

かくゆう合のけんきゅう Q&A(抜粋) 核融合科学研究所

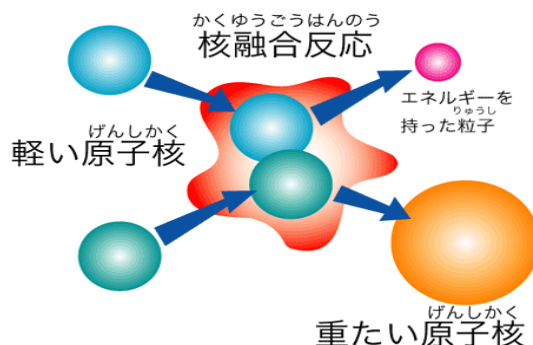
原子力発電より安全

A:かくゆう合発電が原子力発電より安全な点は、絶対に暴走しないことです。暴走というのは、反応が止まらずに温度が上がり続け、ばく発することです。かくゆう合は、かくとかくをくっつけることにより反応させてプラズマを燃やしますが、プラズマは燃料が多すぎても少なすぎても燃えないのです。これをどうやって安定して燃やすかがかくゆう合の難しいところです。だからプラズマが自分で勝手に反応してどんどん燃えていくということはないので安心です。

かくゆう合反応はコンロの火と同じで、バルブ(コック)を閉めると消えてしまいます。またバルブ(コック)を開けすぎても消えるので、ちょうど良いところで調整する必要があります。勝手に火が大きくなったりはしないので、安心です。

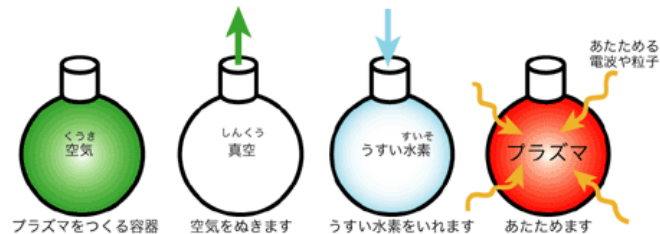
かくゆう合反応って？

A:軽い原子かくどうしがくっついて、より重い原子かくに変わることがをいいます。くっついたときにとても大きなエネルギーが出ます。太陽もかくゆう合で燃えています。かくゆう合研究は、地球に小さな太陽をつかって、このミニ太陽からでるエネルギーを利用して電気を起こすことを目指しています。



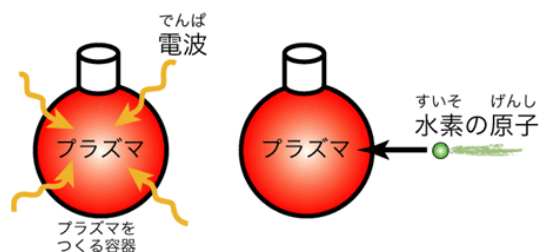
プラズマはどうやってつくるの

A: 1億度のプラズマは、真空容器と呼ばれる金属の容器の中でつくります。最初に真空容器の中の空気をぬいて、何もない状態(真空)にします。それから本当に少しだけ燃料である水素(分子)を入れます。だいたい空気の30万分の1のうすさです。それから加熱装置で水素分子を温めていくと、1万度ぐらいで原子かくと電子に分れプラズマになります。もっと温めると、温度は1億度にもなります。



プラズマはどうやって温めるの?

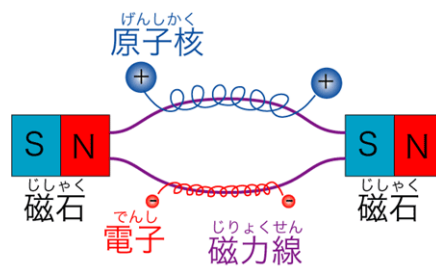
A: プラズマを温める方法には、大きく2種類があります。ひとつは電波を当てて温める方法です。みなさんの家にある電子レンジも電波を使って、いろいろなものを温めていますよね。これと同じ原理です。もうひとつは、高速で走る原子かくをプラズマの中にいれて温める方法です。いくつかの方法をうまく組み合わせてプラズマを温めます。>



プラズマはどうやって閉じこめるの?

