IAP 開発における今後の課題*

岡 本 正 己**

1. ま え が き

近年国内における F-X 選定問題に関して話題となった General Dynamics 社の F-16 機に採用されているということで FBW (Fly-by-Wire) システムに関する議論がますます活況を呈している。この FBW 機については欧米において実験機・試作機が多数製作され実用化の段階に入ろうとしている状況である。またこれらの機体およびシステムに関する文献も相当数出始めているようである。

そこで本文においては、FBW システムの発展型ともいえる PBW (Power-by-Wire) システムに使用される IAP (Integrated Actuator Package) について、そのあるべき姿を追求し、現時点における問題点を提起すると同時に、その解決の方向を模索する。

2. IAP とは何か

ここで IAP について検討を行なう上で参考にするために、Lockheed C-141 のプロトタイプ機に使用された IAP の構造概念図を第1図に、またシステム・ブロック図を第2図に示す。これと対比する意味において、F-8C の FBW に使用されたアクチュエータの構造概念図を第3図に示す。

本図から明確なように、IAP とは一言でいえば、動力部 (電動機・油圧ポンプ・リザーバー)、制御部 (電圧油圧サーボバルブ)、操作部 (シリンダー) を物理的に一体化したものといたえる。

従来のシステム、Fly-by-Wire システム、Power-by-Wire システムの動力および信号入力を比較し、各々第4図、第5図、第6図に示す。

このように、三者間には根本的相違があることが明確となる。

すなわち、従来のシステムにおいては、入力信号は、機械的リンクまたはケーブルを通じインプットされており、動力は油圧配管により油圧の動力として伝

第2図 IAP のブロック図 (サーボポンプ使用の場合)

第1図 IAP の構造概念図

*昭和51年4月5日 日本航空宇宙学会第7回年会にて講演, 昭和51年10月8日原稿受理 "Foreseeable Problems

in IAP Development"
**帝人製機株式会社岐阜工場 Masami OKAMOTO

第3図 FBW 用アクチュエータの構造概念図

第4図 従来のシステム

第5図 FBW システム

達されていたものが、Fly-by-Wire においては、入力信号が電気信号として、エレクトリカル・ワイヤを通じ、インプットされるようになり、さらには、Power-by-Wire において、動力もエレクトリカル・ワイヤを通じ電気的動力として伝達されるようになっている。しかも、この IAP においては、第1図、第2図から明確なとおり、従来のシステムまた FBW システムの場合、いずれも最終段の流量制御 (actuator の速度制御) をサーボバルブにより行なっていたものを油圧動力源であるポンプをサーボ化しいわゆるサーボポンプとすることにより流量制御を行なっている。

このため、従来大流量制御が必要な場合、二段または三段増幅の大きなサーボバルブを使用していたものが、もともと必要な動力を供給するためのポンプをサーボ化することにより制御用動力を減少し、無駄を省いていることになる。

3. IAP の作動要領

本項においては、第1図の IAP の構造概念図をもとにし IAP の作動要領を説明する。

まず機体姿勢の指令信号となる操縦桿またはペダルからの信号が各 IAP 用のアンプに電気的入力として入りここでその信号を増幅しサーボバルブにインプットされる。サーボバルブではこれを油圧信号 (流量) に変換しポンプの斜板制御用ピストンを駆動する。この斜板の傾テン角がフィードバック用スプリングを通じサーボバルブに機械的にフィードバックされ、ポンプの斜板角度が決定される。これによりポンプの吐出流量が決定されたことになり、この流量がメインシリンダーに供給されピストン・ロッドを駆動する。このピストンロッドの位置が差動トランスにより検知され電気信号としてアンプにフィードバックされサーボバルブおよびポンプの斜板は中立に戻る。これにより操

第6図 PBW システム

縦桿またはペダルからの信号に比例した位置までピストン・ロッドすなわち舵面が動き所定の機体姿勢をとることになる。

4. IAP 化のメリット

前述の 2・3 項に記述した内容から従来のシステムとの対比において、IAP の概念は理解していただけたことと思う。

それでは何故このような IAP 化を計る必要があるのかという点に関しては、各機体の種類（戦闘機・輸送機等）また構造、空力システム、機器設計等、各々の立場によって視点が異なると思うが、ここでは IAP という機器設計の立場から見た IAP 化のメリットをまとめた結果を第 1 表に示す。

