

出國報告（出國類別：開會）

出席米制公約簽署 150 周年暨
2025 年世界計量日活動
出國報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：張朝欽副組長

派赴國家：法國

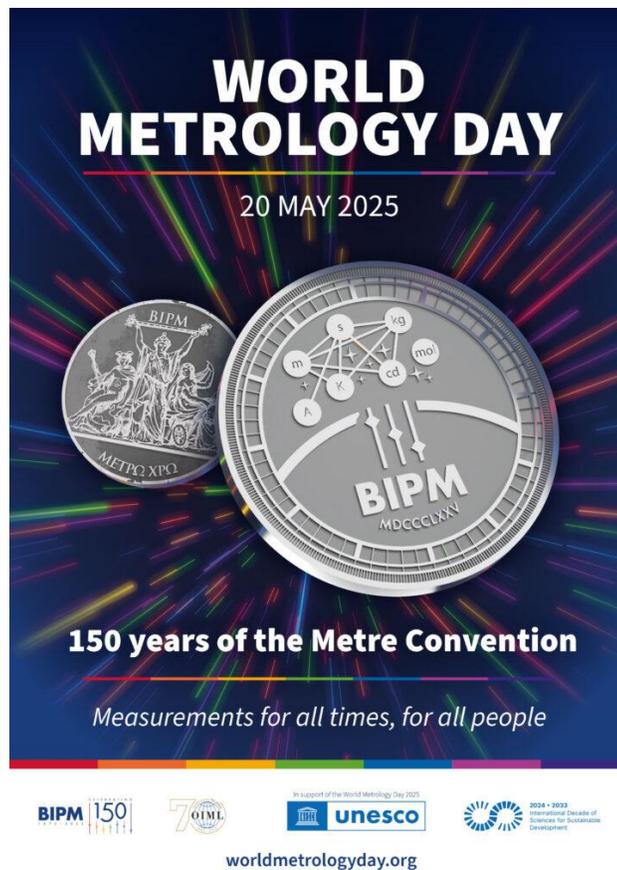
出國期間：中華民國 114 年 5 月 17 日
至 5 月 24 日

報告日期：114 年 7 月 23 日

摘 要

本次出國報告係經濟部標準檢驗局指派，參加於法國舉辦之「米制公約簽署150週年」及「2025年世界計量日」慶祝與研討活動。活動由國際度量衡局BIPM與聯合國教科文組織UNESCO共同舉辦，主題為「Measurements for all times, for all people」，旨在回顧150年來米制公約推動全球計量一致性的貢獻，並探討未來挑戰如量子計量、秒的重新定義、氣候計量與數位SI發展。

與會期間除出席紀念活動與主題研討，亦拜會駐法代表處，強化我國國際參與與外交合作。研討內容涵蓋計量在醫療、太空、氣候、工業與AI時代的重要角色，突顯計量為科技、貿易與永續發展基礎核心。我國透過參與此等活動，可與國際接軌，吸收前瞻趨勢，並推進國內制度與標準現代化發展。



目 次

壹、目的	4
貳、介紹	5
一、米制公約(The Metre Convention).....	5
(一) 緣起.....	5
(二)基本運作與發展.....	6
(三) 近期議題	7
(四) 未來挑戰	7
二、世界計量日 (World Metrology Day)	9
(一) 緣起與成立	9
(二) 與聯合國教科文組織合作	9
(三) 國內慶祝活動	9
參、過程	11
一、本次出國行程及會議議程	11
二、拜會駐法國台北代表處	11
三、520 慶祝活動地點與演講/研討主題	13
(一)、5 月 20 日-主題：米制公約 150 週年：科學、創新與全球影響.....	15
(二)、5 月 21 日-主題：From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命).....	19
(三)、5 月 22 日-主題：From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命).....	23
肆、心得與建議.....	29
一、國際計量趨勢觀察與參與意義.....	29
二、重要議題研析與啟發	29
(一) 秒的重新定義：邁向光鐘世代	29
(二) 數位SI與FAIR原則：計量進入AI時代.....	29
(三) 生命科學計量與放射追溯：計量走入醫療前線	29
(四) 氣候與太空計量：新世紀的計量前哨站.....	30
三、我國應對策略與制度強化建議.....	30
(一) 積極參與秒的重新定義與國際合作平台.....	30

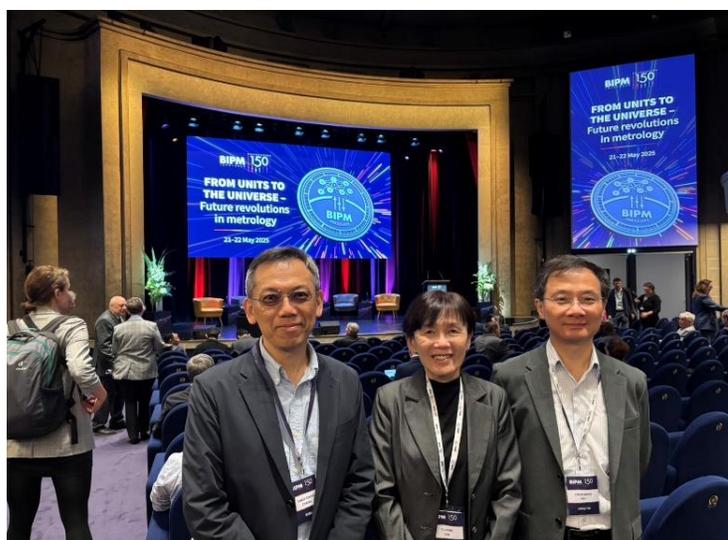
(二) 加速推動數位計量轉型.....	30
(三) 深化計量教育推廣與公眾溝通	31
四、結語與展望.....	31
附錄一、米制公約及CGPM決議與會費有關之規定.....	32
附錄二、會議議程.....	33

壹、目的

本次出國係奉派參加「米制公約簽署150週年暨2025年世界計量日」系列活動，該活動由國際度量衡局（BIPM）與聯合國教科文組織（UNESCO）共同主辦，為國際計量體系建立150週年之紀念高峰論壇，具高度歷史與國際意義。會議主題「Measurements for all times, for all people」，強調量測在科技、經濟、永續發展及社會福祉中不可或缺的角色，並探討數位轉型、氣候變遷、生命科學、太空探索及新一代時間標準等前瞻議題。

我國自2002年起以仲會員（Associate Member）身分參與米制公約（Metre Convention），透過簽署CIPM MRA（相互承認協定），逐步建構與國際接軌的量測體系。此次與國家度量衡標準實驗室財團法人工業技術研究院量測技術發展中心藍玉屏執行長（下圖中）與許俊明組長（下圖右）共同出席活動，期藉此機會強化我國計量外交，掌握國際量測政策發展趨勢，並汲取最新技術應用與全球合作經驗，作為國內計量制度精進與未來政策研擬之參考。

另此行520世界計量日活動在聯合國教科文組織總部舉辦，因我國非聯合國會員，藉由國家度量衡標準實驗室長期參與國際度量衡會議所建立的友好關係，得以順利進入會場，在此表達感謝之意。



貳、介紹

一、米制公約(The Metre Convention)

(一) 緣起

19 世紀歐洲，度量衡制度極不統一，各國甚至同一國內不同地區使用不同標準，嚴重影響科學交流與商業往來。法國大革命後，1795 - 1799 年間，法國率先推行「米制」(Metric System)，並以普遍性與自然常數為設計原則，引發其他國家的重視，隨著產業革命與國際貿易的興起，統一度量衡單位迫在眉睫。1875 年 5 月 20 日，17 個國家代表在巴黎簽署《米制公約》(Metre Convention)，正式建立國際合作機制，目的是推廣十進位制度量衡、統一標準、協調國際間的測量體系。

《米制公約》催生三大核心組織 BIPM、CIPM、CGPM，形成國際度量衡體系，以下簡單介紹：

1. 國際度量衡局 (International Bureau of Weights and Measures，簡稱 BIPM)

總部設於法國塞夫勒 (Sèvres)，BIPM 扮演科學研究中心與技術支援單位。其職責包括保存國際原器 (如千克原器) 與量測標準，開展標準研究、協調國家實驗室進行原器比對，並擔任秘書處角色。

2. 國際度量衡委員會 (International Committee for Weights and Measures，簡稱 CIPM)

由 18 位來自不同會員國的計量專家組成，每年開會 (近年改為雙會制)。CIPM 負責制定計量政策、監督 BIPM、評估技術進展與財務，並向 CGPM 提出修訂建議，包括新單位定義或國際單位制 SI 修正。透過多領域的專業諮詢委員會 (Consultative Committees)，涵蓋電、磁、溫度、質量、化學等，整合全球國家度量衡實驗室 NMIs 的技術成果。

3. 國際度量衡大會 (General Conference on Weights and Measures，簡稱 CGPM)

是《米制公約》最高決策機構，約每 4 年在巴黎召開一次，官方代表參加。CGPM 負責選舉 CIPM 成員、審議並通過 BIPM 預算、檢視 SI 的推廣與改進、以及釐定重要科學解析與決議，如 1983 年以光速定義米、2019 年以普朗克常數定義千克等。截至 2025 年 5 月，已有 64 個國家成為 CGPM 會員國，除成員國外，還有 37 個仲會員 (Associate Member) 參與，體現了廣泛的國際合作。我國自 2002 年起參與 CGPM 成為仲會員，並簽署「國家量測標準與國家計量機構核發校正及量測證明相互認可協定」

(MRA)。鑒於國際貿易、醫療保健、公共安全及環境保護等領域皆日益重視國際量測標準的一致性，我國藉由參與國際度量衡大會，得瞭解國際計量的發展趨勢，使我國度量衡業務與國際接軌。

(二)基本運作與發展

國際單位制 (International System of Units, 簡稱 SI)，包含七個基本單位；長度 (length)、時間 (time)、質量 (mass)、溫度 (thermodynamic temperature)、電流 (current)、物量 (amount of substance)、光強度 (luminous intensity)，構成了全世界所有科學和技術測量的基礎。為確保各國測量結果的一致性與等同性，由 CIPM 諮詢委員會主導關鍵比對，由各國國家計量實驗室 (NMI) 以其最高標準相互進行比對；截至 2024 年 12 月，關鍵比對資料庫 (Key Comparison Database, 簡稱 KCDB) 已發布 26,125 個校正與量測能力 (CMC) 聲明 (internationally recognized Calibration and Measurement Capabilities；涵蓋普通物理、電離輻射和化學等)，又目前共有 258 個機構 (包括 98 個國家度量衡實驗室 NMI (National Measurement Institute)、156 個指定國家實驗室 DI (Designated Institute) 和 4 個國際組織) 參與了國際計量委員會相互認可協議 (CIPM MRA)，並進行了 1,211 次關鍵比對和 713 次補充比對 (補足特殊需求，通常由地區組織 (RMO) 執行)，確保了測量標準的國際一致性和等效性。

