

d(K-,n)反応による粒子の 精密分光実験のための 液体重水素標的開発

大阪大学核物理研究センター野海研究室

川崎 新吾

The J-PARC E31 Collaboration

阪大理、阪大RCNPA^A、理研^B、KEK^C、東大理^D、東大教養^E、東工大理^F、京大理^G、大阪電通大^H、INFN-Torino^I、INFN-LNF^J、SMI^K、ソウル国立大^L、ミュンヘン工大^M、Torino大^N、Victoria大^O、東北大理^P
◦川崎新吾、井上謙太郎、榎本瞬、太田岳史、阪口篤志、吉田幸太郎、味村周平^A、野海博之^A、板橋健太^B、岩崎雅彦^B、應田治彦^B、大西宏明^B、岡田信二^B、佐久間史典^B、友野大^B、馬越^B、山崎敏光^B、飯尾雅実^C、石元茂^C、岩井正明^C、鈴木祥仁^C、関本美知子^C、豊田晃久^C、石川隆^D、佐藤将春^D、鈴木隆敏^D、施赫將^D、竜野秀行^D、橋本直^D、早野龍五^D、藤原裕也^D、松田恭幸^E、康寛史^F、徳田真^F、佐田優太^G、永江知文^G、平岩聡彦^G、藤岡宏之^G、福田共和^H、溝井浩^H、D.Faso^I、O.Morra^I、M.Bragadireanu^J、C.Curceanu^J、C.Guaraldo^J、M.Iliescu^J、D.Pietreanu^J、D.Sirghi^J、F.Sirghi^J、P.Böhler^K、M.Cargnelli^K、石渡智一^K、J.Marton^K、鈴木謙^K、E.Widmann^K、J.Zmeskal^K、H.Bhang^L、S.Choi^L、H.Yim^L、P.Kienle^M、L.Busso^N、G.Beer^O、塚田暁^P

目次

1. $\Lambda(1405)$ 研究背景
2. J-PARC-E31実験
3. 液体重水素標的開発
 - A) セットアップ
 - B) 標的容器
 - C) 重水素液化試験
 - D) 冷却能力
4. まとめ

$\Lambda(1405)$ 研究背景・動機

$\Lambda^*(1405)$ [uds]

$I = 0, J^P = \frac{1}{2}^- , m = 1405.1 \pm 1.3$ (MeV) $< N^*(1440)$

$\Gamma = 50 \pm 2$ (MeV) (PDG-2011)

→ 3クォーク?

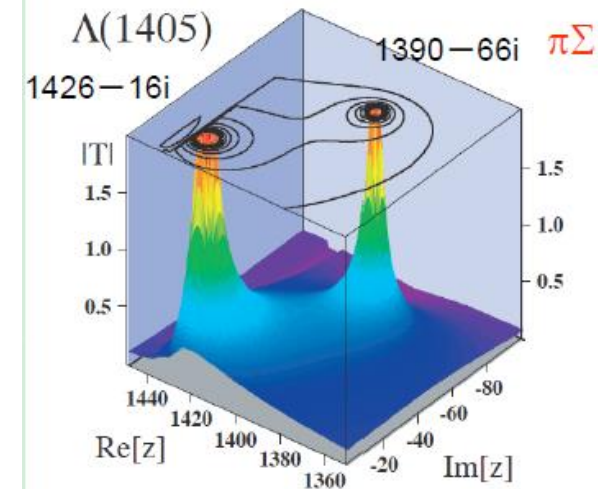
5クォーク?

→ メソン-バリオン共鳴状態?

$\Lambda(1405)$ は $K\bar{b}N$ 状態と $\pi\Sigma$ 状態の重ね合わせで描写できる。(カイラルユニタリーモデル)

