

「ノーマリーオブコンピューティング基盤技術開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	8

はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき研究評価委員会において設置された「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（平成28年7月20日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第49回研究評価委員会（平成28年12月5日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成28年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」分科会
（事後評価）

分科会長 松山 公秀

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成28年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	まつやま きみひで 松山 公秀	九州大学 大学院 システム情報科学研究所 情報エレクトロニクス部門教授
分科 会長 代理	かわはら たかゆき 河原 尊之	東京理科大学 工学部 電気工学科 教授
委員	いのうえ こうじ 井上 弘士	九州大学 大学院 システム情報科学研究所 I & E ビジヨナリー特別部門 教授
	つだ けんじ 津田 建二	国際技術ジャーナリスト NEWS & CHIPS 編集長
	なかじま やすひこ 中島 康彦	奈良先端科学技術大学院大学 学長補佐 情報科学研究科 教授
	みき としお 三木 俊雄	ドコモ・テクノロジー株式会社 取締役 経営企画部長

敬称略、五十音順

「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総合評価

情報爆発時代を迎え、IT 機器の低消費電力化は喫緊の課題であり、本プロジェクトで世界に先駆けて情報機器及びその応用システムにおける動作消費電力を大幅に低減する革新的な技術開発に取り組んだ点は高く評価できる。ハードウェアからソフトウェアに至る多様な技術階層の開発を産学官の連携のもと総合的に推進するなかで、NEDO、集中研、分散研の役割分担は明確で、協力関係が非常にうまく機能し、国のプロジェクトの一つの理想形が実現されたといえる。研究開発分野についても、主要デバイスであるメモリ、IoT 時代の先駆的位置づけのセンサーネットワーク、高齢化社会を支えるヘルスケアなど日本が競争優位に立つべき分野が適切に選定された。各応用システムにおいて、プロジェクトの目標である「10 倍の電力効率向上」が実証され、世界最高水準の低消費電力性能を達成したといえる。

一方、コスト低減に向けた検討は不十分であった。

今後、日本が有する材料、デバイス分野の卓越した技術力を基盤とし、アーキテクチャやソフトウェア分野の強化を図り、企業間及び産学官の連携によりノーマリーオフコンピューティング技術を様々なアプリケーションに向けて高度化し普及に努めることが期待される。日本メーカーの国際競争力を維持向上しつつ海外の大手ベンダと国際協力する方法についても検討してほしい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

モバイル情報機器やセンサーネットワークの利活用は今後も急速に進むことが必至であり、消費電力の急増を回避しつつ低炭素社会を実現していくためには、革新的な技術開発が必要である。ハードウェアからソフトウェアに至るコンピューティング技術全体の省エネルギー化には産学官が連携して取り組む必要があり、NEDO が国のプロジェクトとして支援するにふさわしい事業であった。また、我が国の国際競争力をさらに向上させるためにも本プロジェクトの意義は大きい。本プロジェクトで開発された、不揮発性素子の活用による高度の電源制御技術、低電力化回路技術、センサー動作のタスクスケジューリング等は汎用性の高い技術であり、様々な情報機器やセンサーノードにおいて高い省電力効果が期待できる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標と成果の水準は第 4 期科学技術基本計画とも整合しており、IT 機器・応用システムの普及拡大に伴う消費電力の急増を回避しうる基盤技術として、高い実用価値と公益性を有している。研究開発分野についても、主要デバイスであるメモリ、IoT 時代の先駆的位置づけのセンサーネットワーク、高齢化社会を支えるヘルスケアなど日本が競争優位に

立つべき分野が適切に選定された。多様なノーマリーオフコンピューティング技術に共通する設計理念や評価基盤の構築をプロジェクトリーダー(PL)が主導する集中研で実施し、実用化に向けた各アプリケーションの開発を各参加企業がユニットとなる分散研で実施した役割分担は適切であった。分散研の責任者が集中研の責任者を兼ねることにより、ヒューマンネットワークが強固になり、良好なコミュニケーションが図られたこともプロジェクト成功の重要な鍵となったと考えられる。中間評価のコメントも適切に反映され、情勢変化への対応も具体的になされている。NEDOによる実用化・事業化に関するヒアリングの実施もよい取り組みであった。

一方、国家プロジェクトの目的に鑑み、分散研各社の取り組みの中に共通部分や相互利用可能部分が含まれているので、集中研を軸とした企業間連携(分散研間の連携)までを検討してほしかった。

集中研と分散研の責任者の共通化という開発体制は、他のプロジェクトにおいても積極的な導入を検討してほしい。また、必要に応じて戦略的な標準化活動を進めてほしい。

2. 3 研究開発成果について

世界最高水準の高速動作性能や、低電圧動作性能を有する新型不揮発メモリ(STT-MRAM、FeRAM)の開発及びその効果的活用のためのメモリ階層の最適設計、各種センサーシステムを低電力化するための自立適応型電源制御技術、低電力化回路技術、センシングアルゴリズムの開発など、様々なハードウェア技術及びソフトウェア技術を包括した優れた技術基盤が確立され、そのいずれもが最終目標値に到達している。集中研においては、ノーマリーオフの概念の明確化、共通技術の設計指針、評価技術の確立など、産業界全般で活用できる成果の取りまとめが行われ、分散研の開発成果に有機的結合を与えることに成功している。

本プロジェクトの成果は、ノーマリーオフという概念の適用領域がより広範囲に及ぶ可能性を示している。センサーやアクチュエータ等のアナログデバイス、CPU系、通信モジュール系、ソフトウェア系などに対しても概念の拡張を図り、日本のリーダーシップを発揮してほしい。分散研各社での成果については、国のプロジェクトであるため、もう少し広く開示できる工夫をしてほしい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

高速低消費不揮発メモリシステムについては、STT-MRAM用MTJメモリ素子・メモリシステム構成技術とも完成レベルに到達しており、量産化技術やコスト・価格の検討が完了次第、市場投入できるものと考えられる。ただし、実用化・事業化に関してどこまで実効性があるのか明確ではなかった。

センサーネットワーク低消費電力化技術については、根幹をなすノーマリーオフ・マイコン自体は汎用性が高く、周辺機器やセンサー類に対する要求条件や設計指針を整備することにより、早期の実用化が期待できる。ただし、実証システムがデモを目的に作られているため、直ちに応用製品が実用化できるとは考えにくく、狭い適用領域に特化した取り組みが多いので、広範な商品群が生まれてくる素地が整っているとは言い難い。

