

「あかつき」の現状と今後の運用について

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

2012年1月31日

目次

1. 金星探査機あかつきの軌道制御方針
2. 酸化剤投棄運用結果
3. RCSによる近日点軌道制御の結果
4. 軌道制御運用後の補加圧時における逆止弁閉塞の評価
5. 金星周回軌道の方針
6. 金星周回軌道再投入後の観測
7. 今後のあかつき運用における制約
8. まとめ

1. 金星探査機あかつきの軌道制御方針

宇宙開発委員会・平成23年第2回調査部会では、軌道上OME試験噴射の結果、今後の軌道制御に際しては、OMEの使用を断念し、RCS(姿勢制御用1液スラスタ)を用いて金星周回軌道への再投入を目指す方針を報告した(以下詳細).

- あかつきのOME燃焼器は、今後の軌道制御に十分な比推力を得る事ができない。
(着火衝撃緩和の工夫を施した試験噴射を行ったが、燃焼器破損がさらに進行した可能性が高いと考えられる.)

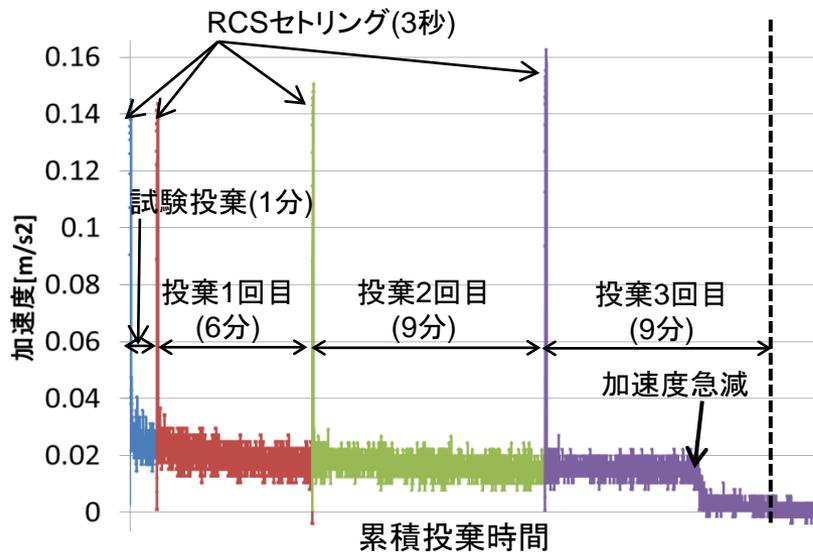
この状況を受け、あかつきの推進系は以下の方針で運用を行うこととした.

- 今後の金星再会合および再投入に向けた軌道制御は、RCSを用いて行う(RCSスラスタ配置・推進系系統図をAPPENDIX-1に示す)
- なお、金星周回軌道投入不具合時に発生した逆止弁の動作不良が進行する可能性もあるが、今後の運用計画はその事象が発生した場合でも、実行可能である.

