

ゲノム技術とエレクトロニクス

宮本 裕生

近年、人の設計図であるヒトゲノムの解読が進展し、それに伴って私たちの生活や、産業構造にもさまざまな変革がもたらされようとしている¹⁾。ヒトゲノム解読には情報技術や種々の分析機器などの発展が大きく貢献しており、今後さらにゲノム技術はこのようなエレクトロニクスとの関連を強めていくと予測される²⁾。本稿では、ゲノム関連の技術および産業の動向を、エレクトロニクスとの関わりという観点から最近のトピックスを交えて概説する。

ゲノム技術、ゲノム産業の概要

ゲノムとは生物の遺伝情報のすべて、つまりある個体が成長し、生命活動を維持し、子孫をつくるために必要な設計図であり、人についてはヒトゲノムと呼ばれている。ゲノムの実体は、4種類の化合物がひも状に繋がったDNA（デオキシリボ核酸）という高分子である。この化合物を文字にたとえると、ゲノムは4種類の文字で書かれた文字列であるといえる。そして、ゲノム情報とは、この文字列（ゲノム配列）を基本として、そこに書かれた遺伝子、遺伝子に基づいて作り出されるタンパク質などに関する生命現象に関わる全ての情報であるといえる。タンパク質とは、皮膚や筋肉、内臓など人体の構成成分であると共に、体の働きを調整する酵素やホルモンなど、実際の生命活動を担っている機能部品である。そして遺伝子とは、ゲノム配列中のタンパク質を作るための情報を記載した部分である。人の場合、ゲノムは約30億の文字よりなる文字列であり、その中に遺伝子は3~7万箇所存在し、それらの遺伝子によって生成が可能なタンパク質は10~30万種ほどあるのではないかと推定されている。

図1にエレクトロニクス関連のゲノム技術およびそれに関連した製品、サービスをまとめた。ゲノム技術としては、遺伝子工学の技術、つまり、DNAを特定配列の部分で切断したり、少量のDNAサンプルを増殖させたり、あるいは遺伝子組換えといった技術も重要であるが、ここではエレクトロニクスに関連するものに絞って示した。

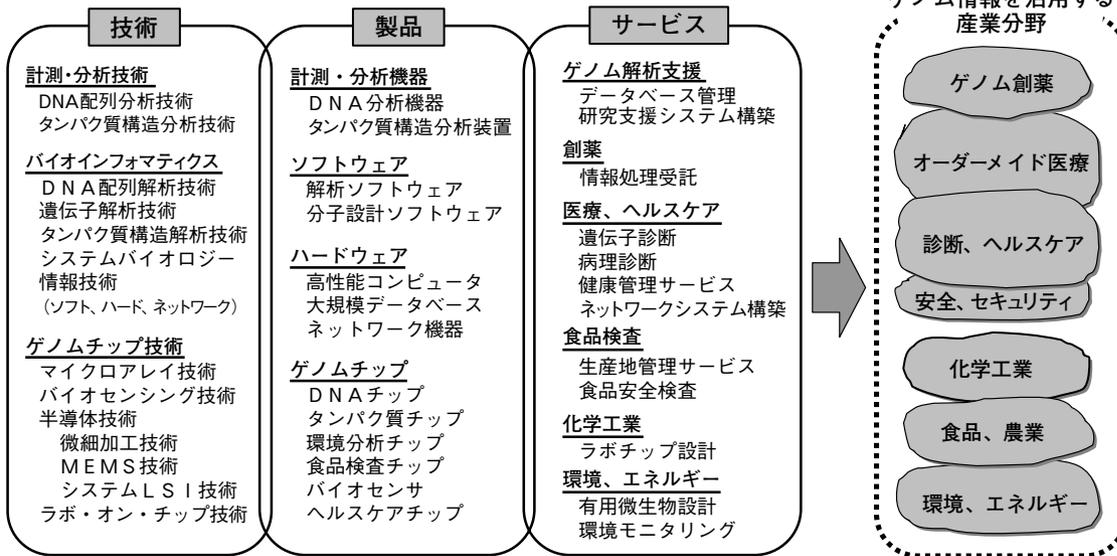
エレクトロニクス関連の技術は、計測・分析技術、バイオインフォマティクス（生物情報学）、ゲノムチップ技術

に分類できる。計測・分析技術はその歴史が最も古く、ワトソンとクリックによるDNAの二重らせん構造の発見を導いたエックス線解析装置や、DNAの配列を調べるシーケンサと呼ばれる装置、また昨年の中村耕一氏ノーベル化学賞受賞で有名になったタンパク質の構造を調べる質量分析装置など、各種の機器が開発されている。情報処理技術と関連が深いバイオインフォマティクスと、半導体デバイス技術と関連が深いゲノムチップ技術については章を改めて述べる。

