JAEA-Technology 2021-039

DOI:10.11484/jaea-technology-2021-039

JRR-3プロセス制御計算機システムの段階的な更新

Stepwise Renewal of JRR-3 Process Control Computer System

井坂 浩二 諏訪 昌幸 木村 和也 鈴木 真琴 池亀 吉則 永冨 英記

Koji ISAKA, Masayuki SUWA, Kazuya KIMURA, Makoto SUZUKI Yoshinori IKEKAME and Hideki NAGADOMI

> 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 研究炉加速器技術部

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator Nuclear Science Research Institute Sector of Nuclear Science Research

February 2023

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。 本レポートの成果(データを含む)に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の 条件で利用してください。(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja) なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト(https://www.jaea.go.jp) より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課 〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2023

JRR-3プロセス制御計算機システムの段階的な更新

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 研究炉加速器技術部 井坂 浩二、諏訪 昌幸、木村 和也、鈴木 真琴 池亀 吉則、永冨 英記

(2021年12月3日受理)

JRR-3 プロセス制御計算機システムは、JRR-3 の冷却材流量、温度、圧力、水位等の監視・制御及び原子炉に設置の機器の操作に用いられるシステムとして、JRR-3 改造後の初臨界(平成 2年)から使用されており、高経年化が進むとともに予備品の入手が困難になってきていることから、更新が必要になった。更新にあたっては、崩壊熱除去等の炉心の保全業務に支障をきたさないとともに、原子炉利用者への影響を最小限とするため及び 1 回の更新費用を最小限に抑えるという観点から、長期の原子炉停止とならないよう 3 段階に分割して継続的に行う計画とした。

本報告書は、更新計画及び3段階に分けて行った更新作業についてまとめたものである。

Stepwise Renewal of JRR-3 Process Control Computer System

Koji ISAKA, Masayuki SUWA, Kazuya KIMURA, Makoto SUZUKI

Yoshinori IKEKAME and Hideki NAGADOMI

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator

Nuclear Science Research Institute

Sector of Nuclear Science Research

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 3, 2021)

JRR-3 Process control system is used from the initial criticality (1990) after remodeling JRR-

3 as equipment used for monitoring and control of flow rate, temperature, pressure, water level,

etc. of coolant and operation of nuclear reactor equipment, and it became necessary to renew

as the aging progressed and spare parts could not be obtained sufficiently. Upon renewal,

from the viewpoint of ensuring conservation of the core such as decay heat removal and

minimizing the impact on reactor users and minimizing costs, it is important not to stop long-

term reactor shutdown we planned to divide it into three stages and make it on a continuous

basis.

This report summarizes the renewal plan and renewal work divided into three stages.

Keywords: JRR-3, Process Control System, Renewal

ii

目 次

1. 1	はじめに	1
2.	JRR-3 の概要	2
3.	JRR-3 プロセス計算機システムの概要	3
3.	1 JRR-3 プロセス制御計算機システム	3
3.	2 上位計算機システム	3
4.	JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新計画	5
4.	1 段階的な更新方法の採用	5
4.	2 HIS(ヒューマンインタフェースステーション)の採用	6
	4.2.1 基本操作	6
	4.2.2 機器操作方法	6
	4.2.3 メンテナンス	6
	4.2.4 停電対応処置	6
4.	3 更新型 FCS の採用	6
4.	4 上位計算機システム機能の選定	7
4.	5 更新計画	7
5.	JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新作業	9
5.	1 準備段階作業	9
	5.1.1 準備段階作業の流れ	9
	5.1.2 ソフトウェアの変更	9
	5.1.3 ハードウェアの設置	10
	5.1.4 ソフトウェアのインストール	10
	5.1.5 試験検査	11
	5.1.6 HIS の運用	11
5.	2 1 段階目更新作業	12
	5.2.1 1段階目更新作業の流れ	12
	5.2.2 ハードウェアの更新	12
	5.2.3 ソフトウェアの入力	13
	5.2.4 試験検査	13
5.	3 2 段階目更新作業	14
	5.3.1 2段階目更新作業の流れ	14
	5.3.2 ソフトウェアの変更	14
	5.3.3 ハードウェアの更新	15
	5.3.4 HIS の増設	16
	5.3.5 試験検査	16
5.	4 上位計算機システムの見直しへの対応	17
	5.4.1 上位計算機システム機能の継承	17

JAEA-Technology 2021-039

5.4.2 データ処理計算機の設置	18
5.4.3 機器操作方法の変更	18
5.5 3段階目更新作業	18
5.5.1 3段階目更新作業の流れ	18
5.5.2 ハードウェアの更新	19
5.5.3 ソフトウェアの変更	19
5.5.4 試験検査	19
5.5.5 計装制御ループ精度の見直し	20
6. その他の JRR-3 プロセス制御計算機システム更新	21
6.1 準備段階作業	21
6.2 シグナルコンディショナカード及びユニット更新作業	21
6.3 試験検査	21
7. まとめ	22
謝辞	22

Contents

1.	Introduction	1
2.		2
	JRR-3 control computer system	3
	3.1 JRR-3 process control computer system	3
	3.2 Data managing computer	3
	Outline of renewal of JRR-3 process control computer system	5 5
	4.1 Adoption of method of phased update	5
	4.1 Adoption of HIS	
	4.2 Adoption of H1S	6
	4.2.1 Basic operation	6
		6
	11-10 1/24/11/00/14/100	6
	4.2.4 Power failure treatment of HIS	6
	4.3 Adoption of renewal type FCS	6
	4.4 Selection of high-ranking computer system function	7
	4.5 Renewal plan	7
5.	Renewal work of JRR-3 process control computer system	9
	5.1 Preparation stage	9
	5.1.1 Work flow for preparation stage	9
	5.1.2 Change of software	9
	5.1.3 Installation of hardware	10
	5.1.4 Installation of software	10
	5.1.5 Examination and test	11
	5.1.6 Operation of HIS	11
	5.2 The first stage	12
	5.2.1 Work flow for the first stage	12
	5.2.2 Renewal of hardware	12
	5.2.3 Setting of software	13
	5.2.4 Examination and test	13
	5.3 The second stage	14
	5.3.1 Work flow for the second stage	14
	5.3.2 Change of software	14
	5.3.3 Renewal of hardware	15
	5.3.4 Increase HIS	16
	5.3.5 Examination and test	16
	5.4 Review of function of data managing computer system	17
	5.4.1 Succession of data managing computer system	17
	0.4.1 Duccession of data managing computer system	Τ/

JAEA-Technology 2021-039

5.4.2 Installation of data processing computer	18
5.4.3 Change of operating procedures	18
5.5 The third stage	18
5.5.1 Work flow for the third stage	18
5.5.2 Renewal of hardware	19
5.5.3 Change of software	19
5.5.4 Examination and test	19
5.5.5 Review of instrumentation control loop accuracy	20
6. Renewal of other JRR-3 process control system	21
6.1 Preparation stage	21
6.2 Renewal work of signal conditioner card and unit	21
6.3 Examination and test	21
7. Conclusion	22
Acknowledgments	22

1. はじめに

JRR-3 は昭和 60 年から改造工事が行われ、平成 2 年 3 月に初臨界に達した後、多くの中性子 ビーム実験装置及び照射設備を装備した研究用原子炉として日本原子力研究開発機構(以下「原 子力機構」という。) 内外の利用に供されている。

JRR-3 プロセス制御計算機システムは、JRR-3 原子炉設備のプロセス量(冷却材流量、温度、圧力、水位等)の監視・制御及び機器(ポンプ、弁等)の操作に用いられるシステムとして、JRR-3 改造後の初臨界(平成 2 年)から使用されており、高経年化が進むとともに予備品の入手が困難になってきていることから更新が必要になった。更新にあたっては、崩壊熱除去等の炉心の保全業務に支障をきたさないとともに、原子炉利用者への影響を最小限とするため及び 1 回の更新費用を最小限に抑えるという観点から、1 段階目:操作端末のみの更新、2 段階目:バスライン及び制御盤内制御部(CPU)の更新、3 段階目:制御盤内入出力カードの更新の3 段階に分割して継続的に行う計画とした。3 段階の分割更新は供用運転中に行うことができないため、施設定期自主検査期間中に実施することとしていたが、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震(以下「東日本大震災」という。)の影響による原子炉建家健全性確認等の影響により、平成 17 年度から平成 28 年度の 11 年間をかけて実施した。

本報告書は、更新計画及び3段階に分けて行った更新作業についてまとめたものである。

2. JRR-3 の概要

JRR-3 は、熱出力 20MW の低濃縮ウラン軽水減速冷却スイミングプール型研究用原子炉で各種照射設備及び中性子ビーム実験装置を装備し、機構内外の利用に供されている。

炉心は、標準型燃料要素 26 体、ハフニウム制御棒 6 体(フォロワ型燃料要素付)、照射筒 5 体及びベリリウム反射体からなり、直径 60cm×炉心の有効長 75cm の筒状である。炉心の周りに重水反射体(重水タンク)が配置されている。

冷却系統施設は、1次冷却系、2次冷却系及び重水冷却系等で構成され、炉心の核分裂で発生 した熱を冷却塔から大気中に放散し冷却する。

計測制御系統施設は、中性子計装設備、プロセス計装設備、原子炉出力制御設備、プロセス放射能監視設備、計算機システム等で構成し、原子炉制御棟の制御室において集中監視・制御を行っている。

また、作業場の放射線管理のための放射線監視設備や、電源設備、換気空調設備等の運転管理のための特定施設がある。

3. JRR-3 プロセス計算機システムの概要

更新前のJRR-3計算機システムは、JRR-3プロセス制御計算機システムと上位計算機システムで構成されていた。

計測制御系統施設及び冷却系統設備等からのプロセスデータは、JRR-3 プロセス制御計算機システムによって取得し、監視・制御を行い、データの多くは 10 秒周期で上位計算機システムに収集される。取り込まれたデータは、原子炉の運転データとして、加工、演算を行い、時報、日報、週報、サイクル報等の帳票作成、トレンド表示、余剰反応度等の技術計算に使用され、運転サイクル終了後、原子炉運転データとして DVD-RAM に集録し保管され、必要な時期に運転過去データとして利用されていた。

Fig.1 に更新前の JRR-3 計算機システムを示す。

3.1 JRR-3 プロセス制御計算機システム

JRR-3 プロセス制御計算機システムは、横河電機(株)の生産制御システム(設備の監視・制御を総合的に行うシステム)を利用し、原子炉本体施設全般のプロセス量(流量、温度、圧力、水位等)の監視・制御及び機器(ポンプ・弁等)の操作を行うシステムである。原子炉施設の各所に制御部(CPU)を有する制御盤(フィールドコントロールステーション 以下「FCS」という。)及び FCS と現地検出器又は機器を接続する盤(ターミナルボードキュービクル 以下「TBC」という。)を設置して、系統ごとのデータ収集及び制御を行っている。データ数は 4848 点(アナログ入力点数:713 点、ディジタル入出力点数:4135 点)であり、これらは制御室において集中監視・制御される。

