#0013

DISCUSSION PAPER

世界の原発事故事象分析と中国の原子力安全規制制度

河津早央里・周瑋生・李秀澈・崔鐘敏・尹順眞

2019 年 11 月



FACULTY OF ECONOMICS
MEIJO UNIVERSITY

世界の原発事故事象の分析と中国の原発安全規制制度

河津早央里[κ]・周瑋生[λ]・李秀澈[μ]・崔鐘敏[ν]・尹順眞[ο]

要旨：

中国ではこれまでに「原子力法」と「原子力安全法」施行の遅延にもかかわらず、INESレベル2以上の事故事象を防止できた。その背景は以下の2点が存在すると考える。第１に、「放射性汚染防止法」とその下層の条例・規章が上記2法の代理を果たして、原子力安全監督管理体制の職責を行ってきたことである。地方政府も原子力安全条例を制定して、原子力安全に貢献してきたといえる。第２に、原子力発電事業を行うことにあたり国家核安全局から厳格な規制に基づいた安全許可証をもらう必要があることである。

しかし、課題も多く存在する。 今後も中国が INES2 以上の原発事故事象を発生させないためには、国家核安全局、中国国家原子能機構と国家能源局の協力の下、原発の技術的・人的問題の課題解決への取り組む姿勢が必要と考える。そして、安全・リスクに関する国民的な意見公募および規制制度への反映、国家核安全局など原子力安全組織の体制上の独立性確保、そして自治体の原子力安全問題に関する発言力の強化が求められる。

キーワード：
福島原発事故、放射能汚染防止法、原子力安全法、自治体の原子力安全問題

[κ] 立命館大学大学院政策科学研究科博士後期課程　ps0285ik@ed.ritsumei.ac.jp

[λ] 立命館大学政策科学部教授　zhou@sps.ritsumei.ac.jp

[μ] 名城大学経済学部教授 slee@meijo-u.ac.jp

[ν] ソウル大学環境大学院博士後期課程 mycutewani@naver.com

[ο] ソウル大学環境大学院教授 ecodemo@snu.ac.kr

1　研究の背景と目的

中国は、1972年に発電用原子炉の研究・開発の主体として上海核工程研究院を設立した。1994年2月に国内最初の発電用原子炉大亜湾1号機の商業運転に成功した。それ以降、中国政府は原子力開発姿勢を積極的に示しており、2007年の「原子力発電中長期発展規画(2005～2020年)」では、発電量4,000万kWの到達目標(2020年)を発表した。しかし福島第一原子力発電所事故（以降、「福島原発事故」）から5日後に、国務院常務会議は、「福島原発事故」の状況を確認し、国内すべての原子炉の安全検査を行った。計画段階にあった原子炉の審査・承認手続きを中止させ、緊急安全審査実施の優先を指示した。1984年から開始した「原子力法」の立法作業も一旦停止させた。ただし、2011年10月、「原子力発電中長期発展計画(2011-2020年)」の決定ならびに、「核安全及び放射性汚染防止『十二五』計画並びに2020年目標」の承認により、国内外の原子力産業の経済活動が再開された。そして、2012年に「原子力安全法」を全国人民代表大会の立法計画へ入れこみ、2018年1月からようやく施行をスタートさせた。中国は、「福島原発事故」以前から進めてきた「原発拡大」の政策的位置づけを崩すことなく昨今に至っている。

2019年9月末現在中国では、研究炉と初臨界を終えた原子炉を合わせて48基が運転中である。建設(11基)・計画(43基)段階の原子炉がすべて運転を開始すれば、2030年時点で最大102基の商業運転が予測できる。中国の「運転中」の原子炉数は、アメリカ(98基)とフランス(58基)に次ぐ原発保有国の31カ国中世界3位へ位置づいている(IAEA-PRIS,2019；World Nuclear Association,2019a)。今のところ中国は原発事故事象(国際原子力事象評価尺度(INES：International Nuclear Event Scale)レベル2以上)は起きていない。ただし、中国の原発建設計画が急速に進んでいる中、原発からの放射性安全が保障されているかについて国内外で不安の声も高くなっている。

本研究では、中国における将来的な原発事故リスクを鑑みるにあたり、まず世界の原発事故事象データベースの構築と分析を行い、事故事象の傾向性・中国の原発との共通性について検討する。そして、原子力リスクから安全な社会に向けた中国における原子力安全規制制度のあり方について提言する。

2　原子力事故事象原因の分析に関する先行研究

原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、世界原子力発電事業者協会(WNO)、原子力発電運転協会(INPO) 、NRC(米国原子力規制委員会)、そして仏国原子力安全規制当局(ASN)などは、国内外事故事象の情報を仕入れて、国・原子炉型別の稼働率とトラブル発生率の関係性分析、事故事象発生原因分類手法の考案・分類から、傾向性を探り発生抑対策を提言してきた。これらの機関は、米国と日本の比較研究の結果、日本のPWRは定期検査期間の延長・適正化に向けた取り組む必要があると指摘した。1990年代末から10年間は、両国にて、BWRよりもPWRの方がトラブル発生率は低かった。事故事象発生原因を分類するにあたり、管理者と技術の観点から対処可能か否かで判別する。設計や製造、補修と運転などの段階別・設備別対策からわけることができる。ヒューマンエラーも同様に、事故事象発生の各段階・設備にてそれぞれ区分される。たとえば、2007年4月から2017年12月にかけて海外・国内原発の主なトラブルの原因は、補修計画の不備や作業者のミス等が45%と最も割合が高く、対策上補修管理作業がとりわけ重要と位置づけられている(戒能、2009；宮崎、2007；小松・三木他、2018)。

INESレベル2以上の原子力事故事象の特徴を検討した結果、正式運用開始から数年間は初期トラブルの発生が多く、年間70件以上報告されていたが、安定期に入る1997年以降は20～30件に半減した。原子炉型・原因、運転年数別に分析したところ、軽水冷却黒鉛減速炉(LWBR)とロシア型加圧水型原子炉(VVER)にて事故事象発生件数が最も多いことが報告されている。運転年数が10年台後半から20年程度あたりで、顕著に発生率が増加していた(渡辺、2001；周・許他、2014)。

本研究では、事故事象発生原因の分類にて想定内/外の是非は問わない。また、原子炉型だけでなく、当該原子炉型のモデルにも着目する。事故事象を起こした原子炉型と中国国内の運転中発電用原子炉の原子炉型(モデル)の特徴を互いに照らし合わせた。ところで、原発事故事象の大半は技術上の問題に起因する。中国の運転中原子炉と同じ原子炉型(モデル)で起きた事故事象の原因と経緯の傾向性を分析する。中国は世界第3位の原発大国であるにもかかわらず、INESレベル2以上の原発事故事象が起きなかった背景について探る。過去に発生した原発事故事象の傾向性・中国の原発との共通性から、上記の背景と今後も起こさないようにするための規制制度のあり方について提言することが本研究の独自性と位置づけられる。

