

産業用電力システムのトラブルと解析

産業用電力システムにおける トラブルの実例紹介

加戸良英*¹ 浦野恭博*² 壹岐浩幸*³ 堀 史治*⁴ 亀田和之*⁵

発電機を有する自家用電力システムは、図1に示すように電力会社からの受電電力と自家用発電電力を負荷設備に配電するシステムで構成される。電力会社の電力システムは、発電機群と負荷群を送配電網で連系し、同時同値制御を行う全国にまたがる巨大なシステムである。それに対し、自家用電力システムはそれらの負荷群の一つであり、送配電網の末端に接続される小さな電力システムであると言える。

自家用電力システムは、発電機の有無により送配電網との連系技術が異なる。送配電網に事故が発生した場合、発電機のないシステムでは、電力源が受電系統しかないので系統解列を考慮する必要はない。一方、発電機を有するシステムでは、送配電網の事故から発電機の共倒れを防ぐため系統解列を行うことが必要になるが、系統解列は受電という重要な電力源を喪失することも意味している。そこで、事故の大きさに応じた設計が必要であり基本的には以下ようになる。

- 電圧、周波数変動の小さい事故の場合は、連系したままとする
- 事故が大きい場合でも、事故点が速やかに遮断され、かつ送配電網が供給余力を持ち、電圧、周波数が速やかに回復する場合は、連系したままとする
- 電圧、周波数変動が大きく、供給余力がない場合はきわめて速やかに送配電網から解列し、自家用発電機単独で事故からの回復を図る

しかし、実際の自家用電力システムの系統解列システムは、一様に設計されている訳ではない。連系する送配電網の供給力や信頼性、発電量と負荷量の関係、負荷の瞬時電圧低下に対する余裕度など、系統条件も種々多様であることが大きな要因である。さらに、系統解列用保護リレー構成と整定の考え方の違いなど、設計に携わった自家用電力技術者やメーカー技術者が、電力システムと発電機について深い知識を有して

いるか否か、いわゆる技術力の差でも設計が異なる。この技術力の差は、電力会社の電力システム連系技術が電気学会でも取り上げられ研究が進められているのに対し、自家用電力システム連系技術は学問的な研究も十分ではなく、体系づけられていないことも一つの原因であると考えられる。

自家用電力設備の設計のために以下のことが求められる。

- 発電機を知るには、単に発電機だけでなく、励磁方式とAVR（自動電圧調整装置）制御や原動機（タービン）とガバナ制御等、電気はもちろん、機械、計装および運転の知識が必須であり、時にはボイラを含む用役全般の知識までもが必要となる
- 電気の事故はきわめて現象が速く、人が介在して設備を操作する時間の余裕はなく、タービンを介して用役全系統に影響を及ぼすと、工場を全停止させてしまう厳しいものとなる。したがって、電気だけでなく、蒸気を含めた種々のトラブルを想定したシステム設計を考慮する必要がある。その一方で運転効率の向上を追求しなければならない。つまり、リスク管理に対する運転余裕度をいかに極限まで削減するかという相反する技術が要求される
- 自家用電力システムでも、発電機は送配電網や自系統の発電機間で電力動揺が発生しており、電力システムの安定度に関る高度な知識も必要である
- また、自家用電力技術者を取り巻く環境を考えると、電気が商品の電力会社と異なり、一般産業では電気は生産のための用役に過ぎず、空気と同じと考える経営者や製造関係者には理解しづらい技術であり、電気技術者の配置が少ないなど、土壌が醸成されていない

このように、要求される技術の幅が広く深いために、理解するだけでも容易ではなく、加えて、電気技術者を取り巻く環境を考えると、自家用電力技術として体系づけることはき

*1 旭化成(株)水島支社 設備管理部 電気設備グループ長(カド ヨシヒデ)
*2 出光エンジニアリング(株)技術部 主任部員(ウラノ ヤスヒロ)
*3 (株)FFCシステムズ テクニカルセンター シニアコンサルタント(イキ ヒロユキ)
*4 H揮(株)エンジニアリング本部 チーフエンジニア(電気)(ホリ フミハル)
*5 (有)エルテクス設計 代表取締役(カメダ カズユキ)

