

AIST

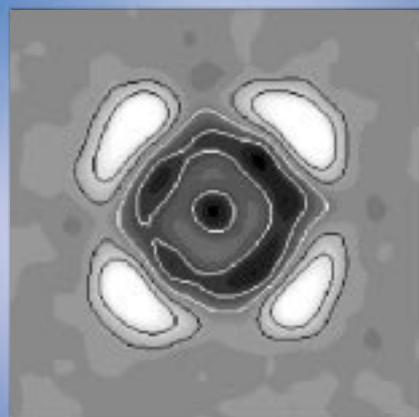
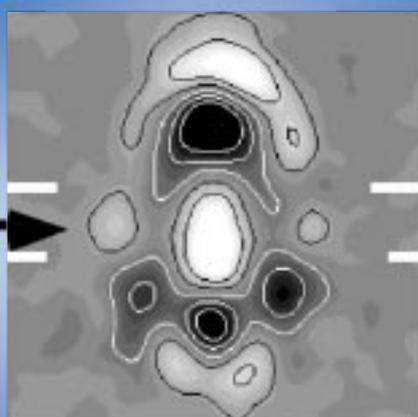
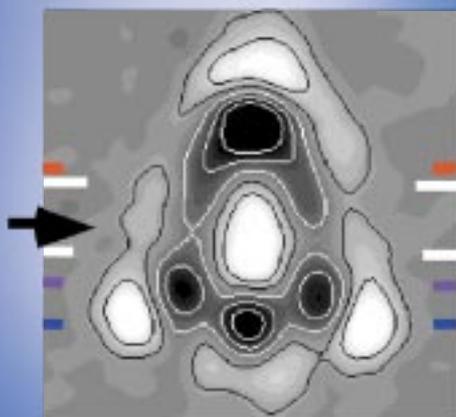
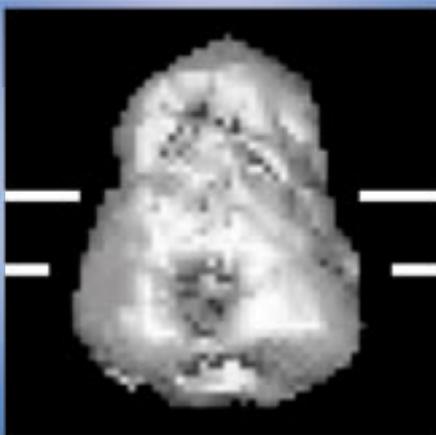
Today

2001.4 -1

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

創刊号

VOL. 1



AIST Todayは

研究の最新情報を提供してゆきます

2000°Cを越える新しい超高温標準

電圧感受性Naチャンネルの3次元構造

電磁振動力を利用した新しい金属組織微細化技術

世界最高性能の界面制御エンハンスメント型埋め込みチャンネル4H-SiC MOSFETの作製に成功

特別公開 - 最新の研究、地質標本館(三宅島特集)



独立行政法人産業技術総合研究所



理事長 吉川 弘之

ごあいさつ

独立行政法人産業技術総合研究所の発足にあたり、ひとことご挨拶を申し上げます。

我が国の産業技術は、戦後の高度経済成長の達成に大きく貢献してきました。しかし、1990年代以降の我が国の経済が長期に亘り低迷する中で、その低迷の要因の一つに産業技術力の停滞による競争力低下があります。今後、我が国の産業技術力が向上し、グローバル化する国際社会において競争力を獲得することが重要な課題であります。

さらに、21世紀を迎えた今日、国際的には資源・エネルギーの枯渇や地球規模の環境問題など人類共通の問題を解決し、また、国内的には成熟した既存産業の枠を越えて新産業を創出することに関して、科学技術に従事する機関・研究者への期待が益々高まっております。

今回の産総研の設立にあたり、国並びに国民の期待に的確に応えるために、機動性、開放性、創造性、融合性、信頼性、継続性を念頭に、効果的かつ効率的な研究開発を行う組織設計を行いました。

産総研では、政策目的を達成することを使命に、我が国の科学技術力向上に繋がる基礎的・先導的研究及び政策的ニーズに沿った具体的な目標を掲げ、体系的・総合的に研究開発を行います。

独立行政法人化に伴い、従来の国立研究機関における各種の制約がなくなり、組織の長の裁量で弾力的な組織運営が可能となりました。今後は、重要な研究分野について人材や研究資金を重点的にかつ機動的に投資していきます。

自律的な運営ができることになったこと

は、同時に、社会に対して研究内容や研究の成果を説明することが、研究所と研究者にとって基本的責務となります。このため、厳正な自己評価を行い、その結果を運営に反映します。また、研究成果の発信と普及活動を行うとともに、社会の声を反映しながら自らの研究開発活動を推進します。

さらに、外部の研究機関との交流を積極的に推進し、特に産業界との間で研究実施の段階から研究成果の活用の段階まで連携していきます。このため、民間から研究者を受け入れる制度の導入や知的財産権に関する明確な取り決めなど、研究成果を基にしたベンチャー企業を創設するようなチャレンジ精神旺盛な研究者が育つための研究環境を整

備します。

最後に、国内外から優れた研究リーダーを招聘し、国際的にも開かれた研究所として更に一層レベルの高い研究機関として活動を展開するとともに、研究所と企業及び大学との間を相互に行き来できる道筋を作るなどして、社会全体での人材の流動化と研究の効率化を図り、我が国の新たな研究開発体制の枠組を構築します。

産総研が「社会のための科学技術を先導・提言する創造的研究者組織」として、我が国の将来を担う「産業」の競争力強化に貢献することができれば無上の喜びであります。



産業技術総合研究所つくばセンター

C O N T E N T S

理事長あいさつ
理事長 吉川 弘之

研究最新情報

2000°Cを越える新しい超高温標準 計測標準研究部門	5
電圧感受性Naチャンネルの3次元構造 脳神経情報研究部門	9
電磁振動力を利用した新しい金属組織微細化技術 基礎素材研究部門	15
世界最高性能の界面制御エンハンスメント型埋め込みチャンネル 4H-SiC MOSFETの作製に成功 パワーエレクトロニクス研究センター	19

特集 - 産業技術総合研究所の組織

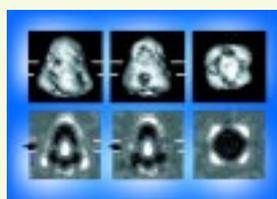
独立行政法人産業技術総合研究所の基本方針	24
技術情報部門	26
産学官連携部門	28
国際部門	30

産業技術総合研究所の案内	32
つくばセンター案内図及び連絡先	
全国マップ及び連絡先	

イベントのお知らせ	35
特別公開のお知らせ(つくば) 2001.4.16 ~ 20	
計量標準総合センター第1回記念講演会 2001.5.22	

その他

産業技術総合研究所の見学、ホームページの案内



表紙写真は、神経細胞で情報を伝える際に最も主体的な役割を果たすNaチャンネルの構造。
その存在の予言から50年以上経過するが、AISTで初めて電気ウナギを用い構造を決定。

2000°Cを越える新しい超高温標準

Novel ultra-high temperature standards above 2000°C

計測標準研究部門
Metrology Institute of Japan

概 要

温度計測の分野では、国家標準としての温度目盛の設定・維持から産業界への供給まで、温度定点が広く使われている。温度定点とは、温度計を校正するために一定の温度を再現性良く実現する装置で、常温以上では通常いくつかの純金属の凝固点が用いられる。しかし、銅点(1085°C)以上では金属の汚染の問題から実用性のある定点が得られないため、温度目盛の不確かさは高温になるに従い急激に増大するのが現状である。この問題を解決するため、計測標準研究部門では、世界で初めて純金属の代わりに炭素合金の一種である金属 - 黒鉛共晶を利用することにより温度定点が実現できることを見出し、一連の超高温定点を開発した。1100°Cから2500°Cの間に9つの定点が新たに実現することで、超高温での温度測定精度が現状より1桁あるいはそれ以上向上することが期待される。開発の現状と将来展望、関連分野への波及効果について述べる。

Abstract

Temperature fixed points are widely used in defining, realizing, maintaining, and disseminating temperature scale. To extend the fixed-point temperature range above the current practical limit of copper point (1085 °C), a novel series of high-temperature fixed points have been developed at the AIST, which use metal-graphite eutectic instead of pure metal as fixed-point material. Performance evaluations for 9 fixed points in the temperature range 1100 °C to 2500 °C show the fixed points can potentially improve the ultra-high temperature scale by one order of magnitude or more. The potential impact of this technique to related fields is presented.

1 はじめに

温度の計測技術は、あらゆる産業と密接に関わる最も重要な基盤技術の一つである。我々にとって一番身近な素材である鉄の製造を例に考えても、何度で溶鋼を鋳造し、何度で圧延し、どのように冷却したかで製品の材質が大きく左右される。そればかりでなく、トラブル無く安定に操業を維持し、エネルギー消費を極力節約し、設備の寿命を延ばすのも全てプロセスの温度管理次第である。また、航空宇宙用の耐熱材料開発などではより高温の温度測定技術が求められるようになってきている。

産業の現場で使われる温度計の精度を維持することはこのような観点から非常に重要で、そのために産総研の保有する国家標準器にトレーサブルな温度標準の供給体制が整備されてきた。温度の国家標準は1990年国際温度目盛(ITS-90)^注に基づいて設定されている。ITS-90は、常温以上ではいくつかの純金属

の凝固点を定義定点としその温度値を与え、さらにそれらの間の補間方法を指定する形で目盛を定義している。

銅点(1085°C)より高温では定点が実用化されていない。そのため、ITS-90では、銀点(962°C)より高温域の目盛の設定は、銀点、金点(1064°C)、または銅点で校正された放射温度計の目盛をプランクの放射則に基づいて高温側に補外することで行われる。それゆえ、銅点より高温になるに従って、補外の不確かさの影響が大きくなり、温度目盛の精度は高温で急速に失われる。

そこで、計測標準研究部門温度湿度科では、高温域の温度目盛の不確かさをより小さくするために銅点を越える温度域での高温定点の開発に取り組んでいる。最近、純金属の代わりに金属 - 黒鉛共晶を定点物質として利用する新しい方法により、1100°Cから2500°Cの超高温域まで一連の高温定点が一気に実現

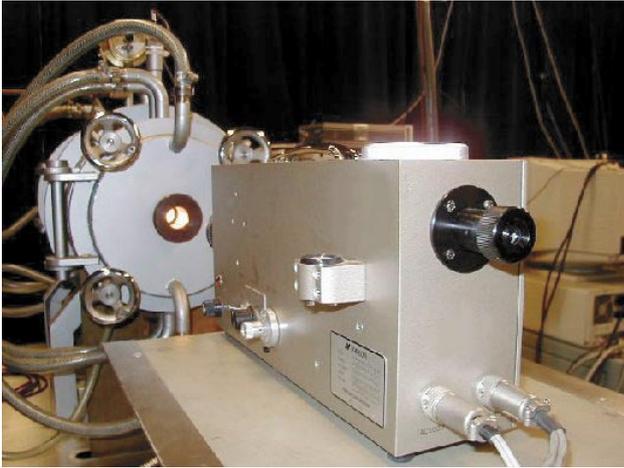


写真 放射温度計による金属 - 黒鉛共晶点の観測

できる可能性が確認された^{1,2,3}。超高温域の温度目盛精度を飛躍的に向上させる技術として期待される。

2. 金属 - 黒鉛共晶を用いた温度定点

温度目盛の国家標準器として、また、温度標準を供給するための実用標準器として、温度定点が用いられる。温度定点とは、金属の凝固点など相平衡状態の温度再現性を利用し、温度計の校正点を与えるものである。より具体的に言えば、黒鉛製のるつぼ容器の中に純金属を鑄込んだ定点るつぼを炉の中におき、凝固点近傍で炉温を上昇・下降させる。このとき、温度計によりるつぼ内の温度の時間変化を捉えると、融解・凝固の潜熱のため凝固点において温度変化がない平坦部(プラトー)が確認される。その時の温度を定点温度として温度計を校正する。

それでは何故、銅点より高温の定点が今まで実用化されていないのであろうか。銅より高融点の金属はパラジウム(1555°C)や白金(1768°C)など各種存在する。ところが、これらの純金属を黒鉛製のるつぼに鑄込んでみても定点としては機能しない。なぜならば、定点金属中にくるつぼの炭素が溶けだし、金属を汚染するからである。不純物汚染により金属の凝固点は降下し、温度値の再現性が得られなくなってしまう。このため、黒鉛以外の、例えばアルミナ製のるつぼを用いる試みも行われてきたが、割れやすく繰り返し使用に耐えられないため、温度定点としての実用性は得られていない。ITS-90で銅点より高温の定義定点が存在しないのはこのためである。

この問題を解決し、実用性のある高温定点を実現する方法として、定点物質として金属 - 黒鉛共晶組成の合金を用いる方法を考案した。共晶をつくる合

金は共晶の成分比で液相として存在しうるもっとも低い温度を与える。すなわち、共晶と同じ成分比の熔融金属を冷却した場合、他のどんな成分比で冷却した場合よりも低い凝固点を得られる。温度定点に適用する場合を考えると、金属にあらかじめ炭素を加え金属 - 黒鉛共晶の成分比にしておけば、るつぼからの炭素が溶けだし汚染により凝固点がこれ以上降下することはないはずである。

このような発想のもと、金属 - 黒鉛共晶点の温度定点としての実現可能性を試験した(写真)。融解・凝固のプラトーは観測されるか、その温度に再現性があるか、黒鉛るつぼは割れることなく繰り返し測定に耐えられるかが論点である。

黒鉛と共晶をつくる高融点金属は図1に示すように10種類知られている。この中でオスミウムはその酸化物蒸気の毒性が指摘されており、検討対象から除外した。残る9種類の金属 - 黒鉛共晶は、その凝固

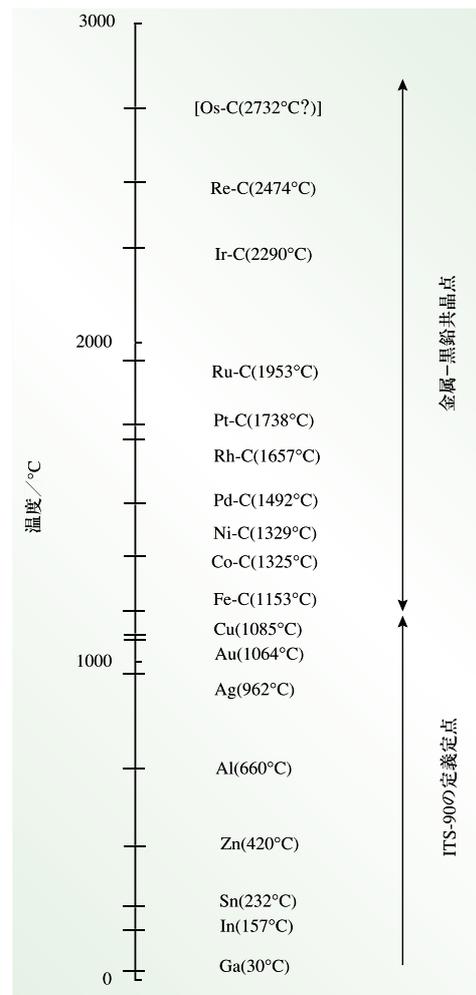


図1 1990年国際温度目盛(ITS-90)の定義定点と金属 - 黒鉛共晶点(温度値は概略の値)

点が銅点から2500°Cまでの温度域を都合良く比較的等間隔でカバーしている。これら9種類について定点をつぼを製作し、放射温度計によりプラトーの観測・評価を実施した。

その結果、図2に一例を示すように、いずれの定点も良好な融解・凝固のプラトーを示した。融解点で評価した定点温度の再現性は標準偏差でほぼ0.1°C以下であり、定点として実用性を持つ見込みが得られた³⁾。その後の詳細な評価では、個々のるつぼに関しては0.02°C程度の再現性を持つという評価結果が得られつつある。懸念されたるつぼの耐久性も、繰り返し測定に耐えることが確認され、実用上十分な寿命を持つことが期待できる。