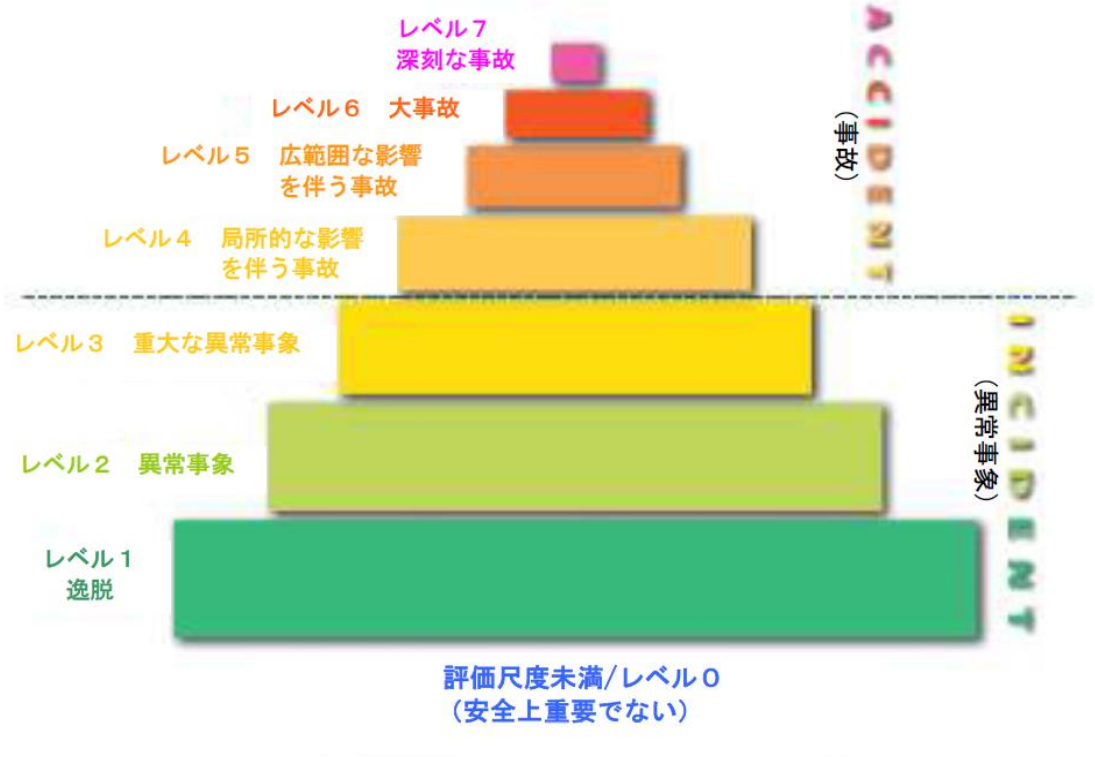
3　世界の原発事故事象の分析と中国における運転中原子炉との関係性

3.1　事故事象原因分類と運転年数当たりの事故事象発生率

国際原子力事象評価尺度(INES)とは、国際原子力機関(IAEA)と経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)が策定した原子力施設の事故事象の重大性を容易に伝達できる国際的かつ一貫性を目指す評価尺度である(図3.1)。この尺度は、1990年に開発着手し、1992年から正式運用を開始した(IAEA,2013)。本研究では、対象評価尺度をレベル2(異常事象:Incident)からレベル7(事故：Major Accident)、対象期間を1992年から2017年とした。原子炉型(モデル)の表記はIAEA-PRISにしたがった。事故事象情報は、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)とJNES独立行政法人原子力安全基盤機構「国内・国外トラブル」、原子力規制委員会「事故故障等の報告件数の推移等」ほか、当該国の原子力規制当局から引用した。原子炉型とモデルの名称は、IAEA-PRISにしたがった。事故事象発生原因は、「技術的原因」と「人的原因」、「技術的・人的原因」と「偶発的被曝」、「原因不明」と「自然災害(災害名)」の6種類に分けることができた。表3.1に分類名とその説明を記述する。

本研究にて収集した事故事象は、沸騰水型(BWR)や黒鉛増殖軽水炉(LWGR)などでも発生していた。しかしながら、中国ではPWRとPHWRの2種類しか商業運転をしていない。そのため、上記2種類の原子炉型のみをとりあげる。図3.2～3.3にて、PWRとPHWRの事故事象発生当初における運転年数当たりの事故事象発生率(‰)と事故事象回数を表した。PWRは2018年12月31日現在、1970年代末から1990年代末にかけて商業運転の開始が集中している。絶対値が大きいが故に、運転26年目を境に運転年数当たりの事故事象

図3.1　国際原子力事象評価尺度

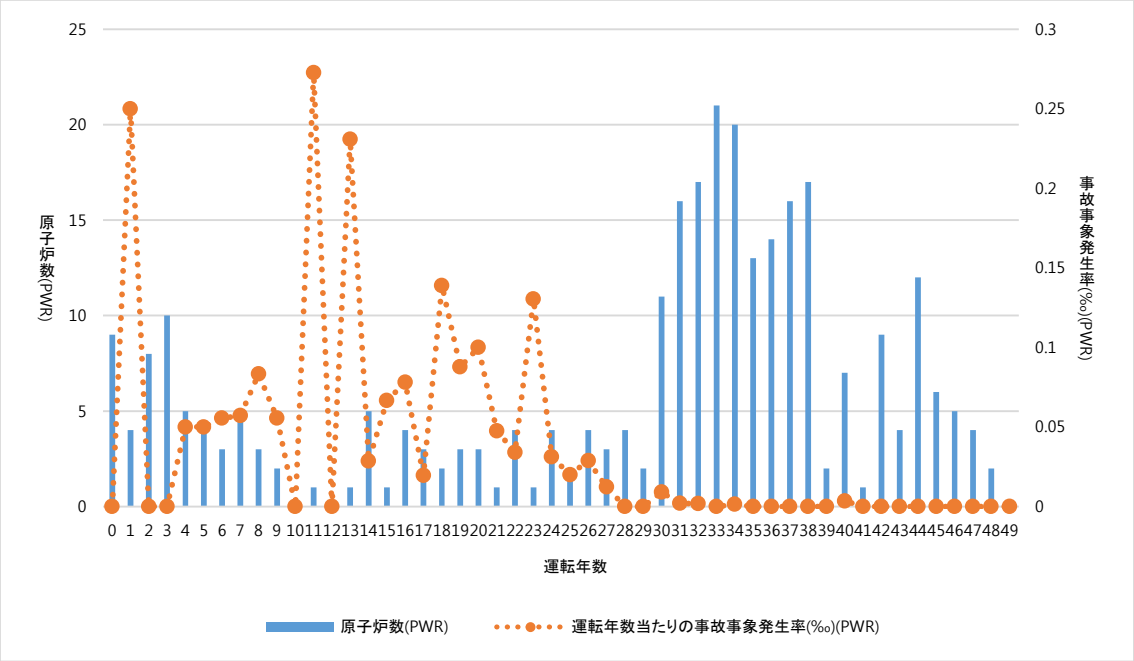


出典：IAEA（2013）より引用

表3.1　事故事象原因とその概要

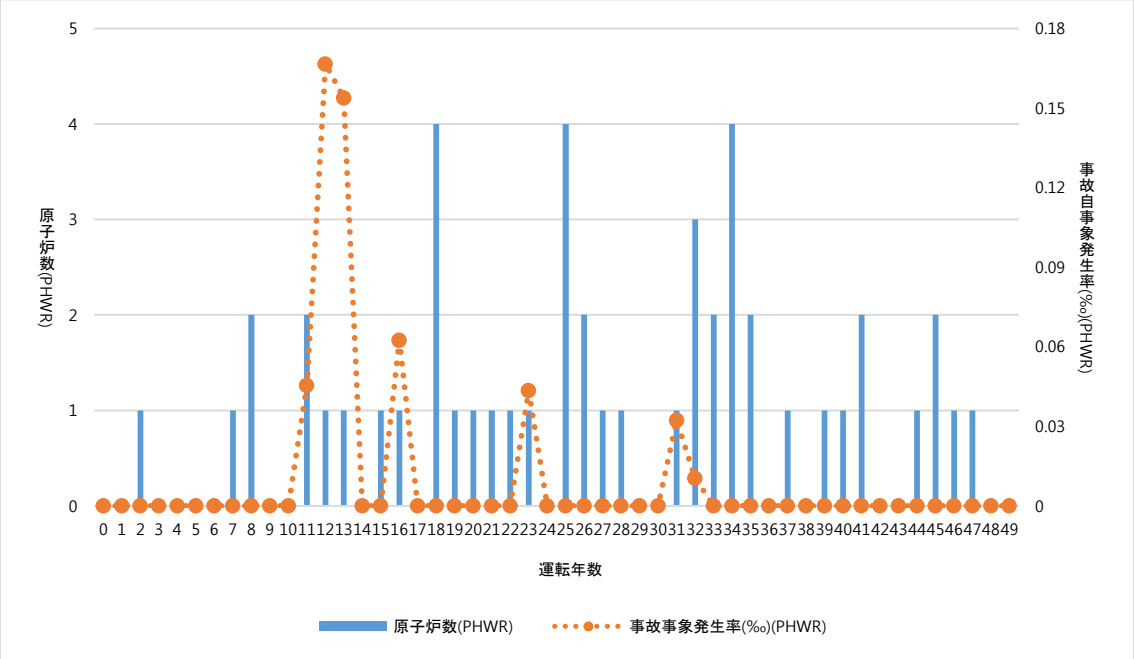
事故事象原因	概要
技術的原因	設備の経年劣化や腐食などの技術的側面に起因する。
人的原因	マニュアル通りの手順を踏まなかった等の操作ミスが該当する。
技術的・人的原因	上記2つの原因が併せて起きたケースをさす。
偶発的被曝	マニュアル不備によるヒューマンエラーや所内設備の故障に起因しないが、線量基準を超えて被曝してしまったケースをさす。
原因不明	「原子力施設の事象の国際評価尺度（INES）報告書」および、当事国の規制当局からも詳細な原因発表が見当たらないケースをさす。
自然災害(災害名)	自然災害に起因する事故事象はその災害名も記した。

