

J-PARC ニュートリノ超伝導ビームライン用低温設備 制御情報の発信

○鈴木祥仁^{A)}、大畠洋克^{A)}、佐々木憲一^{A)}、槇田康博^{A)}、荒岡修^{A)}、飯田真久^{A)}、青木香苗^{A)}、
岡村崇弘^{A)}、中本建志^{A)}、木村誠宏^{A)}、荻津透^{A)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構 東海キャンパス J-PARC センター 低温セクション

概要

ニュートリノ超伝導ビームライン用低温設備は、大陽日酸製 De-MPICS 演算処理装置を中心に、デバイスネットの入出力モジュール及び各種フィールド機器で構成されるハードウェアと、制御動作構築ソフトで作成されたループやシーケンス制御、監視操作ソフト(JAVA 上で構築・動作)とにより制御系を成し自動制御される。特に冷凍機メーカー側で把握できない、超伝導磁石と励磁電源の制御、ヘリウムガス純度監視は KEK でハード・ソフト共に整備し、制御系へ組込まれた。低温設備制御系は、半年にわたる試運転を通じてデバッグを行い、基本運転動作は安定して行えるようになった。現在、①低温設備の特性解析に役立てるため運転記録をサーバーに蓄積する、②全 J-PARC 規模の運転体制整備に備えて加速器制御 LAN に組み込む、といった外部との通信を主とする制御系の改造を行っている。以上のような制御系の開発経過と現状を報告する。

1 冷凍機制御機器類の概要

DeMPICS 制御コントローラ本体は、ADVANET 製 CPCI ベースのモジュールにより構成され、制御 CPU モジュール 2 枚(常用側/待機側)、システムコントローラ、SRAM モジュール、DEVICE ネットモジュールからなる。制御 CPU は VxWORKS 上で冷凍機監視制御プログラムを走らせ、DEVICE ネットを経由して M-SYSTEM 製各種入出力カードにアクセスすることで冷凍機プラントの計測データ収集や制御動作出力を行う。同制御プログラムがアクセスする M-SYSTEM 製入出力カード群のレンジ等機器定義、フィードバックループやシーケンステーブル等制御動作内容の作成は、構築 PC(Windows)で専用ソフト日新システムズ製 “デジタル計装ソフト” により構築作業を行い、制御 CPU(並びに SRAM モジュール)へダウンロードして読みこませることで同制御プログラムを更新する。オペレータ PC(Windows, 以下監視 PC)での監視操作は、別ソフトのアスタックス製 “HITS”により実現され、ユーザー側で監視画面の作成やトレンドグラフの定義等ができる。

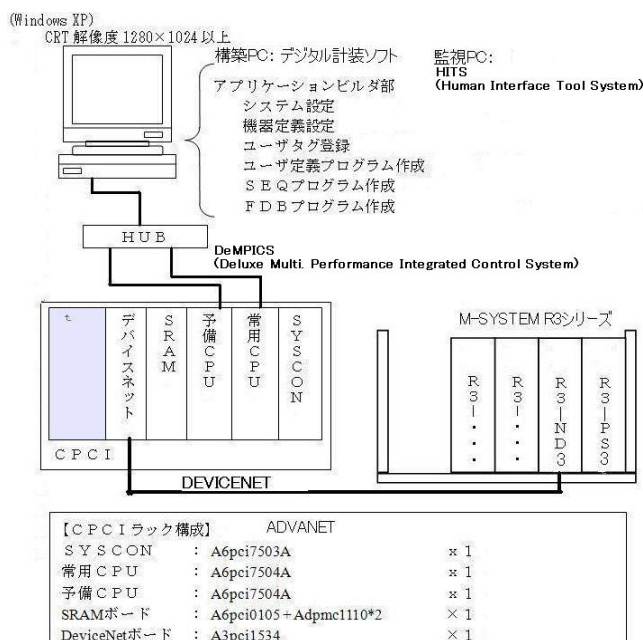


図 1. 制御コントローラ及び入出力カード

HITS は JAVA-RE(1.5, 6)、PostgreSQL(8.2)、OpenOffice(2.3, 3.1)といったオープンソースソフトウェアのみで動作し、制御 CPU と専用ポートで TCP,UDP 通信を行うことにより、監視 PC での計測データ収集・保存、監視 PC からの設定値や制御モードの変更や各種操作を可能にしている。CPCI ネットの制御 CPU x2(VxWORKS)、構築 PC 及び監視 PC x4(WindowsXP)、後述するサーバー-PC x1(Windows Server 2008-STD) は、

