

我國應用歐盟 CO₂MPAS 工具於車輛耗能管制作業之可行性初探

林樺^{1*}、王建凱²、曾文丁³

¹ 工業技術研究院 機械與機電系統研究所 副研究員

² 工業技術研究院 機械與機電系統研究所 助理工程師

³ 工業技術研究院 機械與機電系統研究所 經理

*Email: Vera.Lin@itri.org.tw

摘要

本研究主要藉由探討歐盟CO₂MPAS模擬工具於歐盟現行車輛管制作業之角色、操作方式，並以6輛樣本車輛進行實證，將樣本車輛以WLTP測試程序之實際測試結果透過CO₂MPAS工具進行該車輛NEDC測試程序之燃油效率與CO₂模擬值預估，比較樣本車輛WLTP與NEDC實測值之差異，以及NEDC模擬與實測結果差異，並進一步評估CO₂MPAS工具於國內車輛耗能管制作業應用之可行性。

實驗結果顯示我國與歐盟實車測試研究結果大致相符；以今年對於歐盟CO₂MPAS軟體之操作經驗來看，顯示在資料完備的情況下，CO₂MPAS模擬軟體對於透過WLTP逐秒測試資料進行NEDC行車型態排放狀況的模擬，其結果有其可信度，實測值與模擬值之差異在容許範圍4%以內，但若規劃於我國NEDC至WLTP測試程序轉換之過渡期間納入CO₂MPAS作為轉換工具，則現行管理制度上仍與歐盟存有差異無法一體適用，此外資料之完整度及正確性對CO₂MPAS模擬結果具有高度影響，資料管理與內容驗證尤為重要，如何減少外部可能之變異以確認模擬值之代表性，皆為導入CO₂MPAS於車輛耗能管制制度必需探討之重要議題。

關鍵字：CO₂MPAS、WLTP、車輛耗能管制

1. 前言

歐盟自2017年9月起由現行之輕型車輛油耗污染測試程序(UN ECE R101, 行車型態為New European Drive Cycle, NEDC)逐步轉換成全球調和輕型車輛測試程序(Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures, WLTP), 至2019年9月後所有車型認證皆依循WLTP, 測試程序轉換過渡期間歐盟小客車CO₂目標值仍為95g/km。

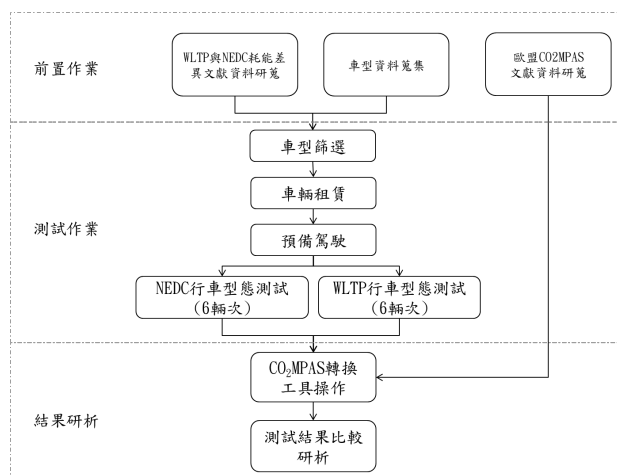
歐盟因考量NEDC至WLTP測試程序轉換過渡期間產生之消費者認知等議題，因此在過渡期間，歐盟對以新的WLTP測試程序申請型式認證的車輛，在符合性證書(Certificate of Conformity)上均會同時記載WLTP及NEDC燃油效率值與CO₂排放量，其中登載的NEDC認證數值，為使用歐盟JRC (Joint Research Centre) 所開發的CO₂MPAS (Vehicle simulator

predicting NEDC CO₂ emissions from WLTP)[1]模擬工具進行NEDC的模擬值預估而得，而後經由法規程序進行認證，在過渡期間除了提供消費者參考的依據外，同時也節省了車廠測試成本。

