

米国向け中央計装運転検証設備及び型式認証活動

北村雅司*
高橋浩一**
松下英俊**

Human System Interface Verification and Validation Facility and Type Acceptance Activities for U.S.

Masashi Kitamura, Kouichi Takahashi, Hidetoshi Matsushita

要旨

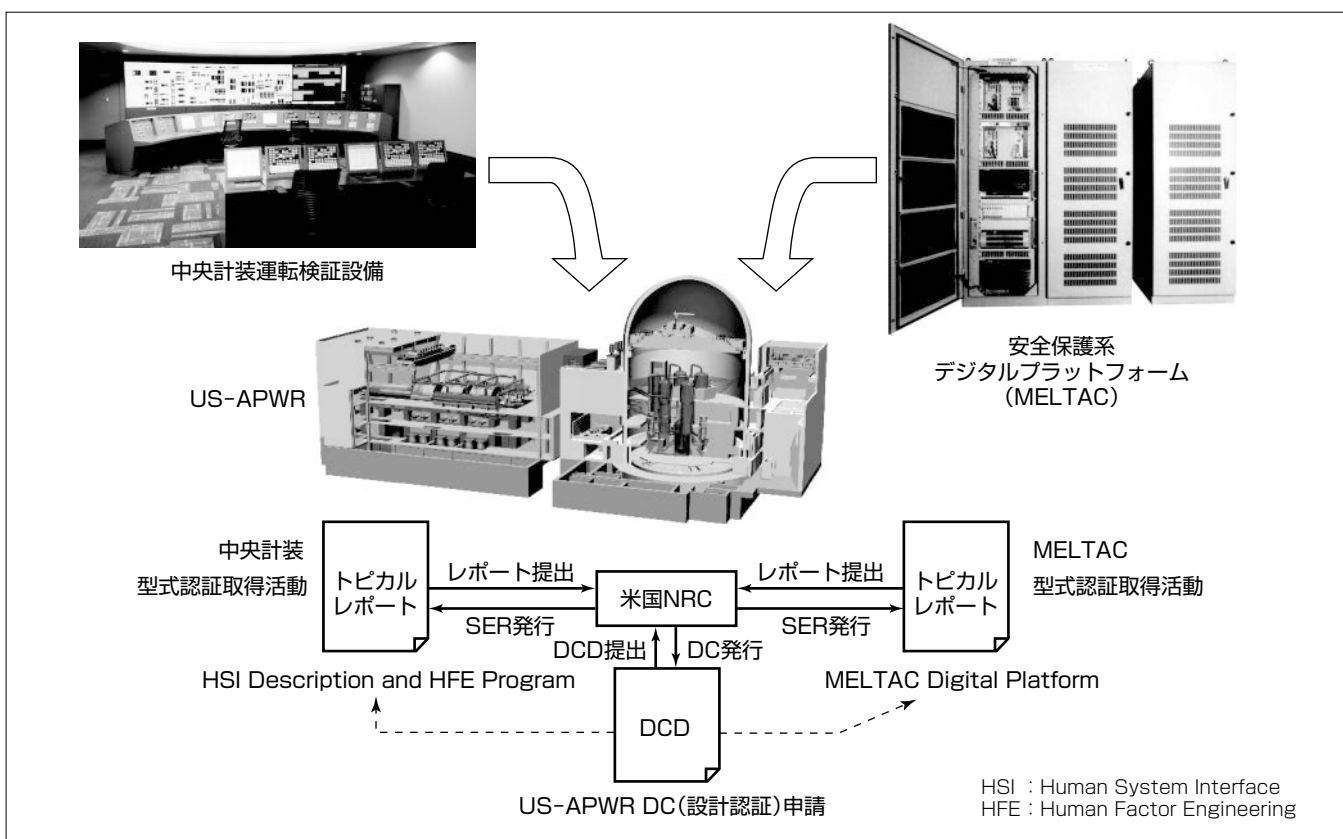
米国の原子力発電の市場は、TMI(Three Mile Island) 2号機の事故以来、新設プラントの建設計画が減少していたが、昨今、地球温暖化対策として、CO₂排出量の少ない原子力発電は世界中で見直され、特に米国では政府の後押しもあり、多数の新設プラントの計画が持ち上がっている。また、既設の米国内の原子力発電所の計装設備についても老朽化が進み、更新の時期がきている。

