

2023年11月9日（木）
易しい科学の話

2023年度のノーベル賞

生理学・医学賞
化学賞
物理学賞

吉岡 芳夫

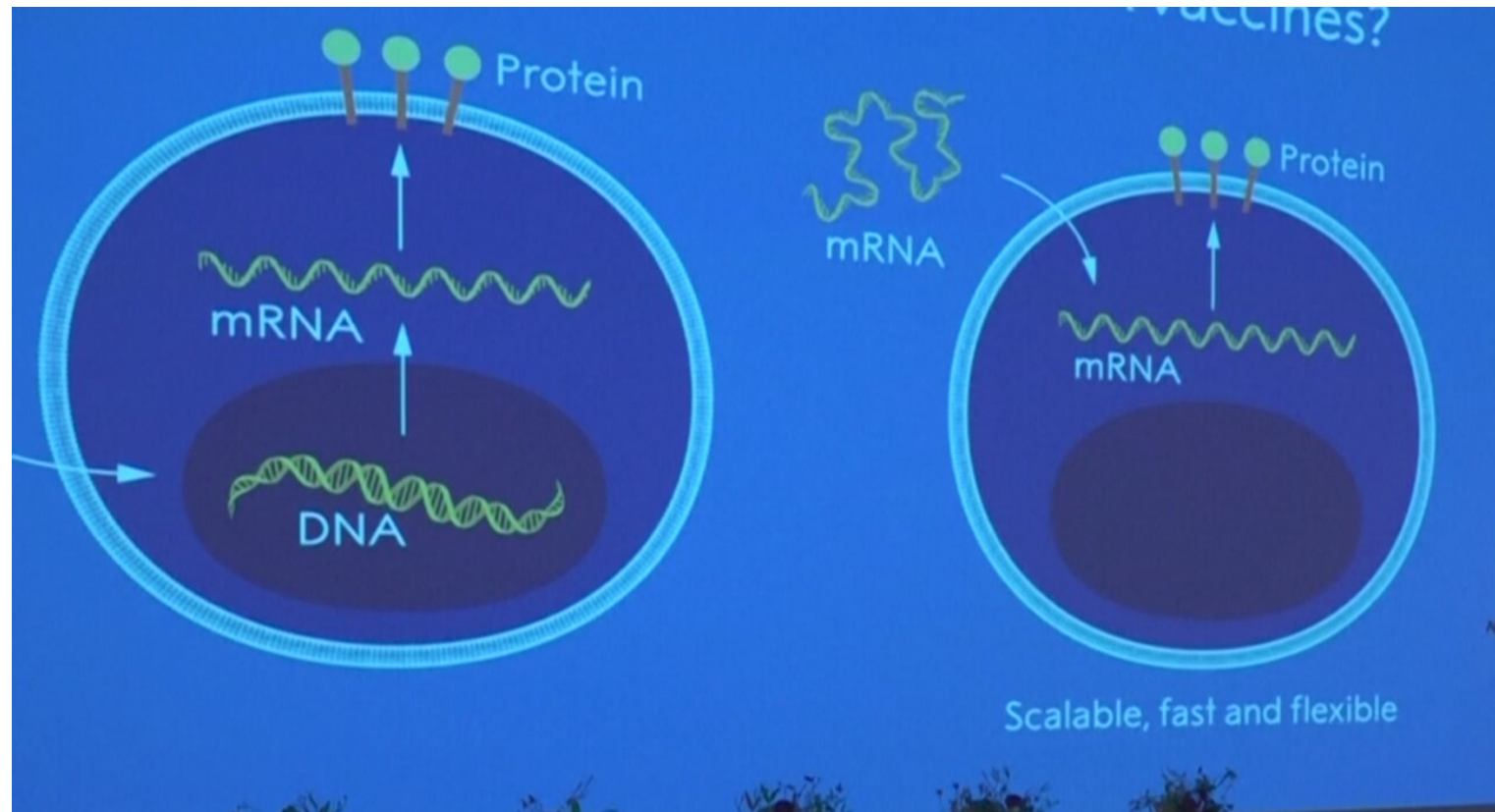
[2023ノーベル生理学・医学賞にカリコ氏ら コロナワクチン開発に貢献 | NHK | ノーベル賞2023](#)

ノーベル生理学・医学賞

新型コロナウイルスのmRNAワクチンの開発で大きな貢献



アメリカの大学の研究者カタリン・カリコ氏と、ペンシルベニア大学のドリュー・ワイスマン氏





カリコ氏らが2008年に発表した論文に共著者のひとりとして名を連ねていた大阪大学の審良静男特任教授は、「受賞は当然だと思う。

新型コロナのワクチンが開発できたことは人類にとっての大きな貢献だ」と述べました。

審良特任教授「地道に追究する姿勢が印象的」



(右) 新潟薬科大学元客員教授 古市泰宏氏

去年亡くなった古市さんは1970年代にmRNAに特徴的に見られ「キャップ」という構造を発見しました。

古市さんは蚕に感染するウイルスの研究を行う中で、mRNAの端に特殊な構造があることに気づき、帽子をかぶっているような形をしているように見えることから1975年に発表した論文で「キャップ構造」と名付けました。

キャップ構造はmRNAに含まれる遺伝情報をもとに、たんぱく質が作られるのに欠かせないもので、mRNAワクチンにつながる源流の研究として位置づけられています。

古市先生とカリコ博士をつなぐキャップ構造

面白い縁で、カリコ博士の師匠であるTomasz博士とも共著の論文がある古市先生ですが、mRNAの末端部分にあるキャップ構造という特殊な構造を48年ほど前に発見しました。

このことについてカリコ博士は、古市先生のキャップ構造の発見がなかったらこのワクチンは完成していないと古市先生に直接言われたそうです。事実、カリコ博士が世界各国で行った講演の中で、古市先生の発見を古市先生の若かりし頃の写真を交えて話されていたと聞いています。

そのワクチンに採用されているキャップ構造を発見した古市先生ですが、残念ながら昨年のノーベル賞医学・生理学賞、化学賞が発表されたのちに力尽きるように永眠されました。