我國車輛耗能管制作業持續與國際測試程序發展及耗能管制進程調合接軌，考量WLTP導入將對我國現行車輛耗能管理制度產生之可能影響及衝擊，有必要參考歐盟作法，針對NEDC與WLTP之耗能差異研究以及管理工具(CO₂MPAS)作法等方向進行探討，並進行必要之驗證測試，進一步評估CO₂MPAS工具於國內車輛耗能管制作業應用之可行性，提供我國車輛耗能管制作業之參考。

2. 研究方法

本研究主要先由過去國內外研究針對NEDC與WLTP耗能測試結果差異的文獻進行資料蒐集與彙整分析，並針對不同車型進行至少6車12輛次之WLTP與NEDC耗能測試，探討測試結果之差異，最後，與由歐盟CO₂MPAS之轉換結果做比較，以利國內未來對應WLTP耗能測試程序之參考，研究流程如下圖一。



圖一：研究流程圖

3. 國內外研究文獻

3.1 國外NEDC與WLTP耗能及CO₂結果差異研究

WLTP採用之行車型態為WLTC，因WLTC行車型態更貼近車輛實際道路排放情形，故相較NEDC行

車型態測試結果，平均具有較高的CO₂排放，應屬合理情況。在WLTP測試程序的前期研究部份，德國ADAC交通協會(Allgemeiner Deutscher Automobil-Club, ADAC)車輛排放與環境測試實驗室(ADAC EcoTest)持續於2011至2014年間，針對NEDC、WLTP進行研究測試[2]，該期間共計有378筆數據，就平均值來看NEDC的CO₂排放值會略高於WLTP，其中柴油車輛約高1.4%，汽油車輛約高2.7%，研究結果僅涵蓋當時最先進技術車輛，亦無針對特定技術如怠速停等、GDI等進行分類觀察。除實車研究測試結果外，ICCT(2014)[3]使用模擬軟體DVT Tool，輸入28輛不同車型與類別之資料，對各車輛WLTP與NEDC CO₂排放值進行模擬，並針對車輛是否具有Start-stop系統、具備其他先進技術以及混合動力車輛等條件進行分類，模擬結果指出配備先進系統之車輛(或CO₂排放值較低的車輛)於WLTP行車型態的CO₂排放會高於NEDC行車型態之測試結果。

J. Pavlovic et al.(2016)[4][5]針對20輛汽油車及11輛柴油車進行WLTP與NEDC測試研究，WLTP依選擇配備重量可分成最輕選配的車重(WLTP-L)與最重選配車重(WLTP-H)，因車重不同在路阻值的設定也會不同，因此同一台車輛會分別有WLTP-L/NEDC與WLTP-H/NEDC之比較結果。研究發現WLTP-H所測平均CO₂值比NEDC來的高11%，而WLTP-L與NEDC測試結果則相當；若由汽油汽車類別來看，WLTP-H比NEDC所測得CO₂值平均約高9%，WLTP-L與NEDC相比CO₂值幾無差異；從污染期別來看，歐盟6期標準類別車輛WLTP-H比NEDC所測得CO₂值平均約高14%，WLTP-L也比NEDC高4%，而歐盟5期標準類別車輛WLTP-H比NEDC所測得CO₂值平均高10%，WLTP-L與NEDC相比CO₂值並無差異。

D. Tsokolis et al.(2016)[6]以12輛汽油車輛及8輛柴油車輛進行WLTP、NEDC比較測試，結果顯示WLTP-H所測得CO₂值平均會比NEDC高11%，但此差異隨著車輛CO₂排放值的變化並非呈現一致的趨勢，在CO₂排放值180~220g/km的區間則呈現較平緩的斜率，然而△CO₂會受到路阻設定、車輛配備與設定等影響。

JRC(2017)[7]討論導入WLTP測試程序對車輛型式認證(type-approval)的CO₂排放值的影響，主要使用基於CO₂MPAS基礎上開發的PyCSIS (Passenger Car fleet emissions SIMulator) model 對既有的車輛群集數據進行模擬，探討是否在WLTP完全導入後能達到歐盟2020設定之CO₂目標值。CO₂MPAS主要為以單一車輛條件進行模擬，PyCSIS則是以大數據方式進行模擬估算，以JRC車輛資料庫2015年車輛認證資料進行WLTP測試程序CO₂排放值的模擬，在與其NEDC認證數據比較，以銷售量加權平均的方式計算結果，傳統內燃機小客車的WLTP/NEDC的比值(WNQ)為1.21，此外CO₂排放值較低的車輛，其WNQ比值越高；有較高CO₂排放值的車輛(如250g/km)則WNQ接近於1；商