三菱グループは、米国市場向け最新型加圧水型軽水炉(US-APWR)を市場に投入するため、米国原子力規制委員会(Nuclear Regulatory Commission : NRC)の型式認証活動を推進している。型式認証活動で三菱電機は三菱重工業(株)とともに、タッチスクリーンを使用したソフトウェ

ア・オペレーションの中央計装設備及びデジタル安全保護設備に適用する安全保護系デジタルプラットフォーム“MELTAC”に関するトピカルレポート(特定の安全審査項目についてまとめた技術文書)を作成提出した。

さらに、中央計装設備では、トピカルレポートの記載内容である設計検証プロセスの実証と当社製品の機能・性能に関して、NRC及び米国顧客への理解を深めるため、中央計装運転検証設備を当社米国拠点に構築し、米国人運転員による運転検証を実施した。

本稿では、米国向け中央計装の設計検証プロセスと検証設備を用いた運転検証の結果及び中央計装設備とMELTACにおける型式認証活動について述べる。



当社が関係するUS-APWR認証取得活動

US-APWRの設計認証活動で、プラント全体(炉型)のDC (Design Certification) 申請として、DCD (Design Control Document) を米国NRCに提出している。更新工事等への適用も考慮し、DCDとは別レポートとしてプラットフォームのトピカルレポートをNRCに提出し、DC申請に先行して型式認証を受けた結果のレポートであるSER (Safety Evaluation Report) を受けることにより、その後の認証活動をスムーズに行うようにしている。

1. ま え が き

地球温暖化防止、原油価格の変動などエネルギーの安定供給という観点で、原子力発電が世界的に見直されている。特に、米国では政府の後押しもあり、30基以上の新設プラントの計画がある。三菱グループでは、米国市場向けの最新型加圧水型軽水炉としてUS-APWRのNRCの型式認証取得活動を推進している。

当社のデジタル計装設備は、国内の加圧水型軽水炉(Pressurized Water Reactor : PWR)プラントでの納入・稼働実績を持っており、US-APWRでも適用される計画である。

本稿では、型式認証活動における、US-APWRのデジタル計装設備を構成する中央計装及び安全保護系デジタルプラットフォーム“MELTAC”に関する活動内容について述べる。

2. 米国向けデジタル計装設備と型式認証活動範囲

2.1 US-APWR のデジタル計装設備の構成

US-APWR のデジタル計装設備は、PSMS(安全保護系)、PCMS(常用系)、DAS(共通要因故障対策)で構成されてお

り(図1)、国内プラントで実績のある構成をベースに最新の米国規制に適合するように設計している。

中央計装設備(HSIS)は、すべてのシステムの監視操作系システムとして位置づけられ、次の特徴がある。

- ・タッチスクリーンを使用した直感的なソフトウェア・オペレーション
- ・大型表示装置による運転員間の情報共有

2.2 型式認証活動における当社の活動範囲

当社のデジタル計装設備を米国で適用するためには、NRCの規制指針に適合していることを証明し、NRCの型式認証を取得する必要がある。

中央計装に関する型式認証活動として、三菱重工業(株)と当社は、HSI(Human System Interface)設計プロセスの米国規制指針NUREG-0711(Human Factors Engineering Program Review Model)に対する適合性及びHSI基本設計の内容を示すため、HFE(Human Factors Engineering) Program/標準HSI仕様に関するトピカルレポートを提出した。当社はこのレポートの作成に協力し、トピカルレポートに記載されている内容を実証するための運転検証設備を当社米国拠点に構築し、運転検証を実施した。

