

# 研究成果展開事業

－戦略的イノベーション創出推進プログラム－

(S-イノベ)

研究開発テーマ「有機材料を基礎とした新規エ  
レクトロニクス技術の開発」

研究開発テーマ事後評価用資料

令和元年 6月28日

(2019年 6月28日)

## 目 次

1. 研究開発テーマ	3
2. プログラムオフィサー（PO）	5
3. 採択課題	5
4. 研究課題の選考について（3年程度経過後のみ）	6
5. 研究開発テーマのねらい（目標）	11
6. アドバイザーの構成について	11
7. 研究開発テーマのマネジメントについて	16
8. 研究開発テーマとしての産業創出の核となる技術の確立に向けた状況	20
8. 1 研究開発課題：新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFTを基盤とするフレキシブルディスプレイの開発	20
8. 2 研究開発課題：フレキシブル浮遊電極をコア技術とする新太陽電池分野 の創成	23
8. 3 研究開発課題：印刷で製造するフレキシブル有機EL照明の開発	26
8. 4 研究開発課題：塗布型長寿命有機太陽電池の創出と実用化に向けた 基盤技術開発	28
9. 総合所見	30

## 1. 研究開発テーマ

### 「有機材料を基礎とした新規エレクトロニクス技術の開発」(平成 21 年度発足)

本研究開発テーマは、有機化合物を利用した光電変換技術および有機化合物中の電子制御技術を応用したデバイスなどの研究開発を対象とする。具体的には、有機EL、有機太陽電池、有機トランジスタなどの有機系電子デバイスに係る技術の開発などである。

実用的な技術の創出を目標とした研究開発であるため、本研究開発テーマで対象とする課題については、基礎研究の段階が一定以上進んでいることを前提としている。上記具体例に係る技術についても、基礎的に解決すべき課題は残されているが、一方で、基礎研究において芽吹きつつある優秀な成果を実用化に向けて強力に推進していくことにより、激化する諸外国との技術開発競争に対応し、我が国の産業競争力を強化することを図る。

有機ELディスプレイや有機EL照明については、そのエネルギー効率や製造プロセスの単純さなどによる大きな製造エネルギーの削減や動作エネルギーの削減、ひいては、コスト低減が期待されている。また、有機系太陽電池についても、変換効率や寿命こそ無機系に劣るが、有機物ならではのフレキシブル性を活かし、多用な設置方法、デザイン性も期待できるなど、その可能性は非常に大きいものである。また製造プロセスも印刷プロセス製造により、生産のためのエネルギーの低減が期待されている。有機トランジスタはプリンタブル・エレクトロニクスを支える基礎デバイスとして今後不可欠なものとなると考える。

これらについては一部実用化の始まっているものがあるが、性能的にはまだまだ発展途上であり改善の余地が大きく、また、米国や欧州、韓国なども国を挙げて取り組んでいる研究開発テーマであることから、今後一層競争が激しくなっていくことは想像に難くない。

また本研究開発テーマは「低炭素社会づくり行動計画(平成20年7月29日閣議決定)」にも沿ったものであり、その緊急性・重要性は最早疑問の余地はないものとする。

印刷プロセスによる、初期設備投資の削減、製造のためのエネルギーの削減を10年後の目標とする。また、有機材料ならではのフレキシブル性をいかに実現したデバイス作製を目標とする。しかし、プロジェクト前半では、実用的なデバイスを実現するために、ガラスのような堅い基板を用い、真空蒸着で作製したデバイスも念頭においての開発も行う。

#### (1) 印刷法有機TFTアレイを基盤とするフレキシブルディスプレイの開発

印刷用有機TFTアレイを基盤としたフレキシブル有機ELディスプレイを開発する。そのために、印刷可能な高性能ポリマー半導体材料の開発を基盤として、印刷プロセスによる高性能ポリマー・トランジスタとその集積化技術を開発する。3D-FET構造の応用、界

面解析・制御技術、さらには種々の印刷手法を活用することでフレキシブル有機ELディスプレイを実現する。

#### (2) フレキシブル浮遊電極をコア技術とする新規色素増感太陽電池の開発

高コストである透明導電性膜を使用しない円筒型色素増感太陽電池アレイを開発する。そのために、ポーラスチタニアを金属メッシュ上に形成した自立浮遊電極を開発する。さらに、印刷法に適した電極形状の開発を図る。色素増感太陽電池には封止技術がキーポイントとなるが、円筒型では平板に比して封止面積が狭く有利であり、円筒型に適した封止技術を実現する。また、可視光に加え近赤外光を吸収する色素の開発等で、高性能フレキシブル円筒型色素増感太陽電池モジュールを実現する。

#### (3) 高効率・長寿命フレキシブル有機EL照明の開発

印刷用によるフレキシブルな白色有機EL照明を開発する。そのために、塗布できる高効率・長寿命な白色有機EL材料を開発し、塗布時、層間で混合が起こらない硬化システムを導入する。さらに、それら材料を用いた高精度塗布プロセスの開発を図り、高効率・長寿命なフレキシブル白色有機EL照明デバイスを実現する。

#### (4) 高効率・長寿命フレキシブル有機薄膜太陽電池の開発

低分子材料を薄膜中にナノ組織化して、塗布プロセスにより高性能フレキシブル有機太陽電池を実現する技術を開発し、高効率・長寿命なフレキシブル有機薄膜太陽電池モジュールを開発する。そのために、フラレン化合物の最適化と界面制御を実施する。また、近赤外光吸収材料を開発し、可視光吸収層と接合することで高効率化を図る。その接合に使用する陽極・陰極バッファの塗布化を図り、全塗布型フレキシブル素子を実現するとともに3次元曲面へ太陽電池を構成する手法の確立を図る。これらにより高効率・長寿命フレキシブル有機薄膜太陽電池モジュールを開発する。

## 2. プログラムオフィサー (PO)

氏名 谷口 彬雄 (信州大学 名誉教授)

## 3. 採択課題

採択年度	研究課題	プロジェクト マネージャー	所属・役職
平成 21年度	新しい高性能ポリマー半導体材料 と印刷プロセスによる AM-TFT を 基盤とするフレキシブルディスプ レイの開発	瀧宮 和男 (~H27)	理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレク ター
		竹谷 純一 (H28~)	パイクリスタル株式会社 研究開発本部 最高技術責任者
	フレキシブル浮遊電極をコア技術 とする新太陽電池分野の創成	早瀬 修二 (~H28)	九州工業大学 大学院生命体工学研究科 教授
		永吉 英昭 (H29~)	株式会社フジコー 開発センター センター長
	印刷で製造するフレキシブル有機 EL照明の開発	城戸 淳二 (~H28)	山形大学 大学院理工学研究科有機デバイス工学専攻 教授
		前田 博己 (H29~)	大日本印刷株式会社 研究開発センター パターニング技術研 究開発本部 第4部 部長
	塗布型長寿命有機太陽電池の創出 と実用化に向けた基盤技術開発	中村 栄一 (~H28)	東京大学 大学院理学系研究科化学専攻 特任教授
		矢部 昌義 (H29)	三菱ケミカル株式会社 横浜研究所情電・新エネルギー研究室 主席研究員
		早川 優 (H30)	三菱ケミカル株式会社 新エネルギー部門 新エネルギー事業 企画部 新規事業推進室 OPV プロジェクト プロジェクトマ ネージャー

#### 4. 研究開発テーマのねらい（目標）

エレクトロニクス分野における韓国、台湾、中国勢の台頭の中で、日本の科学技術のイノベーションには、特に、「その地の需要に応じた新たな先端科学技術の開発」が求められている。

