

プラットフォームとしての LHD-NBI装置群の利用について

核融合科学研究所 プラズマ加熱物理研究系
中野 治久

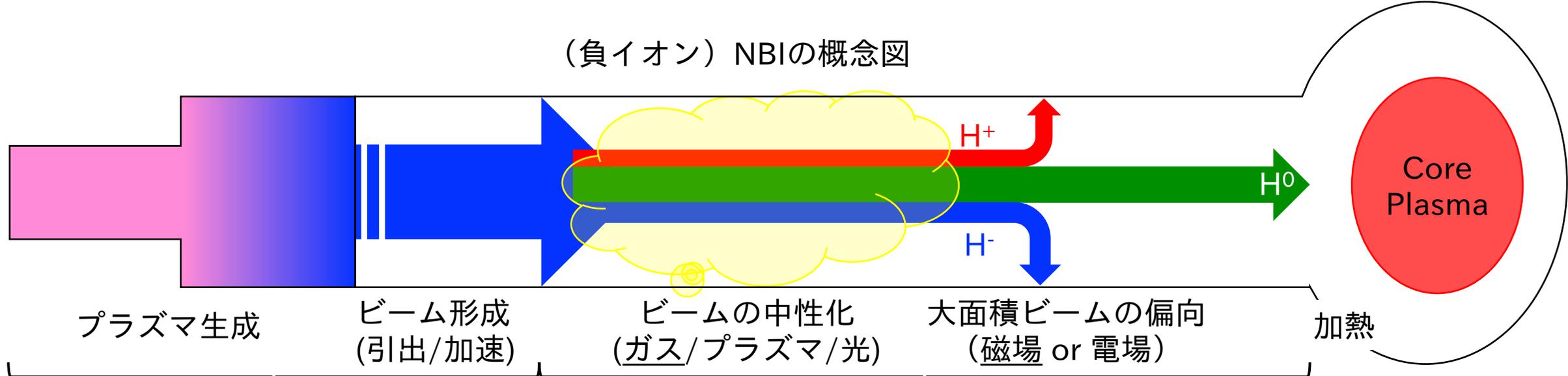
2021年07月26日（月）13:15-
於 ユニット構築会議/学術実験プラットフォーム検討会議（第15回）

目的

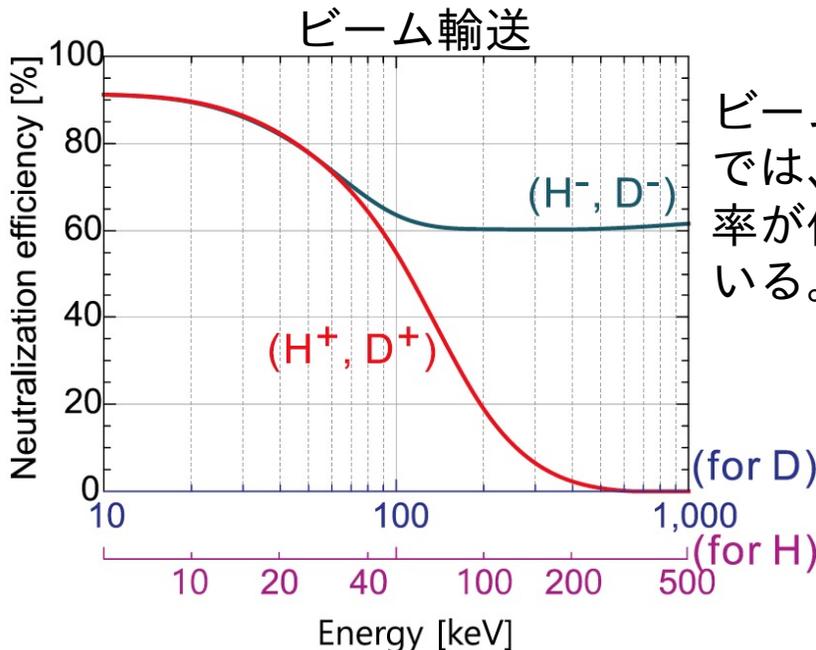
2023年度以降、大型学術フロンティア促進事業が終了後、LHD-NBIもしくはその資産を
をどのように活用していくか、是非とも皆様にアイデアを伺いたい。

中性粒子ビーム入射装置 (Neutral Beam Injector, NBI)