励起状態ハドロンの内部構造の理解

クォーク-ハドロン形成の理解

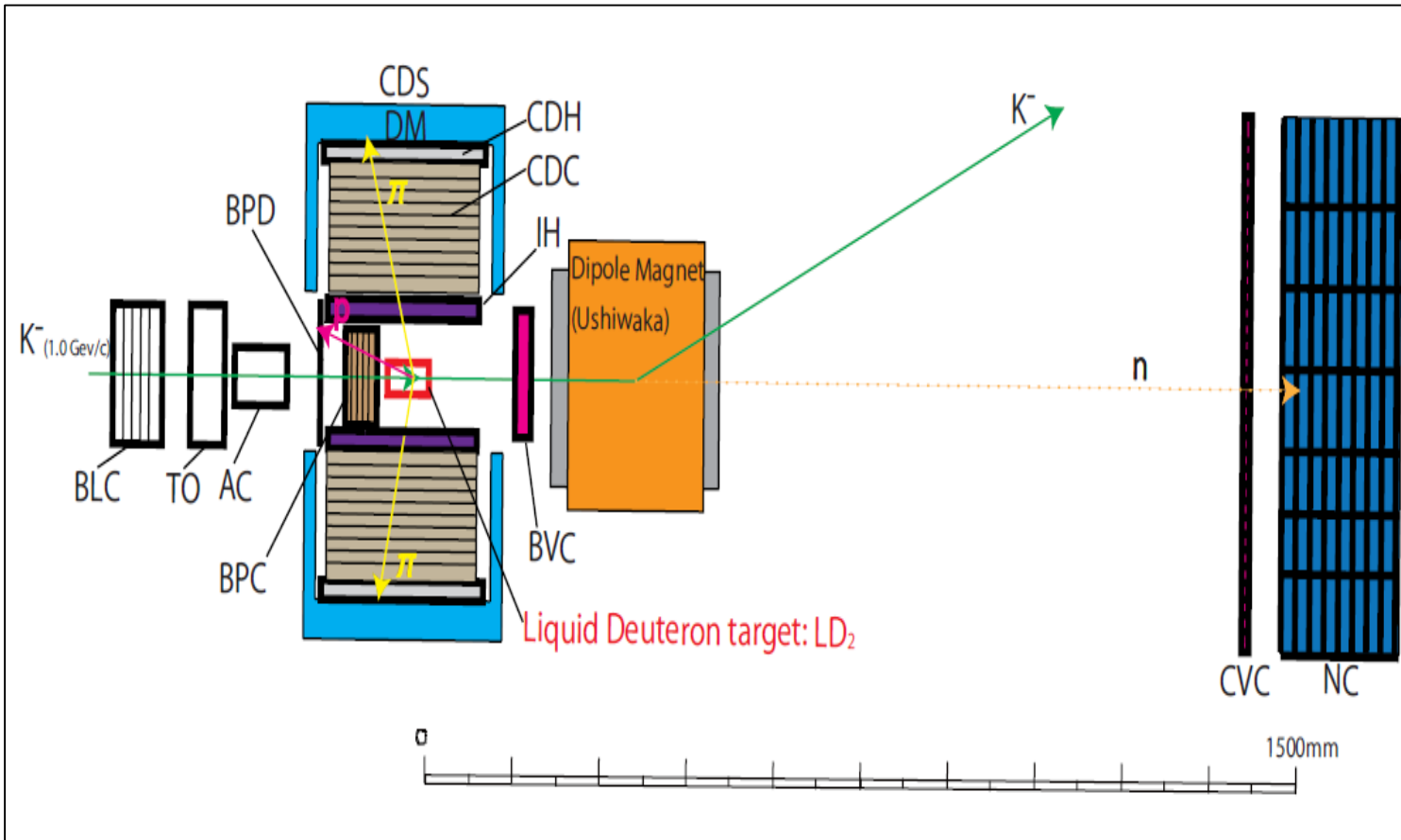
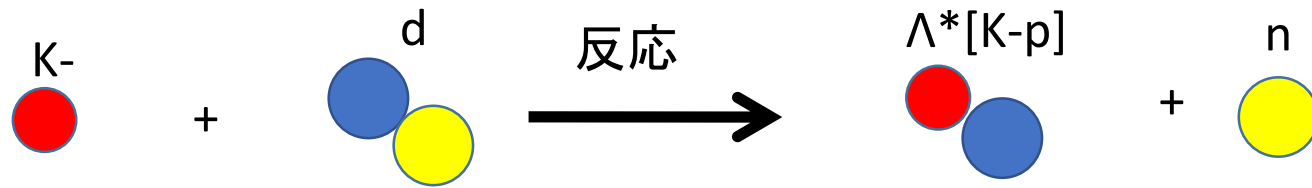


[2] T. Hyodo and A. Weise, Phys. Rev. C 77, 035204 (2008)

