



# 加速器用超伝導機器の 超流動ヘリウム冷却システム

高エネルギー加速器研究機構  
加速器研究施設  
仲井 浩孝



## 発表の概要

- 加速器と超伝導
- 超伝導加速器のプロジェクト
- 2Kの生成
- 2Kヘリウム冷凍システムの構成
- 2Kヘリウム冷凍システムの注意点
- まとめ

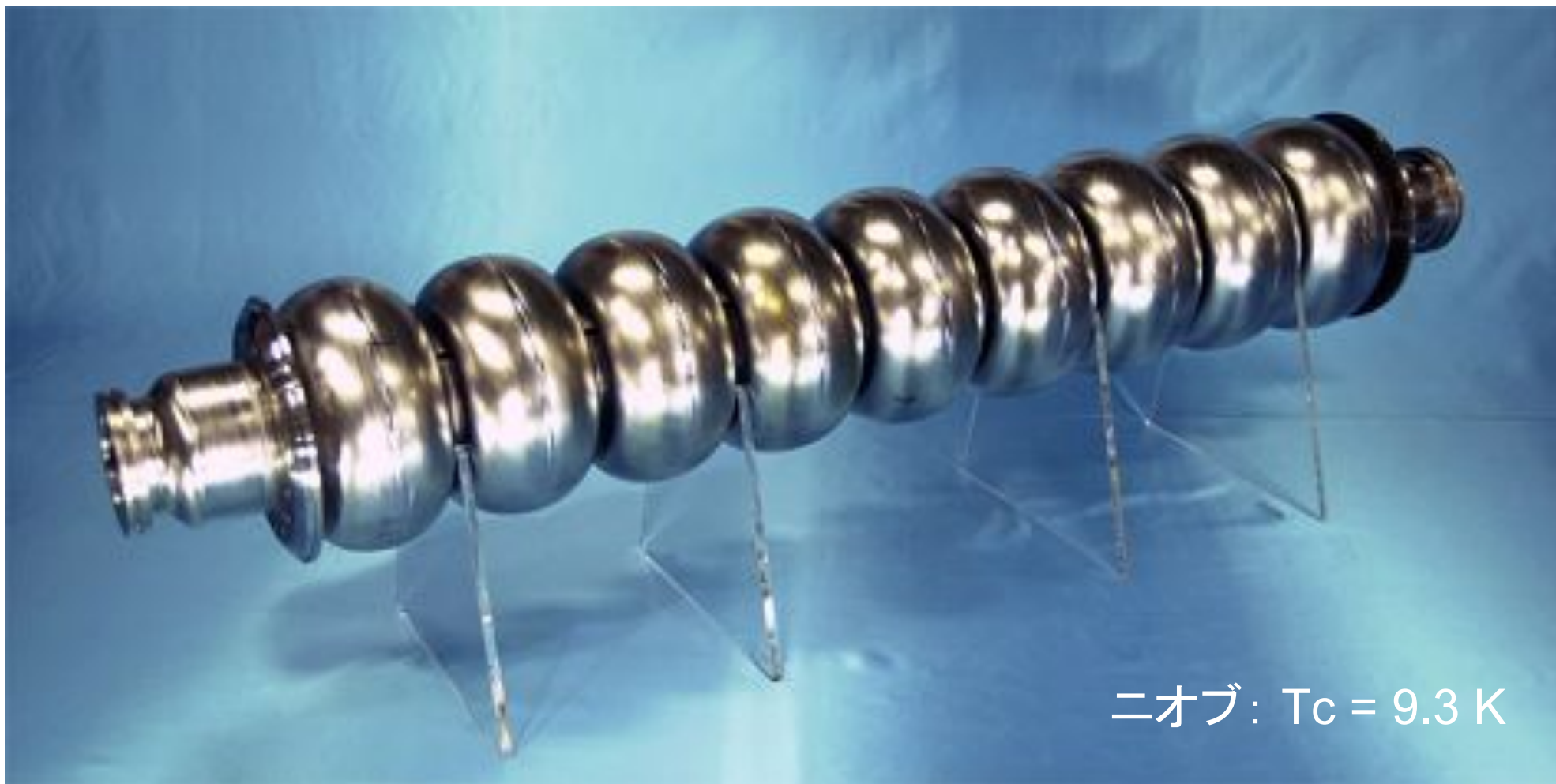


## 加速器と超伝導

## 加速器での超伝導機器

- 超伝導電磁石
  - 偏向双極電磁石
  - ビーム収束用四極電磁石
- 超伝導高周波空洞（空洞共振器）
  - 加速空洞
  - クラブ空洞
- 検出器（物理）
  - ソレノイド電磁石

