

高性能プラズマをつくる閉ダイバータ

増 崎 貴

M先生：Sくん、いつもNIFS NEWSの研究最前線を読んでくれてありがとう。今日は「ダイバータ」の話しましょう。

Sくん：お願いします。

M先生：さて、大型ヘリカル装置(LHD)では高温のプラズマを作る実験をしています。そのために必要なことのひとつは、プラズマを温めるためのエネルギーです。もうひとつは、投入したエネルギーがプラズマから逃げないようにすることです。エネルギーを入れてもプラズマの中にたまらなければ、温度を上げることはできません。

Sくん：どのようにして、エネルギーが逃げないようにするのですか？

M先生：エネルギーの逃げ方のひとつは、光として逃げるといいます。

Sくん：光はエネルギーをもつのですか？

M先生：身近な例では赤外線ヒーターがありますね。直接触ってなくても暖かいでしょう。

Sくん：なるほど。太陽の紫外線で肌が焼けるのも光のエネルギーのせいですね。

M先生：そうです。さて、プラズマから出る光として大きな割合を占めるものに、プラズマの中の不純物から出る光があります。

Sくん：不純物とは何ですか？

M先生：LHDでは水素やヘリウムのガスを使ってプラズマを作っていますが、その中に酸素や炭素、あるいは金属が入ることがあります。それらがここで言う不純物です。

Sくん：不純物はどこからプラズマの中に入ってくるのですか？

M先生：酸素は空気の中にありますね。LHDでは実験準備や保守点検のために半年くらいの作業期間があります。作業期間が終わると、真空ポンプでLHDの中の空気を抜きます。でもLHDの壁表面にはどうしても酸素がくっついて残ってしまいます。また、金属や炭素は、LHDの中の壁や機械の材料です。これらが、プラズマが当たることによって削られて、原子や分子の形でプラズマの中に入ってきます。

Sくん：そしてプラズマの中で光るのですね。

M先生：そうです。だから不純物がプラズマの中に入らないようにすると、プラズマからエネルギーが逃げにくくなるのです。そのための仕組みが「ダイバータ」と呼ばれるものです。

Sくん：日本語では何と呼ぶのですか？

M先生：うーん。この言葉は核融合研究の世界では外来語として定着していて、いい日本語訳が無いのですが、原語の動詞形divertは「そらす」という意味があります。「不純物がプラズマに入るのをそらす仕組み」、ということですね。

Sくん：長いのでダイバータでいいです。

M先生：ありがとうございます。それではダイバータについて説明します。LHDでは電磁石により目に見えない磁力線のかごを作り、その中にプラズマを閉じ込めています。それは知っていますか？

Sくん：確か、プラズマはプラスの電気をもったイオンとマイナスの電気をもった電子からできていて、イオンや電子は磁力線に巻きついて動くのでしたよね？

M先生：その通りです。それでは図1を使ってもう少し説明しましょう。図1はLHDの磁力線のかごの模式図です。実際にはLHDはドーナツ型の装置ですが、それを一部切り出した図です。

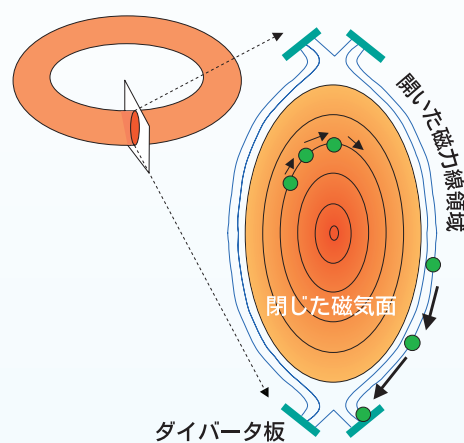


図1 LHDの磁力線のかごの模式図

Sくん：木の年輪のようなものがありますね。
M先生：そこが、「閉じた磁気面」と呼ばれるところ。年輪に見えるのは磁力線が貫通しているところ。磁力線はドーナツ方向に回りながら、少しずつ出発点とは違う場所に戻ってきます。何回もドーナツ方向に回ると、年輪のようになります。

