

## 貫通溝内の発熱を考慮した電力線敷設計

### HEAT CONTROL DESIGN OF THE POWER CABLE WIRING.

荒木田 是夫  
Yoshio Arakida  
Acc. div., KEK

#### Abstract

For super KEK-B, positron source was relocation and constructed. Down the stream of the positron target, for focusing, solenoidal magnetic field is required. Excitation of the solenoid magnets, current is proved from the power supply on the ground to magnets under the ground, through the duct.

Exciting current is order of smaller then one thousand ampere. This report is the heat study and the wiring design of through the duct.

#### 1. はじめに

Super KEKB において Linac 内の陽電子源が移設再構築された。陽電子は加速した電子を標的に当てて発生させる。発生直後の陽電子の集束に加速電界にソレノイドの磁場が併用される。ソレノイドコイル励磁は地上から地下トンネルへ給電される。

本稿は数百 A の半ば超え程度の電力線を比較的細い貫通溝を通して敷設する場合の方針と設計、運用後の温度測定について報告する。

#### 2. 仕様

本件は5台のソレノイドコイル/電源間の配線工事を要請されているがφ200mm長さ2.5m貫通孔にFig.1の電流通過を要求されている名称”15-3 貫通孔”について報告する。

|             | mag.ID   | curr.<A> | Vol.<V> |
|-------------|----------|----------|---------|
| bridge coil | BC       | 750      | 72.1    |
| solenoid    | So_15_11 | 650      | 215.0   |

Figure 1: List of wiring via duct "15-3".

#### 3. 配線の設計

##### 3.1 電圧降下について

最も電流の多い bridge coil (以下 BC) で概算する。750A を規格表の CE 線の起用の範囲内多めであるが電流を 2A/mm<sup>2</sup> として導体断面積は 375 mm<sup>2</sup> 必要となる。400 mm<sup>2</sup> 線を使うとして抵抗は 0.0462Ω/km より電圧降下は 0.0346V/m。電源から BC までケーブル経路 30m 程であり、電圧は 2.08V。電源電圧の余裕はいずれも 10V 以上ある。

##### 3.2 電線の電流容量と発熱

ケーブル経路中大部分はラックに固定した配線である。電源設置位置のクライストロンギャラリーから加速器室地下トンネルまでギャラリー床/トンネル天井は 2.5m あり本敷設は直径 200mm の貫通孔の通線が要求されている。

空中配線については 750A を 400mm<sup>2</sup> 線とすると 26.0W/m、650A については 325mm<sup>2</sup> 線とすると 24W/m の損失が多めであるが 1 条の配線で許容の範囲である。

貫通溝内については放熱上全く条件が異なり次章にて全く

##### 3.3 施工上の問題

電力線は端末に断面積 325mm<sup>2</sup> 線までならば圧着端子が使える。また緊急の手直しの事態でも工具の用意、電線の重量、曲げ硬さ方さ等は断面積 325mm<sup>2</sup> 線までならば職員でも何とか対応できる。断面積 400mm<sup>2</sup> 以上となつては接続端子も圧縮端子となり工事全般が電気工事でも専門業者でなければ無理である。施工上は 325mm<sup>2</sup> 線以下が望ましい。

電線絶縁材質について、近年はハロゲン不使用の CE 線が必須である。さらに、エコケーブルであることが望ましい。工事業者からは軟質線が要望された。

##### 3.4 ソレノイドコイル間渡り線

ソレノイドコイル間渡り線は旧陽電子源においては L 型銅ブロックの組み合わせが使用されていたが、新配置では磁石間隔が変わり再利用できない。ソレノイドコイルの受電端子はホーローコンダクターの終端の銅ブロックに端子となる銅板をロウ付けしたもので強固ではなく各端子若干ねじれて形状が異なる。渡り線は各端子間の形状の違いを吸収できなくてはならない。他方数百 A の電流量の接続は受電端子とケーブル端子が十分な締結力で結合されなければ危険である。

# yoshio.arakida@kek.jp

#### 4. 貫通孔の電線敷設計

本件配線は大部分が気中配線であるが床貫通孔の2.5m 部分は全く放熱条件が異なる。貫通孔の熱管理が本件要点となる。電流に対して比較的細い貫通孔となるので管路敷設の許容電流を参考とする。

##### 4.1 管路敷設の事例

文献[1][2]の事例によれば

CV 4孔 3条 単線 500mm<sup>2</sup> 許容電流 769A。

電流と抵抗より3条の損失の総和は 85.1W/m。

以下同様に

CV 4孔 4条 3心 325mm<sup>2</sup> 361A。

4条3心で計12本の損失総和 88W/m

EM IE/F ダクト内線数 10、325mm<sup>2</sup> の場合で 388A。

総損失 85W/m

CV: 架橋ポリエチレン絶縁塩化ビニールシース線。

600V 耐熱 90deg.C

EM IE/F: 耐燃性ポリエチレン絶縁電線

600V 耐熱 75deg.C

管路について形状他の委細の記載はないが、電流密度は 1A/mm<sup>2</sup> 超え程度である。個々の線損失よりも管路断面方向全体を束と見て単位長さあたり損失総和が数十 W/m の後半、100W/m より低いあたりに設定されている。

##### 4.2 貫通孔の電線損失見積もり

施工上より 325mm<sup>2</sup> 線以下が望ましい。同線を使用した場合の場の試算をしてみる。目標は 50W/m 超える程度とする。当然電源の正負各2条、計 4本の配線構成となる。

| mag. | cable S         | curr. | density           | n | resistance | Loss  | Σloss/m |
|------|-----------------|-------|-------------------|---|------------|-------|---------|
| ID   | mm <sup>2</sup> | A     | A/mm <sup>2</sup> | 本 | Ω/m        | W/m   | W/m     |
| BC   | 325             | 375   | 1.15              | 4 | 5.68E-05   | 7.99  | 32.0    |
| SO   | 325             | 325   | 1.00              | 4 | 5.68E-05   | 6.00  | 24.0    |
| ST   | 60              | 100   | 1.67              | 4 | 3.05E-04   | 3.05  | 12.2    |
|      |                 |       |                   |   |            | total | 68.1    |

Figure 2: Wiring design for duct.

