

ナノテク年表



～ナノテクはどこから来たのか、そしてどこへ行くのか～

ナノメートル (10⁻⁹m) は原子が数個並んだ長さで、物質が固有の性質を示し始める大きさです。このスケールの材料を観察・操作・制御する技術が**ナノテクノロジー**（略してナノテク）で、**20世紀の後半から急速な進歩**を遂げました。

現在、私たちが恩恵を受けている携帯電話などの情報技術や遺伝子工学などのバイオ技術はナノテクノロジーの産物といっていいでしょう。それらの技術を生み出した科学的発見や技術開発はいつごろ誰によってなされ、これからどう展開していくのか。

私たちは今回、多くの科学者・技術者の協力を得て、ナノテクの年表を作成しました。これをご覧になる皆様一人ひとりが独自の読み方で**ナノテクの流れ**をつかんでいただくと嬉しく思います。

1910
1920

- 1911 **オンネスによる超伝導の発見** ノーベル賞
オランダ・ライデン大学のオンネスが、4K近傍で水銀の電気抵抗がゼロになる超伝導現象を発見しました。
- 1925 **電界効果トランジスターの提案**
ドレイク・ライプチヒ大学のリエンフェルトが固体電子装置の特許をカナダに出願しました。これが電界効果トランジスターの最初の提案とされます。
- 1928 **近接場光学顕微鏡の提案**
アイルランドのシグが微小開口プローブによる近接場光学顕微鏡を提案し、回折限界を超える光学イメージングの可能性を示しました。
- 1932 **電子顕微鏡の発明** ノーベル賞
ドイツ・ベルリン工科大学のクノールとルスカが電子顕微鏡を発明しました。
- 1935 **LB膜の発見** ノーベル賞
アメリカ・GE社のラングミュアとプロジェクトが、水面上の単分子膜を固体表面上に累積する方法を発見しました。
- 1936 **無機ELの発見**
フランス・キュリー研究所のデトリオが無機ELを発見しました。
- 1948 **バイポーラトランジスターの発明** ノーベル賞
アメリカ・ベル研究所のバーティン、ブラッテンが点接触トランジスターを発明しました。その後、ショックレイがバイポーラトランジスターを理論化しました。

1940

- 1949 **超微粒子亜鉛燐の研究**
名古屋大学の土田良二らが「陰極線迴折法による亜鉛燐の研究」を発表しました。測定された粒子サイズはnmレベルです。
- 1950 **有機半導体の発見**
東京大学の井口洋夫らが、ピオラントロンなどの有機物質の半導体的性質を発見しました。後に有機エレクトロニクスが生れるきっかけとなりました。
- 1953 **DNAの構造解明** ノーベル賞
イギリス・ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所のワトソンとクリックがDNAの二重螺旋構造を明らかにしました。
- 1954 **半導体ピエゾ抵抗効果の発見**
アメリカ・ベル研究所のスミスが半導体のピエゾ抵抗効果をSiやGeで発見しました。



1950

- 太陽電池の発明**
アメリカ・ベル研究所のピアソンらが半導体pn接合を用いた太陽電池を発明しました。
- メーザーの概念を提唱** ノーベル賞
アメリカ・コロムビア大学のタウンズ、ソ連・レベデフ物理学研究所のプロコロフらがメーザーの概念を提唱しました。
- 1957 **BCS理論の発表** ノーベル賞
アメリカ・イリノイ大学のバーティン、クーバー、シュリーファーが、金属超伝導のメカニズムを説明する理論を発表しました。
- 1959 **ICの発明** ノーベル賞
アメリカ・TI社のキルビー、フェアチャイルド社のノイスらが集積回路を発明しました。