図3.2　PWRの基数と運転年数当たりの事故事象発生率



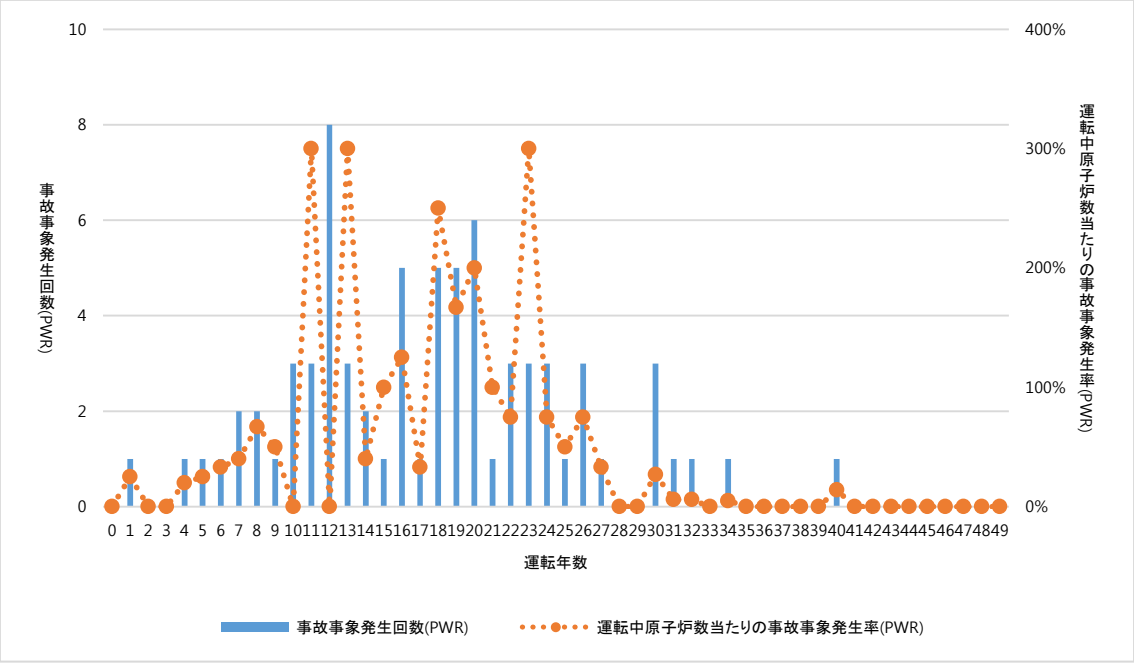
出典：IAEA(2019)，IAEA-PRIS(2019)より作成

図3.3　PHWRの基数と運転年数当たりの事故事象発生率



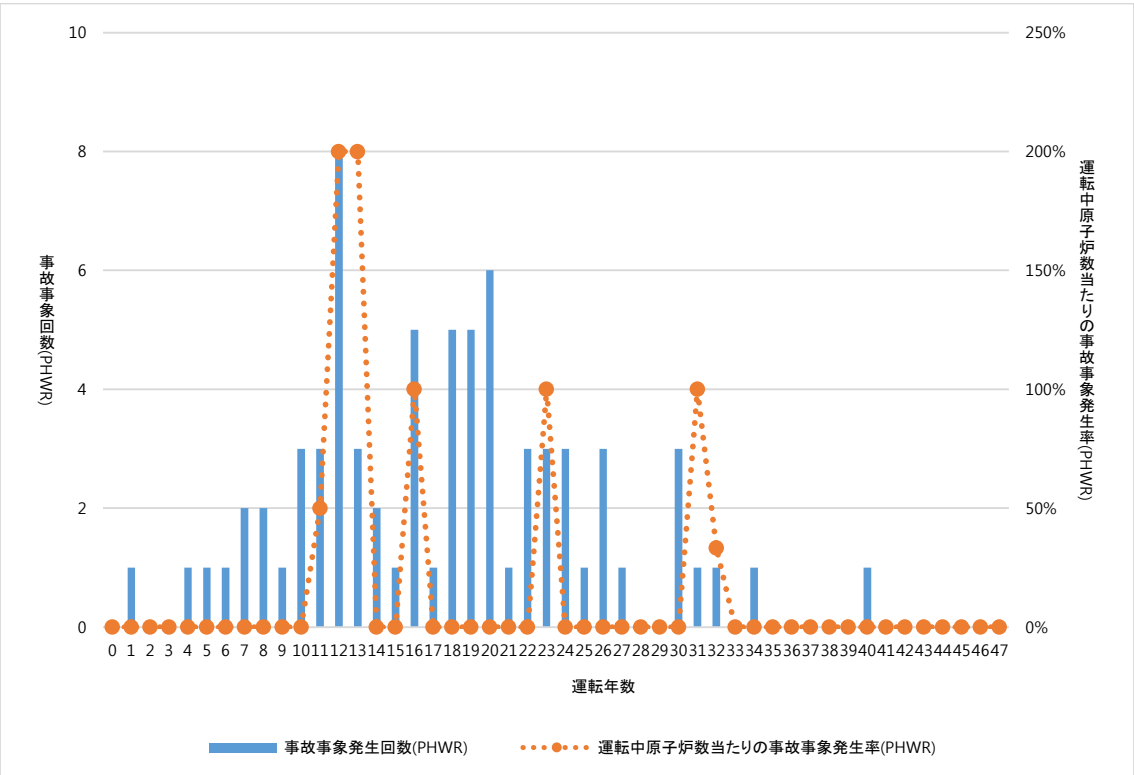
出典：IAEA(2019)，IAEA-PRIS(2019)より作成

図3.4　事故事象回数と運転中原子炉数当たりの事故事象発生率(PWR)



出典：原子力規制委員会、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、JNES独立行政法人原子力安全基盤機構、IAEA-PRIS(2019)より作成

図3.5　事故事象回数と運転中原子炉数当たりの事故事象発生率(PHWR)



出典：原子力規制委員会、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、JNES独立行政法人原子力安全基盤機構、IAEA-PRIS(2019)より作成