Fig.2 に JRR-3 プロセス制御計算機システムの概要を示す。

以下にプロセス制御計算機システム各機器の機能を示す。

① 操作端末

制御室及び炉室に設置され、JRR-3 プロセス制御計算機システムの状態表示、トレンド表示、プラントの状態表示、機器の操作等を行う。

② FCS

JRR-3 の現場各所に設置されている制御盤で、プロセス量の収集や警報信号等の接点 入力に対してシーケンス制御等を行う。

③ TBC

FCS に隣接して設置され、FCS と現地検出器及び機器等を接続している。検出器からの信号を変換して FCS に送信し、FCS からの機器操作信号を機器等へ出力するなど、機器の操作・制御を行う。

3.2 上位計算機システム

上位計算機システムは、データベースサーバ(以下「DBS」という。)とデータモデファイフ

ァンクション(以下「DMF」という。)の機器で構成されている。

JRR-3 プロセス制御計算機システムから 10 秒周期のプロセスデータを DBS で受け、データを変換して DMF に送る。 DMF はプロセスデータを加工し、トレンド表示、帳票の作成、原子 炉起動前点検におけるプロセスモニタテストデータの合否判定、技術計算処理及び運転実績処理等を行っている。主な機能を以下に示す。

- ・運転データ保存機能(10秒周期)
- ・帳票機能(平均値処理、放射能濃度処理などのデータの加工を含む)
- ・トレンド表示機能(リニア、対数)
- グラフィック表示機能
- ・技術計算処理(余剰反応度計算、熱貫流率計算、Xe、Sm 蓄積計算)
- ・運転実績計算処理(運転時間、出力量の計算、運転実績表の作成)
- 系統隔離支援機能(施設定期自主検査作業時の操作禁止タグの作成)

下記に各機器の役割を示す。

① DBS

JRR-3 プロセス制御計算機システムと DMF の中間に設置され、JRR-3 プロセス制御計算機システムのデータを DMF に供給、また、DMF からのデータを JRR-3 プロセス制御計算機システムに送るためデータ変換を行うものであり、ワークステーションで構成されている。

② DMF

4 台の PC サーバ (JRR-3 SRV01~03 JRR-3,WRK04) と 8 台のパーソナルコンピュータ (JRR-3 CC01~08) で構成されている。

- ・運転情報管理装置(JRR-3 SRV01) DBS とのデータの送受信、原子炉施設の管理に必要な帳票等の処理を行う。
- ・設備情報管理装置 (JRR-3 SRV02) 原子炉本体に関する設備機器の情報管理を行う。
- ・トレンドデータ管理装置(JRR-3 SRV03) トレンドデータ収集等の処理を行う。
- ・データ保存装置(JRR-3 WRK04)運転データを運転サイクルごとに DVD-RAM に保存を行う。
- ・表示端末装置(JRR-3 CC01~08) 居室及び各現地に設置され、原子炉の運転監視、トレンド表示、各種設定を行う。

4. JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新計画

4.1 段階的な更新方法の採用

JRR-3 プロセス制御計算機システムは JRR-3 改造(平成 2 年)以来使用され、主要構成部品 や消耗品等の入手が困難な状況になってきており、また、メーカーの保守期限も迫っているこ とから、原子炉の安全安定運転を確保するために、システムの更新を行う必要が生じた。

更新の方法としては、一括にすべての機器を更新する方法か、あるいは段階的・部分的に更 新を行う方法が考えられた。

JRR-3 は、原子炉供用運転が継続して実施されている場合、炉心冷却が一定期間ごとに必要であり、JRR-3 プロセス制御計算機システムは炉心冷却作業に必要不可欠な設備である。したがって、一括更新作業によりシステムが長期間停止すると、原子炉施設の保安に対して著しく影響を及ぼす可能性があり、また、原子炉の長期停止により利用者に対する影響も考慮する必要があった。そのため、一括更新ではなく後者の段階的・部分的に更新を行う方法を選択した。

Table 1 にプロセス制御計算機システム更新計画を示す。

以下に、一括更新方法と段階的更新方法のメリット及びデメリットを示す。

(1) 一括更新方法

メリット:操作端末と FCS 両方を一括で更新するため、更新作業自体が単純に行う ことができる。

デメリット:一度に莫大な費用が必要になる。更新作業期間も長期化するため、一定期間ごとに炉心冷却作業を行うことができなくなり、原子炉の保安に対して著しく影響を与える。

(2) 段階的更新方法

メリット:原子炉の長期停止を避けることができ、一定期間必要な炉心冷却が確実 に行えるとともに、利用者への影響も小さい。また、作業期間も比較的 短期間で、一度に必要とする費用が少なくてすむ。

デメリット:エンジニアリング費用などの経費は、段階的更新ごとに費用があり、結果的に費用が多くなってしまう。また、段階的更新の途中では新しいシステムと古いシステムが混在する状態になるため、中間にバスコンバータなどの変換器が必要になり、一時的に複雑なシステムになってしまう。さらに、段階的更新途中で使用したバスコンバータ等は、最終的には不用品になってしまう。

Fig.3 に JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新概略図(1段階目 \sim 3段階目)を示す。

4.2 HIS (ヒューマンインタフェースステーション) の採用

最新の操作端末(ヒューマンインタフェースステーション 以下「HIS」という。)は、従来の操作端末に比べ、表示スピード及び画面表示容量(同時に 5 画面の表示が可能)が向上し、より速く、大量の情報表示が可能になった。さらに HIS 本体が汎用 PC になったことにより、いままで運転員では行うことができなかった画面の作成・変更などが実施可能となった。

これらのことにより、運転状態に応じて着目するデータのみを表示する画面等を容易に作成することができるようになった。

Fig.4 に更新前後の操作端末を示す。

4.2.1 基本操作

キーボード及びマウスにより操作を行うことを基本とした。画面タッチ方式による操作も可能になったが、誤操作の可能性を懸念して画面タッチ方式は使用しないことにした。

4.2.2 機器操作方法

機器更新により操作方法が大幅に変更されると運転員の混乱を招く可能性があり、誤操作防止の考えから従来どおり操作端末での2アクション操作を踏襲することにした。ポンプ、弁等の運転・停止機器操作方法はマウスによって行い、実行確認は、「実行キー」を操作後、「確認キー」を操作して作動することになり、従来の操作端末と同様の操作(2アクション)になるように設定した。

4.2.3 メンテナンス

HIS は、製造メーカーが長期連続運転を考慮した高信頼化設計の PC で、定期交換が不要な長寿命設計のファンや電源装置を採用し、プリント基板からコネクタ等の部品まで、厳しい評価基準を合格した高信頼性の部品を使用している。

4.2.4 停電対応処置

JRR-3 プロセス制御計算機システムの電源は、JRR-3 の制御系電源を使用しているためインバータを介し、瞬停等の短時間の停電には影響を受けないようになっている。さらに従来の操作端末は突然の電源停止にも耐えるように設計されており、停電前の操作は必要としていなかった。

しかし、HIS は汎用 PC を使用しているため、停止時の処置が必要である。そのため UPS 装置 (バッテリ) を付属させ、停電を検知した時にバッテリからの給電により停止処置を実行するように設計した。

4.3 更新型 FCS の採用

従来型 FCS 及び更新型 FCS は、CPU 部が L 側と R 側に二重化されている。従来型 FCS は、 稼働側と待機側に分かれ制御を行っており、稼働側に異常が発生すると待機側が起動し稼働側に切換える。一方、更新型 FCS は、両側で CPU 部が常時稼働しており、同じ処理を行ってい

る状態で片側が制御を行っている。制御を行っている CPU 部に異常が発生すると、もう片側の CPU 部に制御を切換える動作を行う。したがって、従来型 FCS より切換え動作が少なくなる ことで制御権切換えトラブルの可能性が低い信頼性の高いシステムとなっている。さらに CPU 部内部でも二重化されており、常時取得したデータの比較を行い制御・処理の信頼性を向上させるペア&スペア方式をとっている。

4.4 上位計算機システム機能の選定

3.2 に示したように、上位計算機システムは、JRR-3 の運転管理について多くの機能を有しているが、JRR-3 プロセス制御計算機システムが更新されるため、運転データの取得ができなくなり、その機能が失われることになった。そのため、これまでの運転経験から今後の上位計算機システムの機能でどの機能が必要か取捨選択を検討し、必要な機能については、JRR-3 プロセス制御計算機システム又は新たに設置するデータ処理計算機によって機能を継承することにした。

Table 2 に上位計算機システム機能の選定結果を、また、Fig.5 に JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新による上位計算機システム機能の分割を示す。

4.5 更新計画

JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新作業は、3段階に実施する方法を選択した。さらに、更新作業の準備段階として従来の操作端末と HIS の新旧並列運転を実施し、新旧画面表示の違いについて確認し、従来の画面表示と変化がないように設定・調整を行った。

更新は、ハードウェア機器に関しては同機種の最新システムを用いることとし、ソフトウェアに関しては、最新のシステムで従来の制御ができることにとどめ、新しい機能は盛り込まず従来の制御が正確に実施されることを基本方針とした。

更新は、次の段階に分けて行う。

(1) 準備段階作業 (新旧操作端末の並列運転による確認と対応)

既設のバスライン(以下「HFバス」という。)に、バスコンバータを設置して信号の変換を行い、現場検出器からのプロセスデータ及び機器の運転・停止の信号の通信を行う新設のバスライン(以下「Vネット」という。)を敷設し、制御室に設置してある従来の操作端末と HIS を並列に接続する。(HFバス、Vネット、どちらも横河電機(株)独自の通信方式)また、1 段階目の更新で必要となる HIS 間のダウンロード等データの授受、時刻信号等の通信及びプリンタへの帳票出力に使用するイーサネットを敷設する。

従来の操作端末と HIS を併設し、並行で運転することによって新しい HIS の表示画面に慣れるとともに双方の違いを確認し、その違いを HIS で修正していく対応をすることにした。

Fig.6に JRR-3 プロセス制御計算機システムの準備段階更新後の系統図を示す。

(2) 1段階目(操作端末のみの更新作業)

準備段階で設置したバスコンバータから V ネットを延長して、従来の操作端末を更新

した HIS に接続する。ソフトウェアは、準備段階で正常に作動することが確認されたソフトウェアをダウンロードし、各 HIS で使用する。

Fig.7に JRR-3プロセス制御計算機システムの1段階目更新後の系統図を示す。

(3) 2段階目 (バスライン及び FCS 制御部の更新)

FCS 制御部の更新及びバスラインすべてを V ネットに更新する。

ソフトウェアは、新しい FCS の制御部で取扱えるように変更し、また、対数トレンド 画面の作成、帳票等の作成を行う。

Fig.8に JRR-3 プロセス制御計算機システムの 2 段階目更新後の系統図を示す。

(4) 3段階目 (FCS 内部カード類の更新作業)

FCS 及び TBC 内部入出力カード類の更新を行う。

入出力カードの変更に伴い、ソフトウェアの変更を行う。

Fig.9 に JRR-3 プロセス制御計算機システムの3段階目更新後の系統図を示す。

(5) その他の更新(シグナルコンディショナカード類の更新)

各現場に設置している流量計、温度計、圧力計、水位計などの検出器の信号を変換して入出力カードとの通信を行っているシグナルコンディショナカード及びケーブル等の更新を行う。

5. JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新作業

更新作業は、準備段階作業、1段階目の更新作業、2段階目の更新作業、3段階目の更新作業 及びその他の更新作業を順次実施してきた。それぞれの更新作業は、十分な作業前の確認、作業 の実施及び試験検査を行っている。