そのためには、

①学問的に高度な科学技術、材料技術

②先端技術を駆使した高度なプロセス技術

を前提としながらも、世の中の需要をしっかりと見据えた、それに応じた新たな先端科学技術が求められている。

申請当初からの思いは、次の通りである。

①人間をより快適にする機械、コンピュータとのインターフェースの必要性が増してくる。

②現在のシリコンデバイスを軸とするエレクトロニクスを情報処理の核としながら、人間との関係をより快適とするデバイスの必要性がある。

③そのための技術は薄くて軽い、まげることが出来、壊れにくい、事がポイントである。

④それに答えうる技術が「有機エレクトロニクス」である。

その信念の上で、軽くて垂直面、屈曲面、設置場所の可能性を拓げる太陽電池、有機EL照明、情報処理の可能性を拓げる有機半導体の研究を進めている。これは省エネルギーへ繋がる生産・技術となり、低環境負荷社会への貢献への挑戦でもある。

そのための産業の礎となる骨格技術としては、印刷技術であり、フレキシブル化技術である。これらの技術は一見プロセス技術に見えるが、その基盤となる技術は日本の得意分野である材料技術である。

本プロジェクトでは「市場展開を見据えた材料技術」を基軸に進めている。

この点の基軸を下に研究開発を進めることによって、日本のエレクトロニクス産業の力強い再生の一助が担えると確信している。

##### （1）印刷法有機TFTアレイを基盤とするフレキシブルディスプレイの開発

新規アクセプター骨格の利用によりポリマー半導体材料を開発した。またPNDT3BTを改質して溶解性の向上などが確認され、今後の材料研究の方向性の元となる知見を得ている。また、ポリマー半導体薄膜内のキャリア輸送機構の解明など基礎面の進展もある。さらに、プッシュコート法の開発により、超薄膜撥液性絶縁膜上にポリマー半導体膜の塗布が可能になるなどの大きな進展があった。

本分野は材料及び超薄膜の形成プロセスなどブラックボックス化が可能であり海外メーカーにキャッチアップされない技術と考えられ、その方向で技術開発を進めた。

##### 【ステージIIでの追加事項】

参加企業は、会社方針にてS-イノベのプロジェクトから脱退することとなった。その結

果、新たな体制構築と目標設定の必要性が生じた。P OとJ S Tを軸に調整した結果、有機T F T技術を有する新規参加企業を軸にした体制作りを進めた。また、具体的目標をデジタルサイネージに設定した。デジタルサイネージの国内市場は、2016年度 1,488 億円（推計）、2020年度 3,362 億と比較的大きな伸びを示すことが予想されている（矢野経済研究所調べ2017年6月6日）。

新規参加企業は、有機T F Tの三次元構造作製技術、作成したT F T素子を基板から剥がし、異なる基板に貼り付ける技術を開発していた。この技術を利用する事により、

- ①ドライバは微細加工技術を利用し、精度良く作成し、基板から剥がし、別の有機E L発光の基板に貼り付ける。それにより、ドライバとしての微細な素子と大面積表示部分が別途作成出来るため、大面積の表示装置が可能となる。
- ②また、それぞれの素子の良品のみを選別できるため、歩留まりの大幅な向上が期待できる。
- ③更に、製品化後でも不良部分のみを取り替える事が可能となる。このコンセプトは有機エレクトロニクス分野の新たなイノベーションになると確信している。

#### 【ステージⅢでの追加事項】

表示素子としては、短期間での立ち上げを優先し、有機E LではなくRGB LEDチップを使うことにした。LEDチップを各画素に自動機で搭載する方式を確立する。数十cm角モジュールを縦横に並べてデジタルサイネージ用途を狙った大型ディスプレイの実現を目指すことになった。

#### （2）フレキシブル浮遊電極をコア技術とする新規色素増感太陽電池の開発

金属メッシュ上にチタニア層を形成し、色素溶液に含漬することで、ポーラスチタニア自立浮遊電極を形成する。金属メッシュの種類、チタニアの積層方法の検討、片面塗布化による薄膜化、電解質層の膜厚を制御することにより、効率向上を図れた。また円筒型の太陽電池の開発を行い、光電変換効率において光の照射角度依存性がほとんどないこと、また、疑似太陽光による出力に比べ、日射での1日の総発電量は平板型の1.28倍となることを見出した。

一方、太陽電池業界では、中国の台頭によりパネル価格の大幅な下落が起こり、再編などが起こり始めている。

このようなモジュール価格が低下する情勢で、発電した電気を販売することを主目的とする開発は現状では難しいと考えられる。特徴のある円筒型の色素増感太陽電池（DSSC）に絞って開発し、従来のシリコン系太陽電池では不得意なニッチ領域での製品化から進めるべきである。将来的にはグローバル産業として発展させることが望ましい。

#### 【ステージⅡでの追加事項】

ステージⅡにおいて、企業側の代表機関が会社方針にて脱退した事により、体制を一新させた。

ランプの管封止装置の専門メーカー、及び溶射技術の専門メーカーを新たに加えた研究開発体制を、参加研究機関、P O、J S Tの連携で整えた。

その結果、

- ①管状色素増感太陽電池専用の管封止装置を完成させた。それにより、長時間ほとんど劣化が見られない管状色素増感太陽電池の試作品が完成した。これにより、熟練者で無くても簡単に封止が可能となり、低コスト製造の可能性が見えて来た。
- ②太陽電池の製造コストで大きなチタン膜製造の低コスト化のための基本技術の立ち上げを終える事が出来た。

### 【ステージⅢでの追加事項】

新型・次世代太陽電池世界市場(モジュールベース)の見込み(富士経済調べ 2018/07/24)では、2030年での市場予測は、色素増感太陽電池が約300億円、ペロブスカイト太陽電池が約900億円であり、今後の他方式の太陽電池との競争を勘案し、より発電効率向上を図るため研究開発チームのペロブスカイトへの発電材料変更の計画を了承した。

また、封止による使用不可領域を減らし、一本当たり発電効率向上とコスト低減を図るための製造装置の製作も進めた。

本研究開発テーマでは、太陽電池の次の可能性を示した。

- ・管封止による有機材料の劣化の弱点を克服する新たなイノベーションが出来た。
- ・管状太陽電池をユーザが蛍光灯を取り替える様に、家電量販店で購入し、取り付け、古いものはプリンターのインクのように家電量販店で回収し再利用する、とした設置方法が可能なものとして上市するというイノベーションにつなげる事となった。

### (3) 高効率・長寿命フレキシブル有機E L照明の開発

様々な可溶性塗布材料を合成し、溶解性と製膜性、エネルギー準位、物性パラメータとの関係を見いだした。その結果、緑・赤色発光層を塗布法にて、青色発光層を蒸着法にて成膜した白色素子において、ステージⅠの目標値を達成している。

また、電極以外の層を塗布積層製膜したマルチフォトンエミッション(MP E)型に成功し、初期段階ながら全塗布MP E素子の原理実証に成功している。更に数十mm角発光素子にて、面内輝度ばらつきの目標を達成し、ステージⅡの研究開発項目の一部を前倒しで技術実証できているなどの進展があった。

### 【ステージⅡでの追加事項】

性能目標の変更は無いが、広く普及したLED市場の牙城を崩すことは容易でなく、印刷

による高スループット（高い生産性）と低コスト化（低い売価）の両立が図れば、LED 照明では実現できない用途を開拓することが出来るはずである。

参加企業より、ステージⅡ中間評価にて高速塗布が可能な技術（インクおよびダイコート塗工プロセス）を確立したとの報告があり、将来的にロールツーロール（R 2 R）への展開を図る上で重要な技術確立と評価した。

