

横型クライオスタットの開発状況

2014/5/16

ERL検討会

梅森 健成

横測定スタンド(大電力試験&冷却試験)計画案

AR東第2実験棟に、STF-9cell, ERL-9cell, ERL-2cell, その他超伝導空洞をターゲットとした横測定スタンドを建設し、大電力試験ならびに冷却試験が行えるように整備する。

目的①

モジュールアセンブリ技術の確立

大電力試験を行い、アセンブリ時の各工程でのゴミ混入のリスク評価を行う

[例] HOM damper取付
Input coupler取付
Gate valve取付
Input coupler aging など

性能劣化の原因となり得る工程に対し、治具の改良、作業の見直し等の対策を講じる

大電力試験にて、性能向上を確認する

目的②

モジュール要素開発の効率化

冷却試験により、クライオモジュールの各要素開発を効率よく進める。

[開発要素・測定の実例]

各要素の入熱・温度測定
チューナー動作試験
冷却化でのHOM測定
入力カップラーの試験
磁気シールドの開発
アラインメントの確認
コネクタの開発
ケーブルの試験 など

テストスタンドを用いることで、数か月周期での開発が可能となる

目的③

モジュール組込前の最終試験

モジュール組込前の空洞に対し、HOM damper、Input coupler等フル装備の状態での大電力試験を行い、空洞性能の最終確認を行う

性能が良ければ、そのまま組み込む(damperやcoupler連結のまま)。アセンブリ時の性能劣化のリスクを削減することが可能

場所: AR東第2実験棟に展開

- He回収ライン配管済み
- 減圧ポンプは保守して使用
- デュワーによりHe供給
⇒ Heは開放系で使用
- 放射線シールドは新規建設

建設・実験計画

- 2013～2014年度に建設
- 2014年中に、冷却試験ができるよう整備(まず冷却性能の確認)
- その後、大電力での試験もできるように整備

横測定スタンドの例 HoBiCaT (BESSY)



ERL空洞 縦測定～モジュール試験までの作業工程

[モジュールアセンブリ前]

1. 縦測定スタンドにて真空状態で保管
2. ジャケット化に備えArパージ
3. ジャケット化に備えフランジ交換(最後はAr flowしながらバルブ封止)
4. MHIとの間の輸送(空洞内はAr封止)
5. MHIにてジャケット化(空洞内はAr封止)

[モジュールアセンブリ]

6. HOM damper、beampipeの組立・ベーキング
- 7. 空洞とHOM damperの連結(空洞内Ar flow)**
8. 組立時のAr flow
- 9. 空洞とinput couplerの連結(空洞内Ar flow)**
10. リークテスト → Arパージ
- 11. ゲートバルブ接続(クリーンブース、空洞内Ar flow)**
12. リークテスト → Arパージ

