

商業用原子力発電炉に係る新規制基準に適合した耐震配電盤

Seismic-Resistant Switchboards Conforming to New Regulatory Standards Concerning Commercial Nuclear Reactors

今野 雅行 KONNO, Masayuki

藤本 義雄 FUJIMOTO, Yoshio

長澤 武則 NAGASAWA, Takenori

原子力発電所をはじめとした原子力関連施設では、機器の重要度に応じて耐震性が要求される。東日本大震災以降、原子力規制基準が見直され、より高い耐震性を持つ機器が求められるようになった。これに応えるため、富士電機では、新規制基準に適合した高い剛性を持つ耐震配電盤を開発してきた。剛性を評価するための固有振動数解析と、可動部を持つ動的機器の機能維持を確認するための加振試験を行い、目標とする固有振動数 30 Hz 以上を達成する見通しを得ることができた。

Nuclear power plants and other nuclear-related facilities are required to have a certain level of seismic capacity according to the importance of their equipment. After the Great East Japan Earthquake, the nuclear regulatory standards have been revised and demand a greater seismic capacity of related equipment. To meet the demand, Fuji Electric has been developing high-rigidity seismic-resistant switchboards that conform to the new regulatory standards. We evaluated the rigidity with natural frequency analysis and verified that dynamic components can retain their functions with vibration testing. The results show that we would achieve a target natural frequency of 30 Hz or more.

① まえがき

原子力発電所をはじめとした原子力関連施設において、安全性を確保する上で主要な配電盤には、地震時に生じる加速度によって盤自体が破損しないことや、内部の電気機器が誤動作しないことなどが要求されている。地震時に配電盤および内部の電気機器に生じる加速度（応答加速度）は、一般的に配電盤の固有振動数が高いほど低減できる。そのため、安全上重要な配電盤は、設置される建屋よりも十分に固有振動数の高い剛構造とし、耐震性を確保している。

2011年に発生した東日本大震災以降、商用原子力発電所において配電盤の耐震性強化が進められ、耐震配電盤の需要が高まる状況にあった。富士電機は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構を中心とした研究施設向け耐震配電盤の納入実績があった。さらに、商用原子力発電所向けの耐震配電盤として採用されるようにするために、耐震配電盤の開発に取り組んできた。課題は次のとおりである。

研究施設向けでは、固有振動数が 20 Hz 以上の剛構造とした設計で十分であった。しかし、商用原子力発電所向けでは、固有振動数が 30 Hz 以上であることを要求される場合があり、これに応える構造とする必要がある。

2013年7月に改訂された「商業用原子力発電炉に係る新規制基準」（新規制基準）では、設計時に想定しなくてはならない地震の規模が見直され、以前よりも厳しい地震力（配電盤に生じる加速度）に耐える構造とする必要がある。

本稿では、開発を進めてきた新規制基準に適合した耐震配電盤について述べる。

② 耐震設計

従来の耐震設計では、耐震配電盤の耐震強度は、設計用地震力よりも十分高くして、水平加速度として 1G、鉛直加速度として 0.5G を基準にしていた。東日本大震災以降に耐震設計に使用する基準地震動が見直されることになり、配電盤に高い耐震性が要求されるようになった。設計用地震力は設置する地域の地盤を考慮するため地域により異なるが、その最大値は、水平加速度で 3G、鉛直加速度で 2G となった。

耐震配電盤の固有振動数は、20 Hz 以上で十分であるとされてきたが、地域によっては 30 Hz 以上が必要である場合もあるので、開発目標は 30 Hz 以上とした。

耐震設計条件は次のとおりである。

(a) 固有振動数：30 Hz 以上

(b) 耐加速度：水平方向 3G 以上、鉛直方向 2G 以上

耐震配電盤の開発フローを図 1 に示す。盤設計の手順は、剛構造設計、動的機器の機能維持検証、実機モデル検証の三項目に分けられる。

(1) 剛構造設計

製作図に基づき盤体の固有振動数解析を行う。固有振動数が目標を満足する盤体となるように、梁（はり）の追加や板厚の変更などの構造の見直しを行う。

(2) 動的機器の機能維持検証

盤内の収納機器のうち、可動部を持つ動的機器（遮断器、保護継電器、補助継電器、タイマなど）は地震発生時に機能を維持できるかどうかを構造解析から確認することはできない。そこで、実際に機器を単体で加振して評価し、機能維持確認加速度を把握する。完全に固定せずに引出し部を持つ機器については、実機と同じ固定状態を模擬して加振試験を行い、機能維持確認加速度を把握する。