1960

- PAN系炭素繊維製造方法の発明**
大工試の進藤昭男らがポリアクリロニトリル繊維を焼成することにより、高強度炭素繊維を創出しました。
- ファインマンの講演「There's Plenty of Room at the Bottom」**
アメリカ・カリフォルニア工科大学のファインマンが、米国物理学会講演で、原子レベルの原理・現象を取り扱う科学の到来と拡がりの可能性を示唆しました。
- 1960 **MEMSの応用**
豊田中研の五十嵐伊勢美がピエゾ抵抗効果を使った歪計をつくり、後にアメリカ・ハニウェル社のタフテラが圧力センサー、ウェスティングハウス社のナサンソンらが共振子をつくりました。
- MOSトランジスターの発明**
アメリカ・ベル研究所のカーンとアタラがシリコンMOSトランジスターを作りました。
- レーザー発振の成功**
アメリカ・ヒューズ研究所のメイマンがルビレーザー発振に成功しました。
- 非対称アセチルセルロース逆浸透膜の発明**
アメリカ・カリフォルニア工科大学のロフ、スーリジャンらが非対称アセチルセルロース逆浸透膜の発明をして海水脱塩の実用化の道を開きました。

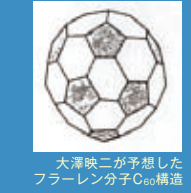
- 1962 **CdS TFTを用いた集積回路の開発**
アメリカ・RCA社のワイマーがCdS TFTを用いた集積回路で撮像デバイスの動作に成功しました。

1970

- 1962 **久保効果の提唱**
東京大学の久保亮五がナノサイズの金属の性質がエネルギー準位統計で決まるという考え方を導入しました。
- 緑色蛍光タンパク質 (GFP) の発見** ノーベル賞
アメリカ・プリンストン大学の下村脩らが緑色蛍光タンパク質 (GFP) を発見しました。
- 発光ダイオードの発明**
アメリカ・GE社のホロニアクらが、発光ダイオードを発明しました。
- 1963 **CMOSの発明**
アメリカ・フェアチャイルド社のワンラスらが、CMOSを発明しました。
- 半導体ヘテロ接合によるレーザーの低閾値化の提案** ノーベル賞
アメリカ・パリアン社のクレマー、ソ連・ヨッフエ物理技術研究所のアルフェロフらが、半導体ヘテロ接合によるレーザーの低閾値化の提案をしました。
- 1964 **近藤効果の提唱**
電総研の近藤洋が、極微量磁性不純物を含む金属の電気抵抗極小現象を物理的に解明しました。
- 1965 **ムーアの法則**
アメリカ・フェアチャイルド社のムーアがLSIの将来予測を発表しました。
- 1967 **DRAMの発明**
アメリカ・IBM社のデナードが1トランジスター、1キャパシターのDRAMを発明しました。
- クラウンエーテルの発見** ノーベル賞
アメリカ・デュボン社のベダーセンがクラウンエーテルを発見し、超分子化学の礎となりました。
- 1968 **カルコゲナイドの電気的スイッチ現象、メモリ現象の発見**
アメリカのオプシンスキーがカルコゲナイド系アモルファス半導体膜での電気的スイッチ現象、メモリ現象を発見しました。
- 1969 **光触媒の発見**
東京大学の藤嶋昭と本多健一らが水電解電極の実験中に光触媒効果を発見しました。
- 1970 **半導体超格子の提案**
アメリカ・IBM研究所の江崎玲於奈らが半導体超格子の提案をしました。

