

平成 2 7 年度実施方針

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 件 名：プロジェクト名 ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発

2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 1 号ニ

3. 背景及び目的・目標

スマートグリッドやクラウドコンピューティングといった流れの中、今後コンピュータが社会のあらゆる局面で活用されることが予測されるが、その実現のためには、メンテナンスの観点・低炭素化の観点から更なる機器・システムの低消費電力化が求められる。しかしながら、半導体の微細化を中心とした従来技術では機器・システムの高集積化と低消費電力化の両立が困難になってきており、新たな技術的アプローチが求められる。電源を切っても情報を保持できる次世代不揮発性素子は、この点で大きな可能性を秘めている。

そこで、本プロジェクトは、我が国が優位性を持つ不揮発性素子に関わるハードウェア技術の更なる高度化と併せて、不揮発性素子を用いる機器等のアーキテクチャ、ソフトウェア及びシステム化の要素技術を世界に先駆けて確立することにより、同素子の特性を活かした新市場を創出し、併せて超低消費電力機器の普及により、温室効果ガスの削減に寄与することを目的とする。

本プロジェクトでは以下の研究開発を行う。

[共同研究事業（NEDO負担率：1/2 以下）]

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

フラッシュメモリを除く次世代不揮発性素子の性能を最大限活かすための消費電力を抑える動作技術を志向する新しいメモリアーキテクチャ、基本ソフトウェア、アルゴリズム等を開発する。また、必要に応じて、デバイスそのものの技術開発により、上記の消費電力を抑える動作技術に求められる次世代不揮発性素子の性能（レーテンシ、スループット、耐久性などを含む）を実現する。

最終目標（平成 27 年度）

事業終了時に予測される次世代不揮発性素子の性能を満たすことを前提に、次世代センサーネットワーク、モバイル情報機器、サーバー等から研究開発実施者が想定するアプリケーションにおいて、劇的な低消費電力化を志向する新しいメモリアーキテクチャ、基本ソフトウェア、アルゴリズムのデザインを提示するとともに、必要に応じて間歇動作等に求められる次世代不揮発性素子の性能を提示し、システムとしての電力消費性能（電力あたり性能）が 10 倍となることを実証する。

中間目標（平成 25 年度）

事業終了時に予測される次世代不揮発性素子の性能を満たすことを前提に、次世代センサーネットワーク、モバイル情報機器、サーバー等から研究開発実施者が想定するアプリケーションにおいて、劇的な低消費電力化を志向する新しいメモリアーキテクチャ、基本ソフトウェア、アルゴリズムのデザインを提示するとともに、

必要に応じて間歇動作等に求められる次世代不揮発性素子の性能を提示し、システムとしての電力消費性能を本事業期間中に 10 倍としうる見込みを、実験・シミュレーションにより示す。

上記研究開発として具体的に以下の開発を行う。

- ①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
- ①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
- ①-3：インテリジェントビルを指向するセンサーネットワーク低電力化技術
(※本実施項目①-3は平成23年度で終了。)
- ①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

次世代不揮発性素子ならではの機能を活かした画期的なコンピューティング技術の開発を行う。他方、新たなコンピューティング技術を広く展開するためには、その優位性が適切に評価されることが必要である。このため、本事業全体を通して利用可能な、デモシステムの電力消費性能を評価する基盤・プラットフォームを開発する。

最終目標（平成27年度）

新規コンピューティング技術について、中間目標時に提案した目標を達成するほか、実用化までの更なる技術的課題を明示する。

また併せて、デモシステムの電力消費性能を評価するための基盤となる評価技術・プラットフォームを確立する。

中間目標（平成25年度）

新しい応用領域への情報通信技術の適用に向けてあるべきコンピューティング技術を提案し、その実現に向けた課題及びその課題を克服するための目標と当該目標を達成するための検討方針を明示する。