# ニオブ製1.3 GHz超伝導加速空洞





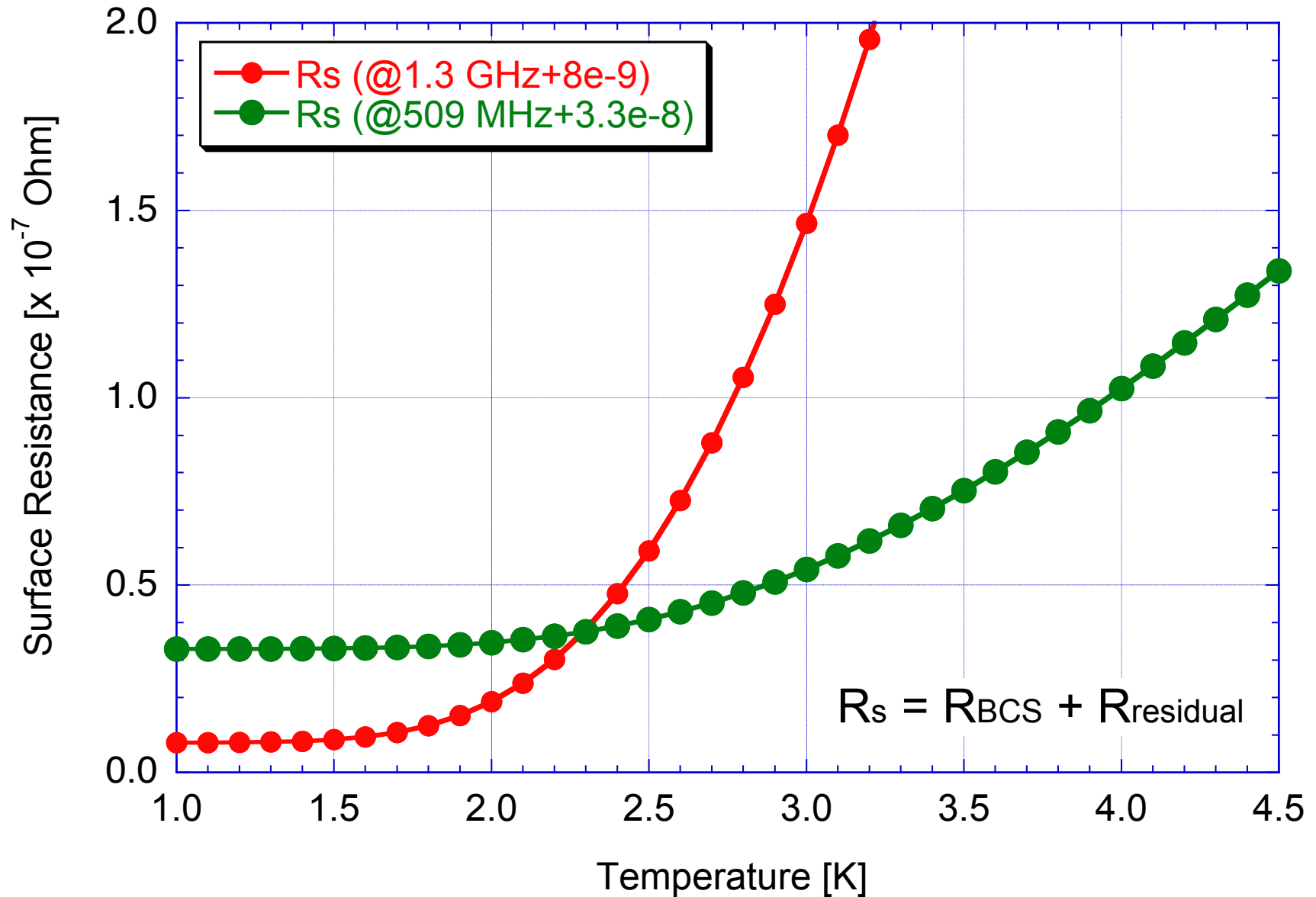
# 超伝導加速器のプロジェクト



## KEKでの超伝導空洞を使用した加速器

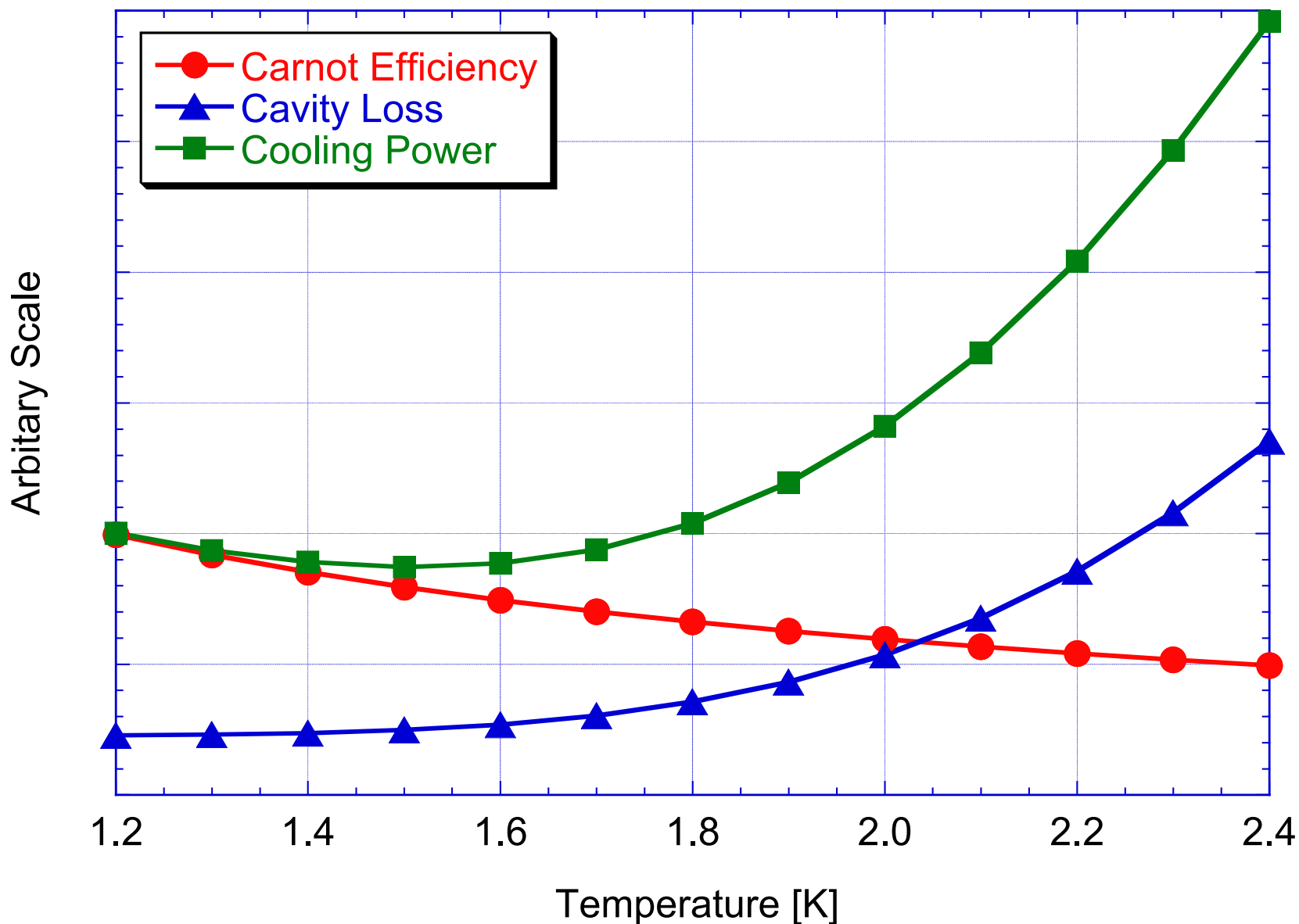
- KEKB (運転中)
  - 単セル加速空洞 8 台+クラブ空洞 2 台
  - 共振周波数 509 MHz, 運転温度 4.4 K
- International Linear Collider (ILC)
  - 9セル加速空洞
  - 共振周波数 1.3 GHz, 運転温度 2 K
  - Superconducting RF Test Facility (STF)
- Energy Recovery Linac (ERL)
  - 2セル空洞+9セル空洞
  - 共振周波数 1.3 GHz, 運転温度 2 K
  - Compact ERL (cERL) (建設中)

# 超伝導空洞の表面抵抗



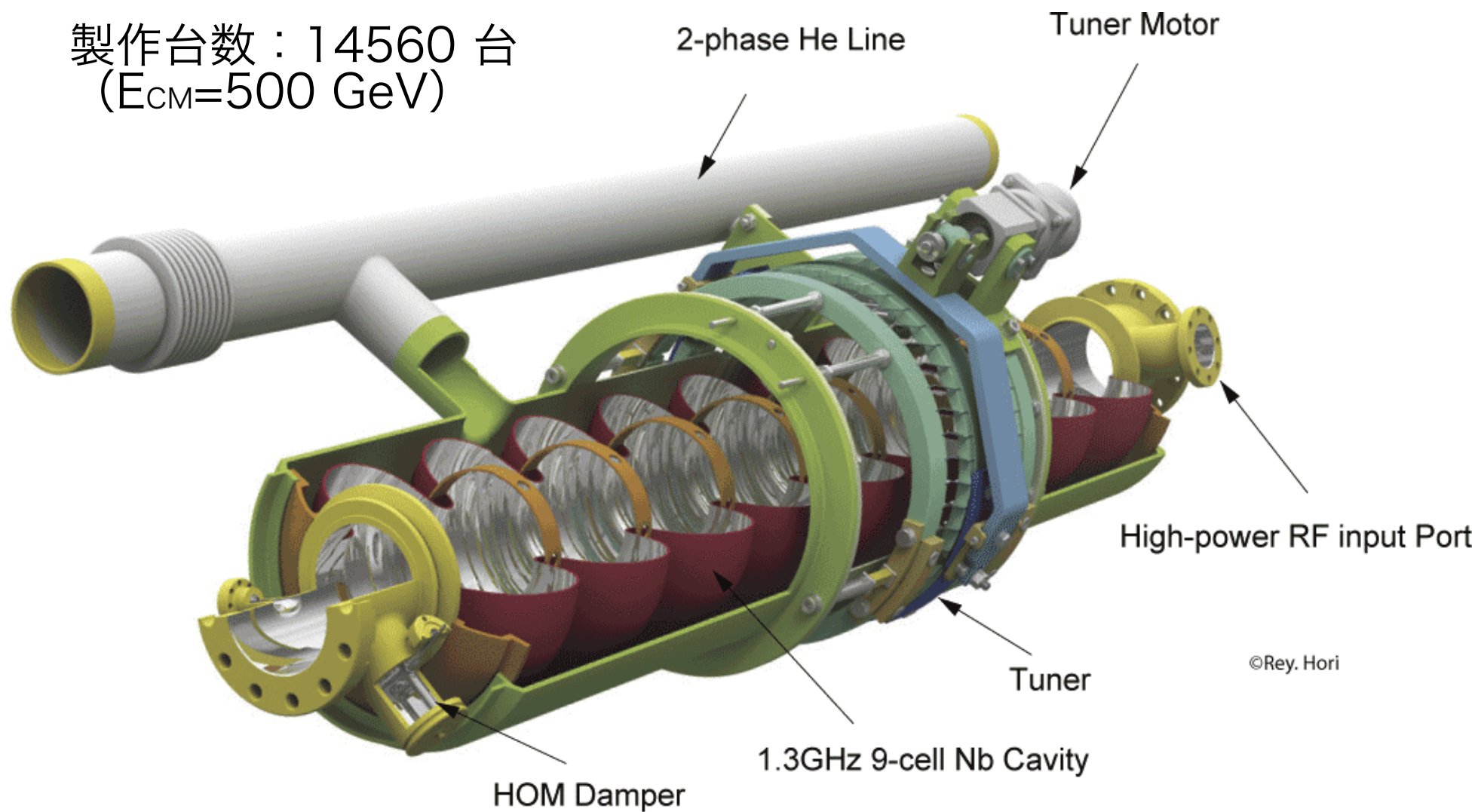


# 1.3 GHz空洞の高周波損失と必要冷却能力

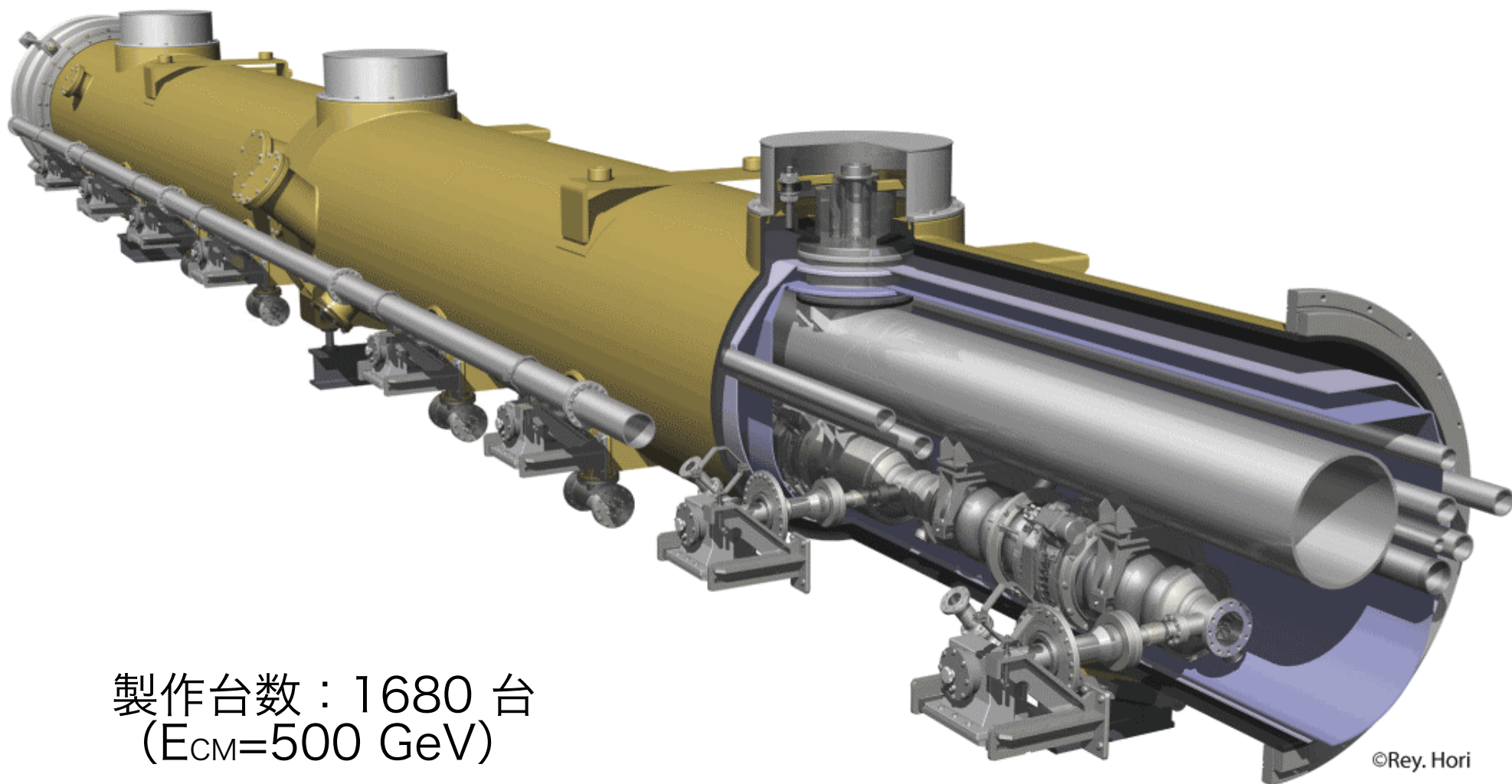


# ILC用超伝導加速空洞と主要機器

製作台数：14560 台  
( $E_{CM}=500$  GeV)



