

# INSTALLATION OF ILC LARGE HELIUM REFRIGERATION SYSTEM INTO THE MOUNTAIN SITE TUNNEL

Kenji Hosoyama

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

## Abstract

The design study of the ILC (International Linear Collider) is progressed in Japan. The ILC tunnels of 30km in length were planned and designed to construct in several mountain sites in Japan. For cooling the ILC superconducting RF cavities, 12 large helium refrigeration plants is needed. Underground installation scheme was adopted for the base line design of the ILC helium plants and the layout of the main components of the helium refrigeration plants was designed.

## ILC 大型ヘリウム冷凍機 の山岳トンネルへの設置

### 1. はじめに

ILC (International Linear Collider) 計画は、国際協力のもと、その実現にむけて、加速器、検出器の設計、開発と同時に、トンネルの建設をはじめとする電力、冷却水等の検討が精力的に進められている。全長 30km ~ 50km の ILC は地下約 100m の安定した地盤に建設された地下トンネルに設置される。広大な平原に安定地盤がある米国と違って、我が国では、平野部にトンネルを建設することは難しく、安定した地質の山岳部にトンネルを建設する、山岳トンネルのみが現実的であると考えられる。日本への ILC の誘致を目標に、いくつかの具体的な候補地をもとに山岳トンネル案の検討を進めている<sup>[1]</sup>。

ILC の超伝導加速空洞の熱負荷や冷却方式は T. J. Peterson et al.<sup>[2]</sup> によって詳細に検討、報告されており、われわれは、これらをベースにして山岳トンネル案でのヘリウム冷凍機の配置について議論する。

### 2. ILC 超伝導加速空洞とヘリウム冷凍機

ILC では 1.5GHz の 9 連の超伝導空洞 9 台を収納するクライオモジュール 2 台と超伝導空洞 8 台と収束用の超伝導 Q マグネット 1 台から構成されるクライオモジュール 1 台、全長 38m の 3 台のクライオモジュールが 1 つの RF ユニットの構成して、4 RF ユニットの (12 台のクライオモジュール) でクライオ・ストリングを構成し、16 のストリングで全長 2.5km のクライオユニットを構成する。

図 1 にクライオモジュールの断面積を示す。ニオブ製の 2K ジャケット型のヘリウム槽に収納された 9 連の超伝導加速空洞は、外部からの侵入熱を取り除くため、ヘリウムガスで冷却された 80K と 8K のアルミ製の熱シールドで 2 重に輻射シールドされたクライオスタットの内部に取り付けられ、2K の超流動ヘリウムにより冷却される。2K の超流動ヘリウムは、2K ヘリウム冷凍機から 1.2 bar で供給される 2.2K のサブクールドヘリウムをクライオ・ストリングの端部に取り付けられた 0.03 bar の 2K ポッ

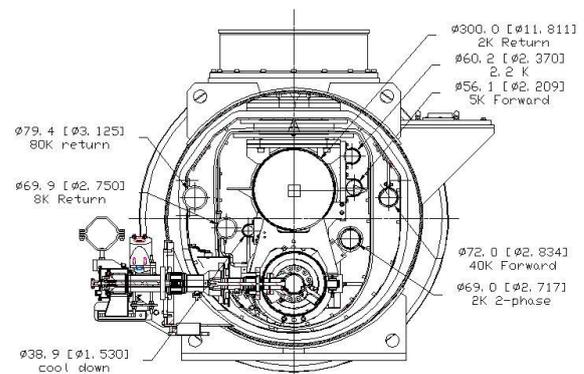


図 1 クライオモジュールの断面

トへ J-T 膨張させることにより生成され、各超伝導空洞へ送られ、冷却に利用される。

2K 液体ヘリウムの減圧は 2K ヘリウム冷凍機に取り付けられた大型のターボ式の低温圧縮機が利用される。排気用の配管はクライオモジュール内に配置された直径 300mm の大口径の配管が使用され、途中での圧力損失を小さく抑えることができるように設計されている。これにより 1 台の 2K 冷凍機で 2.5km をカバーすることができる。2K 冷凍機に液体ヘリウムを供給する 4.5K 冷凍機は CERN の LHC で建設・運転されている大型冷凍機とほぼ同じ規模の大きさで、2 台の大型のヘリウム冷凍機 (4.5K での冷凍能力が 20kW) を 5km 間隔で、合計 12 台設置することになる。

