



**NINS**  
National Institutes of Natural Sciences

主催 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 <http://www.nins.jp/sympo25.php>



第25回自然科学研究機構シンポジウム

# プラズマが拓く 無限の可能性

「エネルギー、医療、産業、そして宇宙」

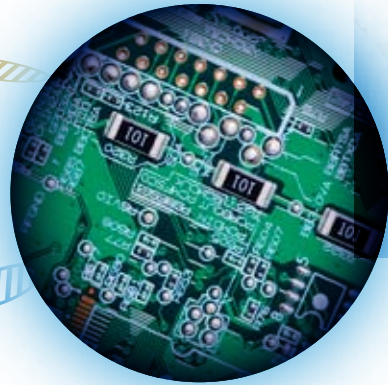
2018年 **3月11日** [日]  
12:50 - 16:10 (開場12:00) **参加無料**

**NINS**  
National Institutes of Natural Sciences

主催 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

後援 国立大学法人 名古屋大学





## [プログラム]

12:00～ **開場** ～パネル展示(展示会場にて研究所紹介など)

### 開会

12:50～13:00 **開会挨拶**  
小森 彰夫 (自然科学研究機構長)

### 講演

13:00～13:40 **プラズマ研究の拡がり、人工太陽への挑戦**  
長壁 正樹 (核融合科学研究所 大型ヘリカル装置計画実験統括主幹・教授)

13:40～14:10 **細胞を生かすプラズマ治療に向けて**  
石川 健治 (名古屋大学大学院 工学研究科 附属プラズマナノ工学研究センター 特任教授)

14:10～14:40 **日常の電子機器を支えるプラズマ**  
イヴァン・ガナシエフ (芝浦メカトロニクス株式会社 技術本部研究開発グループ技監)  
中部大学 客員教授

〈休憩20分〉

15:00～15:30 **生体材料の表面機能を操るプラズマ技術**  
大矢根 綾子 (産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員)

15:30～16:00 **宇宙プラズマの嵐から地球を守れ**  
草野 完也 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所長・教授)

### 閉会

16:00～16:10 **閉会挨拶**  
竹入 康彦 (自然科学研究機構 核融合科学研究所長)

※講演タイトルは変更になる可能性があります。



小森 彰夫

Komori Akio

自然科学研究機構 機構長

- ▶ 1978年 東北大学大学院 博士課程修了 (工学博士)
- ▶ 1979年 米国オークリッジ国立研究所(核融合部門)研究員
- ▶ 1981年 東北大学工学部助手
- ▶ 1984年 九州大学大学院 総合理工学研究科助教授
- ▶ 1993年 核融合科学研究所助教授
- ▶ 1997年 核融合科学研究所教授
- ▶ 2009年 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所長
- ▶ 2016年 大学共同利用機関法人自然科学研究機構長
- ▶ 2017年 一般社団法人国立大学協会会長補佐

平成18年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞研究部門受賞  
平成25年度 プラズマ・核融合学会賞 第21回 論文賞受賞

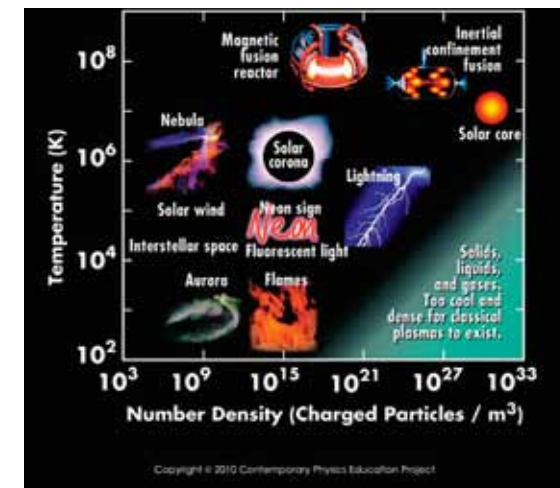
# プラズマ研究の拡がり、 人工太陽への挑戦

**長壁 正樹** (核融合科学研究所 大型ヘリカル装置計画実験統括主幹・教授)

太陽・オーロラ・雷・炎など、古くから人類は、これら光り輝くものに畏敬の念を覚え、また、時にこれらのエネルギーを利用しながら、過ごしてきました。物質の温度を上げると、固体から液体、液体から気体へと変化していきますが、気体の温度を更に上げると、この光り輝くものに変化します。この光り輝くものは、物質の「第4の状態」、プラズマと呼ばれています。

