

# 訪米調査結果速報

2019年度 日本機械学会  
リスク低減のための最適な原子力安全規制に  
関する研究会

訪米調査団

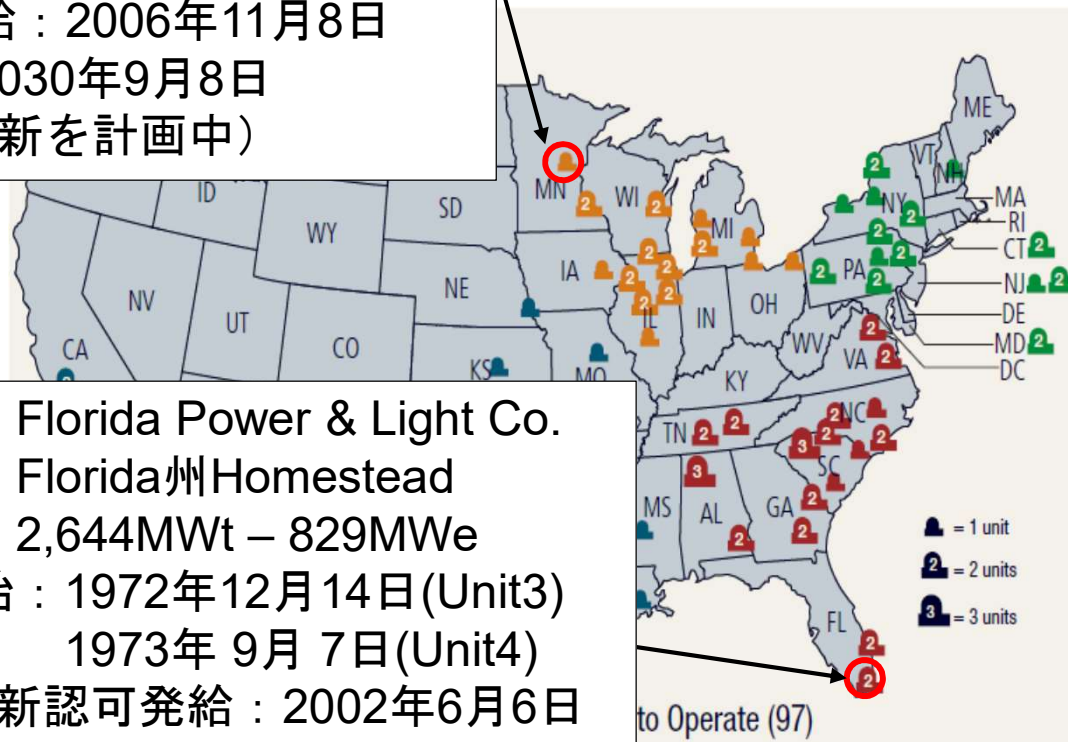
- 日本機械学会動力エネルギーシステム部門は、2005年3月に「最適な原子力安全規制に関する研究会」を設置
- この会は、産官学から関係者が一堂に会し、原子力の安全規制に関する最新の知見を調査・検討し、今後の安全規制の高度化に資することを目的とする
- 2年毎にテーマを変えて研究
- 昨年度から新規テーマとしてSA設備の保全の在り方を研究
- 安全性と経済性を両立させる原子力安全規制を調査するため、海外訪問調査テーマとして以下を設定
  - ①80年運転延長申請 (Subsequent License Renewal: SLR)
  - ②運転中保全 (On Line Maintenance: OLM)

# 海外訪問調査先

## Monticello (BWR-3)



事業者：Xcel Energy  
場所：Minnesota州Minneapolis  
出力：2,004MWt - 691MWe  
運転開始：1971年6月30日  
更新認可発給：2006年11月8日  
認可期限：2030年9月8日  
(2回目の更新を計画中)



## Turkey Point-3&4 (WH-PWR)



事業者：Florida Power & Light Co.  
場所：Florida州Homestead  
出力：2,644MWt - 829MWe  
運転開始：1972年12月14日(Unit3)  
1973年9月7日(Unit4)  
1回目更新認可発給：2002年6月6日  
2回目更新認可発給：2019年12月4日  
認可期限：2052年7月19日 (Unit3)  
2053年4月10日 (Unit4)

# 調査内容

調査項目	Monticello	Turkey Point
<b>SLR</b>	○	○
<b>OLM</b>	○	○
<b>FLEX<sup>※1</sup> 設備活用</b>	○	○
<b>特重施設<sup>※2</sup> の紹介 (意見交換)</b>	○	—
<b>新規建設(AP1000)</b>	—	○

