

## FACILITY UTILITY CONTROL SYSTEM OF XFEL/SPRING-8

Takemasa Masuda<sup>#</sup>, Noritaka Kumagai, Toru Fukui, Miho Ishii, Ryotaro Tanaka, Yoshihiro Sekiguchi

RIKEN/JASRI XFEL Joint Project Team

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5148

### Abstract

The X-ray free electron laser (XFEL) facility at SPring-8 requires highly stable RF phase and intensity control for steady lasing. The RF conditions are very sensitive to facility utilities and environmental conditions such as air temperature, power line voltage, especially cooling water temperature for accelerating structures. They have to be monitored with required resolution and sampling rate from the viewpoint of the accelerator control. In particular, the cooling water for accelerating structure should be controlled seamlessly from the XFEL control system. We designed and constructed a control system for the facility utilities as a part of the XFEL accelerator control with the MADOCA framework. All the signals of the facility utilities are stored into the same database with the XFEL control system, which helps us to investigate the correlations between beam stability and environmental conditions. All the utility equipment is controlled by PLCs connected to VME systems through FL-net, which is an Ethernet-based factory floor network. We set up PLC touch panels to support daily management independently of the accelerator control system.

## XFEL/SPring-8 施設ユーティリティ制御システム

### 1. はじめに

一般に、加速器施設においては、付帯設備である電気設備、冷却設備、空調設備、防火設備などの施設ユーティリティ系制御システムは、加速器制御システムとは独立に設計、製作される。しかしながら、SPring-8のX線自由電子レーザー施設(XFEL)では、施設ユーティリティ系が加速器制御系から直接制御可能となっている。

XFELでは、安定したX線領域でのレーザー発振を実現するために、RF系の高い位相安定度と振幅安定度が要求される。RFの状態は、マシントンネル内温度、制御機器や信号伝送線が設置されているクライストロンギャラリーの温度、電圧変動などに敏感である。特に加速管の冷却水温度に敏感であるので、加速管の温度を $\pm 0.02\text{K}$ 以内に安定化させる精密温調システムを実装している[1, 2]。

このように、施設ユーティリティ設備のモニタリングと制御はXFELにとっては一段と重要になっている。そこで、施設ユーティリティ制御システムを加速器制御システムと密に結合させ、加速器エキスパートの要求が満たせるような施設系データの収集および加速器制御系からの直接制御が行なえるように設計、製作した。

### 2. SPring-8での経験

SPring-8の施設ユーティリティ制御システムは加速器制御システムとは完全に独立したシステムとして設計され、建設された。運転経験を重ね蓄積ビームのエミッタンスが改善され、ビームの更なる安定化が要求されるようになると、蓄積ビームに及ぼす施設ユーティリティの影響が増してくるようになった。加速器サイドからは、電磁石、RFキャビティ、

真空チェンバーなどの冷却水、および蓄積リングマシントンネル内の温度変動を小さくする必要があり、施設ユーティリティサイドに要請した。また、加速器データとの相関を見るために、施設ユーティリティのデータをより高い分解能、より高いサンプリングレート、より多くの計測点でモニタリングし、長期間のデータ保存が出来るよう要請した。

冷却水温や加速器トンネル内温度の安定化そのものは施設ユーティリティ制御システムの中で行なわれたが、一方でデータ収集の改善を行なうことは難しかったため、それについては加速器制御システムの中で行なわれることとなった。同じ計測ポイントをモニタリングしていたり、加速器制御システムのデータベースに蓄積されたデータを施設ユーティリティのエキスパートが参照していたりするなど、効率的ではなかった。

### 3. システムの設計

#### 3.1 システム要件

ここで述べる「施設ユーティリティ設備」という言葉は、「電気設備」と冷却水や空調などの「空調・衛生設備」を指す。これらの設備は、加速器にとって密接な関係がある設備である。その中でも、いわゆる「装置冷却水設備」と呼ばれる、RF精密温調システムに対して $\pm 1\text{K}$ 以内に制御された冷却水を供給する設備は、加速器にとって重要である。なお、ここでは加速器にとって関わりの少ないシステム(例えば防災設備など)については言及しない。

