

民間航空機の国際共同開発

International Joint Civil Aircraft Development

名古屋航空宇宙システム製作所 林 賢 吾^{*1} 矢代 廣 志^{*2}
水野 鉄 治^{*3} 庄野 貴 志^{*4}

民間航空機の開発は、近年では開発取りまとめ会社のもと複数のパートナーと組んでの国際共同開発が主流であり、短期、低コスト開発が行われている。当社では、これまでボンバルディア社と共同で固定翼 5 機種を開発し、またシコルスキー社と共同で大型ヘリコプタの開発を行ってきた。これらの開発において、三次元 CAD (CATIA) の活用を軸としたコンカレント・エンジニアリング/フロント・ローディングの手法を適用し、短期、低コスト開発の仕組み作りを進め、特にボンバルディア CRJ-700, BD100, 及びシコルスキー S-92 の開発で成果を上げてきた。

International cooperation has become mainstream in low-cost, short-term civil aircraft development. MHI recently developed 5 types of fixed wing aircraft working with Bombardier Aerospace, and a large helicopter working with Sikorsky Aircraft Corporation. Our short-term, low-cost development emphasizes concurrent engineering, front loading, and comprehensive 3D CAD (CATIA) in product development such as the Bombardier CRJ-700, BD100, and Sikorsky S-92.

1. ま え が き

当社では、民需事業拡大の 1 つの柱として、民間航空機の国際共同開発に鋭意取り組んでいる。その代表例として、カナダ・ボンバルディア社とは、これまでグローバル・エクスプレス, DASH 8-S400, CRJ-700, BD100, そして CRJ-900 と 5 機種の共同開発を行ってきており、またシコルスキー社とは S-92 ヘリコプタの共同開発を行っている。民間機の開発において、低コスト化と開発フロータイム短縮の要求は近年ますます厳しくなっており、いかにこの要求に対応していくかが今後民需市場で生き残っていく上でのキーポイントである。本報告では、これら国際共同開発機の最近の例として CRJ-700, BD100, 及び S-92 の開発概要を示すとともに、これらの機体に共通する低コスト化と開発フロータイム短縮実現を目指した国際共同開発の特色、開発手法等につき紹介する。

2. 最近の国際共同開発機の概要

2.1 CRJ-700 (リージョナルジェット機)

CRJ-700 は、グローバル・エクスプレス, DASH 8-Q 400 に続くカナダ・ボンバルディア社との 3 機種目の共同開発機である。

50 席級のリージョナルジェット機として既に市場にて好評を得ている CRJ-200 とファミリーを形成する派生型として、より多くの客席を要望するエアラインの要求にこたえた 70 席級の機体であり、以下のような変更を行いつつも運航・運用上は極力 CRJ-200 と共通化を図り、新規エアラインのみならず CRJ-200 を所有しているエアラインにとっても魅力ある機体を目指して開発された。

(1) 客席、貨物室容量の増加に対応する胴体の延長

(2) 運用重量増加に対応するため、高揚力装置 (スラット)

