

## B787 見学記

2012 年 4 月 航空基盤懇談会

2012 年 3 月 27 日(火)、航空基盤懇談会では全日空に納入された B787 の見学とフライトシミュレータ搭乗体験を行う機会に恵まれた。これは、全日空の運航本部の多大なるご協力によるもので、厚く御礼を申し上げたい。そしてここに感謝の意も含め、我々航空技術者からの印象などをまとめておくこととしたい。

### 1. 見学会参加者

当研究所の上席研究員で組織している航空基盤研究会のメンバーのうち 9 名が訪問。訪問メンバーは航空機産業の技術並びに経営経験者と JAXA 研究者 OB、および工学系大学教授である。(後掲)



図1 B787(ANA ホームページより)

### 2. B787 の概要と新技術

ここでは見学した B787 の諸元や新技術を簡単にまとめておく。

#### (1) B787 諸元

B787 の-8 と-9 の諸元は表 1 の通りであり、全日空に昨年 11 月に納入されたのは B787-8 である。搭載エンジンは RR Trent1000 である。また同表には多くのシステムや操縦系統に互換性を持たせている B777 を比較として掲載した。

表1 B787 諸元

項目 \ 機種		787-8	787-9	(参考) 777-200ER
全長	m	56.7	62.8	63.7
全幅	m	60.1	60.1	60.9
全高	m	16.9	16.9	18.5
胴体最大幅	m	5.74	5.74	6.19
客室最大幅	m	5.49	5.49	5.86
最大離陸重量	ton	227.9	247.2	297.6
座席数		210 席～250 席	250 席～290 席	300 席～400 席
最大積載貨物量 (満席時)	ton	18.7	22.6	21.6
装備エンジン		GE GEnx RR Trent 1000		GE90-94B PW4090 RR Trent 895
巡航マッハ数	M	0.85	0.85	0.84
航続距離	km	14,200 - 15,200	14,800 - 15,750	14,305
最大巡航高度	m	13,100	13,100	13,100
最大搭載燃料	kl	126.2	126.2	171.2
離陸滑走距離	m	3,000	TBD	3,580
着陸滑走距離	m	1,730	TBD	1,780
初飛行		2009 年 12 月	2011 年以降	1993 年
E.I.S		2011 年 9 月	2013 年以降	1995 年

## (2) B787 に採用された新技術

- ① 機体構造の 50%に炭素繊維複合材
- ② Smooth Wing : simple pivot trailing edge flaps(small fairings), low drag, raked trailing edge
- ③ 高アスペクト比翼(複合材)
- ④ 層流ナセル
- ⑤ Advanced fly-by wire: Variable camber, GLA (Flaperons+ailerons), 全てを低燃費・快適飛行のために全飛行中自動制御
- ⑥ More Electric Architecture: 燃費低減、保守整備性向上
- ⑦ 7面(5面)の多機能液晶フラットパネル
- ⑧ オープンアーキテクチャー

\* 全米飛行家協会が B787 の飛行を同クラス最長飛行記録として認定(2012年2月28日)

2011 年に行ったシアトルからバンガラデシュダッカまでの飛行 19,142km (10,336 海里) を、同クラス (機体重量 440,924 ポンド ~ 551,155 ポンド) の航空機としての最長飛行記録として認定。これまでの記録は、2002 年にエアバス製 A330 型機が達成した 16,901km (9,126 海里)。

右図 1 は B787 の特徴である、空力弾性を積極的に利用した主翼の設計結果である。(Boeing 社の HP から)

