

「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」

(2011年度～2015年度 5年間)

(事後評価)

プロジェクトの概要 (公開)

- 「事業の位置づけ・必要性について」、及び「研究開発マネジメント」(NEDO)
- 「研究開発成果」、及び「成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」

(中村PL)

NEDO

IoT推進部

2016年 7月20日

発表内容

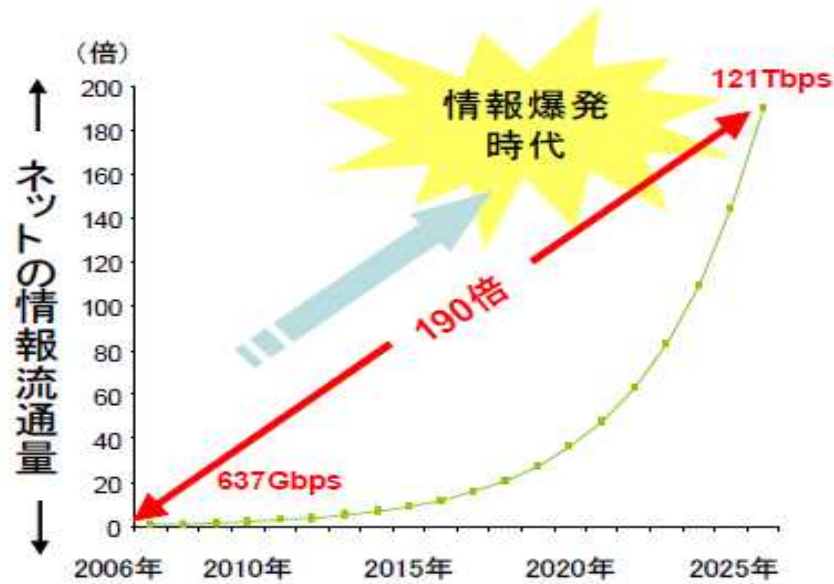
- I. 事業の位置づけ・必要性について (NEDO)
- II. 研究開発マネジメント (NEDO)
- III. 研究開発成果 (中村PL)
- IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し (中村PL)

背景と事業の目的

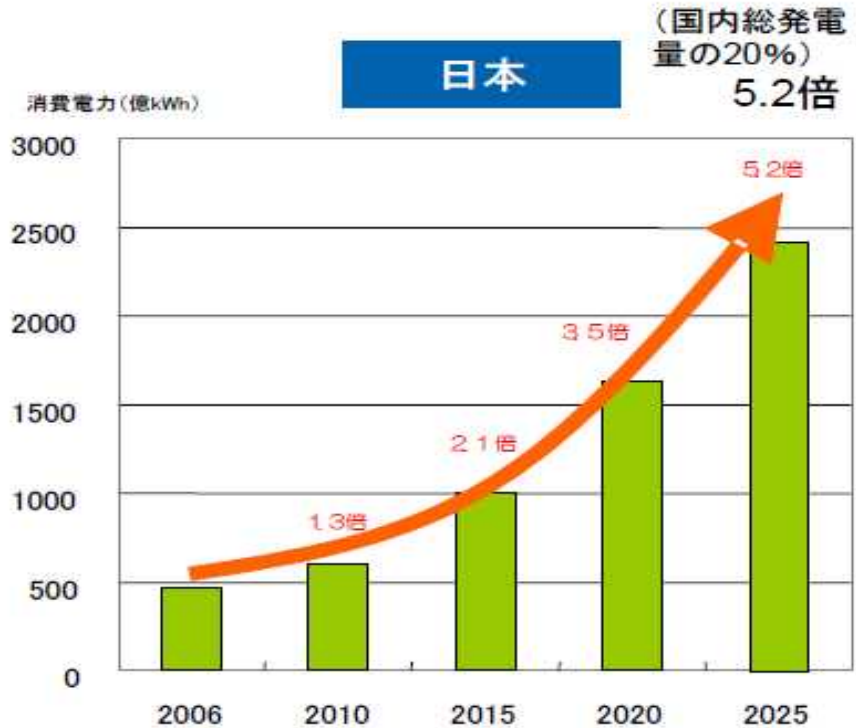
(1) 事業の目的と妥当性

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**

政策上の位置付け

産業技術政策(政府全体)

第3期科学技術基本計画
(2006年3月閣議決定)

重点推進4分野としての情報通信分野

第4期科学技術基本計画
(2011年8月閣議決定)

情報通信分野の継続推進

第4期科学技術基本計画と整合をとりつつ、最近の状況変化を織り込み、長期ビジョンとその実現に向けた短期の行動プログラムを策定

科学技術イノベーション総合戦略
(2013年6月閣議決定)

世界をリードする グリーンイノベーションの実現

(第4期科学技術基本計画より)

エネルギー利用の高効率化及びスマート化:
...情報通信技術は、エネルギーの供給、利用や社会インフラの革新を進める上で不可欠な基盤的技術であり、次世代の情報通信ネットワークに関する研究開発、**情報通信機器やシステム構成機器の一層の省エネルギー化**、ネットワークシステム全体の最適制御に関する技術開発を進める。

革新的デバイスの開発による 効率的エネルギー利用

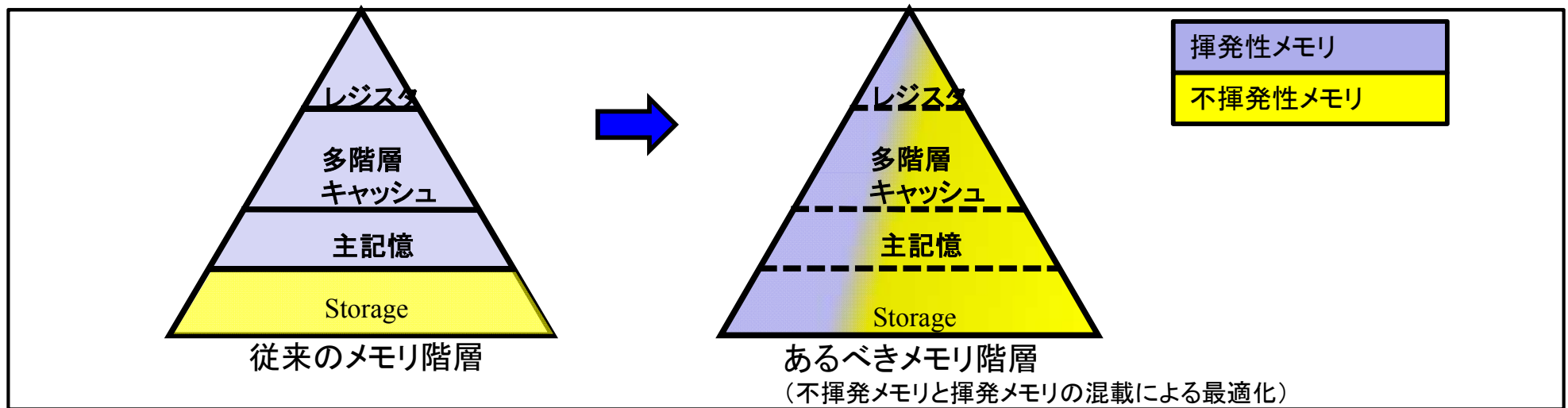
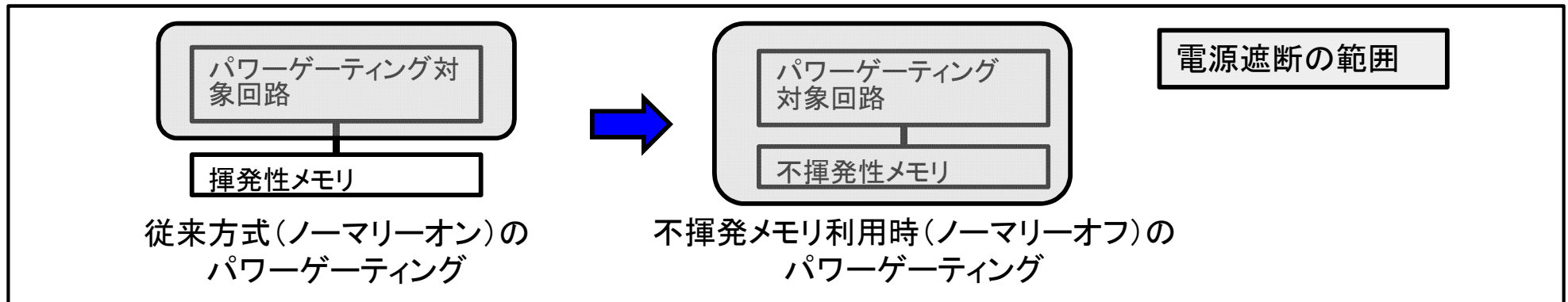
(科学技術イノベーション総合戦略より)

2030年目標:革新的デバイスによるエネルギー効率向上及びエネルギー消費の削減
2020年頃達成すべき姿:情報機器では、**10倍程度の電力効率のノーマリーオフコンピューティング技術を実現**

ノーマリーオフコンピューティングの優位性

■ ノーマリーオフコンピューティングとは

システムとしては動作中であっても真に動作すべき構成要素以外の電源を不揮発メモリを活用し積極的に遮断する「ノーマリーオフ」を実現する「コンピューティング」技術



システムとしてのノーマリーオフコンピューティング(不揮発メモリを利用したメモリ階層の最適化と効果的パワーゲーティング)の研究はワールドワイドで未だ実施されていない状況
⇒世界に先駆けて確立することで、新市場の創出と低炭素化社会の実現に寄与できる。

NEDOが関与する意義

低炭素社会の実現には、飛躍的な低電力化が必須
ノーマリーオフコンピューティングが不可欠な技術要素

・新メモリ階層 ・間歇動作指向コンピューティング技術

→ 省エネルギー、地球温暖化対策に貢献する技術

ナノテクノロジーで培われた新規の機能材料や新規のデバイス構造

・高速低電圧不揮発性メモリ(MRAM等)

→ 日本の技術優位性により
産業競争力強化に繋がる技術

実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤技術開発」

→ 産学官共同研究体制が適する

ノーマリーオフのシステムとしての低消費電力化は、欧米においてまだ大きな取り組みはなされていない。

→ 世界に先駆けて確立する



NEDOが推進すべき事業

実施の効果

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の総事業費 : 52 億円/5年間
(内、NEDO負担率1/2)

経済効果

2020年:プロジェクト適用製品規模 ⇒ 約7,000億円

さらに、その他領域における発展普及を考えると、

2030年:ノーマリーオフの発展普及 ⇒ 約7,000億円

※ 国内のパソコン/スマートフォンへの波及効果として、ノーマリーオフ普及率を50%と想定して算出

省エネ効果

2030年:消費電力削減量 ⇒ 23億kWh/年
CO₂ 削減量 ⇒ 128万トン/年

(世界では2,000~3,000万トン/年の削減)

※ 国内のIT機器のノーマリーオフ普及率を仮定して省エネ効果を算出
(ノーマリーオフ普及率:パソコン50%、スマートフォン:50%、自動車用センサー端末:20%、生体情報計測センサー:60%)

プロジェクト適用製品
売上規模(年額)



