

**研究評価委員会**  
**「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)**  
**分科会 議事録**

1. 日 時 : 平成 28 年 7 月 20 日 (火) 9:30~17:30

2. 場 所 : WTC コンファレンスセンター3階 Room A

〒105-6103 東京都港区浜松町 2 丁目 4 番 1 号 世界貿易センタービル 3階

3. 出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	松山	公秀	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門	教授
分科会長代理	河原	尊之	東京理科大学 工学部 電気工学科	教授
委員	井上	弘士	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 I&E ビジヨナリー特別部門	教授
委員	津田	建二	国際技術ジャーナリスト (電子・半導体産業) News & Chips	編集長
委員	中島	康彦	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	学長補佐・教授
委員	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

<推進部署>

都築 直史	NEDO	IoT 推進部	部長
梅田 到	NEDO	IoT 推進部	統括主幹
波佐 昭則	NEDO	IoT 推進部	主任研究員
厨 義典	NEDO	IoT 推進部	主査
大杉 伸也(PM)	NEDO	IoT 推進部	主査

<実施者※メインテーブル着席者のみ>

中村 宏(PL)	東京大学 大学院 情報理工学系研究科	教授
中田 尚	東京大学 大学院 情報理工学系研究科	助教
藤田 忍	株式会社東芝 研究開発センター、ストレージ&デバイスソリューション社兼務	研究主幹
吉川 進	株式会社東芝 ストレージ&デバイスソリューション社メモリー事業部	技師長
西山 彰	株式会社東芝 研究開発センター	主席技監
村岡 浩一	株式会社東芝 研究開発センター、スピンドバイスラボラトリー	室長
林越 正紀	ルネサスエレクトロニクス株式会社 第一ソリューション事業本部	コア技術事業統括部 主管技師
野田 英行	ルネサスエレクトロニクス株式会社 第一ソリューション事業本部	コア技術事業統括部 課長
植木 浩	ルネサスエレクトロニクス株式会社 第二ソリューション事業本部	事業計画統括部 技師
黒田 昭宏	ルネサスエレクトロニクス株式会社 第二ソリューション事業本部 インダストリー・ソリューション事業部	シニアエキスパート
藤森 敬和	ローム株式会社 センサ事業推進薄膜ピエゾ製造部	統括課長
高橋 唯夫	ローム株式会社 基礎研究開発部	研究管理課 課長

<評価事務局等>

佐藤 義竜 NEDO 技術戦略センター 研究員  
徳岡 麻比古 NEDO 評価部 部長  
保坂 尚子 NEDO 評価部 統括主幹  
坂部 至 NEDO 評価部 主査

## 議事次第

### 【公開セッション】

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」について
  - 5.2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」について
  - 5.3 質疑応答

### 【非公開セッション】

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 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」
  - 6.2 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」
    - 6.2.1 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
    - 6.2.2 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
    - 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
    - 6.2.4 デモ展示
      - 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
      - ①-4：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
7. 全体を通しての質疑

### 【公開セッション】

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

### 【公開セッション】

#### 1. 開会、資料の確認

- ・配布資料確認（評価事務局）

#### 2. 分科会の設置

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
- ・松山分科会長挨拶
- ・出席者（委員、推進部署、実施者、事務局）の紹介（評価事務局、推進部署）

#### 3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2に基づき分科会の公開について説明があり、議題6.「プロジェクトの詳細説明」、及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。また、資料3に基づき、分科会における秘密情報の守秘及び非公開資料の取扱いについての、補足説明があった。

#### 4. 評価の実施方法及び評価報告書の構成

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

#### 5. プロジェクトの概要説明

5.1 「事業の位置付け・必要性」、及び「研究開発マネジメント」について、推進部署（IoT推進部 大杉PM）より資料5に基づき説明が行われた。

5.2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」について、実施者（中村宏PL）より資料5に基づき説明が行われた。

#### 5.3 質疑応答

【松山分科会長】 どうもありがとうございました。技術の詳細については、後ほど議題6で議論しますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性、マネジメントについての質疑とさせていただきます。ただいまの説明に対して、委員の先生方からご意見、ご質問等ございましたら、よろしくお願ひします。

【河原分科会長代理】 資料6ページにあるように、日本の技術優位性により産業競争力強化につながる技術を世界に先駆けて確立するという点で、技術的に非常に高い成果が出たことは十分承知しております。今後の進め方として、NEDOに伺いたいと思います。

中村先生の25ページの資料で、最初に決めたときに技術の網羅性に留意した(携帯情報端末、スマートシティ、ヘルスケアを選んだ)のでどこが出てきても大丈夫だという話があって、19ページでは、2015年にどう展開するかを考えて社会インフラとヘルスケアが有望だとわかったということです。

要するにドンピシャリだったわけですが、今後日本の優位性を高めるために、技術の網羅性のところで新たな国プロを起こしていくのか、あるいは市場規模を高めるところをまず選んで、そこで実施者を選ぶのか、今回のプロジェクトからどう考えていくのかを、お聞きしたいと思います。

【大杉PM】 今回のノーマリーオフのプロジェクトは2015年度で終了していますが、終了する前に、ノーマリーオフは本当に有効性があるのかどうかということのを他の領域で2件小規模研究開発を実施しました。また、こちらも小規模研究開発になりますが、並行して通信分野についてノーマリーオフを適用するという研究開発を現在も進めているところです。

このように、できるだけ他の分野に広げていきたいということで、まずはノーマリーオフのコンセプトを広げていくという段階です。国家プロジェクトという意味では、NEDOとしては適用可能性を探っている模索中の段階にあります。

【河原分科会長代理】 ノーマリーオフという日本の非常に優れた技術を中村先生の下で網羅的に実施し、その技術をどう適用するかという点は、小規模でサーチしながら広めていく戦略を取るということで

