

概要

<ミスト化防止の加熱量>

ペンドにの止のが加水量と 務呈買量を100 kgと仮定して、連続噴射時のミスト化防止の ための加熱量を計算した結果、1m/secの速度増分を連続噴 射で実現するためには2.2k(の総加熱量が必要、ただし、タン クシェルと力ス間との熱交換は計算に考慮していない、

P5-036

気液平衡推進系の開発

元岡範純(東大),山本高行,森治(JAXA),中条俊大(東大), 石田大二郎,山田啓介,岸野義宏(川)エアロスペース)

現在JAXAは小型宇宙機向けの推進系として気液平衡推進系を開発している.気液平衡推進系とは推進薬(代替フロンガス)を液体状態で貯蔵し, 気化したガスのみをタンクから抽出しノズルから噴射する推進系である。本推進系は2010年に打ち上げられたソーラー電力セイル実証機IKAROS に搭載されその性能は実証されたが,更なる性能向上を目的として以下の開発に取り組んでいる.(1)落下塔を利用した微小重力環境下での気 液分離性能の評価と向上。(2)長秒時噴射を実現する気蓄器を搭載した新しい気液平衡推進系のシステム検討。(3)タンク内デバイスである発 泡金属の熱伝導性能の評価. (1) 微小重力実験による気液分離能力の評価 気液平衡推進系とは <気液平衛推進系とは> 推進薬を液体状態でタンクに貯蔵し、気化したガスのみをコール ドガスジェットとしてノズルから噴射を行う推進系である、推進薬 には無素、不燃性の代替フロッガスを使用している、キーボードを 掃除する際に使用されるダストプロワーと同じ原理、ダストプロワ <概要ン 試験期 (C)発泡金属の気孔径、材質の違いによる気液分離能力の評価 <概要> ・試験期間:2012.10.30 ~11.2 ・試験場所:北海道赤平市,HASTIC所有の落下塔実験施設 ・目的:気液平衡推進タンクの液体保持能力と気液分離能力の評価 く実験の概要と (実数の協会) 右図にあるボリカーボネイト製のタンクに発 治金属と液体推業を充填し、微小重カ下 で噴射を行い、3種類の発泡金属の気液 分離能力を評価する。 P0 T <検証項目※> の缶内はガスが液体状態で充填されているため長寿命である 1 (秋山 19日 / 常治金属方式: (A) 完治金属の液体保持能力計測試験(ハブルポイント計測試験) (B) 示活性力スで加圧された気液平衡力ス境射の気液分離能力の計測試験 (C) 完治金属の気孔径、材質の違いによる気液分離能力の評価 + 🛯 🚞 <本推進系の特徴(利点)> 推進薬が無壽、不燃性で、取扱いが容易→射場での充填作業が楽 ・代替フロンガス、タンク圧は推薬の蒸気圧(1[MPa (abs)]程度) タンク内が指薬の蒸気圧で維持される 図、ダストブロワー <宝験結果> 図. 試験タンク (実験結果) <u>回 試験シン2</u> 3種類の発泡金属を気液分離能力の高い順に 並べると下記の通りになる. Duocel 40PPI > Celmet #4 > Duocel 20PPI ただし、気液分離能力と気孔径との相関が見られなかった.この原因と しては液体推業と発泡金属間の摩擦力が考えられが,詳細な解析は つかのは計画形式を2 ン方式: タンク内が推棄の蒸気圧で維持される ・ →調圧弁なしに一定の推力を出力できる 従来のコールドガス式と比較して、タンクが軽量でコンパクト (D)アレッジ分裂曲線とアレッジ駆動曲線の妥当性の検証 (ワ)レンクス被加速にレックル電加速度との関係を確認する実験 (F)円筒型タンク用大型ペーンの性能評価実験(電射試験を含む) ※8.D.E.Fの試験結果についてはスペースの都合 から省容す 推薬を液体貯蔵するため, 高密度充填が可能 今後の検討課題である 2F 発泡金属タン <実験装置> 3段からなり、1回の落下で3種類の 実験が同時に実施できるように設計 されている 下段:制御機器、バッテリ、データ 23-21-12 ト段:割御機器、ハッテリ、テーダ ロガー,発泡金属の液体保持計測 試験機器(A) 中段:発泡金属方式の噴射試験 装置(B,C)、データロガー 上段:ペーン方式の噴射試験装置 図. 推薬充填作業の様子 (写真: JAXA): 左図:化学式推進系(あかつき), 右図: IKAROS気液平衡推進系 <気液分離方法> へ3.0.な刀(MC)など) ・本推進系は微小型力環境下で気液を分離する必要がある。なぜなら、液体状態の推進薬が ノズルから噴射されると、推力が不安定になると同時に、比推力の低下を招いてしまう。そこで 本研究では以下の2種類の気液分離方式を開発している 主な計測機器 ハイスピードカメラ(120fps), 圧力センサ, 温度センサ 図.実験装置全体写真 ペーン方式(表面張力タンク) ペーンとタンク内壁との距離をガス排出ボートに向け て単調に増加させることで、を下図のように曲率の 違いによる駆動力がアレッジ(力ス部)に作用する。こ れにより、アレッジ部を常にガス排出ボートへ追いやる ことができる→気液分離可能となる。 <u>発泡金属方式</u> 発泡金属(多孔質剤,金属製のた わしのようなもの)に液体推薬を浸 み込ませ、気孔間に張られる表面 (A)発泡金属の液体保持能力確認試験 が込まで、丸九间に扱られる教園 張力を利用して液体保持と気液分 離を行う方式、また免治金属は推 薬噴射時に気化熱として奪われる 熱量を効率的にタンクシェルから 液体推業に伝える役割も果たして く実験の概要> <実験の概要> 円筒形の適明なタンクに半月状の発泡 金屬を搭載し、発泡金属に液体状態の推 薬を浸み込ませておく、実験が開始され るとモータによりタンクを回転させる。発 泡金属と共に回転する液体推薬には遠 いる 図 バブルボイント試験実験装置図(CAD図) 心力が加わり、ある回転数以上になると 遠心力が発泡金属の液体保持能力をト 回り、左図の赤矢印の方向に液体推薬が の挙動(画像の時刻 たから、落下開す 回り、左回いが天中の方向に及体推業が 発泡金属から押し出される。本実験では、 発泡金属の液体保持能力を、液体推薬 が発泡金属から流出したときのヘッド圧を Side Vier <u>図. タンク回転時の</u> 液体推力の様子 用いて評価を行った。 $\Delta P_d = \frac{1}{2} \rho R^2 \omega^2$ <搭載実績(両者とも発 金属方式)ン ソーラー電力セイル実証超小型衛星(SSSAT)
 ・打ち上げ目時:2006年9月(ひのでのサブペイロード)
 ・衛星質量: 6[kg]
 ・推送案: イソブタン ッドE,R:タンク内半径,ρ:液体推薬の密度 ΔP_d : ω:発泡金属から液体推薬が流出したときのモータ回転数 - 石田賀豊: 6 (kg) - 福祉憲語: イソフタン - 道用結果: 道用結果テレメトリ取得できず. ただし, 展開動作は - 磁用結果: 道用結果テレメトリ取得できず. ただし, 展開動作は - 磁告れたことはほぼ確実 実験結果 被伴の親出 持能力が高いことが確認できた。また、地 上でのバブルポイント圧(B.P)値と整合性 G 図.液体推薬が流出している様子(40PPI) がとれている結果が得られた 単位 #4 表:<u>試験結果一覧:</u> 本試験では3種類の気孔径につ <u>ACTUE(ASTER)</u> 本試験結果 B.P Pa 100⁻²200 Pa 50⁻¹100 Pa 地上試験結果 B.P Pa 106 75 図. 上段:SSSAT. 下段:IKAROS ンク内の液 写真:JAX (3) 噴射中のタンク内の温度勾配解析 (2) 長秒時噴射のための気液平衡推進系の検討 <概要> <概要> Nust KAROSの預用データからRCS運用中にタンク配管温度が低下していることが確認された。この事象は液体推築がタ ンクから流出し、配管内で推業が気化した可能性を示唆している、液体推業が配管内に流出した原因としてタンク内 の液体推薬に温度勾配が生じたことが考えられる(タンク内で生じる温度勾配は噴射制約に考慮していなかった)、そ こで、配管温度低下が確認されたRCS運用パラメータを使って、数値解析によりタンクに生じ得る温度勾配を検証した。 、™=×-従来の発急金属方式(IKAROS方式)の気液平衡推進系は微小重力下での気液分離能力や相平衡維持のための気液界面への加熱 能力の制約から、噴射バルス幅は制限されている、そこで、長秒時噴射性能を向上させるために、気化した液化ガスを貯蔵する気蓄 器を追加した新しい気液平衡推進系を検討している <本システムの特徴> ・連続噴射時は気蓄器に貯蔵したガスを噴射するため、気液分離性能は要 く解析結果、 ○用の和本だ タンク内の温度勾配が、液体がタンク外に流出する可能性のある温度勾配(0.3℃)を大きく上回るという解析結果が 得られた、ただし、飛翔データとの定量的な整合性を確認するためには、液体推薬がタンク壁面を伝ってガスポートか ら排出する力学的な運動を考慮した解析が必要である。 求されない 相平衡維持のための莫大な加熱は不要、ミスト化防止のための加熱が必 要(相平衛維持と比較すると少量の加熱でよい) ⇒長秒時噴射が実現可能(連続噴射時間は気蓄器容積に依存する) <計算条件(熱の収支)> ガス猿出ポート ペーン <液化ガスのブローダウン> < 法(ガスのプローダウン> Herや12などの分子量の比較的軽いガスをプローダ ウンさせる場合は特に問題にならないが、分子量 の大きな液化ガスを簡熟能張させるとガス状態の 推業が変編化、ノズルからミスト境射する可能性が ある。右図はプローダウン中のP-Tカーブを示して いる、理想的な新熱能張では、断熱能振線(赤 緯)が常に飽和蒸気圧曲線(青鴿)を上回っている、 20はけガン制整体える可能体を干地/しいる <u>熱量損失@気液界面</u> · Date:2010/6/30 気休部 Date:2010/6/30 総パルスカント:200 RC3運用時間:200×41 = 8200 s 総損失税量:180 [kJ/kg] ×200.4 [g] = 36.1 [kJ] 単位時間当たりの損失熱量: 36.1 /8.2 = 4.40 [W] (=J/s) ⋈ ģ Filter Latching <u>888</u> 1_ L _ <u>熱供給 from ヒータ</u>

