

# IMaSS

Institute of Materials and Systems for Sustainability

# NEWS



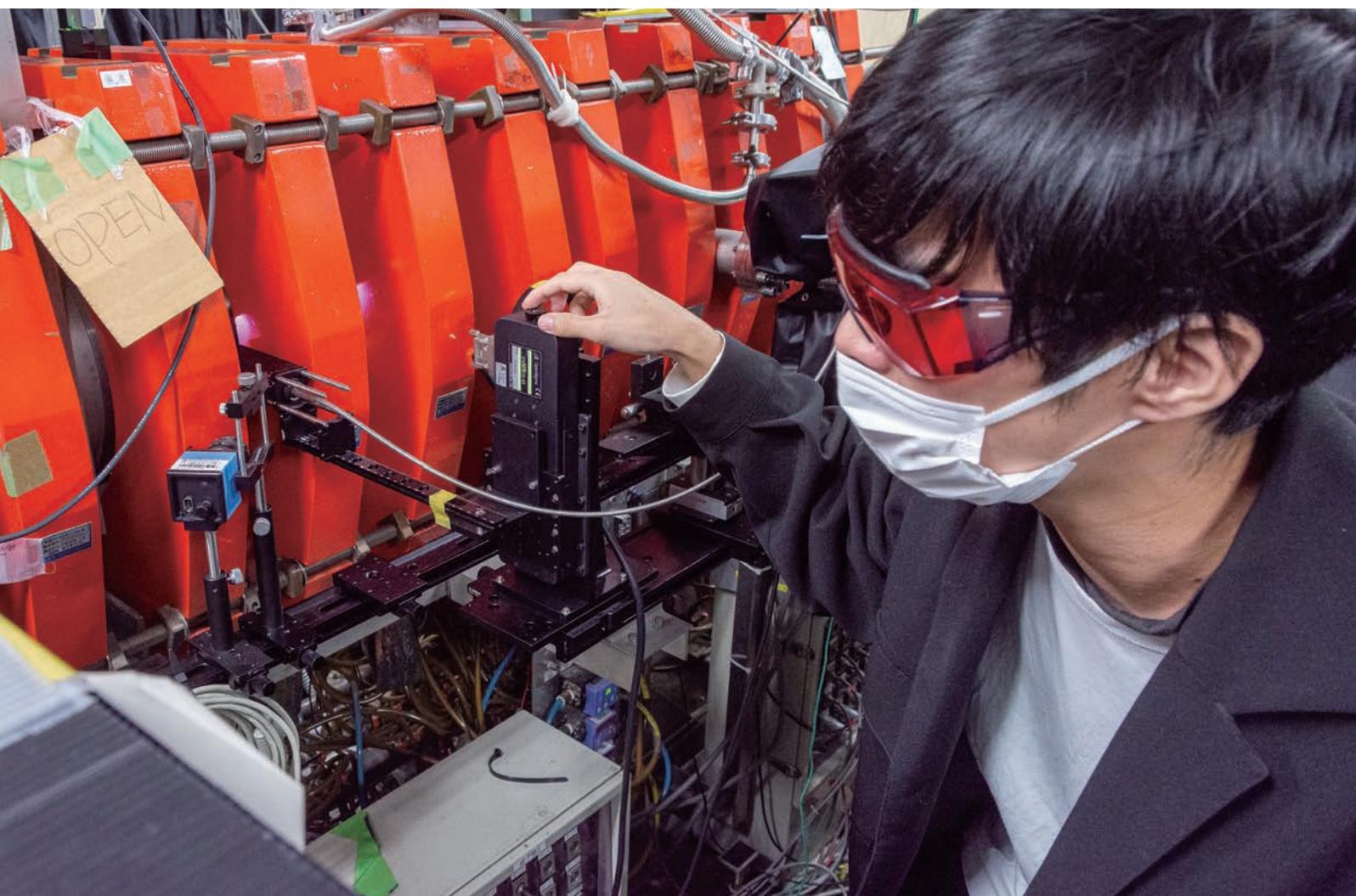
March  
2023

Vol.14

のりやす  
特集◎大野哲靖研究室（プラズマエネルギー工学グループ）インタビュー

## 地球に創る太陽エネルギー！

プラズマを操り核融合発電へ



組織図



(令和5年3月1日～)

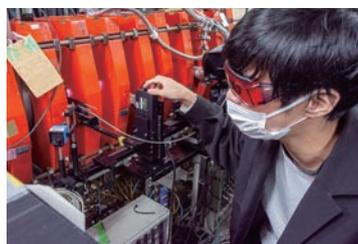
IMaSS概要

未来材料・システム研究所 (IMaSS) は、未来社会で革新的な省エネルギーを実現させるため、先端的な材料・デバイスそのものの根幹をなす要素技術に関する基礎研究から、それらを社会実装するための高度なエネルギー変換技術・システム、環境負荷低減技術、エネルギーインフラの制御技術等のシステム構築に至る、幅広い研究課題を一貫連鎖する研究拠点として、平成27年10月に前身のエコトピア科学研究所から改組する形で誕生しました。

