

# 小水力発電の導入に関する一検討

電気電子情報工学専攻  
電力システム工学研究

MA17091 平井 涼介  
指導教員 藤田 吾郎

## 1. はじめに

近年、環境問題への関心の高揚から太陽光発電などの再生可能エネルギー電源の導入が進められてきた。だが、太陽光発電、風力発電は、自然環境変動の影響を受けて出力が変動する電源（VRE 電源：Variable Renewable Energy）であるため導入拡大時には、電力品質の低下が懸念される。一方、小水力発電は、再生可能エネルギーのなかでも、VRE 電源と比較して短周期変動が少なく発電量予測も行い易い。また、安価かつ堅牢である誘導発電機を採用した小水力発電機は、保守、点検などの運用面、経済面で利点が多い。だが、誘導発電機は系統並列時に定常電流より大きな突入電流が流れ、配電系統の瞬時電圧降下を引き起こし、電圧低下対策が必要になるケースがある<sup>[1]</sup>。本研究では、小水力発電機の系統並列時における電気的影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 小水力発電<sup>[2]</sup>

<2・1>定義 小水力発電は、小規模な設備で落差を確保し、水位差によって発生する水圧と流速でタービンを回して発電を行う。厳密に定義はされていないが、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」で 1000kW 以下の水力発電が対象とされており本研究でも同様とする。

<2・2>導入が期待される地域 小水力発電の導入可能量は、全国で数千ヶ所、合計 100 万 kW 程度と考えられており、それらのほとんどは山岳地域に集中している。これだけの電力があれば、山岳地域では電力の自立ができるため導入が期待される。また、離島のような小規模独立系統では、ディーゼル発電などの内燃力発電機を主たる電力供給源としている。発電用の燃料の輸送費が必要になることから発電コストが高い傾向にある。そのため燃料費の削減や焚き減らしによるコスト削減効果を目的に、小水力発電の導入メリットは大きいと考えられる。

## 3. 数値解析条件とモデル

<3・1>解析系統条件 対象系統は、小水力発電の導入が期待される山岳地域と離島とする。山岳地域において小水力発電を導入する際には、その多くが配電系統に接続される。また、発電所が山間部に設置されるため、配電用変電所と連系点との電气的距離が長くなることが予想される。また、配電系統の近傍に、工場などの誘導電動機を含む負荷がある場合に電圧変動に影響があるか検討する。離島においては、ディーゼル

発電機を主電源とする系統に並列した場合を検討する。対象とする 2 つの系統において、小水力発電の並列台数条件として 3 台（PU 値 30%）まで増加させ電气的影響を検討する。対象とする系統の概略図を図 1 に示す。

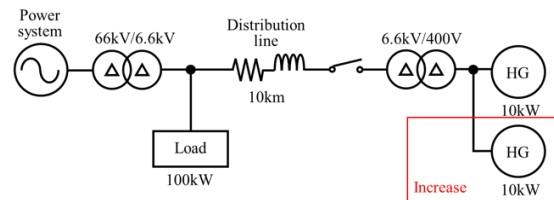


図 1 系統概略図

<3・2>小水力発電機モデル<sup>[3]</sup> 水車と発電機のトルク関係概略図を図 2 に示す。

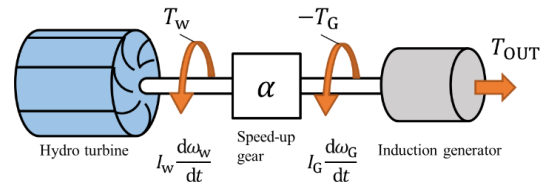


図 2 水車と発電機のトルク関係概略図

$$T_w = -k\omega_w + T_{w0} \quad (1)$$

$$(I_w + \alpha^2 I_G) \frac{d\omega_w}{dt} = -k\omega_w + T_{w0} - \alpha T_{OUT} \quad (2)$$

ここで、 $T_w$ ：水車発生トルク、 $T_G$ ：発電機入力トルク、 $I_w$ ：水車慣性モーメント、 $\alpha$ ：増速比、 $I_G$ ：発電機慣性モーメント、 $\omega_w$ ：水車速度、 $\omega_G$ ：発電機速度、 $T_{OUT}$ ：出力トルク、 $k$ ：水車トルクの係数、 $T_{w0}$ ：水車の初期トルク

水車発生トルクは速度に関する一次式で近似できるため式（1）が得られる。また、図 2 の水車発生トルクと発電機トルクの式について整理すると、式（2）が得られる。このように本システムの動特性は一次微分方程式で表すことができる。また、式（2）の右辺が 0 の時、水車の速度変化が 0 となり、回転速度が一定になることが分かる。

<3・3>評価内容 電气的影響を評価する指標として、既存系統の運用要件である系統連系規程、ガイドライン、系統連系する機器の耐量を用いる。例として系統連系規程の電圧変動に関する値を表 1 に示す。

表 1 評価指標（電圧変動）<sup>[4]</sup>

電圧変動	常時	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 101 ± 6V (100V 系統)</li> <li>• 202 ± 20V (200V 系統)</li> </ul>
	瞬時	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 瞬時電圧低下 10%以内</li> <li>• 電圧低下の適用時間は 2 秒以内</li> </ul>