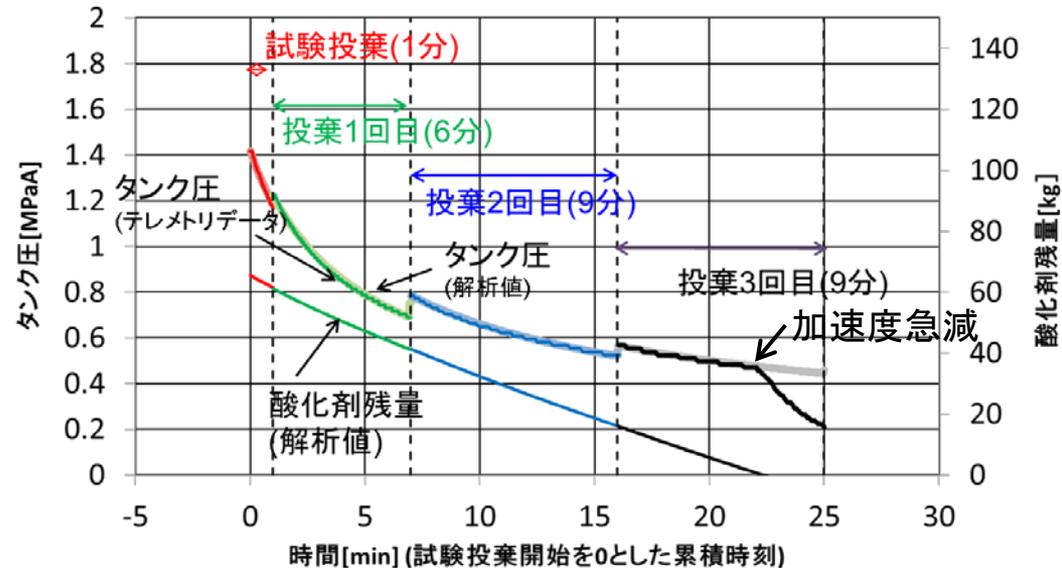
2. 酸化剤投棄運用結果

RCSによる軌道制御を有効に実施するために、不要となった酸化剤を投棄して探査機を軽量化する運用を実施した。

- 2011年9月30日から10月13日にわたり、試験投棄(1回)および投棄運用を3回に分けて行った。
- 投棄運用時に得られた探査機の加速度データより、酸化剤投棄初期には12N程度、終期(加速度急減直前)は6N程度の推力が安定して得られていた。



酸化剤投棄中の加速度



酸化剤投棄中のタンク圧力

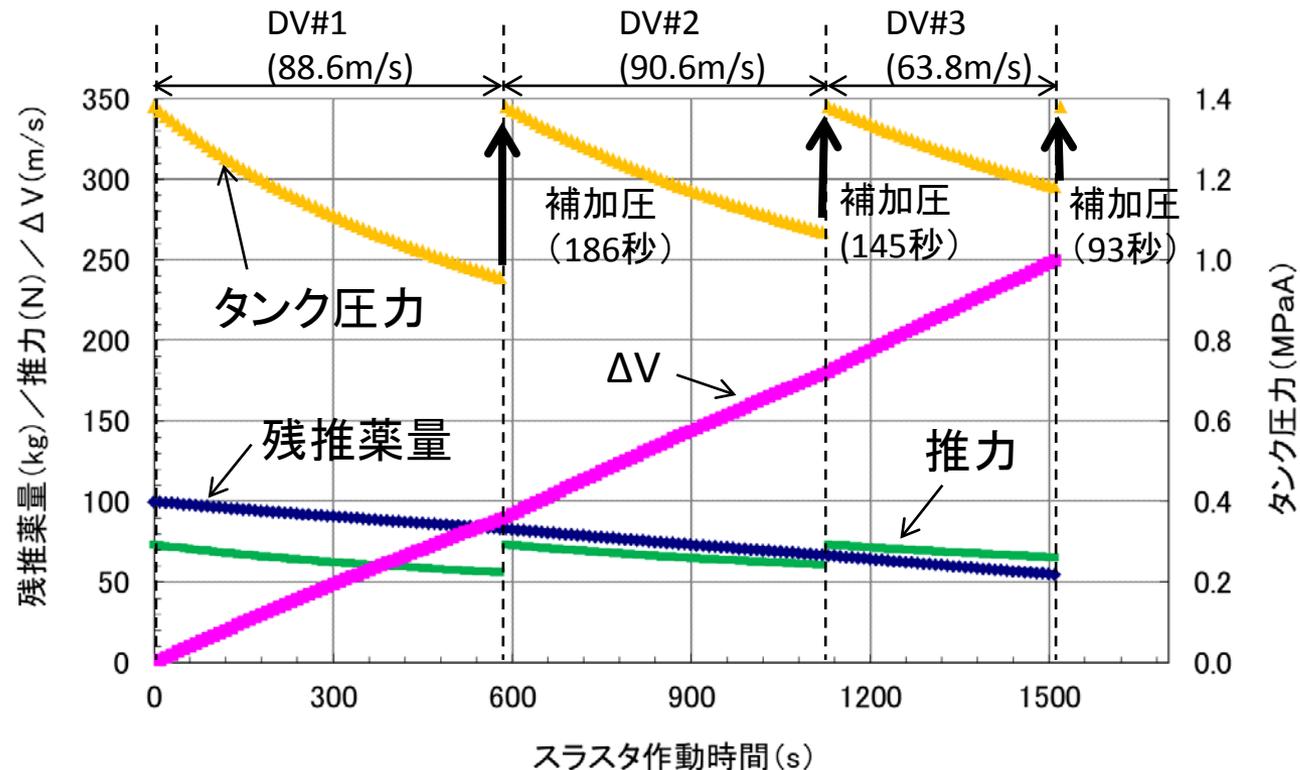
- 累積投棄時間が21分55秒~22分5秒を経過後、ガスの吹き抜けとみられる加速度の急減が見られ、酸化剤投棄の終了を確認した。
- 探査機のタンク圧力プロファイルと酸化剤残量を詳細に解析した結果、搭載量の99%に相当する約65kgの酸化剤を投棄できたと判断。