また併せて、デモシステムの電力消費性能を評価するための基盤となる評価技術・プラットフォームを明確化する。

上記研究開発として具体的に以下の開発を行う。

- ②-1：ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発
- ②-2：超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発
- ②-3：ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発

平成26年度以降は②-3に②-1、②-2を包含し実施する。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

以下の研究開発を実施した。

4. 1 平成23年度（共同研究）事業内容

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

- ・①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
MTJを用いた不揮発RAM回路の中からキャッシュメモリとしての候補を絞り込み、

RAM回路として設計した。合わせてメモリアレイ周辺回路の開発を実施した。

(実施体制：(株) 東芝)

- ・①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
ノーマリーオフ制御の評価を行うための各種評価ボードの仕様を策定した。また、センサーネットワーク用デモ・システム構築のための技術調査を実施し、課題抽出を行った。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス (株))
- ・①-3：インテリジェントビルを指向するセンサーネットワーク低電力化技術
インテリジェント指向センサーネットワークのシステム・アーキテクチャとして端末へのオフローダ導入を想定して、システム構成、通信プロトコル、電源制御アルゴリズムの検討を開始した。
(実施体制：NEC (株)、NECシステムテクノロジー (株))
- ・①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術
生体情報処理に向けて間歇動作指向のアルゴリズム及び全体アーキテクチャの検討を行い、回路要素技術の研究開発を開始した。
(実施体制：ローム (株))

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

- ・②-1：ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発
実機評価環境として評価ボード・拡張ボード及び通信の仕様を策定し、シミュレーション評価環境の構築手法を策定した。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス (株))
- ・②-2：超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発
階層メモリ構造の評価用シミュレータとベンチマークのための環境を整備した。
(実施体制：(株) 東芝)
- ・②-3：ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発
小規模なベンチマークを用いて、動作アクティビティ最適化方式と不揮発性メモリを採用するメモリシステム、不揮発性メモリのモデリングについて初期検討を行った。
(実施体制：(株) 東芝、ルネサスエレクトロニクス (株)、ローム (株)、共同実施先：東京大学)

4. 2 平成 24 年度 (共同研究) 事業内容

平成 24 年度 5 月 15 日からは、東京大学大学院情報理工学系研究科 中村宏 教授をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

- ・①-1: 高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
高速で低消費電力で書き込み動作可能な MTJ 素子を開発し、それを用いた高速動作可能なノーマリーオフ型 STT-MRAM 回路を不揮発キャッシュメモリ向けに設計した。これを 300mm シリコンウェファで試作し、キャッシュメモリとして使うメモリ読み出しと書き込みの高速動作を確認し、各回路を比較した。
(実施体制：(株) 東芝)

- ・①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
 センサーネットワークシステムにおける評価ボード・拡張ボード及び制御チップ（FPGA を使用）の設計/試作を行った。また、ノーマリーオフセンサーネットワーク・デモシステムとして、デマンド交通システムの仕様を策定した。
 （実施体制：ルネサスエレクトロニクス（株））
- ・①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術
 FeRAM を混載した生体センサーLSI を試作し、システムモジュールとして生体センサーシステム動作中に FeRAM 部を間歇動作させることにより、FeRAM 部の待機時消費電力を 10 分の 1 に削減した。また、CPU を搭載した次世代生体センサーLSI の設計と試作を開始した。
 （実施体制：ローム（株））

