

妥善維修柴油商業車輛 技術講座系列

車輛廢氣排放測試概覽

Mobile Source Group

流動污染源組

09/11/2018 24/01/2019



環境保護署

Environmental Protection Department

此講義解釋：

- 香港柴油私家車採用比歐盟更嚴謹的排放標準
- FAS及Lug Down Test沒法檢測NOx排放
- 環保署的廢氣測試跟運輸署年檢廢氣測試作用不同
- 廢氣遙感檢測聯同瞬態功率機測試是高效可行的在用車廢氣管制措施

背景

- 空檔加速煙霧測試 (FAS)及功率機測煙法 (Lug Down Test) 只檢測黑煙，沒有檢測氮氧化物(NOx)
- 現在沒有簡易方法檢測柴油車NOx排放
- 柴油車NOx: 維修問題嚴峻
- 需要新的在用柴油車NOx排放檢測方法
- 需要維修業界訓練、檢測器材供應、測試技術等配合

柴油車測試方法撮要

測試方法	簡述	特點
Free Acceleration Smoke Test (FAS) 自由/空檔加速煙霧測試	簡易無駕駛負載的黑煙檢測	數據對維修分析幫助有限
Dynamometer Smoke Test (Lug Down Test) 功率機測煙法	定速全負載測試	反映路面駕駛排煙狀況，有效改善黑煙維修水平
Type Approval Emissions Test 類型審批排放測試	車輛設計的排放量的基準測試	反映車輛的技術含量及指標
Portable Emissions Measurement System (PEMS) 便携式廢氣測量系統	收集行車狀況及相應排放	測試費用貴、時間長，反映真實路面排放
Diesel Transient Dynamometer Test 柴油瞬態功率機測試	簡易版的類型審批排放測試	容易操作，高維修效益，可以測試NOx
Remote Sensing Emissions Measurement 廢氣遙感檢測	監測車輛日常運作的排放	高效率的NOx篩選，車主不須繳付遙測費用

功率機測煙法 (Lug Down Test)

- 香港環境保護署在90年代末率先使用
- 針對不正確修理及調較柴油泵以減少黑煙
- 引擎受穩定的負載，測試黑煙及馬力
- 黑煙車輛大幅減少八、九成，仍然沒有檢測NO_x排放



簡易空檔加速煙霧測試 (FAS)

- 引擎沒有穩定的負載
- 只測試黑煙
- 沒有檢測NO_x排放



檢測NOx的實際需要

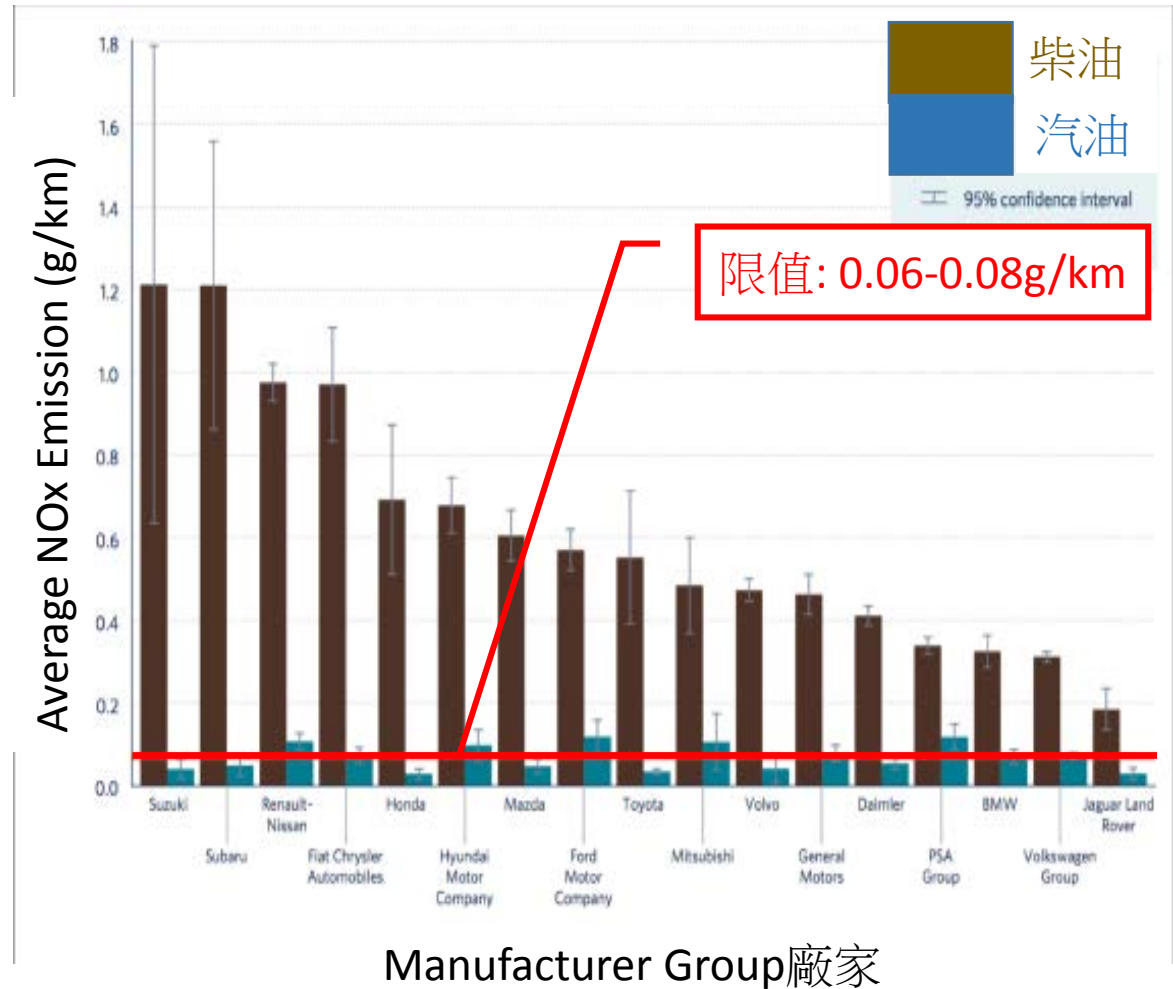
- 維修不良的柴油引擎NOx 排放濃度可以高於3000ppm (約正常Euro 5 車輛排放的20倍以上)
- 引擎元件及系統，很大程度是為減少NOx 而設計
- NOx 數據有助維修分析

- 黑煙與NOx的生成機制不相同，故使用lug down測試NOx的效果不佳
- FAS/Lug Down 針對管制黑煙排放
- 共軌柴油引擎：設計基準黑煙度已經甚低

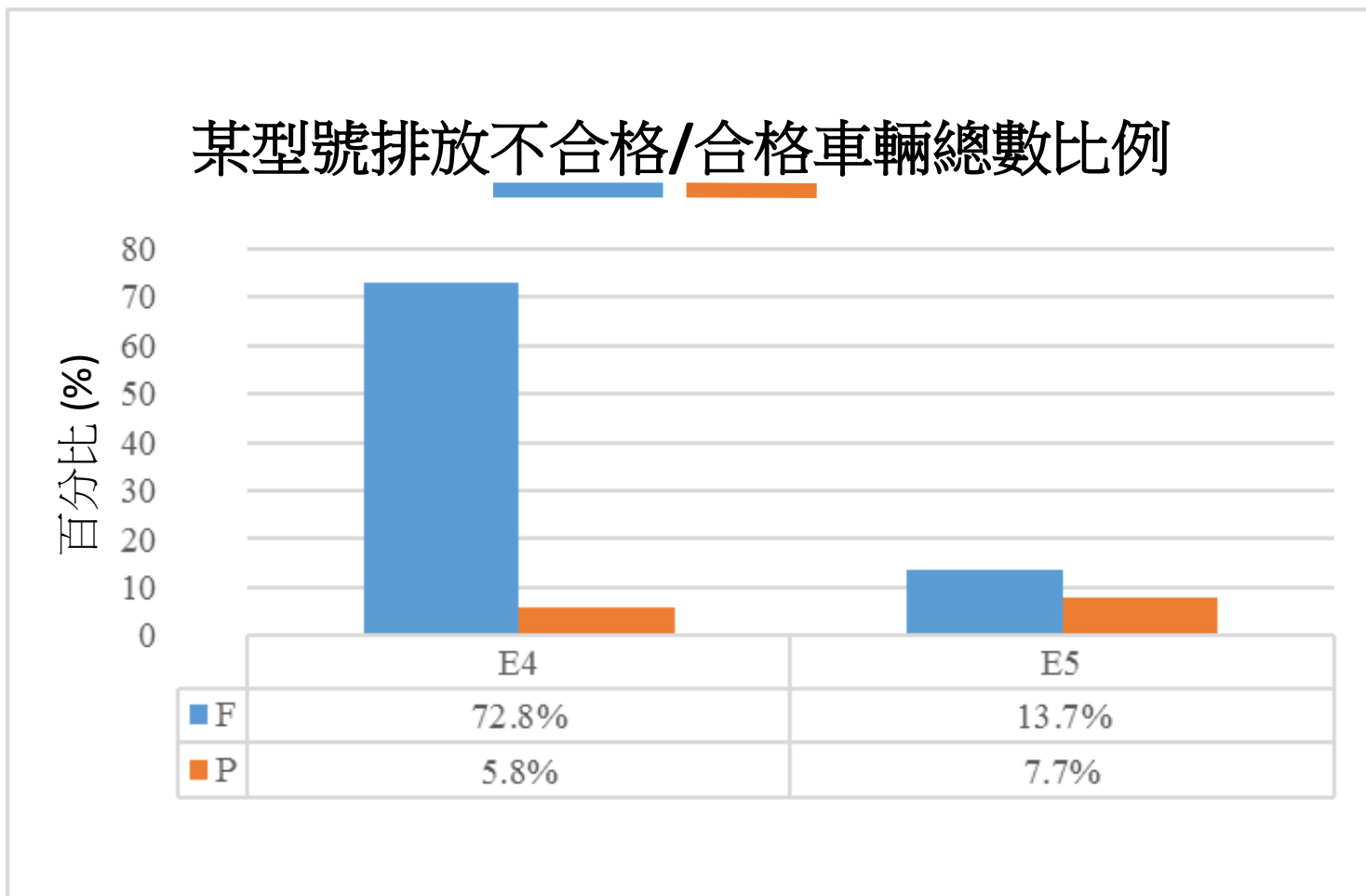
系統	元件
入氣/EGR 流量管理	<ul style="list-style-type: none"> • 新設計引擎蓋、小型DI、高轉速、多閥門 • 改良廢氣渦輪增壓器、無段匹配、快速慣性反應 • 多重EGR流量閥及冷卻器
燃燒管理	<ul style="list-style-type: none"> • 重新設計鮮風導入、新燃燒室、物料 • 共軌高壓、可變噴射時間及噴射量、共軌多重噴射
廢氣溫度/背壓管理	<ul style="list-style-type: none"> • 共軌多重噴射、前置DOC • 可變EGR/冷卻器 • 加大及強化廢氣閥門/座 • DPF背壓監察及再生管理

柴油車NOx問題嚴峻 – 外地數據

International Council on Clean Transportation (ICCT) 整合數以萬計在外地測試的遙感監測數據，在「2018香港車輛尾氣遙感監測座談會」中發表右圖：柴油私家車在真實路面NOx排放超標情況，遠比汽油車嚴重



