

“革新的な有機発光材料の創製から 未来の有機半導体レーザーへ”

九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター
Center for Organic Photonics and Electronics Research (OPERA)
教授 安達 千波矢

- ① **基礎研究** : 有機ELの黎明期から究極の発光材料へ
- ② **実用化** : 九大発ベンチャー Kyuluxの設立
- ③ **新展開** : ERATOの研究



有機ELデバイスを中心とした有機光エレクトロニクスの研究開発

常に究極のデバイス性能の発現を目指した新材料・デバイス開発と物性解明

2014
有機半導体レーザーの実現へ
九州大学 **ERATO (JST)**

2012
遅延蛍光による内部量子
効率100%の有機ELを達成
九州大学 **FIRST (JSPS)**

Nat. Photon., **6**, 253 (2012) (CI: 251)
Nature, **492**, 234 (2012) (CI: 615)

Appl. Phys. Lett., **95**, 053304 (2009) (CI: 41)
Adv. Mat., **21**, 4802 (2009) (CI: 156)
Appl. Phys. Lett., **98**, 083302 (2011) (CI: 189)
Adv. Funct. Mat., **20**, 386 (2010) (CI: 62)

2005
有機薄膜の高次構造制御（分子配向・ナノ構造体）
遅延蛍光材料(TADF)の萌芽研究開始
九州大学 **異分野融合型プロセス開発 (NEDO)**

2001
リン光デバイスの発光機構解明
有機半導体レーザーの基礎研究
千歳科学技術大学 **CREST (JST)**

Appl. Phys. Lett., **86**, 071104 (2005) (CI: 410)
Chem. Mat., **16**, 1285 (2004) (CI: 159)

1990

1995

2000

2005

2010

2013

1999 リン光デバイスの研究開発
（内部EL効率100%の達成） **プリンストン大学**

J. Appl. Phys., **90**, 5048 (2001) (CI: 1879)
Appl. Phys. Lett., **77**, 904 (2000) (CI: 762)

1995 有機ELメカニズム解明
（エネルギー移動機構・素子劣化機構解析） **信州大学**

J. Appl. Phys., **86**, 1680 (1999) (CI: 163)
Appl. Phys. Lett., **72**, 2147 (1998) (CI: 101)

1991 有機ELデバイスの実用化開発
（300種類以上の新材料合成・製品化） **（株）リコー**

Appl. Phys. Lett., **66**, 2679 (1995) (CI: 351)
Chem. Mat., **9**, 1077 (1997) (CI: 292)

1989 ダブルヘテロ型有機ELデバイスの構築
（有機EL素子の基本構造の確立、電荷・励起子閉じ込め） **九州大学**

Appl. Phys. Lett., **56**, 799 (1990) (CI: 643)
Appl. Phys. Lett., **57**, 531 (1990) (CI: 371)

1988 電子輸送材料の発見 **九州大学**
（オキサジアゾール誘導体）

Appl. Phys. Lett., **55**, 1489 (1989) (CI: 544)