「カリコ氏は非常に勇気のある人」

位高啓史氏は、mRNAを使った薬の開発の研究者で、15年にわたって交流を深めてきた東京医科歯科大学の教授

「mRNAが薬になると本気で考える人が世界中でほとんどいなかったときから、その可能性を信じて研究を手探りで進めてこられたので、非常に勇気のある方だと思っています」。

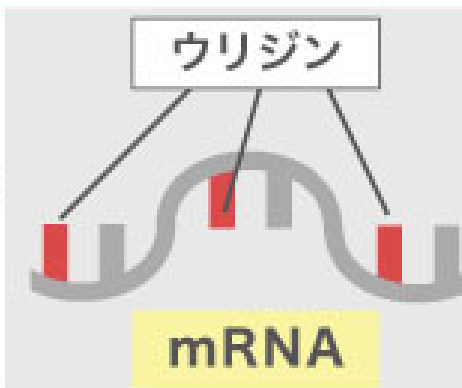
カリコ氏は「どなたとも先入観なく接することができる気さくな方です。学会の会場でお会いしたときに、実験のノウハウなどを快くオープンに教えていただいたことをよく覚えています。そうした姿勢が最終的にはカリコ先生の仕事の成果につながったのだと思います」と話していました。

mRNAワクチンの仕組み

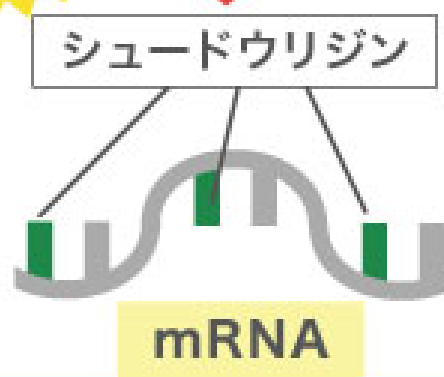
NHK



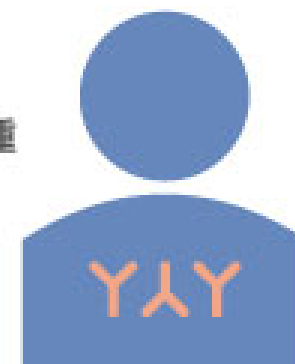
新型コロナウイルス



置き換え



ワクチンとして接種



体内に抗体が作られる

mRNA 医薬品として使う基礎開発

カタリン・カリコ氏とドリュー・ワイスマン氏は、人工的に合成した遺伝物質のメッセンジャーRNA = mRNAを医薬品として使うための基礎となる方法を開発しました。

mRNAにはたんぱく質を作るための設計図にあたる情報が含まれています。これを人工的に設計し、狙ったたんぱく質が作られるようにして体内で機能するようにすれば医薬品として使うことができると期待されていましたが、mRNAは、ヒトに投与すると体内で炎症が引き起こされるため、医薬品に使うのは難しいのが課題でした。

この課題に対応するため、カリコ氏らは2005年の論文で、mRNAをヒトに投与したときの炎症反応を抑える方法を発表しました。

それが、mRNAを構成する物質の1つ、「ウリジン」を「シュードウリジン」という似た物質に置き換える方法で、医薬品として使うための基礎の確立につながりました。

mRNAワクチンとは、ウイルスの遺伝情報を伝達する物質で、体内でたんぱく質を作るための設計図にあたる情報を含むmRNAを使ったワクチンです。

新型コロナの感染拡大以降、広く接種されているファイザーやモデルナの新型コロナワクチンはmRNAワクチンで、スパイクたんぱく質と呼ばれる、ウイルスの表面にある突起を合成するmRNAが含まれています。

mRNAの情報をもとに体内で新型コロナと同じスパイクたんぱく質が作られ、このたんぱく質に対して免疫が働き、抗体が作られます。

mRNAのワクチンが、どのように新型コロナの感染防止に役立つのか？

補足資料で説明します。

ノーベル化学賞

[2023年ノーベル化学賞について分かりやすく解説！『量子ドットの発見と合成』 - Lab BRAINS \(as-1.co.jp\)](#)

以降は、上記資料を基に作成しました。

2023年ノーベル化学賞



量子ドットの発見と合成

左から、
ナノ結晶技術会社の
コロンビア大学の
マサチューセッツ工科大学の

Aleksej I. Ekimov氏
Louis E. Brus氏
Moungi G Bawendi氏

A new class of materials



Quantum dots

量子ドット

エキモフ氏とブルース教授は1980年代にそれぞれ別の方法で、同じ化合物でも1ミリの100万分の1という「ナノ」サイズの結晶になると、わずかな大きさの違いで、発する光の色が変わることを発見した。

そして、バウエンディ教授は1990年代、発する光が強いうえ、狙ったとおりの大きさの「ナノ」サイズの結晶を安定的に製造する技術を開発しました。

3人が発見するなどした「ナノ」サイズの結晶は「量子ドット」と呼ばれ、さまざまな色の光を発する特性がテレビの画面やLEDの照明などで活用されているほか、医療の現場での応用も期待されています。

「量子ドットは人類に最大の恩恵をもたらしつつある。将来的には極めて小さなセンサーや太陽電池の薄型化などにも貢献する可能性がある。われわれはその可能性を探究し始めたばかりだ」と評価しています。

[2023年ノーベル化学賞について分かりやすく解説！『量子ドットの発見と合成』 - Lab BRAINS \(as-1.co.jp\)](#)



「量子ドット」は何千年も身近にあった！

「私たちはそれとは気づかず、量子ドットを何千年も使ってきた。

実際、量子という名前から身構える人も多いと思うけど、その原型はかなり簡単な話から始められる。ガラスに色を付けた「色付きガラス」の着色の理由は量子ドットである。

色付きガラスの考古学的な最古の例は数千年前のものであり、かなり昔からガラス職人はガラスに金・銀・カドミウム・硫黄・セレンなど、意図的に不純物を混ぜると色がつくことを知っていた。