発生率(‰)は低下しつづけていた。41年目以降は事故事象そのものが発生していない。1995年(運転23年目)から2017年(運転年数1年目)にかけて商業運転を開始した原子炉は、運転年数当たりの事故事象発生率が0.1‰から0.25‰のあいだで推移されていた。原子炉数が多い場合、運転年数が近くとも運転年数当たりの事故事象発生率(‰)は変動する。例えば、運転13年目(1基)と14年目(5基)は20‰も差が存在する。PHWRでも運転年数の経過は発生頻度に比例しなかった。図3.4及び3.5では、運転中原子炉数当たりの事故事象発生率(%)を表した。PWRは1991年(運転27年目)から2017年(運転1年目)のあいだにて、とりわけ事故事象発生率(%)が上昇している。たとえ発生回数が同数であっても、母体となる運転中の原子炉数が大きければ事故事象発生率(%)はそれに応じる。運転23・24年目の原子炉は同数であるが、事故事象発生率(%)の差は4倍にもなる。PHWRでも同様のことがいえる。両者の原子炉型にて、運転年数ならびに運転中原子炉数当たりの事故事象発生率(‰・%)は運転年数ではなく絶対値である原子炉数に左右されることが理解できる。

3.2 世界と中国の原子炉開発とその世代分け：中国の運転中原子炉と事故事象発生原子炉との違い

表3.2では、原子炉の各世代および原子炉型(モデル)の代表例、中国の運転中の原子炉をしめす。中国では、第1世代のMAGNOXおよび第2世代から登場したBWR、第2世代のAGR(改良型ガス冷却炉)とLWBRは運転されていない。中国の運転中の原子炉は、引用文献の定義や原子炉の建設・運転開始年から世代分けを行った。過去に原発事故事象がおきた原子炉型(モデル)の共通点は、加圧水炉(PWR(VVER：ロシア型加圧水炉))とPHWR(加圧重水炉)のカナダ型重水炉(CANDU)であった。ロシア型加圧水型原子炉では、V-230(第1世代)、V-270とV-213ならびにV-338(第2世代)、V-302(第3世代)、6機種で事故事象が起きていた。CANDUでは、CANDU-6とCANDU 500Aの2機種で発生していた。現在、中国では第3世代のV-428(田湾1・2号機)とCANDU-6(秦山Ⅲ期1・2号機)、第3+世代のV-428M(田湾3・4号機)の3機種6基が運転中である。中国の運転中原発の現状とリンクさせるために、VVERとCANDUへ特に注目する必要がある。

表3.2　原子炉の世代とその代表例

導入年代	原子炉型およびモデルの代表例	中国の運転中発電用原子炉
第1世代(60年代前半までに運転を開始。)	・GCR(MAGNOX) ・ショッピングポートPWR ・ドレスデンBWR ・VVER series(VVER-440/V-230)	該当原子炉なし。
第2世代(1960年代後半～1990年代前半に建設され、現在運転中。)	・CANDU ・PWR VVER series(VVER-440/V-213、V-270、V-338)、Chinese PWR 1000(the CPR-1000)、CNP series(60 and 1,000 MW designs)、OPR-1000(Optimized Power Reactor) ・BWR	M310(大亜湾1・2号機、岭东/嶺澳Ⅰ期1・2号機)、CNP-600(秦山Ⅱ期1～4号機、長江1・2号機)、CNP-300(秦山1号機)

	・GCR ・AGR ・LWBR ・*RBNK*	
第2+世代(運転中改良)	運転中の第2世代原子炉を改良。	・PWR CPR-1000(紅沿河1～4号機、寧徳1～4号機、防城港2号機、陽江1・2号機、岭东/嶺澳Ⅱ期1・2号機)、CPR-1000(M310+)(方家山1・2号機、福清1～4号機、防城港1号機)、CPR-1000+(陽江3・4号機)
第3世代(1990年代後半～2010年までに運転開始。)	・ABWR ・APWR(AP-600、APR-1400) ・PWR ・EPR(European Pressurized Reactor)欧州型加圧水炉 ・ACP-1000、-1000+ ・CAP-1000、-1400、-1700 ・VVER series(VVER-1000/*V-320*、*V-302*) ・PHWR ・CANDU(*CANDU-6*)	・PWR V-428(田湾1・2号機) ・PHWR CANDU-6(秦山Ⅲ期1・2号機)
第3世代+(2010～2030年に導入・運転開始。)	・PHWR ・Advanced CANDU Reactor(ACR-1000) ・ABWR ・Economic Simplified Boiling Water Reactor(ESBWR：高経済性単純化沸騰水型原子炉)) ・EU-ABWR(出力の向上とEU安全基準に基づいたABWR) ・PWR ・EPR ・VVER series(VVER-1200/V-392M、V-428M、V-429) ・AP-1000 ・APR-1400 ・ATMEA I	・PWR V-428M(田湾3・4号機)、ACPR-1000(陽江5号機)、AP-1000(三門1・2号機、海陽1・2号機)、EPR-1750(台山1・2号機)

注：台山2号機は2019年6月23日に初臨界を終えて、現在商業運転を見合わせている(IAEA-PRIS；World Nuclear Association,2019a)。

出典：森谷(1993)、永崎(2011),(2019)、田中(2014)、窪田(2014)、ATOMICA各種ページ、Stephen M. Goldberg and Robert Rosner(2011)、IAEA-PRIS；World Nuclear Association(2019a)

本研究で構築した世界の原発事故事象データベースによると、事故事象回数総計116回中73回が加圧水型（PWR）、その中でさらに19回がモデルVVERであった。図3.6では、原子炉型(モデル)・事故事象原因別に事故発生件数が示されている。VVERで発生した19回の事故事象のうち15回が技術的原因に分類できた。

図3.6　原子炉型・事故事象原因別事故事象発生回数

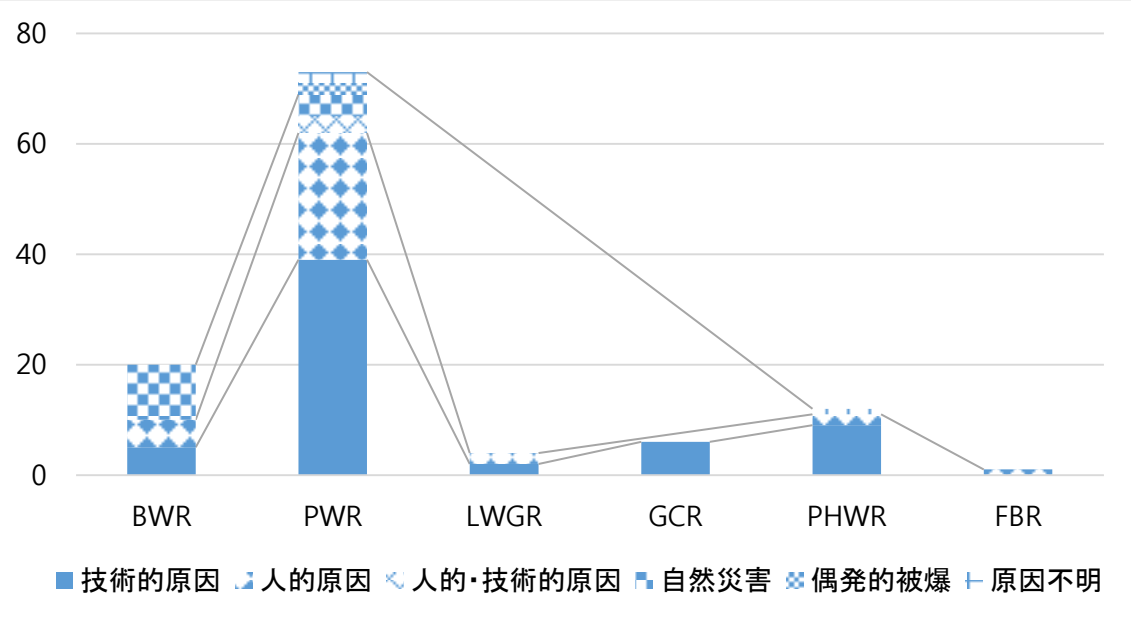


表3.3に示されているとおり、制御棒集合体固着による制御棒系機能の劣化や新燃料集合体の損傷、制御棒や燃料集合体に関連した設備や作業中に事故事象が起きた。人的原因に分類された事故事象は1回であり、作業員が燃料取替操作作業と使用済燃料取扱い時の放射線安全規定に違反して線量規定値を超えてしまった。原子炉の中性子束制御系部品の欠陥または、モーター発電機の電機子巻き線回路の短絡によるDC電源盤の電源喪失、竜巻に起因した送電系統の変動は原子炉をスクラムさせた。原子炉を緊急停止せざるをえない事態に陥った事故事象は3回である。VVERは1992年から2009年までの間に、ロシアをはじめウクライナやハンガリーなどの東欧諸国、フィンランドにて事故事象が発生していた。原子炉の運転停止に至った事故事象は、ロシアとウクライナで起きていた。

