

六ヶ所研だより



新常識!?

ひんやり毛布の
正体に迫れ——



エネギューン

ねえねえプラズマ博士～
これ、なあに？



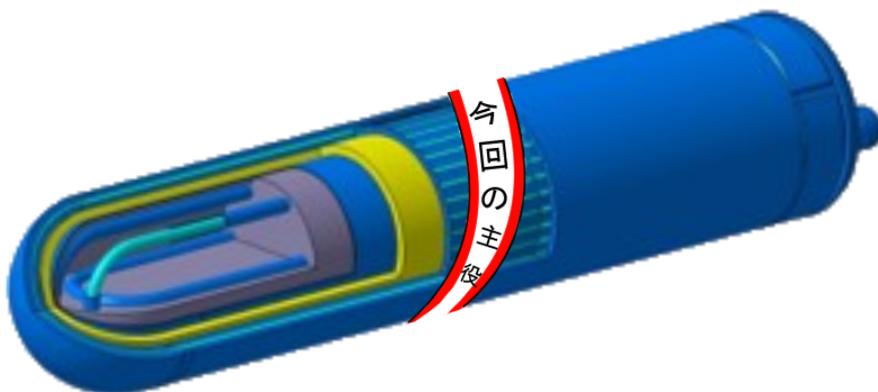
プラズマ博士

それはテストブランケットモジュールの
サブモジュールじゃな。

これがそうなんだ！
六ヶ所研で研究開発が進んでいるんだよね！

そのとおり。
じゃあ、今回はブランケットの話しよう

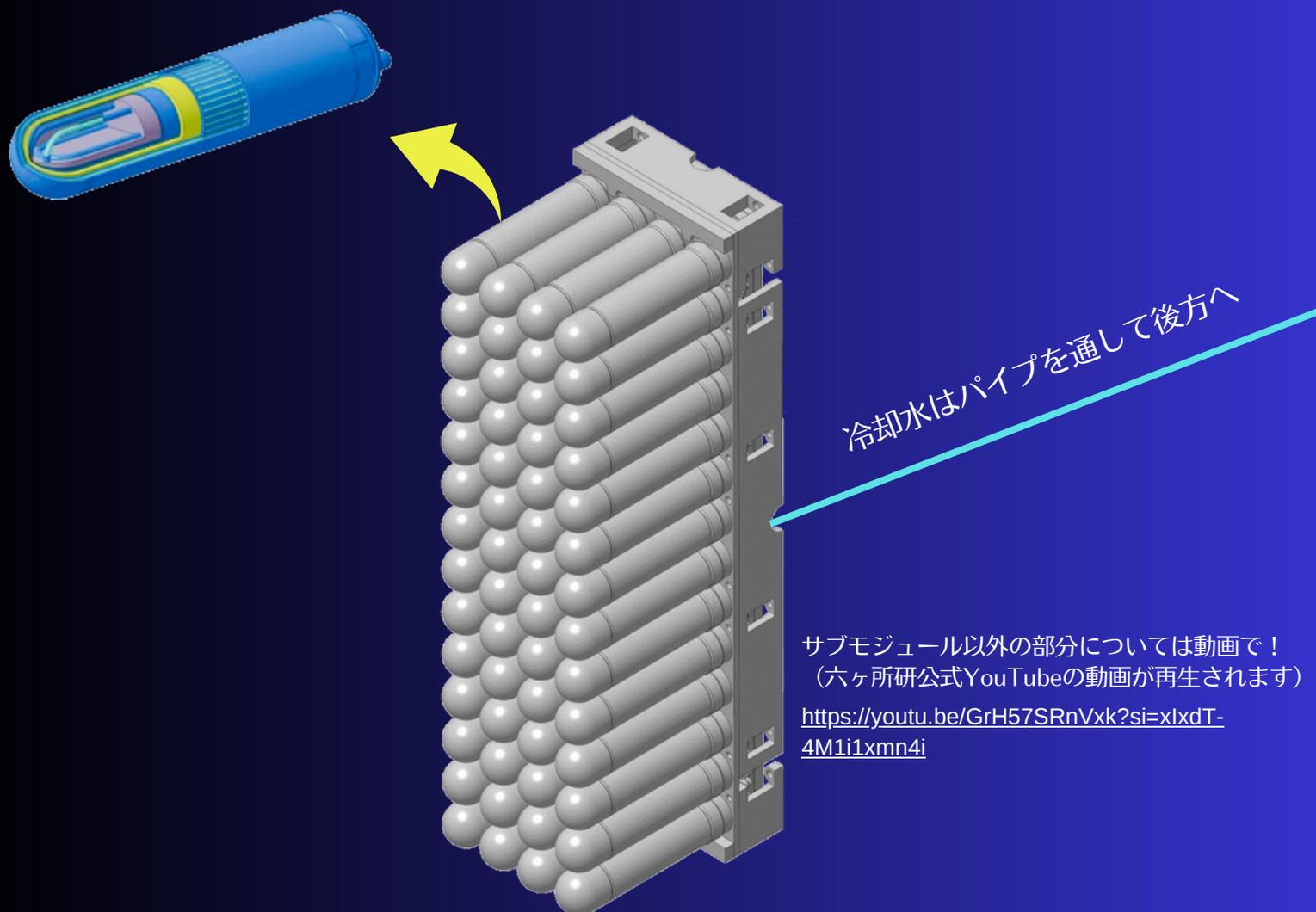
今回の主役



ブランケットモジュール

ブランケットモジュール（以下ブランケット）は核融合エネルギー実現のため開発が進められている重要パーツである。核融合反応が発生するプラズマに最も近い壁を構成し、高い耐久性と様々な役割を求められる。