E31実験セットアップ

場所: J-PARCハドロンホール、K1.8BR

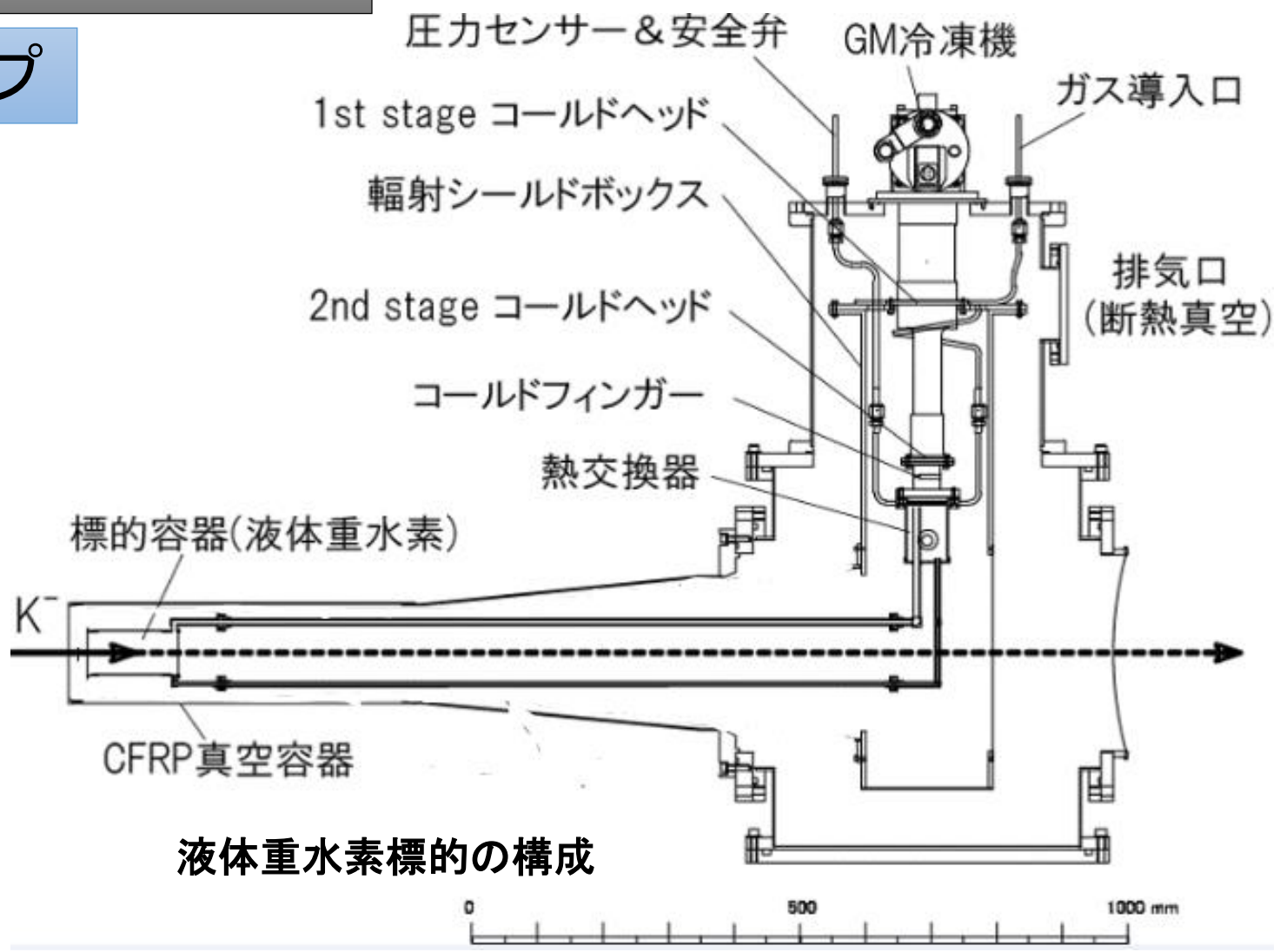
$d(K^-, n)Y$ 反応を用いて $\Lambda(1405)$ の直接生成を行い、
 →共鳴状態のピーク位置、崩壊幅を調べる。



・ $\Lambda(1405)$ は $K\bar{n}$ の閾値の下
 前方に中性子を散乱させることで K^- から
 エネルギーをとり $\Lambda(1405)$ 共鳴状態を作り
 出す。

