

RCIC タービン制御装置の国産化更新工事

RCIC Turbine Control System Upgrade Construction

中国電力 (株)
中国電力 (株)
(株) 日立製作所
(株) 日立製作所
(株) 日立製作所
(株) 日立エンジニアリング・アンド・サービス

生田 睦男
牛尾 嘉宏
荻原 邦弘
戸村 孝
高島 博之
大田 博司

Takeo IKUTA
Yoshihiro USHIO
Kunihiro OGIHARA
Takashi TOMURA
Hiroyuki TAKASHIMA
Hiroshi OTA

We have developed a new digital control system for RCIC steam turbine and applied Shimane Nuclear Power Station Unit No.2. Original turbine control system uses analog single controller. However, availability and maintainability of the equipment, we decided to replace to new digital redundant system to keep Controllability, Maintainability and Reliability. The system has been confirmed controllability by during start up test and put into service operation now.

Keywords: RCIC. Digital Controller, turbine-drive pump

1. 緒言

ABWR 及び BWR の一部のプラントでは、デジタル式 RCIC タービン制御装置が適用されているが、島根原子力発電所第 2 号機では、輸入品アナログ制御装置^[1]を使用していた。制御性、信頼性及び保守性を向上させるとともに、改造範囲を最小化した制御システムを開発し、島根原子力発電所第 2 号機に適用した。

今回開発した制御装置の特徴及び制御システム更新工事について紹介する。

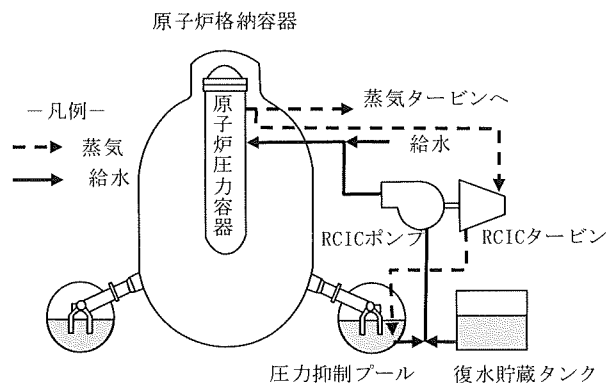


Fig.1 RCIC system configuration

2. 原子炉隔離時冷却系 (RCIC 系統)

図 1 に示すように原子炉隔離時冷却系 (RCIC : Reactor Core Isolation Cooling System)は、原子炉隔離時何らかの原因で原子炉への給水が停止した場合に、復水貯蔵タンクまたは、圧力抑制プールの水を原子炉に供給し、燃料の崩壊熱を除去するために設置されている。

給水のためのポンプ(RCIC ポンプ)は、原子炉蒸気を使用した蒸気タービン(RCIC タービン)により駆動される。

また、給水は起動信号から 30 秒以内に系統定格流量を得られる仕様となっている。

3. RCIC タービン制御装置

3.1 信頼性向上

RCIC タービン制御装置は、給水制御装置からの給水信号に従い、タービン回転速度を制御している。表 1 に RCIC タービン制御装置の更新前後の構成比較を示す。また図 2 更新前制御システム、図 3 に更新後制御システムを示す。

更新前制御システムは、アナログ単一構成であったが、更新後制御システムはデジタル多重化(2 重化)し、故障診断機能を備え、故障レベルにより待機系への自動切換を行い、単一故障での機能喪失を防止し信頼性を向上させた。

また、速度検出器についても多重化するとともに、タービン過速を防止する電気式非常調速機についても、多

連絡先:生田親男, 〒690-0393 島根原松江市鹿島町片匂 654-1, 中国電力(株) 島根原子力発電所 保修部(計装), 電話:0852-82-2220, E-mail:499381@pnet.energia.co.jp

重化することにより信頼性を向上させた。

Table1 Comparison of Control Composition

項目		更新後	更新前
制御装置	方式	デジタル	アナログ
	多重化	2重化	無
	故障診断	有	無
制御電源	電源入力	DC+AC (多重化)	DCのみ
	電源装置	2台(多重化)	1台
速度検出器	員数	3個(多重化)	1個
蒸気加減弁 開度検出器	員数	2個(多重化)	無
電気式非常 調速度機	多重化	2 out of 3	1 out of 1

