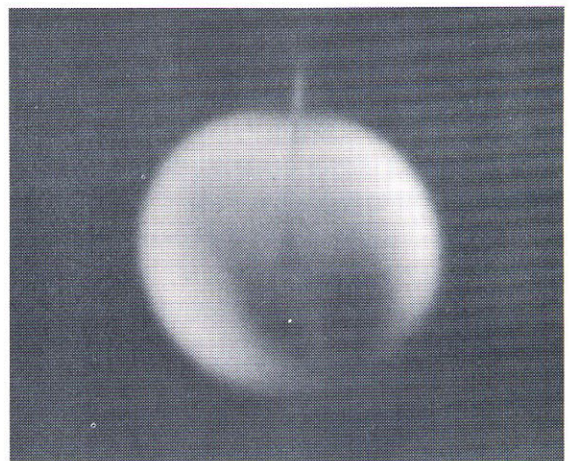
以上のように、燃焼に及ぼす重力の効果は非常

に顕著である。一般に、無重力環境における燃焼研究の目的は、まず宇宙機やスペースステーションにおける火災防止と、自然対流のないことを利点とした比較的簡単な流れ場を利用する基礎研究とを背景としたものに大別される。後者では、通常重力下で自然対流の強い影響を受けるものほど燃焼機構解明の観点からは有益である。付図は、われわれのグループで行っている研究の結果の一例で、無重力状態で液体燃料（ヘプタン）液滴を30気圧の周囲圧力で燃焼させているときの写真である。これも典型的な拡散燃焼であるが、ほぼ球状に燃焼していることがわかる。これらから今まであまり調べられていない高圧力下での燃焼機構が解明されつつある。

コンテストの提案

さて、将来、宇宙においてもローソクを点灯する必要があるようになる。例えば「誕生日のお祝いはやはりローソクがなければ」と、なるのではないかというのが筆者の予感である。無重力環境でも永く燃えるローソクのアイデアのコンテストでもあれば是非応募したいところであるが、読者諸氏はいかがお考えだろうか。

（この・みちかた）



無重力下における液滴の燃焼

ESA25周年記念式典に出席して

西村 純

今年はESA（ヨーロッパ宇宙開発機構）の前身ESROが発足した1964年から数えて25周年にあたる。宇宙科学研究所の前身宇宙航空研究所が発足したのも1964年だから東西期を一にしていることになる。ミッテラン大統領主催の記念式典を4月19日に開くと云う招待状をうけたのは2月の中頃であった。

前日まで色々な用事で走りまわり、果して行けるのかどうかと危ぶんでいたが、どうやら出発できることになった。飛行機は一路日本海上空を抜け、アムール河上空、ウラル山系をこえて11時間ばかりでパリ空港に到着する。ふと30年前にプロペラ機ではじめてモスクワでの国際学会に早川さん（名大学長）と一緒に行った日のことを思い出す。36時間かかって学会当日の朝4時にモスクワ空港にたどりついた時はくたびれはてていた。こうして見ると、あと30年もたつと、パリへ2～3時間と云うのも夢ではないかもしれない。

今年のパリの気候は東京と同じようにまったく気ままである。先週20度を越すあたかきであったが、今日は10度を切っていた。いやに寒い。夕方7時と云うのにまだ外は明るい。雑踏する凱旋門のわきを抜けてホテルにたどりつく。フランス人は繊細な筈だが、ここのエレベーターとなるとかなりの代物である。宇宙研のエレベーターよりおそい。ゴトンと動き出してゆるゆると動きガクンととまる。止りぎわはぎっくり腰の気のある人は注意せねばならない。それに電話のベルである。夜、うとうとしているとけたたましくベルが鳴る。東京からの電話、そしてベルリンの学会に出ていた田中靖郎さんが今到着したしらせである。

ESAの本部は宿の近く、2人で訪れると科学局長のボネー局長他数名が待っていてくれた。これからのESA—宇宙研の協同関係について懇談、議題はISO（赤外天文衛星）、ぎんが、VSOP（スペースVLBI）等々。これから協力関係をもっと大きく発展させて行こうと意気は上り、熱心な討議が続く。

小田さん夫妻が早朝の便で着いたと云うので、リュスト総裁、ボネー局長らと共にESAのお客様用食堂で昼食。日本ではこんなにゆっくり会うチ

ャンスはないですねと、楽しい時を過す。午後討論のつづきのあと、ボネー局長が会場へつれて行ってくれる。ベトナム和平会談の行われた所である。約300名の参会者。赤い絨緞がしきつめられ、天井からはシャンデリアが輝いていた。ISY（国際宇宙観測年）で知り合った宇宙機関の人々やキュリアン博士、それに何人かの知り合いの顔が見える。

