

The Development of Cryomodule for c-ERL at MHI

Hiroshi Hara, Haruki Hitomi, Fumiaki Inoue, Katsuya Sennyu, Kohei Kanaoka, Takeshi Yanagisawa
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Mihara, 729-0393, Japan

Abstract

当社 MHI では、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にて建設されている cERL 設備において、入射部・主加速部の超伝導加速空洞モジュールの製造に取り組み、その状況について報告する。

KEK c-ERL 用超伝導加速空洞モジュールにおける MHI の取り組み状況

1. はじめに

次世代の放射光光源 ERL (Energy Recovery Linac) の実現の為、KEK では小型の ERL “コンパクト ERL” の開発が進められている (図 1)。

当社では、その基幹技術として必要とされる電子を高い電場で加速する高周波加速装置として、超伝導加速空洞とそれを搭載するクライオモジュールの製造に取り組み、入射部モジュール 1 台、主加速部モジュール 1 台の据付納入を完了した[1]。

現在は KEK にて冷却試験を経て、入射部モジュールのビーム加速試験が行われている。

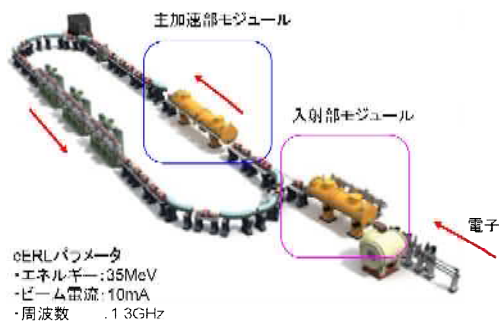


図 1 : コンパクト ERL 概略

2. 入射部モジュール

2.1 クライオモジュールの構成

全体を覆う容器はステンレス製で、その内側に 80K に冷却されるアルミシールドが取り付けられ、輻射熱を遮蔽する。80K シールドの内側には 5K の He を溜めることが可能なヘリウムパネルが収納されており 2 枚のパネル間を繋ぐ配管からインプットコブラヘサーマルアンカーをとっている。チタン製のジャケットを溶接された空洞 3 台はそれらの中心に配置されている (図 2 参照) [2]。尚、磁気シールドはジャケット内部にセルを覆うように設置されている。液体ヘリウム、液体窒素を供給・回収する配管は、ステンレス製で、高圧ガス委託検査に合格したものを使用している。

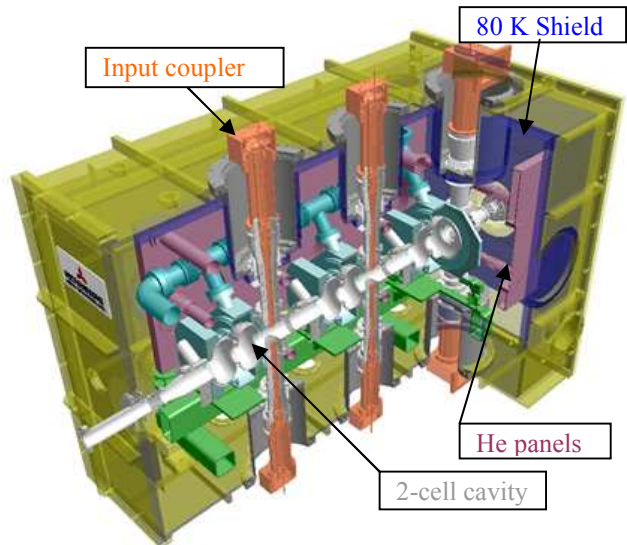


図 2 : 入射部モジュール全体構成

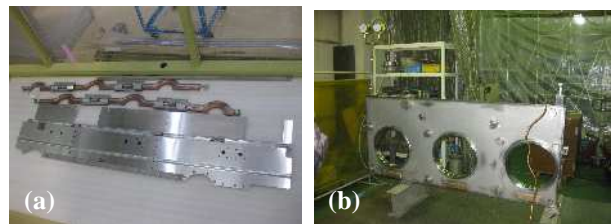


図 3 : 構成部品例。(a) 熱シールド・配管, (b) ヘリウムパネル。配管及びパネルは高圧ガス保安法対象機器である。

2.2 超伝導空洞

ニオブ製 2 連型超伝導加速空洞の外側には、チタン製のジャケットが取り付け、ジャケットと空洞の間に液体ヘリウムを溜めることで空洞を超伝導状態に保持する構造である。ジャケットは周波数調整用スライドジャッキチューナーが組みこめる様、コンパクトにしている。空洞の設計仕様は以下の通りであり、一般高圧ガス保安法に該当し、必要な検査に合格している。本空洞 3 台は KEK 内での単体の性能が確認されている[3]。