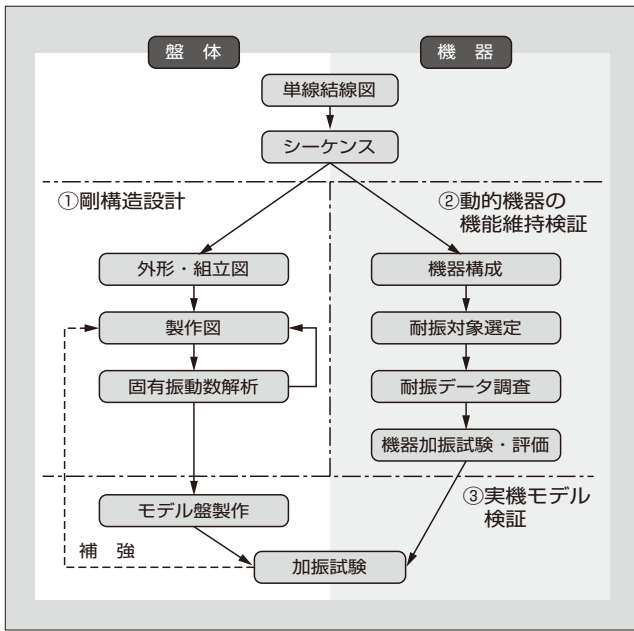


図1 耐震配電盤の開発フロー

(3) 実機モデル検証

(1)の構造設計の結果を検証するため、実機サイズのモデル盤である耐震検証用高圧配電盤を製作し、加振試験を行って固有振動数を確認する。また、(2)で評価した収納機器を耐震検証用高圧配電盤に収納し、加振時の機能を確認して健全性を確認する。

3 高圧配電盤の高耐震化

3.1 耐震配電盤設計

高圧配電盤は、供給される電力を負荷設備の仕様に合わせて分配する設備であり、遮断器、保護継電器、補助継電器、変成器、変流器などから構成されている。

今回採用した高圧配電盤は、真空遮断器（VCB）を上下2段に配置し、定格電流は一般的に使用している1,200 Aまたは2,000 Aとし、遮断容量は40 kAとした。保護継電器は、電力向けで一般的に使用しているデジタル型多機能リレー「F-MPC60B」を採用した。主な仕様を表1に示す。

高圧配電盤は、遮断器などの引出機器の主回路断路部にシャッタを装備している。断路を行った上で遮断器を試験位置に引き出すと、自動的にシャッタが閉じて主回路充電部が覆われ、点検時などの安全性を向上させている。また、主回路用補助機器（計器用変圧器、接地計器用変圧器、避雷器）は、移動台車に搭載して交換が容易に行えるようにするとともに収納スペースのコンパクト化を図っている。しかし、保守性を考慮し、真空遮断器などを容易に交換できるようにした構造が、耐震性の面で弱点とならないような工夫が必要である。そこで、盤のフレームと機器を面接触させることで機器の揺れを抑えて耐震性を確保するとともに、クランプ機構を採用して固定と出し入れを容易にしている。また、真空遮断器は、運転位置においても試験位置においても耐震性を確保して

表1 高圧配電盤の主な仕様

項目	仕様	
高圧配電盤	盤型式	JEM-1425 MWG
	定格電圧, 相数	7.2 kV, 三相3線式
	定格周波数	50/60 Hz
	定格母線電流	3,000 A
	定格短時間電流	40 kA, 2秒
	定格絶縁電圧	商用周波耐電圧: 22 kV, 1分間 雷インパルス耐電圧: 60 kV
外形	W1,000 × D2,600 × H2,300 (mm)	
真空遮断器 (VCB)	定格操作電圧	AC100/200 V, DC100/125 V
	定格遮断電流	40 kA
	定格電流	1,200 A, 2,000 A
	投入操作方法	電動・スプリング式