Sくん：磁力線の上を歩くと、ある年輪の上をずっと歩き続けることになりますね。

M先生：その通りです！イオンや電子は磁力線に巻きついて動くので、プラズマは閉じた磁気面から逃げにくい、つまりその中に閉じ込められるのです。

Sくん：なるほど。

M先生：閉じた磁気面の外が「開いた磁力線領域」です。ここでは磁力線の上を歩いていくと「ダイバータ板」と呼ばれる板に当たります。つまり「閉じて」いない、「開いた」磁力線なのです。

Sくん：ふんふん。

M先生：プラズマの外から入ってきた不純物は、開いた磁力線領域でプラズマに当たって不純物イオンになります。イオンは磁力線に巻きついて動くので、開いた磁力線領域ではダイバータ板へ向かって動きます。その結果、閉じた磁気面に入る不純物を減らすことができるのです。

Sくん：それで不純物を「そらす」わけですね。

M先生：LHDではダイバータを使った実験を行ってきいて、温度1億度のプラズマの生成にも成功していますが、もっと温度も密度も高い、高性能のプラズマを生成するため、ダイバータの「閉」ダイバータへの改造を始めています。

Sくん：どのように改造するのですか？

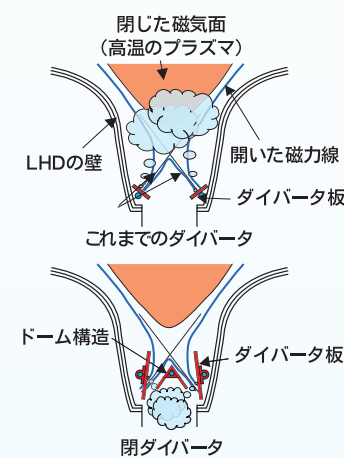


図2 LHDのダイバータ改造

M先生：図2を見て下さい。ちょっと分かりにくいかもしれませんが、ダイバータ板の置き方を変えて、ドーム構造を追加します。

Sくん：どんな効果があるのですか？

M先生：いままでのダイバータ板は、プラズマが当たる面が閉じた磁気面を向いていました。不純物イオンはダイバータ板に当たると電気をもたない元の不純物原子に戻って、また閉じた磁気面に向かって飛んでいきます。

Sくん：そうか！閉ダイバータではダイバータ板から出た不純物原子が閉じた磁気面の方に行きにくいのですか？それで「閉じた」ダイバータと呼ぶのか！

M先生：ご明察です！もうひとつ。不純物だけでなく、水素やヘリウムもダイバータ板でイオンから元の原子にもどるのですが、これらがあまりたくさん閉じた磁気面の方へ向かうと、やはりプラズマの性能が悪くなってしまいます。

Sくん：燃料も多すぎるとだめなのですね。

M先生：図3は、閉ダイバータの水素圧力が、改造前の10倍以上高くなるというシミュレーション結果です。水素が閉じた磁気面の方へ戻らず、ダイバータにとどまっていることを示しています。閉ダイバータでは、このように燃料原子の制御もできるようになります。

Sくん：なるほど！一石二鳥ですね？LHDのプラズマの性能が上がりそうですね！

M先生：今年10月から始まる第14サイクル実験には、全体の20%を閉ダイバータにして臨みます。現在LHDの中で改造作業が着々と進んでいます。私たちも実験をするのがとても楽しみです！

(核融合システム研究系 准教授)

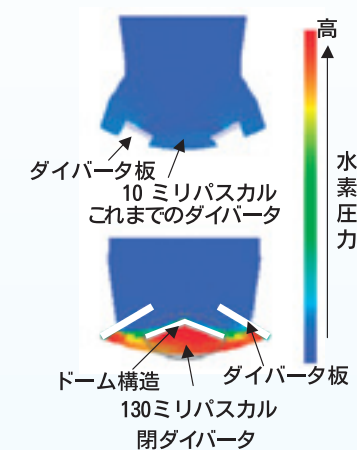


図3 水素圧力の計算機シミュレーション。(ミリパスカルは圧力の単位です。)