從 1875 年《米制公約》的簽署，到人造國際原器，再到 2019 年 SI 重新定義，這一路見證了國際量測體系從人工製品到自然常數的全面進化。由 BIPM、CIPM、CGPM 三層架構提供的制度支援，使 SI 成為可信、公平、穩定的全球語言。對現代社會而言，米制公約與其附屬機構不僅構築了科學與商業的基礎，同時象徵著國際信任與共識的重要里程碑。其重要性包括：

- 統一全球度量衡：從根本上消除各國技術障礙，促進科學與國際合作。
- 推動測量精度革命：從原器轉向以自然常數為基礎，如光速、Planck 常數等，確保單位穩定性與可靠性。
- 支撐科學與工業發展：精準測量對航太、半導體、醫學、生物等領域至關重要。
- 保障貿易公平性：計量互認制度減少貿易摩擦，提高市場效率。
- 全球協調平台：三機構機制促進擴散知識與標準，並容納各界聲音與附屬會員參與。

米制公約簽署 150 年以來，重要發展簡述如下：

1875 年：公約簽署，首階段聚焦於「米 (meter)」與「千克 (kilogram)」物質標準。
1921 年：第 6 屆 CGPM 修訂公約，擴大範圍涵蓋所有物理量。1960 年：第 11 屆 CGPM 正式推出「國際單位制 (SI)」，並命名原有的計量制度為 SI。1999 年：CIPM 通過「CIPM 相互承認協定 (MRA)」，允許非會員國 (或經濟體) 成為「仲會員」 (Associate Member)，能參與標準互認、量測證書交換等機制，但無投票權。2018 年：第 26 屆 CGPM 全體一致通過，並於 2019 年 5 月 20 日 (米制公約簽署週年日) 正式實施，將公斤、安培、克爾文、莫耳從人造原器改為以自然物理常數固定值為基礎——包括普朗克常數、基本電荷、波茲曼常數、亞佛加厥常數等。至此，SI 的七個基本單位全部依據自然不變常數來定義。這次修訂使單位真正具有永續性，不再依賴易變的物理實體，符合科學界對精度、穩定性與可重現性的需求。

(三) 近期議題

最近一次 2022 年第 27 屆 CGPM 決議包括：

- 新 SI 前綴詞擴展：加入「超大與超小單位前綴詞」 (羅ronna 10^{27} 、昆quetta 10^{30} 及其對應負次)。
- 秒的未來重定義：提出以原子轉位頻率 (非僅依賴Cs133) 擴展或重訂秒的定義，計畫於 2030 年前實行。
- 制定數位 SI 框架與策略藍圖：通過發展數位代表性、資料交易格式、數位校正證書、公平數據原則 (FAIR Principle；可查找性 (Findability)，可訪問性 (Accessibility)，互操作性 (Interoperability) 和可重用性 (Reusability)) 等相關決議，推動 Digital SI。
- 架構及財務布局：檢討 BIPM 組織架構，邀請更多國家參與；同時確定 2024 - 027 年經費架構。
- 強調米制公約普遍參與與時代連結：包含推動全球數位轉型、環境計量、時間標準 UTC 觀點協調、以及普及締約方參與等的需求。

(四) 未來挑戰

- 全球參與深度不均：雖有 64 會員國和 37 仲會員，但存在地區 (如拉美、非洲部分國家) 的計量能力與資源仍薄弱，國際公平性仍待強化。
- 公眾教育與理解不足：會員開會常提及「雖系統運作良好，但普通人理解不

深」，呼籲SI教育需更強化，避免誤解與錯用。

- 數位轉型需加速：2022年CGPM已提案推動「Digital SI」與FAIR原則，但實務推廣不如預期，國際統一與互操作性仍有待實現。
- 前綴詞新階層宣導不足：雖已新增ronna (10^{27})、quetta (10^{30})等前綴詞，但民眾及企業尚未廣泛採用，導致實用性低。
- 時間標準重定義延後：雖有以超精準原子鐘重新定義「秒」的規劃，但數年仍未具體實施，需加強跨領域協調與技術驗證。
- 環境與氣候計量弱化：雖設立氣候計量專案組，但在實際應用（如溫室氣體監測）上標準制定與全球整合仍不足，需要更快落地。

從2019年全新的自然常數基礎定義新SI，為未來計量技術發展提供無盡延展能力；到2022年第27屆CGPM關於前綴詞、秒、數位SI、財務結構等多項關鍵決議，再至機器可讀之數位框架與氣候計量這類新領域——米制公約及附屬組織正不斷調整，為AI、雲端、IoT時代鋪路，滿足21世紀的科技、環境與數位化需求，並減少跨國貿易與科技合作中計量不確定性。

二、世界計量日 (World Metrology Day)

(一) 緣起與成立

1875年5月20日，17國代表在巴黎簽署《米制公約》(Metre Convention)，正式建立國際計量合作機制，創設BIPM/CIPM/CGPM等機構，為全球統一度量衡奠定根基。世界計量日(World Metrology Day)就是選在每年5月20日，紀念公約簽署日。自1999年起由CIPM與OIML推動慶祝，並鼓勵各國國家計量機構舉辦宣傳推廣活動。2023年11月，第42屆UNESCO大會正式將5月20日納入「聯合國教科文組織國際紀念日」，自2024年起由UNESCO與BIPM聯合舉辦主題式全球慶祝活動。2025年為公約簽署150周年，BIPM、UNESCO與多國齊聚巴黎舉辦研討會，以「Measurements for all times, for all people」主題。

(二) 與聯合國教科文組織合作

聯合國教科文組織(UNESCO)與國際度量衡局(BIPM)共同慶祝「世界計量日(World Metrology Day)」具有深遠意義，世界計量日成為全球性節日象徵計量科學在促進科學、教育、永續發展上的核心角色。UNESCO提供全球宣傳與教育資源網絡，BIPM貢獻專業知識與國際計量機制，共同舉辦活動增強公眾認識、影響政策、支持永續發展和科技創新。這種合作也體現米制公約創始理念，即透過合作、公正、永續的量測科學體系，造福全人類。

(三) 國內慶祝活動

為促進本局與各度量衡商業同業公會交流，本局自111年起結合世界計量日系列慶祝活動，於北中南東各地區辦理各項宣導活動，由本局擔任該活動指導單位，各地區由各度量衡商業同業公會及相關法人，協同度量衡技術組及轄區各分局承辦。2025年世界計量日系列活動約有900人參與，涵蓋從業人員、學界及一般民眾，展現計量宣導之多元觸角。透過課程訓練、健行、闖關體驗等多元形式，結合公會對地方產業需求的掌握，設計更貼近在地業者與民眾的活動內容，增進社會大眾對計量制度與應用之認知，也促使產業界更加重視計量工作的重要性。

經由米制公約的推動，國際單位制(SI)已是高科技通訊、尖端科學、機械化生產與國際商務的共通語言。當百分之百全球化規模的貿易與經濟合作，因SI而得以可能，舊制的度量衡單位也將黯然退位；但弔詭的是，全球經濟中首屈一指的國家，至今仍是此一規律的唯一例外。1998年，美國人損失了火星氣象觀測軌道太空船，因而痛苦地體認到此一事實。美國航空及太空總署針對衛星失靈的一份調查報告透露，有一組工程師使用傳統的英制單位，另一組則使用SI單位，結果就是六十英里的軌道誤差，以及一億兩

千五百萬美元付諸流水的發射行動。兩百年前，具革命性思想的科學家創造了米制，正是要避免這類的失敗慘劇。

米制公約簽署 150 年，透過「世界計量日」的慶祝與回顧，反映出計量科學對科技、貿易與社會的深遠影響。然而，正如今日科技環境不斷進步，國際計量體系仍需不斷革新：加強教育普及、推動數位與氣候應用、落實秒的重定義，方能使 150 歲的公約持續走在時代前端，服務全球各地「所有時刻、所有人群」。

參、過程

一、本次出國行程及會議議程

出國行程詳如表一；會議議程詳見附錄二

表一、出國行程

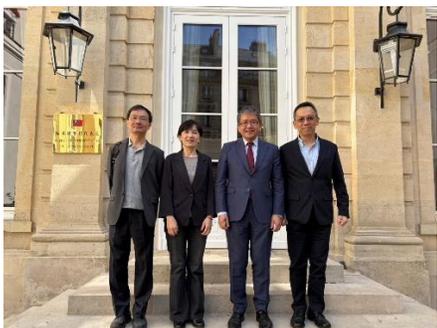
月	5	5	5	5	5	5	5	5
日	17	18	19	20	21	22	23	24
起訖地點	臺北→法國巴黎		駐法國台北代表處(巴黎)	聯合國教科文組織總部(巴黎)	凡爾賽會議中心	凡爾賽會議中心	法國巴黎→臺北	
工作記要	搭機啟程(桃園國際機場→搭機至法國巴黎戴高樂機場)		拜會駐法國台北代表處顏副代表	參加於 UNESCO Headquarters, Room I 舉行之 150 Years of the Metric Convention: Innovation & Global Impact (米制公約 150 週年：科學、創新與全球影響)	參加於 Palais des Congrès, Versailles 舉行之 From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命) Day 1	參加於 Palais des Congrès, Versailles 舉行之 From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命) Day 2	搭機回程(法國巴黎戴高樂機場→搭機回桃園國際機場)	

二、拜會駐法國台北代表處

抵法隔天先拜會駐法國台北代表處顏嘉良副代表及林雅虹副組長以及李名堯秘書，除感謝代表處長期對於本局與國際度量衡組織包括會費等相關聯繫事務的協助，另因我國非聯合國會員，故也向駐處請教進入活動地點聯合國教科文組織總部的因應方式。

我國自民國 91 年以 Chinese Taipei 名義加入國際度量衡大會 (CGPM)，成為仲會員，並簽署國際計量委員會相互認可協定 (CIPM MRA)，對我國參與全球計量體系、提升國際信任與合作具有重大意義。該協定下，我國列名之國家計量機構 (NMI) 執行單位包括：

財團法人工業技術研究院量測技術發展中心、國家原子能科技研究院與中華電信研究院等三單位，長期肩負我國計量能力之國際互認與技術推進任務。歷年有關 CGPM 會費之繳納、繳費證明及款項確認事宜，均有賴代表處協助對外聯繫與溝通，並協助重申我方持續參與及維持計量合作之立場與承諾，對此表達誠摯感謝之意。(註：仲會員具有參與技術性會議之資格，惟在正式會議中不具有表決權。)



圖二、出席團隊與駐法國台北代表處副代表顏嘉良（右二）於代表處前合影

今年恰逢《米制公約》簽署 150 週年，國際度量衡局（BIPM）將擴大舉辦系列活動。會議預計邀集來自全球百餘國的政府代表、國家計量機構（如美國國家標準與技術研究院 NIST、德國聯邦物理技術研究院 PTB 等）、國際組織及標準化機構、計量科學專業人士共同參與。本活動為計量界最高層次之專業會議，不僅展現國際社群對量測體系歷史發展之重視，更為我國強化計量外交與建立技術合作網絡之重要契機。透過與歐美先進國家深化合作關係、瞭解當前國際計量體系發展動向與未來挑戰，對我國產業升級、科技創新及制度接軌皆具深遠助益。

