

審査の結果の要旨

氏 名 門本 淳一郎

本論文は「チップ間誘導結合通信を用いた形状自在計算機システム」と題し、和文により書かれており六章よりなる。計算機の小型省電力化により、小型機器への計算力付与が浸透し、ユーザに寄り添った様々な情報サービスを提供することが可能となっている。しかし、現状のコンピュータは少なくともセンチメートルスケールのパッケージへの格納を前提としており、例えばマイクロロボットのようなミリメートル、マイクロメートルスケールの機器への計算力付与は確立していない。これに対し本論文では、個々のチップに近接場結合通信用のリングを設け、ワイヤレス通信によって複数の微小チップが協調動作する、「形状自在計算機」システムを提唱し、この実現に不可欠となるワイヤレスバスの提案および実チップ計測を含む詳細な解析を行っている。また、提案バスをシステムに取り込む上での設計の要点を体系化し、実チップ製造による実証結果を示し、さらに、これらチップの協調によって実現されるシステムのプロトタイプ例および新たに拓かれた形状自在計算機の展望が示されている。

第一章は「序論」であり、研究の背景となる既存の実装技術の課題および、導入ターゲットとなる形状変化組み込みデバイスについて議論が行われている。

第二章は「関連研究」と題し、微小チップ連携の要となるチップ間無線通信技術について、オンチップアンテナを用いたミリ派無線通信、超広帯域無線通信、積層チップ間近接場結合通信、オフチップアンテナを用いたBLEについて議論が行われ、特に微小可動プラットフォームへ適用する際の課題が整理されている。また、無線電力伝送技術、無線センサノードなどの先行研究について述べられている。

第三章は「誘導結合無線バスの解析と設計手法」と題し、形状自在計算機における通信手法となる水平方向誘導結合無線バスの提案およびシミュレーション解析、実機評価が行われている。まず、水平方向に並べたコイル間に生じる誘導結合について理論的考察および三次元電磁界シミュレーションにより、コイルの相対位置変化と結合係数変化が評価され、コイル径や通信距離、コイルアスペクト比、位置ずれ、相対角度などの設計上の諸条件と結合係数の関係と、これに基づいたコイル設計手法が示されている。さらに、回路シミュレーションおよびテストチップにより実際の通信帯域が計測され、0.18 μ mプロセスで2.5mm角のチップを用いた場合に2.0Gb/sの通信が確認され、また先端プロセス導入によるスケーリングが確かめられている。

第四章は「構成チップの設計手法」と題し、第三章で提案されたチップ外周リングによる無線バスを備える半導体チップの設計手法が議論されている。リングと内部回路の干渉、特に既存のリング構造との干渉の影響評価と設計時の回避手法提案が示されている。また、リングを用いた通信回路について衝突回避を含むパケット転送プロトコルが提案されている。これらの議論を元に提案バスを備えたRISC-Vプロセッサが設計・製造され、近接場通信による協調動作が実チップにより実現されている。

第五章は「形状自在計算機システムの設計手法」と題し、前章までに提案・評価された外周コイルを備えたチップ複数を無線バスによって協調させて実現する計算機システムが議論されている。アプリケーション例とシステムプロトタイプが示され、実現例として、自らの位置関係を通信の受信電圧から推定する形状センサとそれを利用したユーザインタフェースが示されている。また、スケーリングを踏まえて形状自在計算機におけるチップサイズ、システムサイズと搭載可能な回路機能が議論され、マイクロロボットをはじめとする適合アプリケーション特性が明らかにされている。

第六章は「結論」であり、本論文の主な貢献をまとめ、今後の展望が述べられている。

以上を要するに本論文は水平誘導結合バスとその上で構成可能となる形状自在計算機システムを提案・体系化しており、従来のパッケージングでは計算力を付与できなかったような、微細箇所や可動部品への計算力付与を可能とするものであり、計算機の構成及び応用に新しい領域を拓き、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。