

研究拠点形成事業（A. 先端拠点形成型）
最終年度 実施報告書（平成25年度採択課題）

（※本報告書は、前年度までの実施報告書とともに事後評価資料として使用します。）

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	大阪大学
(ドイツ)拠点機関：	マックスプランク
(ベルギー)拠点機関：	imec
(英国)拠点機関：	オックスフォード大学
(米国)拠点機関：	パデュー大学
(ノルウェー)拠点機関：	ノルウェー科学技術大学
(フランス)拠点機関：	パリ南大学

2. 研究交流課題名

(和文)：健康と安心安全を支援する高度センシング技術開発に関する国際研究拠点形成

(交流分野：ナノ・マイクロ科学)

(英文)：International Research Collaboration Network for Developing Highly Functional Sensing Devices for Health, Safety and Security

(交流分野：nano・micro science)

研究交流課題に係るホームページ：

http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/kikaku/mission/S-CtC_Project/Welcome.html

3. 採用期間

平成25年4月1日～平成30年3月31日

(5年度目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関：大阪大学

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：学長・西尾章治郎

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：産業科学研究所・教授・松本和彦

協力機関：北海道大学電子科学研究所、東北大学多元物質科学研究所、

東京工業大学科学技術創成研究院化学生命科学研究所、

九州大学先端物質化学研究所、東京大学大学院新領域創成研究科

事務組織：大阪大学 国際部国際企画課

相手国側実施組織（拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。）

(1) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) Max Planck Institute

(和文) マックスプランク

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：(英文) Mainz Laboratory・director・

Paul BLOM

協力機関：(英文) University of Groningen

(和文) グローニンゲン大学

経費負担区分 (A型)：パターン1

(2) 国名：ベルギー

拠点機関：(英文) imec (Interuniversity Microelectronics Centre)

(和文) imec(国際研究機関)

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：(英文) imec (Interuniversity Microelectronics Centre)・CTO& senior vice president・Jo DE BOECK

協力機関：(英文) Holst Centre

(和文) ホルストセンター

協力機関：(英文) Delft University of Technology

(和文) デルフト工科大学

協力機関：(英文) KU Leuven

(和文) ルーベンカトリック大学

経費負担区分 (A型)：パターン1

(3) 国名：英国

拠点機関：(英文) University of Oxford

(和文) オックスフォード大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：(英文) Department of Physics・

Associate Professor (Director of the Oxford Martin Programme on Nanotechnology)・Sonia CONTERA

経費負担区分 (A型)：パターン1

(4) 国名：米国

拠点機関：(英文) Purdue University

(和文) パデュー大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：(英文) Electrical and Computer Engineering・

Professor・David JANES

協力機関：(英文) Drexel University

(和文) ドレクセル大学

協力機関：(英文) University of Washington

(和文) ワシントン大学

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(5) 国名：ノルウェー

拠点機関：(英文) Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

(和文) ノルウェー科学技術大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Dept. Structural Engineering・
Professor・Zhiliang ZHANG

協力機関：(英文) Aalto University

(和文) アルト大学

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(6) 国名：フランス

拠点機関：(英文) University of Paris-Sud

(和文) パリ南大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Institut de chimie moléculaire et des
matériaux d'Orsay・Professor・Giang VO-THANH

協力機関：(英文) University de Bourgogne

(和文) ブルゴーニュ大学

協力機関：(英文) Pierre and Marie Curie University

(和文) ピエール・マリー・キュリー大学 (パリ第 6 大学)

協力機関：(英文) University of Rennes 1

(和文) レンヌ第 1 大学

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

5. 研究交流目標

5-1. 平成 29 年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

本事業は、阪大産研と 6 つの欧米主要拠点 (英国、ドイツ、ベルギー、フランス、ノルウェー、米国)、ならびに、それらと連携するいくつかの連携研究機関から成り立つ。3 年目となる 27 年度は、当プログラムでのセンシングデバイスの方向を、特にフレキシブル・バイオ・脳波センシングデバイスに絞り込み、それと高度情報処理技術を関係させた国際連携・若手派遣研究交流を展開した。7 拠点と協力機関の共同研究内容を整備したうえで、個々の共同研究グループでの研究の特徴を一層鮮明にし、①フレキシブルセンシングデバイス、②バイオセンシング、③センシング高度情報処理、の 3 方向でのグループ間連携研究を強化することとした。28 年度からは、27 年度に実施された「中間評価」でのコメントに従い、グループ間連携を強化した国際連携研究を一層推進させ、フレキシブル・バイオ・脳波センシングデバイスと高度情報処理技術の融合による新規デバイスの

実現に向けた研究を推進した。28年度には、研究協力体制をより強固にする目的で、12月に大阪で開催した国際シンポジウムでは、グループ研究発表を前面に出し①、②、③のグループ研究成果を公表するとともに今後の方向性を協議し、今後のグループ研究をより戦略的・目的志向型のものに変えるべく努力した。また、ネットワーキングに関しては、スタッフ同士の機関相互訪問などをほとんどの海外拠点一産研間で実施し、ネットワークの強化に努めた。

29年度は最終年度に当たり「フレキシブル・バイオ・脳波センシングデバイスと高度情報処理技術の融合による新規デバイスの実現」が問われ、あわせて、国際連携研究の学術的成果発表・論文作成等が問われる。これらの成果は28年度から生まれつつあるが、最終年度ではさらに一段高い成果に向かって連携研究を加速させ、当分野での日米欧の当国際研究協力体制を盤石なものとする。

<学術的観点>

健康・安心安全のためのソフトマテリアル・センシングデバイス創生・高度センシング技術開発を標榜する本プログラム計画を達成させるため、平成25、25年度には海外拠点共同研究機関ならびに協力研究機関と連携し、この研究計画の要素的・基盤的研究である(a)バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発基礎研究、(b)機能性ソフトマテリアルのデバイス化およびセンサー化研究、および、(c)多様なセンシング情報に基づく情報処理研究を実施してきた。これらの研究はいずれも、学術的にもそれぞれの分野で開拓的な最先端の研究であり、この2年間の研究により、それぞれの分野における発展可能な方向と困難な方向の区分けがほぼ終了したと言える。27年度は、過去2年間の要素的・基盤的研究結果を基にし、全体の研究方向を特にフレキシブル・バイオ・脳波センシングデバイスの創製に絞り込み、それと高度情報処理技術を融合させた国際連携研究を展開することとし、①フレキシブルセンシングデバイス、②バイオセンシング、③センシング高度情報処理の3テーマのもとに各共同研究グループの研究を展開し、当事業の目標を目指すこととした。27年度夏には「中間評価」が実施され、当事業の新規性および共同研究に対しては一定の好評価を得たが、当事業の目標であるソフトマテリアル・デバイス創製の実現に向かっては、一層のグループ関連連携研究が必要である点が指摘されている。28年度の当事業の研究では、上記①、②、③の3つの研究テーマのもと、中間評価での指摘に沿って、事業目標への結実に向けての共同研究グループR1～R9間の一層の連携研究を展開した。

①フレキシブルセンシングデバイス（共同研究グループ：R1, R2, R5）

- ・フレキシブル有機半導体デバイス技術の開発研究
- ・フレキシブル・ストレッチャブルデバイス回路技術、ナノ配線の開発研究

②バイオセンシング（共同研究グループ：R3, R4, R6）

- ・バイオ関連センシングデバイスの開発研究
- ・バイオセンサー開発研究

③センシング高度情報処理（共同研究グループ：R7, R8, R9）

- ・フレキシブル脳波センシング対応情報処理技術の開発研究
- ・センシングに関するデータベース構築と医療診断への応用研究
- ・高感度・環境センシングによる安全安心高度情報処理技術開発

これらの連携研究の具体的方向として、28年度には、(a) ウェアラブル心電図センサ、マイクロ流路センサおよびデバイス実装技術開発、グラフェン基板バイオセンサー技術開発、(b) フレキシブル・電位測定デバイスによる脳波センシング、(c) ウェアラブル・ストレッチャブル超高感度圧力センシングデバイス創製、メモリアクセス可能な集積回路デバイスの開発、(c) モバイル・ウェアラブル端末による高速、高精度な画像データ解析技術、精神・身体状態の診断、安心安全のための高度人物画像認識技術開発など、センシングデバイス創製研究、高度情報処理研究で成果を挙げて来ている。

なお、グラフェン基板バイオセンサーを応用したインフルエンザウイルス検出デバイス、および最新の乾式ポリマー電極を装着した脳波ヘッドセット(ヘッドホン付き脳波計)などのプロトタイプ共同開発が最終年度を待つまでもなく27年度末、28年度後半にすでに実現されており、いずれもプレスリリースを行っている。最終年度の29年度はこれら以外の機能を持つセンシングデバイスに高度情報機能を備えた新規デバイスのプロトタイプ創製に向けて更に共同研究を実施し、当国際連携研究を完成させる。

<若手研究者育成>

27年度の海外若手派遣については、当事業研究テーマに沿った研究成果を挙げる必要性から、派遣期間は25,26年度での標準1か月派遣を改め、2か月派遣(1名)、3か月派遣(1名)も組み入れた。派遣人数として従来とほぼ同数の12名となった。一方、欧米各拠点研究機関からも日本への9名の若手研究者を受け入れた(1日~10日間滞在)。また若手研究者(准教授、助教)による連携共同研究のため、若手研究者(助教、准教授)6名が海外拠点機関、協力機関を訪問した。

28年度も27年度の派遣方針を継続し若手研究者育成を目指した研究交流活動を実施した。また、国際セミナー(ブルゴーニュ、大阪)では、若手研究者の積極的な参加による活発な研究成果発表などを実現した。中間評価での指摘に従って、若手研究者の海外派遣期間の延長や、国際セミナー参加への支援、アジア留学生の海外派遣など、29年度も更に積極的に進めて行く予定である。

<その他(社会貢献や独自の目的等)>

本事業のもとで、ソフトマテリアル・センシングデバイスを創生し、さらに先端情報処理技術を導入することによって、医療や安全生活上有用なウェアラブルな高度センシングデバイスを創製することが可能となる。このような開発研究によって、人類が安全・安心のもとに生活できる健康管理環境や生活環境を作り出すことができる(社会貢献)。このような技術開発は、単発的な研究から生まれるものではなく、そのような方向性を持った融合国際研究コンソーシアム形成とその組織内での活発な共同研究・情報交換により初めてスピード感をもって達成できるものである。本事業はそのようなタイプのグローバル研究の先端を走る事業であり、合わせてグローバル若手人材の育成に寄与できる事業である。

本事業での医療・安心安全指向のソフトマテリアル・センシングデバイス創製研究は、医療関係者の評価を得て、この研究内容をベースとした文科省・革新的イノベーション創出プログラム(COISTREAM)の大阪大学拠点が誕生している(2014秋)。その研究チームリーダーには、当事業代表の松本和彦教授が就任し、当COI研究を牽引しつつある。

5-2. 全期間を通じた研究交流目標

本研究交流計画では、大阪大学産業科学研究所（以下、産研と記述）を拠点本部とした日欧米研究拠点を形成し、次世代の健康と安心安全を支援する人に優しい高度センシング技術の開発に向けた国際連携研究を行う。内容としては、ソフトマテリアル・デバイス技術と高度情報処理技術とを融合させた、高度センシング技術開発の国際連携研究を実施し、合わせて、本国際研究拠点活動を通じてのグローバル若手人材育成を図る。具体的には、高度センシング技術開発に向け、(1)バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発基礎研究、(2)機能性ソフトマテリアルのデバイス化およびセンサー化研究、(3)多様なセンシング情報に基づく情報処理研究、に関する融合共同研究を、海外研究拠点および、海外、国内連携研究機関との緊密な連携のもとに展開する。

海外研究拠点としては、我が国の産研および国内連携研究機関の研究と相補的で、かつ優れた関連研究を実施しているマックスプランク研究所、imec、パデュー大学、オックスフォード大学、ノルウェー科学技術大学、パリ南大学を選定し、これらの海外拠点機関と連携関係にある周辺の研究機関にも協力を依頼する。また、国内連携研究機関としては、産研と従来から連携関係にある東北大学多元物質科学研究所、九州大学先導物質化学研究所ならびに東京大学大学院新領域創成研究科を選定し、ソフトナノマテリアル分野、情報分野の協力研究体制を敷く。このような、海外、国内研究交流体制のもとで共同研究を実施し、定期的セミナー開催による情報の交換・共有、情報発信ならびに、若手研究者育成を推し進め、将来を見据えたこの分野での教育・研究国際ネットワーク化を図る。

目標に対する達成度とその理由

- 研究交流目標は十分に達成された
- 研究交流目標は概ね達成された
- 研究交流目標はある程度達成された
- 研究交流目標はほとんど達成されなかった

【理由】

(1)本拠点形成事業では、バイオセンシング、ソフトマテリアル・センシングデバイス、高度情報処理の分野で優れた海外研究拠点とのネットワーキングの強化を目指した。5年間で総数44名の産研若手研究者(大学院生、助教、准教授)の海外拠点機関、協力機関への研究派遣(約1~3か月)が行われ、海外拠点からは総数12名の共同研究者受け入れを実施し、9研究グループ(R1~R9)全てで活発な交流研究が進められ、後述するように当事業目標に沿った多くの研究成果が得られている。また、拠点間の連携を目的とした各種セミナーも活発に実施され、ネットワーキングに大きく貢献した。拠点間連携全体セミナーは、平成25年にベルギー・ルーベン、27年にオランダ・アイントホーヘン、29年に再度ベルギー・ルーベンで、また平成26年と28年に大阪にて開催され、海外拠点・海外協力機関、産研・国内協力機関から、常に70~80名の参加者を得て活発な討論が行われ、全体方策の議論を含め、連携研究に貢献した。また、分野ごとの小規模(参加者は10~20名程度)セミナーも、マックスプランク研、オックスフォード大学、ノルウェー科技大学、パデュー大学、ブルゴーニュ大学、ドレクセル大学、レンヌ大学、ルーベンカトリック大学で実施され、グ

ループ連携研究に貢献した。

これらの海外派遣者の派遣報告、国際セミナー報告・プログラムは産研の下記の英文ホームページに記載されている。

http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/kikaku/mission/S-CtC_Project/Welcome.html

(2) センシングデバイス、センシング関連情報処理などの分野で世界最大規模の研究機関である imec との連携はこの分野では非常に重要である。当事業により、産研と imec、imec と当事業ネットワーク研究機関との連携が強化され、本拠点形成事業の目標であるバイオ・センシングデバイス、脳波センシングデバイスの創製は加速された。本事業の目指す「ソフトマテリアルデバイス技術と高度情報処理技術とを融合させた次世代医療診断分野の展開」の考えをベースの一つにして産業科学研究所が提案した文科省革新的イノベーション創出プログラム(COI) (研究チームリーダー：松本和彦・本拠点形成事業コーディネーター) が大阪大学のCOIプロジェクトとして平成26年度に採択されたが、このCOIプログラムでの海外研究機関には imec が参画し、当プログラムに大きく貢献して来ている。これは、当拠点形成事業国際ネットワークの波及効果であり、大きな成果の一つである。また、平成26年4月に、産業科学研究所内に「imec-Office Osaka」の設置が実現し、平成29年2月にはベルギーimec 研究所内の産研オフィス設置が実現し、産研-imec 間の連携強化が更に進展している。

(3) 6-2(2) で詳しく述べるが、当交流目標達成の結果として、次世代の健康と安心安全を支援する人に優しい高度センシング技術の開発に向けた国際連携研究の成果としての、以下のようなセンシングデバイスが実現し、トピックスとして新聞やTVニュース等に取り上げられた。なお、下記①、②、③に記した開発研究は、大阪大学が次世代型医療診断技術開発として提案し26年に採択された文科省革新的イノベーション創出プログラム(COI) (研究チームリーダー：松本和彦・本拠点形成事業コーディネーター) の重要な研究基盤ともなっている。

① [インフルエンザウイルス検出デバイスの開発]

研究代表者(松本和彦)らとPurdue大学(R3)、Oxford大学(R4)との共同研究により、表面を糖鎖で修飾したグラフェンFETを用いたバイオセンサーを開発し、インフルエンザウイルス検出デバイスのプロトタイプの前製に成功し、其の後、更にその検出精度を上げる研究を行った。

新聞掲載：鳥インフル感染 識別にグラフェン活用 (日刊工業新聞 2015. 12. 18)

：インフルエンザ感染初期での診断を可能とするグラフェンバイオセンサ (マイナビニュース 2018. 2. 14)

受賞：産学連携賞「糖鎖機能化グラフェンを用いた二次元生体モデルプラットフォームの創成 (Nanotech 2018, 国際ナノテクノロジー総合展)

② [フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスの開発]

