

# 非常用ディーゼル発電機のコンピュータシミュレーションによる過渡性能評価

## Evaluating the Transient Performance of Emergency Diesel Generators by Computer Simulation

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)\*

**要約** 研究対象の非常用電源系統は、福島第一原子力発電所事故に見られるように、通常の電源系統が故障した場合に、非常用ディーゼル発電機 (EDG) から非常用炉心冷却系統 (ECCS) 等に安定した電力を供給し、原子炉の安全を維持するうえで極めて重要な電源である。米国の原子力発電所では、NRC の規制要求に対応し、非常用電源系統の設計検証、不具合原因の究明などに電気過渡応答解析プログラムを活用したシミュレーションを実施している。

一方、国内原子力発電所においては、電気過渡応答解析プログラムを活用したシミュレーションはまだ行われていないが、今後は、米国と同様に、規制対応として必要になることも予想される。

このような状況を踏まえ、本研究では、①国内 PWR 発電所の EDG の負荷投入シーケンスに対する電気過渡応答解析を行うための高精度の実機相当モデルの開発および定期点検時の実機試験データとの比較によるモデルの妥当性の検証、②設計時および工場試験時のデータが少ない古い発電所についても、実機試験データとの比較・調整により、高精度のモデル開発が可能であることの検証、③開発したモデルを使用し、実機プラントのデータに基づき ECCS が作動した場合の設計想定負荷によるシミュレーションの実施とその結果が、NRC の RG1.9 に定められた EDG 過渡応答の基準値内であることの確認、を実施した。

**キーワード** 非常用電源系統、非常用ディーゼル発電機、電気過渡応答解析プログラム、シミュレーション、非常用炉心冷却系、EDG、ECCS、NRC

**Abstract** As demonstrated by the accident at Fukushima Daiichi nuclear power station, the emergency power source system (EPSS) plays a key role in maintaining a stable supply of power from emergency diesel generators (EDGs) to the emergency core cooling system (ECCS), etc., to keep the reactor in a safe condition when the normal power source systems fail. In nuclear power plants in the United States, computer simulations using electrical transient analysis programs are performed, in conformity with NRC's regulatory requirements, to verify the EPSS design and to investigate the cause of troubles, for example.

On the other hand, it is not the case at present in domestic nuclear power plants, but it is expected that the simulation using electrical transient analysis programs is also needed, as part of regulatory requirements as in the United States in the future.

With this background; ① we developed a highly accurate model applicable to an actual plant to enable electrical transient analysis of EDG load input sequences at PWR plants in Japan and verified the model with actual plant test data obtained by periodic inspections; ② even for aged nuclear power plants with insufficient data of the design and factory tests, we verified by comparison and calibration with the test data of actual plants that an accurate model can be developed; ③ using the developed model, we performed a simulation assuming the design-basis electrical load after the actuation of ECCS and verified that the result complied with EDG transient response reference value as per RG1.9 of NRC.

**Keywords** emergency power source system, emergency diesel generator, electrical transient analysis program, simulation, emergency core cooling system, EDG, ECCS, EPSS, NRC

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

## 1. 背景および目的

研究対象の非常用電源系統は、福島第一原子力発電所事故に見られるように、通常の電源系統が故障し停電した場合に、非常用ディーゼル発電機（EDG）から非常用炉心冷却系統（ECCS）等に安定した電力を供給し、原子炉の安全を維持するうえで極めて重要な電源である。

INSS JOURNA, Vol.17 (2010) に掲載された論文<sup>(1)</sup>では、以下のことを報告した。①多くの米国の原子力発電所では、非常用ディーゼル発電機（EDG）が、外部電源喪失時にも、ECCS に安定した電力を供給可能な事設計検証、不具合原因の究明などに、電気過渡応答解析プログラムを活用したシミュレーションを実施していることが、文献調査、米国発電所のアンケート調査によりわかった。②一方、国内原子力発電所においては、まだほとんど活用されていない。③また、設計データの入手しやすい新しい国内原子力発電所の EDG の負荷投入シーケンス試験の過渡応答をシミュレーションした結果と実機試験データを比較し、精度の高いシミュレーションの可能なことを検証した。

米国では、EDG の定常状態の電圧（定格 $\pm 10\%$ ）、周波数（定格 $\pm 2\%$ ）の基準に加え、過渡状態の基準がある。一方、国内では定常状態の基準（電圧、周波数とも定格 $\pm 5\%$ ）のみを保安規定で定めており、基準に違いがある。また、NRC は、設計検証として ECCS 機器の全流量による運転性能評価を要求しているが、実機試験では検証困難なため、シミュレーションにより、設計検証している事業者もある。国内原子力発電所においても、今後は、米国と同様に、規制対応として、電気過渡応答解析プログラムを活用したシミュレーションが必要になることも予想される。

このような背景から、設計検証を保証するために、設備の健全性を確認する新たな方法を開発する必要がある。

本研究の目的は、国内 PWR 発電所の EDG の負荷投入シーケンスの過渡応答をシミュレーションするための精度の高い実機相当モデルを定期点検時の実機試験データとの比較、調整により開発することである。設計データが入手しやすい新しい発電所の実機相当モデルは、INSS JOURNA, Vol.17 (2010) に掲載された論文により、精度の高いモデルが開発できたことを報告したが、論文全体の理解のしやすさに配慮して、

本論文にも必要と考える部分は再掲載した。

本論文では、設計時および工場試験時のデータが少ない古い発電所についても、実機試験データとの比較・調整により、高精度のモデル開発が可能であることを検証する。

これにより、設計データが入手しやすい新しい発電所はもちろん、設計データの入手が困難な古い発電所についても、この手法が適用できることを確認できる。

開発したモデルを使用したシミュレーションにより、「外部電源喪失 + LOCA」発生時に EDG が、ECCS に安定した電力を供給できることを検証する。（定期点検時の実機試験は、循環ラインによる試験であり、ECCS が実作動する時の負荷より小さい。そこで、ECCS が実作動する時の設計想定負荷を EDG に投入して EDG の性能を検証する。）

### (1) 設計検証事例

米国原子力発電所のアンケート調査から得られたシミュレーションによる米国の設計検証の事例は、以下のとおりである。

- ・ EDG の電圧／周波数の過渡変動の設計検証。今回の論文の内容はこれに該当する。
- ・ EDG の電圧過渡変動中に低電圧リレーが誤作動しないことの設計検証により、ECCS の起動失敗を

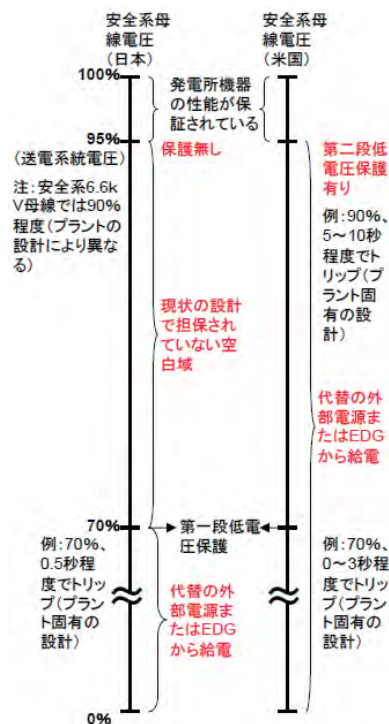


図1 日米の低電圧保護の概略図

防止.

- ・ ECCS 負荷が、設計要求時間内に定格回転数に到達することの設計検証.
- ・ EDG ガバナ (回転数制御装置) の設計変更時の検証.

(2) 不具合事例

設計検証の不備による不具合事例は以下のとおりである.

- ・ 外部電源電圧低下時 (例: LOCA などの事故時 ⇒ 発電機トリップ ⇒ 外部電源電圧が低下 (図 1 参照)) 時に ECCS など安全関連機器が正常に機能することの設計検証の不備.  
⇒ 1976 年, Millstone 原子力発電所において, 外部電源電圧低下による複数の安全系 480V 電動機が運転不能になる事象が発生し, 外部電源電圧の低下に係る基準が強化された<sup>(2)</sup>.
- ・ 2010 年 10 月 22 日, Prairie Island 原子力発電所 1 号機において, EDG あるいは外部電源による安全注入負荷投入試験時に, 電圧の瞬時低下により安全系の充電器が機能喪失する可能性が判明<sup>(3)</sup>.

