

### フライ・バイ・ワイヤの技術動向

#### 1. 概要

従来型の操縦システムをもつ航空機の操縦系統は、パイロットが操作する操縦桿やペダルの動きをケーブルやロッドなどの機械的リンケージを介して、直接操縦翼面や或いは舵面駆動用のアクチュエータに伝えることにより、航空機のコントロールを行う方式であった。この機械的リンケージの代わりにパイロットの操作をセンサで検出し、電気的な信号に変え、ワイヤ（電線）で結んだ電気制御式サーボ・アクチュエータに入力して電氣的に操舵する方式が採用されてきた。この技術がフライ・バイ・ワイヤ（FBW：Fly By Wire）である。FBW 開発当初においては、アナログ式の FBW であったが、コンピュータをはじめとするデジタル式電子装置技術発達により、近年は、デジタル式の FBW が主流となっている。また、操縦系統の操舵信号を電気信号ではなく光ケーブルを介した光信号によって伝えるシステムは、フライ・バイ・ライト（FBL）と呼ばれる。現在開発中の次期対潜哨戒機（XP-1）では、この FBL 技術が採用されている。

本調査報告では、日本における FBW 技術を適用した航空機の研究／開発の動向について報告する。

#### 2. FBW 航空機の研究／開発

##### 2. 1 FBW 技術の概要

図 2.1-1 に、従来型操縦システムと FBW 操縦システムの比較を示す。航空機を FBW 化することにより、パイロットの操舵信号とアクチュエータの制御の間に計算機を介在させ、信号を処理することにより、従来の操縦システムでは実現困難な制御系を構築することが可能となり、様々なメリットが期待できる。まず、計算機に組み込んだプログラム（制御則）により、操縦の容易化（プロテクションや、より高度な安定性/操縦性の増大等）が図ることができる。また、システムを多重化することにより、信頼性や生存性の向上が図ることができる。

さらに、信号伝達のための複雑な機械式機構が不要になり、設計自由度の向上、整備性の向上及び重量を軽減することができる。

また、操舵信号を光ケーブルによって伝える FBL 方式では、FBW のメリットに加えて、電気信号で問題となる電磁波による電気信号波形の乱れ（電磁干渉）が無い点や、電磁シールドが不要になることによる配線の軽量化等が利点とされている。

