

出國報告（出國類別：開會）

## 赴澳洲參加第五屆國際輻射防護 體系研討會（ICRP 2019）報告

服務機關：行政院原子能委員會輻射偵測中心

姓名職稱：高薇喻技正、尤建偉技士

派赴國家/地區：澳洲

出國期間：108年11月16日至23日

報告日期：109年1月20日

## 目次

摘要.....	i
壹、出國目的.....	ii
貳、出國行程.....	1
參、出席第五屆國際輻射防護體系研討會(ICRP 2019) .....	2
一、    ICRP 委員會之運作現況.....	5
二、    澳洲的輻射防護工作.....	13
三、    重要輻防議題及研究.....	19
四、    ICRP 新出版報告及未來工作重點.....	31
肆、心得與建議.....	33
伍、附件.....	35

## 摘要

第五屆國際輻射防護體系研討會（ICRP's 5th International Symposium on the System of Radiological Protection）於 2019 年 11 月 17 日至 21 日在澳洲阿德雷德舉行，會議地點在阿德雷德展演中心(Adelaide Festival Centre)。

藉參加本次 ICRP 會議，了解國際輻射防護最新之趨勢，掌握對於最新輻射防護建議之採納現況以及未來的發展重點，並學習各國對於輻射防護在各個領域之推動經驗，本次會議在澳洲舉行，也因而獲得了更多有關澳洲在輻防議題上的執行及管制細節，獲益良多。為本中心後續推動環境輻射偵測相關工作之技術方向及精進做法之參考，本案具體建議如下：一、為吸收國際經驗，可持續派員參與國際研討會並可就近參訪相關單位組織，有助獲取最新發展技術資訊，作為國內未來相關作業參考依據。二、天然放射性物質(NORM)的議題是近年的輻防重點，包含 NORM 的職業曝露和氡氣等，建議可持續關注其輻射防護的議題發展，以及收集其他國家管制經驗，可有助於我國精進相關規範，與國際接軌。三、執行環境偵測係為落實輻射防護管制工作，建議可持續收集國際上目前的環境偵測作法，作為本中心辦理環境檢測相關作業時的參考，以達到保護環境及人員安全之目的。

## 壹、出國目的

游離輻射於國內民生領域已有廣泛使用，尤其在醫療輻射部分近年來更隨著科技的進步有長足的發展，再加上民眾也對環境輻射的相關議題也愈加關心，為與國際各國輻射防護管制最新趨勢接軌並與時俱進，只有持續觀察國際輻射防護委員會（International Commission on Radiological Protection，ICRP）提出的不斷提高的安全要求，才有辦法在基於輻射防護理念而建立的立法框架下，落實管制工作，落實游離輻射的安全應用。

行政院原子能委員會輻射偵測中心（以下簡稱本中心）本次特赴參加由國際輻射防護委員會（ICRP）在澳大利亞阿德雷德所舉辦的 2019 年第五屆國際輻射防護體系研討會（ICRP's 5th International Symposium on the System of Radiological Protection），瞭解國際最新輻防管制趨勢並收集相關措施之方向，可作為臺灣擬訂相關輻防管制政策時之參考，透過研討會的資訊交流，亦有助於執行相關輻射防護事項時納入國際經驗，進一步精進或更新實務做法，強化我國輻射管制工作之推動。

## 貳、出國行程

本次因公出國係為參加由國際輻射防護委員會 (ICRP) 所舉辦的 2019 年第五屆國際輻射防護體系研討會 (ICRP's 5th International Symposium on the System of Radiological Protection)，行程如下表 1:

表 1、出國行程

日期	地點	工作內容
108.11.16(六)	台灣(高雄、台北) 、澳洲 (阿德雷德)	路程(高雄→台北→阿德雷德)
108.11.17(日)-11.21(四)	澳洲 (阿德雷德)	參加第五屆國際輻射防護體系研討會(ICRP 2019)
108.11.22(五)-11.23(六)	澳洲 (阿德雷德) 、台灣(台北、高雄)	路程(阿德雷德→台北→高雄)

### 叁、出席第五屆國際輻射防護體系研討會(ICRP 2019)

近年來國際間關注的輻防議題，除了愈來愈重視背景輻射對民眾造成的影響，以及持續檢討的醫療行為對病患及輻射工作人員之輻射劑量限度，這也是延續 2017 年在法國巴黎舉行之第四屆國際輻射防護體系研討會（ICRP's 4th International Symposium on the System of Radiological Protection）的關注議題，包括：低劑量輻射效應及低劑量率、劑量係數的檢討與精進、醫療輻射管制的精進、災後復原以及輻射防護工作在環境和人的整合等。

本次研討會在澳洲舉辦，由澳大利亞輻射防護協會（Australasian Radiation Protection Society, ARPS）、澳大利亞輻射防護及核能安全署（Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA）與國際輻射防護委員會（ICRP）共同舉辦，研討會地點選在南澳首府阿德雷德。因此，研討會除了以現今國際關注的最新輻防議題，主題的選擇上也特別考量澳洲在輻防管制工作的在地特色，以「採礦(Mines)」、「醫療(Medicine)」、「火星任務(Mars)」三大標題為主軸，分別就天然放射性物質（Naturally Occuring Radioactive Material, NORM）管理、醫療輻射及宇宙射線曝露等議題進行討論。以「採礦(Mines)」主題為例，澳洲雖然沒有核能電廠，但擁有全球約 40% 的鈾礦儲存量是世界性的產鈾大國，因此，採礦領域是澳洲的輻防管制重點，透過鈾礦開採過程的工作人員輻射防護及環境保護現況及問題，進而延伸到其他天然放射性物質管制議題的探討，包括氬氣、建築材料、消費性產品等的 NORM 相關研究。研討會於 11 月 17 日至 11 月 21 日舉行，會議進行地點在阿德雷德展演中心(Adelaide Convention Centre，如圖 1)，有超過 400 名各國代表參加，圖 2 為本中心與會人員與行政院原子能委員會與會人員的合影。

圖 1、ICRP2019 會議舉辦地點



圖 2、本中心與會人員於會場合影



開幕式是由 ICRP 主席克萊爾·庫辛斯 (Claire Cousins) 主持(如圖 3)，除了開閉幕的集會演講(如圖 4)在大會議廳舉行外，其餘場次都是依 Mines·Medicine、Mars 三個不同的主題在不同的小型會議室進行，以主題方式邀請該主題相關研究講者進行口頭發表，再由兩位與談人引導下和與會來賓進行交流討論(如圖 5、圖 6)。

圖 3、ICRP 主席 Claire Cousins



圖 4、ICRP 2019 開幕式



圖 5、11 月 18 日分組研討



圖 6、11 月 20 日分組研討



另外，會場亦有輻防相關主題的海報發表(如圖 7)，主辦單位同時也邀請澳洲本土輻防管制機關、業者及儀器廠商進行設攤宣導，包括各式輻射偵測儀器及人員劑量劑的展示(如圖 8、圖 9)。

圖 7、海報展示



圖 8、人員劑量劑展示



圖 9、輻射偵測儀器展示



ICRP 每二年辦理本研討會，目的之一，也包含透過這個平台向輻射科學界發表其近兩年(2017-2019)的輻射防護研究成果及最新建議，本次研討會結束，ICRP 委員會也會就未來的重點工作做出討論，本次研討會前 ICRP 發表有關「放射性藥物治療之輻射防護 (Radiological Protection in Therapy with Radiopharmaceuticals)」第 140 號報告，另外，也在會中發表「職業攝入核種 (Occupational Intake of Radionuclides)」第 141 號報告的第四部份，以及討論「產業過程中天然放射性物質的輻射防護 (Radiological Protection from Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industrial Process)」的第 142 號報告等兩份新的建議書；本報告除了包含了本次研討會期間所聽的演講內容外，也會就 ICRP 委員會之運作現況及未來的輻射防護工作推動重點進行整理說明。

## 一、 ICRP 委員會之運作現況

國際輻射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 目前由一個主委員會(Main Committee)和 4 個專門委員會組成，主委員會(Main Committee)由 12 名成員和 1 名主席組成，目前的主席為瑞典籍 Lars-Erik Holm 博士；ICRP 與其他非營利的獨立科學研究機構一樣，委員會根據 ISR (Independent study and research) 批准的規則選舉自己的成員，續

訂確保每 4 年必須更換 3 至 5 名成員。委員會通常由 15 至 20 名成員組成，目前各委員會的委員是以生物、醫學及物理領域專家為主。四個專門委員會各別負責不同的輻防次領域，第一專門委員會(Committee 1)負責輻射效應的議題，第二專門委員會(Committee 2)主要討論輻射曝露劑量議題，第三專門委員會(Committee 3)則是主管醫療輻射防護，第四專門委員會(Committee 4)則是對輻射相關應用提出防護建議；確保輻射運用不會對環境造成影響也是 ICRP 關注的重要目標，雖然目前沒有成立專責的委員會負責，但亦仍持續進行，並依其所涉主題相關性，併入其他委員會的研究範疇並進行討論。

任務小組(Task Group)是各委員會下設的臨時任務編組。ICRP 的大部分工作，特別是要在 ICRP 歷年年報所發布的報告，都是由其所屬的任務小組(Task Group)完成的。通常，會針對某個重要的輻防議題而成立一個任務小組，在委員會的指導之下執行相關的研究，彙整相關成果做成報告；當該議題的研究結束之後，任務小組就會結束任務編組改進行其他研究；也有些任務小組會同時負責一份以上的報告。任務小組的成立也有因為撰寫輻射防護相關報告以外的其他目的，例如向 ICRP 主委員會提出建議。ICRP 也特別於研討會中介紹其目前持續運作中的任務小組工作重點，目前運作中的任務小組有 28 個，任務小組有些是隸屬單一委員會的，有些是跨委員會的；各任務群負責的工作領域如下表 2，亦即 ICRP 目前及未來所關注的輻防項目。其中，TG-115、TG-116 及 TG-117，是在本次 ICRP 研討會後成立的任務小組，未來將分別研究太空人、放射治療影像學及正子造影及正子電腦斷層造影的輻射防護議題。從任務小組所負責的工作領域，也可以了解各委員會的功能及其關切的輻防領域和未來發展重點。

表 2、ICRP 任務小組(ICRP Task Group)及其工作領域

任務小組 (TG)	工作領域	所屬委員會
TG -36	核子醫學診斷中患者的輻射劑量(Radiation Dose to Patients in Diagnostic Nuclear Medicine)	2、3
TG -64	$\alpha$ 發射體的癌症風險(Cancer Risk from Alpha Emitters)	1
TG -72	相對生物效應及參考動植物(RBE and Reference Animals and Plants)	主委員會
TG -76	研究天然放射性物質的應用情形(Application of the Commission's Recommendations to NORM )	4
TG -79	使用有效劑量作為與風險相關的放射防護量(The Use of Effective Dose as a Risk Related Radiological Protection Quantity)	2
TG -89	近距離放射治療中的職業輻射防護(Occupational Radiological Protection in Brachytherapy)	3
TG -90	體外曝露的劑量轉換係數(Age-dependent Dose Conversion Coefficients for External Exposures to Environmental Sources)	2
TG -91	低劑量和低劑量輻射防護下的輻射風險推斷(Radiation Risk Inference at Low-dose and Low-dose Rate Exposure for Radiological Protection Purposes)	1
TG -93	更新 ICRP 第 109 號報告及第 111 號報告(Update of ICRP Publication 109 and 111)	4
TG -95	體內曝露的劑量轉換係數(Internal Dose Coefficients)	2
TG -96	電腦模擬假體與輻射傳輸計算(Computational Phantoms and Radiation Transport)	2
TG -97	固體放射性廢物在地表和近地表處置建議之相關應用(Application of the Commission's Recommendations for Surface and Near Surface Disposal of Solid Radioactive Waste)	4
TG -98	歷年工業、軍事運用及核子活動造成的污染場地造成的輻射曝露影響(Application of the Commission's Recommendations to Exposures Resulting from Contaminated Sites from Past Industrial, Military and Nuclear Activities)	4

表 2、ICRP 任務小組(ICRP Task Group)及其工作領域(續)