※1 Diverse and Flexible Coping Strategies（多様で柔軟な対処戦略）

※2 特定重大事故等対処施設

次より太字の項目について、概要を説明する

# Monticello発電所 -SLR-

## SLR 計画概要

- Xcel Energyの脱炭素化目標：  
2030年までに80%脱炭素化、2050年までに100%脱炭素化
- Monticelloの運転認可期限：2030年9月8日
- 脱炭素化目標の達成には原子力が不可欠。2回目の認可更新が必須。
- 原子力のFlex Power運転\*により、再生可能エネルギー（風力発電）とのベストミックスを図っている。

\* Flex Power: 翌日の風力発電量予測に応じ、原子力発電量を最大75%まで抑制。

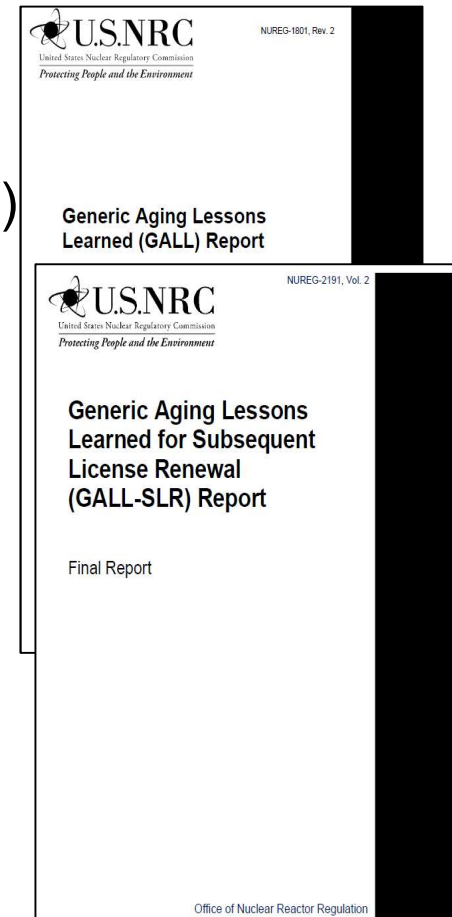
2020	2021	2022	2023	2024	2025
事前検討					
	申請準備				
			図書レビュー		
			NRC審査(18~22ヶ月)		

## 予定スケジュール

# Monticello発電所 -SLR-

## 運転認可更新プロセス

- NRCガイダンス：
  - 初回運転認可更新  
GALL (Generic Aging Lessons Learned)(NUREG-1801)
  - **2回目運転認可更新, GALL-SLR (NUREG-2191)**
- GALL-SLR概要：
  - Aging Management Programs (AMPs)とその技術基準
  - SLRに際し強化すべきAMPs領域に関する提言
- NRCは事業者のAMPsがGALL-SLRに準拠しているかを確認する。
- Monticelloでは、今後、GALLとGALL-SLRのギャップ分析を行い、確認されたギャップに対しAMPsの見直しを行う計画。



# Monticello発電所 -SLR-

## 今後の主要課題・対策

- 過去2回の出力増強に伴い主要機器を交換済み。  
80年運転へ向け、主要機器交換はそれ程多く発生しない見込み。

主な交換済機器：

高圧タービン/低圧タービン第2段及び最終段/発電機ステータ巻直し  
循環ポンプモーター/復水ポンプ/給水ポンプ/配管/蒸気乾燥器

- 80年運転へ向け、材料疲労、照射脆化、EQ対象機器(ケーブル等)に対する評価・対策が主要課題となる見込み。

## まとめ

- 100%脱炭素化達成へ向けたXcel Energy社の強いコミットメントが感じられた。
- 米国では、GALL-SLRを軸に運転許可更新プロセスが標準化されており、事業者は確信をもって計画策定及び手続・対策を推進している。

# Monticello発電所 -OLM-

## OLM計画

- 1サイクル（24ヶ月運転）のうち20ヶ月はメンテナンスしている。
- プラントの機能単位でOLMを計画し、13週間で一通り実施する。これを1単位としてメンテナンスを繰り返し実施する。

OLM計画の概要（T-1=工事1週間前）

時期	実施内容
18ヶ月前	保全計画開始
T-12	メンテナンスの要領書完成
T-10	タグアウトやプラントの影響評価
T-8	全ての必要書類を作成完了
T-0	メンテナンスの実施
T+1	反省会を実施し、最終報告書作成

- 緊急時の対応も考慮して計画する
- プラントの状態に応じて、運転員と共に計画を都度見直す
- 安全系は1系統ごとに待機除外・メンテナンスする



# Monticello発電所 -OLM-

## リスク管理

- OLMのリスク管理は専門家パネルで検討される。メンテナンス実施日の16週間前、7週間前、3週間前に工事内容について検証する。
- ヒューマンエラー（HE）の防止について、不適合内容を運転経験（OE）としてINPOが情報をまとめ、活用している。
- OLMにより変化したプラントリスクはリスク管理システムに入力され、リスクの変化が十分小さいことを確認したうえでOLMを実施している。
- リスク管理システムはEPRI製のPhoenixというConfiguration Risk Monitorを使用し、基本的には保修担当部門でリスク管理・評価をしている。
- NRCは、完了した工事件名に対し定期的にランダムサンプリングし監査をする。

