

# 米国における航空機関連規格・標準の検討活動について

## ～SAE(Society of Automotive Engineers)委員会参加報告～

### 1. はじめに

米国の航空機産業界においては、SAE、RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics)、ARINC(Aeronautical Radio, Incorporated)などの団体や会社が規格・標準の検討活動を行っている。これらの団体や会社の主な活動範囲は、SAEはハードウェア、RTCAはシステム(運用含む)及びソフトウェア、ARINCは通信関係であり、これらの検討結果はFAA(米国連邦航空局: Federal Aviation Administration)、DOD(米国国防総省: Department of Defense)などの米国政府機関が制定する規格等のベースとなっている。今般、平成26年10月20日から23日の間にサンタバーバラ(米国)にあるHyatt Santa Barbara Hotelで開催されたSAE主催のA-6(Actuation, Control and Fluid Power Systems)に参加する機会を得たので、A-6の概要・トピックスについて報告する。

### 2. SAEおよびA-6の概要

SAEは、米国で1905年に自動車(オートモービル)の技術者団体として発足し、その後「陸海空の自力推進の乗り物(オートモーティブ: 航空機、自動車、船、鉄道など)」の標準化を推進する団体として活動している。SAEは、社会の利益のために中立的な立場で個々人の技術知識を伸ばすための団体として発足したため参加者はボランティアであり、航空機、自動車などの関連技術者(企業、教育関係者、学生など)が12万人以上参加する世界規模の団体となっている。

SAEの航空機部門は、9つのグループ委員会(Systems Group committee)で構成され、その下部組織として約80の委員会がある。各委員会の検討結果は、日本の航空機産業でも使用されている、AMS(Aerospace Material Specification)、AS(Aerospace Standard)、ARP(Aerospace Recommended Practice)などのSAE規格として



会場外観

発刊されている。

今回参加したA-6は、航空機搭載の機械式および油圧式装置の共通的な仕様の検討を行うグループ「AERSPACE MECHANICAL & FLUID」に所属している。尚、「AERSPACE MECHANICAL & FLUID」には他に「AE-5 Aerospace Fuel, Inerting and Lubrication Systems」と「G-3 Aerospace Couplings, Fittings, Hose, Tubing Assemblies」の2つの委員会がある。

A-6は以下の3つの小委員会を持ち、さらにその傘下に複数のワーキンググループ（WG）が活動を行っている。各WGには、必要に応じて民間機及び軍用機の両部門から、機体メーカー、装備品（油圧）製造会社、部品サプライヤー、関連装置製造会社、コンサルタント会社、学識経験者、政府機関などが参加し、軍民の横断的な検討を行っている。

#### (1) A-6A : System/Subsystem Integration Subcommittee

A-6Aは、民間航空機および軍用航空機における油圧制御システムにかかわる標準、手順などに関する検討を行う小委員会である。この小委員会は航空機（全体）レベルのシステム、サブシステムおよびコンポーネントのインテグレーションに関する検討活動を行い、必要な文書を取りまとめる。A-6Aは、次の3つのワーキンググループで構成されている。

- ・ A-6A1 : Commercial Aircraft
- ・ A-6A2 : Military Aircraft
- ・ A-6A3 : Flight Control and Vehicle Management Systems

#### (2) A-6B : Actuation and Control Subcommittee

A-6Bは、航空機における油圧系の利用側（アクチュエータなど）にかかわる標準、手順などに関する検討を行う小委員会である。この

小委員会は航空機の姿勢制御を行う油圧式アクチュエータ、電気油圧式アクチュエータおよび電気機械式アクチュエータに関する検討活動を行い、必要な文書を取りまとめる。A-6Bは、次の3つのワーキンググループで構成されている。

- ・ A-6B1 : Hydraulic Servo Actuation
- ・ A-6B2 : Electrohydrostatic Actuation (EHA)
- ・ A-6B3 : Electromechanical Actuation

#### (3) A-6C : Power Generation and Distribution Subcommittee

A-6Cは、油圧動力の生成、調整および分配にかかわる標準、手順などに関する検討を行う小委員会である。この小委員会は航空機の油圧ポンプ、モータ、ゴミのろ過、シール（漏れ防止）、作動油、油送管材料、油貯蔵装置（リザーバ）およびバルブなどを含む油圧系に必要なコンポーネントに関する検討活動を行い、必要な文書を取りまとめる。A-6Cは、次の6つのワーキンググループで構成されている。

- ・ A-6C1 : Contamination/Filtration
- ・ A-6C2 : Seals
- ・ A-6C3 : Fluids
- ・ A-6C4 : Tubing Systems
- ・ A-6C5 : Components
- ・ A-6C6 : Power Source

