

国産ジェット旅客機 MRJ の飛行試験

Flight Test of MRJ



三菱航空機株式会社
飛行安全推進室 佐倉 潔

MRJ (Mitsubishi Regional Jet) は、三菱航空機が開発を進めている、世界最高レベルの運航経済性と客室快適性を兼ね備えた次世代のリージョナルジェット旅客機である。2015年11月11日の初飛行の後、現在、米国ワシントン州モーゼスレイク空港にて飛行試験を実施している。一方、国内の三菱航空機本社では、就航に必要な型式証明のための技術作業が進められており、量産型の製造も開始し、日本、米国双方で、エアラインへの納入に向けて、開発を加速する。

これまで MRJ の開発状況について三菱重工技報で紹介（“2014年：三菱リージョナルジェット (MRJ)”，“2016年：国産ジェット旅客機 MRJ 初飛行”）してきたが、本稿では、MRJ の飛行試験について紹介する。

1. 経緯

2008年全日本空輸(株)の発注を受け開発ゴーアヘッドとなった MRJ は、2015年11月11日に初飛行し、初飛行に引き続いての3機の飛行試験機の飛行開始、それらの飛行試験機による国内での飛行試験、その後の各飛行試験機の米国へのフェリー飛行を実施し、現在4機の飛行試験機が米国にて飛行試験を進めている。これらの飛行試験を含め安全性を証明する型式証明のための試験、設計作業を推進し、機体納入に向け開発作業を続けている。

2. 開発の状況

先に述べたように、MRJ の主な開発作業は、現在、日本と米国の両方で進められている。すなわち、開発作業全体のとりまとめを愛知県豊山町県営名古屋空港ビルの三菱航空機本社で、開発の重要な部分である飛行試験を米国ワシントン州モーゼスレイク空港で実施している。

日本の三菱航空機本社は、開発全体のマネジメントと型式証明に関する作業、及び、それに伴う設計作業を担当する。三菱航空機本社のある名古屋空港ビルに隣接する国土交通省航空局の航空機技術審査センターとは、連日、関連の調整・審査が進められている。

米国ワシントン州モーゼスレイク空港のモーゼスレイク・フライトテスト・センター (MFC) では、飛行試験機1号機～4号機の4機が、飛行試験及び地上試験を実施している。

これらの日米での作業は、いずれも機体の性能及び安全性を確認し、型式証明を取得するために行われる。型式証明は、新しく設計・製造する旅客機の安全性を証明する制度で、MRJ が日本の航空局 (JCAB) を始め米国連邦航空局 (FAA)、欧州航空安全機関 (EASA) が定めた安全性に関するレギュレーション (技術要求) を満たすことを、飛行試験、地上試験、装備品単体の試験、そして、それらの試験結果と解析を合わせて安全性を証明するための型式証明書類の当局担当官による審査など、莫大な技術作業の結果で証明するものである。証明の元になるレギュレーションは、旅客機が世界に出現してから遭遇して来た課題、事故の結果等から、事故の再発を

避け安全を確保するために、逐次新たな要求が設定され、今日まで進歩し続けている。これは、言い換えれば、新しい旅客機ほど新たに設定された新しい(厳しい)要求を満たす必要があることを意味する。旅客機の開発は、安全で快適な機体を設計・製造することは言うまでもないが、この型式証明と言う、機体の安全性がレギュレーションに適合することを客観的に証明する作業が大きな割合を占める。YS-11 以来、新型旅客機の開発を経験して来なかった日本にとって、MRJ が大きな挑戦である理由のひとつである(図 1)。