上述のとおり、プラズマは一般に温度が高いものですが、実際には図1に示しますように、その成り立ちや使用目的に応じて、様々な温度のプラズマが存在します。例えば、私たちが行っている核融合エネルギー開発の研究では、1億度以上の温度のプラズマを必要とします。一方、医療を目的としたプラズマの温度は数千度程度です。温度や密度に応じて性質を変えるプラズマについて、医療・産業・エネルギー開発など、様々な分野へ活用することを目指して、研究が進められています。

私の講演では、化石燃料の枯渇や温室効果ガスによる地球温暖化が懸念される中、高温・高密度のプラズマ中で発生する核融合反応を新たなエネルギー源として電気を作り出すという、核融合発電についての研究をご紹介します。太陽は核融合反応によって輝き続けているため、核融合発電を実現するための研究は、地上に太陽を実現する研究とも言えます。核融合発電を実現するためには、温度が1億2千万度、1ccあたり100兆個の密度のプラズマが必要ですが、私たちが研究をしている核融合科学研究所でも、長時間運転が可能な大型ヘリカル型装置(LHD)において、すでにイオン温度1億2千万度を達成しています。また、現在は日欧を中心とした世界7極の国際協力により、国際熱核融合実験炉(ITER)の建設が進められており、核融合反応のエネルギーを利用したプラズマの燃焼維持が計画されています。世界中で進められる、人工太陽の実現を目指した高温プラズマ研究の最新動向について、ぜひご覧ください。



【図1】  
自然界のプラズマと、核融合を  
目指したプラズマの温度と密度  
Copyright ©2010 Contemporary  
Physics Education Project



【図2】 大型ヘリカル装置(LHD)の内部。LHDは、岐阜県土岐市の核融合科学研究所  
(自然科学研究機構を構成する研究所の一つ)に設置されています。

## PROFILE

核融合科学研究所 教授。大型ヘリカル装置計画実験統括主幹。  
1988年、名古屋大学工学部卒業。1994年、JSPS特別研究員(DC)。  
1995年、総合研究大学院大学数物科学研究科博士課程修了、博士(学術)。  
同年、核融合科学研究所助手。2008年、核融合科学研究所准教授。  
2013年、核融合科学研究所教授。2015年より現職。  
専門は、プラズマの高温度化とプラズマ中の高エネルギー粒子の振る舞いに関する研究。  
受賞歴は、文部科学大臣表彰(2014年)。

## KEYWORDS

- プラズマ** 物質の第4の状態。物質が電離してイオン・電子が集団を形成している状態。一般的に数千度以上の高温度を持ち、温度・密度は状態によって様々。
- 核融合発電** プラズマ状態である粒子が磁場に巻き付く性質を利用し、強い磁場を用いて高温プラズマを閉じ込め、核融合反応を起こさせてエネルギーを取り出す。磁場閉じ込め核融合を目指す大型プロジェクトとして、量子科学技術研究開発機構(QST)のトカマク装置、自然科学研究機構(NINS)の大型ヘリカル装置が代表的。
- ITER** 日本・EU・ロシア・米国・韓国・中国・インドの世界7極の協力により進められている、核融合を目指した実験装置。50万キロワットの核融合出力を長時間にわたって実現し、核融合エネルギーが科学・技術的に実現可能であることを実証することを目的としている。