宇宙線の空気シャワーの発見者90才のオージェー博士も特別招待者であられた。会はリュスト総裁の司会ではじまる。ベルギー首相のマルテンス、CERN所長でノーベル賞受賞者ルビヤ博士につづいて、ドイツのコール首相の挨拶。ESAの歴史をつづる映画上映につづいて、一瞬部屋が明るくなると、護衛官に先導されたミッテラン大統領の入場である。堂々たる貫禄、一同起立!!。ミッテラン大統領の演説は熱がこもっていて、宇宙の科学研究および開発の展望、ヨーロッパの協力体制の重要性を力説した。

つづいての祝宴は約30の円卓に各国とりまぜて10人ばかりづつすわる。右はイギリス、左はドイツの代表という按配である。雑談しながら宇宙開発の状況を話合う。食事の合間に各国代表の演説が入る。最後にリュスト総裁がしめくくり。

「……………今日のこのお祝いに、忙しい中をさいて永年ESAとの関係につくされた小田博士が早朝日本からかけつけてくれた」と小田さんにESAの記念品を渡す。拍手がなりひびいて散会。

翌日、レマルクの「凱旋門」で有名なシャンゼリゼーの「フーケ」で懷をちょっと気にしながら昼食。エスカルゴとかものオレンジ煮がうやうやしく運ばれてきた。そろそろ日本食が恋しくなってきたが、飛行機に乗ればあとは……。ところである、機内食の会社のスト。出発は大巾におくれ、和食はありませんと云う。ふと先日、アメリカからの帰りにロス空港で「うどん」を喰べそこね、機内食のハンバーガーに不機嫌になって不貞寝していた松尾さん（ISASニュース編集長）のことを思い出す。飛行機は定刻に4時間おくらせて成田空港に着陸した。（にしむら・じゅん）

宇宙環境 (6) 飛翔体の帯電現象

宇宙空間での飛翔体の帯電現象は静止軌道を飛ぶ実用衛星の相次ぐ誤動作事故で不名誉な脚光をあびた。図に示したのは、静止軌道衛星の誤動作がどのような時間帯で発生したかを示す有名な統計であるが、真夜中から明け方にかけて誤動作が多発していることが解る。この様な誤動作は衛星の各部が異なった電位に帯電し、放電が起こることによって引き起こされるものと考えられている。

宇宙空間は、希薄なプラズマに充充されていて、衛星はあたかもプラズマ中のラングミュアプローブの様に周囲のプラズマと一定の電位差を保って平衡状態にある。この平衡電位はプラズマと衛星の間に電流が流れないような値で落ち着く。プラズマ中のイオンに較べて電子は軽く速度が大きいために衛星の電位がプラズマと同電位であれば衛星に流入する電子束はイオン束より大きい。正味の流入電流がゼロになるためには衛星の電位は電子を追い返すことが出来る程度に、言い替えればプラズマの電子エネルギーに相当する程度の負の値になっていなければならない。

電離圏のプラズマの様に低い電子エネルギーのプラズマ中では帯電も1ボルト以下であり問題にならないが静止軌道では、時として、10キロエレクトロンボルト程度のエネルギーを持ったプラズマが押し寄せて来ることがあり、衛星の電位も周囲のプラズマに比して10キロボルト近く沈み込む事がある。この様に大きな電位差が周囲のプラズマとの間に出来ても衛星表面の電位に差がなければ放電事故につながることはない。

ここで、事態を複雑にしているのは、太陽の紫外線である。衛星の日照面からは、盛んに光電子が飛び出すが、この量は、静止軌道のプラズマ電子による電流よりも一般に大きい。光電子の平均エネルギーは、10エレクトロンボルト以下なので、もしも、衛星表面が、導電性の材料で覆われて同一電位に保たれていないとすると、衛星の日照面と日陰面の間に数キロボルトの電位差を生じることとなり放電の危険性が生じて来る。また、衛星が、地球の陰の部分から日照領域へ移動するときも部分的に大きな電位差を生ずる可能性がある。初期の衛星の放電による不具合は、この様な現象に対する対策が十分でなかったことに起因する事

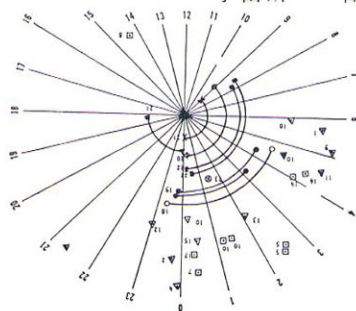
が明らかになってきた。

原因が解ってみると、帯電現象による放電事故に対する対策は比較的容易で設計時の配慮でかなり防ぐことが出来る。事実最近の静止軌道衛星では殆どこの種の事故は起っていないようである。しかし、観測衛星、特に電場や、プラズマの観測を目的とした衛星では衛星の帯電は厄介な問題である。衛星が部分的に異なった電位に帯電すると衛星の周囲に均一でない電場が出来て周囲のプラズマの軌道に影響を及ぼし、プラズマ粒子の計測や電場の観測に深刻な影響を与える。衛星表面の電位を等しくするために衛星表面を導電性の材料で覆っても衛星の形状が複雑であれば、周囲の電場を複雑にする事になり変りはない。これを避けるには、衛星の形状を出来るだけ球形に近くすることが望ましいが、現状ではなかなか難しく、衛星表面の部分帯電による局所電場を作らない様にするのが精いっぱいである。

