

平成29年度  
研究評価委員会  
(エレクトロニクス・製造領域)  
評価報告書

平成30年6月



国立研究開発法人  
産業技術総合研究所 評価部



## 評価報告書 目次

1. 評価委員会議事次第	1
2. 評価委員	3
3. 評価資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	5
4. 説明資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	29
5. 評価資料（年度末確定値）	119
6. 評価委員コメント及び評点	121

---

<sup>1</sup> 平成 30 年 2 月 28 日



**国立研究開発法人 産業技術総合研究所**  
**平成 29 年度 研究評価委員会（エレクトロニクス・製造領域）**  
**議事次第**

日 時：平成 30 年 2 月 28 日（水） 10:00-17:30  
 場 所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 つくばセンター 第 2 事業所 2-1D 棟 大会議室

開会挨拶 理事・評価部長 加藤 一実 10:00-10:05  
 委員等紹介・資料確認 評価部研究評価室 志岐 成友 10:05-10:10

領域による説明（質疑含む） (議事進行：前川 禎通 評価委員長)

1. 領域の概要と研究開発マネジメント 10:10-11:10  
 (説明 25 分、質疑・評価記入 35 分) 理事・エレクトロニクス・製造領域長 金丸 正剛

2. 「橋渡し」のための研究開発  
 (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究） 11:10-12:15  
 (説明 30 分、質疑・評価記入 35 分)

① 「ポストムーア世代に向けた情報処理ハードウェア基盤技術」  
 ナノエレクトロニクス研究部門長 安田 哲二  
 スピントロニクス研究センター長 湯浅 新治

昼食・休憩（45 分） 12:15-13:00

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発 13:00-14:05  
 (説明 30 分、質疑・評価記入 35 分)

① 「サイバーフォトンクス研究拠点」 電子光技術研究部門副部門長 並木 周  
 ② 「スマートものづくりプラットフォーム」 製造技術研究部門長 市川 直樹

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発 14:05-15:25  
 (説明 45 分、質疑・評価記入 35 分)

① 「MEMS センサットによる人や物の健全性モニタリング」 集積マイクロシステム研究センター長 廣島 洋  
 ② 「暮らしに寄り添うフレキシブル・リネット技術」 フレキシブルエレクトロニクス研究センター長 鎌田 俊英  
 ③ 「社会で活躍する先進コーディング技術」 先進コーディング技術研究センター長 明渡 純

現場見学会(60 分) 15:25-16:25

① フレキシブルハイブリッドエレクトロニクスデバイスの開発  
 集積マイクロシステム研究センター 竹下俊弘  
 フレキシブルエレクトロニクス RC 徳久英雄  
 ② スーパーナップ法パイロットライン見学  
 フレキシブルエレクトロニクス研究センター 米谷 慎

休憩（10 分） 16:25-16:35

総合討論・評価委員討議・講評 (議事進行：前川 禎通 評価委員長)

総合討論（領域等への質疑を含む） (15 分) 16:35-16:50  
 評価委員討議（領域等役職員 退席） (15 分) 16:50-17:05  
 評価記入（領域等役職員 退席） (15 分) 17:05-17:20  
 委員長講評（領域等役職員 着席） (5 分) 17:20-17:25

閉会挨拶 理事・評価部長 加藤 一実 17:25-17:30



## 評価委員

エレクトロニクス・製造領域

委員長	氏名	所属	役職名
○	前川 禎通	日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	先端基礎研究センター長
	大柴 小枝子	京都工芸繊維大学 電気電子工学系	教授
	小浦 節子	千葉工業大学 工学部 応用化学科	教授
	安井 公治	三菱電機株式会社 FAシステム事業本部	技師長
	渡辺 美代子	科学技術振興機構	副理事

所属・役職名は委員会開催時





## 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

### （1）領域全体の概要・戦略

#### 【実績・成果】

エレクトロニクス・製造領域のミッションは、次世代の Internet of Things (IoT) 社会に関する研究開発において世界をリードする成果を挙げ、IoT 社会における我が国の産業活動の礎を築くとともに産業競争力強化に貢献することである。これに対して平成 29 年度は、第 5 期科学技術基本計画に基づいた「Society5.0」の実現に向けて、革新的なデバイス・材料・製造技術の研究開発で世界をリードする成果を挙げ、ものづくりの変化に対応した革新的技術を創出することにより、我が国のものづくり産業の国際的競争力を維持かつ強化した。特に、「目的基礎」、「橋渡し前期」、「橋渡し後期」のそれぞれのフェーズで顕著な成果を得ることができ、世界に誇る研究を進めることができた。当領域では、発展的な研究の循環を支えるために、研究現場からのボトムアップ提案に対する予算の付与と、領域全体の研究進捗を俯瞰した上で特定の研究内容へ投資するトップダウン型の予算付与とのベストミックスを心掛けたマネジメントを行った。また、研究の加速だけでなく、国立研究開発法人理化学研究所や国内大学との合同シンポジウムやワークショップの開催により研究者間の新たな交流構築へ導くことで、長期的視点で異分野、他機関連携を推進できる人材を育成した。さらに、各ユニットがより一層の発展を遂げ、領域間連携、TIA 推進センターとの連携、さらにはクロスアポイントメント制度や冠ラボ、産総研コンソーシアムなどの外部連携を強化して研究者間の新たな交流を構築した。平成 29 年度の特筆すべき業務実績として下記に列記する。

#### 『目的基礎研究』

- ・相補型金属-酸化物半導体 (CMOS、Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) デジタル回路の低消費電力化へ向けて Ge チャネルの超薄膜形成技術確立し、膜厚 10 nm 以下における電子移動度の向上を発見した。
- ・組み合わせ最適化問題に適用する量子アニーリングマシンの開発で 8 ビットの超伝導量子アニーリングの動作シミュレーションに成功した。
- ・電圧トルク磁気抵抗メモリ (MRAM、Magnetoresistive Random Access Memory) 高度化へ向けて Ir 希薄ドーパ Fe 電極の磁気トンネル接合 (MTJ、Magnetic Tunnel Junction) 素子を新規開発し、次世代 MRAM の要求性能を初めて達成した。また、電圧パルス波形制御により  $10^{-6}$  (エラー訂正なし) の書き込みエラー率 (世界最高性能) を達成した。
- ・スピン発振素子を用いたニューロモルフィック回路音声認識システムの開発など、高インパクトファクタ (IF、Impact factor) ( $>10$ ) 論文誌 (Nature など) に 4 報掲載された。

#### 『橋渡し前期』

- ・東京エレクトロン株式会社 (TEL) との連携研究室 (冠ラボ) を産総研内に設置し、半導体デバイスの超高集積化・低消費電力化を実現するための次世代 MRAM 製造プロセス技術の開発を開始した。
- ・「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」(VICTORIES) で開発された技術の実用化のため、光スイッチ・サブシステムを実フィールド (東京都内) に敷設し、4K 非圧縮映像による「テレセ

ッション」の実運用に成功した（世界初）。

- ・超伝導アレイ検出器について高感度・高エネルギー分解能の分析のために求められる多画素化を進め、世界最高の1,000画素を実現した。

- ・航空機用炭素繊維複合材料（CFRP、Carbon Fiber Reinforced Plastic）内部の破壊予兆検出技術を開発し、破壊初期過程に内部で発生するトランスバースクラックを発光可視化した（世界初）。

#### 『橋渡し後期』

- ・ネットワーク MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を用いた橋梁センシングシステムのプロトタイプを完成させ、システムの間欠動作により消費電力を10 Wに低減し、太陽光発電のみでシステム全体を動作させることに成功した。

- ・常温大気下高精細印刷デバイス製造技術では、産総研独自の高生産高精細印刷技術（スクリーンオフセット印刷法、スーパーナップ法）を開発し、電子部品製造装置としては製品化に、タッチパネル形成技術としては企業の量産ライン構築につながる橋渡しを実現した。

- ・ミニマルファブ技術では装置群を実用レベルに仕上げ、MEMS メンブレン上にCMOSを集積した圧力センサの開発と動作実証に成功した。

- ・新たな1液硬化システムを用いた精密砂型造形の技術開発において、従来の約2倍（世界最高速）の製造速度を実現し装置を市販化した。

- ・エアロゾルデポジション（AD、Aerosol Deposition）法によるポーラス酸化チタン膜のロールtoロール形成手法を技術移転し、フレキシブル色素増感型太陽電池パイロット量産機を導入し製品販売を開始した。光MOD（Metal Organic Decomposition）法では太陽光励起高輝度蓄光膜を開発し、先進コーティングアライアンスを活用したバリューチェーン構築を行った。

- ・次世代の半導体関連技術を企業に技術移転し、知財収入を獲得した。

#### ●民間資金獲得額

- ・目標値：15.8億円

- ・実績値：10.2億円（平成29年12月）（平成29年3月：10億円）

- ・見込み：11.6億円（平成30年3月）（平成29年3月比116%）

#### ●公的外部資金の直接経費（再委託費を控除）

- ・実績値：42億8,039万円（平成29年12月）（平成29年3月：68億8,432万円）

- ・見込み：43億円（平成30年3月）（平成29年3月比62%）

#### ●中堅・中小企業の研究契約件数の全体の比率

- ・実績値：29.7%（平成29年12月）（平成29年3月：40%）

#### ●大企業の研究契約件数

- ・実績値：137件（平成29年12月）（平成29年3月：137件）

#### ●中堅・中小企業の研究契約件数

- ・実績値：58件（平成29年12月）（平成29年3月：55件）

#### ●知的財産の実施契約等件数

- ・目標値：180件

- ・実績値：163件（平成29年12月）（平成29年3月：161件）

#### ●論文発表数

- ・目標値：400報

- ・実績値：194報（平成29年12月）（平成29年3月：275報）

## ●合計被引用数

- ・目標値：6,800回
- ・実績値：6,463回（平成29年12月）（平成29年3月：6,653回）

## ●その他

「国際標準化活動の取り組み状況」

- ・経済産業省委託事業「スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築」を受託し、生産管理・機器制御システムと生産機器をつなぎ、情報を共有する場としての「プラットフォーム」を活用した連携方法についての国際標準化活動を推進。
- ・スマートマニュファクチャリング国際標準化専門委員会に参加し、ロボット革命イニシアティブ協議会への委員参加、200社余りの会員企業を持つ一般社団法人インダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ（IVI）との連携を強固に継続。
- ・国際標準化委員31人（ISO委員15人、IEC委員15人、SEMI委員1人）

## 【アウトカム】

当領域では、IoT/CPS (Cyber Physical System) 時代を支える超情報処理ハードウェア技術と、新たなサービスの代表例となるIoT/CPSものづくり技術の2つのテーマを中長期的な戦略課題と位置づけている。次世代のIoT社会実現に向け必要となる技術の体系を構築することを目指し、①情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術、②もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術、③ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術、および④多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術、という4つの重点課題を掲げ、目的基礎から橋渡し後期研究のすべてのステージで研究開発を行った。これらの先進的な基盤技術開発は、あらゆるモノがインターネットにつながるIoT、ビッグデータ、人工知能（AI、Artificial Intelligence）等の社会実装に貢献し、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させて社会的課題の解決を目指す「Society5.0」の実現に大きな寄与をもたらすことが期待される。当領域は3つの研究部門、4つの研究センターの計7つの研究ユニットで構成され、所属する約300名の多分野の研究者によりこれらの研究開発を先進的かつ効率的に推進している。領域間連携を促進するための戦略予算による所内プロジェクト、領域内ではFS連携やコア戦略テーマを設定した潮流形成（トップダウン）プロジェクト、連携大玉化（ボトムアップ）プロジェクトを推進し、研究ユニットの壁を取り払った研究チームを編成することで、多様な専門性を持つ他領域含む内部ユニット間の連携における障壁を打開することが期待される。

## 【課題と対応】

今後20年間の次世代IoT時代に向けて、IoT、ビッグデータ、AI等に関連する基盤技術開発とその社会実装には、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させた研究基盤、環境の構築が課題となる。また、個々の研究開発においては、平成29年度においても、極めて優れた成果を創出している一方で、社会への新たな価値の創造にどのように貢献できるかという点で、産総研の研究成果が創出する未来像の社会発信力と、産業界を牽引する研究課題の設定と研究開発の効率化が課題である。これらの課題の対応策は、産業界の動向と企業のニーズを的確にとらえ未来像をより明確化するとともに、「目的基礎」、「橋渡し前期」、「橋渡し後期」それぞれのフェーズにおいて、従来の研究環境、機関連携に加えて、平成30年度から新設する人工知能に関するグローバル研究開発拠点（GOIL、Global Open Innovation Laboratory）を活用した実証研究環境の構築を進めることである。

産業界との親密な信頼関係の強化に対しては、技術コンサルティング制度や共同研究などの個々の連携強化だけでなく包括的な連携強化を積極的に推し進め、産官学で共に将来像のあり方や必要な研究開発の明確化を図ることで対応する。

## (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

### 【実績・成果】

技術相談、展示会、等をきっかけに企業に対する指導助言の連携強化に向けたアクションとして重視した「技術コンサルティング」を 28 件、4,008 万円 を実施した。また「技術コンサルティング」や「FS 連携」等の技術交流から、より深い指導助言の段階として「共同研究」への展開に誘導し 196 件、8 億 5,441 万円を実施した。ここで「技術コンサルティング」は産総研の技術ポテンシャルを活かして先端技術調査、技術目利き、コンセプト共創、技術アドバイス、分析・評価、等の指導助言等を有償で行う制度であり、「FS 連携」は連携の可能性を検討・確認するための試行研究であり知財条項を簡略化した契約が特徴、「共同研究」は相手方と共通の研究課題について、双方の役割分担を定めて対等な立場で行う研究であり創出された知財は貢献度に応じて共有または単独帰属となるが、いずれも産総研の企業連携推進制度である。

個々の技術を束ねて指導助言を骨太化する取り組みとして「コア戦略テーマ（骨太化）」4 件具体的には、様々な応用への先進コーティング技術の普及に向けてプラットフォームを形成、複数のバリューチェーンを効率よくつなぎ推進するための「先進コーティングアライアンス」、個別の表面機能化技術を束ねて、多くのニーズに効率的に応えるプラットフォーム化するための「表面機能化プロセス」、フレキシブルデバイス技術、MEMS 技術を融合したフレキシブルハイブリッドエレクトロニクス技術により産業化を加速するための「フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス（FHE、Flexible Hybrid Electronics）」、個々の医療応用デバイス技術を束ねて多くのニーズに効率的に応えるプラットフォーム化するための「医療デバイス」を設定した。特に「表面機能化プロセス」と「FHE」に関して、領域内および領域を超えた連携を加速するための領域独自の予算「領域 FS 連携制度」で支援した。

### ●技術移転収入

- ・実績値：4,325 万円（平成 29 年 12 月）（平成 29 年 3 月：1 億 5,747 万円）
- ・見込み：6,000 万円（平成 30 年 3 月）（平成 29 年 3 月比 38%）

### ●技術コンサルティング収入

- ・実績値：4,008 万円（平成 29 年 12 月）（平成 29 年 3 月：2,288 万円）
- ・見込み：5,000 万円（平成 30 年 3 月）（平成 29 年 3 月比 218%）

### ●その他

「技術的指導助言等の取り組み状況」

- ・技術コンサルティング制度を積極的に活用（平成 29 年 12 月実績値：28 件 4,008 万円、平成 29 年 3 月実績値：20 件 2,288 万円）
- ・ミニマルファブの展開として平成 30 年度臨海センターに開設予定の試作・生産のための実用プラットフォーム及び九州センターにおける地域実装展開に向けて、設計情報やプロセスレシピをユーザに提供する体制づくりを推進。平成 28 年度末に設立され産総研ベンチャーとして認定された一般社団法人ミニマルファブ推進機構では、平成 29 年度より、技術開発、標準化推進、規格認証、国内外の関連機関との交流、普及啓発等の活動を開始。
- ・先進コーティング技術について、平成 28 年度に一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携して設立した先進コーティング技術アライアンスでは、平成 29 年度、産総研とアライアンス参加企業により明確な出口戦略を持った共同研究を開始。その内 2 件で技術移転につながる成果が得られ、アライアンスを活用した商品化を検討。このように川上産業から川下産業までを極めて効果的に繋ぐバリューチェーンの構築を実現し、参画企業も設立当初の 28 社から 44 社まで拡大。

### 【アウトカム】

指導助言の入り口（技術相談、展示会問合せ、等）から連携準備段階（FS 連携、技術コンサル

ティング)へ、さらに深いレベル(共同研究)への連携発展のフローを効率的に推進するシステムを構築する。これによりコア戦略テーマ(骨太化)4件を推進し、技術を骨太化・プラットフォーム化することで、より多くの企業に向けて効率的に技術移転や指導助言の実現が期待される。

#### 【課題と対応】

コア戦略テーマ(骨太化)の多くは複数の研究ユニットにまたがるため、各メンバーの指揮系統が異なり、戦略シナリオの共有などプラットフォーム化に向けた具体的なアクションが十分な速度で進み難い課題がある。これに対しては、参画メンバーで十分に戦略シナリオを共有し、骨太化を加速するための組織的な一体化、すなわち研究ラボの設置の検討により対応する。

### (3) マーケティング力の強化

#### 【実績・成果】

マーケティング戦略の基盤となる知財強化施策として、当領域独自の取り組みである出願前の「ユニット知財検討会」開催を徹底した。具体的には、検討会を40回開催し、ブラッシュアップした特許を32件出願した。さらに知財を核とした原理実証やプロトタイプ試作を図る「IP実用化加速制度」により10件のテーマを採択し、コア技術の見える化および効果的な技術広報を推進した。

コア戦略テーマ(骨太化)4件を設定し、特に「表面機能化プロセス」と「FHE」に関して技術動向調査および市場予測を実施し、マーケティングに基づいて平成30年度以降の研究推進および実用化に向けた戦略シナリオを再構築した。

技術の進展や産業状況の変化が激しい現状において、5~10年後を予測し大きな技術潮流を先導する取り組みとして「コア戦略テーマ(潮流形成)」3件を設定した。具体的には、IoT/CPS時代のハードウェア潮流をつかみ、企業とともに戦略的なロードマップを推進するための「IMPULSEコンソーシアム」、IoT/CPS時代の新たなサービスの代表としてスマート製造技術のロードマップを推進するための「スマートマニュファクチャリング」、産総研発のスマート製造システム事例としてミニマルファブの社会実装を推進するための「ミニマルファブ」を設定した。特に、実空間で情報を収集するセンサ側で分散処理を行うエッジから、ビッグデータを集めた大規模情報処理を担うクラウドまで次世代情報処理の全体をカバーする新たなITハードウェア潮流を予測するための「IMPULSEコンソーシアム」を平成29年4月に設立した。具体的な活動としては、年5回のコンソーシアムセミナーを開催するとともに海外データセンターの動向調査を行い、最新技術動向を把握し、次世代データセンターに向けたトレンドを予測した技術ロードマップの策定を進めた。

#### ●その他

「マーケティングの取り組み状況」

- ・5社、2外部研究機関が参加するIMPULSEコンソーシアムを平成29年4月1日に設置し、年6回のセミナーおよび検討会を通じて、高電力効率大規模データ処理ハードウェアに関する社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップの議論や調査を実施。
- ・知財に関しては、「IP実用化加速制度」に対して23件の応募があり、10件を採択支援、1件を「IP強化支援制度」で採択支援。また、「表面機能化プロセス」の技術動向調査に基づいた簡易SWOT分析、「フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス」の市場動向を睨んだ技術動向調査(国内外の特許・論文調査とテキストマイニング分析)を実施。

#### 【アウトカム】

「ユニット知財検討会」により十分な出願前ブラッシュアップを行うことで強い特許網の構築が期待できるとともに、「IP実用化加速制度」によるコア技術の見える化により効果的な技術広報さらにマーケティングに基づく企業連携と技術の社会実装の実現が期待される。

4件のコア戦略テーマ(骨太化)は、マーケティング力の強化により、技術の骨太化に向けた

新規用途の抽出から新規ニーズへの展開を進め、将来技術や市場を見据えた技術訴求力の向上を推進し、将来に向けた戦略シナリオの再構築につながる。

あらゆる機器や人がインターネットにつながり（IoT）、多種多様な情報が入り乱れるビッグデータ時代において、当領域が行ったマーケティング事業は、十分な速度と省エネルギーの情報処理技術と新たな価値やサービスをもたらすための IT ハードウェア潮流の予測し、グローバルな技術トレンドや新産業創出を我が国が先導する体制整備の実現に寄与する。

#### 【課題と対応】

人工知能技術と我が国の強みであるものづくり技術の融合による我が国発の新たな付加価値を創出するために、国内外の叡智を集めた産学官一体の研究拠点を構築と、人工知能技術の社会実装を加速化することを目的として、産総研では「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」を推進している。平成 29 年度に設定したコア戦略テーマ（骨太化）4 件および（潮流形成）3 件は、当該拠点整備事業とも連動するものであり、臨海副都心センターおよび柏サイト（新設）での研究戦略シナリオの構築、組織体制づくり、等の課題がある。特に FHE（骨太化）、スマートマニュファクチャリング、ミニマルファブ（以上、潮流形成）の 3 テーマについては、戦略シナリオの再構築および新研究センター設立を視野に入れた体制強化により対応する。

#### （4）大学や他の研究機関との連携強化

#### 【実績・成果】

世界トップレベルの低温超伝導デバイス作製用機器と関連技術及び超伝導アナログ/デジタル技術の両方をカバーした研究開発施設（CRAVITY）を運営し、産総研が保有する先端機器を外部が利用可能にしている。平成 29 年度は、国内の 12 大学（13 課題）、3 研究機関、海外の 6 研究機関、さらに 3 企業（4 課題）と連携して革新的な超電導デバイスの開発や応用の開拓を行うハブ機能を提供し、国内企業、研究機関等の研究開発の進展に貢献した。また、企業・大学等から会員を募り運営する産総研コンソーシアムについて、IMPULSE コンソーシアム、光デバイス基盤技術イノベーション研究会（PHOENICS）、次世代プリンテッドエレクトロニクスコンソーシアム（JAPEC）、応力発光技術コンソーシアム（MLTC）、ナノエレクトロニクス計測分析技術研究会、製造技術イノベーション協議会など当領域が保有する基盤技術を核としたコンソーシアムを設立・運営し、技術のさらなる進化だけでなく産業界への技術移転、他分野への応用についても議論し、技術を社会実装することに継続的に取り組んでいる。特に、IMPULSE コンソーシアムを平成 29 年 4 月 1 日に設置し、年 6 回のセミナーや検討会を開催している。産学官での議論や調査を通じて、世界的に注目度の高い高電力効率大規模データ処理ハードウェアに関する社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップを作成し、関連団体および企業との連携を強化した。

平成 29 年度で 3 年連続の開催となる国立研究開発法人理化学研究所と共同の「理研－産総研第 3 回量子技術イノベーションコアワークショップ」（平成 29 年 11 月）、「理化学研究所・産業技術総合研究所 合同シンポジウム」（平成 30 年 1 月）を開催し、世界でも先進的な次世代の量子技術に関する研究成果や今後の可能性について議論し、研究者同士の交流を促進した。これまでの理化学研究所との連携・交流により、4 件の共同研究を新規に開始した（本格研究 1 件、準本格研究 2 件、FS 研究 1 件）。

技術シーズを産業界へ繋げる試みとして、産総研と大学の連携による共同研究を継続的に実施している。例えば、大学等のキャンパス内に設置する産学官連携研究拠点「オープンイノベーションラボラトリ」により、名古屋大学（平成 28 年から）や東京大学（平成 28 年から）と継続的に積極的な連携を行った。さらに、東京大学柏キャンパスには、「AI ものづくり」に係る研究拠点の設置準備を進めており、平成 30 年度に事業開始のための基盤技術の研究開発の連携を強化している。東北大学、名古屋大学、九州工業大学とは、クロスアポイントメント制度を活用して、それぞれが有する最先端かつ独創的な技術を融合させた研究を平成 29 年度においても継続的に実施した。他研究機関との連携については、平成 29 年度では海外の大学／研究機関と 14 件の国際共同研究を実施し世界に先駆けた研究成果を報告した。

## ●その他

「TIA オープンイノベーション拠点に対する貢献」

・世界トップの超電導デバイスプロセス技術を有する超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点 (CRAVITY) を運営し、国内：12 大学 (13 研究課題)、3 研究独法、3 企業 (4 研究課題)、国外：2 大学、2 研究機関、2 企業に対し技術提供。

・JST 事業に基づいて設立したナノテクキャリアアップアライアンスの活動として MEMS および TCAD、産総研スーパークリーンルーム (SCR) に関するセミナーコースを 4 コース開催し 47 名に修了証を授与 (平成 28 年度実績値：3 回、13 名)。「TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル」では MEMS および TCAD (Technology Computer-Aided Design) の講座で企業や大学等から平成 29 年度累積 60 名の参加。

・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 事業「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業 / IoT 技術開発加速のための設計・製造基盤開発」にて拠点整備中。(研究代表者：エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、平成 28、29 年度 総額 約 63 億円)

・ナノエレクトロニクス・ナノマテリアル等の研究開発の推進に必要な不可欠な先端機器を産学官の研究者および技術者に提供する事を目的とするナノプロセッシング施設 (NPF) の管理・運営に貢献。

「大学や他の研究機関との連携状況」

・平成 29 年度 3 期目となる特定国立研究開発法人理化学研究所と共同の「理研-産総研第 3 回量子技術イノベーションコアワークショップ」(平成 29 年 11 月)、「理化学研究所・産業技術総合研究所 合同シンポジウム」を開催。世界でも先進的な次世代の量子技術に関する研究成果や今後の可能性について議論し、研究者同士の交流を促進。共同で NEDO 事業「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト」を推進。

・産学官連携研究拠点「オープンイノベーションラボラトリ」により、名古屋大学 (平成 28 年から) や東京大学 (平成 28 年から) と継続的に積極的な連携を維持。

・東京大学柏キャンパス内に東京大学との連携によって平成 30 年 11 月に開所予定の人工知能に関するグローバル研究開発拠点 (GOIL) について活発な協議を推進。

・先進的な研究開発を進める名古屋大学、東北大学、九州工業大学教員と産総研により、クロスアポイントメント制度を締結し研究開発を加速。

・海外の大学/研究機関と 14 件の国際共同研究を実施。

・共同研究数 (国内：大学 228 件、研究独法 43 件、国外：大学 10 件、研究機関 4 件)

## 【アウトカム】

産総研の研究施設やコンソーシアムを活用した研究機関との連携では、社会・産業ニーズの変化と技術動向をすぐに技術開発へフィードバックでき、社会・産業に必要とされる研究成果・製品化技術の開発が加速化されることが期待される。大学や他の研究機関との連携により、大学の優秀な人材を産総研に確保することができ、産総研の研究開発の高度化、また、産総研の最先端研究施設の利用による研究開発の高効率化が期待される。また、学生や他機関の若手研究者が産総研で実施されている国の研究開発プロジェクトや民間企業との共同プロジェクト等に参画することにより、高い技術の研究者から研究活動のイロハを学ぶこともでき、将来の我が国の研究開発レベルの向上が期待される。

## 【課題と対応】

これまでは各研究機関が独自にロードマップを作成し、オールジャパン体制での共同プロジェクトの方向性を揃えることが課題である。これに対して、産総研の研究施設やコンソーシアムを活用した連携により、社会・産業ニーズに直接対応するロードマップを他機関共同で作成することが研究開発を加速化できる。一方でこれらの取り組みをより確実なものにするためには、産業界に認められるようなベンチマークが必要なことが課題である。そのために、関係している技術

研究組合や産総研コンソーシアムに参画する企業との議論を重ね、実用化シナリオの作成をすすめる。そして、保有技術の利用によって、社会のニーズを見据えたイノベーションを、産総研が主体的に起こしていけるように努力する。

#### (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

##### 【実績・成果】

超高集積化と低消費電力化を実現するための次世代半導体デバイスに必要な新材料・新プロセス技術の開発、およびその量産化技術を実現するための東京エレクトロン株式会社（TEL）－産総研先端材料・プロセス開発連携研究室（冠ラボ）を設立した。企業側から研究者が産総研に向かう形で冠ラボに参加し、産総研施設および企業の両研究施設を活用して、各々の保有技術の連携、およびプロセスインテグレーション技術の開発をスタートさせた。

クロスアポイントメント制度を利用して、名古屋大学、東北大学教員が産総研にて研究を推進している。一方で、産総研職員がクロスアポイントメント制度にて東北大で連携研究を推進している。また、産総研イノベーションスクールでは、当領域で8名がトレーニングを受けている。リサーチアシスタント制度では平成29年度累積30名が研究活動に専念し、産総研で実施されている国の研究開発プロジェクトや、民間企業との共同研究プロジェクト等に参画している。グローバル人材の育成についても、若手研究員を対象に1年間の在外研究の経費を領域が補助する形で奨励している。平成29年度は3人の研究員がそれぞれアメリカ、英国、スウェーデンで在外研究を行っている。

第4期中長期目標期間から取り入れられた年俸制任期付研究員制度を活用して、7名の中堅研究員を採用した。また、文部科学省の卓越研究員事業を活用して、2名の優秀な研究者を採用した。また、ダイバーシティ推進策として、平成29年度は、女性研究者2名、外国人研究者3名を採用した。優秀な研究者の拡充、育成により、第23回国際交流会議「アジアの未来」晩餐会において、タイ出身の産総研女性研究者が安倍晋三首相から優秀な人材として紹介された。

##### ●産総研イノベーションスクール事業及びリサーチアシスタント制度に採用された人数

- ・目標値：16名
- ・実績値：37名（平成29年12月実績値）（平成29年3月実績値：23名）
- ・見込み：38名（平成30年3月）（平成29年3月比165%）

##### ●その他

[研究人材の拡充、流動化、育成]

- ・平成29年9月（名古屋）、平成29年11月（つくば）に女子大学院生懇談会を開催し、58名の女性研究者との懇談および研究室見学を実施。
- ・第23回国際交流会議「アジアの未来」晩餐会において、タイ出身の産総研女性研究者が安倍晋三首相から優秀な人材として紹介。

##### 【アウトカム】

企業との連携研究室（冠ラボ）では、産総研と企業が緊密に連携して新材料やプロセス開発から量産技術までを一貫して開発する「橋渡し」を効率的に推進し、早期な社会実装が期待できる。平成29年度に設置したTEL冠ラボでの企業研究者との連携・交流は、磁気工学・スピントロニクス分野などの関連専門分野だけでなく、他分野技術や製品化・量産・販売に関する知見を習得することができ、産総研研究者の研究能力向上が期待できる。産総研イノベーションスクールでは、講義やOn The Job Training（OJT）制度による3カ月間以上の企業研修を通じてビジネスマナーや企画提案、プレゼンテーション技術などのビジネス力を身に付けることができる上、研究ユニットでの産総研研究者の指導のもと、研究者としての実験技術・論文作成等の研究手法を習得できるため、育成した優秀な学生を研究能力のある企業人材として送り出し、将来的に産総研



との技術連携において実働的な活躍を期待することができる。

### 【課題と対応】

企業や大学等の研究機関との連携や人材交流は研究開発の効率化や研究能力向上につながる反面、研究計画打ち合わせや成果発表において地理的、時間的制約の解消が課題である。これに対しては、明確な研究開発計画の構築やWEB会議を効率よく活用して両拠点のより円滑な連携を進める。また、人材育成については、我が国の研究開発を支えるために、専門の分野だけでなく異分野の研究開発に長けた優秀な人材の育成が大きな課題となる。この点に関しては、専門の研究分野だけでなく異分野の研究開発の情報を収集できるように産総研内、他研究機関との合同研究シンポジウムやワークショップを開催し、多くの研究分野に精通した研究者の育成を図る。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

目的基礎研究においては、2030年以降の高効率社会を目指し、機器の性能・機能、および製造技術の効率性（低コスト、高レジリエント）を革新的に向上し得る研究テーマを設定している。

### 【実績・成果】

#### ●CMOS デジタル回路低消費電力化技術の研究開発

クラウド（データセンタ等）からエッジ（IoTデバイス、モバイル機器等）まで、発電所の電力供給能力や電池の容量等に制約されることなくデータを利活用できる社会の実現を目指し、CMOS デジタル回路低消費電力化技術の開発に取り組み、平成29年度は以下の成果を得た。

CMOS デジタル回路の低消費電力化は、回路を構成するトランジスタ素子の微細化により実現されてきたが、最小線幅は10 nmに近づきこれ以上の微細化は困難となっている。微細化に頼らずに低消費電力化する基盤技術として、極薄 Ge チャネル形成法を確立し、微細トランジスタに求められる3 nm以下のチャネル厚さにおいて電子移動度が現在用いられているSiチャネルと比較して最大で3倍程度向上する現象を発見した。また、微細トランジスタの問題点の一つであるコンタクト抵抗を低減する技術として、タングステン内包Siクラスタを用いて半導体-金属界面の障壁を、n型Si基板上で0.2 eV以上低減することに成功した。さらに、極低電圧動作が原理的に可能な負性容量ゲートトランジスタの動特性をシミュレーションし、従来は困難と考えられていた100 MHz程度的高速動作回路に適応可能であることを明らかにした。以上の素子レベルの技術に加えて、3次元集積構造における電気ノイズや熱応力の振る舞いを解析により明らかにすると共に、深層学習向け集積回路の論理ゲート数を推論精度を損なうことなく85%削減して消費電力をこれと同程度に低減させる手法をシミュレーションにより開発した。以上の成果について、電子デバイス分野の代表的な国際会議であるIEDM (IEEE International Electron Devices Meeting) およびVLSI Symposiaにおいて計3件の発表を行った。

#### ●スピン素子を応用した超省エネルギーデバイス

IT・IoT機器の低消費電力化と利便性の向上の実現を目指し、次世代不揮発メモリMRAMの高度化に関する技術開発に取り組み、平成29年度は以下の成果を得た。

究極の低消費電力の不揮発性メモリとして期待される電圧トルクMRAMの書き込み電圧を低減するために、電圧によるスピン操作の効率（VCMA係数）を高める新材料の探索研究を行った。基礎研究用の分子線エピタキシ成膜装置を用いてIrを希薄にドーピングしたFe合金の強磁性電極材料を開発し、メモリ素子の直径30 nmまでの微細化を可能とする大きな垂直磁気異方性と高いVCMA

係数を同時に実現した。また、書き込み電圧パルスの形状制御により、エラー訂正なしで $10^{-6}$ の書き込みエラー率（世界最高性能、従来の最高性能は前年度に報告した $10^{-5}$ ）を実現した。これについて基本特許の出願、高 IF 論文誌への論文掲載およびプレス発表などを行った。また、電圧によるスピン操作の研究により、丸文学術賞および応用物理学会優秀論文賞の受賞が決定した。

シリコン基板の常温ウェハ接合と基板剥離技術を用いて MTJ 素子の 3 次元積層プロセスを開発した。また、大径シリコン基板上への MTJ 素子のエピタキシャル成長にも世界で初めて成功した。従来の MTJ 素子は多数の結晶粒で構成された多結晶であるため、素子が微細化するにつれて結晶粒に起因した素子特性のバラツキが増大し、10~15 nm の素子サイズでは結晶粒起因の素子特性バラツキが制御不能になると危惧されている。これに対してエピタキシャル成長した MTJ 素子は 1 つの結晶粒からなる単結晶で構成されており、素子を超微細化しても結晶粒に起因した素子特性バラツキが増大しないため、今回開発された MTJ 素子のエピタキシャル成長技術は MRAM の超微細化につながる技術である。

### ●量子・ニューロモルフィックコンピューティング基盤技術の研究

人に寄りそう人工知能や大規模な最適化等の新しいニーズへ対応するとともに、従来とは桁違いの情報処理能力を活用した新しいサービスやアプリケーションの創出を目指して、量子・ニューロモルフィックコンピューティング基盤技術の開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

組み合わせ最適化問題を従来の計算機で解く場合、最適化しようとする系の規模と共に計算量が急増するため、有限時間で解くことができる問題に限られることが知られている。これを解決する量子アニーリングマシンの開発に向けて、テスト回路の作製および 8 ビットの超伝導量子アニーリングの動作シミュレーションを行い、実用化のためのマイルストーンである 100 万ビット以上の集積に向けた基礎を確立した。集積化に有利な半導体を用いた汎用量子コンピュータの基礎技術として、Si トンネル FET (Field Effect Transistor) についてスピンマニピュレーション手法を最適化し、世界の他研究機関の量子ビット動作温度が 100 mK 以下であるところ、産総研では現時点で世界最高温度の 10 K での量子ビット動作に成功した。

脳の仕組みから着想されたニューロモルフィックな情報処理に関して、不揮発メモリや酸化物材料に関して蓄積した技術を活用した研究開発を進めた。不揮発かつ連続な抵抗変化特性とゲート電圧印加履歴に対する閾値電圧変化を示す酸化物半導体 SrTiO<sub>3</sub> チャンネル電界効果素子 (FET) により、ニューロモルフィックチップの構成要素の一つであるスパイク時刻依存可塑性 (STDP、Spike-Timing Dependent Synaptic Plasticity) の機能を有する人工シナプスの開発に成功し、単純な全結合型ニューラルネットワークのシミュレーションから、手書き数字画像の認識を可能にした。本成果について、電子デバイス分野の代表的な国際会議である IEDM で発表を行った。同じく 3 端子型アナログ抵抗変化素子として人工シナプス応用が可能な強誘電体ゲート FET に関して、低消費エネルギーでの書き込み・消去において、高信頼性が必要な用途において求められる 10 億回の書き換え耐性と高温 (120 °C) でのデータ保持を実証し、半導体メモリ分野の代表的な国際会議である IMW2017 (International Memory Workshop) にて口頭発表を行った。脳型情報処理に用いる 2 端子型のアナログ型抵抗変化素子に関して、学習能力を左右する抵抗変化の制御性に優れた機能性酸化物材料の組み合わせを見出した。

さらに、人工ニューロンに関して、フランス CNRS-Thales 研究所と共同で、スピンを用いた高周波発振素子 (スピントルク発振素子、STO、Spin-Torque Oscillator) を用いた人工ニューロンを考案し、その原理を実証した。数十 nm サイズの微小 STO を用いたニューロモルフィック回路音声認識システムを開発し、人間が発声した“0”~“9”の言葉を 99.6%の正答率で認識することに成功した。ナノサイズの人工ニューロンを用いた音声認識は世界初であり、光学台上に構成された大型で複雑な光学系リザーバーコンピュータと同等の正答率を実現した。この成果について Nature 誌に論文を掲載し、プレス発表を行った。

## ●その他のテーマの実績・成果

### 「p型透明酸化半導体の研究開発」

価電子帯に空間的に対称なs軌道を混成させることにより、既存のp型酸化半導体よりも移動度の低下に対する結晶構造歪みの影響が極めて小さい新しいp型酸化半導体の開発に成功した。更に化学組成制御により2.4から3.0 eVまでのバンドギャップ制御を実現した。

### 「単結晶固体電解質を用いた全固体電池の開発」

全固体電池の特徴である安全性、信頼性を実電池レベルの使用環境下で実現するため、先進コーティングアライアンスを活用した企業連携により、液体電解質並みのイオン伝導率をもつ単結晶固体電解質を開発、平成29年度は主に品質安定化技術・加工技術を大幅に改善することで、粒界が存在する多結晶固体電解質の限界電流密度の約100倍(30 mA/cm<sup>2</sup>)でも金属リチウムのデンドライト成長が起らないことを実証した。この値は、IoT、医療デバイス用電源としての実用レベルの高い電流密度である。また、常温成膜技術であるAD法による電極複合化技術を適用することで、粒界抵抗の低減が可能となり、IoTデバイス用電源として必要な単セル容量の50%を達成した。

## ●大学や他の研究機関の連携状況

- ・理化学研究所と共催でワークショップを開催、量子アニーリング機械実現に向け、共同でNEDO事業「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」を推進。
- ・東京大学との連携によるIoTセンサデバイスに関するグローバル研究開発拠点を東京大学柏キャンパス内に設置準備中。
- ・海外の大学/研究機関と14件の国際共同研究を実施。
- ・クロスアポイントメント制度にて、名古屋大学、東北大学教員が産総研にて研究推進。産総研職員がクロスアポイントメント制度にて東北大で連携推進。
- ・共同研究数(国内：大学228件、研究独法43件、国外：大学10件、研究機関4件)

## ●論文の合計被引用数

- ・目標値：6,800回
- ・実績値：6,463回(平成29年12月実績値)(平成29年3月：6,653回)

## ●論文数

- ・目標値：400報
- ・実績値：194報(平成29年12月実績値)(平成29年3月実績値：275報)

## ●「橋渡し」につながる基礎研究推進に伴い得られた各種成果。

- ・スピントロニクス研究センターにおいて、電圧駆動MRAMの高度化に関する論文が第39回応用物理学会優秀論文賞を受賞。
- ・スピントロニクス研究センター チーム長 野崎隆行が平成29年度丸文学術賞を受賞「電圧によるスピンの効率制御技術の開発」。
- ・IF10以上の論文誌(Nature、Nature Communications、Journal of the American Chemical Society)に4報掲載。

## 【アウトカム】

### ●CMOSデジタル回路低消費電力化技術の研究開発

情報処理の大半を担うCMOS回路の消費電力が10年後には現在の1/100以下に低減され、クラウド(データセンタ等)からエッジ(IoTデバイス、モバイル機器等)まで、発電所の電力供給能力や電池の容量等に制約されることなくデータを利活用することが可能になると期待される。

### ●スピン素子を応用した超省エネルギーデバイス

新規開発された Ir 希薄ドーパ Fe 合金は、電圧トルク MRAM の実用構造のメモリ素子の記録層の電極材料として適応可能であり、メモリに実用化に必要な素子特性を初めて実現するとともに量産プロセスにも適合するため、電圧トルク MRAM の実用化に向けたブレークスルーの一つと言える。

MTJ 薄膜の 3 次元積層は、磁気工学・スピントロニクス分野において初めて薄膜素子の 3 次元積層に成功した成果である。この 3 次元積層技術は不揮発性メモリ MRAM の超高集積化を可能とするものであり、さらに他の応用デバイス（磁気センサなど）や基礎研究にも活用できる重要な基盤技術である。

### ●量子・ニューロモルフィックコンピューティング基盤技術の研究

量子アニーリングマシンや汎用量子コンピュータの実現により、自動運転、創薬、新材料開発、物流、マーケティングなどで必要とされる計算が桁違いに高速化され、新しいサービスや競争力のある製品が生み出されると期待される。

また、ニューロモルフィックコンピューティングの中核素子である人工ニューロンと人工シナプスを利用した超低消費電力の脳型情報処理システムの実現が期待される。これにより日常生活レベルへの大規模な人工知能等の導入が進展し、個人の嗜好や環境等のオンサイトでの判断が可能となり、カスタマイズされた生活環境の実現や安全・安心な社会の構築に寄与する。

### ●その他のテーマの実績・成果

実用化されている「透明アモルファス酸化物半導体（Transparent Amorphous Oxide Semiconductor、TAOS）」である n 型酸化物透明半導体 In-Ga-Zn-O (IGZO) と同様に、開発した Sn 系 p 型酸化物透明半導体はアモルファス p 型酸化物半導体実現の可能性を秘めた新材料である。既存の n 型半導体と組み合わせることにより、CMOS として TFT（Thin Film Transistor、薄膜トランジスタ）パネル等への応用が期待される。

#### 「単結晶固体電解質を用いた全固体電池の開発」

全固体電池のプロトタイプ開発のための単結晶固体電解質の安定供給が可能となり、プロトタイプ試作が加速できるとともに、IoT、医療デバイス用電源として十分な単結晶固体電解質の信頼性が実証できたことで、将来的には、スマート補聴器やポータブル医療機器、インプラントデバイスへの応用展開が期待できる。

#### 【課題と対応】

目的基礎研究における課題としては、社会や産業のニーズを的確に把握し将来の「橋渡し」の基となる革新的な技術シーズを継続的に創出することである。これら課題を解決するための対応として、クロスアポイント制度等を活用し大学等の研究機関との連携を一層活性化し、独創的な研究シーズの強化に努める。下記、各研究テーマに関する課題と対応についても列記する。

