

# 東京電力株式会社神流川発電所向け 525 MVA発電電動機・サイリスタ始動装置の運転開始

Starting Commercial Operation of 525-MVA Generator Motor and Thyristor Starter for Kannagawa Hydro Power Station of Tokyo Electric Power Co., Inc.

岡 潔 Kiyoshi Oka  
小宅 孝 Takashi Oyake

山崎 彰満 Akimitsu Yamazaki



図1 奥神流湖の景観(群馬県上野村)と発電所内の機器

中央は東京電力株式会社神流川発電所の下部調整池として利用されている奥神流湖である。発電電動機の上部外観を(a)に、サイリスタ始動装置盤の外観を(b)にそれぞれ示す。

## 1.はじめに

揚水発電所は、昼間は上部調整池と下部調整池の標高差による水の位置エネルギーを利用して、発電電動機を発電機として運転し、電力系統に電力を供給する。水力発電の特徴である発電時の起動時間が早いことから、電力需要ピーク時の電力供給を主に行っている。一方、夜間においては電力需要が少なくなるが、火力発電および原子力発電では電力供給量の調節をきめ細かく行うことができないために、電力の余剰が生じる。この余剰電力を利用して発電電動機を電動機として運転し、下部調整池の水を上部調整池に汲(く)み上げ、水の位置エネルギーとしてエネルギー貯蔵を行うものである。

ここでは、東京電力株式会社神流川(かんながわ)発電所に納入した世界最大級容量の発電電動機と、初めてデジタル制御を採用したサイリスタ始動装置の概要について述べる

(図1参照)。

## 2.神流川発電所の概要

神流川発電所は、長野県南相木村を流れる信濃川水系南相木川の最上流部に南相木ダムを建設してできた人造湖の奥三川湖を上部調整池とし、群馬県上野村を流れる利根川水系神流川の最上流部に上野ダムを建設してできた人造湖の奥神流湖を下部調整池として、その間を地下水路で結び、その中間の群馬県側の地下500 mに発電所本体が建設されている。神流川発電所の位置を図2に示す。

上部調整池と下部調整池の間には653 mの落差があり、この落差を利用して、1台当たり最大470 MWの発電を行う純揚水式発電所である。この落差は、東京電力葛野川(かずのがわ)発電所の国内最高である714 mよりは低いものであるが、流量を増やして出力を増加させることによって、発電機と

2005年12月22日に東京電力株式会社神流川発電所1号機が運転開始となった。日立製作所は、空冷の発電電動機としては世界最大級容量となる525 MVA/464 MW発電電動機および最新鋭のデジタル制御を駆使した30 MWサイリスタ始動装置を納入している。

近年、二酸化炭素を発生しないクリーンエネルギーとして水力発電を見直す気運が高まっており、神流川発電所で培った発電電動機の大容量化技術およびサイリスタ始動装置のデジタル制御技術は地球環境に貢献するものとして注目されている。