用車的平均模擬加權計算結果顯示其WNQ高於小客車，WNQ約為1.3。

JRC(2017)[7]並將研究結果與ADAC Eco Test數據庫結果(2014)[2]進行比較，以PyCSIS模擬結果之WNQ比值相較實車測試為高，仍有一致趨勢如當NEDC測試程序下車輛CO₂測試值增加時，WNQ有明顯的下降趨勢。隨著未來車輛技術發展，CO₂排放量的減少，現實世界和NEDC燃料消耗之間的差距越來越大，WLTP和NEDC之間也發現類似趨勢的事實證明，新的測試程序應該更能代表真實世界的排放。

3.2 我國NEDC與WLTP耗能與CO₂結果差異研究

我國環保署自2015年開始對歐盟NEDC及WLTP測試程序及行車型態差異進行實車比較測試[8]，至2017年共累計33輛不同條件之汽油車輛測試結果，其WLTP/NEDC的CO₂轉換係數介於0.9137 ~ 1.0591之間，但由於屬WLTP測試程序之先期研究，部分樣本車輛測試時阻力設定並無完整法規可依循，後續經阻力修正後將數值一併納入比較，採線性迴歸之結果發現其截距項不顯著(P=0.015<0.05)，選用無截距迴歸方程式進行探討得WLTP與NEDC二氧化碳排放量相關式為：

$$WLTP_{\text{平均CO}_2} = 0.977 \times NEDC_{\text{平均CO}_2} (R^2=0.966)。 (1)$$

4. CO₂MPAS歐盟法規角色及軟體操作說明

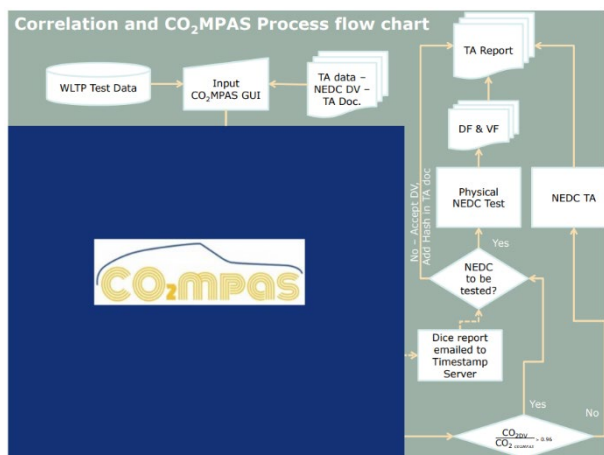
4.1 CO₂MPAS歐盟法規依據與執行流程

CO₂MPAS(Vehicle simulator predicting NEDC CO₂ emissions from WLTP)為JRC(Joint Research Centre)[9]所開發為輕型M1和N1車輛(小客車和小貨車)設計的二氧化碳和燃料消耗模擬器，專門用於依據WLTP型態測試期間所產生的排放量，對測試車輛之NEDC二氧化碳排放量進行模擬估算。CO₂MPAS相關內容規範與法規作業流程為根據歐盟法規1152/EUR/2017[10]與1153/EUR/2017[11]執行。

由CO₂MPAS進行NEDC認證值模擬之程序可見下圖二，藉由輸入車輛之WLTP測試資料、型式認證(Type-approval)與NEDC宣告值(Declared Value, DV)等數據資料進入CO₂MPAS軟體，經軟體操作進行NEDC模擬值得產生，後判斷該模擬值與宣告值相比，差異是否在容許範圍4%以內，若 $\frac{CO_{2DV}}{CO_{2simulated}} \leq 4\%$ ，則車廠的NEDC宣告值可被接受(accept)，若 $\frac{CO_{2DV}}{CO_{2simulated}} > 4\%$ 則車廠可選擇是否以NEDC模擬值進行登載或改為進行NEDC的實車測試，以實車測試值進行登載於TA Report。