### 3. 山岳トンネルとヘリウム冷凍機

#### 3.1 ヘリウム冷凍機の配置の決定

山岳トンネルの場合にヘリウム冷凍機の配置を決定するにあたって、以下の項目を考慮する必要があると考えられる。

- 1) 超伝導空洞の冷却のために大型の 2K ヘリウム

- 冷凍機 2 台を 5km 間隔に配置する。
- 2) ヘリウム冷凍機の主要な構成機器（圧縮機、コールドボックス等）の搬入・据付や、定期的な保守と故障時の修理の方法をどうするか。
  - 3) ヘリウムガスの漏洩に対する安全性をどのように確保するか。
  - 4) ヘリウム冷凍機及びその設置スペースを含めた建設・運転コストを考慮した総合的な評価。
  - 5) ヘリウム圧縮機で必要な電力と冷却水の確保

### 3.2 ヘリウム冷凍機の地下設置

平地に設置された CERN の LHC のヘリウム冷凍装置ではヘリウム冷凍装置の主要な装置は地上部に設置され、縦抗を通して配管で地下トンネル内の低温機器と接続する方式が採用されている。山岳トンネル案では、地下のトンネルに沿って 5km 間隔に縦抗を掘り、地上部に大型のヘリウム冷凍装置を収納する大型の建物を建設することは非現実的あり、地上設備の建設のために自然環境が大きく破壊される可能性が強く危惧される。

これらの問題はヘリウム冷凍装置を地下に設置することにより解決される。図 2 にヘリウム冷凍システム装置を山岳トンネルに配置した場合の概念図を示す。

ヘリウム冷凍装置の地下設置案の背景として、国内の建設候補地を実地に調査し、地形と建設工期を考慮して工区割と掘削方法が具体的に検討され、トンネルを掘削するためのボーリングマシン等の建設機械の搬入・搬出やトンネルの掘削時にでるズリなどをトラック等で搬出するアクセストンネル（斜坑）が各工区に必要であり、アクセストンネルと ILC のトンネルの交差点部にボーリングマシンの組み立と分解のための広い空間スペースが必要で、これらが作られることが判明した。（図 3 参照）

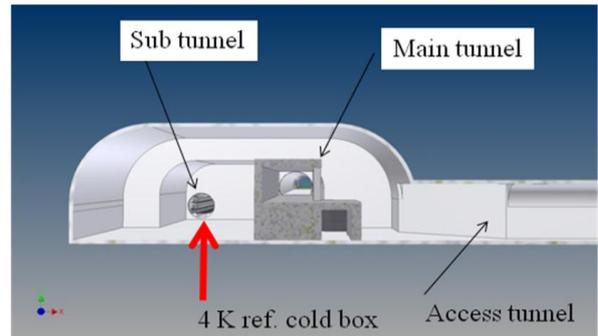


図 3 アクセストンネルのトンネルの交差点部

この空間をヘリウム冷凍機のコールドボックス設置場所として有効利用し、振動が問題となるヘリウム圧縮機はアクセストンネルの途中を拡幅して設置空間とする。

アクセストンネルの位置は、候補地の地形や工区の設定などに強く依存し、要求される 5km 間隔に 2K ヘリウム冷凍機のコールドボックスを設置するという条件を満足することが難しい場合がある。

この問題は、ヘリウム冷凍機を 4.5K コールドボックスと 2K コールドボックスに分割して、大型の 4.5K コールドボックスを斜坑とトンネルの交差点部に設置して、5km 間隔に設置する 2K コールドボックスと 4.5K コールドボックスの間は多層真空断熱された高性能の低温多重配管で接続する。