プライベートアドレスで冷凍機制御 LAN を構成し、冷凍機建屋の 1 階(現場)と 2 階(制御室)にハブを経由して配置されている。

1.1 制御コントローラ

制御コントローラ(CPCI ネット)の構成を列挙する。

ADVANET 製。システムコントローラ A6pci7503 x1、制御 CPU A6pci7504 x2、キャリアボード A3pci0105 x1 + PMC SRAM モジュール Adpmc1110 x1、Devicenet マスターボード A3pci1534 x1

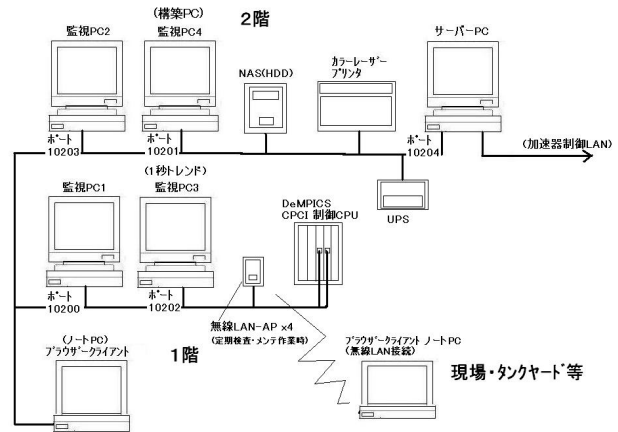


図 2. 冷凍機制御 LAN 機器構成

1.2 入出力カードと I/O 点数

M-SYSTEM 製入出力カード(R シリーズ)の構成を列挙する。

*各カードは 12 スロットベース x7 に配置されている。

Devicenet 通信カード R3-ND3 x7、ディストリビュータ入力カード R3-DS4S x6、直流電流入力カード R3Y-SS8S x10、直流電流出力カード R3Y-YS4S x15。直流電圧 mV 入力カード R3-SV8AS x9、直流電圧入力カード R3Y-SV8S x2、熱電対入力カード R3-TS8S x3、外部電源接点入力カード R3-DA32AS x3、接点出力カード(オープンコレクタ) R3-DC32AS x3

I/O 点数は、

- ・ AI(4-20mA & 電圧) 約 120 点(内 電圧約 13 点) : 圧力, 温度, 流量, 回転数, 液位, 電流, 純度等
- ・ AI(0-100mV) 約 75 点 : Cernox(4-100K) 約 50 点--100 μ A, Pt(50-340K)&PtCO(4-340K) 約 25 点--300 μ A
- ・ AI(熱電対) 約 20 点 : T 型熱電対(50-313K) --電磁石
- ・ AO(4-20mA) 約 55 点 : バルブ開度, ヒーター制御
- ・ DI 約 75 点 : 各種ステータス, 故障等
- ・ DO 約 50 点 : ON/OFF 司令, 電磁弁等