ITERでは発電実証は行われませんが、炉壁の一部がブランケットを設置できるポートとなっている。ここで、欧州、中国、韓国、そして日本の4極が製作したブランケットの試験が行われる。ITERは国際協力のもと計画が進んでいるが、ブランケット開発分野においては国際競争となる。



サブモジュール56個で
一つのブランケットモジュールを
形成する

ブランケットの役割

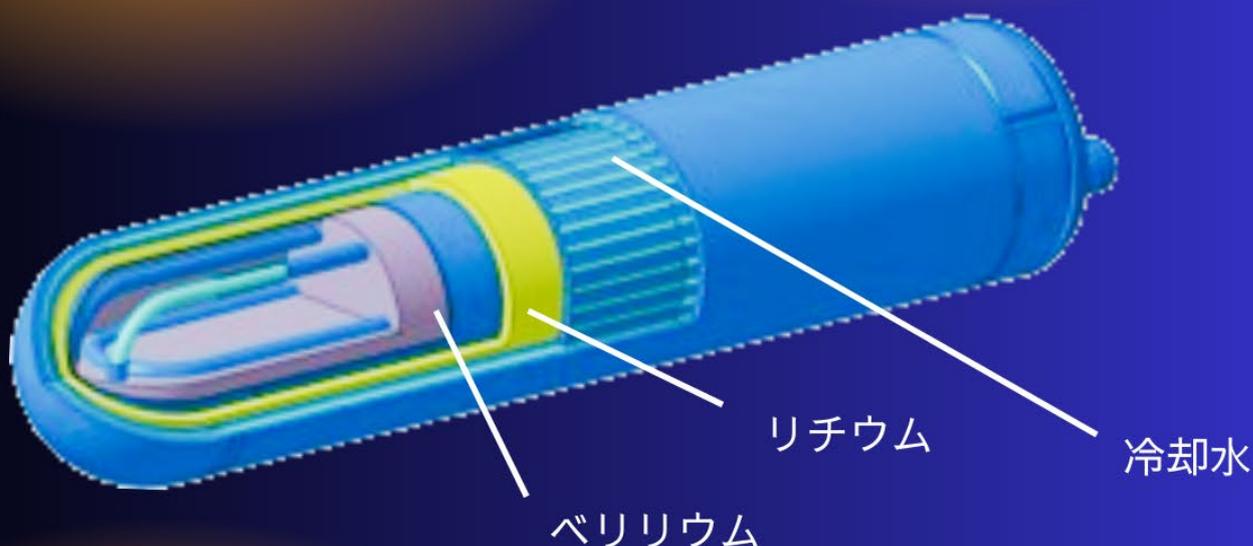
中性子遮蔽

核融合プラズマ内の反応で高エネルギーの中性子が飛び出してくる。

ブランケットはこの中性子を遮蔽し、外に出さないようにする役割を持つ。

エネルギーの取り出し

現在開発が進んでいる核融合炉では、核融合プラズマから飛び出してくる電磁波や高エネルギー中性子のエネルギーを発電に利用する。これらのエネルギーによってブランケット内部を流れる冷却水が加熱され、蒸気となりタービンを回転させ発電を行う。