東芝
半導体メモリ 2,000億円



ルネサスエレクトロニクス
マイコン 3,400億円



ローム
LSI 1,400億円

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」

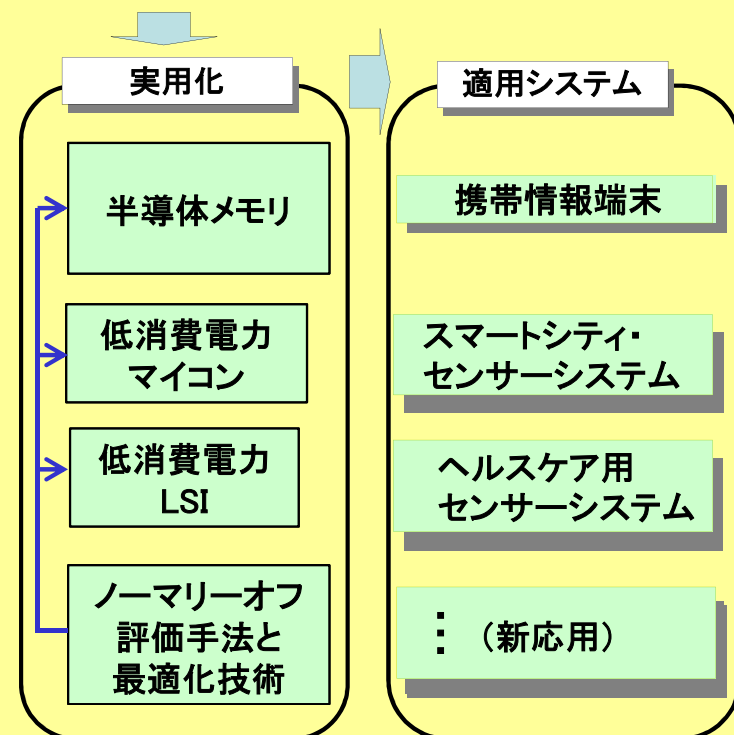
- ①-1: 高速低消費不揮発メモリシステムによる携帯情報端末低電力化技術 **【携帯情報端末】**
- ①-2: スマートシティ・センサーネットワーク低電力化技術 **【スマートシティ】**
- ①-3: インテリジェントビルを指向するセンサーネットワーク低電力化技術 **【センサーネットワーク】** (2011年度で終了)
- ①-4: ヘルスケア応用生体情報計測センサーネットワーク低電力化技術 **【ヘルスケア応用】**

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)



*: 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

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。

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

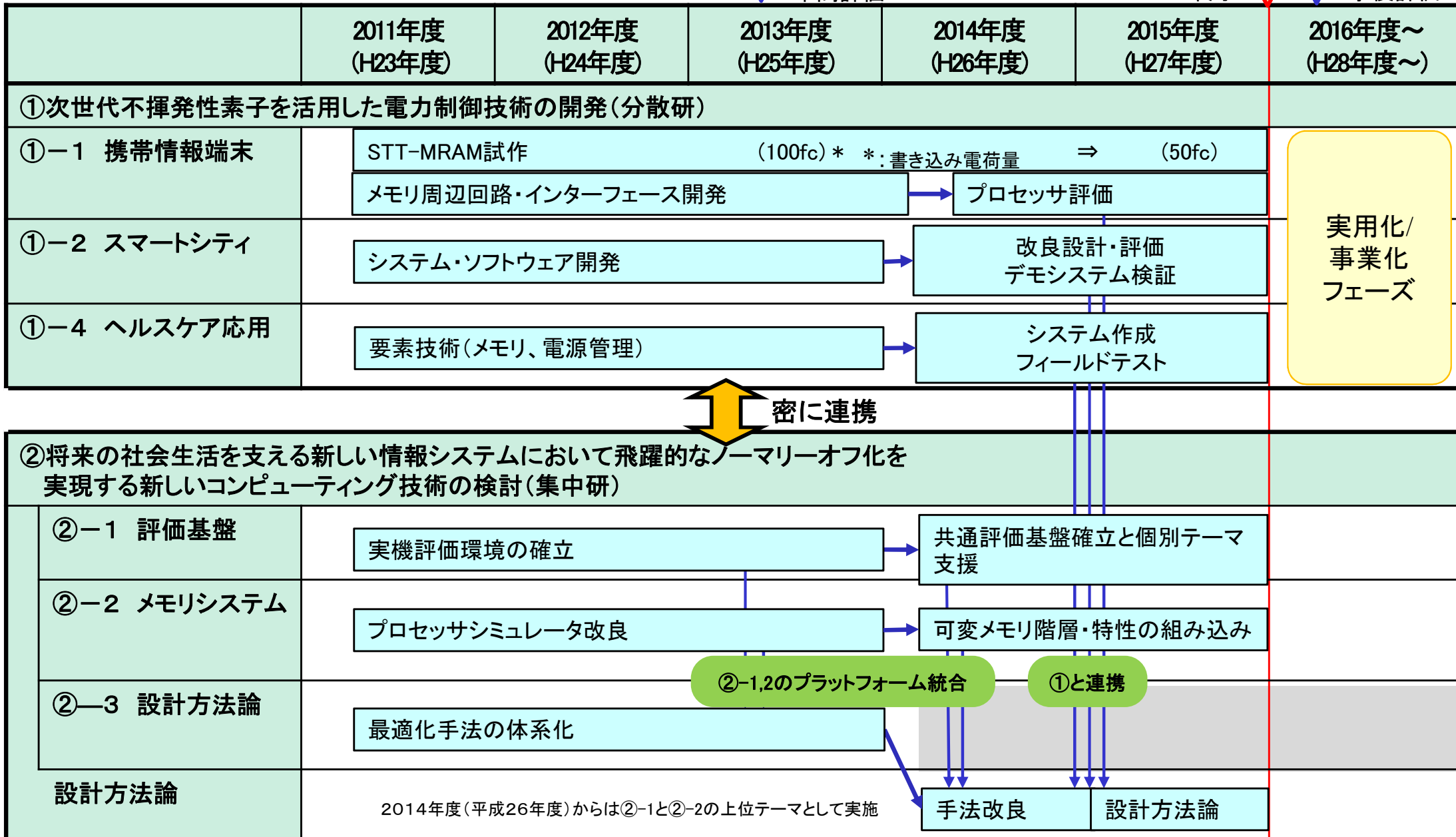
(2) 研究開発計画の妥当性

研究開発スケジュール

▽ 2013年8月
中間評価

プロジェクト
終了 ▽

▽ 2016年7月
事後評価



II. 研究開発マネジメント

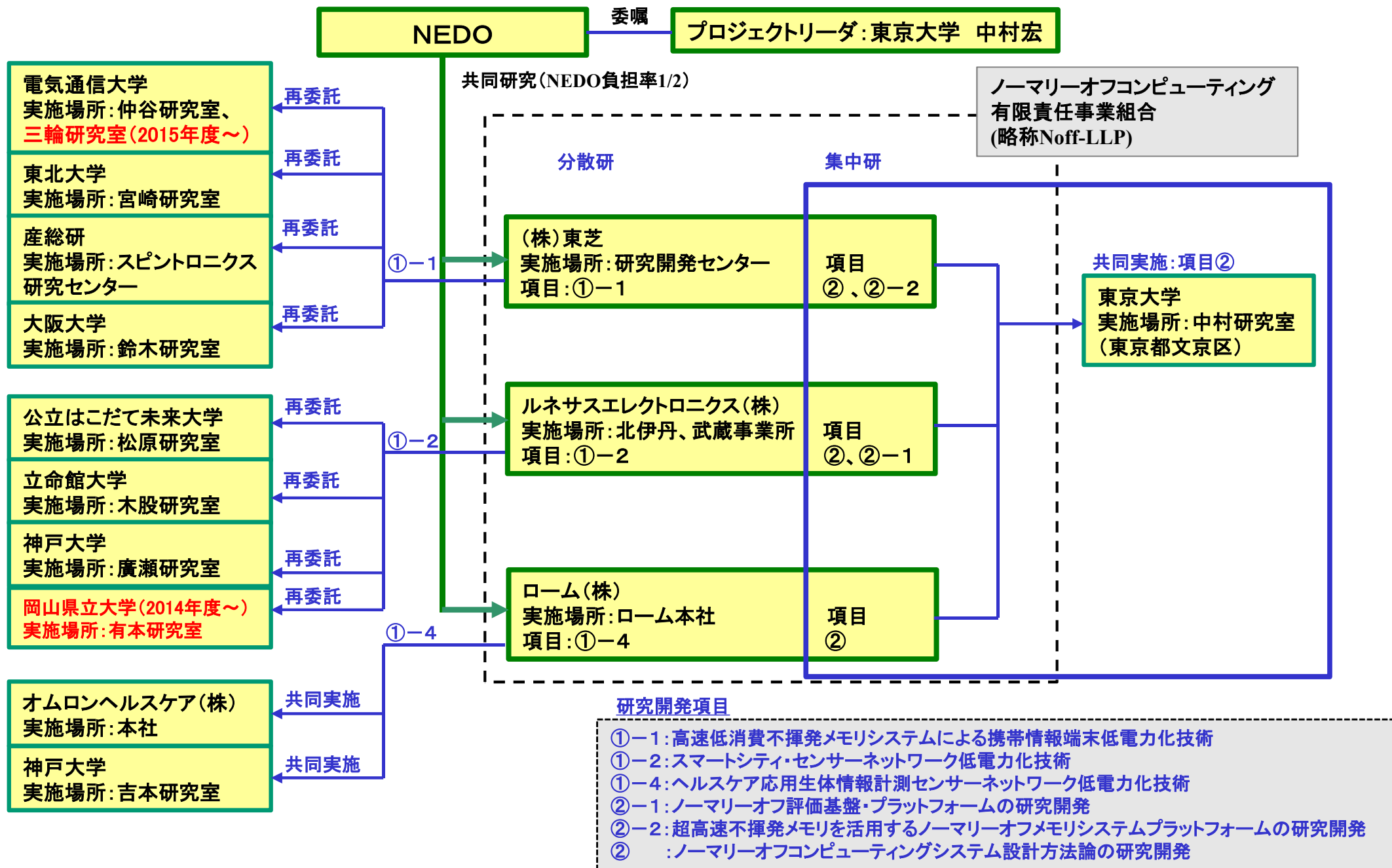
(2)研究開発計画の妥当性

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

研究開発の実施体制



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

共同実施・再委託体制とその役割

研究開発項目	実施先	実施形態	研究開発に対する役割
②: 設計方法論	東京大学(中村 宏 教授)	共同実施	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 (ノーマリーオフ最適化技術とノーマリーオフ評価技術の確立)
研究開発項目	実施先	実施形態	研究開発に対する役割
①-1: 携帯情報端末	電気通信大学(仲谷 栄伸 教授)	再委託	高速スピン注入素子の設計技術の開発
	電気通信大学(三輪 忍 准教授) (2015年度～)	再委託	階層化メモリの制御方法の開発
	東北大学(宮崎 照宣 教授)	再委託	高速・低電流書き込みスピン注入記憶素子材料の開発
	産業技術総合研究所(湯浅 新治 センター長)	再委託	高速・低消費電力スピン注入記憶素子の開発
	大阪大学(鈴木 義茂 教授)	再委託	高速スピン磁化反転の評価
①-2: スマートシティ	公立はこだて未来大学(松原 仁 教授)	再委託	ノーマリーオフセンサーネットワーク・デモシステムの開発
	立命館大学(木股 雅章 教授)	再委託	ノーマリーオフセンサーネットワークのセンサー応用技術の開発
	神戸大学(廣瀬 哲也 教授)	再委託	ノーマリーオフセンサーネットワークの低電力回路技術の開発
	岡山県立大学(有本 和民 教授) (2014年度～)	再委託	バッテリー駆動を考慮したノーマリーオフ電源制御アルゴリズムの開発
①-4: ヘルスケア応用	オムロンヘルスケア(株)(志賀 利一 リーダー)	共同実施	間歇動作を指向する生体情報処理アルゴリズムの開発
	神戸大学(吉本 雅彦 教授)	共同実施	生体情報処理に特化して不揮発メモリ搭載の低消費電力VLSIアーキテクチャの開発

II. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

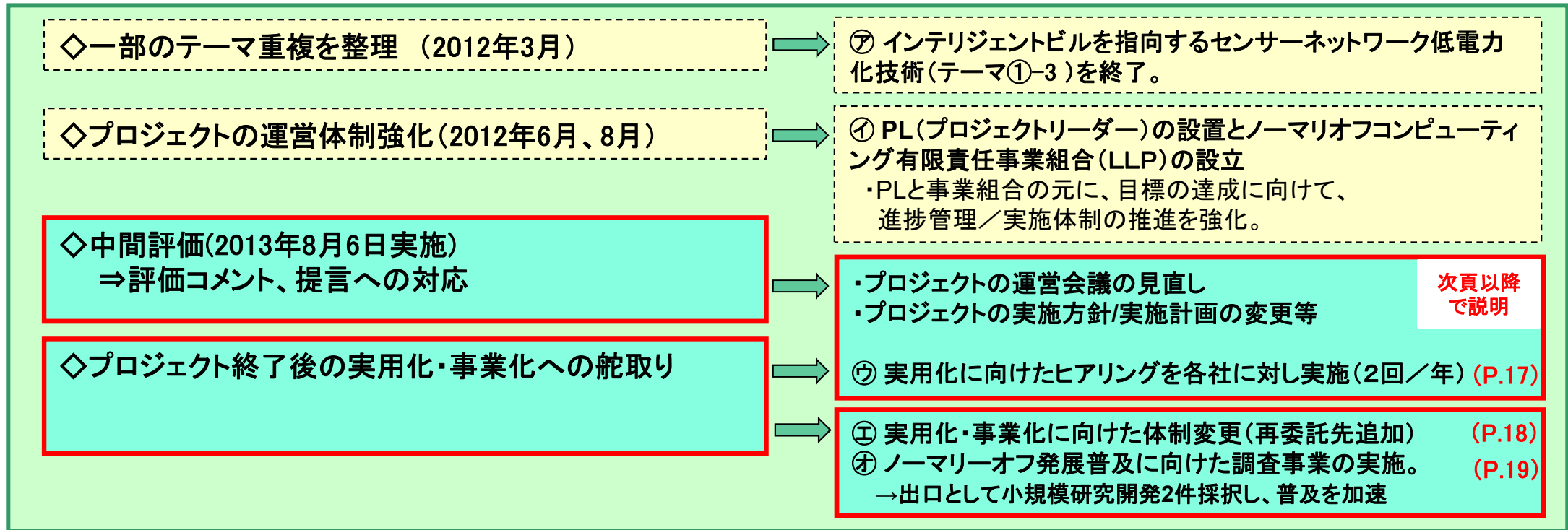
運営会議等開催実績

	運営会議等	開催実績
プロジェクトの運営	プロジェクト会議	(月例開催) ・集中研と分散研の情報交換を密に行うとともに進捗管理を徹底
	技術調査会議(研究会)	(不定期開催) ・外部から講師を招待し様々なテーマについての技術調査及び議論
研究開発成果の アピール	ノーマリ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	(全3回開催) ・研究開発成果の一般への公開 ・招待講演及び基礎技術から応用領域の拡大までを見据えた議論
	展示会への出展	(全4回出展) CEATEC Japan 2012 / SEMICON Japan 2014 / Interop Tokyo 2015 / CEATEC Japan 2015
実用化・事業化に向けたハンドリング	実用化ヒアリング	(2回/年開催) 実用化・事業化に向けたヒアリングと方向付けを実施者毎に実施

II. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

具体的な情勢変化への対応



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)
NEDO審査 4~8月	所要額ヒア 5月	所要額・進捗ヒア 5~6月	所要額ヒア 5月	進捗ヒア 1月
契約 10月	① PL・LLP設置 6、8月	中間評価 8月	② 実用化ヒア 9月	② 実用化ヒア 2月
② テーマ見直し 3月	進捗ヒア 12月		進捗ヒア 12月	事後評価 7月
			③ 実用化ヒア 3月	
			④ 調査事業 1~5月	
			⑤ 実用化ヒア 6月	
			①再委託先追加 7月	①再委託先追加 4月

II. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

中間評価への対応

指摘	対応
<p>1 「ノーマリーオフコンピューティング」の概念を現実のものとし、かつ、普及させるためには、集中研と分散研の連携をより深め、各企業で得たフィールドデータ等を積極的に集中研にフィードバックし、集中研側で技術として一般化するプロセスをさらに加速することを期待する。</p>	<p>・分散研の実施者と東大(集中研)は、必要に応じて個別会合で集中研と分散研の連携を行ってきたが、中間評価以降は月に1回程度の全体会議(以下「プロジェクト会議」という。)で集中研と分散研の情報交換を確実に進捗管理を強化した。</p> <p>・集中研の成果を一般化するプロセスを加速させるため、集中研の3テーマのうち2テーマ(②-1 評価基盤の開発、②-2メモリシステムの開発)を上位概念の1テーマ(②-3設計方法論の開発)に包含して連携を強化した。⇒【2014年度(平成26年度)の実施方針、実施計画に反映】</p>
<p>2 開発目標については、その成果を活用する方策を重視し、コストを勘案した上で、トータルシステムとしての効果の活用、さらにはソフトウェア層までの検討が必要である。</p>	<p>・PL/実施者/NEDOは、開発成果活用の検討として、プロジェクト会議のWG設置により、実施者の事業化計画をアップデートする場を年に2回開催。このWG毎に、市場ニーズの見極めの元に、トータルシステムの効果やソフトウェア層の検討を含めてビジネスモデルの最適化を推進した。</p>
<p>3 知財マネジメント戦略が知財の創出/権利化の戦略のみになっているが、活用戦略についても検討すべきである。</p>	<p>・PL/実施者は、プロジェクト会議を有効活用し、既存の案件(目標達成に向けた進捗確認、新たに発生した課題への対応等)に加えて、集中研の知財の活用も議題にした。分散研の成果は、知財の権利化を進める一方、集中研の成果はノーマリーオフ設計方法論として積極的に公開するというオープン・クローズ戦略の策定を行い推進した。</p>
<p>4 標準化については、世界で広く使われるデファクトスタンダードを取るための方策を良く考えていただきたい。成果の普及については、日本の産業としてユーザーを巻き込む形を含めて検討してほしい。</p>	<p>・PL/実施者は、公開シンポジウム、展示会等の積極的な外部成果発表の場を作りユーザーの関心を高め、成果普及に努めた。また標準化についても、まずは国際学会等の場でノーマリーオフのコンセプトを広く共有する活動を行った。具体的には、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(期間:2015年1月~2015年5月)をNEDO主催で実施し、広い分野から調査事業に参加してもらった。また、ISSCC2014 Forum, VLSISymposium2015 short courseなどで講演し、トップクラスの国際会議でコンセプト普及に努めた。</p>

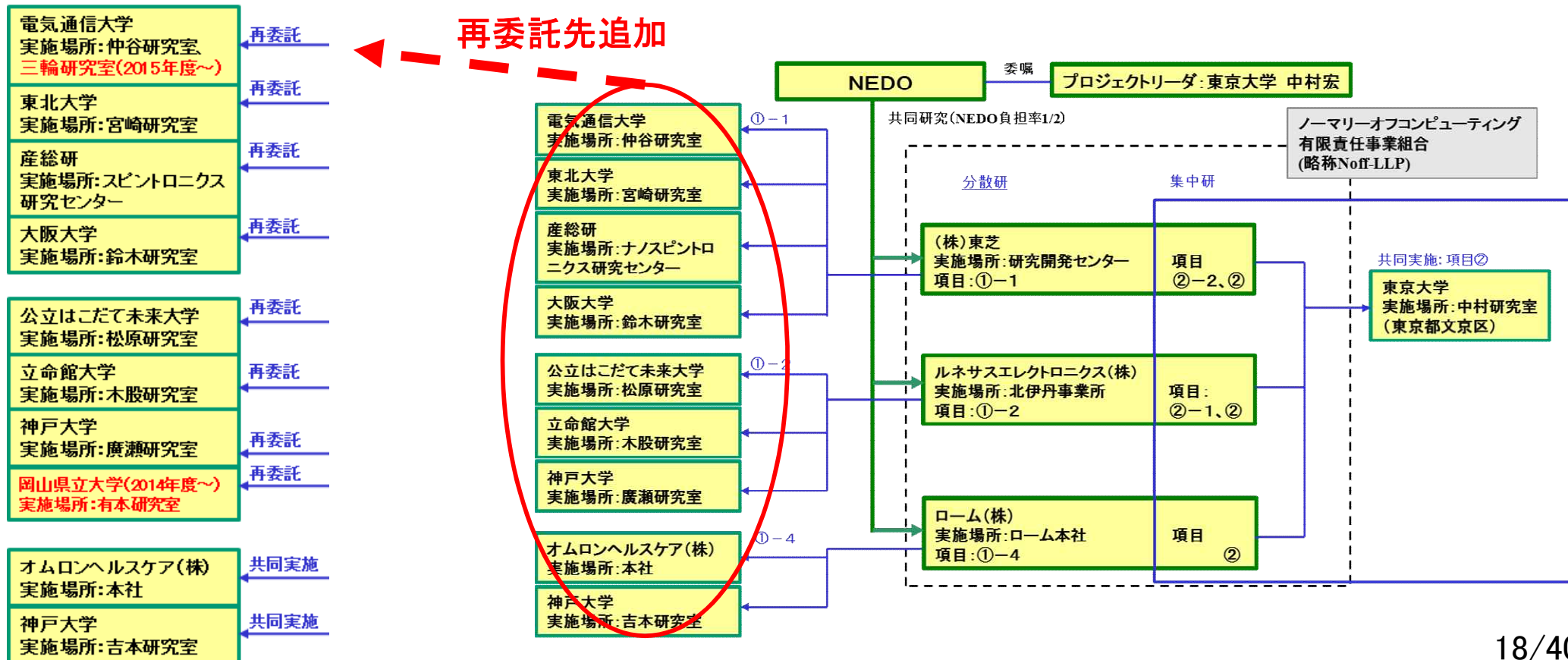
II. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

事業化・実用化に向けた体制変更

2014年度 バッテリー長寿命化を可能とする電源制御技術のマイコンへの適用を想定し、
 バッテリー駆動を考慮したノーマリーオフ電源制御アルゴリズムの開発
 ⇒ 低電力回路設計技術、制御アルゴリズム技術に深い知見を有する岡山県立大学へ再委託(①-2)

2015年度 MRAMベースのキャッシュに加え、従来のSRAMベースのキャッシュメモリと組み合わせた
 階層構造の開発
 ⇒ SRAMキャッシュの最先端制御技術の専門家である電気通信大学三輪研究室へ再委託(①-1)

