

## JCSAT-14 打ち上げ現場レポート

スカパーJSAT株式会社 技術運用部門 衛星技術本部

衛星技術部 中伏 信介

**当**社は通信衛星を運用してお客様に衛星通信サービスや、CS放送(スカパー!)サービスの提供をしており、これらのサービスに使う衛星や打ち上げロケットの調達も社内で行っています。衛星の製造は言うまでも無く衛星製造メーカーが行いますが、重要なフェーズにおいて当社の技術者が立会いを行い、技術確認をしています。技術確認の中でも、衛星打ち上げ前の最終フェーズが“打ち上げキャンペーン”(Launch Campaign)と呼ばれているもので、一般的に一ヶ月程度実施されます。製造開始から数十ヶ月にわたり見守り続けていた衛星と接する最後の期間となります。

JCSAT-14号機(以下、J14)の打ち上げは2016年5月6日(日本時間)にSpaceX社のFalcon9ロケットにて行われました。J14の打ち上げキャンペーンは、キャンペーンの途中に同SpaceX社が打ち上げを行うNASAのDragon(国際宇宙ステーションに補給品を輸送する貨物機)の打ち上げ前後の約3週間の中断を挟み、2ヶ月にわたりました。本号では、4月中旬から再開された打ち上げキャンペーン後半の様子をレポートします。

J14は本号の特別記事<sup>(注)</sup>で紹介されたとおり、アメリカのフロリダ州にあるケープカナベラル空軍基地内から打ち上げられました。民間会社であるSpaceX社の打ち上げ施設が空軍基地内にあるのは日本人としては理解しがたいのですが、空軍基地内に複数残っている使用されなくなった過去の打ち上げ設備をリースしているため、空軍基地内でロケットの打ち上げを行っています。このような立地であるため、非米国籍の私たちにとってはセキュリティ上で多くの制限が課せられる場所であることは事実です。例えば、私たちが普段の執務エリアとして利用出来るのは、Hangar AOという建物内だけです。ゲートから約10km離れたこの建物へのアクセスには、SpaceX社のセキュリティがエスコートする車に乗る必要があります。たとえ数百メートル先にある基地内に昼食に行くにも、この車でエスコートされて移動する他にありません。建物内でさえ、当社に割り当てられた場所以外、何処に行くにもエスコートが必要です。

打ち上げ施設はLC-40(Launch Complex-40)と呼ばれ、同じ基地内ながらHangar AOから10km以上離れた場所にあります。基地内には他にLC-37B やLC-41等があり、デルタロケットやアトラスロケット等の打ち上げに使われています。

注: 特別記事「JCSAT-14号機打ち上げ成功とその舞台裏」Space Japan Review, No. 93, Summer 2016.



