

出國報告（出國類別：其他-研習）

2023 年國際高防護實驗室實務及技術研討會

服務機關：行政院農業委員會家畜衛生試驗所

姓名職稱：陳麗璇助理研究員

派赴國家：美國堪薩斯州

出國期間：112 年 4 月 22 日至 4 月 29 日

報告日期：112 年 7 月 21 日

目次

內容

目次.....	2
一、摘要.....	3
二、目的.....	4
三、過程.....	5
(一) 計畫行程	5
(二) 高防護實驗室實務及技術研討會內容重點	5
1. 高防護設施介紹 (Introduction to High Containment Facilities)	5
2. 風險評估及減災 (Risk Assessment and Mitigation Techniques).....	6
3. 氣膠 (Aerosol).....	6
4. 實驗室實務操作 I-生物安全操作櫃 (Biosafety cabinet hands-on activity).....	7
5. 實驗室實務操作 II-病原外洩 (Biosafety spill clean-up hands-on activity).....	9
6. 實驗室實務操作 III-緊急應變 (Emergency and Procedures and exercises).....	11
7. 消毒與去污 (Disinfection and decontamination)	11
8. 廢棄物管理 (Waste Management)	12
9. 有害生物材料之運送 (Transportation of Hazardous Biological Material).....	13
10. 有害生物材料之運輸 (Shipping of Hazardous Biological Material)	14
11. 資訊技術 (Information Technology).....	14
12. 保全總覽 (Security overview)	15
13. 尖銳物處理 (Sharps)	15
14. 綜合問答.....	16
(三)小組討論與報告	18
(四)參訪大動物研究中心 (Large Animal Research Center, LARC)	18
四、心得與建議.....	20

一、摘要

美國堪薩斯州立大學生物安全研究所 (Biosecurity Research Institute, Kansas State University, Manhattan, Kansas, United State) 在高防護研究設施方面，其獨一無二之處，為美國境內唯一整合獸醫醫學、植物病理、食品安全及分子生物學，並可進行研究及培訓的單位。在這一棟建物中，可進行食媒病原、動物病原、植物病原、蟲媒病原及人畜共通病原，堪薩斯州立大學生物安全研究所向來為農業與公共衛生的領導及先鋒。

為了推廣實驗室生物安全之實務與技術，由美國農業部 APHIS 經費支持國際上不同國家的參與人員，參加「International High-Containment Laboratory Practices and Techniques Seminar (國際高防護實驗室實務及技術研討會)」。課程內容包含實驗室生物安全、風險評估及減災策略、個人防護、生物安全櫃使用、感染性生物材料之運送及緊急應變等，並於課程的最後一天，由學員以小組報告呈現研習課程成果。



圖 1. 所有學員於堪薩斯州立大學生物安全研究所合照。

二、目的

本（112）年 4 月 22 日至 29 日由本所陳麗璇助理研究員前往美國堪薩斯州立大學生物安全研究所，研習「2023 International High-Containment Laboratory Practices and Techniques Seminar(2023 年國際高防護實驗室實務及技術研討會)」，研習實驗室或學術環境中培育促進生物安全、生物保全和生物防護的實務與技術；除了前述研討會內容，可藉由本次研習與美國高防護實驗室進行更進一步交流，及建立生物安全諮詢與聯繫平台。



圖 2. 所有學員、助教、講師及聯絡人於堪薩斯州立大學生物安全研究所大廳合照。

三、過程

(一) 計畫行程

日期	行程內容
112 年 4 月 22~23 日	自臺灣出發前往美國堪薩斯州曼哈頓。
112 年 4 月 24~28 日	於堪薩斯州立大學生物安全研究所進行「2023 年國際高防護實驗室實務及技術研討會」。
112 年 4 月 29 日	搭機返回臺灣

(二) 高防護實驗室實務及技術研討會內容重點

1. 高防護設施介紹 (Introduction to High Containment Facilities)

美國堪薩斯州立大學生物安全研究所位於校園北側，過去獸醫學院為其最接近的建物，自從國家生物及農業防衛機構(National Bio and Agro-Defense Facility, NBAF)啟用後，高防護研究設施 (含大型動物之四級實驗室)愈加完備，整合教育培訓、研究、診斷及防疫策略於一區。

本節由所長 Stephen Higgs 進行簡短的介紹，生物安全研究所具高防護實驗相關區域約 31,000 平方英尺，具附屬教育與培訓區域約 10,000 平方英尺以及行政區域約 13,000 平方英尺，總面達 113,000 平方英尺。高防護實驗相關區域使用之空氣為單向，無再循環使用；依區域之高低風險，維持壓差梯度；備用電力以維持設施運作。其餘空間及設施簡述如下：