本次協同出席人員包括財團法人工業技術研究院量測技術發展中心藍玉屏執行長與許俊明組長，兩位長期專責我國計量標準建置與推動工作，具豐富實務與國際合作經驗。本局委託財團法人工業技術研究院辦理國家度量衡標準實驗室業務，旨在維繫國家計量技術主權，建立、維持及傳遞國家最高計量標準，滿足國家於科技、產業、民生及安全之量測儀器追溯校正需求。國家度量衡標準實驗室提供並維持 15 個量測領域之標準，逾百套量測系統，113 年計提供國內產業 5000 多件在地校正服務，成為科學與產業發展的堅實後盾。

本次《米制公約》簽署 150 週年系列紀念活動，首日活動安排於聯合國教科文組織（UNESCO）總部舉行，以彰顯全球對於國際計量制度發展之高度重視與肯定。我國目前雖未加入聯合國教科文組織，我方代表人員均依主辦單位指示完成線上報名作業，並收到官方寄發之報名確認信件。後續主辦單位另行發送正式進入會場之許可文件（access pass），作為出席當日場域之身分識別與入場依據。

另因近年我國參與CGPM年費調漲幅度頗大，本次拜會駐處也討論了年費相關規定。對於米制公約會員國會費，依公約規章，國際度量衡局的設立和設施及其維護費用以及委員會的年度開支，均由各簽署國按其現有人口比例繳納的會費承擔（公約規章有關年費規定詳附錄一）。由於 BIPM 需要的經費逐年提高，CGPM 仲會員的會費政策也是逐年提高（如表二），在政府年度預算編列上，需多多尋求支持；又我國非聯合國會員，在CGPM屬經濟體仲會員，有關我國的收費標準計算與調整，亦值得持續關注。

表二、近 5 年我國參與 CGPM 年費如下（含奧地利、波蘭、南韓分攤級距供參）

年度	我國年費數額	說明	漲幅	分攤級距	奧地利級距	波蘭級距	南韓級距
110	81,154 歐元			0.530	0.677	0.802	2.267
111	81,965 歐元		0.999%	0.530	0.677	0.802	2.267
112	134,924 歐元	112 年實際年費為 108,984 歐元，另 25,940 歐元為 111 年差額年費（分攤級距由 0.53 變成 0.666）	32.96%	0.666	0.679	0.837	2.574
113	110,648 歐元		1.53%	0.666	0.679	0.837	2.574
114	154,681 歐元		39.8%	0.851	0.626	0.831	2.349

三、520 慶祝活動地點與演講/研討主題

今年(2025 年)對「米制公約」而言更是意義非凡。自 1875 年簽署公約以來，已跨入 150 年的重要里程碑，記錄了國際計量科學合作一個半世紀的偉大成就。今年的主題為「Measurements for all times, for all people」，旨在突顯量測在塑造人類過去、現在與未來中的關鍵作用，彰顯「米制公約」在過去 150 年中對人類進步的卓越貢獻。

為此，UNESCO 總部和 BIPM 共同舉辦紀念活動，邀集駐教科文組織常任代表、國際度量衡大會成員國與仲會員國代表、國際組織、科學家、學生及大眾齊聚一堂，共同慶祝計量 150 年來的發展歷程，並展現「米制公約」下獨特的國際合作。活動目標如下：

- 慶祝「米制公約」150週年，以及其對科學與創新的貢獻。

- 強調精確量測對全球貿易、永續發展與科學合作的重要性。
- 探討計量面臨的新興挑戰與未來發展方向，以及其在實現永續發展目標 (SDGs) 中的角色。
- 促進政策制定者、科學家與國際組織間的多邊對話，推動計量領域的能力建設與創新。

活動由國際度量衡局（BIPM）主辦，於 2025 年 5 月 20 日至 22 日在法國巴黎和凡爾賽舉行；來自 78 個國家的約 450 名代表出席了這場歷史性盛會。在巴黎聯合國教科文組織總部舉行的米制公約 150 週年紀念活動上，1997 年諾貝爾物理學獎得主、美國國家標準與技術研究院（NIST）的威廉·D·菲利普斯教授（William D. Philips）和《萬物的尺度》（The Measure of All Things）一書的作者、美國西北大學的肯·阿爾德（Kender）。菲利普斯教授的演講主題為“國際單位制——全人類的工具”，阿爾德的演講主題為“從公制到米制公約”。此次活動回顧了測量科學的歷史和成就，並探討了測量標準未來面臨的挑戰。

另為期兩天的座談會在凡爾賽會議宮舉行，共設六個主題，研究人員分享了各個領域的成就和挑戰：量子時代的計量學、氣候科學計量學、FAIR 數位革命、新科學和秒的定義、未來革命——生命科學測量、未來革命——太空計量學。

米制公約 150 週年紀念活動，來自世界各地的計量科學專家齊聚一堂，共同回顧 150 年來計量標準對科學和工業進步的貢獻，並探討計量標準的未來發展方向。除了為期三天內容緊湊豐富的研討會外，主辦單位特別安排簡單慶生活動，與會人員分享生日蛋糕、拍攝紀念照、留言祝賀，共同慶祝米制公約成立 150 週年。此外，透過《世界計量 150 年》出版會，大家反思了計量標準對人類進步的重大貢獻。整體而言，本次活動不僅展示計量科學的核心地位，更凸顯其作為全球永續發展目標達成的重要推手。

表三、520 慶祝活動地點與演講/研討主題

日期/地點	主題
<p>2025.05.20 / UNESCO headquarters 聯合國教科文組織 總部</p>	<p>150 Years of the Metre Convention: Science, Innovation & Global Impact (米制公約150週年：科學、創新與全球影響)</p> <p>專題演講 (Keynote Speech)</p> <ul style="list-style-type: none"> • The SI – a tool for all mankind • From the Metric System to the Metre Convention <p>座談 (Panel Discussion)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Navigating the Future of Metrology: Addressing the challenges of Scientific and Technical Multilateralism • Future challenges for global metrology
<p>2025.05.21/ VersaillesPALAIS DESCONGRÈS 凡爾賽會議宮</p>	<p>From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命)</p> <p>研討和座談</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metrology in the quantum era • Metrology for climate science • The FAIR digital revolution <p>精選海報展示</p>
<p>2025.05.22/ Versailles PALAIS DES CONGRÈS 凡爾賽會議宮</p>	<p>From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命)</p> <p>研討和座談</p> <ul style="list-style-type: none"> • New science and the definition of the second • Future revolutions - measuring for the life sciences • Future revolutions - metrology in space

(一)、5月20日-主題：米制公約150週年：科學、創新與全球影響

首先的開場由聯合國教科文組織、法國外交部、國際度量衡委員會主席及國際法定度量衡委員會主席等高階主管致詞，包括：

- Mr. Shao Feng Hu, Director, Division of Science Policy and Basic Sciences, Natural Sciences Sector, UNESCO (聯合國教科文組織科學政策及基礎科學部主管)
- H.E. Mr. Askar Abdrakhmanov, Ambassador, Permanent Delegate of the Republic of Kazakhstan to UNESCO (哈薩克共和國常駐聯合國教科文組織大使)

- Mr. Jean Lamy, Ministère de l' Europe et des affaires étrangères, France (法國歐洲及外交事務部)
- Dr. Wynand Louw, President, International Committee for Weights and Measures (CIPM), South Africa (國際度量衡委員會主席)
- Dr. Bob Joseph Mathew, President, International Committee for Legal Metrology (CIML), Switzerland (國際法定度量衡委員會主席)

致詞內容包括計量標準對人類生活、科技發展、貿易、經濟等發的重要性，並且肯定國際度量衡局(BIPM)150年來對維持全球計量標準的貢獻。

上、下午個別進行專題演講及座談；上午的專題演講邀請到 1997 年諾貝爾物理獎得主 Prof. William D. Phillips，以 “The SI – a tool for all mankind” (國際單位制 – 全人類的工具)為題，展開了一場引人深思的演講，不僅回顧了計量制度的百年進程，更為未來的全球挑戰指明方向。Phillips 追溯了從「人體尺」到量子常數的測量變革，指出計量不只是一門科學，更是「人類普世共享」(“for all times, for all people”)的基礎。他強調 SI 制度是全人類的共同財產，支撐著健康、貿易、環保與永續發展等眾多領域，透過統一標準，促進全球協調與信任。Phillips 提醒人們：計量雖技術性高，但其根源與意義深植於改善日常生活，如精準用藥、結構安全、氣候監測等應用，反映計量的科技與倫理價值。儘管本次論壇慶祝《米制公約》150 週年，他也強調應以此為出發，將來對量子計量、數位轉型與全球合作的探索視為下一階段的核心。Phillips 身為諾貝爾獎得主，但演說用語相當平易近人，在後續研討會中也時常提出問題與講者討論，充滿科學家的知識與好奇心。

接下來座談由法國國家計量與測試研究院 (LNE) Dr Maguelonne Chambon 擔任主持人，與五位與談人(如下列示)針對 “ Navigating the Future of Metrology: Addressing the challenges of Scientific and Technical Multilateralism” (引領計量的未來：應對科技多邊主義的挑戰)主題進行交流研討，幾位參與的學者專家指出與計量科學相關的國際合作，包括：淨零永續議題、涵蓋計量標準與標準化及認證的品質基盤議題、宇宙及地球探測議題等。由於計量社群具備國際一致性，計量社群對國際議題也願意分享及合作，發揮群體的力量。

- Mr. Shaofeng Hu, Director, Division of Science Policy and Basic Sciences, Natural Sciences Sector, UNESCO
- Prof. Alessandro de Angelis, Scientific Attaché at the Permanent Delegation of Italy to the International Organizations in Paris
- Prof. Mustafa Çetintaş, Director, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Türkiye
- Dr. Sharonmae Smith-Walker, CEO, CARICOM Regional Organization for Standards and Quality (CROSQ), Jamaica
- Dr. Victoria Coleman, CIPM member and National Measurement Institute, Australia (NMIA)

下午的專題演講邀請到美國西北大學歷史系教授同時也是 “The Measure of All Things”（萬物的尺度：一個理想、兩個科學家、七年的測量和一個公制單位的誕生）的作者 Prof. Ken Alder，演講題目為 “From the Metric System to the Metre Convention”（從公制到米制公約）。其為歷史學家，說明從古代至近代法國的計量單位，如何產生及對社會國家的影響，最後促成米制公約的簽訂。Prof. Alder 的演講精煉地展現了從法國革命到當代全球公約的歷史脈絡，指出計量標準不僅是科學史上的重要里程碑，更是國際合作與技術創新的基礎。最後，他呼籲計量界繼續投入新技術與多領域合作，以因應未來挑戰。Prof. Ken Alder 其代表作《The Measure of All Things》於2002年出版，全球譯為逾12種語言，並獲多項科史獎項。