VVER-440シリーズのV-230とV-213は、原子炉格納容器が設置されていなかった。第1世代のV-230に至っては、非常用炉心冷却設備(ECCS)も設置されていない。IAEAは、V-230とV-213に関する安全技術評価結果を取りまとめた技術報告書を1992年2月に発表した。その技術報告書でも、ECCSの未設置から口径配管が破断する想定が緩いとみなされている。また、崩壊熱の除去を蒸気発生器に依存している。給水系設備がタービン建屋に集中しているため、蒸気発生器への給水が中断する恐れがあった。VVER-440シリーズでは、蒸気配管が10cm破断して0.1MPaまで圧力が上昇しても耐えられるように設計されている。田湾1・2号機(V-428)と田湾3・4号機(V-428M)が該当するVVER-1000シリーズ以降は、原子炉内の加圧状態が0.41MPaまでに耐えられるように改善された。

表3.3　PWR(VVER)で発生した事故事象の概要

発生時期	運転年数	施設名	国	原因	モデル
1992.09.21	10	南ウクライナ 1	ウクライナ	技術的原因	V-302
1992.11.17	20	コラ 1	ロシア	技術的原因	V-230
1993.02.02	20・17	コラ 1・2	ロシア	自然災害(竜巻)	V-230 ・ V-230
1993.02.25	13	ロヴィーサ 2	フィンランド	技術的原因	V-213
1993.06.14	9	ザポリージャ 1	ウクライナ	原因不明	V-320
1994.01.12	7	ザポリージャ 4	ウクライナ	技術的原因	V-320
1994.03.03	20	コラ 2	ロシア	技術的原因	V-230
1994.04.06	12	南ウクライナ 1	ウクライナ	技術的原因	V-302
1995.11.08	11	パクシュ 2	ハンガリー	技術的原因	V-213
1997.08.20	11	パクシュ 3	ハンガリー	原因不明	V-213
1997.08.22	12	南ウクライナ 2	ウクライナ	技術的原因	V-338
1998.03.14	22	ビリビーノ 4	ロシア	人的原因	V-320
1998.05.19	14	コズドゥイ 1	ブルガリア	技術的原因	V-230
1998.06.04	18	メツァモール 2	アルメニア	技術的原因	V-270
1998.07.13	18	メツァモール 2	アルメニア	技術的原因	V-270
1998.11.10	12	ザポリージャ 3	ウクライナ	技術的原因	V-320
2003.04.10	19	パクシュ 2	ハンガリー	技術的原因	V-213

2006.03.01	19	コズロドゥイ 5	ブルガリア	技術的原因	V-230
2009.05.04	22	パクシュ 4	ハンガリー	技術的原因	V-213

出典：原子力規制委員会、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、JNES独立行政法人原子力安全基盤機構、IAEA-PRIS (2019) より作成

CANDU は、過去 6 回の事故事象を発生させてきた(表 3.4)。中国国内で運転しているCANDU-6 は、4 回中 3 回が冷却設備に損傷をおこして、腐食に起因する貫通孔や重水漏洩が認められた。CANDU-6 と CANDU 500A は、小規模な冷却材喪失事故(LOCA：Loss-of-Coolant Accident)を 1 回ずつ引き起こした。前述したとおり、秦山Ⅲ期 1・2 号機がCANDU-6 である。

表 3.4　PHWR(CANDU)で発生した事故事象の概要

発生時期	運転年数	施設名	国	レベル	原因	モデル
1994.10.20	11	月城 1	韓国	2	技術的原因	CANDU-6
1994.12.10	23	ピカリング 2	カナダ	2	技術的原因	CANDU 500A
1995.09.04	13	ジェンティリー 2	カナダ	2	技術的原因	CANDU-6
1995.12.18	12	エンバルセ	アルジェリア	2	技術的原因	CANDU-6
1996.10.04	13	ポイント・ルプロー	カナダ	2	技術的原因	CANDU-6
2003.08.14	32	ピカリング 1・2	カナダ	2	技術的原因	CANDU 500A

出典：原子力規制委員会、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、JNES独立行政法人原子力安全基盤機構、IAEA-PRIS (2019) より作成

ところで事故事象がおきたVVERとCANDUは全て、1992年以前に運転を開始していた。表3.5、3.6では、商業運転開始年が1992年以降である原子炉で起きた事故事象に絞って示されている。フランスでは2019年8月現在、国内にて58基が運転されている。そのうちの6基が、1992年以降に運転を開始したものである(World Nuclear Association,2019b)。フランス全土で発生した事象は、複数の原子炉が対象になるため運転年数の平均値を表3.5には記した。

非常事態収束のためにやむを得ず、原子炉をトリップした事象は3回起こっている。これらはどれも技術的原因に分類された。制御系調整棒の電源喪失と制御棒の低速挿入、タービントリップ信号の警報が出されなかったことによる事象であった。原子炉トリップ自体は、3種類ある原子炉型のうちPWRでは起きなかった。人的原因に分類された事象は3つある。ひとつめは、志賀1号機(BWR)の制御棒駆動系試験における作業員の手順ミスが挙げられる。第2・第3の事象は、燃料移送室での作業許可申請をだした

責任者への報告不届き、スタッフの不注意による禁じられた時間帯の使用済核燃料移送である。後者2つの事象は、作業員の過剰被ばくにつながった。女川2号機の事象は津波による原子炉補機系の故障であった。原因を問わず、原子炉を「冷やす」設備の故障は3回起きていた。

表3.5　1992年以降に運転を開始した原子炉の運転開始年月と発生当時の運転年数

発生時期	運転年数	施設名	国	原因	原子炉型(モデル)
1997.05.18	5	カクラパール1	インド	技術的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)
1998.09.11	6	ナローラ2	インド	人的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)
1999.06.18	6	志賀1	日本	人的原因	BWR(BWR-5)
2003.12.31	5	All NPP(6基)	フランス	技術的原因	PWR(N4 REP 1450、N4 REP 1300、CP2)
2004.03.09	6	All NPP(6基)	フランス	技術的原因	PWR(N4 REP 1450、N4 REP 1300、CP2)
2004.03.10	12	カクラパール1	インド	技術的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)
2010.09.17	1	新古里1	韓国	技術的原因	PWR(OPR-1000)
2011.01.19	17	ラグナベルデ2	メキシコ	技術的原因	BWR(BWR-5)
2011.03.11	16	女川2	日本	自然災害(津波)	BWR(BWR-5)
2011.05.30	16	カクラパール2	インド	人的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)

出典：原子力規制委員会、原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)、JNES独立行政法人原子力安全基盤機構、IAEA-PRIS(2019)より作成
注：INESレベルはすべてレベル2を記録した。

2003年12月、フランス全土の原発にて、再循環系サンプフィルターがデブリで目詰まりを起こす可能性を示唆した。当該サンプは、原子炉格納容器底部に設置されている。事故時に一次系から大規模な漏洩があった際に、漏洩水の回収および原子炉冷却を維持するために安全注入系に戻すための設備である。CP1・2シリーズおよびN4・N4'