施設ユーティリティ設備のための制御システムには、以下の機能が要求された。

- 施設ユーティリティ設備のデータは、日々の管理業務だけでなく、加速器運転にとっても、必要とされる精度と周期でモニタリング可能であること。

<sup>#</sup>masuda@spring8.or.jp

- 施設ユーティリティのモニタリングデータは、加速器のエキスパートが加速器のデータと容易に比較を行なえるよう、加速器制御システムのデータベースに蓄積すること。
- 蓄積された施設ユーティリティのデータは、施設管理のエキスパートからも容易に参照出来ること。
- 施設ユーティリティ設備の日々の管理業務は、加速器運転とは独立に実施出来ること。すなわち、加速器制御システムが保守作業のため停止したとしても、管理業務が問題なく継続出来ること。
- 装置冷却水設備については、加速器制御システムの一部として直接制御可能なこと。
- 施設ユーティリティ設備の建設が3つのフェーズに分かれて行なわれるため、拡張性や保守性に優れたシステムであること。

### 3.2 設計

我々は、上記の要求に合うように、図1に示すように施設ユーティリティ制御システムを設計した。このシステムの特徴は以下のようにまとめられる。

- ローカル制御のために、施設ユーティリティ装置の近傍に Graphic Panel (GP) を備えた Programmable Logic Controller (PLC) を設置する。
- Ethernet ベースの factory floor network である FL-net [3]を介して、全てのローカル PLC と通信を行なうメイン PLC システム[4]を用意する。メイン PLC システムで加速器制御系と取り合う。
- メイン PLC システムは、施設ユーティリティのエキスパートが日々の管理業務を行えるよう二つの GP を取り付ける。一つは SPring-8 との統合的な管理を行うために SPring-8 中央設備監

視室に設置し、もう一つは XFEL 制御室に設置する。

施設ユーティリティ制御システムは3系統の FL-net セグメントから構成される。第1系統は「装置冷却水設備」用で、上述の通り加速器にとって重要であるため、メイン PLC からの制御・モニターに加えて、加速器制御システム中に設置された VME 計算機からの直接の制御やモニターが可能となっている。ただし直接制御を行なうためには、施設ユーティリティ管理者から制御権を委譲される必要がある。第2系統は、「装置冷却水設備」を除く「空調・衛生設備」と「電気設備」系統用で、メイン PLC からの制御とモニターが可能となっている。第3系統は加速器制御システムとのインターフェース用で、第2系統のデータを加速器データベースに収集できるようになっている。FL-net は、SCSS 試験加速器での導入実績[5]と多くのベンダーがサポートしているという理由で導入を決めた。FL-net の導入は、PLC と VME 計算機の間での取り合いを容易に出来るというメリットがある。ノード間の取り合いは FL-net 共有領域のメモリマップを決めることに集約出来る。幾つかの異なるベンダーの PLC が採用されている施設ユーティリティ制御システムでは、FL-net の導入は非常に効果が大きかった。

### 4. 製作

システムの製作は3つのフェーズに分けられている。フェーズ1では、2009年4月までに加速器棟および光源棟部分を製作した。フェーズ2では、2010年6月までに XFEL storage-ring beam transport line (XSBT) と共同利用実験棟部を製作した。フェーズ3は、相互利用実験基盤部分の製作で、2011年3月の完成を目指して、この7月にスタートしたばかりである。

