

調查案例 Lesson Learned 衝/偏出跑道

行政院飛航安全委員會

官文霖博士/ 調查實驗室主任



簡報大綱

- 研究動機
- 回顧航空器衝出及偏出跑道事故
 - 事故風險因子及共通性
 - 威脅及疏失管理
- 實例探討
- 結論及建議

研究動機

- 探討溼滑跑道對民用航空器之落地性能影響，回顧歐美國家及我國航空器衝出及偏出跑道之飛航事故，並探討事故可能肇因與溼滑跑道之關連性
- 衝出跑道 (Runway Excursion, RE)
 - 衝出跑道(Runway Overruns, RO)定義：航空器於落地滾行期間滑出可用落地跑道區域外。
 - 偏出跑道(Runway Veer Off, RV)定義：航空器於落地滾行期間滑出跑道；及於脫離跑道期間滑出跑道或滑行道。
 - 分類：起飛衝出跑道(TKO RO)、起飛偏出跑道(TKO RV)、落地衝出跑道(LND RO)、落地偏出跑道(LNDRV)；

研究動機/資料來源

- ASC歷年調查案例
- ICAO ADREP DB (2000~ 2009)
- ATSB Part 1, “A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions,” AR-2008-018(1), 2009
- ATSB Part 2, “Part 2: Minimising the likelihood and consequences of runway excursions, An Australian perspective,” AR-2008-018(1), 2009
- FSF “Reducing the Risk of Runway Excursions,” 2009
- NLR “A Study of Runway Excursions from a European Perspective,” NLR-CR-2010-259

回顧航空器衝出跑道事故

- 2004年11月30日，印尼雄獅航空公司1架MD-82型客機(Lion 538)執行雅加達—泗水定期載客任務，該機起飛後遭遇大雨和雷雨等惡劣天氣，**落地後於道面失去控制而滑出跑道**。機上載有146名乘客，至少造成23人死亡，61人受傷。
- 2005年8月2日，法國航空公司1架A340型客機(AF358)執行法國巴黎—加拿大多倫多定期載客任務，**於多倫多機場落地期間遭遇雷雨，致使飛機滑出跑道**，機上載有297名乘客，12名機組人員，24人受輕傷，飛機全毀。

回顧航空器衝出跑道事故

- 2004/10/18 我國某航1架A320客機，執行國內載客任務(台南→台北)，當地時間19:59時，於松山機場落地時，因2號油門桿未收至ILDE，落地後地面擾流板未致動且自動煞車亦未致動，駕駛員於落地後13秒使用手動煞車，仍未能於剩餘跑道完成減速。最後航機衝出跑道末端並停於清除區草坪，機上106名人員均安，航機遭受實質損壞。
- 2007/07/17 巴西天馬航空公司1架A320客機(TAM3054)，執行國內載客任務(阿雷格裡港→聖保羅)，當地時間18:54時，於孔戈尼亞斯機場落地時，因速度過快再加上地面濕滑煞停不及，致衝出跑道末端、並橫越一條八線道高速路，撞入一座加油站附近的辦公大樓並且爆炸起火。機上有188名人員（包含182位乘客，6位機組人員）與12位地面人員死亡，飛機全毀。
- 兩案事故前2號反推力器因故障de-activated, 屬濕滑跑道

航空器衝出跑道事故：A320系列



The difference btw an accident and a serious incident lies only in the results (ICAO Annex 13, 1-2)

航空器衝出跑道事故：MD系列

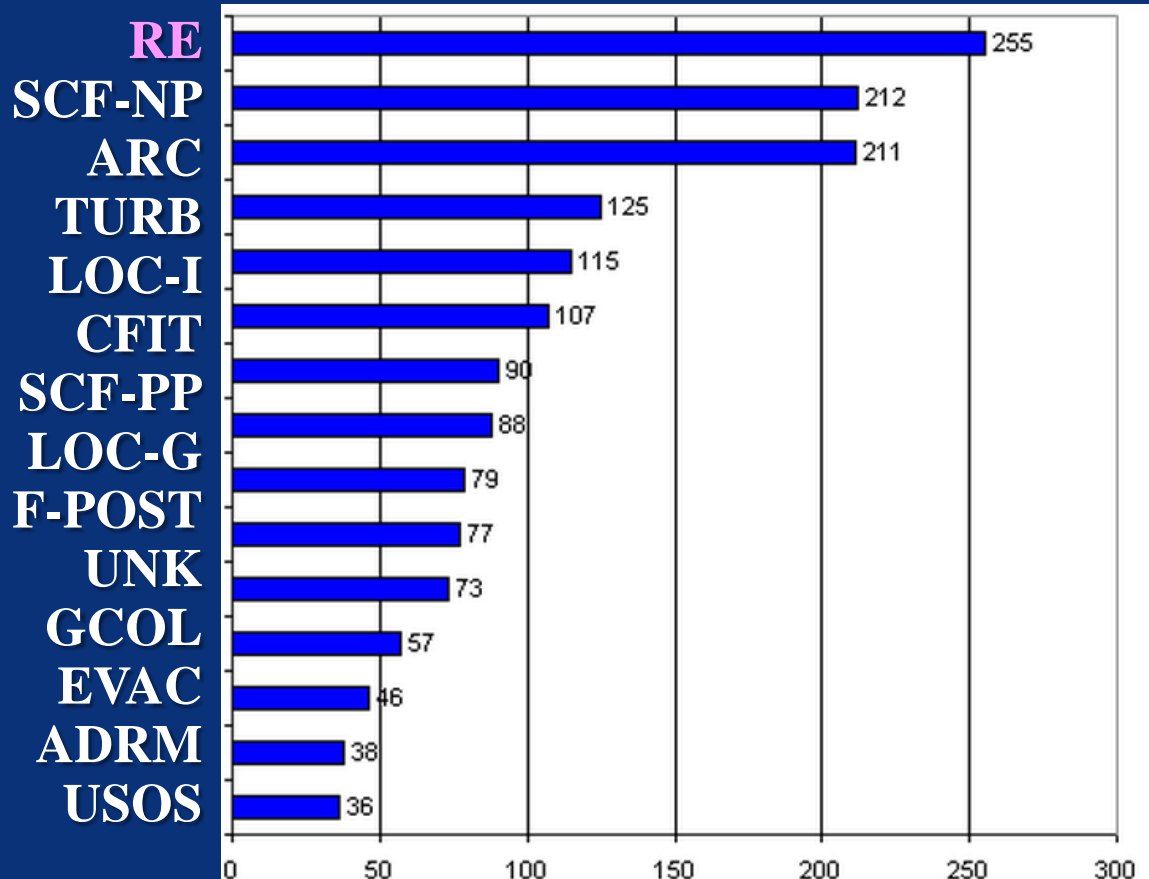


Hazard identification & safety risk management are the core processes involved in the safety management.

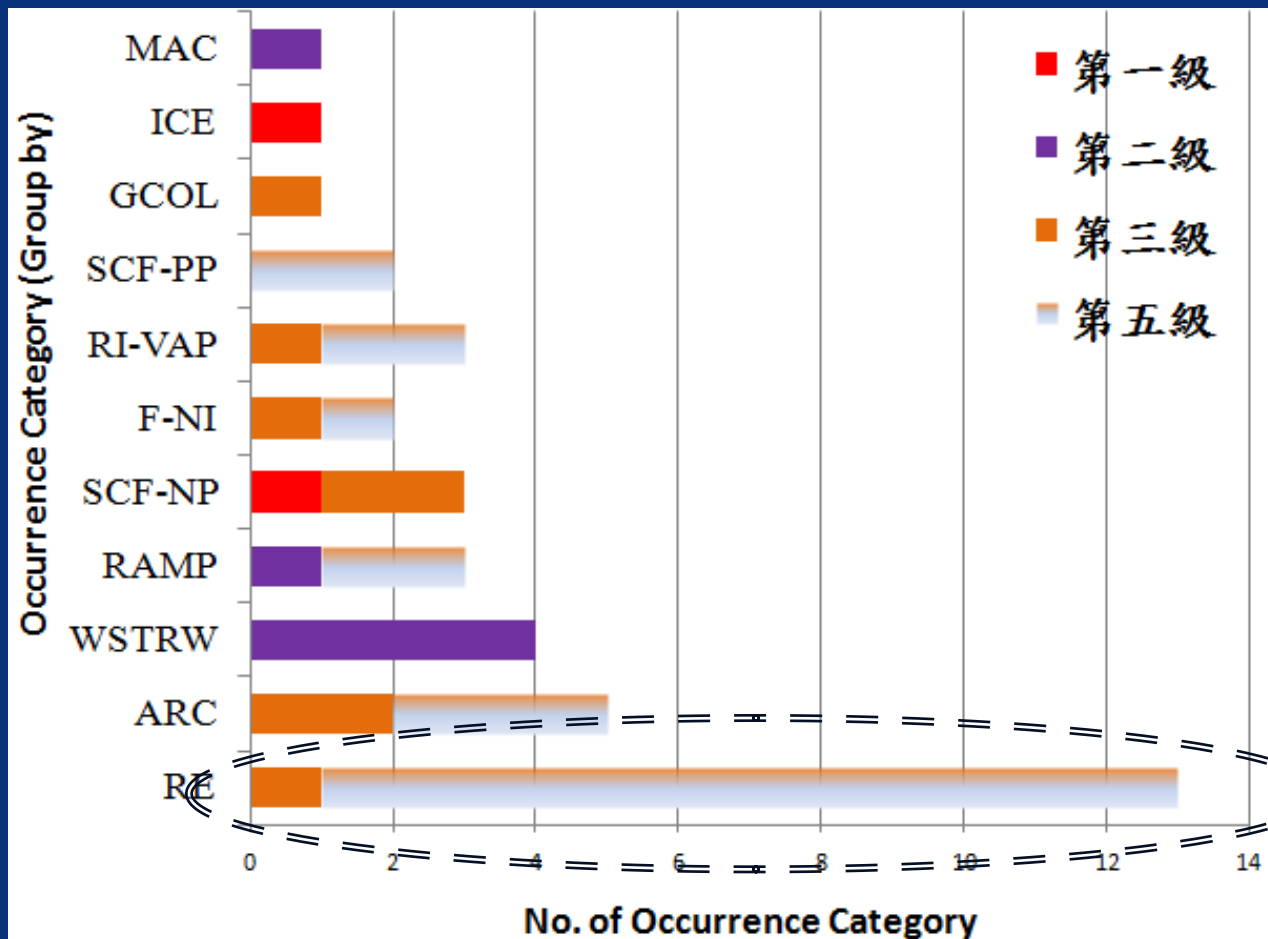
(ICAO SMM v2. 4.2)

衝出跑道失事案例統計(ICAO)

- 2000~2009年全球失事案例 (MTOW>5700KG) ,
- 渦輪噴射機(排除空照及公務飛機)共1988件， RE計有255件。



我國國籍民航運輸業定翼機飛航事故分類 (1998.01~2011.04)



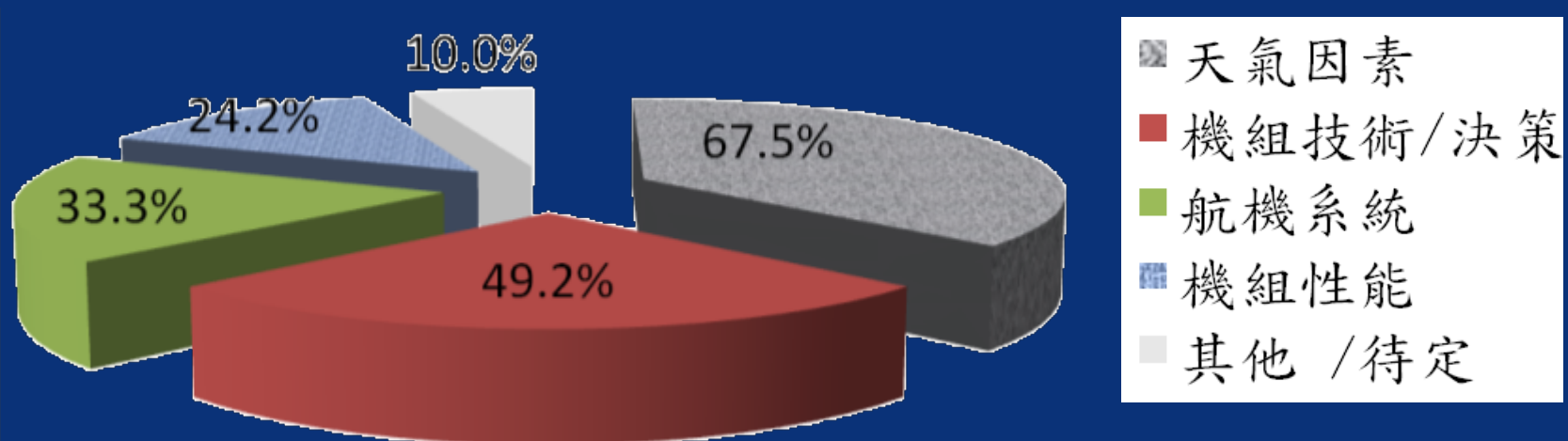
◆迄今，計有13件均屬落地衝出跑道事故(LND RE)