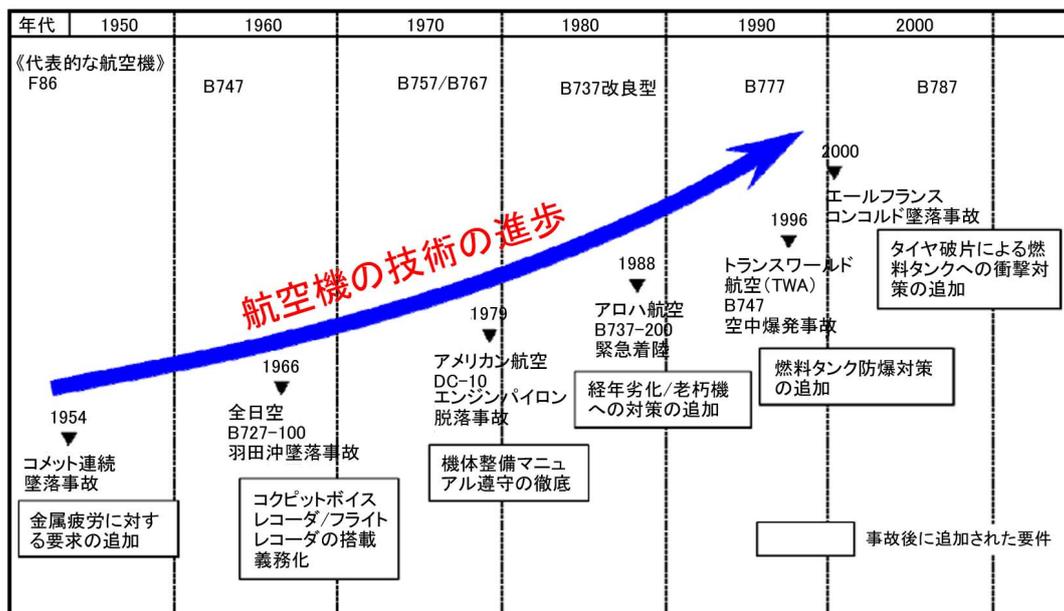


図1 航空機の技術進歩と安全性要求の変遷

型式証明の具体的な審査は、機体の空力、構造、装備品システムなど様々な分野、部位について、図面、解析(計算)と試験で安全性を確認する。旅客機は離陸から巡航、着陸及び地上整備の一連の運航の中で、様々な環境条件、運航条件(乗客の人数、燃料の量等)に曝されるので、安全性の確認は、運航中に想定されるあらゆる条件について行われる。その証明すべき条件を規定しているのが、各当局が設定するレギュレーションである。実際の機体を用いて行う飛行試験・地上試験を始め、操縦系統や電源系統などの部分システム地上試験、実機に搭載する装備品単体で行う耐久試験や環境試験など、多種多様な試験を数多く実施することになる。MRJ の装備品は、全世界のパートナーが開発・製造するため、装備品単体の試験は、各パートナーが世界の各地で実施している。

型式証明を取得するための最終的な審査資料は、莫大な量の書類となり、かつての紙の書類の時代にはその重量が機体と同程度になるとさえ言われていた。これらの書類の航空局の審査の受審を主に担当するのは、日本の三菱航空機の技術者である。その審査工程は詳細で長い時間を必要とし、時にはその証明・審査の過程でレギュレーションに適合させるために、機体の設計を変更する必要があるが、実際に MRJ の開発・型式証明の中でも設計変更が必要となり関連の技術作業に取り組んだものもある。

このような大きな挑戦であるMRJの開発のために、現在、三菱航空機では多数の海外のエンジニアが共に働いている。彼らの多くは海外の航空機或いは関連装備品メーカーでの開発経験者である。開発の現場は文字通り国際化しており、MRJと言う新しい航空機の開発の中で、グローバルな仕事の進め方を身をもって体験し、新しい枠組みを構築している。そこには、海外からのエンジニアに加え、三菱重工各社、更には国内の関連企業からの派遣者も加わり、総力をあげて取り組んでいる。

次項では、このような開発・型式証明の多くの試験の中で、重要な要素である実機の飛行試験について、最新の試験状況を紹介する。

3. 飛行試験

飛行試験機1号機が県営名古屋空港で初飛行した後、3機の飛行試験機が順次初飛行し、MRJの開発に重要な役割を果たす飛行試験が開始された。

飛行試験の最初の期間は、主に1号機により基本的な機体の空力特性や性能、そして、機体の各種装備品の機能の確認が行われた。この期間は、飛行高度・速度を安全な範囲に制限し、機体の安全性に関する様々な試験が実施される。

基本的な機体の確認が終了すると、続いて初飛行した飛行試験機2号機と共に、機体の操縦性・安定性を確認しながら、飛行高度と速度を徐々に拡大し、MRJが本来狙う最高高度、最高速度まで飛行して様々なデータを計測する。この時期には、機体の操縦性・安定性や各種の装備品の機能の確認の他に、機体の飛行限界を実際に飛んで確認する危険を伴う試験も実施する。以下にそれらの飛行試験の例を紹介する。

