

『電気協同研究』第72巻第1号

水力発電所付属設備の設計指針

平成28年3月25日
一般社団法人 電気協同研究会



【発刊に際しての委員長推薦のことば】

水力発電所機器専門委員会
委員長 神奈川大学教授 中西 裕二

電気協同研究第42巻第2号「水車付属設備の設計指針」（以下、電協研第42巻2号という）は、中小水力発電所（概ね1,000～20,000kW）を対象とした水車付属設備の設計の指南書として昭和61年に発刊され、それ以降、数多くの水力発電所の新設工事あるいは改修工事等に活用されてきた。その間、ユーザ各社では、品質とコストのバランスを勘案しながら、新技術の導入や合理化を図った設備形成を目指してきているが、これらが明確となった指針がこれまでなかった。また、電協研第42巻2号は、前述のとおり中小水力発電所の水車の付属設備の設計指針であり、揚水発電所および発電機の付属装置について触れられていなかった。

したがって、電協研第42巻第2号の適用範囲を揚水発電所にまで拡大し、また、発電機の付属装置を盛り込み、更に各社の新技術の導入や合理化の実績を反映することで、水力発電分野に携わる多くの技術者のみなさまへ品質の維持と設備の合理化ならびにコストダウンなど、本指針が、付属設備の設計に必要な情報をお届けできることで、今後の水力発電の更なる発展に寄与できることを切に願うものである。

本指針に記載した設備は、以下のとおりである。なお、*は、電協研第42巻第2号から追加した章を示す。

入口弁、调速機、圧油装置、空気圧縮装置*、電動サーボモータ・電動入口弁*、潤滑油装置、給水装置、排水装置、付属装置用電動機、励磁装置*、可変速二次励磁装置*、揚水始動装置*

以下に、対象とした機器とその審議経過について紹介する。

1. 入口弁（第2章）

(1) 対象とした機器

- ・主弁（ロータリ弁，ちょう形弁，複葉弁，仕切弁）
- ・バイパス弁

(2) 審議経過

(a) 入口弁は水技で流水を遮断する施設の一つに位置づけられており，詳細設計を行う前に採否判断が必要となるため，他章とは異なり「分類・適用」の節の前に「入口弁の採否」の節を設け，採否の判断基準および注意事項を記載した。

(b) 「形式による分類」の項では，電協研第42巻第2号に詳述されていなかった各形式の特徴および構造図を記載した。なお，ロータリ弁およびちょう形弁については，近年適用されてきている偏心形についても説明した。

(c) 入口弁形式選定図については，最近の採用実績を調査し見直した。

(d) 入口弁の口径を選定するための重要項目である流速について，実態を調査し数値を見直した。

なお，調査対象は，電協研第42巻第2号に記載がなかった仕切弁（スルース弁）も追加した。

(e) 電気協同研究第54巻第1号「水力発電所主要機器購入仕様標準」（以下，電協研第54巻第1号という）を参考にして，入口弁と水圧管路，水車ケーシングとの接続方法に関する留意事項を追加した。

(f) 電協研第42巻第2号および電協研第54巻第1号では，弁体の設計水圧を最大静水圧，弁胴のそれを最大水圧としていたが，各社の実態を調査した結果，流水遮断性能を持たせるのが一般的であったため，本指針では，弁体設計水圧を弁胴と同様，最大水圧とした。

(g) 電協研第42巻第2号では，開閉時間を120～180秒程度としていたが，電協研第54巻第1号にあわせ180秒以下とした。

(h) 「設計事項」の節に，入口弁およびバイパス弁の主要性能である許容漏水量を記載した。

(i) 「設計の合理化」の節では，「バイパス弁の省略」の項目を記載し，適用範囲および留意事項（技術的評価，経済性評価）を整理した。また，適用実績を電気学会技術報告第1226号「中小水力発電所の新技術動向に関する調査報告」（以下，電気学会技術報告第1226号という）より引用し追加した。その他，「偏心ロータリ弁の採用によるシールリングの省略」を記載した。