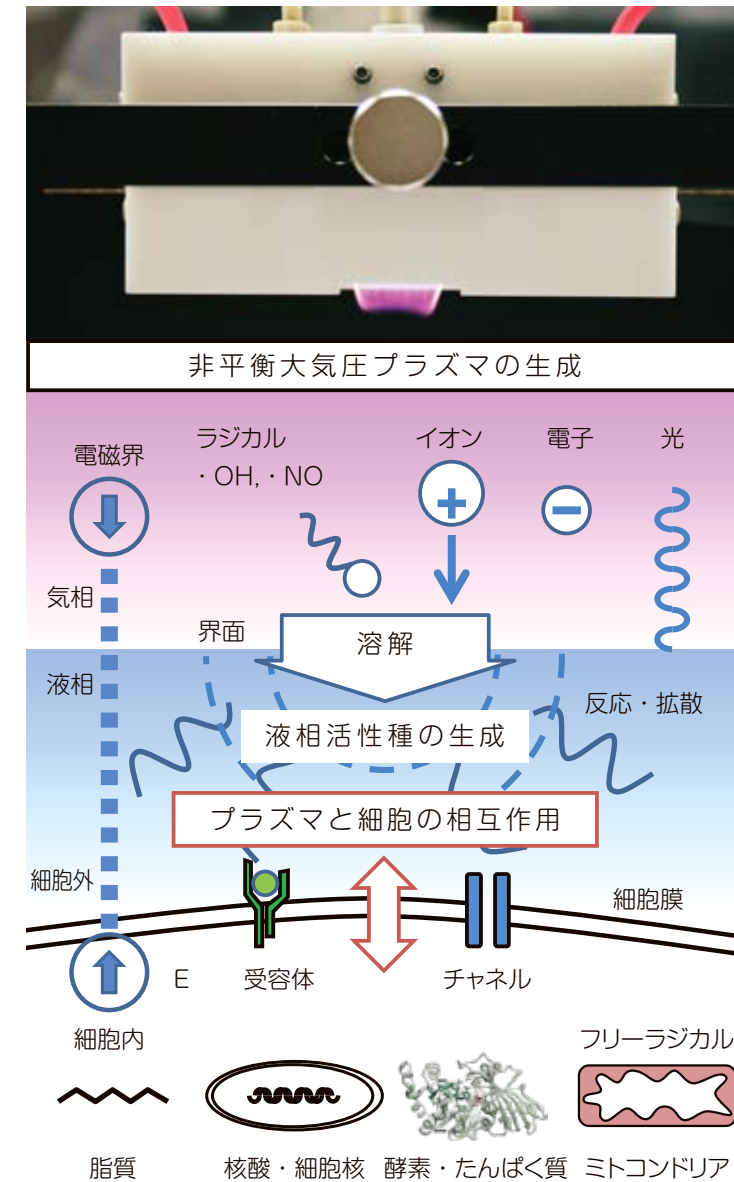


# 細胞を生かすプラズマ治療に向けて

**石川 健治** (名古屋大学大学院 工学研究科 附属プラズマナノ工学研究センター 特任教授)



不治の病がプラズマで治ったらどうなるでしょうか。先進国では3人に1人が「がん」で亡くなっています。手術で治せず、薬物耐性や放射線治療の厳しい病状には、新たな治療の展開が望まれています。患部にプラズマを照射したりプラズマ効果が及んだりすると、免疫抑制作用の少ない治療となる可能性が見いだされました。プラズマ[活性粒子(ラジカル、イオン、電子、光)の集合体]を生体に、もちろん大気圧下・体温程度で照射すると、がん細胞の自滅(アポトーシス死)や中枢神経細胞の再生という新現象が見いだされたのです。最新のプラズマ医療では、プラズマの照射が出血を止め、かつ炎症を軽減するなど、患者への負担の少ない未来医療創成への可能性が示されています。プラズマの照射によって、「死滅」と「再生・増殖」に関する発見が、細胞死、増殖、分化などの現象として普遍的に捉えられれば、生体内の分子機構が統一的に理解され、プラズマ照射によって誘起される細胞を賦活化させる能力を使いこなせることになります。現在、科学界総出でプラズマ科学、医科学、分子生物学、生化学、生命農学、細胞生物学の叡智を統合し、研究が世界的に進んでいます。「プラズマ医療科学」は、生体の機能を制御するための基礎学理を切り拓き、プラズマ医療、プラズマ農水産という新たな未来産業を拓く羅針盤となり、難病治療や食糧不足などの地球規模の課題解決の推進に大きく貢献することが期待されています。



【図】プラズマが細胞を生かす仕組み

## PROFILE

名古屋大学プラズマ医療科学国際イノベーションセンター特任教授。博士(工学)。  
2009年、同学工学研究科プラズマナノ工学研究センター特任准教授。2011年、同特任教授を経て、2013年より現職。東北大学大学院博士課程修了。2013年、第11回応用物理学会プラズマエレクトロニクス賞受賞。プラズマプロセスに関わる材料中常磁性欠陥や生体中フリーラジカルの電子スピン共鳴その場検出法を開発し、現在プラズマ医療やプラズマ農水産などのバイオプロセス応用にむけ、目下、生体内ラジカルや代謝物の解析を行い、プラズマ生化学の基礎学理構築を目指している。専門はプラズマプロセス。

## KEYWORDS

- 活性酸素窒素種** 反応活性な酸素や窒素を含む原子や分子の総称。主にヒドロキシラジカル(·OH)、過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、一酸化窒素(·NO)などのフリーラジカル。
- 液相活性種** 生体には水分が大半を占めており、プラズマの作用によって細胞を取り囲む水の中に発生する活性酸素窒素種や有機物のこと。
- 止血** 噴出性と漏出性の出血があり、それら血の流出を止めること。

