

発表 7.

人工衛星内部の圧力

熱真空試験における放電防止に関する検討

試験センター 猿渡 英樹 主任開発員



人工衛星内部の圧力

熱真空試験における放電防止に関する検討

(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)
宇宙基幹システム本部 試験センター
猿渡英樹

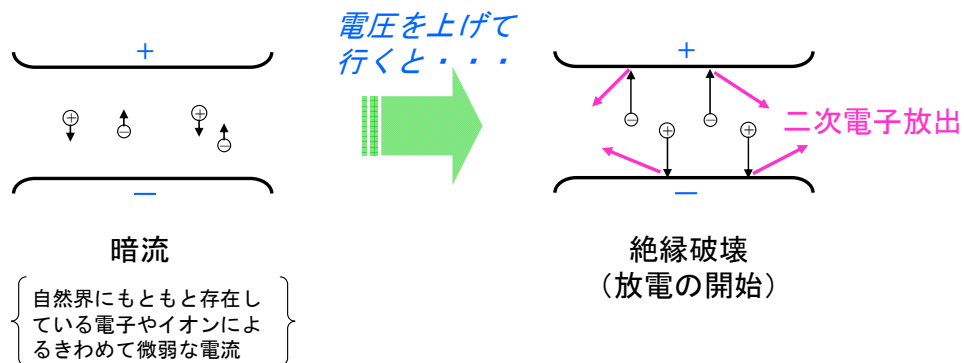
第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

1/17




気体中の放電とは

- 気体中の荷電粒子が電界の作用によって運動し、導電状態を呈する現象。



第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

2/17




衛星搭載機器の放電事例(国内)

- **でんぱ(REXS):1972年... 軌道上**
 - 打上げ3日後に高圧電源をオンしたところ、高電圧回路に放電が発生した。放電により観測が不可能となり、運用を停止した。
 - 出典:JAXAホームページ(<http://www.isas.jaxa.jp/i/enterp/missions/denpa.shtml>)
- **きく7号(ETS-VII):1998年... 熱真空試験/軌道上**
 - システム熱真空試験において停電が発生した。
 - 停電時に通信系サブシステムの部品において放電が発生した。
 - この放電で部品の絶縁特性が損なわれたことにより、軌道上においても放電が発生した。
 - 出典:H12.1.19付 宇宙開発委員会技術評価部会資料「H-IIロケット6号機による熱帯降雨観測衛星(TRM)及び技術試験衛星VII型(ETS-VII)の打上げ結果の評価について(報告)」
- **その他**
 - 調査した範囲では、筑波宇宙センターのスペースチャンバで実施された熱真空試験において5件の放電事故が発生している。

