

# 中国CPR1000型原子力発電所向け計装制御設備の実現

松本 等\* 金丸剛之\*  
杉谷 滋\*  
津村嘉彦\*

*Application of Mitsubishi Digital Instrumentation and Control System for China CPR1000 Nuclear Power Plant*  
Hitoshi Matsumoto, Shigeru Sugitani, Yoshihiko Tsumura, Yoshiyuki Kanamaru

## 要 旨

中国では、国内産業の拡大や鉄道交通・通信等の社会インフラ整備等に伴う電力需要がますます増加傾向にあり、安定した電力の供給及び内陸部の電力不足解消を図るため原子力発電所の建設計画が堅持されている。

三菱電機は、CPR1000型原子力発電所(中国自主開発設計の1,000MW加圧水型軽水炉)向け計装制御設備14基を中国原子力デジタル装置メーカーである北京広利核系統工程有限公司(以下“CTEC社”という。)と共同受注した。

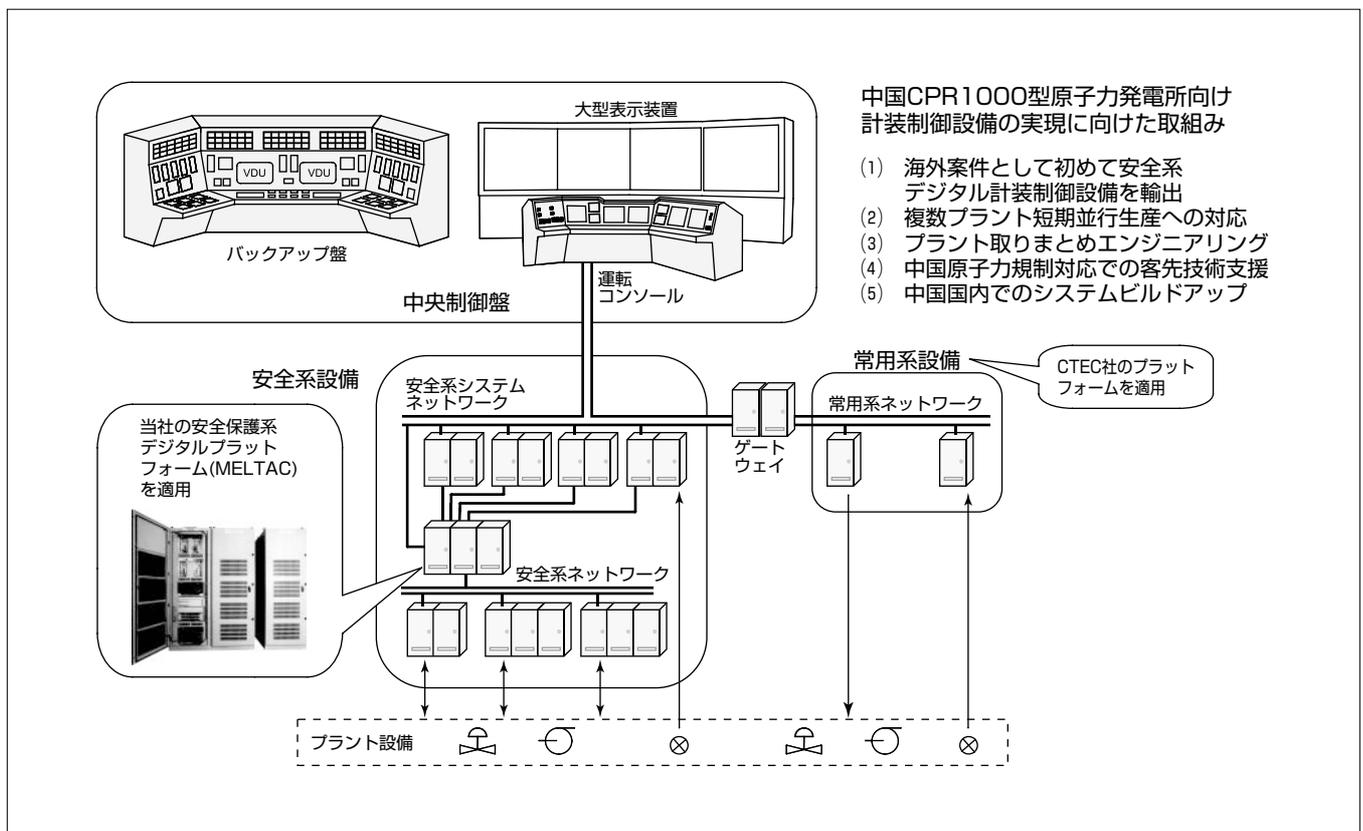
CPR1000型原子力発電所向け計装制御設備は、ソフトウェアを採用した中央制御盤と安全系/常用系デジタル設備で構成され、運転性・信頼性・保守性・経済性の

