

出國報告（出國類別：實習）

參加 FAA 座椅動態測試法規訓練課程  
出國報告書

服務機關：民用航空局

姓名職稱：陳玉成/技士

張本雄/檢查員

派赴國家：美國奧克拉荷馬市

出國期間：101 年 6 月 10 日 - 6 月 17 日

報告日期：101 年 9 月 9 日

# 參加 FAA 座椅動態測試法規訓練課程出國報告書

## 目 錄

	<u>頁次</u>
壹、目的 -----	4
貳、行程經過摘要 -----	5
參、訓練內容摘要 -----	7
一、16g 座椅動態測試性能要求 -----	7
二、測試人偶應用與要求 -----	9
三、儀器及資料分析 -----	10
四、光度分析 -----	11
五、FAA 民航通告簡介 -----	11
六、座椅測試動態模擬及相關指引介紹 -----	13
七、側向座椅及沙發座椅試驗考量 -----	14
八、FAA 16g 座椅檢定政策簡介 -----	15
九、座椅實際撞擊試驗 -----	16
肆、心得與建議 -----	23

## 壹、目的

鑒於國內業界有意發展 16G 航空座椅設計製造產業體系，並爭取藉由台美雙邊航空安全協定之相互驗證機制將 16G 航空座椅納入相互驗證產品項目，以利拓展國際市場。因應本案所產生之適航檢定作業需求，本組派陳玉成、張本雄兩位檢查員於 101 年 6 月 12 日至 14 日，參加美國聯邦航空總署航太醫學中心(Federal Aviation Administration Civil Aerospace Medical Institute, FAA CAMI)，舉辦之 16G 航空座椅動態測試程序訓練課程，以利辦理後續該項產品適航檢定作業。可增進本局對相關法規符合性及測試資料審查之技術，且對相關座椅技術標準件驗證審查有所助益。

## 貳、行程經過摘要

### 一、本次行程安排如下：

6月	6月	6月	6月
10-11日	12-14日	15日	16-17日
台北— 美國洛杉磯— 奧克拉荷馬市	奧克拉荷馬市	美國奧克拉荷 馬市—洛杉磯	美國洛杉磯— 台北

### 二、訓練課程大綱：

Jun/12/2012  
Day 1

1. 16g 座椅動態測試性能要求  
(Basis for Seat Dynamic Performance Criteria)  
(講師：Rick DeWeese)
2. 測試人偶應用與要求  
(Introduction to Injury Criteria and Anthropomorphic  
Test Dummies) (講師：Steve Goldner)
3. 儀器及資料分析  
(Instrumentation and Data Processing)  
(講師：Mike Beckage)
4. 光度分析  
(Photometric Analysis)(講師：Rick DeWeese)
5. CAMI 撞擊實驗室參觀  
(CAMI Impact Laboratory Tour and Instruction,  
Three areas: Sled/Fixtures, Instrumentation, and  
Cameras/Photometric Analysis) (講師：CAMI Staff)

Jun/13/2012  
Day 2

6. FAA 民航通告簡介  
(The Advisory Circular 25.562-1B) (講師：Joseph  
Pelletiere)
7. 座椅實際撞擊試驗 – 16g 縱向撞擊試驗  
(Witness Impact Test #1) (講師：Rick DeWeese)
8. 座椅測試動態模擬及相關指引介紹  
(Seat Occupant Models / AC 20-146 / SAE ARP  
5765) (講師：David Moorcroft)

Jun/14/2012

Day 3

9. 側向座椅及沙發座椅試驗考量  
(Side Facing Seats and Sofas) (講師：Joseph Pelletiere)
10. 特殊座椅試驗考量(Oblique Seats)  
(講師：Rick DeWeese)
11. 座椅實際撞擊試驗 - 14g 垂直撞擊試驗  
(Witness Impact Test #2) (講師：Rick DeWeese)
12. FAA 16g 座椅檢定政策簡介  
(Policy Statements: Cushions, Seatbelts, modifications) (講師：John Sheldon)
13. 頭部傷害指數簡介(HIC Issues)  
(講師：Rick DeWeese)
14. FAA 測試人偶比較說明  
(FAA Hybrid III, Facility Comparison and Lumbar Load Variation) (講師：Joseph Pelletiere)