E31用液体重水素標的

セットアップ



E31実験からの要請

- ・標的周りの物質量の抑制
- ・反応断面積測定値の一定保持のため液体重水素温度の安定保持

標的の周りに高い立体角で測定器がくるようにし、かつ装置そのものが検出の邪魔にならないような設計

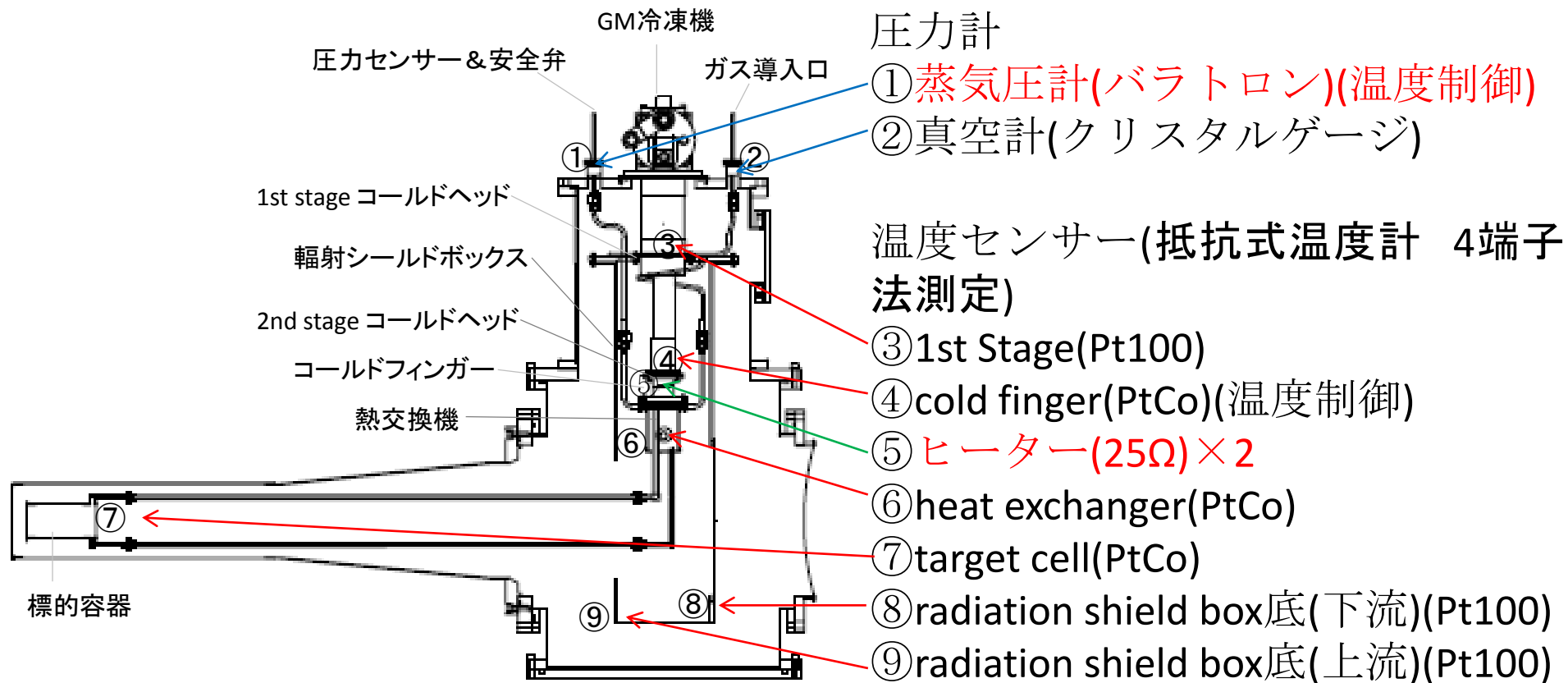
標的の特徴

- ・GM冷凍機による高熱伝導蒸留器冷却、輻射シールド冷却
- ・ヒーターでの温度調整
- ・蒸留器→標的容器(液体) 標的容器→蒸留器(ガス)、重水素循環システム
- ・冷却器真空断熱

