

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

雷射光學量測電池元件熱流參數及設計分析資料庫建立  
Laser Optical Measurements of Thermal-Fluid Parameters in Flow  
Channels of the Bipolar Plate for Planar SOFCs

計畫編號：942001INER011

受委託機關（構）：國立中央大學

計畫主持人：施聖洋教授

聯絡電話：(03) 4267327

E-mail address: sshy@ncu.edu.tw

報告日期：中華民國 94 年 11 月 30 日

# 目錄

中文摘要	3
英文摘要	4
壹、計畫目的	5
貳、計畫緣起	6
參、執行方法與進度說明	9
肆、結論與建議	15
圖表說明	18
參考文獻	34

## 中文摘要

本計畫針對核能研究所研發中之平板式固態氧化物燃料電池(SOFC)，其關鍵元件雙極板，進行流場特性量測與分析。因流場均勻度是雙極板重要性能參數之一，攸關 SOFC 電化學反應之均衡性，進而影響電池整體效能。然而，與雙極板內部流場特性相關之實驗研究相當缺乏，故本計畫建構了一水力測試平台，以實驗模擬 SOFC 雙極板在實際運作狀態之流場特性。配合可視化流場觀測技術，量測雙極板流道中流體之速度並分析各個流道內速度場分佈之均勻度，進而評估不同雙極板設計之性能。此外，我們亦利用計算流體力學軟體 CFD-RC，建立耦合結構與非結構性網格之數值模型，以獲取流場熱流參數之資料。數值模型之可靠度已被實驗數據所驗證。本計畫之重要具體成果如下：(1) 已將模擬雙極板之模型製程，整理建構出一模組化及系統化之標準程序，此可有助於迅速且精確將不同設計之雙極板製造成模型，並進行測試；(2) 建構可正確測試不同雙極板流場特性之水力平台；(3) 建立 2D 及 3D 數值模型，數值模擬為雙極板流道最佳化設計之前導工作，可提升流道設計之效率；(4) 測試核研所正發展中之雙極板設計及多種不同設計及尺寸之雙極板模型，結果發現，在核研所所採用之雙極板設計上加設導流板可有效地改善流場均勻度。

關鍵詞： 平板式固態氧化物燃料電池、水力測試平台、可視化流場觀測技術、數值模擬、導流板

## 英文摘要

This project aims to investigate thermal-fluid parameters which are relevant to the flow field in interconnects of planar solid oxide fuel cells (SOFC) currently developed by INER. Since the flow uniformity is one of key features for interconnects, it affects the balance of electrochemical reactions in electrolytes and thus influences the cell performance. However, very few experimental studies are available for the flow uniformity in interconnects. Thus, this project has established a hydraulic testing platform, which allows direct flow visualizations and velocity measurements in simulated plexiglass interconnects. Several different designs of interconnects have been tested for their flow uniformity. Furthermore, 2D numerical models coupled with structured and unstructured grids have been developed using CFD-RC. These numerical models have been tested and verified for their validity by the experimental data. We summarize these results as follows. (1) We have established a modular and systematic manufacturing standard for fabricating various different simulated interconnects for planar SOFC. (2) A hydraulic platform has established to test flow uniformity of various designs of interconnects for the planar SOFC. (3) 2-D and 3-D numerical models for interconnects are developed. The numerical simulation is a useful tool for the design of interconnects. (4) We have tested many currently-used interconnects by INER. It is found that using guide vanes in the inlets of interconnects can improve the flow uniformity significantly.

*Key words:* Planar SOFC, hydraulic testing platform, flow visualization, numerical simulation, guide vanes

## 壹、計畫目的

相較於目前多種燃料電池，平板式固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)之製作成本較低，且可提供較高及較穩定之電力輸出，相當具有發展潛力。然而，平板式 SOFC 欲量產商品化，仍有許多技術瓶頸待突破，如關鍵元件的最佳化分析與設計、劣化機制診斷技術的建立以及新電極材料的開發等等。本計畫配合核能研究所「SOFC 奈米級粉料及其效能研究」計畫項下「SOFC 電池單元及全系統研製」，進行平板式 SOFC 元件熱流參數及最佳化之分析，以協助完成建立系統整合的評估技術。研究目的概述如下：

1. 針對核研所採用之雙極板，發展可系統化測試雙極板流場特性之量測分析技術。我們以實驗的方法，獲得雙極板內部流場之重要特性參數，含流場影像、速度場以及流場均勻度分析等等。這些實驗數據不僅可用以為驗證數值模式之可靠度，亦是雙極板流道最佳化設計的重要參考依據。
2. 建立正確可靠之數值模擬模式。因數值模擬為流道設計之前導工作，能較快評估不同流道設計之流場特性，我們並以實驗數據來驗證其可靠度，並作為改善模式之依據。
3. 將流道設計及測試流程標準化。從流道設計、數值模擬、模型製作、實體測試道數據分析，其過程相當繁複，系統化的流程規劃，可有助於提升流道設計之效率。
4. 整合實驗及數值模擬之研究成果，歸納影響雙極板內部流場均勻度之重要影響參數，進而協助核研所合作夥伴提升流道最佳化分析及設計之研發能量。

## 貳、計畫緣起

### 2.1 計畫背景

如何解決化石能源迅速消耗與環境污染所衍生的相關問題，是人類永續發展所需面對的重大挑戰。開發多元化之主要能源來源，以及發展新燃燒技術，以提升燃料使用率，是目前許多先進國家所採取的因應之道。因此，新能源研究領域的發展—如氫經濟（Hydrogen Economy [1,2]，燃料電池是其中之一部份）將在未來文明發展的歷程中，扮演著相當重要的角色。此外，全球能源市場自由化的趨勢，將使跨地域的競爭更加地強烈，使得各國需要新能源策略和技術，以擬定一具平衡安全穩定供應且符合社會環保要求及具經濟競爭度的國家能源政策。而氫能與燃料電池是替代化石能源的一個重要選項。

燃料電池是一種高效率且潔淨的發電裝置，亦是絕佳的能源載具。以氫與氧電化學反應產生電力之原理，早在 1839 年英國法官兼科學家 William Robert Grove 便已發現 [3]。但因受限於許多技術瓶頸，直到最近幾年，燃料電池在技術上起了革命性突破，所以又重新受到重視。目前多種燃料電池中，以固態氧化物電解質燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) [4-6]，質子交換膜燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) [7] 及直接甲醇燃料電池 (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) [8]最具發展潛力，且相當受到重視，世界各國政府、民間企業均投入大量人力及資金研發。其中 SOFC 具有燃料多元化之特色，並且 SOFC 之高操作溫度特性，使其不僅可以直接將燃料重組，節省額外重組的耗能，更可發展為熱電聯用裝置 (Combined Heat and Power, CHP)，有效提升整體系統之發電效率，故是一極具競爭力的潔淨發電裝置。建置高效率 SOFC 發電系統並使其商業化，是未來可協助解決我國在穩定安全供電、環境保護和經濟發展三大能源主軸

問題之一個極重要的選項。

## 2.2 重要參考文獻評述

雙極板(interconnects)是平板式 SOFC 的關鍵元件之一 (平板式 SOFC 之結構示意圖，請見圖 2.1)，主要功能有三：(1) 單電池間電子傳遞之介質；(2) 分隔陽極與陰極，避免燃料與空氣(氧)混合；(3) 雙極板之流道可使流體均勻分佈。雙極板的材質、厚度以及流道設計，皆是影響平板式 SOFC 電池效能的重要因素[9,10]。因此，許多研究團隊皆針對與雙極板流道設計或性能分析相關之議題，進行深入探討。

流道設計方面，目前最常被使用的設計概念有兩款，一為 Yakabe 之研究團隊(2001)[11]設計之單進口/單排氣口的雙極板流道，如圖 2.2 所示；另一則為 de Haart et al. (2001)[12]所設計之雙進口/單排氣口的雙極板流道，如圖 2.3 所示意)。以此二種設計概念為基礎之單電池或電池堆，其電池性能已被廣泛地研究，其中以不同之燃料與空氣彼此相對應之流動方向所引發之效應，為主要之研究方向，含相同流向(co-flow)、相反方向(counter-flow)以及垂直交互流向(cross-flow)三種不同選擇。Recknagle et al. [13]利用數值分析方法，模擬 Yakabe et al. [11]之雙極板設計在不同氣體流動方向條件下之電池性能表現，其結果發現 co-flow，可以使電池內部呈現最均勻的溫度分佈。電池內部溫度分佈均勻與否，攸關電池壽命，因為若熱應力不均勻，將造成某些處熱應力集中，可能會使電池元件劣化加速，甚至造成損壞。同樣利用數值分析方法，但探討以 de Haart et al. [12]之設計概念為基礎之電池堆，核研所邱耀平博士及工作同仁[14]研究在不同氣體流動方向之電力輸出表現，結果發現，反而是 counter-flow 可提供較大之電力輸出，具有較佳效果。其他如 Iwata et al. (2000) [15]亦針對不同之燃料與空氣流動方向對電池性能之影響進行分析和討論。