(j) 「最近の技術動向」の節では，国内で採用実績はないものの入口弁に代わりステーバーンとガイドバーンの間に円筒型の流路遮断リングを設置し，水の流入を遮断する方式の「リングゲート」を記載した。

2. 調速機（第3章）

(1) 対象とした機器

- ・調速機（調速制御部，アクチュエータ／ドライバ，サーボモータ，速度検出部，開度検出部）

(2) 審議経過

(a) 電協研第42巻第2号では調速機の性能・機能をX, Y, Z級の三階級に分類していたが，電気協同研究第57巻第5号「一般水力発電所の制御・保護システムの合理化」（以下，電協研第57巻第5号という）にて追加されたY'級の適用が広がっているため「階級による分類」に，Y'級を追加した。

(b) 調速機の構成をシステム構成図と概略ブロック図を用いて説明した。

(c) 「性能」の項における「調速機の性能・機能および付属設備一覧表」を最近の採用実績に基づき，以下のとおり見直しを行なった。

- ・Y'級を追加

- ・PID形デジタル制御が主流となってきていることを踏まえ，ダンピング形調速機に適用される過渡速度垂下率，弾性復原時定数を削除。

- ・今後、调速機で結合運転を行うことは無いと考えられるため、その記載を削除。
 - ・開度検出方式、位置表示器、故障検出、データセーブの項目を追加。
 - ・参考として、IEC61362 Ed. 2. 0:2012 (b) 「Guide to specification of hydraulic turbine control systems」(以下、IEC61362 という) の推奨値を追記した。
- (d) 「電源」の項では、入力電源と電源装置の組み合わせを電協研第 57 巻第 5 号に基づいて再整理した。
- (e) 電協研第 42 巻第 2 号で、関連二次調整装置として扱っていた「応水制御」、「水位調整」、「流量調整」、「高効率運転」、「自動負荷調整」については、制御装置のデジタル化に伴い、调速制御装置に付加されるようになってきているため、本指針では「付帯機能」として整理した。
- (f) 「設計の合理化」の節では、サージタンク容量を低減できる「アドバンストガバナの採用」について記載した。
- (g) 「最近の技術動向」の節では、「一体形制御装置の適用」や「制御装置との伝送接続」について整理した。

3. 圧油装置 (第 4 章)

(1) 対象とした機器

- ・圧油装置 (集油タンク、圧油ポンプ、圧油タンクまたはアキュムレータ)

(2) 審議経過

- (a) 「分類」については、調査の結果、電協研第 42 巻第 2 号に記載のあった直接加圧ポンプの適用実績がなかったため、圧縮空気式圧油装置とブラダ形圧油装置のみとした。
- (b) 「容量」の項では、動作責務、圧油装置の区分、圧油タンクの容量決定方法について、発電電規程をそのまま引用するとともに補足説明を加えて理解しやすくした。
- (c) 「付属設備」の項において、発電電規程に記載の“最高使用圧力の 110%抑制する安全弁”と压力容器構造規格に記載の“最高使用圧力以下に保持する安全弁”が JIS に準拠し、発電電規程と差異がないことを記載した。
- (d) 「付属設備」の項において、従来、安全弁の吹止り圧力き“設定圧力の 0.9”としてきたため、再設定を要求するユーザもあったが、JIS に準拠し“設定圧力の 15%以下”とした。
- (e) 「付属設備」の項において、電協研第 42 巻第 2 号に記載のあった安全弁、油面計/圧力計、加熱器・冷却器に加えて、本指針では浄油装置、阻止弁、配管弁類、漏油回収装置を記載した。
- (f) 「設計の合理化」の節では、海外で実績のある制御油圧の高圧化 (10MPa) について記載した。
- (g) 「圧油タンク容量計算」において、現状の設備実態を踏まえ 1.5MPa 系を追記した。

4. 空気圧縮装置 (第 5 章)

(1) 対象とした機器

- ・空気圧縮装置 (空気タンク、空気圧縮機)