### ●CMOS デジタル回路低消費電力化技術の研究開発

開発したトランジスタ素子の高性能化・低消費電力化技術について、集積回路の量産に適用できるレベルにまで完成度を高めることが課題である。そのために、大口径ウエハ対応装置を用いたプロセス開発、信頼性やばらつきに関する検討等を進める。

### ●量子・ニューロモルフィックコンピューティング基盤技術の研究

量子アニーリング、脳型情報処理ともに、ハードウェアとソフトウェアを一体的に開発しつつ、ユーザーニーズの把握や標準化等も併せて進めることが課題となっている。そのために、大学、企業と密に連携して研究開発を進めている。

より複雑なニューロモルフィック回路を構築するために、複数の STO を結合した回路システムの開発が今後の課題となる。そのために、複数の STO の電気的な位相同期技術を高度化していく

予定である。

集積化によるニューロモルフィックチップの実現には、Si-CMOS プラットフォームとの融合が課題の一つである。この対応として、平成 29 年度までに開発した Si 基板上への酸化物エピタキシャル薄膜作製技術をベースに、Si 基板上への酸化物 FET 型人工シナプスの作製技術の開発を進める

#### ● スピン素子を応用した超省エネルギーデバイス

今後の課題として、新材料の量産プロセス技術の確立が挙げられる。今後、量産用のスパッタ成膜装置を用いて Ir 希薄ドーパ Fe 電極を持つ実用メモリ素子 (MTJ 素子) を作製し、高効率の電圧書き込みを実証していく予定である。

基盤となるプロセス技術が確立されたので、今後はエピタキシャル成長の特長を活かした新材料系 MTJ 素子の開発が課題となる。そのためには、分子線エピタキシャル装置を用いて合成された新材料をいかに量産用大型スパッタ装置に移管するかが鍵となる。

#### ● その他のテーマの実績・成果

##### 「p 型透明酸化物半導体の研究開発」

基礎研究段階での多結晶バルク体による機能発現機構の解明は終わったが、応用に向けた多結晶およびアモルファス薄膜の作製とキャリア生成や伝導特性に対するアモルファス化の影響の解明が今後の課題である。アモルファス化の影響解明と特性向上を通じて、実用レベルの p 型酸化物透明半導体薄膜の実現と、pn 接合を利用した透明電子デバイスや TFT の実証を進める。

##### 「単結晶固体電解質を用いた全固体電池の開発」

IoT、医療デバイス用電源として利用するために常温で性能実証するためには、更なる粒界・界面抵抗の低減による特性改善が課題である。この対応としては、適切な電極・電解質材料の組み合わせにおける AD 法による複合化・電極作製条件の最適化検討を進める。

## (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

橋渡し研究前期では、IoT 社会実現に不可欠な要素技術 (ネットワーク、センシング等) の 2020 年以降での実用に向け、産業界のニーズを的確にとらえ、産業界とともに産総研が強みを有する技術シーズを中核とした国家プロジェクト等で課題解決を目指していく研究テーマを設定している。

### 【実績・成果】

#### ● 光パスネット：次世代超大容量通信網

情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の構築に向け、電力消費量を抑えつつ、大容量情報を快適に送受信できる革新的光ネットワーク技術の開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

文科省の拠点形成事業「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」(VICTORIES) で開発された技術の実用化のために、協働企業らと合意した標準機器として開発したシリコンフォトニクス・光スイッチ・サブシステムを、世界で初めて実フィールド (東京都内) に敷設し、4K 非圧縮映像による「テレセッション」の実運用に成功した。また、同システムの潜在ユーザ 50 社以上に対してテレセッションデモを実施し、高品質かつ低遅延で伝送される映像が、遠隔地に居ながらもあたかも同じ場所にいるような自然な感覚でコミュニケーションできる、遠隔共存が可能であることを紹介した。

## ●検出器・センサの超高性能化および超低消費電力化技術の開発

低炭素化社会や安全・安心な生活の実現に寄与するための超高性能かつ超低消費電力型の高感度検出器の開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

インフラ構造物検査、材料評価、医療応用等において電磁波や高エネルギー粒子の検出に用いる超伝導アレイ検出器について、高感度・高エネルギー分解能の分析のために求められる多画素化を進め、従来の 10 倍以上となる世界最高の 1,000 画素を実現した。さらに、多画素の検出器から効率的に信号を読み出す独自の多重化技術を開発し、検出器の応用範囲拡大のために求められる小型で低消費電力な分析システム構築が可能となった。企業との共同研究の一例として、蛍光収量 X 線微細構造分析システムに超伝導検出器を組み込み、窒化ガリウム中の微量 Mg ドープメント (100 ppm) の分析に成功した。

省電力性に優れた非加熱式水素ガスセンサ素子を、機能的な酸化 Pt 電極からなるナノギャップ構造を応用して開発した。企業との共同研究により水素ガス応答性能評価を進め、市販の水素ガスセンサでは一般に約 100 °C 以上の動作温度が必要なところ、本研究ではセンサモジュールの実証機を用い、加熱のための電力が不要な室温にて高感度 (27 ppm で抵抗比 3 桁以上)・低消費電力 (1 mV 動作(センサ部))の水素ガス検知に成功した。

## ●スマートものづくり技術の研究

情報・モノ・ヒトをつなぎ、新たな価値をつくりだす「IoT 時代のスマートものづくり」の実現に向けて必要となる要素技術開発と社会実装のための取り組みにおいて以下の成果を得た。

### 「現場での見えない情報を可視化するセンシング技術」

SIP における研究開発成果として、航空機 CFRP の内部で発生した破壊予兆を発光可視化できる技術を開発し、CFRP 破壊初期過程に内部で発生するトランスバースクラックを世界で初めて発光可視化する事に成功した。その結果、国際航空機疲労委員会 (ICAF2017) で Japan National Review に選出された。

### 「情報技術を活用したオンデマンドな加工技術・生産システム」

3D-CAD で作成された金属部品のポリゴンデータを異形スピニング加工の工具制御指令に一括変換するシステムを構築し、設計図面を簡便かつ忠実に成形する 3D スピニング加工法を開発した。従来数日かかっていた複雑な形状の工具指令プログラムが 1 時間程度、かつ高度な知識やノウハウなしに実行できるようになった。また、市販されている異形スピニング加工機への実装を可能にした。

### 「心電ウェア」

NEDO 事業「次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」において、ゲルフリー起毛電極アレイを直接形成したコンプレッションウェアと 24ch チャンネルアンプおよび超広帯域無線 (UWB) 送受信モジュールを開発し、着るだけで多誘導の心電計測が可能な心電ウェアを開発した。この心電ウェアでは、通常の 12 誘導心電計測の胸部電極数の 3 倍にあたる 18 極の電極からの心電波形を同時取得し無線通信することができる。

## ●その他のテーマの実績・成果

### 「スピン素子の実用化開発」

平成 29 年度までに目的基礎研究のフェーズにおいて、次世代 MRAM に不可欠な材料および評価解析技術の開発を行い、高 IF 論文やプレスリリースでの成果発信を通じて保有技術の高さを示した上、同技術に関する企業との連携においても高いマネジメント力を発揮してきた結果、新材料の形成・加工技術および量産技術を保有する TEL との連携研究室 (冠ラボ) を産総研内に設置

するに至り、次世代 MRAM 製造プロセス技術の開発をスタートさせた。

「樹脂基材グレージング技術の研究開発」

先進コーティングアライアンスの活動を通し、企業が保有するシリカハイブリッド材技術を用い中間層を形成、その上に AD 法による常温セラミックスコーティングを施したところ、ポリカーボネート基板上に良好な密着力と耐衝撃性を有し、鉛筆硬度で 5H、HAZE 値：3～5%程度のアルミナハードコートを実現、各種応用先企業へのサンプル試供を開始した。

●戦略的な知的財産マネジメントの取り組み状況

「表面機能化プロセス」の技術動向調査に基づいた簡易 SWOT 分析、「FHE」の市場動向を睨んだ技術動向調査（国内外の特許・論文調査とテキストマイニング分析）を実施。

●知的財産創出の質的量的状況

- ・目標値：180 件（平成 29 年 3 月実績値 161 件に対し 19 件増の目標）
- ・実績値：163 件（平成 29 年 12 月での契約済み件数）
- ・見込み：182 件（平成 30 年 3 月）

●公的外部資金獲得状況

- ・文部科学省 先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」（研究代表者：電子光技術研究部門 副研究部門長 並木周、平成 29 年度分 約 4.4 億円）
- ・平成 29 年度推進中の大型国家プロジェクト件数：15 件（1 億円以上：新規 4 件）
- ・平成 29 年度公的資金獲得額：43 億（平成 29 年 12 月）

●「橋渡し」研究前期における研究開発推進加速に向けた取り組み

・文科省プログラム「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」(VICTORIES) では、これまでに開発した光ネットワーク要素技術を集約し、平成 29 年度にダイナミック光パスネットワークのテストヘッドを構築した。また、これと並行して産総研コンソーシアム「光デバイス基盤技術イノベーション研究会」(PHOENICS) では、光デバイス産業エコシステムについて検討し、SCR をシリコンフォトニクスファブとして活用する基盤を形成した。VICTORIES の活動を基に起業したベンチャー会社は、平成 29 年度、電気通信事業者として光パスネットワークの構築・運用に関わる事業を開始している。また、これまでの VICTORIES 拠点および PHOENICS での活動を平成 29 年度以降に引き継ぐ場として、サイバーフォトニックプラットフォーム・コンソーシアム (CPPC) およびシリコンフォトニクス・コンソーシアムを設置予定である。

・5 社の企業と 2 つの国立研究機関が参加する産総研コンソーシアム (IMPULSE) を平成 29 年 4 月 1 日に設置し、年 6 回のセミナーおよび検討会を通じて産学官で議論や調査を実施し、高電力効率大規模データ処理ハードウェアに関する社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップを作成している。

・技術研究組合光電子融合基盤技術研究所 (PETRA)、次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合 (JAPER)、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構 (NMEMS)、技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) の 4 つの技術研究組合に参画し、産業界とともに研究を推進している。

●TIA オープンイノベーション拠点に対する貢献（再掲）

- ・世界トップの超電導デバイスプロセス技術を有する超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点 (CRAVITY) を運営し、国内：12 大学 (13 課題)、3 研究機関、3 企業 (4 課題)、海外：2 大学、2 研究機関、2 企業に対し技術提供。
- ・JST 事業に基づいて設立したナノテクキャリアアップアライアンスの活動として MEMS および TCAD、SCR に関するセミナーコースを 4 コース開催し 47 名に修了証を授与（平成 28 年度実績）

値：3回、13名)。

- ・「TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル」では MEMS および TCAD の講座で企業や大学等から合計 60 名の参加。
- ・NEDO 事業「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業/IoT 技術開発加速のための設計・製造基盤開発」にて設計・製造基盤開発拠点を SCR および NPF に整備中。(研究代表者：エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、平成 28・29 年度 総額 約 63 億円)
- ・ナノエレクトロニクス・ナノマテリアル等の研究開発の推進に必要な、先端機器を産学官の研究者および技術者に提供する事を目的とする NPF の管理・運営に貢献。

#### 【アウトカム】

##### ●光パケット：次世代超大容量通信網

従来 IP 網では不可能であった、4K や 8K などの超高精細映像の超低遅延伝送によるテレセッションが、自由に且つ従来技術に比して一桁以上の低電力化が可能となる。これにより、ネットワーク拡大が電力による制限から解放され、遠隔医療、遠隔教育、遠隔介護、臨場性を要するテレワーク (遠隔 CAD・製造) など、様々な応用の普及が期待される。

##### ●検出器・センサの超高性能化および超低消費電力化技術の開発

既存の分析技術では評価できない元素の微量分析や巨大分子の質量の直接同定を可能とする超伝導アレイ検出器の利用の拡がりは、企業における材料 (軽量化など) や触媒 (反応の低温化、高活性化など) 等の開発やウィルス検出等の医療応用を通じて、低炭素化社会や安全・安心な生活の実現に寄与する。

水素ガスセンサに関して、共同研究先の企業がセミコンジャパン 2017 における IoT 対応水素デバイス群の出展の一つとして、水素検知センサを展示した。高感度で低消費電力なセンサの普及は、安全な水素社会の実現へつなげると期待される。

##### ●IoT 時代のスマートものづくり技術の研究

航空機 CFRP の内部トランスパースクラック検出が、国際航空機疲労委員会 (ICAF2017) で Japan National Review に選出され各国航空関係者に周知されたことで、海外企業からの問い合わせが 10 件以上、国内企業からの受託研究を 1 件開始するなど国内外での反響を呼んでおり、航空機製造・運用現場での破壊予兆の可視化を基にした、設計・運用の高度化が期待できる。さらに、その他の各種輸送機器の接着接合の評価に使われ、全世界的な省エネルギー・省資源・安全安心な社会の構築に寄与する。

3D スピニング加工法が異形スピニング加工機に実装可能となり、容易にユーザの要望に応じた加工が可能になることから、航空宇宙産業や自動車産業などにおいて、積層造形法が苦手とする中～大型部品の高速試作や多品種変量生産への適用が期待できる。

心電ウェアを用いた心電計測においては、被験者ごとの体形の違いにより電極のポジショニングのずれが課題であるが、多極心電ウェアは電極数を増やすことで適切な電極の選択や信号の合成が可能になり、ポジショニングの課題が解決され、容易に適切な心電計測が可能になる。また、これまで心電計測は、ベッドでの安静状態で有線による計測しかできなかったが、この心電ウェアにより、日常生活・運動負荷・睡眠など様々な状態での心電計測が行え、心疾患に関する新たな知見の取得が可能となる。

##### ●その他のテーマのアウトカム

###### 「スピン素子の実用化開発」

TEL一産総研連携研究室は、産総研と TEL が緊密に連携して次世代 MRAM のための新材料・プロセスから量産技術までを一貫して開発する「橋渡し」の強力な推進組織であり、両施設を活用することにより、次世代の MRAM 製造プロセス技術の開発促進を加速化できる。不揮発性メモリ MRAM



が実用化されて普及すれば、IT (Information Technology)・IoT 機器の低消費電力化と利便性の向上につながると期待される。

#### 「樹脂基材グレージング技術の研究開発」

樹脂基材へ高透明、高密着性、高耐衝撃性を有するセラミックスコーティングを実現すれば、自動車用ウインドウの軽量化やヘッドライト等のデザイン性向上、および電磁波透過性向上が必須の 5G スマホ筐体への適用や、フレキブル有機 EL (Electro-Luminescence) ディスプレイの実用化課題の解決につながる。

#### 【課題と対応】

「橋渡し前期」における課題としては、革新的な技術シーズを橋渡しに繋げていくため強い知財の創出（量及び質）及び橋渡しのための効果的な研究開発テーマ設定が挙げられる。このため研究開発を加速する拠点環境整備や知財の取り扱いを専門とする専門部署と協力して産業界のニーズを的確にとらえ、橋渡しを意識した企業とともに技術シーズを中核とした国家プロジェクト等の実施によって対応する。下記、各研究テーマに関する課題と対応についても列記する。

#### ●光パケット：次世代大容量通信網

テレセッションを必要とするユーザに対して、光パケットワークソリューションを提供できるプレーヤが不在であることが課題であった。その対応として、ベンチャーを起業しサービスを提供する予定である。また、シリコンフォトニクス技術開発に必要なファブが国内に不在であることが課題であった。その対応として、SCR をシリコンフォトニクス・ファブとして活用していく。

#### ●検出器・センサの超高性能化および超低消費電力化技術の開発

超伝導検出器を装着した走査型電子顕微鏡は幅広い応用が期待されることから、本技術を計測器メカへ技術移転し普及させることが課題であり、製品化において求められる検出器の画素間均一性の向上と測定例の蓄積に取り組んでいる。

非加熱式水素ガスセンサに関しては、他のガスとの選択性評価と量産技術の確立が課題であり、抵抗変化に関するより深い学術的な理解に立ち返ってこれらに対応していく。

#### ●スマートものづくり技術の研究

航空機 CFRP の応力発光検査での課題は、実構造材料の入手である。その対応として、国内企業より提供を受ける実構造部材での検証、および製造デザインへの還元を行う計画である。

管状素材の成形を得意とする 3D スピニング加工法の課題は、板状素材からの成形である。その対応として、傾斜角を持つローラ工具に対応したアルゴリズムの開発を行う。

心電ウェアの実用化における大きな問題は、ユーザが心電ウェアを着ることに対する抵抗感や違和感の低減であり、心電ウェアの装着感は非常に重要な課題である。開発した心電ウェアではアンブおよび送受信モジュールが大きく、ウェアとは別にモジュール筐体を装着する必要がある点で良好な装着感が実現できていない。その対応として、信号処理および送受信回路部分を薄片化しハイブリッドエレクトロニクス技術によりウェアに一体化し実装することで心電ウェアの軽量化、フレキシブル化を実現し、装着性を大幅に改善する。

#### ●その他のテーマの課題と対応

##### 「スピン素子の実用化開発」

1X nm 世代の MRAM のための材料・製造プロセス技術の確立が課題となる。その対応として、産

総研スピントロニクス研究センター、TIA-SCR、TEL の 3 拠点を活用し、円滑で効率的な技術開発を進める。

#### 「樹脂基材グレージング技術の研究開発」

各種製品への適用幅を広げるには、鉛筆硬度で 8H 以上が必須、さらに透明性（HAZE 値：1%以下）、耐候性が大きな課題である。その対応として、無機有機ハイブリッド中間層の最適化や積層構造の最適設計を検討すると同時に、用途拡大には、アライアンス企業との連携で、製品適用評価を進めるとともに、コーティングコスト低減に向け、AD 法原料粉末の最適設計を検討する。

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

橋渡し研究後期では、IoT 社会の実現を目指し、高度化したデバイス・材料・製造要素技術に対して最大の効果を得るアプリケーション開拓を行い、最適なバリューチェーンの構築によってスピード感のある橋渡し研究を推進する。

#### 【実績・成果】

##### ●MEMS センサネットによる人や物の健全性モニタリング

スマート社会の実現に向け、道路インフラやライフラインの常時モニタリングを目指した MEMS センサネットワークシステムの開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

NEDO 事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」ではシート上全面にグラファイト抵抗体印刷ひずみセンサアレイが形成されたフレキシブル面パターンセンサと通信モジュール、受信機、エッジデバイス、小型太陽光発電パネルからなる低コスト化が可能な橋梁センシングシステムを開発した。グラファイト抵抗体印刷ひずみセンサアレイの消費電力は 5 mW で、市販の箔ひずみゲージの 1/100 以下の消費電力であり、太陽光発電のみでシステム全体を動作させることに成功した。このセンサアレイシートは印刷で作製するため低コスト化も実現でき、市販に向けてプロジェクト共同実施中の企業と技術移転に向けた協議を開始した。

NEDO 事業「ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発」において、振動発電を搭載した小型無線振動センサ端末を開発している。開発した圧電 MEMS 振動センサシステムは、市販の加速度ピックアップに比べ 3 桁近い省電力性能と 2 桁の高感度性能を有し、消費電力 30  $\mu$ A で加速度 10 mg の微小な振動の検出に成功した。同システムはプロジェクト共同実施中の企業へ技術移転する予定となっている。

##### ●暮らしに寄り添うフレキシブルプリントド技術

安心、安全、快適なスマート社会の実現を目指すフレキシブルデバイス開発及び基盤技術となる高生産高精細印刷造技術開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

大面積基板に一桁  $\mu$ m からサブ  $\mu$ m の高精細導体細線をスクリーン印刷やコーティングという簡便な印刷技術で形成を可能にした産総研独自技術、常温大気下高精細印刷デバイス製造技術（スクリーンオフセット印刷およびスーパーナップ法）では平成 29 年度に橋渡しを実現した。電子部品製造装置として製品化に至り、タッチパネル形成技術としては企業の量産ライン構築につながった。

また、開発した 160  $^{\circ}$ C 以下の低温でプラスチック基板にチップ、コネクタ等の実装接合を可能にする低温低損傷実装技術を用いて 80 ppi 以上の高集積圧力センサシートや IC チップ搭載フレキシブル無線受信回路の製造を可能にし、人肌感を有する人工皮膚や形状変形が可能でウェアラブルな薄膜ラジオや心電計、ペーパー電子楽器等の製造を実現した。特に人工皮膚に関しては企

業に技術移転され、事業化に向けた量産ラインやデザイン商品の設計が進められている。

### ●ミニマルファブによる IoT デバイス変量多品種製造技術の開発と普及

変量多品種デバイス製造へのニーズに対応するとともに設備投資と運用コストを大幅に低減する革新的半導体製造システムであるミニマルファブシステムの技術開発に取り組み、平成 29 年度は以下の成果を得た。

変量多品種生産向けのミニマルファブ技術に関し、プロセスレシピをコピー不可で販売可能とし、かつセキュリティを万全にする暗号化対応の最先端装置制御システムを開発した。また、商用主要装置群へ実装するとともに、パッケージング装置群を受注可能機に仕上げた。CMOS プロセス技術開発と MEMS 向けの深掘りエッチング技術において、20 nm 以下に凹凸を低減する世界最高の表面平滑性を達成した。これらを融合することにより、MEMS メンブレン上に CMOS を集積した圧力センサの開発と動作実証に成功した。本技術はミニマルファブコアデバイスに関する企業提供技術ライブラリの一つとなる。

### ●高速 3 次元精密造形技術

高性能、高付加価値製品の製造のため、複雑形状・薄肉軽量鋳造部材の製造を可能にする 3D プリント精密砂型造形技術及びその高速化を目指した開発を行い、平成 29 年度は以下の成果を得た。

国家プロジェクト事業「超精密 3 次元造形システム技術開発プロジェクト」の中で BJT (Binder Jet) 方式積層造形を用いた精密砂型造形の技術開発にプロジェクトリーダーとして取り組み、新たな 1 液硬化システムの開発に取り組んだ。その結果、これまで湿体であった材料の乾体化及び硬化速度の高速化を実現し、これまでの約 2 倍となる世界最高速 (10 万 cc/h) の装置及び手法の開発を成功させた。本装置は共同研究企業により市販化され、橋渡しが実現した。

### ●社会で活躍する先進コーティング技術

AD 法や光 MOD 法などの産総研が世界を先導するコーティング技術を核に材料開発及び成膜メカニズム解明に基いたプロセスの高度化、及びそれを基にした多事業分野での民間企業への橋渡しを目指した開発を行い、平成 29 年度は以下の成果を得た。

産総研独自技術である AD 法を用いた樹脂フィルム上へのポーラス TiO<sub>2</sub> 膜のロール to ロール形成手法を技術移転した企業により生産能力 2 万 m<sup>2</sup>/年のフレキシブル色素増感型太陽電池 (DSC, Dye-sensitized Solar Cell) パイロット量産機を導入し「低照度でも発電 (500 lx 以下)・薄い (1 mm 以下)・軽い (ガラスの 1/10 以下)・曲がる・貼れる」という特徴を有する製品販売が開始された。

光 MOD 法による高輝度蓄光膜の開発では、平成 28 年度に開発した LED (Light Emitting Diode) 用蓄光材料について金属ドーピングとプロセス改善により室外応用 (太陽光励起) に対応した高輝度長残光材料 (340 mcd/m<sup>2</sup> (D65:200 lx で 20 分励起、停止 10 分後)、市販材料の 1.7 倍) を開発し、先進コーティングアライアンスを活用した橋渡しのための材料メーカーから部材メーカーをつなぐバリューチェーン構築を行った。

### ●その他の実績・成果

「先進コーティング技術の実用化開発」

高齢化シフトに対応した、義歯製造においては審美性を向上させるコーティング手法 (審美コーティング) の開発が望まれている。Hybrid AD 法 (HAD 法) を用いたオンデマンド義歯製造技術

開発においてはSIP 革新的設計生産技術・産総研コーティング拠点(SIP コーティング拠点)を利用し、生体適合性 Ti 合金基材へのジルコニア成膜で、歯科用部材に臨床試験適用可能な白色性と密着強度（曲げ試験：曲率半径 5 mm で剥離無し）を実現した。

●民間からの資金獲得額の目標値と実績値

- ・目標値：15.8 億円
- ・実績値：10.2 億円（平成 29 年 12 月）（平成 29 年 3 月実績値：10 億円）
- ・見込み：11.6 億円（平成 30 年 3 月）（平成 29 年 3 月比 116%）

●中堅・中小企業の資金提供を伴う研究契約件数の大企業に対する比率

- ・平成 29 年度：42.3%（平成 29 年 12 月）、中小企業 58 件、大企業 137 件
- ・平成 28 年度：40.1%（平成 29 年 3 月）、中小企業 55 件、大企業 137 件

●「橋渡し」研究後期における研究開発推進加速に向けた取り組み

・ミニマルファブの展開として平成 30 年度臨海センターに開設予定の試作・生産のための実用プラットフォーム及び九州センターにおける地域実装展開に向けて、設計情報やプロセスレシピをユーザーに提供する体制づくりを推進した。平成 28 年度末に設立され産総研ベンチャーとして認定された一般社団法人ミニマルファブ推進機構では、平成 29 年度より、技術開発、標準化推進、規格認証、国内外の関連機関との交流、普及啓発等の活動を開始した。

・先進コーティング技術について、平成 28 年度に一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携して設立した先進コーティング技術アライアンスでは、平成 29 年度、産総研とアライアンス参加企業により明確な出口戦略を持った共同研究を開始し、内 2 件で技術移転につながる成果が得られ、アライアンスを活用した商品化を検討している。このように川上産業から川下産業までを極めて効果的に繋ぐバリューチェーンの構築を実現し、参画企業も設立当初の 28 社から 44 社まで拡大している。

●「橋渡し」研究後期における研究開発推進に伴い得られた各種成果

・次世代半導体製造技術である EUV リソグラフィーに用いるマスクブランクス欠陥検査技術を企業へ技術移転した。

●産総研発ベンチャー

・平成 29 年度にベンチャー1 件を設立、1 件が認定された（メルフロンティア株式会社（設立）、一般社団法人ミニマルファブ推進機構（認定））。

【アウトカム】

●MEMS センサネットによる人や物の健全性モニタリング

開発したフレキシブル面パターンセンサを高速道路鋼橋の補修・経過観察対象に導入し、亀裂進展防止のストップホール周辺において車両通過時のひずみ分布異常が現れることを実証した。これにより、将来の道路インフラ健全性の無人常時モニタリングを実現し、増え続ける老朽化した道路インフラの効率的な維持管理が期待される。

開発したライフライン用センサシステムを稼働中の熱供給設備に社会実装し、極めて微弱な実ポンプ振動を検出し、稼働状況のモニタリングを同設備を運用中の高砂熱学工業(株)と共に検証した。このシステムはポンプ以外にも様々な産業機器に適用可能で、産業機器の効率的な保全管理を行うことが期待できる。

●暮らしに寄り添うフレキシブルプリントド技術

真空チャンバ・加熱装置を必要としない常温大気下での高精細印刷デバイス製造技術の実現は

大面積及び形状自由度を有するフレキシブル情報入出力デバイスの高効率・省エネルギー製造を可能とし、市場への高度普及の促進が期待できる。フレキシブル情報入出力機器は、デバイス設計・設置の自由度をもたらす、紙情報、接触情報、生体情報など、現在電子化しての取得が困難な情報取得を可能にするため、生活環境の実時間その場見守り、実時間その場情報提供などを実現させ、安心、安全、快適などクオリティオブライフの向上をもたらすことが期待できる。

●ミニマルファブによるIoTデバイス変量多品種製造技術の開発と普及

半導体需要の大半は大型クリーンルームを使用する生産システムで生産され、少量生産品の製造に対しては設備投資の大きさや設備運用にかかる多大なエネルギー消費量の面で非効率が生じている。ミニマルファブシステムは変量多品種のニーズに対応した新たな半導体製造システムの提案であり、半導体製造装置の小型化やクリーンルームを不要とする技術開発により、少量生産の半導体の製造エネルギーを大幅に減らし、また設備投資の大幅削減が可能な小型製造プロセスの実現が期待される。

●高速3次元精密造形技術開発

開発したBJT装置はユーザ企業および公設試で活用され、輸送機器（航空機・自動車・トラック等）、建設機械での従来にない新部材開発（薄型・複雑形状鋳造品等）が進められ、量産化を念頭に置いた展開も開始した。BJT装置開発により、これまでにない鋳造品の複雑形状化、薄肉化が可能となり、情報技術を活用した変量多品種生産に対応できる従来の半分の肉厚（例えば2mm）で構造と種々の配管構造との複合化したエンジン、油圧バルブを製作するなどオンデマンドな加工技術・生産システムが実現すると考えられる。変量多品種生産の実現は省エネ・省資源製造技術として重要な役割を担うことが期待される。

●社会で活躍する先進コーティング技術

AD法によるフレキシブルDSCの実用化に関しては、薄い・軽い・曲がる・貼れるという特徴を利用して企業から窓へ設置する「防犯センサ」やドアや家電などに設置する「見守りセンサ」としての製品販売が予定されており、電子広告、IoTセンサ向けの独立電源としての利用が期待される。光MOD法による高輝度蓄光膜の開発に関しては日中の太陽光励起を活用した部材の発光性能向上により、屋内のみならず屋外での適用が可能となり、夜間発光が必須な各種インフラへの安全性向上に資する新規部材への展開が期待できる。また、LEDや有機ELとのハイブリッド化技術の確立により、省エネルギー照明の開発も期待される。

●その他の実績

「先進コーティング技術の実用化開発」

HAD法による歯科用部材の審美コーティングの開発では高齢化シフトに対応した、義歯（クラウン、アバットメント等）、インプラント関連部材の市場拡大と医療分野での国際競争力強化が期待される。

【課題と対応】

「橋渡し後期」における課題としては、醸成された開発技術に対して最大の効果を得るため、多様なアプリケーションの開拓、及びそれを効果的・効率的に実用化に繋げるためのバリューチェーンの構築が挙げられる。これには試作環境やプラットフォームの整備を通じた技術移転環境の整備、及び技術コンソーシアム等の形成によって川上産業から川下産業までを効果的に繋ぐことが対応策となる。下記、各研究テーマに関する課題と対応についても列記する。

●MEMSセンサネットによる人や物の健全性モニタリング

フレキシブル面パターンセンサは太陽光発電が使えない場所や電波が届かない場所へのシス

テム導入に課題が残る。システムの受信機側へ有線で電力供給し、そこから通信モジュールのあるセンサ側に光により給電する方法での対応を検討し、中継器を介した長距離通信システムを開発する。

ライフライン用振動センサ端末では振動発電により電力を得るが、振動発電デバイスは高効率動作する周波数帯域が狭く、実ポンプの振動周波数とのずれがあると発電効率が大きく低下する課題がある。振動発電デバイスのアレイ化や共振のQ値を下げるなどの手法により対応できる周波数帯域を拡大し、主要なポンプの振動周波数 50~200 Hz での発電効率を高めることで対応する。

#### ●暮らしに寄り添うフレキシブルプリント技術

必要仕様と許容コストが異なり、デバイス製造のカスタマイズ化に柔軟に対応可能な製造技術、材料の共通化が課題であり、型、版、マスクなどの仕様を決めるための加工部品の製造の簡素化技術の開発を進め、材料・プロセスの標準策定の取り組み、基盤技術の共通化を図ることで対応する。多様なソリューションビジネスへの適用性向上のために、個々の実用シーンに適合するデバイスのシステム化、有意義データの抽出などが課題になる。これに対して、試作環境及び社会実装試験環境の整備を行い、異なる仕様への適合性の確認および共通基盤の確立により対応する。効果的な橋渡しを可能にする企業の探索も課題であり、技術移転コンソーシアム等を形成し、技術お試し環境を整備して、実用化技術マッチング検討を実施可能にすることで対応する。

#### ●ミニマルファブによる IoT デバイス変量多品種製造技術の開発と普及

主たる課題は IoT デバイスや集積回路の開発に用いる CMOS プロセス技術の完成度を商業生産レベルまで高めることである。今後、ミニマルファブのユーザーを拡大し試作例を蓄積していく中で、CMOS プロセス技術の成熟を図り、技術体系として完成させていくことで対応する。

#### ●高速 3 次元精密造形技術開発

BJT 技術開発では更なる高融点金属への対応が課題として挙げられる。材料開発、ポストプロセス開発により対応を行う。

#### ●社会で活躍する先進コーティング技術

AD 法によるフレキシブル DSC の実用化に関して、事業規模拡大には、DSC デバイス応用製品の用途開発が課題で、IoT センサ応用などで産総研として用途開発に協力することでの対応を検討する。また、光 MOD 法による高輝度蓄光膜の開発では、量産化に向けたプロセス設計の改善や、室外利用における信頼性確保が課題であり、加速劣化試験の実施とそのメカニズムを解明、材料表面コーティングなどによる高耐久化により対応する。

#### ●その他の実績

##### 「先進コーティング技術の実用化開発」

HAD 法による歯科用部材の審美コーティングの開発では量産安定性の確保と 3D コーティングでの成膜均一性の向上が課題で、実際の義歯クラウンやアバットメントに 3 次元で HAD コートを施せるノズル駆動システムを完成させることで対応する。

### 3. 前年度評価コメントへの対応

#### (1) 領域の対応状況

##### コメント（若手人材育成）

若手の人材育成については、議論をさせるだけでなく、小さな研究テーマの責任者を任せる等の工夫をして、将来にむけた人材育成を強化していただきたい。

##### 対応状況

当領域では、若手限定ではないが、複数の萌芽的研究テーマの連携を促進するために FS 連携プロジェクト、および知的財産を具現化・見える化することで応用展開を促進するための IP 実用化プロジェクトを領域内公募およびトップダウンで実施している。プロジェクトチームの多くが若手で構成され、若手がリーダーとして推進している。また領域で設定するコア戦略テーマの推進では、研究ユニットを超えたチームを若手で構成しており、核となる専門分野の若手研究員がリーダーシップを発揮して、連携研究を推進している。グローバル人材の育成についても、若手研究員を対象に 1 年間の在外研究の経費を領域が補助する形で奨励している。平成 29 年度は 3 人の研究員がそれぞれアメリカ、英国、スウェーデンで在外研究を行っている。

#### (2) ユニット毎の対応状況

##### コメント（目的基礎研究における研究開発）

ウィルスセンサの実用化のための課題を整理して提示すると良い。共通して言えることは、基礎研究としての目標へのチャレンジが根幹である一方、目的基礎研究である以上、目的とする実用化への道筋を示すと良い。

##### 対応状況

実用化に向けては、装置躯体設計、センサチップ、外力支援部、光学系、アッセイ用試薬、検出プロトコールなど基盤的な開発要素に各々の技術課題があり、平成 29 年度は個別の企業連携を進めている。応用開発段階では、検出対象物に合わせた感度設定、装置躯体サイズに合わせた光学系設計、測定プロトコールに馴染む躯体設計など、要素技術を水平方向に繋いで協働的に技術を確認していく必要がある。平成 28 年度のプレスリリース以降、平成 29 年度に開催された展示会やテクノブリッジフェア等を通して、20 社以上の企業から連携に関する問合せがあり、それぞれの企業が持つ技術と産総研の保有技術とのマッチングを加速できる段階にある。そこで、個別共同研究を水平展開すべく、複数企業と産総研との共同研究を実施し、知財ライブラリの活用による実用化加速を目指した組織づくりとして、平成 30 年度に向け、C 型共同研究体の設置準備を行っている。また並行して、当該技術に関する技術セミナーや企業連携を促すためのお見合いの場として、「外力支援型バイオアッセイ (EFANI) コンソーシアム」を平成 29 年度内に設置予定である。

##### コメント（目的基礎研究における研究開発）

- ・国内に事業がないロジックの研究開発をすることは重要であるが、研究を進める上で戦略的ビジネスモデルは考えておく必要がある。産総研だけで考える必要はなく、ビジネスモデルが得意な関係者と議論して進めていただきたい。
- ・新型メモリ/ロジック技術の研究開発を推進することにより、国内に産業基盤が出現する可能性(方策)を示唆(提示)する記述があると良い。

##### 対応

平成 29 年度、IMPULSE コンソーシアムを立ち上げ、参加メンバー（企業 5 社、国研 2 機関）と共に、今後重要となると予想されるサービスやアプリの調査と、そこで求められる情報処理ハードウェアの開発戦略についての議論を開始しています。また、所内で共有するロードマップにつ

いて、ナノエレクトロニクス研究部門とスピントロニクス研究センターの若手が中心となってローリングを行い、8つのユースケースにおいて2030年頃に求められる技術をまとめている。設計技術に関しては、大学と連携した拠点を平成30年度内に開設すべく、具体的な体制等について検討を進めています。

コメント（「橋渡し」研究前期における研究開発）

MEMSとフレキシブルエレクトロニクスのハイブリッドは、IoT世界における広汎な活用に向けて大きな要素となるので、具体的に研究開発を進めるべきである。

対応状況

具体的な出口を心電ウェアとしている。ここではシリコンの薄膜化やそれをフレキシブル基材へ実装する要素技術開発が重要でこれらをIoT世界への活用に向けて生かす。外部資金プロジェクト制度や所内プロジェクト制度などを活用することで、目に見える形での具体的な取り組みを開始し、既に「ウェアラブル」心電センサの実現などの成果を上げるに至っている。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
平成29年度 研究評価委員会  
(エレクトロニクス・製造領域)

## 説明資料

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
エレクトロニクス・製造領域

## 目次

1. 領域の概要と研究開発マネジメント
  - (1) 領域全体の概要・戦略
  - (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施
  - (3) マーケティング力の強化
  - (4) 大学や他の研究機関との連携強化
  - (5) 研究人材の拡充、流動化、育成
  
2. 「橋渡し」のための研究開発
  - (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
  - (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
  - (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

# 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

## 超情報化とモノづくりの新潮流

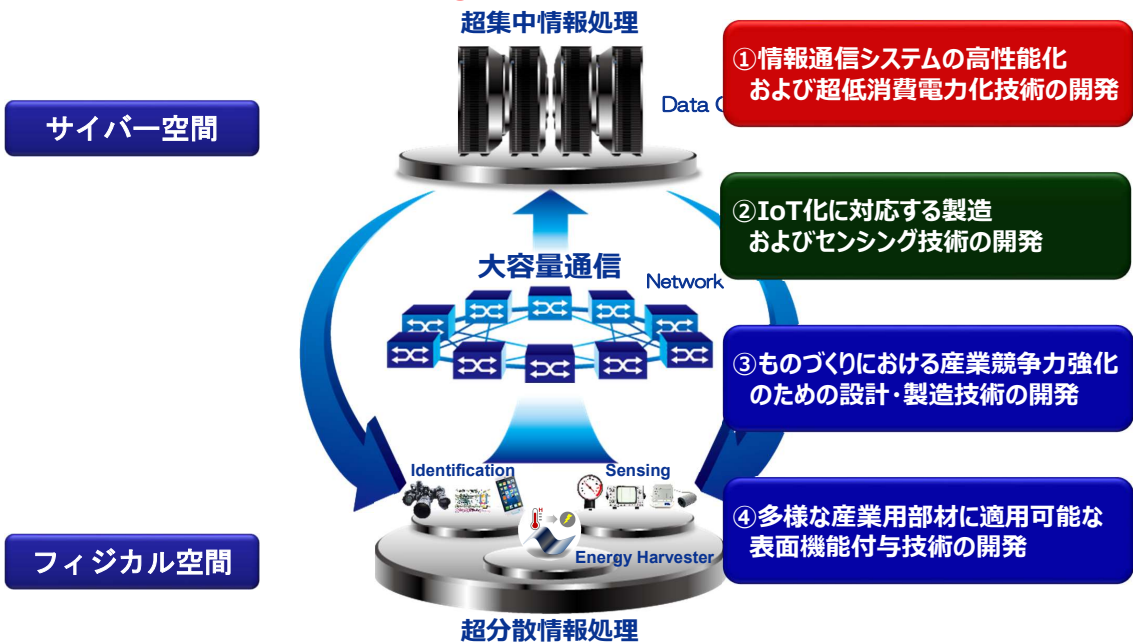


背景 **Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造**



- 社会のあらゆるモノがインターネットに接続され、現場情報のリアルタイム把握が可能に
- 取得データを解析・処理してフィードバックすることにより、新しいサービス・価値を創出

**Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造**

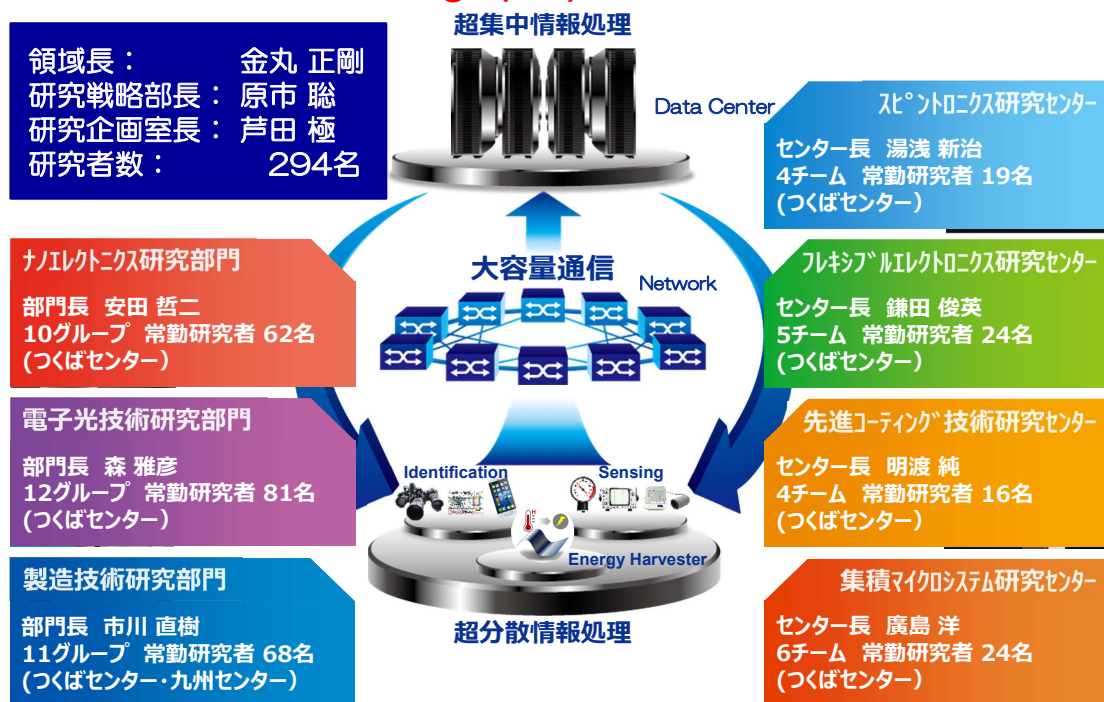


- 社会のあらゆるモノがインターネットに接続され、現場情報のリアルタイム把握が可能に
- 取得データを解析・処理してフィードバックすることにより、新しいサービス・価値を創出

Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造



Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造



## 第4期の重点化課題と目標

**① 情報通信システムの高性能化  
および超低消費電力化技術の開発**

- ✓ 情報データの処理量や通信量の増加に対応するため、省電力で高性能なIT機器を実現する情報処理・記憶デバイス技術とその集積化技術、あるいはフォトニクス関連技術等を開発
- ✓ 更なる高性能化に向けたポストスケーリング集積化技術の確立や新しい情報処理技術を創出

**② IoT化に対応する製造  
および センシング技術**

- ✓ 製造レジリエンス強化と産業競争力強化を目指した製造網 (Web of Manufacturing) を実現
- ✓ 社会インフラの維持管理を効率化・高度化を可能とする新たなセンシング技術、センサネットワーク技術、収集データ利用技術などを開発