そして不思議なことに、全く同じ種類と量の原料を混ぜても、温度を変えることで色が変化することを知っていた。例えば硫化カドミウムとセレン化カドミウムの混合物は、ガラスを赤色・オレンジ色・黄色にする。

同じ原料を混ぜても色が変化する理由は、ガラスを融かす温度や冷却する温度によることも職人たちは経験則的に知られていた。しかし、その詳細な理由を職人も科学者も知らない時代はかなり長く続いていた。



リュクルゴスの聖杯

4世紀頃にローマ帝国で作成された「リュクルゴスの聖杯」は、光が通る方向によって色が変わる不思議なガラス。

現代的な分析から言えば、これは金と銀の合金できた量子ドットによって生成された色である。

後の時代に、目に見えないほど小さな粒が全体に分散している「コロイド」が、ガラスの色を決める理由の1つであることは分かったけど、この先の理解は「量子力学」が登場するのを待たねばなかった。



量子ドットはナノスケールの粒子で、とてつもなく小さい！
量子ドットとサッカーボールで大きさ比べをするのは、サッカー
ボールと地球で大きさ比べをするくらいのスケールになる！

ガラス中の微粒子が受ける量子力学の効果を初めて解明！

この長年の問題について最初に大きな答えを与えたのは、当時旧ソ連のS・I・ヴァヴィロフ国立光学研究所に所属していた、1人目の受賞者であるアレクセイ・エキモフ氏！

エキモフ氏は、色付きガラス中のコロイドを研究し1979年に、ケイ酸塩ガラスに「塩化銅」を混ぜるとき、ガラスを融かす温度や時間を変えるとガラスの色が微妙に変化することにも気づいた。

それは、ガラスの中の塩化銅の結晶の大きさに依存するのではないかと考え、実験すると塩化銅結晶の大きさが小さくなればなるほど、吸収される光の波長が青色になることがわかった。

2人目の受賞者であるルイス・ブルース氏は、1983年に「硫化カドミウム」のナノ粒子を作って実験を行っていた。ブルース氏は、ナノ粒子を液体中に作る方法を使った。

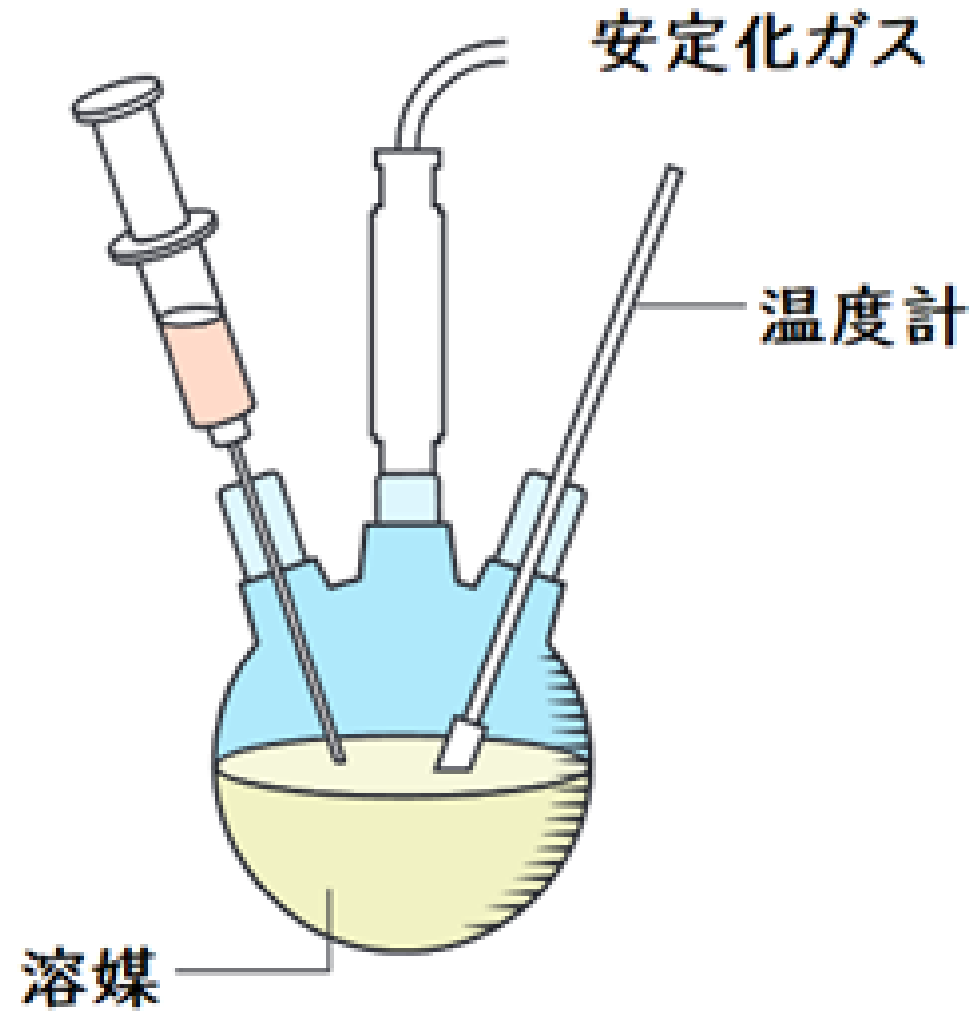
液体の中で、硫化カドミウムのナノ粒子が、勝手にくっついて凝集しないような溶液を使ったが、1日放置すると光に対する反応が変化していることに気づいた。