生体情報計測センサーネットワーク低消費電力化技術については、処理アルゴリズム・FeRAM・不揮発ロジックなど、いずれも完成度が高く、比較的早期の実用化が予想できる。心拍記録以外の生体情報センシングについても需要が見込めることから、更なる低消費電力化技術を開発することにより、市場拡大の可能性は大きいと期待できる。

本プロジェクトの成果が定常的な事業収益につながるためには、省エネルギー化による経済的メリットが、開発コスト・製造コスト分を上回ることが必要であり、それを念頭に置いた戦略的な事業化計画が必要である。また、OS 等のソフトウェアや適用対象となる CPU 等を含めた消費電力最適化の検討が弱いことから、今後はキープレイヤーとの共同開発などを進め市場形成してほしい。

3. 個別テーマに関する評価

3. 1 研究開発項目①-1「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」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

3. 1. 1 研究開発成果について

高速かつ低消費電力での書き込みが可能な新規材料系探索をはじめ、リーク電流パスの無いメモリセル回路、高速読み出しが可能な電圧読み出し方式の開発等、不揮発メモリのエネルギー利用効率向上に向けた総合的な技術開発が再委託先を含む産学官の連携により推進された。これにより、世界最高レベルの高速動作性能と低消費電力性能を兼備した新型不揮発メモリ(STT-MRAM)が開発され、最終目標として設定された「10倍の電力効率向上」を大幅に上回る実用性の高い成果が得られた。メモリセル回路の低消費電力化についても、課題を細かくブレークダウンした上で、各課題に対してキメ細かな創意工夫を施し、結果として最終の研究開発目標を大きく上回る成果が得られたことは高く評価できる。4Mb-RAMを試作・性能実証し、ISSCC等の最も権威ある国際会議においてタイムリーに外部発表することにより、先導性・優位性を十分訴求できている。5年間のプロジェクト期間を通じて年間平均20件程度の特許出願がなされており、知財獲得も積極的に行われている。競争力の根源はSTT-MRAM用MTJメモリ素子の微細化技術にあると考えられる。更なる微細化に向けて、継続的に磁性材料の探求と微細化加工技術の開発に努めてほしい。また、3次元集積化等、材料メリットを活かした次々世代技術への展開についても検討を進めてほしい。デバイスは広く応用を目指すべきであり、中でもMRAMとのインタフェースの標準化を視野に入れることができれば非常に大きなインパクトをもたらすと期待できる。

3. 1. 2 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

本プロジェクトにより開発されたSTT-MRAMは、高速動作性が既存の半導体メモリ(SRAM)を代替可能なレベルに到達しており、併せて不揮発性を有することから計算機システムの大幅な動作電力低減にも資する有用な成果である。開発したSTT-MRAMをCMOS上に集積し、ARMプロセッサと連動させて基本動作のデモンストレーションを行うなど、実用化を念頭に置いた性能実証も行われている。携帯型端末機器のみならず、様々な応用分野をターゲットとすることができ、現在のプロセス技術とも馴染が良く、外付け型のL2キャッシュメモリとしての実用化に向けた障壁は低いと考えられる。

一方、本成果がどこまでコンピュータ・システムに浸透するのかは、まだ明確でない。システム全体の動向と特性を踏まえたうえで、本成果をどのように活用しアドバンテージを生み出すかを明確にする必要がある。プロセッサオンチップ向けキャッシュとして開発する場合には、加工プロセスの違いが課題になる可能性があり、早期に混載加工技術を検討する必要がある。

将来の市場拡大に向けては、さらに大規模なメモリシステムの開発が求められる。また、スマートフォンやタブレット、PCへの応用では、主要プロセッサベンダーのリファレンスモデルへの参入を是非とも果たしてほしい。

3. 2 研究開発項目①-2「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」スマート シティー・センサーネットワーク低電力化技術

3. 2. 1 研究開発成果について

IoT時代を支えるマイコン制御によるマルチセンサーシステムの低電力化に向けて、損益分岐時間を始めとする各センサーの特性に応じたセンサー動作のタイムスケジューリングや、自立適応型の電源制御技術、低電力発振回路技術等の高度の要素技術が開発された。その実用化モデルとしてオンデマンド型バス運行システムにおいて高い省電力性能が実証され、さまざまなフィールドで稼働する多様なセンサーを大量に使用したシステムの出現に対し活用できる技術であると評価できる。

ただし、本成果はまだ限定されたアプリケーション評価の域を出ず、本プロジェクト内で開発された高速低消費不揮発メモリのプロセッサ系への適用検討もしてほしかった。また、本成果の世界における優位性を明確にすべきである。

センサーは日本の得意とする分野なので、不揮発性記憶素子の活用やAI技術の適用により、自立適応性の高い電力制御が可能な高度化センサー群なども開発し、新たな成長の礎となることを期待したい。

3. 2. 2 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

本研究開発項目の成果として得られた、電源部分を含むセンサーシステム全体の省電力化技術は、機能動作が間欠的となる様々なセンサーノードに対して有効であり、今後ますます需要の増すセキュリティシステムや環境モニタリング分野等への適用が期待される。低消費電力型センサーネットワークはIoTに不可欠な構成要素であることから、本成果の市場ニーズは高いと考えられる。高機能IoT、および、将来的に小型化・低価格化まで見据えている点は評価できる。

一方、本研究での実証システムは、事例の一つに過ぎず、実用化に向けて用途毎にカテゴリ化された製品ラインナップの充実が求められる。インプリメンテーションノートのような事例集を作成し、ユーザーが容易に導入できるような環境作りも必要である。

多様な環境情報を抽出する大規模なセンサーネットワークシステムにおいては、その多くは通信ネットワークを介してサーバ群に繋がる形で使用され、最適化すべきパラメータ数が膨大になることから、汎用性の高い電力効率向上技術の開発や標準化を進めてほしい。実システムでは、センサーだけではなくアクチュエータも実装されることが多いので、アクチュエータ群の低消費電力化の検討も必要となってくる可能性が高い。

3. 3 研究開発項目①-3「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」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

3. 3. 1 研究開発成果について

低電力性能に優れたFeRAMを活用し、生体センシング情報の記憶部やロジック部の機能をノーマリーオフ化すると共に、生体信号の特長を考慮した高度な信号処理アルゴリズムを開

発することにより、小型バッテリーで2週間程度の動作が可能な実用性の高いウェアラブルヘルスケアセンサーシステムが開発された。スマートフォンが広く普及している現状を考えると、ウェアラブルデバイスにパッシブ通信モードのNFC(Near Field Communication)を適用するという選択は秀逸であり、これからの主流になると思われる。また、生体情報は高い秘匿性が要求される個人情報でもあることから、デバイス外部との通信のセキュリティに配慮することが求められるが、この点でもNFCは至近距離のみで通信が可能であるため秘匿性を確保でき、生体向けセンサデバイスに適している。

