

核子内ストレンジネス探索のための 偏極HDターゲットの開発現況

Experiment of search for strangeness with polarized HD target



山形大学 第二回総合スピン科学シンポジウム



Developer : Takeshi Ohta
Osaka University, Japan
Research Center for Nuclear Physics (RCNP)

Contents

HDの研究紹介

HDの偏極原理

製造・輸送装置

偏極標的試作 I

可搬NMR装置

HDガスの分析

HDガスの精製

偏極標的試作 II
Summary

HDの研究紹介

研究目的

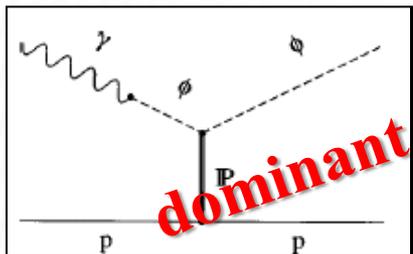
偏極した水素・重水素 (HD) 標的を製作し、陽子や中性子中のストレンジ・クォーク成分を探る

研究計画

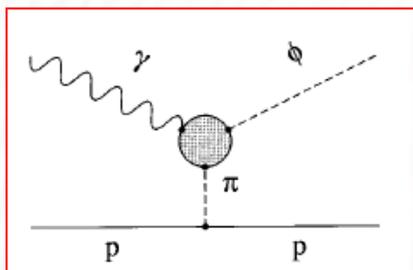
- 高純度のHD分子を極低温 ($\sim 10\text{mK}$) まで冷却し、超高磁場 (17 T) により偏極標的を作成。
- 作成した偏極標的を外部磁場中 ($\sim 1\text{ T}$) でヘリウム液化温度以下 ($< 4.2\text{ K}$) に保ち、偏極を保持したまま、約 100 km 離れた西播磨のSPring-8 に運搬。
- 偏極標的を用いた光核反応実験を行い、ビームと標的の偏極方向の組み合わせによる断面積の非対称度を測定する。

HD研究の紹介 | The $\gamma p \rightarrow \phi p$ reaction

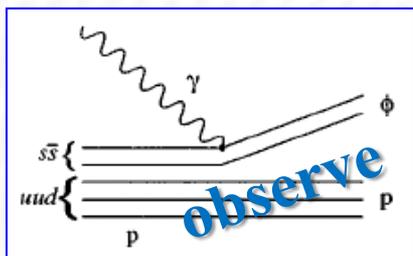
In the reaction of $\gamma p \rightarrow \phi p$, there are four reaction mechanisms as follows



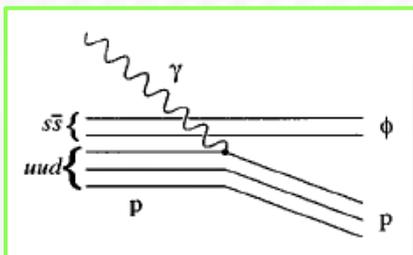
Pomeron exchange



One pion exchange

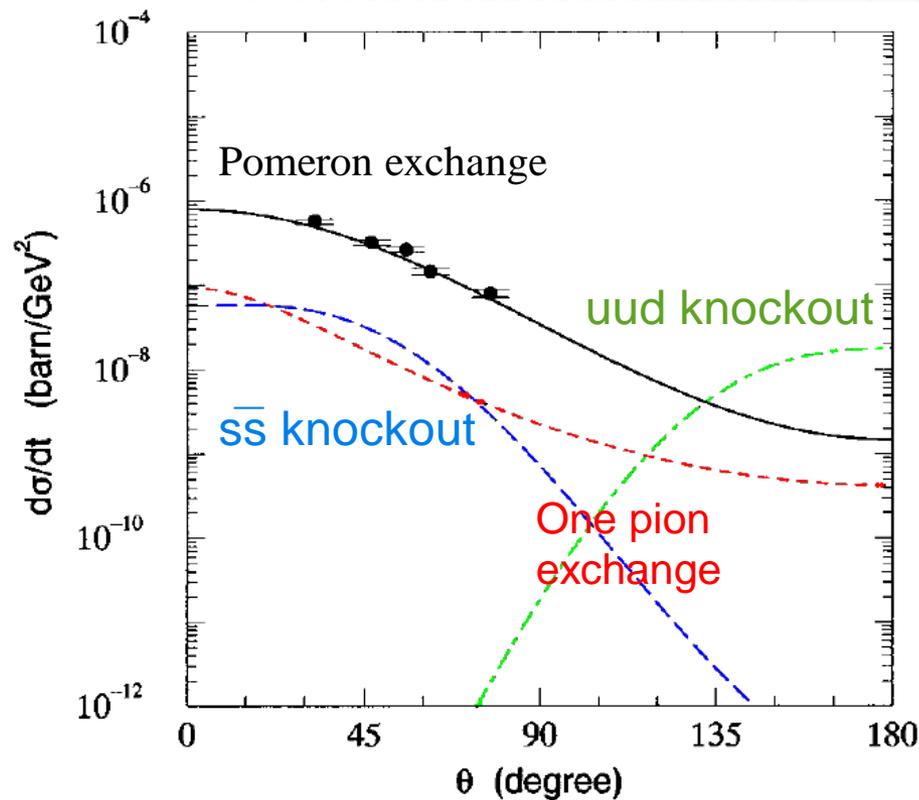


$\bar{s}s$ knockout



uud knockout

Cross Section at $E_\gamma = 2.0$ GeV



Pomeron exchange is more ten times bigger than $\bar{s}s$ -knockout. Only the Pomeron exchange is clear.

A.I. Titov *et al.* Phys. Rev. C58 (1998)

HD研究の紹介 | 観測する量 非対称度 C_{BT}

Double polarization asymmetry.

$$C_{BT} = \frac{d\sigma(\begin{smallmatrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{smallmatrix}) - d\sigma(\begin{smallmatrix} \rightarrow \\ \rightarrow \end{smallmatrix})}{d\sigma(\begin{smallmatrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{smallmatrix}) + d\sigma(\begin{smallmatrix} \rightarrow \\ \rightarrow \end{smallmatrix})}$$

Cross section when total spin
of photon and target is $3/2$

Cross section when total spin
of photon and target is $1/2$

γ	nucleon
spin 1	spin 1/2

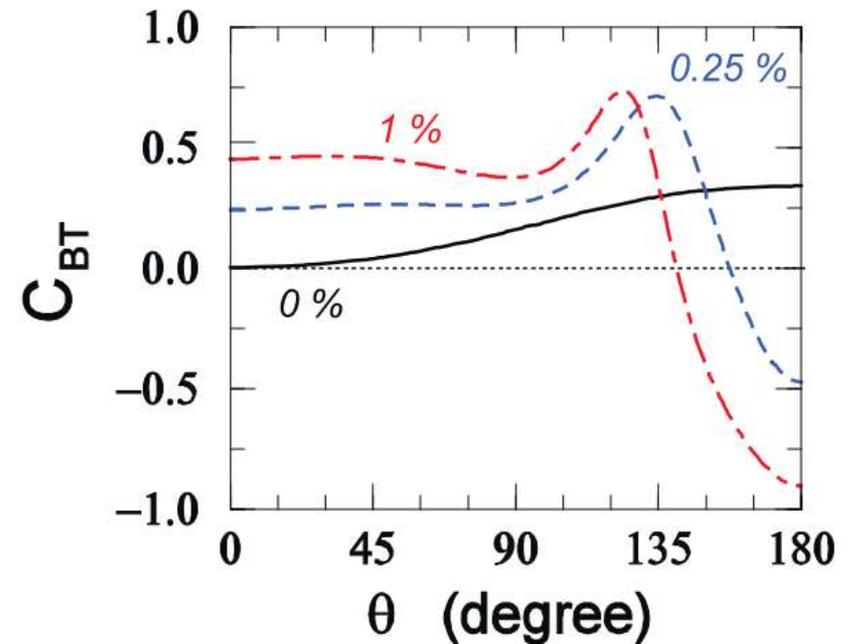
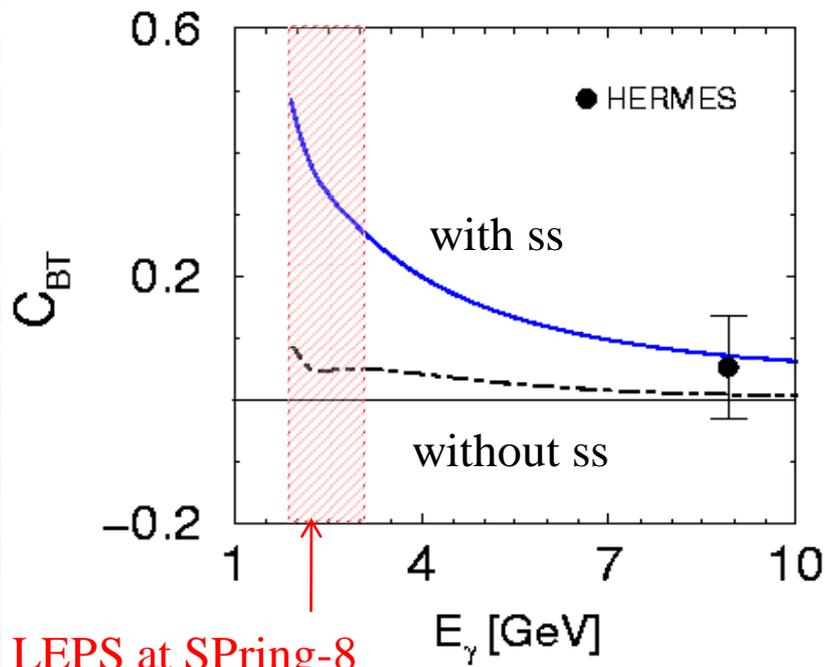


HD研究の紹介 | 非対称度 C_{BT} より得られる情報

Double polarization asymmetry.

$$C_{BT} = \frac{d\sigma(\vec{\rightarrow}) - d\sigma(\vec{\leftarrow})}{d\sigma(\vec{\rightarrow}) + d\sigma(\vec{\leftarrow})}$$

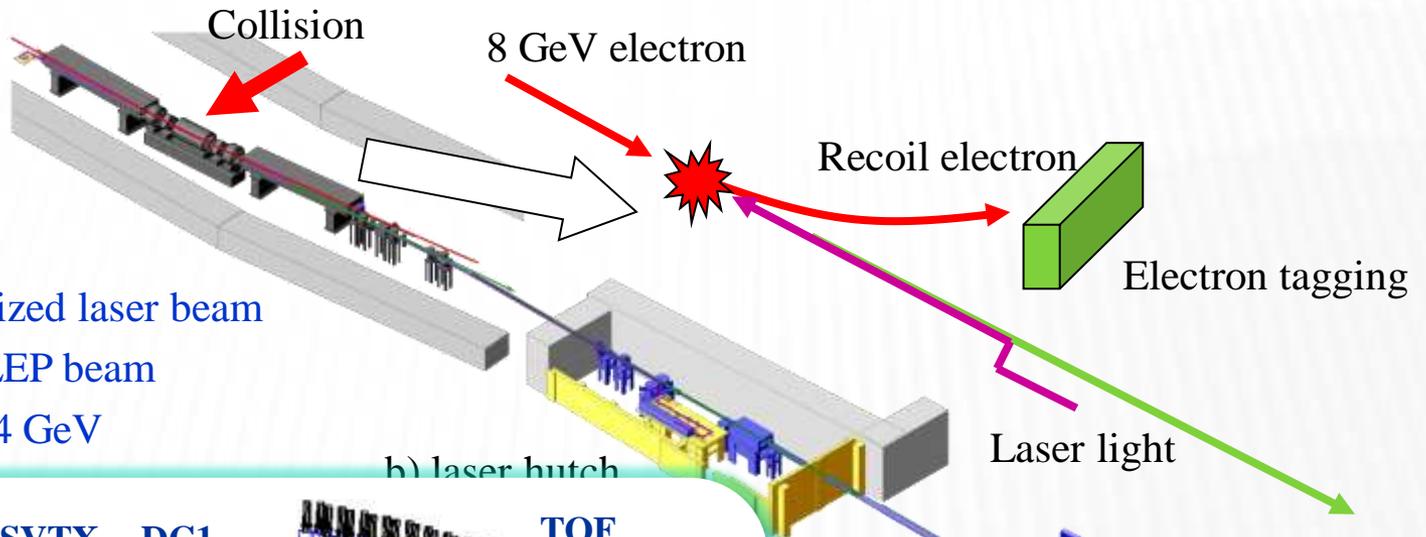
Beam-Target double spin asymmetry
at $E_\gamma = 2.0$ GeV *A.I.Titov et al. Phys. Rev.*
C58 (1998) 2429



Strangeness quark content is assumed to be 0% (Solid), 0.25% (Dashed), and 1% (Dot-dashed).

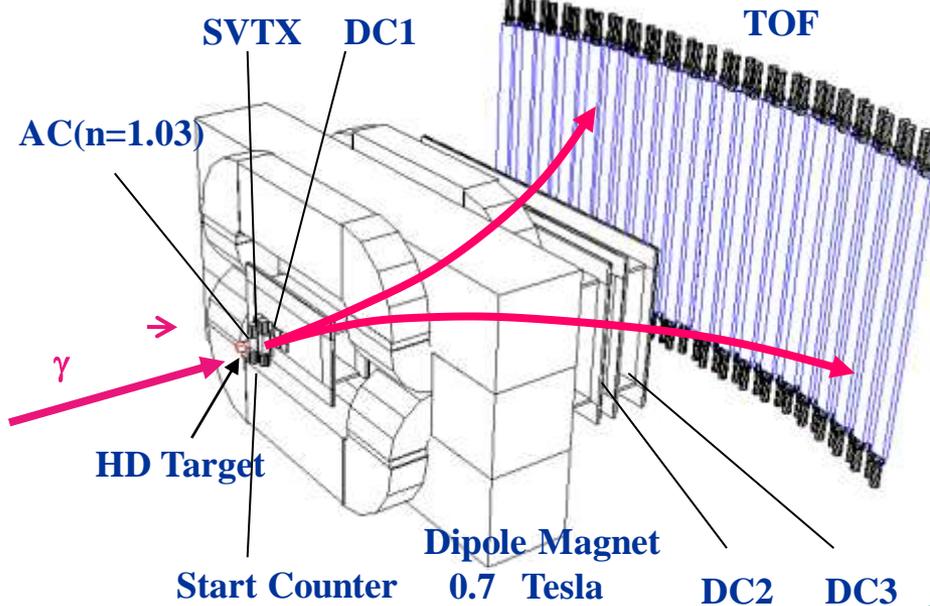
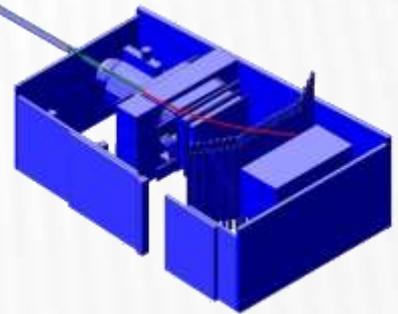
HD研究の紹介 | Leps Facility

a) SPring-8
SR ring



Linearly polarized laser beam
Polarized LEP beam
~98% at 2.4 GeV

b) laser hutch



HDの偏極原理

HDの偏極原理 | HD標的の特徴および概要

- Poralization method

極低温、高磁場の環境に長期間（1~3か月）晒すことによって偏極標的を製造する

- Advantage and disadvantage

HD分子は炭素や窒素のような重い核子を含んでいないので反応断面積が小さい実験に都合が良い。

(ただし、HD標的を効率的に冷却するために高純度のアルミワイヤーを含んでいる)

f-factor for H:0.33 (H/HD) D:0.66 (D/HD)

- Target size and amout

径：25mm 厚さ：50mm

1mol, 3g

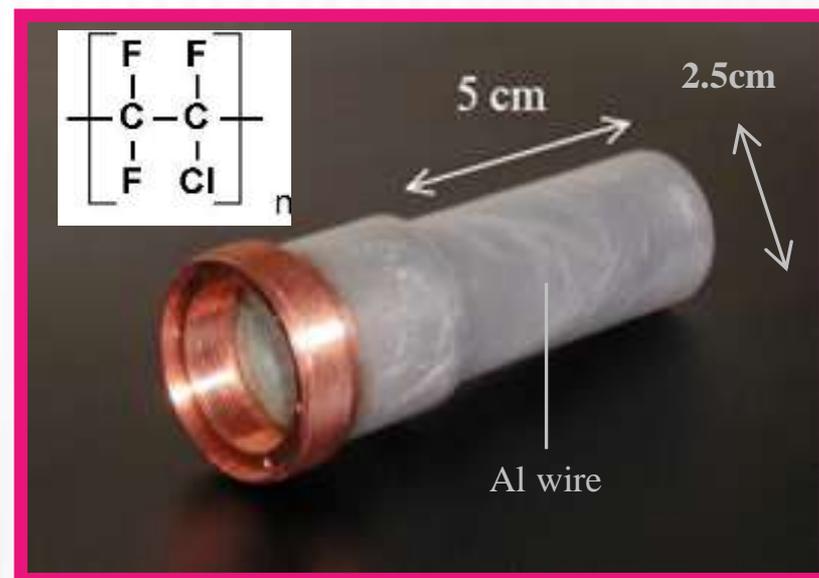
- Polarization with 17T

	H	D
6 mK	99.4%	48.8%
10 mK	94.0%	31.9%
14 mK	84.5%	23.6%

- Relaxation time

温度：350mK 磁場：1 T

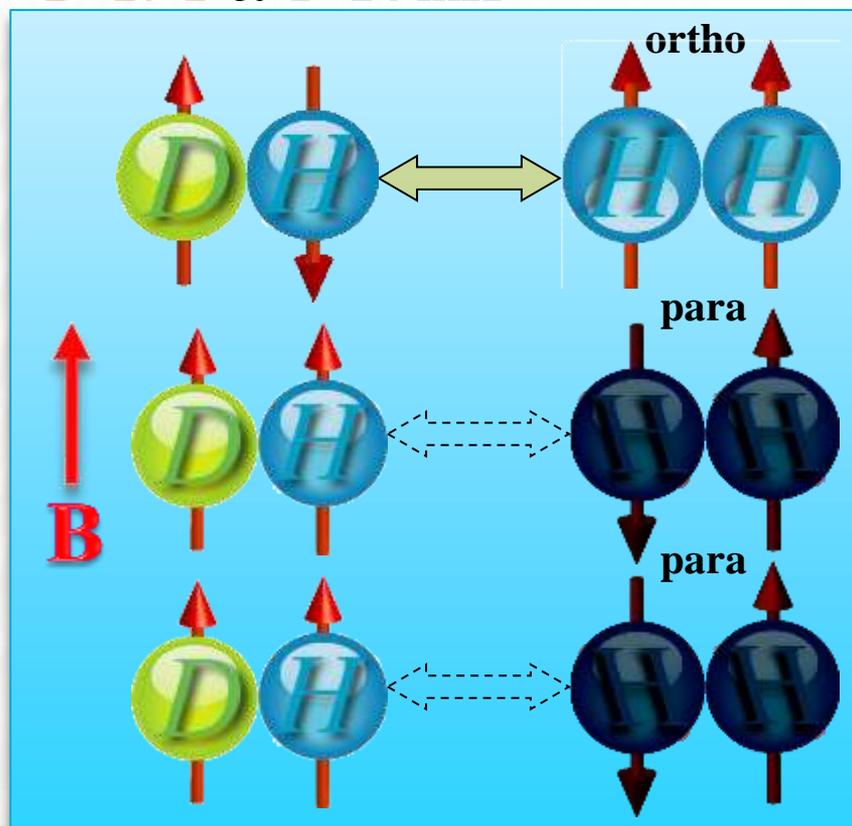
の実験環境中で100日



HDの偏極原理 | 偏極の凍結

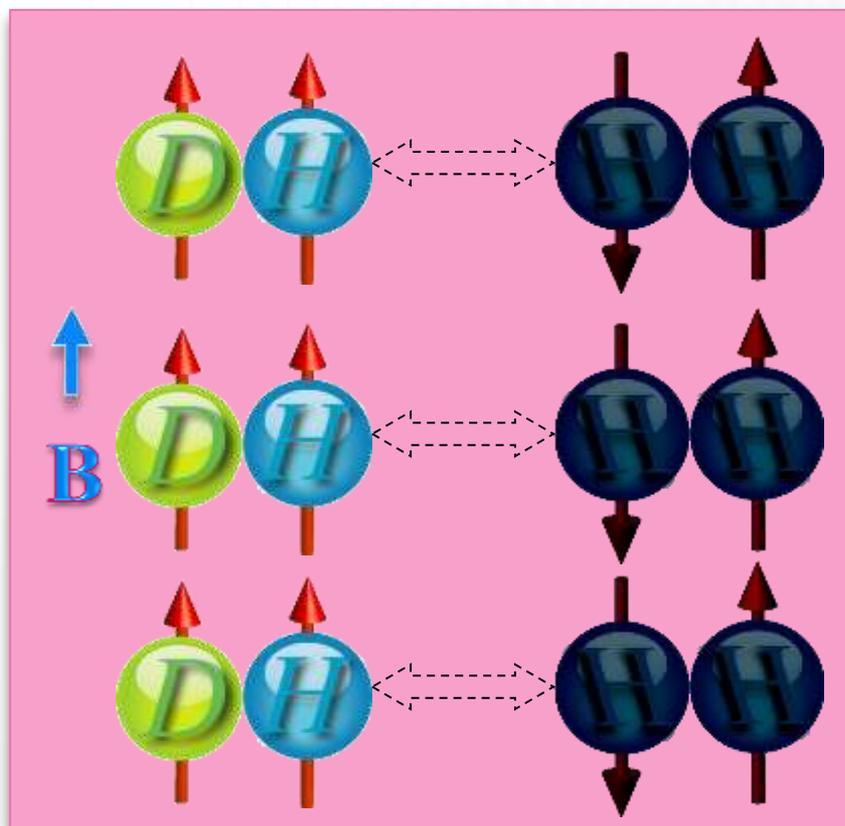
Initial:

The polarization of HD is produced by the spin flip with ortho-H₂ at **B=17 T & T=14 mK**