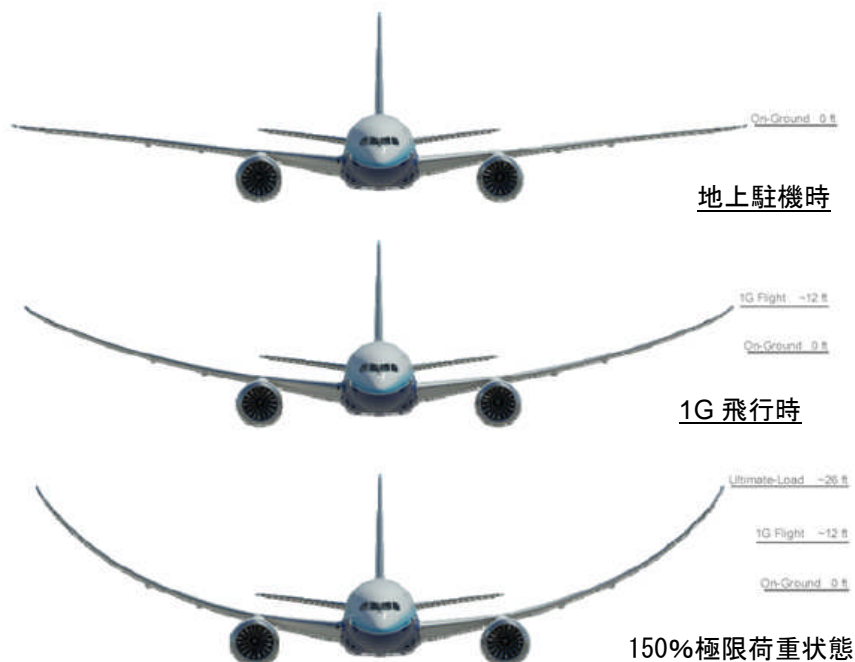


図 2 主翼の空力弾性設計(中図が 1G 飛行中の形状)  
(Boeing 社の Paper から)

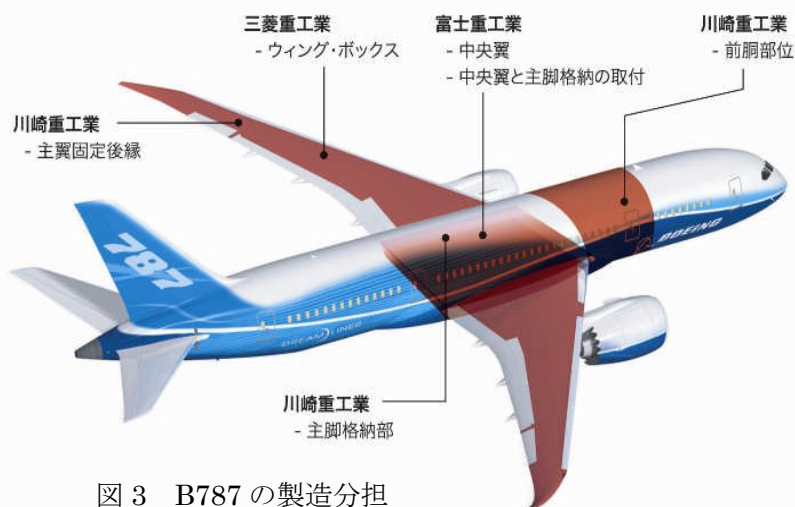


図 3 B787 の製造分担  
(Boeing Japan HP より)

## (3) B787 の製造分担

構造部位中心であるが、図 2 に示す通りである。(Boeing Japan の HP から) 参加割合を 35%とし、B767 の 16%、B777 の 21%から大きく増加し、技術的にも先進的な複合材を適用すること、そして、主翼の開発製造を分担することで、大きな飛躍を見たものである。

なお、搭載しているファンエンジンにおいても図 4 の様に、住友精密(熱管理システム、MHI(燃焼器と低压タービン)、KHI(中・高压圧縮機)、大同特殊鋼(シャフト)の 3 社が開発・製造分担で参加している。