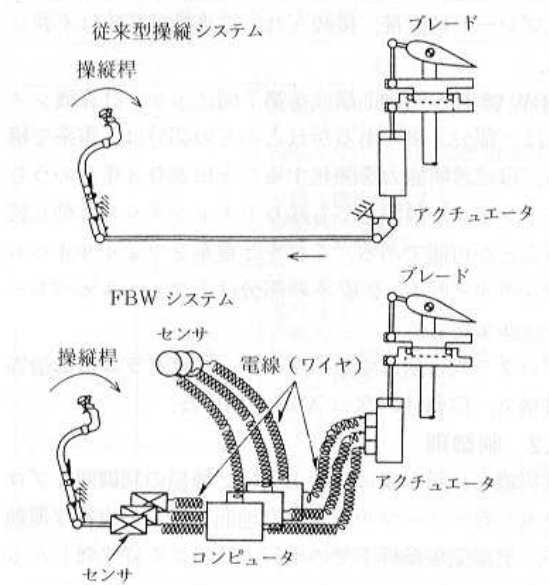


図 2.1-1 従来操縦方式と FBW 方式

## 2. 2 日本における FBW 航空機の研究／開発の流れ

日本の FBW 航空機の開発の線表を図 2.2-1 に示す。次項に各開発における開発動向を示す。

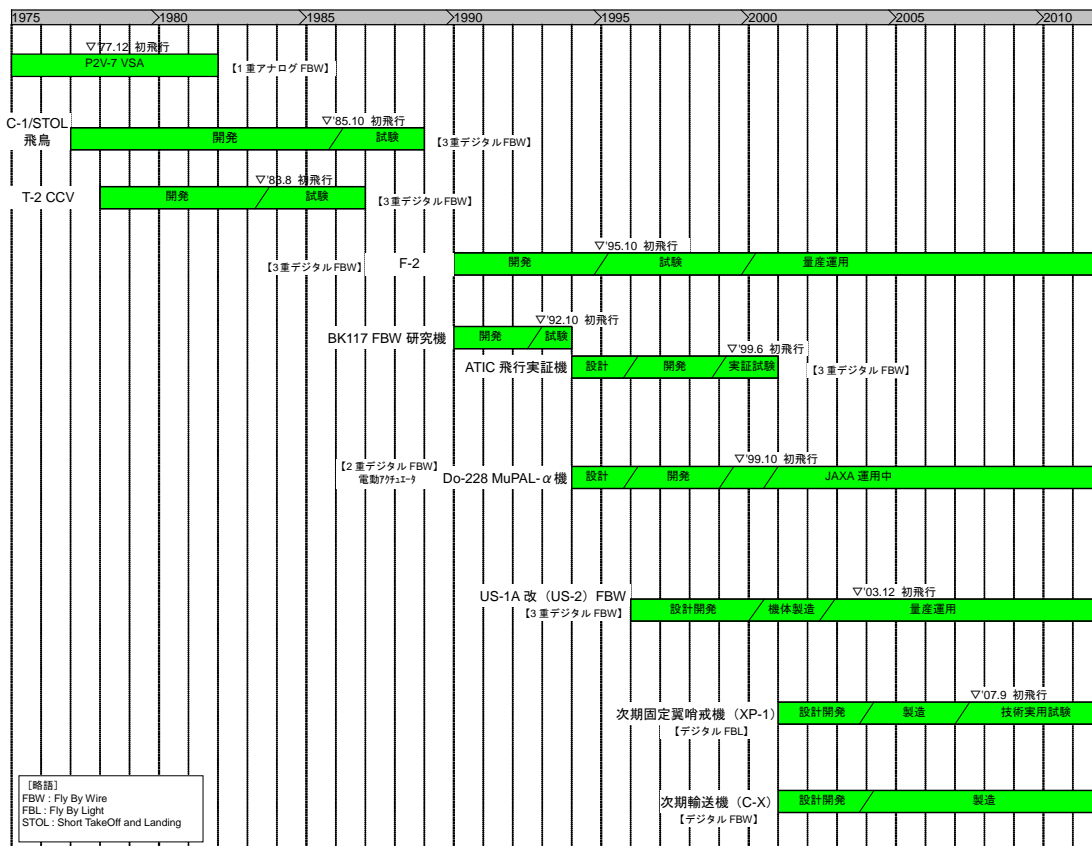


図 2.2-1 日本における FBW 航空機の研究／開発の流れ

### (1) P2V-7 改 VSA 実験機

1977 年 12 月に初飛行を成功させた P2V-7 改の VSA (Variable Stability Test Aircraft) が日本における FBW 航空機の先駆けである。P2V-7 改 VSA は、可変特性実験機として、飛行特性の研究、インフライト・シミュレータ等に用いられた。P2V-7 改 VSA は、1 重のアナログ式 FBW を装備し、直接揚力制御及び直接横力制御を行っている。日本におけるアナログ式 FBW は、この P2V-7 改 VSA のみであり、その後はデジタル式 FBW と移行していく。

### (2) 短距離離着陸 STOL (Short Take-Off and Landing) 実験機飛鳥

1977 年からは、旧航空宇宙技術研究所 (現航空宇宙研究開発機構) による、短距離離着陸 STOL (Short Take-Off and Landing) 実験機「飛鳥」の開発が行われている。これは、航空自衛隊の C-1 輸送機をベースに、旧航空宇宙技術研究所が開発した低騒音ターボファンエンジン 4 発を USB (Upper Surface Blowing) 方式で搭載した短距離離着陸実験機である。STOL 形態における高度な飛行制御則を処理すること及び、操縦システムの信頼性を確保するため、3 重冗長のデジタル式 FBW システムを採用している。