ゲノム技術、産業の変遷という観点から見ると、ヒトゲノム解読以前は、ゲノム配列や遺伝子を読むことが主流であった時代といえる。それに対して、ヒトゲノムの解読が宣言された2000年以降は、ポストゲノムの時代であるといわれる。ポストゲノムとは、ポストゲノムシーケンサの略で、解読されたゲノムの配列（シーケンサ）を基に、遺伝子やタンパク質の機能を調べることであり、新薬の開発（ゲノム創薬）など、ゲノム情報を活用した産業化の進展に繋がる技術が核となる³⁾。一方、ゲノム配列を迅速に調べる技術が確立したことにより、人以外にも、さまざまな生物のゲノム解読が進められている。たとえば、マウスやチンパンジーといったゲノムの解読は人をより理解する助けになり、病気のメカニズムの解明などに役立つ。また、イネなどの植物ゲノムの解読は、高収量や低アレルギー性といった特徴を持つ作物の開発など、食品・農業分野への貢献が期待される。さらに各種微生物ゲノムの解読によって、たとえば石油を作る遺伝子やダイオキシンなどの有害物質を分解する遺伝子を持った微生物の設計や利用など、化学工業、環境技術への寄与も大きいと考える。

ヒトゲノム解読で得られたのは人の共通的なゲノム配列である。つまり、個人ごとのゲノム配列は約0.1%異なっていて個性として存在するが、その解明は進行中である。個人ごとのゲノム配列の違いを検出することで、副作用の少ない薬の処方や、遺伝的に発症リスクの高い病気への対応といったオーダーメイド医療（テイラーメイド医療とも呼ばれる）が実現可能なものになってきた⁴⁾。

＜エレクトロニクス関連のゲノム技術、製品、サービス＞



＜ゲノム技術、産業の変遷＞

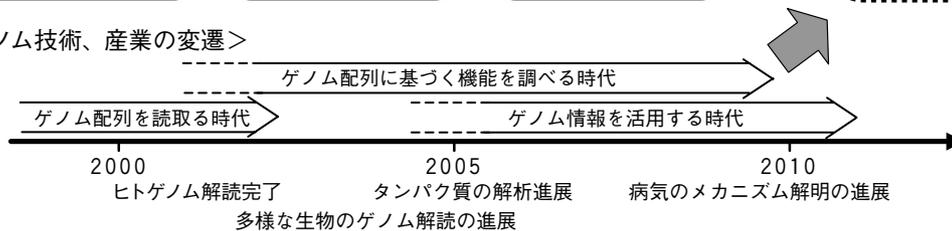


図1 エレクトロニクス関連ゲノム技術とゲノム産業の概要

また個人ゲノム配列は、その個人に特定のものであり、DNA鑑定や、個人認証などセキュリティ分野への利用も考えられている。具体例としては、顧客由来のDNA情報を基に作成した“DNAインク”を用いた物品認証システム（株式会社アイ・ディ・テクニカ ほか）や、個人のDNA情報を基にした“DNA実印ICカード”（株式会社NTTデータ）などが試用されている。ゲノム配列の個性は他の生物にもあり、食品の安全管理などへの適用もできる。たとえば、欧州では1996年に襲った狂牛病パニックがきっかけとなり、DNA鑑定による牛肉の身元保証システムが実用化されている。これは、アイルランドのアイデンティジェンというベンチャー会社が技術開発したものである。

情報技術とゲノム（バイオインフォマティクス）

生命現象、つまりゲノム情報を、情報科学の立場で解明しようとする研究がバイオインフォマティクスである。バイオインフォマティクスはヒトゲノムを例にすると、3段階の発展が見られる。

第1段階は、30億の文字列そのものを読み取るゲノムシーケンスに関係した情報処理技術である。分析機器によって一度に読み出せる文字列は、数百～数千の長さであり、

この細切れにされたデータをコンピュータ上で正しくつなぎ合わせる必要がある。ここで用いられる情報処理としては、たとえば人工知能の分野で開発された最適解を探す手法が用いられる。次に、解読したゲノム配列の中から遺伝子領域の予測を行う。これは、遺伝子を表現する文法を解析して生命の言語を理解することであり、音声認識技術に用いられている自然言語を認識するのと同様な数理モデルが適用されている。

第2段階は、ポストゲノム時代に対応したバイオインフォマティクスである。遺伝子からどのようにして、どのようなタンパク質が作られるのか、またそれらのタンパク質がどのような立体構造（タンパク質を構成する原子の3次元配列）をとっているかといったことを調べる。具体例としては、昨年開始された、人の全タンパク質を調べる国際共同プロジェクトがある。このプロジェクトでは、まず病気の発症などに深く関わっていると思われる約1万種のタンパク質を5年間で調べる計画である。わが国では理化学研究所などが中心となり、最先端の核磁気共鳴装置やエックス線解析装置などの分析機器を導入し、分析を始めている。これらの装置から得られたデータを解析して立体構造を計算し、それに基づくタンパク質の

