JAEA-Testing
2012-005

JAEA-Testing

中性子散乱実験用試料環境装置の紹介

Introduction of Sample Environment Equipment for Neutron Scattering Experiments

下条 豊　井畑 良明　金子 耕士　武田 全康

Yutaka SHIMOJO , Yoshiaki IHATA , Koji KANEKO and Masayasu TAKEDA

量子ビーム応用研究部門
量子ビーム材料評価・構造制御技術研究ユニット

Materials Science Research Division
Quantum Beam Science Directorate

February 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

JAEA-Testing 2012-005

中性子散乱実験用試料環境装置の紹介

日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門　量子ビーム材料評価・構造制御技術研究ユニット
下条　豊・井畑　良明※・金子　耕士・武田　全康

(2012 年 12 月 12 日受理)

中性子ビーム利用実験は、中性子の特性を活かし、主に温度・圧力・磁場・応力・電場およびそれらの複合環境下等の特殊環境下において行われている。これらの試料環境を作りだすために、JRR-3 では、冷凍機や高温炉、強磁場発生装置等の試料環境装置が整備されている。

本書では、JRR-3 ガイドホール及び炉室にある各種試料環境装置の仕様、特性についてまとめて記す。この資料がユーザーの実験実施の一助となることを目的としている。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
※技術開発協力員

JAEA-Testing 2012-005

Introduction of Sample Environment Equipment for Neutron Scattering Experiments

Yutaka SHIMOJO , Yoshiaki IHATA※, Koji KANEKO and
Masayasu TAKEDA

Materials Science Research Division
Quantum Beam Science Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 12, 2012)

Neutron scattering experiments have been frequently performed under variety of sample conditions, such as various temperatures, pressures, magnetic fields and stresses, and those complex conditions to fully utilize superior properties of neutron. To this aim, a number of sample environment equipment, refrigerators, furnaces, pressure cells, superconducting magnets are equipped in JRR-3 to be used for experiments.

In this document, all available sample environment equipment in both JRR-3 reactor and guide halls are summarized. We hope this document would help neutron scattering users to perform effective and excellent experiments.

Keywords : Neutron Scattering, Sample Environment, Superconducting Magnet, Cryostat, Furnace, JRR-3

※ Collaborating Engineer

目次

１．概要 ····· 1

２．汎用4K・10K・特殊GM型冷凍機 ····· 2
２．１　10KCTI　G-01 ····· 5
２．２　10KCTI　R-01 ····· 8
２．３　10KCTI　R-02 ····· 11
２．４　10KCTI　R-03 ····· 14
２．５　4KSS07　G-01 ····· 17
２．６　4KSS07　R-01 ····· 20
２．７　4KSJ08　G-01 ····· 23
２．８　4KTN01　G-01 ····· 26
２．９　4KTN01　G-02 ····· 29
２．１０　800KRG　G-01 ····· 32

３．特殊機器 ····· 35
３．１　10T(13.5T)用4K冷凍機 ····· 37
３．２　^{3}Heクライオスタット ····· 38
３．３　オレンジクライオスタット ····· 39
３．４　mKクライオクーラー ····· 41
３．５　5T縦磁場超電導磁石用希釈冷凍機 ····· 42
３．６　10T(13.5T)用希釈冷凍機 ····· 43

３．７　10T縦磁場超電導磁石 ····· 44

３．８　13.5T縦磁場超電導磁石 ····· 45

３．９　5T縦磁場超電導磁石 ····· 46

３．１０　5T横磁場超電導磁石 ····· 47

３．１１　1T水冷常電導磁石 ····· 48

３．１２　炉室1000K電気炉 ····· 49

４．容器 ····· 50
４．１　密封容器 ····· 51

５．共通機器 ····· 56
５．１　サンプルホルダー ····· 56

５．２　位置決めピン ····· 58

６．高真空排気装置 ····· 59
６．１　ターボポンプ ····· 60

７．その他の機器 ····· 62

CONTENTS

1. Outline ····· 1

2. Generic 10K · 4K · special GM type refrigerator ····· 2
2.1 10KCTI G-01 ····· 5

2.2 10KCTI R-01 ····· 8

2.3 10KCTI R-02 ····· 11

2.4 10KCTI R-03 ····· 14

2.5 4KSS07 G-01 ····· 17

2.6 4KSS07 R-01 ····· 20

2.7 4KSJ08 G-01 ····· 23

2.8 4KTN01 G-01 ····· 26

2.9 4KTN01 G-02 ····· 29

2.10 800KRG G-01 ····· 32

3. Special accessories ····· 35
3.1 4K refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet ····· 37

3.2 ^{3}He cryostat ····· 38

3.3 Orange cryostat(100mm maxi) ····· 39

3.4 mK cryocooler ····· 41

3.5 Dilution refrigerator for 5T superconducting magnet(vertical) ····· 42

3.6 Dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet ····· 43

3.7 10T superconducting magnet (vertical) ····· 44

3.8 13.5T superconducting magnet (vertical) ……45

3.9 5T superconducting magnet(vertical) ……46

3.10 5T superconducting magnet (horizontal) ……47

3.11 1T water cooled registive electromagnet ……48

3.12 1000K electric furnace ……49

4. Vessel ……50
4.1 Vanadium containers ……51

5. Common accessories ……56
5.1 Sample holder ……56

5.2 Positioning pin ……58

6. High vacuum pumping system ……59
6.1 Turbo pump ……60

7. Other accessories ……62

List of photos

Photo 2.1.1 GM type refrigerator
Photo 2.1.2 10KCTI G-01
Photo 2.1.3 Around cold finger of 10KCTI G-01
Photo 2.2.1 10KCTI R-01
Photo 2.2.2 Around cold finger of 10KCTI R-01
Photo 2.3.1 10KCTI R-02
Photo 2.3.2 Around cold finger of 10KCTI R-02
Photo 2.4.1 10KCTI R-03
Photo 2.4.2 Around cold finger of 10KCTI R-03
Photo 2.5.1 4KSS07 G-01
Photo 2.5.2 Around cold finger of 4KSS07 G-01
Photo 2.6.1 4KSS07 R-01
Photo 2.6.2 Around cold finger of 4KSS07 R-01
Photo 2.7.1 4KSJ08 G-01
Photo 2.7.2 Around cold finger of 4KSJ08 G-01
Photo 2.8.1 4KTN01 G-01
Photo 2.8.2 Around cold finger of 4KTN01 G-01
Photo 2.9.1 4KTN01 G-02
Photo 2.9.2 Around cold finger of 4KTN01 G-02
Photo 2.10.1 800KRG G-01
Photo 3.1.1 4K refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet
Photo 3.2.1 ^{3}He cryostat
Photo 3.3.1 100mm maxi
Photo 3.4.1 mK cryocooler
Photo 3.5.1 Dilution refrigerator for 5T superconducting magnet(vertical)
Photo 3.6.1 Dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet
Photo 3.7.1 10T superconducting magnet(vertical)
Photo 3.8.1 13.5T superconducting magnet(vertical)
Photo 3.9.1 5T superconducting magnet(vertical)
Photo 3.10.1 5T superconducting magnet(horizontal)
Photo 3.11.1 1T water cooled registive electromagnet
Photo 3.12.1 1000K electric furnace
Photo 4.1.1 Vanadium containers
Photo 4.1.2 Sample cans
Photo 4.1.3 Sample can(standard)
Photo 4.1.4 Lid of sample can
Photo 4.1.5 Sample cans for strong magnetic field
Photo 4.1.6 Lid of sample can for strong magnetic field
Photo 5.1.1 Sample holder

Photo 5.2.1 Positioning pin
Photo 6.1.1 Turbo pump
Photo 6.1.2 Turbo pump #5 (Working voltage 200V)
Photo 6.1.3 Turbo pump #6 (Working voltage 100V)
Photo 6.1.4 Turbo pump #7 (Working voltage 100V)
Photo 6.1.5 Turbo pump #8 (Working voltage 100V)
Photo 6.1.6 Turbo pump for RESA (Working voltage 100V)
Photo 6.1.7 Turbo pump for SANS (Working voltage 100V)
Photo 6.1.8 Large capacity scroll pump (Working voltage 200V)
Photo 6.1.9 Turbo pump with solenoid valve (Working voltage 100V)
Photo 7.1 Refrigerator for cooling filter of LTAS
Photo 7.2 10K refrigerator for SANS
Photo 7.3 Refrigerator with tensile tester for RESA
Photo 7.4 Sample holder
Photo 7.5 4K refrigerator with tensile tester for residual stress
Photo 7.6 Risk indicator lamp
Photo 7.7 χ-circle goniometer
Photo 7.8 Liquid nitrogen tank

List of figures

Figure 2.1.1 Cooling curve of 10KCTI G-01
Figure 2.1.2 Drawing of 10KCTI G-01
Figure 2.1.3 Sample mounting point of 10KCTI G-01
Figure 2.2.1 Cooling curve of 10KCTI R-01
Figure 2.2.2 Drawing of 10KCTI R-01
Figure 2.2.3 Sample mounting point of 10KCTI R-01
Figure 2.3.1 Drawing of 10KCTI R-02
Figure 2.3.2 Sample mounting point of 10KCTI R-02
Figure 2.4.1 Cooling curve of 10KCTI R-03
Figure 2.4.2 Drawing of 10KCTI R-03
Figure 2.4.3 Sample mounting point of 10KCTI R-03
Figure 2.5.1 Cooling curve of 4KSS07 G-01
Figure 2.5.2 Drawing of 4KSS07 G-01
Figure 2.5.3 Sample mounting point of 4KSS07 G-01
Figure 2.6.1 Drawing of 4KSS07 R-01
Figure 2.6.2 Sample mounting point of 4KSS07 R-01
Figure 2.7.1 Cooling curve of 4KSJ08 G-01
Figure 2.7.2 Drawing of 4KSJ08 G-01
Figure 2.7.3 Sample mounting point of 4KSJ08 G-01
Figure 2.8.1 Cooling curve of 4KTN01 G-01

Figure 2.8.2 Drawing of 4KTN01 G-01
Figure 2.8.3 Sample mounting point of 4KTN01 G-01
Figure 2.9.1 Cooling curve of 4KTN01 G-02
Figure 2.9.2 Drawing of 4KTN01 G-02
Figure 2.9.3 Sample mounting point of 4KTN01 G-02
Figure 2.10.1 Cooling curve of 800KRG G-01
Figure 2.10.2 Drawing of 800KRG G-01
Figure 2.10.3 Sample mounting point of 800KRG G-01
Figure 3.2.1 Drawing of ^{3}He cryostat
Figure 3.3.1 Drawing of 100mm maxi
Figure 3.4.1 Drawing of mK cryocooler
Figure 3.5.1 Drawing of dilution refrigerator for 5T superconducting magnet(vertical)
Figure 3.6.1 Drawing of dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet
Figure 3.12.1 Drawing of 1000K electric furnace
Figure 4.1.1 Drawing of sample can(long)
Figure 4.1.2 Drawing of sample can(standard)
Figure 4.1.3 Drawing of lid of sample can
Figure 4.1.4 Drawing of sample cans for strong magnetic field
Figure 4.1.5 Drawing of lid of sample can for strong magnetic field
Figure 5.1.1 Drawing of sample holder
Figure 5.1.2 Drawing of small sample holder
Figure 5.2.1 Drawing of positioning pin

List of tables

Table 2.1.1 Capability list of generic 10K・4K・special refrigerator
Table 2.1.2 Connector assignments list of generic 10K・4K・special refrigerator
Table 2.1.3 10KCTI G-01 performance
Table 2.1.4 Specification of 10KCTI G-01 refrigerator
Table 2.1.5 Specification of 10KCTI G-01 compressor
Table 2.2.1 10KCTI R-01 performance
Table 2.2.2 Specification of 10KCTI R-01 refrigerator
Table 2.2.3 Specification of 10KCTI R-01 compressor
Table 2.3.1 10KCTI R-02 performance
Table 2.3.2 Specification of 10KCTI R-02 refrigerator
Table 2.3.3 Specification of 10KCTI R-02 compressor
Table 2.4.1 10KCTI R-03 performance
Table 2.4.2 Specification of 10KCTI R-03 refrigerator
Table 2.4.3 Specification of 10KCTI R-03 compressor
Table 2.5.1 4KSS07 G-01 performance
Table 2.5.2 Specification of 4KSS07 G-01 refrigerator

Table 2.5.3 Specification of 4KSS07 G-01 compressor
Table 2.6.1 4KSS07 R-01 performance
Table 2.6.2 Specification of 4KSS07 R-01 refrigerator
Table 2.6.3 Specification of 4KSS07 R-01 compressor
Table 2.7.1 4KSJ08 G-01 performance
Table 2.7.2 Specification of 4KSJ08 G-01 refrigerator
Table 2.7.3 Specification of 4KSJ08 G-01 compressor
Table 2.8.1 4KTN01 G-01 performance
Table 2.8.2 Specification of 4KTN01 G-01 refrigerator
Table 2.8.3 Specification of 4KTN01 G-01 compressor
Table 2.9.1 4KTN01 G-02 performance
Table 2.9.2 Specification of 4KTN01 G-02 refrigerator
Table 2.9.3 Specification of 4KTN01 G-02 compressor
Table 2.10.1 800KRG G-01 performance
Table 2.10.2 Specification of 800KRG G-01 refrigerator
Table 2.10.3 Specification of 800KRG G-01 compressor
Table 3.1.1 Available equipment list of special accessories
Table 3.1.2 Specification of 4K refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet
Table 3.2.1 Specification of ^{3}He cryostat
Table 3.3.1 Specification of 100mm maxi
Table 3.4.1 Specification of mK cryocooler
Table 3.5.1 Specification of dilution refrigerator for 5T superconducting magnet(vertical)
Table 3.6.1 Specification of dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet
Table 3.7.1 Specification of 10T superconducting magnet(vertical)
Table 3.8.1 Specification of 13.5T superconducting magnet(vertical)
Table 3.9.1 Specification of 5T superconducting magnet(vertical)
Table 3.10.1 Specification of 5T superconducting magnet(horizontal)
Table 3.11.1 Specification of 1T water cooled registive electromagnet
Table 3.12.1 Specification of 1000K electric furnace

1. 概要

電子線、X線を含む数ある量子ビームの中においても、中性子は、（1）原子番号に依存せず同位体で異なる散乱能を持つこと、（2）電気的に中性であるために高い物質透過性を有すること、（3）磁気モーメントを有するために磁性研究に有効であること、（4）中性子の波長・エネルギースケールが、物質のそれと合致するため、物質中における素励起の研究に有効なプローブであること、などの特徴を有し、基礎研究から産業利用まで、幅広い分野において利用されている。この内（3）の高い透過性により、内部応力の測定や、ラジオグラフィ等により内部構造が調べられるほか、様々なアクセサリ（試料環境装置）の使用の下で実験を行うことが可能という点も、中性子測定の大きな特徴である。

国内における主たる中性子利用施設として、定常中性子源JRR-3とパルス中性子源であるJ-PARC物質・生命科学実験施設(MLF)がある。JRR-3では中性子ビーム利用実験を行うために、３０台を超える多くの装置が設置されている。また、様々な研究・開発や産業利用におけるニーズに応えるため、多くの試料環境装置も合わせて整備されている。この内、われわれが管理する中性子散乱装置における実験では、目的に応じ、温度・圧力・磁場・応力等の条件が様々にある試料環境下での測定や、これらの条件の複合環境下での実験が行われる。そのため、これらの試料環境条件を作り出す、冷凍機・高温炉・強磁場発生装置等の中性子散乱実験用試料環境装置が準備されている。

本書は、JRR-3ガイドホール及び炉室において整備されている、試料環境装置の仕様・特性についてまとめて記したものである。今後の中性子ビーム利用実験の実施に向け、一助になることを目的としている。以下に中性子散乱実験用試料環境装置についての説明を行う。

2. 汎用4K・10K・特殊GM型冷凍機

ここでは、低温実験を行う際に使用される、汎用の GM 型冷凍機について説明する。GM(Gifford-MacMahon)型冷凍機とは、冷凍機内部の蓄冷材の入ったピストンを上下駆導させて、ヘリウムガスを断熱膨張させることで低温まで冷却出来る機械式冷凍機である。従来低温を得るために、用いられてきた液体ヘリウムや液体窒素が不要なことから、手軽に利用出来るため、最も利用頻度が高い冷凍機である。

JRR-3 では、主に蓄冷材の種類の異なる二種類の GM 冷凍機が整備されている。この内の一つが、鉛を蓄冷材として用いた 10K 冷凍機と呼ばれるもので、10K～300K（常温）の温度範囲で測定が可能である。比較的小型で取り扱いが容易であるため、試料取り付けや試料台へ乗せることが楽に行えるので、利便性が高い。

もう一つが磁性材料を蓄冷材として使用する 4K 冷凍機群で、より低温の 4K 以下まで到達可能である。大型のものでは、圧力セルなど大型試料が取り付け可能で、冷却能力も高く 10K 冷凍機と比べ、冷却時間も早い。冷却能力が高い反面、本体・真空容器共に大きく、重いため試料のサンプルテーブルへの取付け、取り外し作業は 10K 冷凍機と比べて難がある。試料取り付けを行う場合はチェーンブロック等を使い安全に注意し作業を行う必要がある。

この他、特殊な GM 型冷凍機として、高温まで昇温可能な 800K 冷凍機も整備されている。以下、JRR-3 に整備されている GM 冷凍機について、まとめて記す。

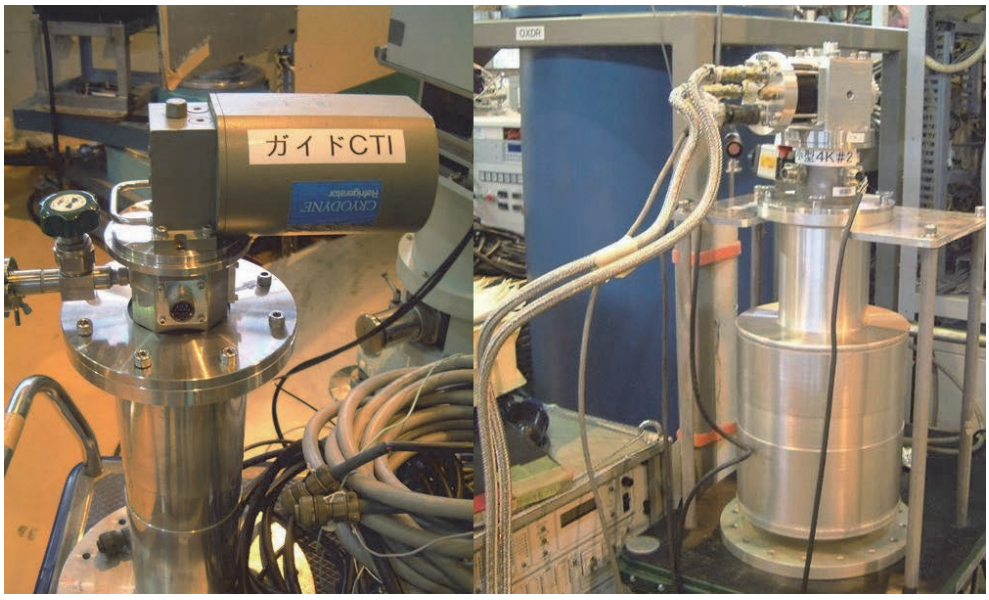


Photo 2.1.1 GM type refrigerator

Table 2.1.1　Capability　list　of　generic 10K・4K・special　refrigerator

名称	10KCTI G-01	10KCTI R-01	10KCTI R-02	10KCTI R-03	4KSS07 G-01	4KSS07 R-01	4KSJ08 G-01	4KTN01 G-01	4KTN01 G-02	800KRG G-01
最低到達温度 (温調)	12.1 K	11.1 K	12.1 K	9.6 K	5.2 K	5.2 K	4 K	2.9 K	2.6 K	6.7 K
最低到達温度 (試料)	11.9 K	11.1 K	11.9 K	12.3 K	6.3 K	6.3 K	4 K	4.1 K	4.1 K	6.7 K
冷却所要時間	1時間４５分	2時間４５分	2時間４５分	2時間４５分	1時間 ４５分	1時間 ４５分	1時間 １０分	3時間 １５分	3時間	2時間
試料空間 (最大キャパシティ)	Φ71 mm ×137 mm	Φ65 mm ×137 mm	Φ67 mm ×97 mm	Φ83 mm ×95 mm	Φ128mm ×139mm	Φ139 mm ×152 mm	Φ128 mm ×130 mm	Φ83 mm ×124 mm	Φ83 mm ×119 mm	Φ83 mm ×119 mm
使用可能装置	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA	TAS-1	HRPD	HRPD	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA	TAS-1, HRPD	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA	TAS-2, MUSASI, LTAS, RESA
製造会社・型番	HELIX ・CTI-CRYOGENICS MODEL22	HELIX ・CTI-CRYOGENICS MODEL22	HELIX ・CTI-CRYOGENICS MODEL22	HELIX ・CTI-CRYOGENICS MODEL22	鈴木商館 ・RF704S	鈴木商館 ・RF704S	住友重機械工業 ・SRDK-408	大陽日酸 ・SRDK-101D	大陽日酸 ・SRDK-101D	Advanced Research Systems ・DE-202
参照	P5～P7	P8～P10	P11～P13	P14～P16	P17～P19	P20～P22	P23～P25	P26～P28	P29～P31	P32～P34

Table 2.1.2　Connector assignments list of generic 10K・4K・special refrigerator

名称	10KCTI G-01	10KCTI R-01		10KCTI R-02	10KCTI R-03	4KSS07 G-01	4KSS07 R-01	4KSJ08 G-01	4KTN01 G-01	4KTN01 G-02	800KRG G-01	
コネクタピンA	I+(A)	1(温調)	5(試料)	5	5	I+(chA)	I+	V-	／	／	／	／
〃B	V+(A)	3(〃)	7(〃)	7	8	V+(〃)	V-	V+	／	／	／	／
〃C	V+(B)	2(〃)	6(〃)	6	6	I-(〃)	V+	I+	V+(A:温調)	V+(B:試料)	／	／
〃D	I+(B)	4(〃)	8(〃)	8	7	V-(〃)	I-	I-	I+(〃)	I+(〃)	／	／
〃E	V-(B)	／	／	1	／	I+(chB)	I+	V-	I-(〃)	I-(〃)	／	／
〃F	I-(B)	／	／	3	／	V+(〃)	V-	V+	V-(〃)	V-(〃)	／	／
〃G	ヒーター	／	／	2	1	I-(〃)	ヒーター	ヒーター	V+(B:試料)	V+ (A:温調)	I+ (PORTA)	V+ (PORTB)
〃H	ヒーター	／	／	4	2	V-(〃)	ヒーター	I-	I+(〃)	I+(〃)	V+(〃)	I+(〃)
〃I	／	／	／	／	3	／	／	／	／	／	／	／
〃J	V-(A)	／	／	／	4	ヒーター	V+	I+	I-(〃)	I-(〃)	V-(〃)	V-(〃)
〃K	I-(A)	／	／	／	／	ヒーター	I-	ヒーター	V-(〃)	V-(〃)	I-(〃)	I-(〃)
〃L	／	／	／	／	／	／	／	／	ヒーター	ヒーター	／	／
〃M	／	／	／	／	／	／	／	／	ヒーター	ヒーター	／	／