有機ELの原理—三重項励起子制御の重要性—

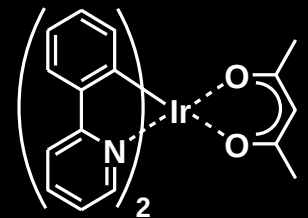
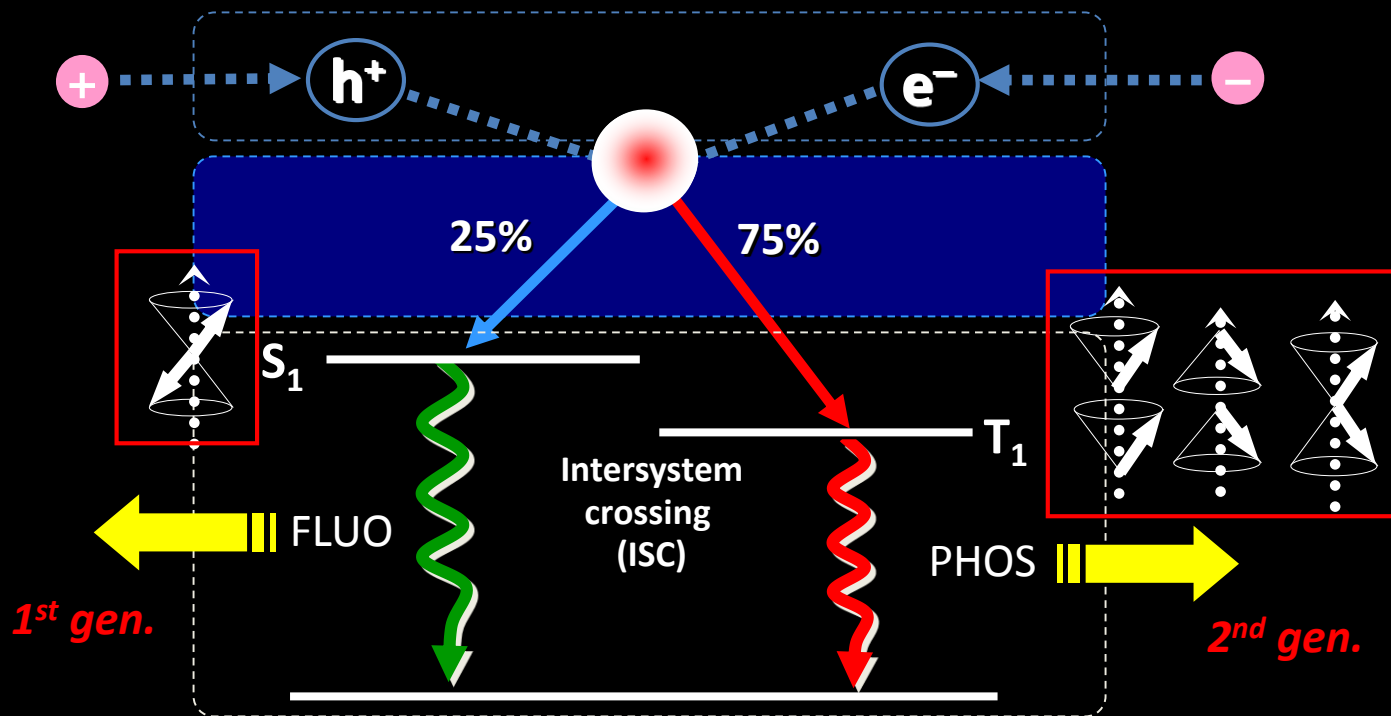
$$\eta_{\text{ext}} = \eta_{\text{int}} \eta_p = \underbrace{\gamma}_{\sim 100\%} \underbrace{\eta_r}_{25+\alpha\%} \underbrace{\eta_{\text{PL}}}_{\sim 100\%} \underbrace{\eta_p}_{\sim 20\%}$$

γ : e/h injection, transport and recom. eff.

η_r : exciton production efficiency

η_{PL} : PL quantum efficiency

η_p : light out-coupling efficiency



Ir(ppy)_3

$\Phi_{\text{ISC}} \sim 100\%$

$\Phi_{\text{phos}} \sim 100\%$

J. Appl. Phys., 90, 5048 (2001)

TADF-励起過程

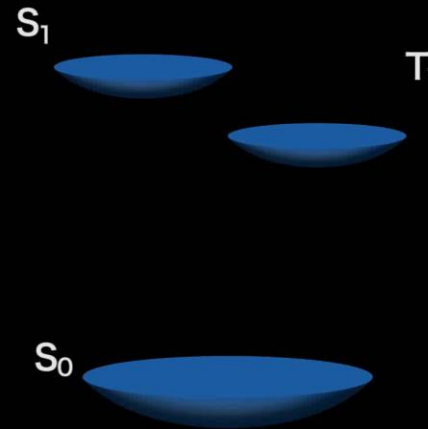
電気励起下
一重項励起子:三重項励起子
25%:75%

$$\frac{1}{\mu} \frac{H_{SO}}{DE_{ST}}$$

First-order mixing coefficient between
singlet and triplet states (λ)
 H_{so} : Spin-orbit coupling

Larger λ provides larger probability for
transition between S_1 and T_1 states

Eosin Y (最初のTADFの報告)
J. Chim. Phys., 27, 285 (1930)



Conventional fluorescence and phosphorescence processes

量子化学の視点からTADF
の分子設計を確立

小さな ΔE_{ST} (HOMOとLUMOの分離)

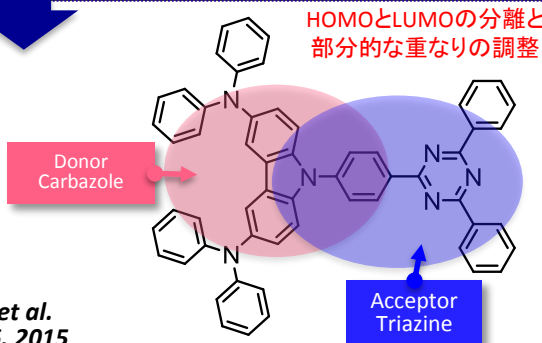
$$\Delta E_{ST} = 2K \quad K = \iint \phi_L(1)\phi_U(2) \frac{1}{r_{12}} \phi_L(2)\phi_U(1) d\tau_1 d\tau_2$$

