

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等
基盤技術開発／
次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」

事業原簿（公開）

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

—目次—

概 要.....	i
プロジェクト用語集	iv
I. 事業の位置づけ・必要性について	I -1
1. NEDO の事業としての妥当性	I -1
1.1 社会的背景	I -1
1.2 政策的な位置づけ	I -1
1.3 実施の効果（費用対効果）	I -2
1.4 NEDO が関与する意義.....	I -4
II. 研究開発マネジメントについて.....	I -1
1. 事業の目標.....	II -1
2. 事業の計画内容	II -1
2.1 研究開発目標	II -1
2.2 研究開発マネジメント戦略.....	II -6
2.3 研究開発計画	II -8
2.4 研究開発実施の事業体制	II -9
2.5 実用化・事業化に向けたマネジメント.....	II -10
2.6 情勢変化等への対応.....	II -14
III. 研究開発成果について	III -1
1. 目標の達成度と成果の意義.....	III -1
2. 知財権等の取得状況.....	III -3
3. 成果の普及	III -4
IV. 実用化・事業化にむけての見通し及び取り組みについて	IV -1
1. 成果の実用化・事業化の見通し.....	IV -1
2. 波及効果.....	IV -1
添付資料	添付資料-1
新成長戦略（抜粋）（2009年12月）	添付資料-1
エネルギー基本計画（2010年6月）（抜粋）	添付資料-2
基本計画	添付資料-3
技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）	添付資料-19
事前評価関連資料.....	添付資料-23

概 要

最終更新日 平成 26 年 6 月 3 日

プログラム (又は施策) 名	IT イノベーションプログラム/ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	次世代高効率・高品質照明の 基盤技術開発	プロジェクト番号	P09024
担当推進部/担当者	新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 工藤 祥裕、高井 伸之 (平成 22 年 3 月～平成 25 年 7 月) 栗原 廣昭、高井 伸之 (平成 25 年 8 月～平成 26 年 2 月)		
0. 事業の概要	地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題である。家庭でもオフィスで使用され、電力消費量の高い照明の省エネルギー化による効果は高いと予測されている。白熱電球や蛍光灯等の従来照明を、発光効率の高い次世代照明である LED 照明や有機 EL へ置き換えることにより、照明分野での省エネルギー化や高機能化が期待できる。しかし寿命・発光効率・演色性の観点で高効率・高品質な性能に加えて、材料、並びに製造プロセス技術の開発によりコストを低減させる必要があり、その為には既存技術の改良にとどまらない基盤的な研究開発が不可欠である。本プロジェクトでは、これら課題を解決するための基盤技術開発を行うことにより、我が国のエネルギー消費量削減に貢献するとともに、地球温暖化抑制につなげることを目的として実施する。		
I. 事業の位置付け・必要性について	技術革新が必要な分野で大規模投資が必要とされる等開発リスクが高いながら、日本が誇れる研究分野といえる次世代照明の基盤技術開発を行うことにより、エネルギー消費の高い民生部門の照明分野へ次世代照明の早期普及を実現し、省エネルギー化を推進する。		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	蛍光灯と比較して消費電力を半分にする発光効率 (照明器具レベルで 130 lm/W 以上) と演色性 (平均演色評価数 80 以上) を両立しつつ、蛍光灯並みのコスト (寿命年数及び光束当たりのコスト 0.3 円/lm・年以下) で量産可能な次世代照明の実現を目指すための基盤技術開発を行い、次世代照明の早期実用化事業化を図る。						
事業の 計画内容	主な実施事項	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY	H25FY	H21~H23 総額 (百万円)
	(1) LED 照明 窒化物等結晶成長 法の高度化-1 (HVPE 改良法)		(1,160)	(447)	(272)	(240)	2,932
	(1) LED 照明 窒化物等結晶成長法 の高度化-2 (Na フラックス法)		(1,798)	(345)	(354)	(295)	2,119
	(1) LED 照明 基板の応用		(507)				507
	(2) 有機 EL 照明 高効率・高品質化-1 (真空蒸着法)		(1,140)	(297)	(395)	(313)	2,554
	(2) 有機 EL 照明 高効率・高品質化-2 (塗布法)		(802)	(310)	(395)	(313)	1,897
	(3) LED 照明 国際標準化技術開発		(69)	(50)	(60)	(50)	229
(3) 有機 EL 照明 国際標準化技術開発		(40)	(20)	(20)	(10)	90	