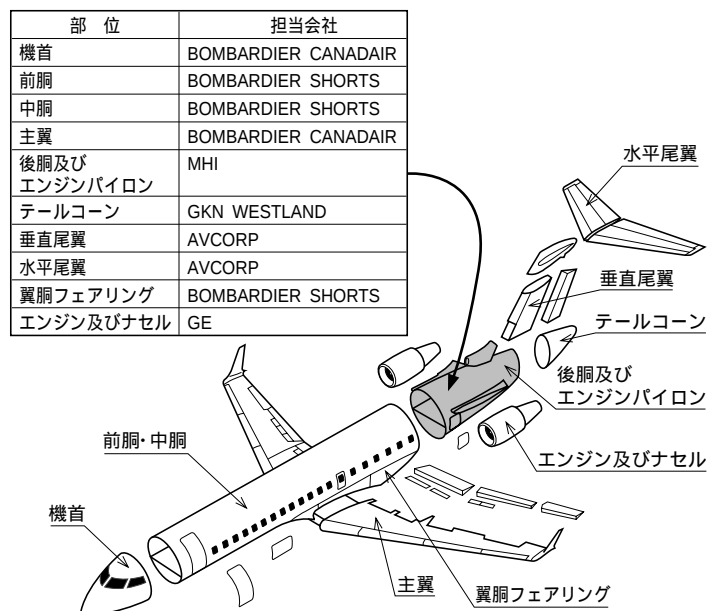


図 1 CRJ-700 開発・製造担当部位 後胴およびエンジン・パイロンを示す。
Work package of CRJ-700

の追加による低速性能の向上

(3) 運用重量増加に伴う高出力エンジンの搭載

(4) 客室床位置を下げ、窓位置を上げることによる、より快適な客室環境の提供

当社は開発にあたり、後胴及びパイロン (懸吊装置) の設計、製造を担当した (図 1)。

当社担当部位では、CRJ-200 と比べて貨物室を増大させるための与圧隔壁位置の移動、高出力エンジン搭載のためのパイロン等が主な変更点である。ボンバルディア社との共同開発では初めて全パートナーが三次元 CAD (CATIA) を用いた三次元ソリッドによる設計を行った。

1997 年 1 月に開発の正式表明がなされ、ボンバルディア

^{*1} 民間機技術部主席プロジェクト統括

^{*3} 民間機技術部基礎設計課主席

三菱重工技報 Vol. 39 No. 1 (2002-1)

^{*2} 民間機技術部基礎設計課主席チーム統括

^{*4} 民間機技術部基礎設計課主席 工博



図2 BD100の初飛行 2001年8月14日早朝に初飛行に成功。
Maiden flight of BD100 (August 14, 2001)

社（カナダ・モントリオール）で各パートナーと共同での基本設計を行った後、引き続いて日本での製造設計、組立を経て、初号機は1998年10月名古屋よりモントリオールへ向け出荷された。その後最終組立、飛行試験等が行われ、2000年12月にカナダ航空局より型式証明を取得し、2001年1月よりエアラインへの引渡しが始まった。現在月産3機のペースで生産されており、多くの受注を得て今後増産が計画されている。

また、CRJ-700の胴体を更に延長した90席級のCRJ-900についても当社は同じ部位の設計・製造を担当しており、2001年1月に初号機を出荷した。

2.2 BD100：コンチネンタル（ビジネスジェット機）

BD100は、ボンバルディア社が2002年度後半に客先に納入を計画している8人乗りスーパーミッドサイズビジネスジェット機であり、2001年8月14日初飛行に成功した（図2）。

BD100の競合機としては、Citation X、Galaxy、Horizon、F50EXが挙げられ、これらの競合機に対し、性能面でも機体価格でも打ち勝てる目標を掲げた機体である。

性能面では完全な対面8座席配列、最短離陸距離5000ft以内、高いキャビン高（スタンドアップキャビン）、長距離運航速度マッハ0.8以上、航続距離3000海里以上を狙っており、競合機の中にはこれらの性能をすべて満たす機体が無いことをセールス・ポイントとしている。この性能で競合機を下まわる機体価格設定で、市場競争力の高い機体となっている。

BD100は、当社にとってCRJ-700に続くボンバルディア社との4機種目の共同開発機であり、ボンバルディア社との最初の共同開発機グローバル・エクスプレスに引き続き、主翼の開発、製造を担当している（図3）。

主翼は全幅19.46mで、低コスト化を徹底するため、分割無しの大型のフラップが片翼1枚、前縁のスラットなし、人力操舵のエロン（補助翼）等極力シンプルな舵面構成を採用している。

開発は、約十数社のシステム・サプライヤ/ストラクチャ・サプライヤと共同で行われ、CRJ-700の開発に引き続き、三次元CAD（CATIA）を基本設計段階から全面的に活用し、コンカレント・エンジニアリングの手法を用いて開発の効率化を図った。

部 位	担当会社
前胴	BOMBARDIER-CANADAIR
中胴	BOMBARDIER-SHORTS
主翼	MHI
後胴	AIDC(台湾)
垂直尾翼	AIDC(台湾)
水平尾翼	AIDC(台湾)
翼胴フェアリング	FISHER
テールコーン	HAWKER-DEHAVILLAND