# 日常の電子機器を支える プラズマ

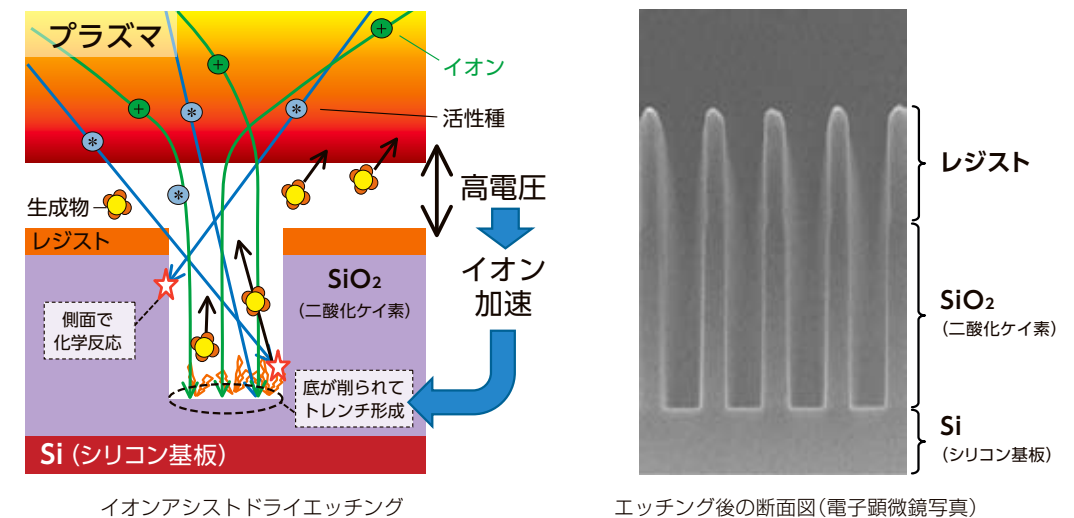
**イヴァン・ガナシェフ** (芝浦メカトロニクス株式会社 技術本部研究開発グループ技監  
中部大学 客員教授)



現代の電子機器は、膨大な情報（データ）を入・出力、保存、処理ができます。これによって、21世紀の情報を中心とした経済・社会の発展が続いていきます。そのデータを処理・保存するのは、微細電子デバイス（トランジスタなど）からできている半導体ICチップ及び超均一の磁性・光学膜を使ったデータストレージ媒体です。トランジスタは、超高速の電子スイッチであり、最新の最強コンピューター用 CPU（中央処理装置）には 192 億個のトランジスタがあります。初期（昭和 22 年）のトランジスタ 1 個は約 5×5 センチあり、これで 192 億個の CPU を作ろうとすれば、50 平方キロメートル（名古屋千種区の面積の約 3 倍）が必要となりますが、最先端のトランジスタのサイズは 100 ナノメートル（髪の毛直径の約千分の 1）以下と超微細になり、192 億個が 2×2 センチに収まるのです。70 年で面積は 2500 億分の 1 まで小さくなりましたが、それを可能にしたのは、プラズマ処理なのです。

シリコンチップの上に膨大な数の超微細なトランジスタを成形するためには、【超薄膜の成膜】→【フォトリソのスピンド塗り】→【微細パタンの UV リソグラフィ（写真平板）】→【フォトリソ現像（レジストの不要部分の除去）】→【レジストで保護されていない部分だけのエッチング（腐食）】→【残りのレジストの除去】を何回も繰り返していきます。プラズマは成膜・エッチングのステップで使われ、特にエッチング（図 1）で不可欠です。

トランジスタ 192 億個の最新 CPU を 5 個集めれば、人間の脳で情報処理を行っているニューロン（神経細胞）と同等になります。スイッチ切り換えは、最新トランジスタの方がニューロンより約 200 万倍速く、AI（人工知能）の若干怖い夢を可能にしつつあります。人類は、その新しい力が暴れないようにどう使いこなすか、21 世紀の最大の課題・楽しみとも言えます。



イオンアシストドライエッチング

エッチング後の断面図(電子顕微鏡写真)