また、若手研究者の育成、産業界との共同研究も活発に行っています。

《IMaSS HP》

<https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/>



【表紙写真説明】

名古屋大学の誇る密度の高い(質の良い)プラズマを発生させる装置NAGDIS(ナグディス)-IIを操作中

CONTENTS

- 02 研究所組織図
  - 03 特集 研究グループインタビュー  
大野哲靖研究室  
地球に創る太陽エネルギー！  
プラズマを操り核融合発電へ
  - 10 退職のご挨拶  
環境工学研究37年 教授 片山 新太  
あと43年研究者人生があったなら 教授 中村 光廣
  - 12 研究報告
  - 19 活動報告
- 裏表紙 TOPICS  
天野 浩教授が日本学士院会員として新たに選定されました。

研究グループインタビュー：

大野哲靖研究室

(プラズマエネルギー工学グループ)

大野哲靖研究室◎DATA

未来材料・システム研究所 高度計測技術実践センター 電磁波計測部

代表/教授 大野 哲靖

人数/21人(教授1、准教授1、客員教授1、技術補佐員1、

D3:1、D2:1、M2:5、M1:4、B4:5、秘書:1)

<https://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/j-index.html>

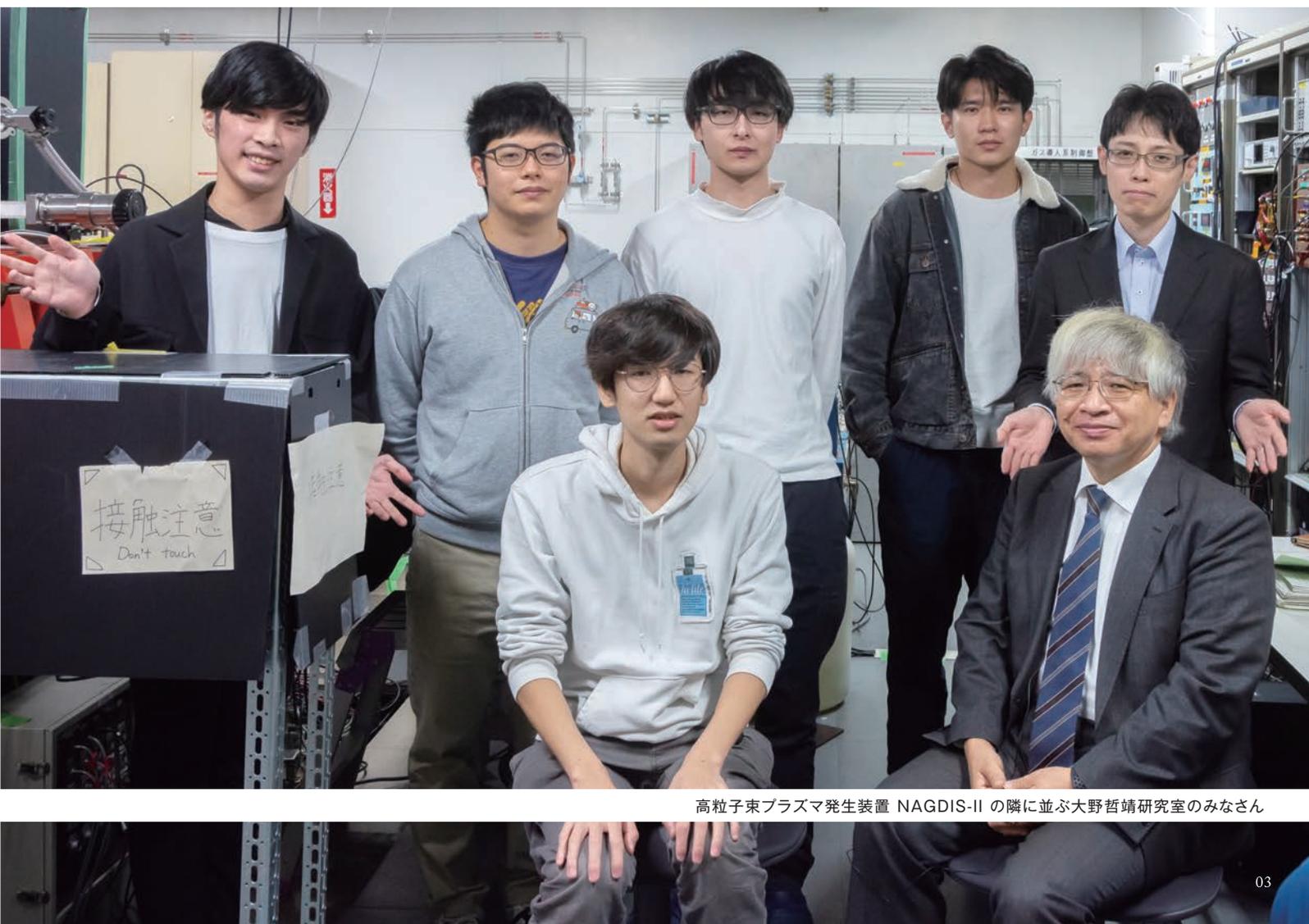
# 地球に創る太陽エネルギー！

## プラズマを操り核融合発電へ

みなさん「プラズマ」という言葉は目にしたことがあると思いますが、一体何なのかご存知ですか？ 身近と言えば蛍光灯でしょうか。プラズマという名称は、空気清浄機や冷蔵庫といった家電にも使われていますね。ピカッと光る雷や美しく漂うオーロラ(本物を見た方は少ないでしょうが)は、自然界で発生するプラズマなのですが、何と言ってもその親分ともいえる巨大なエネルギーを発しているのは太陽です。