よろしいですか。

【大杉PM】 現時点はそうです。

【松山分科会長】 他にございますか。

【中島委員】 同じような質問ですが、今後の展開に関係する話です。不揮発メモリはそのままだと電力が高いので、揮発メモリと組み合わせて、バランスを取って 10 分の 1 の電力にするというのが主な趣旨だと思いますが、性能は落としたいというのが一番の制約条件で、こういう目標にしていると思います。

ただ携帯電話は今から食い込もうと思っても、非常に難しいのではないかと思います。むしろ性能を 10 分の 1 に落として、電力を 100 分の 1 に落とすとか、性能は 100 分の 1 で良いから電力を 1 万分の 1 に落とすとか、もし IoT を目指すのであれば、せつかくの不揮発メモリなのでオール不揮発で、たとえば主記憶も全部不揮発にして、性能は遅くてもとにかく電力は低いという出口が、我々からすると非常に素直だし、日本的だと思います。

今後もそういう話はスコープには入らないのですか。それとも、そこまで考えておられるのでしょうか。

【中村PL】 技術の話と応用分野の話が交ざったご質問だと思います。技術の方から言うと、IoT になると性能が 100 分の 1 でも良いのではないかというのは、もう少し言うと技術で性能を 100 分の 1 にするのはなくて、これからの IoT 時代は、そもそも個々の機器の性能は 100 分の 1 でも良いのではないかというご指摘だと思います。

そうであれば、性能は 100 分の 1 で良いというスペックが与えられたものに対して、この技術を使えばさらに 10 分の 1 になるという技術は基本的に開発しているつもりです。従来に比べて圧倒的に性能が低い 100 分の 1 の応用分野を、実際にこのプロジェクトの中でやったわけではないというのは、ご指摘のとおりだと思います。ただ、我々は与えられた指標に対して、こういう技術があったら 10 分の 1 になるということはやっているつもりです。

もう一つは、もう少し応用分野を考えなければいけないということでしょうか。

【中島委員】 今のお話で答えになっていると思います。ありがとうございます。

【松山分科会長】 他に何かございますか。

【三木委員】 ノーマリーオフという新しい概念で良い成果を出されていて、まったく問題ないアプローチだと思いますが、中島先生のご質問とも関係するところで質問したいと思います。

25 ページの絵は、右下の領域は深掘りして実証されて、事業化も見えてきて良い感じですが。左上の携帯情報端末、それから書いていないけれどもクラウド向けのサーバなど非常に高速で処理しなければいけないところは、適用できそうだけれども本プロジェクトでは実証性が十分ではなかったということで、こちらの見通しや今後のアプローチについてお聞かせいただければと思います。

【中村PL】 クラウドやサーバは、図の中ではもちろん上に位置し、左か右かは微妙なところ、というところかと思いますが。

サーバ系で 10 分の 1 は難しいかなとは思いますが、中間評価では「5 分の 1 だからだめだとか、10 分の 1 だから良いということではなくて、適用範囲をちゃんと考えてほしい」と言われました。

サーバではないのですが、現在、基幹のルータースイッチに適用する、NEDO の小規模開発が走っています。10 分の 1 は難しいですが、基幹のルータースイッチで重たい処理となるルーティング経路を見つける処理と、ブラックリストと対応をとる処理は、結構テーブルルックアップが多いのです。そのため膨大なテーブルがありますが、個々のエントリーはそれほどたくさんアクセスされるわけでもないで、これは不揮発メモリが使えるのではないかということで、このプロジェクトの外ですが、小規模開発の方で、そういうプロジェクトも進行中です。

【松山分科会長】 その他ございますか。

【中島委員】 29 ページはキャッシュだけのチップ写真だと思いますが、一つは、たとえばARM と1 チップに載るようなもののできるのかという話です。それから IoT というからには、電力も小さくないといけません、値段も安くなければいけません。将来的には、コスト的にも行けるのでしょうか。この二つをお願いします。

【中村 PL】 非公開セッションで答えても良いでしょうか。

【中島委員】 では、そちらをお願いします。

【松山分科会長】 他にいかがですか。では私から。今回は電力を 10 分の 1 と桁違いに下げる評価指標を用いて、いろいろな最適化の開発をしたと思いますが、最後に重要なのは実用化・事業化を視野に入れたときのコストです。最適化するときコスト的なものを再び指標に入れた場合、最適設計を少し見直す必要性について設計の枠組みの中で検討されたことがあったらお答えいただきたいと思います。

【中村 PL】 コストについて聞かれると公開セッションで回答するのは難しい面もありますが、定性的に言うと、東芝は新しい素子を開発したのでコストがかかっていると思います。ルネサスは汎用品の MRAM(Magnetic RAM)や FeRAM(Ferroelectric RAM)を使っていることもあって、ハードウェアコストはそんなにかかかっていません。このようにハードウェアコストで見ると、バリエーションの大きいプロジェクトになっています。

ソフトウェアの開発コストに関しては、やはり大きいものがあります。たとえばルネサスはスケジューラを開発しています。大学では基本アルゴリズムを開発するだけですが、それを実際に実装するソフトウェア・インプリメンテーションのコストはかなり大きくなります。

ですからコストの構造も、各社それぞれ違うところがあります。それが各応用分野でペイするかどうかという判断については、各社はそういうものも考えながら行っています。詳細は午後の非公開セッションであると思うので、このぐらいの回答でよろしいでしょうか。