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

3/17



放電の防止

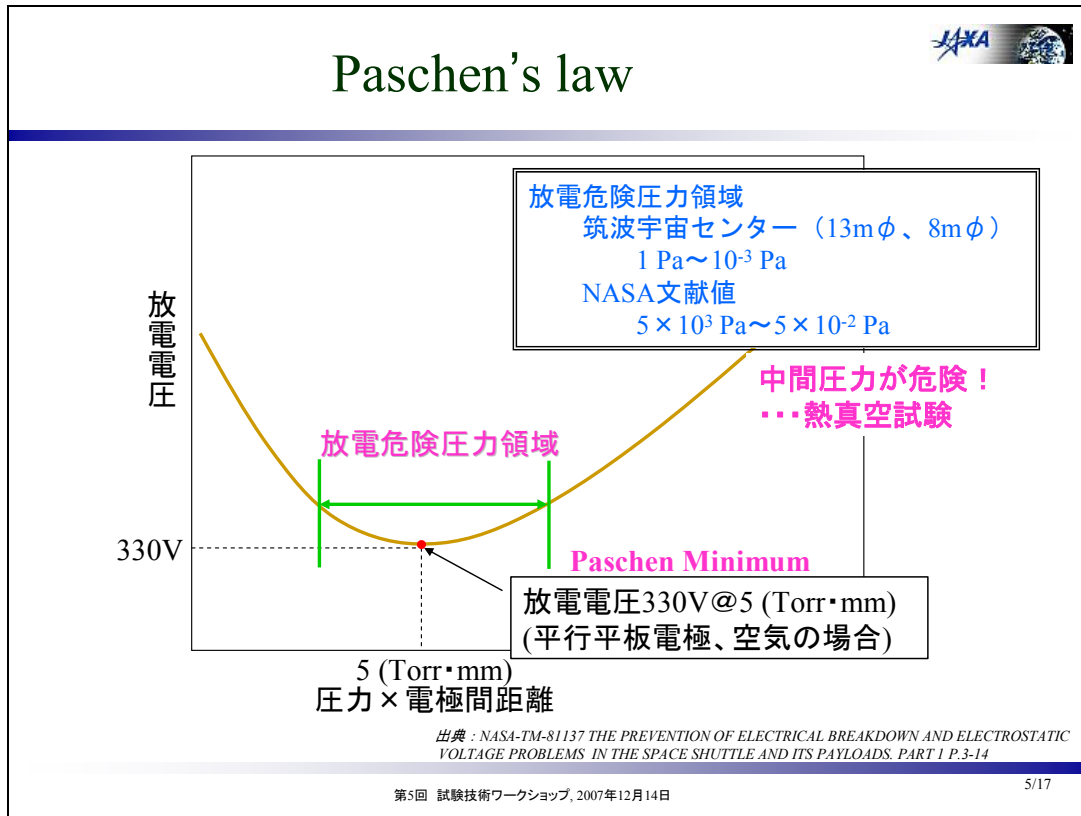
- **設計・製造**
 - 適切な絶縁
 - ポッティング
 - コーティング
 - 封止
 - Sharp edgeの除去
 - 電圧に応じた電極間距離
- **運用**
 - **適切な圧力領域**での運用