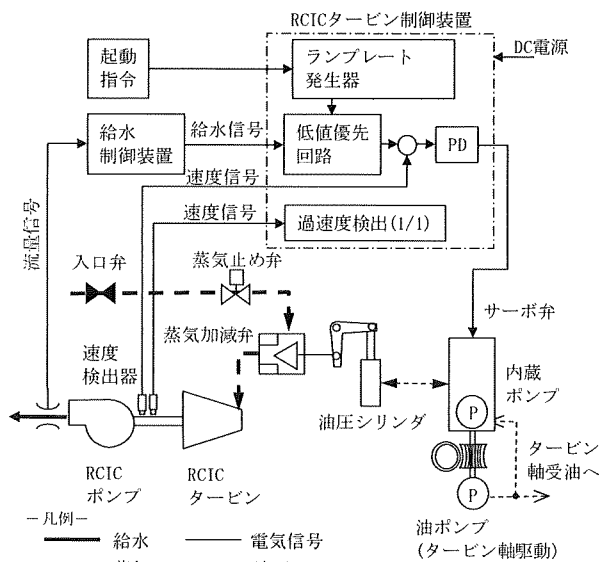


Fig.2 RCIC turbine control configuration (existing)

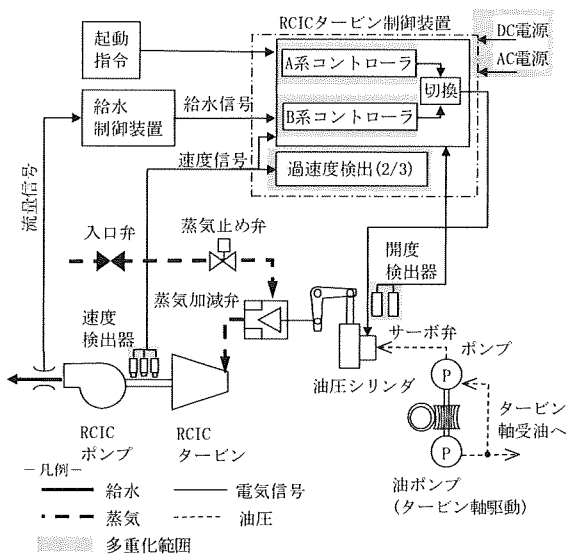


Fig.3 RCIC turbine control configuration (upgrade)

3.2 制御性向上

更新前後での制御装置の機能比較を表2、図4~7に示す。

(1)制御モード区分

RCICは、運転モードとしてタービン停止状態から、給水開始までの起動制御と、給水信号に基づく給水制御の2つがある。更新前制御装置では、この2つの運転モードに対して1つの制御設定(制御ゲイン設定)であったが、更新後はこの2つのモードの切り換えを行うことによりそれぞれに最適な制御設定とすることが可能となった。

また、タービンおよびポンプの運転特性は、原子炉圧力に依存することから原子炉圧力をタービン起動時の回転速度制御に取り込み、原子炉圧力に対応した制御定数とすることによりタービン起動の安定化を図っている。

(2)起動時特性

RCICタービン停止中は、タービン流入蒸気を調整する蒸気加減弁を全開にして待機している。起動時にはタービン上流に設置された入口弁を開きタービンを起動する。タービン起動に伴い、蒸気加減弁を駆動するための油圧が軸駆動油ポンプにより確立し、蒸気加減弁が動作を開始する。このため起動時には蒸気加減弁が油圧確立による制御を開始するまでの間、回転速度の一時的なピークが存在する。

更新前は、起動時の速度指令をランプ状に上昇させる制御としていたため、起動時の一時的な回転速度ピークの後、速度指令に基づき速度を下降させていた。

更新後は、加速度制御とし、起動時の一時的な回転速度ピーク後は、加速度設定に基づく制御を行い、更新前のように速度を一旦下降させることなく安定的に給水制御まで速度を上昇させる方式とし安定的な起動が可能となった。

(3)油圧シリンダ位置フィードバック

更新前は、蒸気加減弁油圧シリンダフィードバックを、油圧を用いた機械的な機構で行っていたため、調整必要時の作業が容易ではなかった。

更新後は、油圧シリンダ開度のフィードバック制御を採用し、単独でフィードバックゲインを調整でき、調整の簡素化および制御を安定化させた。

Table2 Comparison of control function

	更新後	更新前
制御設定	起動制御と給水制御を分離	単一設定
原子炉圧力による設定値補正	有	無
起動制御	加速度制御	ランプレート制御
油圧シリンダ位置フィードバック	電気信号	油圧信号