高防護實驗室本體部份有三級實驗室及附屬支援空間、二級加強實驗室、小動物三級實驗室 (ABSL-3)、大動物三級實驗室 (BSL-3Ag)、三級食品實驗室及蟲媒三級實驗室 (Arthropod Containment Level-3, ACL-3)。

防止病原外洩、屍體及廢棄物處理部份之設施則包含穿牆滅菌器及去污室、鹼性水解系統 (Tissue Digester System, TDS)及廢水處理系統 (Effluent Decontamination System, EDS)。

其他較為特殊的部份則為環境控制室、大型冷藏或冷凍庫、生物製品開發模組 (Biologics Development module)及先進之講堂，其講堂特別整合之

培訓與模擬三級實驗室空間，專為教育與培訓高防護實驗室操作人員的地點，也是本次研習主要活動的區域。



圖 3. 所有學員於堪薩斯州立大學生物安全研究所講堂合影。

2. 風險評估及減災 (Risk Assessment and Mitigation Techniques)

風險評估是鑑識出負面威脅的可能事件，有可能是對內或對外的傷害，一般會依發生後的嚴重性及發生頻率先進行分級，而後訂定減災措施，以降低發生的頻率或嚴重性。應用風險評估及減災於實驗室內，則首要需先瞭解病原的分級、實驗室的分級、實驗室內要進行何種活動以及個人防護。

例如實驗室目前要操作何種病原？該病原之風險分級為何？要進行何種實驗室活動？操作病原的體積多少？是否會產生氣膠？是否對人有危害？有無疫苗可使用？前開問題基本上就可以決定使用的實驗室等級，再依照病原對人的傳播途徑及危害程度，再決定實驗室人員個人防護裝備。若是有大量病原體積操作、氣膠產生或無疫苗可使用的情形，通常需提升實驗室等級。

3. 氣膠 (Aerosol)

當液體被賦予能量時，便可產生氣膠。舉凡實驗室內打開或蓋上微量

離心管、微量分注器進行排液時 (pipetting)、離心 (centrifuging)、搖晃 (shaker)、震動 (vortex)、攪拌 (stirring)、超音波擊碎 (sonication)或是注射針筒使用前排出空氣的動作，都可能產生氣膠。當產生的氣膠粒子在 5 μm 以下時，便可能停留在空氣中數小時。一般來說，會以氣膠傳播的病原，其相對操作之生物安全等級實驗室會再提升，而可能產生氣膠動作會盡量在生物安全操作櫃中執行。

即使在生物安全操作櫃中，也要盡量避免產生氣膠，例如微量分注器進行排液時，靠著管壁給予液體，盡量不產生氣泡，並於丟棄滴管尖之前吸取消毒水的步驟。

若無法在生物安全櫃中操作時，則需進一步程序以降低氣膠所帶來的風險。例如離心機盡量選擇離心杯，並於離心機停止運轉後 4-5 分鐘再開啟蓋子；搖晃、超音波擊碎或擊碎機則可使用溼的紙巾覆蓋在蓋子上再開啟等，以操作步驟減少氣霧帶給操作人員的風險。

4. 實驗室實務操作 I-生物安全操作櫃 (Biosafety cabinet hands-on activity)

本次研習均於三級模擬實驗室與相鄰講堂之複合式訓練場所，該三級模擬實驗室的一側為透明玻璃窗，並廣泛設置視聽裝置，可利於同步相鄰講堂教學；內部配置穿牆滅菌器、穿牆燻蒸式傳遞箱、穿牆式消毒槽及生物安全櫃等，完全與三級實驗室相同標準設施，使學員在相同環境又安全無虞的情境之下研習；由於與三級實驗室相同之前室與淋浴空間配置，因此也可以訓練學員如何穿上防護衣進入與如何脫除防護衣離開。

本次模擬進入三級實驗室，以生物安全研究所目前使用的步驟進行教學。本節描述進入實驗室、離開實驗室、生物安全櫃使用前、生物安全櫃使用中、生物安全櫃使用後、病原取用、病原稀釋及六孔盤操作步驟中需要注意之事項進行說明。

進入實驗室：本次實習需先行換上紫色刷手服及走廊專用鞋，再依序進入前室 (穿上拋棄式前罩手術服、口罩及膠帶封好第一層手套)、淋浴間 (直接穿越)、緩衝室 (若需要，在此處穿上正壓呼吸器)及實驗室 (與第一層

顏色不同的第二層手套及防護眼鏡)，

離開實驗室：實驗室內時，取下防護眼鏡以酒精棉片清潔，放回眼鏡置架上；脫除第二層手套、用力拆下前罩手術服以及脫除第一層手套與口罩，洗手後再離開實驗室；若風險管控上有需要，則於淋浴間洗澡後離開。