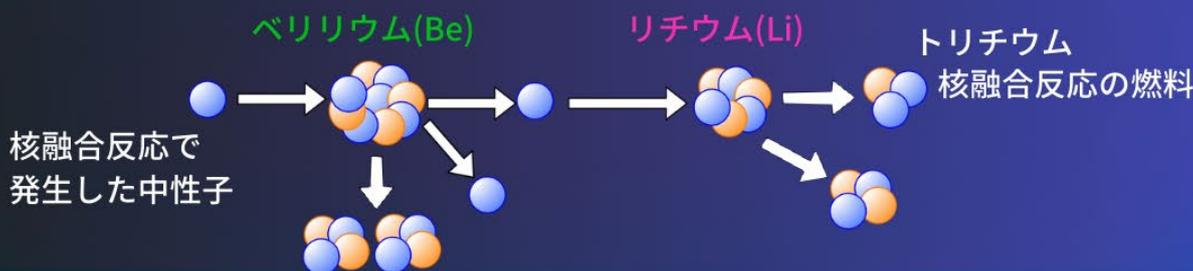


トリチウムの自己生産・増殖

核融合エネルギーの燃料の一つであるトリチウムは自然界では非常に希少な物質である。

したがって核融合炉内でトリチウムを再生産・増殖する方法が検討されている。

トリチウム生産プロセス



これらの役割を果たすため日本が開発中のブランケットでは、高温高圧水（15MPa、300℃の液体の水）による冷却と固体のベリリウムおよびリチウムを利用したトリチウムの生産を行う、水冷固体増倍方式を採用している。高温高圧水を採用したのは、火力発電や原子力発電により豊富な知見が得られているためだ。

サブモジュールの日常

お久しぶりです
サブモジュールです

私、ITER持ち込みに向け
六ヶ所研で
安全実証試験中です



どうしてそんな
試験をしているのか
という話ですが

ブランケット工学試験棟

せっかくの主役回なので
もう少し
自己紹介をば



絵が新しくなりました!

とても大雑把に
申し上げますと

ITER制御室
ITER
緊急停止
しました!

原因は!?

日本の
ブランケットの
トラブルです!

何イ!?

なんてことに
ならないように
するためです

EMERGENCY
緊急停止

※イメージです

もし万が一の時
どのような事象が
発生するのか

爆発しちゃうかもよ...

大丈夫
それは
ない

③Be-水反応試験

もく
もく

など
四つの試験で
確認しています

：ということ
本当に設計通りの
耐久性を
発揮できるか

はーい
ざばー

①流動腐食試験

1ヶ月水流して
様子見るよー

熱源

④大面積熱負荷試験

むし
く
し
むし

ビヨッ!

ひいひい...

遮断弁作動ヨシ!

②高温高压水噴出漏洩試験

流動腐食試験



高温高压水、核融合と出会う

ブランケットの内部を流れるのは高温高压の水です。15MPa、300℃の水が秒速5mの速さで循環しています。そのような水が鉄を含む配管に流れれば、配管が削れたり腐食（さび）が発生したりすることが考えられます。

また核融合炉内の環境というのは今までほとんど高温高压水に関する実験が行われていない、未知の世界です。この試験では、実際にブランケット内に高温高压水を流してその影響を確認していきます。