另兩場演講則分別為前 CIPM 成員 Dr. Yuning Duan 主講 “The historic contribution of China to measurement science”（中國大陸在量測科學的歷史貢獻），介紹古代所使用的度量衡器具及在量測科學的發展，以及近代，中國國家計量科學研究院對 SI 單位新定義的研究成果。及 BIPM 局長 Dr. Martin Milton 介紹 “150 years in fifteen photographs”（15 張照片記錄 150 年）。



圖三、BIPM 局長 Dr Martin Milton（左一）介紹“150 years in fifteen photographs”

接下來下午座談由法國記者同時也是本次慶祝活動總策劃 Ms Georja Calvin-Smith 擔任主持人，和五位與談人(如下列示)針對“Future challenges for global metrology”（全球計量的未來挑戰）主題進行交流研討。其中 Prof. Willie E. May 和 Dr Nathalie von Siemens 分別以“Expanding the horizon of metrology to chemistry, biology and beyond”（拓展計量學的視野至化學、生物及更廣泛的領域）和“Metrology as a driver for the industrial revolution”（計量學作為工業革命的推動力量）為題進行引言。與會專家指出計量未來的挑戰，包括：時間頻率的重新定義、建立月球時間、非洲區域計量組織面臨的挑戰等。

- Prof. Willie E. May, Vice President, Research and Economic Development & Professor of Chemistry, Morgan State University, USA
- Dr. Nathalie von Siemens, Member of the Advisory Board, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany
- Dr. Pascale Defraigne, Time and Frequency Service, Royal Observatory of Belgium
- Prof. Venu Gopal Achanta, CIPM member and National Physical Laboratory of India (NPLI), India
- Dr. Henry Rotich, Kenya Bureau of Standards (KEBS), Kenya

其中 Dr. Nathalie von Siemens（德國物理技術研究院 PTB 顧問委員）在「Future Challenges for Global Metrology」場次中特別提到，數位化與量子技術正改寫精密測量的可能性，她援引其曾曾祖父亥姆霍茲（Hermann von Helmholtz）與西

門子 (Werner von Siemens) 的歷史範例，主張當今世界需要同樣具備遠見與實踐精神的「變革者 (change makers)」，讓科學不只是研究，更能服務社會。另 Dr. Siemens認為，要讓計量被社會認識與支持，就必須透過教育讓大眾了解測量標準如何影響他們的生活，這對政策制訂者尤為重要。只有讓更多人理解計量的價值並投入其中，全球在科技、永續與公平領域的挑戰才有機會被有效回應。

最後，首日的活動在 CIPM 秘書長同時也是日本計量研究院(NMIJ)院長 Dr. Takashi Usuda 和 UNESCO 自然科學科學政策與基礎科學部 Mr. Shaofeng Hu 總結下結束。

(二)、5月21日-主題：From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命)

第二天活動場地移至凡爾賽會議廳，此會議廳亦為每四年舉辦 CGPM 大會的地點。活動以主題演講搭配座談的方式進行，共有三個主題：

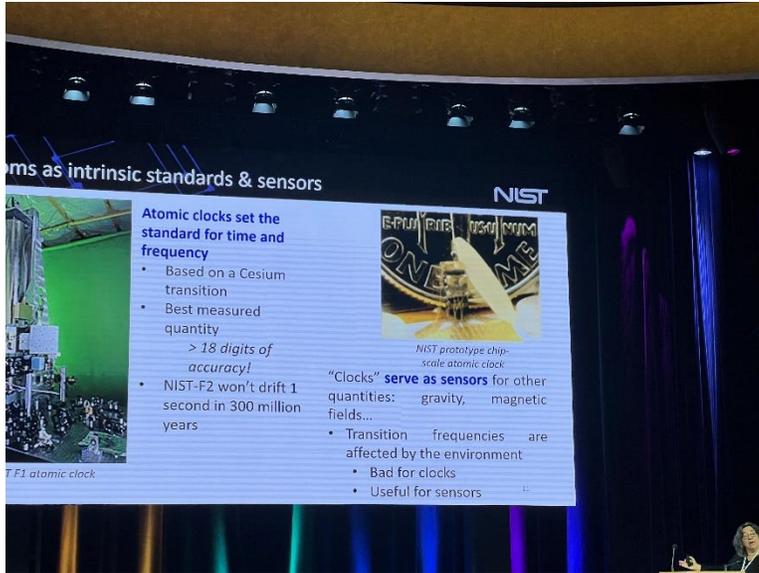
(1). Metrology in the quantum era 量子時代的計量學

2019 年國際單位制(SI)的修訂和量子技術的進步，使得量子標準的發展和實施能夠應用於日益廣泛的計量領域。量子計量學依靠量子效應來提高量測精度和分辨率，超越經典物理學所能達到的水準。量子計量學還提供了創建固有量子標準的方法，這些標準無需校正，並可以基於基本常數直接實現 SI 單位。此類標準可讓國家計量機構以外的使用者使用原級定義的實現(primary realizations)。

由 BIPM Dr. Michael Stock 介紹本場次主題及兩位引言講者：Ms. Barbara Goldstein 和 Prof. Lixing You。兩位分別以 “The interplay between quantum, metrology and technology” (量子、計量與技術之間的相互作用)、 “Superconducting photon detector: from quantum information processing to metrology” (超導光子偵測器：從量子資訊處理到計量應用)為題進行引言。

■ The interplay between quantum, metrology and technology (量子、計量與技術之間的相互作用)

來自美國 NIST 的 Goldstein 女士指出，量子技術的發展帶來了新的測量挑戰，包括在極低溫環境下的表現、多變的硬體平台間的標準一致性等。這些挑戰需要國際間的合作與協調，以制定出適應未來需求的測量標準，確保量子技術的可靠性和可持續發展。



圖四、Goldstein 女士介紹NIST在原子鐘應用於時頻標準及感測領域的發展

- Superconducting photon detector: from quantum information processing metrology (超導光子偵測器：從量子資訊處理到計量應用)

中國科學院上海微系統與信息技術研究所的尤立新教授（Lixing You），發表在超導光子探測器（SSPD）的研究和應用成果。SSPD 是一種基於超導材料的光子探測器，具有極高的探測效率和時間解析度，這使其在量子資訊處理中，尤其是在量子密鑰分發（QKD）和光學量子計算中，發揮了關鍵作用。其團隊在 SSPD 的性能上取得了多項突破，包括：實現了 98% 的系統探測效率；所開發系統成功應用於中國的光學量子計算原型機「九章」，實現了量子優越性；在長距離的光纖中成功演示了量子密鑰分發，顯示出 SSPD 在量子通信中的潛力。

座談則由 CIPM Prof. Jan-Theodoor Janssen 主持，與包含引言講者在內的 四位與談人進行座談。引言講者、講題和座談與談人列式如下。

- Ms. Barbara Goldstein, National Institute of Standards and Technology (NIST), USA
- Prof. Lixing You, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, China
- Dr. Jifeng Qu, CIPM member and National Institute of Metrology (NIM), China
- Dr. Nicolas Spethmann, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany

(2). Metrology for climate science 氣候科學計量學

精確量測是了解氣候科學及其影響和未來風險的基礎，本場會議致力於探討計量學在全球氣候和環境挑戰的應用。重點討論自國際度量衡局-世界氣象組織「氣候行動計量」研討會，就增強計量和計量機構對氣候數據影響的建議達成共識以來採取的措施。

由 BIPM Dr. Robert Wielgosz 介紹本場次主題及兩位引言講者： Dr. Oksana Tarasova 和 Mr. Mahesh Kumar Sha。兩位分別以“Development of a Global GHG Monitoring System”（全球溫室氣體監測系統的發展）、“Fiducial Reference Measurement for GHG”（溫室氣體的基準參考量測）為題進行引言。

■ Development of a Global GHG Monitoring System(全球溫室氣體監測系統的發展)

WMO世界氣候組織代表Dr. Oksana Tarasova以 Global Atmosphere Watch (GAW) 為主軸，說明世界氣候組織持續收集大氣溫室氣體、臭氧與氣溶膠等資料，並用於編製《Greenhouse Gas Bulletin》，協助國際談判（如 COP）掌握趨勢，強調這些觀測不只是科研基礎，更是制定氣候政策的關鍵參考。她提到因應 2022 年 BIPM – WMO 報告，推動建立溫室氣體測量的計量追蹤系統（metrology-backed GHG system），在 in-situ、飛行器、衛星資料間提供交叉驗證與不確定度管理，並強化標準、校正比對以及測量方法透明化，是計量社群與氣象機構共同的優先任務。她指出計量測量一定要精準控管測量準確度（accuracy）、穩定性（stability）、不確定度（uncertainty），並將其系統化於整體流程中。這一完整鏈需跨界合作，例如計量院（NMIs）、科研機構、UNFCCC、COP 支持單位等共同參與。

座談則由 CIPM Dr. Dolores del Campo Maldonado 主持，與包含講者在內的四位與談人進行座談。主題演講的講者、講題和座談與談人列式如下。

- Dr. Oksana Tarasova, WMO - World Meteorological Organization (WMO)
- Mr. Mahesh Kumar Sha, Royal Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-ISAB), Belgium
- Dr. Leonard Rivier, Integrated Carbon Observation System(ICOS)
- Dr. Sangil Lee, Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS), Republic of Korea

(3). The FAIR digital revolution FAIR 數位革命

CIPM 在其長期策略中強調「數位轉型」是未來幾十年的關鍵挑戰之一，並成立了數位 SI 工作小組，對未來發展進行探討。事實上，隨著基於物聯網的工業 5.0 的興起，世界正日益數位化，這涉及機器之間資料的快速交換，催生了對符合 FAIR 原則的量測資料互通性和可追溯性的需求。未來這種可追溯性將基於 SI 數位框架，並透過 NMI 資料服務傳播到所有應用層面。

由 BIPM Dr. Vincent Gressier 介紹本場次主題及兩位引言講者：Dr. Barend Mons 和 Dr. Mark Allen。兩位分別以“Stop Data Sharing…”(停止數據共享…)、“FAIR digital data in astrophysics”(天文物理中的 FAIR 數位資料原則)為題進行引言。

■ Stop Data Sharing…(停止數據共享…)

Dr. Barend Mons 主張，一味推廣資料共享 (data sharing) 經常事倍功半、不切實際；傳統將大量資料在不同研究單位、跨國之間傳送的做法，不僅成本高昂，也面臨資料隱私與管理風險。相較之下，停止盲目搬移資料，改為機器遠端訪問資料進行分析——即 data visiting，而要讓這可行，就要把資料設計成 AI/ML 可解讀的 FAIR 形式、確保其資料源頭與處理流程的完整可用。他強調，面對全球性議題如氣候變遷、公共衛生，資料來自各領域、格式各異，若沒有標準化與機器可讀性，將難以融合與分析。鑑於多數資料量龐大（如生物醫學或天文資料）、且可能具敏感性（病人個資等），直接搬移資料往往不可行。因此，演算法直接造訪資料源頭的「data visiting」，更具現實可行性與效率。