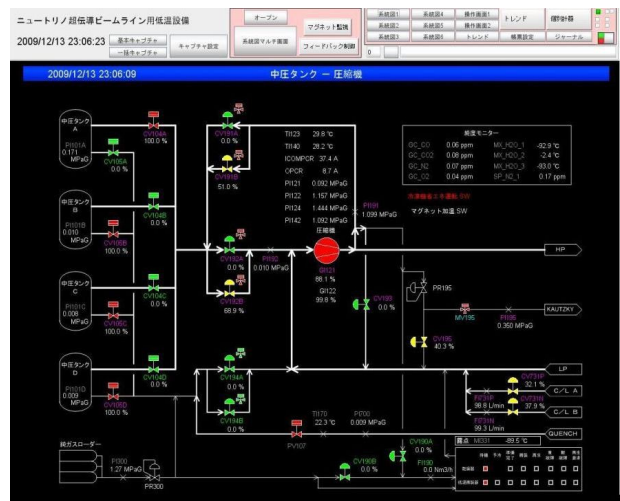


図 3. 冷凍機監視操作画面の例

2 冷凍機制御情報の発信

冷凍機制御 LAN 上のサーバ-PC は、NIC2 枚刺しにより J-PARC 加速器制御 LAN にも接続しており、両 LAN 上のクライアントに対する監視操作サービスの提供と、同加速器 LAN を経由した JLAN や KEK-LAN のクライアントへの監視情報の提供をしている。

2.1 冷凍機制御 LAN 及び加速器制御 LAN への監視操作サービス (ブラウザでの JAVA アプレット、データ参照等)

HITS の WEB 機能で、両 LAN 上のブラウザクライアントからの接続要求に対し JAVA プログラムが転送され、アプレットとして実行されることにより、ブラウザ上からの監視操作が実現している(現状のクライアントは、冷凍機制御 LAN 上 1 台—冷凍機建屋、加速器制御 LAN 上 2 台—冷凍機シフト仮眠室、J-PARC 中

央制御棟)。サーバー機側では両 LAN ごとに別々の index.html が用意され、使用する JAVA プログラム群(.jar) 及び両 LAN ごとに違う project フォルダ(監視画面構成ファイル群(.xml))を記述している。ブラウザクライアント用の各 project フォルダ内の.xml ファイルにはサーバー上の各 NIC の IP アドレスから CPCI の制御 CPUx2 へ通信をフォワードする PROXY 設定項目があり、またサーバー上の PostgreSQL データベースをクライアントブラウザから参照する設定もある(ヒストリカルトレンドデータ取得用)。これらのことからサーバー機とブラウザクライアントとの間では次の4つのポート通信を許可しておく必要がある。Apache による http サービス 8080(既に IIS6.0 で 80 を使っているため)、PROXY ポート 10000, 10001、データベースポート 5432。そして、サーバー機側で稼働するサーバー用 project では他の監視 PC と同様なサーバー機ローカルで使う監視操作機能を提供しているとともに、監視 PC と同列の制御 CPU との通信ポート(10204)により上記 PROXY 経由での通信を媒介している。

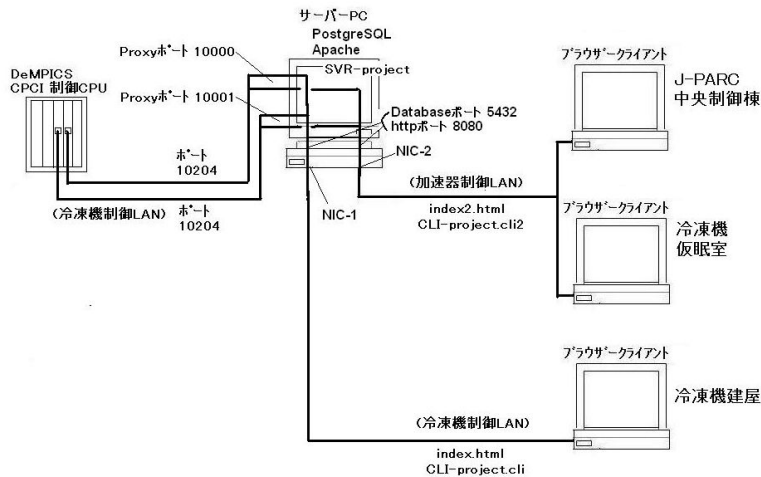


図 4. HITS のブラウザ監視操作 構成とポート概念図

(4 台の監視 PC の使用ポートは、各々 10200, 10201, 10202, 10203 である)

