



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：其他)

赴英國愛丁堡參加 EMC COMPO 2015

國際研討會心得報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱姓名：技正 陳秋國

出國地點：英國愛丁堡

出國期間：中華民國 104 年 11 月 9 日至 11 月 15 日

報告日期：中華民國 105 年 2 月 15 日

行政院研考會/省(市)
研考會編號欄

## 目 錄

壹、	前言與目的.....	3
貳、	活動行程簡述.....	3
參、	參加專業論壇.....	5
肆、	心得與建議.....	25

# 赴英國愛丁堡參加 EMC COMPO 2015 國際研討會心得 報告

## 壹、前言與目的

2015 年積體電路電磁相容 ( Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits, IC-EMC ) 國際研討會 ( 簡稱 EMC COMPO 2015 ) 在英國愛丁堡舉行，研討會重要的議題包含：6GHz 之 IC-EMC 標準及法規、IC 電磁干擾及耐受性之量測及模型、IC 及電路板層級之信號完整性與電源完整性、具有 IC-EMC 知識之 IC 設計及指導方針、用以掌控 IC 層級 EMC 之工具、IC 層級之數值電磁相容計算、系統晶片、系統封裝與 3D IC 之 EMC 問題、智慧電源 IC 之 EMC、無線通信 IC 之 EMC、生醫應用 IC 之 EMC、改善 IC-EMC 之材料、惡劣環境對 IC 層級 EMC 影響、IC 之長期電磁相容強韌性、IC-EMC 對系統層設計的影響... 等 16 項議題。

本局執行 104 年度「國際標準化活動」科發基金計畫，本局第六組陳技正秋國參與本局 104 年度「國際標準化活動」科發基金計畫執行，並將近期在 IC-EMC 相關的研究成果，整理成會議論文投稿至 EMC COMPO 2015 國際研討會，論文題目為「時域電磁干擾量測方法 ( Time-domain EMI Measurement Methodology ) 」，在會議期間，亦將蒐集 IC-EMC 相關標準、最新檢測與驗證技術資料，與國際專家學者進行技術交流，建立聯絡管道，以利後續計畫執行。

## 貳、活動行程簡述

參加研討會行程：

1. 11月9日(星期一)：桃園機場搭機赴英國愛丁堡。辦理報到手續及領取會議相關資料，準備研讀會議相關資料與了解會場環境，瀏覽各 session 的論文題目，以安排準備聆聽的會議場次，EMC COMPO 2015 國際研討會會場如圖 1。
2. 11月10日(星期二)：參加 EMC Compo 2015 國際研討會、壁報論文展出。
3. 11月11日(星期三)：參加 EMC Compo 2015 國際研討會、壁報論文展出。
4. 11月12日(星期四)：參加 EMC Compo 2015 國際研討會、壁報論文展出。
5. 11月13日(星期五)：參加 EMC Compo 2015 國際研討會、壁報論文展出。
6. 11月14~15日(星期六、星期日)：從英國愛丁堡搭機回台北。



圖 1 EMC Compo 2015 國際研討會會場

## 參、參加專業論壇

本次研討會主要主題為：電磁相容(EMC)，投稿的論文主要分下列幾個領域，包含：

- Measurement and modelling of IC emissions and susceptibility
- Signal Integrity and Power Integrity at IC and PCB level
- EMC-aware IC Design and Guidelines
- Tools to handle EMC at IC level
- Computational Electromagnetics for IC level EMC
- EMC issues in System-on-chip (SoC), System-in-Package (SiP), and 3D ICs
- EMC issues in smart power ICs
- EMC of ICs in wireless communications
- EMC of ICs for biomedical applications
- Materials for improved EMC of ICs
- Harsh environment effects on IC level EMC
- Long term electromagnetic robustness of ICs
- Standards and regulations up to 6 GHz
- Modern EMC education on IC level EMC
- Influence of IC EMC on system design
- Intentional Electromagnetic Interference

### 一、大會專題演講(Keynote speech)

題目:馬克斯威爾傳下來的遺產(Maxwell's Legacy)-EMC 學科之核心與靈魂

演講者：IEEE EMC Society 總裁 Bob Scully

馬克斯威爾(James Clerk Maxwell,1831~1879)是出生於本次研討

會舉辦地點—英國愛丁堡，他是 19 世界偉大的物理學家之一，馬克斯威爾在物理上的地位足堪與牛頓、愛因斯坦兩位巨擘齊名。他的電磁理論是十九世紀物理學中最偉大的成就，是繼牛頓力學之後物理史上又一次劃時代的偉大貢獻。馬克斯威爾以法拉第等人的研究為基礎，提出一套有系統的電磁場理論，並預測電磁波的存在。他在這方面的工作主要是 1855 年到 1865 年期間發表的 3 篇論文及 1873 年出版的「電磁學通論」一書。

第 1 篇論文「論法拉第力線」(On Faraday's Lines of Force)發表於 1855 年。馬克斯威爾以數學形式說明了法拉第的力線思想，並由此推導出庫倫定律和高斯定律。

第 2 篇論文「論物理力線」(On Physical Lines of Force)，內容分四個部分，分別載於 1861 年和 1862 年的《哲學雜誌》上，他進一步承襲並發展法拉第的思想，提出分子渦旋及位移電流的概念，以此模型來推算電與磁在介質中振盪的傳遞速度，馬克斯威爾看到此速度與 1855 年 Kohlrausch 和 Weber 的電磁理論計算符合，又正巧等於菲佐 (Fizeau, 1819~1896) 在 1849 年實驗所測得的光速，馬克斯威爾在此看到光和電磁波動的關係，作了一個大膽的推斷，他指出光是一種橫波，傳遞光波的介質和傳遞電磁現象的介質是一樣的。許多人把這個的推論簡單說成：光是電磁波。

第 3 篇論文「電磁場的動力學理論」(A dynamical theory of the electromagnetic field) 發表於 1865 年。在這篇文章中，他運用場論的觀點，建立了一套有系統的電磁理論，著名的「馬克斯威爾方程組」就是在這篇文章中提出的。這時他已放棄分子渦旋的假設，但立論的觀點仍是假設電磁作用是由物體周圍的介質所引起的。

1873 年，馬克斯威爾出版「電磁學通論」(Treatise on electricity

and magnetism)一書，這是一本集電磁學大成的劃時代著作，全面總結了十九世紀以來電磁學研究者們的心血與成就，建立了一套完整的電磁理論體系。



圖 2. Keynote speech I

題目：未來在 IC-EMC 的需求—你有聽到來自工業界的聲音嗎？

演講者：法國 INSA-TOULOUSE 大學 Etienne SICARD 教授

工業界的狀態，以正在改變、挑戰、機會與威脅 4 個面向來作討論：

1. 正在改變：

(1)發展工業 4.0：目前全世界的產業正在發展工業 4.0，其是基於網  
宇實體系統(Cyber-Physical System, CPS)作發展，CPS 是一種結合電  
腦運算以及感測器和致動器裝置的整合控制系統，主要由電腦、感  
知器和驅動器構成，與實體世界互動密切，如下圖 3 所示。