(負イオン) NBIの概念図

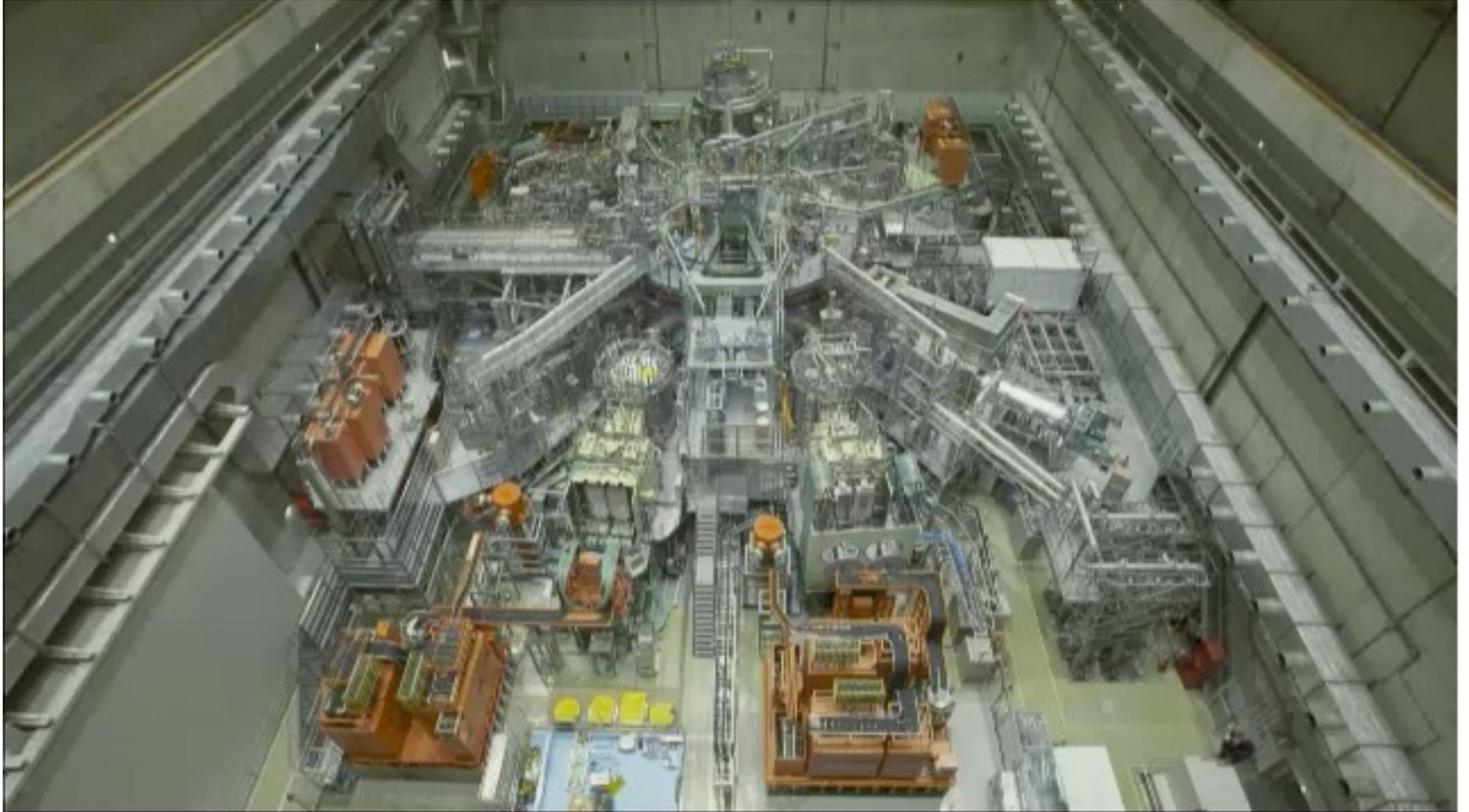


- ① イオン源でプラズマを点ける。
- ② イオン源からイオンビームを引出・加速する。
- ③ イオンビームを中性ビームにする。
- ④ 残留イオンを除去する。
- ⑤ コアプラズマに入射する。