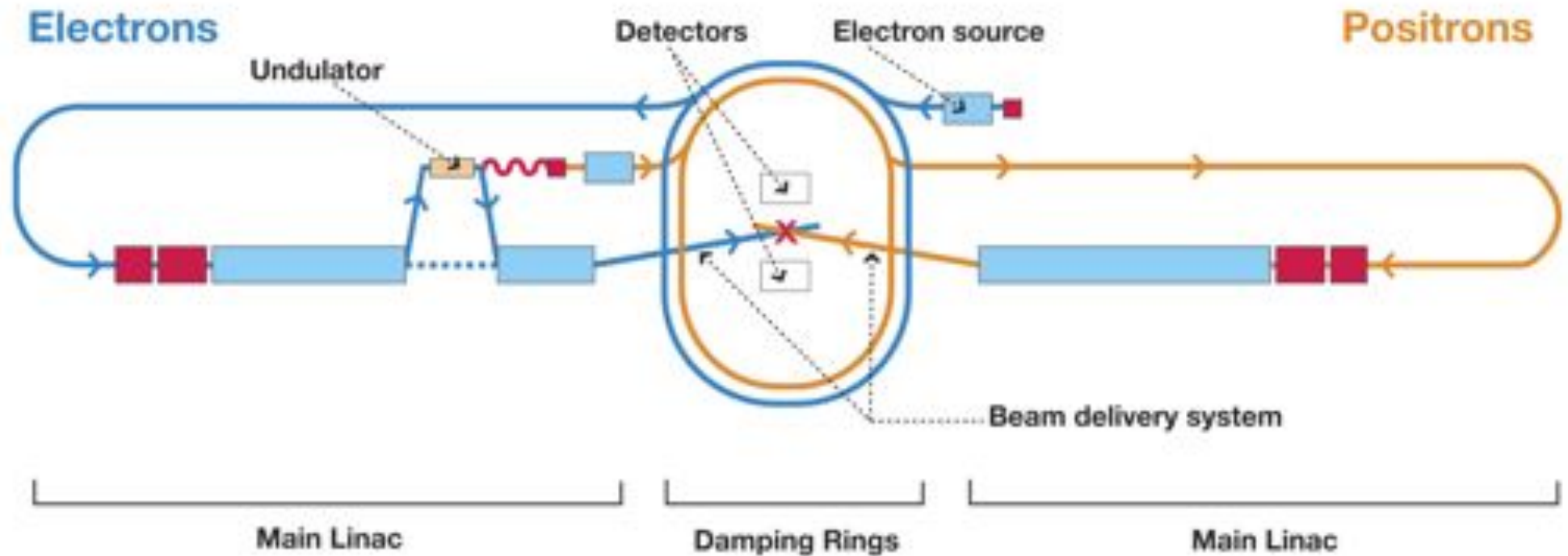
# ILC用クライオモジュール



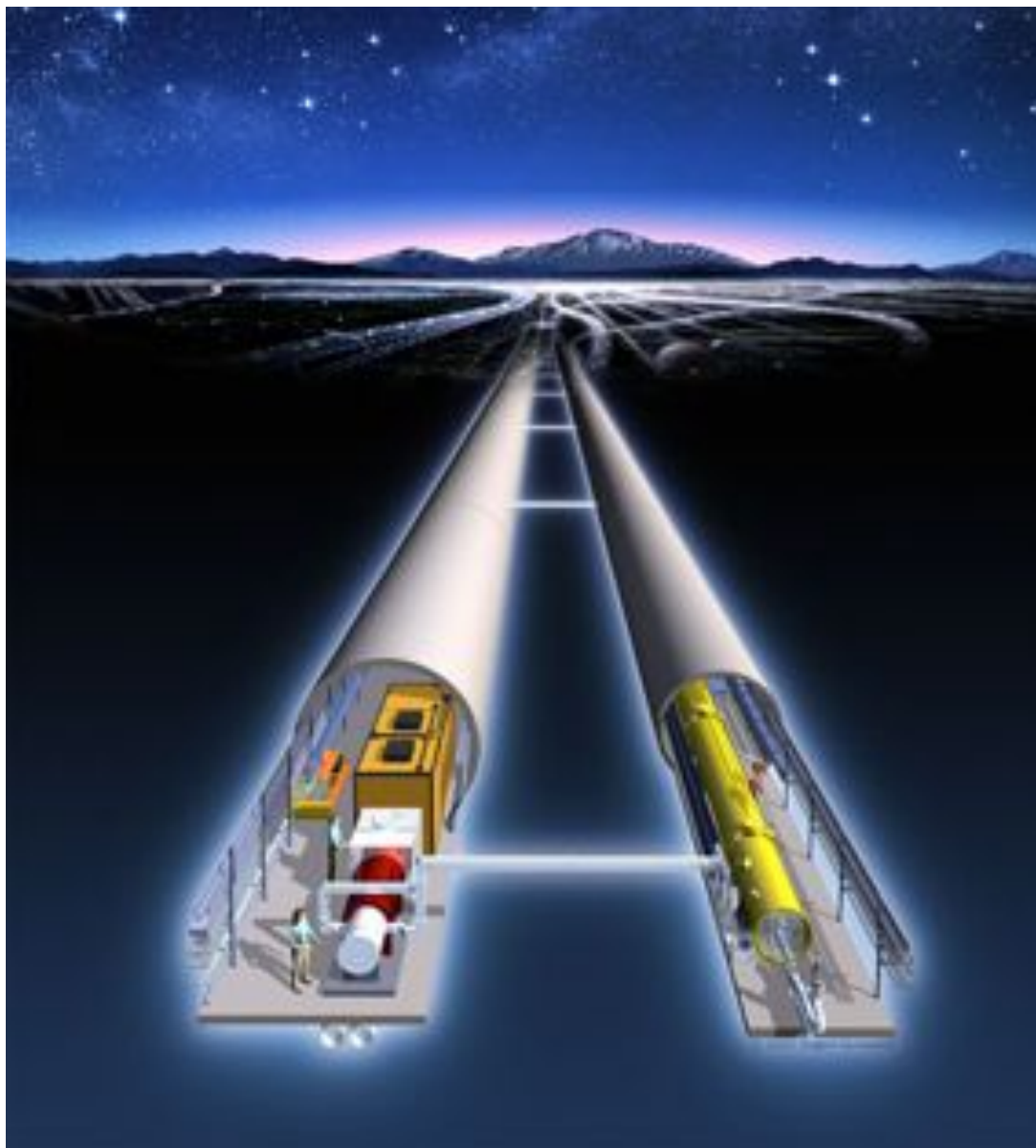
製作台数：1680 台  
( $E_{CM}=500$  GeV)

©Rey. Hori

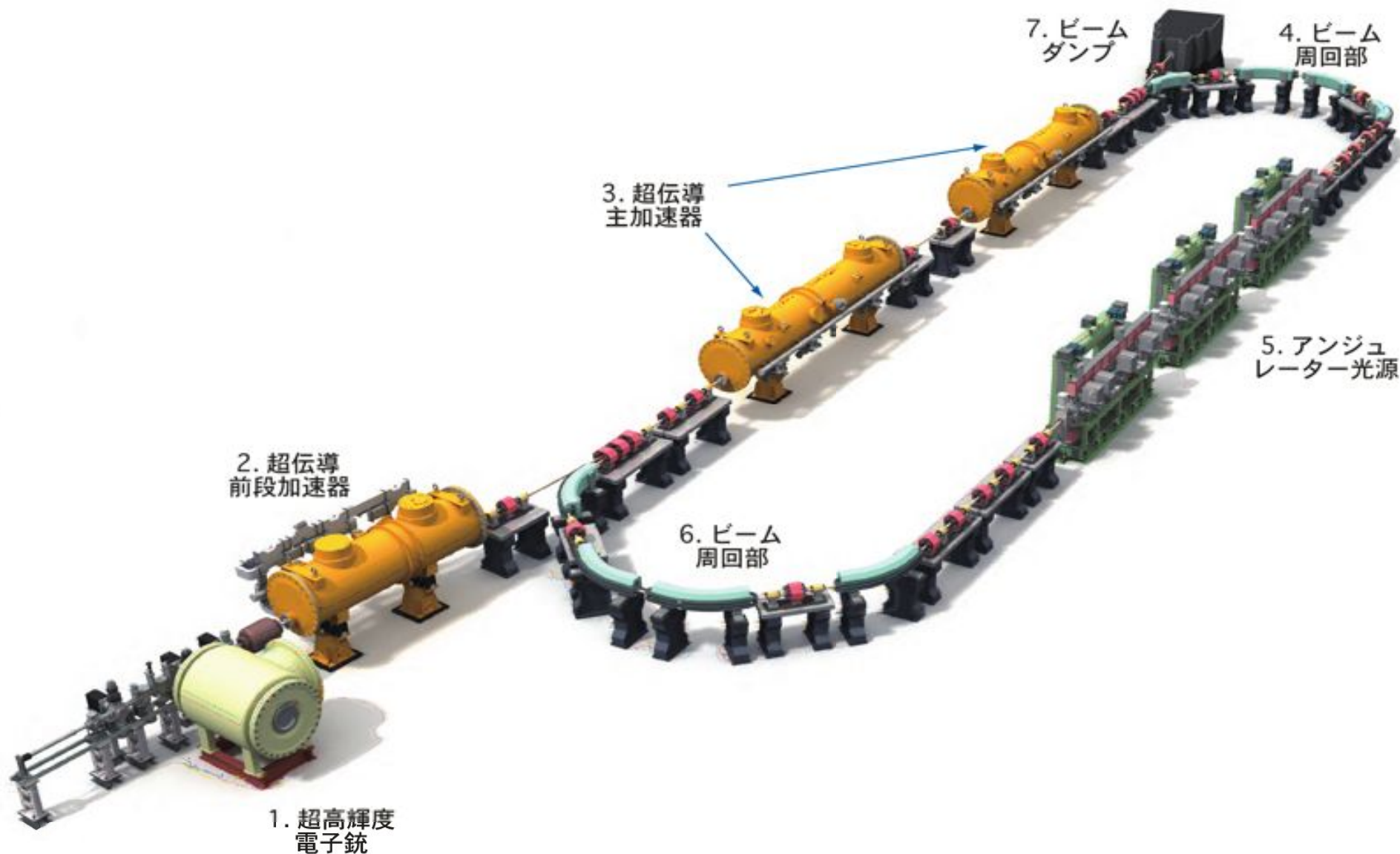
# International Linear Collider (ILC)



