

# JLC における電源供給方式の検討

三瓶 雅俊<sup>1,A)</sup>、竹田 繁<sup>B)</sup>、竹内 康紀<sup>B)</sup>、山下 了<sup>C)</sup>、柳元 章<sup>A)</sup>、吉岡 正和<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>電源開発(株)

〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1

<sup>B)</sup> 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

<sup>C)</sup> 東京大学素粒子物理国際研究センター

〒133-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

## 概要

JLC 計画においては 200 ~ 300 MW の電力を必要とし、且つ加速器は大深度地下トンネルに建設されるため、地上に設置する特高受変電設備と加速器地下施設の高差は 100 m 以上にもなりうることを想定しなければならない。また配電する区間は直線で 20 ~ 30 km にも及び、地下配電する場合と地上の送電線の途中で配電する二つのケースが考えられる。本論文では C-band JLC をモデルにし、これらの得失を整理すると同時に、コスト面からの評価も加えた。また、供給信頼度の観点からの電源のあり方についてもまとめた。

## 1. JLC 計画と施設電力

高エネルギー物理学の次期基幹計画であるリニアコライダー (JLC) は、現在 CERN で建設が進められている LHC 計画と同時期の実験開始 (~ 2010 年) が望まれている。本論文では重心系エネルギー 500 GeV の C-band JLC をモデルとして、特高電力受配電システムについて検討する<sup>[1]</sup>。主線形加速器はビーム負荷時の加速電界強度が 35 MV/m、一つのユニットの全長は 10 m (加速管は 1.8 m 長×4 本)、エネルギー利得は 250 MeV である。従って電子、陽電子リニアックそれぞれ 1000 ユニット必要となるので、線形加速器全長は 10 km×2 となる。JLC の立地条件は安定性などを考慮し、均質な硬岩地帯の大深度地下に、図 1 に示すようなトンネルを 2 本掘削し、配置すると想定した。内径 4.2 m の大きい方のトンネルに電源やユーティリティを設置する。

必要電力は線形加速器の運転繰返し周波数 100 Hz のとき、100 kW/ユニットとなり、また電力は繰返し周波数に比例する。本稿では加速器の所要電力は 100 Hz 運転時として検討を進める。この他に、各々の加速ユニット毎に設置される冷却水システムに 10 kW/ユニットの電力が必要となるし、冷却塔や空調、その他の施設にも電力が必要となる<sup>[2]</sup>。それらを合算すると 250 MW 程度となるが、特高受配電設備容量は将来の拡張も見込み 350 MW として考える。

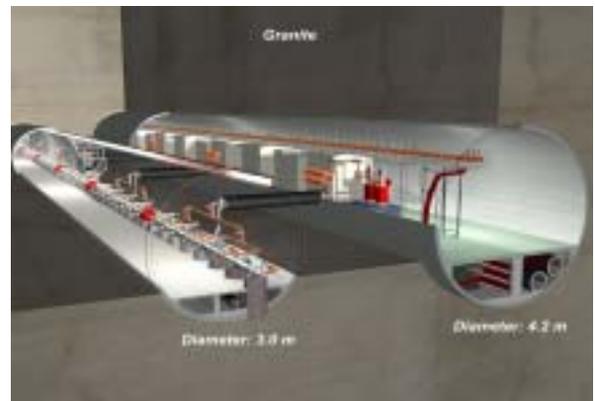


図 1 トンネル概念図

## 2. 交流系統との連系

JLC のサイト決定に当たっては、最寄りの特高幹線の送電容量限度や系統の安定度の詳細な解析を行う必要がある。我が国の電力設備状況をみると、一部の地域以外は大容量の幹線がよく発達しており、電力供給上の問題は少ないと言える。

受電は送電線や連系する変電所の定期点検、系統の事故等を考慮すると 2 回線で行うと信頼度は高くなる。主変電所における受電設備は 350 MVA の変圧器とし、予備の変圧器を同容量で設計し、事故時には故障部位を切り離すだけにする。即ち 350 MVA の変圧器を 2 台設置する。