2．1　10KCTI　G-01（小型、冷却能力小、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

Photo 2.1.2　10KCTI G-01

Table 2.1.3　10KCTI G-01 performance

冷却所要時間		２時間４５分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW16
最低到達温度	温調	12.1 [K]
	試料	11.9 [K]

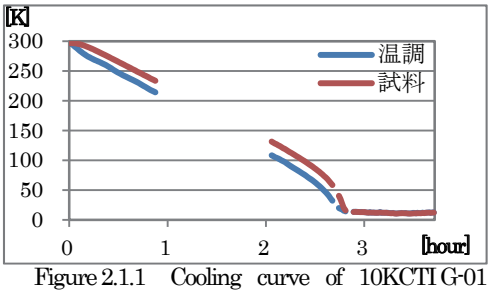


Figure 2.1.1　Cooling curve of 10KCTI G-01

Table 2.1.4　Specification of 10KCTI G-01 refrigerator

名称		10KCTI G-01
型式		CTI-CRYOGENICS MODEL 22 10-S-11
温度範囲		10 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ71 mm × 137 mm
温度コントローラー		Lake Shore MODEL 331 LTC-20（TAS-1 用）を使用
温度センサー	温調用	Si Diode　未校正　　番号：None
	試料用	Si Diode Lake Shore（DT-470-Cu-13） 番号：D56798
ヒータータイプ		パイプヒーター50W　Lake Shore HTR-50

Table 2.1.5　Specification of 10KCTI G-01 compressor

型式	COMPRESSOR MODEL SC
供給電源	単相 200 V　50 Hz/60 Hz
電力	1.7 KW
電流	10 A
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	498 W × 495 D × 426 H(mm)
圧力	静止時 1.9 MPa
重量	63.5 Kg
運転時許容環境温度	10～38 ℃

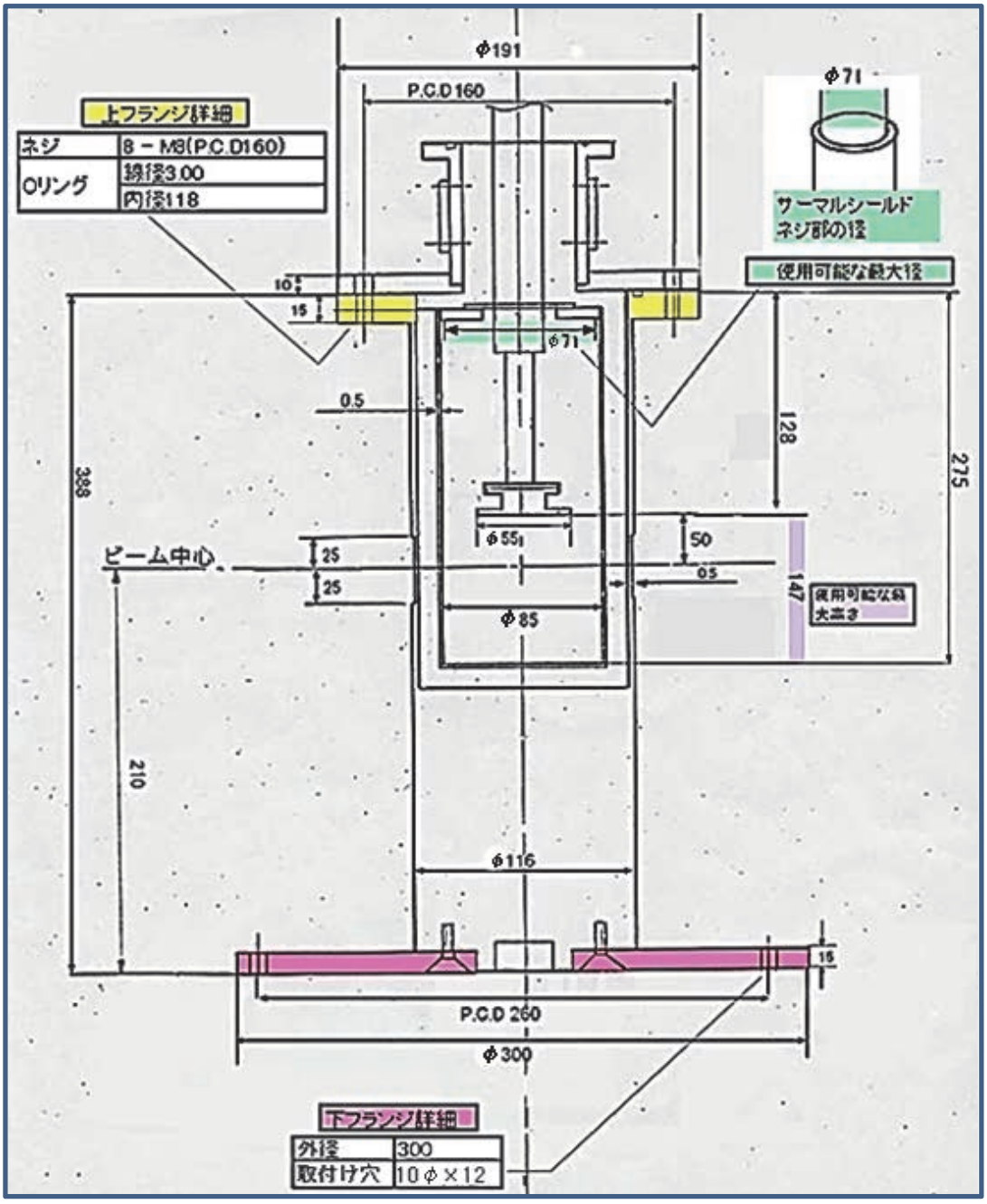


Figure 2.1.2 Drawing of 10KCTI G-01

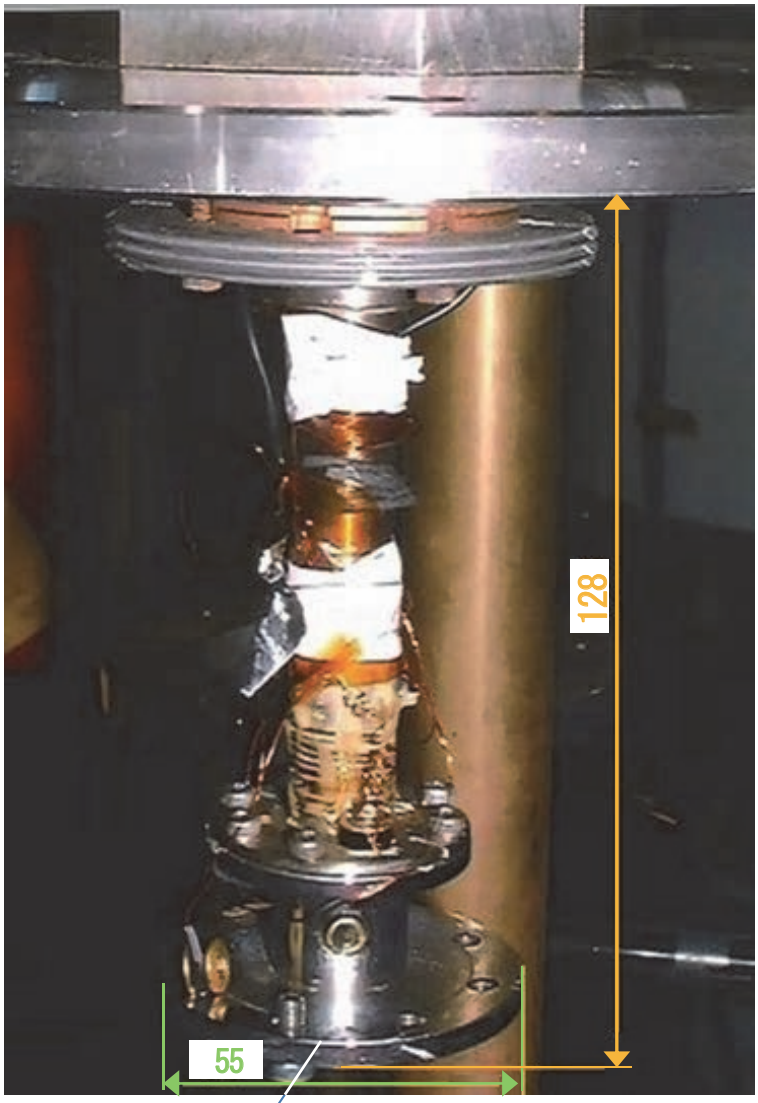


Photo 2.1.3 Around cold finger of 10KCTI G-01

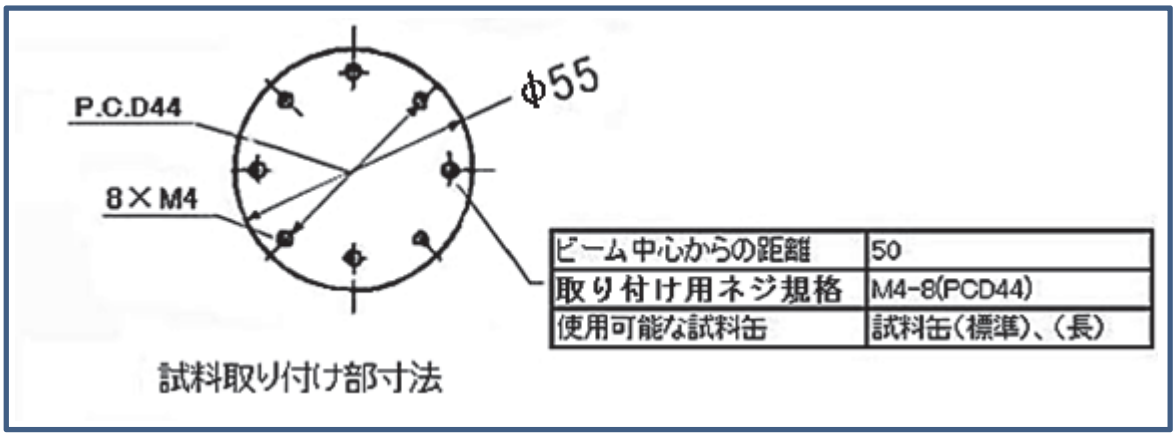


Figure 2.1.3 Sample mounting point of 10KCTI G-01

2．2　10KCTI　R-01

（小型、冷却能力小、炉室用、主にTAS-1用）

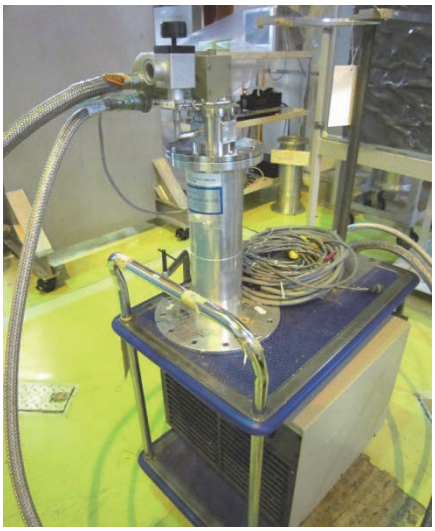


Photo 2.2.1　10KCTI R-01

Table 2.2.1　10KCTI R-01　performance

冷却所要時間		２時間４５分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW16
最低到達温度	温調	11.1 [K]
	試料	11.1 [K]

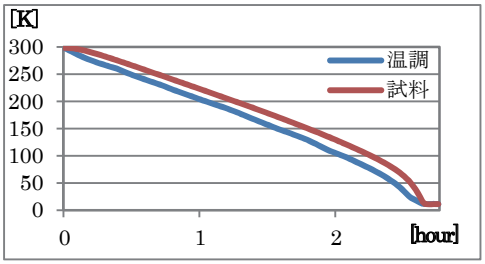


Figure 2.2.1　Cooling curve　of　10KCTI R-01

Table 2.2.2　Specification　of　10KCTI R-01　refrigerator

名称		10KCTI R-01
型式		CTI-CRYOGENICS MODEL22
温度範囲		10 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ65 mm × 137 mm
温度コントローラー		LTC シリーズ　LTC-20
温度センサー	温調用	Si Diode (Lake Shore DT-470-Cu-13) 番号：　None
	試料用	Si Diode (Lake Shore DT-470-Cu-13) 番号：D27478
ヒータータイプ		巻線 25.6 Ω

Table 2.2.3　Specification　of　10KCTI R-01　compressor

型式	CTI-CRYOGENICS　8200 COMPRESSOR
供給電源	単相 200 V　50 Hz/60 Hz
電力	2.1 KW
電流	10 A
冷媒	ヘリウムガス
圧力	静止時 1.65 MPa
外形寸法	W 563 × D 495 × H 423(mm)
重量	68 Kg
運転時許容環境温度	10～38 ℃

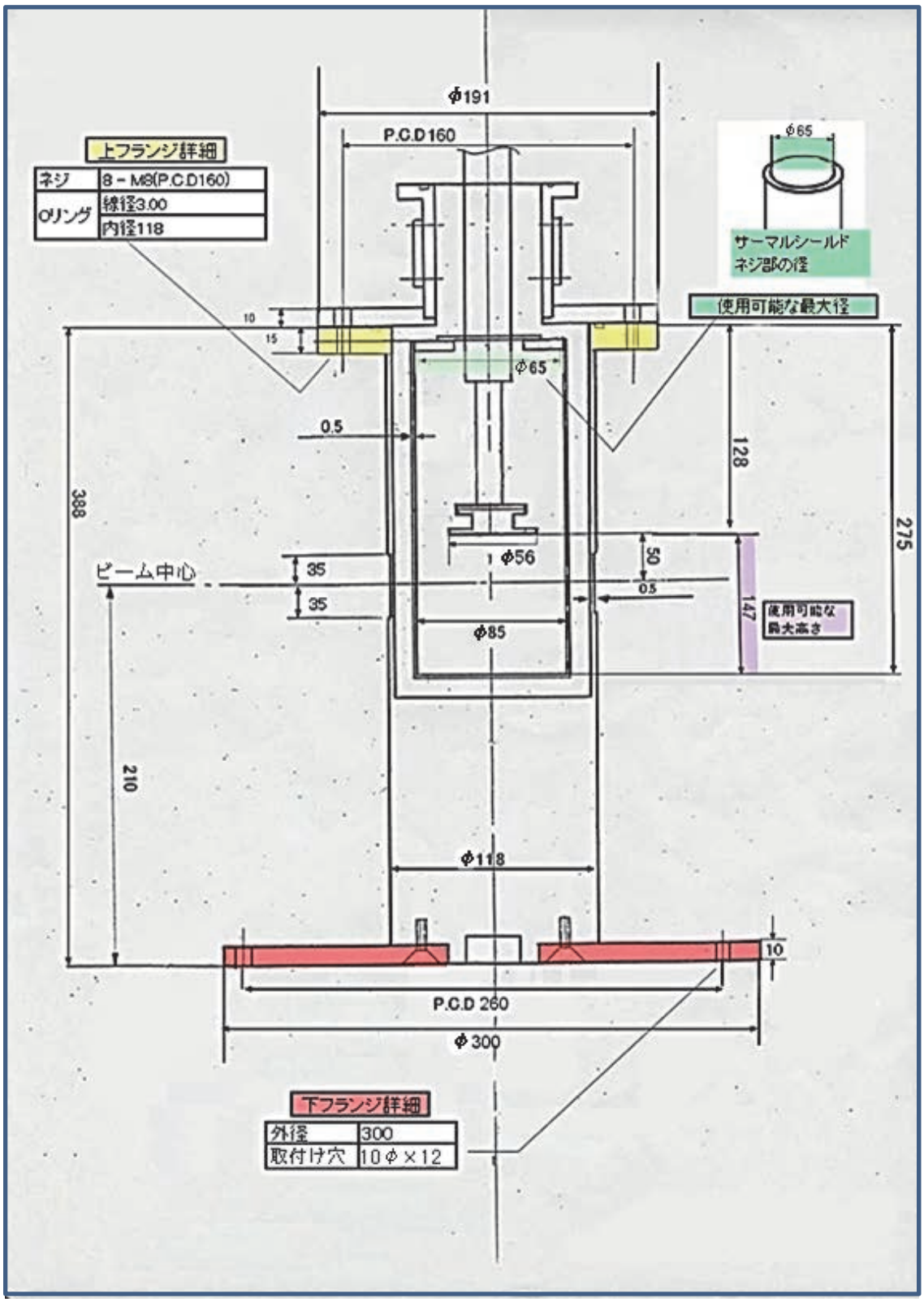


Figure 2.2.2 Drawing of 10KCTI R-01

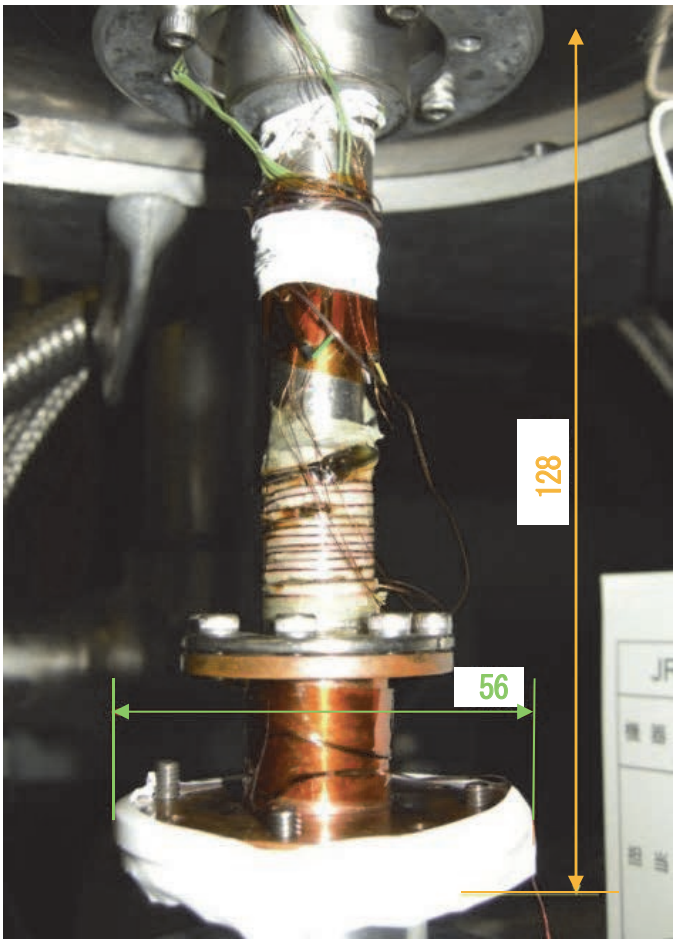


Photo 2.2.2 Around cold finger of 10KCTI R-01

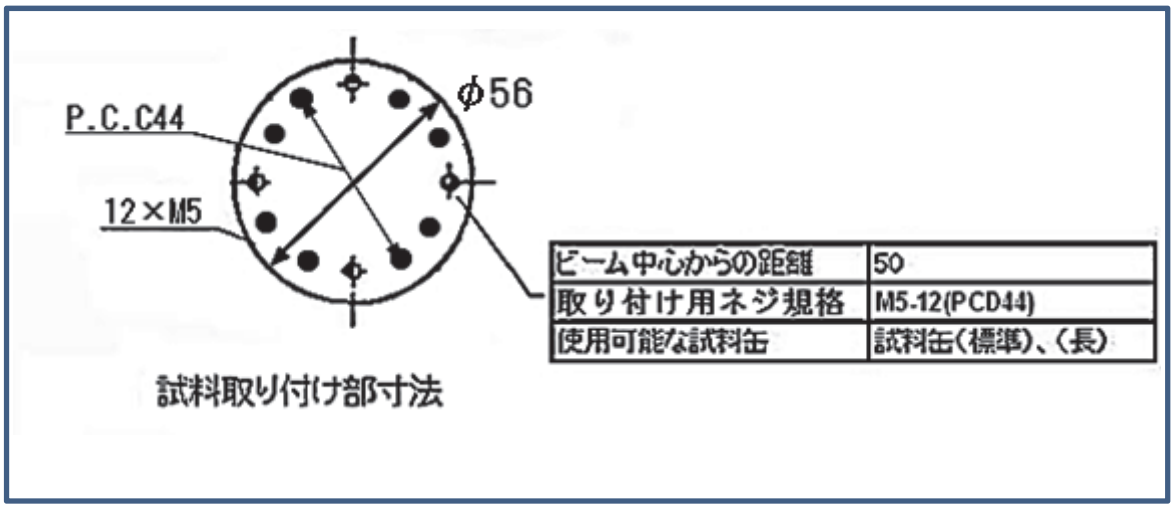


Figure 2.2.3 Sample mounting point of 10KCTI R-01

2．3　10KCTI　R-02

（小型、冷却能力小、炉室用、主に HRPD）

Photo 2.3.1　10KCTI R-02

Table 2.3.1　10KCTI　R-02　performance

冷却所要時間	2時間４５分
試料取付け所要時間	３０分
真空排気時間	１時間
真空バルブ口径	NW16

Table 2.3.2　Specification　of　10KCTI R-02　refrigerator

名称		10KCTI R-02
型式		CTI-CRYOGENICS MODEL22
温度範囲		10 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ67 mm × 97 mm
温度コントローラー		LTC シリーズ
温度センサー	温調用	Si Diode　未校正　　番号：　None
	試料用	Si Diode（Lake Shore DT-470-Cu-13） 番号：D27478
ヒータータイプ		巻線 56.7Ω

Table 2.3.3　Specification　of　10KCTI R-02　compressor

型式	CTI-CRYOGENICS　8200 COMPRESSOR
供給電源	単相 200 V　50 Hz/60 Hz
電力	2.1 KW
電流	10 A
冷媒	ヘリウムガス
圧力	静止時 2.0 MPa
外形寸法	W 563 × D 495 × H 423(mm)
重量	68 Kg
運転時許容環境温度	10～38 ℃