# ILC完成予想図



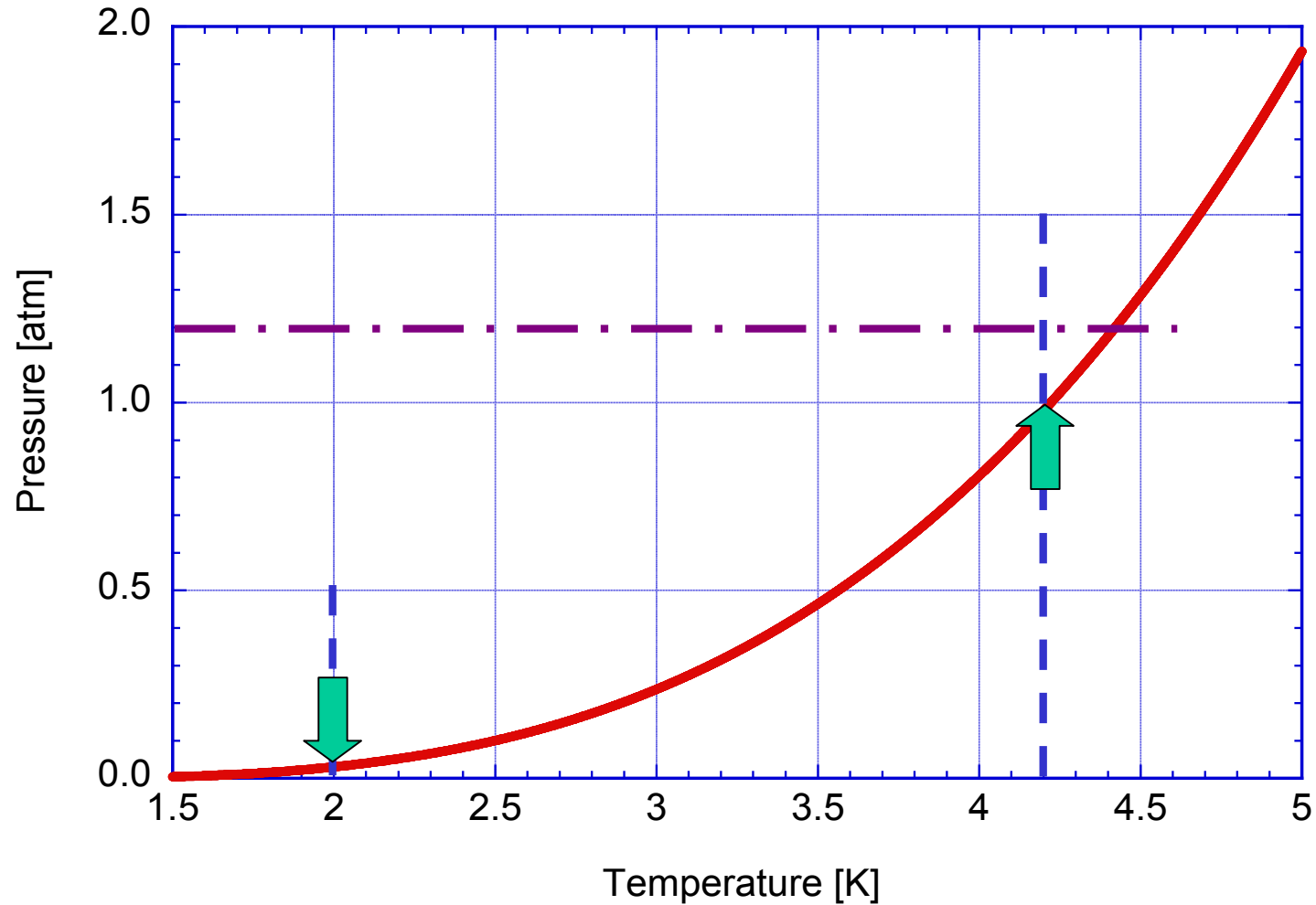
# Energy Recovery Linac (ERL)





2Kの生成 

# ヘリウムの飽和蒸気圧



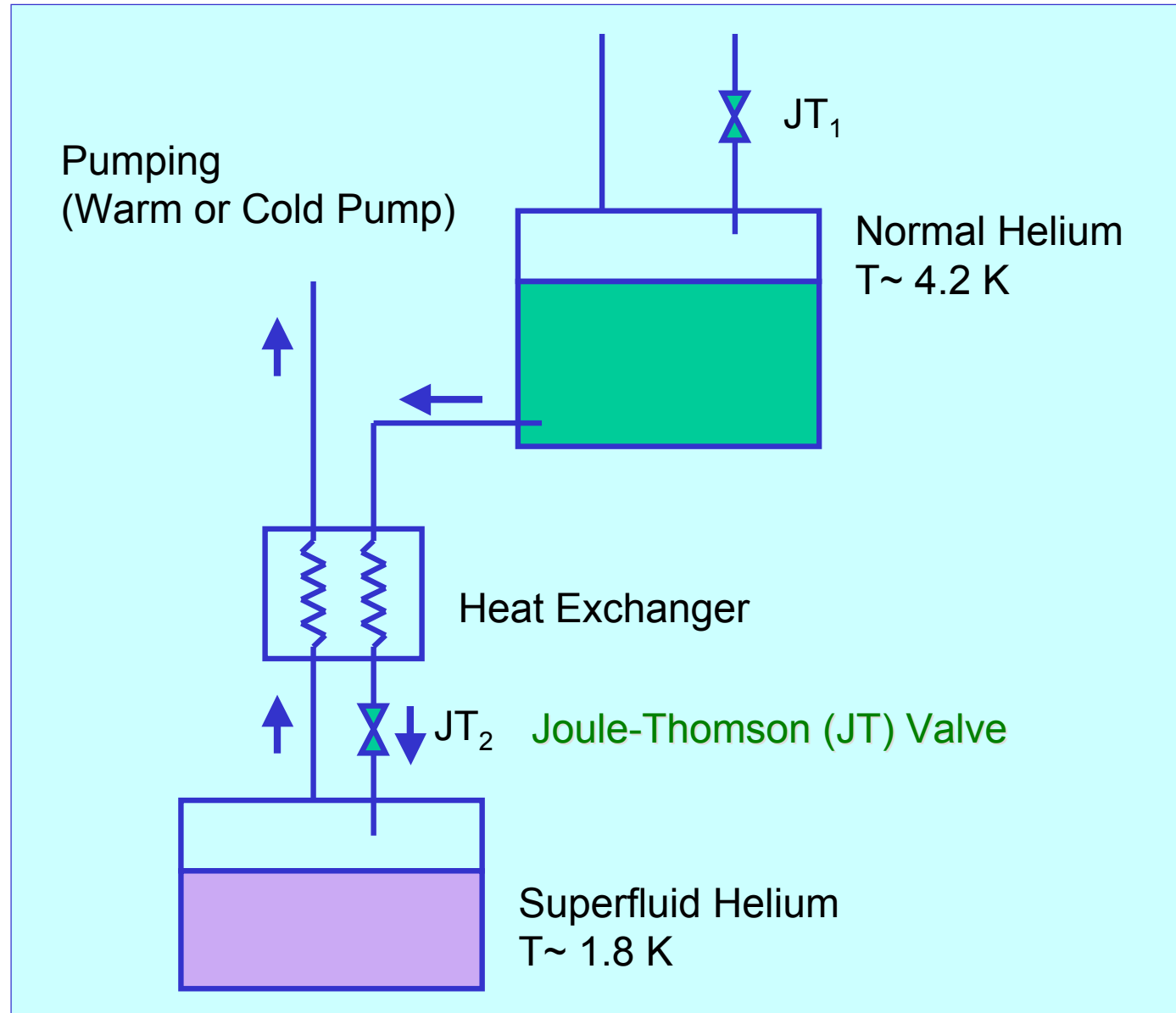
2.0 K  $\longleftrightarrow$  0.031 atm [= 3.2 kPa]