本研究における心電データの自己相関を利用した心拍計測の高精度化に示されるように、生体信号からの有意情報の抽出技術は処理情報量の削減に有効であり、高度の信号処理アルゴリズム開発とそのハードウェア化による一層の電力性能向上が期待される。

3. 3. 2 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

医療機器メーカーを再委託先とする共同研究の実施や、医療専門家に対するヒアリング等により、臨床現場で実際に使用する際の技術課題が明確化され、実用性の高いウェアラブルヘルスケアシステムが開発された。製品イメージが明確で、プロジェクト開始時からユーザーと共同で進めており、迅速な商品化により市場を確保できると期待される。

世界的にも高齢化が急速に進みつつあることから、生体情報センシングは医工連携産業としての大きな発展が見込まれる。ウェアラブルヘルスセンサーとしての普及を図るためには人体に対する装着負荷やランニングコストの低減が重要であり、モジュールの小型軽量化や加速度センサーの低消費電力化等による製品価値のレベルアップを進めてほしい。改めて競合他社製品との性能・価格等の比較を行い、早期に市場投入すべきである。

3. 4 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」

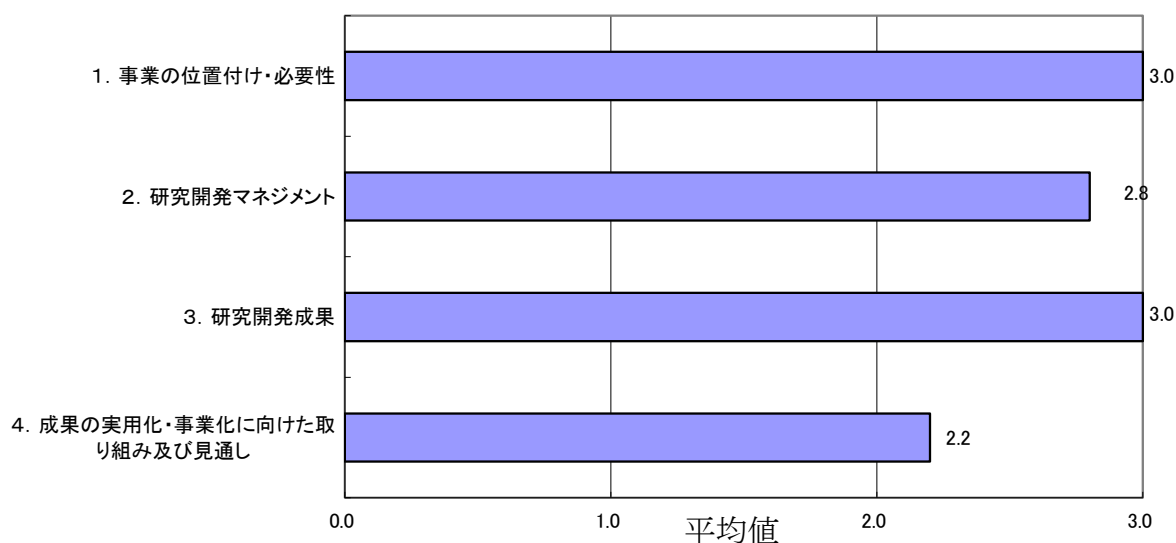
3. 4. 1 研究開発成果について

ノーマリーオフコンピューティングの実現に必要な不揮発メモリ素子・キャッシュメモリ構成・周辺回路技術等の個別技術とシステムプラットフォーム構築技術の研究開発を同時並行で進め、当初の目標を達成した功績は高く評価できる。本研究を通じ、ハードウェアやスケジューリングに対するノーマリーオフのコンセプトや設計方法論が非常に明確になり、PCやセンサーネットワーク以外の領域にノーマリーオフの考え方を展開する際にも大いに役立つと考えられる。

一方、ハードウェア面の充実に対し、ソフトウェア面やアプリ面の深堀が弱く、ノーマリーオフ評価基盤のプラットフォームとして、どこまで一般性があるか判断しにくい面もある。

集中研の代表的成果である電力性能の評価環境構築や、設計方法論に係わる知見は、様々なアプリケーションで利用可能であり、本プロジェクトの知的資産として広く公開を図り有効活用されることを望みたい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.8	B	A	A	A	A	A	A	A
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	2.2	A	B	B	B	B	B	B	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

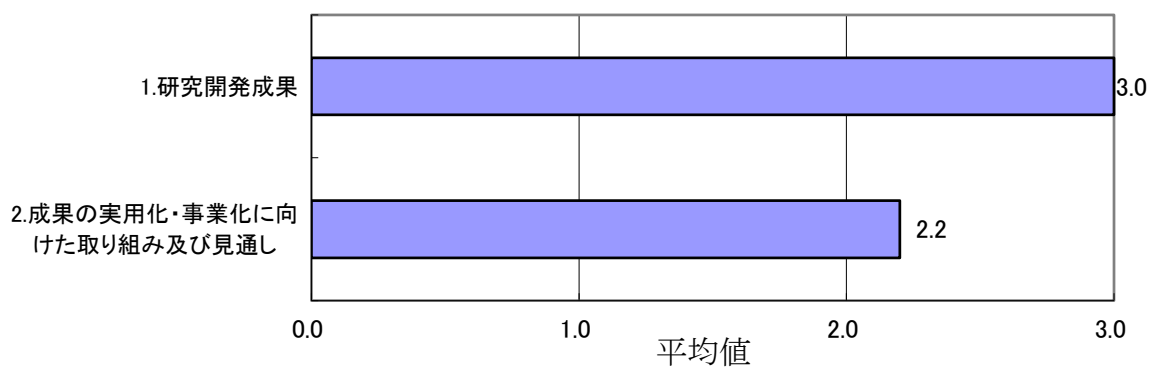
〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

