

## 民間ロケットの打上げ失敗

2024-04-08

Q: どのような出来事ですか？

A: 2024年3月13日、宇宙開発ベンチャー企業「スペースワン」の小型ロケット「カイロス」初号機が同社の発射場「スペースポート紀伊」から発射されましたが、わずか5秒後に何らかの異常が発生して爆発しました。搭載した自律飛行安全システムが機体の状態や飛行に何らかの異常が発生したと判断して、飛行経路や地上の安全確保のために機体を爆破させたとみられています。搭載した政府の約30億円の小型実証衛星も失われました。爆発による負傷者はいません。原因は不明で、飛行記録データなどをもとに調査される予定です。カイロスは日本の民間宇宙利用の先兵の1つとして期待されましたが、技術の壁を思い知らされる結果になったという見かたもされています。



図.1 カイロスの打上げ失敗

Q: カイロスはどうのようなロケットなのですか？

A: カイロスは3段構成の小型固体燃料ロケットで、全長約18メートル、重さ約23トンのロケットです。3段燃焼終了後、衛星の軌道投入精度を高めるために液体燃料の推進系「PBS (Post Boost Stage)」が搭載されています。因みに、政府の基幹ロケット「イプシオン」は全長約26メートル、重さ約95トンの3段固体燃料ロケットで、PBSを搭載することが可能です。

Q: スペースワンはどうのような会社なのですか？

A: キヤノン電子、清水建設、三菱UFJ銀行、IHIエアロスペース (IHIA) などが約70億円を出資して設立したベンチャー企業です。特にIHIAは、イプシオンをはじめ固体燃料ロケット開発や製造に関与した経験があることから、一回り小さいカイロスにも技術経験を活かせると考えているようです。スペースワンの設立には、経産省やJAXA、宇宙関連企業のOBが参画しています。経産省事務官僚OBの社長は事後の記者会見で、「失敗という言葉は使わない。1つひとつの試みの中に新しいデータ、経験があり、すべてが新しい挑戦の糧といえる。ステップを明確にし

**HuFac Solutions, Inc.**

てどこまで進むかを明確にしていきたい。これは会社の文化だ。諦めずに前に進む。」と強調しました。

Q: わが国では最近、カオスに限らず小規模民間ベンチャーのロケットや JAXA のイプシオン S、H-3 ロケットの打上げの失敗が続いています。共通の原因があるのでしょうか？

A: それぞれ失敗の原因は異なると思われませんが、トップダウン思考で考えれば共通の根本的な原因が見えてきます。ボトムアップ思考でそれぞれの原因を「もぐら叩き」しているだけでは、何時まで経っても問題は解決しません。問題を抜本的に解決するには、トップダウン思考で根本的な原因を探って、抜本的な対策を講じる必要があります。

Q: 抽象的でわかりにくいのですが、「根本的な原因」とは具体的にどのようなことですか？

A: 「根本的な原因」とは、ひと言でいえば「政府や産業界、国民がわが国の航空宇宙技術の実力を過大評価していること」です。ロケットの使命は人工衛星や宇宙ステーションへのペイロードなどを所定の宇宙空間に精確かつ安全に運ぶことです。それには、ロケットの姿勢制御 (Attitude Control) が重要になります。航空機は空力的な操舵翼 (Control Surface) や安定翼 (Stabilizer) で姿勢制御できますが、ロケットには基本的に操舵翼や安定翼がありません。そのため、推進システムのノズルの向きや推力そのものを自動制御して姿勢を制御する必要があります。残念ながら、わが国の航空宇宙技術にはそのための自動制御の基本技術が欠けているといわざるを得ません。

Q: ロケットの姿勢制御はどのように行なわれるのですか？

A: ロケットの重心位置に、ジャイロ (Gyro) という独楽 (こま) の原理を応用した精密機器が装備されています。独楽は自身の慣性 (Inertia) により 3次元空間で姿勢を維持できます。ジャイロは、この原理によりロケットの 3軸方向の角加速度を精確に検知することができます。3軸方向の角加速度を内臓の小型高性能コンピュータで積分することにより、ロケットの姿勢や位置が計算されます。ロケットの姿勢や位置の変化がわかれば、他のセンサーからの情報を参考にして、推力の方向や大きさを変えることで姿勢を修正できます。航空機の姿勢制御も、基本的には同じ方法で行なわれています。最近の航空機やロケットには、機械的なジャイロに換えて、より精密な光学的ジャイロが採用されています。