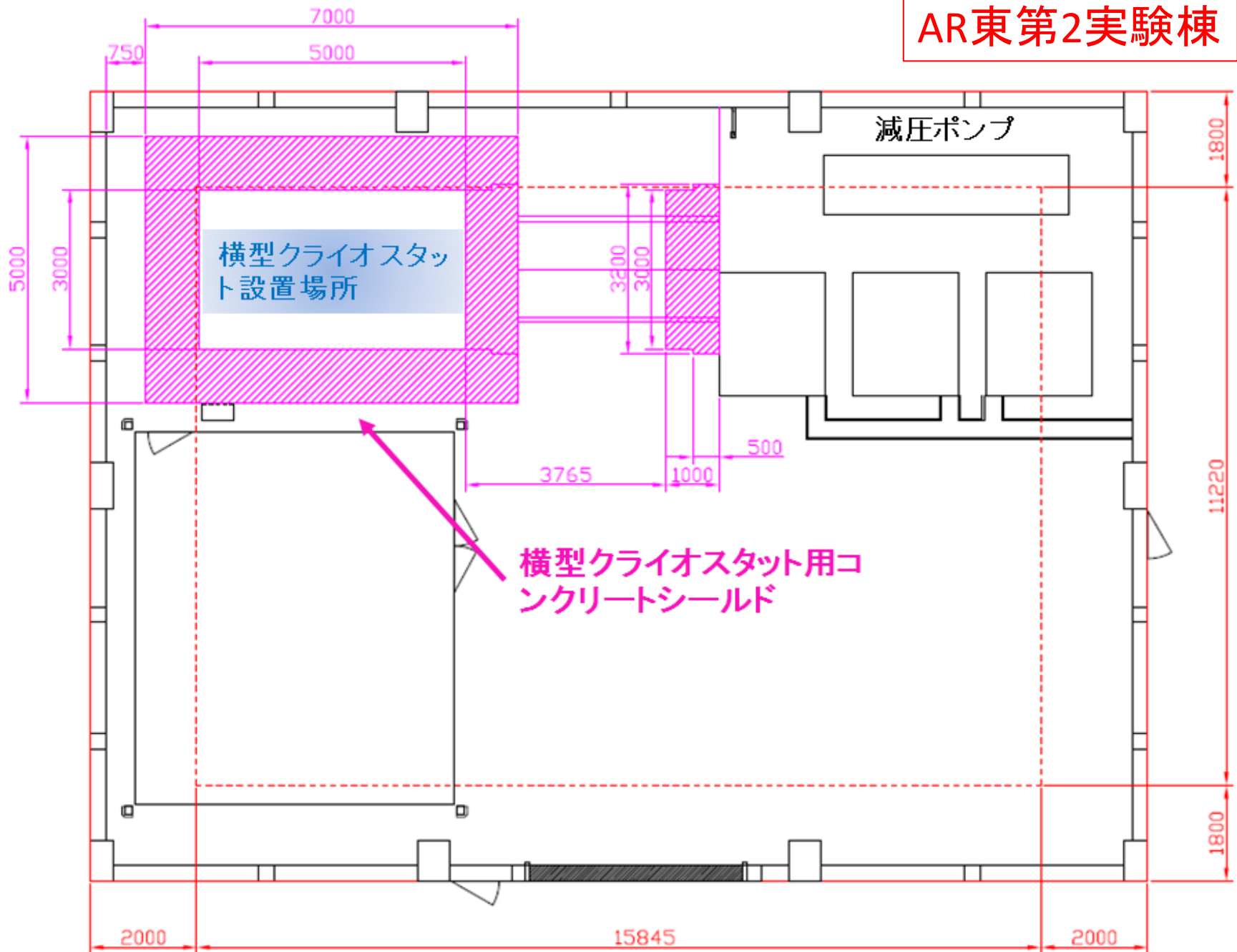
[モジュールアセンブリ後]

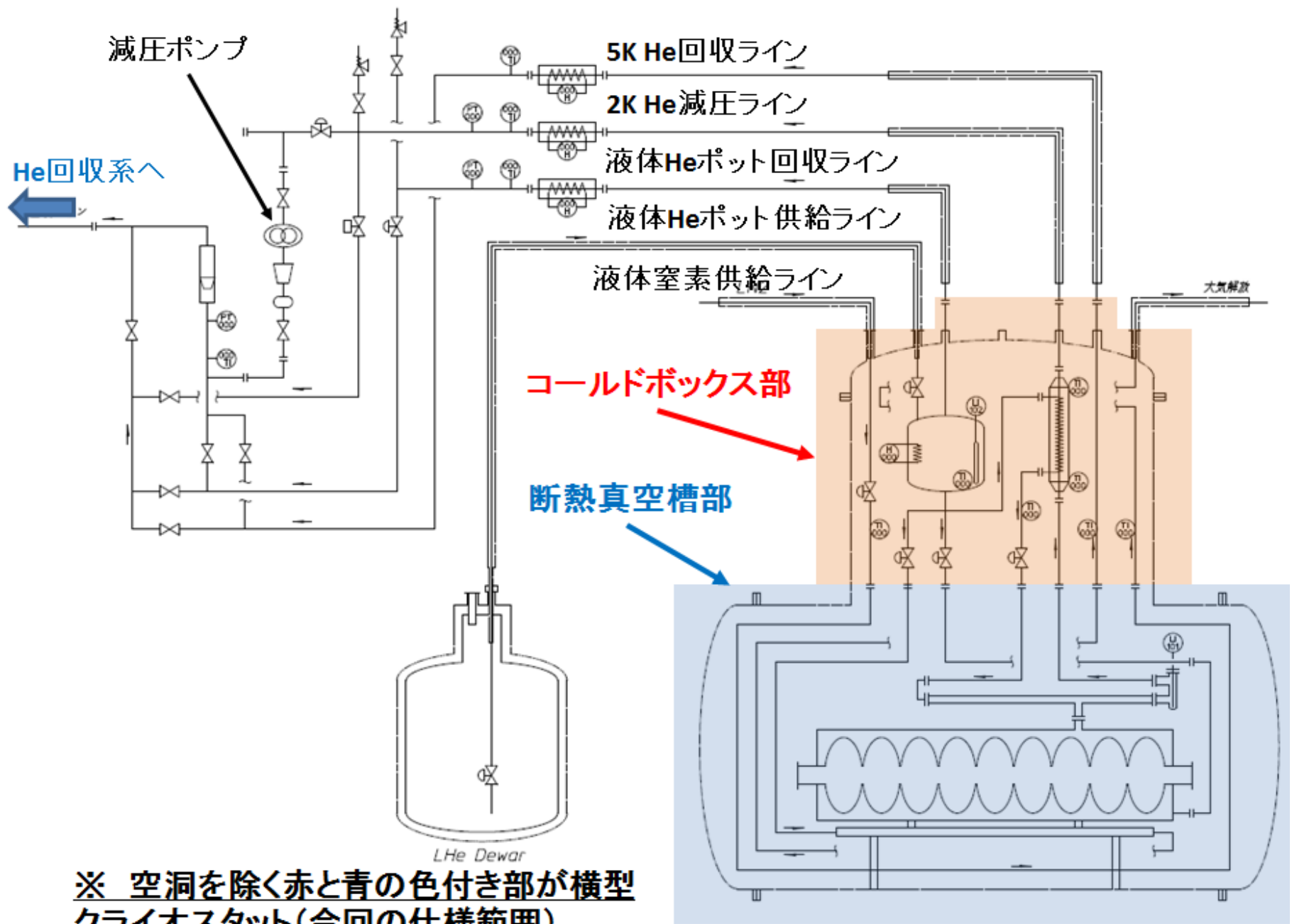
13. シールド内への移動(空洞内はAr封止)
14. 空洞内の真空引き
- 15. Coupler aging**
16. 冷却