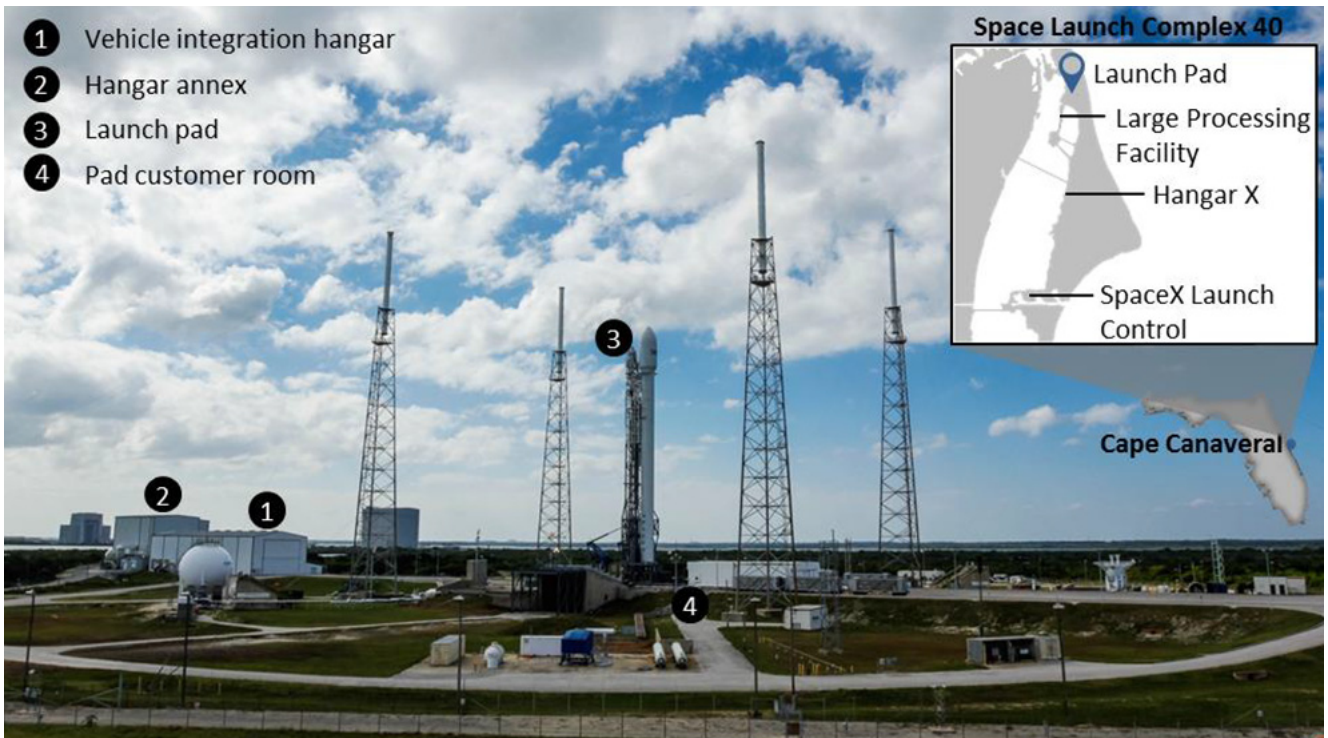
▲ 完成したJCSAT-14  
Space Systems Loral (SSL)社にて  
写真提供: Space Systems Loral (SSL)社



▲ Hangar AO



▲ Payload Processing Facility (PPF)



▲ LC-40

▲ CCAFSにおけるSpaceX社の施設

写真提供：SpaceX社

衛星の準備作業は、射点から約10kmの距離にあるペイロード準備棟(PPF：Payload Processing Facility)と呼ばれる建物内で行われます。衛星は、射場に到着すると、まず初めにこのPPFに運ばれ、外観検査や打ち上げ前の最終確認試験が行われます。衛星がロケットのフェアリングに格納されて、PPFから運び出されるまでの期間は、打ち上げキャンペーンの進捗状況の確認のために、執務エリアのHangar AOとPPFとを毎日往復していました。

J14打ち上げキャンペーンが中断する前の前半の間に、衛星ペイロードの確認作業が完了したため、4月中旬からの後半からは、衛星をロケットに組み付けるための準備作業から開始されました。打ち上げキャンペーンの再開後すぐに、衛星のスラスター(遷移軌道から静止軌道への移行や姿勢制御に使われるロケットエンジン)のタンクに酸化剤とヒドラジン燃料が注入されました。両方とも毒性が高い物質のため各1日ずつかけて慎重に作業が進められました。全ての注入作業が完了した翌日に、酸化剤とヒドラジン燃料に漏れが無いことが確認されています。

衛星側の準備作業が着々と進行する中、ロケット側では、打ち上げに使われる第1段ロケットがテキサスの工場から4月15日に当基地に到着し、Hangar AOの前をトラックで運ばれているのを目の当たりにしまし

た。ロケットは横にされた状態で運ばれているため、トラックが通過しているというよりも、短めの電車が通過しているように見え、遠目ながらも大きさを実感することが出来ました。第2段ロケットは、その約一週間後に射場に到着しましたが、夜遅くに到着したため、輸送されている様子を見ることは出来ませんでした。今回J14の打ち上げで使用されるロケットは、24番目のFalcon9 (F9)ロケットであることから、F9-24と略称されます。

4月後半に入ると、フェアリング格納前の衛星側の重量確認を実施しました。衛星重量は打ち上げ成功を左右する重要なパラメータであるため、厳密に管理されます。そのため、最終調整を姿勢制御用燃料の燃料充填によって行います。重量確認が完了すると、一部non-Flightの保護カバー等の取り外し作業は残っているものの、衛星側の作業が全て完了し、フェアリング格納の準備が整ったこととなります。