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

- ・②-1：ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発
 評価ボードの一次試作を行い、実機でのノーマリーオフ技術の有効性を検討できる評価基盤を実現した。また、電力評価エミュレーションを行う環境仕様策定を実施した。
 （実施体制：ルネサスエレクトロニクス（株））
- ・②-2：超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発
 平成 23 年度に整備したシミュレータの精度を向上させ、高速不揮発メモリの特性が性能に与える影響を定量的に評価できる環境を整備した。
 （実施体制：（株）東芝）
- ・②-3：ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発
 ②-1 で実施した評価基盤を用いて、ノーマリーオフ技術を有効に活用できる新規アーキテクチャの提案、電力を最適化するソフトウェア技術の検討を行った。
 また、②-2 で実施したシミュレーション環境を用いて、研究開発項目①で開発した高速低消費電力 STT-MRAM 回路を適用するソフトウェア技術の検討を行った。
 さらに、低消費電力化効率の高い不揮発性フリップフロップの構成にて回路シミュレーションを実施し、電力低減を確認した。また当該不揮発性フリップフロップと不揮発性メモリを適用した場合の性能比較、およびベンチマークとすべきアプリケーションの選定を開始した。
 （実施体制：（株）東芝、ルネサスエレクトロニクス（株）、ローム（株）、共同実施先：東京大学）

4. 3 平成 25 年度（共同研究）事業内容

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

- ・①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
 試作した MTJ で、高速・低消費電力 (2ns, 50uA) で書き込み動作を実現。この MTJ を用いて設計した、SRAM よりも小型となる DRAM/MRAM ハイブリッド回路にて、動作時の L2 キャッシュメモリ消費電力として従来の約 1/3 を実現。これらを元に実用上の動作時間/待機時間の分析により、不揮発キャッシュメモリの平均消費電力は、従

来の 10 分の 1 以下を得た。

(実施体制：(株) 東芝)

- ・①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
センサーノードシステムのノーマリーオフ適用に向けて、温度・湿度センサーの制御ドライバ(ソフトウェア)の仕様策定を行った。また、電力プロファイル評価環境上への自律適応型電源制御機構を適用した電源制御技術と評価プログラムを組み合わせて、センサーノード(通信除く)の 10 倍の低電力化性能達成可能性評価し、技術課題の明確化・対策検討を実施。監視計センサーネットワーク実証デモシステム評価に向けて、システム挙動分析を主眼とした知的バス停試作機的设计完了。また、クロック生成回路の低電力化について、低電力化の目標(約 0.5uW)を達成した。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス(株))
- ・①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術
FeRAM 混載の生体センサーLSI を用いたシステムに生体信号処理アルゴリズムを実装した場合の消費電流約 40uA(電力消費性能従来比 5 倍相当)を達成。開発した心拍抽出アルゴリズム、専用ハードウェア化によりアナログフロントエンドの消費電力を 20 分の 1 以下に削減。また、メモリ部は、低電圧化と FeRAM 部を間歇動作させることにより、平均消費電力を 10 分の 1 以下に削減。
(実施体制：ローム(株))

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

- ・②-1：ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発
平成 24 年度に試作した集中研評価ボードの評価結果をフィードバックすることにより、集中研評価ボードの改良設計を実施。具体的には、②-3 の Task スケジューリング技術の評価が可能な集中研評価ボードの仕様設計を完了。更に、電力性能評価のための情報を取得可能なエミュレーション機能を試作し、その機能をノーマリーオフ実機評価環境に実装した。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス(株))
- ・②-2：超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発
実際の使用環境に近い状態で、プロセッサ電力・性能を評価することが可能なシミュレーション環境を構築。これにより電力評価を行い、電力効率が 10 倍以上となるプロセッサの動作条件(動作時間/待機時間比率など)を求めることが可能になった。
(実施体制：(株) 東芝)
- ・②-3：ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発
フリップフロップ、キャッシュメモリ、メインメモリに不揮発メモリを用い、パワーゲーティング手法を用いた場合の消費電力のモデル・定式化を行い、今後どのような不揮発性メモリを開発すべきか、またそのような不揮発性メモリが実現した場合のノーマリーオフ最適化技術の評価を可能にした。その中で、センサーネットワーク・マイコンシステムでタスクスケジューリング技術によるアクティビティ局所化手法の提案を行い、ソフトウェア視点でのノーマリーオフ電力最適化技術の適用により従来比 8 割減の低電力化を達成。また、携帯情報端末を対象に、ハイブリッドキャッシュメモリのアーキテクチャ手法を開発し、約 7 割の低電力化を示した。