任務小組 (TG)	工作領域	所屬 委員會
TG -99	參考動植物單體(Reference Animals and Plants (RAPs) Monographs)	1
TG -102	輻射損傷評估方法論(Detriment Calculation Methodology)	1
TG -103	網格類型參考計算模型(Mesh-type Reference Computational Phantoms , MRCP)	2
TG -105	輻射防護系統之應用對環境的考量(Considering the Environment when Applying the System of Radiological Protection)	4
TG -106	可移動之高活度射源相關的各種應用(Application of the Commission's Recommendations to Activities involving Mobile High Activity Sources)	4
TG -108	醫學放射成像有關數位放射攝影、螢光檢查和 CT 的輻射防護最適化 (Optimisation of Radiological Protection in Digital Radiography, Fluoroscopy, and CT in Medical Imaging)	3
TG -109	醫學診斷和治療中輻射防護的倫理(Ethics in Radiological Protection for Medical Diagnosis and Treatment)	3、4
TG -110	獸醫實務的輻射防護 (Radiological Protection in Veterinary Practice)	3、4
TG -111	(Factors Governing the Individual Response of Humans to Ionising Radiation)	1、3
TG -112	事故劑量測定 (Emergency Dosimetry)	2
TG -113	常見診斷用 X 射線成像檢查的參考器官和有效劑量係數 (Reference Organ and Effective Dose Coefficients for Common Diagnostic X-ray Imaging Examination)s	2、3
TG -114	輻射防護系統的合理性和耐受性 (Reasonableness and Tolerability in the System of Radiological Protection)	4
TG -115	太空人的輻射防護風險和劑量評估(Risk and Dose Assessment for Radiological Protection of Astronauts)	1
TG -116	放射治療影像學中的輻射防護(Radiological Protection Aspects of Imaging in Radiotherapy)	3
TG -117	正子造影及正子電腦斷層造影的輻射防護	3

另就各專門委員會之專長領域及關切議題整理如下：

第一專門委員會(Committee 1) 主要關注輻射效應的議題，包含機率效應（致癌與遺傳效應）及確定效應（器官或組織的功能損傷）的風險和相關的輻射作用機制；其對輻射效應研究的層面包含生命體的不同層級，從 DNA、細胞、組織、動物、人類、群體影響的探討，同時也評估輻射對保護人類和環境的影響。Committee 1 下的任務小組包括有 TG-64、TG-91、TG-99、TG-102、TG-111、TG-115 等；第一專門委員會近年的重要任務為精進輻射損傷的計算方法，正在重新檢視 ICRP-103 號報告，預期將有新的劑量轉換因子。第一專門委員會預定在 2020 年提出來討論的議題包括有：循環系統疾病、有害物質計算中的非輻射因素、遺傳和世代相傳的影響等，以及重新審查 ICRP 第 92 報告，檢討相對生物效應 Relative Biological Effectiveness (RBE) 和輻射權重因子 (radiation weighting factors)。

第二專門委員會(Committee 2) 主要在開發用於評估體內與體外曝露劑量方法，包括輻射在生物動力學和劑量學的探討，並建置劑量評估模型，再結合現有的參考數據和劑量係數，用於計算輻射對人類和環境的影響，包含非人類生物群的劑量學和空間劑量學之發展。第二專門委員會下的任務小組包括有 TG-36、TG-79、TG-90、TG-95、TG-96、TG-103、TG-112、TG-113 等；第二專門委員會近期的工作重點在於追蹤整合 UNSCEAR / IAEA 在氬氣劑量學方面的發展、負責 ICRP 重要詞彙整理，以及負責 ICRP 在「ICRPæ dia」專區(連結網址 [http://icrpaedia.org/Main\\_Page](http://icrpaedia.org/Main_Page)) 的劑量資訊審查與公開。「ICRPæ dia」專區(如圖 10)是 ICRP 為了將輻射防護及相關劑量管制資訊做有系統地公開而開發建置的平台，可供外界方便查詢各類重要的輻射防護信息。第二專門委員會預定在 2020 年提出來討論的議題包括有：放射性核種職業攝入的第五部分研究、使用參考兒科影像進行內部劑量評估的特定吸收參數、放射性核種

攝入的公眾劑量係數及網格類型參考兒科影像等議題。

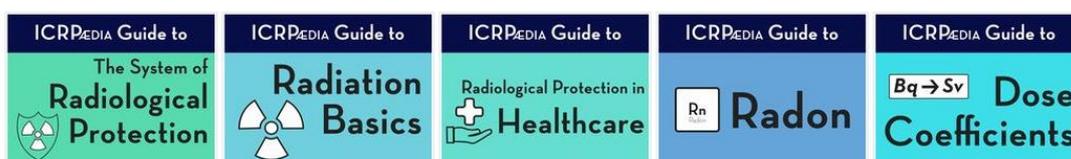
圖 10 ICRP 建置的「ICRPæ dia」資訊公開專區



Welcome to **ICRPædia**, the home for information on The System of Radiological Protection developed by The International Commission on Radiological Protection (ICRP). The System of Radiological Protection is the basis of all standards, regulations, and practice of radiological protection world-wide, for the protection of patients, workers, the public, and the environment. The definitive reference for the recommendations and guidance of ICRP is the dedicated journal *Annals of the ICRP*. ICRPædia is still in its infancy, and growing. Come back regularly to see what's new.

#### ICRPædia Guides

If you're looking for somewhere to start, our guides are the perfect place! Each guide contains a few modules that cover the topic at a high-level. ICRPædia contains much



第三專門委員會(Committee 3)主管醫療輻射防護議題，包括醫學診斷、治療、動物醫療以及生物醫學研究等事項。Committee 3 下的任務小組包括有 TG-36、TG-89、TG-108、TG-109、TG-110、TG-111、TG-113、等；其產製的重要報告包括有：早期的 ICRP-87 號報告(CT 診斷)、ICRP-93 號報告(數位顯影技術問題)、ICRP-102 報告(多重偵測器 CT)、ICRP-117 報告(螢光透視檢查)及 ICRP-120 號報告(心臟病學)等。ICRP 已經在 2006 年發表的 101b 號報告公布了輻防最適化的原則，但並未特別提到醫療最適化的議題；因此，第三專門委員會近年著重在新型醫療技術的輻防議題，近年的重要出版品包括有 ICRP-121 號報告(兒童醫學診斷)、ICRP-129 號報告(放射治療錐狀射束電腦斷層的輻射防護)及 ICRP-135 號報告(醫學影像的診斷參考水平)等；另外，「個別的輻射敏度」與「輻射造成的心血管疾病」也是第三專門委員會近年關注的議題，並自 2016 年起組成了工作小組開始針對議題進行探討。第三專門委員會未來的重點議題為：放射治療影像學中的輻射防護及正子造影及正子電腦斷層造影的輻射防護，並已於會後成立任務小組 TG -116、TG -117 執行。

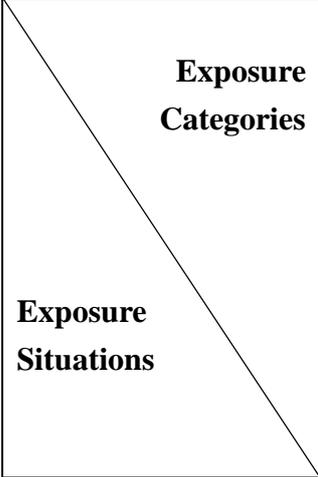
第四專門委員會(Committee 4)主要負責輻防原則的檢視與更新，輻防原則

的確立必須考量所有可能的曝露情境，考慮對人類和環境保護的有效性，提出最佳化的建議方案；委員會也會對各種曝露情境下提出輻防建議並提供諮詢。第4專門委員會所涉及的領域主要是既存曝露與緊急曝露情境，包括日本福島核子事故的經驗與教訓，以及整個輻防體系的架構與基石，並且要將環境的輻射防護整合到輻防體系中；另外，這個委員會也負責一些民生關注議題，如用於人體掃描的輻射、放射性廢棄物、移動型高活度射源(如:非破壞性檢測業的 Ir-192 射源)的輻射防護等。第四專門委員會於 2016 年發表的建議書為 ICRP-132 號報告 (Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation)，是討論有關宇宙射線對航空工作人員的輻射防護，相關的研究也持續至今，成為本次研討會的三大主題之一。會議結束後，第四專門委員會進一步成立了 TG-115，未來將就太空人的輻射防護風險和劑量評估進行評估。此外，第四專門委員會在工業過程中 NORM 的輻射防護建議，也於研討會結束後隨著在 ICRP 第 142 號報告書發布。

現行的輻防體系仍以輻防三原則-正當化 (Justification)、最適化 (Optimization) 與劑量限制 (Limitation) 為中心。表 3 為 ICRP 目前建議的曝露情境及曝露類別對應的輻防情境矩陣表，依據 ICRP 發表的建議書，在曝露情境上，分為計畫曝露情境(planned exposure situation)、緊急曝露情境(emergency exposure situation)和既存曝露情境(exiting exposure situation)三種情境；曝露類別/受體則區分成輻射工作人員的職業曝露 (Occupational exposure)、一般民眾的公眾曝露 (Public exposure) 及病人的醫療曝露 (Medical exposure)；對應不同的曝露情境與防護對象，就有不同的劑量標準可供依循，如參考基準 (Reference Levels)、劑量約束 (Dose Constraints)、劑量限值 (Dose Limits)。近年來新增關注的環境曝露 (Environment exposure) 則是針對物種，其輻防則是由參考動物或植物 (Reference Animals and Plants ; RAP) 所得之導出參考基準 (Derived Consideration Reference Levels ; DCRL's)。要達到輻

防原則，有些必要項目包括事前事後的評估、責任的釐清與歸屬、過程的公開透明與架構的包容性，都必須持續的納入考量，也是 ICRP 運作的宗旨。

表 3、ICRP 目前建議的曝露情境及曝露類別對應的輻防情境矩陣表

 <p style="text-align: center;"><b>Exposure Categories</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Exposure Situations</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b><u>Occupational Exposure</u></b> <i>Exposure of workers incurred as a result of their work</i></p>	 <p style="text-align: center;"><b><u>Public Exposure</u></b> <i>Exposure of members of the public other than occupational and medical exposures, and not including the normal local natural background radiation</i></p>	 <p style="text-align: center;"><b><u>Medical Exposure</u></b> <i>Exposure of patients as part of their diagnosis or treatment, volunteers helping in the support and comfort of patients, and volunteers in biomedical research</i></p>
 <p style="text-align: center;"><b><u>Planned Exposure Situation</u></b> <i>Situations where radiological protection can be planned in advance, and exposures can be reasonably predicted</i></p>	e.g. working in a hospital, uranium mine, or nuclear power plant	e.g. visiting a hospital, living near a nuclear power plant	e.g. getting an x-ray, CT scan, or radiation treatment
 <p style="text-align: center;"><b><u>Existing Exposure Situation</u></b> <i>Situations that already exist when a decision on control has to be taken</i></p>	e.g. aircrew and astronauts exposed to <u>cosmic radiation</u>	e.g. <u>radon gas in the home</u>	n/a
 <p style="text-align: center;"><b><u>Emergency Exposure Situation</u></b> <i>Unexpected situations that may require urgent protective actions</i></p>	e.g. in the immediate response to an accident	e.g. during a major accident	n/a

來源:[http://icrpaedia.org/Exposure\\_Categories\\_and\\_Situations](http://icrpaedia.org/Exposure_Categories_and_Situations)

## 二、 澳洲的輻射防護工作

澳洲的輻防體系圖架構如圖 11，其輻防架構與策略是和 ICRP 一致的。

圖 11、澳洲的輻防體系架構

(by Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency,  
ARPANSA)



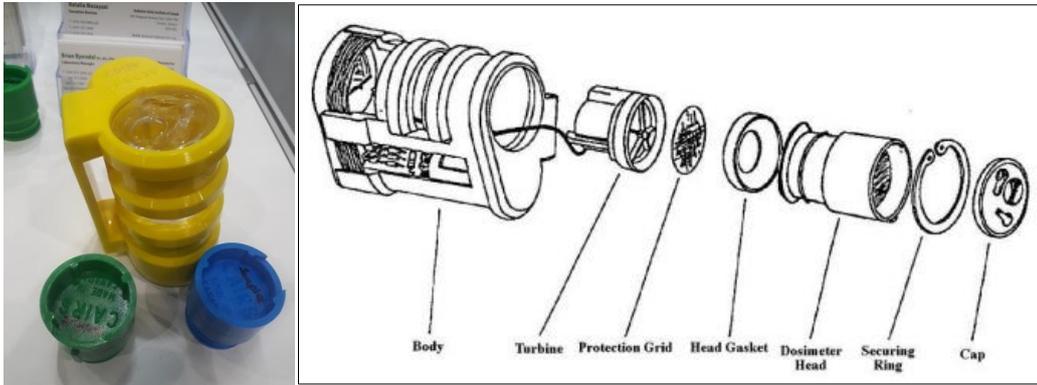
本次會議在澳洲舉行，澳大利亞輻射防護協會（ARPS）與澳大利亞輻射防護及核能安全署（ARPANSA）都有參與，而當地的大型輻防業者也是研討會的重要贊助商；因此，研討會中澳洲本土特色的輻防議題及研究也有較大比重的討論。例如採礦這個議題，澳洲的 BHP 公司是世界最大的綜合礦業公司，在 25 個國家擁有廣泛的採礦業務，也是本次研討會的最大贊助商之一，該公司擁有目前銅年開採量最大的 Escondida 銅礦和鈾儲量最多的 Olympic Dam 鈾礦，爰研討會中該公司也有受邀分享對員工及環境的輻射防護經驗。以下茲就澳洲在本次研討會發表的內容整理如下：

