

第4回原子力安全合同シンポジウム  
米国における RI-ISI への取り組みと  
FLEX 機器運用によるリスク低減  
-FLEX機器の調査結果と今後の活用-

2018年12月21日

日立GEニュークリア・エナジー(株)

酒井 健

1. はじめに
2. FLEX戦略概要
3. FLEX機器の調査結果概要
4. FLEX機器のメンテナンスについて
5. FLEX機器の信頼性データについて
6. FLEXを考慮したリスク評価の現状
7. 日本のSA設備への提案
8. まとめ

# 1. はじめに

- ・2018年11月10日から14日にかけて、米国のNPP運転延長(LR,SLR)、RI-ISI、FLEXについて海外調査を実施。
- ・本資料では、その中のFLEX機器について、メンテナンス及びプラントへのリスク評価への反映についての調査結果をまとめる。
- ・調査結果を踏まえた、今後日本へ反映しうる提案を紹介する。

LR :License Renewal

SLR: Second License Renewal

RI-ISI: Risk Informed In-Service Inspection

FLEX: Diverse and Flexible Coping Strategies

## 2. FLEX戦略概要

- ・ 2011年3月11日の日本での大震災後、NRCは2012年3月12日に、EA-12-049\*<sup>1</sup>によって、設計拡張事象となる外的事象への緩和戦略を要求。
- ・ 米国産業界は、DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX)の導入ガイド初版を2012年8月に発行 (NEI 12-06) \*<sup>2</sup>。
- ・ サイト内に設置される可搬設備容量は、サイト内のプラント数(N)+1が要求されており、最長72時間はサイト内設備で対応。
- ・ 外部支援施設 (SAFERセンター) が米国内に二箇所設置 (フェニックスとメンフィス) されており、SAFERからの支援設備は、48時間以内にサイト内で使用開始できる。(サイトまでの運搬24時間、サイト内で準備24時間)

\* 1 “ISSUANCE OF ORDER TO MODIFY LICENSES WITH REGARD TO REQUIREMENTS FOR MITIGATION STRATEGIES FOR BEYOND-DESIGN-BASIS EXTERNAL EVENTS ”

\* 2 “DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE”

## 2. FLEX戦略概要

### ・ FLEX戦略で考慮する外的事象

Table 4-2  
Considerations in Assessing Applicability of External Hazards

Hazard Class	Applicability Considerations
Seismic	<ul style="list-style-type: none"><li>• All sites will consider seismic events</li></ul>
External flooding	<ul style="list-style-type: none"><li>• Variability in design basis considerations</li><li>• Potential for large source floods at site</li><li>• Margin in current external flood design basis</li></ul>
Storms with High Winds (Hurricanes, tornadoes, etc.)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coastal sites exposed to hurricanes/large storms</li><li>• Regional history with tornadoes</li></ul>
Snow, Ice, Low Temperatures	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regional experience with extreme snow, ice, and low temperatures</li></ul>
Extreme High Temperatures	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regional experience with extreme high temperatures</li></ul>

地震は全てのサイトで考慮する。その他(外部溢水、強風、雪/氷/低音、高温)の影響については、各サイトでDBAとして考慮しているか、過去のサイトでの経験を踏まえて考慮の有無を決定する。

## 2. FLEX機器の例（DCクック発電所）



DCクック発電所のFLEX機器格納庫



FLEX機器格納庫裏側



FLEX機器格納庫内



## 2. FLEX機器の例（DCクック発電所）



デブリ除去用カッター



牽引、運搬用トラック



ブースターポンプ



フレキシブルホース



食料と水



機器の手順書Box

### 3. FLEX機器の調査結果概要

#### ●海外調査時に確認したFLEX機器の情報

- ・米国でのFLEX機器のリスク評価上の扱い(Exelon、DCクック発電所)
- ✓設置されてから、数年しか経っていないため、**機器の信頼性データ、可搬設備の運用面での信頼性**について十分な情報がない。
- ✓そのため、現状ではPRA上でクレジットを取っていない。
- ✓将来的にはクレジットを取って、稼働率向上に資することを目指している。



### 3. FLEX機器の調査結果概要

#### ●海外調査時に確認したFLEX機器の情報

・今後どのように活用したいか。

✓Exelon社ではFLEX機器についてクレジットをとることで、将来的に例えばD/GのLCO逸脱時の許容待機除外時間(AOT)の延長等のために活用したいと考えている。

✓Palo Verde発電所では、他の電力事業者に先駆けてPRAへの取り込みに向けて準備をしている。これは同様にD/GのAOTの延長を目指している。

LCO: Limited Condition for Operation  
AOT: Allowed. Outage Times

## 4. FLEX機器のメンテナンスについて

- EPRIテンプレートでのFLEX機器と通常機器との違い
- 通常機器のテンプレートの例(ポンプ)