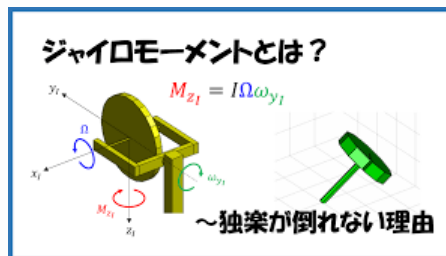


図.2 ジャイロの原理

Q: わが国には優秀な光学的ジャイロのメーカーがありますが、ロケットの姿勢制御はわが国が得意な技術分野といえるのではないのですか？

A: 必ずしもそうはいえませんが、光学的ジャイロの技術などは「要素技術 (Elemental Technology)」といわれています。航空機やロケットの精密な姿勢制御は、優秀な要素技術だけでは実現できません。トップダウン思考による高

## HuFac Solutions, Inc.

度な「体系的技術 (Integrated Technology )」が必要になります。体系的技術を実現するには、トップダウン思考でシステム全般を俯瞰できる優秀な技術者の存在が必要になります。

Q: かねてから、「わが国には優秀な要素技術があるのに体系的技術に欠けている」といわれていますが、そのことを一般の人達も理解できるように、具体例で説明していただけませんか？

A: 身近なパソコンの技術を例にお話すればわかりやすいと思います。わが国にはパソコンを製造・販売しているメーカーがいくつかあります。そのことで、多くの国民は「わが国にはパソコンを国産できる技術がある」と誤解しているようです。ですが、パソコンはハードウェアだけでは機能しません。OS (Operating System) やアプリケーションといったソフトウェアも必要になります。パソコンのOSは、マイクロソフト社のWindowsとアップル社のMacに独占されているのが現実です。わが国のメーカーがOSの分野に進出できる余地はほとんどありません。わが国にもかつて、WindowsやMacに匹敵するOSを開発しようという試みがありましたが、残念ながら実現しませんでした。パソコンのOSの開発には、システム全般をトップダウン思考で俯瞰できる優秀な技術者が必要になります。残念ながら、わが国にはそのようなIT研究者や技術者はいません。同じように、フェイスブックやX (旧Twitter)、ティックトック、ラインといったSNSのプラットフォームを開発できるIT研究者や技術者もいません。ChatGPTのような生成AIの開発までにはさらに距離があるといえます。厳しい言い方かも知れませんが、ボトムアップ思考の教育で育ったわが国の技術者には、欧米の要素技術を模倣する能力はあっても、体系的技術を開発できる能力はないというのが現実といえます。

Q: パソコンの例はわかりましたが、航空機やロケットの姿勢制御の分野でも、わが国にはパソコンのOSに相当する技術がないということですか？

A: その通りです。航空機やロケットの姿勢制御でパソコンのOSに相当する技術は、「制御則 (Control Law)」とよばれています。制御則は、航空機やロケットの姿勢制御を全般的に管理する重要なプログラムです。メーカーが実験やシミュレーションを積み重ねて開発した高度な技術の結晶といえます。当然のことながら、各メーカーは最高企業秘密 (Top Secret) として他に公表しません。ボーイングやエアバスも、それぞれの機種ごとに独自の制御則を開発しています。航空会社にも一切知らされていません。

Q: 「制御則は航空会社にも知らされていない」というのは意外ですが、具体例を話していただけませんか？

A: 制御則は飛行管理コンピュータ (FMC: Flight Management Computer) のプログラムに組み込まれています。FMCなど各種制御コンピュータの状態は中央整備コンピュータ (CMC: Central Maintenance Computer) により飛行中に常時モニターされています。飛行中に制御コンピュータの故障が検知されれば、自動的に地上の整備センターに報告されます。地上で待機している整備士は、CMCの指示に従って故障したコンピュータをユニットごと交換して自社の整備工場に搬送します。整備工場では、取り外したコンピュータを分解して故障原因を探求することは許されていません。製造メーカー (バンダー) にそのまま送って修理してもらおうか、すでに修理された他のユニットをバンダーから受領します。その間、航空会社の技術者は制御則の詳細に一切関与することができません。そのため、航空機に搭載されている電子ユニットは一般に「ブラックボックス」とよばれています。