表 1：空洞の高圧ガス設計条件

設計温度	-271.4 ~ +30
設計圧力	0.031+0.1013 MPa
容積	0.006 m ³
PV 値	0.0008 (< 0.004) 一般則



図 4：高圧ガス保安協会立会検査の様子

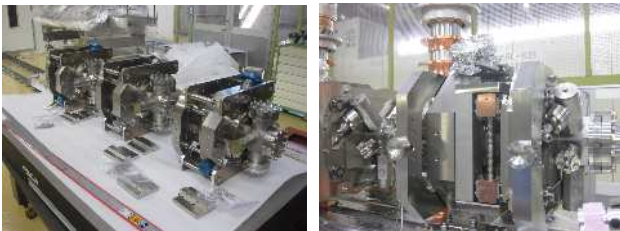


図 5：超伝導空洞(左図),周波数チューナ(右図)

2.3 入射器モジュールの組立・据付

H24 年 4 月にクリーンルーム内での空洞連結およびカプラ取付け作業が行われ、その後、約 1 ヶ月かけて空洞をクライオモジュールに収納し、6 月にビームラインへの設置を完了した。

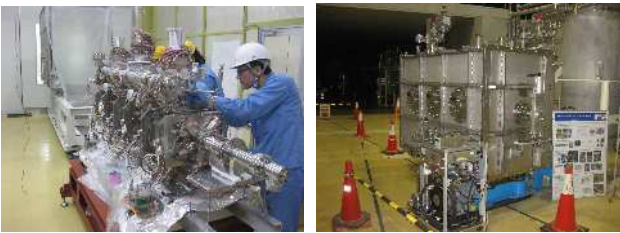


図 6：入射部モジュール組立・据付 (@KEK-ERL 開発棟)

2.4 入射器モジュールの冷却試験

H25 年 2 月に KEK にて大電力 RF 試験が行われた。CW 運転で 8MV/m, パルス運転で 15MV/m の加速電界の達成が確認された。

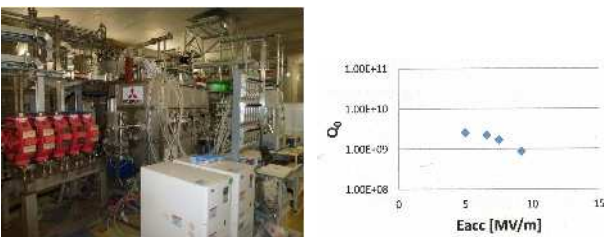


図 7：入射部モジュール冷却試験の様子

3. 主加速部モジュール

3.1 クライオモジュールの構成

全体を覆う容器はステンレス製で、その内側に 80K に冷却されるアルミシールドが取り付けられ、輻射熱を遮蔽する。容器内には、バックボーンと呼ばれる主構造体が収納されている。ジャケットに溶接された空洞は、5K に冷却されたフレームに固定された後、断熱・磁気遮蔽シールドで覆われ、バックボーン上に設置される(図 7 参照)[4]。液体ヘリウム、液体窒素を供給・回収する配管は、ステンレス製で、高圧ガス委託検査に合格したものを使用している。