向上を実現している。

当社は、海外原子力案件として初めて安全系デジタル計装制御設備を出荷し、2013年4月にCPR1000初号機1基、6月には更に1基が相次いで商業運転を開始した。

日本と同様に、中国でも原子力発電所は、耐震・火災防護を始めとする原子力特有の規制(規格・基準)を満たす必要があり、東日本大震災後の規制強化が図られる中、中国原子力規制当局による安全系設備の審査に対して客先支援を行った。

本稿では、CPR1000型原子力発電所向け計装制御設備の実現に向けた取組みについて述べる。



## 中国CPR1000型原子力発電所向け計装制御設備の標準的なシステム構成と実現に向けた取組み

計装制御設備は、中央制御盤と安全系/常用系デジタル設備をネットワーク接続している<sup>(1)</sup>。多数の監視パラメータを伝送し、監視制御の応答性が要求されるネットワークには高速・大容量の当社製品を適用し、CPR1000型原子力発電所に対応したデジタル計装制御設備を実現した。当社デジタル装置をベースとした安全系設備とCTEC社の常用系設備を組み合わせた合理的な計装制御システムを構築した。また、その実現のために様々な取組みを行った。

\*電力システム製作所

1. ま え が き

中国では、原子力発電所の設備容量を現状の13GW(ギガワット)から2020年までに58GWへ増強する予定であり、さらに2030年までに200GWへと増強が計画されている。これらの新設される原子力発電所は、明らかになっているだけでも60基以上にのぼる。当社の顧客となる中国広核集団有限公司(CGNPC)は、中国国内で商業運転中の原子力発電所16基・建設着工済み29基のうち、商業運転中8基・建設着工済み14基を持っている大手電力会社であり、今後5年間に更に10基程度の建設着工を行う計画である。

本稿では、海外原子力案件として初めてとなるCPR1000型原子力発電所(中国自主開発設計の1,000MW加圧水型軽水炉)に適用するデジタル計装制御設備の実現に向けた取組みについて述べる。

2. CPR1000向け計装制御設備

2.1 デジタル計装制御設備の構成

CPR1000向け計装制御設備は、中央制御設備とデジタル計装制御設備をネットワーク接続したものであり、次の特長を持つ(図1、図2)。

- (1) 安全系設備には、当社の安全保護系デジタルプラットフォーム“MELTAC”を適用した。
- (2) 計装制御設備の安全性を高めるため、重要ロジックをハイブリッド化(ソフトウェアロジックとハードウェアロジックの組合せ)した。
- (3) 常用系設備にはCTEC社プラットフォームを適用した。