大きな振動子強度 f の両立 (HOMOとLUMOの重なり)

$$f \propto \mu^2 \quad m = \langle \psi_{HOMO} | e r | \psi_{LUMO} \rangle$$

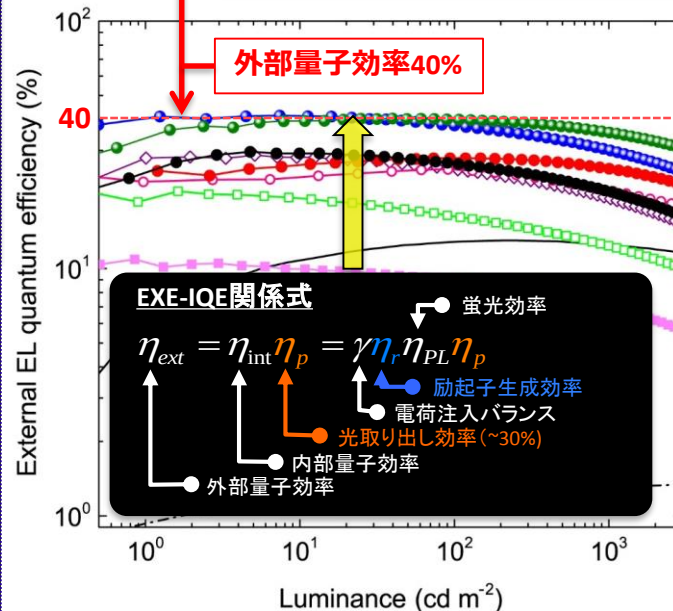
DACT-II

RISC=100%
($T_1 \rightarrow S_1$ upconversion)
PLQY=100%
($S_1 \rightarrow S_0$ 放射遷移)



H. Kaji and C. Adachi et al.
Nature Comm., 6, 8476, 2015

内部量子効率~100%を達成



DACT-IIを組み込んだ
素子のデバイス
パラメーターの最適化

TADF OLEDs (DACT-II)
(HTL: TAPC, ETL: BAiq)

1 wt%
 3 wt%
 6 wt%
 9 wt%
 9 wt% with out-coupling sheet
 19 wt%
 23 wt%

(HTL: TAPC, ETL: BmPyPhB)
9 wt% with out-coupling sheet



世界に先駆け開拓してきたTADF-OLEDの進展

高耐久化

高効率化

● **2016 Sci. Rep., 6, 22463**
TADF-OLEDの**有機界面制御**による耐久性向上に成功

● **2013 Sci. Rep., 3, 2127**
TADF-OLEDにおいて、**再結合サイトの制御**による耐久性向上

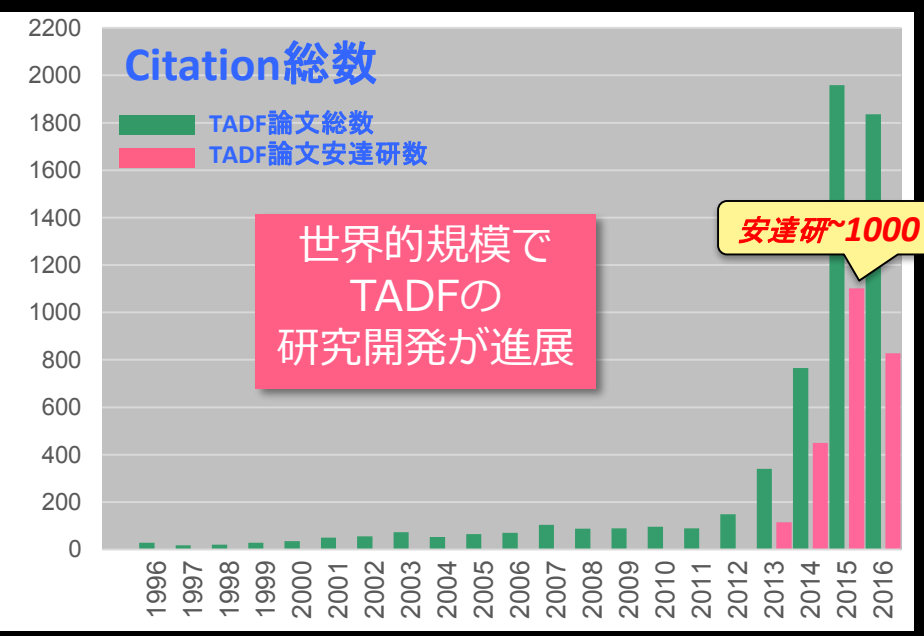
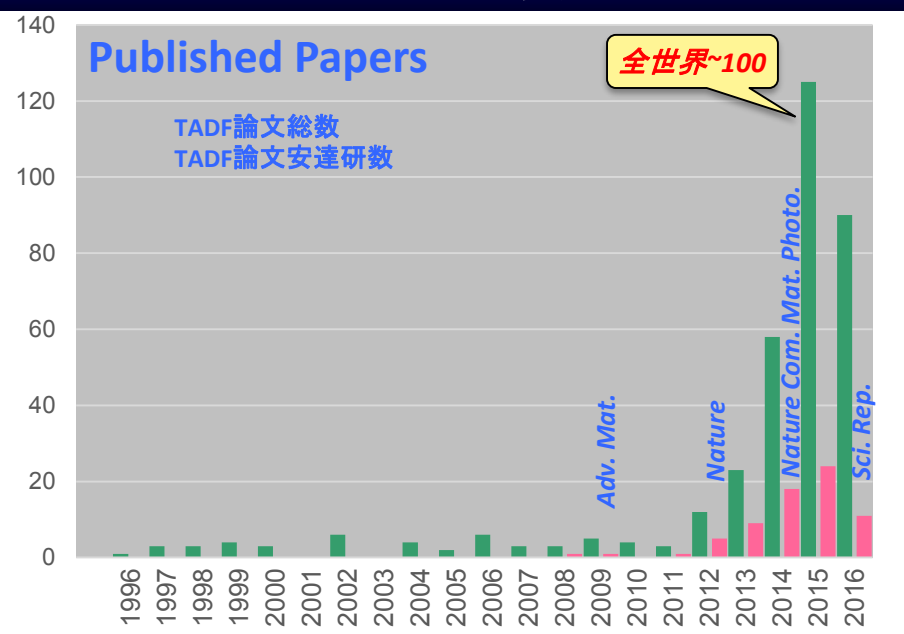
● **2014 Nature Mater., 14, 330 & Nature Photo., 8, 326**
高効率100%の**青色TADF**のOLEDを実現

