

OECD/NEA 多國設計審核計畫(MDEP)之設置與其功能

2015年8月

多國設計審核計畫(MDEP)成立於 2006 年，是由多個國家核能安全管制機構所提倡之計畫，以提供一個論壇與平台，使核能安全管制機構間可有效地分享審查新型反應器之經驗與資訊，彼此相互合作以提升新型反應器設計之安全性。經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)扮演 MDEP 技術秘書之角色，係 MDEP 之實際執行單位。本文介紹 MDEP 之設置與其功能。

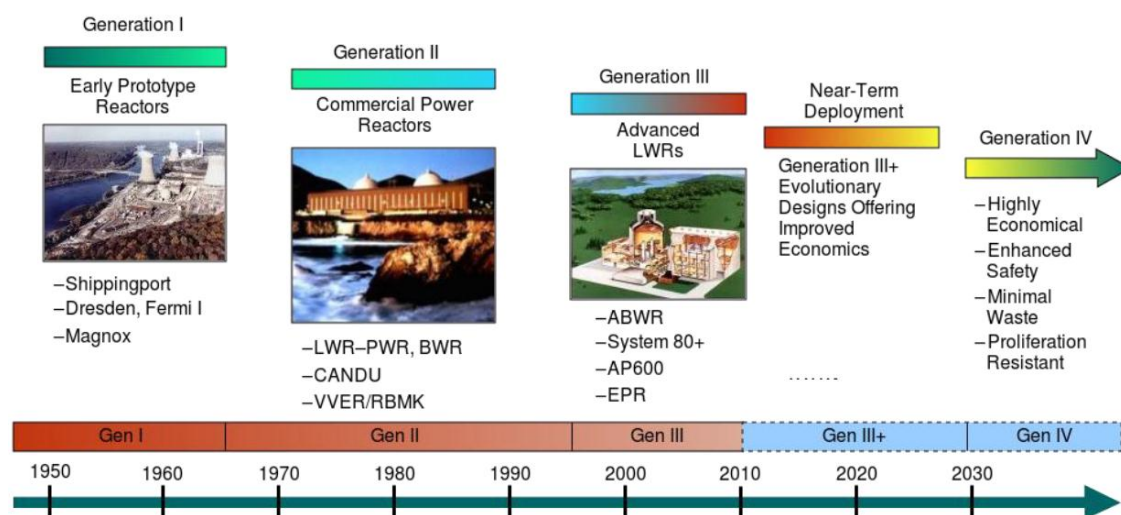
壹、各代核反應器之演進

為求安全性與經濟性，各代核反應器持續進行精進與改善，依其發展時間可分為第一代(GEN I)、第二代(GEN II)、第三代(GEN III)、改良型第三代(GEN III+)及第四代(GEN IV)核反應器。各代核反應器之演進如圖一所示。

第一代核反應器約發展於1950年代及1960年代，為民用核能發電廠之早期示範型核反應器，例如Shippingport、Magnox、Fermi I及 Dresden。第一代核反應器目前大多已經除役不再使用。

第二代核反應器自1970年代開始發展，係在第一代核反應器基礎上所開發之大型商用發電核反應器，其設計要求是經濟性與可靠性。第二代核反應器包括壓水式反應器(Pressurized Water Reactors, PWR)、加拿大CANDU反應器(CANada Deuterium Uranium reactors, CANDU)、沸水式反應器 (Boiling Water Reactors, BWR)、進步型氣冷式反應器(Advanced Gas-cooled Reactors, AGR)、俄羅斯的VVER反應器(Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactors)等。目前全球運轉中之核能發電機組總共約435部，絕大多數屬於第二代核反應器，且其中約360部為輕水式PWR及輕水式BWR。我國核一廠為輕水式BWR、核二廠亦

為輕水式BWR、核三廠則為輕水式PWR，每座核電廠2部機組，總共6部機組，均屬於第二代核反應器。



圖一 各代核反應器演進圖

(資料來源Nuclear Reactors: Generation to Generation, 2011)