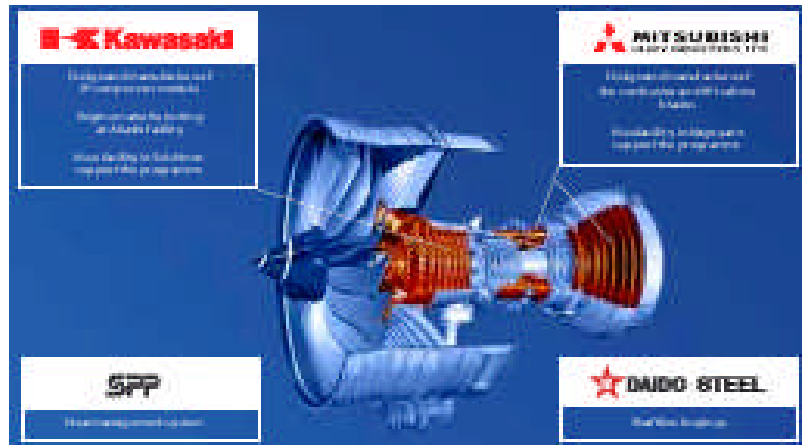


図 4 Trent1000 エンジンの我が国の開発・製造分担 (RR 社 “Trent1000 into service with ANA” より)

#### (4) これまでの受注と納入(2012 年 3 月時点)

受注 56 エアライン (リース会社を含む) から 851 機

搭載エンジン

RR Trent1000 213 機

GE GEnx 358 機

これまでの納入機材

ANA 6 機、 JAL 2 機

### 3. B787 見学記

#### (1) 実機外観

機体外観は、技術、運航、整備の主担当の方々にご案内頂きながら、複合材構造、空力設計、エンジンナセル、主脚などを見学した。

##### (a) 滑らかな胴体表面

胴体が複合材によるシリンダー形態の構成のため、胴体外表面が極めて滑らかな仕上げである。同様に主翼外表面も滑らかであり、新時代的な感覚を覚える。これらに日差しが反射し、景色さえ映って大変美しいとさえいえる。また、塗装には紫外線対策も施されていると聞き、耐久性向上につながったのではないかと予想する。一方、複合材部材における FOD (異物衝撃損傷) の発見や修理手法など、経験に依存する技術的な課題もあるかと予想する。



写真 1 B787 の胴体側面(貨物ドア付近)

複合材主翼では、過去に XT-4 の主翼（アルミ製）と続く FS-X に複合剤を使用し、その組み立て後のスムーズさに感動したのを思い出したが、今回の B787 はその大きさの点で圧倒している。



写真 2 左主翼翼端



写真 3 垂直尾翼と  
APU 排気口

(b) 美しい主翼・尾翼

主翼を見上げ、レークド翼端に向けて美しくカーブして跳ね上がっている様に見える姿はやはり新しく美しい。飛行中にはさらに上方に弾性変形してあたかも羽ばたくような姿で、設計の空力性能を満足しながら飛行するであろう勇姿を思い浮かべる。主翼、尾翼には高迎角時の剥離抑制のための VG が幾つか付いている。

また、主エンジンから抽気をなくし、さらに胴体内の電気システムを充実させて総発電量を B777 の 4 倍(1,000kVA)とした機体(More Electric)であるため、比較的大きな APU を搭載している。そのために尾部にある APU 排気口は従来機より大きいようだ。(写真 3)

(c) キャビン空気取り入れ口

中央翼前方下側に外気取り入れ口がある。エアコンがエンジン抽気を用いないことからキャビン空気として外気取り入れが必要となったもの。圧縮機の給排気口とともに新しいものとして興味を惹いた。

(d) 脚装置

脚へ電動化ブレーキ、ストラットの複合材化と新機軸の実用化が注目される。このため、油圧配管のない、すっきりした構成となっており、軽量化にも寄与しているものと推察される。複合材製のストラットの耐損傷性はこれまで大きな課題であったが、本機では見事にクリアされたのだろう。世界各国で多くの試作がなされ、防衛省でも研究を進めてきていたが耐損傷性の点から実用化には至らなかった。本機の技術ポイントに興味が引かれる。

また主脚については、次の諸点が開発における設計の工夫として気づいた。

- ・主脚の支柱が後方に 10 度ほど傾斜
- ・さらに脚ベイが相対的に前方にあり、斜め前方に脚が引き上げられる構造。そのために脚上げ回転軸が前方に向かって 10 度以上のトーアウト