生物安全櫃使用前：

- (1). 檢視生物安全櫃是否功能正常並記錄之。
- (2). 廢棄盒使用雙層塑膠袋，並於底層放置一個裝有 50-100 mL 水的夾鏈袋，其有 2 個目的，首先該夾鏈袋重量可使雙層塑膠袋底部固定，廢棄物可直接到達盒底；其次，於使用後進行滅菌時，該夾鏈袋融化後，內部少量的水有利於蒸氣產生及滅菌的效果。
- (3). 生物安全櫃四周噴消毒水，並可使用可調整之長柄清潔工具協助，長柄清潔工具上安裝之紙巾為可拋棄式，清潔後之紙巾丟棄於生物安全櫃內的廢棄盒。

生物安全櫃使用中：

- (1). 生物安全櫃內的檯面需依自己的慣用手，依序配置「潔淨區」、「操作區」及「污染區」。建議鋪抗汗墊，並備好一管消毒水，於操作病原時，任何丟棄滴管尖 (tip)時，均需先行於該消毒水中吸取及排出數下，再丟棄。
- (2). 生物安全櫃內的物品均需清消後才能遞出。傳遞物品可為單人操作，也可雙人協助。單人操作需先換上乾淨的外層手套，再回生物安全櫃內進行物品清消及遞出。若有人可協助，則於生物安全櫃內進行物品清消及並以生物安全櫃之門簾為界，交給協助者遞出物品。生物安全櫃旁若設有檯車較為方便，可置清潔工具、替換之手套及物品暫置。
- (3). 三級實驗室之雙層手套為固定內層手套，而外層手套可隨時替換，因此在需將手離開生物安全櫃內時，脫除外層手套並丟棄於生物安全櫃內的廢棄盒，手才能離開生物安全櫃，並立即再穿戴上外層手套。又由於內層手套與外層手套的顏色不同，極容易察覺手套之穿戴是否正確。
- (4). 脫除外層手套的方法為左手捏起右手接近腕口處的外層手套，外

翻至一半，以外層手套的內面覆蓋右手的大姆指及食指，再以右手捏起左手接近腕口處的外層手套脫除。

生物安全櫃使用後：物品完全遞出後，生物安全櫃四周噴消毒水，並可使用可調整之長柄清潔工具協助，長柄清潔工具上清潔後之紙巾丟棄於生物安全櫃內的廢棄盒，換手套後再打包廢棄物，以束帶束袋口 (留一指頭寬度)，標示廢棄物外袋後，置於密林內及廢棄物檯車上。

病原取用：本次實習模擬自冰箱內取出及放回病原，該病原已事先置於管架上，並包裹以夾鏈袋。由於生物安全愈加嚴謹，目前生物安全櫃外的潑濺，均視為外洩，因此實驗室內病原的傳遞，不再滿足於初級防護容器，也因此增加可密封之夾鏈袋作為二級防護。

病原稀釋：本次實習為使學員習慣於操作病原時，任何丟棄滴管尖時，均需先行於該消毒水中吸取與排出數下，再丟棄，因此設計病原稀釋之實習。

六孔盤操作步驟：六孔盤為常見病原培養的容器，由於無法密封，不是很好的初級防護容器，因此操作時增加 parafilm 密封六孔盤步驟後，再置入密封容器後始可傳遞至培養箱，以降低運送時掉落外洩風險。

5. 實驗室實務操作 II-病原外洩 (Biosafety spill clean-up hands-on activity)

病原潑濺是實驗室內常見的意外，大致上以地點可以區別為在生物安全櫃內或是生物安全櫃外，一般而言在生物安全櫃內病原潑濺可視為具局限性的，但若為生物安全櫃外則視為「exposed (暴露)」或「released (外洩)」。前者需報告實驗負責人，而後者則需通報生物安全會。因此在生物安全研究所，目前病原不得以初級容器 (primary container)形式在生物安全櫃以外，即使是實驗室內傳遞均需有二級可密封之容器進行傳遞。

生物安全櫃內病原潑濺：

- (1). 立即告知實驗室內一同工作的人員，避免其他人在不知情的情形下使用生物安全櫃。
- (2). 取大量紙巾及適合的消毒劑，覆蓋在潑濺的區域，覆蓋範圍需大一