● **2014 Nature Comm., 5, 4016**
TADFでの励起子生成+蛍光分子へのエネルギー移動による蛍光分子からの100%の内部量子効率を実現 (**第3.5世代**の概念を確立)

● **2012 Nature, 492, 234**
Phthalonitrile誘導体を発光層に用いることで**内部量子効率100%のOLED**を実現

● **2011 Appl. Phys. Lett., 98, 083302 & Phys. Rev. Lett., 110, 247401**
Triazine+Indrocarbazoleを発光層に用いることで**蛍光デバイスの効率を超えるOLED**に成功

● **2009 Adv. Mater., 21, 4802**
SnF₂OEPを発光層に用いた**世界で最初のTADF-OLEDのコンセプト**を発表
(外部量子効率~0.1%)



OLED劣化要因の学理の追求と実用化への展開

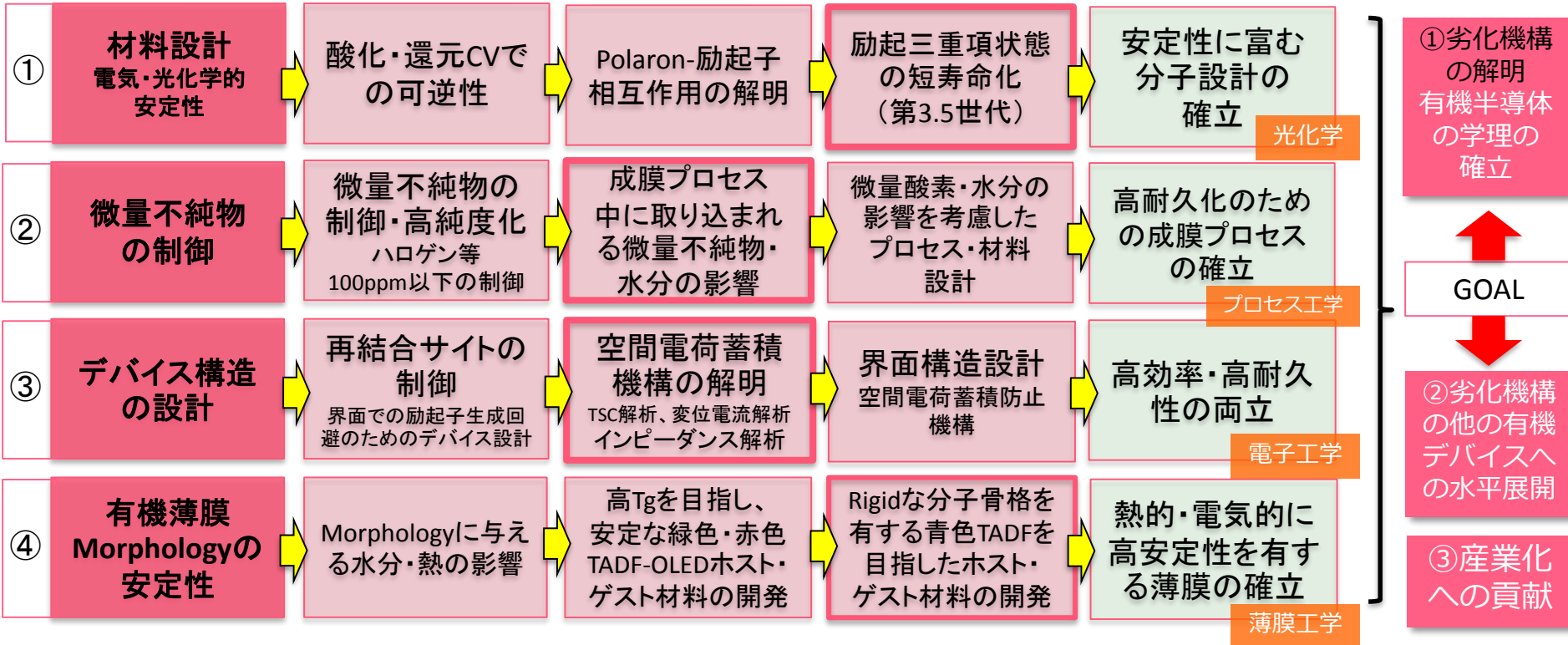
2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