また、翌 1978 年には、当時の防衛庁技術研究本部による T-2 を改造した T-2 CCV (Control Configured Vehicle) も開発がスタートしており、飛鳥同様、3 重のデジタル式

FBWシステムを採用している。

(3)BK117 FBW 研究機/ATIC 飛行実証機

1990年からは、ヘリコプタを対象としたFBW研究機の開発が川崎重工業で行われている。川崎式BK117中型双発シングル・ロータ・ヘリコプタを飛行実証機の改修ベース機として、サイド・スティック式4軸操縦装置を含む3重デジタル式FBWシステムを搭載し、ヘリコプタ用FBWシステムの研究、飛行実証を行っている。1992年10月に日本初のFBWによるヘリコプタ飛行に成功した。また、FBW研究機では、ヘリコプタ搭載用FBWシステムのアクチュエータとして、それまでの大型機でよく使用されていたEHSV (Electro-Hydraulic Servo Valve) に代わって、電気式モータにより直接油圧回路のバルブを駆動するDDV (Direct Drive Valve) 方式のアクチュエータを採用している。これにより、ヘリコプタ搭載に適した、小型、高応答アクチュエータを実現している。(図2.2-2)

また、1994年より、ATIC (Advanced Technology Institute of Commuter helicopter) と川崎重工業は、BK117 FBW研究機の成果をもとに、GPS (Global Positioning System) とFBW技術を統合した、ヘリコプタ飛行安全技術実証機を開発し、1999年6月の初飛行から2000年10月までの間、GPS/FBWによる自動着陸の飛行実証試験を行っている。ATIC飛行実証機は、BK117 FBW研究機と同様、3重冗長のデジタルFBWシステムを採用しているが、ホバリングまでの全飛行領域をカバーし、自動着陸を行うために、飛行計算機は、内部のCPU (Central Processing Unit) を2重にし故障検出能力を向上させたものを採用しており、更に、アクティブ・サイド・スティック式操縦装置(ASSC、図2.2-3)や飛行管理システム(2重冗長)を融合したシステムとなっている。



図 2.2-2 DDV アクチュエータ及びコントローラ



図 2.2-3 ACCS

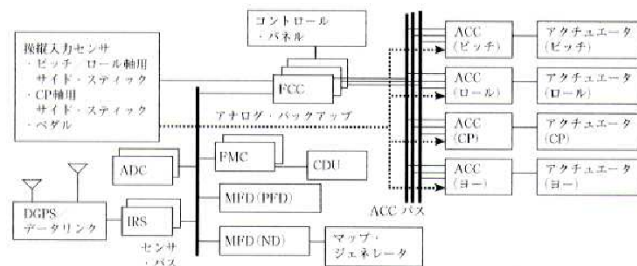


図 2.2-4 ATIC 実証機 FBW 操縦システムブロック図

(4) 航空宇宙技術研究所 多目的実証実験機 MuPAL-α

1994年より、旧航空宇宙技術研究所は、ドルニエ Do228 型機を母機として、インフライト・シミュレーション機能を持つ多目的実証実験機 MuPAL-α (Multi-Purpose Aviation Laboratory) を開発している。MuPAL-αは、可変安定応答機能を実現するため

の FBW 操縦装置及び直接揚力制御装置を装備し、突風応答や機体故障時の運動も含めた様々な航空機の運動を模擬することができる。また、パイロット・インタフェースに関する研究を行うため、実験用操縦席（セカンド・コックピット）をキャビン内に有する。