電子顕微鏡で調べたら、平均直径が4.5nmだったのに1日放置したら12.5nmまで拡大していた。この大きさの変化で光に対する反応が変わったことがわかった。

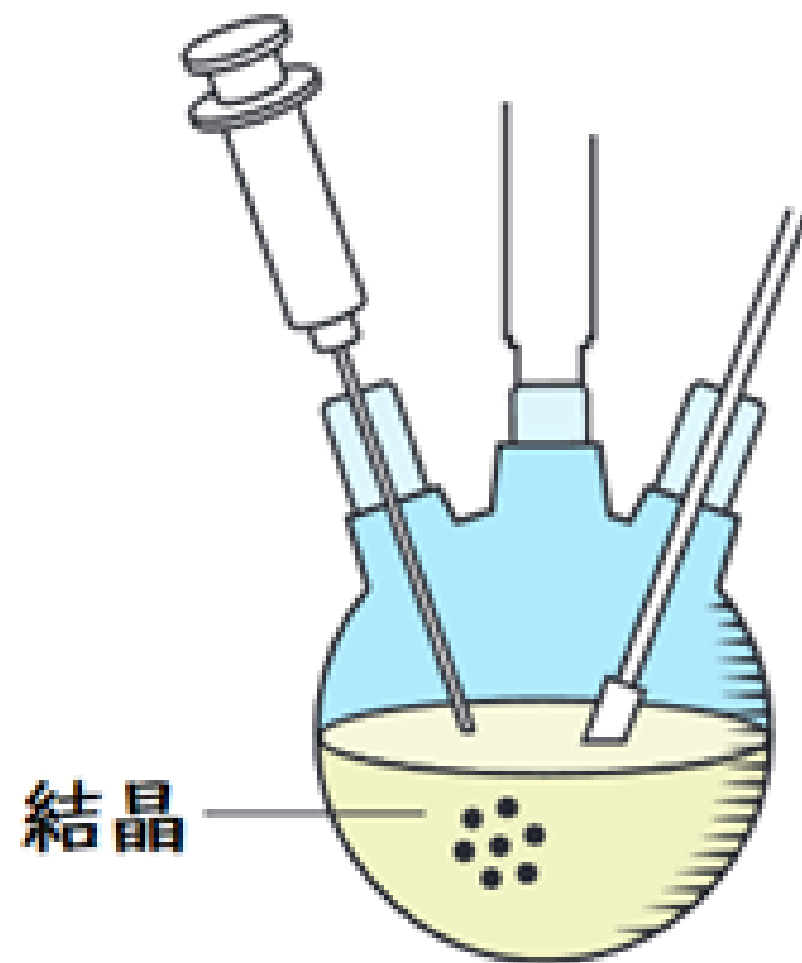
量子ドットの製造を容易にする「ホットインジェクション法」を開発！

3人目の受賞者であるムンジ・バウエンディ氏は、量子ドットを様々な条件で合成し、製造方法を改良することを試みていた。

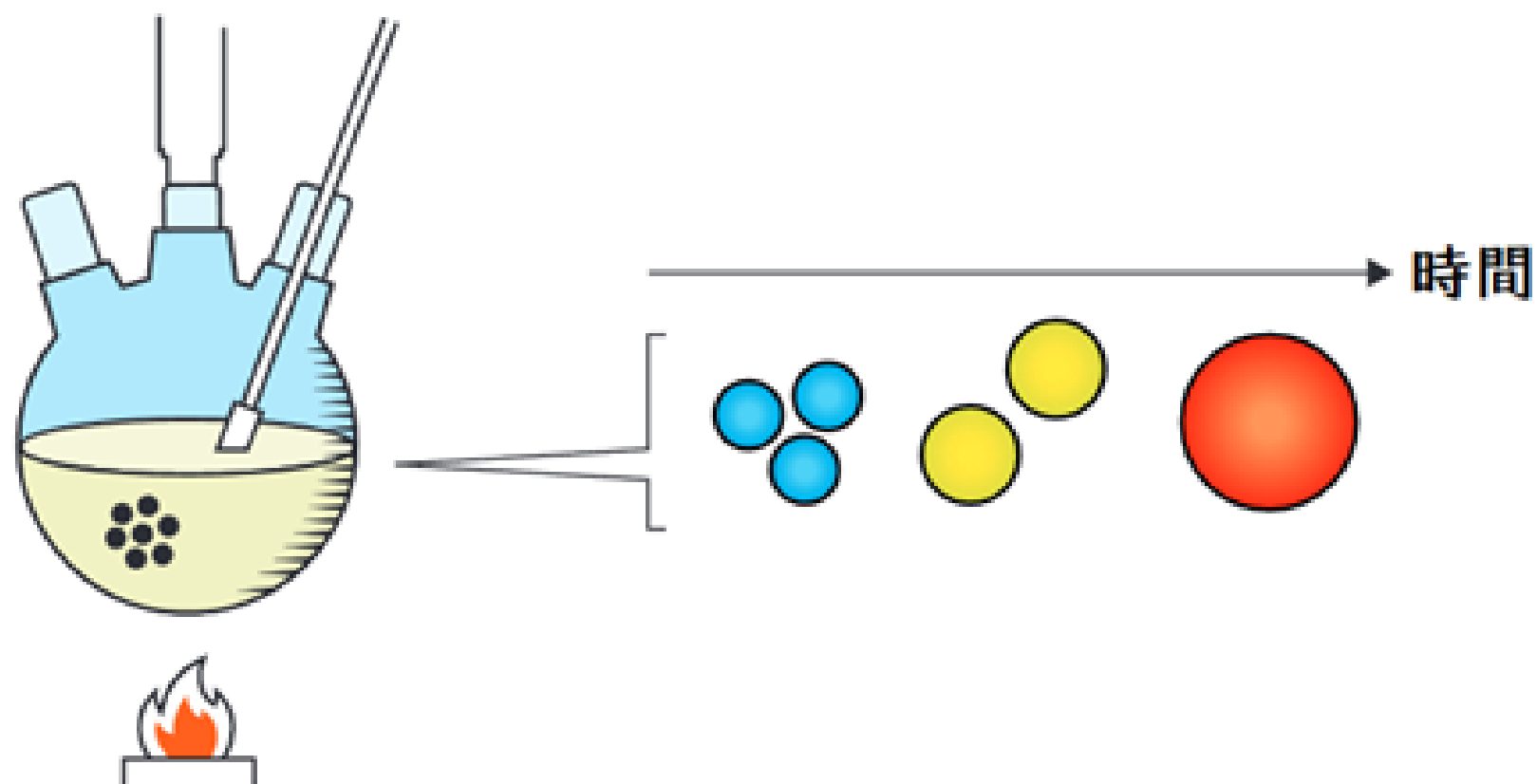
1 パウエンディはセレン化カドミウムを生成する可能性のある物質を高温の溶媒に注入した。その量は、針の周りの溶媒が飽和するのに十分な量だった。