## (一) 採礦從業人員的輻射管制

澳大利亞先天具有豐富之礦物資源包含煤礦、黃金、銀及天然鈾礦等礦物資源，其中鈾礦為天然放射性物質經自發性衰變後產生氡氣為阿伐衰變。在大多數工作場所，採礦工作人員曝露於氡氣環境下尚未被視為職業曝露。然而，為了更進一步地確保人員及環境的安全，澳洲對於鈾礦的輻防管制手段提供指南《RPS G-2：在既存曝露情況下之輻射防護指南》，設立管制氡之參考水平。對大多數工作場所中，若參考水平高於  $200 \text{ Bq/m}^3$ ，則建議採取行動透過改善通風來降低水平，若無法執行時，建議減少空間佔用率（居家房屋亦同）。對高於參考水平  $1000 \text{ Bq/m}^3$  的工作場所中，應將工人視為職業曝露。在這種情況下，依據《RPS C-1 既存曝露情況的輻射防護指南》中的規定，對該職業曝露設置合適的工作條件。澳洲對民眾住屋及鈾礦場等進行氡氣環境輻射背景調查，尤其鈾礦場調查，因良好的工程控制和通風環境下，調查結果顯示當地的參考水平低於世界平均水平，劑量評估結果遠低於法規規範，故無須進行管制。

放射性氡氣造成體內曝露經由呼吸道、食入、攝入或傷口等方式進入體內後，不易排出體外，造成該器官偏高約定等價劑量；採礦工人的工作環境充滿長半衰期放射塵(long-lived radioactive dust, LLRD)，長時間曝露於具有氡氣及釷射氣(Thoron)環境下，可能造成偏高的人員劑量。因此，針對礦業從業人員，澳洲會利用可監測阿伐粒子的個人劑量計(Personal Alpha Dosimeter，如圖 12)來評估礦坑工作人員之氡氣及釷射氣曝露量；這個劑量計裝 1.2V 電池即可運作，重量只有 300 克，由採礦工人隨身攜帶進行監測，在正常空氣流速(每小時 4 公升)下連續採樣 12 小時，監測工人的輻射曝露量。

圖 12、用於礦坑工人的個人阿伐劑量計



另對 16 個國家/地區的洞窟內工作人員進行劑量評估之研究，全球氡氣 (Rn-222) 之活度濃度年平均值約為  $6,626 \text{ Bq/m}^3$ ，利用 ICRP 所假設情境下，洞窟內工作人員長時間曝露於年平均氡氣活度濃度  $> 1,000 \text{ Bq/m}^3$  和 ICRP 假設工作情境下工作（參考條件：每年 2,000 工作小時、平衡因子  $F = 0.4$ 、劑量轉換因子 (Dose Conversion Factor, DCF) =  $14 \mu\text{Sv}/\text{kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^3$ ），經計算結果採礦業之工作人員受到的劑量為  $186 \text{ mSv/年}$ ；然而，多數採礦業之工作人員，在洞窟的時間不會超過 2,000 小時，因為 2000 小時通常是針對一般上班族，進一步再評估採礦業之工作人員於洞窟內的時間為 600 小時，故更改假設情境後，工作人員平均劑量下降至到  $56 \text{ mSv/年}$ 。對於輻射工作人員之劑量限度規範應小於  $20 \text{ mSv/年}$ ，倘若礦業之工作人員有可能超過  $20 \text{ mSv/年}$ ，雇主須對工作人員重新安排工作項目，減少人員受輻射危害。

除此之外，本次研究依據 ICRP 第 115 號報告重新評估參考人吸入氡氣後造成肺癌之風險，並對洞窟內之工作人員進一步進行風險評估，該風險較過往評估值高於 4-6 倍（主要參考 ICRP NO.65 「家中及作業場所之 Radon-222 輻射防護」及 NO.137 「放射性核種的職業曝露：第 3 部分」）。依據 ICRP 公佈最新方法進行評估體內曝露之劑量轉換因子，可更準確了解採澳洲礦業工作人員所受之年劑量限度有無超過輻射工作人員之劑量限度，予以改善及建議採礦業之工作人員有更好的輻射防護。

## (二) 醫學影像劑量導引原則

為了強化醫學影像之劑量管制，澳大利亞輻射防護暨核能安全局（ARPANSA）提供國家診斷參考水平服務（National Diagnostic Reference Levels, NDRLS），收集澳洲各醫療機構所使用之電腦斷層掃描儀（Computed Tomography, CT）、核子醫學（包括正子斷層掃描儀（Positron Emission Tomography, PET）中的輻射劑量數據以及影像導引介入程序（Image Guided Interventional Procedures, IGIP），訂有澳大利亞的國家診斷參考水平（Diagnostic Reference Levels, DRL）如圖 13，以提供醫學影像之劑量導引原則，並建有診斷參考水平調查網頁進行數據收集(如圖 14)。藉由檢查中，醫療人員提供典型的曝露條件、劑量考量因素及攝影設備作為劑量指導 DRL 之反饋依據，進一步強化病患曝露所受之醫療品質。除此之外，NDRLS 有助於提高民眾對醫學影像中輻射劑量的瞭解，並建立了輻射作業之劑量導引基準值，澳大利亞之國家 DRL 作為關鍵群體之病患劑量與其他國家/地區相較之下大致相符。目前澳大利亞已提供八種例行成人 CT 檢查、三種兒童及嬰兒 CT 檢查，並制定完善的 DRL，其績效結果顯示 CT 劑量指標逐年呈下降趨勢，病患劑量降低了 20%-30%，也較其他國家來的為低(如表 3)。對於未來願景，則以 NDRLS 所收集數據，將繼續沿用審查及修訂國家 DRL，藉此提升合理抑低—「利大於弊」之精神原則。

表 3、澳洲與國際間的電腦斷層醫療曝露劑量比較表

檢查部位	澳大利亞		英國		美國		德國		韓國		日本	
	CTDI <sub>vol</sub>	DLP										
	(mGy)	(mGy cm)										
頭	52	880	60	970	56	962	60	850	63	1119	85	1350
頸椎	23	470	28	600	28	562	20	300	18	434	-	-
胸部	10	390	12	610	13	469	10	350	7	297	15	550
腹部	13	600	15	745	15	755	15	700	10	472	20	1000
腰椎	26	670	-	-	-	-	10	180	18	601	-	-

圖 13、澳大利亞 ARPANSA 診斷參考水平調查網頁資料

Settings

You must complete all questions marked with an asterisk \*

kVp *	<input type="text"/>	Rotation Time *	<input type="text"/>	Reconstruction Slice Width *	<input type="text"/>
mAs *	<input type="text"/>	No. of Phases *	Please Select ▾	Reconstruction Algorithm Kernel *	<input type="text"/>
Pitch *	<input type="text"/>	Helical or Axial *	<input type="radio"/> Helical <input type="radio"/> Axial	Scan Field of View	<input type="text"/>
Contrast *	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	Detector Configuration *	<input type="text"/> X <input type="text"/>	Beam Shaping Filter	<input type="text"/>
Dose Modulation *	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	Iterative Reconstruction *	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	Noise Index	<input type="text"/>

Comments:

Save Settings Cancel

圖 14、澳大利亞之核子醫學診斷參考水平手冊



## Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels (DRLs)

### General nuclear medicine

The 25<sup>th</sup> percentile, median and DRL doses are expressed in term of MBq, unless otherwise stated.

Category	Procedure Name	Nuclide	Chemical Form	Route of Admin.	25 <sup>th</sup> percentile	Median	DRL
Cardiac	Cardiac first pass	Tc-99m	Per technetate , Red cells	IV	590	875	930
	Cardiac L/R shunt	Tc-99m	Per technetate	IV bolus	400	550	900
	Cardiac R/L shunt	Tc-99m	MAA	IV	100	150	185
	Gated blood pool scan	Tc-99m	Red cells	IV	900	990	1030
	Myocardial hot spot	Tc-99m	PYP	IV	720	800	800
	MPI - Rest	Tl-201	Chloride	IV	80	115	120
	MPI - Stress	Tl-201	Chloride	IV	100	120	120
	MPI - Re-injection	Tl-201	Chloride	IV	30	40	40
	MPI - Single phase	Tc-99m	Tetrofosmin , MIBI	IV	350	475	620
	MPI - 1 day rest + stress	Tc-99m	Tetrofosmin , MIBI	IV	1250	1400	1520
	MPI - 1 day rest ( <sup>201</sup> Tl)/stress ( <sup>99m</sup> Tc)	Tl-201	Chloride	IV	100	110	130
		Tc-99m	Tetrofosmin , MIBI	IV	900	1000	1050

619 Lower Plenty Road, Yallambie VIC 3085  
+61 3 9433 2211

38-40 Urunga Parade, Miranda NSW 2228  
PO Box 655, Miranda 1490  
+61 2 9541 8333

ndrid@arpansa.gov.au  
arpansa.gov.au

### (三) 天然放射性物質之管理

依據國際輻射防護委員會 (ICRP) 和國際原子能機構 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 最新建議，澳大利亞輻射防護和核能安全局 (ARPANSA) 對於既存曝露情況是否加入管制已存在曝露情況 (包括緊急

情況後長時間曝露情況進行探討)，並基於 IAEA 國際基本安全標準 GSR 第 3 部分 (IAEA 2014) 對輻射防護與輻射源之安全的基本原則，澳大利亞通過輻射健康委員會與州和地區監管機構合作頒布的《既存曝露情況的輻射防護指南》(2017 年)，該指南規範澳大利亞民眾與環境於既存曝露情況下應受到的防護原則，並在現有的輻射防護導引 (國際和國家範圍內) 中，得以令主管機關與業者達成共識，將處理天然放射性物質 (Naturally Occurring Radioactive Material, NORM) 的作法視為「計畫或既存」曝露進行管理。然而，倘若對各種天然放射性物質之業者所持有之輻射源曝露皆視為「既存曝露情況」時，導致有許多的行政、管制及實務面仍須進行探討且面臨嚴峻的挑戰，因法規的規範對各業者和實踐輻射防護產生重大影響，澳洲未來對於天然放射性物質的管制方針，會採用「綜合管理天然放射性物質方法」、「天然放射性物質強度分級方法」、「優化及合理性原則」、「使用適當的劑量標準確保全面實施保護策略」，以達到輻射防護管制目的。

#### (四) 核子醫學藥物反應器之海陸域環境輻射背景調查

澳大利亞核子科學技術組織 (Australian Nuclear Science and Technology Organisation, ANSTO) 對其核子醫學藥物反應器進行海陸域之環境輻射背景調查及劑量評估。因研究之設施主要生產 Mo-99，為澳洲境內放射性藥物主要供應鏈之一。對於評估考量因素涵蓋放射性惰性氣體核種 (例如：氙) 以及其餘放射性核種之評估，背景調查地點位於 ANSTO 周圍的灌木叢邊界中的陸地生物以及經過污水處理的排放口周圍沿海海洋生物 (當地社區、醫院的經過三次處理的污水以及處理 ANSTO 的廢水)。

研究調查依據澳大利亞輻射防護和核能安全局 (ARPANSA) 在 2015 年頒布的《環境輻射防護》，該指引與國際輻射防護委員會 (ICRP) 和國際原子能機構 (IAEA) 當前實踐方法一致。經調查陸地途徑，最大劑量評估貢獻來自放射性核種氙和氙，輻射劑量  $<0.0005 \mu\text{Gy/hr}$ ；海洋途徑，劑量率  $<3$