結果を Fig.2 に示す。電線製造社の事例より電流密度は低めである。325mm<sup>2</sup> 線で程々収まったことであり、200mm 径貫通孔は 8本の通線は可能である。貫通孔はトラブルの場合の対応が大仕事となり安全を見て Fig.2 の値を取ることにする。

ステアリング mag. により 50W/m 代は超過したが、最大電流での運転はないであろう。ステアリング mag. 配線が理由で加熱した場合でも 60mm<sup>2</sup> 線であれば他の貫通孔への振り替え工事は容易である。

##### 4.3 全体の配線設計

施工上の事情で線断面は 325mm<sup>2</sup> 線を使用するとして、貫通孔部分は各極 2条配線でなければならない。ソレノイドコイル周りは強固ではない端子への接続対応

があり単線が望ましい。そのため配線は貫通孔下近くに接続箱を設置して2条から1条に変換することにした。

ブリッジコイルについては別途接続箱で専用線に変換される。

電線種は施工業者の要請を入れて難燃軟質架橋ポリエチレン絶縁電線 EM-LMCF を使用した。

#### 5. 通電結果

##### 5.1 貫通孔の発熱測定

通電時の温度上昇を Fig.3 に示す。運転上および磁石側の事情で仕様最大電流の通電には至っていない。現損失による温度上昇に仕様最大電流通電時の損失との比率を掛け推定とした。

最大電流通電時でも設計仕様の~50deg.C に収まると思われる。Fig.3 にステアリング分は入っていない。

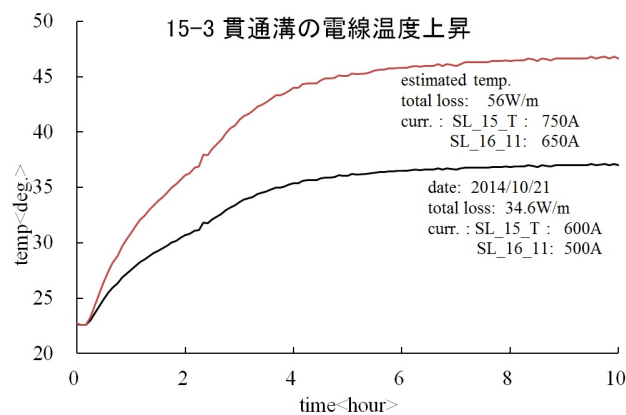


Figure 3: Cable temperature through the duct.

##### 5.2 通気による冷却分

計画時点で議論はされなかったが、完成後は陽電子源に近いために放射線対策上の通気封鎖の要求が予想される。Fig.4 は貫通孔上部口で電線の隙間に仮設の詰め物による通気状態と密封の違いである。トンネル内は原則負圧であるが通気向きは調べていない。密封をしても温度上昇は 2deg.C 程度である。

##### 5.3 ソレノイド端子間渡り線について

柔軟性を持たせるために平編み線を使用した。80mm<sup>2</sup> 平編み線を U字型に3本重ねて末端をまるめて、圧着端子で最も大きい 325mm<sup>2</sup> 線用の円筒部に挿入し圧着した。周囲の絶縁は網状で収縮性のある SF チューブに挿入し束線バンドで端子の圧着部分に固定した。

合計断面積 240mm<sup>2</sup> に最大 650A で、この電流域では 2.7A/mm<sup>2</sup> と多めである。気中1本線であること、磁石側端子ブロック近傍まで水冷されていることで温度は抑えられる見込みである。

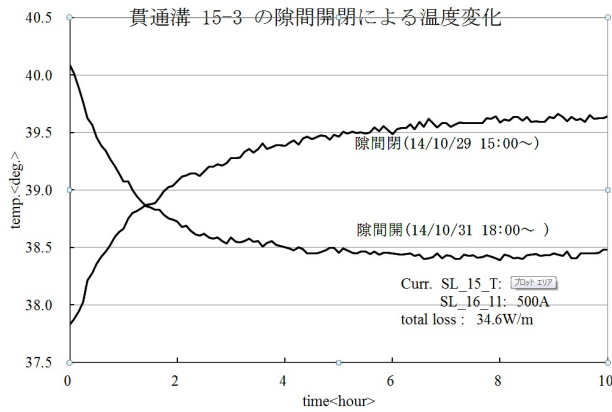


Figure 4: Temperature shift by duct airflow.

## 6. まとめ

φ200mm 長さ 2.5m の電線貫通孔において、通線されている各電線の損失の合計を 50W/m 程度に抑えれば、基底温度 25deg.C として発熱は 50deg.C 程度で運転ができる。

比較的大規模な配線は 10 年単位で頻度が少なく経験蓄積がされない。電線製造社の便覧記載より少なめでの使用例を記す。

## 参考文献

- [1] 電線便覧 日立電線株式会社 '86-3 再版
- [2] [http://www.hst-cable.co.jp/products/pdf/cableg3\\_1.pdf](http://www.hst-cable.co.jp/products/pdf/cableg3_1.pdf)