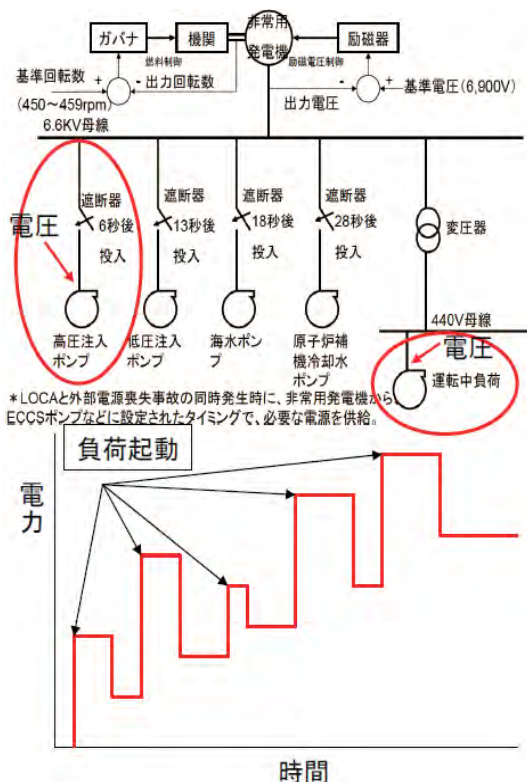


図 2 従来の設計検証手法の概要

2. EDG 設計検証手法比較

2.1 従来手法と本研究の EDG 設計検証手法比較

(1) 従来の設計検証手法

従来の設計検証手法の概要を図 2 に示す.

- ① 電圧低下は, 最大出力負荷の起動時の系統各部の 1 点の電圧低下のみを評価し, 過渡応答は評価していない.
- ② 周波数は, 別途計算した方形波形状に単純化した負荷が, エンジンに加わった場合の過渡応答をコンピュータシミュレーションにより評価している.
- ③ 電圧と周波数の評価を分割し単純化した評価手法である.

(2) 本研究の設計検証手法

- ① 発電機, ポンプ, ファンの電気系, 機械系を包括した実機等価解析モデルを作成し, 電気系の過渡応答 (電流, 電圧, 周波数) および機械系の過渡応答 (回転数, トルクなど) を包括した正確な過渡応答を評価できる.
- ② 発電所のディーゼル発電機およびその負荷 (ポンプ, ファン, ヒータ) の過渡応答が, パソコン上でそのまま (あるがままに) 再現できる.

2.2 本研究で使用した EMTP<sup>(4)</sup> (5) (電磁過渡プログラム) の概要

- ① 米国エネルギー省ボンネビル電力庁 (BPA) が, ドメル博士を中心に 1966 年から開発を開始した.
- ② 1980 年代前半まで様々な改良が実施された.
- ③ 米国政府が公開し, 世界中で広く利用され, 電気/電子回路の定常・過渡解析の標準プログラムとなっている.
- ④ この最終版 (M42) をもとに, スコット博士が, パソコン上で動作する ATP-EMTP を開発した.

2.3 EMTP を効率的に使用するためのグラフィカルユーザーインターフェースプログラム (ATPDraw) の概要

図 3 に示すグラフィカルユーザーインターフェイス (GUI) プログラム (ATPdraw<sup>(6)</sup>) は, BPA がセンサーとなって, Hans Kristian Høidalen 他によって

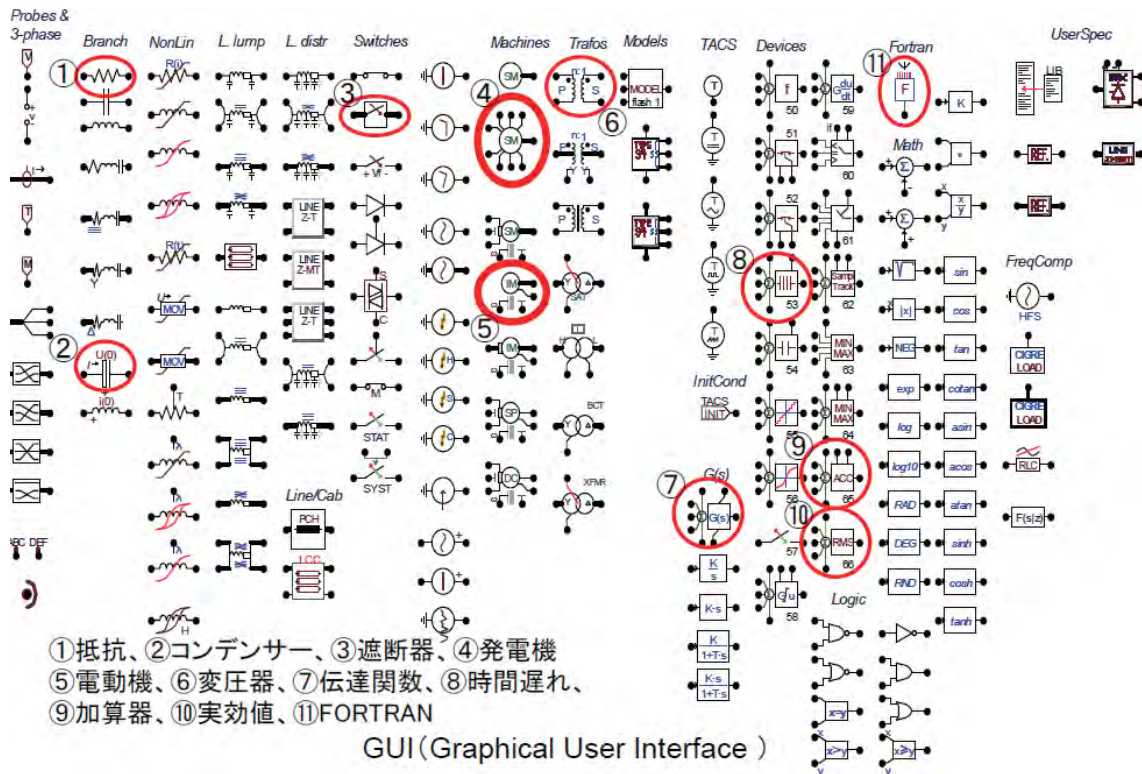


図3 グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI) プログラム (ATPdraw)

開発され、発電機、電動機などに対応するアイコンを単線結線図のとおり配置して接続し、それぞれのアイコンを開いて回路定数を入力することで解析モデルの作成が容易にできる。赤丸で囲ったアイコンは、発電機、電動機など、今回のシミュレーションの中で多用したものである。

### 3. 新しい発電所の非常用電源システムのモデル化とシミュレーションの結果

#### 3.1 モデル化

##### (1) 非常用電源系統の実機等価モデル

図4は、シミュレーションを実施するために構築した非常用電源系統の概略実機等価解析モデルである。負荷は、誘導電動機で駆動されるポンプ5台を接続して、順次起動することを示しているが、実際のシミュレーションモデルは、18台のポンプ、ファンに加えてヒータ、一定力率の負荷が接続されている。発電機の電圧は、励磁器/AVRにより6900Vに制御される。周波数は、2%のドループ<sup>(7)</sup>のあるガバナーにより、61.2Hz(無負荷)~60Hz(全負荷)に制御され

る。

##### (2) 入力データ

表1は、シミュレーションに必要な入力データの種類、参考情報をまとめた。

##### (3) 非常用ディーゼル発電機のモデル

図5は、同期発電機のアイコンを示し、アイコンを開いて発電機の電圧、極数、皮相電力、リアクタンス、抵抗、時定数、慣性モーメントなどを入力した。

図6は、EDGの回転数制御を行うためのWoodward社のUG-40ダイヤル型ガバナーの概略機構説明図および伝達関数のブロック図である。

図7は、EDGの電圧制御を行うための単線結線図およびIEEE Std 421.5-2005のType ST2A-Compound-source rectifier 励磁器の伝達関数のブロック図である。

##### (4) 電動機、ポンプ、ファンのモデル

図8は、電動機のアイコンを示し、アイコンを開いて電動機の極数、リアクタンス、抵抗などを入力した。

図9は、ポンプ、ファンなどの機械負荷を等価な電気回路としてモデル化したものである。

抵抗、コンデンサー、電流源に流れる電流 (A)