第三代核反應器開始發展於1990年代，係針對第二代核反應器進行精進，以提升其安全性與經濟性，這些改善包括核燃料技術、熱效率、模組化施工、標準化機組設計等。第三代核反應器包括600MWe Advanced PWR (AP600)、Advanced Boiling Water Reactor (ABWR)、Enhanced CANDU 6、System 80+等。我國龍門核能電廠(也稱核四廠)為ABWR型，屬於第三代核反應器。

第三代改良型核反應器自2010年代開始發展，係針對第三代核反應器再進行精進，尤其強調被動式安全之設計概念，俾使其安全性可更進一步提升。第三代改良型核反應器包括VVER1200、Advanced CANDU Reactor (ACR1000)、Advanced Passive 1000 (AP1000)、European Pressurized Reactor (EPR)、Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR)、Advanced Power Reactor 1400 (APR1400)、EU-ABWR、Advanced PWR(APWR)、ATMEA I等。未來全球新建之核能機組，大致以第三代改良型核反應器為主。

〔筆者註〕不同文獻對第三代核反應器與第三代改良型核反應器之分類稍有不同，譬如有些文獻將ABWR歸類為第三代改良型而非第三代；有些將EPR

歸類為第三代而非第三代改良型。筆者以上所撰內容主要參考文獻為Nuclear Reactors: Generation to Generation, American Academy of Arts and Sciences, 2011。

第四代核反應器主要特徵是高安全性、低發電成本、能以永續方式滿足能源之需求、可減少放射性廢棄物產量、可有效防止核武擴散，預計2030年代才能達到實用化目標。第四代核反應器國際論壇(Generation IV International Forum, GIF)於2001年正式成立，並於2002年9月在日本東京召開之會議中，一致同意發展以下六種新型反應器，分別為超高溫氣冷式反應器(VHTR)、熔鹽式反應器(MSR)、超臨界水冷式反應器(SWCR)、氣冷式快中子反應器(GFR)、鈉冷式快中子反應器(SFR)、鉛冷式快中子反應器(LFR)。各代核反應器所包括的反應器類型詳如表一所示。

表一 各代核反應器所包括的反應器類型

(資料來源 Nuclear Reactors: Generation to Generation, 2011)

核反應器類型				
第一代核反應器	第二代核反應器	第三代核反應器	改良型第三代核反應器	第四代核反應器
Shippingport	PWR	AP600	VVER1200	Very-High-Temperature Reactor (VHTR)
Magnox	CANDU	Enhanced CANDU 6	Advanced CANDU Reactor (ACR1000)	Molten-Salt Reactor (MSR)
Fermi	BWR	ABWR	AP1000	Supercritical-Water-cooled Reactor (SCWR)
Dresden	AGR	System80+	European Pressurized Reactor (EPR)	Gas-cooled Fast Reactor (GFR)
	VVER		Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR)	Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)
			APR1400	Lead-cooled Fast Reactor (LFR)
			EU-ABWR	
			Advanced PWR (APWR)	
			ATMEA I	

貳、多國設計審核計畫(MDEP)之設置與其功能

MDEP (Multinational Design Evaluation Programme)成立於2006年，是由多個國家核能安全管制機構（以下簡稱核安管制機構）所提倡之計畫，以提供一個論壇與平台，使核安管制機構間可有效地分享審查新型反應器之經驗與資訊，彼此相互合作以提升新型反應器設計之安全性。MDEP已辦理多項會議與活動，以加強各國現有核安管制體系之合作，並促使在管制實務、法規、標準與安全目標等層面上能獲共識，以提升管制效能。

〔筆者註〕MDEP所指新型反應器為第三代或改良型第三代核反應器，目前包括EPR、AP1000、APR1400、VVER、ABWR等五種類型之反應器，未來可能會增加其他類型之反應器。