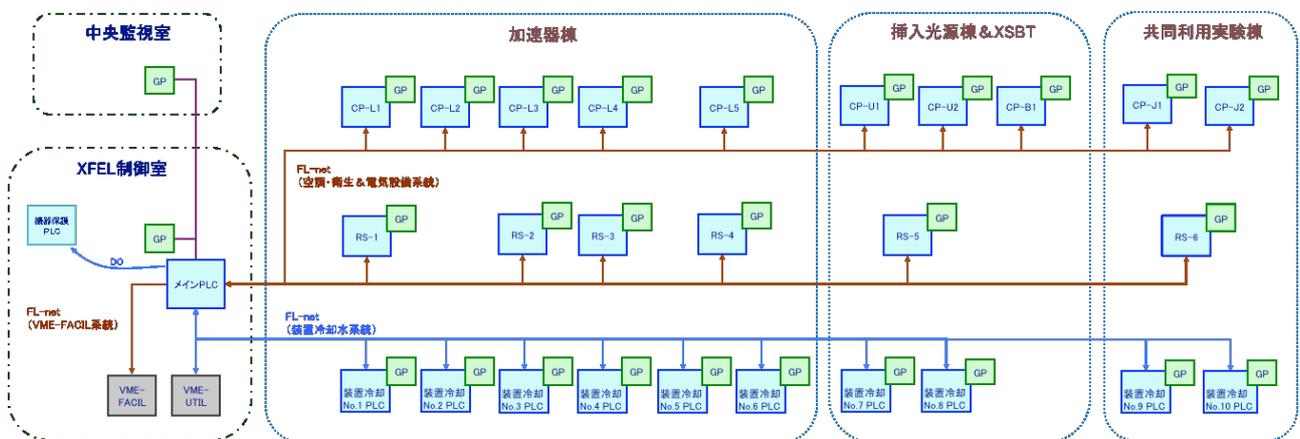


図1：XFEL 施設ユーティリティ制御システムのシステム構成図

#### 4.1 ハードウェア

施設ユーティリティ制御システムの製作は、単独メーカーではなく、幾つかのメーカーによる共同作業で行なわれた。

最初に、我々が加速器のエキスパート（共同利用実験棟についてはビームラインおよび検出器のエキスパート）から、監視点数/場所や監視点の精度、サンプリングレートに対する要求を聞き、それを各製作メーカーに反映させた。次に、信号点数、信号のタイプ、信号の性格づけ（制御用か単純モニター用か）などの情報を製作メーカーに問い合わせ、FL-net の共有領域のメモリマップを決定した。各々のメーカーは、決定したメモリマップに従って、各々独立にローカル PLC の製作を行なった。最後に、製作された全てのローカル PLC とメイン PLC、VME を接続、統合し、2009 年 4 月に全体制御試験を実施し、第 1 フェーズの製作を完了した。第 1 フェーズでは、装置冷却水設備ローカル PLC 8 台、電気設備ローカル PLC 5 台、装置冷却水設備以外の空調・衛生設備ローカル PLC 7 台、メイン PLC 1 式（PLC 2 台で 1 式）を製作し、加速器制御系とインターフェースする VME 計算機を 2 台設置した。メイン PLC には図 2 に示す GP を 2 式取り付け、日々の管理業務が行えるようにした。

施設ユーティリティ制御システムが幾つかの製作メーカーによって独立に製作されていること、および扱っている信号点数の多さから考えると、統合作業は極めてスムーズに、かつ短時間で実施出来たと言える。取り合いを FL-net マップとしたことがその理由として挙げられる。また FL-net を採用したことで、PLC ベンダー間の違いを吸収することが出来た。装置冷却系設備とメイン PLC は、横河電機株式会社製の FA-M3[6] を使用している。一方、他のローカル PLC はオムロン株式会社製の SYSMAC CS1G[7] を使用している。異なるメーカーの PLC が接続されているが、それによる問題は生じなかった。

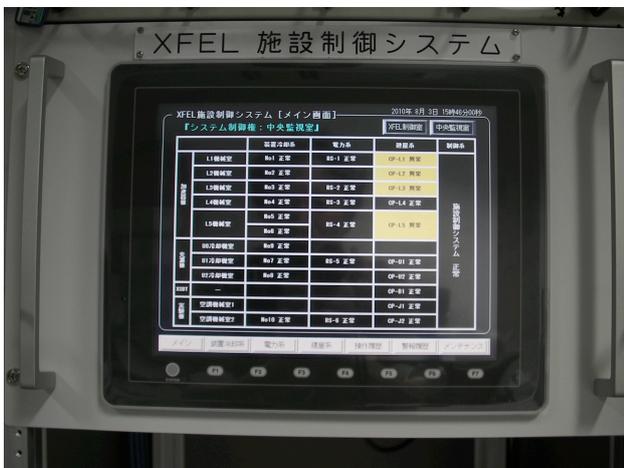


図 2 : XFEL 施設ユーティリティ制御システムの管理業務用グラフィックパネル

フェーズ 2 では、XSBT および共同利用実験棟分の製作・統合作業に合わせて、メイン PLC 部の改良を行なった。主な改良点は、警報発報時に自動的に警報画面に切り替えて警報レベルに応じた警報音を出力する、装置冷却設備の設定操作を GP からも行なえるようにする、保守作業中に警報音を出さないようにする保守設定機能を追加する、各ローカル PLC の FL-net への参加/離脱状態の監視/表示機能を追加する、である。フェーズ 2（装置冷却設備ローカル PLC 2 台、電気設備ローカル PLC 1 台、装置冷却水設備以外の空調・衛生設備ローカル PLC 3 台）の製作および統合についても、フェーズ 1 と同様の手順で実施し、フェーズ 1 同様スムーズに統合することが出来た。