2 セレン化カドミウムの小さな結晶が形成されるが、
注入によって溶媒が冷却されるため、
結晶の成長はすぐに停止する。



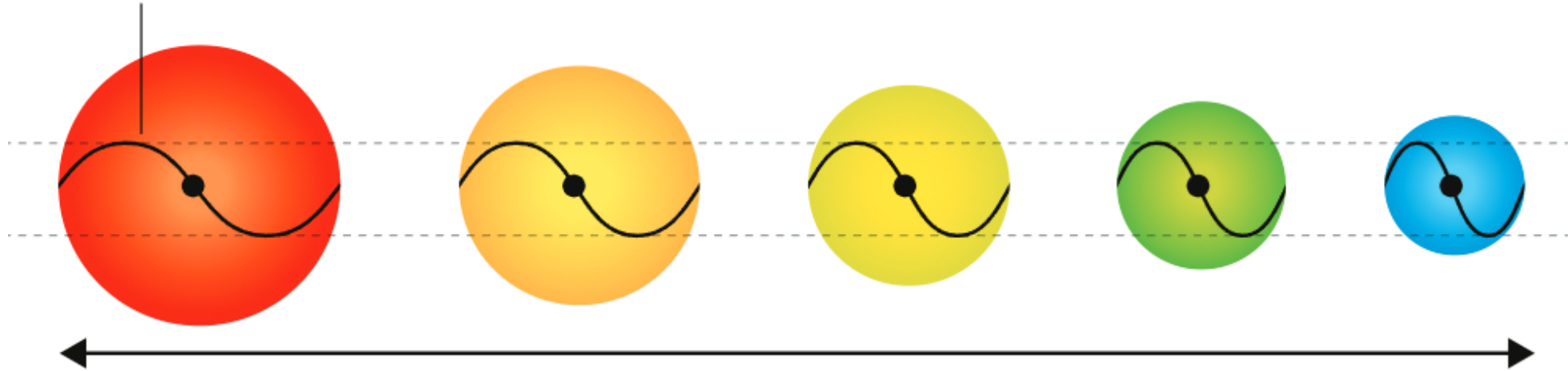
- 3 パウエندیが溶媒の温度を上げると、
結晶は再び成長し始める。
これを長く続ければ続けるほど、
結晶は大きくなる。



粒子が小さくなると 量子力学の効果が現れる

粒子の直径がわずか数ナノメートルになると、
電子が利用できる空間が小さくなる。
これは粒子の光学特性に影響を与える。

電子の波としての性質 (ド・ブロイ波)



より大きなナノ粒子では、
電子の波としての性質も大きくなる

より小さなナノ粒子では、
電子の波としての性質も小さくなる

CsPbX_3 (X=Cl, Br, I) nanocrystals

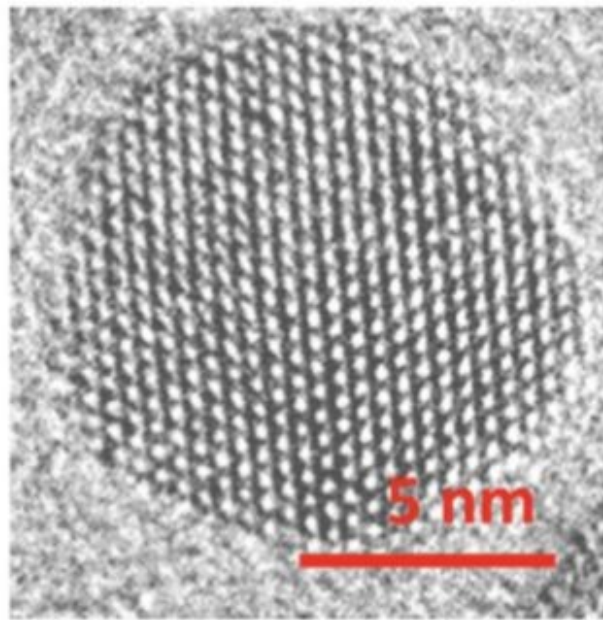


ハロゲン化セシウム鉛の量子ドットによる発光色。
結晶粒子の大きさを制御することで、可視光線の
領域全ての色をカバーすることができた。

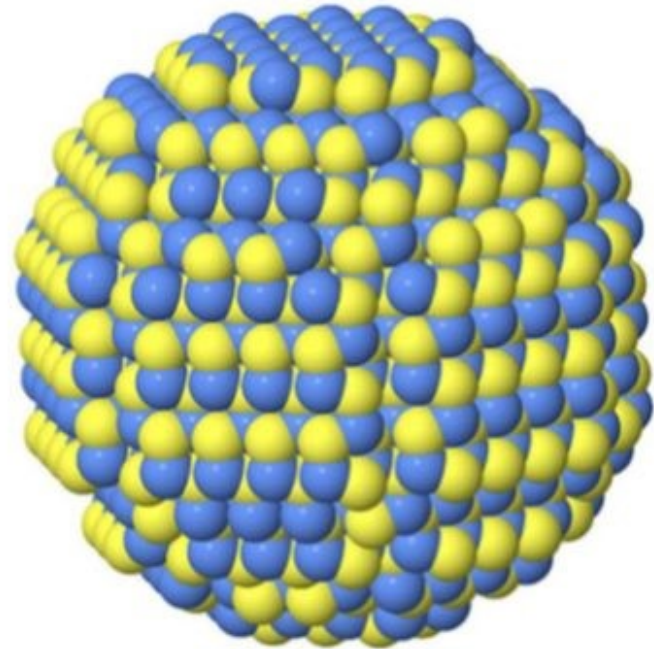
バンドギャップの幅に違いがある
↓
塊と量子ドットでは性質が違う!