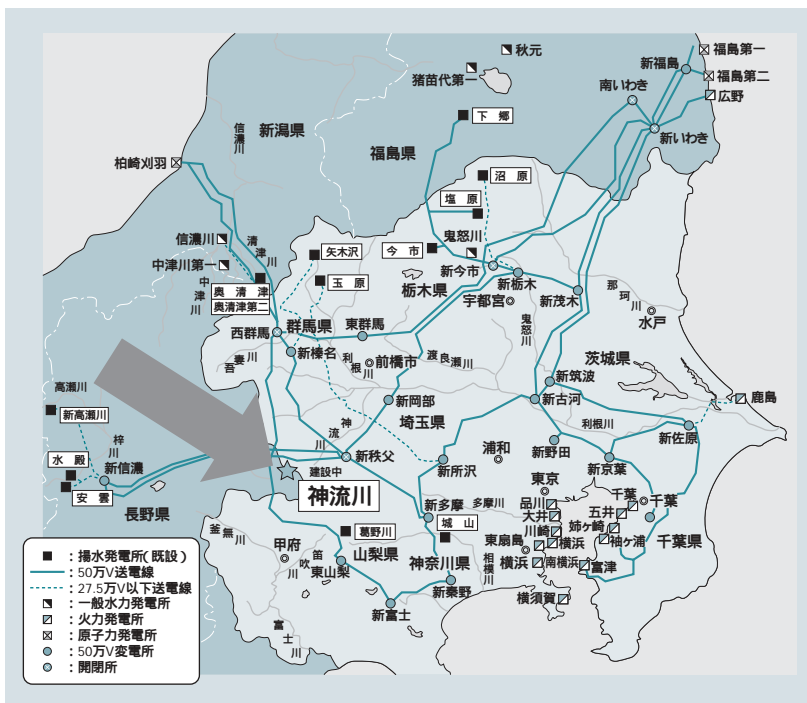


図2 神流川発電所の位置  
神流川発電所は群馬県、長野県、埼玉県の県境に位置している。

しては最大出力470 MW、発電電動機容量としては世界最大級となる525 MVAとしたものである。

### 3. 発電電動機

#### 3.1 通風冷却

発電電動機容量の増大に伴い機内における発熱量も増加するため、効率のよい冷却技術が必要となる。また、補機点数の低減や発電所内電源容量の低減にも寄与できることから、通風冷却方式として冷却用ブロワを必要としないリムダクト通風方式を採用した。これは回転子に積層されているリムの間に通風ダクトを設け、回転子中心にあるスパイダのアーム間から回転子外周側に向かって通風路を確保し、回転子の回転によるファン効果を高めることにより、自己通風を実現したものである。発電電動機の固定子および回転子を図3に示す。

また、発電電動機内に流れる冷却風を冷却するための空

気冷却器(水冷却熱交換器)は発電電動機1台に対し、1,060 kWの熱交換容量を持つ冷却器を固定子の外表面に8基搭載している。これは従来、冷却水が通る冷却管に放熱フィンを巻き付けた構造であったものを見直し、自動車のラジエータのように冷却管の間をすべて薄い銅板で覆うことにより、大容量の空気冷却器をコンパクトにすることができた。

#### 3.2 高強度回転子

従来機と比較した発電電動機の仕様を表1に示す。この発電電動機では無拘束速度の増加により、発電電動機回転子の最外径部で最大約1,600 Gもの遠心力がかかる。この遠心力で回転子構造物は



図3 発電電動機の固定子および回転子  
発電所現地における固定子への回転子つり込み前の状況を示す。

表1 発電電動機の主な仕様

空冷発電電動機として世界最大級容量となった神流川発電所の発電電動機と従来機の仕様比較を示す。

| 項目            | 本機                    | 従来機                   |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 発電電動機容量       | 525,000 kVA           | 475,000 kVA           |
| 揚水時軸出力        | 464,000 kW            | 438,000 kW            |
| 定格電圧          | 18,000 V              | 18,000 V              |
| 定格力率(発電/揚水)   | 0.90/0.95             | 0.85/0.95             |
| 周波数           | 50 Hz                 | 50 Hz                 |
| 定格回転速度        | 500 min <sup>-1</sup> | 500 min <sup>-1</sup> |
| 最大到達速度(無拘束速度) | 755 min <sup>-1</sup> | 740 min <sup>-1</sup> |
| 遠心加速度(無拘束速度時) | 約1,600 G              | 約1,520 G              |

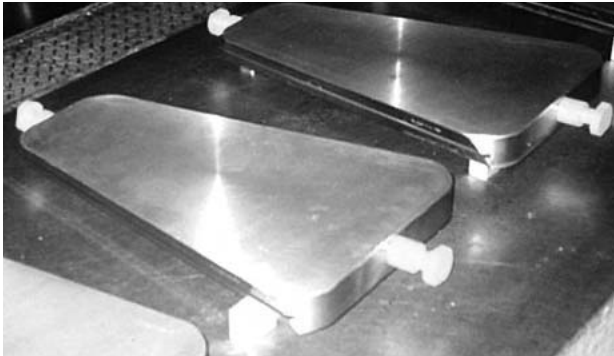


図4 発電電動機のスラスト軸受

冷却効率を高くするため、裏金には銅を基材として採用した。

外径側へ引っ張られるため、回転子リムには降伏点の非常に高い鋼材を使用してこれに対応した。

### 3.3 軸受

発電電動機およびポンプ水車の回転部質量とポンプ水車にかかる水圧スラスト荷重の合計荷重1,300 tは発電電動機のスラスト軸受で支持している。スラスト軸受で発生する熱を効率よく冷却し、スラスト軸受の熱変形を低減するため、軸受の裏金には熱伝導率の高い銅を基材としたものを採用している(図4参照)。

