

2. 研究課題の進捗状況

(1) 全体の進捗状況

本研究課題では次世代コア技術候補群として 0.5V 以下の低電源電圧での LSI 動作技術、ナノカーボン材料の優れた電気特性（低抵抗特性や高キャリア移動度等）を LSI に適用する技術、新規メモリ材料等の開発を各サブテーマにおいて実施している。低消費電力化を実現するための基軸技術である低電源電圧動作の実証に向けた研究開発について、trigate 構造で歪み Ge チャンネル PMOS、InGaAs チャンネル NMOS を選定して、従来技術よりも非常に高いキャリア移動度と低いサブシュレッシュホールド係数（SS 値）が個別に得られた点は世界の競合相手に比肩する成果であり、一定の評価に値する。両指標の更なる改善および同時達成に向けて、今後の進展に期待したい。さらなる将来技術候補として、GeTe/Sb₂Te₃ 超格子型相変化メモリで 2,000% の磁気抵抗比を発見した成果については一定の評価に値する。

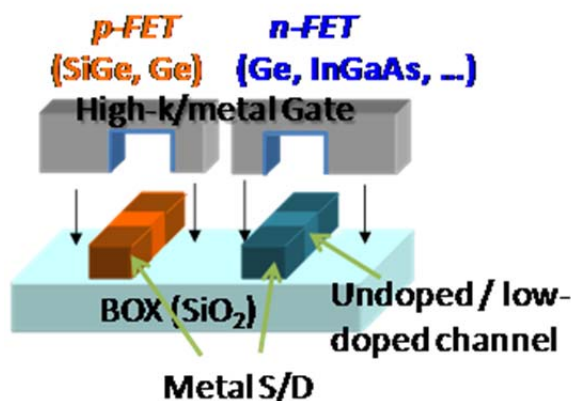


図 2. 低電源電圧動作 CMOS の構成例

(2) 課題及び留意点等

我が国の LSI 産業を活気づけ世界の有力企業と伍するためには、低消費電力 LSI の製造技術として要素レベルの優位性に留まることなく、低消費電力 LSI 適用システム、アプリケーションの優位性を獲得することが必要である。本研究課題では我が国の強みである材料分野を得意とする研究者が多く参加して活躍しているが、研究成果の出口像に至るまでの道筋を一層明確化するためには、システム分野やアプリケーション分野の研究者や技術者とも密接に議論、連携した上で、LSI システムでの優位性が担保できるかを明確化する必要がある。

また、研究開発競争が世界的に熾烈な本分野において、査読付き論文 22 件、国際特許 3 件という成果件数については、研究開発の進捗と比較しても非常に少なく、研究支援担当機関による一層のサポートとともに今後の奮起により、飛躍的な増加を期待したい。

3. 研究の推進・支援体制の状況

(1) 全体の推進・支援状況

研究推進体制としては、産業技術総合研究所内に中心研究者を長とする「連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンター（GNC）」を拠点とした集中研方式の体制及び委託研究等による大学等との連携体制を組み合わせた産学官連携体制で研究推進している。また、産業技術総合研究所において新たな出向形態として設けられた特定集中研究専門員制度によって中心研究者らをはじめとする我が国のエレクトロニクス関連企業の有望な研究者を受け入れ、TIAのコアインフラであるスーパークリーンルームの最先端設備を活用して研究推進している。

研究支援体制としては、産業技術総合研究所のTIA推進部及びGNCによる支援チーム（専任4名、兼任3名）によって研究支援が行われている。

知的財産権に関しては、GNCに専任スタッフを配置し、一元管理している。また研究期間中や終了後の取扱いに関してGNC知財取扱ガイドラインを定めている。

(2) 課題及び留意点等

企業研究者を中心とした最先端エレクトロニクス分野の技術開発である研究課題の性格上、ポストドクター等若手研究人材の参画が少ないが、将来の本分野を担う人材へのキャリアパス供給は貴重であり、非常に面白い取組みである筑波大学の「社会人のための博士後期課程早期終了プログラム」や産業技術総合研究所の「ナノテク中核人材育成プログラム」等と連携した取組みの一層の活用や強化が期待される。

4. 総合判断

先端技術の集合体であるLSIにおいて3つの機能部を対象として要素技術開発を推進し、個々の研究項目の中で一定の成果が得られるなど概ね順調に進捗していると認められるものの、実用フェーズに近いものと新原理検証の基礎研究フェーズに近いものが混在しており、各サブテーマにかける研究資源の一層の効率化を図る必要がある。最も主要な機能である演算部の低消費電力化に向けて、高キャリア移動度と低SS値を同時に満たすなど低電源電圧化技術の完成度を研究課題終了時までに着実に高めることができれば、世界をリードするトップ水準の成果となると見込まれる。