今、このプラズマを使って太陽に摸してとてつもなく高いエネルギーを作り出して発電する(核融合発電)という壮大な研究が、世界中で手分けして繰り広げられています。実はこの日本、中でも名古屋大学はその中心的役割を果たしており、大野研究室は、最終段階の重要な役を担われているとのこと。今回のインタビューではその概要や「プラズマって何?」「核融合って危ないんじゃないの?」といった素朴な疑問にもやさしくお答えいただきました。その様子をご紹介します。

インタビュー/2022年12月 IMaSS広報委員会



高粒子束プラズマ発生装置 NAGDIS-II の隣に並ぶ大野哲靖研究室のみなさん



教授 大野 哲靖

OHNO, Noriyasu

1988年 九州大学博士課程中退。同年 長崎大学助手。  
1990年 名古屋大学助手。1993年博士(理学)。1993年  
同大 講師。2001年 同大 助教授。2008年 同大 教授。

●趣味・好きなこと／将棋。スポーツ観戦。読書(もっぱら歴史)。  
棋力は向上しないので、現在は「観将」。インターネット  
放送の充実で1日中観戦、家族に呆れられている。

## 「プラズマ」って？

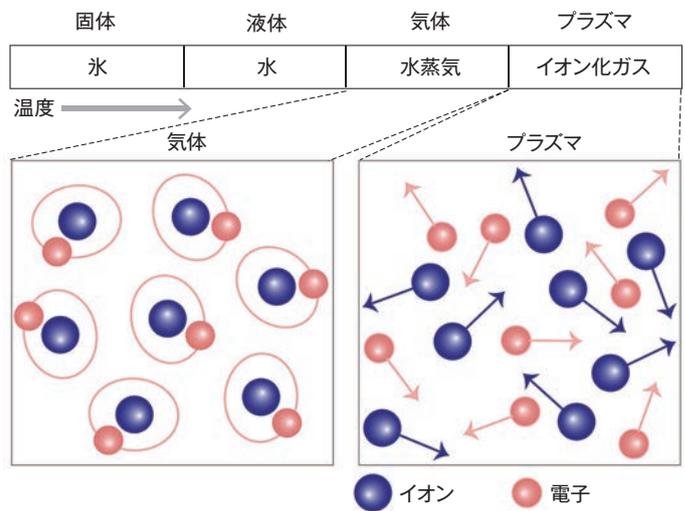
まずは、プラズマって何？っていうことを教えてください。

**大野** はい。例えば蛍光灯の中で光っているのもプラズマ  
なのですが、高校生から習っているのは、固体があって、  
温めると液体になり、さらに温めると気体になりますよね。  
それをさらに温度を上げると(大体1万℃以上)気体の分子  
や原子から、元々+の電荷を持った原子核とその周囲に回っ  
ていた電子がバラバラになって自由に飛び回るようになるん  
ですが、その状態のことをプラズマと言います(《図1》参照)。  
とても高いエネルギーを持っているので、液体や気体や固  
体では起きないようないろんなことが起きるという性質を  
持っているんですね。それが非常に興味深くてずっと研究  
しています。

核融合発電を実現するためのプラズマの研究ではな  
いんですね。

**大野** 私は核融合発電もプラズマの応用の一つと捉えてい  
ます。プラズマを使った応用技術は山のようにあって、特に  
工業分野では、例えば半導体を作るにしても何をしても、  
どこかの段階でプラズマを使っていると思います(《図  
2》参照)。

