

東京都産業労働局「未来を拓くイノベーションTOKYOプロジェクト」

令和3年度採択案件

「革新的AIエッジデバイスを実現する CIM技術の開発」

第4回評価書
【概要版】

令和6年3月

はじめに

(1) 本事業の背景・課題

- 既存のAI技術は、クラウドにある大規模サーバーで膨大な積和演算を繰り返すために、膨大な電力を消費します。
- また、自動運転などリアルタイム性が必要なアプリケーションでは、通信遅延やセキュリティの面の懸念から、サーバーを活用したAI演算には不向きな面があります。
- そのため、サーバーを介さず、エッジデバイス(※)内部でAI演算を行う必要性が高まっています。
(※)エッジデバイス: AIやネットワークサービスを利用する際の、現場にある装置。
- エッジデバイスでは、サイズや電力供給量が限られるため、AI演算を行う半導体の小型・低消費電力化が求められています。

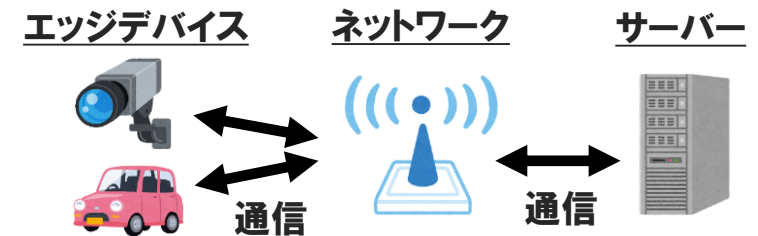
(2) 本事業で開発する技術・サービス

- メモリを使ってAIに必要な積和演算を行うCIM(Computing in Memory)の技術を用いて、エッジデバイスでAI演算を行うのに最適な半導体デバイスを開発に取り組みます。
- 既存技術に比べて低消費電力で、複雑なAI演算を可能とすることを目指します。

(3) 本事業により期待される波及効果

- ネットワークを介したデータのやり取りなしに、より高速で、高セキュリティで、筐体も小さく、低消費電力なAI演算が可能となり、様々なエッジデバイス(自動車、スマートフォン、PC、ドローン、ロボット、監視カメラ、スマートスピーカー、センサー・IoT機器等)におけるAI活用が普及すると見込まれます。
- AI活用を通じ、生活の様々なシーンや、労働現場(例:農業や介護等)の負荷軽減や効率化が期待されます。

CIM (Computing in Memory)について



既存の AI	<ul style="list-style-type: none">● エッジデバイスが状況を認識し、ネットワーク経由で状況をサーバーに伝える。● サーバーにあるAIが対応策を判断し、ネットワーク経由で、エッジデバイスに指示を与える。● エッジデバイスは指示に従い、行動する。
本事業	<ul style="list-style-type: none">● エッジデバイスが状況を認識し、エッジデバイス内部のAIが対応策を判断し、エッジデバイスが行動する。※サーバーを介さないため、通信遅延やセキュリティの懸念が少ない

本事業の概要

事業者名	株式会社フローディア
都内所在地	東京都小平市小川東町1-30-9 マルメゾン2F
代表者名	代表取締役社長 奥山 幸祐
本事業の統括責任者	木之下 泰弘(取締役 CTO)
本事業の実施期間	令和4年4月～令和6年3月
プロジェクトメンバー	丸紅ベンチャーズ株式会社

本事業の実施内容

本事業では、これまでの研究開発実績(シミュレーションソフト上でのCIM技術を高度化する等)を活用し、ビジネス化に向けた取り組みを進めていく。

まず、これまで開発してきたCIM技術を搭載した半導体デバイスを設計し、ファウンドリ(半導体製造を行う工場)に試作製造を依頼する。

試作品の評価に必要なツール等を整えつつ、実際に評価を実施し、CIM技術に関連したソフト・ハードの開発を深め、実用化(デモ制作、商用化)に向けた準備を進めていく。

本事業の主要プロセス

時期	主要な実施事項
令和4年～	<ul style="list-style-type: none">ファウンドリによる試作実施
令和5年～	<ul style="list-style-type: none">各種技術の検証・強化量産化に向けた改良
令和6年～	<ul style="list-style-type: none">半導体メーカーでデバイスが製造可能な体制整備関連したインターフェイス・ソフトの開発

本事業における支援期間 (~令和5年度末)

