解説

多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響

2. 世界標準と安全設計

(株)東芝 佐藤 崇

本稿は、前号解説「多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響 Part 1. シビアアクシデント(SA)を対象とした規制」の続編として「Part 2. 世界標準と安全設計」と題し、新設計炉開発の状況とSA対処設計について、de facto, de jureとして先行する諸外国の設計および規制の状況の確認と、これを踏まえて、国際市場で我が国は今後、世界標準とどのように向き合うことが可能か、また、国内におけるSA対処設計の位置づけはどのようなものが望ましいかについて原子力エンジニアからの一提案を行う。

I. はじめに

本稿は、日本原子力学会「2010年秋の大会」の原子力安全全部会の企画セッションにおいて発表した内容を解説にまとめたものである。発表時には十分ではなかった内容を補足した一方、誌面の都合で一部の図表のみを掲載している。発表時の資料には、諸外国の新設計炉の対策を多くの図で説明してあるので、併せて、この発表資料をご覧ください。発表資料は、原子力安全全部会の以下のサイトに掲載されている。<http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/division/safety/> 本稿と同名のタイトルの資料をダウンロードしてご覧いただければよりわかりやすいと思う。

II. Beyond DBA に関する世界標準の状況

1. ルールとしての世界標準(de jure)

Beyond DBA に関する世界標準の状況は、ルールとしての世界標準(de jure)と実際の設計としての世界標準(de facto)に分けられる。De jureとしての世界標準は、「ルールを作ったものが標準になる」という観点から重要である。具体例としては、NRCやフィンランドの規制当局であるSTUK等が作成した諸規則、電力要件であるEUR, URD、国際的な規格であるIAEA基準、さらには、西欧原子力規制連合(WENRA)による新規炉安全目標案¹⁾等がある。新規炉の安全性を強化する最近の要求の例としては、2009年6月にNRCにより制定された10 CFR 50.150 Aircraft impact assessment²⁾がある。これは、大型旅客機による激突に対する防護の評価

を要求している。いわゆる9.11テロの教訓に基づくものであり、従来、欧州で要求されている戦闘機の墜落対策とは異なる。米国のものは、主に水平方向からの激突防護に重点があるが、欧州の場合には、天井部の強化も必要になる。

SA対策全体を強化するものとしては、2009年12月に策定されたWENRAの新規炉安全目標案¹⁾が特筆される。炉心損傷頻度(CDF) $< 10^{-5}$ /炉年を判断基準とせず、選定された多重故障に対し炉心損傷防止対策を要求し、さらに、SA時に格納容器(CV)破損に至る物理現象を実質的に削除することを要求している。その達成度合いの判断には、確率によるカットオフを認めずにSA対処設計を要求している。CVの長期の破損防止も要求されており、これには24時間といった期間ではなく、数ヶ月から数年という長期間が例示されている。NRCの安全目標³⁾である大規模放出の発生頻度が 10^{-6} /炉年以下というようなある一定レベル以下で残留リスクを許容するという発想そのものが排除されている。

2. 実設計としての世界標準(de facto)

(1) 航空機落下対策

一方、de factoとして実設計の状況を見ると、既に、次世代炉ではなく実在するプラントにおいて多様な対応がなされていることがわかる。まず、航空機落下対策については、第1図に示すように、CVを防護壁で二重に防護したものとしてはEPR, VVER 1000, AP 1000がある。これらは、二重障壁構造でCVの貫通防止と1次系機器への振動抑制に効果が期待される。なお、原子炉建屋内の系統の防護や火災防護の程度については、まだ不確定なものが多い。

(2) デブリ保持冷却設備

EPRには横方向にスロープを使用したコアキャッ

Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) and its Impacts—Part 2. Global Standard and Safety Design for Newly Designed LWR : Takashi SATO.

