

國家同步輻射研究中心
出國報告書

出國人姓名：詹智全

出國日期：2017/12/10~2017/12/18

目的地（國家、城市）：Tsukuba, Japan

考察研究訓練地點：KEK

(請自下一頁開始撰寫)

一、目的：

參加 Asian School on Superconductivity and Cryogenics for Accelerators。

二、行程：

2017/12/10: 新竹 → Tsukuba, Japan

2017/12/11: Welcome/Introduction/Training/Welcome party

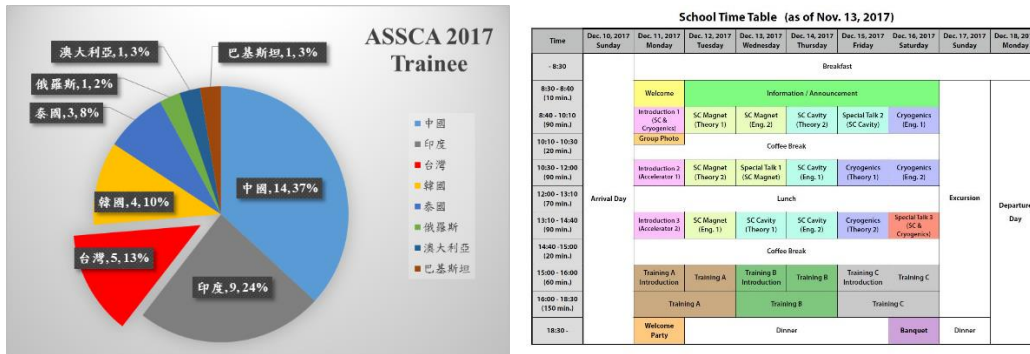
2017/12/12-16: Lecture/Training

2017/12/17: Excursion

2017/12/18: Tsukuba, Japan → 新竹

三、內容摘要：

1. 加速器超導與低溫亞洲課程(Asian School on Superconductivity and Cryogenics for Accelerators, ASSCA2017)：總參加人數 38 人，主辦單位: KEK。



2. 一般課程包括超導磁鐵原理與工程設計、超導共振腔設計與低溫腔體原理與設計，幾個印象較深的記錄如下：

- ✓ Onnes 產生液氦(LHe, 1908)與發現超導特性(Hg,1911)
- ✓ Cu/Ag/Au 等好的常溫電導材料，無法進入超導態
- ✓ Nb/Pb 等第一類超導體臨界磁場很低(Nb, $H_c < 0.2T$)
- ✓ $T < 120K$ 定義為 Cryogenic temperature.
- ✓ 2K Superfluid 相較於 4.2K LHe 的優點: (1)流動性佳、(2)熱容大且(3)液體穩定擾動少，一般超導磁鐵與 500MHz 超導共振腔均用 4.2K LHe 冷卻，而 1.3GHz 超導共振腔則用 2K Superfluid 降溫。最簡單的 Superfluid 製造法就是將 4.2K LHe vessel 抽真空到 3kPa 以下，但此法會造成約 40%的 LHe 消

耗。

- ✓ KEKB 的升級目的：(1)於對撞點前加裝超導四極增加 Luminosity ($\sim 10^{35} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 增加粒子對撞機會)、(2)於對撞點增設螺線型超導磁鐵增加粒子的動能解析。KEKB 升級後電流增加對 Luminosity 增加約 2 倍, Beam size 減小對 Luminosity 增加約 20 倍。
- ✓ KEK 幫 LHC 製造的超導二極磁鐵線圈(鞍形):
 - 在 Yoke 上(靠外側)故意挖孔使該處磁場易飽和, 進而改善中心磁場的均勻性。
 - 超導線圈部分要預壓緊, 防止線圈受力移動。用 Ansys 分析應力時要注意楊氏係數隨溫度變化非常數。
 - NbTi cable 繞線完成後需加壓 Curing 200°C-1 night。若使用 Nb3Sn 則需要 Curing 600°C-2 weeks, 絕緣材料不可用 Polymer。
 - 因 LHC 的磁鐵用於高輻射區, 因此支撐斷熱材料均使用 GFRP 材質。
- ✓ 很多的導冷材料使用純鋁(n=6: 40,000W/m.K, n=5: RRR~3000)如 NIRS-SC Gantry、增加 Z 方向的 Quench propagation、重力波 Detector。
- ✓ 超導磁鐵的 Bus bar 設計銲接會影響 Quench 時電流切段的時間。
- ✓ Nb skin deep ~ 44nm, Cu skin deep~1.8um 因此 Nb 超導共振腔的表面處理很重要。Nb 超導共振腔若施以 N 熱處理可增加共振腔的效能(Q 約增加 4 備)。
- ✓ 超導共振腔於無塵室內銲接或組裝時, 人本身就是一個污染源, 因此建議改用機器手臂工作
- ✓ Multi layer insulation (MLI)並非越多層越好, 而是有一個最適當的值。
- ✓

3. 實習課程包括:

- ✓ 超導磁鐵實習: (1)參觀 Belle II 對撞點的超導磁鐵、(2)超導磁鐵繞線工廠與 (3)磁浮實驗。
- ✓ 超導共振腔實習: (1)量測 Cu 與 Nb 的常溫與低溫電阻率, 再求出 Q 值與 (2)量測 Q 值後反推 Cu 與 Nb 的電阻率。
- ✓ Cryogenic 實習: (1)製作溫度感知器(碳電阻與二極體兩種)與 (2)將 LHe-I 抽真空降溫至 LHe-II。其中低溫氣態氦氣經油式 pump 直接抽回收, 油式 pump 內所使用的油與後端 GHe 壓縮機的油相同。另外實驗室的液氦供應系統與加速器的液氦系統分屬不同的系統。

四、心得概述與建議

參加 ASSCA 課程，獲得超導磁鐵、超導共振腔與低溫製冷技術等相關知識，涵蓋原理與應用，受益良多，其中不乏低溫相關的材料應用特性資料，對於日後超導低溫相關設計有相當的助益，課程中安排兩場由廠商介紹產品的課程，這也展現了 KEK 很重視與廠商的關係，使得 KEK 得到製造技術的支援。

實習課程雖然簡單，但都能展示出超導與低溫的特性，過程中看到各實驗室的設備大多自行設計拼裝且已長期使用，但仍不失其功能，相關指導人員說，如果要量的更精準更便宜，就要自己動手做，才會對量測設備更了解，這或許是在強調經驗的重要性。

此次實習課程中很幸運的看到 KEK 正在幫 LHC 進行超導二極線圈繞線，繞線範圍內淨空，五位工作人員一起參與繞線，從修整、量測、記錄、補強絕緣與組裝零件，所有的人都很專心，未有嬉鬧聊天，工廠內氣氛嚴肅，線圈每繞一圈就量測記錄相關數據，一點都不馬虎，值得我們學習。