



## データフローアーキテクチャ電磁界解析専用計算機の開発に関する研究

メタデータ	言語: en 出版者: 公開日: 2023-11-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: ワン, チェンシュ メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15118/0002000148">https://doi.org/10.15118/0002000148</a>

氏名	WANG CHENXU (ワン チェンシュ)
学位論文題目	Design Study of FIT Dedicated Computer with Dataflow Architecture for Electromagnetic Field Simulations (データフローアーキテクチャ電磁界解析専用計算機の開発に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 川口 秀樹 教授 佐藤 孝紀 教授 渡邊 浩太

### 論文内容の要旨

近年の PC の高性能化に伴い、電子機器設計における最適設計、ノイズ解析など、電磁界解析の産業応用が広がっている。大規模システムへの応用など、このような電磁界解析のより高度な産業応用の広がりとともに、同時に、設計作業の効率化等の観点から、その高速 (HPC) 技術への要求が高まりつつある。一方、サイエンス目的とは異なり、産業応用の場では、HPC 技術には、ポータブル性、低価格、低消費電力が求められている。これに対し、本研究では、計算したいターゲットにあわせて計算機を構築することにより、従来のノイマンアーキテクチャにおけるメモリボトルネックなどの本来は不要な処理をなくし、計算目的に最適化された処理が行える専用計算機の方法を用いたポータブル、低価格、低消費電力の HPC 技術の可能性を検討した。とりわけ、これまでにすでに、マイクロ波シミュレーションをターゲットとして開発された FDTD 法専用計算機での実績をベースに、データフローアーキテクチャ方式での電磁界解析専用計算機の開発を行った。本研究で行った具体的な内容は、以下となる。

(1) 2次元静磁場解析専用計算機の開発を行った。FDTD 法を除くほとんどの電磁界シミュレーションで必要となる大型疎行列計算を含む電磁界解析専用計算機の実現を目指し、データフローアーキテクチャに基づき BiCG-Stab 法を高速処理する 2次元静磁場解析専用計算機のハードウェア回路の検討、ハードウェア記述言語 VHDL による回路設計、VHDL 開発ツールを用いたハードウェア回路シミュレーションによる動作確認を行い、C 言語プログラムでの静磁場解析と同じ結果が得られることを確認し、設計したハードウェア回路が正常に動作することを示した。また、BiCG-Stab 法で必要となる多倍精度整数除算回路の検討も行い、除算計算に伴う余計な遅延なく 2次元静磁場解析が専用計算機で実行できることを示した。これにより、行列-ベクトル乗算を含む BiCG-Stab 法の 1 回の反復計算が 8 クロックで実行でき極めて高速な静磁場計算を実現できることを示した。

(2) 3次元静電場解析専用計算機の開発を行った。より大規模な 3次元の電磁界解析専用計算機の実現を目指し、上記、データフローアーキテクチャの 2次元静磁場計算専用計算機と FDTD 法専用計算機の 3次元計算アーキテクチャを組合せて 3次元静電場解析専用計算機のハードウェア回路の検討を行った。VHDL にて回路設計および回路シミュレーションを行い、3次元シミュレーションが正常に実行されることを示した。

(3) 2次元時間領域渦電流解析専用計算機の開発を行った。時間的に変動する電磁場をシミュレーションする電磁界解析専用計算機の実現を目指し、上記の2次元静磁場計算専用計算機をベースに、逐次時間ステップごとに電磁場を計算し渦電流場の時間応答を解析する2次元時間領域渦電流解析専用計算機のハードウェア回路の検討を行った。同様に、回路設計および回路シミュレーションを行い、電磁場の時間領域シミュレーションが正常に実行されることを示した。

以上、大型疎行列計算、3次元計算、時間領域計算という基本的な機能が専用ハードウェアで実現でき、超高速処理が可能なことを示し、電磁界解析専用計算機の有効性と実現可能性を示した。

## ABSTRACT

With the development of computer technologies in recent years, electromagnetic field simulations have been widely adopted in industry, such as EMC analysis, shape optimization and so on. In the design and development of industrial products, a shorter design cycle can significantly reduce production costs, thus the demand for high-performance computing (HPC) technology is increasing. And then, compared with the purposes of scientific research, HPC technology with the advantage of being portable, low power consumption, low cost. Therefore, as one of possibilities of portable, low power consumption, low cost of high-performance computation technology, we consider a method of dedicated computer based on dataflow architecture. That is, to construct the computer architecture dedicated to the target applications, overhead of unnecessary processes are removed and extremely efficient computer processing can be achieved. In our previous work, we developed a FDTD dedicated computer with dataflow architecture for 3-D microwave simulations. In this study, we discuss the conceptual design of a FIT dedicated computer for electromagnetic field simulations. In summary, we have accomplished the following.

(1) We developed a FIT dataflow machine for 2-D magneto-static fields simulation. The detailed dataflow circuits of the BiCG-Stab matrix solver for the FIT matrix equation are designed. In addition, the dataflow machine of the FIT dedicated computer for 2-D magneto-static field simulation was designed by the hardware description language, VHDL. And the VHDL simulation result was

compared with that of the C software simulation result to confirm the corrections and validity of the designed dataflow machine. Also, we investigated an arbitrary multiple-precision integer division circuit for high-speed matrix calculations in order to further expand the application fields. An arbitrary multiple-precision integer division can now be executed for the iteration of BiCG-Stab scheme in 8 clock cycles.

(2) We also discussed the FIT dataflow machine for 3-D electro-static fields simulation. And we designed the detailed dataflow circuits of the BiCG-Stab matrix solver for the FIT matrix equation. In which, we combined the architecture of FDTD dedicated computer of previous work with the similar matrix solver of BiCG-Stab scheme in the case of 2-D magneto-static. And then the logic circuit of the vertical grid circuit of 3-D FIT dataflow machine was designed by VHDL to confirm the designed logic circuits for the BiCG-Stab scheme are implemented correctly.

(3) We discussed the 2-D FIT dataflow machine for eddy current fields simulation based on the case of 2-D FIT dataflow machine for magneto-static fields simulation. In which, we designed the hardware circuits for dataflow machine of 2-D eddy current field simulation. And then, it was confirmed from the VHDL simulation that the VHDL designed circuits for BiCG-Stab matrix solver in unit grid are carried out correctly.

In conclusion, as described above, the basic functions of large-scale sparse matrix calculation, 3-D calculation, and time-domain calculation can be achieved with dedicated hardware. The possibility of ultra-high-speed processing is demonstrated, and the effectiveness of dedicated computer for electromagnetic field simulation is demonstrated.