2.2 中央制御設備の構成

中央制御設備(図3)は、原子力発電所の全システムを監視操作するシステムであり、次の特長を持つ<sup>(2)</sup>。

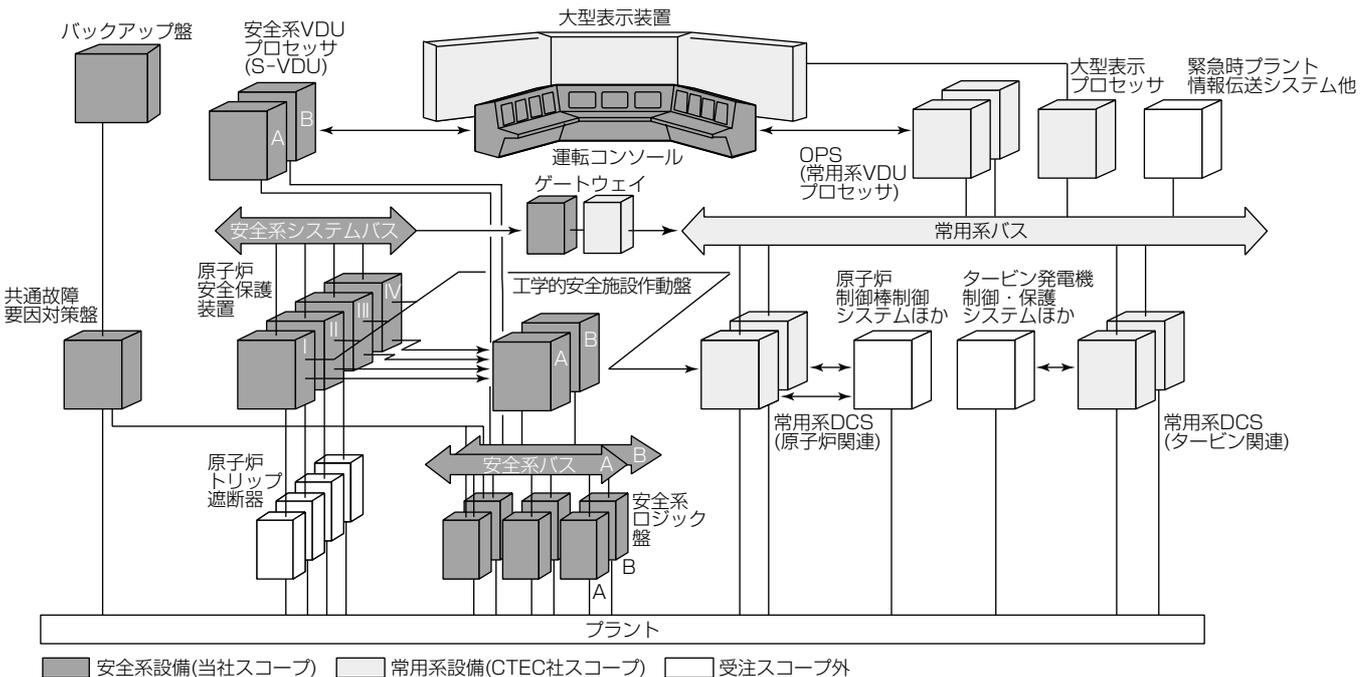
- (1) ソフトオペレーションを主体としたコンパクトなコンソールタイプの中央制御盤
- (2) 大型表示装置による運転クルー間の情報共有と重要情報の常時監視



図2. デジタル計装制御設備



図3. CPR1000向け中央制御設備(モックアップ検証設備)



S-VDU : Safety-Visual Display Unit, OPCS : OPerator Station, DCS : Distributed Control System

図1. 計装制御設備のシステム構成

- (3) プラント運転操作設備の故障時に備え、監視操作ディスプレイをバックアップ盤に切り替えて代替監視操作することで設備の安全性を向上

### 3. CPR1000向け計装制御設備の実現

#### 3.1 設備の実現に向けた取組み

海外原子力案件として初めてとなる安全系デジタル計装制御設備の実現に向け、次の取組みを展開した(図4)。

- (1) 複数プラント短期並行生産への対応
- (2) プラント取りまとめエンジニアリング
- (3) 中国原子力規制対応での客先技術支援
- (4) 中国国内でのシステムビルドアップ

#### 3.2 複数プラント短期並行生産への対応

##### 3.2.1 設計標準化と合理化の推進

CPR1000型原子力発電所は、日本国内原子力発電プラントの建設工程と比較すると短納期であり、かつ複数プラント(14基)を並行して製品出荷する必要があった。

また、CPR1000初号機を2007年に受注して以降、CPR1000仕様や客先要求仕様の分析を行ったが、レファレンスプラントの試運転経験反映などの理由から上流設計の仕様変更が発生し、複数プラントへ確実に水平展開する仕組み作りが必要となった。このような状況下で、客先要求仕様を満足しつつ設計品質を確保させるため、徹底した設計標準化と合理化を推進した。

##### 3.2.2 フローティング型スタンダード設計の適用

CPR1000設計の標準化を推進する取組みの一つとして、フローティング型スタンダード設計

を立案し運用した。フローティング型スタンダード設計とは、初号機をスタンダードプラントに設定して、後続プラントで発生した仕様変更や設計懸案事項を一旦スタンダードプラントのマスターに反映し、スタンダードプラントの図面との差分を順次後続プラントに反映する方式である。プラント個別に設計変更する方式に比べて、設計変更管理がシンプルとなり輻輳(ふくそう)する設計作業が合理化された(図5)。