(2011年 2月10日 受理)

二重障壁構造でCVの貫通防止と一次系機器への振動を抑制

第1図 航空機落下対策の実施例

チャが設置されており、170 m²の広大なデブリ拡散面積が確保されている。VVER 1000には、原子炉容器(RV)の直下にコアキャッチャが設置されている。いずれもCV内の水源から静的に冷却水がコアキャッチャ下面に供給される。EPRの場合は、冷却水がコアキャッチャ上部にオーバーフローしてデブリを直接冷却するが、VVER 1000の場合は、冷却水はオーバーフローしない。AP 1000はIVR(In Vessel Retention)によりRV内でデブリを保持する方式を採用しているため、コアキャッチャは設置されていない。RV外側を冷却する冷却水はIRWST(In-containment Refueling Water Storage Tank)から静的に供給される。これら以外にもESBWRにもBiMAC(Basemat inter Melt Arrest and Coolability device)と呼ばれるデブリ保持装置が設置されている。BiMACでも冷却水は重力落下式炉心冷却系(GDCS)から静的に供給され、オーバーフローしてデブリを直接冷却する。

(3) 格納容器冷却系の独立性

さらに、SA時の長期格納容器冷却については、EPRはDBA用の4区分の安全系とは独立に2系統のSAHRS(SA Heat Removal System)を設けている。これは、SA専用の格納容器スプレー系であり、原子炉補機冷却系(補機冷)と非常用電源もDBA用のものとは独立に2基設置されている。この非常用電源はSBO DGと呼ばれ、DBA用の4基の非常用DG(ディーゼル発電機)がすべて故障してSBO(Station Blackout、全交流電源

喪失)になった場合を前提に設置されている。実質的に動的6区分構成になっている。このように動的安全系でSA時のCV冷却を行うと補機冷や電源の数が増える。耐震条件の厳しくない欧州では成立するが、耐震条件の厳しい地点では不利な設計となる。その他のAP 1000、VVER 1000、ESBWRはいずれも静的格納容器冷却系を採用している。これらは、DBAの場合にも使用されるが、ECCSとしての炉心冷却機能と独立性があり、かつ、外部動力電源が不要であるため、SA時にも使用可能である。また、これら3プラントとも3日間のグレース・ペリオド(事象が発生しても運転員の介在なしに安全な状態が維持可能な猶予期間)が確保されている。このようにECCSが全喪失して炉心損傷が発生してもECCSとは電源および補助系を含めて独立のCV冷却系によりCVの長期冷却ができることがSA時の大規模放出防止のため重要である。

以上、航空機落下対策、デブリ保持冷却設備、SA時の長期格納容器冷却系とECCSの独立性について実プラントの例を概観したが、これら3点が、de factoとしてGen III.5炉と呼ばれるための必要条件と考えられる。Gen III.5炉とは、Gen III炉よりも進歩した炉という意味で、EPRやAP 1000のプラントメーカーが自主的に自社の原子炉をこのように呼んでいるものである。世代的にはGen IV炉よりも手前に位置するが、安全設計としては、Gen IV炉より現状では完成度が高い。

第2図 炉内残留デブリ冷却(長期過温破損防止)の実施例

(4) 長期過温破損防止対策

さらに、長期過温破損防止等の観点から、炉内にデブリが残っていると、CV内の雰囲気に対流することによりデブリの熱がCV内雰囲気およびCV構造物に伝わり200℃以上になる。この状態が長期間継続することによりCVが過温破損する可能性がある。短期的な過温に対しては、熱遮蔽等で輻射熱を遮断すればよいが、長期的な過温に対しては、もっと抜本的な対策が必要になる。第2図にEPR、ESBWR、AP1000の例を示す。EPRは意図的にコアキャッチャの上部にチムニー状の構造を設け炉心上部まで冠水可能とし、12時間以内にSAHRSを用いて炉内残存デブリを冠水する。SBO DG, SAHRSの起動とCSモードからの切り替えが必要である。ESBWRはSA時にGDCS水を下部DW(原子炉圧力容器の下部の空間)にドレンさせるので結果的に炉心部分も冠水する。AP1000はIVRのためRVノズル位置まで冠水し、最終的にRVはほぼ冠水する。静的安全炉は自然に冠水しその後も放置可能である。いずれのプラントも水源はCV内のIRWST等を使用し外部水源を必要としない。大型の外部水源タンクと外部ポンプを使用してもCVの冠水は可能であるが、巨大地震等の災害時にはクレジットを取れないおそれがある。上記のプラントはこの課題を既に相当程度解決している。一方、VVER1000にはCVを冠水する機能はない。このような例では、炉内残存デブリが多い場合にはCV内雰囲気の対流によりRVを支えるペデスタルやCV壁面の温度が高くなると考えられる。

