

NIFS 向け LHD 低温制御システムの更新

New control system for LHD cryogenic control system of NIFS

中嶋 俊哉* 服部 賢二* 岸田 太*
 NAKASHIMA Toshiya HATTORI Kenji KISHIDA Futoshi

1. はじめに

1998年にオープンシステムを特徴とする当社開発の運転・制御システム MPICS™ (Multi Performance Integrated Control System) を LHD (Large Helical Device) の低温制御システムとして NIFS (自然科学研究機構 核融合科学研究所 National Institute for Fusion Science) に納入した。これまで、高い装置稼働率(運転予定時間に対する実際の無故障での稼働割合)に貢献してきたが、運用開始から14年が経過し機器の老朽化による今後の稼働率低下が懸念され、併せて運転・制御システムもこの年月で陳腐化してきているため、2011年に同システムの更新工事が行われることとなり、当社は新しいLHD低温制御システムを納入した。

本システムは、当社が1995年に納入したヘリウム液化冷凍機によって3つの装置(被冷却系と呼ばれる超伝導ヘリカルコイル、超伝導ポロイダルコイルおよび超伝導バスライン)を超伝導となる温度まで冷却する冷凍システムである。

また、被冷却系を長期間超伝導状態に維持する高い信頼性が要求されるため、本工事は、単なる制御機器の入替えだけでなく、これまでの制御アプリケーションの互換性に配慮しながら、基本制御ソフトウェアに新たな設計思想に基づく新技術を導入して実施した。ここでは、新技術の導入と効果について紹介する。

2. 更新前システム

更新前の旧システムの概要を図1に示す。フィールドコントローラは、制御バスに当時の業界標準のVMEバスを採用し、入出力信号は制御バスに搭載された入出力ボードで取り込む方式とした。旧システムの構築当時は膨大な入出力信号と制御アプリケーションを1台のフィールドコントローラで制御演算させることが不可能であったため、ヘリウム液化冷凍機、3つの被冷却系、それら装置を統括する全体統括の合計

* 開発・エンジニアリング本部技術サポートセンター電気技術部

5つの制御対象毎にフィールドコントローラを設け制御演算を行う分散システムを採用した。フィールドコントローラは、常用系と予備系の二重化構成とし、片方が異常停止しても運転/待機状態が無瞬断で切り替わることにより、運転継続可能となっている。

また、He液化冷凍機から冷媒(液体ヘリウム)を被冷却系の3装置に供給するには、装置間で情報を共有し連携するための全体統括制御が必要とされる。

その情報共有のためにリフレクティブメモリ(自動データ整合機能付きメモリ)を各フィールドコントローラに搭載し、それぞれのリフレクティブメモリ間を光ケーブルで接続することで情報の共有化を実現した。この構成により稼働からの14年間で総運転時間63,751時間のうち、故障による停止は588時間で99%の高稼働率を達成した。しかし、旧システムでは以下の短所があげられる。

- (1) フィールドコントローラの数が多く、システム構成が複雑なため、全システムを起動するのに時間を要する。
- (2) リフレクティブメモリが故障すると装置間の情報共有が崩れ全システムを停止させてしまう。
- (3) 構成機器が多いため、保守メンテナンスに手間がかかる。

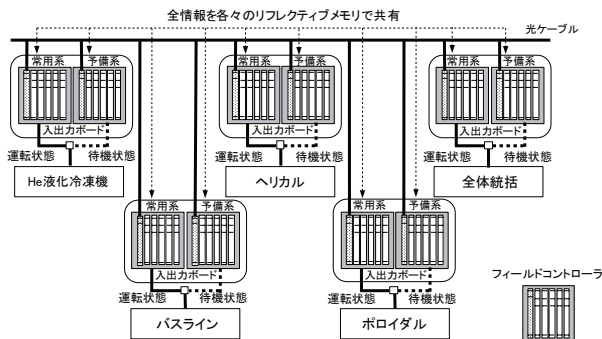


図1 更新前システム構成概要図

3. LHD 低温制御システム

本工事で開発した本システムの構成を図2に示す。本システムでは更新前システムのソフト資産を継承

しつつ、保守性の更なる向上を目的に開発を行った。フィールドコントローラは2009年に当社が開発したCompactPCI版 DeMPICS（以下、cPCI版）をベースに開発した。cPCI版は、制御バスにVMEバスの後継制御バスであるCompactPCIバスを採用したシステムで活線挿抜機能を有している。その特長を活かし制御バス内でCPUボードを二重化して、片側のCPUボードが故障しても、もう片側のCPUボードで運転継続したまま、電源を切ることなく故障ボードの交換が可能である。

また、入出力機器にはリモートIOを採用し、更新前システムではフィールドコントローラと一体化していた入出力機器を分離することで故障時に容易に切り離せるようメンテナンス性の向上を図った。リモートIOの protocols (通信規約) には、EtherNet/IP (産業用フィールドネットワーク) を採用した。EtherNet/IPの主な緒元を表1に示す。