【松山分科会長】 わかりました。コストもそうですが、不揮発メモリやセンサー応用に関しては時間粒度という言葉がよく出てきます。時間スケールも非常に違ってきて、場合によっては低電力化をするためにスケジューリングを行ったり、処理速度の点で少しデメリットが出てきたり、低電力以外のファクターがいろいろあると思いますが、その辺も重ねて設計のときに考慮しているのでしょうか。あるいは少なくとも今回は、消費電力を第一に設計方法論を確立しているのですか。

【中村 PL】 消費電力が第一であることは間違いありません。フィールドでの処理があらかじめ決まっているシステムでは、スケジューリングはオフラインでやっておくことになります。もちろん条件分岐があったらこうするということはありますが、それもオフラインで予測できます。そのため、オンラインで処理を変更するための性能低下はそんなはないと考えています。

コストに関して言及させていただきたいのですが、たぶん「電力 10 分の 1 だけで本当にマーケットが取れるのか」というご質問ではないかと思います。これは定性的な話になりますが、ここに関しては応用によってまちまちです。たとえば低電力化により、1 年ごとに電池交換をしなければいけないのが 10 年に 1 回で済めば、かなりコスト削減になるので、応用によっては電力削減自体あるいはエネルギー削減自体がコスト削減になるという分野もあります。

そういうところでは、この技術がコスト的な競争力もある程度持って入っていいのではないかと考えています。

【松山分科会長】 他にご質問はございますか。

【津田委員】 ノーマリーオフメモリシステムのプラットフォームの位置付けですが、これは将来どういう展開をしようとしているのですか。たとえば東芝、ルネサス、ロームが同じプラットフォームを使って自分たちの製品開発に生かそうとするのか。要するに製品開発のためのプラットフォームなのか。

あるいはノーマリーオフ不揮発性メモリを評価するためのプラットフォームなのか。ここがよくわかりません。

評価するためなら、逆にこのプラットフォームは標準化に持って行けそうな気がします。たとえば測定の標準化とか、評価のための標準化とか、その辺の展望をどう考えているのかわからなかったので、もう一度聞かせていただけますか。

【中村 PL】 公開セッションでプラットフォームという言葉が出てきたのは、たぶん②、つまり集中研のところだと思います。②の中では「評価のためのプラットフォームをつくった」というのが正しいです。ただし分散研でも、各社が自分たちの競争力のある製品開発のためにプラットフォームを開発していて、それをある程度流用しています。それが一つの答えです。

それから標準プラットフォームがあると国際標準に向けてやりやすいというのは定性的にはそのとおりですが、そのプラットフォームはそこに置いておけばすぐ使えるというものでは必ずしもありません。詳細なマニュアルと使いこなす技術があって初めて利用できる評価のためのプラットフォームなので、まだ現状は、そこまでは到達していないと考えています。

【津田委員】 ありがとうございます。もう一つは、たとえばCPU＋クロック、メモリ、キャッシュと、プラスアルファをいろいろ載せたプラットフォームを各社が作りたい場合は、その辺の知財はどうなりますか。メンバーならだれでも使って良いのですか。

【中村 PL】 ②の集中研で開発しているものの知財に関しては、基本的にオープンにするつもりです。分散研はクローズド戦略で競争力を持っていたら、集中研に関してはオープン戦略でやっているの、知財としてはだれでも使って良いということです。

【松山分科会長】 ありがとうございます。他にございますか。

【河原分科会長代理】 今の質問の関連です。ツールは公開ということですが、ノーマリーオフ全体のブランド力というか、標準化をどんどん世界的に広げるために、誰でも使えるツールとして広めるプロジェクトをNEDOとして考えていくつもりはありますか。

ツールは広めようというのが今の結論だとすると、せつかく終わったので、どう広めようかということに対して各社に任せるのか、次のステップを踏む価値があると判断しているのかをお伺いできればと思います。

【中村 PL】 NEDOへの質問かと思いますが、私はNEDOのPLでもあり、NEDOといろいろ相談させていただいたので回答させていただきます。私は今回のプロジェクトに関しては、ツールを公開することが技術の発展・普及につながるとはあまり思っていません。

ツールと言っても搭載するマイコンでいろいろ変わるし、メモリもテクノロジーが変わっていきます。それよりも方法論のほうが大事ではないかということです。損益分岐点という話をしましたが、ああいう考え方があって、たとえば新しいセンサーが出てそれをどう使いこなすかを考えるときには、プラットフォーム評価基盤があれば普及につながるということではなくて、実際に大事なのはセンサーの損益分岐点からどう制御すれば良いかという方法論から最適なシステムを構築できることです。

その方法論のほうが大事ではないかと思って、今日はお話ししませんでした。実は普及を目指して本も執筆しています。

【河原分科会長代理】 標準化を進めるのはツールではなくて方法論だということであれば、まさしくそのとおりですが、国プロを使ったわけですから、本を書くという話で終わるのかということ、もう一度考えてみるべきではないかと感じました。せつかく良い技術ができたので、もっと広めたいというのが皆さんのお考えだと思いますから、それをぜひともよろしく願います。

【中村 PL】 本を書くというのは、論文の執筆でも同じですが、多くの人に認知されるために大事だと思ってやっています。もう一つ、今小規模開発をしています。仰るように技術は本の中で生きているわ

けではなく、技術者が問題に対して技術の適用を継続的にやってこそ、その技術が生きて普及していくと思います。そういう機会があった方が成果の普及には良いと思っているので、NEDOとも相談しながら、そういうものが引き続いてできるような体制に関して、いろいろお願いしている状況です。

【松山分科会長】 他にございますか。

【井上委員】 二つあります。一つは先ほどの標準化の関連です。同じ質問を繰り返してしまうかもしれませんが、中間評価への対応で標準化に関するコメントがあって、その対応が書かれています。これは具体的に何の標準化を狙ったのかというのが一つです。