(2) 審議経過

- (a) 電協研第 42 巻第 2 号および電気協同研究第 31 巻第 2 号「水面押し下げ用空気圧縮装置」(以下、電協研第 31 巻第 2 号という) を参考に、新たな章を設けた。
- (b) 空気圧縮装置には、「分類・適用」に該当する内容が無いため、「分類・適用」の節を省略した。
- (c) 空気圧縮装置の構成については、一般水力発電所と揚水発電所に区分し、今回の調査結果で最も広く採用されている構成を代表例として記載した。
- (d) 「性能」の項では、用途別 (圧油装置用、ブレーキ用、水面押し下げ用) に分類し、それぞれについて、空気圧縮機および空気タンクに要求される設計条件を記載した。
- (e) 「空気圧縮機および空気タンク容量計算」についても、用途別 (圧油装置用、ブレーキ用、水面押し下げ用) にそれぞれ記載した。
- (f) 「設計に配慮すべき事項」では、「水面押し下げ用排気系配管設計時の留意事項」を記載した。

5. 電動サーボモータ・電動入口弁（第6章）

(1) 対象とした機器

- ・電動サーボモータ（電動サーボモータ，電動サーボドライバ）
- ・電動入口弁（駆動装置）

(2) 審議経過

- (a) 水力発電所の新設工事，改修工事時に，電動サーボモータ・電動入口弁の導入が広範囲に進んでいることから，新たな章を設けた。
- (b) 電動サーボモータ・電動入口弁には，「分類」に該当する内容が無いため，「適用」の節のみ設けた。
- (c) 「適用」の節において，電動サーボモータの適用実績を電気学会技術報告第1226号から引用し記載した。また，電動サーボモータの操作力の実績は，実態調査を行い記載した。
- (d) 最近の電動入口弁の適用実績を調査した結果，電気学会技術報告第1226号で報告されている内容と同一であったため，電気学会技術報告第1226号からそのまま引用し記載した。
- (e) 電動サーボモータおよび電動入口弁の構成を，構成図または構造図を用いて説明した。
- (f) 電動サーボモータの容量計算書例を添付資料に新たに追加した。
- (g) 「電源」の項においては，電動サーボモータ，電動入口弁の電源構成を実態調査に基づき記載した。
- (h) 電動サーボモータのバックアップについては，水技およびその解釈（「水の流水または流出を遮断する施設（39条）」／「水車の保護（41条）」）の条文，すなわち法的に要求される最低限の設置条件を明記するとともに，ユーザ各社の設備実態を調査・整理した。また，それぞれのバックアップ方式の特徴の説明を加えた。なお，水技の解釈については，添付資料にまとめた。
- (i) 「設計に配慮すべき事項」の項では，改修時に電動サーボモータとレギュレータを異メーカー接続する際の留意事項をまとめた。
- (j) 「最近の技術動向」の節では，現在適用実績が増えつつあるハイブリットサーボを記載した。また，実績は少ないものの採用例のある改良型電動サーボモータおよび複動式についても記載した。

6. 潤滑油装置（第7章）

(1) 対象とした機器

- ・潤滑油装置（潤滑油ポンプ，潤滑油タンク，油冷却器）

(2) 審議経過

- (a) 電協研第42巻第2号における「潤滑油装置」の章では，主軸受への給油，ガイドベーン軸受への給油，入口弁軸受への給油装置に加えて，潤滑油系統の初期充填用の潤滑油タンクや漏油タンクについても記載していたが，本指針では，主軸受への冷却または給油を目的とした軸受油槽外部に設置する装置を潤滑油装置と定義し，次の項目を削除した。
- ・自蔵式（主機の一部であり，付属装置には該当しないため）
 - ・グリス給油式（外部に設置する軸受の冷却システムに該当しないため）
 - ・点検用または初充填用の潤滑油タンク（外部に設置する軸受の冷却システムに該当しないため）
 - ・漏油タンク（外部に設置する軸受の冷却システムに該当しないため）
- (b) 「分類・適用」の節では，潤滑油装置を強制循環方式と重力給油方式に分類した。
- (c) 潤滑油装置の構成を強制循環方式と重力給油方式のそれぞれの構成図を用いて説明した。
- (d) オイルリフタ装置については，付属設備に分類して記載した。
- なお，横軸機での使用例もあるが一般的ではないため，立軸機に限定しての記載とした。
- (e) 寒冷地で使用されることのある加熱器を「付属設備」として記載した。