### 【ステージⅢでの追加事項】

照明製品の国内市場（富士経済調べ 2018/1/15）では、LED 照明の普及が大きく、有機 EL を照明用として用いる市場は現時点では小さい（2025 年時点で LED 照明が約 7000 億円に対して有機 EL 照明は約 200 億円）。

参加企業が開発した高速塗工技術により、将来的には、ロールツーロール（R 2 R）展開による低コスト化を図り、真空蒸着を使った既存技術では競争力を発揮できないような、様々な形態の照明用途を狙うことになった。

### （４）高効率・長寿命フレキシブル有機薄膜太陽電池の開発

ERATO プロジェクトで開発した、ベンゾポルフィリンプレキューサーと C60 誘導体からなる塗布膜を熱変換し、層分離構造による有機薄膜太陽電池を基礎に、適切なエネルギー状態を有する半導体材料を用いて、適切な相分離構造を示すような材料の組み合わせ及びプロセス条件を開発し、さらに適切な素子構造を持たせることにより、目標を大幅に上回る、2012 年当時で世界最高の変換効率を示す有機太陽電池を開発することに成功した。また、この素子の光学シミュレーションの結果から、活性層が非常に有効に光を吸収して利用されていることを明らかにした。さらに、タンデム素子開発への基礎的検討を実施した。また、これらの基盤として有機半導体ライブラリーの構築、工業的精製技術を確立した。また、ロールツーロール法（R 2 R）による有機薄膜太陽電池製造プロセスをイメージして、研究所内に、R 2 R 設備を構築し、試作など大きな進展があった。

一方、太陽電池業界では、中国の台頭によりパネル価格の大幅な下落等が起こり、倒産や再編などが起こり始めている。プリント太陽電池等の新型・次世代太陽電池市場は 2020 年世界市場で 2,433 億円と見積もられている（富士キメラ（2018））が、このような情勢で、従来のシリコン系太陽電池では不得意なニッチ領域から始め、将来的にはグローバル産業として発展させることを目指す。

### 【ステージⅡでの追加事項】

発電層を直列に接続して変換効率を上げたタンデム型太陽電池の試作に成功した。そして、フレキシブル・シースルー型有機太陽電池のパイロットプラントでの試作、モジュール化も行い、市場開拓に向けて活動を開始した。

### 【ステージⅢでの追加事項】

中村・早川グループでは、ステージⅡで市場開拓を始めた矢先に、現状の変換効率では市場性が無いとの判断が下され、より効率が高く、参加研究機関で先行研究を行っていた有機無機ペロブスカイト材料への変更計画案が提案されたので、計画を了承した。

なお、ステージⅢになり、早瀬・永吉グループでもペロブスカイト材料に変更することになったので、連携して進めるよう両チームに提案した。

## 5. 研究課題の選考について（参考）

提案された多くの課題の中よりの選定基準の

第一は、技術の素性の良さ、

第二は、企業の実績と事業化への意気込み、

であった。応募者にプレゼンをお願いし、独創性、研究成果の産業化への可能性、企業の意欲などの観点から慎重に審査を行った結果、最終的にPOが下記4件を採択した。

①太陽電池2件、薄膜太陽電池と色素増感太陽電池である。これは方式の違いで競い合う構成とした。

中村・早川グループは ERATO の5年間の実績で学術的にも技術的にもすばらしい成果をあげており、その発展としての S-イノベとのマッチングが最適であった。また、参加企業のフラーレンを軸とした材料技術、プロセス技術、デバイス化技術も高く評価した。

早瀬・永吉グループの提案は色素増感太陽電池の最大の問題点であり、事業化において最後の最後まで苦しむと考えられる電解質の漏れの問題に関して解決の可能性が高い技術である点を評価した。また、金属メッシュ電極技術には参加企業の技術が活かせると考えた。

②有機EL照明。経産省の「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」、「低炭素社会づくり行動計画」の閣議決定でもうたわれている重要技術である。

城戸・前田グループはこれまでの有機EL分野を牽引してきた実績と可能性を評価した。参加企業の印刷技術も高く評価した。

③有機半導体。各種デバイスを動作させる基本デバイスであり、そのための基本材料の技術開発である。

瀧宮・竹谷グループは開発した材料骨格の素性の良さを活かす開発と参加企業のこの分野での実績を評価した。

## 6. アドバイザーの構成について

アドバイザー名	現在の所属	役職	任期
小出 直之	東京理科大学 理学部	教授	平成21年11月～平成28年3月
鈴木 博之	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)	常務取締役経営統括部長	平成21年11月～終了まで
府川 伊三郎	福井工業大学 産業ビジネス学科	教授	平成21年11月～終了まで
柳田 祥三	大阪大学	名誉教授	平成21年11月～平成30年3月

藤堂 安人	株式会社日経ビーピー	主任編集委員	平成 21 年 11 月～平成 23 年 9 月*1)
浜田 恵美子	名古屋工業大学 産学官連携センター	教授	平成 21 年 11 月～平成 23 年 9 月*1)

\* 1) の後任として下記 3 名の方に就任いただいた。

安達 千波矢	九州大学 大学院工学研究院	教授	平成 23 年 10 月～平成 30 年 3 月
染谷 隆夫	東京大学 大学院工学系研究科	教授	平成 23 年 10 月～平成 28 年 3 月
竹内 安正	技術コンサルタント		平成 23 年 10 月～平成 28 年 3 月

当初のアドバイザーは、採択課題を検討することが主な目的のため、広い分野に見識のある方々をお願いした。株式会社日経ビーピーの藤堂安人主任編集委員は日経エレクトロニクスの編集長などを歴任されてこられ、記者としての幅広い見識からのコメントを期待した。また、名古屋工業大学 産学官連携センター浜田恵美子教授は前職の太陽誘電株式会社において色素を利用した光記録材料を一から事業化まで成功させた第一人者である。大手の大企業が長年挑戦し、実現できなかった光ディスク CD-R を完成させた経験からのコメントを期待した。

株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)の鈴木博之常務取締役経営統括部長は NTT において光技術関連の研究開発を経て、ATR における脳情報通信総合研究所、社会メディア総合研究所全体の研究開発を広い視野で統括されている。研究開発の経営的な視点からのコメントを期待した。

福井工業大学の府川伊三郎教授は、旭化成株式会社当時、中央研究所所長および専務理事・研究開発企画管理部長の要職に就かれ、研究開発、企画管理部門で活躍された。有機合成やポリマー合成に造詣が深い。また、JST において、産官学ジャーナルの編集委員、産学共同シーズイノベーション化事業および研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) の評価委員と、産学連携部門で活躍されており、主に材料系および産学連携の視野からのアドバイスを期待した。

大阪大学柳田祥三名誉教授は、色素増感太陽電池の世界的第一人者であり、現役引退後は、特任教授として有機薄膜太陽電池にも着手、光化学、有機エレクトロニクスの広い視野からの専門的アドバイスを期待した。

2 年後には専門領域の方々を軸にした委員会に再編成した。

安達教授は、早くから有機エレクトロニクスの研究に着手し、内閣府による研究資金 F I R S T プログラム「スーパー有機 E L デバイスとその革新的材料への挑戦」の研究代表者で

ある。

染谷教授は、印刷法によるフレキシブル有機エレクトロニクスで大きな業績を上げており、JSTのERATO「染谷生体調和エレクトロニクス」プロジェクトの代表者でもある。