量子ドットのバンドギャップ

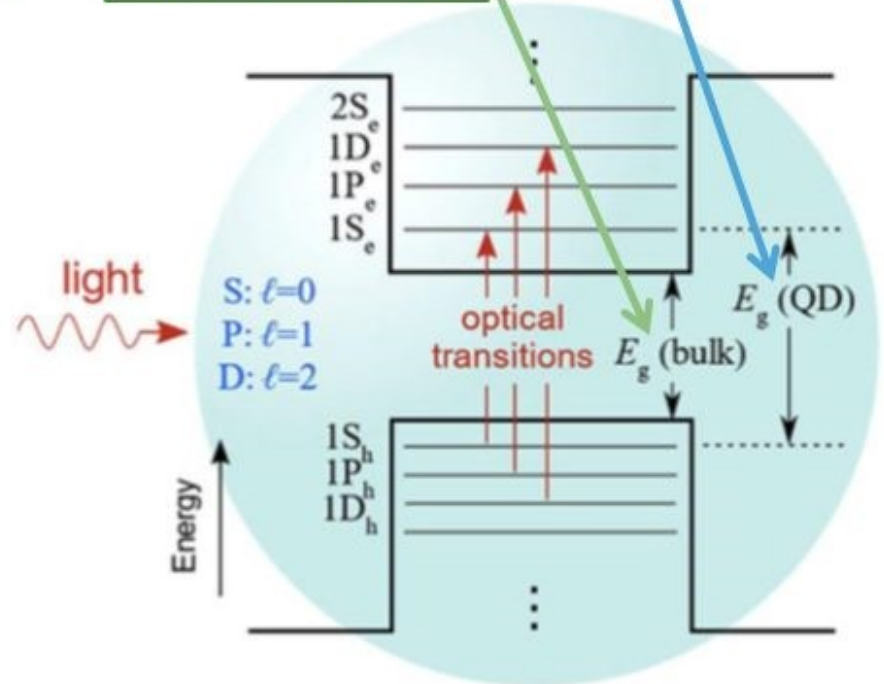
塊のバンドギャップ



透過型電子顕微鏡画像



模式図



電子状態

セレン化カドミウムの量子ドット

これまでの白色光源は、2014年のノーベル物理学賞の対象となった「青色発光ダイオード」に、蛍光剤を合わせる、赤色&緑色発光ダイオードを組み合わせるなどして、光の三原色を満たしていた。

しかしこの組み合わせは、厳密には全ての光の波長をカバーしていない関係で、太陽光などの自然な白色光とは少しだけ違う色になったり、どうしても表現できない色がある、などの問題があった。

これに対して量子ドットは、青色の光を与え、大きさに応じた色の光を出すことで、ほぼ100%の色を表現することが可能になった！

これは既に「QLED」などの名称でハイエンドディスプレイが販売されているよ。

2021年の量子ドット市場規模は、約6000億円と推定される。

ノーベル物理学賞

[2023年ノーベル物理学賞について分かりやすく解説！『物質中の電子動態を研究するためのアト秒パルス光を発生させる実験方法』 - Lab BRAINS \(as-1.co.jp\)](#)

この資料は、上記資料を基に作成しました。

2023年のノーベル物理学賞に、「アト秒」で光出す手法を開発した米欧の研究者3人

2023年10月3日 20:54更新



2023年のノーベル物理学賞に「アト秒」と呼ばれるきわめて短い時間だけ光を出す実験的な手法を開発し、物質を構成する細かな粒子の1つ、「電子」の動きを観察する新たな研究を可能にした、欧米の大学の研究者3人が選ばれました。

