

特別寄稿

ロケットづくりの経験を鉄骨製作に活かす決意

中込 良之 (株)中込製作所

私は、約12年勤めていた三菱重工を退職し、本年3月より、父が経営している(株)中込工業所に勤めることに致しました。

三菱重工では最初の1年半、広島製作所の鉄構技術部で港湾コンテナクレーンの設計をしておりましたが、会社としての「成長分野への事業の選択と集中」のため、名古屋航空宇宙システム製作所に移り、それ以後10年間、ロケットの構造設計に携わってきました。

私が開発当初から初号機打上まで携わってきたH-IIBロケットを中心に以下についてお話させていただきます。

- ・ ロケット構造の特徴について
- ・ ロケット開発特有のことから
- ・ ロケットの品質保証について

(1) ロケット構造の特徴について

ロケットの性能は、ツィオルコフスキーの公式という簡単な式で表すことができます。

$$\text{ロケットの最終到達速度} = \text{噴射ガスの速度} \times \ln \frac{\text{推進剤込みのロケット質量}}{\text{ロケット本体だけの質量}}$$

この式から、衛星軌道に到達させるために第一宇宙速度7.9km/sまで加速する場合、以下の3つの方法があることがわかります。

- 1) 噴射ガスの速度が大きい燃料を採用する。 ロケットの燃料としては噴射ガスの速度が大きい液体水素と液体酸素の組み合わせを採用しています。なお、液体水素を用いるのは空気の無い宇宙空間で燃料を燃焼させるためです。
- 2) 本体を軽くして中に一杯推進剤を積む。 ロケットでは機体重量の約9割が燃料であり、それ以外の1割の重量の中で、膨大な量の推進剤を入れておく燃料タンクやエンジン、軌道へ運ぶ衛星その他の構造物を設計しているため、極限までの軽量化を行っています。
- 3) 多段式ロケットとして、燃焼終了後に不要な構造体を切り離す。 固体ロケットブースター 液体ロケット第1段 液体ロケット第2段の順に燃焼終了し、切り離される。



また、タンクは推進薬を搭載するだけではなく、ロケット全体を支える構造としての役割も持っており、タンク圧力や液体水素 - 253 による熱荷重だけでなく、射点に設置された時の自重(500 トン)や地上の風荷重に耐え、なおかつ飛行中はエンジンの推力(1200トン)と空力荷重、ブースタからの荷重などに耐える軽量で丈夫な構造が求められます。

そのためロケットの材料は密度が鉄の 3 分の 1 であるアルミ合金や炭素繊維複合材(CFRP)を使用して、構造としても少ない部材で強度・剛性が得られるように、タンクのリブ一体削り出しのアイソグリッド構造や、段間部の CFRP サンドイッチパネル構造のように軽量化設計しています。

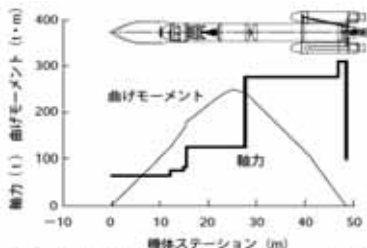


図3 H-IIA大気中飛行荷重 H-IIA飛行時の空気力と慣性力による荷重(曲げモーメントと軸力)を示す。

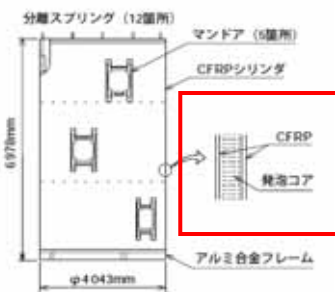
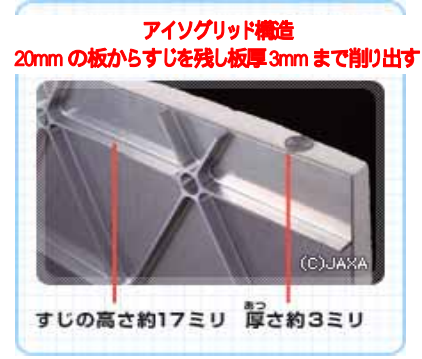