開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY	H25FY	H21~H23 総額 (百万円)
	一般会計	5,407		—	—	—	5,407
	特別会計 (本予算) (需給)	—	109	1,469	1,611	1,183	4,372
	加速予算 (成果普及費を含)	—	305		244		549
	総予算額 (実績)	5,821		1,469	1,855	1,183	10,328
開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局情報通信機器課					
	委託先*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	三菱化学 (株)、シチズン電子 (株)、NEC ライティング (株) (株) イノベーション・センター、大阪大学、名古屋大学、豊田合成 (株) エルシード (株)、名城大学 パナソニック (株)、出光興産 (株)、タツモ (株)、長州産業 (株)、山形大学、青山学院大学、コニカミノルタ (株)、東芝 (株)					
情勢変化への対応	<p>以下の情勢変化の対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●加速による研究成果の向上：有機 EL 照明の低コスト化実現に向けた効率化・確実化のために、2010 年 (平成 22 年) 6 月に、製造プロセス技術を保有するパナソニック株式会社、長州産業株式会社の一環製造プロセス技術開発に対して加速資金を 305 百万円、2012 年 (平成 24 年) 11 月にタツモ株式会社のパターンエッチングを省略する塗布製造プロセス技術開発に対して加速資金を 104 百万円投入して目標の高度化 (コスト：0.3 円/1m・年を 0.24 円/1m・年に目標向上) を行った。また LED 照明の GaN 結晶成長の生産性向上のため、株式会社イノベーションセンターの再委託先の株式会社リコーの針状結晶太系径化技術に対して加速資金を 140 百万円投入して生産性の向上を図った。 ●状況に応じた体制強化：名大・阪大チームに対して P J 終了御の実用化事業化の実現のため、再委託先として株式会社リコー、委託先として豊田合成株式会社を参画させた。LED 照明の本研究開発後、平成 23 年 6 月にリコー (株) に再委託先として、平成 25 年 7 月、事業化の豊田合成 (株) に委託先としてプロジェクト参画させプロジェクト終了後の速やかな実用化・事業化が実現できるよう体制強化した。 ●P J 終了後のフォローアップ：LED 照明と有機 EL 照明の国際標準化に必要な測光方式の研究開発活動及び連携した国際標準化活動が P J 終了後も継続して実施できるようにオールジャパンの国内体制を構築した。 						
評価に関する事項	事前評価	平成 21 年度実施		担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部			
	中間評価	平成 23 年度実施		担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部			
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①「LED 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」</p> <p>(a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発 5～10mm 角サイズの結晶成長を HVPE 法、Na フラックス法の 2 通りの異なるアプローチで実施した。本結晶を用いて LED デバイスを作成・評価して、最終目標の LED モジュールで発光効率 200 lm/W 以上、照明器具で 130 lm/W 以上、平均演色評価数 80 以上の性能が達成できることを検証した。</p> <p>(b) 基板の応用によるデバイス技術の開発 5～10mm 角サイズの結晶の作成および LED デバイスとしての試作・評価を行った。ステージ I 目標の発光効率 175 lm/W 以上、平均演色評価数 80 以上の性能を実現するための課題を抽出した。</p> <p>研究開発項目②「有機 EL 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」 真空蒸着製法及び塗布製膜製法の異なるアプローチについて技術課題を明確にした上で本課題を解決する実行計画を策定した。本性能を実現する上で重要な青色燐光材料の開発に着手し本燐光材料を適用した白色発光デバイス、および本性能を引き出す層設計技術と光取り出し技術を開発して世界で初めて発光面積 100 cm² 以上で発光効率 130 lm/W 以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m² 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機 EL 照明の性能が達成できることを検証した。同時に、有機 EL 照明の普及に重要である生産効率を向上させる製造プロセス技術として、一貫性蒸着製膜プロセス技術開発、及び RtoR 製造プロセス技術を開発して、製造プロセスに要求される条件を明確にした。</p>						

