

終章 物理学が拓く世界

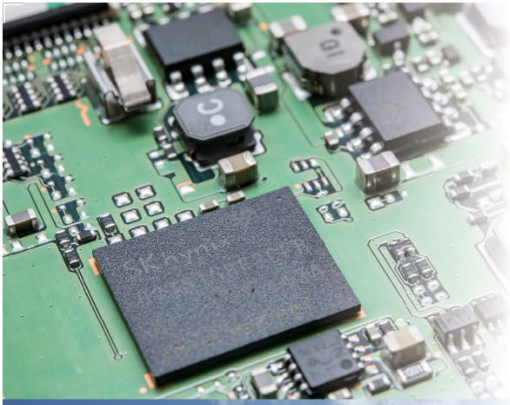
わたしたちの身のまわりには、さまざまな科学技術があふれている。電気はわたしたちの生活に最もなじみのあるもので、電化製品を動かすのに欠かすことができない。力学は建築などの基礎となっており、電波をはじめとする波も多くのもに利用されている。

この章では、わたしたちの生活にかかわる科学技術と物理学との関係について学習していこう。



ジオデシックドーム（カナダ）

現在の章とびらは「名古屋市科学館」です。物理的なイメージの建造物という観点で考えましたが、ちょっと古いかなあという気がします。



物理学と科学技術

物理学は自然界の法則を見つけ出し、さまざまな自然現象を説明してきた。私たちは、その法則を応用することで、生活を豊かにする手段を得た。1, 2章で学んだ「力と運動の法則」, 「運動とエネルギー」を含む「力学」は、安全なビルや家を設計したり、多くの機械や自動車、船舶、ロケットを動かしたりするもととなっている。2章で学んだ「熱とエネルギー」は「熱力学」ともよばれ、自動車のエンジン、冷蔵庫やエアコンなどの動作に深くかかわっている。3, 4章で学んだ「波」「電気」を含む「電磁気学」に基づいて、テレビなどの放送やスマートフォンなどの通信技術が進化した。

さらに、新しい概念を加えた現代物理学は、原子や分子などのふるまいをあきらかにするとともに、半導体をはじめとするエレクトロニクスを支えている。これらのどれか一つが欠けても、現在の科学技術はなりたたないといってよい。

科学技術には、物理学のみならず、あらゆる分野の知識が総合的にかかわっているが、ここでは物理学が身のまわりの科学技術に貢献している具体的な例を紹介する。これまで学んだ内容がさまざまな技術の基礎となっていることを確認しよう。

コラム 科学技術とは何か

科学技術の特徴の一つは、技術の開発に必要な要素を、科学の知識に基づいて、数値や数式を使って表現することである。

これにより、私たちはいつでも同じように技術を使えるようになり、豊かな社会の実現につながった。

いま、私たちの社会は、資源・エネルギー問題、食料・水問題、地球温暖化や環境問題など、地球規模の課題に直面している。これらの課題の解決にも、科学技術による貢献が欠かせない。



電車の技術開発

4章で、電気と磁気を応用したモーターを学んだ。電車は、モーターで車輪をまわして動いている。かつて、電車の速度は、運転台にあるコントローラーで抵抗を切り替え、モーターの回転速度を変えて制御していた。そのため、低速で走ると抵抗でのエネルギー損失が大きいという課題があった。最近の電車では、半導体を利用したインバーターを用いることにより、エネルギー損失を最小限におさえる工夫がされている。