點，消毒劑則由外向內傾倒至紙巾上，靜置使消毒劑足以完成消毒的時間。需留意若選擇酒精為消毒劑，則需要再倒多一些，以因應生物安全櫃通風所導致的揮發。

- (3). 脫去外層手套，將手套丟棄於生物安全櫃內的廢棄盒，手離開生物安全櫃換上新的外層手套。回到生物安全櫃，再丟棄所有污染或消毒浸染過的物品及抗污墊，反覆清潔。講師說明無需丟棄生物安全櫃內所有試驗物品，除非有被噴濺到。
- (4). 最後重複換手套程序。

生物安全櫃外病原潑濺（以本次實習潑濺到地面為例）：

- (1). 立即告知實驗室內一同工作的人員，避免其他人在不知情的情形下踩到潑濺區。
- (2). 依正常程序脫去個人防護裝備，離開實驗室，並於實驗室門口貼告示實驗室要因外洩進行清消，避免其他人在不知情的情形下再進入實驗室。
- (3). 30 分鐘後待氣膠沈澱或實驗室充分通風，再依正常程序穿上新個人防護裝備，並於緩衝室取得清污套組 (spill kit)後進入實驗室。
- (4). 取大量紙巾及適合的消毒劑 (留意消毒水是否地面材質友善)，覆蓋在潑濺的區域，覆蓋範圍需大一點，消毒劑則由外向內傾倒至紙巾上，靜置使消毒劑足以完成消毒的時間。依正常程序脫去個人防護裝備，離開實驗室。
- (5). 30 分鐘後再依正常程序穿上新個人防護裝備，回到實驗室，丟棄所有汙染或消毒劑浸染過的紙巾，再重複一次覆蓋紙巾及傾倒消毒劑。
- (6). 依正常程序脫去個人防護裝備，離開實驗室。

注意事項：

- (1). 離心機事故視是否儀器正在運轉，若打開才發現容器破裂，應回蓋，依正常程序脫去個人防護裝備，離開實驗室 30 分鐘後待氣膠沈澱或實驗室充分通風，再回頭處理。

- (2). 清污套組：應放置於緩衝室 (非實驗室主操作區內，並於換新個人防護裝備後)，內容應具大量紙巾、大量消毒劑、個人防護裝備及尖銳物廢棄盒等，並視需求可增減。

6. 實驗室實務操作 III-緊急應變 (Emergency and Procedures and exercises)

講師重點提醒，在三級實驗室中操作時遭遇火災，若有時間應變，則可以標準方式退出實驗室；若無時間應變，則可以在退離時，取一件 Tyvek 防護衣套上，並於集合地點等待以及遠離其他集合人員。所有緊急應變請仍以人員的安全為優先考量。

本次實習提到了若有同仁在三級實驗室中失去意識，平時可備小型具滾輪之擔架及 AED 自動心臟體外除顫器，前者可使無法拖動無意識者時，利用調整姿勢至側躺，小型具滾輪之擔架置於背後再翻正無意識者，使任何人均可輕鬆拉動無意識者。後者 AED 自動心臟體外除顫器目前已發展至極簡易操作，任何人檢視圖片均可操作。如若協助者因極度恐慌而無法進行任急救，則儘速求救即可。

本次實習學員分享特殊案例供所有學員一同思考，研究人員淋浴時因突然失去視覺，因此緊急求救裝置之配置也許需分布至所有空間。

7. 消毒與去污 (Disinfection and decontamination)

首先仍是要確定操作何種病原，並選擇對該病原有效之消毒劑，以及該消毒如何正確的施用，各種消毒劑使用的有效時間、劑量及限制，消毒空間大小、環境溫度以及有機質狀態 (例如動物舍可能會因糞尿而有機質較豐富)都需要評估，甚至實驗室裡是否有電腦或通訊設備等較敏感的設備，也需納入考量。

講師以動物舍為例，一般內部以不鏽鋼籠架為主，則二氧化氯 (Chlorine dioxide)就可以使用，但由於每批次動物試驗結束就需要清消，其頻率就比一般實驗室 (約一年一次)來得高，又因考量其豐富之有機質，一般的做法會是先清洗再消毒。又以酒精為例，實驗室通常可以使用酒精做局部的清

消，若是在實驗動物舍，則酒精會因糞尿的影響以及揮發太快，而顯得不理想。

以前實驗室較常使用二氧化氯來噴霧消毒環境，目前越來越常見過氧化氫 (Hydrogen dioxide)，雖然仍需要儀器氣霧化，但其分解後為水及氧氣，對敏感設備友善，又快速完成消毒循環，因此有取代的趨勢。以上因應病原如何選擇有效消毒劑、注意事項或是消毒步驟擬定的相關參考資料，都可以於 <https://www.cfsph.iastate.edu/> 搜尋及下載。