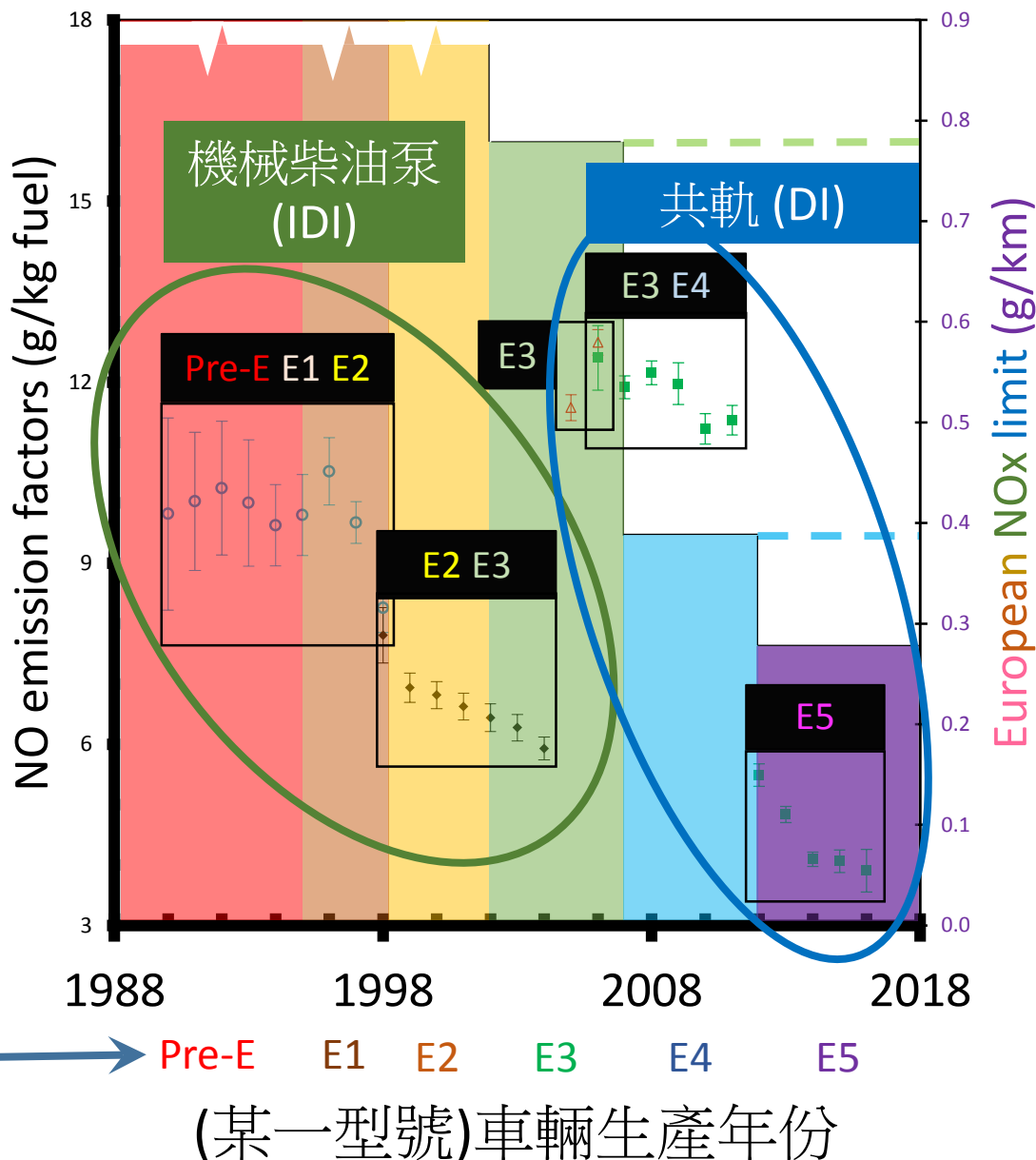
柴油車NOx問題嚴峻 – 香港數據



用功率機以TUV工況測試172架E4&E5 柴油客貨車，
其中NOx排放超過設計標準兩倍佔87%

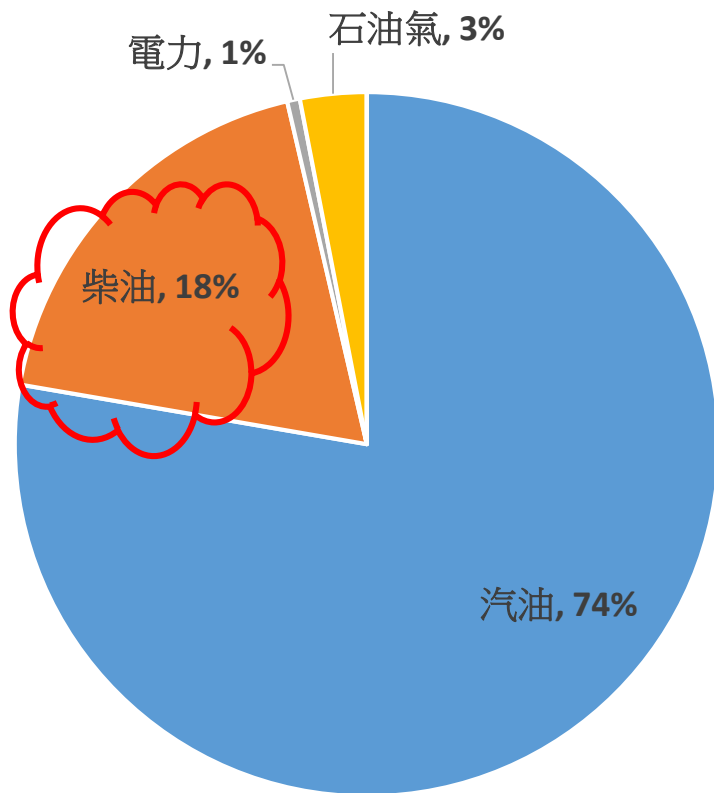
柴油車NOx排放沒有隨著歐盟標準收緊而有所減少

- 4/2014 - 4/2017 期間，香港遙測量得>280,000 個有效柴油車數據
- 顯示某品牌同型號客貨車，Euro 4型號NOx排放比Euro 2, 3同型號還高
- 其他品牌柴油車NOx排放亦高
- 跟外地測試結果相若

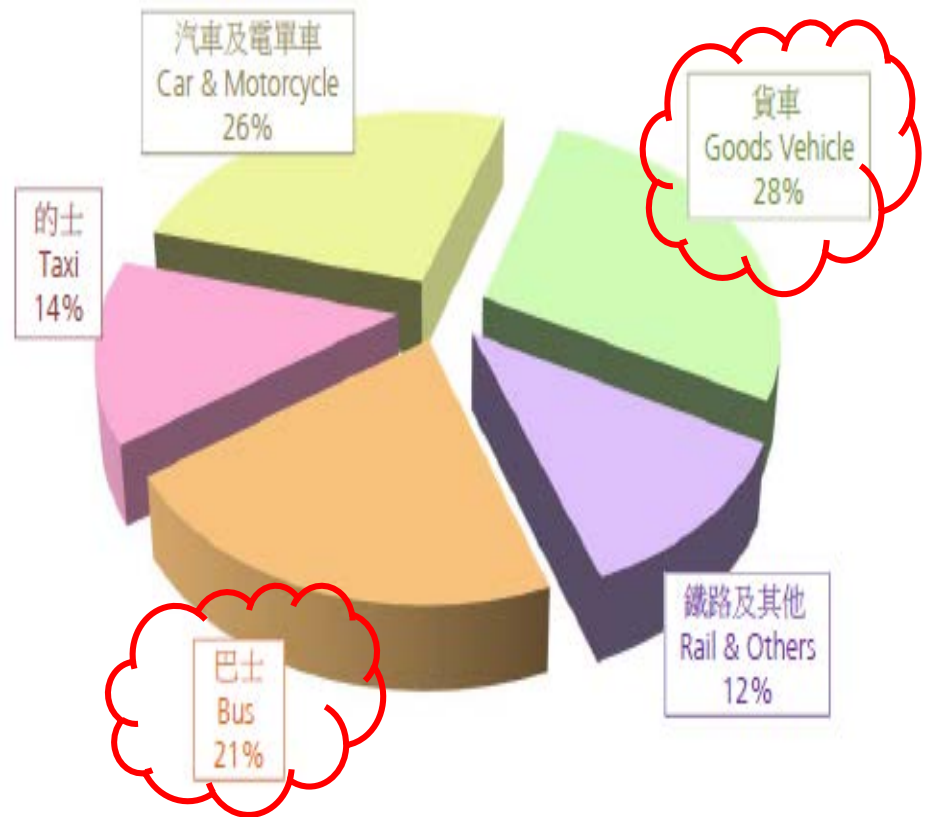


柴油車量少、行駛里數多

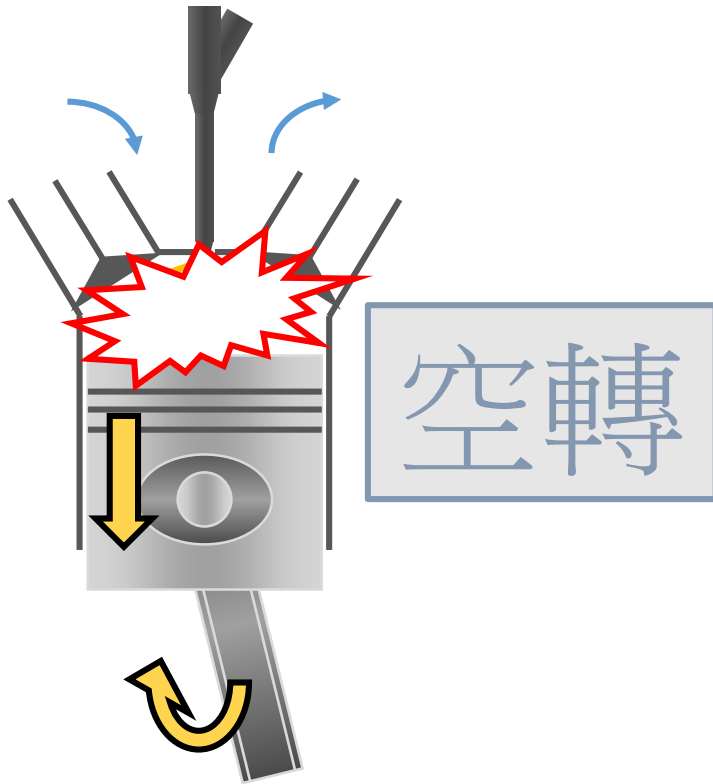
2016年1月運輸署領牌數字



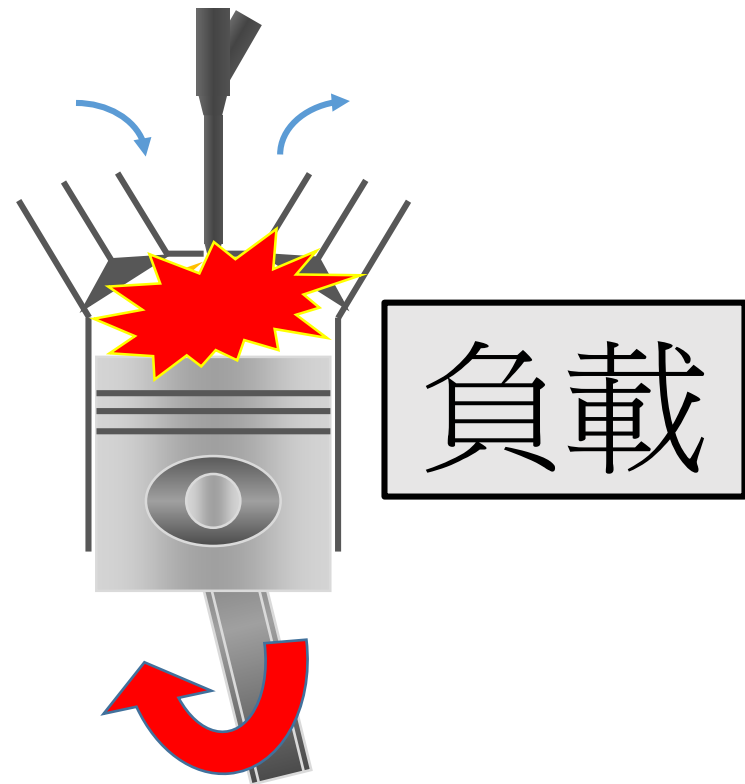
2016年所有運輸能源最終用途
(耗能多:排放多)