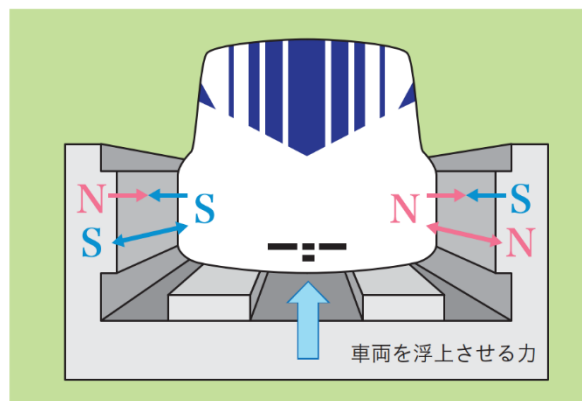
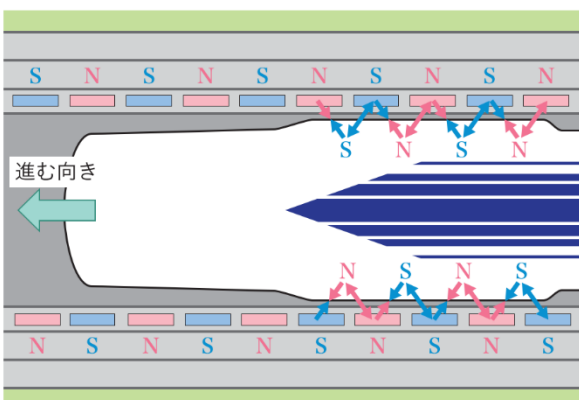
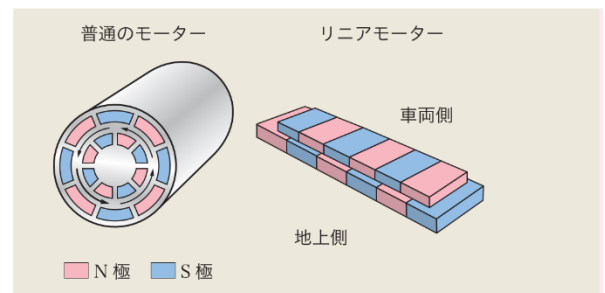


リニアモーター

リニアモーターは、電磁石と永久磁石を直線状に並び、前へ進む力を得ているものである。回転するモーターに比べて平たい構造にすることができるため、電車に用いた場合、従来よりも車両を小さくすることができる。地下鉄では、車両が小さくなるとトンネルを小さくことができ、建設費を削減できるため、1990年に大阪市ではじめて導入されて以来、各地で採用が進んでいる。



絶対零度付近で電気抵抗がなくなる物質を、超伝導物質という。コイルに超伝導物質を用いると、極めて強力な磁石（超伝導磁石）をつくることができる。時速500kmでの実用化を目指すリニア中央新幹線は、超伝導磁石を用いて開発が進められている。



▲リニア中央新幹線の原理

車両に搭載された超伝導磁石と壁に固定された電磁石の引力と反発力を利用して浮上したり、前へ進む力を得たりしている。

SDGs は、Sustainable Development Goals(持続的開発目標)の略で、2015 年に国連総会において全会一致で採択された 17 の目標と 169 のターゲットである。この 17 の目標のいくつかは科学技術の助けを借りて解決できると考えられている。ここでは、「⑥水・衛生」と「⑦エネルギー・⑬気象変動」について紹介する。

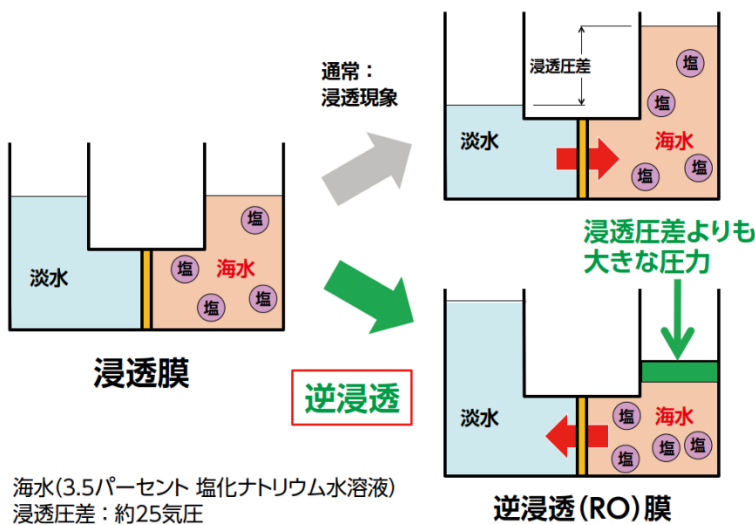


世界の人々に安全な水を

海水から淡水をつくる、または、汚れた水をきれいに再生し、世界中の誰もが豊かな水を手に入れられる未来をめざしている。豊富な水源として注目したのが、地球の水の 97%以上を占める海水である。海水淡水化技術の 1 つに、「逆浸透膜 (RO 膜) 法」とよばれる圧力差を利用したものがある。これは無数の微細な孔がある水分子だけを通す膜を用いて、海水から塩分などの不純物を取り除き、淡水だけを分離する技術である。



