

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	環境エネルギーを使用する情報通信機器の組み込みプロセッサアーキテクチャと OS 制御による最適エネルギー管理技術の開発
研究機関・部局・職名	京都大学・大学院情報学研究科・准教授
氏名	石原 亨

【研究目的】

本研究は従来数十W程度の電力を消費する情報通信機器のエネルギー源を環境エネルギーで置き換える仕組みを構築し、その実現可能性を証明する。5cm 角程度の太陽電池では晴天時の屋外でも高々数百mWの電力しか利用できない。その他の発電素子の発電量は極めて小さい。ワイアレスセンサネットワークの研究分野では、環境エネルギーで小型のコンピュータを動作させる技術が開発されているが、これらは主に数十 μ W程度のセンサノードを対象としており、応用が限定される。本研究では、安価で不安定な環境エネルギーのみで情報通信機器を安定利用する仕組みを構築しその実現可能性を証明する。太陽電池や振動発電素子などの不安定な電力源のみで動作する環境エネルギーベースシステムを対象とする。研究期間内には、プロセッサとメモリサブシステムおよび入出力デバイスを環境発電電力によって利用する仕組みを構築し、通常数ワットの電力を消費するシステムが環境エネルギーのみで安定利用可能であることを実証する。表示装置や通信装置などのデバイスに関しては電力スケール機能を新たに開発することは行わないが、既存の電力スケール機能を OS が活用する技術は期間内の研究対象である。具体的には、次の4つのテーマに取り組む。

1. [テーマ1] スケーラブルプロセッサシステム

低消費電力指向のシステムは数十 μ Wの電力でプロセッサを稼働させる仕組みを備えているが、単純に動作周波数を上げて携帯電話クラスの性能を達成することは難しい。一方で今日の携帯機器に搭載されるプロセッサは、数百 μ Wで最低限の処理を行う仕組みが備わっていない。そこで、申請者は、数百 μ Wから数百mWまでの3桁の電力スケラビリティを持つスケーラブルプロセッサシステムを構築する。この技術により、出力電力が不安定な環境発電電力でも必要最小限の処理を継続的に遂行することを可能にする。

2. [テーマ2] 電力効率を向上させる技術

プロセッサシステムの電力効率（電力あたりの性能）の向上にはデバイスの低電圧化が有効であるが、低電圧動作は信頼性低下を招くと共にプロセスばらつきによる遅延変動を増大させる。冗長化技術により上記の問題は緩和されるが、冗長化はプロセッサシステムの電力を増大させるかまたは性能を劣化させる。本研究では、低

電圧動作時の高電力効率と高信頼性を両立させるプロセッサシステムを OS 制御、最適化コンパイラ、メニーコアプロセッサ技術、および回路技術の連携によって構築する。

3. [テーマ3] 環境発電ベースシステムの消費電力と性能のモデル

アプリケーションのサービス品質 (QoS) と実行時の消費電力を見積もる技術を開発する。また、太陽電池などの発電素子の生成電力とバッテリーやキャパシタの充放電時の電力損失をアプリケーションの動作に合わせて見積もるモデルを構築する。この技術により、重要なアプリケーションや機能を必要な時間だけ利用するエネルギーを確保しておくことを可能にする。

4. [テーマ4] OS 制御による電力管理技術

上記 3. のモデルに基づいて、エネルギー制限下で QoS を最大化する技術を開発する。太陽電池の最大電力点 (MPP)、バッテリーの充放電時の電力損失、DC-DC コンバータの電力損失、アプリケーションの消費電力を総合的に考慮し、アプリケーションの実行スケジュールやスケラブルプロセッサの構成 (動作電圧や周波数、キャッシュ容量など) およびキャパシタやバッテリーへの充放電量を最適に管理する技術を開発する。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

本研究課題の遂行において、大変に有望な成果が得られており、当該研究者代表者はこの分野の若手のホープであることは間違いなく、今後の益々の活躍が期待される。ダイナミックレンジが極めて大きな電力供給環境下に耐えるプロセッサを実現したことは大変すばらしい。本研究者はデバイスからアーキテクチャまで幅広い知識を有し、総合的デザインが本研究でなされたことは大変有意義であったと言える。

研究成果については、4つのテーマについて優れた研究成果を具体的に示しており、個々の成果はそれぞれ高いレベルであると判断される。

論文発表、国際学会における講演をはじめ、一般市民向けの社会貢献もよく行われている。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

本研究課題は、しっかりとした進捗を見せており、ほぼすべて初期の目的の達成が見込まれ、高い評価ができる。目的に対する進捗という点では、特にハードウェア、アーキテクチャの要素技術は優れた進捗を示していると思われる。また、ソフトウェア、特に OS に関しては、実証的な検証はなされていないものの、他の OS への可能性について合理的に説明がなされている。検証実験を期待したい。

ただし、一つ一つの技術は、革新的というよりは、改良技術の積み重ねであり、網羅的でシユアな印象を受ける。これは一定の評価が与えられ、合格点をつけられることではあるが、世界にライバルが多く、絶対的な優位性を明らかにするのが難しくなっているのではないか。今後の革新的な技術研究の展開に期待したい。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

開発している技術に優位性はあると思うが、競争が激しい分野だけに、他者より抜きんでて進んでいるかは不明。引き続き技術の完成度を上げるとともに、適切な企業等への技術移転など、実用化に向けた施策が必要であろう。

高速動作指向の CPU コアと低消費電力指向の CPU コアを混在させ、それらを状況に応じ排他制御するというアイデアは有効であると思うが、アイデア自身は単純であり、NVIDIA 社始め、他社が別の実現方法で、有効性を示していくのではないかと懸念される。その意味でも、他の項目で指摘したように、今からでも特許権利化できる部分は積極的に権利化していくべきである。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

省電力情報処理の方法論や、要素技術の進展に寄与する技術が含まれている。成果そのものは、世の中で役に立つものと思われるが、特許取得が無いなど、本研究に限った「見える」貢献が弱いように見受けられる。技術の問題というよりは、出口戦略の問題かもしれないが、一定の作業・努力が必要ではないか。

社会的・経済的な課題の解決への波及効果についての観点からみれば、本研究課題は、実際に工業製品に導入されるか否かが鍵となる。その意味で、半導体製造企業等

との積極的な関係構築が重要であるが、現状で若干その動きが見られるものの、この点における更なる進展を期待する。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

ポスドク雇用に関して、必ずしも予定どおりでないようであるが、その分を、学生を使用して補填するなど、概ね適切なマネジメントと助成金の執行がなされた。

ハードウェアに関連した研究開発にもかかわらず、特許出願が全く無いのは遺憾である。知的財産権への配慮が必要である。