特集 I

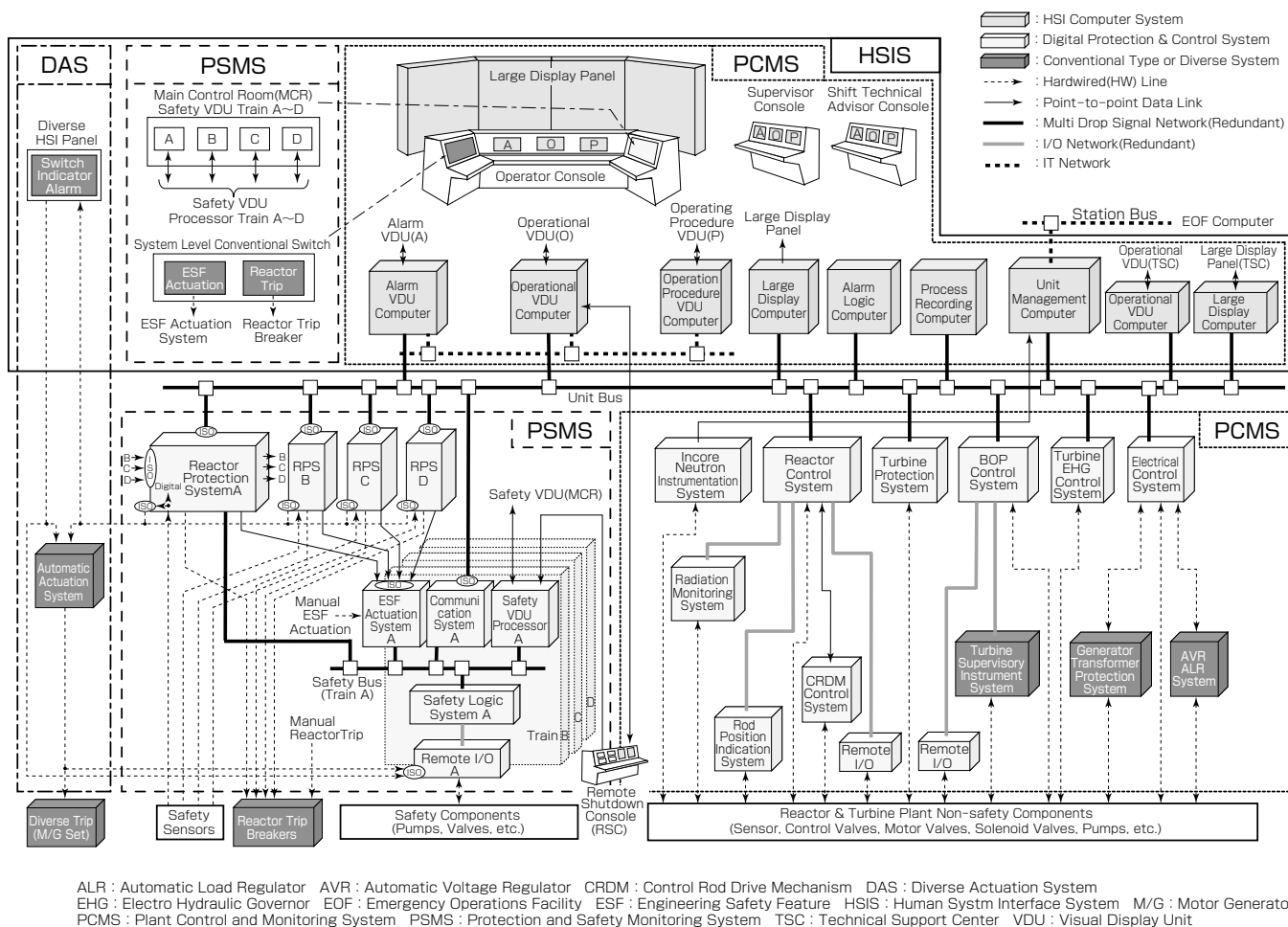
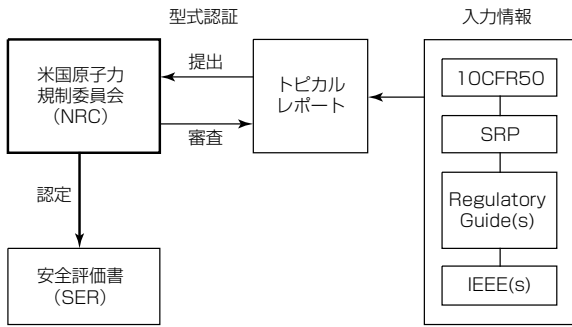