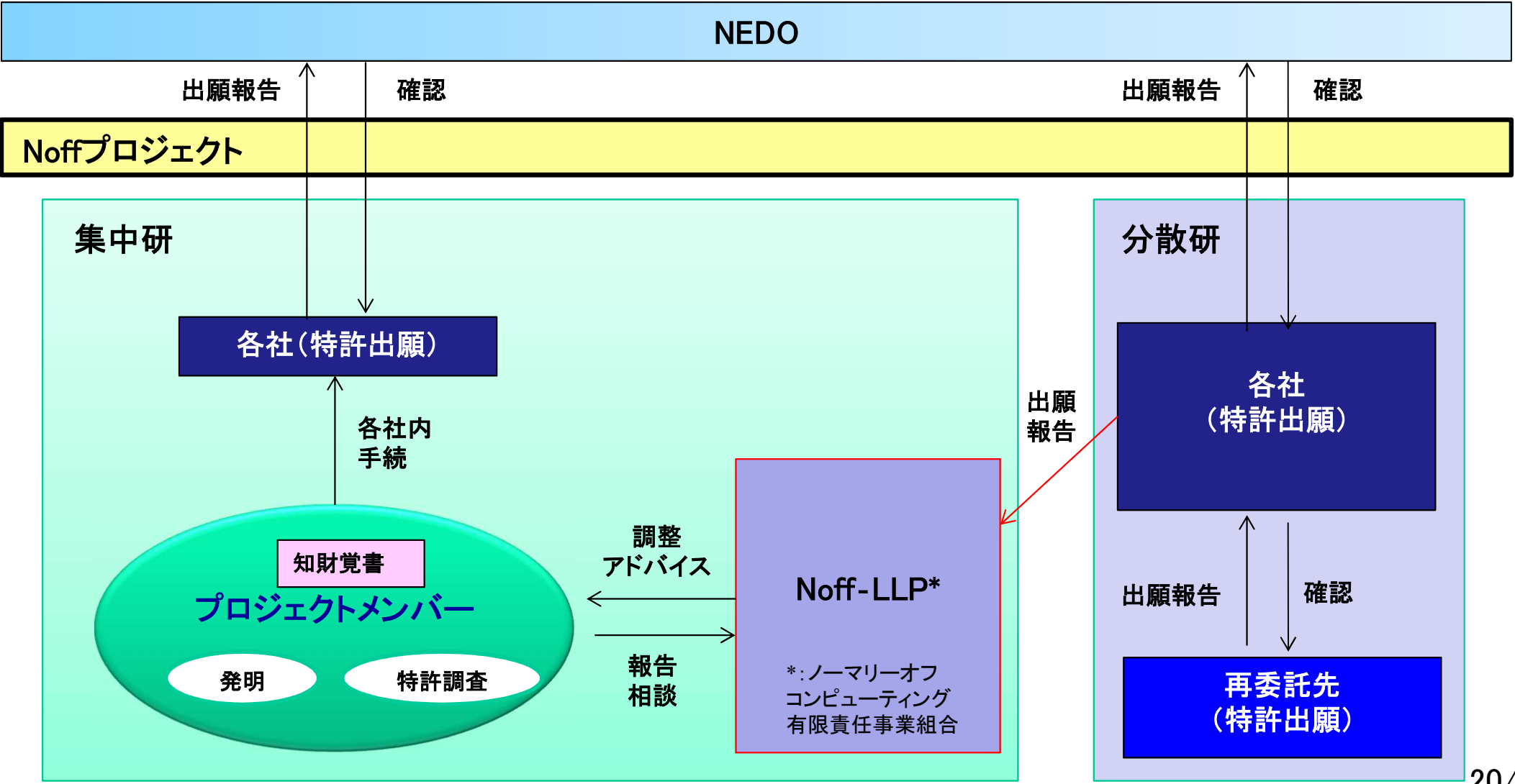


ノーマリーオフ発展普及に向けた取り組み

項目	対応
<p>1</p> <p>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</p> <p>期間: 2015年1月～2015年5月 (H27年1月～H27年5月)</p>	<p>・今後のIoT社会を想定し、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、その適用市場の考察と実現すべき技術課題等を企業ヒアリングや有識者委員会等を通して整理。</p> <p>→ノーマリーオフコンピューティングは、<u>継続的な電力供給がなく、かつ連続稼働時間の長い分野にマッチ</u>。特に市場規模の拡大が見込める「<u>社会インフラ</u>」、「<u>ヘルスケア</u>」が適用先として有望。</p>
<p>2</p> <p>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</p>	<p>【社会インフラ】 地形変形モニタリングシステムの適用((株)コア、期間:2015年7月29日から2016年3月31日)</p> <p>・多くのセンサノードが電源供給の安定しない場所に配置され、電力不足による情報収集欠落が予想されるため、ノーマリーオフ技術を活用することで低消費電力化を行う。→ <u>不揮発メモリを搭載しノーマリーオフを実現することにより、平均4.07倍のエネルギー効率を達成。</u></p> <p>【ヘルスケア】 超低電力生体モニタリングシステム及びそのサイバーヘルス・コミュニケーターへの展開(神戸大学/兵庫県立大学/オムロンヘルスケア(株)、期間:2015年7月29日から2016年3月31日)</p> <p>・ウェアラブルヘルスケアデバイスの消費電流を、センシング処理も統合してノーマリーオフ制御することで、低消費電力化を行う。→ <u>75%削減達成目途。</u></p>

知財マネジメント戦略

- ・ 知財マネジメント強化のため知財の創出/権利化を推進する体制を構築
- ・ プロジェクト研究開発活動で出てきた知的財産の取り扱いを規定し推進
- ・ 分散研の成果は積極的に知財の権利化を進める一方、集中研の成果はノーマリーオフ設計方法論として積極的に公開するオープン・クローズ戦略を推進



「ノーマリーオブコンピューティング基盤技術開発」

(2011年度～2015年度 5年間)

(事後評価)

プロジェクトの概要 (公開)

- 「事業の位置づけ・必要性について」、及び「研究開発マネジメント」(NEDO)
- 「研究開発成果」、及び「成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」
(中村PL)

NEDO

IoT推進部

2016年 7月20日

発表内容

- I. 事業の位置づけ・必要性について (NEDO)
- II. 研究開発マネジメント (NEDO)
- III. 研究開発成果 (中村PL)**
- IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し (中村PL)**

研究開発の狙い

- システムとしては動作中であっても真に動作すべき構成要素以外の電源を積極的に遮断する
「ノーマリーオフ」を実現する「コンピューティング」
 - 不揮発性メモリ(電源遮断しても記憶を保持)
 - パワーゲーティング(電源遮断による低電力化)メモリ階層 & 電源制御粒度の最適化による相乗効果
- **メモリ & コンピューティング技術**
 - ハードウェア技術とソフトウェア技術の両方を含む
一体的なコンピューティング基盤技術の開発
- 最適なノーマリーオフコンピューティングは
アプリケーションの特徴に依存

最適なノーマリーオフコンピューティングはアプリの特徴に依存

- 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」
- 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」
- 分散研: 研究開発項目①: 広い応用分野で
最適なノーマリーオフコンピューティング技術の確立
→ 企業主体: 実用化指向、幅広く迅速に社会へ貢献
- 集中研: 研究開発項目②「新しい応用領域へ」
産学連携で分散研へフィードバック&成果を統合体系化
→ 新しいノーマリーオフコンピューティング技術の確立

Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

研究実施体制

集中研

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」

東大

ルネサス

東芝

ローム

密に連携

携帯情報端末

東芝

スマートシティ

ルネサス

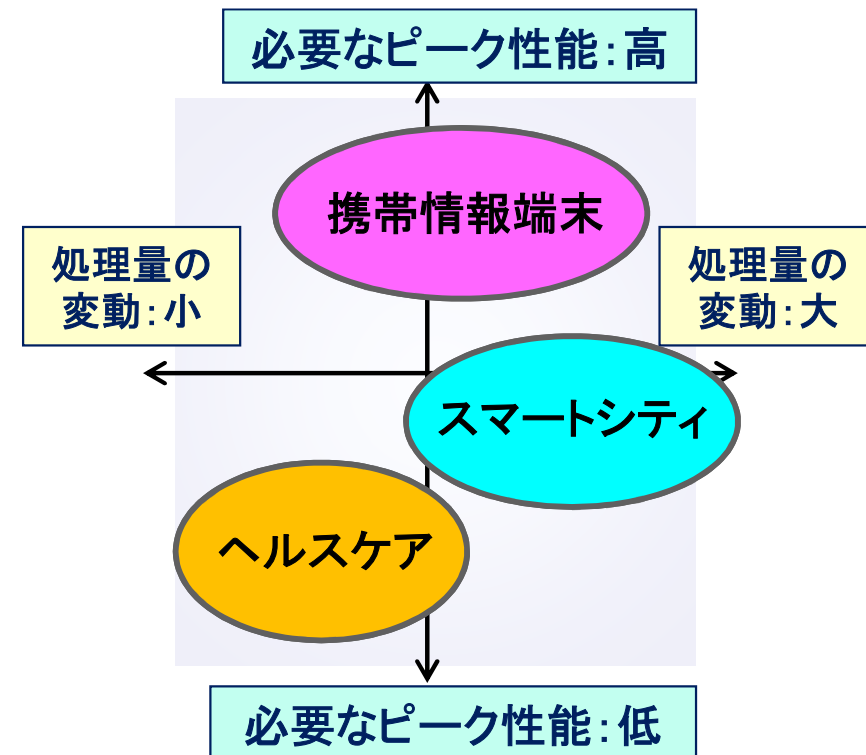
ヘルスケア応用

ローム

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」

分散研

想定する応用分野



Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度 及び研究開発成果の意義

最終目標の達成状況(1)

研究開発項目	最終目標(平成27年度末)	研究開発成果	達成度
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倍以上を示す。	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。	◎
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低電力化性能を実証する。	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、マイコンレベル、システムレベルでの電力削減効果を実証し、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。	○
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の完成と、電力消費性能10倍、平均消費電流20 μ Aを達成する。	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20 μ A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。	◎

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

Ⅲ. 研究開発成果

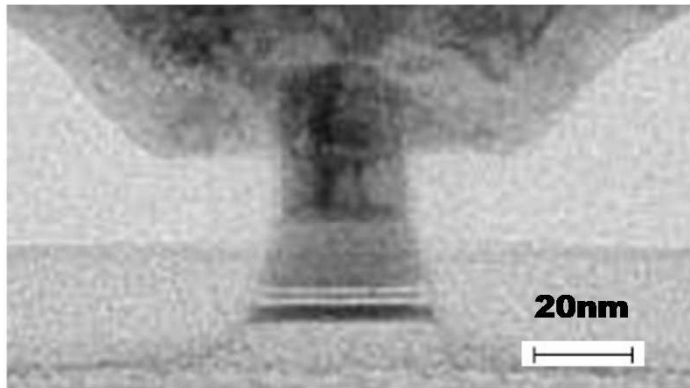
(1) 研究開発目標の達成度 及び研究開発成果の意義

最終目標の達成状況(2)

研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
<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(②-3)</p> <p>※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</p>	<p>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。</p>	<p>キャッシュメモリに不揮発メモリのSTT-MRAMを搭載しノーマリーオフ制御を行う手法を開発した。分散研①-1と協力しこの手法を適用するキャッシュメモリを試作し、消費電力を従来の1/10以下にすることに成功した。また、スマートシティ応用センサーノードのタスクスケジューリング手法を開発した。分散研①-2と協力し、従来のセンサーノードと比較し消費電力を1/10以下にすることに成功した。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>	◎
<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</p>	<p>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。</p>	<p>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、分散研の低電力化実証の支援を可能とした。</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</p>	<p>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。</p>	<p>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を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。これにより分散研の低電力化実証の支援を可能とした。</p>	○

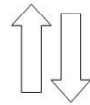
- 垂直磁化方式STT-MRAM用MTJメモリ素子の開発：
 最小寸法16nmのMTJを作製し、高速・低消費電力(1ns, 42uA)で書き込み動作を実現。ラストレベルキャッシュメモリ用SRAMの性能/電力を凌駕する世界最高省電力性能の不揮発メモリを実証。