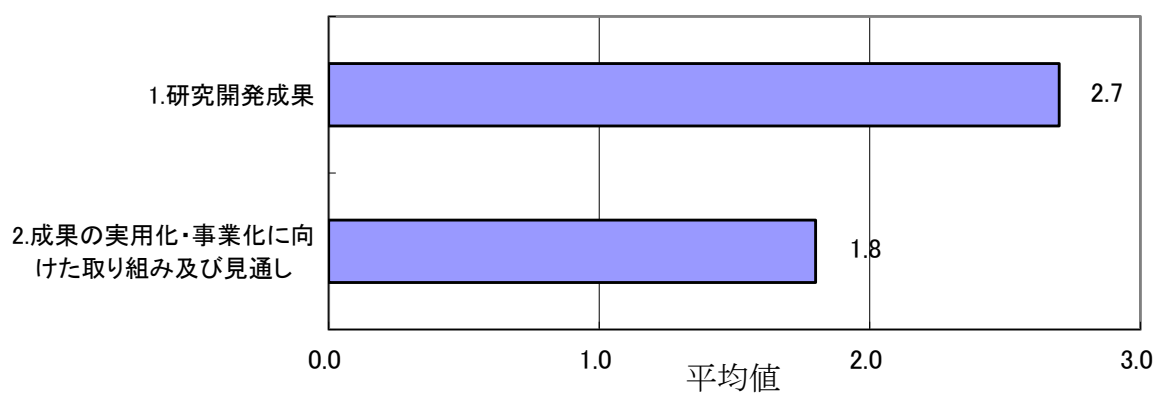
評点結果〔個別テーマ〕

①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」

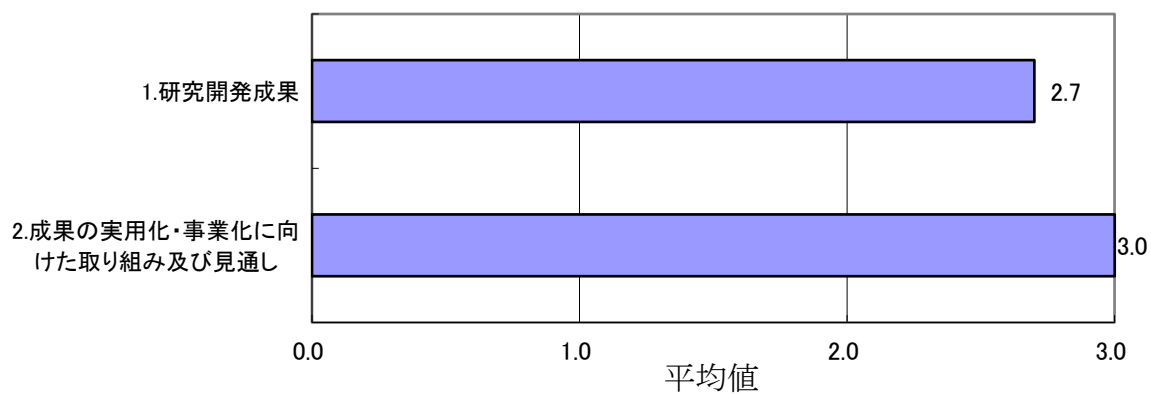
①-1：高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術



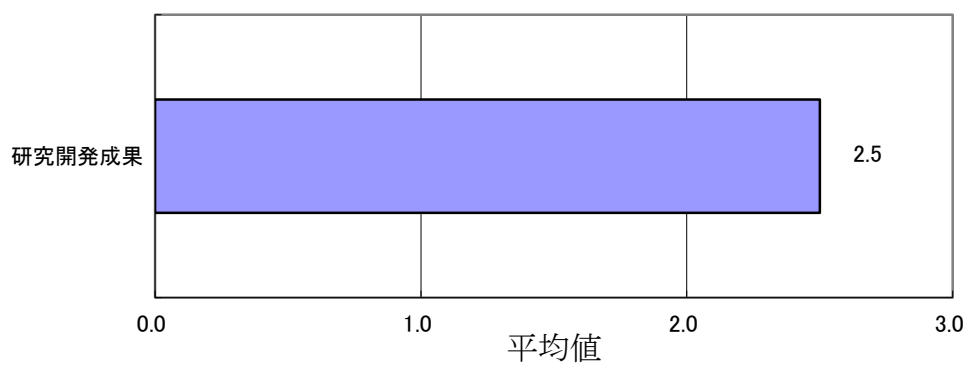
① -2：スマートシティー・センサーネットワーク低電力化技術



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



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」



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）					
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							
1. 研究開発成果	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 成果の実用化・事業化に向けた 取り組み及び見通し	2.2	A	C	B	C	A	A
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. 研究開発成果について	2.7	A	A	B	A	B	A
2. 成果の実用化・事業化に向けた 取り組み及び見通し	1.8	B	B	C	B	B	B
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							
1. 研究開発成果	2.7	A	B	A	A	A	B
2. 成果の実用化・事業化に向けた 取り組み及び見通し	3.0	A	A	A	A	A	A
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」							
研究開発成果	2.5	A	B	B	A	B	A

（注）素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が
数値に換算し算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・ 非常によい →A
- ・ よい →B
- ・ 概ね適切 →C
- ・ 適切とはいえない →D

2. 成果の実用化・事業化に向けた
取り組み及び見通しについて

- ・ 明確 →A
- ・ 妥当 →B
- ・ 概ね妥当 →C
- ・ 見通しが不明 →D

————— 発表者入替 (5分) —————

6.2.3 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

「研究開発成果」	(説明 15分)	14:35~14:50
「成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」	(説明 10分)	14:50~15:00
	(質疑 25分)	15:00~15:25

————— 休憩・発表者全員入室・デモ展示準備 (20分) —————

6.2.4 デモ展示

①-1 : 高速低消費不揮発メモリステムによる携帯情報端末低電力化技術	15:45~16:00
	(説明・質疑 15分)
①-2 : スマートシティー・センサーネットワーク低電力化技術	16:00~16:15
	(説明・質疑 15分)
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	16:15~16:30
	(説明・質疑 15分)

7. 全体を通しての質疑	(質疑 25分)	16:30~16:55
--------------	----------	-------------

一般傍聴者入室・休憩 (5分)

【公開セッション】

8. まとめ・講評	(25分)	17:00~17:25
9. 今後の予定	(5分)	17:25~17:30
10. 閉会		

以上

概要

		最終更新日	平成 28 年 7 月 20 日				
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	プロジェクト番号	P11001				
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 田崎 英明(平成 23 年 9 月～平成 24 年 3 月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 島山 敦(平成 24 年 4 月～平成 24 年 12 月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 波佐 昭則(平成 25 年 1 月～平成 25 年 3 月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 高橋 伸幸(平成 25 年 4 月～平成 28 年 3 月)						
0. 事業の概要	我が国が優位性をも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・システム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。						
I. 事業の位置付け・必要性について	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。本プロジェクトは、同素子を用いた低消費電力システムの実現のための基盤技術の確立を目指すものである。						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	次世代センサーネットワーク、モバイル情報機器、サーバ等、不揮発性素子を用いると想定される機器・システムにおいて、不揮発性素子を用いたハードウェア技術、ソフトウェア技術、コンピュータアーキテクチャの一体的な開発により、システムとしての低消費電力性能(電力あたりの性能)を本事業開始時に対して 10 倍とすることを実証する。						
事業の計画内容	主な実施事項	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	
	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	←					→
	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	←					→
	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	←					→
	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(平成 26 年度以降は②-3を上位目標②とし、②-1と②-2を包含して実施した)						→

