

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－ドイツ共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「小型全有機近赤外発光・分光センサシステムの開発」
2. 研究期間：令和2年10月～令和6年3月
3. 主な参加研究者名：  
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	城戸 淳二	教授	山形大学	研究統括
主たる共同研究者	武田 恵助		伊藤電子工業(株)	駆動回路開発
主たる共同研究者	佐野 健志	教授	山形大学	近赤外有機ELデバイス開発、開発企画
研究参加者	笹部 久宏	准教授	山形大学	近赤外有機EL材料開発
研究参加者	奥山 豊	プロジェクト研究員	山形大学	近赤外有機ELモジュール試作
研究参加者	花山 貴則		山形大学	近赤外有機ELデバイス試作、評価
研究期間中の全参加研究者数			10名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Dr. Karl Leo	Professor, Chair of Optoelectronics	Technische Universität Dresden	Principal Investigator
主たる共同研究者	Dr. Cristian Körner	Funding Project Manager	Senorics	NIR sensor & system development
主たる共同研究者	Dr. Johannes Benduhn	Group Leader	Technische Universität Dresden	NIR sensor materials & physics
研究期間中の全参加研究者数			6名	

## 4. 国際共同研究の概要

今回実施した「日本－ドイツ国際産学連携共同研究」では、日本側は、山形大学と伊藤電子工業（株）、ドイツ側は、ドレスデン工科大学、ゼノリクス社、コーディネート機関のザクセン州有機エレクトロニクス協議会が参加し、「オプティクス・フォトニクス」分野、特に最新の社会的ニーズがある近赤外光の民生応用分野において、日本及びドイツ双方の大学と企業（2＋2）が強みを有する技術を持ち寄り、相互に補完・共創する形で開発を行った。開発目標としては、従来の近赤外分光装置を大幅に小型・軽量化し、検出波長域の拡大と革新的な応用展開を可能とする、小型全有機近赤外発光・分光センサシステムの実現をゴールとし、具体的には、以下3つの主要な科学的成果の創出を行った。

- 有機近赤外発光光源の実現（日本）
- 小型近赤外分光センサーの実現（ドイツ）
- それらを集積した測定システムの実現（双方）

日本側では、従来用いられていたハロゲンランプに対し、薄型・低消費電力・長寿命・低発熱・光量安定性等、多くの点で優位性のある近赤外有機EL光源の開発を行い、実用的

な効率と極めて長い寿命を両立させた近赤外有機 EL デバイスを初めて実現した。また、近赤外有機 EL の技術デモパネルを作製し、同技術として世界初の国際展示会出展を行った。

ドイツ側では、1つの基板上の複数のピクセルがそれぞれ異なる波長の近赤外光に反応するように設計された独自構造の有機近赤外分光センサーの材料及びデバイス開発を行った。

最終的に、日本側で開発した近赤外有機 EL デバイスと、ドイツ側で開発した有機近赤外分光センサーを組み合わせた、世界初の小型全有機近赤外発光・分光センサシステムを作製し、例として液体中のアルコール濃度を解析する技術デモを実現、機能を実証した。

## 5. 国際共同研究の成果

### 5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

固体近赤外発光光源として、近赤外有機 EL の性能を実用化可能なレベルまでに向上させることに成功し、近赤外分光センサー用光源としての適用可能性を実証した。具体的には、日本側では、近赤外有機 EL の実用化目安となる大幅な高効率化（最大外部量子効率：10%以上）と長寿命化（10万時間相当以上）を達成した。またドイツ側は、有機材料を光電変換層に用い、近赤外における波長選択性を組み込んだ有機近赤外分光センサーを開発、日本側で開発した近赤外有機 EL と統合し、技術デモを実現した。