両教授とも、現役の有機エレクトロニクス関連研究者としてのアドバイスを頂いた。

竹内氏は、JSR(株)(旧 日本合成ゴム(株))にて、液晶関連事業を立ち上げ、基礎から事業化まで広い視野と見識を有しており、その後、(株)国際基盤材料研究所の社長としてフラーレンを初めとする有機エレクトロニクスの研究開発を推進していた。技術コンサルタントとして、活躍しており、産業界の観点からアドバイスを頂いた。

以上述べたように、アドバイザーの方々は極めて高い研究業績や卓越したマネジメント力を有している。それらの経験を通じて研究推進会議や中間評価において適切な助言、評価を頂いた。

#### **【ステージⅡでの追加事項】**

平成27年度から新たに、昭和電工(株) 安全性試験センター長の小山 珠美氏に、安全性に関する厳しい視点でのご指摘を頂くために加わって頂いた。(本人の申し出により、平成29年3月をもって退任)。

また、染谷教授、小出教授及び竹内氏がそれぞれ本人の申し出により、平成28年3月をもって退任された。

これを受けて、新たに(株)JOLED CTOの田窪米治氏には事業化という視点でのアドバイスを、また、保土谷化学工業(株)の田村眞一郎氏には有機EL材料による製品化に対する産業界からのアドバイスを期待し、それぞれ平成28年10月から加わって頂いた。

平成 29 年 1 月 31 日におけるアドバイザー構成は以下の通りである。

アドバイザー名	現在の所属	役職	任期
安達 千波矢	九州大学 大学院工学研究院	教授	平成 23 年 10 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日付け退任
小山 珠美	昭和電工株式会社 安全性試験センター	センター長	平成 27 年 4 月 1 日～平成 29 年 3 月 31 日付け退任
鈴木 博之	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)	常務取締役 経営統括部長・事業開発室長	平成 21 年 11 月～終了まで
田窪 米治	株式会社 JOLED	取締役 CTO	平成 28 年 10 月 1 日～終了まで
田村 眞一郎	保土谷化学工業株式会社 有機 EL 事業部・研究開発部	顧問	平成 28 年 10 月 1 日～終了まで
府川 伊三郎	株式会社旭リサーチセンター	シニアリサーチヤー	平成 21 年 11 月～終了まで
柳田 祥三	大阪大学 有機系太陽電池技術研究組合 (RATO)	名誉教授 理事	平成 21 年 11 月～平成 30 年 3 月 31 日付け退任

### 【ステージⅢでの追加事項】

ステージⅢでは、事業化に向けた研究開発課題に対しての知見や経験についての助言を期待して、アドバイザーは企業関係者のみとした。

日本電気(株)の東口 達氏は、有機 EL 照明の研究開発に対する経験を生かしたアドバイスを期待し、平成 29 年 7 月より参加していただいた。

終了時（平成 31 年 3 月）におけるアドバイザー構成は以下の通りである。

アドバイザー名	現在の所属	役職	任期
鈴木 博之	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)	代表取締役専務 経営統括部長・事業開発室長	平成 21 年 11 月～終了まで
田窪 米治	株式会社 JOLED	取締役 CTO	平成 28 年 10 月 1 日～終了まで

田村 眞一郎	保土谷化学工業株式会社 有機 EL 事業部・研究開発部	顧問	平成 28 年 10 月 1 日～終了まで
東口 達	日本電気株式会社 システムプラットフォーム研究所	エキスパート	平成 29 年 7 月 24 日～終了まで
府川 伊三郎	株式会社旭リサーチセンター	シニアリサーチヤー	平成 21 年 11 月～終了まで

## 7. 研究開発テーマのマネジメントについて

### (1) POの基本的な運営方針について

本研究開発を推進するに当たり、以下の観点を重視した運営方針とした。

- ①サイトビジットによる、研究現場での議論を重視する。特に、企業の研究現場の視察と実験設備やパイロットプラントへの進捗状況の確認を行う。
- ②課題間で共有可能な技術課題を抽出し、課題間での連携を図る。
- ③研究費の配分については、予算資金及び加速資金の重点配分及びPO裁量経費の確保と重点配分を実施する。
- ④S-イノベは、あくまで事業化を見据えた研究開発プロジェクトであることを念頭に、S-イノベの終わり方を意識する。

サイトビジットは、大学等及び企業にわけ、原則各年1回実施した。また、共有可能な技術課題の抽出のため、これのみを目的としたサイトビジットを別途実施し、共有可能な技術課題をまとめ、全課題のメンバが一同に集結するテーマ推進会議で提案した。

ステージⅢでは、テーマ推進会議より個別のサイトビジットでのマネジメントに重点をおき、S-イノベとしての終わり方をどうするかという観点で各チームを指導した。グループ間で連携の出来る技術については個別設定したサイトビジットを通じて推進することにした。

### (2) 研究開発テーマの進捗状況の把握・評価

①サイトビジットを重視し、研究開発現場での議論を軸として状況を把握した。特に、企業の研究開発現場の意向を重要視した。

②研究開発方針に関わる大きな課題について、その場で結論が出ない問題については2度3度とサイトビジットを実施して指導を強化した。

### (3) 研究開発テーマの研究開発計画の見直し

課題の中間評価時のアドバイザー各位からのアドバイス等を加味し、全体計画の見直し及びフォローアップを行った。

#### (瀧宮・竹谷グループ)

上述の通り、大幅な体制見直しを実施した。

#### (早瀬・永吉グループ)

上述の通り、研究体制、目標の大幅な見直しを実施した。

#### (中村・早川グループ)

上述の通り、市場から、より高効率の性能を要求されたため、参加研究機関で先行研究を行っていたペロブスカイト材料への変更を認めた。

#### (城戸・前田グループ)

目標の大幅な変更は無いが、ステージⅢで3機関が集結して研究を加速することを提案してきた。参加研究機関での材料探索と参加企業が開発したダイコーターによる試作期間の短縮と問題点の早期フィードバックには有効と判断し、その体制を認めた。結果的にステージⅢにて研究開発の大きな進捗が見られた。

#### (4) ステージアップのマイルストーン (ステージⅡからステージⅢ) と評価基準 (数値目標)、および、ステージアップの根拠

##### ①瀧宮・竹谷グループ (平成 27 年度中間評価を実施)

材料技術については、高い合成技術レベルを駆使し、多くのポリマー半導体材料が試作されたことにより、学問的にも、また性能的にも一定の目標を達成したといえるが、材料の精製技術や耐久性などの点で最高のポリマー材料を得るところまで至っていないと認められた。ただし、有機半導体の特性向上のための3次元トランジスタ技術においては塗布で作製する技術を確立している。本技術を活かした素子の試作とデバイス研究も性能評価まで行っているため、一定の目標は達成したと判断した。

また、参画企業の脱退により、研究開発の継続が危ぶまれたが、新規企業を加えて新たな体制構築を図った。新規参加企業はディスプレイ最終製品のニーズを知り、それを実現するアイデアを持っている。また、最終製品、デバイス、材料について固有のコア技術を持っており、ベンチャ企業であることからスピード感を持った研究開発を遂行することが可能である。これらの点から、有機エレクトロニクス分野の新たなイノベーションが創出されるとの確信が得られたため、ステージⅢへの移行を認めた。