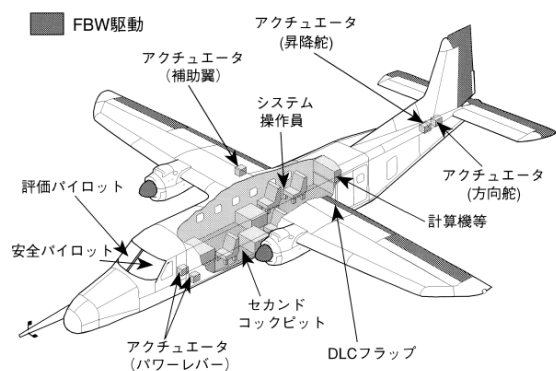


図 2.2-5 MuPAL-α 全体図

MuPAL-αは、2重冗長の FBW システムで構成され、母機操縦系統への安全な切替機構との組合せにより、耐空種別 X 類（特殊航空機）の耐空証明を取得している。また、改修母機の Do-228 型機は、舵面操縦に油圧システムを有しないため、FBW 用のアクチュエータは、ロータリ式の電動アクチュエータが採用されている。

### (5) US-2

2000 年代に入ると、日本においても、FBW 技術を適用した実用（量産）機の開発が開始された。

2000 年より、US-1A の洋上救難能力の維持・向上を図るため新明和工業を主契約社として、新型救難飛行艇（US-2）の開発が行われている。US-2 の主操縦系統は、離着水時のエンジン停止に対する安全性向上のためのフル・オーソリティの自動操縦が必要なため、メカニカル・バックアップ付の 3 重デジタル式 FBW システムが採用されている。US-2 は、2003 年 12 月に初飛行し、量産大型機としては国内初の FBW 航空機となった。

### (6) 次期固定翼哨戒機（XP-1）及び次期輸送機（C-X）

2001 年より、対潜哨戒機 P-3C 及び輸送機 C-1 の後継として、次期固定翼哨戒機（XP-1）及び次期輸送機（C-X）の開発が行われている。XP-1 は、操縦系統の操舵信号を電線ではなく光ケーブルによって伝えるフライ・バイ・ライト（FBL）方式を採用している。FBL の採用は実用機としては世界初の試みであり、電磁干渉防止、配線の軽量化、消費電力の低減等が利点とされている。

## 3. まとめ

日本の FBW 技術を適用した航空機の研究／開発の動向について述べた。日本においては、1975 年の P2V-7 VSA を初めに、FBW 技術を適用した航空機の研究／開発が行われてきており、また、2000 年以降は、純国産による実用（量産）FBW/FBL 機の開発が行われている。一方、世界の動向としては、軍用機においては F-16 以降、民間旅客機においては、エアバス社の A-320 以降の航空機では、デジタル式 FBW が実用化されている。更に今後は、航空機システムとしてのエネルギー効率を高めるため、油圧システムを廃止して、全て電動化する技術（PBW : Power By Wire）も提唱されている。PBW を実現するためには、EMA（Electro-Mechanical Actuator）や EHA（Electro-Hydraulic Actuator）といった電動アクチュエータ技術が重要となる。

参考文献

- 1) STOL 推進本部；低騒音 STOL 実験機の基本設計, 航空宇宙技術研究所資料 TM-452, 1981 年 12 月
- 2) 渡利；FBW ヘリコプタ システム制御情報 Vol.38、No.6、1994
- 3) 増位；多目的実証実験機 MuPAL- $\alpha$  の開発 航空宇宙技術研究所資料 TM-747、2000 年 1 月
- 4) 倉谷、久芳；ヘリコプタ飛行安全技術実証機のシステム概要及び飛行試験結果 川崎重工技報 第 146 号 2001 年 4 月
- 5) 深井；新型水陸両用救難飛行艇 (US-2) の開発 新明和技報 No.30、2008
- 6) 日本航空宇宙工業会；日本の航空宇宙工業 ISSN0910-1523 平成 19 年 3 月
- 7) 日本航空宇宙工業会；民間航空機市場における国産装備品の状況と工業会の活動状況 工業会活動報告 第 666 号、平成 21 年 6 月