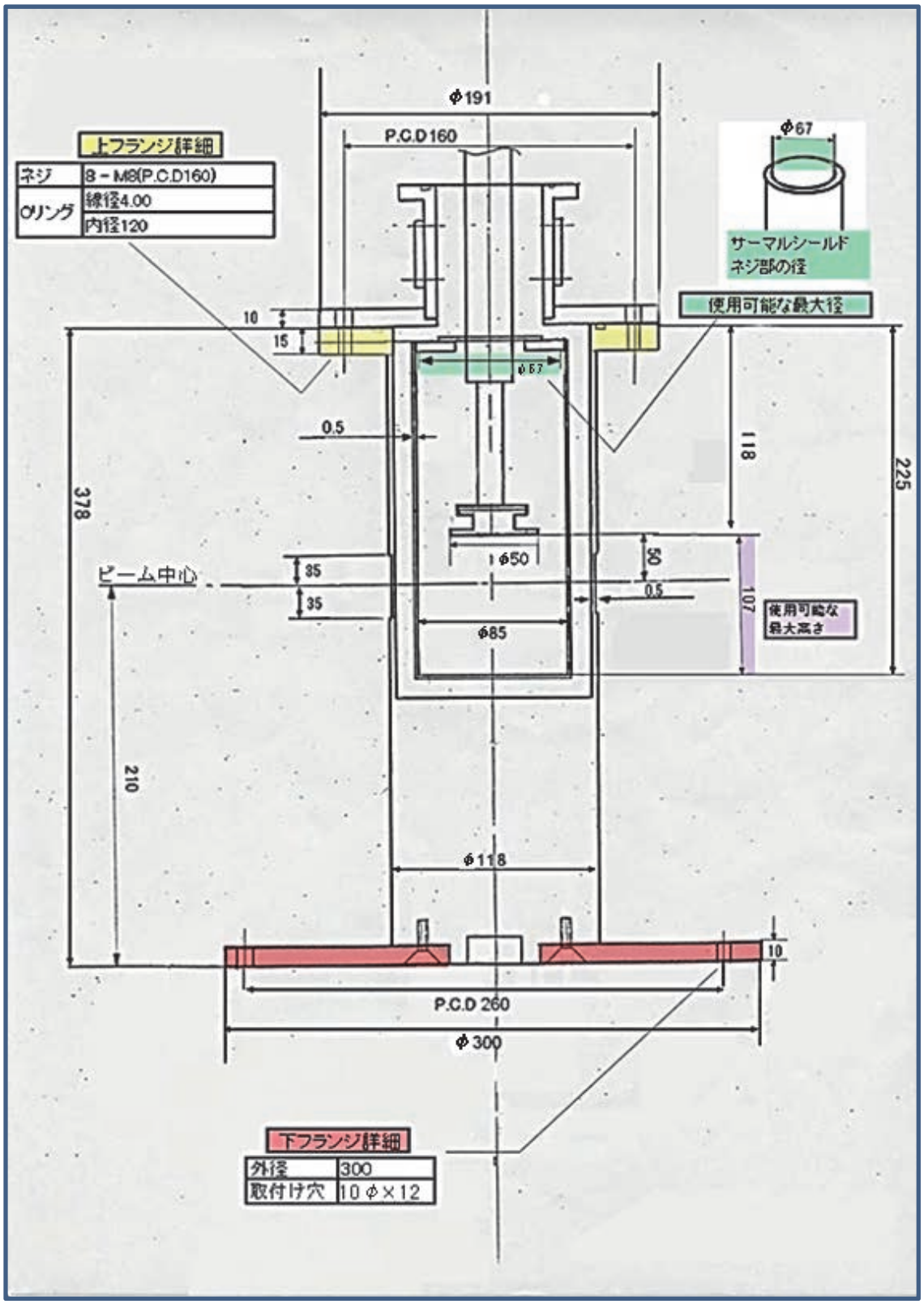


Figure 2.3.1 Drawing of 10KCTI R-02

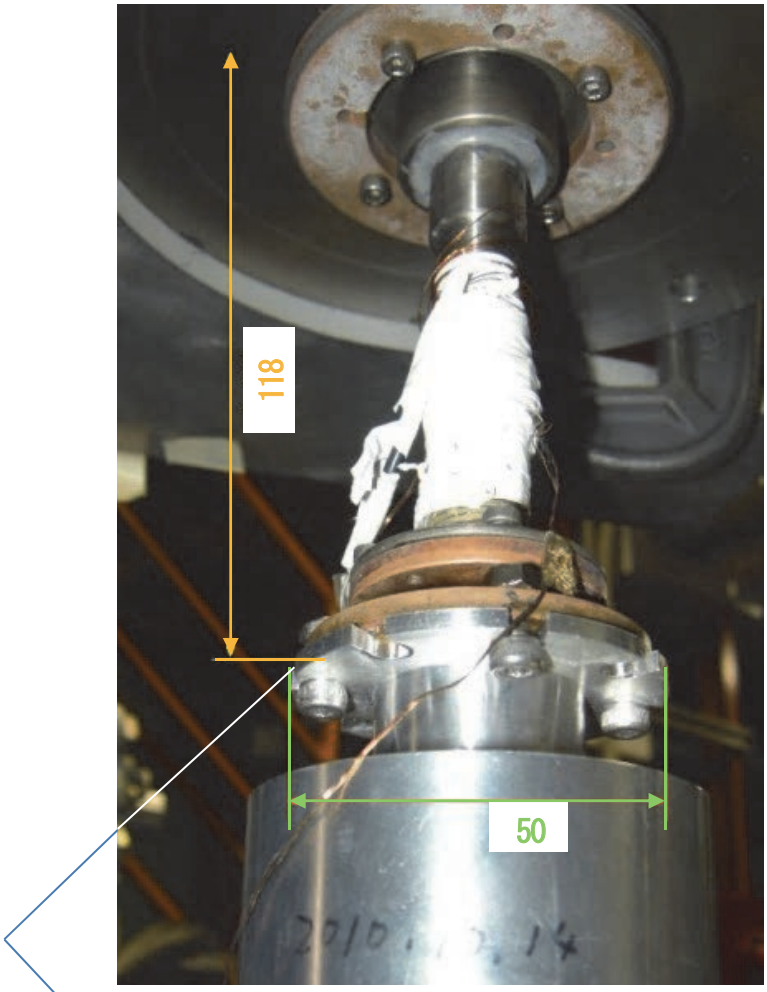


Photo 2.3.2 Around cold finger of 10KCTI R-02

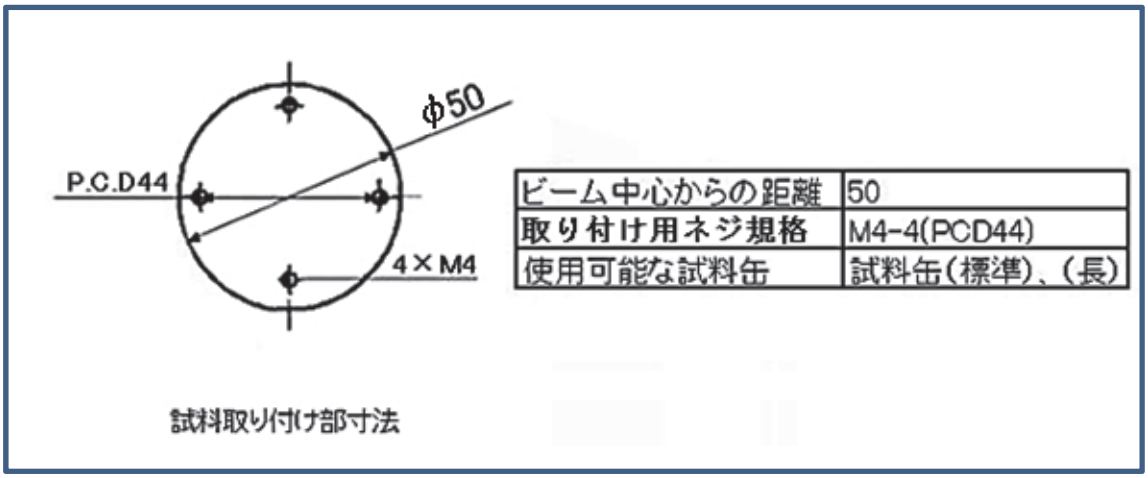


Figure 2.3.2 Sample mounting point of 10KCTI R-02

2．4　10KCTI　R-03

（小型、冷却能力小、炉室用、主に HRPD）

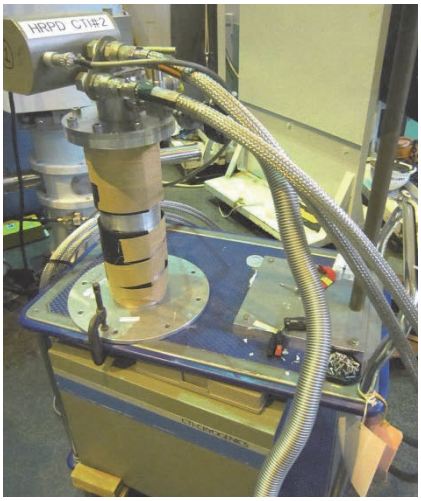


Photo 2.4.1　10KCTI R-03

Table 2.4.1　10KCTI　R-03　performance

冷却所要時間		２時間４５分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW16
最低到達温度	温調	12.3 [K]
	試料	9.6 [K]

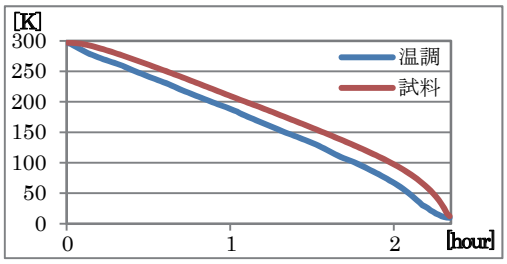


Figure 2.4.1　Cooling curve　of　10KCTI R-03

Table 2.4.2　Specification　of　10KCTI　R-03　refrigerator

名称		10KCTI R-03
型式		CTI-CRYOGENICS MODEL 22
温度範囲		10 K < *T* < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ83 mm × 95 mm
温度コントローラー		LTC シリーズ
温度センサー	温調用	Si Diode　未校正　　番号：None
	試料用	Si Diode (Lake Shore DT-470-Cu-13) 番号：D69346
ヒータータイプ		パイプヒーター52 Ω

Table 2.4.3　Specification　of　10KCTI R-03　compressor

型式	COMPRESSOR MODEL SC
供給電源	単相 200 V　50 Hz/60 Hz
電力	2.1 KW
電流	15 A
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	498 W × 495 D × 426 H(mm)
圧力	静止時 1.8 MPa
重量	64 Kg
運転時許容環境温度	10～38 ℃

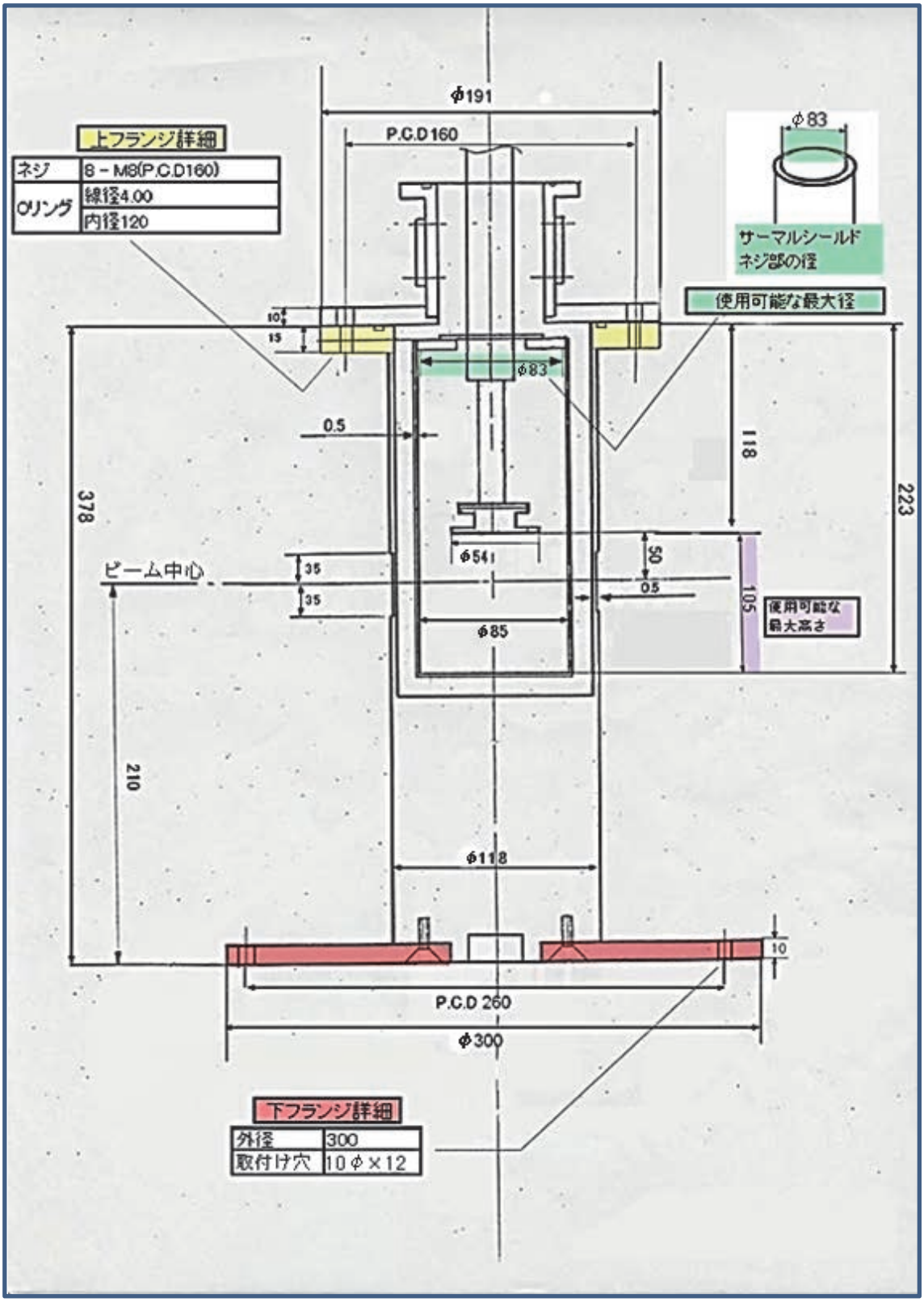


Figure 2.4.2 Drawing of 10KCTI R-03

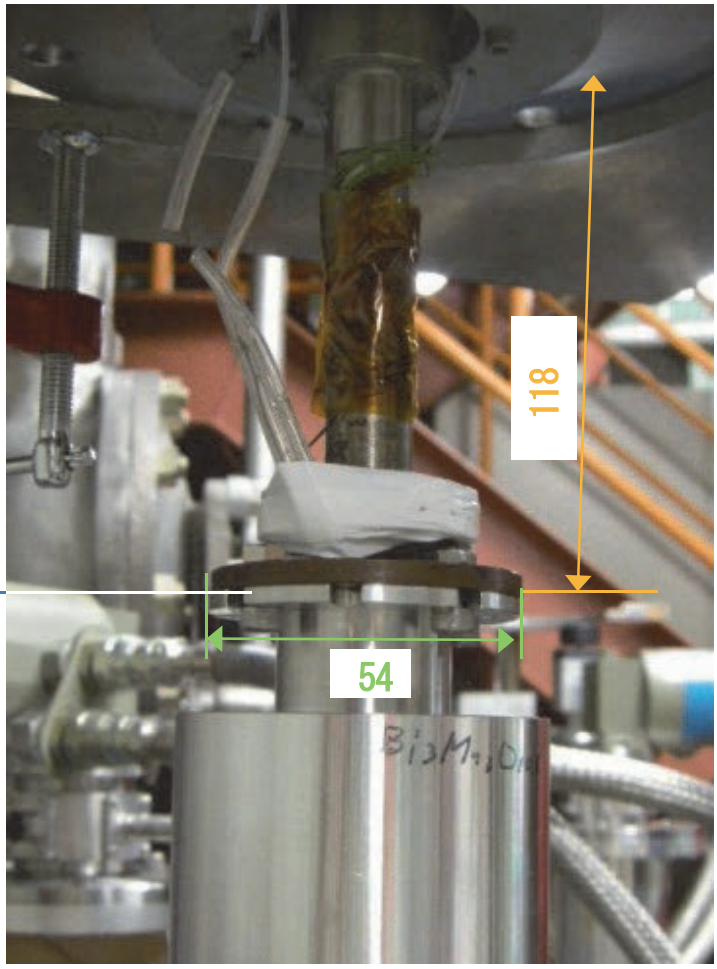


Photo 2.4.2 Around cold finger of 10KCTI R-03

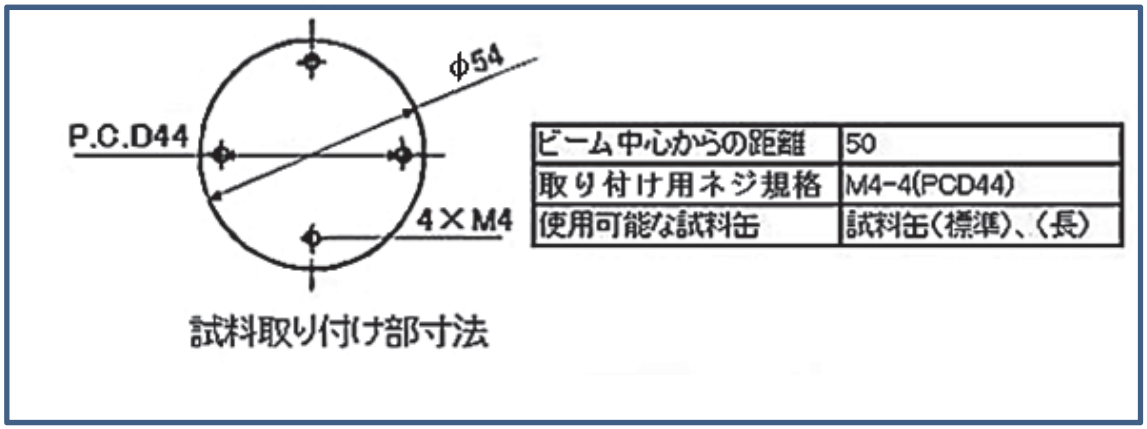


Figure 2.4.3 Sample mounting point of 10KCTI R-03

2．5　4KSS07　G-01

（大型、冷却能力大、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

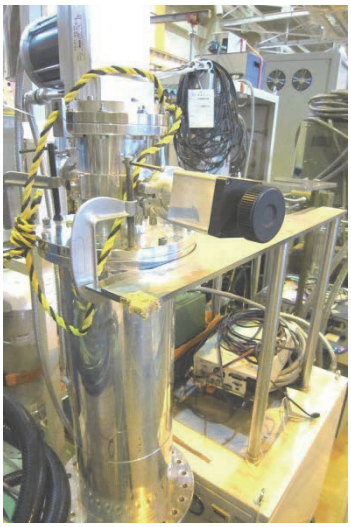


Photo 2.5.1　4KSS07 G-01

Table 2.5.1　4KSS07 G-01　performance

冷却所要時間		１時間４５分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW25
最低到達温度	温調	5.2 [K]
	試料	6.3 [K]

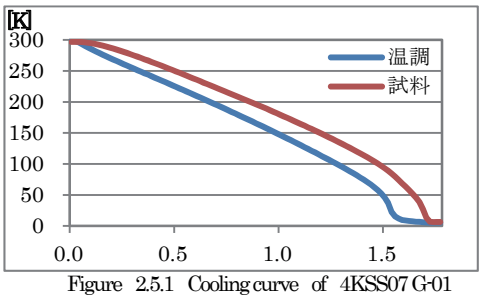


Figure　2.5.1　Cooling curve　of　4KSS07 G-01

Table 2.5.2　Specification　of　4KSS07 G-01　refrigerator

名称		4KSS07　G-01
型式		RF704S
冷凍能力		0.7 W at 4.2 K
温度範囲		4 K < *T* < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ128 mm × 139 mm
温度コントローラー		CRYO.CON 34
温度センサー	温調用	Si　Diode　未校正　　番号：D52354
	試料用	Si　Diode　　番号：D53164
ヒータータイプ		巻線タイプ 34.3 Ω　パイプヒーター100 W へ変更予定

Table 2.5.3　Specification　of　4KSS07 G-01　compressor

型式	CCT-CK37003B
供給電源	３相　200 V 50 Hz/60 Hz
電力	5.1/6.1 KW
電流	17.0/19.5 A
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	654 W × 550 D × 626 H(mm)
圧力	静止時 1.65 MPa
重量	140 Kg
運転時許容環境温度	5～28 ℃