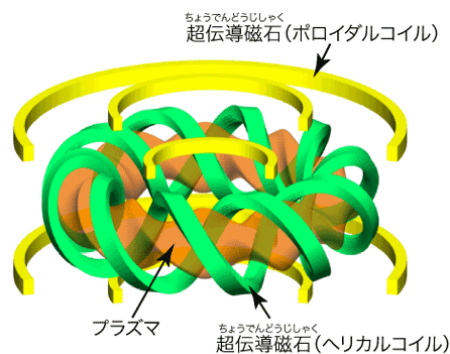
A: プラズマの中では原子かくと電子が勝手にもものすごい速さで動き回っています。だから何も包みこむものがなかったら、プラズマはどんどん空気のなかになにげてしまって、温度を高めたりすることはできません。どうやってプラズマを閉じこめるかというと、プラズマの原子かくはプラスの電気、電子はマイナスの電気を持っていて、電

気を運ぶ性質を持っています。だから空気のように決まった形がないのに、銅線のように電気を通すことができます。なんと銅線より電気を通しやすいんです。この電気を通す性質と磁石を上手く組み合わせてプラズマを閉じこめます。プラズマのなかに磁力線を走らせると、この磁力線に原子かくや電子がからみついてくるんです。こうすればプラズマが上や下、右や左へにげていってしまうことはありませんね。ただ、それでも暴れんぼうのりゅう子がいって、磁力線からはずれたり、からみついているりゅう子にちょっかいをだして、磁力線からいっしょににげ出したりします。こういう暴れんぼうのりゅう子をおとなしくさせるのがプラズマ制ぎよという研究です。



太陽を閉じこめる装置って？

A: 1億度のプラズマを閉じこめるには、磁石の「かご」を使います。プラズマの中の原子かくも電子も、磁石からでる磁力線に朝顔のツルのように巻き付いて、からみつく性質を持っています。だから磁石をドーナツの形に並べると、原子かくも電子もドーナツにそって、グルグル回って、外ににげ出せないのです。原子かくや電子をにげ出さないようにすることを「プラズマを閉じこめる」といいます。プラズマをうまく閉じこめるために、形のちがう磁石の「かご」がいくつか考えられています。研究所にあるヘリカル型は日本で考えられた「ひねりをいれたドーナツのかご」の形をしています。



まとめ知識

ここがすごいぞ、LHD!! きよ大、強力な磁石

大型ヘリカル装置(LHD)の磁石には、強力な超伝導磁石が使われています。磁石がすべて超伝導磁石の装置として世界で最初に作られました。プラズマを閉じこめるためには強い磁場が必要なんです。LHDの超伝導磁石は、かたコリをほぐすために体にはる磁石に比べて40倍も強いんです。そして重さが800トンときよ大な磁石でできています。

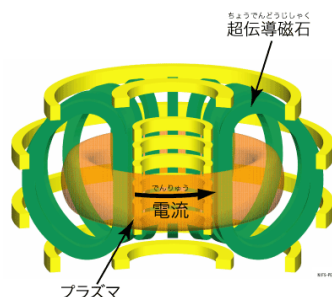


—大型ヘリカル装置の超伝導磁石(組立中の写真)—

まとめ知識

そのほかの装置

ドーナツの形をした装置には、ヘリカル型の他にトカマク型があります。こちらはドーナツの形に磁石を並べるけど、ひねりがありません。ひねらない代わりに、プラズマに大きな電流を流してプラズマをひねります。磁石でプラズマをひねるヘリカル装置に比べてトカマク型の方が作るのが簡単だったので、世界中で装置が作られていて、LHDより大きな装置も作られています。いまトカマク型とヘリカル型は、かくゆう合発電に使うことのできるプラズマを作るために、協力したり競争したりして研究しています。また、磁石の「かご」を使わない方法もあります。およそ4ミリメートルの燃料のつぶにレーザーを当てて、しゅん間に温める「レーザーかくゆう合」という方法で、日本では大さか大学で研究がおこなわれています。



ローソン条件ってなんですか？

A:かくゆう合反応をさせるためには三つの条件を達成しなければなりません。1) プラズマが約1億度以上の温度になること 2) 1立方センチメートル(1cc)のなかに原子かくの数が100兆個以上あること 3) 閉じこめ時間が1秒以上あること。これをローソン条件といい、かくゆう合研究はこの条件を目標に進めています。この研究所でも一つ一つの記録、たとえば1億度のプラズマをつくったり、密度が1立方センチメートルあたり500兆個という記録は達成していますが、難しいのはこの三つの条件がそろわないとかくゆう合反応がおきないことです。とくに閉じこめ時間1秒という三つ目の条件は、にげていくリゅう子をどうやって装置のなかに閉じこめておくかという研究になりますが、目に見えないリゅう子を閉じこめておくのはとても難しく、この1秒を求めてさまざまな研究がおこなわれています。

まめ知識

1億度の温度がなぜ必要？

2個の原子かくをぶつけて、くっつけてしまうのがかくゆう合です。でも原子どうしをぶつけても、原子かくがぶつかりません。なぜかというと、原子の中の原子かくの周りには電子が回っていて、原子かくがぶつかるのをじゃまするからです。そこで1万度以上に温度を上げて、原子から電子をはぎとって原子かくをはだかにします。この状態をプラズマといいます。でもまだかくゆう合はおこりません。原子かくどうしを秒速(1秒間に走る速さ)1000キロメートル(日本~かん国間)の速さで走らせて、ぶつけなければいけません。そのためには、温度をもっと上げて、1億度にする必要があるのです。