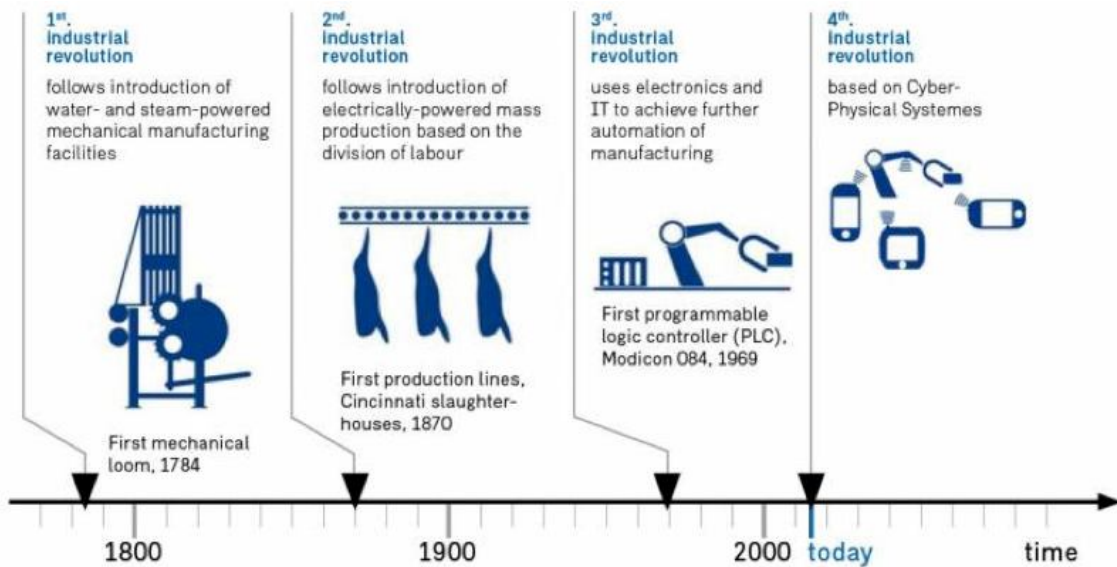


圖 3 工業革命

(2) 製程技術:越來越快的記憶體晶片，DDR4(Double-Data-Rate Fourth Generation Synchronous Dynamic Random Access Memory, 第四代雙倍資料率同步動態隨機存取記憶體)、LPDDR(Low Power DDR)目前還在市場，但是下一代產品 DDR5、LPDDR5 已經在發展中，這些都會影響到系統的 EMC 特性，如下圖 4 所示。

(3) 電路密度:製程技術越來越進步，5 年內正朝向 1 tera-bit/cm<sup>2</sup>(=10<sup>12</sup> bit/cm<sup>2</sup>)高頻寬及高密度 DRAM 技術路線圖前進。

(4) EMC 關心的重心從系統層移到源頭的 IC 層級，在設計階段就開始考慮 EMC 的設計，逐漸增加模擬及模型的使用，希望在設計階段就可以進行 EMC 的設計及驗證，如下圖 5 所示。

(5) 降低外部元件，進行系統整合及節省能源的設計，如下圖 6。

(6) 從單一元件的創新改變成系統整合的創新，如下圖 7。

(7) 下一代手機系統整合越來越多的功能及高速的資料通信，如下圖 8。

## 2. 挑戰：

(1) 因為電動車、汽車電子及自動駕駛車的迅速發展，暫態耐受性的



測試的要求壓力越來越大，如下圖 9。

(2) 因為省電的低電壓設計導致低雜訊容忍度，使得 IC-EMC 的挑戰越來越大，如下圖 10。

(3) 頻率越來越高：目前 IC-EMC 一般可以特性化估測其行為約 3GHz，但下世代通訊 5G 可能達到 20GHz，汽車雷達為 24GHz 或 77GHz，要進行 IC-EMC 特性化及模型估測挑戰相當大，如下圖 11。

(4) 模型：目前 IBIS(Input/Output Buffer Information Specification)模型大部分大型 IC 廠商會提供，但準確性沒有保證，另外 IC-EMC 的模型，除了 IC-EMI 傳導模型標準已出版外，目前大部分標準都還在發展中，標準發展的進度相當緩慢，如下圖 12。

