



以上を踏まえ、ヘリカルダイバータ閉構造化・高性能化のスケジュールを以下のよう  
に計画している。

表 3.2.6-1 ヘリカルダイバータ閉構造化・高性能化計画案

FY	準備1年度	準備2年度	準備3年度	重水素実験初年度
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>トロイダル1セクション(全体の10%)への試験バップル構造の設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前年度の結果からバップル構造の最適化を行う。</li> <li>全体の50%にバップル構造を設置。</li> <li>ダイバータ排気系を全体の50%に設置。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バップル構造及びダイバータ排気系をトロイダル全周に設置。</li> </ul>	リサイクリング粒子及び不純物制御による、閉じ込め改善実験及び高性能プラズマ定常保持実験

### 3.6.3 中性粒子入射加熱装置整備計画案

中性粒子入射加熱装置(NBI)は、LHDにおける主加熱装置であり、現在、3台の負イオン源NBIシステムを用いた高エネルギー(180keV)軽水素ビームの接線入射を行っており、合計で13MWを超える入射電力を達成している。重水素実験では、3.3節の実験シナリオで述べられているように、低エネルギー(60-80keV)の垂直入射の正イオン源NBIシステム2台による重水素ビーム入射を主とした実験シナリオが策定されている。また、現状の接線入射NBIにおいては、入射エネルギーを変更することなく、軽水素ビームおよび重水素ビームのいずれも入射可能とする計画である。図3.6.3-1にNBIシステムの配置計画を示す。既存の3台の接線入射NBIシステム(BL1, BL2, BL3)と垂直入射NBIシステム(BL4, BL5)の配置が示されている。以下では、重水素ビーム入射システムの構成およびその整備計画案について述べる。

