

第2話 国内通信・放送衛星搭載機器開発関係 その3

本誌特別編集顧問

北爪 進



前号に続き、衛星打ち上げを見学した時のこと、ロケット開発について見聞したことなどに関して個人的見解を述べます。

15. H-2Aロケット3号機DRTS、USERSの打ち上げ視察報告

日本のロケットによる衛星打ち上げのもう一つの例として、技術者を中心とする日本国民の代表が宇宙開発、ロケット打ち上げを視察してどのように感じていたかを示す例題として取り上げ、参加者が感じたコメントを沿えてその概要を述べましょう。

H-2Aロケット3号機の打ち上げが平成14年7月17日正式に宇宙開発委員会に報告され、平成14年9月10日と決定されました。今回はH-2Aロケットとして3回目の打ち上げであり、一般的に3回連続打ち上げに成功して初めて一人前として認められる重要な機会であり、2号機の成功に引き続き準備万端整え打ち上げ成功を期していました。この機会に宇宙開発事業団古濱理事のご好意により、本打ち上げを種子島にて視察する機会を頂ける旨連絡を頂きましたので、衛星通信関連業界関係者の集まりである「Mweシニア会会員」並びにその関係者でロケット打ち上げに興味を持ち参加される方を募集しましたところ、東北大学米山名誉教授を初め参加者12人の応募者がありました。保安上の都合で人数の制限がありますこと、天候などの都合により打ち上げ日時の変更があることもご理解頂き、またシニア会の正式行事として決行することとしました。

視察日程とメンバー

打ち上げ日時：平成14年9月10日17時20分（予定通り）

打ち上げ場所：種子島宇宙センター大型ロケット発射場

参加人員：12名

視察場所：宇宙開発事業団設営視察場所、管理棟ゲストハウス

天候：快晴、風速2～3m；中種子は曇り、西之表市は雨

日程

9月10日

羽田—鹿児島 JD371便 羽田発8:00am 鹿児島着9:45am

鹿児島—種子島 トッピー（ジェットホイル）12時30分—14時20分

夕刻17時20分打ち上げ見学

9月11日

午前:種子島宇宙センター宇宙博物館視察、竹崎総合司令塔見学、

午後:次期打ち上げ予定のADEOS-IIの視察、豊満神社参り、鉄砲伝来の地、洞窟見学

9月12日:種子島、屋久島の一般見学(打ち上げが延期の場合の予備日として設定した)

9月13日:帰路

種子島—鹿児島 トッピー(ジェットホイル)7時40分—9時20分

鹿児島—羽田 JD374便 鹿児島発13:30pm 羽田着15:10pm

鹿児島にて名勝仙巖園 別名磯御殿 島津藩主の別邸見学

宿泊:旅館種子屋久荘 中種子町野間5102 TEL:09972-7-0134

視察団メンバー

団長	米山 務:	東北工業大学教授,東北大学名誉教授
メンバー	伊東 正展:	株式会社アイ電子社長
	西川 敏夫:	東洋テクニカ技術顧問
	三島 克彦:	有限会社テクノリエゾン社長
	奥野 清則:	(株)日本無線 MMICビジネスユニット
	鳥海 誠司:	伊藤忠商事(株)航空宇宙政策室
	井下 佳弘:	株式会社アンリツ 営業統括部長
	大窪 秀一:	(株)JEPICO 常務取締役
幹事	北爪 進:	(株)JEPICO 取締役
世話係	宮田 雅裕:	(株)JEPICO 航空宇宙Gエキスパート
世話係	辻 寿則:	(株)JEPICO 航空宇宙G (MHI担当)
エージェント	伯耆原(ほうきばら)健一:	(株)air international



図32: 打ち上げ視察団参加の皆さん(後方はH-2A打ち上げ大型射場)

H-2Aロケット3号機打ち上げ目的

データ中継技術衛星(DRTS)を所定の軌道に投入すること及び財団法人無人宇宙実験システム開発機構(USEF)からNASDAが委託を受けUSERSの打ち上げ、追跡管制支援を行うことであります。

表2: 3号機打ち上げ軌道の目標

	遠地点高度	近地点高度	軌道傾斜角
USERS軌道投入時	450 km	450 km	30.4度
DRTS軌道投入時	36,206 km	450 km	28.5度