3. RCSによる近日点軌道制御の結果

2015年に金星と再会合するための軌道周期調整マヌーバとして、近日点における軌道制御を実施した。

- 2011年11月1日から21日にわたって、3回に分けて近日点軌道制御(DV#1~3)を実施
- 燃料側逆止弁の動作に不定性があるため、比推力を正確に見積もる目的から加圧ガス側の供給を遮断し、毎回ブローダウン運用を行った
- 近日点軌道制御の結果、2015年に金星に再会合できる軌道を飛行中
- 各軌道制御後、遮断弁開放とともに燃料タンクは補加圧できており、燃料減少とともにタンクの空所容積も大きくなってきている。そのため、金星周回軌道再投入を含めて、今後全く補加圧できない場合でもRCS運用が可能な状態となった。

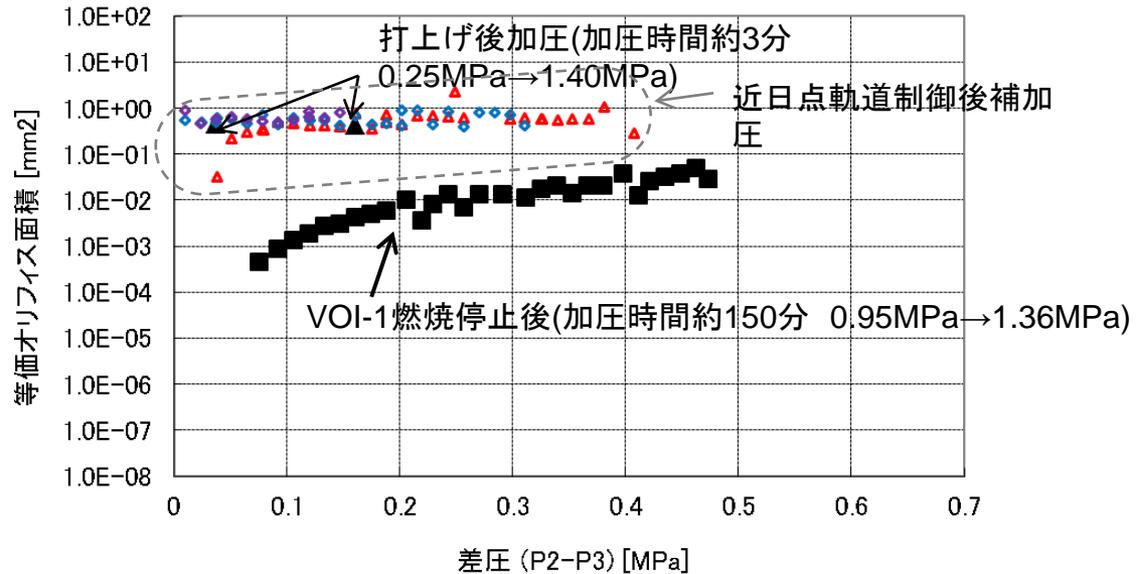
※ブローダウン運用: 上流からの加圧ガス供給を遮断し、タンク内のガス圧力のみで燃料を押し出す運用