5.1 準備段階作業

更新計画の実施に先立ち、HIS の表示画面に慣れるとともに双方の違いを抽出し、対処するために、HIS を従来の操作端末を併設して運転することにした。HIS の設置には、バスコンバータの設置、V ネットケーブルの敷設、グラフィック画面の作成及びソフトウェアの変更が必要であった。また、グラフィック画面はメンテナンス性を高めるため及び今後必要なグラフィック画面の作成を運転員自ら行うことができるように、運転員が意見を取り込みながら一部のグラフィック画面の作成を運転員が行った。

5.1.1 準備段階作業の流れ

グラフィック画面及びソフトウェアの変更作業を先行して行い、ソフトウェア変更作業完 了後にハードウェア機器の設置作業及び試験検査を実施して作業を完了した。

Fig.10 に準備段階作業の流れを示す。

5.1.2 ソフトウェアの変更

JRR-3 プロセス制御計算機システムのソフトウェアのセーブを実施し、グラフィック画面の変更、タグ情報の変換、コメント・メッセージ等アプリケーションの変換を行って、正常に変換されていることを確認した。

(1) グラフィック画面の作成

JRR-3 プロセス制御計算機システムには、71 ページのグラフィック画面がある。 Table 3 に JRR-3 プロセス制御計算機システムグラフィック画面一覧を示す。

始めに変換ツールを用いて更新後の計算機で表示できるように自動変換を行う。自動変換では独自に作成し、設定したマーク等のシンボルは変換できないため、グラフィック画面作成ツールを使用して運転員が手分けしてグラフィック画面を作成し、より確認がしやすいように表示を追加するなどの工夫を行いながら画面全体の調整を行った。

(2) ソフトウェアの変換

操作端末が HIS に変更になるため、既設のソフトウェアをそのまま HIS にインストールすることができず、また、タグ情報の変換やアプリケーションソフトに設定しているコメント・メッセージ等の変換作業の必要がある。これらの変換作業は、他の表示・制御に影響が生じないかシステム全体を確認しながら行った。

① タグリスト変換

各プロセス計器に対して付けているタグが HIS で取扱えるように設定を変換した。

② コメント・メッセージ等の変換

以下に示すアプリケーションソフトに設定しているコメント・メッセージ等が、HIS で取扱えるように変換した。

・アナンシェータメッセージ

外部あるいは内部からの警報に対して、運転員に分かりやすく画面に表示をする。

・印字メッセージ

画面表示はしないで、プリンタに印字(HIS の場合は、ログファイルに保存する。) のみを行う。

- ・オペレーションガイドメッセージ
- 運転員に設備運転のガイドをする。オーバビューコントロールグループ

警報や設備の状態を一覧で表示している。

・トレンド表示画面

各プロセスデータが、時系列で監視・記録できる。

・オペレーションマーク

警報ごとに警報が発生していないか、一目で確認できる。

ファンクションキー割付け

キーボードに割付けを行い、操作によって指定画面の表示ができる。

5.1.3 ハードウェアの設置

HIS は、制御室の操作端末に並べて設置し、原子炉運転中に運転員が既設の操作端末画面と HIS 画面の両方を確認できるようにした。

(1) HIS の設置 (HIS 機器番号 27)

設置した HIS は、JRR-3 プロセス制御計算機システム更新作業の中で最初に設定する HIS のためエンジニアリング機能(ソフトウェアを作成・管理する機能)を有したアプリケーションソフトをインストールし、最も重要な HIS に位置づけた。

また、HIS の操作ミスによる機器の誤動作を防ぐため、設定の変更及びポンプ、弁等の機器操作が実行することができない「監視モード」に設定した。

(2) バスコンバータの設置

既設の HF バスから新設の V ネットに信号を変換するバスコンバータを HF バス間に設置し、 V ネットで取扱える信号に変換して HIS へ接続した。

バスコンバータは、制御棟計算機室の専用ラック内に設置した。

5.1.4 ソフトウェアのインストール

併設した HIS に、作成したグラフィック画面及び変換したソフトウェアをインストール

した。

5.1.5 試験検査

HIS の設置作業後、以下の試験検査を実施し、HIS の設置作業が正常に実施されたことを確認した。

(1) システム構成定義検査

JRR-3 プロセス制御計算機システムの各 FCS (計:17 ステーション)及びバスコンバータが、HIS のシステム状態表示により、正常に作動していることを確認した。

(2) 計器の操作監視機能検査

計器端末及び HIS で、同じプロセスタグのタグコメント、レンジ及び各データが一致していることを確認した。

(3) 割付け検査

以下の項目について操作端末と HIS での表示及び登録タグの内容が一致していることを確認した。

- ・HIS でアナンシェータメッセージ
- ・オペレーションガイドメッセージ
- 印字メッセージ
- アナンシェータメッセージ
- ・オーバビュー
- ・コントロールグループ
- トレンド割付け
- ・オペレーションマーク
- (4) ファンクションキー割付け検査

操作端末とHISのファンクションキーを押し、同一画面に展開することを確認した。

(5) グラフィック画面合成検査

HISよりグラフィック画面を呼び出し、適切に表示することを確認した。

5.1.6 HIS の運用

設置した HIS は、エンジニアリング機能を有した HIS であり、グラフィック画面作成、タグ設定及び各種定義を実行する機能と、更新を予定しているその他の HIS 及び更新後の FCS にソフトウェアをダウンロードできるようにした。

さらに、これから実施する JRR-3 プロセス制御計算機システムの更新に先立って、新しい HIS の画面表示に慣れること、さらには各種ソフトウェア変換作業の検証を目的に従来の操作端末と並べて設置し、運転中に発報する警報やメッセージの内容に違いがあるか、違いがある場合は、どのように違っているのかを確認していくことにした。

JRR-3 プロセス制御計算機システムのように、多くの運転員が監視・操作を行うシステムの更新は、使用者に変更の内容を明らかにし、変更内容の確認をとりながら確実に更新作業

を行うことが重要であることを認識してこの処置を約1年間かけて行った。

5.2 1段階目更新作業

FCS メンテナンス用に従来の操作端末 1 台を制御室に残し、他の端末 5 台を HIS へと更新した。HIS のうち 2 台は、原子炉建家内に設置されているため、現場検出器からのプロセスデータ及び機器の運転・停止の信号の通信を行う V ネットケーブル及び HIS 間のダウンロード等データの授受、時刻信号等の通信及びプリンタへの帳票出力に使用するイーサネットケーブルを原子炉建家内まで敷設した。原子炉建家内へのケーブル敷設については、原子炉建家内の負圧を一定以上保持する必要があるため、原子炉建家へのケーブルの貫通孔に気密性のある特殊なターミナル(マルチケーブルトランジット 以下「MCT」という。)を使用しており、この部分の作業は、炉室内の換気空調を停止し原子炉建家への空気の流入を抑えて作業を実施した。

5.2.1 1段階目更新作業の流れ

ソフトウェアの変更は、既設の HIS から従来の操作端末を更新した HIS ヘダウンロードをすることで実施した。また、HIS への更新等のハードウェアの設置及び試験検査を実施した。

Fig.11 に1段階目の更新作業の流れを示す。

5.2.2 ハードウェアの更新

Vネットケーブル及びイーサネットケーブルを更新する操作端末まで敷設し、HIS に接続する。

Fig.12に1段階目の更新作業の写真を示す。

(1) Vネットケーブルとイーサネットケーブルの敷設

HIS 間を V ネットケーブル及びイーサネットケーブルの 2 種類のケーブルにて繋いだ。余分なケーブルはノイズ発生の原因となることから、あらかじめケーブル経路を計測し、その長さに合わせて切断した両端にコネクタを接続した状態で納入されたケーブルを敷設した。

V ネットケーブルは二重化しているため、2 本の V ネットケーブルで HIS 間を接続した。

ダウンロード等の HIS 間の信号通信に使用するためのイーサネットケーブルは 1 本の HIS 間を接続した。

ケーブルの敷設に伴い十分な現地調査により敷設経路の確認を行ったが、実際に敷設するとケーブルに余長(各ケーブル約数十 m)が発生してしまった。余長ケーブルは、ノイズの影響を受けないように FCS(ステーション 7)内の機器に、干渉しないスペースにケーブル種類ごとに棚を設置して保管した。この余長に関しては、2段階目の更新時に適切な長さに切断し調整することにした。

(2) 操作端末を HIS ~変更 (HIS 機器番号 28,41,42,61,62)

HIS のタイプには2種類あり、従来の操作端末で使用していた筐体を利用し、内部の計算機、表示画面及びキーボード等を更新したコンソールタイプと、汎用 PC のように液晶ディスプレイ及びキーボードを組み合わせたデスクトップタイプである。炉室地階に設置していた操作端末はデスクトップタイプに更新し、その他の操作端末はコンソールタイプに更新した。

更新作業によって、不要になった操作端末 1 台は、利用設備又は冷中性子源装置のプロセス制御計算機システム用予備品とするため、実験利用棟にて定期的に通電を行い保管することにした。

(3) バスリピータの設置

計算機室に設置したバスコンバータから原子炉建家に設置してある HIS までの距離が $100 \, \mathrm{m}$ を超え、V ネットケーブル通信の不具合が生じるおそれがあることから、バスリピータを設置した。バスリピータにより、V ネットケーブル間の通信距離を最大 $500 \, \mathrm{m}$ まで延長ができる。

5.2.3 ソフトウェアの入力

更新した各 HIS で使用するソフトウェアは、準備段階で設置した HIS で使用しているソフトウェアのダウンロードを、イーサネットケーブルを介して実施した。

5.2.4 試験検査

試験検査は、以下の項目について実施した。

(1) 外観検査

V ネットケーブル等の納入機器について、通信に影響を及ぼす有害な欠陥及び傷がないことを確認した。

(2) 導通検査

新たに敷設した V ネットケーブル及びイーサネットケーブルについて、芯線とシールドを用いた導通を確認し、ケーブルの敷設作業による断線がないことを確認した。

(3) 絶縁抵抗検査

V ネットケーブル及びイーサネットケーブルについて、対地間の絶縁抵抗値が 5MΩ以上であることを確認した。

(4) 据付外観検査

設置した機器が適切に据付けられ、外観に有害な欠陥及び傷がないことを確認した。

(5) 総合機能検査

ソフトウェアのダウンロードが、正常に実施されたことをタグ情報、各種メッセージ 等がエンジニアリング機能 HIS (機器番号 27) と一致していることを確認した。

5.3 2段階目更新作業

炉室、制御棟、冷却塔、事務管理棟及び実験利用棟の各現場に設置している FCS の制御部の 更新、FCS 制御部間を繋ぐ V ネットケーブルの敷設及び HIS の増設等のハードウェアに関する 作業と、FCS ソフトウェアの変更、対数トレンド画面の作成及び運転記録等の帳票出力の設定 などソフトウェアに関する作業を実施した。

FCS 制御部の更新作業は、JRR-3 プロセス制御計算機システムを完全に停止させる必要がある。システムの長期間停止は、原子炉本体の保安活動に大きく係わるため完全停止期間を 3 日間とする計画とし、作業は当初計画のとおり 3 日間の完全停止で完了した。

5.3.1 2段階目更新作業の流れ

2段階目の更新は、FCS 制御部を含むためソフトウェアの大幅な変更になり、上位計算機がプロセス制御計算機システムとの接続が不可能になることで上位計算機としての機能が失われるため、上位計算機が実施していた機能の一部を JRR-3 プロセス制御計算機システムで実現する。また、FCS17 台すべての制御部更新作業及び V ネットケーブルの敷設作業を行う。