アト秒とは、どんな時間？

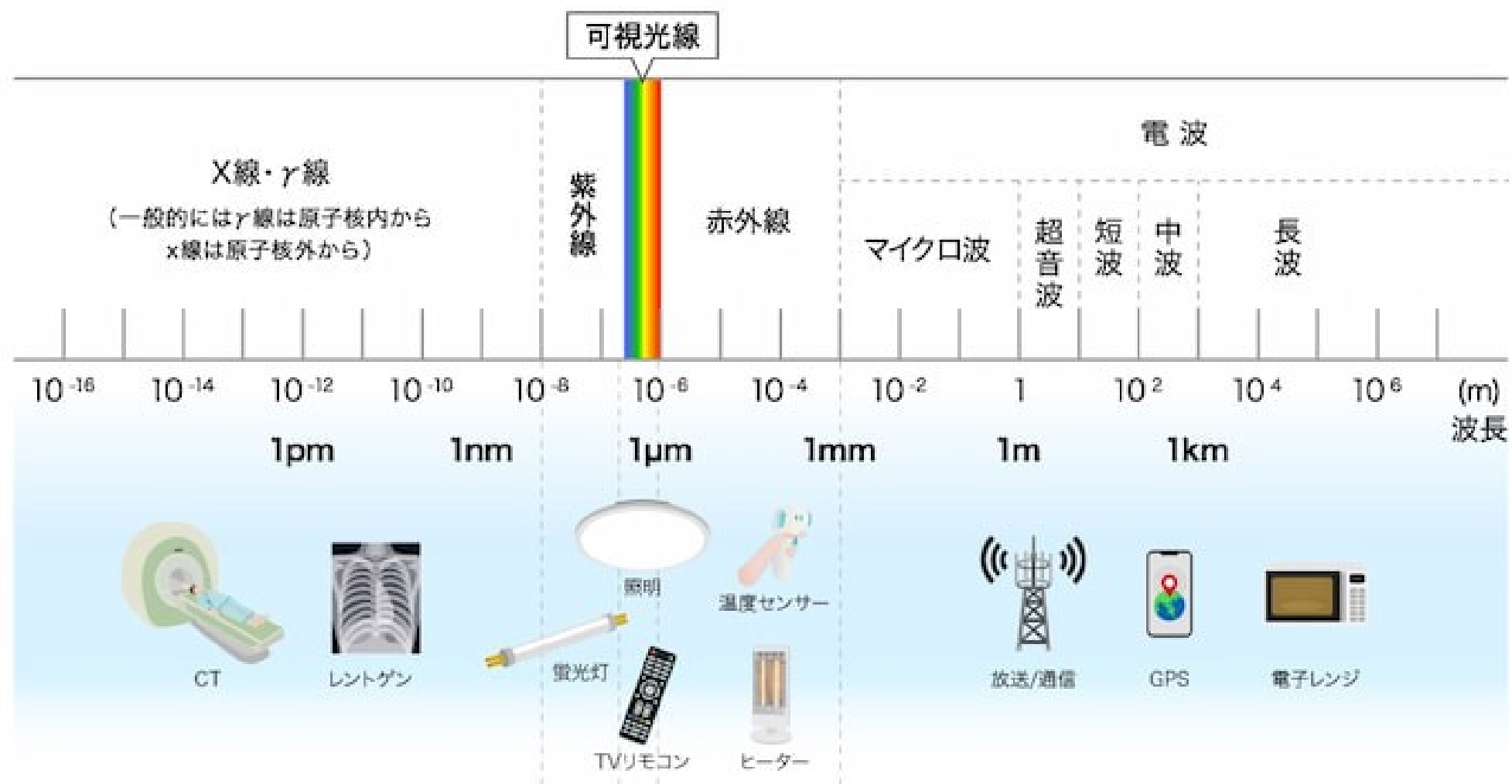


アト秒の世界は本当に短い時間だよ。1アト秒に対する1秒は、宇宙の年齢に対する1秒とほぼ同じスケールだよ！ (Image Credit: Johan Jarnestad, The Royal Swedish Academy of Sciences / 日本語訳は筆者による)

1秒 (1 s)、1 ms (1/1000)、1 μ s (1/百万)、1 ns (1/10億)

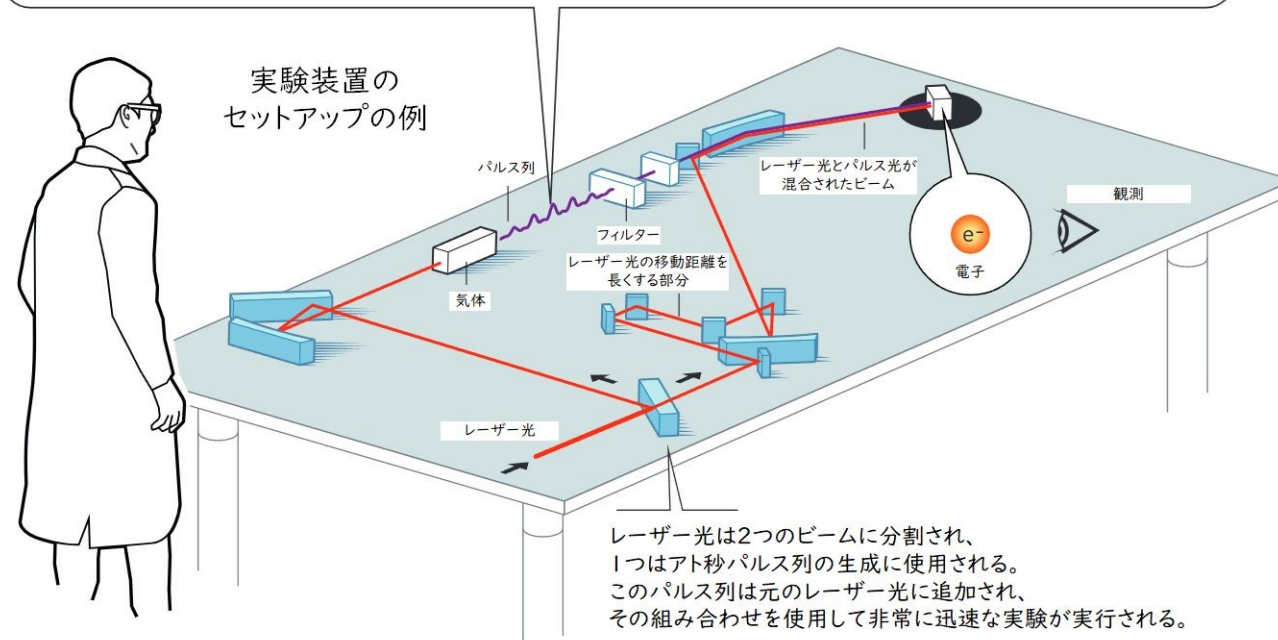
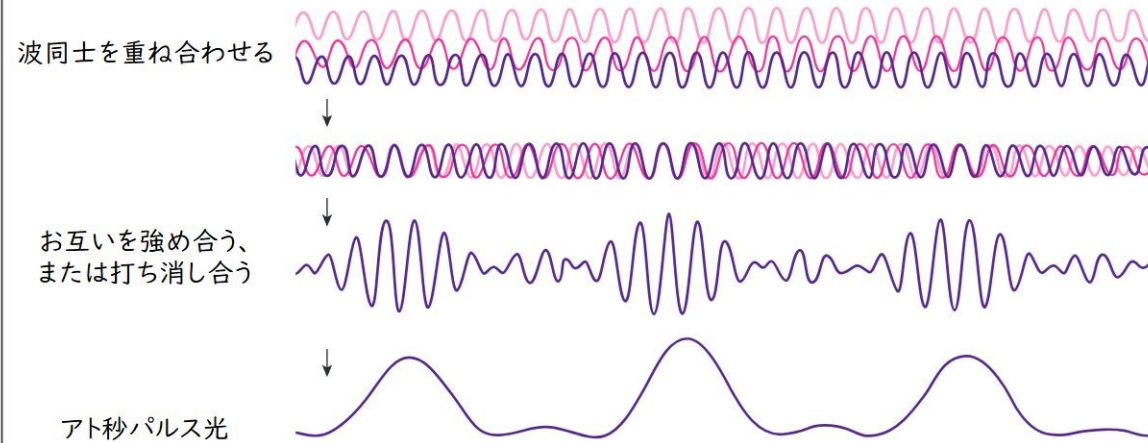
1 ps (1/1兆)、1 fs (1/1000兆)、1 as=1アト秒(1fs/1000)