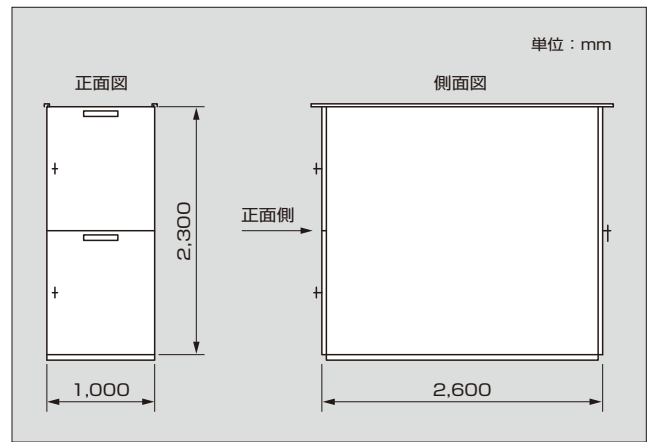


図2 耐震検証用高圧配電盤の外形図

いる。耐震検証用高圧配電盤の外形図を図2に、組立図を図3に示す。

3.2 固有振動数解析

耐震設計による盤の設計図を基に、構造解析ソフトウェア NX NASTRAN を用いて固有振動数解析を実施した。解析結果を図4に示す。36.7 Hz で盤筐体（きょうたい）全体の揺れが発生することが解析結果として得られ、固有振動数が耐震設計条件を満足することが確認できた。

3.3 耐震検証用高圧配電盤の製作

図5に、耐震検証用高圧配電盤の外観を示す。耐震性を強化するため、角パイプで骨組み（縦柱および天井の合計8辺）を構成し、サイドパネルと組み合わせて剛性を高めている。また、30 Hz以上の固有振動数を確保するために、ベースフレームと盤本体との連結を強化している。

