

出國報告（出國類別：會議）

參加大強子對撞機實驗會員國代表會議  
及赴瑞士日內瓦歐洲粒子加速中心參訪  
報告

服務機關：國科會自然科學發展處

姓名職稱：鄭建鴻 處長

徐愛佳 助理研究員

派赴國家：瑞士日內瓦

出國期間：96年10月20日至26日

報告日期：96年11月16日

一、摘要.....	2
二、參與ATLAS實驗會員國代表會議報告 .....	4
三、參與CMS實驗會員國代表會議報告.....	10
四、參與Grid Computing 實驗會員國代表會議報告.....	16
五、心得.....	19

## 一、摘要

Cern 是目前世界最大的歐洲粒子加速中心，該實驗中心結合來自世界各國的粒子物理學科學家來共同了解粒子的性質，而歐洲粒子物理研究中心所進行的實驗項目主要是以電子和陽電子將微小的次原子粒子加速到接近光速的速度，再使這些次原子粒子相互撞擊以至消滅。這種撞擊過程和科學家認為當初創造宇宙的所謂大爆炸的過程類似，大爆炸產生的巨大能量和高溫則會產生大量的次原子粒子，藉此了解這些次原子粒子的特性。

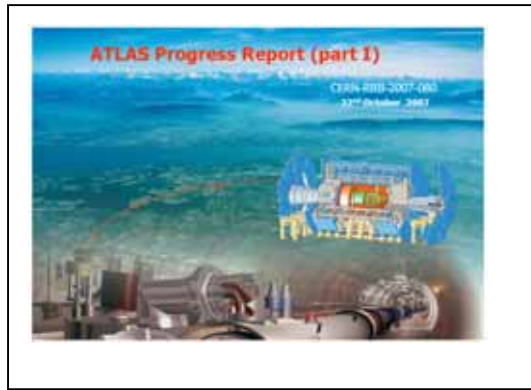
Cern 歐洲粒子加速中心，位於瑞士及法國邊界，建造於日內瓦的地底下，台灣亦參與了此項人類史上最大科學實驗壯舉「大型強子對撞機」計畫。此「大型強子對撞機」計畫由全球 34 國共二千多位科學家參與，由「歐洲粒子物理研究中心」(CERN)主持，對撞機建造費 40 億美元 (約台幣 1317 億元)，設在法國和瑞士邊界一條 27 公里長的環狀隧道裡，隧道深處 150 公里，淺處 50 公里，最低溫度是攝氏零下 271 度，大致完成後，將把一塊重 2110 噸的磁鐵安放到地下一百公尺深處。LHC 是史上最大的粒子加速器，作用是將兩束粒子同時加速，使之以接近光速的速度前進對撞。在這場對撞實驗裡，每個質子撞另一個質子時，所攜能量相當於一列四百噸的火車以二百公里時速前進所具的能量，在實驗裡，這樣的對撞每秒可以發生八億次。對撞的意義在於了解物質為什麼有質量，藉由計畫中的對撞可望解此疑難：對撞能產生亞原子碎片，科學家希望藉此回到根本，從頭了解一切的起源。另外，因對撞後會產生無數數據，需要空前超級的計算能力來解析，這計算能力要相當於五萬台個人電腦，因此 CERN 現在推出革命性的全球連線資訊處理系統「數據計算網格」(grid)，稱為全球網格 (WLCG)。WWW 以資訊交換為主，WLCG 更進一步將整個資訊以 LHC 產生的資訊分三層 (tier)處理，Tier-0 設在歐洲粒子物理研究中心，負

責將資料分送到台灣在內的全球 11 個 Tier-1 中心處理，再由 Tier-2 進一步分送。台灣從 2001 年起參加 LHC 方案，中央研究院、台大、中央大學共同參與。2002 年，成為亞洲第一個加入 WLCG 的國家。2005 年，當時的中央研究院長李遠哲與 CERN 簽署「全球網格亞洲維運中心備忘錄」，台灣成為 LHC 全球網格亞洲 Tier-1 中心，和其他 10 個中心共同負責 LHC 實驗的大量計算、程式設計、資料處理和系統維護。

歐洲粒子物理中心(CERN)建造中的下一代大強子對撞機(LHC)，主要目標是尋找希格斯粒子及超對稱粒子，瞭解粒子質量之起源並探索新物理現象。ATLAS 及 CMS 國際合作實驗組是 LHC 上的重要偵測器之一，提供最寬廣的粒子物理學研究領域。將大幅拓展粒子物理的發展，進一步提高人類對物質結構及其相互作用之基本規律的認識。

這次參與會議目的即是針對目前所參與推動歐洲粒子加速器中心「大強子對撞機」(LHC)之計畫及實驗工作，以及開始運轉後，對高能實驗作一整體的規劃評估，並對未來的經費及人力資源的分配做一有效的規劃運用。