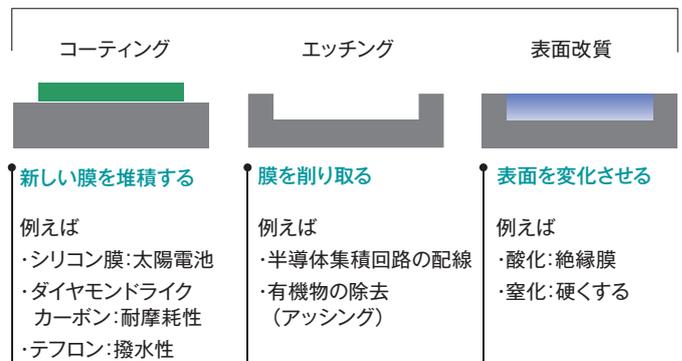
《図1》(例)水の4態



《図2》プラズマの応用

### 半導体プラズマプロセス 超微細加工に必須の基盤技術

超微細加工、超薄膜成長、超表面改質(最先端エレクトロニクスデバイス)



私達の研究分野の一つが「作りたいプラズマを作る」ということ、つまり他にないプラズマを作りたいということなのですが、今の私の立場で言うともものすごく密度の高いプラズマを作りたいという目標があって、それは蛍光灯のプラズマと比べると10万倍位密度が高いんです。

プラズマって随所で活躍しているんですね。

**大野** 自然界に存在するプラズマのボスは何と言っても太陽です。太陽は水素とヘリウムのプラズマと磁場の塊であることが解明されているんですが、核融合発電というのは、地球上に人工的に太陽のエネルギーを発生させて発電しようという考えで、発電の仕組みとしては火力発電と同じです。日本、アメリカ、ヨーロッパ、ロシアが先進国として、2050年までに使えるようにと手を携えて研究しています。ただ、最近では環境問題から2040年までにと各国とも目標を繰り上げています。

## 原発とどう違うの？

原子力発電のような危険はないんですか？

**大野** アインシュタインが出した有名な式 $E=mc^2$ で表されるように質量をエネルギーに変えるという意味では、核分裂

を利用する原子力発電も核融合発電も同じ仲間なんです。私は原発反対論者ではないのですが、決定的に違うのは核分裂の場合には高レベルの放射性廃棄物が増えていくという問題が避けられない、すごく立派なんだけど最終的に処分するところがどうしても決まらないという問題があるんです。一方、核融合はほぼ高レベルの放射性廃棄物は発生しないので、特殊な処分場は必要としません。

**安全は確保されたとして、エネルギー源の枯渇は心配ないのでしょうか。**

**大野** この研究が魅力的に映るのは、核融合発電に必要なエネルギー源は重水素(記号:D)と三重水素(記号:T)と言って、海水と世界中に広く分布しているリチウムから取れるということなんです。重水素1gってというのは海水30リットルの中に含まれていて、1gの水素燃料を核融合発電で燃やすと、石油8tぐらいのエネルギーに変わるんです。しかも偏在しない。これは重要で、一つの国で独占するようなことがないから戦争も起きない訳です。だから、核融合発電が実現すれば人類はエネルギー問題から解放されるし、世界中で研究されている最も大きな要因です。

**すごい!がんばれ核融合!ところで大野先生がプラズマの研究に携るようになったきっかけは?**

**大野** 私は元々明確な目的もなく、とにかく物理がやりたいというぼんやりした理由で九州大学の理学部物理学科に入りました。余談ですが、ちょうどその頃、第1次南極観測隊の越冬隊員で、タロ、ジロの犬でも有名になった映画「南極物語」の(実際の)主人公の北村先生が、九大で自然界のプラズマをやられていたんですね。それで、南極物語が撮影に入る時に北村先生にインタビューに来るといことで、主役の人たちが来て「奥さんって夏目雅子(主役の越智隊員の恋人役)みたいにきれいな方なのかな」とか言ってたんですけど(笑)。

## 運命の出会い

**それでプラズマを選ばれたんですか?**

**大野** 「プラズマ」という言葉はそこで知ったんです。宇宙のオーロラとか、アフリカに降り注いでいる電磁波を計るような研究とか。その時は自分とは距離があるように思って、4年生の時は物性理論を選びました。ただ、面白かったんですが、九州大学って当時周りが飲み屋さんとか雀荘で囲まれていたものですから、途中でトラップされてなかなか大学に入って行けなくて(笑)。この包囲網から抜け出す方法を考えないといけないと思いながら廊下を歩いていたら、たまたま今の春日市というところに大学院だけのキャンパスができたというポス

ターが目に入って。ちょっと見に行ったらそこで「プラズマは面白いから来い」と強烈に勧められて入ることになったんです。

**運命の出会いがあった訳ですね。**

**大野** プラズマって大きく3つの分野があって、①基礎研究 ②応用研究 ③核融合 なのですが、その時、春日に核融合の大きな装置ができたところでしたので、核融合をやろうと思っていたところ、その時の主任の先生に「若い時にいきなり核融合をやったらダメ。まずプラズマの基礎の勉強をしないと」とって懇々とと言われてあまり考えなしにその研究室に入りました。特に企業に行くイメージもなかったので、そのまま博士後期課程まで行きました。博士後期課程1年生の時に「長崎大学でプラズマの応用をやっている先生が助手を探しているから行かないか」という話になって、大学を中退して長崎へ行くことに。

