

宇宙線による誤動作の克服に向けた次世代集積システムの信頼性評価基盤技術の開発

研究代表者	京都大学・情報学研究所・教授	
	橋本 昌宜 (はしもと まさのり)	研究者番号：80335207
研究課題情報	課題番号：24H00073	研究期間：2024年度～2028年度
	キーワード：集積システム、半導体、宇宙線、ソフトウェア、超伝導回路	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

AIや自動運転などの高度な情報技術の進化が加速している。一方で、それらのコンピューターの中では、地球に降り注ぐ宇宙からの粒子（放射線）の影響で起こる一時的な誤動作（ソフトウェア）が信頼性に影響を与えている。これまでも誤動作を理解し、減少させるため、ソフトウェアの評価や対策が研究されてきた。しかし、最近では、コンピューターを構成するトランジスタが小さくなるだけでなく、新しい3次元構造が導入され、超伝導回路の導入が検討されるなど、新たなコンピュータチップが模索されている。一方で、新たなコンピュータチップでは、思わぬ未知のエラーに遭遇する可能性がある。さらに、複雑なシステムの誤動作を分析するためには、高度なエラーの解析技術が必要である。本研究の目的は、地球に降り注ぐ宇宙からの放射線の影響を実験とシミュレーションにより調査し、次世代のコンピューターの設計に必要な信頼性評価基盤技術を確立することである(図1)。



複雑化するシステム

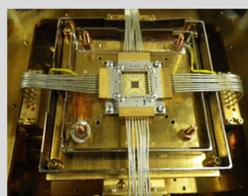
世界の人口を大きく超えるトランジスタ数

トランジスタの高密度3次元化

粒子が複数トランジスタを通過



超伝導チップ 粒子に敏感



コンピューターの誤動作は人命や財産に多大な影響

将来のコンピューティングシステムの信頼性評価基盤技術の確立

複雑なシステムでのエラー伝搬解析・対策手法
3次元トランジスタのエラーシミュレーション法
超伝導回路に粒子が与える影響を評価

予期しない信頼性低下を未然に防ぎ、高信頼情報社会に貢献

図1 研究の全体像

●研究目的

将来のコンピュータシステムの信頼性を評価するために、以下の3項目に対して基礎技術を確立することが研究目的である(図2)。
システム: 複数のプロセッサや専用処理回路から成る複雑なシステムにおいて、メモリで発生したソフトウェアがどのように伝播してシステム障害につながるかを、ハードウェアとソフトウェアの境界を越えて解析する手法を開発する。
デバイス: 微細化の極限となるトランジスタで発生するソフトウェアを、正確かつ高速にシミュレーション評価するための枠組みを確立する。
物理: 超伝導回路や量子ビットの動作を妨げる放射線を特定し、実測に基づく放射線データを使用して、放射線が与える影響を世界に先駆けて明らかにする。

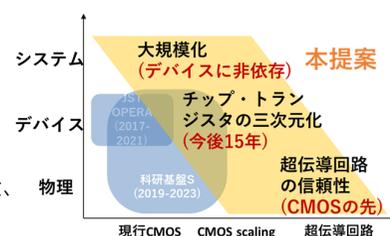


図2 研究の位置づけ

●波及効果

この研究は、将来の数世代にわたるコンピューターシステムにおける予期しない信頼性の低下を未然に防ぎ、高い信頼性が求められる情報社会の実現に貢献する。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究の進め方

将来のコンピューターシステムが直面する放射線による信頼性低下に向き合い、エラーの原因や広がり方を実験やシミュレーションで調査する。システムの信頼性を上げるために必要な評価の枠組みを作り、将来のコンピューターの信頼性向上技術に世界に広める。研究グループは、物理から、回路、システム、情報科学までのメンバーで構成されている。この研究では、分野横断研究を推進し、宇宙線が将来のコンピューターシステムに与える影響を実験とシミュレーションを組み合わせることで先駆的かつ網羅的に評価する。システム内でのエラー伝搬評価技術は、コンピューターがどのようなデバイスで構成されていても、不変の基幹技術となる。物理を正しく捉えたシミュレーション体系を構築することが、この研究の学術的な強みである。また、超伝導回路の誤動作につながる放射線のエネルギー特定は、この研究の創造的な取り組みである。

●具体的な課題

- 課題1: システムのエラー伝搬のモデル化と対策技術の開発**
(課題1-1)ではエラー伝搬モデルの開発を行う。開発したモデルを用いて、(課題1-2)ではエラー対策を実施する。それらの正しさや効果を、(課題1-3)の放射線実験で確認する。
- 課題2: 高密度3次元トランジスタ向けソフトウェア解析技術**
(課題2-1)では高密度3次元トランジスタをシミュレーションするためのモデルを構築する。そのモデルを用いて、(課題2-2)ではエラー反転モデルを開発する。(課題2-3)では超低温特性の測定も実施する。これらを用いて、(課題2-4)で先端トランジスタの信頼性予測を行う(図3)。
- 課題3: 超伝導回路への放射線効果の評価**
(課題3-1)では地上環境の放射線を実測する。(課題3-2)では超伝導素子に対する放射線の影響をシミュレーションする技術を開発する。(課題3-3)では超伝導回路に対する放射線の照射実験を実施し(図4)、(課題3-4)で超伝導集積回路の信頼性予測を行う。

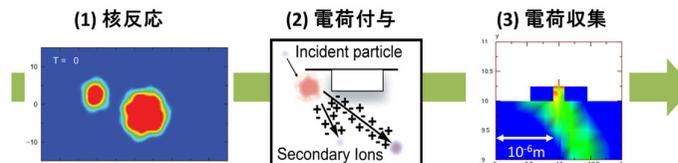


図3 ソフトエラーシミュレーションの過程



図4 実験のイメージ写真