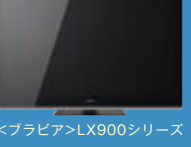


久保 亮五



大澤映二が予想したフラレン分子C60構造

- 1971 **相変化メモリの発明**
アメリカのオプシンスキーらが相変化メモリを発明しました。
- MPUの開発**
アメリカ・インテル社のファジン、ホフ、メイザー、嶋正利らが世界初のマイクロプロセッサ (Intel4004) を開発しました。
- 1972 **ボトムアッププロセスでアモルファス発光ダイオードを作製**
日立の丸山映一らが厚さnmレベル薄膜の多層蒸着で傾斜成分分布のアモルファス半導体ヘテロダイオード「ナテコ」を作製しました。また、1986年に、NHKの谷岡健吉らがサチコン技術をベースにアバランシ増倍型超高感度撮像管「ハープ」を発明しました。
- DFBレーザーの提案**
アメリカ・ベル研究所のコゲルニクらがDFBレーザーを提案しました。
- 1974 **モード安定化レーザーの開発**
日立の塚田俊久、伊藤良一、中村道治らが光通信・情報処理用半導体レーザーを開発しました。
- 「ナノテクノロジー」の概念を提唱**
東京理科大学の谷口紀男が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を用い、その概念を提唱しました。
- 二次元電子ガスの量子状態の解析**
アメリカ・ベル研究所のディンクルらは、ヘテロ構造界面の二次元電子ガスの量子状態を解析しました。
- スケージング則の提案**
アメリカ・IBM社のデナードらがMOSFETのスケージング則を提案し、その後の半導体産業の牽引力となりました。
- 1975 **アモルファスシリコンのpn制御**
イギリス・ダンディー大学のスピアとロンコンパーがアモルファスシリコンのpn制御に成功しました。
- 1976 **カーボンナノファイバーの観察**
信州大学の遠藤守信らがnm径のカーボンファイバーを作製、観察しました。
- 垂直磁気記録方式の提案**
東北大学の岩崎俊一らが垂直磁気記録方式を提案しました。
- アモルファスシリコン太陽電池の提案**
アメリカ・RCA社のカールソンとロンスキーがアモルファスシリコンを用いた太陽電池を提案しました。
- 1977 **人工脂質二重膜の創製**
九州大学の園武豊ららによって、細胞膜などの構成要素として重要な役割を担っている脂質二重膜がはじめて人工的に作られました。
- 導電性ポリマーの発見** ノーベル賞
東京工業大学の白川英樹らが電気を通すプラスチックである導電性ポリマーを発見しました。
- 1979 **アモルファスシリコンTFTの提案**
イギリス・ダンディー大学のルコンパーらがアモルファスシリコンTFTを提案しました。平面ディスプレイの基幹デバイスになります。
- 低温ポリシリコンTFTの発明**
日立の白木靖寛と松井謙らがガラス基板上の低温ポリシリコンTFTを発明しました。携帯電話・デジタルカメラなど小型情報端末実現に貢献しました。
- 人工分子マシンの創製**
長崎大学の新海征治らがアソペンゼンの光によるシストランス異性化を基にしたスイッチ機能を有する分子を初めて合成しました。
- 面発光レーザーの発明**
東京工業大学の伊賀健一らが面発光レーザーを発明しました。
- μTASの発明**
アメリカ・スタンフォード大学のテリャーらは、ガスクロマトグラフィー気体分析装置をシリコンチップ上に実現し、これがμTASの源流となりました。