### 3. 機會：

(1)自動駕駛車：將要求相當高的可靠度，因為高度電子化，因此有相當多的 EMC 問題需要被解決，在 EMC 的發展是相當好的機會，如下圖 13。

(2)物聯網：未來是萬物聯網，生活環境充滿感測元件，需要 EMC 的技術讓系統更加穩定及可靠，如下圖 14。

### 4. 威脅：

(1)EMC 工程師缺乏 IC 的知識。

(2)沒有足夠的工程師可以做晶片與封裝共同模擬與設計。

(3) 模擬軟體的功能與效率有限度，沒辦法進行太複雜的 EMC 系統架構模擬。

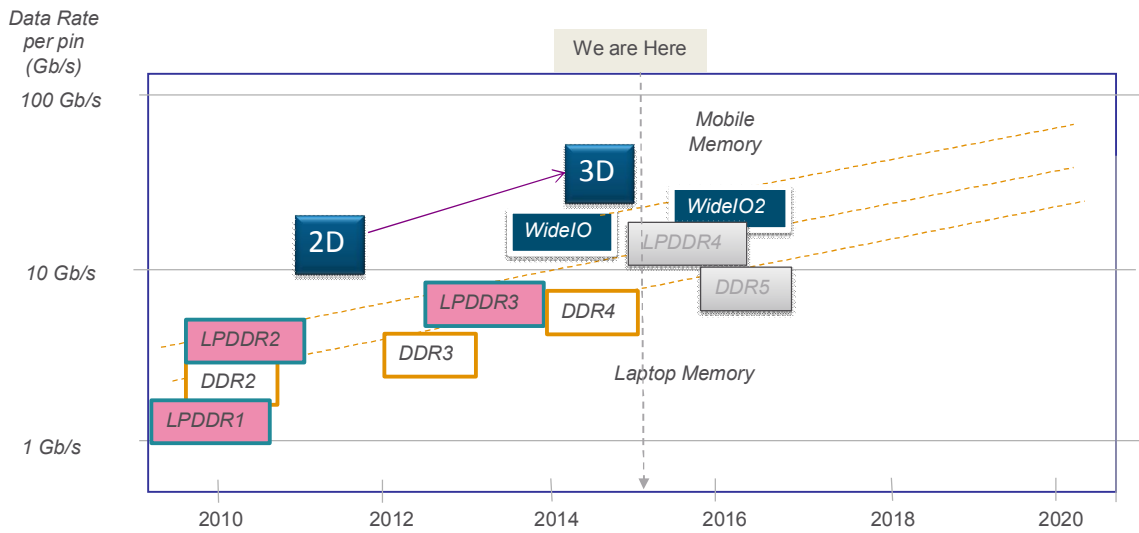


圖 4 記憶體晶片技術發展路線圖

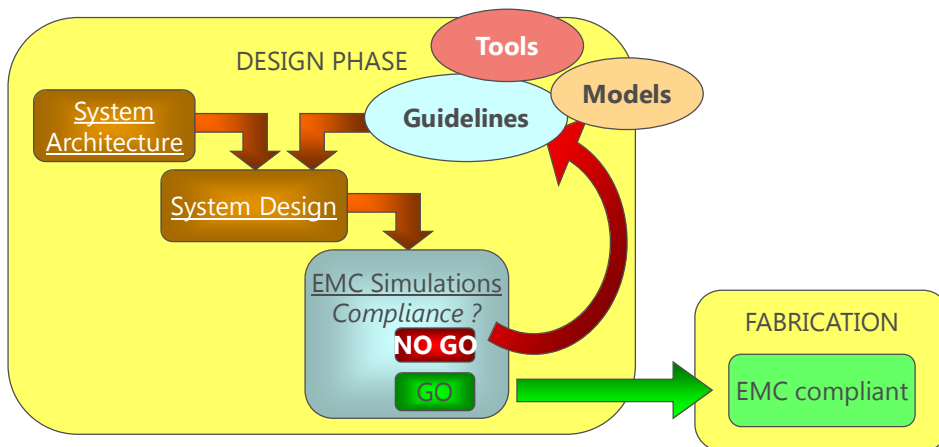


圖 5 在設計階段進行 EMC 設計及驗證

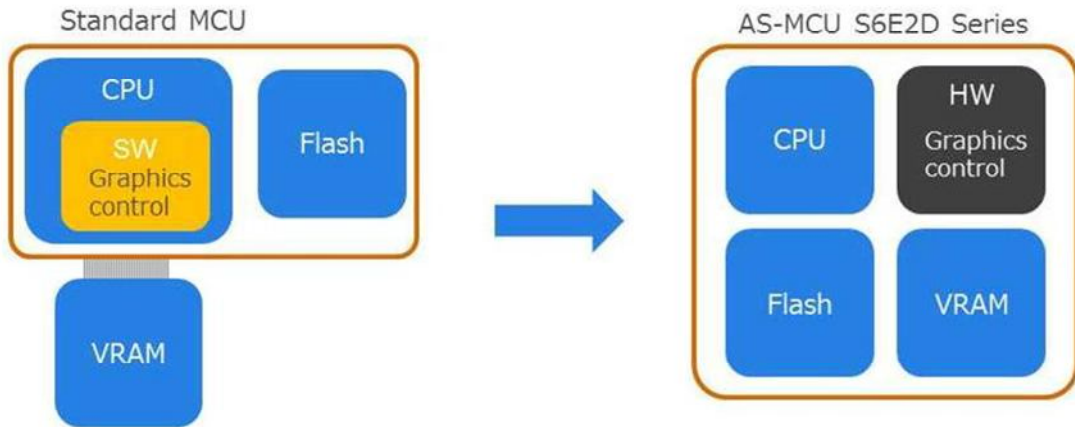


圖 6 系統晶片整合

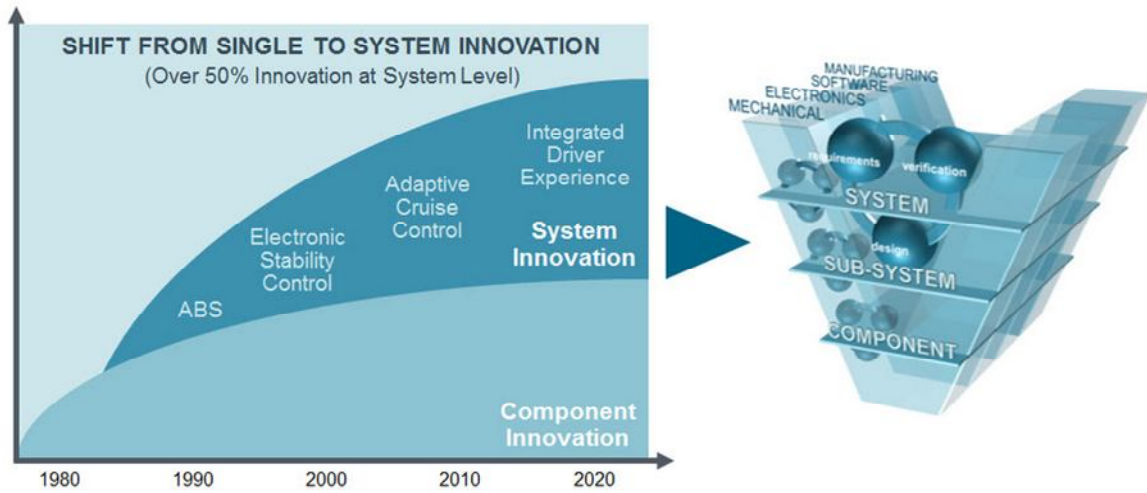


圖 7 系統整合

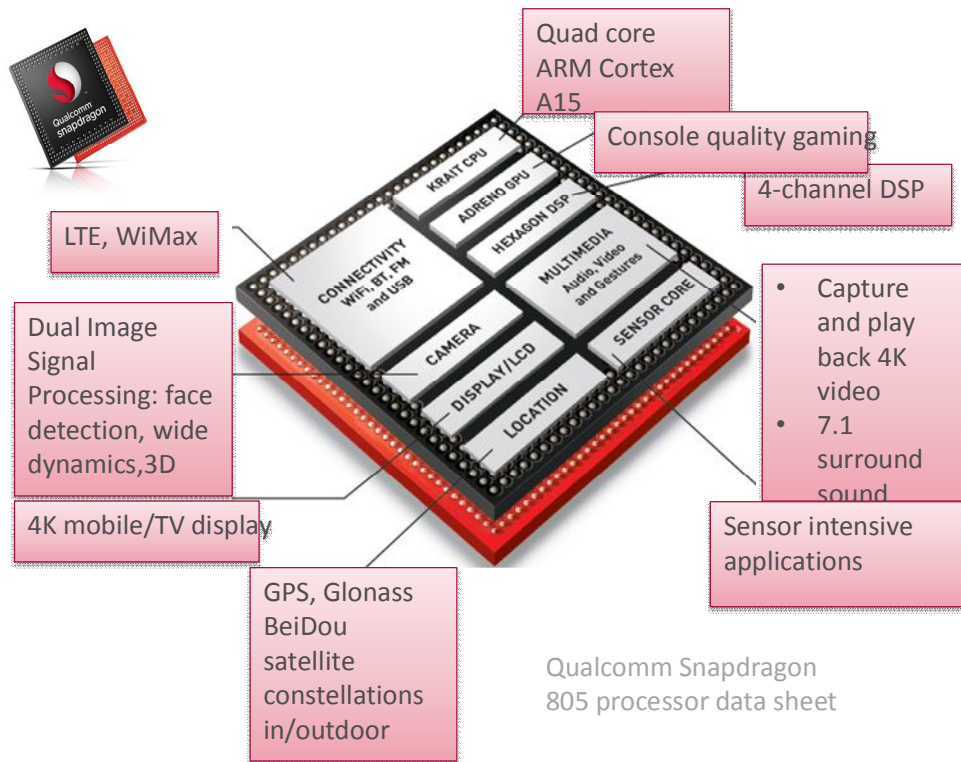