打ち上げ視察状況

H-2A 3号機は予定通り9月10日17時20分に種子島宇宙センター大型ロケット発射場より素晴らしく明るいオレンジ色の閃光とバリバリという轟音と共に打ち上げられました。この閃光と轟音はその場に立ち会った人しか感じる事の出来ない素晴らしい光景であり、リフトオフからDRTS切り離しまで約30分の出来事でありました。



図33-1: 打ち上げの瞬間



図33-2: 天空高く舞い上がる

当時、過去のロケット打ち上げ実績によると、予定日に打ち上がる確率は30%以下、その後2日以内では70%に上がる。この数値を参考に9月10日種子島着、その後2日の予備日を持った視察スケジュールを組んだ。1週間ほど前にMHIのロケットエンジン開発責任者の松山課長に準備状況を確認したところ、今回は順調であるが何が起こるかわからないので最悪の事態を想定しての種子島射場に待機するとのことでありました。また天候は台風16号が過ぎ去り17号は未だ発生していない、この点でも好条件である。風速2~4m程度で晴れ後曇りとの予報でありました。

私としてはもし予定の3日間で打ち上がらなかった時、参加者ががっかりし大いに不満足で帰えらなければならない、またその可能性の方が過去の実績からは多いことのリスクを考え馬鹿な計画をしたなあ！と後悔して夜中に突然跳ね起きる事態もあった。また9月5日に宇宙開発事業団より正式な招待状をファックスで私の自宅で受け取って更なるリスクに直面しました。種子島宇宙センター内のゲストハウス(VIP待遇)での視察であり、そこに入るのが打ち上げ1時間前まで、更に保安上参加者全員のIDカードと駐車許可証を中種子の大和旅館にあるNASDAの事務所に立ち寄り、受け取る必要があるとの記述をみました。予定は

10日午後14時20分に種子島の最北にある西之表港につき、そこでレンタカーを借りて法定速度で走行すると約2時間かかる距離を走行する。どう考えても1時間前には到着出来ない。5日の真夜中1時30分ごろファックスを受け取り、それから対策を考えるためとうとう眠れずまいとなった。翌日早速NASDAの担当者にお願ひし、ゲストハウスへ直行しそこで必要なIDなどを頂くようにしたが、更にIDが無いため、もしセンター敷地内に1時間前に到達出来なければ保安係りに入場を止められてしまう。その時の対策として、宇宙センターの外で見学するためのバックアップの場所として、打ち上げ射場より約6.5km離れた場所を割り当てて頂いた。

当日は予定通り14時20分に西の表港に到着した。レンタカーの借り出しができたのは14時40分であった。16時入場を計画していたので残り1時間20分。3人の運転手には兎に角走ろう、前を走行している車は出来るだけ追い越すようにと檄を飛ばした。島のドライバは時速40kmぐらいで悠々と車を走らせておりこのままでは遅刻である。信号で停車したが前に5～6台の車がいる。我々の先頭の車が、信号が青に変わる直前に停車中の車の列の最先端に出た。直線で見通しのきく場所では先に行く車を一台ずつ抜いていった。中種子まで来たときどうやら間に合いそうに感じたのであまり危険を冒さぬように全車に携帯電話で連絡する。先頭を走った我々の車が宇宙センターの敷地へ入るゲートにたどり着いたのは4時20分前であった。そこで警備員に身元確認を受けようやく中に入れた。これで安心と思ったが、そこから肝心のゲストハウスに到着するのに道に迷い遠回りしたが4時には何とか到着出来た。その時には駐車場は満車状態であった。全員IDカードを受け取ったときには本当に“ああよかった、これで間に合った”と安堵の胸を撫ぜ下ろしました。

打ち上げまでの間NASDA担当者の挨拶や解説を聞いているとき、西之表市議会議員の代表が隣り合わせになり質問をしてきたので種が島の人は打ち上げをどのように捉えているのか聞く機会を得ることができました。



図34: 打ち上げ直前待機室の状況 市議会議員とも

打ち上げ10分程前にはゲストハウスの庭に出てカウントダウンを聞きながらその瞬間を待った。その打ち上げは実に見事なものであった。風速2～3m、空は快晴、打ち上げ経路には雲ひとつない素晴らしい天気であり、5時20分予定通りバリバリと言う轟音と明るいオレンジ色の閃光と共にロケットは天空に昇って行った。射点よりわずか3kmの距離での観察でありました。