また、今回の会議では、個別WGによる技術的な検討作業だけでなく、全体会合、セミナー、シンポジウムなども開催されていた。以降にそれらの概要を報告する。

### 3. 全体会合でのトピックス

今回の会議では、後述のように、各小委員会の傘下に多数のワーキンググループが構成されており、100名以上の参加者があったも



全体会合風景

のと思われる。各ワーキンググループは連日並行して開催され、4日間をかけて精力的に多くの議題について討議していた。

また、各WGで討議された各検討結果は全体会合において全員に報告され、全体討議も行われた。

今回の全体会合の報告では従来からの油圧式アクチュエータに関連した新しい規格類も多くあったが、最近の航空機電気化の影響により、電気油圧式アクチュエータおよび電気機械式アクチュエータの技術検討が多くなっているようである。A-6B2及びA-6B3がこれらの検討を行うWGであり、すでに多くの規格類を発行しているが、彼らの報告の中には、まだSAEの規格番号もなく、これから検討に取りかかろうとする項目がいくつも見受けられた。

例としては、電気油圧式アクチュエータに関連しては、「Duty Cycle Considerations for EHAs」、「EHA Thermal Management」、「Sizing Considerations for EHA Pumps and Motors」、「Power Control Electronics for EHA and EMA」などが挙げられていた。電気油圧式アクチュエータについては、軍用機を中心に色々な航空機で実用化が進んでいると聞いていたが、まだまだ技術的にも検討が必要な項目は多く

残っているようである。

電気機械式アクチュエータに関連しては、「Aircraft Power Driver Unit (PDU) General Specification」、「Material Selection and Design Practices for Gear and Jackscrew Actuation Systems」、「System Safety Assessment Methodology As It Applies To Mechanical Systems」、「Electromechanical Actuator General Description」などがあげられていた。電気機械式アクチュエータについては、以前からモータあるいはギアなどの可動部がロックしてしまうことにより発生する「舵面の固着」が大きな課題となっているが、それらも含めて多くの課題が残っているようである。

また、A-6B3からは、今後の活動として、「Discussion of EMA Prognostics and Health Monitoring」、「Liaison with the SAE IVHM Steering Group for direct work on the EMA PHM」などが提案されていた。さらに、前述の項目を議論するには現状のWGだけでは十分ではないので、幅広く多くの意見を聞くために「Open forum for new discussion items」が必要との意見も出されていた。

#### 4. セミナー

A-6ではWGの技術検討の開催と並行して、

ボランティア・メンバーによるセミナーを開催している。このセミナーは4時間程度の短いコースであり、航空機油圧システムのコンポーネントの概略、動向などを理解することを目的としている。セミナーは、初級者向け、経験者向けなどのコースに分かれて開設された。

#### (1) Aerospace Hydraulic Components

このセミナーは、航空機の油圧装置を構成するコンポーネントの設計および使用法に興味を持ち、機械的な知識をあまり有していない技術者（初心者）を対象としており、予備知識や経験を必要とせず、油圧システムの原理、航空機の油圧装置および航空機の制御システム概要を紹介し、油圧装置内に使用される各コンポーネントの機能を学習することによって各コンポーネントの設計概念などを学ぶことを目的としている。

このセミナーでは、油圧装置が航空機の中でどのように使用されているか、油圧装置の中で使用される様々なコンポーネントには何があるか、各コンポーネントにはどのような機能を持っているか、各コンポーネントの設計思想は何か、また各コンポーネントの長所

および短所について説明する。

このセミナーの講義内容の概略は次の5つであった。

- ・ General
- ・ The Aerospace Hydraulic System
- ・ Hydraulic Power Sources
- ・ Components
- ・ Trends

このセミナーでは、最初に油圧システムの物理的な動作原理（パスカルの法則、ベルヌーイの定理など）から説明があり、油圧を使うことによって小さな動力源から大きな力が生み出される原理の紹介があった。続いて、航空機で油圧システムが使われている部分の説明があり、機体の姿勢を制御するエルロン、ラダー、エレベータ、スポイラー、揚力を増すためのフラップ、スラット及び降着装置の揚降、ブレーキなどに使われていることが紹介された。

各コンポーネントの説明では、実際にコンポーネント（実物）を見せてくれた。実際にコンポーネントの現物を見る機会がないので貴重であった。油圧システムはいくつかのコンポーネントで構成されているが、作動油中のゴミをろ過するフィルターと作動油の流れ