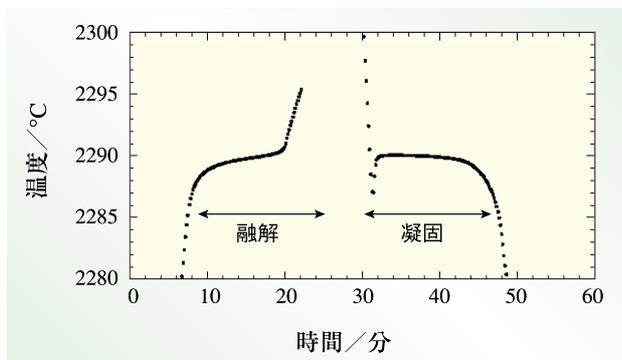


図2 放射温度計による金属 - 黒鉛共晶点の融解・凝固プラトー観測例 (Ir-C共晶)

3. 今後の研究の展開

これらの定点が最終的に実用になるためには、同じ定点物質であれば、誰が定点装置を作っても同じ温度を示す普遍性が得られなければならない。まず、そのためには、ITS-90に基づく温度目盛設定技術にさらに磨きをかけて最高精度の目盛を実現し、定点温度値を精密に測定する必要がある。そして、各国標準研究所と協力し、同じ定点をそれぞれ独自に設定した温度目盛で測定し、あるいは各国で独自に製作した定点るつぼ同士を精密に比較することで普遍的な定点温度値を決めていくことになる。

一方で、共晶の融解・凝固メカニズムのさらなる解明が求められている。というのは、金属 - 黒鉛共晶点は従来の純金属定点と必ずしも同等に扱えないことが明らかになってきたからである。例えば、観測された融解・凝固のプラトーは純金属と比べれば平坦性に欠け、小さいながらもある温度幅を持った融解・凝固曲線を描く。何故曲線を描くのか、曲線のどこを熱平衡温度と見なすべきか、金属工学の凝固理論に基

づく解明が重要である。

4. 金属 - 黒鉛共晶点開発の効果

金属 - 黒鉛共晶点を利用した温度定点が実用化された場合、温度標準あるいは関連する分野にどのようなインパクトがあるのか、考えてみよう。

4.1 国際温度目盛の高精度化

金属 - 黒鉛共晶点の実現すれば2500°Cまでの、産業的に必要なほとんどの温度域で、放射温度計の校正を補外によることなく定点間の補間によって行えるようになる。このため、目盛設定に用いる放射温度計の不確かさの影響を受けにくくなり、目盛設定の不確かさが飛躍的に低減され、高温の国家標準が著しく高精度化する。

4.2 産業界での温度計測精度の向上

超高温定点が標準供給用の標準器として実用化できれば、産業界まで標準の不確かさをほとんど増大させることなく温度目盛を供給し、産業界のニーズに応えることが可能になる。例えば、2つの超高温定点 (Pt-C (1738°C)、Re-C (2474°C)) が実用化されて産業現場で銅点 (1085°C) と合わせ3つの定点を保有し放射温度計の校正に利用できるようになったと想定する。その場合の産業現場での温度目盛の設定の不確かさをシミュレートした結果を図3に示す。(ここで、各定点の不確かさを現状の産業界への銅点供給

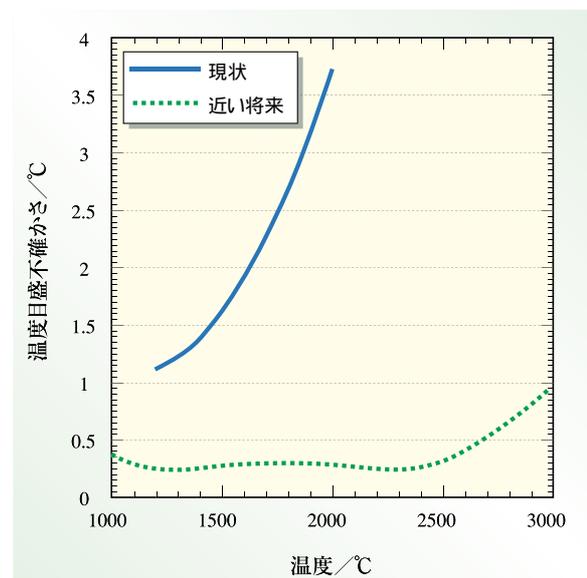


図3 産業界が入手可能な温度計測の精度

実線は現在認定された校正事業者から受けられる最高の精度、破線は近い将来期待される共晶点を利用した校正方式の精度 (不確かさは95%信頼度を示す)

不確かさと同じ0.3°C(95%信頼度)と仮定して計算した)比較のため、現状の産業界への温度目盛供給不確かさ(2001年導入予定の新しい0.9μmのトレーサビリティ制度による)も合わせて示している。この結果によると、現状よりも1桁あるいはそれ以上小さい不確かさで産業界での温度目盛の保持が可能になる。

4.3 熱電対標準供給の高精度化

産業界のニーズからいえば使用頻度を見ても高温定点は放射温度計よりむしろ熱電対への適用が効果が大きいであろう。現在、熱電対の定点るつぼ法による校正は銅点までしかできない。それより高温では、パラジウム点(1555°C)で簡易的な方法を用いて校正されているが、精度に限界がある。このため、るつぼ法によって校正が可能になるメリットは大きい。また、銅点からパラジウム点の間の500°C近いギャップを3つの定点(Fe-C、Ni-C、Pd-C)で埋めることができるのも高精度化に寄与する。

計測標準研究部門温度湿度科では金属-黒鉛共晶点の熱電対への適用技術の研究にも取り組んでおり、上記3定点が熱電対の校正に適用可能であることがすでに実証されている。

4.4 測光・放射測定標準の高精度化

測光・放射測定標準と放射温度標準は密接な関係がある。例えば、1979年以前は光度の単位カンデラの定義は白金の凝固温度における黒体放射輝度に基づいていた。カンデラの定義は、絶対放射測定に変更されたが、今でも実用的な黒体放射源が実現できればそのメリットは大きいと考えられる。

以上のように、金属-黒鉛共晶点は広く波及効果のあるブレークスルー技術として発展していくことが期待される。

5 金属-黒鉛共晶点実用化に向けての国際協力

金属-黒鉛共晶点を利用した超高温定点の定点温度値を普遍的なものとして精密に決定していくためには、3.で述べたように、各国標準研究機関の国際的な協力が不可欠である。このため、1999年6月に開催された温度計測・温度標準関連の国際研究集会(TEMPMEKO)において、本研究の初の学会発表を行

うと同時に我が国が中心となって金属-黒鉛共晶点に関するワークショップを開催した。12カ国の出席があり、各国の関心の高さを伺わせた。

こういった中、我が国が製作した定点るつぼを韓国・中国・オーストラリアの標準研究所が独自に設定した温度目盛で測定して定点温度国際比較を実施した。その後、我が国の定点るつぼをロシアに送って、そこで英国・ドイツ・ロシアによる3カ国の直接比較が行われ、また、我が国の温度値との比較もなされた。温度値は相互に極めて良い一致を示している。さらに、英国・オーストラリアとの間では、彼らの製作した定点るつぼと我が国の定点るつぼを比較し、異なるるつぼ間の再現性評価も実施している。

2001年6月開催予定の次回TEMPMEKOでは特別セッションが設けられ我が国が招待講演を行うことになった。また同時に開催される国際度量衡局測温諮問委員会放射温度計ワーキンググループの会でも金属-黒鉛共晶による超高温定点が主要な議題として取り上げられる予定である。金属-黒鉛共晶点の実用化に向けて、今後さらに国際協力が活発化することが期待される。

<参考文献>

- 1) 山田他: 金属と炭素の共晶による2500°Cまでの新しい温度定点基礎と開発の現状、第106回計測自動制御学会温度計測部会資料、1/7(1999)
- 2) 小野、山田: 金属と炭素の共晶による2500°Cまでの新しい温度定点、国際温度目盛とトレーサビリティ、第106回計測自動制御学会温度計測部会資料、8/12(1999)
- 3) Yamada, et al.: High-temperature fixed points in the range 1150 °C to 2500 °C using metal-graphite eutectics, Metrologia, to be published
- 4) 笹嶋: 金属-黒鉛共晶を用いた高温域放射温度標準に関する調査研究、計量研究所報告、50-1,141/159 (2001)

注)基本物理量である熱力学温度の単位ケルビンは水の三重点の1/273.16として定義されている。しかし、熱力学温度の直接測定は極めて困難であるため、熱力学温度の値を実用上十分な精度で、より実現しやすい形で近似するものとして、国際温度目盛が国際的な取り決めによって規定されている。約20年ごとに改訂される。

電圧感受性Naチャンネルの3次元構造

3D structure map of the voltage sensitive sodium channel

脳神経情報研究部門
Neuroscience Research Institute

概 要

我々は、アマゾン河の電気うなぎのNaチャンネルを可溶化し、極超低温のHeステージ電子顕微鏡と単粒子解析法を用いて解析した。チャンネルは高さ135Åの鐘に似た形であった。その内部にはいくつかの空洞が観察され、それが細胞外の4つの小さな穴と細胞内の8つの大きな穴につながっている。これらの孔の存在は電圧感受やチャンネルの開閉などの様々な機構を我々に想像させる。また電圧感受性CaチャンネルやKチャンネルは、それぞれ細胞の分泌および膜電位を担っている。その中でもKチャンネルは神経可塑性をも担っていることが海産無脊椎動物アメフラシを用いて示された¹⁾。これらのチャンネルはNaチャンネルとアミノ酸配列上の非常に高い類似性があるため、今回判明した構造と深く関連した立体構造を持つ可能性が高い。

Abstract

The voltage gated sodium channel generates the action potential. This 300 kDa protein has four homologous regions. We isolated sodium channels from *Electrophorus electricus* electroplax by detergent solubilization and immunoaffinity chromatography and studied their structure by the combination of He-stage cryo-electron microscope and single particle analysis at 19 Å resolution. The channel had a bell shaped outer surface of 135 Å heights and 100 Å in side length at the square shaped bottom.

1. まえがき

我々は車を運転している時でも、スポーツをしている時でも、目から入っている情報に対して数ミリ秒単位の反応を頻繁に行っている。それを可能にしているのが、神経細胞に存在するイオンチャンネルである。神経細胞は細長い袋状の形をしている。このチャンネルはその袋の部分に相当する細胞膜中に組み込まれて存在する。細胞を取り囲む細胞膜は通常イオンなどの親水的な物質を通さない。それに対してチャンネルは親水的な物質を通す働きがある。例えばNaイオンチャンネルは、電荷を帯びた特定のNaイオンのみを通す。そして急激に1種類のNaイオンのみを通すことで細胞膜の興奮状態を引き起こす。この状態は、通常我々が神経が興奮していると呼んでいる状態である。特に電圧感受性イオンチャンネルは隣接したイオンチャンネルが開くと自分自身も開く性質がある。そのことで次から次へと細長い神経細胞上において刺激を伝達する。これが、人間の神経での情報伝達である。その速度が十分に早いため、

痛みや感覚はあっという間に脳に伝わり、さらにそこからの素早い反応が可能になる。

電圧感受性イオンチャンネルの隣が開くと自分自身が開くという機構は、実際には近くのチャンネルが開いて生じる正イオン流入による膜の内外の電位差変化、即ち電圧を感受することにより行われる。この時の開く速度はミリ秒以下の世界である。電圧感受性チャンネルにはNaチャンネル、Kチャンネル、Caチャンネルの3種類が存在する。生きている高等生物の神経細胞内では電気信号を増幅し、伝達し、そして電気信号を新たにつくるために、これらの3種類が協調して働く。その中のNaおよびCaチャンネルは細胞の興奮、神経伝達、筋肉収縮などの多くの機能に深く関係しており、それらは直接人間の病気を引き起こす機構とも深く関わっている。Naチャンネルは分子量300kDaの膜蛋白質であり、神経情報の伝導、増幅を担う。同時に多くの種類の神経毒や、麻酔薬の標的の一つでもある。さらには、近年の研究から、これらの電圧感受性チャンネルは、もっと高度な神経

の活動に関与しており、記憶の機構と考えられる神経の可塑性と深い関わりを持つことが判明してきた¹⁾。共に協調的に情報伝達に働くNaチャンネル、Kチャンネル、Caチャンネルの中で、ある情報によってKチャンネルの状態が変わる。そのため相互の機能のバランスが取れなくなることから、そこからの次の神経細胞への情報伝達物質量が変化する。そして、その変化はリン酸化という形で持続される。

50年以上前のHodgkinとHuxley等によるイオンチャンネルの存在の予言以来、これまで様々な方法がNaチャンネルの構造に関連する情報を得るために用いられてきた。その分子の機能の分子内での大まかな配置と膜貫通の様子は、部位特異的突然変異や抗ペプチド抗体による結合実験により調べられた。部分合成ペプチドから自己形成されたIII-IVリンカー部の構造はNMRで解明された。しかし、その構造はNaチャンネル全体の2.6%の配列により形成されたものに過ぎない。

これに対して我々は、3年前にNaチャンネル全体の構造を初めて電子顕微鏡による負染色像の単粒子解析により低分解能ではあるが決定した²⁾。また電圧感受性チャンネル以外では、バクテリアのKチャンネルKcsAのC末端20%の部分欠失タンパク質の構造がX線結晶学によって解明され³⁾、その2回膜貫通型チャンネルの構造からイオン選択性がどのようにして生じているかが判明した。しかし、電圧感受開閉のメカニズムは未だ謎である。その理解には電圧を感受する6回膜貫通の基本単位を持つチャンネルの全分子の構造解明が不可欠である。

2. 電圧感受性チャンネルの構造

ここでは電圧感受性Naチャンネル分子を電気うなぎの発電器官から免疫吸着クロマトグラフィーによって精製した²⁾。Heステージ電子顕微鏡を用いて薄いバッファー層に凍った状態でタンパク質粒子を閉じ込め、その投影像を無染色で撮影した⁴⁾。その生画像では、元々タンパク質と水との密度差は大きくなくコントラストが低い上に、20%のグリセロールと2MのMgCl₂の存在のせいで背景の密度が上昇し、そのS/N比が低くなっている(図1)。このS/N比を改善するために、薄い凍結溶媒層中でのチャンネル分子の向き、すなわち分子の投影の方向が似た3次元投影方向の画像同士を重ね合わせた(図1、2段目)。分子の投影方向によって、正方形やくさび型に近い投影像が観察される。正方形型の投影像は、密度があ

る程度高い部分を中心に有し、さらにその中にもかすかな低密度部分を有する(図1 a、1と2段目)。くさび型の投影像はさらにバリエーションに富んでおり、周辺および中心に高密度部分があり、それらは様々な分布パターンを示す(図1 b-d、1と2段目)。

単粒子解析を行うために、我々は電子顕微鏡像をBespaプログラムで表示させながらバックグラウンド以上と認識できる全ての粒子を手動で切り出し、さらにはImagic V programを使って画像解析を行った。拾い上げた全11,991個の粒子は参照画像を使わない方法で回転移動と平行移動を行い、その位置合

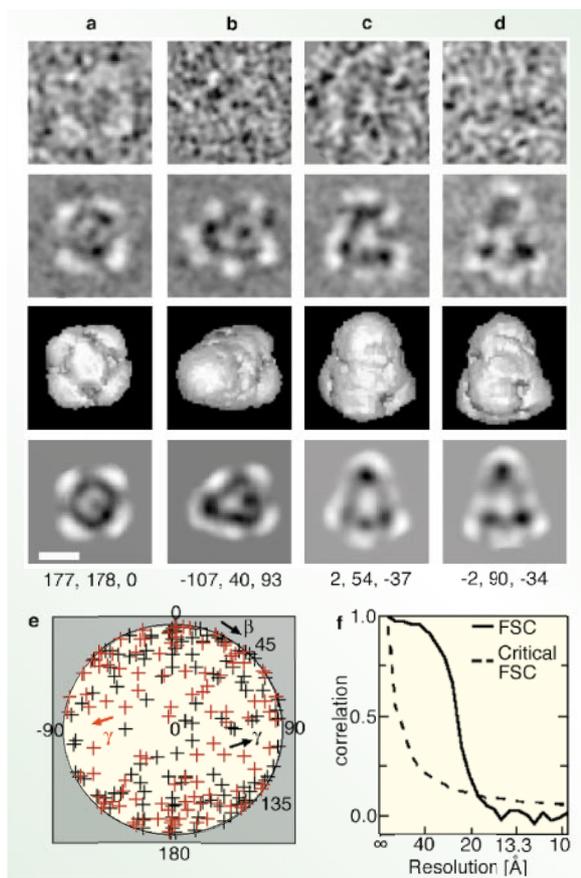


図1 液体Heステージ電子顕微鏡により得られたNaチャンネルの画像とその分解能曲線

a-d:異なったオイラー角での元画像(第1段目)とその2次元平均化像(第2段目)さらには3次元構造での表面構造(第3段目)と3次元構造からの相当する角度への再投影像(第4段目)。e:11,991枚の画像から得られた240のクラス平均像のオイラー角分布。各クラス平均は β と γ の座標系の中の十字で表わされ、さらに球の裏側のものは赤で示した。f:FSC(Fourier shell correlation function)による3次元分解能。交差点は19(の分解能を示す。スケールバーは50)。(Nature 409, 1047-1051より転載)