$\mu\text{Gy/hr}$  較陸地途徑高。本調查使用極為保守假設，所有生物的潛在風險和劑量率皆低於國際和澳大利亞指引水平，包括潛在有害影響的最低通用篩選基準（ $10 \mu\text{Gy/hr}$ ）。該研究得出的結論為 ANSTO 的運營對野生動植物沒有造成重大影響，對影響當地的野生動植物甚小。最後透過該研究建議應定期重新評估劑量影響因素，包括最近一次所測得活度濃度與本次研究中測得活度濃度進行比較，以利未來持續把關環境輻射對民眾所造成之影響及評估。

### 三、重要輻防議題及研究

本次研討會在主題的選擇上以「採礦(Mines)」、「醫療(Medicine)」、「火星任務(Mars)」三大標題為主軸，分別代表天然放射性物質（Naturally Occuring Radioactive Material, NORM）管理、醫療輻射及宇宙射線曝露等議題，共分成四日、17 場次進行各子題討論，涵蓋各領域的輻射防護議題及最新研究成果；在主題的選擇上，也可以看出 NORM 的管理、醫療輻射及宇宙射線曝露將是未來 ICRP 的研究重點。本次研討會以礦業、醫療及火星為三大主題，因此，也特別選擇礦業從業人員及太空人的諸多相關主題的探討，包含劑量評估與管理、所涉及到的環境監測，以及長時間曝露偏高背景輻射之健康監測發現等等；然而，這兩項產業在台灣是幾乎沒有從業人員的，但其所延伸出的天然背景輻射研究結果及議題，亦可為我國進行 NORM 相關產業輻射防護管制之參考。至於在醫療的部分，臺灣醫療機構所使用輻射源整體比例逐年攀升，與國際間造成病患之醫療曝露情形相似，掌握醫療輻射的先進研究內容及發展方向，亦會對我國未來之管制工作有所助益。

環境輻射背景調查及國民輻射劑量評估為本中心重要職掌之一，爰特別收集研討會中的相關主題；掌握研討會所發表的最新研究方向及管制趨勢，可協助本中心未來發展或執行環境輻射背景調查及國民輻射劑量評估相關計畫時，能跟上國際的腳步。透過研討會的專業交流，得以了解各國為了落實 ICRP 頒布之指導原則，在執行面遇到的各類問題以及技術面的解決方式，不

論是在政策面與實務面都有充分的技術及經驗交流，可為我國未來執行相關輻防管制策略之借鏡與參考。

### (一)食入海鮮食品之 Po-210 體內曝露劑量評估

自 1960 年以來，在海洋生物中的 Po-210 為全球輻射防護所關注的議題之一，因天然鈾系 (U-238) 自發性衰變後，所產生子核種阿伐衰變 Po-210 為較高的放射性核種毒性，將會造成民眾偏高的體內曝露。

中國大陸針對渤海、黃海、東海及南海主要四大海域，進行食用海鮮食品之採樣及分析，選擇前述海域的主因為當地居民飲食習慣以食用海鮮食品為主，其海鮮食品種類包含一般貝類、頭足類、甲殼類、魚類及海藻等，研究方法為放射化學前處理後，再利用 Po-209 示踪劑及 PIPS- $\alpha$  光譜儀進行計測。在可食用部位海鮮食品之 Po-210 活度濃度為 0.27 Bq/kg，活度濃度和各地區之生產量加權平均活度濃度之中位數分別為 14.1 Bq/kg 和 24.5 Bq/kg，與國際間各國檢測結果如表 4。

表 4、各國研究 Po-210 之比較

國家	研究年份	海鮮食品中 Po-210 之活度濃度(Bq/kg)
中國大陸	2016~2017	0.27~217
日本	1994	0.50~220
南韓	2015	0.57~47.8
美國	1971	0.15~55
英國	1993	0.06~53
法國	2002	0.05~236
德國	1980	0.05~5.20

波蘭	1997	3.10~3.80
葡萄牙	1988	0.08~120
敘利亞	2000	0.27~27.48
聯合國原子輻射影響 科學委員會 (UNSCEAR)	2000	2

經背景調查可以得知海洋樣品中 Po-210 活度濃度分佈為貝類>甲殼類>魚>頭足類>藻類等，貝類、魚類和甲殼類動物佔 Po-210 攝入量的劑量貢獻最大，比率為 97.8%，特別是貝類貢獻了 68.6%，而頭足類、藻類和其他種類貢獻較小。該研究自 2015 年起收集之樣品數量共計 187 件，包含 57 件海洋漁業及 130 件養殖漁業等，評估民眾食用海洋食品內所含 Po-210 活度約為 87.6 Bq/kg，推估年有效劑量為 105.2  $\mu$ Sv/年。進一步考量人口統計學上及活動強度，中國大陸之城市居民和農民之 Po-210 活度和年平均有效劑量，分別為 115 Bq/kg、138  $\mu$ Sv/年及 56.3 Bq/kg、67.6  $\mu$ Sv/年，因中國境內各地區之飲食習慣有較大的差異，導致劑量評估結果不均之情況。

## (二) 空中偵測技術

為了進行環境背景調查，中國也利用直升機發展空中偵測技術，目前被廣泛地應用於核設施的環境輻射監測及核子事故緊急應變偵測及核能電廠周圍環境研究等相關應用。利用直升機搭配裝載式加馬能譜能譜分析系統，其系統特點為可選擇不同體積之閃爍晶體碘化鈉偵檢器 NaI (Tl)，該整組系統涵蓋電源供應、電腦分析硬體及軟體、記錄直升機實際位置及導航 GPS 系統等。

為因應個別情境以達機動性之目的，其偵檢器為四種不同體積大小的 NaI (Tl) 偵檢器組合成的陣列式偵檢器，且各偵檢器之能譜頻道為 1024

Channel (能量從 50 keV 到 3 MeV)，並設計成可選擇一個或兩個自動調整穩定頻譜迴路，以提高能譜分析之穩定性，除了執行空中偵測並可搭載於汽車或無人機上進行計測。中國大陸利用機載式加馬能譜分析系統，直升機的飛行高度在海拔 60 m 以上，以 100 km/hr 的飛行速度進行格線間距 50 m 的空中偵測，然後進行放射性核種和加馬核種之空間劑量率的計算處理，並繪製輻射背景調查地圖，目前已在採礦場進行空中偵測並完成輻射熱點分析，藉此了解各區域之地質天然放射性物質分佈情況。

### (三)降低閃爍晶體背景雜訊之方法

現今許多研究單位以無機閃爍晶體代替半導體偵檢器（純鍺偵檢器），因無機閃爍晶體具有高能量解析力和高靈敏度之檢測特性（較低無感時間）；然而，閃爍晶體偵檢器主要缺點為閃爍晶體中所含天然放射性核種會自發性衰變，導致整體計測數據內有較多的背景雜訊，對於高活度濃度之加馬核種前述雜訊可以忽略不計，但當閃爍晶體應用於低活度濃度之環境輻射背景調查時，背景雜訊貢獻計測樣品較多計測值，進而導致量測不確定。

圖 15 為  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  無機閃爍晶體，其示波器為 64xi/LeCroy；此種類偵檢器內富含 Ac-227 核種，為阿伐衰變種類能量為 5~6 MeV，相當於 1.5 至 3 MeV 的加馬能量信號。透過分析光電倍增管（Photomultiplier, PMT）所輸出脈衝波型之能峰及電荷值之比 ( $V_p/Q_{\text{total}}$  Ratio)，因為對於每一次加馬計測結果之能峰及電荷值之比應為恆定的，但晶體內之阿伐衰變將會貢獻背景雜訊，使其計測結果之恆定值與預計結果有偏差。同理，將能峰之間的變化鑑別及用於分析，透過抑制背景貢獻之計測值，得到較為準確之計測結果，期許未來可作為環境加馬分析參考標準方法之一。

圖 15、無機閃爍晶體  $\text{LaBr}_3 : \text{Ce}$



#### (四)環境土壤試樣大小對計測結果影響

環境試樣放射化學前處理與分析結果息息相關，因土壤試樣中內富含天然放射性物質-鈾系、釷系及鉀-40 及其自發性衰變之子核種等，各國對土壤中放射性含量調查，評估自然環境中受背景輻射實質影響。土壤試樣在前處理過程中，選擇土壤過篩器尺寸依採樣土壤之黏稠度、可塑度和粗糙度為主，使用不同過篩孔徑大小(0.25 mm、0.5 mm、1 mm 及、2 mm)之過篩器進行前處理後，再使用純鍺偵檢器 (High Purity Germanium, HPGE) 進行環境放射性含量分析時，根據土壤樣品中 Pb-210 (能峰：46.54 keV)、Ra-226 (能峰：295.21、351.92、609.31 keV) 和 Ra-228 (能峰：338.32、911.21 keV)，據檢測結果確認土壤中天然放射性含量之活度濃度，判別不同孔徑大小之土壤核種活度濃度關係，與添加已知人工核種之誤差比。除此之外，為達氬氣 (Ra-226 及 Ra-228) 活度平衡，本研究議題亦指出樣品之密封條件、樣品靜置時間 (氬氣平衡時間為密封後 2 週達長態平衡) 等注意事宜。本研究結果(如表 5)，其中 0.5 mm 的活度濃度稍微偏高；0.25 mm 偏低，依據本研究可得知不同過篩尺寸僅些微影響放射性活度的量測結果。

表 5、環境土壤試樣大小與放射性活度的差異比較

過篩尺寸 (mm)	放射性活度濃度(Bq/kg)			
	Cs-137	Pb-210	Ra-226	Ra-228
0.25	7.6±0.3	112.8±11.6	29.7±1.2	54.7±1.1
0.5	9.8±0.2	163.9±6.6	33.2±0.6	58.8±0.4
1.0	8.4±0.4	142.9±2.7	30.8±0.7	56.2±0.7
2.0	7.5±0.03	136.1±0.9	31.6±0.5	56.5±0.6
平均值	8.3±1.1	138.9±21.0	31.2±1.6	56.5±1.7

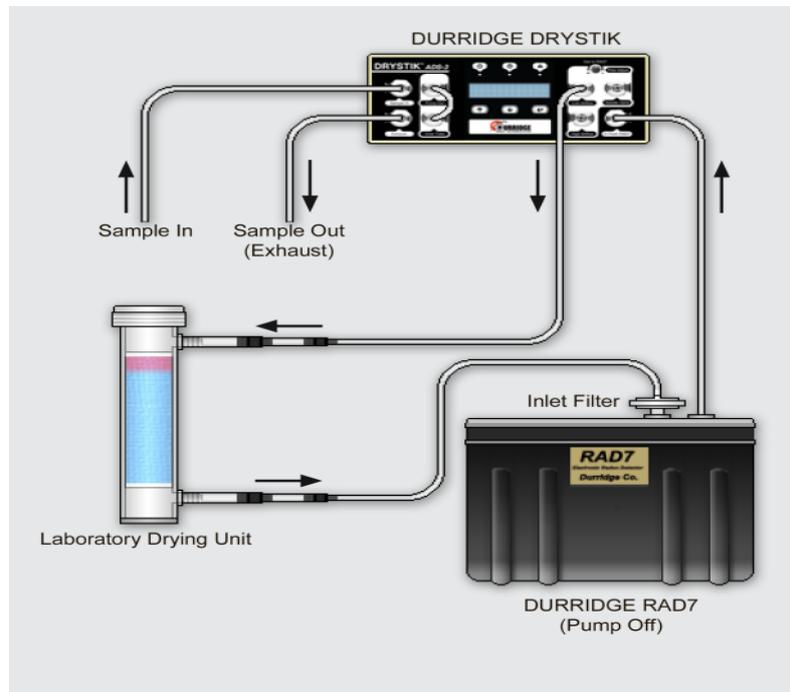
### (五) 飲用水氡氣檢測及劑量評估

國際上持續對氡氣之輻射劑量議題諸多關切，包括民眾及工作人員，以往的氡氣的劑量評估多是利用空氣採樣。然而，氡(Rn-222)的來源主要為天然背景輻射中之天然鈾及釷系元素的自發性衰變，倘若地表下通風環境不佳放射性鐳衰變後溶於水，人體經口嚥入阿伐衰變核種之飲用水，因阿伐核種難以排出體外，會造成體內曝露較高之器官約定等價劑量。