學員與講師群於 CAMI 測試場合影

## 參、訓練內容摘要

本章節主要綜整摘要說明相關課程重點內容。

### 一、16g 座椅動態測試性能要求(Basis for Seat Dynamic Performance Criteria) (講師:Mr. Rick DeWeese, Team Coordinator of FAA CAMI Biodynamics Research Team)

#### (一) 進行 16g 座椅動態測試的理由：

一般飛機所安裝之設備皆須考量 FAR 25.561 靜態測試要求。但對飛機座椅進行靜態測試，僅能評估座椅與飛機座椅軌道安裝點之結構強度，以及量測座椅變形量，由於此項測試會產生不正確的負載分佈(Load Destruction)，無法正確評估座椅性能，因此才制訂 16g 座椅動態測試要求，其優點如下：

1. 利用測試人偶(Anthropomorphic Dummy, ATD)，可得到較實際之負載分佈。
2. 可評估座椅與飛機座椅軌道安裝點之結構強度，同時量測座椅變形量。
3. 可評估安全帶性能及其受力情形。
4. 乘客受傷潛勢評估。

#### (二) 座椅動態測試法規緣起：

1980 年代，FAA 與 NASA 合作進行了一系列實際的飛機撞擊測試，以增進乘客座椅性能，期能在飛機發生可生還之失事事件(Survivable Accidents)時，能提供較多的乘客保護，以利其後續之逃生。加上汽車工業在碰撞試驗能量日益成熟，例如：頭部傷害指數(Head Injury Criteria, HIC)之訂定等。FAA 於 1986 提出

立法草案(Notice of Proposed Rulemaking, NPRM)，到了 1988 年 5 月 17 日第 25-64 號修正案正式立法(Final Rule)。此後運輸類飛機座椅設計標準將納入 16g 動態測試要求，隨後 1988 年 9 月 13 日，小型飛機亦納入座椅動態測試要求(第 23-36 號修正案)，一般及運輸類直昇機則同時於 1989 年 12 月 13 日，納入座椅動態測試要求(第 27-25 號及第 29-29 號修正案)。各類航空器座椅性能標準參見下表：

<b>DYNAMIC TEST REQUIREMENTS</b>	<b>PART 23</b>	<b>PART 25</b>	<b>PART 27</b>	<b>PART 29</b>
<b><u>TEST 1</u></b>				
TEST VELOCITY (FT/SEC)	31	35	30	30
SEAT PITCH ANGLE (Degree)	60	60	60	60
SEAT YAW ANGLE (Degree)	0	0	0	0
PEAK DECEL. (G's)	19/15	14	30	30
TIME TO PEAK (Seconds)	0.05/0.06	0.08	0.031	0.031
FLOOR DEFORMATION (Deg.)	NONE	NONE	10 PITCH/ 10 ROLL	10 PITCH/ 10 ROLL
<b><u>TEST 2</u></b>				
TEST VELOCITY (FT/SEC)	42	44	42	42
SEAT PITCH ANGLE (Degree)	0	0	0	0
SEAT YAW ANGLE (Degree)	10	10	10	10
PEAK DECEL. (G's)	26/21	16	18.4	18.4
TIME TO PEAK (Seconds)	0.05/0.06	0.09	0.071	0.071
FLOOR DEFORMATION (Deg.)	10 PITCH/ 10 ROLL	10 PITCH/ 10 ROLL	10 PITCH/ 10 ROLL	10 PITCH/ 10 ROLL
<b><u>QUANTITATIVE COMPLIANCE CRITERIA</u></b>				
MAX HIC	1000	1000	1000	1000
LUMBAR LOAD (LBS)	1500	1500	1500	1500
STRAP LOADS (LBS)	1750/2000	1750/2000	1750/2000	1750/2000
FEMUR LOADS (LBS)	N/A	2250	N/A	N/A

而座椅性能之工業標準 AS 8049 “Performance Standard for Seats in Civil Rotorcraft and Transport Airplanes”，則由 FAA 委託美國汽車工程師協會(SAE)於 1990 年制訂，之後 FAA 並於 1992 年制訂航空器座椅新的技術標準規定 TSO-C127。

## 二、測試人偶應用與要求(Introduction to Injury Criteria and Anthropomorphic Test Dummies) (講師：Mr. Steve Goldner, Senior Project Engineer of HUMANETICS Inc.)