##### ②早瀬・永吉グループ (平成 28 年度中間評価を実施)

ステージⅡにおいて研究開発体制の見直しを実施したことにより、当初の目標の実現に向け大きく進展した。ランプの封止技術を有する企業の参画により、色素増感太陽電池の最大の問題であった耐久性の改善の目処が立った。特にステージⅡの早い時期より、生産性向上、コスト削減を明確に意識し、着実にコスト低減を実現している点を高く評価し、製造技術確立、市場性開拓に向けて、次ステージでの成果が大いに期待できることから、ステージⅢへの移行を認めた。

##### ③城戸・前田グループ (平成 28 年度中間評価を実施)

ステージⅡでの目標性能 (発光効率、寿命) に対して、多層での塗布積層にてほぼ達成しており、順調に進捗していること、有機 EL 照明の普及を目的に、生産性に優れる

塗布型デバイスの開発、材料およびデバイス構造の開発、並びに量産を想定したプロセス開発などが実施されていることが認められた。特に、性能向上に効果的なマルチフォトン構造の採用に不可欠な中間層開発において、着実な進歩がみられることを高く評価した。ただし、大学側を中心にした研究開発体制に課題があると認識した。これらを総合し、企業による事業化戦略を明確にした更なる展開を期待しつつ、ステージⅢへの移行を認めた。

#### ④中村・早川グループ（平成 28 年度中間評価を実施）

フレキシブル・シースルー型有機太陽電池の各種実証実験を実施し、良好な結果を得ている。大学側では先行して次世代材料であるペロブスカイト材料の生成機構解明と安定性に取り組んできたことを評価した。企業主導での耐久性、信頼性の高い薄膜太陽電池の実用化研究を進めることを期待してステージⅢへの移行を認めた。

### （5）課題内・課題間の連携の推進

①課題内の連携はいずれのグループも頻繁な情報共有化などが行われており、特に介入する必要性は感じなかった。

②課題間の連携は参加企業が全て同業者でもあることから、自社の機密保持の観点で困難を極めた。サイトビジットで抽出した「共有可能な技術課題」、基板材料、保護膜、接着剤などの共通基盤技術に関して、特別に情報交換、必要に応じた研究開発依頼などを検討した。

#### 【ステージⅢでの追加事項】

課題間の連携については、十分な取り組みが出来ていなかったが、ステージⅢにおいて、早瀬・永吉グループと中村・早川グループとの間で、具体的なコラボを推進し、サンプル実験まで実施することが出来た。その結果、ガラス封止技術の優れた特性を一同理解する良いきっかけになったと考える。

### （6）研究課題の指導

①サイトビジットにて研究開発現場の状況を把握しつつ、指導・助言を行ってきた。中でも、早瀬・永吉グループには、封止技術に関して蛍光灯の封止技術の導入を強く勧めた。その結果、上記の通り展示会にて S-イノベの事業に興味を示してきた企業がステージⅡの途中から参画し、一気に研究が進展したことは特筆に値すると考えている。瀧宮・竹谷グループには、ターゲットに関する助言、事業化計画などに関して議論を深めたが、上で述べた通り、新規参加企業を軸にした体制作りを認めたことにより、事業ターゲットの決定から研究推進のスピード感が大いに早まった。これは、少人数で意思決定できるベンチャ企業だからこそと言える。新規参加企業は、事業化に強い意欲を持って望んでおり、強力なリーダーシ

ップを阻害しないようポイントだけを押しえた指導を行った。

②S-イノベ後の企業における競争力の源泉の一つは特許であるため、全課題に対して、特許の取得を奨励し、特許性があると思うアイデアには積極的に特許出願を促した。

③研究成果が出た際のプレスリリースや展示会へのサンプル展示を推奨した。大学からは新しい材料や新しい技術について、大学側と JST との共同プレス発表がなされた。例えば、電極を除く全層塗布型有機 EL 照明の世界最高性能を謳う発表やペロブスカイト材料に最適な正孔輸送材料の発見などである。また、企業側の発表としては参加企業と JST との共同発表を行った。全課題共同の展示会としては、2015 年のプリンタブル・エレクトロニクス展、2019 年の JFlex2019 展に 4 課題の出展を企画し大きな反響を呼んだ。

## (7) 事業化および課題間連携に向けた取り組み

### 【ステージⅢでの追加事項】

ステージⅢの最終局面では、今後の事業化を見据え、企業主導での研究開発ターゲットの明確化とそれに伴う研究費の配分、研究開発計画となるように全課題の代表者（プロジェクトマネージャー）を大学側の研究リーダーから代表企業の開発リーダーに変更した。特に、各課題のプロジェクトマネージャーには、他の基礎研究事業とは違い、S-イノベという事業化を見据えた 10 年プロジェクトでは「終わり方」が重要と繰り返し説き、将来の事業化が見える形の終わり方を各課題に対して明確にするよう要請した。

## 8. 研究開発テーマとしての産業創出の核となる技術の確立に向けた状況

### 8.1 研究開発課題名（瀧宮・竹谷グループ）

【新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFT を基盤とするフレキシブルディスプレイの開発】

#### (1) 研究開発成果

ステージ1，2までの研究開発成果は図1の通りである。

ステージIIまとめ		
達成目標	進捗状況	課題
<u>アレイ開発</u> ・2Dトランジスタ ・3Dトランジスタ	・2Dトランジスタアレイ ⇒ 技術確立 ・3Dトランジスタアレイ ⇒ 実プロセスでのアレイデバイス実証	・フロントパネル (ECD) 実装における技術的課題の克服
<u>アレイ評価</u> ・フロントパネル駆動 ・半導体テスターによる直接評価	・フロントパネル駆動 ⇒ 液晶駆動の検討 (2D, 3D) ・直接評価 ⇒ 評価実施、手法確立	・同上
<u>ポリマー半導体の高性能化</u> ・骨格探索 ・評価・塗布技術	・骨格探索 ⇒ 多数の独自骨格を開発 ・ポリマー配向技術 ⇒ 高移動度の実現	・溶解性と高移動度の両立 ・材料探索の効率化 ・実デバイスに近い条件での評価

図1 ステージIIまでの研究開発成果

ステージIIIでの参画を認めた企業は、有機TFTの三次元構造作製技術、作成したTFT素子を基板から剥がし、異なる基板に貼り付ける技術を開発している。

この技術を利用する事により、

- ① ドライバは微細加工技術を利用し、精度良く作成し、基板から剥がし、別の有機EL発光の基板に貼り付ける。それにより、ドライバとしての微細な素子と大面積表示部分が別途作成出来るため、大面積の表示装置が可能となる。
- ② また、それぞれの素子の良品のみを選別できるため、歩留まりの大幅な向上が期待できる。
- ③ 更に、製品化後でも不良部分のみを取り替える事が可能となる。このコンセプトは有機エレクトロニクス分野の新たなイノベーションになると確信した。

#### 【ステージIIIでの追加事項】

- (1) 高性能半導体インクの面積塗布法開発

#### ① 高性能半導体インクの成分検討と仕様の確立

新規参加企業は、高性能有機半導体膜の単結晶膜形成方法を数年掛けて成熟させてきた。しかし、AM-TFT（アクティブマトリックス TFT）によるフレキシブルディスプレイを実現するには、ほぼ 100%の歩留まりが要求されるため、もう一段上の安定したプロセスが求められ、インク組成まで含め検討を実施した。

その結果、新規参加企業は、有機半導体材料として新規参加企業が開発した材料を使用することに決定した。

研究の成果として、高性能半導体インクの仕様と製造方法を確立した。今後、さらなる高輝度化のためには移動度向上が必須であり、参加研究機関での研究の成果を将来的に活かす必要がある。

