

スペースXでの衛星打ち上げに関して

スカパーJSAT株式会社

執行役員 技術運用部門 衛星技術本部長代行

早坂 裕一

1. はじめに

去る5月6日午後2時21分、スカパーJSAT株式会社(以下SJC)は日本の商用衛星オペレータとして初めて、米国スペースX社のFalcon-9型ロケットを利用して通信衛星JCSAT-14を打ち上げました。打ち上げ時期こそ当初の予定からかなりの遅れとなりましたが、打ち上げそのものは非の打ち所の無い、まさにpicture perfectなものでした。

宇宙業界では今や誰一人として知らぬ人のいないこのスペースX社は、南アフリカ出身の類い希な起業家であるイーロン・マスク氏が2002年に設立した米国企業です。型破りなマスク氏個人の経歴や事業手腕、そしてス

ペースX社のこれまでの足取りについては、既に多くの情報が巷に流布していますので、ここでは商用衛星オペレータにとっての衛星調達業務の一環として、彼らと仕事を進める中で我々が触れ、そして学んだ、これまでとは少し違う幾つかの経験について記したいと思います。

2. JCSAT-14について

打ち上げ作業に触れる前に、今回打ち上げに成功した静止衛星JCSAT-14について簡単に紹介いたします。

JCSAT-14は、現在東経154度で稼働中のJCSAT-2Aの後継機となる衛星で、2013年6月



図1 Falcon-9第一ステージ



図2 通信衛星JCSAT-14イメージ

に米国SS/L社に発注されました。衛星バスは100機を越える実績のあるLS1300型で、発生電力約10kW、そして打ち上げ重量は約4.7tonとなる大型衛星です。

バス系には南北軌道制御用として最近話題の電気推進のひとつであるプラズマスラスタを搭載することで、打ち上げ重量の軽量化と、軌道上寿命の延命をめざしました。

一方、ペイロード系ではJCSAT-2Aに比べKuバンド、Cバンド中継器の本数を大幅に増加、そしてKuバンドではアジア、パシフィックビーム、Cバンドではロシア、オーストラリア/東南アジア等、新たな照射ビームを載せることで、国際的な移動体通信やインターネット接続にも対応可能なサービスを提供出来るようになります。

5月6日の打ち上げ以降、静止軌道への上昇、太陽電池パネルやアンテナ類の展開、そしてバス系、ペイロード系の軌道上試験など、これまでの作業はととも順調に進んでいます。

夏前には衛星メーカーから衛星を譲り受け、その後、JCSAT-2Aからの既存のお客様の移行作業と、新規のお客様へのサービス提供開始に向け、準備を整えています。

なおサービス開始後のJCSAT-14は、JCSAT-2Aの後継衛星という意味で、JCSAT-2Bと呼称される予定です。

3. スペースX社選定

JCSAT-14の打ち上げサービス選定作業は、衛星契約が締結された2013年6月から始まりました。この時点で、スペースX社のファルコン9はまだ静止衛星を打ち上げた実績が無かったのですが、商用衛星打ち上げ市場への参入は彼らの既定路線であったとともに、すでに彼らのホームページ上には、それまでの概念を打ち破るような破格のサービス価格が示されていました。しかしむしろ驚くのはその価格よりも、将来の再使用を念頭に、上段を分離した後、エンジンを逆噴射させ第一段

機体を地上に無事着陸させる、という大胆極まりない運用コンセプトの方でした。SJCにとってはまだ新参者に過ぎなかったスペースX社は、実はSF映画さえ舌を巻くような高度な技術を駆使して業界の勢力図を塗り替えるポテンシャルをもっている事が判りました。

さて、他の衛星事業者とくらべた場合、当時のSJCの衛星調達方針は「新規物」に伴うリスクを避ける保守的傾向がとて強いという評判だったそうで、後日、「スカパーJSATが、まだ打ち上げ実績の無いあの会社にRFP (Request for Proposal : 提案要求書) を送ったということを知り、大変驚いた」という言葉を何度も耳にしました。確かに、宇宙で利用する技術については「新規物」を採用することにとて高いハードルがありますが、一方で我々は利潤を追求する民間企業です。新しいから、実績が無いからといって、彼らの破壊的価格にあえて背を向ける選択肢は、我々の頭の中にはありませんでした。

とは言え、実際の採用可否を検討するにあたっては、実績不足に伴う技術的リスクや管理リスクを、事前に念入りに評価する必要があります。そこで我々は少しでもこの会社の実態と実力を見極めるために、調達チームによるスペースX社に対する視察キャンペーンを実行したのです。短期間で東海岸の射場から、中部の燃焼試験スタンド、そして西海岸の本社までをまたがる米国横断の強行日程でしたが、これによって得られた有形無形の成果は大きく、はじめに我々が懸念していたかなりの問題点が払拭された結果、晴れてスペースX社との契約を締結するに至りました。