### (一) 測試人偶標準：

FAR 25.562 所定義之座椅動態測試人偶，為重量 170 磅且須符合“49 CFR Part 572 Subpart B - 50th Percentile Male”之要求，此為「Hybrid II 型」人偶，而法規要求測試人偶為符合乘客重量範圍中之 50 百分位，亦即 170 磅之重量，是為了使座椅的設計能保護大多數的乘客，若採用太低的人偶重量(如：5 百分位)，則設計的座椅給較大重量的乘客乘坐時，將使座椅容易受損；反之，若採用太高的人偶重量(如：95 百分位)，則座椅的設計則顯得太強固，當給較小重量的乘客乘坐時，將因座椅吸收撞擊能量的能力降低，而導致乘客脊椎受傷。

### (二) 替代式測試人偶：

隨著工業進步，汽車業界再開發出新一代「Hybrid III 型」人偶，其標準為 49 CFR Part 572 Subpart E。與「Hybrid II 型」人偶相較，「Hybrid III 型」人偶增加了生物真實性(Biofidelity)，並提供較多可安裝測試用感測器之位置，於測試過程中，可量測較完整人偶之反應數據。因此 SAE 發表編號 1999-01-1609 之論文，說明如何將「Hybrid III 型」人偶進行改裝，亦即於人偶脊柱、脊柱與胸廓及骨盆界面進行修改，使其在座椅動態測試中的反應等同於「Hybrid II 型」人偶，此改裝後之人偶，稱為「FAA Hybrid III 型」人偶，並由 FAA 於 2000 年 3 月 3 日，以編號 AIR-100-3-3-2000 檢定政策文件(Policy Memo)同意，可使用於 FAR 25.562 等之座椅動態測試。

### (三) 測試人偶校正：

為確保測試人偶於座椅撞擊測試中，能有正確之動態反應，須定期針對人偶各部位進行校正，並量測取得相關測試數據。校正項目如下：

1. 頭部：掉落測試(Drop Test)。
2. 頸部：擺錘測試(Pendulum Test)。
3. 胸部：撞擊測試(Impact Test)。
4. 腹部：壓縮測試(Compression Test)。
5. 腰椎：彎曲測試(Flexion Test)。
6. 膝部：撞擊測試(Impact Test)、剪力測試(Shear Test)。
7. 臀部：運動範圍測試(Range of Motion/R.O.M. Test)。
8. 足部：壓縮測試(Compression Test)。

### 三、儀器及資料分析(Instrumentation and Data Processing) (講師：Mr. Mike Beckage, Vice President of Diversified Technical Systems/DTS Inc.)

座椅動態測試後，須透過資料擷取系統(Data Acquisition System, DAS)，將座椅撞擊能量及人偶各測試部位之物理量，轉換成電氣訊號，再由分析軟體計算測試結果，是否符合 FAR 25.562 各項要求。資料擷取系統主要由感測器、感測試器界面系統、訊號轉換儲存系統，以及輸出、報告與檔案系統所組成。感測器主要利用應變計(Strain Gage)，測得人偶各部位受到撞擊力量後之變形量。資料擷取系統(Data Acquisition System, DAS) 須符合工業標準 SAE J211 “Instrumentation for Impact Test – Part 1: Electronic Instrumentation”。

#### **四、光度分析(Photometric Analysis) (講師：Mr. Rick DeWeese, Team Coordinator of FAA CAMI Biodynamics Research Team)**

座椅動態測試後，須透過光度分析(Photometric Analysis)，分析人偶頭部軌跡，與附近物件(如：前面一排座椅或隔間牆板等)中仍保有間隙，而不至有碰撞情形。亦可用於內裝開發階段，用以評估客艙或駕駛艙各項內裝件位置，是否對於乘客或組員產生碰撞受傷之危險。此外，亦可用於分析人偶頭部及膝部運動軌跡，以驗證電腦模擬軟體之正確性。而光度分析的過程，須注意影像的變形校正(Distortion Correction)。光度分析須符合 SAE J211-2 “Instrumentation for Impact Test – Part 2: Photographic Instrumentation” 相關要求。

#### **五、FAA 民航通告簡介(The Advisory Circular 25.562-1B) (講師：Joseph Pelletiere, Chief Scientific and Technical Advisor for Crash Dynamics and the FAA CAMI)**