#### ② 高性能半導体インクの大面积塗布法開発

新規参加企業にて作製した高速成膜装置にて、大面积半導体単結晶膜の材料、インク溶媒を選定するとともに、高純度化により塗布条件を安定化させることに成功した。基板材料及び、絶縁膜材料も確定し、高速かつ安定した単結晶膜の製膜条件を確立した。

#### ③ 高性能印刷アクティブマトリックスにおけるプロセスの開発

有機トランジスタを含めた、多様なレイヤー構造のなかで、新規参加企業の有する実装方式に最も適したプロセスを開発した。2種類の候補を選定し、再現性とデバイス性能、均一性、安定性の観点からプロセスの確立を図った。

このように作製したトランジスタの転写前後でほとんど特性に変化が無いことを確認している。また、信頼性試験として高温、高湿の雰囲気下で長時間特性変化が無いことを確認した。

#### ④ シート状フレキシブル大型ディスプレイのプロトタイプ作製

大型ディスプレイの仕様のうち、最大輝度は素子を駆動するアクティブ素子の Dr-Tr（ドライバ・トランジスタ）の仕様によって左右される。そのため目標とする最大輝度を満たすための電流が得られるように Dr-Tr の仕様を決定した。

表示素子として使用する LED の仕様から、目標とする最大輝度を得るために必要な駆動電流で、OTFT 各パラメータを決定していく。有機半導体材料の移動度は、特性のばらつきなどを考慮して当面の移動度を設定した。それらに加えて、駆動電圧や閾値を考慮し、デザインを決定した。その結果、実際に LED の点灯実験にも成功した。

#### ⑤ シート状フレキシブル大型ディスプレイのプロトタイプ作製

上記の検討を基に試作を行った。試作で見出された問題点を修正して、試作品を複数枚組み合わせた大面积シート状アクティブマトリックスを完成させた。また、それぞれの段階で

有機 EL などの表示素子と組み合わせるプロセスの検討を行いディスプレイのデモンストレーションを実施した。

さらに、アクティブマトリックスに外部回路から、デジタル信号を入れて、世界初の LED ディスプレイのアクティブマトリックス駆動にも成功した。この結果は、フレキシブル超大画面のサイネージパネル製品に道を拓くものである。第 24 回ディスプレイ国際ワークショップ (IDW2017) (平成 29 年 12 月 6 日～8 日、仙台国際センター) で発表すると共に JST と共同プレス発表も行った結果、大きな反響を得られ、新聞紙上でも紹介された。

## (2) 成果展示会での技術アピール

世界初のフレキシブル LED ディスプレイは、JFlex2019 展示会と S-イノベ「有機エレクトロニクス」成果報告会でも発表し、大きな反響が得られた。

## 8.2 研究開発課題名（早瀬・永吉グループ）

### 【フレキシブル浮遊電極をコア技術とする新太陽電池分野の創成】

#### （1）研究の概要および成果のまとめ

2009年度の研究開始以降、本研究開発課題は2機関（ステージⅡの途中から3機関の体制に変更）の協同により推進した。高コストである透明導電膜を使わない色素増感太陽電池（TCO-less DSSC）を目指し、ポーラスチタニア自立浮遊電極に関する研究開発を行なった。

浮遊電極太陽電池の展開として、円筒型の色素増感太陽電池（DSSC）を開発した。DSSCを大型化する場合、セルの封止面積は平板型DSSCでは比例的に増加することに対し、円筒型DSSCは一定となり、大型化における封止性が有利である特徴を有する。また、円筒型DSSCは光の入射方向や角度の影響を受けにくく、発電に有利である。

#### 【ステージⅡでの追加事項】

ステージⅡにおいて企業側の代表機関が脱退した事により、体制を一新させた。ランプの管封止装置の専門メーカー、及び溶射技術の専門メーカーであり、色素増感太陽電池の経験のある企業を新たに加えた研究開発体制を整えた。

その結果、

- ①管状色素増感太陽電池専用の管封止装置を完成させた。それにより、長時間ほとんど劣化が見られない管状色素増感太陽電池の試作品が完成した。これにより、熟練者で無くても簡単に封止が可能となり、低コスト製造の可能性が見えて来た。  
次のステップとして、封止による使用不可領域を減らすための製造装置の製作も進めた。
- ②太陽電池の製造コストの大きなチタン膜製造工程の低コスト化のための基本技術の立ち上げを終える事が出来た。
- ③ステージⅡでは、太陽電池の次の可能性を示した。
  - ・管封止による有機材料の劣化の弱点を克服する新たなイノベーションが出来た。
  - ・管状太陽電池をユーザが蛍光灯を取り替える様に、家電量販店で購入し、取り付け、古いものはプリンターのインクのように家電量販店で回収し再利用する、とした設置方法が可能なものとして上市するというイノベーションにつながった。

具体的な結果の概略は次の通りである。

- ・円筒形太陽電池の効率は小型1cmセル、10cmセルともにステージⅡの効率目標を達成した。
- ・デバイス作製、センサーネットワークシステムを使い、実際に通信機能、センサ機能をWEBでモニターできるシステムを作製、野外に設置した耐久性試験までの実施等、研究は順調に進んだ。

## 管封止技術

### 1. シュリンク型封止技術

封止技術、封止装置は半自動で熟練者でなくても作製可能なレベルに達した。

### **【ステージⅢでの追加事項】**

#### (1) 作動電圧の高電圧化とデッドスペース解消による小型化

製品展開例として、センサ等の用途においては、昼夜問わず連続的に温度・湿度・照度のモニタリングを行う場合が多く、太陽光照射時に発電した電力を蓄電して夜間および悪天候時に利用する必要がある。蓄電デバイスの代表例はニッケル水素電池、リチウムイオンバッテリーなどの蓄電池あるいは電気二重層コンデンサなどが挙げられ、作動電圧は1.5～4V程度である。円筒形 DSC 単セルの作動電圧はそれよりも小さいため、蓄電にあたって、昇圧回路が必要であるが、低電圧からの昇圧はエネルギーロスが大きいため、太陽電池セルを複数直列接合した後に、昇圧、蓄電することが一般的である。

ガラス管内部で発電シートを直列接合することにより、円筒形 DSC アッセンブリー(以下、円筒形 DSSC と記す)作動電圧の高電圧化を実施した。

その結果、発電量の低下も無く、ガラス管内で発電層が直列化されており、円筒形 DSSC1本での高電圧化が実現できた。

#### (2) 封止技術の改良

確実に封止できる技術はステージⅡで確立したが、非発電部分を小さくする手段の別アプローチとして、2015 年度のシュリンク封止サンプルのガラス管端不要部をカットする、ガラス管端部処理の技術を確立した。

円筒形 DSSC の耐久性評価を屋外に設置したワイヤレスセンサにて実施した。円筒形 DSSC を定期的に屋内に持ち込み、ソーラシミュレータを用いて変換効率を測定した。長時間経過後においても目標性能を維持しており、競合他社を凌駕する性能を実現した。

#### (3)さらなる変換効率向上に向けて～小型円筒形ペロブスカイト太陽電池の作製～

DSSC の変換効率では用途が限られてしまうことから、本グループより発電層としてペロブスカイト材料も並行して研究したい旨の計画変更が提案された。将来の円筒形太陽電池の普及のためには理解できること、さらに参加研究機関では先行して研究していたため、ステージⅢの研究で十分成果が出せると判断し了承した。参加研究機関作製のフレキシブルペロブスカイト太陽電池(以下、PSC と記す)シートを参加企業内で円筒形 PSC として試作した。作製した円筒形 PSC の変換効率は小型セルではあるが、目標値を達成した。