研究展開

本研究の目標値：高耐久性を有するTADF-OLEDの実現

$L_0=1000\text{cd/m}^2$, $Lt=90$

G 10,000hr R 10,000hr B >1,000hr (中間), >5,000hr (最終)



研究実施体制 (基礎から応用技術までの一貫した研究開発体制)



九大・OPERA
安達千波矢教授
中野谷一准教授



(公財)有機光エレクトロニ
クス実用化開発センター



(株)Kyulux
(九大発ベンチャー)

共同研究

技術移転

産学官連携による事業化推進

Kyulux~九州大学OPERA~ふくおかIST i³-OPERA

産官学連携で材料開発/デバイス試作/評価を推進

九州大学OPERA



- 内閣府FIRSTプログラム
 - ◆スーパー有機ELデバイスとその革新的材料への挑戦◆
最先端の材料合成、成膜装置、分析・解析装置
- 経産省先端技術実証・評価設備整備事業
コンビナトリアル成膜装置
- 文科省国際科学イノベーション拠点整備事業
1,000㎡クリーンルーム、ディスプレイ試作ライン

ふくおかIST i³-OPERA



- 経産省イノベーション拠点立地推進事業
 - ◆有機光エレクトロニクス実用化拠点
250㎡クリーンルーム
200mm角基板対応量産試作ライン
・基板洗浄～成膜～封止～デバイス評価
150チャンネル寿命試験装置
環境試験装置



Kyulux Inc.

- 福岡市産学連携交流センター
- 福岡県・福岡市の国際戦略総合特区事業を活用
- NEDO：中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業
'15年10月～'17年3月、9,200万円
- 材料合成・小型成膜装置導入
 - ◆材料合成精製装置
 - ◆小型成膜装置、寿命評価装置

共同研究

設備利用

委託開発

設備利用

Lighting up the world of display

Kyuluxは革新的な発光材料TADFで
ディスプレイ産業を革新する九大発ベンチャー

株式会社 Kyulux



- 創設メンバー : 佐保井久理須、安達千波矢、安達淳治、水口啓
- 所在地 : 福岡市西区九大新町4-1
福岡市産学連携交流センター第2棟227号室
- 経営陣 : 代表取締役 (CEO) 佐保井久理須
代表取締役 (CTO) 安達淳治
取締役 (CFO) 水口 啓
社外取締役 坂本 剛 (QBキャピタル)
監査役 井上良弘
- 事業 : 有機EL材料開発、製造・販売
- 技術AD : 安達千波矢 (九州大学)、梶弘典 (京都大学)
中野谷一 (九州大学)、Alan Aspuru-Guzik (ハーバード大学)
- 設立 : 2015年3月9日

九大発ベンチャー Kyulux Inc.