開発予算 (百万円)	会計・勘定	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	総額
契約種類: (共同研究 負 担率(1/2))	特別会計(需給)	425	665	542	509	446	2587
	総予算額	425	665	542	509	446	2587
開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局 情報通信機器課					
	プロジェクト リーダー	中村 宏 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授					
	共同研究先	共同研究先:(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、オムロンヘルスケア(株)、神戸大学 再委託先:電気通信大学、東北大学、産業技術総合研究所、大阪大学、はこだて未来大学、立命館大学、神戸大学、岡山県立大学					
情勢変化への 対応	<p>(1)実施テーマの見直し整理による実施方針・計画の変更(平成23年度) プロジェクト開始年度に設定されたテーマに関して見直し、重複と目標の明確化を実施。その結果、「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(日本電気(株)、NECシステムテクノロジー(株))」を平成23年度に終了した。これにより、平成24年度より、実施テーマを一部削除し、実施体制を変更した。</p> <p>(2)プロジェクトリーダーによる実施方針・計画の変更(平成24年度) 平成24年度5月より、プロジェクトリーダー(中村 宏 東京大学教授)を置いた実施体制として、プロジェクトの運営を行っている。</p> <p>(3)事業組合の設置による実施方針・計画の変更(平成24年度) 平成24年度7月より、ノーマリーオフコンピューティング有限責任事業組合(LLP)を置いた実施体制として、プロジェクトの管理を行っている。</p> <p>(4)実用化・事業化に向けた体制変更(平成26年度、平成27年度) 平成26年度にルネサスエレクトロニクス(株)の再委託先として岡山県立大学を追加。また、平成27年度に(株)東芝の再委託先として電気通信大学 三輪研究室を追加。</p> <p>(5)ノーマリーオフコンピューティング発展普及に向けた調査事業 (平成26年度、平成27年度) 平成27年1月から平成27年5月の期間において、より広い分野へノーマリーオフコンピューティング技術を展開することを目指し調査事業を実施した。</p> <p>(6)ノーマリーオフコンピューティング技術の普及に向けた小規模研究開発の遂行 平成27年7月から平成28年3月の期間において、ノーマリーオフコンピューティングの発展普及のため、「社会インフラ」領域で(株)コア、「ヘルスケア」領域で神戸大学/兵庫県立大学/オムロンヘルスケア(株)による小規模研究開発を実施した。</p>						
中間評価結果 への対応	II の4.中間評価結果への対応を参照						

評価に関する事項	事前評価	平成 22 年度実施 担当部 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部
	中間評価	平成 25 年度 中間評価を 8 月 6 日に実施
	事後評価	平成 28 年度 事後評価を 7 月 20 日に実施予定
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>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 高速かつ低電流書き込み可能な微細MTJ記憶素子の開発を行った。高速読み出し回路および周辺回路の徹底的なノーマリーオフ化技術を開発、MRAMメモリ作製用CMOS半導体プロセス開発により、前記記憶素子を搭載した4Mb高速・低消費電力キャッシュメモリを試作した。プロセッサと連動して動作させ、メモリアクセス時間5ns以下を実証し、消費電力が従来キャッシュメモリの1/10以下(1/20)となる世界最高省電力性を示した。</p> <p>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 集中研成果をもとにしたタスクスケジューリング、および自律型電源制御技術の適用、さらに再委託先の研究成果であるセンサー動作最適化技術、クロック発振低電力化回路技術を適用して、従来のマイコンを用いたセンサーノードと比較し、91.6%の削減効果を実証し、目標の10倍(90%の削減効果)のノーマリーオフ低電力化性能を実現した。</p> <p>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 心拍、3軸加速度、行動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た。また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行った。これによって貼り付け部システムの平均消費電流を20μA以下とし、システムとしての電力消費性能10倍を達成した。</p> <p>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 マイコンと不揮発メモリを搭載する評価プラットフォームを開発し、電力モデルだけではなく、電源遮断と復帰に要する時間とエネルギーのモデル化を実現した。これにより、多分野の応用にノーマリーオフ技術を適用した際の電力性能評価を可能とした。</p> <p>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 キャッシュメモリに不揮発メモリのSTT-MRAMを搭載した場合の電力モデルについて、キャッシュを制御する周辺回路も含めて確立し、シミュレーション環境を構築した。</p> <p>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 キャッシュメモリに不揮発メモリのSTT-MRAMを搭載し、不揮発メモリ部と周辺制御回路を空間分割しノーマリーオフ制御を行う手法を開発した。さらにVLSI上の試作を分散研と協力して行い、電力効率が10倍になることを実証した。また、この設計方法論を、新しい領域(NEDO小規模開発:地形変形モニタリングシステム)へ適用することで、目指す設計方法論の確立を行った。</p>	
	投稿論文	「論文」109件、「研究発表・講演」250件
	特許	「出願済」161件(うち外国出願75件)、「登録」38件(うち外国登録18件) 特記事項:なし
	その他の外部発表(プレス発表等)	<ul style="list-style-type: none"> ・ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発プロジェクト公開シンポジウム <ul style="list-style-type: none"> 平成 25 年 4 月 16 日 第一回シンポジウム 横浜情報文化ホール 平成 26 年 6 月 19 日 第二回シンポジウム 横浜情報文化ホール 平成 27 年 12 月 14 日 第三回シンポジウム 横浜情報文化ホール