まず、ソフトウェアの更新を行い、工場にて変更が正常に行われたことの確認後、ハードウェアの更新を実施した。次にソフトウェアのインストールを実施し、試験検査を行い更新を完了させた。

Fig.13 に 2 段階目の更新作業の流れを示す。

5.3.2 ソフトウェアの変更

以下の順番で、ソフトウェアの変更作業を実施した。

(1) ソフトウェアのセーブ作業

JRR-3 プロセス制御計算機システムの制御は、17 台ある FCS 制御部で処理されている。変更作業に先立ち、使用している最新のソフトウェアを既設の JRR-3 プロセス制御計算機システムからセーブを行った。このソフトウェアを基にして、新しい FCS 制御部で動作するソフトウェアに変更した。

(2) データ演算処理の変更作業

20 年以上前の計算機で使用していたソフトウェアを現在の計算機で作動させる場合、 演算処理を行う前処理として入力データのビット数を既設のソフトウェアと合致させる 処理を行った。この前処理によって演算部分のソフトウェアは、既設のソフトウェアと して使用できるようになった。

(3) シーケンス制御の可視化(ソフトロジック図の確認)

シーケンス制御ソフトウェアの変更をする場合は、試験検査時に合否の判断をするために、シーケンス制御を可視化する必要がある。シーケンス制御を可視化している図書は、ソフトロジック図と呼ばれ、シーケンス制御の内容が図によって分かるようになっている。このソフトロジック図の流れに従って、ポンプ、弁などの設備機器の起動・停

止は、安全に行われていることになるため、シーケンス制御を確認しながらソフトロジック図の整理を行った。

(4) デバッグ作業

ソフトウェア変更の完了を確認するため、工場にて新しい FCS 制御部のテスト機能を使用してデバッグ作業を行った。デバッグとは、変更したソフトウェアが新しい制御部で、以前と同じ動作をするか確認を行うことである。

ソフトウェアの変更について、正常に実施されたことを模擬信号の入力からの出力信 号及び動作がソフトロジック図どおりであることを確認した。

新しい FCS の制御部にはテスト機能が追加されており、この機能により模擬接点の入力が簡単にできるようになったため、以前からの方法に比べて模擬入力用端子台の設置が必要なくなるなど、作業時間の大幅な短縮につながった。

5.3.3 ハードウェアの更新

ソフトウェアの変更が完了後、ハードウェアの更新作業を実施した。更新作業は、JRR・3 プロセス制御計算機システム全体が停止するため、ソフトウェアをインストール後に正常な動作をしない場合、ただちに更新前の元の状態に戻すことを考慮して、元の状態に再組み立てができるように機器を破損させることなく、更新作業を実施した。

Fig.14 に2段階目の更新作業の写真を示す。

(1) Vネットケーブルの敷設

FCS の 17 ステーションすべての盤及び HIS の 8 台 (2 台を JRR-3 本体施設居室及び 放射線管理居室に各 1 台増設)を繋ぐ V ネットケーブルの敷設作業を実施した。敷設経路は、既設の HF バスケーブルの経路を参考にし、十分な現地調査により敷設経路の確認を行った。

1段階目に発生したケーブルの余長及び今回発生した余長の問題に関しては、余分なケーブルを切断しコネクタの付け直し作業を行って解消させた。(Vネットケーブルで12箇所、イーサネットケーブルで2箇所)

Vネットケーブルの総延長は、1000m を超えバスリピータ 3 台を分散して設置した。設置場所は、メンテナンス時の部分停電作業の状況等を考慮して制御室、事務管理棟地階及び炉室にした。バスリピータは、もし故障するとその部分の通信が途絶え、故障したバスリピータを挟んだ先の情報は、HIS で確認することができなくってしまうため、今後の運用及びメンテナンス時において、バスリピータの作動状況について注意を払う必要がある。

また、不要になった HF バスケーブルは、ケーブルラックの底部に敷設されている場合などは、無理に引抜くことにより他のケーブルに負担をかけることになり、通信異常が生じる場合があることから、無理な撤去は行わずに可能な範囲で撤去を行った。撤去を行えなかったケーブルについては、両端にタグを取付け使用していないことを明記して管理することにした。

(2) FCS の制御部の更新

FCS の最上部に制御部のユニットが設置されている。更新する制御部は、既設のものより縦方向に数センチ程度大きいため、ユニット全体の位置調整を行う必要があり、ユニットの位置調整などを行った。しかし、位置調整を行う際に普段取り外さないコネクタを大量に分離・接続を行ったため、接触不良と思われる現象が発生した。接触不良の現象は、コネクタピンの清掃を行うことにより、解消することができ入出力信号の状態が良好になった。

なお、取外した旧型の FCS の制御部 4 台は、利用設備、冷中性子源装置のプロセス制御計算機システム用の予備として保管することにした。

5.3.4 HIS の増設

JRR-3本体施設居室及び放射線管理課居室に各1台HISを増設した。これらの居室には以前、上位計算機システムの端末を設置していたため、その代替として設置した。増設したHISの設定は、いずれも監視モードとし機器操作は行えない設定とした。

その中で JRR-3 本体施設居室 HIS の OS にサーバ機能を持たせ、リモート操作監視機能をインストールした。リモート操作監視機能は、同じネットワーク上に設置した PC からのアクセスに対し、通常の HIS と同様の監視のみを可能にするものである。したがって、同じネットワーク上に設置した工務居室の汎用 PC でも、通常の JRR-3 プロセス制御計算機システムの HIS と同様の監視が可能になった。

Fig.15 に JRR-3 プロセス制御計算機システム及びデータ処理計算機システム構成図を示す。

5.3.5 試験検査

試験検査は、以下の項目について実施した。

(1) 据付·外観検査

制御部、Vネットケーブル及びFCSのユニットについて、所定の位置に適正に据付けられ、他の機器との干渉がなく、有害な欠陥及び傷がないことを確認した。

(2) 導通検査

V ネットケーブル及びイーサネットケーブルについて、芯線とシールドを用いて導通 を確認し、ケーブルの敷設作業による断線がないことを確認した。

(3) 絶縁抵抗検査

Vネットケーブルについて、対地間の測定値が 5MΩ 以上であることを確認した。

(4) 総合機能検査

以下の検査を行い、FCS 制御部及びV ネットケーブルが正しく設置されたことを確認した。

① ディジタル・アナログ入力検査

FCS からディジタル・アナログの模擬信号を入力し、HIS で該当タグの指示が正しく

表示されていることを確認した。

② ディジタル・アナログ出力検査

HIS の該当タグに、模擬信号・模擬値を設定し、FCS の出力端において出力信号が正しいことを確認した。

(5) 実機を使用しての機能検査

試験検査の最終段階として実施した。まず、HIS の表示画面状態(弁の開閉、ポンプの運転状態等)と、現地機器の状態が一致していることを確認した。次に弁等の機器単独で作動が可能な作動点検を実施し、HIS からの信号で機器単体が作動することを確認した。最後に冷却系の系統運転を画面表示の変化及び入出力信号を確認しながら実施した。

機能検査を実施するにあたり、万が一の誤操作に対応するため機器の電源盤に人員を配置し、緊急停止等の処置を行えるように万全の体制を整えて実施した。

検査の結果、使用済燃料プール浄化系自動運転操作方法に変更の必要があることを確認したが、その他においては、機器の不動又は制御不能等事象の発生はなく完了した。

Table 4 機能検査シート (例)を示す。

5.4 上位計算機システムの見直しへの対応

上位計算機システムは PC サーバで構成され、既設の JRR-3 プロセス制御計算機システムから 運転データを取得し、各種演算処理、帳票作成、技術計算、長期データ保存及び対数トレンドの 表示等を行っていた。これら機能の一部は、以下に示すように JRR-3 プロセス制御計算機システムで継承することにした。

5.4.1 上位計算機システム機能の継承

(1) 対数トレンド画面

従来の操作端末では、対数トレンドを表示させることはできなかったが、HIS のリニアトレンド画面(1 画面最大 8 タグの表示が可能)のソフトウェアを改造することにより、1 画面で最大 4 タグの対数トレンド表示が可能になった。

Fig.16 に対数トレンド画面を示す。

(2) 長期データ保存機能

HIS に長期データ保管パッケージのアプリケーションをインストールすることによって、トレンドデータ及びヒストリカルメッセージ(アナンシェータメッセージ、印字メッセージ、操作記録等の履歴)が長期間保存できる。現在は、原子炉運転サイクル 2 サイクル分の約 2 か月分のデータを保存しているが、保存期間が過ぎてしまうとデータが上書きされていきデータが消失されてしまう。その前に DVD にバックアップ保存することでデータの保存が長期的に行え、バックアップしたデータはいつでも HIS に取り込み表示することができる。

(3) 帳票作成機能

HIS に帳票パッケージソフトのアプリケーションをインストールすることによって、

プロセス値の中で、積算値及び計算値以外を帳票として作成しているものについては、 JRR-3 プロセス制御計算機システムで機能を継承している。これらの帳票は、取得した プロセスデータを Excel®シートに取り込んで、起動前点検等の帳票を作成し印字する。

5.4.2 データ処理計算機の設置

上位計算機システムから継承する機能のうちで、JRR-3 プロセス制御計算機システムでは 実現できないものについて、データ処理計算機を設置し機能を継承した。

上位計算機システムは、DBS を介してデータを処理していたため、数十秒間の遅れが生じていた。これに対しデータ処理計算機では、HIS のイーサネットから直接データを収集し処理を行うことで、データ収集時間の遅れが生じないようにした。

Table 5 にデータ処理計算機システムの機能一覧を示す。

5.4.3 機器操作方法の変更

(1) 起動前点検

これまで原子炉起動前点検時における放射線監視設備及びプロセスモニタ設備の自動 点検結果判定は、上位計算機システムにより行われていた。しかし、JRR-3 プロセス制 御計算機システム更新後は、上位計算機システムの自動点検結果判定機能が使用できな くなったため、HIS 画面のデータを運転員が確認し、合否を判定して HIS 画面の点検ロ ジックを進めるように変更を行った。

(2) 使用済燃料プール水浄化冷却系自動運転

使用済燃料プール水浄化冷却系自動運転については、今までの自動起動・停止を設定しているタグの自動起動の設定温度のみを変更することによって操作していた。しかし、更新後のJRR-3プロセス制御計算機システムでは、シーケンスの処理速度が上がり自動起動設定温度のみの変更では正常に作動しないため、自動停止設定温度の変更も行うように操作方法を変更した。

5.5 3段階目更新作業

各現場機器からのプロセスデータの取得及び弁・ポンプ等への入出力は、FCS 制御部と専用ケーブルを使用し、I/O カード(入出力カード)を介して各々の機器と信号のやりとりを行っている。I/O カードは、各現場との通信を最大でアナログ 16 点、ディジタル 32 点の多点を集約して制御を行っている。3 段階目の更新では I/O カード、通信カード及びケーブル類の更新を行った。

I/O カードの更新は、通信モジュールカードの更新のため FCS を停止させなければならない。 しかし、2段階目の更新とは違い、JRR-3プロセス制御計算機システム全体を完全停止させるの ではなく、ステーション単体ごとの停止のため他作業と日程調整を密に行い、作業計画を立案し 計画通り完了した。