印度喀拉拉邦的西高止山脈南部山區為世界上天然背景輻射偏高的區域，此區域的地下水中的氡(Rn-222)含量也較高表層水高，爰有針對該區域地下水體中氡(Rn-222)造成民眾之輻射劑量的研究。該區域民眾主要飲用水來源仍是地下水，利用挖井採集了 71 個地下水樣品，再使用圖 16 之檢測設備 RAD7，檢測溶解於地下水中氡(Rn-222)活度濃度，再進行劑量評估；檢測結果地下水中氡(Rn-222)活度濃度較平地土壤或岩石所釋出的濃度高，測得的氡(Rn-222)的活度介於 170-68,350 Bq / m<sup>3</sup> 間，平均值為 7154 Bq / m<sup>3</sup>；為加以確保民眾平時飲用水汙染程度，本研究參考美國環境保護署(United States Environmental Protection Agency, USEPA) 對飲用水之管制基準值，進而風險評估，而飲用水最大污染水平(Maximum Contamination Level, MCL) 為 11,000 Bq / m<sup>3</sup>，調查指出部分地下水飲用水濃度高於管制基準值，未來

將會針對偏高濃度之地下水水源進一步釐清原因，利於保障民眾飲用水之輻射安全。利用此數據進行劑量評估，年齡3歲幼童及成人之平均約定有效劑量(Average Committed Effective Dose, ACED)分別為7.15及26.11  $\mu\text{Sv}/\text{年}$ ；胃和肺之器官年平均劑量分別為0.18  $\mu\text{Sv}/\text{年}$ 和2.16  $\mu\text{Sv}/\text{年}$ ，皆低於WHO(2003)建議的年度總有效劑量(Annual Effective Dose, AED)100  $\mu\text{Sv}/\text{年}$ 的建議限值內。

圖 16、地下水氡( $\text{Rn-222}$ )含量的檢測設備



各國對氡氣的相關研究相當多，但回歸到氡氣之管制面，可以發現各界都將提高民眾對氡氣的認知認定為當務之急；民眾及工作人員都需要了解住宅、工作場所可能存在的氡氣問題，政府單位則需要從風險管理的角度建立相關的法規及建築規範，過程中也需要強化利害關係人參與之機制。氡氣的問題與天然放射性物質(NORM)之輻防管制相關，NORM之輻射作業具有多樣化特徵，且涉及廣泛之工業部門，在過去許多作業之輻射安全並未受到管制，且決定管制哪些材料以及如何管制，並沒有可適用於管制所有工業活動

作業流程的方法，未來對於天然放射性物質(NORM)之輻防管制，在各國對於主管機關和業者都是挑戰。

## (六) 事故時體內劑量評估方法

對於民眾或工作人員於事故時，所受意外曝露評估作法可以使用個人輻射劑量計（例如，熱發光輻射劑量計（Thermoluminescent Dosimeter, TLD）或光激發光輻射劑量計（Optically Stimulated Luminescence, OSL））來測量體外曝露，但沒有一種有效及更為準確的方法測量體內曝露。

為了發展能在核子事故或輻射災害時，準確評估體內劑量，研究工作人員及民眾可利用 ACCUSCAN II 全身計測器（Whole-Body Counter, WBC）搭配兩個高純度純鍍偵檢器（HPGe）進行量測，如圖 17 所示；本研究使用 ICRP 參考人假體，並量測使用假體內含有加馬輻射源之 Ba-133、Cs-137、Co-60 及 Mn-54，進一步模擬甲狀腺、胃腸道、肺及全身體內沉積情形。為了驗證計測劑量及設備之關聯性，同時使用 NaI（TI）閃爍體的全身計測器，比對兩種設備的體內曝露進行劑量轉換因子及校正研究，透過模擬及計測結果，可以得知計測誤差、核種活度、體內曝露之劑量關係因子。這個方法通過校正體內曝露之度量設備可以確保檢查及劑量評估之準確性，可計算意外曝露時所受之總有效劑量，在事故發生時準確地評估體內曝露及總有效劑量。

圖 17、體內劑量快速評估方法-全身計測器（WBC）和純鍍偵檢器（HPGe）



## (七) 飛航宇宙射線之劑量管理

宇宙射線的輻射其曝露視為既存曝露，但考量飛航行為的增加會提高宇宙射線貢獻的輻射曝露量，ICRP 於 2016 年出版了第 132 號報告，該報告是探討有關航空的宇宙輻射防護；國際輻射防護委員會 (ICRP) 考慮到當前的 ICRP 輻射防護系統、最新的航空曝露數據以及世界各國所提供的經驗，為航空及太空飛行中的宇宙輻射提供了輻射防護方面的最新指南。為了實施最優化原則，ICRP 建議採用與個人可能接受的曝露水平成比例的分級方法，使最容易曝露的人的曝露量保持在合理水平；此外，ICRP 還建議傳播信息，以提高人們對宇宙輻射的認識。

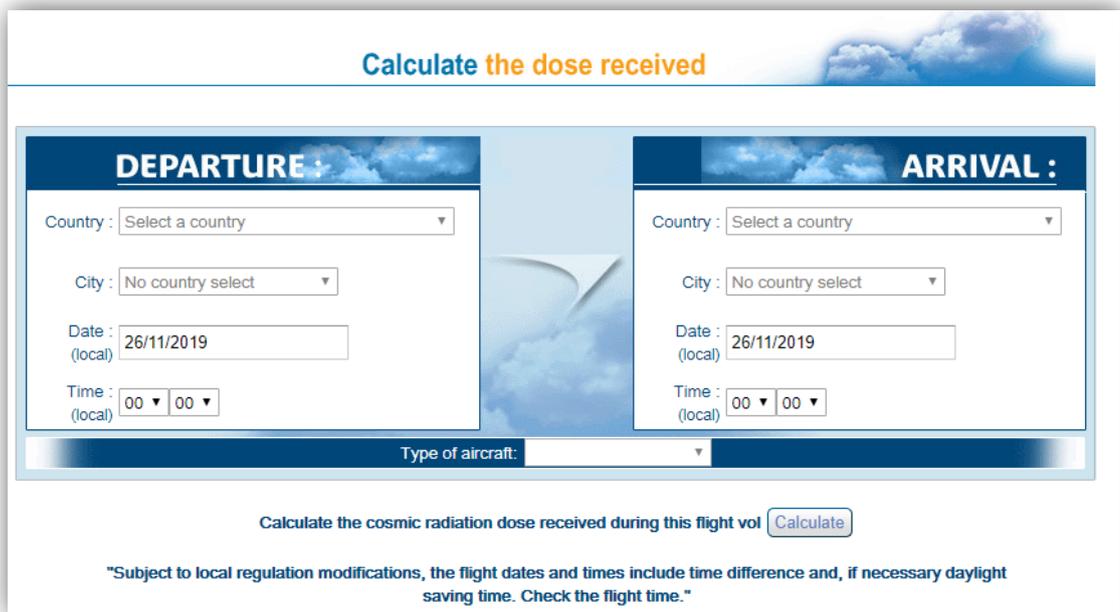
飛航行為的宇宙射線曝露包含太空及航空兩個部分，實務上是無法屏蔽其穿透性和複雜的輻射場，也凸顯這個議題的重要性。航空部分的宇宙射線管理，國際上的做法建議應針對空服員、經常飛行者、低頻度旅客做分級管理；相關研究建議，空服員部分要進行劑量管理，高頻度旅客需要視自身的飛行狀況調整個別劑量評估進行方式，低頻度旅客則不需要評估。個人劑量的評估要依據飛行的頻率來執行是非常困難的，可行作法有：

1. 建立易操作的模組式管理計畫來進行個人劑量管理。
2. 使用行動電子劑量計(如圖 18)進行航程的量測(實際量測值比計算值低很多)
3. 利用飛行劑量計算器估算劑量，例如法國建置的飛航劑量計算器 SIEVERTPN(如圖 19)，或是美國運輸部所建置的 CARI-6、CARI-6M 等。

圖 18、評估飛航輻射劑量用的個人劑量計 D-Shuttle



圖 19、ICRP 提供的飛航劑量計算器 SIEVERTPN



The screenshot shows a web-based calculator titled "Calculate the dose received". It is divided into two main sections: "DEPARTURE" and "ARRIVAL". Each section has a "Country" dropdown menu (currently set to "Select a country"), a "City" dropdown menu (currently set to "No country select"), a "Date" input field (set to "26/11/2019"), and a "Time" input field (set to "00:00"). Below these sections is a "Type of aircraft" dropdown menu. At the bottom, there is a "Calculate" button and a disclaimer: "Subject to local regulation modifications, the flight dates and times include time difference and, if necessary daylight saving time. Check the flight time."

太空飛行的宇宙射線輻射問題又更為複雜，太空人全時間處在太空艙當中，是近似於低劑量/低劑量率背景的暴露條件下，因此，不只要進行劑量管理，還必須有完整的風險解釋、環境及人員的監測及檢測規劃，以及醫療檢測與照護等暴露管理工具；太空人的劑量限值並沒有統一的規範，由各國參考 IAEA 及 ICRP 的建議訂定，加拿大訂的輻射防護限值为 1 西弗/年，日本

則訂為 0.8 西弗/年；因應國際太空站計畫自 2004 年運作至今，已超過 10 年，也累積一定的數據及議題可以做進一步研究及商討最佳解決方案，因此，ICRP 也於本次研討會後成立了新的任務小組 TG -115，未來將針對太空人的輻射防護風險和劑量評估進行一連串的研究。

## (八) 人工智慧在醫療輻射的運用

台灣民眾受醫療曝露佔輻射應用整體比例逐年攀升，然而，台灣和全球趨勢相同，雖各國研發新技術改善放射治療副作用，在民眾、病患及放射醫學技術人員質疑輻射防護規範及長期使用輻射源曝露下，造成潛在健康影響效應，是否確實與輻射防護指導原則與時俱進。為提升大眾信心，英國公共衛生組織(Public Health England, PHE)及紐卡斯爾大學健康保護研究小組(The National Institute for Health Research- Health Protection Research Unit, NIHR -HPRU) 與各學術專家跨領域合作，首屈一指的流行病學專家、輻射生物專家、放射腫瘤醫師、統計專家等，研究「輻射防護主題－輻射和化學的威脅與危險」，民眾、病患及放射線醫學技術人員合力完成，有效推廣及提升大眾對輻防原則信心。除英國跨領域合作之外，歐盟 CONCERT 資助 LDLensRad 成功評估水晶體的低劑量輻射作用機制、周圍其他器官發生白內障及衍生其他潛在疾病。

最新成果涵蓋電腦斷層及心導管插入術後風險之出版物，與最近修訂的《英國游離輻射防護法》中，提供降低眼睛水晶體劑量限度法規依據，亦貢獻生物醫學界的參考文獻，對輻射風險係數之確認方法，作為醫療行為中輻射特性化的使用方法。經各醫學及學術專家，彼此研究及發展醫學中輻射防護或相關領域，強調提升跨領域合作在各領域相輔相成的價值。

人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 應用逐漸成為醫療重大的改革，當應用人工智慧減少電腦斷層 (Computed Tomography, CT) 檢查造成醫療曝露，該應用由研究階段蛻變為實踐臨床醫療中，利於更迅速地自動判斷人

體器官、疾病類別、罹患疾病檢測和顯性病徵等，病患與醫療人員具自動化、高機動性及臨床應用，對於電腦斷層掃瞄儀器系統上，由人工智慧計算減少劑量方案。其餘放射診斷設備中，使用自動化分析及減少曝露數據收集作業流程（包括劑量參數設定、病患定位及成像因素等）減少病患醫療曝露。此外，再利用收集大筆數據後，強化影像再處理及重組參數，利用影像重組方法和濾除雜訊改善影像品質，減少醫學影像雜訊，並利用低劑量曝露條件進行收集數據，實踐輻防之合理抑低精神原則。

## 四、 ICRP 新出版報告及未來工作重點

在本次的研討會期間，各專門委員會也針對未來輻防重點議題提出工作重點。另外，ICRP 也在會中發表了第 141 號報告(OCCUPATIONAL INTAKES OF RADIONUCLIDES)及第 142 報告(RADIOLOGICAL PROTECTION FROM NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL IN INDUSTRIAL PROCESSES)等兩份建議書。第 141 號報告是有關放射性核種的職業吸入，第 142 號報告有關工業過程中的天然放射性物質的輻射防護議題背景輻射，茲就兩份報告的重點摘錄如下