なお秒速5mというのは
ナイアガラの滝の滝つぼや
急流の流速と同じくらいの速さです

主な試験項目

- ・配管の厚さはどれくらい必要か？
- ・どのくらいさびが発生するのか？
- ・冷却水の不純物をどの程度除去するか？

試験の流れ



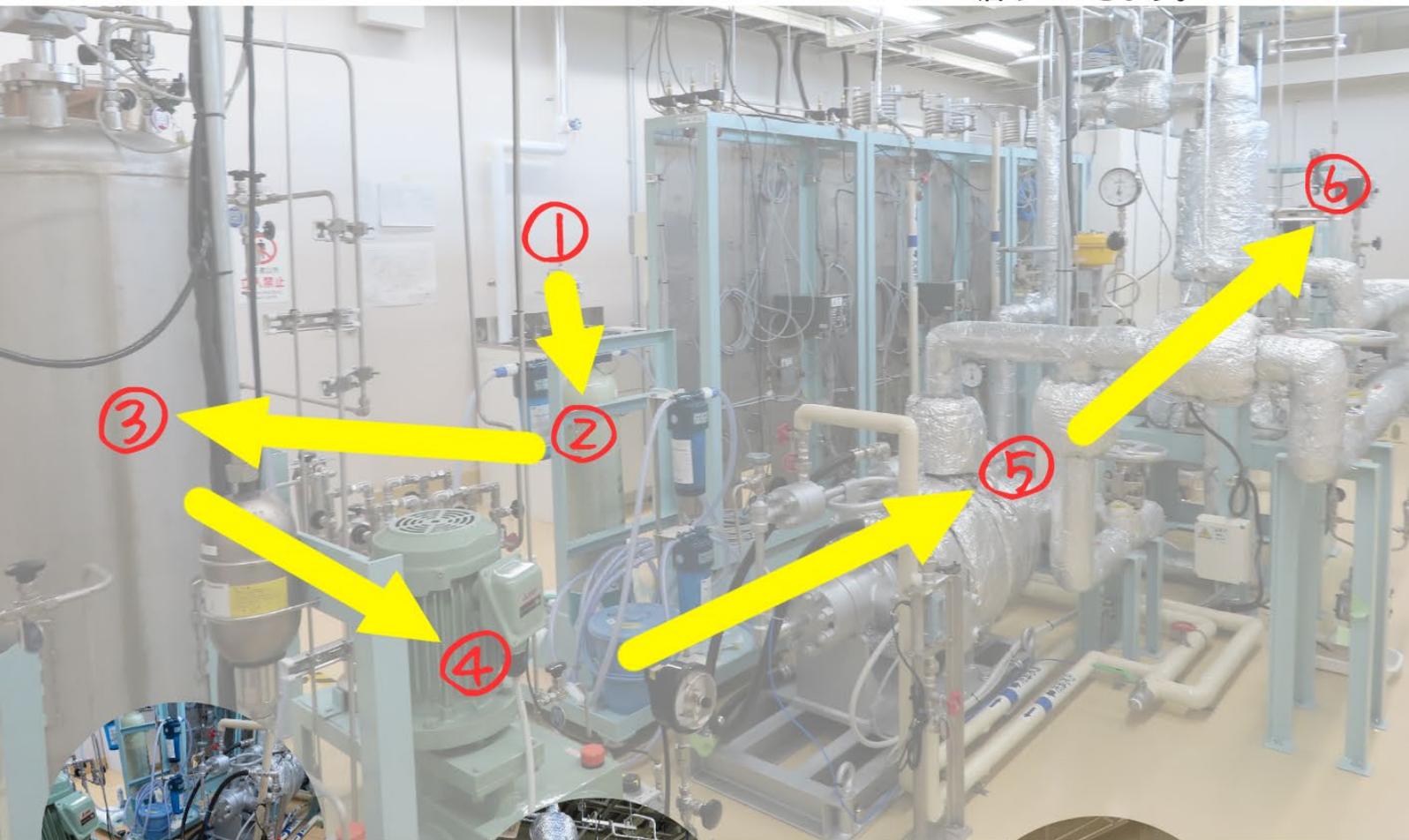
①まずはここで水を用意します。
使用するのは普通の水道水です。



②不純物を取り除きます。



③きれいにした水をタンクに溜めていきます。



④水が十分溜まったら装置内に水を流し、速度を上げます。

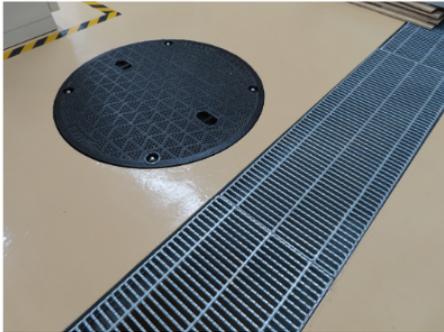


⑤加温・加圧して高温高压水にします。



⑥ターゲットに高温高压水を流します。
実際の試験では、この中にサブモジュールが入ります。試験時間は100時間～数ヶ月を想定しています。

装置の裏側



試験に使用した水は一部を除いて捨てます。冷えたらバケツに移すのですが、この装置は中まで保温材だらけなのでなかなか冷めてくれません。



取扱説明書です。
800~1000ページくらいあります。



この試験装置の強みは、試験部の自由度の高さと、細かな水質コントロールが可能なことです。発想次第では、色々な実験ができると思います。

設計者ひとこと

この装置には私のやりたいことが詰まっています。本来は原型炉のために設計されたもので、当時は諸事情によりお蔵入りとなってしまうりましたが、テストブランケット開発において日の目を見ることとなりました。