R2グループ(産研、imec)、R5グループ(産研、NTNU)では、産研のナノ配線技術や有機材料フレキシブル回路技術と imec のセンシングデバイス技術、NTNU のナノ材料強度評価技術を融合させた、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス開発に本格的に取り組み、脳波計測可能な医療用の貼り付け型フレキシブル・センシングデバイスなどの開発研究で世界初の成果を挙

げて来ている。(2018年3月23日 産経新聞朝刊、話の肖像画「テクノロジーで「神の手へ」」；2017年8月14日 産経新聞朝刊、「妊婦・胎児を遠隔診断 ～AI活用 通院負担低減～」；2016年3月3日 日経産業新聞朝刊、次世代の先導者「伸び縮する高感度センサー インフラ点検や医療に」など 新聞・商用誌掲載：30報、TVニュース：2報)

③ [ヘッドホン型脳波検出計の開発]

R9グループ研究(産研、imec, KU Leuven)により、音楽聴取時の脳波による覚醒度、快不快を検出する、ポリマー電極装着のヘッドホン付き脳波計を開発し、音楽に対するヒトの反応の検出を可能にした。その検出結果に基づいて、音楽の推薦および作曲を行う手法を開発し、その場で作曲を行うデモシステムを構築した。(2017年5月16日 日本経済新聞「思い出の曲からAIが自動作曲」；2017年9月19日 朝日新聞「AIの作品 著作権は？ 5年後にはヒット曲を」；2017年12月22日 NHK Eテレ「人間って何だ 超AI入門」；2017年6月28日 報道ステーション(TV)「日本初“AI見本市” 仕事.. 未来.. 何が変わる？」など、新聞掲載：31報、TVニュース：28報)

④ [高性能有機メモリデバイス開発]

R1グループ研究(東京大、産研、Max Planck, Mainz 研)では、東京大学-産研-マインツ研(連携機関としてオランダ・グローニンゲン大学)間の連携研究を展開し、有機半導体を用いた高機能デバイスの開発に取り組み、高い on-off 比を有する両極性トランジスタの開発に成功、塗布型の高移動度有機半導体と組み合わせた強誘電メモリデバイスの開発に成功、ドーピング量を溶液プロセスによって制御する独自の手法開発ならびにそれを用いた高移動度半導体トランジスタ CMOS 回路開発に成功、有機強誘電体を用いた低電圧動作型の高性能有機メモリデバイスの開発に成功、など世界初の成果を挙げている。

関連論文：**Polarization fatigue of organic ferroelectric capacitors**

Dong Zhao, Ilias Katsouras, Mengyuan Li, Kamal Asadi, Junto Tsurumi, Gunnar Glasser, Jun Takeya, Paul W. M. Blom & Dago M. de Leeuw, *Scientific Reports* **4**, 5075(2014).

DOI:10.1038/srep05075 <https://www.nature.com/articles/srep05075>

⑤ [5色の高光度化学発光タンパク質の開発]

酵素活性の高い化学発光タンパク質と5種類の異なる蛍光タンパク質をハイブリッド化することにより、従来のもより2倍から10倍明るく、水色、緑色、黄緑色、橙色、赤色に発光する5色のタンパク質 enhanced Nano-lantern (増強型ナノ・ランタン)をOxford大学との共同研究により開発した。(新聞掲載：3件、TVラジオニュース：3件、Web掲載：184件以上)

(4)本国際連携イノベーション研究を国際的にアピールする目的で、2013年6月のベルギーでの全体会議開催の機会を利用し、産研4名、欧米拠点代表6名がブリュッセルのECのオフィスを訪問、3名のHorizon 2020 program officerとで国際交流研究に関する意見交換を行い、十分な理解と評価を得て、当プログラムを印象付けることが出来た(Meeting for exchanging information between EC and International Research Consortium (SANKEN Core-to-Core Project: June 19, 2013, R128, EC-Building J-70, Brussels)。当海外拠点メンバーとの研究連携はこのような連携活動をも生み出し、学振国際プログラムを欧州委員会に印象づけ、今後の国際交流研究活動の意義

をアピールすることが出来た。

6. 研究交流成果

6-1. 平成29年度の成果

5-1に記述した平成29年度研究交流目標に従った研究交流活動を展開した。3研究分野での交流成果を以下に記述する。なお、文章中のR1~R9は共同研究グループ名である(7章参照)。

[1] バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発基礎研究

・マックスプランク・マインツ研との連携:

ドイツ・マックスプランク・マインツ研究所(BLOM研)との共同研究(R1)として、新規有機デバイスの開発研究を産研の旧竹谷研(現東京大学大学院新領域創成科学研究科・竹谷研)がスタートさせ、東京大学-産研(安蘇研究室)-マインツ研(連携機関としてオランダ・グローニンゲン大学)間での連携研究(R1)を展開して来た。29年度は大阪大学産業科学研究所で開発した新規半導体材料のデバイス評価を実施した。このため、竹谷研と連携研究を進めている協力機関のグローニンゲン大学に1ヶ月派遣し、単層カーボンナノチューブの基礎物性評価手法、作成方法を学んだ。また、竹谷教授が受け入れたグローニンゲン大学博士課程の学生の学位審査を現地にて行った。

安蘇研は、29年度は阪大産研で見出された機能性ソフトマテリアルのデバイス化に向けた検討をマックスプランク・マインツ研にて実施した。その結果、有機薄膜太陽電池のデバイス物理による検討からp-型半導体特性の性能向上に向けた分子設計指針を得ることができ、新たな材料開発へ展開することができた。

オックスフォード大学との連携

英国オックスフォード大学とは、バイオサイエンス、医用ナノサイエンス研究分野での連携研究を行っており、29年度は、産研永井研究室より博士後期課程学生1名を20日間、Daniels研究室に派遣し、生理反応を1細胞レベルで光により制御する遺伝子にコードされた分子ツールに関する共同研究を実施し以下の成果を挙げた。

現在開発中の光照射により活性酸素を産生する緑色蛍光タンパク質(ROS-GFP)を用いて、光刺激によりiPS細胞由来の心筋内の拍動を変化させることを試みた。レンチウイルスを用いてROS-GFPを心筋細胞塊に発現させて緑色蛍光を観察することに成功した。さらに青色光を照射して、3個体中2個体において拍動を速めることに成功した。ROS-GFPを活性酸素種産生と心筋症の関係を解明するツールとして応用するための基礎となるデータを得ることができた。今回の派遣者はアジアの留学生であり、中間評価で指摘を受けた「アジアの留学生への派遣機会」を作ることが出来た。

一方で、グラフェン基板を利用したバイオセンサー研究では、オックスフォード大Sonia准教授とは緊密な研究の連絡をとり、糖鎖修飾グラフェン上に得意的に反応吸着するヘマグルチニンの観察結果、薬剤効果の議論を行った。2018年1月に開催の産研国際会議ではSonia准教授より液中AFMのバイオ観察結果についての講演があり、松本研が先にオックスフォード大学で計測した液中AFMのヘマグルチニンタンパク質、薬剤機序の効果の測定結果を議論した。現在、この関係の論文投稿準備中である。

・パリ南大学、ブルゴーニュ大学との連携：

パリ南大学との共同研究 R-6（産研：笹井教授、パリ南大学：VO-THANH 教授）として、有機機能材料、バイオセンシング用材料として可能性のあるキラル化合物合成手法に関する研究を実施してきた。29年度は、これまでのパリ南大学との酸-塩基型の二重活性化型触媒を利用するドミノ型反応に関する共同研究を国際誌 Chemical and Pharmaceutical Bulletin に発表することができた（本成果は2017年11月号の論文雑誌の表紙となった）。R-6研究での協力機関であるブルゴーニュ大学との連携では、2ヶ月間博士前期課程学生1名を73日間滞在して、光学活性なリン化合物を有機分子触媒として用いる類例のない新規反応の開発研究を進めた。自主的に研究活動を展開した結果、双方の学生の主体性と国際感覚が大きく向上した。

[2] 機能性ソフトマテリアルのデバイス化およびセンサー化研究

・ノルウェー科学技術大学との連携：

ノルウェー科学技術大学 NTNU との共同研究 R-5（産研：菅沼教授、NTNU:Z. ZHANG 教授）による、センサー用プリンティッド・エレクトロニクスの基盤的研究、特に、フレキシブルな導電性材料の機械特性および熱物性などの研究を進め、共同研究ネットワークを確立した。29年度は、NTNU に准教授1名を派遣し、導電性を構成する銀等のフィラーの接触界面について研究を行い成果を挙げた。この成果は、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスの優れた機械特性付与に貢献するとともに、その熱伝導特性が明らかとなった。一方で、NTNU から若手研究者1名（博士課程学生 Susanne Sandell 氏）を2か月間受け入れ共同研究を実施するとともに、NTNU 博士課程学生の Merete Falck 氏が冬期に菅沼研を訪問し一連の結果実験に関する議論を実施した。また協力機関である Aalto 大学を准教授が訪問し連携について協議した。これらの活動を通して、金属と高分子からなるフレキシブル導電体の機械特性や熱特性、それらの接合材料などに関する実験的研究を実施した。これまでに得られた様々な研究結果を今後のアプリケーションに活かすために、新たな知見を整理してより汎用性のある科学的知識としてまとめつつある。

・imec との連携：

imec が有するレーザーパターンニング技術、ストレッチャブル配線作製技術、産研側が有するソフトナノマテリアル・金属ナノ材料デバイス技術と組み合わせて、次世代フレキシブル・ウェアラブルデバイスに資するストレッチャブル透明配線の開発、電界効果トランジスタ（OFET）の透明化・高性能化にむけた技術開発、およびデバイス実装について共同研究（R2）を実施し、医療等に適した高感度センシング・ウェアラブル（ストレッチャブル）デバイスの開発に向けた研究を進行させた。平成29年度は、修士学生1名を imec に3か月派遣し、有機半導体の大面積製造技術の構築を検討し、センサデバイスの高性能化・薄膜化に資する開発研究を実施した。また、imec-Holst Centre の連携機関である Eindhoven 工科大学から学生1名を受け入れ、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスに必須なストレッチャブルマイクロ流路の開発や計測用電流を発生可能なエネルギーハーベスト機能の設計・プロトタイプ作製を行った。29年度は、R1 および R5 グループとも連携を一層密にし、高感度センシング・ウェアラブル（ストレッチャブル）デバイスの開発

に向けた研究を大きく進展させた。

・パデュー大学との連携：

米国 Purdue 大学との共同研究 R-3（産研：松本教授、Purdue 大：Janes 教授）として、新規グラフィック基板バイオセンシング・デバイス開発（ストレスセンシング・デバイスなど）を目的とした研究を、オックスフォード大(R4)とも連携し推進させた。29年6月にパデュー大学において、国際拠点プログラムのセミナーを開催し、担当の D. Jane 教授や J. Appenzeller 教授他、多くの教授とスタッフの参加を得た。大阪大学側からは、松本はじめ6名の教授、若手スタッフが参加した。我々の共同研究内容である二次元材料の複合化による高性能化、トンネルトランジスタとして用いる場合のメリットなどを議論し、センサーデバイスへの展開を議論した。また2018年1月に大阪大学で国際会議を開催し、パデュー大学の J. Appenzeller 教授を招待して2次元材料の集積化回路応用の際の問題点を指摘いただき、有意義な議論展開を行った。

[3] 多様なセンシング情報に基づく情報処理研究

・ドレクセル大学との連携：

本事業協力機関である米国ドレクセル大学との共同研究 R-7（産研：八木教授、ドレクセル大：NISHINO 准教授）は26年度から開始され、安心安全に関する高度な人・環境情報取得の要素技術の確立に向けての共同研究を進めてきた。29年度は Convolutional Neural Network を用いて、俯瞰カメラで撮影される低解像度な人物映像から頭部方向を推定する手法を新たに開発し、前年度までの成果と統合して、注視方向までを推定できる技術を構築した。6月にベルギーの imec で開催された 5th Conference of SANKEN Core to Core Program、および、KU Leuven で開催された Machine Learning Seminar で満上助教（当時）が本研究について口頭発表し、活発な意見交換を行った。また、平成30年8月に開催される国内会議に、共著で論文を投稿した。

レンヌ第1大学との連携：

R-8 グループ（産研：鷺尾教授、レンヌ大学：Termier 教授）では、電子センシングデバイス等から出力されるより複雑な画像データをはじめとする難しい構造・構成を有するデータから、高精度な機械学習を可能にする高度最適化原理を探求する共同研究を実施し、協力機関のワシントン大学とも連携することにより、センシングデバイス・高速、高精度画像データ解析技術に関する研究を推進してきた。本年度は、これらの原理を実データに適用し、その性能を検証する研究を実施した。

・KU Leuven との連携：

R-9 グループ（産研：沼尾教授、ルーベン・カトリック大：De Raedt 教授）では、シンボルを中心とした推論、機械学習およびデータマイニングについての共同研究を進めており、脳波診断に関するデータベース構築と医療診断のための高度情報処理手法の開発に取り組んでおり、パリ大6大学とも連携した。この成果に基づいて、宣言的な関係に関する推論および学習についての計算モデルを構築し、その挙動と脳活動を対比することにより、各種の脳活動測定データの解析を行っている（当グループは28年度に imec との連携により、音楽聴取中での快不快の検知が可能な脳波ヘッ

ドセット(ヘッドホン付き脳波計)を共同開発している)。29年度はさらに、コンテンツの推薦システムのための高度情報処理手法の開発研究を実施した。このため、ルーベン・カトリック大学に、若手研究者を1名、1か月派遣し、6月20日には当大学に産研から4名訪問し、18名参加の機械学習セミナーを開催し、複数領域を横断可能な推薦システムについて議論した。

(1) 平成29年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 2本

うち、相手国参加研究者との共著 1本

(2) 平成29年度の国際会議における発表 1件

うち、相手国参加研究者との共同発表 1件

(3) 平成29年度の国内学会・シンポジウム等における発表 3件

うち、相手国参加者との共同発表 2件

(※ 本事業名が明記されているものを計上・記入)

6-2 全期間にわたる研究交流成果

(1) 研究協力体制の構築状況

①日本側拠点機関の実施体制(拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等)

本事業では、産研を拠点本部とし、マックスプランク、imec、パデュー大学、オックスフォード大学、ノルウェー科学技術大学、パリ南大学などの拠点機関、ならびにこれらの拠点機関と連携関係にある周辺の研究機関の協力も得た形の日欧米共同研究ネットワークを形成し、5-2で述べた事業研究テーマ、内容のもとでの国際連携基盤研究を産研主導體制のもとで行い、合わせて、本国際研究拠点活動を通じてのグローバル若手人材育成を図ってきた。その実施に際しては、(1)バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発基礎研究、(2)機能性ソフトマテリアルのデバイス化およびセンサー化研究、(3)多様なセンシング情報に基づく情報処理研究、の3研究分野のもと、9つのグループ(R1~R9)に分かれ、目標を①フレキシブルセンシングデバイス、②バイオセンシング、③センシング高度情報処理に絞って国際共同研究、融合研究をグループ間連携を取りつつ遂行した。

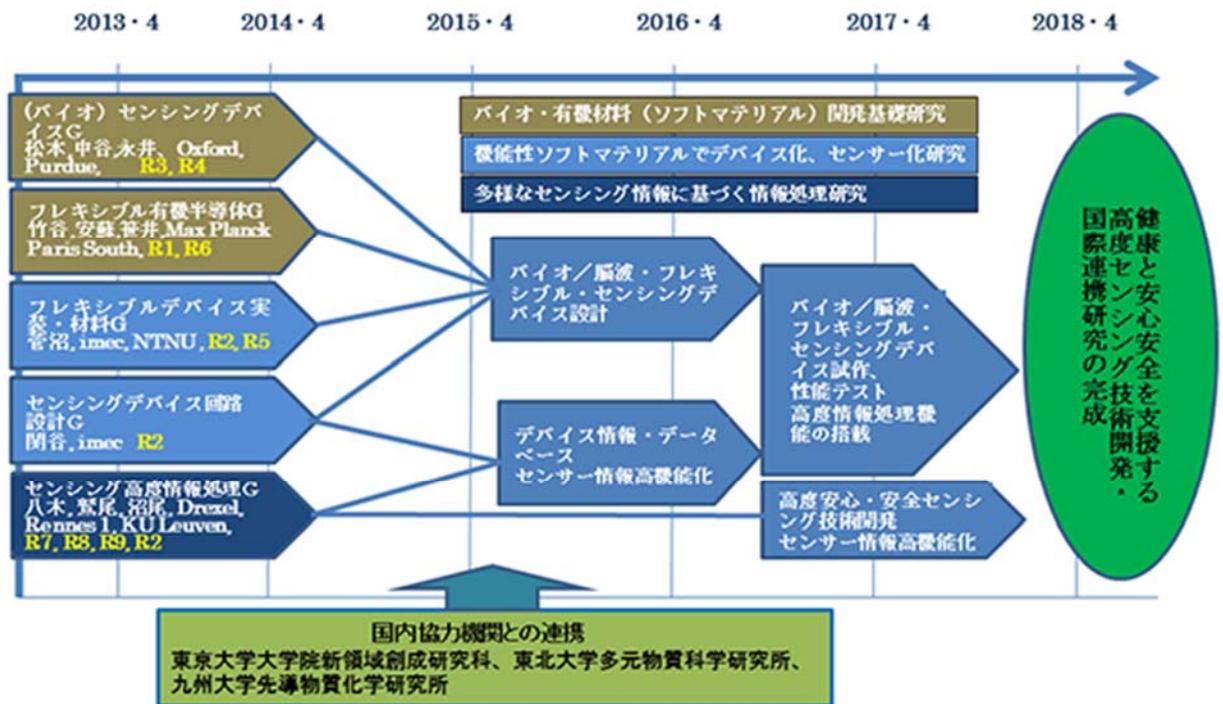


図1. 研究体制図

また、上記国際研究ネットワークは、産研と連携関係にある東京大学大学院新領域創成科学研究科を選定し、協力研究体制の構築による情報の交換・共有を推進し、将来を見据えたこの分野での教育・研究の国際化を図る。上記に当事業の研究体制と5年間の研究進行ロードマップを図1に示す。