(実施体制：(株) 東芝、ルネサスエレクトロニクス (株)、ローム (株)、共同実施先：東京大学)

4. 4 平成 26 年度 (共同研究) 事業内容

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

- ・①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
STT-MRAM 用 MTJ の電力効率向上と信頼性確保に向けて改良を継続した。更にこれを集積化した不揮発キャッシュメモリアレイ回路の試作、及び周辺回路・インターフェース回路の詳細設計を行った。また、このメモリシステムをプロセッサに適用した時の性能評価システムを開発し、メモリシステムの消費電力を従来の 2 割まで削減できることを明らかにした。
(実施体制：(株) 東芝)
- ・①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
更なる電力削減のために、ハードウェアとソフトウェア (Noff (Noff ; ノーマリーオフ) モニタ、Noff センサードライバを含む) の改良設計/試作/評価を実施した。種々のセンサー応用を想定し、不揮発 RAM 拡張ボードとセンサー拡張ボードの種類を増やし、センサーネットワーク対応 Noff 制御技術の汎用化を目指した技術課題の明確化と技術検討も実施した。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス (株))
- ・①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術
電源遮断・復帰を高速化するメモリアーキテクチャの開発、周辺回路の設計・評価を行い、高信頼心拍抽出アルゴリズムを用いるノーマリーオフ心電計測フロントエンドの設計・評価を行った。また、フィールドテストによりその結果を反映して間歇動作を指向するシステムモジュール全体の仕様決めを行った。
(実施体制：ローム (株))

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

平成 26 年度からは以下の②を上位目標にし、②-1、②-2 を細目と位置付け、研究開発を実施した。

② ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発

②-1 ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発

②-2 超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発

・②：ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発

研究開発項目①の各テーマにおいて開発される技術が低消費電力性能 (消費電力当たりの性能) 10 倍を実現する定量的な根拠とその技術の共有と一般化を通して、設計方法論の確立を推進した。まず、省電力タスクスケジューリングと電力管理手法を提案し、その効果を研究細目②-1 および②-2 で開発したプラットフォームを利用して検証するとともに、提案手法を各応用分野のアプリケーションに適用した場合の効果を推定した。

また、その推定結果を集中研全体で共有するとともに、研究開発項目①で開発される技術へのフィードバックも行った。

(実施体制：(株) 東芝、ルネサスエレクトロニクス (株)、ローム (株)、共同実

施先：東京大学)

- ・②-1：ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発
平成 25 年度に開発したノーマリーオフ実機評価環境を用いて分散研で実施したノーマリーオフ電力最適化技術の効果や問題点を、分散研評価結果から抽出・フィードバックすることで、集中研上位目標②と連携して、更なる低電力化のためのノーマリーオフ・ソフトウェア技術の提案を行った。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス (株))
- ・②-2：超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発
集中研②で得られた設計と評価基盤を利用して、①-1 で得られた STT-MRAM 技術のデータをもとに、最も低い消費電力かつ最も小さい遅延となる電源遮断のタイミングと遮断手順を明らかにした。これにより前年度のレベルに比して、プロセッサの消費電力をさらに 10~20%削減することが可能となった。
(実施体制：(株) 東芝)

4. 4 実績推移

	平成 2 3 年度	平成 2 4 年度	平成 2 5 年度	平成 2 6 年度 (予定含む)
需給勘定 (百万円)	4 2 6	6 6 1	6 0 1	6 1 9
特許出願件数 (件)	1 2	3 9	1 6	1 3
論文(査読付き)発表件数 (件)	7	2 7	1 2	1 9
研究発表・講演件数 (件)	2 7	2 9	7 8	3 5
外部発表(新聞・雑誌) (件)	2	5	3	1 5