また、潤滑油冷却システムの油循環ポンプ運転シーケンスを見直し、運転停止によるヒートサイクルによって軸受に発生する応力を緩和することができる。これにより、軸受の疲労寿命を伸ばすことができるものと考えられる。

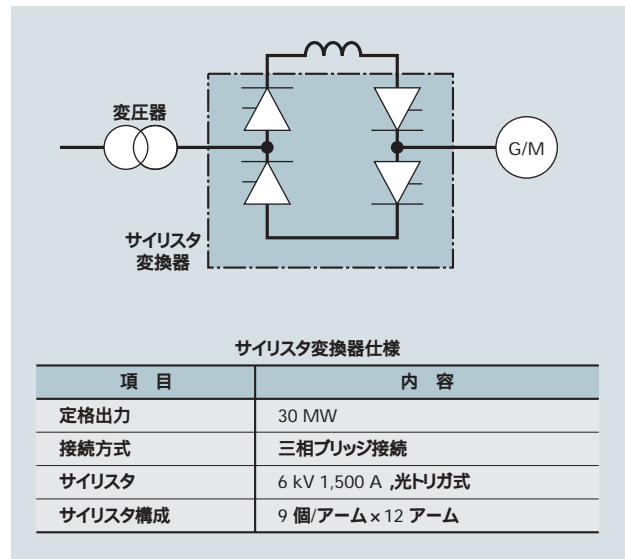
### 3.4 環境負荷低減への取り組み

発電電動機で使用される塗料については鉛を含有しないものを採用し、また、ワニス類には揮発成分を低減したものを採用することにより、環境負荷の低減のみならず作業環境の改善にも寄与している。

## 4. サイリスタ始動装置

### 4.1 始動装置用サイリスタ変換器

サイリスタ始動装置は、揚水発電所の発電電動機を揚水



注:略語説明 G/M(Generator-Motor)

図5 始動装置の主回路構成および仕様

発電電動機が単機容量世界最大級であるため、始動装置も大容量のサイリスタ変換器を採用している。

運転するときに、停止状態から定格速度まで加速する装置である。始動装置の主回路構成および仕様を図5に示す。発電電動機が単機容量では世界最大級であるため、これに対応し、始動装置も大容量(30 MW)のサイリスタ変換器を採用した設備となっており、次の特徴がある。

#### (1) 大容量光サイリスタ採用による高信頼性の実現

6 kV 1,500 Aの高電圧・大容量光トリガ方式サイリスタを直列接続して変換器を構成しており、主回路およびトリガ回路の部品点数の低減と信頼性の向上を図っている。