世界のAIに関連した半導体メーカー、ソフトウェアメーカーに対して、デモを見せられるようにしていく

本事業終了時点(令和5年度)の達成目標①

目標①

メモリセルを CIM動作させるための 機能と性能の実現

- ・ AI(人工知能)の演算に適したメモリセルを設計する。
- ・ 特に、アナログ書き込みへの対応を実現する。
- ・ 高品質で、長時間の稼働が可能なものとする。

(※)・メモリセル:半導体メモリにおいて、最小単位となる回路構成のこと

- ・ CIM:Computing In Memoryの略。AI(人工知能)に必要な演算をメモリの読出し動作で実行する方式。
- ・ アナログ書き込み:デジタル書き込みでは、0or1のデータを扱う。一方、アナログ書き込みでは、連続的・複数のデータを扱うことができる。

目標②

CIMコアテストチップの 機能動作と性能の実現

- ・ 設計に基づき、実際に試作品を製造し、想定した動作が行われるか、性能が実現されるかについて確認する。
- ・ コアテストチップ(特定の半導体メモリ)における動作・性能につき、使用者が調整できるプログラム機能を実装する。
- ・ コアテストチップとして、優れた電力効率を実現する。

目標③

FP-CIMテストチップの 機能動作と性能の実現

- ・ 設計に基づき、実際に試作品を製造し、想定した動作が行われるか、性能が実現されるかについて確認する。
- ・ FP-CIMテストチップ(複数の半導体メモリを組合せたもの)における動作・性能につき、使用者が調整できるプログラム機能を実装する。
- ・ FP-CIMテストチップとして、優れた電力効率を実現する。

(※)・FP-CIM:Field Programmable-Computing In Memoryの略。AIに必要な演算の構成を設計者がフィールド(現場)でプログラムできる機能をもったCIM
・ フィールドプログラム機能:設計者がフィールド(現場)で論理回路の構成をプログラムできる機能。目標②③にて、実装を実現する。

本事業終了時点(令和5年度)の達成目標②

- 機能面・性能面につき、具体的には下記目標を設定する。

目標①

メモリセルを CIM動作させるための 機能と性能の実現

- ・機能面： -アナログ書き込みを可能とする機能
-CIM読出し機能
- ・性能面： -書き込み精度:32レベル以上
-推論動作維持時間:1000時間以上

目標②

CIMコアテストチップの 機能動作と性能の実現

- ・機能面 -アナログ書き込みを可能とする機能
-CIM読出し機能
-コア内動作のフィールドプログラム機能
- ・性能面： -ビット書き込み精度:32レベル以上
-推論動作時間:1000時間以上
-CIMの処理能力:200TOPS/W以上

目標③

FP-CIMテストチップの 機能動作と性能の実現

- ・機能面： -複数コアの連結動作
-複数コア間のフィールドプログラム機能
- ・性能面： -チップの演算処理能力:20TOPS/W以上

(※)・書き込み精度:特定のアナログ入力に対して、実際にメモリに書き込むことのできる値の分解能。

・書き込み精度:32レベル=メモリに32レベルの値を書き込むことが可能。現状、この分解能を実際の半導体メモリで実現できれば、高性能と見なせる水準。

・TOPS/W :Tera Operation Per Second/Wattの略。消費電力1Wあたりの処理速度で、数値が大きいほど、電力効率が良いことを意味する。

1TOPS/Wは、1W当たり1秒に1兆回(Tera=10の12乗)の処理能力であることを示す。

CIMとして200TOPS/W、チップとして20TPOS/Wの水準は、現時点において業界最高峰と見なせる水準。

令和5年度の実施計画

大項目	小項目	令和5年度計画				令和5年度目標
		1Q	2Q	3Q	4Q	
目標①	メモリセルをCIM動作させるための機能と性能の実現	第一次試作	評価			<p>【機能】アナログ書き込みを可能とする機能の実現／CIM読出し機能の実現</p> <p>【性能】書き込み精度:32レベル以上／推論動作維持時間:1000時間以上</p>
目標②	CIMコアテストチップの機能動作と性能の実現	第一次試作	評価	テスト環境/評価モジュール設計		<p>【機能】アナログ書き込みを可能とする機能／CIM読出し機能／コア内動作のフィールドプログラム機能</p> <p>【性能】ビット書き込み精度:32レベル以上／推論動作時間:1000時間以上／CIMの処理能力:200TOPS/W以上</p>
目標③	FP-CIMテストチップの機能動作と性能の実現	第一次試作	仕様検討およびチップ設計	テスト環境/評価モジュール設計	評価	<p>【機能】複数コアの連結動作／複数コア間のフィールドプログラム機能</p> <p>【性能】チップの演算処理能力:20TOPS/W以上</p>
					ソフト・ファームウェア開発	