安全性を確保しつつ、全体保全物量の80%をOLMで実施

# Monticello発電所 -FLEX設備-

## FLEX戦略

- FLEX設備のLCO及びAOT（NEI 12-06, Rev. 4）  
冗長性を有している場合は90日間以内に、ない場合は7日間以内に復旧
- FLEX設備のAOTを超えた場合の措置  
設計基準の対象外であり、AOTを超えてもプラントは停止しない。ただしNRCの要求に違反している状態であるため、復旧に努める必要がある。
- FLEX設備のメンテナンス  
商用設備のように通常運転しているものとは異なるため保全計画の改善は必要である。  
殆どの発電所ではFLEXの起動試験を3ヶ月毎に実施。  
SAFER基地（サイト外）設備の起動試験は基本6ヶ月毎に実施。
- FLEX設備の所内配置  
モンティセロでは竜巻による設備全損リスクを考慮し、必要な各FLEX設備を2セット用意し分散配置している。  
洪水や地震の影響は小さい。

# Monticello発電所 -FLEX設備-

## FLEX設備の活用

- FLEX設備を用いた他設備のAOTの緩和  
FLEX設備は原子力品質を満足していないため、AOTを緩和するためには使われない。（設備容量が不十分の場合もある）  
例：非常用ディーゼル発電機2000～3000kWに対しFLEX発電機は300kW
- PRAにおけるFLEX設備活用  
PRAのリスクモデルに加えているが、NRCのクレジットは得られていない。FLEX設備を取入れたPRA評価でOLMの実施可否を決定することはない。
- OLMにおけるFLEX設備活用  
NEIのガイダンスでは可能としているが、産業界では限られた範囲内でのみ適用されていない。  
（消火ポンプのメンテナンス時に活用した事例有り）  
SAFER基地（サイト外）のFLEX設備を活用することは許可されていない。

# Monticello発電所

## 日本の特重施設に関する意見交換

本研究会で一昨年検討した、「特重施設の保全の在り方」を紹介し、FLEX戦略と比較しながら意見交換した。

本研究会では、特重施設はテロ対策を主としていることから“セキュリティ施設”と位置付けている。

### 《米国側 意見概要》

- 米国では、FLEXは“セキュリティ設備”ではない。福島第一の事故を参考に、安全系の「補助設備」の位置づけで導入した。
- 米国で日本と同じように特重を導入するとなると、少なくとも経済性の観点で原子力発電所は運転できない。NRCも反対する。
- 米国と比較して、特重の規制は厳しい。

# Turkey Point発電所

## 【米国原子力発電所の運転状況について】

- 日本と同様に、最初の運転認可期間40年を満了後、更新できる制度 (10CFR Part 54)がある米国では、**9割以上のプラントが運転認可期間を60年に更新済。2基のプラントが運転認可期間を80年に更新済。**

＜米国の状況＞ (出典：IAEA, NRC等による公開情報＜2019年12月5日時点＞)

状況			プラント数	
運転中	1回目の更新申請 (60年運転)	申請済	認可済	96
			審査中	88
		未申請 (取下げ含む)		8
		2回目の更新申請 (80年運転)	申請済	認可済
	審査中			2
	未申請		90	

うち、47基は既に最初の運転認可期間40年を超えて運転中。

**ターキーポイント3,4号機  
(2019.12.4認可)**

うち、13基は2回目の更新申請を行うことを表明済。

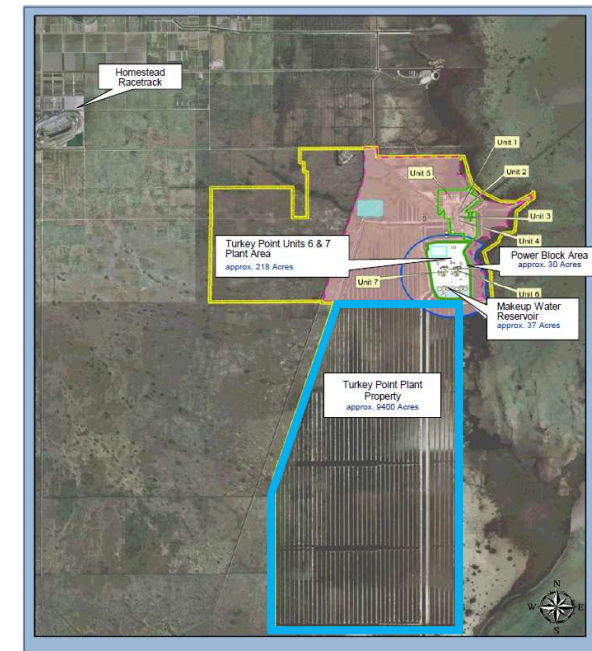
# Turkey Point発電所

## <プラントの概要>

- 1,2号機：火力プラント（廃炉：煙突以外は撤去済み）
- 3,4号機：PWR（電気出力82.9万kW、WH社供給）  
SLR認可を受け、80年運転が可能。
- 5号機：火力プラント（コンバインドサイクル）
- 6,7号機：AP1000建設予定