5.5.1 3段階目更新作業の流れ

3段階目の更新は、I/O カード更新のため制御ドローイング、シーケンステーブル、ロジッ

クチャート及びグラフィックウィンドウについてソフトウェアの変更がある。

まず、ソフトウェアの更新を行い、工場にてソフトの変更が正常に行われことを確認後、 ハードウェアの更新を実施し、ソフトウェアのインストールを実施し試験検査を行い、更新 を完了させた。

Fig.17に3段階目の更新作業の流れを示す。

5.5.2 ハードウェアの更新

ハードウェアの更新作業は、JRR-3 プロセス制御計算機システムをステーションごとに停止して行った。

Fig.18に3段階目の更新作業の写真を示す。

(1) I/O カード及びユニットの更新

更新する I/O カードは既設 I/O カードと寸法が異なるため、既設のユニットを着脱後に更新するユニットが挿入できるように位置調整を行い、ユニットを取り付けた。

ユニット取付け後、I/O カード、電源ケーブル及び CPU 制御部との通信ケーブルの更新を行った。

5.5.3 ソフトウェアの変更

以下の順で、ソフトウェアの変更作業を実施した。

(1) ソフトウェアのセーブ作業

変更作業に先立ち、現在使用している最新のソフトウェアを既設の JRR-3 プロセス制御計算機システムからセーブした。このソフトウェアを基にして、工場にて FCS 制御部で動作するためのソフトウェアに変更した。

(2) ソフトウェアインストール作業

変更したソフトウェアを、エンジニアリング HIS よりインストールを行い、制御ドローイング、シーケンステーブル、ロジックチャート及びグラフィックウィンドウについてソフトの変更を行った。

5.5.4 試験検査

試験検査は、以下の項目について実施した。

(1) 据付け・外観検査

通信モジュールカード、取付けユニット及び通信ケーブル類について、所定の位置に 適正に据付けられ、他機器との干渉がなく、有害な欠陥及び傷がないことを確認した。

(2) 総合機能検査

万が一、弁及びポンプ機器等の設備の誤作動を避けるため、電源アイソレーションを 実施してから検査を行った。 更新したすべての入出力点において、HIS から対象のタグの ON/OFF を行い、その模擬出力信号が対象 I/O カードから正しく出力されているか、また、FCS からの模擬入力信号が I/O カードを介して HIS の対象タグで確認できることを確認した。

5.5.5 計装制御ループ精度の見直し

JRR-3 プロセス制御計算機システムの計装制御ループ校正検査の判定基準は、検出器、発信器、変換器、表示部(指示計、記録計等)を含めた系統を構成する機器の精度から管理する必要がある。JRR-3 プロセス制御計算機システムの3段階目更新で変換器の I/O カードを更新したことによりループ精度に変更が生じたため見直しを実施した。

(1) ループ精度算出方法

JRR-3 プロセス制御計算機システムの計装制御ループ校正検査のループ精度の算出方法は以下のとおりとなる。

$$E = \pm \sqrt{(e1)^2 + (e2)^2 + (e3)^2 + \cdots}$$

E: ループ精度

e1、e2、e3、··· : ループを構成する機器の単体精度

(2) ループ精度の反映

ループ精度の見直しに伴って、変更の生じたループ精度について点検時に使用している計装制御ループ校正検査記録表の修正を行った。

6. その他の JRR-3 プロセス制御計算機システム更新

JRR-3 プロセス制御計算機システムの段階的な更新は、3段階の更新でシステムの更新は完了した。しかし各現場に設置している流量計、温度計、圧力計、水位計などの検出器と信号の入出力を行い、また、変換した信号で I/O カードとの通信を行っているシグナルコンディショナカードも I/O JRR-3 初臨界(平成 2 年)から使用され続けており、高経年化が進んでいることから更新を行う。

6.1 準備段階作業

各現場に設置している流量計、温度計、圧力計、水位計などの検出器によって、シグナルコンディショナカードに送られる信号形式(電流、電圧、抵抗)が異なるため、入念な調査を実施し機器の選定を行った。

6.2 シグナルコンディショナカード及びユニット更新作業

更新するシグナルコンディショナカードは既設シグナルコンディショナカードと寸法が異なる ため、既設のユニットを着脱後に更新するユニットが挿入できるように位置調整を行い、ユニットを取り付けた。

Fig.19 にシグナルコンディショナカード及びユニット更新作業の写真を示す。

6.3 試験検査

試験検査は、以下の項目について実施した。

(1) 据付·外観検査

ケーブル類、シグナルコンディショナカード及びユニットについて所定の位置に適正 に据付けられ、他の機器との干渉がなく、有害な欠陥及び傷がないことを確認した。

(2) 入出力検査

① 単体検査

各シグナルコンディショナカードのレンジ対応する 0、50、100%(上昇 3 点)を模擬 入出力して単体精度確認検査を実施し、指示精度内であることを確認した。

② ループ検査

・アナログ入力ループ検査

各ループにおいてシグナルコンディショナカードから模擬信号を入力し、HIS での入力値が基準内であることを確認した。

・アナログ出力ループ検査

HIS から出力操作を行い、シグナルコンディショナカードの出力値が HIS からの出力値と相違ないことを確認した。

7. まとめ

準備段階、1段階目、2段階目及び3段階目の更新作業によって、JRR-3プロセス制御計算機システムの更新が完了した。

JRR-3 プロセス制御計算機システムは、原子炉の運転のみならず、日常の冷却系温度・水位等の管理にも必要不可欠な設備であるため一括更新による長期間のシステム停止を避け、上記のように更新を行った。その結果、JRR-3 の運転計画に支障をきたすことなく更新作業を実施することができた。

しかし、プロセス制御計算機システムの更新計画から更新が完了するまで 10 年以上の月日が経ってしまった。原因としては、更新により JRR-3 プロセス制御計算機システムが使用できなくなることと他設備の定期自主点検の日程調整ができなかったこと、また、東日本大震災による運転再開に向けた新規制基準対応のために時間を割かれたものである。

今回、予算と日程の確保ができ運転再開までに更新が完了したことにより、原子炉施設の操作・ 監視に安全安定運転が実施できる。

1段階目、2段階目及び3段階目の更新作業によって、ソフトの処理、帳票出力要領及び表示 画面の構造等数多くのことを学習した。また、2段階目更新時に変更前のソフトの動作が、忠実 に可視化されていることが必要不可欠であったため、ソフトを変更する際には可視化のための図 書の重要性を痛感した。

JRR-3 プロセス制御計算機システムを更新したことにより、計算機が汎用性のあるものに変更になったことから、今までメーカーに発注していた、検出器計測レンジの変更、グラフィック画面の改造・作成、トレンド画面の作成など JRR-3 担当者自身で改良できる幅も広がり、操作性の良いプロセス制御計算機にしていくことを現場側で行うことが可能になった。たとえば、今までグラフィック画面に表示されていなかったプロセスデータを新たに割付けたり、プロセスデータを選択することにより詳細情報や割付けてあるトレンド画面を表示させるようになった。また、タグ名称が更新前は 4 文字までの表示だったが、12 文字まで表示が可能になった。4 文字では表現が難しかったタグ名称の変更を行い、分かりやすい表現ができるようになった。

今後も操作する運転員等が解りやすい画面にするなどの改善を行う予定である。

謝辞

研究炉加速器技術部 和田茂部長のご指導の下、JRR-3 管理課の方々に技術的な助言、協力いただいたことを、ここに記して謝辞といたします。本報告書をまとめるにあたりご指導をいただいた、研究炉加速器技術部 JRR-3 管理課 荒木正明課長にはここに感謝の意を表します。

Table 1 プロセス制御計算機システム更新計画

11			
平成 22 年度			
平成 21 年度		の更新	
平成 20 年度		◆ (CDΩ)	
平成 19 年度		 	
平成 18 年度		バス	
平成 17 年度	表示端末の更新		
	第1段階	第2段階	第3段階

	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
第1段階						
第2段階						
第3段階		平成 23年3月11日東日本大震災の影響による 原子炉建家健全性確認等の影響により中断	3 東日本大震災の皇 長確認等の影響に〕 -	炎響による こり 中断	制御盤内入	◆

Table 2 上位計算機システム機能の選定結果(1/2)

算機システム処理・機能 計算機システムとのデータの接受 を 10 秒周期で入力 入力 の起動前点検結果の出力 -タ保存 の保存 存 存 行い、時報、日報、週報、サイクル 記録作成 電射実験報告までの作業を総合的に取 3セスデータの加工演算処理及び保存 分平均値、1時間平均値、1日平均値、 日平均濃度、濃度月間平均、平均濃度	L				
JRR-3プロセス制御計算機システムと ① プロセスデータを10 秒周期で入 ② 警報処理結果の入力 ③ プロセスモニタの起動前点検結 サイクル単位でのデータ保存 ① プロセスデータの保存 ② 帳票データの保存 ② 帳票データの保存 は アレンド表示機能 対ラフィック表示機能 解射工程処理機能 所対工程処理機能 所対工程処理機能 所対工程処理機能 解射性し込みから照射実験報告ますり扱う。 放射線監視設備のプロセスデータの加 解閉値最大値、10 分平均値、1 時間 解間値最大値、10 分平均値、1 時間 工品が濃度、濃	Z		機能の 要・不要	機能維持・継承の方法	備考
サイクル単位でのデータ保存 ① プロセスデータの保存 ② 帳票データの保存 ドレンド表示機能 データの加工、演算を行い、時報、報、月報等の帳票記録作成 照射工程処理機能 照射工と込みから照射実験報告ま了り扱う。 放射線監視設備のプロセスデータの加 解問値最大値、10分平均値、1時間 1日積算排出値、1日平均濃度、濃 /工品が濃度、10分平均値、1時間	П	JRR-3 プロセス制御計算機システムとのデータの授受 ① プロセスデータを 10 秒周期で入力 ② 警報処理結果の入力 ③ プロセスモニタの起動前点検結果の出力	① 必要② 不要③ 必要	① HIS にてデータを取得。 ③ HIS にて、起動前点検の手順を変更し実施。	
グラフィック表示機能 トレンド表示機能 データの加工、演算を行い、時報、 報、月報等の帳票記録作成 照射工程処理機能 照射中し込みから照射実験報告ます り扱う。 放射線監視設備のプロセスデータの加 解間値最大値、10 分平均値、1 時間 1 日積算排出値、1 日平均濃度、濃 / 正均濃度(月間)	ζ ν		① 必要② 必要	① HIS にて保存。(CSV 形式での保存も可能)② データ処理計算機システム・HIS にて、保存。(Excel®データでの保存)	
トレンド表示機能 展票記録機能 データの加工、演算を行い、時報、 報、月報等の帳票記録作成 照射工程処理機能 照射申し込みから照射実験報告ます り扱う。 放射線監視設備のプロセスデータの加 解間値最大値、10 分平均値、1 時間 1 日積算排出値、1 日平均濃度、濃 /正均濃度(日間)	(L)		不要		
帳票記録機能データの加工、演算を行い、時報、 報、月報等の帳票記録作成照射工程処理機能照射申し込みから照射実験報告ますり扱う。放射線監視設備のプロセスデータの加解間値最大値、10分平均値、1時間1日積算排出値、10分平均値、1時間1日積算排出値、1日平均濃度、濃く正均濃度(周間)	4		必要	HIS の画面で表示。 (対数トレンドを含む)	長期間のトレンド にも対応
展	II.)	帳票記録機能 データの加工、演算を行い、時報、 報、月報等の帳票記録作成	心要	HIS 及びデータ処理計算機システムにて、作成。	
校	9	出	必要	従来どおり使用できる。	確証試験にて確認 済み
	[-	放	必	データ処理計算機システムにて、プロセスデータの加工を実施。(CSV 形式での保存)	