重水素
沸点 23.8 K
融点 18.7 K

(GM冷凍機仕様)	
1st Stage	50 K @35 W
2nd Stage	4.2 K @1.5 W

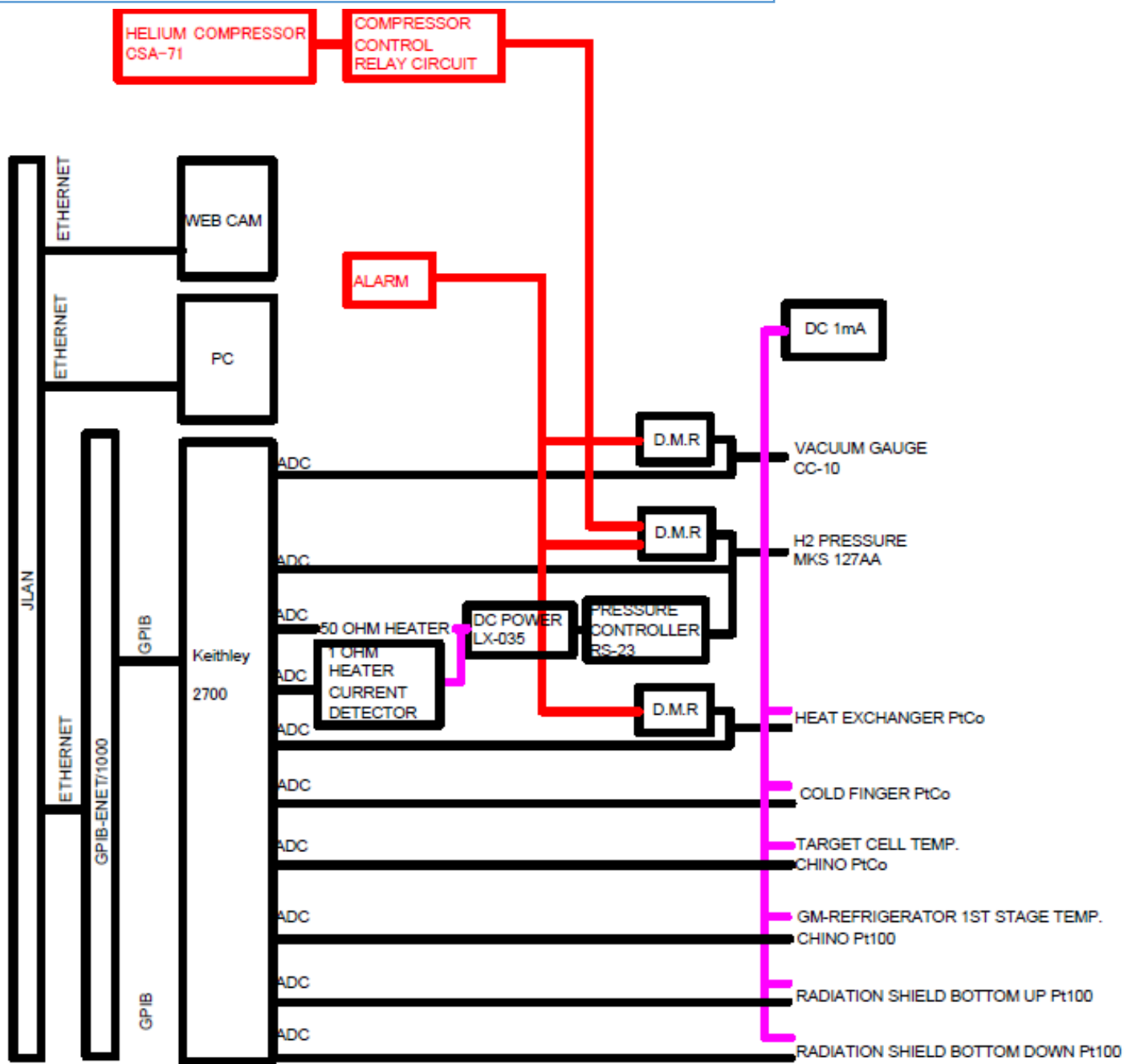
センサー類配線図



温度制御

重水素圧力をフィードバックにヒーター出力をPID制御する。

モニター・警報装置ダイアグラム



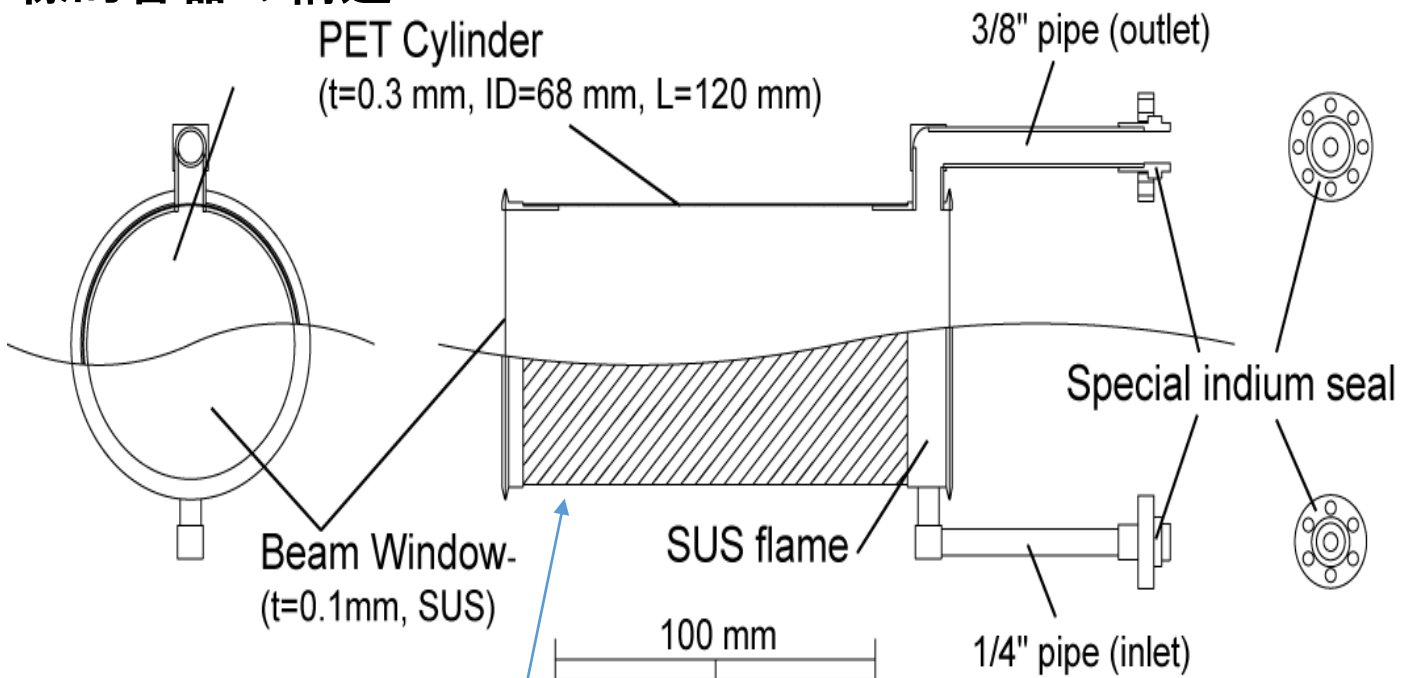
重水素・・・危険な可燃性ガス
(爆発下限界/空气中5%)