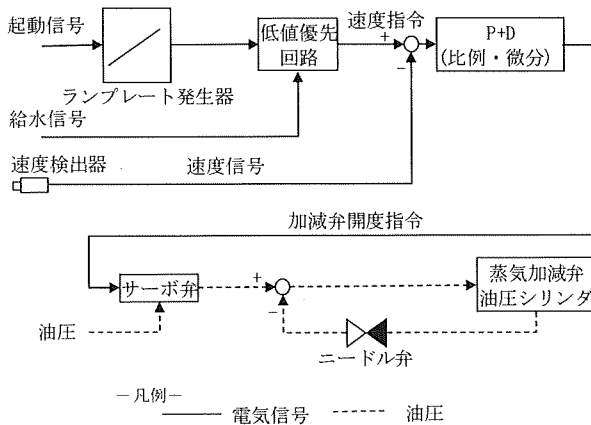


Fig.4 RCIC turbine control logic (existing)

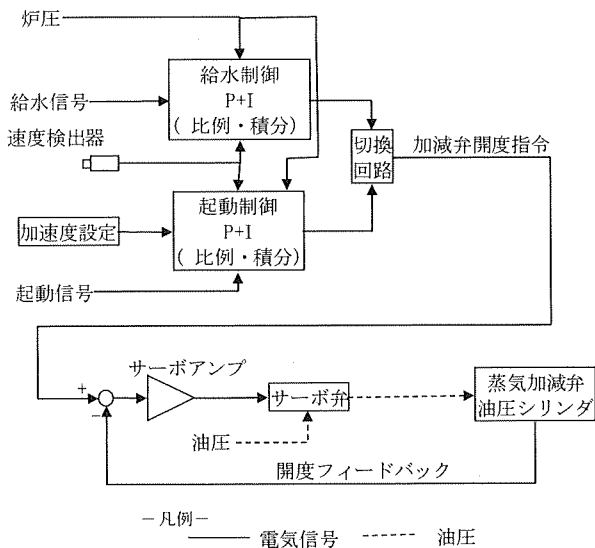


Fig.5 RCIC turbine control logic (upgrade)

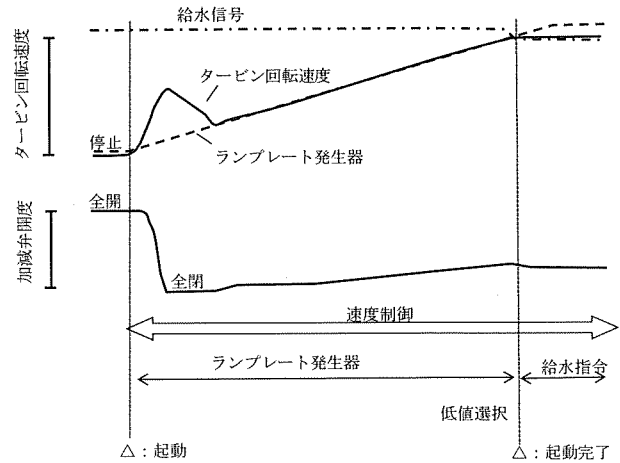


Fig.6 Schematic character of RCIC turbine start-up with existing controller

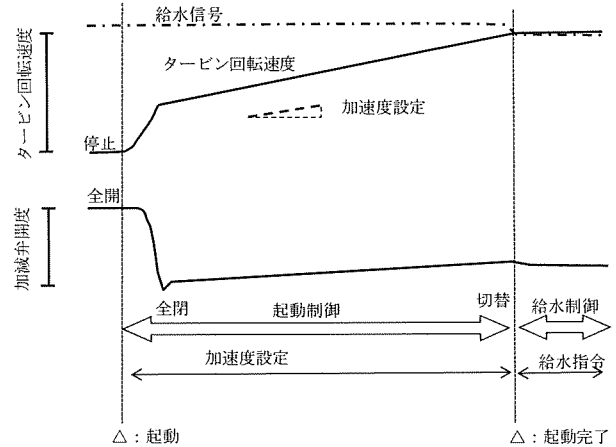


Fig.7 Schematic character of RCIC turbine start-up with upgrade controller

3.3 保守性向上

制御装置のデジタル化に伴い、制御装置特性調整をソフトによるパラメータ設定とし、メンテナンスツールにより容易に操作、確認が可能となった。

また、制御基板は他の制御装置（給水制御装置等）と共用化を図り、保守部品を最小化した。

4. 更新工事

4.1 更新工事

島根原子力発電所2号機第16回定期検査(2010年3月18日～2010年12月6日)中に更新工事を実施した。図8にRCICタービン全景を示す。また、図9にRCICタービン制御盤を示す。