而有關電池內部傳輸現象對雙極板性能之相互關係方面，Lin & Beale[16]發現雙極板上肋條(ribs)的位置及幾何設計會影響燃料及氧濃度之分佈，進而對電池發電效率造成影響。Lehnert 及其團隊[17]建構簡單的 1D 數值模型，針對材料之多孔性質，如孔隙率(porosity)及孔隙撓曲度(tortuosity)，對燃料轉換率之影響進行數值分析，結果發現較大之孔隙率與孔隙撓曲度的比值，可有效提升燃料轉換率。有關 SOFC 內部傳輸現象及雙極板性能分析相關的文獻相當多[e.g., 18-22]，但皆以數值模擬的方式進行研究，可供驗證的實驗數據則相當缺乏[23]。因此，本計畫針對上述兩大雙極板流道設計概念，進行實驗分析和量測，提出可改善增加其流道流場分佈均勻度之有效方法，佐以數值分析，建立有用的熱流參數和設計分析之資料，使之能對雙極板流道設計有所幫助。

### 2.3 報告大綱

本研究報告共含四章。第一章為計畫目的，說明本計畫所規劃之研究目標。第二章為計畫緣起，說明執行此計畫之動機，並針對重要的參考文獻做一整理與評述。第三章為研究方法與過程說明，本計畫分別利用實驗方法及數值模擬進行研究，因此本章將詳細介紹實驗方法，含雙極板模型的製備、染液觀測法以及水力平台的建立等等；數值模擬的部份，則分別說明幾何模型的建立以及邊界條件設定等等。第四章則針對所獲得之研究結果作一彙整與分析，討論本計畫之重要發現，並具體說明本計畫所獲得的成果。



## 參、研究方法與過程說明

本計畫分別以染液觀測法以及數值模擬，進行平板式 SOFC 雙極板內部流場特性分析，詳細的方法及過程將分述如下：

### 3.1 雙極板內部流場觀測

#### 3.1.1 雙極板模型之設計與製作

本計畫研究主軸為建構雙極板流體特性測試技術，以協助核研所合作夥伴，針對目前發展中之平板式SOFC，進行最佳化分析。因此，主要的測試對象為核研所目前採用之雙極板設計，含兩進氣口和單一出氣口以及中間部分14個流道，請見圖3.1，含設計圖和實驗模擬實體照片圖。為了探討影響流場均勻度的重要因子，我們亦設計多款不同的雙極板模型。首先於圖3.1之上部兩進氣口端到14個流道間加設十片導流板，以強制分配由兩進氣口流出之流體，使進入各流道之流量可以均衡，實驗模型和規格與實體如圖3.2影像所示。為使進氣口與各流道之距離可以更平均，我們改變兩進氣口之位置，如圖3.3所示，並將14個流道修改為12個流道，使導流板設計之重要理念：即均勻分配由兩進氣口流出之流體，使進入各流道之流體能達均勻之流率，可以落實。依上述設計理念，12個流道與11個矩型肋條均具有同樣3 mm之寬度，如圖3.3所示。

使用透明壓克力為製作雙極板模型的材料，故可直接觀測流體在雙極板流道中的整體流動過程。我們利用多種加工方法製作雙極板模型，首先，考量結構的密封性，一個完整的雙極板設計，乃由底板、外板、內板、上板與ribs等五部分所構成，此製備方法可有效解決流體洩漏的問題。然而，由於雙極板模型之尺寸相當小(面積約為 $10 \times 15 \text{ cm}^2$ )，五部分個別加工須耗費大量時間，且不易控制精度。因此，我們改以AutoCAD繪圖軟體繪製雙極板模型之設計圖，並利用Master cam軟體進行轉檔及模擬加工，以評估加

工時間及加工過程可能發生的問題，最後利用CNC切銑中心機械進行加工。此製作方法可讓雙極板模型製造的程序模組化及系統化，從設計到製作成品都以電腦輔助繪圖軟體進行，可具體提升雙極板模型之精度，以及大幅縮短製作不同雙極板模型之前置工作的時間，有效提昇製作效率。

### 3.1.2 水力測試平台

我們已建構一由重力位能差驅動流場之水力平台，相關設備示意圖請見圖3.4。為了維持流體流動可在定常狀態(steady state)下進行，我們固定水槽的水位面，使其距離雙極板模型為固定高度(60公分)。進行測試之雙極板模型皆以水平方式放置，可避免垂直放置時重力效應對速度量測結果造成誤差。為測試流場雷諾數與流場均勻度之關係，我們利用加裝於雙極板模型排氣口後端之質量流量計，以控制及量測出口流量，進而計算流場雷諾數。利用染液觀測流場流速分佈，將攝錄影機所儲存之影像，作影像二值化處理後，以時序定位，進行每一個流道之速度計算。我們利用150 W之鹵素燈作為光源，並避免其他光源如日光或電燈對流場觀測造成影響，搭配高速攝影機及廣角鏡頭，擷取流場時序影像。高速攝影機之影像擷取率為30 frames/s，曝光時間為5 ms，此操作條件可精確的記錄染液於流道中之流動狀態。

### 3.1.3 染液觀測技術

染液觀測技術為一非侵入式之流場觀測技術。然而，染液之濃度、密度以及導入觀測區之方式，皆會對流場特性造成影響。我們曾針對染液之濃度及密度進行系統化測試，添加1 g 的染料(以150 °C 高溫烘烤30分鐘)於1000 c.c的水中，其平均密度約為0.99 g/cm<sup>3</sup>，此染液密度幾與水之密度雷同(在20°C時)，為本實驗之最佳染液密度條件。關於染液導入觀測區之方式，由於隨著流場雷諾數(雷諾數以單一矩型流道之水力直徑及流道平均速度定義[23])的不同，染液流量亦必須進行修正，以避免干擾流場，因此我們在

置於水力平台最上方之染液槽下方裝置一控制閥，以精確控制染液流量。控制閥下方則配置三通閥，將染液分別等量注入雙極板模型之雙進氣口，此管件配置的方式，可避免染液無法同時進入雙進氣口，影響觀測結果。

有關速度場計算方面，首先以高速攝影機擷取流場瞬時時序影像。由於染液於流動中會有擴散現象，不易以目視方式來判斷染液之流動時序位置，故利用影像處理軟體Optimas先將所獲之瞬時影像進行二值化，藉由調整影像之像素門檻值(pixel threshold)可以明確定義出水與染液之介面。我們以Matlab軟體撰寫程式，利用程式計算在一系列不同時序(33.3 ms)每張瞬時影像染液於各個流道中，其面積隨時間之增長關係，再將所得之面積除以流道之水力直徑，以獲得每個流道內染液前緣位置隨時間增長之關係，確認其關係為線性，故所得之斜率即是流道內之整體平均速度，我們將分析不同流道之平均速度分佈之情形，也將研究不同雷諾數對流場均勻度之影響。

## 3.2 數值模擬

### 3.2.1 數值模型之建構

本研究使用由美國CFD Research Co.所發展的三維計算流體力學軟體(CFD-RC)，進行雙極板流道流力之數值模擬之研究工作。該軟體是利用有限體積法(finite volume method)之熱流統御方程式，來解析諸如工業工程及建築通風設計、半導體設計、流場結構耦合計算、電漿流場、流場結構電場耦合計算等等工業流力問題。程式進行運算的流程主要可分為三大部分：第一部份為前處理程式CFD-GEOM，包含幾何外型的建構和網格的建立。第二部分為CFD-ACE，主要是將問題結合適當的流場、熱傳以及化學條件，並配合實際實驗上的邊界條件，進行計算的工作。第三部分為後處理程式CFD-VIEW，它可將經CFD-ACE計算出來的結果，以適當的圖形顯

示出特定參數的變化情形及做一歸納[24]。

由於CFD-RC為一泛用型之套裝軟體，與其他軟體之相容性高，如前處理之CFD-GEOM，可與AutoCAD、ProE等繪圖軟體配合，加速數值模型之建構；而CFD-ACE則可與Chemkin等化學反應模擬軟體鏈接，提升模擬分析的廣度及深度。配合實驗的進行，我們將AutoCAD繪製完成之設計圖匯入CFD-GEOM，針對核研所之雙極板流道設計(圖3.5A)、加裝導流板之設計(圖3.5B)以及減縮流道數及流道寬之新雙極板設計(圖3.5C)，建構完成一2D數值模型。由實驗結果之比較分析後可發現，第三種縮減流道數及流道寬之新設計，具有較佳之流場均勻度，將於後說明之。因此，我們亦特別為此新設計建構了一3D數值模型，以進行模擬評估。由流場觀測結果可以得知，雙極板內部流場呈現對稱的狀態。故我們可將3D數值模型簡化，配合對稱之邊界條件，建構一半之雙極板模型，請見圖3.6最左邊部分。

### 3.2.2 計算網格之建構

計算格點設定方面，由於雙極板流道幾何形狀為矩型，佈建結構性網格有助於軟體使用高階的運算法，計算出較精確的分析結果，且收斂速度可快於非結構性網格。然而，對於複雜的幾何外型，如雙極板進氣端或排氣端之扇形區域，結構性網格則無法契合模型之幾何外型，可能會造成計算誤差。有鑒於此，我們利用兩種方法來克服此問題。一為佈建耦合結構與非結構性之格點，在非規則幾何外型的部份以非結構之三角網格進行物理參數運算，而矩型流道部分則以結構性之四角網格進行計算。此方法不僅可以克服網格無法契合模型幾何外型的問題，也可以較容易佈建網格容易。故相當適用於2D模型，如圖3.5所顯示。然而，欲耦合結構與非結構性之格點，必須使兩種網格之接觸介面具有相同之格點數，且格點需相交，若以此方式建構3D計算格點，需耗費冗長的時間。因此，我們利用格點貼體分佈(body-fitted)的方法來克服結構性網格不易建構之問題，於進氣口及