目で見ることができる可視光線は、1秒間に約500兆回振動している。



最短のパルス光で 電子の世界を探索する

レーザー光が気体を透過すると、気体の原子から、レーザー光の倍数の波長の紫外線が発生する。
適切な条件下では、これらの光は波の向きや振動周期が揃うことがある。
それらが一致すると、集中したアト秒パルス光が生成される。



最短のパルス光で 電子の世界を探索する

レーザー光が気体を透過すると、気体の原子から、レーザー光の倍数の波長の紫外線が発生する。
適切な条件下では、これらの光は波の向きや振動周期が揃うことがある。
それらが一致すると、集中したアト秒パルス光が生成される。

波同士を重ね合わせる



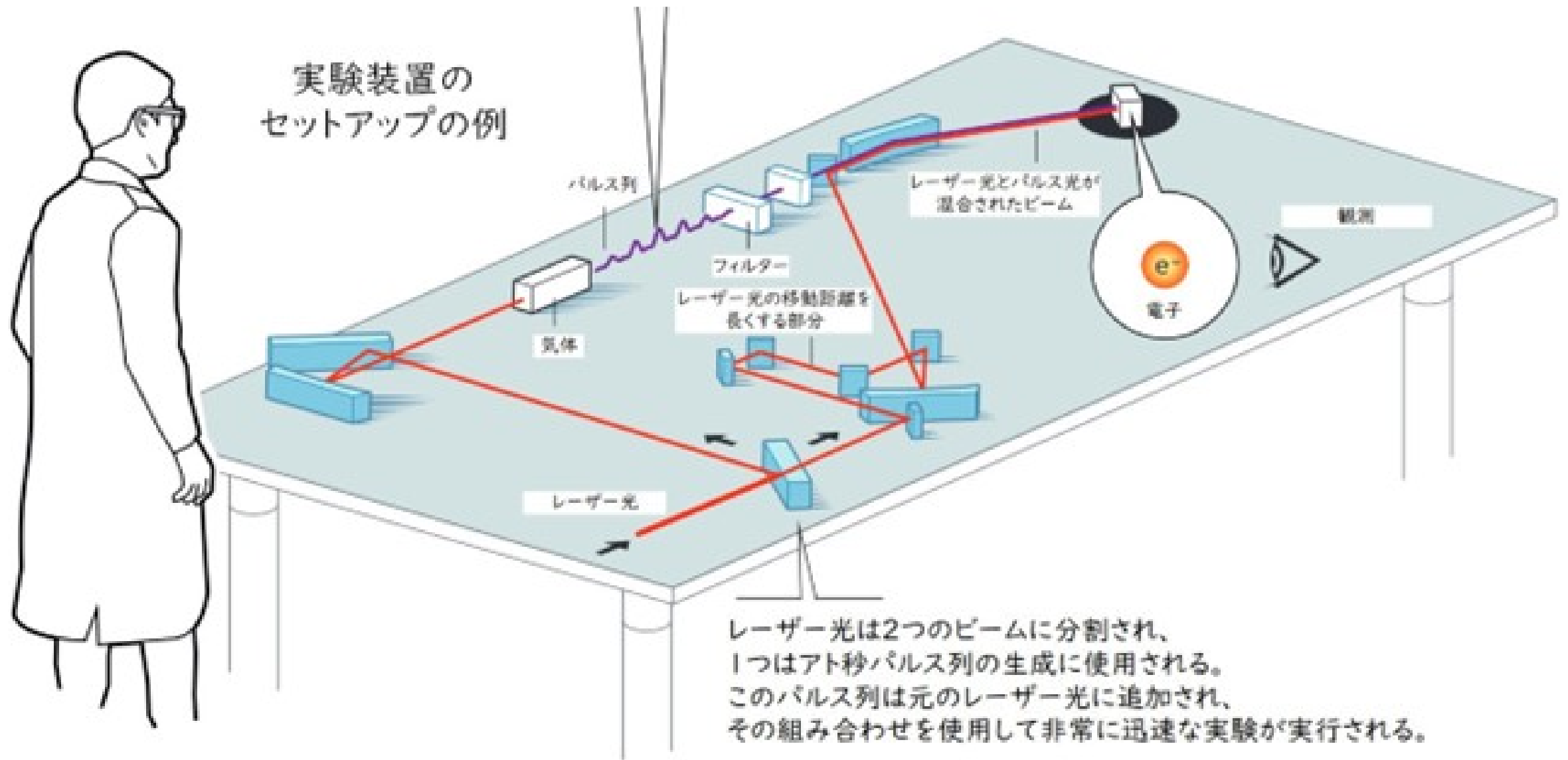
お互いを強め合う、
または打ち消し合う



アト秒パルス光



実験装置の セットアップの例



アト秒パルスはどのように役立つのだろうか？

ひとつは、**化学結合の切断は、2つの原子間で共有されていた電子が結合していない原子に分離する自然界の基本的なプロセスである。それまで共有されていた電子は、この過程で超高速の変化を受ける。アト秒パルスによって、研究者は化学結合の切断をリアルタイムで追跡できるようになった。**

アト秒パルスを発生させる能力は、3人の研究者が2023年のノーベル物理学賞を受賞した研究であり、2000年代初頭に初めて可能になった。原子や分子の短いスナップショットを得ることで、アト秒分光法は、電子の電荷がどのように移動し、原子間の化学結合がどのように切断されるかなど、単一分子内の電子の挙動を理解するのに役立っている。

より大きなスケールでは、**アト秒技術は、液体水中での電子の振る舞いや固体半導体中の電子移動の研究にも応用されている。研究者たちがアト秒光パルスの生成能力を向上させ続ければ、物質を構成する基本粒子についての理解が深まるだろう。**

2023年11月9日（木）
易しい科学の話

2023年のノーベル賞

終わり

吉岡 芳夫