■ FAIR digital data and services in astrophysics (天文物理中的 FAIR 數位資料原則)

演講者 Dr. Mark Allen 來自法國史特拉斯堡天文資料中心（CDS），該中心是天文界推動資料 FAIR 化與服務互通的核心機構，透過 FAIR 資料管理提升機器學習、AI 與自動化處理在天文中的應用。Dr. Mark 型塑的 CDS 平台使研究人員更容易重用資料與結論，強化可重現性與跨領域合作。

座談則由 CIPM Prof. Cornelia Denz 主持，與包含講者在內的四位與談人進行座談。主題演講的講者、講題和座談與談人列式如下。

- Dr. Barend Mons, Leiden University, the Netherlands
- Dr. Mark Allen, Strasbourg Astronomical Data Center (CDS), France

- Dr. Peter Thompson, National Physical Laboratory (NPL), UK
- Prof. Venu Gopal Achanta, CIPM member and National Physical Laboratory of India (NPLI), India

本次 150 周年慶祝活動亦經過公開邀請，共計收到 350 多篇海報文章，以展示 CIPM 「2030 策略+」中重點強調的 9 項計量領域的先進技術（包括：SI units and fundamental metrology、The Environment and Climate Change、Health and Life Sciences、Safe Food and Water、Energy、Industry and Advanced Manufactures、Digital transformation, Artificial Intelligence, and Systems Metrology、Metrology for Quantum Technologies、opportunities for Metrology）。此時段並由 CIPM 成員組成的專家小組所選出 9 份優秀海報的作者分別進行 2 分鐘的發表。另有第 10 份海報文章從「青年計量學家願景 2050+」的投稿中選出。所有海報文章均在 BIPM 150 周年網站上展出。工研院量測中心 NML 本次亦無缺席，共有 3 篇投稿並獲展示於網站上：

- Assessment of T-T90 differences in the temperature range from 213 K to 303 K using quasi-spherical resonator acoustic gas thermometry, by Shu- Fei TSAI (使用準球形共振腔升學氣體溫度計評估 213 K 至 303 K 之 T-T90 溫度差異，蔡淑妃)
- From the surface characterization of the 28Si-sphere to the semiconductor ultra-thin film using X-ray metrology, by Yu-Hsin WU (應用量測矽晶球表面特性的X光計量技術於半導體超薄膜量測，吳玉忻)
- Nanometrology for size and chemical analysis of semiconductor process impurity, by Alice Ching Hsuan CHANG (分析半導體製程不純物尺寸及化學之奈米計量技術，張敬萱)

(三)、5 月 22 日-主題：From units to the universe - future revolutions in metrology (從單位到宇宙－計量學的未來革命)

第三天活動同樣以主題演講搭配座談的方式進行，共有三個主題。其中最後兩個場次則展示探討計量學發展的新契機，以及其在新興應用領域中的潛力。這些契機源自尖端研究的成果，並對未來看待計量學的方式帶來諸多挑戰。

(1). New science and the definition of the second 新科學視角下「秒」的定義

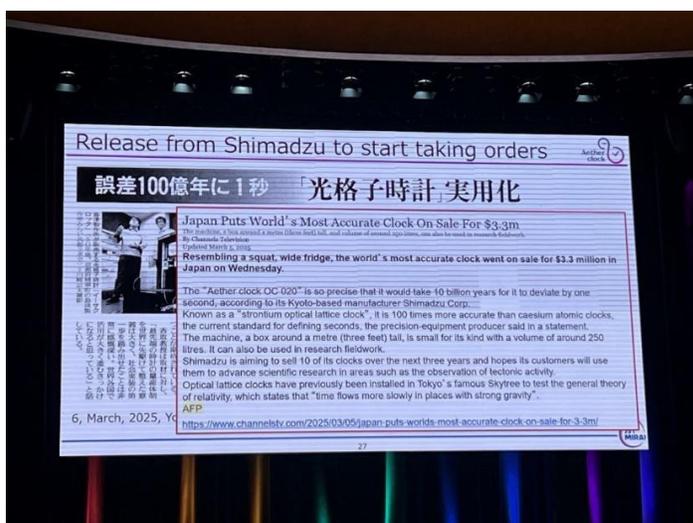
時間計量領域的發展一直以來都緊隨原子鐘性能尖端研究的成果迅速推進。自 1967 年以來，國際單位制中的「秒」便依賴於量子物理的基礎，其定義是建立在銻原子於微波頻段共振頻率之上。如今，光鐘的性能已超越現有的銻鐘，引發國際

時間與頻率諮議委員會(CCTF)對以光頻標準為基礎重新定義「秒」的討論。研究人員也正在探索基於核轉換的原子鐘技術。本場次介紹光鐘精度方面的最新進展，以及用於比較光鐘的新技術，這些技術為重新定義「秒」提供了可能性。

由 BIPM Dr. Patrizia Tavella 介紹本場次主題及兩位引言講者：Prof. Hidetoshi Katoris 和 Dr. Marina Gertsyov。兩位分別以“Optical lattice clocks: From curiosity-driven science to future applications” (光鐘：從好奇驅動的科學研究走向未來應用)、“The CCTF roadmap to the redefinition of the second” (CCTF 重新定義「秒」的路線圖)為題進行引言。

- Optical lattice clocks: From curiosity-driven science to future applications (光鐘：從好奇驅動的科學研究到未來的應用)

日本東京大學 Prof. Katori 以「從好奇到應用」這條科學轉化脈絡闡述光學格子鐘，他解釋了光學格子鐘如何從基礎研究演進成可搬運、精度穩定、可商用的量測裝置，並肯定其在相對論地形測量、下一代導航通訊系統與基礎物理研究中，將扮演全球性關鍵基礎技術。其團隊開發出首款體積僅 250 L 的緊湊型光學格子鐘，用於實驗室外應用，強調機動性與穩定性提升，尤其適合以時間頻率差異探測地形的戶外測量，為地質與大地測量提供新工具。



圖五、Prof. Katori介紹日本近期發表超精準、外型如冰箱的商用光鐘

- The CCTF roadmap to the redefinition of the second (CCTF 重新定義「秒」的路線圖)

由於 2006 年光鐘的不確定度已低於銫原子鐘的不確定度(1×10^{-15})，CIPM 時間與頻率諮詢委員會(CCTF)已於 2017 年著手修訂於 1967 年定義的 SI 基本單位「秒」。目前國際上研發的光鐘所採用的原子最多的是銣 87(87Sr)，而秒新定義有3個選項(option)，如下方圖六。

Option 1	Option 2	Option 3
one single atomic transition in lieu of the Cs	weighted geometrical mean of the frequency of an ensemble of chosen transitions.	fixing the numerical value of one more fundamental constant
	2a: fixed (CGPM) list of ν_i, W_i, N 2b: live (CIPM) list of ν_i, W_i, N , according to rules (CGPM)	
$\nu_{xy} = N \text{ Hz}$, where N is the defining value	$\prod_i \nu_i^{W_i} = N \text{ Hz}$, where W_i and N are the defining values	$m_e = M \text{ kg}$, where M is the defining value, completed by the other defining relations for c, h, e, k_B, N_A and K_{cd}
Example: $\nu_{87\text{Sr}} = 429\,228\,004\,229\,872.99 \text{ Hz}$	Example: $(\nu_{87\text{Sr}})^{0.25} (\nu_{133\text{Yb}})^{0.25} (\nu_{171\text{Yb}^+(E3)})^{0.2} (\nu_{27\text{Al}^+})^{0.3} = 650464\,137\,090\,812.53 \text{ Hz}$	

圖六、秒新定義的 3 個選項(options)

秒新定義 3 個選項及其優缺點比較，左邊開始為選項 1(選擇單一原子取代銫)、中間為選項 2(開放多個原子取其結果平均)、右邊為選項 3(固定物理常數)。選項 3 可行性低，選項 1 較難達成共識，以選項 2 可行性高。

銫(Cs)原子鐘的不確定度是 1×10^{-15} ，光鐘(optical clocks)的不確定度於 2008 年已低於銫原子鐘，已能提供數量級更高的穩定性與準確度（高達 10^{-18} 級）。目前預計於 2026 年決定新定義採用何種選項，並根據實驗數據與共識，選定最具代表性的光鐘躍遷頻率，預計於 2030 透過 CIPM 和 CGPM 決議正式實施秒重新定義。

座談則由 CIPM Dr. Noël Dimarcq 主持，與包含講者在內的三位與談人進行座談。主題演講的講者、講題和座談與談人列式如下。

- Prof. Hidetoshi Katori, University of Tokyo, Japan
- Dr. Marina Gertszov, National Research Council of Canada(NRC), Canada
- Prof. William D. Phillips, National Institute of Standards and Technology(NIST), USA

(2). Future revolutions - measuring for the life sciences 未來的革命—生命科學中的量測

本場次聚焦於生命科學領域中計量學的嶄新應用與發展機會。重點放在兩個方面：其一是化學計量在個人化醫療中生物標記分析的應用；其二是計量學在放射治療領域中，如何促進診斷與治療新技術的實現。多位醫學領域的研究人員分享他們的研究成果，並闡述計量學在推動生命科學技術進步中的未來角色。

由 BIPM Dr. Anna Cypionka 介紹本場次主題及兩位引言講者：Dr. Renee Ruhaak 和Dr Claude Bailat。兩位分別以“Personalized medicine - for improved patient care”（個人化醫療—提升病患照護品質）、“Bringing radiometrology traceability to hospitals”（將輻射計量可追溯性導入醫院）為題進行引言。

- Personalized medicine for improved patient care:Mass spectrometry- based precision diagnostics in coagulation (個人化醫療改善病患照護：基於質譜的凝血精準診斷)

講者Ruhaak 教授強調，量測蛋白質「proteoforms」是實現個人化醫療不可或缺的一環，確保這些測值的可比性需透過嚴謹的計量學與標準化流程，才能在全球範圍達成一致。透過高精度質譜測量，可識別蛋白質翻譯後修飾、變異形式等，這類資訊能作為疾病生物標記，用於個別化診斷、預後評估及治療策略設計。未來仍須跨國建立標準物質（reference materials）與參考測量程序，確保數值的互操作性與國際可比，並推動多中心協作與資料分享，以加速臨床驗證與標準採用。

- Bringing radiometrology traceability to hospitals (將放射計量學可追溯性引入醫院)

Dr. Bailat 代表瑞士洛桑大學醫院（Lausanne University Hospital）與洛桑大學出席，專注於在臨床應用中將放射計量學（radiometrology）導入醫院，提升放射診療品質與安全性。臨床放射學與核醫學領域普遍缺乏 SI可溯源的計量標準，造成劑量與活度測量不準確的潛在風險。可溯源的計量標準可確保劑量與活度測量更精準、一致，降低治療錯誤、提升治療效果，最終提升病人安全與護理品質。Dr. Bailat 呼籲放射計量學家、醫療物理師、器械製造商、臨床研究者等共同參與，推動多方協作，建立統一可追溯流程與質量監控機制。