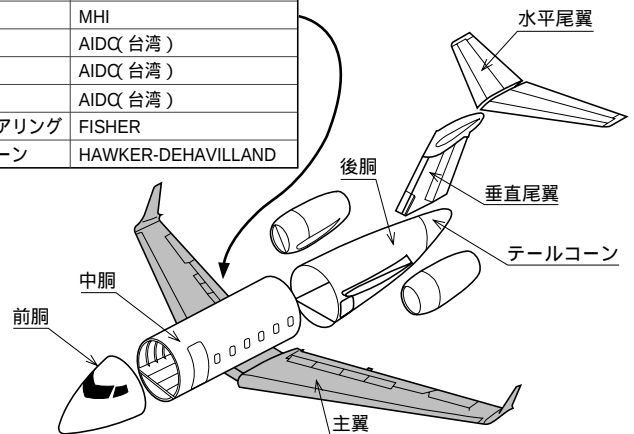


図3 BD100 開発・製造担当部位 主翼を示す。
Work package of BD100

開発は、1998年から始まった機体のコンセプト設計を経て1999年6月に正式にボンバルディア社から開発開始が表明された。当社はコンセプト設計段階の1999年2月から参画し、1999年10月まで、カナダ・モントリオールにてボンバルディア社及び多くの共同開発パートナー（システム/ストラクチャ・サプライヤ）と共に基本設計作業を行った。その後当社での製造設計、組立てを経て、初号機は2000年8月名古屋より最終組立てを行う米国ウィチタへ向け出荷された。現在までにボンバルディア社は100機を超える受注を得て、当社では現在月産1機のペースで量産が行われている。またウィチタでは型式証明取得に向け飛行試験が鋭意実施されている。

2.3 S-92（大型ヘリコプター）

S-92は、シコルスキー社S-61の後継と軍用ヘリへの採用を狙って6ヶ国で国際共同開発中の大型ヘリコプターである。

機体規模は民間用として乗客19名、軍用として兵員22～30名にも及ぶ。特に軍用としてはマイナー改修により救難機、輸送機等多用途ヘリコプターとして充分成り立つクラスの機体である。

設計上の特徴は下記の通り。

- (a) 主要構造は金属製(Al) 26 fps Crash Load)
- (b) スポンソン燃料タンク（Breakaway Valve使用）
- (c) 複合材ブレード（重量軽減）
- (d) 無限寿命ヨーク・タイプのローターヘッド（低メンテナンスコスト）
- (e) 耐疲労設計のダイナミックコンポーネント（低メンテナンスコスト）
- (f) 冗長性を持つコックピットの操縦リンゲージと操縦油圧系統（安全性）
- (g) EFISコックピット（操作性、重量軽減）
- (h) キャビン艇体部の4インチ クラッシュデザイン構造（安全性）

当社はキャビンを担当しており、その他の部位としては、

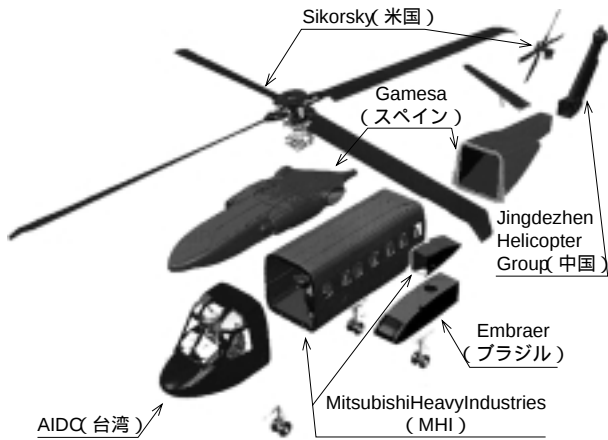


図4 S-92 開発・製造担当部位 キャビンを示す。
Work package of S-92

コックピットはAIDC社（台湾）、トランジション及び主ローター・パイロンはGamesa社（スペイン）、垂直尾翼及び水平安定板はJingdezhen heli G'P社（中国）、スポンソンはEmbraer社（ブラジル）等が担当している（図4）。

S-92は、ヘリコプターの開発では初めて三次元CAD（CATIA）による設計手法を取り入れ、三次元データを共通のデータベースとしたコンカレント・エンジニアリングを実現した。

開発日程は、1995年6月に正式プログラム・ゴーアヘッドの後、当社担当部位の初号機納入は1997年4月、初号機初飛行は1998年12月に行われた。その後現在までに試作機の飛行試験結果を反映し、量産機（第6号機以降）ではキャビン16インチ延長、ドアサイズ変更、水平安定板位置変更等の設計変更を行ってきた。量産機から当社広島製作所にて組立てを行い、その量産初号機は2002年3月に出荷を予定している。

3. 国際共同開発の特色と開発手法

民間航空機の開発には多大な開発費用が掛かるため、機体メーカーは航空機器や構造等分野別の複数のパートナーと共同で開発を行うようになってきた。共同開発のパートナーは、世界中の航空機器メーカーや航空機メーカーの中から、技術力と価格競争力に優れたメーカーが選択される。