◆含1件意外事故，2件調查中；76.9% RV, 23.1 % RO

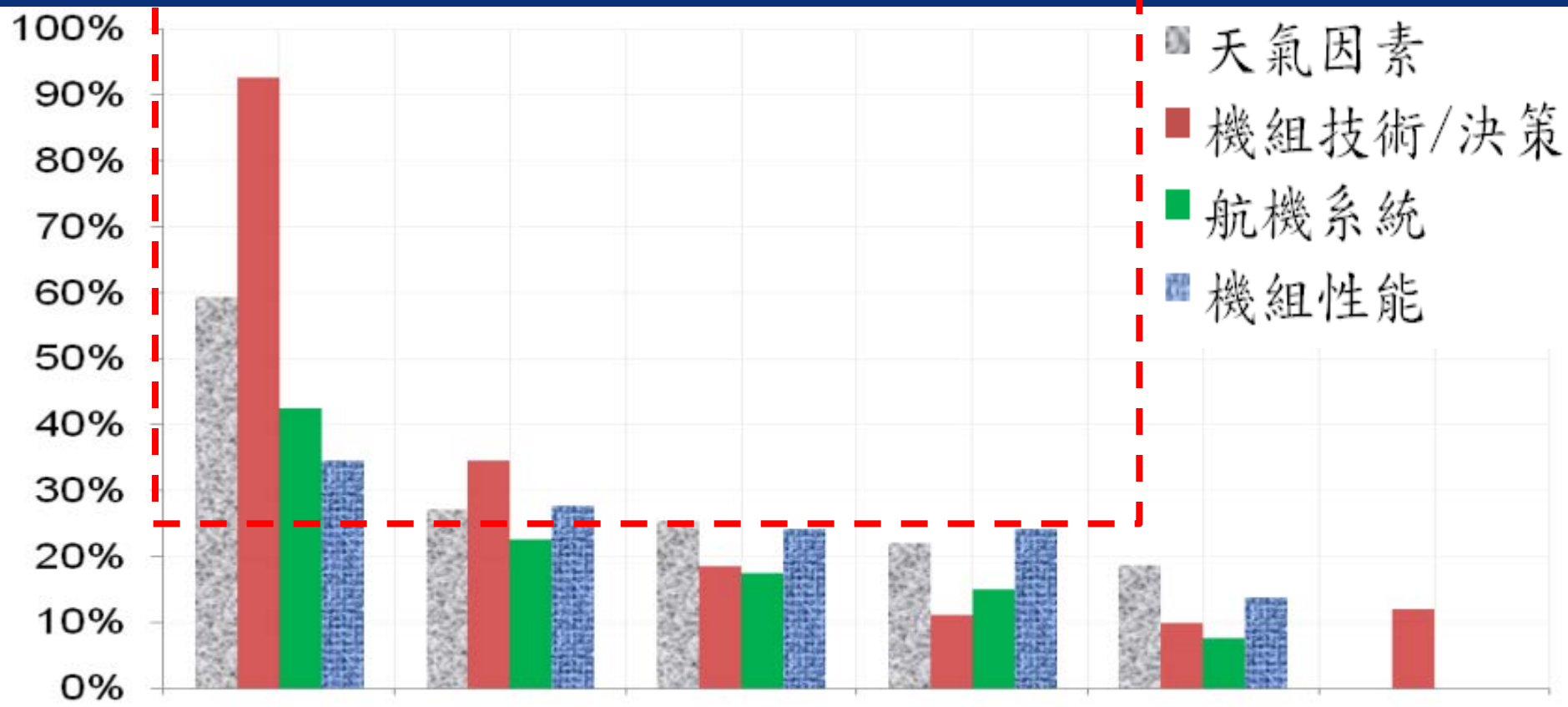


衝出跑道失事案例統計(ATSB)

- 1998~2007年全球141件衝出跑道失事案例，來源 Ascend World Aircraft Accident Summary (WAAS)資料
 - 21件屬起飛衝出跑道佔15%，120件屬落地衝出跑道佔85%
 - 全球平均每年發生14.1件
- 將落地衝出跑道之失事案例肇因，區分為5大類風險因子，每一案例至少涉及1項(含)以上因素，包括：



衝出跑道失事案例統計(ATSB)



濕滑/污染跑道
 疑似/確認水漂
 側風超限
 未執行重飛
 機車及減速
 未遵守 MEL 項目
 順風超限
 落地速度過快
 落地滾行時
 不當使用 SOPs
 側風/污染跑道
 反推力效應
 偏離垂向進場軌跡
 非操控性
 降低狀況警覺
 跑道報告不當
 跑道前航機系統故障
 喪失跑道
 所算跑道長度
 計算失誤



衝出跑道失事案例統計(FSF)

- 1995~2008年全球1,429件失事案例(含：衝出跑道417件、跑道入侵10件、跑道混淆4件)，來源ICAO/IATA資料庫，其中492件屬致命失事。
 - 衝出跑道失事案件中，24% TurboProp，36% Turbojet
 - 88件屬起飛衝出跑道佔21%
 - 63% TKO RO, 37% TKO RV
 - 329件屬落地衝出跑道佔79%
 - 79% LND RO, 21% TKO RV
- 找出4類型衝出跑道失事案例之10大風險因子

FSF 研究發現:落地衝出跑道

重大風險因子	百分比
1 未執行重飛	34.9
2 落地距離過長	26.4
3 起落架故障	17.8
4 污染跑道 下煞車無效	17.7
5 進場速度過快	16.2
6 落地速度過快	14.0
7 重落地	13.5
8 飛航組員CRM問題	12.8
9 組員橫向操控問題	12.5
10 未遵守SOP	12.1

FSF 研究發現:落地衝出跑道

■ LND RV accidents

■ 未執行重飛

- 82% 不穩定進場
- 57% 污染跑道
- 55% 重落地或彈跳落地

■ 重落地或彈跳落地

- 48% 未執行重飛者
- 42% 污染跑道

■ 穩定進場

- 34% 污染跑道
- 21% 存在側風

■ LND RE accidents

■ 未執行重飛

- 85% 落地速度過快或距離過長
- 79% 不穩定進場
- 40% 污染跑道

■ 落地速度過快或距離過長

- 85% 未執行重飛
- 72% 不穩定進場
- 50% 污染跑道

■ 不穩定進場

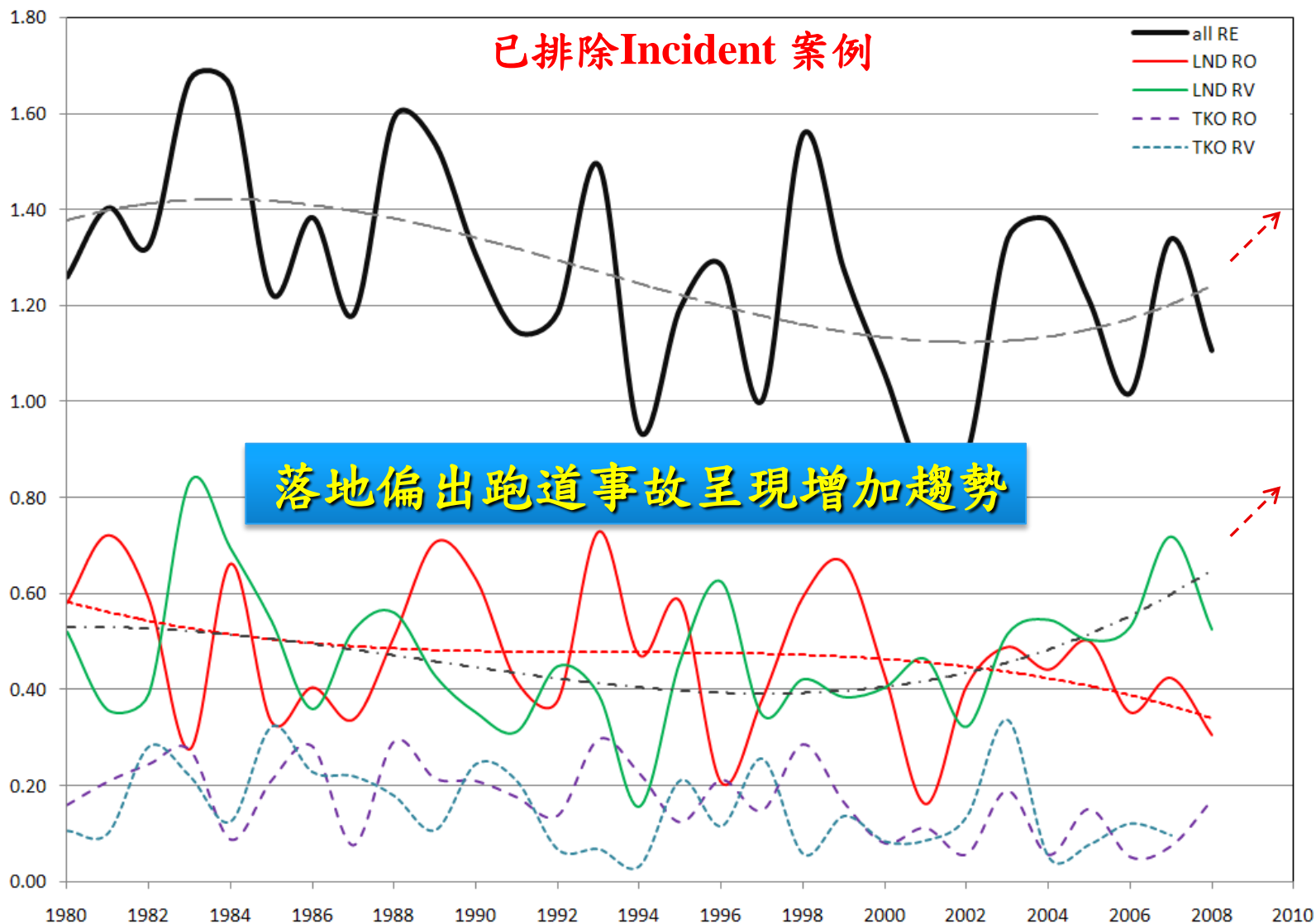
- 97% 未執行重飛
- 89% 落地速度過快或距離過長
- 49% 污染跑道



衝出跑道飛航事故(NLR)

- 1980~2008年全球衝出跑道飛航事故，來源ICAO ADREP & ECCAIRS 資料庫，共計1732件。
 - Passenger 66.4% ， Cargo 15.2% ， Business 11.2% ， Other 7.2%
 - TurboProp 32% ， Turbojet 68 %
 - 約77% LND RO及LND RV
- 平均百萬離場失事率1.27 ，細分如下：
 - TKO RO 0.18 , TKO RV 0.15
 - LND RO 0.47 , LND RV 0.47
- 找出4類型衝出跑道事故之重大風險因子

衝出跑道飛航事故(NLR)



NLR 研究發現:落地衝出跑道

重大風險因子	歐盟地區 (%)	全球其他地區 (%)
1 溼滑/污染跑道	38.0	66.7
2 落地距離過長	24.0	44.5
3 決策錯誤	14.9	16.8
4 進場速度過快	14.0	22.1
5 過慢或不當使用煞車	14.0	10.3
6 過慢或不當使用反推力器	14.0	10.0
7 存在水漂	7.4	15.9
8 存在順風	7.4	15.9
9 進場高度過高	3.3	7.2

NLR 研究發現:落地偏出跑道

重大風險因子	歐盟地區 (%)	全球其他地區 (%)
1. 存在側風	31.6	25.0
2. 溼滑/污染跑道	23.7	39.9
3. 鼻輪轉向問題	17.1	8.5
4. 主起落架倒塌	7.9	5.8
5. 重落地	7.9	13.1
6. 輪胎損壞	7.9	6.1
7. 不對稱推力	2.6	3.7

衝/偏出跑道事故 (我國 LND RO & RV)

日期	機型	著陸點	50呎/著陸點空速		頂風	側風	跑道	夜	能見度	雨	
1999.09	B747-SP	1,700	147	128	-20.8	15.6	乾		> 6 mile	無	
2000.04	MD-80	2,520	132	117	0	8.0	溼滑		1600 m	大雨	
RO	2000.08	MD-90	3,270	146	146	5	13.6	溼滑	☉	3000 m	小陣雨
2000.10	B737-800	2,440	155	149	-12.8	35.2	溼滑	☉	600 m	大雨	
RO	2003.08	MD-80	2,470	174	158	5.3	17.2	溼滑		3200 m	小雨
♥	2004.07	MD-90	1,370	142	140	8.0	8.0	溼滑	☉	3000 m	陣雨
2004.08	MD-80	2,500	142	142	-16.0	11.0	溼滑		1500 m	大陣雨	
RO	2004.10	A320	1,750	136	138	0.0	0.0	溼滑	☉	4500 m	小雨
2006.07	MD-80	1,500	128	120	9.0	2.0	溼滑	☉	2000 m	大陣雨	
2007.08	MD-80	2,000	140	140	9.0	5.6	溼滑		2000 m	陣雨	
2008.08	A340-300	重飛	138	123	0	5.0	溼滑		2000 m	大雨	
2010.09	B747-400	3,585	163	146	1.3	7.4	溼滑	☉	2500 m	大陣雨	
2011.02	A330-200	2,100	132	125	-7.9	0.6	乾	☉	1300 m	無	