此外於上述流程中有一個隨機抽樣的機制(Dice report)，以檢核整個作業流程上的合理性，每輛經由CO₂MPAS完整執行TA NEDC模擬作業的車輛，不管其 $\frac{CO_{2DV}}{CO_{2simulated}}$ 結果是否大於4%，皆會取得一組隨機編號，該編號為1~100的數字，若獲得之隨機編號為1~90則不需進行額外的抽樣測試作業，若獲得之隨機編

號為91~95，則需以該車型的較輕車重(在WLTP分類上為WLTP-L)進行NEDC實車測試，若獲得之隨機編號為96~100，則需以該車型的較重車重(在WLTP分類上為WLTP-H)進行NEDC實車測試，檢核實測值、模擬值與宣告值是否在規定的範圍內，此隨機抽樣的機率為10%。

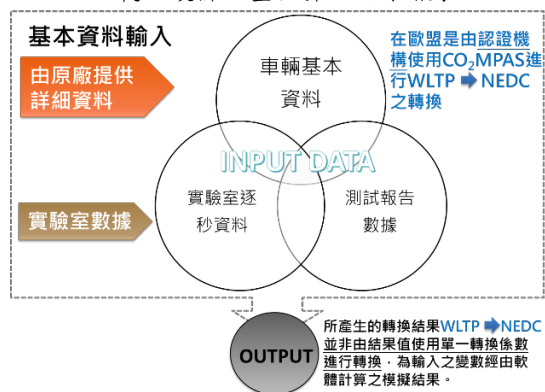


圖二：歐盟由CO₂MPAS進行NEDC認證值模擬程序概念說明(JRC,2016)

4.2 CO₂MPAS軟體操作說明與結果評估注意事項

JRC在CO₂MPAS開發過程中使用了兩個互補的資料群集進行開發與驗證，分別為實驗室研究測試數據以及車廠數據(OEM-approved)；軟體架構以Python-3.5+開發，於Windows、MacOS、Linux等作業系統下皆可作業，為了一般使用者亦開發UI介面-GUI應用程式提供操作，可使用Excel-file或python structures作資料之匯入與匯出。

使用CO₂MPAS GUI 應用程式進行測試車輛之NEDC二氧化碳排放量估算，需依CO₂MPAS提供之格式(excel-file)進行原始資料輸入，輸入的項目可分為車輛基本資料、實驗室逐秒資料、測試報告數據等三部分，匯入CO₂MPAS GUI應用程式後，主要以該車輛於實驗室進行之WLTC行車型態逐秒資料及其他車輛基本參數，依軟體內建子模型進行模擬運算，產生NEDC二氧化碳排放量估算之結果報表。



圖三：CO₂MPAS GUI 應用程式簡易流程說明

JRC所提供的使用指南內，提及如何自我檢視模擬結果及相關注意事項，大致分為軟體應用、資料輸入、數據檢核、先進車輛技術等面向，除了資料完整度要求外，所有時間序列數據須來自同一次測試，並特別強調時間序列的「對齊」對於CO₂MPAS模型的充分運行至關重要(OBD數據與dyno數據和其他數據記錄器測量的數據)，如果時間序列是具有不同的採樣頻率或偏移的，則模型可能會失敗，已知超過1秒的未對準會產生不準確性，特別是在CVT車輛，將高度影響模型靈敏度。因此JRC針對所有必要的時間序列輸入數據是否正確對齊此項開發了一組時間序列同步工具(Aligning time series, the datasync tool.)方便使用者下載使用解決無法正確對其產生的模擬誤差，可直接於CO₂MPAS模擬軟體內使用。