本システムは、制御演算を行うフィールドコントローラ、制御アプリケーションの作成やダウンロードを行うアプリケーションビルダーPC、制御対象の運転操作を行うオペレーティングPC、LHD低温システムの全データを1秒周期で収集するデータ収集サー

バ、1秒周期でトレンドグラフを表示するトレンドPCと研究所内LANを経由してクライアントPCから遠隔監視・操作を可能とするWeb監視・操作サーバで構成され、すべての機器がEthernetを介して接続されている。電源を含めたすべての主要機器が冗長化構成をとっており高い信頼性を確保している。

表1 EtherNet/IP 緒元

伝送種類	10BASE-T/100BASE-TX
伝送速度	10/100Mbps
通信距離	ノード間距離：100m 以内
伝送ケーブル	8TP ケーブル カテゴリ 5/5e
トポロジ	スター, ライン, ツリー
最大接続台数	256

3.1 フィールドコントローラの統合

本システムの概要を図3に示す。更新前システムでは制御対象ごとに分散化していたフィールドコントローラを1台に統合した。これにより各フィールドコントローラ間の情報共有が不要となり、システム停止の要因であるリフレクティブメモリの廃止を実現した。

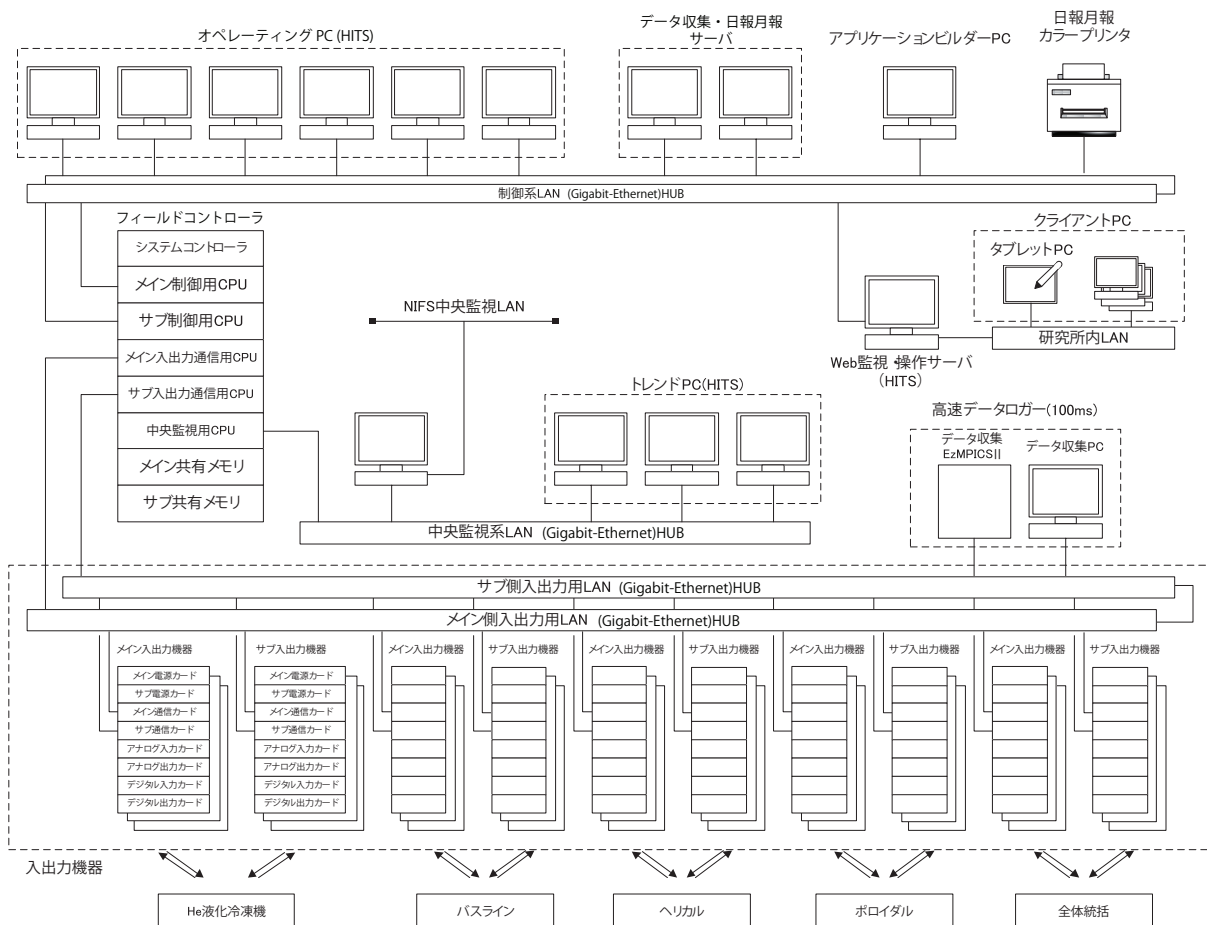


図2 LHD 低温制御システム構成図

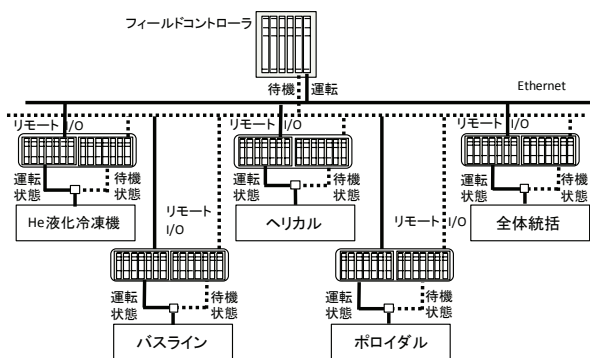


図3 新システム構成概要

3.2 二重化構成

フィールドコントローラの構成を図4に示す。フィールドコントローラは、制御演算を行うメイン/サブ制御 CPU とリモート IO と通信を行うメイン/サブ入出力通信用 CPU、入出力データ及び二重化のための共有データを保存するメイン/サブ共有メモリと NIFS 上位システムより中央監視 LAN を経由して監視を行う中央監視用 CPU で構成される。制御 CPU は、互いに正常動作の確認を行っており異常を検出すると瞬時に正常な制御 CPU に切替える。入出力通信 CPU は、運転状態の制御 CPU と正常動作の確認を行っており、異常を検出すると瞬時に正常な入出力通信 CPU に切替えると共に、二重化されたリモート IO の通信カードの通信状態も監視しており正常な通信カードと通信を行う。

また、二重化構成の機器 (共有メモリを除く) は、オンラインでの機器交換が可能となっている。