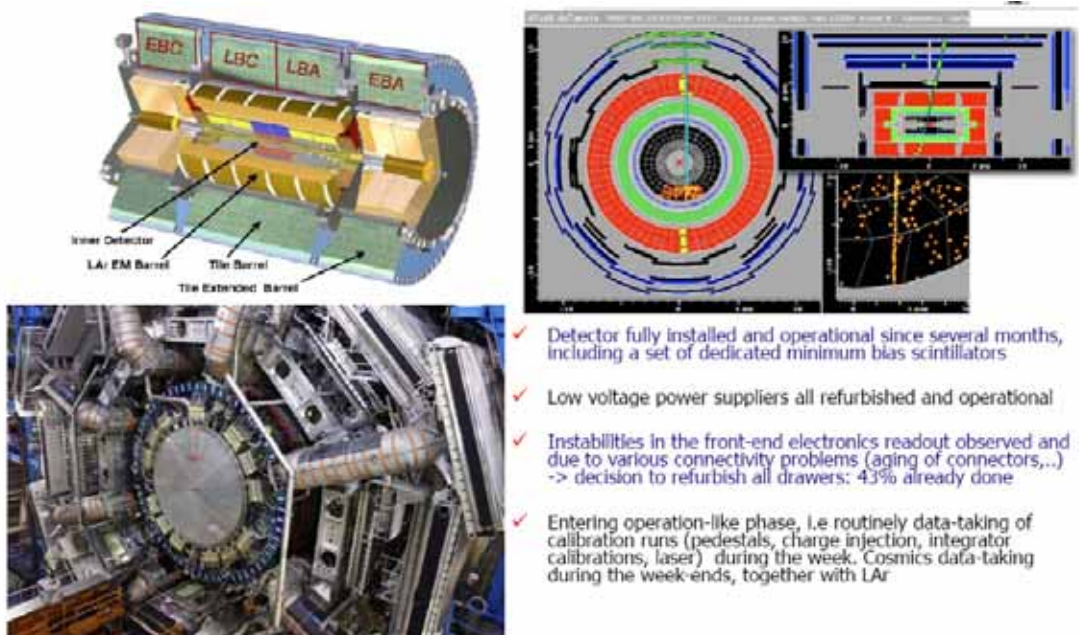
## 二、參與 ATLAS 實驗會員國代表會議報告



國科會自 2000 年 8 月起補助台灣團隊參與 ATLAS 實驗，每年約補助之經費約一千多萬元。ATLAS 實驗每年將產生約 2-4 Peta Bytes 的數據量。如此巨量之實驗數據資料，加上大量之模擬數據資料，要在合理的時間內處理完畢，對計算能力的需求極

為龐大，需採用計算網格(Computing Grid)技術，統合全球所有參與國家及實驗室的計算資源方能達成。

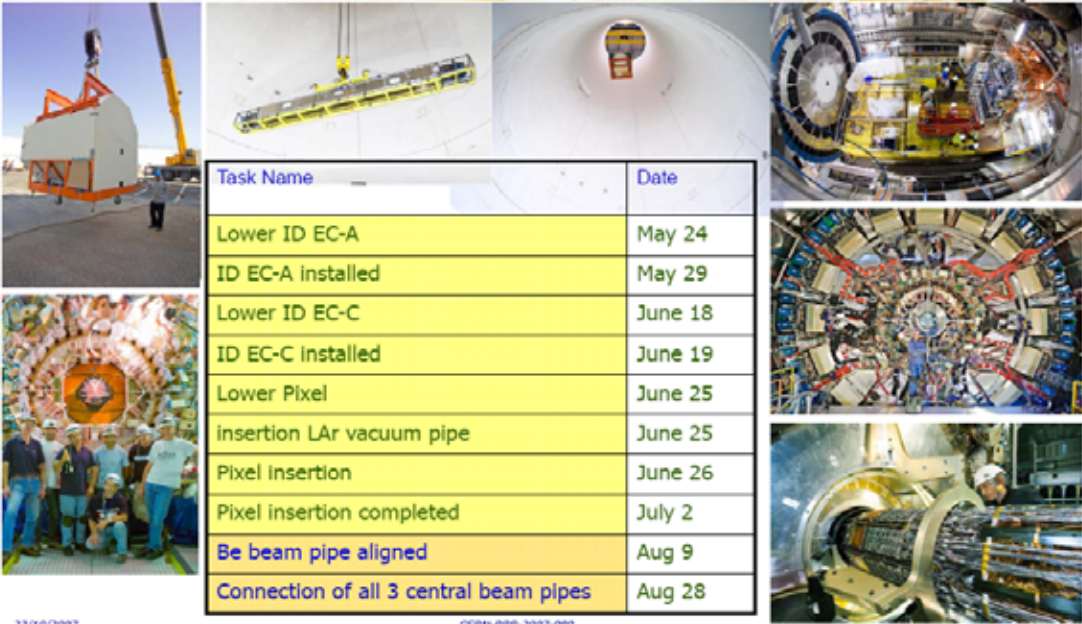
CERN 於 2003 年 9 月宣佈全球網格(World Wide Grid) 服務正式上線，是計算網格的一大里程碑。為配合 LCG (LHC Computing Grid) Grid 項目之研發及進展，並驗證 ATLAS 全球分散式離線計算模型的可行性及有效性，ATLAS 進行一系列的模擬數據資料處理作業。中研院物理所團隊亦積極參與，對 DC 模擬數據產生、事例重建等工作做出貢獻。



ATLAS 偵測器已於 2006 年中開始進行運轉測試，進行宇宙線事例數據採集以對各個偵測器進行刻度及定位。現已轉入多偵測器的聯合測試。計算運行方面，ATLAS 正在進行 CSC 物理類比，目前已完成五千萬個類比事例產生與重建，2007 年初將進行偵測器及資料獲取開始前所有離線運行及分析系統的聯合預演。