ソニー 液晶テレビとプラビアLX9000シリーズ

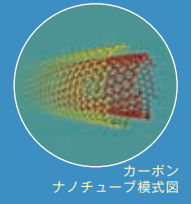


低溫ポリシリコンTFTが応用されたタブレット端末 シャープ「GALAPAGOS」

1990

- 1980 **アモルファス薄膜太陽電池プロジェクト**
サンシャイン計画の戦略的なプロジェクトとして、アモルファスに重点化した産官学太陽電池プロジェクトがスタートしました。
- HEMTの発明**
富士通の三村高志らによってHEMT (高電子移動度トランジスター) が発明されました。
- 薄膜有機EL素子の提案**
アメリカ・イーストマンコダック社のタンらが、薄膜有機EL素子を提案し、今日の実用化につながりました。
- 量子ホール効果の発見** ノーベル賞
ドイツ・ビュルツブルグ大学のフォン・クリッツィングらが量子ホール効果を発見しました。
- 1981 **林超微粒子プロジェクト(1981-1986)**
創造科学技術推進事業 (ERATO)として、林超微粒子プロジェクトがスタートしました。
- 生体分子の1分子計測**
京都大学の柳田充弘らは、溶液中のDNAを1分子計測することに成功しました。1984年には大阪大学の柳田敏雄らがタンパク質の1分子計測に成功し、分子モーターの直接観察につながりました。
- 1982 **量子ドットの提唱**
東京大学の荒川泰彦と榎裕之が電子の3次元閉じこめ (量子点) の概念を提唱しました。
- STMの発明** ノーベル賞
スイス・IBMチューリヒ研究所のビニヒとローラーらがSTM(走査型トンネル顕微鏡)を発明しました。
- ネオジム磁石の発明**
住友特殊金属の佐川眞人らによってネオジム磁石が発明され、世界最強の磁石として現在に至っています。
- 1983 **デンドリマーの発明**
アメリカ・ダウコーニングのトマリヤらによって、種々の機能性ナノ材料のモジュールとなりうる樹枝状高分子の系統的な研究が開始されました。
- アルカンチオール自己組織化単分子膜の発明**
アメリカ・ベル研究所のスツォとアララがアルカンチオールの金表面への吸着による自己組織化単分子膜作製に成功しました。
- 自動DNAシーケンサーの提案**
東京大学の和田昭亮らは、遺伝子配列が、自動化システムにより解読できることを示しました。
- 1984 **可視域における微小開口型近接場光学顕微鏡の開発**
スイス・IBMチューリヒ研究所のポール、コーネル大学のルイスらが可視域での近接場光学顕微鏡をそれぞれ開発しました。
- 金属クラスターの電子の殻構造モデルの実証**
アメリカ・カリフォルニア大学のナイトらは、金属クラスターの電子構造が電子殻モデルで説明出来る事を初めて実証しました。
- フラッシュメモリーの発明**
東芝の舛岡富士雄らがフラッシュメモリーを発明しました。
- 多孔質ポーラスシリコンの可視発光性の発見**
イギリス・王立信弓リーダー研究施設のヒカリングらは、ポーラスシリコンの可視発光を発見しました。
- 1985 **フラレンの発見** ノーベル賞
イギリス・サセックス大学のクロトー、アメリカ・ライス大学のスモリー、カールらがフラレンを発見しました。
- 1986 **AB効果の実証**
日立の外村彰らが、1979年に開発したホログラフィー電子顕微鏡を用いて、AB効果を実証しました。これによってベクトルポテンシャルの実在が証明されました。
- AFMの発明**
スイス・IBMチューリヒ研究所のビニヒらがAFM(原子間力顕微鏡)を発明しました。
- 高温超伝導体の発見** ノーベル賞
スイス・IBMチューリヒ研究所のペドノルツとミュラーは、ペロブスカイト型銅酸化物が高い転移温度で電気抵抗がゼロになる現象を発見しました。
- 原子の3次元空間マニピュレーション** ノーベル賞
アメリカ・ベル研究所のチューらはレーザー冷却を使って世界で初めて三次元空間中に原子を捕獲することに成功しました。
- 有機TFTの提案**
三菱電機の肥塚裕至らが、有機TFTを提案しました。
- EPR(Enhanced Permeability and Retention)効果の発見**
熊本大学の前田浩らは、DDS材料のサイズを制御することにより、がん組織に薬物を選択的に送達できる効果を発見しました。
- ドレクスラーの「Engine of Creations」**
アメリカのドレクスラーが著書「創造する機械」を発表し、分子機械の概念を提唱しました。
- 1987 **金ナノ粒子の新しい触媒作用の発見**
大工試の春田正毅らは化学的に不活性であるとされてきた金が、ナノ粒子として優れた触媒活性を発現することを明らかにしました。
- Y系高温超伝導材料の発見**
アメリカ・ヒューストン大学のチュー、アラバマ大学のウーらがイットリウム系超伝導材料を発見しました。
- カチオニックリポソームによる遺伝子導入**
アメリカ・パロアルト研究所のフェルグナーらによって、カチオニックリポソームによる効率的な遺伝子導入法が報告されました。
- 1988 **Bi系高温超伝導材料の発見**
金材研の前田弘がビスマス系超伝導材料を発見しました。
- 巨大磁気抵抗効果の発見** ノーベル賞
フランス・パリ第11大学のフェルト、ドイツ・ユーリヒ研究所のグリュンベルグらは、鉄・クロム多層膜で室温での巨大磁気抵抗効果を発見しました。
- 1989 **青野原子制御表面プロジェクト(1989-1994)**
原子を1個の単位で操作する技術に関する青野原子制御表面プロジェクト (ERATO) がスタートしました。
- 1990 **電子顕微鏡の収差補正**
ドイツ・タムシュタット工科大学のローズが、収差補正の電子光学学を発表、1995年にドイツ・欧州分子生物学研究所のハイターらが球面収差補正装置を開発し、電子顕微鏡の解像度が飛躍的に向上しました。
- 高分子ミセル型抗がん剤によるがんの標的治療**
東京理科大学の片岡一則、東京女子医科大学の横山昌幸らによりマウス実験腫瘍において抗がん剤内包高分子ミセルの抗腫瘍効果が初めて確認されました。
- STMによる原子操作**
アメリカ・IBM社のアイグラーらがSTMでの原子操作に成功しました。35個の原子を並べてIBMの文字を作りました。