(※)令和5年10月の時点で、最終目標達成に向けた見通しが立ったため、費用削減の観点から第二次試作を中止する計画変更を実施した。

令和5年度下期 取組状況と成果①

(1) 達成目標に関する取組と成果

大項目	小項目	令和5年度下期目標	令和5年度下期の取組と成果	評価
目標①	メモリセルをCIM動作させるための機能と性能の実現	<p>【機能】アナログ書き込みを可能とする機能の実現／CIM読出し機能の実現</p> <p>【性能】書き込み精度:32レベル以上／推論動作維持時間:1000時間以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試作チップを用い、アナログ書き込みが可能であることを確認し、メモリセルのCIM動作による読出しを実現。 書き込み精度32レベル以上、推論動作維持時間1000時間以上を確認。 	○
目標②	CIMコアテストチップの機能動作と性能の実現	<p>【機能】アナログ書き込みを可能とする機能／CIM読出し機能／コア内動作のフィールドプログラム機能</p> <p>【性能】ビット書き込み精度:32レベル以上／推論動作時間:1000時間以上／CIMの処理能力:200TOPS/W以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試作チップを用い、アナログ書き込み機能、メモリセルのCIM動作による読出し、フィールドプログラム機能を確認。 書き込み精度32レベル以上、推論動作維持時間1000時間以上、CIMコアテストチップの処理能力について200TOPS/W以上の実現を確認。 	○
目標③	FP-CIMテストチップの機能動作と性能の実現	<p>【機能】複数コアの連結動作／複数コア間のフィールドプログラム機能</p> <p>【性能】チップの演算処理能力:20TOPS/W以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> 複数コアの連結動作を確認し、かつ、フィールドプログラム機能を確認。 FP-CIMテストチップの処理能力が20TOPS/Wを満たすことを確認。 	○

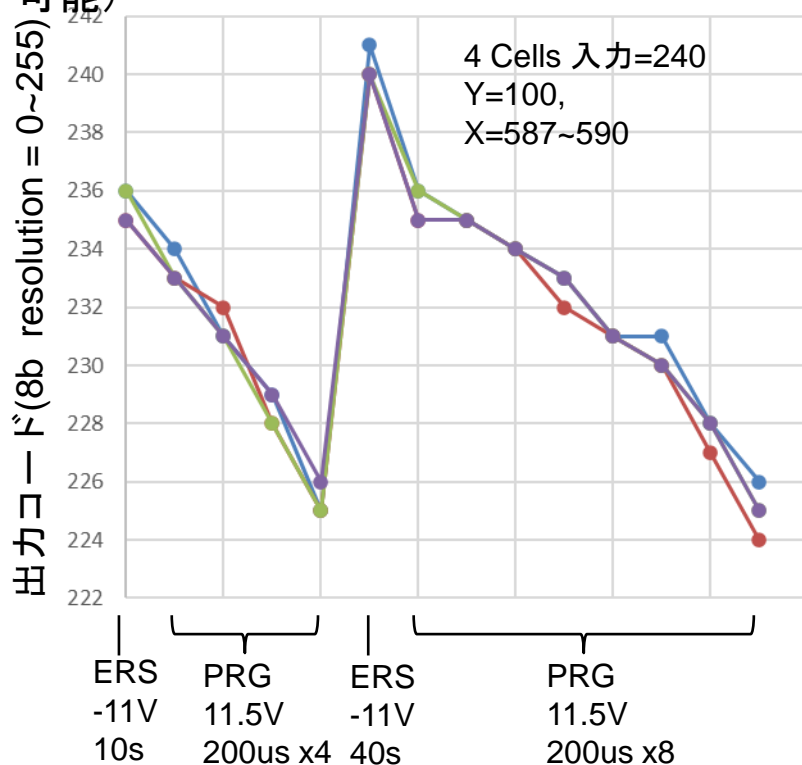
令和5年度下期 取組状況と成果①

(1) 達成目標に関する取組と成果

- 各目標について、その達成を確認。

フィールドプログラム機能の確認

Erase/Program動作を行い、デジタル出力が変化する事を確認 (=フィールドプログラム可能)