図4 段間部構造概要 段間部構造体の構造仕様を示す。



【第2段構造】

- H-IIA用をベースに外板部(2段水素タンク、前方構造、後方構造)を一部補強。

【分離アクチュエータ】

- H-IIA用スプリングの2段直列結合方式。

【第1段推進薬タンク】

- シリンダはアルミ合金製アイソグリッド構造。
- ドームは一体スピニング成型で国産化。
- 摩擦撚拌接合(FSW)を採用。

【エンジン部】

- アルミ合金製鍛造材削り出しリブ付パネル構造。

【段間部シリンダ】CFRP サンドイッチパネル構造

- 段間部の補強、長さ短縮。

【段間部アダプタ】

- 円錐台形状のアルミ合金製セミモノコック構造。
- 機体内側にストリングを配置。
- 上端部にキックフォースフレームを配置。

【中央部】

- アルミ合金製削り出しリブ付パネル構造。

【エンジンカバー】

- エンジン2基をまとめて覆う楕円形状。
- アルミ合金製セミモノコック構造。

(2) ロケット開発特有のこと

ロケット開発の特徴は、飛行機や車、他の構造物と違い、一度打ち上げたらその後は、何が起ころうとも、地上に戻して補修することができない一発勝負だということです。そのため、「実証主義」で、地上でできる試験は全て行います。どんな詳細な解析を行っても実物をつくって試験をすることを原則としています。

構造設計では、実機と同じ機体を製造し、構造部位ごとに飛行時の荷重を負荷する強度試験を行います。解析予測に対して試験結果を比較することで、両者が一致しない箇所については詳細に検討することで解析評価技術が向上できるし、実際の打上前に大きな自信にもなります。

また、その後、全機体を組み合わせて、飛行シーケンスを模擬した燃焼試験を行います。

それでも、フライト時の条件を全て確認することはできないため、確認できていない項目を明確にし、解析や過去の機種種のフライト結果を用いて一つ一つ潰していきます。



構造強度試験の例



厚肉タンクステージ燃焼試験実施状況(エンジン部)

■厚肉タンクステージ燃焼試験(BFT:計8回、353秒)及び第1段実機型タンクステージ燃焼試験(CFT:計2回、160秒)を行い、所定のデータを取得した。

| | 試験日時 | 試験回数 | 最大燃焼時間 | 合計時間 |
|------------|-------------|------|--------|------|
| BFT 第1シリーズ | 2008年3月～4月 | 4回 | 53秒 | 159秒 |
| BFT 第2シリーズ | 2008年6月～10月 | 4回 | 55秒 | 194秒 |
| CFT #1 | 2009年4月2日 | 1回 | 10秒 | |
| CFT #2 | 2009年4月22日 | 1回 | 150秒 | |



厚肉タンクステージ燃焼試験実施状況(全景)