2015 年、ポリアミドにカーボンナノチューブ (CNT) を均一に分散させた「ナノカーボン複合 RO 膜」が開発された。目詰まりを起こさず、水を透過しやすいだけでなく、消毒や洗浄に強く製品寿命が長いので、維持費用を少なくでき、途上国の水不足に貢献できる。



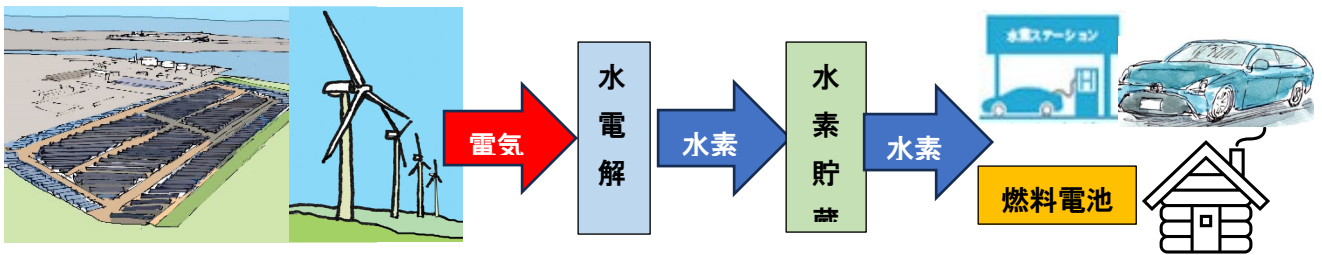
◀逆浸透

直径約 0.5 nm (1 nm は 1m の 10 億分の 1) の孔が無数に開いた膜は、水分子だけを通して不純物を通さない。この膜を隔てた左右にそれぞれ淡水と海水を入れると、同じ濃度になるように淡水側の水分子が海水側に流入する。このとき、膜には濃度に応じた圧力が加わるが、それよりも大きい圧力を海水側にかけることで、海水中の水分子だけが膜を通して淡水側に移動する現象が「逆浸透」である。

CO₂を出さない究極のクリーンエネルギー：水素

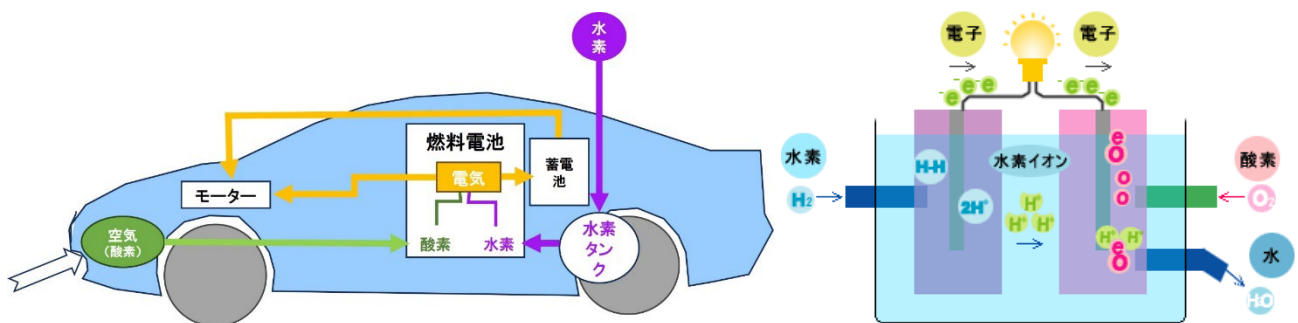
二酸化炭素(CO₂)など温室効果ガスによる気候変動が深刻さを増している。このため、化石燃料を使わないエネルギーが求められている。水素は、元素のなかでもっとも軽い気体で、地球上では水などの化合物として多く存在している。水素はさまざまな資源から製造が可能で、かつ、燃焼してもCO₂を排出しない。

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの余剰電力を利用して水素を製造すれば、製造から使用までCO₂を排出しない究極のクリーンエネルギーとなる。さらに水素を安定して国内で製造できれば、エネルギー自給率の低さなど、日本特有のエネルギー問題の解決にもつながると期待される。