- CEO : 佐保井久理須 (Christopher J. Savoie)



九州大学医学研究科PhDと米国弁護士資格を持つ異色の起業家
学生時代から3回の起業とIPO成功のトラックレコード
Apple Siriの発明者

- CTO : 安達淳治



企業における30年に及ぶ研究企画・開発経験を有する
燃料電池、MEMS、有機EL等先端技術の事業化を推進
MIT客員研究員、シリコンバレーベンチャーとの共同開発を経験

- CFO : 水口 啓



シリコンバレー8年を含む30年の経験を持つベンチャーキャピタリスト
IT・半導体・バイオ等豊富なハンズオン経験

- 取締役 : 坂本 剛 (QBキャピタル代表)



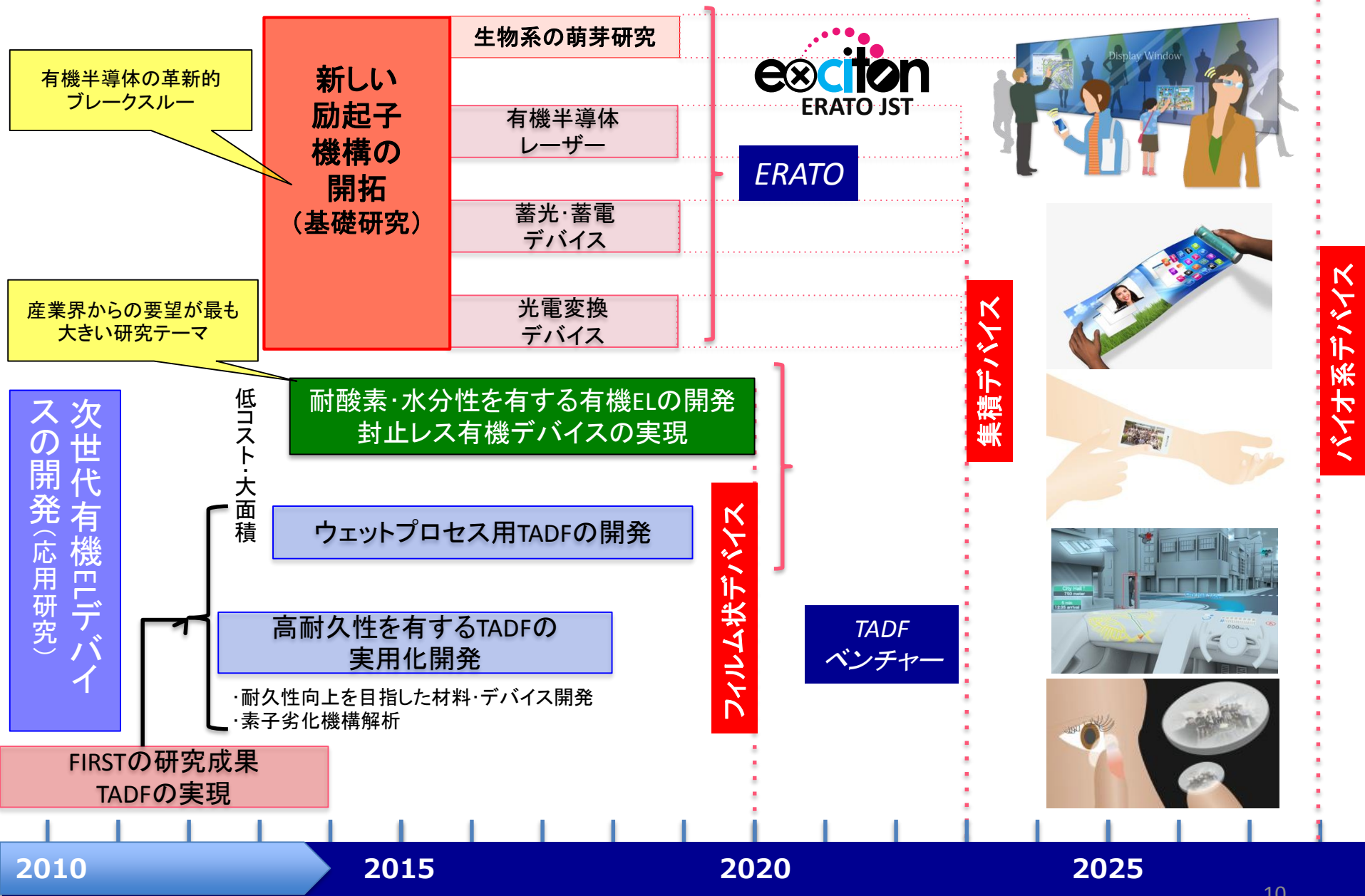
九州大学および九大TLOにおける大学発ベンチャー支援、産学連携の豊富な経験
九州で初の大学発ベンチャーに特化したファンドを組成

- 技術アドバイザー : 安達千波矢 (九州大学主幹教授)