引擎負載：NO_x高排放

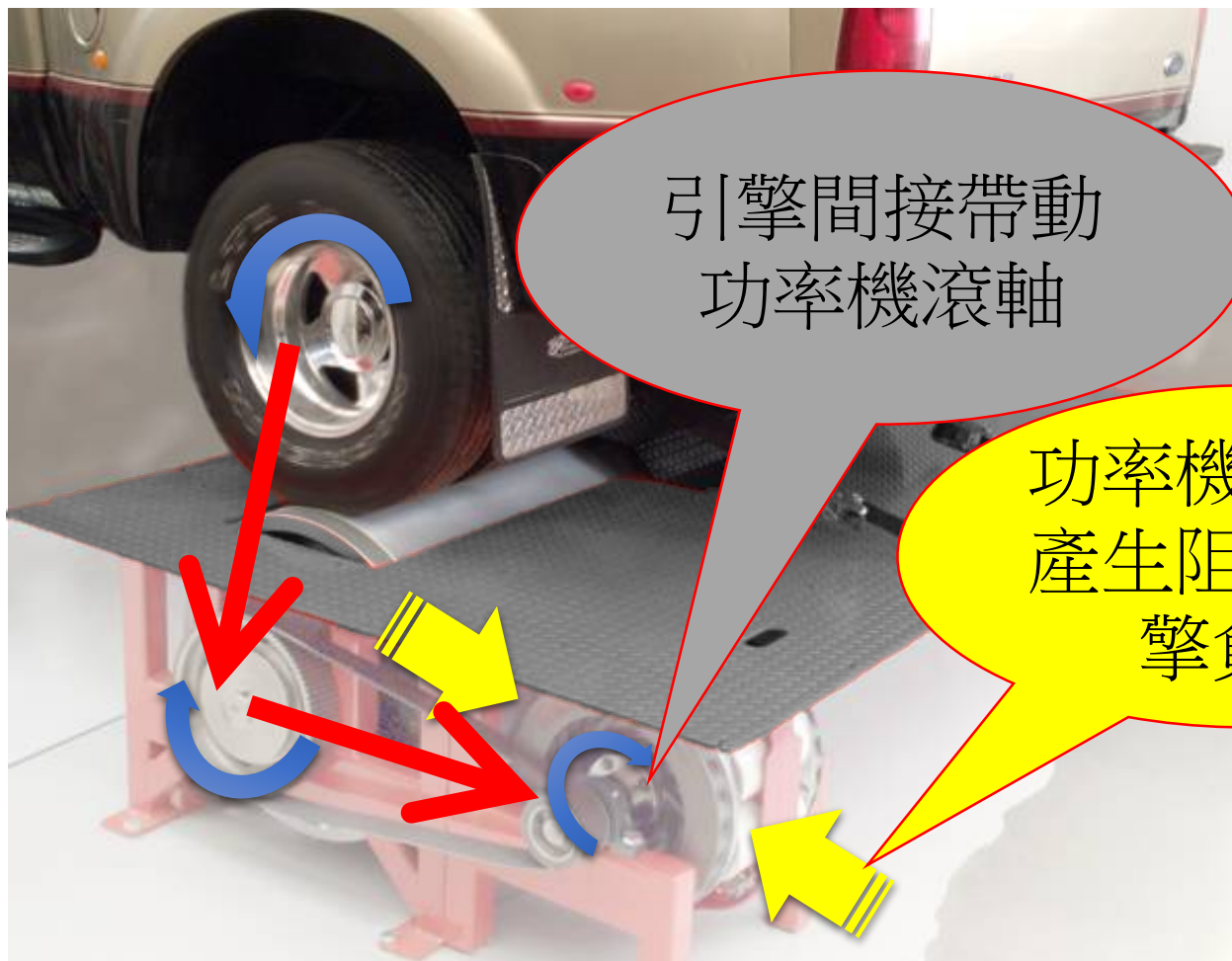


- 引擎空轉: 阻力低
 - 引擎輸出低扭力
- 爆炸氣壓低, 溫度低
- NO_x 排量少



- 引擎負載: 阻力高
 - 引擎輸出高扭力
- 爆炸氣壓高, 溫度高
- NO_x 排量多

底盤功率機能使引擎負載



車輛型號審批Vehicle Type-Approval

- 車輛類型審批標準：歐盟、美國聯邦政府、美國加州、日本..
- 歐盟類型審批是一個法定程序，以確保在歐盟市場的车辆型號，符合特定的安全、環保等要求
- 審批程序包括測試、認證等，須由認可的第三者進行
- 排放標準類型審批(Type Approval Emission Tests) , 是車輛審批(Vehicle Type Approval)其中一項

車輛廢氣審批

Vehicle Emissions Type Approval

- 車輛類型審批(Vehicle Type Approval)
可以全車審批或分段獨立審批
- 量產的私家車一般會全車審批
(European Community Whole Vehicle Type-Approval, ECWVTA)
- 少量生產的大型貨車，由於經濟效益，引擎、車身裝備多為彈性配置，故類型審批多以獨立引擎排放為主

歐盟全車類型審批廢氣測試
European Community Whole
Vehicle Type Approval (ECWCTA)
Emissions Tests

ECWVTA Emissions Test : 車種分類

- Category M: 載人車輛, 最少4車輪
 - M1: 連同司機最多9乘客
 - M2: 連同司機多於9乘客, GVW \leq 5,000kg
 - M3: 連同司機多於9乘客, GVW $>$ 5,000kg
- Category N : 載貨車輛, 最少4車輪
 - N1- Class 1: Max GVW \leq 3,500kg , Reference Mass \leq 1,305kg
 - N1- Class 2: Max GVW \leq 3,500kg , 1,305kg \leq Reference Mass \leq 1,760kg
 - N1- Class 3: Max GVW \leq 3,500kg , 1,760kg $<$ Reference Mass \leq 3,500kg
 - N2 : 3,500kg $<$ GVW \leq 12,000kg
 - N3 : 12,000kg $<$ GVW
- Category O, L,....
- 以上歐盟標準車輛分類, 在不同期歐盟標準(E1,E2,E3..)中的M1,N1,..細分類未必一致
- GVW = Gross Vehicle Weight
- Reference Mass = 正常行駛車輛的重量減75kg(司機重量)再加100kg

ECWVTA Emissions Tests – Types

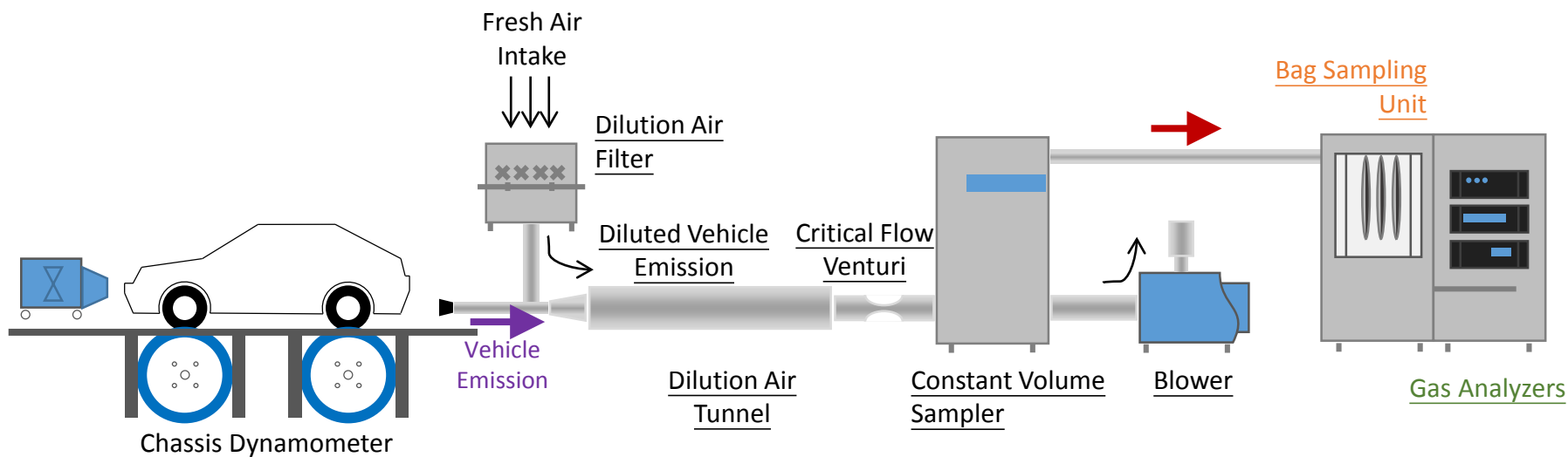
Test	Description	測試簡述
Type I	Tailpipe Emissions after a cold start For Euro 6d-TEMP and later + Real World Driving Emissions	車輛冷卻後起動的功率機工況廢氣測試 Euro 6d-TEMP 及後 +真實路面廢氣測試
Type II	CO Emission test at idling speed	怠速CO測試
Type III	Emissions of crankcase gases	曲軸箱(油底)排放測試
Type IV	Evaporative Emissions	(車輛燃料)蒸發排放測試
Type V	Durability of anti-pollution devices	減排裝置耐用度測試
Type VI	Low temperature test	-7°C 功率機工況廢氣測試
	On Board Diagnostics (OBD)	車上診斷系統

Type Approval Emission Test: 分類

此講座只概略簡介

- 1) 分類方法
 - 車種分類：passenger cars + light duty trucks ; HD and Off highway vehicles
 - 內燃機分類：positive ignition (gasoline, LPG) ; compression ignition (diesel)
 - 歐盟排放標準分類：Euro 1,2,3,4,5a,5b,6b,6d ; Euro I, II, III, IV, V, VI, VII
- 2) European Community Whole Vehicle Type Approval (ECWCTA) 歐盟
全車類型審批廢氣測試 – Type I Emissions Test using chassis dynamometer (私家車)
- 3) 類型審批:引擎廢氣測試 – Engine Emissions Test (重型貨車)