##### **(一) 座椅設計一般考量：**

飛機乘客座椅須針對 2 歲幼兒至 99 百分位重量之成人而設計，座椅之安全帶須能針對前述之乘客體形、重量範圍提供固定及保護功能。座椅結構體、座墊及安全帶須當做整個系統一同考量其安全性，因此置換任何一個部份，皆須透過測試或分析方式予以驗證。座椅須在起飛及降落時提供乘客保護，在動態測試後，座椅及其可調動之物件(如：餐盤等)，不可有尖銳物產生，並阻礙快速逃生。

##### **(二) 座椅動態測試要求：**

座椅動態測試的目的主要在評估整張座椅、乘客安全帶、測試人偶、飛機安裝界面(如：座椅安裝軌道/Seat Track)之強度，以及是否有不安全的特性產生。

座椅動態測試通過之要件為：

1. 主要受力結構件不可失效。
2. 座椅變形量不可超過要求之限度。
3. 不可有導致乘客嚴重受傷之不安全特性。

座椅測試件之選擇必須是座椅群組(Seat Group)內最弱的座椅型態，當此最弱的座椅型態通過測試，則同一座椅群組內之座椅，則可透過相似性分析予以證明，其座椅型態較測試通過之座椅為強，故可推論其可通過動態測試。但須注意的是，受測之座椅不一定是生產型座椅，亦可以是特別設計之較弱座椅，以做為後續設計改良之基礎。座椅群組之分類考量項目簡列如下：

1. 具有相同之座椅構製方法(例如：採用一體之機製件與採用搭接組合的方式則為不同之構製方法)。
2. 具有相同之零件材料及表面處理方法。
3. 具有相同的零件製程(例如：機製加工與鑄造為不同之製程)。
4. 具有相同幾何特性，如：材料與斷面性質(Section Property)。
5. 座椅及各組件固定方法。
6. 主要受力路徑(Primary Load Path)。

主要受力路徑(Primary Load Path)可分為下列幾個考量項目：

1. 結構主要受力路徑：自安全帶到座椅於飛機結構之安裝點。
2. 脊椎主要受力路徑：自座墊到座椅於飛機結構之安裝點。
3. 頭部傷害指數(HIC)：自人偶頭部碰撞點到椅背固定點。
4. 頭部軌跡：同結構主要受力路徑。

**六、座椅測試動態模擬及相關指引介紹(Seat Occupant Models / AC 20-146 / SAE ARP 5765) (講師：Mr. David Moorcroft, Research Engineer of FAA CAMI)**

**(一) 座椅電腦模擬動態測試之引用：**

除了實際執行座椅動態測試外，利用電腦模型/模擬(Computer Modeling/Simulation)亦可做為證明符合 FAR 25.562 之用途。目前 FAA 已發布民航通告 AC 20-146 “Methodology for Dynamic Seat Certification by Analysis for Use in Parts 23, 25, 27, and 29 Airplanes and Rotorcraft”，說明使用電腦模擬之符合方法。此外，SAE 亦已著手制訂工業標準 ARP 5765 “Analytical Methods for Aircraft Seat Design and Evaluation”，目前仍在草案階段。FAA 目前正在推展有關座椅電腦模擬方法，其目的如下：

1. 提供業界正確使用座椅電腦模擬方法之觀念。
2. 強化 FAA 內部對於使用座椅電腦模擬之認知。
3. 可使座椅設計符合性之驗證更為完整，有助於座椅設計安全性之提昇。
4. 據以發布相關之檢定政策。

**(一) 使用座椅電腦模擬動態測試之注意事項：**

但使用座椅電腦模擬動態測試，須注意下列事項，以求電腦分析結果與實際測試相互匹配：

1. 電腦模擬須以實際測試數據為基礎進行比對(Correlation)、確認(Verification)及驗證(Validation)，可參考 ANSI/ASME V&V 工業標準 10-2006 “Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics”，其中「確認(Verification)」指的是數學上是否計算正確(方程式解題正確)，而「驗證

(Validation)」指的是驗證電腦模型與實際測試之物理量(如：速度、位置、受力、變形量等)是否相近。當驗證有誤差出現時，則透過「調校(Calibration)」電腦參數，使電腦模擬結果與實際測試值相接近。