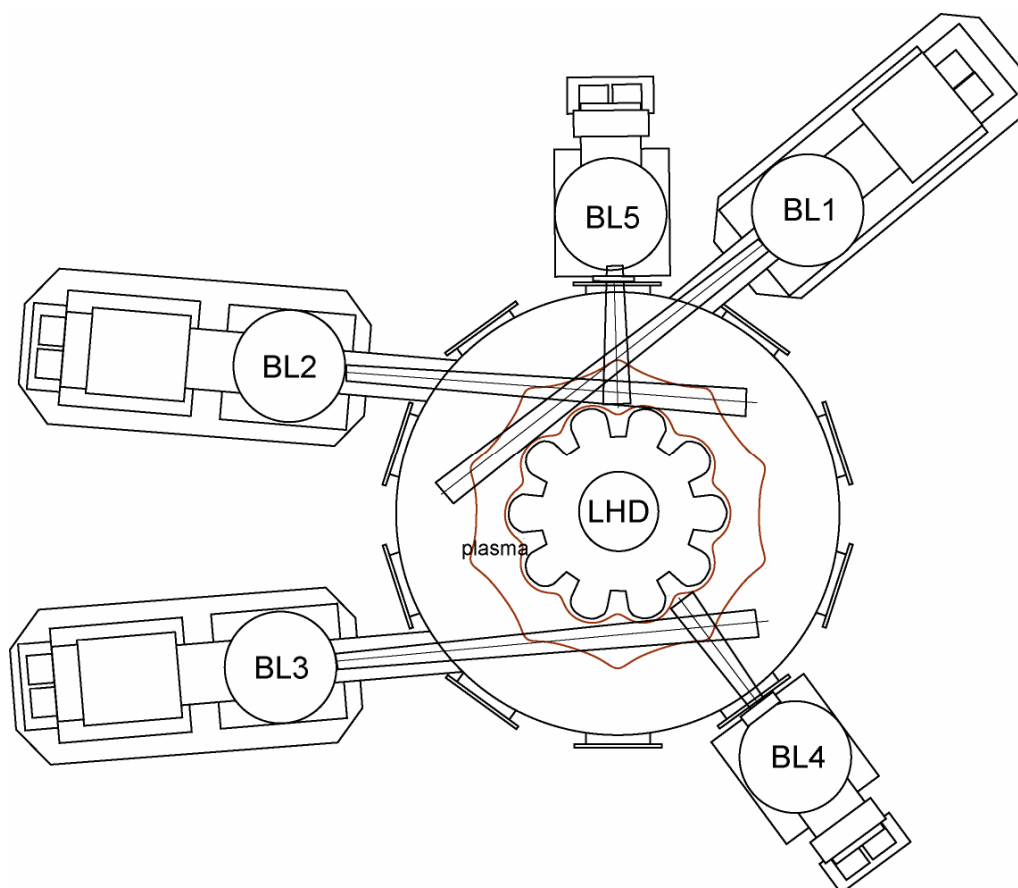


図 3.6.3-1 重水素実験における NBI システムの配置計画。BL1、BL2、BL3 は既存の負イオン源を用いた接線入射 NBI システムであり、BL4 は既存の正イオン源を用いた垂直入射の計測用ビームシステムである。重水素実験に向けて垂直入射 NBI システム BL5 を新たに設置し、BL4 を重水素入射が可能ないように改造整備する計画である。

#### ( 1 ) 正イオン源 NBI システム

低エネルギー垂直入射 NBI システムは正イオン源を用いたシステムとし、重水素ビーム入射に最適化されたインジェクターを2台設置する。入射エネルギーは、荷電交換分光計測に適した80keVで検討されており、新規に設置する計画のBL5の仕様は、80keV-9MWの重水素ビーム入射システムとする。一方、既に計測ビーム用として40keV-6MWの軽水素ビーム入射システム (BL4) が設置されているが、それを重水素ビーム入射用に改造・増強する。重水素ビーム化するに際して、入射エネルギーを80keVに上げるためには、耐電圧構造の大幅な改造が必要であり、高額な増強コストがかかる。そのため、改造を最小に抑えてコストを下げるべく、入射エネルギーを1.5倍の60keVとし、それに対応して、入射電力を9MWに増強する。合わせて、80keV-9MWと60keV-9MWの正イオン源による重水素NBIシステムを整備することにより、合計18MWの低エネルギー重水素ビーム入射を可能とする。

