

## SuperKEKB 加速器トンネル内無線 LAN システムの構築

### INSTALLATION OF WIRELESS LAN SYSTEM INTO THE SUPERKEKB ACCELERATOR TUNNEL

岩崎昌子<sup>#,A)</sup>, 青山知寛<sup>B)</sup>, 佐藤政則<sup>A)</sup>, 田中直樹<sup>B)</sup>, 中村卓也<sup>B)</sup>,  
中村達郎<sup>A)</sup>, 藤田誠<sup>B)</sup>, 古川和朗<sup>A)</sup>, 三川勝彦<sup>A)</sup>, 吉井兼治<sup>B)</sup>

Masako Iwasaki<sup>#,A)</sup>, Tomohiro Aoyama<sup>B)</sup>, Makoto Fujita<sup>B)</sup>, Kazuro Furukawa<sup>A)</sup>, Katsuhiko Mikawa<sup>A)</sup>,  
Takuya Nakamura<sup>B)</sup>, Tatsuro Nakamura<sup>A)</sup>, Masanori Satoh<sup>A)</sup>, Naoki Tanaka<sup>B)</sup>, Kenzi Yoshii<sup>B)</sup>

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

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

#### Abstract

We have installed the LCX (leaky coaxial cable) antennas and collinear antennas for the wireless LAN system of the SuperKEKB accelerator control network into the accelerator tunnel for SuperKEKB, which is the upgrade plan of the KEKB B-factory project. The wireless LAN system is used for the SuperKEKB accelerator components construction and maintenance of the SuperKEKB accelerator. The 16 LCX antennas, 2000m length in total, are installed into the 4 arc sections, and 16 collinear antennas are installed into the 4 linear sections covering 1000m length area. For SuperKEKB, we have selected the LCX and collinear antennas which have good radiation hardness of more than 1MGy. After the installation, we have test the wireless LAN system, and obtain the good network speed performance of ~20 Mbps in the whole tunnel area. In this paper, we report the installation and obtained performance of the SuperKEKB accelerator control wireless LAN system.

#### 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。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 倍高いレミノシティーの実現を目指している。

我々は、周長 3km の SuperKEKB 円形加速器トンネル内全域にわたって、SuperKEKB 加速器建設および加速器メンテナンス時にトンネル内で使用するための、SuperKEKB 加速器制御ネットワーク無線 LAN システムを構築した。本稿では、この SuperKEKB 加速器トンネル内無線 LAN システムの構築、およびその性能について報告する。

#### 2. SuperKEKB 加速器トンネル内無線 LAN システムの構築

図 1 に、SuperKEKB 加速器の全体図を示す。周長 3km の円形加速器であり、4 つの直線部と 4 つのアーカ部とで構成される。直線部の長さは 1 か所あたり 250m、アーカ部の長さは 1 か所あたり 500m である。

KEKB 加速器では、4 箇所の直線部に、それぞれ 2 箇所ずつ、無線 LAN のアクセスポイントおよびアンテナを設置し、直線部のみで、制御ネットワー

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

ク用無線 LAN システムを運用してきた。今回は、SuperKEKB 加速器の建設用に、アーカ部も含めた、

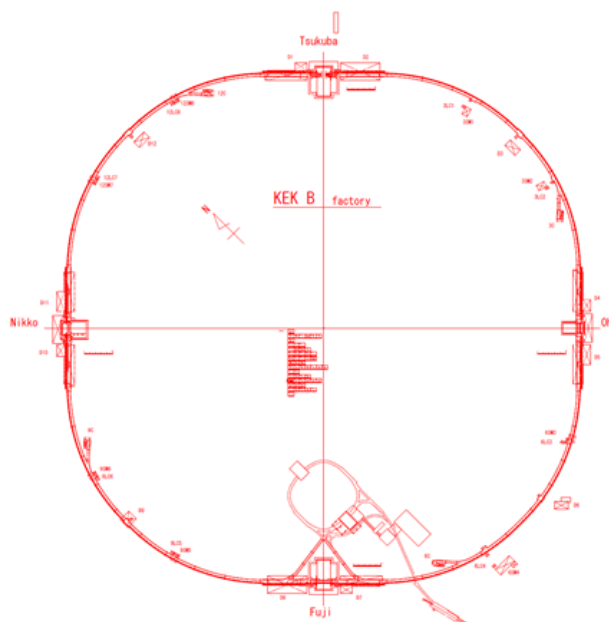


Figure 1: Schematic View of the KEKB Accelerator.