3.1 飛行特性に関する試験

旅客機の開発初期段階の飛行試験では、失速試験、フラッター試験、荷重試験に代表される飛行の限界を確認する、即ち飛行領域を確定する試験を実施し、その後、装備品の機能確認試験等、更に多種多様な技術試験を実施する。このように、就航後は通常遭遇しないような状況で試験を実施してデータを取ることで、就航後のマニュアルに失速速度を含む安全に飛行できる飛行領域を明記し、旅客を載せた運航では一切失速やフラッターを起ささないようにして、安全を確実なものにする。

(1) 失速試験

航空機は大気中を主翼から得られる揚力で飛行する。その揚力は、進行方向即ち空気の流れる方向にある角度(これを迎角と呼ぶ)で移動する主翼により発生する上向きの力である。機体の姿勢が上向きになり主翼の迎角が増すと、得られる揚力も大きくなるが、迎角が大きくなり過ぎると、逆に揚力が急激に減少する失速に陥る。旅客機が就航してから、このような危険な失速に遭遇しないように、開発段階で予め失速に入る境界の飛行条件で飛行し、その機体の失速特性、失速速度を確認するのが、失速試験である。飛行試験に先立って実施する解析の結果に基づいて、予想される失速速度まで徐々に速度を落とし迎角を増していく。するとある速度・迎角になった時、機体の迎角が減少(機首下げ)し飛行高度が低下していく失速減少に入る。このような試験を何度も繰り返して、MRJがもつ飛行特性としての失速速度を確認する。就航してからの安全に関わる重要なデータであるので、失速速度のみならず、失速前後での機体の挙動(速度・高度の変化、操縦性の変化、機体の振動等)を詳細に調べる。MRJ(MRJ90)の場合、失速試験として、これまでに多くの飛行試験を実施し、失速速度が概ね事前の解析通りであること、失速前後の機体の特性に極端な挙動はなくパイロットが操縦可能なことを確認している(図2)。



図2 失速試験

(2) フラッター試験

同様に航空機の飛行速度の限界を確認する試験がフラッター試験である。フラッターとは、主翼、尾翼と言う翼面が、高速に飛行して翼面を通過する空気の速度が速くなると共に圧力(これを動圧と言う)が高くなった時に、翼面に働く力と翼の構造の弾性変形が相互作用することで、振動が激しくなる現象である。この振動即ちフラッターの大きさが、一定の限界(動圧の限界)を越えると、振動が発散して翼面を破壊する場合がある。運航においてこのような危険な状況に遭遇することがないように、失速速度と同じく、飛行試験でその限界速度(フラッター速度)を確認するのが、フラッター試験である。フラッターの条件は、速度、高度、機体重量など様々なパラメーターで変化するので、フラッター試験では、それらのパラメーターを包括できるように、様々な飛行条件、機体条件(重量や重心)に対して、極めて多数の飛行試験が行われる。

(3) 荷重試験

フラッターと同様に、飛行中の機体に作用する荷重を計測する、荷重試験を実施する。航空機の機体には、空中を飛行することにより慣性力と空気が作用するために、機体の各部に荷重が加わる。これらの飛行荷重は、開発段階で予め解析を実施して予測し、その荷重に耐えられるように、機体構造に強度をもたせるよう設計する。

その強度設計が妥当であることを確認するために、まず地上で構造用の試験機体を用いて強度試験を実施し、後に飛行試験で荷重を計測する。これにより、設定した飛行領域の範囲内でどのような荷重を受けても機体は壊れることなく安全に飛行できることを証明する。