**③ ものづくりにおける産業競争力強化  
のための設計・製造技術**

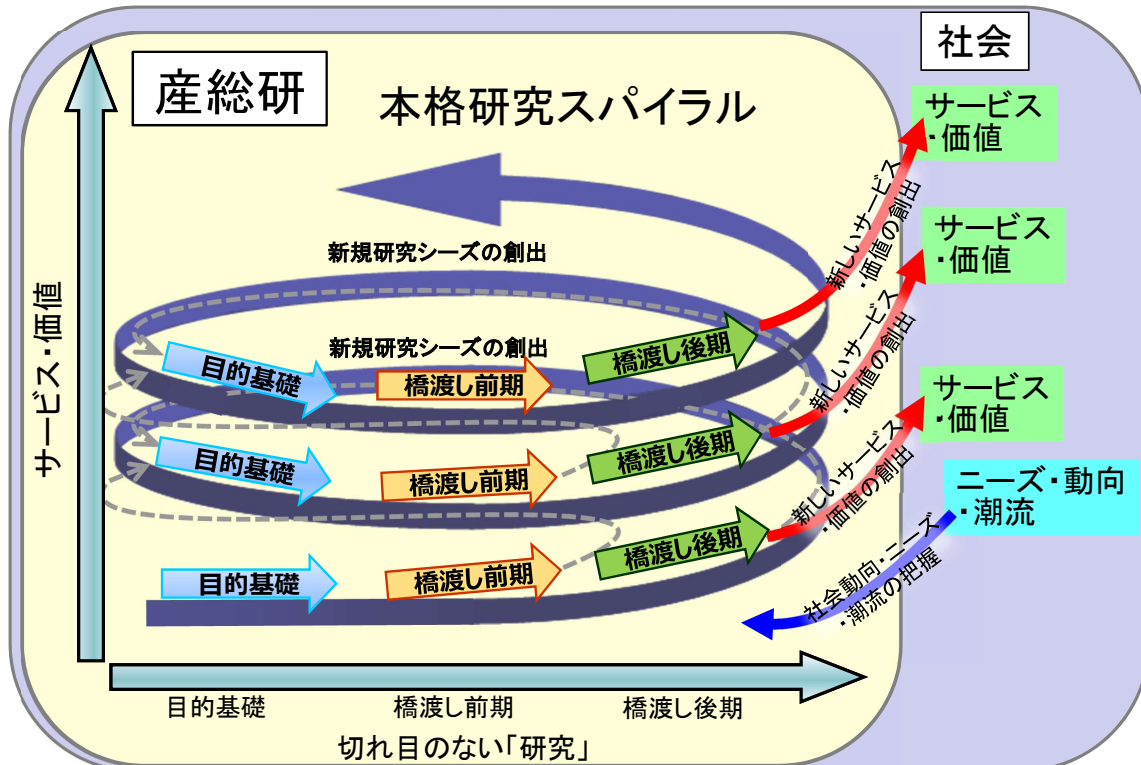
- ✓ 産業や社会の多様なニーズに対応した製品を省エネ、省資源、低コストで製造するために、設計マネジメント技術、印刷デバイス技術、ミニマルファブ技術、積層加工技術などを開発

**④ 多様な産業用部材に適用可能な  
表面機能付与技術**

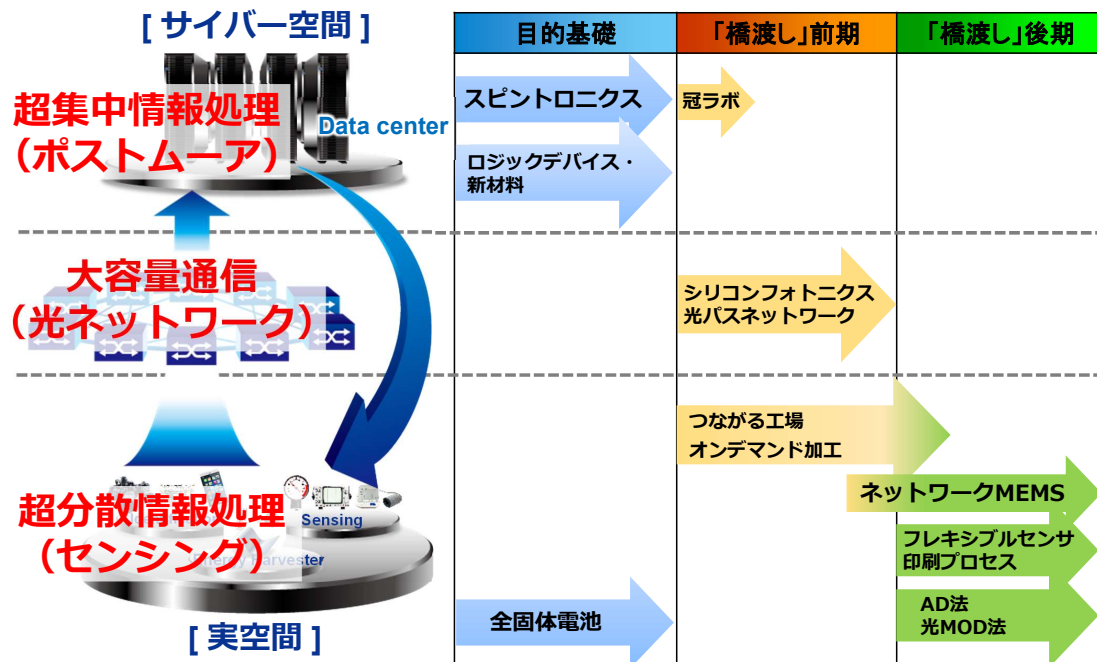
- ✓ 製品の更なる高付加価値化を目指し、高機能フレキシブル電子材料等の新材料、機能発現形成型技術等を開発
- ✓ パワーモジュール、燃料電池、構造材料等、種々の産業用部材、基材に対し自在なコーティングを可能とするために、コーティング技術を高度化

## 技術ポートフォリオ

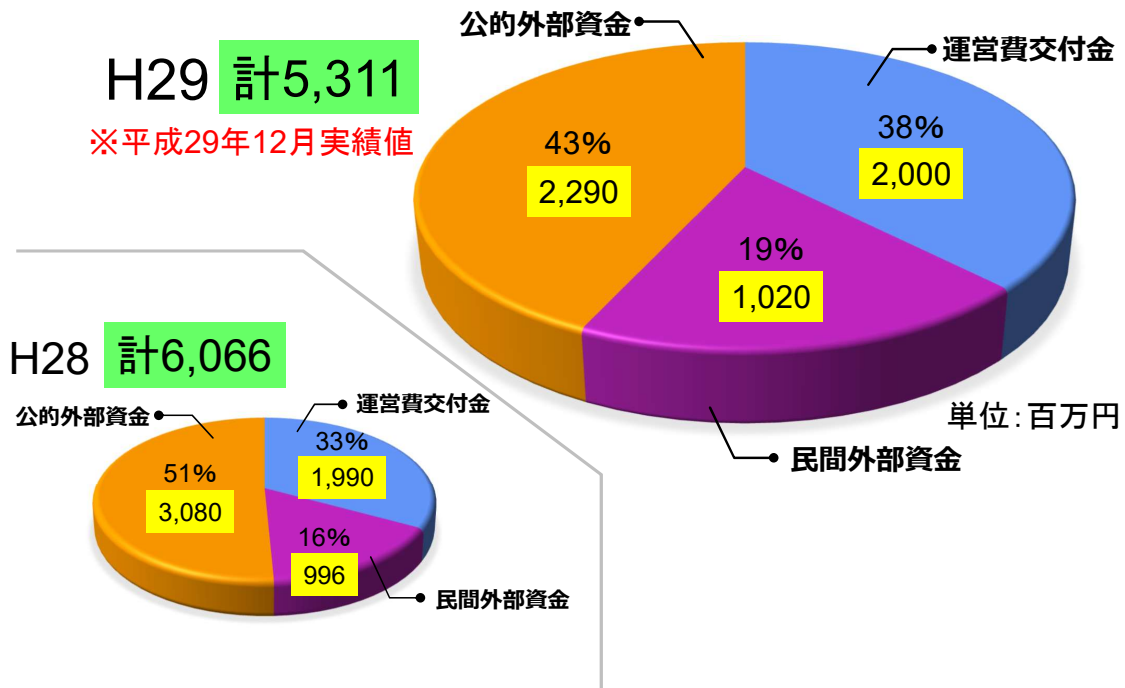
	目的基礎	「橋渡し」前期	「橋渡し」後期
①	<b>スピントロニクス</b> ・電圧トルクMRAM ・人工ニューロン ・3次元積層 <b>ロジックデバイス・新材料</b> ・深層学習チップアーキテクチャ ・超伝導量子アニーリング機械 ・半導体量子ビット GST (Ge-Sb-Te) テラヘルツ検出 強相関デバイス 新規材料・構造発光デバイス 不揮発性アナログ型抵抗変化素子	<b>光情報技術</b> ・シリコンフォトニクス・光実装 ・光バスネットワーク 偽造防止PUF 超伝導検出器アレイ化・多重読み出し技術 ウエハレベル3D実装 超格子型相変化メモリ 高移動度チャネルFET シリコントンネルFET フィールドエミッタアレイ技術 次世代TCAD <b>東京エレクトロン一産総研連携研究室(冠ラボ)設立</b>	STT-MRAM カーボンナノチューブ透明電極 FPGA評価ボード 強誘電体FET SQUID搭載回路 小型電圧標準システム
②	つながる工場(トリリオンセンサ) 超低周波振動検出・環境発電 超高感度ウイルス検査	布への電極パターンニング法 異種材料・デバイス集積化技術 凝縮性ガス導入光ナノインプリント技術 封止回路の非接触電力伝送・故障診断技術 無線pHセンサ <b>つながる工場</b> (モデリング・情報可視化) <b>ウェアラブル生体情報センサ</b> ペーパー電子回路	ブラズモン・導波モードセンサ 高感度分光センサ 低消費電力水素センサ つながる工場(実証テストベッド) <b>ネットワークMEMS</b> <b>フレキシブルセンサ</b> (量産化)
③	真空中レーザー積層造形技術 複層デポジション技術 フレキシブル強誘電体 応力発光材料 印刷形成メモリ素子	上流設計マネージメント <b>オンデマンド加工</b> (3Dスピニング) 電解・レーザー複合加工技術 高効率フローリアクタ 導電性伸縮性ラップフィルム	ミニマルファブ マイクロ・ナノ微細形成技術 <b>印刷プロセス</b> (高精細・低温低損傷) <b>オンデマンド加工</b> (3D積層)
④	常温衝撃固化現象&常温接合メカニズムの 解明 <b>全固体電池材料</b>	ハイブリッドAD法 LiJ 法	<b>光MOD法</b> <b>AD法</b>



平成29年度研究成果トピックス

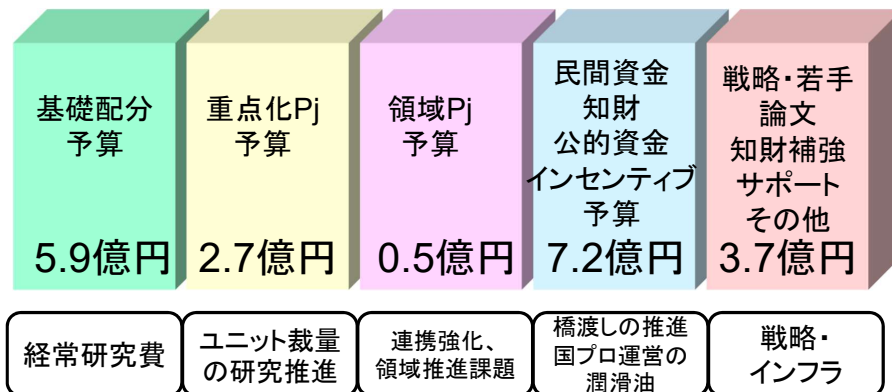


H28年度、H29年度の資金推移



運営費交付金配賦方針

H29年度領域予算(運営費交付金) 20.0億円



特筆すべき研究成果

目的基礎
スピン素子を用いた人工ニューロン回路システムを開発

**スピン発振素子を用いた人工ニューロン回路システムで正答率99.6%の音声認識に成功 (Nature誌)**



入力電圧信号  
任意波形発生器  
FeB  
MgO  
CoFeB  
スピントルク発振素子  
発振電圧  
ダイオード  
出力電圧信号

橋渡し前期
世界初！実フィールド上4K/8Kテレセッションの実現

**4K/8K TeleSession**  
次世代超大容量通信網の実現へ向け実運用開始！



教育 遠隔授業デモ  
産業 超低遅延デモ

橋渡し後期
産総研独自技術“スーパーナップ法”を技術移転

**量産化技術開発** → **電子部品生産へ適用開始**

IoT社会の推進を目指すフレキシブルデバイスの実現へ！

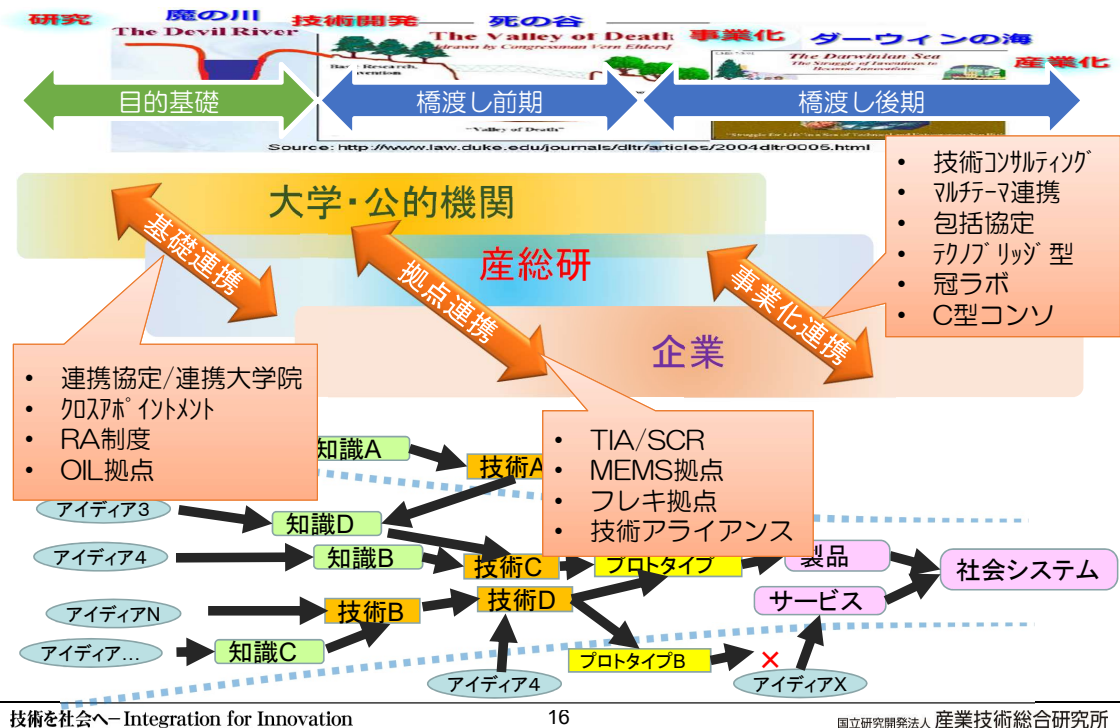


スーパーナップ法：ウルトラファイン印刷パターン（線幅 < 0.8 μm）形成技術



高生産ウルトラファイン印刷パターン形成技術を技術移転⇒**量産化を開始！**

産官学連携とオープンバージョン





## (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

	連携可能性	連携検討				連携			事業化
	秘密保持契約	研究試料提供契約	技術情報開示契約	FS連携	技術コンサルティング	受託研究	共同研究		
概要	双方の秘密情報の開示	産総研作製試料を企業に貸与	未公開の技術情報を企業に開示	連携可能性の検討の試行研究	技術ポテンシャルによる指導助言	委託課題に対して産総研が研究実施	共通課題に対して双方で研究実施		
有償(¥) or 無償(×)	×	¥	¥	¥	¥	¥	¥		
新規開発(O) or 保有技術(×)	×	×	×	×	×	○	○	実施許諾契約	
知財あり(O) or 知財なし(×)	×	×	×	×	×	○	○		
AIST単独知財 or 共有知財	—	—	—	—	—	(主に)単独	(主に)共有		

連携推進マネジメント

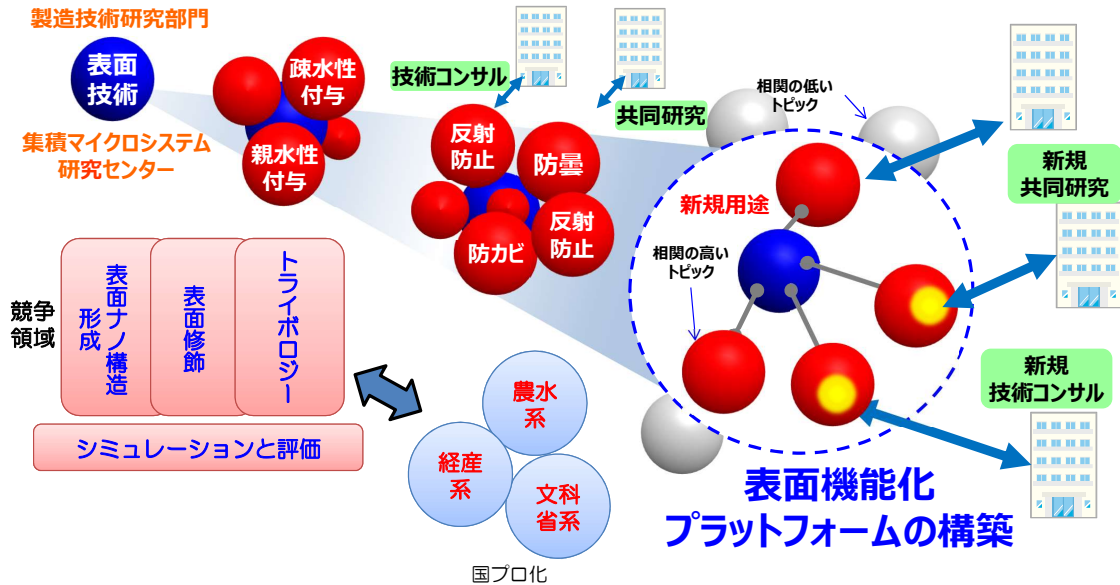
## (2) 指導助言等の実施、(3) マーケティング力の強化

### H29年度コア戦略テーマ

コア戦略テーマ	概要	関係ユニット	領域体制		
			連携担当	知財担当	企画主幹
<u>潮流形成 (トップダウン)</u>					
Impulseコンソ	IoT/CPS時代のハードウェア潮流をつかみ、企業とともに戦略的なロードマップを推進	ナノエレRI、電子光RI	小森	児玉	福田/ 揖場
スマートマニュファクチャリング (IoT製造)	IoT/CPS時代の新たなサービスの代表として、スマート製造技術のロードマップを推進	製造技術RI	山内	渡辺	中島/ 藤尾
ミニマルファブ	産総研発のスマート製造システム事例として、ミニマルファブの社会実装を推進	ナノエレRI	小森	馬場	揖場/ 中島/ 藤尾
<u>連携骨太化 (ボトムアップ)</u>					
先進コーティングアライアンス	様々な応用への先進コーティング技術の普及に向けてプラットフォームを形成、複数のバリューチェーンを効率よくつなぎ推進	先進コーティングRC	山内	渡辺	中島
表面機能化プロセス	個別の表面機能化技術を束ねて、多くのニーズに効率的に応えるプラットフォーム化	製造技術RI、集積マイクロRC	山内/ 小森	馬場	中島/ 藤尾
フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス (FHE)	フレキシブルデバイス技術、MEMS技術を融合したFHE技術により産業化を加速	集積マイクロRC、フレキRC	植村	馬場	福田/ 中島
メディカルデバイス	個々のメディカル応用デバイス技術を束ねて、多くのニーズに効率的に応えるプラットフォーム化	電子光RI、集積マイクロRC	小森	児玉	福田

個々の共同研究を束ねた指導助言の骨太化  
～表面機能化プロセスの事例～

ナノブリケーション技術や表面修飾技術等のシーズ技術を新規ニーズに展開



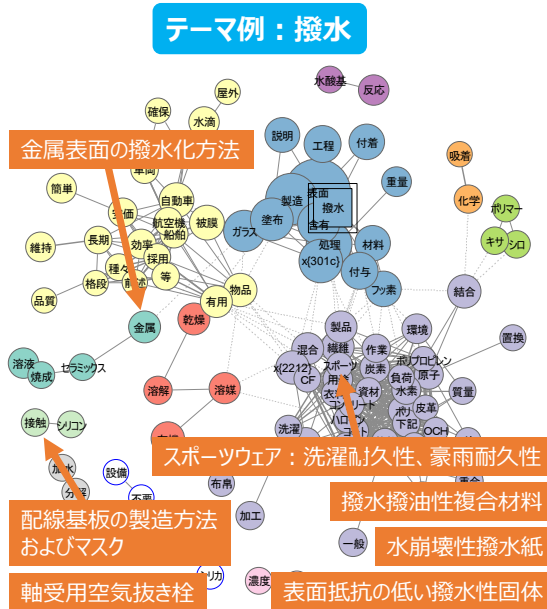
	表面(ナノ)構造形成 インプリント、複合加工	表面修飾 薄膜コーティング、自己組織化膜	シミュレーションと評価
光学特性制御	<p>ナノ凹凸有り 平板</p> <p>ナノ凹凸成形による光反射防止レンズ</p>	<p>インク 200 μm 5 μm (狭径内径) インク</p> <p>断面写真 50 μm</p> <p>微細構造の毛細管力を利用した超高精細・厚膜印刷技術</p>	
物質吸着制御 濡れ性制御	<p>濡れ性の違いを考慮した数値計</p> <p>従来品 ナノ構造体付与</p> <p>ナノ凹凸成形による毛細管現象発現</p>	<p>洗浄前 水浸後 水洗浄</p> <p>未修飾表面 修飾表面</p> <p>カビを水洗できるコーティング技術 クラドネリウム層膜(住環境汚染菌)の例</p>	<p><math>U_x = 8.1 \text{ m/s}</math> <math>\theta_p = 113^\circ</math></p> <p>40 μm (16Δx) 20 μm</p> <p>微細凹凸表面上の液滴のシミュレーション</p>
摩擦特性制御	<p>表面構造+コーティング</p> <p>マイクログループ マイクログループ ナノストライプ ナノストライプ</p> <p>摩擦低減</p> <p>ナノストライプ構造による摩擦低減</p>	<p>基板 分子・基板間の結合に着目</p> <p>従来の分子 新たな分子膜</p> <p>低摩擦高耐摩耗性の分子膜</p>	<p>静的条件 荷重: 2.5 N</p> <p>動的条件 速度: 2.1 mm/s 荷重: 2.5 N</p> <p>潤滑状態のその場観察技術</p>

(2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

表面機能化プロセスに関する技術動向調査

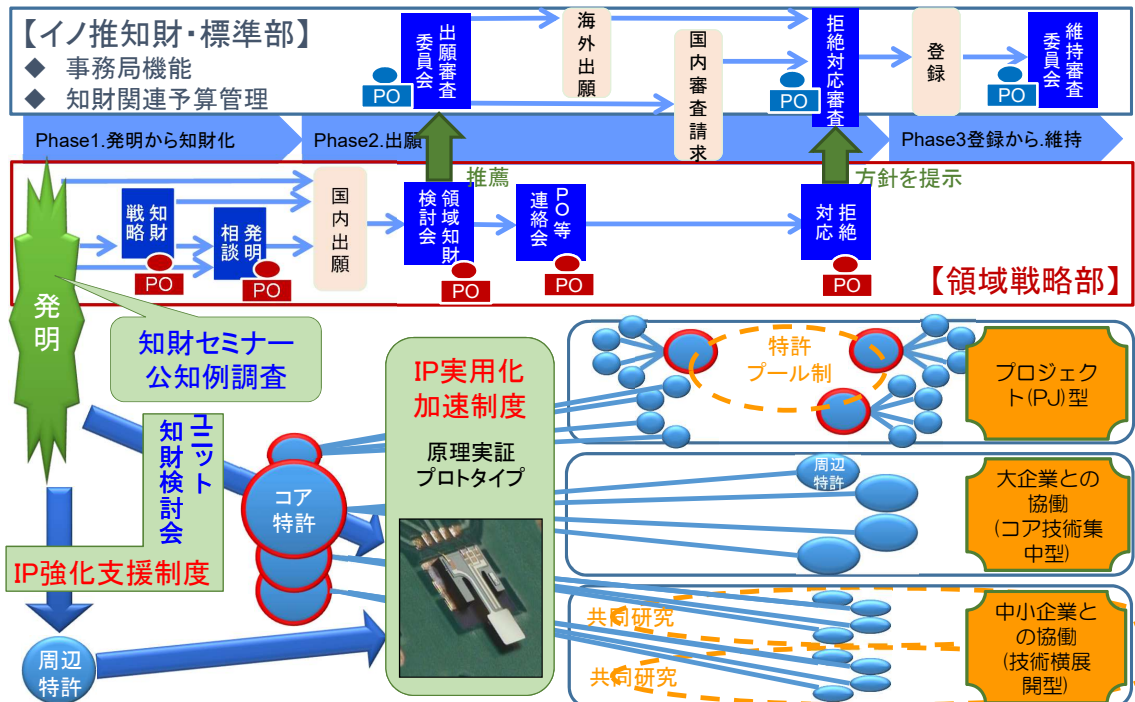
母集団 (約 3 6 0 0 0 件) に対してトピック分析を行い、関心テーマごとの共起ネットワークから新規用途候補を抽出すると共に簡易 S W O T 分析から保有技術の位置づけを総合的に判断

トピック名	件数	グループ件数
疎水形態	237	1,219件
親水・塗布	422	
光学	124	
反射・防止・屈折	334	
結晶・分離・フォトニック	40	
光学・レンズ・防塵	47	
塗装・ファイバ・トップコート	15	
表面・密着	392	1,037件
撥水・水性・油性	385	
カビ・錆・浴室	257	
水性・乾燥・親水・疎水	3	
インクジェット	595	1,078件
印刷・インキ・オフセット	286	
液体・ノズル・吐出・ヘッド	129	
ペースト・模様・光沢・インキ	68	
開口・凸凹部	270	965件
M E M Sミラー	165	
プラスチック・補強・カテーテル	40	
レンズ・滑り止め・コンタクトレンズ	113	
プラズモンポラリトン・チャンパーアレイ	42	
圧力・赤外線・芯	36	
発泡・気泡	100	
物体・装飾・球	33	
タッチスクリーン	11	
センサー・バイオ・生理	63	
医療・ブランド・骨	92	

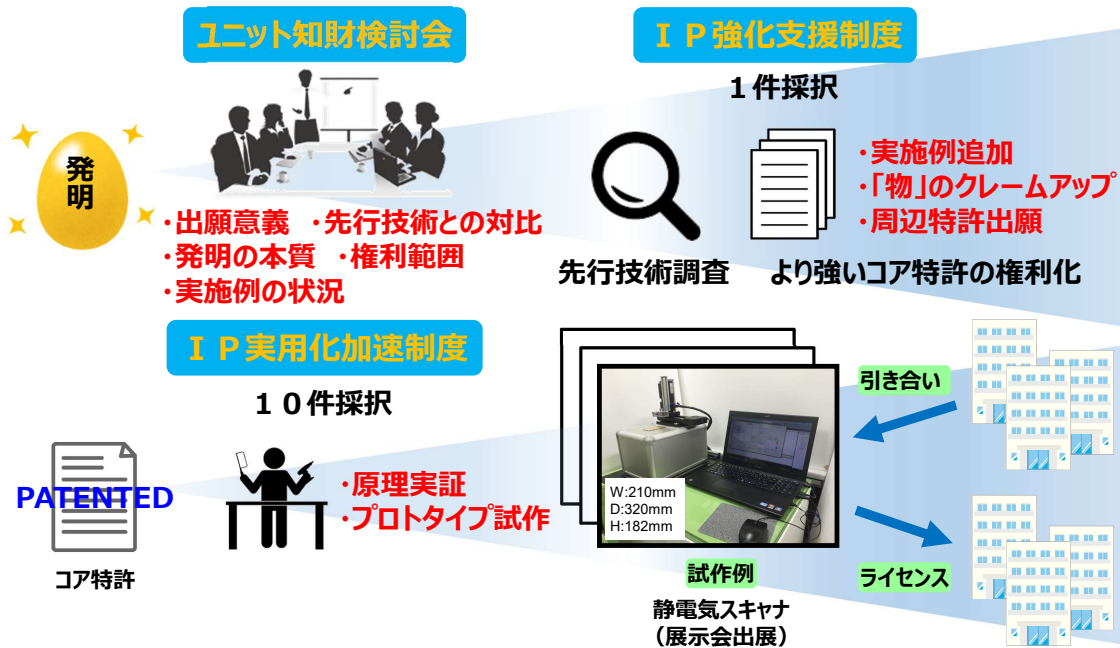


(3) マーケティング力の強化

知財フローと知財戦略

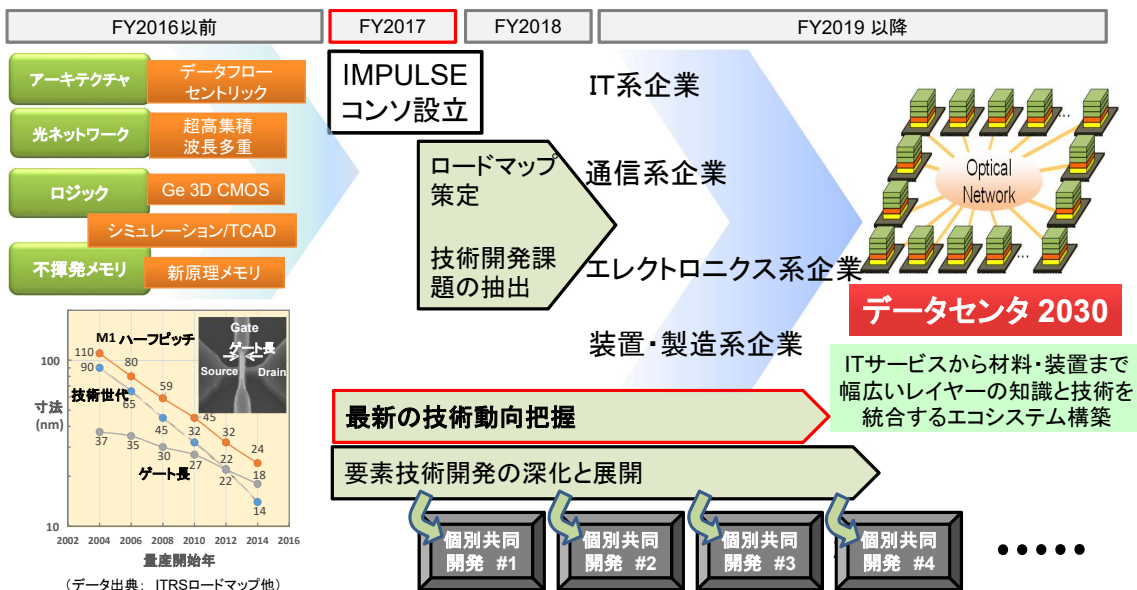


マーケティング・ツールとしての知的財産の構築

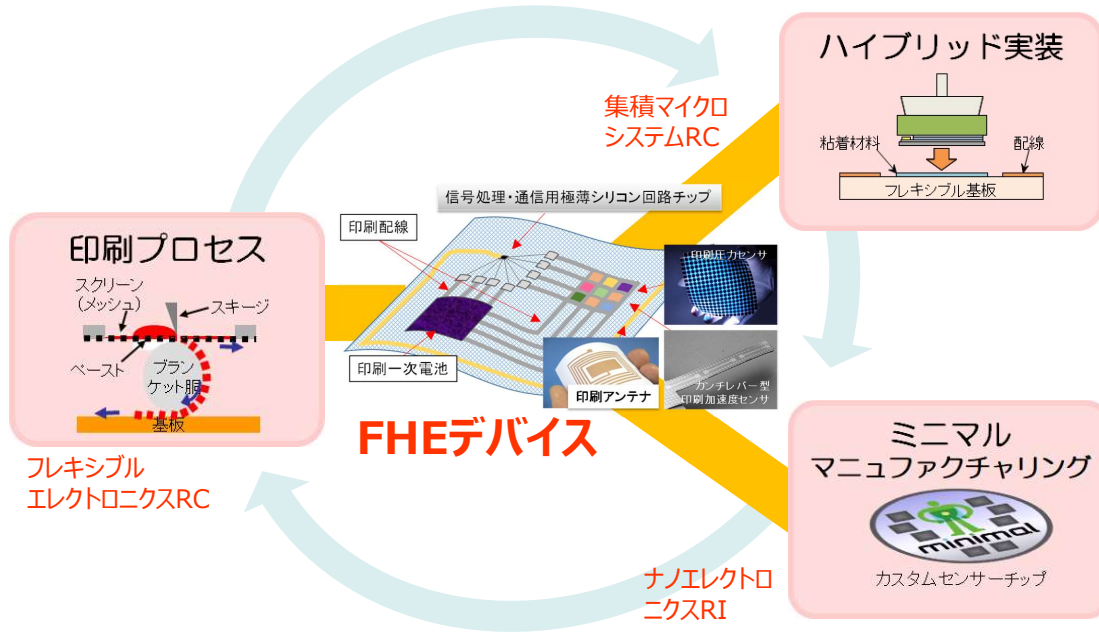


IMPULSEコンソーシアム

▶ 微細化の先、ポストムーア時代の情報処理デバイス技術潮流を先導

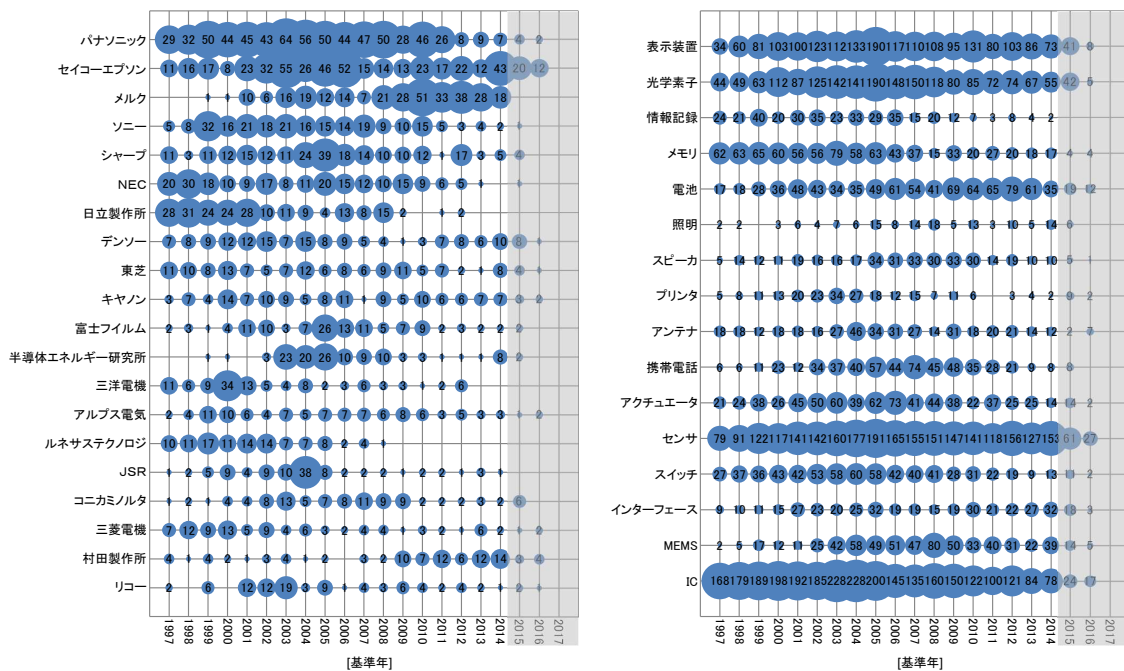


# 異種技術の融合による骨太化 ～フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス(FHE)の事例～



# FHEに関する技術動向調査

市場予測のために国内外の特許・論文調査とテキストマイニング分析を実施 (例：日本特許)



# IoT x AI ものづくり拠点構想：H31年4月～



## 大学との連携強化

### ▶ オープンイノベーションラボラトリ

- 連携研究を強力に推進する拠点としてオープンイノベーションラボラトリを大学内に設置。  
(名古屋大学、東京大学)



産総研-名大 窒化物半導体  
先進デバイスオープン  
イノベーションラボラトリ



産総研-東大 先端オペ  
ランド計測技術オープン  
イノベーションラボラトリ

### ▶ クロスアポイントメント制度

- 東北大学、名古屋大学、九州工業大学、東北大学とのクロスアポイントメント制度により、産総研や各大学にて研究推進。



### ▶ 超伝導デバイス研究開発施(CRAVITY)

- 産総研が保有する先端機器を外部に利用可能にしている。今年度は国内の大学12(13課題)と連携して、革新的な超電導デバイスの研究開発を実施。



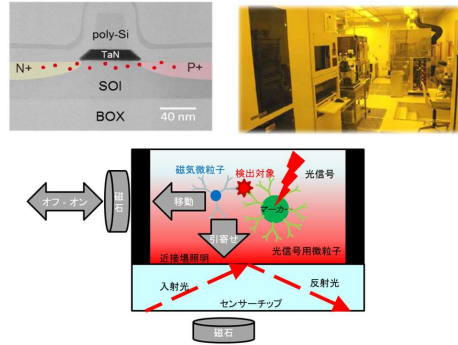
両機関が協力して初めて実現できる2050年の社会課題解決を目指した共同研究(チャレンジ研究)や、量子技術分野・人工知能分野で連携中

理研-産総研チャレンジ研究テーマ

量子熱エンジンの応用に向けて:  
2050年の量子熱マネジメント技術と  
量子太陽光発電技術

モバイル人工知能機器実現に向けた  
室温動作量子計算機の開発

2050年感染症の完全征圧に  
に向けた感染症保有ウイルス  
センサーの開発



連携基礎研究および応用研究に関して活発な議論の場として合同ワークショップ・シンポジウムを開催

理研-産総研 第三回  
量子技術イノベーションコアWorkshop  
(2017年11月13日開催)

理研-産総研合同シンポジウム  
- 22世紀に向けて -  
(2018年1月31日開催)

IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業 (平成28-29年度, NEDO)  
産総研の共用利用設備をベースにIoTデバイス開発拠点として強化



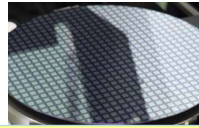
中小・ベンチャー企業等のIoT産業参入のボトルネックを解消!