排氣口附近，讓網格自動變形以契合。格點數設定方面，我們分別針對不同之模型進行格點獨立測試。以3D之數值模型為例，我們以距矩型肋條所圍成之矩型流道入口5公分處的流道中心線速度，為分析比較之物理值，測試結果請見圖3.6之最右邊之圖，含三種不同數目之格點數，從26,584到56,076到72,276，可清楚地看出，26,584個格點數尚無法計算出精確的速度資訊，直到56,076個格點數，速度值才收斂，並與72,276個格點數的計算結果相同。在此指出72,276個格點數的計算時間約為56,076個格點數的1.7倍，因此，此數值模型的總計算格點數可設定為56,076。圖3.6最右邊之流道中心線速度在六個不同流道，流道數目為由左而右，以第6流道(中央處，因3D模型僅考慮左邊一半之雙極板)具有最高之中心速度(15.2 cm/s)，此第1流道之速度(11.4 cm/s)高出約28%，顯示此一設計仍有改善的空間，是未來研究仍可努力的重點之一。

### 3.2.3 邊界條件之設定

CFD-ACE是CFD-RC執行運算的中心程式，其中更以流體模組(flow model)為基礎核心。利用有限體積法求解離散Navier-Stokes 微分方程式，進而求得流場之壓力跟速度場的值。本研究採用流體模組進行模擬，在定常(steady state)的條件下進行運算，同時為了簡化流場的複雜性，在數值計算上必須設定一些假設，相關邊界條件與假設，條列如下。

1. 假設SOFC均在層流狀態下操作，故雷諾數不大，因此流場狀態設定為定常不可壓縮流。
2. 配合實驗之進行，模擬分析以水為工作流體，其密度為 $1000 \text{ kg/m}^3$ ，黏滯係數(dynamic viscosity)為 $0.001 \text{ kg/m-s}$ 。
3. 本研究僅針對流場均勻性及速度分佈進行探討，暫不考慮熱傳及電化學效應。

4. 模擬之雙極板模型，其流道高度僅有0.8 mm，且暫不考慮熱傳現象，因此可忽略重力效應。
5. 流場屬於連續流場，故流體與壁面交界可設定為非滑條件(non-slip conditions)。
6. 配合實驗條件，固定質量流率使流道之流場雷諾數與實驗條件相同。
7. 為獲得正確之分析結果，我們將收斂標準(convergence criterion)設定為 $10^{-5}$ ，最大疊代次數則設定為5000次。由於本研究僅考慮流場特性，且初始條件經過測試為最佳值，因此數值計算皆能很快達到收斂。2D之數值計算約需200次疊代次數，3D之數值計算則需300次疊代次數。

## 肆、結論與建議

### 4.1 結論

#### 4.1.1 雙極板流場特性測試與分析

針對核研所目前採用的雙極板設計，我們分別利用水力平台及數值模擬方法對其流場特性進行系統化測試。結果發現，此設計在低雷諾數之條件下( $Re = 50$ )，其流場均勻度不佳。由圖 4.1 之流場不同時序之瞬時影像，可以看出在中央扇形處及雙極板流道兩邊外測之速度較慢，而離進氣口較近流道之速度則較快。

#### 4.1.2 提升流場均勻度之雙極板設計

如何使兩進氣口流出之流體能以均勻的流率進入各流道，是改良核研所雙極板設計之流場均勻度，主要考量依據。我們在原設計之兩進氣口端加設各五根導流板，由圖 4.2 可發現，加設導流板後，流場均勻度有所改善。當雷諾數  $Re = 100$  時，各流道之流速相當平均，但，隨著雷諾數的增加，流場均勻度逐漸變差。利用數值計算所獲得的速度分佈，以彩色顯示，其數值如彩色棒所示(請見圖 4.3)，雙極板中間流道(第 7、8 流道)因受兩進氣口的雙重影響，具有較大之流速。彙整實驗與數值模擬之數據，將比較結果繪於圖 4.4。由圖中所示，當  $Re = 200$ ，流場最大速度發生於第 7 流道，其值高於流場平均速度達 37%；相較之下， $Re = 100$  時，同樣流道之速度與平均速度之差值僅約 24%。所以由以上比較可知  $Re < 200$  時，加導流板之雙極板具較高流場均勻度

欲獲得更佳的流場均勻度，必須針對其他重要因子進行修正，如進氣口的位置、流道數以及流道寬度等等。圖 4.5 為新設計之流場於不同時序的瞬時影像，由圖中可以發現，當  $Re = 200$  時，流場仍呈現均勻之分佈。為評估雷諾數之效應，我們針對  $Re = 200$  及  $Re = 250$  條件下之流場特性進行

3D 數值模擬，速度分佈圖如圖 4.6 所示。新設計之流場均勻度甚佳， $Re = 250$ ，其流場最大速度與平均速度僅相差約 19 % (請見圖 4.7)，此改良之概念能有效改善核研所目前採用之雙極板的效能。

#### 4.1.3 建構高可靠度之數值模擬模型

本研究所建構的數值模型，可利用 AutoCAD 軟體迅速修改設計，此將可提升建構模擬模型之效率。此外，數值模型的可靠度已由實驗數據進行驗證，如圖 4.7 所示，當流場雷諾數為 200 時，數值分析結果最多約高實驗數據 1.7 %；而當流場雷諾數為 250 時，數值分析結果則最多約高實驗數據 1.1 %。

#### 4.2 具體研究成果

1. 與所內同仁邱耀平博士共同發表 SCI 期刊一篇，已於 2005 年 9 月出刊 (T.S. Yang, S.S. Shy, Y.P. Chyou, “Spatiotemporal intermittency measurements in gas-phase near-isotropic turbulence using high-speed DPIV and wavelet analysis”, *J. Mech.*, Vol. 21, pp. 157-169 (2005))。
2. 彙整研究成果，並發表力學會議論文一篇，題目為“固態氧化物燃料電池雙極板流體動力特性分析”，會議將於 2005 年 12 月 16、17 日在清華大學舉行，將口頭報告之。
3. 已獲中華民國新型專利一件，題目為“燃料電池之連接板結構改良”，專利編號為 M273828。
4. 主持人參加核能研究所於 5 月 30 日 ~ 6 月 2 日舉辦之 2005 Taiwan SOFC Symposium，並受邀演講，演講題目為“On uniformity and velocity distributions of flow channels in bipolar plates for planar solid oxide fuel cells”，共同參與核研所之研究及推廣等學術研究活動。
5. 建立可快速且正確測試雙極板內部流場特性之觀測技術及水力平



台，並將測試程序系統化。此將有助於核研所後續開發不同概念之雙極板流道設計。

6. 已建立 3D 之數值模擬模型，且由實驗數據驗證其可靠度。此數值模型可迅速評估不同雙極板之流場特性，可有效提升流道設計之效率。
7. 新設計一具較佳流場均勻度之雙極板，其設計概念包含進氣口設置位置的修正、流道數及流道寬度的最佳化分析以及導流板的應用。

#### 4.3 未來工作及建議

- 核能研究所目前採用的雙極板，其陽極端並無流道，而是以鎳網填充雙極板與陽極之間的空間，鎳網的功能為燃氣之 distributor，以及傳導電子的介質。未來我們將思考適合之流場觀測技術，如使用 laser-induced fluorescence (LIF) 或其他煙流技術，以探討加入鎳網後雙極板陽極燃料之流動現象，並嘗試設計具有流道之陽極端雙極板，以期能降低流阻，並具體改善提升流場均勻度。
- 本研究所設計之新型雙極板，雖已能使流場分佈在  $Re = 250$  時仍具高均勻性(原設計之雷諾數上限值僅約為 50)，但 SOFC 實際之操作條件，雷諾數為 500，因此，我們仍需針對流道之 aspect ratio、導流板幾何形狀等重要影響因子進行最佳化分析，並持續改良雙極板之設計。
- 我們擬建構可解析 SOFC 內部複雜的傳輸現象(含多孔性介質內之質熱傳現象以及電化學反應)之技術，如適用於微小尺度之數位質點影像測速技術(DPIV)，或是可量測氧離子傳輸現象的二次離子頻譜技術(SIMS)。這將有助於了解電池元件劣化機制，進而提升電池整體壽命。