シンポジウムやISSCC(International Solid-State Circuits Conference)での世界に対する発表は素晴らしいと思いますが、その効果がいま感触としてどれくらいあるのかをお聞きしたいと思います。

【中村 PL】 効果は定量的にはわかりませんが、いろいろなところで引用されて、「話をしてくれ」と言われることも多いので、そういう意味では、個人的には効果を感じています。定量的な数字で示すのは、少し難しいところがあります。

【井上委員】 質問の仕方が悪くてすみません。標準化に向けた意味での効果がどうかという意味です。

【中村 PL】 何を標準化したかったかという話があったと思いますが、API(Application Program Interface)のような標準化を目指したというわけではありません。そもそも規格でこの技術が普及するという事ではないと思います。

標準化に関しては中間評価で言われましたが、規格でマーケットを握っていくのではなくて、電力効果などの技術的な優位性でやっていくしかないということで中間評価以降の2年間あまりやってきたのが正直なところです。

【井上委員】 ノーマリーオフという技術に関しては非公開セッションで質問させていただくとして、NEDOと中村先生に漠としたことをお聞きしたいと思います。

私がこのプロジェクトで一番特徴的であり、大事だと思っているのは、今後日本が世界に勝っていくために新しい尖ったデバイス等をつくることと、それをサービスにつなげること、もしくはシステム、ハードウェア、ソフトウェアが間に入ってサービスにつながるといことです。その全体を見たプロジェクトであるところが非常に特徴的で、それを成功させたところが一番の貢献というか、実証したのはすごいことだと思います。

10倍、20倍というのは、私はそんなに気になっていません。今後こういうプロジェクトが増えていくべきだと思っていますが、プロジェクト会議を月に1回やっただけでは、おそらくうまく行かないと思います。もっと密に関係を持ち、情報交換することが必要であり、それがあったからこそ、このプロジェクトがうまく行ったのではないかと思います。

そこで質問です。NEDOとしてはデバイスからハードウェア、ソフトウェア、サービスまで含めた形のプロジェクトを、どういう視点を持ち、どういう工夫して進めることができたのか、お聞きしたいと思います。

中村先生に対する質問ですが、それを技術的な観点から見たときに、全然レイヤーが違うところをうまく回すために、どういう工夫したのか教えてください。皆さんがうまくやってくれたというのものもあるかもしれませんが。

【厨主査】 そこについては厨から答えさせていただきます。確かに皆様に使っていただいた部分もございます。それが大きいかもしれませんが、NEDOとして考えているのは体制のところですよ。

中間評価のところでは若干の変更がありましたが、分散研、集中研で役割をきちんと分けて、月に1回の定例会議も実施しながら、たとえば集中研の中で東大と各実施者の間で十分にディスカッションしたことも、デバイスとサービスの実証ができた大きな要因ではないかと思っています。そういう意味では、体制として分散研、集中研に分けたのが非常に大きな要因ではないかと思っています。



【井上委員】 私も集中研、分散研というのは非常に良いスキームだと思っています。少し整理すると、アカデミアと産業という観点からの集中、分散という見方もあるし、たとえば産業界だけのプロジェクトができたときの集中研、分散研という考え方もあるのではないかと思います。

今回はアカデミアと産業界というグループだったので、比較的そういう構造をつくりやすかったのではないかと思います。たとえば今後新しいプロジェクトで産業界だけのチームをつくったときに、こういう良いスキームをつくれるのか。もしくはつくろうとお考えなのかどうかを教えてください。

【厨主査】 もちろん、こういうスキームが産業界の中でできれば良いというところはあります。NEDOとしても昨今のオープンイノベーションという流れの中で、徐々にそういうスキームを取り入れる形のプロジェクトを進めていく方向になってきています。

そのあたりは実施者がどういう形でスキームをつくるかという部分も非常に大きくて、実施者のご協力も必要になりますが、NEDOとしてはオープンイノベーションをもっと活発化する取り組みを進めていく所存です。

【井上委員】 良いスキームだと思うので、ぜひ進めていただければと思います。

【中村 PL】 私への質問に答えます。今日いらっしゃる NEDO の方は 5 年前はおられなかったので、そのことも含めてもう少し踏み込んで言うと、こういうスキームが良いのではないかと NEDO のご指導がプロジェクト開始時にありました。これは非常に良かったと思っています。そういう意味では NEDO がリーダーシップを発揮して、この体制をつくったということ、私から発言させていただきます。

集中研と分散研が密に連携するのに非常に大事なことだと思っているのですが、今日いらっしゃる各社の方は分散研のヘッドでもあり集中研のヘッドでもあります。分散研のヘッドが集中研のヘッドでもあることで、密に連携できるわけです。これは NEDO のリーダーシップがあつてうまく行った点です。

要するにグループが同じということですが、それが非常に良い結果になっています。そこは最初に私から、「同じ人でなければ難しいから、別組織にしないでほしい」とお願いしました。それから、たまたま大学が一つだったということもあります。大学が複数あると、知財の関係でどこまでオープンにできるかということが面倒になる場合もありますが、大学と民間 3 社の間の 4 者契約を結んだことも、うまく行った要因の一つではないかと思います。

もう一つは、私は東大の所属なので本来分散研の内容には首を突っ込めないのですが、NEDO が私を PL に指名したというのも大きなことです。PL になると NEDO の帽子をかぶるので、その立場で分散研の内容を聞き、「ここは集中研に出せますよね」と言って、集中研で皆さんと議論することができました。技術は人が持っているので、ちゃんと連携して意思の疎通を持つことが大事ではないかと思っています。