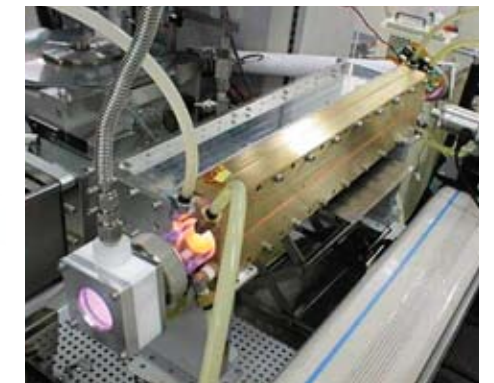
【図 1】 ナノデバイス製造用プラズマエッチングの例



DVD 成膜装置



UV リソグラフィ用  
マスクエッチング装置



リモートプラズマ  
活性種生成ユニット

【図 2】 プラズマを使った電子デバイス・記憶媒体製造装置

## PROFILE

芝浦メカトロニクス株式会社 技術本部研究開発グループ技監、中部大学客員教授。物理学博士(ソフィア大学、1992年)。電気工学博士(名古屋大学、1999年)。1988年～1995年、ソフィア大学(ブルガリア)助手。ソフィア大学、Ruhr大学(ドイツ)、名古屋大学でマイクロ波プラズマの研究を経て、2001年～現職で半導体・電子デバイス製造装置の研究開発に従事。並行して2004年～2008年、名古屋大学特任教授、2008年～中部大学客員教授としてプラズマ理工学の基礎研究・教育で活躍。プラズマ源技術の国際ジャーナルPSSTから2008年に「10年間で最も参照された論文賞」を受賞。著書:「マイクロ波プラズマの技術」(オーム社、2003年、共著)。

## KEYWORDS

- C P U (中央処理装置)** パソコンなどでプログラムの命令列を順に読み込んで実行する電子回路。
- イオン** 電子の過剰か欠損で電荷を帯びた原子や分子。電界中の加速後の高い運動エネルギーが各表面処理に使われる。
- 活性種** 不対電子をもつ原子や分子。化学エネルギーが高く、各プラズマ化学表面処理に使われる。



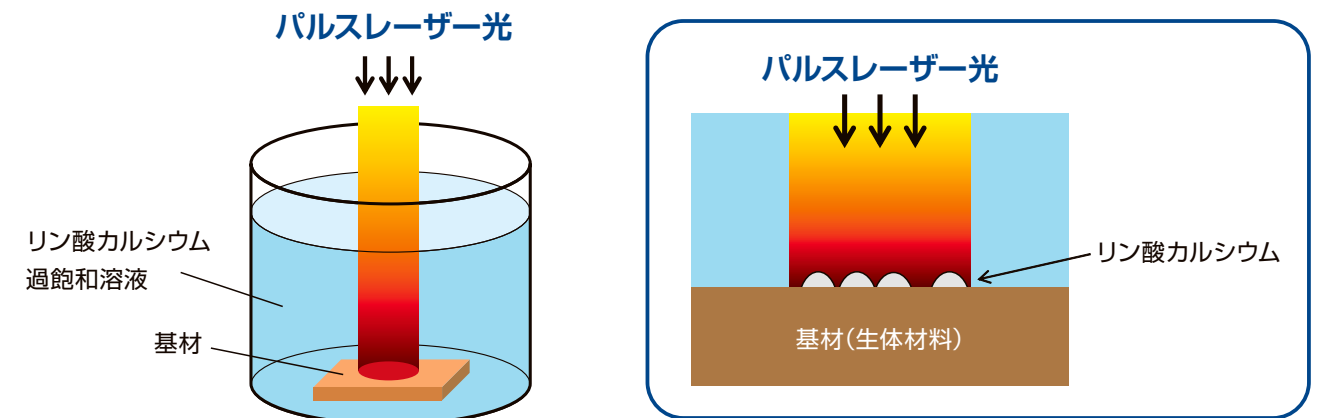
# 生体材料の表面機能を操る プラズマ技術

**大矢根 綾子** (産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員)

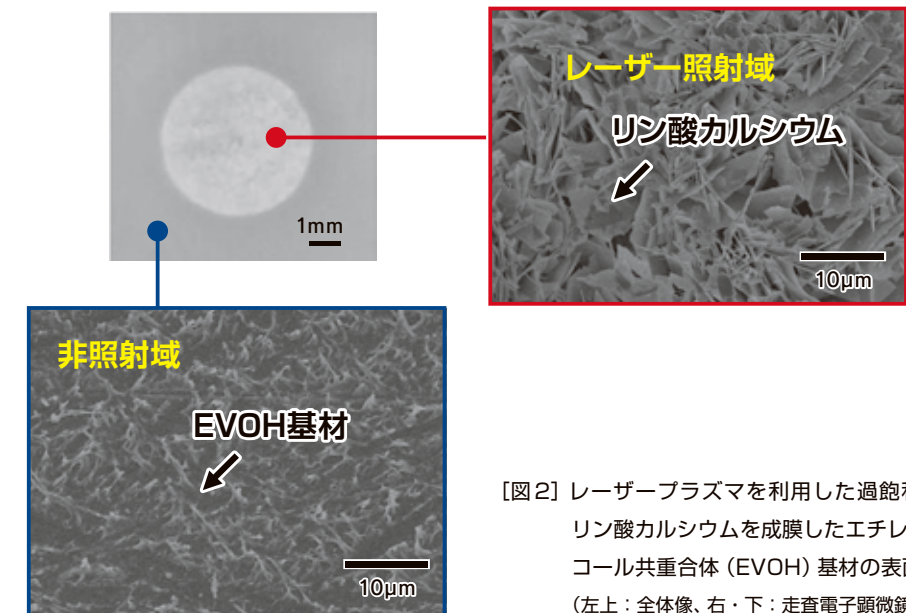


私たちの骨は、有機高分子であるコラーゲン線維の上にリン酸カルシウム(主に水酸アパタイト)の無機結晶が析出することで作られています。一般的な人工材料は骨と馴染まず異物反応を引き起こしますが、アパタイトなどのリン酸カルシウムを表面に成膜すると、その材料は異物反応を回避して骨と良く馴染む(直接結合できる)ようになります。このような性質(骨結合能)は、人工骨や人工歯根に求められる重要な機能の一つです。

従来、生体材料へのリン酸カルシウム成膜には、高温高速のプラズマジェットを用いる溶射法などが用いられてきました。一方私たちは、体液に類似したリン酸カルシウム過飽和溶液を反応場とする「過飽和溶液法」に着目してきました。常温・常圧でも実施可能な過飽和溶液法によれば、低融点基材の表面にも、厚さ数ミクロン程度のリン酸カルシウムを成膜することができます。この際、酸素ガスプラズマやレーザープラズマを活用することで、リン酸カルシウム成膜を簡便・迅速に行うことができます。例えばレーザープラズマを利用する手法では、リン酸カルシウム過飽和溶液中に設置された基材の表面にパルスレーザー光を数十分照射するだけで(図1)、照射領域にリン酸カルシウムを成膜することができます(図2)。さらに、過飽和溶液中にある種の薬効成分(例えばフッ素)を適切な濃度範囲で添加することで、その成分をリン酸カルシウムと基材表面でナノ複合化し、有効濃度で基材から長期徐放させることもできます。このようにして、生体材料に様々な表面機能を与えることができます。本講演では、私たちが開発してきた2種類のリン酸カルシウム成膜技術と、これらの技術を利用した薬剤送達治療への挑戦について紹介します。



【図1】レーザープラズマを利用した過飽和溶液法によるリン酸カルシウム成膜技術



【図2】レーザープラズマを利用した過飽和溶液法によりリン酸カルシウムを成膜したエチレン-ビニルアルコール共重合体(EVOH)基材の表面構造(左上:全体像、右・下:走査電子顕微鏡による高倍率像)

## PROFILE

産業技術総合研究所 主任研究員  
1997年、京都大学工学部卒業。2001年、JSPS 特別研究員(DC2)。2002年、京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)。同年、産業技術総合研究所研究員。2009年より現職。専門は無機生体材料学で、ナノ複合材料の合成技術開発とバイオメディカル応用研究に従事。主な受賞歴は、日本セラミックス協会進歩賞(2009年)、日本バイオマテリアル学会科学奨励賞(2010年)、大学女性協会守田科学研究奨励賞(2013年)、文部科学大臣表彰若手科学者賞(2014年)。

## KEYWORDS

**水酸アパタイト** ヒトの歯や骨の無機成分を構成するリン酸カルシウム化合物の一種。化学式は $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 。他の一般的な人工材料と異なり、異物反応を引き起こさず、生体の組織と良く馴染む。例えば、水酸アパタイトの焼結体を骨の欠損部に埋入すると、その焼結体は線維性の皮膜で覆われることなく周囲の骨組織と直接結合して一体化する(骨結合能)。水酸アパタイトは、骨結合能を示す生体材料として、バルク焼結体や粉体、異種材料への表面コート材などの形で、整形外科や歯科分野で多用されている。

**過飽和溶液** その温度における溶解度を超える量の溶質成分が溶け込んでいる準安定な溶液。



# 宇宙プラズマの嵐から地球を守れ

**草野 完也** (名古屋大学 宇宙地球環境研究所長・教授)

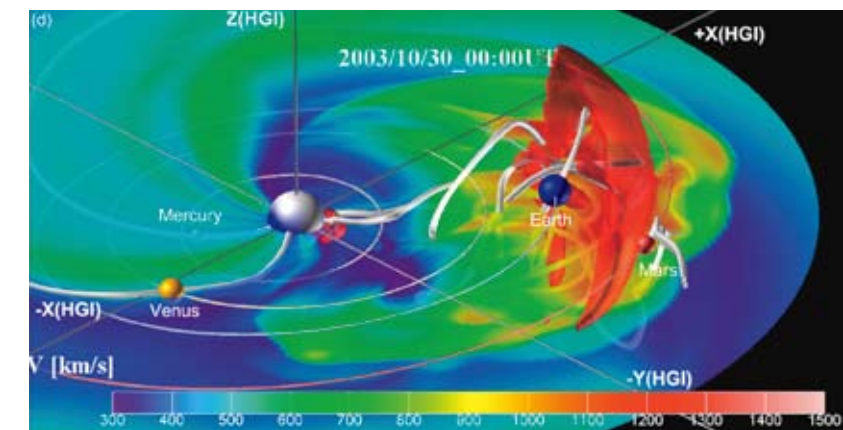


太陽や地球を取り巻く宇宙空間は高温のプラズマで満たされた世界です。このプラズマの世界ではしばしば巨大な爆発が発生します。太陽フレアです。太陽フレアは太陽黒点に蓄積された磁場のエネルギーが突発的に解放される現象であり、太陽系全体に影響を与える巨大爆発です。巨大な太陽フレアが発生すると、太陽から磁場を伴った巨大なプラズマのかたまりが宇宙空間に放出されます。このプラズマのかたまりが地球に到達すると、地球の磁場が大きく乱され、地上の長距離電力網に過大な電流が流れるため、大陸規模の停電がもたらされる危険性があります。また、太陽フレアの際には大量の宇宙放射線も放出され、人工衛星の障害や宇宙飛行士の被曝をもたらす場合もあります。さらに、太陽フレアは地球の電離層を乱し、通信・測位システムの障害を引き起こすこともあります。

歴史的な観測記録や樹木年輪の中に残された宇宙放射線の痕跡から、現代社会が経験したことのない、超巨大フレアが過去に起きていたことも分かってきました。そうしたフレア爆発は現代社会を支える基盤システムに致命的な障害を引き起こし、惑星規模の大規模災害を引き起こす可能性があります。これらの宇宙災害から我々の社会と生活を守るためには、いつ太陽フレアが発生し、どのような影響を地球に与えるかを正確に予測する「宇宙天気予報」が必要です。そのため、私たちは観測衛星がもたらす精密なデータとスーパーコンピュータを使った先進的なプラズマ・シミュレーションによって、太陽地球圏環境の正確な予測を実現するための研究を全国規模のプロジェクトとして進めています。この講演では、宇宙プラズマの「嵐」から地球を守る研究の最前線について分かりやすく解説します。



【図1】 太陽観測衛星SDOで観測された太陽フレアを伴う太陽プラズマの放出現象



【図2】 太陽地球圏の磁場とプラズマ変動を予測する数値シミュレーション結果

## PROFILE

北海道出身、1982年、北海道大学理学部物理学科卒業。  
1987年、広島大学大学院理学研究科物性学専攻博士課程修了、理学博士。  
1987年、広島大学理学部助手、1996年、広島大学理学部助教授。  
1998年、広島大学大学院先端物質科学研究科助教授。  
2004年、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 地球シミュレータセンターグループリーダー。  
2005年、同プログラム・ディレクターなどを経て2009年より名古屋大学教授。  
2017年4月より名古屋大学宇宙地球環境研究所所長を兼務。  
宇宙プラズマ物理学を中心として、宇宙地球環境に関する研究を幅広く行っている。

## KEYWORDS

- 太陽フレア** 太陽の磁場のエネルギーを駆動源として生じる巨大な爆発現象。
- コロナ質量放出 (CME)** 太陽から放出される磁場を伴った巨大なプラズマ。
- 太陽黒点** 太陽表面で比較的暗い領域であり、その周りに比較して強い磁場を持つ。
- 宇宙天気予報** 太陽フレアなどによる宇宙環境の乱れを予測する取り組み。