##### 3.2.3 水平展開管理ツールの適用

3.2.2項で述べたスタンダードプラント及び後続プラントに水平展開すべき項目を迅速かつ確実にリストアップするため、各プラントで発生した上流設計の仕様変更や設計懸案事項をデータベース化した水平展開管理ツールを製作し運用した。このツールに登録するデータには、水平展開項目が発生したプラント名、対象設備名、他プラントへの反映要否、実施状況などの情報を付加させ、プラントごとの水平展開リストを容易に作成することを可能とした(図6)。

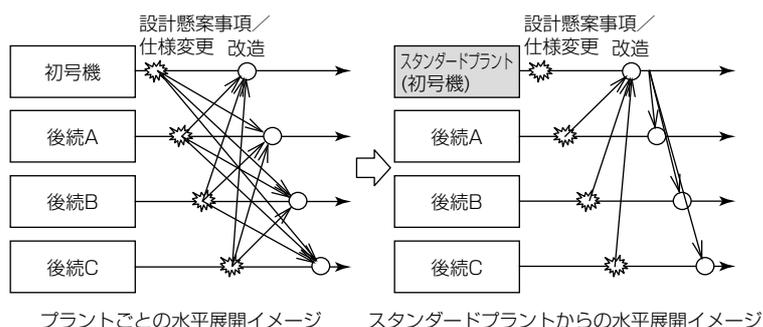
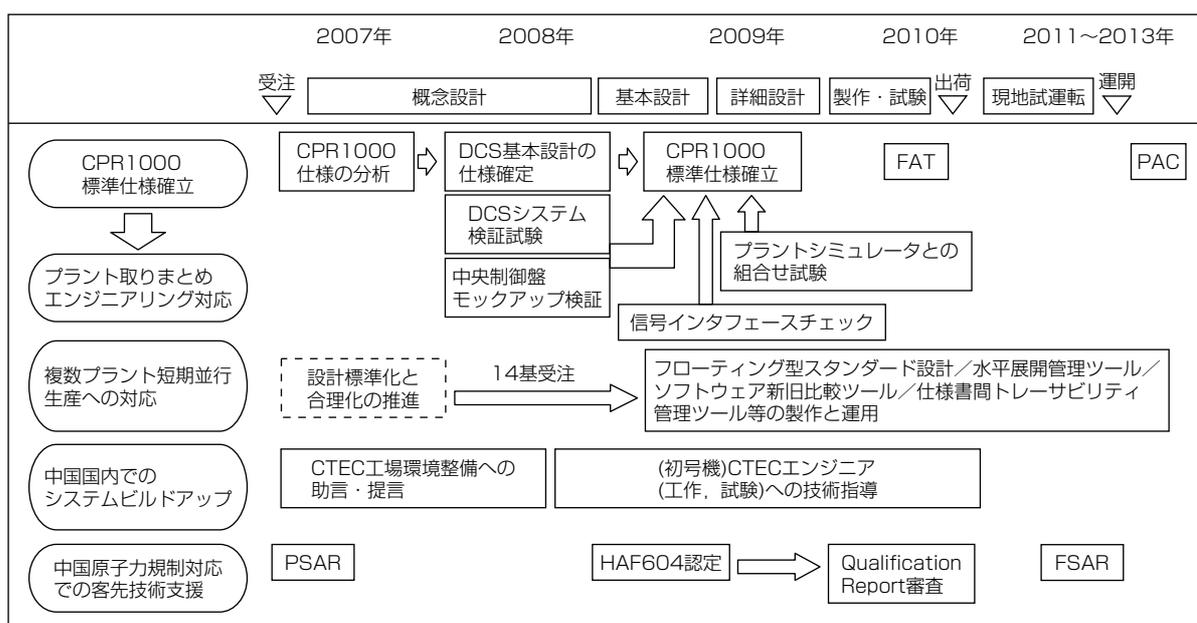