Table 2 上位計算機システム機能の選定結果(2/2)

#	機能維持・椎承の方法	① 別PC にて処理。② データ処理計算機システムにて、プロセス データを基に作成。		データ処理計算機システムにて、プロセスデー タを基に作成。				
機能の	1π1/	① 必要 ① 別PC にて処理。 ② 必要 ② データ処理計算機 データを基に作成。	必要 別 PC にて処理。	必要 タを基に作成。	不要	不要	① 不要② 不要	
	脚	⊕ ⊗	Ϋ́	Ϋ́ -	系統隔離リスト、			- 1
- AT 700m - 日上 17 () () () () () () () () () (上江計算機ンスケム処理・機能	制御棒校正データ処理機能 ① 微分・積分曲線表示 ② 余剰反応度表示	Xe, Sm 蓄積•崩壊計算機能	運転実績処理	系統隔離支援機能 定自検期間中の作業時に、隔離系統図、系統M 作業票、操作禁止タグ等を作成する。	計器保守管理機能 各種計器の計器仕様データ、点検校正データのデータベー ス化	設備機器管理機能 ① 機器の起動停止回数及び運転時間の集計 ② パルブ、ポンプ等の詳細データのデータベース	図書管理機能
,	No	∞	6	10	11	12	13	,

Table 3 JRR-3 プロセス制御計算機システムグラフィック画面一覧(1/2)

画面 No.	系 統	名称
GR0001	01	目次(1/2)
GR0002	01	目次(2/2)
GR0003	02	全体監視
GR0004	03	電動弁開度設定
GR0005	04	自動点検ガイド
GR0006	04	安全保護系点検
GR0007	04	プロセス放射能監視設備点検
GR0008	04	放射線監視設備点検
GR0009	04	特定施設点検
GR0010	04	起動時操作ガイド
GR0011	04	停止時操作ガイド
GR0012	05	安全保護系点検結果
GR0013	05	プロセス放射能監視設備点検結果
GR0014	05	放射線監視設備点検結果(1/2)
GR0015	05	放射線監視設備点検結果(2/2)
GR0016	05	特定施設点検結果
GR0017	05	プロセス状態量点検結果(1/3)
GR0018	05	プロセス状態量点検結果(2/3)
GR0019	05	プロセス状態量点検結果(3/3)
GR0020	05	停止後状態点検結果
GR0021	11-14	中性子計装設備
GR0022	15/16	原子炉出力制御
GR0023	17	プール周り
GR0024	17	プールゲート/上部遮へい体
GR0025	21	1 次冷却系
GR0026	22	2次冷却系(タイプA)
GR0027	22	2次冷却系(タイプB)
GR0028	22/23	2次薬注/補給/浄化/ファン
GR0029	23	重水系
GR0030	24	ヘリウム系
GR0031	25/26	原子炉プール溢流系/浄化系
GR0032	27	使用済燃料プール水浄化冷却系
GR0033	29	軽水貯留系(移送)
GR0034	29	軽水貯留系(供給/純水)
GR0035	D1.7/29	冷却系排水系/軽水貯留系
GR0036	33	CRDM冷却系
GR0037	_	モニタオーバビュー
GR0038	41/42	エリアモニタ(1/2)
GR0039	41/42	エリアモニタ(2/2)
GR0040	43/44	ダスト・ガス・トリチウムモニタ

Table 3 JRR-3 プロセス制御計算機システムグラフィック画面一覧(2/2)

画面 No.	系 統	名称
GR0041	43/44	放射線監視設備操作
GR0042	45-47	プロセスモニタ (1次) / FFD
GR0043	47	プロセスモニタ
GR0044	47	プロセスモニタ操作
GR0045	48	試料採取設備
GR0046	48	水ガスデータ表示 (1/2)
GR0047	48	水ガスデータ表示 (2/2)
GR0048	E4	停電時監視
GR0049	E4	非常用電源設備
GR0050	V1	非常用排気設備
GR0051	C4/U4	原子炉制御棟受変電設備
GR0052	C6/C7/C8	利用棟/モックアップ/2次冷却
GR0053	V0/V5/V7/V8	換気空調(総合)
GR0054	V5/V7	原子炉建家空調
GR0055	V5/V7	事務官理棟空調
GR0056	V5/V7	燃管/事務棟機械室空調
GR0057	V7	利用棟1階実験室系空調
GR0058	V5/V7	ホット機械室/共同溝空調
GR0059	V7	実験利用棟 2 階空調
GR0060	V4/V5	原子炉制御棟空調
GR0061	V8	CNS空調
GR0062	A7	圧縮空気設備
GR0063	D7	液体廃棄設備廃液貯槽
GR0064	D7/D3	液体廃棄設備排水ピット
GR0065	Т5	冷房設備
GR0066	W5/W6	給排水設備
GR0067	T5/T7/W5/W7	暖房/給湯設備
GR0068	_	警報表示(スクラム)
GR0069	_	警報表示 (起動阻止等)
GR0070	_	警報表示(プロセス警報)
GR0071	_	停止中点検結果

Table 4 機能検査シート (例)

Ш

四

件

年月日:平成 確認者:

	備考			
	料			
VEDOTH.	表示/指示値		黄[]→沸[、]	無 「 「 「 「 「 「 「 「
	判定基準 表示/指示值		黄 → 赤 線 → 赤 指示値確認 総 → 赤 線 → 赤 線 → 赤 初 サ ボ () が 対 大能に復帰	本 ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
1次冷却系(1/3)	点検方法	<u>GR0025 </u> にて確認する。 計装配管、現場計器が正常であることを確認する。 GR0031	自然循 モデファイ 弁 ND1160S04 PV=1 弁開度 モデファイ GR0008 (プロセス操作卓、自然循環弁)	低設定 モデファイ P11 NDO004S04 P12 NDO006S04 V17 NDO012S04 V17 NDO014S04 V17 開度 V17 開度 NDO014S04 V17 開度 NDO014S04 V18 " No.2 " (PI2145) 1次冷却材補助ポンプNo.1出口圧力 (PI2145) " No.2 " (FI2147) " No.2 " (FI2147)
	点検条件	1次冷却系が停止 状態であること	CP008 NCV "開"操作 NCV "閉"操作	作 作 停止 選択操作
	点検項目		自然個系統運転	低設定系統運転

Table 5 データ処理計算機システムの機能一覧

設備	名 称	詳細		
原子炉本体設備	帳票作成機能	JRR-3 運転記録(Ⅱ)作成 ・プロセスデータを定期的に収集、記録する。 ・原子炉操作卓のスイッチ操作により、任意にプロ セスデータの収集、記録する。 ・技術計算値(余剰反応度計算値)を記録する。		
	技術計算処理機能	余剰反応度の計算 ・原子炉運転時の制御棒位置から、原子炉の余剰反応度値を計算し処理する。		
	運転実績表作成機能	運転実績表の計算及び記録 ・原子炉の運転に応じた、運転時間及び出力量を計算し、記録表を作成する。		
	熱貫流率計算機能	熱貫流率データの算出 ・1次冷却系、重水冷却系及び2次冷却系の冷却水 流量及び温度差から熱貫流率を算出する。		
放射線管理設備	放射線管理記録集計機能	放出ガス測定記録 ・スタックガスモニタ値から、排出率、排出空気量、 放出量、放出時間、1日平均濃度、月間濃度、月間放出量及び3ヶ月集計等を算出する。		
		室内ガス 41A r 、3H測定記録 ・各エリアごとのガス濃度を集計し、1日平均、月間最大濃度及び月間平均濃度を算出する。		

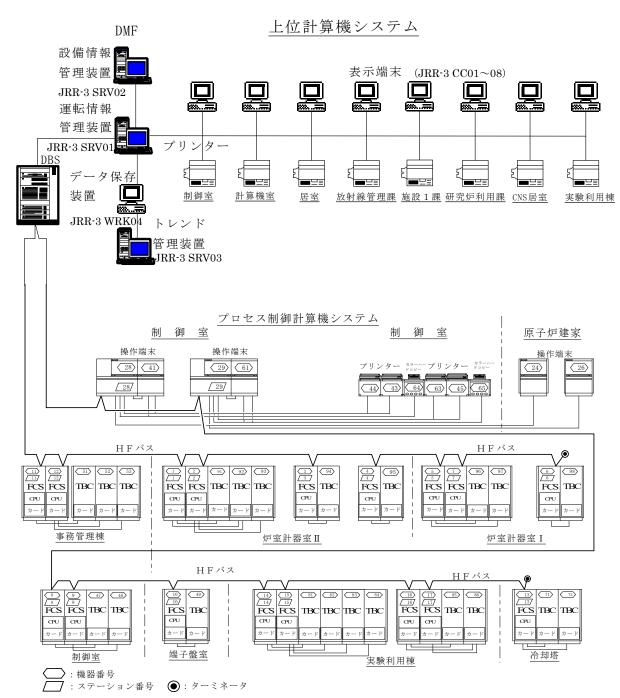


Fig.1 JRR-3 計算機システム (更新前)

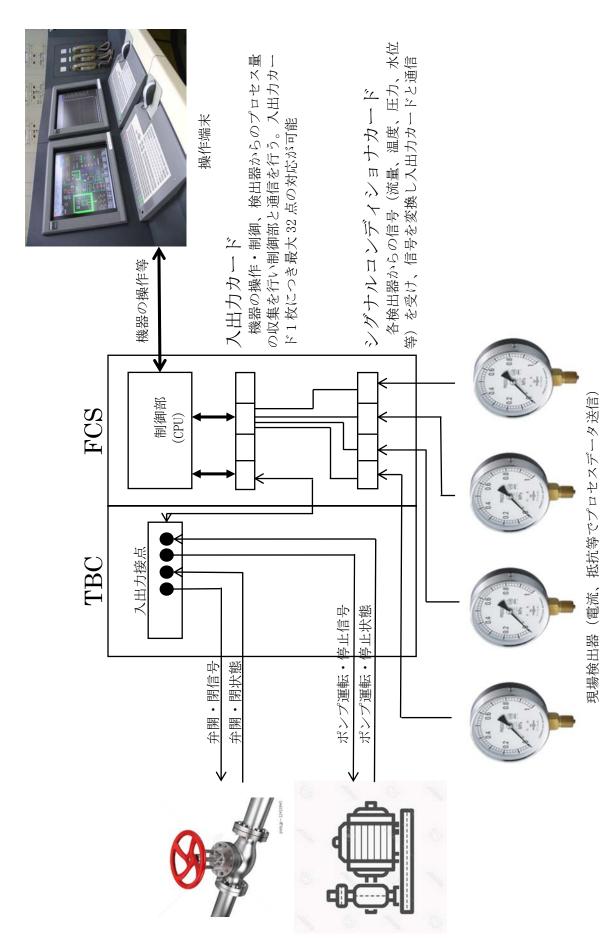
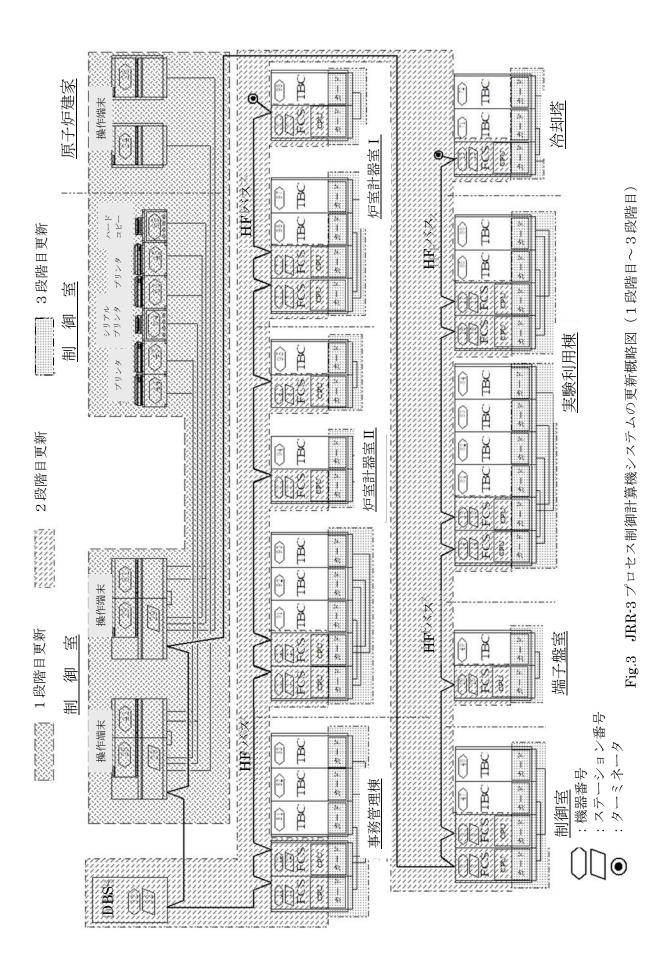