この配管には、2K コールドボックスで消費される液体ヘリウムの供給や、低温圧縮機で昇圧した 2K の蒸発ガスの回収、断熱シールドに利用される 8K や 80K のヘリウムガス用の配管が含まれるが、2K の減圧ガスと異なり、ガス圧が低くなく途中での圧力損失が問題になることはない。

### 3.3 ヘリウム冷凍システムの配置具体案

これまで日本チーム検討されてきたいくつかの候

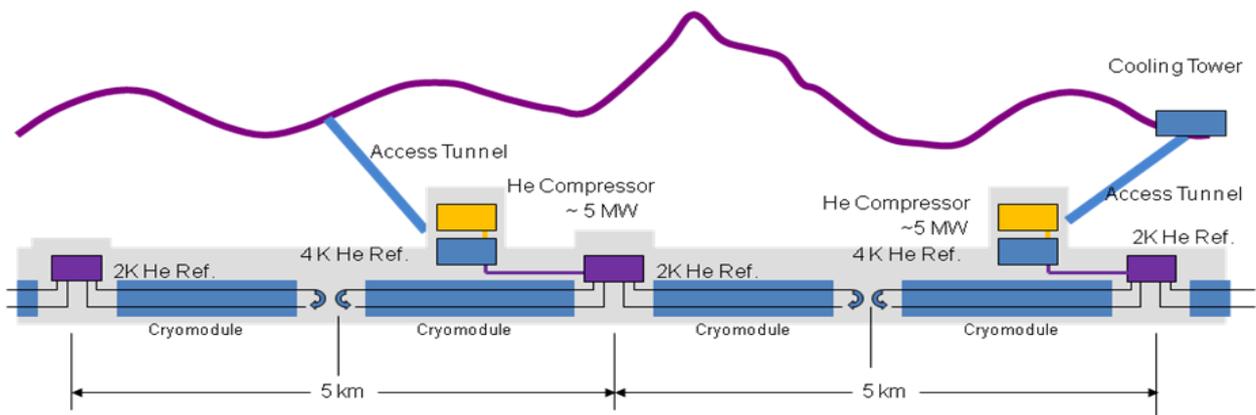


図 2 山岳トンネルに設置された ILC とヘリウム冷凍機コールドボックス及圧縮機及び付帯設備の配置概念図

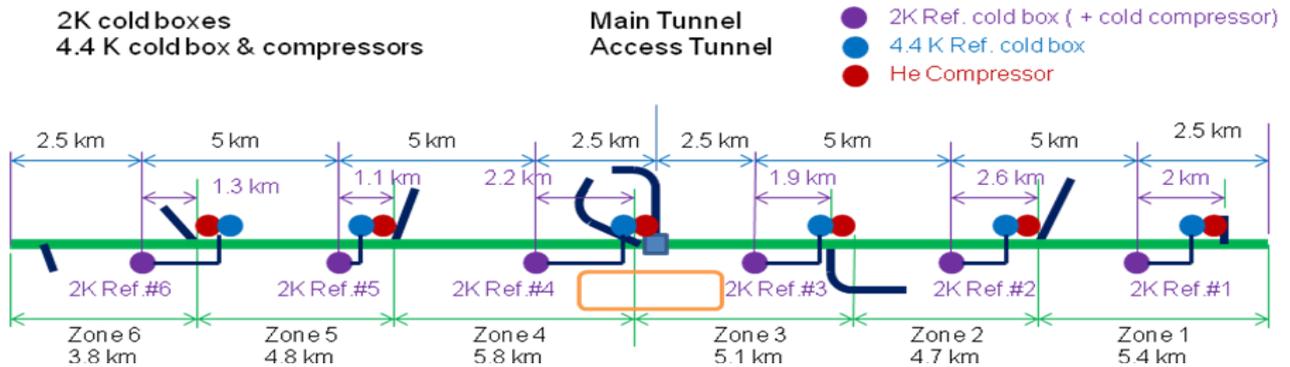


図4 候補地を想定した場合の山岳トンネルでのヘリウム冷凍システムの配置案

候補地のうち、二か所の候補地の山岳トンネル案について、ヘリウム冷凍システムの配置案を検討した。どちらの候補地の場合も、候補地の地形による相違はあるが、技術的には大きな差はなく、問題はないと考えられる。図4に一つの候補地のヘリウム冷凍システムの山岳トンネルへの配置の検討例を示す。