4.2 K  $\longleftrightarrow$  1 atm [= 101.3 kPa]

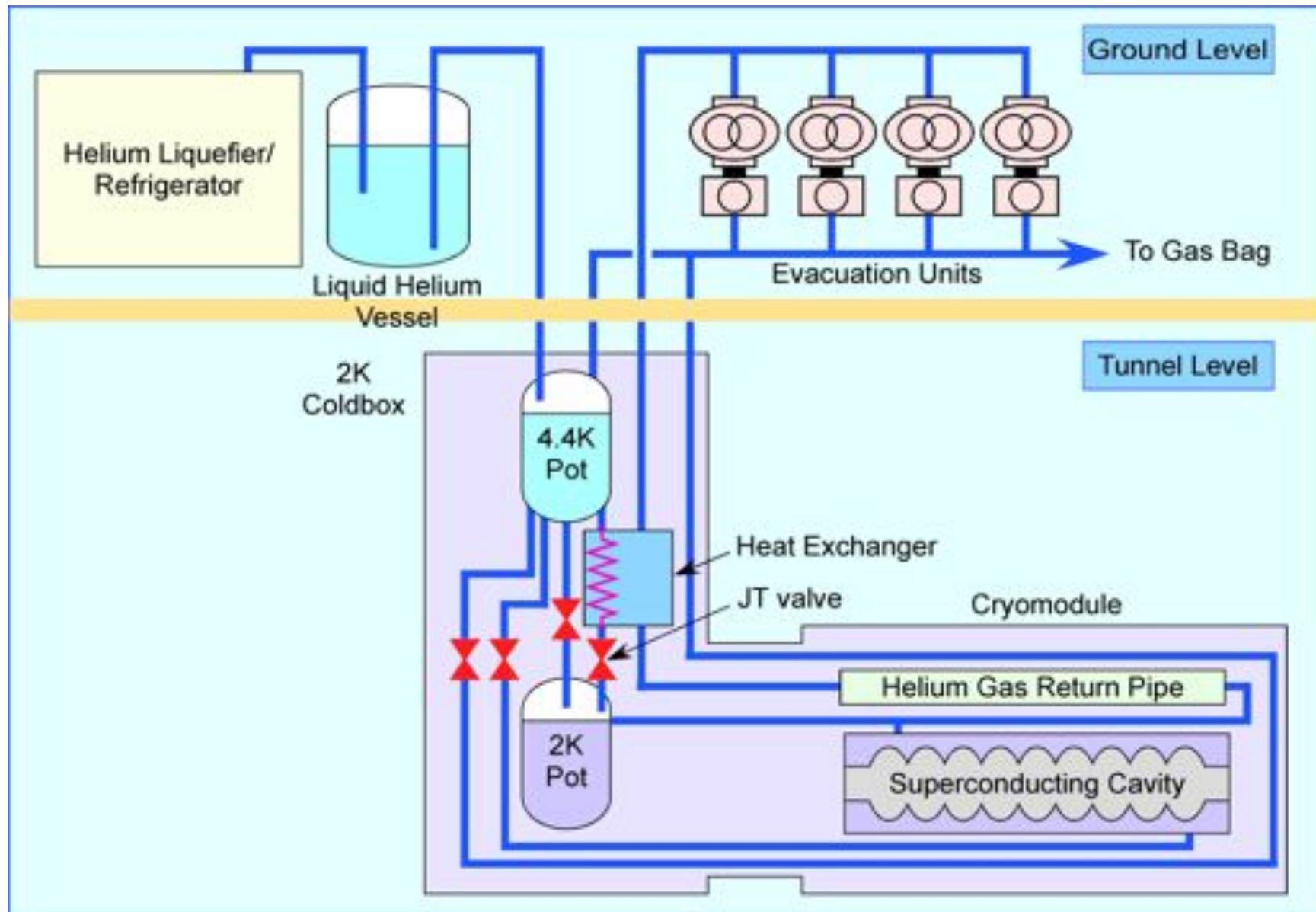
$1/0.031=32$  (体積比)