・冷却中、重水素の固化(凝固点
18.7 K:1 atm)を防ぐために標的
の各温度、重水素圧力をリモート
で監視する。

・冷却器は重水素ガスが一定圧
力以下で自動停止する。

標的容器

標的容器の構造



輻射を抑えるのに
スーパーインシュレーターで覆われる。

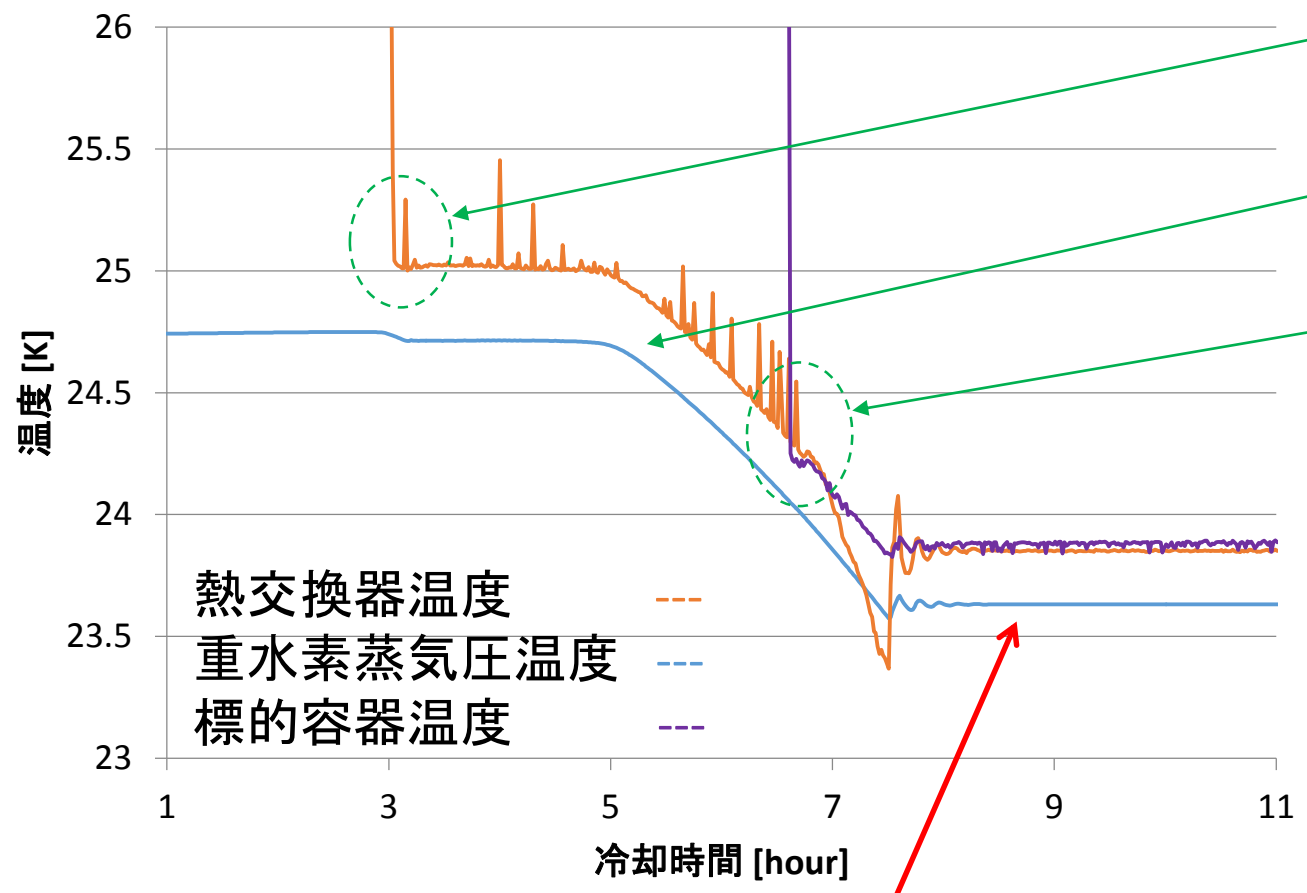


耐圧テストの様子
(差圧:4 atm)