わめて難しいとすることができる。

われわれ、電力系統解析ソフトウェア ETAP Power Station ユーザー会では、自家用電気技術者の技術力向上を目的に、系統解析を通じて自家用電力系統における系統安定度の課題に取り組んできた。そのうちの電力系統解析技術とその適用について、6回にわたり紹介する。自家用電力系統の信頼性向上のために苦勞されている電気技術者の皆さんのお役に立てば幸いである。

1. 自家用電力系統における トラブル事例

電力系統解析に触れる前に、自家用電力系統および発電機を中心とするトラブル例について紹介する。石油学会装置部会電気分科会、関東経済産業局管内電気主任技術者会は、平成9年および11年に会員会社における発電機のトラブル事例を調査し、設計から運用、保身に係わる各フェーズでさまざまな要因に起因するトラブル情報を収集してきた。機器単品のトラブルに起因するトラブルを除けば、その主要因は、

- ① 系統解列用保護リレーの選定及び整定に関するもの
- ② 速度調定率及び電圧調定率の選定と運用に関するもの

である。

また、特筆すべき事項として、電力系統動揺を伴うものが散見される。このうち、電力系統解析に関連すると思われる事例について紹介する。

【事例1：系統解列用リレーの選定及び整定に関する事例】

図2は石油学会参加会社から提供された11例の系統解列事例を分類したものであり、電力逆送リレーの動作が多いことがわかる。

内容を見ると、リレーの選定あるいは整定ミスから不要な系統解列を起こした事例や、うまく解列できずに停電を拡大した事例が多い。また、11例のうち、系統解列に起因して5例が全停電に至っている。寄せられた事例は問題となった事例だけであり、このほかに問題なく系統解列した件数が相当数あると考えられるので、系統解列（電力会社側の事故）から全停電に至る確率は低いと思われるが、5例については原因を見極め、全停電を防止するための考察が必要である。

紹介する事例は、タイマを入れていたために系統解列に失敗し停電した事例である。図3のように電力会社管内2回線送電線に落雷があり、電力会社は高速遮断した。

1号発電機は系統解列に成功したものの、無効電力リレー(DSR)に0.2秒のタイマを入れていた2号発電機は系統解列に失敗し、電力会社の負荷を背負ったため周波数低下で発電機が停止したものである。対策として、タイマ除去による高速解列化と周波数低下による系統解列の追設がなされた。しかしながら、タイマを除去すると、電力会社の遠方の短絡事故でも動作するため、不要な系統解列が増加する欠点を併せ持つことを忘れてはならない。