4. 軌道制御運用後の補加圧時における逆止弁閉塞の評価

ブローダウンによる軌道制御後に燃料タンクに補加圧を実施した。補加圧で取得したデータを基に、VOI-1で閉塞した燃料側逆止弁の現在の状態について評価した。

補加圧時の等価オリフィス径



補加圧時のタンク圧力

	ΔV 前圧力 [MPaA]	ΔV 後静定圧力 [MPaA]	補加圧後圧力 [MPaA]
DV#1	1.38	0.94	1.39
DV#2	1.39	1.05	1.44
DV#3	1.44	1.25	1.43

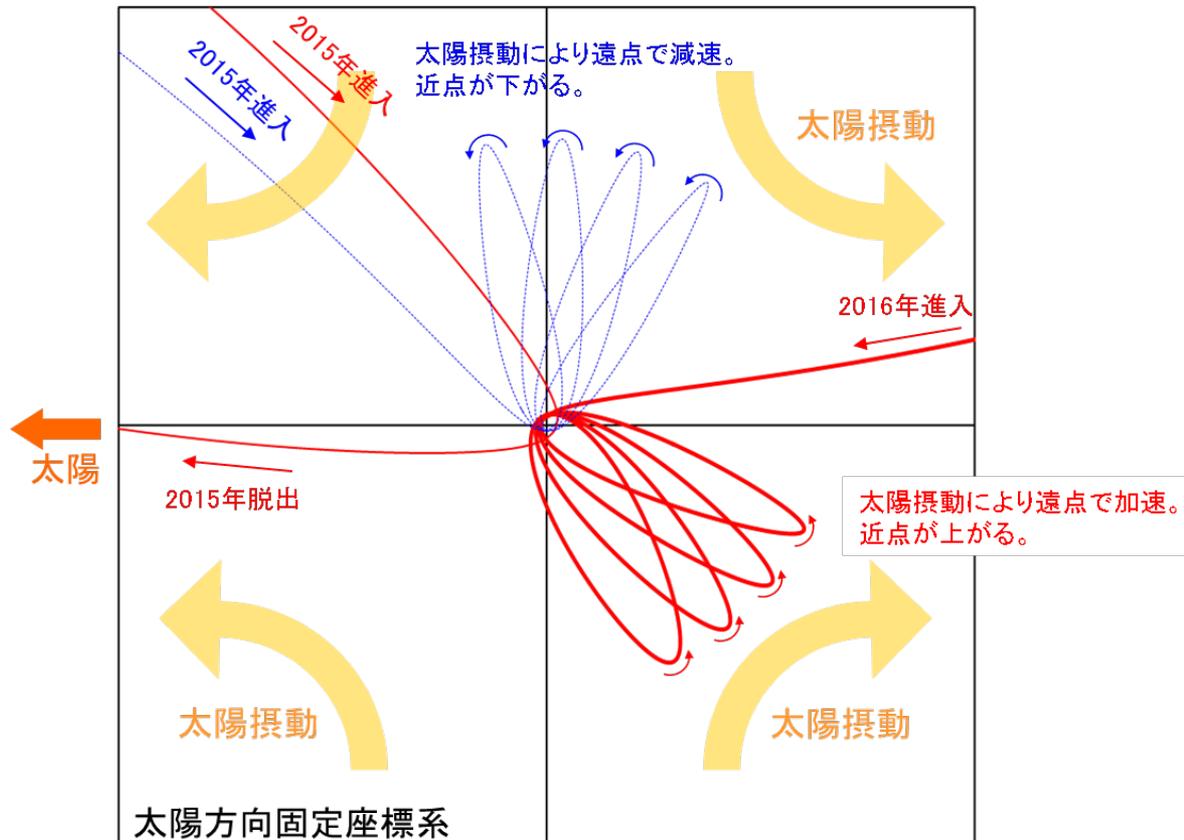
燃料側逆止弁に関する評価結果。

- DV#1~3を実施した後に補加圧を実施した結果、調圧圧力まで補加圧されている
- 補加圧時の等価オリフィス径を評価したところ、閉塞状況はVOI-1時と比較して改善が見られる
- 酸化剤は概ね投棄したが、タンク内に若干の残分があることから、塩は生成し続ける可能性があり、今後も逆止弁が閉塞に向かう可能性について注意が必要である

5. 金星周回軌道の方針

探査機寿命を勘案しつつ、2015年以降の金星周回軌道再投入を検討している。