また、円筒形ペロブスカイト太陽電池の屋内耐久性試験を行った結果、長時間経過時点においても目標値以上の初期特性を満足しており、完全封止技術による優位性はペロブスカイト太陽電池を開発している競合を凌駕できるレベルに達しており、耐久性がよく議論されるペロブスカイト太陽電池の常用環境(それも屋外使用)において、一気に、このガラス管封止技術がトップランナーになる可能性が出てきた。

#### (4) 中村・早川グループとの連携

先に述べた通り、中村・早川グループのサンプルを本グループの封止技術を用いて試作した結果、長時間に渡って特性を維持する結果が得られた。

### 8.3 研究開発課題（城戸・前田グループ）

#### 【印刷で製造するフレキシブル有機EL照明の開発】

##### （1）研究開発成果の概要

2009年度の研究開始以降、本研究開発課題は2機関（ステージⅡの途中から企業1社参画し3機関の体制に変更）の協同により推進している。

様々な可溶性塗布材料を合成し、溶解性と製膜性、エネルギー順位、物性パラメータとの関係を見いだした。その結果、緑・赤色発光層を塗布法にて、青色発光層を蒸着法にて成膜した白色素子において、ステージⅠの目標値を達成している。

また、電極以外の層を塗布積層製膜したマルチフォトンエミッション（MPE）型の作製に成功し、ステージⅠの段階にて全層塗布MPE素子の原理実証ができた。

##### （2）競合技術との差別化と普及促進の鍵

競合技術であるLED照明の普及が先行しており、同製品は元来、指向性の強い点光源であるため、拡散性の面光源たる有機EL照明とは、用途により棲み分けが進むと考えられていたが、急速な低価格化によりこれだけLED照明が普及する現在、用途開拓を進めるにしても大きくコスト差を埋めない限り有機ELを普及させることは困難と言わざるを得ない。

競合他社の有機EL照明は、ガラス基板上に蒸着プロセスで形成されている。本研究開発課題が目指す全印刷フレキシブル有機EL照明はこれとは異なり、真空プロセスを用いない高タクトなプロセスで生産できるので、エネルギー負荷の小さい、省フットプリントで材料使用効率の高い製造ラインにて原理的に安価な製品を市場に提供できる可能性があるが、死の谷を越えるために、ハードル（用途開拓とコスト）をいかにして乗り越えるかが鍵になる。

#### 【ステージⅡでの追加事項】

効率、寿命とも目標を達成。8層までの塗布積層は達成。目標に対して順調に進捗した。

有機EL照明の普及を目的に、生産性に優れる塗布型デバイスの材料、構造、量産を想定したプロセス開発などが実施された。

とりわけ、性能向上に効果的なマルチフォトン構造の採用に不可欠な中間層開発において、着実な進歩がみられた。下部の発光ユニットを溶解させない耐溶解性と緻密な膜質、電子注入性と電荷生成機能の両立を実現している点は非常に評価できると考える。塗布型発光材料の開発では、参画企業により意欲的に開発が進められており、ハードルは高いものの着実に解決が図られた。

ステージⅢにて実用化を念頭に置いた素子構成、プロセス技術への研究開発を指導することにした。

### 【ステージⅢでの追加事項】

#### (1) 成果概要

①材料/層構成/部材を共通化し、試作プロセスの決定、②非スピコート法および大面積化技術のフレキシブル素子への適用という目標に対し、参画企業の技術を用いて、参加研究機関にて、フレキシブル基板上有機 EL 照明サンプルを試作した。

その結果、電極以外、有機 EL 層を印刷で塗布積層したフレキシブル有機 EL 照明のサンプル試作の作製に世界で初めて成功し、目標を達成した。

#### (2) 塗布積層したフレキシブル有機 EL 照明のサンプル試作

基板サイズ、発光エリアに合わせた印刷装置を新調し、大面積化の実証を可能とした。

その結果、有機 EL パネルとして、電極以外を塗布積層した OLED 照明の開発に成功し、JFlex2019 展示会にサンプルを展示した。RGB 全ての発光色を本研究課題のパネル構成において達成しており、白色パネルおよび各色パネルの量産が可能であることを実証した。

JFlex 展後も発光面質の改善ができており、S-イノベ終盤にて良好な発光面質のフレキシブル OLED 照明の作製に成功した。

## 8.4 研究開発課題名（中村・早川グループ）

### 【塗布型長寿命有機太陽電池の創出と実用化に向けた基盤技術開発】

#### （1）研究開発成果

##### 1）研究開発成果の概要

2009年度の研究開始以降、本研究開発課題は3機関（ステージⅡの途中から2機関の体制に変更）の協同により推進した。

ERATOプロジェクトで開発した、ベンゾポルフィリンプレキューサーとC60誘導体からなる塗布膜を熱変換し、層分離構造による有機薄膜太陽電池を基礎に、適切なエネルギー状態を有する半導体材料を用いて、適切な相分離構造を示すような材料の組み合わせ及びプロセス条件を開発し、さらに適切な素子構造を持たせることにより、目標を大幅に上回る当時の世界最高の変換効率を示す有機太陽電池を開発することに成功した。また、この素子の光学シミュレーションの結果から、活性層が非常に有効に光を吸収して利用されていることを明らかにした。さらに、タンデム素子開発への基礎的検討を実施した。また、これらの基盤としてフラーレン化合物ライブラリーの構築、工業的精製技術を確立した。また、ロールツーロール法（R2R）による有機薄膜太陽電池製造プロセスをイメージして、研究所内に、R2R設備を構築し、R2Rサンプルの試作などを実施した。

##### 2）技術のブレークスルー

参画機関では、適切なエネルギー状態を有する半導体材料を用いて、適切な相分離構造を示すような材料の組み合わせ及びプロセス条件を開発し、さらに適切な素子構造を持たせることにより、単独セルで世界最高の変換効率を示す有機太陽電池を開発することに成功した。

##### 3）産学連携による製造技術のサイエンス基盤の確立

###### ①有機半導体材料ライブラリーの構築

優れた特性をもつジヒドロメタノフラーレン誘導体等の高効率合成を開発し、新規フラーレン誘導体を合成した。これらをアクセプター材料として用いることにより、高い開放電圧とエネルギー変換効率を示すことを実証した。

##### 4）社会経済の発展に繋がる重要な成果

###### ①ロールツーロール（R2R）製造法の開発

R2Rによる有機薄膜太陽電池の製造プロセスをイメージして、有機薄膜太陽電池デモサンプルの試作に成功した。

### 【ステージⅡでの追加事項】

ステージⅠで、塗布型素子でありながら高効率達成という前提の下で研究開発が進めら

れ、ステージⅡではパイロットプラントによるサンプルレベルでの試作など多岐の開発が進められた。

ステージⅡの終盤、市場展開を始めようとした矢先に、上述の通り、現状の変換効率では市場性が無いとの判断が下され、より効率が高く、参加研究機関で先行研究を行っていたペロブスカイト材料への変更計画案が提案された。

POは、参画機関の事業戦略の説明があり、本計画を了承した。

### 【ステージⅢでの追加事項】

#### (1) ステージⅢの成果概要

参加研究機関では、近年注目されてきた有機-無機ハイブリッド型ペロブスカイト太陽電池の学術的基礎研究にステージⅡの平成26年度からいち早く取り組んだ。ペロブスカイト結晶成長機構の解明、新規正孔輸送材料の開発、実用化のための基盤技術を確立した。ペロブスカイト型太陽電池においては、有機薄膜太陽電池と同じく全ての層は印刷プロセス等の応用が可能であり、設備の面でも既存のOPV開発における装置、ノウハウの転用が可能であることから、他機関の研究に比べて優位である。