衛星側の準備が完了した時点で、打ち上げは、5月3日以降とアナウンスされていましたが、ロケット側の進捗状況の精査が必要とのことで、打ち上げ日はまだ確定されませんでした。

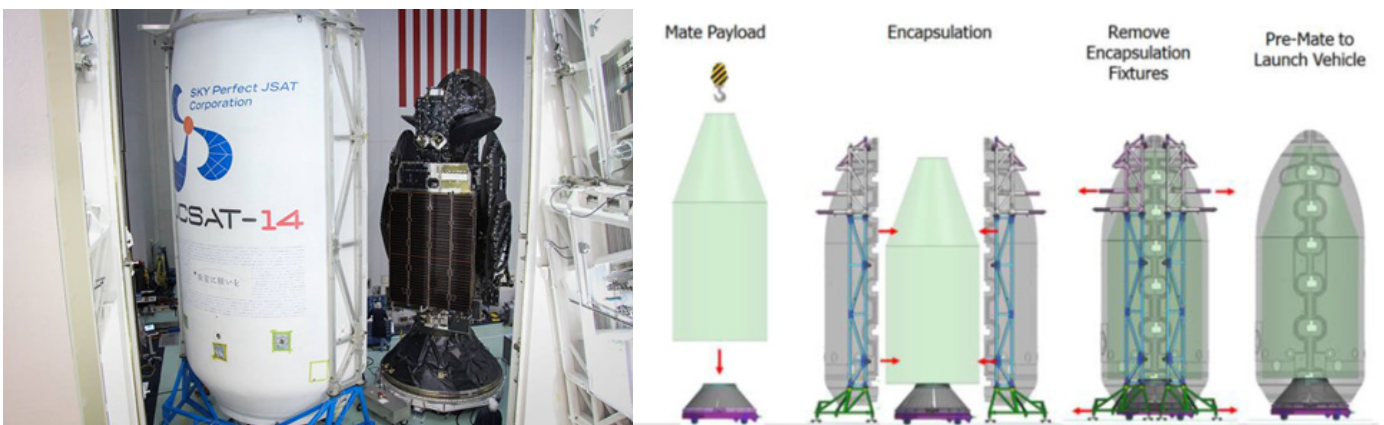
衛星側の準備が完了すると、いよいよ衛星とロケットとを結合する作業(Joint Operation)が開始されます。

初めに、衛星の底面に、PLA(Payload Adapter)と呼ばれるリング状の部品を取り付けます。このアダプタを介してロケットと衛星をしっかりと結合しますが、同時にロケットが所定の軌道に達したときに衛星とロケットと切り離す面になりますので大変重要なインターフェースとなります。このリングの直径は米空軍により標準化された約1.5mですが、これより大きいロケットとの差を吸収するために、円錐台型のフィッティング(PAF : Payload Adapter Fitting)をその下に取り付けます。取り付け作業当日は、午前中に衛星とPLAとの取り付けを行い、午後からPLAと接続された衛星が持ち上げられ、PAFとの取り付けが行われました。

PLAの取り付けにあたり、作業前半の衛星をクレーンでリフトアップをしてPLAまで数cmに近づくまでは、衛星メーカが指揮を取り、その後の後半部分の接続作業は、SpaceX社の指揮のもとで行われました。

衛星とロケットとを結合する作業が始まり、衛星がロケット側へ引き渡されていく様子を見てみると、いよいよ打ち上げが近くなってきたなど実感が沸いてきます。衛星がフェアリングに格納される作業日の前日には、ここ2年近く何度も見てきたJ14が見られなくなるという少しさみしい気持ちになりました。あとは、無事に軌道上で活躍してくれるのを願うばかりです。

PLAとPAFが取り付けられた翌日には、衛星をフェアリングへ格納します。作業は朝早くから開始され、衛星の全てのnon-Flightの保護カバーが取り外されました。衛星の製造初期からJ14を見てきましたが、この時に初めてカバー等の覆いの無いJ14の姿を見ることが出来ました。最初で最後となるフライト直前のJ14を前にして、関係者一同で記念撮影をしています。



▲ JCSAT-14とフェアリング

左写真：フェアリングと並ぶJCSAT-14, 右図：フェアリング取り付けの説明図 (“Falcon User’s Guide”より)  
写真と図面提供：Space Systems Loral (SSL)社・Space X社