試験開始に向け

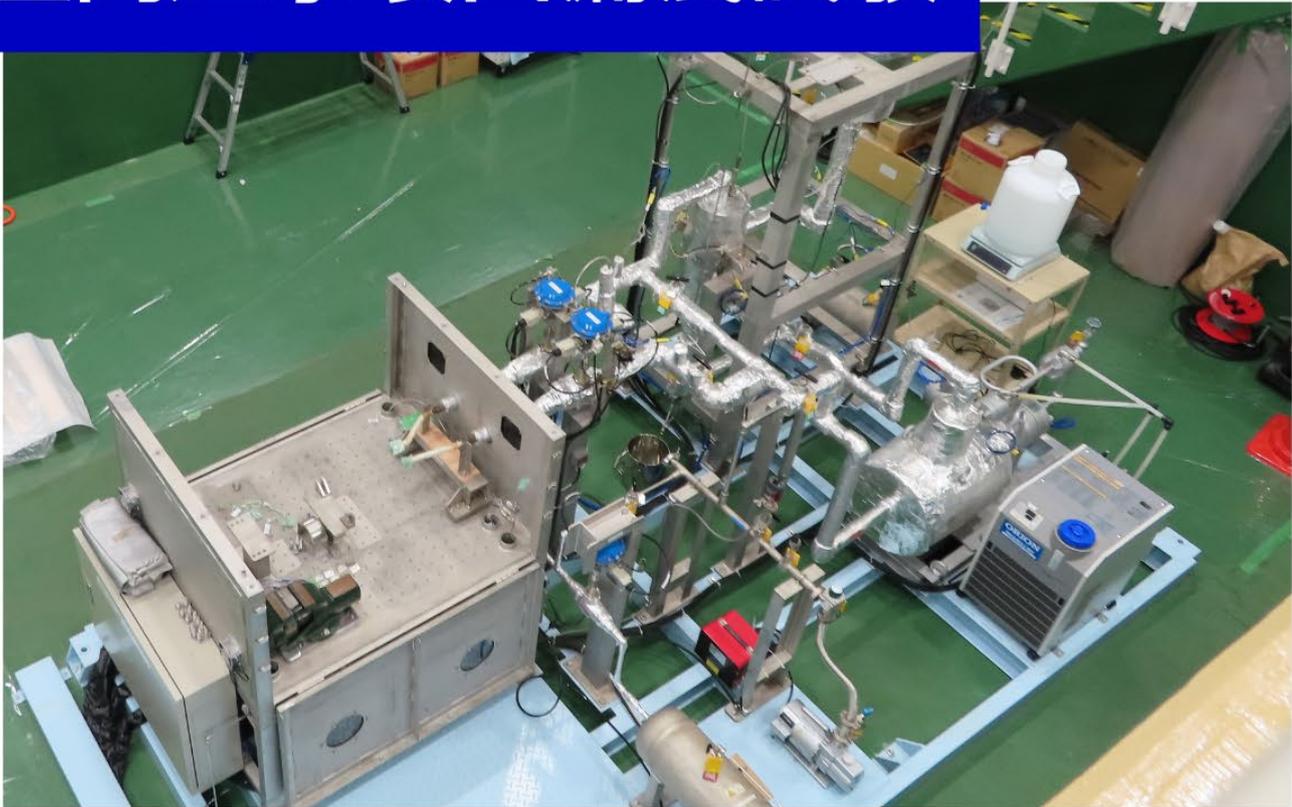
流動腐食試験において最も大切なもの、それはきれいな水です。不純物を多く含む水は電気を通しやすくなるため、腐食が発生しやすくなります。そのため、薬局で売られている精製水よりもきれいな水が必要なのです。

この試験では、まず水道水からきれいな水をつくる水質調整運転から始まります。

幾つものフィルターを通したり、窒素ガスを流して不純物を除去するのですが、なかなか大変です。例えば、バルブの開閉具合によってはガスの流量が変化し、水質調整がうまくいかないこともあります。したがって現在は、装置の癖を掴むための運転が行われています。

将来の話になりますが、磁場の影響で腐食のしかたがどう変化するかもこの装置で研究したいと考えています。

高温高圧水噴出漏洩試験



配管破断時に何が起きるか？

トラブルが発生しても問題ないように設計されているブランケットですが、万が一の事態も想定しなければなりません。

高温高圧水噴出漏洩試験装置では、冷却水配管が損傷し冷却水が漏れ出した際に、どんな事象が発生するのかを確認する試験が行われます。

この試験では、サブモジュールの耐圧性や漏洩検知機能に問題がないか、冷却水が漏洩した場合に何が起こるかなどを確認していきます。すでに何度か試験を行っていて、耐圧性には問題がないことが確認されています。