これは、産研と連携関係にある東京大学大学院新領域創成科学研究科を選定し、協力研究体制の構築による情報の交換・共有を推進し、将来を見据えたこの分野での教育・研究の国際化を図る。上記に当事業の研究体制と5年間の研究進行ロードマップを図1に示す。

② 相手国拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

6で述べた様に、当事業での海外拠点、連携、研究協力機関との共同研究体制は産研を中心とした3つの研究分野の下に生まれ、以下の様な協力体制のもとで研究を進めた：

(1) バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発基礎研究分野

連携研究機関：東京大学(R1)、マックスプランク・マインツ研(R1)、グローニンゲン大学(R1)、オックスフォード大学(R4)、パリ南大学(R6)、ブルゴーニュ大学(R6)

[R1] Max Planck, Mainz 研、Groningen 大学との連携

全期間を通じて、竹谷研究室（東京大）、安蘇研究室（阪大産研）のグループと欧州研究拠点のMax Planck, Mainz 研 Blom 研究室が連携し、また、当グループは協力機関グローニンゲン大学ゼルニケ研究所のM. Loi 研究室とも連携し、互いの研究室の特徴、相補性を考慮した共同研究を進めた。

26年秋には、Mainz 研にて有機半導体デバイスに関する小規模シンポジウムを当グループ主催で開催した。産研とグローニンゲン大学ゼルニケ研究所とは交流シンポジウムを開催（2017.10月）するなど強い協力関係にある。また、Max Planck, Mainz 研とは学振頭脳循環事業(2016～2018)でも連携しており、有機物性研究のネットワークは今後、持続・強化される。共同研究においては、

若手教員がドイツおよびオランダ研究機関特有の、基礎に裏打ちされた堅実な研究スタイルに触れることができ、国際感覚の向上に大いに寄与した。各研究室の特徴、協力関係を図 R1 に示す。

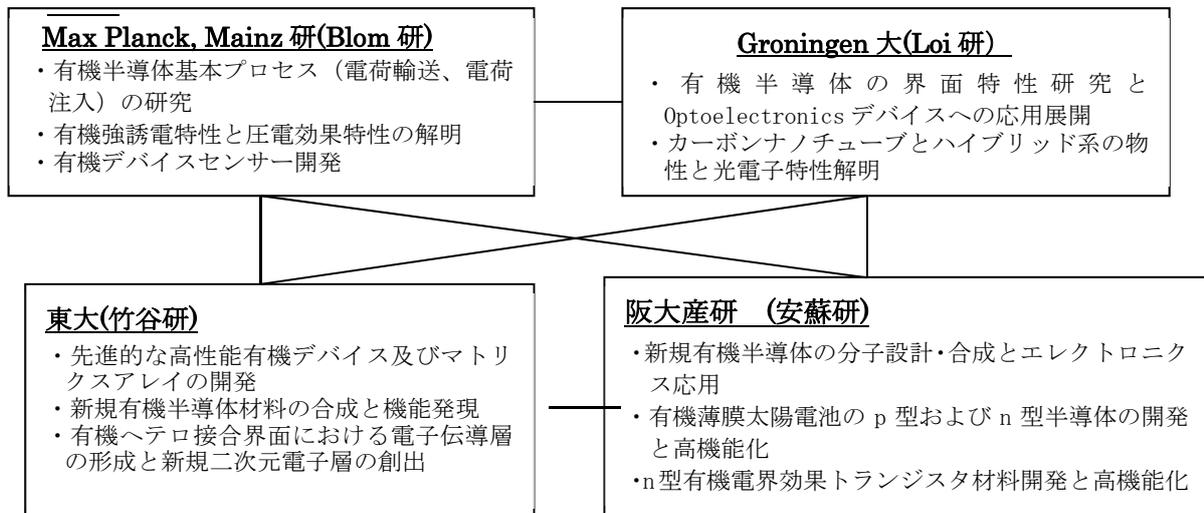


図 R1 グループ連携

[R 4] Oxford 大学との連携

バイオ物質の液中 AFM 観察の技術で高いポテンシャルを有するオックスフォード大学生体物理グループと、電子デバイス、ウイルス検出素子に高い技術を有する大阪大学は緊密に連携し、さらにグラフェンの特性向上技術を有する米国パデュー大学とも連携 (R4-R2 間連携) して、従来は困難であったセンシング素子の開発に成功した。また、産研と Oxford 大学の生体分子科学の研究グループは全期間を通して連携し、光分子化学反応のバイオセンサーへ応用や生体分子/基板界面物理現象解明の研究を実施した。26年夏にはオックスフォード大学にて R-4 グループ主催の次世代センシングデバイス・シンポジウムが開催された。産研グループとの連携図を下記に示す。

派遣若手研究者、派遣学生は、オックスフォードという世界有数の優れた研究環境のもとでの研究体制、研究組織形態、研究姿勢など多くのことを学び、特別な刺激を受けた。

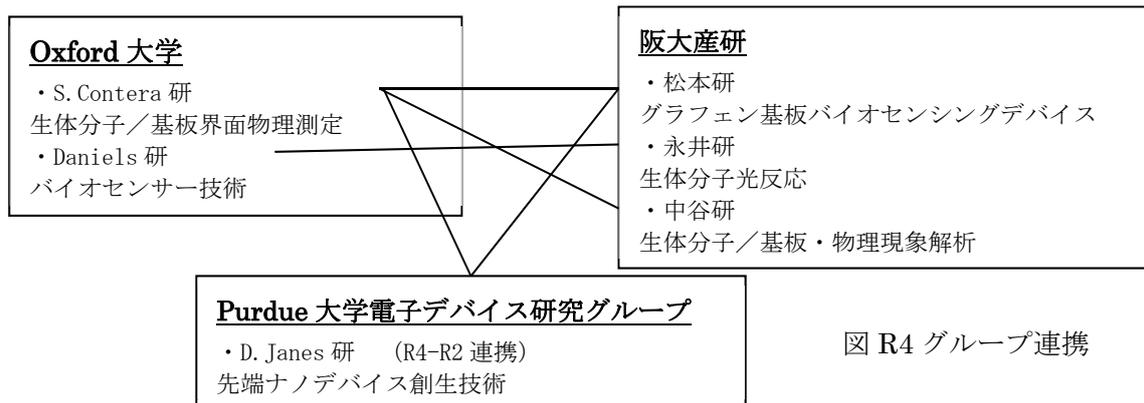


図 R4 グループ連携

[R 6] パリ南大学、ブルゴーニュ大学との連携

パリ南大学との共同研究 R-6 は、産研: 笹井研究室とパリ南大学 互され、28 年度以降は協力機関ブルゴーニュ大学も参加した連携研究を行 幾機能材料、バイオセンシング用材料として可能性のあるキラル化合物合成手法の確立に関する研究を実施しており、今後もこの分野における強力なグループとして連携を持続させる。当グループ主催の小

規模シンポジウム、Green Chemistry が、28 年夏にブルゴーニュにて開催された。このグループの実施体制、協力体制を以下に示す。

いずれのグループとの共同研究においても、大学院生が実際に現地で共同研究を行うことで、異なる基盤を持つ研究グループのアイデアを相乗的に活かした研究を展開した。

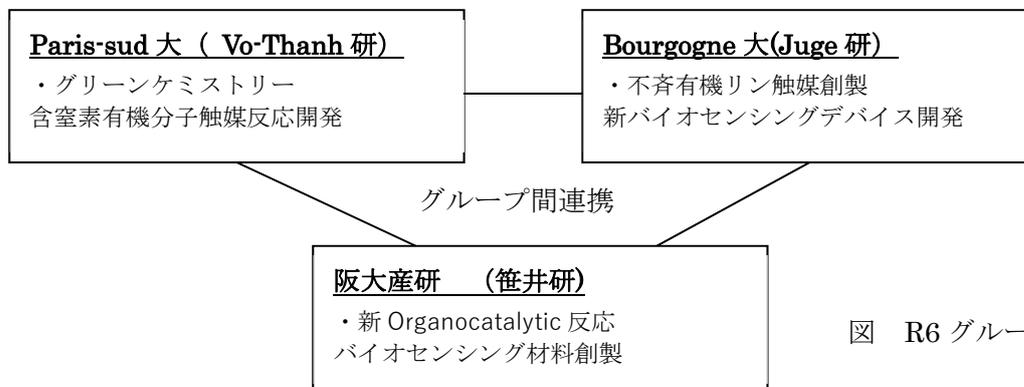


図 R6 グループ連携

(2)機能性ソフトマテリアルのデバイス化およびセンサー化研究分

連携研究機関：imec & imec NL (R2)、パデュー大学 (R3)、ノルウ

[R-2] imec との連携

当分野は、フレキシブル・ストレッチャブル・デバイス用材料設計を担っている目黒研九五および、デバイス技術を専門とする関谷研究室が連携して imec, imec-NL(ホルストセンター)とで医療用センシングデバイス創製に向けての共同研究を進めて来た。また、当グループは、脳波センシングデバイス創製など、他の研究グループとの連携の成果も挙げている。この R-2 グループの連携体制は大阪大学 COI プログラム事業にも継承されており、COI に貢献する重要なグループの一つに位置付けられている。当グループの協力体制を以下に示す。imec は当拠点形成事業での海外拠点の中核であり、産研とは 23 年に包括共同研究契約を締結し、以後、相互に交流オフィスを開設するなど強い協力関係を保っている。当事業の第一回と最終回の全体会議は imec において開催されている。

Imec には世界中から先進デバイス研究のために多くの研究者が派遣されており、未来志向の国際連携研究が推進されている。そのような場所への若手研究者派遣は十分に意義深いものである。

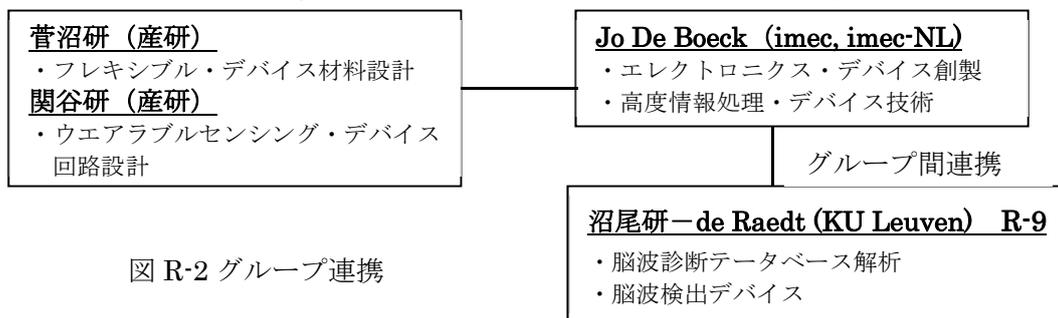


図 R-2 グループ連携

[R-3] パ

産研松本研と連携して進め、シリコン基板を用いたバイオセンサーの創製をパデュー大学と連携して進め、脳波検出デバイスなどの創製に成功している。当 R-3 グループは Oxford 大 (R) には Purdue 大学にて、センシングデバイスの小規模シンポジウムを開催した。この研究グループ R-3 の協力体制を下に示す。

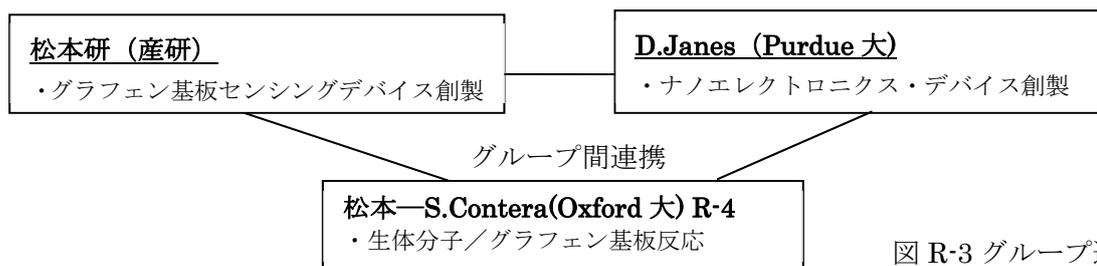


図 R-3 グループ連携

〔R-5〕 ノルウェー科学技術大 (NTNU) との連携

伸縮自在のストレッチャブル・デバイスは、各種のセンシングデバイスとして注目されており、NTNU の Zhang 研究室は、このようなデバイスの機械的性質に注目した研究を行っており、当事業の目的には相補的な研究相手として重要な位置を占める。当グループは、フレキシブル・ウェアラブルデバイス創生に実績のある imec とも連携研究を進めた。当グループの連携体制は強固であり、全期間を通じて、双方向での若手研究者の派遣と受け入れの双方向研究交流を実施し、成果を挙げてきた。27 年夏には NTNU にて小規模シンポジウムを開催した。以下に協力、連携体制を示す。

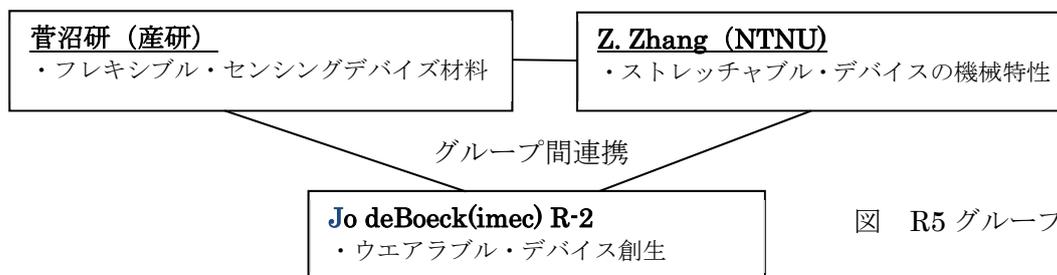


図 R5 グループ連携

(3) 多様なセンシング情報に基づく情報処理研究分野

連携研究機関：ドレクセル大学 (R7)、レンヌ第一大学 (R8)、ワシントン
トリック大学 (R9)

当情報処理研究分野では、25 年度当初は「研究者交流枠」での共同研究を推進し（八木研究室：ドレクセル大学；鷺尾研究室：ワシントン大学；沼尾研究室：テレコム・パリ）、26 年度からそれぞれ、ドレクセル大学、ジョセフ・フーリエ大学&レンヌ大学、ワシントン大学、(28 年度まで)、ルーベンカトリック大学と連携した R7~R9 研究が実施された。

〔R-7〕 ドレクセル大学との連携

八木研究室では、安心安全を支援する高度センシング技術を展開し、ドレクセル大 Nishino 研究室と連携し研究を深化させた。27 年夏にはドレクセル大にて Advanced Sensing の小規模シンポジウムを開催し、年 1 回以上のペースで総合訪問し意見交換を行ったのに加え、大阪大学の博士後期課程学生を 2 ヶ月間ドレクセル大学へ派遣するなど、両者の交流は非常に盛んであった。本研究交流をきっかけに今後の共同研究についても計画しており、ネットワーク構築という点で大変意義深いものとなった。なお、本研究交流に加えて、大阪大学の国際共同研究促進プログラムの支援のもと、満上助教と Prof. Nishino に加えて、カーネギーメロン大学の Prof. Kanade とも国際共同研究を行っており、本研究交流との相乗効果で強力な協力関係が構築された。