シリーズに続く第3世代のEPR(欧州型加圧水炉)は、中国国内でも台山1号機が運転中である。当該加圧水炉は、再循環系サンプフィルターの代わりにコアキャッチャーが設置されている。デブリをふくむ炉心溶融物を受け止めて冷却設備がある貯留エリアまで移動させる。

表3.6　「All NPP(6基)」の各原子炉の運転開始年月と発生当時の運転年数

施設名(原子炉型のモデル名)	運転開始年月	事象発生(2003年)時点の運転年数	事象発生(2004年)時点の運転年数
シヴォ―2(N4 REP 1450)	2002年4月	1	2
ショーズB 1(CP2)	2000年5月	3	4
ショーズB2(CP2)	2000年9月	3	4
シヴォ―1(N4 REP 1450)	1999年1月	4	5
ゴルフシュ2(P4 REP 1300)	1994年3月	9	10
カットノン4(P4 REP 1300)	1992年1月	11	12

出典：World Nuclear Association (2019b) より作成。

4　中国の原発安全規制制度と原子力開発の現状と課題

中国は、1984年にIAEAに加盟して「原子力法」の立法作業に着手しはじめた。1989年7月に草案を完成させるも、国内の体制改革の中で漂流されており、10年後の1999年にようやく国務院へ上程された。2010年9月には国内の原子力専門家が「原子力法案を促進するための提案」が提出するなど、「原子力法」の立法作業は軌道に戻り始めていた。そのさなか「福島原発事故」により、あらゆる国内外の原子力活動が一時停止を余儀なくされて、同法をふくむ原発安全規制制度の整備も例外ではなかった。なお「原子力法」の施行は依然見合わせられており、2018年9月に同法を公表して意見公募を求めている。「原子力法」の立法目的は、原子力産業の持続可能な発展だけでなく、活動上の安全確保も含まれており、最終的にリスク削減へつながる。

2018年1月、「原子力法」に先立って「原子力安全法」が施行された。これまでは、「放射性汚染防止法」(2003年施行)が原子力安全法の代理をつとめてきた。同法は、民生用原子力施設の放射能汚染防止と処理監督、放射性廃棄物管理を目的としている。民生用原子力安全設備とは、原発の安全機能を有する機械・電気設備をさす。「原子力安全法」の立法目的は、“原子力安全、予防と原発事故への対応、原子力エネルギーの安全な使用を確保、保護公衆と従業員の安全と健康、生態環境の保護、経済社会の持続可能な発展促進”としている。今回はあらたに中国の原発安全規制制度へ、原子力事故の予防・対応、原子力施設従業員をふくむ公衆安全と健康、自然環境の保護が明確に規定された。

「原子力安全法」の立法計画から施行するまでのスピードは非常に迅速であった。この背景には、「福島原発事故」の影響はもちろん、急激さを増す原発開発の動きに

安全規制制度整備の足並みを揃えようと試みた結果と思われる。中国は、1990年代前半に3基、2000年代に8基、2010年代に入ってからは37基が研究炉も含めて運転をスタートさせており、原子炉数を逓増させる姿勢は勢いをましている。「福島事故」の発生と「原子力安全法」が施行するまでに、「放射性汚染防止法」とともにその下位に位置する行政法規や部門規章が原子力安全を守ってきた。現在、関連条例は9件規定している(表3.7)。たとえば、「民生用原子力安全監督管理条例」から派生した「原子力発電所の安全許可証の申請・交付(1993年12月施行)」では、許可事項と審査・評定に要する文書と資料、運転員の免許について規定されている。

表3.7　原子力安全の行政法規

名称	施行、改正年月
民生用原子力安全監督管理条例	1986年10月
核物質管理条例	1987年6月
放射性同位元素・放射線発生装置安全防護条例	2005年12月
原子力発電所原子力事故緊急時管理条例	1993年8月、2011年
原子力輸出管理条例	2006年11月
原子力汎用品及び関連技術輸出管理条例	2007年1月
民生用原子力安全設備監督管理条例	2008年1月
放射性物品運輸安全管理条例	2010年1月
放射性廃棄物安全管理条例	2012年3月

表3.8にしめすとおり、4省の政府(広東、浙江、山東、江蘇)で関連地方法規が制定されている。発電所周辺の放射能汚染・環境保護、緊急対応時管理に関して現在7つの法規が存在する。省政府による法規制は、原発周辺の放射線レベルを抑制する安全措置や廃棄物の処理、環境モニタリングの際の情報公開、公衆からの意見聴取・監督の義務化が規定されている。広東省は、緊急時における管理機関の職責管理について1998年1月に条例を施行した。江蘇省でも、緊急時対応マニュアルの作成および施設建設、物資の備蓄と救援隊の立ち上げ、訓練等の義務化を規定した条例が審議中である。このように、2004年から2010年代にかけて次々と発電用原子炉が設置・運転を開始するに応じて、関連条例とその下位に位置する部門規章・地方法規が整備されていった。しかしながら、放射能汚染防止および環境保護、緊急時対応管理に関する条例の施行が、大亜湾1～2号機や秦山1号機、田湾1～2号機の運転開始より後ろ回しにされていた事態は問題である。福建省と遼寧省、海南省と広西チワン族自治区にも原発は所在しているが、原子力安全条例の施行は認められなかった。

「福島原発事故」以降、中国国内でも原発安全に関する不安が増加している。同国内では、彭泽原子力のプロジェクト(2011)と江門核燃料プロジェクト(2013)、江蘇連雲港で反対運動(2016)などの反対運動が頻発するようになった。「原子力安全法」にて規定されている一般市民への意見公募テーマは、安全規制に関連する事項ではない。広がる国民の不安を払拭するかたちで、「原子力発電所核事故応急管理条例」(1993年規定)に加えて、「中国の原子力緊急時対応」を2016年に策定した。緊急時の計画は、原子力事業者、中央・省政府、国家原子力事故緊急調整委員会(1995年設置)の主要メンバーや各支援部門、人民解放軍が独自的に作成する。

s

表3.8　省政府が制定した原子力安全の部門規章

省政府	部門規章名(施行年月)	所在する原発名		
		運転中 (運転開始年月)	建設中 (建設開始年月)	計画中 (建設開始予定年)
広東省	・大亜湾原子力発電所周辺規制区域安全保障・環境管理条例(94年11月、12年6月に改正、同日施行) ・広東省原子力発電所環境保護管理規定(96年9月、04年6月に改正、同年7月施行) ・広東省民生用原子力施設の原子力事故予防・緊急時対応管理条例(98年1月)	・大亜湾1、2号機(94年2月、94年5月) ・嶺澳Ⅰ期1、2号機(02年5月、03年1月) ・岭东/嶺澳Ⅱ期1、2号機(10年9月、11年8月) ・陽江1～6号機(14年3月、15年3月、16年1月、17年3月、18年7月、19年7月) ・台山1、2号機(18年12月、19年6月) ※台山2号機は初臨界の年月である。		・陸豊(汕尾)1、2号機(未発表) ・惠州/太平嶺1、2号機(09年) ・連江1、2号機(未発表) ・台山3～4号機(未発表)
浙江省	・浙江省原子力発電所放射線環境保護条例(03年2月)	・秦山1～6号機(94年4月、02年4月、04年5月、10年10月、11年12月、02年12月、03年7月) ・方家山1、2号機(14年12月、15年2月) ・三門1、2号機(18年9月、18年11月)	なし	・三門3、4号機(2019年)
山東省	・山東省放射線環境管理規則(03年4月) ・山東省放射線汚染防止条例(14年5月)	・海陽1、2号機(18年10月、19年1月)	・石島湾1号機(12年12月)	・海陽3、4号機(未発表)
江蘇省	・江蘇省放射線汚染防止条例(08年1月) ・江蘇省原子力事故予防・緊急時対応管理条例(16年5月時点で、常務委員会に提出・審議)	・田湾1～4号機(07年5月、07年8月、18年2月、18年12月)	・田湾5～6号機(15年12月、16年9月)	・田湾7～8号機(21年、22年)