此外，目前HEV車輛無法以CO₂MPAS進行模擬轉換，需進行實車測試，以及部分更先進之科技可能還無法於模型中反映模擬結果。

5. 測試規劃與實證結果

5.1 測試規劃

本研究蒐集經濟部能源局車輛耗能證明核發與管理系統中2017年國內小客車與商用車之廠牌、車型與車輛核章數量，依銷售量(小客車該車型銷售量佔總小客車銷售量20%以上；商用車該車型銷售量佔總商用車銷售量30%以上)進行不同車型共計6車之篩選，所篩選出的車型(表一)均屬WLTC Class 3-2分類，其中5車型為小客車、1車型為商用車(車輛代號C)，其中車輛代號A、B、F為對應歐盟污染六期之車輛，車輛代號C、D、E為對應歐盟污染五期之車輛。

表一：本研究測試車型基本資料

車輛代號	排檔型式	排氣量(c.c.)	空重(kg)	傳動方式	Power max	Idle stop	Turbo	供油方式
A	A7	1998	1581	F	141kW	有	是	直噴
B	A8	1998	1276	F	170kW	有	是	直噴
C	A6	1998	1539	F	121kW	無	否	直噴
D	A7	1395	1427	F	110kW	有	是	直噴
E	A6	1499	1444	F	132kW	有	是	直噴
F	CVT	2498	1603	AWD	129kW	有	是	間噴

參數設定的部分如表二，路阻設定皆採原廠滑阻行阻力設定，其中WLTP再經由歐盟修正公式進行修正；測試油品部分，WLTP測試燃料採E10測試燃料為主，依歐盟NEDC測試方式亦可使用E10油品，為使測試結果能盡量在同一基準上做比較，因此皆使用E10為本研究測試用油。量測內容主要為CO₂、CO、THC、NMHC、PM、燃油效率(km/l)及後續進行CO₂MPAS軟體操作，需額外同步量測車輛OBD及實驗室動力計有關攔位，由於測試過程中無法安裝油耗計，因此不能直接測量燃料消耗，所以根據碳氫化合物、一氧化碳和二氧化碳的測量排放來反推計算燃料消耗量如下列公式。E10油耗(km/l)計算公式：

$$FC = \left(\frac{0.1206}{\rho_{fuel}}\right) \times [(0.829 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)] \quad (2)$$

表二：主要測試條件設定

測試程序 項目	NEDC	WLTP
行車型態	NEDC	WLTC
阻力	原廠滑阻	原廠滑阻 -經公式修正
使用油品	E10	
量測內容 (油耗值係以碳 平衡法反推)	CO、THC、NMHC、PM、CO ₂ 車輛 OBD 及實驗室動力計部分欄位資訊	

5.2 NEDC與WLTP耗能與CO₂測試結果差異

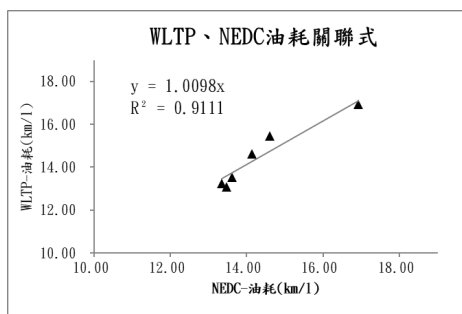
WLTP測試方法是以汽車CO₂族的概念，假設車重在最好的情況下(無搭載配備之最輕車重WLTP_L)與最壞的情況下(有搭載配備之最重車重WLTP_H)，同時參考車重即為慣性重量設定數值，故在動力計的阻力設定值會有極大的差異。而本研究則是依據「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」以汽車單一車型的概念，依據選用車型進行NEDC與WLTP測試研究。就CO₂測試結果來看，六筆樣本之 $\frac{CO_2^{WLTP}}{CO_2^{NEDC}}$ 範圍為0.97-1.06，平均值為1.01(標準差=0.03)，兩者型態之比值並無絕對趨勢；就油耗測試結果來看六筆樣本之 $\frac{FE^{WLTP}}{FE^{NEDC}}$ 範圍為0.95-1.03(標準差=0.03)，兩者型態之比值亦無絕對趨勢。

