

OECD/NEA 多國設計審核計畫(MDEP)各新型反應器工作組之介紹

2015年10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。本文詳細介紹 MDEP 各新型反應器工作組，分別為 EPR 工作組、AP1000 工作組、APR1400 工作組、VVER 工作組及 ABWR 工作組；未來 MDEP 可能針對其他新型反應器而設立新的工作組，有待我核能專業人員注意其進一步發展。

壹、多國設計審核計畫(MDEP)

多國設計審核計畫(Multinational Design Evaluation Programme, MDEP)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，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。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雖是多國之倡議，但各國核安管制機構仍具各該國反應器發照與監督之主權，並不受其他國家之影響。

MDEP所指新型反應器為第三代或改良型第三代反應器，目前包括 EPR(歐洲壓水式反應器, European Pressurized Reactor)、AP1000(Advanced Passive PWR 1000)、APR1400(Advanced Power Reactor 1400)、VVER(Vodno-Vodyanoi Energetichesky Reactors)、ABWR(進步型沸水式反應器, Advanced Boiling Water Reactor)等五種類型之反應器。新型反應器主要特性包括更簡單

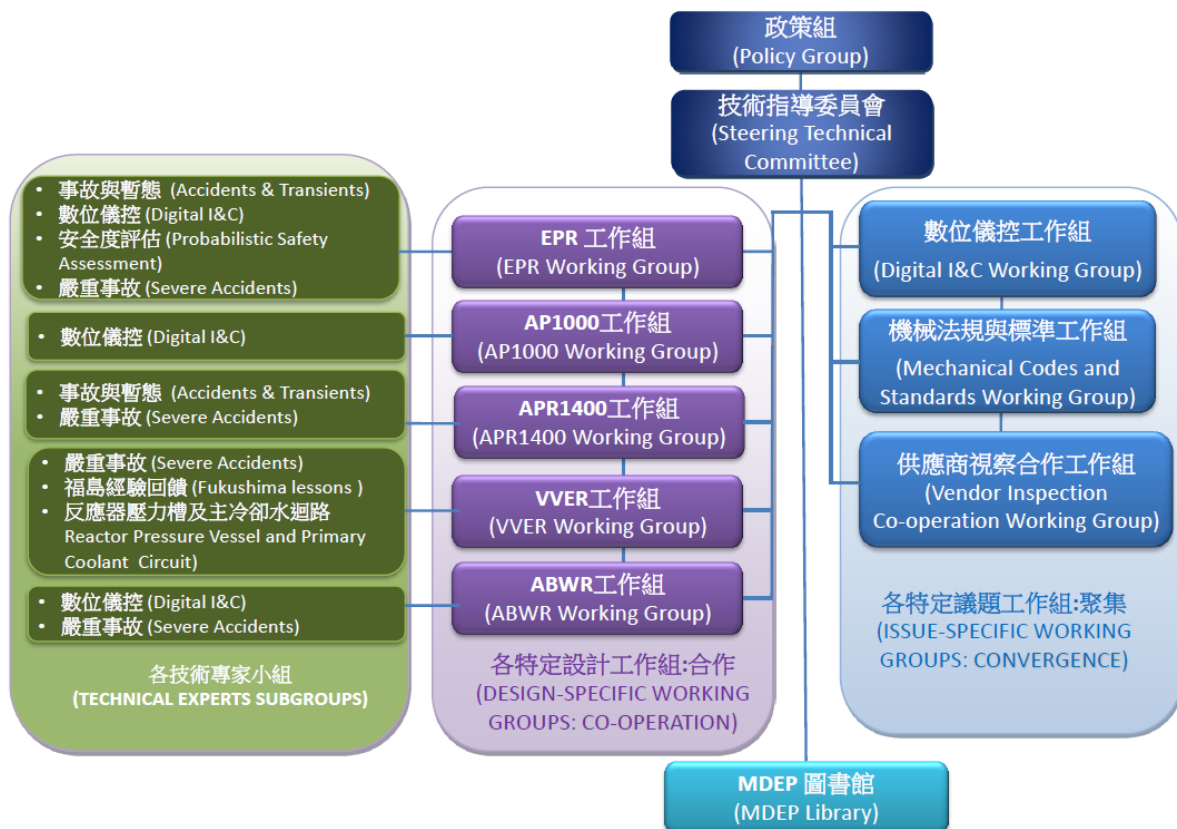
及標準化的設計、更低的建造成本、更高的燃料使用效率、以及「被動式安全」(Passive Safety)之設計概念。