**原則は設計・製造
で対応する。**

Paschen's law

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

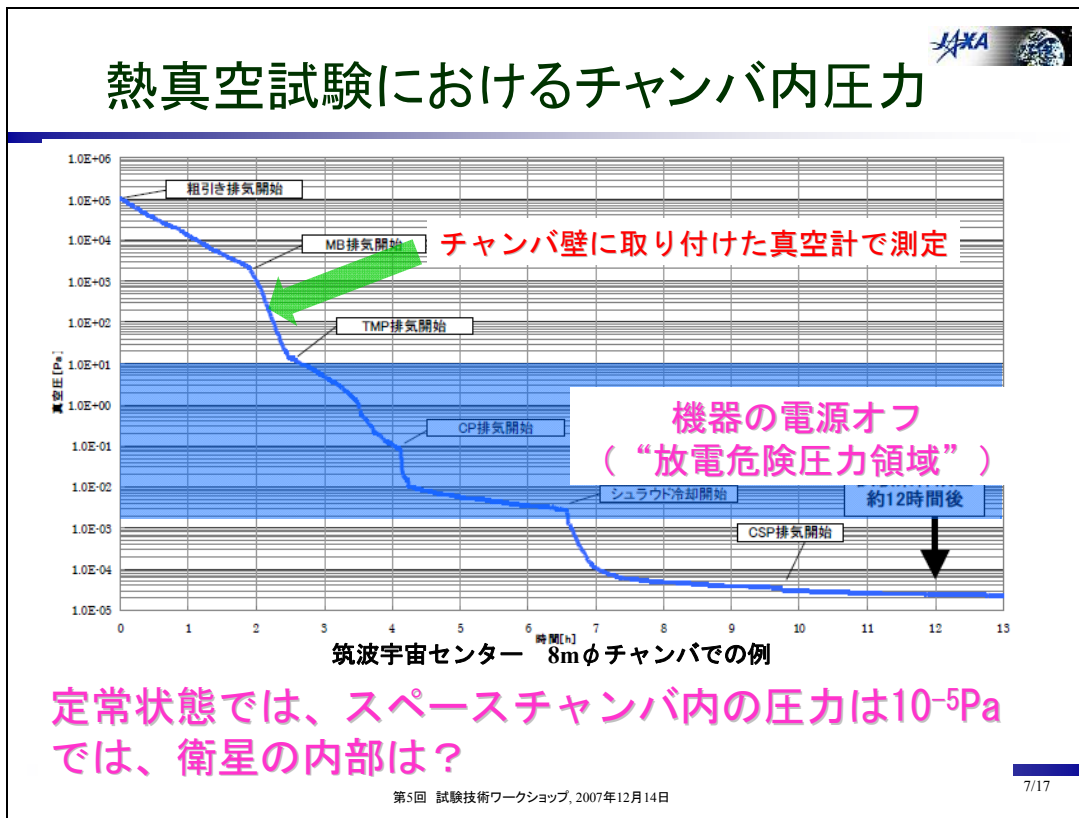
4/17



衛星搭載機器の放電事例(海外)

- Galileo: 1988年... 熱真空試験
 - 極紫外(EUV)機器に通電している状態で、チャンバ内に乾燥窒素を導入したところ、圧力が**危険圧力領域(critical pressure region)**となり、コロナ放電が発生した。その結果EUVの高電圧電源が故障した。
 - 出典: NASA Public Lessons Learned 0598 "Protect Against Corona Discharge and High Voltage Breakdown"
- Mars Observer: 1990年... 熱真空試験
 - 進行波管増幅器(TWTA)の**絶縁が不十分であったことが原因で**、真空チャンバの排気中の**危険圧力(critical pressure)**において、コロナ放電が発生した。
 - 出典: NASA Public Lessons Learned 0598 "Protect Against Corona Discharge and High Voltage Breakdown"
- その他
 - Mariner、Viking2、Voyager、NSCAT、Magellanにおいても放電が発生した。
 - その他の事例も多数あり。

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日 6/17




第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

衛星内部の圧力

- 衛星内部にはガス放出源が存在
- 衛星は多層断熱材で覆われている（衛星内部から外部への流路が細い）
 - ▪ ▪ **機器近傍の圧力は？**

8/17

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日



衛星内部の圧力(続)

内部圧力 $P_i = \frac{Q_i}{C}$


内部のアウトガスレート $Q_i \propto \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \cdot t^{-n}$

E : 脱離エネルギー
R : 気体定数

コンダクタンス $C = 3.64 \cdot K \cdot A \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}$


K : クラウジング係数
A : 開口面積
M : 分子量

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日 9/17



衛星内部の圧力(続)

- コンダクタンス
 - 開口部の位置、寸法が把握できていれば、計算で求めることが可能。
- アウトガスレート
 - 使用材料(黒色塗料、電線被覆等)のアウトガスレートデータは、JAXAでは殆ど所有していない。



- 衛星内部圧力を精度良く予測することは困難。

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日 10/17

熱真空試験における放電防止検討



放電防止法の検討

適切なチャンバ運用手法の検討

機器周囲圧力の把握

放電危険圧力の確認

チャンバ運用手法の最適化

適切なベント設計の検討

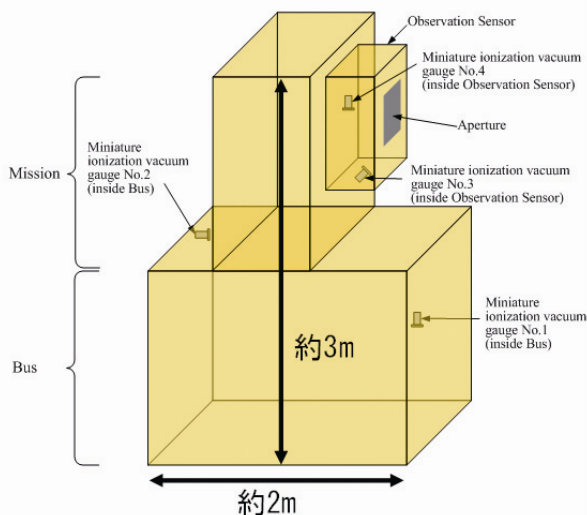
供試体側検討事項

衛星内部圧力の実測



8mφスペースチャンバ
(縦置き円筒型)