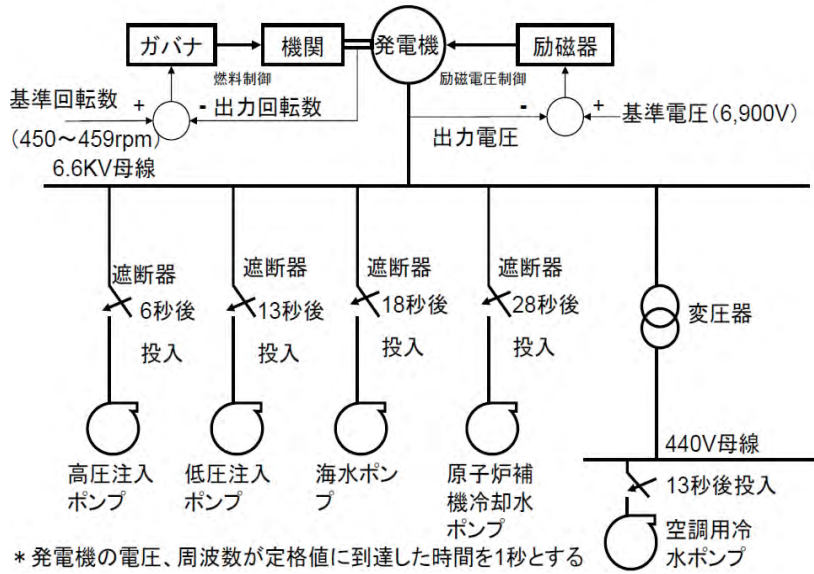


図4 非常用電源系統の概略実機等価解析モデル

表1 新しい発電所の主な入力データ

機 器	入 力 デ ー タ
非常用ディーゼル発電機のモデル	⇒電圧, 周波数, 極数, リアクタンス, 時定数, 慣性モーメントを設計図書から入手
ガバナーのモデル	⇒メーカー (WOODWARD) に作成を委託
自動電圧調整器 (AVR) のモデル	⇒ IEEE Std 421.5-2005 の Type ST2A (8) を使用
電動機, ポンプ, ファン のモデル	⇒電動機の等価回路定数は, 銘板データ (回転数, 起動電流, 起動トルク, 力率, 効率など) から WINDSYN というプログラムにより推定 ⇒ポンプ, ファンの慣性モーメントは, 設計図書から入手 ⇒流体の軸換算慣性モーメントは, 実機試験データから推定

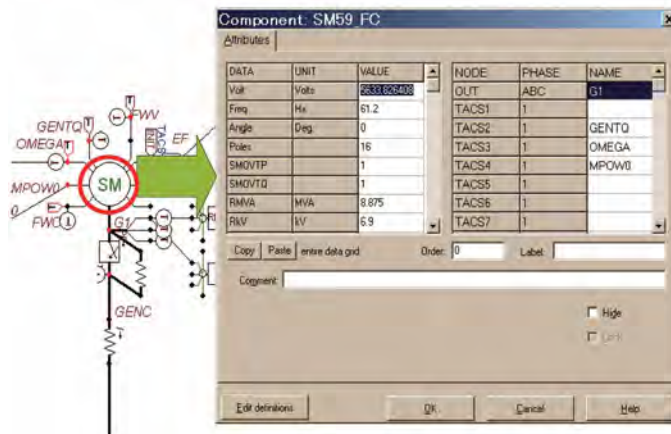


図5 同期発電機のアイコン

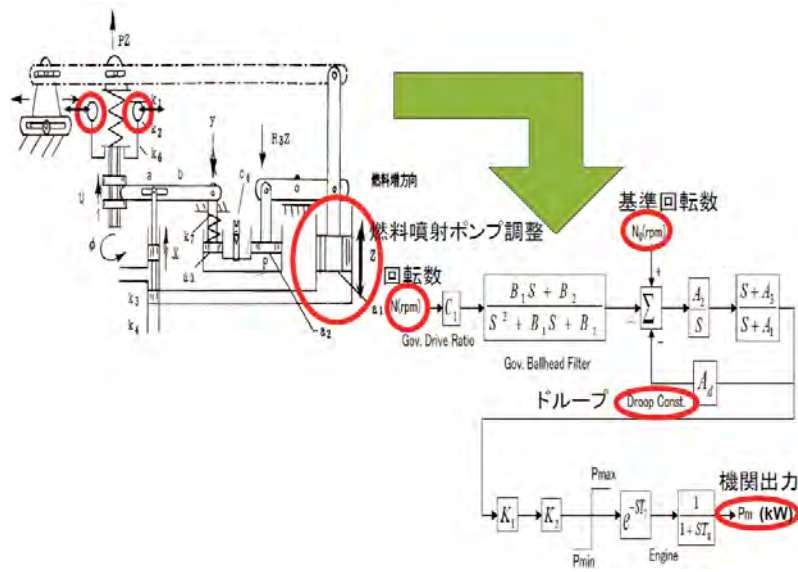
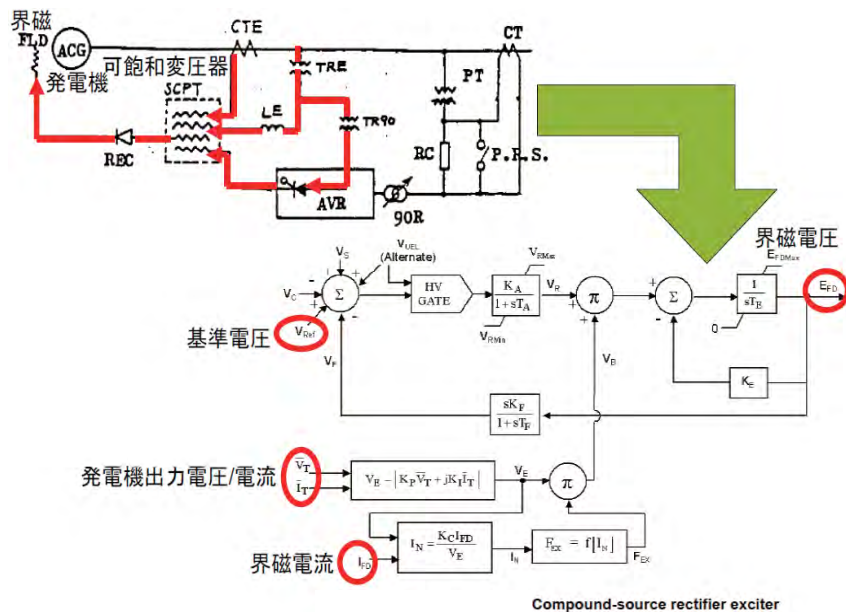


図6 Woodward社のUG-40ダイヤル型ガバナー



IEEE Std 421.5™ -2005, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies  
 Copyright (C) IEEE Std 421.5™ -2005. All right reserved.

図7 IEEE Std 421.5-2005 の Type ST2A-Compound-source rectifier 励磁器

が、電動機のトルク (N・m) に対応し、それぞれの素子の対地電圧 (V) が、電動機の角速度 (rad/s) に対応する。流体と配管表面などとの摩擦力は、流速の約二乗に比例し、電動機から見ると軸トルクとして作用するので、その軸トルクは、角速度の約二乗に比例する。したがって、電圧 (角速度に対応) の二乗に

