

# US-APWR における電気計装設備の新技术 (新型中央制御盤及び非常用ガスタービン発電機の検証)

Adapting New I&C technology for US-APWR



緒方 善樹\*1  
Yoshiki Ogata

川中子 信二\*2  
Shinji Kawanago

稲積 義則\*3  
Yoshinori Inazumi

高浦 勝寿\*4  
Katsuhisa Takaura

真塩 健二\*5  
Kenji Mashio

二井田 晋次\*6  
Shinji Niida

US-APWR の電気計装設備には、ソフトオペレーション方式の新型中央制御盤を含めた総合デジタル計装制御システムを採用すると共に、非常用電源設備に、軽水炉発電所向けとして初めてガスタービン発電機を採用する計画である。現在、実施している米国電力会社の運転員による US-APWR 向け新型中央制御盤の検証状況と、非常用ガスタービン発電機の検証計画について紹介する。

## 1. はじめに

ヒューマンファクタエンジニアリング(HFE)は、米国で TMI(Three Mile Island)事故以降、ヒューマンエラーを如何に低減するかを目的に、原子力発電への導入が積極的に行われ、現在、米国では安全設計審査項目の一つとして位置付けされている。当社は、ソフトオペレーション方式の新型中央制御盤を 1980 年代後半から、国内 PWR 電力会社と共同で開発してきたが、その開発過程では、米国の審査動向を積極的に取入れてきた。新型中央制御盤は、国内の北海道電力(株)泊3号機や既設プラントの中央制御盤更新に適用済みであり、これらの実績を踏まえ、新型中央制御盤を US-APWR に適用するために検証を実施中である。

ガスタービン発電機は、一般的に起動時間が数十秒程度とディーゼル発電機に比べて長いですが、設備構成がコンパクトであり、サポート系設備(燃料系、始動空気系等)が少ないため、システム信頼性が高く、保守が容易というメリットを有している。従来プラントでは、外部電源喪失下における事故への対処として、非常用電源設備に対し、十数秒以内の起動時間要求があることから、非常用電源設備には、急速起動タイプのディーゼル発電機が適用されていた。しかしながら US-APWR では、高性能蓄圧タンクの採用により、非常用電源設備に対する起動時間要求を 100 秒以内まで緩和することが可能となったため、ガスタービン発電機を非常用電源設備として採用することとした。

以下、これらの設備についての US-APWR 向け検証試験の概要を紹介する。

\*1 原子力事業本部 APWR 推進室長

\*2 原子力事業本部 APWR 推進室次長

\*3 原子力事業本部原子力技術センター電気計装技術部長

\*4 原子力事業本部原子力技術センター電気計装技術部長次長

\*5 Mitsubishi Nuclear Energy Systems, Inc.

\*6 原子力事業本部原子力技術センター電気計装技術部長チーム統括

## 2. 新型中央制御盤の検証

### 2.1 はじめに

米国審査基準である SRP(Safety Review Plan)18 章は、ヒューマンファクタエンジニアリング (HFE)に関する基準であり、12 項目の要求事項から構成される(表1)。HFE は、人的過誤を設計の初期からプラント運用までを通じて低減することを目的としており、12 項目の要求事項は、計画段階(運転経験レビュー、プラントの機能要求分析、タスク分析等)から設計段階(ヒューマンシステムインタフェイス(HSI)設計、運転要領書／訓練プログラム開発等)、運用段階まで、一連の人的活動を対象としている。US-APWR の標準設計認証申請にあたり、米国審査基準に満足するよう標準設計プロセスを構築した。

表1 ヒューマンファクタエンジニアリングの要求事項

段階	要求事項	段階	要求事項
計画 及び 分析	1.人間工学設計(HFE)プログラムマネージメント	設計	7.HSI設計
	2.運転経験レビュー		8.運転要領書開発
	3.機能要求分析及び機能割当		9.訓練プログラム開発
	4.タスク分析	検証	10.運転員検証(V&V)
	5.要員配置	実行 及び 運用	11.設計の運用
	6.人間信頼性分析		12.ヒューマンパフォーマンス監視

### 2.2 検証計画

HFE に係る米国審査基準が最近改訂されたが、米国において認可を得た先行申請者はなく、原子力安全委員会(NRC)も申請者側も審査基準に対する適合性について協議を進めながら実施している状況であった。当社は、NRC と標準設計プロセスに関して協議を繰り返し、検証計画を策定した(図1)。フェーズ1は、現状の新型中央制御盤の標準設計を検証、フェーズ2は、フェーズ1の成果を基に実施した US-APWR 向け新型中央制御盤の標準設計を検証、フェーズ3はサイト固有のプラント条件を反映した新型中央制御盤設計を検証する。