わせを行った。重なり方向に関して位置の合った画像をさらに240のclassに分類し、クラス内で重ねあわせて平均化した。得られた240枚の平均化画像は、再び参照画像として元画像の位置合わせに用いられ、さらに新たな240枚の改善された平均化画像を生み出す。このようなサイクルを10回ほど繰り返した。さらにBespaプログラムによって電子顕微鏡画像のCTFを補正した後、同様にして位置合わせ、重ねあわせによる参照画像の生成が計8回繰り返された。その結果ではチャンネルの軸方向に向かったの投影像は疑似4対称の形をしている(図1 a、2段目)。したがって3次元構造再構成のための2次元画像の初期オイラー角決定は、チャンネル分子が4対称の形であることを仮定した。さらに得られた3次元構造を最適化するために、再投影像を対照として用い、4対称条件を外してオイラー角の微調整を行った。得られた3次元構造から再投影像を作成して、元画像との重ねあわせによる平均化を行いその結果から新たな3次元構造が構築された。ここではこのような画像重ねあわせ、3次元再構成を、構造が安定化するまで繰り返した。

240枚の最終平均化像のオイラー角分布を示したのが図1 eである。その結果、かなり様々の角度の像があり、よく3次元構造全体をカバーしていると言える。データを2つに割ってそれぞれ独自に3次元構造を再構成し、その比較から得られた3次元分解能の結果はおおよそ19Åであった(図1 f)。

再構成により得られた3次元表面構造を図1、3段目に示す。それぞれの表示オイラー角は2段目の2次元平均化像と同じであり、下に示した。さらに4段目は形成された3次元構造からの同じオイラー角への再投影像である。その結果は2段目の実験平均と良く似ている。ここで表面構造を作成するに当たって採用した閾値(しきいち)は、Naチャンネルのペプチド部分の重さの約150%にあたる体積に相当する。この値は糖鎖の全重量を考えると小さい。そのため糖鎖の一部が、その分子ごとの不均一さ、3次元的な動きによって平均化構造では失われていると考えている。ここでの表面構造は密度分布におけるある値の層をつないで作成している。この閾値では、外殻にあたる部分に4つの小さな穴と4つの明確な大きめの穴が開いているのが見える(図1 a-d、3段目)。図2は広いオイラー角に渡ってのチャンネル表面構造である。これらの結果からNaチャンネルはおおよそ底面が4角形よりなる鐘状の形をしており、頂上は半

球に似たすばまった形であることが分かった。

さらに細かくその側表面を見ると(図1 b-d、3段目、図2)おおよそ30Åの幅に渡って穴の空いていない水平なバンド部分が存在することがわかる。この部分は膜貫通領域に相当すると思われる(図2、白いライン)。膜をはさんで各部分の体積計算を行うと、この閾値においては膜の上部の相対体積が24%、膜貫通部が29%、膜の下部が47%と計算される。この膜内外の比率はアミノ酸配列から予測される細胞内外の比率結果(図3 a)と良く一致する。そのため切れ目の無い半球状の上側を細胞外側、明快な4つの穴が4つの不均等なドメインに分けている下側を細胞質側と我々は仮定した(図2 d-f、i)。これら4つのドメインの体積は、左上から時計周りに27、26、25、22%である。

次にNaチャンネルの内部構造を示すために3次元密度マップの断面を図3 b-gに示した。図2で仮定した細胞の外部、内部、細胞膜貫通部はそれぞれ異なった内部構造を有する(図3 b-d)。細胞質側の構造体は低密度領域である一つの中心空洞と4つの周辺空洞

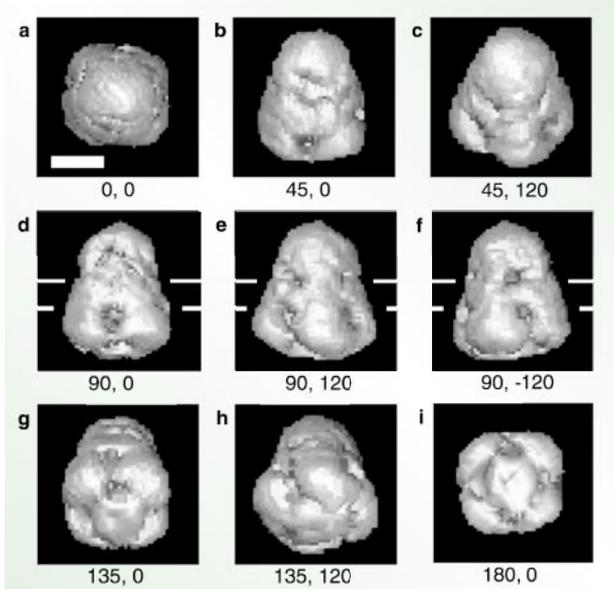


図2 Naチャンネルの表面構造

a: 上から見た図。b: 斜め上から見た図。aから水平軸に対して45度回した。c: bとくらべて垂直軸に対して120度回したもの。d-f: 横から見た図。相互の角度が垂直軸を中心に120度離れている。g: 下から見上げた図。dから水平軸に対して45度回した。h: gとくらべて垂直軸に対して120度回したもの。i: 下から見た図。オイラー角 α は0であり β と γ は下に表示した。白い横棒は膜貫通部位を示す。スケールバーは50。(Nature 409, 1047-1051より転載)

を取り囲む(図3 b-e)、周辺空洞の高さと幅はおよそ15Å程度であり、大きな細胞質側開口部へとつながっている(図2)。細胞外の4つの小さな穴(図1-3)は膜貫通部近くで外殻を貫通しており、その内部の大きな空洞を細胞外液へとつないでいる。

細胞の内側と外側の大きな空洞はその間をつなぐ4つの狭い通路状の低密度領域によってつながれている(図3 e-g)。この細長い空洞はチャンネルの軸を中心として上の断面図(図3 g)と下の断面図(図3 e)では約45度回転しており、ねじれていることがわかる。さらにこの低密度領域には図3 b-dで矢印で示されるように、膜貫通部位内に極端に狭い部分が存在する。また、チャンネル分子の中心部には細長く密度の高い、外殻構造から離れた中心構造が見られる。高

さ約40Å、直径35Åであり、KcsAチャンネルの中心の穴を形成している構造よりも若干小さい³⁾。

さらに分子が細胞外に構造のどちら側を向いているかの仮定を検証するために、C末端の配列(1802-1820残基)に対する抗体を作成して²⁾結合実験を行った。抗体と結合したNaチャンネルは、負染色では角度によっては図4 a、bに示されるようにY字の形の抗体が結合して見え、その際のチャンネル本体の角度は様々である。抗体の結合部位を特定するために、チャンネルの底部をカーボン膜に付けて染色されたものと側部をつけたものに関して、似通ったチャンネル像を重ねあわせ平均化したのが図4 c、eである。その際、Naチャンネルのみでの結果²⁾を参照画像(図4 d、f)として用いた。上向き像(図4 c)の下の角と、

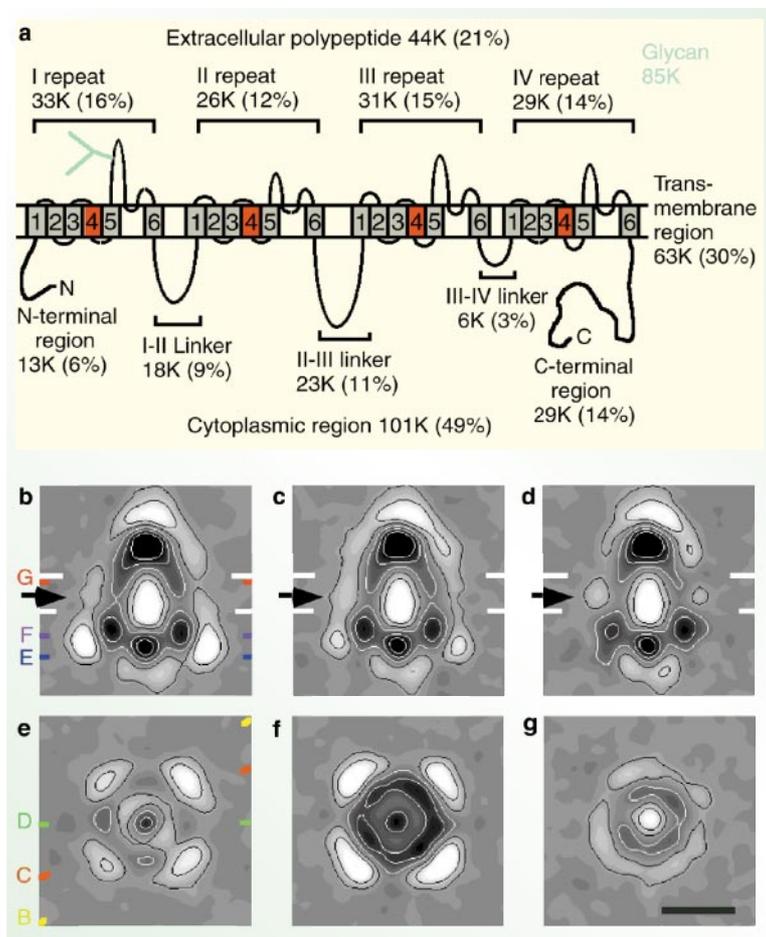


図3 Naチャンネル構造における各ドメインと内部空間、アミノ酸配列から予想された膜貫通の様子

a: Naチャンネルを構成するアミノ酸の疎水性、親水性から推定されたNaチャンネルの膜貫通の様子5-15。その配列は4つの疑似繰り返し単位からなり、それぞれの単位が最低6回の膜貫通部位を持つと考えられている。S4は赤で示した。b-d: 縦の断面図。b: 水平断面図eのBの黄色対角線に沿った切片。c: 図b同様に図eのCの赤ラインでの切片。d: 図b同様に図eのDの緑ラインでの切片。e-g: 水平方向の断面図。断面の場所は図bにそれぞれ青(E)、紫(F)、赤(G)でそれぞれ示してある。白い横棒は膜貫通部位を示す。黒矢印は膜貫通部位内での細胞質と細胞外の空洞の連絡通路が狭まっている位置を示す。スケールバーは50。(Nature 409, 1047-1051より転載)

横向き像(図4e)の大きい方の底面左下の角、それぞれに関して抗体のFabの先端と思われる密度が観察された。両画像でFabは結合点から遠ざかるにつれてぼけて行くので、Fabの他端は動くことが可能なので

あろう。よって抗体の結合点はかなり柔軟な構造を有すると考えられる。すでにC末端は細胞質側にあることが判明しているので、大きな4角形の底面は細胞質側にあることが確かめられた。

3. 考察

電圧感受性Kチャンネルは4量体であるのに対して、NaチャンネルとCaチャンネルは内部に疑似4回繰り返し配列を持つ単量体として機能することが知られている。チャンネル種を超えて、それらの膜貫通部位とS5とS6のリンカー部分は良く保存されており、これらのチャンネルが共通の構造を有することを示唆している。また、KcsAの部分構造を今回のNaチャンネルの構造と比較すると、中心部の顕著な細長い構造(図3b-d)はKcsAの中心孔を形成する部分に相当するのかもしれない。電圧感受性Kチャンネルの第6膜貫通部位(S6)とS5とS6のリンカーはKcsAチャンネルとある程度のアミノ酸配列の類似性を有する事実³⁾は、この考え方を支持する。しかし、KcsAで見られた中心部の孔も膜貫通部の中心の空洞も今回の分解能19Åの構造では観察されなかった。以前の負染色によるNaチャンネルの平均化像では4回対称軸上で低密度部分(図4)が観察された。その結果は、一般にUranyl塩は分子内の親水性の孔には入り込みやすい事実を基に、現在のクライオ電子顕微鏡から得られた構造を用いて十分解釈可能である。今回のクライオ像は1.185g/mlという密度の高いバッファーを用いたことで粒子周辺のバックグラウンドが高い。これに比べ、負染色の結果は染色時のカーボン膜上での乾燥による変形、染色の偏り、分解能の低下という要因を常に含み、ここでの負染色像とクライオ像のわずかな違いを容易に説明する。

今回見つかったNaチャンネル分子内の空間や表面の孔は極めて新規で、同時にこの分子に特徴的な構造である。そのため、この構造は電圧感受や開閉の機構に関与している可能性が高いと思われる。これとは対照的に、アセチルコリン受容体チャンネルは、たった一つのロート状の入り口を細胞外部に有する。Naチャンネルのシステインによるscan mutagenesisと親水性のシステインへの作用薬の組み合わせにより、IVリピートの膜貫通予想領域S4(図3a)の中で真に疎水環境にある基は、わずか2~5アミノ酸基であることが判明した。この結果は今回の構造での分子内の空洞による親水性内部環境と良く一致する。一般に電圧感受性チャンネルは膜貫通領域と思

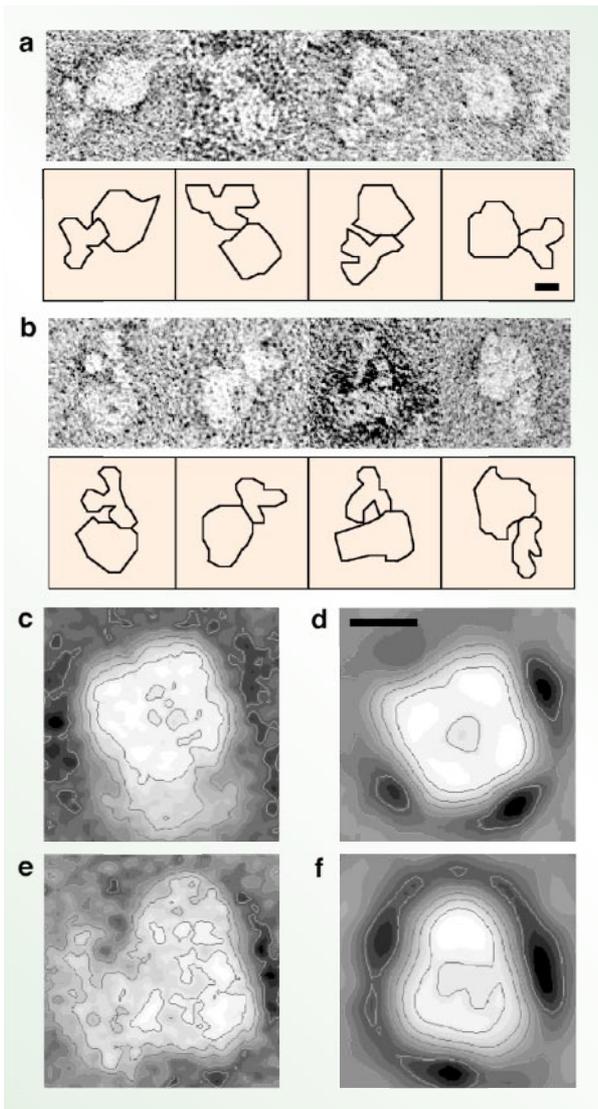


図4 Naチャンネルと抗C末端抗体の複合体の負染色電子顕微鏡像とその平均化像

a, b Y字型のものが抗体であり、それが結合しているベル状のものがNaチャンネルである。a: Naチャンネルをほぼ上方から見た図。b: ほぼ側方から見た図。輪郭線は抗体とNaチャンネルの輪郭を示す。c, e: Naチャンネル抗体複合体の平均化像。c: 上からの像に等高線を入れ込んだ図。142枚の画像重ねあわせ。e: 横からの像(76枚)。d, f: Naチャンネルのみの平均化像。d: 上からの像(196枚)。f: 横からの像(132枚)。タンパクは白く浮き上がるように表示した。スケールバーは50。(Nature 409, 1047-1051より転載)