## 冠ラボ

東京エレクトロン

新材料の形成・加工技術

量産化技術



産総研 スピントロクス研究センター

材料開発

評価・解析技術

連携研究室

プロセスインテグレーション技術

保有技術の連携とプロセスインテグレーション技術の開発を行い、次世代半導体デバイスに必要な先端材料・プロセス技術の実現を目指す

## 研究人材育成



女子大学院生懇談会の様子

- ・イノベーションスクール(7名)
- ・産総研リサーチアシスタント制度(30名)
- ・MEMSセミナーによる人材育成(13名)
- ・女子大学院生懇談会を開催(58名)
- ・研究職員採用におけるダイバーシティ推進(女性2名、外国人3名)

## 成果のまとめ

## 【民間からの資金獲得額の目標値と実績値】

- ・目標値：15.8億円
- ・実績値：10.2億円（平成29年12月末時）（昨年度実績値：10.0億円）
- ・見込み：12.2億円（平成29年度末）（昨年度比 122%）

## 【産総研イノベーションスクール及びRA制度による人材育成人数】

- ・目標値：16名
- ・実績値：36名（平成29年12月末時）（昨年度実績値：23名）
- ・見込み：36名（平成29年度末）

## 【技術的指導助言等の取り組み状況】

- ・技術コンサルティングを実施
- ・実績値：28社(約4,009万円)（平成29年12月末時）（昨年度実績値20社2,289万円）

## 【TIAオープンイノベーション拠点に対する貢献】

- ・スーパークリーンルーム(SCR)ではNEDO事業を通じた拠点整備で、ナノプロセッシング施設(NPF)では管理・運営で、MEMS拠点では管理・運営・人材育成で、超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点(CRAVITY)では管理・運営・国際連携で貢献。



## 前年度評価コメントへの対応状況

### (1) 領域の対応状況

#### コメント（若手人材育成）

若手の人材育成については、議論をさせるだけでなく、小さな研究テーマの責任者を任せる等の工夫をして、将来にむけた人材育成を強化していただきたい。

#### 対応状況

- 若手限定ではないが、複数の萌芽的研究テーマの連携を促進するためにFS連携プロジェクト、および知的財産を具現化・見える化することで応用展開を促進するためにIP実用化プロジェクトを領域内公募およびトップダウンで実施。プロジェクトチームの多くが若手で構成され、若手がリーダーとして推進している。
- 領域で設定するコア戦略テーマの推進では、研究ユニットを超えたチームを若手で構成し、核となる専門分野の若手研究員がリーダーシップを発揮して、連携研究を推進。
- 若手研究員を対象にグローバル人材の育成について1年間の在外研究の経費を領域が補助する形で奨励。今年度は3人の研究員がそれぞれアメリカ、英国、スウェーデンで在外研究を行っている。
- TIAナノエレクトロニクスマネージンググループ傘下に若手リーダー育成を目的とした若手懇談会を立ち上げた。新たなエレクトロニクスの展開や他機関との連携方策に関する検討を開始した。

## 前年度評価コメントへの対応状況

### (2) ユニットの対応状況

#### コメント（目的基礎研究）

・国内に事業がないロジックの研究開発をすることは重要であるが、研究を進める上で戦略的ビジネスモデルは考えておく必要がある。産総研だけで考える必要はなく、ビジネスモデルが得意な関係者と議論して進めていただきたい。

・新型メモリ/ロジック技術の研究開発を推進することにより、国内に産業基盤が出現する可能性(方策)を示唆(提示)する記述があると良い。

#### 対応

平成29年度、IMPULSEコンソーシアムを立ち上げ、参加メンバー（企業5社、国研2機関）と共に、今後重要となると予想されるサービスやアプリの調査と、そこで求められる情報処理ハードウェアの開発戦略についての議論を開始した。また、所内で共有するロードマップについて、ナノエレクトロニクス研究部門とスピントロニクス研究センターの若手が中心となってローリングを行い、8つのユースケースにおいて2030年頃に求められる技術をまとめている。

設計技術に関しては、大学と連携した拠点を平成30年度内に開設すべく、具体的な体制等について検討を進めた。

## 前年度評価コメントへの対応状況

### コメント（目的基礎研究）

1. ウイルスセンサの実用化のための課題を整理して提示すると良い。2. 基礎研究として目標へのチャレンジが根幹である一方、目的基礎研究である以上、目的とする実用化への道筋を示すと良い。

### 対応状況

・実用化に向けては、装置躯体設計、センサチップ、外力支援部、光学系、アッセイ用試薬、検出プロトコルなど基盤的な開発要素に各々の技術課題があり、本年度は個別の企業連携を進めている。応用開発段階では、検出対象物に合わせた感度設定、装置躯体サイズに合わせた光学系設計、測定プロトコルに馴染む躯体設計など、要素技術を水平方向に繋いで協働的に技術を確立していく必要がある。昨年度のプレスリリース以降、今年度に開催された展示会やテクノブリッジフェア等を通して、20社以上の企業から連携に関する問合せがあり、それぞれの企業が持つ技術と産総研の保有技術とのマッチングを加速できる段階にある。そこで、個別共同研究を水平展開すべく、複数企業と産総研との共同研究を実施し、知財ライブラリの活用による実用化加速を目指した組織づくりとして、来年度に向け、C型共同研究体の設置準備を行っている。また並行して、当該技術に関する技術セミナーや企業連携を促すためのお見合いの場として、「外力支援型バイオアッセイ（EFANI）コンソーシアム」を平成29年度内に設置予定である。

### コメント（「橋渡し」研究前・後期）

MEMSとフレキシブルエレクトロニクスのハイブリッドは、IoT世界における広汎な活用に向けて大きな要素となるので、具体的に研究開発を進めるべきである。

### 対応状況

具体的な出口を心電ウェアとしている。ここではシリコンの薄膜化やそれをフレキシブル機材へ実装する要素技術開発が重要でこれらをIoT世界への活用に向けて生かす。外部資金プロジェクト制度や所内プロジェクト制度などを活用することで、目に見える形での具体的な取り組みを開始し、既に「ウェアラブル」心電センサの実現などの成果を上げるに至っている。

### 1. 平成29年度の目標と代表的成果

#### (1) 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発

- 相変化メモリの高集積化を目指し、クロスポイント構造で必要となるセレクトラ素子をメモリ材料と同種材料で形成することを試みる。
- 量子アニーリングにおいて大規模アーキテクチャ設計のための8ビット級超伝導回路シミュレータシステムの動作検証を行う。
- 不揮発性メモリMRAMの高度化のため電圧トルクMRAMの基盤技術を開発し、書き込みエラー率 $10^{-5}$ (エラー訂正無し)を実証する。
- 光ネットワーク超低エネルギー化技術開発ではダイナミック光バスネットワークの実運用を進め大容量伝送実験を実施する。

#### (2) ものインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発

- MEMS技術を用いて作製した各センサネットワークシステムを試作・社会実装して実証試験を実施する。また、構造物検査技術として500画素超の超伝導アレイ検出器システムを実現する。
- 生産ライン、製品品質や状況の可視化技術及びモデル化による情報の抽出手法の開発を行う。また、生産ラインの状況に対してサイバー空間での最適化結果を情報提供するシステムを開発する。

#### (3) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発

- 伸縮性フレキシブルIoTセンサ、透明フレキシブル材料の開発に取り組み、印刷デバイス製造技術の高度化を目指す。
- ミニマルファブ技術について各装置を高度化し、MEMSセンサ技術、CMOS回路の高機能化を目指した集積プロセス開発を進める。

#### (4) 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発

- 積層造形技術についてプロセスの高度化と適用材料の多様化を目指し、実用化を目指した検討を進める。
- AD法では出口戦略に基づいたプロトタイプ試作を行い、光MOD法では光機能材料開発、樹脂基材への製膜プロセス開発を行う。

**世界初！実フィールド上4K/8Kテレセッションの実現**

4K/8K TeleSession  
実フィールド（都内など）  
ディスプレイ向けテストベッド

SINET5  
SINET5とも接続

次世代超大容量通信網の実現向け実運用開始！

遠隔授業デモ 教育

超低遅延デモ 産業

IPテレビ電話 テレセッション

**産総研独自技術“スーパーナッピング法”を技術移転**

量産化技術開発

IoT社会の推進を目指すフレキシブルデバイスの実現へ！

2016 Nature Commun.  
スーパーナッピング：ウルトラファイン（線幅 < 0.8 μm）印刷パターン形成技術

電子部品生産へ適用開始

高生産ウルトラファイン印刷パターン形成技術を技術移転⇒量産化を開始！

## 2. 特筆すべき成果

### 【目的基礎】

- ・ CMOSデジタル回路の低消費電力化へ向けて**Geチャネルの超薄膜形成技術を確立**し、膜厚10 nm以下における**電子移動度向上を発見**。
- ・ 組み合わせ最適化問題に適用する量子アニーリングマシンの開発で**8ビットの超伝導量子アニーリングの動作シミュレーションに成功**。
- ・ 電圧トルクMRAM高度化へ向けて**Ir希薄ドーブFe電極の磁気トンネル接合素子を新規開発**し、**次世代MRAMの要求性能を初めて達成**。また、電圧パルス波形制御により**10<sup>-6</sup>(エラー訂正なし)の書き込みエラー率(世界最高性能)を達成**。
- ・ スピン発振素子を用いた**ニューロモルフィック回路音声認識システムの開発**など高IF(>10)論文誌(Nature等)に4報掲載。

### 【橋渡し前期】

- ・ **東京エレクトロン(TEL)との連携研究室(冠ラボ)を産総研内に設置**し、半導体デバイスの超高集積化・低消費電力化を実現するための**次世代MRAM製造プロセス技術の開発**をスタート。
- ・ 「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」(VICTORIES)で開発された技術の実用化のため、光スイッチ・サブシステムを実フィールド(東京都内)に敷設し、**4K非圧縮映像による「テレセッション」の実運用に成功(世界初)**。
- ・ **超伝導アレイ検出器**について高感度・高エネルギー分解能の分析のために求められる多画素化を進め、**世界最高の1,000画素を実現**。
- ・ 航空機用CFRP部材内部の破壊予兆検出技術を開発し、破壊初期過程に内部で発生する**トランスバースクラックを発光可視化(世界初)**。

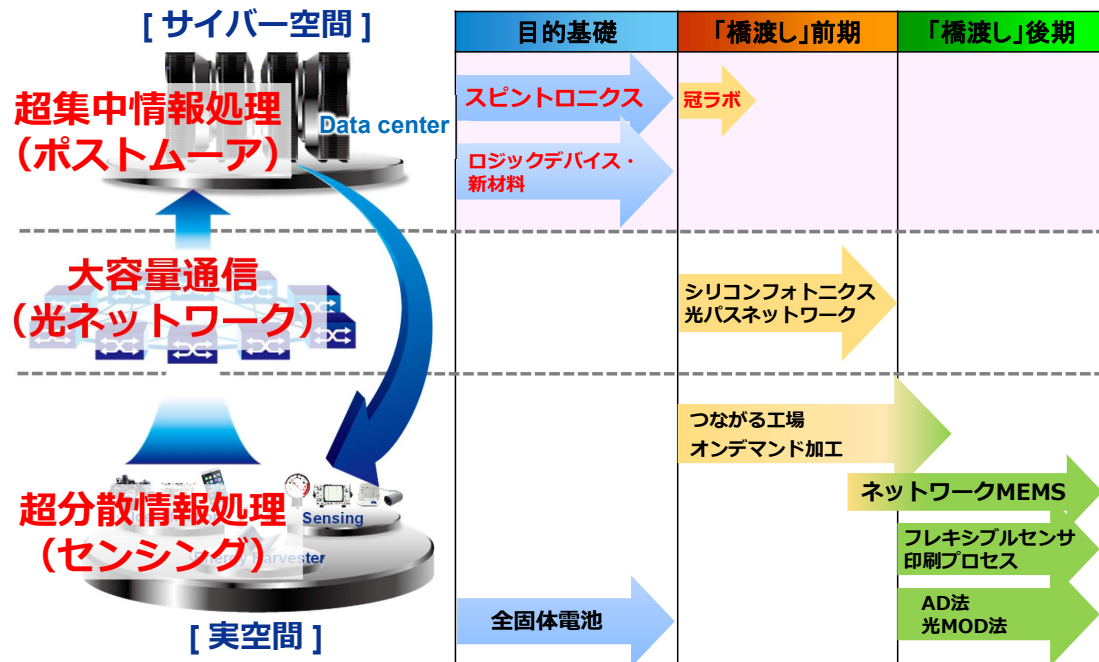
### 【橋渡し後期】

- ・ ネットワークMEMS技術を用いた橋梁センシングシステムのプロトタイプを完成させ、システムの間欠動作により消費電力を10 Wに低減し、**太陽光発電のみでシステム全体を動作**させることに成功。
- ・ 常温大気下高精細印刷デバイス製造技術では**産総研独自の高生産高精細印刷技術であるスーパーナップ法**をコンデンサ等の電子部品製造装置としては**製品化**に、タッチパネル形成技術としては**企業の量産ライン構築につながる橋渡しを実現**。
- ・ ミニマルファブ技術では装置群を実用レベルに仕上げ、MEMSメンブレン上にCMOSを集積した圧力センサーの開発と動作実証に成功。
- ・ 1液硬化型バインダジェットを新開発し、**造形速度が従来比約2倍の10万cc/h(世界最高性能)**の鋳造用精密砂型3D造形装置を市販化した。
- ・ AD法によるポーラスTiO<sub>2</sub>膜のロール to ロール形成手法を技術移転し、**フレキシブル色素増感型太陽電池パイロット量産機を導入し製品販売を開始**。光MOD法では太陽光励起高輝度蓄光膜を開発し、**先進コーティングアライアンスを活用したバリューチェーン構築**を行った。
- ・ 次世代半導体製造技術であるEUVリソグラフィ用マスクブランクス欠陥検査技術を企業へ技術移転。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (1) 「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

平成29年度研究成果トピックス



(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)※

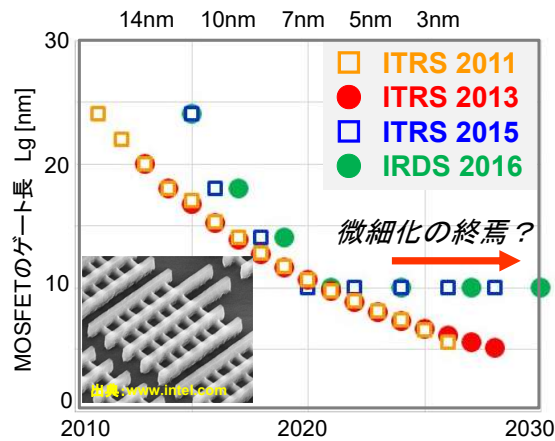
①ポストムーア世代に向けた  
情報処理ハードウェア基盤技術

ナノエレクトロニクス研究部門  
研究部門長 安田 哲二

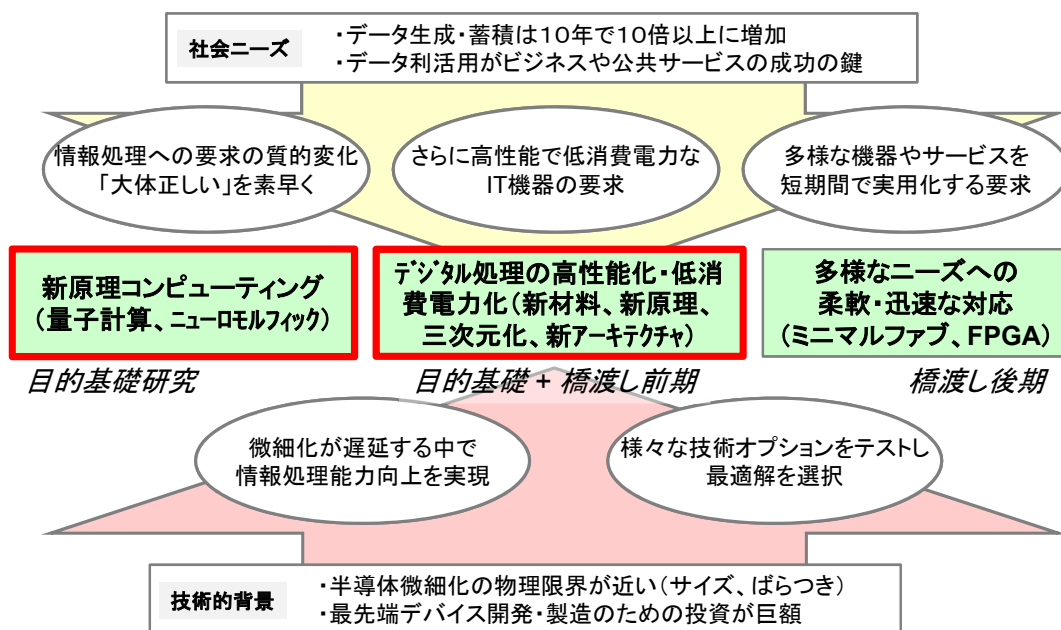
スピントロニクス研究センター  
研究センター長 湯浅新治

※ 関連する「橋渡し前期」の成果も合わせて紹介

現状認識： 微細化の遅延とデータ処理ニーズの急増



ポストムーア世代に向けたハードウェア開発の方向性

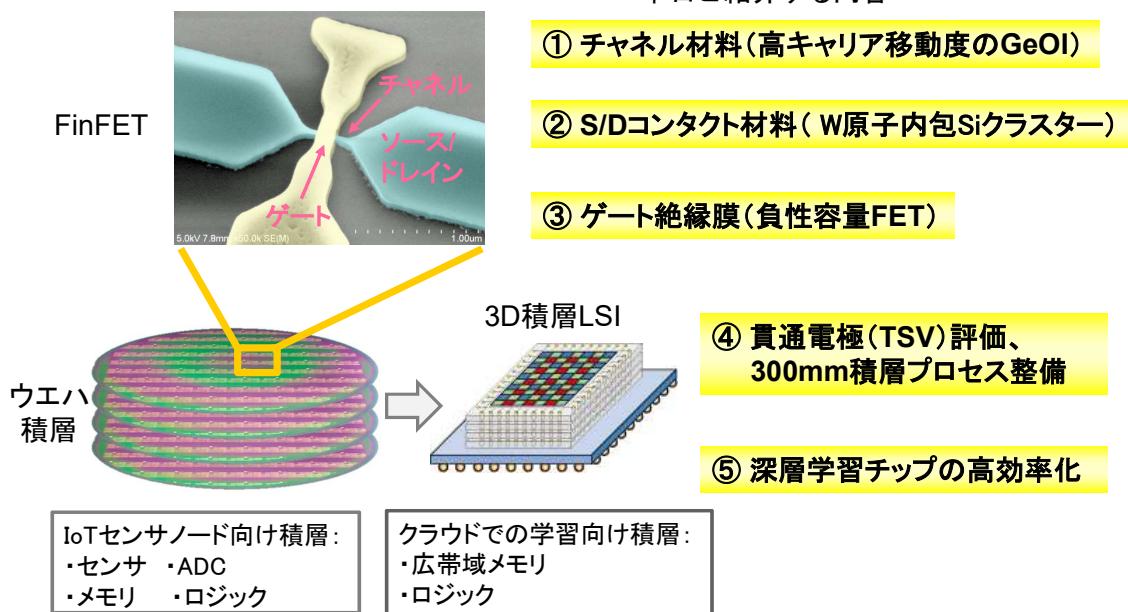


内容

1. CMOSデジタル回路をベースとした情報処理ハードウェアの高性能化・低消費電力化
2. デジタル処理の限界を突破する新原理コンピューティング基盤技術
3. スピントロニクス素子の高性能化と新展開

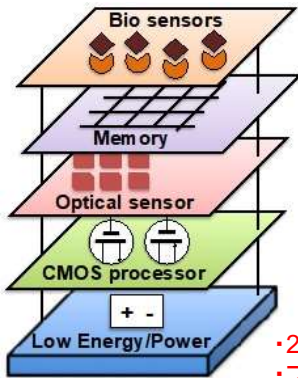
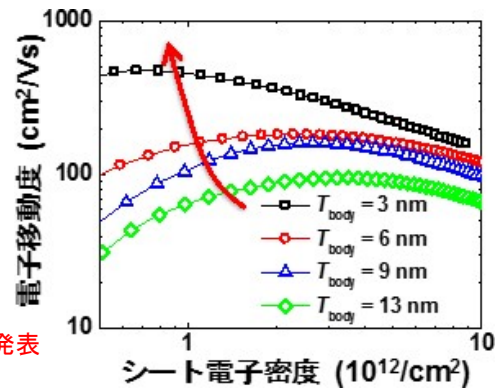
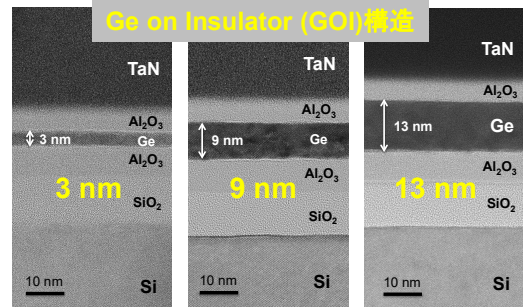
1. CMOSデジタル回路をベースとした情報処理ハードウェアの高性能化・低消費電力化

本日は紹介する内容



① 三次元集積に向けた超極薄GOIトランジスタの高性能化

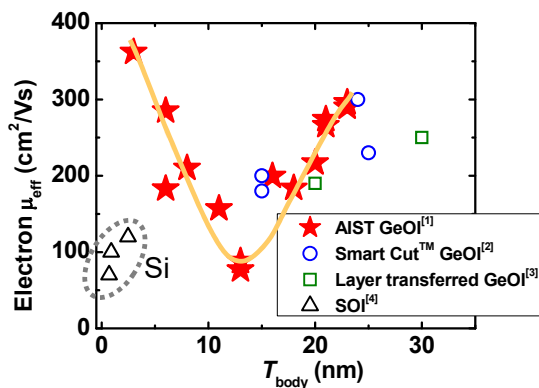
- 三次元集積化に適したGe 薄膜の転写技術を高度化
- 10nm以下の膜厚精密制御により電子移動度向上現象を発見
- デジタル処理の高性能化、低消費電力化に貢献



・2017 VLSI Symp.にて発表  
・プレス発表

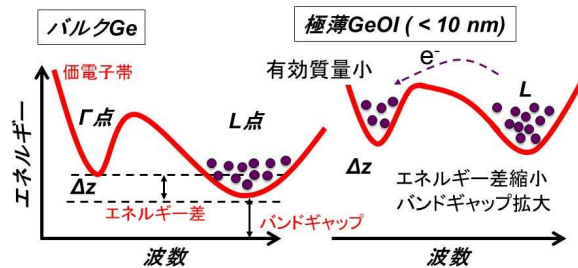
① 三次元集積に向けた超極薄GOIトランジスタの高性能化

極薄GeOI nMOSFETs  
ベンチマーキング



・微細MOSFETに求められる極薄チャネル (~3nm) においてSiの約3倍の移動度

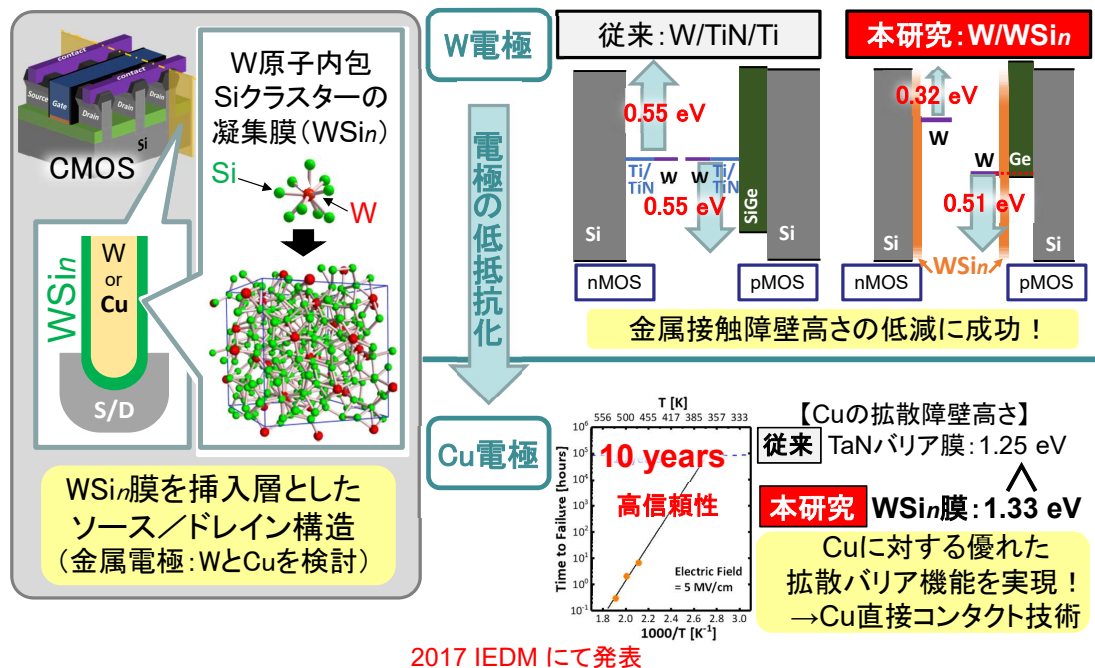
移動度増大のメカニズム



・理論計算の予測 (J. Yamauchi et al., 2006) を実験により初めて実証

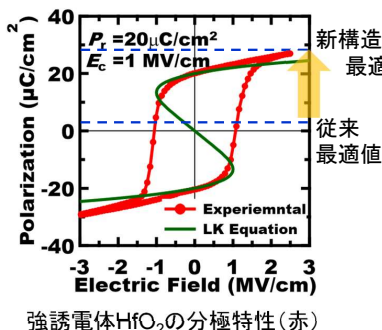
・分光データ(フォトルミネッセンス、反射スペクトル等)によりバンド構造変化の詳細を検討中。

② W原子内包Siクラスター(WSi<sub>n</sub>)を用いた低抵抗コンタクト

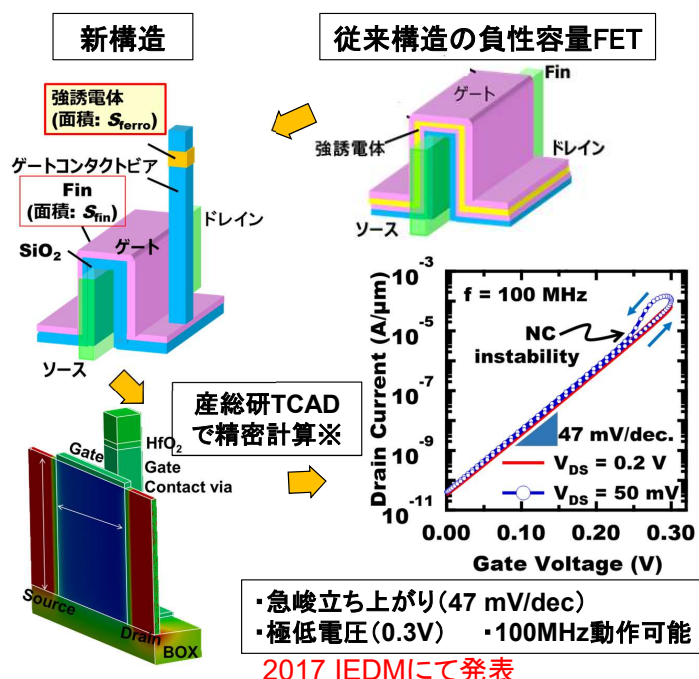


③ 独自開発TCADによる極低消費電カトランジスタの提案

**負性容量FET:** 強誘電体がある条件の下で“負”の誘電率になる非線形現象(下図の緑の曲線)を利用して、急峻立ち上がりが可能と期待されているFET



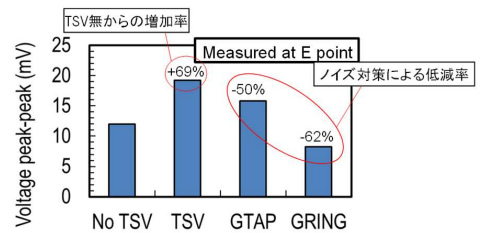
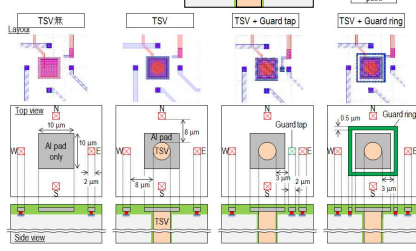
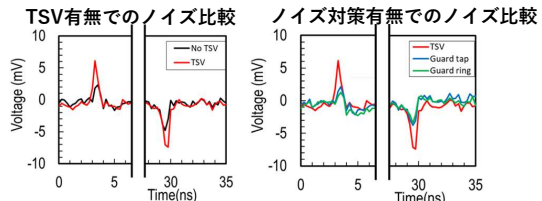
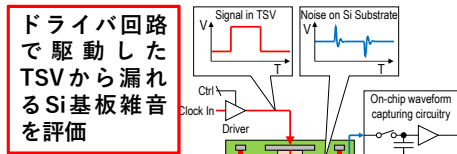
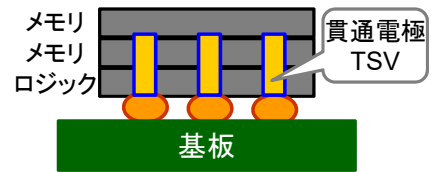
※ナノエレクトロニクス研究部門と情報技術研究部門が共同開発したTCAD。本件のような非線形現象を扱える唯一のTCAD。





④ シリコン貫通電極(TSV)における高感度PI/SI評価

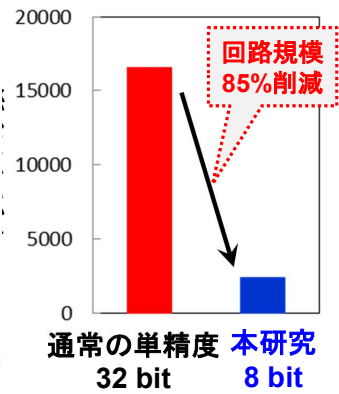
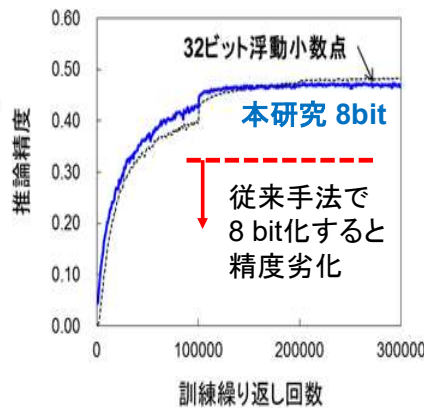
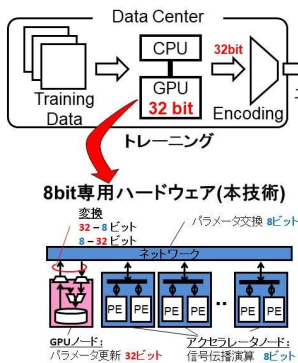
- 3次元集積システムの高信頼性に向けてTSVを含めたPI(パワーインテグリティ)/SI(シグナルインテグリティ)の評価技術を開発。
- オンチップモニタ回路を3次元集積システムに搭載することにより、TSV間のクロストーク原因となる微小なSi基板ノイズを世界で初めて評価。



TSVの有無とガードタップ・リング構造 ガードリング構造のノイズ低減効果が最も大きい

⑤ 深層学習ハードウェアの効率化

- 機械学習において大きな計算機リソースを消費する、訓練過程を高効率に行う手法を開発
- 訓練過程を従来の単精度(32bit浮動小数点)から8bit浮動小数点化することにより、精度を損なわずに回路規模を85%削減して低消費電力化できることを示した。



「デザインガイア2017」  
最優秀ポスター賞

2. デジタル処理の限界を突破する新原理コンピューティング基盤技術

用いる信号とアーキテクチャ

	用いる信号とアーキテクチャ				
	ノイマン	非ノイマン			
	デジタル	アナログ	量子状態		
情報処理ニーズと理論モデル	汎用科学技術計算 (デジタル演算)	技術成熟	技術成熟		
	推論 (ニューラルネットワーク)	限界顕在化	ビジネス競争激化	R&D活発化	
	学習 (ニューラルネットワーク)	限界顕在化	ビジネス競争激化	R&D活発化	
	組み合わせ最適化 (イジングモデル)	限界顕在化	R&D活発化		R&D活発化
	セキュリティ高度化 (暗号理論)	限界顕在化			R&D活発化
	物質設計 (量子化学計算)	限界顕在化			R&D活発化
	(以下、新たなニーズが続く)				

2. デジタル処理の限界を突破する新原理コンピューティング基盤技術

量子コンピューティング:

- ① 超伝導量子ビット
- ② SiトンネルFET量子ビット

ニューロモルフィックコンピューティング(アナログ計算):

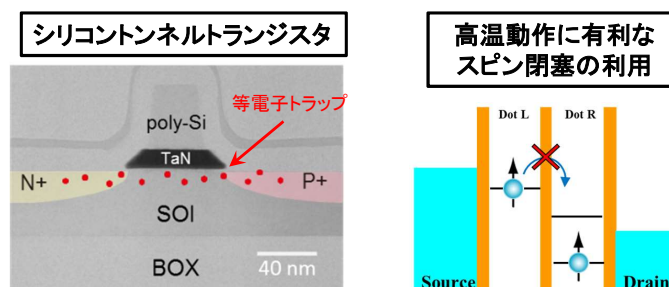
- ③ 抵抗変化素子によるシナプス模倣
- ④ スピントルク発振素子によるニューロン模倣(3. で湯浅センター長より説明)

## ① 超伝導量子アニーリングマシンの基本技術開発

- IoTや人工知能に適応可能な**大規模超伝導量子アニーリングマシン**の実現を目指した研究を産学官連携のもとで実施(NEDO IoT横断Pj)
- 超伝導量子アニーリングチップの**3次元実装**に関して**特許出願**を行い、プロセスを構築して**テスト回路の作製**に成功。

## ② 高温動作可能なSiトンネルFET量子ビット

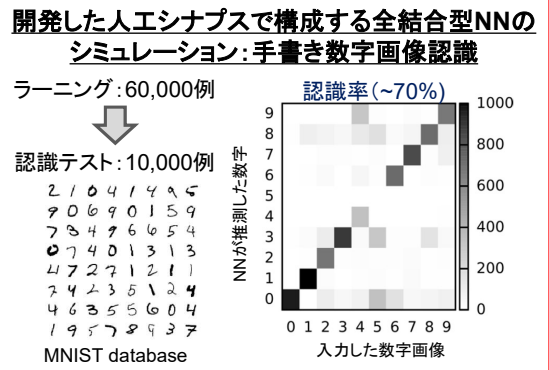
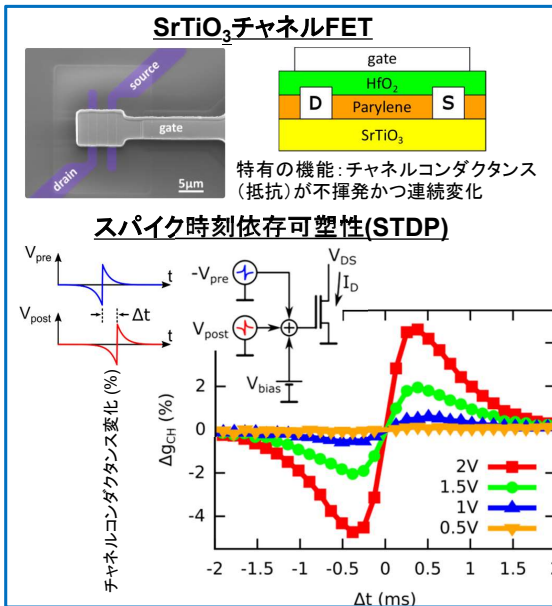
- 集積化に有利な半導体電子素子を用いた汎用量子コンピューターの基礎技術として、シリコン量子ビットの開発を実施中。
- 等電子トラップ援用シリコントンネルFETを用い、スピン閉塞の原理により、実用的な動作温度の量子計算機を目指す。



➤ 産総研・理研・物材機構の特定研究開発法人3機関の共同研究

③ 酸化物チャネルFETによるSTDP人工シナプス(3端子素子)

- 酸化物チャネルFET特有の機能を利用して抵抗変化の安定性に優れた3端子STDP人工シナプスを開発
- シミュレーションによりニューラルネットワーク(NN)を構成する人工シナプスとして機能することを確認
- 2端子の抵抗変化メモリ型人工シナプスに比べ低消費電力



**ベンチマーキング: 人工シナプスの消費電力**

	消費電力	Capacitive Energy
FET型 (本研究)	0.15 μJ/cm <sup>2</sup> (*)	
抵抗変化メモリ型	100 μJ/cm <sup>2</sup> (†)	Joule Heating

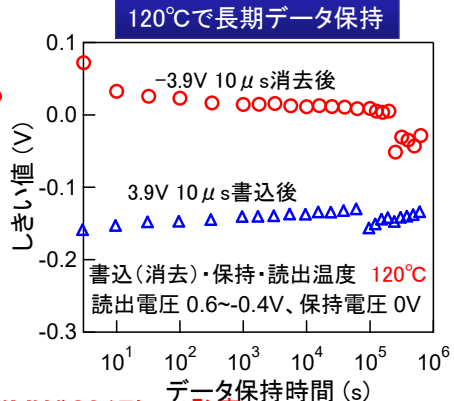
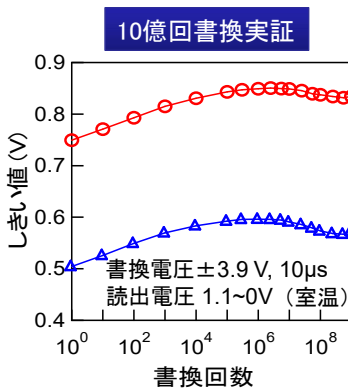
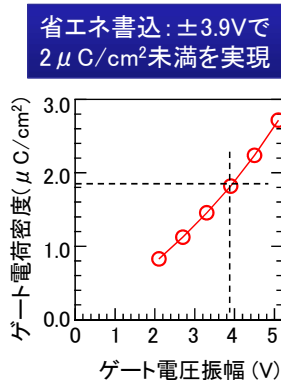
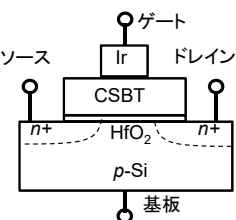
(\*) 1/2 (1V)<sup>2</sup> 0.3μF/cm<sup>2</sup> (†) 50x50nm<sup>2</sup>, 85ps, 15μA, 2V, Choi et al., Adv. Funct. Mater.(2016)

2017 IEDMにて発表

③ 抵抗変化素子によるシナプス模倣(3端子素子): 強誘電体ゲートFETの高信頼性実証とシナプス応用

アナログ型抵抗変化素子として動作可能な強誘電体ゲートFETで

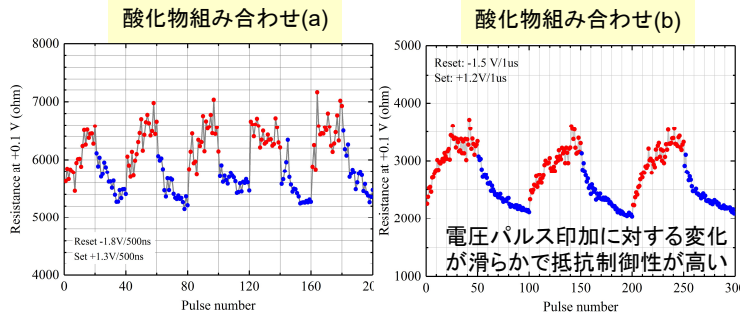
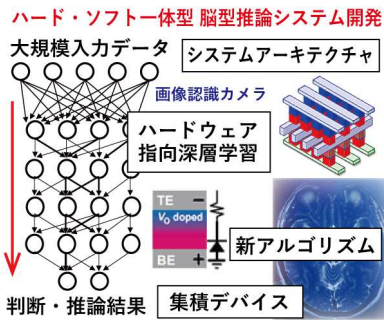
- ゲート電圧±3.9V、ゲート電荷密度<2μC/cm<sup>2</sup>の省エネ書込・消去と10億回書換
  - 120°Cで長期データ保持
- Ir/(Ca,Sr)Bi<sub>2</sub>TaO<sub>9</sub>(CSBT)/HfO<sub>2</sub>/Si FeFET, CSBT 膜厚135nm



IEEE International Memory Workshop (IMW)2017にて発表

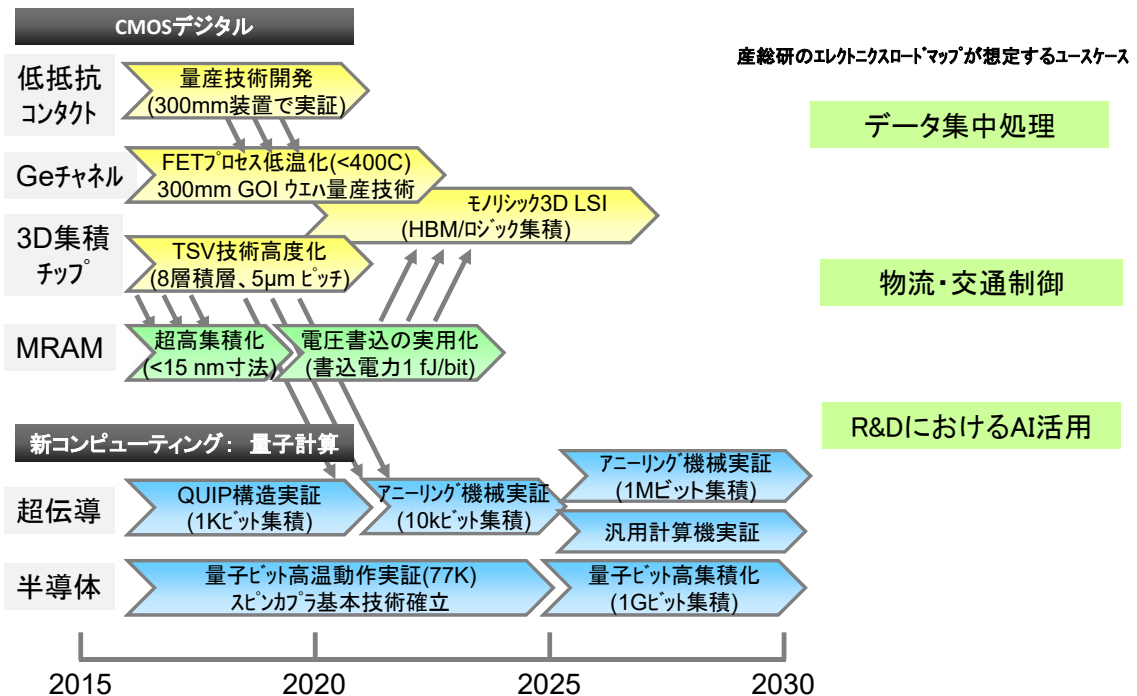
③ 抵抗変化素子によるシナプス模倣(2端子素子):  
機能性酸化物を用いた脳型推論集積システムの開発

- 脳型推論アーキテクチャにおけるMNIST文字認識等の指標向上に向け、アナログ抵抗変化素子～回路の動作制御性に関する研究開発を行い、電圧パルス印加に対する抵抗変化の制御性に優れた機能性酸化物材料の組み合わせを見出した。
- 現在、この成果を反映した回路設計を行っている。

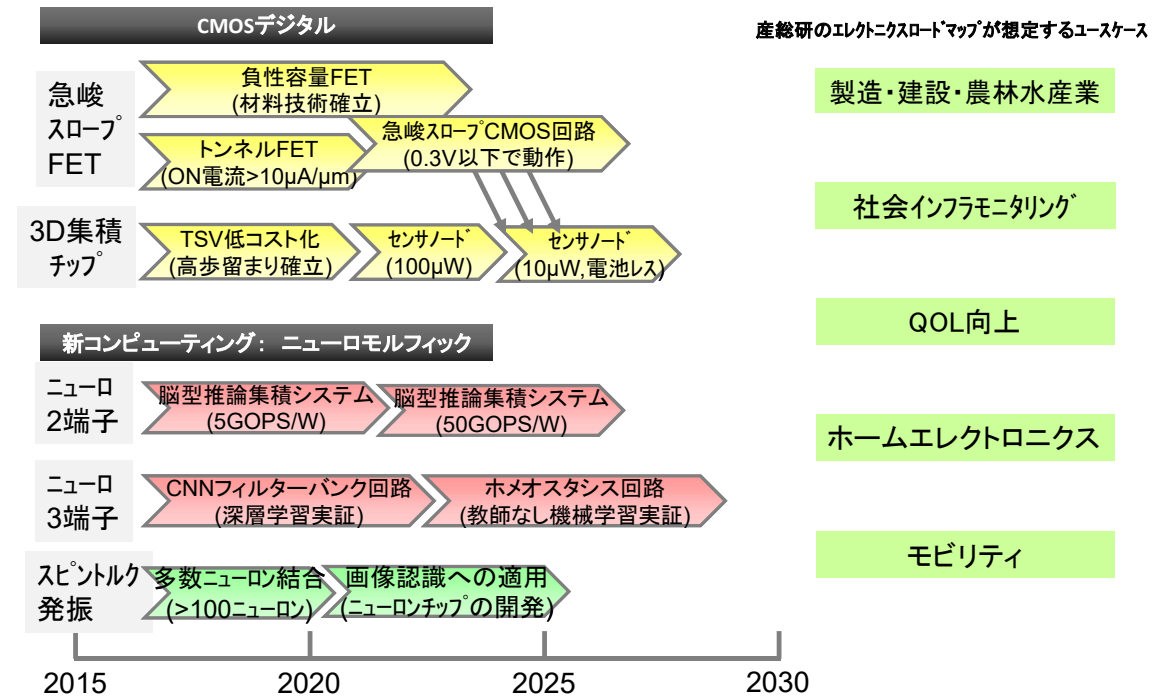


本研究が目指すイノベーション: ハードウェアやパーソナライズドサービスを提供した者でなければ得られない、あるいは、これらを提供した者だからこそ優位に活かせるデータがある。それらのデータを、我が国が強みとするエッジ側にて、脳型推論集積システムを使って利活用することで、大きなイノベーションを起こす。

クラウドにおける高性能計算向けデバイス ロードマップ



## エッジにおける超低消費電力処理向けデバイス ロードマップ



### 3. スピントロニクス素子の高性能化と新展開

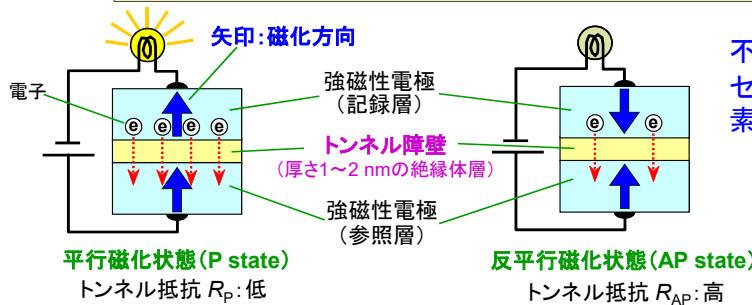
➡ (3-1) 電圧トルクMRAMのための新材料開発と電圧書き込みの高度化

(3-2) スピントルク発振素子のニューロモルフィック・コンピューティングへの応用

(3-3) 不揮発性メモリMRAMの製造プロセス技術の研究開発 (橋渡し前期の取り組みも含む)

用語説明

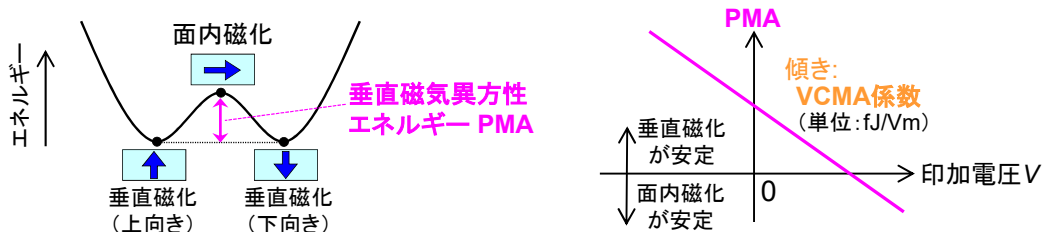
磁気トンネル接合素子 (Magnetic Tunnel Junction: MTJ素子)  
 トンネル磁気抵抗効果 (Tunnel Magneto-Resistance: TMR効果)



不揮発メモリMRAM、磁気センサー、マイクロ波発振素子などの基盤技術

<TMR効果の大きさ>  
 $MR比 \equiv (R_{AP} - R_P) / R_P \times 100 (\%)$

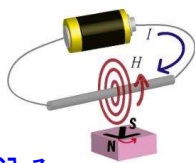
垂直磁気異方性エネルギー (Perpendicular Magnetic Anisotropy: PMA)  
 電圧による磁気異方性制御 (Voltage Control of Magnetic Anisotropy: VCMA)



電圧書き込みの狙い

エルステッド磁界

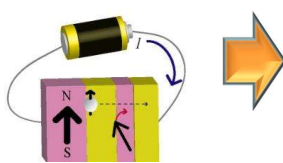
1820年: Øersted



1ビット書き込みの消費電力 ~100 pJ

電流 (STT書き込み)

1996年: Slonczewski, Berger



~100 fJ

電圧

電圧書き込み型の“電圧トルクMRAM”

~1 fJ が可能

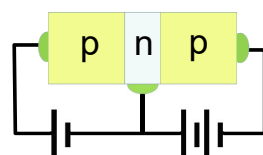
→ 低消費電力化

エレクトロニクス分野との対比

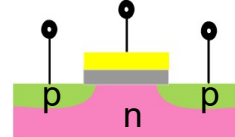
真空管



バイポーラトランジスタ



FET (CMOS)



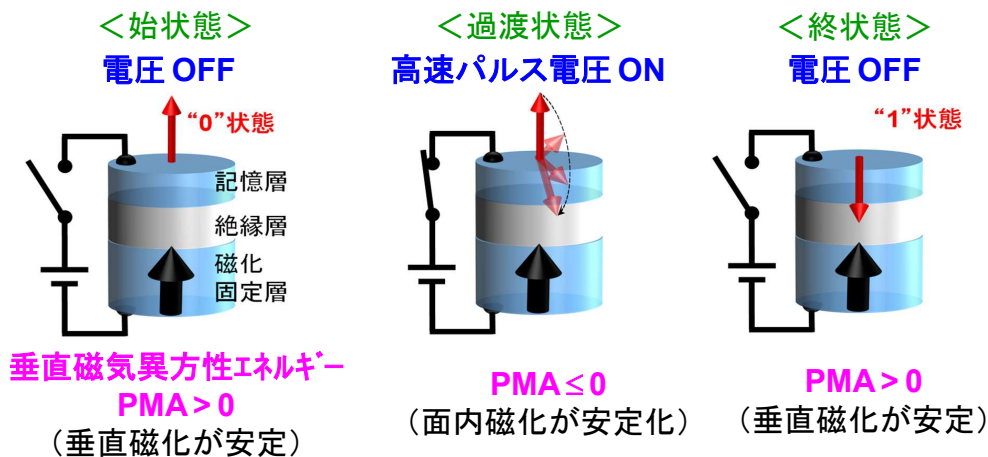
### 各種メモリのベンチマーク

書き換え回数無制限のメモリのみ記載。書き換え可能回数に制限があるメモリ(ReRAM等)は用途が異なるので除外

	書き込み時間 (ns)	書き込み電力 (fJ)	待機電力	1ビット当たりのセル面積 (nm <sup>2</sup> )	技術レベル	
メインメモリ用途	DRAM	10~30	~100	中(微細化に伴い増大)	~3×10 <sup>3</sup>	現在主流のメインメモリ
	STT-MRAM (電流書込型)	10~30	~100	ゼロ (不揮発)	~7×10 <sup>3</sup> (現状) (MTJ直径~30 nm)	64Mb~256Mbの製品出荷開始
キャッシュメモリ用途	L1, L2キャッシュ用SRAM	< 1	< 1	大	>> 10 <sup>4</sup>	現在主流のキャッシュメモリ
	L3キャッシュ用SRAM	1~3	~1	大	> 10 <sup>4</sup>	現在主流のキャッシュメモリ
	電圧トルクMRAM (電圧書込型)	1~3	~1	ゼロ (不揮発)	不確定要素はあるが < 10 <sup>4</sup> は達成可能	基礎研究段階

STT-MRAMの課題: DRAM代替ではさらなる微細化(MTJ素子直径 < 20 nm が必要)  
 電圧トルクMRAMの課題: 山積(まだ基礎研究段階)

### 電圧書き込みの基本原理と課題



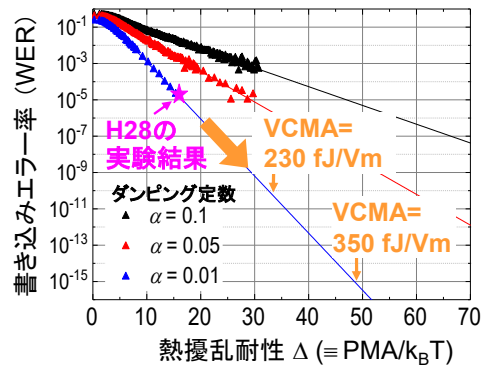
高速パルス電圧を印加して、記録層の磁化の歳差運動を誘起する。ちょうど半回転した瞬間(約0.5~1 ナノ秒後)に電圧を切ると、磁化反転(つまり情報書き込み)が起こる。高速かつ超省電力のspin操作技術として期待される。

- <主な課題> ・書き込みエラー率(Write Error Rate: WER)が高い  
 ・応用に必要な諸特性(大きなMR比、PMA、VCMA)の両立が未達成



昨年度の成果報告の抜粋

シミュレーションと  
実験結果の比較



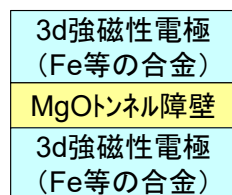
(参照)  
APEX **9**, 013001 (2016);  
APL **111**, 022408 (2017).