## 圖表說明

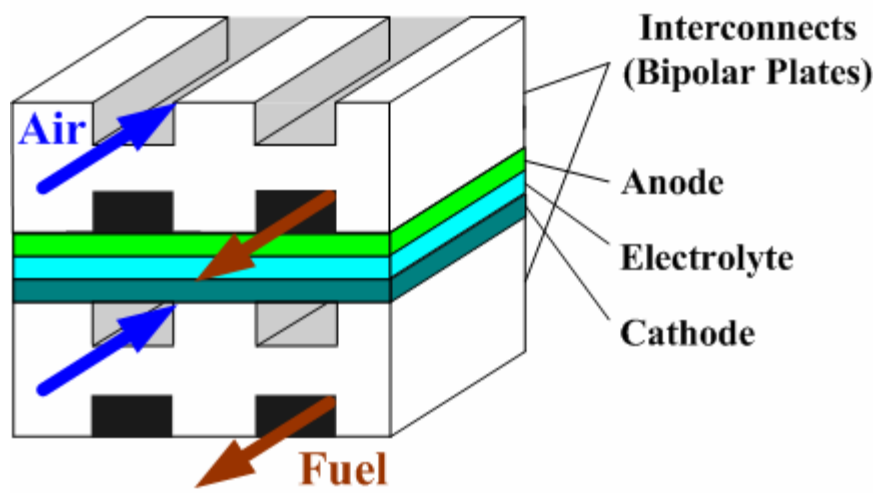


圖 2.1：平板固態氧化物燃料電池之設計概念。

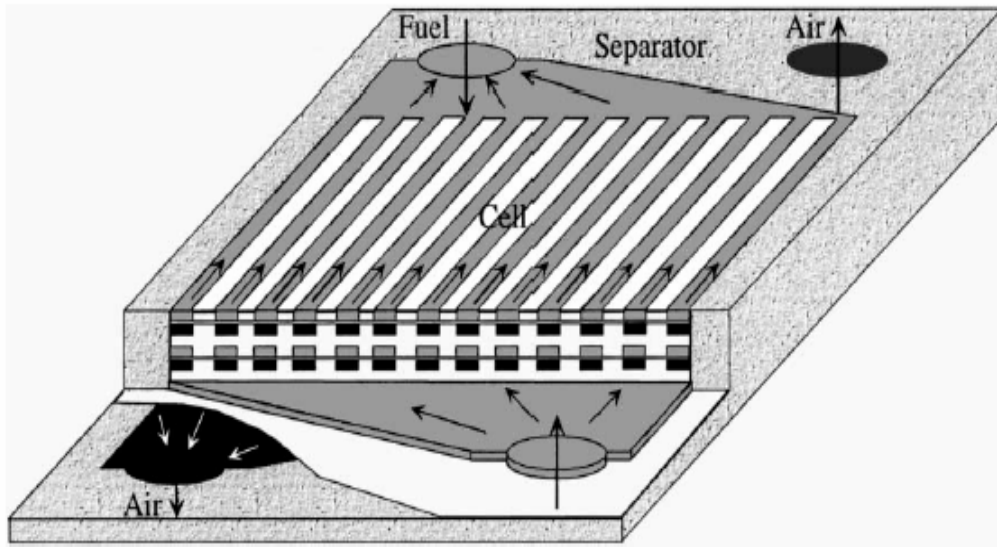


圖 2.2：單進氣口/單排氣口之雙極板流道設計示意圖(由 Yakabe et al., 2001 [11]所設計)。

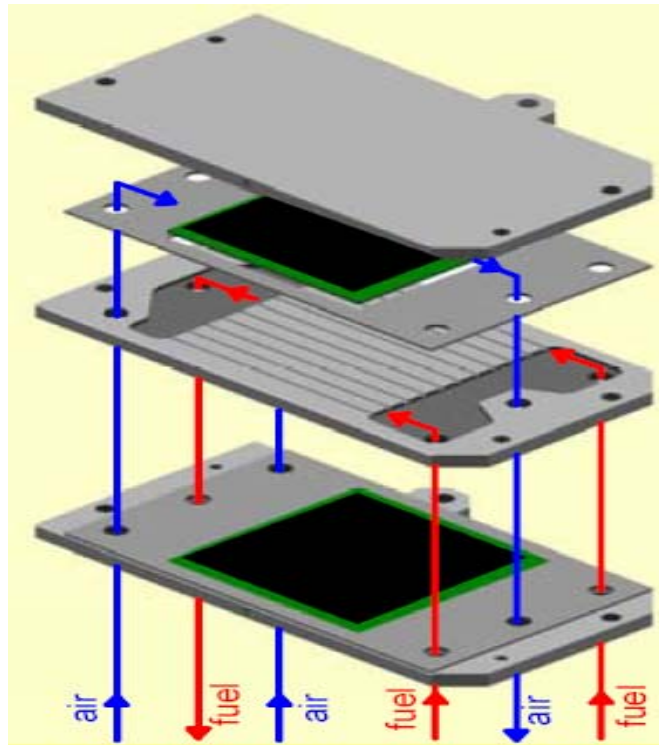


圖 2.3：雙進氣口/單排氣口之雙極板流道設計示意圖(由 de Haart et al., 2001 [12]所設計)。

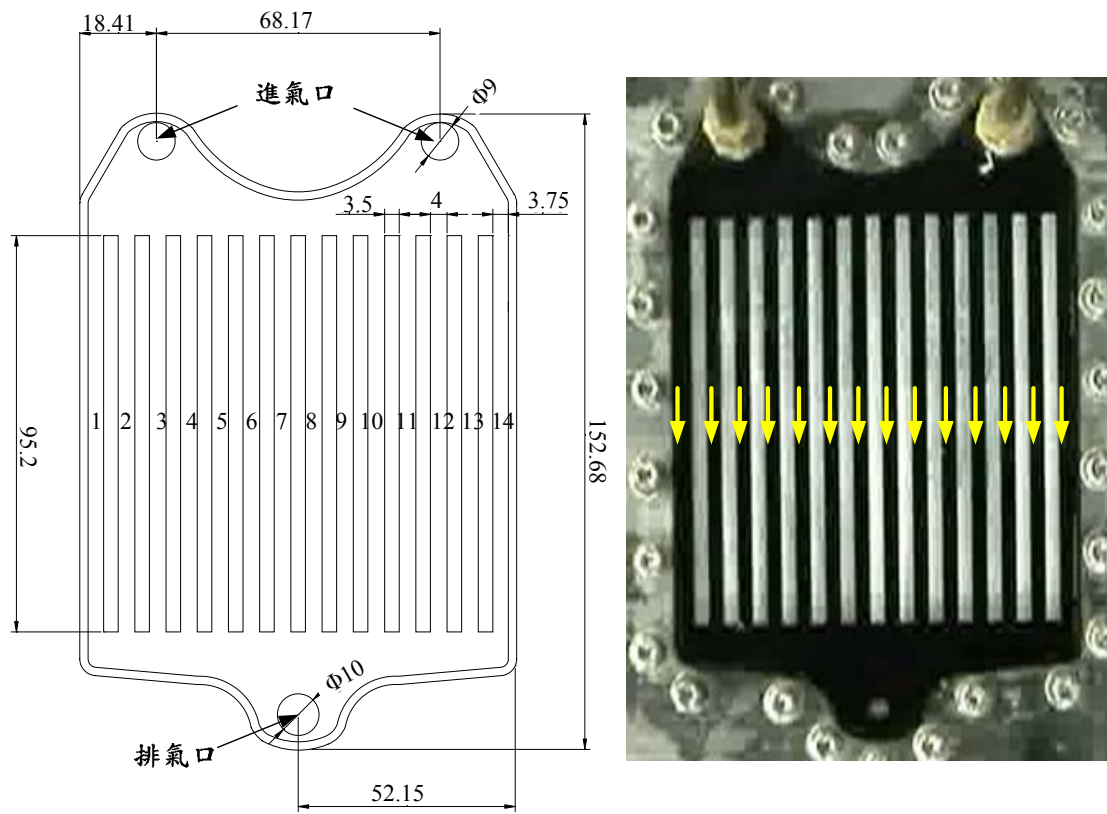


圖 3.1：核能研究所採用之雙極板規格示意(單位為 mm)與實體圖。