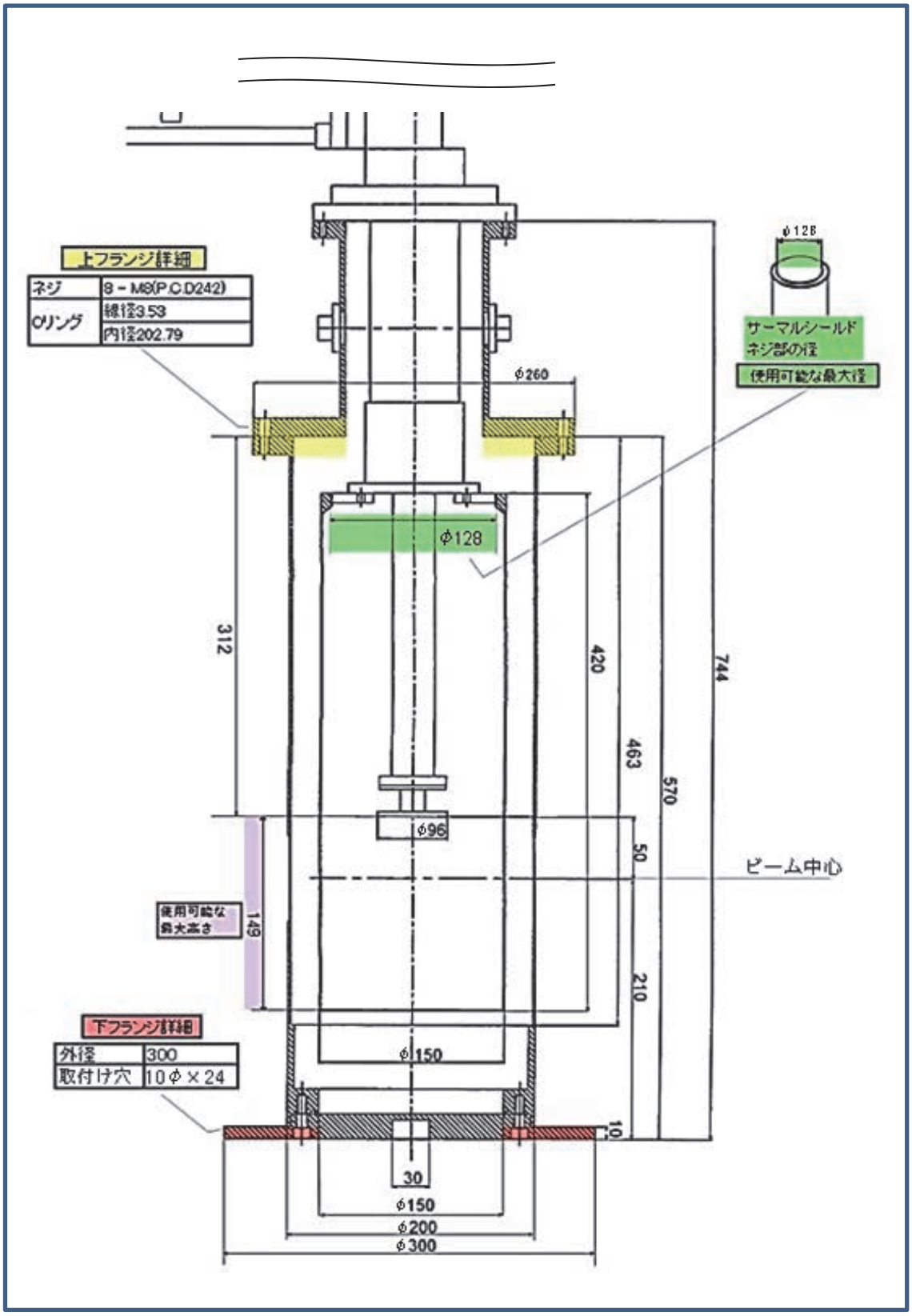


Figure 2.5.2 Drawing of 4KSS07 G-01

Photo 2.5.2 Around cold finger of 4KSS07 G-01

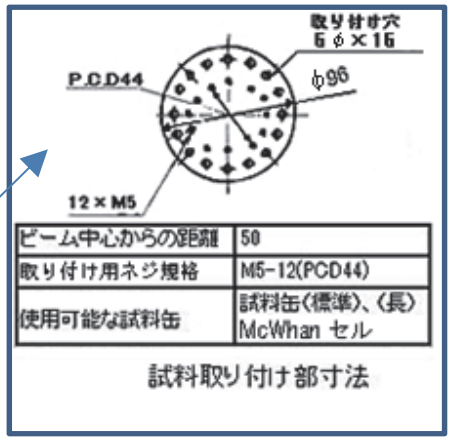


Figure 2.5.3 Sample mounting point of 4KSS07 G-01

２．６　4KSS07　R-01

（大型、冷却能力大、炉室用、TAS-1、HRPD）

Photo 2.6.1　4KSS07 R-01

Table 2.6.1　4KSS07　R-01　performance

冷却所要時間	１時間４５分
試料取付け所要時間	３０分
真空排気時間	１時間
真空バルブ口径	NW25

Table 2.6.2　Specification　of　4KSS07 R-01　refrigerator

名称	4KSS07　R-01
型式	RF704S
冷凍能力	0.7 W at 4.2 K
温度範囲	4 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）	φ139 mm × 152 mm
温度コントローラー	LTC シリーズ LTC-20
温度センサー（温調用）	Si　Diode　未校正　　番号：D32380
温度センサー（試料用）	Si　Diode　　番号：D35129
ヒータータイプ	巻線 35.5 Ω

Table 2.6.3　Specification　of　4KSS07　R-01　compressor

型式	CCT-CK37003CT
供給電源	３相　200 V 50 Hz/60 Hz
電流	17.0/19.5 A
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	654 W × 550 D × 626 H(mm)
圧力	静止時 1.65 MPa
運転時許容環境温度	5～28℃

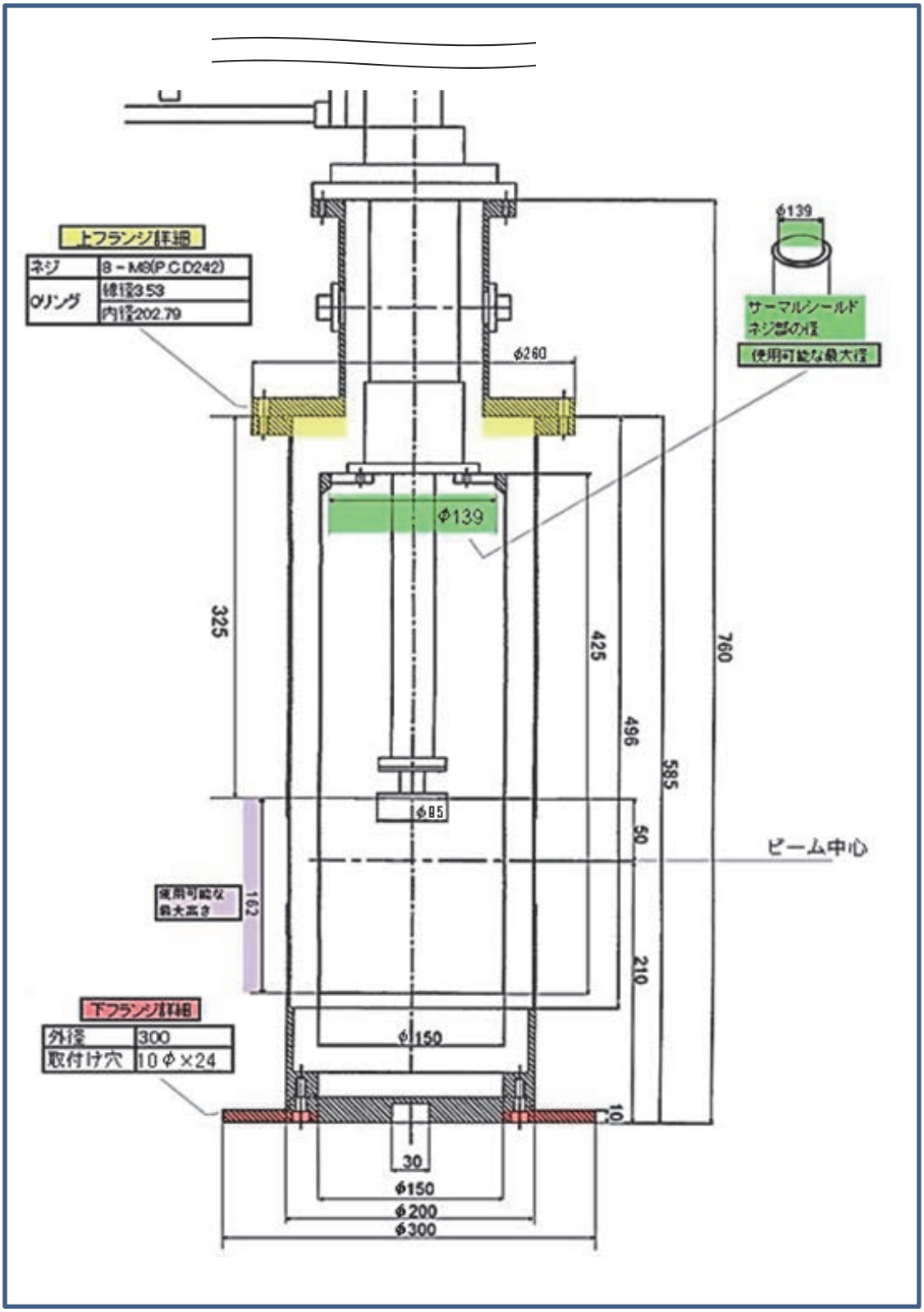


Figure 2.6.1 Drawing of 4KSS07 R-01

Photo 2.6.2 Around cold finger of 4KSS07 R-01

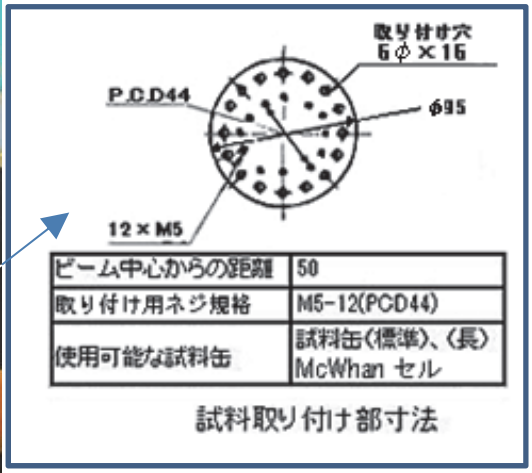


Figure 2.6.2 Sample mounting point of 4KSS07 R-01

2．7　4KSJ08　G-01

（大型、冷却能力大、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

Photo 2.7.1　4KSJ08 G-01

Table 2.7.1　4KSJ08　G-01　performance

冷却所要時間		１時間１０分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW25
最低到達温度	試料	4 [K]

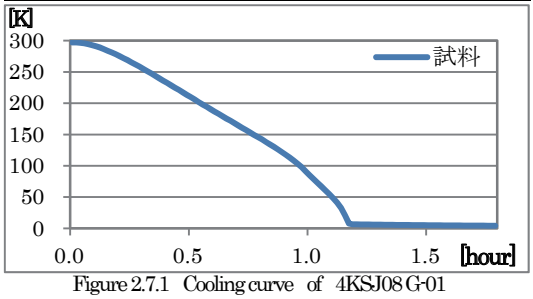


Figure 2.7.1　Cooling curve　of　4KSJ08 G-01

Table 2.7.2　Specification　of　4KSJ08 G-01　refrigerator

名称		4KSJ08　G-01
型式		RDK – 408D
冷凍能力		0.8 W at 4.2 K
温度範囲		4 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ128 mm × 130 mm
温度コントローラー		Lake Shore MODEL 340
温度センサー	温調用	Si　Diode（Lake Shore DT-470-Cu-13）未校正 番号：None
	試料用	Si　Diode（Lake　Shore　DT-470-Cu-13） 番号：D56796
ヒータータイプ		パイプヒーター50 W　　Lake　Shore　HTR-50 Disconnection

Table 2.7.3　Specification　of　4KSJ08 G-01　compressor

型式	CSA-71
供給電源	３相　200 V 50 Hz/60 Hz
電力	7.2 KW
電流	26.5 A（定常時）
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	550 W × 550 D × 810 H(mm)
圧力	静止時 1.65 MPa
重量	150 Kg
運転時許容環境温度	5～28 ℃

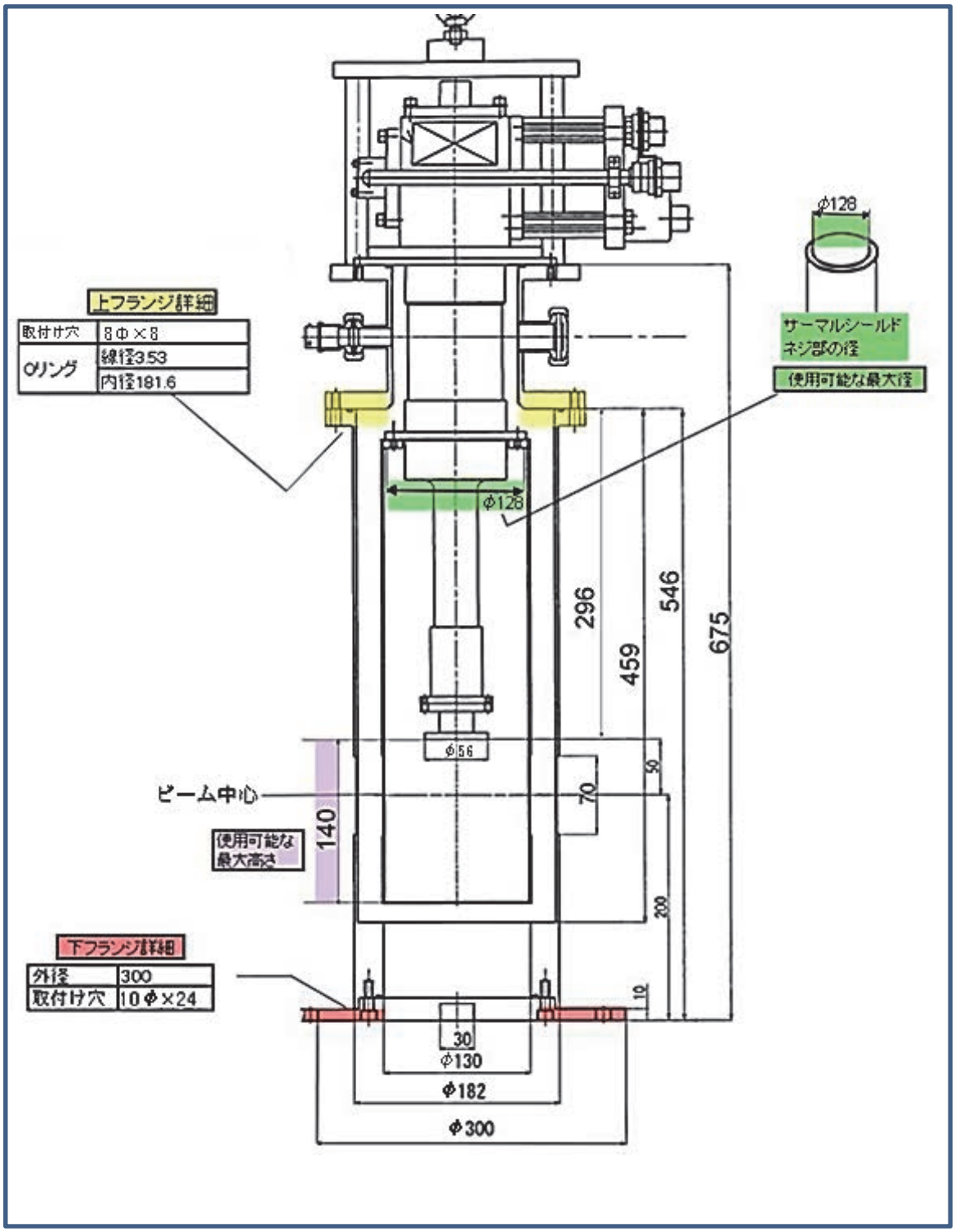


Figure 2.7.2 Drawing of 4KSJ08 G-01

Photo 2.7.2 Around cold finger of 4KSJ08 G-01

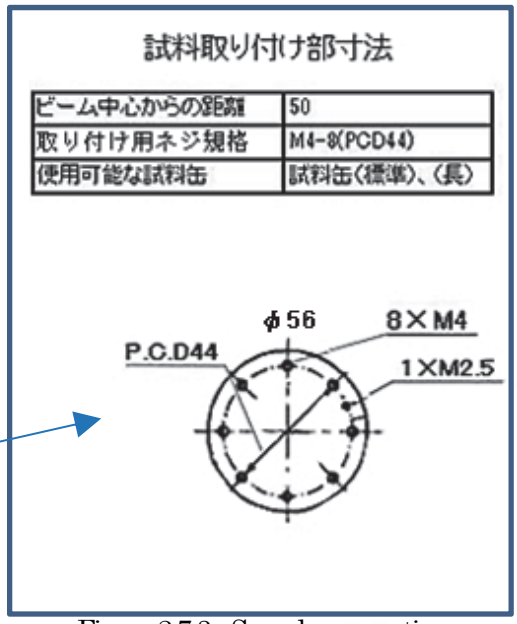


Figure 2.7.3 Sample mounting point of 4KSJ08 G-01

2．8　4KTN01　G-01

（小型、冷却能力小、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

Photo 2.8.1　4KTN01 G-01

Table 2.8.1　4KTN01 G-01 performance

冷却所要時間		３時間１５分
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW25
最低到達温度	温調	2.9 [K]

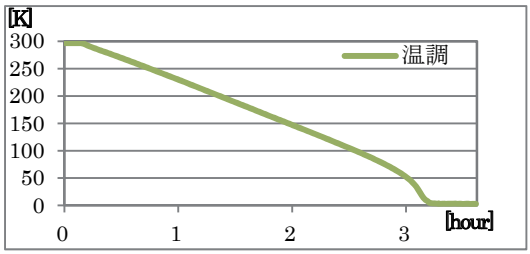


Figure 2.8.1　Cooling curve　of　4KTN01 G-01

Table 2.8.2　Specification　of　4KTN01 G-01　refrigerator

名称		4KTN01　G-01
型式		SRDK-101D
冷凍能力		0.1 W at 4.2 K
温度範囲		4 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ83 mm × 124 mm
温度コントローラー		Lake Shore MODEL 340
温度センサー	温調用	Si Diode（Lake Shore　DT-670-Cu）未校正 番号：None
	試料用	Si Diode(Lake Shore　DT-670-Cu) 番号：None
ヒータータイプ		パイプヒーター50 W

Table 2.8.3　Specification　of　4KTN01 G-01　compressor

型式	CAN-11B
供給電源	単相 100 V　50 Hz/60 Hz
電力	2.5 KW
電流	13 A（定常時）
冷媒	ヘリウムガス
外形寸法	450 W × 450 D × 400 H(mm)
圧力	静止時 2.0 MPa
重量	約 42 Kg
運転時許容環境温度	5～28 ℃

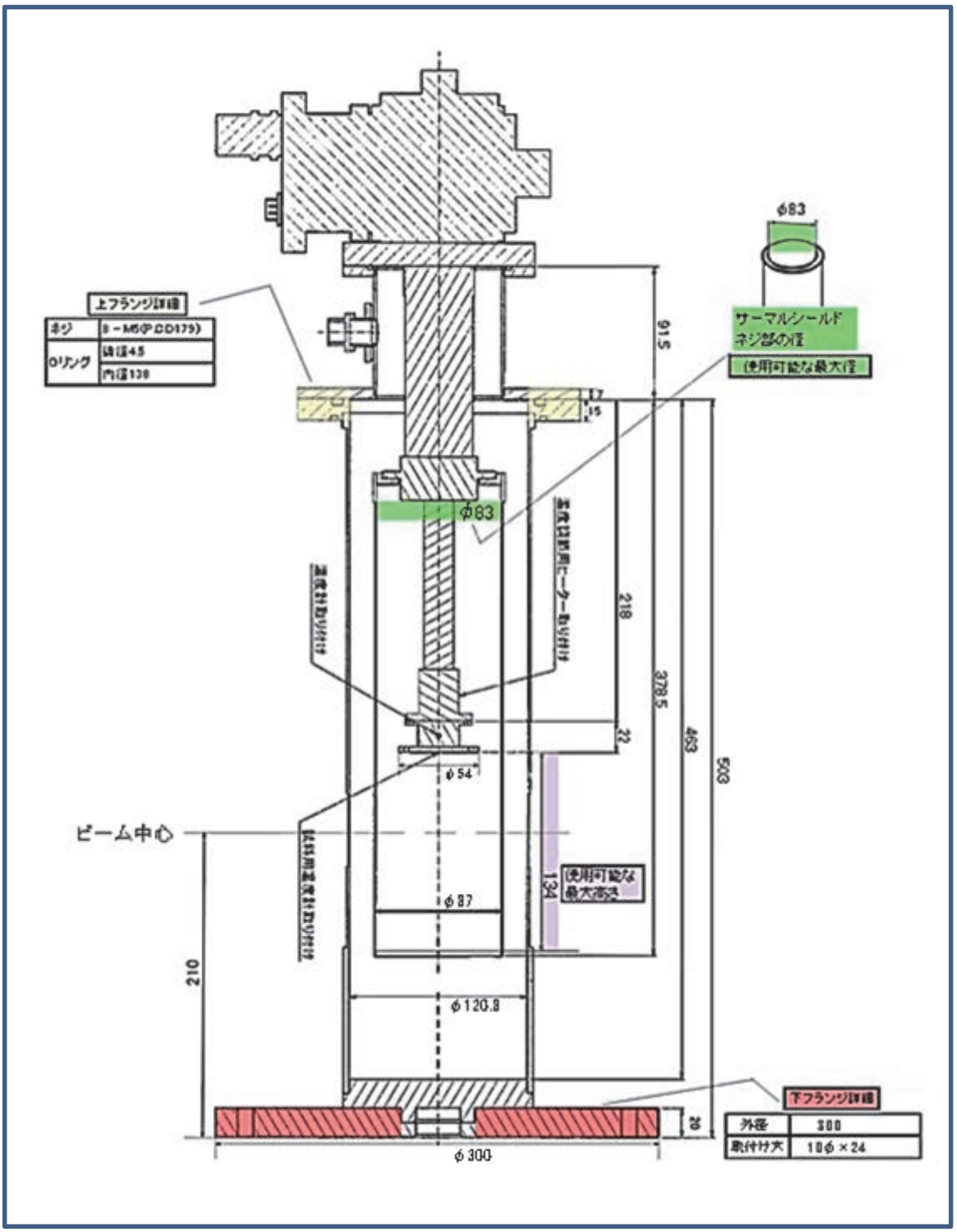


Figure 2.8.2 Drawing of 4KTN01 G-01

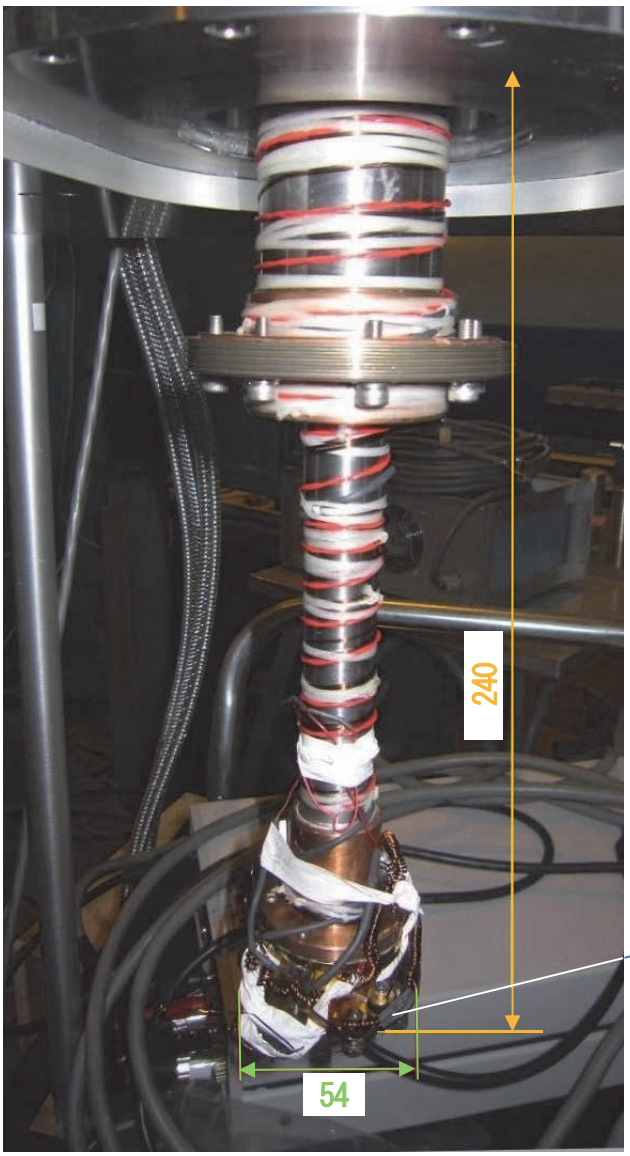


Photo 2.8.2 Around cold finger of 4KTN01 G-01

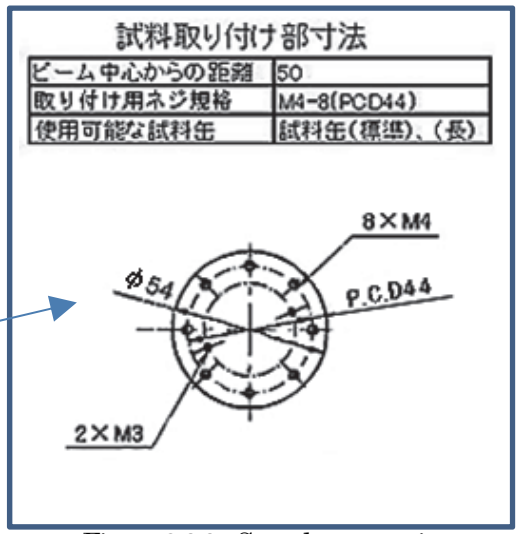


Figure 2.8.3 Sample mounting point of 4KTN01 G-01

2．9　4KTN01　G-02

（小型、冷却能力小、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

Photo 2.9.1　4KTN01 G-02

Table 2.9.1　4KTN01 G-02　performance

冷却所要時間		3時間
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		1 時間
真空バルブ口径		NW25
最低到達温度	温調	2.6 [K]
	試料	4.1 [K]