(1)~(3)の試験は航空機の限界を確認するダイナミックな試験と言えるが、開発の初期に実施される地味ではあるが重要な試験に、速度校正試験がある。

(4) 速度校正試験

旅客機に限らず航空機の飛行中の速度や高度は、機体周辺の気圧を計測することで、算出している。高速で飛行する機体の周辺の空気の流れは複雑であるが故に、圧力の計測も計測センサーであるピトー管の取付位置(図3)、角度などで変化し、本来必要な正しい気圧を得られない場合がある。従って、ピトー管で計測している圧力の値が正しく高度・速度を表しているかを検証するための飛行試験を、開発の初期段階で実施する。このために、飛行試験機は機体後部の垂直尾翼の先端からトレーリング・コーンと呼ばれる圧力計を、機体周辺の空気の流れの影響を受けない充分離れた距離に延ばし、大気の圧力を計測する(図4)。このトレーリング・コーンによる気圧の数値と、ピトー管により計測され機体の計器に表示される数値が、同じになることを、様々な飛行条件でデータを取得して、確認する。両者の値に相違がある場合は、機体側のピトー管の取付位置、角度などの変更を検討して、開発の早い段階で、両者の値が一致するようにする。また、トレーリング・コーンの計測値が正しいことの確認も飛行試験で行う。その際には、地上でできるだけ高い建築物等に設置された気圧計の近くを、飛行試験機が低高度で通過し(ローパス)、トレーリング・コーンの計測値と地上設置気圧計の計測値を比較する。このような特殊な飛行パターンは、通常空港の敷地内で実施する。MRJは、石川県輪島市の能登空港にて、地元関係者の協力を得て、この試験を実施した(図5)。



図3 MRJのピトー管

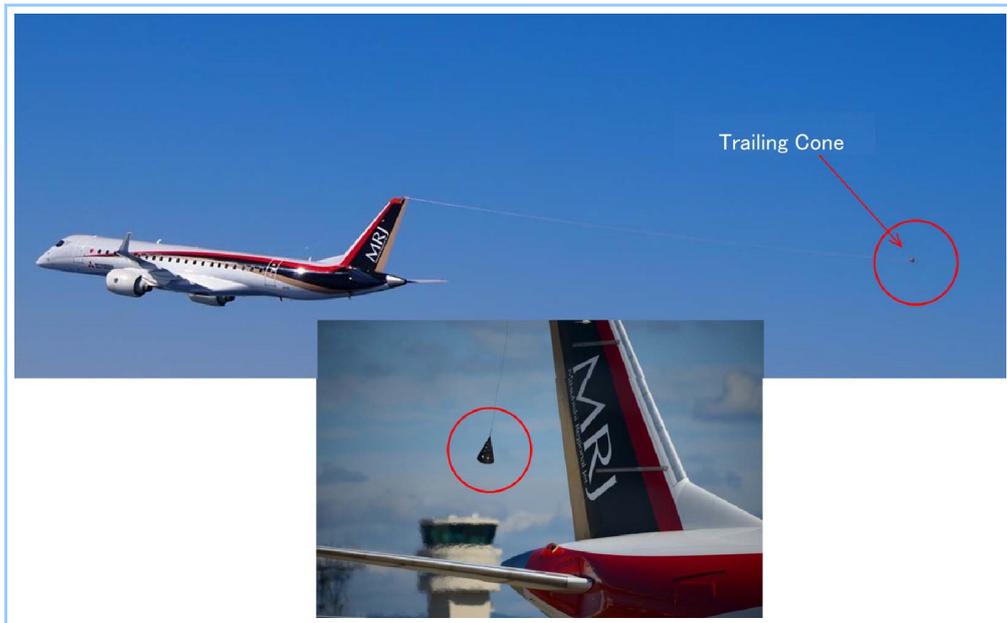


図4 速度校正試験—トレーリング・コーン試験



図5 能登空港での速度校正試験

3.2 特殊な試験

3.1 項の試験は航空機の飛行特性に関する開発試験であるが、複雑な機械製品である旅客機の装備品或いはシステムについても、開発ならではの特殊な試験を行う。

(1) 故障模擬試験

航空機のシステムは、万一故障しても安全に飛行を継続して空港に着陸できるように、電気、油圧などの系統が2～3重の冗長系(同じ構成部品が複数ある)となっている。そのように設計し、設計段階で、万一1系統が故障しても安全であることを、解析により検証し、最終的に、飛行試験で実際に故障を模擬するなどして、設計通りの挙動を示し安全であることを確認する。

旅客機の場合の故障模擬の試験の代表例として、エンジンの故障模擬試験がある。近年の旅客機の多くは、エンジンが2基(双発)搭載されている。上記の冗長性の観点から、飛行中に片方のエンジンが停止しても、安全に着陸できるように設計し、そのことを証明する必要がある。この証明のために、飛行試験において、意図的に片方のエンジンを停止させて、安全に飛行が継続でき着陸できるか、一旦停止したエンジンを再始動することができるか等、これも失速やフラッターと同様に通常の運航では遭遇する確率が極めて低い故障に対しても、実証が求められる。