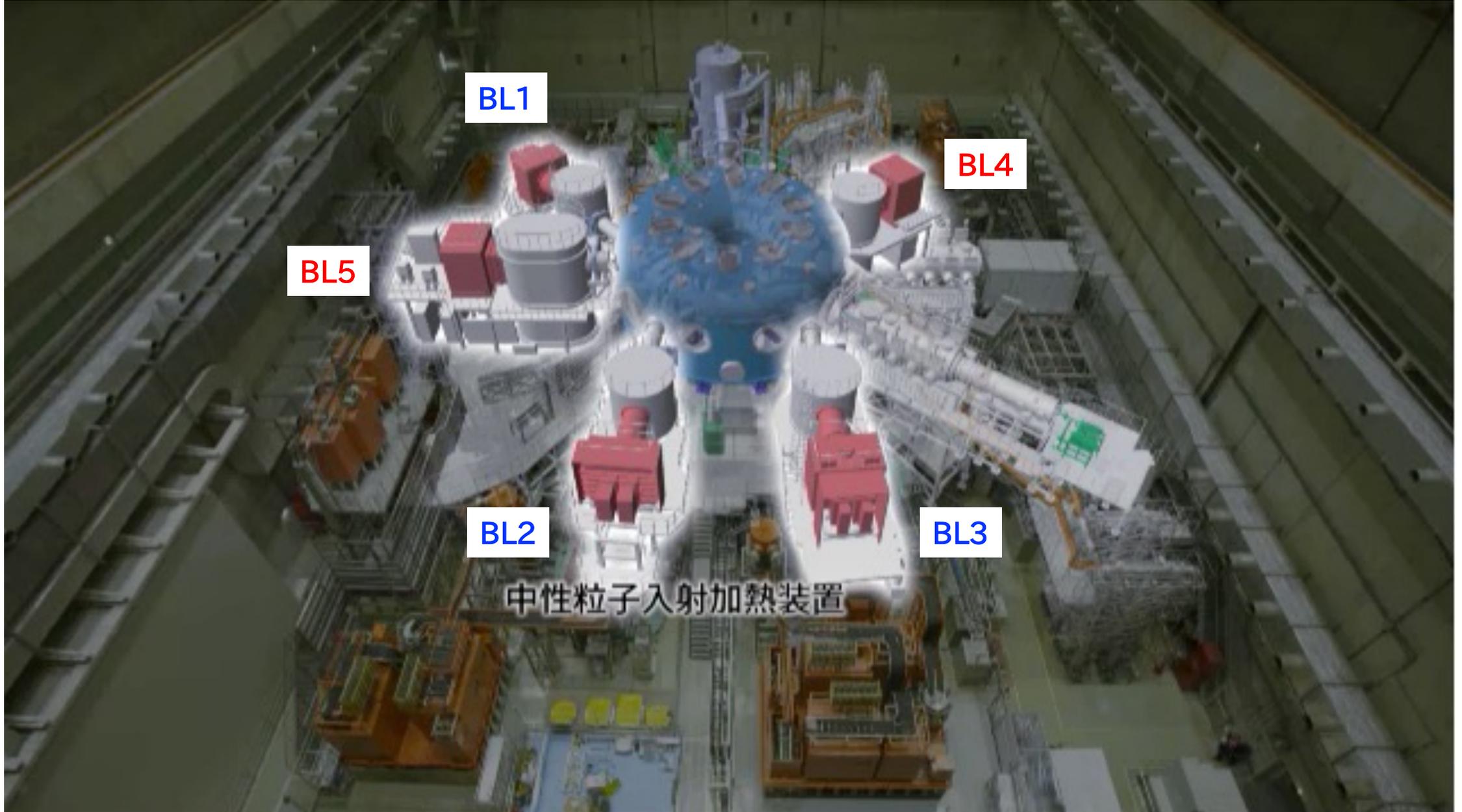


ビームエネルギーが~100 keV超では、正イオンビームの中性化効率が低いので負イオンビームを用いる。

LHD-NBIs

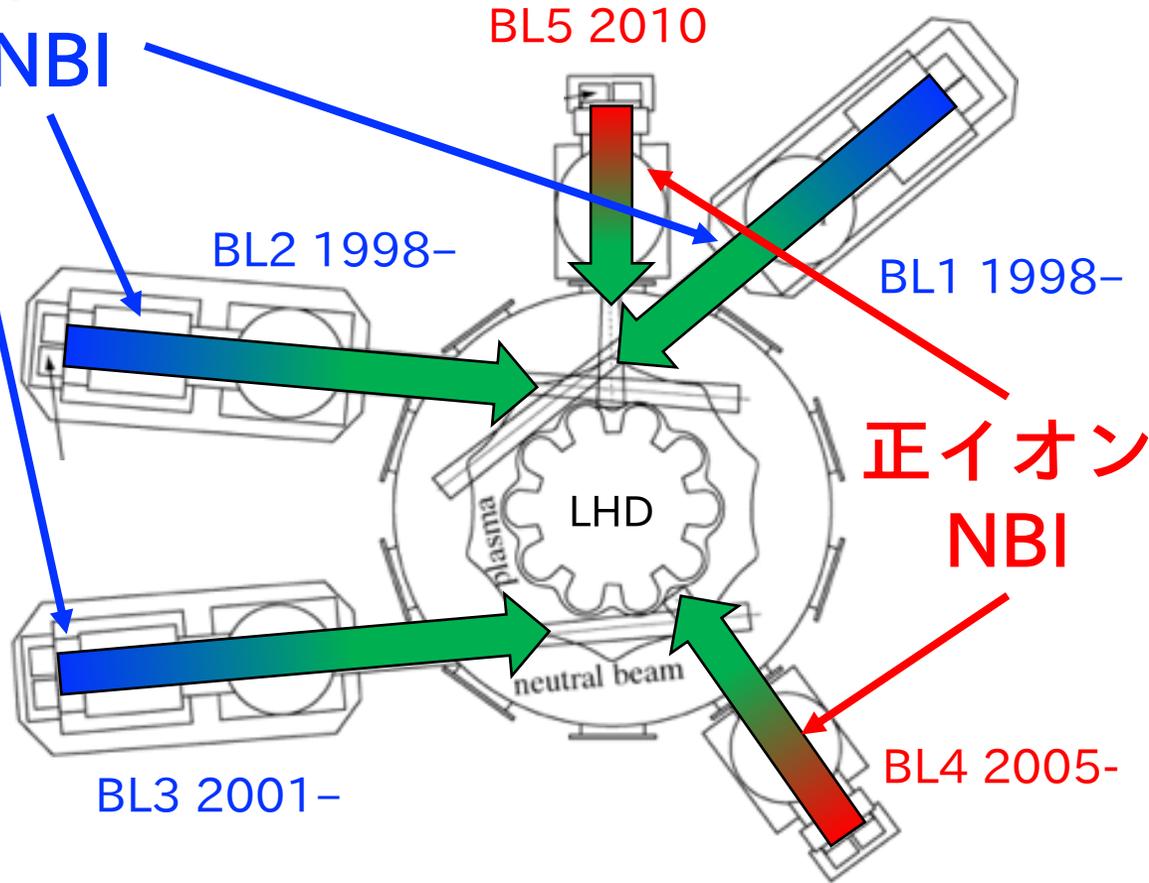


LHD-NBIs



LHD-NBIs

負イオン
NBI



<負イオンNBI>

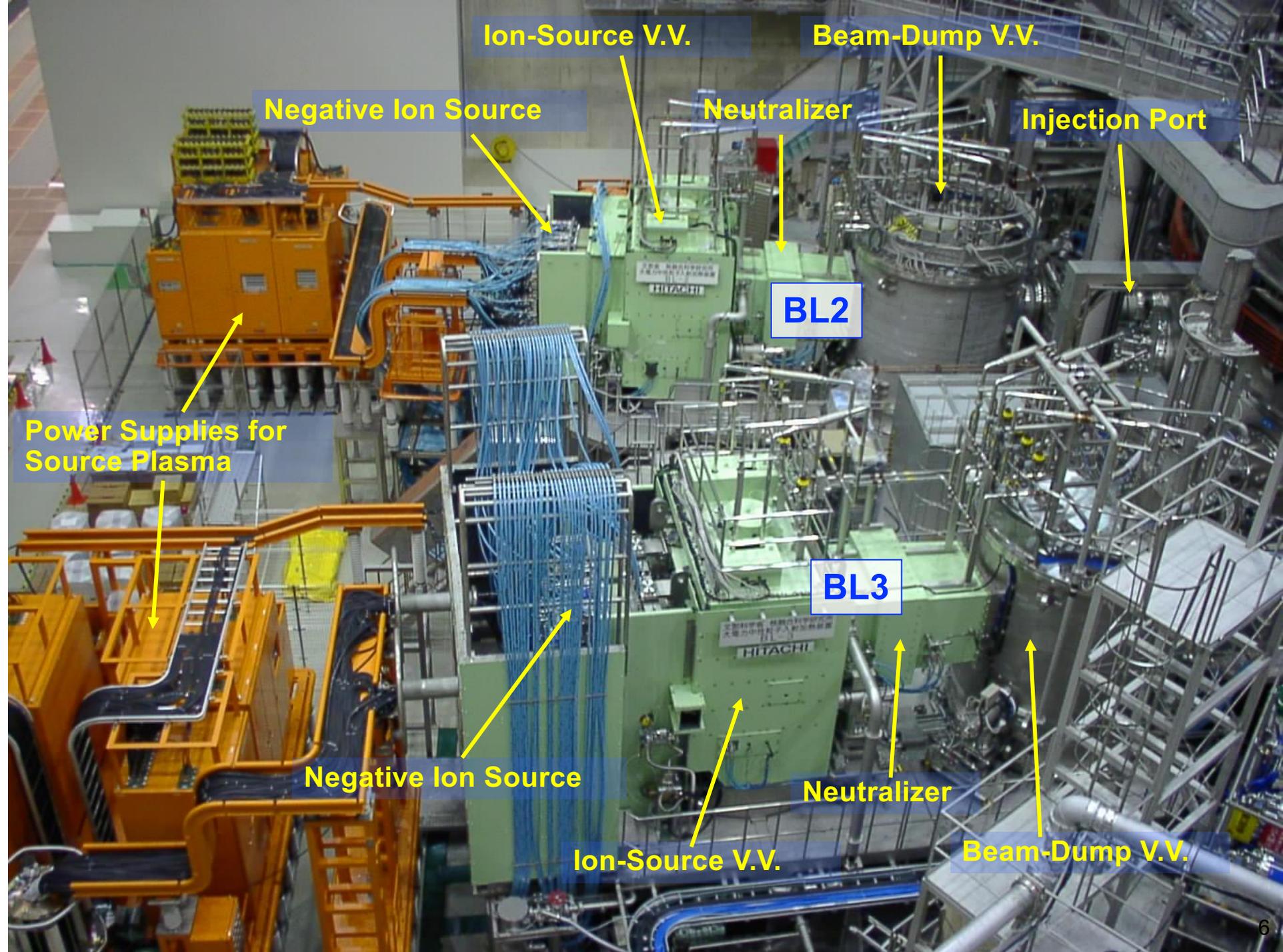
- ビームライン数：3 BLs (BL1 - 3)
- ビームエネルギー： ~ 190 keV
- 中性粒子ビーム入射電力： ~ 5 MW @ H^0
 ~ 3 MW @ D^0
- イオン源数：2 台/BL

<正イオンNBI>

- ビームライン数：2 BLs (BL4 & 5)
- ビームエネルギー： 60 keV @ BL4
 80 keV @ BL5
- 中性粒子ビーム入射電力： ~ 6 MW @ H^0
 ~ 10 MW @ D^0
- イオン源数：4 台/BL