出典：World Nuclear Association (2019a) より作成

中央政府による「国家原子力緊急時対応マニュアル」は、原子力事故の規模別に指揮・組織体系を規定して各部門・組織の連携性向上を目指している。所内外に放射性物質が放出される恐れがある場合は、原子力事業者は国家原子能機構と国務院の安全

部門、状況に応じて省の人民政府の指定部門にも報告する。すでに放射性物質が放出した場合、警戒状態に入った旨の連絡、省政府へ緊急防護対策の採用を進めている。報告をうけた省政府は、国務院へ状況を報告しなければならない。さらに、国家原子力事故緊急調整委員会の事務局が主催となり、関連組織・部門との合同模擬訓練を3～5年に1回行わなければならない。

国家核安全局は、核廃棄物と放射能の監督管理業務など原子力安全監督に統一的に携わってきた。監督手段のひとつとして、「民生用原子力安全監督管理条例」および「原子力発電所の安全許可証の申請・交付」に則り、原発立地点の選定から建設と運転、廃止措置の各段階にて安全許可証を承認・交付する。「安全許可証」は、①原子力発電所の建設許可証、②運転許可証、③運転員資格証明書、④立地点選定審査意見書、⑤燃料初装荷承認書、⑥廃止措置承認書の6種類にわけられる。同局は、許可証の審査から監督、検査過程において、施設の所在省と自治区などの省政府の意見を求める。また、関連人員は約1,000名とされている。ただし、米国原子力規制委員会(NRC)は3,000名以上を有する。1998年に、国家核安全局は国家環境保護総局(現在の環境保護部)に編入されて、開発・推進組織である中国国家原子能機構と国家能源局および、後者組織に内在する核工業総公司と並立している。同局は、あくまでも環境保護部から独立した一組織に過ぎない。中国国家原子能機構は、国際的側面から政策へ参画できる。国家能源局は、開発計画と参入条件、技術基準の策定と実施の職責を有する。両者組織は、原子力安全緊急対応管理活動にも参入できる。また、国家核事故応急協調委員会の主任を、国家原子力核安全局ではなく工業情報化部のリーダーが務める。国防科学技術局も国家核安全局とともに、原子力安全を監視する役割を任されている。ただし、当該組織は民需原子力開発の研究機関の顔も併せ持つ。

このように、開発・規制機能の分離が不十分かつ安全規制に携わる機能の独立性は縮小されているように思われる。また、緊急時対応マニュアル作成についても、規制当局および省政府などに対して比較的小規模な地方自治体の発言力が疑問視される。

5　結論

本研究では、中国がこれまでINESレベル2以上の原発事故事象が起きなかった背景を考察した。1992年から2017年を対象期間に、運転を開始した原子炉で発生した事象の原因や原子炉型(モデル)から傾向性と中国国内の運転中原子炉との共通性・相違性を探った。

V-230 と V-213 は原子炉格納容器が設置されておらず、V-230 にいたっては ECCS も所有していない。また、崩壊熱の除去にあたるうえでひとつの機器に依存していた。VVER-440 シリーズの蒸気配管の破断に対応する原子炉格納容器の設計圧力は、VVER-1000・VVER-1200 シリーズのそれには劣る。CANDU では、腐食に起因する貫通孔や重水漏洩、小規模な LOCA が 1 回起きている。秦山Ⅲ期 1・2 号機が CANDU-6 であり注視する必要があると考える。2003 年にフランスにて再循環系の異常事象が判明していたが、中国国内でも運転している EPR にて技術上問題解決したとは思われない。

ほかにも、事故事象発生率は運転年数ではなく原子炉数に左右されることが判明しており、原子炉型(PWR・PHWR)別にみても運転年数の経過は関係性が薄いと結論づけられた。

今後、原子力リスクから安全な社会に向けた中国の原発安全規制制度には、安全・リスクに関する国民意見公募および規制制度への反映、国家核安全局など原子力安全

組織の体制上の独立性強化、そして自治体の原子力安全問題に関する発言力の強化が求められる。

引用・参考文献

エネルギー総合工学研究所(2017)「平成 28 年度　諸外国における原子力安全制度の整備状況等に関する調査報告書」。
汪劲(2018)「中国の原子力法と原子力安全規制制度」東アジアの原発政策と規制制度シンポジウム。
戒能一成(2009)「原子力発電所の稼働率・トラブル発生率に関する日米比較分析」『RIETI - Discussion Paper Series』経済産業研究所。
原子力規制委員会「事故故障等の報告件数の推移等」。
原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)。
小松輝雄・三木秀夫他 1 名(2018)「海外及び国内で発生した原子力発電所のトラブル原因の分析」『INSS JOURNAL』25、110-116 頁。
周瑋生・許士超他 3 名(2014)「東アジア原子力安全保障システムの構築：その 1 世界における原子力発電所(原発)事故事象の統計分析」『政策科学』立命館大学、(22)1、1-10 頁。
永崎隆夫(2011)「中国の原子炉型と安全体制」日中科学技術交流協会。
永崎隆夫(2019)「中国の原子力の課題」日中科学技術交流協会。
宮崎孝正(2007)「経年劣化や人的過誤等を含めた原子力発電所不具合事象の新たな原因分類法とその適用結果」『INSS JOURNAL』4、261-266 頁。
日本原子力産業協会(2019)「日本の原子力発電炉(運転中、建設中、建設準備中など)(2019 年 8 月 2 日)」。
渡辺憲夫(2001)「349. 国際原子力事象評価尺度(INES)情報に基づく原子力事象の傾向と特徴」『日本原子力学会誌』日本原子力学会、43(10)、1017-1026 頁。
IAEA(2019)　“Nuclear Power Reactors in the World”REFERANCE DATA SERIES No.2 2019 Edition.
IAEA-PRIS、https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx、(2019 年 7 月 31 日最終閲覧)。
JNES 独立行政法人 原子力安全基盤機構「国内・国外トラブル」。
KAIF、http://www.kaif.or.kr/eng/、(2019 年 6 月 1 日最終閲覧)。
World Nuclear Association(2019a)「China: Nuclear Power(Updated July 2019)」、https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx、(2019 年 7 月 31 日最終閲覧)。
World Nuclear Association(2019b)「Nuclear Power in France(Updated June 2019)」、https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx、(2019 年 7 月 31 日最終閲覧)。
World Nuclear Association(2019c)「Nuclear Power in Japan(Updated June 2019)」、http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx、(2019 年 7 月 31 日最終閲覧)。
World Nuclear Association(2019d)「Nuclear Power in South Korea(Updated June 2019)」、http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-korea.aspx、(2019 年 7 月 31 日最終閲覧)。

付表

付表１　PWR(VVER)の事故事象概要

発生時期	運転年数	施設名	国	レベル	原因	モデル	事故事象の概要
1992.09.21	10	南ウクライナ1	ウクライナ	2	技術的原因	V-302	緊急保護系の作動(原子炉の中性子束制御系部品の欠陥)による原子炉停止とその後の安全運転制限からの逸脱
1992.11.17	20	コラ１	ロシア	2	技術的原因	V-230	モーター発電機(RMG-1)の電機子巻き線で回路の短絡により、DC 電源盤が電源喪失して原子炉停止
1993.02.02	20・17	コラ１・2	ロシア	3	自然災害(竜巻)	V-230 ・ V-230	竜巻に起因する送電系統の変動による原子炉スクラム
1993.02.25	13	ロヴィーサ２	フィンランド	2	技術的原因	V-213	タービンホールで起こった給水配管の破損
1993.06.14	9	ザポリージャ1	ウクライナ	2	原因不明	V-320	原子力発電所内一部(原子炉建屋の通路で)の放射能汚染
1994.01.12	7	ザポリージャ4	ウクライナ	2	技術的原因	V-320	隔離弁の気密性不良による補助建屋の放射能汚染