SuperKEKB 加速器トンネル全体に無線 LAN システムを導入することを検討した。

ここで、アーカ部は直線部に比べて、

- トンネルの壁が曲がるため、電波の到達距離が短い
- SR 光による放射線レベルが高い
- 電源供給設備が少なく、電源供給が難しい

という特徴があり、通常の無線 LAN 用のアンテナを設置することは困難である。

したがって、アーク部用には、漏洩同軸ケーブル (LCX)アンテナの導入を検討した。

### 2.1 LCX アンテナ通信試験

KEKB トンネル内において、試験用 LCX アンテナを用いた通信試験を行い、ネットワーク実効伝送速度 (平均速度) を測定した。アンテナの電気特性および長さは以下の通りである：

- 結合損失 (アンテナ利得) 70 dB
- 伝送損失 7.1 dB/100m
- 20D 型、200m

試験用 LCX アンテナに、2 種類のアクセスポイント (A, または B) を接続して試験を行った。ここで、アクセスポイント A は、本アンテナ試験を行った時点で、20D 型 LCX ケーブルとの組み合わせで、すでに技術適合証明を受けている機種であり、アクセスポイント B は、KEKB トンネル内へ、無線 LAN システムをインストールする時期までに、20D 型 LCX ケーブルとの組み合わせで、技術適合証明を受けることが見込まれる機種である。

KEKB 加速器の制御は、EPICS を用いて制御を行っているが、EPICS が UDP を用いた通信を行うため、加速器の運転中は、大量の UDP ブロードキャストが制御ネットワーク内に流れる。また、AR 加速器の制御ネットワークは KEKB 加速器制御ネットワークと同一であるため、AR 加速器運転時は、加速器運転による UDP ブロードキャストが KEKB 制御ネットワークに発生する。

本通信試験は AR 加速器運転時に実施しており、制御ネットワークに接続した状態で、一定時間あたりの無線 LAN のパケット量を測定したところ、UDP ブロードキャストが全体の通信量の約 90% を占めていた。この、加速器運転による UDP ブロードキャストの影響をみるために、制御ネットワークに接続した場合と、接続していない場合 (local network) とで、ネットワーク速度の比較を行った。

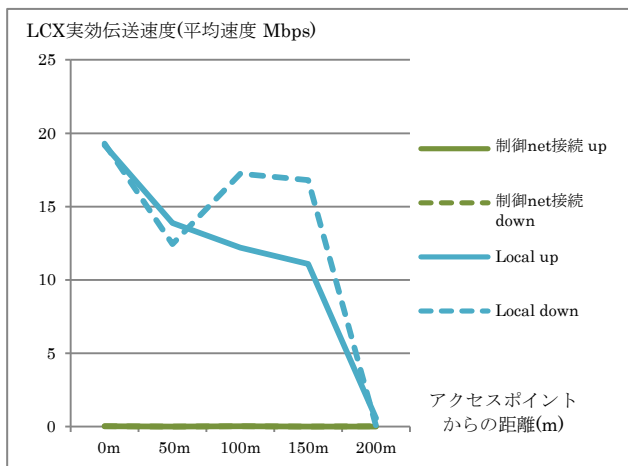


Figure 2: LCX antenna network speed for the access point A (Mbps).

図 2 に、アクセスポイント A に対するネットワーク実効速度測定結果を示す。横軸は、アクセスポイントからの距離を示し、50m ごとに、LCX ケーブルから約 2m 離れた場所で、ネットワーク速度を測定した。縦軸はネットワーク速度 (Mbps) を示す。制御ネットワークに接続した場合 (緑色) は、ネットワーク速度が 10-30kbps となり、制御ネットワークに接続していない場合 (水色) に比べて、UDP ブロードキャストによる影響で、極端に性能が落ちていることがわかる。また、制御ネットワークに接続していない場合でも、この電気特性の LCX ケーブルを使用する場合、10Mbps 以上の安定したネットワーク速度を得るためには、LCX ケーブルの長さは 150m 程度以下であることがわかった。

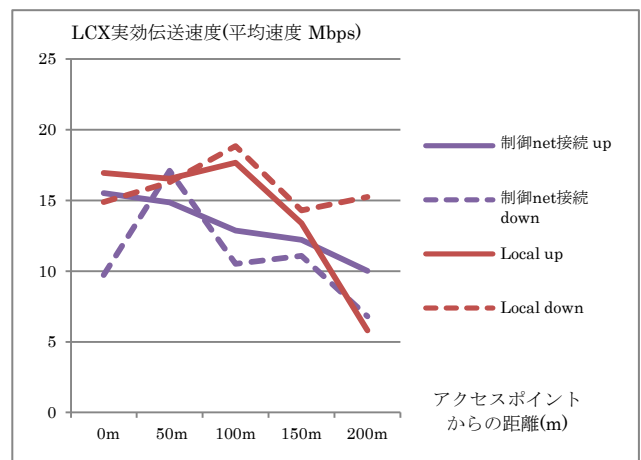


Figure 3: LCX antenna network speed for the access point B (Mbps).