ヘディングの意味: 以下3つ組み合わせ決定される8通りに分類される。

Functional Importance (Critical:C, Non-Critical:N)、Duty Cycle(High:H, Low:L)、Service Condition(Severe:S, Mild:M)

Table 2-1  
PM Template - for Pump - Horizontal - Multistage - Split Case

Task Name	CHS	CLS	CHM	CLM	NHS	NLS	NHM	NLM
Vibration Analysis	1M	3M	1M	3M	3M	1Y	3M	1Y
Oil Analysis	3M	6M	3M	6M	2Y	2Y	2Y	2Y
Performance Trending	2Y	2Y	2Y	2Y	NR	NR	NR	NR
Oil Filter Change, Clean, Inspect	2Y	2Y	2Y	2Y	2Y	AR	2Y	AR
System Engineer Walkdown	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M
Refurbishment	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
Functional Testing	NA	AR	NA	AR	NA	AR	NA	AR
Operator Rounds	1S	1S	1S	1S	1D	1D	1D	1D
Acoustic Monitoring	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
Packing/Seal Replacement	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR

例:

CHSの場合、以下の条件を満たすポンプに適用する。

Functional Importance: **Critical**

Duty Cycle: **High**

Service Condition: **Severe**

AR: As Required

NR: Not Recommend

NA: Not Applicable

EPRI, "Nuclear Maintenance Applications Center: Preventive Maintenance Basis for FLEX Equipment", 3002000623, 2013

## 4. FLEX機器のメンテナンスについて

- ・FLEX機器のEPRIテンプレートでのFLEX通常機器との違い(つづき)
- ✓ FLEX戦略に使用される機器は“Non-Critical”のみである。
- ✓ FLEX機器は、FLEX(ポンプ、発電機等)とFLEXを使用するまでに必要となるサポート機器(デブリ除去、運搬用トラック等)に分かれる。
- ✓ FLEX機器は、メンテナンス時を除いて、緊急時及び偶発的な使用機会がない限り、倉庫に保管されるため、Duty CycleはLowとなる。
- ✓ FLEX機器のService Conditionは、保管時は“Mild”,緊急時の使用時は“Severe”となる。
- ✓ 故障率計算の際は、Duty Cycleが”High”となった場合、1000時間の運転を一年あたりとして計算する。

FLEX機器は、一般産業品を事故時に通常想定しない“長期保管からの起動”といった使い方をするため、信頼性評価にはFLEX特有の情報が必要となる。

## 4. FLEX機器のメンテナンスについて

- EPRIテンプレートでのFLEX機器と通常機器との違い(つづき)

PMBD: Preventive Maintenance Basis Database

Non-FLEX Headings	CHS	CLS	CHM	CLM	NHS	NLS	NHM	NLM
FLEX Headings	FHS	FLS	FHM	FLM	SHS	SLS	SHM	SLM
Calibration	100H	2Y	200H	3Y	200H	6Y	300H	10Y
Inspection	100H	6Y	200H	8Y	150H	10Y	300H	10Y

ヘディングの意味: 以下3つ組み合わせ決定される8通りに分類される。  
FLEX:FLEX機器かサポート機器か (FLEX:F, Support:S) 、Duty Cycle(High:H ,Low:L)、  
Service Condition(Severe:S, Mild:M)

FLEXのテンプレートでは、機器重要度の代わりに、FLEX機器かサポート機器かという分類になっている。

FLEXのテンプレートは既にEPRIのPMBDのデータベース上に公開されており、米国の事業者の多くはこれを参考にメンテナンス方法を定めている。

EPRI, "Nuclear Maintenance Applications Center: Preventive Maintenance Basis for FLEX Equipment", 3002000623, 2013

## 5. FLEX機器の信頼性データについて

### ・機器の信頼性データの収集

✓2016年12月にEPRIは、“FLEX Equipment Maintenance Event Collaboration Site ”“を作成した。これは、各電力事業者が任意で故障情報を報告し、データを収集するものである。

(<https://flex.epri.com/>)

✓PWRオーナーズグループでは、独自で信頼性データを収集している。



## 6. FLEXを考慮したリスク評価の現状

- ✓ NEIは、NEI16-06” Crediting Mitigating Strategies in Risk-Informed Decision Making”を2016年に作成し、NRCに提案している。
- ✓ このなかでは、以下の3段階のリスク評価アプローチが提案されている。