縦測定にて、それぞれの工程の確認作業を行っている

横型クライオスタットにて、それぞれの工程の確認作業

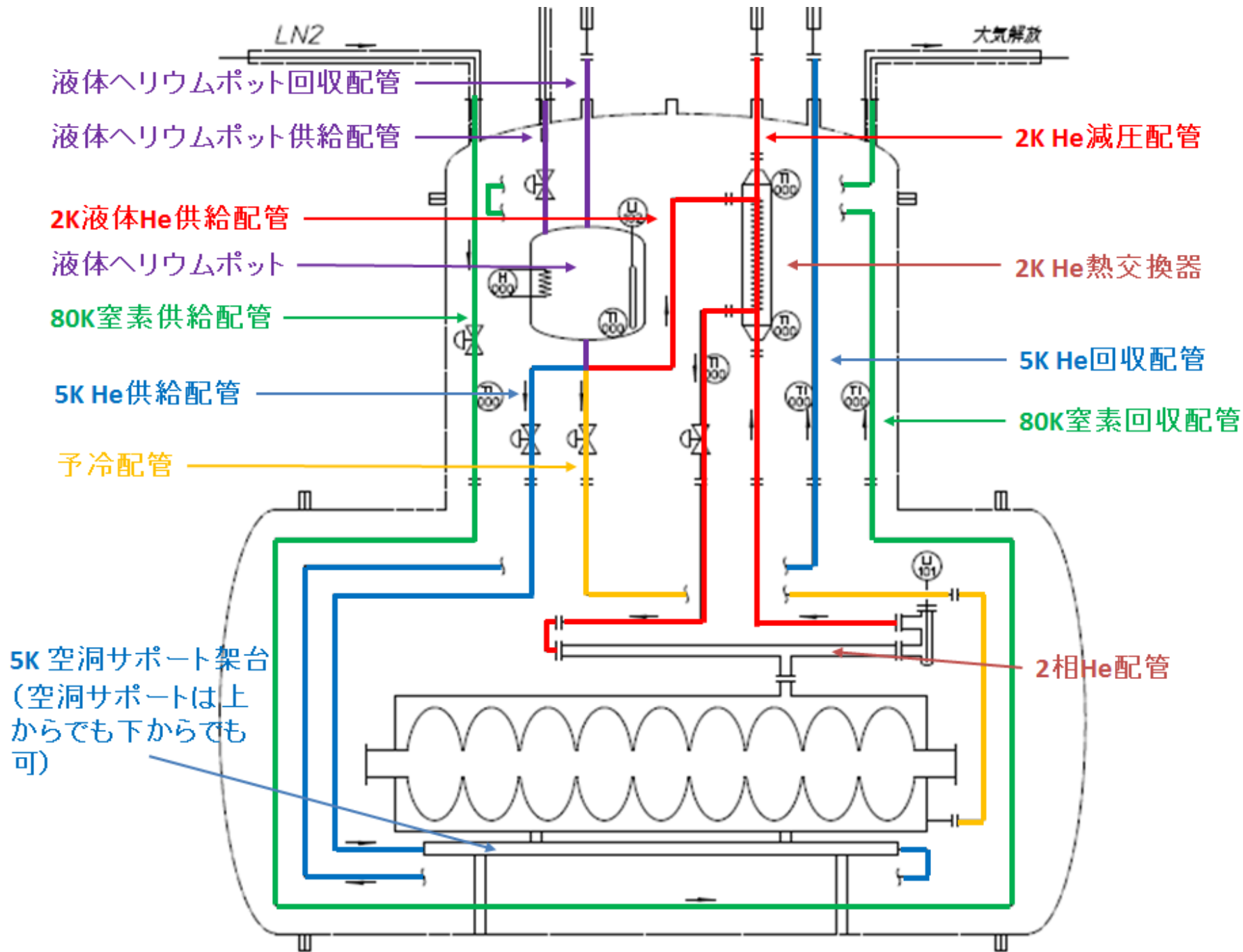
AR東第2実験棟





※ 空洞を除く赤と青の色付き部が横型クライオスタット(今回の仕様範囲)

横型クライオスタットおよび周辺機器の概要図



横型クライオスタット概要図

断熱真空槽の仕様

- 全長3000mm、直径1000mm(内径)
- 両端は開閉可能な蓋とする
- 高さ:断熱真空槽中心が800mm、断熱真空槽上部が1400mm程度
- 真空槽上部に、コールドボックス部を設ける。
- 両サイドに4カ所ずつ、計8か所の入力カップラー&チューナー用ポート(直径500mm程度)
- 液面計、モニター用信号線取り出しポートを5、6カ所設ける

- 断熱真空槽本体は室温、その内側に80Kシールドを設ける
- 5Kシールドは設けないが、空洞下部のテーブルは5Kとする
- 空洞本体は5Kテーブルからサポート。ただし、空洞と5Kの間は断熱。
- 空洞インストール用に、この5Kテーブルを可動式とする
 - 空洞および付帯設備は、できるだけ真空層外部で組み立ててから、クライオスタットにインストール
- 5Kおよび80K温度アンカーが取れるようにすること

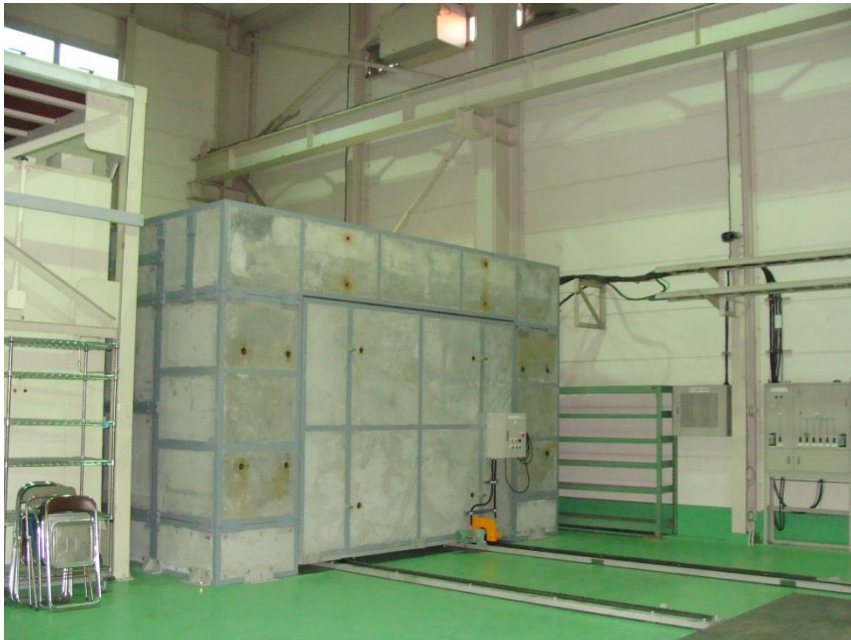
設計時に想定する空洞/設備

- まずは、ジャケット付きSTF-9セル空洞にて測定を行うことを想定して設計。
- 2相He配管等、必要な付帯部品も製作する。
- 磁気シールドは今回製作しない。(空洞側についているため)
- ERL-9セル空洞、ERL-2セル空洞やその他空洞においても、一部部品を交換すれば測定が行えるよう、考慮して設計。
- 入力カップラー、HOMダンパー/HOMカップラー、周波数チューナー、ビームパイプ、ゲートバルブ等を装着しての測定を考慮。