図 R7 グループ連携

[R-8] レンヌ大学との連携

鷲尾研究室は、この事業当初は、Joseph 関する研究を行ったが、26年に同教授がレ
ンヌ大学にて小規模セミナーData Mining for Sensing Dataを開催し、協力体制を続けている。

授とのデータマイニング手法に
、レンヌ大学との共同研究とな
レヌ大学とも連携した。28年冬にレ

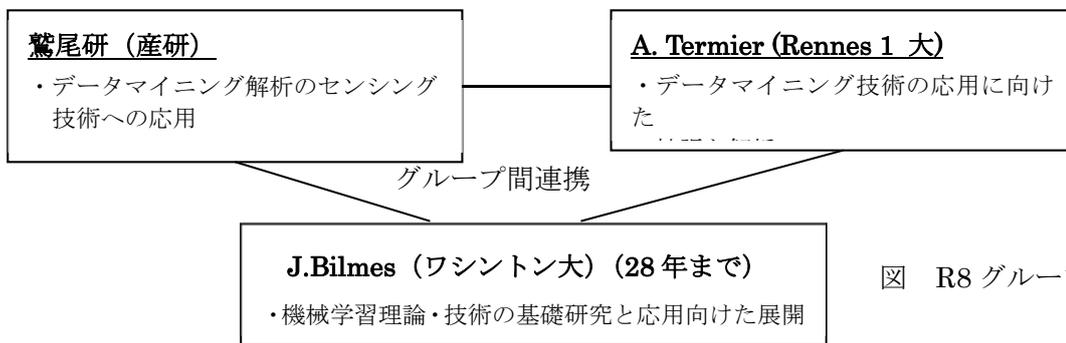


図 R8 グループ連携

[R-9] ルーベンカトリック大学との連携

沼尾研究室では、推論、機械学習およびデータマイニングについての世
界で有名なルーベンカトリック大 De RAEDT 教授との共同研究を26年度から
行っている。この成果に基づいて、各種の脳活動測定データの解析を行い、imec との連携 (R-2 グループ) により、音楽聴取中での
快不快の検知が可能な脳波ヘッドセット(ヘッドホン付き脳波計)を28年に共同開発した。29年夏には、ルーベンカトリック大にて小規模ワークショップ Machine Learning を開催し、同大 de
Raedt 教授とは学振頭脳循環事業(27年~30年)においても連携中であり、協力関係が継続されている。



図 R9 グループ連携

以上の当事業での海外機関との協力体制と 研究テーマ、国内連携体制を図2として示す。

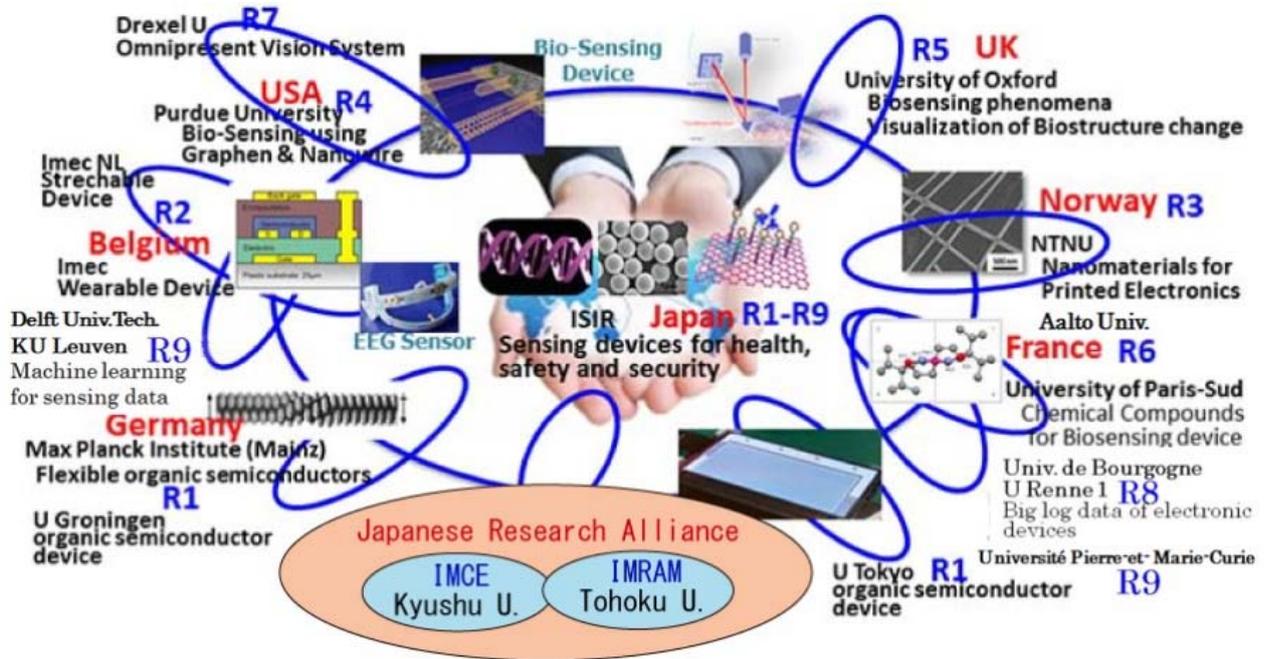


図2. 当事業での海外拠点との連携図

③日本側拠点機関の

産研は 24 年より企画室
立つ支援組織として、産研
いる。企画室は本事業に関し、
研究連携課は大学本部国際
部と連携し、学振との情報交換に努めており、産研の本事業への支援体制は万全に近い。

務運営・支援体制)

、教員組織—事務組織の間に
を行っており、有効に機能して

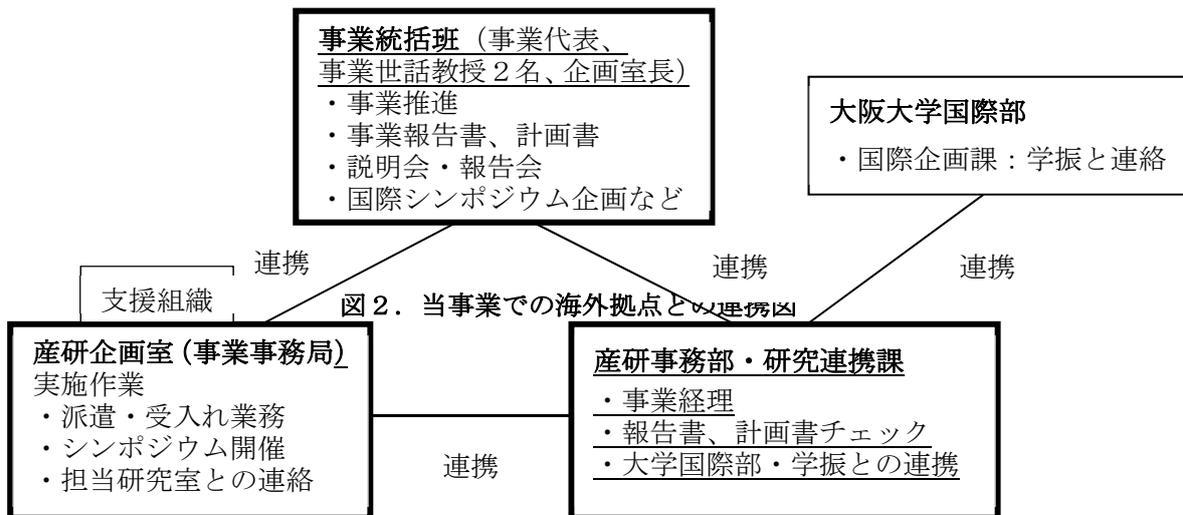


図2. 当事業での海外拠点との連携図

(2) 学術面の成果

R1～R9の各研究グループは、27年度の間評価以降、特に研究の方向性を見定め、且つ互いの連携を強化しつつ、以下の具体的テーマのもとに研究を展開させた。

①フレキシブルセンシングデバイス研究（共同研究グループ：R1, R2, R5）

- A. フレキシブル有機半導体デバイス技術の開発研究
- B. フレキシブル・ストレッチャブルデバイス回路技術、ナノ配線の開発研究

②バイオセンシング研究（共同研究グループ：R3, R4, R6）

- A. バイオ関連センシングデバイスの開発研究
- B. バイオセンサー開発研究

③センシング高度情報処理研究（共同研究グループ：R7, R8, R9）

- A. 高感度・環境センシングによる安全安心高度情報処理技術開発
- B. センシングに関するデータベース構築と医療診断への応用研究
- C. フレキシブル脳波センシング対応情報処理技術の開発研究

以下、これらの研究テーマに沿って、グループ研究により得られた主たる学術的成果を記述する。

① フレキシブル・センシング・デバイス研究

A. フレキシブル有機半導体デバイス技術の開発研究

【R-1：竹谷(東大)、安蘇(産研) / P.Blom(Max Planck 研), M.M.Loï(Groningen 大)】

[竹谷研]

竹谷教授グループと欧州研究拠点の Max Planck, Mainz 研 Blom 教授および、協力機関グロニンゲン大学、M.Loï 教授による共同研究により、「新規塗布型有機半導体デバイスの基礎物性とキャリア伝導機構を解明する研究」、「有機強誘電体を用いた低電圧動作型の高性能有機メモリデバイスの開発研究」、さらに「カーボンナノチューブの両極性トランジスタ、有機単結晶/高分子/ナノチューブブレンド半導体の研究」が実施された。

繰り返し書き込んでも素子が劣化しない有機強誘電キャパシタを作製することに成功するなどの成果を挙げた。高移動度の有機半導体、カーボンナノチューブ、及びそのハイブリッド材料の印刷半導体の開発研究成果をもとにセンサデバイス用の集積回路開発を進め、R2, R5 グループが進めているフレキシブル・ナノ配線技術を利用することによってフレキシブル印刷半導体の低コストかつ高機能集積デバイスの開発研究を行い、1,000 個の有機半導体で構成される C-MOS 回路の開発に成功するなどの成果を得た。さらに、有機薄膜太陽電池に向けたポリマー開発において、良好な光電変換効率を得るとともに、さらなる性能向上に向けた知見を得た。また、有機電解効果トランジスタ材料においても、駆動機構の解明に向けた研究を展開し、有機強誘電体を用いた低電圧動作型の高性能有機メモリデバイスを開発し論文発表を行った(2014, Scientific Reports, vol. 4)。

[安蘇研]

阪大産研で開発合成した、溶液法で作製する有機薄膜太陽電池の n-型および p-型半導体について、それぞれ imec (R-2 との連携) およびマックスプランク・マインツ研において、高度に洗練されたデバイス構造およびデバイスプロセスを適用し、精密な各種の評価とデバイス物理

に基づく解析を行った。その結果、p-n 接合界面における分子配向と物性パラメータの相関やキャリア移動度と分子構造特性の相関に関して新しい重要な知見を得ることができ、さらなる性能向上に向けた分子設計指針として新たな材料開発へ展開することができた。

B. フレキシブル・ストレッチャブルデバイス回路技術、ナノ配線の開発研究

[R-2 : 菅沼 (産研)、関谷 (産研) / Jo De Boeck(imec, imec-NL)]

imec と産研が独自に有する最先端の技術・材料を互いに持ち寄ることにより、世界に先駆けたデバイス研究開発を遂行した。その結果、高度センシング・ウェアラブルデバイス・実装技術開発に資する多くの技術開発や知見獲得に成功している。

[菅沼研]

・平成 25 年度から平成 26 年度にかけて、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスに必須な印刷配線技術および新規接合技術のフィージビリティスタディを行った。その結果、産研にて開発した銀系インクを用いてレーザー転写やレーザー焼結によるマイクロパターンングを実現した。以後に開発するセンサインテグレーション時に応用され、大変重要な知見となった。

・平成 26 年度から平成 27 年度にかけて、産研・imec 交流研究で開発された安定動作 n 型半導体のフレキシブルインバータ回路や光センサへの応用研究を R1 および R5 グループと連携して行った。産研安蘇研により開発した塗布型有機太陽電池用新規 n 型材料については、imec の先端プロセス技術および評価装置によって性能向上と駆動安定性を検討し、高いエネルギー変換効率を達成した。さらに、化学構造と素子性能の相関に関する多くの知見とさらなる分子設計に向けた有益な指針を得た。一方で、半導体センサについて、検出部分の各種作製条件を制御することで、半導体のセンシングメカニズム解明に資する基礎データを取得することに成功した。これらの結果は、米国材料学会 MRS2015 秋等にて発表を行っている。

・平成 26 年度から平成 29 年度にかけて imec-Holst Centre およびその連携機関である Eindhoven 工科大学から研究員や学生あわせて 2 名以上が産研菅沼研に長期滞在し、研究開発を促進させた。その結果、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスの必須要素技術であるマイクロ流体センサ開発に必要な、低インピーダンス電極材料、安定したセンシングが可能なストレッチャブル構造、およびエナジーハーベスト型小型電源を開発した。現在、これら要素技術の統合を行って、高インパクトジャーナルへの論部執筆の準備を進めている。

[関谷研]

産研関谷研は、平成 28 年度以降に修士学生を 2 名、imec および imec-Holst Center へ約 3 か月間派遣して、ウェアラブルデバイスの薄膜化・高性能化に資する、有機半導体の大面積成膜技術および有機電界効果トランジスタ (OFET) 用電極材料に関する研究開発を行った。特に、産研にて開発した銀ナノワイヤ微細配線の分析を詳細に実施することにより、配線特性向上メカニズムの解明を行い、透明有機 OFET の特性向上に資する知見を得た。その結果、実装学会 MES2017 において「親水撥水パターン表面を用いた銀ナノワイヤ透明電極の微細形成」として発表を行い、研究奨励賞を受賞した。さらに、米国材料系学会 MRS2017 においても学会発表を行って、現在、論文投稿段階である。また、上記のナノ配線技術や有機材料フレキシブル回路技術と imec のセンシングデバイス技術、NTNU (R 5 グループ) のナノ材料強度評価技術を融合させた、フレキシブ

ル・ストレッチャブル・センシングデバイス開発に菅沼研と共同で本格的に取り組み、脳波計測可能な医療用の貼り付け型フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスなどの開発研究で世界初の成果を挙げて来ている。(新聞・商用誌掲載：30報、TVニュース：2報)

【R-5：菅沼（産研）／Zhiliang Zhang(NTNU)】

ノルウェー科学技術大学NTNUとの共同研究では、センサー用プリンティッド・エレクトロニクス of 基礎的研究を進め、導電性薄膜、半導体薄膜の電気的、機械的特性などを研究して来た。研究派遣および研究受け入れもNTNUと積極的に行い(派遣：計9名、受け入れ：計7名)、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスの優れた機械特性、電気特性付与に寄与する、導電膜の導電性を構成する銀等のフィラーの接触界面の研究、銅サブナノ粒子焼結による導電性金属組織の機械特性の解析、メタルコートポリマー粒子を用いた導電性接着剤の熱伝導度評価と組織解析などの共同研究を実施し、多くの成果を挙げている。また、27年7月にはNTNUでのプリンティッド・エレクトロニクス実装技術に関するセミナーを開催しており(産研から6名、imec 2名、NTNU 10名)、当会議はフレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス実現に向けての重要な会議となった。当グループは、R2グループ(産研、imec)と連携し、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス開発研究の大きな成果である「脳波計測可能な医療用の貼り付け型フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス」の開発研究に貢献した。

② バイオセンシング研究

A. バイオ関連センシングデバイスの開発研究

【R-3：松本（産研）／D. Janes (Purdue 大)】

Purdue 大学には、当事業期間内に計4名の大阪大学若手教職員、大学院生を各1～2ヶ月間派遣して、Purdue 大学のパークセンターにおいて、グラフェンの高性能化の研究を行った。また、当グループは、セミナー開催訪問、大学院生派遣などによる Oxford 大グループ(R4)との情報交換を行った。これらの知見を元に大阪大学においては、グラフェンの高感度インフルエンザセンシングデバイスを開発し、ウイルスの人への感染性、不感染性を3つのウイルスで判定可能であることを実証した(新聞掲載：鳥インフル感染識別にグラフェン活用(日刊工業新聞2015.12.18))。

B. バイオセンサー開発研究

【R-4：松本（産研）、永井（産研）、中谷（産研）／S.Contera(Oxford 大), Mathew(Oxford 大)】

英国オックスフォード大学はバイオセンシング材料物性および医用センサー技術分野での先端的基础研究が盛んであり、産研では、バイオ材料・バイオセンサー技術、バイオ組織形態の高分解能観察技術研究などが盛んである。これらの相補的技術、知識を生かした共同研究 R-5(産研：松本教授、中谷教授、永井教授、Oxford 大学 CONTERA 准教授)を進め、①グラフェン基板ウイルス・センシングの化学反応解析および、優れたバイオセンサー実現のための低分子やタンパク質/基板の吸着、結合に関する現象の物理的な解明(R3研究とも連携)、②生体化学反応による各種化学発光型センサー(バイオセンサー)に関する研究を実施してきた。