<さらにWERを低減するためのポイント>

- ・ MTJの熱擾乱耐性 $\Delta$ ( $\propto$ PMA)の増大が不可欠
- ・  $\Delta$ を増大させるだけなら比較的容易だが、それに同調してVCMAも増大させないと書き込めなくなる
- ・ つまり、**VCMAの増大が鍵。300 fJ/Vm 級が必要**

大きなVCMAと高いMR比の両立は困難と考えられてきた

- ◆ 大きな電圧効果VCMAを得るには、スピン-軌道相互作用が大きい5d遷移金属(Ptなど)を強磁性電極中に入れるのが有効  
大阪大、産総研、東北大の共同研究により、その詳細な機構を解明  
*Nature Comm.* **8**, 15848 (2017) に論文を掲載
- ◆ 電極中の自由電子による電界遮蔽効果のため、界面1原子層しかVCMAに有効に寄与しない(と考えられてきた)
- ◆ 界面1原子層に非磁性の5d元素を多量に入れると、MR比が大幅に低下する



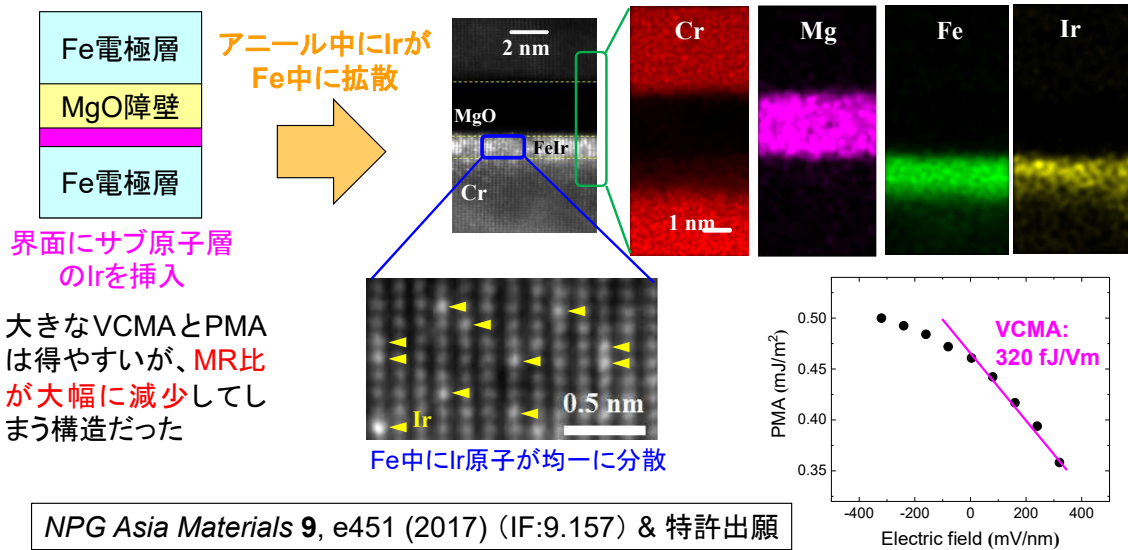
VCMA:小 MR比:大  
PMA:中 量産性:良好

界面1原子層に  
5d元素を挿入



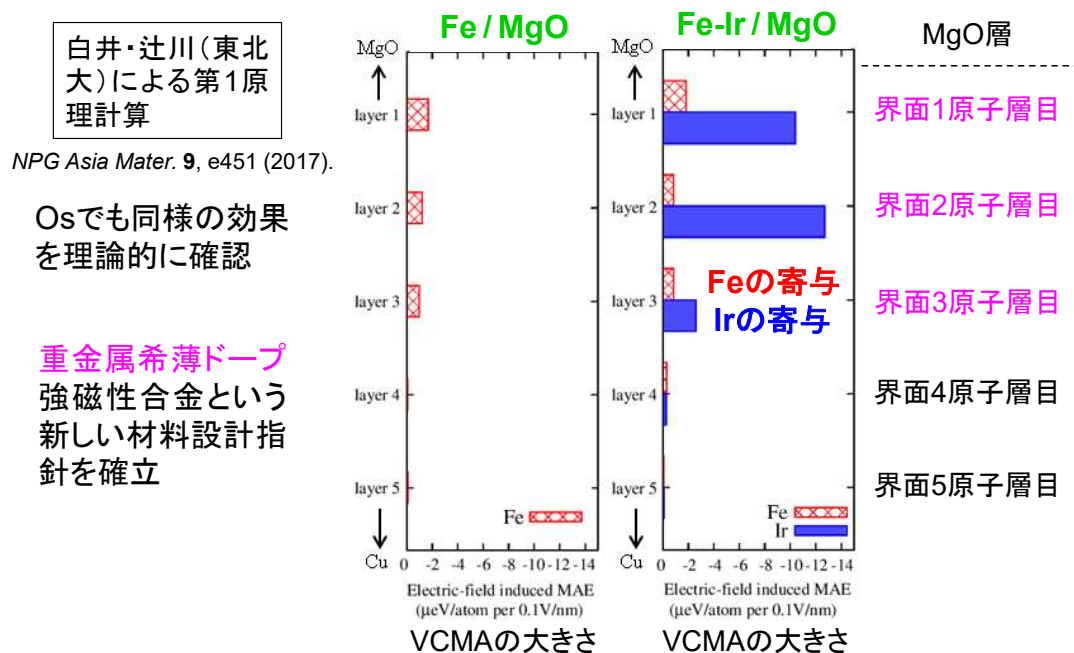
VCMA:大 MR比:小  
PMA:大 量産性:不良

Ir希薄ドーピングFe合金電極を偶然合成

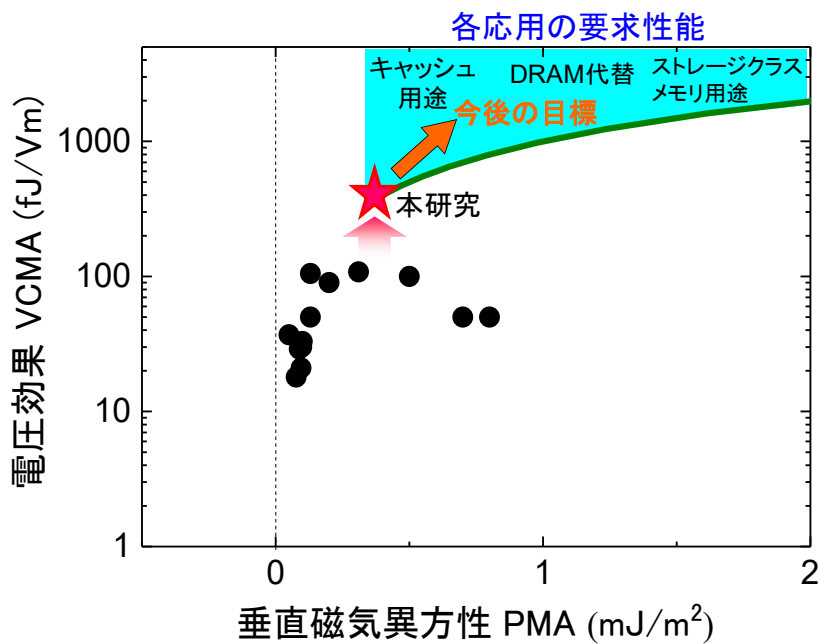


- ・VCMA = 320 fJ/Vmは、高速応答性を示すMTJ素子では世界最高値
- ・界面のIr濃度が低いため、MR比の低下を最小限に抑えられる。量産性も良好
- ・なぜ大きなVCMAが得られるのか、理論計算により説明(次頁で説明)

第1原理計算：界面3原子層目までのIrがVCMAに大きく寄与



MRAM応用の(最低限の)要求性能を初めて達成



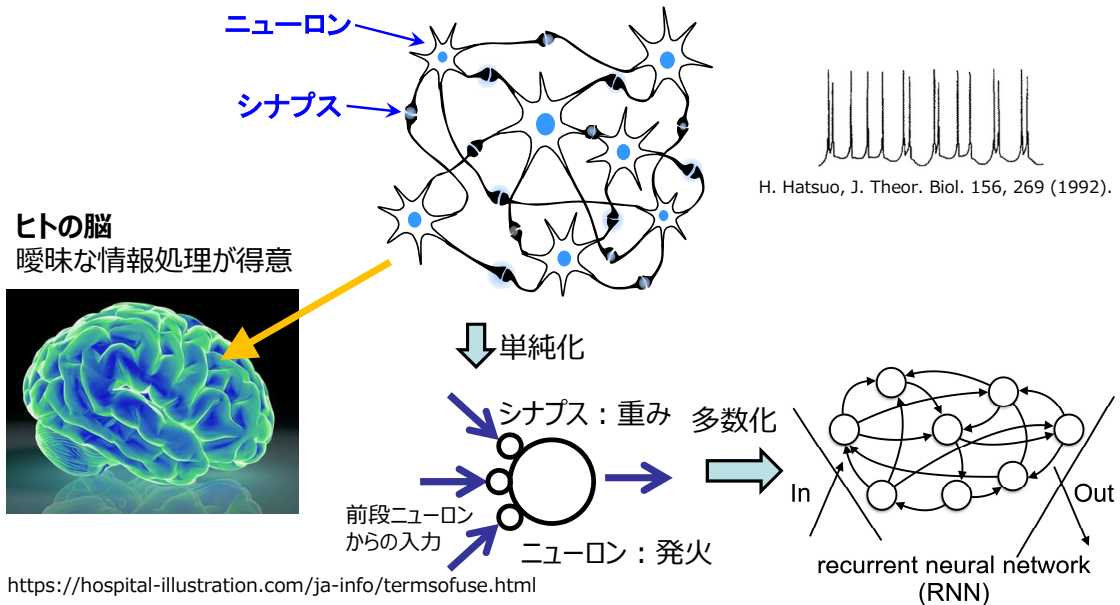
3. スピントロニクス素子の高性能化と新展開

(3-1) 電圧トルクMRAMのための新材料開発と電圧書き込みの高度化

➡ (3-2) スピントルク発振素子のニューロモルフィック・コンピューティングへの応用

(3-3) 不揮発性メモリMRAMの製造プロセス技術の研究開発 (橋渡し前期の取り組みも含む)

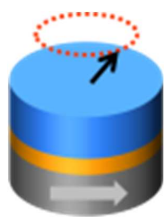
ニューロモルフィックコンピューティングの研究背景



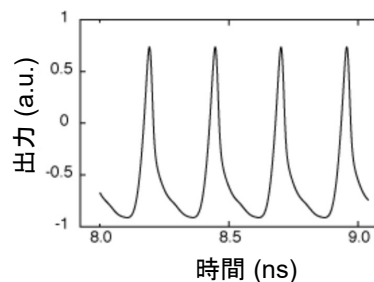
情報伝達をつかさどるニューロンと、情報保持を行うシナプスの働きを人工的なデバイスで模倣し、ヒトが行う高度な演算処理(ニューラルネットワーク)をハードウェアで再現する研究が活発化

ニューロモルフィックコンピューティング：研究目的

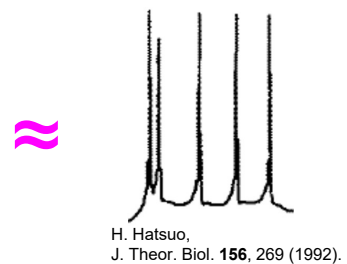
スピントルク発振素子



スピントルク発振素子の出力信号



ニューロンの発火信号



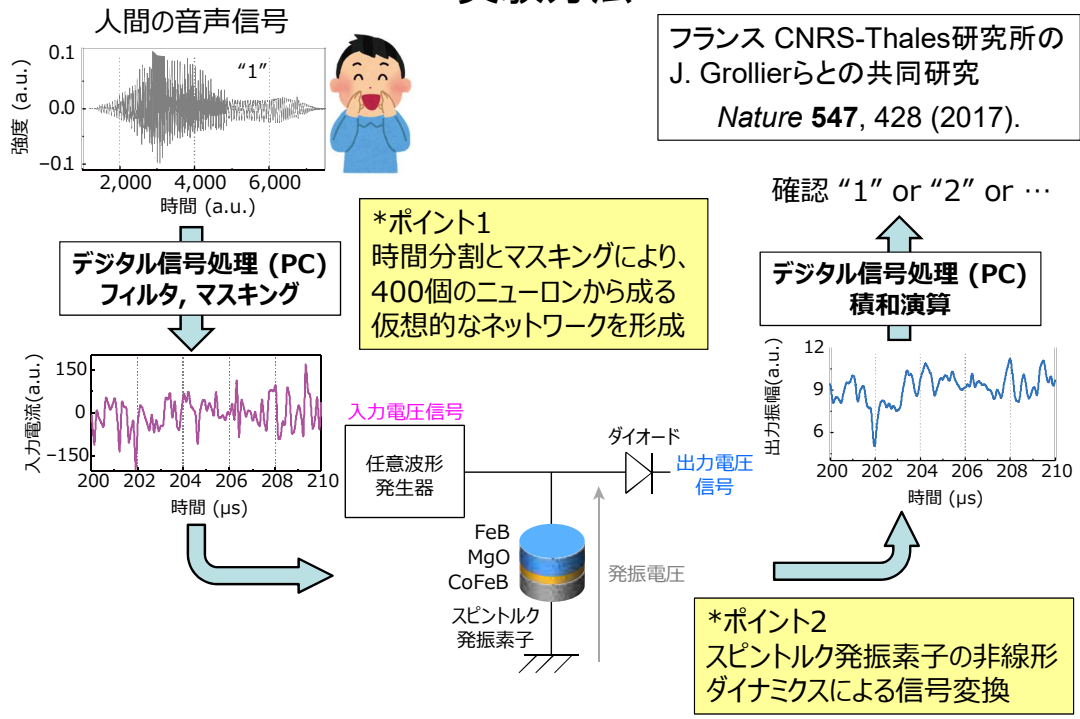
スピントルク発振素子はニューロンの発火信号と類似点が多い (高い非線形性、緩和時間、位相同期現象など)



スピントルク発振素子を“人工ニューロン”として用いたニューロモルフィック回路

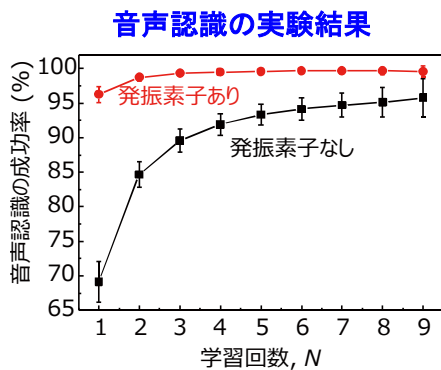
<目的>  
スピントルク発振素子でニューラルネットワークを形成し、省電力の新規演算回路を開発する。

実験方法



フランス CNRS-Thales研究所の J. Grollierらとの共同研究  
Nature 547, 428 (2017).

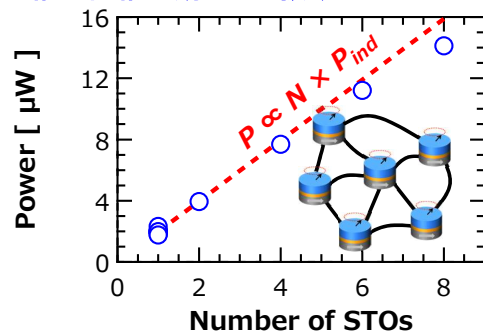
実験結果



ナノサイズ振動子を用いて音声認識 (認識率:99.6%)に成功(世界初)

Nature 547, 428 (2017).

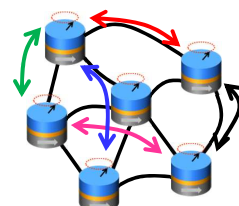
相互位同期による振動子ネットワーク



2~8個の相互位同期を達成(世界初)

(2個同期) Nature Comm. 8, 15825 (2017).  
(8個同期) 論文投稿中

今後、複数の発振素子を結合したニューラルネットワークを実際に作製し、より複雑な演算やリアルタイム処理を目指す



### 3. スピントロニクス素子の高性能化と新展開

(3-1) 電圧トルクMRAMのための新材料開発と電圧書き込みの高度化

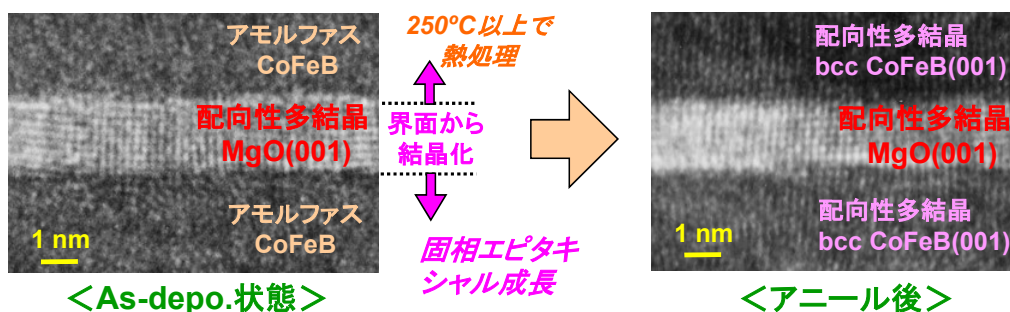
(3-2) スピントルク発振素子のニューロモルフィック・コンピューティングへの応用

➡ (3-3) 不揮発性メモリMRAMの製造プロセス技術の研究開発  
(橋渡し前期の取り組みも含む)

### 実用MTJ素子の標準材料

産総研とキヤノンアネルバが2004年に共同開発した**CoFeB/MgO/CoFeB**

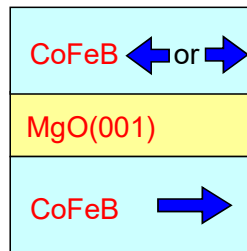
*Appl. Phys. Lett.* 86, 092502 (2005).



- ◆ 配向性多結晶CoFeB/MgO/CoFeB—MTJ素子は、単結晶MgO—MTJ素子と同等以上の巨大なTMR効果や大きな垂直磁気異方性PMAを示す
- ◆ どんな下地層の上にも室温スパッタ成膜(量産技術)で作製できる
- ◆ 極めて特殊な結晶成長のため、別の材料への置換が困難。材料選択の足かせ

MTJ素子の基本構造と課題

面内磁化 MTJ (磁気センサー)



垂直磁化 MTJ (MRAM)



磁気センサーでもMRAMでも、コア部分は **CoFeB/MgO/CoFeB**

今後、10 nm世代のSTT-MRAMなどの次世代デバイスを実現するには、高MR(>300%)、高PMA、適切な $\alpha$ 、低 $M_s$ などの諸特性を高いレベルで両立できる**新材料素子**の開発が必要

今後の発展が期待されるスピネル系トンネル障壁やホイスラー合金などの**新材料素子**は、**エピタキシャル(単結晶)素子**でないとは性能がでない

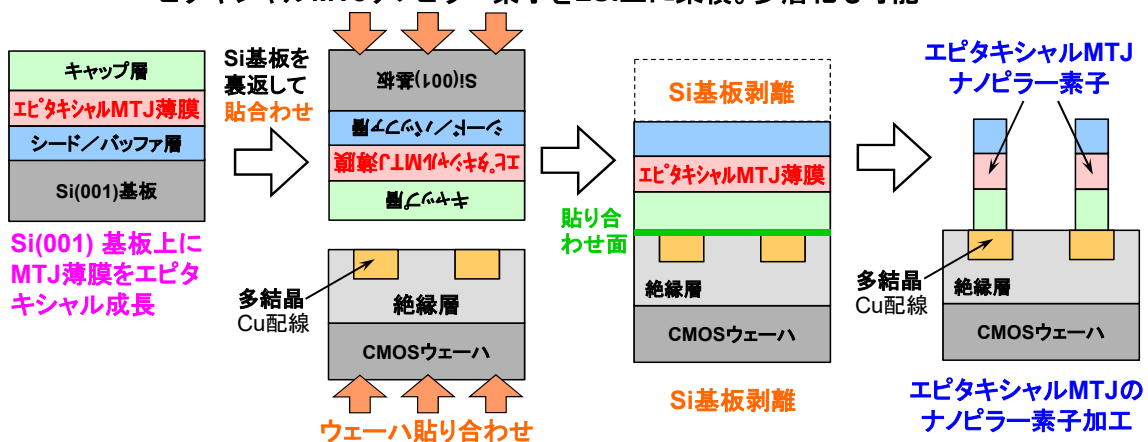
エピタキシャルMTJ素子のための3次元積層プロセス

(1) 新材料系MTJ薄膜を Si(001) 基板上にエピタキシャル成長

エピタキシャル成長を活用して、トンネル障壁と強磁性電極に**新材料**を導入する

(2) ウェーハ貼り合わせ / Si剥離プロセスを用いたエピタキシャル素子の集積化

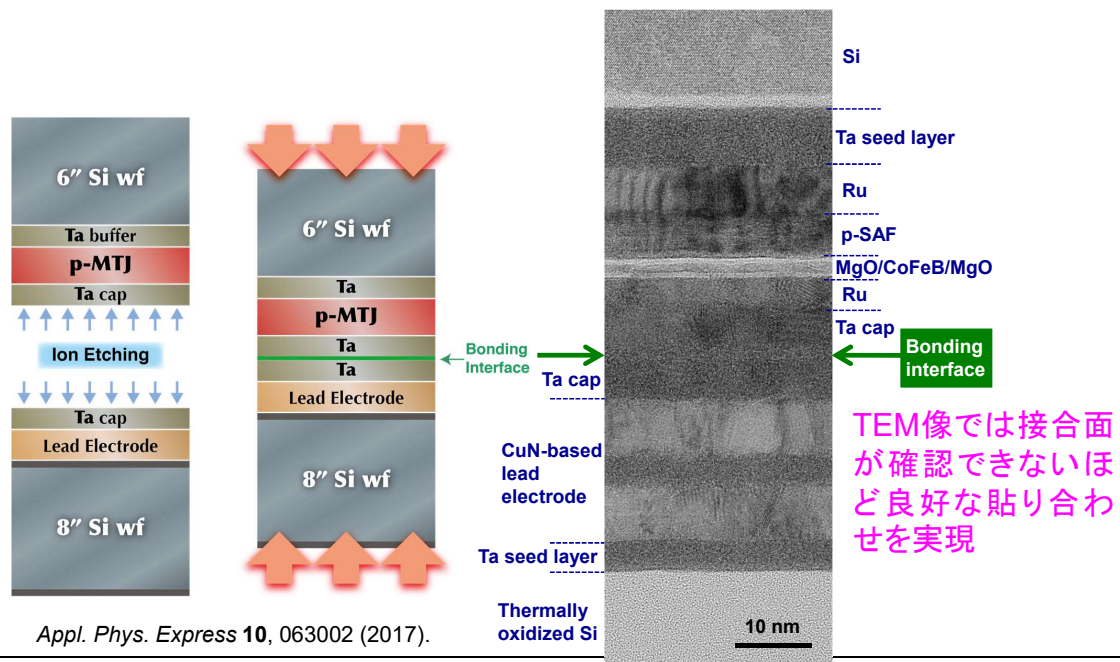
エピタキシャルMTJナノピラー素子をLSI上に集積。多層化も可能



<課題> 厚さが1 nmしかない**極めてデリケートなトンネル障壁**は、3次元積層プロセスにより劣化する(壊れる)可能性が大きい。トンネル素子での実績は皆無

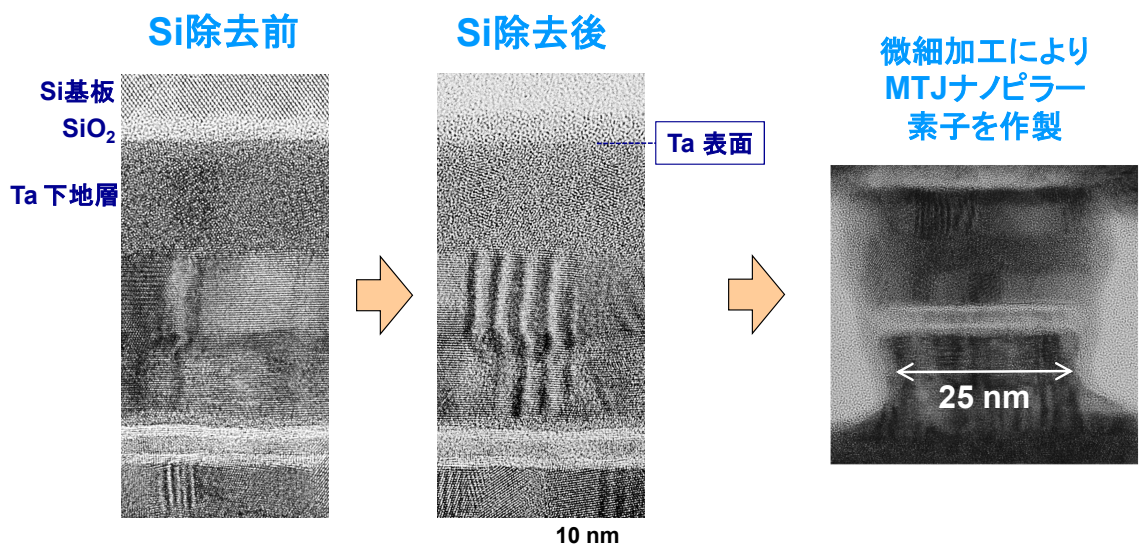
MRAM用MTJ薄膜のウェーハ貼り合わせ

産総研 集積マイクロシステム研究センターの高木、倉島らとの共同研究



機械研磨とウェットエッチングを併用したSi基板剥離

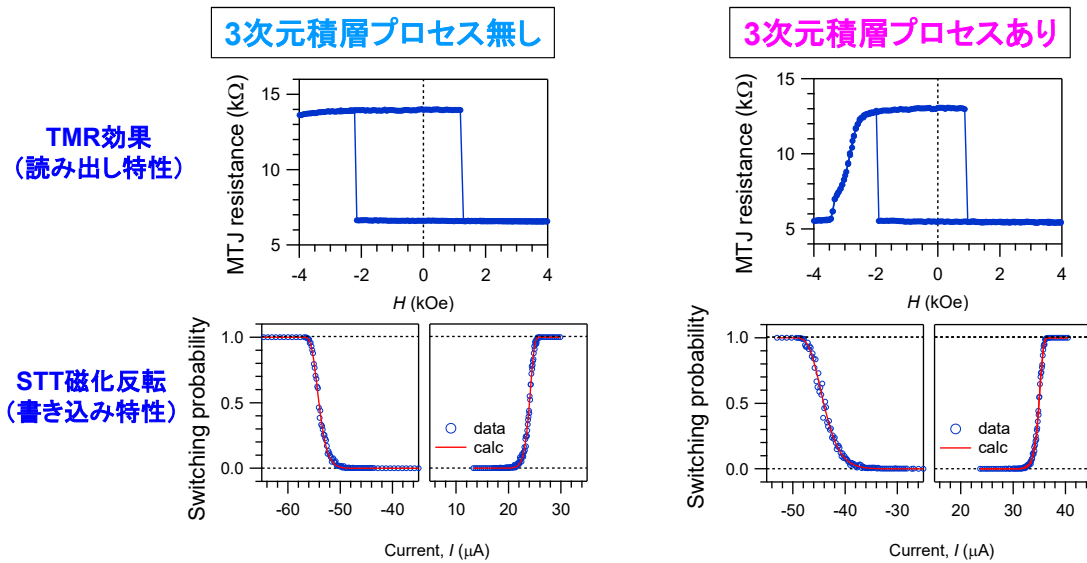
産総研 ナノエレクトロニクス研究部門の菊池、渡辺らとの共同研究





3次元積層プロセス後の素子特性

APEX 10, 063002  
(2017).



- ◆3次元積層プロセスによるMTJ素子特性の劣化は皆無
- ◆トンネル素子の3次元積層プロセスは世界初。様々な波及効果が期待できる
- ◆現在、大径Si基板上への新材料MTJのエピタキシャル成長に注力中

受賞

- 平成29年度 丸文学術賞  
受賞者:野崎 隆行(スピントロニクス研究センター)  
受賞業績:「電圧によるスピンの効率制御技術の開発」
- 2017年度 応用物理学会 優秀論文賞  
受賞者:塩田 陽一、他7名(スピントロニクス研究センター)  
受賞業績:“Evaluation of write error rate for voltage-driven dynamic magnetization switching in magnetic tunnel junctions with perpendicular magnetization”

## 主な成果エビデンス

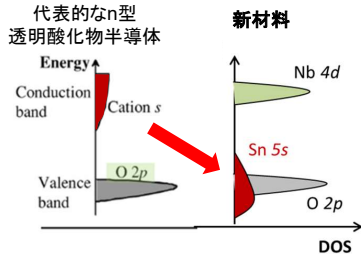
1. CMOSデジタル回路をベースとした情報処理ハードウェアの高性能化・低消費電力化
  - ✓ 電子デバイス分野の代表的な国際会議であるIEDMおよびVLSI Symposialにおいて計3件のオーラル発表。関連国際学会で3件の招待講演(AVS、IUMRS、ASICON)。
  - ✓ 電子情報通信学会「デザインガイア2017」において最優秀ポスター賞。
  - ✓ プレスリリース「ゲルマニウム単結晶の超薄膜化により電子移動度が飛躍的に向上」(2017.6.20)
2. デジタル処理の限界を突破する新原理コンピューティング基盤技術
  - ✓ 量子アニーリング分野のトップ国際会議AQC2017、電子デバイス・メモリ分野の代表的国際会議IEDMおよびIMW2017においてオーラル発表。
  - ✓ 超伝導分野の代表的国際会議ISS2017において招待講演。
  - ✓ 大規模量子アニーリングマシン実装技術に関する基本特許出願。
3. スピントロニクス素子の高性能化と新展開
  - ✓ スピントロニクス人工ニューロンの論文を Nature誌(IF:40.137)に掲載
  - ✓ スピントルク発振素子の相互位相同期の論文をNature Comm.誌(IF:12.124)に掲載
  - ✓ IrドーパFe合金の論文を NPG Asia Materials誌(IF:9.157)に掲載
  - ✓ 電圧磁気異方性制御の物理解明の論文を Nature Comm.誌(IF:12.124)に掲載
  - ✓ 異常ホール効果を用いたスピン操作の論文を Nature Electronics誌に掲載

参考： その他の特筆すべき成果

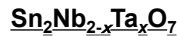
### 高移動度かつバンドギャップ制御可能なp型透明酸化半導体

- 酸素2p軌道から成る価電子帯にSn 5s軌道を混成させた新しいp型酸化透明半導体を開発
- 既存のp型酸化透明半導体(デラフォサイト)と同等以上の移動度を確認
- 化学組成制御によりバンドギャップ( $E_g$ )を2.4-3.0 eVの範囲で制御可能

#### 新しいp型透明酸化半導体のコンセプト



p型透明酸化半導体の本質的な問題である局在的な酸素2p軌道から成る価電子帯に遷移的な金属のs軌道成分を混成させることによりホール移動度の向上が期待できる

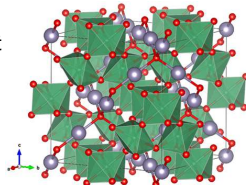


#### 結晶構造

立方晶・パイロクロア構造  
NbO<sub>6</sub>/TaO<sub>6</sub>八面体骨格

#### 物性

水分解する光触媒  
伝導性の報告なし



#### $\text{Sn}_2\text{Nb}_{2-x}\text{Ta}_x\text{O}_7$ の電気物性

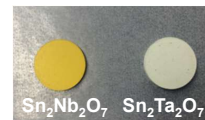
	移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)	キャリア濃度 (/cm <sup>3</sup> )	ゼーベック係数 (V/K)
Sn <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2.4 × 10 <sup>-1</sup>	2.5 × 10 <sup>17</sup>	+5.6 × 10 <sup>-6</sup>
Sn <sub>2</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2.8 × 10 <sup>-2</sup>	1.4 × 10 <sup>18</sup>	+8.5 × 10 <sup>-6</sup>

従来物質と同等以上

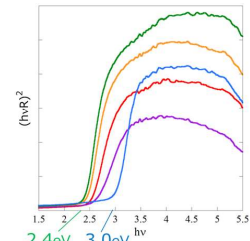
p型半導体

#### 可視光領域のバンドギャップ制御

$\text{Sn}_2\text{Nb}_{2-x}\text{Ta}_x\text{O}_7$   
x=0 :  $E_g=2.4$  eV  
x=2 :  $E_g=3.0$  eV

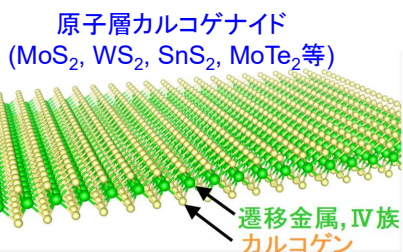


xによる $E_g$ 制御可能



$\text{Sn}_2\text{Nb}_{2-x}\text{Ta}_x\text{O}_7$ のバンドギャップ変化

### 原子層カルコゲナイド材料のLSI応用に向けた位置制御形成



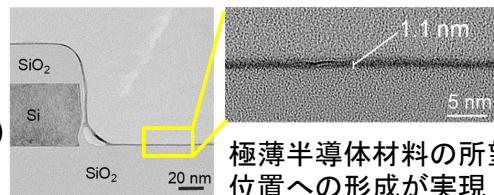
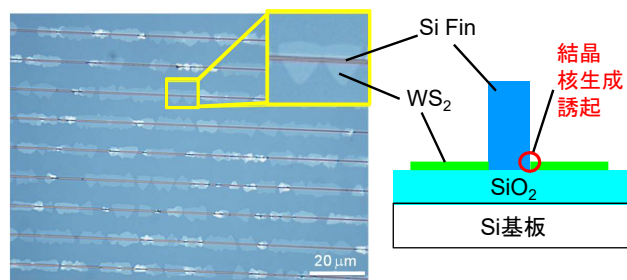
将来のポストSi材料として期待大

#### 従来

CVD成膜実施例は多数あるものの、結晶は基板にランダム成長 (LSI応用不適)

#### 本研究

Siナノ構造による結晶核を導入する事で位置制御CVD成膜を実証



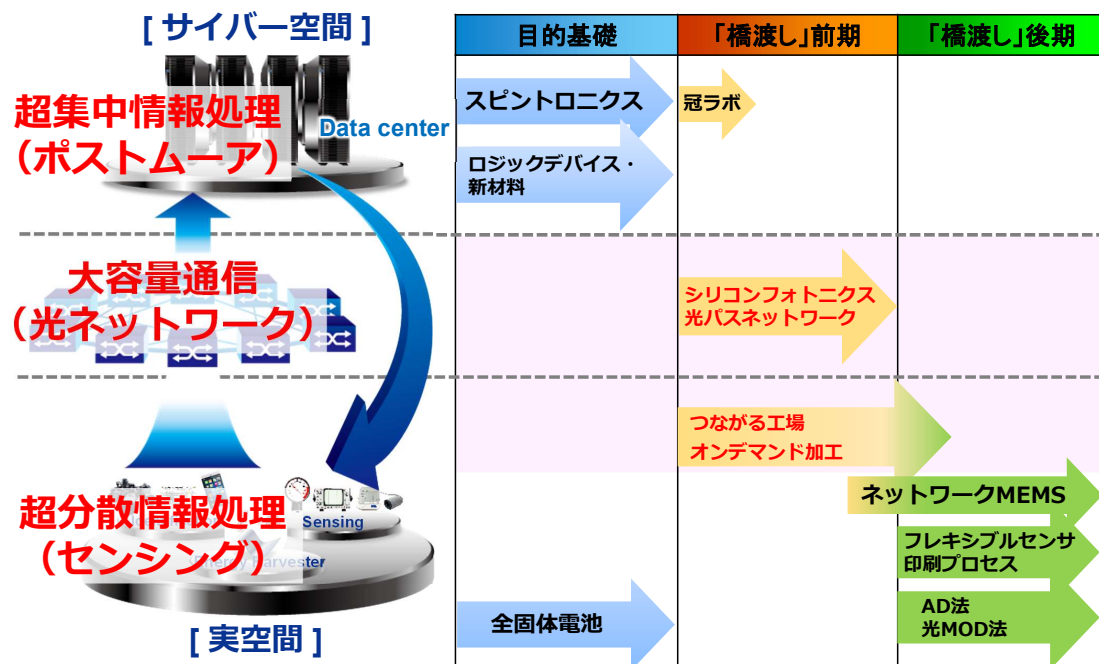
極薄半導体材料の所望位置への形成が実現

LSIチャンネル材料応用を目指す

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

### 平成29年度研究成果トピックス



## (2)「橋渡し」研究前期における研究開発

### ①「サイバーフォトンクス研究拠点」

電子光技術研究部門・副研究部門長  
データフォトンクスプロジェクトユニット・代表  
並木 周

### サイバーフォトンクス構想とは

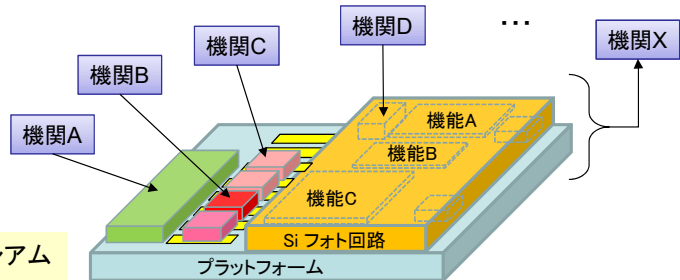
超スマート社会における情報基盤の核をなす、  
フォトンクスによるサイバーフィジカル融合システム

1. シリコンフォトンクスを中心とするエコシステム構築
  - 産総研コンソーシアム「PHOENICS」(2015~2017年度)
  - 産総研コンソーシアム「シリコンフォトンクス・コンソーシアム」(2018年度~)
2. ダイナミック光パスネットワーク技術を拡張した、「サイバーフォニックプラットフォーム」の創出
  - 文科省先端融合拠点プログラム「VICTORIES拠点」(2008~2017年度)
  - サイバーフォニックプラットフォームコンソーシアム(2018年度~)

光デバイス基盤技術イノベーション研究会(産総研コンソーシアム)  
PHOENICS (PHotonics ENgineering Innovation ConSortium)

- 参加企業
  - 国内光デバイス製造企業 11社
  - NTT、NTTエレクトロニクス、富士通オプティカルコンポーネンツ、NECプラットフォームズ、住友電工、古河電工、三菱電機、フジクラ、日本オクラロ、MACOM、キーサイト
- 目的と活動内容
  - 日本の光デバイス産業の国際競争力を強化するため、**散在する基盤技術を結集**する最適な方法を検討
  - 光デバイス設計・実装共通基盤の整備により、将来の**光デバイスのファブ**を、バーチャルに実現する手段を検討
  - 国プロなどを経て、光デバイスの**ワンストップEMS会社**設立の道筋を模索
- 期間
  - 2015年4月1日から3年間(コンソーシアム設置期間)
  - 並行して事業化へ展開
- 結果
  - 試作を実施し有意義な活動
  - データセンター需要急増
    - 対応が優先
  - 産総研シリフォトファブへ期待
    - 国内ファブ不在への不安

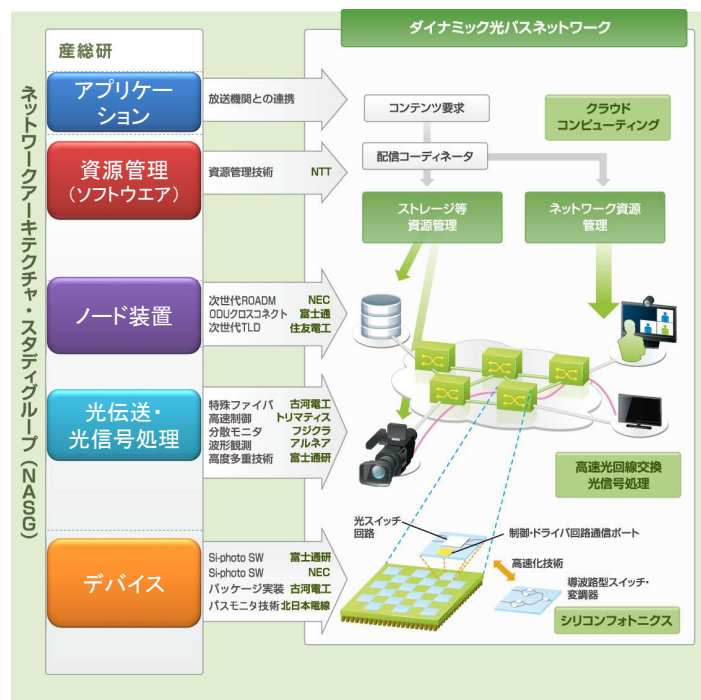
シリコンフォトニクス・コンソーシアムへ展開



光スイッチを活用する大規模なダイナミック光パスネットワークの創出



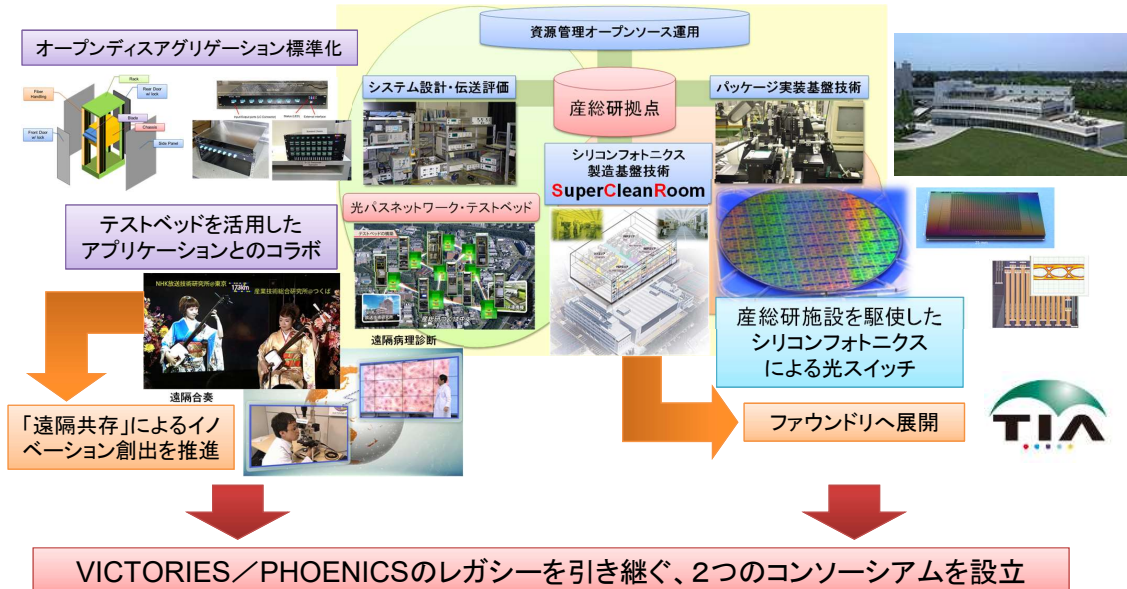
- 光スイッチ =
  - 「超低エネルギー」
  - 「超広帯域」
  - 「超低遅延」
  - 超高セキュア
- 使い易いネットワーク
  - アプリケーションから
  - デバイスレイヤーまで
  - 要素技術を垂直融合



拠点活動によるオープンイノベーションハブの構築

- 研究開発力を産総研に集約し、これを民間の研究開発に活用する体制を構築

- 垂直統合で、要素技術の最適組み合わせに関する標準化、エコシステム形成を推進



VICTORIES拠点発ベンチャーの起業

(株)光パスコミュニケーションズ



- ダイナミック光パスネットワークによる遠隔共存ソリューション
- 4K/8Kテレセッション



事業理念

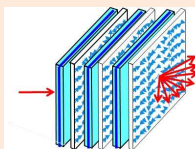
産総研で培った光通信技術をもとにして、最高のコミュニケーションを優れた光ネットワークで実現し、人々の暮らしや社会を豊かにする。

2017年度創業

ステラビジョン(株)



- 拠点発革新的光偏向素子技術 “MultiPol”
- 光スイッチ
- Lidar他



Vision

Making the invisible visible.