圖 8 手機系統晶片

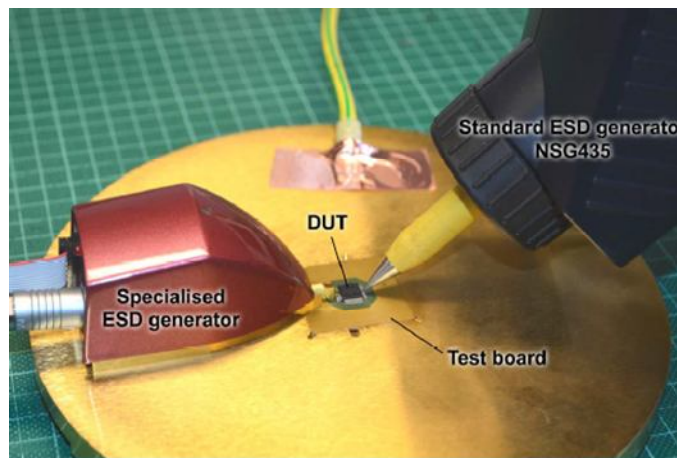


圖 9 暫態 IC-EMC 測試

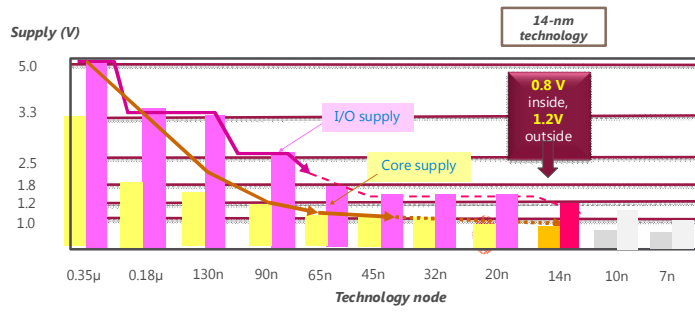


圖 10 低電壓與低雜訊容忍度

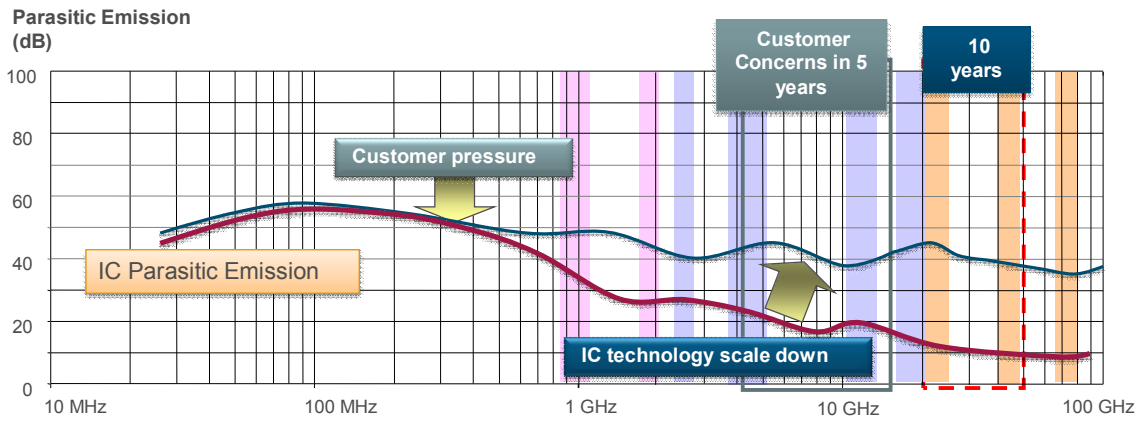
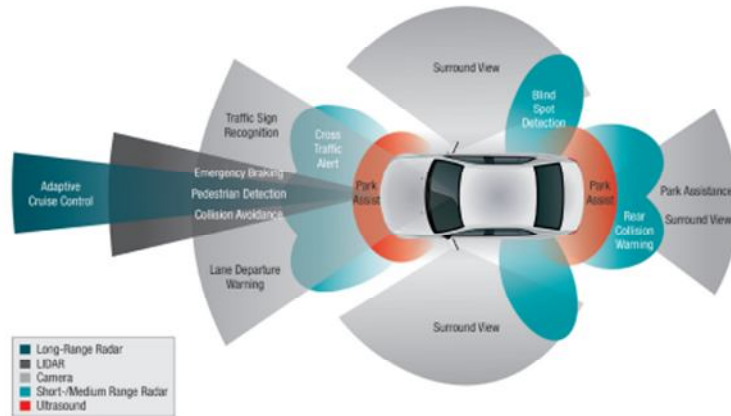


圖 11 系統頻率高的 IC-EMC 挑戰

IEC 62433 series	Conducted mode	Radiated mode
Emission model (ICEM)	ICEM-CE	ICEM-RE IEC 62433-3
	IEC 62433-2 Ed. 1.0	
	IEC 62433-2 Ed. 2.0	
Immunity model (ICIM)	ICIM-CI IEC 62433-4	ICIM-RI IEC 62433-5
Fast Transient model (ICFTM)	ICFTM-CI IEC 62433-6	-

圖 12 IC-EMC 模型標準(IEC 62433)