世界最高の高速性x低消費電力を併せ持つ 新型MTJ素子を開発



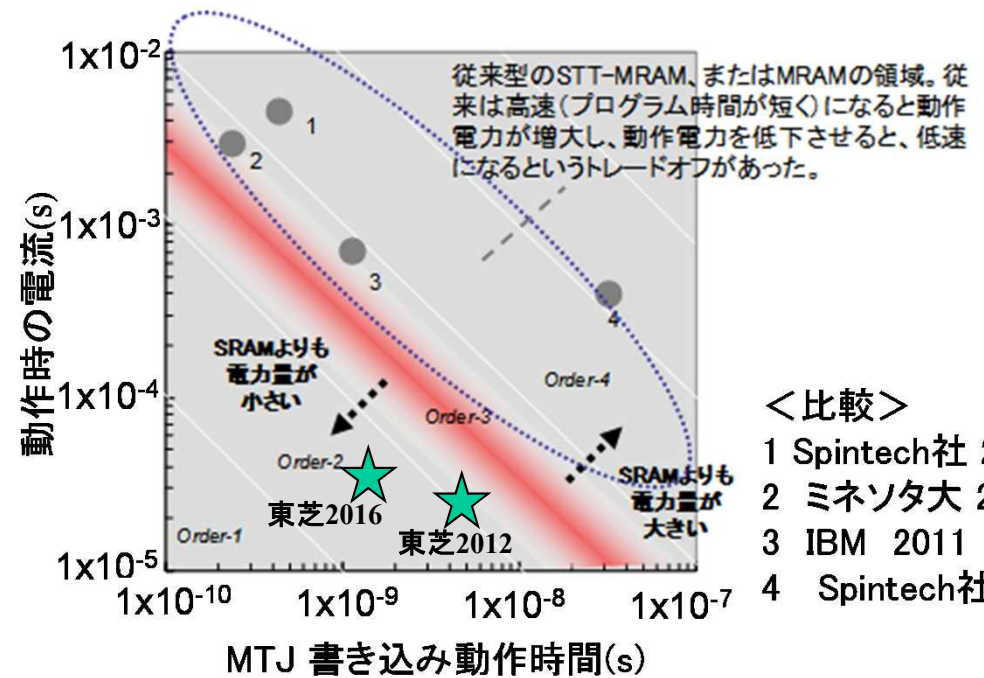
STT-MRAMを構成する磁性体メモリ素子単体の電子顕微鏡写真(断面)

スピンの方向が
 表面に対して
 垂直方向となることが
 特徴
 (垂直磁化方式)



<技術的ポイント>

- 小さい電流量でスピンを反転させやすくする素子構造.
- 素子のサイズを小型化.
- 低い電圧で動作を可能に.



<比較>

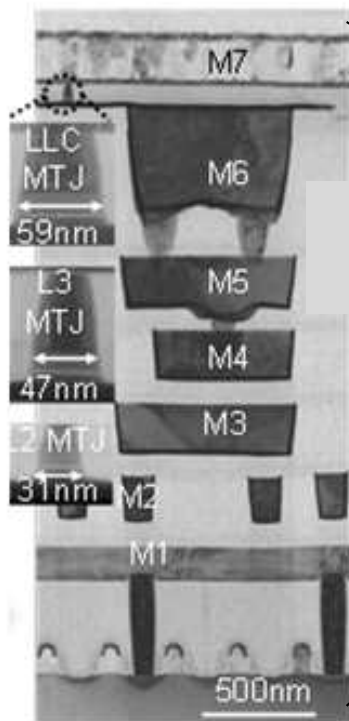
- 1 Spintech社 2009
- 2 ミネソタ大 2012
- 3 IBM 2011
- 4 Spintech社 2011

1ns, 42uAの高速かつ低消費電力書き込みを実現
 (不揮発メモリ単体素子として世界最高の省電力性能)

国際会議IEDM 2012, VLSI symposium2016にて発表、併せて
 東芝プレスリリース(2012年12月、2016年6月)

成果の概要(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) 2/2

★MTJ 31nm をCMOS回路に
混載するプロセス開発(MRAM回路
実証サイズ: 世界最小寸法)



Low-Power
-MTJ

MRAMアレイの断面
(透過顕微鏡写真)

国際会議
IEDM
2015
にて発表
(日経
Techon
に掲載)

★キャッシュメモリレベルの4Mb-RAMで
消費電力世界最小(SRAMキャッシュの動作時電力の10分の1以下)

↓ MRAMキャッシュチップ写真



東大と共同
で、ISSCC
2016
にて発表
(東芝・
東大・
NEDO
プレスリリ
ース)



プロセッサ(ARM Cortex A9)/MRAMキャッシュメモリ連動demo (ISSCC2016デモセッション)

III. 研究開発成果

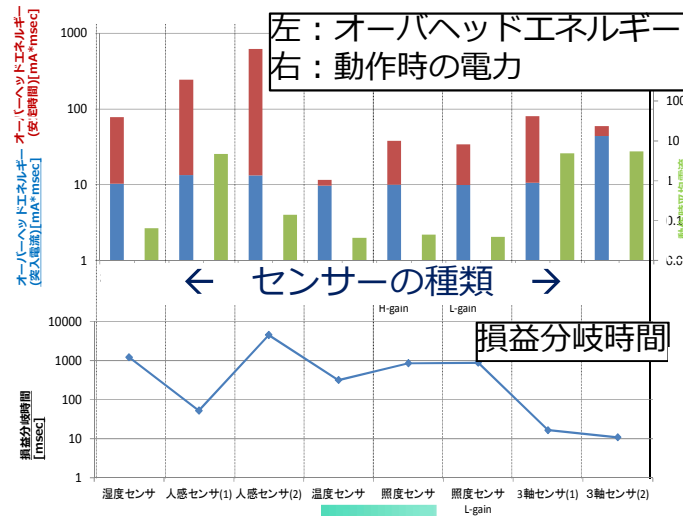
(1) 研究開発目標の達成度 及び研究開発成果の意義

成果の概要(①-2:スマートシティ・センサーネットワーク)

低電力化技術開発では、センサー応用技術、タスクスケジュールリング技術(集中研と連携)、自律適応型電源制御技術を確立し、従来のマイコンを用いたセンサーノードと比較し、マイコンレベル、システムレベルでの電力削減効果を実証し、目標の10倍(90%の削減効果)のノーマリオフ低電力化性能を実現した。

(1) センサー特性評価・応用技術の成果

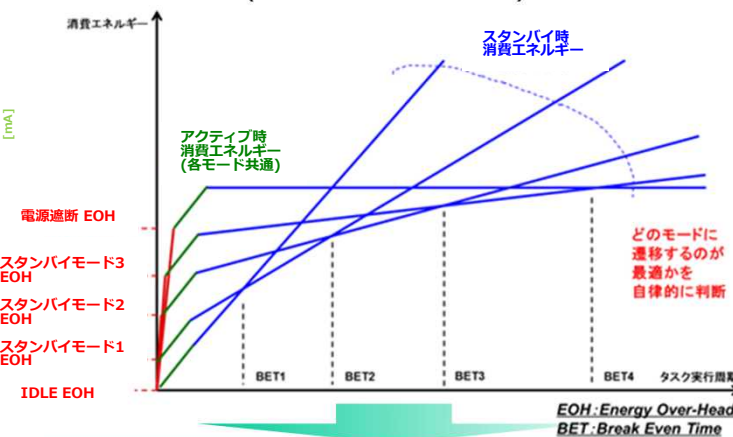
センサー特性評価から得られた損益分岐時間を考慮したセンサー制御ドライバ(ソフトウェア)を開発。



(2) 電源制御技術

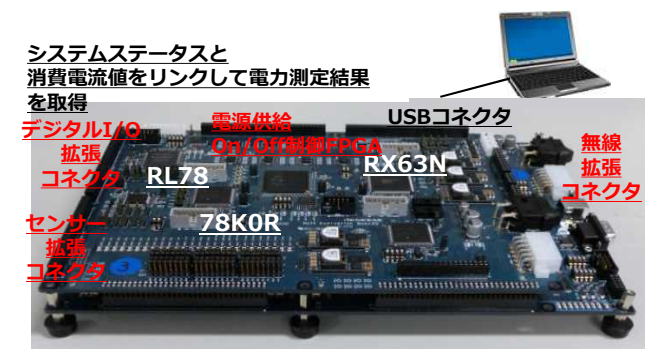
タスクスケジュールリング制御技術
集中研との連携により、実証デモの仕様を設計。

自律型電源制御技術
スタンバイ期間に応じた最適なスタンバイモードを選択できる機能(自律型電源制御技術)を実装



(3) システム電カプロファイル評価環境-2

'13年度開発の評価環境-1をベースに、2次実証デモ仕様に機能拡充。マイコンレベル、システムレベルの低電力化効果の実証に対応。



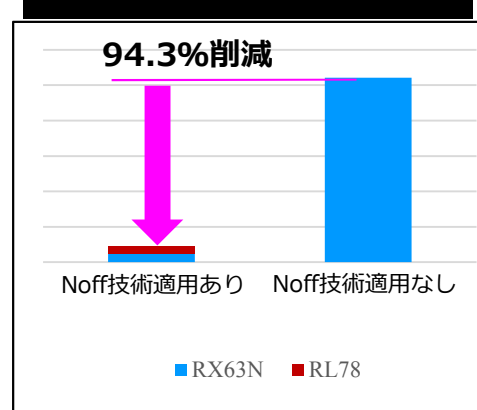
(4) 実証デモ (知的バス停システム)

- 1次試作 (H23~25年度)
- ・システム立ち上げ試作
 - ・ノーマリーオフ化に向けたシステム挙動把握・分析
- 2次試作 (H26~27年度)
- ・ノーマリーオフシステムでの実証

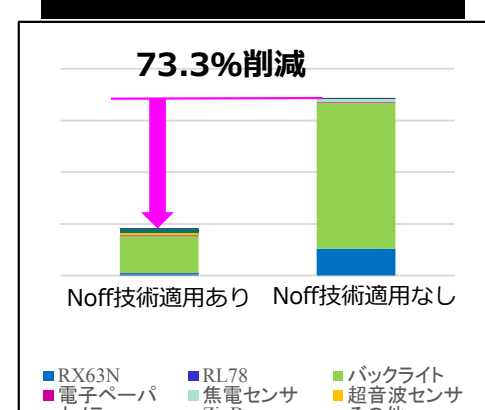


	1次実証	2次実証新型バス停
マイコンボード	市販品 (armadillo)	ノーマリーオフ対応ボード
①MCUレベルの低電力化実証		
人検知	焦電センサのみ	焦電センサ→超音波センサ
②システムレベルの低電力化実証		→画像センサの3段階にて

MCUレベルの電力比較



システムレベルの電力比較



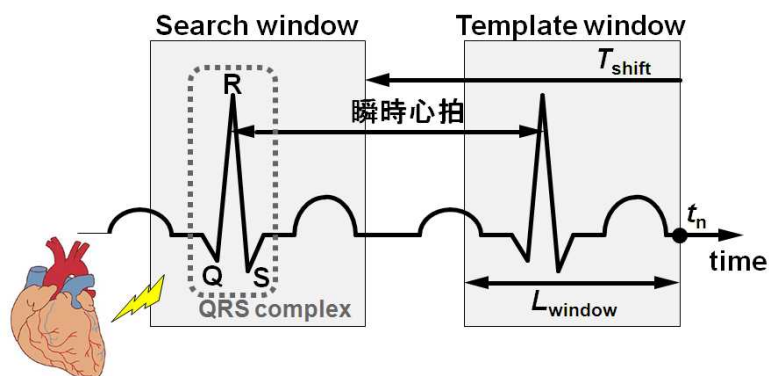
Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