After many month

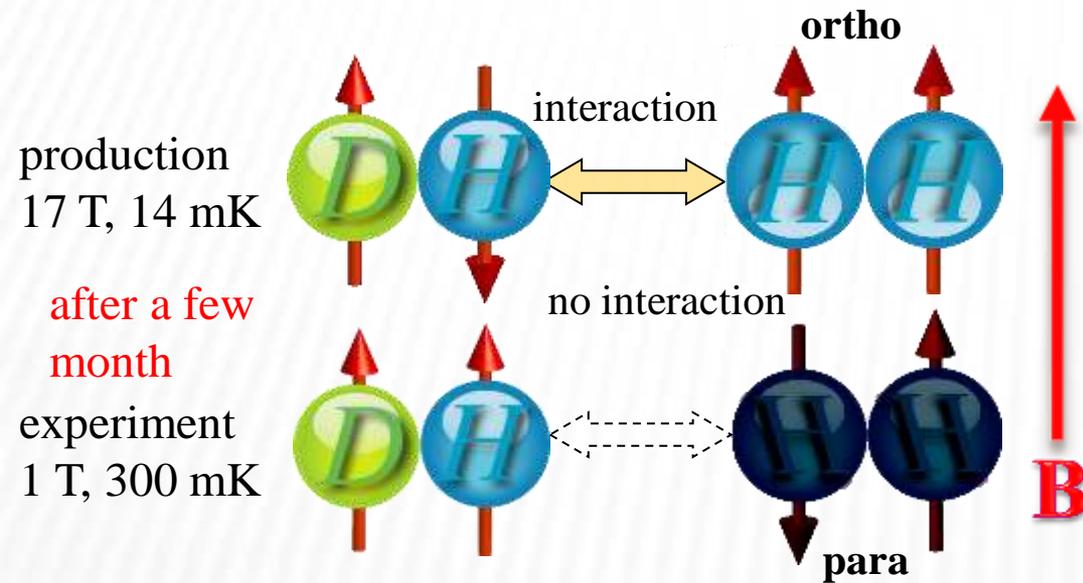
In the experimental environment, the temperature and magnetic field is **B=1 T & T=250 mK**



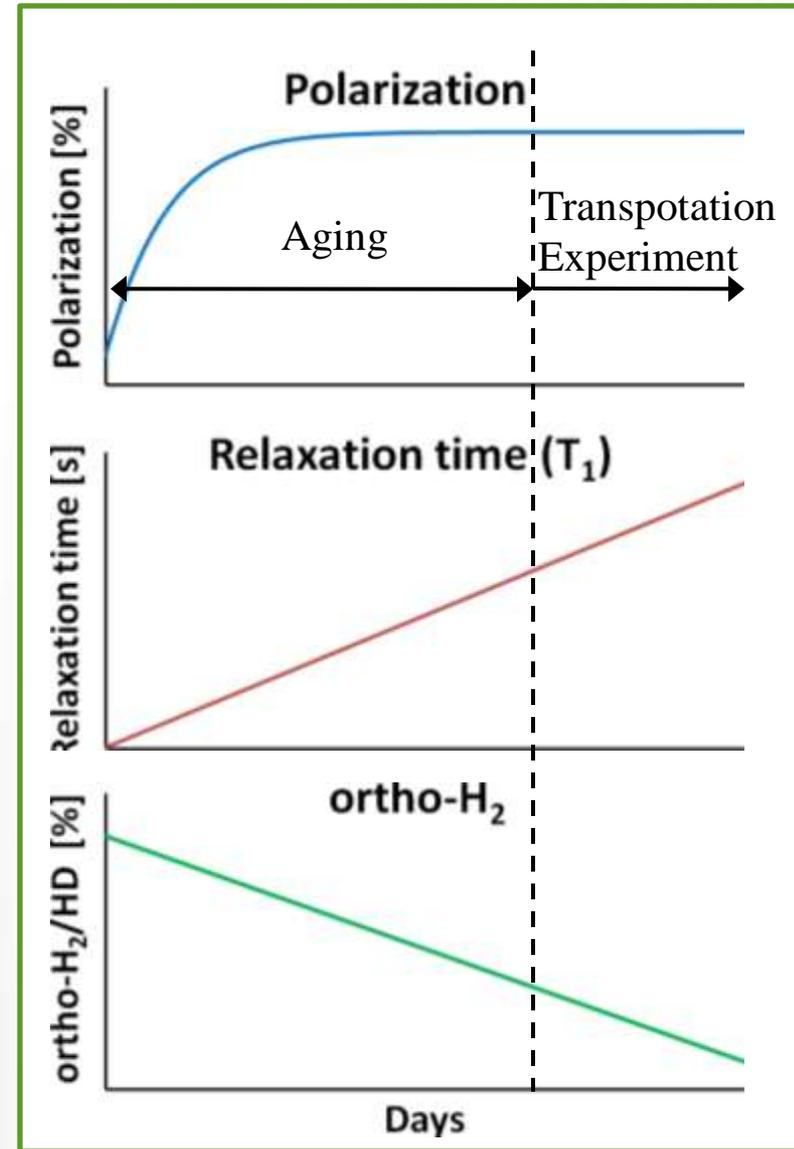
Ortho-H₂ should be reduced to less than 10⁻⁴

HDの偏極原理 | 偏極保持の仕組み

The polarization of HD is produced by the spin-flip with small concentration of ortho-H₂ included in HD at **B=17 Tesla** & **T=14 mK**

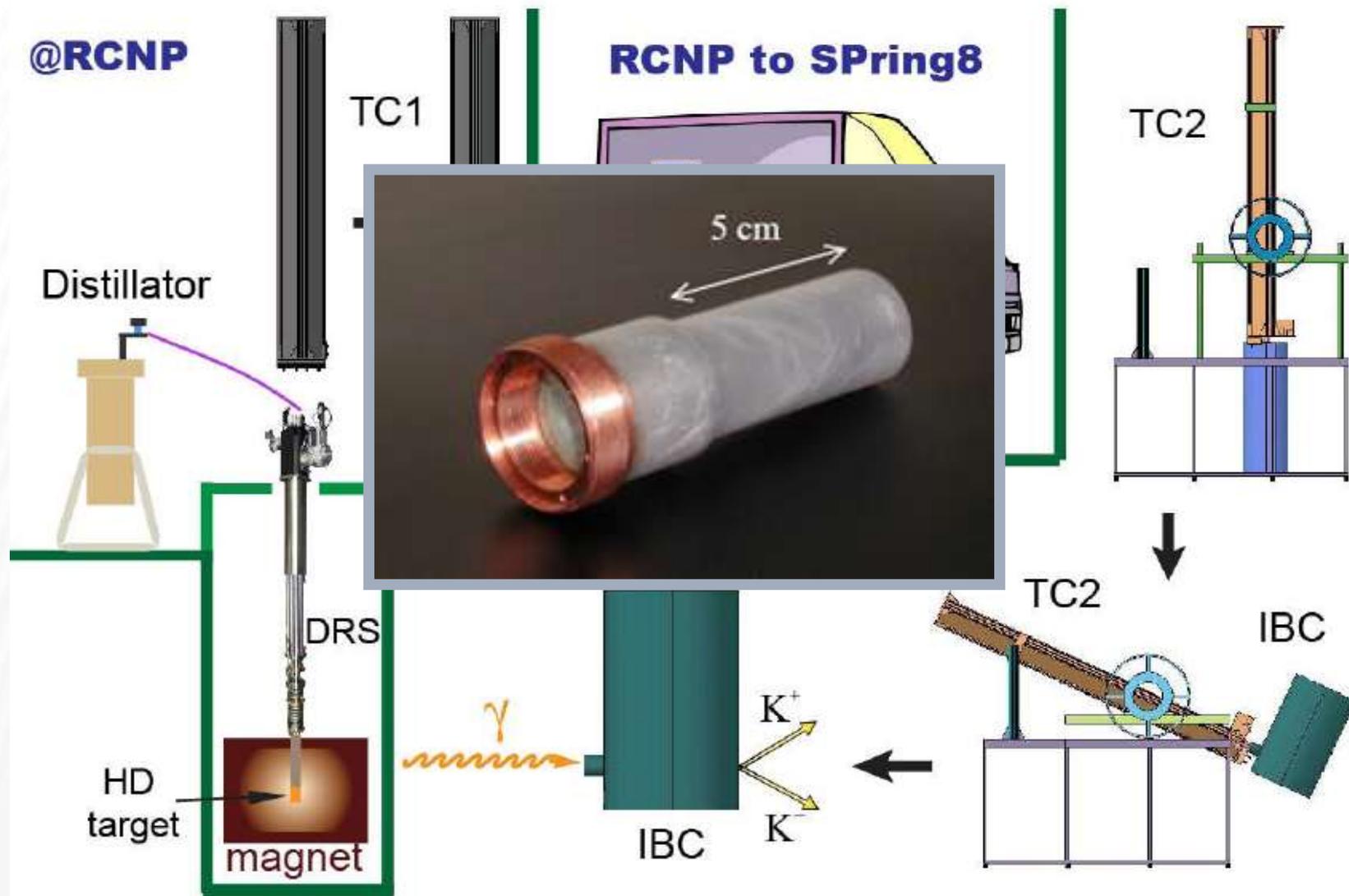


Most of ortho-H₂ has converted to para-H₂. Polarized H in the HD is not depolarized even if it is at higher temperature at around 4 K. **B=1 Tesla** & **T=300 mK**



製造・輸送装置

製造・輸送装置 | 標的移送プロセス



製造・輸送装置 | 蒸留器

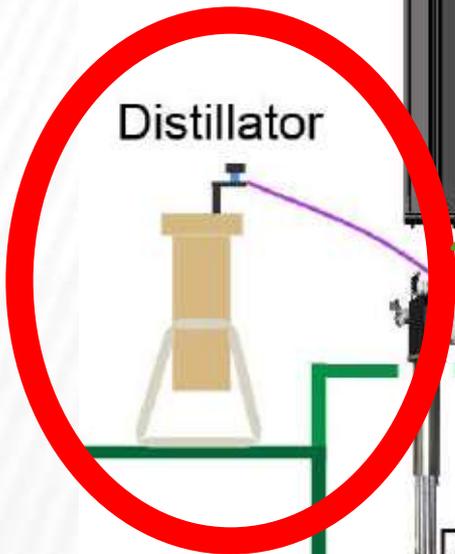
@RCNP

TC1

Distillator

Distillator purify the HD gas up to 99.99%.

Distillator



SC

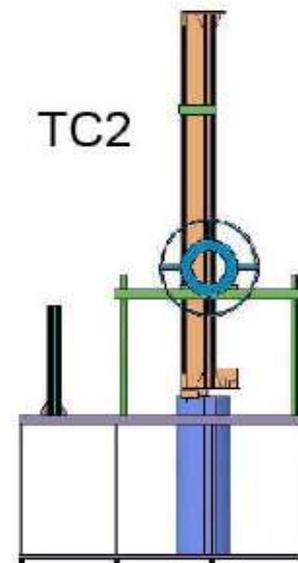
DRS

HD target

magnet

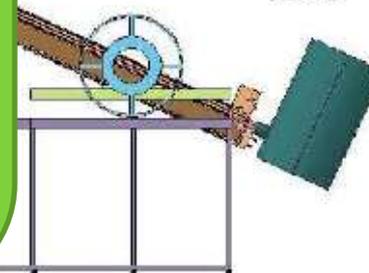


TC2

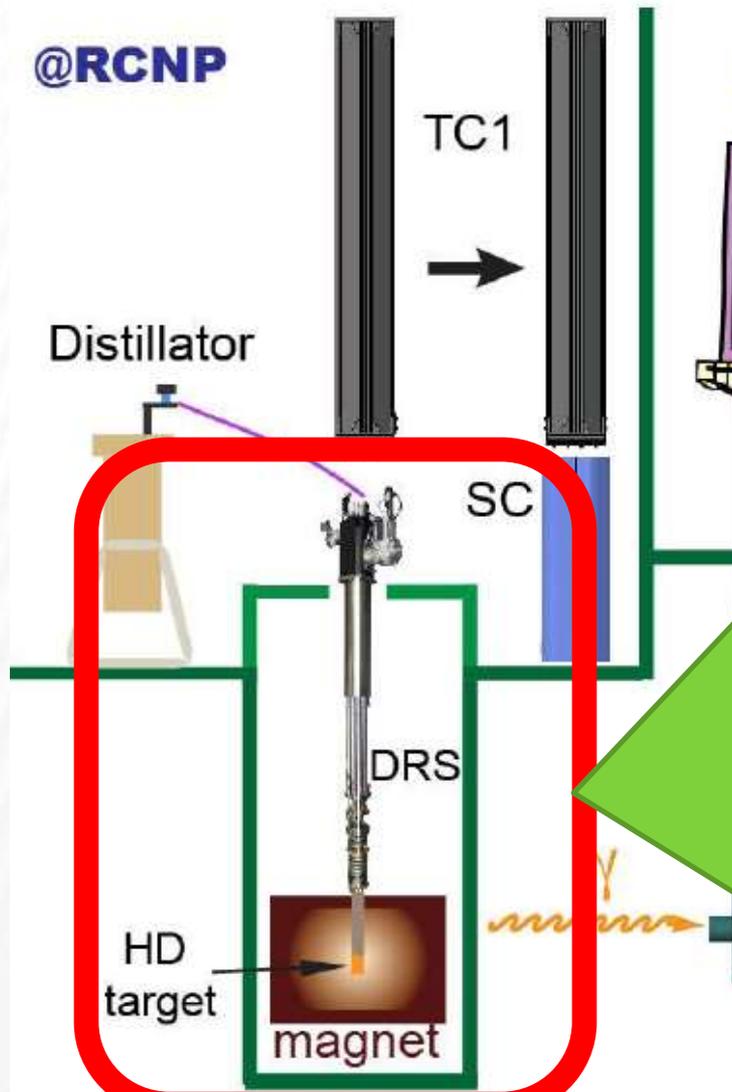


C2

IBC



製造・輸送装置 | 希釈冷凍機 (DRS)



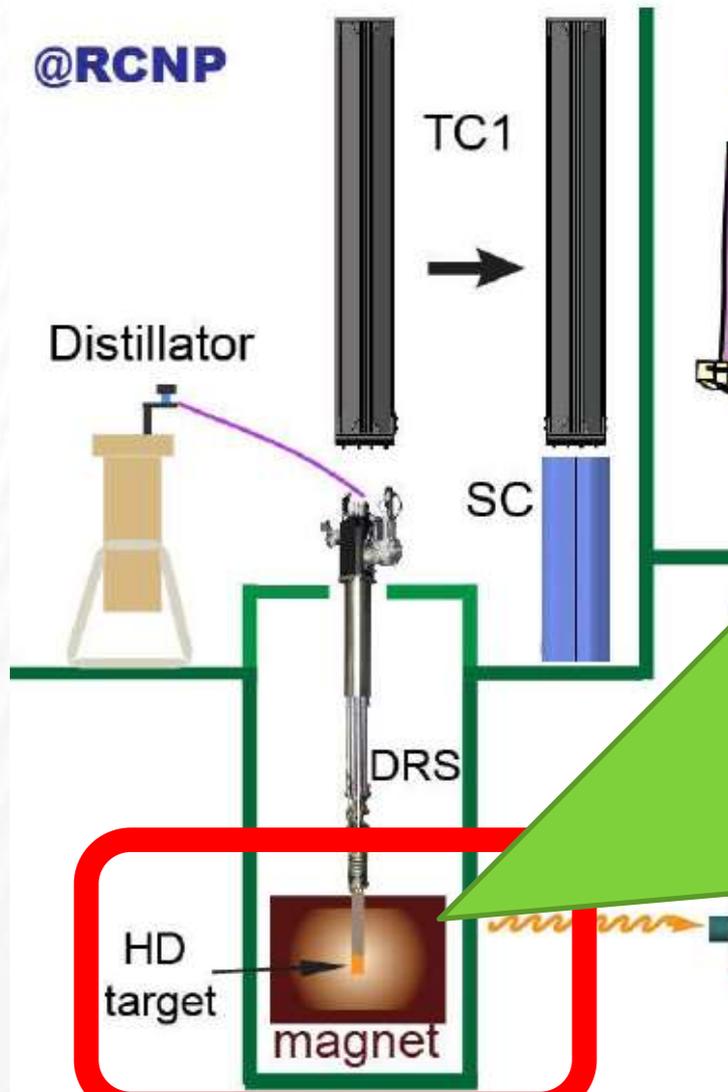
希釈冷凍機

到達温度
14mK

冷却能力@120mK
2500 μ W



製造・輸送装置 | 超伝導磁石



超伝導磁石
Ni₃Sn
17T



製造・輸送装置 | 輸送用冷凍機 (SC)

@RCNP

Distillator

TC1



RCNP to SPring8

SC

TC2



Storage Cryostat (SC)

液体ヘリウム減圧式冷凍機

T~1.2K, B=2.5T.

製造・輸送装置 | 移送用冷凍機 (TC)

@RCNP

RCNP to SPring8

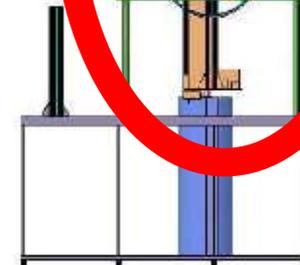
TC1



Distillator

TC2

SC

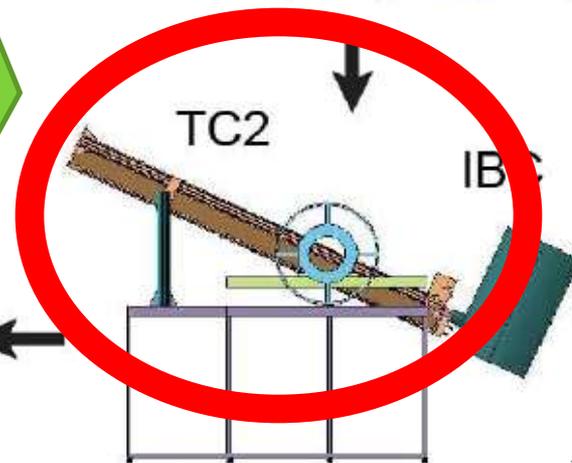


Transfer Cryostat (TC)

冷凍機から冷凍機へ
偏極したHD標的を引き
抜き&挿入装置

4.2K、0.5T

T=4.2K, B=0.15T



製造・輸送装置 | 実験用冷凍機 (IBC)



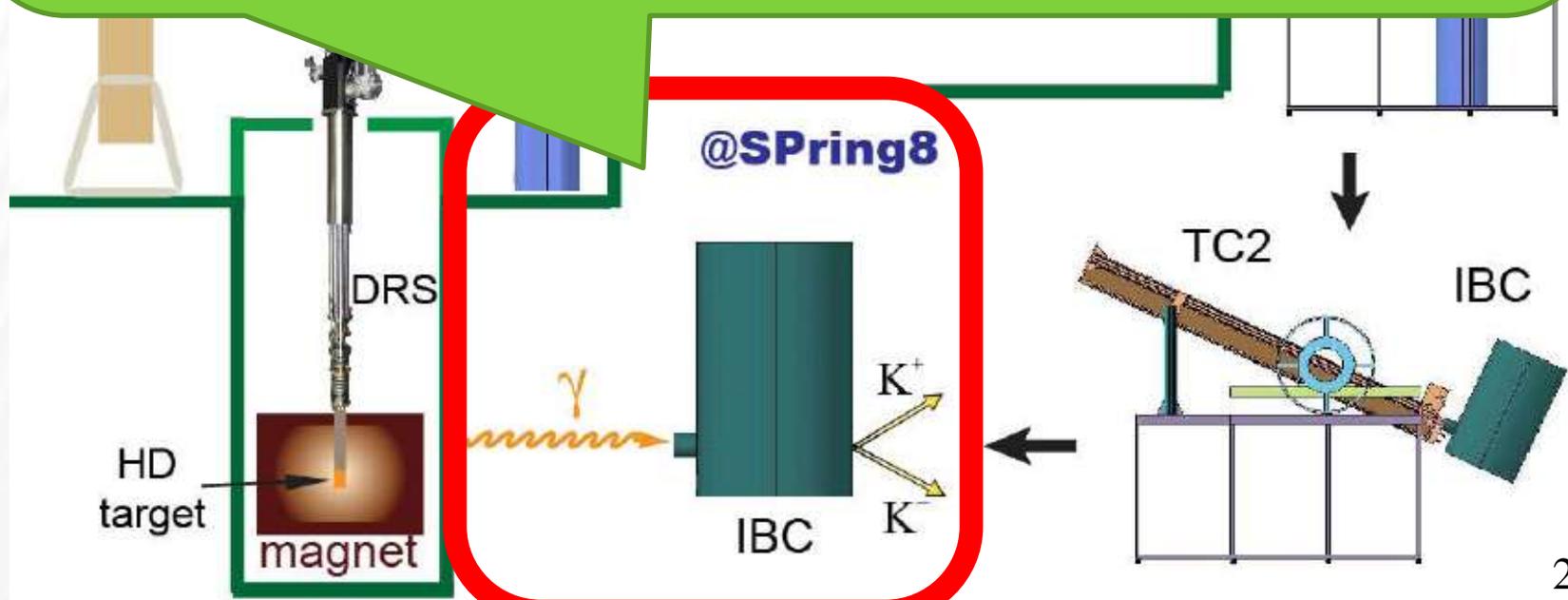
In Beam Cryostat (IBC)

ビーム照射用の実験用希釈冷凍機

$T=0.3\text{K}$, $B=1\text{T}$.