*: 頂風/尾風依據事故當時地面紀錄或100呎時FDR紀錄，負值為順風

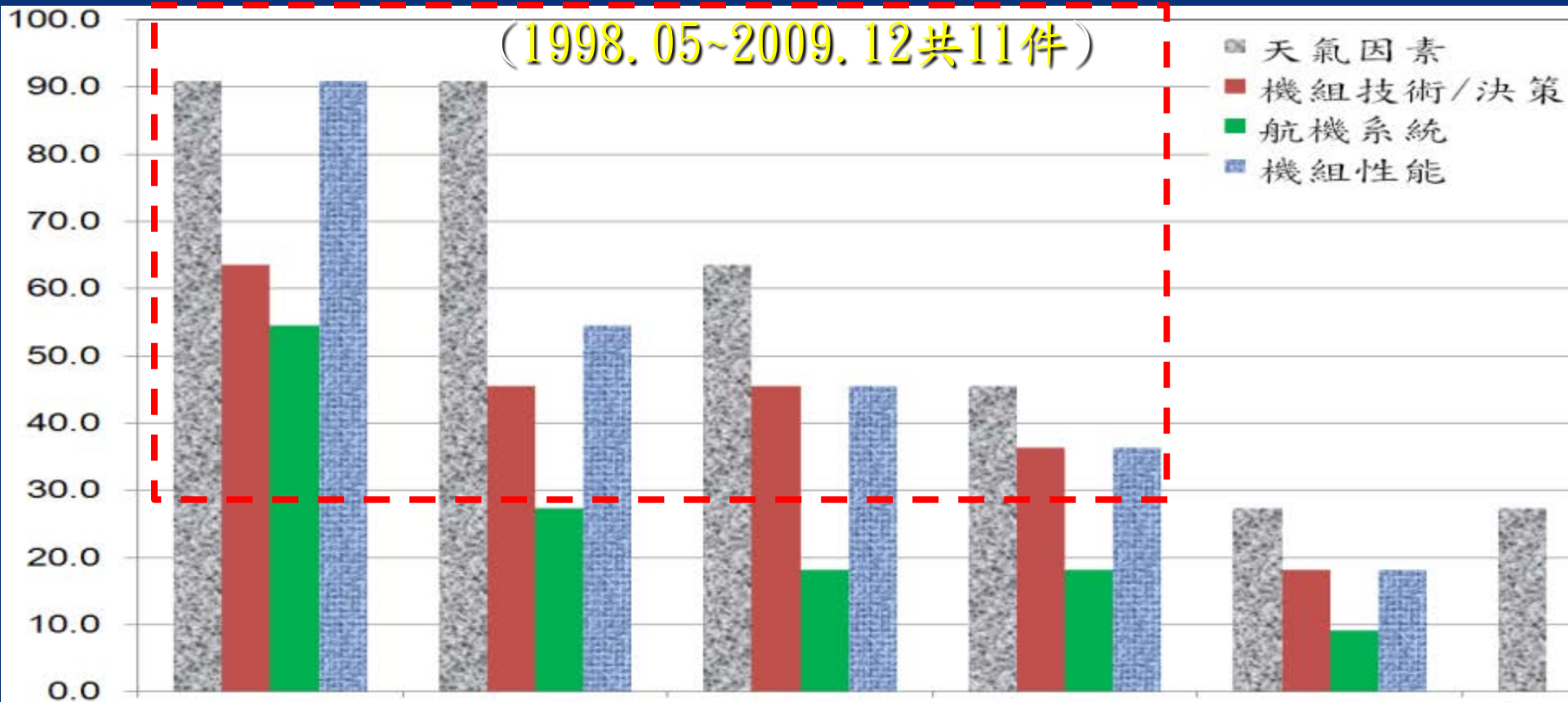


國籍民航運輸業定翼機 衝/偏出跑道事故之共通性

- 我國13件落地衝出跑道事故，53.8%屬MD 80/90機種
- 84.6%屬溼滑跑道，此情況下前11件之共通性：
 - 61.5%著陸點過長(>2,000呎)
 - 46.2%為夜間環境
 - 36.4%進場速度過大(>15浬/時)
 - 54.5%側風大於15浬/時
 - 27.3%順風大於5浬/時
 - 36.4%落地後未使用反推力器
 - 27.2%使用過大的反推力或不對稱反推力
 - 63.6% 50呎至著陸前未收油門至慢車位置*
 - 18.2% 落地滾行期間疑似遭遇水漂

* 5件MD 80/90未收油門，1件A320單邊收油門

國籍民航運輸業定翼機衝/偏出跑道事故 之可能肇因及風險統計(採ATSB分類)



濕滑/污染跑道
 落地過長
 未收油門
 察覺/遵守SOPS
 颱風及雷雨天氣
 未執行重飛
 未使用反推力器
 不當下
 機場安全相關規範
 偏離進場及落地軌跡
 疑似/確認水漂
 落地後側風修正
 夜間環境
 夜間落地速度過快
 反推力過大
 狀況警覺
 順風大於10哩/時
 喪失跑道目視參考
 落地滾行時推力不對稱
 機組生理(眼鏡)
 側風大於15哩/時



落地衝/偏出跑道事故之常見威脅

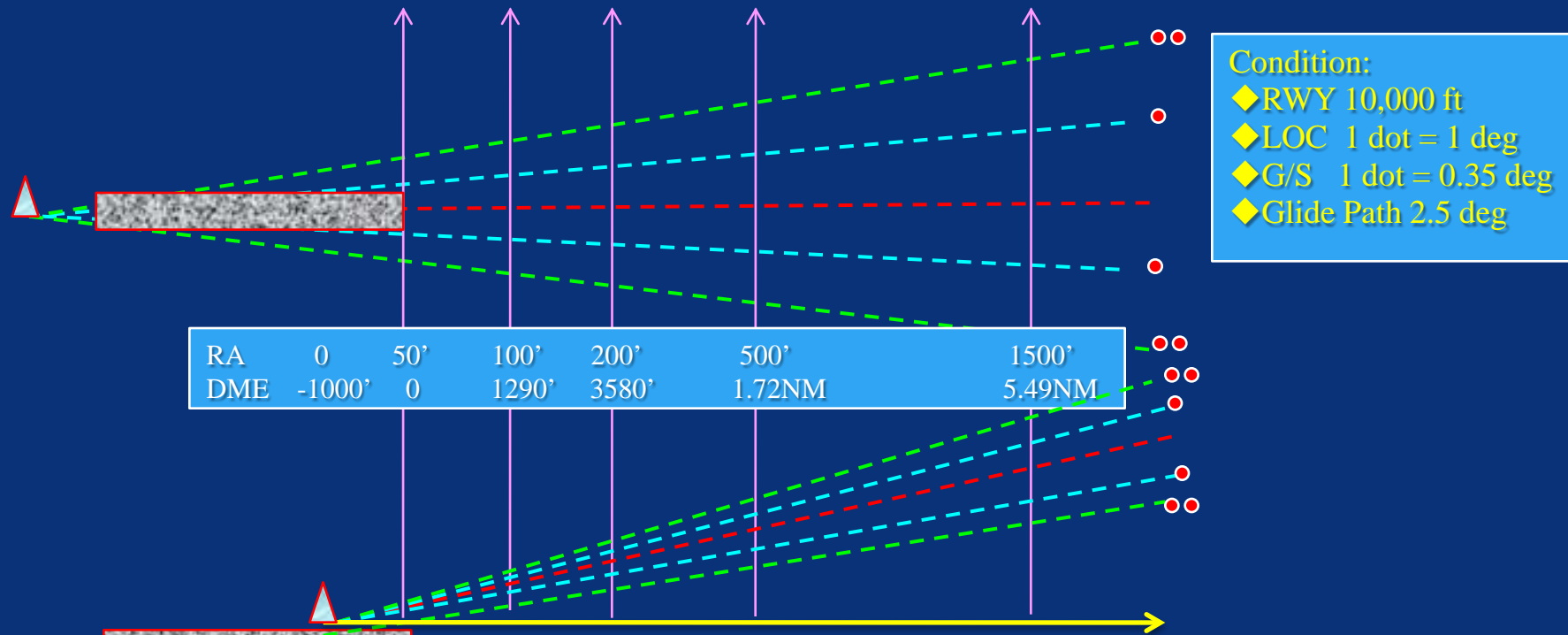
■ 航空器落地衝出跑道之常見威脅如下(ATSB/FSF/NLR)：

- 進場速度過快 (高於 $V_{ref} + 15$ 浬/時)
- 進場高度偏高(通過跑道頭時，RA大於70呎)
- 平飄過久，著陸點過長
- 主輪著陸時，未及時壓機頭 (not firm landing, i.e. V_g 小於 $1.30g$)
- 機場道面濕滑/汙染，ATC未提供跑道抗滑及積水報告
- 機場道面存在臨界側風或及順風情況



此類威脅可能會導致航空器衝/偏出跑道，亦可藉由威脅及疏失管理，以降低其危害

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策



Dev (dot)	50' Dev	100' Dev	250' Dev	500' Dev	1500' Dev
G/S 0.5	3	7	14	35	105
G/S 1.0	6	14	28	70	210
G/S 2.0	12	28	56	140	420
LOC 0.25	48	54	64	94	198
LOC 0.5	96	107	127	187	395
LOC 1.0	192	215	256	374	791
LOC 2.0	384	430	510	748	1583



威脅及疏失管理

- 善用工具(如：ALAR/RERRT/RERAT)，並區分四階段發展標準操作程序及檢查單：

- 最後進場、平飄、減速及橫向改正、煞停

ALAR:

不穩定進場, 未重飛..

RERRT/RERAT:

航空器橫向改正及煞停技巧,
機場道面抗滑及積水報告標準化...

跑道頭

Approach

Flare

Control/Brake

Stop

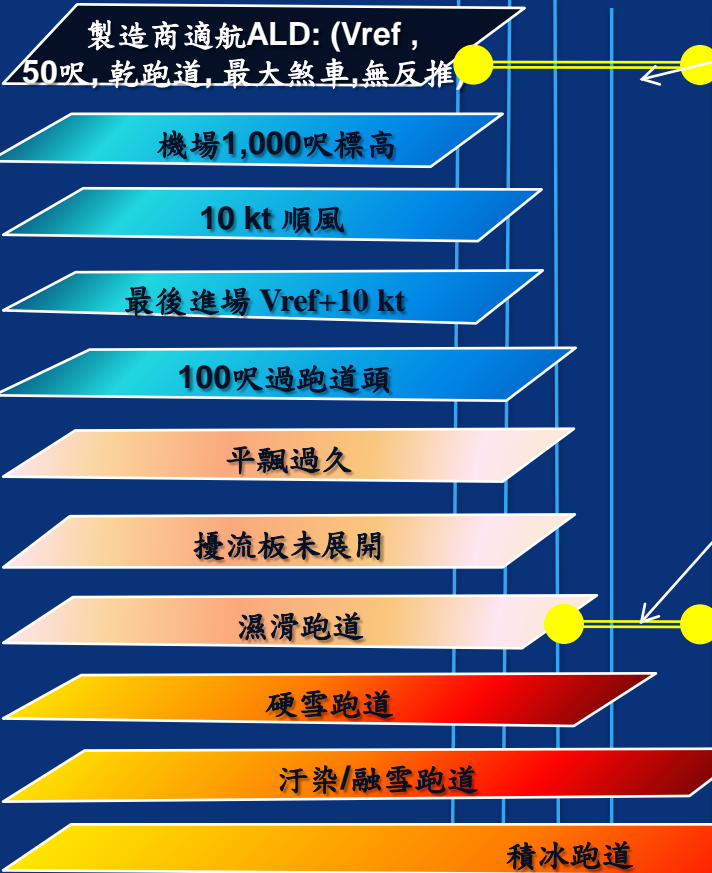
航空器之適航落地距離測試條件：

- ① 通過跑道頭上空：50呎、 $V_{ref}(=V_{APP}=1.23 V_{S,1g})$ 、IDLE
- ② 著陸點 1,000~1,200呎 (FAR/JAR Operational data)
- ③ 乾跑道(有效煞車系數0.4)
- ④ 主輪著陸後2秒內所有減速裝備完全作動 (FAA AC 91-79)
 - ① 落地後採用最大煞車並立即展開擾流板
 - ② 忽略反推力器之減速效應
 - ③ 忽略外界溫度及跑道縱向坡度