ECWVTA Type I : 設備概要



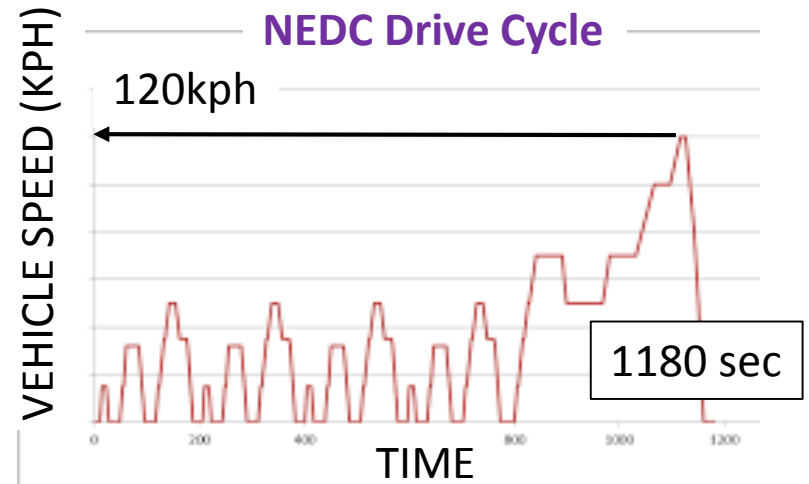
- 工况行程中所有引擎排放物被吸納、稀釋
- 一部份額定容積的排放物被泵至儲存袋(Bag)
- 廢氣分析儀聯同其他設備可量度儲存袋內NO_x, CO, HC重量
- 量度儲存袋內排放物重量可計算工况行程中總排放物重量，單位是gram
- 粒子(PM)會先被濾紙隔離，再用高精度電子磅可量度濾紙在測試前後的重重量差，便可量得PM重量，單位是mg
- Euro 5-6，粒子太細，PM≈0g，粒子數量(Particulate Number, PN)也受管制
- Euro 5-6 柴油車 M, N1-CI1, 2,3, N2 : PN 限值: 6×10^{11} Number/km

WCTA – Type I Dynamometer Emissions Test

http://www.meidensha.com/products/automobile/prod_01/prod_01_02/prod_01_02_03/___icsFiles/artimage/2015/05/01/ce5_fb03/f-1-1-6-img-04.jpg

Chassis Dynamometer Emissions Test – 量度單位:g/km

- 車輛在底盤式功率機上行駛**特定工況**,廢氣分析系統量度整段行程排放物的總質量 (單位:gram), 除以行程總里數(單位: km), 便是廢氣排放量
- 排放量單位: g/km
- 受管制排放物及排放限值按以下釐訂
 - 歐盟排放標準: Euro 1,2,3,4,5,6
 - 燃料: 汽油/柴油
 - 分類: M1,M2,M3,N1-Class1,...
- 排放限值跟引擎容積無關



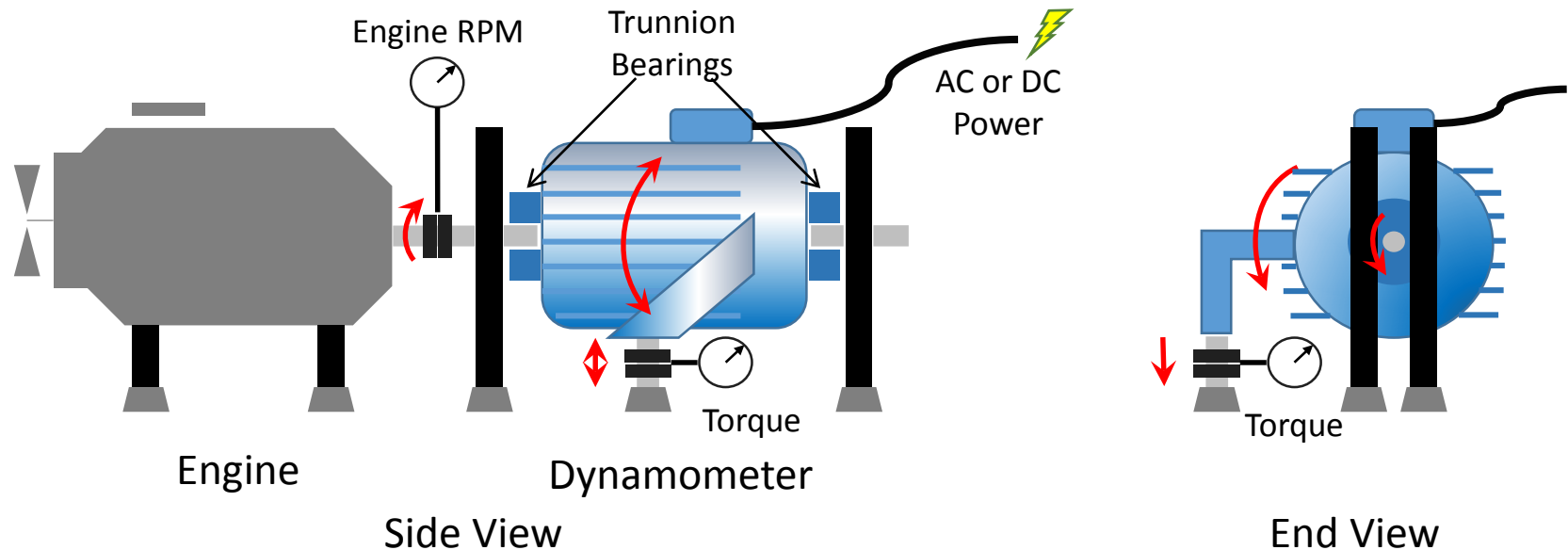
ECWVTA - Type I 汽油私家車受管制的排放物

受管制 排放物	Unit	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
HC	mg/km			√	√		
NOx	mg/km			√	√	√	√
HC + NOx	mg/km	√	√				
CO	mg/km	√	√	√	√	√	√
THC	mg/km					√	√
NMHC	mg/km					√	√
PM	mg/km					√	√
PN	Nb/km						√

類型審批引擎廢氣測試

Engine Emissions Test
for Type Approval

Engines Type Approval Emissions Test



- 引擎曲軸(**crankshaft**) 輸出會連接至功率機轉子(**dyno rotor**)，功率機吸收及量度引擎馬力，能量會被功率機冷卻液帶走
- 測試每個引擎，須最少安裝以下系統：動力輸出(**drive shaft**)、燃料、引擎冷卻液、引擎電腦控制、油門控制、給氣及排氣

Engine Emissions Test

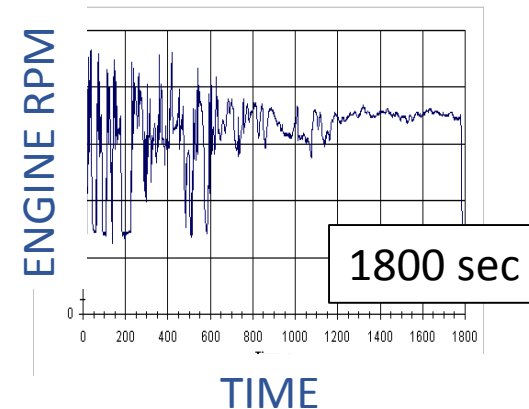
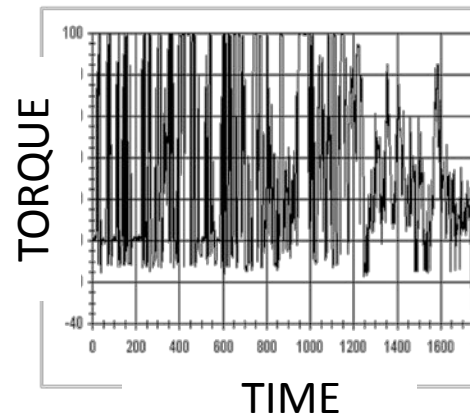
<https://static01.nyt.com/images/2011/04/05/business/Truckjp/Truckjp-jumbo.jpg>

<https://www.adfdiesel.com/images/dyno/dyno-qc-2.jpg>

Engine Dynamometer Emissions Test – 量度單位:g/kWh

- 相比底盤式功率機測試，引擎功率機測試費用高及時間長
- 引擎在功率機上行駛**特定工況**，廢氣分析系統量度整段行程廢氣排放物的總質量 (單位:gram)，除以工況行程引擎輸出總能量 (單位: kWh)，便是排放量
- 廢氣排放量單位: g/kWh
- 管制排放物及排放限值按以下釐訂
 - 歐盟排放標準: Euro I, II, III, IV, V, VI
 - 內燃機: 汽油/柴油
 - 車輛分類: M1, M2, N1, N2, N3,
- 排放限值跟引擎容積無關

European Transient Cycle (ETC)



Type Approval 柴油車受管制的排放物

受管制 排放物	Unit	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
CO	mg/kWh	√	√	√	√	√	√
HC	mg/kWh	√	√	√	√	√	√
NOx	mg/kWh	√	√	√	√	√	√
PM	mg/kWh	√	√	√	√	√	√
NMHC	mg/kWh			√	√	√	√
CH4	mg/kWh			√	√	√	√
Smoke	m ⁻¹			√	√	√	
NH3	ppm						√
PN	Nb/kWh						√

Type Approval Emissions Test 撮要

- 需要精準儀器
 - 程序複雜
 - 測試費用貴、時間長
 - 不適合作為車輛廢氣年檢測試
 - 是廢氣測試方法的量度基準
-
- 多產量車輛一般以全車審批，如M, N1-Cls 1, 2, 3, N2 (排放單位： g/km)
 - 少產量車輛一般以引擎審批，如重型貨車 (排放單位： g/kWh)

回顧柴油引擎排放

汽油及柴油排放比較

CO₂: 穩定於~15%
O₂: <<1%
除GDI外, 沒粒子(PM)
HC&CO 跟 NO_x變化對立



完全燃燒
需要的空氣

空氣及汽化燃料
先行混合、壓縮
才進行燃燒

汽油
(精確控制)
(需經汽化過程)

汽油引擎

多餘的
空氣

完全燃燒
需要的空氣

空氣及燃料混合、汽化及燃燒持續出現，直至噴油停止
(壓縮行程只為加熱空氣)

柴油
(液體)