米山団長の第一声。「あの閃光は何だ！・・・あの爆音は何だ！・・・私はこの打ち上げを忘れない！」

種子島宇宙センター関連施設の見学とADEOS-IIの視察

予備日の有効活用として、平成14年9月11日種子島宇宙センター内の宇宙博物館、総合司令塔、第二衛星試験棟でのADEOS-II地球観測衛星の視察を行った。総合司令塔では昨日の打ち上げで打ち上げ総合責任者であるNASDAの山之内理事長以下各分野の責任者がここにてカウントダウンとともに指令を出し、打ち上げにゴーを出した場所である。打ち上げ30分後には成功を喜びあった場所でもある。打ち上げ成功の興奮今だ褪めやらずその余韻が感じられた。



図35: 総合指令棟



図36: 宇宙博物館(伊東さん、井下さん)

第二衛星試験棟では黒崎プロジェクトマネージャの案内で、次期打ち上げ予定の地球観測衛星ADEOS-II号を今にも手で触らんばかりの近さで視察し、質疑応答がおこなわれました、その前で記念撮影を行うことも出来ました。(図37)



図37: ADEOS-IIの前で

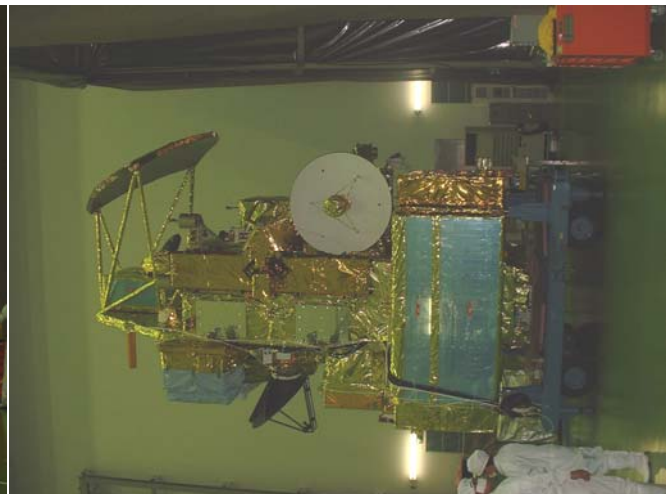


図38: ADEOS-IIの勇姿

ADEOS-IIの姿を観察した米山団長のひとこと。「これはオイランの頭だ、失敗するぞ！」

幹事役として私は思わず緊張し、黒崎プロジェクトマネージャの顔を見ましたが、平然としておりましたのでまずは安心。数種類のMissionを同じ衛星に同時に搭載した為の形であった。ホテルに戻った折りに米山教授にその感想を再度聞きましたが、回答は「あのような複雑な構造物は必ず問題を生じる、Simple is Bestだ」。それが打ち上げ後現実となってADEOS-IIIに生じることとなってしまったことは複雑な思いでありました。

種子島史跡見学

種子島は鉄砲伝来の地、その史跡を見学し、それを最も有効に活用したものが戦国の覇者となっていく歴史を想起する。またこの地から宇宙センターを望む景観の美しさに暫し見惚れる。過去衛星打ち上げにこの地を何度も訪れたが、毎度無事の打ち上げ成功を祈願し参拝した豊満神社を今回も参拝した。その当時は衛星の無事を祈願するのみで余裕がなかったが今回は違う。天照大御神の姉が祭られているといわれています。

打ち上げ延期に備え予備日としてあった1日は2組に別れ、更なる種子島探訪と屋久島探訪を行った、その詳細報告はそれぞれ伊東さん、西川さんが報告しました。



図39-1：米山団長と豊満神社

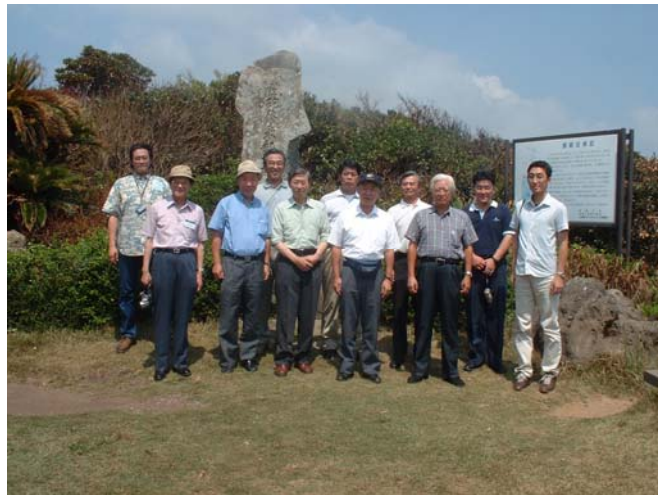


図39-2：鉄砲伝来の地

参加者一言集のまとめ

打ち上げ視察、種子島史跡見学の後、最終日の夕食時に参加者各人が感想を述べました。また帰京後メールで感想文を頂いたが紙面の都合で以下米山会長と幹事の一言に要約しました。米山務団長が参加者を代表して発した印象深い言葉です。