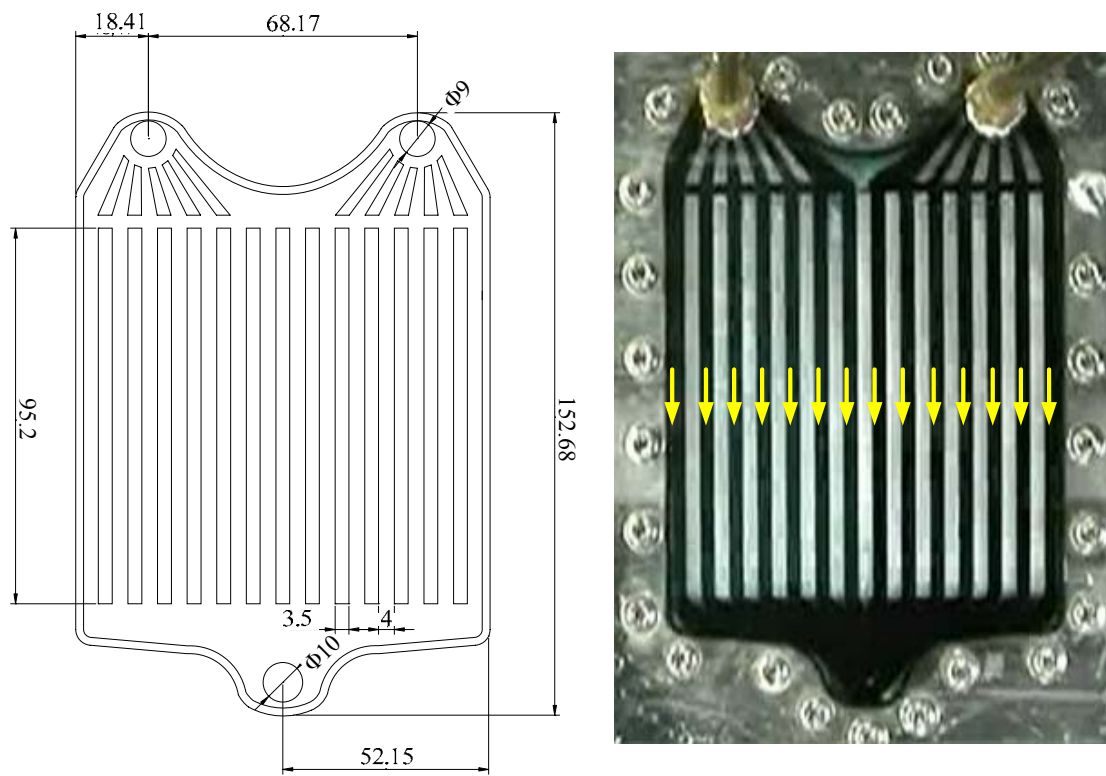


圖 3.2：於核研所採用之雙極板進氣端加設導流板。左為規格示意(單位為 mm)，右為實體圖。

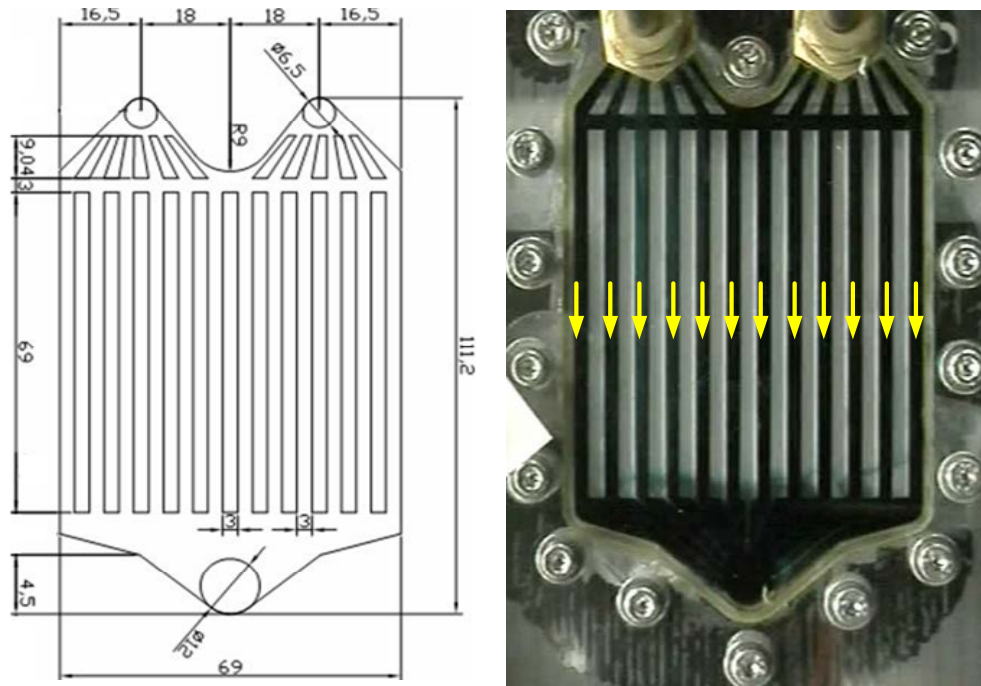


圖 3.3：修改雙進氣口設置位置，並縮減流道數與流道寬之設計。左為規格示意(單位為 mm)，右為實體圖。

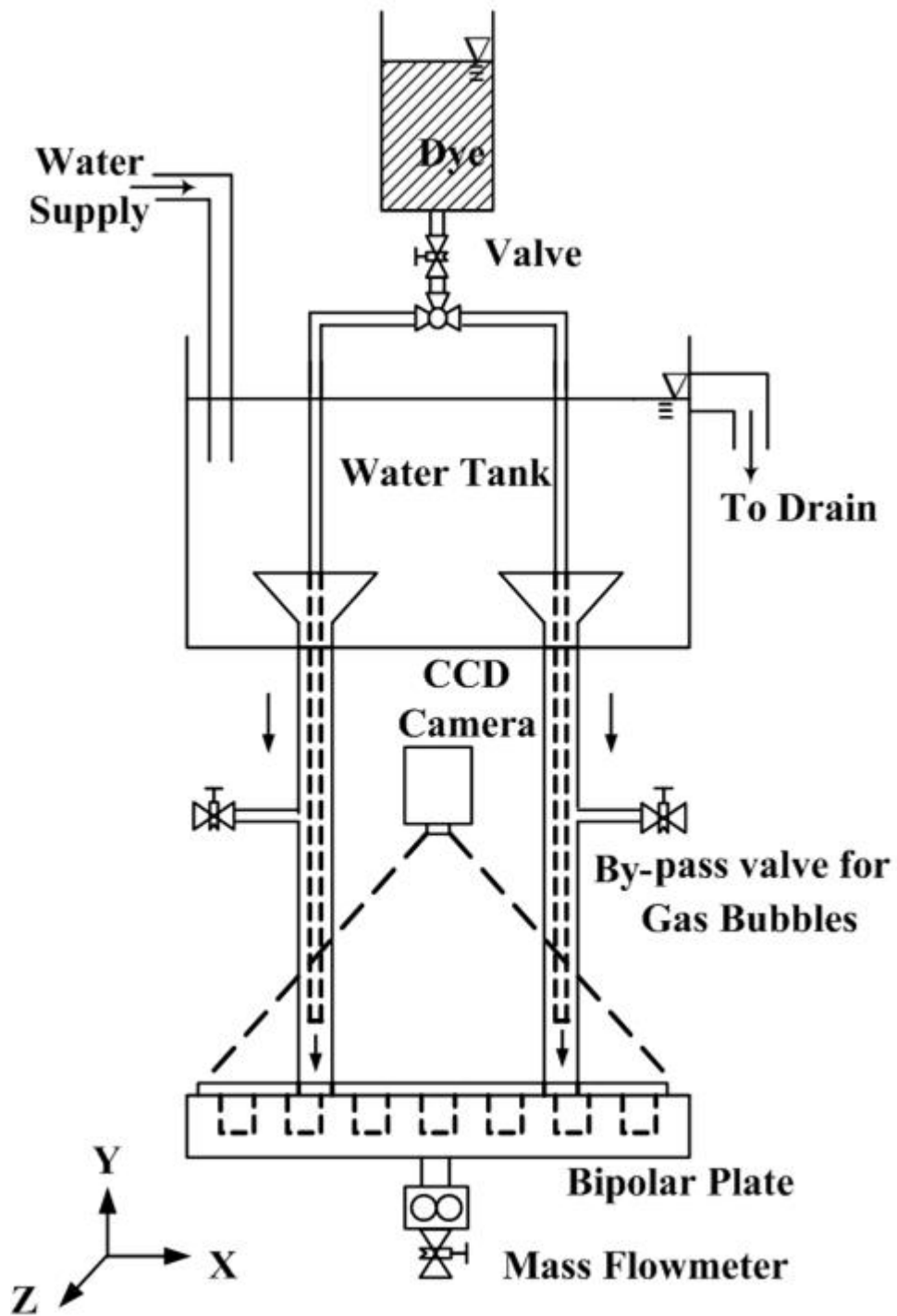


圖 3.4：水力測試平台示意圖。



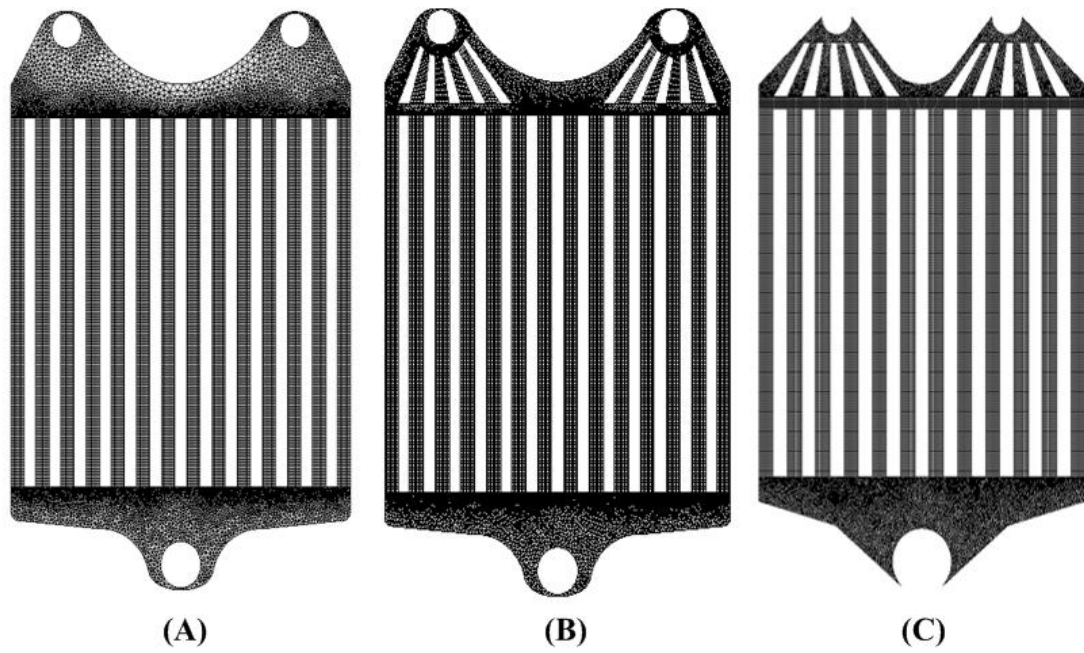


圖 3.5：三種不同雙極板設計之 2D 數值模型。(A) 為核研所所採用之設計；(B) 為加設導流板之設計；(C) 為縮減流道數及流道寬之設計。數值模型之幾何尺寸完全與進行實驗測試之實體模型相同。