(5) SA時緊急避難不要対策

以上に加えてWENRAの新規炉安全目標案¹⁾では、SA時に限定的な防護対策で済むように設計で対処することを要求し、その一つとして緊急避難不要とすることを要求している。上記安全目標案の6.3. Proposed safety objectivesのO3. Accidents with core meltで *design provisions have to be taken so that only limited protective measures in area and time are needed*(no

permanent relocation, *no need for emergency evacuation outside the immediate vicinity of the plant*, limited sheltering, no long term restrictions in food consumption)と要求されている。また、この達成のための定量的安全ターゲットとして、ICRP-63の屋内退避の介入レベルである5~50 mSv/2日を例示している。ちなみに、避難により回避される線量は、IAEA⁴⁾とフランスは50 mSv、米国は10~50 mSvとなっている。日本の場合は、50 mSv以上でコンクリート建屋の屋内退避か、避難することが提案されている⁵⁾。したがって、緊急避難を不要とする線量は、おおよそ50 mSvと考えられる。一般に、SA時にCV破損、すなわち、大規模放出がなければ避難は不要と考える人も多いが、必ずしもそうではない。

第1表に各プラントのLOCA(仮想事故相当)の被ばく線量(DCD記載値)を示す。当然、CVの健全性は維持されている条件である。すべて更新ソースターム(従来の仮想事故時のソースタームに比べて、有機ヨウ素の割合をより現実的に低く見直すなどしたもの)を使用し、粒子状ヨウ素等に沈着、沈降、拡散泳動、熱泳動の除去効果を取っている。LOCA時の最大2時間線量はESBWRとAP1000で立地指針のめやす線量250 mSvに近い値になっていて、避難の介入レベル50 mSvを超えている。 χ/Q の値が我が国のプラントに比べて高いのは、地上放散と2時間の短期放出であることと、標準サイトとして米国内の立地点をほとんどカバーするためである。我が国でも気象条件や立地条件によって2桁程度の差があるので、実は、ここで使用されている χ/Q 値はさほど高いとはいえない。

これからわかるように、CVが健全であっても、非常用ガス処理系(SGTS)、アニユラス浄化系、格納容器スプレー等の低減効果なしに50 mSv以下の線量に制限することは、更新ソースタームを使用しても大変である。EPRはDBA時にはSA専用のCVスプレーは使用しないが、逆にSA時には使用可能なので、線量は容易に低減できる。一方、ESBWR等の静的安全炉は、これらの

第1表 LOCA 時(仮想事故相当)の被ばく線量(DCD 記載値)

プラント	ソースターム	クレジットを取る 低減機能	標準サイト χ/Q @ EAB (s/m ³)	LOCA 時最大 2 時間線量 (TEDE)
ESBWR 4590MW t	更新ソースターム ハロゲン放出率 30% 有機ヨウ素割合 0.15	PCV 漏洩率 0.35%/d 建屋漏洩率 ~105%/d	2.00E-3	224 mSv (22.4 rem)
AP1000 3483MW t	更新ソースターム ハロゲン放出率 40% 有機ヨウ素割合 0.15	CV 漏洩率 0.1%/d(<1d) 0.05%/d(>1d)	5.10E-4	246 mSv (24.6 rem)
US EPR 4612MW t	更新ソースターム ハロゲン放出率 40% 有機ヨウ素割合 0.15	CV 漏洩率 0.25%/d(<1d) 0.125%/d(>1d) アニュラス浄化系フィルタ 一効率 99%	2.04E-3 ~ 1.82E-3	122 mSv (12.2 rem) CV スプレーを使用すれば容易に低減可能。

動的安全系を排除しているので、CV の気密性のみが低減機能となっている。従来の動的安全炉も SA 時には SBO が発生するので、SGTS、アニュラス浄化系、格納容器スプレー等に低減効果を期待することはできない。つまり、SA 時に緊急避難を不要にする WENRA の安全目標案¹⁾はかなり厳しい要求といえる。EPR のように SA 専用の SBO DG があり、SA 時にもアニュラス浄化系を作動できる設計とすることが求められる。

実は、VVER 1000 も同様の設計をしていたが、最新のものは、全く別の方法でこれを解決している。第3図にインドの Kudankulam 発電所に建設中の最新型 VVER 1000 を示す。この炉では、二重気密 CV が採用され、SA 時に内側 CV から漏洩した放射性ガスは、アニュラス部の内圧上昇により、配管により建屋天頂部に設置されたフィルタユニットに静的に導かれ外気に管理放出される。これにより粒子状の放射性ヨウ素等が除去されるので、SA 時であっても被ばく線量の低減が静的に可能になっている。今後はこのプラントを120万 kW クラスに増出力し VVER 1200 として、ロシア、インド、ブルガリア、トルコ、ベトナム等に多数の建設を予定している。