3.4 加振試験

高圧配電盤の耐震性を検証するために加振試験を行った。図6に、加振台への据付け状況と盤内の機器取付け状況を示す。

固有振動数の確認および耐加速度を測定するために盤筐

特集 持続可能な社会の実現に貢献する創エネルギーと社会インフラソリューション

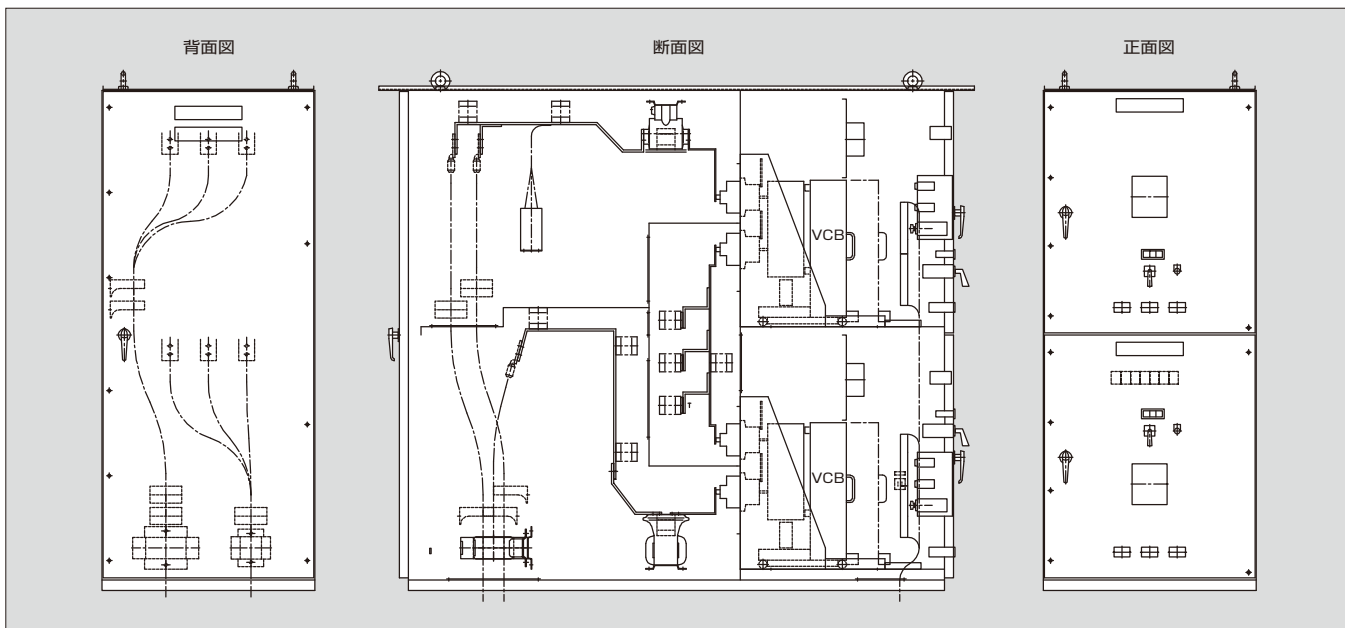


図3 耐震検証用高圧配電盤の組立図

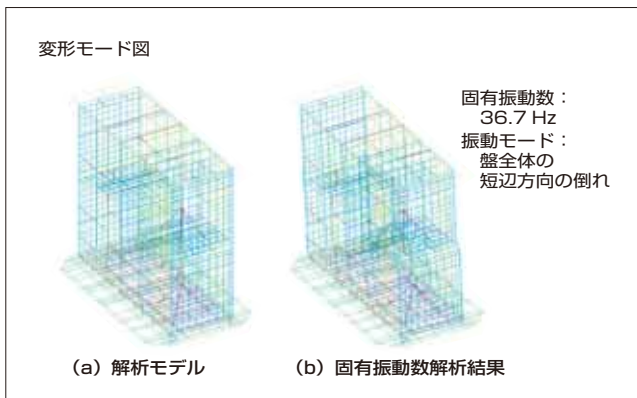


図4 固有振動数解析結果

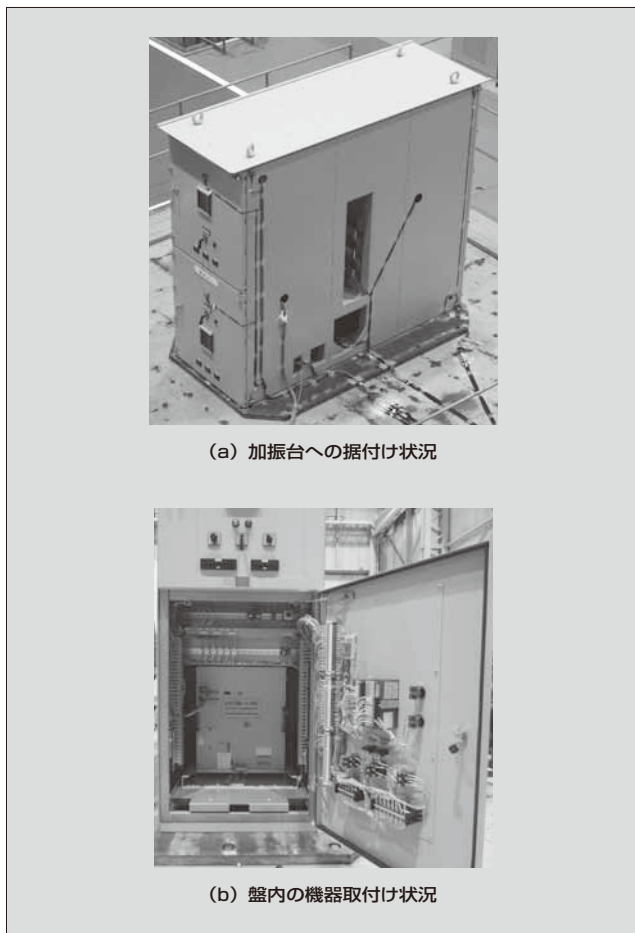


図6 加振試験の状況



図5 耐震検証用高圧配電盤

体と主要な内部収納機器に加速度計を取り付け、加振時の^(注1)応答加速度を測定した。入力加速度 100 Gal (正弦波) において、5 ~ 50 Hz の範囲を 0.1 Hz/s で掃引し、水平、鉛

<注1> Gal : 加速度の単位で 1 Gal=0.01 m/s²

直の3方向の固有振動数を測定した。図7は、水平方向(奥行方向)について振動台に取り付けた加速度計を基準とし、盤体フレームに取り付けた加速度計の応答倍率を周波数に対してプロットしたものである。応答倍率が最大になる周波数が固有振動数となる。この盤筐体の固有振動数