另講師回應學員疑問關於全實驗室消毒，仍需使用指示劑，一般分成生物指示劑 (Biological indicator) 及化學指示劑 (Chemical indicator)，需在實驗室的每個方向都放置，若有生物安全櫃或動物隔離籠，則設施內部也需要放置。然而由於生物指示劑往往耗時又較昂貴，因此建議先做生物指示劑及化學指示劑的平行測試，確認化學指示劑也適用之後再取代使用。

8. 廢棄物管理 (Waste Management)

生物安全研究所在 2022 年，執行了超過 700 次滅菌，包含水、屍體或是廢棄物等處理。講師在這堂課介紹穿牆式滅菌器、廢水處理系統 (Effluent Decontamination System, EDS)、組織消化系統 (Tissue Digester System, TDS)、熱處理系統以及焚化等處理高防護實驗室所有固態及液態的廢棄物。

穿牆滅菌器為介於乾淨及污染區域的設備，使用時需放置生物指示劑或化學指示劑，其穿牆滅菌器的使用人員也需要經過訓練，除了如何操作之外，穿牆滅菌器內如何放置廢棄物，還需注意不要放太滿。需要例行性檢視穿牆滅菌器的儀器紀錄，進行真空測試 (Bowie Dick test) 及洩漏測試，並進行文件紀錄。

生物安全研究所內的廢水處理系統 (Effluent Decontamination System, EDS) 為 3 套 4,000 加侖的廢水儲存量，接收水槽、淋浴、滅菌器廢水及其他研究性廢水，有時也會有動物飼料及墊料進入廢水槽中，因此設有破碎機。廢水處理系統一般 150°C 處理 4 小時後，待冷卻及生物指示劑 (設有 Dry well port 可放置生物指示劑) 確效後才能放流，為了因應可能的 prion 相關試驗，該廢水處理系統為強鹼相容，可使用 KOH 或 NaOH。

生物安全研究所也設有組織消化系統 (Tissue Digester System, TDS) ，可處理 5,500 磅的動物屍體，該槽的入口設於解剖室內，槽的主體位於地下室，可與天車搭配使用，以處理大型動物屍體，但需留意金屬 (例如耳標) 不能處理。除了需加入強鹼，同時還要水、蒸氣及壓力，雖然同樣 150°C 處理 4 小時，還需要以 CO₂ 校正 pH 值，槽體設有取樣的小水龍頭以監控 pH 值，每趟總處理時間為 12 小時。處理後仍需排出廢水，還會剩骨渣殘留在收集籃中。

生物安全研究所組織消化系統和廢水處理系統運行後之廢水排放，與堪薩斯州曼哈頓市有合作關係，基本上會在每週的工作日進行 2 次排放。

另本堂課講師提到較新概念的熱處理系統，以加熱、攪拌及壓力處理屍體，可選擇液體模式或固體模式，若當地污水系統不能接受液體模式，則可改固體模式，而固體模式會產生棕色的泥狀物，後續可以焚化或是掩埋處理。

最後介紹焚化方式，處理溫度介於 831~1371°C，需要燃油。以 1200 磅的屍體處理量為例，當每小時處理效率為 100 磅，則需耗時 12 小時；而每小時需燃油 2 加侖，則共需 24 加侖的燃油。然而由於焚化的公共議題往往因空氣品質的疑慮而較為負面，也會限制處理量能，因此雖然焚化較為經濟但可能無法取得許可。

9. 有害生物材料之運送 (Transportation of Hazardous Biological Material)

有害生物材料之運送再進一步分類，可分成實驗室內之傳遞及實驗室與實驗室的傳遞，先前有提到生物安全研究所目前規範病原不得以初級容器形式在生物安全櫃以外，即使是實驗室內傳遞均需有二級可密封之容器進行傳遞。(初級容器意指病原直接接觸的容器)

實驗室內之傳遞常見往返生物安全櫃及冰箱，目前以生物安全研究所的做法，則是於生物安全櫃內清潔試管架後，再套上可密封的夾鏈袋，清潔夾鏈袋表面後，才可以離開生物安全櫃，前往冰箱保存。

而實驗室與實驗室的傳遞，則除了初級容器及可密封的夾鏈袋之外，

還需要再放入生物傳遞箱，而前開操作均在生物安全櫃內完成及清潔，並且在運送過程中，運送人員不得與傳遞箱分開。

10. 有害生物材料之運輸 (Shipping of Hazardous Biological Material)