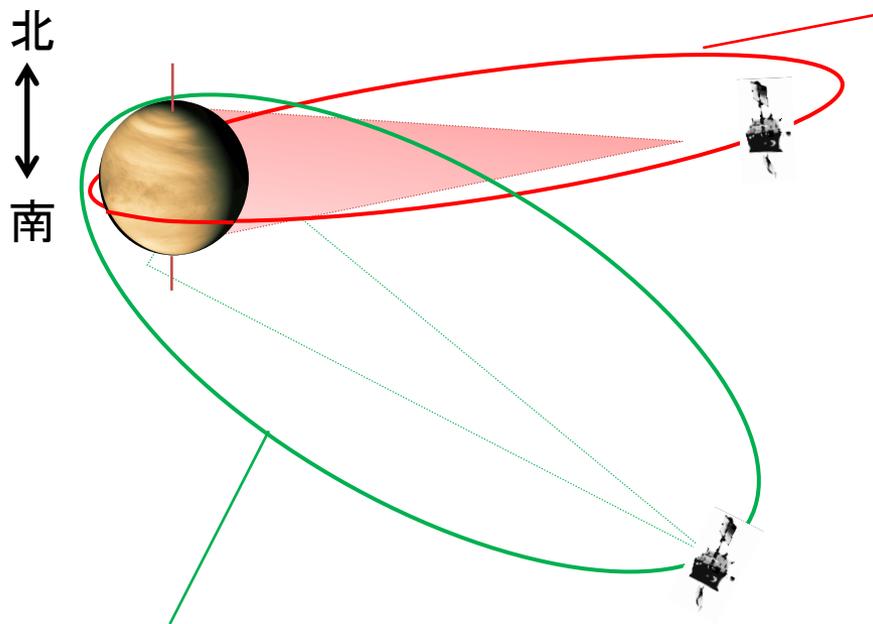
2015年に金星周回軌道に投入する場合、太陽摂動による近金点高度が低下することを緩和させるため、極軌道に近い軌道を選ぶ必要がある。これに対し、2015年の金星再会合時に金星スウィングバイを行い、2016年に金星周回軌道に投入する場合には、太陽摂動の効果も考慮しても赤道面に近い軌道を選択できる可能性がある。ただし、いずれのケースにおいても遠金点高度は当初の目標と比較して高くなる。



金星赤道面に近い軌道に投入した場合の周回軌道の一例

6. 金星周回軌道再投入後の観測

金星再投入した後の観測軌道について、現在大きく分けて2つの軌道が考えられる。それぞれの軌道で得られる科学的成果について検討を進めている。



赤道面に近い周回軌道のケース

・高速大気循環メカニズム

放熱面を南北に向けた基本姿勢のまま、あかつきの観測機器を金星に向けることができ、概ね当初の計画通りに大気の流れを連続モニタすることができる。ただし遠近点距離が大きくなることによる観測精度への影響がある(空間分解能の低下)。