高温高圧水噴出漏洩試験

冷却が間に合わない

ブランケットの
破損

Be-水反応試験

ベリリウムと水の
反応による
水素ガス発生

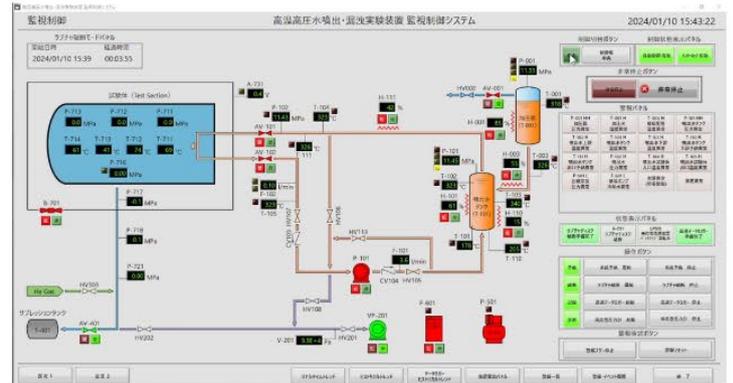
冷却水配管破断によって考えられる主な事象

試験の流れ

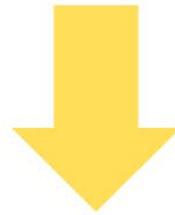


試験の準備

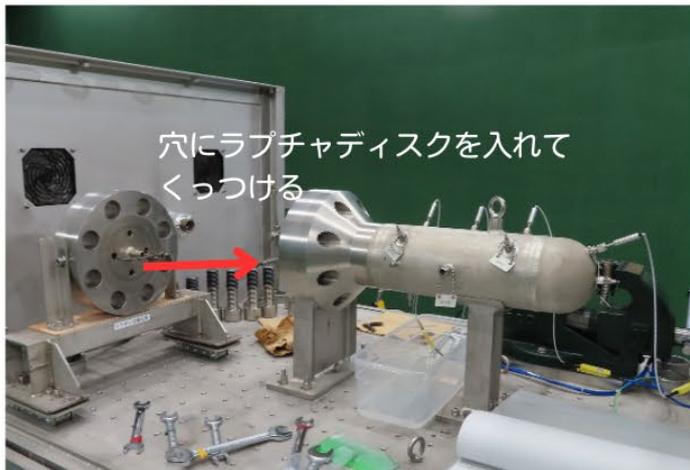
- ①高温高压水をつくる
- ②水の状態を確認し、試験を行うか判断する



監視制御システムの画面。
水の温度や圧力が確認できる。



冷却水が準備できたら…



- ③高温高压水を流してラプチャディスクを破断させる (=冷却水を漏洩させる)
- ④その時の試験項目に合わせて試験を行う



ラプチャディスク
(破断前)



ラプチャディスク
(破断後)

主な試験項目

- ・サブモジュールの耐圧性 **clear!**
- ・圧力低下や振動などの異常を検知できているか?
- ・冷却水遮断弁は正常に作動するか?

装置の裏側



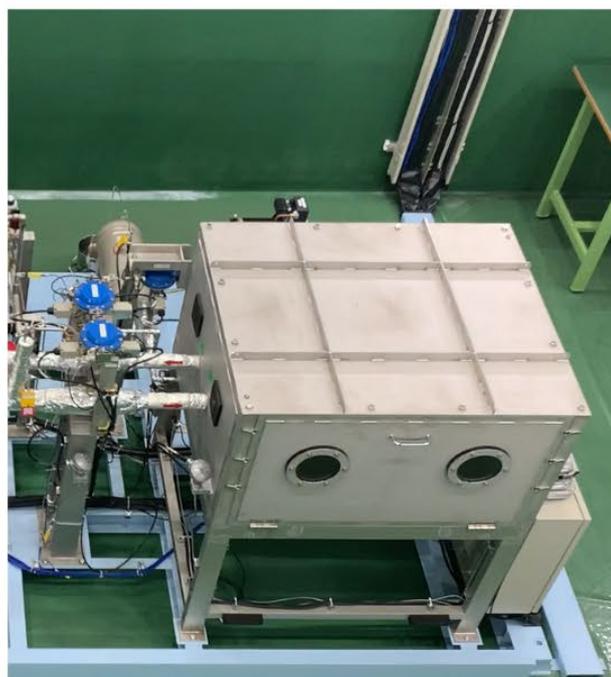
実際に冷却水を漏洩させた時の衝撃対策を考慮してピットの中に装置を設置しました。



制御盤はピットの外にあります



いざという時のための
緊急停止ボタン



青色のバルブの辺りに冷却水遮断弁があります。プラズマに近いところでは飛び出してくる中性子によるセンサーやケーブルの破損・故障などで正常に動作しなくなる可能性があるためサブモジュールから離れたところにあります。

またITERや原型炉は磁力を利用した核融合炉なので磁場の影響も考慮した配置でもあります。

ピットの中には排水口がありませんので結露対策は必須です。その他、換気や夏の暑さ対策も兼ねてピットの外に5台のエアコンを設置しています。



六ヶ所所研探訪記



BA計画調整グループ
主任研究員
本間 裕貴

偶々ご縁があったのが核融合

— 研究者になろうと思ったきっかけは何ですか？

実は大学では当初、数学を専攻していました。1+1はなぜ2になるのかというような世界です。しかし最新の数学の成果は抽象的でとても難しく、すぐには役に立たないだろうと感じました。