目標の達成見通しについては、材料、プロセスレベルでの最先端技術といった優位性に留まることなく、事業化する製品レベルでの優位性を確実に得るためにシステム分野やアプリケーション分野の研究者や技術者と密接に議論、連携し、研究成果が活用される出口像までの盤石な道筋を提示できれば、目標の達成は可能と見込まれる。

本研究課題は我が国のエレクトロニクス関連産業関係者が寄せる期待が大きく、残された研究期間においてはその期待に違ふことなく一層充実した研究成果を創出し、

TIAの中心的プロジェクトとして大きく存在感を発揮することを期待したい。

以上を総合的に勘案して、本研究課題については以下の取扱いとする。
プロジェクトを継続とする。

(4) 数物・情報領域

研究課題名	複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用
中心研究者名	合原 一幸
研究支援担当機関名	独立行政法人科学技術振興機構

1. 研究課題の概要

本研究課題は、現実の諸問題を数理的な解析対象とし、数理工学、カオス工学の観点から、様々な科学技術の問題を解くための複雑系数理モデル学の構築及び多分野を横断するその具体的な応用研究を同時に展開することによって、多様な複雑システムの理解、さらには予測、制御、最適化を目指すシステム科学技術の数理的基盤を構築することを目指している。

本研究課題は、[1] 複雑系数理モデル学の基礎研究、[2] 複雑系数理モデル学の工学応用研究及び[3] 基礎研究と応用研究の融合による複雑系数理モデル学の体系化の3つのサブテーマから構成されている。

[1] 複雑系数理モデル学の基礎研究

- ① 複雑ネットワーク系の予測・制御のための低次元化理論
- ② 超ロバスト制御の基礎理論

[2] 複雑系数理モデル学の工学応用研究

- ① 複雑系情報処理システム
- ② β 写像に基づく新しいA/D（アナログ→デジタル）D/A 変換回路
- ③ 複雑ネットワークの工学応用
- ④ 産業プロセスへの最先端数理モデル応用

[3] 基礎研究と応用研究の融合による複雑系数理モデル学の体系化

- ① 複雑ネットワーク理論
- ② 時系列解析理論
- ③ 脳や生命システムの数理モデリング
- ④ 疾病の数理モデル
- ⑤ 複雑系数理モデル学の体系化

2. 研究課題の進捗状況

(1) 全体の進捗状況

個別課題を対象とした複雑系数理モデル学（基本数理モデルと数理的的手法）の実学応用は高い成果が得られており、研究目標達成に向け、研究は概ね順調に進捗している。

一方、サブテーマ3「基礎研究と応用研究の融合による複雑系数理モデル学の体系

化」について、複雑系数理モデル学の体系化の共通モデリングや学理（方法論）が明確とはいえない。

なお、特筆すべき成果として、個別応用課題を解決する応用研究のための基本数理モデル・数理的手法で、以下の実学応用の成果が上がっている。

- ①前立腺がん治療の数理的テーラーメイド間欠的内分泌治療法へ応用し、投薬の最適化やノイズを含む短いデータからパラメータの推定・予測を行う手法を開発した。
- ② β 写像の基礎理論とそれに基づく β -A/D変換器を提案・実装した。これは、従来の厳密な $\beta = 2$ を回路精度を上げて実現する設計指針に対して、 $\beta \in (1, 2]$ とすることにより回路素子やパラメータのバラツキを許容して数理的に精度を回復する超ロバストである設計指針への転換であり、電子回路技術の新たな方向性を示唆するものである。

(2) 課題及び留意点等

複雑系数理モデル学の基礎理論構築に関しては、3つの階層を想定して、それらの各階層に対して適切な理論（最先端複雑系制御理論、複雑ネットワーク理論、非線形時系列解析理論）を採用し、統合的な理解を得ることとしているが、各階層に適用する理論体系が、何故その階層に対して適切であるのか、明確で分かり易い説明を可能とするように研究を進めることが求められる。

また、本研究課題の成果として得られる複雑系数理モデル学の体系化の共通モデリングや学理（方法論）の根幹について、FIRSTの成果という観点で、最終的に明確にまとめていくことが求められる。