図 3 に、アクセスポイント B に対するネットワーク実効速度測定結果を示す。横軸は、アクセスポイントからの距離を示し、50m ごとにネットワーク速度の測定を行った。縦軸はネットワーク速度 (Mbps) を示す。制御ネットワークに接続した場合 (紫) は、制御ネットワークに接続していない場合 (赤) に比べて、若干性能が落ちているが、その差は 10-20% 程度であることがわかる。したがって、アクセスポイント B は、UDP ブロードキャストが多い環境でも、ネットワーク速度の性能劣化が少ないことがわかった。

制御ネットワークに接続していない場合のネットワーク速度は、アクセスポイント A と B では差が見られず、この電気特性の LCX ケーブルを使用する場合、10Mbps 以上の安定したネットワーク速度を得るためには、LCX ケーブルの長さは 150m 程度以下であることがわかった。

また、20D 型 LCX ケーブルとして、結合損失 65dB、伝送損失 9(dB/100m)の電気特性を持った製品がある。そこで、机上計算を行った結果、LCX ケーブル長さ 170m 以下では、結合損失 65dB 伝送損失 9dB/100m の LCX ケーブルを用いたほうが、結合損失 70dB 伝送損失 7.1dB/100m の LCX ケーブル

よりも、電波領域内でのネットワーク速度が高くなること分かった。

以上の結果から、SuperKEKB 用 LCX ケーブルアンテナおよびアクセスポイントとして、以下のものを選定した：

- アクセスポイント B
- 20D 型 LCX ケーブル 125m  
結合損失 65dB、伝送損失 9(dB/100m)

さらに、SuperKEKB での放射線レベルを考慮して、1MGy 以上の耐放射線性シース素材を選定した。

ここで、机上計算によると、今回選定した LCX ケーブルを用いた場合、ケーブル長さ 125m の位置でのネットワーク伝送速度は、ネットワーク通信試験で使用した LCX ケーブルで 90m の位置でのネットワーク伝送速度に相当することが予想される。したがって、図 3 の結果から、制御ネットワークに接続しない場合、アクセスポイントから 125m 離れたケーブルの末端の位置で、約 18Mbps のネットワーク速度が得られることが期待される。

## 2.2 コリニアアンテナ通信試験

SuperKEKB 直線部用のアンテナとして、1MGy 以上の耐放射線素材で、かつ電波強度が強い(6dBi)コリニアアンテナを選定し、加速器直線部において、コリニアアンテナのネットワーク実効伝送速度を測定した。

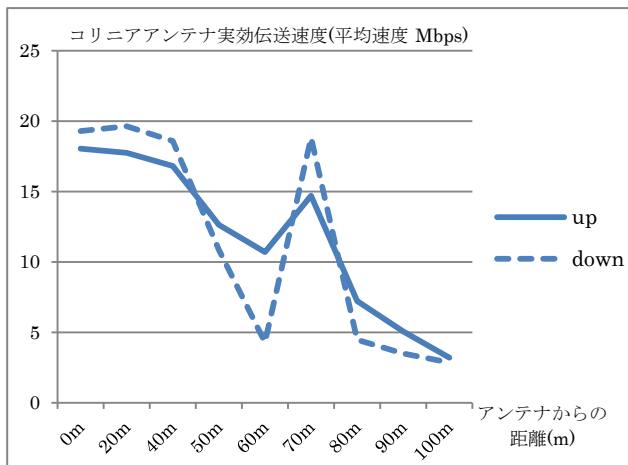


Figure4: Collinear antenna network speed (Mbps).