Field homogeneity

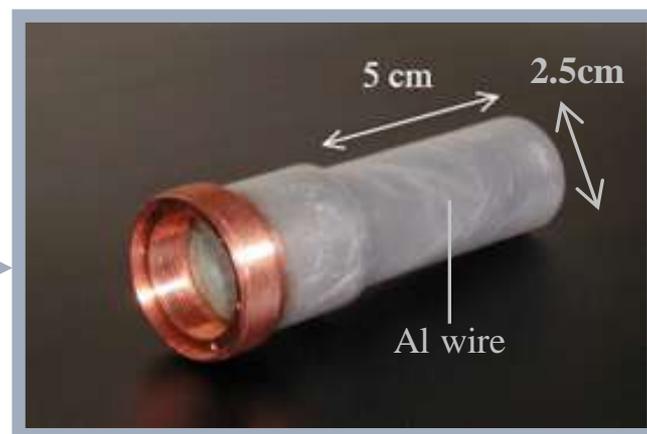
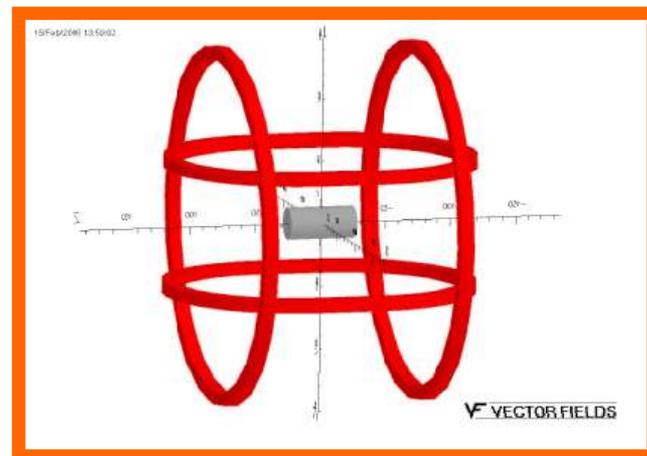
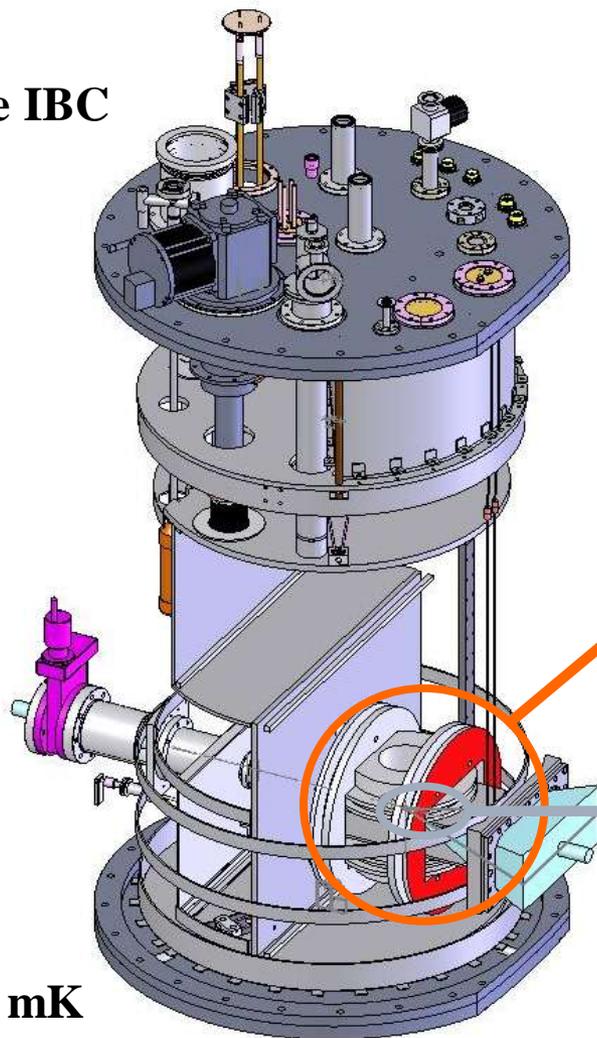
5×10^{-4} for target region



製造・輸送装置 | 実験用冷凍機 (IBC)

This instruments will be inserted on LEPS beam line

Inside IBC



$T=300\text{ mK}$

製造・輸送装置 | まとめ

- ・ 製造・輸送冷凍器 ・
希釈冷凍機 (DRS)
移送冷凍機 1 (TC1)
輸送冷凍機 (SC)
移送冷凍機 2 (TC2)
実験用冷凍機 (IBC)

- ・ その他装置 ・
蒸留器
四重極ガス分析器
NMR偏極測定装置
17T超電導磁石



	DRS	TC1	SC	TC2	IBC
Magnetic field	17 Tesla	0.15 Tesla	1.08 Tesla	0.15 Tesla	1.08 Tesla
Temperature	14 mK	4.2 K	1.2 K	4.2 K	300 mK
Type	希釈	LHe	LHe減圧式	LHe	希釈

HDの製造テスト

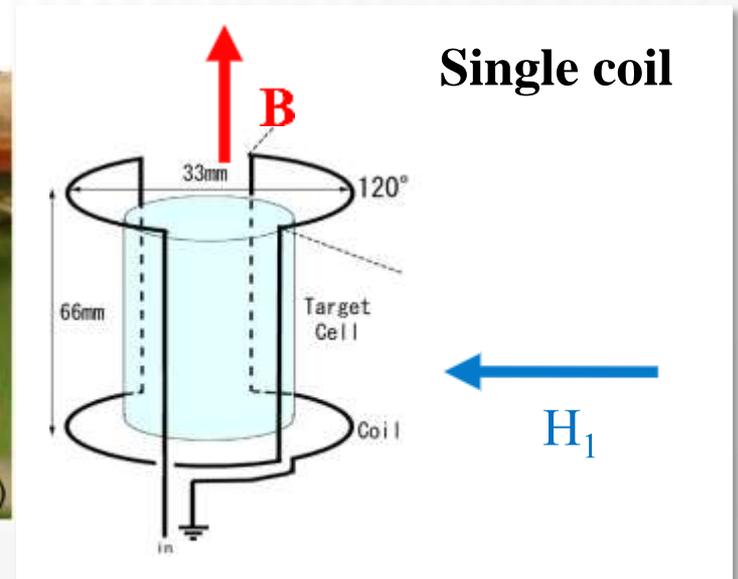
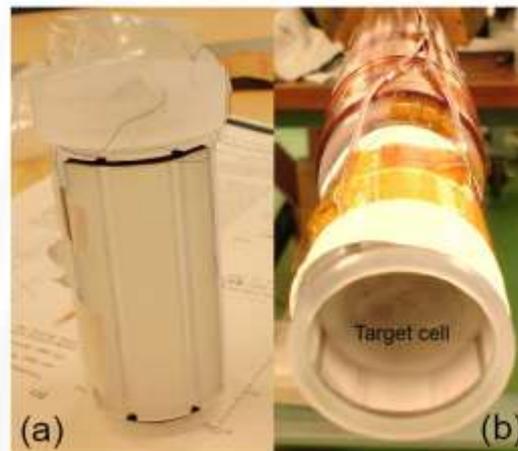
HDのNMR測定 | 偏極HD標的 初の製造

大阪大学核物理研究センターでHD標的を試作

Objective	To measure the polarization and relaxation time for H.
Purity of HD	about 99%
Environment	$T = 14 \text{ mK}$, $B = 17 \text{ Tesla}$
Aging time	53 days (2008 Nov.~2009 Jan.)

～偏極度の測定方法～

シングルコイル
CW-NMR
周波数固定 48.2MHz
磁場 $\sim 1.0\text{Tesla}$

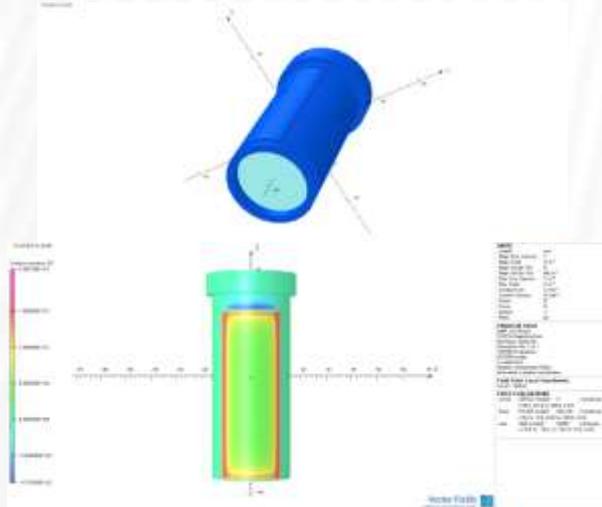
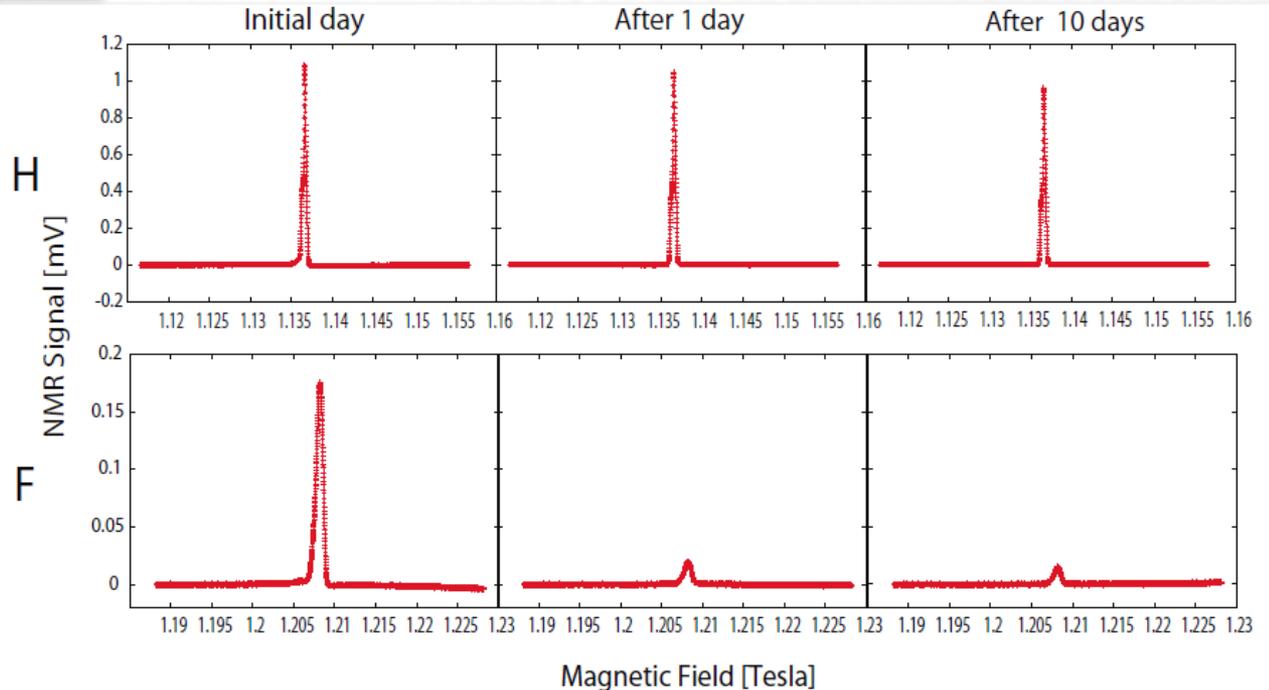
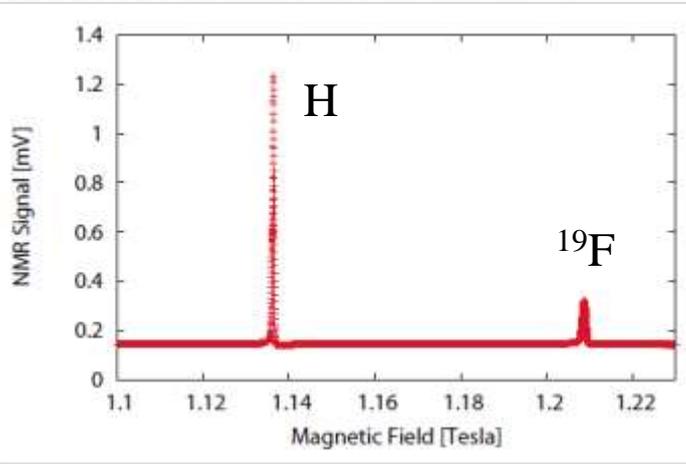


HDのNMR測定 | 偏極凍結後のNMR測定

53日後、、、
左は測定したNMRスペクトル

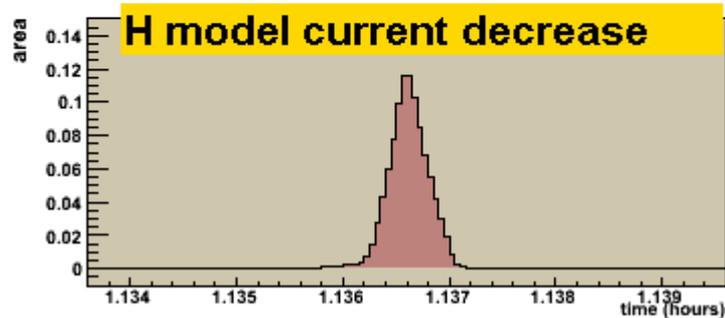
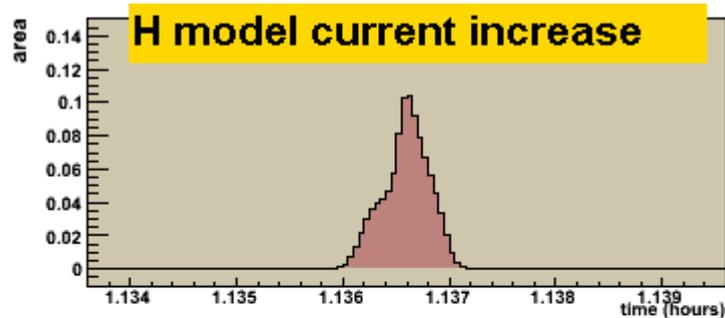
偏極度を4.2Kのシグナルを指標として求めた
緩和時間をシグナルの減衰から求めた

偏極度 **41.4% +/-3.1%**
緩和時間 T_1 **106 +/-16 days**



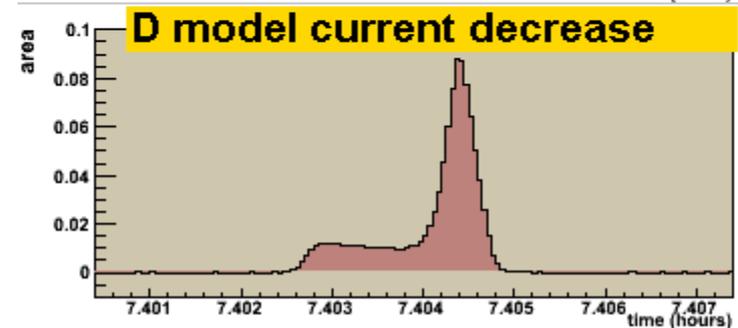
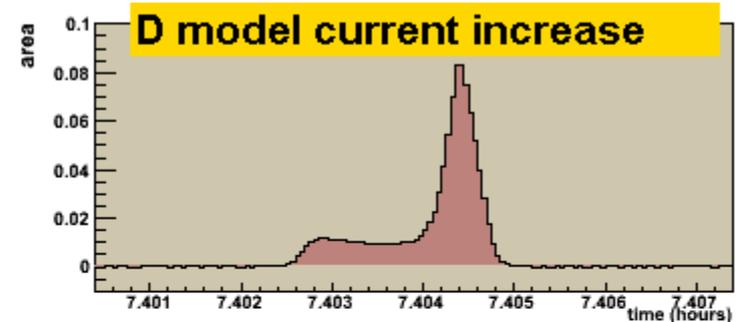
HDのNMR測定 | HとDのNMRスペクトル

● H model



半値幅 ~20kHz

■ D model



半値幅 ~3kHz

変異したNMRシグナルは超伝導マグネットの磁場構造が原因か？
DでのNMR測定ではピークの幅が狭いために磁場構造が現れたと推定
シミュレーションでは再現できた。

HDのNMR測定 | 製造テスト結果

	目標	製造テスト
Temperature during aging	10 mK	14 mK
Magnetic field during aging	17 Tesla	17 Tesla
Time of target production	2~3 month	53 days
Relaxation time of target	~1 year	$T_1^H=106$ days; $T_1^D=73$ days
Polarization of H	90%	Theoretical 85% Measured 41.4% (~40mK)
Polarization of D	30%	Theoretical 25% Measured 13.1% (~27mK)

HDのNMR測定 | 偏極度が低い要因

- セル内にあるHDの温度がそれほど低くならなかった
希釈冷凍機先端とHDの間にはカピツァ抵抗がある。
2か月の時間をもってしても温度が下がりきらなかった。

- NMR測定本質における線形性が崩れている可能性

$$\nu \cong \nu_0 \{1 - 4\pi\eta Q \chi'' + O|\chi^2|\}$$

$$O|\chi^2| \ll 1$$

Q : 回路のQ値

η : filling factor

ω : 回路の共振周波数

ω_0 : 高周波電圧の周波数

- 緩和時間 T_1 が長いことによって線形性が崩れる可能性

$$\chi'' = \frac{\frac{1}{2} \omega_0 T_2}{1 + (\{\omega_0 - \omega\} T_2)^2 + \omega_1^2 T_1 T_2} \chi_m$$

温度が低いと

$$T_1 \rightarrow \infty$$

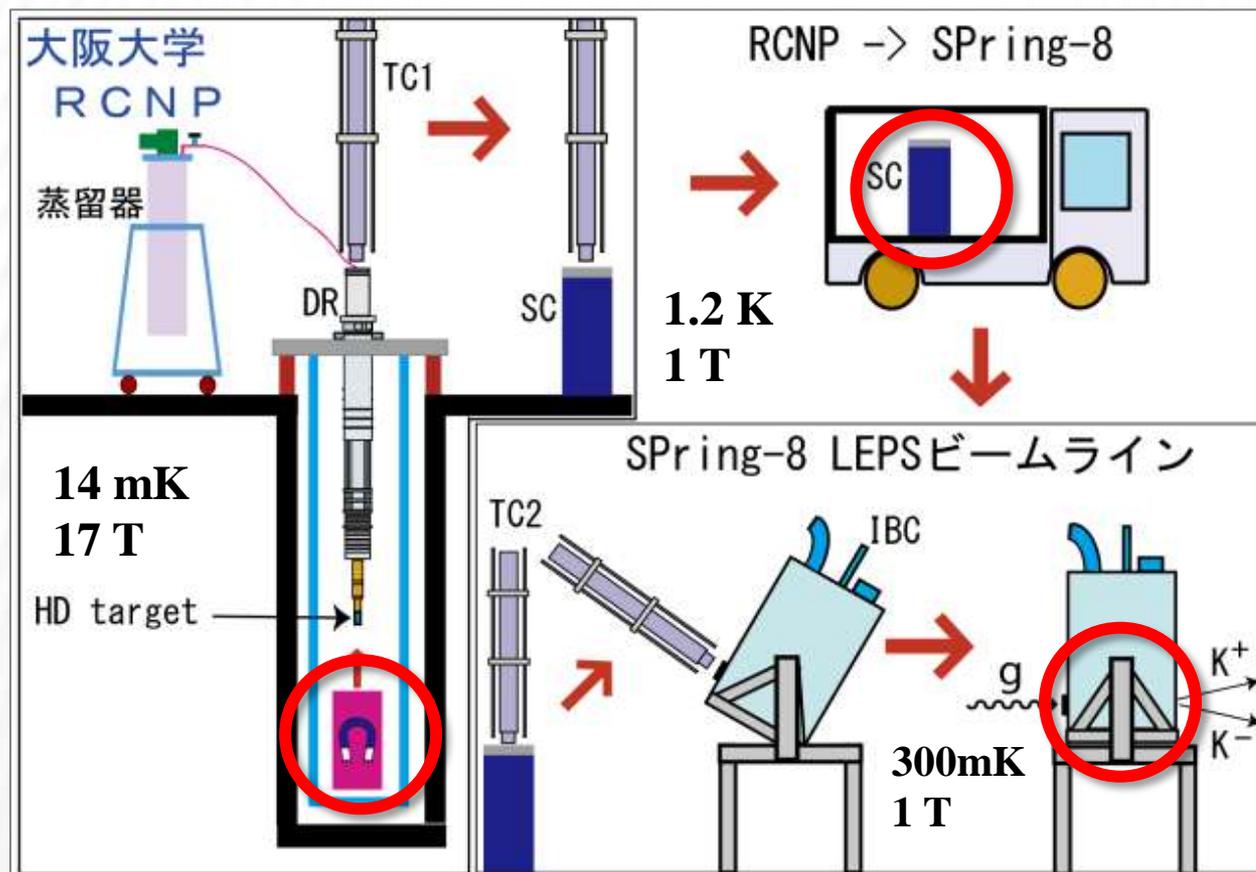
$$T_2 \rightarrow 0$$

- o-H₂の量が最適ではなかった
- p-H₂からo-H₂への転換による発熱

可搬NMR装置

可搬NMR装置 | 様々な場所でのNMR測定

○の箇所で偏極度を測定するためにNMR測定を行う



可搬NMR装置 | NMR装置のコンパクト化

PXIとLabVIEWを用いてNMR測定システムが構築できないだろうか？
実現出来れば安価にかつ持ち運び可能な測定システムができる。

NMR測定システムの構成

信号発生器

ロックインアンプ

オシロスコープ

ネットワークアナライザ

フィルタ、マルチメータ



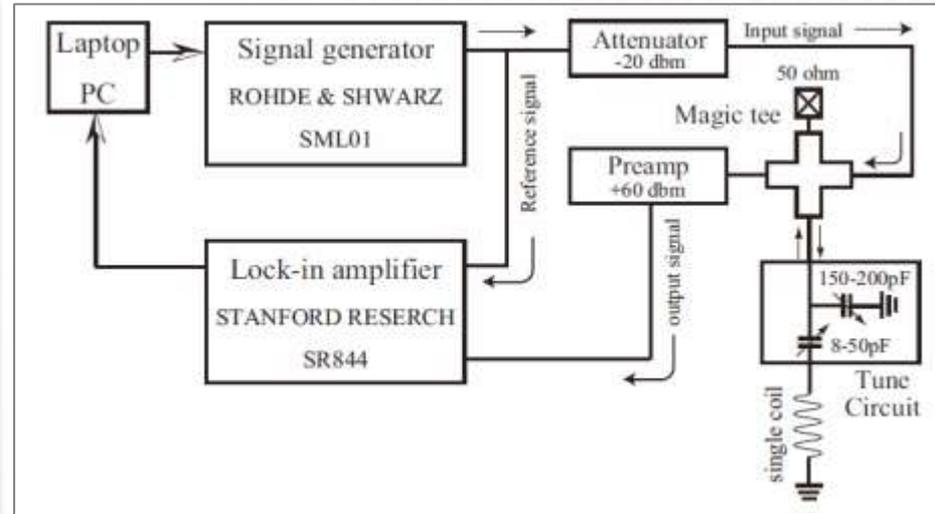
主にロックインアンプとネットワークアナライザをソフトウェア上で仮想化する

**ロックインアンプのアナログ回路の処理部分を
LabVIEWで実現する**

可搬NMR装置 | NMRシステムの概要図

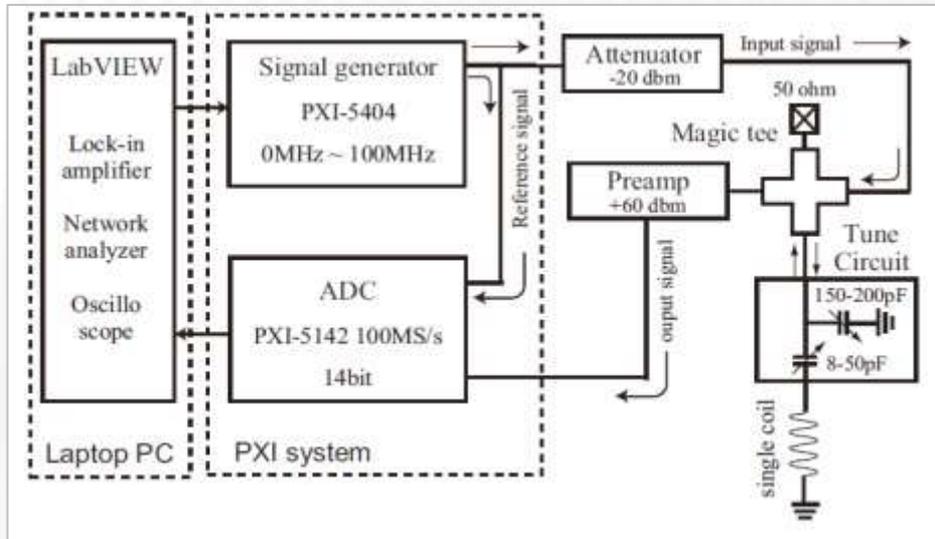
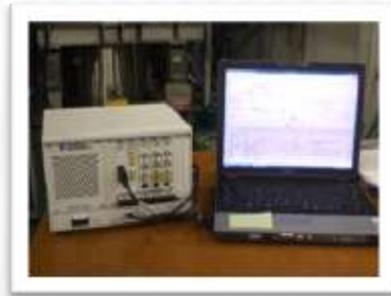
使用している機器