測定場所



測定対象

GOSATシステムSTM



第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

13/17

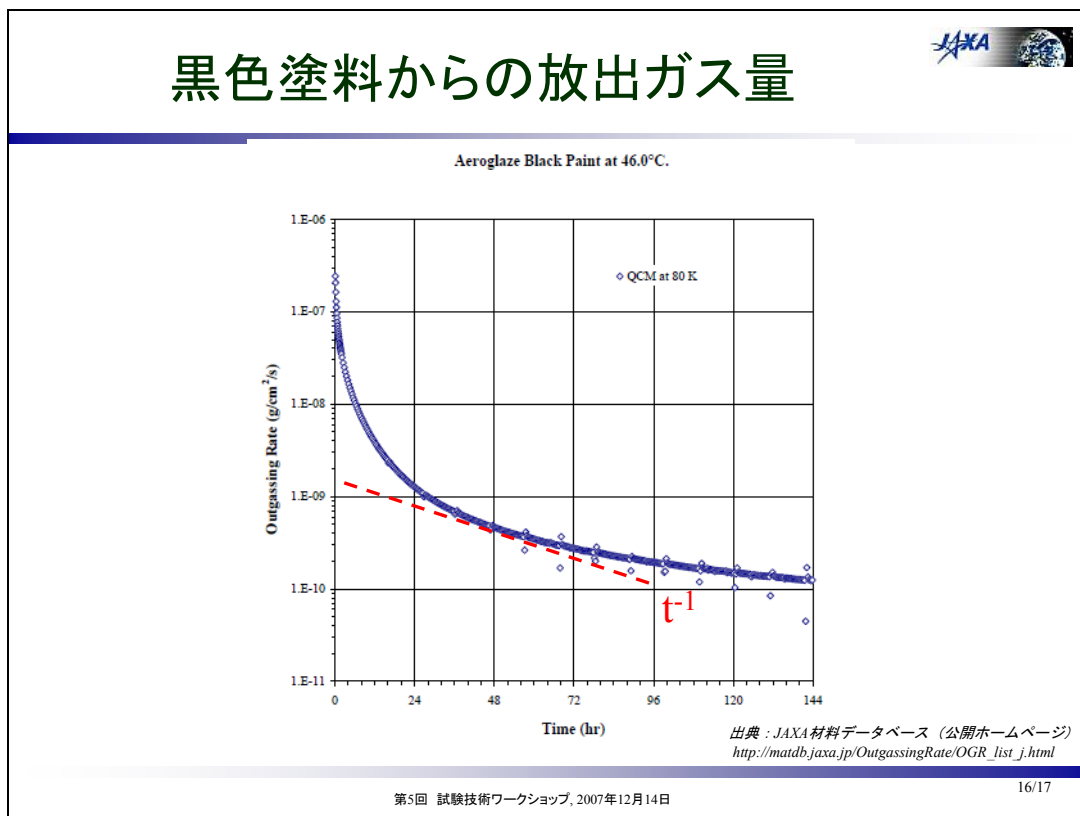
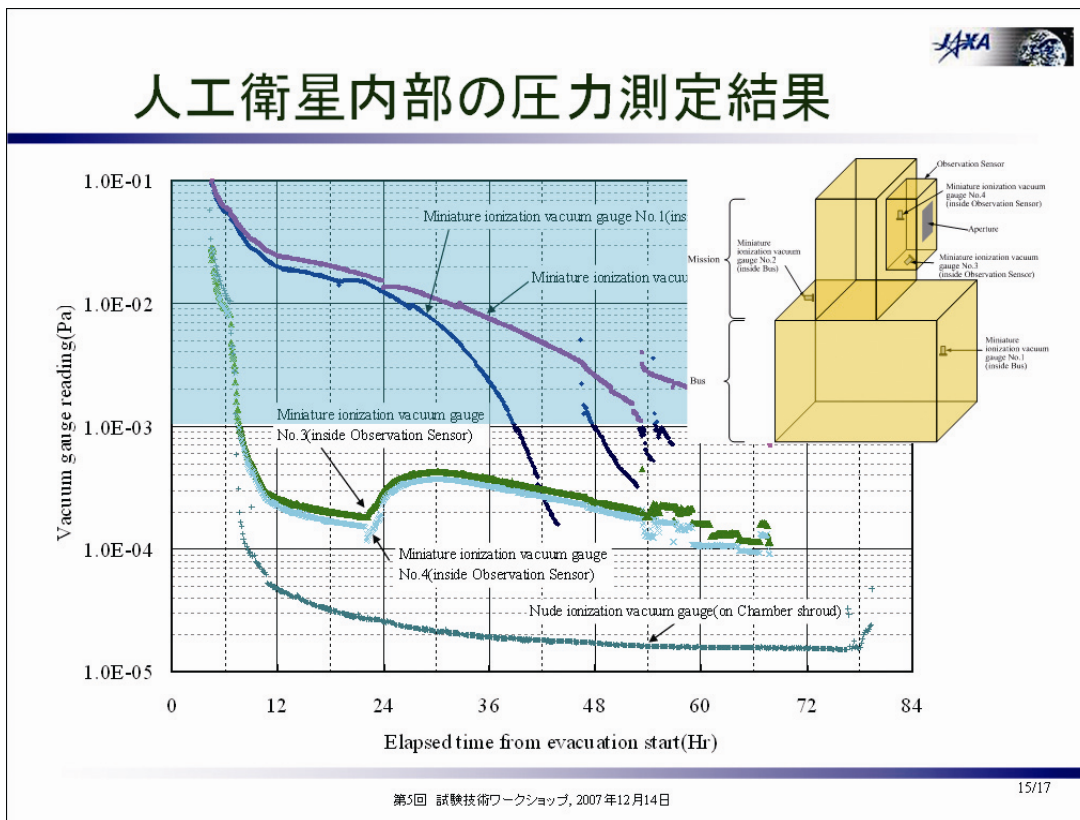
使用した真空計