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。MDEP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)，分別為阿拉伯聯合大公國(2012年加入)及土耳其(2013年加入)。十二個會員國中，除了印度於2012年加入、瑞典於2013年加入外，其餘十個會員國均於2006年MDEP創立時即加入。

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，僅可參與相關工作組之活動，無法參與政策組之活動，惟可派代表一名參與技術指導委員會會議。

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)。各特定設計工作組即各新型反應器工作組，目前包括EPR工作組、AP1000工作組、APR1400工作組、VVER工作組、ABWR工作組；各特定議題工作組包括數位儀控工作組(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)。MDEP組織架構如圖一所示。

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計畫；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計畫之實際執行單位。



圖一 多國設計審核計畫(MDEP)組織架構圖

貳、MDEP 各新型反應器工作組

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，原則上即可設置。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。MDEP會員國與副會員國均可申請加入某新型反應器工作組，即使該國目前僅在規劃中或準備審查新型反應器安全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。

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。

以下各節，詳細介紹各新型反應器工作組成立時間、參與國家、主要工作內容與其成效。

一、EPR 工作組

EPR(European Pressurized Reactor)是法國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，參與國家為芬蘭、法國、印度、中國大陸、瑞典、英國與美國。EPR工作組下設有事故與暫態(Accidents & Transients)專家小組、數位儀控專家小組、安全度評估(Probabilistic Safety Assessment)專家小組及嚴重事故 (Severe Accidents)專家小組。

目前全球共有四座EPR機組正興建中，分別為芬蘭Olkiluoto核電廠第3號機組、法國Flamanville核電廠第3號機組、中國大陸臺山核電廠第1、2號機組。AREVA公司曾於2007年12月向美國核能管制委員會(以下簡稱核管會)申請US-EPR設計合格認證 (Design Certificate)，惟AREVA公司因財務問題及其他考量，已於2015年2月通知美國核管會暫停對該申請案之審查，是以三個相關的US-EPR複合式執照(Combined License) (即建廠執照與運轉執照之結合) 申請案也被擱置(suspended)或被撤回(withdrawn)，分別為Callaway核電廠第2號機組(被擱置)、Calvert Cliffs核電廠第3號機組(被撤回)、Nine Mile Point核電廠第3號機組(被撤回)。由於AREVA公司目前尚無請核管會恢復審查US-EPR設計合格認證案之具體時程規劃，上述三個EPR機組是否會興建尚未確定。

UK-EPR設計合格認證案，已於2012年11月獲英國核能管制署(ONR)及環保署之審查核可，英國NNB發電公司 (NNB Generation Company) 將於Hinkley Point C 核電廠興建兩座EPR機組。印度核能電力公司 (NPCIL) 已與AREVA公司在新德里簽署備忘錄，規劃於Jaitapur核電廠興建六座EPR機組。

〔註〕EDF Energy為法國電力集團(EDF)設於英國的子公司，而NNB發電公司則為EDF Energy的子公司。

EPR工作組現階段工作重點如下：

- EPR在不同國家其安全設計之比較分析
- 日本福島事故經驗回饋
- 輻射防護與輻射源項(Source Term)、用過燃料池之設計
- 試運轉之視察與測試計畫(Inspection & Test Plan)
- 初始事件(Initiating event)之安全度評估與比較
- 圍阻體內燃料置換儲水槽(In-Containment Refuelling Water Storage Tank, IRWST)之水質監控
- 事故與暫態、數位儀控系統

EPR工作組已出版之共同立場報告如下：

- Design specific common position on DI&C design of the EPR
- Design specific common position addressing Fukushima Daiichi-related issues regarding the EPR design
- Design specific common position on the EPR Containment Mixing
- Design specific common position on the EPR Containment Heat Removal System in Accident Conditions
- Design specific common position on the EPR IRWST pH Control in Accident Conditions



2014年6月EPR工作組參訪芬蘭Olkiluoto核電廠

二、AP1000工作組

AP1000 (Advanced Passive PWR 1000)是由美商西屋(Westinghouse)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，參與國家為加拿大、中國大陸、瑞典、英國、美國，其中瑞典於2013年成為MDEP會員時加入本工作組。AP1000工作組下設有數位儀控專家小組，第一次專家小組會議於2014年在中國大陸舉行。