計畫於三年內(2007/07/01~2010/06/30)於中研院物理所建構由二百個 KSI2k CPU 計算資源及約 40 TBytes 容量的磁碟陣列數據儲存設備組成之 ATLAS 網格計算平臺，作為臺灣聯合 Tier-2 的組成部分，從事 ATLAS 物理分析。

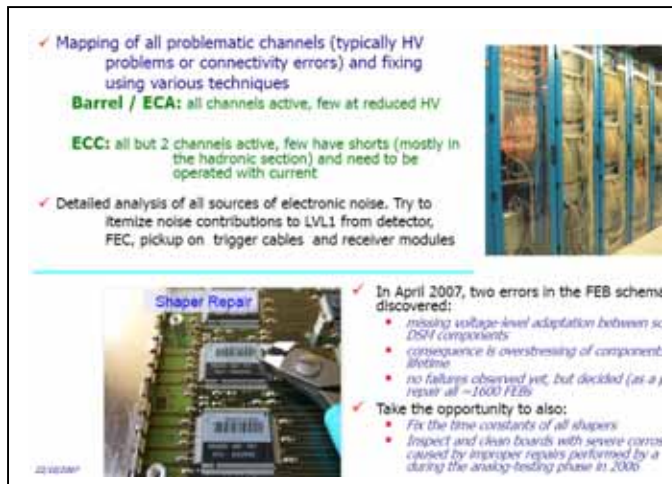
### Inner Detector installation



Task Name	Date
Lower ID EC-A	May 24
ID EC-A installed	May 29
Lower ID EC-C	June 18
ID EC-C installed	June 19
Lower Pixel	June 25
insertion LAr vacuum pipe	June 25
Pixel insertion	June 26
Pixel insertion completed	July 2
Be beam pipe aligned	Aug 9
Connection of all 3 central beam pipes	Aug 28

22/10/2007 CERN-RFP-2007-080





台灣團隊參與 ATLAS 實驗多年來皆依白皮書之規劃進行，已達成下列任務：

1. 成功擊敗英國

Rutherford Appleton 實驗室、牛津大學及

GEC-Marconi 公司之團隊，研製出世界最小之 transceiver，使 Semi Conductor Tracker (SCT) 採用台灣設計之 optopackage，並委請台灣團隊負責所有 SCT 800 個 opto-harness 光學讀出系統的組裝、測試。這一部份算做台灣對 SCT 的 Core Contribution 0.5 Million 瑞朗，另外約 0.4 Million 瑞朗由 SCT 的其它團隊分攤，作為台灣團隊對 ATLAS Common Fund 的貢獻。此外台灣研究團隊也爭取到 opto-harness 所需的約 2500 個軟版 (flex circuit) 全部由中山科學研究院製造，由英國支付約 0.25 Million 瑞朗。

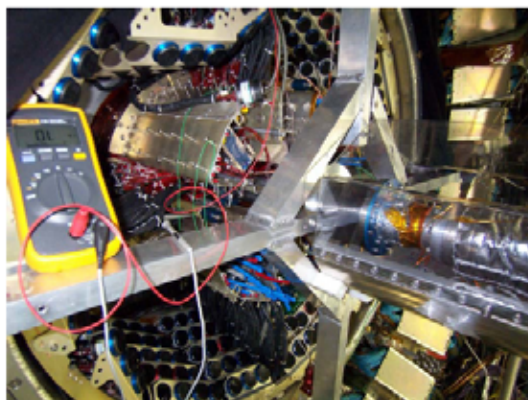
2. 成功研發出 low cost 製造雷射陣列及檢光陣列的方法，擊敗 Ohio 大學及美國工業界之團隊，使 PIXEL 偵測器組採用台灣研製之 opto-array 作為 on-detector optical link 的主要元件。PIXEL 共有一億四千萬個讀出通道，是繼 CDF 之後，大規模採用台灣研發之並列光學讀出元件的另一重要偵測器。

3. 台灣研製之雷射陣列及檢光陣列也被 SCT 及 PIXEL 採用，作為所有 readout driver 模組上的主要光電-電光轉換元件。第二及第三項算做台灣團隊對 PIXEL 0.5 Million 瑞朗的 Core Contribution。SCT 則支付台灣團隊約 0.4 Million 瑞朗，算做台灣對 ATLAS Common Fund 的貢獻。

4. 台灣團隊研製之高速(1.6GHz)雷射發射器及檢光器被 Liquid Argon Calorimeter (Lar) 採用為 optical link 的主要元件。此外 Tile Calorimeter

也請台灣團隊為其研製所使用之高速雙雷射發射器。這兩項算做台灣團隊對 LAr 約 0.5 Million 瑞朗的 Core Contribution。

台灣團隊加入 ATLAS 時，LAr 原設計使用之 HP 的 Glink IC 發生 single event error 的問題，因此考慮採用台灣研發之並列光纖傳輸模組以取代 Glink。在與 ATLAS 簽定之 MoU 上，台灣團隊將總共 1.68 Million 瑞朗之 Core Contribution 按照 inner detector（即 SCT 與 PIXEL）1 Million，LAr 0.68 Million 分配。後來 LAr 評估發現 single event error 造成之 dead time 影響有限，因此仍決定採用 Glink，使台灣團隊在 LAr optical link 的 Core Contribution 低於預期，不足之數用於採購 LAr 的 280 伏的電源供應器，並協調台灣電源供應器廠商固緯電子參與競標。