	<p>研究開発項目③「戦略的国際標準化推進事業」</p> <p>(a) LED 光源並びに LED 照明器具の性能評価方法の国際標準化に係る研究開発 LED 特有の特性を測定するために必要とされる測定方法に絞って、研究開発を実施した。具体的には、LED 器具配光測定、薄明視の測定、グレア測定についての方式の検討、評価実証、測定上の課題を明確にした。その成果は国内の国際標準化の代表機関に引き継ぎ、日本からの国際標準化提案に活用できるようにした。</p> <p>(b) 有機 EL 照明に関する標準化 有機 EL 照明特有の特性として従来にはなかった面発光光源を測定するために必要とされる測定方法に絞って、研究開発を実施した。具体的には、色均一性評価方法、光束維持率測定（有機 EL 照明の寿命測定）、配光測定についての方式の検討、評価実証、測定上の課題を明確にした。その成果は、LED と同様に国内の国際標準化代表機関に引き継ぎ、日本からの国際標準化提案に活用できるようにした。</p>	
IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	<p>計画終了後は本技術開発の成果に基づき、LED 照明及び有機 EL 照明を一般照明のみならずフレキシブル照明等、高輝度照明分野等新規市場創出に向けて平成 26 年度から速やかに実用化・製品化を予定。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 21 年 12 月 制定
	変更履歴	<p>平成 22 年 3 月 改訂 (ナノエレ窒化物プロジェクトとの統合)</p> <p>平成 24 年 3 月 改定 (中間評価結果を反映)</p>

プロジェクト用語集

用語	説明
有機 EL 素子	発光を伴う物理現象を利用した有機発光素子であり、有機発光層内に注入されたホールと電子の再結合によって発光を生じるもの。有機 LED、OLED(Organic Light Emitting Diode) とも称される。陽極と陰極の間に数十～数百 nm の有機薄膜を備えた構造であり、一般的な構造として、ガラス基板／透明電極（陽極）／ホール注入層／ホール輸送層／発光層／電子輸送層／電子注入層／金属陰極などが知られている。
発光ユニット	例えば、ホール注入層・輸送層／発光層／電子輸送層／注入層から形成される有機 EL 素子の構成。 (発光ユニットを電極間に形成すると、一般的な有機 EL 素子として機能する。)
マルチユニット素子	陽極と陰極との間に、複数の発光ユニットを備える素子。 <ul style="list-style-type: none"> ・発光ユニット間には、発光ユニットを電気回路的には直列に接続する機能を果たす中間層が設けられている。 ・本構造を取ることで、同一発光ユニットを2つ備えるマルチユニット素子の場合、一定電流を流した時の発光強度が約2倍、駆動電圧も約2倍、となり、低電流でも高輝度を得ることが可能となる。また、同一発光強度を得るための電流量を半減できるために、長寿命化が可能である。 ・異なる発光色のユニットを組み合わせることで、混色が可能である。 ・薄膜を積層した光学多層構造であるため、光学設計は複雑化する。 他に、タンデム素子、マルチフォトン素子 とも称される。
中間層	マルチユニット素子において、発光ユニット間に挿入され、両発光ユニットを電気回路的に直列接続する機能を果たす層。光が透過するため透明性が高く、また熱的・電氣的に安定性が高いことが必要である。
輝度	面状の光源がある方向に単位立体角あたりに放射する光の光源における単位面積あたりの明るさ。単位はカンデラ毎平方メートル (cd/m ²) 。
平均演色評価数 (Ra)	基準光源による色彩の再現の忠実性を指数で表したもので、原則として100に近いほど演色性が良いと判断される。JIS(日本工業規格)で定められた基準光との比較の上で測定対象となる光源が、演色評価用の色票を照明したときに生じる色ずれを指数として表した演色評価数(R1~R15)の内、R1~R8を平均したもの。
量子効率	電流(エレクトロン)から光(フォトン)への変換効率