2. 使用之電腦軟體須可靠、精確，且須考量數值誤差(Numerical Error)。
3. 所引用之實際測試數據，必須經由正確具完整之測試過程所得出，且須考量設備安裝之符合性(Setup Conformity)，以及儀器之誤差(Instrumentation Error)。為使用做比對用途的實際座椅測試，能具有高度的重現性，在執行座椅動態測試時，須注意人偶擺放及相關影像分析用之記號標註。

## 七、側向座椅及沙發座椅試驗考量(Side Facing Seats and Sofas) (講師： **Joseph Pelletiere, Chief Scientific and Technical Advisor for Crash Dynamics and the FAA CAMI)**

隨著商務飛機內裝對側向座椅(Side-Facing Seat)及沙發座椅需求日益增加，相關驗證法規是否可完整涵蓋這些座椅型態，也被廣泛地研討。過去以豁免(Exemption)方式同意這些座椅型態之安裝，已無法提供足夠之等效安全，取而代之的是將這些座椅型態視為新穎設計(Novel Design)，並訂定驗證的特殊條件(Special Condition)，以提高其安全性驗證。現行 FAR 25.562 對於側向座椅受到撞擊時，所導致乘客的頸部、肋骨變形及膝部旋轉傷害並無著墨。因此，增加新的側向撞擊測試人偶(Side Impact Dummy, SID)，其標準為“49 CFR Part 572 Subpart F”。並導入新傷害評估指數 – 胸部傷害指數(Thoracic Trauma Index, TTI)。後續研究將針對側向座椅在客艙中不同的安裝方式，訂定相關之驗證準則。

**八、FAA 16g 座椅檢定政策簡介(Policy Statements: Cushions, Seatbelts, modifications) (講師：Mr. John Shelden, Aerospace Engineer of Transport Airplane Directorate)**

**(一) 座墊更換檢定政策：**

為避免座墊更換須再重新進行整張座椅動態測試，FAA 委由研究單位開發出一項座墊組件測試，該組件測試方法透過與實際整張座椅動態測試結果比對，具有高度之匹配性，因此 FAA 於 2005 年 8 月 9 日發布 ANM-115-05-005 檢定政策。但使用此座墊組件測試須符合下列前提條件，因此在應用上仍有其侷限性：

1. 待驗證與原座墊在底部參考點(Buttock Reference Point, BRP) 區域之厚度差，須小於 0.5 inch。
2. 整張座墊須為單一材質、一體成型，且不具漂浮座墊特性 (TSO-C72)。
3. 適用之座墊須能產生報告中所訂定之受力-變形曲線(Load Deflection Curve)。
4. 不適用帶有緩衝墊(Padding)椅套之座墊組件。