# 超流動ヘリウム冷凍原理



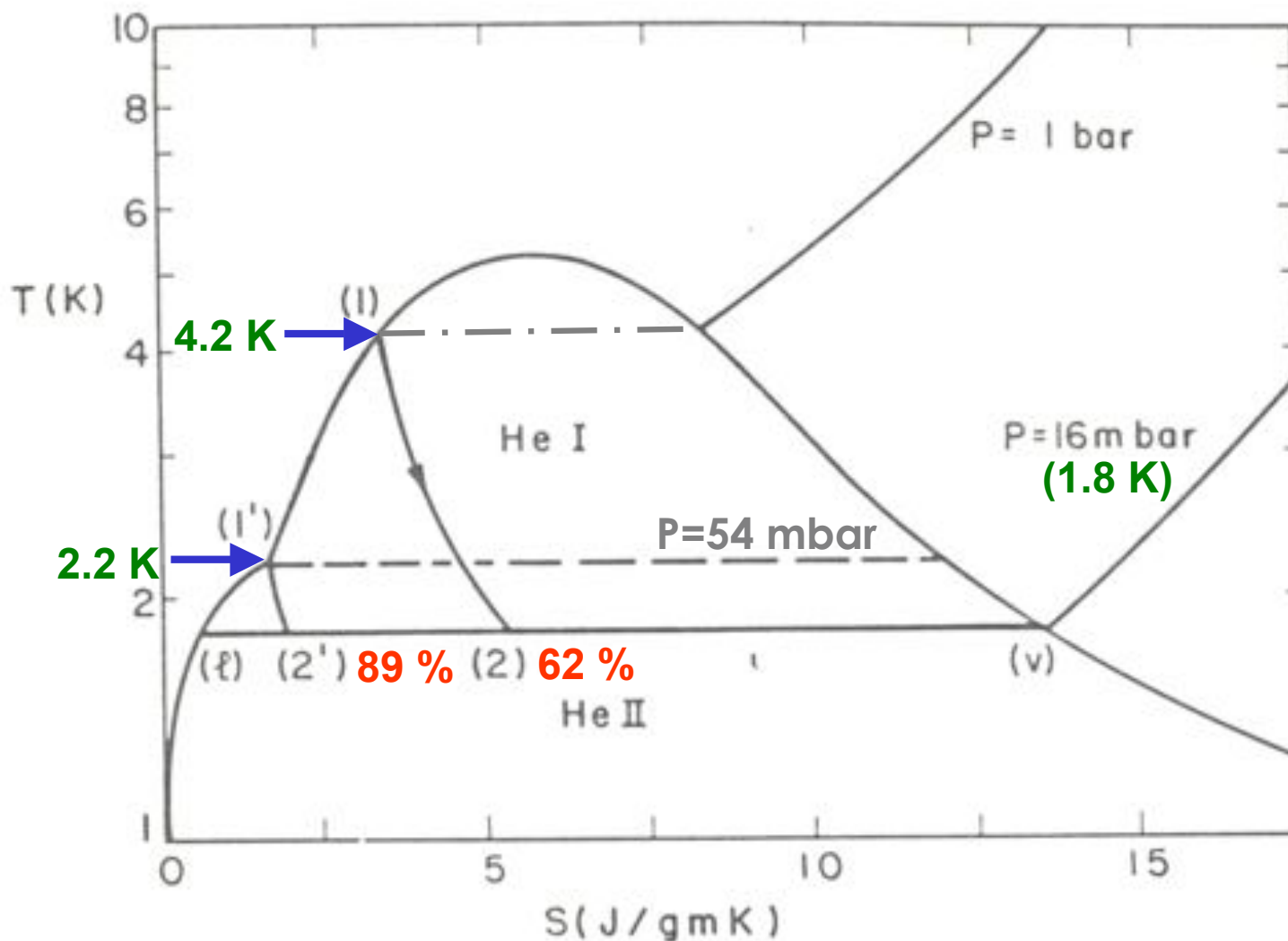
# 2Kヘリウム冷凍システム



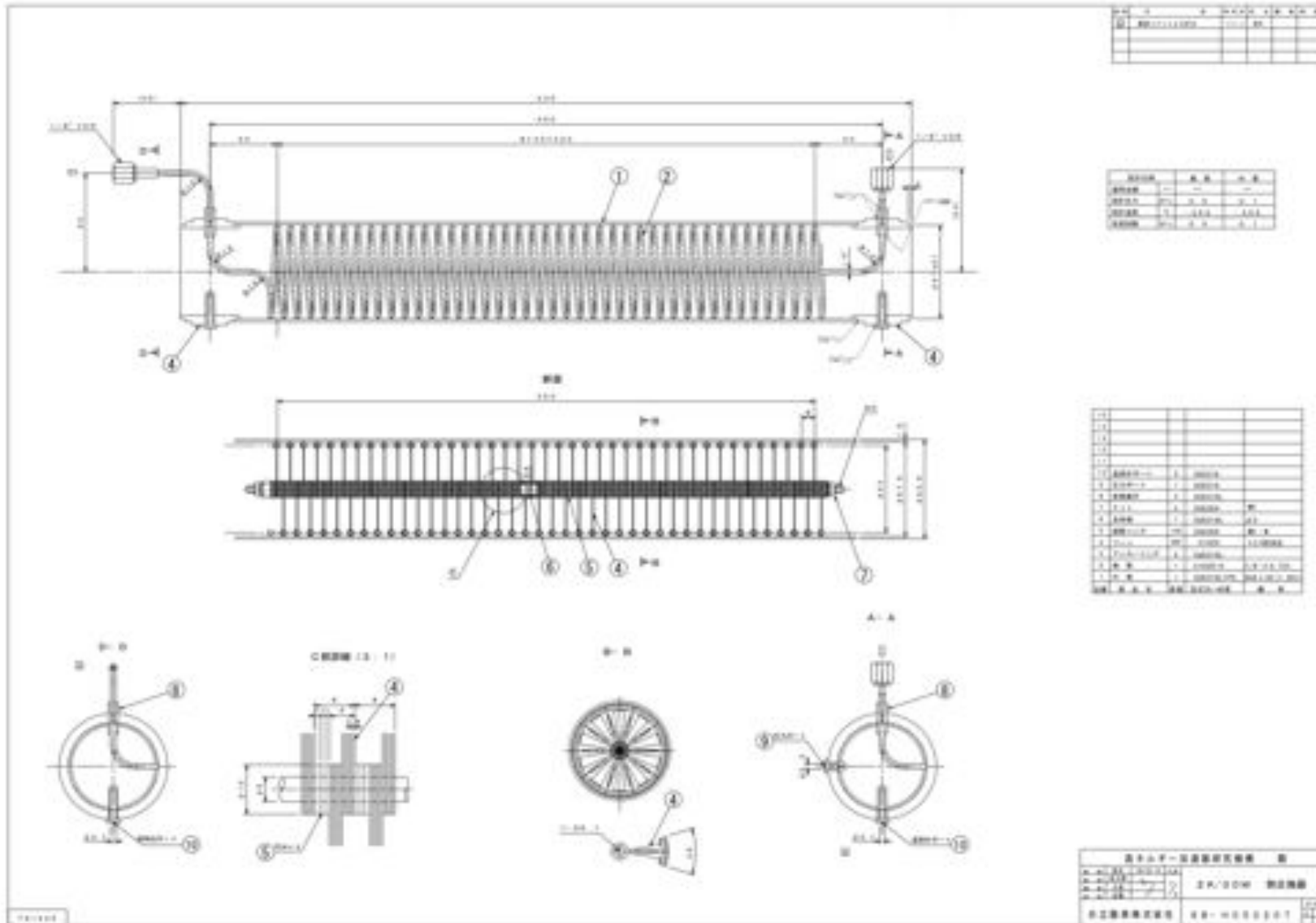
# ILC/STF 2Kコールドボックス内部



# JT弁入口温度による液化率の違い



# 2Kヘリウム冷凍機用熱交換器



## 2Kヘリウム冷凍機用熱交換器





## 2Kヘリウム冷凍システムの構成

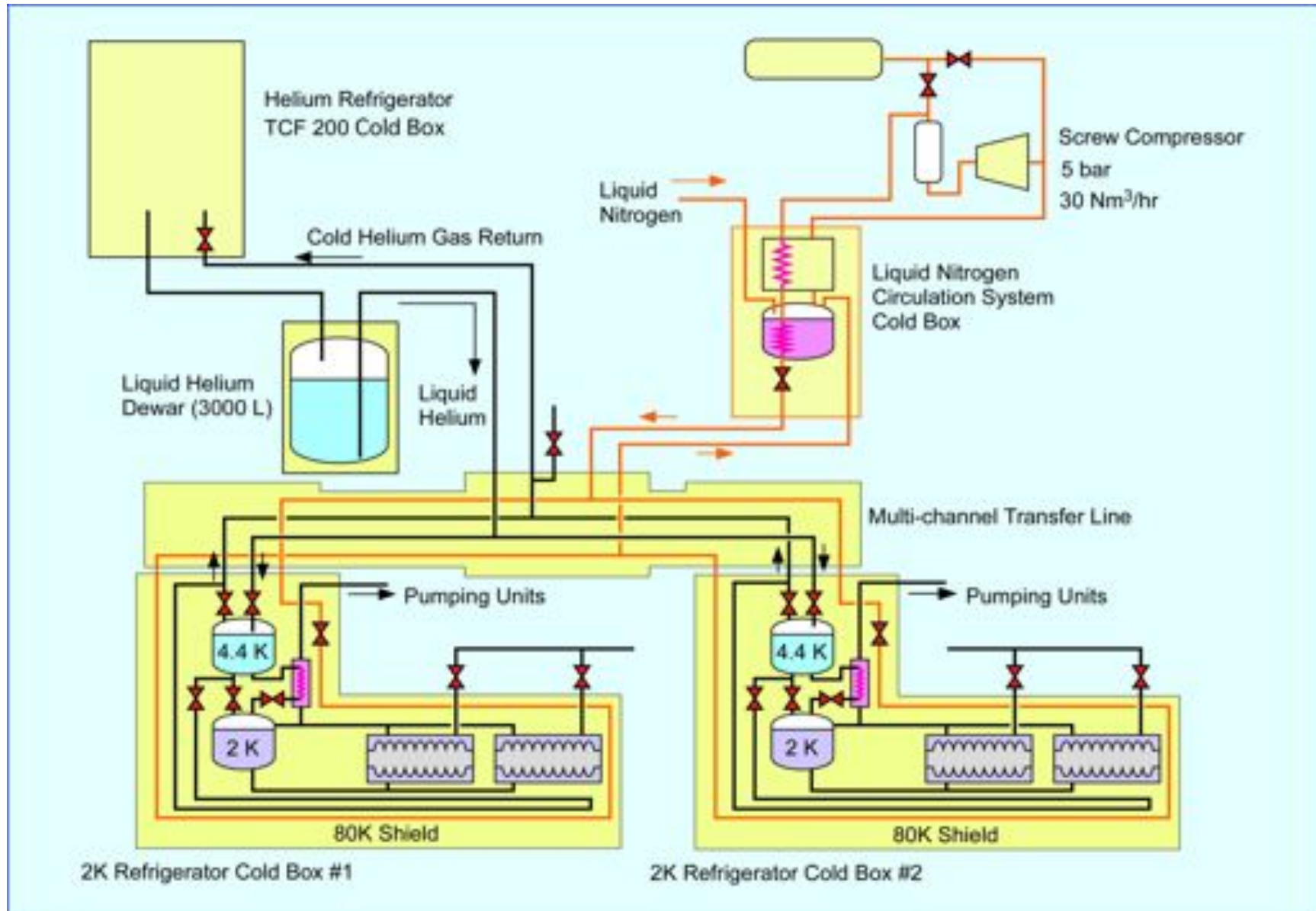


## 2Kヘリウム冷凍システムの構成

- 液体ヘリウム (He I) の生成・貯蔵
  - 汎用ヘリウム冷凍・液化機
- 液体ヘリウムの分配・供給
  - トランスファーライン
- 2 Kヘリウム (He II) の生成
  - 2Kヘリウム冷凍機 (コールドボックス)
- 80 K熱シールド
  - 窒素循環装置



