

第21回 自然科学研究機構 シンポジウム

地球にやさしい  
エネルギーの未来

2016年

10月10日 祝月

12:50~16:00 (開場12:00)

(主催)

**NINS**  
National Institutes of Natural Sciences

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

(後援) 朝日新聞社

(会場) 東工大蔵前会館

# プログラム

開場 12:00～

パネル展示 12:00～15:00 ※ 展示会場にて研究所紹介など

開 会

12:50～13:00

機構長挨拶

小森 彰夫

自然科学研究機構 機構長

講 演

13:00～15:50

人工光合成への挑戦

～植物に学ぶ分子デザイン～

正岡 重行

自然科学研究機構 分子科学研究所 准教授

しなやかな光合成

皆川 純

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授

再生可能エネルギーの大量導入を目指した研究開発

—太陽光、風力、地熱からシステム統合技術まで—

仁木 栄

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 研究センター長

休 憩(20分)

海底熱水鉱床の探し方

: 科学的な研究の進展と将来展望

眞壁 明子

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム 特任技術副主任

核融合発電の早期実現に向けて

榊原 悟

自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授

閉 会

15:50～16:00

閉会挨拶

竹入 康彦

自然科学研究機構 核融合科学研究所 所長

※題目はすべて仮題であり、講演者が変更する場合があります。

※パネル展示は、機構本部（新分野創成センター含む）、国立天文台、核融合科学研究所、基礎生物学研究所、生理学研究所、分子科学研究所、アストロバイオロジーセンター及び総合研究大学院大学のブースにより行います。



こもり あきお  
**小森 彰夫**

**自然科学研究機構 機構長**

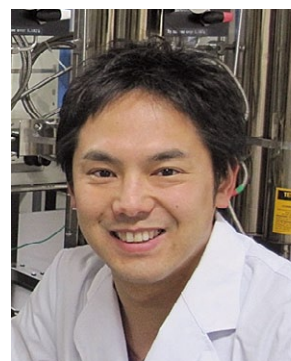
1978年東北大学大学院博士課程修了（工学博士）。1979年米国オークリッジ国立研究所（核融合部門）研究員。1981年東北大学工学部助手。1984年九州大学大学院総合理工学研究科助教授。1993年核融合科学研究所助教授。1997年核融合科学研究所教授。2009年大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所長。2016年大学共同利用機関法人自然科学研究機構長。平成18年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞研究部門。平成25年度プラズマ・核融合学会賞第21回論文賞受賞。

# 人工光合成への挑戦

## ～植物に学ぶ分子デザイン～

### 正岡 重行 (自然科学研究機構 分子科学研究所 准教授)

エネルギー問題の解決は、人類が直面している喫緊の課題です。一つの方策として、太陽光のエネルギーを貯蔵可能な化学エネルギーへと変換する「人工光合成」技術の開発が、近年高い関心を集めています。私たちは、生体機能発現において中心的な役割を果たしている「金属錯体」に注目し、人工光合成システムの構築を目指しています。植物が行う光合成では、二酸化炭素が還元され炭水化物(化学エネルギー)が合成されると同時に、水を酸化して酸素が作られています。後者の「水の酸化による酸素発生」は、炭水化物の生産とあまり関係が無いように思われるかもしれませんが。しかし実際には、この酸素発生反応 ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ) により得られる電子 ( $\text{e}^-$ ) が二酸化炭素を還元し、炭水化物を生産しています。すなわち、酸素発生反応は、エネルギー源生産において「電子の供給」という極めて大きな役割を担っています。人工光合成反応においても、この酸素発生反応によって供給された電子を用いて、水素やアルコールなどの化学エネルギーが合成されます。しかし、酸素発生反応を促進する優れた触媒の開発は極めて困難であり、人工光合成システムの構築に向けたボトルネックであると考えられてきました。私たちは、植物の光合成において、その活性中心がどのように酸素発生能を担っているかを分子科学的に考察することで、新たな触媒開発に向けた分子設計指針が得られるのではないかと考え、研究を行ってきました。試行錯誤の結果、最近、1分子中に5つの鉄イオンを含む人工的な金属錯体触媒が、植物の光合成よりも速い反応速度で水を酸化して酸素を作り出すことを見出しました。本講演では、私たちの最近の研究成果を中心に、金属錯体を用いた人工光合成システムについて紹介します。



#### PROFILE

自然科学研究機構分子科学研究所准教授。博士(工学)。

1999年同志社大学工学部卒業。2004年京都大学大学院工学研究科博士課程修了。同年英国リバプール大学化学科博士研究員、2005年九州大学大学院理学研究院助手/助教を経て、2011年より現職。2009年から2013年まで、科学技術振興機構さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究員を兼任。専門は錯体化学。現在は金属錯体を基盤材料とする人工光合成システムの構築に関心をもつ。

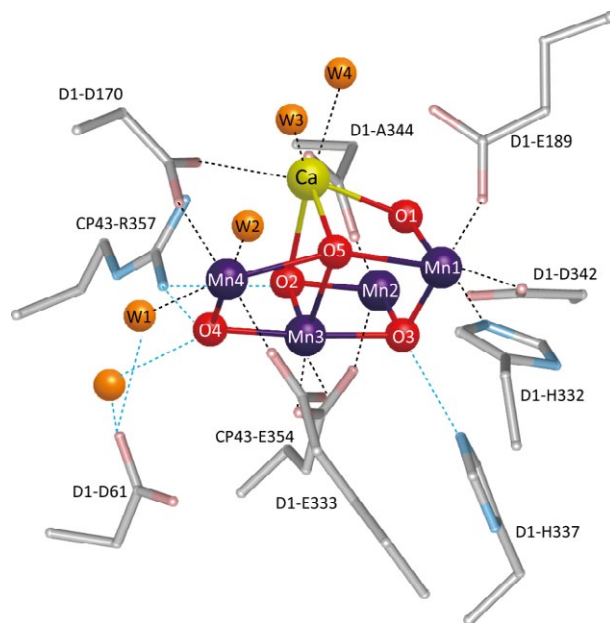


図1 天然の光合成反応における酸素発生反応の活性中心の構造。上の図にある●は水分子の酸素原子。

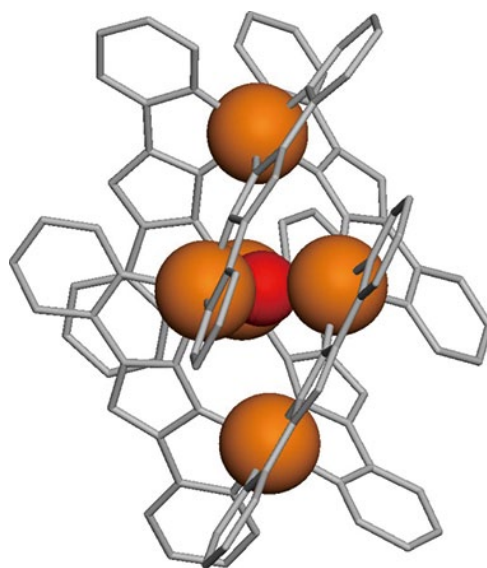


図2 速い反応速度で水を酸化して酸素を作り出すことができる鉄錯体触媒の分子構造。  
5つのオレンジ色の球体が鉄イオンであり、周囲に存在する有機配位子（灰色）により安定化されている。

## KEYWORDS

**金属錯体**：金属イオンと有機分子が結合した構造を持つ化合物。

**人工光合成**：太陽光エネルギーを用いて水と二酸化炭素からエネルギー源を生成する植物の光合成反応を人工的に模倣した反応のこと。太陽光のエネルギーを貯蔵可能な化学エネルギー（水素、アンモニア、メタノール）へと変換できる。

**酸素発生反応**：本研究では、水分子から電子( $e^-$ )と水素イオン( $H^+$ )が放出されることによって酸素が発生する反応のこと。具体的には、右記の化学反応式で表される反応。 $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

# しなやかな光合成

## 皆川 純 (自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授)

光合成は、光と水を使って生命が使える形のエネルギーを得る反応です。光と水は地球上でほぼ無尽蔵に手に入りますから、光合成は究極の持続可能なシステムです。つまり、地球上で誕生した生命が、地球上で持続可能なシステムとして獲得した究極の反応が光合成だったのです。そんな光合成システムを獲得した生物を私たちは植物と呼んでいます。さて、光合成システムには、できるだけ効率よく反応が持続するよういくつかの工夫がこらされていることがわかってきました。あるときは、燃料をふんだんに使ってハイスピードで運行するF1カーのように（でもオーバーヒートしないように気をつけて）、あるときは、スピードは出ないけれども限られた燃料を大事に使う軽自動車のように、同じ植物でも状況に応じて光合成の“モード”を変え、その状況で最適な光合成を行っています。主要な酵素の結晶構造が解明され、人工光合成という言葉が聞くことも珍しくなくなった昨今、生物学者が解明に取り組んでいる“しなやかな光合成”の世界をご紹介します。



### PROFILE

自然科学研究機構基礎生物学研究所環境光生物学研究部門教授。博士(薬学)。

1992年東京大学大学院薬学系研究科博士課程(生命薬学専攻)修了。イリノイ大学博士研究員、理化学研究所研究員、北海道大学准教授を経て、2010年より現職。専門は植物生理学、植物生化学。特に光合成。

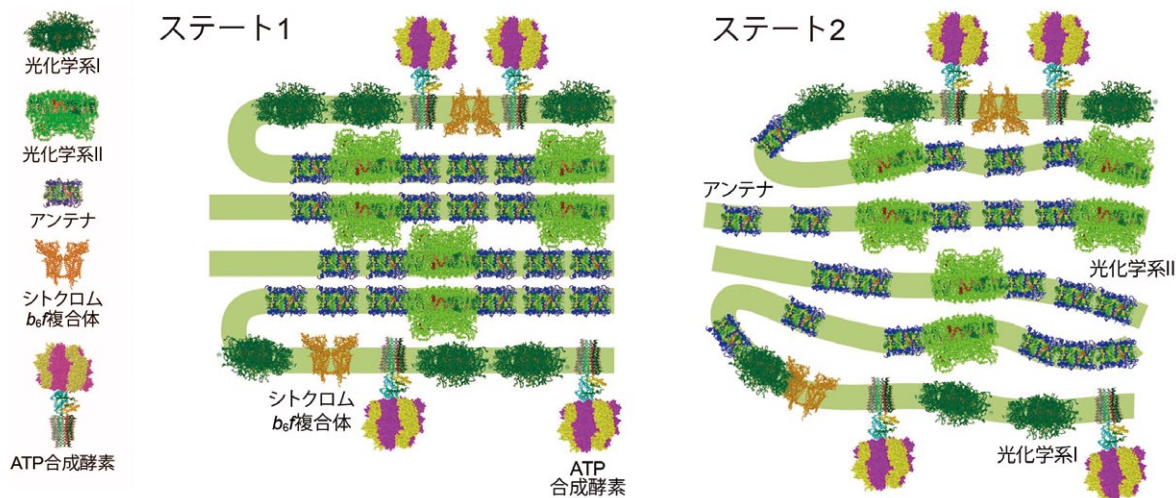


図1 光合成のしなやかさ -その1- ステート遷移

光化学系Iと光化学系IIは結合するクロロフィルaとbの割合が異なるため、当たる光の色によっては励起のバランスが崩れてしまう。そんなときは2つの光化学系の光を集める力を調節してバランスを取り戻す。

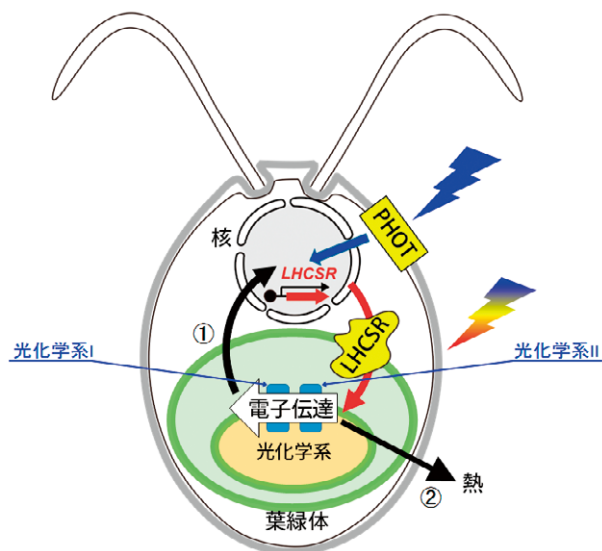


図2 光合成のしなやかさ -その2- qEクエンチング

当たる光が強すぎる時は、LHCIIと呼ばれるタンパク質が合成される。強すぎる光による上昇した電子伝達のシグナルは葉緑体から核へ伝えられ（黒矢印①）、LHCII遺伝子の転写活性を上げる。こうして発現したLHCIIは葉緑体に輸送されて光化学系IIに結する。それ以降は、光化学系IIに集められた光エネルギーは熱として捨てられ（黒矢印②）、光合成には使われない。

## KEYWORDS

**光化学系**：光を集め、そのエネルギーにより電子伝達を引き起こす色素タンパク質複合体。光化学系は、光を集める「アンテナ」部分と光エネルギー・電気化学エネルギー変換を行う「反応中心」部分によって構成されている。酸素発生型光合成を行う生物（陸上植物と藻類）は、2つの光化学系（光化学系Iおよび光化学系II）を協調させて光合成を行っている。光化学系IIは主にクロロフィルaを結合するが、光化学系IIIはクロロフィルaの他にクロロフィルbも結合する。

# 再生可能エネルギーの大量導入を目指した研究開発

## —太陽光、風力、地熱からシステム統合技術まで—

### 仁木 栄 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 研究センター長)



東日本大震災以後日本のエネルギー自給率は6%程度まで低下し、エネルギー起源の二酸化炭素の排出量も過去最大となっています。このような状況の中エネルギーミックスの議論が進められ、エネルギー自給率の向上、発電コストの低減、温室効果ガス排出量の大幅な削減を目指した日本の新しいエネルギー政策が決定されました。再生可能エネルギーは、エネルギー自給率の向上に寄与するだけでなく、CO<sub>2</sub>削減の効果も期待できます。現時点では、日本の総電力量に占める再生可能エネルギーの割合は10.7%（うち水力8.5%）ですが、2030年には再生可能エネルギーの割合を22-24%程度まで最大限に導入する方針が示されています。再生可能エネルギーの最大の欠点はコストが高い点です。また、自然条件によって出力が大きく変動することも再生可能エネルギーの大量導入を困難にしています。再生可能エネルギーの大量導入のためには、発電コストの大幅な低減、低コストな電力貯蔵技術、電力需要管理技術等が必要になります。

福島再生可能エネルギー研究所は、産業技術総合研究所の10番目の地域センターとして、「再生可能エネルギーの研究開発で日本を主導」「新産業の集積を通じた復興への貢献」を目標に掲げて2014年4月1日に福島県郡山市で活動を開始しました。再生可能エネルギーの大量導入や持続的発展を目指して、太陽光発電、風力発電、水素エネルギーキャリア、地熱発電、地中熱利用技術、エネルギーネットワーク等の研究を推進しています。本講演では、福島再生可能エネルギー研究所における研究活動と研究成果を紹介します。

#### PROFILE

客員教授：岐阜大学、鹿児島大学、東京理科大学連携大学院。

1980年3月東北大学工学部応用物理学科卒業。1982年3月東北大学大学院応用物理学専攻修士課程修了。1982年4月～1986年7月松下電送株式会社。1987年9月～1991年3月 カリフォルニア大学サンディエゴ校博士課程（Ph. D取得）。1991年4月通産省工業技術院電子技術総合研究所入所。2000年4月～東京理科大学工学部 連携大学院教授。2001年4月産業技術総合研究所光技術研究部門グループリーダー。2004年4月太陽光発電研究センター 副研究センター長、化合物薄膜チーム長。2011年4月～太陽光発電工学研究センター 副研究センター長。2013年4月～太陽光発電工学研究センター 研究センター長。2015年4月～再生可能エネルギー研究センター 研究センター長。現在に至る。

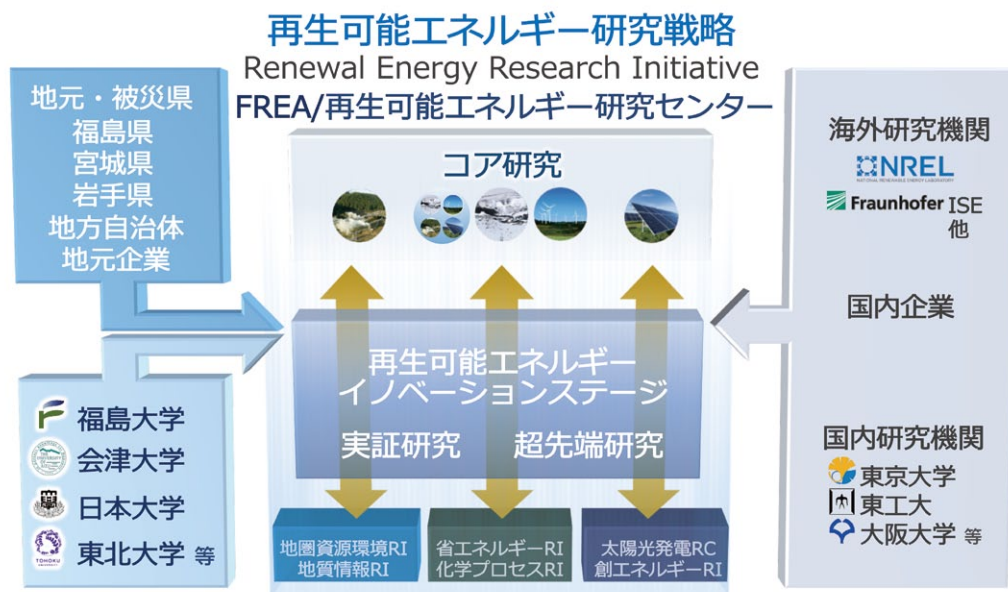




福島再生可能エネルギー研究所の全景



2016年4月に開所したスマートシステム研究棟：太陽光発電用大型パワーコンディショナ（大型PCS）等の分散電源システムの高機能化に向けた先端的研究開発及び試験評価ができる世界最大級の施設



福島再生可能エネルギー研究所における研究戦略

## KEYWORDS

**福島再生可能エネルギー研究所：** 産業技術総合研究所の10番目の地域センターとして2014年4月1日に福島県郡山市に設立されました。英語名、Fukushima Renewable Energy Institute, AIST, を略してFREIAと呼ばれています。

**The Terawatt Workshop：** エネルギー安定供給や気候変動抑制における太陽光発電の役割を考える国際ワークショップが2016年3月17-18日にドイツフライブルグ市で開催されました。世界の太陽光発電研究を先導する産業技術総合研究所、Fraunhofer ISE (ドイツ)、NREL (米国)の3研究機関をはじめ、日独米の産学官メンバー (各国から15名程度、全体で約50名) が参加し、共同ステートメントを策定し、日米独からそれぞれプレス発表されました。

# 海底熱水鉱床の探し方

## :科学的な研究の進展と将来展望

**眞壁 明子** (国立研究開発法人 海洋研究開発機構 次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム 特任技術副主任)

日本の領海・排他的経済水域 (EEZ) の面積は世界第6位です。その領海・EEZ内にメタンハイドレート・海底熱水鉱床・コバルトリッチクラスト・マンガン団塊・レアアース泥などの存在が確認されており、これまでにないエネルギー・鉱物資源として注目されています。海底熱水鉱床は、海底下から噴出する400℃に達する熱水が海底面で0℃付近の冷たい海水と接触して、熱水に溶けていた金属が沈殿することにより生じる鉱石であり鉱物資源です。その一方で、熱水と海水の温度差を利用した「温度差発電」や、熱水に含まれる硫化水素などの還元的な成分と海水に含まれる酸素などの酸化的な成分を利用した「燃料電池型発電」が可能であることが近年の科学調査によって確認されています。

海洋 (国産) エネルギー・鉱物資源は、その開発・実用化に対する期待値が高いものの、光が届かず高圧環境下である深海底の中で、そもそも「どこにどのくらいの量と質の資源が分布しているのか」を知ることは容易ではありません。例えば熱水鉱床は、地質学的制約から東シナ海や伊豆・小笠原海域に分布していることが知られており、長年にわたり科学的な調査がされてきました。本講演では、海底熱水鉱床の調査方法を例に、海底資源調査技術の進展と今後の展望について紹介します。調査は、地形や地質情報に基づく絞込み、熱水成分由来のプルームの検出、探査機による視認・試料採取という流れで行われます。近年は、海面に浮かぶ調査船や深海に潜航する探査機に装備するマルチビーム測深機 (MBES) などを用いた物理探査技術が発展し、従来よりも短期間かつ精度よく対象海域を絞ることが可能となってきました。探査機で直接アプローチして観測した海底熱水域の規模や化学的分析に基づく品位などの情報をフィードバックして、物理探査の情報を精査していくことにより、高効率かつ高精度な資源調査が実現することが期待されます。



### PROFILE

国立研究開発法人海洋研究開発機構 次世代海洋調査技術研究開発プロジェクトチーム 成因研究ユニット 特任技術副主任。博士 (理学)。

2003年東京理科大学理学部応用化学科卒業。2011年東京工業大学総合理工学研究科環境理工学創造専攻博士課程修了。2011年東京農工大学特別研究員を経て2014年より現職。専門は、安定同位体生物地球化学。

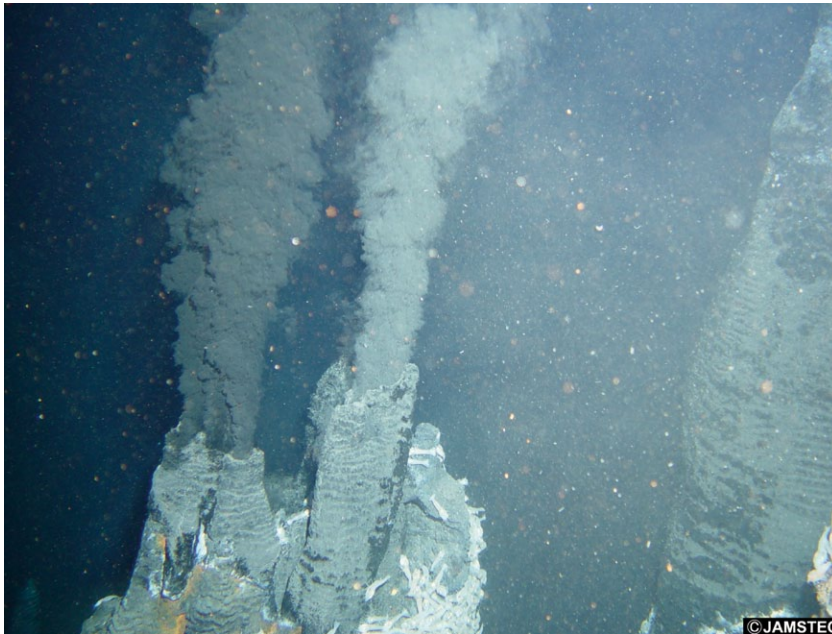


図1 海底熱水噴出孔（チムニー）（カリブ海中部ケイマンライズ BEEBE VENT FIELD）  
熱水が黒色の煙（ブラックスモーカー）のように噴き出しているのが見える。

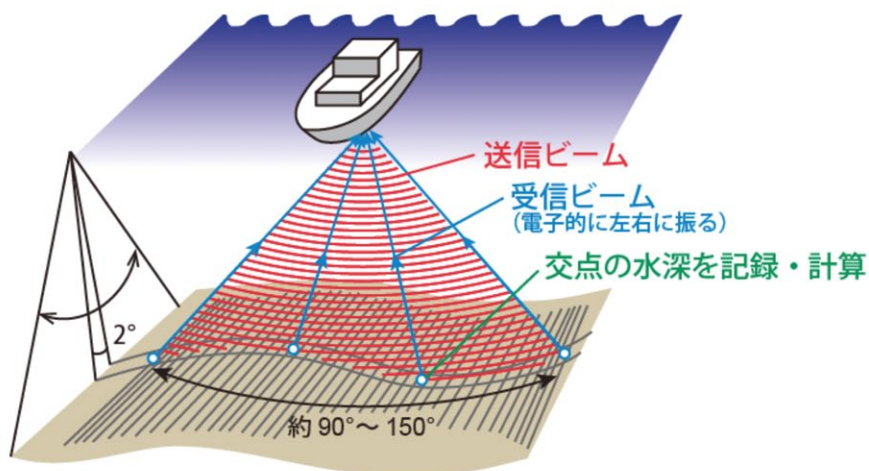


図2 マルチビーム音響測深機による調査の概念図  
海底に向けて音響ビームを送信し、海底からの反射波から海底地形を計測する。

## KEYWORDS

**海底熱水鉱床：** 海底から噴出する金属に富む熱水と冷たい海水が接触することにより、銅、鉛、亜鉛、ときには、金、銀等の金属を含む鉱石が海底面に析出・沈殿したもの。

**マルチビーム音響測深機 (MBES)：** Multi-Beam Echo Sounder。複数の鋭い音響ビームを海底に向けて送信し、海底からの反射波から海底地形を計測するもの。研究船の船底に装備されているものでは12～50kHzの周波数の音波～超音波を用い、一般に地形調査に使われる。

# 核融合発電の 早期実現に向けて

**榊原 悟** (自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授)

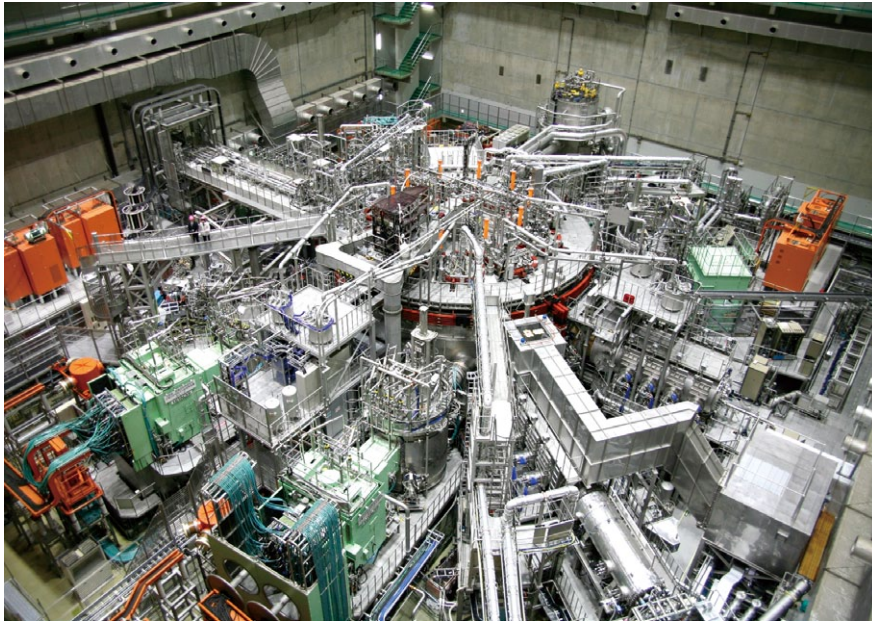


太陽をはじめとする恒星は、核融合反応によるエネルギーで光り輝いています。核融合とは、水素等の軽い原子核同士が衝突することにより重い原子核に変わる現象であり、その際に発生するエネルギーを用いて発電に利用するための研究が国際協力のもとで進められています。恒星内部では水素の原子核同士の核融合反応が主となりますが、この反応を地上で実現する事は困難であるため、より核融合反応が「容易な」重水素と三重水素（水素の同位体）の核融合反応による発電を目指しています。容易といっても、核融合発電が成立する条件は、1億度以上の温度と1立方メートル当たり $10^{20}$ 個の密度からなるプラズマを1秒以上閉じ込めておく必要があります。核融合発電の方式はいくつかありますが、高温プラズマを磁場の籠を用いて閉じ込める方式（トカマク型、ヘリカル型など）が主流であり、1950年代から本格的な研究が開始されました。当初は様々な課題が山積していましたが、プラズマ物理の理解の進展、装置製作技術や計測機器の精度の向上、コンピューターの進化に伴うシミュレーション研究の進展などにより、多くの課題は克服されています。1990年代には欧州、米国において重水素、三重水素を用いた核融合反応実験が行われ、磁場閉じ込め核融合方式の有効性が確認されています。現在では日本やドイツ等での大型実験装置における研究に加え、欧州、日本、米国、ロシア、インド、中国、韓国が協力して国際熱核融合実験炉（ITER）をフランスに建設しており、2020年代から実験を開始する予定です。ITERでは核融合反応により発生するエネルギーが、使ったエネルギーの10倍となる本格的な核融合燃焼実験が行われる予定であり、核融合発電の実現に向けてあと一步の段階にあります。講演では核融合研究の歴史から最新の研究成果についてわかりやすく紹介します。

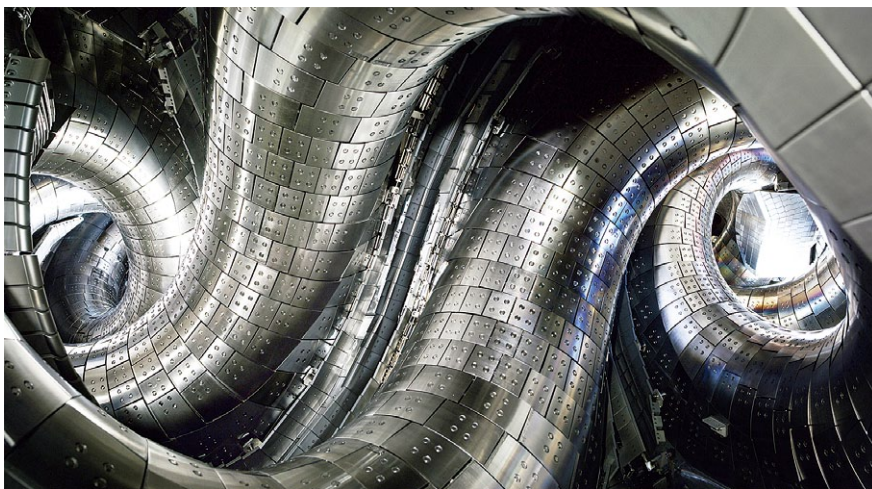
## PROFILE

自然科学研究機構核融合科学研究所教授。博士(工学)。

1995年総合研究大学院大学数物科学研究科核融合科学専攻博士後期課程修了。同年4月核融合科学研究所助手に着任、2004年同研究所助教授を経て2012年より現職。現在、核融合科学研究所ヘリカル研究部高温プラズマ物理研究系研究主幹、総合研究大学院大学物理科学研究科核融合科学専攻副専攻長。専門はプラズマ物理学、特に電磁流体力学的平衡、安定性に関する研究を進めている。2012年文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。



核融合科学研究所で実験を進めている大型ヘリカル装置（LHD）。LHDの周りにはプラズマの加熱装置、計測機器が設置されている。



プラズマを閉じ込めるための真空容器内部の様子（LHD）。よじれた磁場を作るための超伝導ヘリカルコイルが真空容器外部に設置されている。

## KEYWORDS

**プラズマ：** 物質の温度を上げていくと、固体、液体、気体と状態が変わっていきます。さらに温度を上げていくと、原子が陽イオンと電子に分かれ、プラスとマイナスの電荷を持つ荷電粒子の集合体となります。この状態をプラズマと呼び、物質の第四の状態と呼ばれています。

**トカマク型とヘリカル型：** 荷電粒子の集合体であるプラズマを閉じ込めるためにドーナツ型の磁場の籠を利用しますが、プラズマを安定に閉じ込めるためには磁場に「ひねり」を与える必要があります。この「ひねり」を与える方法として、プラズマ内部に直接電流を流す方式をトカマク型、外部の電磁コイルをひねる方式をヘリカル型と呼んでいます。

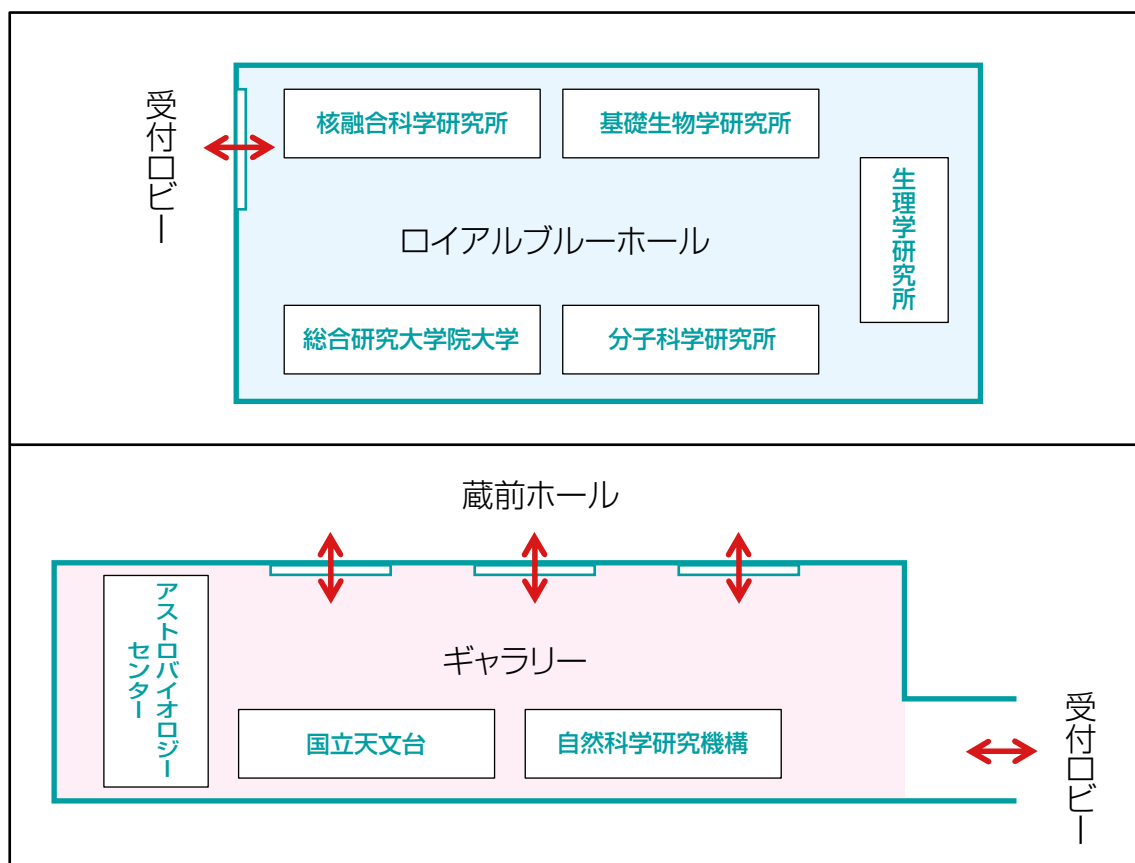
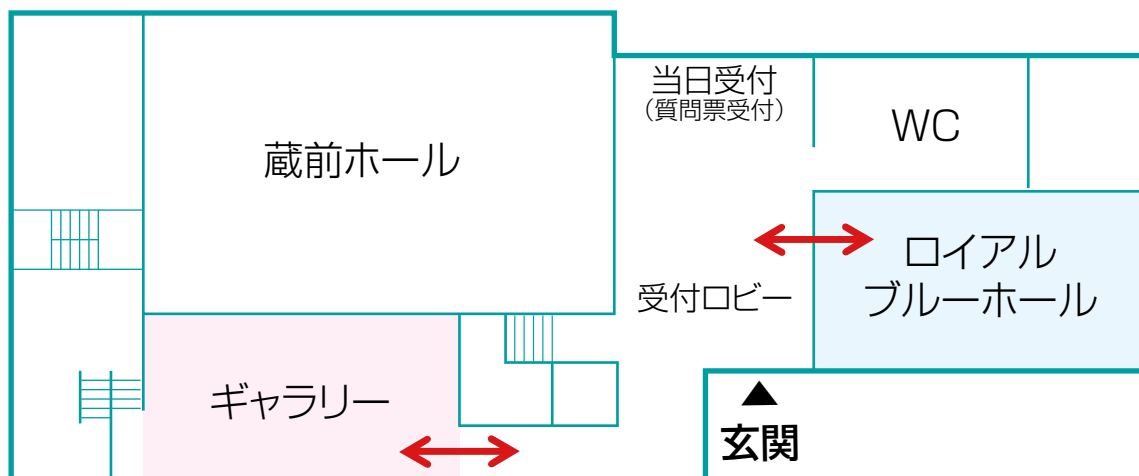


たけいり やすひこ  
**竹入 康彦**

**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。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受賞。

# 会場案内図



## ● 会場

東工大蔵前会館

蔵前ホール(講演会場)及びロイヤルブルーホール、ギャラリー(展示会場)  
〒152-0033 東京都目黒区大岡山2丁目12-1

### 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。