中國大陸目前共有四座機組正興建中，分別為浙江三門核電廠第1、2號機組及山東海陽核電廠第1、2號機組。2005年12月美國核管會核准了西屋公司AP1000之設計合格認證，美國目前共有四座AP1000機組正興建中，分別為Vogtle核電廠第3、4號機組及VC Summer核電廠第2、3號機組；此外，共有十座AP1000機組之複合式執照申請案，正在美國核管會審查中，分別為Bellefonte核電廠第3、4號機組、Levy County核電廠第1、2號機組、Shearon Harris核電廠第2、3號機組、Turkey Point核電廠第6、7號機組及William States Lee III 核電廠第1、2號機組。

2007年9月起，英國核能管制署及環保署對西屋公司AP1000設計合格認證案，進行通用設計評估（Generic Design Assessment, GDA）作業，2011年提出了GDA中期報告（GDA Interim Report），並於2015年3月根據該中期報告提出51項需解決議題，目前正等待西屋公司提出進一步說明。若AP1000設計合格認證案獲審查核可，英國NuGen核電公司將於Moorside核電廠興建三座AP1000機組。

西屋公司向加拿大管制機關申請AP1000設計合格認證案，加拿大核能安全委員會(CNSC)已於2013年6月完成「前置設計審查」(Pre-Project Design Review)之第二階段審查作業，目前正進行第三階段審查作業中，整個「前置設計審查」作業流程總共分為三個階段。目前，加拿大安大略電力公司（Ontario Power Generation, OPG）規劃在Darlington核電廠興建四座機組，AP1000與Enhanced CANDU 6（強化版CANDU 6型壓水重水式反應器）均是選項之一。

由於美國共有四座機組正興建中，美國核管會特透過視訊會議，提供審查AP1000設計合格認證之經驗予加拿大核能安全委員會參考；美國核管會也主動提供審查經驗予英國核能管制署參考。

美國核管會及中國大陸核能安全管理局(NNSA)針對AP1000在安全設計與建廠等議題上，已進行多次意見交流；隨著有些AP1000機組將完成興建，雙方已開始準備對運轉前測試(Pre-operational Testing)與初始測試方案(Initial Test Program)等議題，進行技術與資訊交流。

AP1000工作組現階段工作重點如下：

- AP1000在不同國家其安全設計之比較分析
- 日本福島事故經驗回饋、嚴重事故之預防與減緩
- 建廠（含土木工程）視察經驗分享及準備進行試運轉
- 冷凝水回流至「圍阻體內燃料置換儲水槽(IRWST)」之變更設計
- 爆破閥(squib valves)之設計與測試
- 反應爐冷卻水泵測試（Reactor Coolant Pump Testing）
- 供應商議題、輻射防護、火災防護、人因工程
- 數位儀控安全系統、控制棒驅動機制(CRD Mechanism)

AP1000工作組已出版之共同立場報告如下：

- Common Position on the Design and Use of Explosive - Actuated (SQUIB) Valves in Nuclear Power Plants



2014年9月AP1000工作組參訪中國大陸三門核電廠

三、APR1400 工作組

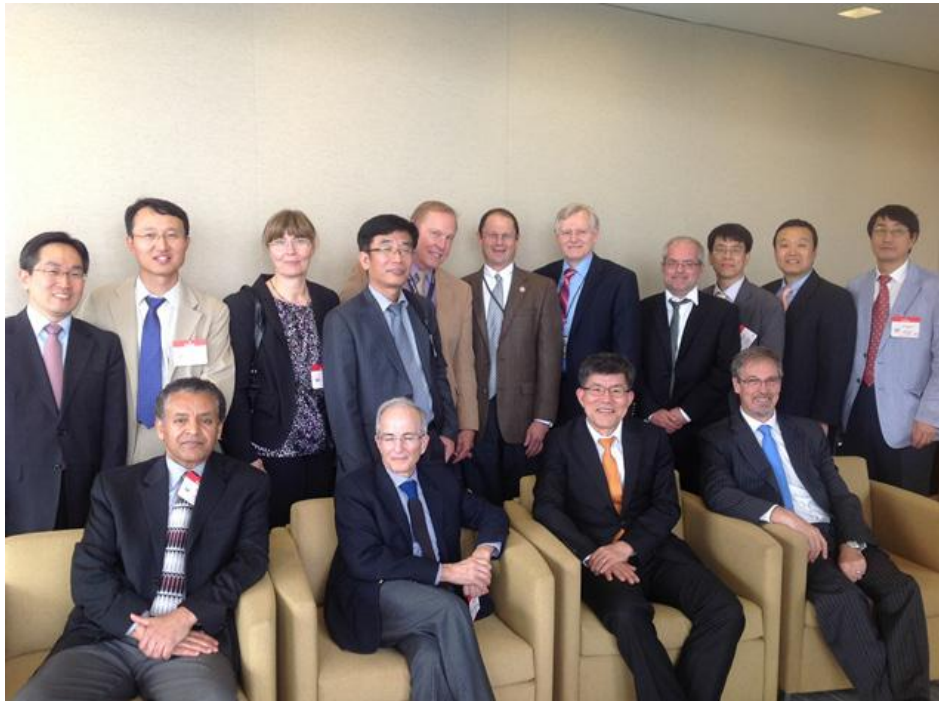
APR1400 (Advanced Power Reactor 1400)是南韓水電與核電公司(Korea Hydro & Nuclear Power, KHNP)所設計的壓水式反應器。APR1400工作組於2012年5月獲政策組核准，參與國家為芬蘭、南韓、阿拉伯聯合大公國、美國。APR1400工作組設有事故與暫態專家小組及嚴重事故專家小組。