図5. フローティング型スタンダード設計のイメージ



FAT : Factory Acceptance Test(工場客先立会い試験), PAC : Provisional Acceptance Certificate(性能評価検査), HAF604 : 中国の原子力安全設備の輸入管理監督規定, PSAR : Preliminary Safety Analysis Report(建設許可段階審査), FSAR : Final Safety Analysis Report(建設燃料装荷許可段階審査)

図4. CPR1000向け計装制御設備実現に向けた取組み

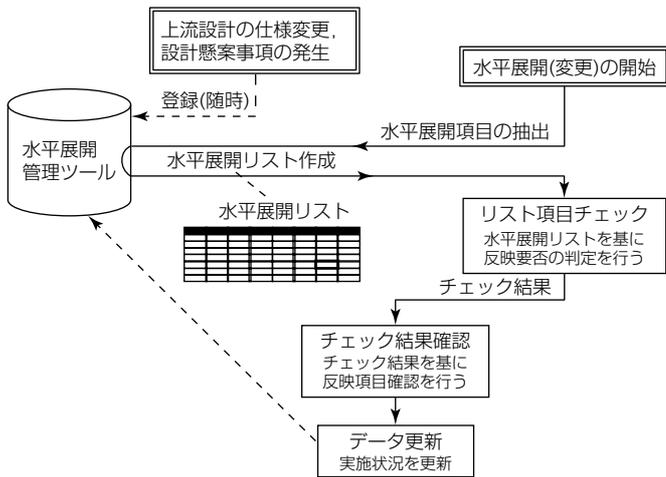


図6. 水平展開管理ツール運用のイメージ

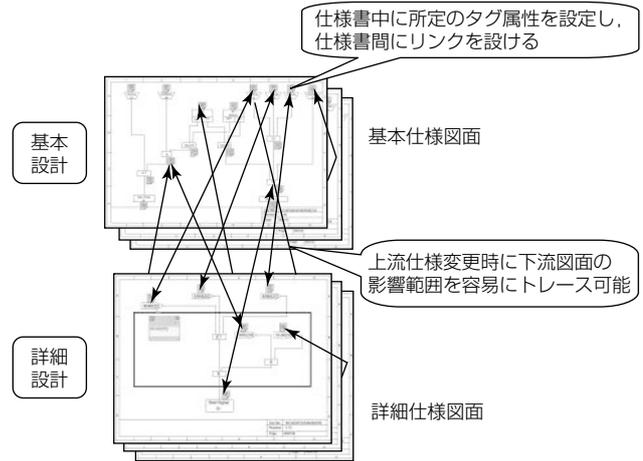


図8. 仕様書間のトレーサビリティの例<sup>(3)</sup>

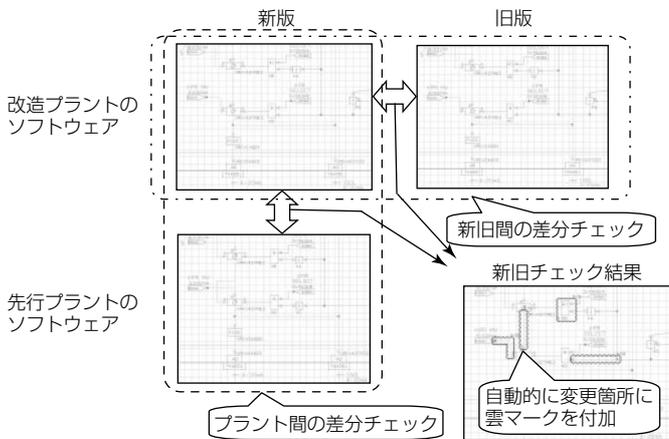


図7. ソフトウェア新旧比較チェックツールの適用例

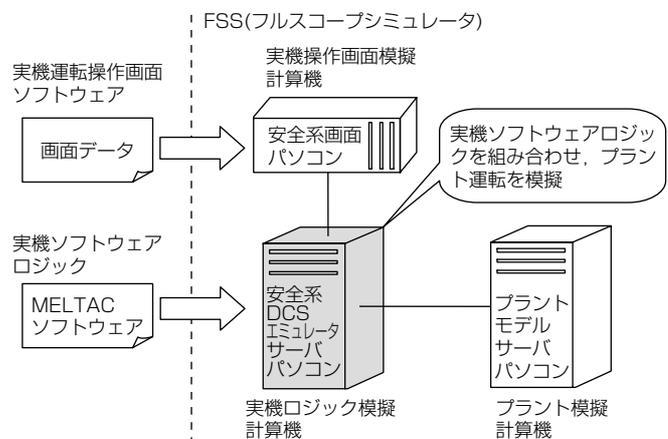


図9. FSSのシステム構成(概略)

