

## SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステムの構築

### DESIGN AND STATUS OF THE SUPERKEKB ACCELERATOR CONTROL NETWORK SYSTEM

岩崎昌子<sup>#,A)</sup>, 青山知寛<sup>B)</sup>, 帯名崇<sup>A)</sup>, 佐々木信哉<sup>A)</sup>, 佐藤政則<sup>A)</sup>, 中村卓也<sup>B)</sup>, 中村達郎<sup>A)</sup>, 古川和朗<sup>A)</sup>  
Masako Iwasaki<sup>#,A)</sup>, Tomohiro Aoyama<sup>B)</sup>, Kazuro Furukawa<sup>A)</sup>, Takashi Obina<sup>A)</sup>,  
Takuya Nakamura<sup>B)</sup>, Tatsuro Nakamura<sup>A)</sup>, Shinya Sasaki<sup>A)</sup>, Masanori Satoh<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

<sup>B)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd

#### Abstract

We have upgraded the accelerator control network system for SuperKEKB, the next generation B-factory experiment in Japan. The new network system has the higher performance based on the wider bandwidth data transfer, and more reliable and redundant network configuration. We have changed the network configuration on the connection of the KEK laboratory network to enhance the network security. We also introduced the VLAN segmentation into the new network system. For the SuperKEKB construction, the new wireless network system has installed into the whole 3 km circumference accelerator tunnel.

#### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、電子・陽電子衝突型加速器 KEKB の高輝度化計画として、SuperKEKB 加速器の建設を進めている<sup>[1]</sup>。SuperKEKB では、KEKB 加速器に比べて、電流値を2倍にし、かつ衝突点でのビームサイズを20分の1に絞ることによって、KEKB 加速器よりも40倍高いミノシティ、 $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の実現を目指している。

我々は、加速器の高輝度化に対応して、SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステムの改良を行った。今回の改良において、1) ネットワークシステムを10GbEで構成し、ネットワーク帯域幅を向上、2) ネットワーク基幹部を冗長化、3) Belle 測定器とのネットワーク接続構成を改良・更新、4) UDPブロードキャストの影響を抑えるために、VLANによるネットワークのセグメント化、5) KEK 機構内ネットワークとのネットワーク接続構成を更新して、セキュリティを向上、6) 加速器建設および、加速器構成要素のメンテナンスのため、SuperKEKB 加速器全域に、無線LANシステムの導入を行った。

本稿では、これら SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステムの構築について報告する。

#### 2. SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステム

図1に、SuperKEKB 加速器の全体図を示す。周長3kmの円形加速器 (SuperKEKB 主リング) は、4つの直線部と4つのアーク部とで構成される。図中にある星形は、SuperKEKB 加速器制御棟の位置を示し、

SuperKEKB 加速器制御棟内に、中央制御室が配置される。また図中の青丸は、26箇所の副制御室の位置を示す。副制御室は、主リングに沿って設置された電源棟内、入射器、AR 加速器に配置されている。

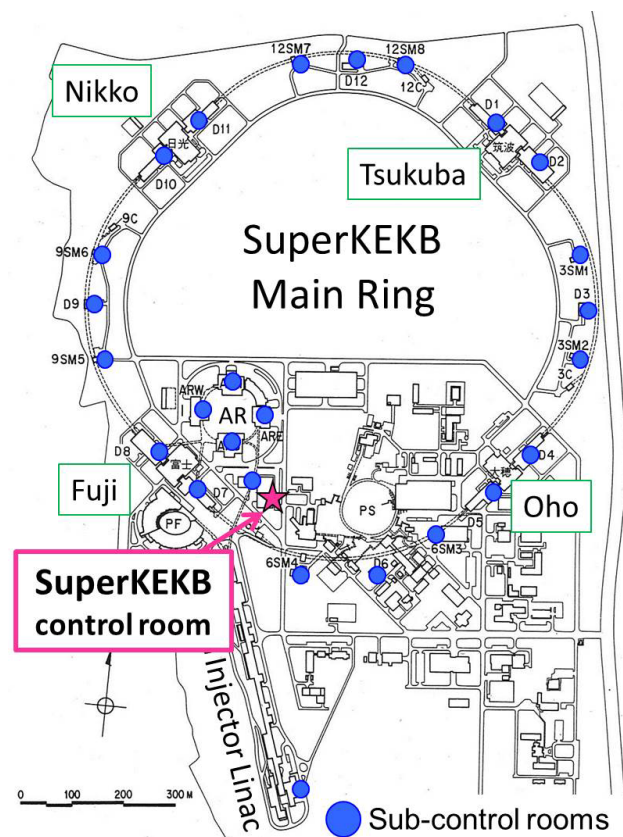


Figure 1: Schematic view of the SuperKEKB accelerator. Red star indicates the SuperKEKB control room. Blue circles are the sub control rooms, located along the SuperKEKB main ring, injector Linac and AR.