われる部分に多数の親水性基を良く保存しているという風変わりな特徴を有する。例えば電気うなぎNaチャンネル膜貫通部位では正チャージの基が32個、負チャージの基が22個も存在する。これらの結果は、ここでの穴だらけで同様に親水性の部分が多いと思われる細胞膜貫通部の構造と良く一致する。ここで可溶化されたNaチャンネルは既に膜電位に置かれていないので、この構造はイオンチャンネルがイオンを通さない安定な閉状態であると思われる。先ほど触れたIV S4の非常に短い疎水的環境にある領域は膜電位の変化によって劇的にシフトすることが知られている。また、細胞外側の開閉時期において、S5とS6のリンカー部分の構造が変化することが示唆されている。これらの結果と人為突然変異実験からNaチャンネルのイオンの通り道が一つであるらしいこと、さらには電圧センサーが4つであることを考え合わせると、イオンの通り道は中心部の細長い構造によってつくられるという仮説が考えられる。ここで中心部の構造はS6を含む可能性が高い。中心のイオンの通路は、電圧変化による開口時に中心部の質量がその周辺の4つの空間に向かって動くこ

とでその中心が空き、形成されると考えられる。

我々がここで用いた技術、すなわちHeステージ電子顕微鏡⁴⁾と単粒子解析技術の組み合わせは、これまで不可能だったNaチャンネルの3次元構造を浮き上がらせ、その複雑な内部空洞と穴構造を示した。この複雑な空洞システムとイオン輸送、チャンネル開閉機構を理解するためには、更なる分解能での解析とNaチャンネルが開状態での構造の決定が必須である。

カンデル等による昨年のノーベル医学生理学賞受賞研究の中心分子である電圧感受性チャンネルの構造を世界に先駆けてNature誌に報告したので、ここでその内容と構造結果を中心にAIST Todayに紹介した。

参考文献

- 1) Kandel, E. R. et al., Science 218, 433-443 (1982).
- 2) Sato, C. et al., J Struct Biol 121, 314-325 (1998).
- 3) Doyle, D. A. et al., Science 280, 69-77 (1998).
- 4) Fujiyoshi, Y., Adv, Biophys 35, 25-80 (1998).

佐藤 主税 (Chikara Sato)
e-mail: ti-sato@aist.go.jp

脳神経情報研究部門・構造生理グループ (Neuroscience Research Institute,
Structure-Physiology Group)

原著及び原著者名

The voltage-sensitive Sodium Channel is a bell-shaped molecule with several cavities .Chikara Sato, Yutaka Ueno, Kiyoshi Asai, Katsutoshi Takahashi, Masahiko Sato, Andreas Engel, and Yoshinori Fujiyoshi .Nature 409, 1047-1051 (2001) .

- Nature news and views(2001.2)より-

電位依存性ナトリウムチャンネルは神経細胞の機能によりに何より重大だが、どのように働くのだろうか。低分解能の三次元構造がわかり、興味深い洞察が得られた。

電磁振動力を利用した新しい金属組織微細化技術

New microstructural refinement process of metallic materials by electromagnetic vibrations

基礎素材研究部門

Research Institute of Structural and Engineering Materials

概要

凝固中の金属材料に、交流電場と直流磁場を同時に加えることにより電磁振動力を与えて、金属材料中にマイクロエクスプロージョン(気泡の破裂現象)を発生させ、その時に生じる衝撃的な圧力の作用により、液体中で成長中の金属結晶を微細に破碎分散させる全く新しい金属組織微細化技術を開発した。

本技術は、アルミニウム、マグネシウム等の軽量金属材料から鉄系金属材料まで応用可能である。

Abstract

Electromagnetic vibrations are induced in metallic materials during solidification by simultaneous application of alternating electric and stationary magnetic fields. Cavities form and collapse on the surface of solid crystals by application of electromagnetic vibration and then a huge pressure is exerted on the surroundings when they collapse. This pressure may result into the refinement of solid crystals. This mechanism has been applied to aluminum alloys, magnesium alloys and cast irons during solidification. It has been clarified that primary solid crystals are extensively refined.

1. 新プロセスの原理

溶融金属に交流電場(電流密度 J 、周波数 f)と直流磁場(磁束密度 B)を同時に加えることによって、[図1](#)に示すように、液体中に交流電流の周波数と同じ周波数で振動する力(ローレンツ力 F)が発生する。この振動力により液体中に気泡(キャビテーション)が発生する。気泡が一定の大きさに成長すると気泡内外の圧力のバランスの崩れによってつぶれ、この時周囲の凝固しつつある固体に衝撃的な圧力を与えることにより、金属結晶を微細に破碎分散することが

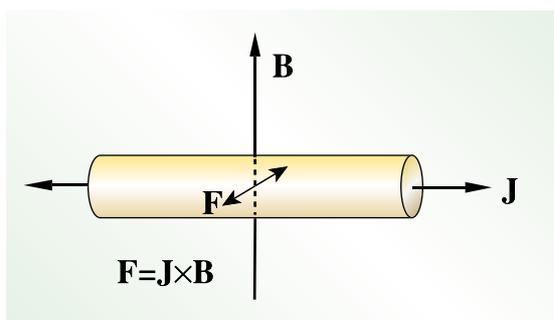


図1 交流電場と直流磁場からなる電磁振動力

可能となる。この現象はあたかも微小な爆発現象に似ているのでマイクロエクスプロージョンと呼んでいる。

実際には[図2](#)に示す実験装置で行われる。電磁石の両極間に、金属試料を容器に入れて電磁石に振動が伝わらないように固定する。試料には両端に電極を取付け、所定の周波数(～50kHz)の交流電流(～150A)を通電すると同時に直流磁場(～10テスラ)をかける。この時、あらかじめ溶解しておいた試料の温度を下げることで凝固を開始させる。試料には紙面に垂直な方向に振動力が発生し、マイクロエクスプロージョンが凝固中の金属試料中でおきる。なお、1.4テスラ以上の磁場に対しては、超電導磁石を用いる。

2. 金属組織微細化

2.1 アルミニウム合金

自動車の部品などに使用されるAl-17%Si合金に適用した例¹⁾を[図3](#)に示す。710℃まで加熱して溶解し、未溶解の初晶シリコン粒子を含んだ熔融状態で電磁振動を開始し、凝固が開始する直前(643℃)まで

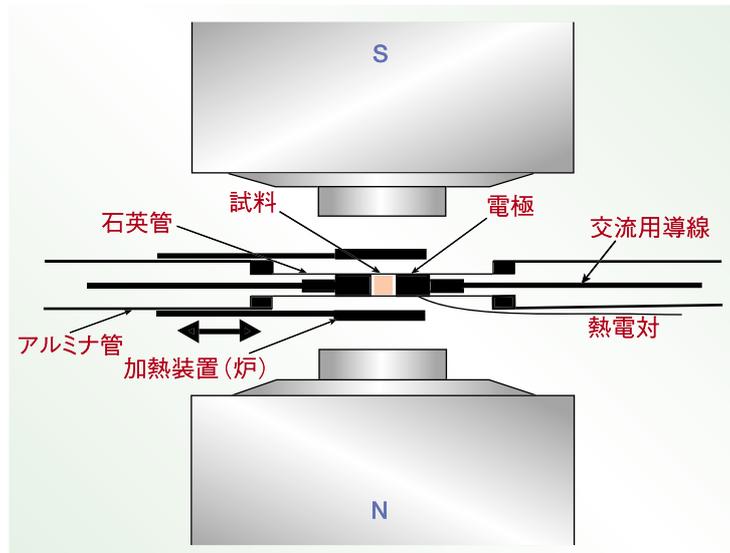


図2 実験装置

振動を加え、加えた時間の影響を調べた。電磁振動条件は、1.4テスラの磁場中に50Hzで $3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ の電流を流すことによって、溶融金属に $2.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ の電磁圧が加えられている。電磁振動を加えない状態での凝固の進行による温度低下に伴うシリコン粒子の大きさ、量の変化はほとんど無視できる。その結果、電磁振動を加えると同時に初晶シリコン粒子は微細化し、数が増加した。また、時間の増加と共に微細化が顕著に進行することがわかった。

図中の矢印で示した部分を詳細に観察すると、図4に示すように、気泡と思われる部分の内部にあるシリコン粒子が非常に微細な粒子になった。これは気泡の破裂によって初晶シリコンが微細に破碎されている瞬間を急冷によって捕らえたことを示している。

同じく種々の商用アルミニウム合金のベースになっているAl-7%Si合金に適用した例²⁾を図5に示す。この場合には、初晶シリコン粒子より大きな電磁振動力が必要であり、10テスラの磁場中に60Hzで $4.25 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ までの電流を流した。電磁振動力を増加することにより、粗大な柱状デンドライト(樹枝状晶)組織が等軸デンドライト組織となり、さらに粒状の粒子となることがわかった。

次にこの合金に対して、磁場を10テスラ、電流を $2.14 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ と一定にし、周波数を10Hz~50kHzまで変化させて電磁振動力を加えたところ、図6に示すように、微細化が顕著におきる最適の周波数帯域のあることがわかった。この場合では、1~1.5kHzで最も微細化し、それよりも小さくても大きくても等軸デンドライトにはなるが、微細化はあまり進まな

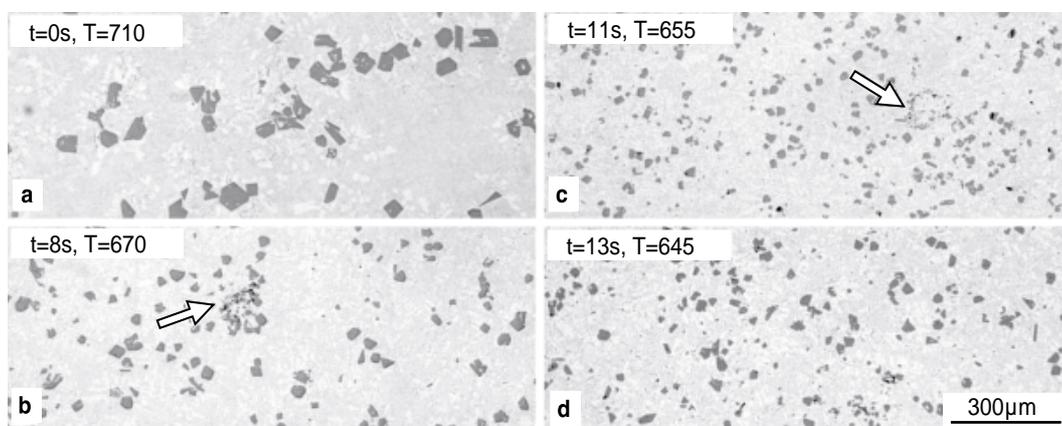


図3 Al-17%Si合金のマイクロ組織に及ぼす電磁振動($B=1.4 \text{ T}$, $J=3.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$, $f=60 \text{ Hz}$)の影響(t:振動印加時間、T:急冷温度)

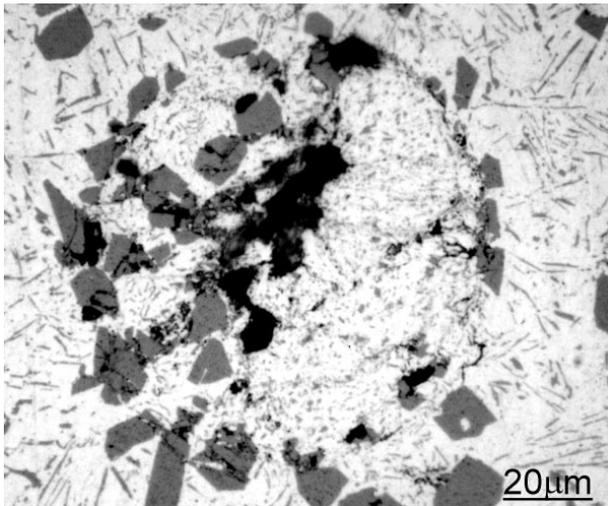


図4 キャビテーション現象による初晶シリコン粒子の微細化の瞬間

かった。また、この場合も初晶シリコンと同様、図7に示すような気泡の破裂の瞬間を示す組織が多数観察され、デンドライトが気泡破裂時の圧力により変形すると共に微細化していくことがわかった。

この他に、実用マグネシウム合金であるAZ91合金についてもAl-Si合金と同様に電磁振動力を加え、周波数の影響を調べたところ、電磁振動力の増加と共にデンドライト組織は微細化し、さらに周波数を最適化することにより、顕著な微細化が達成された。マグネシウム合金もアルミニウム合金と同様に気泡の破裂現象で微細化が説明できた。

2.2 鉄系合金

鉄系合金の例として鑄鉄に電磁振動力を適用したところ³⁾、アルミニウム合金やマグネシウム合金と同

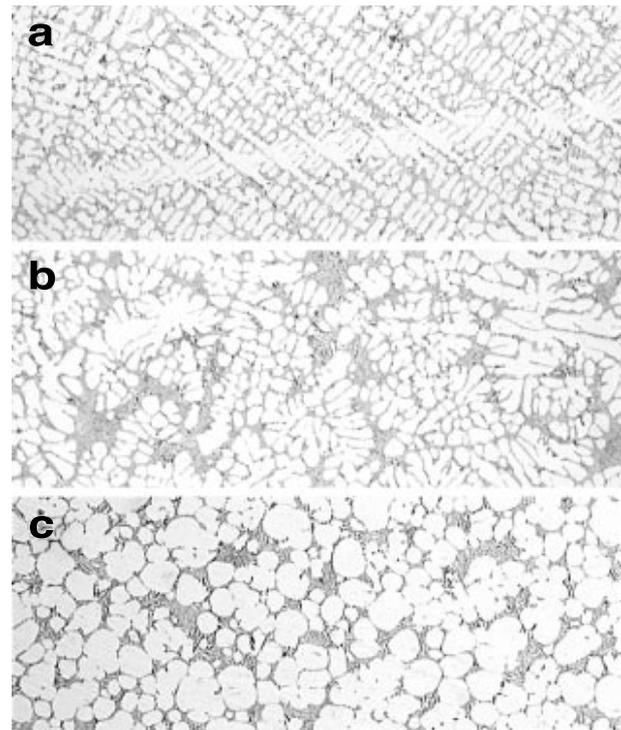


図5 Al-7%Si合金の組織微細化に及ぼす電磁振動の強さの影響

(a): $B=10\text{T}$, $J=0\text{A/m}^2$, (b): $B=10\text{T}$, $J=0.71\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=60\text{Hz}$, (c): $B=10\text{T}$, $J=4.24\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=60\text{Hz}$

様、初晶デンドライト組織は電磁振動力の増加に伴い微細化した。また、周波数の影響についても、200~500Hzの範囲で特に微細化が顕著におこることがわかった。さらに、鑄鉄の共晶組織に対して電磁振動を加えたところ、図8に示すように共晶組織についても顕著に微細化することがわかった。なお、図8は、a及びbで示されるミクロ組織を特殊な液で腐食