7. 給水装置（第8章）

(1) 対象とした機器

- ・給水装置（給水ポンプ，冷却水槽 [冷却水タンク]、ストレーナ，サンドセパレータ，熱交換器，

減圧装置)

(2) 審議経過

(a) 給水装置の詳細設計の前には、冷却水、封水、操作水を供給すべき設備を整理する必要があることから、「分類・適用」の節の前に、「給水対象設備」の節を設けた。

(b) 電協研第 42 巻第 2 号では、給水装置を給水方式により分類していたが、河川法遵守の観点から、給水量が許可水量の内数に当たるか外数に当たるかを明確にするために取水位置によって分類することとした。

(c) それぞれの取水方式について、取水位置や取水方法の概要、構成設備の検討すべき事項および減電発生の有無などを詳述するとともに、システム構成図を示した。

(d) 「構成」の項では、水圧管路取水方式、放水路取水方式および取水口取水方式を区別し、それぞれの構成機器について詳述した。なお、電協研第 42 巻第 2 号では、自動弁、減圧装置、冷却水槽・冷却水タンク、ストレーナ、サンドセパレータを、付属装置として取り扱っていたが、本指針では給水システムの主要構成機器と位置づけた。

減圧装置の予備については、電協研第 42 巻第 2 号に、「減圧装置の予備を設ける場合が多い」という記載があったが、今回実績調査を行った結果、予備の設置例が稀であったためその記載を削除した。

(e) 「設計に配慮すべき事項」の項では、「給水システムの耐圧協調」や「カワヒバリガイ付着による通水障害事例」について記載した。

(f) 「設計の合理化」の節では、給水装置の省略について説明し、省略実績調査の結果も記載した。

8. 排水装置 (第 9 章)

(1) 対象とした機器

・排水装置 (所内排水ピット [水位検出器含む]、油水分離槽 [油検出器含む]、排水ポンプ)

(2) 審議経過

(a) 「排水方法による分類・適用」として、自然排水方式とポンプ排水方式に分類した。

(b) 所内排水システム全体について系統図に示した。

(c) 油水分離槽の構造について実態調査し、その代表例を示した。

(d) 「付属装置」の項において、各種排水ピット水位検出器 (フロート式・電極式・圧力式) の特徴について整理した。

(e) 「設計に配慮すべき事項」の項では、「漏油攪拌による河川流出事故」や「浸水事故」の事例を挙げた上で、設計上の留意事項を記載した。

9. 付属装置用電動機 (第 10 章)

(1) 対象とした機器

・付属装置用電動機

(2) 審議経過

(a) 「分類・適用」の節では、JEC2137-2000「誘導機」(以下、JEC2137 という) を参考にして、「電動機入力電源および構造による分類・適用」と「外皮構造による保護形式の分類・適用」について記載した。

(b) 「電源」の項では、実態調査の結果、直流電圧を使用する場合、100V を使用している設備が一般的である旨を記載した。

(c) 電動機の保護は、サーマルや過電流が考えられるが、各付属装置の保護項目に含まれることから、本章にはあえて記載しないことにした。

(d) 「最近の技術動向」の節では、トッランナーモータの適用の注意事項について記載した。

なお、トッランナーモータについては、2013 年 11 月、「エネルギーの使用合理化に関する法律」(省エネ法) の政省令・告示改正 (交流電動機の追加など) が公布・施行されており、2015 年 4 月

以降、国内向けに出荷するモータにはその適用が義務化されている。

(e)電協研第42巻第2号では、「水車発電機負荷遮断時の回転速度上昇時には、過速度継電器による所内電源の遮断が望ましい」との記載があったが、現在、周波数継電器による所内電源保護が一般的に行われていることならびに所内電源は系統側より受電している場合がほとんどで所内単独運転以外に問題となるケースが無く過速度継電器による保護が行われていないことから、本指針より削除した。

10. 励磁装置 (第11章)

(1) 対象とした機器

- ・励磁装置 (界磁回路および励磁用変圧器は主機側の設備のため対象外とした)