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策



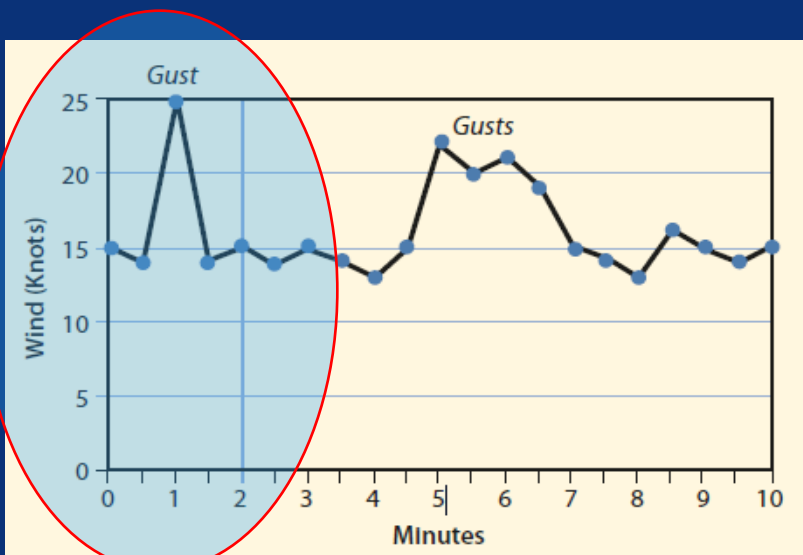
Safety margin



- 落地距離修正因子：
- ① RA+20呎 → +500呎
 - ② Vref+20kt → +2,000呎
 - ③ VTD+10kt → +500呎



威脅及疏失管理：較低風險、較好決策



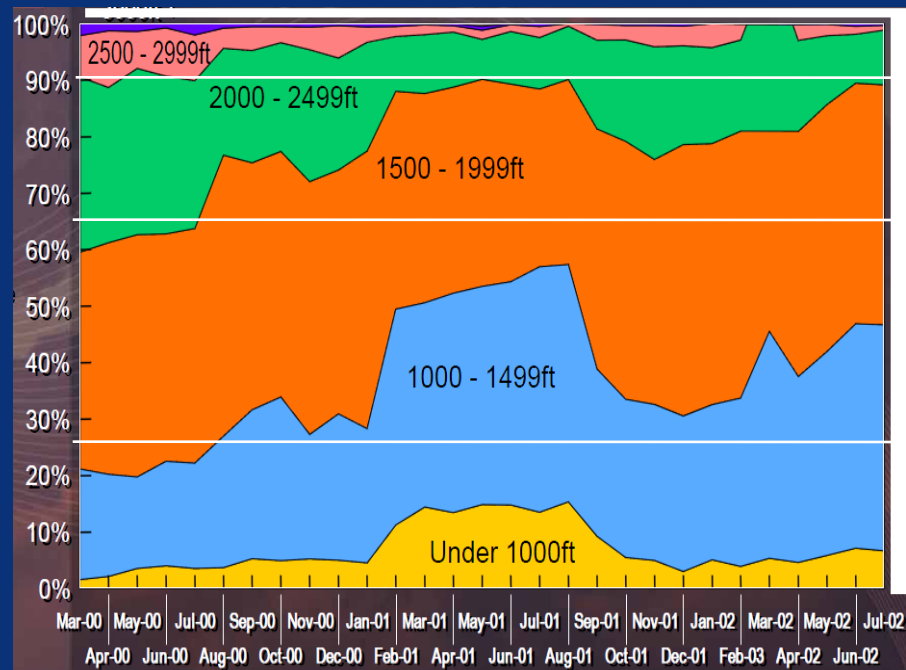
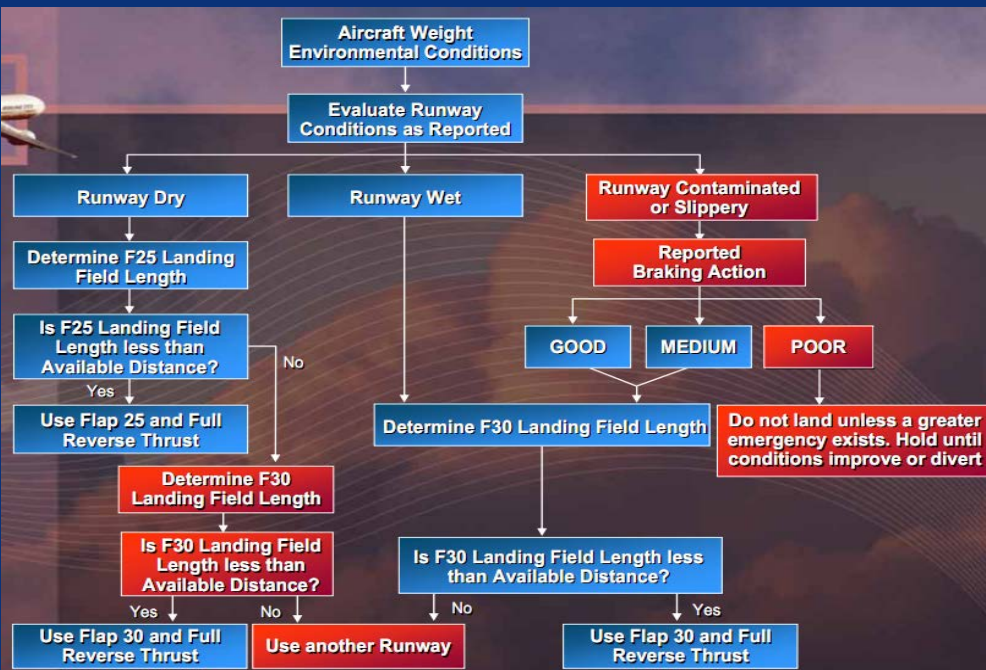
- ◆ METAR 10分鐘平均風
- ◆ ATIS/ATC播報2分鐘平均風及陣風
- ◆ AOAWS有紀錄瞬時風速
- ◆ (圖上)i.e. XXX20G25



- ◆ IRS 風可視為瞬時風速
- ◆ FMS風為過去30秒的平均風
- ◆ FDR/QAR紀錄風可能來源為IRS或FMS；航機落地期間的地面效應會影響其準確度

上述因素可能影響Vapp的修正量

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

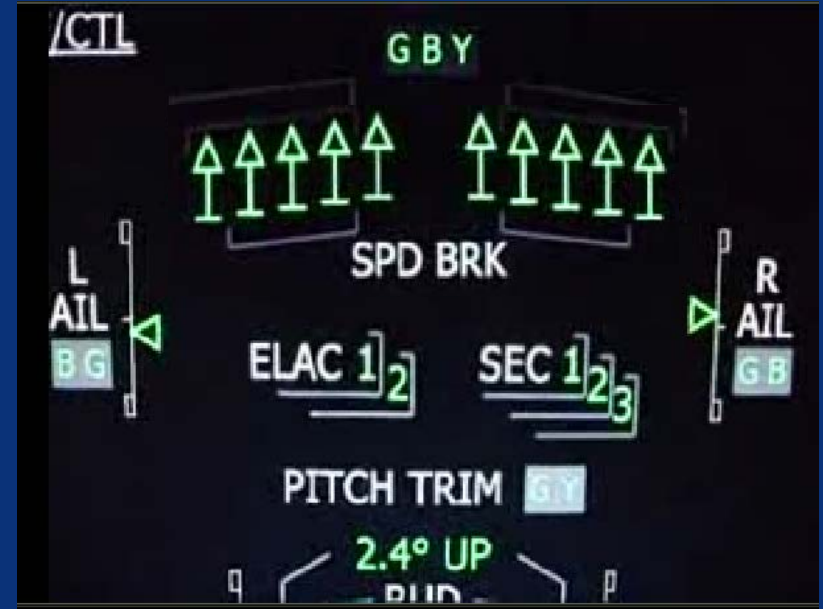


QF1 失事後Qantas Airways所建立的B747-400機隊的落地評估程序及FDM監控及統計分析

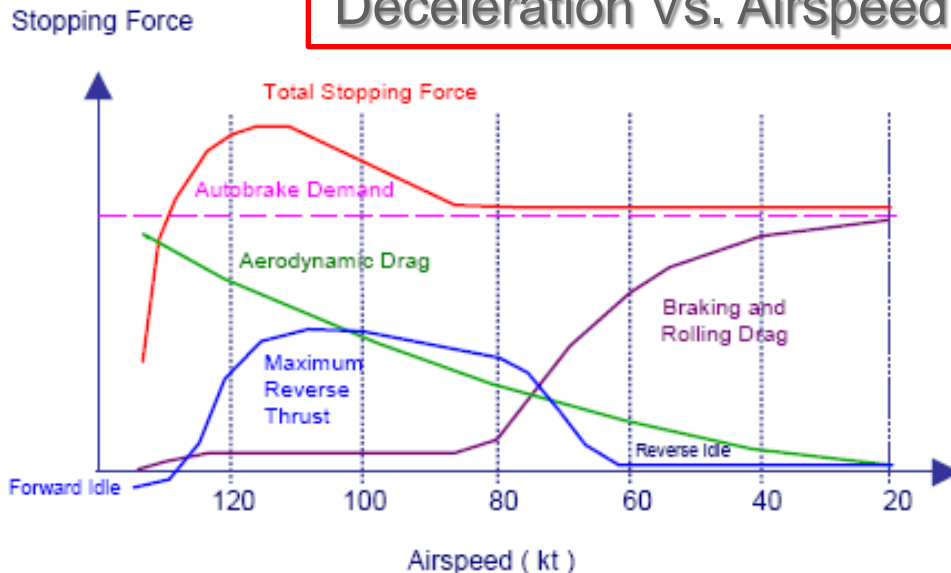
- ◆ 25% 落地距離小於1500呎
- ◆ 65% 落地距離小於2000呎
- ◆ 90% 落地距離小於2500呎

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

跑道狀況	速度	煞車效能	反推及減速板效能
乾	高低	45~65% 80~95%	35~55% 5~20%
溼	高低	20~50% 70~95%	50~80% 5~30%
污染	高低	20% 50~70%	80% 30~50%

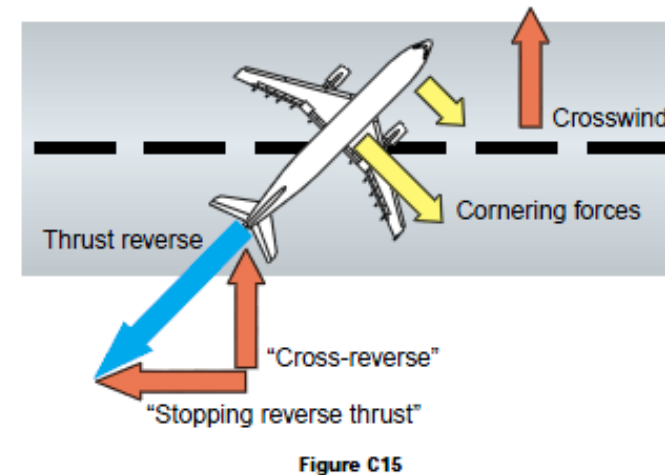
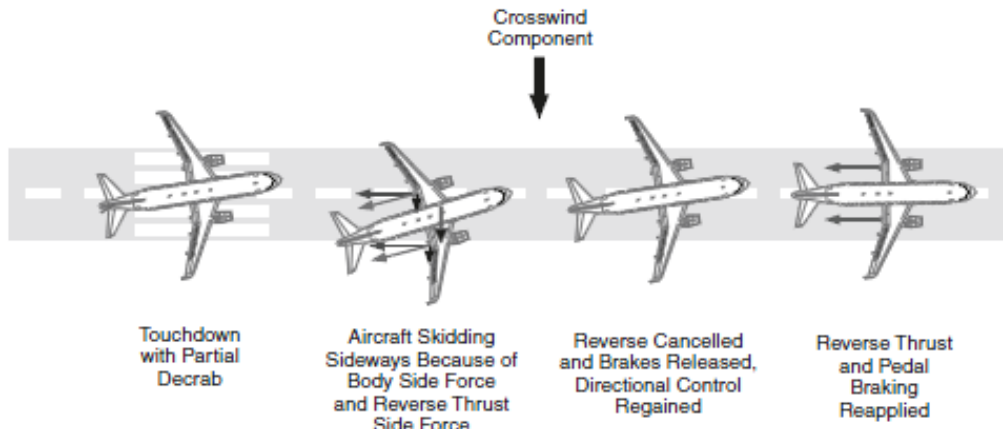


Deceleration Vs. Airspeed



威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

Recovery From a Skid Caused by Crosswind and Reverse Thrust Side Forces



於側風著陸或中斷起飛時，轉彎力(Cornering)是將航空器保持在跑道範圍內之主要方式。

此期間側風及反推器之組合力，會將航空器推離跑道；因此，鬆開煞車可獲得較好的轉彎力，使橫向改正有效。

使用自動煞車時，「LOW」比「MED」模式提供更大的轉彎力。

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

MD-80 All Operators Letter (1996, 02,15)

... the aerodynamic forces acting on the vertical stabilizer and rudder are disrupted by an increase in reverse thrust above approximately 1.3 EPR, thus reducing the ability of the rudder and vertical stabilizer to provide optimum directional control. As reverse thrust increases above approximately 1.3 EPR, rudder and vertical stabilizer effectiveness continue to decrease until at reverse thrust greater than approximately 1.6 EPR the rudder and vertical stabilizer provide little or no directional control.