- ステルスリポソームの確立**
アメリカ・テネシー大学のファング、クリバノフ、ドイツ・ミュンヘン工科大学のシウチらにより、PEG修飾リポソームによる血中滞留性リポソームが確立されました。
- 1991 **自己組織化による多層薄膜の形成**
ドイツ・ヨハネス・ケプラー・ユニバーシタットのテッカーらは、荷電薄膜の多層積層によって自己組織化有機膜を製作しました。
- DNA高速シーケンサーの開発**
日立の神原秀記らが、DNAのキャピラリー方式高速シーケンサーを開発しました。
- 色素増感型太陽電池の提案**
スイス連邦工科大学ローザンヌ校のグレッツェルらは、色素増感型太陽電池と呼ばれる次世代型の太陽電池を提案、そのプロトタイプを製作しました。
- カーボンナノチューブの発見**
NECの飯島勇男がカーボンナノチューブを発見、構造を解明しました。
- 1992 **金属と炭素が作る新型のクラスター分子Ti6C10の発見**
アメリカ・ペンシルバニア州立大学のキャッセルマンらは、金属と炭素からなるフラレン型のクラスター分子を発見し、触媒機能の解明しました。
- DNA解析用ナノデバイスの開発**
アメリカ・プリンストン大学のオースティンらが、半導体微細加工技術で作製したナノデバイスで、DNAが解析できることを発見し、解析時間の大幅な短縮に貢献しました。
- 散乱型 (非開口型) 近接場光学顕微鏡の発明**
大阪大学の河田聡らが金属ナノ探針でのプラズモン効果を利用した電場増強型近接場光学顕微鏡を開発しました。
- 1994 **超巨大磁気抵抗効果の発見**
東京大学の十倉好紀らが、ペロブスカイトの超巨大磁気抵抗効果を発見しました。スピントロニクス、強相関材料研究の端緒となりました。
- 1995 **トンネル磁気抵抗効果**
東北大学の宮崎照章らが、室温で電気抵抗が大きく変化する「トンネル磁気抵抗効果 (TMR)」を持つ物質を発見しました。
- ナノインプリントの提案**
アメリカ・ミネソタ大学のチョウらがナノインプリンティングの提案をしました。
- 1996 **ナノシートの合成**
無機材研の佐々木高義らは層状チタン酸化物の単層剥離により、酸化チタンナノシートの合成に成功しました。
- ナノポアDNAシーケンシングの実現**
アメリカ・ハーバード大学のブランドらが、数nmのポアをDNAが通るときの電流の微小変化によりDNA配列の直読を可能にしました。
- 2001 **MgB2 超伝導体の発見**
青山学院大学の秋光純らが、MgB2の超伝導現象を発見、非銅酸化物系では最高の39Kという高い転移温度が認められました。
- ポリマー・ナノアロイ技術の発明**
東しの小林定之らが非相溶な2種の高分子を自己組織化技術により相互にナノレベルで共連続混合したアロイ樹脂 (ナノアロイ) を開発しました。
- 2004 **グラフェンの単離に成功** ノーベル賞
イギリス・マンチェスター大学のガイムとノボセロフらは、グラフェンの単離に成功し、電気的特性を明らかにしました。
- 2008 **鉄系高温超伝導材料の発見**
東京工業大学の細野秀雄らが、鉄系高温超伝導材料を発見しました。