R-4-① 基板を用いたバイオセンシング関連研究：

[中谷研]

オックスフォード大物理学科 Contera 研究室に本学准教授を派遣し、原子間力顕微鏡 (AFM) をもちいた生体分子の物理計測研究を実施した。本共同研究をもとに、基板表面上における DNA ナノ構造体や脂質二重膜の詳細な表面構造や物性解析を推進し、その成果を 2017 年の Nanoscale 誌 (issue 9) にて発表した。本研究では、AFM による対象の表面像解析のみならず、走査針による生体分子の物理的な変形や破断を観測に用いており、物理・生物・化学の共同研究により成し得た研究成果である。

[松本研]

Contera 研究室に計 2 名の修士学生を各 1 か月派遣し共同研究を実施した。Contera 研究室が得意とする液中原子間力顕微鏡を用いて、ウイルスタンパクの、より現実に近い環境の溶液中での測定を行い、グラフェン上の糖鎖にヘマグルチニンが選択的に吸着することを示した。さらにノイラミニダーゼの添加により、糖鎖のシアル酸が溶解して、ヘマグルチニンが遊離すること、及びインフルエンザの薬剤であるザナミビルを添加することによりシアル酸の溶解が抑制されて、ヘマグルチニンが遊離しないことを液中 AFM で観察し、薬剤の機序を直接観察できることを示した。グラフェンの基礎物性の評価とバイオ物質の液中 AFM 観察の結果を踏まえることにより、従来は 10^6 個必要であった人獣感染の判定が 3 個のウイルスで可能にできることを証明した。これによりパンデミックを水際で食い止める重要な基盤技術が完成したと言える。

R-4-② 化学発光型センサー開発 (永井研)

・5色の高光度化学発光タンパク質の開発

酵素活性の高い化学発光タンパク質と 5 種類の異なる蛍光タンパク質をハイブリッド化することにより、従来のものより 2 倍から 10 倍明るく、水色、緑色、黄緑色、橙色、赤色に発光する 5 色のタンパク質 enhanced Nano-lantern (増強型ナノ・ランタン) を Oxford 大 Daniel 研との連携により r 開発した。増強型ナノ・ランタンを改変して細胞内カルシウムイオンを検出できる化学発光型センサーも開発し、iPS 細胞由来の心筋細胞で 60 枚/秒という高速度で長時間にわたってイメージングすることにより、忠実なカルシウムイオン動態の計測にも成功した。(Suzuki K. et al. Nature Communications, 7, 13718, 2016)

・化学発光性膜電位センサーの開発

世界初の化学発光性膜電位センサー LOTUS-V を開発し、心筋細胞の膜電位変化を可視化することに成功した。本成果は iPS 細胞由来の心筋細胞を用いた効率的な薬剤評価方法の開発につながる事が期待される。(Inagaki S. et al. Scientific Reports, 7, 42398, 2017)。

・カルシウムイオンセンサーを用いた薬剤評価法の開発

派遣学生受け入れ先の Oxford 大学・Daniels Matthew James 主任研究員のグループとの共同研究により、薬剤の催不整脈作用のリスクを評価するため、薬剤添加により誘導される電気的不安定性を非接触的に 1 細胞レベルで観測する方法を、カルシウムイオンセンサーと光遺伝学ツールを用いて開発した。(Chang Y.F. et al. PLoS One, 12, e0174181, 2017) 本研究をきっかけに、Daniels 研に所属していた、永井研究室出身のポスドク (論文筆頭著者) が、起業しベンチャー企業 LumiSTAR

を出身国である台湾で設立するに至った。

【R-6：笹井（産研）／G. Vo-Thanh (Paris-sud 大, Juge (Bourgogne 大)】

25~27 年度は、パリ南大学に毎年大学院生を派遣し、バイオセンサーに適用可能な反応の探索を行った。その後、ブルゴーニュ大の JUGE 教授のグループとの連携研究により、光学活性なリン化合物を有機分子触媒として用いることにより、類例のない新規反応の開発研究を進めた。28 年度には、ブルゴーニュ大学に 2 ヶ月間、博士前期課程学生 1 名を派遣した。また、ブルゴーニュ大学において、バイオセンシングデバイス創製を指向するグリーンケミストリーをテーマとするセミナーを開催した (30 件の発表)。29 年度には、パリ南大のグループと共同で開発した酸-塩基型の二重活性化型触媒を利用するドミノ型反応の開発研究を行い、その成果を国際論文誌に発表した。また、ブルゴーニュ大との共同研究については、院生 1 名を 1 か月半派遣し、P-キラルなホスフィンを有機分子触媒やキラル配位子として活用する反応を検討した。R3,R4 グループとも連携・情報交換を密にし、バイオセンシングデバイスへの応用展開を検討した。今後もパリ南大・ブルゴーニュ大学とは共同研究を継続発展させる計画であり、学生の受け入れによる有機分子触媒の創製を基盤とするバイオセンシングデバイスの創製研究を実施する。

③ センシング高度情報処理研究

A. 高感度・環境センシングによる安全安心高度情報処理技術開発

【R-7：八木（産研）／Ko Nishino (Drexel 大)】

本研究交流では、大阪大学産業科学研究所で取り組んできた歩容認証技術の発展として、人の注視行動に着目した人物行動解析について取り組んだ。具体的には、防犯カメラなどの固定設置型カメラで撮影される俯瞰映像やウェアラブルカメラで撮影される人物視点の映像を用いて、環境のモデリングや注視方向の推定を行う手法を開発した。また、さらにそれらの技術を用いて人が環境中のどこをよく見ていたのかを可視化し、その可視化された情報から人の意図が推定できる可能性を示した。これらの成果は、査読付き国際会議や招待講演の形で成果発表しており、その一部については大阪大学とドレクセル大学の共著となっている。最終年度の成果については、平成 30 年 3 月頃締切の国内会議や、同年第 1 四半期に締切のある国際会議に、いずれも共著で論文を投稿する予定である。また、これまでの成果を踏まえた新規の共同研究プロジェクトを計画している。

B. センシングに関するデータベース構築と医療診断への応用研究

【R-8：鷺尾（産研）／A. Termier (Rennes 1 大), J. Bilmes (ワシントン大)】

スマートフォンに代表されるモバイル・ウェアラブル端末による画像センシングは、ますます高速、高分解能化し、その利用範囲は急激に拡大しつつある。そのために、より高速、高精度な画像データ解析技術の開発が喫緊の課題となっている。本研究はその高速、高精度化のためのコア基礎技術開発を目指すものであり、その社会的インパクトは非常に大きいと考える。鷺尾研究室では、これまでにジョセフ・フーリエ大、レンヌ大、ワシントン大と連携し、電子デバイス

の動作をログから効率的に検証する手法、出力画像から臓器や血流のような動く物体を効率的かつ高精度に認識し抽出する手法を確立した。

C. フレキシブル脳波センシング対応情報処理技術の開発研究

【R-9：沼尾（産研）／L. de Raedt（KU Leuven）、C.C. Pelachaud（ピエール・マリー・キュリー大（パリ第6大））】

推論、機械学習およびデータマイニングについての世界最高レベルの研究グループとの共同研究によって、センシングしたデータについての機械学習手法の構築と、それを用いた推薦に関する情報処理研究についての世界レベルの研究への展開が期待された。この期待に沿って複数領域を横断可能な推薦システムに関する共同研究を実施し、コンテンツに対する人の反応についてのセンシング応用での成果を挙げることが出来た。その例として、ルーベンカトリック大学、imec (R2) との連携により、音楽聴取中での快不快の検知が可能な脳波ヘッドセット（ヘッドホン付き脳波計）を28年度に共同開発している。（新聞掲載：31報、TVニュース：28報）

（3）若手研究者育成

本事業では、ソフトマテリアル・デバイス技術と高度情報処理技術融合の高度センシング技術開発の国際連携基盤研究を進めてきた。研究体制は、研究者受け入れによる共同研究よりもむしろ若手研究者派遣による共同研究が主体の研究体制である（全期間での若手研究派遣数44名）。この体制によって、欧米の優れた研究機関・研究組織に産研の多くの若手研究者が身を置き、共同研究を実体験することにより、討論や共同作業を通して国際レベルの重要課題や方向性、新たなアプローチへの研究姿勢を知る機会を得、また、一方で、文化や宗教観の異なる海外研究者や周辺の人達との交流によって、国際化とは何かについても真剣に考える機会が与えられている。1～3か月間（ほとんどは約1か月）の短期間の滞在ではあるが、語学力のレベルアップも含めて有意義な派遣滞在中になっていることが彼らの報告書や成果等を通じて十分に理解できた。海外拠点主催のグループセミナーにおいては、派遣若手研究者の研究成果の発表（例：2013, Okinawa Seminar 6件、2013, Grenoble Seminar 1件、2014, Oxford Seminar 2件、2016, Bourgogne Seminar 2件、2017, KU Leuven Seminar 3件、2017, Purdue Seminar 2件）も積極的に行われた。なお、派遣若手研究者に対しては、滞在報告書を英文で提出することがルール化されており、派遣報告書は「産研拠点形成事業ホームページ」

[http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/kikaku/mission/S-](http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/kikaku/mission/S-CtC_Project/Your_Experience___Intenship_Reports.html)

[CtC_Project/Your_Experience___Intenship_Reports.html](http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/kikaku/mission/S-CtC_Project/Your_Experience___Intenship_Reports.html) にアップロードされている。

また、本事業においては、少数ではあるが、海外拠点からの若手研究者（Assistant Professor, PhD Student など）受け入れも実施して来ている。この場合も、海外研究者の受け入れ態勢の整備や共同研究を産研若手研究者が主体的に行っており、十分な教育効果が確認されている。

当事業への参加は、特に若手研究者には国際力、研究力を養う上での教育効果が大きいと考えられ、学振特別研究員採択、各種受賞や昇任等にも関係していると判断される。以下にそれらの実績を示す。

【学振特別研究員採択】

- (1) 鶴見 淳人 (竹谷研) : 学振特別研究員 DC2 採択 (2016 年 4 月採用)
- (2) 山下 侑 (竹谷研) : 学振特別研究員 DC1 採択 (2016 年 4 月採用)
- (3) 牧田龍幸 (竹谷研) : 学振特別研究員 DC1 採択 (2018 年 4 月採用)
- (4) 陣内青萌 (安蘇研) : 学振特別研究員 DC1 採択 (2015 年 4 月採用)

【セミナー開催企画】

2016 年度フランス開催 JSPS core-to-core Workshop Program -Green Process (笹井研) :
当セミナー企画、発表に積極的に関与した。

草場未来 大学院生<修士> (口頭発表) 「Synthesis of Heterocyclic Compounds through Organocatalytic Domino Reaction」

新居田恭章 大学院生<修士> (ポスター発表) 「Chiral Iron Catalysts Bearing SPRIX Ligand」

青木孝憲 大学院生<修士> (ポスター発表) 「Enantioselective Oxidative Coupling of Phenol Derivatives Using Chiral Vanadium(V) catalysts」

【受賞】

- ・竹本明寿也 (菅沼研) : 「銀ナノワイヤ透明電極の微細化技術と透明有機 OFET の開発」 (日本実装学会研究奨励賞) imec-Holst Center 派遣研究時において、銀ナノワイヤ微細配線特性向上メカニズムを解明した。
- ・小野暁生 (松本研) : 産学連携賞「糖鎖機能化グラフェンを用いた二次元生体モデルプラットフォームの創成」(Nanotech 2018, 国際ナノテクノロジー総合展、産学連携賞)
- ・山下 侑 (竹谷研) : 8th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8) Outstanding Student Poster Award
"Hall Effect and High Mobility in Highly Aligned Polymer Semiconductors"
Tokyo, June 22nd-24th, 2016

【昇任】

- ・松井弘之 (竹谷研) : 東京大学 助教から山形大学 准教授 (2016) に昇任
- ・鶴見淳人 (竹谷研) : 博士号取得 (2017) 後 NIMS ポスドク (2018) へ
- ・佐古真 (笹井研) : 博士号取得 (2015) 後 大阪大学助教 (2016) に昇任
- ・生田昂 (松本研) : 博士号取得 (2015) 後 東京農工大学 助教 (2016) に昇任
- ・満上育久 (八木研) : 大阪大学産業科学研究所助教から広島工業大学准教授 (2017) に昇任

(4) 国際研究交流拠点の構築

本事業では、6-2 (1) ②で示したように、海外研究拠点との若手研究者派遣・受け入れや毎年の総合討論セミナー (全体会議) 開催、2 回のグループセミナー開催などを通じて、拠点間の強固なネットワークが形成されている。ネットワーク拠点間の連携意識も強まり、産研の新たな学振頭脳循環事業 (2016 年度~2018 年度) では、この拠点形成事業参画の海外拠点から、imec, Max Planck・Mainz 研, Oxford 大学, KU Leuven が名乗りを上げ参加している。また、前述したように、2013 年 6 月に開催されたベルギーでの当事業総合セミナーの折に、産研並びに海外拠点代表者メンバーが揃ってブリュッセルの European Commission を訪問し、欧州プログラム Horizon 2020

の3名のProgram Officer出席のもとで本産研拠点形成事業の説明を行った。当事業での、目標の定まったタイプの日欧米コンソーシアム研究は大変好評であり、EC側も国際連携イノベーションプログラムに興味を示した。産研では、この拠点形成事業開始後の平成26年に、imec-産研間の一層の連携の機運が高まり、産研所内にimec-SANKEN officeが設置され、産研—imecとの本格的な連携研究が始まった。

(5) 社会貢献や独自の目的等

本事業のもとで、ソフトマテリアル・センシングデバイスを創生し、さらに先端情報処理技術を導入することによって、医療や安全生活上有用なウェアラブルな高度センシングデバイスを創製することが可能となる。このような開発研究によって、人類が安全・安心のもとに生活できる健康管理環境や生活環境を作り出すことができる(社会貢献)。このような技術開発は、単発的な研究から生まれるものではなく、そのような方向性を持った融合国際研究コンソーシアム形成とその組織内での活発な共同研究・情報交換により初めてスピード感をもって達成できるものである。本事業はそのようなタイプのグローバル研究の先端を走る事業であり、合わせてグローバル若手人材の育成に寄与できる事業である。

本事業での医療・安心安全指向のソフトマテリアル・センシングデバイス創製研究は、医療関係者の評価を得て、この研究内容をベースとした文科省・革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)の大阪大学拠点が誕生している(2014秋)。その研究チームリーダーには、当事業代表の松本和彦教授が就任し、当COI研究を牽引しつつある。

(6) 予期しなかった成果

・永井研(R4グループ)ではOxford大との共同研究により、世界初の化学発光性膜電位センサーLOTUS-Vを開発し、心筋細胞の膜電位変化を可視化することに成功した(Inagaki S. et al. Scientific Reports, 7, 42398, 2017)。本成果はiPS細胞由来の心筋細胞を用いた効率的な薬剤評価方法の開発につながることが期待される。この成果に対しては予想以上の反響があり、2018年の1月末にサンフランシスコで開催されたSPIE BIOS2018会議(世界最大のバイオフィotonクス、バイオメディカルオプティクス、イメージングの会議)ではこの成果に関する招待講演を依頼され、また、来る6月12日にBrown大学にて開催されるSymposium on Next Generation NeuroTechnologyへの招待講演依頼を受けている。

・共同研究R9(沼尾教授担当)のテーマでは、生体センサ、その信号処理、それに基づく音楽コンテンツのデータベースからの推薦および自動生成を一貫して行ってきた。これらを行う研究機関はそれぞれ専門が異なり、隣(50メートル程度の距離)にあっても、交流がないこともある。研究が高度に専門化していることを思い知らされたが、世界各国と交流するなかで、これは貴重な経験であった。こうした学際的な難しさはあるが、研究成果はテレビ、ラジオ、新聞などのマスコミに興味を持って取り上げていただいた。新規研究テーマを切り開くには、こうした学際的活動を国際的に続けることが重要であることが分かった。

(7) 今後の課題・問題点及び展望

当該拠点形成事業では、有機デバイスやフレキシブルデバイスを応用して、バイオセンシングを達成することを目標として遂行し、パッチ式脳波計や高感度ウイルス検出素子の開発に成功した。パッチ式脳波計は、フレキシブル電極とハードな計測回路を組み合わせたものであるが、今後、計測回路もフレキシブル化することにより、より軽量化、より小型化を目指していく。これにより、印刷技術を用いた大量生産が可能になり、コストの大幅低減が期待され、各家庭での認知症診断や睡眠診断に威力を発揮できることが期待できる。またウイルスセンシングデバイスは、人獣感染性を10個以下のウイルスで鑑別できる能力を達成できたが、測定サンプルは精製したウイルスである。今後、実際の場面に即した唾液などからのウイルス検出を可能にするためには様々な前処理技術が不可欠になってくる。このような技術を国際的な連携で推進していくことが必要である。