	<p>・新聞発表、Web 掲載、プレスリリース等</p> <p><u>(株)東芝</u></p> <table border="0"> <tr> <td>日刊工業新聞</td> <td>平成 23 年 9 月 8 日</td> </tr> <tr> <td></td> <td>平成 28 年 2 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>日本経済新聞</td> <td>平成 26 年 6 月 10 日</td> </tr> <tr> <td></td> <td>平成 27 年 2 月 27 日</td> </tr> <tr> <td>日経テクノロジーオンライン</td> <td>平成 27 年 2 月 25 日</td> </tr> <tr> <td>日経エレクトロニクス</td> <td>平成 26 年 1 月 6 日</td> </tr> <tr> <td>PC Watch</td> <td>平成 28 年 2 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>マイナビニュース</td> <td>平成 28 年 2 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>EE Times Japan</td> <td>平成 28 年 2 月 2 日</td> </tr> <tr> <td>IoT News.jp</td> <td>平成 28 年 2 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>プレスリリース</td> <td>平成 24 年 12 月 10 日</td> </tr> <tr> <td></td> <td>平成 28 年 2 月 1 日</td> </tr> </table> <p><u>ルネサスエレクトロニクス(株)</u></p> <table border="0"> <tr> <td>北海道新聞</td> <td>平成 27 年 8 月 28 日</td> </tr> <tr> <td>朝日新聞</td> <td>平成 27 年 10 月 20 日</td> </tr> </table> <p><u>ローム(株)</u></p> <table border="0"> <tr> <td>プレスリリース</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>朝日新聞</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>日刊工業新聞</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>電波新聞</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>化学工業日報</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>日経テクノロジーオンライン</td> <td>平成 26 年 11 月 11 日</td> </tr> <tr> <td>日経エレクトロニクス</td> <td>平成 26 年 12 月 8 日</td> </tr> <tr> <td>電波新聞ハイテクノロジーズ</td> <td>平成 27 年 1 月 9 日</td> </tr> </table>		日刊工業新聞	平成 23 年 9 月 8 日		平成 28 年 2 月 1 日	日本経済新聞	平成 26 年 6 月 10 日		平成 27 年 2 月 27 日	日経テクノロジーオンライン	平成 27 年 2 月 25 日	日経エレクトロニクス	平成 26 年 1 月 6 日	PC Watch	平成 28 年 2 月 1 日	マイナビニュース	平成 28 年 2 月 1 日	EE Times Japan	平成 28 年 2 月 2 日	IoT News.jp	平成 28 年 2 月 1 日	プレスリリース	平成 24 年 12 月 10 日		平成 28 年 2 月 1 日	北海道新聞	平成 27 年 8 月 28 日	朝日新聞	平成 27 年 10 月 20 日	プレスリリース	平成 26 年 11 月 11 日	朝日新聞	平成 26 年 11 月 11 日	日刊工業新聞	平成 26 年 11 月 11 日	電波新聞	平成 26 年 11 月 11 日	化学工業日報	平成 26 年 11 月 11 日	日経テクノロジーオンライン	平成 26 年 11 月 11 日	日経エレクトロニクス	平成 26 年 12 月 8 日	電波新聞ハイテクノロジーズ	平成 27 年 1 月 9 日
日刊工業新聞	平成 23 年 9 月 8 日																																													
	平成 28 年 2 月 1 日																																													
日本経済新聞	平成 26 年 6 月 10 日																																													
	平成 27 年 2 月 27 日																																													
日経テクノロジーオンライン	平成 27 年 2 月 25 日																																													
日経エレクトロニクス	平成 26 年 1 月 6 日																																													
PC Watch	平成 28 年 2 月 1 日																																													
マイナビニュース	平成 28 年 2 月 1 日																																													
EE Times Japan	平成 28 年 2 月 2 日																																													
IoT News.jp	平成 28 年 2 月 1 日																																													
プレスリリース	平成 24 年 12 月 10 日																																													
	平成 28 年 2 月 1 日																																													
北海道新聞	平成 27 年 8 月 28 日																																													
朝日新聞	平成 27 年 10 月 20 日																																													
プレスリリース	平成 26 年 11 月 11 日																																													
朝日新聞	平成 26 年 11 月 11 日																																													
日刊工業新聞	平成 26 年 11 月 11 日																																													
電波新聞	平成 26 年 11 月 11 日																																													
化学工業日報	平成 26 年 11 月 11 日																																													
日経テクノロジーオンライン	平成 26 年 11 月 11 日																																													
日経エレクトロニクス	平成 26 年 12 月 8 日																																													
電波新聞ハイテクノロジーズ	平成 27 年 1 月 9 日																																													
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>・ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発では、具体的な3つの応用製品、具体的には携帯情報端末、スマートシティ・センサーネットワーク、ヘルスケア応用をターゲットに開発を行う。これらが当初の技術目標を達成したあかつきには、スマートメモリシステム、マイコン、特定用途向け LSI という半導体製品として、PJ 終了後、それぞれ事業化されることが期待できる。</p>																																													
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 23 年 3 月 作成																																												
	変更履歴	平成 23 年 7 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂																																												

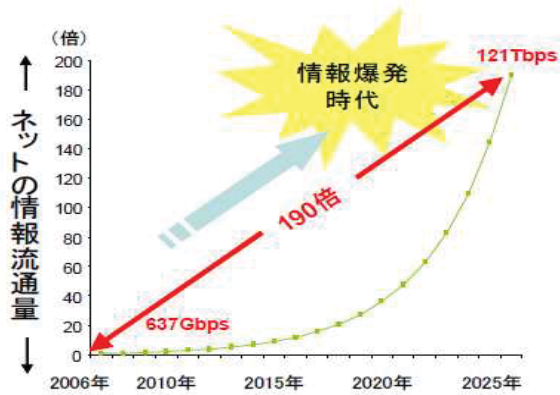
I. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的と妥当性

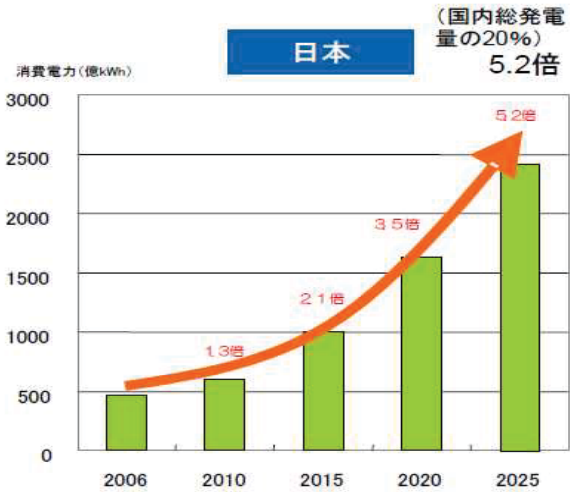
背景と事業の目的

背景

情報爆発時代の到来



IT機器の消費電力量が急増



出所：(図表) グリーンITイニシアティブの推進 2008年10月 経済産業省発表資料 (2012年の情報流通量) 総務省 情報通信統計データベース

事業の目的

低炭素社会の実現のため、IT機器やシステムの飛躍的な低電力化が必要

➡ 機器・システムの低消費電力性能10倍を目指し、不揮発性素子を用いたノーマリーオフコンピューティング技術を開発する

II. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

事業の目標

システムの低消費電力性能を10倍にするノーマリーオフコンピューティング技術の確立
⇒ 不揮発性素子を用いたメモリ階層と間歇動作を指向するコンピューティング手法で実現

従来システム (揮発性素子によるノーマリーオンコンピューティング)