### (一)第 141 號報告

ICRP 第 141 號報告是由第二專門委員會及其任務小組所完成的，是有關放射性核種的職業攝入 ( OCCUPATIONAL INTAKES OF RADIONUCLIDES ， OIR ) 文件的第 4 部分。ICRP 的《2007 年建議書》引入了影響有效劑量計算的變化，並暗示對內部曝露劑量係數的修訂，該出版物先訂在第 30 號報告書系列中以及第 68 號報告書；後來，又有新數據，陸續出版更新了第 54 號及第 78 號報告書，提供了放射性核種用於設計監測程序和回顧性評估職業內部劑量的相關資訊，以及新的生物動力學模型、劑量係數、監測方法和生物測定數據等。

ICRP 自 2015 年起開始陸續公布有關放射性核種的職業攝入 ( OCCUPATIONAL INTAKES OF RADIONUCLIDES ， OIR ) 文件，預計將取代第 30 號報告的相關出版物，包含第 54、68 和 78 號報告。OIR 的第 1 部分、第 2 部分及第 3 部分已分別於 2015 年、2016 年及 2017 年出版，描述了內部職業對放射性核素的曝露評估，生物動力學和劑量學模型，個人和工作場所監測方法以及回顧性劑量評估的一般方面。OIR 系列提供工作場所遇到的放射性核種的劑量係數和生物測定功能；完成 OIR 系列的最終出版物第 5 部分，為第二專門委員會 2020 年的重要工作項目之一，完成後

將可完整提供了各個元素及其放射性同位素的相關生物動力學數據，包括存在的化學形式、會出現的工作場所、主要放射性同位素及其物理半衰期和衰變模式的列表、參考生物動力學模型的參數值，以及工作場所最常見的放射性同位素監測技術數據等資料。

## (二)第 142 號報告

ICRP 第 142 號報告是提供有關涉及天然放射性物質 (NORM) 使用的相關產業在輻射防護上的指引。由涉及天然放射性物質 (NORM) 的工業活動引起的曝露是可控的，可以通過採取適當的防護措施和優化防護措施來實現防護。

這些行業的特性是工作環境通常涉及多重危害，而輻射危害只是其中一種，且不一定是最重要的問題。這類行業是各式各樣的，可能涉及輻射防護的不只是人員，也必須考慮環境。

在某些情況下，這些產業如果不採取適當的控管措施，可能會增加工作人員和公眾有大量的潛在日常曝露；大量 NORM 的釋放，也可能會同時對環境造成輻射和非輻射部分的有害影響。但是，有 NORM 問題的產業，並不會因為輻射曝露問題導致組織反應或生命危險；因此，涉及 NORM 的產業，其輻射防護作業可以參考水平優化防護的原則，根據實際的狀況採取合理的行動來解決，並建議採用綜合和分級的方法來保護工人，公眾和環境。針對這種條件的產業，應同時考慮非輻射危害與輻射危害的問題，並優化保護方法，以便使用各種放射保護計畫的要素與危害保持一致，同時不增加不必要的負擔。NORM 的問題通常會涉及到氡氣或鈾射氣(Thoron)，其曝露也應採用分級方法進行管理，首先應根據出版物 ICRP 第 126 號報告中的建議，對建築物採行氡氣或鈾射氣(Thoron)預防和緩解措施。

該報告書也提到，NORM 產業並不會出現導致組織反應或生命危險輻射緊急情況的可能性，因此，保護工人和一般民眾的行動應考慮長期外

部曝露，包括：放射性物質的攝入以及氡氣和釷射氣(Thoron)的吸入。在參考評估的部分，該報告建議，保護工人的參考水平（不包括氡氣和釷射氣的曝露量）應反映曝露量的分佈，在大多數情況下應低於每年幾毫西弗的有效劑量，即便是工作人員也很少有人的每年有效劑量會超過 10 毫西弗；保護公眾的參考水平，一般每年有效劑量應少於幾毫西弗。

## 肆、心得與建議

- 一、研討會期間充分感受主辦單位及各國人員對我國友好態度，對我國的輻射管制現況亦深感興趣；因輻射運用與民眾生活息息相關，國際間對於輻射管制作法也抱持著滾動式改善持續精進的積極態度，參加此類研討會，是一相當好瞭解國際趨勢及向他國學習和交流相關經驗的管道。
- 二、國際輻射防護委員會（ICRP）為世界輻射防護最高的指導專家委員會，其提出的建議為各國輻防作業所遵循的依據，透過參與研討會，有助於了解國際最新的輻防趨勢，掌握我國輻防管理方向。透過各領域講者分享研究發現及後續作法，可作為我國輻防管制及本中心執行環境輻射監測的業務規劃參考。藉由參加國際會議也體悟到，輻射防護沒有最好，只有更好，相關的管制措施與管理思維惟有不斷的精進，才能與時俱進，讓我國輻射防護水平與國際接軌，更加保障人民的安全。
- 三、空中偵測技術以往都只有在事故發生時被使用，但其可在短時間建立環境背景數據，已有將該技術用核設施及高背景劑量地區的環境背景調查工作，其技術(碘化鈉偵測器)及執行方式(直升機)都與本中心相近，為仍也限於飛航資源；本中心所發展之空中輻射偵測技術，未來也可比照其方式進一步擴大其應用，例如大面積環境背景輻射數據調查，不僅止於核子事故緊急應變偵測用途。
- 四、宇宙射線及天然放射性物質(NORM)的議題是現在及未來的輻防重點，兩者以往都被視為天然背景輻射，但因科技發展快速，不論是宇宙射線還是

NORM 的曝露情境都與過去有很大的差異，不論是工作人員、一般民眾，群體內也都有相當大的曝露頻率差異，因此，管理上應採分級方式管理，並依實際的狀況調整管制措施，以達最優化的成效；國民輻射劑量的再評估為本中心近年的施政重點，評估項目亦包含宇宙射線及天然放射性物質，應依國際的趨勢納入飛航行為及含 NORM 消費性產品的劑量評估結果，以確保評估結果的代表性。

五、環境輻射偵測的技術及環境影響評估仍是民眾最為關切的議題之一，近年來，國際輻射防護委員依序提出第 108、114、124 及 136 報告，其報告內容皆與環境輻射曝露所造成周圍環境生態系之影響評估及劑量評估模式等息息相關，環境中多樣性生態物種之輻射劑量評估模型仍持續更新，其相關劑量評估可作為未來國際間及本中心環境輻射防護之周圍環境生態參考依據及規範，進而精進國民劑量及環境輻射背景調查。

六、鑑於 2018 年台灣發生「負離子床墊輻射超標案」，因寢具床墊內添加天然放射性物質（Naturally Occurring Radioactive Materials，NORM）導致一般人劑量限度超過游離輻射安全標準之規範，未來天然放射性物質中管制「負離子」之原物料或其相關商品成為挑戰之一。本次會議中國際輻射防護委員第 76 任務小組及第 103 號報告中建議天然放射性物質之管制方法，仍採取個別曝露情境管制，無論是既存情境或計畫情境皆適用於 NORM。然而，現今天然放射性物質之輻射防護通則涵蓋生產、製造、及使用技術性增強天然放射性物質消費性商品中原料之相關作業，其作業中包含物質運輸、廢棄物管理及其它相關作業等，其中敘明其輻射防護通則應具體關注於石油、煤炭、稀土、磷酸鹽等應用，並且透過法規訂定輻射作業人員、民眾及環境輻射監測等相關規定。目前本會所頒布「天然放射性物質管理辦法」及「天然放射性物質衍生廢棄物管理辦法」中皆訂定前述相關規範，未來宜視國際輻射防護委員會最新出版物針對天然放射性物質管制趨勢進行修訂，以利保障民眾輻

射安全。

七、本次環境輻射偵測技術議題 Po-210 放射性含量背景調查、土壤放射性含量前處理流程與飲用水中鐳活度濃度與本中心密切相關，2019 年本中心已派員赴日本分析中心（Japan Chemical Analysis Center, JCAC）精進 Po-210 及飲用水中鐳放射化學前處理相關流程。除此之外，為精進本中心環境輻射偵測技術、提高分析水準及檢測結果準確性，將持續參與國際間實驗室比較試驗及派員參加偵測技術訓練，藉國際間之技術交流及訓練，提升輻射環境偵測技術。

## 伍、附件

第五屆國際輻射防護體系研討會（ICRP2019）會議議程。

5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE SYSTEM OF RADIOLOGICAL PROTECTION



# ICRP 2019

MINES • MEDICINE • MARS

# PROGRAM



Hosted by



Australian Government  
Australian Radiation Protection  
and Nuclear Safety Agency



## SUNDAY 17 NOVEMBER 2019

1500-1600 **ARPS ANNUAL GENERAL MEETING**

All ARPS Members Welcome

📍 RIVERBANK ROOM 1

1700-1830 Registration Desk Open

📍 FOYER M

1800-2000 **JOINT ICRP SYMPOSIUM & ARPS FORUM WELCOME RECEPTION**

Please note, the Welcome Reception is included in the cost of a full registration.

Additional tickets may be purchased at a cost of \$85 per person

📍 FOYER A-B, ADELAIDE CONVENTION CENTRE

## MONDAY 18 NOVEMBER 2019

### SESSION 1 - OPENING PLENARY

Chair/s: Jim Hondros, Cameron Jeffries

0730-1700 Registration Desk Open

FOYER M

0830-0840 **WELCOME FROM ARPS AND OPENING REMARKS**

PANORAMA 1-3

0840-0850 **Dr Carl-Magnus Larsson, ARPANSA (Australia)**

0850-0900 **REFLECTIONS ON ICRP 2017**

**Jean-Christophe Niel, Director General of IRSN**

0900-0910 **WELCOME FROM ICRP AND INTRODUCTION OF THE 2019 AWARDEE OF THE BO LINDELL MEDAL FOR THE PROMOTION OF RADIOLOGICAL PROTECTION**

**Dr Claire Cousins, ICRP Chair**

0910-0945 **BO LINDELL MEDAL FOR THE PROMOTION OF RADIOLOGICAL PROTECTION RECIPIENT**

*INTERDISCIPLINARY RADIATION PROTECTION RESEARCH IN SUPPORT OF MEDICAL USES OF IONISING RADIATION*

**Dr Elizabeth Ainsbury, Principal Radiation Protection Scientist and Cytogenetics Group Leader at Public Health England's (PHE) Centre for Radiation (United Kingdom)**

0950-1030 **BOYCE WORTHLEY ORATION**

*A CONTROVERSY THAT NEEDS TO BE RESOLVED*

**Don Higson (Australia)**

1030-1100 Morning Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O

#### SESSION 2.1

FUTURE CHALLENGES

PANORAMA 1

#### SESSION 2.2

NORM AND NATURAL RADIATION (1)

PANORAMA 2

#### SESSION 2.3

RADIATION BIOLOGY AND PROTECTION

PANORAMA 3

1100-1115 *LOW DOSE RADIATION-SCIENCE, POLICY, AND PUBLIC OPINION*

**Charlotta Sanders, World Nuclear Association (United Kingdom)**

*CAVE RADON EXPOSURE, DOSE, DYNAMICS AND MITIGATION*

**Chris Waring, ANSTO (Australia)**

*DMAPT IS AN EFFECTIVE RADIOPROTECTOR OF NORMAL TISSUES FROM SHORT- AND LONG-TERM RADIATION-INDUCED DAMAGE WHILE RADIOSENSITISING PROSTATE TUMOUR TISSUE*

**Pamela Sykes, Flinders University (Australia)**

1115-1130 *ALL SOLID CANCER INCIDENCE AND MORTALITY DOSE-RESPONSE IN THE LIFE SPAN STUDY OF ATOMIC BOMB SURVIVORS*

**Alina Brenner, Radiation Research Effects Foundation (United States)**

*RADON DISTRIBUTION AND APPRAISAL OF ITS RADIATION DOSE IN THE GROUNDWATER OF A SMALL TROPICAL RIVER BASIN, KERALA, INDIA*