#### (2) 直接水冷式採用によるコンパクト化

変換器の冷却には、純水水冷を採用し、風冷と比較してコンパクト化を実現している。

### 4.2 デジタルサイリスタ始動制御保護装置

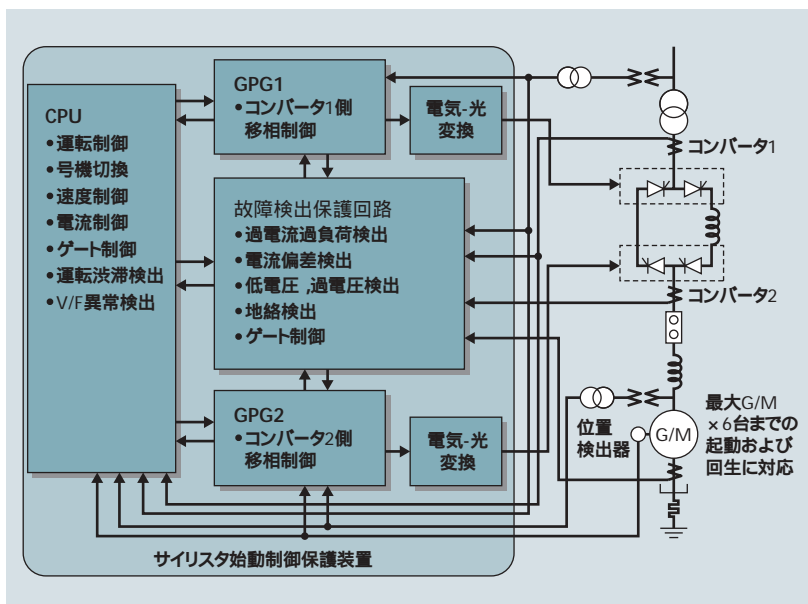
従来の揚水発電所用サイリスタ始動制御保護装置はアナログ回路で構成されており、設定値の経年変化、点検保守に時間がかかるなどの課題があり、信頼性・保守性向上のため、デジタル型サイリスタ始動制御保護装置を適用した。この装置には以下の特徴がある(図6参照)。

#### (1) 盤面数の削減

速度制御、電流制御、シーケンス制御などの制御演算をCPU(Central Processing Unit)で行うことでハードウェア回路を削減し、制御盤面数を従来の5面から3面に削減した(図7参照)。

#### (2) 故障検出保護回路の集約化

従来、保護要素ごとに構成していた故障検出保護回路を1枚の基板に集約し、回路の標準化を行ったことで、高い信頼性と保守性の向上を図った。



注:略語説明 CPU( Central Processing Unit ), V/F( Voltage/Frequency ), GPG( Gate Pulse Generator )

図6 サイリスタ始動制御保護装置のシステム構成

電流制御などの制御演算はCPUが行い、CPUと独立した故障検出保護回路がサイリスタ変換器保護機能を受け持つ。

### (3) 点検時の調整個所の削減

制御回路のデジタル化により、アナログ回路の調整個所を大幅に削減したことで、点検期間を従来比50%に短縮した。

### (4) メタルナラシ運転対応

この制御装置には、サイリスタ始動装置を使用したメタルナラシ運転に対応できるよう、任意に設定された速度を保持させる運転モード(発電/揚水方向)を装備している。これにより、サイリスタ始動中においても任意速度への速度変更、および任意速度を保持した運転を行うことが可能である。

## 5. おわりに

ここでは、東京電力株式会社神流川発電所に納入され、世界最大級の容量となった発電電動機と、初めてデジタル制

御を採用したサイリスタ始動装置について概要を述べた。

近年の環境問題に対する関心の高まりから、化石燃料を消費せず、二酸化炭素を放出しない水力発電を見直す気運が高まっている。日立製作所は、環境負荷の低い水力発電所へ高いパフォーマンスを持つ機器を納入することにより、社会的貢献を果たしていく考えである。

終わりに、発電電動機およびサイリスタ始動装置の計画から設計、製造、建設、運転開始に至るまで、東京電力株式会社の関係各位から多大なご指導とご協力をいただいたことに深く感謝の意を表する次第である。

### 参考文献など

- 1) 東京電力株式会社神流川発電所,  
[http://www.tepco.co.jp/gunma/kanna-gawa/11\\_0-j.html](http://www.tepco.co.jp/gunma/kanna-gawa/11_0-j.html)



図7 サイリスタ始動制御保護装置

ハードウェア回路の削減により、従来の5面を3面に削減可能となった。

### 執筆者紹介



**岡 潔**  
1992年日立製作所入社、電力グループ 日立事業所 電力設計部 所属  
現在、大型同期発電機および電動機的设计に従事



**山崎 彰満**  
1989年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 パワーエレクトロニクス設計部 所属  
現在、変電所向けの高電圧サイリスタ変換器的设计に従事  
電気学会会員



**小宅 孝**  
1989年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 発電制御システム設計部 所属  
現在、水力発電所監視制御システム的设计に従事