

水力発電所の信頼性向上のための重大トラブルの体系的な解析

安田, 正史

<https://hdl.handle.net/2324/1807024>

出版情報 : 九州大学, 2016, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 安 田 正 史

論 文 名 : 水力発電所の信頼性向上のための重大トラブルの体系的な解析

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

現代社会において電気は快適な生活に欠くことのできない存在であり、その安定的な供給は全ての産業活動の基本要件である。この電気エネルギーは主に水力発電、火力発電、原子力発電などにより生み出されているが、そのなかで水力発電は地球の壮大な水の循環を巧みに使った自然エネルギーによる発電であり、また水力は資源小国の我が国にとって貴重な純国産エネルギーでもある。水力発電設備の構成はシンプルであり、設備の信頼性、エネルギー変換効率、フレキシブルな調整能力のいずれにおいても他の電源の追随を許さない。特に近年は、地球温暖化問題への対応として太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの利用が急速に進められているが、こうした太陽光発電や風力発電などの電源は出力制御が困難なことから大量に系統につなげて運用すると、周波数変動の増大など系統の安定性に悪影響を及ぼす。このため、その一層の活用には、時々刻々変動する出力変動を平準化して電力の品質を維持するための調整電源と呼ばれる出力変更や起動停止をフレキシブルに行える設備が不可欠となる。水力発電所およびそのバリエーションである揚水発電所はこの調整電源に最も適合したものである。

このように、水力発電は電力の安定供給において、極めて大きな役割を有するが、その役割を十全に果たすには、水力発電所における計画外停止、すなわち故障や事故に伴う設備停止の発生を極力、回避する必要がある。水力発電所は非常に信頼性の高い設備ではあるが、我が国の長い水力発電の歴史を振り返れば多くの重大トラブルが発生している。また、近年も大規模な洪水で多くの水力発電所が長期間停止したり最新鋭の揚水発電所が大きな機械トラブルに見舞われたりしている。こうした水力発電所の重大トラブルについては個々の事例の報告や土木設備に特化した研究はあっても、発電所の視点、とくに重大トラブルの発生を回避し信頼性を向上する観点で重大トラブル群を体系的に解析したものは著者の知る限り見受けられない。そこで本研究は、近年における水力発電所の多数の重大トラブル事例を収集し、その原因を体系的に調査解析して重大トラブルに至る過程をシナリオ化しその回避策を示すとともに、水力発電所の計画・設計・施工・保守の各段階における回避策の具体化について提案したもので、その構成は次の6章からなる。

第1章では、電力の安定供給において水力発電所の果たす役割をその特性とともに示した。また本論文を理解する上で必要と思われる水力発電所の設備構成および保全管理の概要を説明したのち、本論文の目的と構成について述べた。

第2章では、既往の故障統計資料と電力会社における故障統計に基づいて水力発電所におけるトラブルの一般的な様相やその特徴を検討した。この結果、一般水力発電所においては洪水被害、揚水発電所においては発電機器（ポンプ水車および発電電動機）の機械的なトラブルが深刻であることを明らかにした。また計画外停止時間の7～8割は比較的稀頻度かつ深刻なトラブル、すなわち重大トラブルによって占められることを明らかにした。このため、水力発電所の信頼性を一層向

上させるためには、この重大トラブルを回避する必要性があることを示した。次に、重大トラブルを定義づけるため、営業損失と復旧費用に基づいてトラブルを5段階に区分評価することを提案し、収集した90件の事例を分類してその一般的な傾向を検討した。

第3章では、水力発電所における水害、火災および発電機器の重大なトラブルの発生機構の体系化を目的に、まずそれぞれの一般的な傾向を明らかにした。また第2章で収集した重大トラブル事例から典型的なものを選択して、そのトラブルの様相（原因、損傷部位、損傷過程）と得るべき教訓を示した。さらに、トラブルがどのような部位にどのような原因で起き、それがどのように進展するかについてシナリオ化した。これをダイアグラムとして提示して、その進展プロセスを遮断する回避策を提案した。さらに、現状の保守現場の問題点についても、検討した。

第4章では、著者がかつて勤務したフィリピン国カラヤン揚水発電所において経験した数々の重大トラブルを例にして、第3章で抽出した重大トラブルの回避策の有効性を個々に検証した。また、回避策の具体化についても検討した。この章では、ポンプ水車・発電電動機に生じた機器振動、案内軸受の損傷、回転子スパイダーのクラック、ランナクラックそして回転子コイル押えの脱落事故について、そのトラブルの詳細と原因を追究するとともに対応策について記載した。また、水没事故と火災事故についても同様とした。すなわち、カラヤン揚水発電所のトラブルにおいて、機器の設計や施工時の何が悪かったのか、設備面で何がリスクであったか、保守において何が問題だったのか、トラブル発生時の対応はどうだったのか、トラブル発生後の原因追究をどう進めたか、その結果どのような恒久対策を行ったかなどについて考察し、第3章においてダイアグラムに示した回避策の有用性と実効性を確認した。原因追究にあたっては、フォールトツリーの有効性、実働変動応力測定の有用性、複数の原因に対する恒久対策の在り方、段階的な検討の過程なども示した。

第5章では、水力発電所のライフサイクルである計画、設計、施工、保守の各段階において検討すべき回避策を明示した。特に、設計段階においては水害や火災のリスクを低減する設備面の対策と機器仕様書に明記すべき事項を提案した。施工段階では、据付工事の品質管理の重要性と徹底した無水・有水試験による機器の健全性の確認が不可欠であるとした。また保守段階においては、営業運転開始から1、2年目に行うランナの初回点検で危険部位を徹底的にチェックすることと経年品の劣化傾向を的確に把握する重要性を示した。さらに当該発電所の保守履歴カルテの作成、事故原因究明の進め方、チェックリストによるリスクの認識について提案した。次に、重大なトラブルの共通要因として、機械装置においては疲労き裂の発生および伸展とボルトの緩みや折損、電気品については絶縁物の過熱とヒートサイクルの影響があることを提示し、この対策について考察した。さらに、回避策の具体化にあたって導入すべき新技術を検討し、温度と振動のモニターを高度化してトラブル発生前にその前兆を捉える可能性を論じた。また水害や火災に対しては監視カメラと機器の遠方操作の連携が有効とした。

第6章では、本論文における成果の総括と本研究の展望を行い、結論とした。展望として、重大なトラブルのオープン化と次世代への伝承が特に強く求められることを示した。