柴油引擎

CO₂: 隨負載而介乎2-12%
O₂: 8~20%
有粒子(PM)
HC&CO 恆常地低
NO_x: 隨負載而變化

汽化燃料可燃上/下濃度限值

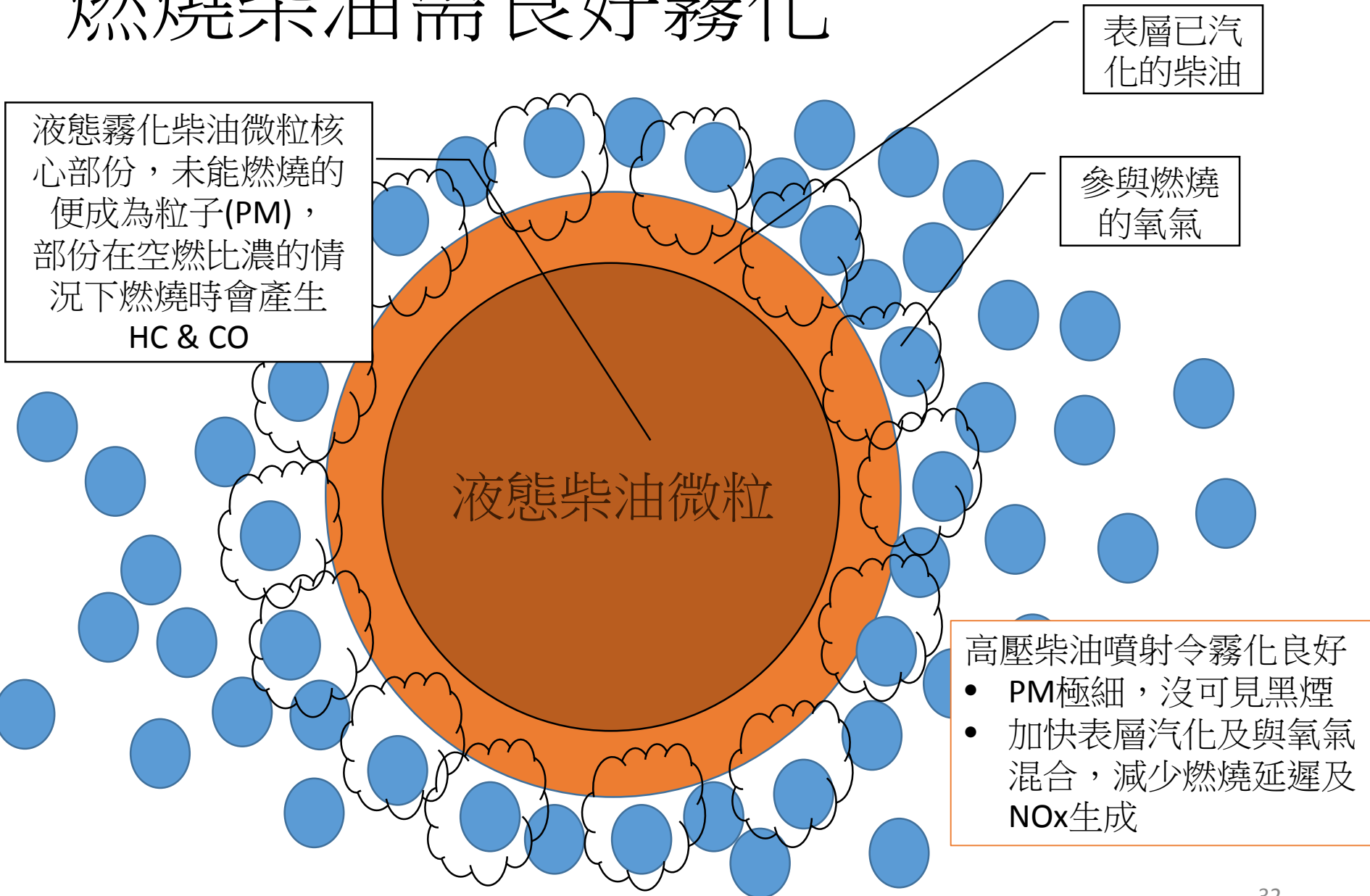
- Lower flammability limit(LFL) / Upper flammability limit(UFL)
- 在濃度範圍內與空氣混合，有所需能量，燃燒才能進行

	LFL 燃料可燃下限 (% in air)	UFL 燃料可燃上限 (% in air)	Auto ignition temp 自燃溫度 (°C)
Diesel 柴油	0.6	7.5	210
Petrol 汽油	1.4	7.6	246-280
Propane (石油氣主要成份)	2.1	9.5-10.1	480

冬天引擎較難
冷起動 (著車)

需要火
咀點燃

燃燒柴油需良好霧化

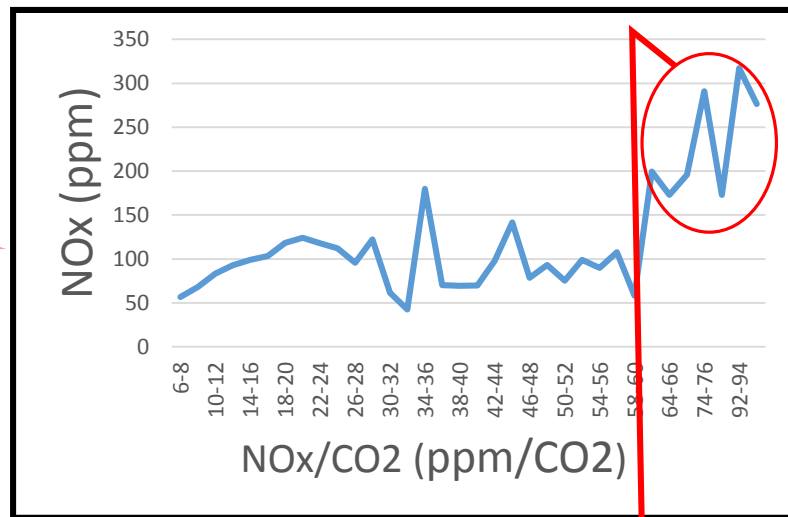
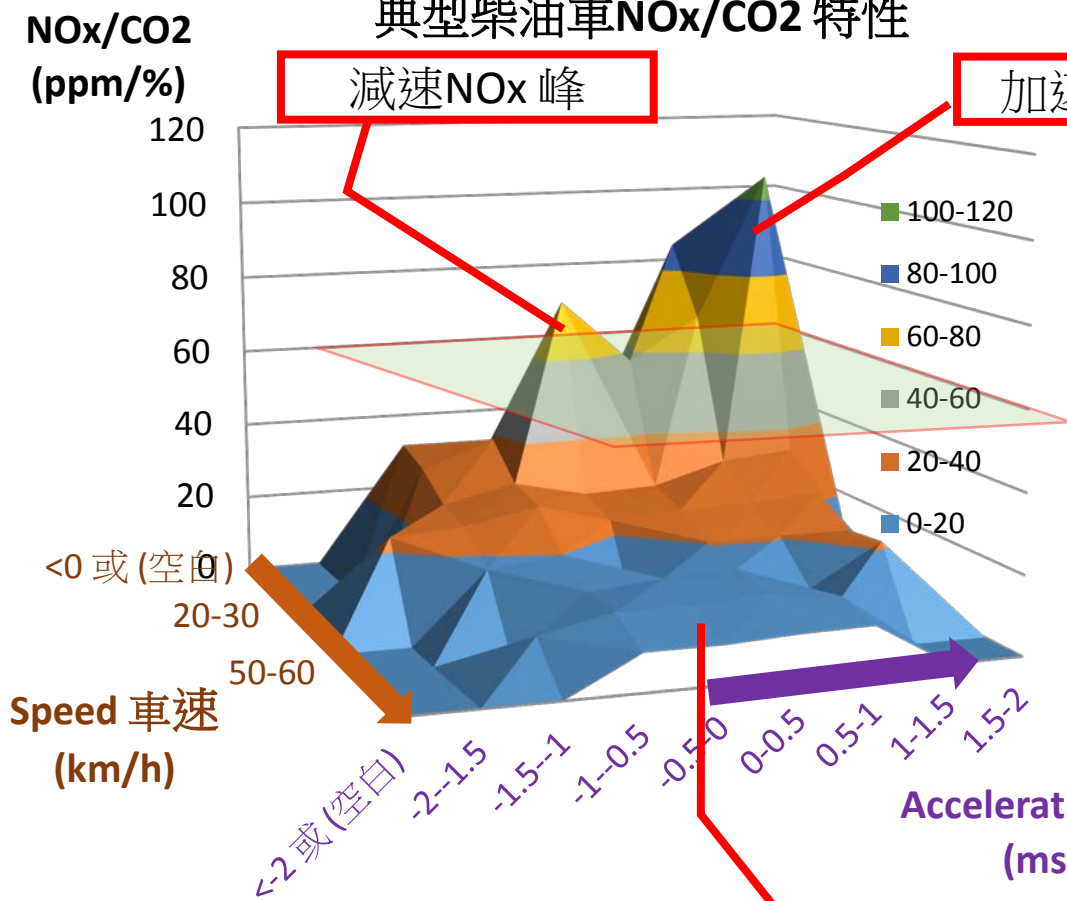


NO_x排放值的不同表示

測試方式	單位	描述
五氣分析儀：濃度	ppm	NO _x 廢氣中容積比例
底盤式功率機工況測試	g/km	每公里排放NO _x 重量
引擎功率機工況測試	g/kWh	每單位引擎能量排放NO _x 重量
遙感測試：與CO ₂ 濃度比例	ppm/%	NO _x 與CO ₂ 之容積比例
遙感測試：與耗用燃料比例	g/kg fuel	每kg燃料所排放NO _x 重量
.....		

NOx 高排放未能在 Lug Down Test 中展現

典型柴油車NOx/CO2 特性



Lug Down Test操作於NOx低排放點

當NOx/CO2 > 60ppm/%, 高NOx (ppm) 顯現

便攜式廢氣測量系統
Portable Emission Measurement
System (PEMS)

便攜式廢氣測量系統

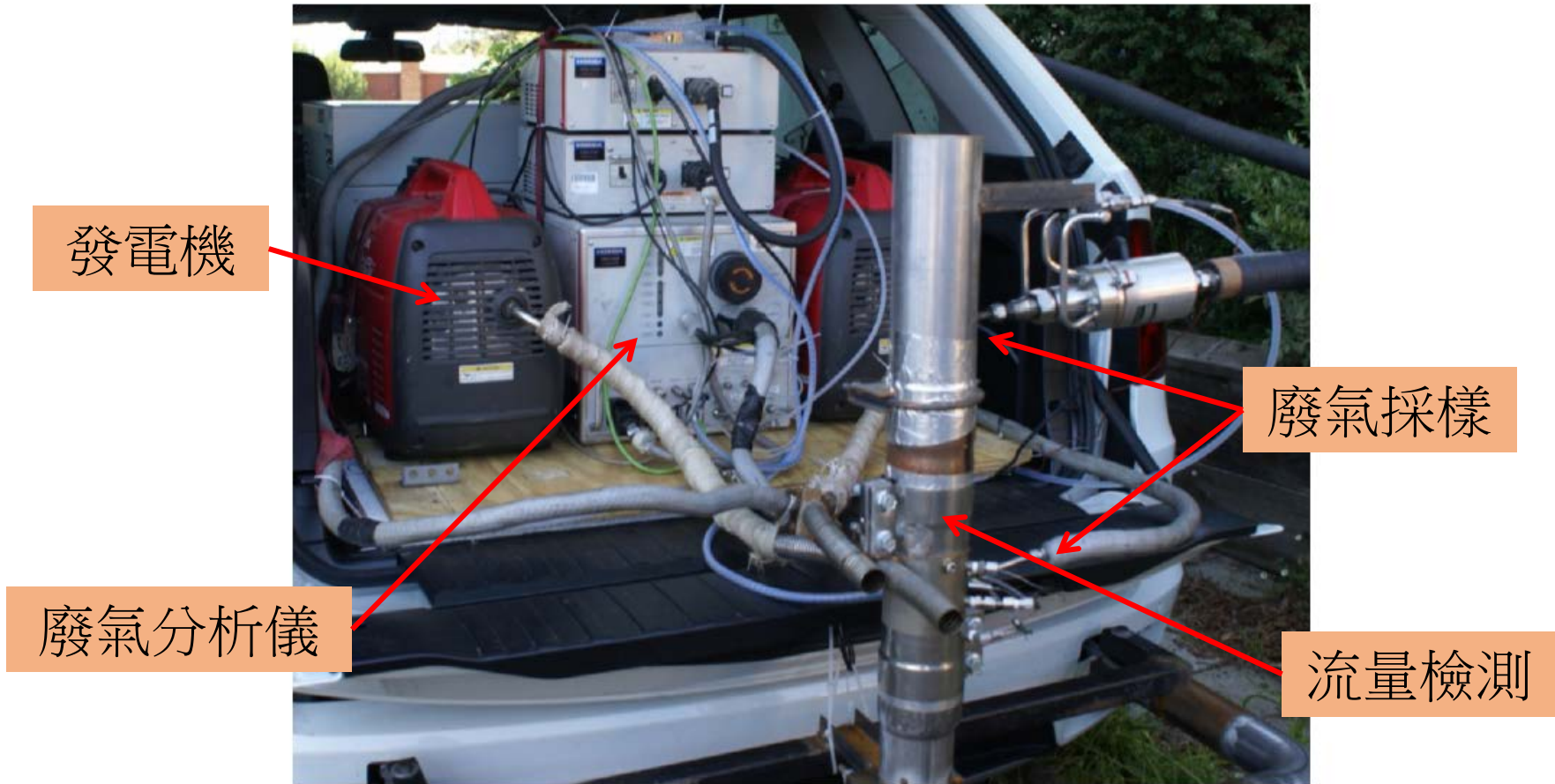
Portable Emission Measurement System (PEMS)