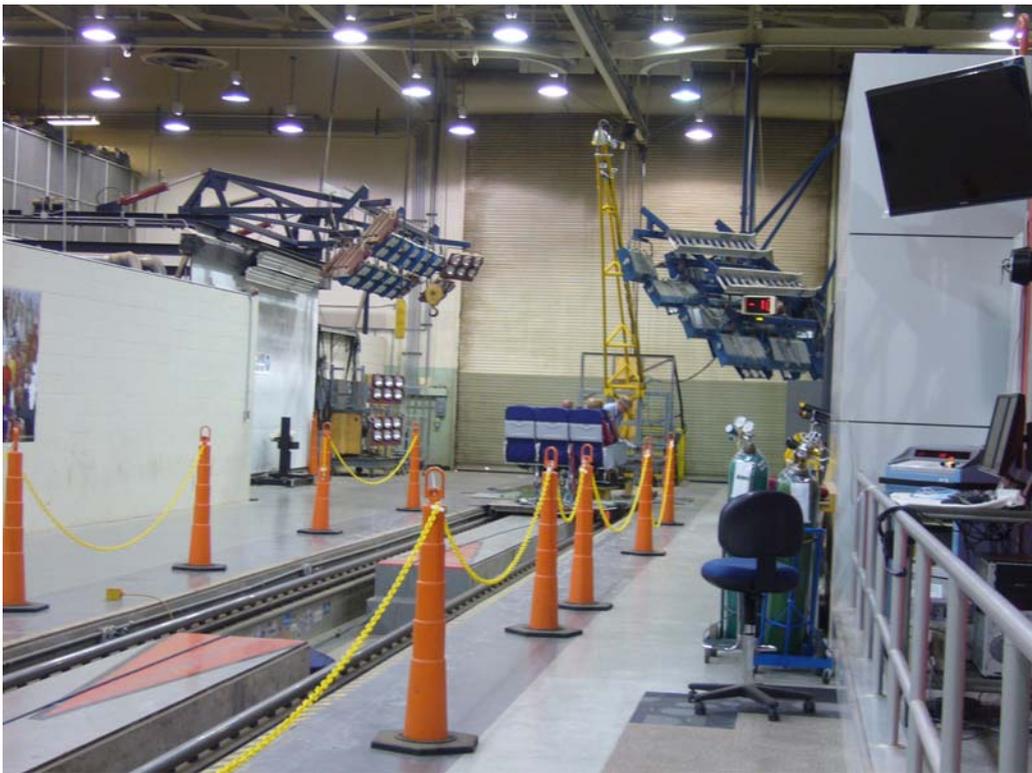
**(二) 安全帶更換檢定政策：**

FAA 於 2005 年 8 月 10 日發布 ANM-115-05-10 檢定政策，針對更換座椅上腰式安全帶及肩式安全帶(3、4 或 5 點式)時，可使用硬式座椅測試型架(Rigid Seat Fixture)，針對待驗證與原安全帶，進行動態測試比對評估，而省略以實際座椅安裝進行測試之成本。

**九、座椅實際撞擊試驗(Witness Impact Test) (講師：Mr. Rick DeWeese,  
Team Coordinator of FAA CAMI Biodynamics Research Team)**

**(一) 座椅實際撞擊試驗 – 16g 縱向撞擊試驗(Longitudinal Impact)：**

本次課程特別安排在 CAMI 實際進行座椅動態測試，使我們印證 FAR 25.562 及 AC 25.562-1B 相關要點，特別在測試座椅安裝及測試人偶安置方面有實際之了解。測試結果顯示餐盤支架斷裂，形成尖銳角，因此該型座椅須進行設計改良，但此類型之設計變更後，可依 AC 25.562-1B，輔以靜態測試進行符合，無須再重新進行撞擊測試。



CAMI 測試場



測試前準備



測試前人偶安置



測試前 - 將椅腳下彎

(增加椅腳受力，使座椅成為最嚴苛之受測狀態)