「人には見えない世界を見る」、このためのソリューションを世界に提供し続けることで、人が安全に生活できる車社会から、多くの情報を快適に使える情報社会、さらに、危ない環境の中を人に代わって実働してくれるロボット社会を実現します。

2016年度創業

- 2017年度の主な成果
  - シリコンフォトニクス関連
  - ダイナミック光パスネットワーク関連
- 研究ロードマップ
- 成果まとめ

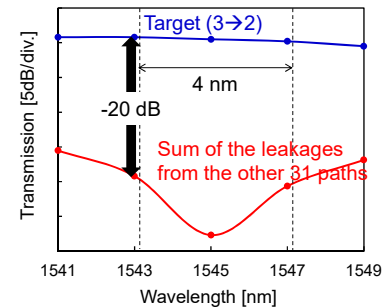
- 2017年度の主な成果
  - シリコンフォトニクス関連
  - ダイナミック光パスネットワーク関連
- 研究ロードマップ
- 成果まとめ



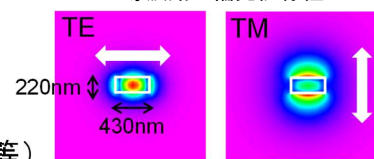
光スイッチの、真の実用性に向けた取り組み

- 動作帯域(低クロストーク帯域)の拡大  
 課題: 方向性結合器の波長依存性  
 → **ダブルMZI単位スイッチ**
- 偏波無依存化  
 課題: Si導波路の強い偏光依存性  
 (モードサイズ、有効屈折率、分散など)  
 → **偏波ダイバーシティ回路**
- 低損失化  
 課題: Si導波路の伝搬損失、素子の過剰損失  
 → **作製プロセス、素子設計の改良**
- 新構造の検討  
 課題: 2D構造の制約(交差によるクロストーク等)  
 → **3D交差の検討**

32x32スイッチのクロストークスペクトル

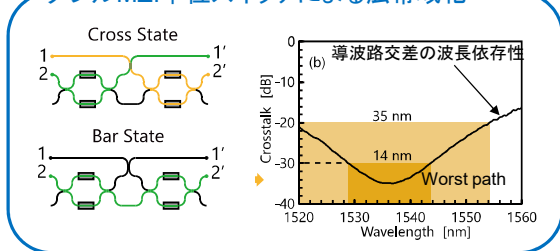


Si導波路の偏光依存性

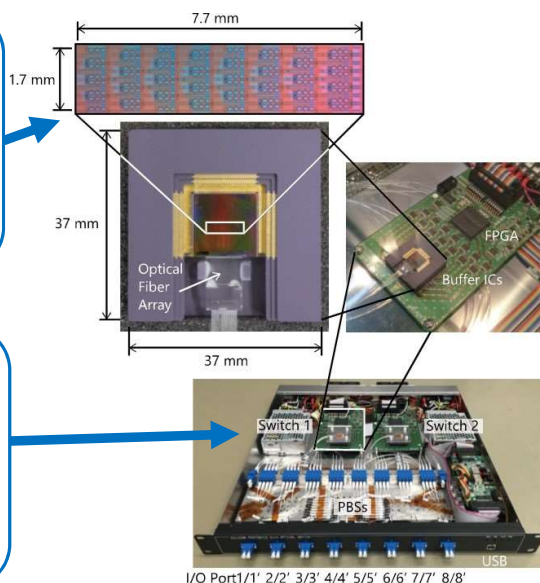
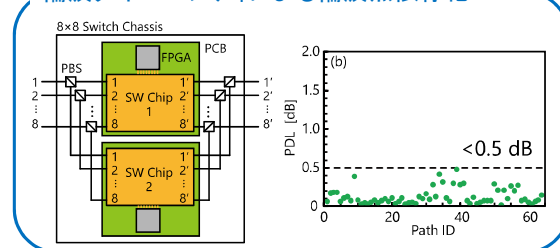


広帯域、偏波無依存 8 x 8 光スイッチ

ダブルMZI単位スイッチによる広帯域化



偏波ダイバーシティによる偏波無依存化

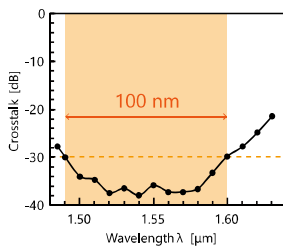
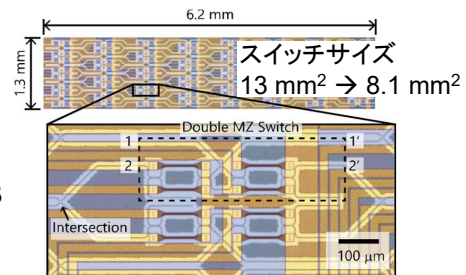
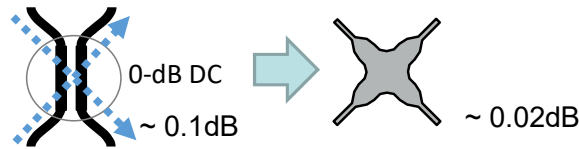


OFC2017口頭発表、展示

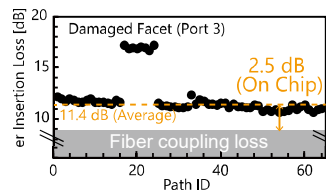
オンチップ偏波ダイバーシティ、32x32への適用を実施中

更なる広帯域化、低損失化(＋小型、省電力)

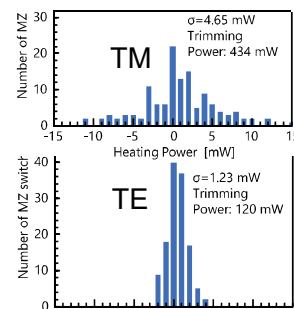
導波路交差を最適化(TE設計で広帯域低クロストーク、低損失)、導波路損失も低減、＋TE化により小型化、省電力化



-30dBクロストーク帯域  
14 nm → >100 nm



オンチップ損失  
6.9 dB → 2.5 dB



消費電力914 mW → 312 mW

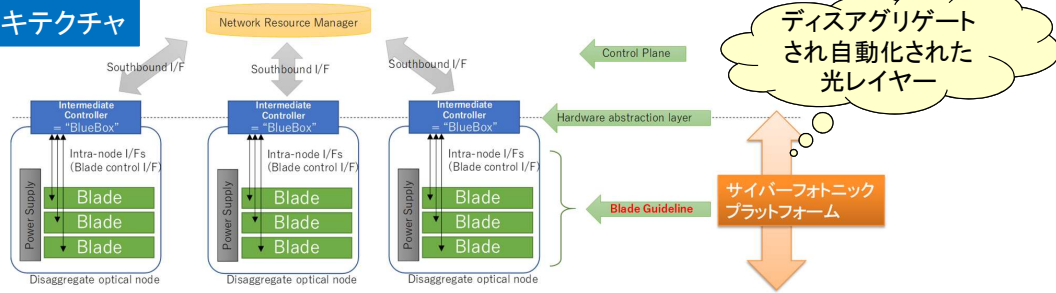
ECOC2017口頭発表

報告内容

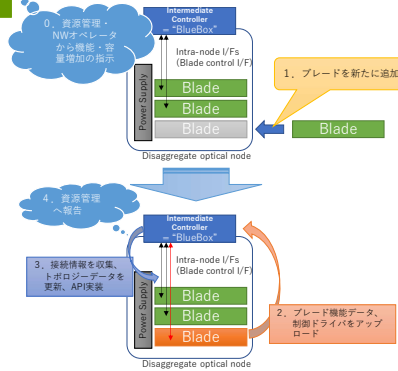
- 2017年度の主な成果
  - シリコンフォトニクス関連
  - **ダイナミック光パスネットワーク関連**
- 研究ロードマップ
- 成果まとめ

光ネットワーク機器を自動運用する、サイバーフォトリックプラットフォーム

アーキテクチャ



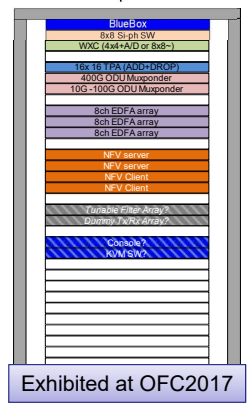
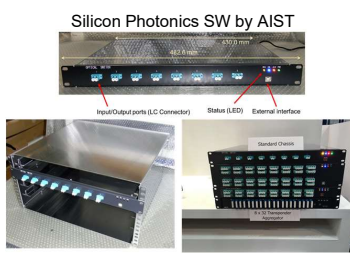
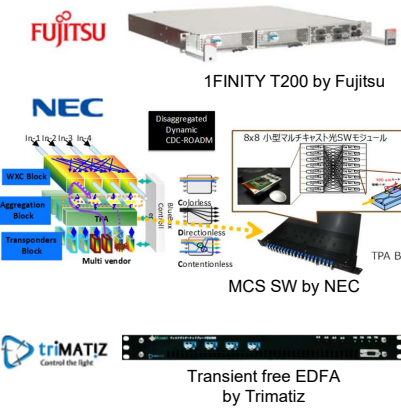
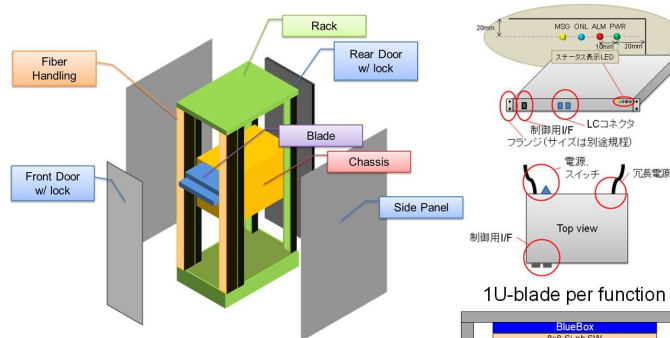
自動化のイメージ



- ブレードのハード仕様共通化
  - BlueBoxによる制御性保証
  - 相互接続状態の把握
  - 機能の抽象化(機械可読表現)
  - 信号疎通性把握
  - 光バス状態のモニタ
- ↓
- 光トランスポート管理運営に必要な一連の動作が自動化
  - 誰でも簡単にネットワークを構成可能
- ↓
- これらに必要な取り決めについて検討することが課題

VICTORIESによるディスアグリゲーション方式によるダイナミック光ノード

- まず、標準ラックを制定
- 所謂標準的な19インチラック
- 1RUのブレードを定義
- ガイドラインを規定
- 拠点HPからダウンロード可能
- www.aist-victories.org



ディスアグリゲーション方式による動態展示と連携動作実験

- ディスアグリゲート・ダイナミック光ノード(2016年度)

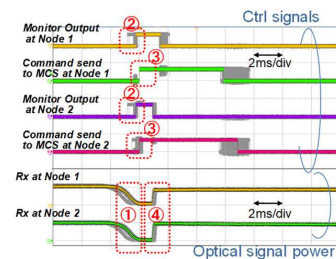
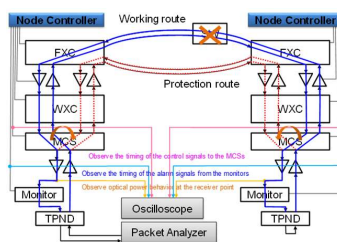
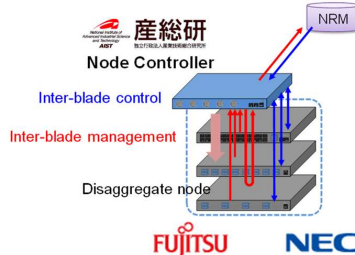


- Live demo at OFC2017 show floor



マルチベンダ・ブレード間の連携動作による、高速光バスプロテクション実証:

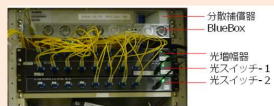
- K. Ishii, et al., "Demonstration of Fast Cooperative Operations in Disaggregated Optical Node Systems," OFC 2017, paper W1D.5



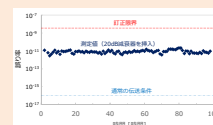
2017年度:ダイナミック光パスネットワーク・テストベッド概要



- つくば: 大規模3階層ダイナミック光パスネットワーク
- 都内: 実フィールド・ディスアグリゲート・テストベッド
- SINET5を介して、つくば~都内テストベッド間の接続
  - 国内外の任意地点との接続も可能



敷設したディスアグリゲート・ノード(左)とシリコンフォトニクス・スイッチの安定動作(右)



2017年9月にプレス発表

都内実フィールドテストベッドで4Kテレセッションを実運用



- ・シンプルな**セットトップボックス**を開発 (電気のHDMIを光SFP+へ変換)
- ・カメラやディスプレイは市販品を使用
- ・タブレット端末で、DOPN回線进行操作



4K テレビがそのまま「つながる窓」に

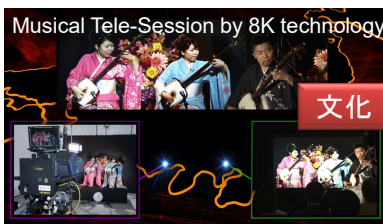


テストベッド活用による価値提案活動

- ・ これまで、IPをベースとするネットワークが、犠牲にしてきた「高品位と低遅延」の両立が遂に実現
- ・ これは、8K映像技術と5Gモバイル技術の普及に不可欠
- ・ 時空を超えた、「遠隔共存」を可能とする、超スマート社会の実現
  - IoT/AIなどによる、ビッグデータのリアルタイム解析を「繋ぐ」
- ・ 超スマート社会でのさまざまなイノベーションのコア技術
  - 医療、教育、セキュリティ、金融、防災、社会保障、エンターテインメント、インダストリー 4.0、他



顕微鏡などを活用した遠隔授業デモ(千歳科学技術大学、(株)内田洋行との共同)



8K遠隔合奏実験(NHK放送技研との共同) [www.youtube.com/watch?v=Eh61X3HwMlg](http://www.youtube.com/watch?v=Eh61X3HwMlg)



4Kテレセッション(株式会社光パソコムニケーションズ) [www.youtube.com/watch?v=MVlxqG80YtU&t=28s](http://www.youtube.com/watch?v=MVlxqG80YtU&t=28s)



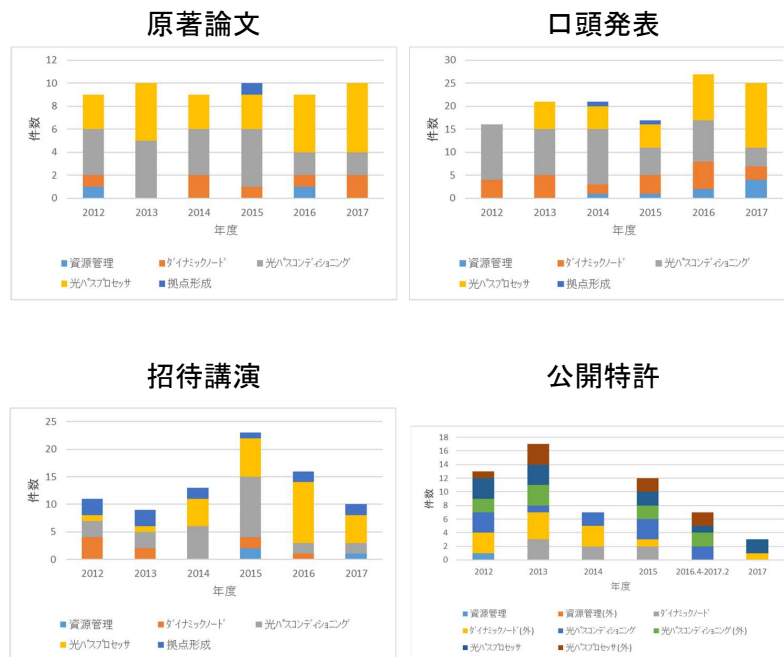
8K内視鏡による腹腔鏡手術(メディカルイメージングコンソーシアム提供)

- 2017年度の主な成果
  - シリコンフォトニクス関連
  - ダイナミック光パスネットワーク関連
- 研究ロードマップ
- 成果まとめ

研究ロードマップ



成果まとめ: VICTORIES拠点業績(2012年~2017)



成果まとめ: VICTORIES拠点以外の主な業績

シリコンフォトニクス関連業績

- 原著論文: 5件
- 国際会議筆頭発表: 9件
- 国際会議招待講演: 2件

VICTORIES拠点以外の外部資金等

NEDO超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発

NEDO-IoTイノベ: PDK開発

NEDO-IoTイノベ: ネットワークデバイス(NTT)

JST-CREST: 低遅延光演算素子(NTT)

JST-CREST: 待機電力ゼロ型フォトニクスルータの開発(東工大)

JST-ACCEL: LIDAR関連(横国大)

## (2)「橋渡し前期」の研究

## ②「スマートものづくりプラットフォーム」

製造技術研究部門  
部門長  
市川 直樹

## IoT時代のスマートものづくり技術

- 様々な異なるシステム(製造機械、ライン、工場、企業、業種、国やそこに关わる人(顧客、オペレータ、工場長等)など)の間の情報・モノ・コトをつなぎ、新たな価値をつくりだすこと



顧客に近いところでのものづくり・コトづくり  
レジリエンス(柔軟性)強化

- ・変種変量生産
- ・つながる工場(中小・中堅企業ネットワーク)
- ・グローバル(国際)化



## IoT時代のスマートものづくり技術にむけて

- 様々なレベルの情報を知り、その情報をものづくりに活用し、情報に基づいた高効率・低消費資源なものづくりをグローバルにできる柔軟なシステムの構築とその実証

プロセスや状態のセンシング(見えないものを可視化する)

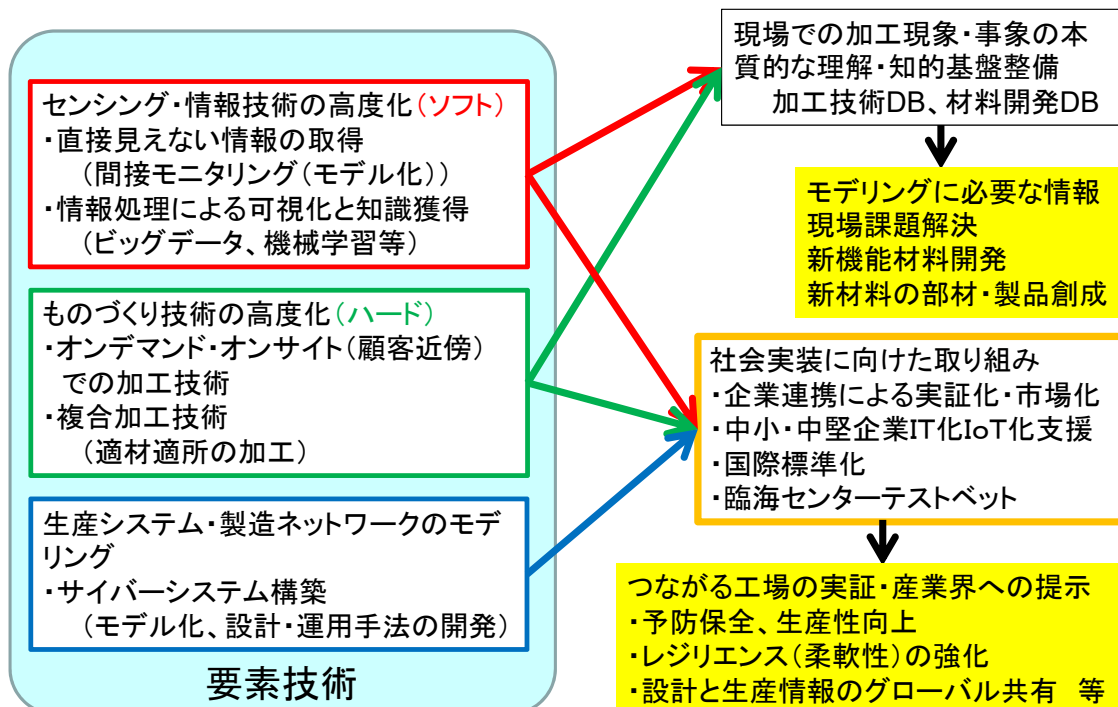
モデリング・シミュレーションによる状態・状況の把握・予測・設計への反映

変種変量生産に対応できるオンデマンド・オンサイト加工技術

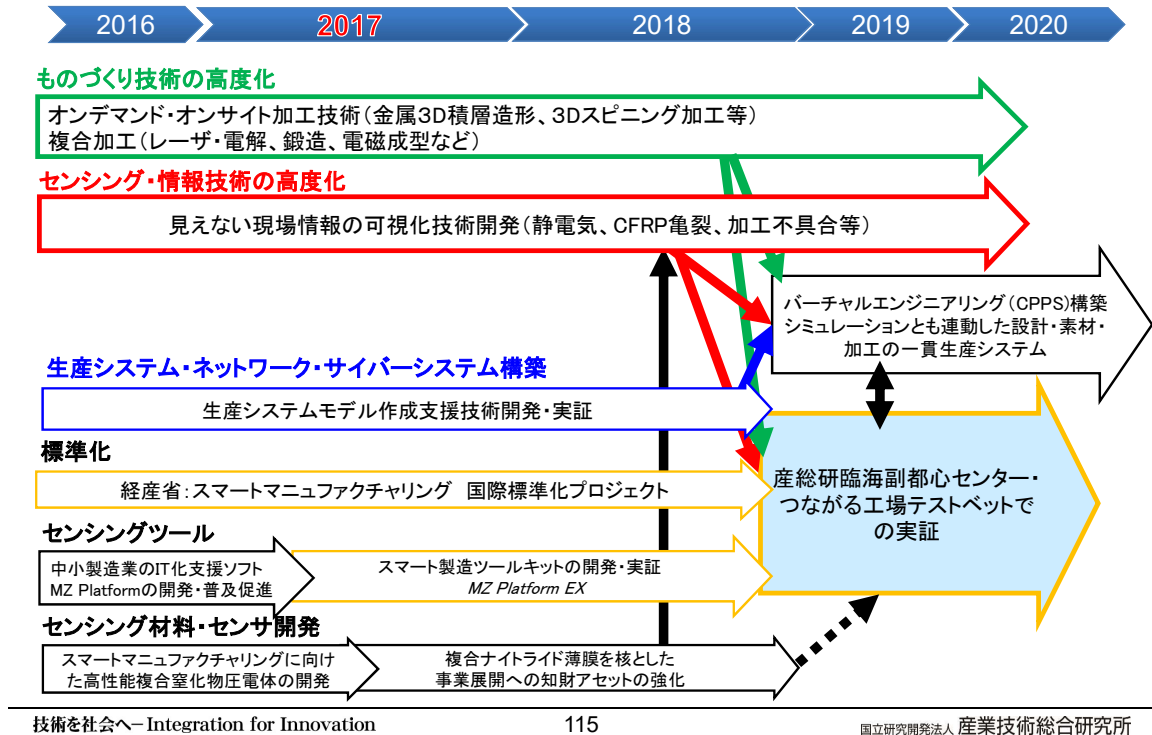
製造ライン・システムのネットワーク化

社会実証(企業連携、臨海テストベット)

## IoT時代のスマートものづくりプラットフォーム構築に向けて

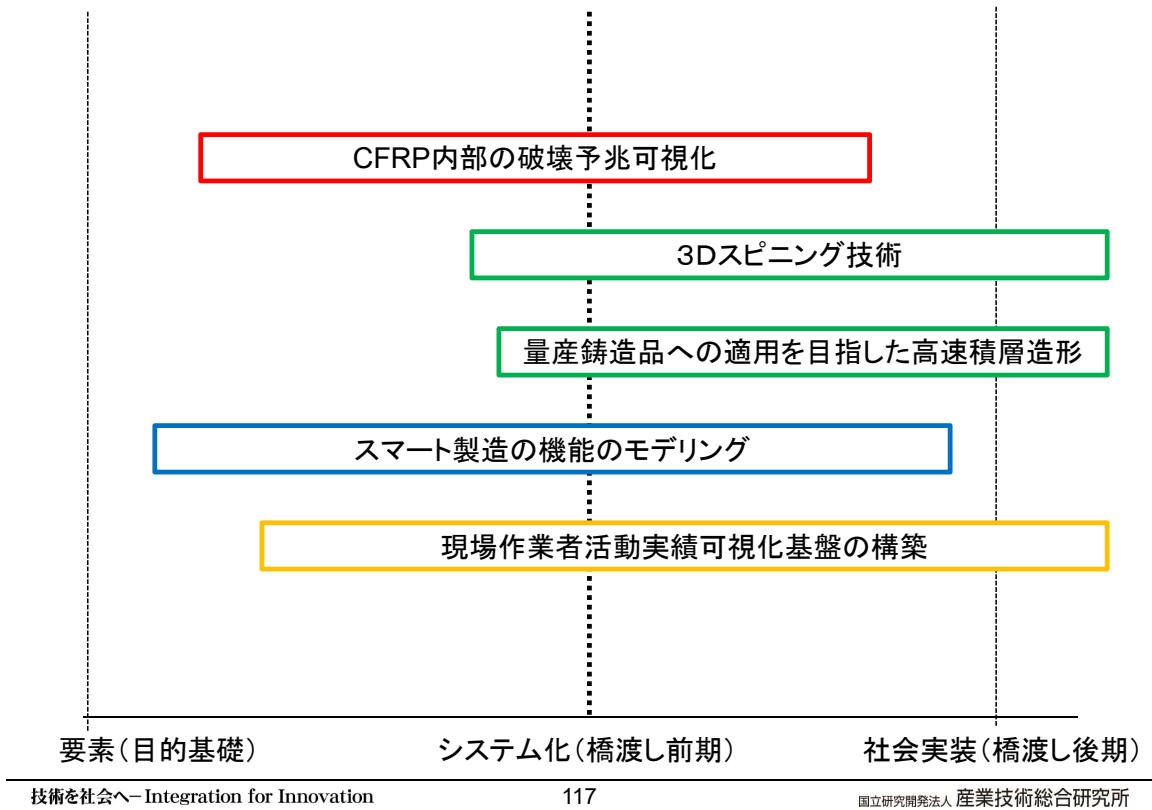


## IoT時代のスマート製造 ロードマップ



## IoT時代のスマートものづくり技術

- **現場の見えないものを見ることができるセンシング技術・情報技術**
  - CFRP内部の破壊予兆可視化
- **多品種変量生産に対応できるオンデマンドな加工技術の高度化**
  - 3Dスピニング技術(CADデータからの異型形状直接造形)
  - 量産鋳造品への適用を目指した高速積層造形
- **産業界と組んでの実装に向けた取り組み**
  - **スマート製造の機能のモデリング**
  - 現場作業活動実績可視化基盤の構築



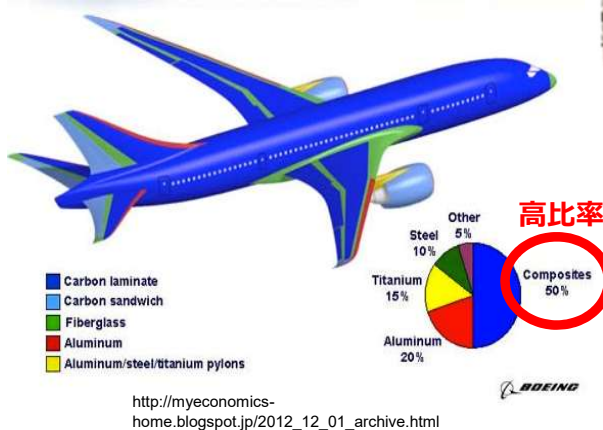
現場の見えないものを見ることができる  
センシング技術・情報技術

課題: 製造現場での不具合原因が見えていない、推測はされても計測できていない

## 航空機CFRPの背景・破壊予兆とモニタリングベンチマーク

### ●背景：マルチマテリアル製造

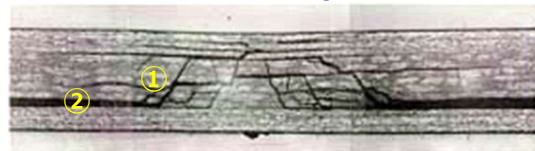
自動車・航空機産業を中心に、材料の適材適所、複合使用（マルチマテリアル）構想による次世代機開発が加速



ゲームチェンジの真最中！

(1) 軽量化, (2) 省エネ

### ●CFRPの破壊過程



- 破壊順番 ①トランスバースクラック  
②層間剥離  
③繊維破断
- 初期過程 (破壊予兆)

計測法	検出可能	リアルタイム性
軟X線	△	×
3D超音波	△	×
FBG	△	○
ひずみゲージ	×	○
応力発光	○	○

ICAF2017  
35th Conference June 5(Mon)-6(Tue) 29th Symposium June 7(Web)-9(Fri)  
Nagoya, JAPAN

ICAF Japanese National Review  
ICAF 2017, Nagoya Japan, 5-6 June 2017

7.2 Visualization of Strain Distribution and Portent of Destruction in Structural Material Through Mechanoluminescence  
N. Terasaki (National Institute of Adv. Indust. Sci. and Tech. (AIST)), Y. Fujio, Y. Sakata

Mechanoluminescent material is a novel functional ceramic powder (size: 10 nm—100 μm, SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>) and it can emit intensive light repeatedly accompanied by mechanical stress. The ML intensity is proportional to Mises strain energy of the material.

Poster presentation: June 7 (Wed) W18

Fig. 52 Feature of ML sensor

Fig. 53 Visualization of strain contribution on CFRP during tensional and torsional load

Fig. 54 ML monitoring of transverse crack occurrence in CFRP cross-ply laminates: (a) CFRP with ML sheet, (b) ML images, (c) SS curve during tensile load, (d) Microscopic cross sectional image at 7,979 μm

## 今年度成果：航空機CFRPの内部で発生した破壊予兆を発光可視化！

### キャッチフレーズ：

航空機CFRP構造材料の破壊予兆（トランスバースクラック）発生を可視化する事に成功！

### 背景

トランスバースクラックはCFRP破壊初期過程に発生する予兆であるが、発生は内部であり、構造材の外部から、発生時期・場所を知る事は困難とされてきた。

### 開発内容

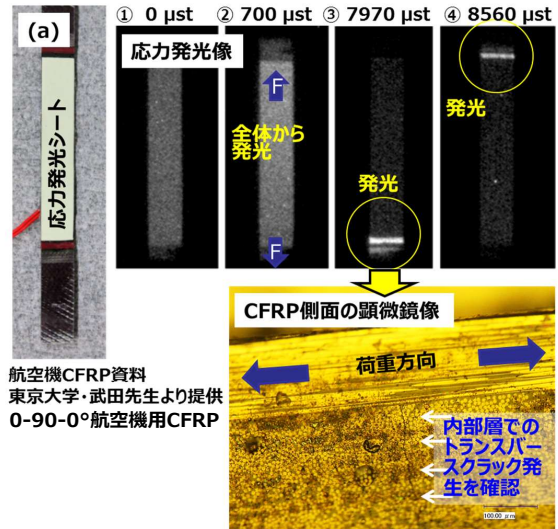
- ・初期の内部き裂発生に由来する微小ひずみ変化に対応できる応力発光塗料を新規に開発
- ・CFRPトランスバースクラックの発生を、世界で初めて発光可視化する事に成功した。

### 波及効果

・次世代航空機・自動車・高速輸送車両でのマルチマテリアル設計への波及が期待できる。

### 参考情報

- 応用物理学会で受賞（2017年） ● proceeding 1件
- ICAF2017(国際航空機疲労委員会)でJapan National Reviewに採択



航空機CFRP資料  
東京大学・武田先生より提供  
0-90-0°航空機用CFRP

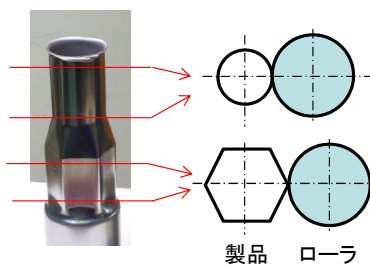
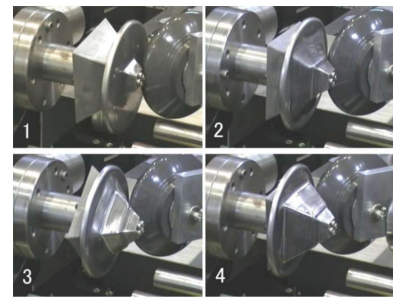
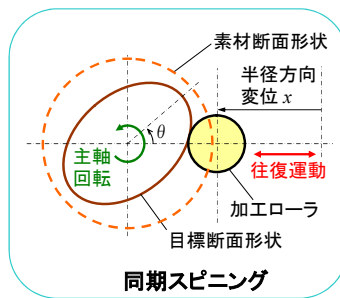
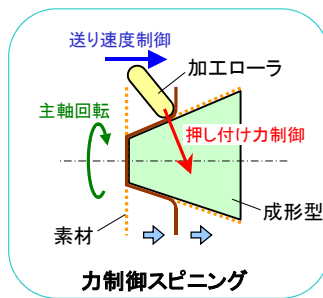
## 多品種変量生産に対応できるオンデマンドな加工技術の高度化

課題: オンサイト(顧客近傍)でのオンデマンドな加工技術の多様化が、スマート製造が一般化・普及する鍵になるが、金属3D積層造形も含めて、技術がまだまだ未成熟

# 異形状のスピニング加工

スピニング加工：板材などの塑性加工法、回転する金型にローラ工具で素材を押し付ける

- ロボット技術を応用した異形状(円形断面ではない)の成形
- 金型コストの削減と早い立ち上げ.
- 多品種少量生産や特注品に有利.

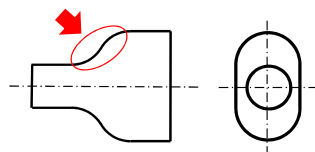
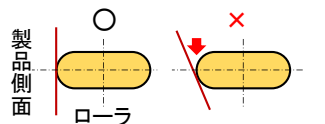


従来の異形スピニング加工

- 製品形状を代表的な断面で輪切り
- 各断面ごとに平面内で製品とローラの接触位置を計算

問題点

- 手作業による煩雑・複雑な計算
- 断面が多角形や楕円などの定型的な形状に限定
- 製品の側面が斜めの場合、ローラの丸みによる誤差



連携企業と試作トライの経験

- 設計図面 ... 断面だけでなく軸方向にも形状・寸法の指定

→ 従来の異形スピニングでは再現が困難

3Dスピニング...3D-CADデータからローラとワークの接触位置を一括計算

自動計算による作業軽減, 自由な形状の断面も可, 側面が傾斜しても誤差なし, 軸方向の形状指定も自在

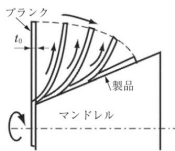
今年度成果: 3Dスピニング技術の研究開発

- ・キャッチフレーズ:  
3次元形状の金属部品を設計形状通りに成形する異形スピニング加工法を開発.
- ・簡単な背景の紹介  
成形品を輪切りにした異形断面を実現する  
2. 5次元の異形スピニングを、軸方向の形状変化を含む3次元の成形へ発展させた.
- ・得られた成果の説明(重要なポイント)  
3D-CADによるSTL形式の**形状データ**を異形スピニングのNC指令に一括変換.  
設計図面を簡便かつ忠実に再現する.
- ・今後期待できる波及効果・展開予定  
管材の成形から板材の成形にも展開.  
金属3Dプリンタが苦手とする中～大型部品のラピッドプロトタイピングもカバーできる.

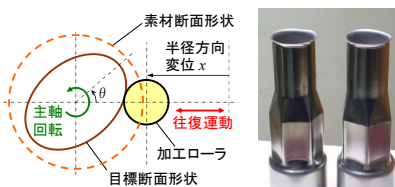


(左: 3Dモデル 右: 成形品)

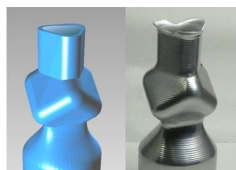
従来のスピニング加工  
円形断面のみ...2次元



異形スピニング加工  
断面形状を指定...2. 5次元

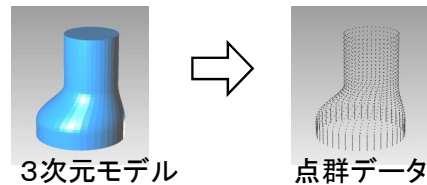


3Dスピニング...3次元  
軸方向の形状変化も自在に指定

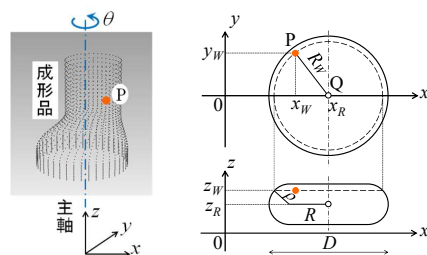


計算手法

3D-CADによるポリゴンデータ(STL形式)  
→点群データ(表面上の点のXYZ座標)に変換



ローラ工具の形状を幾何学的に考慮して  
接触位置を探索



→ 加工条件を与えて工具位置を計算

今年度成果：量産鑄造品への適用を目指した高速積層造形技術

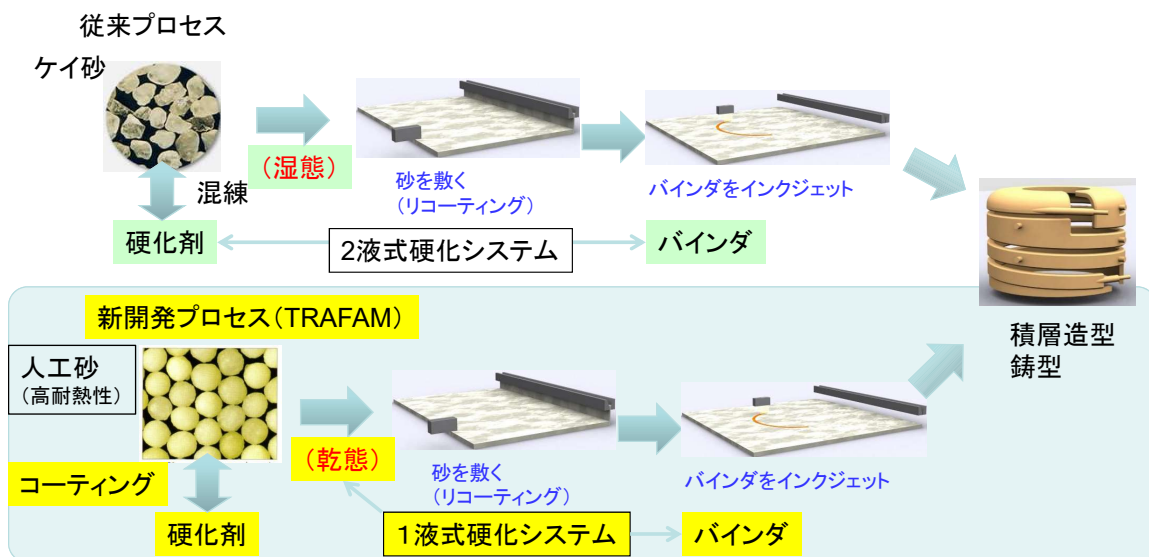
- ・キャッチフレーズ：  
世界最速の3Dプリンタを開発、自動車部品等の量産に対応する速度で鑄造用砂型を造形。
- ・簡単な背景の紹介  
材料の乾体化、高速硬化システムの開発、材料に対応した積層技術、装置の大型化により高速化を実現。
- ・得られた成果の説明(重要なポイント)  
大型積層造形装置(1.8×1×0.75m)を開発、10万cc/hの速度を達成。
- ・今後期待できる波及効果・展開予定  
来年度事業化開始予定  
迅速試作・少量生産、鑄造品の薄肉化・軽量化・高精度化・複雑形状化に効果  
自動車など輸送機器、発電、モーター、航空機、建設機械等の部材に適用して  
性能向上、省エネルギーに貢献



高速・大型積層造形装置と造形例  
(ターボチャージャー中子：  
12時間で650個を造形可能)

耐熱積層鑄型による高融点金属鑄造技術の開発

耐熱バインダ・鑄型材料プロトタイプの開発



特徴：高耐熱性、高流動性、高充填性、高強度、低バインダ量(鑄物品質向上)  
高取り出し性、高リサイクル性



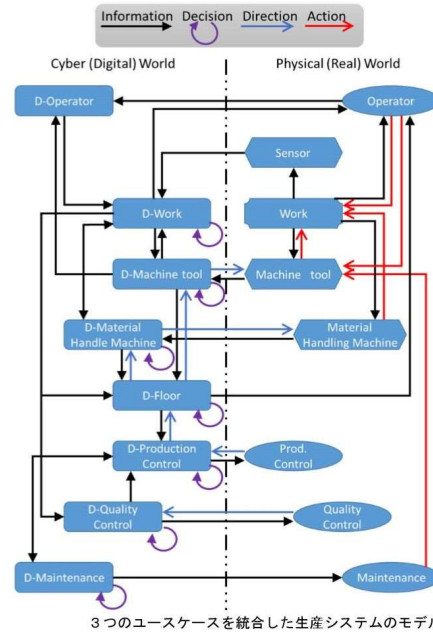
項目	TRAFAM高速開発機仕様	海外メーカ (カタログ値)
装置外観寸法	4550(7778) x 2515 x 2760mm	6900 x 3520 x 2860 mm
装置本体重量	約4000Kg	6500 kg
造形スペース	1800×1000×750mm	1800×1000×700mm
造形物最大重量	約2000Kg	約1900Kg
造形速度	約100L/h	60-85 L/h
インクジェットヘッド数	16ヘッド (ユニット交換、単品交換可)	12ヘッド?
プリンタXY分解能	127μm	100 μm
積層ピッチ	280μm	280-500 μm
電源仕様	AC200V 三相	AC400V三相
電源容量	10KVA	本体6.3 kW ヒータ10.5KW
エア圧	ドライエアー 0.7 MPa	?
入力データフォーマット	STL	STL
動作環境	温度 25℃±2℃ 湿度 40%以下 (材料仕様)	?