## <プラントの特徴>

- 冷却水の冷却手段として、クーリングタワーの代わりに総長約170マイルのクーリングカナル（5マイル×3マイルの面積）（右図青枠部）という設備がある。
- 当該カナルは循環型であり、ライナー等は施工しておらず、地下水系につながっている構造である。発電所から海水系への水の放出はない。（周辺環境への考慮）



航空写真

# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(1/7)

### <主な経歴>

1969年 建設認可

1972年 ライセンス発行 (#3)

1973年 ライセンス発行 (#4)

1983-1984年 SGR

1991年 EDGを2基⇒4基にアップグレード

1992年 カテゴリー5 (200マイル/h) のハリケーン襲来

1995年 5%のパワーアップレート (2200MWT⇒2300MWT)

2000年9月8日 LR申請

2002年6月6日 LR認可

2004-2005年 VHR

2012-2013年 15%のパワーアップレート (2300MWT⇒2644MWT)

2018年1月31日 SLR申請

2019年12月4日 SLR認可

# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(2/7)

### <実現可能性評価>

- プロジェクト開始と同時に、**実現可能性評価**を実施した。かなり深堀を行い、主要な取替対象機器を取り替えるかどうかを検討した。**これにより、着眼点が明確となり、申請書の作成期間を大幅に短縮できた。(2~3か月で作成した。)**
- LR後に取替を実施した機器を以下に示す。
  - ・ 原子炉容器上蓋取替 (VHR)
  - ・ 主変圧器
  - ・ クーリングカナル
  - ・ キャスククレーン
  - ・ 低圧タービンローター
  - ・ CVスプレイ配管                      など



# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(3/7)

### <GAP評価>

- SLR用のエンジニアリングレポートは、**1回目の運転延長申請（LR）の際に認可を受けたエンジニアリングレポートをベースとした。**
- **LRで確認済の機器以外のGALL-SLRに関わる全ての機器を確認した。**  
具体的には、機器のスクリーニングを行い、どの機器がライセンスリニューアルの対象かどうかを明確にした。最終的には、一連の機器リストを作成し、各機器に対し、どのような経年劣化が想定されるのかを整理した。

### <経年劣化管理プログラム>

- GAP評価の結果、LR時には、28の経年劣化管理プログラムだったが、**SLR時には50の経年劣化管理プログラムが対象となった。**
- 経年劣化管理プログラムの例を次ページに示す。  
(例) 疲労モニタリング、スタッドボルト、RVなど

# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(4/7)

CURRENT LR AMPS	PTN SLR AMPS
<b>MECHANICAL</b>	
Fatigue Monitoring	Fatigue Monitoring
ASME Section XI, Subsections IWB, IWC, and IWD Inservice Inspection	ASME Section XI Inservice Inspection, Subsections IWB, IWC, and IWD Reactor Head Closure Stud Bolting Thermal Aging Embrittlement of CASS
Chemistry Control	Water Chemistry Closed Treated Water Fuel Oil Chemistry
Boric Acid Wastage Surveillance	Boric Acid Corrosion
Reactor Vessel Head Alloy 600 Penetration Inspection	Cracking of Nickel-Alloy Components
Reactor Vessel Internals	Reactor Vessel Internals
Flow Accelerated Corrosion	Flow-Accelerated Corrosion
Steam Generator Integrity	Steam Generators
Intake Cooling Water System Inspection	Open-Cycle Cooling Water System
Fire Protection	Fire Protection Fire Water System
Field Erected Tanks Internal Inspection	Outdoor and Large Atmospheric Metallic Storage Tanks
Reactor Vessel Integrity Program	Reactor Vessel Material Surveillance Neutron Fluence Monitoring
Small Bore Class 1 Piping Inspection	ASME Code Class 1 Small-Bore Piping
Systems And Structures Monitoring	External Surfaces Monitoring Bolting Integrity
Thimble Tube Inspection	Flux Thimble Tube Inspection
Periodic Surveillance And Preventive Maintenance	Inspection of Internal Surfaces
Auxiliary Feedwater Pump Oil Coolers Inspection	
Auxiliary Feedwater Steam Piping Inspection	
Emergency Containment Coolers Inspection	
Galvanic Corrosion Susceptibility Inspection	
METAMIC® Insert Surveillance Program	Monitoring Of Neutron-Absorbing Materials
Pressurizer Surge Line Welds - Aging Management Program	Pressurizer Surge Line Fatigue
No Current LR AMP	Internal Coatings One-Time Inspection Selective Leaching