ブラウザクライアントユーザーへのセキュリティ設定としては、基本的に全監視画面には半透明のカバー(bean 部品)をかけてあるので操作はできず、カバー越しに画面の監視のみを行うことになる。操作するには ID とパスワードによる認証を経てカバーを外さなければならない。またパスワードを知っている者が操作後にカバーをかけ忘れて席を離れる可能性もあるため、カバーを外したあと設定秒数を経過すると自動的にカバーがかかり再び操作ができなくなる。トレンドグラフ(リアルタイム/ヒストリカル)や、アラーム及びイベント表示画面には、操作によるシステムへの影響が無いためカバーはかけていない。

また、冷凍機制御 LAN においては、無線 LAN アクセスポイント(冷凍機の保守・定期検査等時のみ稼働させる)を 4 か所に設けることで、ノート PC によるブラウザでの監視画面操作を冷凍機現場建屋内および屋外タンクヤード、バルブボックス等において機動的に行えるようにした(気密試験等での自動弁操作等を現場で物を見ながら行える)。無線 LAN のセキュリティを非常に厳しくするため、ANY 拒否(アクセスポイント検索不可)、WEP パスワード認証、接続できるクライアントの MAC アドレスによる選別、ESSID を一部の関係者にしか知らせない と 4 重の制限をかけて守っている。



図 5. ブラウザクライアント側でのセキュリティ認証

これらブラウザでの監視操作サービスに加え、サーバー機では IIS6.0 による http(ポート 80)、ftp(ポート 21)の各サービスが稼働していることから、冷凍機制御 LAN 及び加速器制御 LAN 上の各クライアントは、後述する Trendwriter フォルダ(CSV データ)や Capture フォルダ(監視画面画像.jpg データ)を、ブラウザからの http 接続や ftp 接続(要認証)によりリモート表示やダウンロードを行えるようにしている。

2.2 JLAN 及び KEK-LAN への監視サービス (監視画面及び運転記録 CSV データの rsync、サーバー蓄積)

サーバー機側 HITS の3つの project の内、サーバーローカルで稼働するものには他の4台の監視 PC と同様に充実した画面キャプチャー機能がある。中央ペインに選択表示しているものを任意に撮る BasicCapture、登録した画面群をまとめて任意に撮る BatchedCapture、登録した画面群を設定秒数毎に繰り返し撮り続ける ScheduledCapture、登録したタグの状態変化(アラーム等)時に登録した画面を撮る TriggerCapture である。通常画面キャプチャーでは先ず取りたい窓を最前面にしてから行う必要があるが、この JAVA プログラムによるキャプチャー機能では、窓を開いていない監視画面(.xml により定義)でさえも測定値等の現況を反映させた状態(開いた状態)として画面キャプチャーできる。本件では、冷凍機制御 LAN 上のサーバー機(Windows Server 2008-STD)の HITS で ScheduledCapture を5分毎に全画面数(104個)撮る設定で走らせ、撮った.jpg 画像ファイル群の保存フォルダを5分毎に JLAN IntraDMZ 上のサーバー機(Linux)のフォルダと rsync 同期させ、転送された画像ファイル群を https サービス(Apache)により JLAN 及び KEK-LAN から参照可能とすることで、両 LAN 上のブラウザクライアントからの監視画面の参照(5分毎に更新)を可能としている(同 https アクセスには ID とパスワードによる認証を必要としている)。また、JLAN あるいは KEK-LAN に VPN 接続することでインターネット(外部)からの参照も可能である。冷凍機サーバー機は上述の様に NIC 2 枚刺しで加速器制御 LAN にも接続していることから、JLAN IntraDMZ 上のサーバー機への rsync 転送は、まず加速器制御 LAN 上の別 Linux マシン(PortForwarder の役割)にログインした状態で、冷凍機サーバー機から IntraDMZ 上サーバー機への SSH 接続(秘密鍵・公開鍵による認証)がフォワードされている状態で実現している。