- ・一液式硬化システムの開発により、高速化を実現
- ・小型装置を先行して実用化、7台導入済み(内公設試2台)  
自動車部材開発、航空機部材開発等に活用中
- ・大型高速機を来年度事業化開始予定

**産業界と組んでの  
実装に向けた取り組み**

今年度成果:スマート製造の機能モデリングに関する展開

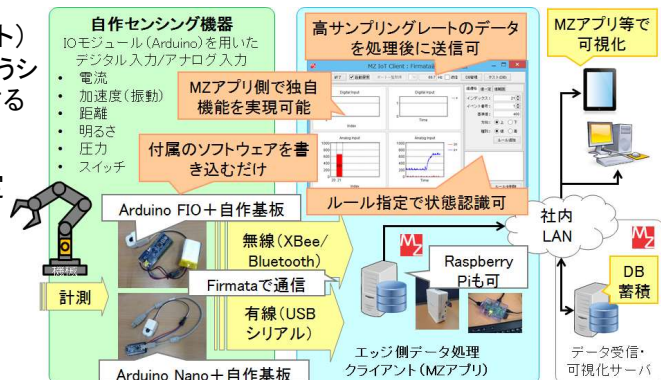
- **キャッチフレーズ**  
スマート製造で実現を期待される3つのユースケースについて**機能モデル(CPPS情報モデル)**を構築
- **背景説明**  
生産効率向上のため、生産システムを構成するすべての要素とその関係を明示した**CPPS情報モデル**が必要。同モデルでは、要素間のモノ、エネルギー(物理操作)、情報の流れが**物理空間とサイバー空間に対応**付けて明示される。
- **得られた成果の説明**  
**ロボット革命イニシアティブ(RRI)WG1「IoTによる製造ビジネス変革WG」**傘下において、**企業群と連携**して下記の3つのユースケースを実施。
  1. 稼働進捗の管理と全体最適化
  2. 品質管理
  3. 修理・予防保全・予知保全
- **今後期待できる波及効果・展開予定**  
ユースケース1, 2については、**実証プロトタイプ**を構築中。構築後、**サイバー空間でのシミュレーションと物理空間**としての生産現場の対応関係について**モデル検証**を実施予定。



出展: [https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2017/20170321\\_wg1\\_mtsw/J-RRI\\_Release\\_RRIWG1\\_IMSCpaper\\_0315a.pdf](https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2017/20170321_wg1_mtsw/J-RRI_Release_RRIWG1_IMSCpaper_0315a.pdf)

今年度成果:現場作業員活動実績の可視化(IoT化)

- **キャッチフレーズ:**  
エンドユーザ開発とIoT活用により現場作業員活動実績を可視化
- **簡単な背景の紹介**  
産業と社会に情報システムが浸透する中、従来は分離されていた**システム利用者と作成者の間の垣根を取り除く**ことによって、さらなるシステム活用を図る動きが生まれている。
- **得られた成果の説明(重要なポイント)**  
現場活動実績の自動収集と可視化を行うシステムをエンドユーザ開発によって実現するための基盤環境を構築。
- **今後期待できる波及効果・展開予定**  
ツールキットとして**国内企業へ展開**するほか、**臨海モデル工場でのデモシステム構築**を計画している。
- **海外における類似の取り組み**  
Virtual Fort Knox(独)
  - Industrie 4.0推進へ向けた製造ITサービスクラウドプラットフォーム
  - フラウンホーファーIPA主導の開発・導入・運用(エンジニアリングサービス)
  - 中小企業向けツールも整備



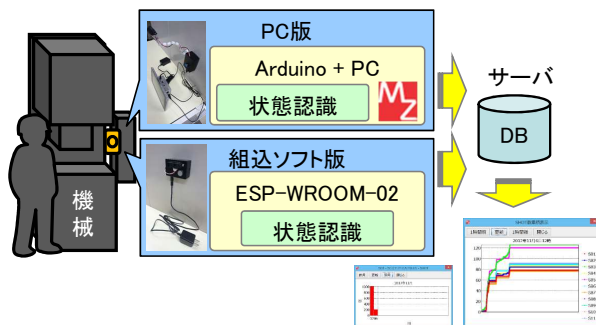
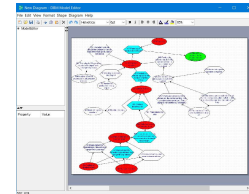
## 現場作業員活動実績の可視化システムとパラメータモデル分析による現場システムの構築 —金属プレス機稼働実績自動収集実験—

1. PC版と組込ソフト版を試作して比較実験(活動実績可視化基盤の効果的な使用方法検討)

・PC版システムで認識対象とセンサ出力の関係を十分に把握した後、運用を簡略化する必要があるればPCなしの組込ソフト版でのシステム構築に進むことができる事を確認

2. パラメータモデル作成・分析支援システムの構築

・ヒアリングにより、製造数量等に着目し、情報・データの階層を超えた紐づけ  
・KPIを取得するための間接モニタリング経路の探索

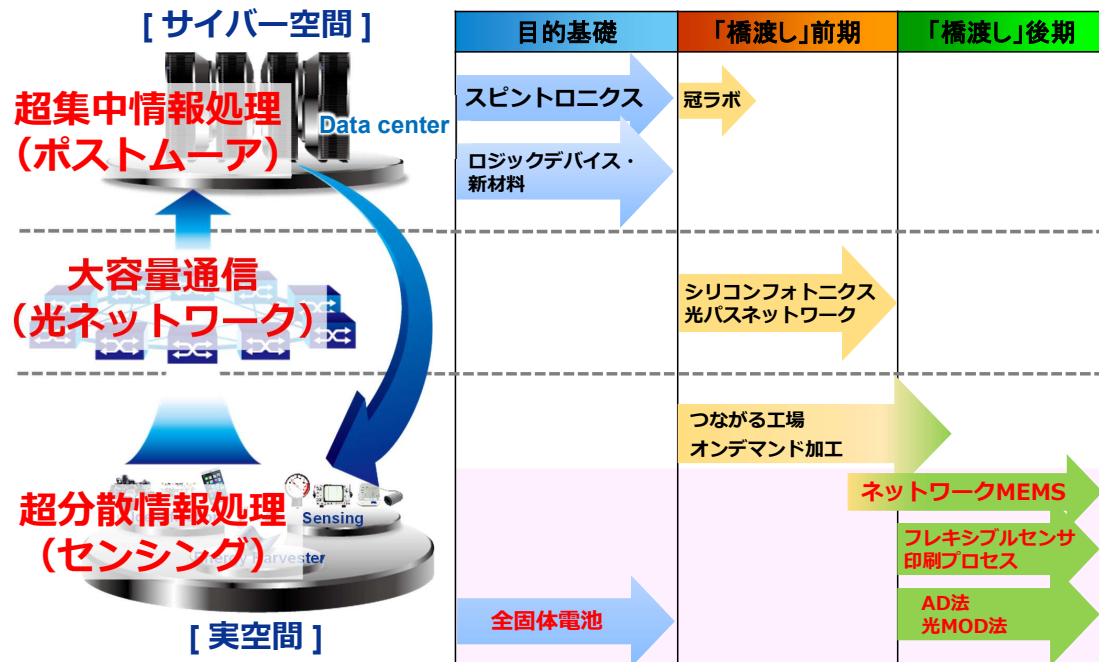


※製品写真はホームページ  
(<http://www.heart-tanaka.co.jp/>)より転載

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

平成29年度研究成果トピックス



(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

①「MEMSセンサネットによる  
人や物の健全性モニタリング」

集積マイクロシステム研究センター

センター長

廣島 洋

# MEMSセンサネットによる 人や物の健全性モニタリング

## 多数のMEMSセンサを活用する

無線化、小型化、自動化

- 配置自由度を向上(どこでも置ける)
- 配置個数制限を緩和(いくらでも置ける)
- 常時モニタリングを実現(いつでも計れる)

社会実装に向けて

- デバイスの低コスト化

将来の展開

- センサデータ処理にAIを活用

心電

「橋渡し」前期の研究開発

NEDO次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基板技術開発

極薄シリコン回路と配線形成テキスタイルによるセンシングウェアの開発

## 開発する心電ウェアの社会実装イメージ



<アウトカム> 遠隔地での心電診断や活動中の心電計測

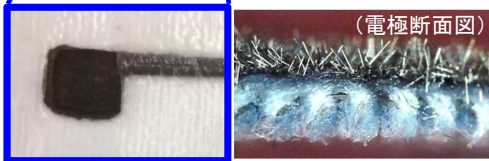
- 3D心電図を取得可能な**多誘導心電測定ウェア**
- ゲルフリーで体動の影響の少ない**起毛ドライ電極**
- ウェア上で信号増幅する**ウェア一体極薄フレキシブル増幅回路**

心電

成果 心電測定ウェアを用いた胸部18誘導心電波形を同時取得



多誘導心電測定ウェア



起毛ドライ電極 皮膚との良好な接触を実現  
特願2017-011461

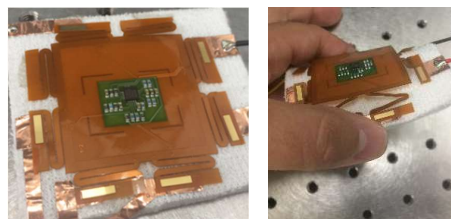


胸部18誘導心電波形を同時取得

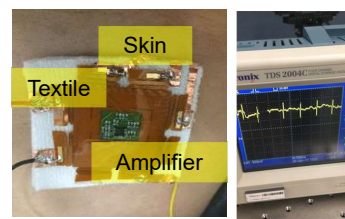
T. Takeshita et. al., Bio4Apps2017  
竹下俊弘ら. センサシンポジウム2017  
T. Takeshita et. al., ICEP-IAAP2018

心電

成果 ウェア一体極薄フレキシブル増幅回路作成のための極薄チップ作製・実装プロセスを開発



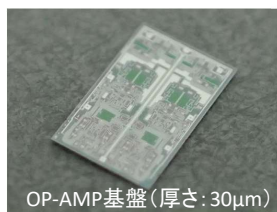
フレキシブル増幅回路(プロトタイプ)



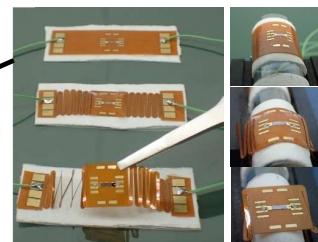
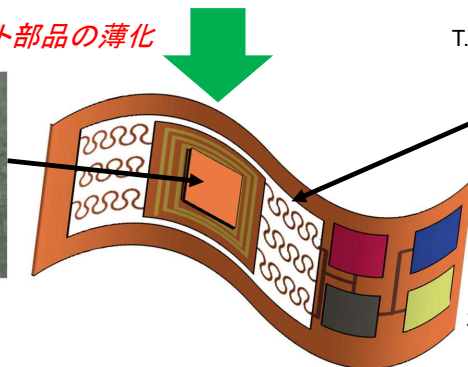
ウェア上で心電増幅

IC, ディスクリート部品の薄化

T. Kobayashi et. al., ICEP-IAAC2018



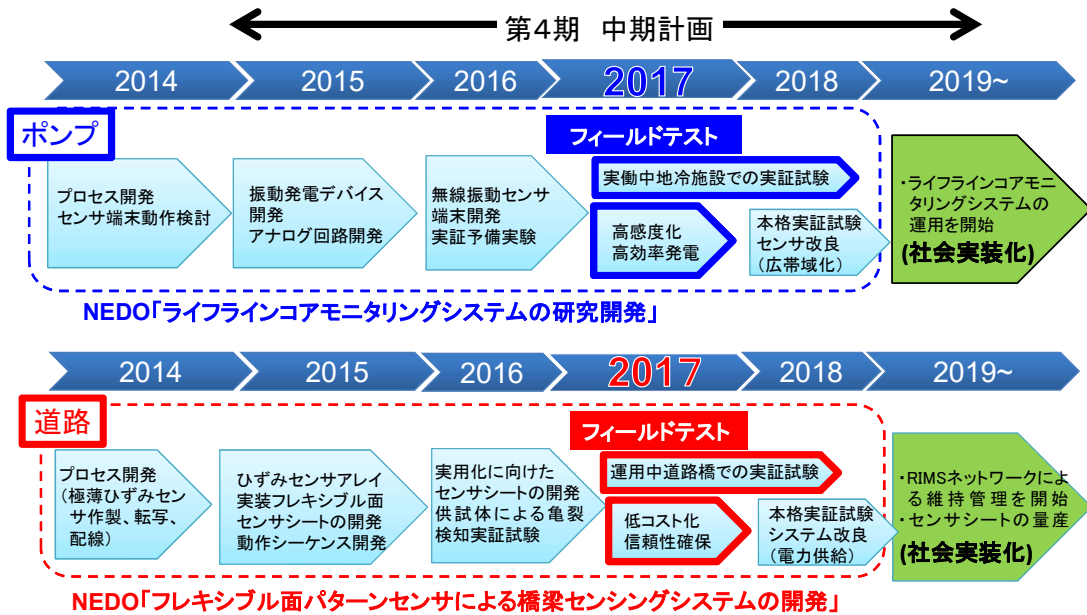
OP-AMP基盤(厚さ: 30μm)  
極薄チップ作製・加工



極薄チップの実装方法の開発  
特願2016-154163, 特願2017-149139

「橋渡し」後期の研究開発

2018年度 本格実証試験  
2019年度 社会実装化



「橋渡し」後期の研究開発

プロジェクト ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発

**目的** 公共的な施設の熱供給設備に設置されているポンプを対象とした、  
早期異常検知・メンテナンス時期予想が行えるモニタリングシステムの開発

従来の各種設備の劣化診断は、定期巡回においての保守員の経験に依存し、  
十分な品質の安定した管理が行えていない。

自動化診断システムは、オーダーメイドで建物ごとに異なる  
システム構築が必要なため、高コストで普及が進んでいない。

**手法** 振動発電を備えた自立型で小型な無線振動センサ端末を開発し、  
無線センサネットを構築することで、ポンプの常時モニタリングを実現

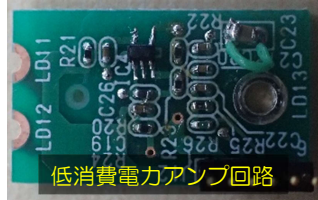
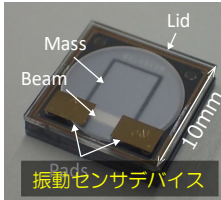
参画機関 ライフラインコア研究体

産業技術総合研究所  
(一財)マイクロマシンセンター、明星電気(株)、沖電気工業(株)、高砂熱学工業(株)  
東京大学[再委託]

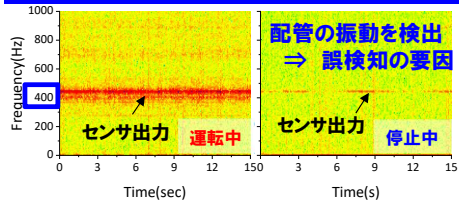
ポンプ

振動センサシステムの開発

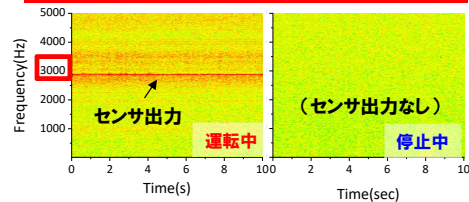
- ・ 圧電MEMSと低消費電力アンプ回路により、**低消費電力(30 μAで動作)**で**高感度(80,000 mV/g)**のセンサ端末システムを開発した。
- ・ ポンプ稼働状態を把握するためには、**周波数帯域が2~3 kHzの振動のモニタリング**が効果的なことが分かった。



0.4kHzセンサ: ポンプ停止中も出力がある



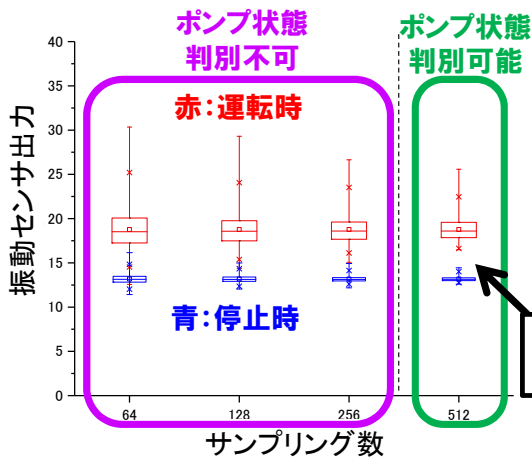
2.8kHzセンサ: ポンプ停止を正しく判定



ポンプ

端末改良

- ・ 実証実験で得られた振動センサ出力からポンプの状態監視を行うには、512回(20ms)サンプリングが適切と分かり、ソフトウェアに実装した。
- ・ 仕様を見直して部品を再選定し部品点数を削減し、合わせて端末も再設計することで、40%低背化した振動センサシステムを新規開発した。



実証実験データをソフトウェア処理した結果



**道路** 「橋渡し」後期の研究開発

**プロジェクト** 道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発

2033年には**267,000**橋が50年越え

点検には、**大勢の熟練検査員・補修員が必要**  
**定期点検は5年に1回 点検間隔の間に損傷が重度化**

**目的** 老朽化道路インフラ(50年経過道路橋)の補修コストの低減  
 橋梁の健全性を適切に評価し、低コストでの保全を図る

**手法** ひずみセンサアレイ**集積化フレキシブル面パターンセンサ**による  
 ひずみ分布測定システムによる**橋梁の常時モニタリング**

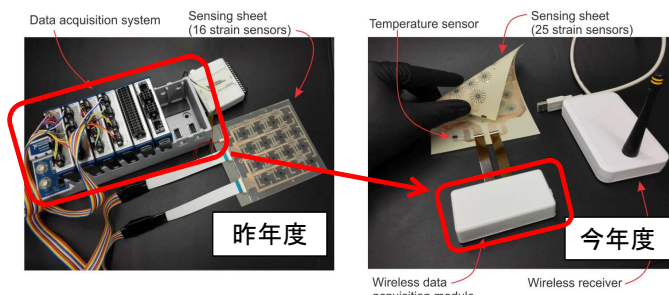
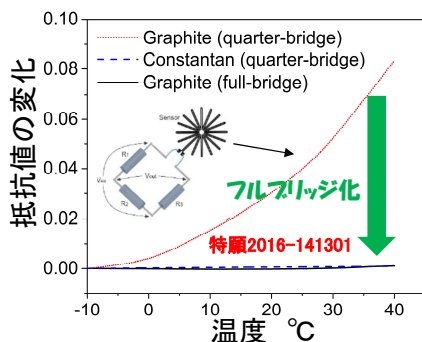
**参画機関** 技術研究組合 NMEMS技術研究機構

産業技術総合研究所、静岡大学  
 (一財)マイクロマシンセンター、(株)NTTデータ、大日本印刷(株)、(株)東芝  
 日本ガイシ(株)、富士電機(株)、三菱電機(株)、(株)リコー、(株)鷺宮製作所  
 東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)、阪神高速道路(株)  
 東京大学[再委託]、京都大学[再委託]、東京工業大学[再委託]、首都大学東京[再委託]

**道路** グラファイト印刷ひずみセンサアレイ

極薄PZT/Siは感度、温特、回路の簡易性に優れる  
 印刷グラファイトは大面積化、センサ密度、コストに優れる

	ひずみ	感度	温度依存性	センサ耐久性	システム完成度	大面積化	センサ密度	コスト
箔ひずみ(市販)	静・動	1με	△~○	○	◎	○	○	○
極薄PZT/Si	動	1με	◎	◎	○	△	△	○
印刷グラファイト	静・動	10με	△→○	?	未着手	◎	◎	◎



アンプ、送信モジュールを新規開発

昨年度:フルブリッジ構成により温度特性が実用化レベルに大幅改善  
 今年度:①アンプ・送信モジュール、受信機システムの開発、②耐久性の実証、③損傷・補修個所での実証試験

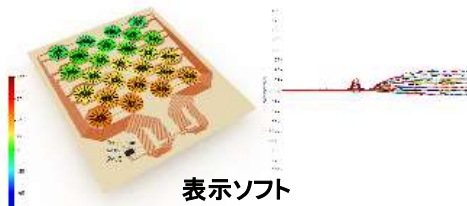
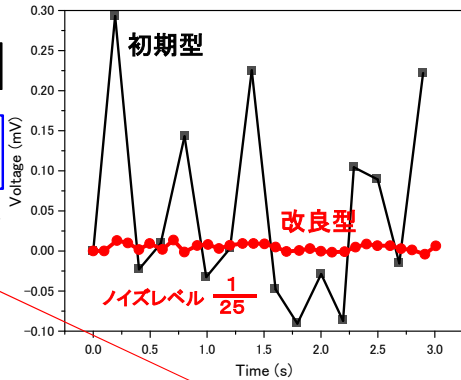
道路

アンプ・通信モジュール、受信機システムの開発

初期型アンプ・通信モジュールのノイズは歪換算で100 $\mu$ sのオーダーのため高感度の測定が行えなかった

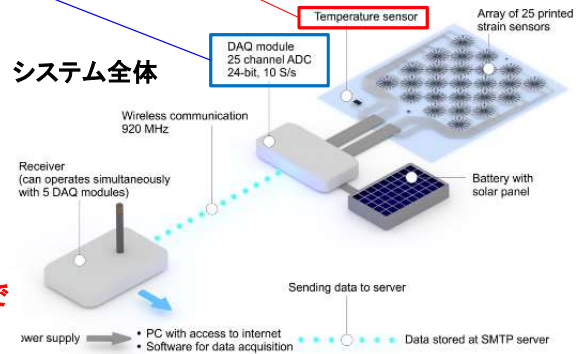
温度センサ(デジタル型)のI2Cラインからのノイズが大きく、温度センサをアナログ型に変更  
 アンプの参照電圧の不安定性がノイズの原因と分かり、参照電圧の安定化を図った

改良型にてノイズレベルを1/25に低減



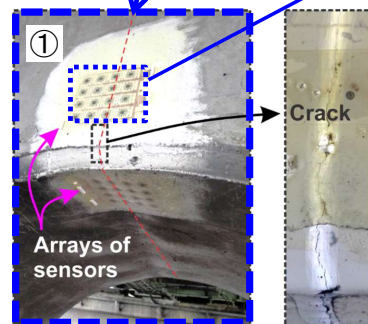
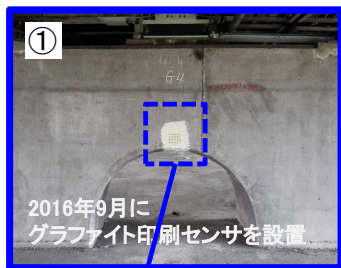
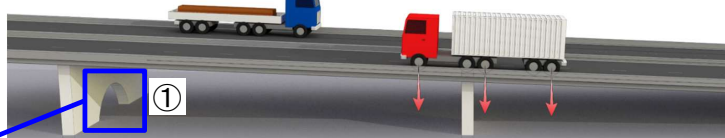
ひずみセンサアレイデータをEメールでサーバーに送信するシステムを開発

システム全体

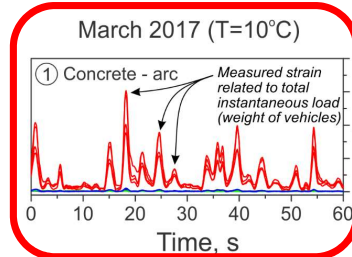
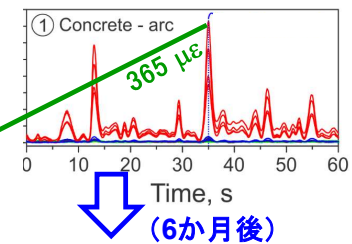
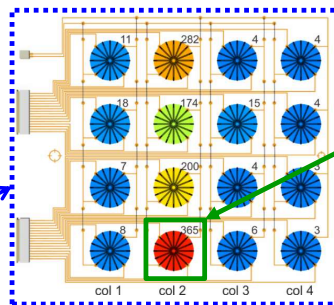


道路

耐久性の実証



亀裂上のひずみは正常比で10倍以上 September 2016 (T=30°C)



対候性保護層なしで150万台の車両が通過も感度に異常なし!

対候性保護層で数年レベルの耐久性は十分確保可能

D. Zymelka et al., Smart Mater. Struct. 26 (2017) 105040

農業

畜産牛用体内留置型多機能ルーメンセンサの開発

ニーズに対応

目標検出事象

- ・ルーメン運動異常 (1-2回/分の収縮運動)
- ・ルーメン液pH異常

目標仕様

- ・センサ: 温度、加速度、pH
- ・サイズ: φ22mm x 78mm以下
- ・連続動作時間: 2年以上

課題

- ・ **2年連続動作、校正不要**を実現可能なpHセンサの開発  
(従来のpHセンサは毎回校正が必要で寿命は数か月(参照電極内のKCl液が劣化))
- ・ 小型電池で2年間動作可能なルーメン運動モニタリング手法の開発

成果

- ・ 市販pHセンサを使用した共同研究機関への配付用 **プロトタイプセンサを試作し1ヵ月の連続動作を確認した**
- ・ 完全固体型pHセンサのpH標準液内での動作を確認した



製造

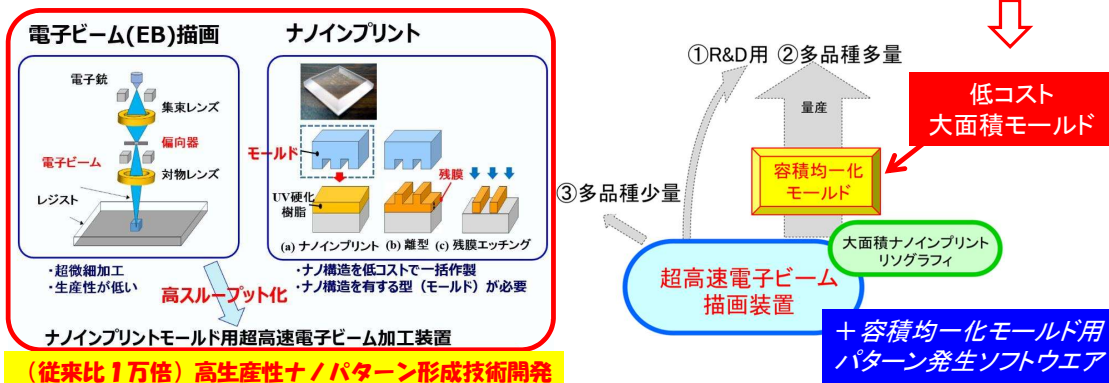
ウェハサイズ3次元ナノインプリントモールド用  
超高速電子ビーム加工装置の研究開発

シーズを展開

NEDO戦略的基盤技術高度化支援事業(プロジェクト委託型)

装置種別	装置価格 (億円)	最小加工寸法 (nm)	8インチウエハ 描画速度 (枚/日)	コストパフォーマンス (枚/年億円)
スポット型EB描画装置	1.5 ~ 3	<10	0.016	2~4
可変成形型EB描画装置	10 ~ 40	20~30	0.3	3~12
<b>(開発中)超高速EB描画装置</b>	<b>1.5 ~ 3</b>	<b>~100</b>	<b>1</b>	<b>120~240</b>

最小加工寸法を100nm程度に制限し描画速度を大幅に向上 ➡ コストパフォーマンスが劇的に向上



#### アジアを中心とした国際連携活動

##### 日中韓MEMS会議

MEMS/NEMS分野の日中韓3カ国(特に国立研究所 AIST、KITECH、中国科学院の研究者を中心)のジョイントセミナー「[第8回 JCK-MEMS/NEMS](#)」を開催  
(2017年7月13-15日、ソウル)

##### 北京理工大学との連携

「北京理工大学-産総研BioMEMSジョイントワークショップ」を開催  
(2017年4月19日、上海)

##### ホーチミン市ハイテクパークとの連携

「[第1回MEMSとセンサに関する国際ワークショップ](#)」に協力  
(2017年9月27、28日、ホーチミン、サイゴンハイテクパーク主催)

##### その他

オランダハイテクパークとの連携セミナーを開催  
(2017年、12月27、28日、アイントホーフェン)  
Shenzen Institute of Technologyとの「[第2回医用マイクロシステムワークショップ](#)」を予定  
(2018年3月予定、深圳)

#### 人材育成活動

##### ナノテクキャリアアップアライアンス (CUPAL)



イノベーション創出を牽引する**プロフェッショナル(NIP)育成事業**のMEMS分野短期型プログラムを2回実施。若手研究者・技術者の計5名がコースを受講。  
(2017.11.6-10、2017.2.5-9)



CUPAL実習風景

##### TIA連携大学院サマー・オープン・フェスティバル



**MNOIC実習講座**としてMEMSの講座と実習を行う。  
企業等から44名参加。(2016.8.25-26)

##### 所内育成制度 (イノベーションスクール等)



**産総研イノベーションスクール**  
研究基礎力育成コース：2名(早大、神大)  
リサーチアシスタント：2名(東大、早大)  
技術研修生(東大、早大、東理大、神大等)

##### JSTプログラムマネージャ(PM)育成・活躍推進プログラム



第5期科学技術基本計画の重点対象の**PM育成・活躍推進プログラム**に採択された。  
(現在、第2ステージ。)



JSTプログラム第1ステージ終了者

産業界との連携によるMEMS試作・ファウンドリサービス

先端試作拠点プラットフォームを活用した実用化製品開発を支援

4“MEMS開発ライン

後工程実装設備

評価検査設備

8-12“MEMS試作ライン

マイクロナノ製造人材育成

TIA 共用施設利用・MEMSファウンドリーサービス  
H29年度実績(～2月): 14,500 時間・台

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

②「暮らしに寄り添う  
フレキシブルプリントド技術」

フレキシブルエレクトロニクス研究センター

センター長

鎌田 俊英

内容

- (1) 課題の背景と目的
- (2) 研究開発ロードマップ
- (3) 主な成果、進捗
  - ①フレキシブルセンサ技術
  - ②高精細高生産性印刷製造技術
  - ③低損傷製造プロセス技術
  - ④シートセンサ量産化技術
- (4) 外部連携関係

課題の背景と目的

目的

**IoT社会の推進 (自由形状デバイス) :**  
 ユザビリティの高い革新的な情報端末機器の  
 開拓普及を目指した技術開発  
 → **フレキシブルデバイス開発**

**省エネ省資源プロセス (スマートマニュファクチャリング)**  
 市場要求に迅速にこたえられる革新的な省エネ省  
 資源製造プロセスの開拓普及を目指した技術開発  
 → **印刷デバイス製造技術開発**

IoT社会の推進



**フレキシブルデバイス技術**

センサ、アクチュエータ、回路、配線  
 高使用感、人間感覚適合性、非装着違和感、デザイン自由度、

**印刷デバイス製造技術**

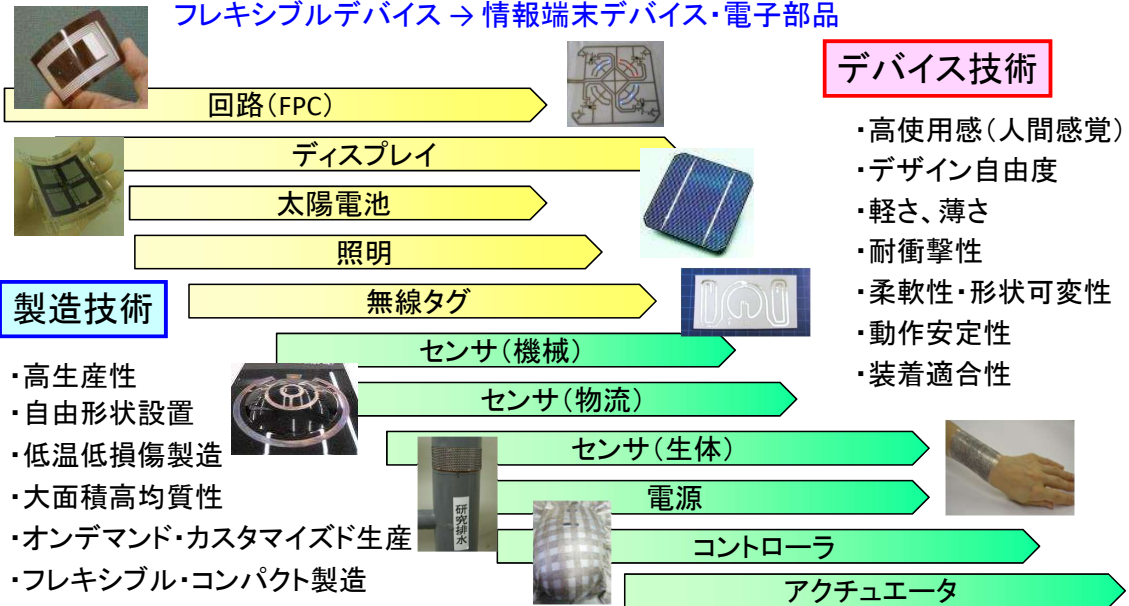
自由形状設置、高生産性、低温低損傷、大面積、高材料使用  
 効率、高精度、高精細、高速、コンパクト、レジリエント、



**IoT端末デバイスと革新的デバイス製造技術(オンデマンド変量多品種生産)の確立**

主要ターゲットデバイスと要求技術

フレキシブルデバイス → 情報端末デバイス・電子部品



デバイス技術

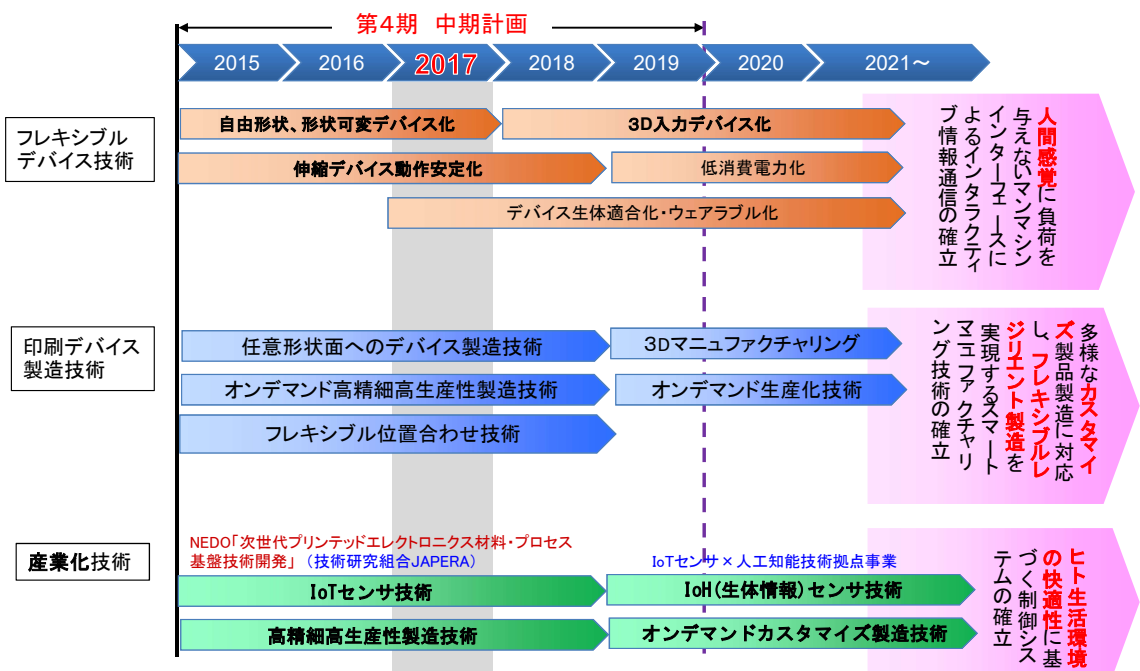
- ・高使用感(人間感覚)
- ・デザイン自由度
- ・軽さ、薄さ
- ・耐衝撃性
- ・柔軟性・形状可変性
- ・動作安定性
- ・装着適合性

製造技術

- ・高生産性
- ・自由形状設置
- ・低温低損傷製造
- ・大面積高均質性
- ・オンデマンド・カスタマイズ生産
- ・フレキシブル・コンパクト製造

橋渡し後期技術：新規製品市場化の加速、製造国際競争力強化

フレキシブルデバイス・製造技術 ロードマップ



人間感覚に負荷を  
与えないマンマシン  
インターフェースに  
よるインタラクティブ  
情報通信の確立

多様なカスタマイズ  
製品製造に対応  
し、フレキシブル  
プリント製造を  
実現するスマート  
マニュファクチャリ  
ング技術の確立

ヒト生活環境  
の快適性に基  
づく制御シス  
テムの確立

①フレキシブルセンサ技術

自由形状・形状可変フレキシブルデバイス形成要素基盤技術を開発

◆ 高安定伸縮配線技術: 伸縮させても抵抗変化がない伸縮性導体

◆ 抵抗率可変伸縮配線技術: 伸縮時の抵抗変化率が制御可能な導体

凹凸面でも密着性の高い電極技術

折り畳み化技術: 曲げ半径 (<math>< 0.1\text{mm}</math>)

耐衝撃性化技術

任意形状適合化技術

【橋渡し前期開発技術】

実用化展開に向けた技術統合

◆ トータル設計技術  
(デバイス、回路、チップ、ソフト/システム、信号処理)

◆ 高信頼性化技術  
(安定動作、低電力動作、高耐久化)

市場適合化に向けた技術整合

◆ 生産技術  
(高機能化製造、高生産性製造、量産化適合製造)

【橋渡し後期技術開発】

②高精細高生産性製造技術

簡易高精細パターニング技術を開発

産総研独自技術“スーパーナツプ法”を技術移転

企業への技術移転により電子部品生産に適用開始(量産工場建設中)

・コーティングベースの簡易な印刷法で高精細パターニングを実現

・光照射加工によるオンデマンド高精細高生産性製造の実現

(1) ↓↓↓↓↓↓ (2) (3)

大面積・高精細(線幅 <math>< 0.8\ \mu\text{m}</math>)印刷パターン形成技術 *Nature Com.* 7, 11402, (2016)

製品仕様適合化技術

量産化技術  
(パイロットライン構築)

(高信頼性、再現性、安定性等技術開発)

フレキシブルタッチパネルシートの生産に適用(量産化開始)

携帯端末タッチパネル

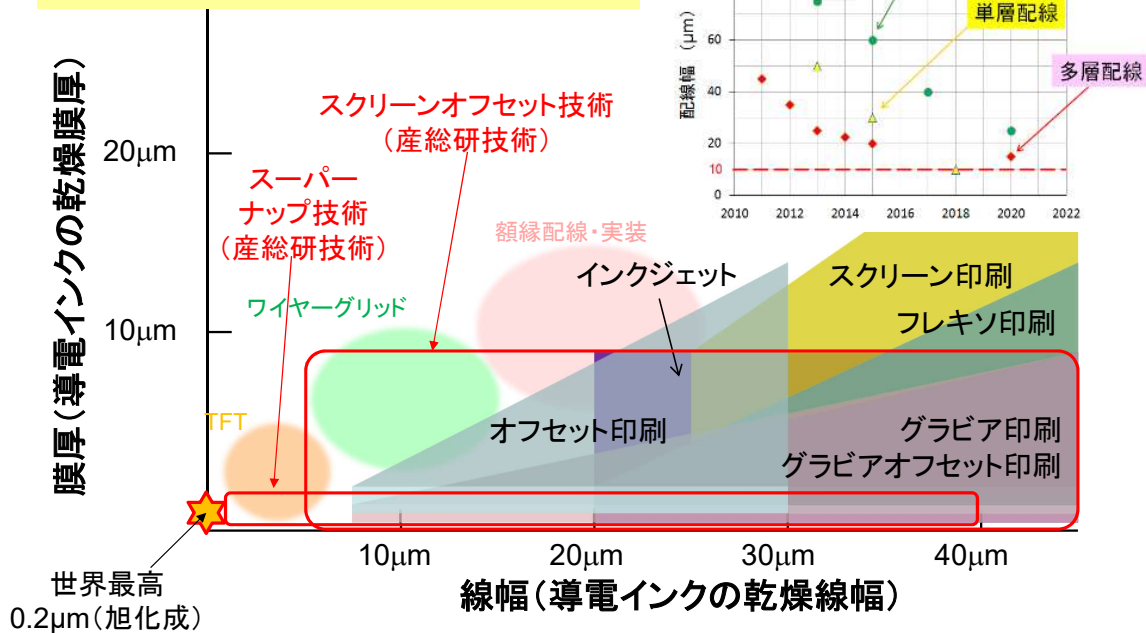
従来同等以上性能(細線幅)を、少工程数での生産を実現

ロールtoロール方式連続製造されたセンサフィルム (JSTプレス)  
(<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20171214/>)



② 高精細高生産性印刷製造技術

高生産性高精細印刷技術のベンチマーク



③ 低損傷高生産性印刷製造技術

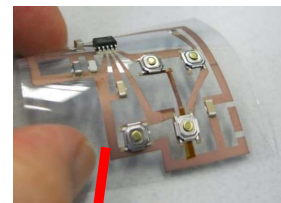
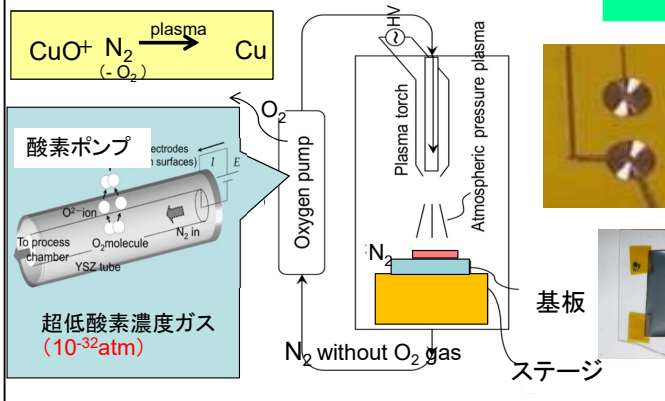
低温低損傷で汎用フィルム基板上に回路形成技術を開発

製品化技術(回路、システム、実装、高信頼性化等)の開発・橋渡しにより製品化展開

極低酸素大気圧プラズマ焼成技術 (CPS)