・運転時にかかる圧力: <2atm

重水素液化試験

重水素ガスを熱交換器に入れた状態から~23 Kまで冷却



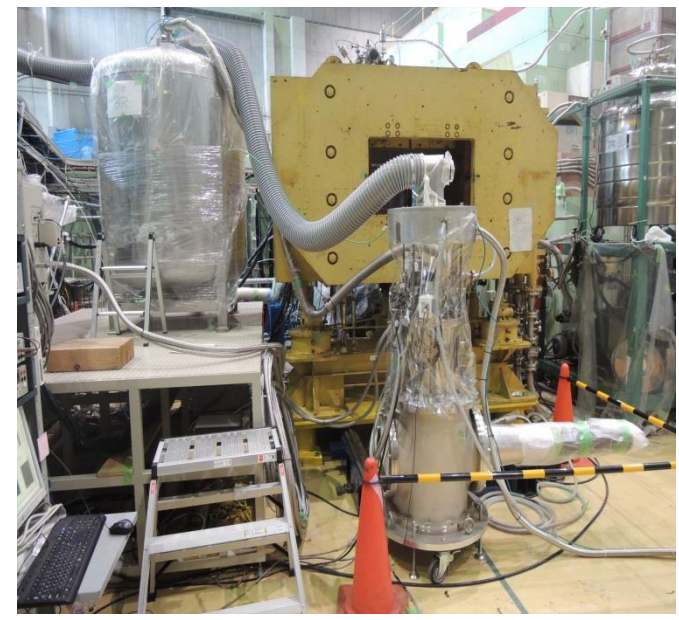
熱交換器内で液化が始まる。

配管、標的容器冷却中

標的容器が満杯になる。

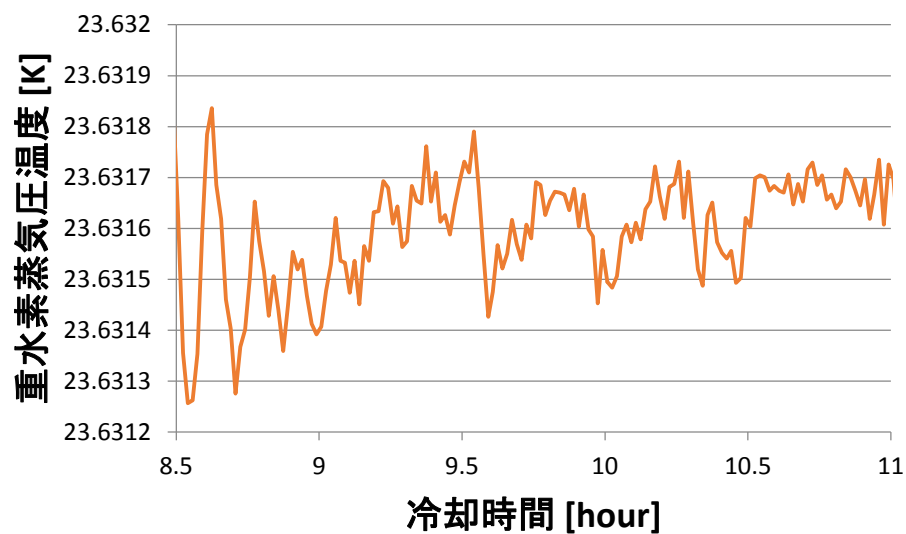
安定状態 @ 23.8K

E31 重水素標的装置

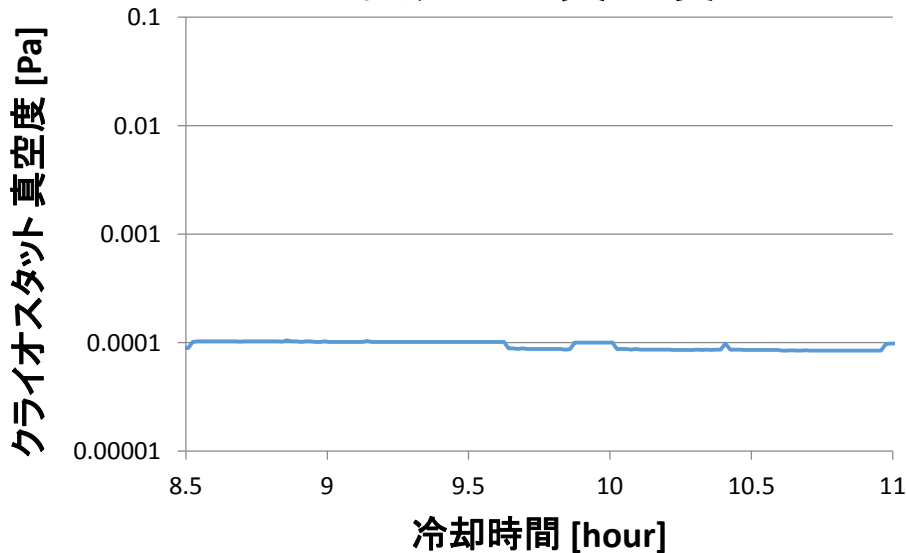


液体の安定した温度(圧力)制御

水素圧力から推定した液体水素温度

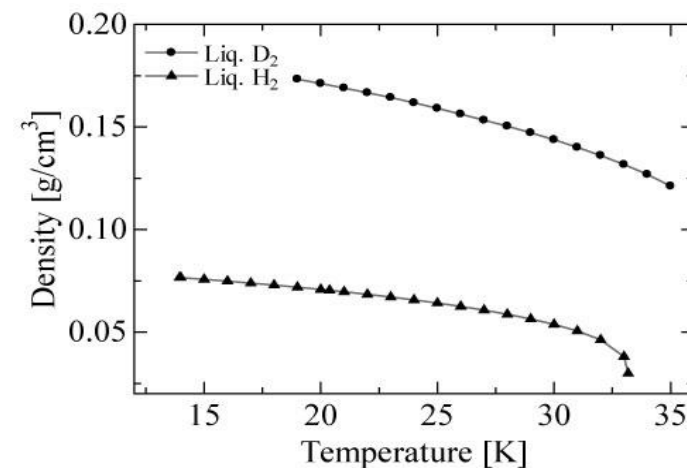


安定した真空度



$\sim 10^{-5}\text{Pa}$

液体水素の密度の揺らぎ $\sim 0.0012\%$
→ 反応断面積の測定値の揺らぎ $\sim 0.0012\%$
反応断面積の統計誤差(数%)に対して
十分な精度である。