當有害生物材料需離開單位時，通常是分讓給另一個單位，原則上該單位會提出申請，述明分讓之病原及其用途，以及固態或是液態運送、需要的總量以及送往何處。

關於跨國境的運輸，比較容易的方式是尋求國際航空運輸協會 (The International Air Transport Association, IATA) 傳染性物質運輸相關訓練的快遞公司，並直接購入包裝套組。而關於如何選擇包裝，則可以這樣記，不屬於 category A 的，剩下的生物材料就屬 category B，因此寄送診斷檢體屬 category B。

本堂課講師特別提到乾冰屬危險物質 (dangerous good)，曾經造成包裹炸開，或是包裹漲起呈現球狀；FedEX 也可運輸生物材料，但條件很多，不接受指定病原 (selected agent)，若符合 FedEX 公司的條件收件，該公司運輸是相當迅速的。以及 IATA 要求留寄件者的名字及電話在外箱上，無法聯繫就會直接開罰（有實例）。

其他關於有害生物材料的運輸禁忌，則是不要用自己的車送去、不要用 POST OFFICE、不要在文件上說謊、不要用會漏的容器以及不要使用報紙或是太薄的紙箱。

11. 資訊技術 (Information Technology)

科技日新月異，資訊技術也融入人類的生活，成為不可或缺的一部份，然而許多重要的設定與操作在仰賴資訊技術的同時，也需慎防有心人士的入侵與破壞，本堂課講師以佛羅里達州的供水廠遭駭客入侵事件，警醒所有學員，當資訊技術遭到破壞時，後果恐怕會難以承受。

而目前生物安全研究所高防護實驗室定義需保密的資訊，包含建築平面、保全相關設備、空調系統、實驗室設備、研究資料、診斷結果、策略

及流程、病原保存及地點、病原運輸細節、動物運輸細節及位置以及研究人員個資等，也因此學員們上課區域顯示之平面，僅保留必要的逃生或安全通道資訊，其嚴謹程度令人為之佩服。

本堂課講師為學員說明網路各方面常見之攻擊手法，例如詐財、假網站、名人換臉技術、釣魚網站、殭屍電腦、鍵盤追蹤或勒索軟體等，並提醒家用電腦因無防火牆及防毒軟體保護，建議不要在辦公室使用；設備相關控制軟體，建議納入網路防護；以及研究人員出國出差，可能會遇到偽裝成航空公司或旅館的免費無線網路等。

較為保險的做法建議登入使用多因子認證 (multifactor authentication)；若單位建有虛擬私人網路 (Virtual Private Network, VPN)-，登入後可享有防火牆等安全防護，一旦突然無法登入，表示環境不安全，立即拔去所有插頭；以及網頁最好使用具 **https** 開頭的網頁。

12. 保全總覽 (Security overview)

保全可以執行的方式很多，通常有感應卡/識別證 (badge)或是密碼 (pin)，可因應不同保全區域的需求。保全也仰賴資訊技術 (information technology)的支援，像是決定哪些人員可以進入，這些人員可以開啟哪些門，進入與離開均會進行記錄等，而監視影像等則最少保留 7 天，最多 30 天，若有特殊性質的或是意外，則會另外存檔保留。針對外來廠商需進入保全區域時，則需由單位內人員隨行。

另外保全部份每年也會進行演習，演習可能會是緊急避難，例如龍捲風來襲，或是因應極冷的天候，如何維持設施運作，以及醫療方面的相關演習。

目前生物安全研究所之保全在聯繫方面，利用 **Vocera** 聲控聯繫徽章，可尋找所有單位內人員直接對話，也因此取代大部份通訊及實驗室電話，徽章亦可設置權限，使負責人可直接發全體廣播以利緊急事件處理。

13. 尖銳物處理 (Sharps)

由於實驗室中難免需要針筒或是刀片等尖銳物品的使用，因此避免尖

銳物品傷害人員或是破壞個人防護用品，就需要反覆提醒與訓練。

玻璃物品在二級實驗室中，或許還會經由清洗及滅菌而再次利用，但三級實驗室大多會使用拋棄式或塑膠製，以減少玻璃物品的使用。

針筒的使用則要以避免回蓋為優先考量，若是針筒無法立即使用完畢，就需要考量目前市面上有許多安全針筒可進行選用；若是不得已時，請進行單手回蓋。而手術刀片則需要裝在手柄上才能使用。

講師特別提醒，傷害的產生通常發生於缺乏意識、經驗不足、無意識到他人的存在以及尖銳物品放置不當。因此操作時需合理安排工作區域，光線要充足，尖銳物暴露時，要遠離自己與他人，以及尖銳物廢棄盒要在一個手臂長度內可以到達的地方。