Q: 科技庁の宇宙開発事業団 (NASDA) や後継の JAXA がこれまで打ち上げてきた H-2 ロケットなどでは目だつた姿勢制御の失敗を聞きませんが、その理由をどう考えればよいのですか？

## **HuFac Solutions, Inc.**

A: トップダウン思考で考えれば、そのことこそが「政府や産業界、国民がわが国の航空宇宙技術の実力を過大評価している」最大の要因といえます。わが国のほとんどの国民は、NASDA や JAXA、三菱重工 (MHI) など関連企業が H-2 ロケットなどを国産していると誤解しています。わが国で NASDA が設立された歴史を振り返れば、その誤解も解けるとおもいます。

Q: 「NASDA が設立された歴史」とは、どういうことですか？

A: わが国のロケット技術は、東大の糸川教授によるペンシルロケットの研究に端を発しています。東大の宇宙航空研究所と旧プリンス自動車が続けていました、1970 年頃には、年間 60 億円ほどの巨額の研究予算がつけられていました。当時のロケット研究では、姿勢制御の技術は重要視されていませんでした。そのことで将来性を危ぶんだ政府は、米国の NASA とボーイングが開発した液体燃料のロケットの技術をそのまま供給してもらうという政策に転換しました。そのためにに科技厅に新設された組織が NASDA です。つまり、NASDA や JAXA、MHI がこれまでに打ち上げてきた液体燃料のロケットの技術は、わが国が独自に開発したものではないといえます。米国から供与されたロケット技術には、ロケット本体を製造するハードウェア技術だけではなく、姿勢制御のための制御則などソフトウェア技術も含まれていました。いわば、わが国はロケットを最初から開発する際の「産みの苦しみ」を経験していないといえます。NASDA や JAXA、MHI によるこれまでのロケット打ち上げで目だった失敗がなかったのは、わが国独自の技術の成果ではないと考えねばなりません。

Q: JAXA や MHI、IHI などの航空宇宙技術者は、ロケットの打ち上げに制御則が不可欠であることに気づいているのでしょうか？

A: 気づいていないと思います。気づいていれば、JAXA や MHI、IHI などの技術者 OB がスペースシャトルなどのベンチャー企業を設立してロケットの打ち上げを事業化できるなどと安易に考えないはずで、技術者 OB は、「何回か打ち上げていけばそのうちに成功するはず」と考えているのかも知れません。経産省や文科省などの事務官僚 OB が気づけないのは無理ありませんが、技術者 OB は気づいて政府や経済界に真実を伝えるべきです。

Q: いくら「航空機やロケットの姿勢制御には制御則が不可欠」と話しても、わが国の技術者は理解できずに反発すると思いますが、制御則の重要性を説得できる具体例はありますか？

A: あります。米国の大手航空機メーカーであったマクドネルダグラス社 (MDC) の倒産劇です。同社はかつてダグラス社 (DAC) として DC-8 や DC-10 といった名機を製造していました。ところが、ダグラス社の経営方針が保守的で財政を悪化させたことから、軍用機を生産するマクドネル社の傘下に入らざるを得なくなりました。マクドネル社の革新的な経営方針で開発されたのが MD-9 や MD-11 といった機種です。MD-11 は DC-10 を踏襲した機種で、尾翼を小さくするとともに空気抵抗が少ない翼型を採用することで燃費を大幅に改善しました。その反面、離着陸など低速時の安定性が悪くなり、LSAS (Longitudinal Stability Augmentation System) という制御則を組み込んだ自動化操縦システムで安定性を補完せざるを得なくなりました。ところが、新規開発の LSAS には致命的な欠陥があり、MD-11 は離着陸時だけでなく巡航時にも安定性に関わる多くの事故を引き起こすことになってしまいました。1997 年には、JAL の MD-11 も三重県志摩半島上空で乱高下事故を起こして、客室乗務員 1 名が死亡しています。同事故を調査した運輸安全委員会 (JTSB) は、LSAS の欠陥が事故原因とは特定できず、パイロットと結論づけてしまいました。MD-11 は、着陸時にも深刻な転倒事故を何件か起こしています。