CURRENT LR AMPS	PTN SLR AMPS	
	Compressed Air Monitoring Lubricating Oil Analysis Buried and Underground Piping and Tanks	
Containment Spray System Piping Inspection	Will no longer be required with replacement of the carbon steel piping in containment	
<b>CIVIL/STRUCTURAL</b>		
ASME Section XI, Subsection IWE Inservice Inspection	ASME Section XI, Subsection IWE Protective Coating Monitoring	
ASME Section XI, Subsection IWL Inservice Inspection	ASME Section XI, Subsection IWL Concrete Containment Unbonded Tendon Prestress	
ASME Section XI, Subsection IWF Inservice Inspection	ASME Section XI, Subsection IWF	
Systems and Structures Monitoring	Masonry Walls Structures Monitoring Inspection of Water-Control Structures Inspection of Load Handling Systems	
	No Current LR AMP	10 CFR Part 50, Appendix J
	<b>ELECTRICAL</b>	
Environmental Qualification	Environment Qualification	
Containment Cable Inspection Program	Electrical Insulation for Cables and Connections Electrical Insulation for Cables and Connections I&C Electrical Insulation Inaccessible Medium Voltage Electrical Insulation Inaccessible I&C Electrical Insulation Inaccessible Low Voltage Electrical Cable Connections High-Voltage Insulators Ceramic High-Voltage Insulators Polymer	
No Current LR AMP		

SLR AMPS with new (over and above existing) pre-SPEO inspections.

# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(5/7)

### <RV照射脆化 監視試験片>

- 中性子照射脆化の評価では、監視試験片（クーポン）を用いるが、溶接ベルトラインの試験片は建設当初より1つしかなく（溶接部以外のクーポンは複数ある）、当該クーポンの既定の取り出し計画は60年目評価用であったため、**SLR用にNRCと交渉し、80年目評価用に取り出し時期を変更する例外事例を認めてもらった。**（変更後の取り出し時期は、72EFPY（暦年80年相当））

# Turkey Point発電所

## (1) SLRプロジェクトについて(6/7)

<審査で苦労した点>

### ■ 炉内構造物

NRCの基準が明確でなかったため、60年と80年のGAP評価を実施する必要があった。

### ■ RV周りのコンクリート、サポート等

LR時は問題なかったが、SLR時は照射量の閾値を超えてしまったため、学者等を導入し、6か月にわたってNRCと議論を行い対応した。

### ■ 埋設配管

NRCに本件にこだわる方がいた。埋設配管の設計図がなかったことも苦労した原因の一つである。対策として、陰極防食の有効性および土壌の腐食性試験の結果に基づいて、運転年数が50年になる前に追加試験を実施する旨をコミットした。

# Turkey Point発電所

---

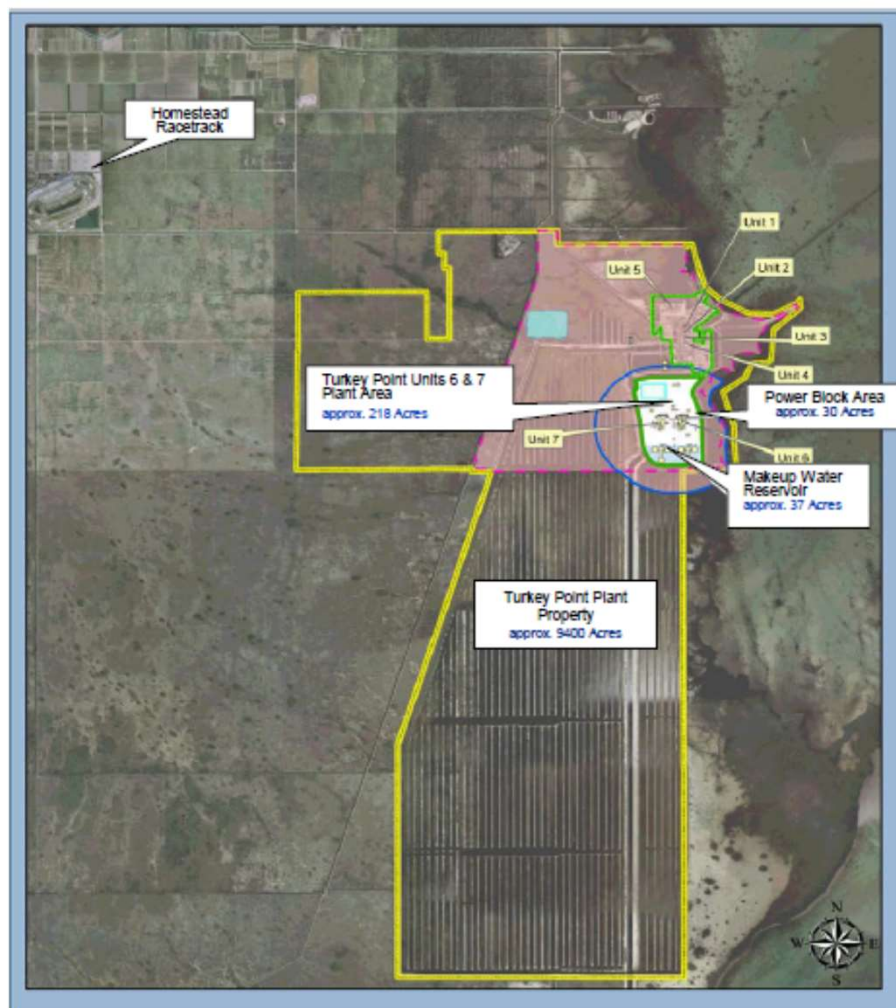
## (1) SLRプロジェクトについて(7/7)