比例する電流源 (トルクに対応) としてモデル化した。

電動機、ポンプ、ファンの慣性モーメントないしは、流体の質量を電動機の軸から見た慣性モーメント、トルクおよび角速度の間には、

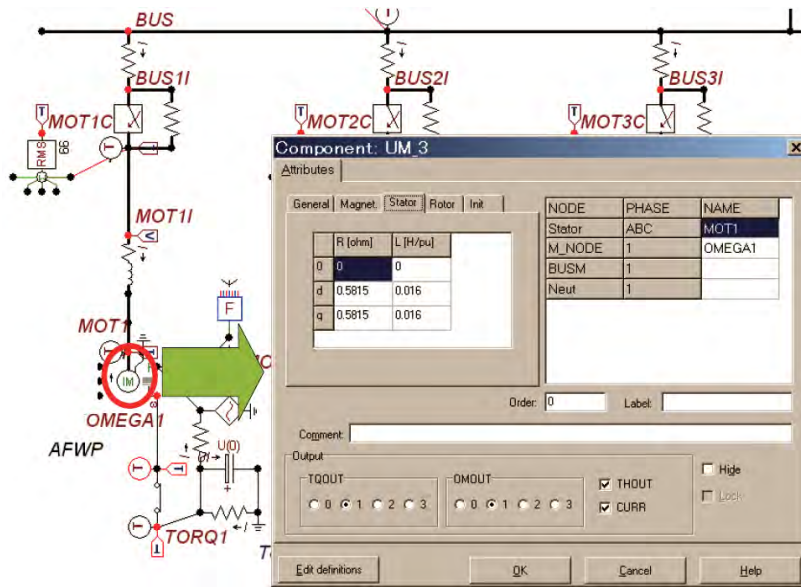


図8 電動機のアイコン

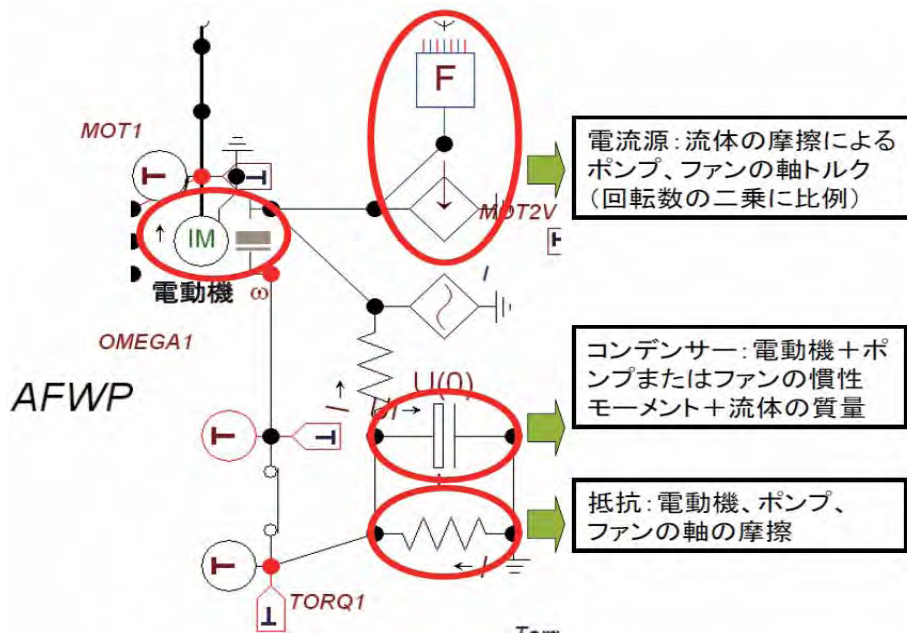


図9 ポンプ、ファンなどの機械負荷の等価電気回路

$$T = J \times d \omega / dt$$

T: トルク (Nm), J: 慣性モーメント (Kg m<sup>2</sup>), ω: 角速度 (rad/s), t: 時間(s)

の関係があり、数式の形状が、

$$I = C \times d V / d t$$

I: 電流(A), C: 静電容量(F), V: 電圧(V), t: 時間(s)

と同じなので、慣性モーメントは、静電容量としてモデル化できる。電動機、ポンプ、ファンの慣性モー

メントは、建設図書、メーカーから入手した。

また、流体の質量を電動機の軸から見た慣性モーメント J は、

$$1/2 \times m \times v^2 = 1/2 \times J \times \omega^2$$

m: 配管内の流体の質量(Kg), v: 配管内の流体の平均流速(m/s), J: 流体の質量を電動機の軸から見た慣性モーメント(Kg m<sup>2</sup>), ω: 電動機の軸の角速度(rad/s)

により算出できる。

あるいは、実機試験データが入手できる場合は、シミュレーションによるポンプ、ファンの起動時間と実機試験データの起動時間が一致するように静電容量を調整する。

軸受の粘性摩擦係数、トルクおよび角速度は、

$$T = D \times \omega$$

$T$ : トルク (Nm),  $D$ : 粘性摩擦係数 (Nms/rad),  $\omega$ : 角速度 (rad/s)

の関係があり、数式の形状が、

$$I = 1/R \times V$$

$I$ : 電流 (A),  $R$ : 抵抗 (ohm),  $V$ : 電圧 (V)

と同じなので、粘性摩擦係数は、抵抗の逆数としてモデル化できる。

### 3.2 シミュレーション結果

(1) シミュレーションと実機試験データの比較、調整

図 10, 11, 12, 13 は、それぞれ有効電力 (kW)、電流 (A)、電圧 (V)、周波数 (Hz) について、シミュレーション結果と実機試験データを比較し、発電機の励磁器/電圧調整器 (AVR) モデルの定数、電動機モデルの定数、ポンプ/ファンモデルの定数を調整することにより、できるだけ一致させ、精度の高いモデルを開発した。

(2) ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時のシミュ

レーション結果

前節までに説明した精度の高いモデルにより、実機試験では設計検証の困難な、「ECCS 実作動時の設計想定負荷 (グラフ中の設計負荷)」を EDG に加えた場合の有効電力 (kW)、電圧 (V)、周波数 (Hz) のシミュレーション結果を図 14, 15, 16 に示す。

有効電力については、ラッシュ負荷許容曲線内であり、電圧、周波数については、米国 NRC の規制ガイド 1.9<sup>(9)</sup> の基準値内であることを確認できた。

## 4. 古い発電所のモデル化とシミュレーションの結果

### 4.1 モデル化

(1) 古い発電所のモデル作成上の問題と解決策

古い発電所では、発電機や負荷 (ポンプ、ファン、ヒータ) のモデル作成に必要な設計データ、工場試験データが集まらない。

そこで、以下のように不足データを補った。

- ・ 発電機の不足データ⇒発電機の定数の関係式<sup>(10)</sup>から算出した。(例: 横軸過渡リアクタンス = 直軸過渡リアクタンス × 2)
- ・ ECCS 電動機の不足データ⇒最近の電動機カタログから、出力の近い電動機のデータを仮入力⇒実機試験データとシミュレーションが合うようにデータの調整を何度も繰り返した。