- ・ 信号発生器
- ・ ロックインアンプ
- ・ オシロスコープ
- ・ ネットワークアナライザ
- ・ フィルタ
- ・ マルチメーター



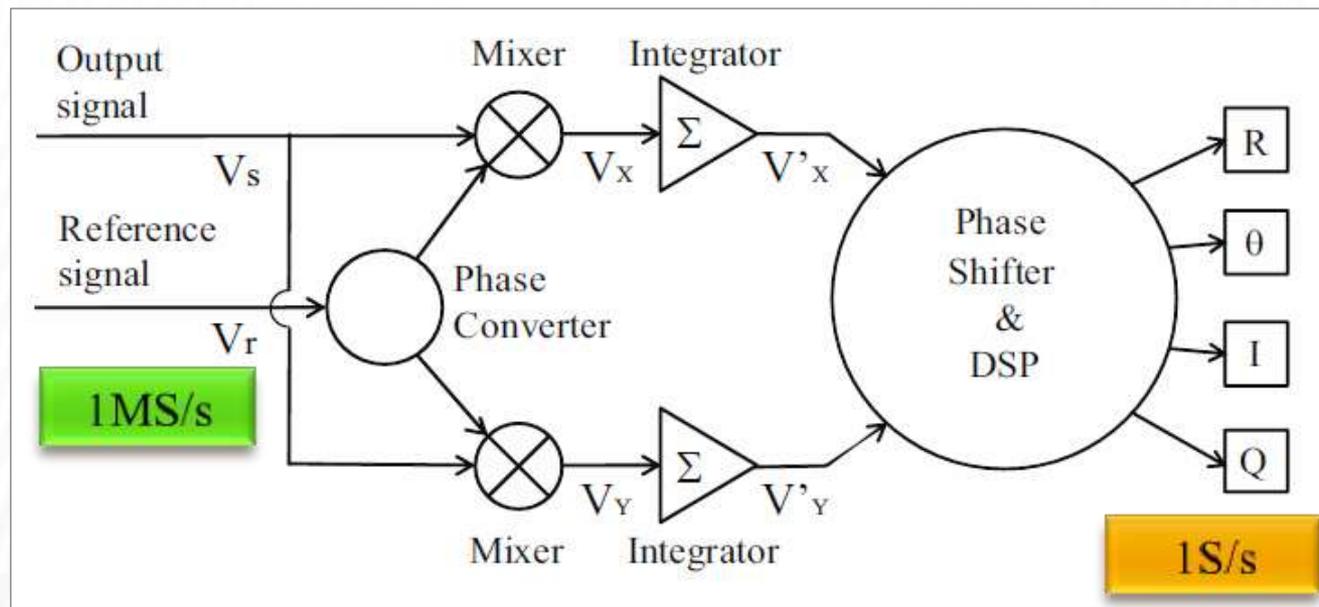
使用したモジュール

- ・ PXI-1036 (シャーシ)
- ・ PXI-8360 (MXI-Express)
- ・ PXI-5404 (100Mz FGEN)
- ・ PXI-5114 (8bit 250MS/s)



可搬NMR装置 | ソフトウェアの設計概要

二位相型のロックインアンプのブロックダイアグラム



R 振幅成分

θ 位相成分

I 同相成分

Q 直交成分

Phase converter :

参照信号から直交した信号（波形）を生成

Integrator

ADCで取り込んだデータを積算する。ローパスフィルタの役割

Phase shifter

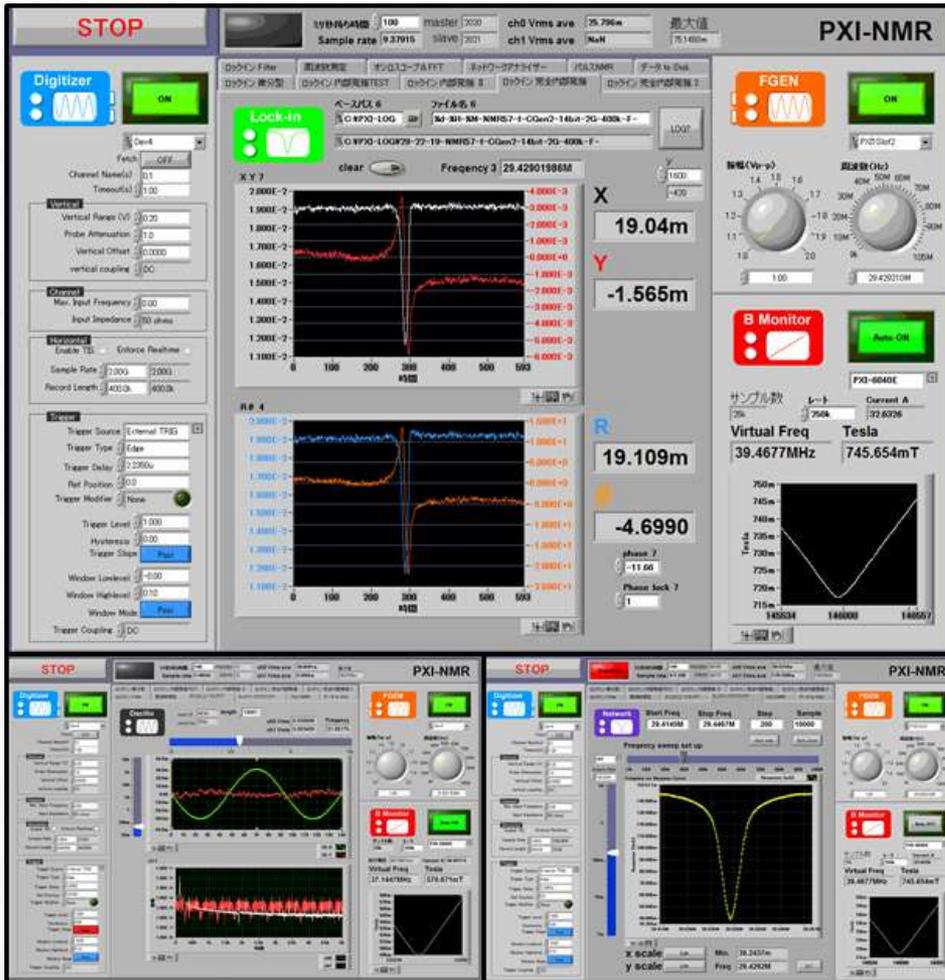
位相を調整するために使用する

Digital Signal Processor

データを処理し、R、 θ 、I、Qを求める

可搬NMR装置 | 完成したNMR測定システム

ロックインアンプ



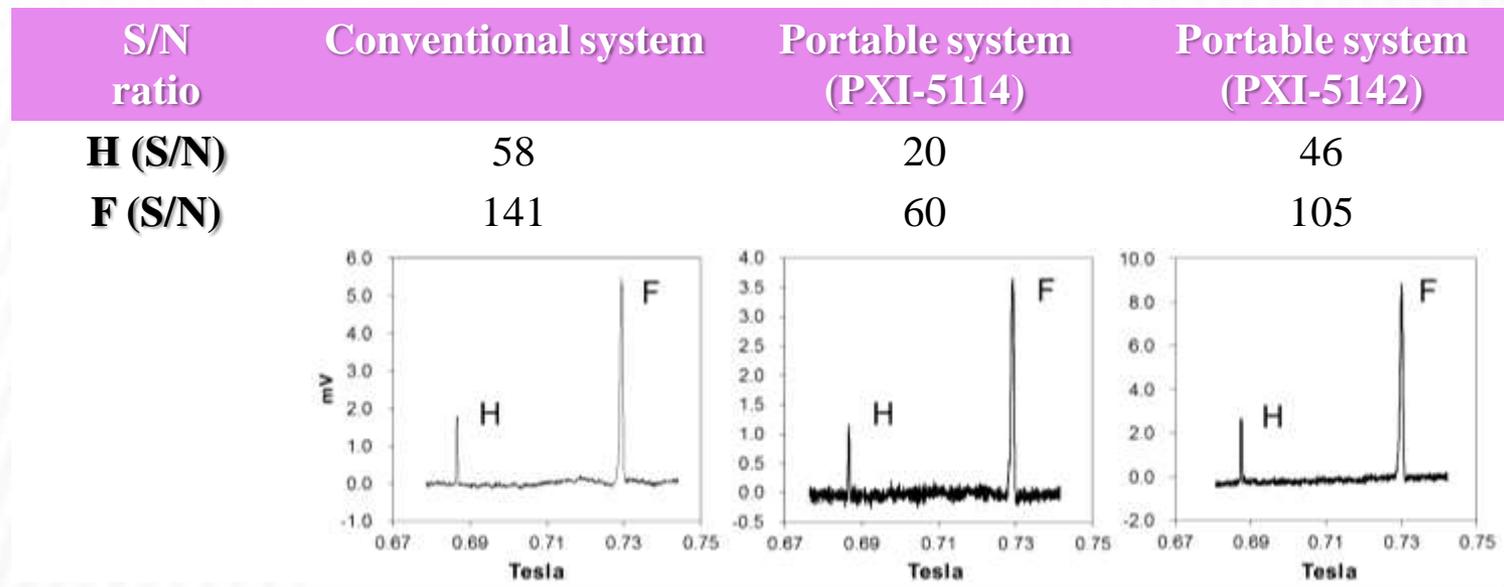
- 重さ、空間スペース、コスト全てにおいてダウン
- 手順が簡素化
- 自動調整&自動測定が可能。
- 測定システムのカスタマイズが可能
- 他人にわかりやすく説明できる

	W 600	D 600	H 2000	600万
80 Kg				
	90% Down	95% Reduce	75% Cut!!	
7.1 Kg				
	W 250	D 200	H 200	150万

オシロ&スペアナ

ネットワークアナライザ

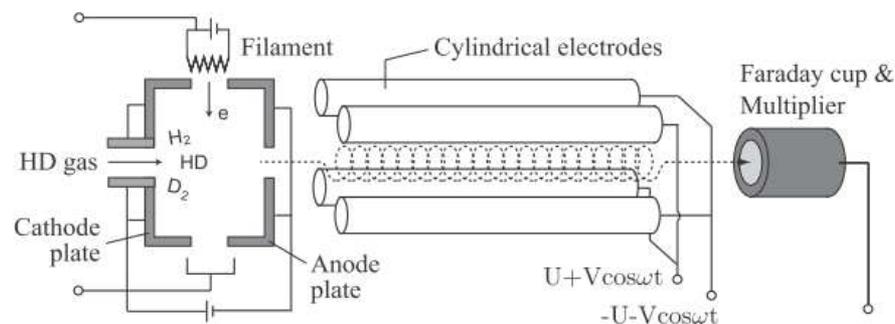
可搬NMR装置 | 従来システムとの比較



今回作成したシステムは最低限の予算で仕上げたもの
FPGAやPCI-expressを使用すればさらにS/Nを上げることは可能。

HDガスの分析

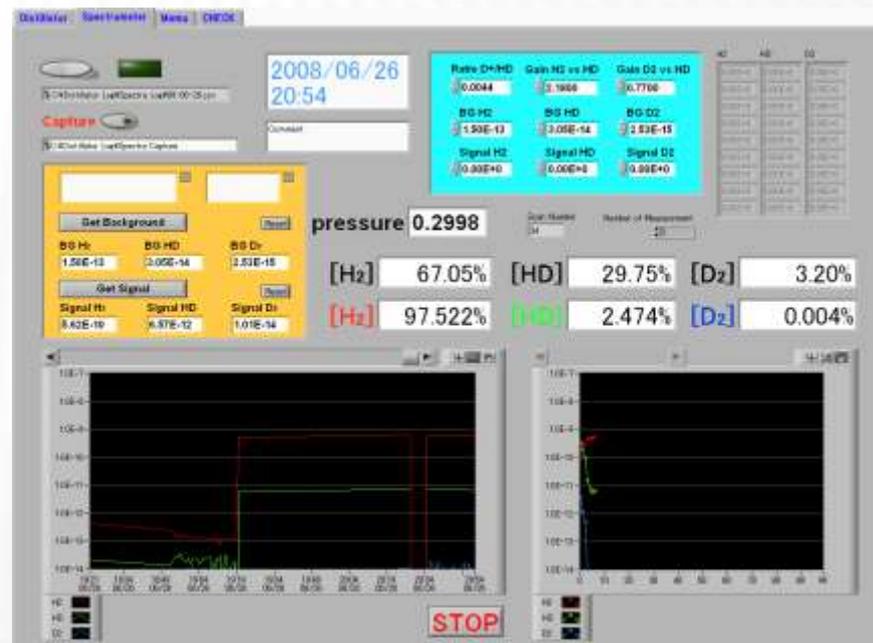
HDガスの分析 | 四重極質量分析器



偏極HD標的に使用するHDガスは蒸留塔で純化される。

HDガスは四重極分析器で同位体濃度の分析を行う。

HDガス中に含まれる H_2 及び D_2 の濃度を調べる。



HDガスの分析 | フラグメンテーション問題

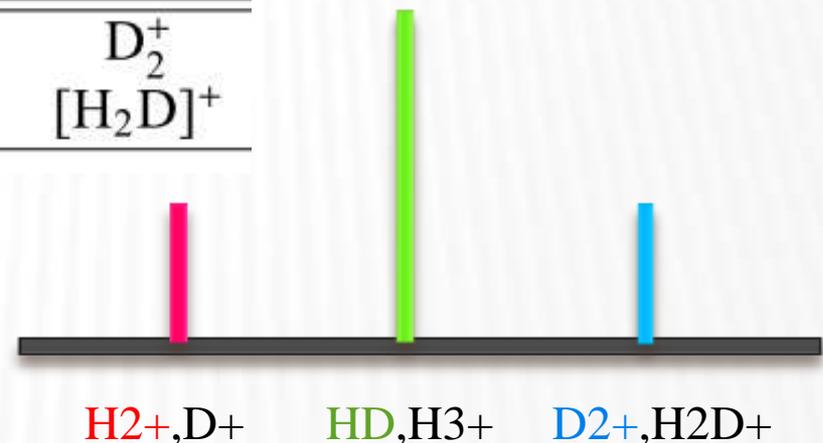
HDをイオン化させるときにHDが分解
さらに分解したものがその他の分子と衝突、結合

フラグメンテーションの発生

u/e	1	2	3	4
elements		H_2^+	$[\text{HD}]^+$	D_2^+
fragments	H^+	D^+	H_3^+	$[\text{H}_2\text{D}]^+$

Fragmentation factor

$$\text{D}^+/\text{HD} = 0.0044 = 0.4\%$$



発生したかけら（フラグメント）が本来分析したい分子とm/eが同じ。四重極分析器では分離できない

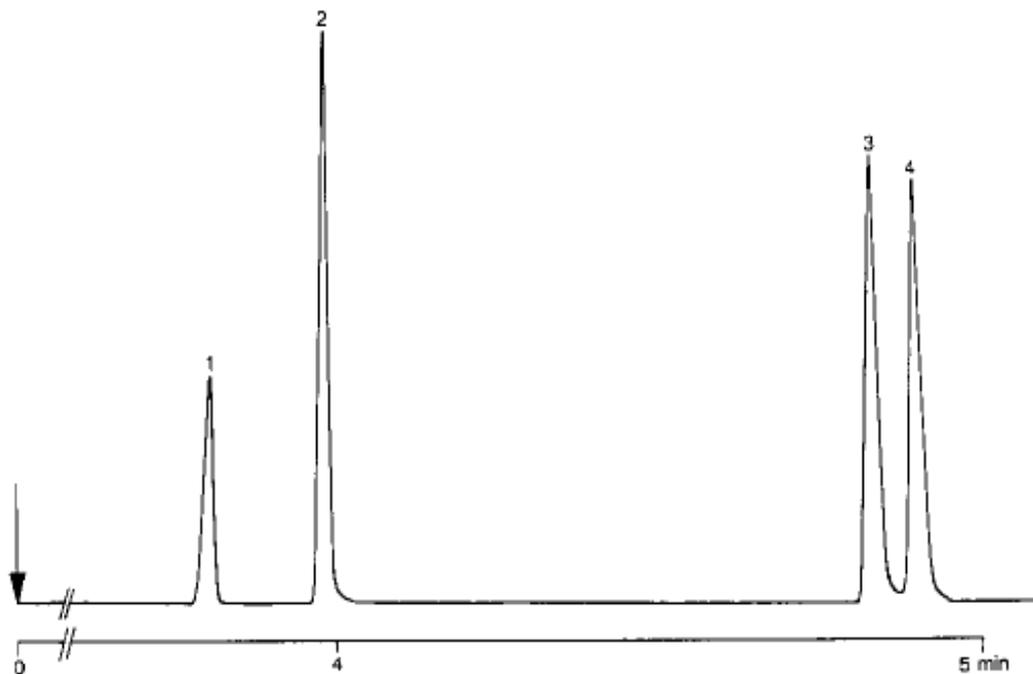
他の方法で分離できないだろうか？

HDガスの分析 | ガスクロ (GC) による分離

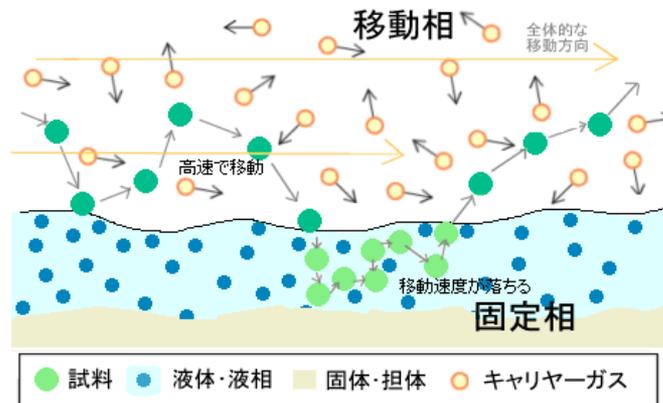
Technique : GC - capillary
 Column : Molsieve 5Å fused silica WCOT
 75 m x 0.32 mm; df = 30 μm
 Cat. no. 7536 + Cat. no. 7540 coupled together
 Temperature : -78.5°C
 Carrier gas : H₂, 200 kPa (2 bar, 28.6 psi)
 Injector : Splitter

Peak identification:

1. helium
2. neon
3. HD
4. D₂



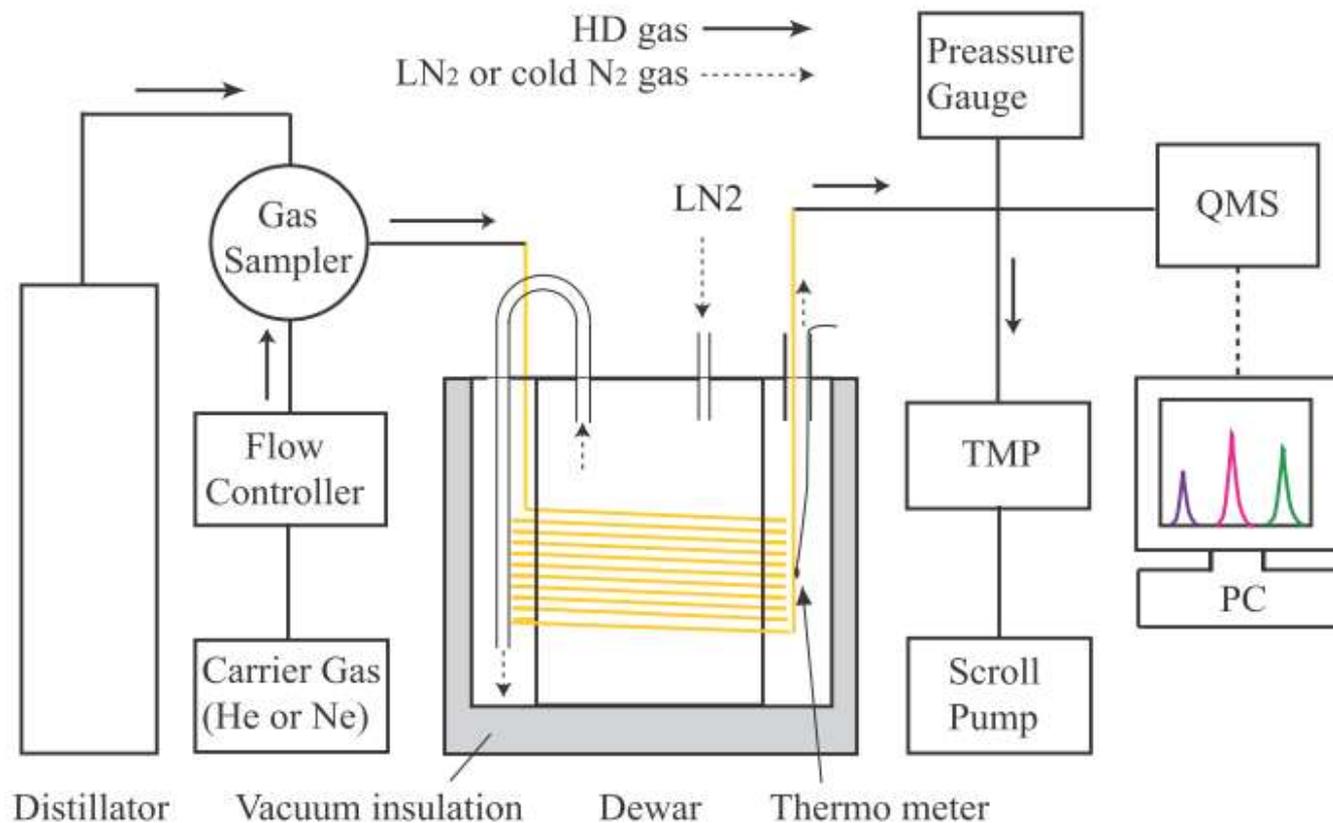
ガスクロマトグラフィー



内径 : 小さいほど分離能力大
膜厚 : 大きいほど分離能力大
長さ : 長いほど分離能力大

内径 (mm)	長さ (m)	膜厚 (μm)	Cat.No.
0.32	10	30	1010-77535
	25	30	1010-77536
	30	10	1010-77534
	50	30	1010-77540
0.53	10	50	1010-77537
	15	15	1010-77543
	25	50	1010-77538
	30	15	1010-77544
	50	50	1010-77539

HDガスの分析 | GC-QMSのダイアグラム



・特徴・

検出器が四重極分析器
キャピラリーチューブは低温に冷却される

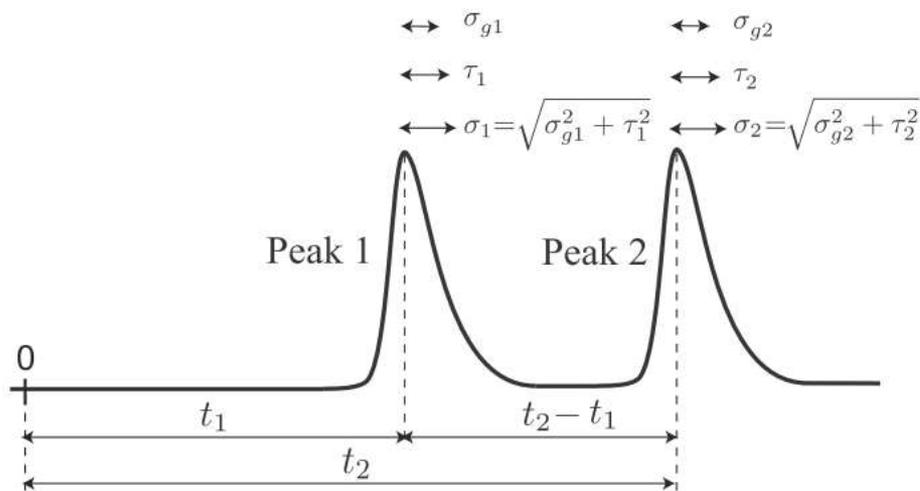
・パラメーター探し・

キャリアガスの種類、圧力、流量
インジェクトされる試料の量
カラムの温度
四重極分析器の真空度

HDガスの分析 | GC-QMSでのHDガスの分離

下のような分離度を定義し、様々なキャリアガス、流量、温度で測定。
最適なパラメーターを探す

$$R = \frac{(t_1 - t_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)},$$



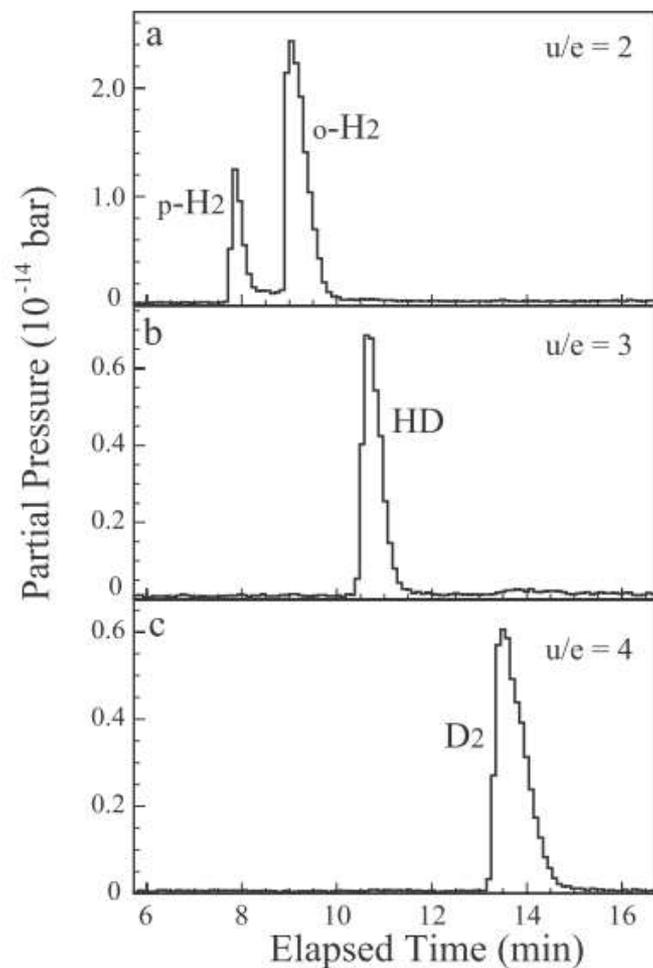
・最適解・

キャリアガス：He, 10mL/min, 0.1MPa

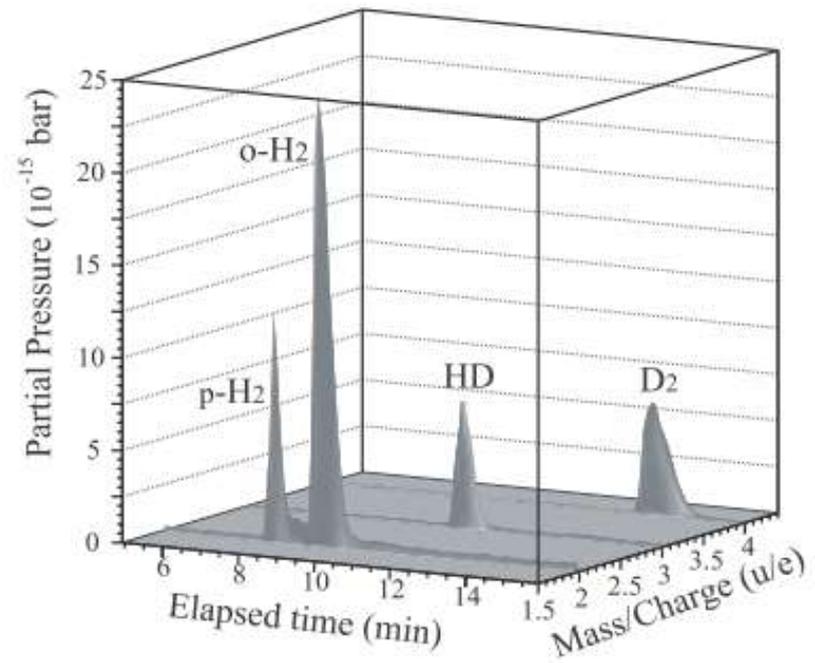
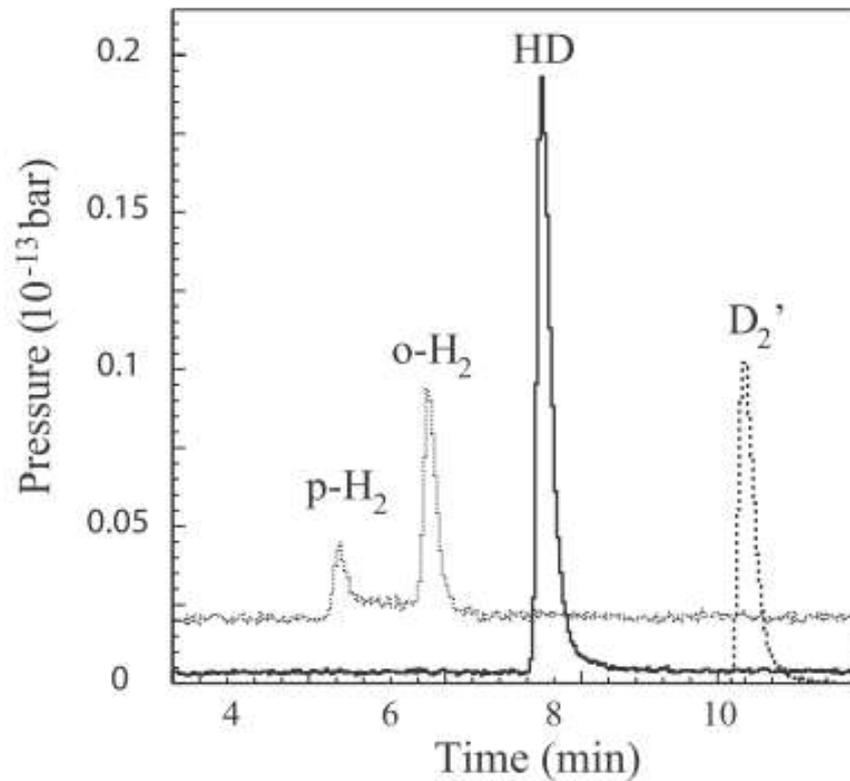
温度：110K

試料の量：1mL

HDガスはH₂, HD, D₂に内部で分離。
カラムから溶出したものをQMSで
連続的に測定する。



HDガスの分析 | GC-QMSの二次元プロット



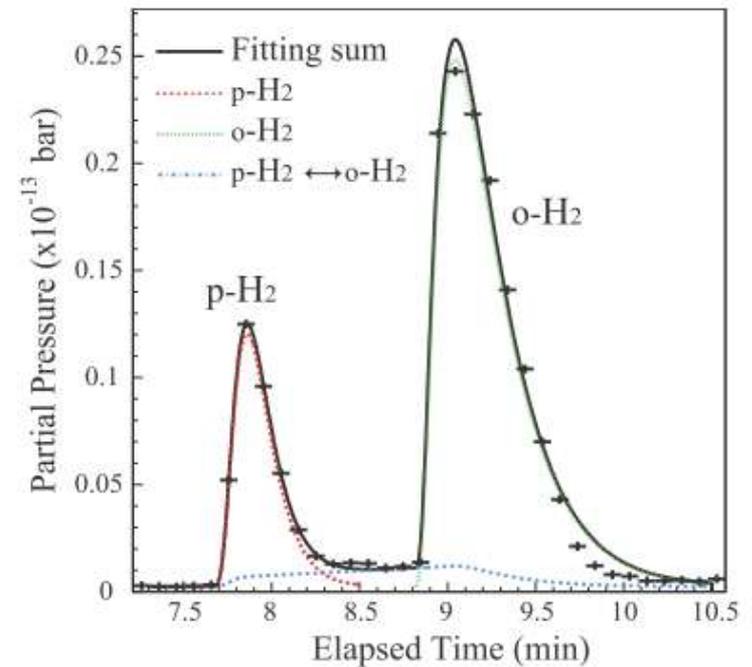
各massのスペクトルは他の質量のスペクトルに対して完全に独立
HDガスの完全分離に成功！！

HDガスの分析 | H₂ピークのフィッティング

オルソH₂とパラH₂、transition
バンドへのフィッティング

$$f(t) = \begin{cases} H \exp\left(\frac{-(t-t_R)^2}{2\sigma_g + \tau(t-t_R)}\right), & 2\sigma_g + \tau(t-t_R) > 0 \\ 0 & 2\sigma_g + \tau(t-t_R) \leq 0 \end{cases}$$

$$f_{o \leftrightarrow p}(t) = \begin{cases} CH_1 \exp\left(\frac{-(t-t_1)^2}{2\sigma_{g1}^2 + \tau_1(t-t_1)}\right), & \begin{aligned} & 2\sigma_{g1}^2 + \tau_1(t-t_1) > 0 \\ & t \leq t_1 \end{aligned} \\ C \left(\frac{(H_1 - H_2)}{(t_1 - t_2)} \times (t - t_1) + H_1 \right), & t_1 < t < t_2 \\ CH_2 \exp\left(\frac{-(t-t_2)^2}{2\sigma_{g2}^2 + \tau_2(t-t_2)}\right), & \begin{aligned} & 2\sigma_{g2}^2 + \tau_2(t-t_2) > 0 \\ & t_2 \leq t \end{aligned} \end{cases}$$

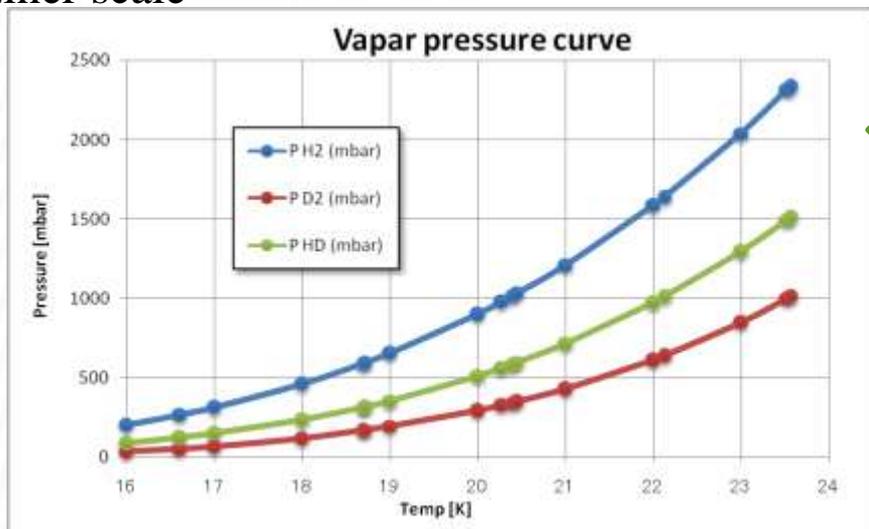


Peak kind	para-H ₂	Para-H ₂ ⇌ ortho-H ₂	ortho-H ₂
percent	30±1%	6±1%	63±2%

HDガスの精製

HDガスの精製 | 蒸気圧の比 相対揮発度 α

Liner scale

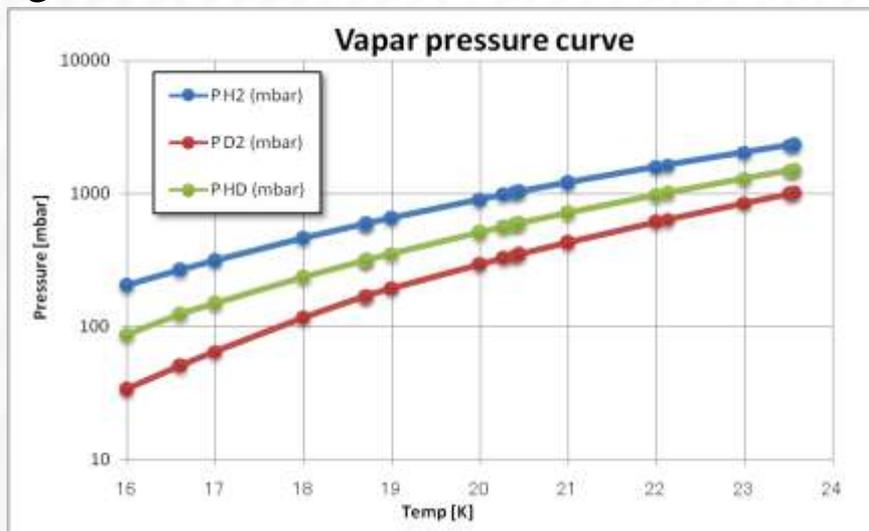


● antoine equation

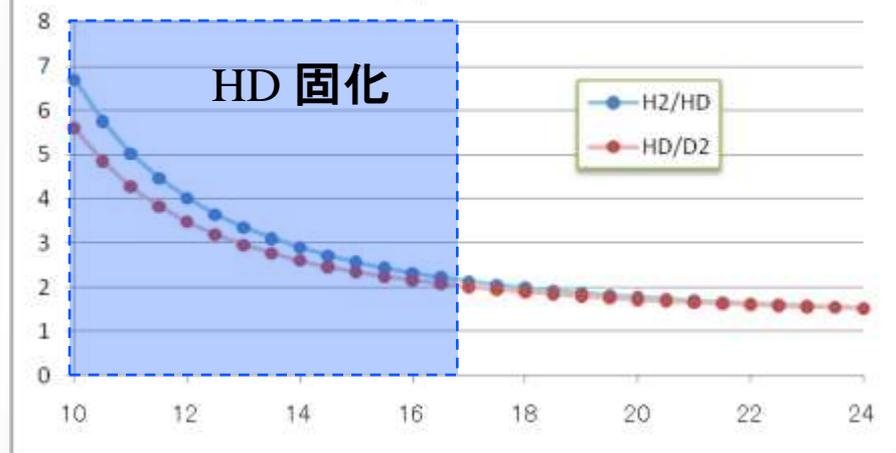
$$\log_{10} p = A - \frac{B}{T + C}$$

- The low temperature is more effective.
- However, 17K or more

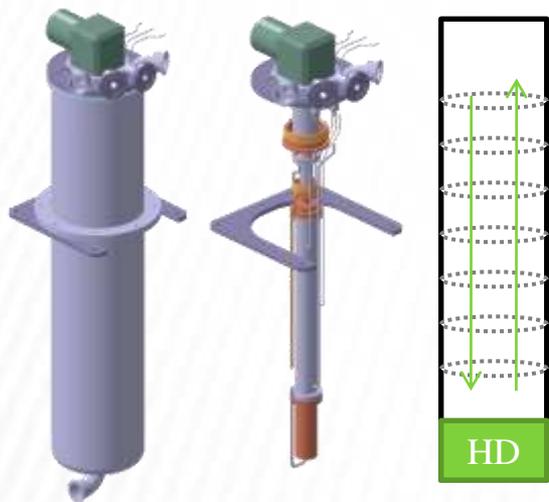
Log scale



Vapor ratio α



HDガスの精製 | 蒸留塔第1号機

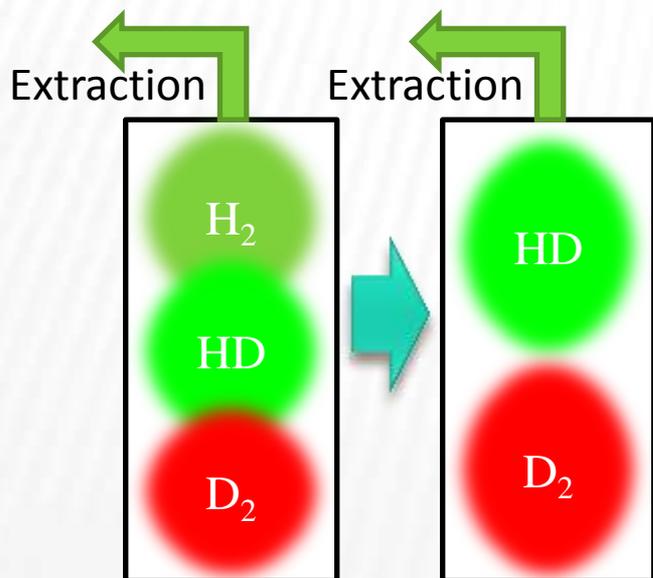


STEDMAN
PACKING

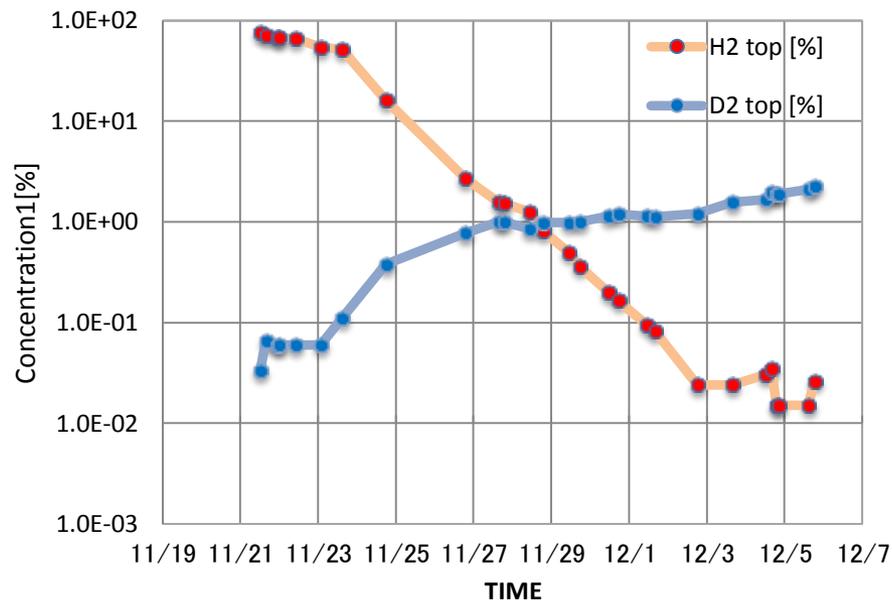


HDガス (H_2 3% : D_2 3%) を投入

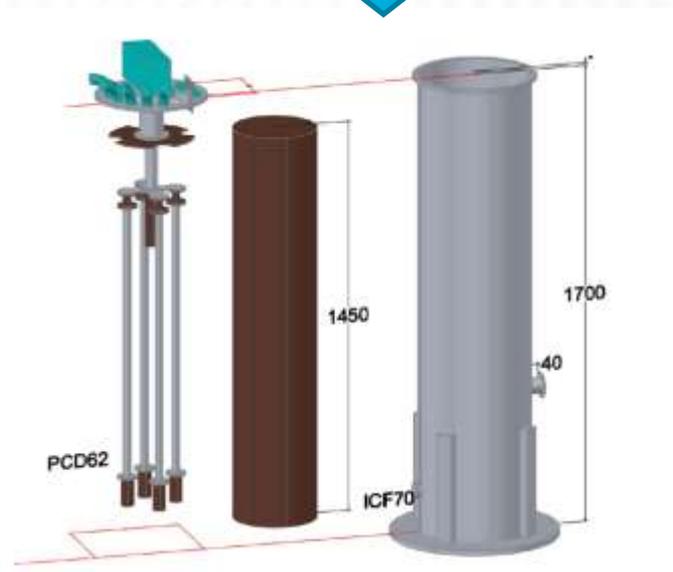
	H_2	HD	D_2
蒸留直後	75.00%	24.96%	0.033%
蒸留後	0.026%	97.71%	2.260%