水素を製造する方法としては地球上に豊富に存在する水を電気で分解することにより、水素と酸素を取り出す手法が一般的に知られている。大量の水素を得るために、固体高分子水電解、固体酸化物水電解などの研究開発が進められている。

水素自動車（燃料電池自動車）



燃料電池自動車（FCV；Fuel Cell Vehicle）は、水素タンクに貯めておいた水素を燃料電池内で空気（酸素）と結びつけ発電し、モーターを回して車を走らせる。

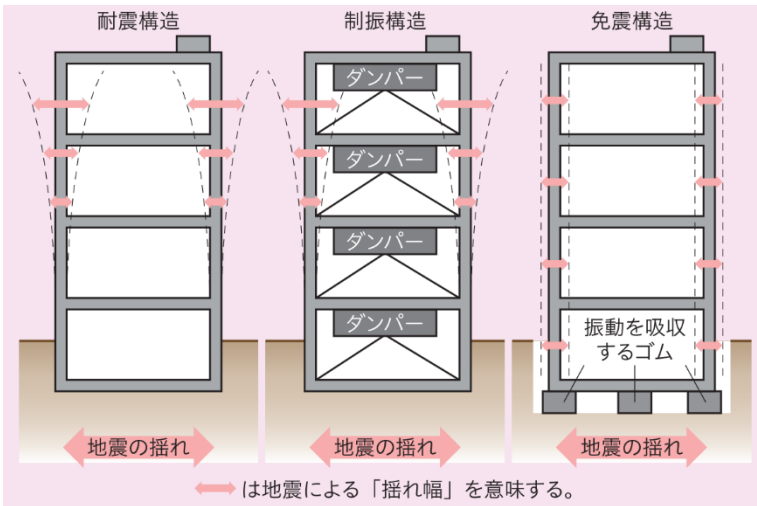
燃料電池の電極に送られた水素と、反対側の電極から導入された空気中の酸素が反応して水と電子（e⁻）がとり出され、電流が流れる。水しか排出しないので環境に優しい。

地震に強い建築

地震が多発する日本では、大きな地震でも建物が倒壊しないような技術が発展してきた。

耐震構造・制振構造・免震構造

地震で地面が揺れたとき、建物は横向きの力を受ける。この力から建物を守るため、力を受けても壊れない強い構造（耐震構造）と、揺れを吸収する柔らかな構造（制振構造・免震構造）の二つが開発された。



●耐震構造

柱などの材質を強くしたり、筋交い（建物を強くするために、柱の間に入れる材料）を入れて、構造を強くしたりする。

●制振構造

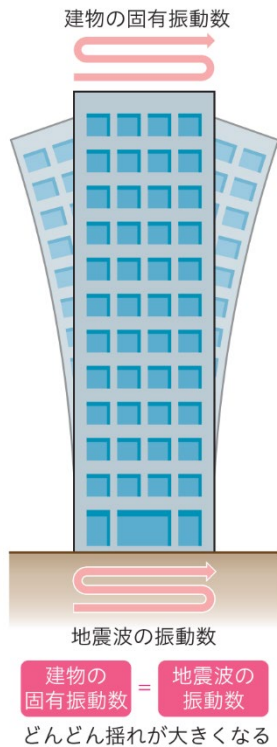
バネの役割をするダンパーという装置を入れて、揺れをおさえる。

●免震構造

建物と地盤の間に振動を吸収する装置を入れて、揺れを伝わりにくくする。

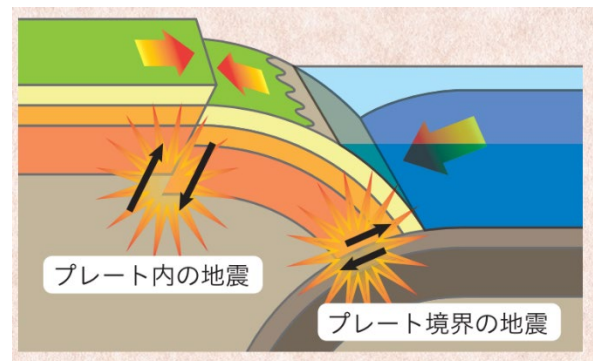
共振

建物の固有振動数と地震波の振動数が一致すると共振が起こり、小さな地震であっても、建物が大きく揺れる。建物の固有振動数は建物の高さや構造によって決まる。通常地震の振動数は1～10 Hz程度であるが、これは、戸建て住宅や10階程度の低いビルの固有振動数に近いことが知られている。