1ccあたり100兆個がなぜ必要？

空気は、1立方センチメートル(1cc)の長方形の中に、100億を2度かけたほどの個数の分子[ちっ素分子(記号:N₂)や酸素分子(記号:O₂)]が入っています。この数を分子の密度と呼

びます。かくゆう合をおこすプラズマでは、原子かく(分子が割れてでてくるつぶ)の密度は、1立方センチメートル(1 cc)に100兆個です。空気と比べるととても密度が小さい(うすい)のです。だいたい空気の30万分の1のうすさです。こんなうすくてもかくゆう合がおこると大きなエネルギーが生まれます。本当はもっと密度を大きくすると、もっとかくゆう合がおこりやすくなるんだけど、密度をあげると閉じこめておくのが難しいのです。

まめ知識

密度をあげる工夫

磁石を使ってプラズマが外ににげないように閉じこめることができます。かくゆう合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)も磁石の「かご」を使ってプラズマを閉じこめる装置です。磁石が強くなればなるほど、高い温度のプラズマ、密度の大きいプラズマが閉じこめられます。今の最高の磁石では、温度が1億度、密度が1立方センチメートル(1 cc)に100兆個のプラズマを閉じこめることが限界です。そこで、もっと密度を上げてかくゆう合を起こしやすくするために、強い磁石を作る研究や、磁石のかごの形を工夫する研究もしています。

まめ知識

閉じこめ時間1秒のハードル

いくらプラズマを温めても、まわりに熱がにげてしまうと、すぐに冷めてしまいます。この冷めてしまうまでの時間を閉じこめ時間といいます。閉じこめ時間が長いということは、熱がにげにくくて、温度が高いままでいられるということになります。かくゆう合でエネルギーを出すためには、閉じこめ時間が1秒より長くないといけません。お湯は、できるだけ冷めないように魔法びんに入れますが、プラズマでも、魔法びんのような仕組みを作って熱がにげないようにする(閉じこめ時間を長くする)工夫が研究されています。そして1秒の間、冷めないようにできれば、かくゆう合でエネルギーが取り出せるようになります。

まめ知識

持続時間と閉じこめ時間のちがい

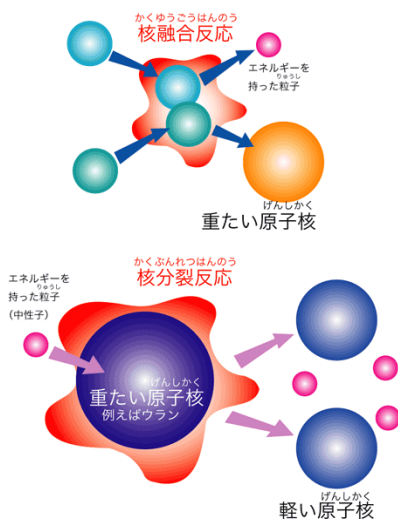
たった1秒だけエネルギーを出せても、みんなで電気を使うことはできませんね。ところがうまくなくて、かくゆう合でエネルギーが出るとその一部がプラズマを温めてくれます。そしてまたかくゆう合がおきてそのエネルギーがさらにプラズマを温めてくれます。温まってエネルギーの方が大きくなるほど、プラズマはずっと長い時間、冷めないで高い温度を保つことができます。このプラズマが高い温度を保ってられる時間を「プラズマ持続時間」といいます。

※かくゆう合を起こさない実験では、加熱装置を使ってプラズマを温めて高い温度に保っています。(そうしないと1秒にもならない時間で冷めてしまいます)その高い温度に保っている時間を持続時間といっています。

かくゆう合とほうしゃせん

かくゆう合発電と原子力発電はどちらがうの？

A:例えば水素のような軽い原子の原子かくを高い温度でぶつけて、少し重たいヘリウムのような原子かくに変えてしまうことをかくゆう合といいます。そして、水素の100倍以上も重たいウランのような原子の原子かくを2個にわってしまうことをかく分れつといいます。どちらも起こったら大きなエネルギーが取り出せます。かく分れつのエネルギーを使って電気を作る発電所は日本にすでに50ヶ所ほどあります。