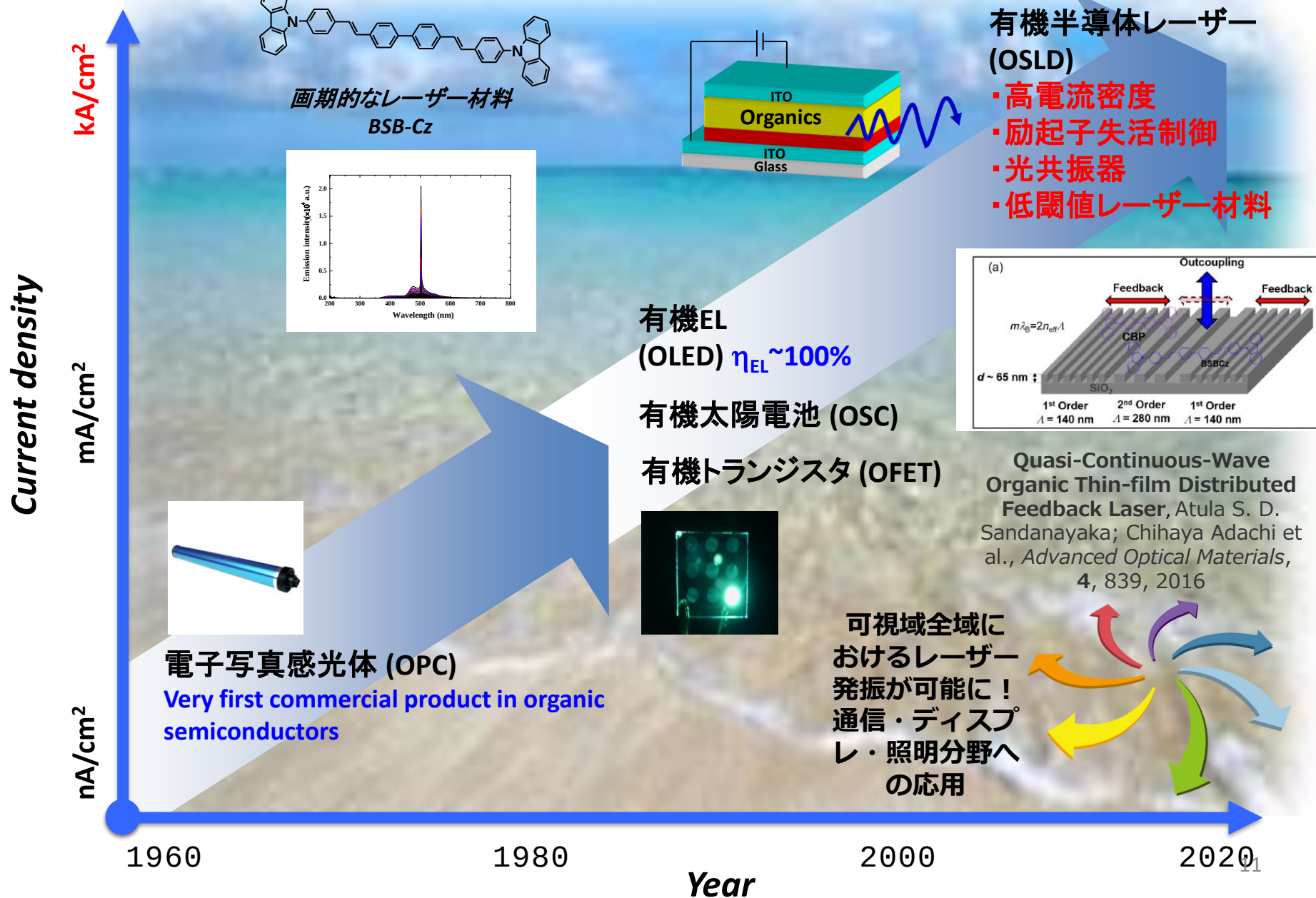


内閣府FIRSTプログラム TOP30のひとり
有機EL研究の第一人者、第3世代有機発光材料TADFの発明者
第1～第3世代の有機EL発光材料すべてに貢献する唯一の研究者