*Installation of the ID beam pipe (with the Beryllium section) together with the Pixel package*



*Connection of the ID section to the LAr EC beam pipe section*

2004 年至 2005 年間，台灣團隊負責生產的組件將全部完成，ATLAS 偵測器也會進入組裝、測試階段。由於各研究機構硬體研發之工作，以逐漸告一段落，ATLAS 內部已開始有 upgrade 的討論。台灣研究團隊的儀器研發組將擴充，並往感應元件之研發的方向發展。

自 2004 年起，台灣研究團隊在 ATLAS 內關注的方向將逐漸由硬體研製轉往軟體方面，以開發及驗證 inner detector (ID) 相關之偵測器模擬、數據處理及數據分析的軟體為主，並積極參與射束線測試，以了解 ID 個別子偵測器及組合後的表現。目前已參與穿越輻射追蹤器 (TRT) 射束線模擬



及數據重建的工作，未來將擴展到 SCT 及 PIXEL，並探討 ID 整合的數據重建，由射束線之數據，實際驗證模擬之軟體。

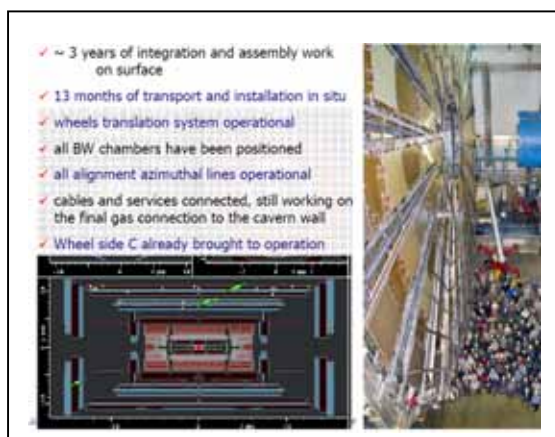
中央研究院高能物理組所參與的 ATLAS 實驗的中實驗數據處理系統；



在台灣終端物理分析所需的網格 Tier2,3 系統建構；與標準模型預測的 di-boson 事例分析工具開發與準備工作。標準模型下的 gauge boson ( $W, Z, \gamma$ ) 可以互相作用。檢查 di-boson ( $WW, WZ, W\gamma, Z\gamma$  等) 的發生機制

不但是檢測粒子間交互作用的重要工作，同時也對 Higgs boson 搜尋提供實際線索及其存在機制的重要佐證。此類反應已在 LEP 及 Tevatron 實驗有少量事例的測量報導。精準測量必須在 LHC 實現。所需探討的更高階反應包含三個 boson 交互作用( $WWZ, WW\gamma$  等 triple gauge coupling)。這類反應可以導至產生  $WZ, W\gamma$  等事例。比較各類 di-boson 發生率，與標準模型

預測的差異，是檢測基礎理論及開啓新物理搜尋的前瞻工作。



ATLAS 開始運轉後，台灣團隊初期的研究重點將為 Higgs 及超對稱粒子的搜尋。台灣 CDF 團隊在 2007 年以後轉到 ATLAS，進一步探討原來的

CDF 的物理課題。

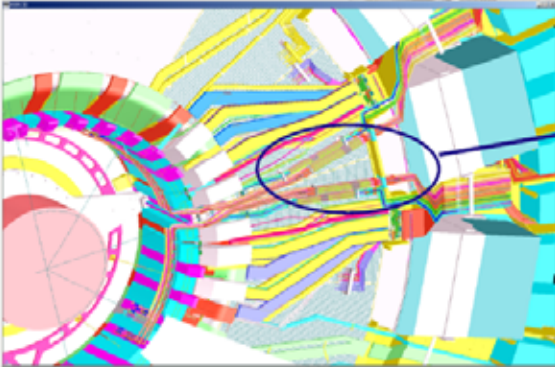

ATLAS 偵測器 Barrel 部份已全部在地下實驗室安裝完成。Endcap 量能器、Inner Detector 及部分渺子偵測器也已在地下安裝測試中。Pixel

Detector 三層與 beam pipe 已在地面實驗室整合完成，進行測試中。台灣負責之硬體，包括追加之 pixel tape cable，均已完成。台灣在 WLCG 及 ATLAS 計算均負有重要任務。

### *Far heaters solution*



Decision taken a few months ago to place all SCT heaters outside the detector volume, on the calorimeter barrel flange

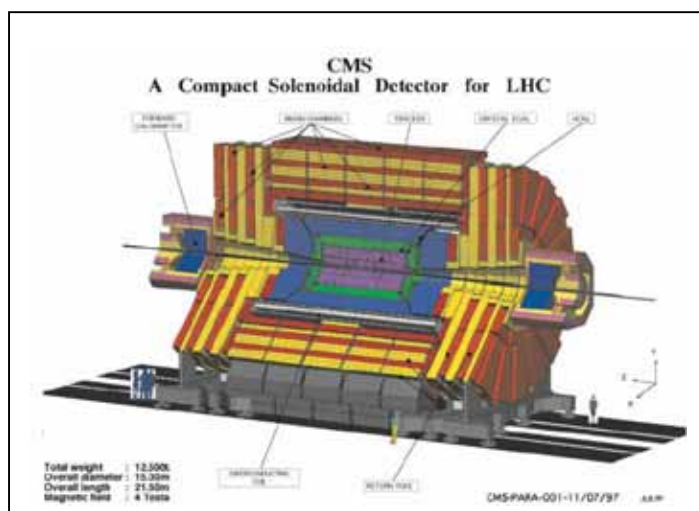


Most pipes rerouted inside and outside the detector, waiting to install in the next few weeks all retrofitted heater units, then extensive tests and SCT sign off