座談則由 CIPM Ms Georgette Macdonald 主持，與包含講者在內的四位與談人進行座談。主題演講的講者、講題和座談與談人列式如下。

- Dr. Renee Ruhaak, Leiden University Medical Center, the Netherlands
- Dr. Claude Bailat, Lausanne University Hospital and University of Lausanne, Switzerland
- Prof. Willie E. May, Morgan State University, USA
- Ms. Zakithi Msimang, International Atomic Energy Agency(IAEA)

(3). Future revolutions - metrology in space 未來的革命—太空中的計量學

最後一場次聚焦於計量學另一個令人振奮的應用領域：太空研究。在尖端研究計畫中，計量學家與太空科學家合作，打造可信賴的太空量測環境，為太空任務的成果做出重要貢獻。同時，計量學也運用源自太空任務的技術，開創嶄新的應用機會，特別是在世界協調時(UTC)的實現方面。

由 BIPM 局長 Dr. Martin Milton 親自介紹本場次主題及兩位引言講者：Dr. Luca Stringhetti 和 Ms Cheryl Gramling。兩位分別以“Precision at Cosmic Scales: future Metrology through the Square Kilometre Array telescope”（宇宙尺度的精密計量：平方公里陣列望遠鏡引領的未來計量發展）、“The Moon and beyond: measurements to navigate the solar system”（登月與深空探索：引導航行太陽系所需的精密量測）為題進行引言。

- Precision at Cosmic Scales: future Metrology through the **S**quare **K**ilometre **A**rray telescope (宇宙尺度的精密計量：平方公里陣列望遠鏡引領的未來計量發展)

Dr. Luca Stringhetti 指出 SKA 天文台的首批兩台射頻望遠鏡將於本世紀末全面投入營運，透過觀測不同頻率的無線電波，將徹底改變我們對宇宙的瞭解。SKA 天文台必須於惡劣得環境中對此兩個天文望遠鏡的特性做精密、長時間的評估，為確保資料的高精度與一致性，樣本對時（synchronization）與時間戳記系統必須達到皮秒級穩定，全望遠鏡的資料需與 UTC 可溯源，達到奈秒準確度。因此必須加強量測技術以能更精密及更可靠的量測。透過奈秒／皮秒同步提升射電望遠鏡的空間與時間解析力，將地面儀器與國際時間尺度建立直接可溯源連結，時頻傳遞技術可應用在地球科學、導航、通訊及量子網路等領域。

- The Moon and beyond: measurements to navigate the solar system (登月與深空探索：引導航行太陽系所需的精密量測)

Ms. Cheryl 來自 NASA Headquarters，她指出隨著航向月球及更遠深空任務 的增多，長度、時間與質量計量的精密度需求顯著提升，這些也是未來太空導航與科學探索的基石。她展望未來在月表建立可追溯地球 SI 標準的測量設備或基準站，使得 metre（公尺）等單位能直接在月球上實現與維護。Cheryl 強調，從地表到月球甚至其他星體，需要面對不同重力場、極端環境與相對論效應，要求計量方法具備高度延展性與泛用性。她呼籲國際計量機構、太空機構、科研單位與工業部門共同合作，打造一套完整的太空導航與定位的計量生態系統，涵蓋時間同步、距離量測與質量標準統一，如此不僅對月球，而是為未來人類探索整個太陽系：登陸火星、探索小行星、延展至外太陽系等全都倚賴扎實的計量學支撐。



圖七、Ms. Cheryl的演說富含前瞻性，展現NASA在推進太空計量學方面的野心與佈局
座談則由 CIPM Dr. James Olthoff 主持，以台下聽眾提問兩位講者回覆的互動方式進行。主題演講的講者列式如下。

- Dr. Luca Stringhetti, SKA Observatory
- Ms. Cheryl Gramling, NASA Headquarters, USA

肆、心得與建議

一、國際計量趨勢觀察與參與意義

此次應邀參與「米制公約簽署150週年暨2025年世界計量日」活動，係國際計量界百年一遇的重要盛會，不僅具歷史意義，更凸顯計量於當代科技、永續與全球治理的關鍵地位。此次會議由BIPM與UNESCO共同舉辦，除回顧米制150年來的貢獻外，更深入探討AI時代下的數位SI、生命科學計量、氣候計量及宇宙尺度的測量需求等，顯示計量科學正從傳統工業根基，擴展至前瞻科技與社會永續發展的核心支柱。國際計量發展趨勢呈現三項重要特徵：其一，計量標準正全面數位化，未來以機器可讀為特徵的數位SI(Digital SI)將取代紙本證書，並提升自動化與溯源性；其二，計量應用擴展至生醫、氣候與太空等新興領域，並呼應聯合國永續發展目標(SDGs)；其三，透過教育與科普推廣，計量正從「專家科學」走向「全民理解」，強化公眾支持與政策認同。我國參與本次盛會，不僅提升技術觀點，更展現對國際量測合作的誠意與承諾。透過與歐美計量先進國家互動，除可掌握國際趨勢，亦有助我國在未來量測外交中強化能見度與話語權。

二、重要議題研析與啟發

(一) 秒的重新定義：邁向光鐘世代

目前「秒」的定義仍以銻-133原子微波躍遷頻率為基礎，但近年光鐘技術突飛猛進，精度已遠優於銻鐘。本次大會中，Prof. Katori與Prof. Gertsyov等專家闡述光學格子鐘在地形測量、量子導航及時頻網路上的應用，並預告2030年前將可能重定義「秒」。此將標誌著計量史上的又一重大飛躍，台灣應關注我國是否需升級校時系統、光鐘研發及國際同步機制之整備。

(二) 數位SI與FAIR原則：計量進入AI時代

「數位SI」(Digital SI)成為此次會議高頻關鍵詞，其核心在於建立標準機構所提供之校正/測量結果能以機器可讀格式傳遞，並遵守FAIR原則(Findable, Accessible, Interoperable, Reusable)。會議中，Dr. Barend Mons強調「停止傳送資料，而是讓演算法去拜訪資料」(Data visiting)的概念，為AI科學與資料治理注入新思維。我國應加速建立Digital SI實驗場域、研擬數位校正證書平台，並強化跨機關之數據互通能力。

(三) 生命科學計量與放射追溯：計量走入醫療前線

隨著個人化醫療發展，精密且標準化的生物標記量測愈加重要。Dr. Ruhaak與Dr. Bailat分別從質譜與放射劑量角度，提出計量如何支撐診斷準確性與病患安全。

放射計量於核醫療、放療中更扮演關鍵角色，BIPM鼓勵全球推動將量測標準導入醫院系統。目前我國國家度量衡實驗室已加強與醫療體系合作，強化放射線治療用之直線加速器追溯能量，期提升醫療品質與國際接軌能力。

(四) 氣候與太空計量：新世紀的計量前哨站

氣候議題方面，WMO代表提出溫室氣體監測需結合in-situ、衛星與氣球觀測資料，建立以計量為本的校正與不確定度評估機制。對於台灣而言，若能發展具國際可追溯之GHG監測鏈，將有助我國碳盤查、碳費制度及對外減碳承諾的可信度。太空計量方面，來自NASA與SKA天文台的講者指出，太空任務精密量測需具SI追溯性，時間與距離標準為導航與探測關鍵。我國可考慮以半導體、資通訊與時頻技術為基礎，支援低軌衛星、量子通訊等科技發展。

三、我國應對策略與制度強化建議

(一) 積極參與秒的重新定義與國際合作平台

我國國家時間與頻率標準實驗室除維持我國時頻標準與國際一致，且為BIPM指定之第一級（G1）校正實驗室（全球共9個），負責亞太地區國家導航星系統（GNSS）比對鏈路校正。惟目前實驗室之氫原子鐘陸續出現老舊故障情形，其中部份俄羅斯氫鐘因俄烏戰爭無法送修，為避免對實驗室正常運作造成重大影響，近年本局已積極爭取預算，希望能順利進行汰換。

此外，研討會Prof. Katori介紹日本已發展出商用光鐘（Optical Clock），另從參展海報內容中亦發現，中國及南韓於量子計量及光鐘研發上也都有初步成果。國家投入發展光鐘技術，不僅是一項科學突破，更具有深遠的戰略、經濟、安全與科技自主性影響。面對2030年前可能重定義「秒」的進程，建議我國除應持續關注其發展外，應強化與國際時間頻率相關工作小組的互動，並支持國內研究單位（如NML）投入光鐘等高精度時間標準研發與應用實證，強化國家計量主權。

(二) 加速推動數位計量轉型

近年，因應工業4.0、物聯網、人工智慧的發展，量測儀器與生產設備的自動化與數位化已成為趨勢，然而過往以來的計量追溯方式，主要透過人工方式解讀與傳遞(例如：紙本校正報告)，不僅耗費紙張、容易出錯，也影響效率。因此若計量追溯鏈不因應趨勢進行數位化轉型，勢必構成產業發展阻礙，並逐漸與快速發展的電腦系統脫節。

因國家度量衡標準實驗室在計量追溯扮演著承先啟後的角色，一方面作為國內

與國際計量組織(即BIPM)溝通的橋樑，並與其他國家度量衡標準實驗室相互比對交流，另一方面作為國內最高的計量追溯標準來源，因此國家度量衡標準實驗室對於SI數位轉型的規劃與政策，將影響國內計量追溯與產業的發展方向。故建議本局與NML應共同規劃短中長期發展策略，包括：建立機器可讀之數位證書平台、協助產業導入FAIR資料原則，發展計量數位化基礎建設，並與產業、認證機構及實驗室合作建立運作模式，俾提供產業接軌國際數位校正證書，支援智慧化發展，並引領檢校體系智慧化轉型。

(三) 深化計量教育推廣與公眾溝通

整個研討會中，多次有參與的科學家、計量專家及政府人員表示，計量作為品質基磐，是國家社會創新、發展的重要環節，惟目前遇到的瓶頸是如何將其重要性，由此專業圈（House）傳達擴散出去，尤其是讓政策決定者接收並瞭解。不過正如Dr. Siemens強調：「讓計量真正影響社會，須從教育著手。」，惟透過基本物理常數而不是物理物件來定義國際單位制 (SI) 單位本就是一抽象的理論概念，許多教育工作者缺乏足夠的國際單位制 (SI) 教學培訓，這是所有經濟體面臨的重大挑戰。建議本局可持續充實「計量學習服務網」，並要求國家度量衡標準實驗室強化科普宣導，參考國外已完成的教材，結合世界計量日，以故事化、視覺化素材推廣「秒的定義、公斤的演變」等議題，並將對象推廣至教育工作者，及開發互動展示教具與影片，讓計量種子深植下一代，並拉近計量與民眾生活距離。

四、結語與展望

今年正值米制公約150週年，此次以「Measurements for all times, for all people」為題的高峰論壇，不僅回顧計量史上的輝煌成就，更勾勒出AI世代、氣候風險與數位浪潮下計量的新角色。計量早已超越單一技術體系，成為支撐科技創新、貿易信任與永續發展的全球語言與制度基石。