地震の起こるしくみ

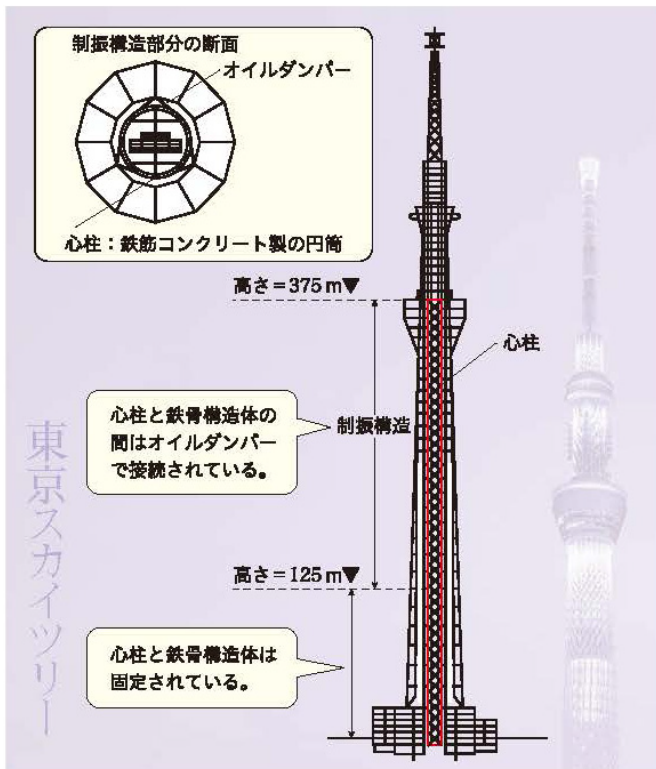
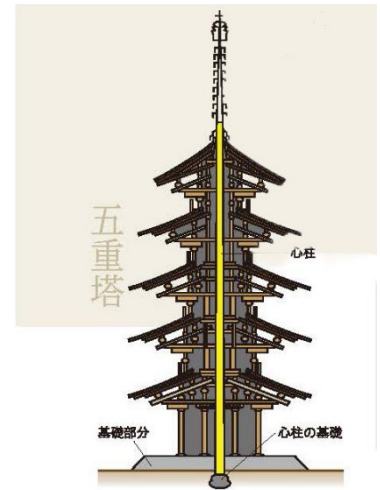
地球の表面は十数枚のプレート（岩盤の板）でおおわれている。プレートの運動により、プレートどうしの境界やプレート内部にひずみがたまり、これに耐えきれなくなった弱い部分が破壊される。これが地震である。地震が起こると、速い縦波のP波と遅い横波のS波が同時に発生する。P波の揺れは小さく、S波の揺れは大きい。それぞれの振動数は、地震によって異なる。





五重塔とスカイツリー

五重塔は、これまでに地震で倒壊した記録がなく、優れた耐震性をもつことが知られている。五重塔の中心には心柱という柱があり、これが揺れをやわらげていると考えられているが、はっきりしたことはわかっていない。

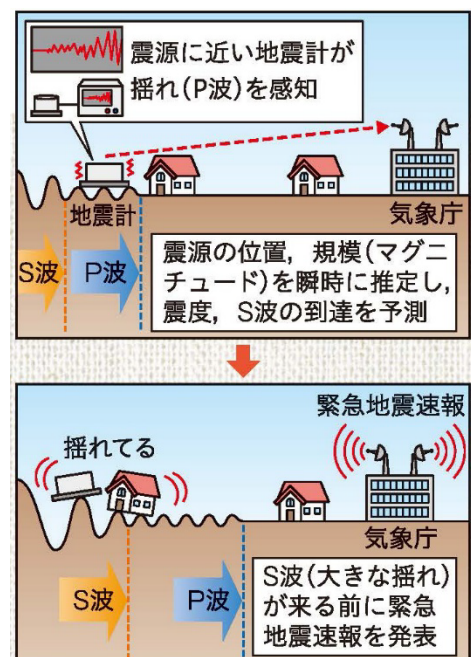


東京スカイツリーにおいても、同じく心柱とよばれる柱が建てられている。地上 125 m から 375 m の間は直接鉄骨に固定せず、油を用いたダンパー（オイルダンパー）を介して接続する制振構造になっている。