22/10/2007 CERN-RFB-2007-06

### 三、參與 CMS 實驗會員國代表會議報告

中央大學和台灣大學實驗高能物理團隊合作，參與在歐洲粒子物理中心(CERN)的大型強子對撞機 LHC 中的 CMS 實驗並參與 pre-shower 探測器系統的製造。本計劃可分為硬體和軟體兩部分，在硬體部份；負責承製矽探測器與組裝測試，相關硬體的數據分析。在軟體部份；參與 GRID 的



測試與 CMS 分析軟體的開發與測試。

本計劃的主要工作摘要如下：

1. 完成在歐洲粒子物理中心的組裝與測試，目前發現的漏電流問題將協同國內承製廠解決。
2. 參與和歐洲粒子物理中心格狀網路的測試 CSA07，強化自我的經驗。並繼續參與 CMSSW 軟體的更新與測試，以利將來的物理分析。
3. 加入 Di-Boson analysis group，目前負責 4-muon，4-electron，2-muon+2-electron 等的 Monte Carlo 數據產生與分析。
4. 參與在 pre-shower group 的分析並繼續完成 occupancy study 的

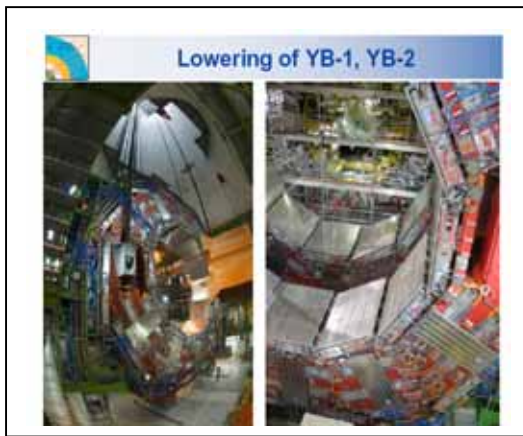
internal note。



中大高能組負責製作四分之一 CMS-preshower 探測器所需的矽探測器，台灣研究團隊目前以進入量產與封裝的階段。將來在擷取數據實際操作時，台灣研究團隊必須隨時監測偵測器整體的



電壓、電流、溫度等環境參數，以確保探測器有效的運轉。爲了達成此一目的台灣研究團隊設計並建造一探測器監控系統，隨時可以了解探測器各零組件的狀況並隨時監控它們的參數。這個監控器分成以下四部份：



1. 溫度監控：Preshower 內部必須保持零下 5 度，而外部則須保持 18 度。

2. 濕度監控：爲防止 Preshower 內部結冰，必須監控濕度。

3. 冷卻液流量監控：若冷卻液

流量停止，整體 Preshower 必須關閉。

4. 電性監控：監控讀出系統之電壓及電流。

中大高能組負責整個監控系統之設計、測試及建造，以及之後系統控制與 CMS 整合之軟體開發。此外，台灣研究團隊也將利用目前本組正在進行網格系統研究的來作 triple gauge coupling 物理模擬和分析，以準備在 LHC 一有數據時即可有成果發表。台灣研究團隊將著重於研究  $ZZ \rightarrow e+e-$

$\mu+\mu^-$  及  $ZZ \rightarrow \mu+\mu^- \mu+\mu^-$  頻道。



CERN-LHC，對各子探測器的生產時程挑戰性很高。因此，台灣研究團隊約略修正原計劃的時程以滿足 CMS 探測器研發與安裝的時程。台灣研究團隊在

CMS-Preshower 子探測器中所參與的建造事項已經開始初步的生產工作。中大高能組負責製造測試並組裝~1200 片矽微條探測器已開始量產。而台大高能組負責設計、生產與測試整個 Preshower 子探測器所須的母機

版(稱為 Motherboard, MB)也進入第二輪的母機版設計與測試。

一旦量產進入中期階段，中大與台大高能組將進行 slow control 和 DAQ 方面的工作，以為 CMS-Preshower 子探測器的系統測試與運行作準備。同時台灣研究團隊也積極參與 CMS 的 data challenge 以為數據分析及物理研究作準備。

大強子對撞機 LHC 預計在 2008 年進行 14 TeV 之物理運轉，因此物理分析計畫對預備迎接 CMS 數據是極度重要的。台大高能組將把物理分析主要人力從 Belle 調到 CMS，並盡量將人員派駐在 CERN，以發揮影響力。

台大高能組已做了單 t 夸克的  $tW$  成對產生，並完成一篇 CMS Note。這個方向的工作將持續進行，或者在數據來臨時台灣研究團隊能夠擄獲單 t 夸克這個題目，並進一步藉更多數據測量  $V_{tb}$ 。這就與以下的  $b'$  研究關聯起來了。