ミニチュアゲージ真空計（電離真空計の一種）
 測定子寸法：φ34mm×70.2mm
 発熱量：約2W

第5回 試験技術ワークショップ, 2007年12月14日

14/17





まとめ

- 人工衛星内部と外部の圧力を測定した結果、内部と外部の圧力には有意差があることが確認された。
- 内部に高電圧機器を有する人工衛星の熱真空試験では、人工衛星内部の圧力を測定し、その結果に基づいて電源投入時期を判断することが望まれる。

※なお、汚染分子雰囲気における圧力測定方法については、検討する必要がある。

質疑応答

質問者①

問1: 今日のご報告はアウトガスが随分出るような印象を受ける内容ですが、最初に見せていただいた ETS8 の内部の絵で、黒く見えているのは CFRP です。塗料ではありません。GOSAT は STM でしたよね。STM ということは、構体パネルには塗料が塗られていないと思います。コンポーネントについても、STM であることから構造ダミーであるものが多いと考えられますので、そもそもアウトガス源となる黒色塗料が塗られているものがほとんどないのではないかと思うのですが、そこは実際いかがでしょうか。

答1: ETS8 の方は写真から判断しておられたので、CFRP だと把握しておりませんでした。GOSAT のほうは確かバス構体のほうは Z306 だったと思うのですが、「回答者②」さん、それでよろしかったでしょうか。

回答者②: はい。内外は黒色塗装しています。確かにベーキングもやってます。

発表者: はい。しかし、アウトガス量が多いという風に言うつもりは実はなくて、まあそういう風に感じられたのだとすれば私の表現の仕方が悪かったかもしれませんが、あくまでこの式の通り、アウトガス量とコンダクタンスの比ですから、アウトガス量が小さくてもこちら（コンダクタンス）も同じように小さければ内部の圧力は高くなると思います。それで、答えになっていますでしょうか。