- 精準的Type Approval級廢氣分析儀器輕量化
- 安裝在車輛上，量度在路上行駛時每秒排放
- 展示車輛真實排放
- 揭發 Volkswagen Dieselgate Scandal
- 促使歐盟革新Type Approval程序
- Euro 6d Type Approval Type I Emissions Test
包括 Real World Emission Testing

觸發 Dieselgate Scandal 的報告

- ICCT 委託 West Virginia University (WVU) – Center of Alternative Fuels, Engines & Emissions (CAFEE) 使用PEMS 在美國測試3部輕型柴油車在路上行駛時的真實排放
- CAFEE在2014年5月提交報告 “In Use Emissions Testing of Light Duty Diesel Vehicles in the United States”:
 - 3輛柴油車真實排放比設計標準高多倍,
 - 其中1輛俱備Lean NOx Trap (LNT)的排放比USEPA Tier2 Bin5 標準高15~35倍

PEMS 裝置



資料來源: Fig 3.23, In-Use Emissions Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States, CAFEE, West Virginia University, May 2014

PEMS 量度參數

排放物濃度：THC, CO, CO₂, NO_x

廢氣：流量, 溫度, 排氣背壓

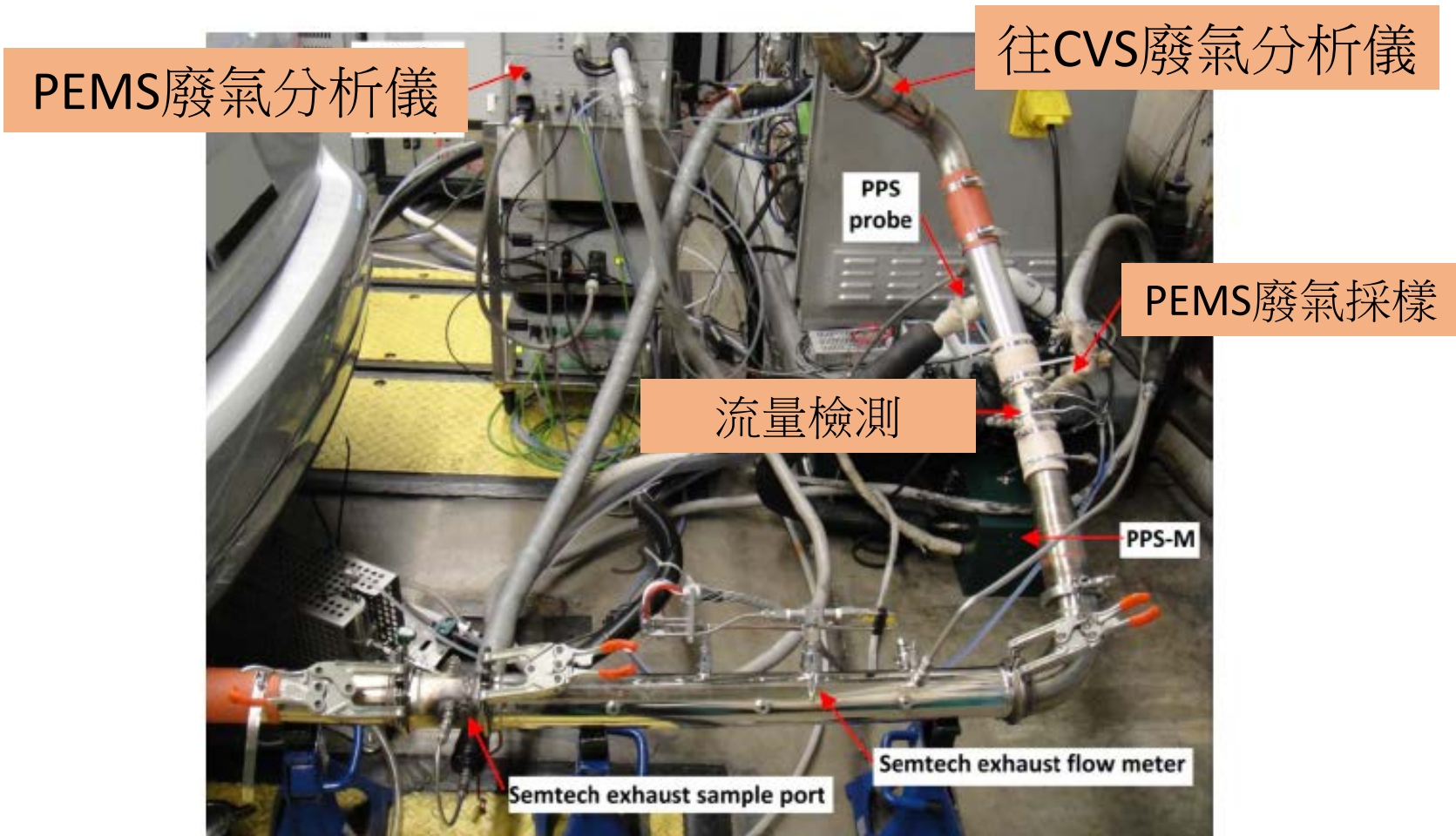
粒子：PN (#/cm³), PM (mg)

環境參數：溫度, 氣壓, 濕度

GPS 參數：經緯度(位置), 海拔高度

OBD 參數：車速, 引擎轉速, 水溫, 入氣量, 負載

PEMS 與 Type Approval Dynamometer 對照測試

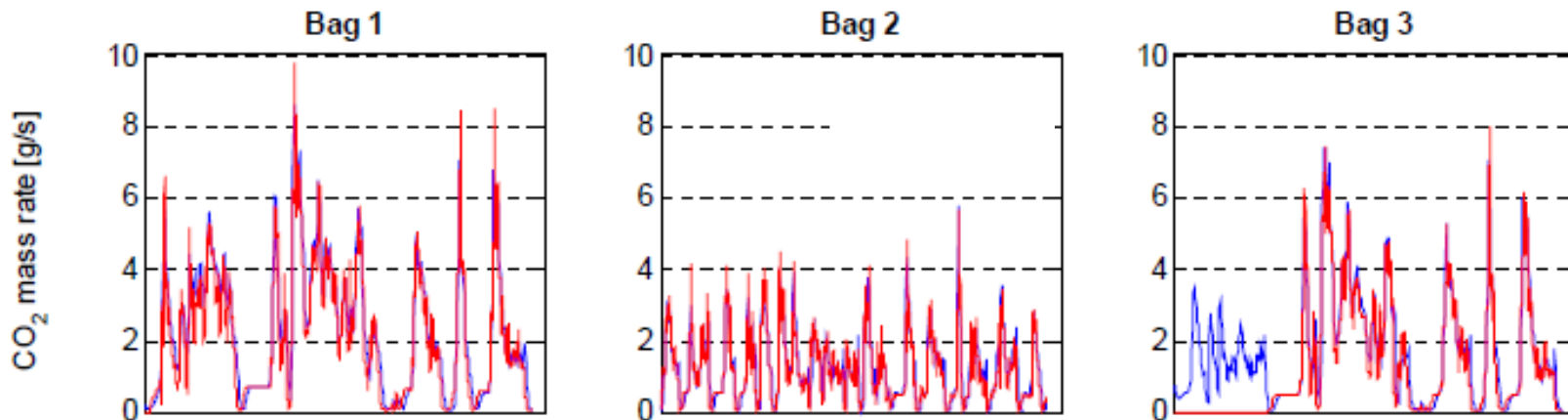


資料來源: Fig 3.31, In-Use Emissions Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States, CAFEE, West Virginia University, May 2014

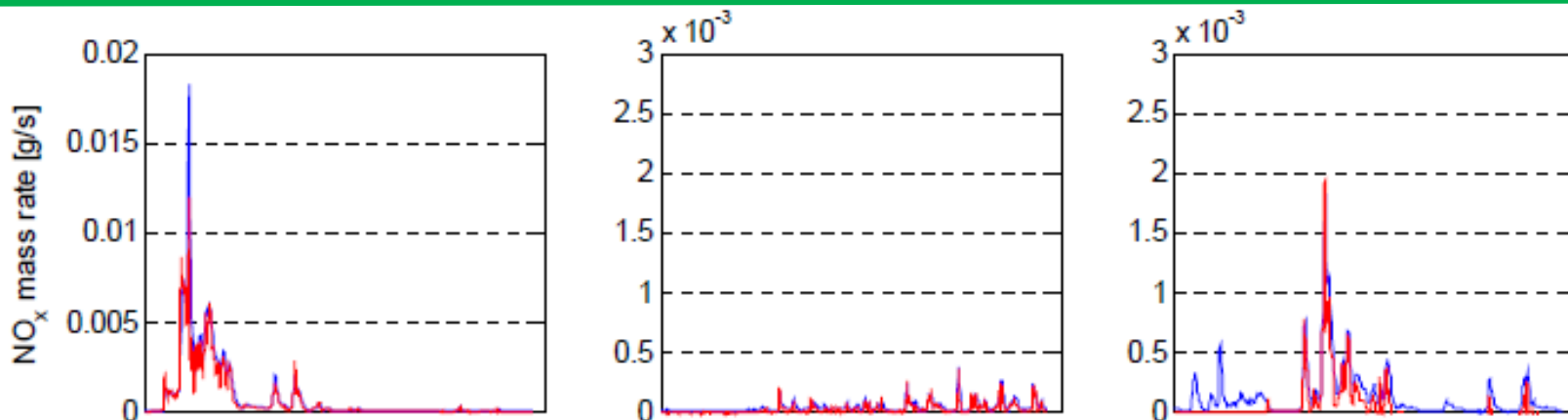
PEMS 與 Type Approval Dynamometer FTP-75 工況 測試對照