また HITS は、アラームやイベントのログをタブ区切りテキストでアペンド保存しており、月ごとにファイル名が変わる。これら年月名のファイルは後述する.csv データと同じく1日2回の rsync 転送をしているが、リアルタイム参照のために5分毎転送を行う場合、ユーザーが WEB 参照するファイル名が毎月変わったのでは即応性が無い。

このため、現時点の年月入りファイル名を自動判別しそれを統一ファイル名にコピーするバッチを5分毎に走らせ、次に.jpg 画像と一緒に5分毎に rsync 転送することでこの問題を解決した。

HITS には TrendWriter により、設定したトレンドグループ内のタグの値(測定値、設定値等)を一定周期で日付毎の.csv ファイルに運転記録としてセーブする機能がある。冷凍機監視 PC3 においては1秒周期でセーブ(収集周期も1秒)させることでクエンチ等早い現象の解析に供している。PC3 自身の HDD へのセーブでは.csv ファイルの保持日数を30日分までに限定して古いファイルから順次自動削除し HDD が満杯になることを防いでいたが、このセーブ先を冷凍機制御 LAN 上の NAS(RAID5, 1.5TB)の共有フォルダに設定したことで、同保持日数を4000日(約11年)分まで拡張することができた。また、冷凍機サーバー機においては1分周期での.csv セーブをサーバー自身の HDD へ同様に行っている。そして同サーバー機では1秒周期のフォルダ(NAS 上の共有フォルダをマウントしたもの)と1分周期のフォルダ(自機 HDD 内)を1日に2回(0:10 と 12:10 に)上記キャプチャー画像の転送と同じ方法で rsync 同期させており、CSV データも JLAN 及び KEK-LAN からの

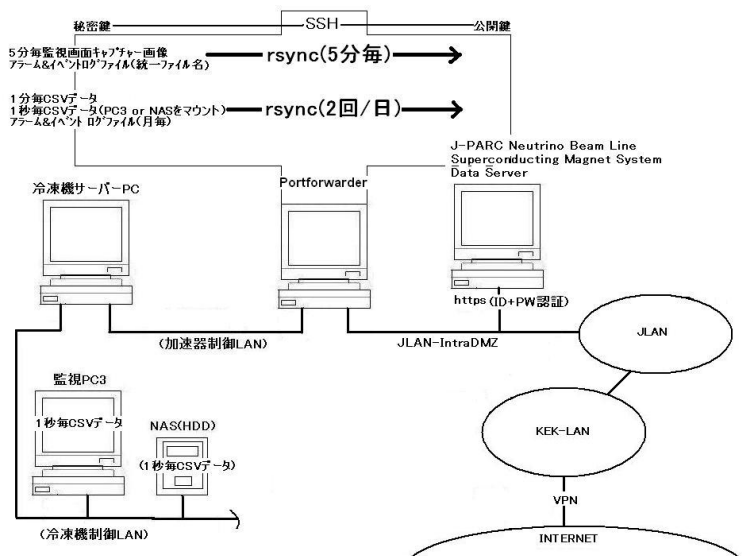


図 6. 冷凍機監視画面とデータの rsync 転送・WEB 参照

参照が可能となっている。1日2回に制限している理由は、転送ファイルサイズが大きいもので～90MB/個(1秒周期。AMのファイル、PMのファイル各々のサイズ)あり、それが～47トレンドグループ(～94個)+1分トレンドの47個に上るため、ネットワークトラフィックが非常に増大してサーバー機を含めた監視PC群と制御CPUとの通信エラーが起きやすくなることと、1秒トレンドのAM,PM各.csvファイルが0:00,12:00に切り替わるためである。

上記NASは稼働後半年ほどで内蔵のWindows共有サービスが停止しマウントできなくなり、またhttpやftpサービスも停止してブラウザからのShutdownや管理メンテ、ファイル吸い出し等もできなくなった。強制電源OFF後の起動で自動的にRAIDのresyncingになり丸1日かかったが、各サービスは復活して今までのセーブデータも無事保持されていた。しかし、いつまたサービスが停止して1秒トレンドの書き出し先が無い状態でHITSが仮面作動になるかわからない点(書き出しができなくてもHITSはエラーを出さない)ので数日間気付かないことがあり、その間の1秒データは存在しないことになる。NAS復旧のためのresyncingは非常に長時間を要する点等から、現状は1秒トレンドを監視PC3自身に書き出し、それをサーバー機でマウントすることでrsync転送している。(NASは1秒毎の大量データ書き込みが無くなって以降は安定に作動しているので、時々PC3の1秒データを手動(LAN経由)でNASへバックアップコピーしている)