全ビームライン (BL) とも、LHDとBL間にゲート弁を備えており、ビームライン単独で運転することもできる。

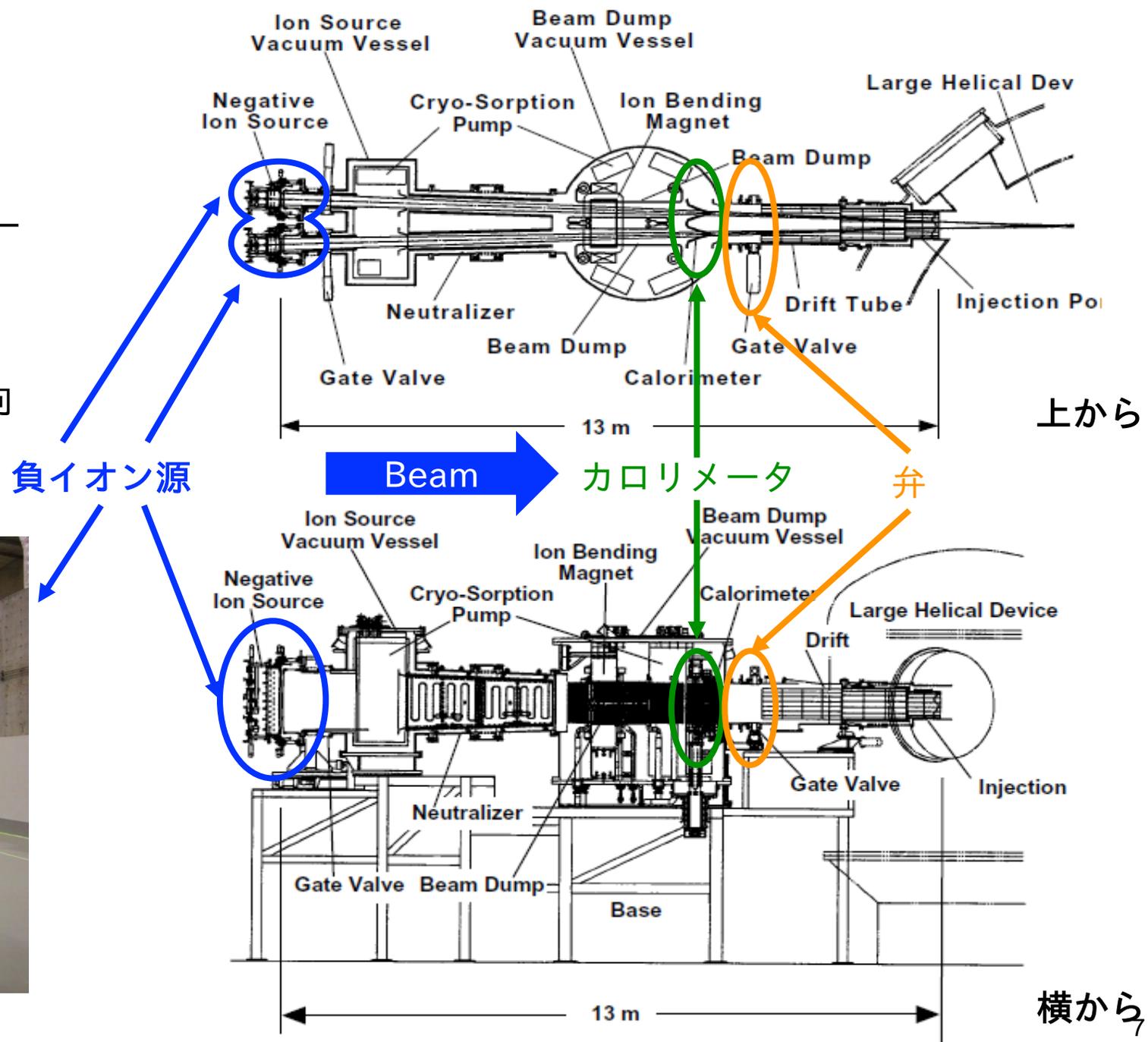
負イオン NBI



負イオンNBI

負イオン源内にプラズマ（現在は真空アーク放電）を点け、そこから数10 AのH⁻ or D⁻ビームを引き出し、～190 keVまで加速する。

1BLあたり、2台のイオン源を横（水平方向）に並べて、約13 m先のLHD入射ポートへ向けてビームを輸送する。



負イオンNBIの仕様 (BL2の例)

(NB#1-3まで3基あり。以下、1基あたりの仕様です。)

- 粒子種：水素負イオンH⁻ (D⁻が使えるかは不明)、その他でも負イオンとなる粒子種
- 最大ビームエネルギー： ~190 keV
- 最大H⁻イオンビーム電流： ~40 A強/イオン源1台
(ビームライン1基あたり2台のイオン源あり。)
- 最大H⁻ビームパワー： ~7.5 MW強/イオン源
- 最大H⁰ビームパワー： ~2.5 MW強/イオン源
- 最大H⁻ビームパワー密度： ~80 MW/m²/イオン源 @カロリメータ, ~150mmx300mmを想定。
(~6×10²² s⁻¹m⁻²/イオン源@190keV)
- 最大H⁰ビームパワー密度： ~28 MW/m²/イオン源 @カロリメータ, ~150mmx300mmを想定。

- フィラメント電源(本体室内)： 20 VDC, 6000A(500Ax12系統), 30sec/300sec, 2台あり
- アーク電源(本体室内)： 109 VDC, 5000A(=416Ax12系統), 20sec/300sec, 2台あり
- バイアス電源(本体室内)： 15 VDC, 1000A, 20sec/300sec, 2台あり
- ビーム引出電源(本体室外)： 15 kVDC, 75A, 10sec/300sec, 2台あり
- ビーム加速電源(本体室外)： 178 kVDC, ~90A, 10sec/300sec, 1台
- イオン偏向磁石電源(本体室内)： 50 VDC, 1000A, Duty10-100%, 1台

✓ 左記、MG受電時。
✓ 商用受電時は~30 secの運転実績あり。
ただし、エネルギー、パワーとも大幅に下がる。

➤ 最大到達真空度： 10⁻⁶ Pa以下 (クライオソークションポンプ使用時)