Erapse time vs Concentration

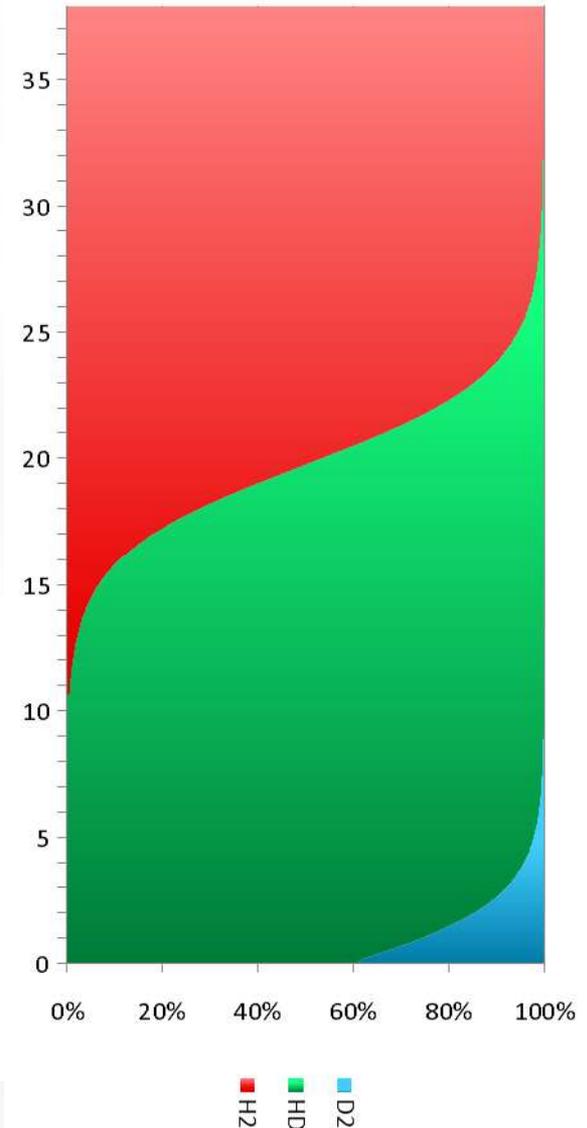
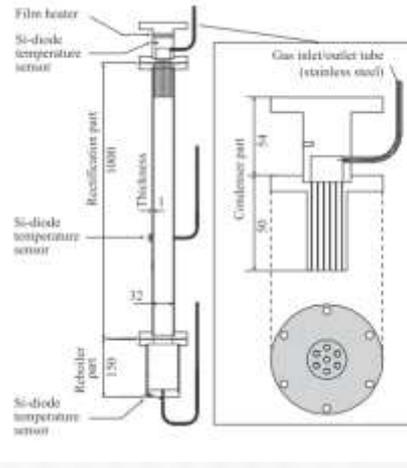
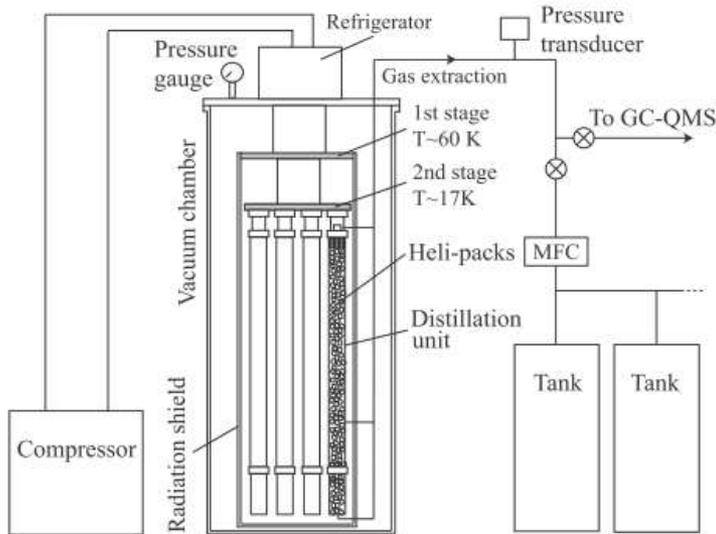


HDガスの精製 | 蒸留塔2号機



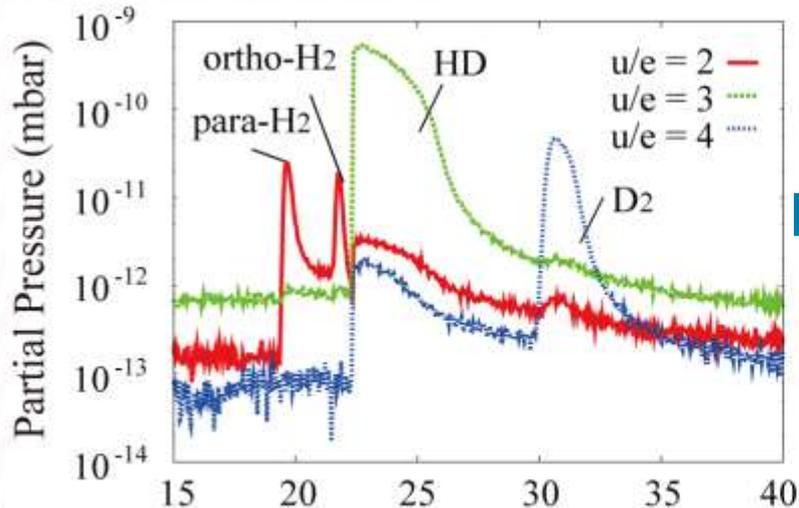
HDガスの精製 | 蒸留塔 2号機の設計

- 蒸留塔 2号機は化学工学に基づいて設計
- 設計したNTS=37.9
- 予備・拡張用の蒸留ユニットを3つ備える
- 設計した使用を元にシミュレーション

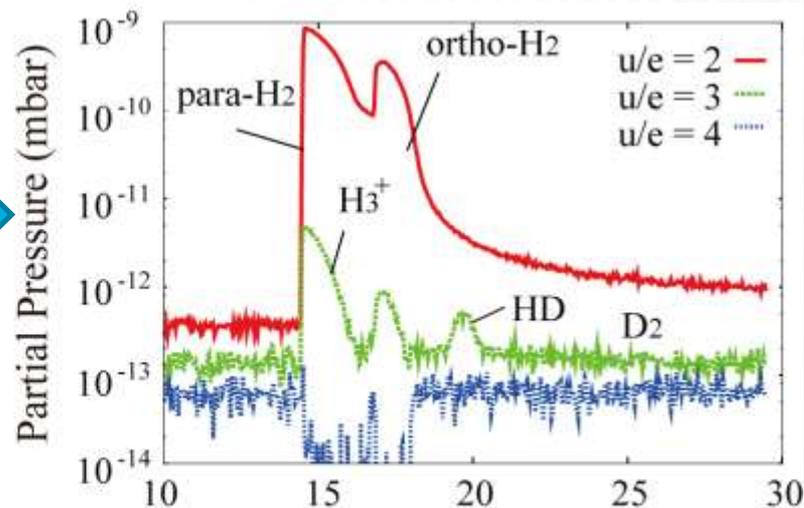


HDガスの精製 | 蒸留塔2号機 性能チェック

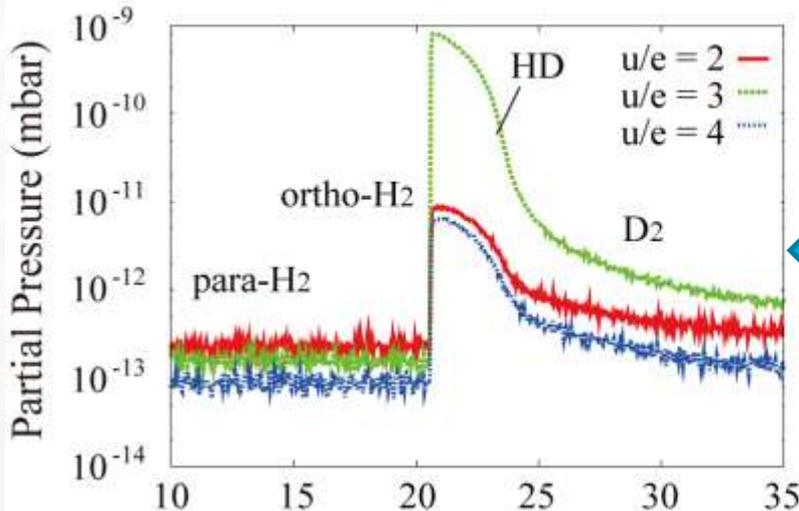
蒸留前のガス



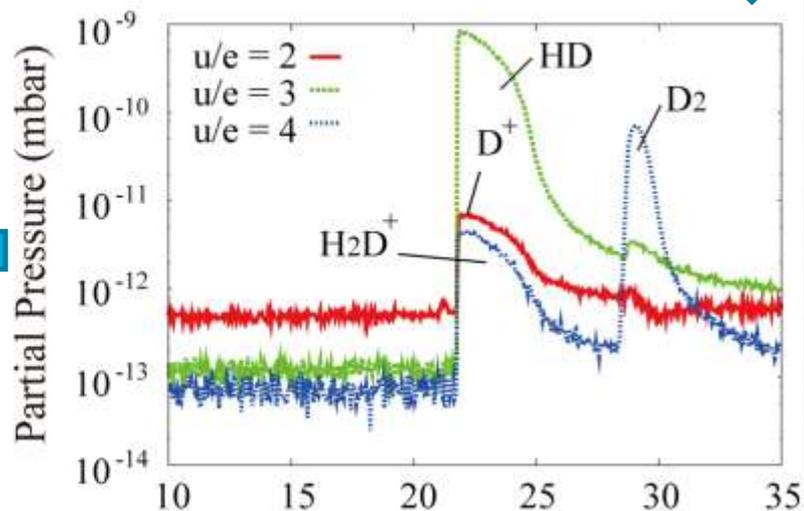
蒸留開始直後のガス (蒸留器Top)



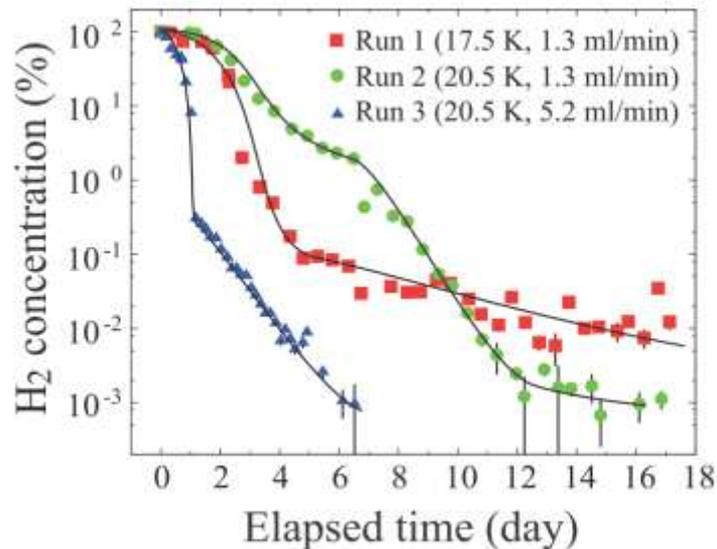
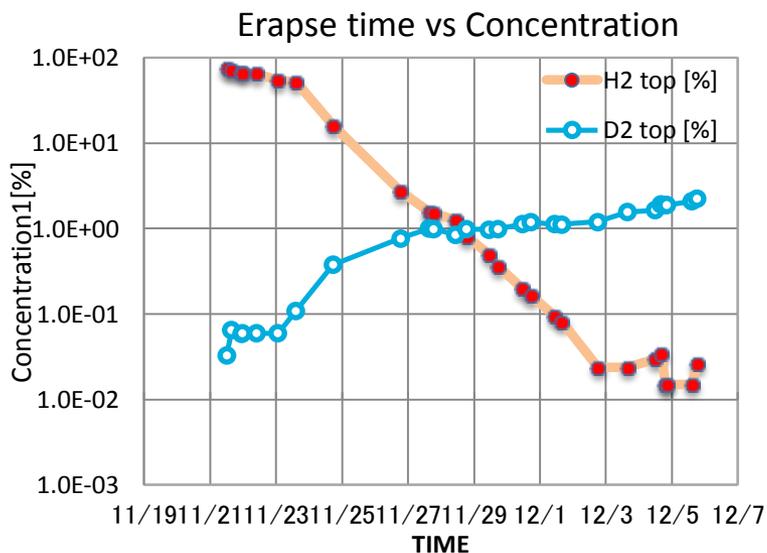
蒸留後



蒸留開始直後のガス (蒸留器Bot)



HDガスの精製 | 1号機と2号機の性能比較

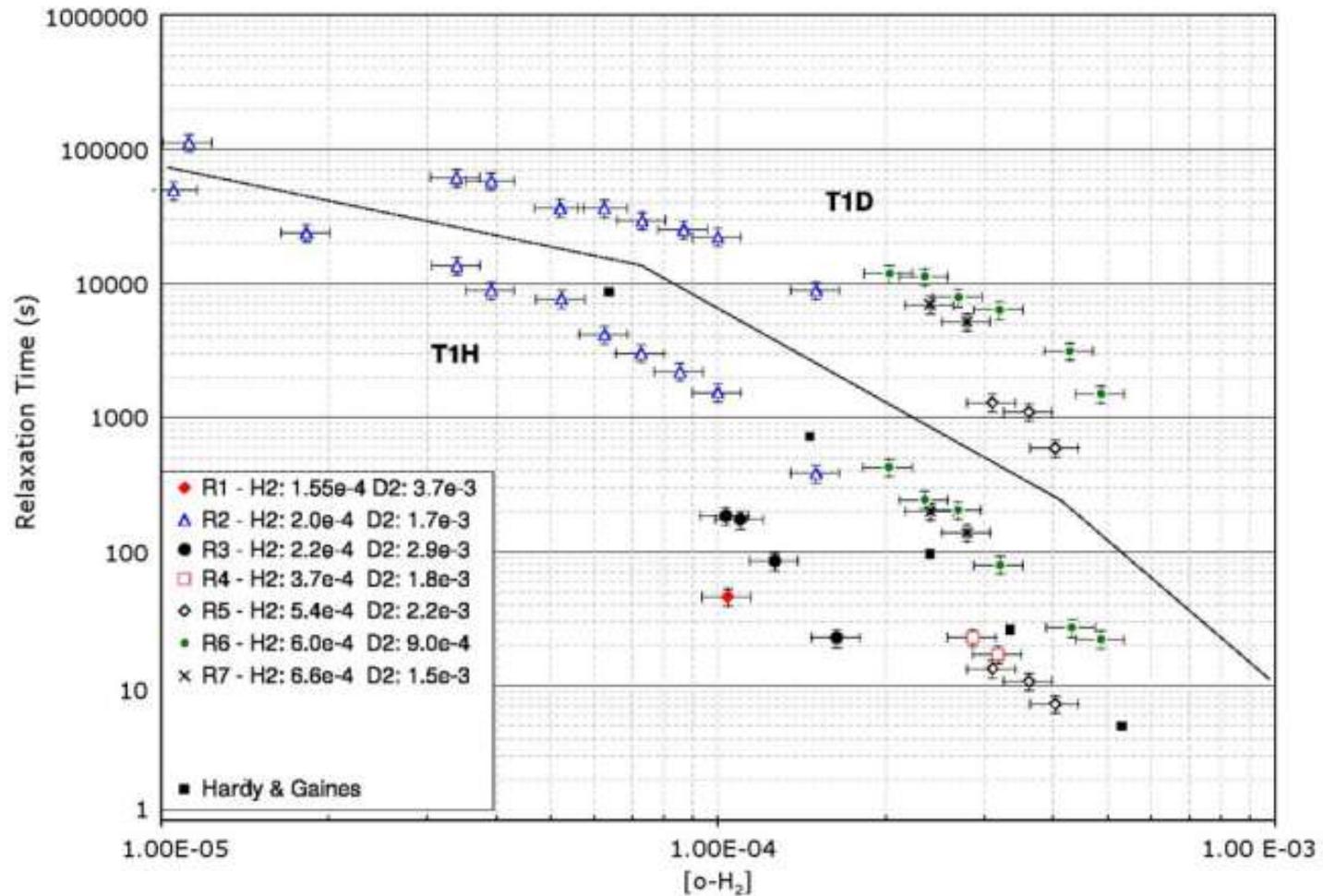


	H ₂	HD	D ₂
蒸留直後	75.00%	24.96%	0.033%
蒸留後	0.026%	97.71%	2.260%
蒸留期間	20日 (D ₂ 除去にさらに10日)		
NTS	14		

	H ₂	HD	D ₂
蒸留直後	99.963%	0.035%	0.002%
蒸留後	<0.001%	99.999%	<0.001%
蒸留期間	6日		
NTS	37.2 ± 0.6	(設計値37.9)	

偏極標的試作 II Summary

HDの緩和時間とo-H₂



o-H₂はHD中のHとDの緩和時間に関与する。
p-D₂もHとDの緩和時間に関与する。
o-H₂の濃度を1桁下げるのに30日かかる。

Future & Summary

- 核子内のストレレンジネスを探ることが目的
- 偏極HD標的製造に必要な冷凍機を揃えた
- 初の偏極標的作成で偏極度は41%だった
偏極保持時間は106日
- ガスクロと四重極質量分析器によりHDガスを高精度に測定可能になった
- 蒸留塔2号機を開発し、設計通りに働いた
蒸留期間は30日から6日に短縮
- HD内の H_2 と D_2 の濃度を完全にコントロール可能になった

偏極HD標的試作Ⅱを年末に行う予定

核子内ストレンジネス探索のための 偏極HDターゲットの開発現況

Experiment of search for strangeness with polarized HD target

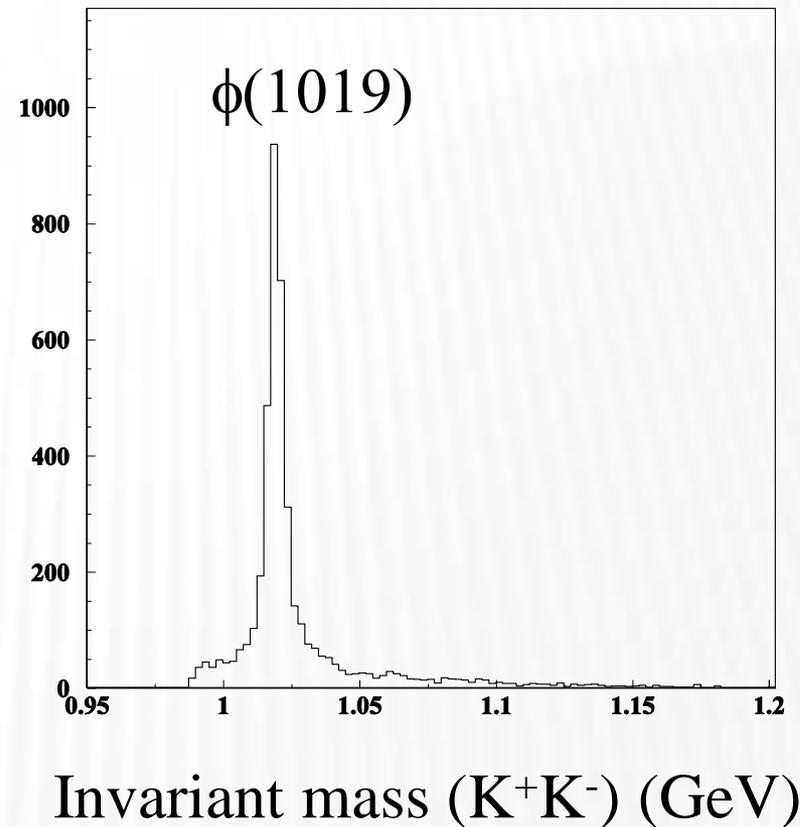
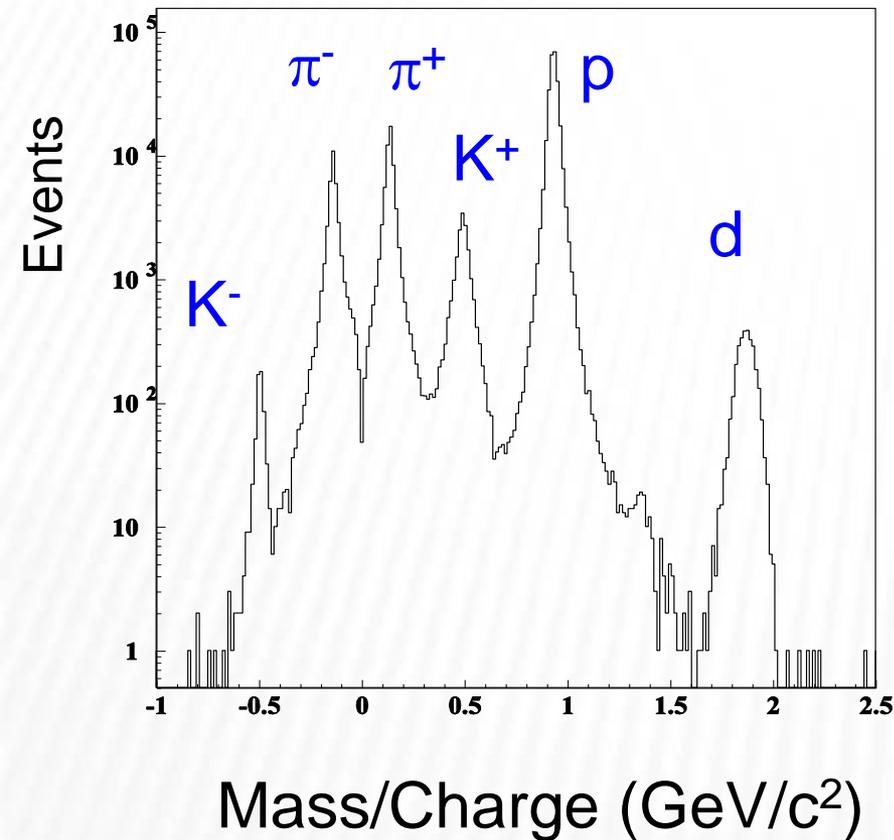