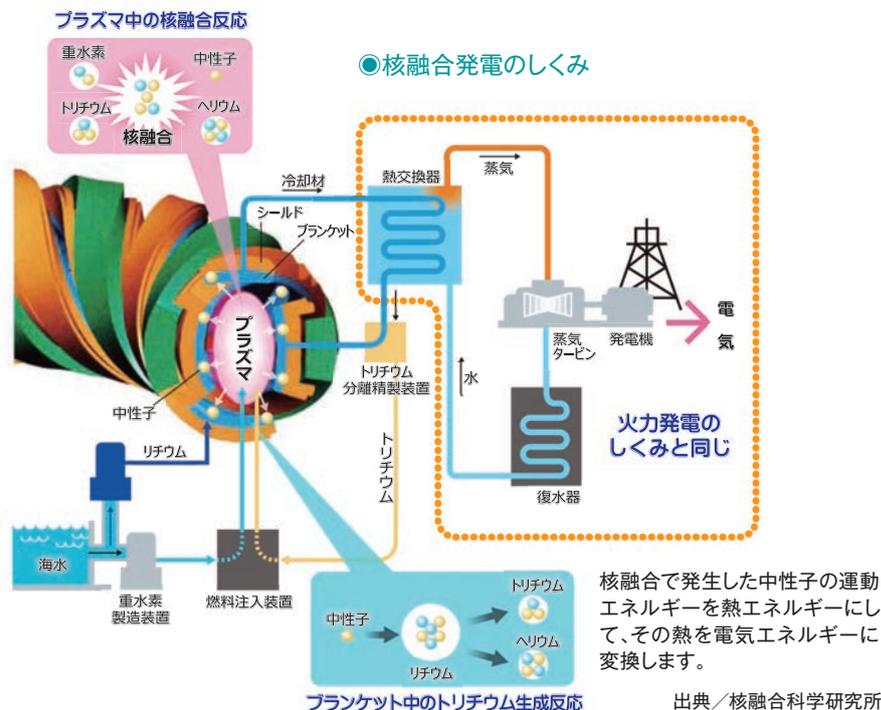
**応用の世界に移ったということですか?**

**大野** そうです。プラズマを使って太陽電池を作るとか、刃物の表面に膜を作って寿命を延ばすとか、ラップに酸素のプラズマを当ててぺたぺたくつくようなフィルムにするとか、そういう実験をしていました。3年位経った時、今度は「名古屋大学で高村先生が助手を探してるから行け」と言われて。関門海峡を越えることは抵抗があったんですけど(笑)、元々名古屋大学にプラズマ研究所ができたのが日本でのプラズマ研究の始まりで、プラズマの世界では名古屋がメッカということもありまして、とにかく行ってみよう。

## 核融合発電実現のための重要ポイント

**核融合は名古屋大学に来られてからなんですね。**

**大野** はい。ラッキーだったと思うのは、結局プラズマの基礎も応用も核融合も全部一応渡り歩いたので、全分野に知った人達がいるということ。核融合発電って、数秒の短い時間



## 准教授 田中宏彦

TANAKA, Hirohiko

2008年 名古屋大学卒業。  
2010年 日本学術振興会特別研究員。2011年 名古屋大学博士課程修了(博士(工学))。同年 核融合科学研究所 助教。2015年 総合研究大学院大学 助教(併任)。2016年 名古屋大学 助教。2022年 同大 准教授。

●趣味・好きなこと／コロナ禍により基本は家の中ですが、休日はいつも子供と遊んでいます。TV番組の「ピタゴラスイッチ」に出てくるような、ボールが転がるコースをたくさん作っています。



ならもうできるんです。理論上は確立されていて、今は工学的な、長時間実現させるための研究段階になっていると言えます。でもまだまだ不可解なことがたくさん起きるので、分野をまたがった協力は不可欠なんです。今の大きな課題は、核融合炉の壁の材料です。高温に強いタングステン(記号:W)にプラズマを当てたらどうなるかという研究を、私たちはここ十数年メインテーマとしています。

**重水素と三重水素、ヘリウムのプラズマですね。何が起きるんですか？**

**大野** ヘリウムでプラズマを作って金属の材料に打ち込むと、材料の表面がポロポロになっていくんです。それは私たちが1996年位(当時はまだ壁の材料として炭素が世界中の潮流だった)に主張していたんですが、当初誰にも信じてもらえなくて、IAEA(国際原子力機関、International Atomic Energy Agency)で壁の材料を考えるワークショップがあって、そこで追試までして初めて信用してもらったという経緯があるんですが、今はタングステンとヘリウムプラズマの研究が世界中の主流の研究になっています。