(8) 本研究交流事業により全期間中に発表された論文等

①全期間中に学術雑誌等に発表した論文・著書 32本

うち、相手国参加研究者との共著 25本

②全期間中の国際会議における発表 24件

うち、相手国参加研究者との共同発表 10件

③全期間中の国内発表・シンポジウム等における発表 24件

うち、相手国参加研究者との共同発表 7件

(※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

7. 平成29年度及び全期間にわたる研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) フレキシブル有機半導体デバイスの開発 (英文) Development Study on Flexible Organic Semiconductors Devices				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 竹谷純一・東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授 (英文) Junichi TAKEYA・Graduate School of Frontier Sciences・The University of Tokyo・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Paul BLOM・Max Plank Institute (Mainz Laboratory)・Director				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	29年度は大阪大学産業科学研究所で開発した新規半導体材料のデバイス評価を実施した。このため、竹谷研と連携研究を進めている協力機関のグローニンゲン大学に1ヶ月派遣し、単層カーボンナノチューブの基礎物性評価手法、作成方法を学んだ。また、竹谷教授が受け入れたグローニンゲン大学博士課程の学生の学位審査を現地にて行った。				
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	平成25-27年度の日本側の竹谷教授グループと欧州側のBlom教授による共同研究により、新規塗布型有機半導体デバイスの基礎物性とキャリア伝導機構を解明する研究と、有機強誘電体を用いた低電圧動作型の高性能有機メモリデバイスの開発研究、さらにカーボンナノチューブの両極性トランジスタ、有機単結晶/高分子/ナノチューブブレンド半導体の研究が実施され、繰り返し書き込んでも素子が劣化しない有機強誘電キャパシタを作製することに成功するなどの成果を挙げた。高移動度の有機半導体、カーボンナノチューブ、及びそのハイブリッド材料の印刷半導体の開発研究成果をもとにセンサデバイス用の集積回路開発を進め、R2, R5 グループが進めているフレキシブル・ナノ配線技術を利用することによってフレキシブル印刷半導体の低コストかつ高機能集積デバイスの開発研究を行い、1,000個の有機半導体で構成されるC-MOS回路の開発に成功するなどの成果を得た。さらに、有機薄膜太陽電池に向けたポリマー開発において、良好な光電変換効率を得るとともに、さらなる性能向上に向けた知見を得た。また、有機電解効果トランジスタ材料においても、駆動機構の解明に向けた研究を展開した。共同研究においては、若手教員がドイツ研究機関特有の、基礎に裏打ちされた堅実な研究スタイルに触れることができ、国際感覚の向上に大いに寄与した。				

整理番号	R - 2	研究開始年度	平成 25 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) 高度センシング・ウェアラブルデバイス・実装技術開発				
	(英文) Development Study on Flexible Organic Semiconductors Devices				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 菅沼克昭 大阪大学産業科学研究所 教授				
	英文) Katsuaki SUGANUMA ・The Institute of Scientific& Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Jo DE BOECK・imec(Interuniversity Microelectronics Centre)・CTO & senior vice president of imec				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	平成25—28年度には、imec が有するレーザーパターニング技術、ストレッチャブル配線作製技術、産研側が有するソフトナノマテリアル・金属ナノ材料デバイス技術と組み合わせて、次世代フレキシブル・ウェアラブルデバイスに資するストレッチャブル透明配線の開発、電界効果トランジスタ(OFET)の透明化・高性能化にむけた技術開発、およびデバイス実装について共同研究を実施した。また、産研で開発した有機化学合成・OFET 用新規半導体材料の性能向上研究と相補回路構築を imec と共に実施し、医療等に適した高感度センシング・ウェアラブル(ストレッチャブル)デバイスの開発に向けた研究を進行させた。平成29年度は、修士学生1名を imec に3か月派遣し、有機半導体の大面積製造技術の構築を検討し、センサデバイスの高性能化・薄膜化に資する開発研究を実施した。また、imec-Holst Centre の連携機関である Eindhoven 工科大学から学生1名が滞在し、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスに必須なストレッチャブルマイクロ流路の開発や計測用電流を発生可能なエナジーハーベスト機能の設計・プロトタイプ作製を行った。29年度は、R1 および R5 グループとも連携を一層密にし、高感度センシング・ウェアラブル(ストレッチャブル)デバイスの開発に向けた研究を進展させた。				
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ imec と産研が独自に有する最先端の技術・材料を互いに持ち寄ることにより、世界に先駆けたデバイス研究開発を遂行した。その結果、高度センシング・ウェアラブルデバイス・実装技術開発に資する多くの技術開発や知見獲得に成功しながら、学生・若手研究者の国際的なコミュニケーション能力や研究遂行能力が向上した。 ・平成25年度から平成26年度にかけて、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスに必須な印刷配線技術および新規接合技術のフィージビリティスタディを行い、産研にて開発した銀系インクを用いてレーザー転写やレーザー焼結によるマイクロパターニングを実現した。以後に開発するセンサインテグレーション時に応用され、大変重要な知見となった。 				

・平成 26 年度から平成 27 年度にかけて、産研・imec 交流研究で開発された安定動作 n 型半導体のフレキシブルインバータ回路や光センサへの応用研究を R1 および R5 グループと連携して行った。産研安蘇研により開発した塗布型有機太陽電池用新規 n 型材料については、imec の先端プロセス技術および評価装置によって性能向上と駆動安定性を検討し、高いエネルギー変換効率を達成した。さらに、化学構造と素子性能の相関に関する多くの知見とさらなる分子設計に向けた有益な指針を得た。一方で、半導体センサについて、検出部分の各種作製条件を制御することで、半導体のセンシングメカニズム解明に資する基礎データを取得することに成功した。これらの結果は、米国材料学会 MRS2015 秋等にて発表を行っている。

・平成 26～29 年度にかけて imec-Holst Centre およびその連携機関である Eindhoven 工科大学から研究員や学生あわせて 2 名以上が菅沼研に長期滞在し研究開発を進めた。その結果、ヘルスケア用フレキシブル・ウェアラブルデバイスの必須要素技術であるマイクロ流体センサ開発に必要な低インピーダンス電極材料、安定したセンシングが可能なストレッチャブル構造、およびエネルギーハーベスト型小型電源を開発した。現在、これら要素技術の統合を行って、高インパクトジャーナルへの論文執筆の準備を進めている。

・産研関谷研は、平成 28 年度以降に修士学生を 2 名、imec および imec-Holst Center へ約 3 か月間派遣して、ウェアラブルデバイスの薄膜化・高性能化に資する有機半導体の大面積成膜技術および有機電界効果トランジスタ (OFET) 用電極材料に関する研究開発を行った。特に、産研にて開発した銀ナノワイヤ微細配線の分析を詳細に行うことにより、配線特性向上メカニズムの解明を行い、透明有機 OFET の特性向上に資する知見を得た。その結果、実装学会 MES2017 において「親水撥水パターン表面を用いた銀ナノワイヤ透明電極の微細形成」の発表を行い、研究奨励賞を受賞した。さらに、米国材料系学会 MRS2017 においても学会発表を行って、現在、論文投稿段階である。

整理番号	R-3	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) ナノワイヤによるバイオセンシング技術の開発 (英文) Bio Sensing using Nanowire				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 松本和彦・大阪大学産業科学研究所・教授 (英文) Kazuhiko Matsumoto・The Institute of Scientific& Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) David JANES・Purdue University・Professor				
29年度の 研究交流活動 及び得られた 成果	<p>Purdue 大学とは、優れた検出感度を有するバイオセンシングに適応したグラフェン基板・ウイルス検出デバイス創成の共同研究を更に進展させた。2017/6 にパーデュー大学において、国際拠点プログラムのセミナーを開催し、担当の David Jane 教授や Joerg Appenzeller 教授他、多くの教授とスタッフの参加を得た。大阪大学側からは、松本をはじめ教授、若手スタッフ6名が参加した。我々の共同研究内容である二次元材料の複合化による高性能化、トンネルトランジスタとして用いる場合のメリットなどを議論し、我々のセンサーデバイスへの展開を議論した。また 2500m²の広さを誇るクリーンルームを保有するバークナノテクセンターの詳細な見学コースを用意していただき、米国の大学の底力を見せつけられた。</p> <p>また 2018 年 1 月に大阪大学で国際会議を開催し、パーデュー大学の Joerg Appenzeller 教授を招待して 2 次元材料の集積化回路応用の際の問題点を指摘していただき、有意義な議論展開を行った。</p>				
全期間にわたる 研究交流活動 及び得られた 成果の概要	<p>「インフルエンザウイルス検出デバイスの開発」</p> <p>研究代表者らと Purdue 大学との共同研究(R3)による、グラフェン基板を用いたバイオセンサーの開発において、グラフェン基板上に、リンカーであるスクシンイミジルエステルを用いて糖鎖を修飾し、ヒト感染インフルエンザウイルスと鳥感染インフルエンザウイルスとを選択的に検出できることを示し、最高3個のウイルスで検出可能である超高感度センサーの開発に成功した。この背景には Oxford 大(R4)との連携があり、グラフェンの基礎物性の評価とバイオ物質の液中 AFM 観察の結果を踏まえることにより、従来は 10⁶個必要であった人獣感染の判定が3個のウイルスで可能にできることが証明された。これによりパンデミックを水際で食い止める重要な技術が完成したと言える。</p>				

整理番号	R-4	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) バイオセンシング現象の解明				
	(英文) Analysis of Bio-sensing Phenomena				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 松本和彦・大阪大学産業科学研究所・教授				
	(英文) Kazuhiko Matsumoto・The Institute of Scientific and Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Sonia CONTERA・Department of Physics・University of Oxford・Director of Oxford Martin Program (Lecturer)				
29年度の 研究交流活動 及び得られた成 果	<p>英国オックスフォード大学とは、バイオサイエンス、医用ナノサイエンス研究分野での連携研究を行っており、29年度は、産研永井研究室より博士後期課程学生1名を20日間、Daniels研究室に派遣し、生理反応を1細胞レベルで光により制御する遺伝子にコードされた分子ツールに関する共同研究を実施し以下の成果を挙げた。</p> <p>現在開発中の光照射により活性酸素を産生する緑色蛍光タンパク質 (ROS-GFP) を用いて、光刺激により iPS 細胞由来の心筋内の拍動を変化させることを試みた。レンチウイルスを用いて ROS-GFP を心筋細胞塊に発現させて緑色蛍光を観察することに成功した。さらに青色光を照射して、3個体中2個体において拍動を速めることに成功した。ROS-GFP を活性酸素種産生と心筋症の関係を解明するツールとして応用するための基礎となるデータを得ることができた。今回の派遣者はアジアの留学生であり、中間評価で指摘を受けた「アジアの留学生への派遣機会」を作ることが出来た。</p> <p>一方で、グラフェン基板を利用したバイオセンサー研究では、オックスフォード大 Sonia 准教授とは緊密な研究の連絡をとり、糖鎖修飾グラフェン上に得意的に反応吸着するヘマグルチニンの観察結果、薬剤効果の議論を行った。</p> <p>2018年1月に開催の産研国際会議では Sonia 准教授より液中 AFM のバイオ観察結果についての講演があり、松本研が先にオックスフォード大学で計測した液中 AFM のヘマグルチニンタンパク質、薬剤機序の効果の測定結果を議論した。</p> <p>現在、この関係の論文投稿準備中である。</p> <p>また、化学発光型のセンサー開発でも世界初の化学発光性膜電位センサー LOTUS-V を開発しており、心筋細胞の膜電位変化の可視化に成功した。</p>				

<p>全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要</p>	<p>英国オックスフォード大学はバイオセンシング材料物性および医用センサー技術分野での先端的基礎研究が盛んであり、産研では、バイオ材料・バイオセンサー技術、バイオ組織形態の高分解能観察技術研究などが盛んである。これらの相補的技術、知識を生かした共同研究 R-5（産研：松本教授、中谷教授、永井教授、Oxford 大学 CONTERA 准教授）を進め、①グラフェン基板ウイルス・センシングの化学反応解析および、優れたバイオセンサー実現のための低分子やタンパク質／基板の吸着、結合に関する現象の物理的な解明（R 3 研究とも連携）、②生体化学反応による各種化学発光型センサー（バイオセンサー）に関する研究を実施してきた。</p> <p>①では、原子間力顕微鏡（AFM）をもちいた生体分子の物理計測研究を実施し、基板表面上における DNA ナノ構造体や脂質二重膜の詳細な表面構造や物性解析を推進し、その成果を 2017 年の Nanoscale 誌(issue 9)にて発表した。また、Contera 研究室が得意とする液中原子間力顕微鏡を用いて、ウイルスタンパクの、より現実に近い環境の溶液中での測定を行い、グラフェン上の糖鎖にヘマグルチニンが選択的に吸着することを示した。さらにノイラミニダーゼの添加により、糖鎖のシアル酸が溶解して、ヘマグルチニンが遊離すること、及びインフルエンザの薬剤であるザナミビルを添加することによりシアル酸の溶解が抑制されて、ヘマグルチニンが遊離しないことを液中 AFM で観察し、薬材の機序を直接観察できることを示した。グラフェンの基礎物性の評価とバイオ物質の液中 AFM 観察の結果を踏まえることにより、従来は 10^6 個必要であった人獣感染の判定が 3 個のウイルスで可能にできることを証明した。これによりパンデミックを水際で食い止める重要な基盤技術が完成したと言える。</p> <p>また、化学発光型センサー開発においても、・5 色の高光度化学発光タンパク質の開発、・化学発光性膜電位センサーの開発、・カルシウムイオンセンサーを用いた薬剤評価法の開発などにおいて多くの共同研究成果を挙げた（6-2（2）②の項参考）。</p>
---------------------------------	--

整理番号	R-5	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) プリンテッドエレクトロニクスのナノ材料の力学解析 (英文) Mechanical Analysis of Nanomaterials for Printed Electronics				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 菅沼克昭・大阪大学産業科学研究所・教授 (英文) Katsuaki SUGANUMA, • The Institute of Scientific and Industrial Research • Osaka University • Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Zhiliang ZHANG • Director of NTNU Nanomechanical Lab., Dept. Structural Engineering • Norwegian University of Technology (NTNU) • Professor				
29年度の 研究交流活動 及び得られた 成果	<p>29年度も、これまで構築した研究ネットワークを引き継ぎ、導電性を構成する銀等のフィラーの接触界面について研究を実施した。当研究成果は、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスの優れた機械特性および熱電特性付与に貢献した。この共同研究の一環として、NTNUから若手研究者（博士課程学生）を1名、2か月間受け入れ、金属と高分子からなるフレキシブル導電体の機械特性や熱特性に関する実験的研究を実施した。大阪大学からは准教授を2週間NTNUに派遣し、また協力機関である Aalto 大学を訪問し、これまでの共同研究のまとめと討論を行った。</p>				
全期間にわたる 研究交流活動 及び得られた 成果の概要	<p>ノルウェー科学技術大学NTNUとの共同研究では、センサー用プリンテッド・エレクトロニクスの基礎的研究を進め、導電性薄膜、半導体薄膜の電気的、機械的特性などを研究して来た。研究派遣および研究受け入れもNTNUと積極的に行い（派遣：計9名、受け入れ：計7名）、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイスの優れた機械特性、電気特性付与に寄与する、導電膜の導電性を構成する銀等のフィラーの接触界面の研究、銅サブナノ粒子焼結による導電性金属組織の機械特性の解析、メタルコートポリマー粒子を用いた導電性接着剤の熱伝導度評価と組織解析などの共同研究を実施し、多くの成果を挙げている。また、27年7月にはNTNUでのプリンテッド・エレクトロニクス実装技術に関するセミナーを開催しており（産研から6名、imec 2名、NTNU 10名）、当会議はフレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス実現に向けての重要な会議となった。当グループは、R2グループ（産研、imec）と連携し、フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス開発研究の大きな成果である「脳波計測可能な医療用の貼り付け型フレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス」の開発研究に貢献した。</p>				