われわれの考えで恐縮であるが、電力逆送については、現状の保護システムで完全にカバーするのは難しく、現状のシ

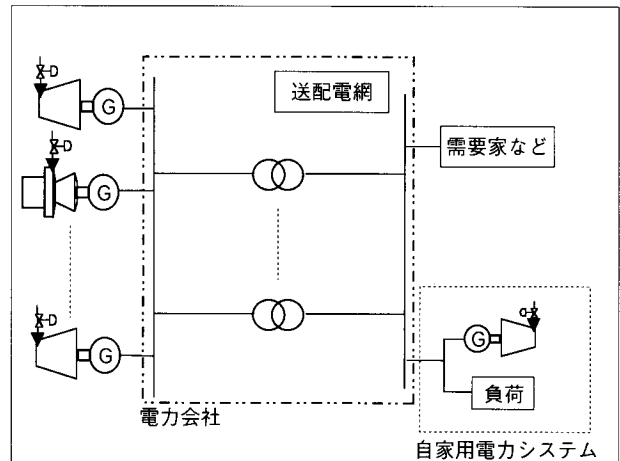


図1 自家用電力系統の構成

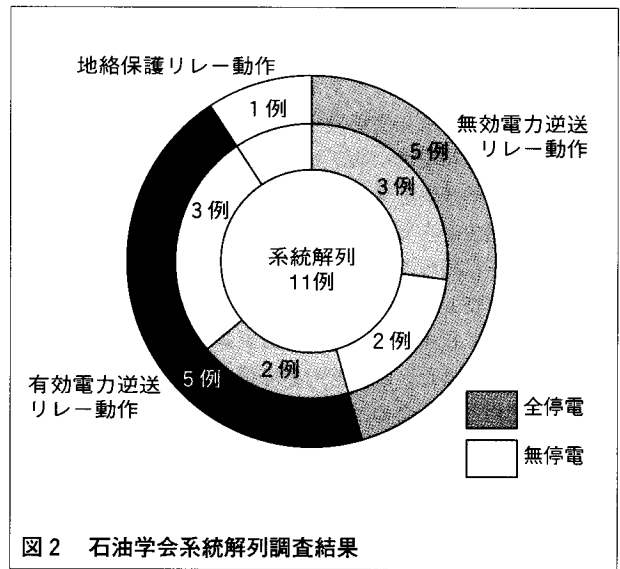


図2 石油学会系統解列調査結果

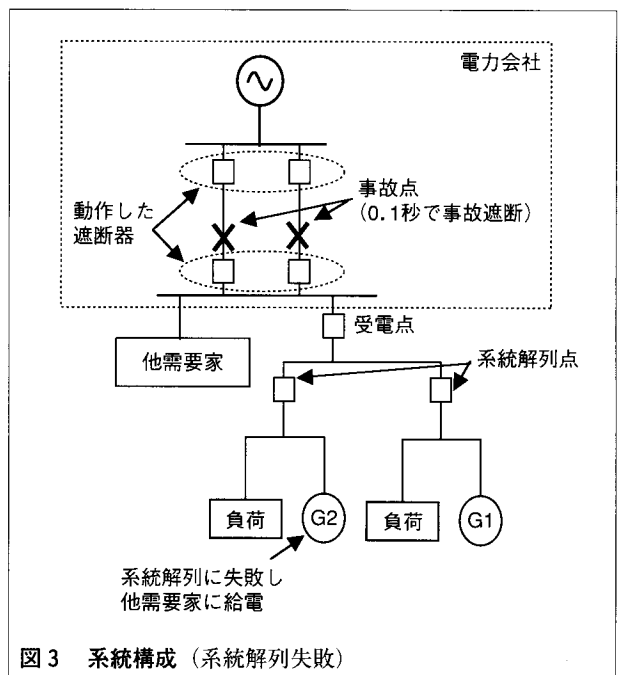


図3 系統構成（系統解列失敗）

産業用電力系統におけるトラブルの実例紹介

システムに、有効電力逆送に対しては有効電力逆送と周波数低下を組み合わせた高速遮断システムを、無効電力逆送に対しては事故の大きさを判別し遮断時間を変える多段システムを加えることが有効と考えている。また、おのおのの整定値の検討に当たっては、有効電力逆送量と発電機の過負荷耐量、短絡事故の大きさと遮断時間が影響するため、電力系統解析によって自家用系統の回復を見極めることが必要と考えている。

【事例2：発電機短絡事故時に脱調現象で過電流リレーリセット】

当該系統図および事故記録を図4に示す。発電機の比率差動リレーは本来降時動作とすべきところを、誤動作防止のため0.1秒のタイマを挿入することとしたが、間違えて1秒整定とした。母線連絡用過電流リレーは2秒整定であった。事故の経緯を以下に示す。

- ① 大雨により発電機端子に雨水が侵入し三相短絡事故が発生、短絡事故は直後に完全三相短絡に至った。比率差動リレーは動作しタイムカウントを開始した
- ② 発電機は事故発生から0.9秒後に脱調し位相が反転したため、短絡電流は低下し比率差動継電器はリセットされた。その後短絡電流は再度増加した
- ③ 事故発生から2秒後比率差動リレーと母線連絡用過電流リレーは同時動作し、発電機遮断器と母線連絡遮断器がトリップし、発電系は全停電した