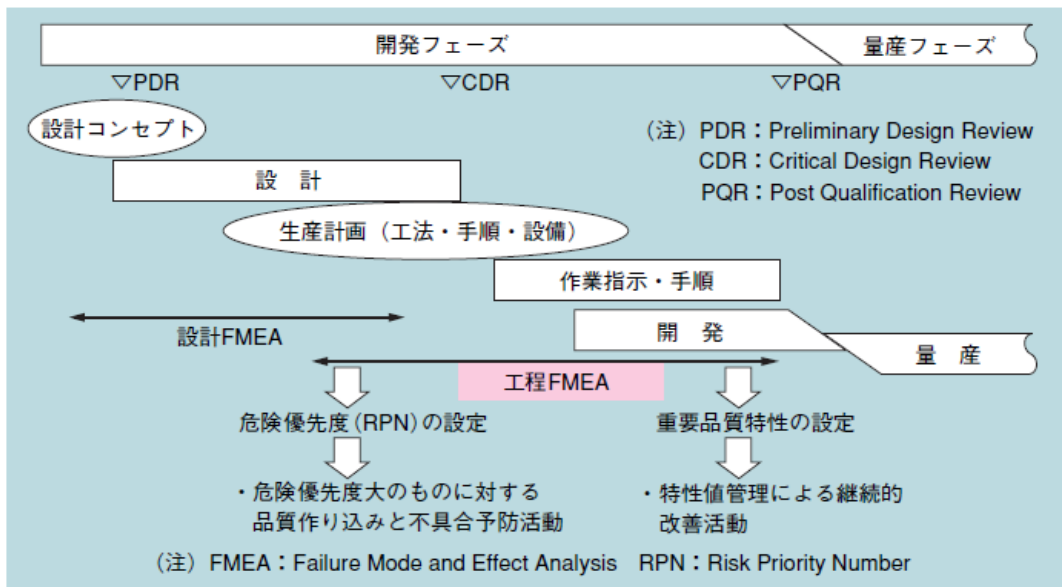


第1段実機型タンクステージ燃焼試験実施状況(全景)

燃焼試験の状況

(3) ロケットの品質保証について

ロケット製造においては、CFRP 成形プロセスや溶接、熱処理など特殊技量や特殊管理を必要とする製造プロセスがあります。それらのプロセスを中心に、工程 FMEA(工程故障モード影響解析：PFMEA)を行い、工程の各プロセスで発生する不良やバラツキを予測し、その影響を定量的に評価して対策の優先順位を決め、実行します。また、影響が大きい加工パラメータを抽出し、それらについては毎号機、グラフにプロットし、少しでも異常の初期兆候を示すものは無いかと確認し、工程を改善していきます。



開発製造フェーズにおける工程 FMEA と重要特性値管理

FMEAワークシート(ノズルスカート組立の事例)

| 名称 | 工程名称 | 不良モード | 推定原因 | 製品に及ぼす影響 | 発生度 (点数) | 影響度 (点数) | 故障検知 (不具合) | 検知時期 | 検出度 (点数) | 危険優先度 (RPN) | 対策内容 | 実施状況 |
|-------------------|------|-------|-------|--------------|----------|----------|----------------|-----------|----------|-------------|-------|------|
| ノズルスカート ろう付け組立 | ろう付け | ろう切れ | ろう材不足 | 強度不足 気密漏洩 | 3 | 4 | 外観検査 リークテスト | 作業後 検査 | 4 | 48 | (要対策) | |

対策

- チューブ断面形状の設計変更で
・発生度3→2
- マイクロフォーカスX線設備の導入で
・検出度4→2

危険優先度 (RPN) 48→16へ低減

工程 FMEA の例

経験を踏まえて今後の鉄骨製作に活かしていく決意

私は、対象となる製品は違いますが、大学時代からずっと構造設計を学んできて、大学院では建築物の耐震設計、入社後1年半まではコンテナクレーンの設計、その後はロケットで高度な強度設計技術を身につけてきました。

鉄骨製作業を継ぐことに対して、この歳まで建設業の実務経験が無く、人脈も無いのは確かにハンディになると思いましたが、それ以上に、製品は異なってもバックグラウンドにある設計思想や品質保証の考え方は共通であるし、今後、業務を応用・発展させていく上で異業種の経験が必ず生きると思いました。

更に、現状、国内外で地震により何千人という命が亡くなっているという現実を見るとまだまだ経済的なものも含めて技術で解決すべき課題があるのではないかということ、弊社中込工業所は鉄骨耐震補強工事を手がけていることを考えると、自分のやってきたことは繋がっていたのだと思えました。この年まで身につけてきた構造強度の評価技術、構造設計技術をこの業界で生かせるように、まずは建築の現物をよく見てよく学び、現業務以外のこともいろんな人から吸収して学んでいきたいと考えております。

写真は三菱重工時代の中込良之さん



お釜 旅人 阿部 修一(川岸工業株式会社)

山形へ7月3日、4日と一泊の旅をしてきました。千葉からのバスツアーに女房と二人で参加した。総勢 24、5人。2~5人のグループの集まりでそれ以外は全く見知らぬ人たちです。他人と同じバスで嫌だと思う方には不向きな旅行方法だと思いますが慣れてしまえば新幹線でも飛行機でも全くの他人同士で同乗するのですから気にならなくなります。マイカーと較べても自分で運転が好きなら別ですが何時眠っても安全に目的地に誘導してくれる。こんな快適な方法はないのではないのでしょうか？自分の行きたいコースを選択し申し込みして、集合場所へ。後はゆっくりです。山形では米沢牛を食べ、ホテルを鑑賞、サクランボに舌鼓を打ち、蔵王のお釜を眺め満足して行くことができました。