加速器は大深度地下トンネルに配置され、かつ電子、陽電子線形加速器それぞれが約 10 km の区間に分散配置される。各地点までの電源供給について、一箇所から地下に導入し、トンネル内の配線により各所に配電するか、地上を送電して、必要な箇所から地下に配電するかを選択がある。さらに、予備電源の供給手段や、緊急時の電源供給のあり方についても検討を加えておく必要がある。特に大深度地下トンネルということから、地下水汲み上げポンプ、緊急時の照明、非常脱出装置、換気システムについては何重もの電源システムが必要とされる。

<sup>1</sup> E-mail:masatoshi\_sampej@jpower.co.jp

### 3. 主変電所からサブ変電所までの設計

#### 3.1 ケーブル配電

図2に概略主回路構成を示す。主変電所においては2台の350 MVAの変圧器を並列運転させ、一方の変圧器が故障した際に、自動的に故障した変圧器を遮断し、他方の変圧器で給電し続けるものとする。図は一次電圧が275 kVとしてあるが、これはサイトによる。一般的には、大容量送電線の電圧は275 kV以上の電圧となる。二次電圧は66 kVが適当である。

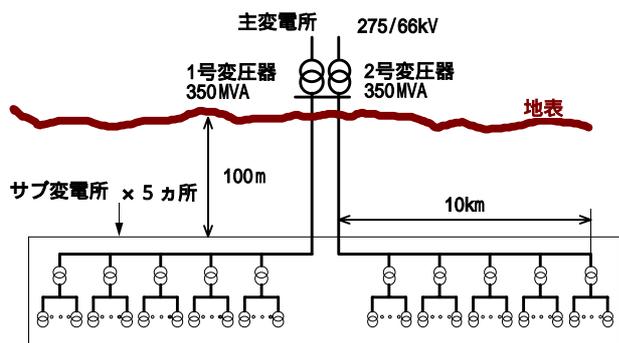


図2 ケーブル配電の場合の回路構成

JLCのような大型加速器施設においては、一カ所の中央制御所に全ての機能を集中させることが望ましい。ここから主変電所および全てのサブ変電所の監視、制御を構内ネットワークを通して行う。

保護システムは、主変電所とそこから分岐する66 kVケーブル以遠の事故を一括して管理する。図は主変電所が衝突点付近に設置された場合で、66 kVラインを2系統に分割して地下トンネルに配電する。この時、ケーブルを流れる電流は1531 Aとなる。1系統で5箇所のサブ変電所に配電することとなるが、その配電方法として、ケーブル1本もので、渡りを掛けながら配電する場合と、5本のケーブルでそれぞれのサブ変電所に直接配電する2つの方式が考えられる。それぞれについて適用ケーブルを一般に製作されている架橋ポリエチレンケーブル(CV)の型式から選択すると、前者に対しては66 kV-CV単芯ケーブル3本が、後者に対しては1条当りの電流が1/5になるので66 kV-CVT(3相、トリプレックス)ケーブル5条が選択される。両者の電圧降下を比較すると、一番遠端となる9 km地点でも約1%以下であり、この点からは、どちらを選んでも問題無い。

各ケーブルでの発熱量を比較する。66 kV-CVの場合、最大定格電流1531 A時に1相当り94 w/mとなり、3相分で282 w/mとなる。1 km以遠からは電流が下がる。発熱は電流比の2乗に比例して小さくなるので、3、5、7、9 km地点でそれぞれ183、102、45、12 W/mとなる。次に66 kV-CVTの場合、一条306 A×3相分で発熱は25 w/mとなる。発熱は25 w/m×ケーブル条数倍になるので、最上流の5条から条数が減るに従い、125、100、75、50、25 W/mとなる。

このように全体から見ると、発熱低減のためには66 kV-CVTの方が望ましい。なお両者のケーブル本体価格、工事費、布設費を含む概略コストを比較すると、ほぼ同じとなる。

以上結論としては、発熱が小さく、加速器に与える磁場の影響が少ない250 mm<sup>2</sup>の66 kV-CVT(架橋ポリエチレントリプレックスケーブル)が望ましい。