図1. 米国向け(US-APWR)デジタル計装設備の構成



10CFR50 : 合衆国連邦規制基準10-50(品質保証関連規制)
 SRP : Standard Review Plan(NRCの審査の観点・判定基準)
 Regulatory Guide : 被規制者(電力・ベンダ)に10CFRを遵守させるために定めたNRCの規制指針(以下"RG"という。)
 IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers 米国に本部を持つ電気・電子技術の学会。電気・電子技術に関わる多数の指針・手順を規格化している。それらの中からRGの具体的なガイドとなりうるIEEE規格を認知し、その規格の遵守を要求している。

図2. 米国における型式認証

MELTACについては、主としてソフトウェア設計プロセスの第三者検証と、EMC(Electro-Magnetic Compatibility)に対する要求があり、当社ではこれに対応するMELTACのトピカルレポートを作成した。

トピカルレポートは、三菱重工業(株)によるDC申請と連動しNRCに提出した。その後NRCとの公開会議や監査を通じて、認証の証明となるSERの発行に向け活動を推進している。図2に型式認証取得活動の流れを示す。

3. 米国向け中央計装運転検証

3.1 中央計装運転検証設備

トピカルレポートに記載したHSI仕様は、国内で実績のある仕様を英語化し、単位系などを米国の慣習に合わせた米国HSI基本設計であり、米国の運転員への適合性を確認するための運転検証が必要であった。また、米国NRCの規制により“検証及び妥当性確認(Verification and Validation: V&V)”の実施が要求されている。このため、動的な運転検証が可能な設備を当社の米国拠点MEPPI(Mitsubishi Electric Power Products, Inc.)に構築した(図3)。

3.2 中央計装設備の設計・検証プロセス

中央計装設備の設計・検証プロセス(US-APWR HFE Program)は、図4に示すように3つのフェーズに分けて、日本のHSI標準仕様から、US-APWR向け標準HSI仕様を確立する計画としている。3つの設計フェーズの目的と内容は次のとおりである。

(1) Phase 1

プラント設計が確定する前に、プラント型に依存しない米国運転員向けの監視・操作に必要な基本的な表示・入力操作用の標準的な要素を規定した仕様(US Basic HSI System)を確立するための活動で、中央計装検証設備を使用



図3. 米国向け中央計装運転検証設備

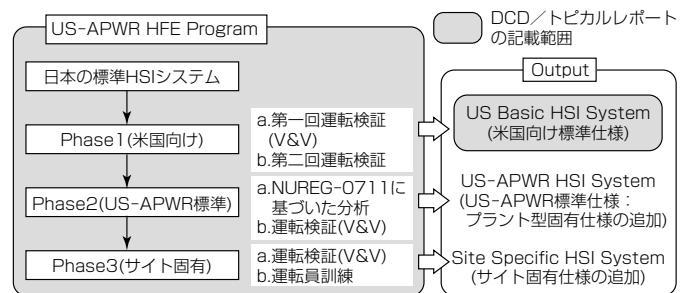


図4. 米国向け中央計装運転検証プロセス (US-APWR Human Factors Engineering Program)

し、米国運転員による運転検証を実施することによって、監視・操作における日米間の要件の違いを抽出し、設計仕様に反映する。

(2) Phase 2

US-APWRのプラント設計に基づいた、具体的な警報、系統監視画面、操作など、US-APWRプラント型固有の詳細仕様を決定する活動であり、プラント設計結果とNUREG-0711に規定されている設計分析に基づいた設計及び運転検証を実施する。