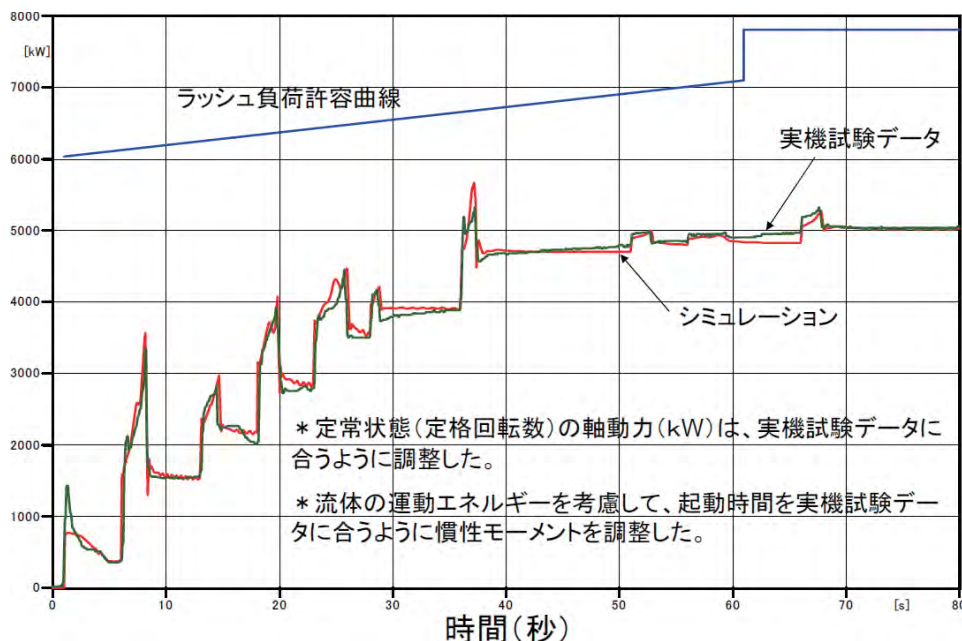


図 10 有効電力のシミュレーション結果と実機試験データの比較



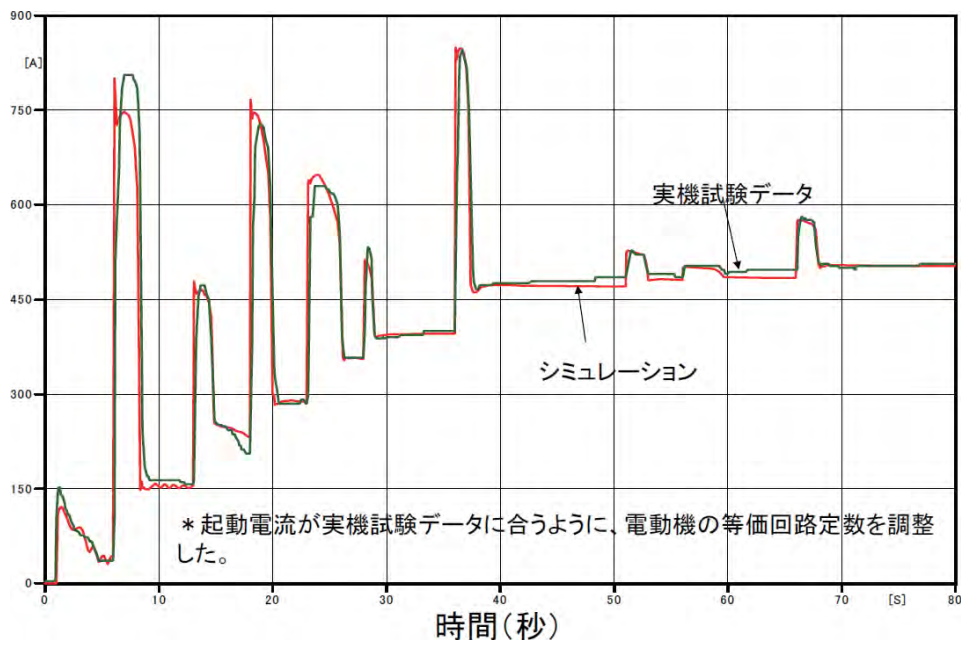


図 11 電流のシミュレーション結果と実機試験データの比較

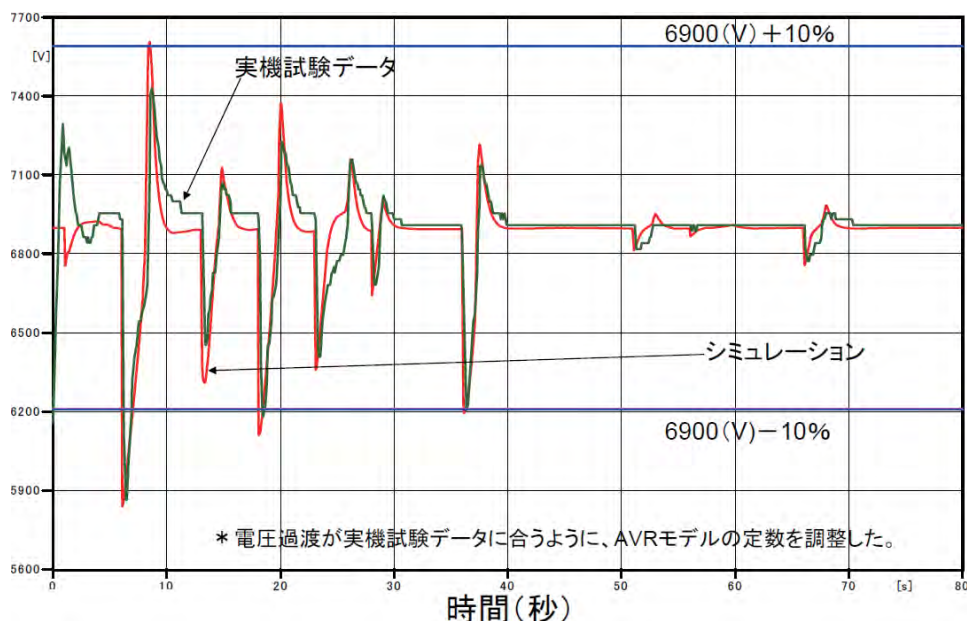


図 12 電圧のシミュレーション結果と実機試験データの比較

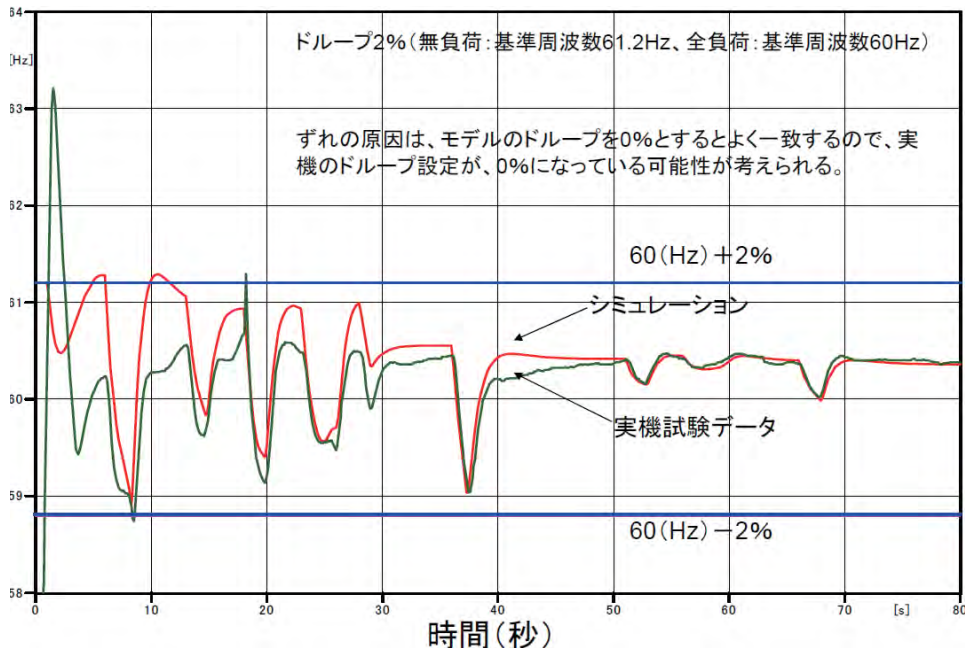


図 13 周波数のシミュレーション結果と実機試験データの比較

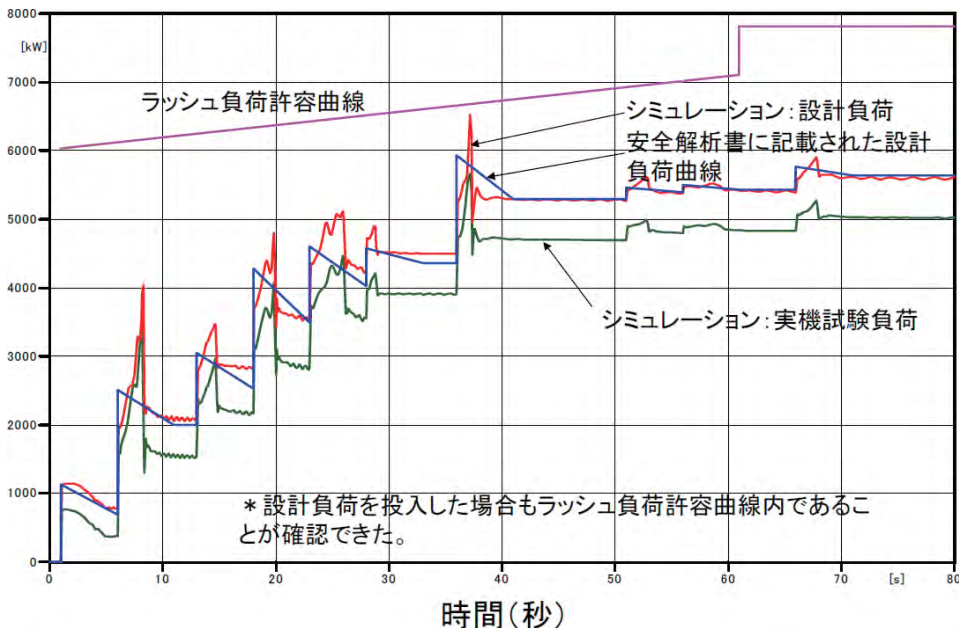


図 14 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の有効電力のシミュレーション結果

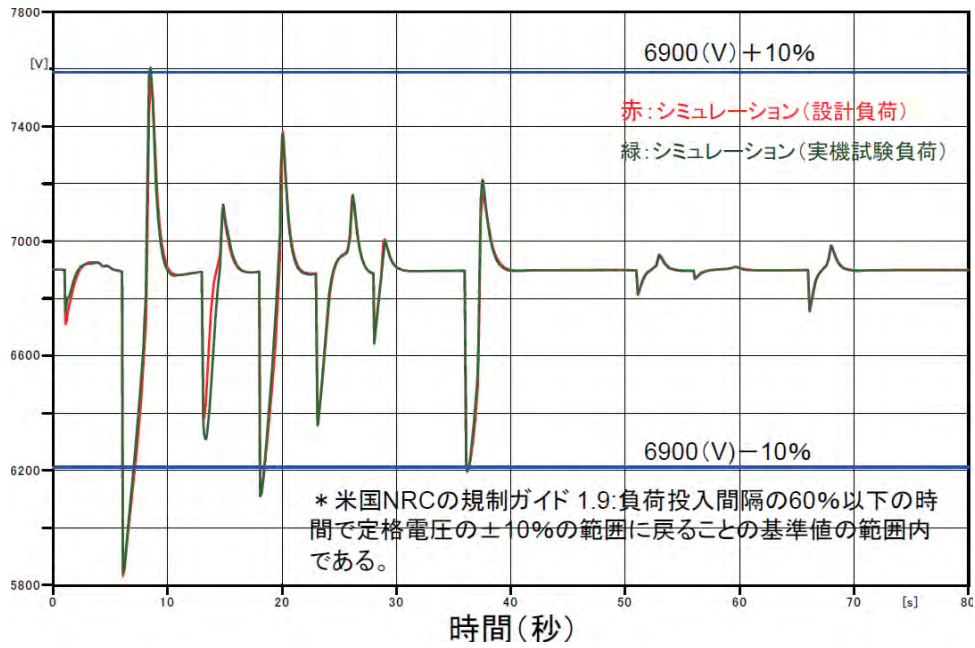


図 15 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の電圧のシミュレーション結果

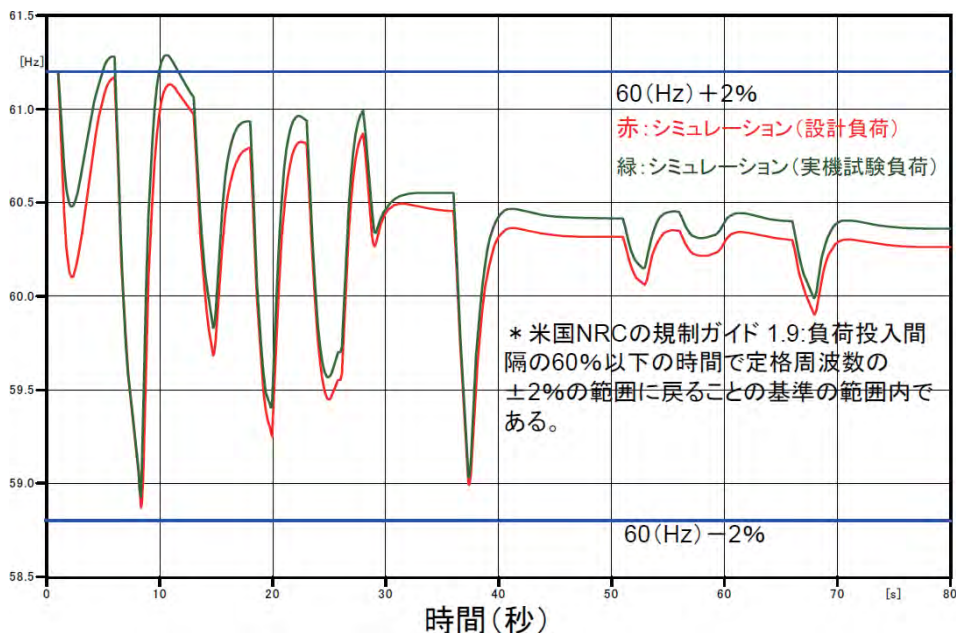
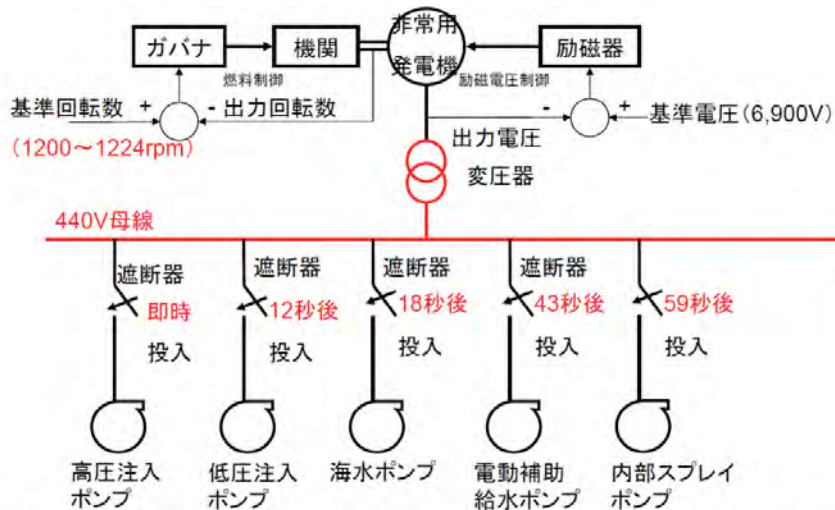


図 16 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の周波数のシミュレーション結果

・ ECCC 負荷（ポンプ，ファン）の不足データ⇒実機試験データとシミュレーションが合うようにデータの調整を何度も繰り返した。

(2) 発電所の非常用電源系統の実機等価モデル

図 17 は，シミュレーションを実施するために構築した古い発電所の非常用電源系統の概略の実機等価解析モデルである。負荷は，誘導電動機で駆動されるポンプ 5 台を接続して，順次起動することを示しているが，実際のシミュレーションモデルは，14 台のポンプ，ファンに加えてヒータ，一定力率の負荷が接続されている。発電機の電圧は，励磁器 / AVR により 6900V に制御される。周波数は，2% のドループのあるガバナーにより，61.2Hz（無負荷）～60Hz（全負荷）に制御される。図中の朱記した部分は，新しい発電所のモデルと異なることを示す。



\* LOCA と外部電源喪失事故の同時発生時に，非常用発電機から，ECCSポンプなどに設定されたタイミングで，必要な電源を供給。主要な負荷のみ表示。

図 17 古い発電所の非常用電源系統の概略の実機等価解析モデル

(3) 入力データ

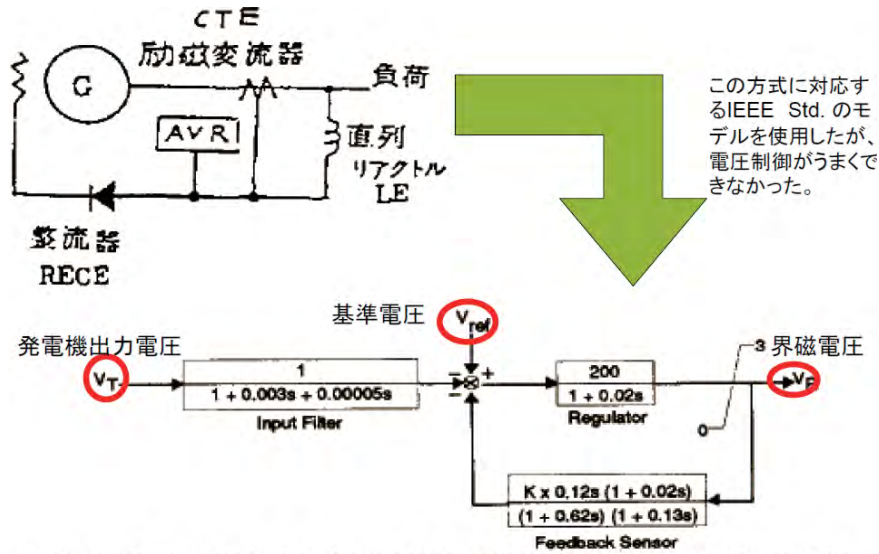
表 2 は，シミュレーションに必要な入力データの種類，参考情報をまとめた。朱記した部分は，新しい発電所の入力データと異なる事を示す。

(4) 非常用ディーゼル発電機のモデル

非常用ディーゼル発電機のモデルのうち，EDG の電圧制御を行うための励磁器の伝達関数のブロック図のみが，新しい発電所と異なるため，図 18 に示す。また，電動機，ポンプ，ファンのモデルについては，新しい発電所と同じであるため説明を省略する。