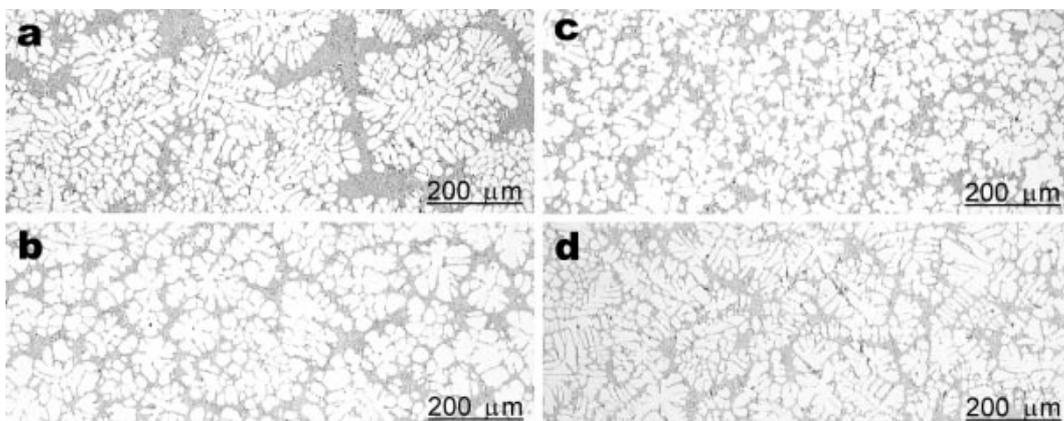


図6 Al-7%Si合金の組織微細化に及ぼす電磁振動の周波数の影響

(a): $B=10\text{T}$, $J=2.14\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=10\text{Hz}$, (b): $B=10\text{T}$, $J=2.14\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=50\text{Hz}$, (c): $B=10\text{T}$, $J=2.14\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=500\text{Hz}$, (d): $B=10\text{T}$, $J=2.14\times 10^6\text{A/m}^2$, $f=5\text{kHz}$

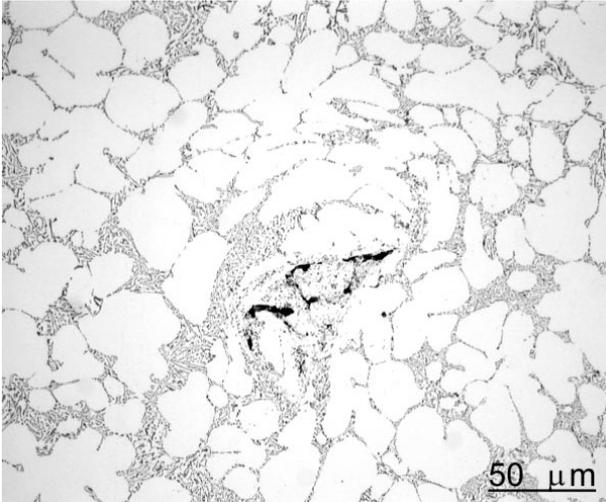


図7 キャピテーション現象による初晶 デンドライトの微細化の瞬間

することにより、共晶組織を明らかにしたものである。この現象を応用すると共晶組織のように等軸な組織の粒子においても微細化できることがわかる。

3 本技術の優位性

金属材料の組織を凝固時に微細化するために、従来は、他の合金成分を添加したり、微細化剤などの異物を添加すること、あるいは液体金属を過熱するなどの処理により、微細化を行っていた。

本方法では、それらの必要が全くなく、単に凝固中の金属材料に電場と磁場を加えるだけでよいため、従来金属材料の特性を飛躍的に向上させると共に、廃棄の際にはそのまま再溶解するだけでリサイクルが可能である等の特徴を持つ。加えた電磁場は直接原子に作用するため、短時間の作用でも効果があり、省エネルギー的なプロセスである。

4 産業展開

現在、アルミニウム産業や鉄鋼産業では、1次素材を製造するのに、量産効果で低コスト化するために、連続鋳造を行っている。本開発プロセスをこれらの連続鋳造設備に加えることにより、従来生産されている素材の結晶粒度が約1桁ほど小さくできることになり、強度的には2~3倍の向上が期待される。

詳細は下記の文献をご覧ください。

参考文献

- 1) A. Radjai, K. Miwa and T. Nishio: Metall. Mater. Trans., 29A, (1998)1477-1484.
- 2) A. Radjai and K. Miwa: Metall. Mater. Trans., 31A, (2000) 755-762.
- 3) A. Radjai and K. Miwa: Metall. Mater. Trans., to be published.

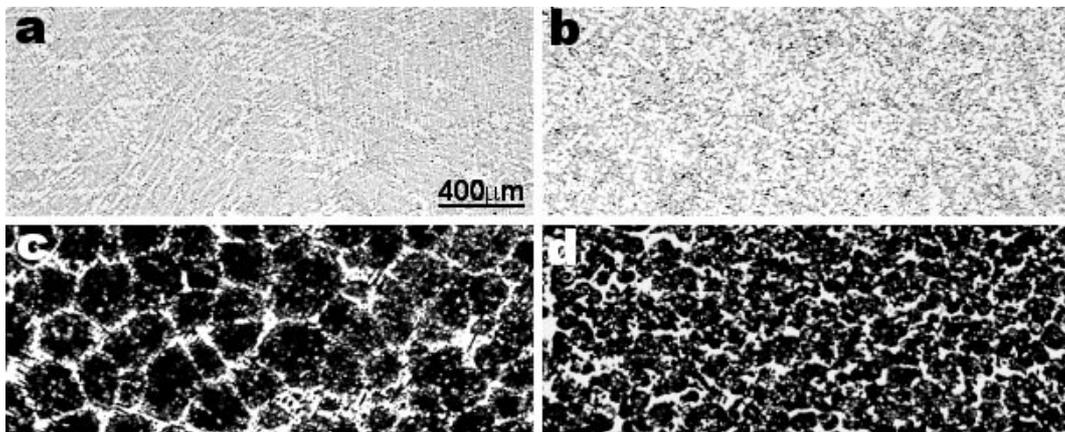


図8 電磁振動によるねずみ鉄の初晶オーステナイト及び共晶セル組織の微細化

(a)&(c): $B=0, J=0, f=0$, (b)&(d): $B=10T, J=2.12 \times 10^6 A/m^2, f=200Hz$, (c)&(d):ステッド試薬によって腐食

世界最高性能の界面制御エンハンスメント型埋め込みチャネル 4H-SiC MOSFETの作製に成功 - チャネル移動度 $140\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成 -

**A great success of Interface Controlled Enhancement type Buried-Channel 4H-
SiC Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor (ICE-BC MOSFET)
with the best electrical performance in the world
- Establishment of channel mobility of $140\text{cm}^2/\text{Vs}$ -**

パワーエレクトロニクス研究センター
先進パワーデバイス研究室
Power Electronics Research Center
Advanced Power Devices Lab.

Abstract

We have fabricated buried channel MOSFETs with a thermally grown gate oxide in 4H-SiC. The gate oxide was prepared by dry oxidation with H_2O annealing. The buried channel region was formed by nitrogen ion implantation at room temperature followed by annealing at 1500°C . The optimum doping depth of the buried channel region has been investigated. For the nitrogen concentration of $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, the optimum depth was found to be $0.2\mu\text{m}$. Under this condition, the channel mobility of $140 \text{cm}^2/\text{Vs}$ was achieved with the threshold voltage of 0.3V . This channel mobility is the highest reported so far for an enhancement type 4H-SiC MOSFET with a thermally grown gate oxide.

1 はじめに

パワーデバイスの炭化珪素 (SiC) は、Siよりもバンドギャップが2~3倍ある。このために絶縁破壊電界が1桁大きく、飽和電子速度は2倍、熱伝導度は3倍大きいので、次世代のパワーエレクトロニクスの半導体材料として期待されている。これらの優れた物性値からSiCデバイスの通電状態での抵抗値は、Siデバイスよりも約2桁下がると予想されている。さらに、SiCデバイスは、バンドギャップが大きいために動作温度の上限は、 500°C ~ 600°C になるだけでなく、熱伝導率が大きいので、伝熱面積が小さくても容易に冷却できる。従って、電気自動車に用いられる大容量の制御系素子を小型化することが可能となり、電気自動車の実現を促進することにより、二酸化炭素の削減に寄与する。研究が進みSiCを送電用の電力変換素子に用いられるようになれば、2030年に予想される電力損失のうち580万kWを削減できると試算されている。従って、SiC大電力用デバイスは、省エネ

ルギー、環境技術の鍵になるとして注目されている。また、電力分野だけでなく、SiCデバイスは、21世紀においては、高耐圧だけでなく、高飽和電子速度のために、携帯電話用の無線基地局用の高周波・高出力デバイスとしても期待されている。

パワーデバイスは、一般に、PiNダイオードやショットキーバリアダイオード(SBD)などの整流素子と金属-酸化膜-半導体電界効果型トランジスター(MOSFET)や接合型トランジスターのようなスイッチング素子を組み合わせたモジュールとして使用される。図1にSiとSiCパワーデバイスのオン抵抗と耐圧の関係を示す。このうち、SiCのSBDのオン抵抗は、ほぼ理論値まで下がっており、欧州のメーカーが高温での信頼性試験や歩留まりのデータを公表するなど、着実にビジネス展開へ向けて進んでいる。一方、MOSFETは、オン抵抗が小さくスイッチング速度が速いために、スイッチング素子として期待されている。SiCデバイスの中では、理論的には、4H-SiCのオ

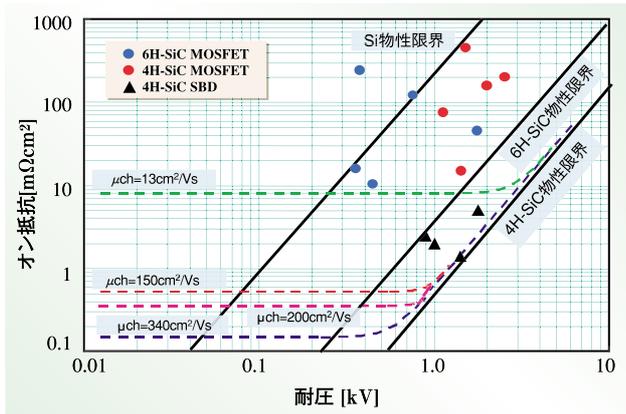


図1 オン抵抗と耐圧の関係

SiCには、3C、6H、4Hなどの様々なポリタイプが存在するが、バンドギャップとバルク結晶のホール移動度が大きいために理論的には、4H-SiCパワーデバイスのオン抵抗値が最も小さい。

ン抵抗値が最も小さくなる。従って、デバイスの研究は、4H-SiCに集中している。しかし、実際には、図1に示すように、これまで報告されたSiC MOSFETのオン抵抗値は、SiのパワーMOSFETの理論値を下回ったものの、4H-SiCパワーMOSFETの理論値より大きい。図2にDMOSと呼ばれるパワーMOSFETの断面模式図を示す。オン抵抗値は、金属とソース/ドレイン間のコンタクト抵抗値、ソース/ドレインのシート抵抗、チャンネル領域の抵抗値、ドリフト領域の抵抗値から構成される。耐圧が小さいほど、オン抵抗に占めるチャンネル抵抗の比重は大きく、耐圧が大きくなるにつれて、ドリフト領域の抵抗値の占める割合が増加してくる。市場の大きい耐圧1kV程度のMOSFETにおいては、オン抵抗値にチャンネル移動度が大きく影響する。ここで、チャンネル移動度は、チャンネル抵抗の逆数に比例する。チャンネル移動度が、13、150、200、340cm²/Vsのオン抵抗と耐圧の関係を図1中に点線で示す。4H-SiC基板を用いた耐圧1kVのMOSFETのオン抵抗値が、ほぼ理論値まで下がるには、約150cm²/Vs以上のチャンネル移動度が必要である。チャンネル移動度を向上するために、界面準位密度(酸化膜とSiC界面間に存在する欠陥)を減らす工夫がなされたが、チャンネル移動度は、10~20cm²/Vsであり、4H-SiC MOSFETのチャンネル移動度を向上するブレークスルーが4H-SiCパワーMOSFETのオン抵抗を下げるための最重要課題となっており、世界中で激しい競争を繰り広げている。

日本では、平成10年から5カ年計画で、実用化のための基盤技術を確認するために「超低損失電力素子

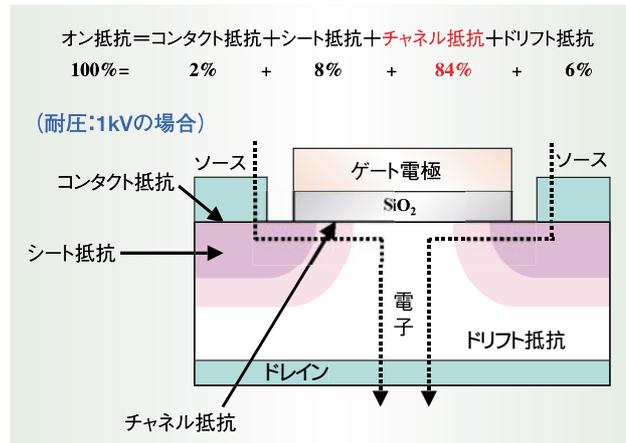


図2 DMOSFETの模式断面図

SiパワーMOSFETにおいて代表的な縦型パワーMOSFET。

技術開発」プロジェクトが実施されている。このうち、SiCの結晶成長からデバイス作製の要素技術や物性/デバイス評価技術に関する基盤技術研究を、パワーエレクトロニクス研究センターで進めている。これまで、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けた新機能素子研究開発協会(FED)が企業の集中研として先進パワーデバイス研究室を電総研内に設け共同研究として進めてきた。我々は、これまでに、オン抵抗値を下げるための要素技術として、低抵抗コンタクト抵抗技術(ETL NEWS 604、612号)や低シート抵抗技術(ETL NEWS 613号)について報告した。チャンネル抵抗技術については、SiC MOSFETの作製プロセスを確立し、高温水素アニールによりチャンネル移動度が向上することを報告している(ETL NEWS 610号)。しかし、チャンネル移動度は、10cm²/Vs程度であり、4H-SiCのオン抵抗の理論値を達成するには、ほど遠いレベルであった。今回、良好な界面を制御する技術と埋め込みチャンネルMOSFET構造の最適化により、140cm²/Vs(世界最高値)のチャンネル移動度を有するエンハンスメント型の4H-SiC MOSFETの作製に成功したので報告する。

2 .SiO₂/SiC界面制御技術

SiC MOSFETの低チャンネル移動度の一つの原因として、SiO₂/SiC界面の準位がSiO₂/Si界面よりも約1桁多いことが指摘されている。ゲート絶縁膜を形成した後に、SiCが酸化をしない温度で、H₂O雰囲気中で熱処理をすることにより、P型6H-SiC MOS構造の価電子帯側の界面準位密度が減少することが報告され

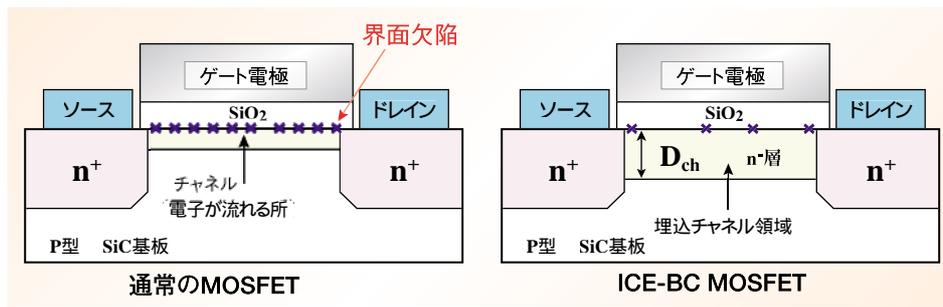


図3 通電状態での通常のMOSFETとICE-BC MOSFETの模式断面図

横型MOSFETを用いて、チャンネル移動度を評価した。ICE-BC MOSFETは、界面の欠陥 (×印) を減らすと同時に、 D_{ch} を最適化した。

た。これは、熱酸化した後に残された炭素原子を水分を含んだ雰囲気中で熱処理することにより、界面を進めずに、界面準位密度の原因となっている炭素を除去することができるので、界面準位密度が下がると解釈されている。しかし、この技術をMOSFETに適用してもチャンネル移動度が向上したとの報告はない。我々は、 H_2O の純度に問題があると考え、高純度の水素と酸素を燃焼させて発生した H_2O をゲート酸化膜のアニールに用いることにより、チャンネル移動度が4~5倍になることを発見した。