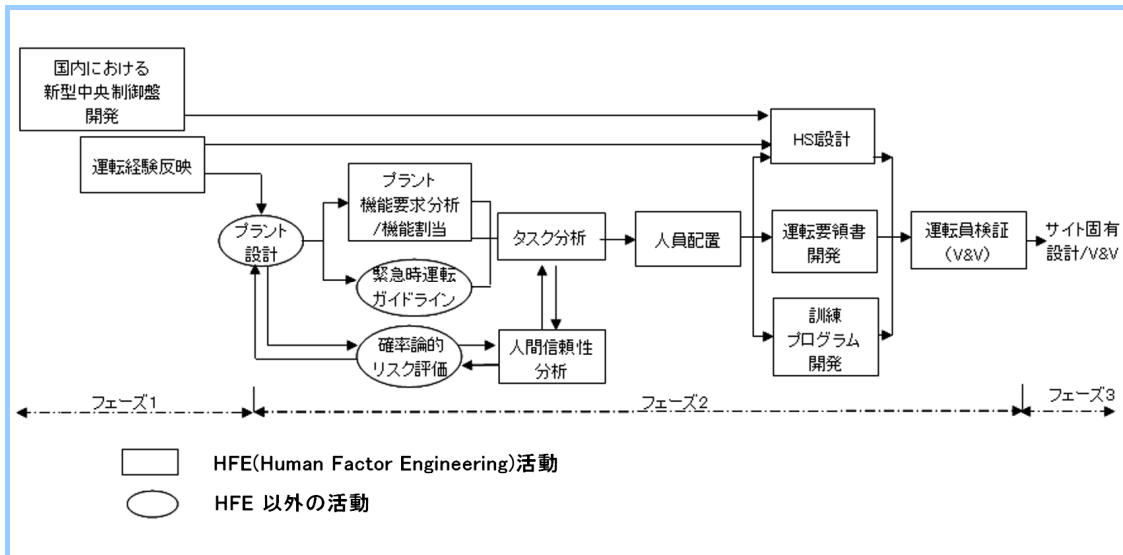


図1 ヒューマンファクタエンジニアリング(HFE)の検証計画

### 2.3 検証活動の状況

米国審査では、NRC から要求されている NUREG-0711(Human Factor Engineering Program Review Model)の基準に基づき、新型中央制御盤仕様のトピカルレポート及び標準設計認証図書(DCD)を作成し、NRC へ申請した。また、HFE の要求項目の内、運転経験レビュー、プラントの機能要求分析及び機能割当、タスク分析、人間信頼性分析についてテクニカルレポートとしてまとめ、NRC へ提出した。

さらに、HFE として最終的な評価の指標の一つとなる HSI 設計の検証は、米国の運転要領や運転経験レビューをプラント設計の入力情報として取り入れ、現状の新型中央制御盤の米国への適用性確認を目的として実施した。本検証は、米国ピッツバーグにある三菱電機(株)関連会社(MEPP)に、新型中央制御盤検証設備(図2)を設置し、2008年7月から、米国電力会社の運転員により実施した(フェーズ1)。また、当該検証で得られた運転コンソール画面、機能、レイアウトデザイン等への改善事項に対して、米国電力会社の運転経験者及び米国人コンサルタントも交えて評価し、新型中央制御盤の設計へ反映した後、2009年5月から米国電力会社の運転員によりフェーズ1の再検証を実施した。これらの検証活動について、新型中央制御盤標準設計のテクニカルレポートとしてまとめ、2008年12月と2009年6月にNRCへ提出した。今後、US-APWR向け新型中央制御盤標準設計の検証(フェーズ2)、サイト固有のプラント条件を反映した新型中央制御盤設計の検証(フェーズ3)を進めていく予定である。



図2 新型中央制御盤検証設備

### 3. 非常用ガスタービン発電機の検証

#### 3.1 ガスタービン発電機の特徴

ガスタービン発電機は、ディーゼル発電機に比べ起動時間が長いという特徴を持つが、運転操作、制御等はディーゼル発電機と基本的には変わらず、また、プラント安全設計上、要求される大型負荷の連続投入といった要求に対しても、ディーゼル発電機と同じ運転性能を発揮することができる。