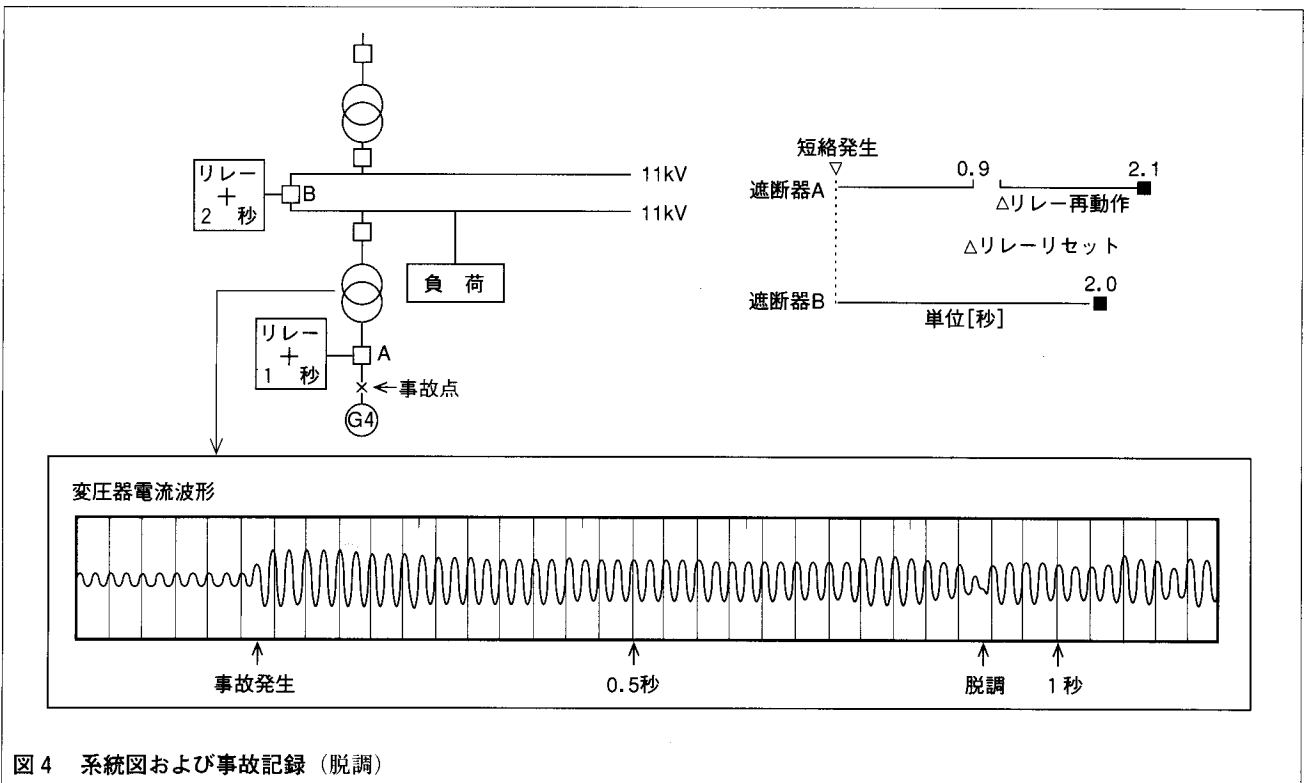
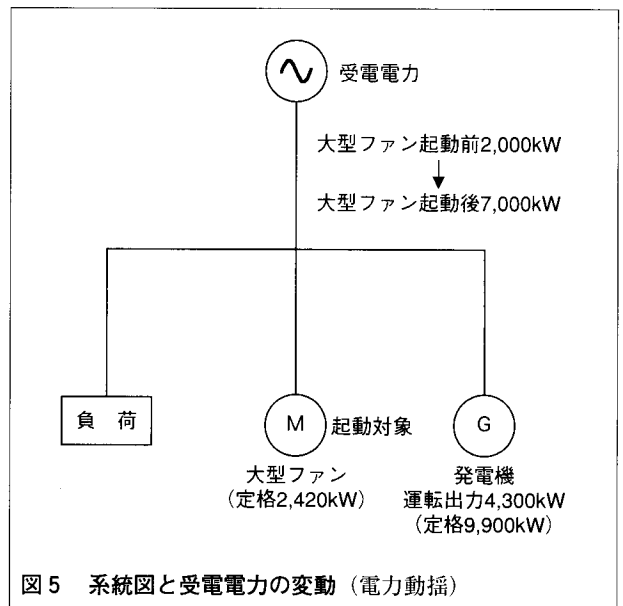
本事例では、自家用電力系統でも脱調現象が発生することを示している。また、脱調時の短絡電流低下により過電流リレーは不動作となるため、過電流保護協調の設計に当たっては静的だけでなく、動的な挙動を考える必要があることがわ