**Sukanya Srinivasa Raghavan, University of Kerala (India)**

*ANALYTIC ESTIMATION OF THE ANATOMICAL DATA FOR MALAYSIAN RADIATION ADULT PHANTOM*

**Olaseni Bello, University Technology Malaysia (Malaysia)**

1130-1145 *CANCER RISKS FOLLOWING LOW-DOSE RADIATION: WHAT DO WE KNOW ABOUT THE DOSE-RESPONSE CURVE?*

**John Mathews, University of Melbourne (Australia)**

*A DISCUSSION ON THE POTENTIAL IMPACT OF RESIDENTIAL RADON EXPOSURE ON RADON RISK ASSESSMENT FOR URANIUM MINERS*

**Jing Chen, Health Canada (Canada)**

*IS PARTICLE THERAPY THE ANSWER FOR PANCREATIC CANCER?*

**Mikaela Dell'Oro, University of South Australia (Australia)**



1145-1200	<i>THE TRUTH, THE WHOLE TRUTH, AND NOTHING BUT THE TRUTH</i> <b>Richard O'Brien (Australia)</b>	<i>RADON PROGENY AND URANIUM ORE DUST PERSONAL ALPHA DOSIMETRY IN URANIUM MINES – THE CANADIAN EXPERIENCE</i> <b>Brian Bjorndal, Radiation Safety Institute of Canada (Canada)</b>	<i>RADIOSENSITIVITY CHANGES IN HPV+ AND HPV- HEAD AND NECK CANCERS FOLLOWING FRACTIONATED IRRADIATION</i> <b>Paul Reid, University of South Australia (Australia)</b>
1200-1215	<i>ACHIEVING HARMONISATION OF RADIATION PROTECTION LEGISLATION ACROSS AUSTRALIAN JURISDICTIONS</i> <b>Ian Furness, University of South Australia (Australia)</b>	<i>DESIGN AND DEVELOPMENT OF A RADON CALIBRATION CHAMBER FOR CANADA</i> <b>Brian Bjorndal, Radiation Safety Institute of Canada (Canada)</b>	<i>ARE CLINICAL NUCLEAR MEDICINE SETTINGS COMPLIANT WITH PROPOSED NEW ICRP LENS OF EYE DOSE LIMITS?</i> <b>Sandor Demeter, Shared Health – Manitoba (Canada)</b>
1220-1320	Lunch, Trade Exhibition & Poster Display		📍 HALL N/O
	<b>SESSION 3.1</b> AVIATION AND BEYOND 📍 PANORAMA 1	<b>SESSION 3.2</b> NORM AND NATURAL RADIATION (2) 📍 PANORAMA 2	<b>SESSION 3.3</b> NUCLEAR FACILITIES AND TRAINING 📍 PANORAMA 3
1320-1335	<i>HOW CAN WE MANAGE THE COSMIC RADIATION EXPOSURES OF FREQUENT FLYERS?</i> <b>Hiroshi Yasuda, Hiroshima University (Japan)</b>	<i>RADIATION MONITORING OF URANIUM MINING SITES IN THE ALLIGATOR RIVERS REGION, NORTHERN TERRITORY, AUSTRALIA</i> <b>Scott McMaster, Department of the Environment and Energy (Australia)</b>	<i>THE SAFETY CONTROL SYSTEM AT A NUCLEAR FUSION EXPERIMENTAL FACILITY</i> <b>Sandro Sandri, Enea (Italy)</b>
1335-1350	<i>SPACE RADIATION EFFECTS, SPACE HEALTH AND HUMAN RADIOSENSITIVITY</i> <b>Melanie Ferlazzo, CNES INSERM ANSTO (Australia)</b>	<i>A NEW DIFFUSION BATTERY FOR THE ASSESSMENT OF AEROSOL CHARACTERISTICS</i> <b>Robert Fairchild, Nebraska Wesleyan University (United States)</b>	<i>SIMPLE CONTAMINATION, COMPREHENSIVE SOLUTION-A CASE STUDY</i> <b>Mikkel Øberg, Danish Decommissioning (Denmark)</b>
1350-1405	<i>EXPERIMENTAL MICRODOSIMETRY FOR RADIATION RISK ASSESSMENT OF PARTICLE THERAPY PATIENTS AND ASTRONAUTS USING A NOVEL PASSIVE MICRODOSIMETER</i> <b>Bhaskar Mukherjee, University of Sydney (Australia)</b>	<i>VALIDATION OF AN EFFECTIVE DOSIMETER FOR RADON DECAY PRODUCTS</i> <b>Andrew Yule, ARPANSA (Australia)</b>	<i>RETHINKING THE CHALLENGE OF RADIOACTIVE CONTAMINATION AT THE OPAL MULTIPURPOSE REACTOR</i> <b>John Bus, ANSTO (Australia)</b>
1405-1420	<i>DEVELOPMENT OF A NEW RADIATION SAFETY STANDARD IN VICTORIA-CT BASED UNITS FOR SECURITY OR QUALITY CONTROL PURPOSES.</i> <b>Simon Robertshaw, DHHS (Australia)</b>	<i>REVIEW OF URANIUM OXIDE TRANSPORT IN SOUTH AUSTRALIA</i> <b>Daniel Bellifemine, Environment Protection Authority South Australia (Australia)</b>	<i>2019 CHALLENGES FACING THE WASTE ISOLATION PILOT PLANT</i> <b>George Anastas, GA and Associates (United States)</b>
1420-1435	<i>A SOLID-STATE MICRODOSIMETER FOR RADIATION PROTECTION FOR ASTRONAUTS IN SPACE</i> <b>Linh Tran, University of Wollongong (Australia)</b>	<i>IMPLEMENTING ENVIRONMENTAL RADIATION PROTECTION AT A RADIOPHARMACEUTICAL FACILITY: A CASE STUDY IN AUSTRALIA THAT INCLUDES TERRESTRIAL AND MARINE PATHWAYS</i> <b>Mathew Johansen, ANSTO (Australia)</b>	<i>SUCCESSFULLY WORKING TOGETHER – NUCLEAR POWER AND RADIATION SAFETY</i> <b>Mark Sanders, International Nuclear Law Association (United States)</b>
1435-1450	<i>ADDITIONAL QUESTION TIME</i>	<i>A SMALL ANIMAL RADON CHAMBER FOR ENVIRONMENTALLY RELEVANT EXPOSURES</i> <b>Tony Hooker, University of Adelaide (Australia)</b>	<i>RADIATION PROTECTION PERFORMANCE AND CHALLENGES AT US NUCLEAR POWER PLANTS</i> <b>Ellen Anderson, Nuclear Energy Institute (United States)</b>



1455-1525 Afternoon Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

📍 HALL N/O

SESSION 4.1 RADIATION EFFECTS		SESSION 4.2 NORM AND NATURAL RADIATION (3)		ICRP MEMBER PLENARY	
📍 PANORAMA 1		📍 PANORAMA 2		📍 PANORAMA 3	
1530-1545	<p><i>SCIENTIFIC INSIGHTS INTO THE CURRENT ICRP JUDGMENTS FOR RADIATION EFFECTS ON THE LENS OF THE EYE</i></p> <p><b>Nobuyuki Hamada, CRIEPI (Japan)</b></p>	<p><i>NORM: A PLANNED OR EXISTING EXPOSURE SITUATION?</i></p> <p><b>Fiona Charalambous, ARPANSA (Australia)</b></p>	<p><i>ICRP MEMBERS ONLY</i></p>		
1545-1600	<p><i>RADIATION EFFECTS ON THE LENS OF THE EYE: ASSESSING THE RISK LEVEL FOR CATARACTOGENESIS</i></p> <p><b>Christopher Thome, Northern Ontario School of Medicine (Canada)</b></p>	<p><i>DEVELOPING INTERNATIONAL RADIOLOGICAL RISK ASSESSMENT TOOLS AND APPROACHES FOR AUSTRALIAN ARID ENVIRONMENTS</i></p> <p><b>Rachel Popelka-Filcoff, Flinders University (Australia)</b></p>			
1600-1615	<p><i>THE REPAIR PROJECT: A DEEP UNDERGROUND EXPERIMENT INVESTIGATING THE BIOLOGICAL SIGNIFICANCE OF TERRESTRIAL AND GALACTIC COSMIC NATURAL BACKGROUND RADIATION</i></p> <p><b>Jake Pirkkanen, Laurentian University (Canada)</b></p>	<p><i>THE IAEA FORUM FOR REGULATORS OF URANIUM AND NORM ACTIVITIES</i></p> <p><b>Keith Baldry, Environment Protection Authority (Australia)</b></p>			
1615-1630	<p><i>EXPLORING THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION BEYOND EARTH'S ORBIT AND DEEP UNDERGROUND IN A NOVEL YEAST MODEL SYSTEM</i></p> <p><b>Douglas Boreham, Northern Ontario School of Medicine (Canada)</b></p>	<p><i>USE OF CASE STUDIES IN PROGRESSING GUIDANCE ON THE APPLICATION OF RECOMMENDATIONS ON RADIOLOGICAL PROTECTION IN THE EXISTING EXPOSURE SITUATIONS</i></p> <p><b>Malgorzata Sneve, Norwegian Radiation Protection and Nuclear Safety Authority (Norway)</b></p>			
1630-1645	<p><i>A MULTI-TARGET DIETARY INTERVENTION PROTECTS FROM RADIATION-INDUCED COGNITIVE IMPAIRMENT AND NORMAL TISSUE INJURY</i></p> <p><b>Douglas Boreham, Northern Ontario School of Medicine (Canada)</b></p>	<p><i>FINDING A SOLUTION FOR MANAGING OUR LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE AND BRINGING STAKEHOLDERS ALONG ON THE JOURNEY</i></p> <p><b>Annelize Van Rooyen, Tellus Holdings (Australia)</b></p>			
1730-1900	<b>VIP FUNCTION (INVITATION ONLY)</b>			📍 GILBERT SUITE, ACC	

Hosted by



Australian Government  
Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency





## TUESDAY 19 NOVEMBER 2019

0800-1700 Registration Desk Open

FOYER M

0845-0850 **WELCOME AND OPENING REMARKS**

HALL M

0850-0925 **MINES KEYNOTE SPEAKER**

*OLYMPIC DAM: BHP THINKING BIG ABOUT THE FUTURE*

**Paul Cuthbert – General Manager Mine BHP (Australia)**

### MINES

### ARPS FORUM - MEDICAL

#### MINING AND OTHER NATURAL SOURCES

Co-chairs: Jacques Lochard & John Takala

#### SESSION 5.1

RADIOLOGICAL PROTECTION OF WORKERS,  
PUBLIC AND ENVIRONMENT

HALL M

#### SESSION 5.2

RADIATION PROTECTION IN MEDICINE (1)

RIVERBANK ROOM 8

0930-1000 *RADIATION MANAGEMENT AT OLYMPIC DAM*  
**Zoe Dryger, Martin Smith, Neil Camillo, BHP (Australia)**

0930-0945 *RADIATION SAFETY CULTURE*  
**Vyoma Shukla, University Hospitals of Leicester NHS Trust (United Kingdom)**

0945-1000 *EVALUATION OF BASIC PERFORMANCE OF REAL-TIME WIRELESS DOSIMETRY SYSTEM FOR INTERVENTIONAL RADIOLOGY*  
**Takayuki Yamamoto, Kyushu University (Japan)**

1000-1030 *THE CHALLENGES OF MINING, PROCESSING, AND TRANSPORTING NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS*  
**Frank Harris, Rio Tinto (Australia)**

1000-1015 *IMPROVEMENT OF THE USE RATE OF THE PERSONAL DOSIMETER & PROTECTOR BY INTERVENTIONAL RADIOLOGISTS WITH RADIOLOGICAL TECHNOLOGIST LEADERSHIP*  
**Satoru Matsuzaki, Shinkomonji Hospital (Japan)**

1015-1030 *ARE LIGHTWEIGHT LEAD GARMENTS THE EMPEROR'S NEW CLOTHES OF THE ANGIOGRAPHY SUITE?*  
**Chris Boyd, South Australia Medical Imaging (Australia)**

1030-1100 *PROTECTION OF THE ENVIRONMENT*  
**David Copplestone, University of Stirling (United Kingdom)**

1030-1045 *UNSHACKLING VASCULAR SURGERY FROM IONISING RADIATION: A REVIEW OF INNOVATIVE NO-RADIATION AND LOW-RADIATION ('NO-LO') IMAGING TECHNIQUES*  
**Li Yu, Royal Adelaide Hospital (Australia)**