測試準備完成



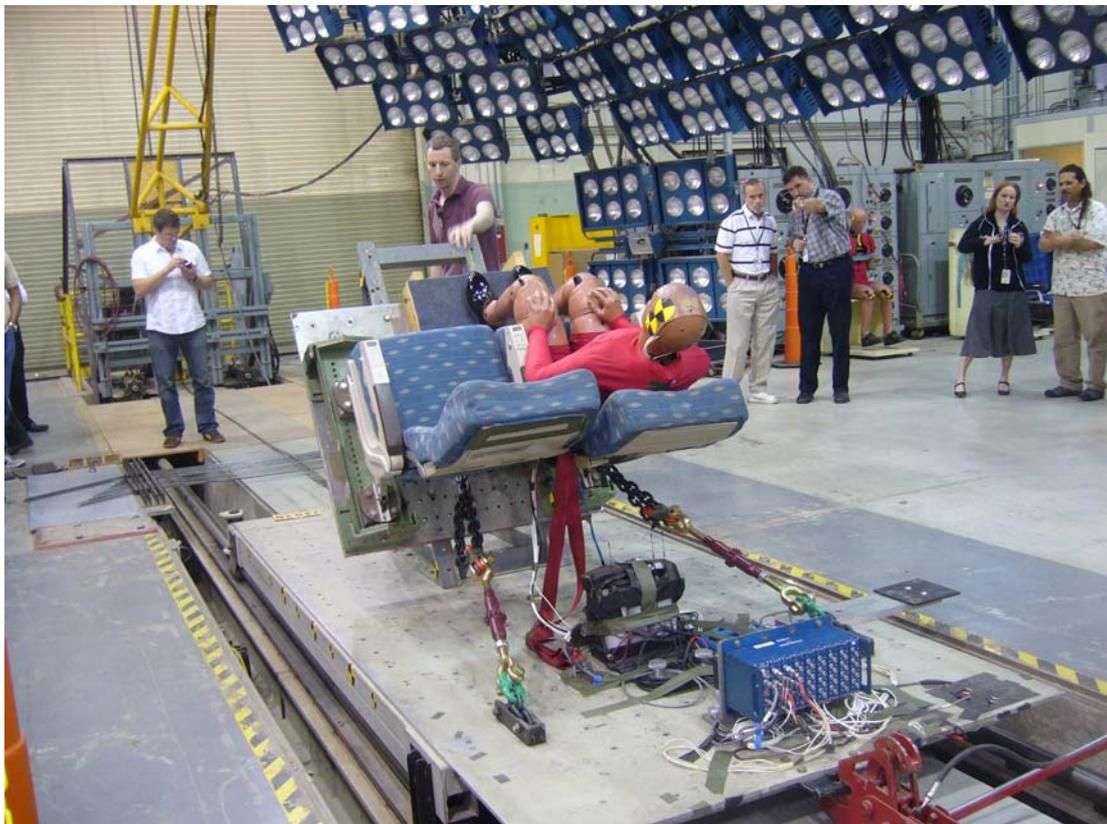
測試結果



測試後餐盤支架斷裂，須進行後續設計改良

(二) 座椅實際撞擊試驗 - 14g 垂直撞擊試驗(Vertical Impact)：

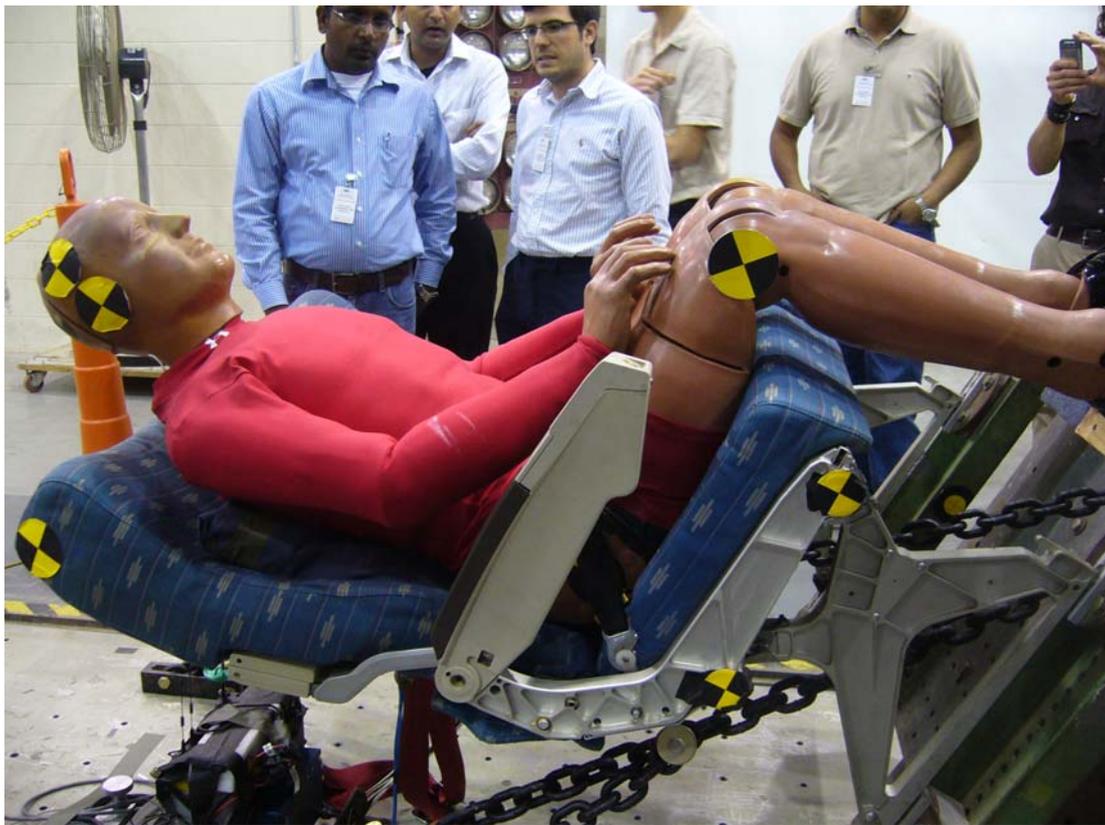
本次課程特別安排在 CAMI 實際進行第二次座椅動態測試，為 14g 垂直撞擊試驗(Vertical Impact)，測試結果符合法規，無須再重新進行撞擊測試。此項測試我們印象較深的是測試架之製作方式，以及使人偶固定在正確位置之墊片(Shim)，可謂百聞不如一見。