MDEP之目標為：

- 增進各核安管制機構審查新型反應器之經驗交流與資訊分享，包括技術評估、法規、標準、安全目標、視察實務、發照要求、安全議題之研究、運轉經驗等。
- 探討各國管制實務之異同，以提升管制要求之共識，俾進行有效率且具成效之審查。
- 提升公眾對新型反應器之信心，也促使利益相關者(stakeholders)能更了解管制實務。
- 藉由新型反應器之審查、建廠之監督與供應商之視察等經驗交流，協助各國進行更有效率之管制作業，以提升核能安全。

MDEP可協助各核安管制機構審查第三代及改良型第三代核反應器，而這些經驗也有助於第四代核反應器之設計與安全審查。此外，MDEP能提供相關資料與建議予國際原子能總署(IAEA)，作為IAEA更新其核能安全法規與標準之參考。MDEP雖是個多國之倡議，但各國核安管制機構仍具各該國核反應器發照與監督之主權，並不受其他國家之影響。

MDEP正式成立於2006，每期計畫為五年，2012年各會員國一致同意，繼續執行下一個五年計畫。目前共有十二個會員國(Full Member)，分別為加拿大、中國大陸、芬蘭、法國、印度、日本、南韓、俄羅斯、南非、瑞典、英國和美國等，以及兩個副會員國(Associate Member)，分別為土耳其與阿拉伯聯合大公國。MDEP會員國與副會員國如表二所示。

表二 MDEP 會員國與副會員國



MDEP會員國指該國已具有新型反應器發照審查之豐富經驗，可參與MDEP政策組(Policy Group)、技術指導委員會(Steering Technical Committee, STC)及相關工作組之活動。副會員國指該國尚未具有新型反應器發照審查之豐富經驗，僅可參加相關工作組之活動，無法參與政策組活動，惟可派代表一名出席技術指導委員會會議。

目前MDEP各會員國與副會員國之核安管制機構如下：

- 加拿大核能安全委員會 Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC)
- 中國大陸核能安全管理局 National Nuclear Safety Administration (NNSA)
- 芬蘭輻射與核能安全署 Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)