## 新エネルギー開発の魅力

**田中先生がプラズマの研究をしようと思われたきっかけは？**

**田中** 私はどちらかと言うと核融合一本やりに近くて、今むしろ分野を広げないといけない状況に来ています(汗)。元々

は中学で「数学楽しい」と思って、高校で物理を習い始めたから「物理楽しい」となって。例えば自転車で坂道を下る時に「あ、位置エネルギーが運動エネルギーに変換されてる!」と考えたり、自然界の法則がわかってきて、ますます楽しくなりました。その頃、雑誌の『Newton(ニュートン)』に載っていた記事を見て「核融合というものがあるんだなあ」と思ったんですね。

**高校生ですでに核融合に注目されていたんですね。**

**田中** 当時はまだ、新エネルギーの一つとしてですけどね。それで高校3年生になって進路の選択の時に、当時はイラク戦争が起こって資源の偏在の問題を意識するようになり、また好きな物理が活かせる道を考えて、新エネルギーが学べそうな名古屋大学の電気系(電気電子・情報工学科)に進みました。でも学部1年生の時に受講したプログラミングがすごく面白くて、実は一時情報系に心惹かれましたし、4年生の研究室配属では太陽光発電も選択肢でしたが、元々の志望動機と発展可能性を考えて、核融合の研究を行っている大野哲靖研に入りました。幸い、4年生でプログラムを使うような研究テーマを与えてもらえて、楽しく学ぶことができました。

**両方叶った、みたいなの？**

**田中** そうですね。それで企業就職ではなく博士課程に進学しました。大野先生からは素晴らしいご指導をいただいて。

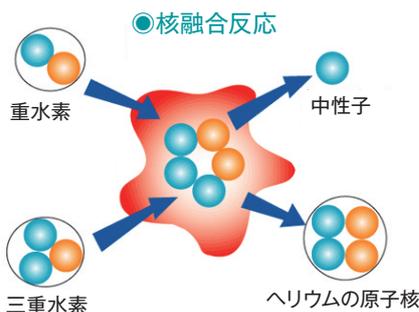
**大野** ご指導は何もしていないよ。優秀な人は何も指導しなくても大丈夫なので。

情報ではない分野で情報の技術を持っているっていうのは、すごい力になるんですね。そのマインドって、やっぱり学生の時でないとなかなか育たない。だから実験と解析、計算がちゃんとできる人が今後は人材として重要だということは以前から思っていたんですが、田中先生はうってつけでした。

## プログラミングを駆使して

**今となっては、核融合研究にとってプログラミングは不可欠でしょうね。**

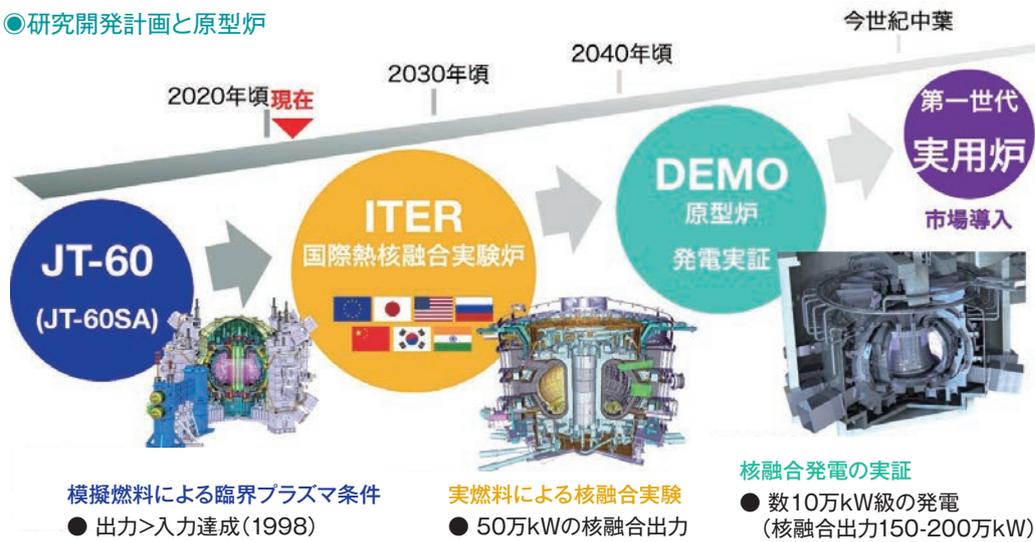
**大野** 計算だけでなく実験もわかる技術者というのは、今後最も重要だと思います。



核融合科学研究所のサイトより  
[https://www.nifs.ac.jp/ene/qa/qa\\_02.html](https://www.nifs.ac.jp/ene/qa/qa_02.html)



◎研究開発計画と原型炉



田中先生は、難解なプログラミングを当時からやっていたので「もう任せた」ということで、学生の時にすでにプログラムを使った実験解析のプロ 辻義之先生(流体の専門家)と二人で、学会誌に解説記事を書いたりしています。今でもその記事は最もダウンロードされた記事となっています。論文も、博士課程1年生までの間に主著3本、共著も合わせると5本書いたよね。