-
- ◆ FCOM VOL II “Landing Roll Expanded Procedures, “
to limit reverse thrust to 1.3 EPR when landing on wet or slippery runways

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

Crab(deg) GS (kt)	2	4	6	8	10	12	14
125	15	29	44	59	73	88	102
130	15	31	46	61	76	91	106
135	16	32	48	63	79	95	110
140	17	33	49	66	82	98	114
145	17	34	51	68	85	102	119

} 偏移2秒
落地後

Airbus Flight Operations Briefing Notes:

Landing Techniques – Crosswind Landings

- On most Airbus models, this requires touching down with:
- Maximum 5 degrees of crab angle, and
 - Maximum 5 degrees of bank angle.

VT/D 140 kt, Crab 5deg => 約4~5秒會偏出道面

威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

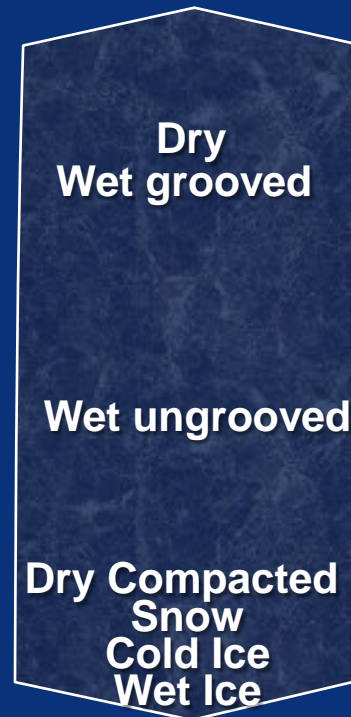
ATC Code Vs. PIREPs	RWY μ
Dry	Dry
5 Good	≥ 0.4
4 Good to Medium	0.36 ~ 0.39
3 Medium	0.30 ~ 0.35
2 Medium to Poor	0.26 ~ 0.29
1 Poor	≤ 0.25
9 nil	unreliable

Runway ICAO Annex 14



Pavement

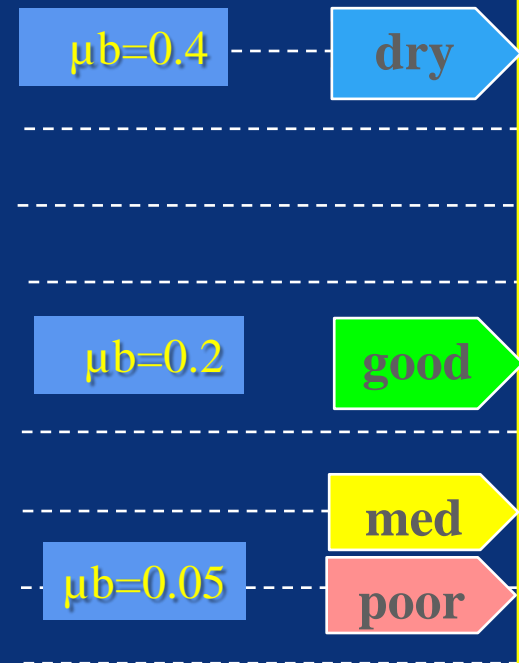
Better Braking



Worse Braking

Aircraft Cert. & Ops

Boeing Test * QRH Data



A/C Braking Coef. Used in calculation of advisory data

* All A/C for FAA Cert.

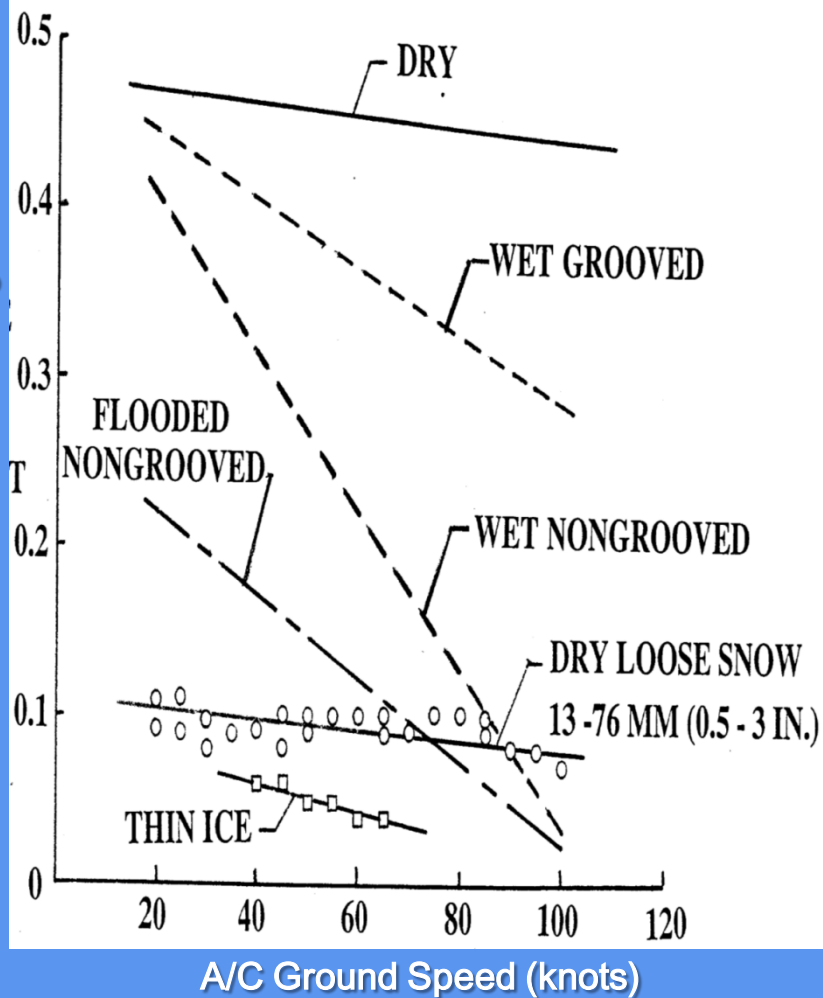
** B707/727/737-200747-100 For CAA Cert.

Source: Airbus & Boeing Performance Data

2011 飛安員訊交流研討會 ICAO Annex 14, Vol 1, 2004

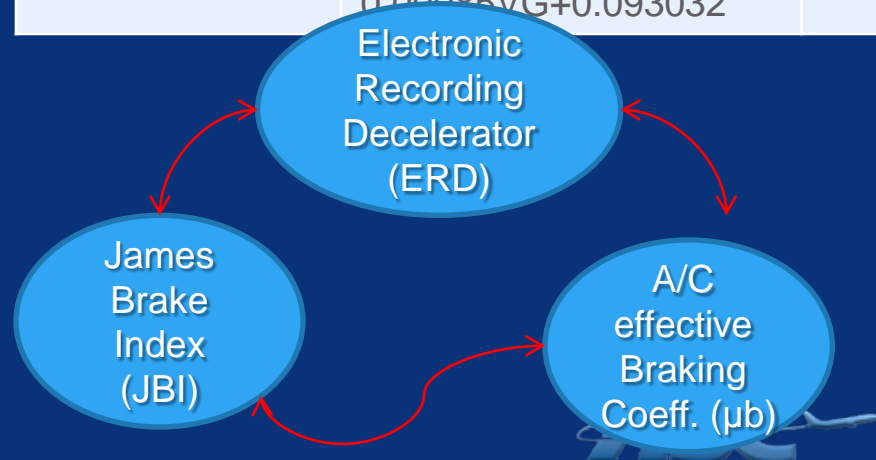


威脅及疏失管理：較低風險、較好決策

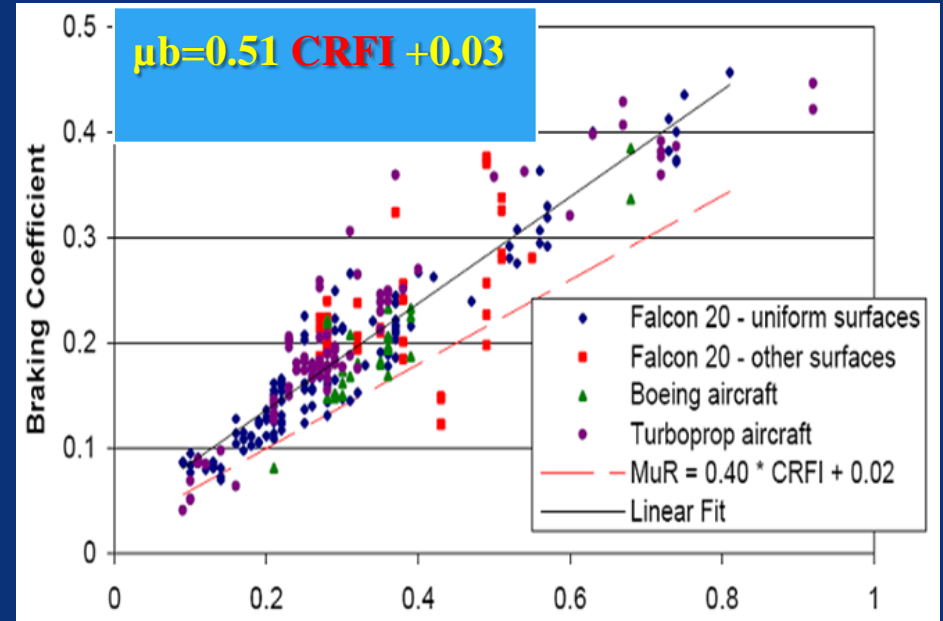
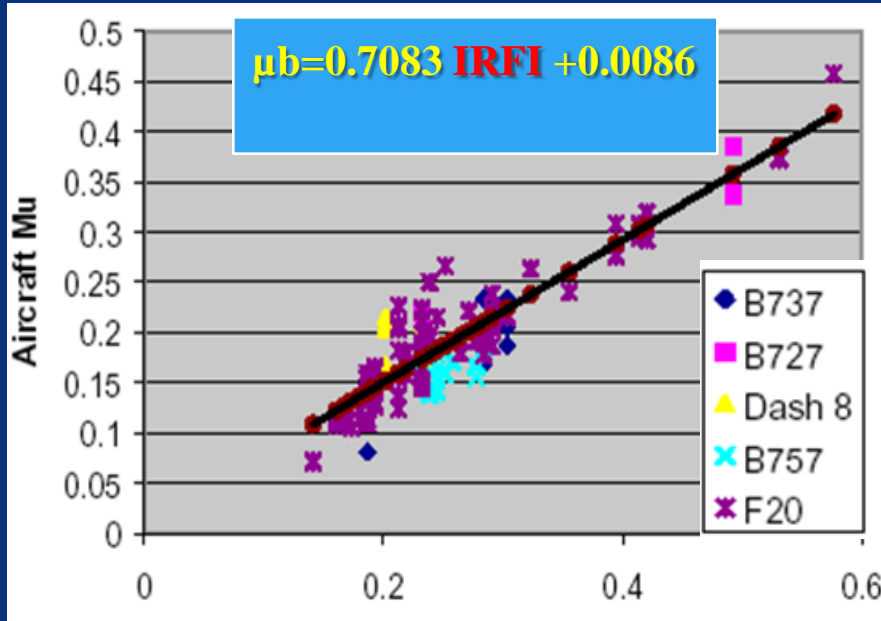


Source: NASA Boeing 737 Aircraft Test Results from 1996 Joint Winter Runway Friction Measurement Programm, 1996

	Formula	水/雪深 (mm)
DRY	$\mu_b = -0.00042VG + 0.47788$	
Wet Grooved	$\mu_b = -0.00202VG + 0.486333$	1~1.5
Wet Non-Grooved	$\mu_b = -0.00472VG + 0.507725$	1~1.5
Flooded Non-Grooved	$\mu_b = -0.00257VG + 0.27404$	10~13
Dry Loose Snow	$\mu_b = -0.00033VG + 0.111182$	13~76
Thin Ice	$\mu_b = -0.00085VG + 0.093032$	13~76



威脅及疏失管理：較低風險、較好決策



各式地面
測試裝備
之跑道抗滑值

Harmonization



IRFI/CRFI



減速性能及煞車係數之關連性

威脅及疏失管理：強化安全保證(SA)

- 機場道面的抗滑及汙染情況不明，致影響評估煞車之減速性能
- 無法量度駕駛員的狀況警覺、威脅及疏失之管理過程
 - 如：穩定進場標準之認知、靜默駕駛艙
- FOQA 不一定“抓”的到事件，例如：
 - ILS偏差Alert過於寬鬆
 - (及時)風速→側風及順風、下降率、Vapp、平飄時間、
 - 落地期間與跑道夾角、彈跳落地、過大坡度及橫向改正、
 - 著陸點/落地距離、不對稱/過大反推力、不對稱煞車、
 - 主輪及鼻輪間之著陸時間、著陸後使用煞車的時間....