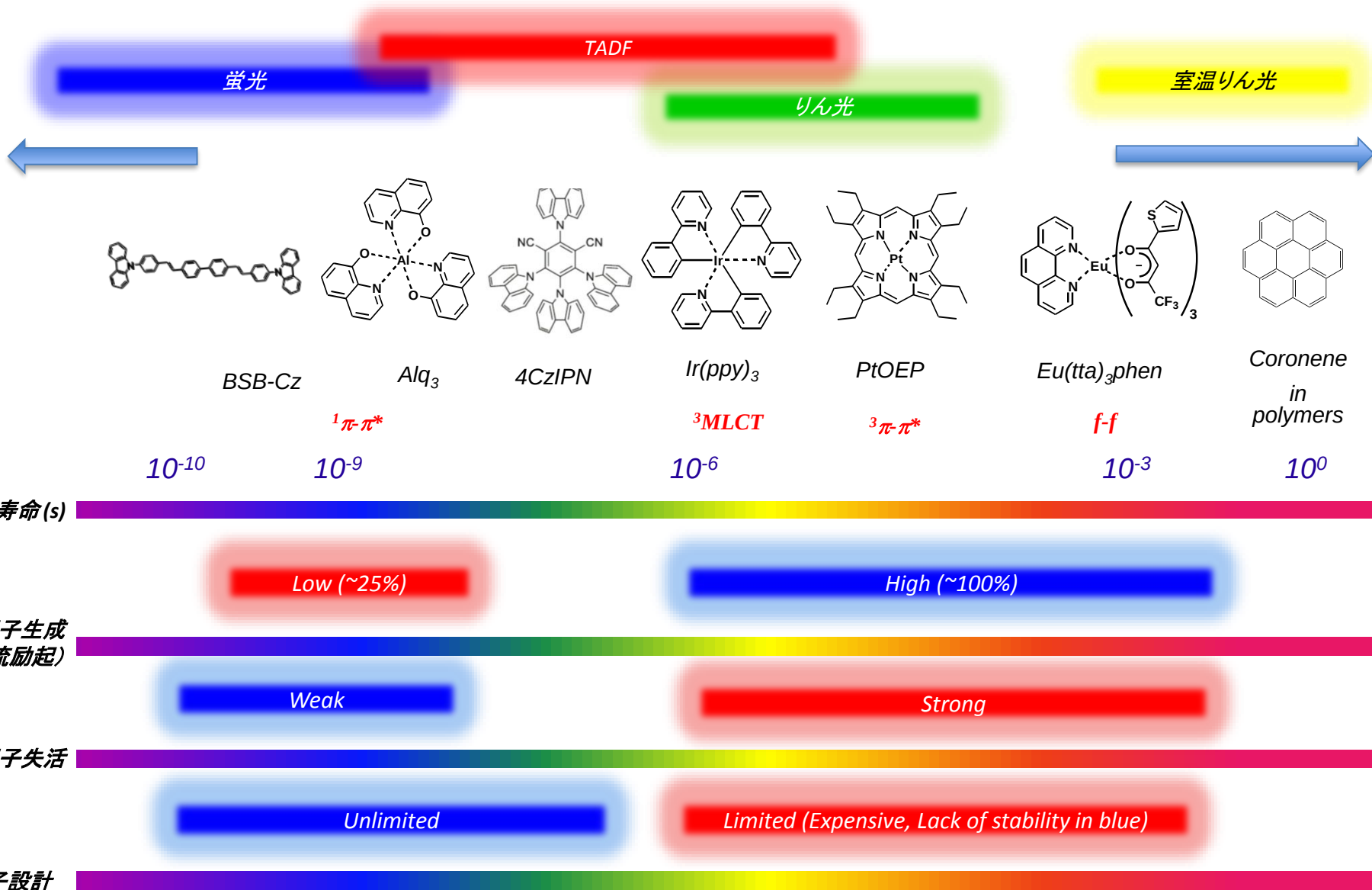
今後のOPERAの研究展開：Zero to Oneの研究へ



有機半導体レーザー：高電流密度への挑戦と励起子制御



10¹⁰オーダーで変化する有機分子の励起状態制御



新しい 社会システム

世界中の人と人がディスプレイを通して
繋がり新しい創造的な社会を形成



アプリケーション

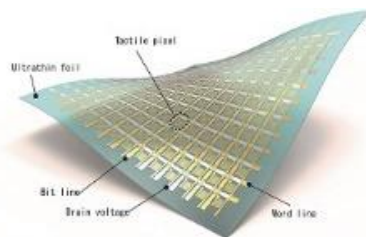
ユニークな アプリケーション

(フレキシブル・大面積・
高精細・軽量・低コスト)



エレクトロニクス との融合

集積システム化 (回路)

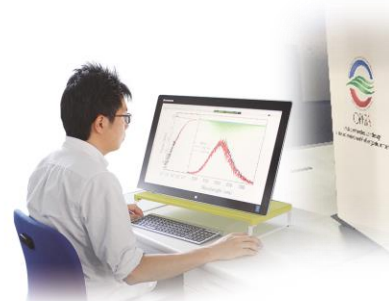


未来ビジョン

センターのミッション

・次世代有機光エレクトロニクス研究を
開拓する研究開発拠点へ: 有機合成・
電子物性・光物性・デバイス物性・プロ
セス開発まで一貫した研究開発

・ヘテロな研究者の集積でZero to Oneを
突破: 産官学連携の研究体制。国際的
な研究者集積(約30%が外国人研究
者・留学生)。ミーティングは英語で実施



分子設計

革新的な分子 の創製



有機合成



デバイス特性・物性

基礎サイエンスの追求