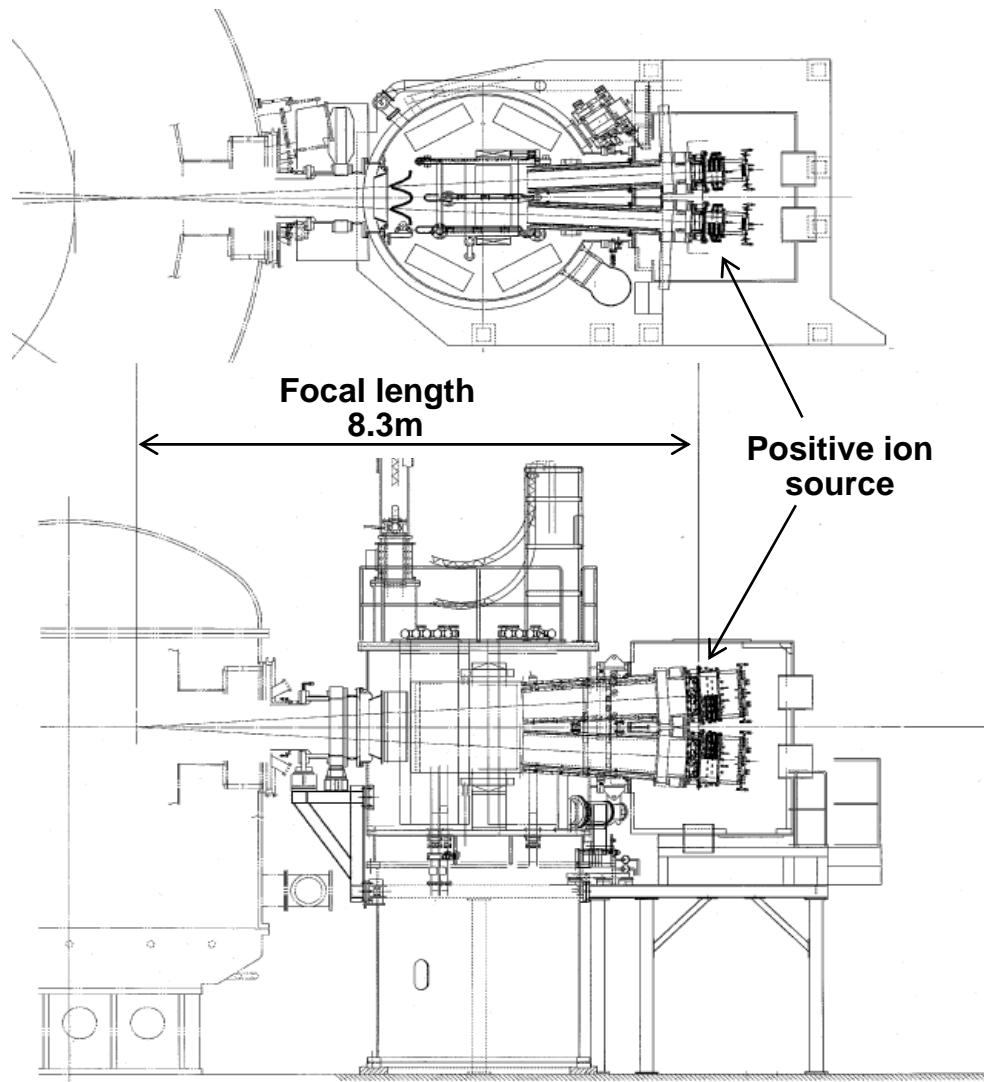


図3.6.3-2 計測用の垂直入射ビームシステムBL4の平面図と立面図。  
正イオン源を用いたシステムで、5 - Oポートに設置されている。

図3.6.3-2に、5 - Oポートに設置されている計測用軽水素ビーム入射システム（BL4）を示す。大型の正イオン源4台が上下左右に設置されており、入射エネルギー40keV、入射電力6MWである。重水素入射のためにBL4の入射エネルギーを60keVに増加するに際し、20kVの電源を追加すると共に、高電圧機器の耐電圧を60kVに対応させる必要がある。入射電力を9MWに増加させるためには、正イオン源におけるイオン電流を低下させることなくビームエネルギーを60keVに増加させる必要があり、イオン源改造に向けたR&Dが必要となる。ビームダンプ等の受熱機器の熱負荷も1.5倍に増加するため、設計値の見直し、機器の改造等が必要となる。これらの改造・増強に関しては、R&Dも含めて、今後詳細に検討する。

一方、新規に1 - Oポートに設置する予定のBL5は、80keV-9MW入射システムとしての機器設計を行う。BL4と同様に4台の大型イオン源を上下左右に配置する基本構造とする。入射エネルギーが80keVと高いので、イオン源からのビーム電流はBL4に

比べて少なくすることができるが、ビームを2段加速する必要があるため加速器が大きくなり、イオン源の大きさを小さくすることはできない。1段加速で80keVまでビームを加速する方法は、電源も含めてコストダウンにつながるが、R&Dによるイオン源の開発が必要となる。BL5の具体的な構造・設計については、R&Dも含めて、今後詳細に検討する。

## (2) 負イオン源 NBI システム

既存の接線入射の負イオン源NBIシステムを図3.6.3-3に示す。負イオン源NBIシステムに対しては、入射エネルギー等の装置基本設計を変更することなく、使用ガスを軽水素から重水素に変えることにより、3台のインジェクター全ての重水素ビーム化を行う。ただし、イオンの質量が異なるため、電極間隔等のイオン源加速器の構造は軽水素イオン源と重水素イオン源で異なる。また実験に応じて、重水素ビーム入射と軽水素ビーム入射の選択の必要があることから、それらの切り替えを可能とするため、軽水素入射用負イオン源と重水素入射用負イオン源をそれぞれ用意する必要がある。また、ガス導入系、真空排気システム、クライオポンプシステム等、機器の一部は重水素化に伴う設計の見直し・改造が必要である。

負イオン生成量は軽水素に比べ重水素では60-70%に低下するという報告があるため、重水素負イオン源のR&Dを行う必要がある。また、重水素ビーム用の加速器に対する試験も必要である。こうしたR&Dおよび試験を事前に行うことにより、重水素化による負イオン電流の低下を引き起こすことなく、軽水素入射と同等な180keV-14MWの入射電力を確保する計画である。