### VISIONS FOR VEHICLE MOTION AND SAFETY

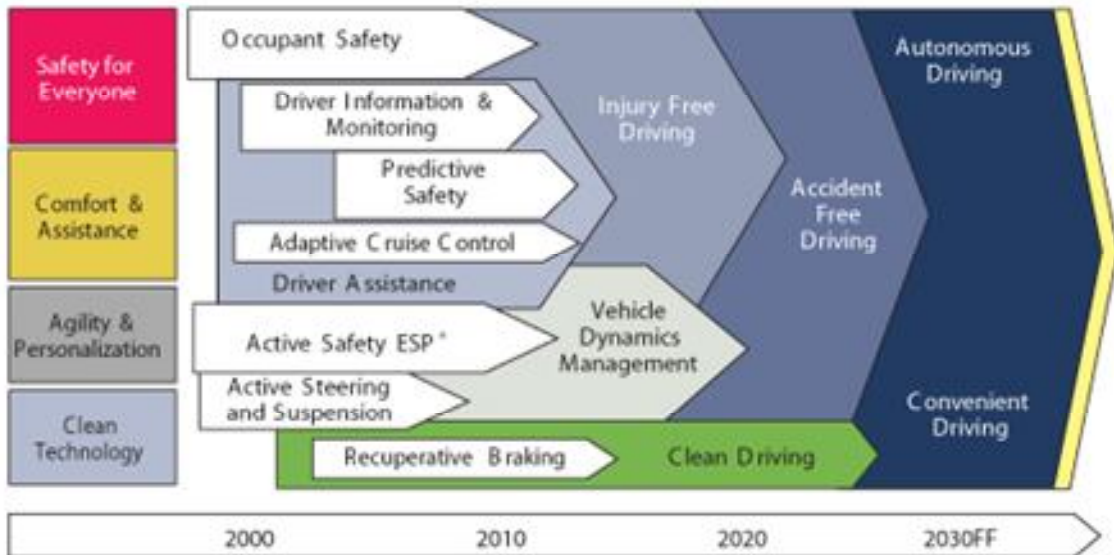


圖 13 自動駕駛車





業界伙伴為法國 Valeo 公司，實驗結果在被動分布網路(PDN)及傳導干擾強度之模擬與量測結果的比較，皆有相當好的關聯性，如圖 16~18。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<!-- root element -->
<CEmodel>
  <!-- Header section -->
  <Header>
    ...
  </Header>
  <!-- Lead definitions section -->
  <Lead_definitions>
    ...
  </Lead_definitions>
  <!-- Validity section -->
  <Validity>
    ...
  </Validity>
  <!-- Pdn section -->
  <Pdn>
    ...
  </Pdn>
  <!-- Ia section -->
  <Ia>
    ...
  </Ia>
</CEmodel>

```

圖 15 CEML 檔案架構範例

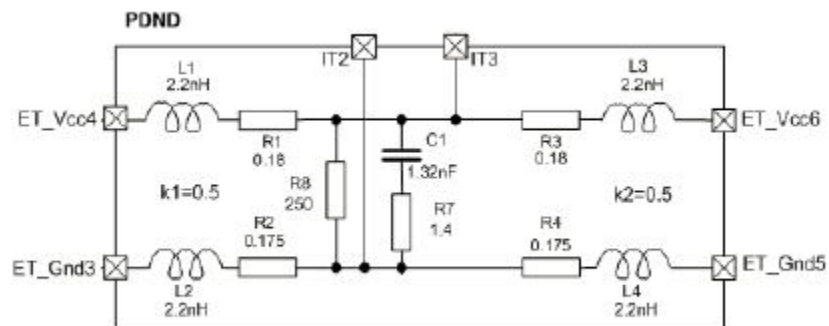


圖 16 從 CEML 載入之被動分布網路(PDN)



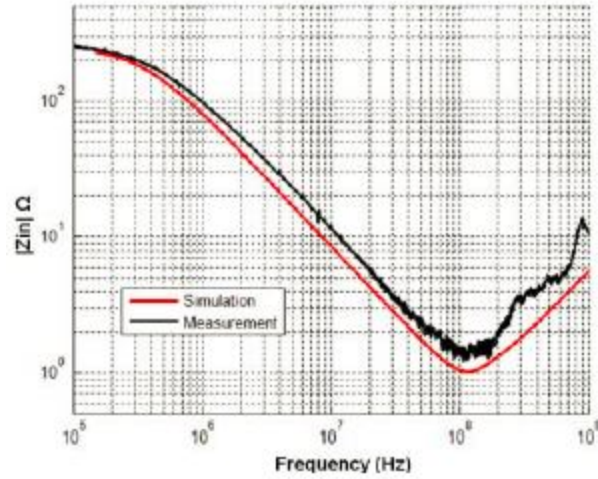


圖 17 VCC 接腳之輸入阻抗之模擬與量測比較

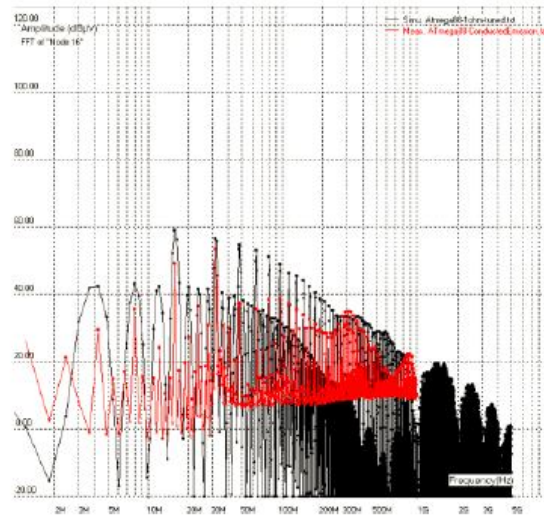


圖 18 IEC 61967-4 傳導干擾強度之模擬量測比較

題目：EMC performance analysis of a Processor/Memory System using PCB and Package-On-Package

作者：Etienne Sicard, Alexandre Boyer (INSA, University of Toulouse, 法國), Priscila Fernandez-Lopez(VALEO – GEEDS, 法國), An Zhou(VALEO – GEEDS), Nicolas Marier<sup>2</sup>, Frédéric Lafon(VALEO, 法國)