・雲の近接撮影や雷の観測

観測頻度が計画よりも低下するものの、雲の形成プロセスを調べるという目的は概ね達せられることが期待される。

極軌道に近い周回軌道のケース

・高速大気循環のメカニズム

あかつき探査機の熱設計上の関係で、軌道上のどの範囲から、搭載観測機器を金星に向けることができるかには制限があり、これを熱や迷光の観点から詳細に検討する必要があるが、観測時間に制約が生じる可能性が高い

・雲の近接撮影や雷の観測

観測頻度が計画よりも低下するものの、雲の形成プロセスを調べるという目的は概ね達せられる。

7. 今後のあかつき運用における制約

あかつきは、近日点において当初の想定よりも太陽に近くなる軌道を飛行している。そのため、特に近日点近傍では搭載機器の温度が上昇している。さらに、表面熱制御材が設計条件外の高温環境と紫外線の影響で劣化が進行しつつあり、今後も注意して運用を続ける必要がある。

近日点通過は、2015年の再会合までに7回あり、その間探査機許容温度の逸脱を運用で回避するために、確度の高い温度予測が必要である。現在、熱制御材料の紫外線照射試験を実施しており、設計時に用いた劣化データを使用した場合と比較して、確度の高い温度予測ができるようになってきており、現在も試験を継続している。

また厳しい熱環境に晒されることで、探査機として下記事項について留意する必要がある。

- 温度上昇により発生したアウトガスが熱制御材の劣化に与える影響。
- 熱制御材の劣化による、外部露出機器の温度上昇
- 内部機器の温度上昇

8. まとめ

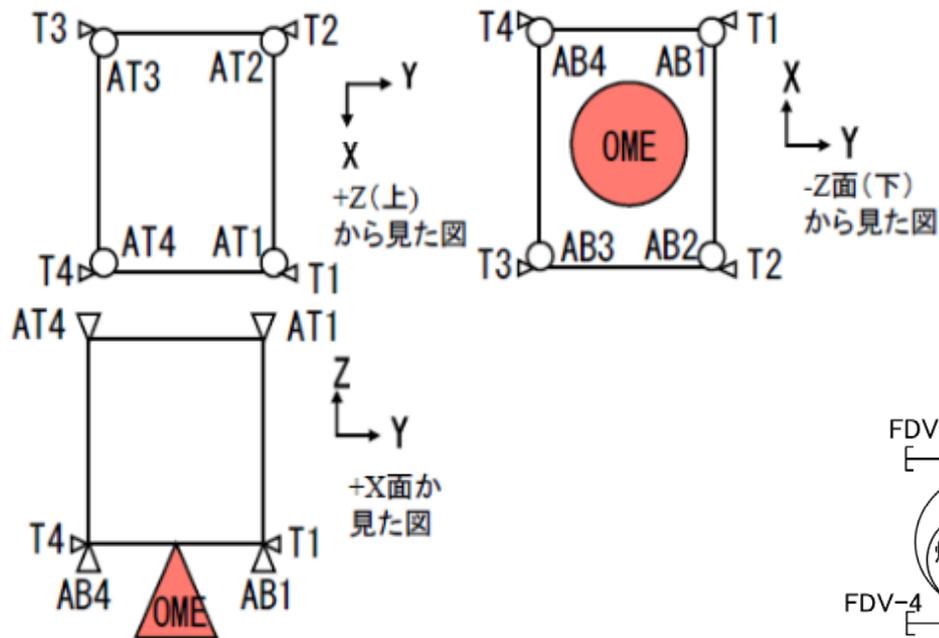
- 今後の一液RCSによる軌道制御で不要となる酸化剤のほぼ全量の投棄を終了した。探査機が軽量化され、残燃料を有効に軌道制御に活用できる状態となった。
- 金星再会合に向け、2011年11月にRCSによる近日点軌道制御を3回に分けて実施した。計画通りの軌道変更を行い、2015年に金星に再会合できる軌道を飛行中である。
- 近日点軌道制御をRCSブローダウン運用で行った後、タンクの補加圧を実施した。逆止弁の閉塞の程度は一定の流量が供給される状況が継続していると判断される。
- あかつきの金星周回軌道再投入まで、近日点通過の度に設計条件を超える熱環境の下での運用となる。探査機の健全性に十分な注意をして運用を行う。
- 科学観測の観点からは2016年に赤道面に近い金星周回軌道に投入するほうが望ましいが、2015年に金星周回軌道に投入するケースと比較して、設計寿命を超えた探査機の運用上の課題がある。今後、探査機の状態を見極めつつ、観測成果を最大化する軌道投入計画を立案していく。