表 2 古い発電所の主な入力データ

機 器	入 力 デ ー タ
非常用ディーゼル発電機のモデル	⇒電圧，周波数，極数，リアクタンス，時定数，慣性モーメントを設計図書から入手 ⇒不足データは，定数の関係式から算出
ガバナーのモデル	⇒メーカー（WOODWARD）に作成を委託
自動電圧調整器（AVR）のモデル	⇒I. D. Hassan 他 の IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, (1992) に掲載された論文のモデル <sup>(11)</sup> を使用
電動機，ポンプ，ファンのモデル	⇒電動機の等価回路定数は，出力，回転数，起動電流，起動トルク，力率，効率などから WINDSYN というプログラムにより推定 ⇒上記データのうち出力と回転数のみ入手できたので，他のデータは，実機試験データとシミュレーションの比較で調整 ⇒ポンプ，ファンの慣性モーメントも同様 ⇒流体の軸換算慣性モーメントも同様



I. D. Hassan, R. Weronick and R. M. Bucci, "EVALUATING THE TRANSIENT PERFORMANCE OF STANDBY DIESEL-GENERATOR UNITS BY SIMULATION", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, (1992).

図 18 I. D. Hassan 他 の IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, (1992) に掲載された論文の励磁器、電圧調整器のモデル

## 4.2 シミュレーション結果

(1) シミュレーションと実機試験データの比較、調整

図 19, 20, 21, 22 は、それぞれ有効電力 (k W), 電流 (A), 電圧 (V), 周波数 (Hz) について、シミュレーション結果と実機試験データを比較し、発電機の励磁器/電圧調整器 (AVR) モデルの定数、電動機モデルの定数、ポンプ/ファンモデルの定数を調整することにより、できるだけ一致させ、精度の高いモデルを開発した。

(2) ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時のシミュレーション結果

前節までに説明した精度の高いモデルにより、実機試験では設計検証の困難な、「ECCS 実作動時の設計想定負荷 (グラフ中の設計負荷)」を EDG に加えた場合の有効電力 (k W), 電圧 (V), 周波数 (Hz) のシミュレーション結果を図 23, 24, 25 に示す。

有効電力については、ラッシュ負荷許容曲線内であり、電圧、周波数については、米国 NRC の規制ガイド 1.9 の基準値内であることを確認できた。

## 5. まとめ

(1) 設計、工場試験データが得やすい新しい発電所については、実機試験データと比較、調整、検証によ

り、精度の高い実機相当モデルが開発できた。

(2) 設計、試験データが得にくい古い発電所についても、不足データを補う対策および実機試験データと比較、調整、検証により、精度の高い実機相当のモデルが開発できた。