在兩原則的指導下，該計畫的主軸是預備全盤搜尋  $b'$  夸克。Tevatron 的搜尋極限大約是 200 GeV。若  $b'$  夸克輕於 230 GeV 左右， $b' \rightarrow cW, tW^*$  均有可能主導  $b'$  衰變，連  $b' \rightarrow bZ$  以及  $bH$  都有可能重要，因此有非常

豐富的現象可探討，甚至有機會發現輕希格斯玻子。因為質量輕，這題材又是早期低亮度的絕佳範疇。台大高能組已著手  $cWbZ$  及  $tW^*bZ$  的模擬，預計在計畫開始前完成，在計畫年度內將完整探討  $ccWW, ttW^*W^*, cWtW^*$  甚至於  $bZbZ$ ，並測試希



格斯子之發掘。

對較重的  $b'$  夸克， $tW^*$  衰變更形重要，在 255 GeV 之上  $tW$  成爲主



要衰變式。  $b'b'(\text{bar}) \rightarrow t\text{t}(\text{bar})WW \rightarrow b\text{b}(\text{bar})WWWW$  共有 4 個 W，特徵突出，而且涵蓋寬廣的  $b'$  質量範疇，因此是另一重點方向。關於  $t'$  夸克，預期其衰變以  $bW$  為主，因此  $b\text{b}(\text{bar})WW$  終態極像類似  $t$  夸克的重夸克。因  $t\text{t}(\text{bar})$  常出現為  $b'$  夸克搜尋的部分特徵，台灣研究團隊有可能用  $t\text{t}(\text{bar})$  訊號作校正，因此仍有可能攜獲  $t'$ 。

藉探討  $b'$  夸克搜尋，團隊將學習如 W、Z、噴流、b 標定、多噴流處理、運動變數條件等基本工具，在將來可擴大發展至更寬廣的研究題目。

該計畫將投入人力，適時建立所需的 Tier-3 格網 Grid 計算。台灣研究團隊並找出團隊成員可從事的服務項目，藉實際工作在 CMS 建立自身的地位。有些成員在硬體項目貢獻力量，有些成員則參與束流測試，從事系統成效探討與系統整合。

台灣研究團隊最終的目標是預備好從事 CMS 物理分析，但願能有如在 Belle 的成果。台灣大學與中央大學高能組聯合加入 CERN LHC (Large



Hadron Collider) 的 CMS (Compact Muon Solenoid) 實驗計畫，參與 Preshower 子偵測器的建造。台大高能組負責製造讀出電子系統的主機板 (Mother Board)，中大負責生產矽探測器。台灣研究團隊參加 CMS 的實驗於 1999 年十二月經由 CMS General Meeting 的同意，並於 2001 年由國科會與 CERN

簽定備忘錄而成為 CMS 之正式成員。LHC 加速器將啓用，以搜尋發現 Higgs 粒子為最重要的研究目標。如果 Higgs 粒子存在，但質量介於 115 - 140 GeV 之間，將是最難偵測的。這樣質量的 Higgs 粒子將衰變為兩個光子，可藉由偵測這兩個光子形成的質譜峰值，而被觀察得到。然而，因為

$p_0$  介子也衰變成兩個光子，這種訊號可能被大量  $p_0$  介子造成的背景所遮蔽，因此必須將此類光子背景去除。在 CMS 實驗中，Preshower 偵測器便是一重要的利器，用以分辨不同來源的光子。

Preshower 偵測器位於 CMS Endcap 的電磁量能器 (Electromagnetic Calorimeter) 的前端。電磁量能器由抗輻射的  $PbWO_4$  晶體組成，擁有很好的能量解析度及快速的反應時間，但是空間解析度不高，無法有效分辨  $p_0$  介子產生的兩個光子，因此須由矽晶片做成的 Preshower 來提供良好的空間解析度。雖然 CMS Barrel 區域並沒有去除  $p_0$  的強烈需求，在 Barrel 區



域安裝 Preshower 偵測器仍是未來 CMS 實驗的可能選擇。

台灣研究團隊在 CMS 實驗的主要任務是參與 Preshower 子探測器的建造。中大高能組負責製造、測試與組裝  $\square 1200$  片矽微條探測器以及研發監

控系統，而台大高能組負責設計、生產與測試整個 Preshower 子探測器讀出所須的主機版(稱為 Motherboard, MB)以及一些讀出系統。本三年計劃之主要目標在於 2007 年完成主要的硬體建設，Preshower 子探測器的組裝與運轉，2008 年起進行多年的物理實驗，並為物理及數據分析奠定基礎。由前數年的計畫施行成果，台灣研究團隊已經建立了未來計畫所需的基礎架構，足以應付生產製造及組裝主機板以及矽微調探測器所需軟硬體設備。在物理分析上，台灣研究團隊已做過 Higgs 粒子衰變到四輕子的模擬，以及產生單一頂夸克(single top quark)或第四代底夸克( $b'$  quark)的物理模擬，並將持續此一研究方向用 CMS 探測器為搜尋單一頂夸克的事件以及

搜尋第四代底夸克的物理分析。在 GRID 電腦計算上，台灣研究團隊也已完成 CMS 中與 CERN tier-0 和中研院 ASGC 的 tier-1, tier-2 中心之間的數據模擬、試算以及網路服務及頻寬的測試。