Ⅲ. 日本発世界標準を目指すには

1. 日本は世界標準とどう向き合えばよいか

このような世界標準の中にあって、日本の置かれた状況は、まさに、「前門の虎、後門の狼」である。虎(WENRA・EPR)から逃げると、得をするのは狼(APR 1400, VVER 1000)になる。また、国際市場に背を向けて国内市場に留まれば、日本は島国としてガラパゴス化するおそれもある。

2. 日本発世界標準を目指す安全設計とは

では、日本が原子力の世界で世界標準を目指すための安全設計とはどのようなものであろうか。それは、WENRA を超えて前に進む、すなわち、前門から世界に打って出ることである。その際、日本の独自性を世界の共通利益にすることが大切である。例えば、優れた耐震・免震技術と地震リスクを低減できる SA 対策で世界市場に貢献することが考えられる。2010年だけでもハイチ、チリ、中国、インドネシアで M7 から M9 の大地震が発生している。1990年以降の20年間では M7.5 以上の大地震は世界で86回発生しており、コンスタントに

第3図 インドの最新型 VVER 1000 (Kudankulam, T. N.)

3ヶ月に1回の頻度である。また、関東大震災はM7.9であったが、世界では、M8以上の巨大地震は216回発生しており、M9以上の超巨大地震も6回発生している。1952年以降だけでもM9以上が5回発生している。米国でも1700年に北西部でカスケード地震M9が発生している。

また、巨大地震はプレート境界だけではなく、大陸内部でも発生している。米国で1811年12月から翌2月にかけてM7.5からM8.3が3回連続してセントルイス近郊(ニューマドリッド地震)で発生している。これはインタープレート地震と呼ばれ、発生メカニズムが解明されていない。中国でも巨大地震が多発している。1556年の華県地震M8.3(西安近郊)では、死者・不明者83万人以上を記録し世界史上最悪の大震災になっている。2001年にインド西部で発生したインド西部地震M7.7は2万人以上の死者・不明者を出したが、これもインタープレート地震であるといわれている。このように、米国、中国、インド等世界中で巨大地震は発生している。欧州では、巨大地震は少ないが、火山噴火時の山崩れによる地中海大津波で古代都市が水没したことが知られている。つまり、今後、世界標準炉が世界中に建設されると常に巨大地震や大津波のリスクにさらされることになる。このような外的事象による残余のリスクに対処できる安全なプラントを日本が合理的に提供できれば世界標準炉になることも可能である。

炉型で見ると、世界の主流は明らかに動的PWRであり、EPR, APWR, ATMEA, APR 1400, VVER 1000, CPR 1000などがある。これは、動的PWRは既に競合の多い平易化技術であることを意味している。多数の国とメーカーが同一技術で厳しい競争をしている。

WENRAで規制障壁を設けても動的PWRはすべて設計強化で対応ができる。APR+などがその例である。つまり、欧州は、WENRAの安全目標では諸外国の動的PWRを差別化することはできない。結局、虎と狼が熾烈な競争をする世界になる。その結果、ミサイル・航空母艦・原潜との抱き合わせ販売や首脳外交・国家融資等が必要になる。

一方、BWRは競合の少ない障壁技術である。限られた国とメーカーのみに存在する障壁技術である。BWRへのインセンティブが高まった場合でも追撃できる狼はいない。課題は、虎に勝てるインセンティブの高いTruly Super BWR(TSBWR)と呼べるものを提供することである。

IV. ケース・スタディ

1. TSBWRの設計例⁶⁾

現在、次世代軽水炉の国家プロジェクトで、次世代BWRの安全設計の要素技術としてSC造格納容器、PCCS、静的デブリ冷却が検討されている。SC造とは、強固に結合した2枚の鉄板の間にコンクリートをサンドイッチ状に充填した複合構造である。これらを活用することにより、WENRAの安全目標に完全適合し、かつ、これを超越する炉概念を検討することも可能である。第4図にケース・スタディとして検討したTSBWRの例を示す。これらは、SC造の2次格納容器等を用いて建屋の合理化と工期短縮を行いつつ、SA時のFPの静的二重閉じ込め機能と航空機落下対策を同時に実現している。中型から大型のBWRに適用できる。また、IC/PCCS等の静的安全系によって簡素化合理化を行いつつ、これ