⇒ 超低電力システム (不揮発性素子用いたノーマリーオフコンピューティング) へ転換

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 **【携帯情報端末】**
 - 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 **【スマートシティ】**
 - 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 **【センサーネットワーク】(2011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 **【ヘルスケア応用】**
 - 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」
- 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 (②-3*) **【設計方法論】**
- 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 **【評価基盤】**
 - 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 **【メモリシステム】**

想定する出口イメージ

低電力システム: 消費電力1/10 (ノーマリーオフコンピューティングシステム)

実用化

- 半導体メモリ
- 低消費電力マイコン
- 低消費電力LSI
- ノーマリーオフ評価手法と最適化技術

適用システム

- 携帯情報端末
- スマートシティ・センサーシステム
- ヘルスケア用センサーシステム
- ⋮ (新応用)

*: 2014年度(H26年度)以降は②-3を上位目標②とし、②-1、②-2を包含し実施した

II. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

各研究開発項目の目標

①「次世代不揮発性素子を活用した電力制御技術の開発」(分散研)

研究開発項目	内容	研究開発目標(最終目標)	根拠
①-1: 携帯情報端末	高速低消費電力のMRAMを開発し、これを利用したキャッシュメモリ回路とノーマリーオフ動作のためのメモリ階層化構造を開発。	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倍以上を示す。	携帯端末の低消費電力化のために、プロセッサの低消費電力化が必要だが、このために従来のノーマリーオンからノーマリーオフ化を実現することで可能となるプロセッサの消費電力目標を設定。
①-2: スマートシティ	センサーノードのアーキテクチャ技術とハードウェア/ソフトウェア協調によるノーマリーオフ電源制御技術を開発。	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低電力化性能を実証する。	スマートシティ・センサーネットワークで扱う情報通信量の増大トレンドとニーズとしてのマルチセンサー化とバッテリー長寿命化をもとに目標を設定。
①-4: ヘルスケア応用	センシング、データ処理、通信機能を備えたFeRAM搭載ウェアラブルセンサーLSIの開発と、これによる生体基礎データ収集システムを確立。	心拍、3軸加速度、行動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の完成と、 電力消費性能10倍、平均消費電流20μAを達成する。	ウェアラブルな生体センサーではサイズとコストが重要であり、制約としてあるバッテリー容量で2週間連続駆動できるという市場ニーズをもとに目標を設定。

II. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

各研究開発項目の目標

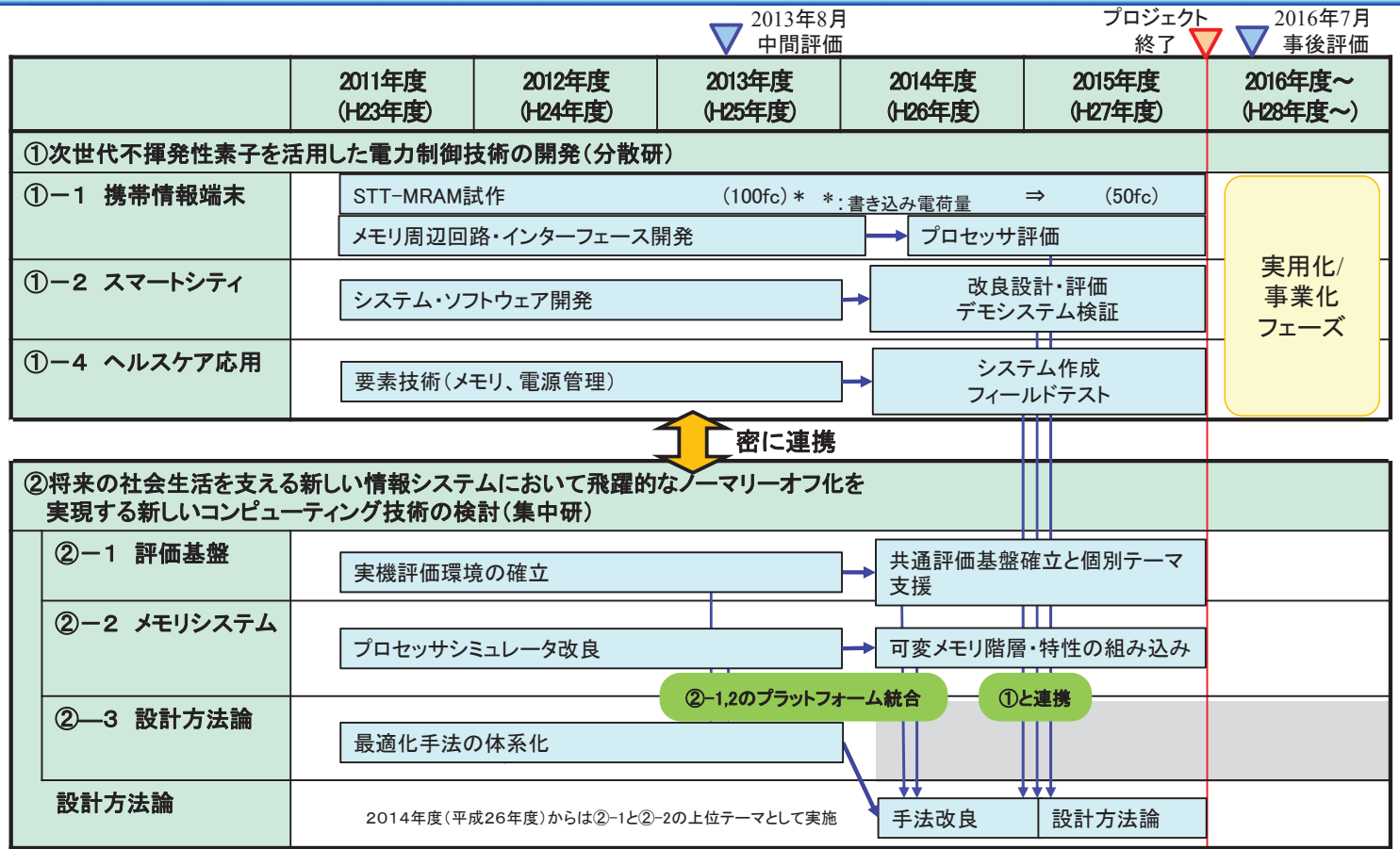
②「将来の社会生活を支える新しい情報システムにおいて飛躍的なノーマリーオフ化を実現する新しいコンピューティング技術の検討」(集中研)