<まとめ>

- 今回のNRCの審査は厳しいものだった。
- 審査では、経年劣化管理プログラムをかなり詳細に見られた。
- 基準が明確になったため、今後は、SLRの申請はもう少し楽になると思われる。
- また、SLR認可の実績ができたため、審査のロードマップもできた。

# Turkey Point発電所

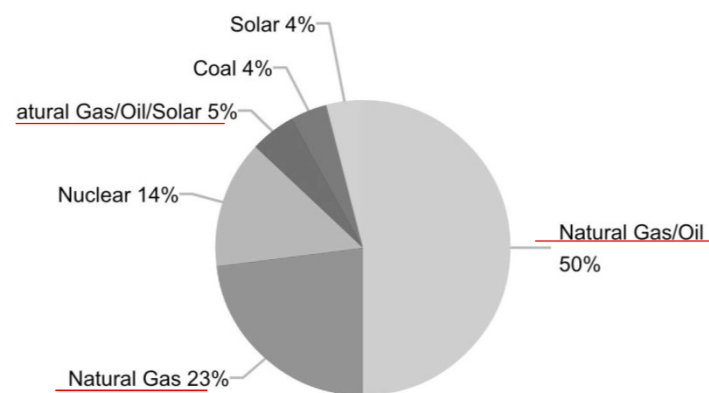
## (2) AP1000 (6/7号機) の建設について



FPLは、ターキーポイント発電所に2基のAP1000の建設を検討している。

現状のFPLの電源構成は80%程度が天然ガスであり、AP1000の建設は重要と考えている。

2018 Net Generating Capacity by Fuel Type\*  
MW



'ANNUAL REPORT 2018' NextEra Energy 2019. 3. 1

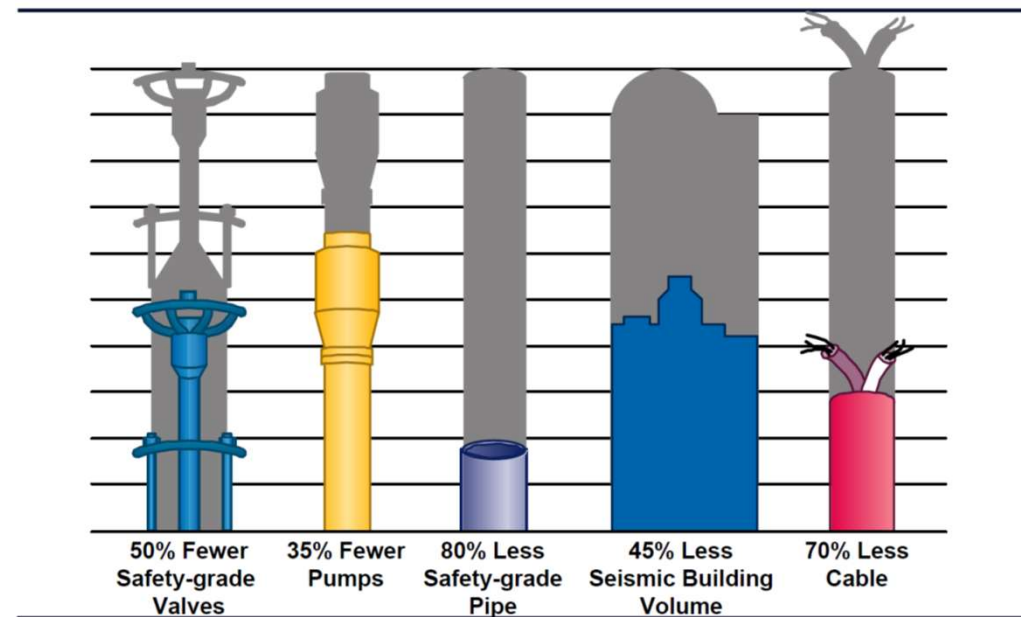
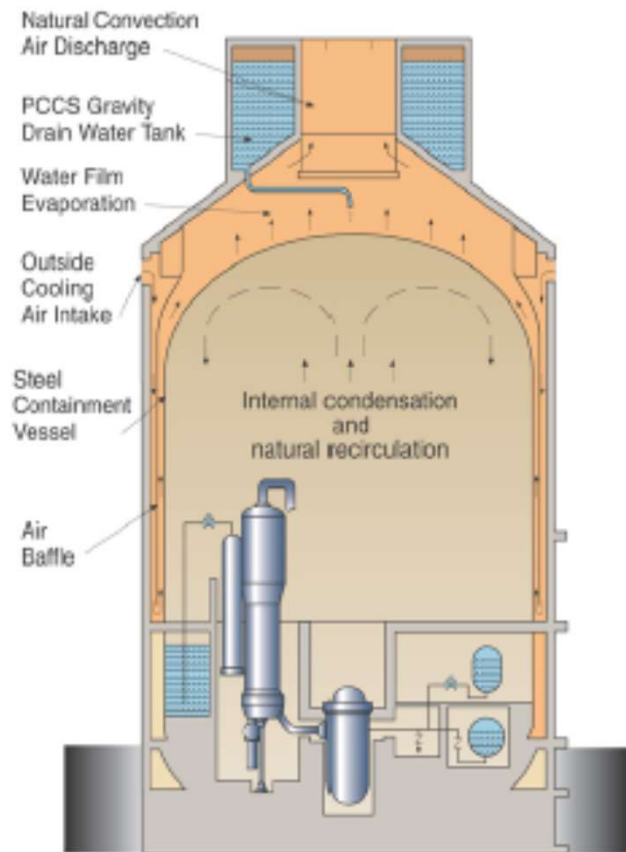