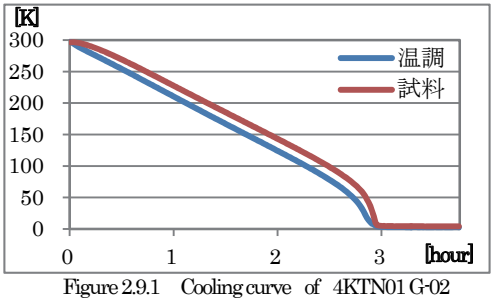


Figure 2.9.1　Cooling curve　of　4KTN01 G-02

Table 2.9.2　Specification　of　4KTN01 G-02　refrigerator

名称		4KTN01　G-02
型式		SRDK - 101D
冷凍能力		0.1 W at 4.2 K
温度範囲		4 K < T < 300 K
試料空間（最大キャパシティ）		φ83 mm × 119 mm
温度コントローラー		Lake　Shore　MODEL 331
温度センサー	温調用	Si　Diode（Lake Shore DT-670-Cu-13） 番号：　None
	試料用	Si　Diode（Lake Shore DT-670-Cu-13） 番号：　None
ヒータータイプ		巻線 19.5 Ω

Table 2.9.3　Specification　of　4KTN01 G-02　compressor

型式	CAN-11B
供給電源	単相 100 V　50 Hz/60 Hz
電力	2.5 KW
電流	13 A（定常時）
冷媒	ヘリウムガス
圧力	静止時 2.0 MPa
外形寸法	450 W × 404 D × 354 H(mm)
重量	42 Kg
運転時許容環境温度	5～28 ℃

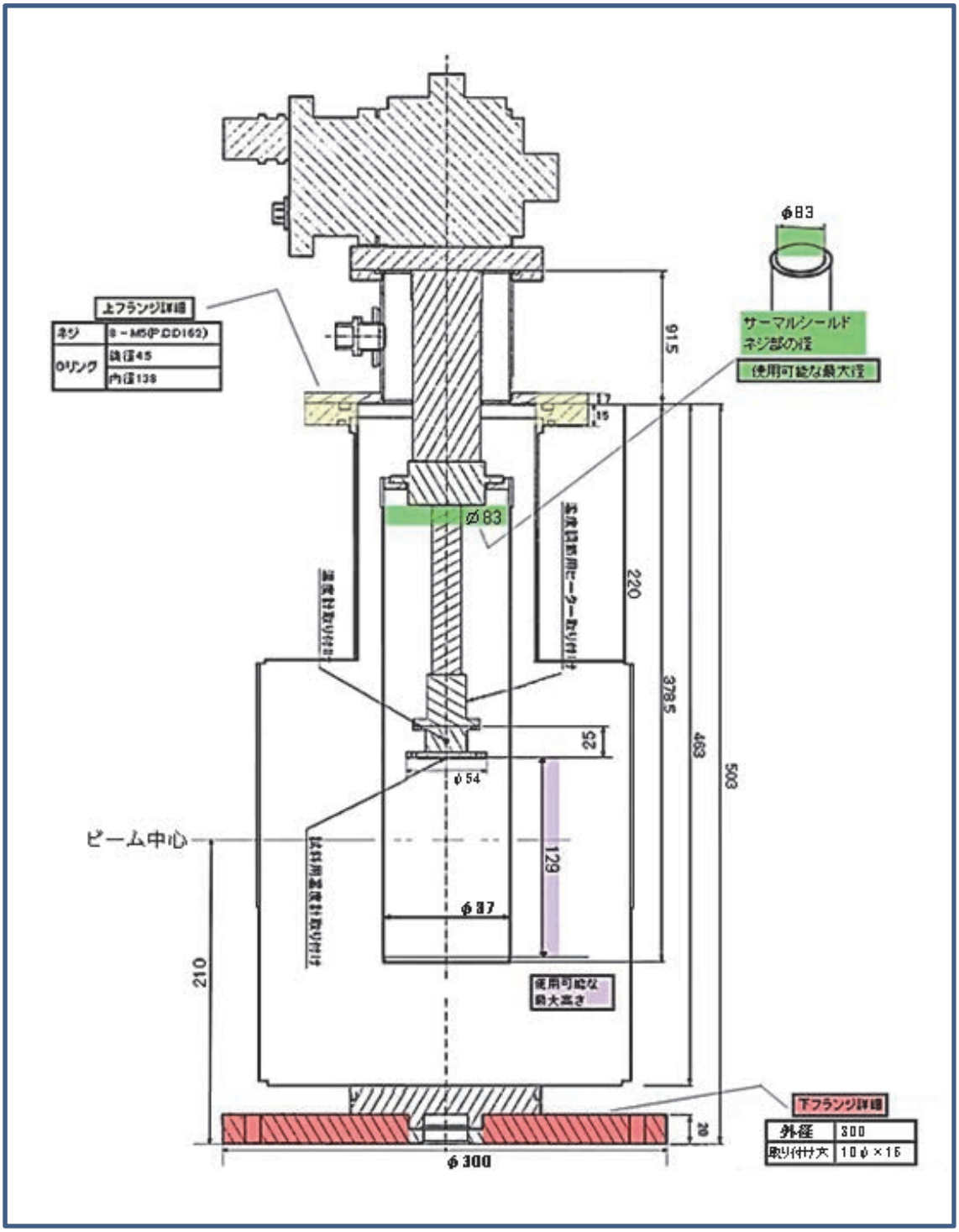


Figure 2.9.2 Drawing of 4KTN01 G-02

Photo 2.9.2 Around cold finger of 4KTN01 G-02

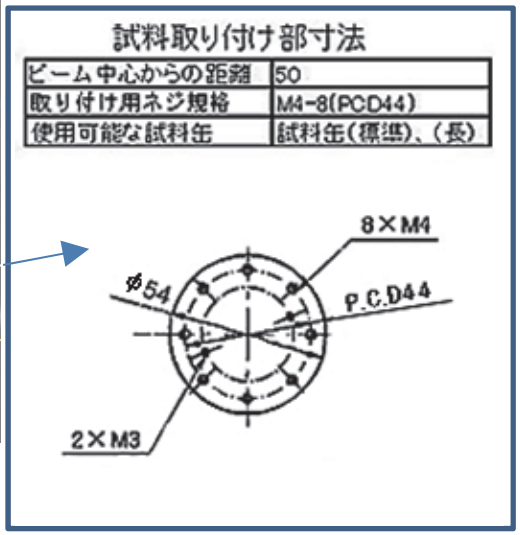


Figure 2.9.3 Sample mounting point of 4KTN01 G-02

２．１０　800KRG　G-01

（中型、冷却能力中、加温能力大、ガイドホール用、TAS-2、MUSASI、LTAS、RESA）

10K~800K の温度範囲で測定が可能な GM 型冷凍機。試料を取り外しすることなく広範囲な温度領域で実験が出来る特殊な冷凍機である。低温域はダイオードセンサー、高温域は PT 抵抗温度センサーで測温する。

Photo 2.10.1　800KRG G-01

Table 2.10.1　800KRG　G-01　performance

冷却所要時間		２時間
試料取付け所要時間		３０分
真空排気時間		１時間
真空バルブ口径		NW25
最低到達温度	温調	6.7 [K]

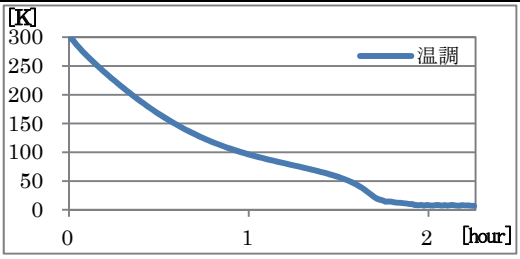


Figure 2.10.1　Cooling curve　of　800KRG　G-01

Table 2.10.2　Specification　of　800KRG G-01　refrigerator

名称			800KRG G-01
型式			A.R.S 社製、DE-202
温度範囲			4 K < *T* < 800 K
試料空間（最大キャパシティ）			φ129 mm × 114 mm
温度コントローラー			Lake　Shore 340　Temperature　Controller
温度センサー	温調用	低温域	Si Diode　番号 : None 熱電対(AuFe 0.7 % T/C)　番号 : None
		高温域	PT 抵抗測定素子　番号 : None 熱電対(Type-E)　番号 : None
	試料用	低温域	Si Diode　番号 : None 熱電対(AuFe 0.7% T/C)　番号 : None
		高温域	PT 抵抗測定素子　番号 : None 熱電対(Type-E)　番号 : None
ヒータータイプ			INPUT 22 W(at 800 K)　巻線 40 Ω

Table 2.10.3　Specification　of　800KRG G-01　compressor

型式	ARS-830 COMPRESSOR Water Cooled
供給電源	単相 200 V　50 Hz/60 Hz
電力	3.8 KW
電流	17.0 A
冷媒	純ヘリウムガス
外形寸法	457 W × 457 D × 546 H(mm)
圧力	静止時 1.7 MPa
重量	68 Kg
運転時許容環境温度	5～28 ℃

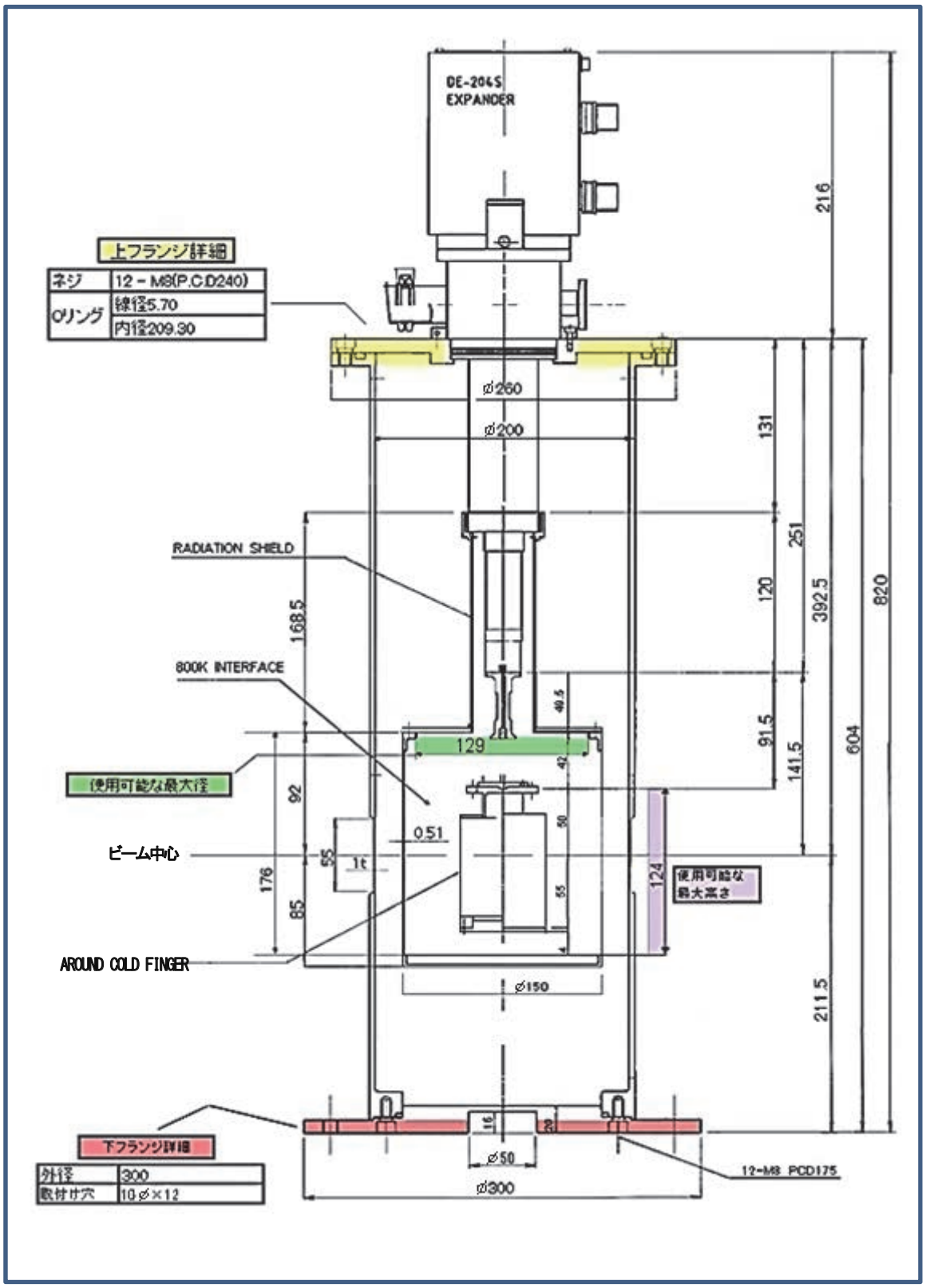
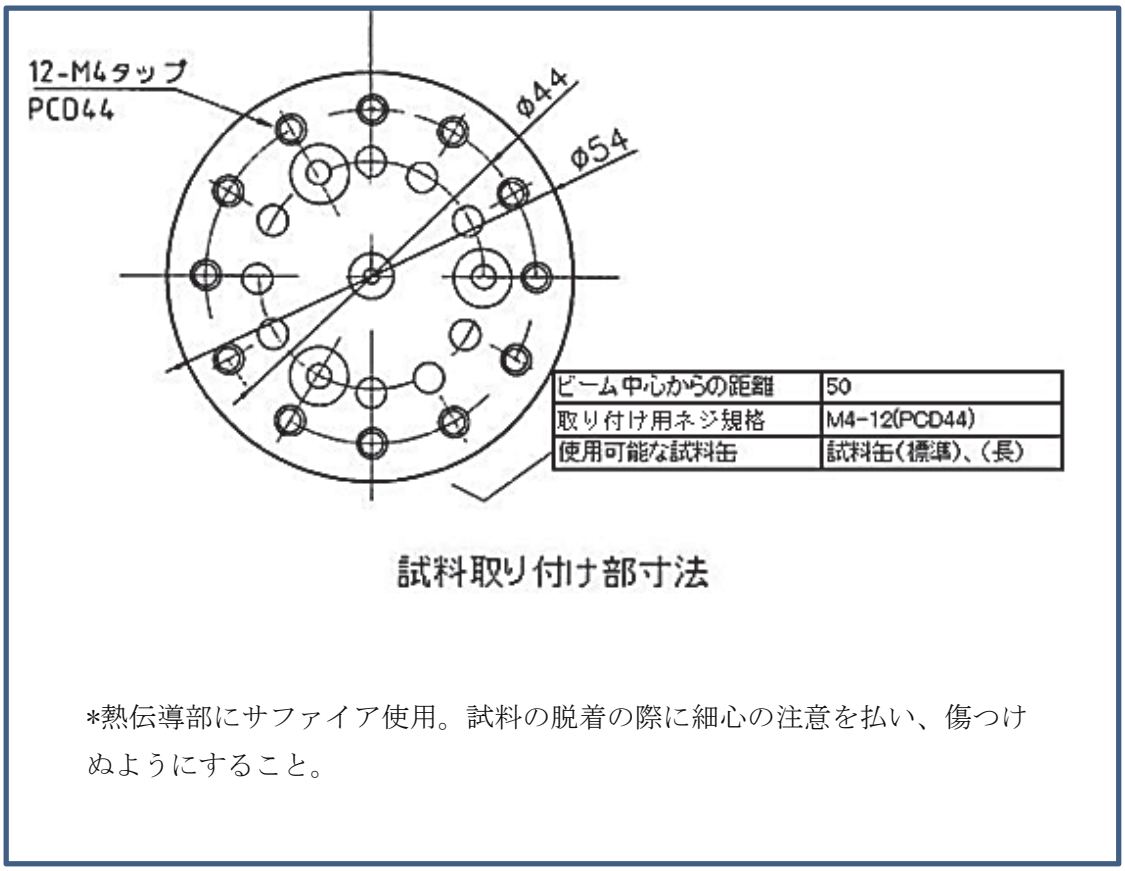


Figure 2.10.2 Drawing of 800KRG G-01



*熱伝導部にサファイア使用。試料の脱着の際に細心の注意を払い、傷つけぬようにすること。

Figure 2.10.3 Sample mounting point of 800KRG G-01

3．特殊機器

ここからはJRR-3のガイドホール及び、炉室で使われている特殊機器について記す。内容については簡潔に述べるに留める。熟練者向けの機器であることや、通常の実験より大がかりな実験になることが多く、詳細については専用のマニュアルを参照することが必要である。また、装置担当者からの訓練を要することも多い。よってここでは簡単な仕様と図面を記すことにする。

Table 3.1.1 Available equipment list of special accessories

名称	10T(13.5T)用4K冷凍機	^{3}He クライオスタット	オレンジクライオスタット	mK クライオクーラー	10T(13.5T)用希釈冷凍機	5T 縦磁場超電導磁石用希釈冷凍機	10T 縦磁場超電導磁石	13.5T 縦磁場超電導磁石	5T 縦磁場超電導磁石	5T 横磁場超電導磁石	1T 水冷常電導磁石	1000K 電気炉
使用可能装置	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, SANS-J-II	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, HRPD	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, HRPD	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, HRPD	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, SANS-J-II	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, HRPD, SANS-J-II	TAS-1, TAS-2, LTAS, MUSASI, SANS-J-II	TAS-2	TAS-1, TAS-2, MUSASI,LTAS,HRPD SANS-J-II	TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, SANS-J-II	TAS-2, MUSASI, LTAS, SANS-J-II, SUIREN	TAS-1, HRPD
製造会社・型番	鈴木商館・RDK306	Oxford Instruments・Heliox	A.S. Scientific Products・100mm Maxi・50mm Cryostat	鈴木商館	鈴木商館	Oxford Instruments・Kelvinox	住友重機械工業	住友重機械工業	Oxford Instruments	Oxford Instruments	NEC トーキン・偏極中性子回折用電磁石	宮尾特殊装置製作所・中性子回折用高温炉

3．1　10T(13.5T)用4K冷凍機（TAS-1，TAS-2，MUSASI，LTAS，SANS-J-Ⅱ）

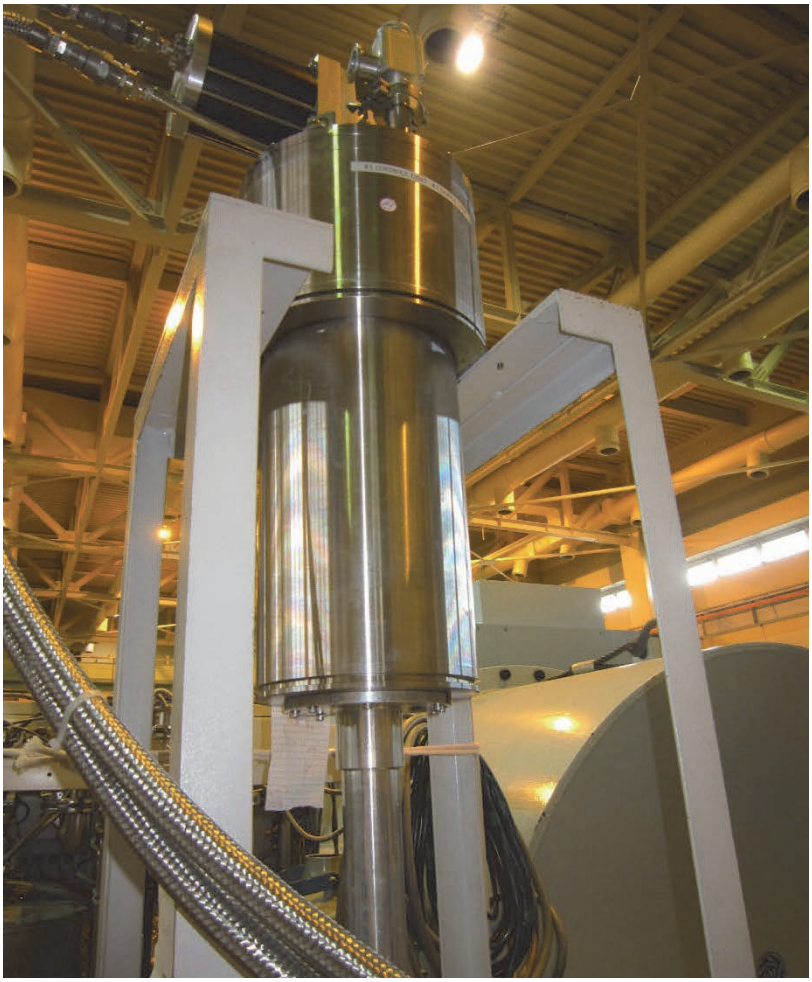


Photo 3.1.1　4K　refrigerator　for　10T(13.5T) superconducting magnet

Table 3.1.2　Specification　of　4K　refrigerator　　for　10T(13.5T) superconducting magnet