第4図 ケース・スタディ(TSBWR)の例⁶⁾

をSA対策に活用し従来のAM策を削除合理化している。CV破損を実質的に削除できるSA対策、SA対策と航空機落下対策の融合、SA時緊急避難不要などWENRAの要求に完全適合している。さらに、巨大地震、大津波、巨大ハリケーン等の自然災害時の静的グレース・ペリオドを大幅に強化することによりWENRAの要求を超越している。ただし、PCVはRCCVで形状もESBWRとほぼ同一にしてESBWRとの互換性を維持しているため、30ヶ月の建設工程を満たすことはできない。また、2次格納容器バウンダリーを新たに持つことなどまだ課題もある。

2. ルール作りをどうするか

ルールを作ったものが標準になるという観点からは、規制をすべて整備するのは大変なので、IAEA基準やWENRAを準用し、さらに、WENRA プラスマイナス α で対応することが考えられる。WENRA+静的グレース・ペリオドを推奨し、長期のSBOに対し静的に炉心冷却が可能なことを要求する。広域巨大地震や巨大ハリケーン時には外部電源が長期喪失するおそれがある。DGは免震や耐震の建屋で防護しても外部から燃料が補給できなければSBOになる。また、運転に外気導入を必要とするDGは大津波で冠水すると機能停止する。したがって、外部動力電源を必要とする動的機器ではなく、静的機器による安全性確保が有効である。一方、WENRA-動的なAdd-on対策の禁止を奨励し、SBO DGのような動的なSA対策のみに頼る設計を禁止する。ここで、Add-on対策とは、元の設備に追加した追加対策という意味である。SBO DGは巨大地震や大津波ではクレジットが取れない。巨大地震を想定しないヨーロッパでしか有効性がない。また、SBO DGのようなAdd-on対策は、既設炉でもバックフィットが可能であり、新規炉として最適化された設計とはいえない。すなわち、追加すれば単純にコストアップになってしまう。既設炉にもバックフィット可能なAdd-onのSA対策を施したものは最適化された新規炉とはいえない。

V. 我が国におけるSA対策の位置づけ

国は、従来のプラントに対して、チェルノビル事故等の知見に鑑み、アクシデント・マネジメント(AM)策を強く推奨し、これを受けて事業者は自主的にAM策をバックフィットした。AM策はAdd-onで後から追加したバックフィット対策である。安全性の達成度合いの判断としては、How safe is safe enough?の観点から、安全目標が一般に使用される。このHow safe is safe enough?の安全目標は、既設炉にも新規炉にも普遍的に適用される。したがって、国は、新規炉に対しても、当然、同様の対策の実施を強く推奨することが考えられる。すなわち、安全性の枠組みはAM策とSA対策で

同じであり、安全性は同様に確保されなければならない。AM策とSA対策は、安全上の位置づけ(Beyond DBAに対する自主的な改善策との位置づけ)は同一であるから、その安全上の要求内容も同一になる。

しかし、新規炉の場合は、設計段階からSA対策を取り込みより最適化することが可能である。すなわち、従来のAM策がAdd-onであったのに対し、新規炉のSA対策は基本設計にBuild-inし最適化することが可能である。その結果、より効果的で、かつ、合理的な対策が期待できる。このような設計の改善努力は原子力メーカーの社会的責務であると同時に、事業者はこれを電力要件として要求することが考えられる。これは、メーカーと事業者との間でのHow safer is safer enough?の取決めであるが規制上の問題ではない。

一方、航空機落下対策は、それぞれの国情を反映して実施されるものである。例えば、米国の場合は、大型商業用航空機による意図的な攻撃に言及し9.11のテロ対策であることを明文化している²⁾。一方、EURは戦闘機の墜落を設計条件としている。したがって、これらの国で航空機落下対策を実施しているからといって、我が国でもこれをただちに規制要件化するというにはならないであろう。その場合には、まず、設計の対象となる事象の同定とその蓋然性が検討されなければならない。

メーカーとしては、実際は、国際市場への参入の観点から、諸外国の競合炉と同等程度の対策を実施する必要があるが、それが我が国の対策としては不要で不当なコスト増加をもたらすことは望ましくない。これを避けるために、国内と国外で設計を大きく変えるdouble standardの設計も好ましくない。いずれも新規炉として設計が最適化されていないことの証左である。新規炉のSA対策や航空機落下対策は、世界標準の安全性を保証し、かつ、その実施がむしろコスト低減や工期短縮になり国内の事業者にとっても有利な設計になっていなければならない。SC造建屋による航空機落下対策や静的安全系による簡素化はその良い例である。