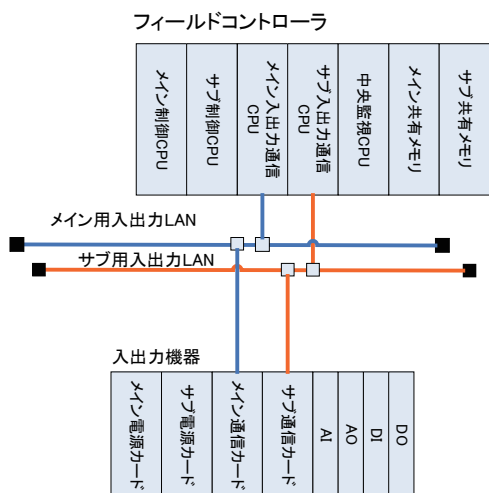


図4 フィールドコントローラの構成

3.3 HMI ソフトウェア「HITS」の採用

オペレーティング PC, トレンド PC 及び Web 監視・操作サーバには、当社開発の HMI (Human-Machine Interface) ソフトウェアである「HITS (Human-Interface-Tool-System)」を採用した。

HITS は、Java 開発環境で開発した HMI ソフトで、Java 実行環境で動作するため OS に依存しない特徴を持つ。この特徴によりオペレーティング PC が故障し交換する場合でも OS のバージョンを気にせずリプレース可能である。また、従来の運転操作性を継承するため、本システムではタッチパネル操作対応とした。

Web 監視・操作サーバは、クライアント PC に対してオペレーティング PC と同等の機能を提供している。本システムでは、クライアント PC に 10 インチのタブレット PC を導入しており、その可搬性を生かし遠く離れた圧縮機棟での現場点検に有効利用されている。

4 まとめ

本工により更新前システムでは 24 枚あった CPU ボードが 5 枚となり構成機器が大幅に削減された。システムの起動時間も 40 分から 3 分に短縮された。長期安定運転だけでなく、運用管理及び保全の面でも更新前システムと比較し大きな効果があったと言える。なお、本システムは、2012 年度の実験で旧システムとの並行運用を行い信頼性の確認を行った後、2013 年度から本格運用となる。

また、今回開発した本システムはヘリウム冷凍機やスペースチェンバなど当社宇宙・低温機器統括部の装置や他の事業部の装置へ展開する予定である。

参考文献

- 1) 飯村憲, 吉川浩史, 中嶋俊哉, 岸田太, 中村勝弘. LHD 低温制御システムの開発. 日本酸素技報. 1998 (17), p.25-35.
- 2) 飯村憲, 中嶋俊哉. Windows パソコンと VME によるプロセスコントローラの開発. 電気学会産業計測制御研究会資料. IIC-99 (33-47), 1999, p.69-76.
- 3) 三戸利行他, LHD 超伝導システムの高信頼化運転と改良履歴, 2011 年春季低温工学・超電導学会講演概要集, 2011, p.156.
- 4) 三戸利行他, LHD 低温制御システムの高信頼化改造, 2011 年秋季低温工学・超電導学会講演概要集, 2011, p.32.