To error is human, to forgive is divine

BUT The Devil is in the details

So, No Safety Assurance No Safety Indicator

實例探討：MD82 @RCSS



20:11 Veered off

20:55 Drift to right

Spoiler
Partial extension

Fully manual brake

fully T/R (EPR > 1.6/1.3)

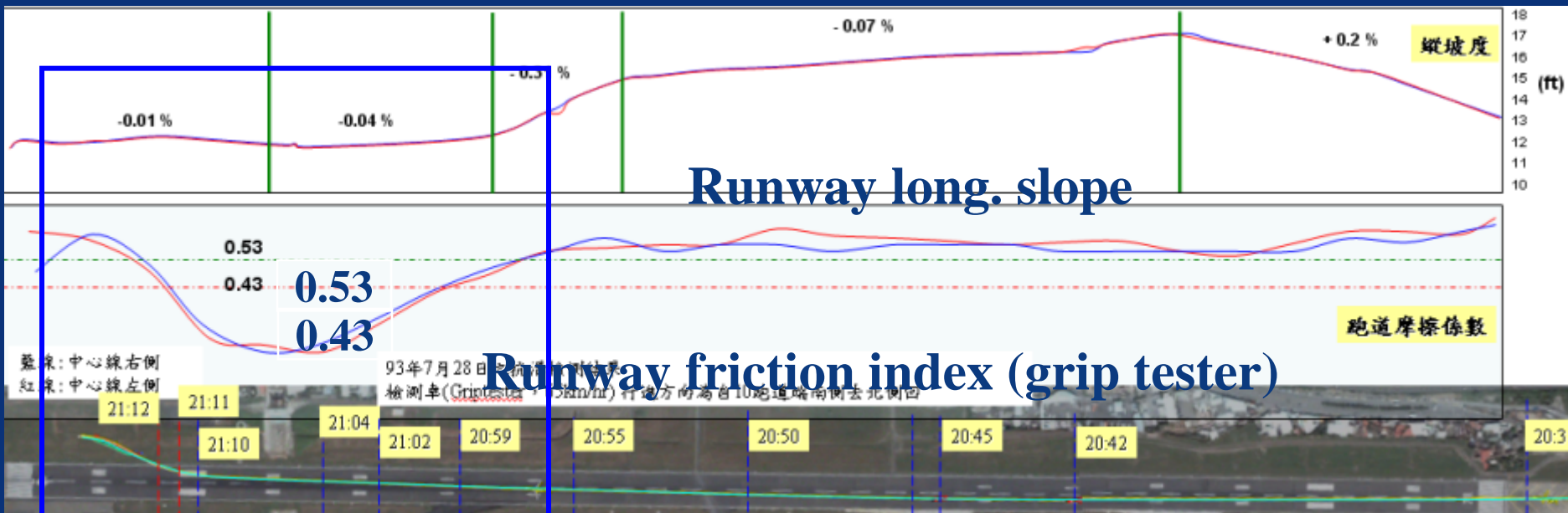
Encountered wind shear
CAS dropped 29 knots
Increased Thrust
→ T/D fast and long



T/R EPR
1.84/1.84



實例探討：MD82 @RCSS

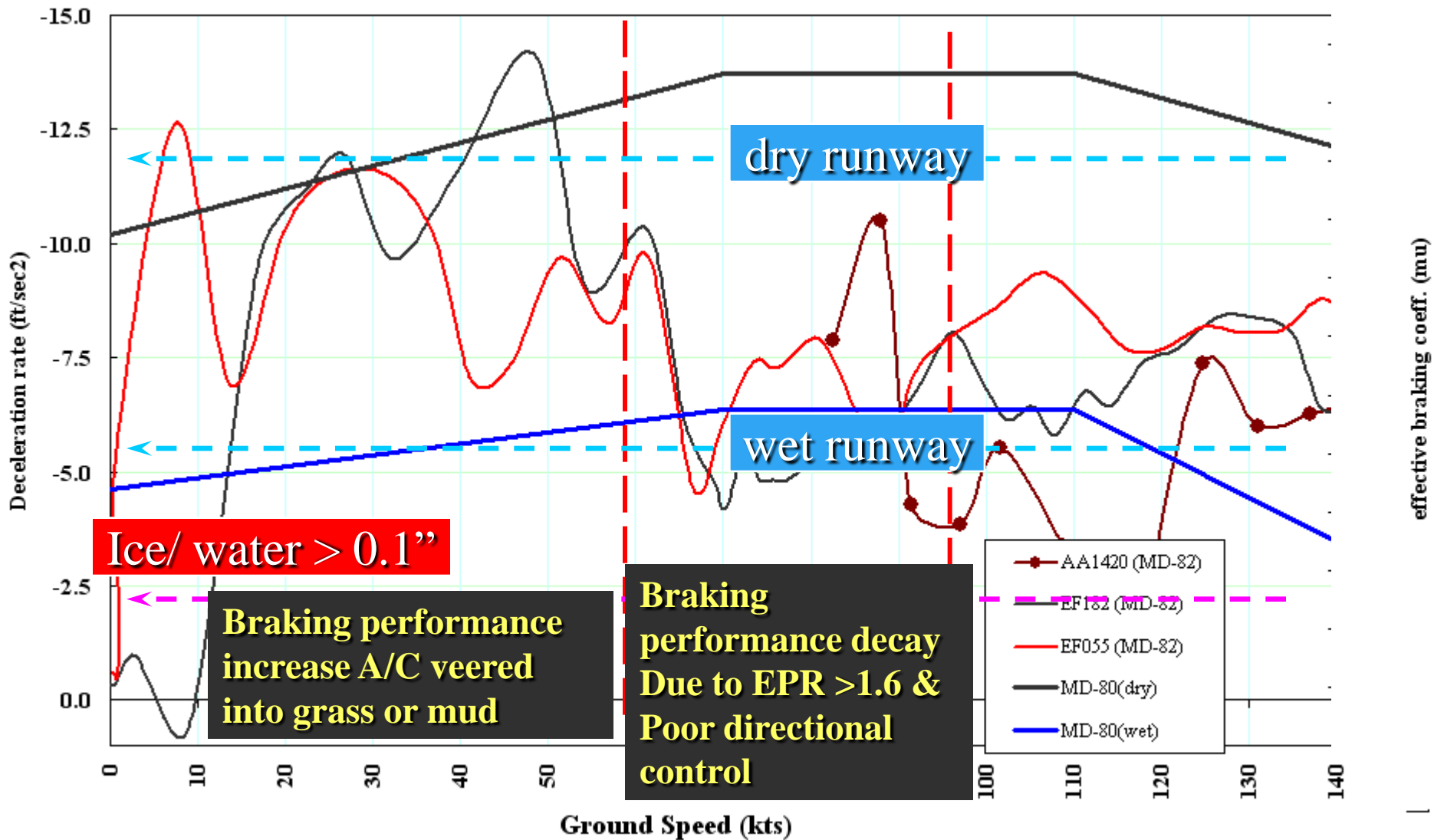


--- Standing water area

..... Down hill, lower runway friction area (< 0.4)



實例探討：MD82 @RCSS



MD82 @RCSS 之調查結果

- 與可能肇因有關之調查發現：
 - 該機於進場時遭遇風切效應及落地前順風影響，造成於距28跑道頭約2,500呎處觸地，加以跑道濕滑，影響減速效能，且距28跑道頭5,500呎至約8,000呎處有抗滑值偏低及道面濕滑現象，可能產生部分黏滯性水飄作用而無法控制方向及有效減速。期間該機飛航組員因依使用煞車踏板角度及飛機減速情況判斷，懷疑煞車系統未正常運作，駕駛員為達減速目的，使用超過廠商建議之最大反推力值減速，降低該機方向控制之能力，因而於約距28跑道頭7,800呎處偏出跑道。

MD82 @RCSS之調查結果

■ 飛安改善建議：(致○○航空公司)

- 加強宣導**穩定進場**之定義及**重飛**之執行時機，並確保所有駕駛員皆能使用同一**穩定進場標準**。
- 加強駕駛員於**濕滑跑道落地時**之認知及操作。
- ...

■ 飛安改善建議：(交通部民用航空局)

- 督導○○航空公司加強宣導**穩定進場**之定義及**重飛**之執行時機，並確保所有駕駛員皆能使用同一**穩定進場標準**。
- 詳列各機場跑道抗滑評估標準於飛航指南中，並加強執行發布「**跑道潮濕可能滑溜**」之警訊及提升跑道道面抗濕滑能力之作為。
- ...

實例探討：A320@RCSS

A319 A320 A321	NORMAL PROCEDURES	REV 36	3.09
		SEQ 001	

LANDING			
PF		PNF	
At 20 feet:			
FLARE	PERFORM	ATTITUDE	MONITOR
THRUST LEVERS	IDLE		
At touchdown:			
REV	MAX	ANNOUNCE	"GRND SPLRS"
BRAKES	AS RDRD	ANNOUNCE	"REVERSE GREEN"
At 70 knots:			
REV	IDLE	ANNOUNCE	"70 KT"
At taxi speed:			
REV	STOW		
Before 20 knots:			

A320 Normal Procedures Landing

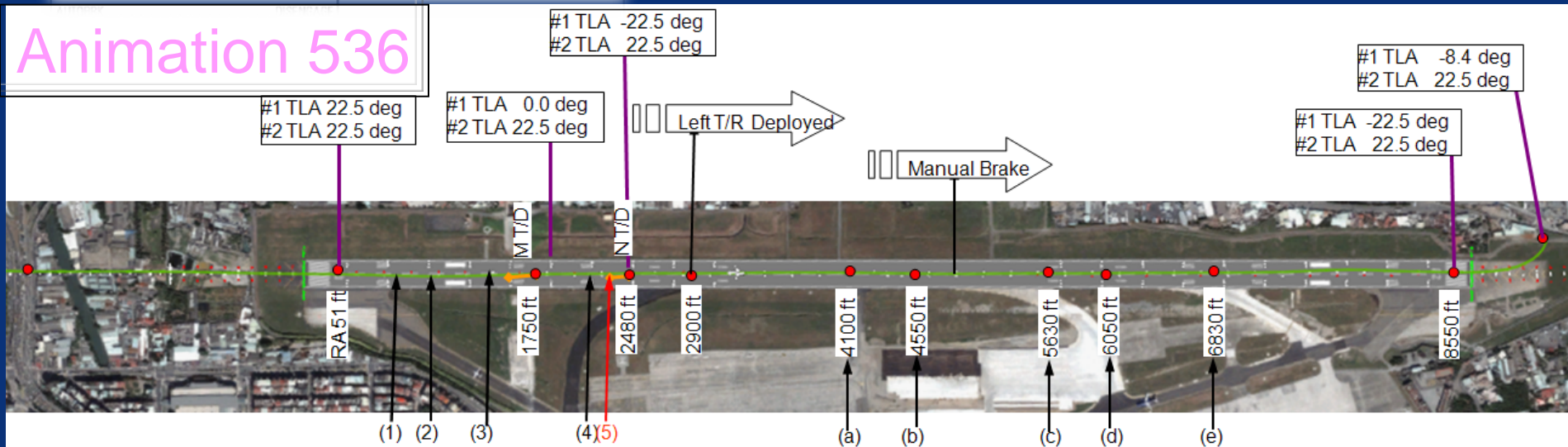
...