この国際共同開発方式により、開発費や開発に伴うリスクが分担でき、また各パートナーの得意な設計力・製造能力を生かすことで、1社で開発するよりも短期、低コスト開発が可能となる。

また、低価格のもとより、民間機の短期開発は、顧客にとって、時事に合わせた短期予測によるフレキシブルな導入計画を可能とし、多様化する顧客のニーズに応えるために必須の条件となっている。

BD100の開発期間は正式な開発表明（プログラム・ローンチ）から初号機納入まで14ヶ月で、同じくボンバルディア社と共同開発したグローバル・エクスプレス（1996初飛行、開発期間25ヶ月）と比較して約2/3以下まで短期化している。

表1 BD100 開発に参画した代表的なシステム / ストラクチャーサプライヤーの例
Example of typical system / structure supplier for BD100

システム/ストラクチャー	サプライヤー
パワープラント	Honeywell
メインランディングギア	Messier-Dowty
燃料システム	Intertechnique
電気システム	ECE
アビオニクス	Rockwell Collins
スポイラーシステム	Moog
フラップシステム	Liebherr
ECS（防水）	Liebherr
ハイドロシステム	Parker
主翼	MHI
後胴	AIDC
APU	Allied Signal
ライティング	Hella
垂直尾翼	AIDC
水平尾翼	AIDC
中胴	Shorts
翼胴フェアリング	Fischer
消火装置	Walter Kiddie
テールコーンとAPU取付	Hawker Dehavilland

3.1 多国籍パートナーの参加と基本設計段階からの参画

当社が今までに共同開発に参画したボンバルディア社も、多国籍パートナーの参加のもとで設計開発を行い、効率的な製造分担を行っている。BD100の例を取ると、国際パートナーの数は38社、9カ国に及んでいる。当社が担当した主翼設計・製造に関連するパートナー数だけでも十数社に及び（表1）。

従来の民間機開発では、とりまとめ機体メーカーがコンセプト設計、基本設計を行い、その仕様にあった構造や機器をサプライヤーに製造させる手法を取っていたが、このやり方は開発・製造が長期化する弱点を持っていた。これを改善するため、最近では基本設計の前段階のコンセプト設計段階から関連するサプライヤーを参加させるようになってきた。

コンセプト設計段階では、サプライヤーとの契約は確定されておらず、サプライヤーは自費での参加である。コンセプト設計が固まってから、契約ネゴに入る。従って必ずしもコンセプト設計に参加したサプライヤーが契約を取るとは限らない。このような仕組みで多数のサプライヤーの良い知恵を取り入れ、なおかつコストもサプライヤー間で競争させ、徹底的な低コストを開発初期段階から確定させることに成功している。

3.2 コンカレント・エンジニアリングとフロント・ローディング

3.2.1 コンカレント・エンジニアリング

現在の民間機市場では、いかに早く顧客に機体を渡すことができるかが受注拡大の鍵となる。

当社では、開発設計作業の効率化を図り、期間短縮と低コスト化を実現するために、コンカレント・エンジニアリングの手法を機体開発に適用し、大きな成果を上げてきた。

コンカレント・エンジニアリングに必要なものとして、大

きく2つの要素がある。一つは確立された適用可能な生産・製造技術であり、もう一つは技術情報をリアルタイムで工作、資材等他部門と共有化、統合化するためのツール、すなわち三次元CAD (CATIA)、及び情報のネットワーク化を軸としたソフト・ハードウェア環境である。

開発初期段階から当社の生産、製造技術を最大限活用した無理、無駄のない設計を行うこと、また、そのために要領よく開発初期段階から設計情報を共有して工作、資材等他部門の検討作業を同時進行させることがコンカレント・エンジニアリングのポイントである。

民間機開発におけるコンカレント・エンジニアリングの具体的内容について以下に示す。

三次元CADの活用

コンカレント・エンジニアリングが可能となった大きな要因として、三次元CADの実用化とコンピュータ上でデータの共有ができるようになったことが上げられる。

三次元CADのメリットは、製品形状が視覚化できることである。この情報を関連部門で共有し、計画段階から評価・検討をリアルタイムに水平展開することでコンカレント・エンジニアリングの成功に貢献している。