在不考量排氣量與車型分類的情形下，選用直線迴歸探討WLTP、NEDC在CO₂及油耗的關聯，結果顯示WLTP與NEDC的CO₂具高度相關，CO₂迴歸方程式為：

$$WLTP_{平均CO_2} = 0.9935 \times NEDC_{平均CO_2} \quad (R^2=0.898) \quad (3)$$

WLTP與NEDC的燃油效率值具高度相關(圖三)，其迴歸方程式為：

$$WLTP_{FE} = 1.0098 \times NEDC_{FE} \quad (R^2=0.911) \quad (4)$$



圖三：WLTP、NEDC本研究燃油效率測試結果

5.3 CO₂MPAS軟體操作初探

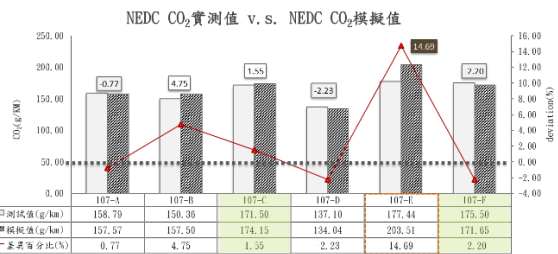
CO₂MPAS模擬程式依相關法規及其後續修正指令規範其使用版本之效力，本研究期間正適逢軟體更新改版，其中新版(AIO-2.0.X: from 24-Sept-2018)包含法規(EU) 2017/1153和法規(EU) 2017/1152的修訂，9/1~9/23為此版本的試用期，此新版本不會影響先前版本(AIO-1.7.X: from 31-Oct-2017 to 15-Nov-2

018) 提供的結果的有效性。今年度使用AIO-2.0.X版本作為最終模擬結果之呈現。

使用CO₂MPAS GUI 模擬軟體進行測試車輛之NEDC二氧化碳排放量估算，絕大部份資料皆須透過原廠來提供，在實際執行研究限制下，今年度六台樣本中僅有一台取得全部完整之原廠資料(車輛代號F)，其餘五台雖無法透過原廠取得所有所需欄位，但相關欄位經測試後以相關研究數值帶入模擬作業，在研究資源有限的情況下盡量減少可能的變異，然而使用非原廠提供之資料，其模擬結果代表性較低。

今年度各測試車輛NEDC模擬值如圖四，可看出六輛樣本之NEDC CO₂實測值與模擬值相比較，因我國法規規定以測試值為登載最終值，因此觀察樣本測試結果之 $\frac{CO_2^{測試值}}{CO_2^{模擬值}}$ ，發現並無一定趨勢，除E車外其餘

模擬結果與實測值之差異百分比皆在±5%以內；若以歐盟規範4%來看有兩台(B車、E車)超過規範值。觀察E車出現之異常狀況發現，該車執行CO₂MPAS模擬於引擎溫度子模型fail，無法正常校估，故此筆結果較不具參考價值。此外C與F兩車由原廠所提供之原始資料較完整，所輸入之資料與原車狀況相符，觀察其結果報表所提供之資訊，皆有正常執行模擬程序，屬於今年度較具參考價值之代表數據，此兩車的CO₂模擬值與實測值差異平均約為1.9%左右，顯示在資料完備的情況下，CO₂MPAS模擬軟體對於透過WLTC行車型態逐秒測試資料進行NEDC行車型態排放狀況的模擬，其結果有其可信性。



圖四：NEDC CO₂實測值與使用CO₂MPAS模擬CO₂值比較

6. 結論

本研究以不同車型進行6車12輛次之測試研究，經由操作歐盟CO₂MPAS軟體工具，以樣本車輛之WLTP測試結果進行NEDC模擬結果之預估，並與NEDC實測結果進行比較，進一步討論WLTP與NEDC測試結果之差異以及CO₂MPAS應用之結果。

油耗及CO₂實車測試結果，NEDC與WLTP兩者比值並無絕對趨勢，但呈現高度相關(R² > 0.9)；將我國內過去關於NEDC與WLTP之CO₂實車測試結果與歐盟研究結果進行比較，樣本車輛之NEDC_CO₂區間為128g/km~238g/km，對照歐盟相關文獻，此區段 $\frac{CO_2^{WLTP}}{CO_2^{NEDC}}$ 的斜率趨緩，WNQ主要落在1.0~1.1之間，趨勢大致與國際實車測試結果相符。