横型クライオスタットの現状

- 現在、部品製造を開始しているとともに、最終設計を詰めている段階
- 工場組み立て試験の後、7月に納品を予定
- コンクリートシールドは、既に3月に完成済み
- 減圧用排気ポンプはメンテナンス済み(加古さん)
- HeおよびN₂用配管は、冷凍機グループを中心に準備を進めている
- 制御系、モニター類、測定系などの準備を今後進める必要がある
- 今年中の冷却試験を目標

AR東第2実験棟の現状





冷却時のHeおよび窒素消費量の検討

- 運用時は、HeおよびN₂のデュワーから液供給を行う
- 冷却時、ならびに運転中の液体ヘリウムならびに液体窒素の消費量を見積もった。

冷却に必要な冷媒消費量の見積(潜熱のみ使用)

	主なコンポーネント	材質・重量 (ラフに)	必要な寒剤の量	
			300Kからの冷却の場合	77Kからの冷却の場合
2K	ジャケット付き空洞、配管	SUS相当 100kg?	He: 3360 litter	He: 144 litter 予冷N2: 53 litter
5K	5Kテーブル、4Kポット、配管 (Coupler, damper, tuner...)	アルミ相当 50kg?	He: 3320 litter	He: 160 litter 予冷N2: 50 litter
		SUS相当 50kg?	He: 1180 litter	He: 72 litter 予冷N2: 27 litter
80K	80Kシールド、配管 (Coupler, damper...)	アルミ相当 10kg?	N2: 10 litter	
		SUS相当 50kg?	N2: 26.5 litter	
合計			He: 7860 litter N2: 36.5 litter	He: 376 litter N2: 36.5 litter + 予冷N2: 130 litter

・ 2Kおよび5Kコンポーネントを室温から冷やす方式では、He使用量が尋常でなくなる。

・ **2Kおよび5Kは、80K近くまで予冷しておくことが必須!!!**

⇒ He循環装置を用意(循環するHeとN2の間で熱交換)

試験時の消費量(static loss)の見積

- Heラインへの入熱
 - モジュールへの入熱: 10(~20)W程度
 - トラチューへの入熱: 10W程度
 - Static loss合計で20W程度? ⇒ 28litter/h
 - 10時間で280 litterのHe消費か
- N2ラインへの入熱
 - < 1kW以下と思われる
 - 1kWだとして、23litter/h
 - 1日で500 litter程度のN2消費か

He: 30litter/h程度、N2: 30litter/h程度のstatic lossが予想される。
運用可能な範囲内ではあるか。

まとめ

- AR第2実験棟に、横型クライオスタットを立ち上げるべく準備中
- 主な目的は以下の通り
 - ① モジュールアセンブリ技術の確立
 - ② モジュールの要素開発の効率化
 - ③ モジュール組込前の最終試験
- L-band 9cell空洞に限らず、大きさが許せば、他の空洞も試験ができるように設計
- コンクリートシールドは3月末に完成
- 横型クライオスタット本体も、既に部品製造を開始。最終の詳細設計を詰めている。
- 工場組み立て試験の後、7月に納品を予定
- まずは、STF-9cell空洞を用いて、年内に冷却試験

コメント

- 冷却試験がOKであれば、大電力試験に向けた準備を進める
- ローレベル系、測定系、パワーソースなど
- X線発生装置としての対応も必要
- ジャケット付きの空洞は、現在STF空洞のみ
- HOM damper, input couplerなどに関するのアセンブリ試験は、まずは何かしらのダミーを用いながらできる範囲で行う。
- 本格的に試験を行おうと思うと、ジャケット付き空洞を始めとして、HOM damper, input coupler, gate valveなどの一式のコンポーネントが必要になる。