機能を予測することにバイオインフォマティクスが活用される。この研究には製薬企業も参加している。それは、病気に関係するタンパク質の構造がわかれば、それに作用する新薬を設計することができるからである。いち早くタンパク質の構造を解析しその機能を明らかにすることで特許を出願し、ビジネスの優位性を確保することが狙いである。

第3段階のバイオインフォマティクスは、生命システムの理解をめざしたもので、システムバイオロジーとも呼ばれる。ゲノム研究によって、個体の発生から成長、代謝や免疫系、さらに脳機能等に関わる多くの遺伝子に関する情報が明らかになりつつある。システムバイオロジーの研究は、コンピュータ上でこれらの情報を統合することで、たとえば病気発症のメカニズムを解明することを目標としている。その一例として、コンピュータ上にバーチャル（仮想）細胞を作る試みがある。慶應大学の富田らは“E-CELL”という細胞シミュレーションシステムを開発している。遺伝子数が127個と最も単純なゲノムを持つ単細胞生物の代謝系シミュレーションに成功している。しかし、人の場合は約60兆個の細胞からなる多細胞生物であり、ゲノムのサイズも大きい。各細胞に含まれるDNAは、引き伸ばすと約1メートルの長さがあるので、人ひとりのDNA総延長は60兆メートル、つまりほぼ太陽系の直径に相当する長さの中にぎっしりと情報が詰まっている。もちろん全ての細胞の情報が直接生命活動に関わっているわけではないが、このような複雑なシステムを解析するには新たな情報処理技術の発想が求められている。それと共に、ハードウェア面では、大規模データベース技術、高速コンピューテーション技術の開発がバイオインフォマティクスを支える技術として不可欠である。

ゲノムの研究は、インターネットをいち早く利用して進められた。そのため、公的研究機関のゲノム解析の結果など、自由にアクセスが可能なデータベースも多数公開されている。バイオインフォマティクスの詳細に関しては、参考文献⁵⁾のゲノムネットのページに解説があり、実際のデータベースを使った基礎からの学習もできる。また、成書としては文献⁶⁾が、エレクトロニクスメカニカの具体的な取組み例として文献⁷⁾が参考になる。

半導体技術とゲノム（ゲノムチップ）

半導体プロセス技術に代表されるデバイス技術も、ゲノム技術との関わりが今後ますます進展し、産業としての発展が期待できる分野である。たとえば特許庁のポストゲノム関連技術における産業分野別の市場規模予測⁸⁾では、DNAチップおよびタンパク質チップ⁹⁾、バイオセ

ンサ¹⁰⁾を合わせた国内市場は、2000年の490億円から、2010年には2兆3千億円に増大すると予測している。この主因は、研究用に開発されてきたチップが、臨床検査や診断用として実用化が進むと予想されるためである。現在わが国の年間医療費は約30兆円であるが、今後少子高齢化社会への進展に伴って増加が予想される医療費の抑制策が緊急課題となっている。そういった中、生活習慣病の早期発見のための検査を積極的に導入している自治体では、一人当たりの医療費が減少しているという実証も出ている。このように、今後の施策としては、病気になってからの対症医療よりも、検査・診断による予防、ガンなどの早期発見に重点を置いた医療に移行していくと思われる。

ゲノムチップにはDNAチップやタンパク質チップなどゲノム情報に直接関係した物質を検出するチップはもとより、環境分析チップや食品検査チップ、血糖値や病原菌などを測るバイオセンサなども含まれると考える。生命活動は、ゲノムに静的に書かれた情報を基本として営まれるが、その個体が実際に生活している環境や食する食品、属する社会集団でのストレスなどさまざまな影響を受け、それらの情報がゲノムに伝わって、その時々に必要なタンパク質が作成されているという動的な面も重要であると考えられるからである。

ではこのような、ゲノムチップはどのように開発が進展していくのであろうか。いずれも検出対象となるのは、DNAやタンパク質、環境ホルモン、ダイオキシンなど生体分子や化学物質である。現状これらの物質を検出できるのは高価で大型の精密分析機器である。DNAチップなどは小型化が進んでいるが、実際には採取した細胞から必要な成分を抽出し、さらに測定に適した前処理を施すといった一連の処理には別々の装置が必要であり、一つのデバイスで完結したものはまだ開発されていない。これを受けて、次世代のゲノムチップの開発に有望なアプローチの一つとして着目されているのがラボ・オン・チップ（集積化実験室）と呼ばれるマイクロチップ技術である¹¹⁾。これは化学の分野から進められてきた研究であり、たとえばガラス基板に微細な溝（マイクロ流路と呼ぶ）を形成し、その流路中で従来フラスコや試験管で行っていた化学合成や分析を行う。適切なマイクロ流路構造の設計を行い流体の流れを制御することで、高効率かつ高速に化学合成等を行うことが可能になってきた。一方、シリコン半導体の分野では、MEMS（Micro Electro Mechanical System）と呼ばれる微小な電子機械システムを製造する技術が進展しており、ポンプやバルブといったメカニカル部品がシリコン基板内に形成で