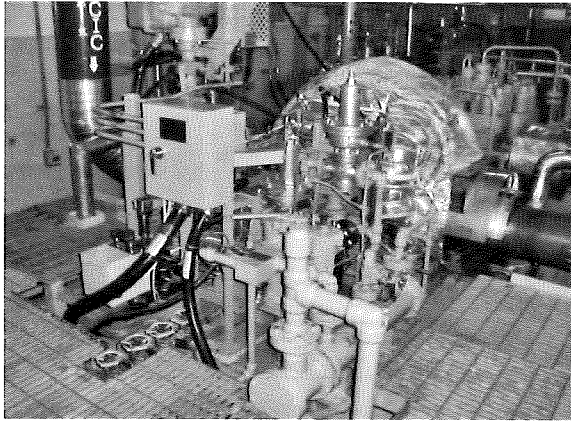


Fig.8 RCIC steam turbine



Fig.9 RCIC steam turbine controller

4.2 原子炉起動前試験

制御装置更新後、原子炉起動前試験として所内蒸気を使用して以下の試験を実施し、各運転において制御状態が安定していることを確認した。

(1)RCIC タービン無負荷試験

RCIC タービンとポンプとのカップリングを切り離し、RCIC タービンを無負荷状態として、起動・停止および連続運転を実施した。

(2)ポンプミニマムフロー運転

RCIC タービンとポンプを組合せて、ポンプミニマムフローの条件で起動・停止および連続運転を実施した。

4.2 原子炉起動後試験

原子炉起動に合わせ、各原子炉圧力段階において、制御系切換試験、急速起動、ステップ応答試験、運転状態確認を実施し、いずれも良好な結果が得られた。

図 10、図 11 に原子炉通常運転圧力での RCIC 急速起動試験を行った結果を示す。起動指令投入後、約 17 秒で規

定給水流量に到達している。

起動信号投入後、タービン停止状態では、蒸気加減弁は全開状態であるが、タービン回転速度上昇開始と同時に蒸気加減弁は閉動作を開始し、起動に伴う一時的な回転速度上昇を抑制後は、直ちに加速度制御に移行し規定給水流量となるよう安定的にタービン回転速度を制御している。

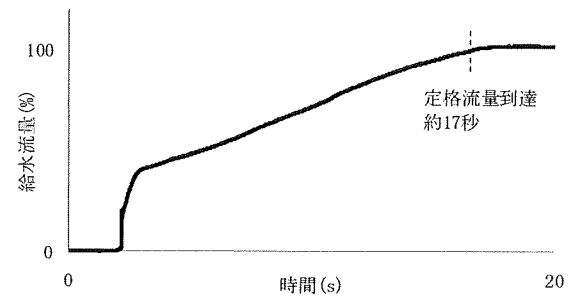


Fig.10 Character of RCIC feed water flow during start up with upgrade controller

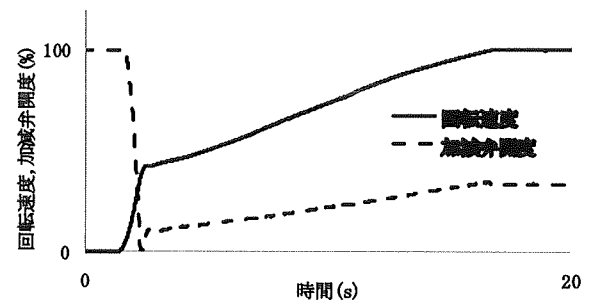


Fig.11 Character of RCIC turbine speed and steam control valve during start up with upgrade controller

5. 結言

RCIC タービン制御装置の制御性、信頼性及び保守性向上を目的に島根2号機について国産化更新工事を実施し、所定の性能が得られることを確認した。

現在、1号機 RCIC タービン制御装置についても本制御装置の適用を実施中である。また、本制御装置は、高圧注水系(HPCI : High Pressure Coolant Injection System)蒸気タービン制御装置にも適用可能なシステムとしており、1号機 HPCI タービンにも適用をしていく。

参考文献

- [1] Terry Turbine Maintenance Guide, RCIC Application: Replaces TR-105874 and TR-016909-R1, EPRI, Palo Alto, CA: 2002. 1007460

(平成 23 年 8 月 31 日)