温度範囲	4 K < T < 300 K

3．2 ^{3}He クライオスタット（TAS-1，TAS-2，MUSASI，LTAS，HRPD）

Photo 3.2.1 ^{3}He cryostat

Table 3.2.1 Specification of ^{3}He cryostat

温度範囲	0.3 K < T < 300 K
試料空間内径	φ100 mm
冷却時間	２日以下
最低温度維持時間	５０時間以上

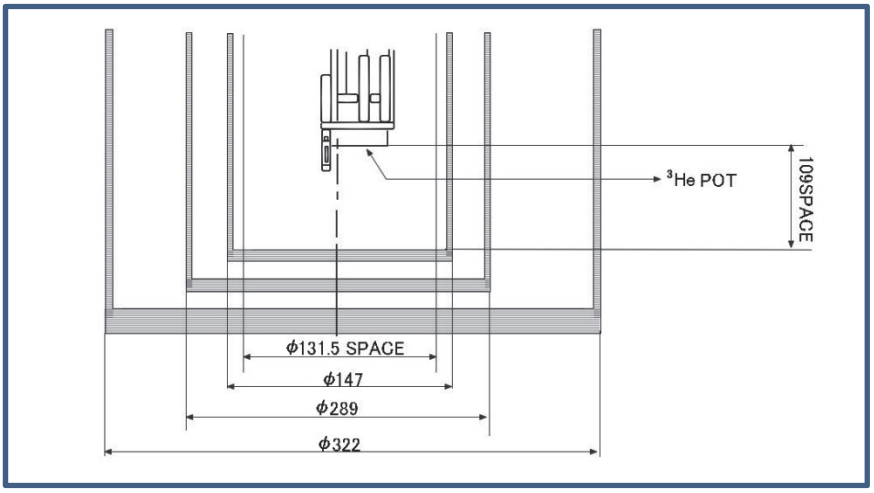


Figure 3.2.1 Drawing of ^{3}He cryostat

３．３　オレンジクライオスタット（100mm maxi）（TAS-1，TAS-2，MUSASI，LTAS，HRPD）

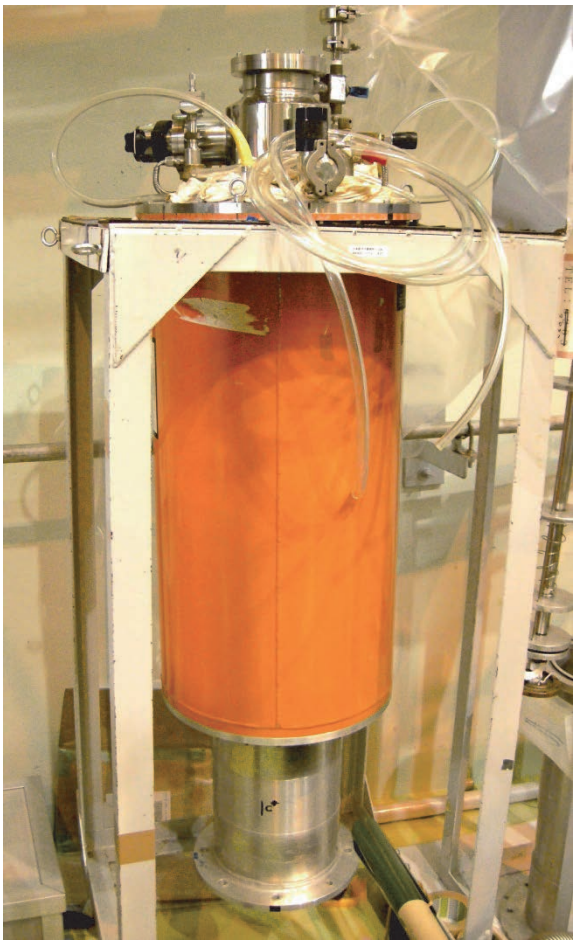


Photo 3.3.1　100mm maxi

Table 3.3.1　Specification　of　100mm　maxi

温度範囲	1.5 K < T < 300 K
試料空間内径	100 mm
LN_2槽　維持時間	３０時間
L ^{4}He 槽　維持時間	２６０時間
4.2K　維持時間	１１０時間
加熱時間 1.5K⇒50K(25V)	４分
冷却時間 50K⇒4.2K	２２分
冷却時間 4.2K⇒1.5K	３分

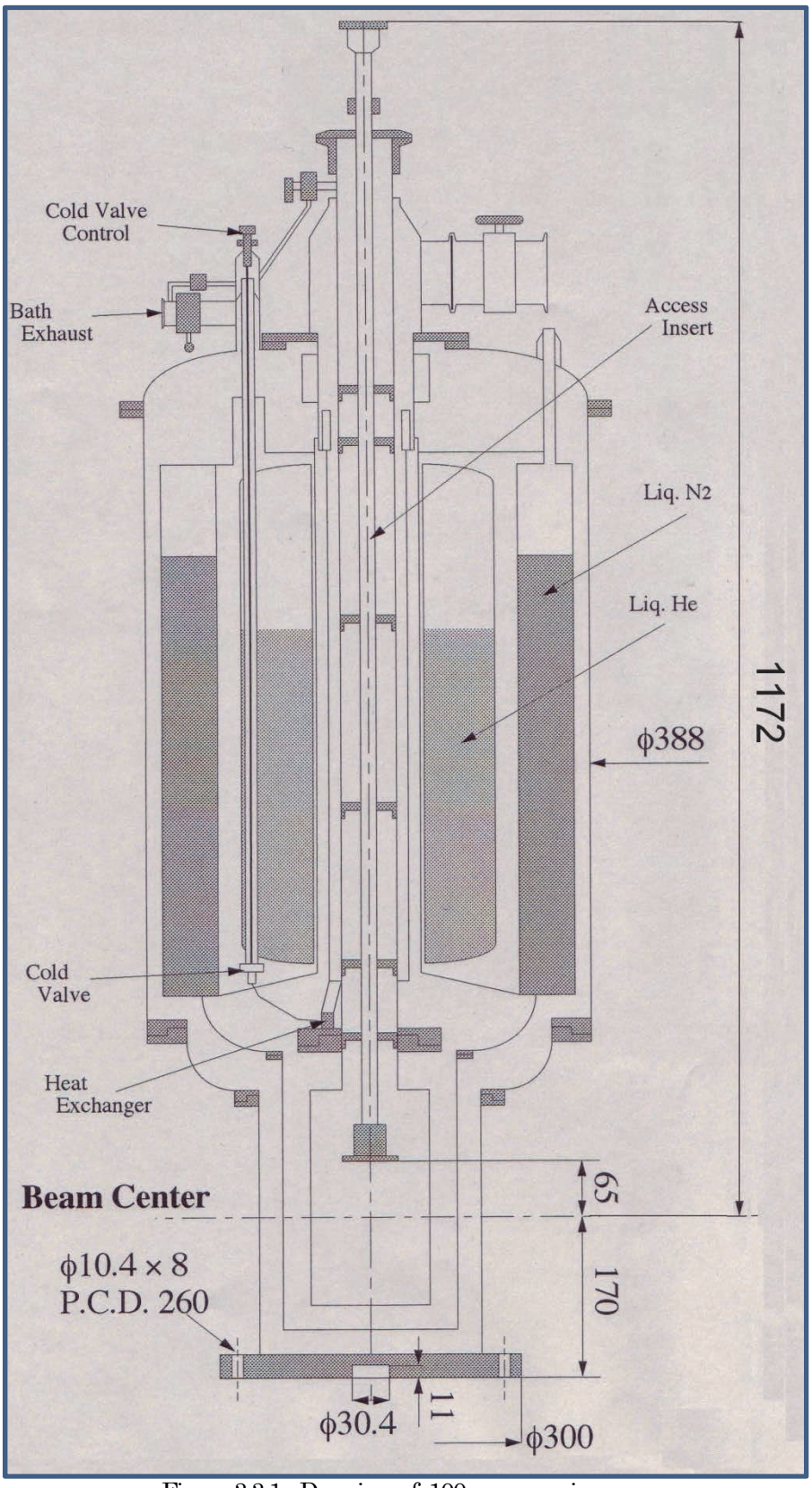


Figure 3.3.1 Drawing of 100mm maxi

3．4　mKクライオクーラー（TAS-1, TAS-2, MUSASI, LTAS, HRPD）

Photo 3.4.1　mK　cryocooler

Table 3.4.1　Specification　of　mK　cryocooler

温度範囲	50 mK < T < 300 K

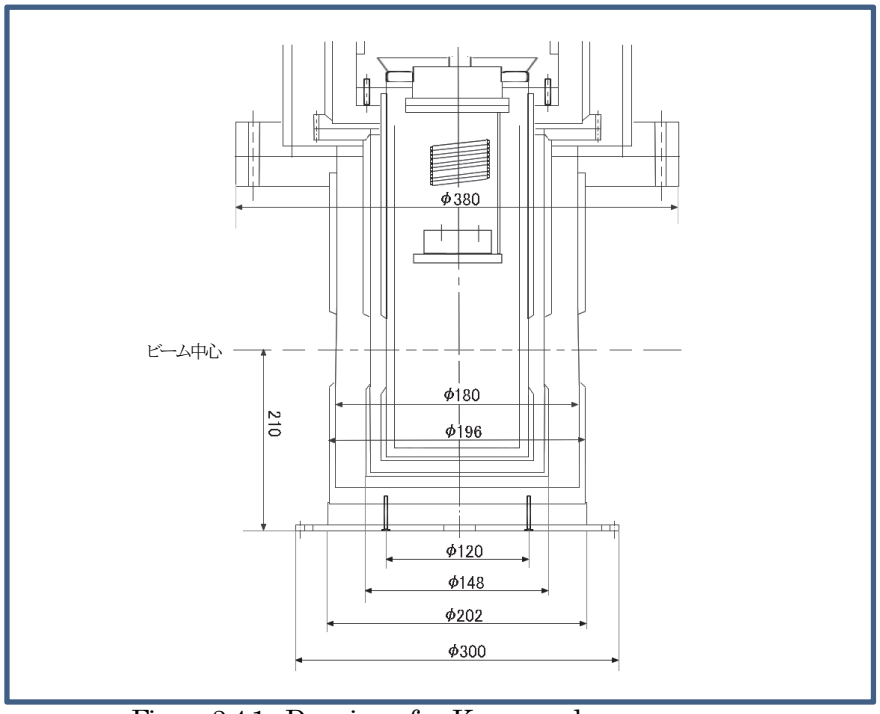


Figure 3.4.1　Drawing　of　mK　cryocooler

３．５　5T 縦磁場超電導磁石用希釈冷凍機（TAS-1,TAS-2,MUSASI,LTAS, HRPD, SANS-J-Ⅱ）

Photo 3.5.1　Dilution　refrigerator　for　5T　superconducting magnet(vertical)

Table 3.5.1　Specification　of　dilution　refrigerator　for　5T　superconducting magnet(vertical)

温度範囲	15 mK < T < 300 K

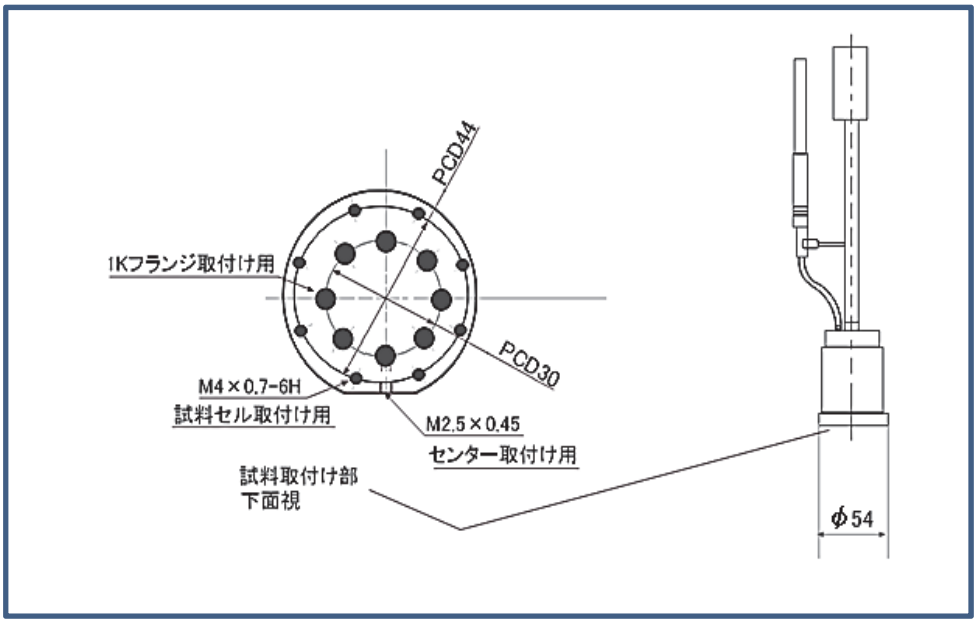


Figure 3.5.1　Drawing of dilution　refrigerator　for　5T　superconducting magnet(vertical)

３．６　10T(13.5T)用希釈冷凍機（TAS-1,TAS-2,MUSASI, LTAS, SANS-J-Ⅱ）

Photo 3.6.1 Dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet

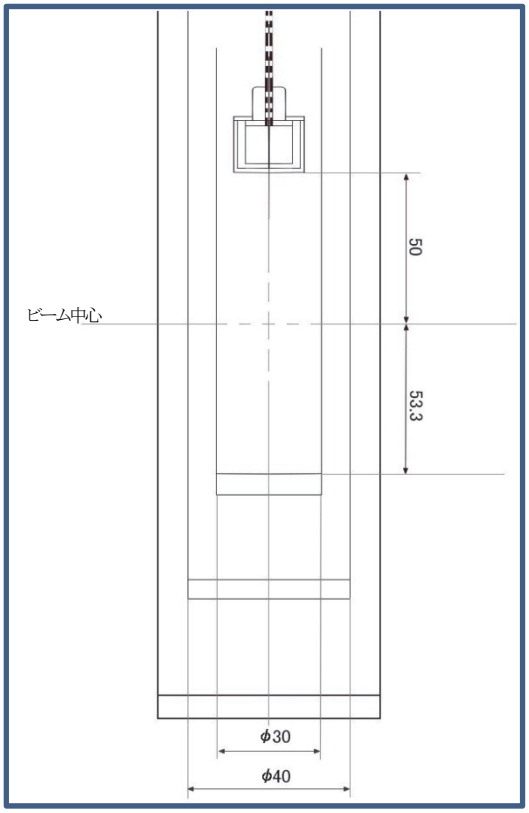


Figure 3.6.1 Drawing of dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet

Table 3.6.1 Specification of dilution refrigerator for 10T(13.5T) superconducting magnet

温度範囲	100 mK < T < 300 K
試料空間内径	φ25 mm
冷却時間	１．５日以下

３．７　10T 縦磁場超電導磁石（TAS-1，TAS-2，LTAS，MUSASI，SANS-J-Ⅱ）

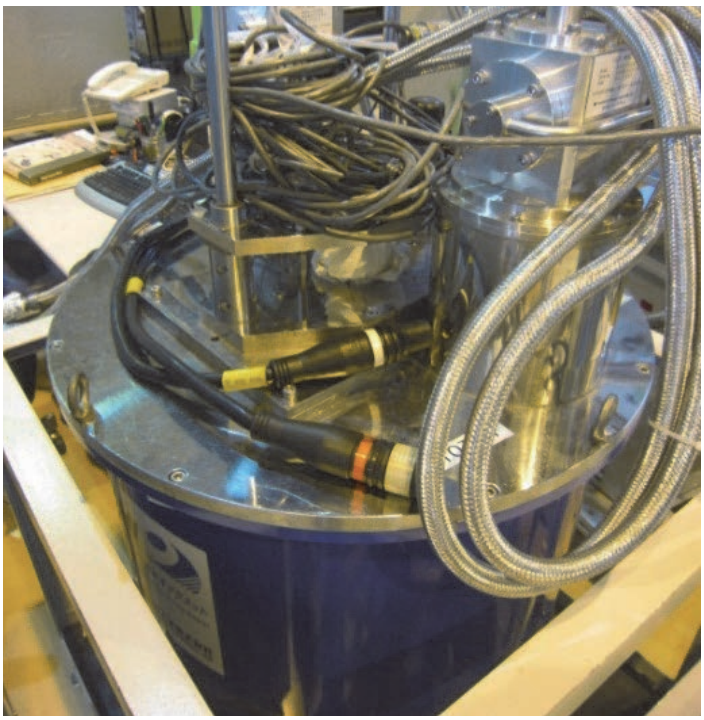


Photo 3.7.1　10T　superconducting magnet(vertical)

Table 3.7.1　Specification　of　10T　superconducting magnet(vertical)

発生磁場	-10 T < H < 10 T
磁場均一度	1 %/20 mm
励磁速度	10 T まで約２５分
デッドスペース角度	40°
ギャップ部入射孔	30 mm × 30 mm
アルミ厚さ	50～50.5 mm
初期冷却時間	約５２時間
室温ボア径	φ50 mm（4K、希釈冷凍機等）

３．８　13.5T 縦磁場超電導磁石（ TAS-2 ）

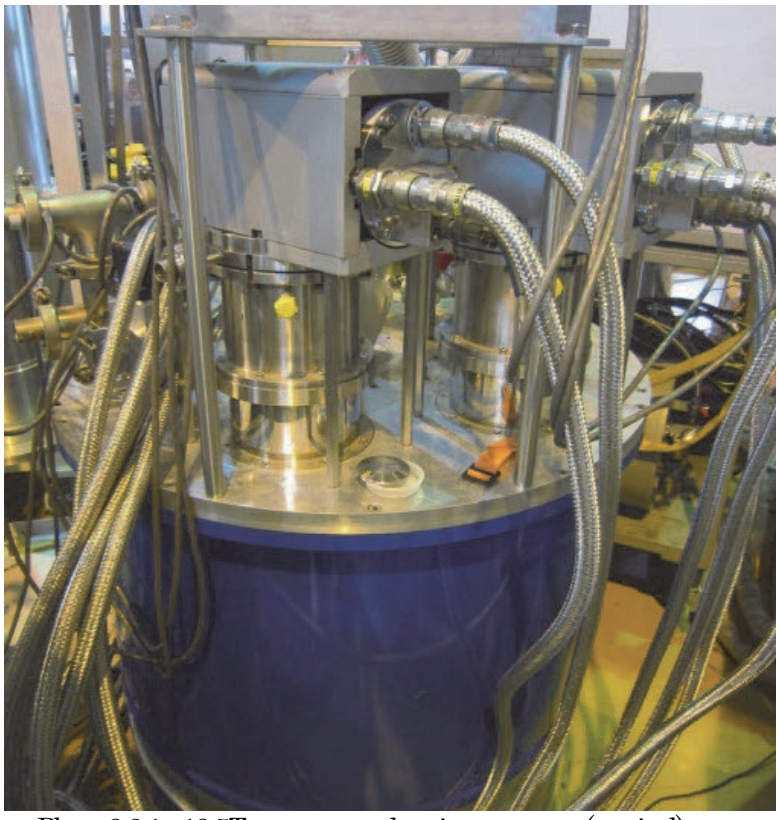


Photo 3.8.1　13.5T　superconducting magnet(vertical)

Table 3.8.1　Specification　of　13.5T　superconducting magnet(vertical)

発生磁場	-13.5 T < H < 13.5 T
磁場均一度	1 %/1 cm^3
ギャップ部寸法	有効10 mm（ビーム角度調整分３° を含む）
励磁速度	13.5 T まで約６０分
デッドスペース角度	90°
ギャップ部入射孔	幅20 mm
初期冷却時間	約１５０時間
室温ボア径	φ50 mm

３．９　5T 縦磁場超電導磁石（ TAS-1 , TAS-2 , MUSASI , LTAS ,　HRPD , SANS-J-Ⅱ ）

Photo 3.9.1　5T　Superconducting magnet(vertical)

Table 3.9.1　Specification　of　5T　superconducting magnet(vertical)

発生磁場	-5 T < H < 5 T
超電導磁石ボア径	100 mm
デッドスペース角度	3 × 5°　equispaced
温度範囲	1.5～300 K
LN_2槽　体積	50 ℓ
蒸発量	390 ℓ/h
L ^{4}He 槽　体積	40 ℓ/h
蒸発量	0.475 ℓ/h

３．１０　5T 横磁場超電導磁石（ TAS-1 , TAS-2 , MUSASI , LTAS , SANS-J-Ⅱ ）

Photo 3.10.1　5T　superconducting magnet(horizontal)

Table 3.10.1　Specification　of　5T　superconducting magnet(horizontal)

発生磁場		−5 T < H < 5 T
磁場均一度		1%/10 mm DSV
コイル		スプリット間隔　95 mm
中性子アクセス範囲		40°× 2（水平面内）， 31°× 2（垂直面内）
液体窒素保持時間		２００時間以上（超電導磁石部）
液体 ^{4}He 保持時間		２００時間以上（超電導磁石部、 ^{4}He インサート部共に）
LN_2槽　体積		90 ℓ
L ^{4}He 槽　体積		80 ℓ
クライオスタット	試料空間内径	φ76 mm
	温度範囲	1.5 K < T < 300 K