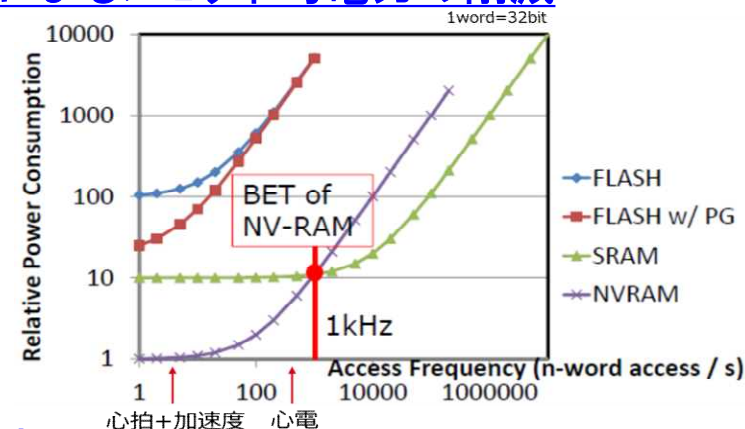
成果の概要(①-4 :ヘルスケア応用)

- (1) 高信頼心拍抽出アルゴリズムの開発等により、心拍計測の消費電力を20分の1以下に削減
- (2) FeRAM部を間歇動作させることにより、メモリ部の平均消費電力を10分の1以下に削減
- (3) 低電圧(0.9V)で動作する強誘電体キャパシタプロセスを実現
- (4) ウェアラブル生体モニタの平均消費電流を $20\mu\text{A}$ 以下とし、電力消費性能10倍を達成

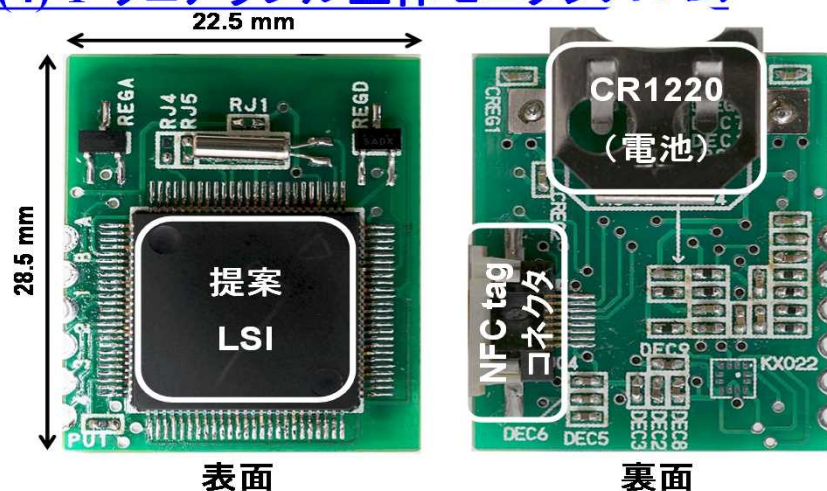
(1) 心拍計測アルゴリズムの開発



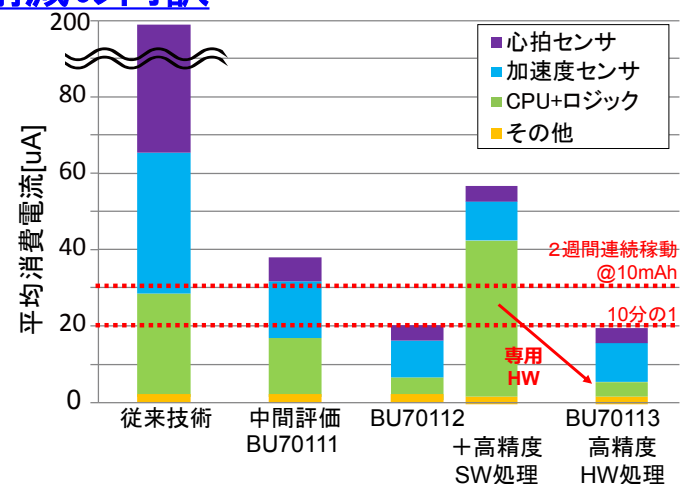
(2) 間歇動作によるメモリ平均電力の削減



(4)-1 ウェアラブル生体モニタシステム



(4)-2 電力削減の内訳

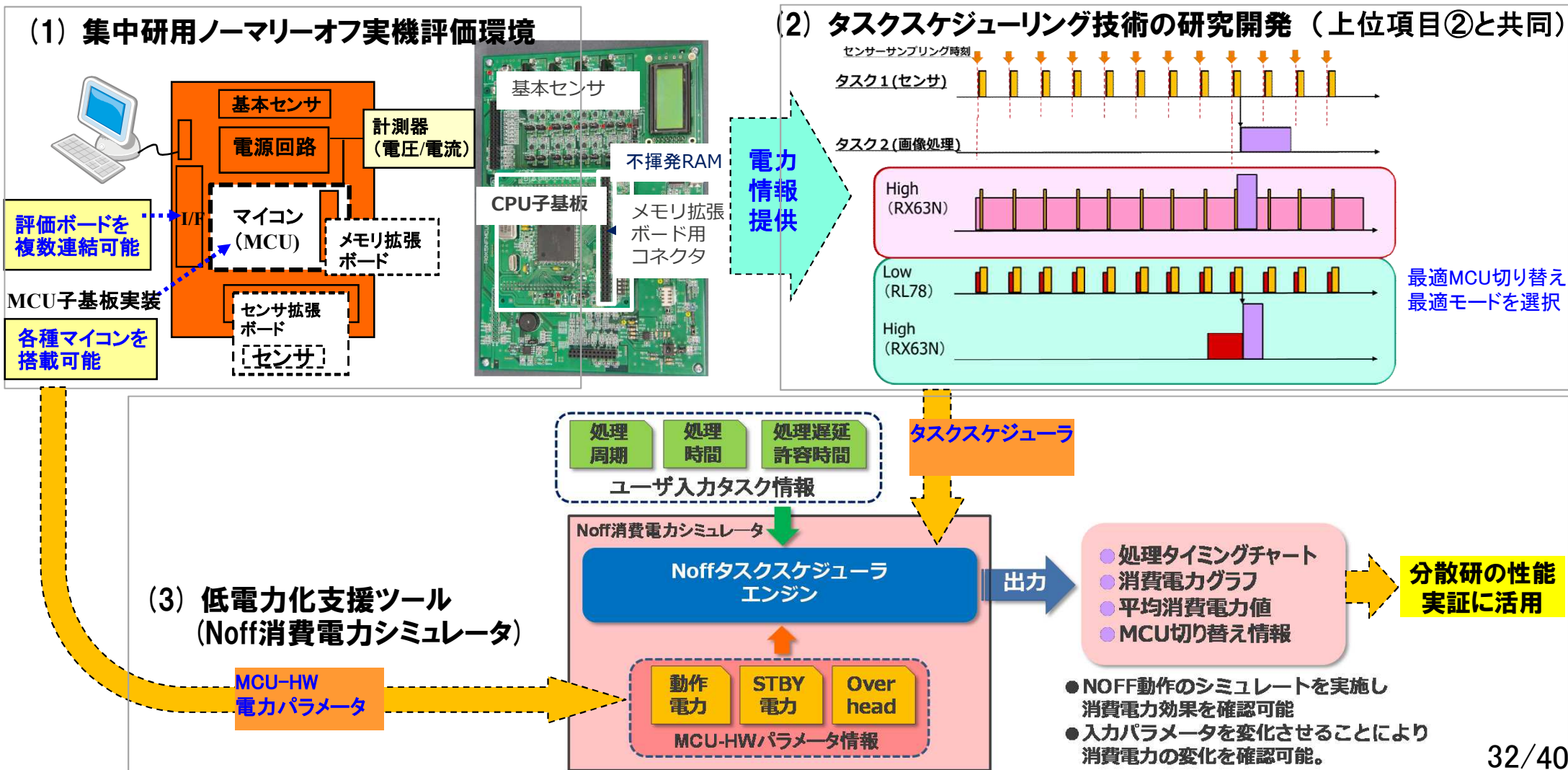


Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

成果の概要(②-1:ノーマリーオフ評価基盤)

- (1) 子基板変更によるMCU変更が可能、かつ、複数評価ボードを連結する階層アーキテクチャ評価を可能とするノーマリーオフ実機評価環境を構築
- (2) (1)で得られる電力情報を元に、上位項目②と共同でソフトウェア視点でのノーマリーオフ最適化技術(タスクスケジューリング技術)を開発
- (3) 上記成果を元にソフトウェア開発支援向け低電力化支援ツールを開発し、分散研の性能実証に活用



Ⅲ. 研究開発成果

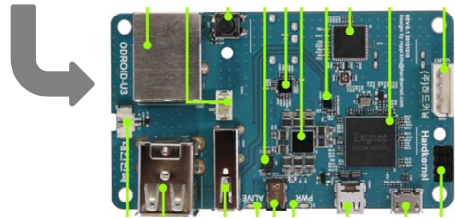
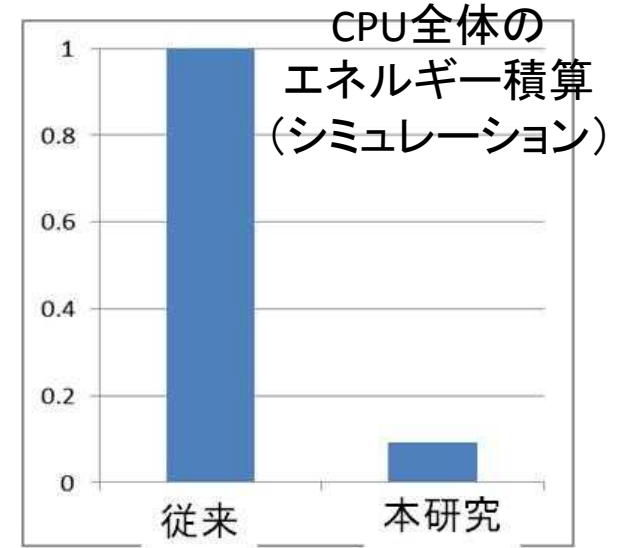
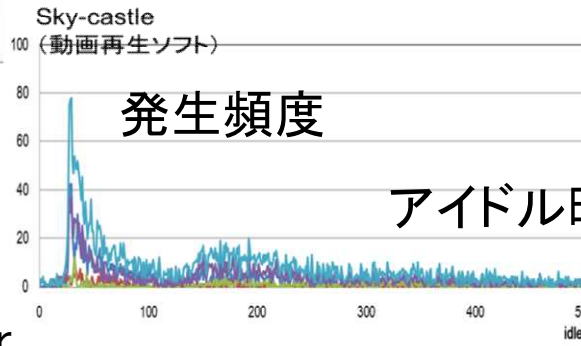
- (1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

成果の概要(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)