3 .SiC MOSFET 埋め込みチャンネル構造

図3に通電状態での通常のn型MOSFETとICE-BC MOSFETの断面模式図を示す。通常のMOSFETでは、ゲート電極に正電圧を印加して、ゲート酸化膜の下に電子を誘起することによりチャンネルを形成して通電状態にする。一方、ICE-BC MOSFETでは、あらかじめ、窒素などのイオン注入により、ゲート酸化膜の下にSiC基板とは逆の導電型である n^- 層を形成する。このような n^- 層を形成することにより、図4に示すように、電流を流すチャンネルの中心が半導体表面から少し内部に入ったところに形成されるため、 SiO_2/SiC 界面の散乱の影響を受けずにバルクの移動度に近い値で流れる電子の数が増えるのでチャンネル移動度が向上する。特に、 SiO_2/SiC 界面に準位が大量にある4H-SiC MOSFETの場合には、大幅なチャンネル移動度の向上が期待される。これまで、埋め込みチャンネル領域の不純物濃度を高くすることによりチャンネル移動度が向上することが報告されていたが、閾値(しきいち)電圧(通電状態になる電圧)が負電圧になる問題があった。閾値電圧が負であるということは、ゲートに正の電圧が印加されていなくても電流が流れていることを意味し、このようなMOSFETは、ディ

プリーション型と呼ばれる(図5参照)。ディプリーション型のMOSFETは使いにくいために、一般に使用されることはない。閾値電圧が正であるエンハンスメント型であることが要求される。これまで、埋め込みチャンネル構造でエンハンスメント型のMOSFETにおいて、チャンネル移動度を大幅に向上することは困難であった。

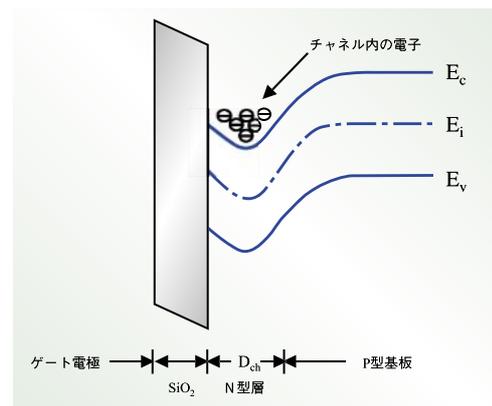


図4 埋め込みチャンネルMOSFETのエネルギーバンド図

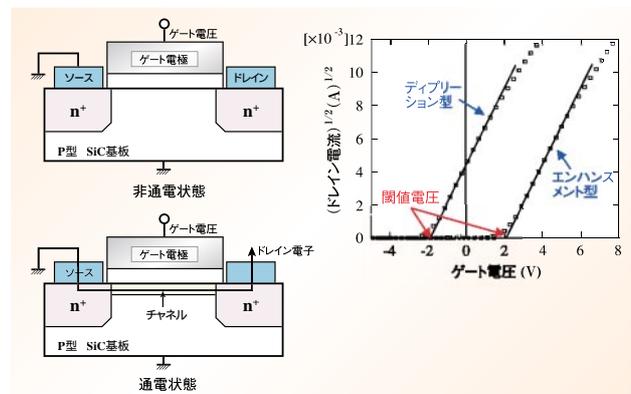


図5 ディプリーション型とエンハンスメント型MOSFETの電流-電圧特性

今回は、図3に示すように埋め込みチャネル深さ (D_{ch})の最適化を図ると同時に、先に述べた、 H_2O 雰囲気による熱処理を用いた SiO_2/SiC 界面の欠陥を減少することにより、埋め込みチャネル構造でエンハンスメント型のMOSFETにおいてチャネル移動度を大幅に向上することに成功した。

4 .MOSFET作製プロセス

MOSFETの作製には、p型エピタキシャル4H-SiC (0001)基板(オフ角度: 8° 、有効キャリア密度: $5 \times 10^{15} cm^{-3}$)を用いた。基板をRCA洗浄した後に、ソース/ドレイン形成のためのリン(燐)を $500^\circ C$ でイオン注入した後に、埋め込みチャネル領域を形成するために、窒素を $1 \times 10^{17} cm^{-3}$ 程度注入した。 D_{ch} は、 $0.15, 0.2, 0.25 \mu m$ とした。次いで、 $1500^\circ C$ で5分の活性化アニールを行った。 $1200^\circ C$ で140分間のドライ酸化により $40nm$ のゲート酸化膜を形成した後に、アルゴン中で $1200^\circ C$ 、30分間アニールを行った。さらに、 $950^\circ C$ で3時間の H_2O 雰囲気での熱処理を行った。最後に、アルミニウムを蒸着することによりゲート電極とソース/ドレインへのオーミックコンタクトを形成した。コンタクト形成後のアニールは行っていない。コンタクト抵抗値は、 $2 \times 10^{-5} \Omega cm^2$ であった。

5 .ドレイン電圧とドレイン電流の関係

図6に $D_{ch} = 0.2 \mu m$ のMOSFETのドレイン電圧(V_d)とドレイン電流(I_d)の関係を示す。電流は、 $0V$ から直線的に増加し、高電圧では、飽和しており、良好なオーミック特性、飽和特性を示している。

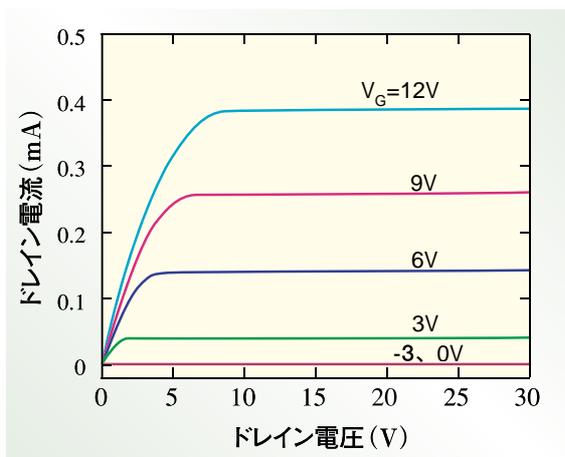


図6 ICE-BC MOSFETのドレイン電圧-電流特性 $V_g = -3, 0V$ では、電流が流れておらず、エンハンスメント型であることを示している。

6 .チャネル移動度と閾値電圧

図7にチャネル移動度(μ_{ch})に対するゲート電圧(V_g)依存性を D_{ch} を変数として示す。 μ_{ch} は式(1)から $V_d = 0.1V$ で求めた。 μ_{ch} には、電界効果移動度(μ_{FE})を用いた。 V_{th} は、式(2)において $V_d = 10V$ での $\sqrt{I_d} - V_g$ プロットにおいて、直線を引き、 V_g 軸との交点で定義した(図8)。

$$\mu_{ch}(\mu_{FE}) = G_m \cdot L_g / (W \cdot C_{ox} \cdot V_d), \quad G_m = dI_d/dV_g \quad (1)$$

$$I_d = 1/2 \cdot (W/L_g) \cdot \mu_{ch} \cdot C_{ox} (V_g - V_{th})^2 \quad (2)$$

ここで、 G_m は相互コンダクタンス、 L_g はゲート長、 W はゲート幅、 C_{ox} は、酸化膜容量である。低電圧において観測されるチャネル移動度の最大値は、 $D_{ch} = 0.15, 0.20, 0.25 \mu m$ において、各々、 $45, 140, 230 cm^2/Vs$ であり、 D_{ch} が大きくなるにつれて増加する。これは、 D_{ch} が大きくなるにつれて、界面から深い位置を流れる電子の数が增加するために、界面準位にトラップされた電荷による散乱の影響が減少して、 SiC バルクの移動度に近い値で移動する電子の数が增加するためである。一方、 V_{th} は、 $D_{ch} = 0.15, 0.20, 0.25 \mu m$ において、各々、 $1.8, 0.3, -2.0V$ であり、 $D_{ch} = 0.25 \mu m$ においては、電圧が印可されていなくても電流が流れており、 $-10V$ まで印加してもオフしな

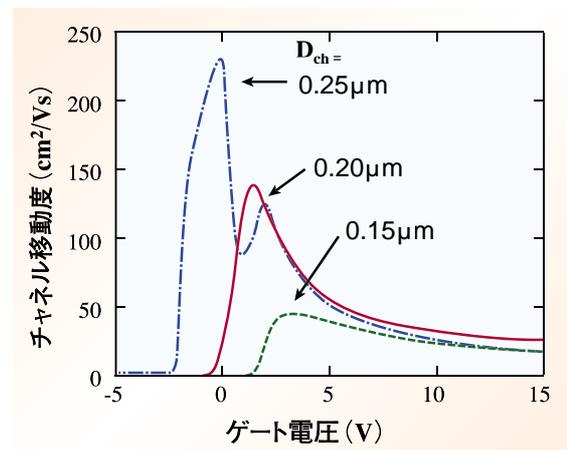


図7 ICE-BC MOSFETのチャネル移動度のゲート電圧依存性

μ_{ch} 対 V_g において、 μ_{ch} はある V_g までは、 V_g の増加と共にチャネル内の電子数が増加して、界面準位密度や不純物を遮蔽するので増加する。一方、ある V_g 以上では、表面に垂直な電界が大きくなるので、表面ラフネスによる散乱が大きくなりチャネル移動度は低下する。したがって、 μ_{ch} は V_g に対して最大値を示す。通常、この最大値を μ_{ch} として定義する。

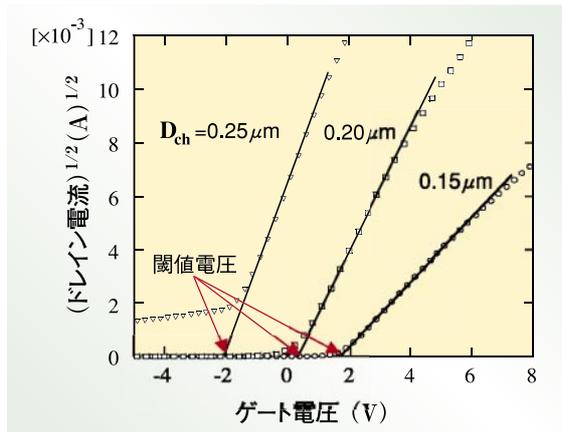


図8 ICE-BC MOSFETの (ドレイン電流)のゲート電圧依存性

い。結局、 $D_{ch}=0.20\mu\text{m}$ において、エンハンスメント型でかつチャンネル移動度 $140\text{cm}^2/\text{Vs}$ を出すことができた。これまで報告されたエンハンスメント型で埋め込みチャンネルMOSFETのチャンネル移動度は、 $70\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度であるので飛躍的に向上した。図1に示したように、大きな市場が見込める耐圧1kVでの4H-SiCパワーMOSFETのオン抵抗値は、チャンネル移動度が $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上あると、ほぼ理論的値まで下がり、4H-SiCの性能を十二分に発揮できる。今回の $140\text{cm}^2/\text{Vs}$ は、ほぼ、この $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成したといえる。従っ

て、これまでに「超低損失電力素子技術開発」プロジェクトで報告した低コンタクト抵抗形成技術や低シート抵抗値形成技術を統合して4H-SiCパワーMOSFETを作製すれば、オン抵抗値を理論値まで下げられると考えられる。

7. まとめ

「超低損失電力素子技術開発」プロジェクトで実行している、高チャンネル移動度MOSFETを作製するための要素技術について報告した。埋め込みチャンネルの深さを最適化すると共に、ゲート酸化膜形成後に H_2O 雰囲気アニールして良好な界面を形成することにより、チャンネル移動度 $140\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。これにより、1kV級パワーMOSFETの3要素1)低コンタクト抵抗形成技術、2)低シート抵抗値形成技術、3)高チャンネル移動度を達成したことになり、オン抵抗値を理論値まで下げる目処がついたと考えられる。今後は、これらの要素技術を統合して、パワーMOSFETを作製することにより、オン抵抗が理論値まで下がることの実証を図る予定である。

研究課題名

「超低損失電力素子技術の研究」プロジェクト

福田 憲司 (Kenji Fukuda)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)
e-mail: k-fukuda@aist.go.jp	
鈴木 誠二 (Seiji Suzuki)	先進パワーデバイス研究室 (Advanced Power Device Lab.)
小杉 亮治 (Ryoji Kosugi)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)
先崎 純寿 (Junji Senzaki)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)
原田 信介 (Shinsuke Harada)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)
安達 和広 (Adachi Kazuhiro)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)
田中 知行 (Tomoyuki Tanaka)	先進パワーデバイス研究室 (Advanced Power Device Lab.)
荒井 和雄 (Kazuo Arai)	パワーエレクトロニクス研究センター (Power Electronics Research Center)

独立行政法人 産業技術総合研究所の基本方針

産業技術総合研究所は、多岐にわたる分野の研究者集団の融合と創造性の発揮による研究活動を通じて、新たな技術シーズの創出、産業技術力の向上や新規産業の創出など、我が国の経済的発展に貢献し、国民の生活の向上に寄与します。このため、以下の研究を展開し、研究成果の発信と成果の普及に努めます。

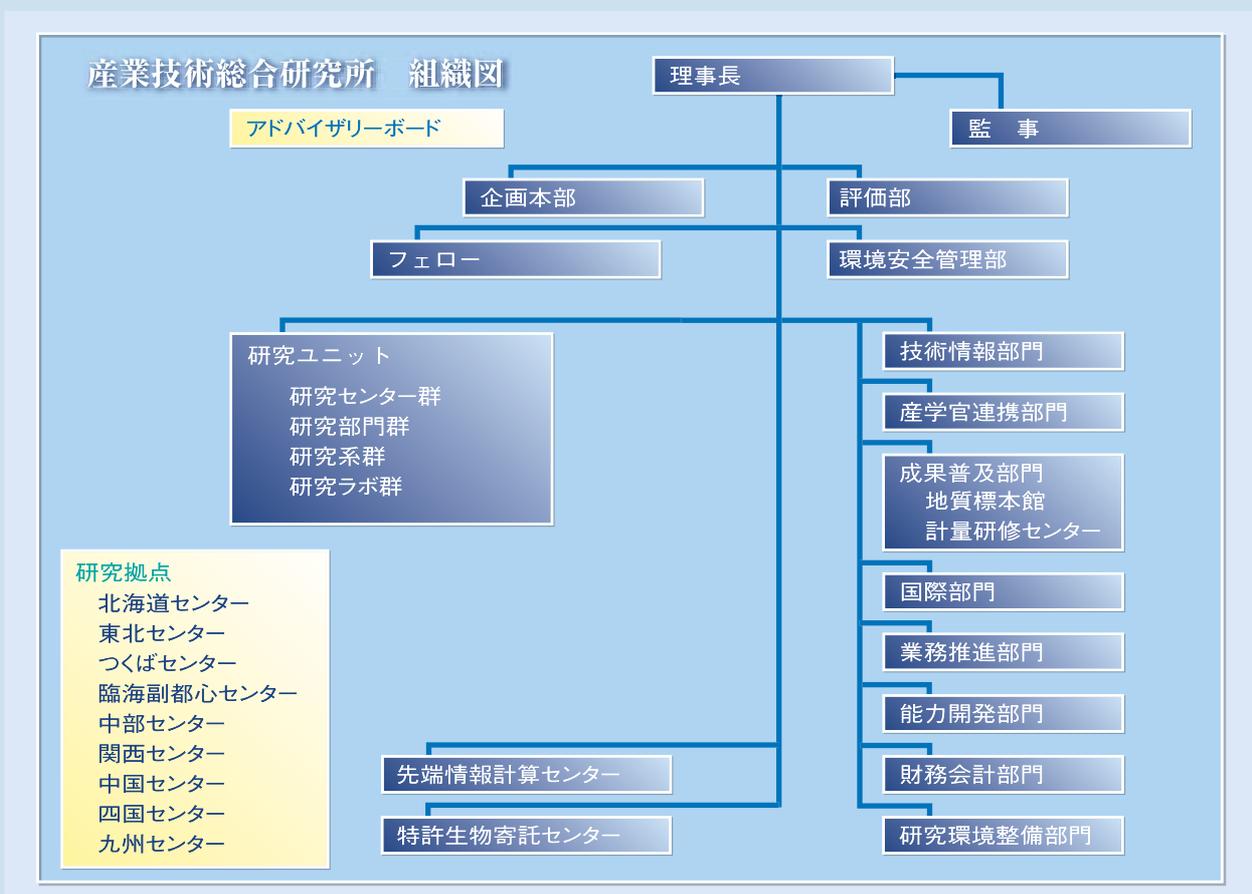
- (a)計量の標準や地質の調査、更にわが国のテクノインフラ整備にかかわる基盤技術の構築など、産業基盤技術の研究・開発。
- (b)国自らが課題解決に取り組んでいくことが求められているエネルギー・環境技術などの研究。
- (c)国際的な産業競争力強化や新産業の創出に向けて、幅広いスペクトルでの探索と分野融合によるイノベーションを推進すべき研究。