なお、このように発注先候補の現場までに足を踏み入れ微に入り細に入り相手側の実態を調査することは、SJCとしてはあまり前例が無かったのですが、それではスペースXの

ような型破りな会社には対応出来ず、グローバルな競争環境に一步も二歩も遅れをとってしまいます。これからは実績の有無などとは別に、潜在的なリスクをきちんと識別出来る評価能力がとて大切になる事を痛感させられた調達でもありました。

4. 衛星とのインターフェース調整、そして打ち上げキャンペーン

衛星の打ち上げ作業を打ち上げサービス会社の視点から見た場合、大きく「衛星とのインターフェース調整作業」と「射場でのキャンペーン作業」の二種類に分けられます。本項では、それぞれの作業においてSJCとして特に印象に残った具体例を述べたいと思います。

ただし、打ち上げ機や解析作業にかかわる技術的な情報は、ITAR (International Traffic in Arms Regulation : 国際武器取引規則) のもとで厳格に管理されるため、顧客であっても我々日本人には定性的かつ必要最小限の内容しか開示されません。欧州のアリアンロケットや、ロシアのプロトンロケットを使う場合とくらべると、これが米国製ロケットサービスを利用する際、最も大きな不満を感じるポイントかもしれません。

① 衛星とのインターフェース調整作業

衛星とロケット間の技術的インターフェース調整は、機械・熱・電気・RF等々数多くの検討項目がありますが、今回、一番多くの時間が費やされた調整は、結合荷重解析 (CLA : Coupled Load Analysis) と呼ばれる機械環境解析でした。これは打ち上げから軌道上での衛星分離までの間、ロケット側が衛星に与える振動・音響・衝撃に対して、衛星が十分な強度をもっているかを評価する作業です。スペースX社では、2014年の夏にAsiasat-6/8と

いう2機のSS/L社製1300型バス衛星を打ち上げていたため、当初、同じ1300型バスを利用するJCSAT-14とのインターフェース調整にはさほど大きな問題は無かろう、と考えられていました。

しかし2015年に入りスペースX社から、「打ち上げ能力をより高めると同時に、NASAからの設計改善要求を反映」するため、全エンジン推力の大幅アップと、大型化した機体（搭載推進薬量の増加）を導入することについての決定が伝えられて来ました。このような比較的大きな変更は、既に実績のあるハードウェアに対する再認定プロセスが必要となりますが、打ち上げまで1年余しかない段階でのこうした大胆な方針変更は、従来のこの業界の保守的な考え方が浸透していた我々には大きな衝撃でした。その後、この新しい機体（ファルコン9 ver. 1.2と呼ばれたようです）の構造や、再認定に伴う試験内容、スケジュール、そして発生した不具合などについてはITAR制約の範囲内で出来るだけの情報を提示させ、第三者である技術コンサルタントの見解もまじえ慎重に再認定プロセスを見守りましたが、それでも数多くの技術的問題に直面することとなりました。

衛星側が晒される機械環境にも見直しが必要になり、衛星強度マージンのある程度の譲歩や、ロケット側推力プロファイルの微調整を経て、最終的CLA結果に合意するまでには、打ち上げ直前までに何回も衛星・ロケット間の技術的調整を繰り返したのです。結果的にJCSAT-14打ち上げは成功しましたが、上のべたような状況が衛星打ち上げ時期に影響を与えたことは事実です。

一方で、ハードウェアに問題が生じた際、不具合調査から是正措置の反映にいたるその素早さには驚嘆すべきものがあることも事実

です。感覚的には、これまでの常識で数ヶ月はかかると考えていた事態が、数週間、場合によっては数日で対応してしまったケースも珍しくありません。

ただし長い将来を見据えた根本的な是正措置を施すのか、もしくは暫定的な対応によりとにかく打ち上げを急ぐのか、の判断の是非については今後も意見の分かれるところではないかと思えます。

② 射場に於けるキャンペーン作業

スペースX社が利用するフロリダのケープカナベラル空軍基地（以降、CCAS）は米空軍管轄下にあることから保安管理が厳しく、どの施設に足を運ぶにもエスコートが必要なSJCの人間にとっては不便この上ないところですが、スペースX社にとっては既に使われなくなった施設や射点を低コストで再利用出来るので、巡り巡って我々が支払う打ち上げサービス費用の削減に大きく貢献していると言えるでしょう。

最初に衛星は、四半世紀前まではタイタンロケットの組み立てを行っていた大型の施設であって、現在は複数衛星のチェックアウトと推進薬充填が実施出来るよう大幅に改修したPPF（Payload Process Facility）と呼ばれるビルに搬入され、衛星単体作業を済ませた後、PAF（Payload Attach Fitting）との結合、そしてロケットフェアリングへの収納が行われます。ロケット側と協調しながら進めるこうした一連の作業は終始円滑に運び、競合他社との有意差はほとんど感じられない質の高さと作業員の習熟度でした。