### 5-2 国際共同研究による相乗効果

本国際共同研究では、日本側チームが開発した近赤外有機 EL 発光光源と、ドイツ側チームが開発した有機近赤外分光センサーを持ち寄り、統合させることで、これまでにない「小型全有機近赤外発光・分光センサシステム」を実現した。密接なジョイントミーティング及び共同実験等のコラボレーションにより、技術的な要求仕様を相互に明確化・高度化し、相乗的に学術及び技術開発内容を高めることができた。その結果、ドイツで行われた国際展示会での近赤外有機 EL パネルの初めての駆動デモ展示や、日独協働による近赤外センシングの技術デモ実現に結び付いた。

### 5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本国際共同研究の成果は、日独それぞれで製品化あるいは実用化を目指し開発を継続していく。日本側では、初めて実用的な効率と寿命を近赤外有機 EL デバイスで実現したことを論文や展示会で発信し、メディア等でも掲載され、近赤外有機 EL デバイスの実用化に向けた大きな一歩となった。一部、国内メーカー等とも情報交換を開始しており、今後、食品センサーや、材料リサイクル等で用いられる素材判別センサー等への応用を目指して、開発を継続する。

ドイツ・ザクセン州と山形大学とは、地域対地域でのクラスター連携を目指して、毎年1回の日独ジョイントワークショップを行うなど、協働関係の継続・維持に努めてきた。その関係は12年間にわたる。今回、両国の研究機関のトップ同士だけでなく、産産学学の研究者レベルでの交流が実現できたことから、さらなる人的交流や、国際学術交流・共同開発などに発展することが可能なレベルに連携が強化された。今後もジョイントワークショップや学術連携、企業の巻き込みなど、継続したアクティビティを行っていく予定である。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
Japan – Germany Joint Research Program  
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Miniaturized full-organic spectroscopic NIR-OLED-sensor-systems」
2. Research period : October 2020 ~ March 2024
3. Main participants :  
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Junji Kido	Prof. Dr.	Yamagata University	Principal Investigator
Co-PI	Keisuke Takeda		Ito Electronic Co., Ltd.	Electronic circuit design
Co-PI	Takeshi Sano	Prof. Dr.	Yamagata University	NIR OLED device design
Collaborator	Hisahiro Sasabe	Prof. Dr.	Yamagata University	NIR OLED materials
Collaborator	Yutaka Okuyama		Yamagata University	NIR OLED modules
Collaborator	Takanori Hanayama		Yamagata University	NIR OLED device fabrication
Total number of participants throughout the research period: 10				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Karl Leo	Prof. Dr.	Technische Universität Dresden	Principal Investigator
Co-PI	Cristian Körner	Dr.	Senorics	NIR sensor & system development
Co-PI	Johannes Benduhn	Dr.	Technische Universität Dresden	NIR sensor materials & physics
Total number of participants throughout the research period: 6				

4. Summary of the international joint research

The "Japan-Germany Strategic International Collaborative Research Program", in which Yamagata University and Ito Electronic Co., Ltd. participated on the Japanese side, and Technische Universität Dresden and Senorics on the German side, and the Organic Electronics Saxony, a coordinating body, participated, was a joint research project between Japan and Germany. In the field of optics and photonics, especially in the consumer application of near-infrared light, which is the latest social need, universities and companies from both Japan and Germany (2+2) brought together their strengths in technology and conducted development in a mutually complementary and co-creative manner. The goal of the development was to realize a compact all-organic near-infrared light-emitting and spectroscopic sensor system that will enable innovative applications by making conventional near-infrared light source and spectroscopic devices much smaller and lighter and expanding the detection wavelength range. The research goals are;

- Realization of an organic near-infrared light emitting light source (Japan)

- Realization of a compact near-infrared spectroscopic sensor (Germany)
- Realization of a measurement system integrating them (both sides)

On the Japanese side, the development of near-infrared OLEDs, which are superior to conventional halogen lamps in many aspects such as size, power consumption, lifetime, heat generation, and light intensity stability, was carried out, and near-infrared OLED devices with both practical high-efficiency and extremely long lifetime were realized for the first time. In addition, a demonstration panel of the NIR OLED technology was created and first exhibited at the international exhibition.