産総研の組織は、研究開発の中核をなす研究実施部門と、産総研と外部機関とのインタフェース機能を果たして効果的・効率的な研究開発に寄与する研

究関連部門、及び研究開発の運營業務に携わる管理部門から構成されています。

研究実施部門は、つくばに集約された研究拠点と、北海道、東北、中部、関西、中国、四国、九州の各拠点に配置された特色のある各研究拠点に加え、新たに臨海副都心(お台場)に研究拠点を配置します。これにより、日本全国レベルでの研究開発のネットワークを形成します。

研究管理・関連部門として、理事長のトップダウンマネジメントのもとに法人全体のコントロール機能を果たす「企画本部」、外部機関との研究交流を強力に推進する「産学官連携部門」、最先端の技術動向、研究開発動向を踏まえて、国としての産業技術戦略を提案する「技術情報部門」、海外機関との研究協力締結や海外拠点の設置・運営など国際展開を担う「国際部門」、成果発信・成果普及の中核機能を果たす「成果普及部門」等を設置し、産業技術に関する研究立案・実施・普及を通して国内外の要請に的確に応える自律的な組織体制としました。



研究所の中核をなす研究実施部門については、研究分野の特殊性や研究のミッション、研究開発のフェーズの多様性等に的確に対応するため、さまざまな形態の研究組織を配置しました。

研究センター

研究センターでは、予算や人員等の研究資源の優先的な投入により、先導的・戦略的なプロジェクトを推進します。産業界・学界・社会に対するインパクトがあり、明確なミッションを持ち、時限的に設置される機動的な組織として、トップダウン型マネジメントにより運営します。また、センター長には当該分野のリーダーシップを有した人材を国内外からも登用しています。

研究部門

研究部門は、産総研のミッション達成と中長期戦略の実現に向けて、研究者個々の発意に基づくポト

ムアップの研究テーマ設定を基本とし、一定の継続性を持って運営します。技術的ポテンシャルを発展させる場と位置づけるとともに、ニーズ・ミッションへの対応の明確化や技術的親近性による組織力の発揮の観点、更には分野融合による新技術領域の開拓などの観点から、組織を構成しています。

研究系

研究系は、関西地域における大規模な産業・研究集積を活用しつつ、分野融合的な新しい研究展開を図るとの観点から、基礎から実用化までの多様なフェーズの研究開発活動を一体的かつ機動的に行える規模の実験的組織として配置しています。

研究ラボ

研究ラボは、異分野融合性の高い課題、突発的な行政ニーズ対応型の課題などについて機動的・時限的に研究を推進する研究ユニットと位置づけています。

研究ユニット一覧

研究センター			
深部地質環境研究センター	つくば	次世代半導体研究センター	つくば
活断層研究センター	つくば	サイバーアシスト研究センター	臨海副都心
化学物質リスク管理研究センター	つくば	マイクロ・ナノ機能広域発現研究センター	つくば
フッ素系等温暖化物質対策テクノロジー研究センター	つくば	ものづくり先端技術研究センター	つくば
ライフサイクルアセスメント研究センター	つくば	高分子基盤技術研究センター	臨海副都心・つくば
パワーエレクトロニクス研究センター	つくば	光反応制御研究センター	つくば
生命情報科学研究センター	臨海副都心・つくば	新炭素系材料開発研究センター	つくば
生物情報解析研究センター	臨海副都心・つくば	シナジーマテリアル研究センター	中部
ティッシュエンジニアリング研究センター	関西・つくば	超臨界流体研究センター	東北
ジーンディスクバリアー研究センター	つくば	スマートストラクチャー研究センター	つくば
ヒューマンレスシグナル研究センター	関西	界面ナノアーキテクトニクス研究センター	つくば
強相関電子技術研究センター	つくば		
研究部門			
計測標準研究部門	つくば・関西	光技術研究部門	つくば・関西
地球科学情報研究部門	つくば	生物遺伝子資源研究部門	つくば・北海道
地圏資源環境研究部門	つくば	分子細胞工学研究部門	つくば
海洋資源環境研究部門	つくば・中国・四国	人間福祉医工学研究部門	つくば
エネルギー利用研究部門	つくば・北海道	脳神経情報研究部門	つくば
電力エネルギー研究部門	つくば	物質プロセス研究部門	つくば
環境管理研究部門	つくば・東北	セラミックス研究部門	中部
環境調和技術研究部門	つくば	基礎素材研究部門	中部・九州・中国・東北
情報処理研究部門	つくば	機械システム研究部門	つくば
知能システム研究部門	つくば	ナノテクノロジー研究部門	つくば
エレクトロニクス研究部門	つくば	計算科学研究部門	つくば
研究系			
人間系特別研究体	関西	生活環境系特別研究体	関西
研究ラボ			
グリーンプロセス研究ラボ	つくば	次世代光工学研究ラボ	つくば
薄膜シリコン系太陽電池研究開発ラボ	つくば	微小重力環境利用材料研究ラボ	北海道
デジタルヒューマン研究ラボ	臨海副都心・つくば	純度制御材料開発ラボ	関西
ライフエレクトロニクス研究ラボ	関西		

技術情報部門

技術情報部門は、産総研のシンクタンクとして産業分野で望まれる技術開発や現在開発中の技術の調査・分析を行い、それに基づく将来予測から研究開発や技術政策の方向性に資する提言を行うことを主な業務としています。また、産総研を最適に運営するために有用なマネジメントや組織の評価に関する調査・分析、政策上重要な課題の調査、研究情報に関するサービスの提供を行います。調査対象で分類した4つの調査室と図書業務室で構成されます。また、産総研の研究能力を最大限に発揮するため、傘下研究ユニットの研究活動に関する技術動向調査や識者のご意見を収集・集約して関係部署へ提供することも重要な役割です。

技術情報調査室

国内はもとより世界の大学や研究所で、研究者は何を考え、何を開発しようとしているのでしょうか。技術シーズを醸成し、その成果を社会・産業が必要とする技術に育てるのが産総研の使命です。本調査室では、社会が求める技術開発課題と研究開発の現状を調査分析し、プログラム/プロジェクト提案へ反映させるとともに、産総研内外へ技術情報を提供・発信します。

技術政策調査室

豊かで心休まる生活が送れる世界を実現するため、科学技術はどのように発展すればいいのでしょうか。内外の技術政策や研究開発動向の調査・分析をもとに、産業技術戦略の策定あるいは産総研における研究開発の中長期的な方向づけを目指し、実現すべき技術開発の提言や達成可能な技術開発の予測を行います。

技術経営調査室

最先端の研究を効率よく行い、産業技術へと発展させるには、研究マネジメント、研究組織・プロジェクトの評価法、成果発信戦略など、産総研の運営に最適な方法があるはずで。本調査室では、研究所の運営手法に関する調査・分析を行います。

特別調査室

特別調査室ではその時々重点テーマの調査を行います。最近多発する事故により揺らぎつつある我が国製造技術の信頼性を再度確立するため、初めてのテーマとして産業安全工学を選びました。安全性の確立・向上に関連する研究、関連事項を調査・分析し、その結果を内外へ発信していきます。

図書業務室

研究活動を行うに不可欠な情報源である学術雑誌の収集・管理、文献情報の提供、各図書室の運営、各図書室からの図書情報の一元的管理を行います。

技術情報部門の役割



連絡先

技術情報部門
〒305-8568 茨城県つくば市東1-1-1 中央第5
電話 0298-61-9062

図書業務室
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2
電話 0298-61-9069

産学官連携部門

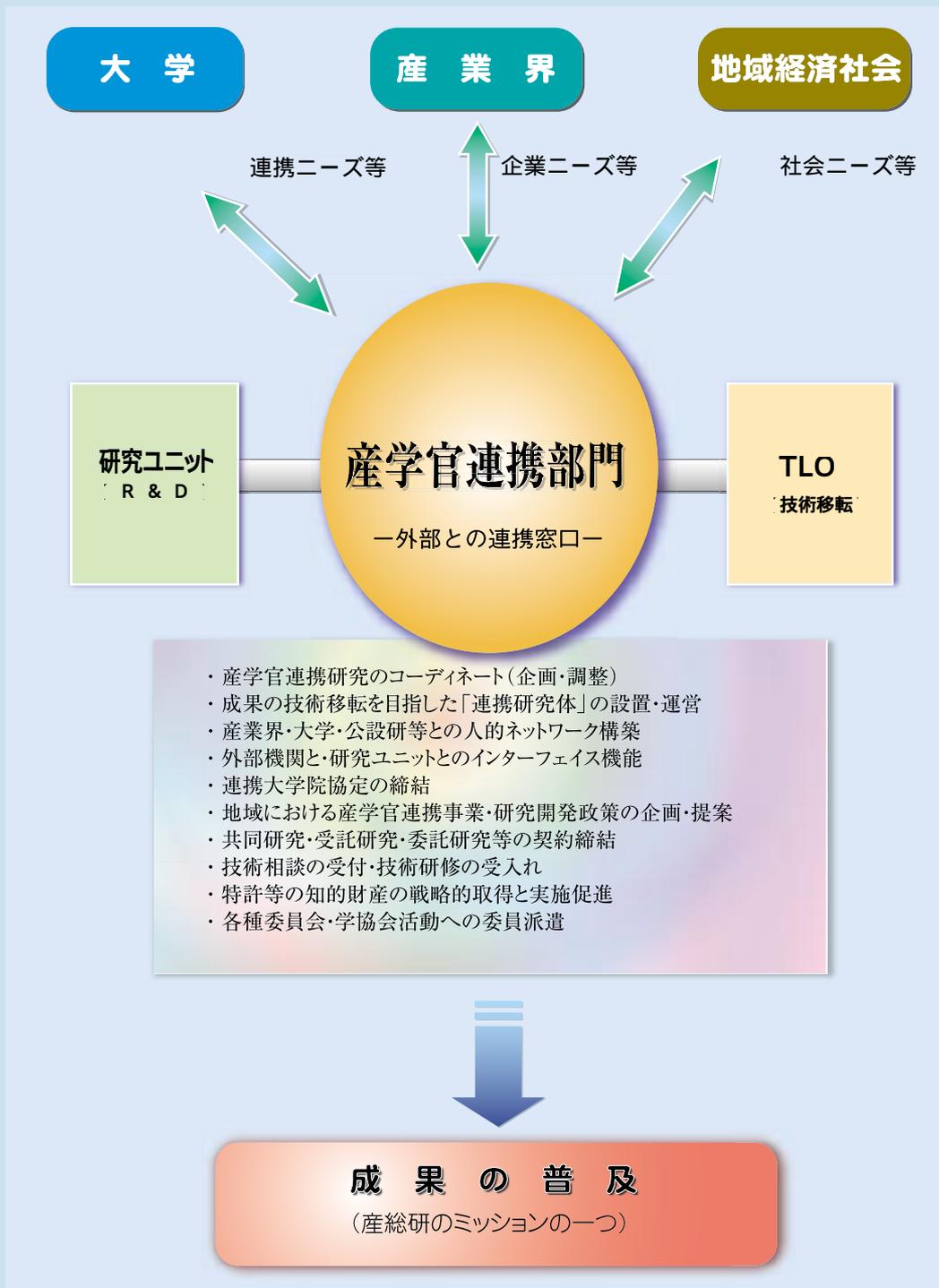
産学官連携部門は、産総研と産業界、学界、地域経済社会との連携窓口です。これまでにない新しい体制で産学官連携を強力に推進します。

まずつくばと各地域拠点に配置された「研究コーディネータ」が、外部ニーズと産総研の研究ポテンシャルとをマッチングし、産学官連携プロジェクトを立案・調整するなど、外部との多様な連携をコーディネートします。

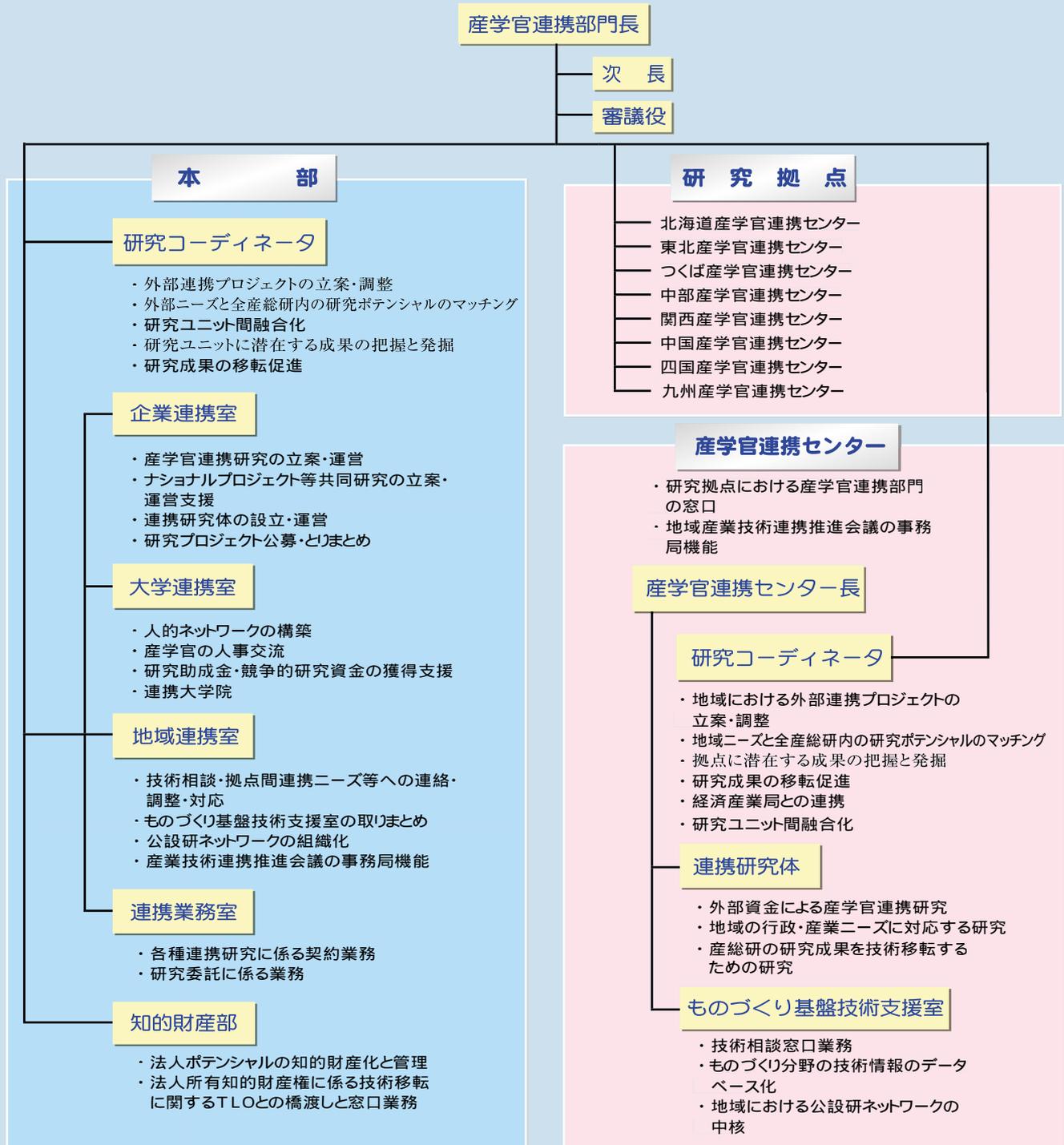
また研究成果の技術移転を促進するための「連携研究体」制度を新設し、産学官連携研究を積極的に支援します。