<sup>#</sup> masako.iwasaki@kek.jp

SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステムは、スター型の構成となっている。主ネットワークスイッチ（コアスイッチ）を SuperKEKB 加速器制御棟へ設置し、40 台のネットワークスイッチ（エッジスイッチ）を、全副制御室を含む必要箇所へ配置している。40 台のエッジスイッチは全て、コアスイッチに直接接続されている。

副制御室に設置されているエッジスイッチのインタフェースは、KEKB では 100MbE または 1GbE であった。2014 年 2 月、SuperKEKB 用に、10GbE および 1GbE のインタフェースを装備したエッジスイッチを 30 台導入し、基幹部のネットワークを、10Gb (新規エッジスイッチ 30 台) および 1GbE (既設エッジスイッチ 10 台) に更新した。さらに、コアスイッチとエッジスイッチを、全て 10GbE と 1GbE (または 1GbE と 1GbE)、二つのインタフェースに、同時にネットワーク接続を行い、Active/Standby 構成で冗長化を行った。ここで、通常は 10GbE のインタフェースで通信が行われるが、10GbE のリンクが落ちた場合に、1GbE のネットワークが使用される構成となっている。ネットワーク冗長化を行うために、追加の光ケーブル敷設を行った。

## 2.1 加速器・測定器間ネットワーク接続の更新

図 2 は、KEKB での、KEKB 制御棟と、筑波実験棟内に設置された Belle 測定器との、ネットワーク接続構成を示す。10MbE のネットワーク接続機器が使用されていたため、加速器・測定器間のネットワーク通信帯域は、10MbE に制限されていた。

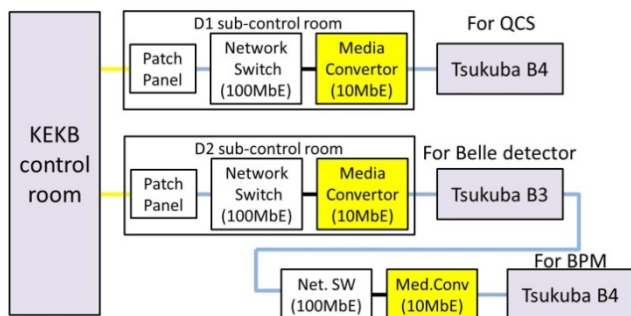


Figure 2: Old network connections between the KEBK control room and Tsukuba. Yellow, blue, and black lines are the connection with a single-mode optical cable, a multi-mode optical cable, and a LAN cable, respectively.

2013 年度に、我々は、筑波実験棟の主要箇所へ 10GbE または 1GbE のエッジスイッチを設置し、さらに、SuperKEKB 加速器制御ネットワークと BelleII 測定器のデータ収集用ネットワークとが直接接続できるように、SuperKEKB 加速器制御棟と筑波実験棟間に、シングルモードの光ケーブルを敷設した。また、筑波実験棟内にある、SuperKEKB 最終収束系 4

極電磁石システム(QCS)、衝突点近傍用ビームモニター(BPM)、および Belle ソレノイド・QCS 用の冷却システム用制御室とも、SuperKEKB 加速器コントロール棟から直接ネットワーク接続が行えるように、ネットワーク構成を改良した。図 3 に、改良後のネットワーク接続経路を示す。

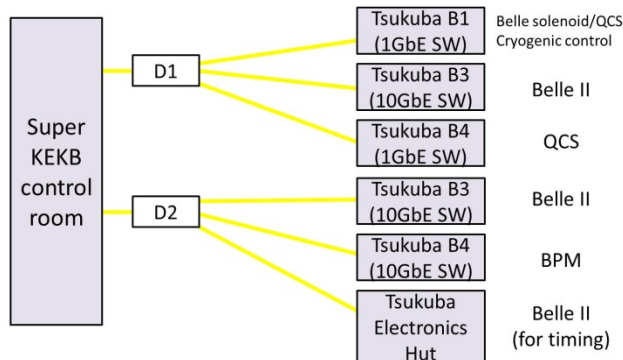


Figure 3: New network connections between the SuperKEKB control room and Tsukuba. Yellow line indicates the connection with a single-mode optical cable.