# Turkey Point発電所

## (2) AP1000 (6/7号機) のOLMの適用性について

AP1000については、安全系設備をパッシブ化しており、非常に簡素な設計となっている。

ポンプやバルブ等が大幅に低減されており、DGは安全設備として不要な設計となっていることから、OLMを行いやすい設計である。



AP1000 Nuclear Power Plant Westinghouse July 22, 2008, 7, 22

# Turkey Point発電所

## (2) AP1000 (6/7号機) のFLEX設備について

### Order for Combined Operating License Holders

#### REQUIREMENTS FOR MITIGATION STRATEGIES FOR BEYOND-DESIGN-BASIS EXTERNAL EVENTS AT COL HOLDER REACTOR SITES [AP1000 COLs]

Attachment 2 to this order for Part 50 licensees requires a phased approach for mitigating beyond-design-basis external events. The initial phase requires the use of installed equipment and resources to maintain or restore core cooling, containment and spent fuel pool (SFP) cooling capabilities. The transition phase requires providing sufficient, portable, on-site equipment and consumables to maintain or restore these functions until they can be accomplished with resources brought from off-site. The final phase requires obtaining sufficient off-site resources to sustain those functions indefinitely.

The design bases of [AP1000 COL] includes passive design features that provide core, containment and SFP cooling capability for 72 hours, without reliance on alternating current (ac) power. These features do not rely on access to any external water sources since the containment vessel and the passive containment cooling system serve as the safety-related ultimate heat sink. The NRC staff reviewed these design features prior to issuance of the combined licenses for these facilities and certification of the AP1000 design referenced therein. The AP1000 design also includes equipment to maintain required safety functions in the long term (beyond 72 hours to 7 days) including capability to replenish water supplies. Connections are provided for generators and pumping equipment that can be brought to the site to back up the installed equipment. The staff concluded in its final safety evaluation report for the AP1000 design that the installed equipment (and alternatively, the use of transportable equipment) is capable of supporting extended operation of the passive safety systems to maintain required safety functions in the long term. As such, this Order requires [AP1000 COL] to address the following requirements relative to the final phase.

- (1) Licensees shall develop, implement, and maintain guidance and strategies to maintain or restore core cooling, containment and SFP cooling capabilities following a beyond-design-basis external event.
- (2) These strategies must be capable of mitigating a simultaneous loss of all ac power and loss of normal access to the normal heat sink and have adequate capacity to address challenges to core cooling, containment, and SFP cooling capabilities at all units on a site subject to this Order.
- (3) Licensees must provide reasonable protection for the associated equipment from external events. Such protection must demonstrate that there is adequate capacity to address challenges to core cooling, containment, and SFP cooling capabilities at all units on a site subject to this Order.
- (4) Licensees must be capable of implementing the strategies in all modes.
- (5) Full compliance shall include procedures, guidance, training, and acquisition, staging, or installing of equipment needed for the strategies.