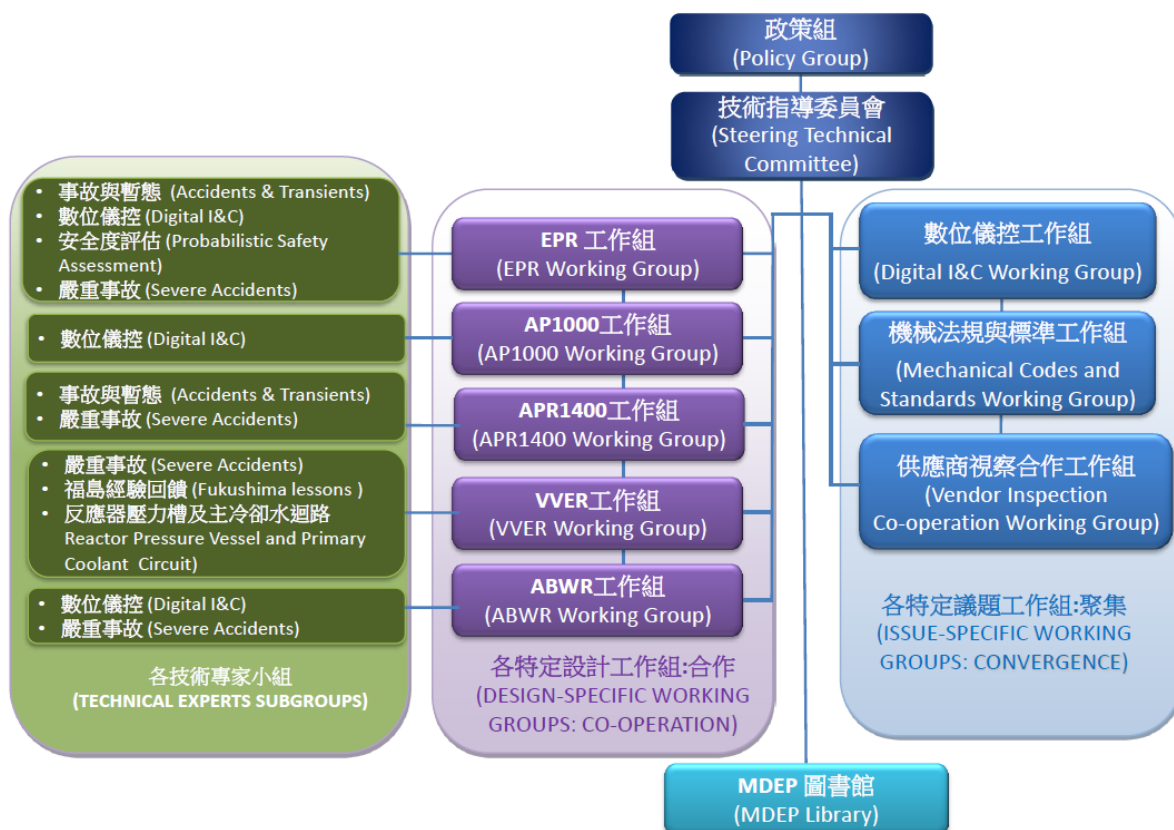
- 法國核能安全署 Nuclear Safety Authority (ASN)
- 印度原子能管理委員會 Atomic Energy Regulatory Board (AERB)
- 日本原子力規制委員會 Nuclear Regulation Authority (NRA)
- 南韓核能安全與保安委員會 Nuclear Safety and Security Commission (NSSC)
- 俄羅斯聯邦環境工業與核能監督服務部 Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (Rostekhnadzor)
- 南非核能管制委員會 National Nuclear Regulator (NNR)
- 瑞典輻射安全局 Swedish Radiation Safety Authority (SSM)
- 英國核能管制署 Office for Nuclear Regulation (ONR)
- 美國核能管制委員會 Nuclear Regulatory Commission (NRC)
- 土耳其原子能局 Turkish Atomic Energy Authority (TAEK)，為副會員國
- 阿拉伯聯合大公國聯邦核能管制局 Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR)，為副會員國

參、多國設計審核計畫(MDEP)之組織架構

MDEP設有政策組、技術指導委員會、MDEP圖書館、各特定設計工作組(Design-Specific Working Groups)、各特定議題工作組(Issue-Specific Working Groups)及各技術專家小組(Technical Expert Subgroups)。MDEP組織架構如圖二所示。

政策組負責MDEP之政策規劃，為最高決策單位；技術指導委員會受政策組之監督，負責推動MDEP相關事項；經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)扮演MDEP技術秘書之角色，接受政策組與技術指導委員會之指揮，係MDEP之實際執行單位。目前，NEA在核能安全與管制組(Division of

Nuclear Safety and Regulation)下設有MDEP專案計畫小組，總計有四位工作人員。



圖二 多國設計審核計畫(MDEP)組織架構圖

一、政策組(Policy Group)

政策組主要任務如下：

- 對技術指導委員會(STC)提供所有指導，包括新工作組之設置。
- 監督MDEP之執行進度。
- 針對MDEP與工業界及利益相關者之互動提供指引。
- 訂定財務條款，會員國與副會員國需繳交年費，以支付MDEP之一般性支出。
- 議決可成為MDEP會員國或副會員國之國家。

政策組成員為各會員國之代表，一般為各國核安管制機構之首長。政策組主席需來自MDEP會員國，且需經政策組各會員國代表一致同意；主席每屆任期3~5年(由政策組自行決定)，主席出缺時，繼任者需經政策組各會

員國代表一致同意而遞補之。由於副會員國無法出席政策組活動，故政策組主席不會來自副會員國。

目前MDEP政策組主席為芬蘭輻射與核能安全署(STUK)署長Petteri TIIPPANA先生，政策組甫於2015年6月召開會議，除審閱MDEP成效外，也根據各會員國及利益相關者之意見擬訂了MDEP中期、長期策略。MDEP政策組前任主席為美國核能管制委員會主席Allison MACFARLANE博士。