— PEMS
— Type Approval Dynamometer

CO₂



NO_x

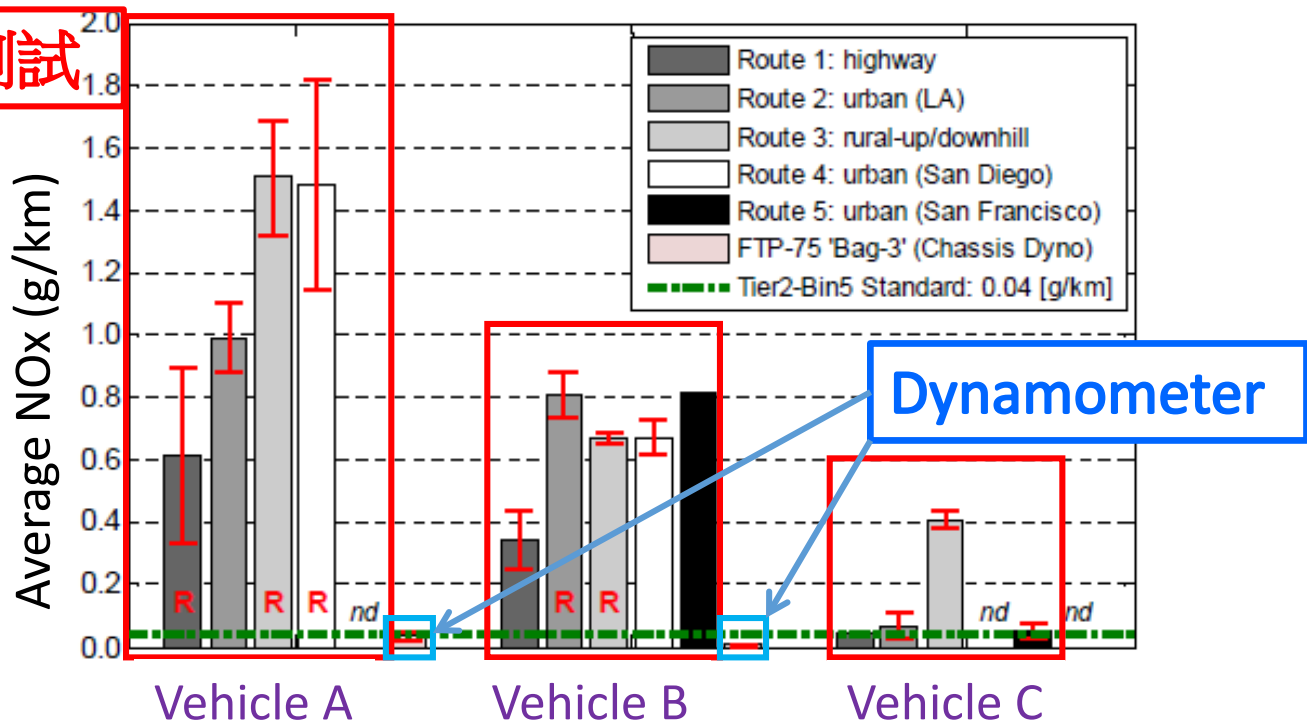


NO_x 及 CO₂ : PEMS 與 Type Approval Dynamometer 結果高度吻合

資料來源: Fig 3.32, In-Use Emissions Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States, CAFEE, West Virginia University, May 2014

PEMS 路上測試 Vs Dynamometer 測試

PEMS 路上測試



Dynamometer

Figure 4.3: Average NO_x emissions of test vehicles over the five test routes compared to US-EPA Tier2-Bin5 emissions standard; repeat test variation intervals are presented as $\pm 1\sigma$; Route 1 for Vehicle A includes rush-hour/non rush-hour driving, 'R' designates routes including a test with DPF regeneration event, 'nd' - no data available

路上測試NO_x排放遠高於功率機FTP-75工況測試

柴油瞬態功率機測試
Diesel Transient Dynamometer
Emissions Test

柴油瞬態功率機測試

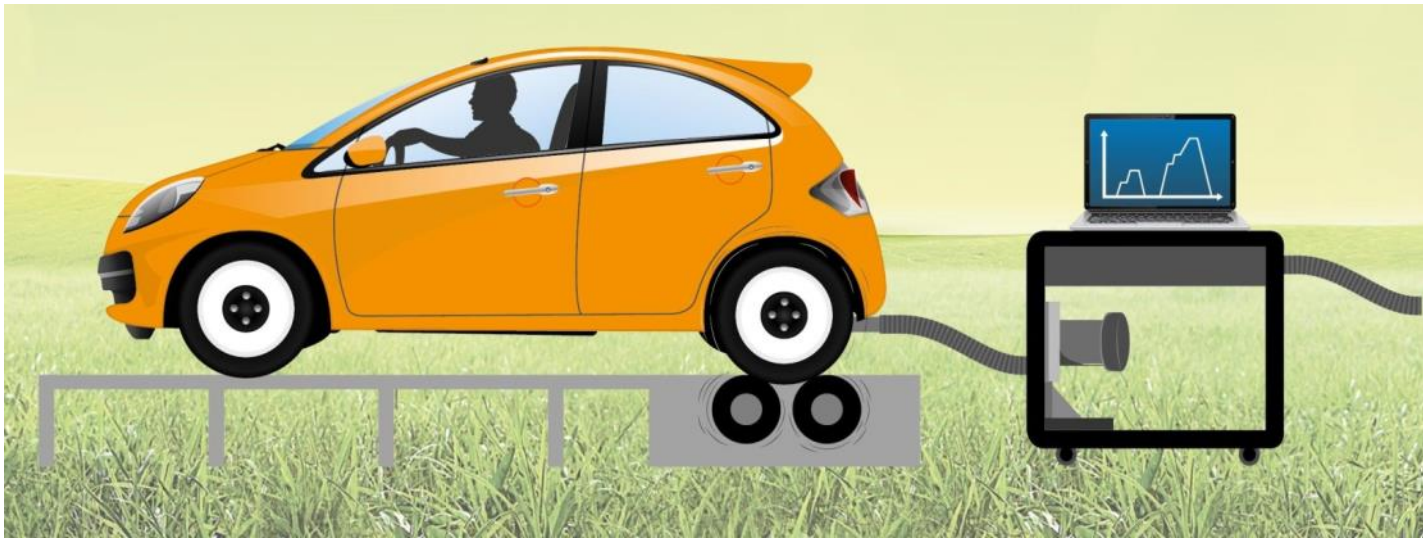
Diesel Transient Dynamometer Emissions Test

- 類似Type Approval底盤式功率機測試
- 行駛瞬態工况
- 跟Lug Down Test不同，引擎負載每秒不定
- 功率機及廢氣分析儀要求比Type I Emissions Test 較低
- 測試成本及時間遠比Type I Emissions Test 平及快
- 香港環保署自2014年9月起，在加強管制汽油及石油氣車輛時，已經使用瞬態功率機測試

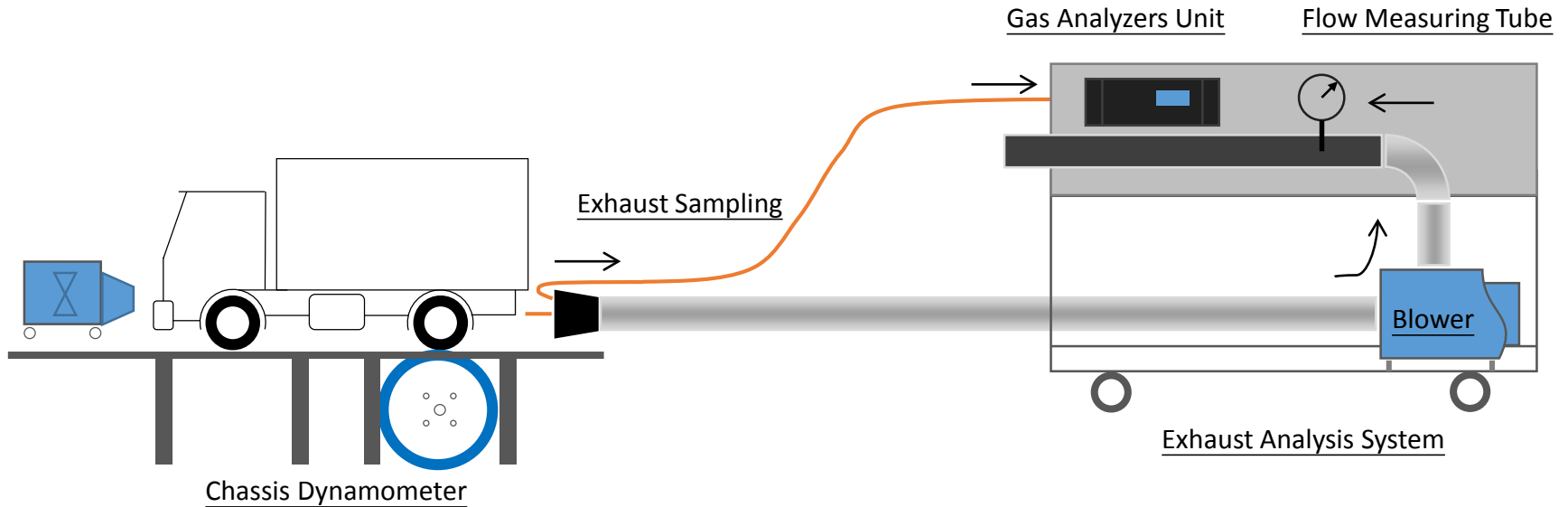
Hong Kong Transient Emission Test (HKTET)

香港瞬態廢氣排放測試

管制汽油及石油氣車輛



柴油瞬態功率機測試



- 類似測試汽油及石油氣車輛底盤式功率機
- 行駛瞬態工況

柴油瞬態功率機測試：優點

- 測試結果比較容易與Type I Emissions Test結果關聯
- 精準度足夠
- 測試成本及時間可以接受
- 可針對多項排放物，包括NO_x
- 平衡測試費用、精準度及可行性