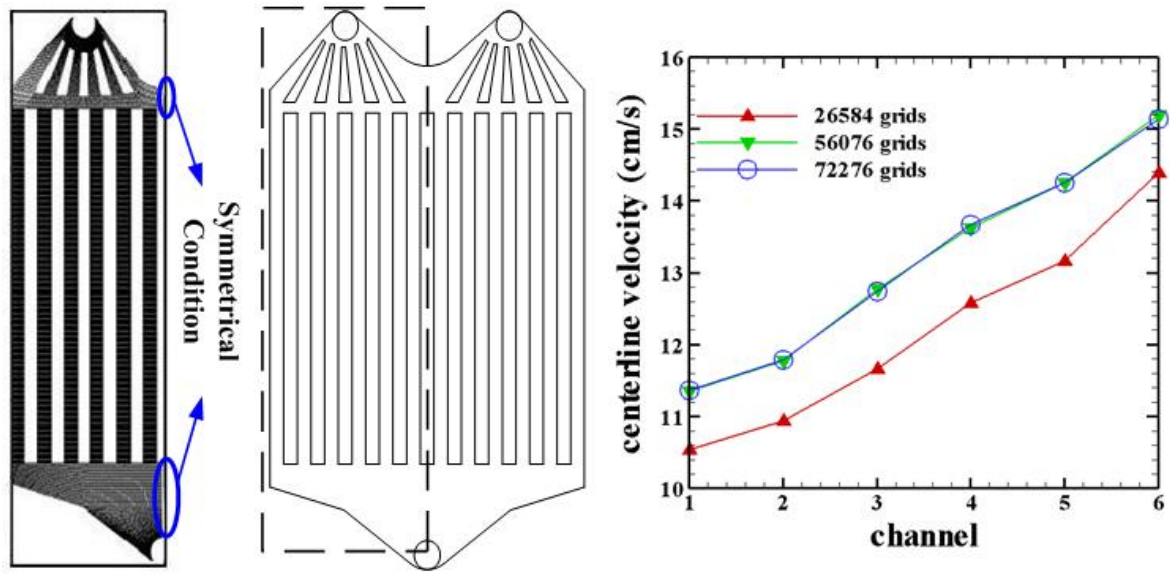


圖 3.6：縮減流道數及流道寬雙極板設計之 3D 數值模型。左為格點分佈及幾何形狀；右為格點獨立測試之結果，56076 為最佳格點數。

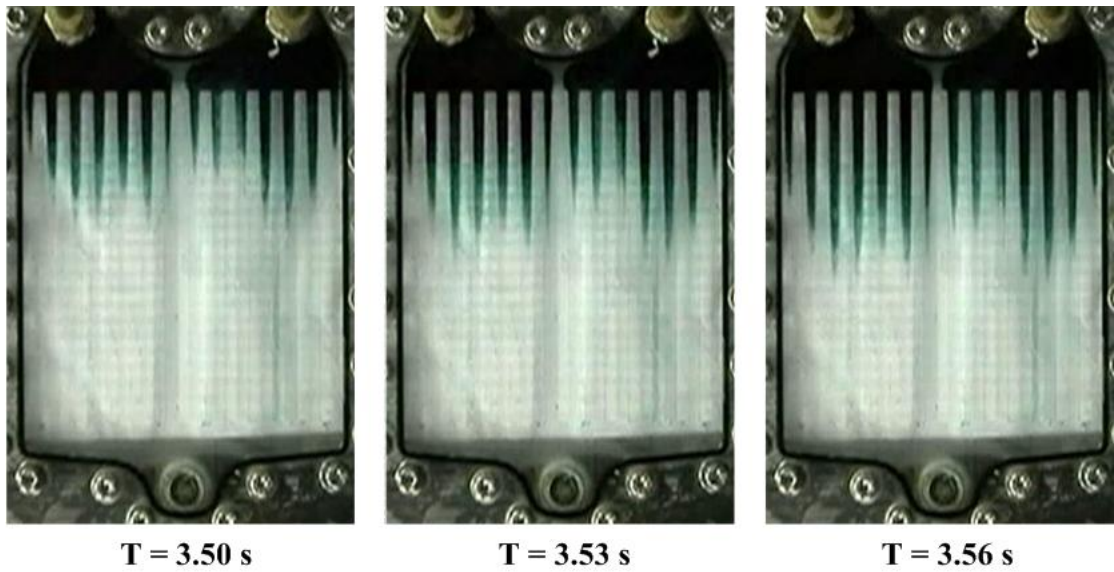


圖 4.1：核研所採用之雙極板設計，其流場均勻度測試之瞬時影像，流場雷諾數為 50。

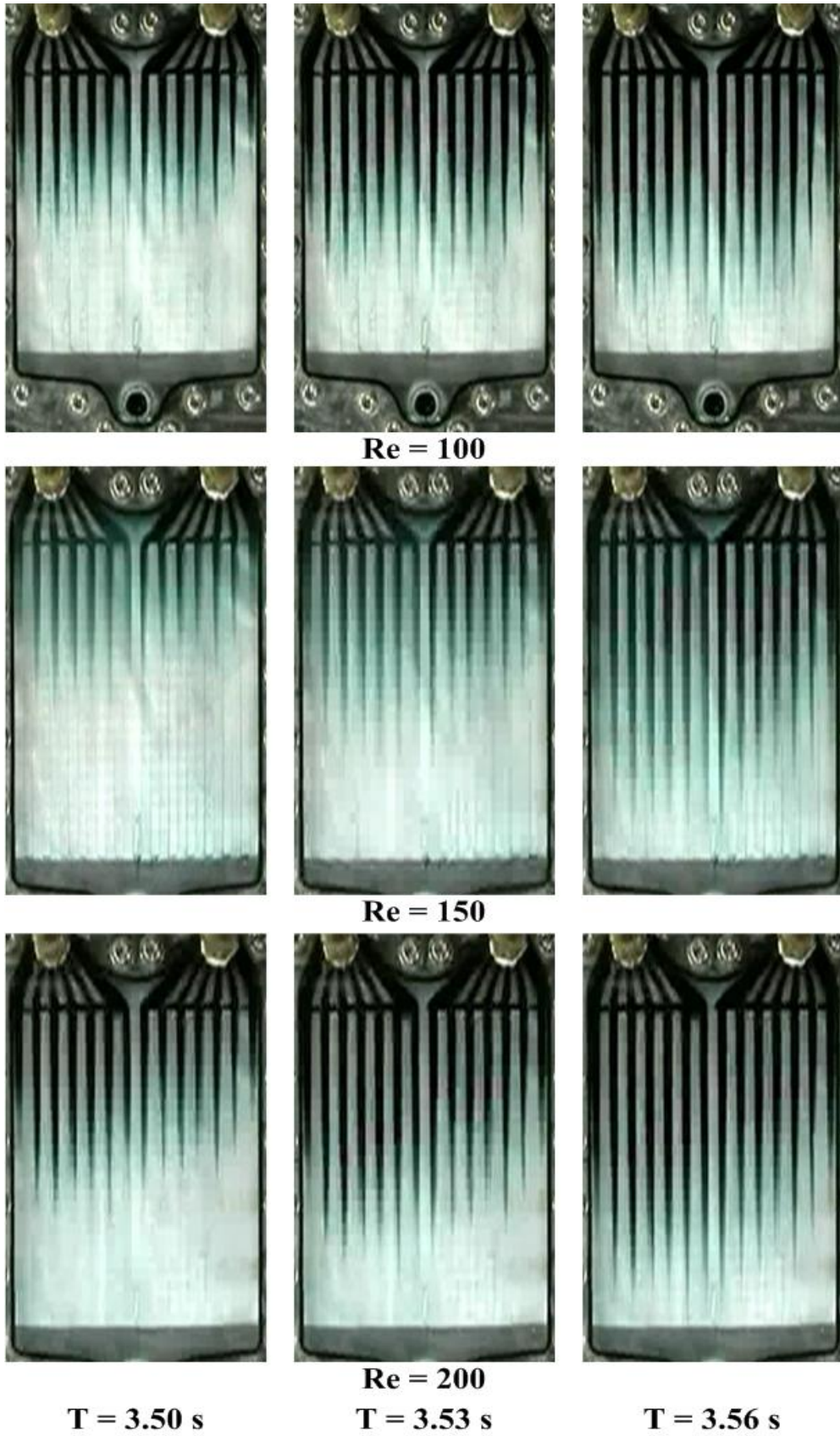


圖 4.2：加設導流板設計之流場均勻度測試之瞬時影像。流場雷諾數分別為 100、150 以及 200。

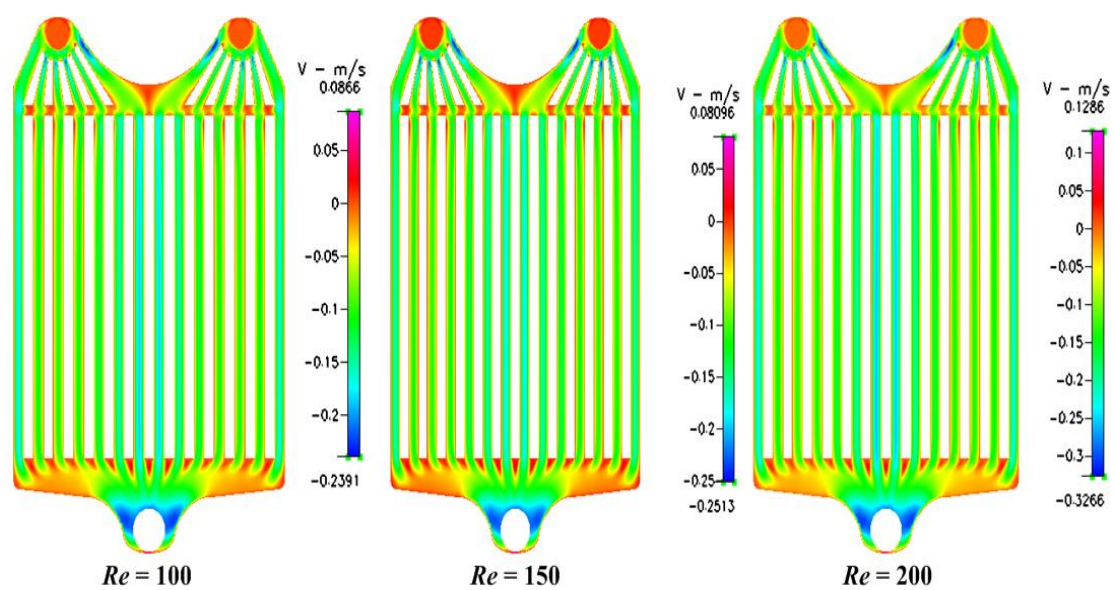


圖 4.3：加設導流板設計之流場均勻度測試之數值模擬結果。流場雷諾數分別為 100、150 以及 200。

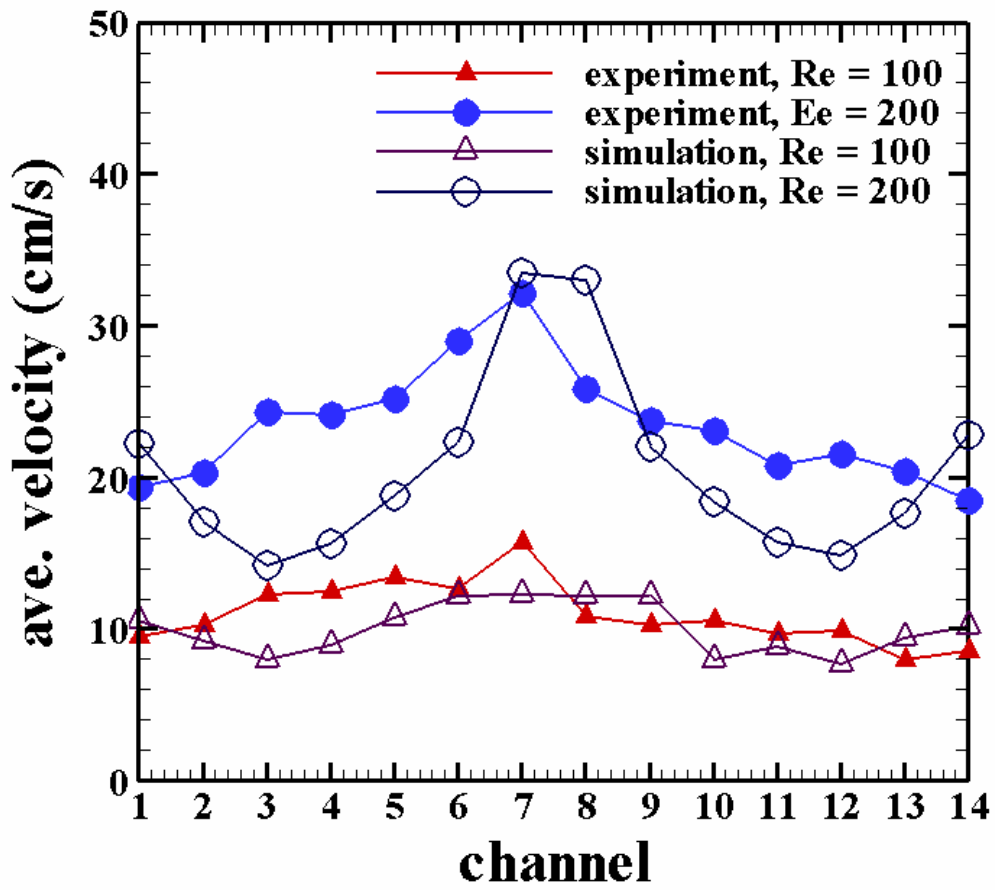


圖 4.4：加設導流板設計於不同流場雷諾數，其流道內部之平均速度。

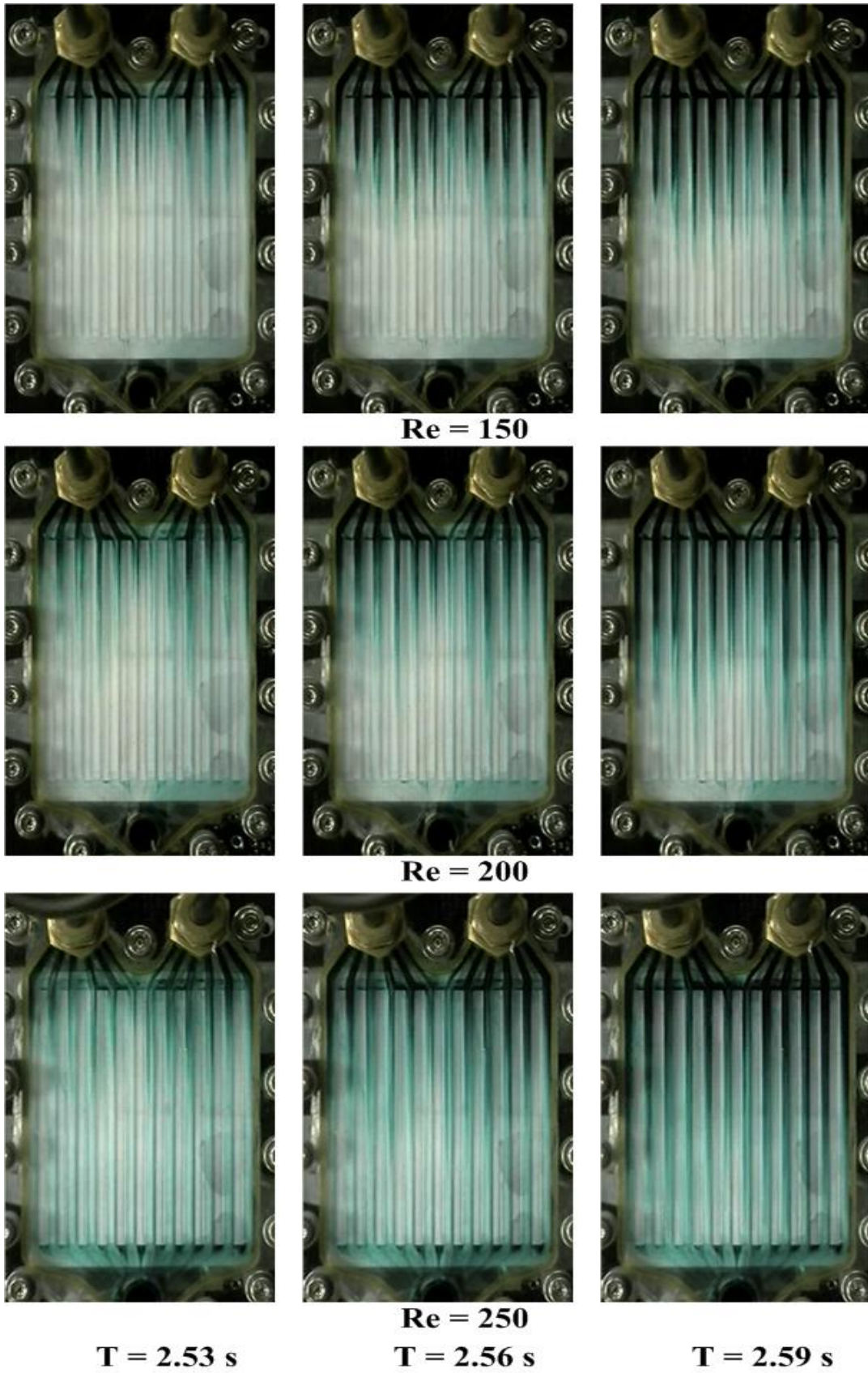


圖 4.5：縮減流道數及流道寬設計之流場均勻度測試之瞬時影像。流場雷諾數分別為 150、200 以及 250。

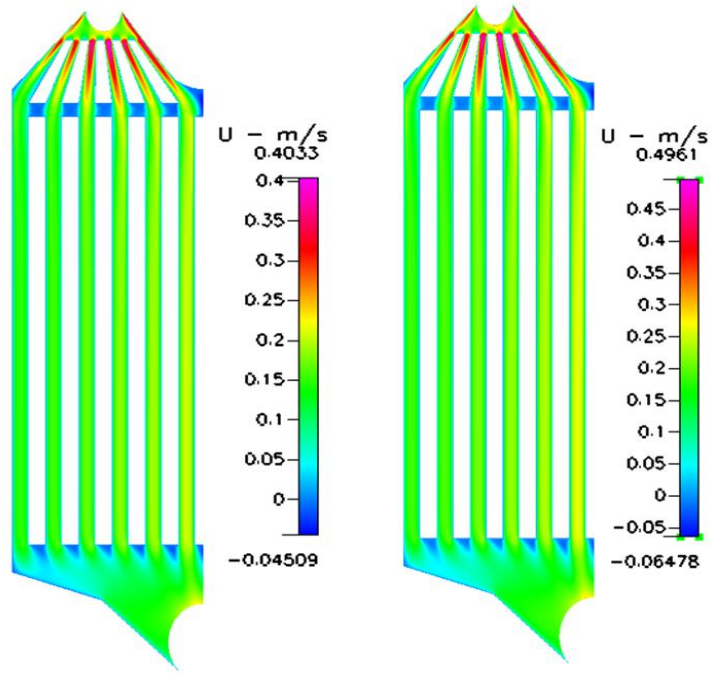


圖 4.6：縮減流道數及流道寬之設計於不同流場雷諾數之速度分佈(數值模擬)。



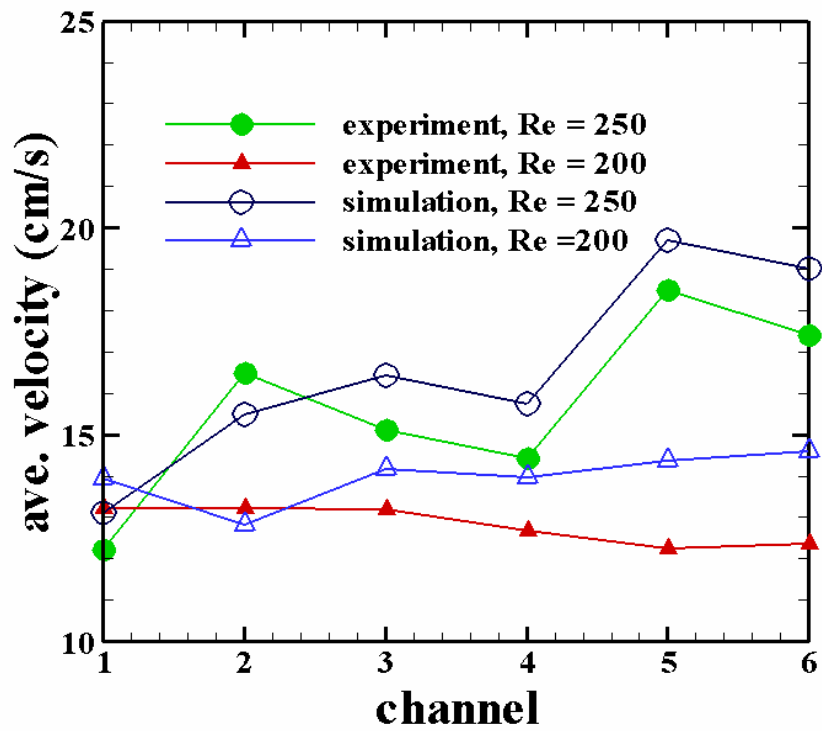


圖 4.7：利用實驗數據驗證 3D 數值模擬之可靠度。此為縮減流道數及流道寬之設計。

## 参考文献

- [1] Rifkin, J., *The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*, Publisher: J. P. Tarcher (ISBN: 158421936) (2002).
- [2] Crabtree, G. W., Dresselhaus, M. S., and Buchanan, M. V., “The hydrogen economy.” *Physics Today*, December Issue, The American Institute of Physics, p. 39 (2004) ([www.physicstoday.org](http://www.physicstoday.org)).
- [3] Grove, W. R., “On voltaic series and the combination of gases by platinum.” *Phil. Mag.*, Vol. 14, pp. 127-130 (1839).
- [4] Tu, H., and Stimming, U., “Advances, aging mechanisms and lifetime in solid-oxide fuel cells.” *J. Power Sources*, Vol. 127, p. 284-293 (2004).
- [5] Campanari, and Stefano, “Thermodynamic model and parametric analysis of a tubular SOFC module.” *J. Power Sources*, Vol. 92, p. 26-34 (2001).
- [6] Tsiakaras, P., and Demin, A., “Thermodynamic analysis of a solid oxide fuel cell system fuelled by ethanol.” *J. Power Sources*, Vol. 102, p. 210-217 (2001).