３．１１　1T水冷常電導磁石

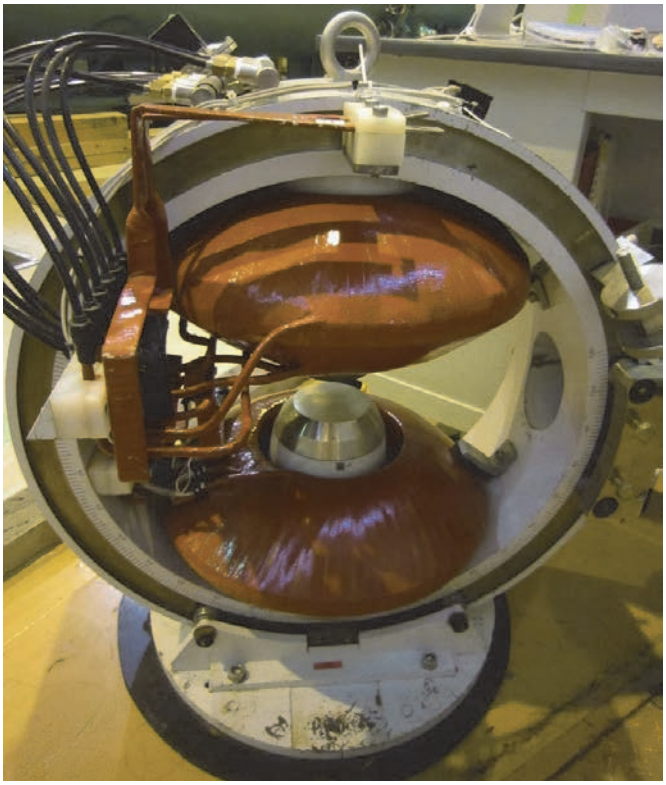


Photo 3.11.1　1T　water　cooled　registive　electromagnet

Table 3.11.1　Specification　of　1T　water cooled　registive　electromagnet

磁場強度	電流　120 A
	磁極間隙　50 mm
	磁場強度　10 KG
磁極回転角	±90°

３．１２　炉室1000K電気炉

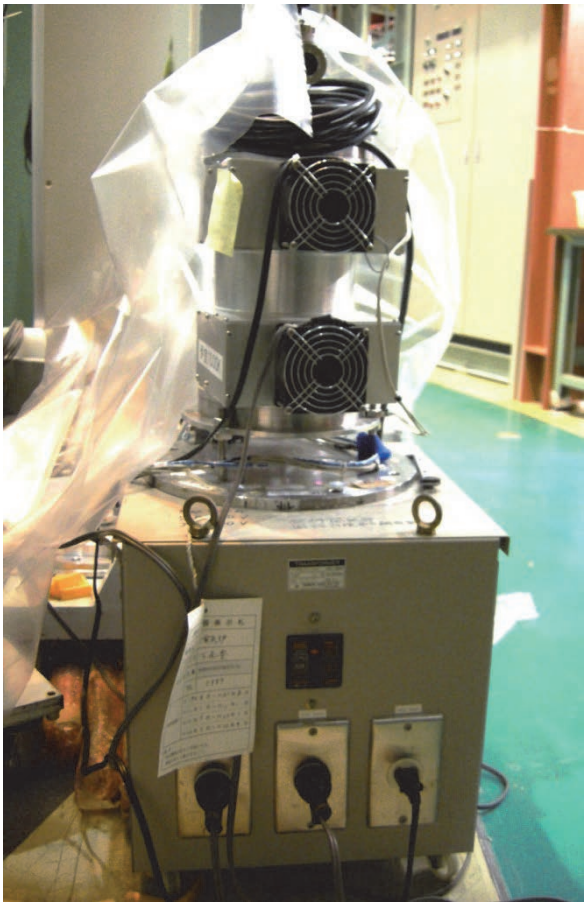


Photo 3.12.1　1000K　electric　furnace

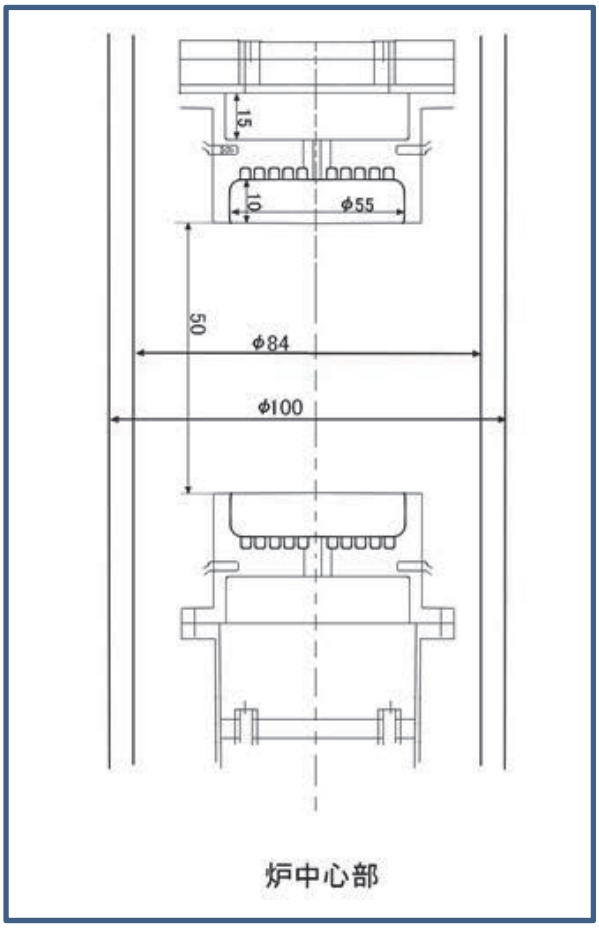


Figure 3.12.1　Drawing　of　1000K　electric　furnace

Table 3.12.1　Specification　of　1000K　electric　furnace

温度範囲	室温 ＜ T ＜ 1000 K

4．容器

試料は、粉末、固形単結晶、単結晶試料に分類できるが、これらの試料を測定条件に合わせて取り付けるために工夫が施される。試料容器に要求される条件は、材料による中性子吸収が少ないこと、バックグランドを上げる原因が少ないこと、経済的で価格が低いこと、試料物質と化学反応を起こしにくいこと、加工が容易であること、そして回折パターンが複雑でないこと等が上げられる。

これらを満足する材料にアルミニウムがある。ただし厄介な一面もある。試料の回折パターンと同時にアルミニウムの回折パターンも測定されてしまうことである。もちろん、空容器だけを測定し差し引きを行えば試料の回折パターンだけを得ることが出来るが、余分な測定時間を必要とする。このような面倒を避けるために、現在では、ほとんどの測定でバナジウム容器が使用されている。

バナジウムは、非干渉性散乱によって回折バックグランドを若干上げるものの、干渉性散乱が極めて小さいために余分な回折パターンをほとんど与えず、試料の回折パターンがきれいに得られる。また、バナジウムは融点が高く、高温条件における優れた試料容器材料である。下図に低温用バナジウム容器を示す。さまざまなサイズの容器が製作可能である。

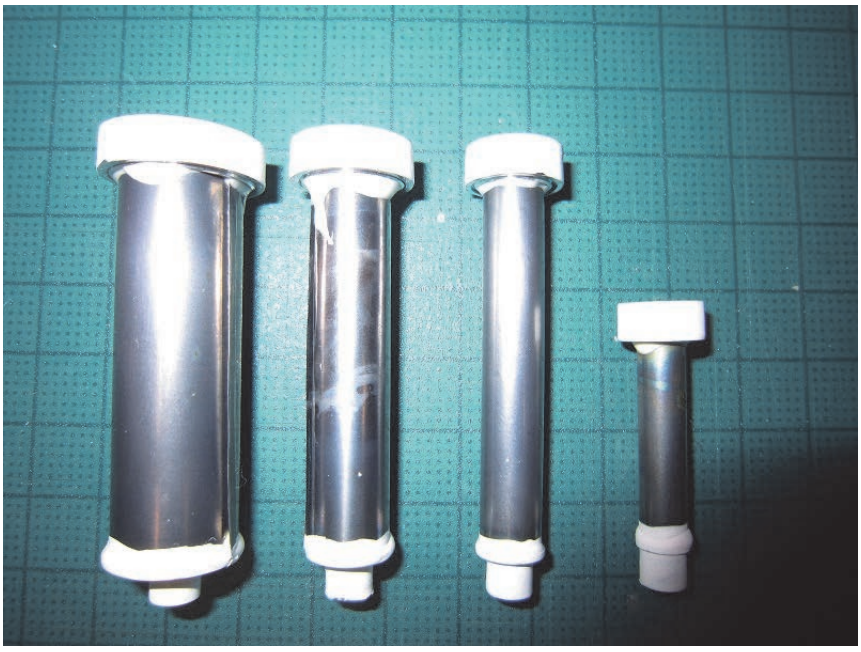


Photo4.1.1 Vanadium containers

４．１　密封容器

試料の酸化を防止と冷凍機で効率良く試料を冷却させるため、ヘリウムガス雰囲気で密封する容器が用意されている。下図に密封容器を示す。材質はアルミニウムを用い、中性子が通過する所の厚みは0.5 mmで製作されている。上部は、冷凍機取り付け用の熱伝導接触面。下部には試料容器取り付け用ネジが設けられ、ヘリウムガス置換後インジウムパッキングにより密封される。冷凍機や試料の大きさにより何種類かある。

Photo 4.1.2　Sample cans

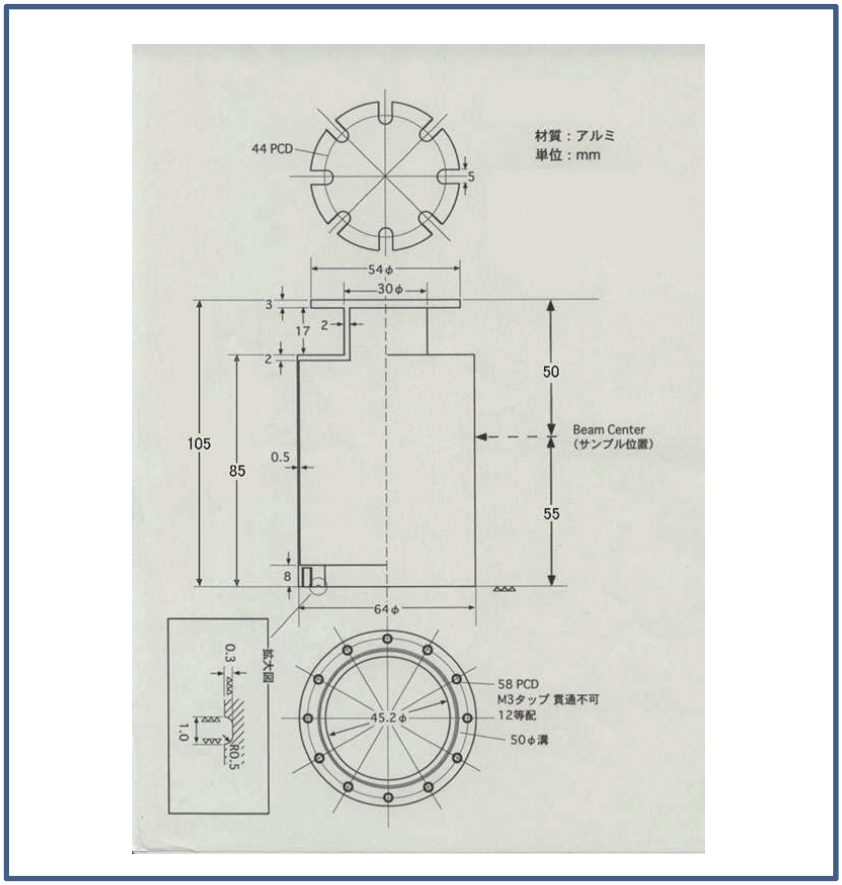


Figure 4.1.1　Drawing of sample can(long)

Photo 4.1.3 Sample can(standard)

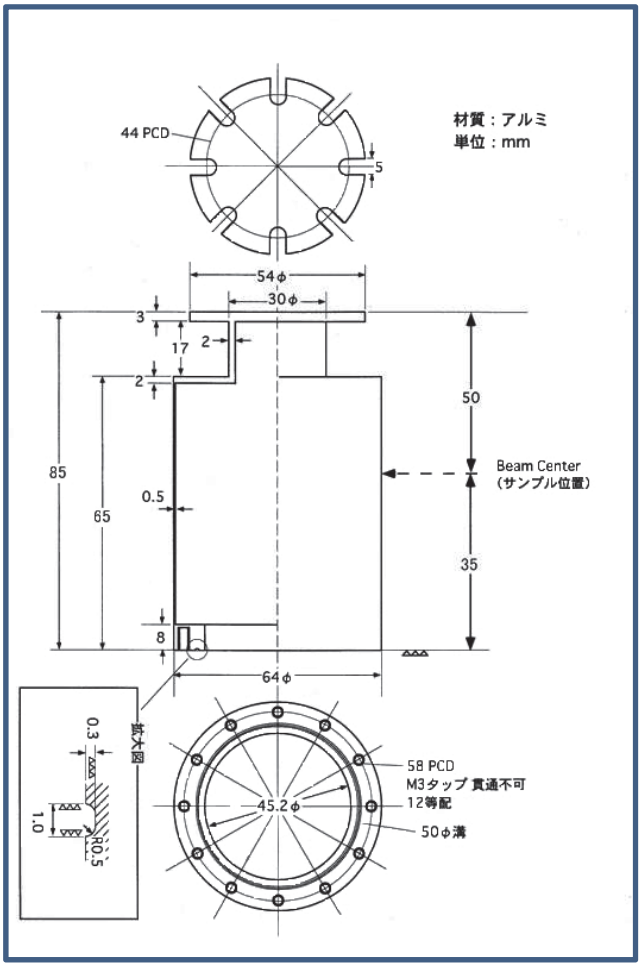


Figure 4.1.2 Drawing of sample can(standard)