(3) Phase 3

サイト固有の仕様を反映して、個別プラント仕様を決定する活動である。必要であれば運転検証を実施し、その後、運転員訓練に入る。

3.3 Phase 1 運転検証の実施結果

3.3.1 Phase 1 運転検証の実施概要

Phase 1 運転検証は、日本の標準HSI仕様を英語化及び単位系などを米国の慣習に合わせた仕様でMEPPIに構築した運転検証設備を使用し、米国の運転員による第一回検証(Phase 1 a)を2008年に実施した。

その後、第一回検証の検証結果を分析し、解決策を設計に反映した設備を用いて第二回運転検証(Phase 1 b)を2009年に実施した(表1)。

表1. 検証実施状況

	第一回 (Phase 1a)	第二回 (Phase 1b)
時期	2008年7～8月	2009年4～5月
期間	8週間	5週間

3.3.2 主要な検証コメントと対応状況

検証によって得られた検証コメントについては、2009年上期に対応策の検討を実施した。コメントの大半は、表現面に対するものであり、設備構成、機能仕様は、日本国内標準仕様と米国標準仕様とで、おおむね共通化することができた。しかしながら、運転スタイルや慣習上の違いのような米国固有事情によるコメントについては対応を検討する必要がある。

次に米国運転員の慣習を考慮した検討事例を示す。

(1) シンボル表示

弁・補機類のシンボルについては、国内の運転員にとって一般的な表現（例：塗りつぶし表示、中抜き表示）であるものに対し、米国運転員から表示を見直ししてほしいとの要望があった。このため、これらの各表示の示す状態の検討を行った。

(2) 用語・略語

用語・略語については、米国運転員の慣習の影響が比較的強く、国内で使用する一般的な用語・略語とは異なる場面が見られた。このため、米国運転員にとって誤解のないよう、米国で従来使われている用語・略語を使用する。

4. MELTACにおける型式認証取得活動

MELTACにおける型式認証取得活動は、開発設計プロセス、品質保証プログラムを米国規制要件に適合させるため、主に次の活動を実施した。

(1) 独立組織によるV&V実施

IEEE 1012-1998(Software Verification and Validation)の要求に従い、設計部門と独立のV&Vチームを組織し、以下のV&Vを実施した。

- ①設計／製作／試験フェーズ間のトレーサビリティ確認
- ②ソースコードの試験網羅性確認(全分岐実施)
- ③安全保護系への適用を想定したソフトウェア安全分析

(2) 米国原子力安全系対応の品質保証プログラム構築

米国原子力安全の品質規制要件である10CFR50 Appendix B及びそこから参照されているASME NQA-1(米国機械学会 原子力施設の品質保証要件)に基づき、国内向け品質保証プログラムとは別に、米国原子力安全系向け品質保証プログラムを構築した。

(3) EMC耐性強化と検証試験

安全保護設備に対しては、耐環境性、耐振動性、EMC耐性がNRCの規制要求を満足している必要がある。特にEMC耐性に関しては、国内に比べ規制要求が厳しく、RG1.180(Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference)への準拠が要求される。そのため、筐体(きょうたい)や実装モジュールに対してEMC耐性の強化を施した後、EMC試験を実施することで規制要求への適合性を確認した。

5. むすび

米国(MEPP)に運転検証設備を構築し、日本のHSI標準仕様から米国US-APWR向け標準仕様を確立する検証及び設計を実施中である。またMELTAC及びUS-APWR HFE Programに関し、NRCの型式認証取得活動を推進している。

今後は、NRCの型式認証を取得し、US-APWRに標準的に適用可能な設備として、米国の原子力ビジネスへの展開を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 佐久間智英, ほか: 高速・大容量ネットワーク適用による原子力発電プラント向け総合デジタル設備の実現, 三菱電機技報, **81**, No.10, 686～689 (2007)
- (2) 緒方善樹, ほか: 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), 三菱重工技報, **46**, No.4, 15～18 (2009)