- [7] Mosdale, R., Gebel, G., and Pineri, M., “Water profile determination in a running proton exchange membrane fuel cell using small-angle neutron scattering.” *J. Membrane Sci.*, Vol. 118, p. 269 (1996).
- [8] Zhang, T., and Wang, Q. M., “Valveless piezoelectric micropump for fuel delivery in direct methanol fuel cell (DMFC) devices.” *J. Power Sources*, Vol. 140, p. 72-80 (2005).
- [9] Vielstich, W., Lamm, A., and Gasteiger, H. A., *Handbook of Fuel Cells: Fundamentals Technology and Applications*, John Wiley & Son, Ltd, England (2003).
- [10] Blomen, L. J. M. J., and Mugerwa, M. N., *Fuel Cell Systems*, Plenum Press, New York (1993).
- [11] Yakabe, H., Ogiwara, T., Hishinuma, M., and Yasuda, I., “3-D model calculation for planar SOFC.” *J. Power Sources*, Vol. 102, pp. 144-154 (2001).
- [12] de Haart, L. G. J., Vinke, I. C., Janke, A., Ringel, H., and Tietz, F., in:

- Yokpawa, H., and Singhal, S.C., (Eds.), *Solid Oxide Fuel Cells (SOFC VII), Electrochem. Soc. Proc.*, The Electrochemical Society, Pennington, New Jersey, PV2001-16, p. 111 (2001).
- [13]Recknagle, K. P., Williford, R. E., Chick, L. A., Rector, D. R., and Khaleel, M. A., “Three-dimensional thermo-fluid electrochemical modeling of planar SOFC stacks.” *J. Power Sources*, Vol. 113, pp. 109-114 (2003).
- [14]Chyou, Y. P., Chung, T. D., Chan, J. S., and Shie, R. F., “Integrated thermal engineering analyses with heat transfer at periphery of planar solid oxide fuel cell.” *J. Power Sources*, Vol. 139, pp. 126-140 (2005).