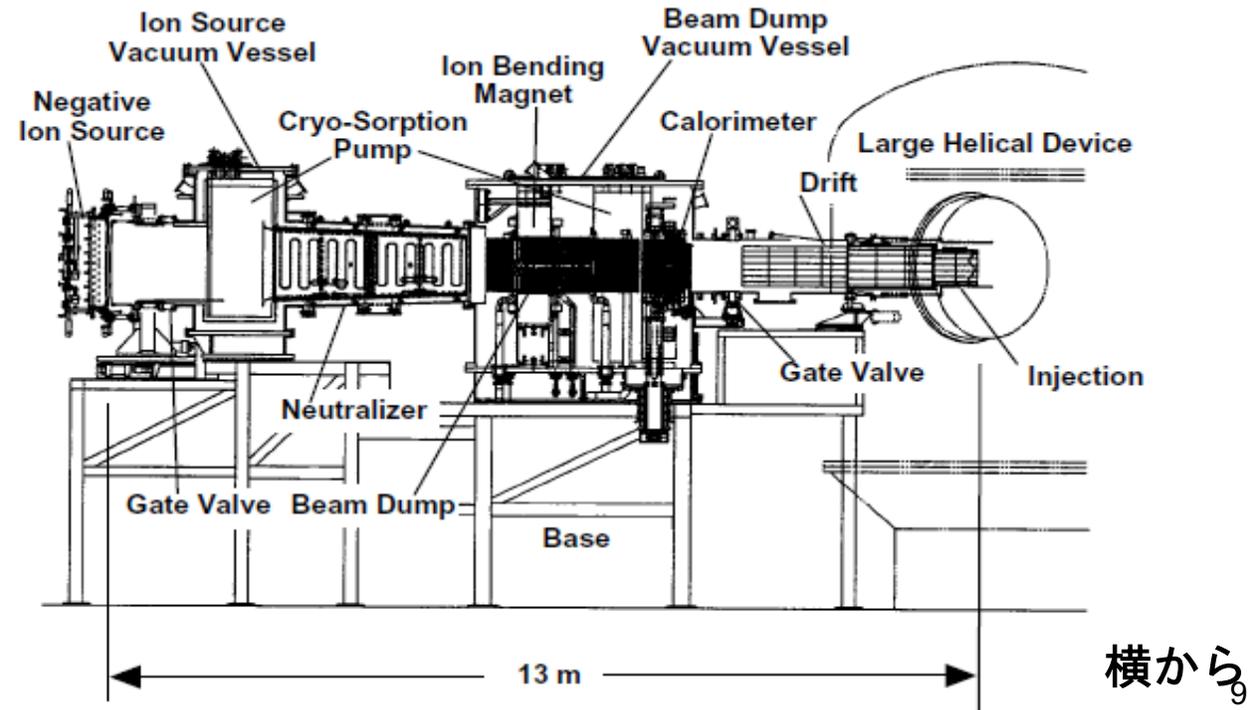
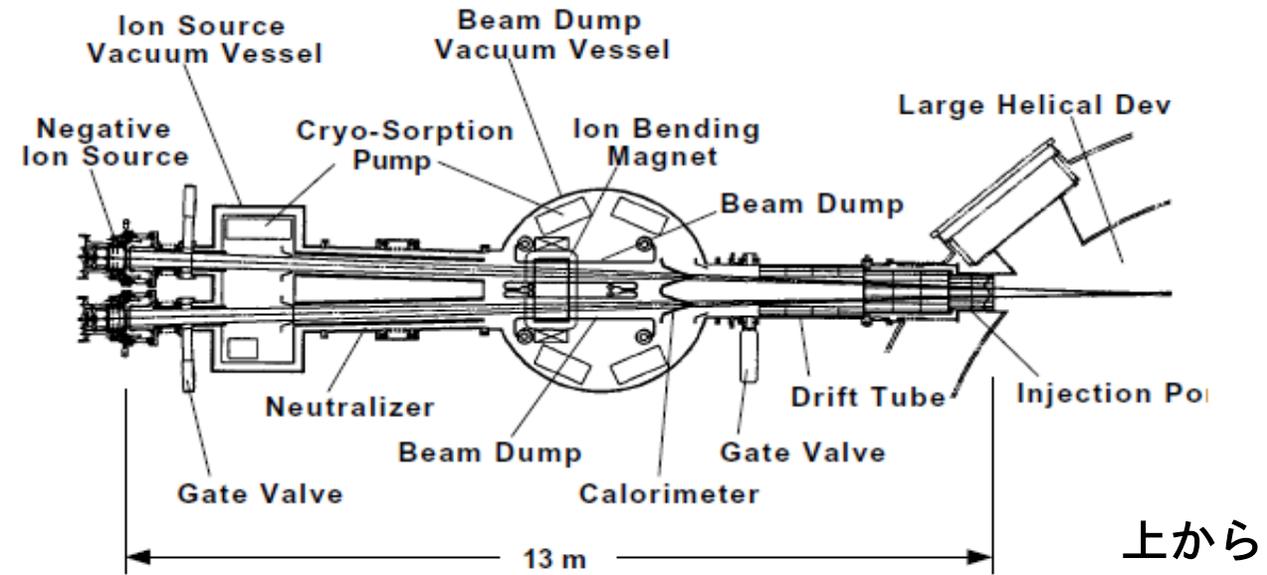
負イオンNBI

<利用方法の形態（案）>

- イオン源プラズマの利用。
- 100keV-10A級 大電力負イオンビームおよび中性粒子ビームの利用。
- 大型真空容器としての利用。
- 大電力電源の利用。
- ほか。