計画図作成では、この三次元CADを使用して全部品の形状定義を行う。この形状定義の作業では、部品組立ての事前検証、部品間干渉の事前チェックと修正、強度計算結果を反映した部材板厚の盛込み、機械加工のNCプログラミングの先行検討等も並行して行う。

従来の作業展開では、製造図段階や製造段階になって不具合が判明し、設計変更による不本意なコストアップ要因となっていた。これらの検証を計画図段階で完了させることにより、製造図段階では機械的にこの計画図を製造図面化する作業に徹することができるため、製造図作成が効率的になり、また工作の製造準備も計画図ベースで早期に行うことができる。また設計以外でも、この三次元CADのデータは工作の詳細プランニング、治工具設計、組立手順書、CMM (Coordinate Measuring Machine) による部品検査、パーツカタログ等のマニュアル類の作成に広く活用でき、トータルでのスケジュール短縮、コスト低減が可能となった。

パーツ・ツリー

情報の共用という意味では、三次元CADのデータに限らず、スプレッドシート・タイプのデータも活用できる。当社で実践したのは、設計で定義した部品情報を初期段階からパーツ・ツリーという形でデータ化し、工作での組立て手順の設定や先行手配が必要な資材部品の情報提供、コストの見積り等を設計と並行して基本設計の初期段階から展開することであった。これにより、いち早くコスト評価が可能となり、また資材手配もタイムリーにでき、生産ラインを初号機からスムーズに流すことが可能となった。

パーツ・ツリーとは、製品の部品全点について、部品番号/親子系列情報/資材費を算出するための材料やサイズ/加工費及び治工具費を推算するためのパーツタイプ・コード/表面処理情報/特別な注記等々をスプレッドシート・ソ

フトのテーブルにまとめたものである。設計開始当初は部品全点を定義することは難しく、パーツ・ツリーに入力するのも時間を要するが、これを設計進捗に伴い逐次繰り返し改訂し精度を上げて行く。このパーツ・ツリーは、各設計リーダーが設計初期段階から作業量を把握するためにも、また工作、資材等関係各所の初期段階からの検討等にも有効で、また管理者から見れば作業進捗を管理できるツールともなる。CRJ-700、BD100及びS-92のプロジェクトでは、このツールが基本設計段階からのコスト作り込みに活躍した。

DBT活動(Design Build Team)による計画図完成度向上

コンカレント・エンジニアリングのキーとなる活動は、DBT活動である。DBT活動は、欧米で取り上げられる以前は、当社でも技工接点活動として古くから活用されてきた。技工接点活動は設計開発時、あるいは製品を作り始める前に技術と工作が無駄の無い設計・製造が行えるように情報を共有し、協議して開発することを目的とした活動である。

コンカレント・エンジニアリングでのDBT活動と、従来の技工接点活動との違いは、DBT活動では、三次元CAD (CATIA) による設計情報を技術、工作、資材等関連部門がリアルタイムに共有、活用する点である。これにより、コスト低減、納期短縮を目指して協議し、結果を設計に反映することが一層円滑に展開できるようになった。

CRJ-700やBD100では、基本設計段階でDBT活動を徹底的に行い、一点一点の部品について修正、変更なく製造図に落とせるレベルまで計画図の完成度を上げた。これにより製造図出図以後の設計変更の押さえ込みが可能となり、スムーズな製造展開を実現することができた。

3.2.2 フロント・ローディング

コンカレント・エンジニアリングの実践に伴い、開発初期段階から必要十分なリソースを投入し、設計をできる限り完全に仕上げる方法(じっくり設計)がプログラム全体からみて効率的であることが判ってきた。これがフロント・ローディングである。すなわち、従来の手法では設計段階で十分な検討が行われず不具合となり、製造段階で予測しなかったコストが発生し、またその修正にさらにリソースを投入するという悪循環が多々発生してきた。これらの変更・修正によるコスト増加を排除するために、綿密なコンカレント・エンジニアリングを初期段階から必要十分なリソースを投入し実践することで、後工程でのコストの発生を従来より一段と早く収束させることができる。

4. あ と が き

民間機の国際共同開発を通じて、客先要求に対応し、低コスト化及び短期開発を実現するため、コンカレント・エンジニアリングを軸とした開発の仕組み作りを行い、本報告で示した機種において成果を上げてきた。この開発手法を今後の開発機種に広く適用していくと共に、今後、さらに低コスト化に向けて新しい素材の開発や新工法の考案を平行して行い、リスク管理をしながら短期間で設計を行う方法に発展させていくことが今後の課題である。