GP を用いた管理業務はフェーズ 1 終了後の 2009 年 5 月からスタートになった。

#### 4.2 ソフトウェア

我々は、XFEL 施設ユーティリティ制御システム用のデータ収集ソフトウェアを、メイン PLC と接続している VME 計算機（図 1 中の VME-FACIL）上に用意した。データ収集ソフトウェアは、XFEL 加速器制御系と全く同じ手法である MADOCA 制御フレームワーク[8]を用いて製作された。加えて、装置冷却設備用のデータ収集と制御ソフトウェアを他の VME 計算機（図 1 の VME-UTIL）上に製作を行なった。これらのデータ収集ソフトウェアは、2009 年 6 月からデータの収集を開始し、加速器データベースへデータの蓄積を行なっている。

フェーズ 2 のデータ収集を組み入れる際に、各々のローカル PLC の FL-net への参加/離脱情報を確認しながらデータ収集を行なうようソフトウェアの改修を行なった。これにより、より確実なデータ収集が可能となった。

### 5. まとめ

我々は XFEL 施設ユーティリティ制御システムを設計、製作した。SPring-8 での経験から、施設ユーティリティ制御システムと加速器制御システムとが密接に取り合うよう設計した。施設ユーティリティ制御システムからは、加速器運転上必要なデータを必要な精度と周期で収集出来るようになっている。特に、加速器の安定化にとって重要な「装置冷却水設備」については、加速器からの直接制御が可能ないようにシステムを設計した。

XFEL 施設ユーティリティ制御システムの製作は、幾つかのメーカーが製作に参加しているにも関わらず、標準規格である FL-net の導入によって極めてスムーズに行なうことが出来た。加えて MADOCA フレームワークの適用によって、施設ユーティリティのデータ収集を開始し、加速器と同じデータベースにデータの蓄積を始めている。蓄積されたデータは、加速器建設時にも有効活用されている。

システムは既に日々の XFEL 施設管理業務に使用されており、日々の管理業務での経験をフィードバックし、フェーズ 2 での XSBT および共同利用実

験棟の施設ユーティリティの統合に合わせてシステムの改修を行なった。改修は主にメイン PLC 部分で、警報処理部分や装置冷却系の制御性、保守設定機能の追加などが行なわれた。この結果、実際の運用により適した機能の提供が出来るようになった。また FL-net を採用したことで、新規ローカル PLC の追加は非常に容易であった。

引き続きフェーズ3として、2011年3月までに相互利用実験基盤部の施設ユーティリティ設備の統合を行なう。また加速器データベースに蓄積されたデータを用いて、グラフィカルに XFEL 施設の監視が出来るような GUI ソフトウェアの製作も順次行なう予定である。

## 謝辞

XFEL 施設ユーティリティ制御システムは、日立造船株式会社をはじめとして、多くのメーカーの皆様のご協力があってスムーズに構築することが出来ました。ここに皆様への感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] S. Takahashi et al., "Precise Temperature Regulation System For C-band Accelerating Structure", proc. of APAC'04, pp 678-680 (2004).
- [2] H. Maesaka et al., "Precise RF Control System of SCSS Test Accelerator", proc. of EPAC08, pp 1404-1406 (2008).
- [3] [http://www.jema-net.or.jp/Japanese/hyojun/opcn\\_e/top-opcn.htm](http://www.jema-net.or.jp/Japanese/hyojun/opcn_e/top-opcn.htm)
- [4] 北村全伸、他「XFEL/SPring-8 施設制御のためのメイン PLC 構築」、本学会 THPS083
- [5] T. Fukui et al., "Status of the X-Ray FEL Control System at SPring-8", proc. of ICALEPCS07, Knoxville, Tennessee, USA, Oct. 2007.
- [6] <http://www.yokogawa.com/itc/itc-index-en.htm>
- [7] <http://www.ia.omron.com/product/111.html>
- [8] R. Tanaka et al., "The first operation of control system at the SPring-8 storage ring", Proc. of ICALEPCS'97, Beijing, China, 1997, p. 1.