(2) 審議経過

(a)励磁装置を水力発電所の付属設備とし、新規に追加した。

(b)現在、励磁装置の主流となっている静止励磁方式、ブラシレス励磁方式を中心に、基本的な構成、性能・機能および付帯機能について記載した。

(c)「構成」の項では、静止励磁方式およびブラシレス励磁方式の構成図と励磁制御部のブロック図を用いて説明した。

(d)「付帯機能」の項では、JEC2130-2000「同期機」(以下、JEC2130という)の励磁装置制御機能を参考に、「自動力率調整機能」、「自動無効電力調整機能」、「負荷電流補償機能」、「過励磁制限機能」、「不足励磁制限機能」、「V/f制限機能」、「電力系統安定化機能」に分類し整理した。

(e)「設計の合理化」の節では、界磁地絡継電器の省略について記載した。

11. 可変速二次励磁装置 (第12章)

(1) 対象とした機器

- ・可変速二次励磁装置 (励磁電源変圧器, 限流リアクトル, 純水冷却装置)

(2) 審議経過

(a)可変速揚水発電システムの付属装置として、可変速二次励磁装置を新規に追加した。

(b)可変速揚水発電システムとしては、この指針では二次励磁方式のみを対象とした。

(c)電気学会技術報告第1338号「水力発電機器の設計技術の動向」に主機を中心とした可変速揚水発電システム全般について、歴史や原理を含めて詳しく解説されているが、本指針では、その記載も参考にし、変換装置を中心に、システム構成、性能、システム要項、制御電源、制御、保護、付属設備の設計時に必要と考えられる内容を、設計者に理解し易いようにまとめた。

(d)「分類・適用」の節では、サイクロコンバータを使用する他励式とインバータ・コンバータシステムを使用する自励式について、それぞれの特長および適用実績を整理した。(12-2-1)

(e)「システム構成」として、サイクロコンバータ方式、インバータ・コンバータ方式のシステム構成例を示した。

(f)「システムとしての性能」として、揚水AFC運転、水車効率の向上、発電運転範囲の拡大、高速応答性、短絡比・頂上電圧の考え方について整理した。

(g)「システム要項」として、システム定格、可変速幅、変換器容量について図を用いて平易に解説した。

(h)「制御」として、ポンプ運転制御、水車運転制御、始動方式、制動方式について整理した。

(i)「最近の技術動向」として、電力用の半導体デバイスの変遷と今後増えてくると考えられる既設揚水機の可変速化の課題について整理した。

12. 揚水始動装置 (第13章)

(1) 対象とした機器

- ・揚水始動装置 (始動用変圧器, 交流リアクトル, 直流リアクトル)

(2) 審議経過

- (a) 揚水始動装置を揚水発電所の付属設備とし、電気協同研究第 30 巻第 1 号「揚水発電所の機器計画」（以下、電協研第 30 巻第 1 号という）を参考にし、本指針に盛り込んだ。
- (b) 揚水始動装置をサイリスタ始動方式、同期始動方式、起動用電動機直結始動方式、制動巻線始動方式に加えて、タンデム始動方式、二次励磁可変速揚水発電システムにおける自己始動方式に分類した。なお、低周波始動方式については国内での採用実績がないことから本指針では盛り込まなかった。
- (c) 日本国内における揚水発電所の始動方式の採用実績を調査し整理した。
- (d) 「設計事項」の節では、近年、一般的に採用されているサイリスタ始動装置について説明した。
- (e) 「システム要項」の項では、サイリスタ始動装置の始動時間、容量計算について記載した。
- (f) 「設計の合理化」の節では、「昇圧変圧器方式」と「水冷方式によるコンパクト化」を記載した。

1.3. 制圧機

(1) 電協研第 42 巻第 2 号では、技術的、経済的観点から制圧機の採用例がなく、電力会社各社も制圧機を採用しないことを原則としているので本文から添付資料に移行された。本指針では、今後、新規に設置されることはないものの、既存制圧機の撤去工事を考慮し、制圧機を撤去する場合の留意事項を中心に添付資料にまとめた。

以 上