Fig.2 JRR-3 プロセス制御計算機システムの概要

- 31 -



- 32 -



最大5 画面まで東示可能更新後操作・監視画面



Fig.4 更新前後の操作端末

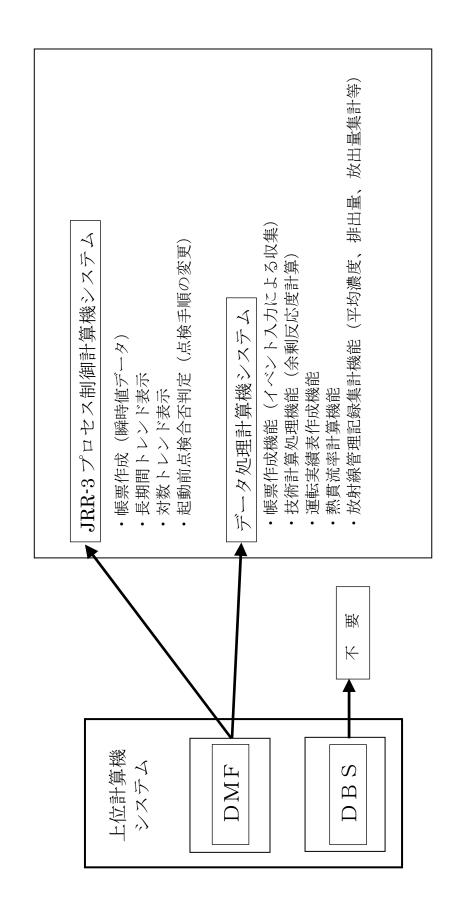


Fig.5 JRR-3プロセス制御計算機システムの更新による上位計算機システム機能の分割

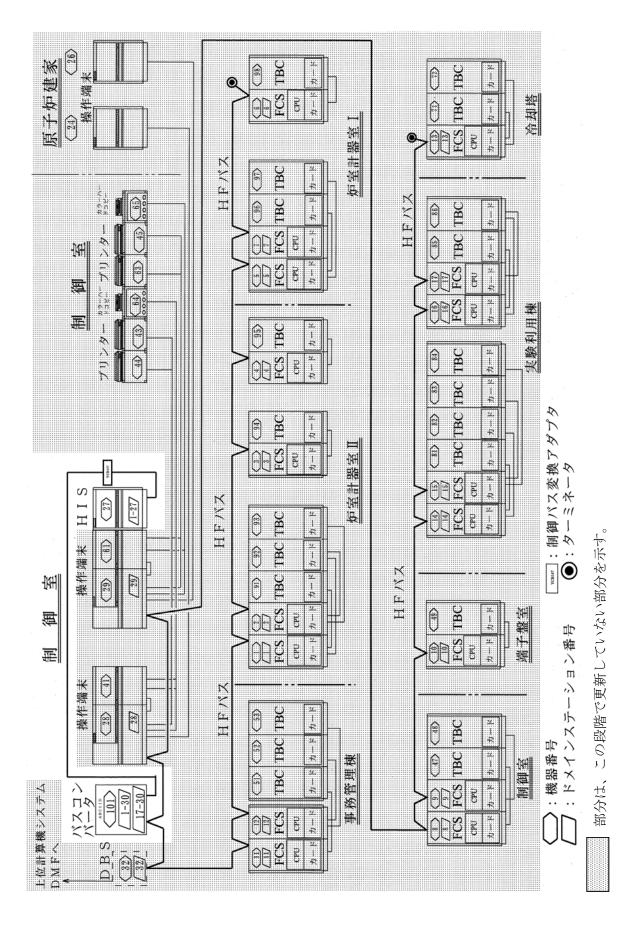
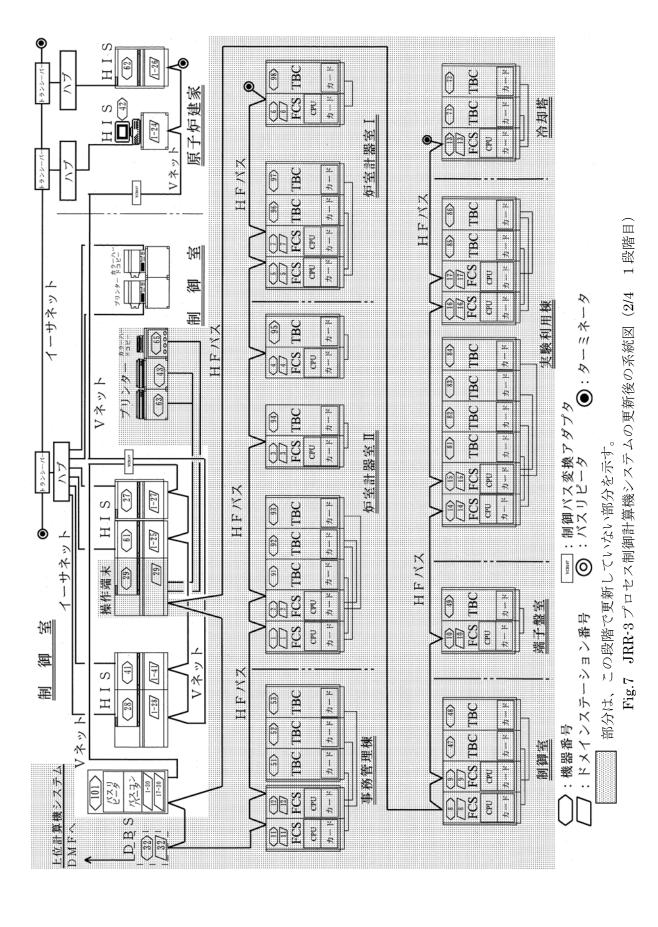
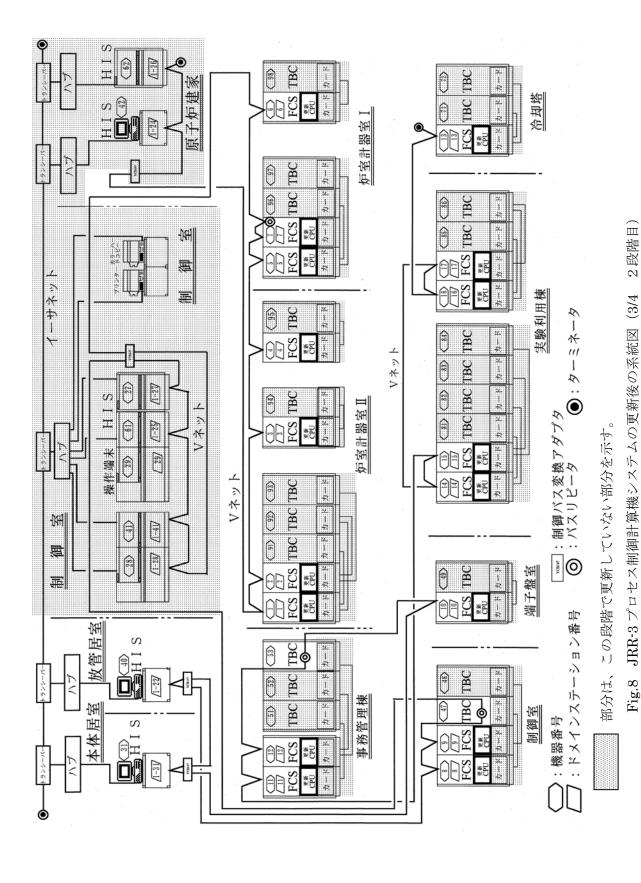
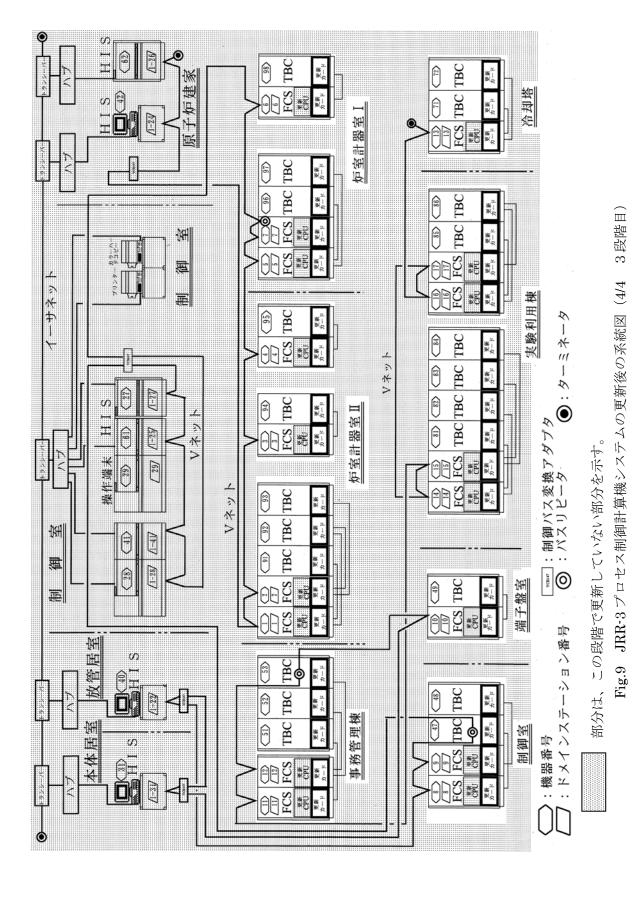


Fig.6 JRR-3プロセス制御計算機システムの更新後の系統図 (1/4 準備段階)