かる。

【事例3：潮流の変化による電力動揺現象】

当該系統図および受電電力の変動を図5に示す。受電系統と発電系統に増加電力を分担させるためガバナ制御をガバナフリーとし、直近の大型誘導電動機を運転したところ、発電電力が急減し、24秒後、発電機が界磁喪失でトリップした。この時AVR制御はAPFR（力率一定制御）モードであった。本事例は、電力動揺による内部相角の変動を回転数の変動として検出したことに起因して、複合的な要因が重なって発生したものであった。

ほかにも、受電系統を介して連系している他社大型発電機



(149MW) が負荷遮断試験を行った際に、自家用発電機出力が大きく変動した事例がある。出力変動は内部相差角の変動により発生したものと考えるが、数秒間にわたり、出力、回転数の変動波形が記録されており、界磁喪失の事例を裏付けるものである。これらについては後の号で詳細を紹介する。

◇ ◇ ◇

自家用電力システムの動揺には、相差角の動揺のほかに電圧の崩壊を伴う電圧不安定現象がある。自家用電力システムにおいては負荷は誘導電動機が多く、短絡事故時は電圧降下により誘導電動機の回転数が低下するため、事故遮断後増速しようとして再起動電流による電圧回復の遅れが発生する。このことについては解析の実例の中で紹介する予定である。

連載の第1回目に当たり、トラブル情報を提供していただいた、石油学会および関東経済産業局管内電気主任技術者会に感謝したい。

◆ 今後の連載予定 ◆

今回は『産業用電力 系統のトラブル と解析』シリーズの第1回目として、①連載の目的、②自家用電力システムのトラブル事例を紹介した。

本シリーズは、以降を以下のテーマで紹介したい。

- 第1回 産業用電力システムにおけるトラブルの実例紹介
- 第2回 電力系統解析の必要性
- 第3回 電力系統解析のために必要な技術項目と解説
- 第4回 トラブルの実例と解析 (1)
- 第5回 トラブルの実例と解析 (2)
- 第6回 電力系統解析結果の反映および今後の課題



[OHM 9月別冊] 環境&エネルギー・シリーズ No.1

ゼロエミッション構築技術

監修 東京工業大学教授・工博 吉川邦夫 B5判・176頁・本体2000円(税別)

本書は、製造工場から排出される廃棄物を可能な限りゼロに近づけるための方策や技術を検討している企業の管理者・技術者へ、各社の事例によりそのソリューションを解説。特に環境対策を進めたいと思っはいるが、自力だけでは出来ないと思きらめているような中小企業でも導入できることを目指して企画したもの。

<主要目次>

PART 01 企業における環境マネジメントのあり方ーポストゼロエミッションを考える

- PART 02 リサイクル法と環境ビジネス
 - PART 03 リデュース、リユース、リサイクルの実践・製品設計
 - PART 04 難処理廃棄物への最新対応
 - PART 05 廃プラのマテリアルリサイクル最新動向
 - PART 06 サーマルリサイクル技術の新展開
- 資料編 ゼロエミッションに貢献する企業の装置・機器・技術



ITが拓く電力ビジネス革命

鈴木 浩・渡邊 進 編著 A5判 244頁 本体2400円(税別)

電力ビジネスの必携書！ 電力関連事業も規制緩和や環境問題などへの対応で業務革新を急展開で進めている。IT技術の導入がこれらのソリューションを提供する。本書は、ITを電力分野でどう実装・構築し事業に活用するかを解説する。

<目次>

1章 電力自由化の構図とそのインパクト

- 2章 電力自由化時代の経営改革
- 3章 経営改革へのIT活用
- 4章 IT活用システムの実際I
- 5章 IT活用システムの実際II
- 6章 IT活用のための特徴技術
- 7章 経営/業務/ITを融合する戦略マネジメント