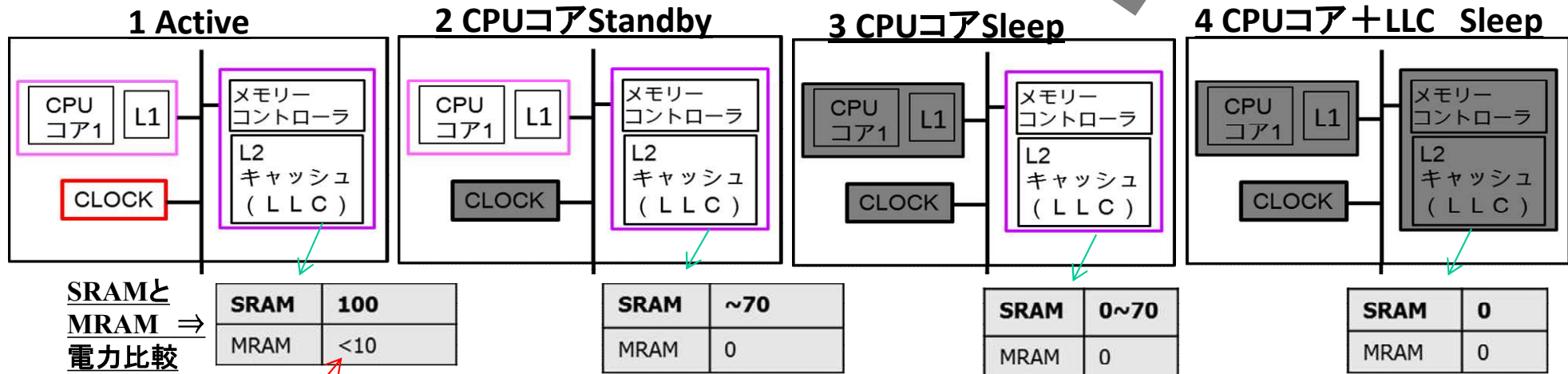
- (1) 実際のモバイルプロセッサでCPU状態を計測する環境の構築
- (2) CPU状態に応じて電力モードを考慮した電力評価を可能とし、分散研の低電力化実証を支援



Samsung
モバイルプロセッサ
Exynos



Cortex-A9 Quad-core processor



周辺回路高速電源遮断

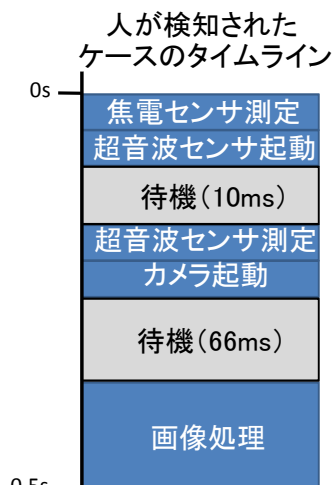
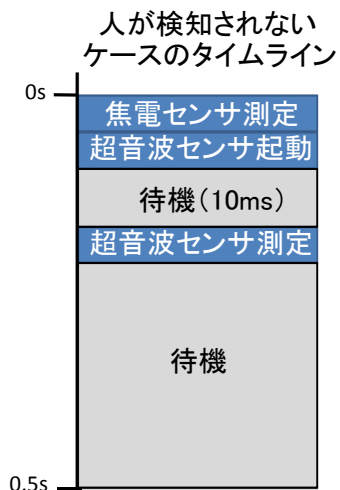
Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

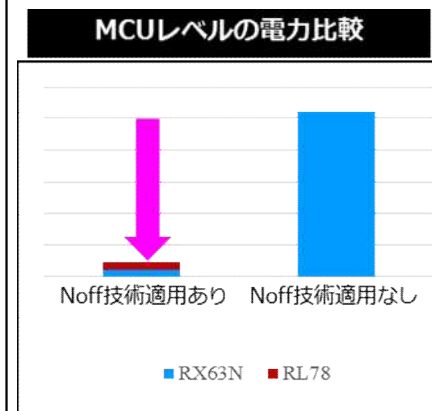
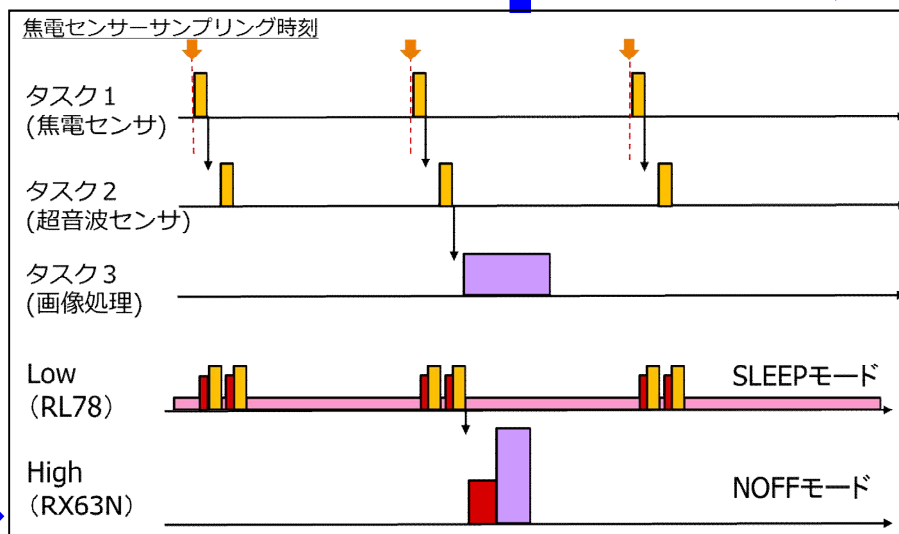
成果の概要(②): 設計方法論の研究開発

最適化技術 (1) マイコンシステム向けタスクスケジューリング技術

分散研①-2と協力し、従来のセンサーノードと比較し消費電力を1/10以下にした



タスクスケジューリング



分散研

HW情報、
SW情報 (Taskグラフ)

Extraction

実システムでの電力評価

Feedback

集中研提案に基づく
SWの改良

集中研

Task負荷情報、処理デッドライン、データ入力周期、
各プロセッサ動作電力、リーク電力、電源遮断OH電力

input

ノーマリーオフ電力評価モデルの適用

output

消費エネルギーが最小となる、
各プロセッサへのTask割り当て (Taskスケジューリング)

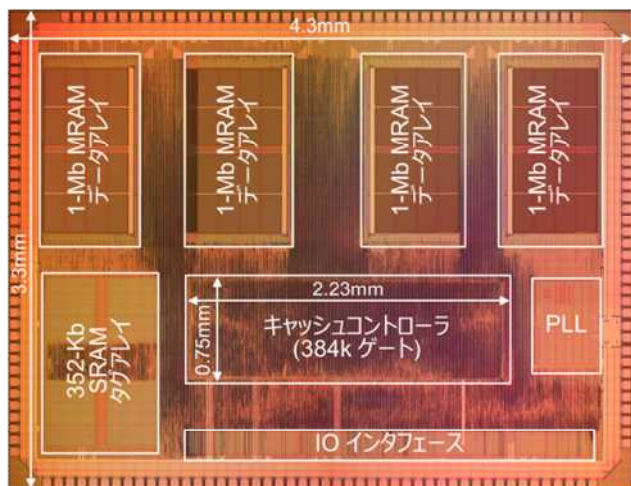
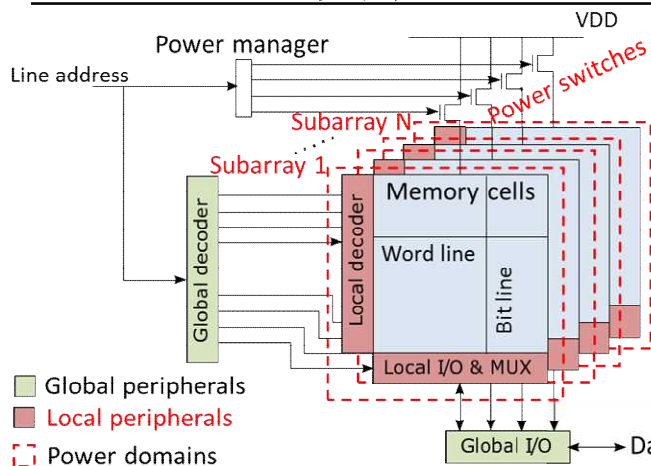
III. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義

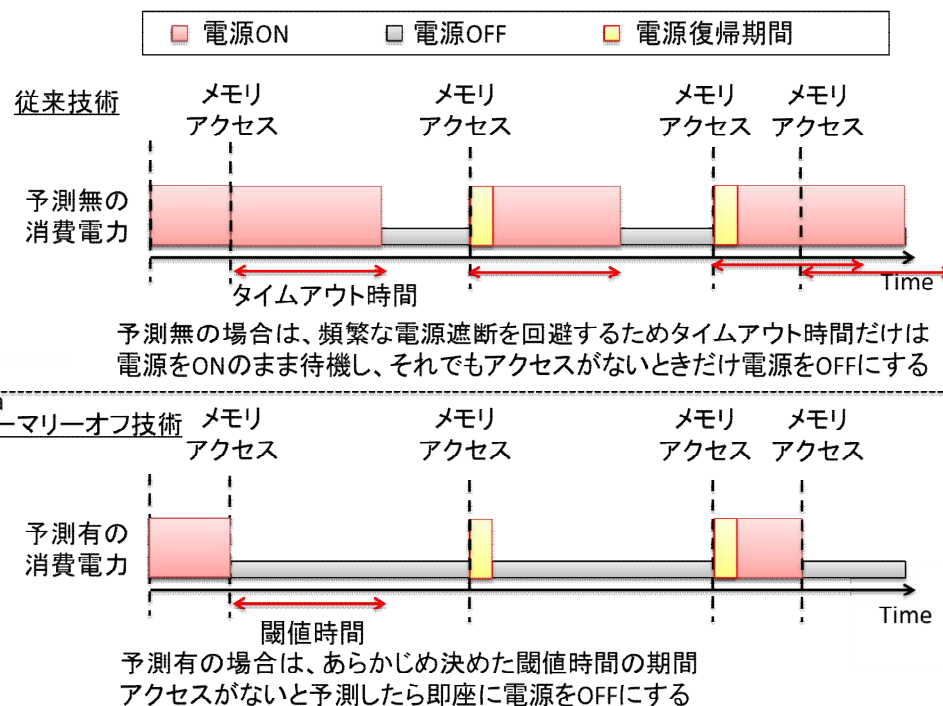
成果の概要(②): 設計方法論の研究開発

最適化技術(2): 携帯情報端末向けSTT-MRAMキャッシュのノーマリーオフ技術
分散研①-1と協力しこの手法を適用するキャッシュメモリを試作し、消費電力を従来の1/10以下にした

STT-MRAMキャッシュのノーマリーオフ技術

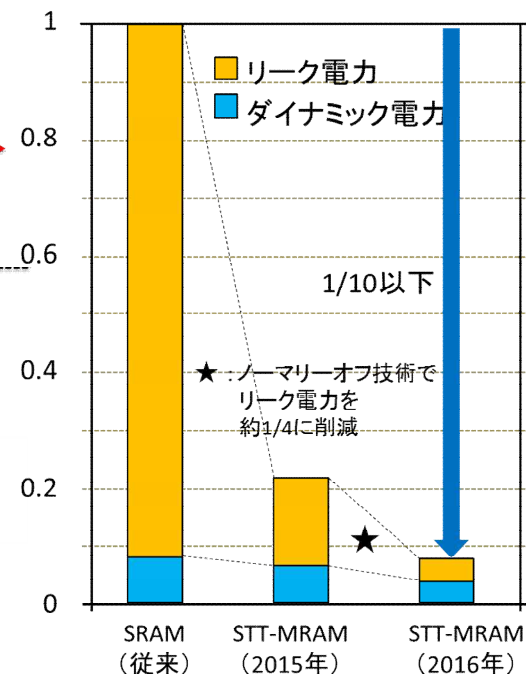


サブアレイ単位で電源制御可能な
STT-MRAMキャッシュメモリ(分散研成果)