ちょっとついでに、最近の結果を少し紹介

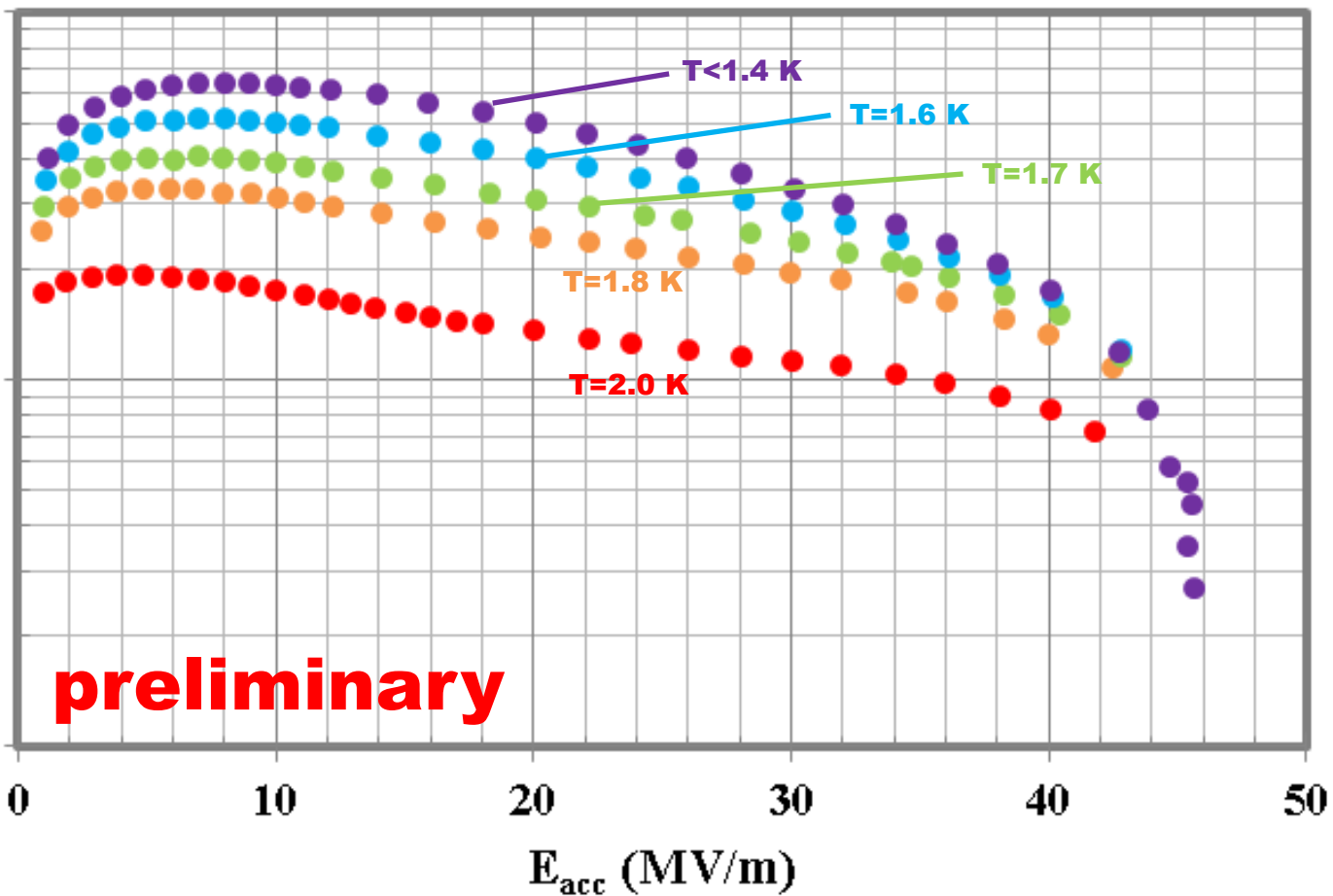
機械工学センターで製作した
Large grain単セル空洞の縦測定結果

In-house production of large-grain 1-cell cavity at Cavity Fabrication Facility in KEK