試料缶（蓋）

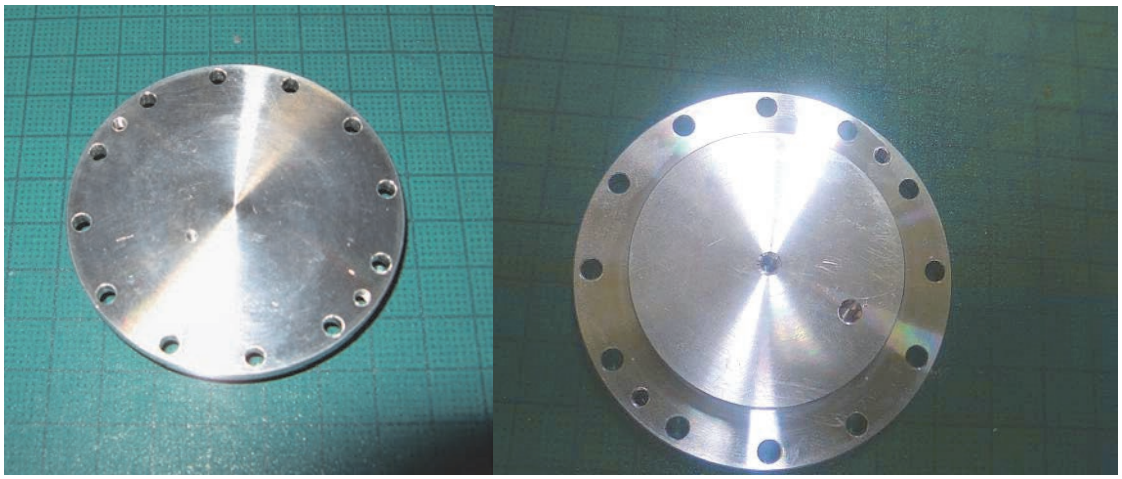


Photo 4.1.4 Lid of sample can

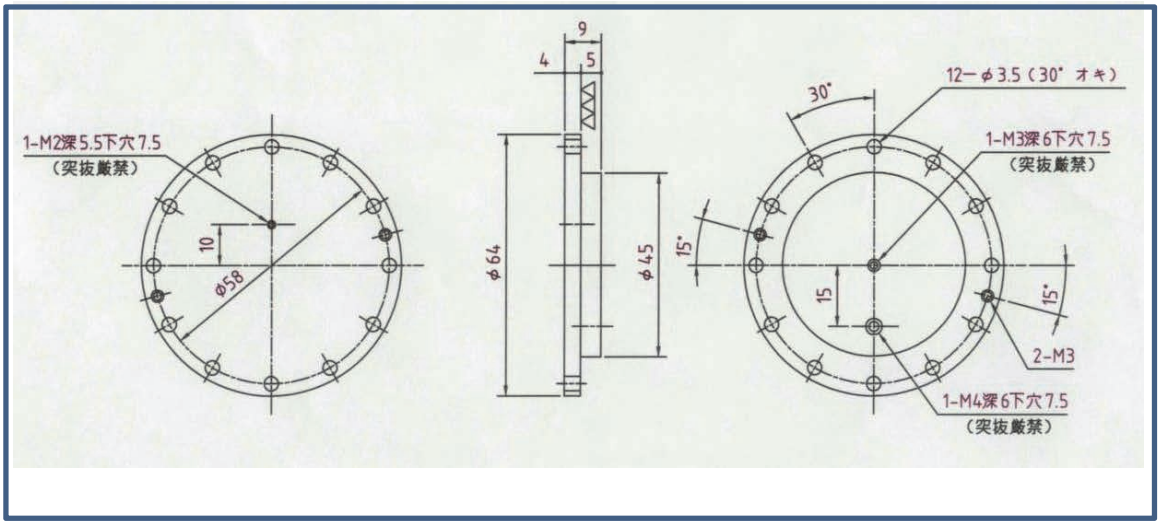


Figure 4.1.3 Drawing of lid of sample can

試料缶（強磁場用）

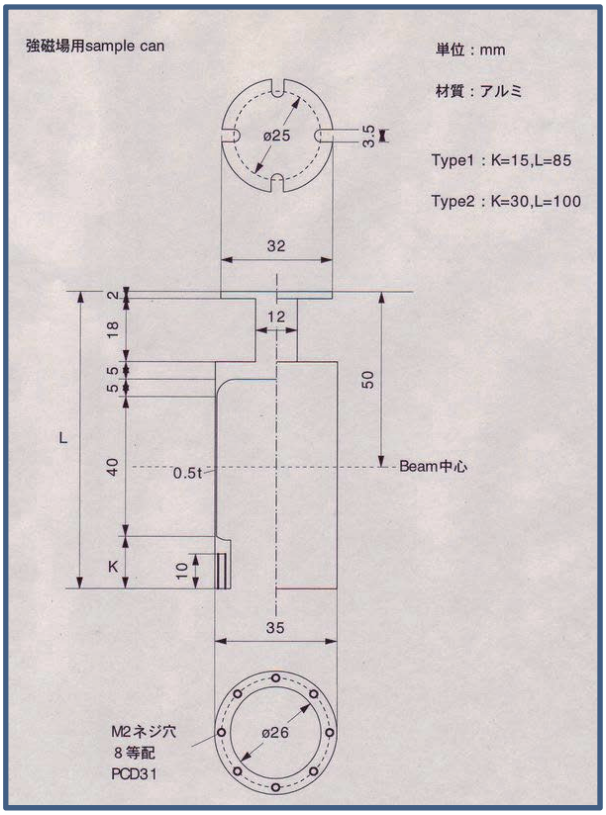


Figure 4.1.4 Drawing of sample cans for strong magnetic field

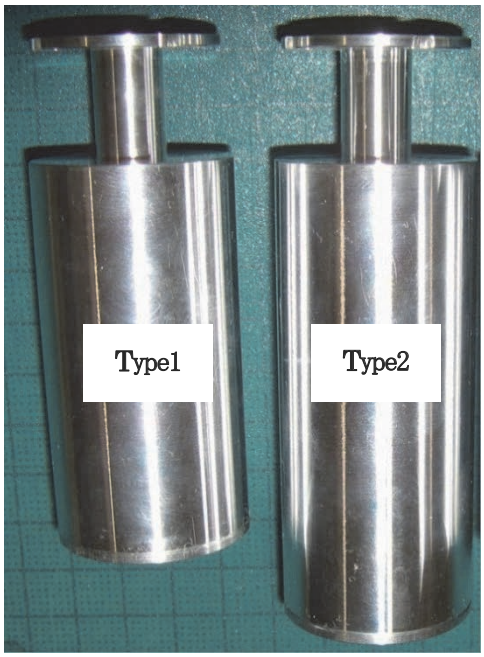


Photo 4.1.5 Sample cans for strong magnetic field

試料缶（強磁場用蓋）

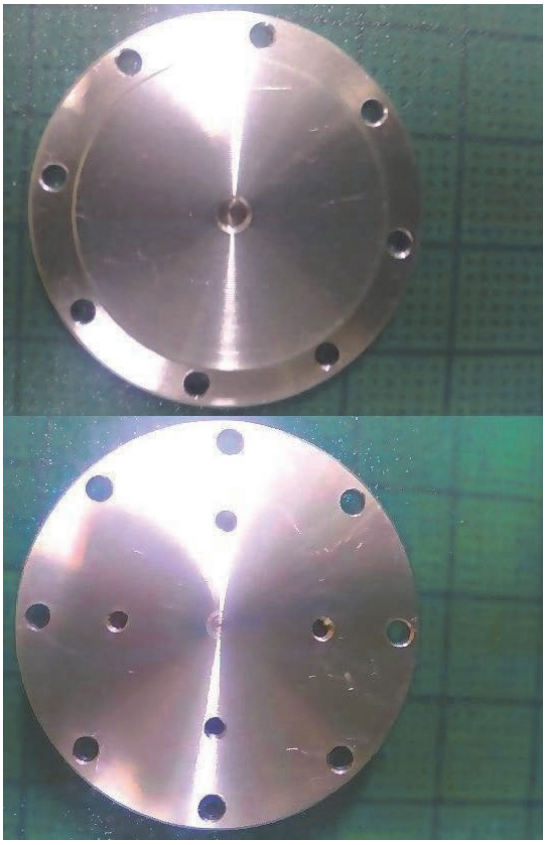


Photo 4.1.6 Lid of sample can for strong magnetic field

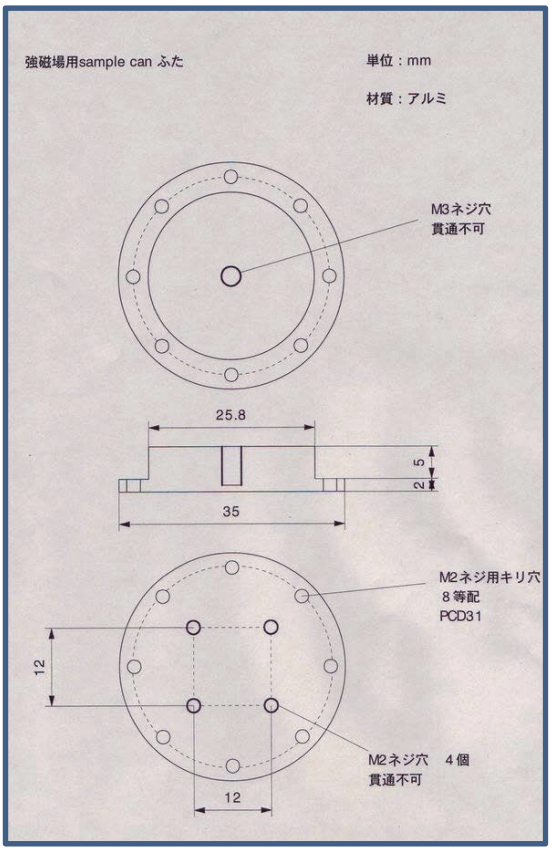


Figure 4.1.5 Drawing of lid of sample can for strong magnetic field

5. 共通機器

5．1 サンプルホルダー

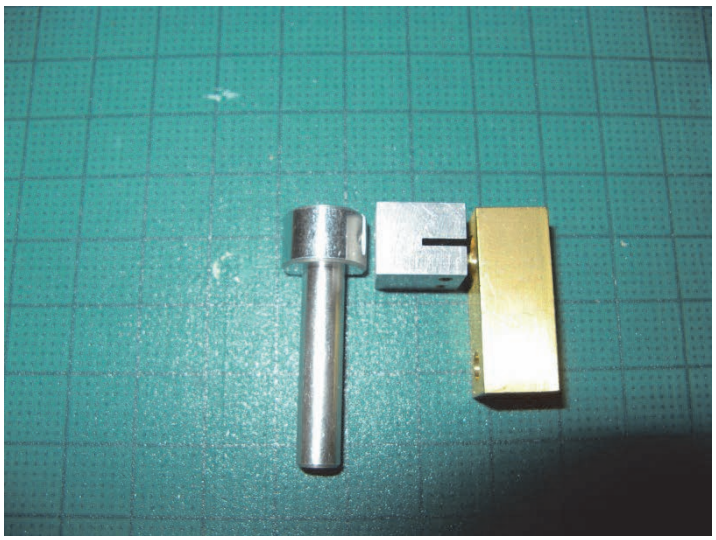


Photo 5.1.1 Sample holder

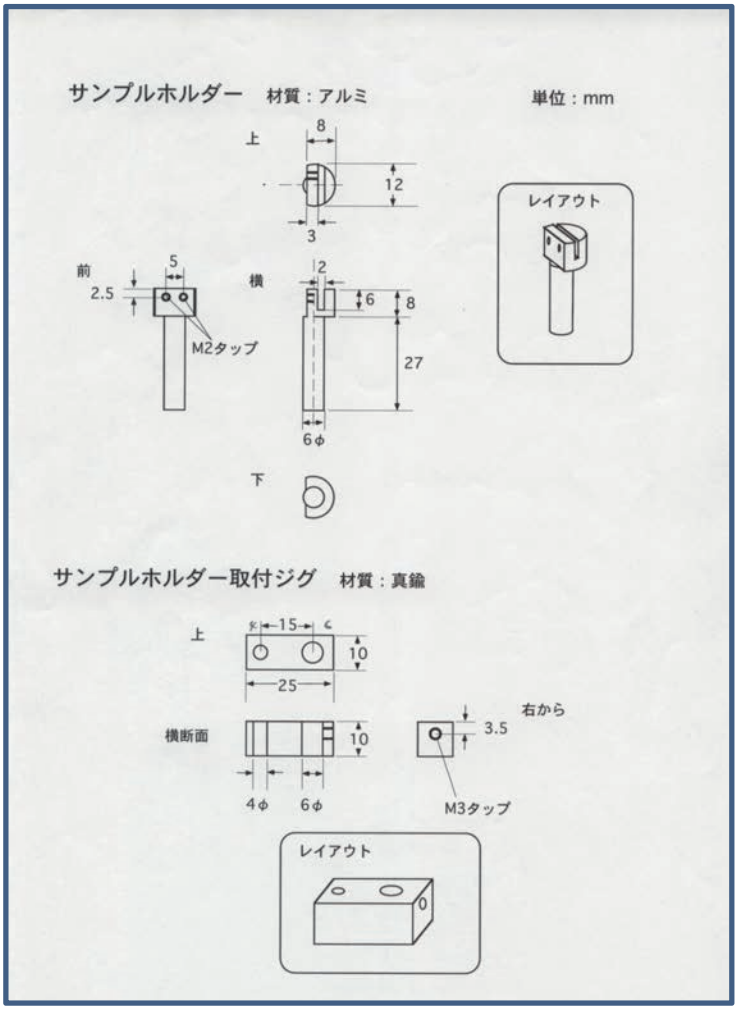


Figure 5.1.1 Drawing of sample holder

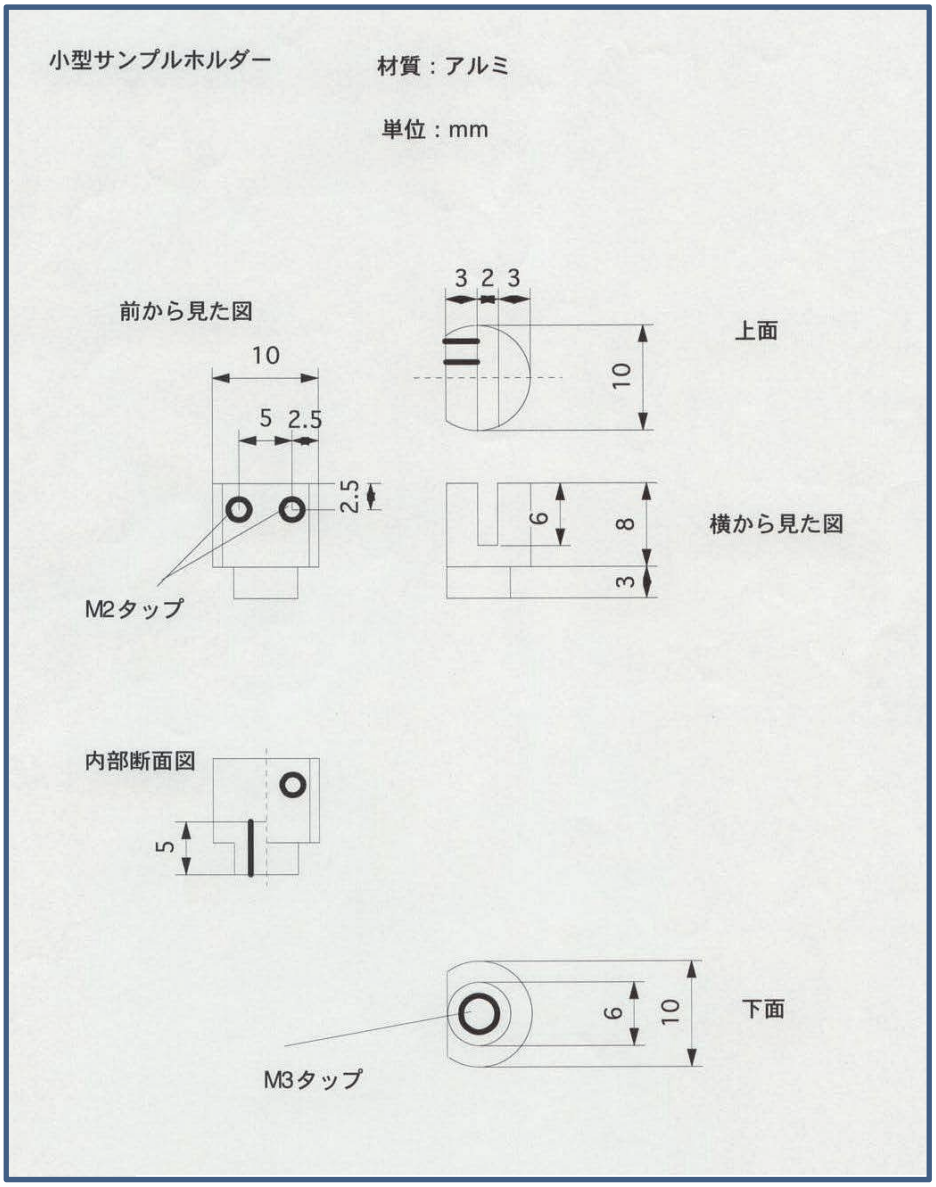


Figure 5.1.2 Drawing of small sample holder

５．２　位置決めピン

Photo 5.2.1　Positioning　pin

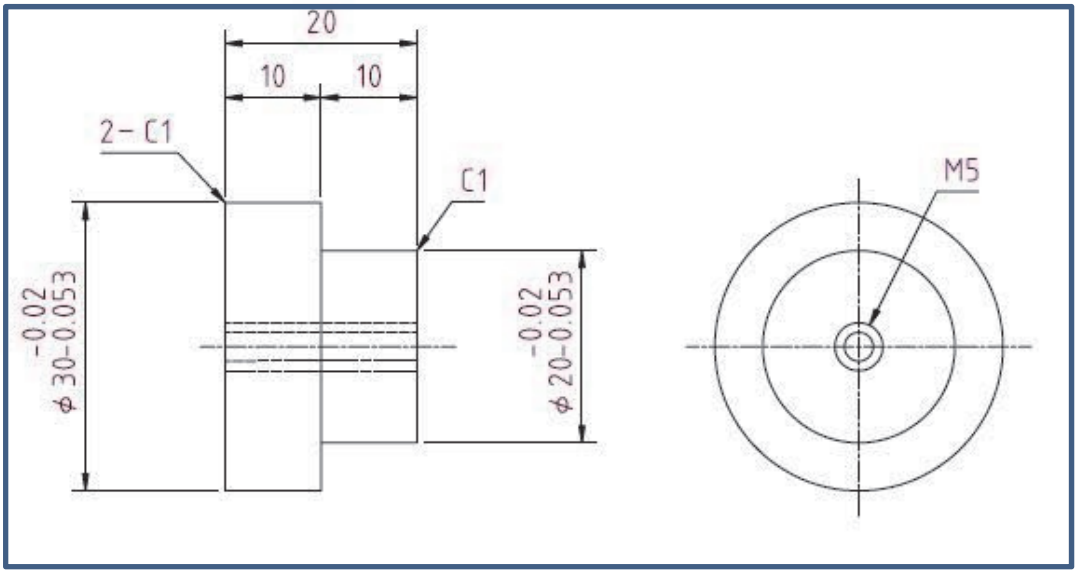


Figure 5.2.1　Drawing of positioning　pin

6．高真空排気装置

実験時に 10^{-6} Torr の高真空を得るための装置である。ロータリーポンプとターボポンプを組み合わせて使用するものが多い。

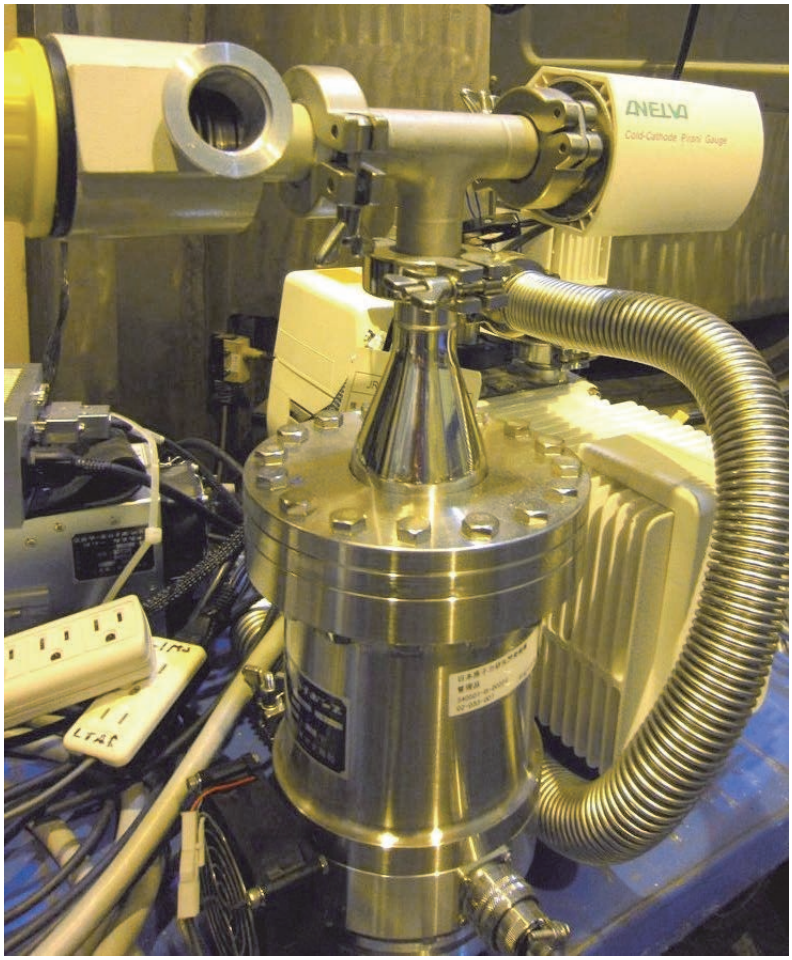


Photo 6.1.1　Turbo pump

６．１　ターボポンプ

ここからは高真空排気装置として主力となるターボポンプについて記す。写真のみの紹介とする。

・ターボポンプ＃５（使用電圧200V）

Photo 6.1.2　Turbo pump #5
(Working　voltage　200V)

・ターボポンプ＃７（使用電圧100V）

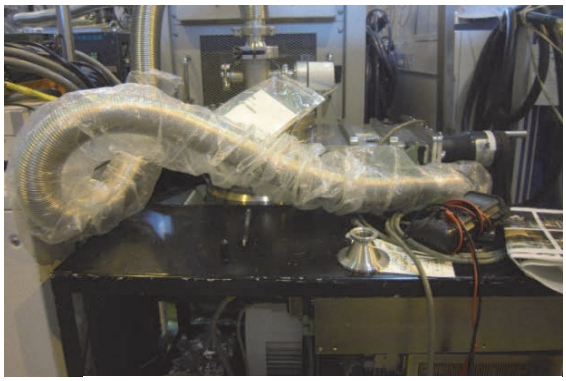


Photo 6.1.4　Turbo pump #7
(Working　voltage　100V)

・ターボポンプ＃６（使用電圧100V）

Photo 6.1.3　Turbo pump #6
(Working　voltage　100V)

・ターボポンプ＃８（使用電圧100V）

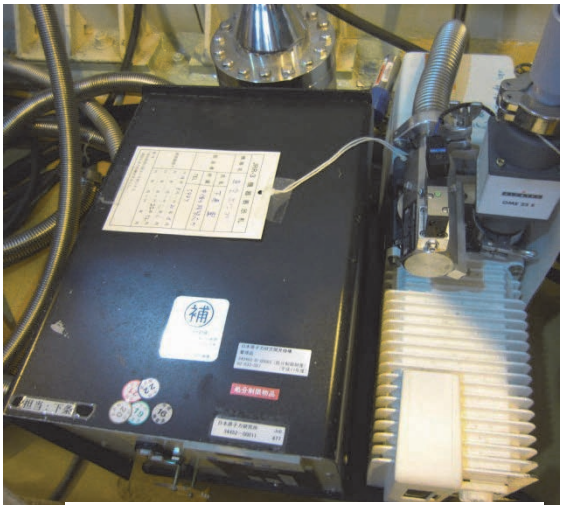


Photo 6.1.5　Turbo pump #8
(Working　voltage　100V)

・ターボポンプ（RESA用）（使用電圧100V）

Photo 6.1.6 Turbo pump for RESA (Working voltage 100V)

・大容量スクロールポンプ（使用電圧200V）

Photo 6.1.8 Large capacity scroll pump (Working voltage 200V)

・ターボポンプ（SANS用）（使用電圧100V）

Photo 6.1.7 Turbo pump for SANS (Working voltage 100V)

・電磁バルブ付ターボポンプ（使用電圧100V）

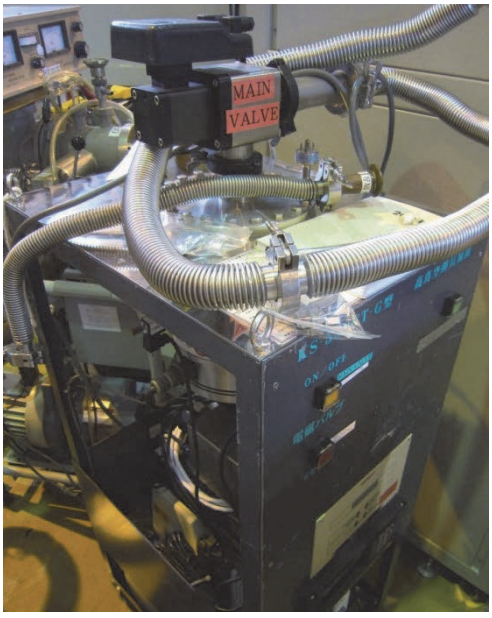


Photo 6.1.9 Turbo pump with solenoid valve (Working voltage 100V)

7．その他の機器

ここからはJRR-3のガイドホール及び、炉室で使われているその他の機器について記す。冷凍機なども入るが、使用頻度が低いものや装置に付随している特殊なものであり、その他の機器として記してある。写真のみの紹介とする。

・LTASフィルター冷却用冷凍機

Photo 7.1 Refrigerator for cooling filter of LTAS

・SANS用10K冷凍機

Photo 7.2 10K refrigerator for SANS

・RESA 専用冷凍機

（低温における材料の変形挙導を測定するための引っ張り試験機）

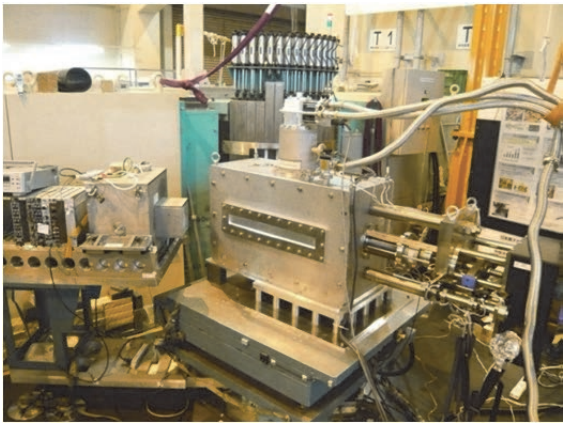


Photo 7.3 Refrigerator with tensile tester for RESA

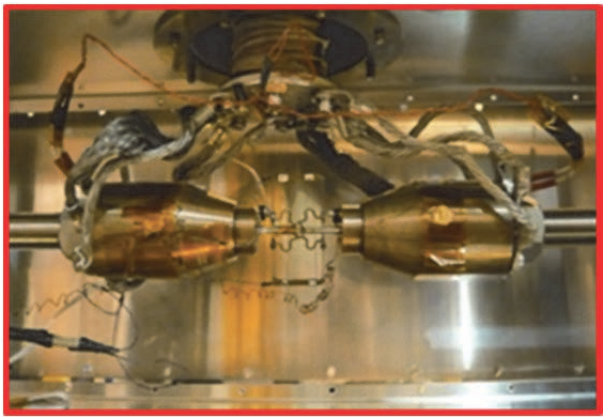


Photo 7.4 Sample holder
Temperature range：300 K～ 5 K
Maximum load ： 10 KN

・残留応力用引っ張り冷凍器 4K

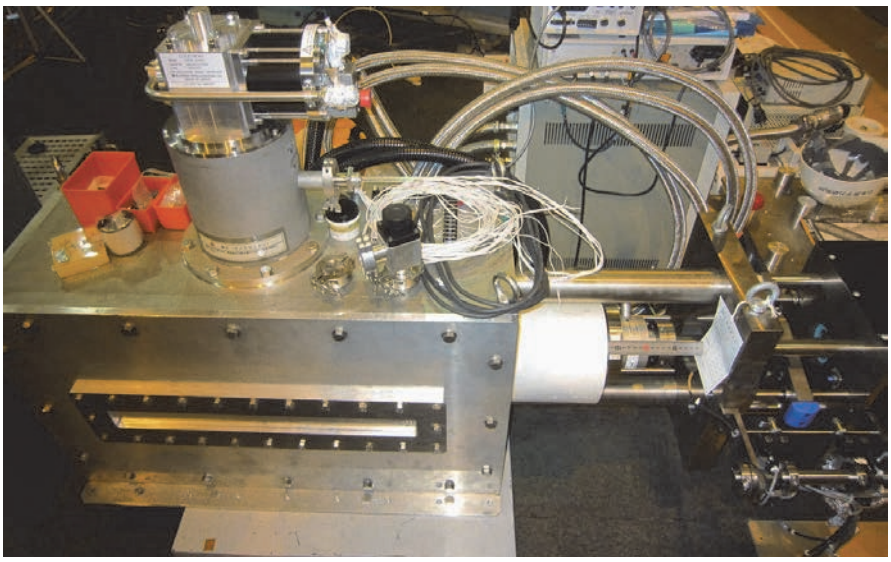


Photo 7.5 4K refrigerator with tensile tester for residual stress

・危険表示ランプ

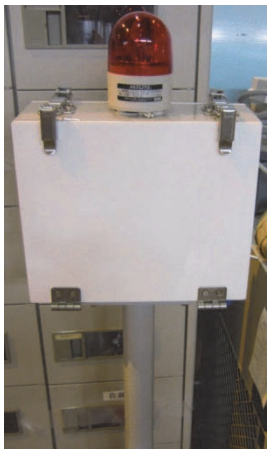


Photo 7.6 Risk indicator lamp

・χサークルゴニオ

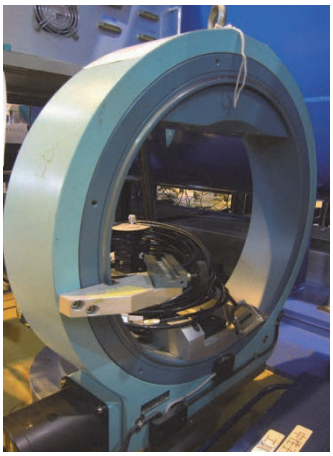


Photo 7.7 χ-circle goniometer

・液化窒素ボンベ

Photo 7.8 Liquid nitrogen tank

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度(a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(b)	（数字の） 1	1
比透磁率(b)	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s^{-2}
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	m^{-1} kg s^{-2}
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	m^2 kg s^{-2}
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	m^2 kg s^{-3}
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	m^2 kg s^{-3} A^{-1}
静電容量	ファラド	F	C/V	m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m^2 kg s^{-3} A^{-2}
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m^2 kg s^{-2} A^{-1}
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
酸素活性	カタール	kat		s^{-1} mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m^2 kg s^{-2}
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s^{-2}
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m^{-1} s^{-1}=s^{-1}
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2}=s^{-2}
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s^{-3}
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m^2 s^{-2}
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s^{-3} K^{-1}
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	m^{-3} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	kg^{-1} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m^2 s^{-3}
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-3}=m^2 kg s^{-3}
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m^2 m^{-2} kg s^{-3}=kg s^{-3}
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}$ J
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}$N
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx=1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G=1Mx\ cm^{-2}=10^{-4}T$
エルステッド(c)	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R=2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	$1\ γ=1\ nT=10\text{-}9T$
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー） 4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ μ=1μm=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています