

# AIST

*Today*

2001.4 -2

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Vo .1 No.2



## 人と地球にやさしい環境を!

地震による液状化層のジオスライサー調査

光触媒環境材料を用いたダイオキシンの分解

医用ビジョン技術

フロン代替物等の環境影響評価

環境に優しいクリーンな軽油の製造に向けた触媒技術

脳磁計測技術と医療福祉応用



独立行政法人産業技術総合研究所

## C O N T E N T S

### 巻頭言

世界に誇れる研究所に 産業技術総合研究所フェロー 立矢 正典	3
--------------------------------	---

### 研究最新情報

地震による液状化層のジオスライサー調査 活断層研究センター	4
光触媒環境材料を用いたダイオキシンの分解 セラミックス研究部門	9
医用ビジョン技術 ライフエレクトロニクス研究ラボ	12
フロン代替物等の環境影響評価 フッ素系等温暖化物質対策テクノロジー研究センター	17
環境に優しいクリーンな軽油の製造に向けた触媒技術 環境調和技術研究部門	20
脳磁計測技術と医療福祉応用 ライフエレクトロニクス研究ラボ	24

### 産業技術総合研究所の案内

つくばセンター配置図(研究関連・管理部門)	30
地域センター案内図 北海道センター、東北センター 関西センター 中部センター、中国センター 四国センター、九州センター	32

### お知らせ

四国センターの一般公開 2001.5.26	36
-----------------------	----



表紙写真は、1993年7月12日の北海道南西沖地震により北海道山越郡長万部町中ノ沢の小学校校庭に出現した噴砂丘。

産業技術総合研究所フェロー

立矢 正典



## 世界に誇れる研究所に

新しい世紀の幕開けとともに、工業技術院の15研究所は統合され、独立行政法人化して産業技術総合研究所として再出発した。国立研の独立行政法人化の動きがスタートして以来、工業技術院の研究所をどのように改革するかを工業技術院の内外のいろいろなレベルで3年以上議論し、その結果、現在の産総研の組織ができあがった。これからやるべきことは、新しく出来た産総研の組織に魂を入れていくことである。

総合科学技術会議が策定した科学技術基本計画には、科学技術の面で我が国が目指すべき国の姿として、「知の創造と活用により世界に貢献できる国」、「国際競争力があり持続的な発展が出来る国」、「安心・安全で質の高い生活の出来る国」の3つを掲げている。産総研のミッションは研究開発の面から3つの目標の実現に貢献していくことだと思う。

産総研を存在感のある研究所にするためには、大学、企業を含めた国内外の研究機関に対し

て産総研の競争力を高めて、以下のような研究所を目指すべきである。第一には、国際的に評価の高い論文を多数発表し、ノーベル賞等の国際的な科学賞の受賞者を欧米一流研究機関並に輩出し、優れた外国人研究者が多数集まる研究所を目指すべきである。第二に、国際的な特許を多数取得し、それが産業へ数多く移転されるとともに、国際標準を多数提案し、採択される研究所を目指すべきである。第三に、オーダーメイド医療等を可能とする基盤を形成し、地震等の自然災害の被害を最小限に抑え、発展途上国の災害対策等にも貢献できる研究所を目指すべきである。

15研究所の統合により所間の壁は低くなり、また独立行政法人化によりこれまでの各種の制約がなくなるはずである。国民の視点に立って効果的、効率的に研究を行い、産総研を世界に誇れる研究所にすることは私達の責務である。

# 地震による液状化層のジオスライサー調査

## Geoslicer survey of liquefaction due to earthquakes

活断層研究センター  
Active Fault Research Center

### 概 要

液状化とは、地下の浅いところにおいて水に飽和している砂などの堆積物が、地震で揺らされることによって、液体のようにふるまうようになる現象である。液状化により、その上に載っていた地盤は支持力を失って、不同沈下や地すべりを起こし、その上の設備や建物に大きな被害を与える。活断層研究センターでは、このような液状化を起こした堆積物を直接採取し、そこに残された痕跡を詳細に観察することにより、地震時にそれらがどのような動きを示したのかを読み解くとともに、堆積物の特徴を抽出し、過去の大地震の実像を明らかにするための研究を行っている。ここでは、2000年秋に日米共同研究として米国ワシントン州コロムビア川沿いで実施された調査の概要と、2000年10月6日鳥取県西部地震に伴って発生した液状化層調査のようすについて紹介する。

### Abstract

Liquefaction is a phenomenon in which loosely and water saturated sediments such as sand layer become liquefied by strong ground motion due to earthquake. Liquefaction gives rise to the loss of the earth's capacity to support and differential land subsidence or landslide occurs, which causes the damage to basic infrastructure and buildings. Active Fault Research Center makes effort not only to reveal the mechanism of liquefaction by collecting the liquefied sediments and observing them in detail, but to utilize the common feature in them as index of the past great earthquakes. We introduce our study in the area along the Columbia river in Washington State of USA which was carried out as cooperative work with USGS in fall of 2000, and reconnaissance study of liquefaction associated with the 2000.10.6 Tottoriken-seibu earthquake.

### 1. はじめに

液状化現象とは、地下水に飽和したゆるい砂などの堆積物が、地震による揺れのため液体状になり、その上の地層や建造物を支える力を失う現象のことである。日本では、1964年の新潟地震で、液状化現象により鉄筋コンクリート4階建てのアパートがそのまま傾き倒れるなどの被害がかなり多く見られ、注目されるようになった。液状化が生じると、堆積物中の砂などの粒子が、地下水の中に浮かんだようになって流動化し、地表の亀裂を通して水とともに噴き上がることがある。これを噴砂現象といい、埋め立て地等でよく発生し、多数の噴砂丘が見られることが多い(図1)。

活断層研究センターでは、このような液状化した地層を、なるべく地中にある状態のまま詳しく観察



図1 噴砂丘の例

1993年7月12日の北海道南西沖地震により、北海道山越郡長万部町中ノ沢の小学校校庭に出現した噴砂丘。液状化では、水と混じった砂泥が地下から亀裂を通して勢いよく噴出し、多数の噴砂丘を残すことが多い。噴砂丘の直径は最大で約2m。

し、地震時に堆積物中の粒子がどのような挙動を示したのかを解明するとともに、地層中に記録された液状化の痕跡を読み解き、過去の大地震の実像を明らかにするための研究を行っている。本稿では、その一部を紹介する。

## 2. ジオスライサーとは

今回、調査に用いたジオスライサーという装置は、未固結堆積物を攪乱しないように採取するためのもので、主に活断層調査において、従来のボーリングやトレンチ調査(活断層を横切って溝を掘り、その壁面を観察する調査)が困難な狭い土地や湿地等に対して用いられてきた(原口ほか、1998)。原理は、鋼矢板などのサンプラーとその蓋板をバイプロハンマーにより順番に地中に打ち込んで、その後同時に引き抜くことによって、間に挟まれた地層をそのまま採取するものである(図2)。本手法には日本の特許2934641(復建株式会社所有)と米国の特許6009958(広島大学長所有)が与えられている。



図2 ジオスライサー調査作業の様子

ジオスライサーの蓋板をバイプロハンマーによって地面に打ち込んでいるところ。2000年9月に実施した米国北西部コロンビア川での作業風景。バイプロハンマーの重さは2.8tあり、25Hzで振動することにより自重で地中に貫入する。この作業やサンプラーの移動及び引き抜き等のために、クレーンが必要である。

本調査法の利点は、バックホーなどの重機が入れない場所、例えばぬかるんだ湿地や沼地、湖などでもコア試料を採取できることがあげられる。また、ボーリングと異なり、採取試料を攪乱せず定方位で採取できるだけでなく、採取した地層をその場ですぐに観察でき、必要に応じて地質断面として実験室に持ち帰ることが可能である。さらに、作業に際して抜き取る土砂が、トレンチ掘削調査で同様の壁面観察を行なう場合の1/100以下である。これにより、貴重な地質学的情報の損失を最小限に抑えるとともに、作業効率を大幅に向上することができる。

## 3. コロンビア川沿いの調査

本調査は、地震研究において異なる特徴を持つ日米両国が共同で研究することにより、地震災害軽減を目的として開始された、科学技術振興調整費による「地震災害軽減のための地震発生ポテンシャルの定量化に関する日米共同研究」の一環として実施されたものである。

米国北西部のプレート沈み込み帯では、地殻変動と津波堆積物の調査により過去に巨大地震が発生し、最新の地震は西暦1700年にあったことが明らかにされている(Atwater and Hemphill-Haley, 1997)。しかしながら、地震動そのものの証拠はほとんど得られていなかった。そこで、これまで調査が困難であった場所で効率よくコア試料を採取するために、最近日本で開発されたジオスライサーを用いて掘削調査を行い、1700年地震によるその痕跡を捕らえることに成功した。調査地は、ワシントンとオレゴンの州境を流れるコロンビア川の河口付近にあるハンチング島で、ここでは、わずかながら液状化によると思われる砂脈が見つかった。作業は、クレーン付きの台船を使って行われ、試料採取には長さ9m、幅0.6mの鋼矢板が用いられて、9本のコアが採取された(図3)。

軟弱な地盤では、ジオスライサーの試料採取時の振動による液状化のため、地震時のものが影響を受けるのではないかと心配されたが、すぐ近くでの泥層の深さの対比により圧密の影響はほとんど受けていないことが実証され、採取された試料の詳しい調査でも、鋼矢板の縁や蓋板に接する部分では多少摩擦による引きずりの影響が認められたものの、ほとんどの構造は影響を受けていないことが明らかとなった。

鋼矢板が引き上げられ、蓋板が開けられると、すぐ



図3 米国北西部コロンビア川沿いのハンチング島におけるジオスライサー調査作業

現場へは車両の搬入ができないため、クレーン付き台船による作業となった。これは、試料の詰まったサンプラーを引き抜いたところ。左端の棒は台船を固定するアンカー。



図4 採取直後の試料観察

表面の凹凸をならしながら、堆積構造や変形構造を注意深く観察し、採取地点の変更等を現場で判断する。また、剥ぎ取り標本作成の下準備の作業でもある。

に表面の凹凸をねじり鎌等でならし、堆積構造や変形構造が観察された(図4)。また、試料表面を平坦にすることは、剥ぎ取り標本作製の下準備にもなる。剥ぎ取り標本は、平坦にならされた試料表面や露頭に接着剤を塗布し、綿布等で補強して、試料表面を薄く剥ぎ取ることにより、詳細な構造の観察や長期保存を可能にするためのものである。また、剥ぎ取った直後の試料表面も詳細な観察や写真撮影に有効である(図5及び図6)。これは、接着剤が泥のような不透水性の物質よりも、粗い砂のような透水性の高い物質により早く浸透し、それが固結することにより、その差が浮き彫りのように強調されて見えてくるためである。今回は、接着剤としてトンネル工事等に使用されるグラウト剤の一種であるOH-1を使用した。これは、メチル・エチル・ケトン(CAS 78-83-8(Chemical Abstract Serviceのレジストリー番号;以下同じ))とトルエン・ジイソシアネート(CAS 26471-62-5)からなるプレポリマー(CAS 60787-82-8)であり、水と反応して約1時間で固結して弾力的な泡を形成する。

採取された試料から、上部約3mが西暦1700年のものを含む湿地や森林土壌の泥で、その下には2000年前以降の川砂が薄い泥の層と互層しながら堆積した

ことがわかった。また、下部の砂が上部の泥にダイクと呼ばれる砂脈を作って入り込んだり、水平方向に割り込むシルと呼ばれる層をなしているのが観察された(図5)。さらに、下部砂層の中で、変形した粗粒砂層の上部を無層理の砂が覆っているのが観察され、無層理の砂全体が液状化したシルであると判断された(図6)。また、両者の境界は低角度の断層で、液状化のあとに低角の地すべりが発生したものである。これらの液状化による貫入体は、上部の泥の堆積年代から、おそらく過去1000年くらいの間に形成されたと考えられる。また、上部の泥の中のダイクやシルの大部分は、西暦1700年の地震で形成されたものであろう。また、液状化の痕跡は、上部の泥の直下や、その下の砂の中でも泥層の挟みの直下に集中的に見つかり、特に泥層中に貫入したり、泥層をばらばらに壊して断片化するなどの特徴が認められた。このことは、液状化した流れが一旦泥層で止められ、そこから水平方向にシルとなって発達したり、一部はダイクとなって貫入したことを示していると考えられる。



図5 剥ぎ取り直後の試料表面(コアNo.5)  
深さ1-2mの範囲。上部の泥の中に貫入した砂が見える。大部分がほぼ水平に貫入したシルであるが、中央部には泥を斜めに切るダイクも認められる。



図6 剥ぎ取り直後の試料表面(コアNo.4)  
深さ5-6mの範囲。上位の塊状の砂が液状化層で、下位の変形した粗粒砂層とは低角度の断層で接している。

#### 4 . 鳥取県西部地震での調査

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震は、境港周辺の埋め立て地に液状化による被害をもたらした。発生してなるべく早い段階で、液状化した地層を採取し、その詳細な観察及び分析を行うことを目的として、鳥根県の中海にある大根島において、ジオスライサーによる調査を実施した。本地域の地質は、主に第四紀後期の玄武岩で構成されているが、液状化した土地は、25年ほど前に海岸道路新設に伴い沿岸を埋め立てた場所で、今回の地震によりそのときの埋め立てに使った貝混じりの海砂が地表に噴砂として現れていた(図7)。ジオスライサー調査の結果、地表下約1mまではやや締まったマサ土(主として花崗岩の風化物からできている土)で、その下に約2mの厚さで埋め立てに使った海砂が分布し、地表下約3.5mで基盤の玄武岩に到達した。断面には、海砂が液状化してマサ土中に砂脈となって貫入し、地表に噴出しているのが明瞭に残されていた(図8)。また貫入した部分のマサ土下底は、非常に凹凸が大きく、この部分が液状化時の引っ張りに弱かったために亀裂ができたと推定される。なお、液状化した砂層の最上部でマサ土の下底付近には泥が濃集しており、これが



図7 2000年10月6日の鳥取県西部地震による液状化層の調査作業

調査地点は、鳥根県八束郡八束町大根島の道路脇の空き地で、中央やや下に噴砂が広がっているが、地震から約3ヶ月経過しており、この間の積雪や降雨で噴砂丘の形もかなり崩れている。左脇の砂山は、掘削後の孔の埋め戻しのためによそから運んできたもの。



図8 剥ぎ取り直後の試料表面

深さ2m以浅の範囲。このサンプラーは幅約1.5mのもので、幅広い断面が一度に観察できる。下部が今回液状化を起こした海砂で、マサ土に覆われている。マサ土の中央部に細長く見えるのが、地表に達した砂脈で、噴砂丘の供給源である。

蓋の役目をして地下水圧を高めていた可能性もある。

## 5. 今後の課題

コロンビア川の調査では、西暦1700年の巨大地震による液状化の痕跡が見つかり、様々な液状化層の特徴が明らかにされた。その中で、砂脈が水平方向に延びるシルが発達しているが、泥に貫入するダイクは少なく、噴砂もあまり発達していないという事実が指摘される。したがって、液状化した砂がどこへ移動したのかは、まだよくわかっていない。また、年代的には、西暦1700年の一つ前の巨大地震による液状化の痕跡も残されていると考えられるが、それらを分離できるほどの証拠は得られていない。今後、これらの点を明らかにしていく必要がある。

また、鳥取県西部地震による液状化では、今後液状化層の内部構造を詳細に解析し、粒度分析等により、粒子の移動について検討して行きたいと考えている。さらに、地表での亀裂の方向または噴砂の並びと液状化層の厚さの関係等も今後の検討課題である。

## <参考文献>

Atwater, B.F., and E. Hemphill-Haley, Recurrence intervals for great earthquakes of the past 3,500 years at north-eastern Willapa Bay, Washington, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1576, 108 pp., 1997.

原口 強・中田 高・島崎邦彦・今泉俊文・小島圭二・石丸恒存(1998): 未固結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用 .Vol.39 ,No.3 ,306-314 .

## 研究課題名

「活断層及び古地震による地震発生予測の研究」

# 光触媒環境材料を用いたダイオキシンの分解

## Decomposition of dioxins by photocatalytic ecomaterial

セラミックス研究部門  
Ceramics Research Institute

### 概 要

ダイオキシンは猛毒で、廃棄物の焼却施設などから多量に排出されており、深刻な問題となっている。これまで排ガス中のダイオキシンの処理方法として活性炭などによる吸着剤処理が用いられていたが、この方法はダイオキシンを吸着剤に吸着させるだけで、吸着剤をさらに無害化処理する必要があるなど、既存の技術ではダイオキシン処理が極めて難しかった。そこで、光を照射することによって強力な酸化還元力を生じ、ほぼ全ての有害有機化学物質を水や二酸化炭素などの無毒な物質に分解することができる光触媒シリカゲルを開発した。これを用いて排ガス浄化装置を開発し、焼却炉からの排ガスを通すことによりダイオキシン類を99%除去できた。

### Abstract

Photocatalytic ecomaterial is prepared by coating  $\text{TiO}_2$  transparent film on silica-gel bead. When irradiated by light, the photocatalytic ecomaterial generates strong oxidative potential and almost all organic substances are decomposed to water, carbon dioxide and others. An apparatus for decomposition of dioxins is constructed with the ecomaterial. The removal efficiency over 99% of dioxins has been obtained. The novel photocatalytic decomposition method using silica-gel beads coated by  $\text{TiO}_2$  has been applied for the highly efficient treatment of water pollutants, acidic gases, and rank odor substances in environment.

### 1 はじめに

ダイオキシンは環境ホルモン(内分泌攪乱物質)の一種で発ガン性や催奇性を持ち、生殖機能障害、免疫機能障害を引き起こします。ダイオキシンの中でも2,3,7,8 - 四塩化ジオキシン(TCDD)は毒性が最も強く、わずか1gで一万人の殺傷能力があり、史上最強の毒物といわれています。ダイオキシンは廃棄物の焼却施設や、自動車、たばこ、火葬場、電気炉、小型焼却炉などが主な発生源となっており、1997年におけるダイオキシン類の排出量は毒性の最も強いTCDDの毒性に換算して6,330~6,370gにも上っています。

政府は1999年の埼玉県所沢市のダイオキシン騒動をきっかけにダイオキシン対策閣僚会議を設け、4年以内にダイオキシンの排出量を96年に比べ9割削減することを目指したダイオキシン対策推進基本指針を策定し、昨年7月、「ダイオキシン類対策特別措置法」が成立しました。この「ダイオキシン類対策特別措置法」は今年1月15日から施行され、ポリ塩化ジベ

ンゾ - パラ - ジオキシンとポリ塩化ジベンゾフランだけでなく、これまで除外されていたコプラナーPCBもダイオキシン類に含めて規制すると共に、焼却施設の排出基準を8~800倍厳しくし、未規制だった小型焼却炉や産業系の発生源にも規制の網がかぶせられることになりました。

これまで排ガス中のダイオキシンを処理する方法として活性炭や活性コークスなどの吸着剤処理が用いられていました。しかし、この方法はダイオキシンを吸着剤に吸着させるだけであり、ダイオキシンを吸着した吸着剤はさらに無害化処理することが必要でした。最近、ガス化溶融炉による処理法が注目されていますが、この方法は高温で連続運転する必要があり、処理コストが大きく、小型焼却炉に適用しにくいという欠点があります。しかも、このような化石燃料を用いた焼却処理ではエネルギー使用量が極めて大きく、化石燃料の枯渇や地球温暖化への悪影響も懸念されます。このように既存の技術ではダイオキ

シン対策が極めて難しいため、新しい有効なダイオキシン処理技術が待望されていました。

## 2. 光触媒技術

光触媒技術は、二酸化チタンなどの半導体に照射することによって生成する正孔と電子の酸化還元力を利用して環境汚染物質の処理を行うもので、化石燃料を用いなくてもほぼ全ての有害有機化学物質を光のエネルギーによって分解・無害化することができます。二酸化チタンは歯磨き粉や化粧品にも使用され、食品添加物としても認められている安全無毒な物質です。この二酸化チタンに光を当てると、太陽電池に使われているシリコンなどと同様、電子と正孔が生成します。

電子と正孔は非常に強い還元力、酸化力を持っており、水と溶存酸素などとの反応により、OHラジカル(水酸ラジカル)やスーパーオキサイドアニオン( $O_2^-$ )などの活性酸素を生じます。このOHラジカルのエネルギーは、有機物を構成する分子中の炭素-炭素や、炭素-水素、炭素-窒素、炭素-酸素、酸素-水素などの結合エネルギーが100kcal/mol程度であるのに対し、120kcal/mol相当とはるかに大きいので、これらの結合を簡単に切断して水や二酸化炭素などに酸化分解することができるわけです。

このように二酸化チタン光触媒は、有毒な薬品などを使用せず、光さえあれば、ほぼ全ての有害有機化学物質を分解・無害化することができます。しかも、二酸化チタンは資源的にも豊富かつ安価で耐久性に優れた物質であり、光触媒自身は変化しないため半永久に使用できるなど、数多くの利点を持っており、有力なダイオキシン対策技術と考えられます。

## 3. 光触媒シリカゲル

光触媒反応は表面反応であり、環境汚染物質が光触媒の表面に接触して来なければ、分解などの反応を起こすことができないという特徴があります。したがって、比表面積の大きな光触媒ほど、環境汚染物質が光触媒の表面に接触しやすくなるため、分解性能が高くなります。そのため、これまで光触媒として粉末のもの、特に超微粒子のものが使用されてきました。しかし、粉末の光触媒を使用した場合、光触媒としての取り扱いが難しく、排気ガスの処理では光触媒が飛散し、水処理の場合には処理したものと触媒との分離や回収が困難で、連続的な処理ができないなどの欠点を持っており、実用化が困難でした。

そこで、このような欠点を改善するため、基材に固定化した酸化チタン固定化光触媒を開発しました。これを用いると取り扱いが容易になり、水処理なども連続的に行うことができ、メンテナンスフリーで使用できます。そして、光触媒の性能をさらに向上させるため、石英ガラスと同様に透明なシリカゲルを担体として使い、酸化チタン透明薄膜をコートした光触媒シリカゲル(写真)を開発しました。写真左は乾燥剤などとして使われているシリカゲル、右はそれに酸化チタン透明薄膜をコートした光触媒シリカゲルです。この光触媒シリカゲルは表面積が1g当たり300 $m^2$ もあり、細孔内の内壁まで酸化チタン透明薄膜でコートされています。シリカゲルは透明で光が内部まで入るため、光触媒反応が効率良く行われます。しかもシリカゲルはダイオキシンなどの環境汚染物質を吸着するため、効率良く分解処理することができます。

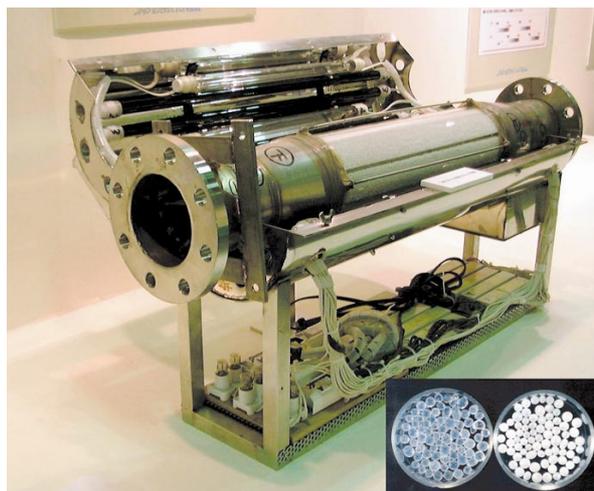


写真 光触媒排ガス浄化装置及び光触媒シリカゲル

## 4. 光触媒排ガス浄化装置

この光触媒シリカゲルを用いて排ガス浄化装置を作製しました。これは写真に示すように直径24cm、長さ1mの円筒形で、内部に16本の紫外線ランプ(計290W)が設置してあります。この中に直径3mmの光触媒シリカゲルが約10リットル充填されています。これを2基つないで、直接、廃棄物処理施設の焼却炉からの排ガスを1時間当たり約50 $m^3$ 導入しました。そして、排ガスに含まれるダイオキシン類の濃度を測定した結果、焼却炉からの排ガス1 $m^3$ に含まれるダイオキシン類はTCDDの毒性に換算して78ngと基準ぎりぎりの値でしたが、排ガス浄化装置に通すこと

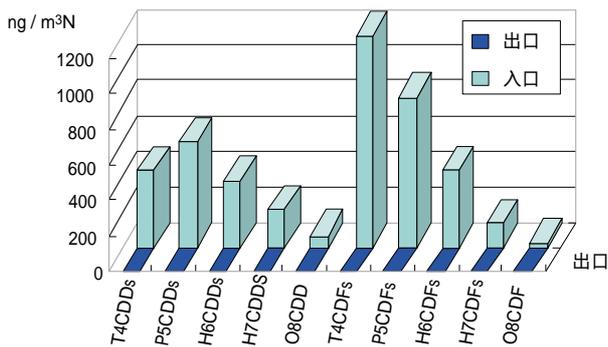


図 光触媒浄化装置入口と出口におけるダイオキシン同族体濃度

により99%のダイオキシン類を除去することができました。

実験後に光触媒シリカゲルを取り出して調べた結果、吸着しているのではなく実際に99%近いダイオキシン類が分解されていることが分かりました。そして、ダイオキシン類には塩素数の異なったいろいろな同族体がありますが、図に示すようにそれらが全て分解されていることが分かりました。しかも装置を大型化して実験を行った結果、ダイオキシン類の中でこれまで処理が難しいと言われていたコプラナーPCBも、99.99%分解することができました。

このようにダイオキシン類を効率良く分解することができたのは、透明で球状の光触媒を立体的に配置し、排ガス中のダイオキシン類と光触媒の接触面積を大きくすることができたためです。平面状の光触媒では排ガスを吹き付けても排ガスに含まれるダイオキシンが光触媒と接触しにくいいため、なかなか分解されませんが、写真に見られるように立体的に配置された構造になっていると排ガスに含まれるダイオキシンが光の当たっている光触媒に効率良く接触するため、速やかに分解が行われるようになったわけです。しかも光触媒シリカゲルは熱触媒としても働いていて、排ガスの熱を利用してダイオキシン類を酸化分解していました。

この排ガス浄化装置はヤマダ・インダストリー株式会社や新東工業株式会社など、高い技術力を持った日本の企業との連携によって開発できたものであり、排ガスを高温のまま処理することができ、省エネ

ルギーで、しかも装置が非常にコンパクトで構造も簡単であり、ダイオキシンそのものを分解するため二次処理が不要で触媒も安全無毒、これまで困難であった小型の焼却炉の排ガス浄化にも適用可能であるなど、数多くの利点を持っています。

実際の使用においては排ガスの一部を取り出して処理するのではなく、焼却炉からの排ガス全部を装置に通して処理することになります。今年、まず産業廃棄物処理施設で第一号機が、次いで地方自治体でも近々稼働する予定であり、これからの普及と環境浄化への貢献が期待されます。

# 医用ビジョン技術

## Medical vision technologies

ライフエレクトロニクス研究ラボ  
Life Electronics Laboratory

### 概 要

医用ビジョンとは非侵襲的にヒトの体の計測を行い、その結果を可視化するための技術です。医用ビジョン技術の中でも、磁気共鳴機能画像法(fMRI)は、我々の日常生活に不可欠な言語処理を反映する脳内活動を評価するうえで、極めて有効な先端技術として注目されています。話し言葉を聞き取る実験では、音声の位置の認識、音韻の弁別処理、そして意味内容の処理の3つの処理過程が協調的に働いている様子を画像化することに成功しました。また、漢字の想起を行う実験では、日本語の書き言葉の認知過程において、運動制御を行う脳内領域が役割を果たしているという興味深い結果が得られています。

### Abstract

Medical Vision is a technology to measure and visualize a human body non-invasively. Among the medical vision technologies, functional magnetic resonance imaging (fMRI) is one of the advanced tools to evaluate human linguistic function which is indispensable for qualified life. By using listening comprehension tasks, cooperation among sound source detection, phonological processing and semantic processing for selective auditory attention was indicated. Kanji retrieval tasks revealed the role of motor function in the recognition of written language in the Japanese language.

### 1. 医用ビジョンとは

医用ビジョンとは、医学・医療に用いる視覚的情報システムを意味します。また、医用ビジョン技術とは、体の内部の形態の変化や機能的な変化を体に影響を与えないで調べることを目的とした一連の技術をさします。医用ビジョンには、形態や機能の計測技術、測定結果を空間的に表示する可視化技術、さらにはそれらの画像情報を元に、さまざまな治療をより正確に、かつ無害にするためのナビゲーション技術が含まれますが、これらの技術を支える科学分野は、医学、理学、工学、人文科学の広い領域にまたがる融合的な分野と言えます。今回は、医用ビジョン技術の中心的な計測技術のひとつである、磁気共鳴画像法(MRI)および、MRIを応用した機能計測法(fMRI)について説明します。

産業技術総合研究所の前身のひとつである電子技術総合研究所では、生体内物質の動態を分析する磁気共鳴分光法(MRS)や生体の断層面を観測できる磁

気共鳴画像法(MRI)の分野では、先駆的な役割を果たしてきました。1981年には、わが国で初めて人体頭部のプロトン画像を得ることに成功し<sup>1)</sup>、1985年には世界で初めて磁気共鳴法を用いた脳機能計測に成功しています<sup>2)</sup>。その後も、脳内の糖代謝計測を行うMRSシステムや、さまざまな脳活動を計測するfMRIシステムを開発し、その応用研究を進めてきました。脳機能計測の最大の意義が医療福祉への応用、特にQOL(quality of life)の改善を通じた社会への貢献であることは言うまでもありません。特に日常生活を成り立たせるために必須である言語機能は、これまで非侵襲的に計測することが困難であったため、解明すべき課題が多く残っています。我々の研究グループでは、いわゆる言語中枢と呼ばれているいくつかの領域を中心として、言語機能と、運動、視覚、記憶、注意などの機能が、お互いにどのように関連性を持っているかについて調べています。

## 2.どのようにして脳機能を計測するか

fMRIの原理について簡単に説明します。MRIでは非常に弱いエネルギーのラジオ波を加えることにより励起された水素原子が、元の状態に戻るときに放出するラジオ波を検出し、それを画像化しています。fMRIではヒトに何らかの認知活動や運動(課題)を行わせ、その結果生じる脳内の血流分布の変化が、血液の磁性体としての性質を変化させる過程をMRI信号強度の変化として取り出し、それを神経興奮を間接的に表現するものとして測定します(図1)。従って、fMRIは神経細胞の興奮や代謝を直接見ているものではありません。血液の磁性体としての性質の変化は、血液に含まれる酸素濃度の変化に基づくものです。つまり、脳内のある場所で神経活動が生じると、その場所への血流が増加し、酸素に富んだ血液で満たされるようになります。その結果、血液の磁性体としての性質が弱くなり、MRI信号は強くなりますが、この変化(BOLD現象)を読み取ることにより、脳活動を観測します。

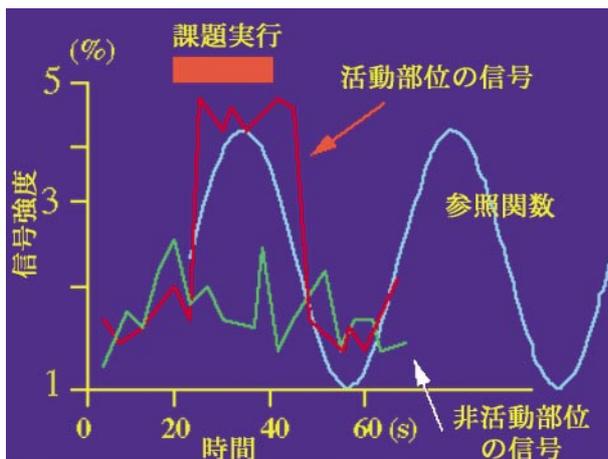


図1 fMRIの計測原理

## 3.文章の聴覚理解の研究

「聞く」という行為は、情報収集を行い、しかるべき判断を行ったり、行動を起こすために重要な役割を果たしています。文章の聴覚理解のfMRI測定は、文法構造や意味内容を厳密に操作できないものの、実際のコミュニケーションにより近い形で脳活動を調べる方法として用いることができます。従来より、聴覚理解には、聴覚野(Broadmann's Area 41)、ウェルニッケ野(BA22)などが関与することが知られていますが、fMRIを用いて調べることにより、これまで言語に

関連すると言われていたこれらの側頭葉領域に加えて、前頭葉や頭頂葉のさまざまな領域の活動が加わって、高度な言語情報処理が行われている様子が解明されつつあります。

### 3.1 ことばの習熟度

情報通信の発達に伴い、外国語や日本語でも新しい言葉に接する機会が多くなりつつあります。ことばの習熟度によって脳の活動がどのように異なるかをfMRIを使って調べました。全く理解できない外国語であるハンガリー語、学習したことのある英語、母国語である日本語のそれぞれを聞かせた場合を比較すると、ことばの理解の程度にかかわらず音韻を聞き分けるウェルニッケ野が強く活動する一方、母国語ではないが意味が理解可能な英語を聴取する場合には前頭葉上部領域(BA6/9)や、下部領域(ブローカ野; BA44/45)などの活動性が高まり、理解不能な言語であるハンガリー語の場合は、これらの領域は全く活動しないことが示されました(図2)<sup>3)</sup>。この結果は、従来より言語の産出に関係すると言われていたブローカ野や高次運動野の機能が、ことばの意味の理解の上でも働きを持つことを示唆しています。ブローカ野は言語の一時的な記憶や文法処理に関与しているとの報告もありますが、外国語の習熟にこれらの機能が関与していることが明確に示されています。

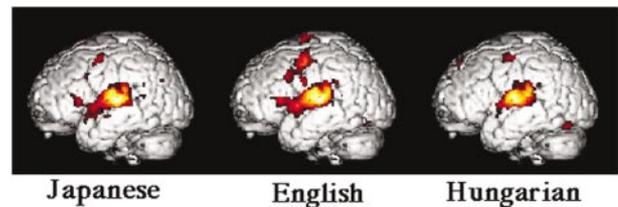


図2 日本語、英語、ハンガリー語を聴取した時の言語野の活動パターンの一例

### 3.2 文章のコンテキスト

同じ母国語の聴取でも、提示される文の内容(コンテキスト)によって、どのように言語野の活動が変化するかを比較しました。愉快文、新聞記事、哲学書の一節のそれぞれを聴覚提示しながらfMRIによる計測を行いました(図3)。文章の最後の部分で文意が急に明らかになったり、意外な展開になる(オチ)愉快文や抽象的で難解な哲学文を聴取する場合には前頭葉上部領域(BA6/9)や下部領域(ブローカ野)の活動が高まるものの、新聞記事の平易な文書を聴取



図3 fMRI実験風景

する場合にはこれらの領域の活動は有意には高まらないことがわかりました<sup>4)</sup>。この結果は、前頭葉上部領域 (BA6/9) が意味処理に關与している事を支持しています。また、文法構造や意味内容を実験的に操作した文章だけでなく、実際に用いられる文章を用いても、意味処理や文法処理における傾向の違いを区別できる可能性を示しています。

### 3.3 カクテルパーティ現象

昔から知られている興味ある現象として、カクテルパーティ現象があります。この現象は、カクテルパーティの会場のように複数の会話が同時に聞こえてくる場合に、なぜそのうちのひとつだけに集中できるのかという疑問から注目されるようになりました。これまでは主に話者の位置の区別 (音源定位) から、そのメカニズムが研究されてきましたが、fMRIの実験により、音韻処理、意味処理を行う領域が重要な役割を果たしていることが判明しました。

一人の話者の話す内容を聞かせる場合に比べて、二人の話者が異った内容を話す音声を重ねたものから、その一方の音声を聞き分ける場合 (二重聴覚理解課題) では、音韻を弁別するウェルニッケ野が強く働くようになります。また、同一人物の声を重ねて聞かせ、そのうちの片方の内容を選択的に聴取させると、ウェルニッケ野に加えて、前頭連合野が強く働いて、意味処理、注意、一時記憶、抑揚識別などの機能が統合的に動員されていることが観測されました (図4)<sup>5)</sup>。この結果から、カクテルパーティ効果には、音源定位、音韻処理、意味処理の3つの処理過程が含まれることが示唆されました。

つぎに、左右の耳に同一話者、あるいは異った話者による内容の異なった音声を流し (両耳分離聴) 同様の実験を行いました<sup>6)</sup>。別話者による両耳分離聴ではウェルニッケ野を含む両側の上側頭回と、言語の

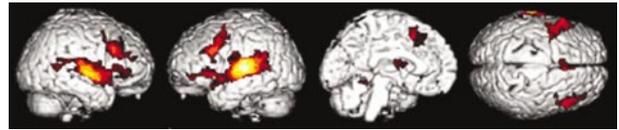


図4 同一音声による二重聴覚課題による脳活動

一時記憶に關係する右前頭葉中部 (BA46) の活動が強くなり、同一話者による両耳分離聴では、これらの領域に加えて、抑揚を処理する右前頭葉下部 (BA45) や意味処理と關係する前頭葉上部 (BA6/9) などの機能も強く働くことがわかりました。しかし、注意に關係する領域については活動の高まりは認められませんでした。このことから、音声の質と方向との識別が容易な場合は主に音韻処理と一時記憶によって、音声の方向の区別は容易であるが、質の区別が容易で無い場合は、さらに意味処理と抑揚識別が強く働いて、特定の音声を聞き分ける機構になっていることが判明しました。

また、音声の区別が容易な場合と、困難な場合とで、分離聴の効果がどのように異なるか検討してみました。その結果、音声の区別が容易な場合には、分離聴を行わせた場合と、行わせない場合とで、脳活動に明確な差は無く、音声の質も方向も区別が困難な場合には、音韻処理、意味処理、抑揚識別、一時記憶、注意などの全ての機構が強く動員されることがわかりました。以上の一連の実験により、音声の違い (音韻処理) は音声の方向 (音源定位) よりも、音声の弁別においてより効果が強いこと、音声の違いが十分に区別できない場合は、抑揚識別や話題の内容についての意味処理による弁別がより強く行われ、方向の区別が困難な場合は、一時記憶や注意の機構がより強く働く、という段階的なシステムになっていることが示唆されました。

## 4 文字を脳に取り込む - 空書の研究

おたんじょうびの「たん」の字は、ごんべんの右に何と書きますか? - このように尋ねると、大抵の日本人は、ほぼ無意識に、文字を書くような指運動をします。この指運動は、心理学では「空書 (くうしょ)」と呼ばれていますが、興味深いことに、脳損傷の患者さんにも似たような現象が認められます。純粹失読という、文字を読めなくなってしまう障害では、文字をなぞるようにすると、不思議にも読めるようになることがあるのです。

人間の脳は、そのどこかに損傷を受けても、別の神経

回路を使えば、障害をうける前と同じような能力を回復できる可能性をもっています。脳に障害を受け、本が読めなくなった患者さんでも、脳の別の神経回路を使う訓練をつめば、ふたたび読む能力が回復するかもしれません。どのような訓練をしたら効果があるか、またその場合、脳のどの部分が代償機能を果たすのかを調べるために、空書をモデルとしたfMRI計測を行いました。

大学生を対象として、何種類かの漢字テストを実施し、どの課題でどれくらい指の動きが観察されるかを記録しました<sup>7)</sup>。その結果、パソコンでまず「心」と提示し、その後今度は「今」と提示して二つを組み合わせで「念」と答える課題(視覚提示課題)よりも、耳から「こころ」という字と、今昔のいまという字」と読み上げられるのを聞いて、それを組み合わせで答える課題(聴覚提示課題)の方が、空書が起きやすいことが分かりました。すなわち、漢字の文字像を自分でイメージする必要があるときに、空書が起きやすいと考えられます。

このような漢字組み合わせ課題を行う過程の脳活動をfMRIを用いて調べました<sup>8)</sup>。この結果、「念」という漢字をただなぞってもらう場合よりも、「心、今」などと提示して、組み合わせで「念」となぞってもらう場合の方が、絵などの画像の処理を行なっていると考えられている右頭頂葉の部位や、脳内で運動のプログラミングをしていると考えられている前頭葉の部位の活動が高まっていることが示されました(図5)。つまり、空書が起きやすい課題では、漢字文字像の詳細な処理への要求や、運動要因へ援助を求める要求が高まっていると考えられるのです。これらの部位は、障害で文字が読めなくなってしまった人が文字をなぞるときにも活動して、文字がふたたび読めるようにするのを助ける神経回路となっているの

かもしれません。

## 5 非言語的コミュニケーション

ヒトは言語をコミュニケーションの手段として使用します。このことから、言語情報処理の機構と、顔の表情や身振りなどの非言語的コミュニケーションの機構とは、非常に関連性を持つことが予想されます。そこで、これまでに我々が非言語的コミュニケーションに関して行った研究結果についても、紹介しましょう。

他者の目(視線)は、その人がどこを見ているかを示す重要な情報です。そこで、写真<sup>9)</sup>の中の人が見ているかを判断しているときの脳活動をfMRIを使って調べてみました。すると、視線がそれている場合や視線は合っているけれども横目で見ている場合には、正面向きで視線が合っている(こっちを見ている)場合に比べると、左右の上頭頂小葉や楔前部がより活動していました。上頭頂小葉や楔前部は、物体の空間的關係を処理していると考えられていますが、視線がそれている場合や横目で視線が合っている場合は、目と頭、胴体との空間的關係が複雑になっています。従って、視線が合っている場合とくらべると、これらの場所がより活動していたのだろうと考えられます。また、視線が合っている場合には右頭頂葉、合っていない場合には左頭頂葉が活動している傾向がありました。右頭頂葉は、何かに注意を向けているときに活動することが知られており、実験の結果は、視線が合っている場合の方が注意をより喚起させるという事実とうまく合致しています。

目のパターンや矢印の記号などを見て、その記号が向いている方向に注意を転換したときの脳活動を調べた実験<sup>10)</sup>でも、注意を転換した方にターゲットが出てくる場合は右頭頂葉が、注意を転換した方と逆の方向にターゲットが出てくる場合には、左頭頂葉が活動する傾向が見られました。右頭頂葉は、人間にとって意味のある情報が提示された結果、注意が喚起されたときに活動するようです。また、この実験では、どういう図形を見て注意を転換するかによって、活動する部位が異なることがわかりました。こういった実験の結果は、たとえば人に注意を喚起させる標識をデザインする際に、脳に障害をもった人にもわかりやすいものを作るという形で生かすことができます。

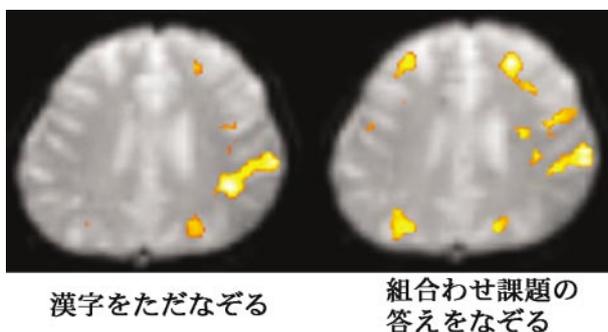


図5 漢字の書き方の違いによる頭頂葉の活動の違い

## 6 .今後の研究展開

現在、fMRIを用いた言語機能計測の研究は、医学工学連携型事業「高次生体情報の画像診断・治療システムに関する基盤研究」の一項目として取り組んでいます。本稿では、これまでに行ってきた、言語情報処理機能を探る研究により分かったことを説明しましたが、まだジグソーパズルは1割程度組み上がったに過ぎない段階です。今後は、このような認知科学研究をさらに進めるとともに、臨床現場との共同研究により、これまで健常人を対象として調べて来た内容が、さまざまな疾患により影響を受けた場合に生じる症状と一致するかどうかを調べてゆく計画です。その上で、言語処理にかかわる各領域のネットワークを体系的に評価するための標準的な機能計測プロトコルを確立してゆくことを目標としています。

現在のfMRIの手法により知ることができることは、あくまでも神経活動による間接的な効果であり、それは影絵のようなものです。今後の、計測技術の開発の方向性は、体動アーチファクトの補正技術<sup>11)</sup>を向上させ、BOLD法により計測される信号の生理学的な意味について、さらに詳しく調べるとともに<sup>12)</sup>、神経細胞の活動の指標である糖代謝との関係を明らかにし、より信頼性の高い検査法として開発を進めてゆくことです。

### <参考文献>

- 1) 亀井裕孟 他、NMR医学、1、45-53、1981
- 2) H Kamei et al., Microcirculation: An Update Vol 1, Proceedings of the Fourth World Conference for Microcirculation, Tokyo (Excerpta Medica, Amsterdam), 417-420, 1987
- 3) T Nakai et al., A functional magnetic resonance imaging study of listening comprehension of languages in human at 3 tesla - comprehension level and activation of the language areas, Neurosci Lett, 263, 33-36, 1999
- 4) F Ozawa et al., The effects of listening comprehension of various genres of literature on response in the linguistic area: an fMRI study, NeuroReport, 11, 1141-1143, 2000
- 5) T Nakai et al., The auditory attention system during dual listening task performance, PISMRM, 894, 2000
- 6) F Ozawa et al., A Functional Magnetic Resonance Imaging Study of Binaural Listening Comprehension, Neuroimage,

- 11, S-342, 2000
- 7) 松尾香弥子 日本心理学会第64回大会発表論文集, 663, 2000
- 8) K Matsuo et al., Dissociation of writing processes: Functional magnetic resonance imaging during writing of Japanese ideographic characters, Cogn Brain Res, 9, 281-286, 2000
- 9) C Kato et al., Activation related to perception of other's gaze direction: consideration of the orientation of the model's eyes, head, and body, Neuroimage, 11, S743, 2000
- 10) C Kato et al., Activation related to endogenous attentional shift: a functional MRI study, PISMRM, 893, 2000
- 11) T Nakai et al., Enhanced BOLD contrast in fMRI by using navigator echoes and spatial realignment on a 3.0T MRI system, Jap J Magn Reson Med, 19, 520-527, 1999
- 12) T Nakai et al., Post-stimulus response in the hemodynamics observed by functional magnetic resonance imaging - difference between the primary sensorimotor area and the supplementary motor area, Magn Reson Imaging, 18, 1215-1219, 2000

# フロン代替物等の環境影響評価 - OHラジカルとの反応速度 -

## Environmental assessment of CFC alternatives - Reaction rate constant against OH radicals -

フッ素系等温暖化物質対策テクノロジー研究センター  
Research Center for Developing Fluorinated Greenhouse Gas Alternatives

### 概 要

地球環境保護のため、新規なフロン代替物を実用化するには温暖化係数(GWP)が小さいことが求められている。温暖化係数は、その化合物が大気中に存在する時間(大気寿命)と赤外域での吸収強度から推定することができる。ここで、大気中におけるフロン代替物の主要な分解経路はOHラジカルとの反応であることから、大気寿命はOHラジカルとの反応速度から推定できる。このため、新規なフロン代替物を実用化するにはOHラジカルとの反応速度の値を明らかにすることが不可欠となっている。我々は、種々の新規フロン代替物とOHラジカルとの反応速度の高精度な測定を行っており、ここではその一端を紹介する。

### Abstract

GWP (global warming potential) of CFC (chlorofluorocarbon) alternatives is estimated from the atmospheric lifetime and the infrared absorption intensities. In general CFC alternatives are expected to be oxidized by OH radicals in the atmosphere. Therefore, study of the reactivity against OH radicals is indispensable for the evaluation of atmospheric lifetime of these molecules. We report the kinetic measurements for the reactions of OH radicals with CFC alternatives.

### 1 はじめに

フロン(CFC-12(CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)等の特定フロン)等の化学物質は、冷媒、発泡剤、洗浄剤、半導体のエッチング剤、半導体CVDチャンバーのクリーニングガス等、わが国の多くの産業分野で重要な役割を果たしてきた。しかし、これらの化学物質は、大気中に放出されるとオゾン層の破壊や地球温暖化の原因となることが明らかになったことから、より地球環境に優しい代替物質の開発が必要になっている。

オゾン層の破壊は、成層圏に達したフロンが紫外線で分解して塩素原子(Cl)を放出し、放出された塩素原子がオゾンと反応することに起因する。このため、オゾン層を破壊しない代替物の条件としては塩素原子を含んでいないことが必要であり、HFC-134a(CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>)等のハイドロフルオロカーボン(HFC)類はこの条件に合致することから、既に代替物として実用化されている。しかしながら、これらの代替物も地球温暖化には影響を及ぼすことが知られており、

京都議定書では地球温暖化の度合いが大きい一部の化合物は削減の対象に指定されたことから、その代替技術の開発が急がれている。新規なフロン代替物としては種々の化合物が検討されているが、中でもエーテルの水素原子の一部をフッ素原子で置換したハイドロフルオロエーテル(HFE)類は代替物の有力な候補と考えられており、各用途で盛んに研究開発が行われている。

温暖化効果はその化合物が大気中に存在する時間(大気寿命)に大きく依存する。HFCやHFE等、水素原子を含んだ化合物や分子内に二重結合等を有する不飽和化合物の大気中における主要な分解経路は大気中に微量存在するOHラジカルとの反応であることから、大気寿命はOHラジカルとの反応速度から求めることができる。このため、新規な化合物を実用化するには、物性・毒性等のデータの他にOHラジカルとの反応速度の値も不可欠となっている。しかしながら、反応速度の測定値は、測定方法・測定条件等々

の影響を受け易く、文献等で報告された値の中には信頼性に疑問を抱かざるを得ない例も見受けられ、精度の高い値を得ることが重要となっている。

我々は、(財)地球環境産業技術研究機構等と共同で含フッ素エーテルを始めとする種々の新規フロン代替物とOHラジカルとの反応速度の高精度な測定を行っており、ここではその一端を紹介する。

## 2. OHラジカルとの反応速度の測定方法

反応速度の測定方法は、反応速度の絶対値を直接求める絶対法と、基準となる化合物に対する反応速度の比を求める相対法に大別できる。相対法で得た値から反応速度の絶対値を求めるためには、基準となる化合物の反応速度の絶対値が必要であることから、得られた値には相対法自身の誤差に加えて基準となる化合物の誤差も含まれるため、精度の点では絶対法が有利であるとされている。一方、絶対法では後述するように、試料中に反応性の高い不純物が含まれていると過大な測定値が得られるため、測定に際しては高純度の試料が必要となる。このように、各々の手法には一長一短があることから、信頼性の高い値を得るためには両者の手法を併用する必要がある。当センターでは、絶対法、相対法の両者の手法を用いてOHラジカルと種々のフロン代替物との反応速度の測定を行い、信頼性の高いデータを提供する予定であるが、ここでは絶対法による測定方法の概略と測定結果<sup>1-4)</sup>の一例を紹介する。

絶対法では、OHラジカル生成法として、フラッシュフォトリシス法(FP法)、レーザーフォトリシス法(LP法)及び放電流通法(DF法)の3種類の異なる手法を交互に用い、各々の手法で得た値が誤差範囲程度で一致し測定値に予期せぬ誤差が含まれていないこと確認しながら測定を進めることで、信頼性の高い値を得るようにしている。図1にFP法の実験装置の概略図を示す。反応器はガラス製であり、分解光(パルスXeフラッシュランプ光)と励起光(レーザー誘起蛍光法(LIF法)の光源、約308nm)の入射用の窓、及びOHラジカルの蛍光を観測するための窓が相互に直角な方向に3組取り付けられている。反応器には、フロン代替物、水、及びキャリアーガスを数十～数百torr程度の圧力で連続的に流す。OHラジカルは、分解光で水を直接分解して生成し、反応によって変化したOHラジカルの濃度はLIF法で測定する。反応はOHラジカルの初濃度に対してフロン代替物の濃度が大過剰の擬一次反応条件下で行い、得られたOHラ

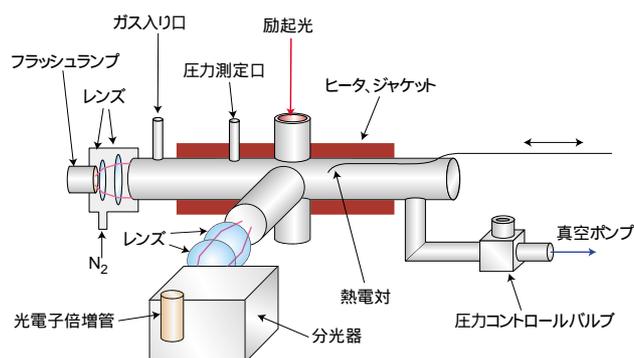


図1 フラッシュフォトリシス/レーザー誘起蛍光法反応器

ジカルの濃度変化から擬一次速度定数を求める。次いで、フロン代替物の濃度を種々変えて同様の測定を行い、擬一次速度定数とフロン代替物濃度の関係から反応速度の絶対値を求める。ここで、擬一次速度定数はOHラジカルの相対濃度の時間変化から求めるため、ラジカル濃度のキャリブレーションは不要である。従って、反応速度の測定値にはキャリブレーションに伴う誤差が含まれないことから、精度の高い値を得ることができる利点がある。

一方、絶対法ではOHラジカルの初濃度に対してフロン代替物の濃度が大過剰の条件下で反応を行うため、フロン代替物中に反応性の大きな不純物が含まれていると不純物との反応によってもOHラジカルの濃度が減少し、結果として過大な値が得られる場合がある。例えば、反応速度が3桁大きな不純物であれば0.1%含まれているだけで、主成分との反応によるOHラジカルの濃度減少と不純物との反応による濃度減少は同じになり、真の値に対して2倍の測定値が得られることになる。実際、過去に報告された測定値の中には不純物の影響を受けていると指摘された例も少なからず見受けられる。この点に関して、我々は入手した試料をガスクロで分取精製し、十分な純度の試料を用いて測定を進めている。これまでの測定では、精製することで数十%程度反応速度が低下する例<sup>3)</sup>もあり、測定方法・測定条件等と同様に、試料の純度に関しても細心の注意を払って測定を行っている。

## 3. 含フッ素エーテルとの反応速度と大気寿命

OHラジカルと含フッ素エーテルとの反応速度の測定結果の一例<sup>2)</sup>を図2に示す。表1には得られた反応のアレニウスパラメータと大気寿命の値を示す。測定は、250～430Kの温度域においてFP、LP、DF法を

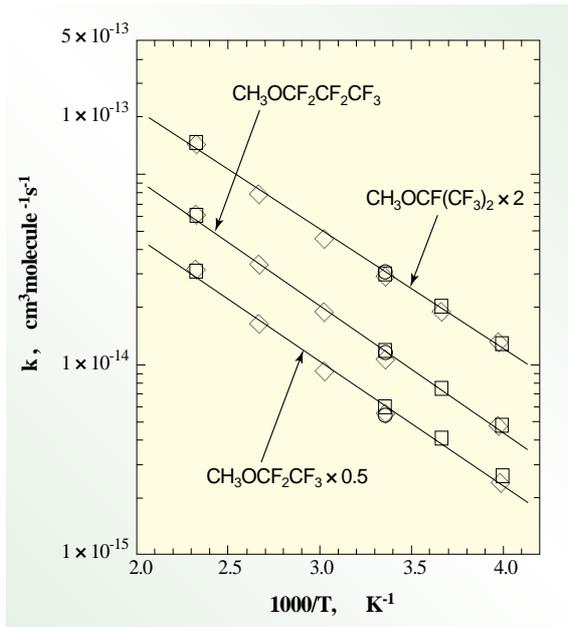


図2  $\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)_2$  とOHラジカルとの反応のアレニウスプロット (□), FP-LIF; (○), LP-LIF; (△), DF-LIF.

用いて行った。図から分かるように各々の手法で得た値は良好に一致し、各々の手法に特有の誤差は無視小であることが分かる。OHラジカルとの反応による大気寿命 ( $\tau$ ) は、大気平均温度 (277K) における1,1,1-トリクロロエタン ( $\text{CCl}_3\text{CH}_3$ 、以下MCと略す) の反応速度定数 ( $k_{\text{MC},277\text{K}}$ ) とMCの大気寿命 ( $\tau_{\text{MC}}$ ) との比から、次式を用いて求めることができる。

$$\tau = k_{\text{MC},277\text{K}} / k_{277\text{K}} \cdot \tau_{\text{MC}}$$

ここで、 $k_{\text{MC},277\text{K}}$  は  $6.7 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、 $\tau_{\text{MC}}$  はMCの大気寿命 (5.4年) に海洋による寄与分 (85年) と成層圏による寄与分 (40年) を考慮すると6.6年である。表に示した3種類の含フッ素エーテルは、(財)地球環境産業技術研究機構が実用化に向けた試験を行っている化合物であるが、これら3種類の含フッ素エーテルの大気寿命は冷蔵庫等の冷媒として広く用いられているHFC-134aの大気寿命 (OHラジカルとの反応による大気寿命は約16年) の1/3以下であり、

表1 250-430Kの温度域におけるOHラジカルとフッ素エーテルとの反応アレニウスパラメータ<sup>2)</sup>

試料	$A \times 10^{12}$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	E/R K	$k_{277\text{K}} \times 10^{15}$ $\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$	大気寿命 年
$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_3$	$1.90^{+1.90}_{-0.61}$	$1510 \pm 120$	8.25	5.4
$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	$2.06^{+0.58}_{-0.45}$	$1540 \pm 80$	7.96	5.5
$\text{CH}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)_2$	$1.94^{+0.48}_{-0.38}$	$1450 \pm 70$	10.5	4.2

$k = A \cdot \exp(-E/RT)$  . 誤差範囲は95%信頼限界.

大気寿命の点では代替物として有望であることが分かる。

#### 4 おわりに

新規なフロン代替物を実用化するには、代替物としての物性を満足する必要があると同時に、持続可能社会の構築のためには温暖化係数が小さく大気寿命が適度に短いことが求められている。温暖化係数を求めるためには大気寿命の値が必要であり、大気寿命はOHラジカルとの反応速度の値から求めることができる。このため、OHラジカルとの反応速度の値は新規化合物の実用化に際して不可欠であり、信頼性の高い値が必要となっている。しかしながら、反応速度の測定値は試料の純度、測定装置・測定条件等々に影響され易く、不確かな値が報告されている例も見受けられる。我々は、信頼性の高い値を得ることに細心の注意を払い、種々のフロン代替物とOHラジカルとの反応速度の測定を進めており、その結果が地球環境保護の一助となることを願っている。

また、平成13年4月からは産業技術総合研究所の中に新しくフッ素系等温暖化物質対策テクノロジー研究センターを設立し、本センターの中でこれらの研究を重点化して進めて行く。

#### <参考文献>

- 1) K. Tokuhashi, H. Nagai, A. Takahashi, M. Kaise, S. Kondo, A. Sekiya, M. Takahashi, Y. Gotoh and A. Suga: J.Phys.Chem.A 103, 2664 (1999)
- 2) K. Tokuhashi, A. Takahashi, M. Kaise, S. Kondo, A. Sekiya, S. Yamashita and H. Ito: Int.J.Chem.Kinet. 31, 846 (1999)
- 3) K. Tokuhashi, A. Takahashi, M. Kaise, S. Kondo, A. Sekiya, S. Yamashita and H. Ito: J.Phys.Chem.A 104, 1165 (2000)
- 4) K. Tokuhashi, A. Takahashi, M. Kaise, S. Kondo, A. Sekiya and E. Fujimoto: Chem.Phys.Lett. 325, 189 (2000)

徳橋 和明 (Kazuaki Tokuhashi)

e-mail:k.tokuhashi@aist.go.jp

関屋 章 (Akira Sekiya)

e-mail:akira-sekiya@aist.go.jp

フッ素系等温暖化物質対策テクノロジー研究センター (Research Center for Developing Fluorinated Greenhouse Gas Alternatives)

# 環境に優しいクリーンな軽油の製造に向けた触媒技術

## Catalytic technology for producing clean diesel oil

環境調和技術研究部門  
Research Institute for Green Technology

### 概要

軽油の品質改善がディーゼル排ガス低減、特に粒子状物質( PM )の低減に有効であることは、世界的に認識されつつある。このため、現行の軽油を温和な反応条件下で超低硫黄かつ低多環芳香族の軽油に改質できる耐硫黄性貴金属系触媒の実用化開発を目指し、貴金属触媒の高度化・改良設計、及び工業規模での製造法の検討を行った。この結果、希土類元素であるイッテルビウムで修飾した超安定化Y型( USY )ゼオライトにパラジウムと白金を担持した触媒が、現行の軽油から低硫黄( 硫黄量<25ppm )・低多環芳香族( 多環芳香族量<1wt% )の品質改善軽油を製造できることを見出した。更に、貴金属触媒の工業化に向けて、これらの開発触媒の成形化試作・改良を行い、Pd-Pt/Yb-USY-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒等の工業規模製造法を確立した。工業化試作触媒については、ベンチ試験装置を用いて約2700時間の性能を確認した。更に、得られた品質改善軽油及び現行軽油を用いた実車( RV車 )による簡易排ガス特性評価実験から、品質改善軽油のPM低減効果を確認できた。

### Abstract

The environmental pressures demand high specifications for diesel oil to reduce the emissions of particulate (PM), NO<sub>x</sub> and hazardous air pollutants in diesel-exhaust gases. We developed the bimetallic Pd-Pt catalysts supported on ytterbium-modified USY zeolites that showed excellent hydrodesulfurization (HDS) and hydrodearomatization (HDA) activity, and high sulfur and nitrogen tolerance for producing clean diesel oil. We then developed the extrudated form of catalysts available in industrial use, such as Pd-Pt/Yb-USY-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and confirmed their excellent performances to produce clean diesel oil containing low amounts of sulfur and polyaromatics during the time on stream of 2700 h in a bench-scale high-pressure plant. We further confirmed that the resulting clean diesel oil was effective for the reduction of PM emissions.

### 1. 背景

ディーゼルエンジンは、熱効率が高く( 低燃費 ) 耐久性や信頼性に優れており、トラックやバス等の商用車、最近ではRV車に搭載されている。また、ガソリンエンジンに比べて地球温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>の排出量が少ないという点も長所である。しかし、この経済的優位性や地球環境保全に対する優位性とは裏腹に、ディーゼル排ガスの都市部や道路沿道域の大気環境に及ぼす影響( 特に粒子状物質( PM )、窒素酸化物( NO<sub>x</sub> )、有害大気汚染物質( HAP )等)は益々深刻となっている。

ディーゼル排ガス中のPMやNO<sub>x</sub>を低減させるため、燃焼制御・エンジン改良( 燃料噴射の高圧化、直

噴、ターボ過給等 )、排ガス処理( ディーゼル排気微粒子除去フィルター( DPF )、酸化触媒、NO<sub>x</sub>除去触媒、冷却排ガス循環( EGR ) )、及び軽油品質改善の3つの切り口から、精力的に研究開発が行われている( 図1 )。PMの主成分は、固体炭素、硫酸塩及び多環芳香族等の炭化水素類を含む溶解性有機成分( SOF )等であるため、軽油中に含まれる硫黄成分や多環芳香族等はPM生成に強く影響を及ぼしていると考えられている。軽油中の硫黄に関しては、2004年末までに50ppm以下に低減するよう中央環境審議会の答申が出された( 平成12年11月 )。硫黄量の規制強化は世界的動向であり、EUでは2005年に50ppm以下に、米国では2006年に15ppm以下に規制される予定である。

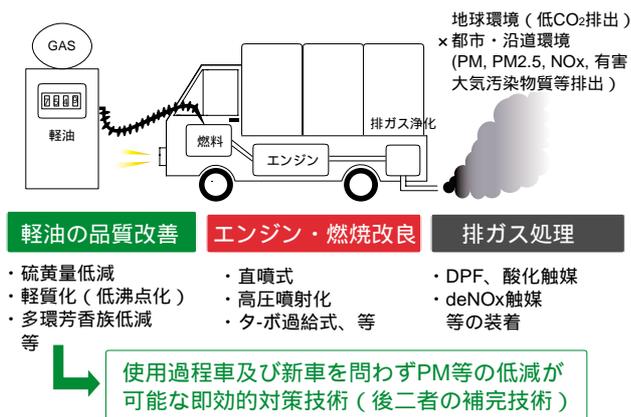


図1 ディーゼル排ガスの低減対策

一方、軽油中の多環芳香族類は燃焼触媒等無装着車からのPM排出に影響を及ぼすが、芳香族低減には高価な水素が必要となりコストアップが避けられないため、スウェーデンやカリフォルニア州を除いて芳香族は未規制である。

現在、品質改善軽油として、硫黄量が現行の500ppm以下から50ppm以下へ低減した低硫黄軽油（東京都で一部供給）難脱硫性硫黄化合物や多環芳香族成分が多く含まれる高沸点留分が除かれた軽質軽油（川崎市で一部供給）の供給が開始されている。我が国では、輸入している原油が欧米に比べて重質であるため軽油も重質となっていること、また、冬季に灯油の需要があること等の特殊事情があるため、将来的には需給バランスを変えず（現行の軽油留分から重質留分を除去せず、しかも灯油留分の混合も最小限にする）しかも燃焼触媒等無装着の使用過程車からの排ガス低減も期待できる第3の品質改善軽油（超低硫黄・低多環芳香族軽油）も選択肢の一つになると考えられる。

## 2 研究内容

### 2.1 目的

超深度脱硫（S<50ppm）と芳香族低減を同時に可能な触媒反応としては、高温・高水素圧条件が必要となる水素化脱硫／核水素化法や水素化分解法と、熱力学的制約を受けない温和な温度・水素圧力下での水素化脱硫／核水素化法が挙げられる。後者の触媒系としては貴金属系触媒が一部実用化されており、将来のS<10ppmや芳香族低減にも対応可能な軽油品質改善触媒技術として有力視されているが、石油精製用

触媒として貴金属触媒の実績も少なく、耐硫黄性の向上等耐久性面での課題も多い。従来、貴金属触媒は処理原料中の硫黄量や供給ガス中の硫化水素分圧が低い場合に有用とされており、高濃度の硫黄を含む原料軽油を二段階で水素化処理するプロセスの後段触媒（前段に用いられる触媒は従来型の硫化物触媒）として位置付けられることが多い。我々は、蒸留性状が現行軽油に近く、超低硫黄（S<50ppm）かつ低多環芳香族の品質改善軽油を製造できる低温作動型の触媒、しかも、日、米、欧の自動車工業会の提言（Worldwide Fuel Charter）したcategory 4（硫黄<5-10ppm、芳香族<15wt%）にも将来的に対応可能な耐久性の高い新規貴金属触媒（前述の二段法の後段触媒）の開発を目的としている。更に、放射光を用いたin situ XAFS解析により貴金属触媒の硫黄被毒機構を原子・分子レベルで解明し、耐硫黄性貴金属触媒の設計に資する基盤技術の構築も併せて行う。

### 2.2 成果

開発した新規軽油品質改善触媒 貴金属系触媒は、現行のCo-MoやNi-Mo系硫化物触媒に比べて高価であるものの、温和な条件下でも極めて高い脱硫機能や芳香族低減機能を示す。しかし、貴金属触媒は硫黄に被毒され易い欠点を有しているため、触媒性能・耐久性向上には貴金属の耐硫黄被毒性を飛躍的に向上させる必要がある。貴金属種や貴金属を高分散状態で担持する担体の選定、貴金属の合金化、担体の構造や固体酸性等について詳細に検討した結果、イッテルピウム（Yb）で修飾した超安定化Y型（USY）ゼオライトに担持したパラジウム - 白金（Pd-Pt）二元系貴金属触媒（Pd-Pt/Yb-USYゼオライト）が



図2 軽油の品質改善用触媒の性能評価装置（中央が反応管部）

驚異的な脱硫活性及び芳香族の低減活性を有することを見出した。この触媒を用いて市販軽油(硫黄量 = 263ppm、多環芳香族量 = 約7wt%、全芳香族量 = 約26wt%)を図2に示す高圧反応装置を用いて水素化処理した場合、温和な反応条件下(反応温度=553K、圧力=3.9MPa、WHSV=4h<sup>-1</sup>)でも超低硫黄・低多環芳香族の品質改善軽油(硫黄量 <20ppm、多環芳香族量 <1wt%、全芳香族量 <5wt%)が得られた。本反応に使用した使用済み触媒の透過電子顕微鏡写真を図3に示す(Zコントラスト像、スケール目盛 = 6nm)。USYゼオライトをYbで修飾することにより、活性劣

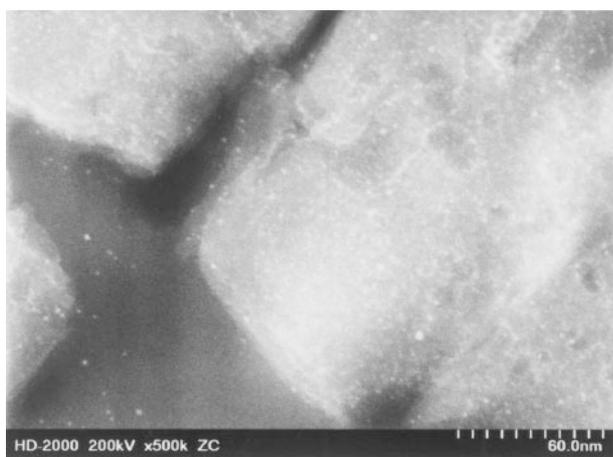
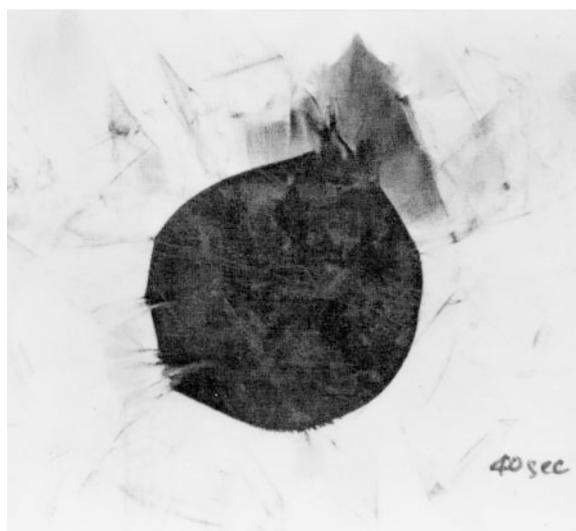


図3 開発したPd-Pt/Yb-USYゼオライト触媒の電子顕微鏡写真(白い点が貴金属相)

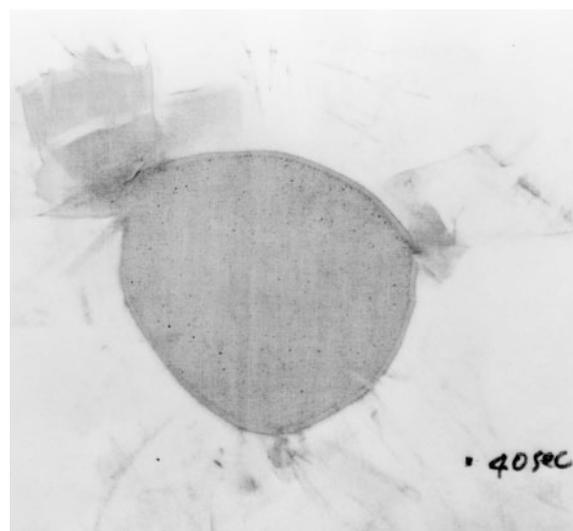
化の要因となる貴金属相の凝集が著しく抑制されていることが確認された。

Pd-Pt/Yb-USYゼオライト触媒の工業触媒化に向け触媒化成工業(株)と共同研究を実施し、本開発触媒の成型化試作・改良を行い、最終的にPd-Pt/Yb-USY zeolite-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒等の工業規模製造法を開発した。更に、パイロット反応装置を用いて開発触媒(1/16 inchの押し出し成型物)の性能試験を行い、約2700時間の寿命を確認した。本開発触媒を用いれば、原料深脱硫油(硫黄量 = 429ppm、多環芳香族量 = 約6%、全芳香族量 = 約28wt%、蒸留性状: IBP=211°C、T10=244°C、T50 = 286°C、T90=354°C、EP=387°C)から超低硫黄・低芳香族の品質改善軽油(硫黄量 = 25ppm、多環芳香族量 <1wt%、全芳香族量 <5wt%、蒸留性状: IBP=184°C、T10=231°C、T50 = 280°C、T90=350°C、EP=385°C、通油開始約2300時間後の油)が得られることが確認された(反応温度=579K、圧力=4.9MPa、LHSV=2h<sup>-1</sup>)。品質改善軽油は軽質化が押さえられており(セタン価の面で有利)、体積基準の回収率は100%以上であった。この品質改善に伴う体積増加(軽油は体積基準で売買)は、高価な水素の消費を伴う芳香族低減の経済性を評価する際に極めて有利となる。

品質改善軽油及び現行軽油を用いた簡易排ガス特性評価 前述の品質改善軽油及び市販軽油を用いた実車(2台のRV車)による簡易排ガス特性試験を行っ



(a)市販軽油を使用



(b)低硫黄・低多環芳香族の品質改善軽油を使用

図4 ディーゼル排ガス排出口に取り付けた布の汚染状況(40秒間採集)

た(平成12年度の旧物質工学工業技術研究所の一般公開で実施)。使用した同一車種のRV車は、共にH12年登録のディーゼル乗用車(排気量 = 3000cc、水冷直列4気筒、直噴式のDOHCターボエンジン搭載)である。図4(a)(b)の写真は、排出口に装着された布上への黒煙等の沈着状況を示しており、定量性には欠けるものの、前述の品質改善軽油を用いればPMを低減できることが確認できた。ただし、年式の古いディーゼル車に対する低減効果は確認していない。

### 3 .今後の課題

PM除去用の燃焼触媒やDPFの装着を前提( PM除去率 > 90% )とすれば、軽油中の硫黄量を選択的に脱硫する超深度脱硫技術が最も経済的な軽油品質改善法であろう。PM除去用の燃焼触媒やDPFが未装着の場合、前述の軽質軽油や本研究の低硫黄・低多環芳香族軽油等も選択肢の一つとなろうが( PM除去率は20 ~ 35%程度 )、コストアップは避けられないため、今後は軽油品質改善の技術面及び経済面での総合評価が必要となろう。技術面では、貴金属量の低減・高機能化技術や貴金属触媒の耐硫黄性向上対策技術等の確立に向けて今後検討を行うと共に、灯油やガソリンの超深度脱硫技術、更には自動車用燃料電池の水素源としても期待されているナフサ等の超深度脱硫技術への展開も図る予定である。

#### <参考文献>

Y. Yoshimura et al., "Sulfur-tolerant Pd-Pt/Yb-USY zeolite catalysts used to reformulate diesel oils", Applied Catalysis A, General, 207(1-2), 303(2001).

#### 研究課題名

1. 「ディーゼル機関排出物の低減のための軽油品質改善技術に関する研究(公害特別研究)
2. 「ディーゼル自動車からの排気ガス浄化に関わる触媒技術の基礎研究(競争的特別研究)

# 脳磁計測技術と医療福祉応用

## MEG technology and its application for medical welfare

ライフエレクトロニクス研究ラボ

Life Electronics Laboratory

### 概 要

脳磁図計測法(MEG)は人間の脳活動を非侵襲に計測する最も重要な手法の一つですが、我々の日常生活における感覚知覚、認知、種々の行動などを理解するのに適した技術です。脳磁図計測(MEG)を用いることの利点は、その優れた時間分解能と脳内の信号源局在の推定精度の良さにあります。私達はMEGのこの長所を生かして、人間の脳の前頭葉眼窩野に嗅覚の中樞部位を見つけ、人間の注意や情動による精緻な制御機構を明らかにしてきました。さらに最近、MEG計測を用いて超音波振動子による骨伝導刺激法で超音波が音として知覚されることを実証しましたが、この技術の医療福祉応用として超音波補聴器の開発が高度難聴者のために大いに期待されています。

### Abstract

Magnetoencephalography (MEG) is one of the most important non-invasive measurements of human brain activity and a valuable technology to understand human sense, cognition, and various actions in daily life. Using the advantage of MEG; the excellent time resolution and good signal source localization, we found the olfactory nervous center in the orbito-frontal area and a fine control mechanism on attention and emotion. Ultrasonic hearing has been recently revealed by bone conduction method with an ultrasound vibrator using MEG, so that the development of a ultrasonic hearing aid is expected for hearing deaf people.

### 1 はじめに

この研究は、私達人間の脳が日常どのように働いているか、いろんな感覚によって知覚される生体内の情報がどのような仕組みで処理されているのか、あるいはもっと高度な脳の活動は如何に行われているか、などの様子を脳の外部から、頭や体を手術して切り開いたりしないで、客観的に計測する手法(これを「非侵襲的計測法」と言います)で計測・解析する技術を研究・開発して、これを医療福祉機器などに役立てることを目的としています。

そこで私達はこの研究の有力な方法として、最近、各方面から注目されている脳磁図(MEG:magnetoencephalography)を用いて脳活動の知覚、認知、識別機構を可視化する研究を行っています。

近年、脳における情報処理過程は時空間的であるとの認識が強まっています。すなわちある時刻における情報は並列分散表現されるだけでなく、脳内の各部位における時間的活動パターンが情報の別の側

面をコードしていると考えられています。これは、脳神経活動の情報伝達が、単なるシーケンシャルコードの翻訳ではなく、時間と空間とで表現される4次元的なダイナミック「パターン」に意味があるとの考えに基づくものです。一方、人間の認知や行動は同時に複数の感覚刺激による影響を受けており、注意や情動などで常にこれらが修飾されていると考えられます。

そこで、産業技術総合研究所の前身のひとつである電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センターでは、感覚・知覚をはじめ人間の認知・行動のような高次脳活動が、注意や情動によって如何に変化するか、等を明らかにするため、全頭型脳磁計(122チャンネルのSQUIDを有する超高感度なヘルメット型磁気計測装置、Neuromag社製:Neuromag-122)を用いたMEG計測によって非侵襲に人間の脳神経活動を計測してきました(図1)。本研究ラボでは、これをさらに発展させ、複数の感覚刺激による複

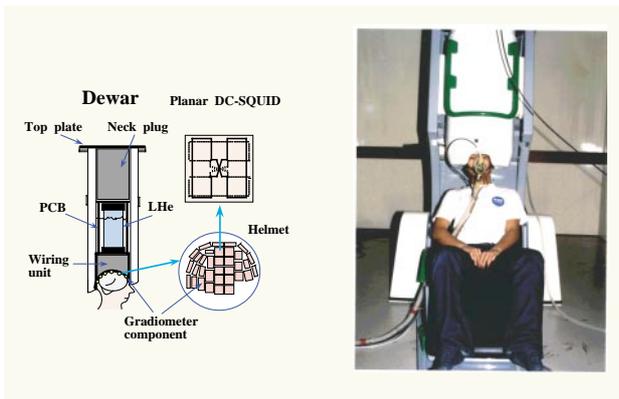


図1 全頭型脳磁計と匂いのMEG実験の様子

合感覚が脳内で如何なる時空間イメージを作りだしているか、またこれらの複合感覚間の相互作用において情動、記憶、認知的過程などの情報処理過程が如何に時空間的にダイナミックに表現・可視化されるかなど、人間の認知・行動、脳内の複合感覚処理のモデル化を行い、MEGイメージング法で脳活動のダイナミクスを可視化する研究を実施しています。

現代は科学・工業の発達によって人間生活、産業活動の中に、コンピュータ、ロボットをはじめ種々の複雑な機器が用いられるようになってきました。しかし、人間は時にはこれら機器の使用法を誤り、またミスをしてそれが大事故を招くことがよくあります。このように機械文明、電子機器の発達の中で、今日ほど人間自身の感覚・知覚や認知・行動の特性が重要な関わりを持つようになってきた時代はありません。つまり、私達人間が自分の周りの物質を如何に認知・識別しているか、またこれらの情報が脳内ではどのように処理されているのか等を明らかにすることは、現代社会の産業全般の経済的基盤に重要な影響を及ぼします。これらの技術・研究は今後の経済発展にとっても、人間特性に適した機器開発、人間の医療、福祉に適用できる技術開発として強く求められています。

## 2 脳磁計測技術とは

脳磁場は、脳内に存在する錐体細胞の神経細胞内電流が原因とされており、これらの局所的に終結した部位の神経細胞群が同期して一斉に活性化された時、等価電流双極子 (equivalent current dipole: ECD) として磁界を生じるものと考えられています。また、これが頭部の表面に磁束を発生するためには、脳内の錐体細胞の軸索方向が、頭皮に水平方向に向いた

場合のみであるため、このような条件は脳の皮質層が脳内に褶曲した溝 (いわゆる脳のしわ) 部分における場合と考えられています。脳波 (EEG) が脳の神経活動の電気的な変化を反映したものであるのに対し、脳磁場 (MEG) は脳神経活動を磁場の強さの変化として計測されたものです。また、人間の頭は骨、皮膚、脳髄液、脳組織等の物質で構成されている為、脳波は電気抵抗の歪みを受けますが、脳磁場は電気抵抗の影響がないので電界歪みがなく、脳内の信号源の位置推定精度が良いという長所を有しています。このように時間分解能に優れている事、信号源推定の空間分解能 (source localization) に優れている事が脳磁界計測の最大の利点です。生体からの磁界の強さは地球磁場の約10億分の1くらいと小さいので、脳磁界を測定するためには外部磁界のノイズを遮蔽・減弱する必要があります。このため、現状では磁気シールドルーム内で、極めて高感度な超伝導量子干渉素子 (SQUID) を用いて測定しなければなりません。しかし、磁気シールドルームは外部磁界の影響を完全に除去できないので、SQUIDのピックアップコイルが工夫され、極く近傍で逆向きに巻かれた2つのコイル間で空間的差分を取り、1次微分型のコイルを用いることによって、外部磁界の影響を引き去って脳神経磁界のみを計測できるようにしています。

## 3 高次脳活動の解明と可視化の研究

### 3.1 匂い・味の知覚、認知機能の計測

私達の研究グループでは、122チャンネル全頭型脳磁計を用いて匂い刺激に対する人間の脳磁界応答を初めて計測し (図1) 人の脳内の匂い信号源が前頭葉眼窩野の部位にあることを世界に先駆けて明らかにしてきました<sup>1)</sup>。これにより、脳の匂い刺激応答の脳左右差結果から人間の嗅覚神経系では同側性支配の可能性が強いこと、さらに無臭空気刺激を通常よりも圧力をあげて行った実験の結果、得られた反対側の別の部位に推定された反応は、三叉神経による体性感覚応答であることが脳磁計測で客観的に検証されました。また、匂いの認知に関する実験を実施し、匂いの認知に関与している可能性のある部位を新たに側頭部領域に発見しました。この匂いの研究では、新たに能動的嗅覚 (active olfaction) の実験を行い、匂いの識別機構の検討を行いました。このMEG匂い計測では、匂いのoddball課題実験による応答の潜時が異なる3つの特性 (三叉応答、嗅覚応答、認知応答) を初めて捉え、識別することに成功しました

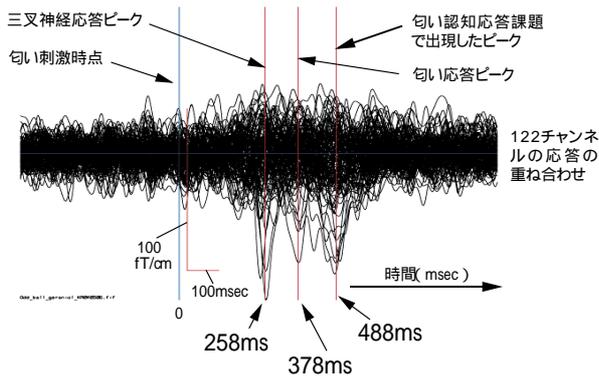


図2 匂いのオドボール課題実験による脳磁図応答

(図2)。一方、情動の研究では、匂いの認知応答やactive olfaction実験、味覚実験の二次応答などで、右前頭部(快性)と左前頭部(不快性)で、快/不快応答に大脳左右差の傾向が認められ、今後の研究に対する重要なヒントを得ました。このMEG実験と解析に関する新しい課題の研究では、例えば我々の鼻で匂いを「嗅ぐ」という様なアクティブな行動と匂いの認知過程との関係が如何に関係しているかなど、まだほとんどこれまで研究されていなかった重要課題に着手してきました。

### 3.2 複合感覚の注意による分割

本研究では、複数感覚刺激に対する注意や情動によって脳内の処理、修飾の影響をMEGで計測する実験を開始し、人間の認知・行動に関する各種の感覚刺激系を完備すると共に、特に視覚、聴覚の相互作用に

関する脳磁界実験課題を実施してきました。当ラボでは、装置開発により、あらゆる感覚(五感)刺激間でのMEG実験が可能となったので、複数感覚間における注意、認知、情動に関わるMEG実験を実施し、それらの解析を一層推進してきました。また、当ラボに新設された永久磁石型MRI装置(0.3T、日立製:ARIS-II)とMEG装置とを組み合わせ、脳内の神経活動をミリ秒の時間オーダで視覚化する新技術の開発を行ってきました。さらに、MEG研究における脳画像の表現法や標準化への提言を具体的に検討しています。複数感覚刺激間の注意の分割課題実験では空間的認知と非空間的認知の応答が潜時、並びに脳内処理部位で異なる結果を得ました<sup>2)</sup>。聴覚が視覚と同時に複合した刺激で与えられた場合、それらの感覚間の相互作用は脳内でどのような仕組みで処理されているか、これらの複合感覚が我々人間の注意や情動、認知や記憶、などによって如何なる影響を受けているか、これらの脳内処理のダイナミクスをMEGの実験と解析による時空間的パターンで表わし、これらを可視化して表現する手法の検討を行いました。

## 4 脳内信号源の新たな推定法の開発研究

### 4.1 空間フィルターを用いた信号源推定法

本研究では、信号源推定の為の逆問題解法に空間フィルタ法を用いた信号源解析など、新しい概念に基づく解析法を開発しました<sup>3)</sup>。

非侵襲的計測法の急速な発展により、従来観測が不可能であった人間の脳活動の状態がリアルタイム

## MEG逆問題における新しい信号源推定法の開発

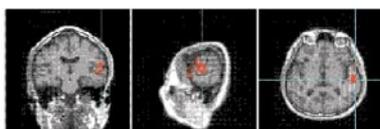
Estimation of neural activity distribution

### Linear Spatial Filtering

- ・ 脳内のある位置に存在する電源が生成する信号(空間パターン)のみを通し、それ以外を大きく減衰させるフィルタである。
- ・ 線形制約条件  $f=Lp$  を満たしながら、フィルタ出力における分散を最小にするような空間フィルタを構成する。
- Neural Activity Index  
 $g(ri)=\text{Var}(\text{signal}(ir)+\text{noise}(ri))/\text{Var}(\text{noise}(ri))$   
 (f: 測定データ, L: lead field行列, p: 脳内電流分布)

どんな時に有効か?  
 sensor arrayの感度分布の不均一性による様な電源空間におけるS/N比の不均一性の補正である。

「注意」課題実験における適用例



Attend Visual/auditory (220ms)



Attend Visual (240ms)

図3 空間フィルター法を用いた信号源解析法と注意の分割MEG実験への適用

に可視化されて見るができるようになってきました。そこで、MEGが他の非侵襲計測法に比べて時間分解能の点で極めて優れている利点を生かし、ミリ秒の精度で脳内の情報の流れを可視化するための研究を実施しました。また、これらの長所を活かして脳内の複数の部位で同時に活動している脳全体の様子を一度に捉えて解析し、脳の時空間的な活動パターンをダイナミックに捉え、時空間のイメージングで表わす手法を新しく開発しました。特に、空間フィルタ法を用いた信号源解析法を新規に開発し、脳内の信号源を精度良く推定できるようになりました(図3)。今後は私達がこれまでの研究によって蓄積してきた嗅覚の知見や聴覚・視覚に関する最新の知見に立脚して、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、体性感覚・・・等の感覚が複合して与えられた場合、これら複合感覚間の相互作用に関する脳内情報処理の解析や、注意、情動などによってこれらの感覚間の相互作用がどのように変化するのか、さらに人間の高次の認知、記憶、など情報処理過程の時空間的なダイナミクスをこれら新しい信号源推定法を用いて解析し、可視化して表わす研究に挑戦する予定です。

#### 4.2 センサー統合による脳内領域間の可視化

また私達のラボでは、脳の高次機能をMEG、EEG、fMRI、PET等を用いて計測し、これらの非侵襲計測における各々のセンサーを統合することによって、脳内の信号の流れ、脳内領域間の相互作用等を可視化して表わす実験・解析を開発中です。図4はこのセ

ンサー統合による脳内領域間の可視化を行う手順を示したものです。

### 5 .MEG技術の医療福祉への応用

#### 5.1 MEGによる超音波聴覚の研究

我が国では高齢化社会から急速に高齢社会となってきており、通常の補聴器では聞えない高度難聴者の数が増えています。これまでは補聴器に替わる他に良い代替方法がありませんでした。しかし、私達の研究によって高度難聴者でも超音波が聴取できることが明らかとなり、超音波を用いた高度難聴者用補聴器の可能性がにわかに高まってきました。本研究では脳磁計(MEG)を用いて骨導超音波刺激による音声知覚応答を客観的に計測し、高度難聴者が使用可能な超音波補聴器を実際に開発・製作することを目標としています。

超音波聴覚の研究は、これまでも国内外で行われてきましたが、科学的に実験・計測したり、超音波の周波数に対する感受性や変調超音波の識別を調べる研究は他では行われていませんでした。また、超音波骨導刺激器は外国製で研究用として試作(Hearing innovation社)されていますが、言語音を伝える補聴器機能はありません。そこで、私達はMEGを用いた超音波の共同研究を行ってきましたが、このような研究は私達のグループ以外に国内外でも実施されてはならず、超音波補聴器の実用化を目指して具体的に研究開発している例は、他にはまだありません。

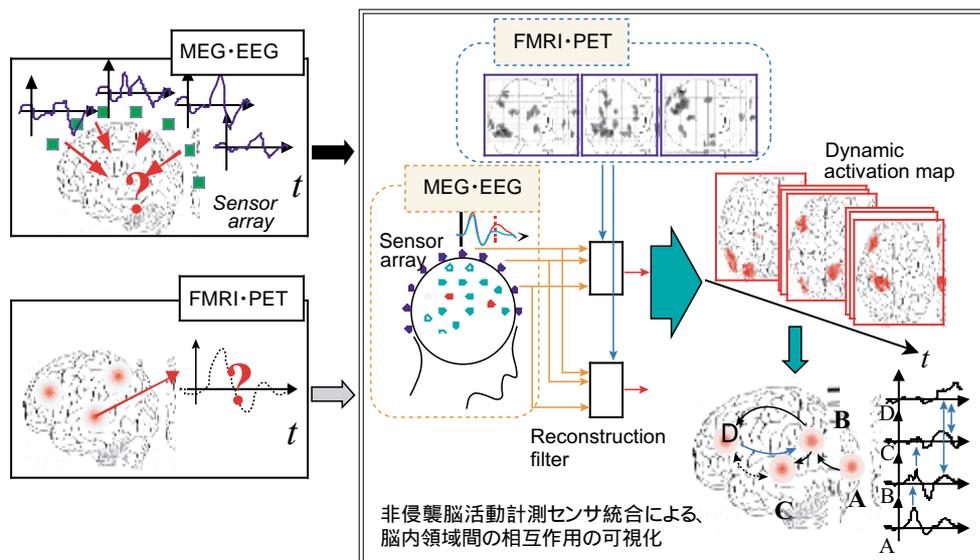


図4 MEG、EEG、fMRI、PET等のセンサー統合による脳内領域間の相互作用の可視可

## 5.2 高度難聴者のための超音波補聴器開発

高齢社会の進展に伴い、通常の補聴器で聞えない高度難聴者が増えてきています(平成8年度の調査では、身体障害者2級以上の高度難聴者が全国で約85,000人:平成8年度版「障害白書」による)。しかし、現在他に代替方法がないため困っているのが実情でした。これに対して高度難聴者で超音波が聴取できたことから超音波を用いる高度難聴者用補聴器の必要性が急速に高まってきています。

本研究は、奈良県立医科大学耳鼻咽喉科、東京大学大学院医学研究科認知・言語医学講座、同志社大学工学部超音波研究室、国立リハビリテーション研究所、それに企業(例えば共和電子工業など)と我々との共同による産学官連携共同研究で実施しています。

私達は全頭型脳磁計を用いて聴覚正常者と高度難聴者の双方で骨導超音波刺激による音声言語の聴覚脳磁図(MEG)実験を行い、また超音波刺激に対する音声認識の心理実験も実施して、超音波刺激によって言語音が知覚識別されることを世界で初めて科学的、客観的に立証しました<sup>4)</sup>。まず聴覚正常者群で可聴域周波数の気導音と骨導超音波刺激による聴覚機能とを調べた結果、脳内の超音波応答の活動部位が聴覚野内に明瞭に計測されました。一方、超音波に母音を変調して加え高度難聴者で実験した結果も、聴覚野の部位(少し上側頭より)にその活動源が明瞭に示され、骨導超音波刺激による言語音の知覚機能が世界で初めて科学的、客観的に立証されました(図5)。

これまでに、超音波を用いた変調言語音刺激によるMEG実験用の超音波刺激発生装置の製作、非磁性

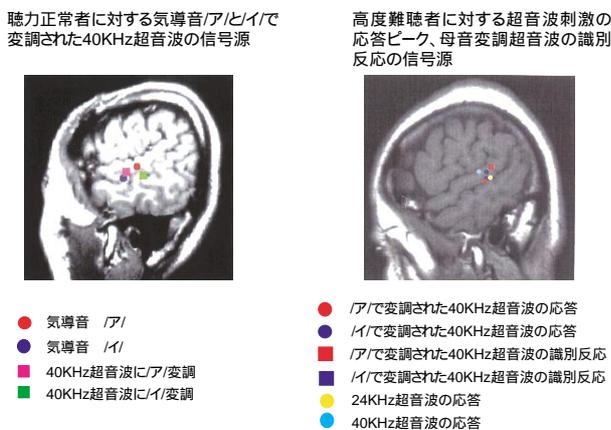


図5 骨導超音波刺激による言語音の脳磁図応答

製の種々のセラミックス型超音波振動子の開発を行いそれらの特性テストを実施しました。昨年度は、骨動超音波を用いた種々の変調言語音刺激に対する聴覚実験を行い、大量のMEG計測データの詳細な解析を実施しました。さらに、複数の超音波振動子を用いた音像定位の実験や、生体の聴覚系における超音波の神経伝導経路に関する基礎的検討なども行いました。これらの分析結果から、伝達特性の良い種々の非磁性製セラミックス型超音波振動子の試作を行い、最適な伝導効率の変調周波数の選択、最適な変調方式の検討、音の校正法の検討、実際の超音波刺激発生装置の回路設計、装置のコンパクト化、簡易型補聴器の試作等を試み、具体的にそれらの種々の聴覚性パラメータに関する超音波補聴器の聴取テストを実施しました。本年度は、これまでに得られた骨動超音波のMEG実験で最適化された超音波補聴器の第1号器の製作を行うと共に、その特許申請を行いました(図6)。



図6 試作した超音波補聴器(1号機)

上記の研究の中で、さらに明確となった事実に、左右に2個の超音波振動子を装着して用いた超音波の音像定位の実験があります。この結果、骨導超音波による聴覚においても普通の可聴音の時と同じように、音像定位が可能であることが証明されました<sup>5)</sup>。この成果は、超音波が上オリブ核以前の末梢レベルで、既に聴覚神経系に結合する経路があることを強く示唆する結果となっています。これは超音波聴覚機能の解明に新しい一歩を切り開くと共に、今後の超音波補聴器の製作において複数振動子を用いた多チャンネル超音波補聴器の開発に画期的な道を開くものです。今後の研究の進展では、研究期間終了までに、このような複数チャンネルの超音波補聴器の製作、それらを用いた聴覚の機能マッピングの表示法・視覚化手法の開発が期待されます。今後は、高度難聴者が実際の言語識別機能として、どのような超

音波刺激が聴覚の単語(言語)として最も識別し易いかを、種々の超音波刺激に対して言語識別のMEG実験を行う予定です。このためには、聴覚健常者群と高度難聴者群の双方による超音波MEG実験を実施し、実際に第2号器、3号器の補聴器を製作するための設計指針を得る予定です。また、これらの超音波補聴器の聴取実験、性能テストの結果を踏まえて、更に改良を加え、これらの超音波感受性の計測実験を推進して実用的な高度難聴者用骨導超音波補聴器の完成を目指します。

## 6 .今後の研究展開

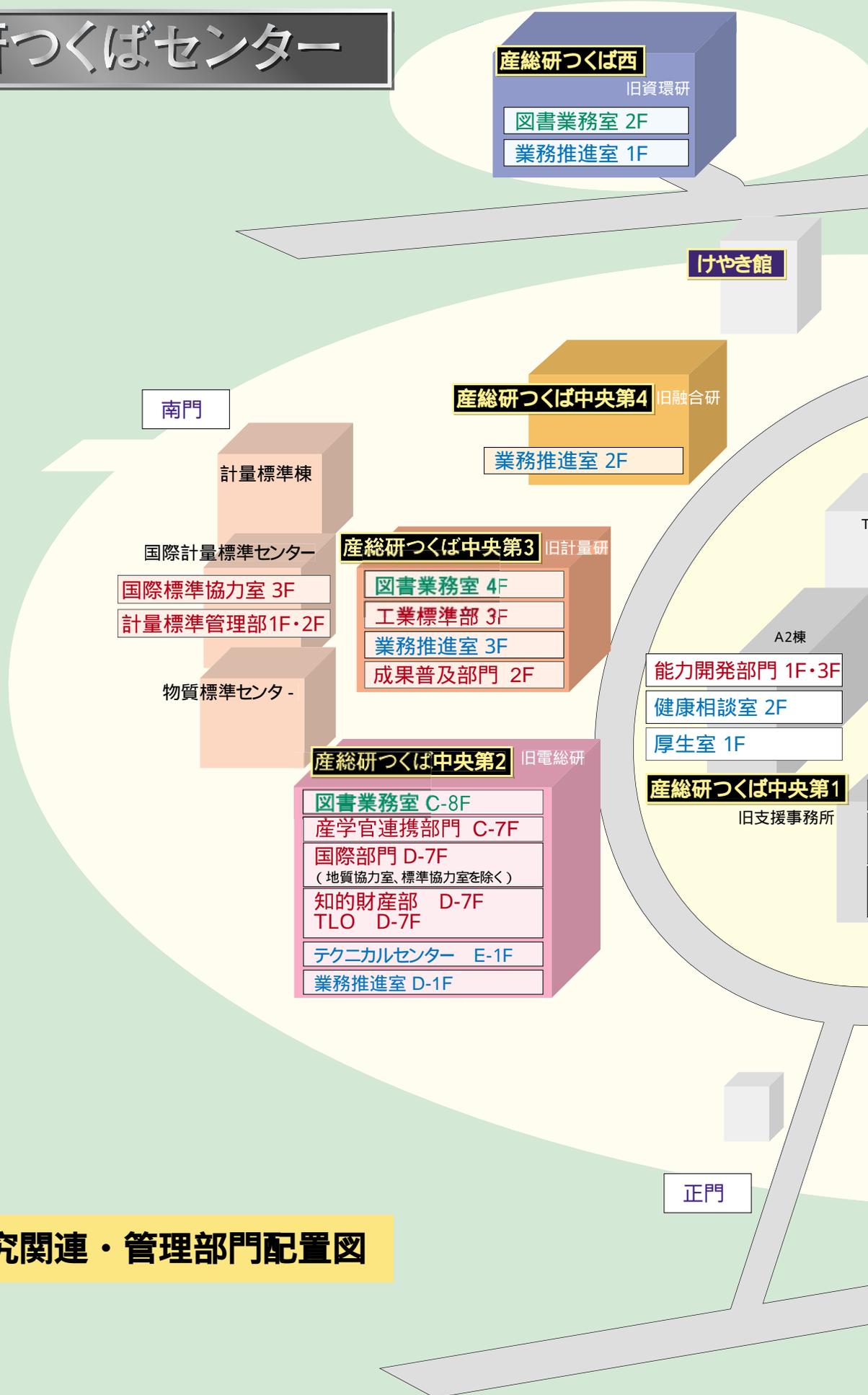
以上のように最近、人間の脳神経活動を非侵襲・実時間処理で計測できるMEG計測技術が医学分野はもとより、人間が関わるあらゆる産業、生活分野で緊急に必要となってきています。このため、MEG計測の精度をさらに一層向上させ、その結果を解析・可視化して表わすことが強く求められ、その社会的影響に対する意義は極めて大きいものがあります。一方、感覚間の相互作用は、呈示される感覚のモダリティーにより異なる可能性があるため、感覚間相互の組み合わせについて、種々の可能性をMEG実験でテストをする予定です。また、今後は感覚間の刺激がお互いにコミュニケーションしている相手同志で、相互に如何なる影響を及ぼすか等について、それらを客観的に計測できるMEG実験を検討します。このため、相互にコミュニケーションを行っている者同志の刺激を互いに制御して刺激できる実験系の構築、またこの時の脳活動を同時に且つ相互に非侵襲に計測できる手法、並びにその為の新しい解析法の開発等を行う予定です。このような複合感覚間の相互情報伝達においては、現実には複数の信号源が存在する場合や、脳の異なった部位に同時に脳活動が現われる可能性、さらには活性化された脳の部位が拡がっている可能性、等々が考えられます。従って今後は、このような実体に適合した解析、信号源推定法の新しいアルゴリズムの構築、脳の新原理に基づくモデル化、逆問題のシミュレーション解析法等を開発して、人間の脳機能の処理を一層明らかにする方針です。また、これらの技術を超音波補聴器開発の実例の様に、具体的な医療福祉機器の開発、人間生活に役立つ機器

開発などに適用をはかる予定です。

### <参考文献>

- 1) M.Tonoike, A.Maeda, H.Kawai and I.Kaetsu: Measurements of olfactory event-related fields evoked by odorant pulses synchronized with respiration., *Electroenceph. Clin. Neurophysiol., Suppl.* 47, pp.143-150, 1996.
- 2) 岩木直, 外池光雄, 山口雅彦, 浜田隆史: 視聴覚間選択的注意による脳内情報処理修飾の脳磁界による計測, 第14回生体・生理工学シンポジウム論文集, 293-296, 1999.
- 3) S.Iwaki, M.Tonoike, M.Yamaguchi and T.Hamada: Modulation of extrastriate visual processing by audio-visual intermodal selective attention., *Neuroimage, Vo.:*11, S21, 2000.
- 4) H.Hosoi, S.Imaizumi, T.Sakaguchi, M.Tonoike and K.Murata: Activation of The Auditory Cortex by Ultrasound., *The Lancet*, 351, No.9101, 496-497, 1998.
- 5) S.Nakagawa, M.Yamaguchi, T.Sakaguchi, M. Tonoike, S.Imaizumi, H.Hosoi and Y.Watanabe: Characteristics of auditory perception of bone-conducted ultrasound., *電子情報通信学会技術研究報告*, WIT99-15, 89-94, 1999.

# 産総研つくばセンター



## 研究関連・管理部門配置図



# 北海道センター

北海道センターは、センター、札幌北サイト、白石サイトで構成され、研究実施部門として、エネルギー利用研究部門、生物遺伝子資源研究部門、微小重力環境利用材料ラボが配置されています。

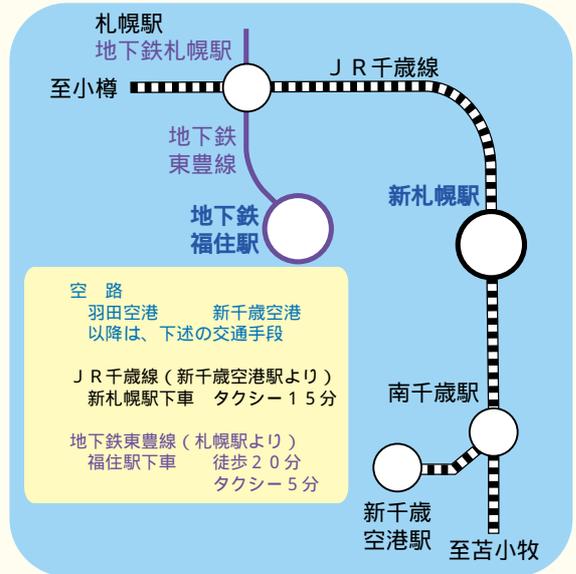
ここでは、ゲノム情報を利用して、蛋白質等の有用物質を生産する技術（ゲノムファクトリー技術）の研究開発を重点に取り組むとともに、地域における産学官連携の中核としての機能を果します。

## 交通案内

### ・周辺地図



### ・公共交通機関



# 東北センター

東北センターには、研究実施部門として、超臨界流体研究センター、環境管理研究部門、基礎素材研究部門が配置されています。

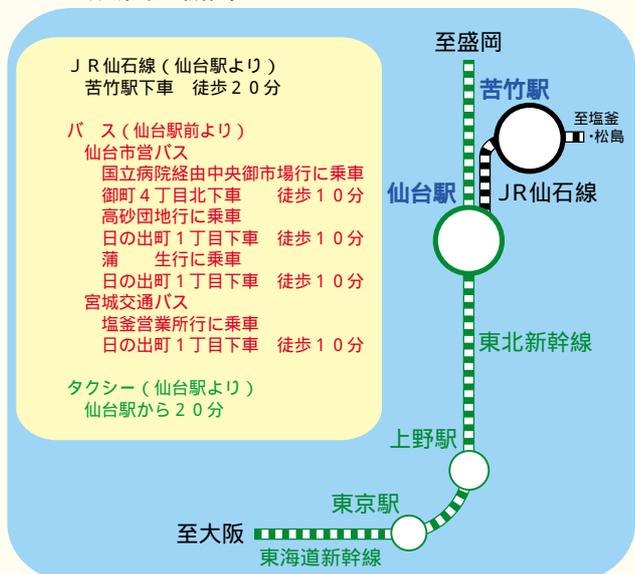
ここでは、超臨界流体研究センターを軸とした低環境負荷プロセス分野の研究を担当します。また、地域における産学官連携の中核としての機能を果します。

## 交通案内

### ・周辺地図



### ・公共交通機関

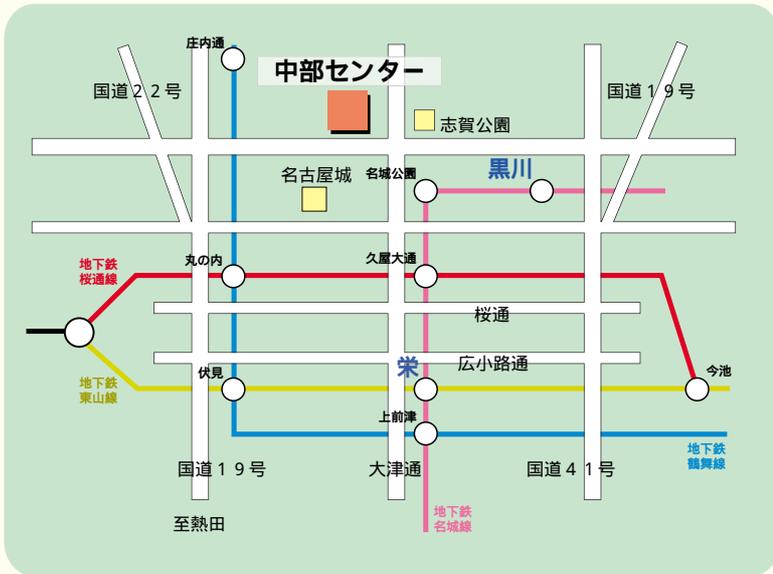




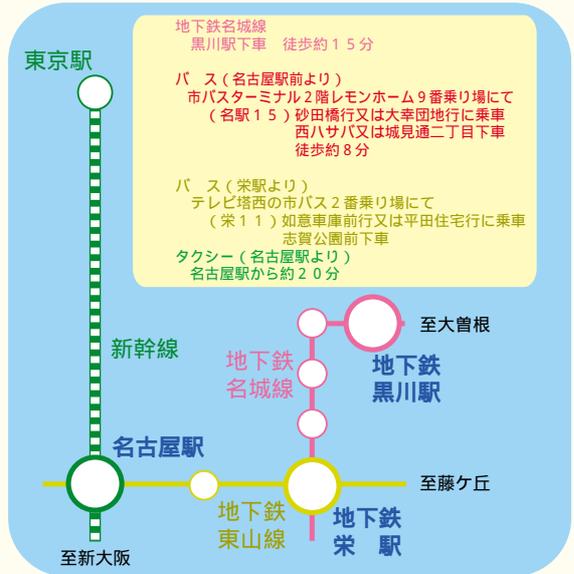
# 中部センター

中部センターは、センター、瀬戸サイト及び志段味地区（シナジーマテリアル研究センター）で構成され、研究実施部門として、シナジーマテリアル研究センター、セラミックス研究部門、基礎素材研究部門が配置されています。  
 ここでは、材料分野における国際産業競争力の強化に寄与することを目的とした研究に取り組むとともに、地域における産学官連携の中核としての機能を果たします。

## 交通案内 ・周辺地図



## ・公共交通機関



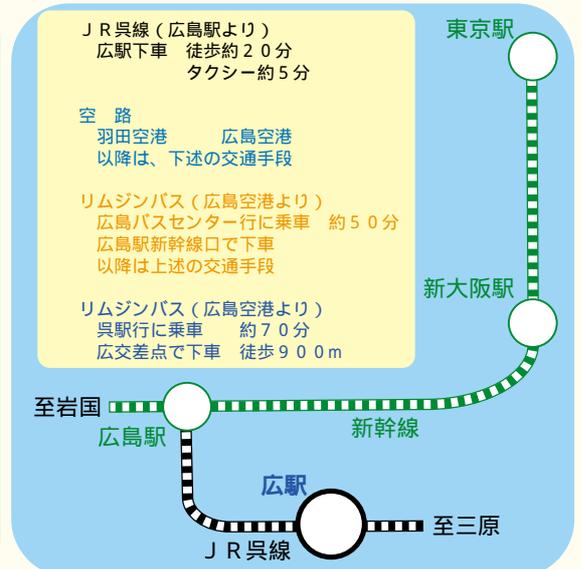
# 中国センター

中国センターには、研究実施部門として、海洋資源環境研究部門、基礎素材研究部門が配置されています。  
 また、地域における産学官連携の中核としての機能を果たします。

## 交通案内 ・周辺地図



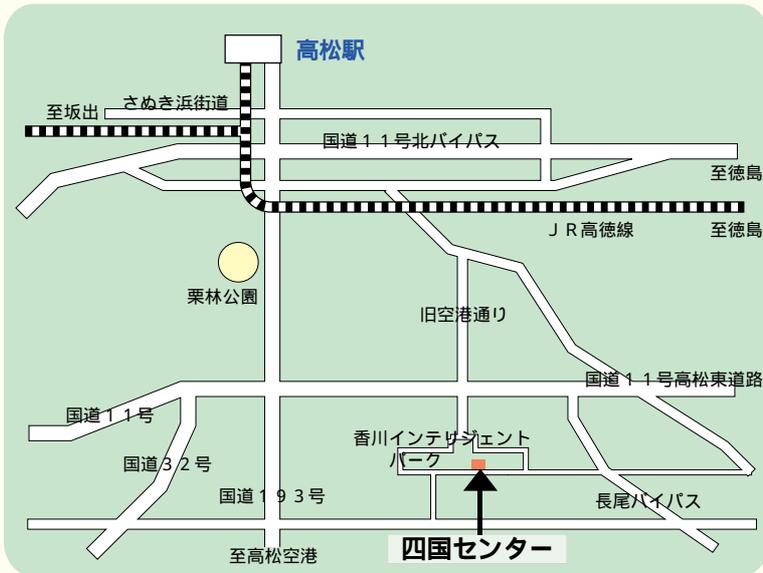
## ・公共交通機関



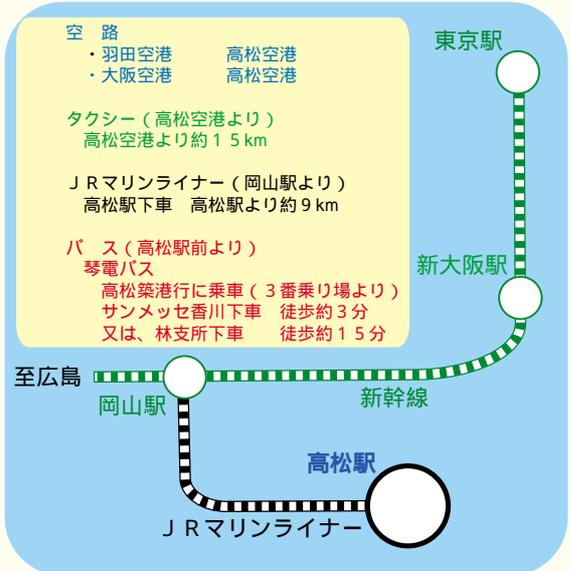
# 四国センター

四国センターには、研究実施部門として、海洋資源環境研究部門が配置され、海洋資源環境研究の一翼を担っています。  
また、地域における産学官連携の中核としての機能を果たします。

## 交通案内 ・周辺地図



## ・公共交通機関



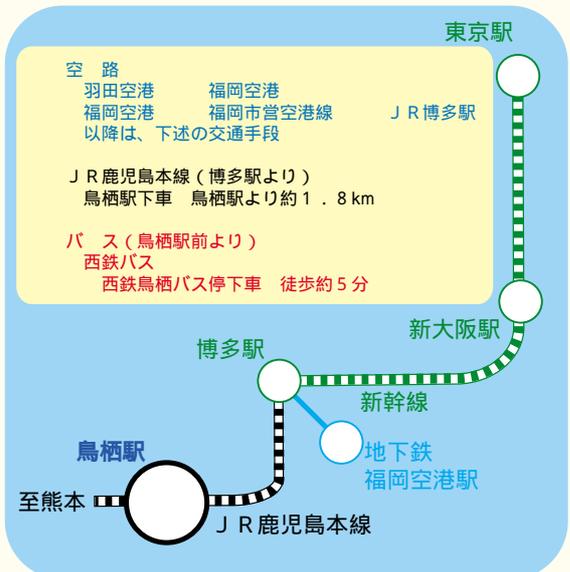
# 九州センター

九州センターは、センター、直方サイト、大分サイトで構成され、研究実施部門として、基礎素材研究部門が配置されています。  
また、地域における産学官連携の中核としての機能を果たします。

## 交通案内 ・周辺地図



## ・公共交通機関



# 産業技術総合研究所からのお知らせ

## 四国センター

### 平成13年度一般公開

香川テクノフェア2001の開催に合わせて当センターの一般公開を行います。当日は研究成果を紹介する展示・実演コーナー等が設置されます。

日時 平成13年5月26日(土) 10時～17時30分

場所 産業技術総合研究所四国センター

対象 小学生・中学生・高校生・大学生・一般

### 香川テクノフェア2001

21世紀の香川県産業技術の振興を積極的に展開する政策の一環として、最新の技術を駆使した機器や製品を一同に集め、<夢無限 技術が描く新世紀>をテーマにフェアが開催されます。当センターは、学校・国、公設試験研究機関のコーナーに参加します。

日時 平成13年5月25日(金)～27日(日) 10時～17時(最終日10時～16時)

場所 サンメッセ香川(大展示場・小展示場)

### テクノフォーラム2001・イン・かがわ

香川テクノフェア2001の一環として、県内大学、高専、試験研究機関合同研究発表講演会が開催されます。当センターからは、「メガフロートの海中切断技術」他5件の研究発表を行います。

日時 平成13年5月27日(日) 11時～14時

場所 サンメッセ香川(中会議室・小会議室)

問い合わせ先

産業技術総合研究所四国センター

産学官連携センター成果普及担当(Tel.087-869-3530)

## AIST Today 2001.4-2 Vol.1 No.2

編集・発行 独立行政法人産業技術総合研究所  
成果普及部門広報出版部出版室  
〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3  
電話番号 0298(61)9102

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

詳細情報については、成果普及部門広報出版部出版室におたずねください。

所外からの寄稿や発言内容は、必ずしも当所の見解を表明しているわけではありません。