The German side developed materials and devices for organic near-infrared spectroscopic sensors in which multiple pixels formed on a single substrate respond to near-infrared light of different wavelengths.

Finally, the world's first all-organic near-infrared light-emitting and spectroscopic sensor system was created by combining the organic near-infrared OLED device developed in Japan and the organic near-infrared spectroscopic sensor developed in Germany, and a technical demonstration to analyze alcohol concentration in liquids, for example, was realized and its function was demonstrated.

## 5. Outcomes of the international joint research

### 5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

As a solid-state emitting light source, we have succeeded in improving the performance of near-infrared OLEDs to a level where they can be put to practical use and demonstrated their applicability as a light source for near-infrared spectroscopic sensors. Specifically, the Japanese side achieved a significant increase in efficiency (maximum external quantum efficiency: 10%) and long life (100,000 hours), which are the guidelines for practical use of near-infrared OLED. The German side developed an organic near-infrared spectroscopic sensor that uses organic materials in the active layer and incorporates wavelength selectivity in the near-infrared region. We integrated it with the near-infrared OLED developed by the Japanese team to achieve a technology demonstration in cooperation between Japan and Germany.

### 5-2 Synergistic effects of the joint research

In this international joint research, we brought together the near-infrared OLED developed by the Japanese team and the organic near-infrared spectroscopic sensor developed by the German team. We integrated them to realize an unprecedented "compact all-organic near-infrared light-emitting and spectroscopic sensor system". Through close joint meetings, joint experiments, and other collaborations, the technical requirements were mutually clarified and upgraded, and the academic and technological development content was synergistically enhanced. As a result, the first demonstration of near-infrared OLED panel operation at an international exhibition in Germany and a technical demonstration of near-infrared spectroscopic sensing through collaboration between Japan and Germany were realized.

### 5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

The results of this international collaborative research will continue to be developed for commercialization or practical use in Japan and Germany, respectively. The Japanese side has reported about the first near-infrared OLED demonstration in papers and exhibitions, which have been covered by media. Development will continue for the possible applications including food sensors and material sensors used in material recycling, etc.

Saxony in Germany and Yamagata University have worked to maintain a cooperative relationship by holding an annual Germany-Japan Joint Workshop for 12 years, aiming for region-to-region cluster cooperation. The exchange has been realized at the level of researchers from industry and academia. This has strengthened the collaboration to a level where further personnel exchange, international academic exchange, and joint development. We plan to continue to conduct activities such as joint workshops, academic collaboration, and involvement of companies in the future.

## 国際共同研究における主要な研究成果リスト

### 1. 論文発表等

\*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 0 件

- ・査読有り : 発表件数 : 計 0 件 該当なし
- ・査読無し : 発表件数 : 計 0 件 該当なし

\*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 4 件

- ・査読有り : 発表件数 : 計 4 件

- 1) T. Hanayama, T. Sano, Y. Saito, T. nakamura, Y. Okuyama, H. Sasabe, J. Kido, "Near-infrared phosphorescent OLEDs exhibiting over 10% external quantum efficiency and extremely long lifetime using resonant energy transfer with a phosphorescent assist dopant", Appl. Phys. Express, 2024, 17 044002, DOI: 10.35848/1882-0786/ad3725
- 2) H. Tsuneyama, H. Sasabe, Y. Saito, T. Noda, D. Saito, J. Kido, "Highly stable and efficient deep-red phosphorescent organic light-emitting devices using phenanthroline derivative as n-type exciplex host partner", J. Mater. Chem. C, 2022, 10, 2073-2079. DOI: 10.1039/d1tc05417a
- 3) Y. Saito, H. Sasabe, H. Tsuneyama, S. Abe, M. Matsuya, T. Kawano, Y. Kori, T. Hanayama, J. Kido, "Quinoline-modified phenanthroline electron-transporters as an n-type exciplex partner for highly efficient and stable deep-red OLEDs", Bull. Chem. Soc. JPN 2023, 96, 24-28. DOI:10.1246/bcsj.20220297
- 4) D. Saito, H. Sasabe, T. Kikuchi, H. Tsuneyama, J. Kido, "Improved operational lifetime of deep-red phosphorescent organic light-emitting diodes using a benzothienobenzothiophene (BTBT)-based p-type host materia", J. Mater. Chem. C, 2021, 9, 1215-1220, DOI: 10.1039/D0TC05234E