良好尖銳物廢棄盒需具備可關閉、防漏、外盒具顏色與明顯標示以及防穿刺；容器在約 2/3 滿時，就可以進行滅菌丟棄；儘量避免搖晃容器。若可以，加入一些消毒水於容器內，有助於水蒸氣產生。最後提醒勿混淆玻璃廢棄回收及尖銳物廢棄盒，若玻璃物品且無感染性的品項，才能放置於玻璃廢棄回收，否則均歸屬於尖銳物廢棄盒。

14. 綜合問答

研習過程中，講師們對於學員們提出的問題會詳盡的回答，簡要紀錄如下：

- (1). 洽詢生物安全研究所生物安全會相關講師表示，每年都會檢視相關文件，若有必要會進行修正。另提醒文件建議相互獨立，提及相關文件時以「參照 XX 文件」方式處理，以避免修正一處時，還要修正全部文件的相關處。比較需要留意的是設備若有汰換，要記得更新 SOP。
- (2). 化學處置相關資料可以於美國國家環境保護局 (United States Environmental Protection Agency, EPA) 網站上查詢中和危害的方法或是具處理執照的廠商。
- (3). 在執行一項高防護實驗室相關試驗前，事先需提出動物福利以及生物安全會相關申請，不僅生物安全研究所，還需同步知會堪薩

斯州立大學。生物安全會依病原規範並基於風險評估，開始檢視申請內容是否符合相關規範，每一間三級實驗室或動物舍每次均僅能操作一種病原。

- (4). 有關生物安全研究所內大動物 BSL3-Ag 動物實驗室如何於安樂死後移至解剖房，由於目前 5 間大動物 BSL3-Ag 動物實驗室共同解剖房(詳見圖 4. 示意圖)，又美國法規實驗動物不宜聽到、看到或聞到同伴安樂死，做法如下：
- i. 從大動物 BSL3-Ag 動物實驗室內將動物趕至中央走道，中央走道設有柵門，可局限動物活動或利於分區進行試驗活動。
 - ii. 人員離開大動物 BSL3-Ag 動物實驗室，前往解剖室入口，重新以解剖室標準著裝個人防護設備。由於 5 間大動物 BSL3-Ag 動物實驗室可能執行不同程度風險病原之動物試驗，因此個人防護設備等級最高，並以最高危害病原之風險設定之。另洽詢生物安全相關講師，確認負壓梯度最高的空間為解剖房，其次為中央走道，再其次為大動物 BSL3-Ag 動物實驗室。
 - iii. 完成解剖室標準個人防護設備著裝後，進入中央走道，執行安樂死。動物安樂死後，由天車移至解剖房。
 - iv. 由解剖室人員執行解剖 (與執行安樂死人員不同)。動物安樂死後，需澈底清潔中央走道，才可繼續執行下一頭動物安樂死。中央走道清潔即可無需全面燻蒸。