「あの閃光は何だ！・・あの爆音は何だ！・・私はこの打ち上げを忘れない！！」であった。

また、今回の打ち上げは素晴らしかった、褒めてやってもよい。シニア会としての“打ち上げ視察計画の募集”を見て久々の良い計画と思い一番に申し込んだ。・・印象深いひと言です。



図40-1：打ち上げ成功に乾杯



図40-2：濱御殿にて

幹事のまとめ

幹事役を努め今は予想外の成功と達成感にしている。“リスクとリターン”大きなリスクを背負った計画でしたが、これほど見事に達成でき参加者に喜んで頂けたことは大きなリターンである。十数回の打ち上げに立ち会った者として、その確率を考えたら常識では計画しない行事であります。現在の日本経済には大きなリスクを背負った場合のリターンが少なすぎ皆さんがリスクを背負わない社会システムが出来あがり硬直状態に陥ってしまっている。改善策にヒントを与える快挙であったと思っています。(九州へ来たら西郷さん)



図41-1西郷南州の墓前で



図41-2これが西郷の本当の姿

16. 三菱重工のロケット開発現場の視察

ロケットは通信・放送衛星等を初め、準天頂衛星等を必要な軌道に投入することに必要な機器装置、手段であります。日本の衛星打ち上げ用ロケットH-2、H-2Aの開発は主に三菱重工業で行われてきました。H-2Aロケット1号機の打ち上げ成功時その開発に貢献された三菱重工業(株)名古屋誘導推進システム製作所 エンジン機器技術部液体ロケットエンジン設計課の松山課長(当時)にロケット開発の苦労話を聞かせて頂くと共に現場を案内して頂きました。その時の状況を再度振り返り感想を述べたいと思います。

先ずは現場へ入場する前に事務所の一室にて開発の現状と安全対策について種々説明を受けました(図42)。次に実際の製作現場を案内されました。H-2A 3号機LE-5Bエンジンの前(図43)、ロケット組み立て現場(図44)、H-2Aロケット2段組み立て(図45)とロケット組み立て現場を順次ご案内頂いて、その荘厳さ、広大さに流石H-2Aロケット開発現場であるとしばし見惚れてしまった。Intelsat VI号通信衛星搭載通信機器の組み立て現場の壮大さに感じ入っていましたが、ロケット開発現場はそれ以上であること実感しました。

H-2A 1号機の打ち上げ成功の陰に大いなる困難とその克服の努力があったことを案内中に話された。ロケットメインエンジンLE-7Aの前進であるLE-7の開発には、原型、実験型(その1)、実験型(その2)、認定と4つのモデルに渡り総数16台のエンジン開発が必要であった。その中には燃焼試験中に一瞬にして失われてしまったエンジンも3台ほどあったと、始動して燃焼開始したらエンジンをモニターしていた画面が真っ白になりエンジンが無くなっていたというような瞬間的な事故であったと。500度C、140気圧の燃焼ガスとマイナス180度(90K)、180気圧の液体窒素との極薄い壁を隔てて混合させて燃焼させるエンジンの開発には多くの困難と克服しなければならない技術の壁があったと。そのような困難を克服してH-2ロケットの成功があったわけです。しかし完成したときには世界の経済状況は一変しており、更に経済的競争力のあるH-2AロケットそしてLE-7Aエンジンの開発が必要になっていました。