- ・査読無し : 発表件数 : 計 0 件 該当なし

\*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件

該当なし

\*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) :

発表件数 : 計 0 件 該当なし

### 2. 学会発表

\*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 0 件 (うち招待講演 : 0 件)

\*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 3 件 (うち招待講演 : 0 件)

- 1) 花山貴則、佐野健志、齋藤優、高下太一、笹部久宏、城戸淳二、りん光アシストドーパントを用いた高効率・長寿命近赤外有機 EL、第 83 回応用物理学会秋季学術講演会、宮城、東北大学川内北キャンパス、2022 年 9 月 22 日 22p-B104-9.
- 2) Hisaki TSUNEYAMA、「フェナントロリン誘導体を n 型ホストとして用いた長寿命深赤色有機 EL」、第 10 回 日・独ジョイントワークショップ、オンライン開催、2022/1/31

- 3) 齋藤優、笹部久宏、河野朝哉、丸山朋洋、城戸淳二、「高効率・長寿命有機 EL を実現するキノリン含有フェナントロリン誘導体電子輸送材料群」、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会、オンライン開催、2021/9/13

\*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 0 件

\*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 0 件

### 3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

\*日独ジョイントワークショップ開催

- 1) Germany-Japan Joint Workshop “Future Semiconductors and Related Technology”、主催者：Saxony Trade and Invest Corporation, Yamagata University、TKP ガーデンシティ PREMIUM 仙台西口、2023 年 9 月 14 日、参加者：約 60 名
- 2) 日独ジョイントワークショップ“次世代半導体と関連技術”、主催者：ドイツ連邦共和国ザクセン州経済振興公社、山形大学、オンライン開催、2023 年 2 月 8 日、参加者：約 100 名
- 3) 第 10 回日独ジョイントワークショップ“フレキシブルエレクトロニクス”と“健康センサー”、主催者：ドイツ連邦共和国ザクセン州経済振興公社、ザクセン州有機エレクトロニクス協議会、山形大学、オンライン開催、2022 年 1 月 31 日、参加者：約 100 名
- 4) 第 9 回日独ジョイントワークショップ“フレキシブル印刷エレクトロニクスとセンサー”、主催者：ドイツ連邦共和国ザクセン州経済振興公社、ザクセン州有機エレクトロニクス協議会、山形大学、オンライン開催、2021 年 2 月 26 日、参加者：約 200 名

### 4. 研究交流の実績（主要な実績）

\*本国際共同研究に関して相手側チームと合同で行ったジョイントミーティングや、個別テクニカルミーティング等の研究交流は以下の 14 回（発表資料や記録等の実績あり）。そのうち、実際に現地に集合して開催した、フェース・トゥ・フェースの研究交流は、2023 年 9 月（@日本）と、2024 年 3 月（@ドイツ）の 2 回。