どういう内容の論文なんですか？

田中 基本的には、様々な揺れている信号をプログラムで解析していました。

大野 そういう技術を持っている人はいろんな装置で重宝がられるんですね、共同研究をやっているときに。もちろん

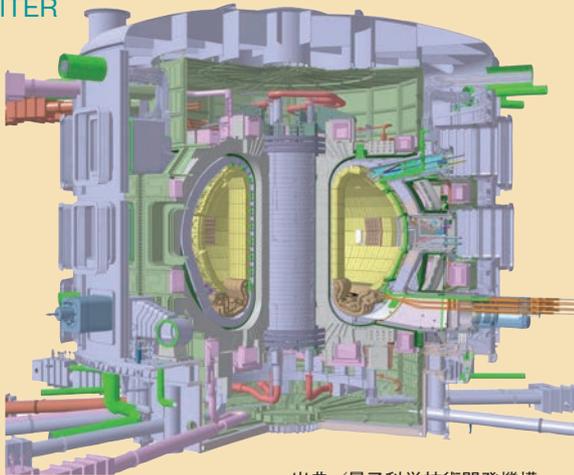
うちの装置の解析もやりますし、<sup>なか</sup>那珂核融合研究所にあったJT-60や、核融合科学研究所のLHDといった大型装置のデータも彼が解析していました。だから、博士論文はそれから核融合装置のいろんなデータを対象に解析を行っていて、多くの人たちが彼の実力を認めて一緒にやってくれたので、それは非常に良かったと思いますね。

研究開発の進行状況は？

核融合研究は現在どんな進行状況ですか？

大野 世界各国(日本、欧州連合(EU)、ロシア、米国、韓

◎ ITER



●技術目標

- ◇ 入力エネルギーの10倍以上の核融合出力が得られる状態 ( $Q>10$ )を長時間(400秒間以上)維持する。
- ◇ 超伝導コイル(磁場生成装置)やプラズマの加熱装置などの核融合工学技術を実証する

《主要パラメータ》

- ・核融合出力 500 MW
- ・プラズマ電流( $I_p$ ) 15 MA
- ・プラズマ大半径(R) 6.2 m
- ・トロイダル磁場強度( $B_t$ ) 5.3T
- ・プラズマ小半径(a) 2.0 m

運転開始：2025年

核融合(DT)運転開始：2035年

◎巨大なプラント(フランスに建設中のITER)



建設中のITER内部





#### NAGDIS-II(部分)

電極を入れる、レーザーを入れる、プラズマが発光しているところから、「お前ちょっと温度高いんじゃないとか、密度高いんじゃないの?って色をうかがったりします(笑)」

国、中国、インド)で研究しており、核融合の原理はほぼ解明され、実証実験を行うための共通の核融合炉(ITER(イーター))をフランスに建設中です。これを10年位かけて作って10年位で研究し、その後もっと実用的なものを作ろうということになっています。日本にも実験装置を遠隔操作する拠点が作られ、実証試験が行われています。

**この核融合炉の壁に(前述の)タングステンを使えるのではないかとということですか?**

**大野** ITERは核融合発電を実現できるか実証するための実験装置なのですが、すごく大規模なので気軽に試すことはできませんし、まずはうちの研究室にあるナグディス(NAGDIS-II)を使って研究しています。これは私等が設計した装置で、名前は名古屋ダイバータープラズマシミュレーターの略。結構密度が高いプラズマを作れるんですが、田中先生

が学生の頃随分改良してくれて、さらにどんどん密度が上がって、それを計測するための技術もどんどん高度化したので、「ここで一緒に研究をしたい」と世界中から研究者が訪ねて来られます。

**密度の高いプラズマってどうやって測るんですか?温度はどれ位?**

**大野** 温度は大体数万℃位になります。計測には3つの手法があって、(1)レーザートムソン散乱計測 という名前があるんですけど、そういうレーザーを使った計測。これがこの業界では一番信頼性が高いと言われています。(2)プラズマの発光から密度・温度を出す手法 (3)電極を短時間だけ入れて溶けないうちに出して電氣的に測る手法 この装置は3つとも持っていて、プラズマの温度や密度がどうなっているか等、全てわかるよう計測は結構凝っていて、プラズマがトータルでわかるように計測装置が山のようについています。

## 織り成す未来へ

**レゴで作られた装置(NAGDIS-II)が楽し気ですが、趣味は?**

**田中** 最近の子供(6歳)と遊ぶことが中心ですね。それからレゴテクニック(モータ、歯車や車軸、タイヤ等の機構部品が入っているレゴのシリーズ)をがんばっています。最近ではモータのある製品を買い足したので、さらにいろいろもっと遊べますね。子供を理系方向へと誘導しています(笑)。

レゴでNAGDIS-IIを作ってみた!  
(大野研有志作)



NAGDIS-II(下)と操作風景(右): 核融合装置で生み出される高熱流のプラズマが当たる壁の材料やその様子、およびプラズマを濃くする(密度を上げる)ための研究等を行っている。