以上の機器整備計画により、正イオンNBIシステムにより18MW、負イオンNBIシステムにより14MW、合計32MWの重水素ビーム入射が可能となる。

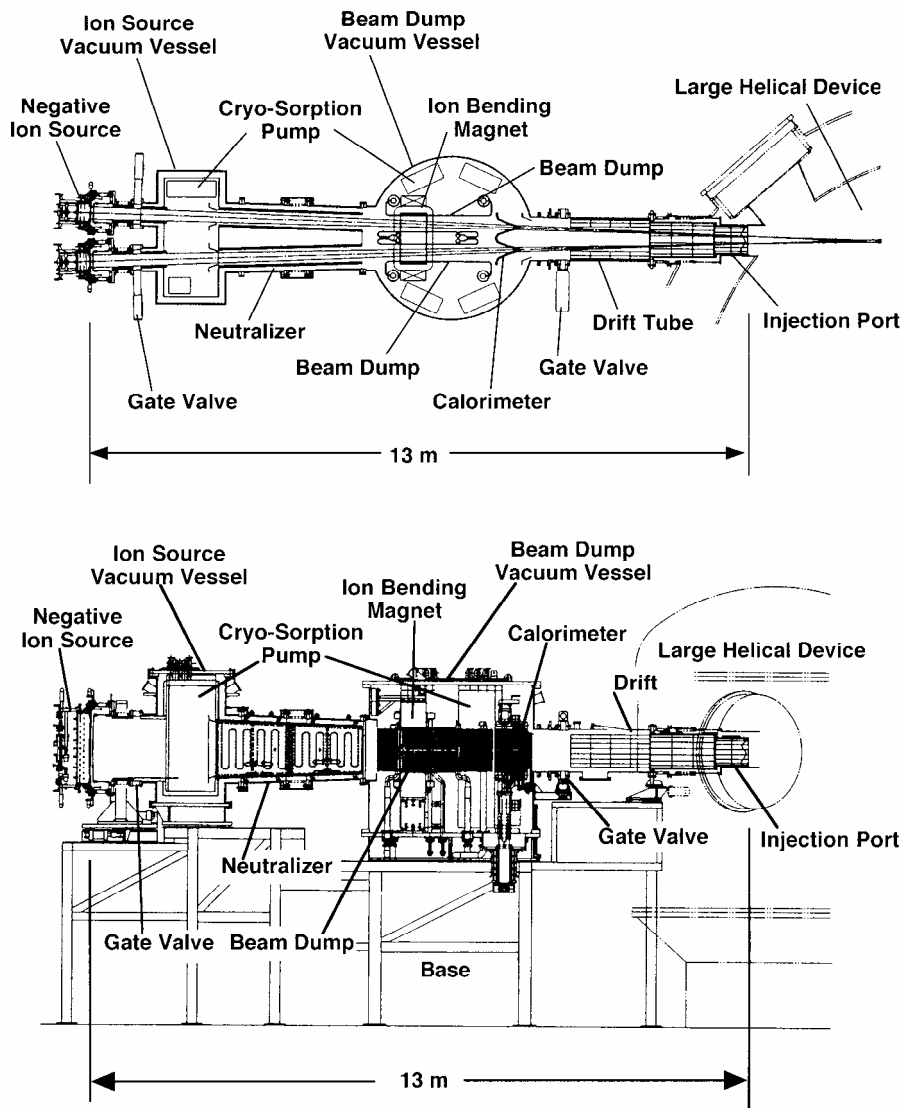


図 3.6.3-3 負イオン源を用いた接線入射 NBI システムの平面図と立面図。重水素ビームを入射する時も既存の軽水素ビームと同じ入射エネルギー（180keV）とする予定である。接線入射 NBI システムは合計 3 台あり、いずれも接線ポートに設置されている。

### 3.6.4 高周波加熱整備計画

#### (1) 電子サイクロトロン波共鳴加熱装置加熱

電子サイクロトロン波共鳴加熱装置（ECH）は、LHD においては、安定なプラズマ生成及び局所的な電子加熱が可能な、必要不可欠な加熱装置である。現在、発振源である 8 台のジャイロトロンを同時運転し、8 系統のコルゲート導波管伝送系を介して LHD に伝送しており、合計で 2MW を超える入射電力を達成している。重水素実験計画においては、これまでと同様安定なプラズマ生成と、電子の局所加熱特性を生かし