周辺回路まで電源遮断する
ノーマリーオフ技術
(電源遮断しても性能が
低下しないケースを予測)

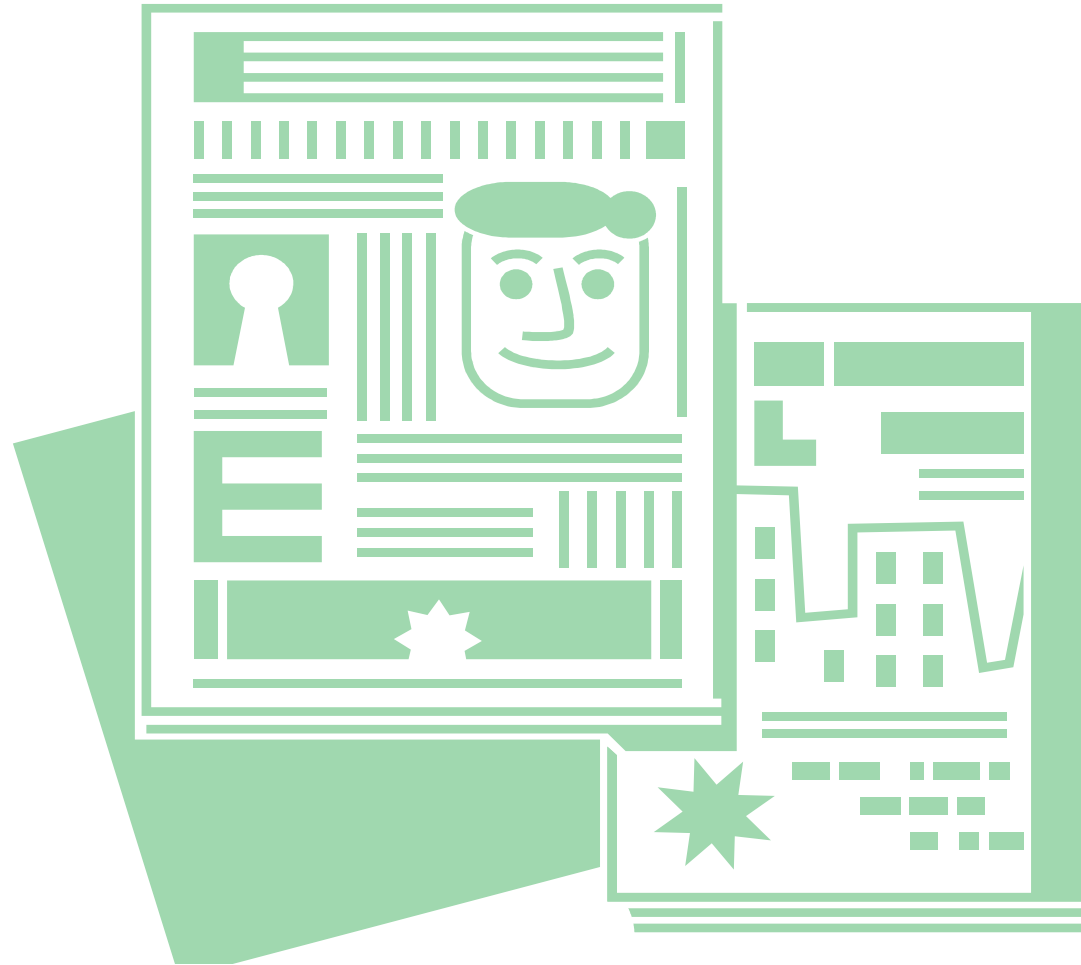
4Mbキャッシュメモリの 消費電力(相対値)



実回路への適用結果
電力1/10を達成
[ISSCC2016]

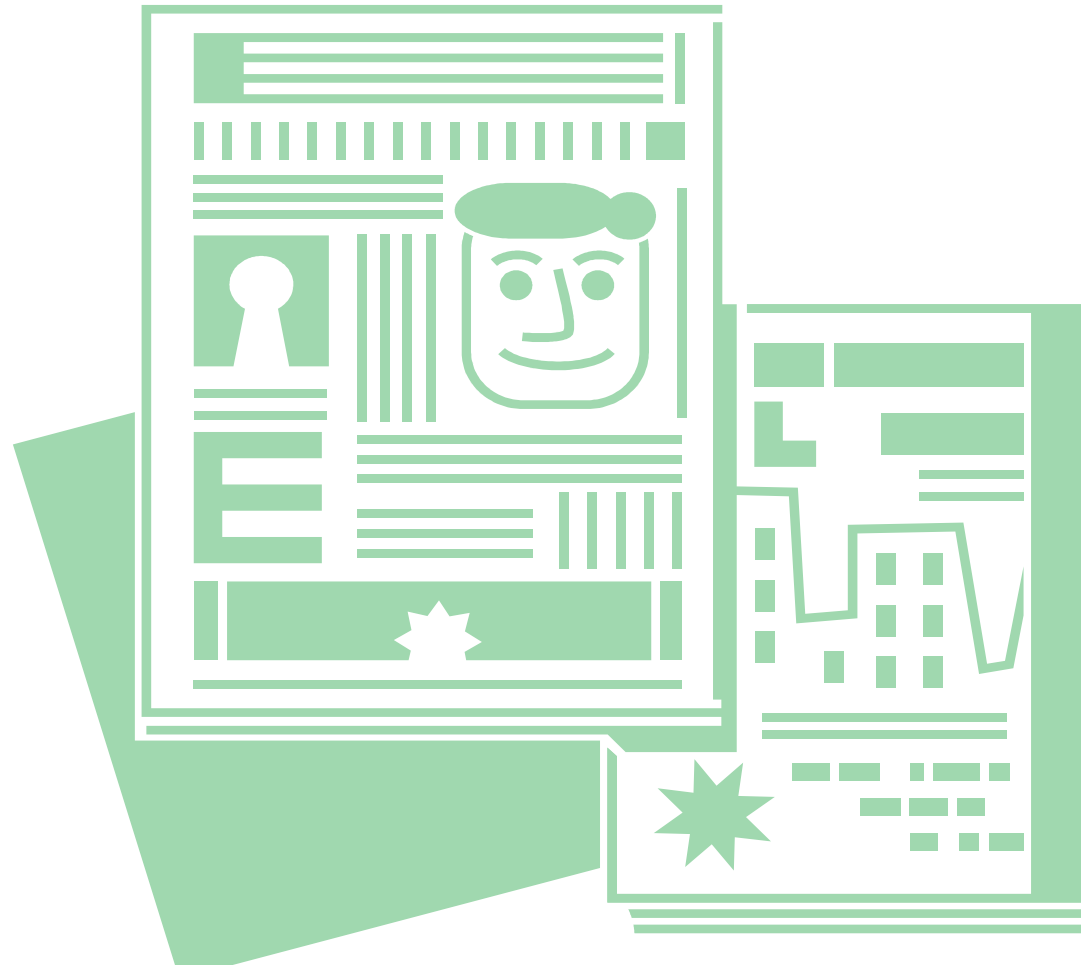
スライドのみ

成果の普及



スライドのみ

成果の普及



Ⅲ. 研究開発成果

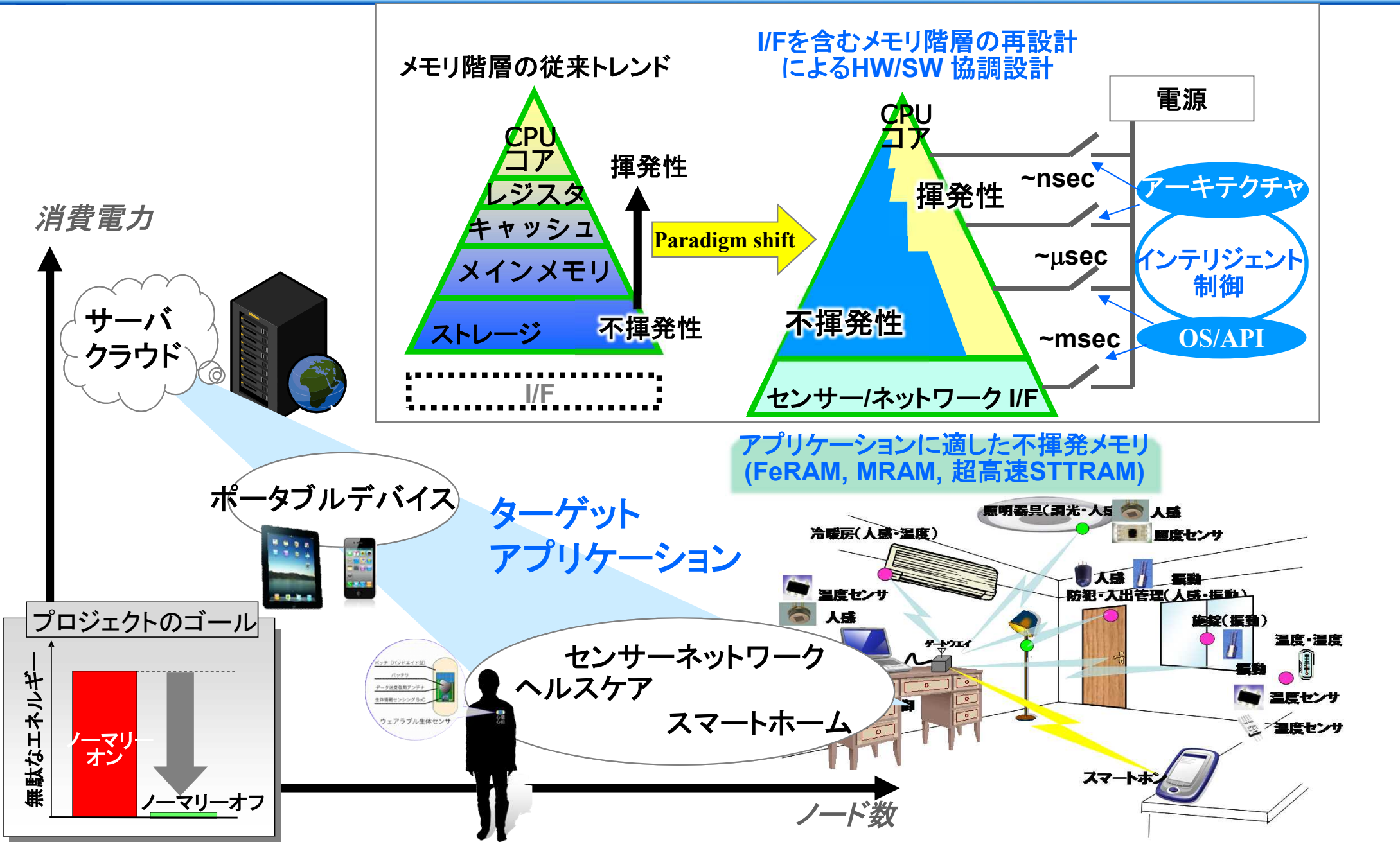
(3) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

知的財産権、成果の普及

	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)	計
特許出願(うち外国出願及びPCT出願※)	10(0)	46(21)	38(12)	42(28)	25(14)	161(75)
特許登録(うち外国登録)	0(0)	0(0)	14(2)	17(10)	7(6)	38(18)
論文(査読付き)	6	27	22	29	25	109
研究発表・講演	27	29	72	67	55	250
受賞実績	0	2	0	0	1	3
新聞・雑誌等への掲載	2	5	1	7	8	23
展示会への出展	0	1	0	3	5	9

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

ノーマリーオフが実現する未来像



成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