これらの体制は、もちろん私も希望を出しましたが、NEDO のリーダーシップで実現したということ、この場で述べさせていただきます。

もう一つ、井上委員からあつた「デバイスからコンピューティングあるいは応用に向けて」ということは非常に大事だと思いますが、一つ難しいのは、こういう国プロでは必ず、10 分の 1 なら 10 分の 1 という数値目標が達成できたか否かが問われ、成功・失敗が判定されてしまいがちなことです。数値目標を達成するだけならば、狭い分野、たとえばデバイスだけに限った方が効果が出やすく、よっぽどやりやすいです。

評価委員の先生方は発言力もあるので、単なる数字、数値でプロジェクトを評価することで、結果的にデバイスとか限られたレイヤー内の研究を推奨するのではなくて、「数値の達成は必ずしもいいかもしれないけれど、そういう研究、つまり、デバイスからハードウェア、ソフトウェア、サービスまで

含めた形のプロジェクトが大事だ」ということを、ぜひ言っていたきたいという気がします。これが非常に大事ではないかと思うので、この場で言うべきことかどうかわかりませんが、それもぜひお願いしたいと思っています。

【井上委員】 最後のところは重々理解しています。もう一つお聞きしたいと思います。今回は3社の方々がそれぞれ応用の戦略を持っていると思いますが、集中研の中で東大とルネサス、東大と東芝、東大とロームは密にできても、企業間ではどうでしょうか。

たとえば東芝のMRAMをロームのセンサーに使うとどうなるか。ルネサスのスケジューリングアルゴリズムを前提としたプロセッサを、東芝のMRAMを使ったキャッシュのプロセッサに載せるとどうなるか。そういうところで協力した成果、もしくは将来的なビジョンは議論されたのでしょうか。

【中村 PL】 このプロジェクトでは、ある会社が開発した技術が直接他社に行くことは実際にはありませんが、共有化できる技術に関しては議論しました。たとえばスマートシティとヘルスケアでは、いずれもフィールドでの処理が限定されていて、それに対してスケジューリングをするという概念はありますが、スケジューリングをソフトウェアでやるのが良いか、ハードウェアに組み込んでやったほうが良いのかは少し違います。

これは「フィールドでやるべきことが状況に依存しないもの」「フィールドでやるべき処理が多少状況に依存して、処理が変わる」という違いによりますが、ハードでやるか、ソフトでやるか、とか、といった実現手法に関しては共通の場でいろいろ議論しました。

【松山分科会長】 他にございませんか。

【中島委員】 先週たまたま文科省の方と話す機会がありました。どなたに尋ねても良いのですが、とにかく国はお金がなくてNEDOの予算も半分ぐらいに減っている中で、たとえば大学と企業だけで続きをやるというスキームは、この件に関してはあり得るのか。それでも企業はやっていけるのか。バックがないと難しいのか。その辺の感触を、ぜひお尋ねしたいと思います。

【中村 PL】 企業の方々は、非公開でないと話しにくいのではないですか。

【中島委員】 非公開でも全然かまいません。

【松山分科会長】 では非公開でのご回答ということでよろしいですか。他にいかがですか。

【河原分科会長代理】 39ページの技術について伺いたと思います。中間評価を読み返して、メモリの階層を変えるだけではなくてコンピューティング全体が変わったということをしっかりやってほしいという文言をいくつか見つけましたが、その観点から教えていただきたいことがあります。

今回の新しいコンピューティングは損益分岐点をきちんと見出して、それに適した不揮発メモリで、この図のようなことが明らかになったと感じていますが、中村先生は今回の新しいコンピューティングはどういうものができたと見ているのか、教えていただければと思います。

【中村 PL】 新しいものができたとも言えますが、割と単純なコンセプトで、広い応用範囲に対して効果的なものができたとも言え、古い言葉で言うとハードウェア、ソフトウェアのコードデザインができたということではないかと思います。

応用によっては、損益分岐点はメモリ素子に大きく依存しますし、センサーではメモリ以外のハードウェアに依存するものもあります。そして、スケジューリングで頑張れば良いのか、ハードウェアから開発し直さなければいけないのかというところを議論する必要も生じますが、その際のハードウェア、ソフトウェアのデザインができるような方法論の一つとして提案できたのが、わかりやすく、すべてに共通する損益分岐点の概念だという感じがしています。損益分岐点と言うと大した言葉ではないけれども、それで設計方法の根幹を整理できたと思っています。

【河原分科会長代理】 私は非常に素晴らしいことだと思っています。ハードウェア屋とソフトウェア屋が話したからこそ定量的にできたと思っているので、これを日本発として世界に広げて、日本発のノー

マリーオフコンピューティングということで、ぜひ確立させていただければと思います。よろしくお願ひします。

【松山分科会長】 他にございますか。知財のことで質問させていただきたいのですが、中間評価への対応としてオープン・クローズ戦略が挙げられています。分散研では知財の権利化ですが、集中研での大枠の成果の部分は、オープンというのは完全に公開という形ですか。

たとえば方法・設計というのはかなり抽象的な概念なので、特許として開発者の知財権を獲得することは難しいと考えてよろしいですか。

【中村 PL】 そう考えて結構です。そのためにパブリケーションを積極的にしたということです。

【松山分科会長】 他にございますか。

【中島委員】 スマートシティは素晴らしいお題目だと思いますが、具体例がバス停というのは少しレトロだと思います。なぜバス停になったのかという背景をお聞かせいただけますか。また将来的にどうしようとしているのかも、教えていただければと思います。

【中村 PL】 将来的なことはルネサスから答えていただかなければいけないかもしれませんが、バス停を実際に利用するのはお年寄りが多く、そういうフィールドにも適用できることがこれからの社会では大事なので、応用の一つとして良いのではないかと思います。

また、プロジェクト参加者ではない人が参加する評価デモがあつて良いのではないかとということでバス停にしています。ルネサスがどう展開するかという詳細は、非公開でお願いできればと思います。