発光効率	<p>光源の効率を評価する指標であり、光源に投入する電力 (W) に対する光源から発する光束 (lm) で表し、単位は、単位電力あたりの全光束 1m/W (ルーメン毎ワット) で表す。量子効率とは、白色光の原理的な変換効率 (約 240lm/W) を用いて、下記式で関連づけられる。</p> <p>なお、下記式中の電圧ロス率とは、理論的限界駆動電圧 (約 2.7V) と実駆動電圧の比である (=2.7/実駆動電圧)。</p> $\text{発光効率 (lm/W)} = \text{量子効率} \times (1 - \text{電圧ロス率}) \times 240 \text{ (lm/W)}$
輝度半減寿命	ある輝度で発光させた有機 EL デバイスの初期輝度が半減するまでの時間。なお初期の輝度が半分になる時間を L50 半減寿命と言い、70%になる時間を L70 半減寿命と言う。
保管寿命	規定の条件で保管する場合の故障寿命
ホスト	発光層を構成する主材料であり、主として電荷輸送と、再結合エネルギーのドーパントへのエネルギー移動を司る。
ドーパント	発光層を構成する副材料・発光材料であり、発光を司るとともに、電荷輸送も一部担う。
ITO	インジウムスズ酸化物 (Indium Tin Oxide)。 スパッタ法等によって成膜され、 $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 程度の比抵抗を有する透明電極として使用される。
IZO	インジウム亜鉛酸化物 (Indium Zinc Oxide)。 スパッタ法等によって成膜され、 $10^{-4} \sim 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 程度の比抵抗を有する透明電極として使用される。
インピーダンス分光法	微小正弦波電圧信号を素子に印加し、その応答電流信号の振幅と位相からインピーダンスを算出し、印加電圧信号の周波数の関数としてインピーダンススペクトルを得る測定法。有機 EL 素子の有機層を、抵抗や静電容量などで表現した等価回路を決定することが可能となり、動作解析や劣化解析に有用である。
スパッタ	金属表面に高エネルギー粒子を当てると金属表面から原子が飛び出すこと。
スパッタリング	真空チャンバー内に薄膜としてつけたい金属をターゲットとして設置し、高電圧をかけてイオン化させた希ガス元素や窒素を衝突させることにより、ターゲット表面の原子がはじき飛ばされ、基板に到達して膜が形成される金属成膜技術。
NPD (α -NPD)	有機 EL に用いられるホール輸送材料。 以前から使用されてきた比較的シンプルかつ性能にも比較的優れた材料の一つであり、さらに分子構造を改良することによって、より優れたホール輸送材料も開発されている。
スリットコート	固形分が溶解または分散した塗布液を、スリットノズルから移

	動する基板上に均一に塗布し、乾燥して薄膜を得る成膜方法。
スリットノズル	前記スリットコート装置に備えられている塗布液吐出口。
メニスカス	ノズル基板間に形成される液膜。
CAE	Computer-aided engineering / experiment の略。 コンピュータを使用した設計あるいは実験。
ホットウォール	成膜対象物質の蒸発温度以上に加熱した壁面。 蒸着源で気化された成膜対象物質は、ホットウォールの壁面に衝突するため飛散方向が制限され、かつ壁面温度が高いため、基本的には弾性衝突（あるいは付着ー最蒸発）によって壁面には付着しない この結果、成膜レートおよび材料使用効率を大幅に向上させることが可能。
インラインプロセス	対象物を移動させながら対象工程（本研究の場合は蒸着）を行う方法。対象物を停止させ作業を行う（バッチプロセス）に対して、作業性が高い。
膜厚プロファイル	領域内に形成された膜厚の分布。
蒸着	金属や酸化物などを蒸発させて、素材の表面に付着させる薄膜を形成する方法の一種。
モフォロジー	有機 EL の分野では、電極上に形成された薄膜層の膜質およびその代替としての表面形状を意味することが多い。
インライン蒸着	基板をライン状に並んだ複数の蒸着源に沿って移動させることによって、連続的に蒸着する方法。一般的に用いられているクラスター型蒸着プロセスに対して、以下の特徴を有する。 ・複数の基板に対する連続的な成膜が可能であるために、処理能力が高い ・大面積基板に適用する際に、より高い材料使用効率を実現しやすい、蒸着源には、幅方向の均一成膜性が求められる ・一定の構造の有機 EL 素子を連続的に生産することに適する
	<p>The diagram illustrates two evaporation processes. On the left, the 'In-line evaporation process' shows a series of rectangular substrates arranged in a line, moving from left to right as indicated by an arrow. A single evaporation source is positioned above the line. On the right, the 'Cluster evaporation process' shows multiple rectangular substrates arranged in a cluster, moving from left to right. A central evaporation source is positioned above the cluster. Labels with arrows point to the '基板の動き' (substrate movement) and the '蒸着源を備えた真空蒸着室' (vacuum evaporation chamber with evaporation source).</p>
封止	金属やガラスなどを用いて有機 EL デバイスへの水分や酸素の進入を抑制し、有機 EL の劣化を防ぐこと。
OLLA (high brightness Organic Light emitting diodes for ICT &	2004 年 10 月～45 ヶ月間実施された欧州の有機 EL 照明開発プロジェクト名称。 第 6 次フレームワーク (FP6。EU の最大の研究開発支援制度：