1994.03.03	20	コラ 2	ロシア	2	技術的原因	V-230	1 次冷却系クールダウン中の 1 次系浄化系からの冷却材の漏えい
1994.04.06	12	南ウクライナ 1	ウクライナ	2	技術的原因	V-302	原子炉保護系の蒸気発生器水位制御器の欠陥
1995.11.08	11	パクシュ 2	ハンガリー	2	技術的原因	V-213	制御棒集合体 1 体の固着による制御棒系の機能劣化
1997.08.20	11	パクシュ 3	ハンガリー	2	原因不明	V-213	タービン制御系試験後の原子炉保護系作動中の制御棒 1 本の固着
1997.08.22	12	南ウクライナ 2	ウクライナ	2	技術的原因	V-338	燃料交換中の新燃料集合体の損傷
1998.03.14	22	ビリビーノ 4	ロシア	2	人的原因	V-320	燃料取替作業中における作業員の過大被曝
1998.05.19	14	コズドゥイ 1	ブルガリア	2	技術的原因	V-230	燃料交換停止中の蒸気発生器ブローダウン配管の破損
1998.06.04	18	メツァモール 2	アルメニア	2	技術的原因	V-270	2 次系水質の劣化(Na 漏洩)による原子炉出力低下
1998.07.13	18	メツァモール 2	アルメニア	2	技術的原因	V-270	定例試験時における安全系トレンの故障(非常用給水ポンプ(EFP)の作動不能状態)

1998.11.10	12	ザポリージャ 3	ウクライナ	2	技術的原因	V-320	放射線源を用いた試験装置の欠陥による溶接検査時の作業員被曝
2003.04.10	19	パクシュ 2	ハンガリー	3	技術的原因	V-213	定検中燃料洗浄時の希ガス放射能レベル上昇
2006.03.01	19	コズロドゥイ 5	ブルガリア	2	技術的原因	V-230	当該原発にて 61 体の制御棒の内 22 体が動作不能
2009.05.04	22	パクシュ 4	ハンガリー	2	技術的原因	V-213	燃料取替停止中における原子炉ホールでの自己出力形中性子検出器(SPND)の輸送用容器からの落下

付表２　PHWR(CANDU)の事故事象概要

発生時期	運転年数	施設名	国	レベル	原因	モデル	事故事象の概要
1994.10.20	11	月城１	韓国	2	技術的原因	CANDU-6	原子炉冷却系の逃し弁の 1 つが開放されて加圧器水位が低下、原子炉が自動的にトリップ(運転停止)した。格納容器内にて重水が漏洩した。
1994.12.10	23	ピカリング 2	カナダ	2	技術的原因	CANDU 500A	原子炉冷却財逃し弁故障による小 LOCA
1995.09.04	13	ジェンティリー 2	カナダ	2	技術的原因	CANDU-6	加圧器ドレン弁の故障による冷却系からの重水漏洩と原子炉の計画外停止。定格出力運転中に大量の重水が冷却水回収系に漏洩した結果、加圧器ドレン弁の冷却ポンプシールが損傷した。
1995.12.18	12	エンバルセ	アルジェリア	2	技術的原因	CANDU-6	ガータースプリング検査と再配置後の圧力管の損傷と小 LOCA。計画停止中における作業中、圧力管 A-14 に電気的腐食に起因する直径 9 mm、深さ 1.7 mm の孔が発見された。その後の起動操作にて、一次冷却材の圧力と漏洩率が認められた。圧力管 L-12 に長さ７mm の貫通孔が見つかった。
1996.10.04	13	ポイント・ルプロー	カナダ	2	技術的原因	CANDU-6	蒸気発生器の非常用冷却水/再加熱器ドレン分配ヘッダの損傷。蒸気発生器＃3 における異常な水位変動の原因調査から、非常用冷却水/再加熱器ドレンのヘッダ配管接続部に、貫通孔が発見された。
2003.08.14	32	ピカリング 1・2	カナダ	2	技術的原因	CANDU 500A ・ CANDU 500A	当該原子炉 5 基に影響する非常用高圧注入系の故障(カナダ・オンタリオ州と米国の一部に電力を供給している系統での停電が原因)。

付表３　1992 年以降に運転を開始した原子炉でおきた事象

発生時期	運転年数	施設名	国	原因	原子炉型(モデル)	事象の概要
1997.05.18	5	カクラパール1	インド	技術的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)	二次停止系設備の試験実施中に、一次停止系の制御棒が低速挿入された。その結果、一次除熱系の圧力が低下、原子炉はトリップした。
1998.09.11	6	ナローラ2	インド	人的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)	年間停止計画期間中にて、作業員が許可申請を出した責任者に報告せずに作業を進めた結果、放射線量の高い燃料移送室に入室した。作業員は年間規制値をこえて被曝した。
1999.06.18	6	志賀1	日本	人的原因	BWR(BWR-5)	定期検査中において、制御棒駆動系の試験時に発生した。作業員の手順ミスにより制御棒を引き抜いた側の配管内圧力が増加して、制御棒 3 本が同時に引き抜けた。原子炉は約 15 分間臨界状態となった。
2003.12.31	5	All NPP(6基)	フランス	技術的原因	PWR(N4 REP 1450、N4 REP 1300、CP2)	フランス電力公社(EDF)は、原子炉格納容器底部の再循環系サンプフィルターがデブリで目づまりする可能性を、原子力安全機関(ASN)に報告した。
2004.03.09	6	All NPP(6基)	フランス	技術的原因	PWR(N4 REP 1450、N4 REP 1300、CP2)	原子力安全機関(ASN)は、原子炉建屋内の電源ボックスにて絶縁欠陥を発見した。パンリー2 号機の点検作業中にはじめて発見され、他原子炉も同様の欠陥が発見された。電源ケーブルを最初に取り付けたときか、変更接続の際に絶縁材をはがしたことに起因する。原子炉建屋内に蒸気などの水分があると、モーターや弁の作動妨げに繋がる恐れがある。

2004.03.10	12	カクラパール 1	インド	技術的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)	原子炉制御系調整棒の電源が喪失して、原子炉出力の上昇が抑制できなくなった。その結果、蒸気発生器にて温度差が生じて、原子炉がトリップした。
2010.09.17	1	新古里 1	韓国	技術的原因	PWR(OPR-1000)	冷却材の加熱中に、格納容器スプレーが不用意に開放された。発生当初は試運転の最中であった。
2011.01.19	17	ラグナベルデ 2	メキシコ	技術的原因	BWR(BWR-5)	タービンの加速度制限器動作により、タービントリップが発生した。本来なら原子炉保護系が動作するが、今回は原子炉圧力容器の圧力高信号により原子炉トリップへつながった。湿分分離器の試験後、出力上昇過程で主タービントリップに対する原子炉トリップ信号の警報を復旧しせなかったことに起因する。
2011.03.11	16	女川 2	日本	自然災害(津波)	BWR(BWR-5)	海水が発電所海水ポンプ室内に流入してポンプエリア内が浸水、原子炉補機冷却水系と高圧炉心スプレー補機冷却水系は故障した。
2011.05.30	16	カクラパール 2	インド	人的原因	PHWR(Horizontal Pressure Tube Type)	発生当初、使用済核燃料を移送するダクト内にて、塗装作業が行われていた。しかし、制御室の燃料交換捜査員の不注意で、塗装作業中に誤って使用済核燃料を貯蔵庫へ移送してしまった。その結果、塗装作業にあたっていたスタッフは年間規制限度を超えて被曝した。

出典：原子力規制委員会；原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)；JNES 独立行政法人原子力安全基盤機構；IAEA　2019；IAEA-PRIS　2019 より作成