5. 事業内容

平成 27 年度は、最終年度として以下の研究開発を行う。また、本事業の運営等に活用するため必要に応じて調査等を行う。

5. 1 平成 27 年度 (共同研究) 事業内容

研究開発項目①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

- ・①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術
MTJ記憶素子を搭載した不揮発キャッシュメモリを搭載したプロセッサの評価システムで測定した結果から電力効率の評価を行い、従来のキャッシュメモリと比較して10倍以上の電力消費性能を示す。
(実施体制：(株) 東芝)
- ・①-2：スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術
センサーノードについて従来のマイコンを用いたセンサーノードと比較し10倍のノーマリーオフ電力消費性能を実証する。具体例として、デマンド交通システムにおいてセンサーノードとなる知的バス停の構成機能(通信を除く)等について、開発する技術を適用し、電力消費性能を確認する。
(実施体制：ルネサスエレクトロニクス (株))
- ・①-4：ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術

最終目標として、心拍、3 軸加速度、解析機能を有するウェアラブル生体モニタリングシステムを完成させる。アルゴリズム階層及びアーキテクチャ階層とハードウェア階層との協調設計によってノーマリーオフ・インスタントオンを実現し、システム全体の動作時間の最適化を図る。これによって貼り付け部システムの平均消費電流を 20 μ A 以下とし、システムとしての電力消費性能を、およそ 10 倍とする。
(実施体制：ローム (株))

研究開発項目②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」

平成 26 年度に引き続き、最終目標に向けて、共同研究先企業と共同実施先の東京大学が協力・連携し、汎用的な設計方法論の開発、および研究開発項目①との連携を通して事業化へ向けたフィードバックを推進する。

・② ノーマリーオフコンピューティングシステム設計方法論の研究開発

中間目標時点での課題を克服するとともに、②-1 において確立したノーマリーオフ・システムの電力消費性能を評価するための基盤となる評価技術・プラットフォームおよび②-2 において確立したノーマリーオフメモリシステムシミュレータを統合・拡張し、メモリ階層全体を最適化したノーマリーオフコンピューティングシステムの評価環境を構築し、新しい応用領域にも適用可能で画期的な低消費電力性能を実現できる新しいノーマリーオフコンピューティングシステムの設計方法論の提示と、実用化までの技術課題を明示する。

・②-1 ノーマリーオフ評価基盤・プラットフォームの研究開発

ノーマリーオフ実機評価環境を用いて分散研で実施したノーマリーオフ電力最適化技術の効果や問題点を、分散研評価結果から抽出・フィードバックした上で、集中研上位目標②と連携して分散研の更なる低電力化のためのノーマリーオフ・ソフトウェア技術の提案及び、分散研への組み込みと従来比 10 倍の低電力化性能実証のサポートを実行することにより、ノーマリーオフ・システムの電力消費性能を評価するための基盤となる評価技術・プラットフォームを確立する。

・②-2 超高速不揮発メモリを活用するノーマリーオフメモリシステムプラットフォームの研究開発

①-1 の高速・不揮発 RAM の実験結果を元に、集中研上位目標②と連携して再度改良設計されたノーマリーオフメモリシステムを搭載したプロセッサをベースとしたシミュレータにて、携帯情報端末用プロセッサの性能／消費電力が従来に比べて 10 倍以上となることを理論的に実証する。

(実施体制：(株) 東芝、ルネサスエレクトロニクス (株)、ローム (株)、共同実施先：東京大学)

5. 2 実施体制

別紙を参照のこと。

5. 3 平成 27 年度事業規模

需給勘定 500 百万円 (継続)

事業規模については変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 25 年度、事後評価を平成 28 年度に実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダーとともにプロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

(3) 複数年度契約の実施

平成 23～27 年度の複数年度契約を行う。

7. 実施方針の改定履歴

平成 27 年 2 月 制定