<注意点>

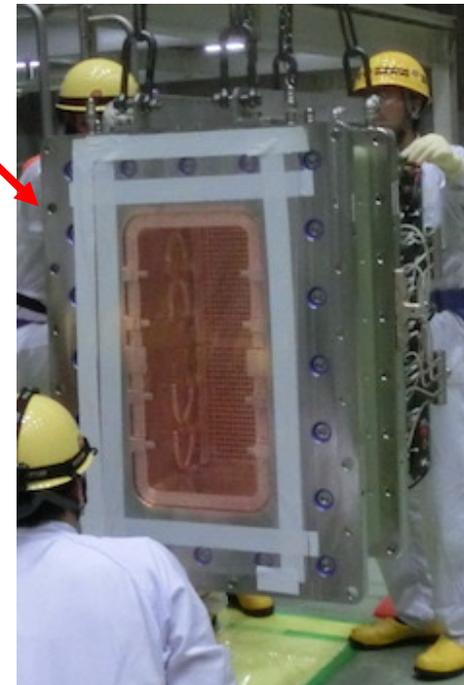
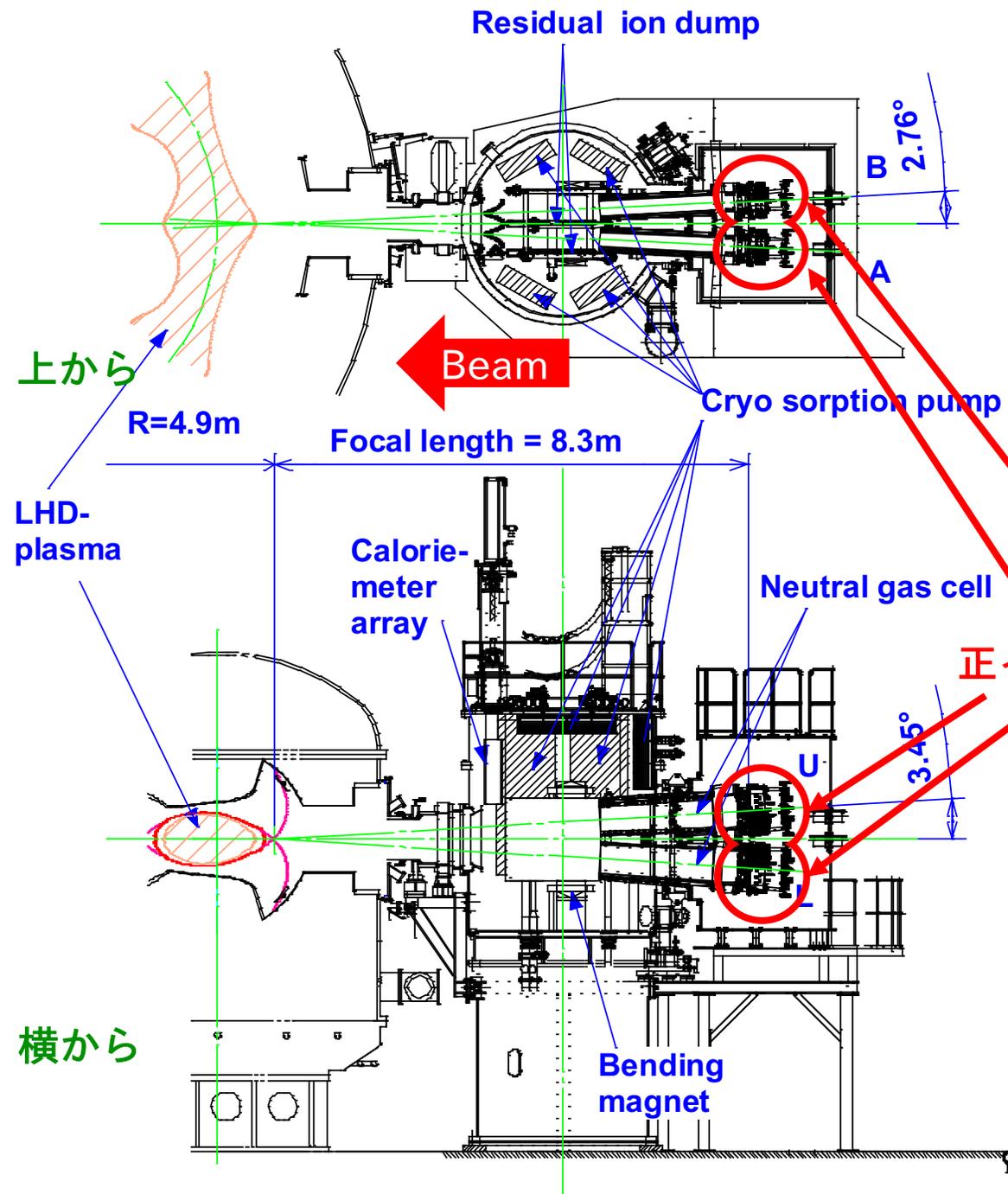
- LHD本体棟内の機器は本体室外へ持ち出せない。
- 維持費・運転経費が高額（+技術職員+運転員）
 - 維持費： ～100万円/BL/年（点検w/o メーカー点検）。
 - 運転経費： ～250万円/BL/週（イオン源立ち上げ時の1-3週間のコンディショニング運転を除く。）。
- ✓ 電気代（冷却水、クライオソーブション関連機器、大電力電源）、液体窒素（～70万円）、他。多数のターボ分子ポンプを取り付けるなどして、クライオソーブションポンプ不使用運転ができれば、100万円台/BL/週。
- Dは利用できるかは不明。
- LHDの0.5 T運転をすることになった場合は、利用できるか現時点では不明確。