次にサブ変電所の構成について述べる。主変電所からのケーブルはサブ変電所でガス遮断器(GIS)で受け、35 MVA、66/6.6 kVの変圧器を介して、200台の加速器ユニットに配電する。地上に配置される設備の電源としてはサブ変電所に1 MVA、6.6 kV/200 Vの変圧器を設置する。加速器ユニット電源で消費する無効電力並びに、発生する高調波はこのサブ変電所で補償する事とする。

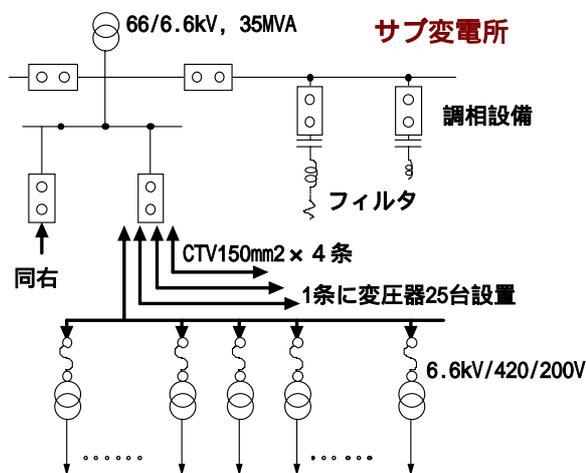


図3 サブ変電所からの配電システム

サブ変電所間は2 km離れているため、主変電所からのケーブル事故やサブ変電所以遠の事故による停電対策として、UPS(Uninterruptible Power System)を設置し、非常用電源は確保するものとする。また、サブ変電所には変電所状態並びに、当変電所以遠の状態を表示する制御盤を配置する。さらに子局を設置して、主変電所からの制御信号の送受信並びに機器状態信号の送信ができるようにする。

#### 3.2 架空配電

主変電所の構成は制御も含めケーブル配電と同様である。ただし母線は気中絶縁としてコスト低減を図る。保護に関しては、主変電所の保護と主変電所から分岐する66 kV架空線事故を一括管理する事とし保護装置を配置する。なお、サブ変電所以遠の事故に関してはサブ変電所で検出する事とし、ここに配置する子局を介して主変電所の保護系との時限協調を図る。

配電用送電線は1回線事故でも送電が継続できるように2回線構成とし、1回線で全容量送電できるようにする。電線は2台の主線形加速器に175 MWずつ送電できる様、電流定格1680 Aの610 mm<sup>2</sup>TACSR1

(鋼心耐熱アルミ合金より線) 導体とする。

架空配電の場合はサブ変電所を地上に設けることになる。66 kV の送電線 2 回線から、35 MVA、66/6.6 kV の変圧器を介して受電する。

200 台の加速器ユニットへは後述するように 6.6 kV-CVT 150mm<sup>2</sup>×4 条で地下電源トンネルに配電する。無効電力、高調波対策、容量、構成、非常用対策等は地下サブ変電所の場合と同じとする。

#### 4. 加速ユニット電源用変圧器

加速器ユニットのクライストロンモジュレータ電源用変圧器は、モジュレータ電源との関係から 6.6 kV/420 V となる。定格容量は 1 台の変圧器が受け持つ加速ユニットの台数で決まる。モジュレータ電源用変圧器が設置されるトンネルの現時点での設計では、図 1 に示す 4.2 m 径のトンネルの下部 1.2 m が当てられる。これにトンネルの形状を考慮すると、変圧器に割り振られるスペースとしては高さ 0.9 m、奥行 1.1 m であり、幅は比較的余裕がある。市販されている 6.6 kV/420 V モールド変圧器の外形寸法(縦×横×高さ)を調べると、200、300、500 kVA に対し、それぞれ 460×920×850、485×985×980、530×1195×1100 mm となる。これから分かる様に、トンネル内に設置される加速ユニット用変圧器は、その設置制約の関係から容量 200 kVA が適当である。加速ユニットの最大電力は 150 kW であり、冷却系その他の電力を考慮しても、一つの加速ユニットに一台の 200 kVA の変圧器を設置すれば余裕をもった設計となる。