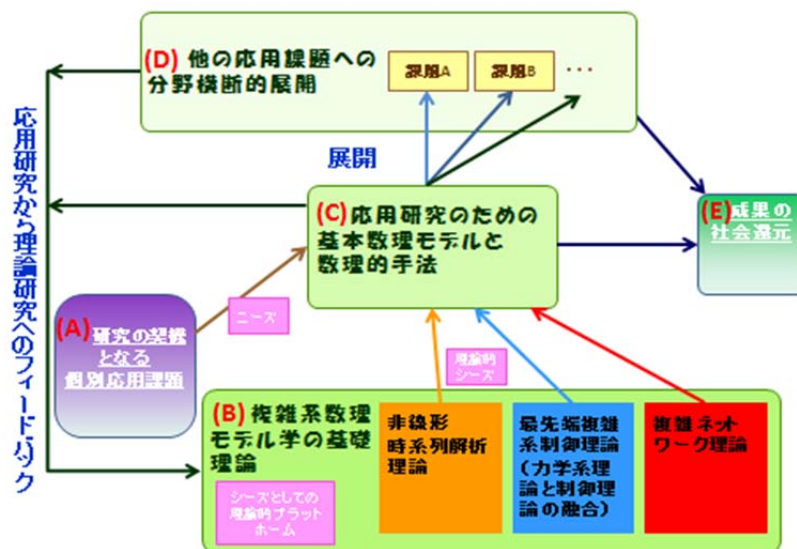


図1. 合原プロジェクトの研究プロセスの基本構造

3. 研究推進体制・研究支援体制の状況

(1) 全体の推進・支援状況

研究推進体制としては、中心研究者の所属する東京大学、共同研究機関として8機関（7大学、1独立行政法人）を中心に、協力研究機関として19機関（16大学等、1独立行政法人、2企業）が参画している。

プロジェクト全体の進捗状況の把握と推進のために、週1回開催される課題全体の運営会議（ヘッドクォーターミーティング）や年4回のサブテーマ会議等が設置されている。

研究支援体制としては、研究支援担当機関である科学技術振興機構及び中心研究者の所属する東京大学内に支援組織（科学技術振興機構：専任1名、兼任3名、東京大学：専任2名、兼任4名）が新たに設置され、東京大学内には、研究支援担当機関から専任の現地支援員1名が派遣されている。

(2) 課題及び留意点等

開発された数理モデルに関しては、実学応用研究を中心に特許や実用新案の出願は比較的容易であること、専任の知財スタッフが配置されていることから積極的な知的財産権の取得が求められる。

4. 総合判断

本研究課題で研究目標としている複雑系の数理モデルの構築手法及び数理解析手法の体系化は、国際的優位を確保できる可能性は高い。

このような状況において、本研究課題は、複雑系数理モデル学による実学応用研究（数理的テラーメイド間欠的内分泌治療法、 β -A/D変換器等）では世界水準の成果が得られており、研究は概ね順調に進捗しており、所期の研究目標の達成は可能であると判断できる。

一方で、個別応用課題に基礎理論（最先端複雑系制御理論、複雑ネットワーク理論、非線形時系列解析理論）を適用する際に、各課題の階層にどの基礎理論を適用するかを考え方を明らかに示しつつ、研究を進めることが求められる。さらに、基礎理論と応用からなる研究課題全体の構成と共通モデリングや学理について、FIRSTの成果という観点で、明確に説明していくことが求められる。

以上を総合的に勘案して、本研究課題については以下の取扱いとする。

プロジェクトを継続とする。

研究課題名	フォトニクス・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発
中心研究者名	荒川 泰彦
研究支援担当機関名	技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

1. 研究課題の概要

本研究課題は、従来の集積回路（LSI）では限界とされている省電力化、高速化、小型化等の産業技術を構築するため、光をLSIに導入し、光子と電子が協調・融合した従来にない光電子集積化技術基盤（フォトニクス・エレクトロニクス融合システム）の確立を目指している。

本研究課題は、[1] 先端デバイス技術及び[2] 光電子集積化技術の2つのサブテーマから構成されている。

[1] 先端デバイス技術

- ① シリコン・ナノレーザ、シリコンゲルマニウム光変調器、フォトニクス・ナノ構造光変調器、シリコン直接光源の技術
- ② 光変調器、受光器、光源実装の基本素子

[2] 光電子集積化技術開発

- ① アモルファス3次元配線、光ナノ構造配線、光配線基盤の技術
- ② 光配線導波路の集積化技術
- ③ 集積プロセス基盤、LSIとの最適分担設計、デモ実証による統合化技術

2. 研究課題の進捗状況

(1) 全体の進捗状況

平成24年度前半に光集積回路の実証で6.6Tbps/cm²の伝送密度を達成する成果を創出しており、また、所期の目標を前倒しで達成する勢いであることから研究開発は極めて順調に進捗している。

研究課題全体の研究成果は、サブテーマの研究成果に直結していることから、2つのサブテーマ設定は研究目標を達成するために有効に機能しており、サブテーマ自体の研究開発も順調に進捗していると認められる。

特筆すべき成果として、レーザーアレイ光源を搭載した光集積回路（光集積シリコンチップ）で6.6Tbps/cm²の伝送密度（伝送速度:12.5Gbps/ch、光素子面積:0.19mm²/ch）を達成したことがあげられる。これは、本研究課題の研究対象である各要素技術（光源実装、シリコン光変調器、光配線導波路等）と集積プロセス技術の成果の総体として得られており、従来の集積回路の限界を超えたブレークスルーを起こしており、FIRSTならではの事業規模を活かした研究成果と言える。