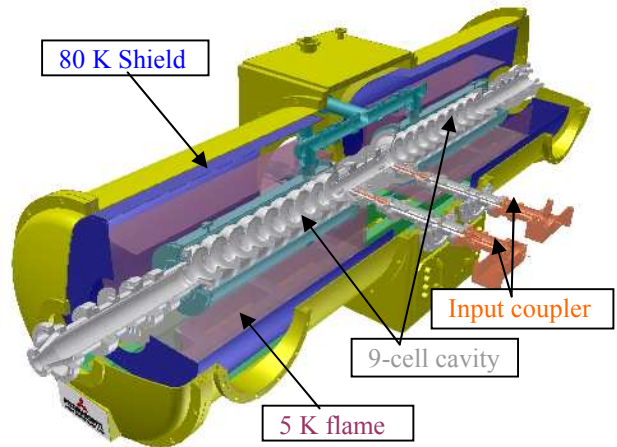


図 8：主加速部モジュール全体構成

3.2 超伝導空洞

ニオブ製 9 連型超伝導加速空洞の外側には、チタン製のジャケットが取り付け、ジャケットと空洞の間に液体ヘリウムを溜めることで空洞を超伝導状態に保持する構造である。空洞の設計仕様は以下の通りであり、高圧ガス保安法特定設備に該当し、必要な検査に合格している。本空洞 2 台は KEK 内での単体での性能が確認されている[5]。

表 2：空洞の高圧ガス設計条件

設計温度	-271.4 ~ +30
設計圧力	0.031+0.1013 MPa
容積	0.046 m ³
PV 値	0.0061 (> 0.004) 特定則

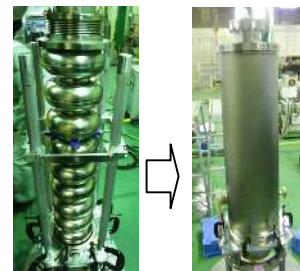


図 9：空洞ジャケット化の様子(9セル超伝導空洞のジャケット化前 空洞ジャケット化後)



図 10：高圧ガス保安協会立会検査の様子

3.3 主加速部モジュールの組立・据付

H24 年 8 月にクリーンルーム内での空洞連結およびカプラ取り付け作業が行われ、その後、約 1 ヶ月かけて空洞をクライオモジュールに収納し、10 月にビームラインへの設置を完了した。

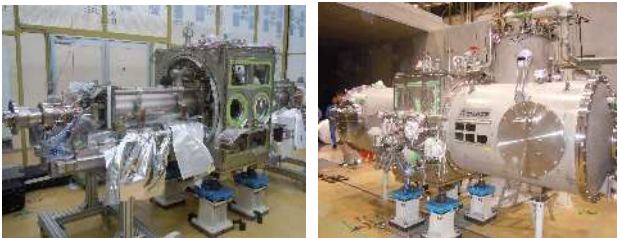


図 11：主加速部モジュール組立・据付
(@KEK-ERL 開発棟)

3.4 主加速部モジュールの冷却試験

H25 年 12 月に KEK にて大電力 RF 試験が行われ、た。CW 運転で 14MV/m の加速電界の達成が確認された。

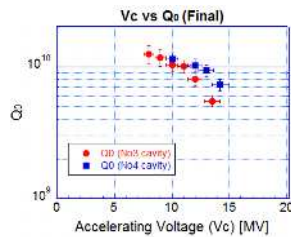


図 12：主加速部モジュール冷却試験の様子

4. まとめ

当社は KEK における cERL 建設において以下に取り組んだ。

- 入射部用 2 連型超伝導空洞を開発し、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則に対応した実機 3 台を製作した。
- 主加速部用 9 連型超伝導空洞を開発し、高圧ガス保安法特定設備検査規則に対応した実機 2 台を製作した。
- 入射部用 2 連型超伝導空洞 3 台を収納する入射部モジュール 1 台を製作し、組立・据付・納入を完了した。
- 主加速部用 9 連型超伝導空洞 2 台を収納する主加速部用モジュール 1 台を製作し、組立・据付・納入を完了した。

参考文献

- [1] H. Hitomi, et al., “Fabrication of Superconducting RF Cavity at MHI”, ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011), WG3002
- [2] S. Noguchi, et al., “Injector Cryomodule for cERL at KEK”, ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011), WG3
- [3] K. Watanabe, et al., “Progress of cERL injector cavities at KEK”, ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011), WG3005
- [4] K. Umemori, et al. “Development of main linac cavity for cERL project”, ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011), WG3
- [5] T. Furuya, et al., “Cryomodule of KEK-ML cavity”, ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011), WG3