特集 持続可能な社会の実現に貢献する創エネルギーと社会インフラソリューション

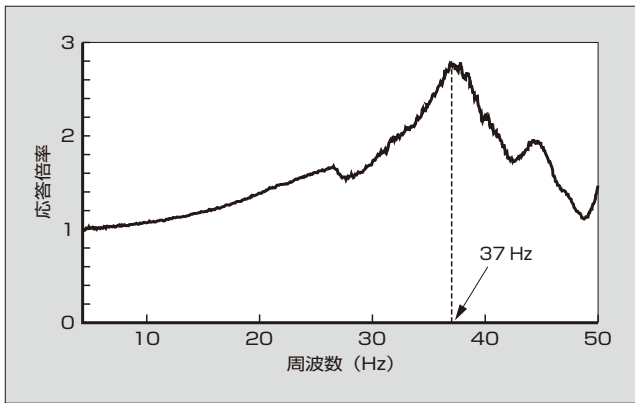


図7 加振試験結果

の測定値は約 37 Hz であり、解析により求めた値と非常に一致を示した。

さらに、各方向ともに固有振動数は、30 Hz を超える見通しを得ている。

4 低圧配電盤と収納機器の高耐震化

パワーセンタやコントロールセンタといった低圧配電盤の開発も高圧配電盤と同様の設計条件と手順で行い、耐震性を確保している。

また、収納機器を盤体に取り付けた状態で加振試験を行

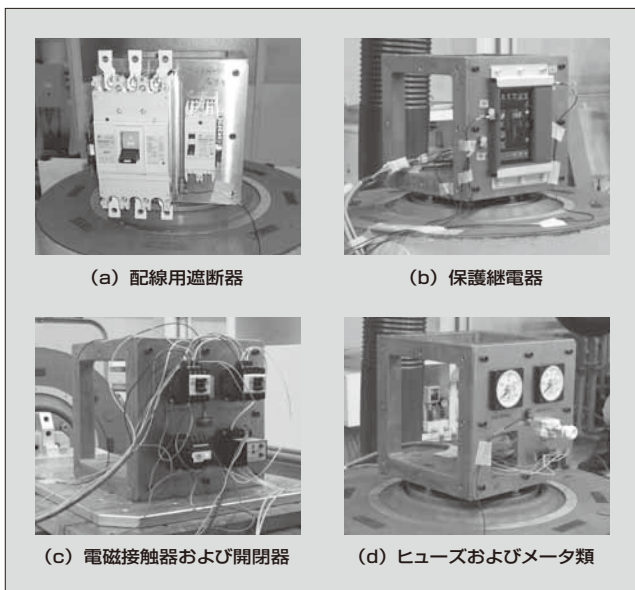


図8 機器加振試験の状況

うとともに、単体での加振試験を実施することにより、機器ごとの機能維持確認加速度を把握している。図8に、機器加振試験の状況を示す。

機器には、配線用遮断器 (MCCB)、保護継電器、補助継電器など、高圧配電盤と低圧配電盤で同じ機種が使用されているものがあるため、重複しているものは代表型式を決めて単体で評価を実施し、耐震性を把握している。

5 あとがき

商業用原子力発電炉に係る新規制基準に適合した耐震配電盤について述べた。新規制基準対応の耐震配電盤の開発において、高圧配電盤の収納機器評価と耐震解析、応力解析から始め、低圧配電盤の耐震解析、モデル盤での検証、収納機器の限界加速度の把握などを順次実施してきた。

今回、実機サイズの高圧配電盤を試作して加振試験を行い、目標とする固有振動数 30 Hz の達成の見通しを得た。これにより、高圧配電盤から低圧配電盤まで一連の配電盤について、新規制基準などで要求される耐震性を持つ配電盤の開発が完了した。

今後、耐震配電盤の供給により、原子力発電所をはじめとした原子力関連施設における安全性向上に貢献していく所存である。



今野 雅行

原子力関連施設向け電気設備の技術取りまとめ業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部発電プラント事業部原子力プラント部主査。



藤本 義雄

配電盤の製品設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部神戸工場盤装置部課長補佐。日本電機工業会スイッチギヤ技術専門委員。



長澤 武則

配電盤の構造設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部神戸工場製造部。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。