ガスタービン発電機のエンジン本体は、ディーゼル発電に比べ部品点数は少なく、従来の水冷ディーゼル発電機と異なり簡素な空冷方式が用いられ、他のサポート系設備も簡素であることから、非常用電源システムの潜在的信頼性向上に大きく寄与できる。さらに、エンジン本体は、同クラスのディーゼルエンジンに比べサイズは約1/7であり、空冷方式でかつサポート系設備(燃料系、始動空気系等)も簡素なことから、ディーゼル発電機に比べシステム全体は非常にコンパクトである。このため、プラントにおける非常用電源設備配置は、ディーゼル発電機を適用する場合に比べ大幅に合理化することができる(図3)。

ディーゼル発電機は、一般的に年1回、2週間程度をかけて保守を実施しているが、ガスタービン発電機は、エンジン本体の保守も極めて簡易であり、またシステム全体としても設備が簡素化されることから、保守作業量及び保守期間は、従来のディーゼル発電機に比べ大幅(約1/10)な削減が期待できる。

#### 3.2 検証計画

非常用電源設備は、安全系としての品質が要求されるため、米国規制要求に基づき、非常用ガスタービン発電機としての安全系適用検証を新たに実施することとした。本検証は、NRCの規定するRegulatory Guideの要求に基づいて実施する。現在、NRCと検証試験計画について最終協議を実施しており、2010年末までに、連続負荷運転試験、連続起動試験等を実施する計画である。

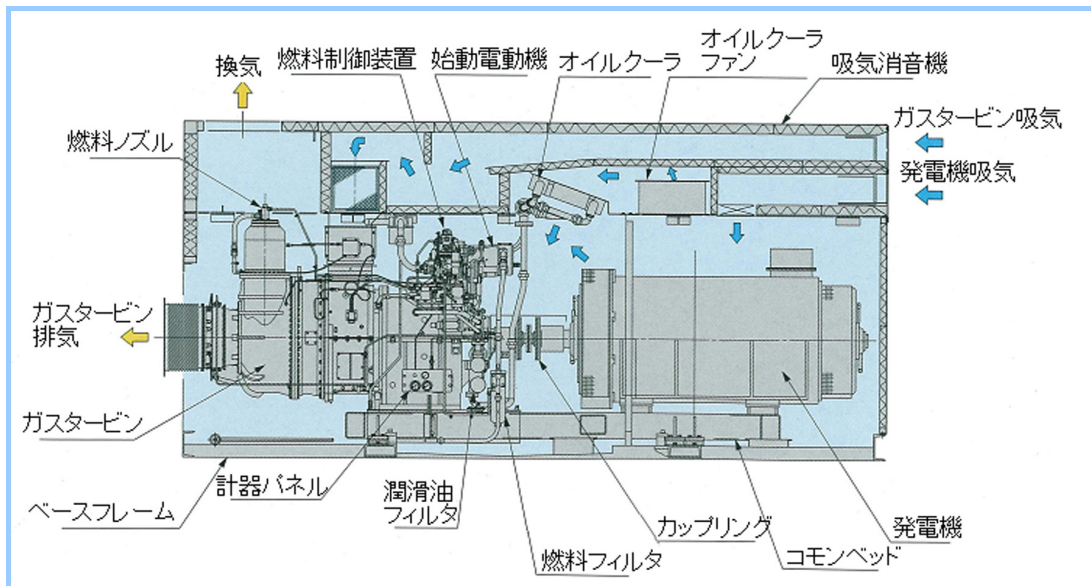


図3 非常用ガスタービン発電機の外観

#### 4. まとめ

US-APWRに採用する新型中央制御盤と非常用ガスタービン発電機の検証状況と計画について述べた。

現在、NRCは、当社が申請したDCDに対して、SER(Safety Evaluation Report)を作成中であり、今後も、新型中央制御盤や非常用ガスタービン発電機のDCDやテクニカルレポートに対する会議等の活動を通じて、NRC/米国産業界に受け入れられ、電気計装分野をリードしていきたい。

#### 参考文献

- (1) Mitsubishi Human System Interface Human Factors Engineering Process for US-APWR, 6th American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies, April 2009
- (2) US-APWR Human System Interface System Verification & Validation Results: Impact on Digital I&C Design, 17th International Conference on Nuclear Engineering ICONE17, July 2009
- (3) US-APWR Human System Interface System Verification & Validation Results: Application of the Mitsubishi Advanced Design to the US Market, ICAPP'09, May 2009