 ・ 2010/6/30当日の実DUTYはテレメ受信時間間隔が大 <u>***</u> 業系、右:従来の気 これはガスが凝縮する可能性を示唆している。 図. ブローダウン中の圧力-温度曲線 2010/0/303日の来しの1187レスをは6时回時間が入 きいため不確定ため、運用内容の近い2010/5/28の実 DUTYを使用する 変DUTY 18.6% 単位時間当たりの供給熱量:23.65 [W] *18.6% = 4.40 くミスト化防止の加熱を実施する時期、 <こんドに防止の加熱を実施する時期> ブローダフン中の三入化と防ぐにはガスを加熱する必要がある。 加熱を実施する時期は大きく2通りある (1)プローダフン中に加熱を行う 左回のようにプローダウン中に加熱を行うことで断熱膨張中の ガスのポルトローブ指数を減少させる。必要な加熱量は断熱膨 繊細線が登和蒸気圧曲線に一致するときのポルトローブ指数を ※衛星本体とタンク間での熱輻射や熱伝導による熱の移動 <u>図. タンク内部構造</u> IKAROSに搭載された推進薬タンクの内 と数値解析モデル(右下) - + - + -- + -- + -- + は本計算では考慮していない 内部構造(左上) 2 _ + _ + _ transformation chang 張田織が飽和蒸買に田線に一致するときのボリトローフ指数で 求めることで計算できる (2)ブローダウン前に加熱を行う 噴射開始前に液-ガスタンク間のハルブを閉めた後、ガスを加 熱する(石図の1→2の単穏)、断熱曲線が飽和蒸気圧曲線 と交わる点(右図③)まで、ブローダウンを継続できる。

1

<u>図. ブローダウン中の圧力-温度曲線</u> 左:ミスト化防止運用(1),右:ミスト化防止運用(2)

<u>
 ←図、ミスト化防止のための加熱量 計算条件:衛星質量:100 kg,推 薬: HFC-125. ブローダウン比:2(<u>00 → 0.5*00)</u>
</u>

c 演田開始後100

図<u>計算結果(タンク温度勾配):</u> 気液界面とタンク底部で10℃程度の温度勾配がつく結果が得られた