END

Backup

HD研究の紹介 | スペクトル

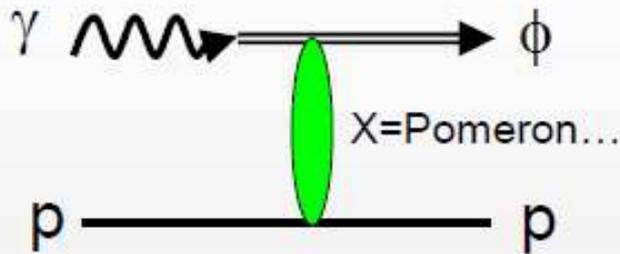
Reconstructed mass



$\sigma(\text{mass}) = 30 \text{ MeV}$ (typ.) for 1 GeV/c Kaon

HD研究の紹介 | ϕ 中間子光生成の精密調査

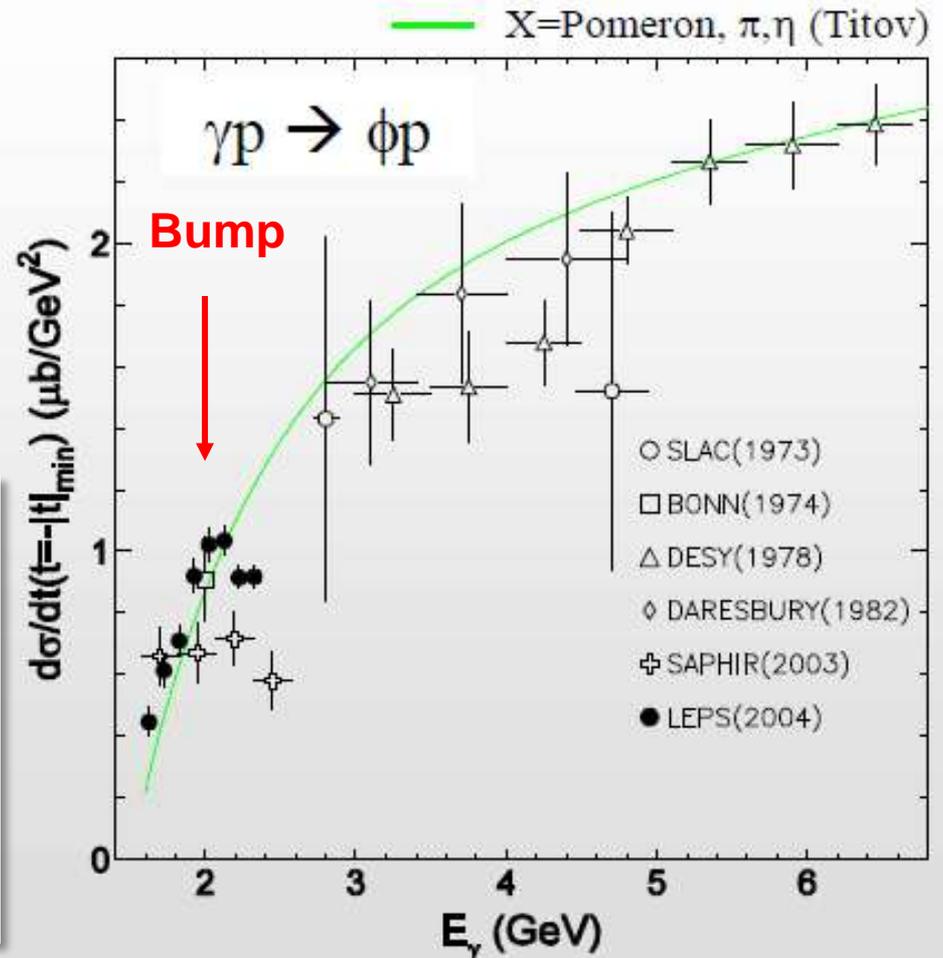
Diffractive ϕ meson photoproduction on proton



緑色のラインがポメロン交換反応の微分散乱断面積。

Bumpが見えており、今まで知られていない反応の可能性もある

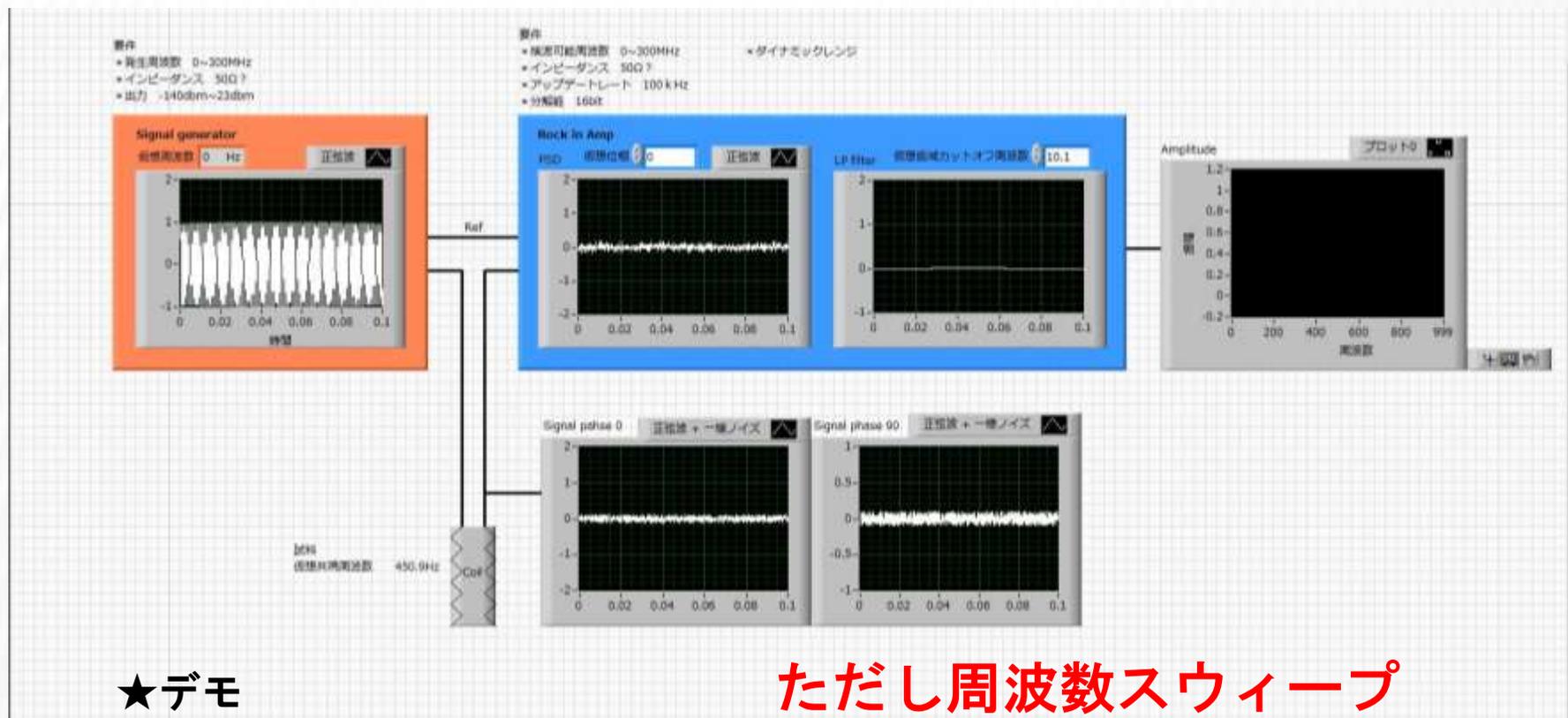
偏光ビームと偏極標的を用いた実験が有用な情報をもたらす



T. Mibe, W. C. Chang, T. Nakano *et al.*
Phys. Rev. Lett. 95 182001

コンセプトプログラムの制作

ポータブルなNMRシステム構築のためのコンセプトプログラム
機器を購入する前に実現可能かシミュレーションを作成し確認する

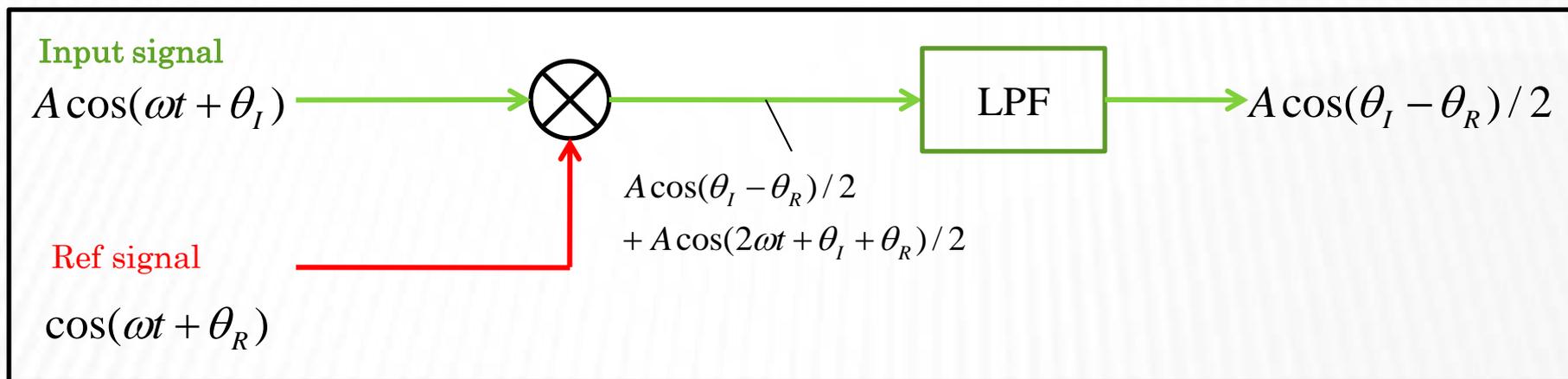


★デモ

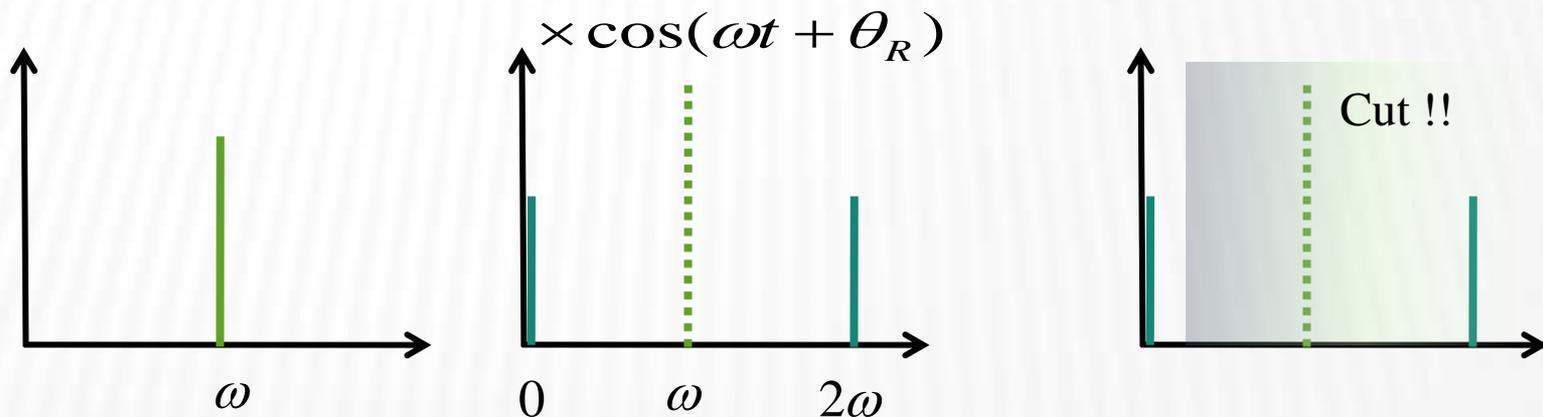
ただし周波数スウィープ

作成は可能。どれほどの検出能力を有するかはわからない

ロックインアンプの原理



周波数
スペクトラム



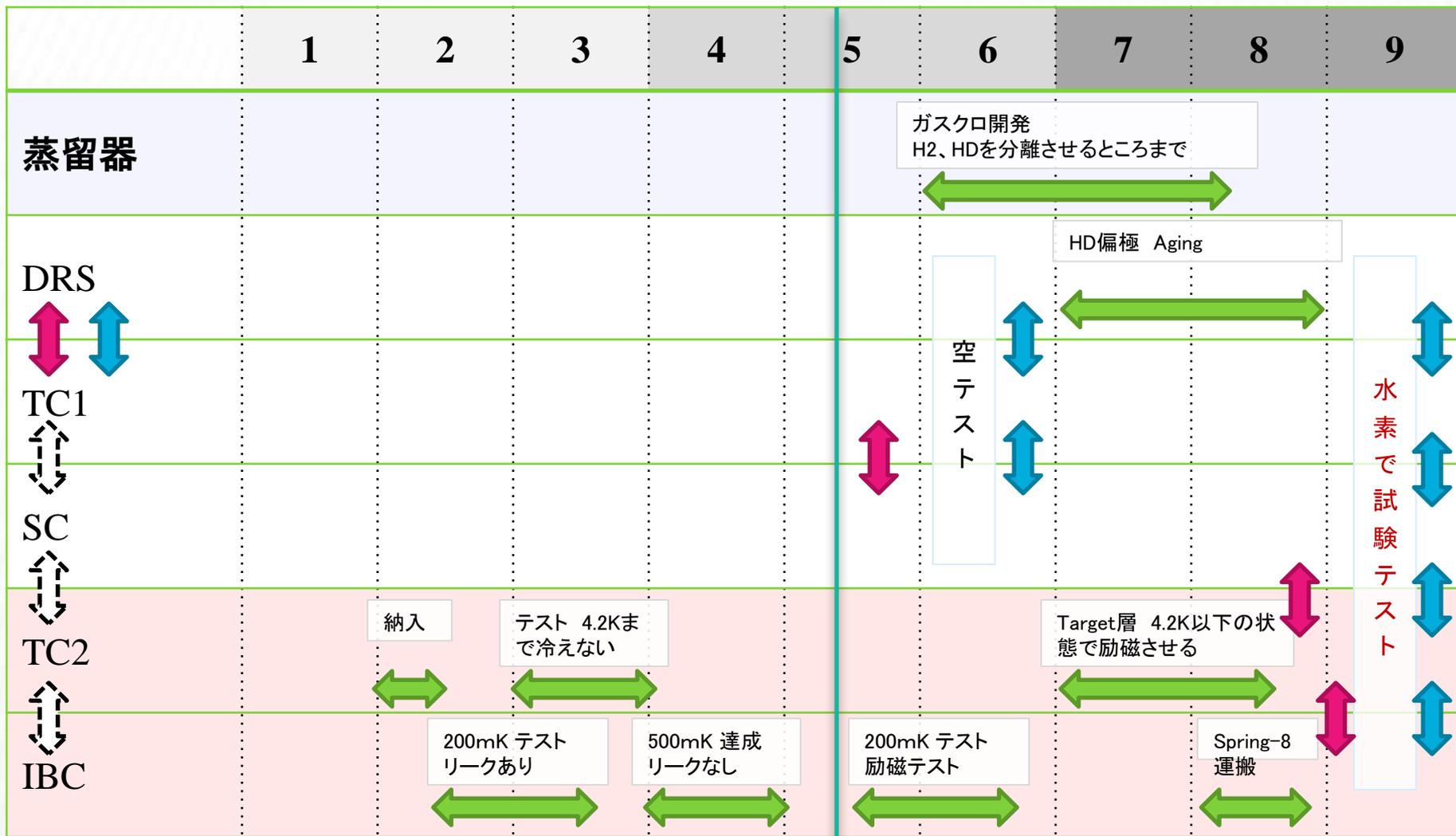
ただし上記は1位相型。作成するのは2位相型。
オフラインで解析をするため

Summary

- We plan the complete polarization experiment to investigate strangeness quark contents of the nucleon.
- We have been developing the polarized HD target.
- We have tried producing a polarized HD target at RCNP for the first time in the beginning of 2009.
- The polarization was $41.4\% \pm 3.1\%$
- The relaxation time of HD was 106 ± 16 days.
- We will plan to calibrate the response between polarization and NMR signal with a dummy target of ^{19}F .

Future plan

- Transporting the polarized HD target from RCNP to SPring-8
- Starting ϕ -meson experiment using the polarized HD target.



未接続

常温での接続

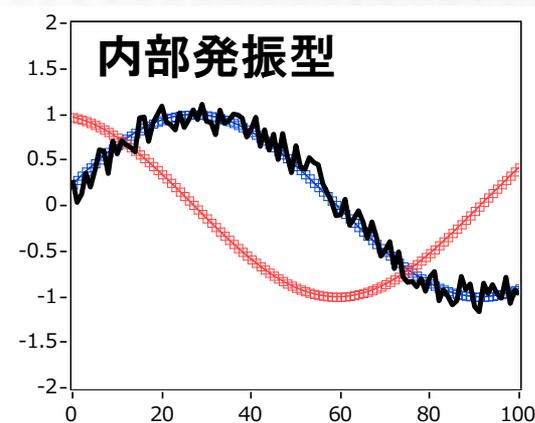
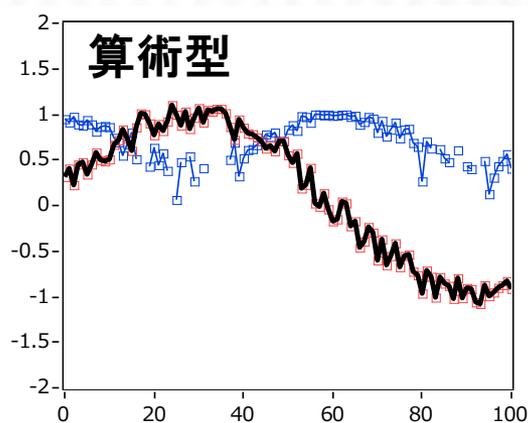
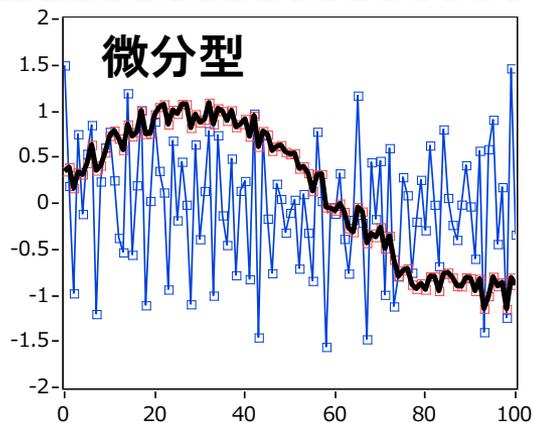
低温での接続

now!!