## 4. 解析結果

<4・1>配電系統解析結果 配電系統における小水力発電機並列時の系統電圧波形を図 3 に示す。また、誘導電動機と並列した負荷である場合の波形を図 4 に示す。

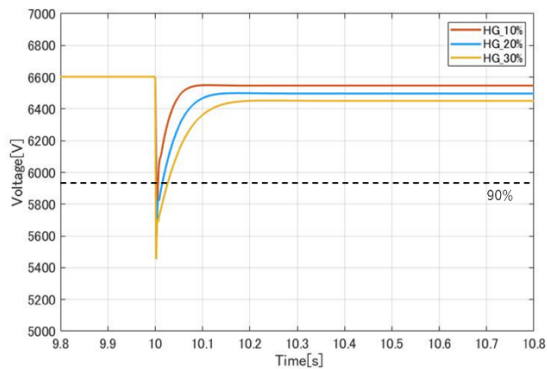


図 3 電圧波形（抵抗性負荷時）

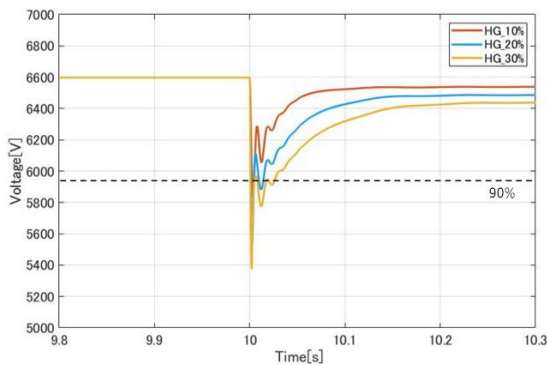


図 4 電圧波形（誘導電動機負荷並列時）

<4・2>小規模独立系統解析結果 小規模独立系統における小水力発電機並列時の系統電圧波形を図 5 に示す。

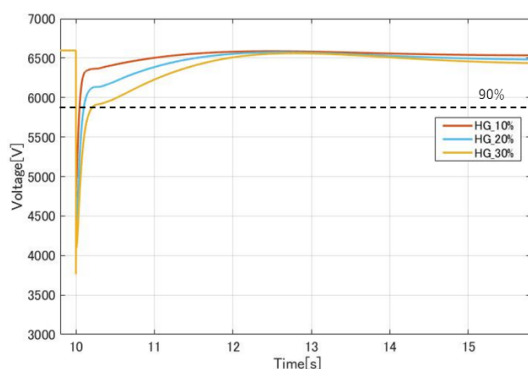


図 5 電圧波形

## 5. 考察

図 3 から図 5 より小水力発電系統並列時の突入電流により電圧降下が発生しており、全てにおいて定常電圧の 10%以上の電圧降下を生じており、電圧変動対策が必要であることが分かる。図 4 の誘導電動機が並列した負荷の場合は、並列直後に振動している。誘導電動機を含む負荷がある場合にはこのような振動の影響を考慮する必要があると考えられる。図 5 より導入量 30%時に 3700V まで低下し、その後定常に戻るまで 2 秒程度かかっている。これは系統容量が小さいことが大きく影響しており、導入するには導入容量などの検討が必要であると考えられる。

## 6. まとめと今後の展望

本研究では、小水力発電の並列時における電気的影響について数値解析を用いて検討を行った。小水力発電の導入が期待される山岳地域や離島での配電線への並列は、配電距離や系統容量の理由から電気的影響が大きいことを改めて明らかにした。導入時には限流リアクトルによる突入電流の抑制や力率改善用コンデンサなどにより無効電力を補償する必要があることを明らかにした。今後は、太陽光発電などのインバータを用いる電源や負荷が接続されている系統などへの影響について検討を行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] 中地芳紀『小水力誘導発電機の並列時電圧低下抑制対策例について』（電気学会電力・エネルギー部門大会, 2018年）No. 205
- [2] 環境省『再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報』<<http://www.env.go.jp/earth/zoning/index.html>> 2018年11月29日アクセス
- [3] 福富純一郎『クロスフロー水車発電機システムの動特性』（日本機械学会論文集B編, 1989年）55巻517号
- [4] 一般社団法人日本電気協会 系統連系専門部会「系統連系規程」, JEAC 9701-201

### 研究業績

- (1) Ryosuke Hirai, Yasutoshi Takemoto, Tran San Son, Goro Fujita, "Power System Analysis Technic for Large Capacity Installation of Small Hydro Generation" The International Conference on Electrical Engineering 2017 (ICEE2017), no.201702110000, 4-7 July 2017, Weihai
- (2) 平井涼介, 藤田吾郎, 竹本泰敏「負荷力率による誘導機型分散電源の導入可能量評価」, 電気学会 電力・エネルギー部門大会, No.132, (2017)
- (3) 平井涼介, 竹本泰敏, 藤田吾郎, 河野健人「水車特性を考慮した水車発電モデルの構築と系統並列時における電流の考察」, 電気学会 全国大会, No.6-094, (2018)
- (4) 平井涼介, 竹本泰敏, 小澤航一郎, 藤田吾郎「小規模独立系統における小水力発電機複数台並列時の影響に関する一検討」, 電気学会 電力・エネルギー部門大会, No.204, (2018)