目前南韓共有四座APR1400機組正興建中，分別為新古里(Shin Kori)核電廠第3、4號機組，以及新蔚珍(Shin Uljin)核電廠第1、2號機組。另新古里核電廠第5、6號機組及新蔚珍核電廠第3、4號機組預定自2016年起陸續逐年開始興建。

目前阿拉伯聯合大公國共有四座APR1400機組正興建中，分別為Barakah核電廠第1、2、3、4號機組，興建日期分別為2012年7月、2013年4月、2014年9月、2015年7月。美國核管會目前正審查2014年12月南韓水電與核電公司所提出之APR1400設計合格認證申請。芬蘭輻射與核能安全署 (STUK)已完成APR1400的初期安全評估報告，芬蘭Teollisuuden Voima Oyj (TVO)電力公司Olkiluoto核電廠第4號機組尚未確定採用那種類型反應器，但APR1400反應器是選項之一。

APR1400工作組現階段工作重點如下：

- APR1400在南韓、阿拉伯聯合大公國、歐洲及美國其安全設計之比較
- 日本福島事故經驗回饋
- 建廠視察經驗分享
- 準備試運轉視察與測試計畫
- 安全度評估、數位儀控安全系統
- 耐震與結構分析、飛機撞擊影響評估
- 燃料設計與設計基準事故分析(design-basis accident analysis)
- 火災防護



2014年5月APR1400工作組第四次會議(美國馬里蘭州羅克維爾)

四、VVER 工作組

VVER(Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactors)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月獲政策組核准成立，參與國家為芬蘭、印度、俄羅斯、土耳其（土耳其於2013年成為MDEP副會員國時加入本工作組）。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。

俄羅斯目前共有一座VVER-1000機組及五座VVER-1200機組正興建中，且仍有多座VVER-1200機組正規劃中；正興建中的一座VVER-1000機組為Rostov核電廠第4號機組，五座VVER機組分別為Novovoronezh II核電廠第1、2號機組、Leningrad II核電廠第1、2號機組、Baltic核電廠第1號機組。芬蘭輻射與核能安全署正進行VVER-1200預先許可證(Pre-Licensing Design)之審查，如果審查順利，芬蘭Fennovoima核電公司預定於2018年在Hanhikivi核電廠興建第1號機組。印度Kudankulam核電廠第1號機組（VVER-1000）已於2014年12月正式運轉，第2號機組(VVER-1000)仍興建中，另有四座機組(VVER-1000)

正規劃中。土耳其目前規劃在Akkuyu核電廠興建四座VVER-1200機組，預定自2016年底起逐年陸續興建。

目前嚴重事故專家小組正撰擬VVER嚴重事故管制要求之技術報告；福島經驗回饋專家小組正撰擬共同立場報告。反應器壓力槽及主冷卻水迴路專家小組成立於2015年初，並於2015年3月份召開第一次會議。

VVER工作組現階段工作重點如下：

- VVER在不同國家其安全設計之比較分析
- 日本福島事故經驗回饋
- 反應器壓力槽及主冷卻水迴路設計議題
- 輻射防護、用過燃料池設計
- 數位儀控安全系統
- 嚴重事故之預防與減緩
- 建廠視察經驗分享



2014年12月VVER工作組第三次會議(法國巴黎OECD/NEA)

五、ABWR 工作組

進步型沸水式反應器(ABWR)是美國奇異(General Electric, GE)與日本東京電力(TEPCO)、日立(Hitachi)、東芝(Toshiba)等公司在1990年代所共同發