柴油瞬態功率機測試

<https://www.bepco.com/sites/default/files/2017-03/HDD-4.jpg>

路邊遙感廢氣監測
Roadside Remote Sensing
Emissions Measurement

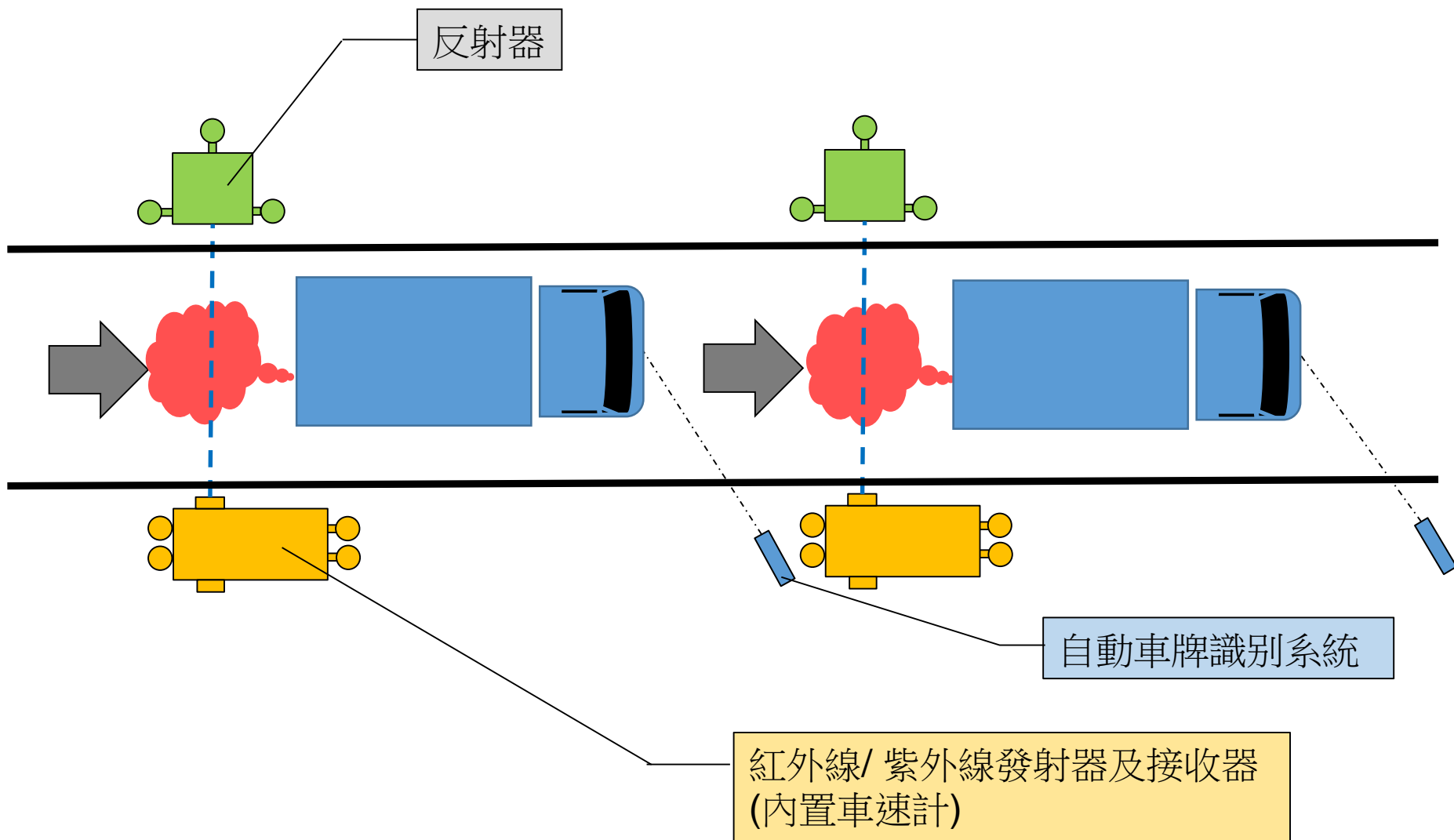
路邊遙感廢氣監測

Roadside Remote Sensing Emissions Measurement

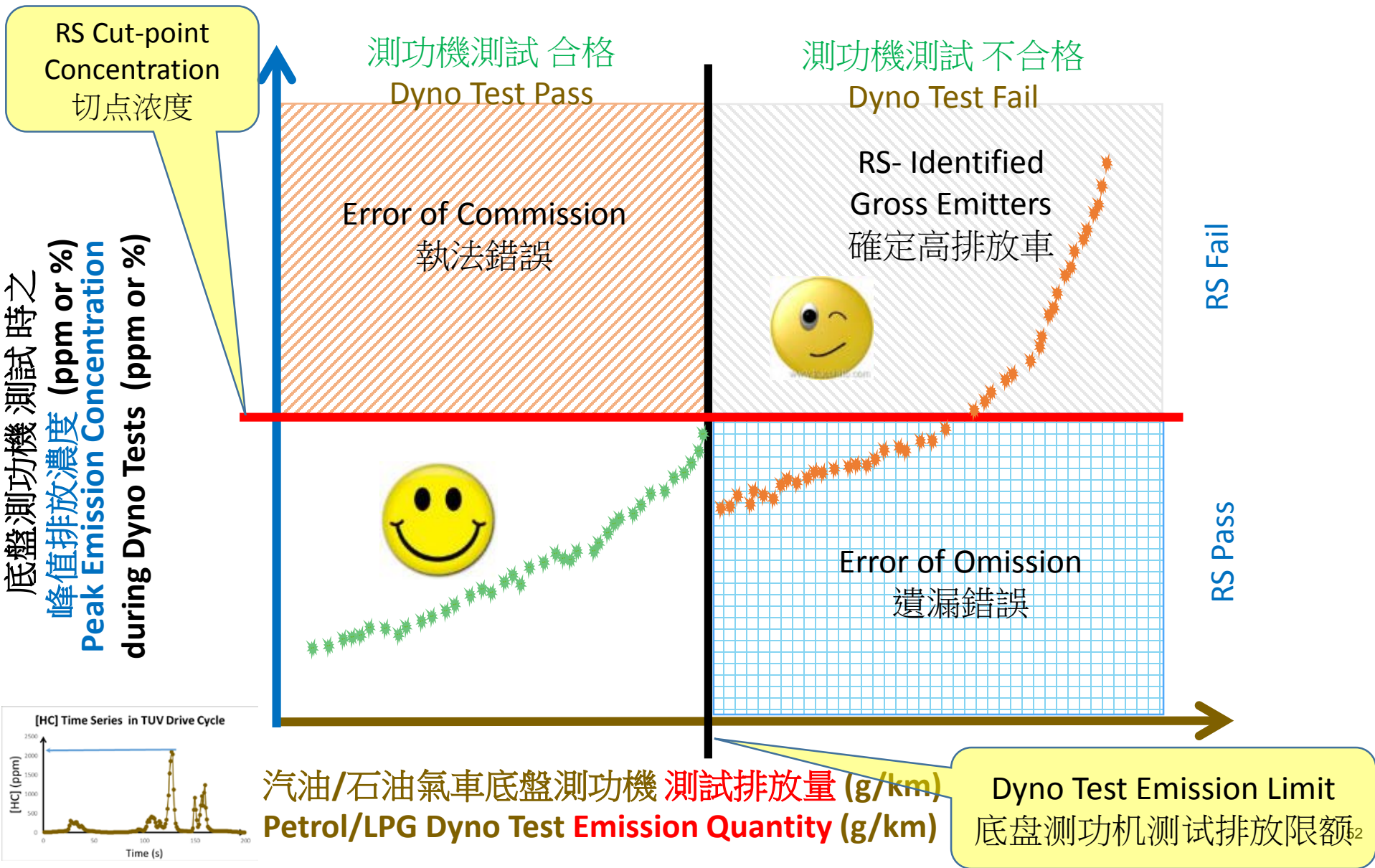
- 監測地點隨機、頻密
- 車輛沒法在測試前預先修理，因此測試能顯示真實路上排放數據
- 測試沒有佔用車輛時間
- 短時間內可獲得大量車輛數據，每車輛測試費用少
- 數據量大，可以分析個別車輛型號排放特徵



柴油車路邊廢氣遙測設備



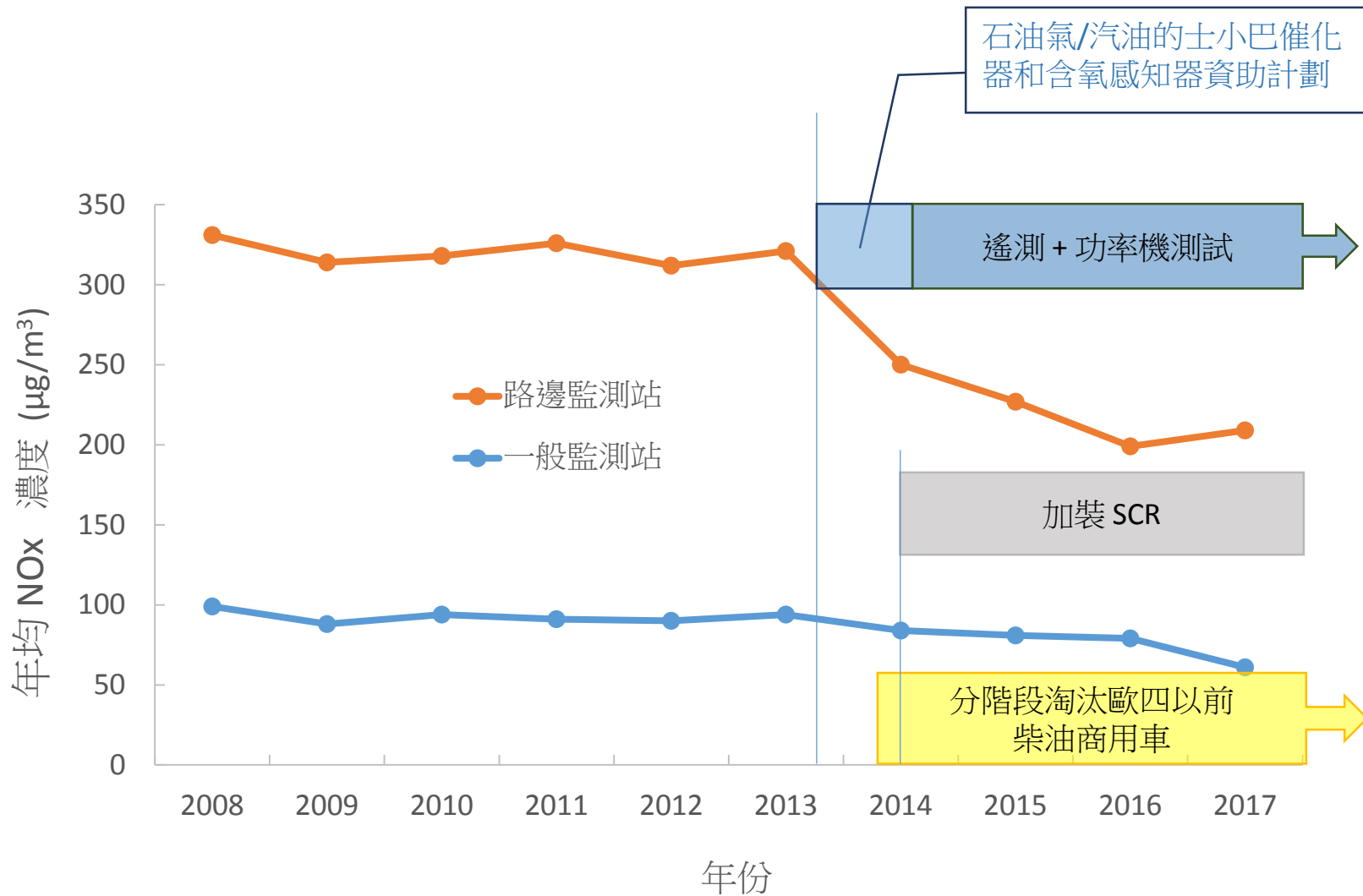
遙測與功率機測試關聯



遙測 + 功率機測試：可靠、公平

- 承上圖，只要遙測及功率機測試質量控制嚴緊，兩者互相關聯研究準確，遙測只會容忍遺漏高排放車輛，但絕不會對低排放車輛錯誤執法
- 遙測可高效地篩選高排放車輛，作進一步功率機測試
- 高排放車輛的車主以用者自付型式繳付測試費用，對低排放車輛運作完全沒有影響
- 管制汽油及石油氣車輛成效顯著

NOx 趨勢與減排措施



柴油廢氣遙測

- 遙測設備量度廢氣排出及擴散後的廢氣濃度比例
- 汽油/石油氣車: CO_2 為常數， NO_x/CO_2 比例可計算 NO_x 濃度(ppm)，作為與功率機測試的關聯值
- 柴油車: NO_x/CO_2 比例可直接與功率機測試值關聯，初步結果表示可行
- 新一代可測量柴油、汽油及石油氣車輛廢氣的遙測設備將會出現

總結

測試方法	簡述	費用
FAS/Lug Down Test	沒有檢測NOx	\$\$/\$\$\$
柴油車NOx問題嚴峻		
Type Approval Emissions Test	廢氣測試方法的量度基準	\$\$\$\$\$\$\$
PEMS	展示車輛真實排放	\$\$\$\$\$\$\$
柴油瞬態功率機測試	可針對NOx	\$\$\$\$
柴油廢氣遙測	高效篩選高排放車輛	\$

Q&A

多謝



環境保護署

Environmental Protection Department