測試安裝



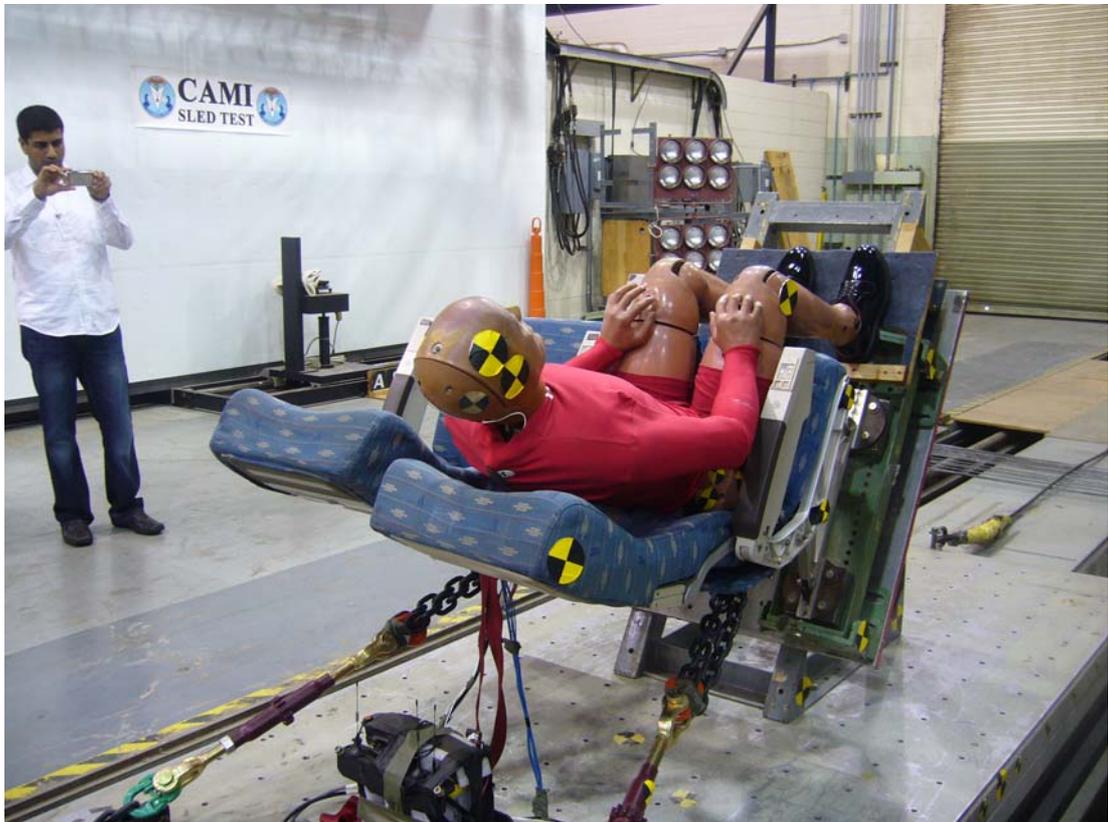
測試架



測試人偶安裝



使人偶固定在正確位置之墊片(Shim)



測試安裝完成



測試中



測試結果

## 肆、心得與建議

### 一、心得：

此次訓練心得如下：

1. 與 FAA 座椅動態測試專家，以及相關產業及學者互動與認識，建立未來可能諮詢之管道。
2. 了解相關法規制訂背景，以及法規符合性判斷準則，有助提昇未來執行相關檢定業務之能力。
3. 透過 FAA 測試示範，實際了解相關測試座椅安裝、人偶安置及相關資料擷取及照相系統，有助於後續國內驗證之測試規畫，以及對於相關測試場所符合性之檢查工作。

### 二、建議事項：

此項 FAA 訓練係每年度辦理，此次由於限定人數之故，各單位派訓人員皆不超過 2 位，後續當相關驗證工作進行到較繁複階段前，可再派員參訓，或參加 FAA 舉辦之相關議題研討會，以增進對於後續法規演進發展之了解，藉此掌握相關測試規範之趨勢，有助於國內相關驗證能量之提昇。