図42:松島課長の事前講義風景



図43:H-2A 3号機 LE-5Bエンジンの前で



図44:H-2Aロケット組み立て風景



図45: H-2Aロケット2段組み立て中

LE-5BとLE-7Aの開発

LE-7の開発、製造、検査の経験より智恵を集めLE-7Aの開発に反映されるべき項目を纏め挙げた資料はキングファイルに収め1メートル以上になったと。設計面ではエンジン設計に3次元のCADを使い応力・熱設計に適用艤装構造を簡素化し且つ信頼性を上げる、製作面では作り易くすること、それは溶接箇所を減らすことであり、例えば主噴射器はLE-7では約270箇所あった溶接箇所を60箇所に減らした。またLE-7の経験より不要と考えられる部分を減らすこと等信頼性を確保しつつコストダウンを実施したと。1994年開発作業を始めて最初のエンジン燃焼試験が始まったのは1996年であった。その後も幾多の困難があったがそれを克服してエンジン完成に導いたが初期計画より1年6か月の遅れであったことの経緯を熱っぽく語る松山課長には本当に開発の苦労を経験された技術者の顔があった。松山課長の開発苦労談を聞き、ECS通信機器開発の時1本のKa-Band TWTフライト品を開発するのに31本の開発・試作品を必要とした経験と困難を思い出してしまいました。

図47に各ロケット部位の開発過程と完成時の組み立て状況を示します。

平成12年9月にはH-2A 1号機用のLE-7エンジンの開発が完了し、10月には1号機用エンジンの領収試験に移行した。1号機は平成13年2月に打ち上げられる計画であった。然し領収試験において2件の不具合が発生し、11月には対策がとられ追加の領収試験でその効果が確認されたが、さらに12月にノズルスカートの冷却管母材に浸食が起きるという問題が発生するに至り、NASDAはH-2A 1号機の打ち上げの半年間の延期を決断しました。1号機として製作されたLE-7Aは開発用に転用され、万全を期して1号機エンジンは再製作された。平成13年3月には再製作品が完成し領収試験も無事完了した。エンジンの機体側への引き



図46: LE-7A(左)とLE-7エンジンの比較説明される松山課長

渡し後、配管部品の中に清浄度が不足している部品が発見されエンジンより配管をはずし修正作業を実施した。配管調達先での洗浄方法、洗浄後の検査方法に不備があったことが原因であった。そうこうして1号機用のロケットが7月10日に完成し三菱重工名古屋航空宇宙システム製作所飛島工場より種子島に運ばれた後、8月上旬に極低温試験を行ったところ、機体に使用しているバルブから黒色のごみ(数十ミクロンオーダの大きさ)が発見され交換を行ったが、これも機体試験中の作業環境の不備によるものだったことが判明し信頼性管理の重要性を痛感する出来事であったと、いずれにしても「コンタミ問題」が多く発生したが(ロケットエンジンとは金属でもなんでも燃えてしまう高圧酸素の環境でありわずかな不純物がエンジンの精密動作に支障を来す原因になる)その対策のため「コンタミ点検検討チーム」をNASDA/MHI合同チームとして編成し部品製作過程において清浄度管理を徹底することを実行している。製作工程では何らかの不具合は必ず起きるものであるとの認識で、それを検査工程で発見し最終的にゼロにすることが重要な仕事である、と松山課長は末端の孫請けも含めての作業の品質管理が重要であること強調していた。その後も打ち上げ直前に射場でのバルブ作動不良などが生じ台風の中不具合部品交換のため名古屋―種が島往復など強行軍を行った。衛星搭載機器開発においても開発・製造過程においては不具合が生じる、それを検査過程で発見して改善し不具合の種を一つ一つ潰して最後にゼロにして完成させるのだと部下に伝えていることと正に一致していました。

松山課長は娘さん、息子さんより貰った打ち上げ成功祈願のお守りを胸に抱きながら「私達はやれるだけのことをやった、打ち上げは絶対に成功する!」との強い信念を示された。そうして2001年8月29日午後4時00分種子島宇宙センターよりH-2Aロケット試験1号機の打ち上げが美事成功しました。図47に各ロケット部位の開発過程と完成時の組み立て状況を示します。

ロケットはHeかSheか?

豪快にロケットエンジンの開発状況を説明頂いた松山課長に最後に意見を伺った。あの轟音と共に豪快に天空高く飛び立つロケットは男性的であり、英語で言えば“He”であり“Hero”でしょうね!と、松山課長は間髪を入れず即座にいやロケットは“She”ですよ!と答えた。