緊急地震速報

大きな地震の前に、緊急地震速報のアラームが鳴ることがある。緊急地震速報は、全国に設置された地震計のうち、震源に近い地震計が検知した P 波から、それが大きな地震であると予想される場合に出される。大きな揺れをもたらす S 波が到着する前に警報を出すしくみである。

地震波に比べると電気信号や電波の速度 (30 万 km/s) はさらに速いので、震源から離れた場所では揺れの前に警報を出すことが可能である。しかし、十分な時間的余裕はないので、日ごろの備えが必要である。

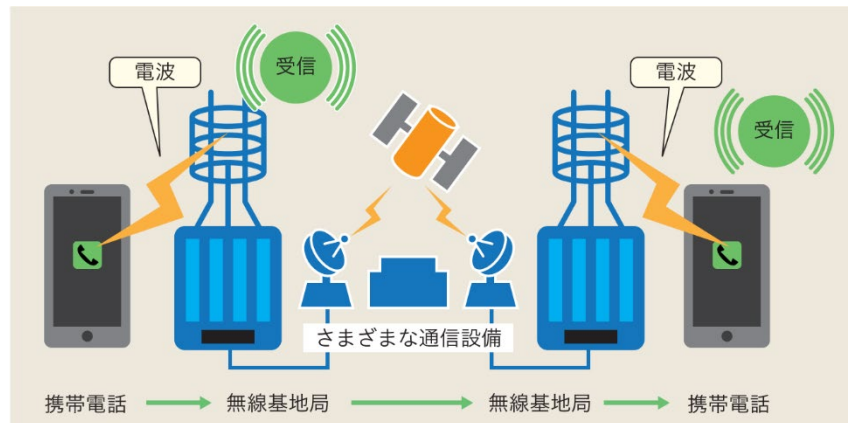


スマートフォン

電磁波は、4章で学んだようにラジオやテレビなどの放送に使われるほか、スマートフォンなど携帯情報端末などの無線通信にも用いられる。スマートフォンは、近くにある基地局と電波でつながり、基地局どうしは、さまざまな通信設備を経由してつながっている。スマートフォンには、半導体を用いた電子回路が入っており、情報を処理して画面に表示するほか、高性能のカメラも搭載されている。



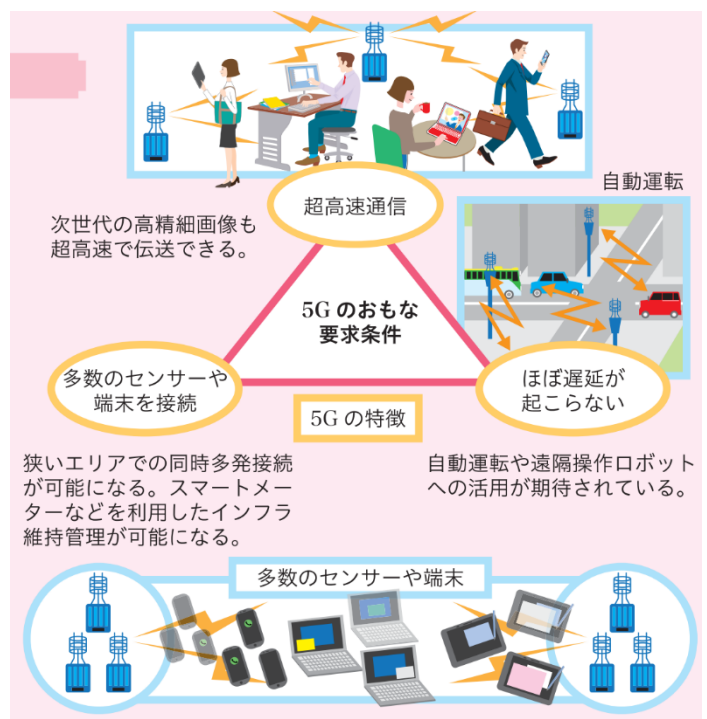
スマートフォンは、大量の情報を高速の無線通信で送るため、ラジオやテレビに比べて周波数の高い(波長の短い)電磁波が使われている。