## 2.2 VLAN を用いたネットワークセグメント化

KEKB では、加速器を制御するためのソフトウェアツールとして EPICS を使用していた<sup>[2]</sup>。KEKB での実績をもとに、SuperKEKB でも、継続して EPICS を採用する予定である。ここで、EPICS ソフトウェアでは、Input / Output Controller (IOC) および、Operator Interface (OPI) 間の通信として、UDP ブロードキャストを用いている。そのため、加速器制御ネットワーク内には、多くの UDP ブロードキャストパケットが存在している。

SuperKEKB では、KEKB に比べて、UDP ブロードキャストが増大すると予想される。一方で、イーサネットが機器の通信インタフェースである機器数も、KEKB に比べて増大している。ここで、このような機器を、制御ネットワークに接続した場合、同一ネットワーク内からの UDP ブロードキャストによる影響を受けて、機器によっては、正常に動作できない可能性がある。

UDP ブロードキャストによる影響を、加速器の構成機器へ与えないために、我々は、SuperKEKB 加速器制御ネットワークを、VLAN を用いてセグメント化した。EPICS IOC と、イーサネットのインタフェースを持つ機器とは、それぞれ別の VLAN に接続させ、全ての VLAN は、コアスイッチで、ルーティングを行うことで、EPICS IOC と機器間の通信を行うような構成とした。

2014 年 2 月、加速器制御ネットワークの VLAN セグメント化を行い、EPICS IOC および EPICS OPI 用の EPICS ネットワークと、加速器構成機器用の機器ネットワークとに分離して、運用を開始した。更

新されたネットワーク構成において、EPICS ネットワーク中にある EPICS IOC から、機器ネットワーク中にある機器を、正常に制御できることを確認した。

### 2.3 KEK 機構内ネットワークとのネットワーク接続構成更新

2013 年夏、SuperKEKB 加速器制御ネットワークと、KEK 機構内ネットワークとの接続構成を更新した<sup>[3]</sup>。この更新によって、ネットワークセキュリティを向上させ、また、加速器制御ネットワーク内のリソースを、加速器運転を目的として、より効率良く使用させることが可能になった。

KEKB では、加速器運転用のコンソール計算機、加速器制御用計算機、および SAD 計算機の多くが、KEKB 加速器制御ネットワーク、および KEK 機構内ネットワークの双方へ接続されていた。ここで SAD 計算機は、ビーム光学計算用プログラムである、SAD プログラム<sup>[4]</sup>を使用することを目的に運用されている計算機であり、KEKB および他のプロジェクトのユーザーが使用している。SAD 計算機と、KEKB 加速器制御計算機のアカウントシステムが共通であるため、以前は、KEKB プロジェクト外のユーザーも、KEKB 加速器制御計算機へアクセスすることが可能であった。

図 4 に、更新された、SuperKEKB 加速器制御ネットワークおよび KEK 機構内ネットワークの構成を示す。SuperKEKB 制御ネットワーク内にある全ての計算機は、KEK 機構内ネットワークと直接接続を行わない構成となっている。ファイルシステムのみは、

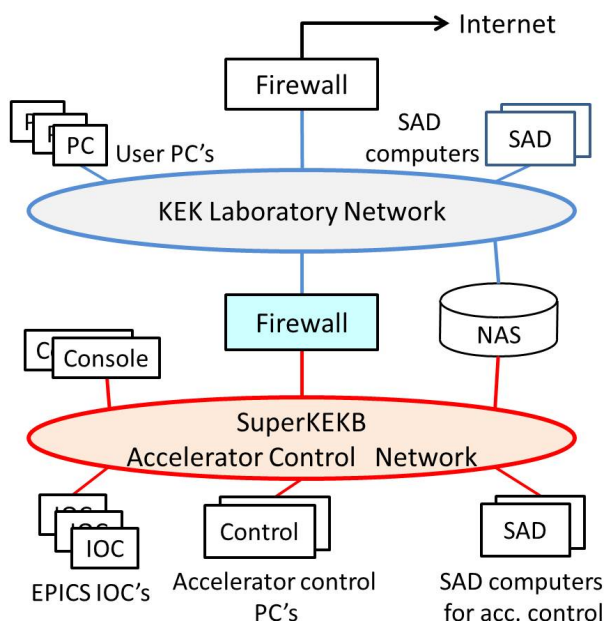


Figure 4: New configuration for the SuperKEKB accelerator control network and the KEK laboratory network connection.