Q_0 1E+10

1E+09



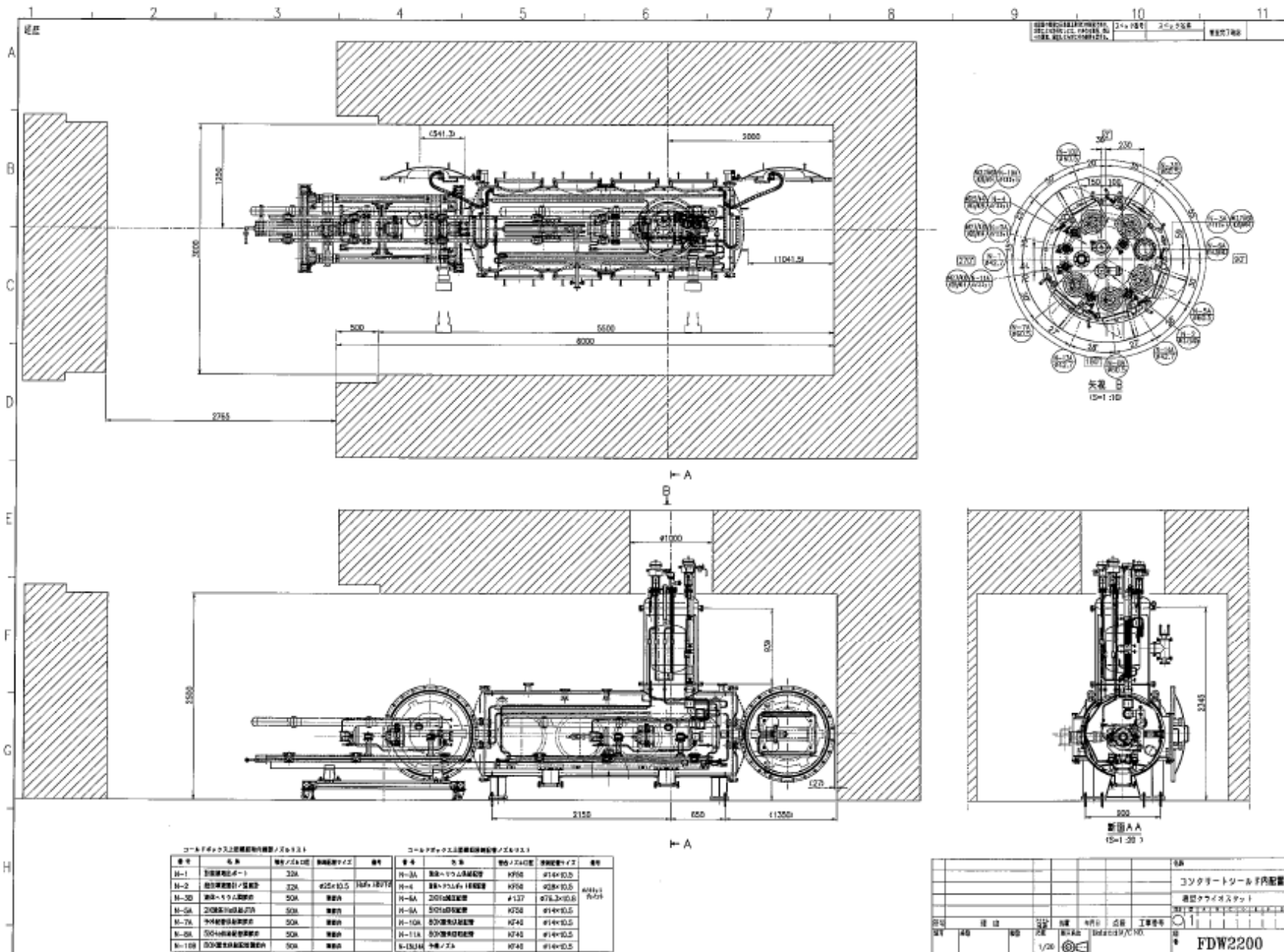
Backup slide

金属を冷却するための寒剤使用量 (超伝導・低温工学ハンドブックより)

寒剤	被冷却物質	潜熱だけの場合に 必要なヘリウム量(最大) [litter] or [kg]	潜熱+顕熱を用いた場合に 必要なヘリウム量(最少) [litter] or [kg]
液体ヘリウム 300K ⇒ 4.2K	ステンレス 1kg	33.6 litter / 4.2 kg	0.80 litter / 0.1 kg
	アルミ 1kg	66.4 litter / 8.3 kg	1.60 litter / 0.2 kg
液体ヘリウム 77K ⇒ 4.2K	ステンレス 1kg	1.44 litter / 0.18 kg	0.10 litter / 0.013 kg
	アルミ 1kg	3.20 litter / 0.4 kg	0.22 litter / 0.028 kg
液体窒素 300K ⇒ 77K	ステンレス 1kg	0.53 litter / 0.43 kg	0.33 litter / 0.23 kg
	アルミ 1kg	1.0 litter / 0.81 kg	0.63 litter / 0.51 kg