質問者: 今日ご説明いただいた趣旨は、コンダクタンスが十分大きくなければチャンバの圧力ほど内部が高真空に到達していないことがあるので気を付けてください、ということですね。だからアウトガスはあまり気にしなくていいということですか。

発表者: アウトガスについては今回の発表で説明するつもりはないのですが、趣旨としては先ほど「質問者①」さんがおっしゃった通りです。

質問者②

問2: 流体の方はあまり詳しくないのですが、内部圧力の式のコンダクタンスのところでは開口面積というのがありますが、バスの内側から外を覗いた時に直接表が見える開口面というのは無いはずなので、実際は例えば、MLI 間をずっと回り込んで行って、ベルクロの隙間などから逃げていくという事になると思います。開口面というのは直接内部から見て開いてなくても、間接的に遠回りに、と言いますか、迷路のように行ったその先の開口面でも全く同じ扱いになるのでしょうか。

答 2：違います。ここで示している式は「回答者②」さんがおっしゃった通り直接中を見ている場合の式ですので、その場合でもコンダクタンスを出すのは難しいと先ほど言いましたのは、まさに「回答者②」さんがおっしゃった通り、実際のハードウェアでこういう単純な式を適用できないというところが大きな理由だと思っています。もし実際のハードウェアでももう少し精度の高いコンダクタンスを求めようと思うならば、おそらく熱系が採用しているモンテカルロ法のようなシュミレーションを行うしかないのではないかと、思っております。

質問者：GOSAT の関係者としてこのデータに我々もショックを受けておまして、いかに早くバス構体内部のガス酸素を抜くかということについて何か良い方法は無いのか、と考えましたので、そういうところを申し上げました。そういった知見やお考えがあればまたお教え願いたいと思います。

発表者：はい、その辺は別途機会があればお話をさせていただくとしまして、いま丁度話が出ましたので、これも聞いた話で恐縮なのですが、最近知った情報をお話させていただきますと、いまでも宇宙を回っておりますハッブル宇宙望遠鏡の場合は、やはりベントといいますか、ハッブル内部の圧力を気にしているようでして、打上げ前に一度ベントの大きさなどを設計しなおしたそうです。それから、細かい造りまでは分かりませんでした、かなり大きな開口部が開いているようで、一方光学機器ですから、外からの光が中に入ってきてはまずいということで、ラビリンス構造のような構造のベントホールが構体に開いている、という話を聞きました。詳しい形状は調べきれれておりませんが、そういうことだそうです。それから、ハッブル宇宙望遠鏡の中には真空計が搭載されておまして、宇宙望遠鏡の中の圧力データをテレメトリとして地上に降ろしているそうです。

質問者③

問 3：今回の構体の中の圧力について、実際の衛星構体だとそのまた中に機器があつて、機器の中の圧力がもっと高いということがいえるということですか。

答 3：そうです。ただ、どれくらい高いかというのはやはり同じ話で、コンポの穴の大きさとコンポの中のアウトガス量による、ということになります。

質問者④

問 4：今回ミニチュア的设计を使用されて、詳しい計測ができなかった材料についての説明

がありましたけれども、やはり正確に計測するというのは非常に重要だと思うのですが、改善する手立てはあるのでしょうか。

答 4: 今すぐ根本的に改善するというのは難しいと思っております。実はたまたま別の目的で入手した耐汚染真空計というのがあるのですが、発熱量が非常に大きくて、この目的で衛星の中に入れるのは難しいと思っております。ですから、詳しい機構は説明しておりませんが、おそらく真空計を ON している間に汚れていくのではないかと考えておりますので、真空計を ON したままにせず、例えば1時間に5分だけ ON することによって ON する時間を短くすれば、もしかしたら少し改善できるのではないかと考えておりますが、その効果につきましてはまだ確認しておりません。