両方のネットワークに接続され、ユーザーのホームディレクトリは、SuperKEKB 制御ネットワーク内の計算機、および KEK 機構内の計算機間で、共通となる。また、今回のネットワーク構成更新では、アカウントシステムの変更もあわせて行い、SuperKEKB 制御ネットワーク内の計算機へは、SuperKEKB プロジェクト関係者以外は、アクセスできないように変更を行った。

### 2.4 加速器トンネル内無線 LAN システムの構築

加速器建設、および加速器メンテナンスを目的として、我々は、周長 3 km の SuperKEKB 主リングトンネル、入射器トンネル、および PF-AR 加速器トンネル内全域において、加速器制御ネットワーク用無線 LAN システムを構築した<sup>[5]</sup>。

2013 年春、SuperKEKB 主リングおよび入射器トンネルに、無線 LAN システムを導入した。ここで、主リングアーク部には、漏洩同軸ケーブル(LCX)アンテナを、主リング直線部および入射器トンネルへはコリニアアンテナを導入した。

主リングアーク部に設置した LCX アンテナは、20D 型、長さ 125m、結合損失 65 dB、伝送損失 9 (dB/100 m) 16 本であり、合計 2000m 相当である。また、主リング直線部に 16 本、入射器トンネルに 10 本のコリニアアンテナ(6dBi)を設置した。図 5 に、主リングアーク部へ設置した、LCX アンテナを示す。

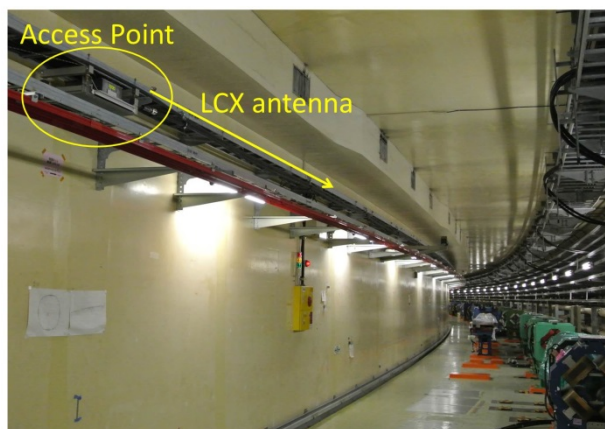


Figure 5: An access point and a 125m length LCX antenna installed at the SuperKEKB arc section. The access point is located in a lead box.

主リングアーク部には、電源供給設備がほとんどないため、アーク部の無線 LAN 機器への受電は、地上部電源棟に設置された PoE モデムから行った。また、トンネル内の放射線レベルを考慮して、LCX アンテナおよびコリニアアンテナは、1 MGy 以上の耐放射線性を有する物を選定した。

また、2013 年度前半にかけて、主リングトンネル地上部にある電源棟 12 箇所の制御室および電源室、PF-AR 加速器トンネル内へ、加速器制御ネットワーク用無線 LAN システムを導入した。



合計 70 台のアクセスポイントは、1 台のアクセスポイントコントローラーで、管理を行っている。

### 3. まとめ

我々は、SuperKEKB 加速器高輝度化に対応して、SuperKEKB 加速器制御ネットワークシステムの構築を行った。

更新されたネットワークシステムは、10GbE を基本とする高いネットワーク伝送性能を持ち、冗長化構成となった。加速器と BelleII 測定器間のネットワーク接続を改良し、また、UDP ブロードキャストの影響を抑えるために、VLAN によるネットワークのセグメント化を行った。KEK 機構内ネットワークとのネットワーク接続構成も更新し、セキュリティを向上した。さらに、加速器建設および、加速器構成要素のメンテナンスのため、SuperKEKB 加速器全域に、無線 LAN システムを導入した。

### 参考文献

- [1] K. Akai, et al., "Design Progress and Construction Status of SuperKEKB", Proc. of IPAC12, pp. 1822-1824 (2012); <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2012/papers/tuppr006.pdf>
- [2] EPICS, <http://www.aps.anl.gov/epics>
- [3] 中村卓也, 他, " SuperKEKB 加速器制御ネットワークのセキュリティ向上", in these proceedings.
- [4] SAD program, <http://acc-physics.kek.jp/SAD>
- [5] 岩崎昌子, 佐藤政則, "SuperKEKB 加速器トンネル内無線 LAN システムの導入", 加速器学会誌 11 巻 1 号 4 (2014).