(3) 完成した新しい発電所および古い発電所のモデルを使用し、ECCS が作動した場合の設計想定負荷によるシミュレーションを実施し、NRC の RG1.9 の基準値 (EDG の過渡応答に関する基準値) 内であることを確認した。

## 6. 今後の研究計画

(1) 外部電源低下時 (例: LOCA などの事故時⇒発電機トリップ⇒外部電源電圧が低下) に ECCS など安全関連機器が正常に機能することをシミュレーションで検証する。⇒具体的には、ECCS 負荷末端の電圧過渡、起動時間 (定格回転数に達するまでの時間) を検証する。

(2) 最新 GUI によるモデルの再構築

(a) 電動機の基本仕様 (出力、力率、始動トルク、最大トルクなど) のみ入力する。⇒現状は、電動機の等価回路定数を別のプログラムで算出して入力することが必要である。

(b) 電動機の性能曲線 (角速度-トルク曲線) の表示機能が利用できる。

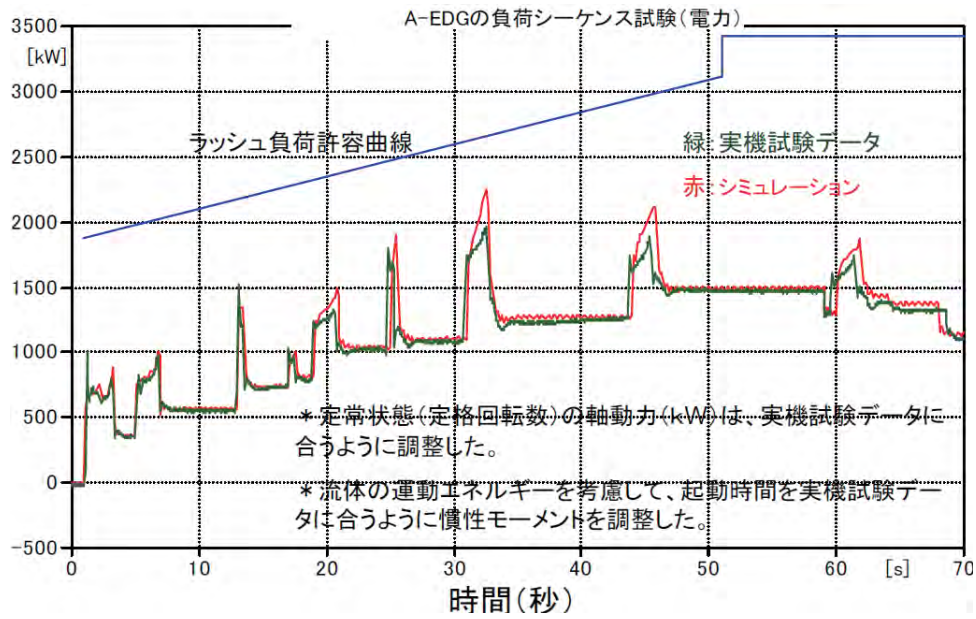


図 19 有効電力のシミュレーション結果と実機試験データの比較

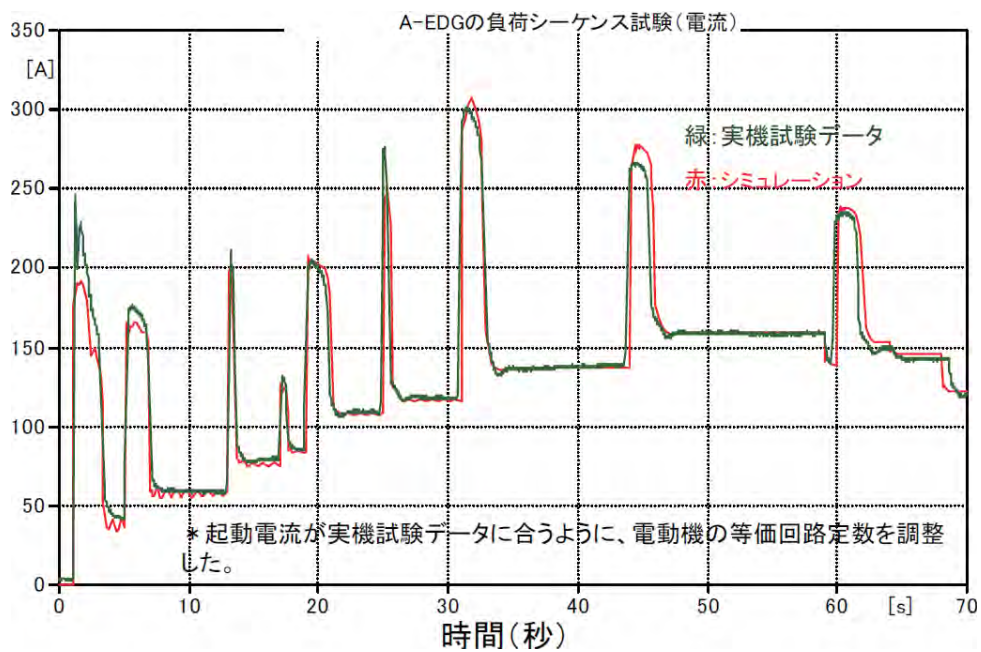


図 20 電流のシミュレーション結果と実機試験データの比較

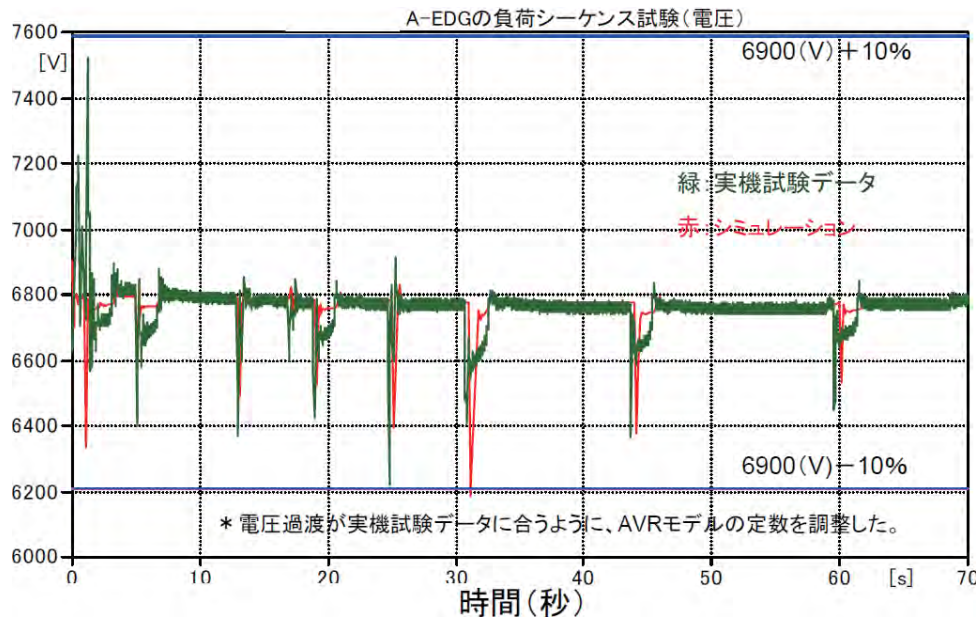


図 21 電圧のシミュレーション結果と実機試験データの比較

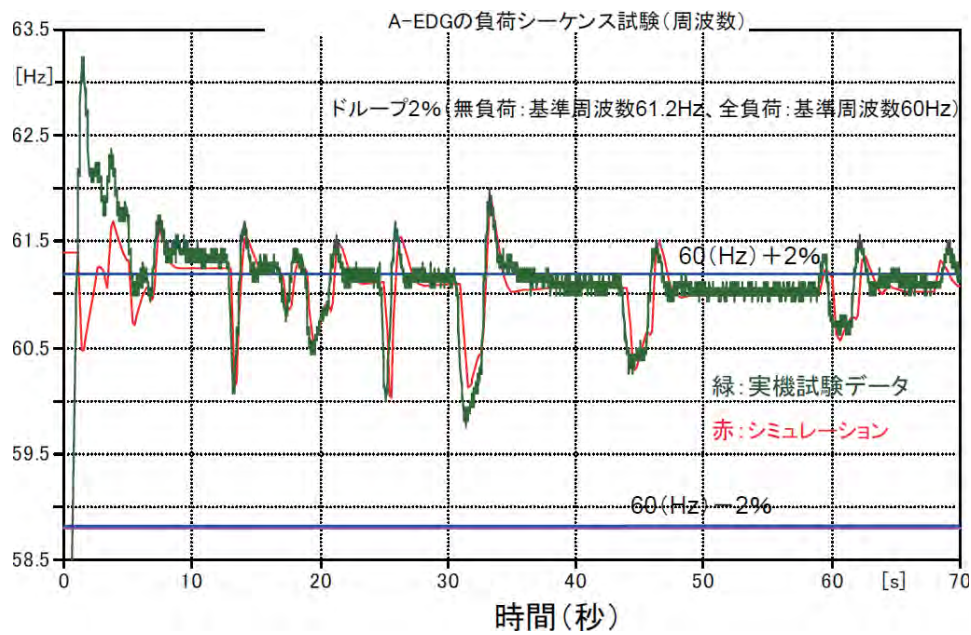


図 22 周波数のシミュレーション結果と実機試験データの比較

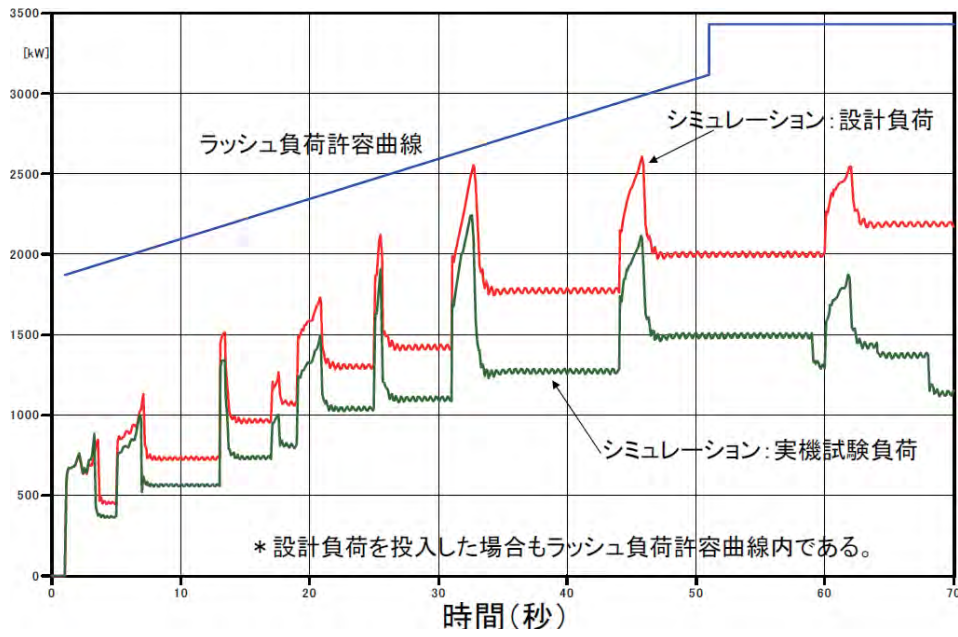


図 23 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の有効電力のシミュレーション結果

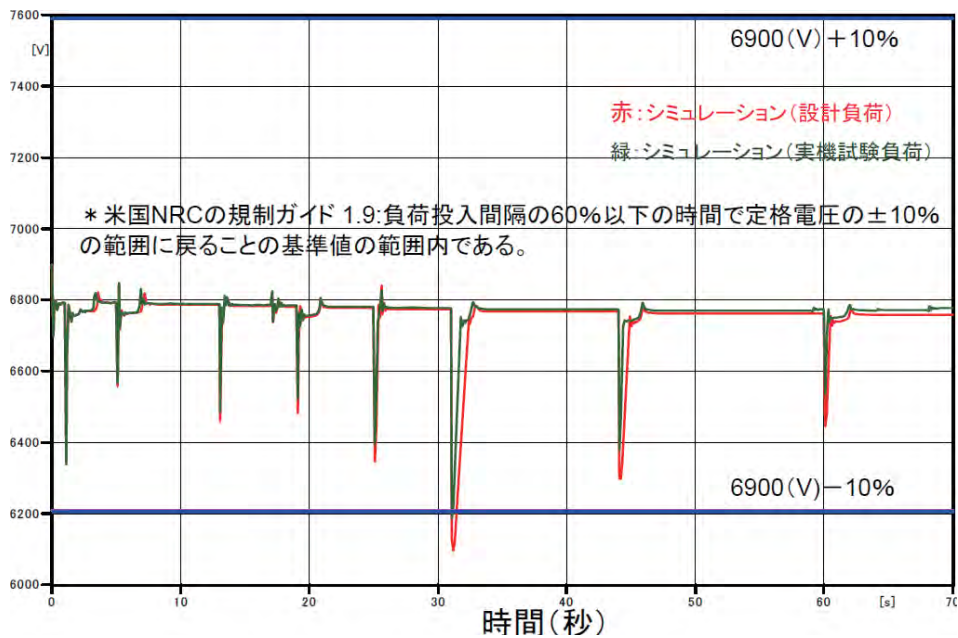


図 24 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の電圧のシミュレーション結果



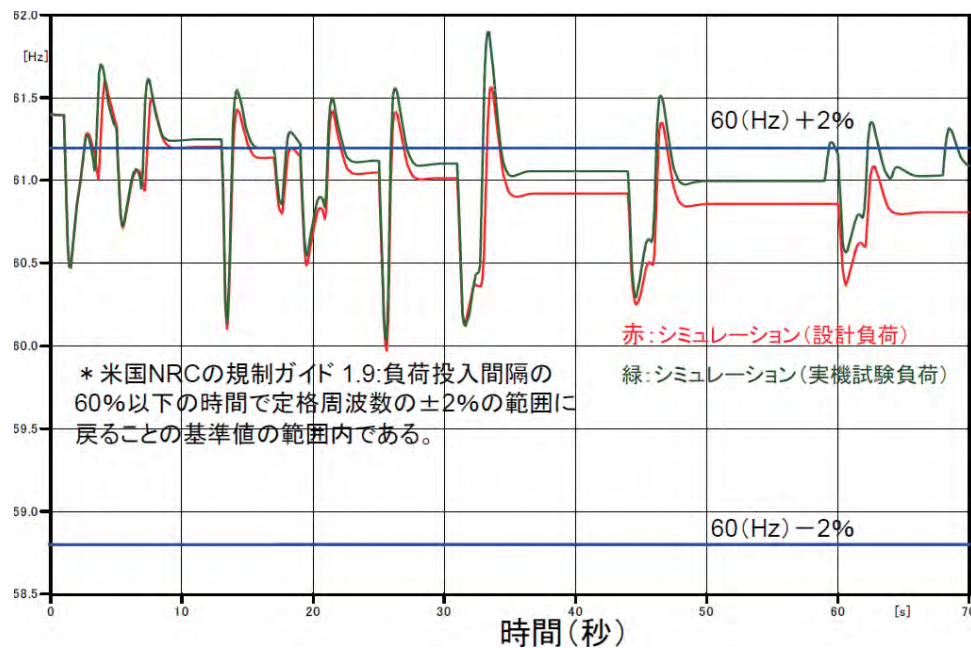


図 25 ECCS 実作動時の設計想定負荷投入時の周波数のシミュレーション結果

## 文献

- (1) 嶋田 善夫, 「米国原子力発電所の電気過渡応答解析プログラムの活用状況とその性能の調査」, INSS JOURNAL, Vol.17, P231 (2010).
- (2) NUREG-0800, STANDARD REVIEW PLAN, BRANCH TECHNICAL POSITION (BTP) 8-6, “ADEQUACY OF STATION ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEM VOLTAGES (Revision 3),” USNRC, 2007.