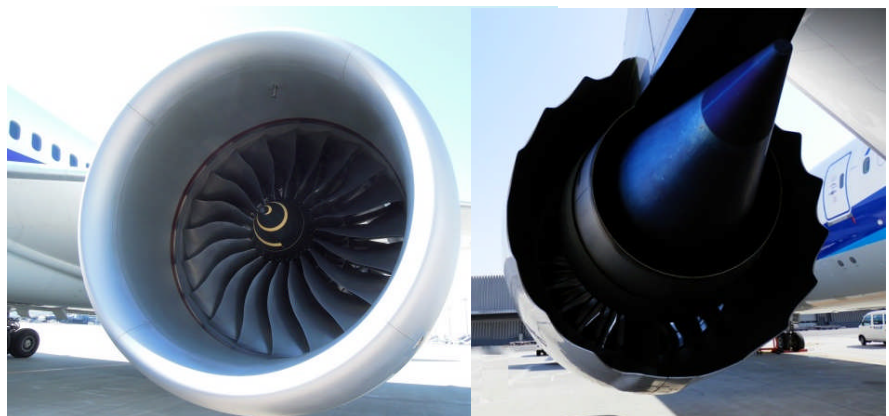


写真 4 TRENT1000 とナセル、シェブロンノズル



これらは、機体設計の妙、あるいは苦勞の跡と思われ、大変参考になった。

## (2) エンジンとナセル

写真4に前方ならびに後方からのエンジンのショット、写真5にファンの隙間から後方GVストラットが見える様子を写す。エアショーや技術雑誌で見慣れていたつもりだったが、バイパス比10のファン翼車から後方の光が透けて見えるのには、改めて3次元空力設計の成果を目の当たりにした感があった。CFDとリグ試験、そして、軽量ファンブレードの製造技術。



写真5 TRENT1000のファン

層流ナセルと低騒音シェブロンを装備したナセル及びファンノズルは明らかに新技術である。シェブロンノズルでエンジン騒音を2dB下げ、同時に損失する推力を、層流ナセルの低抵抗で補うという勘定であろう。また、ナセル内側に装着された吸音パネルが結構複雑な配置であることにも興味が惹かれた。

## (3) 機体内部

機内では、シアトルにも出張して開発に参加したという、技術や整備の方に、詳細な説明を受けながらコックピット、キャビン、ラバトリー、そしてフライトクルーレストなどを案内頂いた。以下はその見聞である。

### (a) コックピット

- HUDは後述するシミュレータによる操縦経験でその効果のほどを存分に経験することになった。ファンフォールド方式の画面で防衛技術からの移転が元だが、安全確認を超えて操縦支援に発展している。
- サイドウィンドウが曲面構成となりウィンドウ設計の自由度は増している。
- 窓が大きく、視界も大変広いため、開放感もあり安全設計である。飛行中にパイロットが日光に当たり続けることが気になるが、対策はあると言う。
- コックピットはローンチカスタマーとして、Boeing／全日空のワーキングトゥギャザーの最も効果のあった部位の一つと考えられる。



写真6 新ボックスシート  
のビジネスクラスキャビン

### (b) キャビン

- キャビン全体は落ち着いた濃淡のブルー系で統一され、色が変わるLED証明、比較的高い天井など従来にも増して快適である。
- ピッチフルフラットになるビジネスクラスの座席はプライバシーにも優れ、別の座席とのコンピュータ対話も出来、“乗ってみたい”と思わせる魅力のあるシート。(写真6)
- エレクトロクロミズムを使った電子カーテン方式のウィンド・シェードは興味深い。



写真7 エレクトロクロミズムによる  
ウィンド・シェード

大型の窓とともに新機軸の一つである。実際の効果を見てみたい。(写真 7)

- ◆ 与圧能力は 43,000ft まで客室高度を 6,000ft に保てるという事は 9.5psf の予圧が可能ということ。高度 30,000ft 程度の国内線運航では機内圧 2,000ft の差圧に相当することになるが、運用で 6,000ft に統一しているという。快適性や余裕の点で十分と理解した。ビジネスジェットでは 10psi を超える機体もあるが旅客機としては最大級の能力。
- ◆ 機内の相対湿度も従来の 3%程度から 17%程度にまで上げている。複合材のなせる技であり、快適性に効果大。