3 J-PARC 内各低温設備制御情報の発信

各設備の監視画面を5分毎にキャプチャーし、KEK-LAN内サーバーへ5分毎にhttp転送することにより、ユーザーはJLANやKEK-LANからブラウザで同サーバーのメニューページへアクセスすることで、各監視画面(5分毎に更新)の選択参照ができる。

3.1 加速器制御LAN上PCの監視画面転送

現状、

- ・中央制御棟のPC：

冷凍機監視のブラウザ画面、EPICS施設データ監視画面本体(LabVIEW。冷却水、空調、電源等のモニター)

- ・冷凍機建屋仮眠室のPC：

冷凍機監視のブラウザ画面、上記EPICS施設データのブラウザ画面(LabVIEW WEBサービスの2台で行っている。

加速器制御LAN上のPROXYサーバーは、外部(JLAN, KEK-LAN及びインターネット)のポート80のサービスだけを通してくれる(OUTBOUND方向のみ)のでKEK-LAN上でhttpサービスしているPCへファイルを転送できる。具体的には、battpというコマンドラインのフリーソフトをWindowsのタスクにより周期起動し、その設定ファイルには、転送元のフォルダー、ファイルやKEK内転送先のURLフォルダーとポート(80)、http認証用のIDとパスワード、そしてPROXYサーバーのIPアドレスとPROXYポート(80)を記述している。画面の周期キャプチャーは、ccapというコマンドラインのフリーソフトを同様にタスクで周期起動することによりメインスクリーンのみを.jpgで保存している(保存ファイル名は8.3形式に設定する必要がある)。両タスクは、普通の設

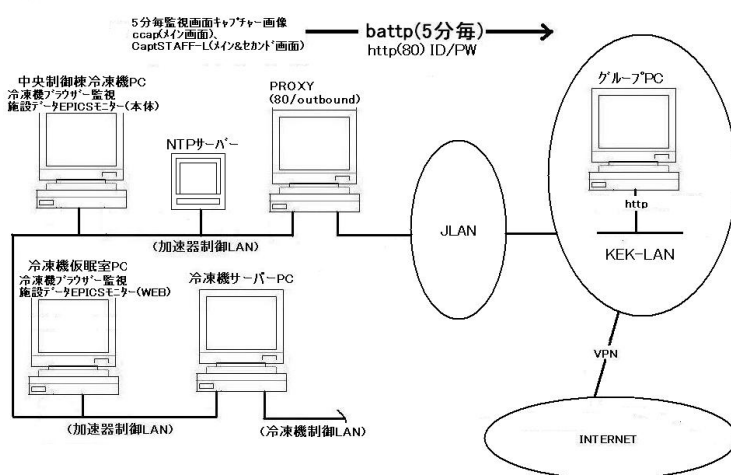


図7. 加速器制御LAN上関係PC画面のKEKへの転送

置きのネットワーク構成である。図7. 加速器制御LAN上関係PC画面のKEKへの転送

定では DOS 窓が開いて画面キャプチャーを阻害してしまうため、ショートカットを最小化実行の設定で作りそれを周期起動することで DOS 窓が開かないようにしている。また 2 台目の LCD で画面増設もしているがそれはセカンドスクリーンで ccap ではキャプチャーできないため、CaptureSTAFF-Light というフリーソフトでメイン&セカンドの両スクリーンを撮っている。このソフトは非常に多彩なキャプチャー方法に対し細かく設定ができ自身で周期キャプチャー機能を持っている(しかし、数日から 1 週間程度で何故か周期動作が止まってしまうのが珠に傷である)。battp タスクと ccap タスク(両方とも 5 分毎)との間は 1 分ずらしたタスクスケジュール設定を行い、ccap タスクと CaptureSTAFF-Light 動作との間は 2 分程度ずらす設定をしている。また後述する他の PC 群からの battp 転送も含め、KEK 内サーバーへの各 PC からの battp 転送時刻を 1 分ずつ順番にずれるように各 PC においてタスクスケジュール設定をしている(毎日 0:00 に 5 分毎タスクの開始を基準に)。これを保障するため各 PC においては NTP サーバーで自動時刻補正している(加速器制御 LAN 上 NTP)。