NRC Order on Mitigation Strategies (EA-12-049) 2012. 3. 12

AP1000の設計は、常設設備のみでSBO、LUHSの状況においても72時間の対応能力を有している。

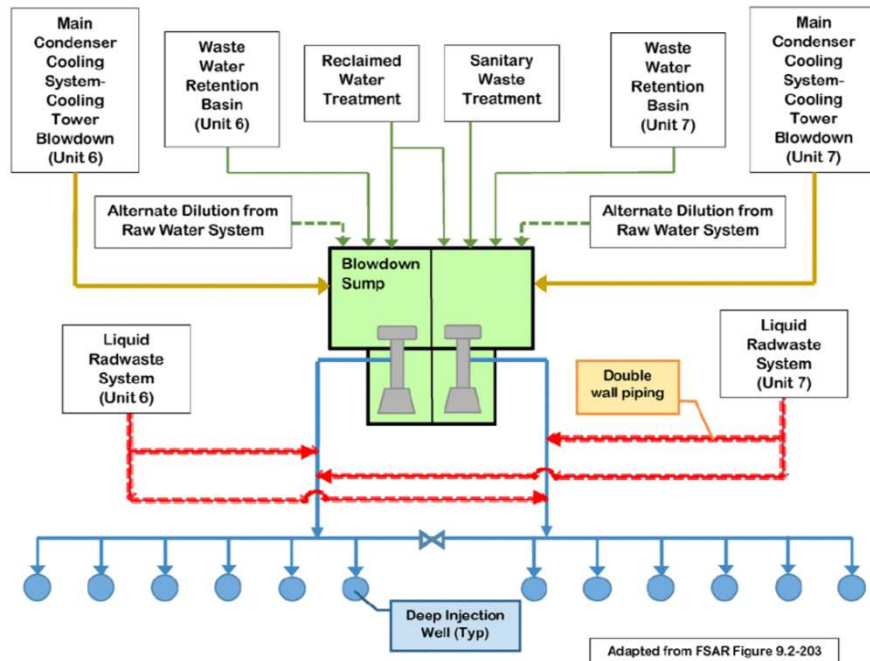
NRCの設計基準を超える外部ハザードへの緩和戦略に関する命令の付属書（左記）において、AP1000の設計が代替交流電源に依存することなく対応ができる（72時間）ことから、発電所外の機器及び資源を使用した支援による、静的冷却系の長期運転（無期限）の移行について要求している。（NEI FLEXガイド (APPENDIX)においても同様の要求あり。）

⇒発電所内のFLEX設備については、特段必要ないものと考えている。



# Turkey Point発電所

## (2) AP1000 (6/7号機) の廃液管理について



Turkey Point発電所については、廃液等を海洋に放出しない設計を取り入れており、AP1000の建設においても同設計を考慮している。

構内のブローダウン水を3000ftの深さまで掘ったDeep Injection Well（6基/ユニット）を設置し、排水を封入する方式である。

公衆被ばくについては、10 CFR 20.2002の規定に基づきDeep Injection Well内の水の浸透について評価し、想定しないバリアの喪失を考慮しても実行的であることを確認している。

# Turkey Point発電所

## (3) FLEX設備について (1/2)

### <目的>

- 「交流電源の長期喪失」、「最終ヒートシンク喪失」、「DBを超える事象」において、炉内の燃料とSFP燃料を保護すること。

### <配備数>

- N+1 (必要数+1台)

### <位置づけ>

- FLEX設備はTech Specで定められておらず、AOTを満たさない場合でもプラント停止の要求は無い

### <活用フェーズ>

- フェーズ1：既存設備で対応
- フェーズ2：サイト内のFLEX設備を活用
- フェーズ3：サイト外（オフサイト）のFLEX設備を活用

# Turkey Point発電所

## (3) FLEX設備について (2/2)

### <FLEX設備配備に伴う既設設備の改修>

- サイト内のFLEX設備を保管する建屋設置
- CST、SFP等へのFLEX設備接続口の設置
- FLEX設備配置箇所（地面）のマーキング

### <サイト外（※）からの輸送>

- サイト外のFLEX設備は、事前にリスト化しているものは24時間以内に到着する。それ以外も72時間以内に到着する。
- マイアミ空港には、サイト外からの空輸に備え、専用エリアを確保している。
- 輸送はトラックで行うが、道路が使用できない場合にはヘリで輸送する。

※NSRC（National SAFER Response Centers）全米2箇所に設置

# Turkey Point発電所

## (4) OLMに向けた取り組みについて

### <スクリーニング>

- まずは、スクリーニングによりアウトージ期間に実施するか、オンラインで実施するかを決める。

### <作業準備>

- スクリーニング後30週前から準備を実施する。
  - ・ 30週前～16週前：スコーピング
  - ・ 16週前～ 9週前：プランニング
  - ・ 8週前～ 3週前：スケジューリング
- 作業実施3週前にリスク評価のレポートを用いてミーティングを行い、ディレクター・マネージャが確認する。
- リスク管理については、下記6事象を考慮している。
  - ・ 原子力安全、労働安全、放射線影響、社内状況、化学環境、外的要因

# Turkey Point発電所

## 訪問者の集合写真