もっと近い未来で役に立つことを研究したくて、物理に転向しました。便利な生活を続けたい、でも石油がなくなったらどうしよう？と考え、エネルギーの研究をしようと思いました。

その後フランス留学を経て帰国した私をたまたま核融合の研究室が受け入れてくれたことが、核融合に関わるきっかけです。

ネットワーク整備に研究も

— 普段はどのようなお仕事を？

任期制の研究員から正規職員として採用される際に「何でもやります！」と言ったからでしょうか、いろいろ担当しています。BA計画グループとしてはIFERCネットワークの整備・維持運用を行っています。故障した部品の手配や交換を行っています。が、元々専門外だったので詳しい人に聞いたり、自分で勉強したりしながら進めています。また、請負や派遣の方の業務調整も行っています。

併任のプラズマ理論シミュレーショングループでは、ダイバータプラズマ（※1）のシミュレーション研究をしています。論文を読み、プログラムを書いて解析を行うといった感じですね。論文は年に1〜2本を目標に書いています。

プロフィール

新潟県出身
慶應義塾大学大学院卒業
工学博士
専門
核融合プラズマ工学

※1 ダイバータプラズマ…核融合プラズマの中でダイバータに近い部分のこと。ダイバータとは核融合炉下部に設置される部品を指す。ブランケットと共に最も核融合プラズマに近いところに設置される。

——研究をしていて楽しいと思うのはどんな時ですか？

例えば、英語の論文を読んだりして、いろいろな試行錯誤の末にプログラムすべき数式（どんな式を使えばよいか？設定すべき条件は？など）を突き止められた時はとてもうれしいです。一番は、博士課程の時に一つの問題をずっと夜遅くまで数か月ぐらしかけて考えて、問題を解決するための計算手法を見つけられたときでしょうか。結果が出た後に論文を書く作業も、作家になったように楽しいですよ。

——六ヶ所研に来ていかがですか？

六ヶ所研にはいろいろな意味で「自由さ」を感じます。ルールを把握して仕事も遊びも満喫する人が多いと感じています。プロジェクトが進むにつれて、前よりは変わった人が少なくなっただという話も聞きますが。あと、植生や景観がヨーロッパみたいで好きです。

いろいろな国の友達ができるました

——フランス留学について詳しく教えてください

フランスへの留学に興味があったので、二年ほど工学系グランゼコール（※2）のエコール・サントラルで学びました。日本の大学一年目のクラスは帰国子女が多く、英語では勝ち目がないと思っただのも、理由の一つだったりします。

留学中はオルリー空港近くの学生寮で生活していました。300人くらいいた学生のうち100人が留学生で、いろいろな国の友達ができるました。

カリキュラムの一環として一ヶ月のインターンシップがありました。働く場所も自分で探すところから始まるもので、私はコルシカ島のリゾートレストランで働きました。同じ学校の人も二、三人いて、協力してレポートを作成したりもしました。



「石油がなくなったら飛行機も飛ばない」という不安がエネルギー研究のきっかけに。

子どものころの夢はパイロット。

※2 グランゼコール…フランスにおける、技術官僚養成のための高等教育機関。

研究も読書も 事務作業も

——読書がお好きと聞いています。

歴史（特にローマ史）や経済の本をよく読みます。ローマ史ではユリウス・カエサルあたりが好きです。格好良い格言が多いのも魅力的です。ローマの行政機構、人事や転勤事情も大スケールで面白いです。