Battp 転送は時々エラー窓を出し、加速器 LAN の PROXY 経由で引っ掛かる場合や、KEK 内サーバーがセキュリティ自動更新で再起動し一時的に http サービスが止まっている場合があるが、いずれも 5 分毎タスクにより回復し転送は自動継続されている。

3.2 JLAN-Intra 上 PC の監視画面転送

現状、

- ・冷凍機建屋制御室の他設備監視用 PC :

ハドロン実験室の SKS 冷凍機監視ソフトの画面(M-SYSTEM ScadaLinks-Pro. Browser)、ヘリウム回収棟計測データのブラウザー画面(M-SYSTEM WEB ロガー)、WEB カメラのブラウザー画面 x3(ヘリウム回収棟 x1、ハドロン実験室内水素ターゲット x2)、冷凍機ガスクロ分析データのブラウザー画面(LabVIEW WEB サービス)

- ・冷凍機建屋現場のガスクロ用 PC :

ガスクロ制御・解析ソフトの画面(島津 GC-Solution)、解析値データ抽出&4-20mA 出力画面本体(LabVIEW))

- ・ハドロン実験室の水素ターゲット PC :

水素ターゲット制御監視画面本体(LabVIEW)

の 3 台で行っている。

JLAN-Intra から KEK-LAN 内サーバーへの転送は直接難なくできる(逆は SSL-VPN 接続が必要)ため、前述の様な PROXY を経由することなく battp 転送を行える。使用している各フリーソフトやタスクの設定は前述と同様であり、battp の転送タイミングを各 PC 間でずらす件も行っている(時刻補正は JLAN 内 NTP サーバーにより実施)。

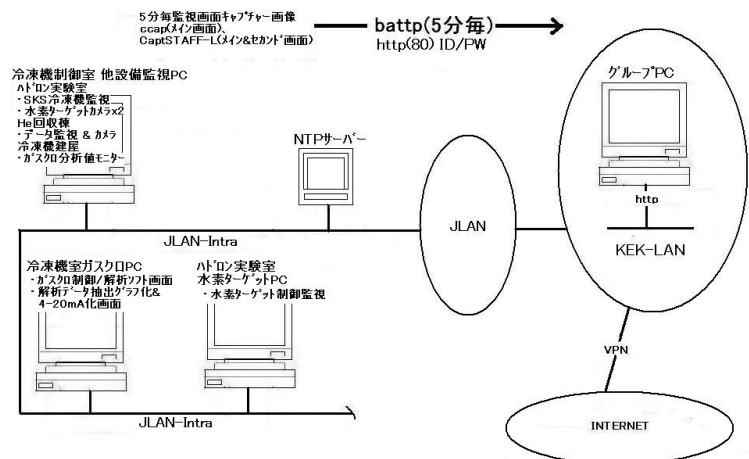


図 8. JLAN-Intra 上関係 PC 画面の KEK への転送

4 セキュリティ設定、時刻同期等

各 PC における AntiVirus や Firewall、Windows セキュリティ更新、時刻同期の状況は以下となっている。

- ・冷凍機制御 LAN 上の PC :

サーバー機において TrendMicro Business Security サーバー版を稼働させ、LAN 上の各 PC にクライアントソフトを配布・インストールしている。全 PC でリアルタイムスキャンと予約スキャン(週 1)が動いており、サ