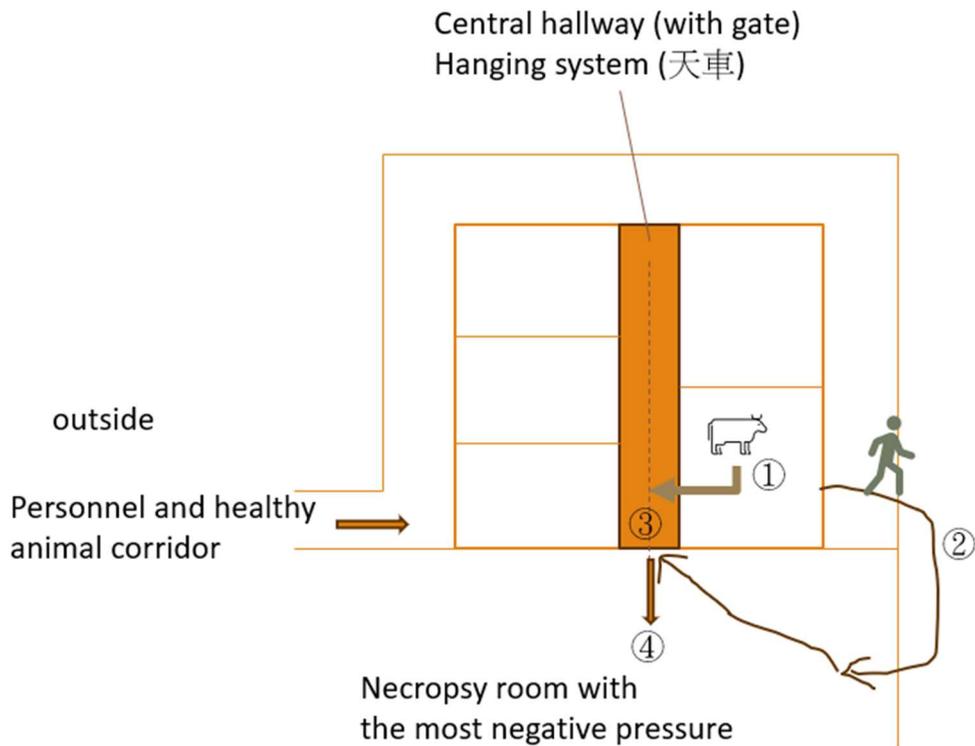


圖 4. 大動物 BSL3-Ag 實驗室示意圖。

(三)小組討論與報告

在研習的最後一堂課是小組討論與報告，每組需選擇一種三級病原進行高防護實驗室活動，研擬生物安全相關措施，內容包含但不限於病原基本背景 (含病原結構與分類、傳播、對動物及人的病原性)、擇定之實驗室等級 (包含如何配合個人防護設備研擬進入與離開)、擇定之個人防護設備、擇定之消毒劑、如何處理廢棄物、如何傳遞檢體、可能的人員醫學監測措施或其他考量。原則上運用本次研習內容之思考模式，可因應本項報告活動。

(四)參訪大動物研究中心 (Large Animal Research Center, LARC)

由於國家生物及農業防衛機構(National Bio and Agro-Defense Facility, NBAF)選址於原大動物研究中心地點 (research hill)，原先大型動物容納有限，又因未來需同時供應生物安全研究所與國家生物及農業防衛機構試驗動物的需求，不僅需要遷址，還需要擴建以容納成年家畜。

新建的大動物研究中心具 BSL-1 及 BSL-2 等級動物舍，同樣具 HEPA 排氣處理及 3000 加侖廢水處理系統，每間實驗室均設有淋浴間，若人員有超過一間動物舍試驗，但具風險上的考量時，可淋浴後再進入另一間動物舍；擴建後，設有新的馬廄，4 間小體型動物舍，可飼養豬、狗及小型反芻動物；2 間大動物舍共 24 欄，每欄舍均獨立排水，減少交叉污染，欄舍的金屬門同時具保定架功能，可飼養馬、牛及大體型母豬。較特別的是設有養狗專用的場所，另設通道門，可使狗前往運動場。此外，尚有一大型空間可供彈性使用，參訪時，該空間已確定用途並且正建設中。

四、心得與建議

本次研習之 14 位參加人員來自四大洲 14 個國家，均有實驗室相關實務經驗，討論生物安全相關議題時，很踴躍參與討論及提出問題，並樂於分享。研習最後的一堂課為小組報告，更是一項艱難的挑戰，需在 5 天的研習時間內，應用本次研習的內容，並與來自不同國家的組員討論、分工以及統合，規劃如何於高防護實驗室操作高風險病原的活動，對於能夠完成這項報告是既高興又有成就感。另外本次研習承蒙生物安全研究所 Susan Hettenbach 女士協助安排眾多學員的行程及餐點，以及 Dana Vanlandingham 教授、Natalia Costa Ball 助理教授及 Adrienne Pohl 助理傾囊相授，因此順利完成研習，並感到獲益匪淺。

此外，印象最深的概念是高防護實驗室與生物安全規範兩者息息相關，但有時往往出乎意料之外，需要依據「意外」與經驗進行滾動式調整。也因此本次研習過程中，最吸引人的不外乎實例的描述與分享，引他山之石來加強自身實驗室的安全，是最寶貴的收穫。另外本次研習的講師們提醒實驗室管理人或負責人，以鼓勵的態度促進研究人員主動告知發生了什麼事，才有機會防範下一次意外的發生。

本次研習之建議如下：

- (一)、 生物安全經驗交流及建立聯繫平台：本研習由堪薩斯州立大學生物安全研究所主辦，該單位為頂尖之高生物安全設備及豐富之相關訓練經驗，已與訓練講師建立聯繫之管道。未來倘有國內或國外相關生物安全交流機會，建請踴躍參與。
- (二)、 分享更新之生物安全相關資訊：承上，新生物安全概念需推及至實務操作人員，始能落實並達成真正的生物安全。
- (三)、 鼓勵及培養實驗室相關操作人員主動告知：透過教育訓練告知相關操作其背後真正的目的，以建立實驗室人員之溝通橋樑，特別是自己的實驗室，他人的實驗室環境、狀態及 SOP 或許會有些微差異，而自家的實驗室人員坦然告知，才能最真實反映實驗室的問題。
- (四)、 未來新建高防護實驗室廣設緊急求救裝置：依本次研習學員經驗分

享，需設想實驗室人員在任何空間都有可能突發不適，建議未來新建高防護實驗室緊急求救裝置之配置分布至所有空間，以利人員求助。