水素で試験テスト

位相変換モジュール案

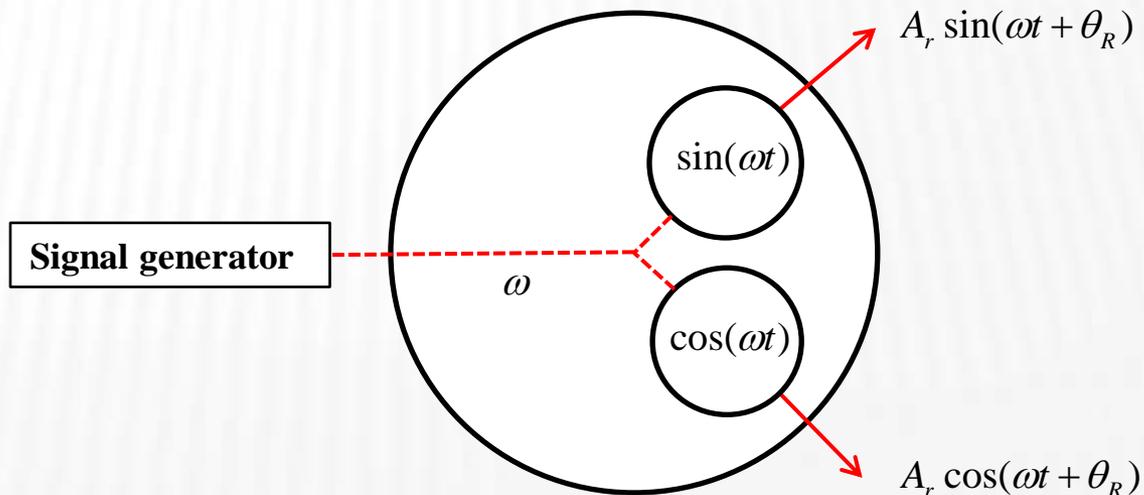
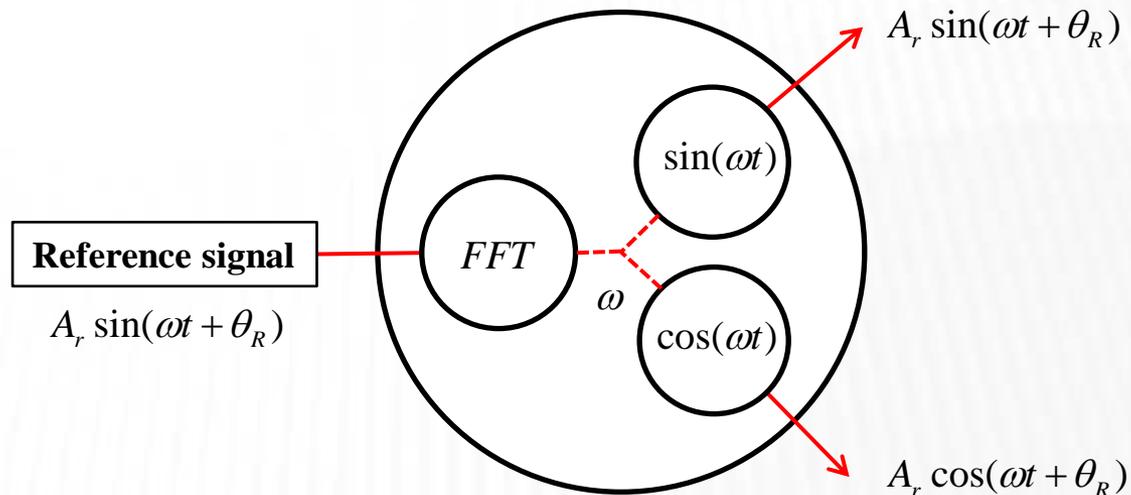
	算出方法	演算速度	特徴
微分型	2点から算出	高速	ノイズ耐性低い 位相のずれが生じる
フィッティング型	全ての点から算出	非常に遅い	精度は良い
遅延型	ポイントをシフトさせ目的の位相に合わせる	高速	位相の精度は悪い
算術型	$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$ $\arccos(X) = \theta$	高速	ノイズ耐性が非常に低い 使えない
内部発振型	フーリエ変換により周波数を求め、sin波とcos波をソフトウェア内部で生成	高速	参照信号の位相を継承できない



位相変換モジュール 内部発振型

参照信号をフーリエ変換し、周波数を求める。
求めた周波数からsin波とcos波を生成し。
次の処理からはメモリからデータを呼び出す。

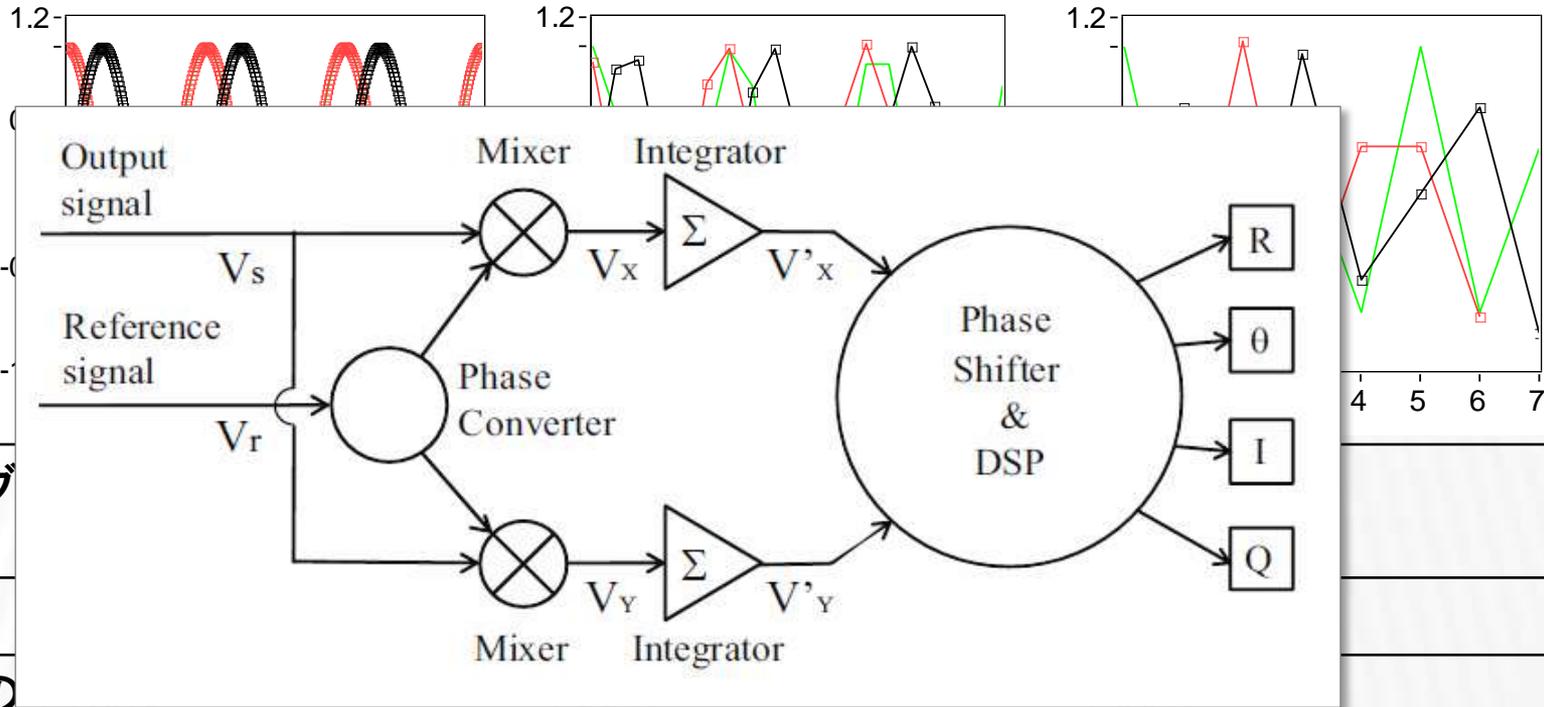
特に問題がなければ信号発生器でセットされた周波数から直接波形を生成しても良い



位相変換の問題点

サンプリングレートと理想の直交波形とのずれ

- 測定波形
- 90° 変換
- 理想の変換



サンプリング
レート

周波数

90° 位相との
ずれ(θ_{ori} -
ひー)

1.4°

30°

72°

完全に直交した波形を生成するにはどうすればいいだろうか？
演算に影響がないように高速に処理しなくてはならない

Saturated forbidden transition (SFT)

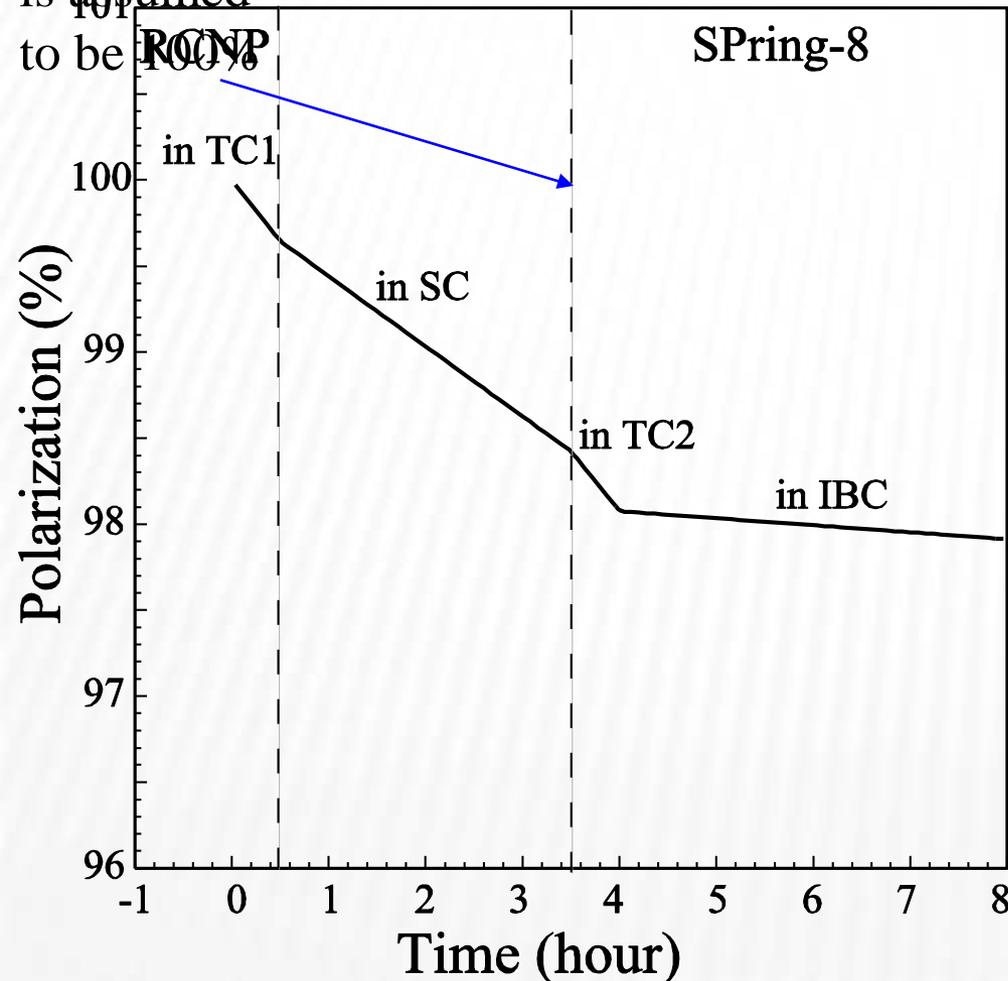
- This method uses **frequency modulated RF** to produce a rapid succession of **low efficiency** spin transfers by passing through the resonance **many times**.
- The D polarization can reach 31.1%.

Pass	H polarization	D polarization	Duration of RF
Before SFT	64.2%	15.3%	-
After first pass	54.9%	20.4%	2 minutes
After second pass	46.1%	24.7%	4 minutes
After third pass	40.3%	26.9%	4 minutes
After fourth pass	36.7%	29.2%	4 minutes
After fifth pass	34.6%	29.8%	4 minutes
After sixth pass	32.5%	31.1%	6 minutes

M. Bade
PHD thesis
2006

Expected Polarization loss during transportation of HD from RCNP to SPring-8

Initial polarization is assumed to be 100%



as a result.....

In Beam Cryostat (IBC)
Experiment @ **300mK**

$H : T_1 = 106 \pm 16$ days

Storage Cryostat (SC)
Transportation @ **1.2K**

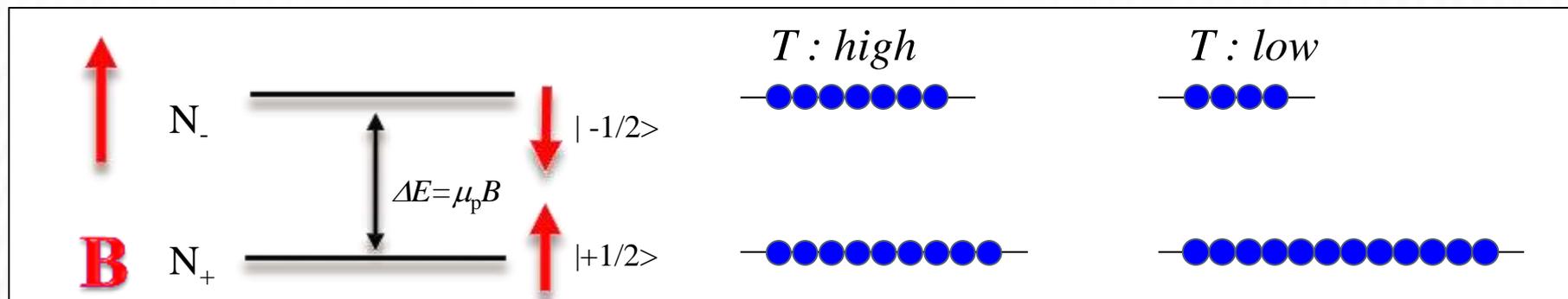
$H : T_1 = 11.6 \pm 1.5$ days

Transfer Cryostat
(TC1, TC2)

Transportation @ **4.2K**

$H : T_1 = 7.5 \pm 0.7$ days

HDの偏極原理 | HとDの偏極度

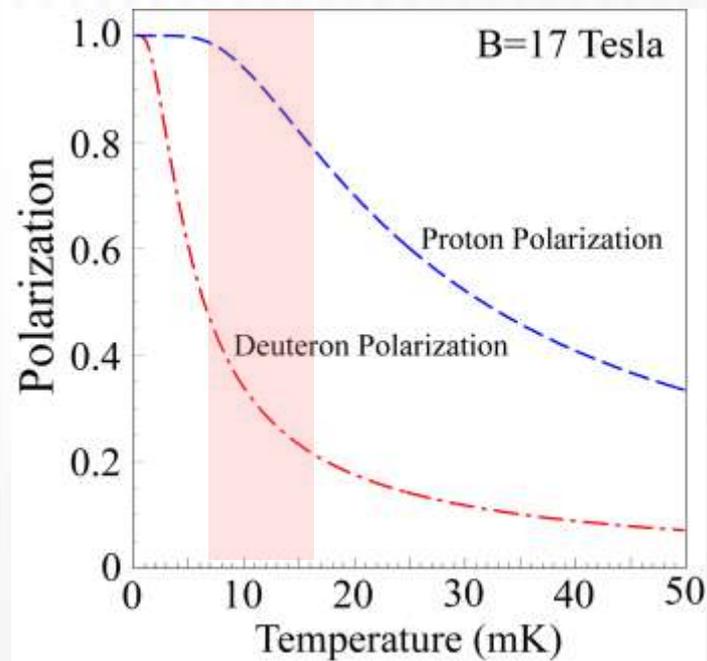


The polarization amounts to 84% at 17T and 14mK

$$\Rightarrow P_H = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = \tanh\left(\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

$$\Rightarrow P_D^v = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_0 + N_-} = \frac{4 \tanh\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right)}{3 + \tanh^2\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right)}$$

	H	D
6 mK	99.4%	48.8%
10 mK	94.0%	31.9%
14 mK	84.5%	23.6%



Specification of HD target

× Poralization method

HD target is polarized by the static method using “brute force” at low temperature (10 mK) and high magnetic field (17 T).

It takes about 2-3 months to polarize the target in case of ortho-H₂ and para-D₂ is doped inside HD target

× Advantage and disadvantage

HD molecule does not contain heavy nuclei such as Carbon and Nitrogen. Good for experiments observing reactions with small cross section.

The HD target needs thin aluminum wires (at most 20% in weight) to insure the cooling.

× Polarization

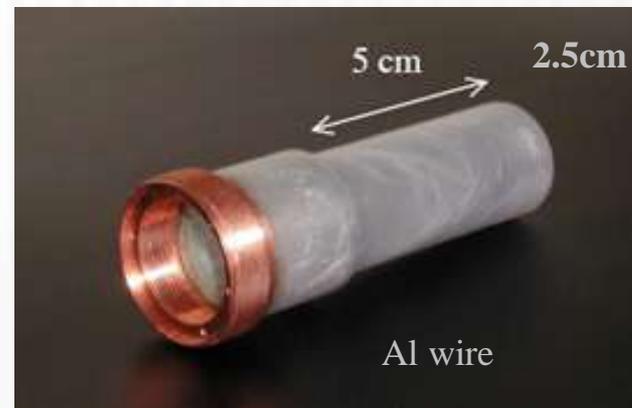
H : 94 % D : 48.6 % @10mK, 17T

× Relaxation time

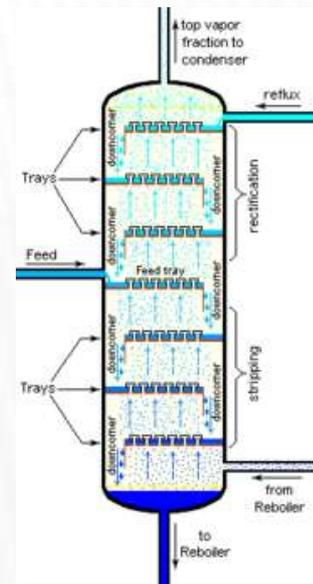
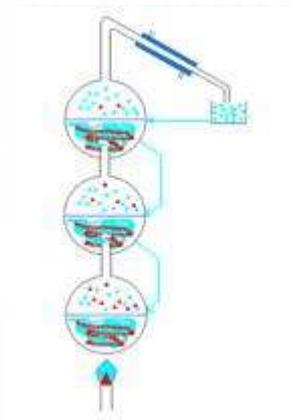
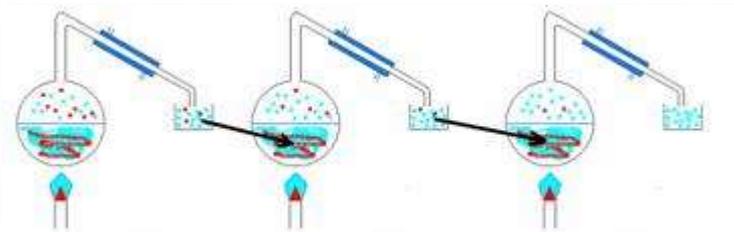
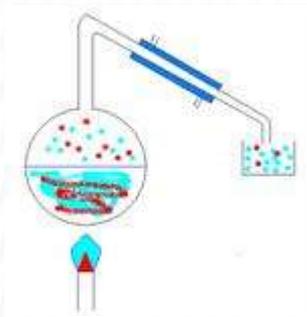
~200days at ~200 mK and 1 T during the experiment.

× Target size and amout

Diameter : 25mm Thickness : 50mm
1mol , 3g



HDの精製 | 蒸留器の概要



単蒸留

フラッシュ蒸留

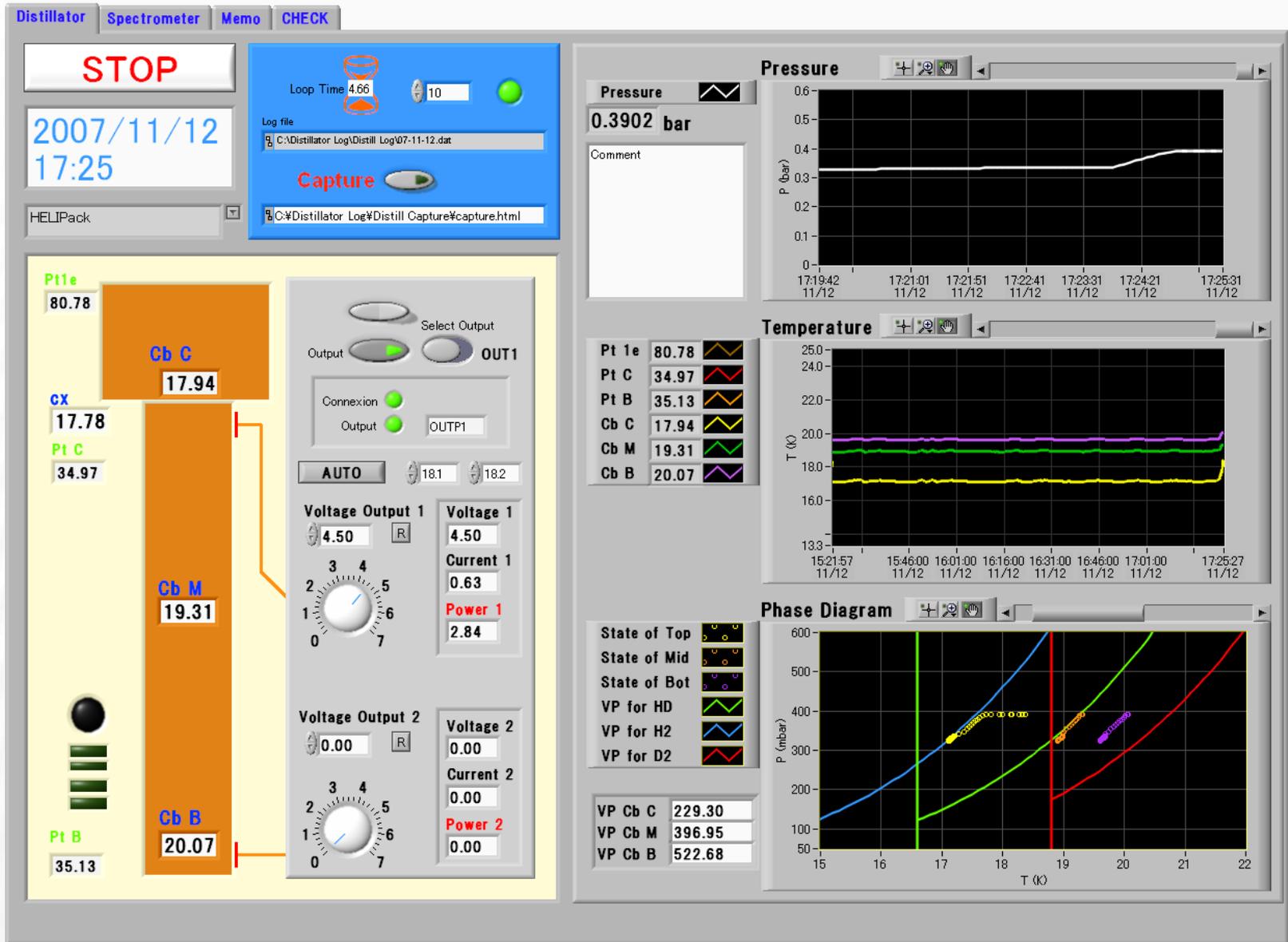
回分蒸留

連続蒸留

バッチ蒸留

HDの蒸留は低温、減圧で行われる。

HDガスの精製 | HDガス蒸留モニタ



17T磁場