二、技術指導委員會(STC)

技術指導委員會成員為各會員國代表，為使副會員國能了解MDEP目前之成效與進度，也邀請各副會員國之代表參加技術指導委員會會議。

技術指導委員會主要任務如下：

- 管理與許可每個工作組之詳細計畫，包括議題之確認、專家小組之建立、專家之提名。
- 批准各工作組所擬出版之技術報告與共同立場(Common Positions)。
- 推動各工作組間之合作與交流。
- 建立與其他國際機構或資源之互動，注意國際上是否已有類似研究與活動，以避免資源之重複。
- 具體實行政策組對工業界與其他利益相關者之各項指導。
- 在NEA之支援下，制定各程序書明訂STC與各工作組之功能，包括資訊分享之處置作業。
- 針對一些特定議題，向政策組建議成立新的工作組。
- 向政策組報告各工作組之成效與進度。
- 向政策組建議某工作組因已完成所負任務而可終止其設置，或將某工作組之某些功能轉移至其他單位或組織。

- 每三年對MDEP之成效進行評估。

技術指導委員會(STC)主席需為MDEP會員國代表，且需獲所有STC會員國代表一致同意及政策組之許可。STC主席一任為3~5年，任期年限由STC提出建議並獲政策組許可。STC主席出缺時，繼任者需獲得所有STC會員國代表之一致同意及政策組之許可。副會員國雖可獲邀出席STC會議，但沒有權利選舉STC主席，也無法擔任STC主席。

三、MDEP 圖書館

MDEP主要功能係提供MDEP各會員國及副會員國(以下稱為參與國)一個平台以資訊分享與經驗交流，而MDEP圖書館的角色即為MDEP各相關文件之資料庫中心。MDEP參與國需透過密碼方式才可存取該資料庫中心之文件。

存取MDEP資料庫中心之權限共分兩種，第一種權限為所有參與國均可存取之MDEP共通性資料，另一種權限為只有該工作組成員才可存取之特別性資料，譬如ABWR工作組成員只能存取該組之資料，無法存取其他工作組之資料。MDEP技術指導委員會透過NEA資訊技術人員之協助，維護管理並提升存取MDEP資料庫中心之效率。

雖然大部分MDEP文件均不會太敏感或具智慧財產權，但當某參與國宣稱某文件具敏感性或智慧財產權時，其他參與國必須保護且適當地使用該文件。此外，各參與國若要將新型反應器的最新資料公開予大眾知悉時，必須遵守資訊保護之相關規定。

四、各新型反應器工作組(也稱各特定設計工作組)

依據MDEP規定，只要三個以上(含)之會員國與副會員國提議對一特定新型反應器成立新的工作組，原則上即可成立。目前MDEP已分別成立了EPR工作組、AP1000工作組、APR1400工作組、VVER工作組、ABWR工作組；未來MDEP也可能針對其他新型反應器而成立新的工作組。

〔筆者註〕以上各新型反應器工作組，MDEP通稱之為特定設計工作組 (Design-Specific Working Groups)

MDEP會員國與副會員國均可申請加入特定新型反應器工作組，即使該國目前僅在規劃中或準備審查該新型反應器設計之階段也可加入，以期各參與國能毫無保留地分享審查、興建與運轉之管制經驗與資訊。目前各新型反應器工作組之參與國詳如表三所示。

表三 參與MDEP各工作組之成員

工作組		成員
特定設計	EPR	芬蘭、法國、印度、中國大陸、瑞典、英國、美國
特定設計	AP1000	加拿大、中國大陸、瑞典、英國、美國
特定設計	APR1400	芬蘭、南韓、阿拉伯聯合大公國、美國
特定設計	VVER	芬蘭、印度、俄羅斯、土耳其
特定設計	ABWR	芬蘭、日本、瑞典、英國、美國
特定議題	機械法規與標準	所有MDEP會員國、獲許可加入之副會員國以及IAEA
特定議題	數位儀控	所有MDEP會員國、獲許可加入之副會員國以及IAEA
特定議題	供應商視察合作	所有MDEP會員國、獲許可加入之副會員國以及IAEA