對我國而言，持續深化國際參與、推動技術升級與制度創新，並善用我國ICT、半導體、醫療等優勢結合計量能量，不僅可助我國在國際間建立信賴與能見度，更可讓「台灣計量」成為高品質與科技驅動的代名詞。期望本次經驗成為我國未來推動「計量外交」、「數位轉型」及「科技永續」的重要踏腳石。

附錄一、米制公約及CGPM決議與會費有關之規定

米制公約規章、CGPM 決議以及CIPM MRA 的文件資料，綜整如下（由工研院量測中心許俊明組長協助整理）：

◆ 我國參與國際度量衡大會(CGPM)及簽署CIPM MRA 的機制

米制公約是 1875 年 5 月 20 日 17 個國家在巴黎簽署，目前有 64 國簽署。此公約包含 14 項條款，並附有包含 22 項條款的規章附錄。我國無法成為米制公約會員國，原因為根據其規章：

第3條(1921年公約增補條款)：

任何國家均可透過向法國政府通知加入本公約，法國政府隨後將加入通知所有參加國和國際度量衡委員會主席。

規章附錄第十六條：

國際委員會與締約國政府的所有通訊應透過其駐巴黎外交代表進行。

在上述規章規定下，因我國與法國無邦交，無法簽署米制公約成為正會員。

國際度量衡大會(CGPM)於1999年第21屆大會的決議3 (Resolution 3)

對於CGPM 的仲會員(Associate)設立做出以下決議：

考慮到：

- 基於國際單位制(SI)的全球計量基礎設施，幾乎應用於現代社會的各個方面，其基礎在於大會各項決議的普遍適用；
- 所有國家，不僅是米制公約成員國，都參與與貿易相關且需要追溯至 SI 的計量工作；目前，非米制公約成員國被排除在該公約活動之外；

因此決定：

- 邀請此類國家和經濟體以仲會員身份參加大會，從而與米制公約成員國建立必要的聯繫，以便其參與互相承認(MRA)；
- 大會的仲會員國和經濟體藉由指派無表決權的觀察員參加大會；
- 希望成為仲會員的國家或經濟體，可直接或透過其駐巴黎大使館向國際度量衡局局長提出申請，並繳納首年會費。

所以我國依據此決議於2002年簽署CIPM MRA，並以仲會員身分參與4年一次的CGPM大會。

備註：米制公約並無仲會員，準會員係為使非米制公約簽署國可參加 CGPM 大會所設之身分，適用於國家或經濟體。

◆ 我國繳交國際度量衡大會(CGPM)的年費問題

● 米制公約之規章

對於米制公約**會員國會費**，相關規定為：

第9條(1875年)：

國際度量衡局的設立和設施及其維護費用以及委員會的年度開支，均由各簽署國按其現有人口比例繳納的會費承擔。

第20 條(1921年)：

1. 公約第 9 條所述會費分攤比例，其固定部分是根據本規章第 6 條規定的繳納比例和人口比例確定的；每個國家的正常繳納比例不得低於總繳納比例的千分之五，也不得高於總繳納比例的百分之十五，不論人口數量多少。

2. 為確定此比例，首先確定哪些國家符合此最低繳納比例和最高繳納比例的必要條件；然後將總繳納比例的剩餘部分直接按人口數量⁵的比例分配給其他國家。

⁵第11屆、第16屆和第18屆大會通過了新的規定，使本條第20 條第1款和第2款的規定無效。這些新規定借鑒了聯合國組織計算會費的規則，同時規定了最高和最低會費比例。

5. 如果一個加入本公約的國家宣布希望將惠及一個或多個附屬殖民地，則應將這些殖民地的人口數加到該國人口數中，以計算會費比例。

6. 被承認為自治的殖民地如欲加入本公約，則應根據其母國的決定，將其視為該國的附屬國或簽署國。

● CGPM 之決議

第23 屆國際度量衡大會(2007 年)第5 號決議

考慮到：

- 仲會員國參與國際度量衡委員會相互承認協議(CIPM MRA)以及諮詢委員會某些工作，為會員國帶來日益增加的成本

決定：

- 國際委員會將在接納每個準會員國為仲會員國 5 年後審查其情況，以鼓勵其加入米制公約

第24屆國際度量衡大會(2011年)第4號決議

考慮到：

- CGPM 仲會員國越來越多參與米制公約下所進行的工作；
 - 米制公約簽署國的實際成本不斷增加米制公約對仲會員國的這些益處
 - 仲會員國地位可構成加入米制公約的第一步，決定：
 - 在加入國際度量衡大會(CGPM)成為準會員國後的最初 5 年內，仲會員國應繳納年度會費，該會費金額應根據其向聯合國組織繳納的會費確定，如同米制公約簽署國一樣，至少相當於國際度量衡局(BIPM)年度會費的0.1 %。
 - 此決定自 2013 年起適用於現有仲會員國，用於計算其會費。
 - 在上述最初 5 年之後，如果國際度量衡大會(CIPM)根據其採用的標準認為某個仲會員國適合成為米制公約簽署國，則該仲會員國的會費金額應逐年逐步且不可逆轉地增加，直至5年內達到其作為米制公約簽署國所需繳納年度會費的 90 %。
 - 此逐步且不可逆轉的自國際度量衡委員會(CIPM)決定鼓勵一個仲會員國加入米制公約簽署國的第二年 1 月 1 日起，將開始增加會費。
- CIPM MRA 之文件
無會費相關規定
 - 綜合以上米制公約規章及CGPM決議，會費的收取準則為：
 - 由於 BIPM 需要的經費逐年提高，CGPM 仲會員的會費政策也是逐年提高。
 - 米制公約對於會員國及CGPM對於準會員國的會費是依據聯合國會費的標準收取。我國非聯合國會員，在CGPM屬經濟體仲會員，相關資料蒐集有助釐清我國的收費標準及權益。

A celebration of 150 years of the Metre Convention

20-22 May 2025

Agenda



WORLD METROLOGY DAY SYMPOSIUM 150 YEARS OF THE METRE CONVENTION: SCIENCE, INNOVATION & GLOBAL IMPACT

Tuesday 20 May 2025, 10:00 to 17:15 (CEST/Paris time)
UNESCO Headquarters, Room I, Paris, France

Every year, World Metrology Day is celebrated in around 50 countries by national metrology institutes, legal metrology entities, regional metrology organizations, and other stakeholders who rely on accurate measurements to underpin business, global trade, and sustainable development. It commemorates the anniversary of the signing of the Metre Convention (Paris, 1875) and the creation of the International Bureau of Weights and Measures (BIPM).

Recognizing the significance of metrology, the 42nd Session of the UNESCO General Conference (42 C/Resolution 21) proclaimed 20 May of every year as World Metrology Day. In 2024, World Metrology Day was observed for the first time as an international day designated by UNESCO.

20 May 2025 will mark the **150th anniversary** of the Metre Convention—an especially notable World Metrology Day. To celebrate, an event hosted at UNESCO Headquarters will bring together Permanent Delegations to UNESCO, representatives of the BIPM's Member States and Associates, international organizations, scientists, students, and the general public, highlighting 150 years of metrology and the unique international collaboration under the Metre Convention.

Objectives

1. Celebrate 150 years of the Metre Convention and its impact on science and innovation.
 2. Highlight the importance of accurate measurement for global trade, sustainable development, and scientific collaboration.
 3. Explore emerging challenges and future directions in metrology and its role in addressing the Sustainable Development Goals (SDGs).
 4. Foster multilateral dialogue among policymakers, scientists, and international organizations on capacity building and innovation in metrology.
-

Registration opens - 08:30

First session - 10:00 - 11:15

Opening Session

10:00 - 10:05 **Opening**

Video, 150 years of the Metre Convention

Welcome by the Master of Ceremonies

- **Ms Georja Calvin-Smith**, Journalist, France

10:05 - 10:30 **High-Level Opening Remarks**

- **Ms Lidia Brito**, Assistant Director-General for Natural Sciences, UNESCO TBC
- **H.E. Mr Askar Abdrakhmanov**, Ambassador, Permanent Delegate of the Republic of Kazakhstan to UNESCO
- **Dr Wynand Louw**, President, International Committee for Weights and Measures (CIPM), South Africa
- **Dr Bobjoseph Mathew**, President, International Committee for Legal Metrology (CIML), Switzerland

10:30 - 11:15

Keynote Address

The SI - a tool for all mankind

Prof. William D. Phillips, Nobel Prize laureate 1997
National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

Second session - 11:15 - 12:45

Panel Discussion

Navigating the Future of Metrology: Addressing the challenges of Scientific and Technical Multilateralism

Video, introducing the session

Opening remarks by Moderator

- **Dr Maguelonne Chambon**, Director R&D, Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), France

Panel Discussion

- **Mr Shaofeng Hu**, Director, Division of Science Policy and Basic Sciences, Natural Sciences Sector, UNESCO
- **Prof. Alessandro de Angelis**, Scientific Attaché at the Permanent Delegation of Italy to the International Organisations in Paris
- **Prof. Mustafa Çetintaş**, Director, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Türkiye
- **Dr Sharonmae Smith-Walker**, CEO, CARICOM Regional Organisation for Standards and Quality (CROSQ), Jamaica
- **Dr Victoria Coleman**, CIPM member and National Measurement Institute, Australia (NMIA), Australia

12:45 - 14:30 Lunch

Third session - 14:30 - 15:45

150 years of international use of the Metric System

Video, introducing the session

Opening remarks by Moderator

- **Dr Fabienne Casoli**, President, Observatoire de Paris-PSL, France

Keynote address

From the Metric System to the Metre Convention

Prof. Ken Alder, Professor of History and author of “The Measure of All Things”

Northwestern University, USA

Speech “The historic contribution of China to measurement science”

- **Dr Yuning Duan**, Former CIPM member, National Institute of Metrology (NIM), China

Speech “150 years in fifteen photographs”

- **Dr Martin Milton**, Director of the BIPM
-

Fourth session - 15:45 - 17:15

Panel Discussion Future challenges for global metrology

Video, introducing the session

Opening remarks by Moderator

- **Ms Georja Calvin-Smith**, Journalist, France

Scene setting address “Expanding the horizon of metrology to chemistry, biology and beyond”

- **Prof. Willie E. May**, Vice President, Research and Economic Development & Professor of Chemistry, Morgan State University, USA

Scene setting address “Metrology as a driver for the industrial revolution”

- **Dr Nathalie von Siemens**, Member of the Advisory Board, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany

Panel Discussion

including **Prof. May** and **Dr von Siemens** with:

- **Dr Pascale Defraigne**, Time and Frequency Service, Royal Observatory of Belgium
- **Prof. Venu Gopal Achanta**, CIPM member and National Physical Laboratory of India (NPLI), India
- **Dr Henry Rotich**, Kenya Bureau of Standards (KEBS), Kenya

17:00 - 17:10

Closing Note

- **Dr Takashi Usuda**, CIPM Secretary and National Metrology Institute of Japan, AIST (NMIJ/AIST), Japan

17:10 - 17:15

Closing Remarks

- **Mr Shaofeng Hu**, Director, Division of Science Policy and Basic Sciences, Natural Sciences Sector, UNESCO
-

Registration opens - 08:00

Session 1 - 09:00 - 10:45

Metrology in the quantum era

The revision of the SI in 2019 and the progress of quantum technologies are enabling the development and implementation of quantum standards for an ever-increasing range of metrological applications. Quantum metrology relies on quantum effects to enhance precision and resolution in measurement beyond what would be possible with classical physics. Quantum metrology also provides the means to create inherent quantum standards – that do not require calibration – and that can be direct realizations of the units of the SI, based on fundamental constants. Such standards may allow access to primary realizations to users outside the National Metrology Institutes.