各加速ユニットへの配電方法を検討する。1 サブ変電所で 200 台の加速ユニットに配電する事となる。基本的に、地下サブ変電所でも、地上からの導入の方式でも、配電する 200 台の変圧器の中間地点に導入するのが合理的である。サブ変電所からは 2 系統引き出し、一方で 100 台に、他方で他の 100 台に配電する。

この際、1 系統を何条にして配電するかが問題となる。これまでの工事経験等から、扱い易い 150 mm<sup>2</sup> のケーブルを用い、1 条当たり 25 台に配電する事とする。従って、サブ変電所からは 6.6 kV-CVT 150mm<sup>2</sup> のケーブル 4 条を取りだし、2 条づつ 2 系統に振り分ける。1 条当たりの加速ユニットの供給エリアは 250 m (1 km/4) となる。

#### 5. コスト比較

これまでの条件で、サブ変電所を地下配置する場合と、地上配置する場合で、工事費の積算を行った。結果を表 1 に示す。サブ変電所を地上に設置した場合の総コストを 100 % として規格化してある。地下配置では、地下にドームを作る必要がありその分を追加してある。地下配電の場合がコストは 24% 割高となる。これは約 20 km 間を 66 kV のケーブルで配電する方が、地上の架空線で配電するより高価である事と、地上変電所の土地造成に対して、地下のドーム工事費が高いことが差となって現れている。しかし JLC が設置されるサイトによっては、降雪地帯であるかどうか、送電線を敷設する場合の環境評価が JLC の計画に影響を及ぼさないか等、考慮すべき点

が多いため、現状ではコスト差だけでは決定できない状況である。

表 1 コスト比較

	地下配電	地上配電
総経費	124.0 %	100.0 %
6.6 kV 回路	48.1	48.1
サブ変電所	25.8	29.1
66 kV 回路	17.2	8.1
主変電所その他	16.3	14.7
地下変電所土木	16.6	0.0

#### 6. 信頼度に関する考察、まとめ

これまでの設計では、JLC の電源は一般電気事業者の系統を介した受電を考慮した。一方、JLC の設置される近傍で発電し、電源を供給する方式を採用すると、下記メリットが得られる。

一般電気事業者の系統が被る落雷等による瞬停の問題が無く安定した電源供給が可能となり、JLC の運転が中断するような事が無い。設置する電源も、例えば 10 台の発電機で 350 MW を供給するようにすれば、予備機を 1 台置く事で発電機 1 台の故障に対しても停電無しに対応することが可能となり、また保守点検も順番に行えば保守のための運転停止も必要なくなるし、現状取られている夏期の停止等(冷却の問題が解決されれば)も不要になる。

一方では発電機のための燃料輸送について、無理の無い計画が可能であるかを検討することと、排熱利用および処理のことを慎重に考えねばならない。

CERN においては、主変電所からの配電方式は、スター型ではなくループ形式になっており、停電事故の被害を最小区間に留めるようになっている。また特高受電の他に、20 kV の低圧受電もバックアップとしてなされており、サブ変電所には地下水汲み上げポンプ、非常用照明、換気の電力をまかなうだけのディーゼル発電機も備えてあり、非常時の安全確保のための対策が幾重にも施してある。JLC においても参考とすべきである。また 66 kV ケーブルを地下配線する場合は、ケーブルの品質管理に十分な配慮が必要となる。

以上 C-band JLC のケ・スタディを行なったが、サイトが決定した段階で詳細設計を行なうべきである。基本的な考え方は X-band JLC の場合も大きくは変わらない。なおサブ変電所や配電ケーブルの規模としては KEKB、TRISTAN と同様であり、我々は豊富な経験を持っている

#### 参考文献

- [1] 新竹積他、「C-バンド RF 加速器開発の現状」、Proceedings of the 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001
- [2] 池田清、他 “リニアコライダにおける冷却水システム”の検討”, 本研究会