マグネティックグラス社はLSASの欠陥が原因と気づいていたのか、その後にMD-11の製造を断念してボーイングの傘下に入る選択をしました。MD-11は現在も貨物専用機として飛び続けています。



図.3 フェデックス14便 (MD-11貨物機) の着陸時転倒事故

Q: 本年1月20日にJAXAが月面に着陸させた月探査機SLIMが上下転倒しましたが、この件も姿勢制御の制御則に関連しているのですか？

A: 大いに関連があると思います。JAXAがSLIMのプロジェクトで目指したものは、①月面の所定位置に着陸させる、②太陽電池を活用して探査活動のための電力を得る、③探査活動で採集した鉱物サンプルなどを地球に持ち帰る、などといわれています。JAXAのプロジェクト関係者は、①の目的が達成されたことで成果を65点と自己評価しています。ですが、SLIMを上下転倒させたことで、②と③の目的は達成できていません。SLIMが上下転倒したのは、SLIMの姿勢制御の制御則に問題があったためと思われます。JAXAの自己評価は甘すぎるといえるかも知れません。



図.4 月面に上下転倒して着陸した月探査機SLIM

Q: SLIMが上下転倒したのは、冗長性 (Redundancy) を得るための2発のプラズマジェットエンジンの1発が故障したためで致し方ないと評価する関係者もいますが、どうなのですか？

A: 厳しすぎると思われるかも知れませんが、この考えはリスクマネジメントの分野ではまったく通用しません。その理由は、航空機を例に考えればわかりやすいと思います。航空機にも、冗長性を得るために複数のエンジンが取り付けられています。例えば、2発のエンジンの1発が故障した際に姿勢を制御できなくなって図.3のように上下転倒して着陸することになれば、どう評価されるのでしょうか？そのような航空機は当局の承認を得られないばかりか、社会に受け入れられることもありません。トップダウン思考で考えれば、SLIMのエンジンの故障は、姿勢をうまく制御できなかった結果ともいえます。

Q: SLIMは人間を搭乗させているわけではなく、そう厳しく考えなくてもよいのではないですか？

**HuFAC Solutions, Inc.**

- A: それもわが国に独特の安易な考えといえます。同じように月探査プロジェクトを推進している米国や中国は、探査機の姿勢制御を最重要視しています。SLIMの直後に米国が月面に着陸させた探査機は、正常な姿勢で着陸しました。SLIMの前の中国の探査機も、正常な姿勢で着陸しています。
- Q: SLIMの姿勢制御に問題があるとすれば、どのような理由が考えられますか？
- A: ① 明確な理念にもとづく制御則が開発されていない、② 2発のエンジンの1発の不作動を想定したプログラムが組み込まれていない、③ SLIMの光学的ジャイロの開発で、地球と月の「コリオリの力」の相違を考慮していない、④ 宇宙の放射線などの電磁干渉 (EMI) に対する対策がされていない、などが考えられます。
- Q: ロケットや航空機、月探査機などの開発では「姿勢制御のための制御則」が最重要ということですが、わが国の技術がこの問題を解決できる見込みはあるのでしょうか？
- A: 前述のように、制御則はパソコンのOSと同じようなものです。これまでのボトムアップ思考の教育ではパソコンのOSを国産することが難しいように、わが国の技術で制御則を独自開発することは難しいでしょう。マイクロソフト社やアップル社にWindowsやMacの中身を聞いても教えてくれないように、ロケットや航空機、月探査機の制御則を外国に聞いても教えてくれないでしょう。なぜなら、彼らが血の滲むような努力で開発した最高企業秘密だからです。弊社は、わが国の技術者がパソコンのOSや航空機やロケットや航空機、月探査機の制御則を開発できないことを卑下するつもりは毛頭ありません。また、その資格もありません。わが国の技術者がボトムアップ思考からトップダウン思考への意識変革を決意さえすれば、難しい問題を解決できる可能性もあります。わが国の技術者にはそのための潜在能力があると信じています。

本情報に関する連絡先：

(株) ヒューファクソリューションズ

URL: <http://www.hufac.co.jp>

E-mail: [info@hufac.co.jp](mailto:info@hufac.co.jp)