At touchdown:

PNF Announce "GRND SPLRS"

PNF Announce "REVERSE GREEN"

Animation 536



Local Time	CVR
(1) 1959:23.4	Retard
(2) 1959:25.4	Retard
(3) 1959:26.9	Retard
(4) 1959:28.0	Retard
(5) 1959:29.0	CAM1:spoiler one reverse green and

Local Time	Transcripts	GS
(a) 1959:37.5	沒有煞車囉	135
(b) 1959:39.9	沒有煞車囉	132
(c) 1959:44.4	沒有煞車	124
(d) 1959:46.1	沒有煞車囉	119
(e) 1959:49.8	完全沒有煞車	109

A320主動失效及潛在差錯

該型機之「RETARD」警告聲響設計之停止模式，存在”陷阱”。且已有3件類似案例。

組織因素

- ◆ 駕駛員對航空器在濕滑跑道落地操控技術、減速系統及組員合作等之訓練及考驗，及航空器性能資料查閱及運用之熟悉度不足。

不安全監督

- ◆ 駕駛員著陸時，未按落地階段標準操作程序及飛航相關手冊規定執行檢查及呼叫程序。

不安全行為

之前提條件

- ◆ 因2號油門控制桿未在慢車位置，致地面擾流板與自動煞車未能及時致動。
- ◆ 著陸後，2號油門控制桿未收至慢車位置，「RETARD」警告聲響已中斷，亦無其它方式提示駕駛員收回油門控制桿。

不安全行為

- ◆ 落地前操控駕駛員未將2號油門控制桿收至慢車位置，致落地後地面擾流板雖已備動但未致動，致自動煞車亦未致動。
- ◆ 監控駕駛員於著陸時，習慣性叫出「spoiler」，未依標準操作程序先檢查ECAM之顯示後再呼叫，致未發現地面擾流板未致動

潛在差錯

A320調查結果

- 與可能肇因有關之調查發現：
 - 無線電高度20呎以下或/及收油門警示聲響提示時，操控駕駛員未將2號油門控制桿收至慢車位置，致落地後地面擾流板雖已備動但未致動，因而自動煞車亦未致動，另因2號油門控制桿位置仍在22.5度，當自動油門轉為人工操作模式後，2號發動機之推力輸出亦轉為大於慢車推力。
 - ...
- 飛安改善建議：(致Airbus飛機製造公司)
 - 重新檢視「RETARD」警告聲響設計之停止模式或其它警告方式，於確定落地後油門控制桿未收至慢車位置時，仍應持續警示駕駛員。
 -

A320調查結果：後續發展

- Airbus公司事後同意修改A320機載電腦警告系統(ECAM+MWRN)，並發出服務通告。2006~2009 相關Safety Bulletins:
 - Airbus SB A320-31-1334 Revision 02
- 2007年7月17日巴西天馬航空公司1架A320客機(TAM3054)
 - 兩案事故前 2號反推力器因故障de-activated, 屬濕滑跑道
 - 兩案2號油門控制桿收至慢車位置，致落地後地面擾流板雖已備動但未致動，因而自動煞車亦未致動
 -詳巴西民航局調查報告
- 2011年01月10日 EASA提出AD 2011-0001解決此一問題(我國民航局於1月12日提出CAA-2011-01-004)
 - 採用「Enhanced RETARD」logic解決問題
 - 48個月內，更換FWC P/N 350E053020909

結論

- 最近13年，我國落地衝出跑道事故與全球趨勢相似，且未見有效的預防措施。此類事故與MD 80/90機種佔53.8%，ASC曾提出飛安改善建議之重點：
 - 加強宣導穩定進場之定義及重飛之執行時機。當航空器超過穩定進場標準時，要求駕駛員確實執行重飛。
 - 加強駕駛員對側風落地之訓練，及對側風變化進場與落地階段側向穩定操控能力之要求及考驗。
 - 加強駕駛員於濕滑跑道落地時之認知及操作，並加強訓練與考核。
 - 加強訓練駕駛員濕滑跑道落地的注意事項及反推力的使用限制。
 - 餘詳見於各調查報告

結論 (續)

- 於雷雨或颱風(伴隨西南氣流)情況下，可能形成溼滑跑道；易導致進場速度過快或及著陸點過長，且最後進場至平飄時常遭遇強側風及順風而導致事故
- 現行塔台提供給駕駛員的機場天氣資料，欠缺精確可靠的(及時)跑道抗滑資料；航空器製造商提供給駕駛員的飛航操作手冊及性能評估系統，無法量化跑道抗滑係數，航空器之減速性能衰減，及準確評估落地距離增加等問題。 (ref to SWA 1248, 2005.12)

建議

- 為持續研究此一議題，存在一定的難度；統一專業術語及其定義，以增加調查報告可讀性與趨勢分析 (ref to ICAO ADREP/CAST CICTT/ECCAIRS...)
- 研擬並頒布濕滑及污染跑道的定義及量測標準；鼓勵駕駛員提供PIREPS，管制員按標準分類法測報之
- 建議民航業者及監理機構，盡速研擬或修訂「FOQA/FDM 飛航參數之監控規範或標準」
 - 採用相同的監控參數及其標準
 - 為預防衝出跑道，重新檢視FOQA/FDM無法捕捉或分析的關鍵參數

報告完畢



參考資料

濕滑或污染跑道的定義

ICAO Annex 14 Vol. 1, 2002
JAR-OPS/1.48; FAA AC 25-13/96-1B

ICAO Annex 14			JAR-OPS/EUOPS1.480	FAA AC 25-13/96-1B
Dry	道面沒有水氣或積水	Dry	Neither wet nor contaminated	No definitive definition
Damp	道面有水氣，道面顏色改變	Damp	Surface is not dry, but moisture on the surface does not give a shiny appearance	-
Wet	道面潮濕，但無積水	Wet	Shiny in appearance, depth less than 3 mm of water	neither dry nor contaminated
Water Patches	道面積水且肉眼看得見	Contaminated	More than 25% of the surface to be used is covered standing water or slush more than 1/8 inch (3 mm) deep, or snow or ice covered	More than 25% of the surface to be used is covered standing water or slush more than 1/8 inch (3 mm) deep, or snow or ice covered
Flooded	道面大量積水且肉眼看得見			

ICAO Annex 6 Attachment C

Wet runway: A runway that is neither dry nor contaminated.

Contaminated runway: A runway is contaminated when more than 25% of the runway surface area (whether in isolated areas or not) within the required length and width being used is covered by: Water or slush more than 3 mm (0.125 in) deep ; Loose snow more than 20 mm (0.75 in) deep; or Compacted snow or ice, including wet ice



濕滑或污染跑道的定義

DEFINITIONS

- DAMP** : A runway is damp when the surface is not dry, but when the water on it does not give it a shiny appearance.
- WET** : A runway is considered as wet when the surface has a shiny appearance due to a thin layer of water. When this layer does not exceed 3 mm depth, there is no substantial risk of hydroplaning.
- STANDING WATER** : Is caused by heavy rainfall and/or insufficient runway drainage with a depth of more than 3 mm.
- SLUSH** : Is water saturated with snow which spatters when stepping firmly on it. It is encountered at temperatures around 5°C and its density is approximately 0.85 kg/liter (7.1 lb/US GAL).
- WET SNOW** : Is a condition where, if compacted by hand, snow will stick together and tend to form a snowball. Its density is approximately 0.4 kg/liter (3.35 lb/US GAL).
- DRY SNOW** : Is a condition where snow can be blown if loose, or if compacted by hand, will fall apart again upon release. Its density is approximately 0.2 kg/liter (1.7 lb/US GAL).
- COMPACTED SNOW** : Is a condition where snow has been compressed (a typical friction coefficient is 0.2).
- ICY** : Is a condition where the friction coefficient is 0.05 or below.

The performance given in this chapter has been divided into two categories which are determined by the depth of the contaminant. For each of these categories an equivalent depth of contaminant has been defined for which the performance deterioration is the same.

1. WET RUNWAY and EQUIVALENT

Equivalent of a wet runway is a runway covered with or less than :

- 3 mm (0.12 inch) slush
- 3 mm (0.12 inch) water
- 4 mm (0.16 inch) wet snow
- 15 mm (0.59 inch) dry snow

Source:

OO Airlines A330 FCOM 2.04.10

剎車效應、道面條件與跑道抗滑值之關係

航空承運人濕跑道和污染跑道運行管理規定 CAAC AC-121-FS-2009-33

跑道表面有超過13mm（含）深的積水或當量厚度的其他污染物時禁止起降

剎車效應		預期的關係		
術語	定義	跑道表面條件	ICAO	
			代碼	μ
好	剎車減速效果和方向控制正常。	水層厚度不大於3毫米(0.125英寸) 干雪厚度小於19毫米(0.75英寸) 壓緊的雪，OAT不大於15°C	5	0.4及更高
好到中			4	0.39-0.36
中	剎車減速效果明顯變差，方向控制能力略降低	干雪厚度大於等於19毫米(0.75英寸) 撒沙處理過的積雪 撒沙處理過的冰 壓緊的雪，OAT大於15°C	3	0.35-0.3
中到差			2	0.29-0.26
差	剎車減速效果嚴重變差，方向控制能力可能嚴重降低，有滑水可能	濕雪 融雪 水層厚度大於3毫米(0.125英寸) 冰(沒有融化)	1	0.25-0.21
劣	預期剎車效果為零，方向難以控制 注意： 此條件下禁止滑行、起飛和著陸	冰(正在融化) 濕冰	9	0.2及更低



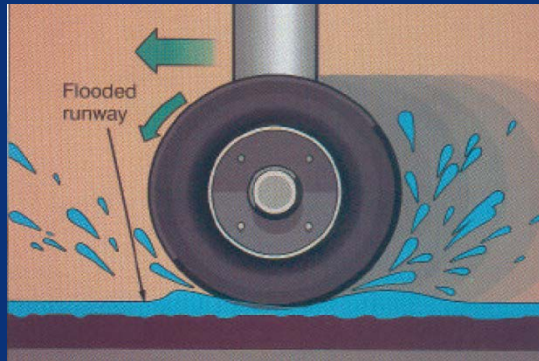
水漂種類、臨界地速及形成現象及必要條件

	最小臨界地速 (哩/時)	最小積水厚度(寸)	相關現象/必要條件
動力水漂(1) 滾動輪胎(起飛)	9.0 SQRT (P) P: 主輪胎壓	~3.0mm	當輪胎完全被舉起於積水道面之情況。
動力水漂(2) 靜止輪胎(降落)	7.7 SQRT(P) P: 主輪胎壓	~7.6mm	Flooded runway, high speed.
黏滯水漂	低速	<0.3mm	在較低地速時發生，只要輪胎於水膜上滑行（通常是含有油污或灰塵的水膜），這種狀況會發生在平坦的道面。 Thin water film, smooth surface. Wheel free to roll.
膠面還原水漂	鎖胎情況下 任何速度	<0.3mm	於濕滑道面，當輪胎之胎紋部分因磨擦生熱，引致胎膠呈現黏軟狀況，並包覆著水，水會轉成蒸汽，而蒸汽壓力會將輪胎舉離道面。 Thin water film, smooth surface. Locked wheel.

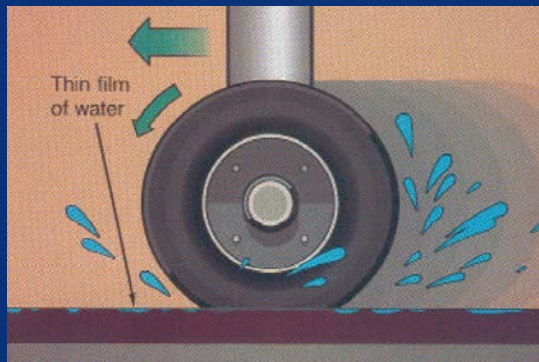
Source:
FAA/NASA Runway Friction Program, NASA Report TP 2917
Boeing Landing on Slippery Runway



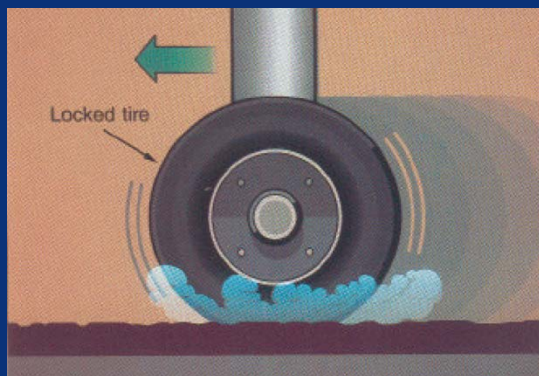
水漂種類、臨界地速及形成現象及必要條件



Dynamic hydroplaning. At high speed the tire planes on deep, standing water. Tire grooves & runway surface macrotexture (grooved surface) help drain water from the foot print & improve friction.