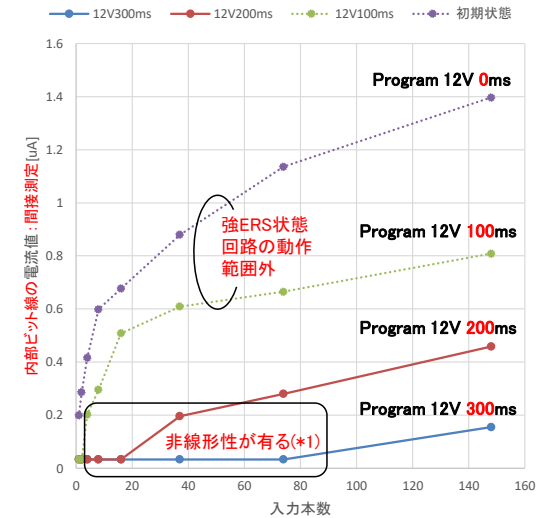
CIM動作の確認

(2-4) CIMコアテストチップの機能動作と性能の実現: 処理能力の確認

CIMの積和動作の試行

- ・入力(アナログ量)のWL選択本数と、メモリセルへ印加するProgram量(重み)を変化させ、読み出し電流値(積和結果)の変化を評価した
 - ・入力本数(横軸)を増加させることで、読み出し電流値(縦軸)は単調増加する(*1)
 - ・メモリセルの状態を初期状態からProgram時間を増やし(12V100ms印加×3)メモリセルの「重み」を削減すると、読み出し電流値(縦軸)が単調減少する(*1)
- 以上、基本的な積和動作の実現を確認した

*1補足:
アナログ回路とメモリセルの特性が非線形であるため、右図のように積和結果に非線形的な出力が現れる
実運用の推論動作では、Coreに搭載したLUT(Look up table)を用いて線形補正する



令和5年度下期 取組状況と成果②

(2) その他の主な取組と成果

取組内容	主な成果
知的財産	<ul style="list-style-type: none">令和4年度上期に出願した「CIM機能を3次元状に構成したメモリアレイにおいて実現するためのアレイ構成および製造方法に関する特許」について、国内およびPCT(国際出願)、および、台湾出願を完了。国内出願に関して早期審査による早期権利化を図り、特許化を完了した。
マーケティング・ 販路開拓、 事業会社との オープンイノベーション 等	<ul style="list-style-type: none">生成AIの分野において、FP-CIMの適用可能性についての調査を実施。国内の某大手事業者と事業化に向けた連携の可能性を模索。また、海外にける事業を推進するパートナーの探索を開始し、各種相談・連携準備等を行った。

課題:FP-CIMの更なる高度化

- 目標達成上の課題は生じなかった。
- FP-CIMの高度化に向け、コアチップをより多数連結させることが求められる。
- コアチップを2コア連結させた際の稼働状況については、下期中に確認を実施した。
- 今後は、16コア連結について取り組み、FP-CIMがより高い能力が発揮可能であることを確かめていくことが肝要である。

課題に対する対応策

- 下期において、16コアに関する設計は完了している。
- 今後、更なる高度化に向けた試作・評価へと進んでいく予定である。

(1) 令和5年度下期目標の達成状況

- 令和5年度下期における目標は、達成済みであることが確認された。

(2) 今後の事業にあたって留意すべき事項

- 有望な用途・アプリケーションの発見
 - ・ ビジネスとして成功していくためには、FP-CIMに適した用途・アプリケーションを見極めていくことが重要である。
 - ・ より大きなビジネスチャンスを手に入れるために、FP-CIMへのニーズが高いと見込まれる用途・アプリケーションを意識し、FP-CIMを作りこんでいくことが肝要であり、有望視される用途・アプリケーションの開発に取り組む企業との協力関係の構築が必須である。
- 他の技術的なアプローチに負けない製品開発の推進、および、素早い市場展開
 - ・ FP-CIMで実現しようとする機能・性能等は、異なる技術的なアプローチであるMRAM(磁気抵抗メモリ)や、有機物メモリでも実現可能である。幅広く競合を捉えた上で、研究開発やビジネス化を進めていく必要がある。
 - ・ また、競合よりも早期に、技術的な優位性を確立することや、量産体制を整えることができれば、有望な用途・アプリケーションの困り込み等の実現につながるため、ビジネス化に向けたスピード感についても意識をしていくことが重要である。