(c) ラバトリー(写真 8)

- ◆ 窓とウォッシュレットの付いたラバトリーは、内部も広く、大変快適で、日本人好みである。
- ◆ 窓付きのトイレは外を見るというよりも開放感・清潔感の効果が大きい。



写真 8 窓とウォッシュレットのあるラバトリー

(4) フライトシミュレータ(写真 9)

機体見学後に訓練センターへ移動して、Thales 社製シミュレータを訪問し、B787 の機長で教官の方から丁寧な説明の上、操縦の簡便さと安全性向上のためのディスプレイ装置の仕組みを実体験した。

- ◆ Fixed Bed のシミュレータを見学し、操縦体験により安全配慮の技術を実感した。なお、Moving Bed のシミュレータの消費電力は可成りなものということだった。
- ◆ 5 面からなるコックピットディスプレイの斬新さは印象的。
- ◆ 特に HUD の表示機能は先進的である。HUD に表示されるターゲット（小さな○印）に機体のシンボルを合わせるだけで、設定した飛行や、アプローチ、離着陸が可能となる。HUD には最低限必要な、速度、高度、姿勢、目標情報などが示され、迷うことなく操縦が出来る。
- ◆ 計器盤を見ないで操作が可能で、まるで操作素人でも操縦が可能と思わせるほどに、充実したシステムである。しかし、緊急時の操作について見聞する時間はなかった。
- ◆ シミュレータでは HUD の焦点と前方の模擬視界焦点との一致は困難と言うことで、着陸時の横風による横滑り対応など、普通と異なる操作時の訓練には、工夫をしていることが予測された。
- ◆ 窓が他機より大きいため、旋回アプローチ操作時の安全確認や空港周辺における他機認識など、操作性、安全視認性が大きく向上している。



写真 9 フライトシミュレータ

4. まとめ

見学の後に簡単な議論を行った。重要事項のみ記すと以下の通りである。

- ✓ 我が国の航空機運航技術、あるいは丁寧さは世界有数であり、Boeing 社の設計開発でも我が国との議論・共同作業は高く評価されている。
- ✓ 現時点、機材の納入は計画通りとは行かず(3月時点で 6 機受け入れ)、運航計画も日々調整しな

がらであるが、これまでの実績では、エンジンを含み予定通りの信頼性を示し、経済性、快適性、運航性も十分期待通りである。

- ✓ 操縦システムなどの B777 との互換性は有意義。パイロット養成、整備手法の継続性など。
- ✓ 現在ではパイロット訓練の主体はシミュレータに移っており、金と時間のかかる実飛行訓練あるいは必要飛行時間は短縮。
- ✓ 国内線運用では搭載燃料が少ないため機体重量が軽く、離陸時には 75%パワーである。長距離機の国内運航によるメリットが整備やエンジン寿命の点にある。

全日空のご厚意で、貴重な時間を割いて技術調査を目的とする見学の便宜をお図り頂いた。多くの発見と確認により、知見が拡大し、我が国の航空機産業の将来構想への認識を深めることにつながったものと思われる。航空基盤懇談会は、我が国の航空の将来に向けて何らかの提案が出来ないかと、産業と学、研究所の経験者で作る任意の集団であるが、今回の B787 の見学と関係者との議論は、大変有意義だった。関係者に深甚の謝意を表したい。

(以上)

#### 見学会参加者

坂田 公夫	航空基盤懇談会代表 航空総合技術政策フォーラム 代表 SKY エアロスペース研究所所長、JAXA 客員
水野 洋	JAXA 客員 元 JADC 常務理事
平岡 康一	JAXA 客員 元 KHI 理事
石澤 和彦	JAXA 客員 元 IHI 事業部長、元 HYPR 常務理事
堀之内 茂	JAXA 客員 元 JAXA 超音速、元 FHI 研究部
本阿弥真治	東京理科大学教授 JAXA 客員
薄 一平	JAXA 招聘研究員 元 JAXA 基盤統括
三宅 司朗	JAXA 客員 元防衛省研究所
是永 美樹	SKY エアロスペース研究所