MRJの飛行試験においても、初飛行からまもなくの初期の段階で、エンジン片発の飛行を実施して、再始動を含む、安全性の確認を実施している。

飛行試験機が米国に渡ってからは、更に特殊な試験を実施しており、以下に代表的なものを紹介する。

(2) 自然着氷試験

2017年2月に、MFCから飛行試験機4号機をシカゴ空港に移動し、同空港を拠点に、自然着氷試験を実施した。これは、冬季に機体の各部に氷が付着する雲の中を敢えて飛行し、どの程度の大きさの氷が付着するかを確認する試験である。氷が特に主翼などの空力面(機体の表面)に付着すると、翼面としての表面形状が失われ、必要な空力特性が得られず、操縦が困難になり飛行継続ができなくなる可能性がある。MRJも、他の旅客機と同様、設計段階で一定の氷の付着を想定して、その状態でも安全に飛行を継続できるように設計されているが、実際の飛行試験で着氷させ、安全であることを確認する。今回の自然着氷試験は、これまでの多くの旅客機の開発と同様に北米五大湖上空で実施した。目標とする着氷条件を探索しながらの数回の試験の後、所望の着氷環境で試験を実施することができ、その条件でも安全に飛行継続できることを確認した(図6)。



図6 自然着氷試験での着氷状況

(3) 極寒・極暑試験

同じ4号機を用いて、2017年2月28日から3月17日の間、フロリダ州エグリン空軍基地のマッキンリー極限気候研究所にて、社内試験としての極寒・極暑試験を実施した。これは、極寒(-40℃)、極暑(50℃)の厳しい温度環境を試験場の屋内で人工的に作り出し、そのような極限の環境における機体やエンジンを含む装備品類の動作を確認する試験である。今回の試験の結果、厳しい環境条件においても、エンジンや補助動力装置、その他重要な機器等が、設計意図通り稼働することを確認した(図7)。

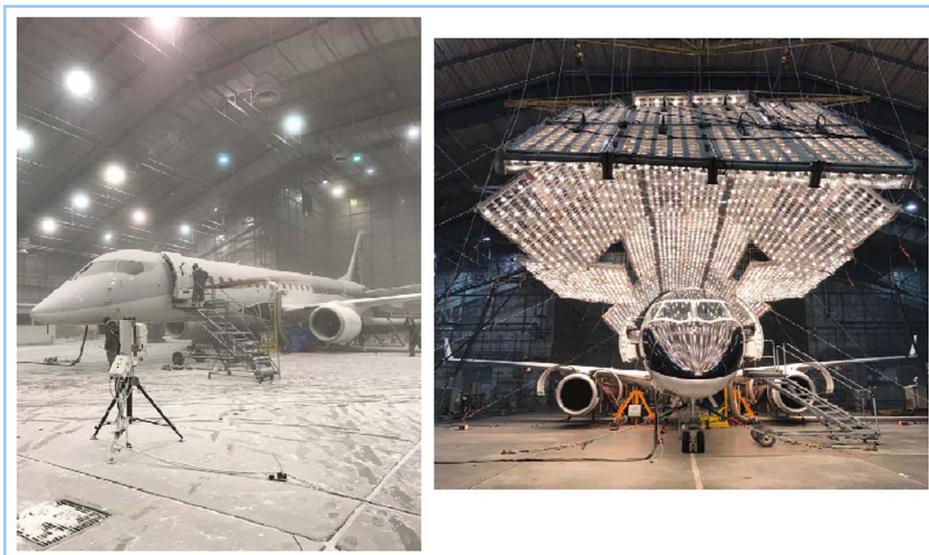


図7 極寒・極暑試験

(4) 雪氷滑走路試験

機体の離着陸する滑走路はいつも乾いた通常の状態とは限らない。離着陸の際、最も危険な状態になる可能性のある降雪状態、即ち雪氷滑走路においても、各種の確認を実施する。これは、雪氷滑走路の上をエンジンをかけて走行、或いは離陸模擬をして、安全に走行できること、止まれることなどを、確認する。2016年12月から2017年2月にかけて、記録的な大雪に見舞われたMFCにて、雪氷滑走路試験を実施し、安全性を確認した(図8)。