## 竹入 康彦

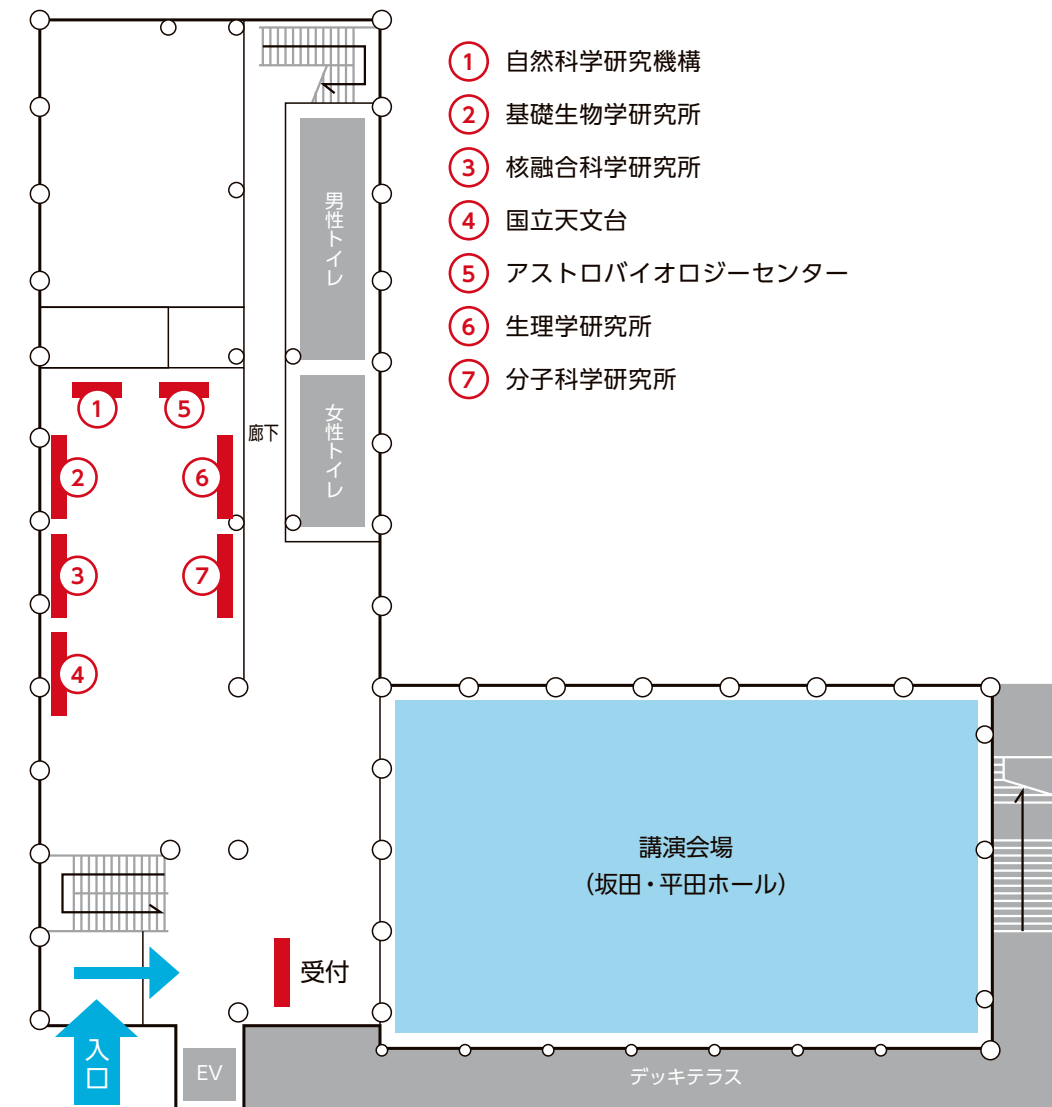
Takeiri Yasuhiko

自然科学研究機構 副機構長  
核融合科学研究所 所長

- ▶ 1981年 京都大学工学部電子工学科卒業
- ▶ 1985年 京都大学ヘリオトロン核融合研究センター助手
- ▶ 1988年 工学博士（京都大学）
- ▶ 1989年 核融合科学研究所大型ヘリカル研究部プラズマ加熱研究系助手
- ▶ 1995年 同研究所大型ヘリカル研究部プラズマ加熱研究系助教授
- ▶ 2004年 同研究所大型ヘリカル研究部粒子加熱プラズマ研究系教授
- ▶ 2009年 同研究所大型ヘリカル研究部粒子加熱プラズマ研究系研究主幹
- ▶ 2010年 同研究所大型ヘリカル装置計画実験統括主幹
- ▶ 2014年 同研究所大型ヘリカル装置計画研究総主幹
- ▶ 2015年より現職

平成26年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞研究部門受賞

## 会場案内図



### 会場

名古屋大学 理学南館 1階 坂田・平田ホール (愛知県名古屋市千種区不老町)

#### 自然科学研究機構が 撮影した写真等について

本シンポジウムで撮影した写真・映像・音声等は自然科学研究機構のホームページ、プレス発表及び広報誌等に個人の特定はできない様に処理した上で公表する場合がありますので、予めご了承ください。