将来の方向としては、衛星の電位をアクティブに制御してプラズマから衛星が電氣的に見えなくすることが理想である。このためには電子束にともなう電流と相殺するイオン電流を衛星からプラズマに流してやればよい。この場合、プラズマにイオン電流にもとずく擾乱を与えないこと、衛星の電位を正確に測定できること、適当な搭載用イオン源があることが条件となるが、何れの技術もまだ確立しておらず今後の課題として残っている。

『あけぼの』衛星の開発に当たっては衛星表面を導電性にする事に大きな努力が払われ、衛星表面の99%以上を導電性にする事ができた。

—宇宙研— 鶴田浩一郎



静止衛星上で発生した不具合の時刻分布。数字は不具合の発生数。半径方向の位置の違いは、見やすくするために実際の距離ではない。



年はや既に

平尾 邦雄

「年はや既に十八と、積み積もりてなりたるか」これは私の卒業した高等学校の寮歌の歌いだしの一節である。この寮歌を高唱したときは若かったなどと言う積りで書出したのではない。

ある日我が家の二階の狭い取りちらかした書齋で翌日の講義の予習をしていると階下の電話が鳴った。急いで降りると宇宙研の三宅さんからであった。彼女いわく松尾編集長からは是非次のISASニュースの『芋焼酎』に投稿願いたいと言うことであった。他ならぬ松尾先生の頼みとあって私も喜んで御引受けした次第である。そこで何を書こうかと考えているうちに確か今年のISASニュース7月号が第100号になる筈だということを思出した。御存知のようにISASニュースは宇宙科学研究所発足以来確実に毎月発行されているので、研究所はもう9才になったということである。また私にとっては、かつて研究所に勤務したのと同じ年月だけたってしまったということになる。始めの寮歌のでだしは十八であったけれど、その半分の年になったと思うと感慨深いものがある。今年平成元年はまた研究所が正式に相模原に移転した年でもあり後々迄私の心に残ることとなる。

さてISASニュースであるが、私はかねがね共同利用研究所は関係ある全ての人々との意思の疎通、いまの言葉でいえばコミュニケーションがなければ存在理由を失ってしまうだろうと考えていた。研究所が出来た時、当時の森所長に是非定期的なニュースを発行すべきであるとお話し、幸いに周囲の人の賛成を得られた。えてしてこの様な時には言いだしっぺということがある。しかしこの場合は私自身の信念でもあったので、敢えて編集委員長をお引受けして4年間続けたのである。初めからこれは事務の方々だけにはお願いしては駄目であると思っていたので、研究部の中からもこのような仕事に賛成して戴ける人に委員になって戴く事を考えた。

幸いに所長も古いしきたりにとらわれずかなり自由に事を進めることに同意して戴けた。各先生方のお許しも得て非常にユニークで有能かつ熱心なメンバーで委員会を構成する事が出来たのである。私の退任後も代々優秀なメンバーで引継がれており充実した興味深いニュースが届けられている事は私にとって大きな喜びであり、また読者の皆さんもご同意戴けると思っている。

現在印刷部数は恐らく2000部は越えていると思っているが、私が在任中も沢山の人、特に関係メーカーの方々や若い中学生や高校生達からなんとか定期的に入手出来ないかという問い合わせがあったことを思出す。今でもそうであるなら何とかそれが出来るようにならないものかと思わざるをえない。宇宙を理解した宇宙研究を理解して貰うことが今色々問われている我々の地球の問題を考える上にも、また今後益々深まるであろう人間と宇宙の関わり合いを考える上にも非常に大事な事であろうと思うからである。

このISASニュースが間も無く100号を迎えようとしている。100号目のニュースはまた素晴らしい特集号を考えておられると思うが、もう一つ考えて戴きたいのは今後の中身である。どんな素晴らしいものでも長く続くとあきらめるものである。今までも色々工夫がされてきたし、また今でも新しいニュースが届く度に一気に読んでしまう程興味深いものである。我が国の宇宙科学研究の進歩の様子もよく分り、また世界のニュースも適宜紹介されていて大変面白い。しかしコミュニケーションという見方からすれば、例えば宇宙研に関わっている人々の意見を時に載せる等いかなものだろうか。難しい問題であるかもしれないが、研究所の発展にとって役にたつかもしい。ともあれ間も無く100号を迎えるニュースに幸あれ。

(ひらお・くにお)

ISASニュース No.98 1989.5.

発行：宇宙科学研究所(文部省)

〒229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL.0427-51-3911



季節の良い頃になりました。桜のあとはツツジで、今キャンパスは花ざかりです。4月から新しく、南雲係長と紀井恒男さんが編集委員会に加わりました。目下、100号記念特集を準備中です。(小原)