これらの対策は、規制上はAM策と同じ位置づけとなるので、耐震要求は生じない。しかし、実際には、設計改善努力としてのHow safer is safer enough?の観点から、地震リスクの低減に寄与するため機能維持が必要になる。AM策のように後からAdd-onしたものは、耐震設計を実施すると追加の問題が大きいが、SA対策として基本設計にBuild-inしたものの耐震設計はより容易になる。例えば、EPRのようにSBO DGとSA専用のHRSを設置すると、これは、実際にはAdd-on設計なので補機冷を含めて耐震設計すると大変である。一方、PCCS/ICのように静的システムをBuild-inすると、動的機器がなく、建屋外の設備もないので影響は緩和される。PCCSはPCVバウンダリーを構成し、ICはRPVバウンダリーを構成するので、必然的にバウンダ

リーとしての耐震設計を実施することになる。したがって、SA 時の機能維持が可能となる。SC 造の建屋も R/B としての耐震設計を実施すれば、SA 時の機能維持が可能になる。SC 造としたことによるコスト低減効果と工期短縮効果の方が大きい。

このように最適化された新規炉の SA 対策の中で、新設の既設計炉では、採用可能な単一の要素技術に関しては、従来の AM 策に代えて、これを採用することを国が強く推奨することは考えられる。ただし、これは設計選択の問題であって、規制上の位置づけが変わるものではない。例えば、静的デブリ冷却設備が考えられる。フランスでは、EPR と同じコアキャッチャを新設でも採用できない N4 の建設を許可しないことが議論されているが、これは、N4 に問題があるのではなく、EPR の巨大なコアキャッチャの問題である。もし、フランスで N4 にも採用できる適切なコアキャッチャが EPR で開発されていればそれで済んだ問題であったかもしれない。

Ⅵ. おわりに

概観したように、世界ではすでに、EPR, AP 1000, VVER 1000 のような GenⅢ.5 の新型炉が実際に建設され、SA 対処設計や航空機落下対策を実施している。また、ルールとしては、従来の米国 NRC の諸規則に代わり、IAEA 基準、EUR, WENRA の新規炉安全目標¹⁾のようにヨーロッパ流の考え方が徐々に勢力を増しつつある。MDEP はまさにその調和とせめぎ合いの舞台になっている。その中で、我が国規制には我が国独自の視点に立った冷静で適切な対応が求められる。

一方、我が国は、国内プラントの建て替え需要との関係で、次世代軽水炉の完成は2030年を目途としている。世界市場から見ると15年程度の後発である。したがって、我が国が世界標準となるためには、実在する GenⅢ.5 炉に対して性能、コスト、建設工期等で絶対優位性のあるプラント概念を開発する必要がある。先行する諸外国のルールの枠の中で検討しては、彼らの設計を

超えることはできない。彼らの設計では、超えられない絶対優位性のある概念を開発し、かつ、それをルール化し国際市場に受け入れさせることによって我々は世界標準になることができる。そのためには、新規要素技術を活用した新しいプラント概念の創出へのチャレンジが重要である。Consistency is the last refuge of the unimaginative. 一貫性とは想像力に欠ける者の最後のより所(逃げ口上)である。と、いう Oscar Wilde の言葉があるが、原子力エンジニアの一人として肝に銘じておきたいと思う。

— 参 考 資 料 —

- 1) WENRA, "Safety Objectives for New Power Reactors," Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group, December 2009.
- 2) NRC, "10 CFR Parts 50 and 52, Consideration of Aircraft Impacts for New Nuclear Power Reactors; Final Rule," Federal Register/Vol.74, No.112/Friday, June 12, 2009.
- 3) NRC, "10 CFR Part 50 Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement; Republication," 51 FR 30028, Effective August 4, 1986.
- 4) IAEA, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency," Safety Series No.109, (1994).
- 5) 原子力安全委員会, 原子力施設等の防災対策について, 昭和55年6月(平成20年10月一部改訂).
- 6) T. Sato, *et al.*, "Three Types of a Passive Safety Containment for a Near Future BWR with Active and Passive Safety Systems," ICONE 18-29789, (2010).

著 者 紹 介

佐藤 崇(さとう・たかし)
(株)東芝
(専門分野)安全設計を基盤としたプラント
概念設計