ここでは、ヘリウム冷凍システムのアクセストンネルを含めた ILC トンネルとヘリウム冷凍装置の主要機器の配置を模式的に表してある。トンネル建設用のアクセストンネルと ILC トンネルの交差点 6ヶ所に 4.4K ヘリウム冷凍機コールドボックス（冷凍能力 20kW at 4.4K）とヘリウム圧縮機 2 ユニートを配置し、ILC トンネルに 5km 間隔で配置された 2K 冷凍機 2 台、各 2K 冷凍機は左右 2.5km 全長 5km の超伝導空洞の冷却をカバー）とは多重低温配管で接続されている。この配管はできるだけ短い方が好ましく、山岳トンネルの本格的な設計時にはアクセストンネルの位置の検討が必要と考えられる。

### 3.4 ヘリウムガスの貯蔵

ILC の冷却には液体ヘリウム約 650,000L が必要となる。冷凍機の運転停止時に、これら大量のヘリウムをガスとして貯蔵する場合、100m<sup>3</sup> の貯蔵タンクが 250 基必要となり現実的でないため、12 基の 50,000L の容器に液体で貯蔵する。

### 3.5 トンネル内の安全対策

ILC トンネルは加速器を設置する主トンネルとそれと、それと並行して 10m の離れた 3m 低い位置に建設される副トンネルから構成されている（図3参照）。副トンネルはトンネルで消費される莫大な熱をトンネルの外部に取り出すための大口径の冷却水配管や湧水などの排水処理等のユーティリティーや設備の設置、保守時のアクセスや緊急時の避難路として有効に使用される

### 3.6 ヘリウム冷凍システムの冷却水及び電力

大型ヘリウム冷凍機のヘリウム圧縮機ユニットは 1 台あたり 4.3MW の電力を消費し、ほとんど全部が熱となる。6ヶ所のアクセストンネル内には各 2

台、合計 12 台の圧縮機が設置されることになり、52MW の電力が消費され、この熱をトンネルの外部に取り出さなければならない。

複数台のスクリー式圧縮機から構成される圧縮機ユニットの運転に必要な 6.6 kV の電力は ILC トンネルを経由して供給される。

各ヘリウム圧縮機への冷却水の供給方式は、トンネルが建設される地区の地形に大きく影響される。ヘリウム圧縮機を設置するアクセストンネルが短く、近接した場所にクーリングタワーの建設が可能な場合にはそこから、それが不可能な場合でも集合クーリングタワーからサブトンネルに設置された大口径配管により冷却水を供給することができる。

## 4. まとめ

日本チームにより検討が進められている ILC 山岳トンネル案をもとにヘリウム冷凍システムの配置について検討し、次の結論を得た。

- 1) 2K 冷凍機コールドボックスは主トンネル内の 5km 間隔に拡幅・建設された小空間に設置する。
- 2) 4K 冷凍機コールドボックスはトンネル掘削機械の組み立て用に建設された大空間に設置する。
- 3) 2K と 4.5K の冷凍機コールドボックス間は主トンネル内の多重低温配管で接続する。
- 4) ヘリウム圧縮機は工専用アクセストンネルの途中を拡幅して作った空間に設置する。
- 5) ヘリウム冷凍機の運転停止時のヘリウムは液体ヘリウムとして貯蔵する。
- 6) 圧縮機用の冷却水は、近接したクーリングタワーや集合クーリングタワーからサブトンネルに設置された大口径配管から供給する。
- 7) 今後、詳細な冷却フローを含めたヘリウム冷凍機の技術的な設計は専門メーカーと協力して進める必要がある。

- [1]吉岡正和 “ILC 山岳地帯シングルトンネル案の検討”，第7回日本加速器学会年会、姫路 2010 年  
 [2]T. J. Peterson, et al., “ILC Cryogenic Systems Refrigeration Design”, Advances in Cryogenic Engineering: CEC, Vol. 53, edited by J. G. Weisend II