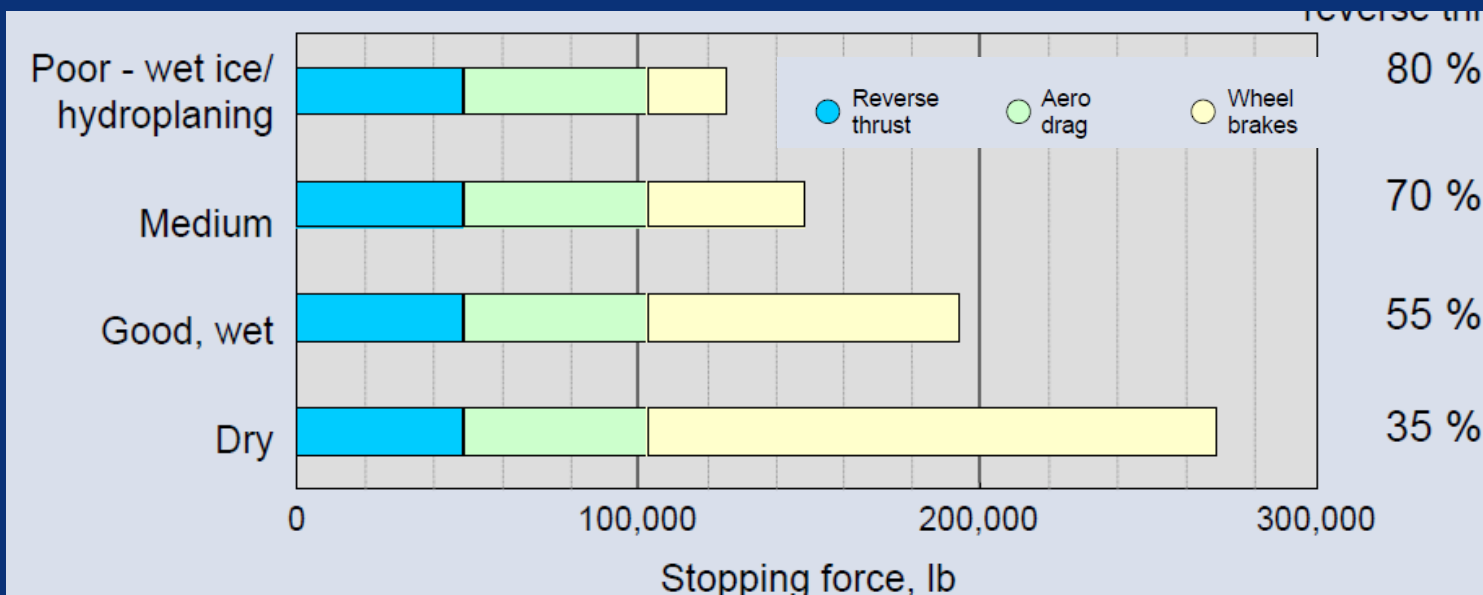
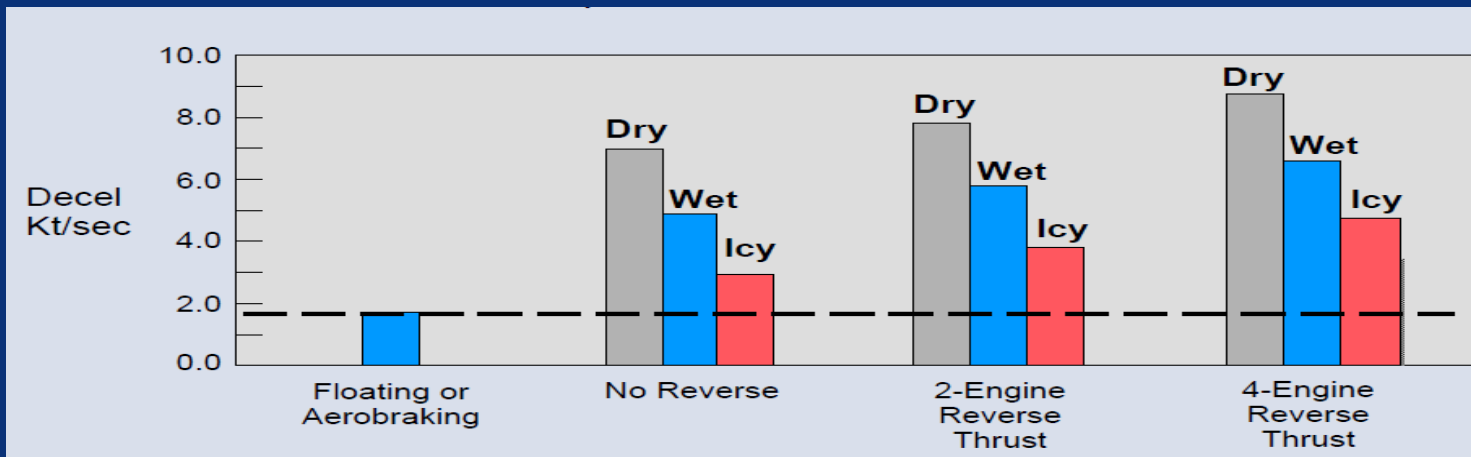


Viscous hydroplaning (normal wet runway friction). A thin film of water acts like a lubricant. The microtexture of the runway surface (sandpaper-like roughness) breaks up the water film & greatly improves traction



Reverted rubber hydroplaning. When a tire locks up on a smooth wet or icy surface, the friction heat generates steam. The steam pressure then lifts the tire off the runway; the steam heat reverts the rubber to a black gummy deposit.

溼滑跑道情況下某機型之減速性能



航空器有效煞車係數及減速效能之評估

- 最近10年，歐美的民航監理機關及研究單位，共同推動冬季跑道摩擦量測聯合計畫 (JWRFMP)。
- JWRFMP研究目的為量化不同抗滑檢測儀的抗滑係數，並將其換算成國際的統一指標，稱為國際跑道摩擦指標(IRFI)。

$$\begin{aligned}\mu_{IRFI} &= 0.0095 + 0.7457 \mu_{grip\ tester\ device, NASA} \\ mu &= 0.08372 + 0.4104 \times IRFI; \\ mu &= 0.05021 + 0.5116 \times CRFI\end{aligned}$$

- (1) 考慮一固定翼航空器於跑道（縱坡度為 ϕ ）減速，其加速度，推力，阻力，重量，及有效煞車係數之關係如方程式(2)。

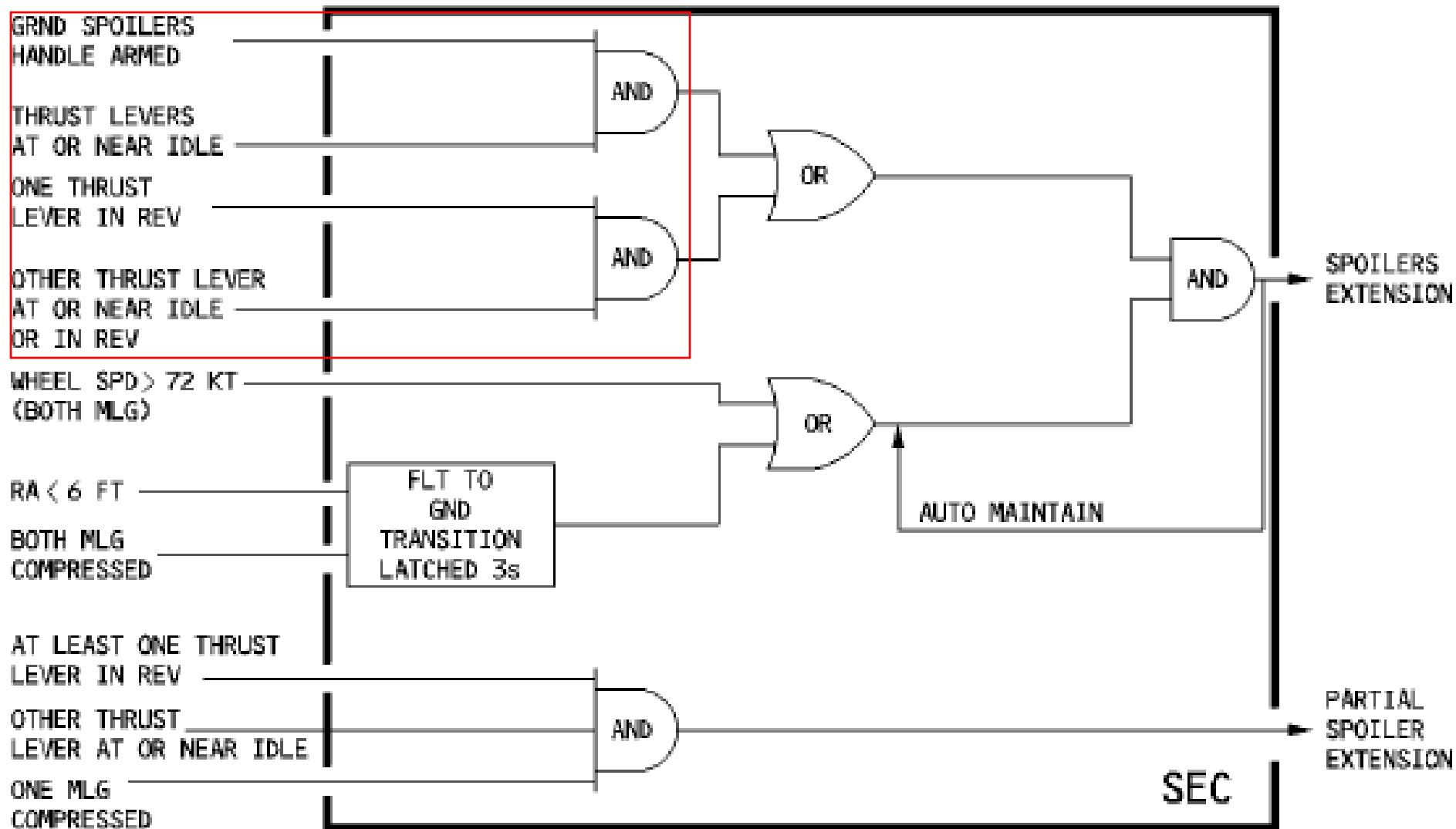
$$mu = \left(\frac{T}{W} - \frac{D}{W} - \sin \phi - \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \right) / \left(1 - \frac{L}{W} \right) \quad (2)$$

$$DR = \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \approx \frac{T-D}{W} + \left(\frac{L}{W} - 1 \right) mu \quad (3)$$

減速率

有效煞車係數

A320擾流板伸展邏輯圖



A320/321 全球機隊衝出跑道案例

資料來源：BEA ECCAIRS 資料庫，包含意外事件、重大意外事故及失事案例計18件

State file number	Report identification	State reporting	Occurrence class	State/area of occurrence	Location of occ	Local date	UTC date	Manufacturer/model/	Type designator	Aircraft registration
BEA ek-9050601		France	Incident	Russian Federation	AD Moscou Vn...	2005/6/1	2005/6/1	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	EK-32009
BEA s7-h050705		France	Incident	Cambodia	AD Siem-Reap	2005/7/5	2005/7/5	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	S7-ASH
BEA n-jb010121		France	Incident	United States	AD JFK	2001/1/21		AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	N509JB
BEA N-NW010317		France	Accident	United States	AD DETROIT ...	2001/3/17		AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	N357NW
BEA n-ua080225		France	Incident	United States	AD Jackson Hole	2008/2/25	2008/2/26	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	N442UA
BEA N-AW020828		France	Accident	United States	AD PHOENIX	2002/8/28	2004/8/29	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	N635AW
BEA iy-r050518	6/2007	France	Incident	United Kingdom	AD Leeds Bradf...	2005/5/18	2005/5/18	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	JY-JAR
BEA pr-k070717		France	Accident	Brazil	AD Sao Paulo C...	2007/7/17	2007/7/17	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	PR-MBK
BEA b-10041018		France	Accident	Taiwan Island	AD Taipei Sung...	2004/10/18	2004/10/18	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	B-22310
BEA n-ua071009		France	Incident	United States	AD Chicago	2007/10/9	2007/10/9	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	N431UA
BEA ZS-D000301		France	Incident	Zambia	AD LUSAKA	2000/3/1		AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	ZS-SHD
BEA rp-4071026		France	Accident	Philippines	AD Butuan	2007/10/26	2007/10/25	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	RP-C3224
BEA oy-a060326		France	Serious incident	Norway	AD Torp	2006/3/26	2006/3/26	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	OY-VKA
BEA ts-a080926		France	Serious incident	Germany	AD Dortmund	2008/9/26	2008/9/26	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	TS-IQA
BEA SU-U031101		France	Serious incident	Russian Federation	AD Moscou Do...	2003/11/1	2003/1/1	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	SU-GBU
BEA f-aj090209	f-aj090209	France	Accident	France	AD Paris Charle...	2009/2/9	2009/2/8	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	F-GYAJ
BEA su-r030613		France	Accident	Sudan	AD Khartoum	2003/6/13	2003/6/13	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	SU-GBT
BEA su-w090218		France	Incident	Italy	AD Milano Malp...	2009/2/18	2009/2/18	AIRBUS INDUSTRI...	GIE Airbus Indus...	SU-GBW

A320/321 全球機隊衝出跑道案例

資料來源：BEA ECCAIRS 資料庫；TAM3054

Events

- [-] Aircraft flight control related event (ATA Code:2700) , during Landing roll. {Occurrence}
 - [-] Engine controls (ATA Code:7600) : Misused
 -Pilot., *Personal apprehension problems : Possible*
 - [-] Flight crew's operation of thrust reverser system : Not complied with
 -Pilot., *Knowledge of flight procedures : Not followed*
- [-] Aeroplane - deviation from intended flight path/attitude (fixed wing aircraft) , during Landing roll. {Occurrence}
 -Spoiler system (ATA Code:2762) : Impossible
 -Run-on landing (helicopter) : Asymmetric
 -Landing gear brake system (ATA Code:3240) : Insufficient
 - [-] Flight crew's control of the aircraft's alignment with the runway : Impossible
 -Pilot., *Psychological-misunderstanding*
-Runway excursion to the side , during Landing roll. {Occurrence}
-Aircraft collision with building , during landing roll - off runway {Occurrence}
-Fire , during landing roll - off runway {Occurrence}