図 4 に、コリニアアンテナのネットワーク実効速度測定結果を示す。アクセスポイント B に 10m アンテナ延長ケーブルを接続し、富士直線部端部で床面から 3m の高さの位置に、コリニアアンテナを設置した。コリニアアンテナ設置位置から 50m 以内の範囲では、およそ 15Mbps 以上の速度が得られた。

上記の結果から、加速器直線部 1 箇所あたり (250m)、4 本のコリニアアンテナを配置することに決定した。ここで、加速器直線部は中央の実験ホールをはさんで L 側と R 側に分かれているため、L/R 側それぞれに、コリニアアンテナ 2 本ずつを配置することとした。

## 3. SuperKEKB 加速器トンネル内無線 LAN システムの構築

### 3.1 無線 LAN システムの導入

ネットワーク速度試験の結果より選定した、アクセスポイント B、20D 型 LCX ケーブルアンテナ、および、高強度コリニアアンテナを、SuperKEKB 加速器トンネル内に設置した。加速器直線部 4 箇所 (合計約 1000m) に計 16 本のコリニアアンテナ、アーク部には、125m の漏洩同軸ケーブルを、計 16 本 (合計約 2000m) 導入した。これら LCX ケーブルとコリニアアンテナのトンネル内設置場所を図 5 に示す。

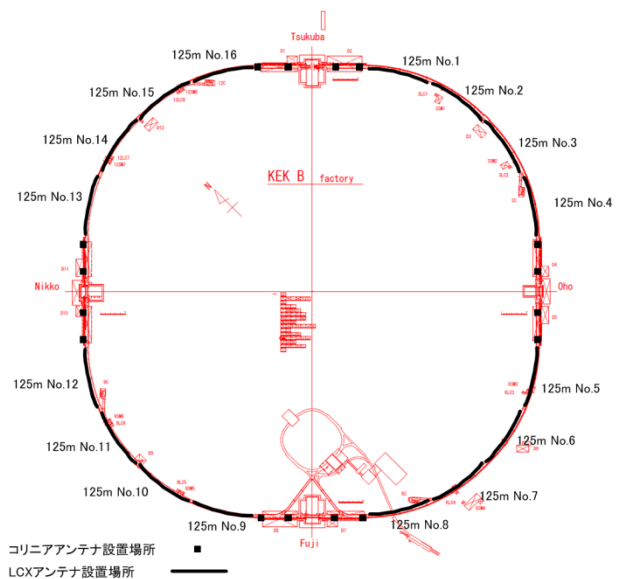


Figure 5: Location of the installed LCX and collinear antennas into the KEKB accelerator tunnel.

図 6 に、トンネル内アーク部 LCX ケーブルを設置している様子、図 7 に、トンネル内直線部へ設置したコリニアアンテナの写真を示す。



Figure6: LCX installation into the KEKB tunnel arc section.

トンネル内の放射線レベルを考慮して、トンネル内無線 LAN 機器は全て鉛箱に収容し、耐放射線性資材で固定した。

アーク部のアクセスポイントへの給電は、アーク部中点に位置する場所の、地上部の電源棟からトンネル内へネットワーク配線を行い、電源棟に設置した給電装置 (PoE モデム) からネットワークケーブル経由で行った。電源棟からトンネル内アクセスポイントまでの距離は、60-70m 程度である。

ここで、富士と大穂間にある電源棟の位置は、アーク部の中点よりも 50m ほど大穂側に設置されているため、電源棟からトンネル内アクセスポイントまでの距離が 100m を超えてしまう。ネットワークケーブルによる給電が可能なケーブル長さは 100m であるため、富士-大穂間に位置する電源棟から、アーク部中点に位置するアクセスポイントへ、直接給電を行うことができない。したがって、富士-大穂間の電源棟には PoE モデムの親機を設置し、トンネル内にネットワーク給電が可能な PoE モデムの子機を設置し、PoE 子機モデムからトンネル内のアクセスポイントへの給電を行った。



Figure 7: Installed collinear antenna at the KEKB tunnel linear section.

### 3.2 SuperKEKB トンネル内無線 LAN 性能試験

SuperKEKB トンネル内全域において、10m ごとに無線 LAN システムの電波試験を行った。その結果、全域において、約 20Mbps のネットワーク速度が得られた。さらに、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にも、SuperKEKB 加速器制御ネットワーク用無線 LAN システムを導入した。

## 4. まとめ

我々は、SuperKEKB 加速器建設および加速器メンテナンス時にトンネル内で使用するために、周長 3km の SuperKEKB 加速器トンネル内全域にわたって、SuperKEKB 加速器制御ネットワーク無線 LAN システムを構築した。加速器直線部に高強度コリニ

アアンテナを、アーク部に漏洩同軸ケーブル (LCX) アンテナを導入した。これらは、SuperKEKB での放射線レベルを考慮して、1MGy 以上の耐放射線性のもを導入した。

今回設置したトンネル内無線 LAN システムの電波試験を行い、全域において、約 20Mbps のネットワーク速度が得られた。

## 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>.