1045-1100 *ADDITIONAL QUESTION TIME*

1100-1130 Morning Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O



SESSION 6.1 RADON IN MINING AND BEYOND		SESSION 6.2 RADIATION PROTECTION IN MEDICINE (2)	
📍 HALL M		📍 RIVERBANK ROOM 8	
1130-1200	<i>MINERS' STUDIES AND RADIATION PROTECTION AGAINST RADON</i> <b>Dominique Laurier, IRSN (France)</b>	1130-1145	<i>ANALYSIS OF MAMMOGRAPHY DOSES IN WESTERN AUSTRALIA</i> <b>Cameron Storm, MTP (Australia)</b>
1200-1230	<i>ICRP RECOMMENDATIONS ON RADON</i> <b>John Harrison, Oxford Brookes University (United Kingdom)</b>	1145-1200	<i>ARPANSA'S NATIONAL DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL SERVICE – PROVIDING GUIDANCE ON TYPICAL DOSES IN MEDICAL IMAGING</i> <b>Peter Thomas, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (Australia)</b>
1230-1300	<i>AUSTRALIAN ACTIONS TO REDUCE HEALTH RISKS FROM RADON</i> <b>Rick Tinker, ARPANSA (Australia)</b>	1200-1215	<i>CT SCAN EXPOSURE BEFORE AGE 20 AND CANCER RISK: USING PROPENSITY SCORES TO ACCOUNT FOR CONFOUNDING BY INDICATION</i> <b>Jasmine McBain-Miller, University of Melbourne (Australia)</b>
		1215-1230	<i>PATIENT-SPECIFIC ORGAN DOSE ESTIMATION IN PAEDIATRIC CHEST CT: THE MEDIRAD PROJECT</i> <b>John Damilakis, University of Crete (Greece)</b>
		1230-1245	<i>CALIBRATION OF AN INTERNAL EXPOSURE MEASUREMENT DEVICE USING COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOMS</i> <b>Jooyub Lee, Sejong University (South Korea)</b>
		1245-1300	<i>ADDITIONAL QUESTION TIME</i>
1300-1400 Lunch, Trade Exhibition & Poster Display		📍 HALL N/O	

## THANK YOU TO OUR SPONSORS

MAJOR SPONSOR

# BHP





SESSION 7.1 OTHER NORM INDUSTRIES		SESSION 7.2 RADIATION PROTECTION IN MEDICINE (3)	
📍 HALL M		📍 RIVERBANK ROOM 8	
1400-1430	<i>ICRP APPROACH FOR RADIOLOGICAL PROTECTION FROM NORM IN INDUSTRIAL PROCESSES</i> <b>Jean-Francois Lecomte, IRSN (France)</b>	1400-1415	<i>LEARNING FROM THE AUSTRALIAN RADIATION INCIDENT REGISTER</i> <b>Chris Nickel, ARPANSA (Australia)</b>
1430-1500	<i>TREND OF STRENGTHENING CLEARANCE REGULATION IN JAPAN AND CONCERNS ABOUT ITS WORLDWIDE EFFECTS ON REGULATIONS FOR NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES</i> <b>Takatoshi Hattori, CRIEPI (Japan)</b>	1415-1430	<i>POTENTIAL FOR NUCLEAR MEDICINE SOURCE TRACKING AND LICENSING ON A BLOCKCHAIN – LESSONS FROM PILOT STUDIES IN NUCLEAR SAFEGUARDS</i> <b>Edward Obbard, University of New South Wales (Australia)</b>
1500-1530	<i>NORM AND NORM WASTE MANAGEMENT IN CHINA</i> <b>Senlin Liu, China Institute of Atomic Energy (China)</b>	1430-1445	<i>ADVANTAGES FOR A PRIMARY STANDARDS DOSIMETRY LABORATORY IN HAVING A MEDICAL LINEAR ACCELERATOR</i> <b>Peter Harty, ARPANSA (Australia)</b>
		1445-1500	<i>CONSERVATISM IN LINEAR ACCELERATOR BUNKER SHIELDING</i> <b>James Rijken, Genesiscare (Australia)</b>
		1500-1515	<i>AGE DEPENDENT DYNAMIC ABSORBED DOSE CALCULATIONS TO THE URINARY BLADDER WALL FOR ICRP COMPARTMENTAL MODELS OF RADIOPHARMACEUTICALS</i> <b>Augusto Giussani, Lund University (Sweden)</b>
		1515-1530	<i>ADDITIONAL QUESTION TIME</i>
1530-1600	Afternoon Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display		📍 HALL N/O
<b>MINES - PANEL DISCUSSION</b>			📍 HALL M
1600-1730	<b>NORM, MINES, AND FUTURE TRENDS</b>		
	<b>Moderator:</b> Keith Baldry, South Australian Environmental Protection Authority (Australia)		
	<b>Panelists:</b> Analia Canoba, ICRP/ Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentina)		
	Donald Cool, ICRP/ Electric Power Research Institute (United States)		
	Jim Hondros, JRHC Enterprises (Australia)		
	John Takala, ICRP/ Cameco Corporation (Canada)		
	Stephen Long, ARPANSA (Australia)		
	Daniel Zavattiero, Minerals Council of Australia (Australia)		
1900-2300	<b>SYMPOSIUM GALA DINNER</b>		📍 PANORAMA BALLROOM
	Please note, the Gala Dinner is included in the cost of a full registration.		
	Additional tickets may be purchased at a cost of \$150 per person		



## WEDNESDAY 20 NOVEMBER 2019

### MEDICINE

#### RADIOLOGICAL PROTECTION CHALLENGES IN CUTTING-EDGE MEDICINE

Co-Chairs: Dr Claire Cousins & Maria Perez

0800-1700 Registration Desk Open

FOYER M

0845-0850 **WELCOME AND OPENING REMARKS**

HALL M

0850-0930 *AUSTRALIAN HEALTHCARE: HOW DOES RADIATION SAFETY FIT IN?*  
**Professor Brendan Murphy, Chief Medical Officer (Australia)**

#### SESSION 8

HEALTHCARE PRACTITIONERS

HALL M

0930-1000 *AUSTRALASIAN EXPERIENCE*  
**Ivan Williams, ARPANSA (Australia)**

1000-1030 *USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CT DOSE OPTIMISATION*  
**Cynthia McCollough, Mayo Clinic (United States)**

1030-1100 *EFFECTIVE DOSE IN MEDICINE*  
**Colin Martin, ICRP (United Kingdom)**

1100-1130 Morning Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O

#### SESSION 9

ROLE OF EQUIPMENT MANUFACTURERS IN RADIOLOGICAL PROTECTION

HALL M

1130-1200 *WHAT'S THE POINT OF INNOVATION IN PATIENT DOSE MONITORING?*  
**Jacqui Hislop-Jambrich, Canon Medical ANZ (Australia)**

1200-1230 *GLOBAL SPREAD OF PARTICLE THERAPY AND CONSIDERATION OF RADIATION SAFETY*  
**Kazuo Tomida, Hitachi (Japan)**

1230-1300 *TECHNICAL DEVELOPMENTS IN PET/CT IMAGING AND THEIR IMPACT ON RADIATION DOSE REDUCTION*  
**Tim Lagana, Siemens Healthineers (Australia)**

1300-1400 Lunch, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O

#### SESSION 10

PATIENT FOCUS

HALL M

1400-1430 *ETHICS IN RADIOLOGICAL PROTECTION FOR MEDICAL DIAGNOSIS AND TREATMENT: AN UPDATE*  
**Francois Bochud (Switzerland) & Marie-Claire Cantone (Italy)**

1430-1500 *PATIENTS' PERSPECTIVES ON RADIATION IN HEALTHCARE*  
**Lee Hunt, Patient Advocate (Australia)**

1500-1530 *RADIATION PROTECTION CHALLENGES IN APPLICATION OF IONISING RADIATION ON ANIMALS IN VETERINARY PRACTICES*  
**Nicole Martinez (United States) & Lodewijk Van Bladel (Belgium)**



1530-1600 Afternoon Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O

## MEDICINE – PANEL DISCUSSION

HALL M

1600-1730 **RAISING AWARENESS OF RP IN MEDICINE**

**Moderator:** Cameron Jeffries (Australia)

**Panelists:** Kimberly Applegate, ICRP (United States)

Lee Hunt, Patient Advocate (Australia)

Keon Kang, ICRP / Seoul National University (South Korea)

Maria Perez, World Health Organisation

Marie-Claire Cantone, ICRP / University Milano (Italy)

Lodewijk van Bladel, ICRP / Federal Agency for Nuclear Control (Belgium)

1930-2230 **MOVIE NIGHT**

HALL M

### *CHERNOBYL FUKUSHIMA: LIVING WITH THE LEGACY*

30 years after the Chernobyl catastrophe, and 5 years after Fukushima, it is time to see what has been happening in the “exclusion zones”, where the radioactivity rate is far above normal. This film will offer unique access to those territories, which gather millions of people within thousands of km<sup>2</sup>.

Complimentary to full delegates, registered partners and exhibitors

## THANK YOU TO OUR EXHIBITORS





## THURSDAY 21 NOVEMBER 2019

### MARS

#### RADIOLOGICAL PROTECTION IN SPACE

Co-Chairs: Christopher Clement & Dr Gordon Cable

0800-1700 Registration Desk Open

0845-0850 **WELCOME AND OPENING REMARKS**

📍 HALL M

0850-0930 **MARS KEYNOTE LECTURE**

*HEALTHCARE FOR DEEP SPACE EXPLORERS*

**Dr Robert Thirsk, Canadian Space Agency (Canada)**

#### SESSION 11

##### RADIOLOGICAL PROTECTION IN SPACE

📍 HALL M

0930-1000 *20 YEARS OF RADIATION PROTECTION EXPERIENCE WITH THE INTERNATIONAL SPACE STATION*

**Mark Shavers, NASA (United States)**

1000-1030 *RADIATION ENVIRONMENT IN SPACE AND RECENT PROGRESS ON SPACE WEATHER RESEARCH FOR COSMIC RAY DOSIMETRY*

**Tatsuhiko Sato, Japan Atomic Energy Agency (Japan)**

1030-1100 *OPERATIONAL RADIATION PROTECTION FOR HUMAN SPACE FLIGHT, THE FLIGHT SURGEONS PERSPECTIVE*

**Ulrich Straube, European Space Agency (Germany)**

1100-1130 Morning Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

📍 HALL N/O

#### SESSION 12

##### CURRENT PRACTICE

📍 HALL M

1130-1200 *CURRENT CANADIAN SPACE AGENCY PRACTICE AND ACTIVITIES IN THE AREA OF RADIATION HEALTH PROTECTION*

**Leena Tomi, Canadian Space Agency (Canada)**

1200-1230 *ETHICS OF RADIATION PROTECTION IN SPACE*

**Nikki Coleman, Royal Australian Air Force (Australia)**

1230-1300 *PRACTICALITIES OF DOSE MANAGEMENT FOR JAPANESE ISS ASTRONAUTS*

**Tatsuto Komiyama, Japan Aerospace Exploration Agency (Japan)**

1300-1400 Lunch, Trade Exhibition & Poster Display

📍 HALL N/O

#### SESSION 13

##### FUTURE CHALLENGES

📍 HALL M

1400-1430 *LIFETIME RADIATION RISK OF STOCHASTIC EFFECTS—PROSPECTIVE EVALUATION FOR SPACE FLIGHT OR MEDICINE*

**Alexander Ulanowski, IAEA (Vienna)**

1430-1500 *RECENT PROGRESS ON CHINESE SPACE PROGRAM AND RADIATION RESEARCH*

**Guangming Zhou, Soochow University (China)**

1500-1530 *RADIATION PROTECTION CHALLENGES FOR EXPLORATION*

**Eddie Semones, NASA (United States)**



1530-1600 Afternoon Refreshments, Trade Exhibition & Poster Display

HALL N/O

## MARS PANEL DISCUSSION

HALL M

1600-1730 **NEXT STEPS FOR RP IN SPACE**

**Moderator:** Gillian Hirth, ARPANSA (Australia)

**Panelists:** Gordon Cable, Australasian Society of Aerospace Medicine

Mélanie Ferlazzo, ANSTO (Australia)

Werner Rühm, ICRP / Helmholtz Centre Munich (Germany)

Samy El-Jaby, Canadian Nuclear Laboratories (Canada)

Wesley Bolch, ICRP /University of Florida (United States)

## CLOSING CEREMONY

1730-1740 **CLOSING REMARKS**

Dr Claire Cousins, ICRP Chair

1740-1800 **INVITATION TO ICRP 2021 – VANCOUVER**

Mike Rinker

The ICRP 2019 reserves the right to amend or alter any advertised details relating to dates, program and speakers if necessary, without notice, as a result of circumstances beyond their control. All attempts have been made to keep any changes to an absolute minimum.

## Hosted by



Australian Government  
Australian Radiation Protection  
and Nuclear Safety Agency