- [15]Iwata, M., Hikosaka, T., Morita, M., Iwanari, T., Ito, K., Onda, K., Esaki, Y., Sakaki, Y., and Nagata, S., “Performance analysis of planar-type unit SOFC considering current and temperature distributions.” *Solid State Ionics*, Vol. 132, pp. 297-308 (2000).
- [16]Lin, Y., and Beale, S., “Performance predictions in solid oxide fuel cells.” *3<sup>rd</sup> Int. conference on CFD in the Minerals and Process Industries*, Melbourne, 10-12 December (2003).
- [17]Lehnert, W., Meusinger, J., and Thom, F., “Modeling of gas transport phenomena in SOFC anodes.” *J. Power Sources*, Vol. 87, pp. 57-63 (2000).
- [18]Haberman, B., A., and Young, J., B., “Three-dimensional simulation of chemically reacting gas flows in the porous support structure of an integrated-planar solid oxide fuel cell.” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 47, pp. 3617-3629 (2004).
- [19]Ackmann, T., de Haart, L. G. J., Lehnert, W., and Stolten, D., “Modeling of mass and heat transport in planar substrate type SOFCs.” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 150 (6), pp. A783-A789 (2003).
- [20]Yuan, J., Rokni, M., and Sunden, B., “Three-dimensional computational analysis of gas and heat transport phenomena in ducts relevant for anode-supported solid oxide fuel cells.” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 809-821 (2003).
- [21]Autissier, N., Larrain, D., Van herle, J., and Favrat, D., “CFD simulation tool for solid oxide fuel cells.” *J. Power Sources*, Vol. 131, pp. 313-319 (2004).
- [22]Beale, S. B., “Calculation procedure for mass transfer in fuel cells.” *J.*

*Power Sources*, Vol. 128, pp. 185-192 (2004).

[23] 顏正和，「平板式固態氧化物燃料電池雙極板之流道設計與流場觀測」，  
國立中央大學機械工程系碩士論文 (2004)。

[24] CFD-ACE users manual, version 2002.