3.2.4 ソフトウェア新旧比較チェックツールの適用

上流設計変更に対して迅速かつ確実に対応するため、設計評価(変更点管理)や変更作業を合理的に行える仕組みが必要となった。その取組みの一つとして、計装制御設備に対応したソフトウェアロジックの新旧比較ツールについて述べる。

ソフトウェア製作段階で、ソフトウェアロジックの新旧比較チェックツールを適用することで、ソフトウェア変更時のチェック作業効率と品質の向上を図った。

このツールはソフトウェアバージョンの新旧データを比較し、変更箇所を自動的に抽出するツールであり、変更すべき箇所が正しく変更されていることを容易にチェックすることが可能となった(図7)。

3.2.5 仕様書間トレーサビリティ管理ツールの適用

設計業務の効率化(特に変更時の影響範囲評価)、及び設計品質向上を図る取組みとして、設計段階で仕様書間のトレーサビリティを管理するPD(Portable Document)トレーサー(仕様書間に共通する文字情報をキーとしてリンクを設け、仕様書間のつながりを検索できるようにしたツール)を適用した。このPDトレーサーを使用することで、PDF(Portable Document Format)形式の仕様書を対象に

変更する仕様書間の影響範囲を容易にトレースすることが可能となった(図8)。

3.3 プラント取りまとめエンジニアリング

3.3.1 プラントシミュレータによるプラント動作確認

デジタル計装制御設備が起因となるトラブルをサイトに流出させないため、工場出荷までにサイトトラブルの未然防止を図る必要がある。この取組みとして、運転員訓練を行うプラントシミュレータ(Full Scope Simulator : FSS)を活用し、計装制御設備のソフトウェアロジックと組み合わせ、運転員マニュアルに従ったプラント模擬運転(起動/停止)におけるロジックの妥当性を確認した。

なお、FSSはプラント動作を模擬するプラント模擬計算機、実機運転操作を模擬する実機操作画面模擬計算機、実機計装制御設備のソフトウェアロジックを模擬する実機ロジック模擬計算機から構成される。実機操作画面模擬計算機、及び実機ロジック模擬計算機には、それぞれ実機用のソフトウェアをインストールすることで、プラントの起動や停止といった動きに応じた運転操作の訓練が可能となっている(図9)。