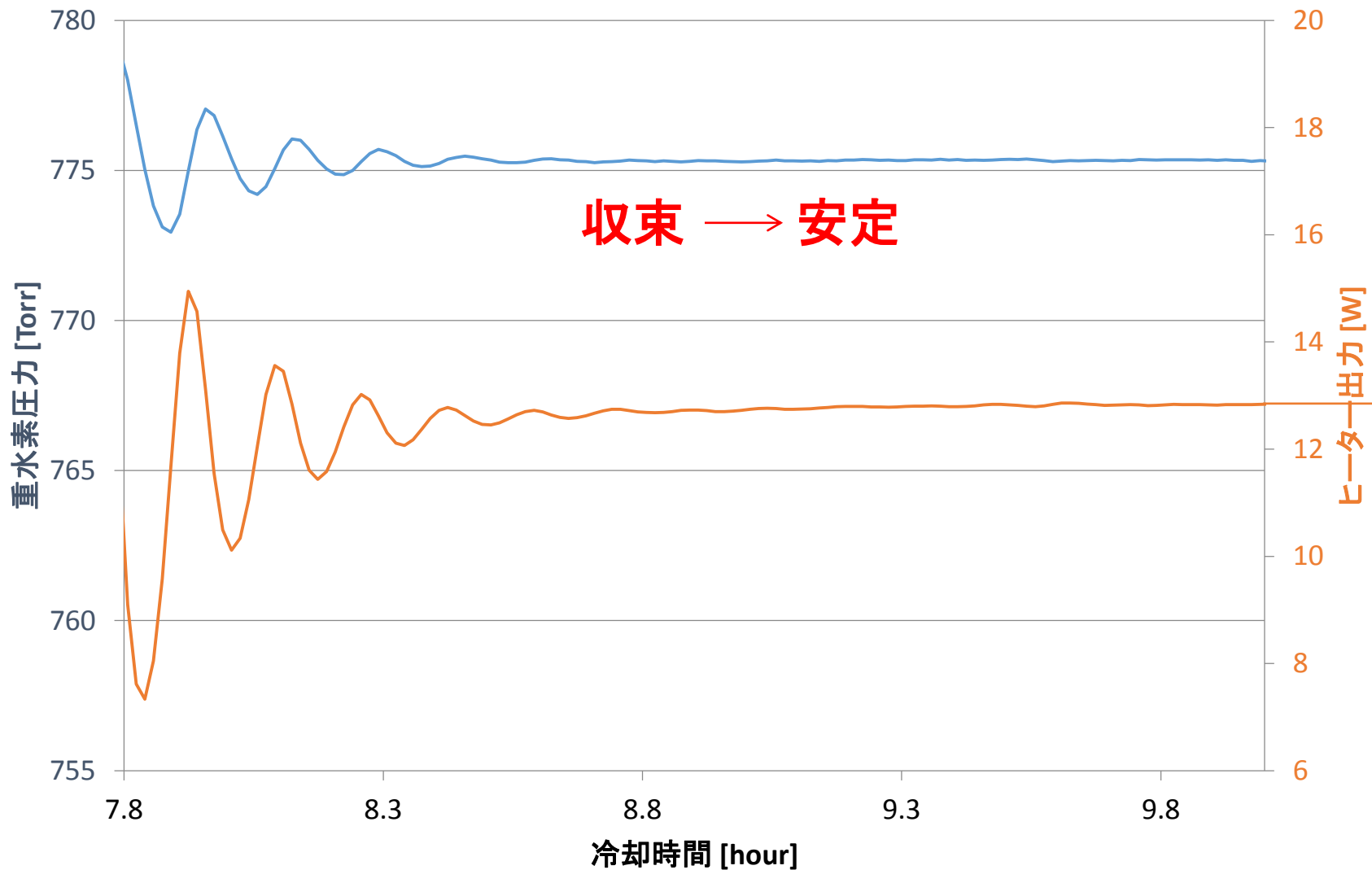
液体水素の密度と温度関係

→ 配管・標的容器・熱交換器からの
リークはみえない。

冷却能力

安定状態でのヒーター出力

圧力制御の収束



クーリングパワー ~13 W

十分な液化能力を保持
(GM冷凍機仕様
2nd Stage ~18 K@~20W)

まとめ

E31実験用液体重水素標的開発を行なった。

- J-PARC ハドロンホールにおいて、実機での重水素の冷却液化及び液体重水素を標的容器に満杯にすることに成功(安定させるまでにかかる時間~8.5hour)。
- 装置の十分な液化能力(余力~13.5W)
- 一定時間(~2.5hour)保持させることに成功した。

結論

- 今回の冷却試験で、開発した液体重水素標的(実験形態)と温度制御システムが正常に働くことが示された。
- E31実験における標的準備は完了した。