Convenor: Dr Michael Stock, BIPM

09:10

Ms Barbara Goldstein, National Institute of Standards and Technology (NIST), USA
The interplay between quantum, metrology and technology

09:35

Prof. Lixing You, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, China
Superconducting photon detector: from quantum information processing to metrology

10:00

Panel discussion

Moderator: Prof. Jan-Theodoor Janssen, CIPM member and National Physical Laboratory (NPL), UK

Panelists: Ms Goldstein and Prof. You

Dr Jifeng Qu, CIPM member and National Institute of Metrology (NIM), China

Dr Nicolas Spethmann, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany

10:45 - 11:15 Coffee

Session 2 - 11:15 - 13:00

Metrology for climate science

Accurate measurement is the basis for scientific knowledge on climate science, its impacts and future risks. This session is devoted to the application of metrology to global climate and environment challenges. It will focus on initiatives taken since the BIPM-WMO Workshop on “Metrology for Climate Action” developed a consensus on recommendations to increase the impact of metrology and metrology institutions on climate data.

Convenor: Dr Robert Wielgosz, BIPM

11:20

Dr Oksana Tarasova, WMO - World Meteorological Organization (WMO)
Development of a Global GHG Monitoring System

11:45

Mr Mahesh Kumar Sha, Royal Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-ISAB), Belgium
Fiducial Reference Measurement for GHG

12:10

Panel discussion

Moderator: Dr Dolores del Campo Maldonado, CIPM member and Centro Español de Metrología (CEM), Spain

Panelists: Dr Tarasova and Mr Sha

Dr Leonard Rivier, Integrated Carbon Observation System (ICOS)

Dr Sangil Lee, Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS), Republic of Korea

13:00 - 14:15 Lunch

Session 3 - 14:15 - 16:00

The FAIR digital revolution

In its long-term strategy, the CIPM has highlighted “digital transformation” as one of the key challenges for the coming decades. Indeed, the world is becoming increasingly digital with the emergence of Industry 5.0 based on the *Internet of Things* involving the rapid exchange of data from machine to machine. This is creating a growing need for interoperability and traceability of measurement data, in line with the FAIR principles. This traceability will be based on the SI digital framework and will be disseminated to all applications via NMI data services.

Convenor: Dr Vincent Gressier, BIPM

14:20

Dr Barend Mons, Leiden University, the Netherlands
Stop Data Sharing...

14:45

Dr Mark Allen, Strasbourg Astronomical Data Center (CDS), France
FAIR digital data in astrophysics

15:10

Panel discussion

Moderator: Prof. Cornelia Denz, CIPM member and Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany

Panelists: Dr Mons and Dr Allen

Dr Peter Thompson, National Physical Laboratory (NPL), UK

Prof. Venu Gopal Achanta, CIPM member and National Physical Laboratory of India (NPLI), India

16:00 - 16:30 Tea

Poster preview session

16:30 to 17:45

Convenor: Dr Edgar Flores Jardines, BIPM

More than 350 posters were submitted following an open invitation to show the state-of-the-art in nine areas of metrology that were highlighted in the CIPM Strategy 2030+.

In this session, the authors of nine outstanding posters selected by a panel of CIPM members will give two-minute presentations of their papers. An additional tenth poster has been selected from the contributions to the “Young Metrologists’ Vision 2050+”, a foresight exercise that brought together young metrologists from around the world.

All of the posters are on display on the anniversary website and the outstanding papers will be displayed at the Palais de Congrès.

Introduction by Mr Hans Arne Frøystein, CIPM member and Justervesenet (JV), Norway

The ‘light fingerprint’ of rubidium for precise atomic clocks

Ms Dorothy Mringie, State Department of Trade, Kenya

Isotopic measurements for energy transition to low-carbon fuels

Dr Kai Fuu Ming, National Metrology Centre, Agency for Science, Technology and Research (NMC, A*STAR), Singapore

Standardisation of measurements of neurodegenerative disease biomarkers: the neurobiostand project

Dr Chiara Giangrande, Laboratoire national de métrologie et d’essais (LNE), France

Transforming food and water safety with innovative nanoscale plastic reference materials

Dr Adrian Pegoraro, National Research Council of Canada (NRC), Canada

Collaborative metrology efforts for sustainable energy solutions in the Asia-Pacific

Dr Oijai Ongrai, National Institute of Metrology Thailand (NIMT), Thailand

Enabling the recycling of technology critical elements from e-waste through metrology

Dr Sarah Hill, LGC Limited, UK

On the path to quality assurance of trustworthy AI in medicine: the metric-framework for systematically assessing medical training and test data

Dr Daniel Schwabe, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany

Towards an easier realisation of the ohm with the quantum anomalous Hall effect

Dr Martina Marzano, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Italy

Building the next generation of metrologists: opportunities to improve SI education and scientific literacy at 150 years and beyond

Ms Elizabeth Benham, National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

Perceptual Metrology: A Future Frontier in Human Well-Being

Mr Cristhian Alfredo Paredes Cardona, Instituto Nacional de Metrología (INM), Colombia

Wednesday 21 May 2025
Palais des Congrès, Versailles



Reception

17:45

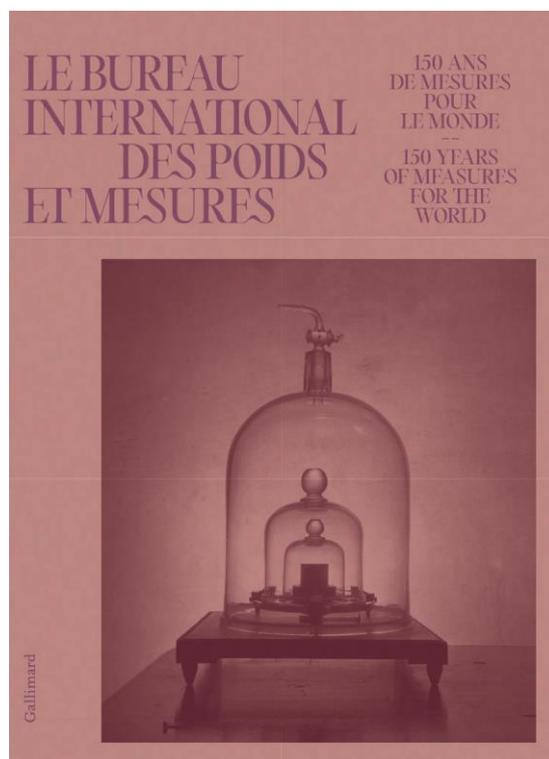
Happy Birthday to the BIPM!

Join us in the Palais des Congrès for a reception to celebrate the 150th anniversary of the signing of the Metre Convention.

Book launch

« *Le Bureau International des Poids et Mesures: 150 ans de mesures pour le monde / 150 years of measures for the world* »

This new book, written to celebrate the anniversary, will be launched at the reception.



Session 4 - 09:00 - 10:45

New science and the definition of the second

The field of time metrology has always advanced rapidly based on the outcomes of leading-edge research into the performance of atomic clocks. Since 1967, the definition of the SI second has relied on quantum physics and is based on the caesium atom resonance frequency in the microwave domain. The capabilities of optical clocks have now surpassed the current performance of caesium, leading to debates initiated by the CCTF on a new definition based on optical frequency standards. Researchers are also exploring clocks based on nuclear transitions. This session will feature some of the latest advances made in the precision of optical clocks and the techniques for their comparison that offer the possibility for a new definition for the second.

Convenor: Dr Patrizia Tavella, BIPM

09:05

Prof. Hidetoshi Katori, University of Tokyo, Japan

Optical lattice clocks: From curiosity-driven science to future applications

09:30

Dr Marina Gertszov, National Research Council of Canada (NRC), Canada

The CCTF roadmap to the redefinition of the second

10:00

Panel discussion

Moderator: Dr Noël Dimarcq, CIPM member and Université Côte d'Azur, Observatoire Côte d'Azur, France

Panelists: Prof. Katori and Dr Gertszov

Prof. William D. Phillips, National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

10:45 - 11:15 Coffee

Session 5 - 11:15 - 13:00

Future revolutions - measuring for the life sciences

The final two sessions will showcase several exceptional opportunities for new metrology and new applications for metrology. These are based on the outcomes of leading-edge research and will present many challenges to the way we think about metrology in the future.

This session will showcase exceptional opportunities for new metrology and new applications in the field of life science. The focus will be on two areas: the application of chemical metrology for biomarker analysis in personalized medicine and the role of metrology in enabling new techniques for diagnosis and therapy in radiotherapy. Medical researchers will present their work and highlight the future role of metrology in advancing technology in life science.

Convenor: Dr Anna Cypionka, BIPM

11:20

Dr Renee Ruhaak, Leiden University Medical Center, the Netherlands
Personalized medicine - for improved patient care

11:45

Dr Claude Bailat, Lausanne University Hospital and University of Lausanne, Switzerland
Bringing radiometrology traceability to hospitals

12:15

Panel discussion

Moderator: Ms Georgette Macdonald, CIPM member and National Research Council of Canada (NRC), Canada

Panelists: Dr Ruhaak and Dr Bailat

Prof. Willie E. May, Morgan State University, USA

Ms Zakithi Msimang, International Atomic Energy Agency (IAEA)

13:00 - 14:15 Lunch

Session 6 - 14:15 - 16:00

Future revolutions - metrology in space

The last session will focus on another exciting field of application of metrology: space research. In cutting-edge research projects metrologists collaborate with space scientists to realize reliable measurement space thereby making important contributions to the outcome of space missions. At the same time, metrology uses technology developed for space mission to create new opportunities for metrology, namely in the realization of UTC.

Convenor: Dr Martin Milton, BIPM

14:20

Dr Luca Stringhetti, SKA Observatory

Precision at Cosmic Scales: future Metrology through the Square Kilometre Array telescope

14:45

Ms Cheryl Gramling, NASA Headquarters, USA

The Moon and beyond: measurements to navigate the solar system

Questions from the floor

Moderator: Dr James Olthoff, CIPM member and formerly National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

Farewell video

Closing remarks

16:00 **Close of the conference**