サーバー側ツールで各 PC のスキャン動作・ウイルス検出状況等の記録を集中管理している。同サーバー版では加速器 LAN の PROXY アドレスを設定することで毎日最新のウイルスパターンをチェックし、ダウンロード時には各クライアント PC へも自動配布インストールされる。Firewall はサーバー機、クライアント機共に Windows 内蔵のものを ON しており、通信が必要なプログラムやポートを”例外”に登録している。サーバー機における Windows セキュリティ更新は、ブラウザーに加速器 LAN の PROXY 経由の設定をすることで可能となり、時々手動で行っている(自動更新だと予期せず再起動し制御動作に重大な支障となるため)。同 PROXY を設定すると加速器 LAN 上のローカルなサービス(中央制御棟冷凍機 PC の EPICS 施設データモニター(LabVIEW WEB サービス)や他の PC の IIS サービス等)にアクセスできなくなるため、PROXY を通さない”例外リスト”にローカル LAN 上の必要なアドレス群を列記している。各クライアント PC の Windows セキュリティ更新は時々手作業で JLAN-Air に接続することで行っている(事前に冷凍機制御 LAN は取り外している)。サーバー機での時刻同期は、AdjustPC というフリーソフトを NTP のサーバー及びクライアントとして稼働させている。同クライアントは 1 時間に 1 回加速器 LAN 上の NTP サーバーと時刻同期する。各冷凍機クライアント PC では”日付と時刻のプロパティ”の”インターネット時刻”で、NTP サーバーのアドレスにサーバー機の冷凍機制御 LAN 側のアドレスを設定することで週 1 の時刻同期及び手動同期を行っている。

・加速器制御 LAN 上の PC(冷凍機ブラウザークライアント) :

各 PC において Symantec AntiVirus が稼働、リアルタイムスキャンと週 1 の管理者スキャンが実行され、ウイルスパターンの自動更新は加速器 LAN の PROXY 経由で行っている(これは下記ブラウザーの PROXY 設定を参照している)。Windows セキュリティ更新は、ブラウザーに加速器 LAN の PROXY を設定することで可能とし、時々手動で行っている。PROXY を通さない”例外リスト”へのローカルアドレスの登録も上述と同様である。Firewall もまた上述と同様に Windows 内蔵のものを使用し”例外”登録も同様である。時刻同期は加速器 LAN 上の NTP サーバーを参照している。

・JLAN-Intra 上の PC(私が管理している分の低温設備用 PC) :

上記と同様に Symantec AntiVirus が稼働し、ウイルスパターンの自動更新は JLAN 経由で行われている。Windows セキュリティ更新も JLAN 経由で時々手動で行っている。Firewall も上述と同様 Windows 内蔵のものを使用し”例外”登録も同様。時刻同期は JLAN 上の NTP サーバーを参照している。

5 まとめと考察

CPCI ベースの制御コントローラやオープンソースソフトウェアベースの監視操作ソフトといったシステムながら安定した制御・監視動作を維持できている(納入以来、メーカーによるバグ修正や機能改善・追加等を頻回に行ってきた結果)。HITS に関しては、ブラウザー監視のクライアント側 JAVA アプレット動作が不安定になるとサーバー側の監視プログラム本体も不安定化しやがて停止してしまうのだが、JAVA プログラム(.jar)のバグ修正とアプレット側で使用するメモリー量の範囲を試行錯誤して見出したことにより現在は安定した動作を続けている。HITS の JAVA による画面キャプチャー機能は全監視画面 104 個を瞬間的に.jpg 保存してしまう秀逸さで、それを JLAN-IntraDMZ マシンへ rsync 転送していることで、KEK や外部からの運転現況のリモート監視ができるようになった。また他の低温設備の監視画面もフリーソフトの組み合わせで KEK へ転送し、同様にリモートからの現況確認ができるようになった。今後さらなる改良・改善を続けていく。

参考文献

- [1] デジタル計装ソフトウェア CPCI 版 (環境構築書, 機能仕様書)
- [2] HITS_取扱説明書_ver30 (DB インストール編, アプリ作成編, デザインモード編, 実行モード編)