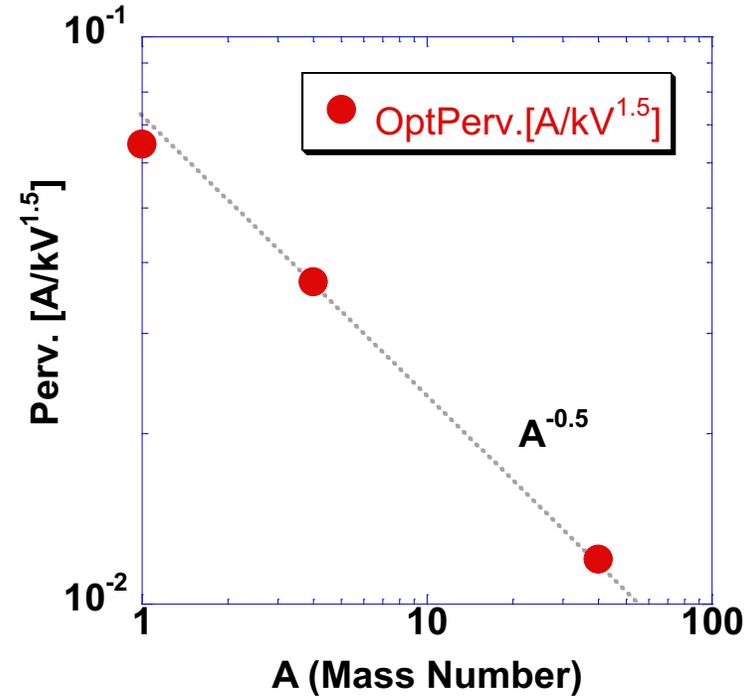
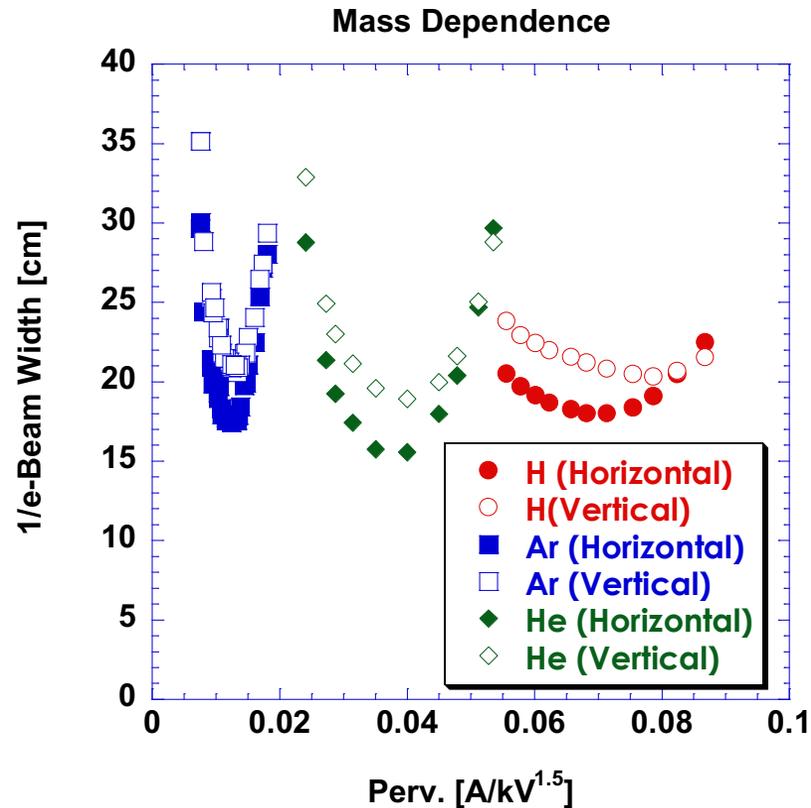
正イオンNBI

正イオン源内にプラズマ（現在は真空アーク放電）を点け、そこから数10 Aの H^+ , H_2^+ and H_3^+ もしくは、 D^+ , D_2^+ and D_3^+ ビームを引き出し、 ~ 60 keV@BL4 or 80 keV@BL5まで加速する。

1BLあたり、縦横に2台ずつ計4台の正イオン源を並べて、数 m弱先のLHD入射ポートへ向けて H^+ もしくは D^+ ビームを輸送する。なお、分子性イオンをビームライン内において磁場で曲げて除去する。



正イオンNBI



- 正イオン源は水素・重水素に限らず、各種プラズマから対応する正イオンビームを出力可能である。
- ただし、イオン種によって最適運転条件 (perviance) が異なるため、同時多種ビーム生成する際には、調整が必要であり、また、各所の温度上昇に注意する必要がある。

正イオンNBI (BL5の例)

- 粒子種：水素正イオンH⁺ (D⁺が使えるかは不明)、その他でも正イオンとなる粒子種
- 最大ビームエネルギー： 60 keV@NB#4, 80 keV@NB#5
- 最大H⁺ビーム電流： 75A/イオン源
(イオン源は4台あり、ただし、合流させるには改造が必要。以下同様。)
- 最大H⁺ビームパワー： 6 MW/イオン源
- 最大H⁰ビームパワー： ~1.5 MW/イオン源
- 最大H⁺ビームパワー密度： ~88 MW/m²/イオン源 @カロリメータ, ~220mmx310mmを想定
(~ 1.6×10²³ s⁻¹m⁻²/イオン源@70keV)
- 最大H⁰ビームパワー密度： ~22 MW/m²/イオン源 @カロリメータ, ~220mmx310mmを想定
- フィラメント電源(本体室内)： 15VDC, 1800A, (300 A×6系統), 4台あり。
- アーク電源(本体室内)： 135VDC, 1020A(170 A x 6系統), 20sec/300sec, 4台あり。
- ビーム減速電源(本体室内)： 5 kVDC, 20A, 10sec/300sec, 2台あり。
- ビーム加速電源： 80kVDC, 150A, 10sec/300sec, 2台あり。
- 最大到達真空度： 10⁻⁶ Pa以下 (クライオソークションポンプ使用時)

✓ 左記、MG受電時。
✓ BL4については、商用受電時に4台のイオン源を順次切り替えてシリーズ運転することが可能。ただし、ビームパワーは大幅に下がる。

※ 利用方法の形態 (案) と維持・運転経費は負イオンNBIと同程度と思われる。

まとめ

**LHDの負イオンNBIおよび正イオンNBI
の資産活用方法の
アイデア求む！**