自然に飛び交くホテルを見たのは何年前だったでしょうか？(40年以上か)小野温泉では村おこしにホテルを養殖し成虫を自然に放しているとの事。日本の3種を同時に見られるのは此処しかないそうです。真っ暗な闇をほんのりとまあるく照らし青白いゆっくりした点滅のホテルの恋の世界が堪能できました。サクランボは話が長くなりますのでとにかく美味しい、とても美味しかった。と、だけ書いておきます。

最後にお釜。20年間に4回行き見れたのは最初と今回、後は雲(霧)の中で4~5m先が見える程度でした。打率5割、結構自慢できる数値の様ですが家族で行った最初のお釜が何と行っても1番で何度行っても超えることは無いでしょう。



蔵王のお釜 写真 阿部 修一

JAZZの楽しみ方

加藤哲夫 (事務局長)

私がJAZZを聴くようになったのは、40年ほど前の1970年代の大学紛争が最も激しい頃、大学がロックアウトされて授業が行われなくなり、やる事がなくJAZZ好きの友人に誘われて新宿のジャズライブハウスに通うようになってからです。新宿には、当時伊勢丹の裏にあった老舗の「PIT INN」や歌舞伎町の「タロー」や靖国通り沿いの「DUG」等LIVE HOUSEが多数ありました。

私は中でも「PIT INN」や「タロー」にたびたび通うようになりました。当時は、日野皓正、ジョージ大塚、鈴木勲、山下洋輔等現在でも第一線で活躍するミュージシャンが毎日のように出演していて、彼らの演奏に熱狂していました。

それをきっかけにして、私はジャズが好きになり、レコードをコレクションするようになりました。現在、60年代のハードバップやモダンジャズからストレートなジャズまで約3,500枚のコレクションになりました。さらにCDが約3,000枚あります。

以前は、仕事に疲れた時にビル・エバンス トリオやMJQのレコードを良く聴きました。リリカルなジャズに癒されました。また、嫌なことが有るときは、アート・ブレキーやリー・モーガン、ジョン・コルトレーン等60年代のブルーノートレコードと対決して聴きました。何か勇気もらった気がしました。

当時ジャズは音圧を身体に感じて聞くもの、ミュージシャンの汗が飛んでくる範囲で聴くものである。と私は考えていました。しかし、現在は、家庭環境の問題もあり、音量を上げてジャズのCDをかけることができなくなったのが残念です。また、ライブも以前のように行くことができなくなりました。



写真はブルーノートレコードの アート・ブレキーとジャズメッセンジャーズ

2000年に私の住む多摩市で、テナーサクソ奏者の松本英彦のメモリアルコンサートを主催したことがあります。彼は戦後日本のJAZZの創始者の一人で、中村八大、ジョージ川口等とビッグ・フォーで活躍したミュージシャンです。たまたま、彼の奥さんと知り合いジャズの話で意気投合し、メモリアルコンサートを行おうと言うことになり、ニューヨークからビル・エバンス・トリオのベーシストであったエディー・ゴメスを招請してコンサートを開催しました。楽屋での話やリハーサルに立ち会ったり、ホテルでの打ち上げなど楽しい思い出です。その時のドラマーが、マイルス・デイビスグループで演奏していたことのあるジミー・コブでした。3年ほど前にニューヨークのハーレムのクラブで彼のグループの演奏を聴くことができました。

最近は何歳をとったせいかジャズボーカルを聴くことが多くなりました。数年前にニューヨークで聴いたジェイラ・ジョーダン(60年代活躍した伝説のボーカリスト)のライブでのエンターテイメントに感動し、ジャズボーカルを聴き始めました。ピリー・ホリデー、サラ・ボーン、カーメン・マックレー、トニー・ベネット等を60年代から70年代のジャズボーカルが中心です。これからはライブも積極的に聴きに行こうと考えています。

* 編集部からのお願い 年4回の発行を目標にしています。皆様の原稿をお待ちしています。