研究開発項目	内容	研究開発目標(最終目標)	根拠
②: 設計方法論 (②-3) <small>※2014年度(平成26年度)からは②-1と②-2の上位テーマとして実施</small>	②-1と②-2の評価プラットフォームを統合し、システムに依存しない本質的なノーマリーオフコンピューティングの方法論を体系化。	メモリ階層全体を最適化してノーマリーオフコンピューティングの評価可能な環境を構築し、分散研で開発される技術へのフィードバックを行うとともに、その知見の共有と一般化により、 新しい応用領域へも適用可能な設計方法論を確立する。	次世代不揮発性素子ならではの機能を活かし、分散研テーマのより普遍的・長期的技術競争力を確保し、さらに新しい応用領域へも適用可能なコンピューティング技術であることを示すため。
②-1: 評価基盤	ノーマリーオフ・システムの電力消費性能の実機レベルでの精緻な評価用の基盤となる評価技術・プラットフォームを確立。	ノーマリーオフ低電力化のためのソフトウェア技術の提案と、分散研の従来比1/10の低電力化実証を支援し、ノーマリーオフ電力性能評価の基盤となる 評価技術・プラットフォームを確立する。	分散研①の各研究項目の性能評価を実施し集中研の汎用設計論へフィードバックするために共通に使える評価基盤の確立が必要なため。
②-2: メモリシステム	高速低消費電力のMRAM性能に対応させて、プロセッサ内に搭載する不揮発メモリ階層化構造開発用のためのプラットフォーム構築。	分散研①-1で改良設計されるノーマリーオフメモリシステムを搭載するプロセッサのシミュレーション環境を構築し、 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倍以上となることの実証を支援する。	メモリ階層化とパワーゲーティングの低消費電力最適化選択を幅広く行い、ノーマリーオフプロセッサのアーキテクチャ開発への有効性実証のため。

II. 研究開発マネジメント

(2) 研究開発計画の妥当性

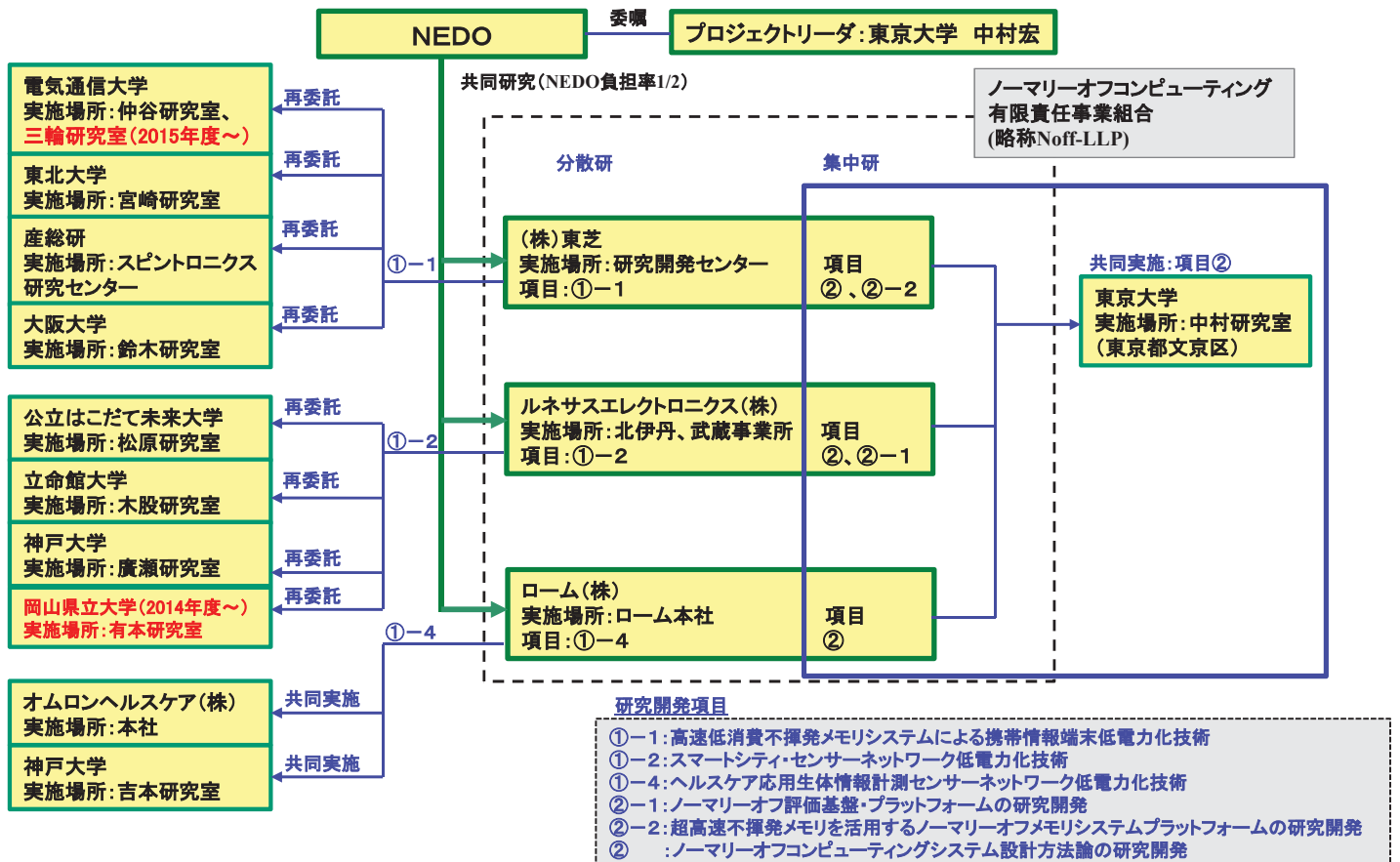
研究開発スケジュール



II. 研究開発マネジメント

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

研究開発の実施体制



II. 研究開発マネジメント

(2)研究開発計画の妥当性

開発予算

(単位:百万円)

	2011年度 (H23年度)	2012年度 (H24年度)	2013年度 (H25年度)	2014年度 (H26年度)	2015年度 (H27年度)	合 計
①-1:携帯情報端末	332	477	437	458	436	2,140
①-2:スマートシティ	142	431	307	275	216	1,371
①-3:センサーネットワーク	104	-	-	-	-	104
①-4:ヘルスケア応用	38	51	31	35	28	183
②-1:評価基盤	206	319	257	199	157	1,138
②-2:メモリシステム	10	3	5	7	14	39
② :設計方法論(②-3)	18	48	47	45	41	199
総開発予算	850	1,329	1,084	1,019	892	5,174
(内)共同実施費(東大)	20	44	44	44	40	192
(内)再委託費	197	222	227	237	226	1,109
内、NEDO負担額(1/2)	425	665	542	509	446	2,587