これからの無線通信

今後は、携帯端末の増加に加え、防災や防犯、行政サービス、環境や農業、自動運転など、社会のあらゆるものについてセンサーを活用したデータ収集がおこなわれ、無線 LAN (Local Area Network) によりインターネットにつながる社会が到来する。

そのため、これまでにない膨大な通信に対応する、新たなシステムの開発が求められている。

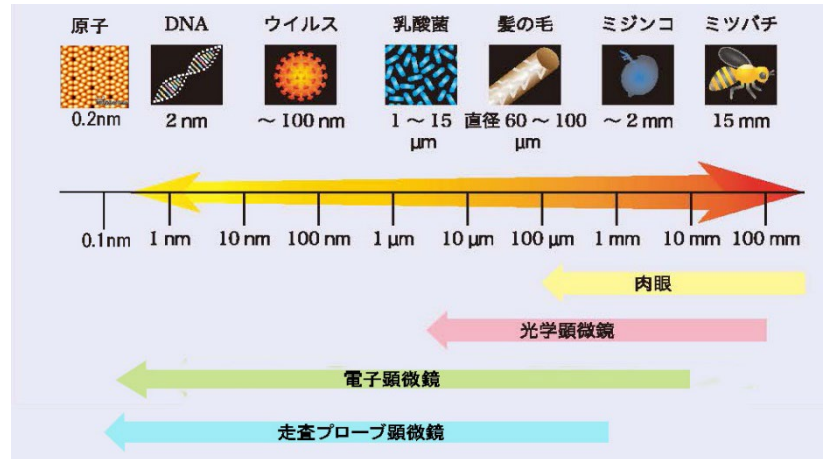


▲次世代通信システムに求められる技術

5G は、第 5 世代移動通信システムという高速無線通信システムである。

ナノの世界を見る

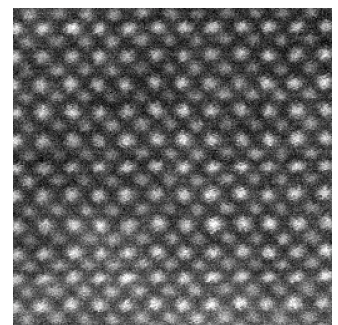
原子や分子は直接目で見ることはできないが、電子顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡などを使って観察することができる。



電子顕微鏡

電子顕微鏡は、光学顕微鏡で使う光(可視光線)のかわりに、電子の流れである電子線を使う。電子線の波長は光の波長の 10 万分の 1 以下なので、0.1nm の原子も観察することができる。

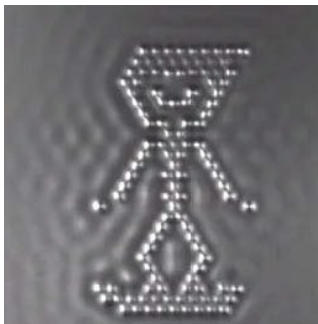
走査型電子顕微鏡では、0.08 nm という微小な長さまで観察が可能なものもある。



▲走査型電子顕微鏡で撮影したチタン酸ストロンチウム 濃い白点はストロンチウム原子, 薄い点はチタン原子

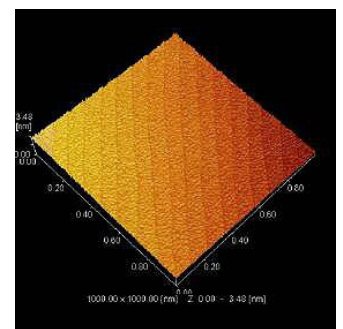
走査型プローブ顕微鏡

走査型プローブ顕微鏡は、物質などの表面をなぞることにより、ナノサイズの凹凸を検出する顕微鏡である。先端が原子1個になるまで尖らせた金属の針を、見たい表面に近づけることで、表面の凹凸を検出する。針が物質表面に近づくと電流が流れる効果を用いる走査型トンネル顕微鏡, 原子間にはたらく力を用いる原子間力顕微鏡などがある。



走査型プローブ顕微鏡は、原子や分子を観察するだけでなく、原子・分子を探針によって移動させることで任意の構造体を組み立てたり化学反応を誘起したりすることもできる。

◀原子をならべてかいた画像



▲原子間力顕微鏡で撮影したサファイアの画像