さらに成果の掘り起こしを強化し、知的財産権化を進め、「TLO(技術移転機関)」と一体的に成果の実用化を推進します。

どうぞ、お気軽に各拠点の産学官連携センターにご連絡下さい。



産学官連携部門の組織



ご相談・ご連絡は身近にある以下の産学官連携センターまでどうぞ

北海道産学官連携センター	電話 011-857-8406	関西産学官連携センター	電話 0727-51-9688
東北産学官連携センター	電話 022-237-5211	中国産学官連携センター	電話 0823-72-1911
つくば産学官連携センター	電話 0298-61-9083	四国産学官連携センター	電話 087-869-3511
中部産学官連携センター	電話 052-911-2116	九州産学官連携センター	電話 0942-81-3605

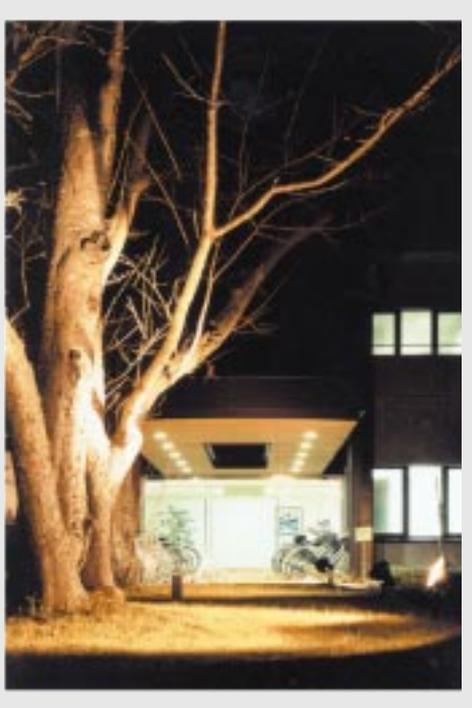
国際部門

産業技術分野における我が国を代表する研究機関として、海外研究機関と戦略的な連携による国際共同研究を推進していきます。

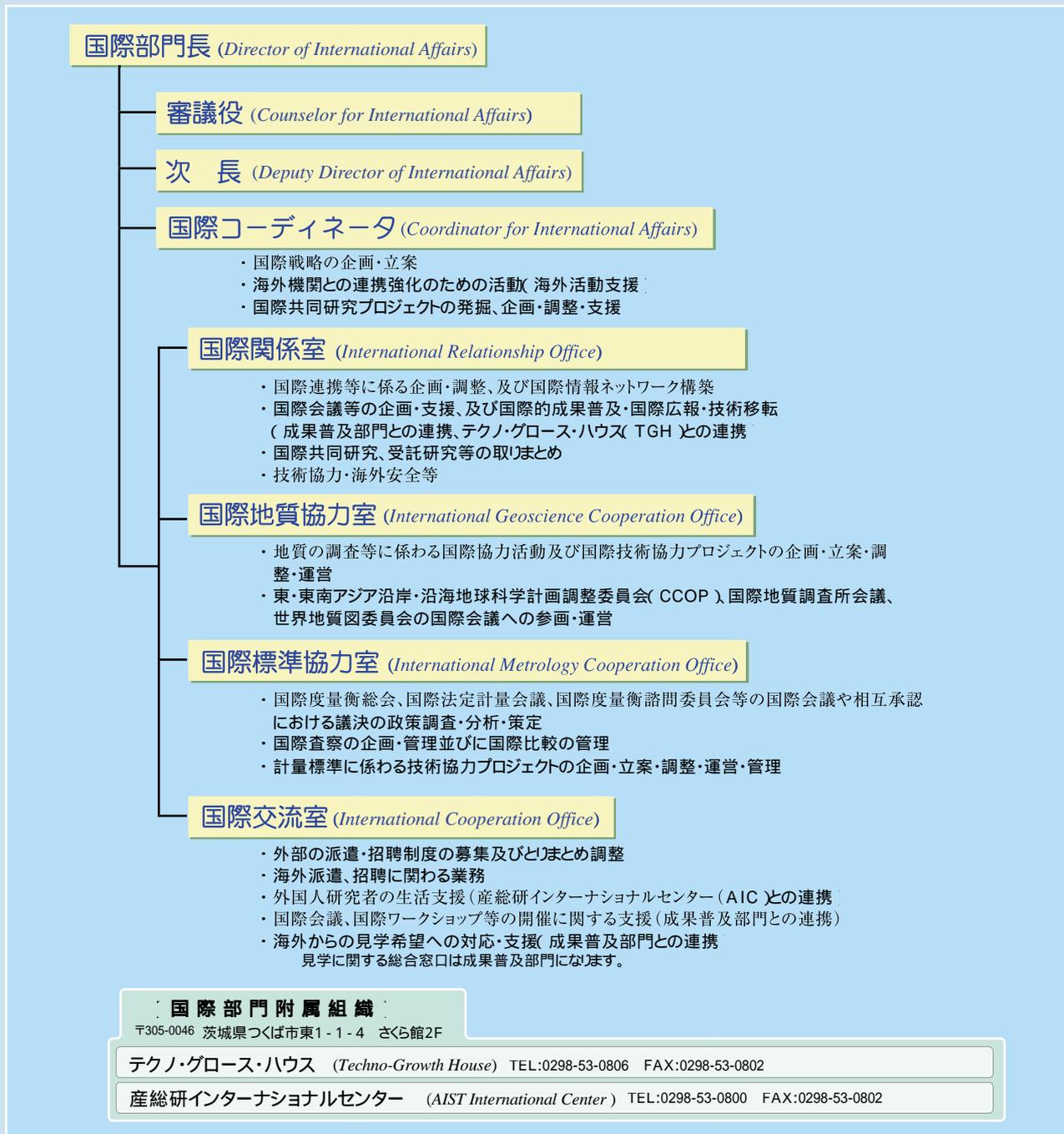
国際部門では、世界26カ国と締結している科学技術協力協定、科学技術協力取極やその他様々な制度に基づき、海外共同研究プロジェクトの掘り起こし等の業務に積極的に取り組んでいきます。また、将来に向けての国際展開の重要性・発展性を視野に、海外への成果普及・技術移転についても充実させていきます。

国際ワークショップの開催や研究者の派遣・招聘等の研究交流事業、海外からの見学者の受け入れ等を通じて、人と技術の交流を広く行うとともに、海外に向けた情報発信を行っていきます。JICA研修生受け入れおよび専門家派遣事業も重要な業務の一つです。

また、招聘研究員やその家族が快適な生活環境を確保するための宿泊施設の整備、語学研修等の生活支援業務も充実しています。派遣研究員に対しても安心して研究生活が遂行できるように海外情報を収集・提供していきます。



国際部門(International Affairs Department)の組織



連絡先

代表 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2

電話 0298-61-9153

国際関係室及び国際交流室

〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2

◆国際地質協力室

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

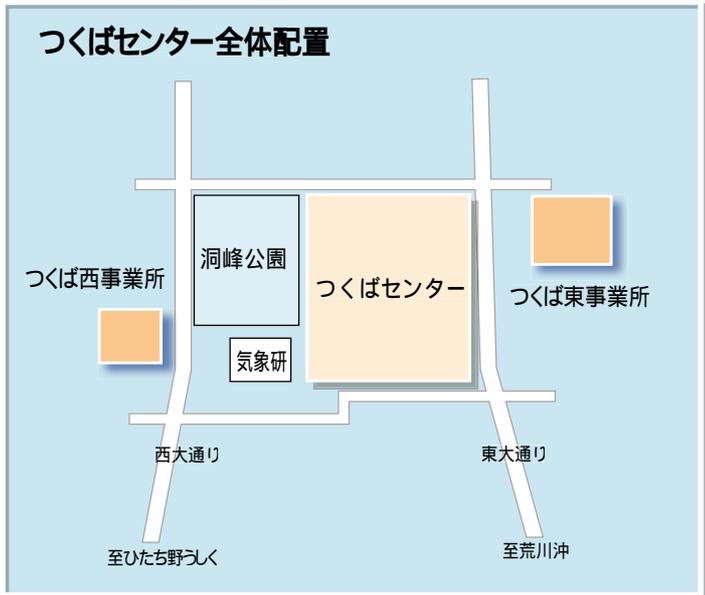
国際標準協力室

〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3

独立行政法人 産業技術総合研究所 つくばセンター (案内図)
 AIST Tsukuba
 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology



事業所名	旧研究所名	住 所	電話番号
つくば中央第一事業所	筑波研究支援総合事務所	〒305 - 8561 茨城県つくば市東一丁目1番地1 中央第1	0298 - 61 - 9034
つくば中央第二事業所	電子技術総合研究所	〒305 - 8568 茨城県つくば市梅園一丁目1番地1 中央第2	0298 - 61 - 9037
つくば中央第三事業所	計量研究所	〒305 - 8563 茨城県つくば市梅園一丁目1番地1 中央第3	0298 - 61 - 9038
つくば中央第四事業所	産業技術融合領域研究所	〒305 - 8562 茨城県つくば市東一丁目1番地1 中央第4	0298 - 61 - 9039
つくば中央第五事業所	物質工学工業技術研究所	〒305 - 8565 茨城県つくば市東一丁目1番地1 中央第5	0298 - 61 - 9040
つくば中央第六事業所	生命工学工業技術研究所	〒305 - 8566 茨城県つくば市東一丁目1番地1 中央第6	0298 - 61 - 9041
つくば中央第七事業所	地質調査所	〒305 - 8567 茨城県つくば市東一丁目1番地1 中央第7	0298 - 61 - 9042



事業所名	旧研究所名	住所	電話番号
つくば東事業所	機械技術研究所	〒305 - 8564 茨城県つくば市並木一丁目2番地1	0298 - 61 - 9044
つくば西事業所	資源環境技術総合研究所	〒305 - 8569 茨城県つくば市小野川16番地1	0298 - 61 - 9043



事業所名	旧研究所名	住 所	電話番号
北海道センター	北海道工業技術研究所	〒062 - 8517 北海道札幌市豊平区月寒東2条十七丁目2番地1号	011 857 8400
札幌北サイト	地質調査所 北海道支所	〒060 0808 北海道札幌市北区北8条西二丁目1番1号札幌第一合同庁舎	011 709 1811
白石サイト	資源環境技術総合研究所 北海道石炭鉱山技術試験センター	〒003 0029 北海道札幌市白石区平和通三丁目北1番25号	011 861 2191
東北センター	東北工業技術研究所	〒983 - 8551 宮城県仙台市宮城野区苦竹四丁目2番地1	022 - 237 - 5211
東京本部		〒100 8921 東京都千代田区霞ヶ関一丁目3番地1	03 5501 0900
臨海副都心センター		〒135 0064 東京都江東区青海二丁目41番地6	2001年7月中旬より
中部センター	名古屋工業技術研究所	〒462 8510 愛知県名古屋市北区平手町一丁目1番地	
瀬戸サイト	名古屋工業技術研究所 瀬戸分室	〒489 0884 愛知県瀬戸市西茨町110番地	0561 82 2141
関西センター	大阪工業技術研究所	〒563 8577 大阪府池田市緑丘一丁目8番地31号	0727 51 9601
尼崎事業所	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	〒661 - 0974 兵庫県尼崎市若王寺三丁目11番地46号	06 6494 - 7854
扇町サイト	計量研究所 大阪計測システムセンター	〒530 0025 大阪市北区扇町二丁目6番地20号	06 6312 - 0521
大手前サイト	地質調査所 大阪地域地質センター	〒540 0008 大阪市中央区大手前四丁目1番67号 大阪合同庁舎第2号館別館	06 6941 5377
中国センター	中国工業技術研究所	〒737 - 0197 広島県呉市広末広2-15000	0823 - 72 - 1903
四国センター	四国工業技術研究所	〒761 - 0395 香川県高松市林町2217番14	087 - 869 - 3511
九州センター	九州工業技術研究所	〒841 0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1	0942 81 3600
直方サイト	資源環境技術総合研究所 九州石炭鉱山技術試験センター	〒822 0002 福岡県直方市頓野1541	0949 26 5511
大分サイト	九州工業技術研究所大分分室	〒870 1117 大分県大分市高江西1-4361-10	097 596 7175

特別公開のお知らせ



地質標本館の特別公開(三宅島特集)

2001.4.16(月)~20(金) 9:30~16:30

「三宅島速報」2000年6月以来活動し、今だに島民の帰島の計画すら立てられない三宅島において現在何が起きているのか、地下水や、火山ガス(SO₂)の観測結果や火山灰や溶岩等の噴出物に関する研究などを紹介します。

特別公開の問い合わせ先

成果普及部門広報出版部(Tel.0298-61-9102)
地質標本館(Tel.0298-61-3750)

産総研の最新の研究

つくばセンター中央第2 大会議室

2001.4.19(木) 9:30~16:00

3次元視覚システム VVV

未来に通じる磁気のカ...超電導浮上

フルカラーリライタブル液晶材料

I T S と自動運転...自動車交通システム

燃える氷...メタンハイドレート

ライフサイクルアセスメント研究センター

生体材料(医療材料)の標準化

「ドライバーは運転中にどこを見ているの?」・・・ドライビングシミュレーター

人の心を豊かにするメンタルコミットロボット

植物の光合成をヒントにした新しい色素太陽電池

ポータブルマイクロファクトリ(持ち運びのできる工場)

あなたの足にぴったり合った靴を作ります



計量標準総合センター第1回記念講演会のお知らせ

産総研の設立を機に、国内の関係業界から長い間望まれてきた日本の計量標準担当機関(計量研、電総研、物質研の計量標準部門)が統合され、名実ともに中核的な機関(計量標準総合センター)として発足することになりました。これを機会に、国内外の関係者の皆様に、新しい中核機関の設立の主旨と展望を示す内容の講演会を開催いたします。

日時 平成13年5月22日(火)

場所 産業技術総合研究所つくばセンター
共用講堂大講堂

講演会の問い合わせ先

計量標準総合センター
計量標準管理部計量行政調査室(Tel.0298-61-4120)

プログラム

13:20-13:40 挨拶

13:40-14:20 政府からの期待

経済産業省産業技術環境局審議官 兼谷明男氏

題目(仮): グローバル化の中の計量標準

14:20-15:00 産業界からの期待

松下電器産業(株) 副社長 杉山一彦氏

題目(仮): 競争の前提としての計量標準と計量標準総合センターへの期待

15:20-16:10 記念講演

Dr. T. J. Quinn (国際度量衡局長)

題目(仮): 基礎物理定数と基本単位の標準

16:10-17:00 記念講演 Dr. A. L. VanKoughnett

(国際度量衡委員会副委員長、前カナダ計量研究所長)

題目(仮): 計量標準に係わる科学技術のマネジメント

産業技術総合研究所からのお知らせ

産業技術総合研究所では、報道機関等へ積極的に情報提供を行うとともに、広報誌(AIST Today)で最新の研究成果をいち早く公開、社会のニーズに即した様々な情報を提供していきます。さらにホームページで、より詳細な情報を発信します。また、研究成果を中心としたデータベースを構築し、一般の利用者がインターネットから検索・閲覧する事を可能にしています。

産総研広報誌 - AIST Today

AIST Todayは、国内外に向けて、最新の研究情報を中心とし、その他様々な情報を発信する産総研広報誌です。この広報誌は、最新の研究情報、イベント情報、地質の調査に関する情報及び計量標準等に関する情報、地域センターなどの情報を掲載します。

産総研のホームページ(<http://www.aist.go.jp>)

産総研の最新の研究情報、イベント案内、各部門などの案内及び紹介を行っていきます。また、研究成果に関するデータベースの整備などを構築していきます。



見学(地質標本館を除く)について

電話:0298-61-9102(成果普及部門)、地域センターについては、本号34ページ参照

地域センターを含めて15の研究所が産総研として発足し、施設及び見学箇所等の整備を進めています。現段階では、場所によっては希望に添うことができないことがありますので、関係者へご相談ください。

地質標本館

電話:0298-61-3750、3751 Fax:0298-61-3746

開館時間 9時30分～16時30分

休館日 第1・3・5土曜日、日曜日、国民の祝祭日と振替休日、年末年始(12月28日～1月3日)

入館無料 15人以上の団体見学は、事前に申し込みが必要です。

AIST Today 2001.4-1 vol.1

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。