由於過去國內測試樣本相較國外研究明顯不足，且多為汽油車輛(單一燃料)，在車重部分為單一車型的概念，無法準確反映在WLTP不同車重(Low & High)結果與NEDC比值的差異，但以歐盟研究之後續發展趨勢來看，且隨著未來車輛技術發展，車輛CO₂排放量逐漸減少，現實世界和NEDC行車型態所展現的燃料消耗之間的差距越來越大，WLTP與NEDC之間也發現類似趨勢的實證，新的測試程序更能代表真實世界的排放。

本研究亦對歐盟CO₂MPAS工具之法規角色、操作方式做初步研究，在實際執行的研究限制下，部分資料取得困難，其中僅部分車型由原廠所提供之原始資料較完整，觀察其CO₂模擬值與實測值結果顯示兩者差異平均約為1.9%左右，顯示在資料完備的情況下，CO₂MPAS模擬軟體對於透過WLTP逐秒測試資料進行NEDC行車型態排放狀況的模擬，其結果有其可信性。

若未來我國車輛耗能管理制度內NEDC至WLTP測試程序轉換之過渡期，須納入CO₂MPAS模擬軟體作為轉換工具時，雖依循歐盟作法但現有制度上之差異應如何對應，則為後續需探討之重要議題，如前述取得資料之完整性及資料正確性對CO₂MPAS模擬結果具有高度影響，因此由法規管制的角度來看，資料管理與內容驗證尤為重要，如應制定資料來源之規範並針對資料正確性具備相關檢核能力，以減少外部可能之變異，確認模擬值之代表性。

7. 誌謝

本論文為經濟部能源局「車輛能源效率管理策略執行與基準再提升之研究計畫」，計畫編號107-E0416，由於經濟部能源局的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

8. 參考文獻

1. CO₂MPAS: vehicle simulator predicting NEDC CO₂ emissions from WLTP, <https://co2mpas.io/>.
2. ADAC, Munich, Germany: EcoTest chassis dynamometer measurements of passenger cars. Charged data provided to ICCT on 11 July 2014.
3. Peter Mock, Jörg Kühlwein, Uwe Tietge, Vicente Franco, Anup Bandivadekar, John German, "The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU", ICCT, working Paper (2014).
4. J. Pavlovic, A. Marotta, B. Ciuffo, S. Serra, G. Fontaras, K. Anagnostopoulos, et al. "Correction of test cycle tolerances: evaluating the impact on CO₂ results" *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, pp. 3099-3108 (2016).
5. J. Pavlovic, A. Marotta, B. Ciuffo, "CO₂ emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC and the new WLTP type approval test procedures", *Applied Energy*, Vol. 177, pp. 661-670 (2016).
6. D. Tsokolis, S. Tsiakmakis, A. Dimaratos, G. Fontaras, P. Pistikopoulos, B. Ciuffo, et al. "Fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars over the New Worldwide Harmonized Test Protocol", *Applied Energy*, Vol. 179, pp. 1152-1165 (2016).
7. S. Tsiakmakis, G. Fontaras, C. Cubito, J. Pavlovic, K. Anagnostopoulos, B. Ciuffo, "From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂ emissions of light-duty vehicles", *JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT* (2017).
8. 行政院環保署, "車輛排放管制、環保駕駛與綠色運輸推廣計畫" (2017).
9. <https://github.com/JRCSTU/CO2MPAS-TA>
10. European Commission. REGULATION (EU) 2017/1152 of 2 June 2017, setting out a methodology for determining the correlation parameters necessary for reflecting the change in the regulatory test procedure with regard to light commercial vehicles and amending Implementing Regulation (EU) No 293/2012.
11. European Commission. REGULATION (EU) 2017/1153 of 2 June 2017, setting out a methodology for determining the correlation parameters necessary for reflecting the change in the regulatory test procedure and amending Regulation (EU) No 1014/2010.