整理番号	R-6	研究開始年度	平成 25 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) 新規反応の開発を基盤とするバイオセンシングデバイスの創製 (英文) Development of Novel Bio-sensing Devices Based on New Reaction				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 笹井宏明・大阪大学産業科学研究所・教授 (英文) Hiroaki SASAI・The Institute of Scientific and Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Giang VO-THANH・University of Paris-Sud・Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)・Professor				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	<p>25~27年度は、パリ南大学に毎年大学院生を派遣し、バイオセンサーに適用可能な反応の探索を行った。その後、ブルゴーニュ大の JUGE 教授のグループとの連携研究により、光学活性なリン化合物を有機分子触媒として用いることにより、類例のない新規反応の開発研究を進めた。28年度には、ブルゴーニュ大学に2ヶ月間、博士前期課程学生1名を派遣した。また、ブルゴーニュ大学において、バイオセンシングデバイス創製を指向するグリーンケミストリーをテーマとするセミナーを開催した(30件の発表)。29年度には、パリ南大のグループと共同で開発した酸-塩基型の二重活性化型触媒を利用するドミノ型反応の開発研究を行い、その成果を国際論文誌に発表した。また、ブルゴーニュ大との共同研究については、院生1名を1か月半派遣し、P-キラルなホスフィン有機分子触媒やキラル配位子として活用する反応を検討した。R3,R4グループとも連携・情報交換を密にし、バイオセンシングデバイスへの応用展開を検討した。引き続きパリ南大・ブルゴーニュ大学より学生を受け入れ、有機分子触媒の創製を基盤とするバイオセンシングデバイスの創製研究実施する。</p>				
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	<p>29年度は、これまでのパリ南大学との酸-塩基型の二重活性化型触媒を利用するドミノ型反応に関する共同研究を国際誌 <i>Chemical and Pharmaceutical Bulletin</i> に発表することができた(本成果は2017年11月号の論文雑誌の表紙となった)。現在、本共同研究を基盤とするバイオセンシングデバイスへの応用を展開している。</p> <p>いずれのグループとの共同研究においても、大学院生が実際に現地で共同研究を行うことで、異なる基盤を持つ研究グループのアイデアを相乗的に活かした研究を展開した。29年度は、大学院生がブルゴーニュ大学に73日間滞在して自主的に研究活動を展開した結果、双方の学生の主体性と国際感覚が大きく向上した。</p>				

整理番号	R-7	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) ヘテロなカメラ群による視点偏在化システムの実現 (英文) Omnipresent Vision System by Heterogeneous Cameras				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 八木康史・大阪大学・理事・副学長 (英文) Yasushi YAGI・Osaka University・Vice President				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Ko Nishino・College of Computer and Information・Drexel University・Professor				
29年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	<p>大阪大学の満上助教が10月に広島市立大学に異動したが、その後も招聘准教授として本研究交流に参画し研究を継続した。メールやネット会議による継続的な意見交換に加えて、Prof. Nishinoが5月に来阪、11月には広島市立大学を訪問、満上准教授も12月にDrexel Universityを訪問し、密な議論を行いながら研究を推進した。研究内容としては、Convolutional Neural Networkを用いて、俯瞰カメラで撮影される低解像度な人物映像から頭部方向を推定する手法を新たに開発し、前年度までの成果と統合して、注視方向までを推定できる技術を構築した。6月にベルギーのimecで開催された5th Conference of SANKEN Core to Core Program、および、KU Leuvenで開催されたMachine Learning Seminarで満上助教(当時)が本研究について口頭発表し、活発な意見交換を行った。また、平成30年8月に開催される国内会議に、共著で論文を投稿した。</p>				
全期間にわたる 研究交流活動 及び得られた 成果の概要	<p>本研究交流では、大阪大学産業科学研究所で取り組んできた歩容認証技術の発展として、人の注視行動に着目した人物行動解析について取り組んだ。具体的には、防犯カメラなどの固定設置型カメラで撮影される俯瞰映像やウェアラブルカメラで撮影される人物視点の映像を用いて、環境のモデリングや注視方向の推定を行う手法を開発した。また、さらにそれらの技術を用いて人が環境中のどこをよく見ていたのかを可視化し、その可視化された情報から人の意図が推定できる可能性を示した。これらの成果は、査読付き国際会議や招待講演の形で成果発表しており、その一部については大阪大学とドレクセル大学の共著となっている。最終年度の成果については、平成30年3月締切の国内会議や、同年第1四半期に締切のある国際会議に、いずれも共著で論文を投稿する予定である。また、これまでの成果を踏まえた新規の共同研究プロジェクトを計画している。</p>				

整理番号	R-8	研究開始年度	平成26年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 電子デバイスビッグログデータからのデータマイニング (英文) Data mining from big log data of electric devices				
日本側代表者氏名・所属・職	(和文) 鷲尾 隆・大阪大学産業科学研究所・教授 (英文) Takashi WASHIO・The Institute of Scientific& Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者氏名・所属・職	(英文)・Alexandre TERMIER・University Rennes 1・Professor (フランス) ・Jeff Bilmes・University of Washington・Professor (米国)				
29年度の 研究交流活動及び得られた成果	28年度までに、レンヌ大学との「共同研究」により、電子センシングデバイス等から出力されるより複雑な画像データをはじめとする難しい構造・構成を有するデータから、高精度な機械学習を可能にする高度最適化原理を探究する共同研究を実施し、さらに、レンヌ大学、ワシントン州立大学と連携し、センシングデバイス・高速、高精度画像データ解析技術に関する研究を推進した。今年度は、これらの原理を実データに適用し、その性能を検証する研究を実施し、センサから得られる画像時系列（画像ストリーム）情報から、センシングメカニズムの不具合を検知可能であることを明らかにした。				
全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要	スマートフォンに代表されるモバイル・ウェアラブル端末による画像センシングは、ますます高速、高分解能化し、その利用範囲は急激に拡大しつつある。そのために、より高速、高精度な画像データ解析技術の開発が喫緊の課題となっている。本研究はその高速、高精度化のためのコア基礎技術開発を目指すものであり、その社会的インパクトは非常に大きいと考える。鷲尾研究室では、これまでにジョセフ・フーリエ大、レンヌ大、ワシントン大と連携し、電子デバイスの動作をログから効率的に検証する手法、出力画像から臓器や血流のような動く物体を効率的かつ高精度に認識し抽出する手法を確立した。				

整理番号	R-9	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) 機械学習とデータマイニング (英文) Machine learning and data mining				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 沼尾正行・大阪大学産業科学研究所・教授 (英文) Masayuki NUMAO・The Institute of Scientific and Industrial Research・Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Luc DE RAEDT・Department of Computer Science, KU Leuven・Professor				
29年度の研 究交流活動及び得 られた成果	シンボルを中心とした推論、機械学習およびデータマイニングについての共同研究をルーベン・カトリック大学と進めており、脳波診断に関するデータベース構築と医療診断のための高度情報処理手法の開発に取り組み、28年度には、各種の脳活動測定データの解析研究を応用し、ルーベン・カトリック大学、imec との連携により、音楽聴取中での快不快の検知が可能な脳波ヘッドセット(ヘッドホン付き脳波計)を共同開発している。29年度はさらに、コンテンツの推薦システムのための高度情報処理手法の開発研究を実施した。このため、ルーベン・カトリック大学に、若手研究者を1名、1か月派遣し、6月20日に、日本側から4名訪問し、18名参加の機械学習セミナーを開催し、複数領域を横断可能な推薦システムについて議論した。				
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	推論、機械学習およびデータマイニングについての世界最高レベルの研究グループとの共同研究によって、センシングしたデータについての機械学習手法の構築と、それをを用いた推薦に関する情報処理研究についての先端研究が展開された。これに沿って複数領域を横断可能な推薦システムに関する共同研究を実施し、コンテンツに対する人の反応についてのセンシング応用での成果を挙げる事が出来た。 本国際共同研究によって、若手研究者の自主的な研究活動や、国際研究感覚の醸成が遂行できた。				

7-2 セミナー

(1) 全期間において実施したセミナー件数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
国内開催	1 回	1 回	0 回	1 回	0 回
海外開催	2 回	2 回	3 回	2 回	3 回
合計	3 回	3 回	3 回	3 回	3 回

(2) 平成 29 年度セミナー実施状況

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「ナノマテリアルを用いたセンシング技術セミナー」 (英文) JSPS Core-to-Core SANKEN Program “Seminar for Sensing Technology by Nano Materials”
開催期間	平成 29 年 6 月 22 日～平成 29 年 6 月 22 日 (1 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 米国、インディアナ州ウエストラファイエット、パデュー大学 (英文) U S A, Indiana state, West Lafayette, Purdue University
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 松本和彦 大阪大学産業科学研究所、教授 (英文) Kazuhiko MATSUMOTO, ISIR Osaka Univ. Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文) David JANES・Purdue University・Professor

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (ベルギー)	
	A.	B.
日本 <人/人日>	6/24	0
ドイツ <人/人日>	6/6	8
合計 <人/人日>	12/30	8

- A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)
B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、

備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	フレキシブル材料、ナノカーボン材料、薄膜導電性材料などの新規材料の開発とその応用開発についての最新展開についてのセミナーを開催する。これらを用いたバイオセンサー、微小電圧センサー、またこれらの情報処理について議論することにより、本プロジェクトの最終目標であるセンシングデバイスを達成する一助とする。	
セミナーの成果	担当の D. Janes 教授や J. Appenzeller 教授他、多くの教授とスタッフの参加を得た。大阪大学側からは、松本はじめ6名の教授、若手スタッフが参加した。我々の共同研究内容である二次元材料の複合化による高性能化、トンネルトランジスタとして用いる場合のメリットなどを議論し、センサーデバイスへの展開を議論した。また2018年1月に大阪大学で国際会議を開催し、パーデュー大学の J. Appenzeller 教授を招待して2次元材料の集積化回路応用の際の問題点を指摘いただき、有意義な議論展開を行った。	
セミナーの運営組織	Organizing committee: David Janes ・ Purdue University ・ Professor	
開催経費 分担内容	日本側	内容: 外国旅費、海外保険料他、外国旅費等に係る消費税他 支出金額: 外国旅費 1,935,076 円 国内旅費 33,290 円 消費税 154,806 円
	(ベルギー) 側	内容 会場費、レセプション費、消耗品費 旅費、滞在費他
	(ドイツ) 側	内容 旅費、滞在費他
	オランダ (第三国) 側	内容 旅費、滞在費

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「第5回拠点形成総合セミナー」

	(英文) JSPS Core-to-Core SANKEN Program “5th Conference for Fusion to Fabricate Soft-Materials Sensing Devices”
開催期間	平成29年6月19日(1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) ベルギー、ルーベン、imec (英文) Belgium, Leuven, imec
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 松本和彦 大阪大学産業科学研究所、教授 (英文) Kazuhiko MATSUMOTO, ISIR Osaka Univ. Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文) Organized Committee: Jo De Boeck・imec・CTO & Executive Vice President Kazuhiko Matsumoto, Mototsugu Ogura・ISIR, OSAKA University・Professor

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (ベルギー)	
日本 <人/人日>	A.	11/29
	B.	3
ドイツ <人/人日>	A.	1/1
	B.	0
ベルギー <人/人日>	A.	13/2
	B.	15
オランダ(第三国) <人/人日>	A.	10/20
	B.	0
合計 <人/人日>	A.	35/52
	B.	18

- A. 本事業参加者(参加研究者リストの研究者等)
B. 一般参加者(参加研究者リスト以外の研究者等)

※日数は、出張期間(渡航日、帰国日を含めた期間)としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	産研と欧米6拠点(imec, Max Planck, Oxford 大, Paris-Sud 大, NTNU, Purdue 大)のコーディネーターならびに協力機関を含めた当プログラム参加者が一堂に会し、当事業として最終年度で5回目の全体会議を総括開催する。(1)センシングデバイス用バイオ・有機材料(ソフトマテリアル)開発研究、(2)機能性ソフトマテリアルのデバイス化、センサー化研究、(3)多様なセンシング情報に基づく情報処理研究、に関する最新の共同研究成果について発表し、これら基盤・要素的研究をベースにした、今後のバイオ/脳波・ウェアラブルセンシングデバイス創製と情報処理技術の融合に向けての共同研究の進め方に関する討論などを行う。
-----------	--

セミナーの成果	25, 26, 27, 28 年度の各共同研究を総括し、今後のバイオ／脳波・ウェアラブルセンシングデバイス創製と情報処理技術の融合に向けての共同研究の展開を討論する良い機会となった。	
セミナーの運営組織	Organizing committee: Jo de Boeck(imec), Sywert Brongersma(Holst Centre), Beyns An (Holst Centre) Kazuhiko Matsumoto, Mototsugu Ogura (ISIR, Osaka University)	
開催経費 分担内容	日本側	内容: 外国旅費、海外保険料他、外国旅費等に係る消費税他 支出金額: 外国旅費 1,844,913 円 国内旅費 17,330 円 消費税 147,593 円
	(ベルギー) 側	内容 会場費、レセプション費、消耗品費 旅費、滞在費他
	(ドイツ) 側	内容 旅費、滞在費他
	オランダ (第三国) 側	内容 旅費、滞在費

整理番号	S-3
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「機械学習セミナー」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Machine Learning Seminar”
開催期間	平成29年6月20日 (1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) ベルギー、ルーベン、KUルーベン
	(英文) Bergium, Leuven, KU Leuven
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 沼尾正行・大阪大学産業科学研究所 教授
	(英文) Masayuki NUMAO・The Institute of Scientific and Industrial Research・Osaka University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) Luc DE RAEDT・Department of Computer Science, KU Leuven・Professor

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (ベルギー)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	4/ 15
	B.	0
ベルギー 〈人／人日〉	A.	3/ 6
	B.	10
合計 〈人／人日〉	A.	7/ 21
	B.	10

A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください

セミナー開催の目的	音楽や映画などのコンテンツの推薦システムの基礎となる機械学習手法について議論を行う。	
セミナーの成果	これまでの推薦システムには、類似性のみに基づいており、同じようなコンテンツばかりを推薦するという弱点があった。その殻を打ち破り、掘り出し物を見つけることが可能な推薦システムを構築することが可能になった。当セミナーでは、産研から3名の若手研究者(Dr 学生、修士学生、准教授)が発表を行い、若手研究者育成に貢献できた。	
セミナーの運営組織	Luc DE RAEDT・Department of Computer Science, KU Leuven・Professor	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費、海外保険料他、外国旅費等に係る消費税他 支出金額： 外国旅費 753,526 円 国内旅費 23,890 円 海外保険料 4,010 円 OSSMA 費用 1,836 円 消費税 60,602 円
	(ベルギー) 側	内容 会場費、レセプション費、国内旅費他

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外でどのような交流（日本国内の交流を含む）を行ったか記入してください。

（1）平成29年度実施状況

日数	派遣研究者		訪問先・内容		派遣先	
	氏名・所属・職名	氏名・所属・職名	氏名・所属・職名	内容		
4 日間	長尾至成	大阪大学産業科学研究所・准教授	NOWAK Roman	Aalto University・Professor	GaN結晶変形に関するの共同研究の論文発表打ち合わせ（6/20-6/23, ヘルシンキ）を行った。	フィンランド
1 日間	満上育久	広島市立大学・准教授	八木康史	大阪大学産業科学研究所・教授	ヘテロなカメラ群による視点偏在化システムの実現の共同研究の産業科学研究所の学生への実験指導および研究打ち合わせを行った。	大阪大学
1 日間	満上育久	広島市立大学・准教授	八木康史	大阪大学産業科学研究所・教授	大阪大学発の最先端技術を紹介するイベントに参加し、R7共同研究データ収集と情報発信を行った。	日本・大阪 グランフロント
3 日間	小倉基次	大阪大学産業科学研究所・特任准教授		シリコンバレーの世界トップ企業	サンフランシスコ阪大北米センターオフィスにて研究拠点形成事業ナノデバイス研究に関する情報収集を行った。	米国サンフランシスコ
3 日間	植村隆文	大阪大学産業科学研究所・特任准教授		シリコンバレーの世界トップ企業	サンフランシスコ阪大北米センターオフィスにて研究拠点形成事業ナノデバイス研究に関する情報収集を行った。	米国サンフランシスコ

（2）全期間にわたる実施状況概要

鷲尾研：

2013年から一貫して米国ワシントン州立大学、J.Bilmes 教授機械学習・データマイニング技術に関する研究を実施した。派遣研究（各年1週間～1か月）には河原准教授が従事した。機械学習に必要なとなる特殊な構造を持った問題への最適化アルゴリズムの開発やコンピュータ・ビジョン技術における実用性の議論などを行い成果を挙げている。

沼尾研：

テレコム・パリの S.Pelachaud 教授（2017よりマリーキュリー大（パリ・第6大に転任））と連携し、2013～2018まで、心理状態変化の各種センサー技術による測定実験を実施した（修士学生、助教を派遣）。R9グループ研究（KU Leuven, imec との共同研究）での音楽聴取中での快不快の検知が可能な脳波ヘッドセット（ヘッドホン付き脳波計）の共同開発の基盤研究として寄与した。

