

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 乙 第 号	氏 名	長名 保範
主論文題目： FPGA を用いた生化学シミュレーションに関する研究			
(内容の要旨) <p>1953年にWatsonとCrickによってDNAの2重らせん構造が明らかにされて以来、生命システムを分子によって秩序的に構成された機械として捉え、その構造を研究することで生命現象の仕組みを理解しようとする研究が盛んになった。現在までに多くの生物のゲノムの解読や、細胞内におけるさまざまな物質の相互作用の解明が行われており、生命現象全体を、生物というシステムの挙動として解明していくことが今後の生命科学の中心的課題である。</p> <p>これには、実験で得られたデータの分析や、それによって構築された数理モデルのシミュレーションなどで計算機を利用することが必須であるが、大きなデータを取り扱うことが多く、計算にかかる時間が研究を進める上で問題となる。したがって、分析やシミュレーションの高速化のために多くの研究機関がPCクラスタをはじめとする並列システムを導入している。しかし、旧来の並列システムは高価であり、研究者個人のための計算環境として利用することは困難であり、個人レベルで利用可能な小型・低価格かつ高性能な計算エンジンの開発が待たれている。</p> <p>そこで本研究では、生命科学の研究に用いられるアプリケーションのひとつとして、細胞内の代謝系などの生化学モデルの挙動をシミュレーションする生化学シミュレータに着目し、これを回路を再構成可能なLSIであるFPGA(Field Programmable Gate Array) を用いて高速に実行する手法を開発した。本研究の主な目的は、FPGAを用いて生化学シミュレーションを行う場合に基本的な問題となる点を解決して、高速なシミュレーション環境を実現することである。第一の問題点は、モデルに含まれるさまざまな種類の反応速度式を解けなければならない点であり、第二の問題点はホスト CPUとPCIバスに接続したFPGAの通信がボトルネックにならないようにシステムを設計しなければならない点である。また性能だけでなく、回路設計に関する知識なしに運用できる点も重要である。</p> <p>これらの問題点について、本研究で開発した生化学シミュレータReCSiP (REconfigurable Cell Simulation Platform) は、反応経路マップをFPGA側で処理することにより、PCIバスのボトルネックを回避し、反応速度式を解くモジュールをモデルに応じて組み替えて利用することでさまざまな反応速度式に対応することを可能にした。これによって、自動的なハードウェアの生成を可能にし、モジュールの組み合わせによって与えられたモデルに対して柔軟に対応するとともに、モデルごとに最適化された回路を用いて最高のスループットを実現することが可能である。また、FPGA上に</p>			

構成される各モジュールはパイプライン化されており、FPGA 上に分散配置されたメモリブロックから並列かつ連続的にデータを供給することで高い性能を実現する。

本論文では研究背景について概説したあと、反応速度式を処理するモジュールや積分を行うモジュールなどのシミュレーションをするための基本的なハードウェアの構成について述べ、それらの性能評価の結果を示す。性能評価の結果として、本研究で開発された手法はパラメータ探索等に有効な計算手段であることと、Xilinx社のFPGAであるXC2VP70を用いた場合にマイクロプロセッサ (Intel Pentium4 3.2GHz) 比で10倍から50倍程度の実効性能を得られることが明らかになった。