這篇論文主要研究系統晶片及使用疊層構裝之堆疊式記憶體 (stacked memory using Package-On-Package) 的信號完整性及電磁相容，其有2種連接模式分別為連接系統晶片與記憶體經由電路板以及連接系統晶片到記憶體經由貫孔(via)，如圖19所示，並以近場掃描機用磁場探棒在系統晶片封裝上方1mm處做掃描，量測結果如圖20所示，可以探測出近場強度較強的熱點，Package-On-Package信號完整性的模擬模型如圖21所示，模擬結果如圖22所示，由於導線電感性特性，在非常高的資料率時會產生過衝(overshoots)及下衝(undershoots)有800及1200Hz的諧波含量，造成信號失真，在記憶體與系統晶片邊界，使用IC-EMC近場模擬器作模擬，得到磁場峰值約65dBA/m。

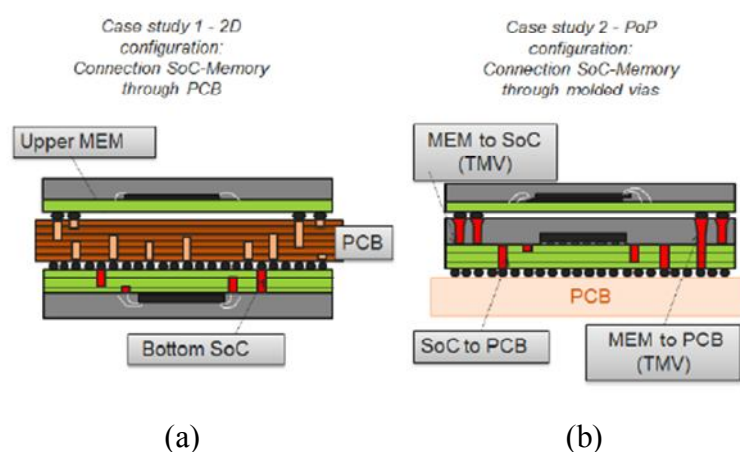


圖 19 案例研究: (a)連接系統晶片與記憶體經由電路板及(b)連接系統晶片到記憶體經由 Vias

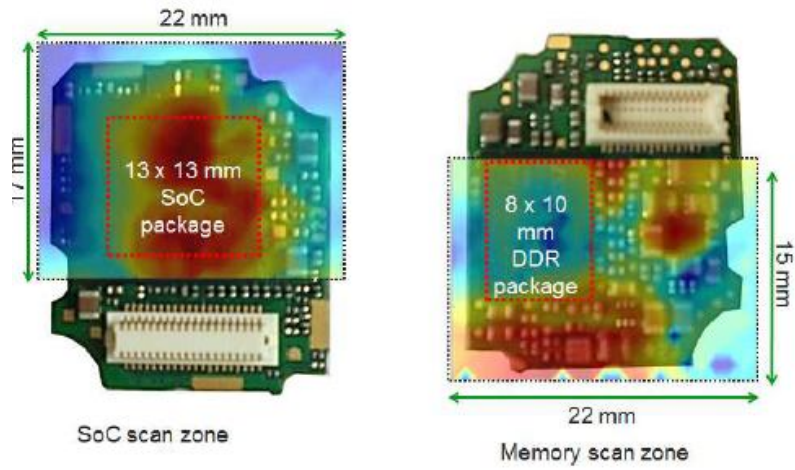


圖 20 累積在系統晶片封裝上之近場掃描熱點

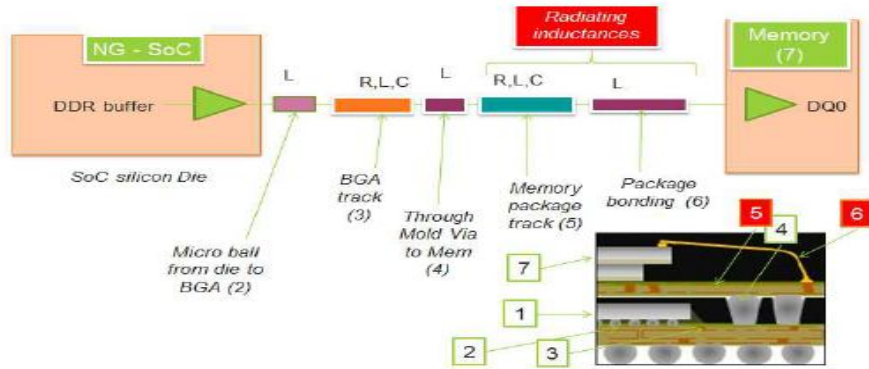


圖21 package-on-package 信號完整性模擬模型

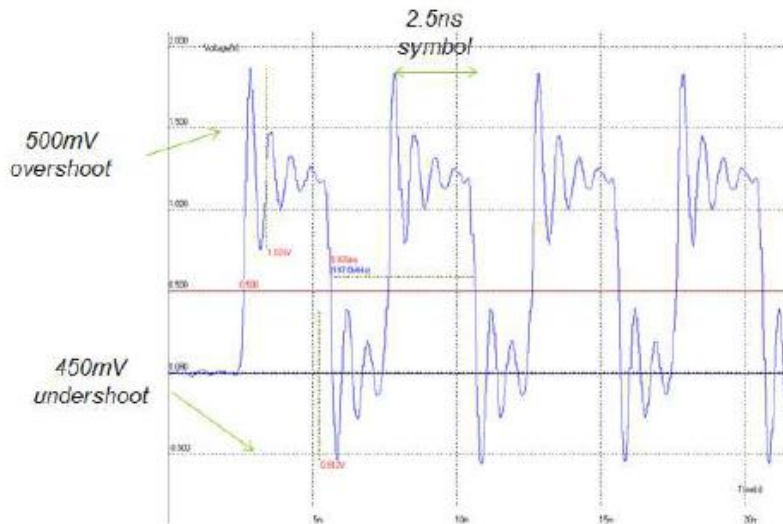


圖 22 package-on-package 信號完整性模擬結果

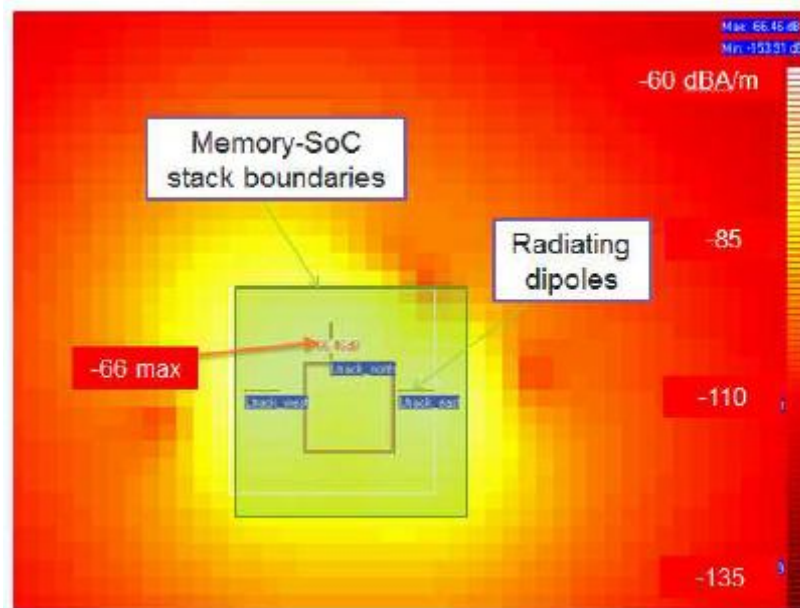


圖 23 使用 IC-EMC 近場模擬器在 Package-on-package IC 上方 2mm 處  
作近磁場輻射模擬

題目：A Black-Box Measurement-Based Modeling Method for the RF Emission and Immunity Behavior of ICs

作者：Hugo Pues (Melexis Technologies NV, Tessenderlo, Belgium);  
Celina Gazda (Melexis Technologies NV, Tessenderlo, Belgium)

這篇論文提出一種不需要知道積體電路(Integrated Circuit, IC)內部架構或是活動，便可以建構射頻(RF)電磁干擾及電磁耐受性模型的方法，即所謂黑盒子法，此方法是基於 3 種量測方法：(1)多埠(Port) S 參數量測使用向量分析儀；(2)電磁干擾量測使用 EMI 接收機；(3)耐受性量測使用直接功率注入法(DPI)，所提出的方法適用在標準 IC，模型有效頻率範圍為 300kHz~2.5GHz。圖 24 為 IEC 62433-2 所表示的 IC-EMI 傳導模型，IC 腳數為  $N_p$ ，且  $N_a$  表示 IC 有  $a$  個內部雜訊來源(Internal Activities, IA)，被動分布網路 (passive distribution network, PDN)為 IC 內部活動與 IC 接腳耦合阻抗特性。