お昼頃からフェアリングへの格納作業が開始され、夕方には、片側のフェアリングの取り付けが完了しました。フェアリングは、台車のようなものに載せられ、3-4名の作業員による手押しで、衛星の1m近くまで寄せ、その後、ワイヤを巻き上げ少しずつ近づけながら、慎重に作業が進められます。衛星との距離が50cm程になると、上下左右がそれぞれ均等となるように、1-2cmずつ目視での確認をしながら、取り付け作業が行われていきます。もう片方のフェアリング取り付けも、続けて作業が行われましたが、残り数cmというところで、雷注意報(Lightning Phase2: 約10km圏内で雷が発生している注意報)が発令され、作業が一時中断しました。約2時間後に作業が再開されましたが、数mmのずれの調整に手間取り、その日はフェアリング取り付け完了には至りませんでした。今回のフェアリングの格納作業だけではなく、打ち上げキャンペーンの作業は、雷注意報によって、作業中断や、作業開始が禁止されることが作業ルールとして存在します。打ち上げキャンペーンが8月頃の場合は、雷の発生が多く、作業中断もしばしば発生するようです。

フェアリング格納作業は、翌日朝から再開され、微調整を繰り返しながら、昼過ぎに完了となりました。前日の状況では、フェアリングの取付けが完了するか不安な状況でしたが、無事に先に進めたことで、ひとまずは、穏やかな週末を過ごすことが出来ました。

余談になりますが、滞在先のホテルは、4階建ての建物2つで構成され、私たちのように長期滞在者用に洗濯機が各棟に2台用意されています。今まではこの2台で不足を感じなかったのですが、この週のある夜は何度行っても利用中だったため、部屋とランドリーを行ったり来たり。5回目のトライでようやく使用出来ましたが、気付けば日付が変わる時間となっていました。

さて、話は打ち上げキャンペーンに戻りますが、ロケット側の作業も着々と進行しています。射場に到着した第二段ロケットのエンジンチェックの際に、部品の一部に不具合が発生しましたが、その翌日に交換部品が本社のあるカリフォルニア州の工場から届けられ、その日のうちに交換と、再試験を終えています。部品の配送には、SpaceX社のプライベートジェットを使用しているようで、この対応の素早さがSpaceX社の特長なのでしょう。

日本では、既にゴールデンウィークに入った4月の最終日に、準備確認会議(FRR :Flight Readiness Review) が開催され、短時間燃焼試験(Static Fire)に進むことが確認されました。こちらの会議は、米国籍のみでの打ち合わせと決められているため、当社からは、米国人技術コンサルタントが対応しています。

準備確認会議は、無事に完了したものの、ロケット側の準備作業に時間を要していることから、打ち上げ日が5月5日以降になることが決まりました。



▲ Transporter Erector (TE)

左：TEに載せられHangarから射点に移動するFalcon9, 右：TEは射点で写真のように起され発射台になる  
写真提供：SpaceX社

準備確認会議の翌日には、打ち上げ機がHangar AnnexからTE (Transporter Erector)と呼ばれるロケットを垂直に立たせる装置に載せられました。その後、TEに載せられた状態で、射点の方に移動し、その日の夕方近くに垂直状態に設定されました。その後、入念な準備、確認作業を行い、日も暮れた頃に、約4秒間の短秒燃焼試験(Static Fire)が実施されました。

一方、衛星の方は、ロケットの短秒燃焼試験が完了すると、PPFから射点近くのHangar Annexに移動する作業が進められます。日付が変わる頃に、10km/h弱のゆっくりとしたスピードで約30分かけて、Hangar Annexへの輸送が行われました。深夜作業の立会いだったため、衛星の輸送時には、満天の星空を眺めることが出来ました。偶然にも北の空に大きめの流れ星を見つけ、きれいな流星痕が見られました。

ジョイントオペレーションの最終段階に入ると、衛星と打ち上げ機との接続作業が始まります。まず衛星が打ち上げ機との接続のために、水平に保持する台の上に載せられます。打ち上げ機は、前日に行われた短時間燃焼試験後の状態のままなので、まずはその場で水平の状態に戻されます。その後、衛星の待つHangar Annexに運ばれていきます。夕方頃までは、順調に作業が進められていましたが、夜になると、例の雷注意報(Lightning Phase2)が発令されたため、衛星と打ち上げ機との接続作業は一時中断されました。結局、5時間程の中断となり、その日の作業は翌朝におよびました。