カーボンナノチューブ模式図



グラフェンの光学顕微鏡写真

2000

- 1992 **原子・分子極限操作技術 (アトムテクノロジー) プロジェクト (1992-2001)**
原子レベルで物質の組成・特性を研究する工業技術院の国家プロジェクトがスタートしました。アメリカをはじめ海外に多大なインパクトを与えたとされています。
- 2000 **アメリカがNNIを策定**
アメリカはナノテクノロジー-国家戦略、ナショナル・ナノテクノロジー・イニシアティブ(NNI)を発表し、産学官連携で「ナノテクノロジー」を国家の戦略的研究分野に定め、2001年にNNIがスタートしました。
- 2001 **第2期科学技術基本計画策定 (ナノテクノロジー・材料分野を重点分野の一つに指定)**
日本では経団連がナノテクの重要性を提言し、これを受け政府はナノテクを国家戦略に据えました。
- 2002 **第1回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議「nano tech」開催**
ナノテクノロジーの総合展示会「nano tech」がスタートし、後に「世界最大のナノテクノロジーの展示会に成長しました。
- 文部科学省 ナノテクノロジー総合支援プロジェクト**
我が国のナノテク研究を戦略的に進めるために産官学すべての研究者を強力に支援する先端研究施設共同ネットワークプロジェクトがスタートしました。
- EU がナノテクを重点化**
EUが、研究・技術枠組み計画「フレームワークプログラム6 (FP6)」で、ナノテクを重点項目として取り上げました。
- 厚生労働省 ナノメディスンプロジェクトを開始**
厚生労働省は、ナノテクノロジーを医療応用するためのプロジェクトをスタートしました。また、2003年には、経済産業省がナノテクノロジーを「バイオテクノロジー」に展開する為の先進ナノバイオデバイスプロジェクトをスタートしました。
- 2003 **アメリカで「21世紀ナノテクノロジー研究開発法」成立**
アメリカは総額37億ドルの研究開発予算を盛り込みました。
- 2005 **アメリカ NIH ナノメディスンプロジェクトを開始**
アメリカ国内に8カ所のナノメディスン研究拠点を形成し、ナノテクノロジーを医療応用するためのプロジェクトが開始されました。
- 内閣府 総合科学技術会議 ナノテクノロジー連携施策群をスタート**
日本で初めて各省庁横断のプロジェクトが内閣府主導でスタートし、ナノ医療デバイス、水素・燃料電池、ナノ安全評価の各連携プロジェクトが開始されました。
- 2006 **第3期科学技術基本計画策定**
ナノテクノロジー・材料分野は第2期の計画から引き続き重点分野に指定されました。



「nano tech」展示会場風景

◆編集委員長: 丸山 瑛一 (理化学研究所 イノベーション推進センター 特別顧問)
◆編集委員: 小林 直人 (早稲田大学 研究戦略センター 教授)、 野田 英次 (日立総合計画研究所 研究顧問)、 田中 一貴 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 首席プロ)、 谷口 彬雄 (信州大学 名誉教授)、 馬場 高福 (名古屋大学 専任教授 (産学官連携 研究推進担当) /大学院工学研究科 化学・生物工学専攻 教授)、 平原 幸治郎 (物質・材料研究機構 ナノテクノロジー拠点運営室 室長)
◆協力委員: 青野 正和 (物質・材料研究機構 国際ナノテクノロジーセンター研究拠点 (MANA) 拠点長)、 大村 元太郎 (理研 研究本部 顧問)、 片岡 一則 (東京工業大学 大学院 理工学研究科 物理物理学専攻 教授)、 河田 聡 (大阪大学 フォトニック先端総合センター センター長)、 岡部 豊喜 (北九州産業技術推進機構 理事長)、 高柳 利夫 (東京工業大学 大学院 理工学研究科 物理物理学専攻 教授)、 玉尾 隆博 (理化学研究所 基幹研究所 所長)、 中村 道治 (日立製作所 取締役)、 西 信之 (自然科学研究機構 分子科学研究所 物質分子科学研究領域 主幹)、 原島 秀吉 (北海道工科大学 薬学研究所 医療薬学部門 医療薬学分野 薬剤分子設計学研究室 教授)
◆写真提供: 大澤 映二、 NEC、 シャープ、 ソニー、 名古屋大学 馬場研究室、 日立製作所 外村 彰、 物質・材料研究機構 榎 一 哉