◎装置説明



▲直線型ダイバータ模擬実験装置NAGDIS-II

オレンジ色の部品は強力な電磁コイルであり、収束された長細いプラズマに対して、多種多様な計測ができる。ITERの壁材料として使用予定のタングステン(高融点金属)に、軽い原子のヘリウムプラズマを照射して表面を観察することで、「綿毛状の変な構造ができる」ことを発見した装置。

その発見が、光を吸収するような応用や、表面積が大きくなることを利用した光触媒の研究にも発展している。

▶昇温脱離ガス分析装置TDS

下部の青と銀色の箱が赤外線加熱できるオープンになっており、約1800℃まで加熱できる。金属は加熱することにより、内部に吸蔵されていたガスが抜け出てくるが、その原子・分子の質量数やその量を、上部に取り付けられた2台のQMS(四重極質量分析器)で計測する。外観は似ているが、右側はより高性能で、質量がほぼ同じヘリウム原子と重水素分子(ともに4u<sup>\*</sup>)をも分解できる。

核融合炉のプラズマやガスは、燃料の水素と反応生成物のヘリウムが混ざった状態となっており、複合的な効果を調べるために開発された装置。

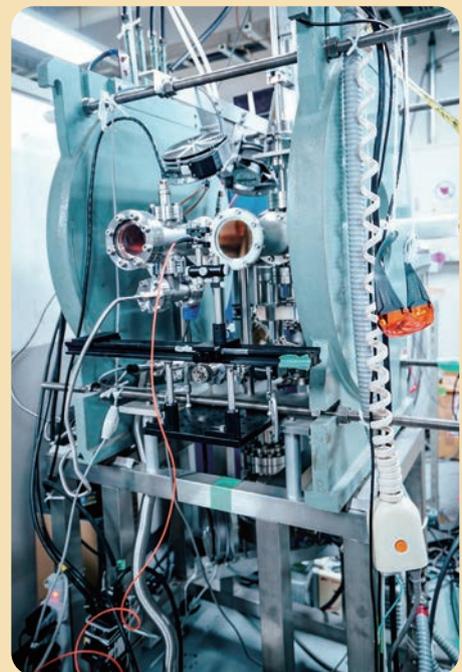


\*u: 統一原子質量単位 (atomic mass unit)。分子、原子、原子核、中性子、陽子などの質量を表すのに用いる単位である。  
1個の陽子あるいは中性子の質量にほぼ等しく、 $1u=1.66054 \times 10^{-27} \text{kg}$

▼高性能プラズマ照射装置 Co-NAGDIS

NAGDIS-IIIに学生が集中し、新しい実験が順番待ちになるという状況が起きたので、「そこまでのプラズマの長さや計測装置は要らない」という実験用に開発された、小さいながらもパワフルなプラズマ装置。特有の利点は、比較的低い温度帯(室温~500℃)の材料照射実験が可能なこと、空冷により温度の微調整ができること。

プラズマ化するガスの種類としてヘリウムを使用することが多く、タングステンへの照射が中心だったが、最近はいろいろな組み合わせも試している。電極材料としてトゲトゲのシリコンを作製したり、窒化ガリウムに凸凹構造を作ることで発光デバイス(ランダムレーザー)用の素子として応用する研究も行われている。《→ P18「研究報告07」参照》



先生お二方とも大変お優しいそうですね。

大野先生も趣味をお持ちですか？

大野 子供のころからずっと続けている趣味は将棋で、高校の頃は県の大会で優勝したこともあるくらい一生懸命やっていました。最近「観る将」という言葉があるんですが、インターネットで一応毎日棋譜はチェックしています。またまた余談ですが、大分昔に、瀬戸でオーケストラをやっている核融合研究仲間に、メンバーの方から「うちの子供は一日中将棋ばかりしてますが大丈夫でしょうか」と相談があったんです。「将棋は頭にいいからいいと思いますよ。」なんて答えたんですが、それが藤井聡太さんのお母さんだったと後から分かって驚きました。一日中将棋をする小学生って、集中力がすごいですよね。

では、そんな未来ある若者にメッセージを。

大野 太陽電池や核融合はもちろん、例えば半導体を作るプロセスの80%以上でプラズマの技術が使われていて、「2nm(ナノメートル)で溝を彫る」みたいな話も、プラズマの技術を高めないとできない話なんです。最近ですと生物にプラズマを当てると生育が早くなるということで生物の人たちと一緒に仕事をしたり、材料の人と一緒に仕事をしたりします。プラズマの技術が一つの軸になって、分野の横断で海外の人たちともどんどん繋がりを持って、半導体を良くしたり太陽電池を安くできたり、エネルギー問題を解決に向けられたらとてもいい世界が来ると思います。ぜひそういう所へ進んでもらえたらと思います。

聞き手・文/IMaSS広報委員会 池永英司、小西雅代