MDEP重視各管制實務之合作與聚集(Convergence)，目的是促使各國之管制要求能達成一些共識，以提升新型反應器之發照審查與核安管制效能。是以，各新型反應器工作組會針對與該反應器相關之特定設備或系統，出版共同立場(Common Positions)文件，以作為審查或視察該新型反應器所屬特定設備或系統之共同參考依據，俾增進監管效能。譬如，EPR工作組曾於2010年出版“Common Positions on the EPR Instrumentation and Controls Design”，

探討EPR儀控系統之設計；AP1000工作組曾於2010出版“Common Position on the Design and Use of Explosive - Actuated (Squib) Valves in Nuclear Power Plants”，探討AP1000爆破閥之設計與使用。

以下簡要介紹各新型反應器工作組成立時間與其參與國，至於各工作組主要工作內容與其成效，限於篇幅之考量，筆者將另以專文介紹。

EPR工作組

EPR(European Pressurized Reactor)是AREVA公司所設計的壓水式反應器。EPR工作組在政策組於2008年3月正式核准前已經開始運作，這個組的工作重點為針對EPR反應器進行安全審查。參與本工作組的國家為芬蘭、法國、印度、中國大陸、瑞典、英國與美國。

AP1000工作組

AP1000 (Advanced Passive 1000)係由美商西屋公司所設計的壓水式反應器。AP1000工作組於2008年3月獲政策組核准，這個組的工作重點為針對AP1000反應器進行安全審查。參與本工作組的國家為加拿大、中國大陸、瑞典、英國、美國。

APR1400工作組

APR1400 (Advanced Power Reactor 1400)是南韓水電與核電公司(Korea Hydro & Nuclear Power, KHNP)所設計的壓水式反應器。APR1400工作組於2012年5月獲政策組核准，這個組的工作重點為針對APR1400反應器進行安全審查。參與本工作組的國家為芬蘭、南韓、阿拉伯聯合大公國、美國。

VVER工作組

VVER是俄羅斯國家原子能公司(Rosatom)所設計的壓水式反應器。VVER工作組於2013年9月獲政策組核准，並於2014年1月份召開第一次會議。這個組的工作重點為針對VVER反應器進行安全審查，並比較不同類型VVER反應器之相異處。參與本工作組的國家為芬蘭、印度、俄羅斯、土耳其。

ABWR工作組

進步型沸水式反應器(ABWR)工作組於2013年9月獲政策組核准，並於2014年1月份召開第一次會議，這個組的工作重點為針對General Electric (GE)-Hitachi、Hitachi-GE 及Toshiba等三個公司所設計之ABWR反應器進行安全審查與比較分析。參與本工作組的國家為芬蘭、日本、瑞典、英國、美國。

五、各特定議題工作組(Issue-Specific Working Groups)

除了針對不同反應器類型成立不同工作組外，MDEP也針對一些特定議題，分別成立了數位儀控工作組(Digital I&C Working Group)、機械法規與標準工作組(Mechanical Codes and Standards Working Group)以及供應商視察合作工作組(Vendor Inspection Co-operation Working Group)。

特定議題工作組需先由技術指導委員會確認後，再經政策組同意始可成立。所有MDEP會員國均可加入各特定議題工作組，副會員國需獲許可始可加入，IAEA雖非核安管制機構，但也受邀參與各特定議題工作組。各成員藉由參與會議及其他方式，積極地分享經驗與資訊，目前各特定議題工作組成員詳如表三所示。