- 1) 2021 年度 日独ジョイントミーティング 開催実績：4 回
  - ・第 1 回 キックオフジョイントミーティング（2021/7/14、オンライン）
  - ・第 2 回 ジョイントミーティング（2021/9/22、オンライン）
  - ・第 3 回 ジョイントミーティング（2022/1/19、オンライン）  
参加者：TU Dresden、Senorics、OES、山形大、伊藤電子工業
  - ・個別 MTG 技術デモに関する個別打合せ（2021/12/15、オンライン）  
参加者：Senorics、OES、伊藤電子工業、山形大
- 2) 2022 年度 日独ジョイントミーティング 開催実績：5 回
  - ・第 4 回 ジョイントミーティング（2022/4/6、日本時間 16:30～、オンライン）
  - ・第 5 回 ジョイントミーティング（2022/7/13、日本時間 16:30～、オンライン）
  - ・第 6 回 ジョイントミーティング（2022/10/12、日本時間 16:30～、オンライン）
  - ・第 7 回 ジョイントミーティング（2023/1/18、日本時間 17:30～、オンライン）  
参加者：TU Dresden、Senorics、OES、山形大、伊藤電子工業
  - ・個別 MTG テクニカルミーティング（2022/7/20、日本時間 16:30～、オンライン）  
参加者：Senorics、OES、山形大、伊藤電子工業

- 3) 2023 年度 日独ジョイントミーティング 開催実績：5 回
- ・第 8 回 ジョイントミーティング (2023/4/19、日本時間 16:30～、オンライン)
  - ・第 9 回 ジョイントミーティング (2023/6/28、日本時間 16:30～、オンライン)
  - ・合同 MTG@日本 共同実験&MTG (2023/9/13、山形大学米沢キャンパス)
  - ・第 10 回 ジョイントミーティング (2024/2/7、日本時間 16:30～、オンライン)  
参加者：TU Dresden、Senorics、OES、山形大、伊藤電子工業
  - ・合同 MTG@ドイツ プロジェクトミーティング&合同セミナー  
(2024/3/4、午前：ゼノリクス社、午後：ドレスデン工科大学)  
参加者：TU Dresden、Senorics、OES、山形大

## 5. 特許出願

\*研究期間累積出願件数：2 件

- 1) 佐野健志、花山貴則、笹部久宏、城戸淳二、「近赤外発光有機 EL デバイス」、特願 2022-147550、出願日：2022 年 9 月 16 日
- 2) 佐野健志、陳 宇輝、笹部久宏、城戸淳二、「ジピリミジルピリジン誘導体、電子輸送材料、電子注入材料およびそれを用いた有機 EL 素子」、特願 2023-028614、出願日：2023 年 2 月 27 日

## 6. 受賞・新聞報道等

\*受賞

- 1) nano tech 大賞 2024 米国化学会賞、2024 年 2 月 2 日、山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンター
- 2) 第 62 回藤原賞、2021 年 6 月 17 日、城戸 淳二
- 3) 第 73 回日本化学会賞、2021 年 1 月 7 日、城戸 淳二

\*新聞報道

- 1) 「山形大が近赤外有機 EL 素子の開発成功 実用レベルの発光効率や寿命実現」、電波新聞、2024 年 3 月 15 日
- 2) 「城戸教授 (山形大大学院) 日本化学会賞」、山形新聞、2021 年 3 月 5 日

## 7. その他

\*広報誌掲載

- 1) 「有機材料の光源とセンサー組み合わせ日独共同で近赤外分光分析器を開発」、JST news、2024 年 2 月号

\*展示会出展

- 1) International Exhibition and Conference for Flexible, Organic and Printed Electronics (LOPEC 2024)、オーガニック&プリント・エレクトロニクス産業国際見本市、2024 年 3 月 6 日～7 日、メッセミュンヘン (ドイツ)
- 2) nano tech 2024、2024 年 1 月 31 日～2 月 2 日、東京ビッグサイト
- 3) CEATEC 2023、2023 年 10 月 17 日～20 日、幕張メッセ

\*その他アウトリーチ活動

- 1) 佐野健志、第 30 回 OLED ヤマガタ研修会講演 (2022 年 3 月 15 日、山形県高度技術研究開発センター)、SICORP 取組みや関連する研究開発について紹介

以上