実際には、どれだけ顕熱が使えるのかよくわからないので、潜熱のみ用いて冷却する事を考えて検討する

おまけ



コンタートワーク内配組立
 2014.08.28
 2014.08.28
 2014.08.28

品名	数量	単位	規格	備考	品名	数量	単位	規格	備考
H-1	324	個			H-3A	1908	個	φ14×10.5	
H-2	324	個	φ25×10.5	15M/18075	H-4	1908	個	φ28×10.5	15M/18075
H-3D	504	個			H-5A	4127	個	φ7.3×10.5	
H-7A	504	個			H-6A	1908	個	φ14×10.5	
H-7B	504	個			H-10A	1740	個	φ14×10.5	
H-8A	504	個			H-11A	1740	個	φ14×10.5	
H-10B	504	個			H-12A	1740	個	φ14×10.5	

コンタートワーク内配組立
 2014.08.28
 2014.08.28
 2014.08.28

FDW2200

1/20

2014.08.28

アセンブリ試験のシナリオの例
(物は一通り揃っていると仮定する)

HOM, GVの試験の例

試験回数	Component	試験の目的、およびコメント
0	空洞単体(縦測定)	空洞単体での性能確認 ⇒基準となる空洞性能の確認
		Q~1e10の固定入力ポートを用意? (横測定でもそのまま使用することを考えた場合。縦測定用の可動型の横向き使用は、かえってゴミ混入のリスクあり?)
1	空洞+HOM	ERLクリーンルームにてHOMを取り付けての性能確認 ⇒HOM取付による空洞性能の変化の確認
2	空洞+HOM+GV	簡易ブースにてGVを取り付けての性能確認 ⇒GV取付による空洞性能の変化の確認

※ 一通りの試験は2~3ヶ月で可能。状況に応じて何回か繰り返す。

Input couplerの試験の例

試験回数	Component	試験の目的、およびコメント
0	空洞単体(縦測定)	空洞単体での性能確認 ⇒基準となる空洞性能の確認
		Q~1e10の固定入力ポートを用意？
1	空洞 + Coupler + ショート板	ERLクリーンルームにて入力カップラーを取り付けての性能確認 ⇒入力カップラー取付による空洞性能の変化の確認(できればエージング前)
		ショート板でも、窓の部分には数kWの定在波が立つから、エージングしているのと一緒に？
---	空洞 + Coupler	常温または低温でエージング
2	空洞 + Coupler	エージング後の空洞性能の確認 ⇒エージングによる空洞性能の変化の確認

※ 一通りの試験は3~4ヶ月で可能。状況に応じて何回か繰り返す。

全体試験の例

試験回数	Component	試験の目的、およびコメント
0	空洞単体(縦測定)	空洞単体での性能確認 ⇒基準となる空洞性能の確認
1	空洞+HOM+Coupler(+GV)	Input coupler, HOM, GV等、フル装備での空洞性能の確認 ⇒トータルのアセンブリ技術の確認
2~	同上	上記試験を繰り返す 繰り返すことにより経験を積む

※ 一通りの試験は2~3ヶ月で可能。状況に応じて何回か繰り返し。

物が揃っていない場合にどうするか？

- ジャケット付き空洞、磁気シールドが無い場合
 - STF空洞での試験を検討
- 入力カップラーが無い場合
 - ブランクを打って試験をすれば良い。入力ポートは別で用意。当然、カップラーの試験はできないが。
- HOMダンパーが無い場合
 - フェライト無し、フランジ有りの試作機を使用
 - フェライト有り、フランジ無しの試作機にフランジを取り付けて使用
- ゲートバルブが無い場合
 - 簡易クリーンブースで、ブランクフランジの取付等で、作業環境の試験は可能
- 周波数チューナーが無い場合
 - 空洞長のストッパーは用意すること
- アライメント治具が無い場合
 - 他の試験には問題無い
- ケーブル・コネクタ類(試験用)が無い場合
 - 他の試験には問題無い

モジュール組立直前の最終性能試験 のシナリオの例 (物は一通り揃っていると仮定する)

組立直前の最終試験の例

試験回数	Component	試験の目的、およびコメント
0	空洞単体(縦測定)	空洞単体での性能確認 ⇒基準となる空洞性能の確認
1	空洞+HOM+Coupler(+GV)	Input coupler, HOM, GV等、フル装備での空洞性能の確認 ⇒最終の空洞性能の確認 OKであれば“4”へ NGであれば“2”へ
2	再処理	ばらして、HPRもしくはEP/Cpにて再処理
2'	(縦測定)	縦測定にて空洞性能確認
3	空洞+HOM+Coupler(+GV)	※ 空洞性能がでるまで、2~3を繰り返す
4		Input coupler, HOM, (GV)等を接続したまま、クライオモジュールへ組み込み

※ 一通りの試験は2~3ヶ月で可能。再処理必要なら、さらに2~3か月。