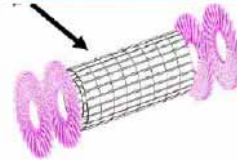
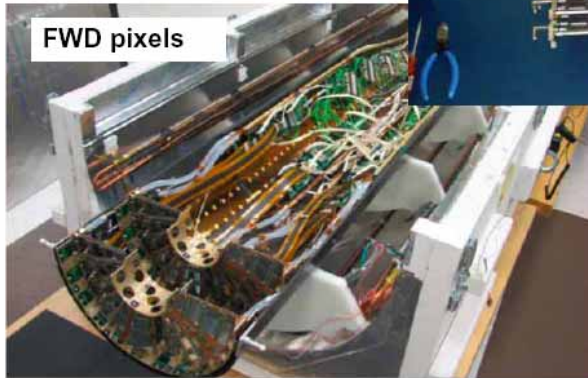
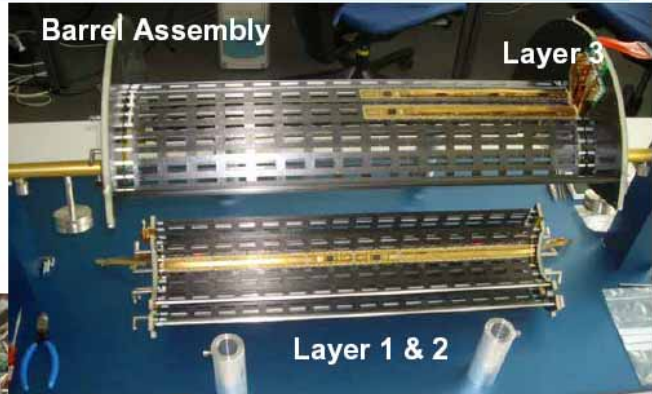


## Pixels

Barrel pixel assembled by January 08

FWD pixels full detector at CERN in Nov 07

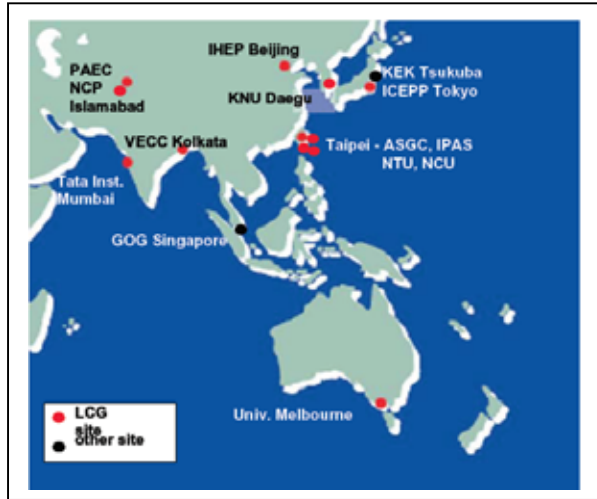
Install in CMS in Mar 08



<b>BPIX</b> (3 Layers)	<b>FPIX</b> (2 Disk)
672 Modules	96 Blades
96 Halfmodules	672 Plaquettes
11520 ROC	4320 ROC

18

#### 四、參與 Grid Computing 實驗會員國代表會議報告



歐洲粒子物理研究中心(以下簡稱 CERN)的全球計算網格佈署計畫(以下簡稱 LCG 計畫)是舉世第一個也是規模最大的穩定網格系統。該計畫係利用網格技術，結合全球主要高能物理研究單位之計算資源，共同提供大強

子對撞機(Large Hadron Collider, LHC)實驗所需的大量計算、資料分析、工具發展、資料管理與系統維護之需求。目前共有瑞士 CERN、捷克布拉格大學、法國 IN2P3 電腦中心、德國 Forschungszentrum Karlsruhe、匈牙利 KFKI 粒子與核子物理研究所、義大利 INFN-CNAF 國家電腦中心、日本東京大學、波蘭 ACC Cyfronet、俄羅斯莫斯科國立大學、西班牙 Port d'Informació Científica、台灣中央研究院、英國 Rutherford Appleton 實驗室，以及美國費米國家實驗室與 Brookhaven 國家實驗室等十四個單位參與。

CERN 在網路發展史上佔有重要的地位，網頁(Web)就是由此誕生。而 CERN 目前也領導了一些世界上最重要的網格計畫。CERN 選擇網格去處理大量資料儲存及分析的工作，原因是等到世界上最大的科學儀器”大強子對撞機 LHC”開始運作時，數以千計的物理學家會要求使用 LHC 所產生的大量資料。這些資料能夠幫助科學家找到更小物質所構成的基本粒子。

這些資料量大概每年會產生 10petabytes，等於是每年印刷出版品 1,000 倍的資料量，約是每年人類所產生資訊量的 10%，包括數位影像，



相片等。而網格技術似乎是目前唯一合理的方法，來存取這些資料。因此，

CERN 希望能在 LHC 啓用前，完成網格技術的發展。



LHC 計畫決定採用 Grid Computing，參與國家將建立 World Wide Grid 以作為 LHC 四個實驗數據處理及分析的基礎。CERN 準備參與 LHC 之國家簽訂 Computing MoU (CMoU) 以界定參與國對 LHC 計算之資源分攤及權利義務。