5. IAP としての今後の課題

前項に記述したように IAP 化を計った場合、システムとして多数のメリットがある反面、現在の技術水準からみて、まだまだ検討すべき事項、また解決すべき問題が山積みしている現状である。

第1表 IAP 化のメリット

NO.	IAP 化のメリット	説明事項
1	システムの信頼性の向上	①機械的リンゲージ機構の削除
2	システムの重量軽減	②油圧配管の削除
3	システムのスペースの縮小	③高速回転化およびシステム設計上からの機器の小型化
4	Survivability (残存性) の向上	
5	機体変形の影響	
6	操縦性の向上	①機械的リンゲージ機構の削除に伴い機械的原因による入力信号への非線形特性の重量分がなくなる。 ②油圧配管の削除に伴う動力伝達の高速化
7	整備性の向上	①使用機器の集中化

そこで本項においては、IAP 化を計る上での問題点と予測されるその解決の方向および、そのために必要な、Advanced Technology を第 2 表に記載する。

第2表 IAP としての今後の課題

No.	問題点	問題点の説明	解決の方向	必要な Advanced Technology
1	冗長性の不合理性	Conventional System 及び FBW System に比較し動力源を内蔵しているだけに合理的な冗長性を持たせ難い。	① IAP 単体に冗長性を持たせる。 ② 各舵に対し複数個の IAP を使用する。 ③ IAP 単体の信頼性を向上させる。	信頼性の高い超小型電動機の開発 信頼性の高い高速回転小型可変ポンプの開発
2	可変ポンプの耐久性	低負荷定常状態においては、可変ポンプの斜板（ウォブラー）が零傾テン角近くで運転されかつ摺動部分が無潤滑状態に近いため焼付きを生ずる可能性が大きい。	① 摺動部分の材料または表面処理の研究 ② 内部モレまたは他の手段により定常状態においても斜板にある程度傾テン角を持たせる。 ③ 流量制御を可変ポンプではなく EH-SV にて行ない圧力制御付ポンプを内蔵させ IAP 化する。(第7図参照)	無潤滑に近い状態での高速摺動において耐焼付性を有する材料または、表面処理の研究開発 耐高温性 oil の研究開発
3	応答性	IAP の応答性が conventional system のサーボシリンダーに要求される値を十分カバーできるか否か。	① 高速回転化等により可変ポンプの高応答性化を目指す。 ② 高応答性のシャトルバルブを開発する。 ③ 上記3に同じ	
4	冷却方式	既存スペースに入れるために冷却機構は非常に小型のものを開発しなければならない。	① 耐高温性 oil を使用し系統温度の高温安定を計る。 ② 発熱部分の熱放散特性を考慮した設計を行なう。	
5	高速回転化	電動機ポンプの高速回転化に伴い hard ware 上および使用 oil 等多くの問題がありうる。	① 摺動部分の材料または表面処理の研究。 ② 潤滑用 scavenge system の採用。	
6	サイズ	限られたスペース内に装着される IAP を設計することは相当の困難が伴う。	① 高速回転化等により機器の小型化を計る。 ② 耐高温性 oil の使用。	
7	精度	流量制御がバルブ制御ではなくポンプ制御であるため圧力ゲインが低くなり精度が悪くなる。	① 制御ループを構成する各コンポーネントの最適ゲインの組合わせを検討する。

第7図 IAP のブロック図(圧力制御型ポンプを使用の場合)

6. 結 び

前項において記述した問題点は航空機における IAP 化の上で解決しなければならない諸問題のごく一部にすぎないものであるかもしれないが、一方どのひとつをとってみても完全にこれを解決し、ハードウェアとしてまとめあげるためには、相当の労力と技術レベルがなければ不可能なものばかりである。

逆にいえば、それだからこそ将来の航空機のすう勢を見通し今日唯今からでも研究開発のスタートを切る必要があることをここで強調し結びとしたい。