【松山分科会長】 よろしいでしょうか。

【河原分科会長代理】 将来についてです。IoT に広がるという話が出てきましたが、世の中を騒がせている言葉には人工知能、機械学習もあります。最近では IBM が専用チップを出して、NVIDIA (米国の PC グラフィックス・チップメーカー) が単精度の GPU(Graphics Processing Unit)でやって、学会の場で競い合つて、両方とも自方式が優れていると主張するぐらい華々しくやっています。

ノーマリーオフの技術が人工知能、機械学習のハードウェアの面か、それともハードとソフトの協調か、そういう面でどのように使われるのかについて、広がりも含めて中村先生のお考えを伺えればと思います。

【中村 PL】 なかなか難しい質問です。今回のプロジェクトで開発した技術は、実現すべき機能が決まっている場合にその機能をハード、ソフトでどう実現するかという最適化です。それに対し、人工知能 AI の場合は、ハード、ソフトを含めて、システムが実現すべき機能がはっきり決まっているような、決まっていないようなところがあります。少なくともロジックはこれをやってメモリはこれをやるというところ、あるいはどういう記憶があつた方が良いのかというところはわかっていません。

人工知能の分野に対してこのプロジェクトでやったことをすぐ適用しようと思つても、実際にシステムとして実現すべき機能まで仕様が与えられないと、ダイレクトに適用できないのではないかとというのが割と保守的な回答です。

一方で、システムとして実現すべき機能が仕様として与えられたとき、たぶん大量のメモリを使うのではないかとつうので、個人的にはメモリ・ルックアップをしながら処理が進む限り、ノーマリーオフの技術はうまくやると使えるのではないかとつうています。

【河原分科会長代理】 ぜひよろしくお願ひします。IBM のチップにノーマリーオフが広がったらどんなチップになるのか、非常に興味があります。

【中村 PL】 中のロジックのアクティビティが低いので、そういうところに適用範囲があるのは間違いありません。

【松山分科会長】 よろしいでしょうか。全般的なことは質問が尽きたと思います。詳細に関しては午後非公開のセッションがありますので、そこでご質問いただければと思います。予定の時間が近づきま

した。これで議題5は終わりたいと思います。

### 【非公開セッション】

6. プロジェクトの詳細説明 (非公開)
7. 全体を通しての質疑 (非公開)

### 【公開セッション】

8. まとめ・講評

【松山分科会長】 それでは議題8「まとめ・講評」です。三木委員から着席順にお一人2分程度を目安に講評をお願いしたいと思います。

【三木委員】 一日ご報告いただきまして、ありがとうございます。ノーマリーオフコンピューティングという概念については、今回の開発で非常に概念が明確になり、それを実証するいくつかの成果が出たと考えております。

この概念自身は非常に幅も広く深いものだと思います。今回かなり深掘りもされたと思いますが、まだいくつも課題が残っているうえに、これからも広がり期待できるものだと思います。たとえばノーマリーオフの考え方に基づくデバイスの開発、センサーの探求、ソフトウェアのプログラミングの技術と、いくつも本が書けそうなぐらい幅広いものだと思うので、参加企業だけではなく先生方も、より高い水準まで引き上げて、これが日本の競争力の根源だということまでやっていただけることを期待しております。参加された会社は、一日も早い製品化、市場投入によって日本の競争力を高めていただきたいと思います。

今後の世界の広がりを見ると、これを使いたいグローバルプレーヤーは必ずいます。残念ながら日本より強い人たちも結構いて、その人たちがユーザーになってくれることも大いに期待できるという点を考えると、日本の会社の権益を失うことなく、こういったグローバルプレーヤーと上手につき合うことで、より普及が早まるということも戦略的に考えていただくことを期待しております。以上です。ありがとうございます。

【中島委員】 一日お疲れ様でした。今日いろいろな話を聞かせていただいて、今後のかぎになるのはコストダウンと普及だと感じました。値段を下げるためには量が出ないとイケなくて、量が出ないといつまでも高いままです。

不揮発メモリの今回の主な目的は低電力化でしたが、もし不揮発メモリに高信頼という性質があるなら、いまは大きなデータ処理の中で長くコンピュータを動かさないと時にチェックポイント・リスタート機能は必須の機能になっているので、たとえばそういうところに必ず速い不揮発メモリの出番があるはずですよ。

とにかくたくさん売れる市場をいっぱい見つけて、それを足掛かりに値段を下げて、さらに市場を広げていくという良いサイクルが回るように、これからいろいろな用途を開拓されることを希望しております。以上です。

【津田委員】 私は今回ジャーナリストとして参加させていただきましたが、非常にきちんと評価することと非常に透明であることで、評価委員会そのものに驚きました。私たちのような第三者的な人たちが評価することは非常に透明性があり、なおかつ独立的で、正直言ってびっくりしました。

当初ノーマリーオフコンピューティングは、不揮発性のメモリやデバイスをつくれれば良いだけという印象を持っていましたが、コンピューティングのアーキテクチャのレベルから考え直さなければいけないということまでわかったのは非常に大きかったという気がします。

それからノーマリーオブコンピューティングの当初は、どちらかというデータセンターとか、もう少し大きなところというイメージでつかんでいたのですが、そうではなくて IoT にうまく乗って、IoT のアプリケーションにだんだん発展させているというフレキシビリティのあるテーマだと感じました。

メーカー側からはルネサス、ローム、東芝が参加して、それぞれ製品化の時期まで述べておられたので非常に心強いというか、NEDO の研究開発を生かして商品化へ持っていくというところに非常に感動しました。