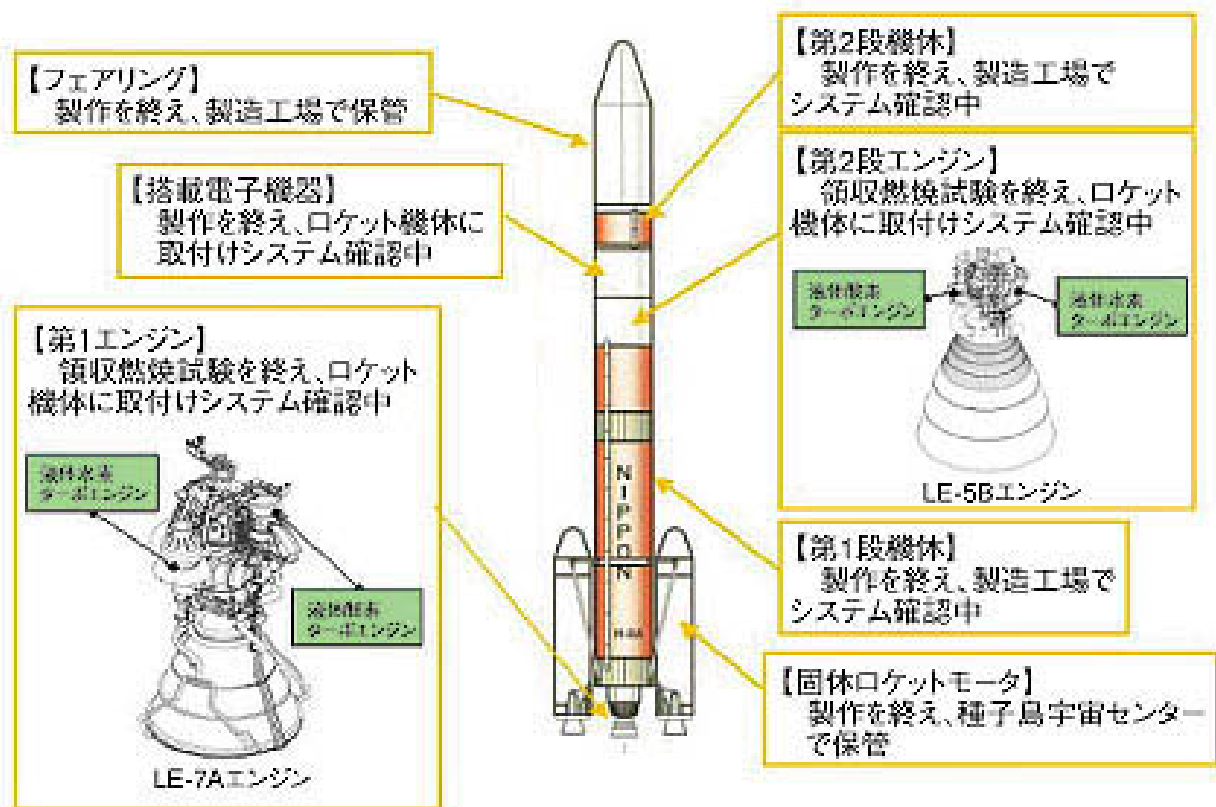


図47: H-2Aロケット1号機の製作状況

図47: H-2Aロケット1号機の製造過程

私は、常日頃衛星は娘である、従って“She”である。関わりのあった通信衛星がロケットにて打ち上げられる時はちょうど娘が嫁に行くときの気持ちであり、無事打ちあがって正常に動作して欲しい、しかし愛着のあまり少しでも打ち上げ時が先に伸びて欲しいと、心の中では念じていました。松山課長の「ロケットは“She”ですよ！」に胸がジーンときてしまった。ロケットを“She”と感ずる技術者によって純国産のロケットエンジンの開発が推進されているのなら将来は万全であると密かに思った次第であります。

ロケットは30分の勝負！衛星はその後15年の悩み

H-2A標準型ロケットは全長53m重量285トンであるという。米国のケープカナベラルで、アームストロング船長を月に送ったサターンロケットの実物大模型が横たわっており、それを見た時にはその大きさに驚嘆したが、H-2Aも相当なものである。

また打ち上げシーケンスに戻るが、第2段エンジン第2回燃焼停止が打ち上げ後28分2秒であった。管制センターではこの時点でロケット打ち上げ成功の歓声が上がった。その11分45秒後LRE分離であるが、ここまですでに打ち上げ時間に入れても約40分である。従ってロケットの打ち上げ約40分の勝負であり結果が出る。そのロケットで打ち上げられる通信・放送衛星は15年、観測衛星でも10年ほど軌道上での安定動作を要求される為、真の意味での乾杯は寿命達成の10～15年後であり、その間針のむしろの上にいるようなものであります。■

次号に続く