展與設計的反應器，目前由GE-Hitachi核能公司(GE Hitachi Nuclear Energy, GEH)與東芝公司合作生產。ABWR工作組於2013年9月獲政策組核准，參與國家為芬蘭、日本、瑞典、英國、美國。ABWR工作組設有數位儀控專家小組及嚴重事故專家小組。〔註〕奇異公司與日立公司合作成立GE-Hitachi核能公司，在美國稱為GE-Hitachi，在日本稱為Hitachi-GE。

1997年，美國核管會核准GE公司所提送之ABWR設計合格認證申請；2010年12月美國核管會正式收到GE-Hitachi公司所提送要求換發ABWR設計合格證書之申請，原合格證書有效期限為15年。美國南德州核電廠(South Texas Project Nuclear Plant)規劃興建兩座ABWR機組(第3、4號機組)，目前美國核管會正審查其複合式執照中。

2013年Hitachi-GE公司向英國管制機構提出UK-ABWR設計合格認證申請案，2014年8月核能管制署及環保署完成通用設計評估(GDA)之第二階段審查，目前正進行第三階段審查(稱為詳細評估階段)，整個GDA程序總共分為四個階段。如果UK-ABWR之設計合格認證獲審查核可，Horizon核電公司規劃於Wylfa核電廠及Oldbury核電廠各興建二座ABWR機組。

在日本，目前共有四座ABWR機組運轉中，分別為柏崎刈羽(Kashiwazaki-Kariwa)核電廠第6、7號機組、濱岡(Hamaoka)核電廠第5號機組、志賀(Shika)核電廠第2號機組；另有二座ABWR機組正興建中，分別為島根(Shimane)核電廠第3號機組、大間(Ohma)核電廠第1號機組。芬蘭Olkiluoto核電廠第4號機組尚未確定將採用那種類型反應器，但ABWR反應器也是選項之一。

ABWR工作組現階段工作重點如下：

- GE-Hitachi、Hitachi-GE及Toshiba所設計ABWR其安全性之比較分析
- 日本福島事故經驗回饋
- 耐震與結構分析、飛機撞擊影響評估
- 燃料設計與設計基準事故分析
- 嚴重事故之預防與減緩

- 火災防護、數位儀控安全系統



2014年9月ABWR工作組參訪日本島根核電廠

參、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反應器，目前MDEP各新型反應器工作組，包括EPR工作組、AP1000工作組、APR1400工作組、VVER工作組及ABWR工作組。

各工作組現階段工作重點，除了各新型反應器在不同國家其安全性設計之比較分析，以及日本福島事故經驗回饋外，也著重嚴重事故之預防與減緩、供應商視察、輻射防護、數位儀控安全系統、安全度評估、耐震與結構分析、飛機撞擊影響評估、燃料設計、設計基準事故分析、火災防護等議題。隨著各新型反應器逐漸完成建廠並進入試運轉階段，各工作組除分享安全設計審查與建廠之經驗外，已開始準備運轉前測試與初始測試方案等議題。

各工作組將對與該反應器相關之特定設備或系統，出版共同立場文件，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。譬如，EPR工作組曾出版EPR儀控系統設計之共同立場報告；AP1000工作組曾出版AP1000爆破閥設計與使用之共同立場報告。未來，各工作組將出版日本福島事故經驗回饋之共同立場報告，也將出版其他共同立場報告與相關技術報告。

目前各國興建之核電廠大部分為第三代或改良型第三代反應器，未來MDEP也許會增設其他反應器工作組，譬如Economic Simplified Boiling Water Reactor (經濟簡化型沸水式反應器, ESBWR)、Advanced PWR(先進型壓水式反應器, APWR)等，有待我核能專業人員注意其進一步發展。

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. Multinational Design Evaluation Programme Annual Report April, 2014-April 2015
(<http://home.nea.fr/mdep/annual-reports/mdep-annual-report-2014.pdf>)
3. Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) Terms of Reference
(<http://home.nea.fr/mdep/documents/mdep-tor-apr-2014.pdf>)
4. 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>)
5. 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>)
6. 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)
7. MDEP Common Position CP-EPRWG-03 Design specific common position on the EPR Containment Mixing, 2015
(https://www.oecd-nea.org/mdep/documents/2015-03-16_CP-EPRWG-03-common-position-containment-mixing-March2015.pdf)
8. MDEP EPRWG Programme Plan 2013 – 2014
9. MDEP AP1000WG Programme Plan 2015 – 2016
10. MDEP APR1400WG Programme Plan 2013 – 2014
11. MDEP VVERWG Programme Plan 2014 – 2015
12. MDEP ABWRWG Programme Plan 2014 – 2015