超低酸素濃度ガス(還元ガス)により、低温実装、低損傷印刷低抵抗配線を実現。

回路設計技術、実装技術等の開発

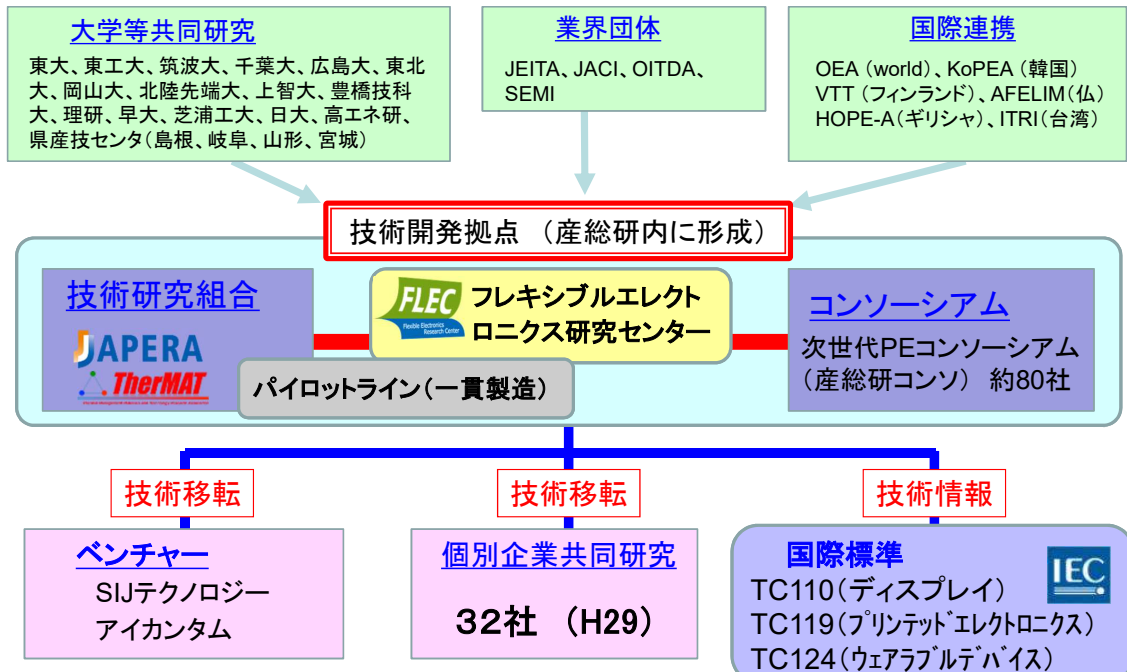


PETフィルム上へ、簡易印刷法により低損傷電子回路製造を実現 (高信頼性、再現性、安定性等)



ウェアラブル回路(ラジオ)の製品化

## 産学・国際連携：イノベーションハブ機能



## まとめ

- 伸縮性センサデバイス製造技術によりフレキシブルIoTセンサを開発。 → 製品適合化技術開発(橋渡し)により運動具、ヘルスケア具等の生体関連センサとして製品化検討へ。
- 高精細高生産性製造技術(版レスパターニング技術)を開発。 → 生産化技術開発(橋渡し)により量産ライン設置へ。
- 低損傷製造技術(CPS)を開発。 → 回路、実装等電子部品化技術を開発(橋渡し)により、ウェアラブル電子回路(ラジオ)等の製品化検討へ。
- フレキシブルシートデバイスの量産適合化技術開発によりコスト評価等生産性評価(橋渡し)。 → 量産ラインの設計へ。
- 橋渡しのための拠点事業を推進

## (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

### ③「社会で活躍する 先進コーティング技術」

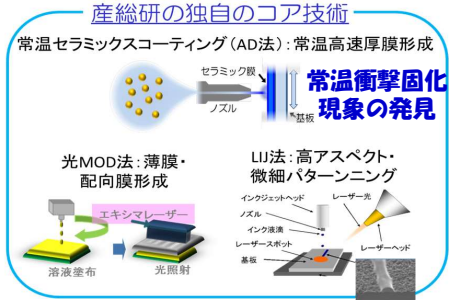
先進コーティング技術研究センター  
センター長  
明渡 純

内容:

- ・課題の概要(背景、目的)
- ・ロードマップ
- ・主な成果及び進捗
- ・国内外の研究機関に対するベンチマーク
- ・産学連携、国際連携の状況

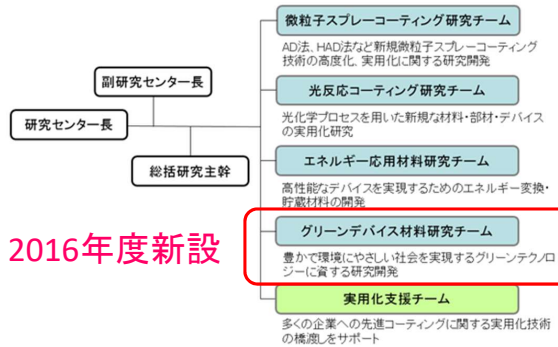
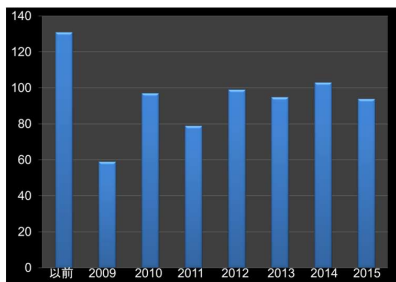
課題の概要(背景、目的)

第4期ユニット・ミッション



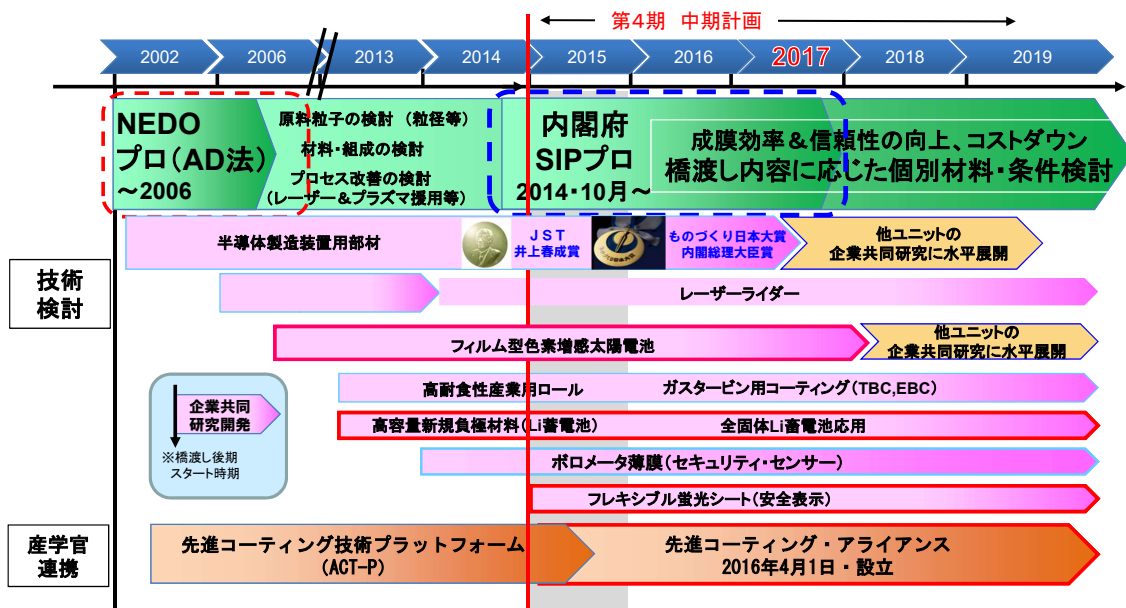
AD(エアロゾルデポジション)法や、光MOD(金属有機化合物分解)法、LIJ(レーザー援用インクジェット)法などの産総研が世界を先導する先進コーティング技術を核に、産総研の基礎研究ポテンシャルを活かし成膜メカニズム解明に基づくプロセスの高度化と、それを基にした多事業分野での民間企業への橋渡しを実現する。

AD法、光MOD法、LIJ法の技術相談件数推移



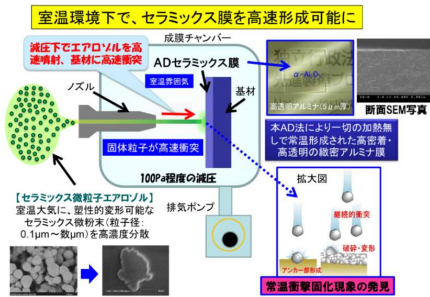
2016年度新設

AD法&光MOD法 ロードマップ



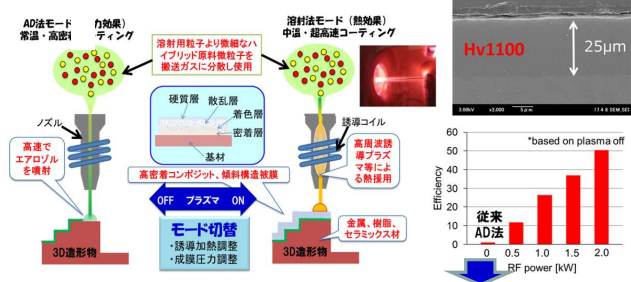
センターコア技術

①AD法(常温衝撃固化現象の発見)



②ハイブリッドAD法

成膜効率で50倍、成膜速度で38倍を達成!



②光MOD法

熱プロセスの課題: SiNと抗体反応

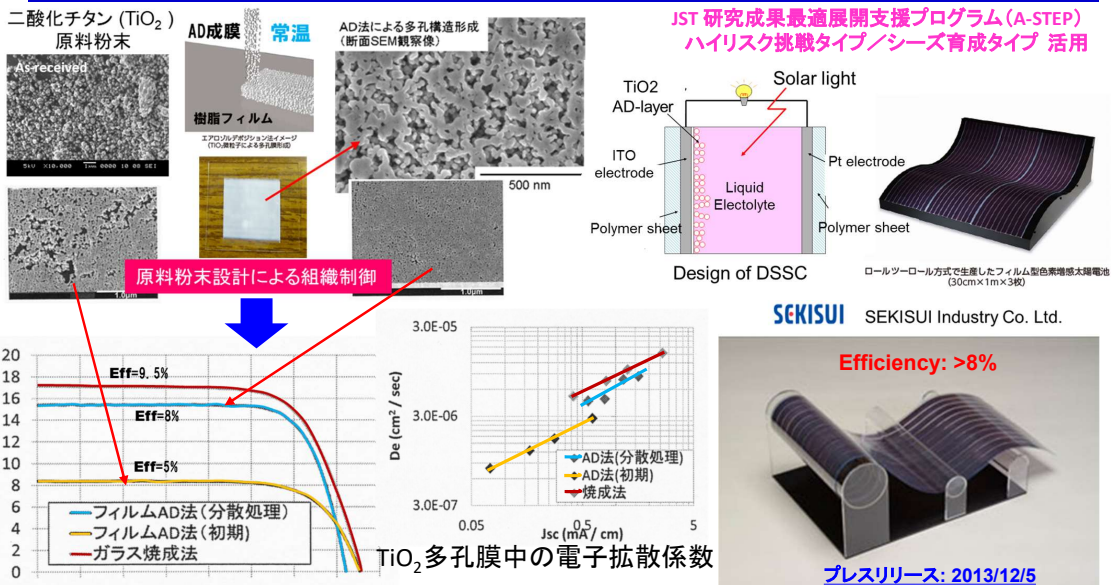
大面積・コスト削減に向けた照射システム開発  
⇒ランプ照射・多波長照射プロセスの開発



SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

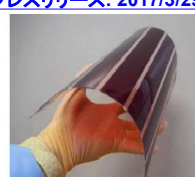
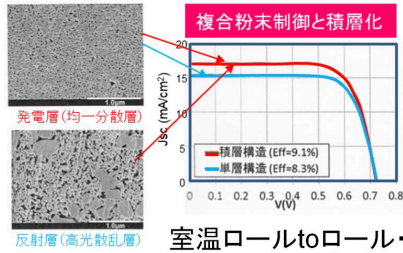


AD法の色素増感型太陽電池の応用事例(1) (共同研究先: 積水化学工業(株))



AD法の色素増感型太陽電池の応用事例(2) (共同研究先: 積水化学工業株)

https://www.sekisui.co.jp/news/2017/1302064\_29186.html  
 プレスリリース: 2017/3/29



<特長>	<おもな利点>
低照度発電 (50ルクス以下)	・陰にも設置できる (屋内、地下街など)
薄い (1mm以下)	・場所をとらない (狭小スペース活用)
軽い (ガラス1/10以下)	・持ち運びが楽 (取付フレームレス)
曲がる	・曲面に設置できる (意匠を損なわない)
貼れる (テープ加工可能)	・取付が簡単に行える (どこにも使える)

室温ロールtoロール・パイロット生産機  
 【2万㎡/年の生産能力】

独立電源型電子ペーパー広告  
 (AD法によるTiO<sub>2</sub>成膜)

プレスリリース: 2017/4/18

表面に貼り付けたフィルム型色素増感太陽電池で発電した電力で青と白を反転表示しアイキャッチ

http://www.dnp.co.jp/infosol/solution/detail/10108097\_18793.html

プレスリリース: 2017/12/1

IoTセキュリティセンサ応用

防犯 見守り

https://www.sekisui.co.jp/news/2017/1314514\_29186.html  
 http://secual-inc.com/sekisui\_dsc2017/

高輝度蓄光材料膜の開発



アライアンス企業等とのニーズ調査: バリューチェーン形成⇒**室外応用(太陽光励起)**に対応した高輝度膜が必要  
 D65:200Lux - 20分励起、停止10分後: 340mcd/m<sup>2</sup>:市販粉体材料(GLL300M)の1.7倍を開発  
 ⇒**連携企業: 事業化に向けたプレス発表(9/29)**

蛍光輝度⇒**粒径: 大、高輝度**しかし、**粒径が大きすぎるとインク沈降、均一コーティング不可**  
 高輝度コーティングには**粒径制御(最適な粒度)**が必須⇒**新規材料による高輝度化の検討**

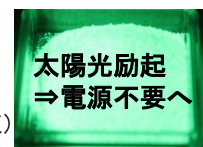


企業ニーズに対応した材料開発: **室外応用のための材料開発**

成果ポイント: 長残光化: **蓄光トラップに有効な元素ドーピング⇒高輝度にもかかわらず減衰率小⇒長残光化**

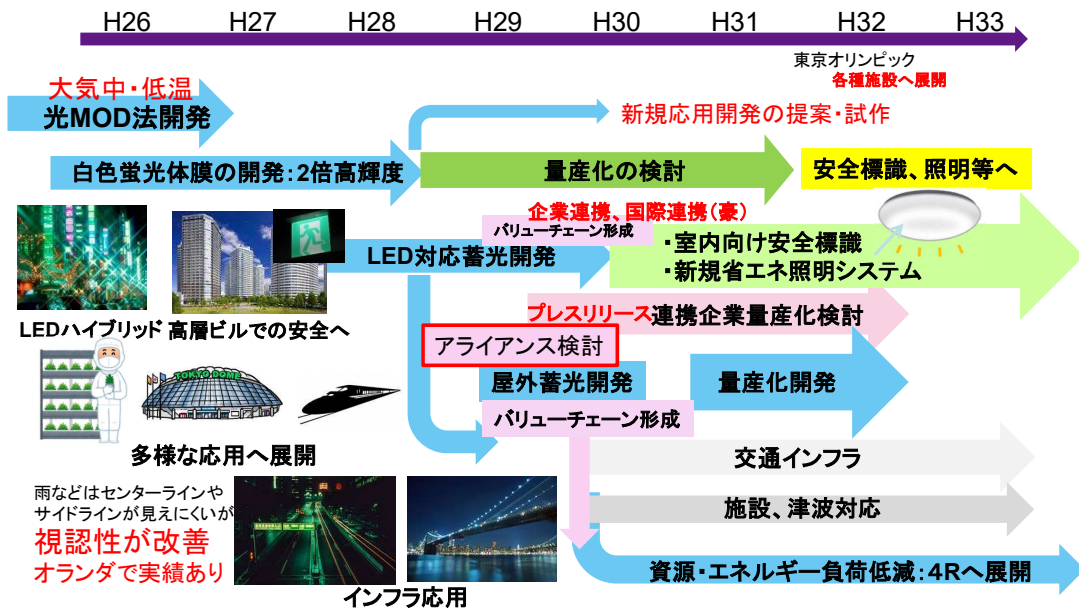
一般に高輝度=短残光時間	5分後	10分後	減衰率(5min/10min)	夜中認識可能輝度: 3mcd/m <sup>2</sup>
G-300M	350	200	1.75	⇒従来材料: 6.67h ⇒新材料: 11h(計算値)
GLL300M	400	200	2.00	
開発A(金属ドーピング)	534	316	1.69	
開発B(金属ドーピング)	578	340	1.70	

今後の課題: 材料表面コーティングなどによる高耐久化、量産化  
 ⇒**屋外施設、交通インフラ、LED、有機ELハイブリッド化へ**



蓄光粉末の発光

光MOD法を用いた蛍光体部材・デバイス応用



単結晶固体電解質を用いた全固体電池の開発(1)

(企業資金提供型共同研究)

**背景**

- ・酸化物単結晶固体電解質の開発に成功(産総研独自の材料技術)
- ・AD常温製膜技術による電極作製により常温での電池動作の確認

**今年度の成果**

- ・液系電解液並みの導電率をもつ酸化物単結晶固体電解質の企業連携による品質安定化技術・加工技術を開発
- ・電流密度30 mA/cm<sup>2</sup>でも金属リチウムのデンドライト成長が起こらない信頼性を実証
- ・AD常温製膜技術による電極複合化技術の適用により、粒界抵抗の低減が可能、必要な単セル容量の50%を達成

**IoT、医療デバイス用のAD法による全固体電池の試作**

2017年2月プレスリリース

内部短絡する電流密度の比較

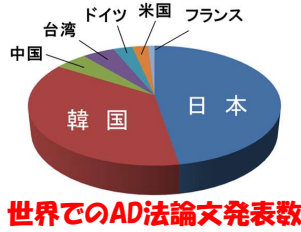
電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	電圧 (mV)
0.5	25.0
1.0	20.0
2.0	15.0
3.0	10.0
5.0	5.0
10.0	0.5
15.0	0.5
20.0	0.5
25.0	0.5
30.0	0.5

多結晶固体電解質の約100倍の30 mA/cm<sup>2</sup>でも短絡せず

3.2x10<sup>-3</sup> S/cm @ 25°C

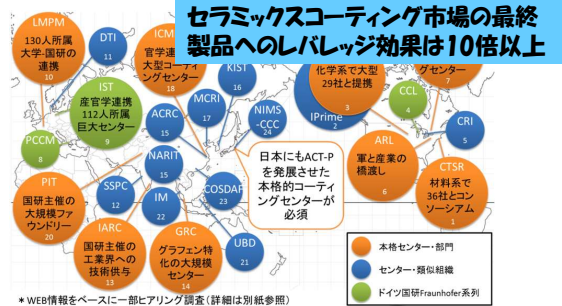
- ・関連企業への橋渡し研究を展開中
- ・将来的には、スマート補聴器やポータブル医療機器、インプラントデバイスへの応用展開が期待
- ・デンドライト成長メカニズムの解明へ展開予定

国内外の研究機関に対するベンチマーク



世界でのAD法論文発表数

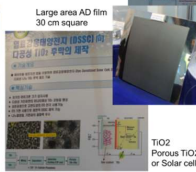
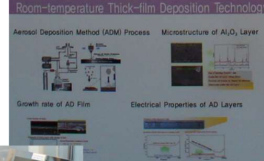
AD法の基本特許(方法、構造、装置)は、産総研が保有、世界初の事業化(TOTO)にも成功しかし、...



KETI, Korea Electronics Technology Institute



KICET, Korea Institute of Ceramic Eng. and Tech.

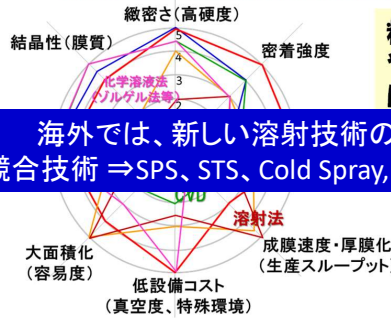


韓国でのAD法の取り組み

KIMS, Korea Institute of Materials Science

韓国・中国では、AD法の事をVacuum Cold Sprayと呼ばれることもある

AD法と従来成膜法の比較



産学連携、国際連携の状況

【連携先】：NIMS、大阪大、東工大、芝浦工大、豊橋技科大、リモージュ大、ヘルムシュミット大、ハイロイト大、ニューヨーク州立大、トロント大、アルコナ国立研究所、U. S. Naval研究所他

国際共同研究プログラム (CSIRO・オーストラリア) フレキシブル有機EL応用 ⇒ V02膜で高効率化に成功

溶射分野における国際的連携  
Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 25, Issue 8, pp 1376-1440 (Armelle Vardelle, Christian Moreau, Jun Akedo, et. al.)  
AD法も含めた国際技術ロードマップ(The 2016 Thermal Spray Roadmap)を発表

地方公設試との連携 (栃木県産業技術センター) 関東産学官連携室と連携し、栃木県モデルを構築。他2県と推進中

地方公設試との連携 (企業+産総研+四国産業技術センター) サボイン事業：係留ロープ耐久性向上)

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

CADCAL Advanced Coating Alliance

内閣府SIP「革新設計生産技術」産総研・コーティング拠点の設置

① 大手歯科部材加工機メーカー  
高速ミリング加工 (企業側独自技術) オンデマンドな義歯の提供  
ZrO<sub>2</sub>・高速3Dコーティング

② 地方の中堅企業  
国内最大の材料供給メーカー 吸湿率、密着力は製品レベルを確認  
アロフェンのパウダーレス 高効率成膜

③ 中堅樹脂材料メーカー  
AD法でアクリルコート  
ハイブリッド+応力緩和  
PPC/PET基材  
硬度、密着性  
R10R AD装置





**GADCAL 先進コーティングアライアンス**



講演会

時間	内容
13:00-13:10	開会あいさつ 経済産業省 製造産業局 及川 洋 氏
13:10-13:50	<講演1> "Protective and Functional Ceramic Coatings: An Integrated Development Strategy Through Industry-Academia Partnerships" Prof. Sanjay Sampath 米国ニューヨーク州立ストーニーブルック大学溶射研究センター
13:50-14:30	<講演2> "Current Status and Unsolved Issues on Light-Emitting Flat Panel Display Technologies" Dr. Tadahiko Hirai 慶州オーストラリア連邦科学産業研究機構
14:30-14:40	休憩
14:40-15:20	<講演3> "Plasma Technologies for Advanced Coatings" Dr. Lothar Schäfer ドイツプラズマテクノロジー研究機構(Fraunhofer IST 副所長)
15:20-15:35	休憩・パネルディスカッション準備
15:35	オープニング モデレータ: 穂原 純
15:40-16:05	日本人(株ラー)によるショートプレゼンテーション ・三菱重工航空エンジン株式会社 技術部 牛田 正樹 氏 ・トヨタ自動車株式会社 無機材料技術部 森 達太郎 氏 ・(国研) 産研 先進コーティング技術研究センター、 前TOTOファインセラミクス(株) 社長 佐佐 龍光 氏
16:05	外国人講師3名と日本人(株ラー)によるディスカッション
16:55	パネルディスカッションまとめ
17:00	閉会あいさつ

ADCALの主催で、コーティングにおける新規シーズ技術の橋渡しをテーマに、国内外の各産業分野において経験豊富な講師をお招きしてご講演いただくとともに、パネルディスカッションにより、今後我々がどのように先進的な技術を事業に結び付けて行けるか、課題と施策について議論しました。

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

**樹脂基材上へのセラミックハードコート**



各種出口イメージ



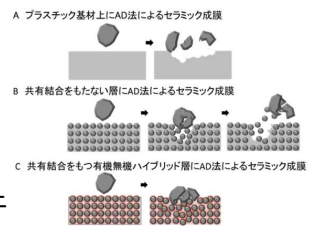
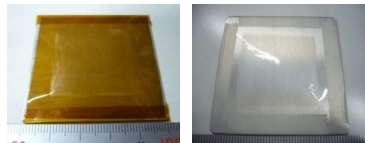
(荒川化学工業(株)との共同研究)

JST 研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) シーズ育成タイプFS 活用

😊 本年度成果 プレスリリース: 2017/6/6

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2017/pr20170616\\_2/pr20170616\\_2.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20170616_2/pr20170616_2.html)

ADアルミナ膜: 5μm厚



ポリイミドフィルム上 PETフィルム上

AD法でアルミナコート



耐傷性テスト後の写真

**荒川化学工業株式会社**  
ARAKAWA CHEMICAL INDUSTRIES, LTD.

有機無機ハイブリッド材  
荒川化学(株)独自材料

シリカ粒子径: 約5nm

シラン変性エポキシ樹脂

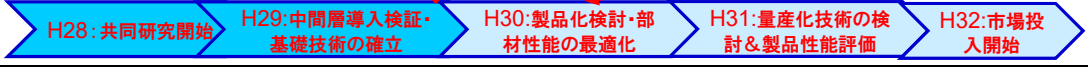
ゾル-ゲル酸化によるシリカ粒子

エポキシ架橋

シリセスキオキサン

基材	ポリカーボネート		本技術		ガラス	SUS
	市販ハイブリッドコート	有機無機ハイブリッド	本技術	本技術		
中間膜	なし	あり	あり	あり	なし	なし
AD成膜層	なし	アルミナ	アルミナ	アルミナ	アルミナ	アルミナ
透明性	優	悪	悪	良	良	-
アルコーン落下テスト*1	-	クラック、剥離、加温	クラック、剥離、加温	変化なし	変化なし	変化なし
耐擦性テスト(鋼線)*2	70-90	試験せず	20-40	2-5	0	1-5
耐擦度*3	HB	試験せず	F	4-6H	6H以上	6H以上

ユーザー企業とのアライアンス&連携開始





評価資料（年度末確定値）

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間資金獲得額	10.2 億円	11.9 億円	
民間受託研究費	8,315 万円	11,998 万円	
技術コンサルティング収入	4,008 万円	4,710 万円	
大企業の研究契約件数	137 件	147 件	
リサーチアシスタント制度に採用された人数	30 名	33 名	
産総研イノベーションスクール事業に採用された人数	7 名	7 名	

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
論文発表数	194 報	333 報	
論文被引用数	6,463 回	6,676 回	

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
公的外部資金の直接経費	35.4651 億円※	35.4761 億円	※委員会では 42.8039 億円と報告したが正しくは、「35.4651 億円」であった。
知的財産の実施契約件数	163 件	176 件	

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間資金獲得額(再掲)	10.2 億円	11.9 億円	
技術移転収入	4,325 万円	6,669 万円	
中堅・中小企業の契約件数の比率	29.7%	29.7%	

【総括表】

(一部再掲、目的基礎、「橋渡し」前期、「橋渡し」後期の重複なし)

評価指標/モニタリング指標	年度実績（確定値）	領域としての目標値
民間からの資金獲得額	11.9 億円	15.8 億円
論文の合計被引用数	6,676 回	6,800 回
論文発表数	333 報	400 報
リサーチアシスタント採用数	33 名	16 名
イノベーションスクール採用数	7 名	
知的財産の実施契約等件数	176 件	180 件



## 評価委員コメント及び評点

### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

(評価できる点)

- ・当該領域は、グローバルで一斉に投資が開始された極めて重要な分野を扱い、その分野で如何に勝ち残るかが、わが国の今後の産業競争力の命運を握るといっても過言ではない。研究開発マネジメントについては、産総研全体のマネジメントに準拠し、適切かつ着実に実行されている。
- ・技術シーズの創出から産業界との連携による事業化展開まで、我が国の中核機関としての大きな役割と成果を果たしている。特に、マーケティング力の強化や、技術コンサルティング制度、オープンイノベーションラボラトリなど、国内外の研究機関との連携ネットワークの構築、さらに研究人材育成・交流など、積極的に取り組んでいる。
- ・IMPULSE コンソーシアムや、企業のものづくりの具現化等、早い時間軸に対応するような柔軟な取り組みをはじめている。
- ・男女共同参画やダイバーシティ推進されている。
- ・時代の要請と方向性をとらえて、的確な研究目標を立てている。
- ・クロスアポイント制度を利用して、積極的に大学との連携を強めている。さらなる、連携強化を期待したい。
- ・冠ラボを立ち上げ、企業も本気、産総研側も本気で研究開発を進めている点が評価できます。
- ・研究開発には、知財対応も非常に重要であり、そのサポート体制を整えた点が評価できます。
- ・ビジョンに基づいた戦略を捉えつつ、研究テーマを設定し、最先端科学技術の研究開発を実行している。
- ・昨年の課題に対して真摯に対応し、改善を図る努力が見られる。

(改善すべき点及び助言)

- ・当該領域が対応する市場での顧客要求レベルは高く、産総研全体のマネジメントへの準拠のみでは対応不足の懸念がある。一部すでに試みもみられるが、独自の対応を特区的にでも一部試行し、市場関係者をさらに引き付ける活動を推進するべきである。
- ・オープンイノベーションの世界では、もちろん基本特許は重要であるが、特許戦略が重要となるので、日本企業が新規事業をオープンイノベーションで立ち上げられることも含めて戦略を考えていただけたらと思います。
- ・知財関連をバックアップするメンバーが2名いるとのことであるが、トップダウンで調査した内容と研究者からのボトムアップテーマの案件の比率を示しておくとも良いと思います。また、特許のライセンス契約による民間からの獲得金額なども明確にしておくとも良いと思います。
- ・若手中心につくば地区でのチームを作り、将来に向けた議論をすることは評価できるが、TIA における経験の反省をもとに若手中心に共同研究を進めることも実施いただきたい。
- ・女性研究者を増やすための施策を考え、実行しているが、外部における事例も学びながら、その意義を見出して推進していただきたい。

### 2. 「橋渡し」のための研究開発

#### (1) 「橋渡し」につながる基礎研究 (目的基礎研究)

(評価できる点)

- ・現状認識により抽出した社会課題を対象に、開発すべき技術課題を合理的かつ的確に抽出し、当該分野で影響力を及ぼすことができる顕著な成果の創出が見られる。
- ・次世代の情報処理ハードウェアのキーテクノロジーをターゲットとし、革新的な技術シーズを生み出している。
- ・将来の橋渡しの基礎だけでなく、橋渡し前期的な研究の推進を行っており、時間的にも方向性も見極めた研究テーマ設定と、推進が行われている。
- ・情報処理ハードウェアに対するデバイスロードマップの議論が応用も見据えて行われており、さらに、そのための要素技術分析も進められており素晴らしい。日本の産業界へ公開できる範囲でロードマップを公開してもらえるとインパクトが大きいのと思いました。
- ・論文の被引用数も高く、ほぼ目標を達成している。

- ・ 冠ラボを設置し、起業化を加速しているのは、評価できる。
- ・ スピントロニクスでは、材料探索、デバイス構築、新しいメカニズムの開拓等、目的を見極めた基礎研究を進めているのは素晴らしい。
- ・ ポストムーア世代に向けた情報処理ハードウェア基盤技術：Ge の膜を 10nm 以下にすることによって性能が格段に上がるということを見出したことは素晴らしいです。
- ・ ポストムーア世代に向けた情報処理ハードウェア基盤技術：若手研究者を中心としたメンバーによる、2030 年の将来像を細かく考えて図式化していることは素晴らしいです。目先の性能アップだけではなく、その研究によってどのような未来が拓くのかをイメージすることが非常に重要だと思います。
- ・ スピントロニクス素子の高性能化と新展開：東京エレクトロンの冠ラボが立ち上がったのは、素晴らしいことだと思います。半導体の装置メーカーとの共同研究は、実用化に向けた検討を加速してくれるものと期待されます。次のステージへのステップアップを楽しみにしています。
- ・ スピントロニクス素子の高性能化と新展開：Si 基板の剥離のために、ナノエレクトロニクス研究部門との共同研究を行った点は評価できる。とかく研究者は自分一人で頑張りがちですが、得意な人同士が集まって研究することで、思わぬ大きな成果に繋がることがあります。これからも横のつながりを活用して成果に繋げて下さい。
- ・ 技術的に世界の最先端を追求している。基礎研究の研究者が世界トップの成果を出し、誇りにをもって研究を進めるのは今後も継続していただきたい。また、最先端の成果をわかりやすく説明できる点も高く評価できる。

#### (改善すべき点及び助言)

- ・ 基礎的な内容といえども、少なくとも、たゆまなく変動する市場の最新動向を認識した上で、フレキシブルな運営が可能なシステムを配備すべきである。特に今回説明いただいたポストムーアのテーマでは、コスト則を重要視し、例えば、研究者が市場との対話に力を割けるような独自の運営の検討も願いたい。
- ・ 発表論文数は十分に高いレベルと考えるが、非常に高い目標が設定されているため、目標に未達なのが残念である。大学や他機関との連携のさらなる拡大に期待する。
- ・ 長期的な視点で、量子コンピューティングの研究を進めていることは高く評価したい。ただ、この分野は競争が激しいため、方向性を見極めて独自の視点を持った研究を期待したい。
- ・ ポストムーア世代に向けた情報処理ハードウェア基盤技術：10nm 以下の薄膜で性能がアップするのは、Ge 特有の性質によるものかどうか考察し、他の物質での可能性も検討して頂きたいと思います。Ge 特有であれば、至急特許を押さえる必要があると思います。知財と相談し、強い特許にして下さい。
- ・ ポストムーア世代に向けた情報処理ハードウェア基盤技術：若手の将来像をベースとして、いろいろと議論できる場の提供が必要だと思います。夢のある将来像にブラッシュアップして下さい。
- ・ スピントロニクス素子の高性能化と新展開：かなりトップを走っていることはわかりましたが、常に他のグループの動向に目を光らせておいて下さい。いつの間にか、新しい考えが生まれたり、突然に性能がアップしたりすることがあります。海外との競争も大変だと思いますが、頑張ってください。
- ・ AIST 全体で共有できるようなベンチマーク（世界トップ研究機関との比較）で、自己評価できるようにするとよい。
- ・ 産業化について、国としての戦略への貢献はしているとのことであるが、その貢献は現場からの意見も含めてもっと積極的に進めていただきたい。国の方針に、現場の意見を反映できるような工夫をしていただきたい。

## (2)「橋渡し」研究前期における研究開発

### (評価できる点)

- ・ 市場への橋渡しターゲットを定め、そこへの影響力を発揮するために、国のプロジェクト、コンソーシアムの活用など、対象市場に対応しての工夫が見られる。
- ・ 産業界のニーズと貴研究所の技術シーズの的確なマッチングによる実用化を見据えた研究テーマの設定をし、世界的に高いレベルの成果を挙げている。
- ・ 積極的に産業界と連携し、コンソーシアムの設置やオープンイノベーション拠点の構築など、産業界へ強いリーダーシップを発揮している。
- ・ 高い知的財産創出の目標をほぼ達成している。
- ・ VICTORIES 拠点初のベンチャー企業が 2 社立ち上がったことは評価したい。
- ・ 臨海モデル工場でのデモシステム構築を期待したい。

- ・光デバイスにおいては、ベンチャー企業2社を立ち上げたというのは、実績としてわかりやすいです。
- ・一般的に、研究者は研究にはのめりこむが、その実用化に対する面には消極的というイメージがあります。しかしながら、研究したものを実際に商品にしようとする意気込みが素晴らしいと思います。
- ・スマートものづくりプラットフォームについては、応力発光シートを応用して可視化した点は評価できます。
- ・多くの企業と共同で研究開発を進めている。研究としての成果は十分に上げている。

(改善すべき点及び助言)

- ・この分野においては、どこへ橋渡すかのマーケティング活動が極めて重要と考える。本分野へのマーケティング活動への配分増大も検討いただきたい。
- ・スマートモノづくりプラットフォームで、Industry 4.0をなぞるのではなく、日本の特徴を生かせるような戦略も考えていただきたい。積極的な取り組みを期待する。
- ・応力発光塗料の開発は重要な成果である。今後、センサーグループとの連携などで破壊予兆の分野でのより大きな貢献を期待したい。
- ・ベンチャーの運営に、産総研の研究者が入り込んで行うことによって、さらなる実績が期待できると思います。今後の展開も含めて、運営面はもう少し議論して進める必要があると考えます。
- ・スマートものづくりプラットフォームについて、本当に企業が求めている技術なのか？をよく考えて進めていただきたいです。企業とも議論しつつ、実用上有意義な技術開発を実施してほしいと思います。
- ・現時点では、企業サイドの要望をまとめきれていないように思います。
- ・シリコンフォトニクスアクセシビリティは、必ずしも開いていくのがよいかどうか十分にAISTとして検討していただき、その方針に沿って開くかどうかを決めていただきたい。単に研究の成果をどんどん広めるという考えに陥らないようにしていただきたい。IoT時代のスマートものづくりについては、臨海都市センターとの協力をもっと活用されることを期待する。

### (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

(評価できる点)

- ・実態として企業の研究開発部門に近い活動が見られ、より広範囲な社会適用に向けた活動も推進している。コスト意識や営業意識も含めての総合力の発揮を試みている。
- ・産総研発ベンチャーを設立し、民間からの資金獲得も着実に伸ばしている。高いレベルの技術シーズを基盤に多面的な応用へ繋げる取り組みが資金獲得において大きな成果を挙げている。
- ・MEMSセンサー、フレキシブルセンサー技術はこれからますます重要になっていくと期待される。このような時代のニーズをとらえて成果をあげているのは素晴らしい。
- ・いずれの技術も、出口イメージが明確で具体性がある非常に良かったと思います。これだけ、研究者自身が売り歩くというスタイルに対して、産総研はだいぶ変わったなという印象を受けました。
- ・橋渡し後期としての実績は大きなものになっているように感じます。金額としての実績には、これから結びつくのだろうと思われました。
- ・AD法ならではの特性が、全固体電池や色素増感太陽電池で得られているように思います。
- ・多くの企業と連携しながら、しっかり研究開発を進めてきた。苦労しながらも産業界とのコミュニケーションを大切にしながら、進めてきている。

(改善すべき点及び助言)

- ・橋渡し先が見え、マーケティング活動は終了しているとすると、値付けを含むいわゆる企業の営業的な活動が要求され、その活動の支援を検討するべきである。
- ・橋渡し後期技術の技術移転の時期の見極めは重要である。
- ・生産技術やカスタマイズへ付き合いすぎるとは、投資+人件費と回収(受託費用)のバランスを考えて対応する必要があるのではないかと
- ・産総研発ベンチャー設立をさらに進めるなど産業界の革新へつながるような取り組みを期待する。
- ・橋や道路などの老朽化による亀裂や破壊の検出に関する研究では、この領域で開発されているセンサー類は大変有効であろう。一方で、これらの問題では、放射線を利用した研究も期待されている。このような、違った観点からの研究との情報交換や協力も期待したい
- ・MEMSについて、ひずみセンサー一つとっても、産総研内にいろんな技術が存在していると思います。それらの情報交換をもっと密に行うことによって、より良い手法に仕上がっていくものと思います。
- ・フレキシブルプリンテッド技術については、いろんな展開があるとわかりましたが、今後の展開につい

ては、産総研の組織としてどのようにフォローしていくべきか、是非議論して頂きたいと思います。

- ・ AD 法は電池分野でもっと知れ渡るように PR 活動が必要と感じました。キャパも大きいので、生産性をいかに上げるかの検討を進め、今後の展開について戦略を練る必要があると思います。
- ・ 研究機関を比較するベンチマークは、橋渡し研究後期については必ず実施する必要がある。その結果をもとに、共同研究先を考えるなど、戦略的に進めていただきたい。暮らしに寄り添うという目的に合わせて、多様な研究者を含めたチーム構成が望ましい。

### 3. 領域全体の総合評価

(評価できる点)

- ・ 当該領域は、スマート化社会／Soceity5.0 実現へ向けてグローバルで一斉に投資が開始された極めて重要な分野を扱い、その分野で如何に勝ち残るかが、わが国の今後の産業競争力の命運を握るといっても過言ではない。その事実を十二分に認識した上で、大手企業の研究開発部門に匹敵する構造を備えた産総研全体のマネジメントに準拠し、領域としての確かつ適切なマネジメントが施されており安定感もある。さらに社会実装の拡大に向けて、研究者自らのマーケティング活動や営業活動も行われており、精力的な活動が展開されている。
- ・ 第4期でめざす産総研の役割である、社会ニーズに応える革新的な技術シーズの橋渡しについて戦略に対応している。人材ハブ機能、技術プラットフォーム機能、オープンイノベーション拠点機能など、重要な役割を果たしている。
- ・ 報告いただいた研究では、素晴らしい成果を挙げている。
- ・ 当該領域の研究は、世界のトップを走っていることがよくわかった。トップを走っているからこそ、より一層の国内外の大学、企業とのコミュニケーション、共同研究を期待したい。
- ・ 各研究者が民間資金獲得に非常に意欲的で、言い訳をせずに、いかに向上させるか工夫している様子が伺え、それぞれの意識の高さに感服しました。
- ・ 研究に真摯に向き合い、課題解決に努力できる人は、ビジネスセンスもあるということがわかりました。
- ・ 性能アップだけに目が向いている訳ではなく、製造の観点で生産性の向上やコスト意識もあり、産総研の研究者の変化に驚いています。
- ・ 運営費交付金が減少する中、社会のニーズに応える努力をし、研究開発を進めている。実際に、毎年大きな研究の進捗が確認され、着実に前進している。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 当該領域の対応市場に対して、短・中・長期的に影響力を行使し、わが国の産業競争力の強化に寄与するためには、最新の市場情報の把握や機動力の発揮が極めて重要であるが、改善の余地が見られ、企業資金が目標以上に確保できない現状にも表れている。一部の最適箇所を選定した試みで良いので、市場での営業力を整備するとともに、顧客ニーズに敏速に対応できる最新の軽快・柔軟な体制を備え、場合によっては産総研内で例外的な運営の試行の許可も得て、現場の力をより社会的価値に結実させることをご推奨したい。
- ・ 個々の成果は素晴らしいと思います。あとは、いかに外部へ PR し、新たな社会を目指してどのように展開すべきか、ビジネスとしての議論がもっと必要と感じました。戦略を明確にしてほしいと思います。
- ・ 領域内の組織間の交流がもっとあっても良いと感じました。個人レベルでの交流には限界があるので、敢えて積極的に組織の壁を越えた議論ができる場を作って欲しいと思います。
- ・ 大きな研究開発の成果を日本の産業の力になるよう、経営陣のリーダーシップのもと、さらに進めていただきたい。
- ・ 若手の育成はさらに工夫を検討いただきたい。単一の人材を目指すのではない時代に合わせて、メンタリングなどは是非積極的に進め、また、将来の世界のリーダーを育成するための長期的施策も検討いただきたい。
- ・ ダイバーシティの推進は、その効果を共有しながら負担にならないように、研究開発の成果を出すために効果的に進めることが望ましい。



#### 4. 評点一覧

評価委員 (P, Q, R, S, T) による評価

評価項目	P	Q	R	S	T
領域の概要と研究開発マネジメント	A	S	A	S/A	A
「橋渡し」のための研究開発					
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	A	S	S	S/A	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S	A	A/B	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	A	S/A	A	S/A	S/A
領域全体の総合評価	A	S	S/A	S/A	S/A

#### 5. その他のコメント

- ・実績のある研究機関は、そこを活用するメリットが明確であり、その強みの強化に対しての投資も行われている。技術力があることは基本要素であるため、それに加えて、特に海外の研究機関との差別化要素の工夫が必要である。
- ・女性の視点、外国人の視点など、そのような研究説明があっても良いように思いました。敢えてそれを意識したグループ構成も検討してみてもいかがでしょうか？
- ・産総研の組織の平均年齢は、何歳くらいでしょうか？少し平均年齢が高いようなイメージを受けます。若手にチャンスを与える工夫をして下さい。海外経験も重要と思いますので、安心して海外で過ごすことのできる環境作りを期待します。



**平成 29年度 研究評価委員会（エレクトロニクス・製造領域） 評価報告書**

平成30年6月19日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 評価部

〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 中央第1

つくば中央1-2棟

電話 029-862-6096

<http://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。



AIST16-X00005-3