セミナー風景

を制御するバルブが重要との説明があった。

フィルターは、対象とするゴミの大きさによって目のサイズが異なり、様々なタイプのフィルターのあることが紹介された。大きいゴミ用の単純な機械加工などで穴を開けるあるいは網を使うタイプは比較的簡単にできて安いですが、小さいゴミ用に金属の焼結などによって気泡レベルの穴を作るのは技術的にも難しくコストもかかる。作動油中のゴミは油圧システムの配管及びコンポーネント内部に取り込まれると、配管が詰まったり可動部分(弁など)が固着してしまうので油圧システムにとっては大敵である。

バルブにはその動作によっていろいろなバルブがある。作動油などが一定量流れるように制御するバルブ、反対方向から圧力がかかると弁が閉まる逆流防止用バルブ、圧力が異常になった時に遮断するバルブ、油圧系統の経路を変更するための切り替えバルブなどについて説明があった。近年では、流れる作動油の状態(圧力など)から自動で判断するのではなく、バルブ内部に電磁石を使った開閉弁を持ち、外部からの電気信号により弁の開閉などを行うバルブもある。

また、最近では油圧ヒューズというものも採用されている。油圧ヒューズは、1989年に米国で起きた航空機事故を教訓に開発された。その事故では航空機の後尾部分の損傷により油圧配管から油が漏れ、結果として作動油が抜けてしまい、フライトコントロールが制御不能になってしまった。従来のバルブでは管の断裂などによる大きな圧力変化がないと遮断できなかったが、油圧ヒューズは、作動油の流量が設定流量を超えた時に遮断し、油圧システム全体の障害を防ぐことができる。

最後に、これらのコンポーネントがどのように組み合わせられて油圧システムを構成して

いるか、降着装置の揚降部分を例にして説明があった。

また、今回は時間の都合で参加できなかったが、以下の2つのセミナーも実施されていた。尚、毎回同じセミナーを行っているのではなく、毎回異なったテーマで行っているとのことであった。

## (2) Power Electronics for Mechanical Engineers

このセミナーは、ほとんどエレクトロニクス知識あるいは経験を持たない機械系エンジニア、管理者および幹部を対象としており、ある程度油圧系システムのことを理解している技術者向けとなっている。パワー・エレクトロニクスの概要を説明し、受講者の設計、生産、メンテナンス及び修理など幅広い業務で役立たせることを目的としている。

このセミナーはパワー・エレクトロニクスの背景、設計手法、基本理論、電気回路論、パワー・エレクトロニクス用コンポーネントの個別説明、温度管理、安全性、信頼性及び将来動向について説明する。

## (3) Aircraft Hydraulic Pumps – Application, Design and Integration

このセミナーは、油圧の動力源となる油圧ポンプの設計あるいは油圧系全体のシステム・インテグレーションについてある程度の経験を持った、エンジニア、幹部あるいは技能者を対象としており、油圧ポンプが関連するシステム全体を理解すること、油圧ポンプ設計の複雑さおよび制限を理解することを目的としている。

このセミナーでは、油圧システムの中で使用される様々な油圧ポンプおよびポンプ制御技術を整理し、油圧ポンプに必要な技術、設計特性および制限などについて説明し、油圧システムにおける油圧ポンプの重要性を理解

する。また、油圧ポンプの冷却方式、予備回路設計、油圧ポンプと他の航空機システム間のインターフェースについて説明する。

## 5. シンポジウム

会議に合わせて、委員会メンバーによる「航空機油圧システムにおけるシミュレーションおよびエミュレーションに関するシンポジウム」が開催された。このシンポジウムでは、シミュレーションは数学モデルを使用して実システムを模倣することを指し、エミュレーションは実システムのオペレーションと等しいことを試験用のハードウェア（アイアン・ボードなど）で試験することと定義していた。今回のシンポジウムでは航空機全体、システム、コンポーネントおよび構成要素の材料などの広い範囲におけるシミュレーション及びエミュレーションを活用する場合の課題等を整理することを目的としていた。また、実運用に入った後のサービスも含めた航空機のプログラム・ライフ・サイクル全体に生じる活動まで考慮し、最近の傾向、最適な手法、失敗事例および実験等で得られた経験を広く紹介している。

今回は、大学の研究者、軍関係者、企業の技術者、所管官庁などからミュレーション及びエミュレーションの活用に関連する次の8つの講演があり、活発な討議が行われた。

- ・ Virtual Hardware for Electrohydraulic Servo Actuators: From Development to Verification and Validation of High-Fidelity and Real-Time Simulation Models
- ・ Critical Issues and Lessons Learned in the Simulation of Flight Control Actuators
- ・ Simulation in the Certification Process
- ・ Zen and the Art of Cable System Modeling
- ・ Model-based Workflow for the Development of Actuation Systems
- ・ Model Validation Planning and Process on the INVENT Program
- ・ Simulation and Emulation Support of Noise Control
- ・ Integrated Simulation Tool Chain to Support Aircraft Hydraulic System Design