きるようになってきた。これらの技術が融合すると、たとえば、微小で痛みのない無痛針で血液を吸引採取し、必要成分の分離抽出を行い、同じシリコン基板上に集積した各種センサによって、血糖値やコレステロール値、あるいは肝機能の指標となるタンパク質など、各種の健康に関する値を検出できるようになる。さらにこのようなチップが進化すると、システムLSIで情報処理を行い、微小電力無線でネットワーク上のデータベースにアクセスするといったヘルスケアチップ¹²⁾も開発されると予想される。このようなデバイスは将来、臨床現場や在宅等での診断や健康管理システムに用いられると考えられる。

あ と が き

めざましく発展しつつあるゲノム技術は、今後情報技術や半導体技術、ナノテクノロジーなどと一段と融合を深め、新しい技術、産業を切り開いていくと考えられる¹³⁾。たとえば、今話題になっている、どこでもいつでもネットワークに繋がるというコンセプトのユビキタスネットワーク技術との融合もそのひとつである。現在は、位置や温度、音、映像といった物理センサの情報のみであるが、生体分子や化学物質のセンシング機能がユビキタスデバイスに付与されるようになると、身の回りの環境や生体である私たち自身と、コンピュータ、ネットワークが融合し、個人にとってはヘルスケアやセキュリティの管理、あるいは新しいコミュニケーション手段の出現、また緻密な環境モニタリングによる環境保護といった面でも効果が期待される¹⁴⁾。

ジェームズ・ラブロックは「地球は、喩としてではなく、真の一つの生命体である」と述べたが、ゲノム技術とエレクトロニクスとの融合によって生まれる新しい技術を活用することで、国際平和や地球環境保護といった課題を解決できる“遺伝子”を持った、生命体としての地球の“ゲノム”を育み進化させることができると言っても過言ではないだろう。 ◆◆

■参考文献

- 1) <http://www.meti.go.jp/policy/bio> (経済産業省バイオ政策に関するページ)
- 2) 蓬田宏樹 他：バイオの予感—興隆するバイオ技術をエレクトロニクスに呼び込む, 日経エレクトロニクス, pp.73-83, 2002年1月7日号
- 3) 日経サイエンス編集部：ポストゲノム時代の医薬革新, 別冊日経サイエンスno.139, 2002年
- 4) 後藤敏行 他編集：特集「21世紀の医療・福祉を支える科学技術」, 電子情報通信学会誌, Vol.84, No.5, pp.281-286, 341-367, 2001年

- 5) http://www.genome.ad.jp/Japanese/about_J.html (ゲノムネット)
- 6) 高木利久 他編集：ゲノム情報生物学 (ポストシーケンズのゲノム科学6) 中山書店, 2000年,
- 7) 斑目廣哉 他：ライフサイエンス特集, FUJITSU, 53巻, 第5号, 2002年9月号
- 8) http://www.jpo.go.jp/techno/1304-095_trend.htm (特許庁, 特許出願技術動向分析調査報告)
- 9) 木内陽介ほか編集：小特集「マイクロテクノロジーの開花へ向けて」, 電子情報通信学会誌, Vol.85, No.10, pp.715-727, 2002年
- 10) 軽部征夫 他：バイオセンサーの現状と今後の展開, 応用物理, 第70巻, 第12号, pp.1407-1413, 2001年
- 11) 馬場嘉信：マイクロ・ナノバイオチップテクノロジー, 応用物理, 第71巻, 第12号, pp.1481-1487, 2002年
- 12) 堀池靖浩：優れた微細加工技術 医療分野に展開を, 日経先端技術, No.9, pp.35-38, 2002年3月11日号
- 13) 川合知二：ナノバイオなら日本は勝てる—機械, 電機の強さ取り入れよ, 日経バイオビジネス, pp.80-83, 2002年12月号
- 14) 板生清：情報マイクロシステム技術の展開—ネイチャーインタフェイスの実現に向けて, 応用物理, 第70巻, 第8号, pp.932-940, 2001年

●筆者紹介

宮本裕生：Yasuo Miyamoto. 研究開発本部 ビジネスリサーチラボラトリ