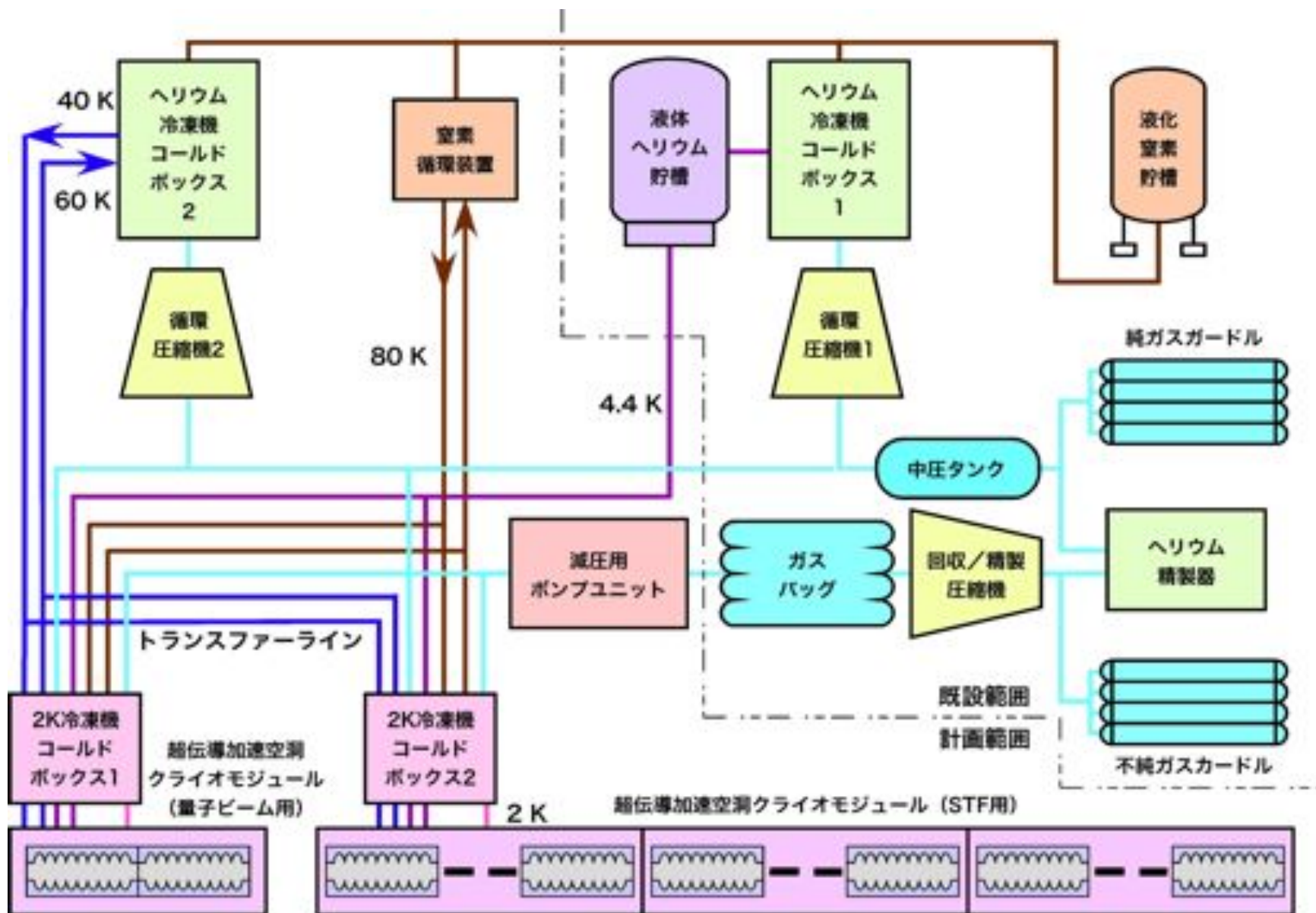
# 2Kヘリウム冷凍システムフロー図



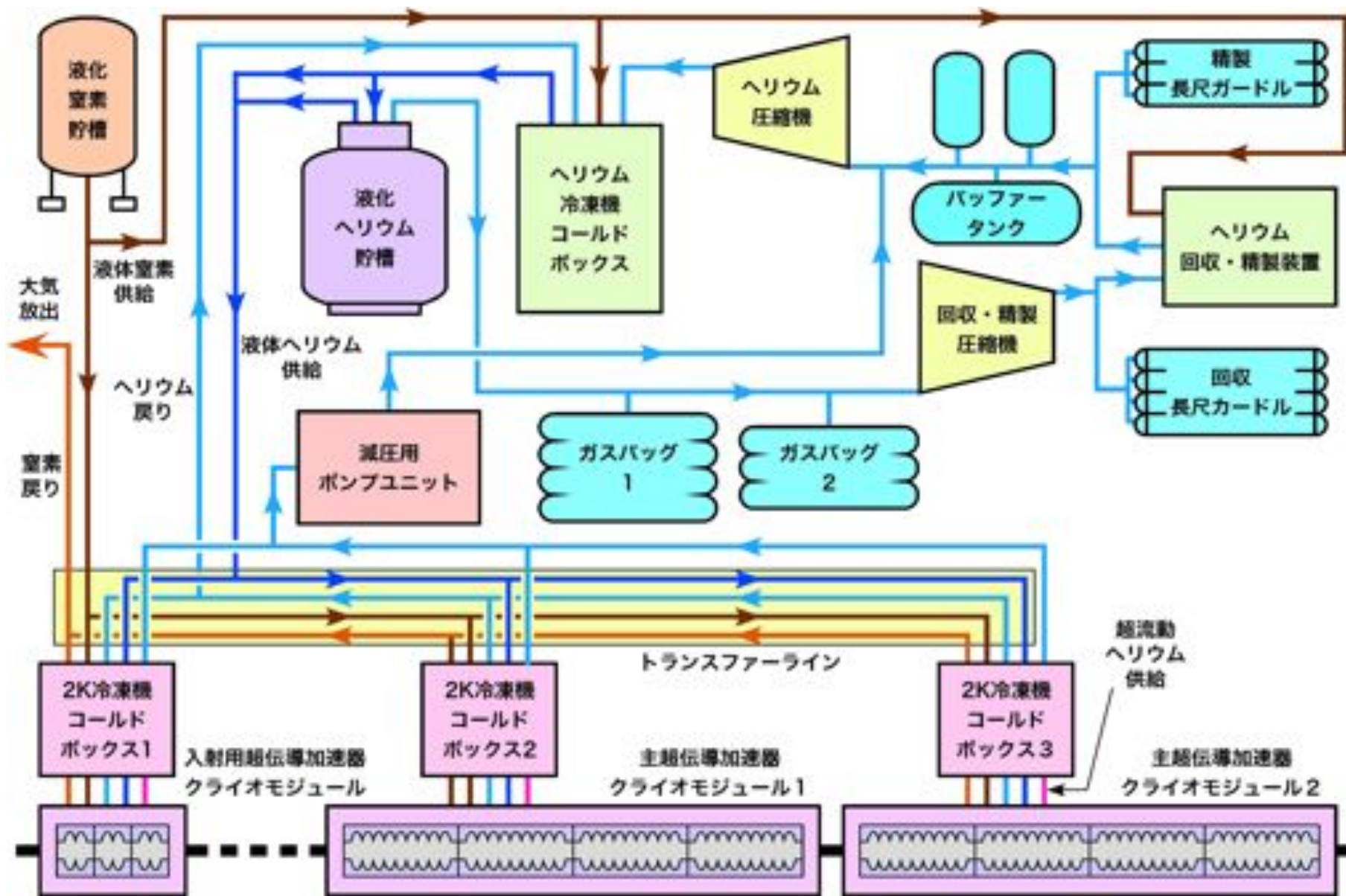
## 2Kコールドボックスとクライオモジュール



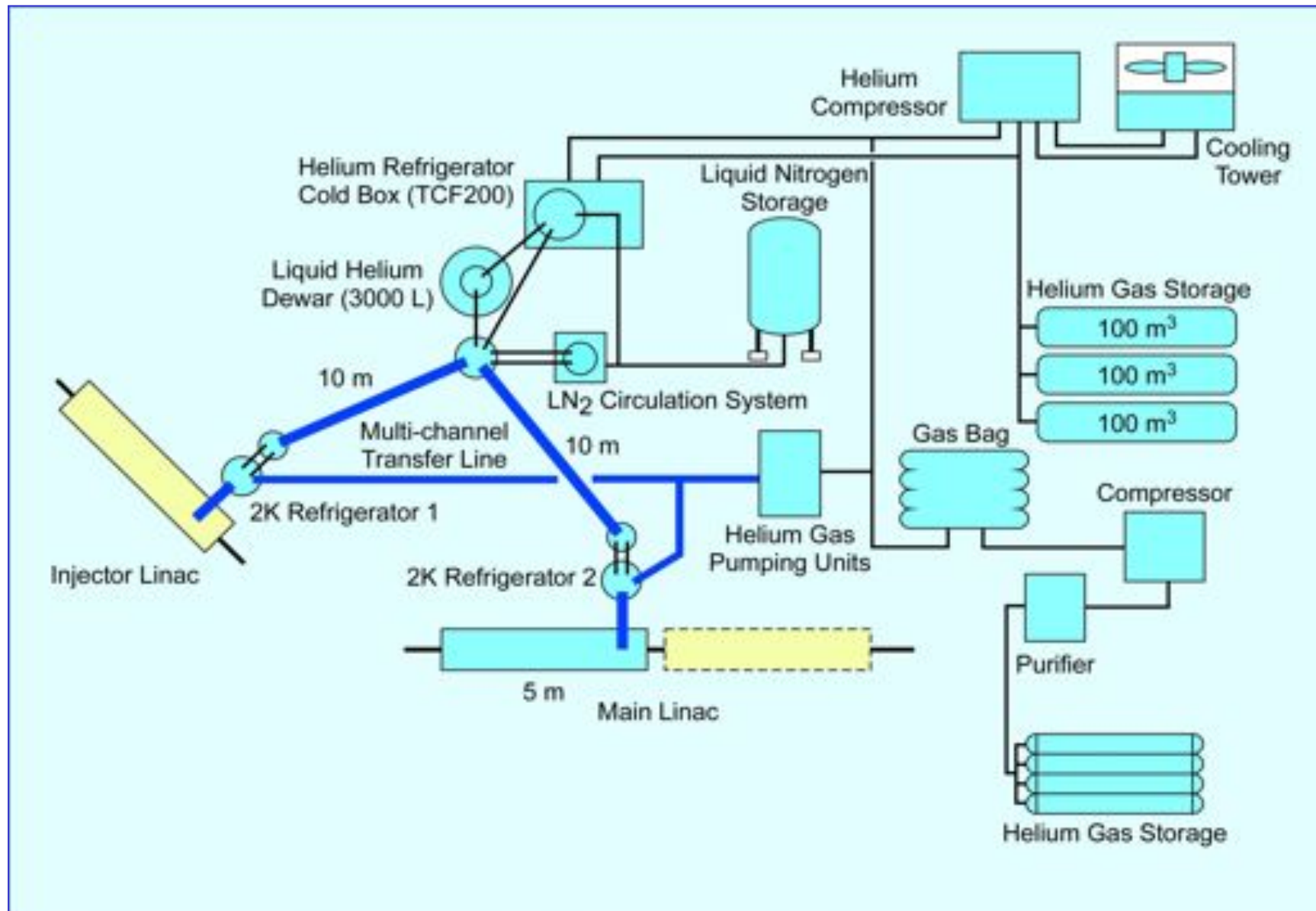
# ILC/STF用ヘリウム冷凍システム



# cERL用ヘリウム冷凍システム



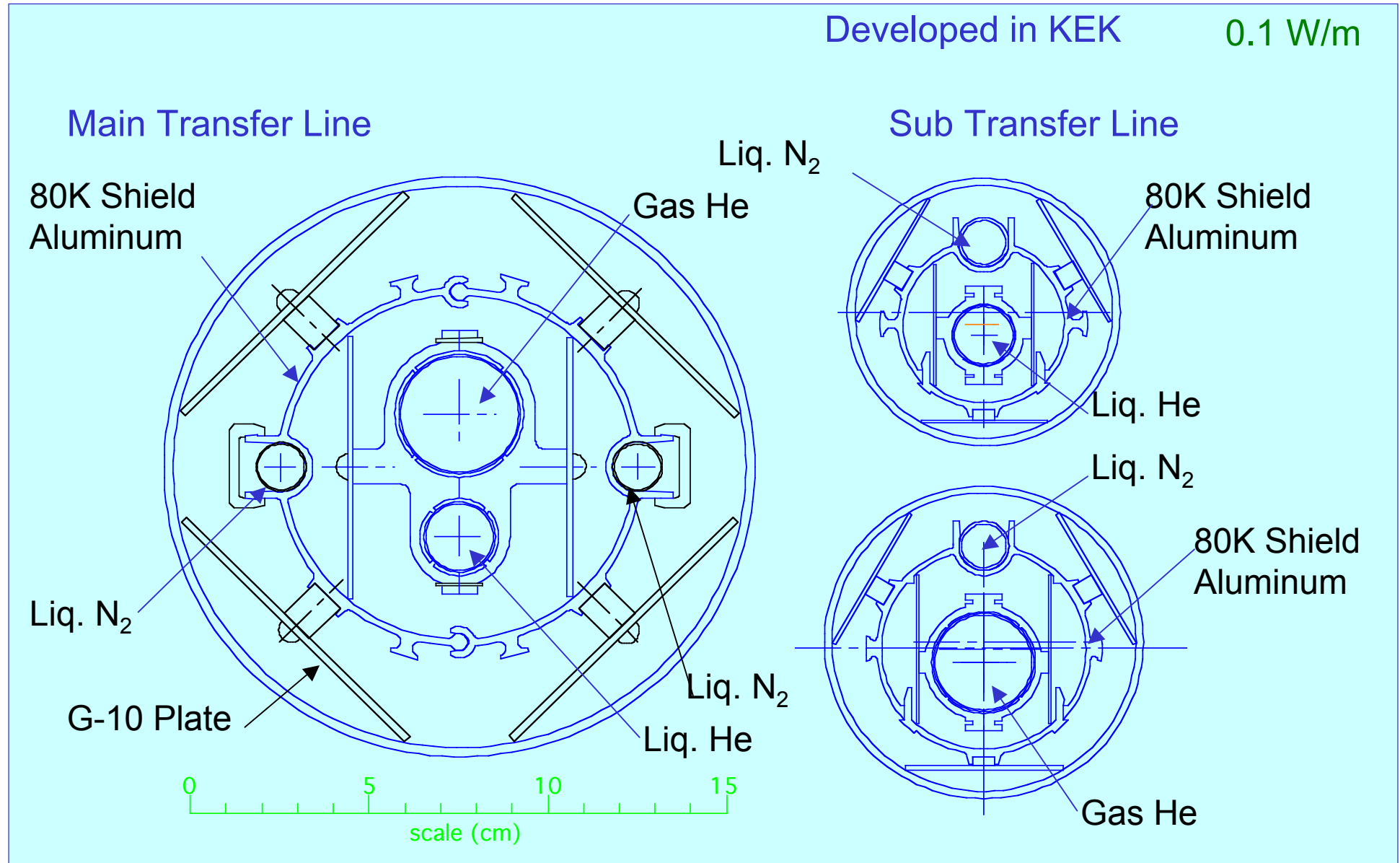
# cERL用2K冷凍システム配置図



# 高性能トランスファーライン

Developed in KEK

0.1 W/m



# トランスファーラインの製作



ヘリウムガス  
戻り

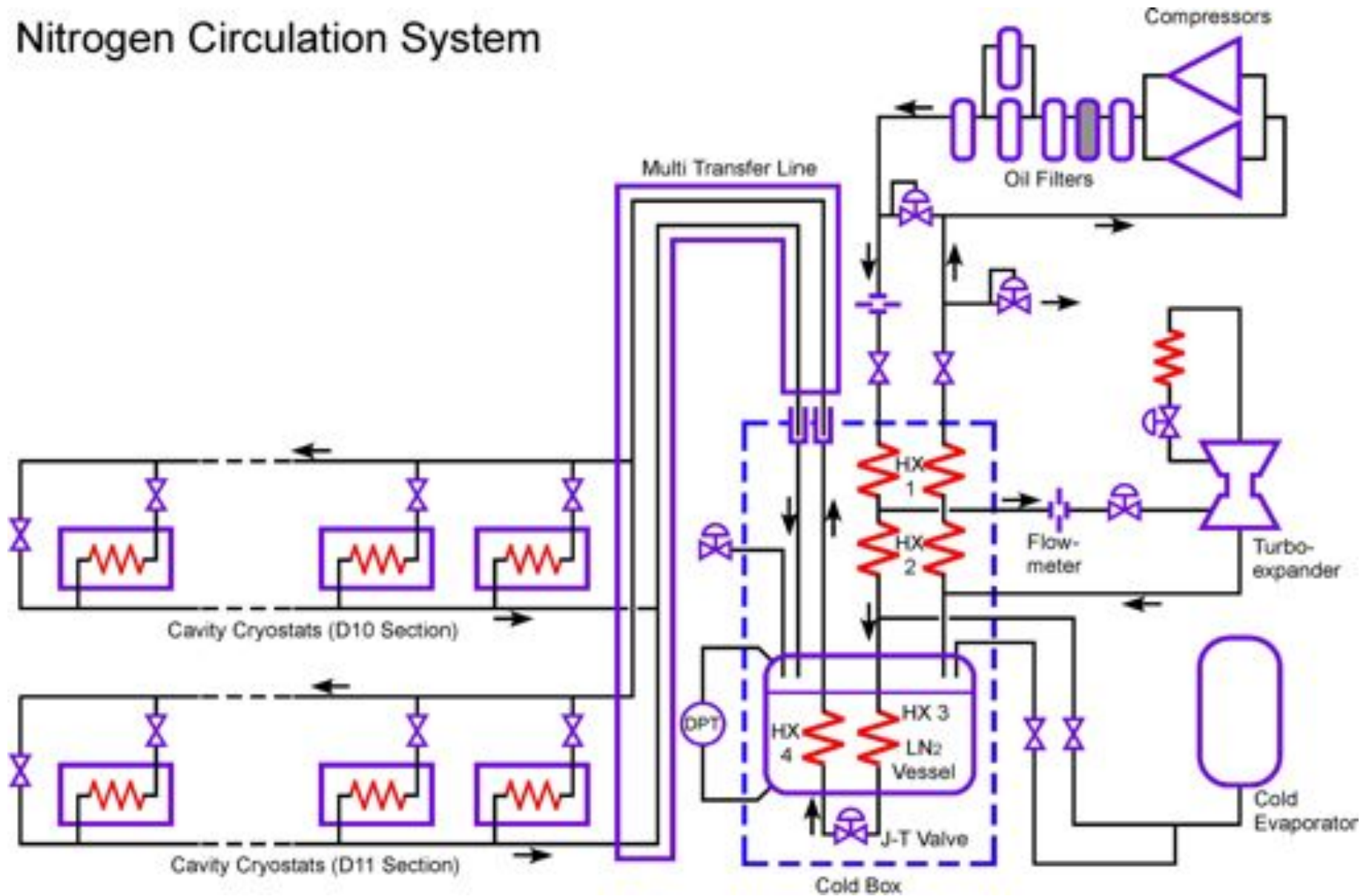
液体窒素  
戻り

液体ヘリウム  
供給

液体窒素  
供給

# 窒素循環装置 (KEKB)

## Nitrogen Circulation System







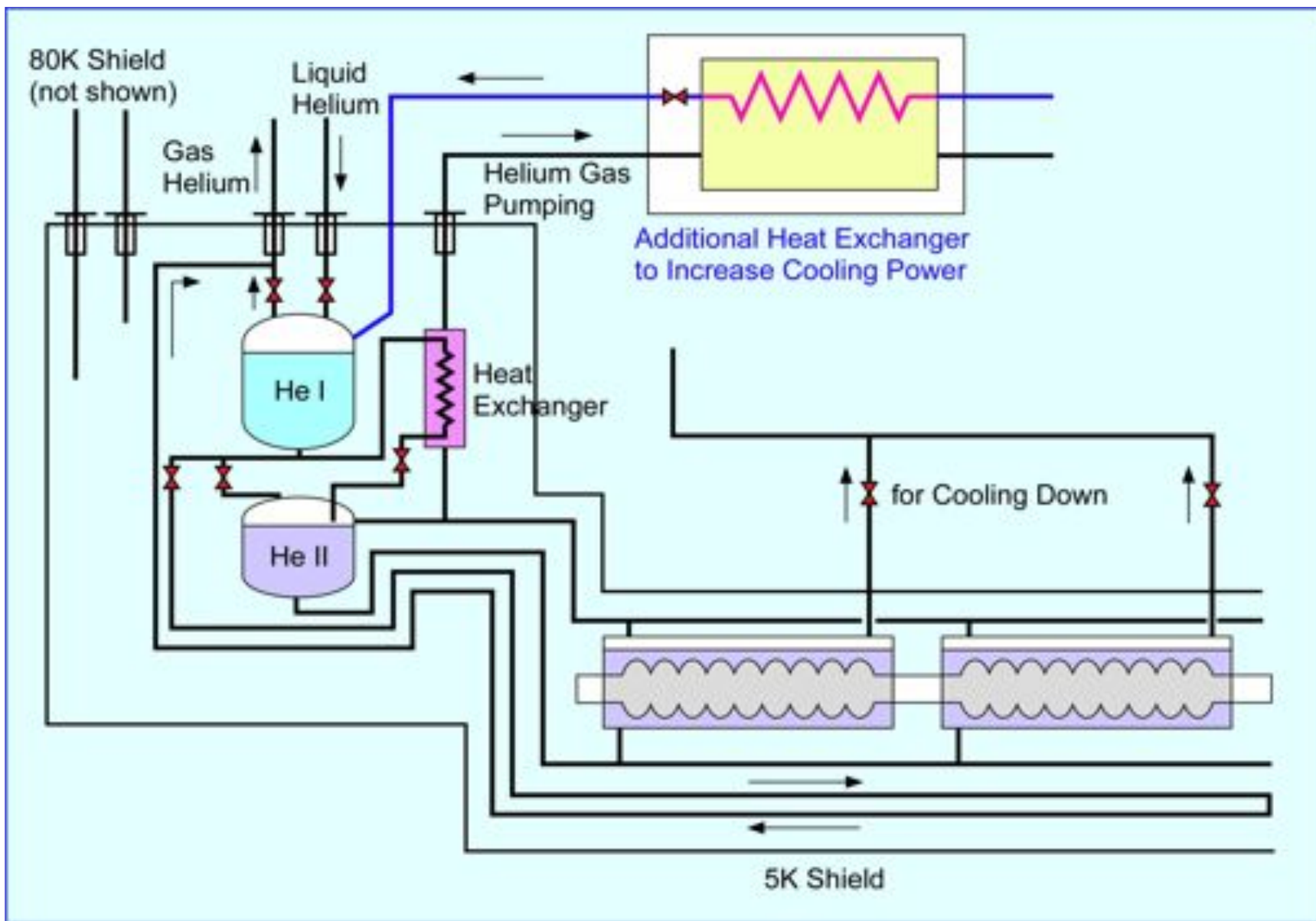
## 2Kヘリウム冷凍システムの注意点



## 2Kヘリウム冷凍システムの注意点

- 減圧装置の排気容量を非常に大きくする必要がある
  - 超流動ヘリウムの飽和蒸気圧が低い ( $< 5$  kPa)
  - 超流動ヘリウムの蒸発潜熱が小さい ( $\sim 20$  J/g)
- 蒸発したヘリウムガスのエンタルピー（寒冷）が無駄になる
  - 高効率の熱交換器で寒冷を回収・再利用
  - ヘリウム冷凍システムの冷凍能力向上

# 冷凍システムの増強詳細図





まとめ ●

## まとめ (1)

- 2Kの生成
  - 液体ヘリウムの減圧
  - Joule-Thomson弁（等エンタルピー膨張）
- 超流動ヘリウムによる冷却
  - 大容量のヘリウム減圧装置
  - 大容量の回収圧縮機
- 熱交換器による寒冷の回収・再利用
  - 冷凍システムの能力向上

## まとめ (2)

- 高性能トランスファーライン
  - 冷凍システムの熱負荷減少
- 窒素循環装置を用いた80Kシールド
  - 冷凍システムの熱負荷減少
  - 液体窒素の消費量抑制