打ち上げの2日前となり、この日から続々と当社関係者が合流し、打ち上げに向けて盛り上がりしてきました。衛星と打ち上げ機との組立作業が終わり、接続確認試験が無事に完了すると、打上準備確認会議(LRR: Launch Readiness Review)が実施されます。こちらの会議は、FRR同様、米国籍のみでの打ち合わせのため、米国人技術コンサルタントが当社代表として対応します。LRRが完了すると、非米国籍向けに情報を絞った内容で、当社向けのLRRが実施されました。

衛星と打ち上げ機との組立作業が完了したところで、組立作業場の視察を行いました。今まで大きく見えていた衛星が、打ち上げ機と接続されていることで、ずいぶん小さく目に映りました。この時点で、打ち上げの約30時間前であったため、衛星や打ち上げ機を間近で目視するのは、この日が最後となるはずでした。

いよいよ打ち上げ前日となりました。数日前から打ち上げ日の天候が懸念されていましたが、こんなときに限って天気予報が当たり、打ち上げ前日は、朝から激しい雷雨となりました。結局、天候不良が原因で、打ち上げは1日延期されることとなりました。

3月に行われた前半の打ち上げキャンペーンを含めると、6週間程現地に滞在していましたが、朝からこれほどに天候が悪いのは、この日が初めてだった気がします。

激しい雷雨は夜まで続きましたが、打ち上げの24時間前となる深夜1時頃にはすっかり天候が回復し、打ち上げ機がHangar Annexから射点に移動しました。その2時間後には、打ち上げ機が垂直に立てられ、打ち上げ時の状態に設定されました。

一晩が明け、打ち上げの10時間前になると、衛星に電源が投入され、最終的な無線リンクの確認が行われます。打ち上げに向けた準備は全て順調に進み、着々とカウントダウンされていきます。打ち上げに向けて徐々に緊張感が高まってきました。



▲ 射点に立つJCSAT-14  
写真提供：SpaceX社  
Space Systems Loral (SSL)社



▲ 大きな音とビリビリとする振動を残して上昇するJCSAT-14 写真提供：SpaceX社



▲ 夜空に上がっていく明るい光 写真提供：SpaceX社

射点から10kmほど離れたHangar AOには、衛星メーカーの10名弱のエンジニアが衛星の状態をモニタします。打ち上げを行うSpaceX社のエンジニアは、Hangar AOではなく、空軍基地のゲート近くにあるLLC (Launch & Landing Control) というところで、打ち上げ機の状態をモニタします。当社エンジニアも二手に分かれて現場の対応を行い、私は、衛星メーカーと同じ、Hangar AOにて、打ち上げの瞬間をモニタしました。

打ち上げのカウントダウンは順調に進み、現地時間 5月6日1時21分(日本時間 5月6日14時21分)に、無事にリフトオフが行われました。

衛星の打ち上げは、衛星が打ち上げ機から無事に分離されることが確認されるまで、成功かどうかわかりませんが、まずは順調にリフトオフされたため、Hangar AOでは大きな歓声が起こりました。

リフトオフが行われると、衛星の状態のモニタは、衛星メーカーの拠点があるMission Control Roomに引き継がれるため、射場にいるエンジニアは、打ち上げの様子を目視するために、急いで外に出て行きました。私も一緒に外で打ち上がっていく様子を見ましたが、10km程離れた場所でも、大きな音とビリビリとする振動を肌で感じる事が出来ました。夜空に上がっていく明るい光を見ながら、みんなで行けー！と声を上げていたのは、今でもよく覚えています。

打ち上げの約30分後に、いよいよ衛星が打ち上げ機から分離されます。一同の注目がモニタ集まり、無事に分離されることがわかると、再度大きな歓声が沸き起こりました。

3月から打ち上げキャンペーンが始まり、最終的に打ち上げ日が確定するまでは、いろいろな紆余曲折がありました。一時は、本当に打ち上げ日を迎えられるのか不安になることもありましたが、最後は、とても順調な打ち上げとなり、JCSAT-14の打ち上げは大成功で幕を閉じました。☑