為了發展 Grid Computing，CERN 推動 LHC Computing Grid (LCG) 計畫，於 2002 年至 2005 年間，建構一個 World Wide Grid 的元型，其計算能力約為 LHC 需求的 1/4，用以發展及測試 LHC Grid 之 firmware。在國科會及中研院之補助下，中研院計算中心積極參與 LCG 計算，自 2003 年中起，經常派遣兩位研究人員前往 CERN 參加 LCG 之工作，每一期三個月。中研院計算中心是全球前幾個通過 LCG-1 及 LCG-2 測試的機構，目前為 LHC 規劃中的亞洲地區的 Grid 運作中心，也是 ATLAS 指定的 data challenge 的 6 個 Tier1 中心之一。

由於台灣在 LCG 已據一席之地，台灣研究團隊將積極參與 ATLAS 的 data challenge(DC)，並特別重視在 LCG 的架構下，發展數據重建與分析之軟體。台灣研究團隊較大多數團隊有更好的機會在應用軟體與 Grid firmware 之整合上做出貢獻。

台灣研究團隊將持續與中研院計算中心(ASCC)密切合作，使台灣成為 World Wide Grid 在亞洲地區的樞紐，並推動在 LCG 的架構下應用程式的發展，及在 LCG 架構下的 Regional Grid，促進亞洲地區在 e-Science 及



e-Education 方面的合作。

該計畫目標為依據 WLCG MoU 建立我國 WLCG 整合的 Tier-2 中心，並配合我國 LHC 實驗參與團隊，一方面積極參加 ATLAS 與 CMS 實驗之各項驗證與整合測試(Service Challenge and Data Challenge)，以確保達成 MoU 之品質要求。另一方面則發展與整合我國實驗所需相關工具與流程，並逐步整合我國 WLCG 各資源，確認各實驗團隊可有效利用網格資源與服務順利進行相關研究。

過去三年，我國各 WLCG 與實驗參與團隊(中央大學物理系、台灣大學物理系、中研院物理研究所以及中研院網格計算團隊)積極投入 ATLAS 與 CMS 實驗之各階段驗證與整合測試(如 Service Challenge, Data Challenge, CMS CSA06, ATLAS CSC06 等)。除成功地建立亞太地區唯一的 Tier-1 中心以及一個可供台灣 ATLAS 與 CMS 團隊進行物理分析的聯合 Tier-2 中心 - Taiwan Analysis Facility(TAF)。不僅 Grid efficiency 趨近於 100%，更達成了 2008 年效能的 25% 目標。TAF 也將密切與國內實驗團隊合作，按進度建立實驗分析所需應用環境與計算流程。以達成於有限的



經費條件下，充分利用國內 WLCG 各參與團隊之資源(人才、經驗、機房環境、網路、大規模系統維運基礎與技術以及實驗應用支援團隊等)，履行對整體 WLCG 之承諾與對國內 LHC

實驗團隊之有效支援。

## 五、心得

高能物理實驗在台灣之發展，時間雖短祇有十年多的歷史，已經由中長程的規劃奠定良好的基礎。各研究團隊的領導人才亦逐漸顯現，在過去數年中有實質的卓越成長。在實驗團隊的人力上，如博士後、客座專家、研究學者以及碩、博士生等已有近一倍的成長。在高能實驗的成果上，除了硬體與技術上有大幅成長外，物理研究的新結果以及發表在國際物理期刊上的文章水準亦有大幅的增長。因而使得台灣的研究團隊更具有競爭力，在該領域獲得許多傑出的研究成果，並為我國在國際學術地位上爭取得更重要的一席。

在亞洲地區，台灣是該計畫的主要參與單位，由中央研究院物理研究所、國立台灣大學物理學系，以及國立中央大學物理學系，參與 LHC 實驗及研究計畫，至於網格技術的導入、參與全球網格佈署、建置與服務工作，則由中央研究院負責。

CERN 建造中的下一代大強子對撞機，主要目標是尋找希格斯粒子 (Higgs Particle) 及超對稱粒子，以了解物質之構造並探索新物理現象。LHC 計畫預期於 2008 年初開始進行對撞實驗。目前則正積極整合高能實驗與網格技術團隊，進行密集的系统測試(稱為 Data Challenge)。我國除中研院物理所參與的 ATLAS 實驗外，台灣大學物理系與中央大學物理系則一同參與 CMS 實驗。而 ATLAS 國際合作實驗組是 LHC 上的重要偵測器之一，提供最寬廣的粒子物理學研究領域。將大幅拓展粒子物理的發展，進一步提高人類對物質結構及其相互作用之基本規律的認識。ATLAS 實驗每年將產生約 2-4 Peta Bytes 的數據量，如此巨量之實驗數據及模擬數據資料，必須依賴全球網格系統，才能有效處理如此龐大的實驗數據。

CERN 於 2003 年 9 月宣佈全球網格(World Wide Grid) 服務正式上線，是計算網格發展的一大里程碑。中研院物理所團隊實際參與 ATLAS 實驗，

已對 DC-1 模擬數據產生、事例重建等工作建立初步貢獻。目前更與計算中心合作，完成與歐洲資料網格計畫(Europe Data Grid, EDG)間電子憑證(Certificate Authentication)之相互認證，以及 LCG-2 系統建置。此計畫之持續發展，將使台灣與國際學術研究同步，並奠定新一代之資訊技術基礎建設。