かくゆう合発電から放射線はどの？

A: かくゆう合発電では、かくゆう合が起こったプラズマから中性子という放射線がでてきます。この中性子のエネルギーをもらって電気を作るので、とても大切なものです。だから、かくゆう合発電ろの中でほとんどが熱に変わってしまい、消えてしまいます。残りの中性子はコンクリートのかべで止めることができるので、発電所の建物の外にはもれてくることはありません。もう一つ、燃料に使われる三重水素(記号:T)は、 β 線をだす放射能を持っています。でもその β 線の力は弱くて、空気の中を5ミリメートルも飛ぶと止まってしまうほどです。だからきちんとしまっておけば、大じょう夫です。また自然にも少しあるものだから、それくらいすくただよっているのなら、心配はいりません。

放射性はいき物はこわいものですか

A: 発電所などでできる人工的に作られる放射能を持ったゴミを放射性はいき物といいます。そのなかで自分が出す放射線でどんどん温められるものを高レベル放射性はいき物、ほっておいても温かくなならないものを低レベル放射性はいき物といいます。高レベル放射性はいき物は、低レベル放射性はいき物のだいたい1000倍の放射能の強さがあるので、地下深くにしまっておかないといけません。原子力発電をすると高レベル放射性はいき物ができますので、このはいき物の取りあつかいはじゅうぶんに注意しなければなりません。かくゆう合発電では、このような高レベルのはいき物はできません。これがかくゆう合発電のいいところですよ。

かくゆう合のいま、これから

かくゆう合研究はどこまで進んでいるの？

A: プラズマを作る実験では、高い温度のプラズマを作ること、原子かく密度と閉じこめ時間のかけ算を大きくすることを目指しています。その最高記録を持っているのが、日本にあるト

カマク型の JT-60 という装置です。温度は 2 億度から 5 億度にもなります。閉じこめ時間も 1 秒をこえています。かくゆう合発電ができるプラズマに非常に近いのですが、持続時間が 1 分程度とまだ短いのです。これに比べて、この研究所のヘリカル型の LHD 装置は、1 時間という長い持続時間を記録しています。ヘリカル型は長い時間プラズマを作ることが得意なんです。まだ JT-60 に比べて、温度が低く、閉じこめ時間も短いので LHD 装置を使って研究を進めています。

まめ知識

かくゆう合研究所の放射線対策：重水素実験

かくゆう合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）では、高い温度と密度のプラズマを作るために、軽い水素(記号：H)の代わりに重い重水素(記号：D)でプラズマを作る研究をしています。かくゆう合発電で使われるもっと重たい三重水素(記号：T)を使わないので、かくゆう合はおこす研究はしません。ところが重水素(記号：D)だけでプラズマを作っても、ほんのわずかだけかくゆう合がおきることがあります。1 億度だと、10 万個の原子があると 1 秒毎に 1 回のかくゆう合がおきます。そのかくゆう合で水素(記号：H)、三重水素(記号：T)、中性子、ヘリウム 3(記号： ^3He)ができます。三重水素(記号：T)は、 β 線という放射線をだす放射能を持っています。研究所ではこの三重水素(記号：T)と酸素(記号：O)をくっつけて水にします。そして日本アイソトープ協会というところで安全に処理してもらいます。中性子は放射線ですね。これはコンクリートのかべで止めることができます。研究所の実験室は厚さが 2 メートルのコンクリートのかべでできているので、中性子は外にはもれることはありません。

将来のかくゆう合発電ろ

A:近い将来にできるかくゆう合発電ろでは、重水素と三重水素を燃料としたかくゆう合反応を使います。このかくゆう合反応で中性子というりゅう子ができて、ものすごいスピードでプラズマから外に飛び出てきます。プラズマの周りにブランケットというかべを置いておくと、

そこに中性子がぶつかって熱に変わります。この熱で水をふっとうさせて水蒸気に変え、タービン発電機を回すことで電気をつくることができます。水をふっとうさせるところからは、火力発電所や原子力発電所と同じしくみです。

実現のために研究されていること:かくゆう合ろ設計

A:これまで作られた多くの装置のプラズマの性能を比べてみると、将来どのような大きさの装置を作ったらかくゆう合発電ろになるかが予想することができます。また他にもたくさんの計算をして、かくゆう合発電ろの大きさ、作る磁場の大きさなどを決めていきます。大きさが決まると今度は、色々な部品を設計します。そして発電所を作るためにかかるお金や作った電気の料金などを計算します。このような研究を「ろ設計研究」といいます。将来のことを考えながら、今しなければならぬ研究や実験のことを考えています。

実現のために研究されていること:材料

かくゆう合を起こすプラズマからは、中性子という放射線が発生します。この中性子が金属やプラスチックに当たると、こわれやすくなります。だから中性子が当たってもこわれにくい材料を探しています。それから、中性子が当たった金属が放射線をだす性質に変わることがあります。だから放射線をだす性質に変わりにくい金属材料も探しています。

このページは小学校で習う漢字で表記しています

出典：[核融合へのとびら](#) / 自然科学研究機構 核融合科学研究所