#### (2) トップダウン手法による短期間開発

本グループは、有機薄膜太陽電池(OPV)素子の世界最高効率(2012年当時)達成から、パイロットプラント設計、実用性確認、大面積モジュールの生産に至る、世界に先んじた成果を上げている。

次世代型有機系太陽電池であるペロブスカイト型開発において、このOPV開発経験が最大限に活かされ、ペロブスカイト型太陽電池開発においても先行する競合研究者・企業に対して製品設計からトップダウン型の開発が可能であることを意味する。

#### (3) 耐光性・耐湿熱性の向上

正孔輸送層と上部電極の間に設けた保護層の成膜時に正孔輸送層にダメージが及び、電荷輸送能に影響することが懸念されている。本仮説に基づき保護層の材料・成膜条件等を種々検討したところ、初期効率低下を抑制可能な保護層の成膜条件を見出すに至った。この結果、ミニモジュールでは高い初期効率を示した。本性能変化は特に正孔輸送層の輸送能によく対応するパラメータの向上によるものであり、長時間の耐湿熱性試験中にも特性は維持された。好ましいことに、この保護層を導入した新構成のミニモジュールは耐光性にも優れることが確認されており、当初の課題であった耐光性・耐湿熱性を両立しうる構成であることが明らかとなった。

ペロブスカイト型材料の特徴として、幅広い吸収波長、長いキャリア寿命、再結合ロスが少ないことによる少ない電圧損失等が知られているが、これらの特徴は太陽光(1SUN)下の強い光のみならず、室内照明など低照度下でいかに発揮されることが知られている。

その結果、低照度で駆動できるIoT独立電源、あるいはエネルギーハーベスティングデバイスとしての応用が大いに期待できることが明らかとなった。

## 9. 総合所見

「有機エレクトロニクス」技術の歴史的変遷の中で今回のS-イノベの位置を考えて見る。

谷口は、株式会社日立製作所勤務していた1970年代より、一貫してエレクトロニクス産業における有機、プラスチック材料の研究開発を続けてきている。1984年には「有機エレクトロニクス」の名称を提唱して、有機エレクトロニクス材料研究会(現在は一般社団法人)を組織した。その後、応用物理学会、高分子学会、電気学会など各種学会などで、「有機エレクトロニクス」が普及し、「有機エレクトロニクス」名の分科会が設立されたり、学会のセッションが企画されたりし、この分野の研究開発の拡がりに寄与してきた。

「有機エレクトロニクス」研究分野が成立した時代背景は、石油をベースにした(産業の米)関連産業が大きく花開いていた時代である。巨大な石油コンビナートが建設され、膨大なプラスチック製品が世の中に出回っていた。当時のプラスチック製品に求められていた機能は光、熱、電気に対して反応しない機能、即ち安定であるという機能であった。

その頃、石油をベースとした産業と並行して半導体技術をベースとした(産業の米)とした産業が大きく成長を始めていた。その中で、プラスチック材料は絶縁材料などで重要な役割を果たして来た。高分子化学など科学技術の発展により、機能性材料の可能性が高まって来た。

新たに、光、熱、電気に対して積極的に反応する機能である。

そういう時期に「有機エレクトロニクス」が生まれた。

その後、「機能は面白いが行けそうで行けない」という研究開発の長い時期があった。

つまり、「光、熱、電気に対して積極的に反応する」という機能よりも「光、熱、電気に対して安定である」という機能が要求されてきた。

本プロジェクトが提案され、進められた2009年当時は各種基礎研究が実を結び、事業化が進みかけている時期であった。

そういう意味でも本テーマのP0として、この分野の核となる技術の事業化に携わることが出来て大変幸せである。

本テーマでは、有機エレクトロニクスの根本問題点を突破する事が課題であった。

その視点を、これまでの有機エレクトロニクスの強みと弱点を率直に直視し、弱点を強みに変えるポイントを整理し、新たな製品群の創成へと繋げる事に注力してきた。その結果、有機エレクトロニクス分野のイノベーションの形が具体的に見えて来た。

### 【本テーマでのイノベーション】

その第1は耐久性に関する課題である。

イノベーション① 材料技術のイノベーション

- ・大気安定性の良い化合物骨格を開発するなど、材料自体の工夫により高い特性と安

定性を両立させた。

イノベーション② 封止技術のイノベーション

- ・ランプのガラス封止技術を発展させることによる外界との完全遮断技術  
これにより、太陽電池の耐久性を飛躍的に改善させる事ができた。

イノベーション③ 不良となった部分を簡単に交換可能なデバイス技術

- ・管状太陽電池を家電量販店で販売、回収可能とさせる。  
また、ユーザが蛍光灯交換の様に簡単に設置できる太陽電池  
ユーザがプリンターのインクの様購入、回収出来る太陽電池  
これらにより、耐久性の不安から飛躍的に解放される。
- ・大面積デジタルサイネージ中の素子を取り替える技術  
これにより、大型装置の修復が可能となり、全体としての耐久性を飛躍的に伸ばせることとなる。

その第2は歩留まり向上に関する課題である。

イノベーション④ 素子の良品の部分のみを取り出し、貼り付けてデバイスを作る技術

- ・大面積デジタルサイネージのドライバ、表示部分を別途製作し、良品のみを選別し、貼り付けて製作する技術により、良品のみを選別する工程を入れる事ができ、歩留まりを飛躍的に向上させる事が可能となる。

その第3は大面積化に関する課題である。

イノベーション⑤ 微細な加工が必要な素子部分と大面積が必要な素子部分を別途作成する技術。

- ・デジタルサイネージのドライバ部分を別途作成することにより、大面積表示部分はいくらでも大面積とすることが可能となる。

イノベーション⑥ ロールツーロール技術を太陽電池の製造プロセスに導入し、大面積の生産を可能とした。

- ・フィルム状シースルー太陽電池で窓にフィルムを貼り付け、発電とブラインド機能による省エネを実現するという新たなコンセプトが実証実験されるフェーズとなった。

この様に本テーマから発生したイノベーションは有機エレクトロニクスの弱点を強みに変え、新たな市場を作っていくものと確信している。

### [長期プロジェクトだから見えて来たもの]

10年間の長期プロジェクトだからこそ顕在化した問題点が見えて来た。3～5年のプロジェクトでは生じにくい問題点がある。

10年間という長い期間では社会状況、技術の進展状況が大きく変わって来る。特に、エレクトロニクス関係での変化は大きいものがあつた。プロジェクトの最中での韓国、中国勢

の台頭である。技術を取り巻く環境変化を読み取り、日本の技術・S-イノベの技術をどう発展させるかが問われ続けた。

#### [S-イノベの研究開発からのイノベーション]

本テーマは最初にも指摘したが、「基礎研究が終わった後の事業化を主たる目的としている。」

イノベーションには[0→1]、[1→10]、[10→100]の研究開発がある。

[1→10]、[10→100]は、周辺技術の特徴を因数分解し、それを当該研究開発に当てはめ、新たな技術、総合技術として発展させることでもある。

そういう意味では、S-イノベのイノベーションは[0→1]ではなく、[1→10]または[10→100]の研究開発の領域である。本テーマでは、それに沿った研究開発がある程度完成し、次に繋げる事が出来たと判断している。

以 上