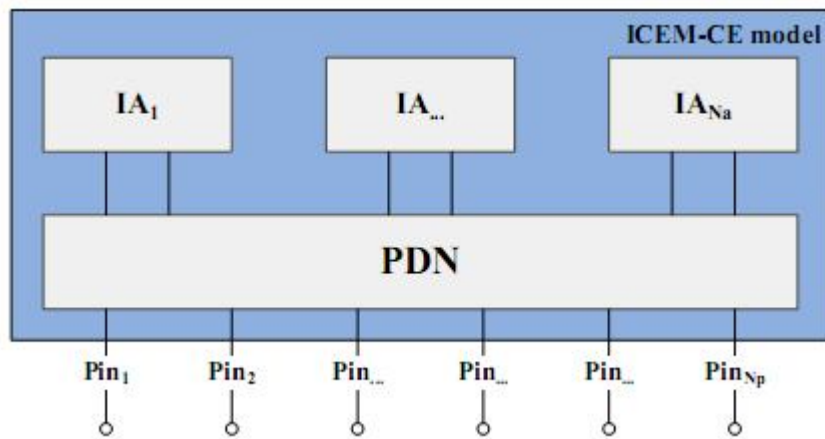


圖 24 IEC 62433-2 之 IC-EMI 傳導模型

圖 25 為這篇論文提出的模型，與 IEC 62433-2 所表示的 IC-EMI 傳導模型差異為：「在每一信號接腳，以外部雜訊電壓源(external noise voltage sources, EVs)，取代 IA，而模型的參考被連接到模型的參考腳」，其中 PDN 是由多埠(multi-port)S 參數的量測來決定，而 EVs 的參數是使用類似 IEC 61967-4 的量測方法來決定。

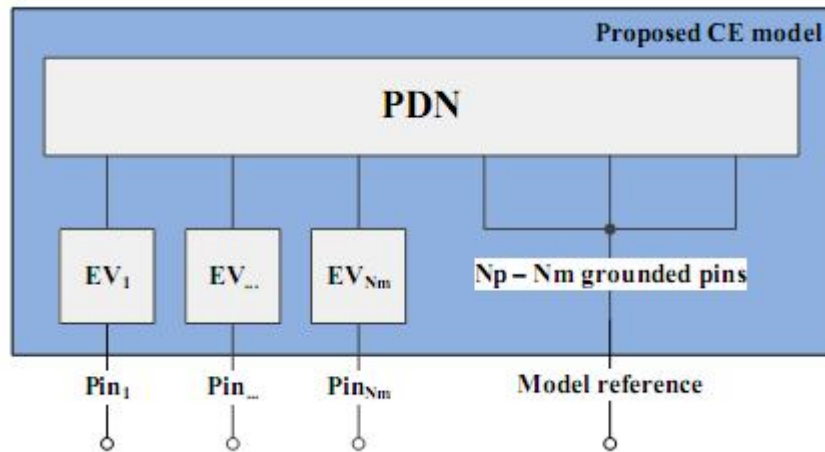


圖 25 這篇論文提出的傳導干擾模型

另外，IEC 62433-4 亦發展了 IC-EMS 傳導耐受性模型，其主要有 2 個元件，一為 PDN 用以模擬阻抗特性及信號在 IC 內部的傳遞，另一個



為內部耐受性模型(internal immunity block, IB)，表示 IC 對外加擾動的反應。在這篇論文提出 IC-EMS 傳導耐受性模型，如圖 26 所示，以等效直接功率輸入法在每一信號接腳作計算，並與 DPI 量測方法的結果作比較。

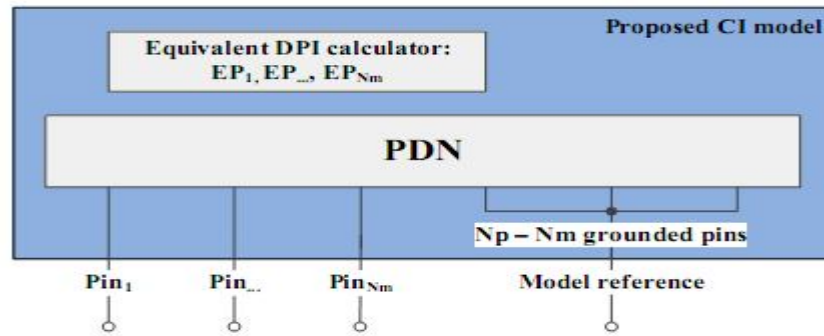


圖 26 這篇論文所提之傳導電磁耐受性模型

題目：Time-Domain EMI Measurement Methodology

作者：Shih-Yi Yuan, Ting-Wei Yeh, Yung-Chi Tang, and Chiu-Kuo Chen

(逢甲大學 袁世一教授、本局唐永奇、陳秋國)

隨著物聯網 (IOT) 取得實質性進展，在物聯網電磁干擾 (IoT-EMI) 測量將面臨新的挑戰，IoT-EMI 的行為將是軟體與硬體的互動而決定，本篇論文將提出物聯網-EMI 量測系統的發展方法，然而 IoT-EMI 是數位控制及時變的，以及與軟體有關，使得以傳統的方法作量測將相當困難，本篇論文將提出時域的量測方法，這方法使用時間戳印 (Timestamp)，使用軟硬體共同量測的策略，去分析 IoT-EMI 的行為，如圖 27 所示，從量測結果發現，長期量測是可以與頻譜分析儀作比較的，在不同的應用程式執行環境下，軟體相關的 IOT-EMI 量測結果約 5-50 dB $\mu$ V 差異，經查本文是 IEEE 第一篇 IoT-EMI 行為的論文發表。

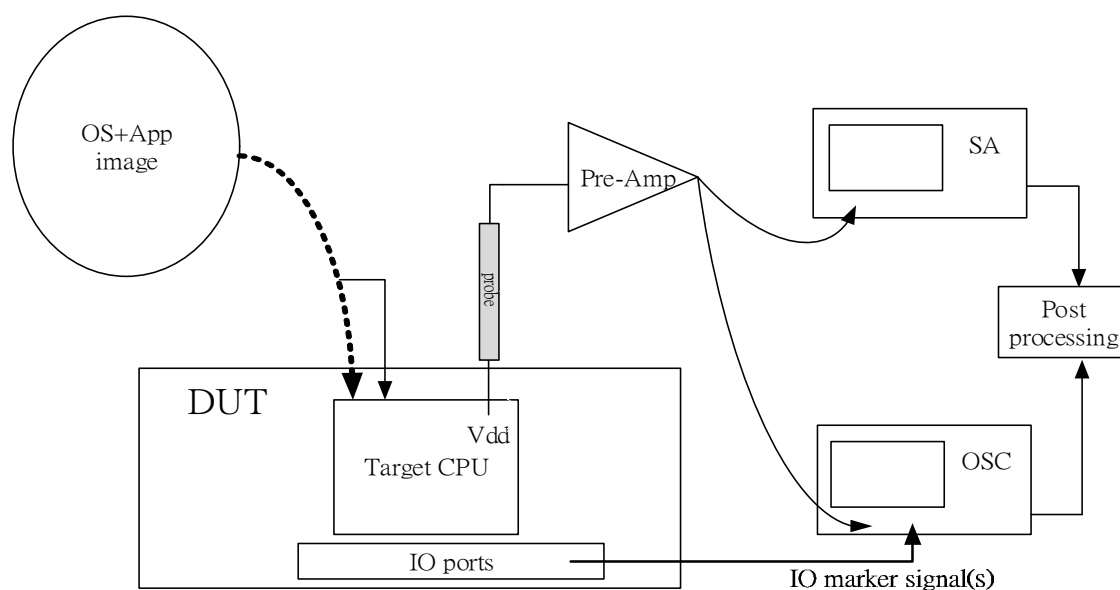


圖 27 IoT-EMI 特性化量測 Setup

### 三、展場活動

每年的 EMC 研討會，現場的展覽活動也是必要的參觀重點，展出的重點以測試儀器、測試治具、模擬軟體及 EMC 材料為重點。此外有看到 Langer 公司用來量測 IC 近場掃描機，具有高解析度探針，搭配探針及軟體可以做 IC 表面電場及磁場掃描，並可用 3D 影像方式呈現，如圖 28 所示。