その後、衛星を格納したフェアリングは、数km離れた場所にある射点LC-40（Launch Complex-40）直下のハンガーまで陸送され、水平状態のままロケット上段と結合されます。



図3 Falcon-9打ち上げ前

なお、第一段機体回収と並び、ファルコン9の最も特筆すべき特徴の一つとして、打ち上げ前に射点で行われる第一段エンジンの短秒時燃焼試験に触れなくてはなりません。すなわち、打ち上げ数日前に行うドレス・リハーサル（WDR: Wet Dress Rehearsal）において、実際に数秒間エンジンを燃焼させることで少なくとも第一段推進系の機能健全性を確認するのです。十分に実績のある液体酸素とケロシン系推進薬の組み合わせと、ガス発生器サイクルによる保守的な推進薬供給方式、加えて計9基のエンジンのうち1基が停止しても他のエンジンの推力制御により性能補償が可能なコンフィギュレーションを採用することで、技術リスクを最小化しているにも関わらず、更に打ち上げ直前にエンジンを作動させることで「石橋を渡る」その運用思想は、積み荷である衛星の確実な軌道投入は当然ながら、一歩進めて、機体を必ず回収したいという強い願望の表れかもしれません。

他方、前述したように、大胆な割り切りで不具合是正時間を最短に縮め、打ち上げ再開を最優先させる（ようにも見受けられる）姿には、時として、まるで巨人が倒れ込む直前にかろうじて足を踏み出すことで、姿勢を崩しながらも何とか前に進んで行く危うさも感じます。将来、即断即決によるスピード感と、確実な安全性と信頼性の確保をどのようにバランスさせて事業を、そして人類による火星到達を進めて行くのか、慎重に見守って行く必要があると考えています。

さて、打ち上げ当日になると、ロケット本体は水平状態のままストロング・バックと呼ばれる起立機に固定されハンガーから姿を現し、射点で直立します。このストロング・バックは一見とても華奢でそっけない印象を与え、それまでアトラスやデルタロケットで見慣れた巨大かつ頑丈そうな垂直式組み立て・打ち上げ構造物と比べると少し不安にさ



図4 Falcon-9軌跡

えなりますが、勿論、必要とされる強度と機能は十二分に満足しています。これも、前述したように、スペースX社の厳格なコスト意識と目的意識に基づいた運用思想が、形としてハードウェアに表れた典型的な例の一つだと考えて下さい。

その後の打ち上げ作業については、インターネット中継で皆さん既にお馴染みですね。フロリダの射点とロサンゼルスの本社を結んだ打ち上げ風景に繋がる訳ですが、ネット中継では数人の若い社員が、打ち上げる衛星のこと、ロケットのこと、そして軌道のことなどを素人にも判りやすく大変情熱的に説明していました。彼らは専属のコメンテーターではなく、ただの「社員」だそうです。毎回ネット中継を行うときには、彼らのような「自ら世界中にスペースXのことを発信したい」と渴望する若者が率先してコメンテーター役を引き受けるそうです。

そして印象的なことがもう一つ。なかば絶

望視されていた一段機体の海上回収に、世界で初めて成功するという偉業を成し遂げた瞬間、本社で一斉にあがった「USA!」の歓喜の雄叫び。まだその時点で上段推進系による増速の最中であった衛星側の人間としては心中複雑なところはありませんでしたが、スペースXというこの会社がもつ沸騰するようなエネルギーに強く心が動かされたことも認めなくてはなりません。

5. 最後に

一人の野心的な起業家によって2002年初頭に立ち上げられた民間打ち上げサービス会社が、様々な紆余曲折は経たものの、その僅か十数年後には厳しい競争環境下にもかかわらず商用衛星打ち上げ契約を続々と獲得。そして衛星の軌道投入に成功するだけでなく、少し前まではあからさまに冷笑さえされた自律的なロケット回収に次々と成功する……。こんな夢のような出来事が、今、スペースX



図5 Falcon-9着地直前

社によって衛星打ち上げ業界にもたらされた現実です。そして世界中の同業他社は、民間・政府系問わず、ファルコンロケットに対抗しうる次世代打ち上げサービスの開発に奔走しています。

我々がJCSAT-14を打ち上げるに際して、スペースX社との間で生じ、感じた数多くの事柄からごく一部の具体例を示してきましたが、改めてプロジェクト全体を振りかえる

と、最も強く心に残ったのは「リスクに挑戦し、常識を打ち破るアメリカ民間企業の恐るべき底力」でした。

5年後、10年後、この業界に残っているのはいったいどのプレイヤーなのか？ それはまだ誰にも判りませんが、一層厳しくなる競争を生き抜くため果敢にリスクと非常識に挑む覚悟の無いプレイヤーには、その居場所は無いかも知れません。