読書とは違いますが、すごく細かいWikipediaの「課長」のページや、官僚的で独特な言い回しが特徴の某県警の事件・事故に関するページもよく見えています。

でも国語は大の苦手です。ゲーテのファウストを扱った文学の授業はサボりまくった記憶があります（作品自体は読んでいたので単位は取れました）。

——事務作業は負担にはなりませんか？

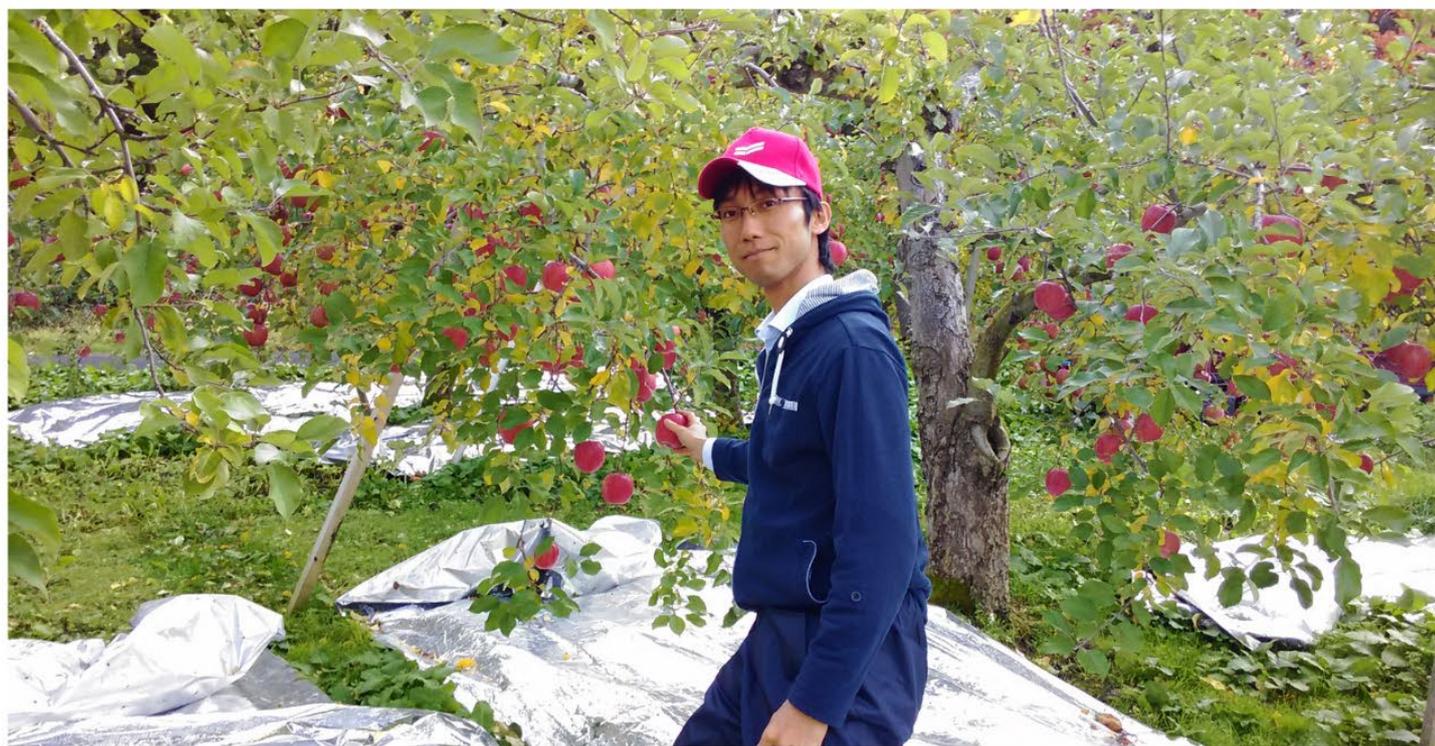
私はそれほど苦になりません。購入品などの仕様書作成も結構好きだったりします。やりだすと面白くて熱中してしまうこともあり、研究が進まなくなってしまうこともあります（汗）。

自分の好きなこと、 嫌いなことは？

——これからを考えている皆さんにひとことお願いします。

運動はぜひたくさんしてください。研究者は体力勝負なところもあります。途中であきらめなかった者が勝つという一面が研究者の世界にはあると感じます。

あとは自分の好きなこと、嫌いなことを知ることでしょうか。好きなことはもちろん嫌いなこと・苦手なことを理解して、時にはそれを回避することも重要だと思います。



りんご狩りを満喫中

Q.水って100℃で気体になるんじゃないの？

A.圧力によって沸点（沸騰する温度）は変化します。

圧力が高いほど沸点は高くなります。

山の上では100℃より低い温度で水が沸騰するのも同じ理由です（山の上は麓より大気圧（空気の圧力）が小さいため）



お久しぶりです。半年ちよいぶりですね。

ということで第7号、TBM安全実証試験の前編です。実証試験はあと2つありますので、後編も乞うご期待。

話は変わりますが、核融合の世界ってけっこうぶっ飛んだ数字が出てくると思いませんか？15MPaは天気予報で見るhPaにすると15万hPaです。温度についても、300℃の水（液体）を流して表面温度を1000℃→500℃まで冷却する世界です。ひんやり…？

そして2回目となる六ヶ所研インタビューは、BA計調グループの研究者の方にご協力いただきました。最初の画像のホワイトボードは同室の他の研究者さん作です。難解そうな書籍の他にも、面白い本がたくさんあるお部屋でした。