- 37 -



- 38 -

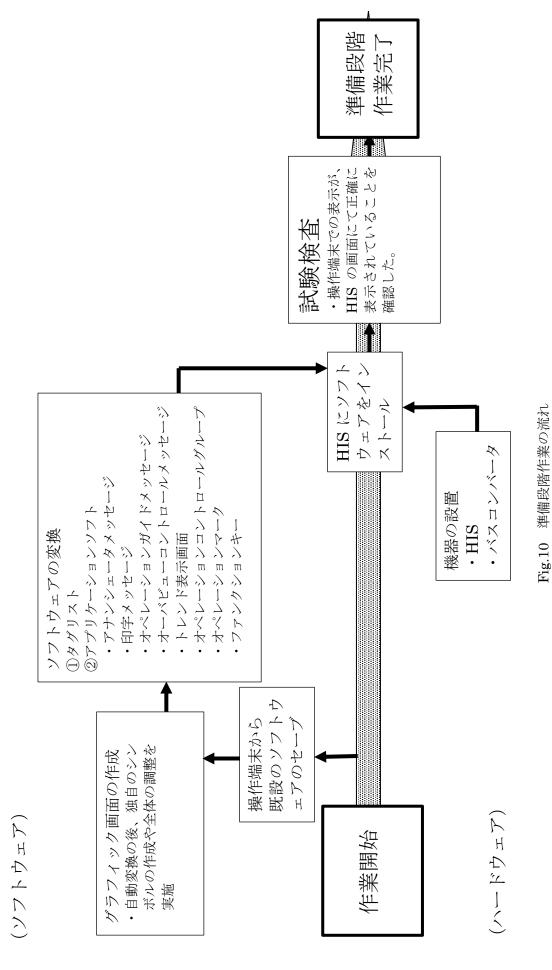


Fig.11 1段階目の更新作業の流れ

(ソフトウェア)



原子炉建家への貫通部、ターミ ナル (MCT)

(操作端末)

イーサネットケーブル(1本) Vネットケーブル (2本)



Fig.12 1段階目の更新作業の写真

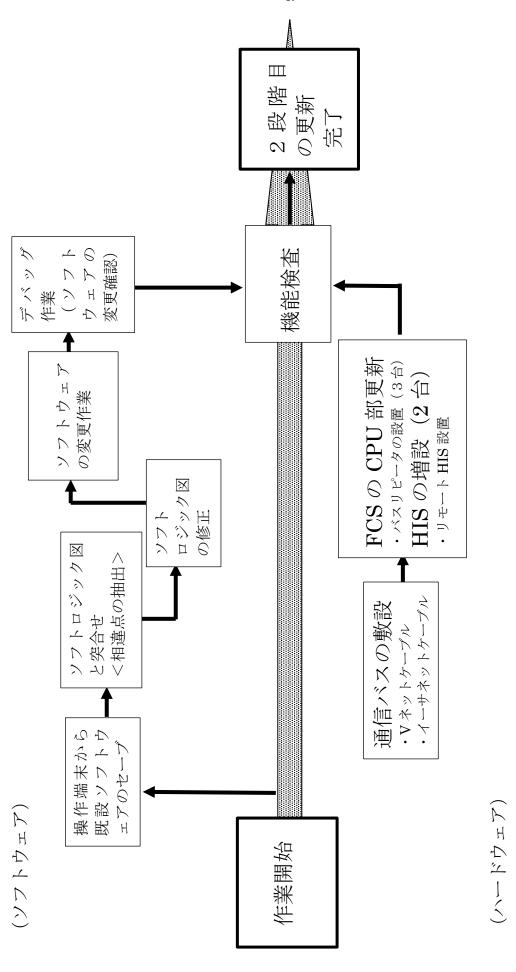
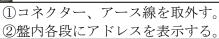


Fig.13 2段階目の更新作業の流れ

FCS の制御部更新作業手順



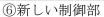


③制御部取外し

④取外した制御部

⑤ラック内に、新しい機器設置 位置のナットを設定する。



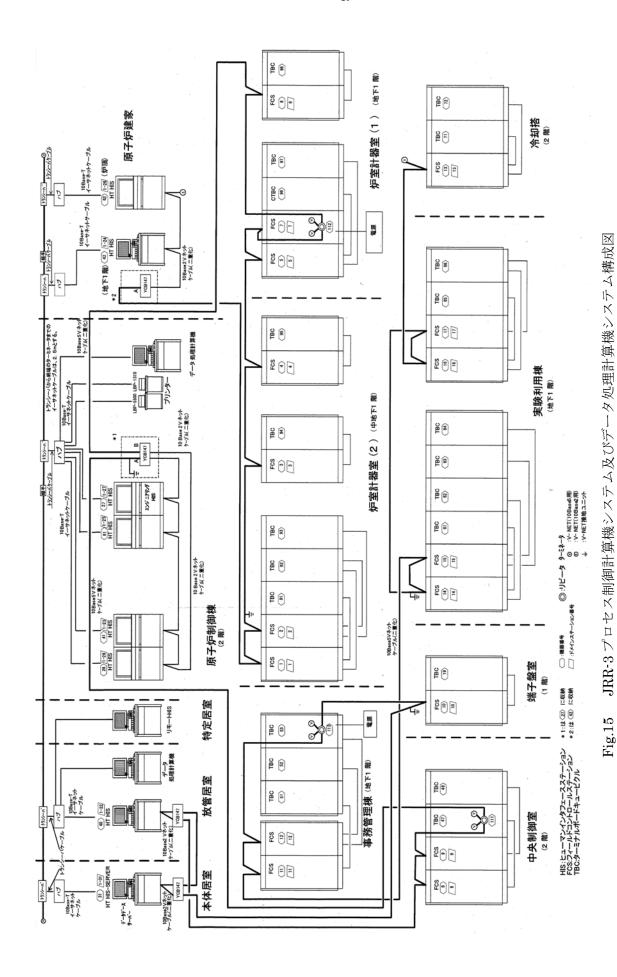






Dフックの下部から、機器を新しい位置に設置する。 最後に新制御部を設置する。

Fig.14 2段階目の更新作業の写真



- 44 -

タグ2桁で1対数を表示上段=現在の指示値 下段=トレンドを表示するための常用対数

画面に8タグ表示できるため、1画面に最大4タグ対数トレンドが表示できる。

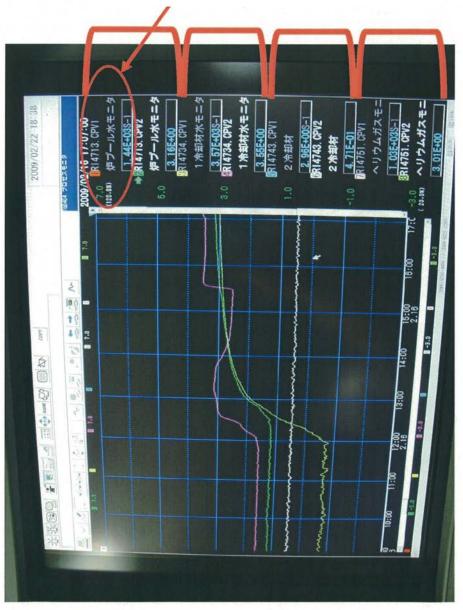
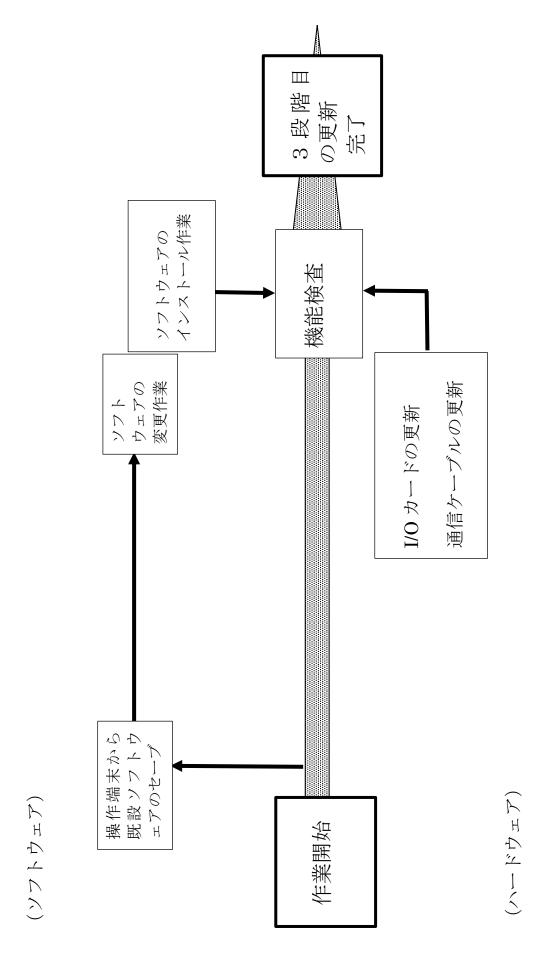
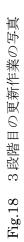


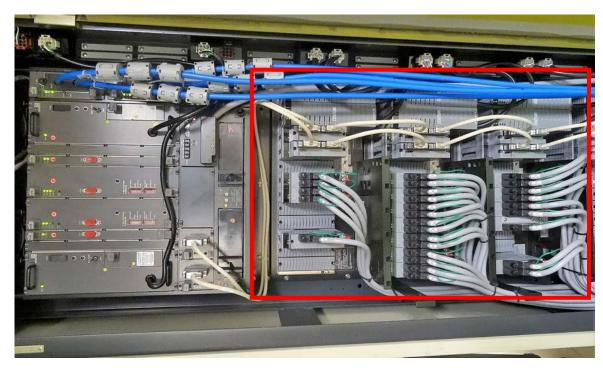
Fig.16 対数トレンド画面



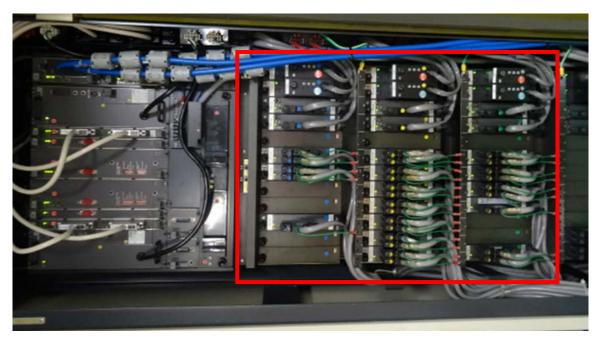
3段階目の更新作業の流れ

- 46 -













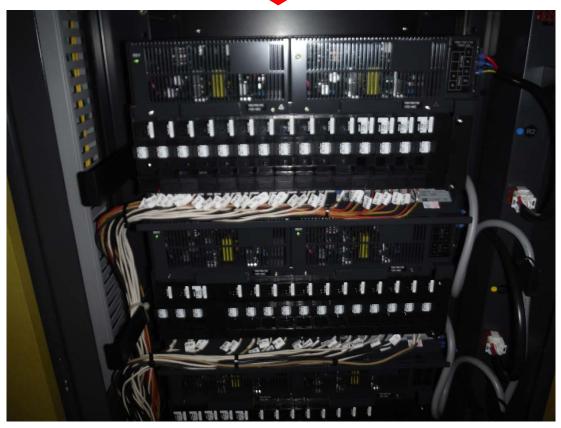


Fig.19 シグナルコンディショナカード及びユニット更新作業の写真