それから中島先生が言われたように、IoT の本質は安くつくれないとだめです。しかも IoT のデバイスあるいはその応用システムは、実は超少量多品種の世界です。ものすごくセグメント化されていて、農業、鉱山、インダストリーと、さまざまなエリアに広がっています。だからこそ超少量多品種になると思いますし、それを安くつくるのは非常に重要なことなので、個人的には、できれば低コスト技術を次のテーマに入れてもらいたいと思っています。

たとえば 2000 年代から 2010 年にかけて、アメリカの SEMATECH（米国に設立された官民共同による半導体製造技術研究組合）の重要なテーマの一つは低コスト技術でした。これによってインテル、TI というビッグネームの企業がかなり安くつくって、なおかつ利益率を上げて、いま彼らは売り上げに対して 30~40%の利益率を持っています。

低コスト技術を開発したことで彼らが儲かるビジネスに持っていったというのは、すごく重要なことです。できれば日本国内でも低コスト技術を開発して、本当に競争力のある、稼げる企業体質に持って行ってほしいと思います。以上です。どうもありがとうございました。

【井上委員】 一日お疲れ様でした。また細かい質問にも丁寧に答えていただいて、ありがとうございました。とても勉強になりました。

私も低消費電力化に関する研究をずっとやってきましたが、電力を削減するというのは、やらなくて良いときにやらないというのが基本的なポリシーです。今回のプロジェクトの非常に大きな貢献は、やらなくて良いという状況は与えられたものではなくて、情報処理全般を見たときに、やらなくて良い空間もしくは時間をつくり出せるということを明らかにしたというのが 1 点です。

それから、そういうことができるようになった上でアプリケーションのレベルでこれだけの低電力効果を実現できるということを実証した点と、この 2 点が非常に大きなポイントだと考えています。

午前中も発言させていただきましたが、不揮発メモリのような新しいデバイスとアプリケーションをつなぐというところの効果を示した点で、非常にうまく行ったプロジェクトではないかと感じています。

たとえば今回は 5 年間という期間だったと思いますが、これはうまく行くかどうかわからないし、いろいろ事情があるかもしれないけれども、直感的に素人考えでは、たとえばロームの研究はすぐに実用化しても良いのではないかと印象を受けています。

そういう状況であれば、たとえば 5 年プロジェクトでも一部分は短期間でガツと予算を投入して、たとえば 3 年間でやって、いち早く市場投入できる体制にするというフレキシブルな運営があっても良いような気がします。5 年間は長いようで短し、短いようで長し、開発状況によって違うと思いますが、今後はそういう運用もあり得るのではないかと思います。

今回開発された技術が、今後ますます世界に出ていくことを期待しています。ありがとうございました。

【河原分科会長代理】 一日ご苦労様でした。今回はハードとソフトの協調設計ですが、日本に不揮発 RAM の技術、事業があつて良かったというのが一番大きなことだと思います。本当に感謝、尊敬です。東芝がずっと作っている STT-MRAM (Spin Transfer Torque-MRAM) の技術、今後の製品化、もしくは

ロームが守り続けた FeRAM (Ferroelectric RAM)の技術があつてこそだと思います。

こんなことを言うと「昔の日本の半導体王国の良き日を思い出したばかりではないか」と言われそうですが、決してそうではなくて、それがあつたからこそ、ソフトとハードの真の協調ができたのだと思います。

具体的には自分でつくらないとわかりません。そうでないと、できないことさえわからない。メモリ層に手を入れられるからこそ、できたということです。そういう技術が今後日本にいくつあるかです。そういう中でソフトが重要ですが、ソフトとハードのうまい切り口という意味で、ノーマリーオフコンピューティングがそこを見つけ出したのは、NEDO と中村 PL の大きな力というか、それが一番すごかつたのではないかと思います。

応用に関しては、ノーマリーオフコンピューティングは IoT だということが感動でした。クラウドからエッジ(コンピューティング)になって、さらに今回の IoT でのコンピューティングです。しかもこれは賢い IoT です。賢いのは人工知能が入ってくるからです。

それはやはり低電力だということで、IoT、IoT のトレンドで日本が流されるだけではなくて、日本は賢い IoT を使う。そのキー技術がノーマリーオフコンピューティングにつながるというのが今日の第 2 の感動です。

最後にそれらを踏まえて苦言ではないけれども、ノーマリーオフコンピューティングという技術、もしくは IP、ワーディングのブランディング化、標準化をどうするかということが残された課題だと考えています。

午前中に本の話がありましたが、ぜひとも中村先生に日本語、英語で本を書いていただいて、世界中に広げることから始めて、日本発でノーマリーオフコンピューティングを世界のデファクトにするということを、ぜひ続けていただきたいと思っております。今日は本当にありがとうございました。

**【松山分科会長】** 今日是一日いろいろな分野の話を、非常に正確に、かつ丁寧の説明していただきました。本当にありがとうございました。消費電力の低減ということで、いろいろお話を伺っていると、時間軸あるいはいろいろな機能に向けて、エネルギーをどう最適配分化するかという問題だととらえました。

この部分はハードウェア、回路、ソフトウェアと、いろいろな分野を総合した統合的技術という印象を受けました。そういうところに関して各分散研あるいは集中研を通して、一つの縦軸のかたちになると思いますが、非常に効果的に開発を進めて、最終的には非常に高い技術水準のものが得られたと感じております。

これが最終点ではなくて、これから事業化に向けていろいろ進めていくと思います。低消費電力という非常に高い価値を付加されたわけですが、ユーザーから見た場合は、価格に見合う価値かどうかというところで最終的な判断がなされると思います。この辺はいろいろなヒアリング等を通して、さらにこの技術の精度を高めて、高い、新しい価値につながっていくことを期待しております。