- **QUALITATIVE ASSESSMENT (定性的評価)**

FLEX戦略の特性に基づく、定性的整理(時間的余裕、手順等)により、有効性及びリスク低減効果を把握する。

- **SEMI-QUANTITATIVE STREAMLINED ASSESSMENT (半定量的評価)**

FLEXによるAMの失敗確率を定義し(10%)、事象毎にその信頼性に与える因子(時間的余裕、手順、環境)を乗じたものと、機器のアンアベイラビリティの和を非信頼度する。この非信頼度を既存のCDFに乘じ、その差がリスク低減効果となる

- **MODELING MITIGATING STRATEGIES EQUIPMENT IN A PRA (詳細評価(PRA))**

AMによる低減効果を設備のアベイラビリティ及び対応操作に係る人間信頼性を含めてPRAにより評価する。FLEX機器を使用する際の固有の人間信頼性解析データ、FLEX機器の故障率データの整備が必要となる。

CDF: Core Damage Frequency

# 6. FLEXを考慮したリスク評価の現状

## 半定量的評価の意思決定ツリー

Feasibility Assessment	Time Margin (TM)	Command and Control (CC)	Environmental Factors (EF)	Equipment Availability (EA)	Failure Probability	Chance of Failure	
0.1 Nominal Deployment	x0.5 Expansive	x1.0 Functional	x1.0 Nominal	+0.05	0.10	1 in 10	
				$\geq N+1$	0.15	1 in ~7	
				N Action Fails	1.0	Always	
		Action Fails Impaired	x2.0 Adverse	x1.0 Nominal	+0.05	0.15	1 in ~7
					$\geq N+1$	0.20	1 in 5
					N Action Fails	1.0	Always
	x1.0 Nominal	x1.0 Functional	x1.0 Nominal	+0.1	1.0	Always	
				N Action Fails	0.20	1 in 5	
				<N	1.0	Always	
		Action Fails Impaired	x2.0 Adverse	x1.0 Nominal	+0.1	0.30	1 in ~3
					N Action Fails	1.0	Always
					<N	1.0	Always
Action Fails Inadequate	Action Fails Impaired	Precludes		1.0	Always		
				1.0	Always		

## 7. 日本のSA設備への提案

### ・外部支援策の拡充

- ✓ 日本では可搬型設備(2N+2)及び将来的に恒設設備(特定重大事故対処設備)が設置され、米国以上の多重性又は多様性を有している。  
⇒全てサイト内にあるがゆえに、非常に可能性は小さいが残余のリスクが存在する。
  - ✓ 米国では、可搬型の設備をサイト内とサイト外(SAFERセンタ)に分散して、設置されている。  
⇒サイト内で発生する事象と切り離すことができる、外部支援策(例えば、日本版SAFERセンタ)を整備することで、想定外の事象に対する柔軟な対応が可能。
- ・可搬型設備については、各電力事業者で共有できるよう、標準化、共通化を図る。
  - ・電力事業者の自主対策として、外部支援策を定める。  
(クレジットを取る必要はないので、合理的且つ経済的な方法で。)

## 7. 日本のSA設備への提案

### ・SA対策の合理化

✓ 米国では、FLEX設備はN+1を要求されているが、日本では、可搬型設備 (2N+α) 及び将来的にそれに加え、恒設設備(特定重大事故対処設備)が要求される。

⇒過剰に設備を配置してもリスクの低減に有効とはならないため、可搬型設備の運用及び機器の信頼性を確認し、必要であれば最適な設備構成を検討。

✓ 米国では、可搬型設備のクレジットをとることで、D/GのLCO時の許容待機除外時間(AOT)の延長等稼働率の向上策を検討している。

⇒可搬型設備の運用及び機器の信頼性を確認できれば、プラント全体のリスクを考慮した、プラントの運転、メンテナンスが検討可能となる。

- ・可搬型設備の運用及び機器の信頼性確認後、現状の設備に安全向上に寄与しないものがあれば、合理化を実施すべき。
- ・安全上影響が無いあるいは、総合的に向上するのであれば、プラントの運転及びメンテナンスについては合理化すべき。

## 8. まとめ

- ・2018年11月10日から14日にかけて実施した海外調査において、Exelon社、DCクック発電所及びEPRIからFLEX機器のメンテナンス及びリスク評価への適用についての情報を得た。
- ・FLEX機器はまだ導入後間もないため、運用、機器両方の信頼性についてまだ十分な情報が集まっていないが、今後リスク評価上で考慮するための準備を米国産業界側で進めている。
- ・日本においても、今後可搬型設備を考慮したリスク評価を実施、活用することで、外部支援も考慮した設備配置、設備数、プラントの運用の検討が可能となり、安全性を維持向上させた上で合理化が実施可能と考える。



**END**