図8 雪氷滑走路試験

このような様々な多くの飛行試験には、三菱航空機のテストパイロットが携わっている。彼らは、航空会社のパイロットが通常は経験しない様々な飛行条件、極限の状況で機体の安全性を証明するための技術データを計測する飛行を行う。

3.3 試験状況

MRJは、ここで紹介したように、初飛行以降、初期の飛行試験、そして米国に渡ってからの本格的な飛行試験を通じて、これまで順調に飛行試験を続けている。開発において試験が順調と言うのは、トラブルがなく試験が進んでいることを意味するのではない。これまでなかった航空機を開発する過程で、むしろトラブルが出ないことはない。開発の段階、特に飛行試験で出た様々なトラブルに対処して仕上げていくことにより、改善がなされ、それを経て安全性の証明である型式証明を取得し、納入後の安全運航を実現する。

開発の過程では、飛行試験は元より、型式証明の技術検討において、多くの課題に直面する。その克服のために、何度も飛行試験を繰り返し、時には機体の設計を改善することがある。より安全で快適な旅客機を創るために、三菱航空機の技術者、パイロット、整備員、試験担当者は、毎日新たな技術課題に取り組んでいる。

そのような開発過程においても、三菱航空機のテストパイロットのMRJに対する評価は高い。初飛行のパイロットが感じた安定の良さ、操縦のしやすさは、その後の飛行試験において一貫して変わらない。それでも多くの飛行試験を続けるのは、ここで述べたような、様々な飛行条件、運航条件で機体が安全に飛行することを証明する型式証明のためである。そのために、極限状態での試験や、試験結果を受けた設計変更を施した試験が、続けられる。即ち、テストパイロットの評価を踏まえると、MRJは現時点でも通常の飛行をするために十分な能力を備えているが、型式証明に求められる極限状態を含む安全性を証明するために、更なる飛行試験、型式証明審査を要する。パイロットや飛行試験に同乗する試験計測員の高評価を考えると、MRJは次世代の素晴らしい旅客機となることを確信している。

4. パリエアショーでの展示

米国での飛行試験の最中 2017 年 6 月には、世界的な航空ショーであるパリ航空ショーで、飛行試験機の地上展示を実施した。

毎年6月の航空ショーは、ヨーロッパで隔年にパリ郊外のル・ブルジェとロンドン郊外のファンボローで交互に行われる世界最大の航空ショーであり、お客様である航空会社を始めメディアを通じて一般社会に、MRJの優れた特徴を実機をもってアピールし、同時に、開発特に飛行試験の最新状況をお知らせする場として、有効である。米国での飛行試験の日程を調整し、飛行試験機3号機を、最初のお客様である全日本空輸(株)に敬意を表して同社のイメージカラーである青と白を基調とした外部塗装に塗り替え、大西洋を陸地づたいにフェリー飛行して、ル・ブルジェ空港に到着した。

航空ショーの会期前に到着した機体は、地上展示エリアで会期前半の6月18～21日の間展示され、多くの航空関係者及びメディア関係者の来訪を受けた。機外は勿論、機内も公開し、MRJの居住性を体験して頂いた上で、現在の飛行試験の状況をご説明した。初めての实機展示に、MRJへの来訪者の数は例年を大きく上回った(図9)。

連日飛行試験を続けている4機の飛行試験機だが、このようにお客様、社会に披露することにより、MRJ自身及び開発状況に対する理解を得られたことは大きな成果であった。



図9 パリ航空ショーでの地上展示

5. 今後の予定／事業概要

MRJは今後も米国での飛行試験を続け、型式証明に必要な技術データを取得する。一方、日本国内では、この飛行試験のデータ、更には各種の地上試験の結果や解析による検討結果を総合して、型式証明の最終段階である航空局の審査資料を作成し、航空局の審査を受ける。

また、既に述べたように、型式証明の過程では機体のトラブルへの対応を含めて安全性を確実なものにする。

今回紹介した開発状況は、MRJ90(90人乗り)に関するものであるが、もうひとつのタイプであるMRJ70(70人乗り)の飛行試験機の製造にも着手している。現在、三菱重工最終組立工場では、MRJ90、MRJ70の両方が製造されている。

今回紹介したように、旅客機の開発は設計・試験・型式証明と言う多くのプロセスを実行するために多くの人員と長い期間を要し、MRJはその真っ只中である。開発関係者は、これまでそうであったように、これからも開発の中で遭遇する困難を克服し、開発を進めていく。