それからエネルギーの低消費電力では、各機能のところにもいろいろなかたちでインテリジェント部分が入ってきますが、この辺は AI や新しいソフトウェアの応用の部分になるという印象を受けました。これから新しい部分に展開していくことを非常に強く期待しております。

5年間の、各実施者の皆様方の多大なご尽力に敬意を表させていただきたいと思っております。以上です。推進部長及びプロジェクトリーダーから一言ございますか。

**【都築部長】** 一言だけご挨拶をさせていただきます。NEDO IoT 推進部長の都築と申します。評価委員の先生方、本日は一日の長い会議でしたが、精力的にいろいろなご審議を賜りまして、厚く御礼申し上げる次第でございます。

このプロジェクトの推進にあたりましては、中村先生をはじめとして、実施者の皆様方に非常にエ

エネルギーをかけていただきました。エネルギーを削減するのがこのプロジェクトの目的かもしれませんが、研究開発にエネルギーをすごく割いて、いろいろな成果を出していただいたことに対して、厚く御礼申し上げる次第です。

NEDO の IoT 推進部は本年 4 月に組織替えをして立ち上がった組織です。IoT 社会実現に向けていろいろな課題があるかと思いますが、この中でどういう形でお役に立っていけるか引き続き NEDO としてもいろいろと模索しているところです。私自身は着任して 1 カ月ぐらいで、その中でときどき考えていますが、先ほど講評の中でも先生方からお話があったように、ハードとソフトの協調とか、要するに単発の技術ではなくて、それをうまく融合させて、まさに新しい付加価値を創造していくことは IoT 社会実現の根幹だと思っております。

皆でコミットし合うというのは、いまの日本の社会においても非常に重要なことです。R&D の世界だけではなくて、一般の社会においても求められています。国富を拡大して、産業という意味では、産業競争力を拡大していくことが非常に重要だと思います。人が集まれば知恵が出るということもあるので、そういう中からインキュベートしていくことも非常に重要だと思っています。本日の会合の中でも今申し上げた点を実感した次第です。

今後に向けてということで申し上げれば、実用化・事業化が特に必要な部分だと思います。日本でいろいろな提案をして、それを世界に向けてきちんと露出していくことも重要だと考えているので、実施者の皆様方のさらなるご尽力を期待しているところでございます。どうもありがとうございました。

**【中村 PL】** 本日は長きにわたりまして、いろいろご意見を賜りましてありがとうございます。非常に的確な質問等をいただいて、我々としては一日説明した甲斐があったと思います。また今回新たにデモセッションを設けさせていただいて、我々が成し得たこと、足りなかったことを含めて、評価委員の先生方に伝えることができたのではないかと考えております。

このプロジェクトが始まったときには、NEDO は電材部と言っていたと思いますが、いまは IoT 推進部です。今日この話は IoT だという話がありましたが、NEDO の組織の名前も研究の内容もいまの時流をつかんでやっているのではないかと考えています。

今回は低電力がターゲットでしたが、IoT を考えたときに低電力化で何ができるかというところ、世の中の膨大なデータを一定のエネルギー制約下で取り出すというところのまでは、たぶんできるのではないかと思います。

評価委員の先生方からあった、それを人に対してどうアクションしていくのかという部分に関しては、まだまだできていないところもありますが、そういうものを含めて真の IoT につなげるための基礎的な技術をやってきたつもりです。

私は半分実施者であり、半分 NEDO の PL の立場ですが、もう一つ付け加えたいのは、NEDO の皆様にプロジェクトの立ち上げから非常にご尽力いただき、いろいろな場において動きやすいようにさせていただいたということです。

たとえば実施体制に関しては、「この方が成果出るから、こうさせてくれ」と説明して、納得していただいて、集中研と分散研という形態にして、それぞれのリーダーを共通にいただきました。あるいは「LLP (Limited Liability Partnership : 有限責任事業組合) というかたちで組織運営させてほしい。エネルギーはできるだけ研究に使いたい」と申し上げたことについても、NEDO の皆様にいろいろご配慮いただいたと考えております。

午前の公開セッションで、国のお金を投入することの意義という話が評価委員の先生から出たと思います。それに関してもいろいろな面があると思いますが、NEDO のご意見にもあったように、人が集まるということが非常に大事だと思います。今回はソフトウェア、ハードウェアの協調で、デバイ

スレベルからシステム屋まで集まることができましたが、これは「やりたい人はこの指とまれ」と我々が言うだけではなかなかできません。

これをやるべきだという先見の明は必要ですが、それに対して国の予算を投入して国家のプロジェクトでやるからこそ人が集まることができる。人が技術を持っている。そうやってこそ技術の相乗効果が生まれたのではないかと思います。

このように、新しい技術をつくっていくことに関しては国のサポートが大事です。私は非常に微力ではありましたが、表現は稚拙かもしれないけれども PL 冥利に尽きると申しますか、実施者の皆様に非常に頑張っていただいたことと NEDO のサポートがあって、私の力以上のことができたのではないかと思います。そういう意味で、非常にありがたいと思っています。今後とも皆様からいただいたご意見をもとに、さらに日本の技術の発展に寄与していきたいと思っております。本日はどうもありがとうございました。

**【松山分科会長】** どうもありがとうございました。以上で議題8を終了します。

## 9. 今後の予定

## 10. 閉会



## 配布資料

資料番号	資料名
資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDOにおける研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料（非公開） 各テーマの研究開発成果の詳細
資料 6-2-1	
資料 6-3-1	
資料 6-4-1	
資料 6-2-2	プロジェクトの詳細説明資料（非公開） 実用化・事業化の見通しについて
資料 6-3-2	
資料 6-4-2	
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	特許出願リスト（非公開）
資料 9	今後の予定
参考資料 1	NEDO技術委員・技術委員会等規程
参考資料 2	技術評価実施規程

以 上