- (3) LICENSEE EVENT REPORT 50-282/2010-004 - 08 “Battery Charger Inoperability due to Potential Undervoltage Conditions,” Prairie Island Nuclear Generating Plant Unit 1, 2010.
- (4) Hermann W. Dommel, EMTP Theory Book, BPA, 1986.
- (5) Meyer, W.S., et al Editors “EMTP Rule Book” Portland, Oregon, Revised 1992. Bonneville Power Administration, System Engineering, 1980.
- (6) László Prikler, Hans Kristian Høidalen, ATPDRAW version 5.6 for Windows 9x/NT/2000/XP/Vista Users' Manual, 2009.
- (7) Woodward 社の解説, [http://www.woodward.com/corp/locations/japan/gov\\_basic1.htm](http://www.woodward.com/corp/locations/japan/gov_basic1.htm).
- (8) IEEE Std 421.5™ -2005, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE, 2005.
- (9) NRC Regulatory Guide 1.9, “Application and Testing of Safety-Related Diesel Generators in Nuclear Power Plants,” USNRC, 2007.
- (10) Jan Machowski, Janusz W. Bialek, James R. Bumby, “Second Edition POWER SYSTEM DYNAMICS Stability and Control,” John Wiley & Sons, Ltd., 2008.
- (11) I. D. Hassan, R. Weronick and R. M. Bucci, “EVALUATING THE TRANSIENT PERFORMANCE OF STANDBY DIESEL-GENERATOR UNITS BY SIMULATION,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, 1992.