數位儀控工作組成立於2008年3月，每年召開會議三次。機械法規與標準工作組重點為制訂壓力邊界組件法規與標準(Pressure Boundary Components Codes and Standards)，成立於2008年3月，每年召開會議二次。供應商視察合作工作組成立於2008年3月，每年召開會議三次。

這三個特定議題工作組所出版之一般性共同立場(Generic Common Positions)文件，與各新型反應器之類型並無直接關係。譬如，數位儀控工作組曾於2012年出版“Generic Common Position DICWG No4: Common Position on Principle on Data Communication Independence”，探討數據通訊之獨立性。是以，一般性共同立場之發現與建議事項可作為各國核安管制機構、工業界

及IAEA等單位擬訂新法規與標準之參考依據，同時也可提升各管制機構之核安監管效能。

六、各技術專家小組

在各新型反應器工作組下，也成立了一些技術專家小組(Technical Expert Subgroups)：

- EPR工作組：設有事故與暫態(Accidents & Transients)專家小組、數位儀控專家小組、安全度評估 (Probabilistic Safety Assessment) 專家小組、嚴重事故 (Severe Accidents)專家小組。
- AP1000工作組：設有數位儀控專家小組。
- APR14000工作組：設有事故與暫態專家小組、嚴重事故專家小組。
- VVER工作組：設有嚴重事故專家小組、福島經驗回饋專家小組、反應器壓力槽及主冷卻水迴路專家小組。

〔筆者註〕事實上，各新型反應器工作組對日本福島事故均進行經驗回饋之討論，惟VVER工作組另特別設置福島經驗回饋專家小組。

- ABWR工作組：設有數位儀控專家小組、嚴重事故專家小組。

肆、結語

MDEP是由多個國家核安管制機構所提倡之計畫，以提供一個論壇與平台，使核安管制機構間可有效地分享審查新型反應器之經驗與資訊，彼此相互合作以提升新型反應器設計之安全性。MDEP已辦理多項會議與活動，以加強各國現有核安管制體系之合作，並促使在管制實務、法規、標準與安全目標等層面上能獲共識，以提升管制效能。

MDEP成立於2006，目前共有十二個會員國及兩個副會員國。MDEP所指新型反應器為第三代或改良型第三代核反應器，目前包括EPR、AP1000、

APR1400、VVER、ABWR等五種類型之反應器，未來可能會增加其他類型之反應器。

未來我國核能政策若有改變，建議我方可考量申請加入MDEP及其下轄之ABWR工作組，以及其所附屬的數位儀控專家小組及嚴重事故專家小組。此外，也可考量申請加入其他工作組，譬如機械法規與標準工作組及供應商視察合作工作組，俾得與全世界使用ABWR核反應器之國家進行技術交流與經驗分享，當有助於我方核能安全管理能量之精進。

參考資料：

1. Nuclear Reactors: Generation to Generation, American Academy of Arts and Sciences, 2011.
(<https://www.amacad.org/pdfs/nuclearReactors.pdf>)
2. A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, 2002.
(<https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf>)
3. Multinational Design Evaluation Programme Annual Report April, 2014-April 2015.
(<http://home.nea.fr/mdep/annual-reports/mdep-annual-report-2014.pdf>)
4. Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) Terms of Reference (TOR)
(<http://home.nea.fr/mdep/documents/mdep-tor-apr-2014.pdf>)
5. Common Positions on the EPR Instrumentation and Controls Design, 2010.
(<http://home.nea.fr/mdep/common-positions/PUBLIC%20USE%20DCP-EPR-01-%20EPR%20Instrumentation%20and%20Controls%20Design.pdf>)
6. Common Position on the Design and Use of Explosive – Actuated (SQUIB) Valves in Nuclear Power Plants, 2010.
(<http://home.nea.fr/mdep/common-positions/PUBLIC%20USE%20DCP-AP1000-01-%20Squib%20valves.pdf>)
7. Generic Common Position DICWG No4: Common Position on Principle on Data Communication Independence, 2012.
(http://home.nea.fr/mdep/common-positions/dicwg_4_ver_b.pdf)