全体的な意見としては、油圧系の分野ではシミュレーション、エミュレーションの歴史は浅く、「油圧システムをモデル化する課題」、「認証取得時のシミュレーションなどの取扱



シンポジウム会場風景

い]、「外部・内部の外乱への対応・処置」、「シミュレーションを行うツールの課題」など多くの解決すべき課題が多く残っており、さらに慎重な検討が必要とのことであった。以降に各課題の概要等について紹介する。

油圧システムのモデル化については、システム全体及び個々のコンポーネントの動作を忠実に数値化することの研究は多くの機関で進められており、すでにある程度の領域に達している。しかし、システムのリアルタイム性を踏まえ、単に静的な状態だけではなく各部分の動的な動作も含めた実時間的 (Real Time Model) なシミュレーションの研究がまだ進んでおらず、今後の研究課題である。

現状では、航空機の耐空性認証取得のために機能・性能などを立証する方法として「実証、試験、検査、解析」などの手法があるが、シミュレーションは確立された立証手法とは認められておらず、「解析」の一部として利用することしか認められていない。今後のシミュレーションの重要性拡大を考えると立証手法としてのシミュレーションの位置づけを真剣に考える必要がある。(EASAよりの発表)

油圧システムのように流体 (作動油) を利用するシステムにおいて外乱は周囲の状況によって変わった動きをする。周囲環境によって共鳴、反響あるいは拡散することがあり、外乱の影響が増幅されることがある。その例として、音源を箱の中にそのまま入れた場合、緩衝剤などと一緒に入れた場合、あるいは音源を箱の共鳴点に置いた場合に、それぞれで外部への音の伝達は変わることを実際に実験して見せていた。油圧システムにおける外乱の影響は単に外乱元の特性だけでなく、外乱が伝搬する経路の特性によって変化することを十分に考慮しなければいけない。

シミュレーションのための汎用ツールはいくつか市販されているが、油圧システムに応用できるものは少ない。ツールの代表的な例としてAMESim (Advanced Modeling Environment for performing Simulations of engineering systems) がある。AMESimは、システム内の物理現象を表現する方程式やデータを内蔵しており、機械、油圧、熱、化学、電気などのさまざまなシステムをモデル化するためのコンポーネントがライブラリ化されている。それらのコンポーネントを必要に応じて組み合わせることによって油圧システムの仮想実験モデルを作ることができる。しかし、油圧システム毎に構造的な特徴があるためすべてが共通とは言えず、特殊な前処理を行ってからAMESimにデータを入力する必要がある。この前処理も大きな課題である。

## 6. 所感

米国での規格・標準の検討活動は非常に活発に行われており、今回のA-6の会合にも多くの参加者があった。SAEだけでなく、RTCA、ARINCなどの団体や会社での技術的な検討結果が産業界の意見としてFAAに答申され、FAAの規則制定に大きく役立っていることは非常に興味深いことである。SAEの「Aerospace Council」にはISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構) のTechnical Committee 20 (Aircraft and space vehicles: 航空機および宇宙機分野) と連携するための調整部署があり、SAEとISOの規格・標準の整合を図るように活動を行っている。

また、前述のように今回の会合では技術的な検討を行う委員会活動だけではなく、新しい共通の話題である「シミュレーションおよびエミュレーション」に関するシンポジウムの開催、メンバーの技術的能力向上を目的と

したセミナーなど有意義な企画が同時に行われていた。

日本の航空機産業の発展のためには海外の規格・標準を順守する必要があるが、今回の会議を通じて、日本企業においては十分にその状況が把握されている状態ではないと感じられ、今後海外の動向について熟知することが不可欠であろうと感じられた。

尚、来年はA-6の創立75周年にあたるため、2015年秋に「A-5 Aerospace Landing Gear

Systems Committee」と合同で大規模な会議をホノルル（米国）で開催する予定とのことである。この会議では、特にアジアに焦点を当てる予定であり、日本（MRJなど）、中国（ARJ21、C919など）及び韓国から講演者を集めることを計画している。SAEの会合はSAEメンバーに限定されず誰でも参加できるので、国内企業がこの機会を積極的に活用することを望みたい。

〔(一社)日本航空宇宙工業会 技術部部长 杉田 明広〕