3.3.2 信号インタフェースチェック

計装制御設備と信号インタフェースする現場のセンサや

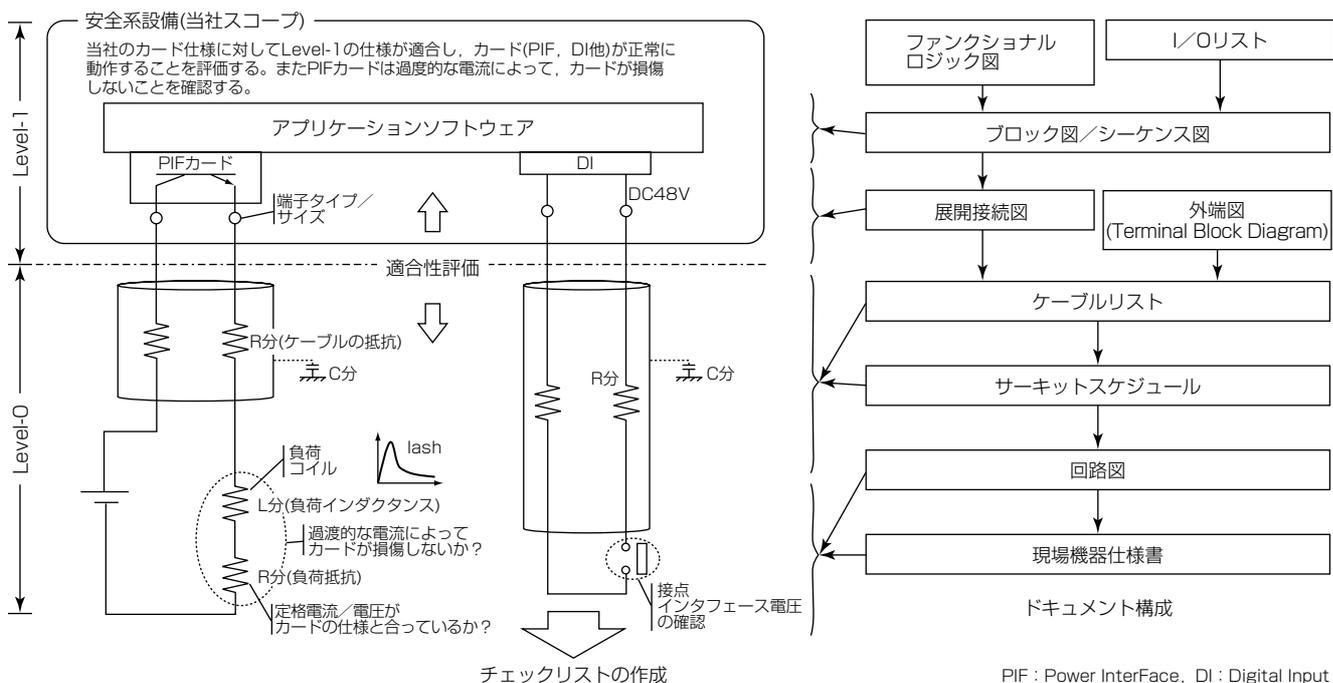


図10. 信号インタフェースチェックリストの作成

ポンプ、モータなどの機器は、数多くの海外ベンダーの製品が発電所に設置されている。これらの現場機器と電氣的(電気仕様)、及び機械的(端子サイズなど)インタフェースの整合性を確認するため信号インタフェースチェックリストを作成し、客先確認を行った(図10)。

3.4 中国原子力規制対応での客先技術支援

中国原子力規制当局(National Nuclear Safety Administration: NNSA)の安全審査には、原子力発電所の建設着工段階のPSAR審査と運転開始前の核燃料装荷段階のFSAR審査がある。

また、実地検査として安全系設備の品質評価となるFATの開始許可、工場出荷許可、サイトでの開梱(かいこん)許可等の審査があり、中国の規制対応は実機製作と並行して段階的に実施される。これら各段階で、当社は客先の規制対応を支援した。

これらに加えて東日本大震災以降は、工場出荷から現地試運転フェーズに対しても燃料装荷の条件として安全系設備の検証(Qualification)に対する厳格な審査が実施された(図11)。

3.5 中国国内でのシステムビルドアップ

CTEC社工場、当社スコープである安全系設備の組立て・試験を行うとともに、安全系設備(当社プラットフォーム)と常用系設備(CTEC社プラットフォーム)との組合せを実現した。

また、当社はCTECエンジニア(工作・試験)への技術指導を行った。工作では制御盤・配電盤の組立てや結線に関

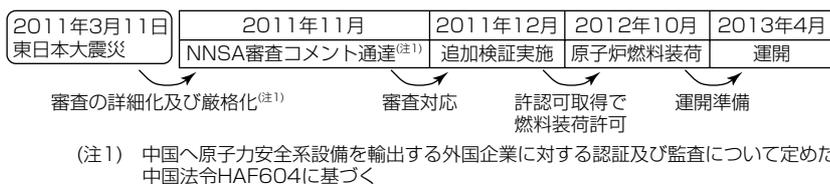


図11. 東日本大震災後の追加審査

する技能教育、試験では工場試験技術及びQA/QC(品質保証・品質管理)活動に関する指導を行った。

4. むすび

中国CPR1000型原子力発電所に適合した計装制御設備の標準仕様を確立し、プラントへの適用を実現した。

中国を始めとする諸外国の安定的な電力供給に対して、その一役が担えるよう技術力と国際競争力の更なる向上を図り、今後も当社原子力事業の海外展開の一環として中国原子力ビジネスへの展開を推進する所存である。

参考文献

- (1) 今瀬正博, ほか: 原子力プラント向け新型中央計装システム開発の取り組み, 三菱電機技報, 72, No.6, 554~559 (1998)
- (2) 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)
- (3) 宗像浩一, ほか: 仕様書間のトレーサビリティ管理技術, 三菱電機技報, 87, No.4, 224~227 (2013)