圖 28 現場的展覽活動

#### 四、與國際人員技術交流：

與克羅埃西亞 Zagreb 大學Adrijan Baric教授討論（如圖29）針對S參數量測用於IC-EMC之技術，主要適用於de-embedded PCB上面寄生元件效應，本次討論內容主要針對IC-EMC量測環境作為校正對象，因為校準對象為PCB環境，因此必須將de-embedded PCB之S參數量測轉為Z參數，並且合併Z參數在被动元件上之轉換特性進行討論。

另外與法國INSA Etienne Sicard教授討論他們正在發展及向IEC提案標準草案之傳導干擾模型語言(Conducted Emission Markup Language, CEML)，用於IC-EMI模型之通用交換格式，他們以XML的語法去發展CEML語言，用來發展一通用的IC-EMI模型的介面。



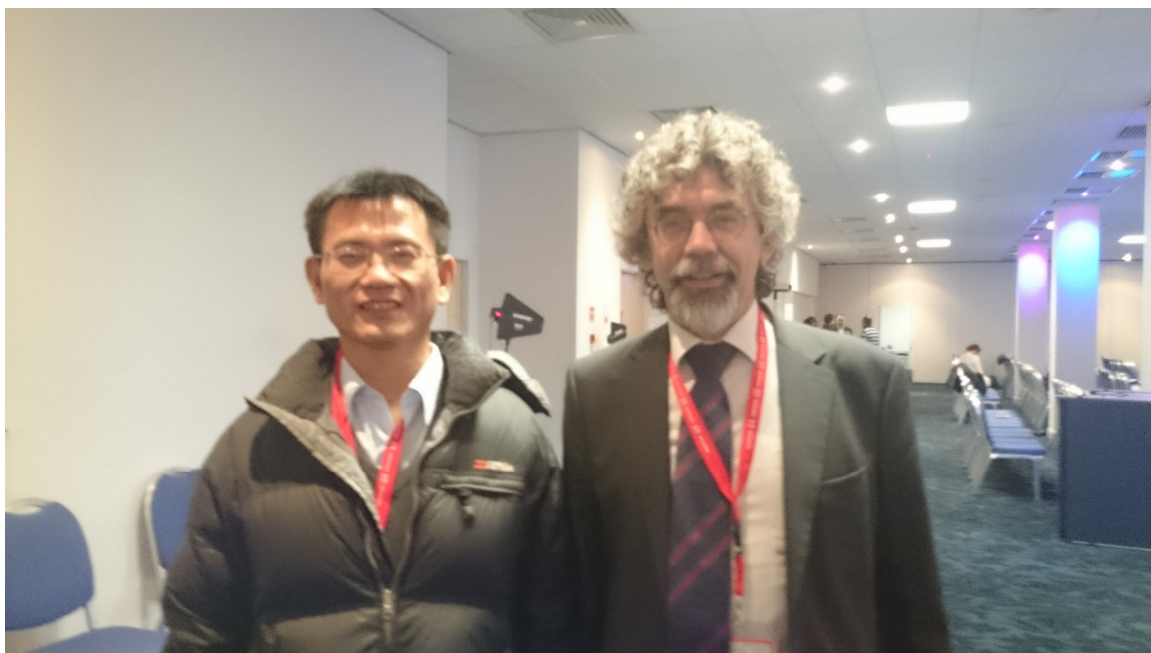


圖29 克羅埃西亞 Zagreb 大學Adrijan Baric教授

## 肆、心得與建議

### 一、心得：

本次研討會在馬克斯威爾博士的出生地英國愛丁堡舉辦，11月中旬愛丁堡的天氣每天下雨相當濕冷，風相當大，大約下午4點半左右天就黑了，這裡的天氣與台灣差異很大，在這麼惡劣的天候環境下，卻誕生及孕育了物理學大師馬克斯威爾博士，惡劣的環境，似乎沒有阻礙文明反而使人類的文明有更大的前進力量，來改善生活與環境。

本次研討會，吸取國際論文新知與意見交流，參考相關領域的學術論文資料，能針對國內產業需求與趨勢，蒐集之國際 IC-EMC 相關標準、檢測與驗證技術資料，有利後續計畫執行。

本次研討會發表的論文數共有 41 篇，其中法國 13 篇最多，其次是德國 8 篇，南韓 4 篇，日本 2 篇，台灣 1 篇為本局與逢甲大學共同發表，如下面表 1 及圖 30 所示。

表 1 不同國家論文統計數

國別	篇數
France	13
Germany	8
Austria	4
korea	4
Croatia	3
Japan	2
Netherlands	2
UK	2
Taiwan	1
Australia	1
Brazil	1
合計	41

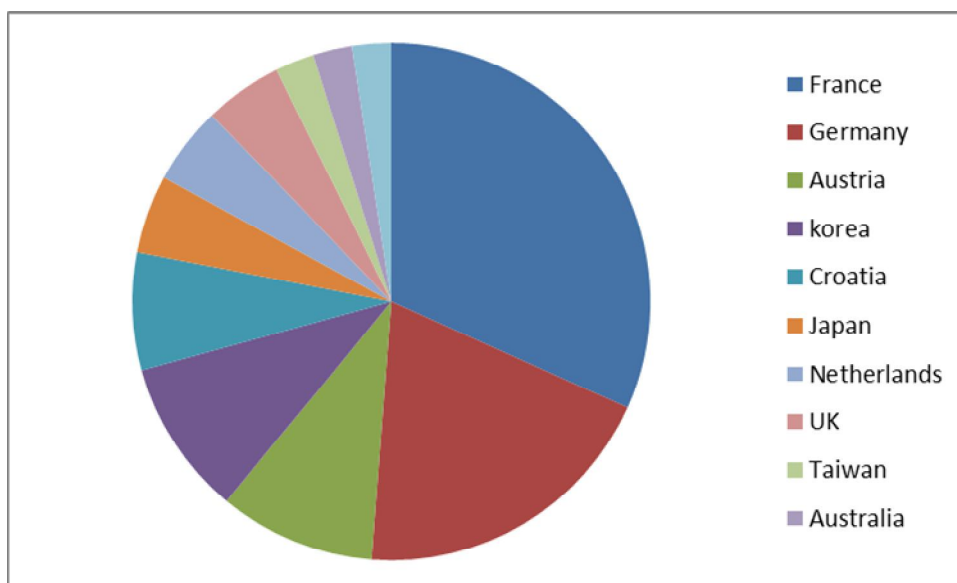


圖 30 不同國家論文發表數之比率

## 二、 建議事項：

1. IC-EMC 模型的建立相當重要，在設計階段進行模型的驗證，可以

降低 IC 產品開發風險。

2. 建議本局發展 IC-EMC 通用交換模型技術，以便將所發展出來的模型與國際上一些合作夥伴作模型的交換及驗證，進行相關交流。
3. 發展微控制器在作業系統下，執行不同的應用程式，作 IC-EMC 模型估測的研究，以便發展出來的模型更接近於實際的應用系統。