APPENDIX

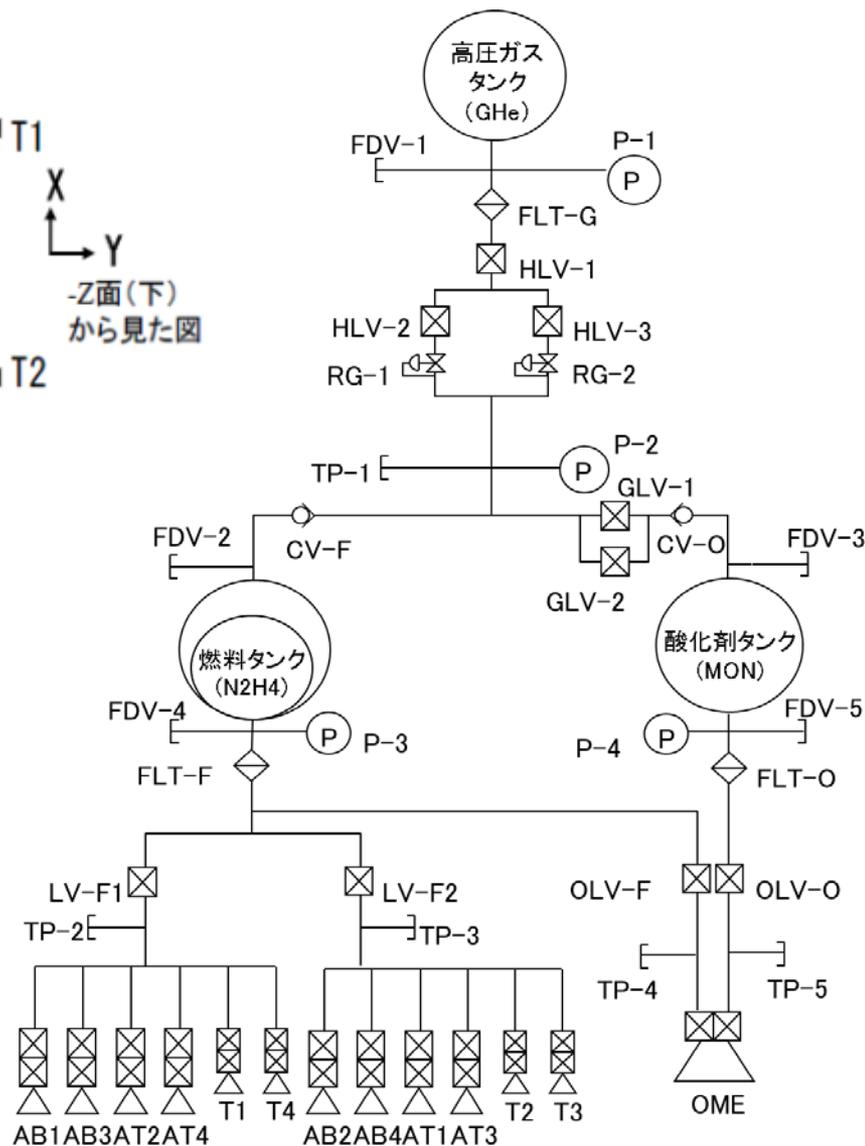
A-1 RCSスラスタ配置・推進系系統図

A-2 探査機全体図

A-1 RCSスラスタ配置・推進系系統図



RCSスラスタ配置 (模式図)



あかつき推進系系統図

A-2 探査機全体図