菅沼研：

imec 連携機関（ゲント大、アイントホーヘン大、デルフト工科大）との交流を実施し（准教授、助教を派遣）、ストレッチャブルナノワイヤ導電膜のセンサー応用実験、材料評価実験などを実施し、R2, R5 グループのフレキシブル・ストレッチャブル・センシングデバイス創製に貢献した。

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

※中間評価の指摘事項等を踏まえ、交流計画等に反映させた場合、その対応について記載してください。

中間評価では、いくつかの今後改良を要する点の指摘を受けた。それらの中で特に交流計画に反映させた対応について以下に示す。

[研究計画への指摘と対応]：

(指摘)

長期展望に立ち、人材交流を含めて、どの機関とどの部分を強化し、有機的なネットワークに成長させるのかという点についても、より具体的な計画を立てる必要がある。今後の計画については、全体会議等で方向性をより明確にするよう、参加者の意思統一を図る必要があろう。

(対応)

当事業では、特に中間評価以後は、センシングデバイス技術開発の方向を「フレキシブル・バイオ／脳波センシングデバイス」に絞り込み、①フレキシブルセンシングデバイス、②バイセンシング、③センシング高度情報処理、の3方向でのグループ研究を進展させた。平成28年度12月に大阪で開催された第4回拠点形成総合セミナー（当事業国際セミナー）では、すべての成果発表を当事業での国際共同研究グループ(R1～R9)を単位にして行い、成果に関連して、グループおよびグループ間の連携の29年度の方向性についても確認し、上記3方向での成果を挙げる事が出来た。

[共同研究の成果への指摘と対応]：

(指摘)

- (1) ソフトマテリアルデバイス技術と情報処理技術を融合した高度センシング技術への展開への一層の努力が望まれる。
- (2) 参加機関数、参加研究者数が多いのに対して、論文発表や学会発表数が少ない。特に研究課題の中心となるソフトマテリアルの開発とデバイス技術に関する共同研究を推進する必要がある。

(対応)

当初は29年度での目標であった「高度情報処理技術で機能化された新規センシングデバイスのプロトタイプの実現」は、それらの一部を27年度後半～28年度中に実現できた。すなわち、(a) グラフェン基板バイオセンサーを応用したインフルエンザウイルス検出デバイス創製、および、(b) 最新の乾式ポリマー電極を装着した脳波ヘッドセット（ヘッドホン付き脳波計による音楽聴取時の快不快脳波を情報解析）などのプロトタイプのコラボ共同開発である。これら(a), (b)については記者会見や新聞発表、TV報道を実施している：((a):http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/pdf/news/20151218_nikkann_ono.pdf ; (b) :

<http://www3.nhk.or.jp/kansai-news/20170116/5976661.html> ;

<http://www.asahi.com/articles/ASK1J4R21K1JPLBJ003.html> ; 読売テレビ()2017/1/19) ; 日本テレビ(2017/1/20) ; 読売テレビ(2017/2/17) など多数)。 (a)についてはR3, R4 グループの共同研究成果

であり、(b)は R9 グループと imec (R2 グループ) による共同研究の成果である。また、R1～R9 グループによる国際共同研究成果の論文発表、学会発表なども増え、論文発表件数は全期間で 32 件となり、高インパクトファクター論文掲載も増えた。

[拠点間ネットワーキング]:

(指摘)

各々の機関との交流は進んでいるが、それらを連携させた研究ネットワーク形成としてはまだ成果が見られない。

(対応)

上記の 2 つのデバイス・プロトタイプ創製で挙げたように、研究グループ間の連携によって、新規のセンシングデバイスが実現でき、国際連携ネットワークは十分に機能したと考えてよい。

[若手交流・人材育成]:

(指摘)

(1) 現状では日本側からの研究者、学生の派遣が多くなっているが、今後は、より多くの海外機関からの若手研究者の招聘や、博士後期課程学生の受け入れも望まれる。

(2) 若手研究者人材育成という観点からは、もう少し長期間 (2～3 ヶ月) の滞在が効果的と思われるが、長期派遣者の数は少ない。

(3) 持続的な世界拠点として、アジア諸国に対する社会貢献、人材育成についても、将来的に検討することを期待したい。

(対応)

(1) 海外からの、特に若手研究者の招へい数が増えるよう努力した。中間評価以降に、ノルウェー NTNU から博士後期課程学生 2 名、連携機関 Eindhoven 工科大と Groningen 大 (いずれもオランダ) から各 1 名の博士後期課程学生の招へい研究が実現し、討論の為の若手研究者の短期来訪・受け入れも実現している。

(2) 長期滞在研究 (2 か月～3 か月滞在) を増やす努力を、受け入れ側海外機関との連携により実現し、中間評価以降で 2 か月～3 か月滞在者数が 6 名となった (中間評価前の全 2 か月以上滞在者数は 2 名)。

(3) アジアの学生を対象とした人材育成にも努め、中間評価以降に、Oxford 大に修士学生 1 名、KU Leuven に博士後期課程学生 1 名 (3 回派遣)、パリ大 6 大に修士学生 1 名のアジア留学生の研究派遣が実現し、それぞれに成果を挙げた。

[マッチングファンド]

(指摘)

滞在費・旅費などを相手国側が適切に負担しているが、現時点では十分に得られているとは言えない。対等な協力関係を築くため、海外研究機関からの若手研究者、学生の受け入れにおいて、今後より一層のマッチングファンドの確保を進める必要がある。

(対応)

当事業参加の欧米拠点研究者との更なる連携とマッチングファンド獲得期待のメッセージを届け

る目的で、28年12月14日の大阪での第4回拠点形成総合セミナーの機会を利用したワークショップ(日欧米ソフトマテリアルデバイス・コンソーシアム研究体制強化会議)を大阪大学にて12月15日に開催した。当事業海外拠点関係者6名、産研当事業関係者10名が参加し、欧州、米国のファンディング事情や支援プログラム内容などの紹介、説明があり、今後の連携とファンディングに関する討論会を実施した。欧米共に、政局の不透明さが影響し、大学の研究費は圧縮されつつあり、結局のところ、欧米拠点の努力にもかかわらず、当事業期間中でのマッチングファンドは改善されなかった。マッチングファンド獲得状況の不振にも拘わらず、いずれの海外拠点とも当事業の目標達成への協力の意向は強く、自己研究費などを工面しての欧米での分野セミナー開催や大阪でのセミナー参加、日本への若手研究者派遣など、多くの協力を得た。

8. 研究交流実績総人数・人日数

8-1 平成29年度の相手国との交流実績

様式 8

派遣先 派遣元	四半期	日本	ドイツ	ベルギー	英国	米国	ノルウェー	フランス	オランダ(第三国)	フィンランド(第三国)	合計
日本	1		()	12/ 70 ()	()	6/ 30 ()	()	(1/ 4)	(1/ 2)	1/ 4 ()	19/ 104 (2/ 8)
	2		()	2/ 32 (1/ 3)	()	()	1/ 14 ()	()	()	()	3/ 46 (1/ 3)
	3		()	1/ 62 ()	()	1/ 5 ()	()	(1/ 73)	()	()	2/ 67 (1/ 73)
	4		()	(2/ 3)	1/ 19 ()	()	()	()	1/ 30 ()	()	2/ 49 (2/ 3)
	計		0/ 0 (0/ 0)	15/ 164 (3/ 6)	1/ 19 (0/ 0)	7/ 35 (0/ 0)	1/ 14 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 77)	1/ 30 (1/ 2)	1/ 4 (0/ 0)	26/ 266 (6/ 87)
ドイツ	1	()		(1/ 2)	()	()	()	()	()	()	0/ 0 (1/ 2)
	2	()		()	()	()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	3	()		()	()	()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	4	()		()	()	()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (1/ 2)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (1/ 2)
ベルギー	1	()	()		()	()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	2	(2/ 2)	()		()	()	()	()	()	()	0/ 0 (2/ 2)
	3	(3/ 3)	()		()	()	()	()	()	()	0/ 0 (3/ 3)
	4	()	()		()	()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (5/ 5)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (5/ 5)
英国	1	()	()	()		()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	2	(1/ 30)	()	()		()	()	()	()	()	0/ 0 (1/ 30)
	3	(1/ 30)	()	()		()	()	()	()	()	0/ 0 (1/ 30)
	4	()	()	()		()	()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (2/ 60)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 60)
米国	1	(1/ 3)	()	()	()		()	()	()	()	0/ 0 (1/ 3)
	2	()	()	()	()		()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	3	(1/ 3)	()	()	()		()	()	()	()	0/ 0 (1/ 3)
	4	()	()	()	()		()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (2/ 6)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 6)
ノルウェー	1	(1/ 41)	()	()	()	()		()	()	()	0/ 0 (1/ 41)
	2	()	()	()	()	()		()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	3	()	()	()	()	()		()	()	()	0/ 0 (0/ 0)
	4	(2/ 2)	()	()	()	()		()	()	()	0/ 0 (2/ 2)
	計	0/ 0 (3/ 43)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (3/ 43)
オランダ(第三国)	1	(1/ 2)	()	()	()	()	()		()	()	0/ 0 (1/ 2)
	2	(2/ 104)	()	()	()	()	()		()	()	0/ 0 (2/ 104)
	3	()	()	()	()	()	()		()	()	0/ 0 (0/ 0)
	4	()	()	()	()	()	()		()	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (3/ 106)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (3/ 106)
合計	1	0/ 0 (2/ 46)	0/ 0 (0/ 0)	12/ 70 (1/ 2)	0/ 0 (0/ 0)	6/ 30 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (1/ 4)	0/ 0 (1/ 2)	1/ 4 (0/ 0)	19/ 104 (6/ 56)
	2	0/ 0 (5/ 136)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 32 (1/ 3)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 14 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	3/ 46 (6/ 139)
	3	0/ 0 (5/ 36)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 62 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 5 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (1/ 73)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 67 (6/ 109)
	4	0/ 0 (2/ 2)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 3)	1/ 19 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 30 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 49 (4/ 5)
	計	0/ 0 (14/ 220)	0/ 0 (0/ 0)	15/ 164 (4/ 8)	1/ 19 (0/ 0)	7/ 35 (0/ 0)	1/ 14 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 77)	1/ 30 (1/ 2)	1/ 4 (0/ 0)	26/ 266 (22/ 309)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。（なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。）

※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。（合計欄は（ ）をのぞいた人数・人日数としてください。）

8-2 平成29年度の国内での交流実績

1	2	3	4	合計
# 0 (0 / 0)	# 0 (0 / 0)	# 0 (0 / 0)	# 2 (0 / 0)	2 / 2 (0 / 0)

8-3 全期間にわたる派遣・受入人数

年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
派遣人数 (人)	31 (6)	22 (3)	36 (3)	25 (2)	26 (6)
受入人数 (人)	0 (5)	0 (13)	0 (9)	0 (19)	0 (14)

※各年度の実施報告書の「相手国との交流実績」に記載の人数を転記してください。相手国側マッチングファンド等日本側予算によらない交流については（ ）で記載してください。

9. 経費使用総額

9—1 平成29年度経費使用額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	263,100	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	9,096,266	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	3,568,474	
	その他の経費	528,294	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	749,866	
	計	14,206,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,420,600	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合計		15,626,600	

9—2 全期間にわたる経費使用額

(単位 千円)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
国内旅費	605	108	332	241	263
外国旅費	11,259	9,831	11,631	9,727	9,096
謝金	557	0	0	0	0
備品・消耗品購入費	1,395	3,188	827	2,864	3,569
その他の経費	496	829	638	765	528
外国旅費・謝金等に係る消費税(※2)	576	805	963	794	750
合計	14,888	14,761	14,391	14,391	14,206

※

各年度の実施報告書の「経費使用額」を千円単位にして転記してください。

※2 平成28・29年度は「不課税取引・非課税取引に係る消費税」となります。

10. 相手国マッチングファンド使用額

10-1 平成29年度使用額

相手国名	経費負担区分	平成29年度使用額	
		現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
ドイツ	パターン1	16,149 [EUR]	2,000,000 円相当
ベルギー	パターン1	15,000 [EUR]	2,000,000 円相当
英国	パターン1	6,618 [GBP]	1,000,000 円相当
米国	パターン1	17,362 [USD]	2,000,000 円相当
ノルウェー	パターン1	129,870 [kNOK]	2,000,000 円相当
フランス	パターン1	16,149 [EUR]	2,000,000 円相当

※交流実施期間中に、相手国が本事業のために使用したマッチングファンドの金額について、現地通貨での金額、及び日本円換算額を記入してください。

※経費負担区分

パターン1：日本側研究者の経費は振興会が、相手国側研究者の経費は相手国側学術振興機関等が負担。

パターン2：派遣国が派遣にかかる費用を負担し、受入国が受入にかかる滞在費等を負担。

10-2 全期間にわたる相手国のマッチングファンドの状況概要

平成25年度(①相手国名、②現地通貨額、③日本円相当額)：

①ベルギー ②21,400[Euro] ③3,000,000 円相当

①フランス ②7,140[Euro] ③1,000,000 円相当

①英国 ②10,700[Euro] ③1,500,000 円相当

①ノルウェー ②1,4300[Euro] ③2,000,000 円相当

①ドイツ ②7,140[Euro] ③1,000,000 円相当

①米国 ②21,300[Doller] ③2,200,000 円相当

備考：

ベルギー（ルーベン、imec Research Centre）セミナー開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

フランス（グルノーブル、ジョセフフーリエ大学）セミナー開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

日本・沖縄（那覇市、大阪大学）セミナーへの海外参加者の旅費滞在費など
ドレクセル大学（米国）から教授1名を1週間受入

平成 26 年度（①相手国名、②現地通貨額、③日本円換算額）：

- ①ベルギー ②21,400[Euro] ③1,500,000 円相当
- ①フランス ②7,140[Euro] ③1,000,000 円相当
- ①英国 ②10,700[Euro] ③1,500,000 円相当
- ①ノルウェー ②6,000[NOK] ③900,000 円相当
- ①ドイツ ②7,140[Euro] ③1,000,000 円相当
- ①米国 ②11,620[Doller] ③1,200,000 円相当

備考：

ドイツ（マインツ、マックスプランツ）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など
英国（オックスフォード、オックスフォード大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

日本・大阪（大阪市、大阪大学）セミナーへの海外参加者の旅費滞在費など

平成 27 年度（①相手国名、②現地通貨額、③日本円換算額）：

- ①ベルギー ②15,000[Euro] ③2,000,000 円相当
- ①フランス ②15,000[Euro] ③2,000,000 円相当
- ①英国 ②5,800[GBP] ③1,000,000 円相当
- ①ノルウェー ②150,000[NOK] ③2,000,000 円相当
- ①ドイツ ②15,000[Euro] ③2,000,000 円相当
- ①米国 ②17,390[Doller] ③2,000,000 円相当

備考：

ベルギー（オランダ、ホルストセンター）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など
ノルウェー（トロンハイム、ノルウェー科学技術大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

英国（オックスフォード、オックスフォード大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

米国（フィラデルフィア、ドレクセル大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

平成 28 年度（①相手国名、②現地通貨額、③日本円換算額）：

- ①ベルギー ②16,149[Euro] ③2,000,000 円相当
- ①フランス ②16,149[Euro] ③2,000,000 円相当

- | | | |
|--------|-----------------|----------------|
| ①英国 | ②6,618[GBP] | ③1,000,000 円相当 |
| ①ノルウェー | ②129,870[NOK] | ③2,000,000 円相当 |
| ①ドイツ | ②16,149[Euro] | ③2,000,000 円相当 |
| ①米国 | ②17,390[Doller] | ③2,000,000 円相当 |

備考：

フランス（ディジョン、ブルゴーニュ大学およびレンヌ、レンヌ大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

フランス

フランス（レンヌ、レンヌ大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

日本・大阪（大阪市、大阪大学）セミナーへの海外参加者の旅費滞在費など

ベルギー（オランダからの受入れ）

平成 29 年度（①相手国名、②現地通貨額、③日本円換算額）：

- | | | |
|--------|-----------------|----------------|
| ①ベルギー | ②15,850[Euro] | ③2,000,000 円相当 |
| ①フランス | ②15,850[Euro] | ③2,000,000 円相当 |
| ①英国 | ②6,612 [GBP] | ③1,000,000 円相当 |
| ①ノルウェー | ②150,000[NOK] | ③2,000,000 円相当 |
| ①ドイツ | ②15,850[Euro] | ③2,000,000 円相当 |
| ①米国 | ②17,390[Doller] | ③2,000,000 円相当 |

備考：

ベルギー（ルーベン、imec・ルーベンカソリック大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

米国（ラファイエット、パデュー大学）セミナーの開催経費、各国参加者の旅費滞在費など

ノルウェー受入れ研究者の旅費滞在費