Lighting Applications)	2002～2006年)の支援を受けたもの。 本プロジェクトの目標は、照明用高輝度高効率有機ELの開発と、照明としてのデモンストレーションである。
OLED100	2008年9月～36ヶ月間実施中の欧州の有機EL照明開発プロジェクトの第7次フレームワーク(FP7)の支援を受けたもの 本プロジェクトの目標は、欧州に於ける主照明としての高性能有機ELのすべての要素技術を開発すること。
OPAL (OPAL2008) (Organic Phosphorescent lights for Applications in the Lighting market 2008)	1cm ² あたり数ユーロを実現できる、高性能白色有機ELの製造技術の開発を目標とするドイツのプロジェクト名称。 German Ministry of Science and Technology (BMBF)が支援している。
黒体軌跡	黒体(完全放射体)というエネルギーを完全に吸収する理想的な物体は、温度が上昇していくと、発する光の色が赤→黄色→白と変化していく。このときの絶対温度T(K)を色温度という。又、この温度と色の軌跡を黒体軌跡という。
配光	照明器具又は光源より発した光の空間分布を称して配光という。
発光素子	電気エネルギーを光に変換することで表示する素子のこと。
EQE	外部量子効率の略。
RtoR	ロール・ツー・ロールの略。
チップ	GaN基板上にエピタキシャル成長法により形成した励起用発光素子。
デバイス	チップを実装用基板上に固定し、必要な配線と蛍光体を設置し白色発光可能としたもの。
ランプ	デバイスに反射/透過光学系、通電用リード線等を設置し、商用電源に接続すると使用可能となる電球状の灯具のこと。
器具	LEDランプと組み合わせた照明装置。
アスペクト比	一般的にはある対象物について、X、Y、Z軸のうちの2つの軸における長さの比のこと。
GaN	窒化ガリウム
Naフラックス法	Ga-Na混合融液に窒素ガスを溶かし込むことで、液中でGaN単結晶が成長する。Gaのみでは1万気圧以上の高圧が必要であった溶液中でのGaN単結晶育成が数十気圧程度で可能になる方法。
アモノサーマル法	アモノサーマル(Ammonothermal)法 超臨界アンモニアにGaNを溶解・析出させることでGaN結晶を育成する方法。結晶析出にはアルカリ性、もしくは酸性の鉍化剤を溶液に溶解することが必要である。アルカリ性鉍化剤では4000気圧以上、酸性鉍化剤では1500気圧以上の高圧条件が必要

	となる。
エピタキシ成長法	結晶成長の方法として、固相結晶を基板の配向性を維持させながら晶出させる方法。
LPE 法	液相エピタキシ(Liquid Phase Epitaxy)法 結晶成長の方法として、溶液から固相結晶を基板の配向性を維持させながら晶出させる方法である。気相成長などに比べ成長速度が速く、また熱平衡に近い条件で結晶成長させるため厚膜化しても結晶性の低下が小さいなどの特徴を持つ。
HVPE 法	HVPE (Hydride Vapor phase Epitaxy) 法 バルク GaN 結晶育成方法としては最も広く研究されており、試験的に出荷されているものはこの方法で育成されたものである。基本原理は以下の反応式で表される。 $\text{GaCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{GaN} + \text{HCl} + \text{H}_2$ この反応では、GaClガスとNH ₃ ガスがサファイア等の基板上で反応することでGaN結晶が成長する。サファイア基板上に成長したGaN結晶は、その後サファイアと分離させ、研磨することで単体のGaN基板となる。
MOVPE 法	有機金属化合物気相エピタキシャル成長法 (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) といい、原料として有機金属化合物およびガスを用いた結晶エピ成長方法、及びその装置である。
内部量子効率 (IQE)	LED に電流を流すことによって発生する電子と正孔の対は、光を放射して再結合するか、結晶中に存在する欠陥を介在して光を放射しないか、あるいは別な波長もつ光を放射して再結合する。内部量子効率はこの電流となる電子と正孔の対が、どれだけ目的の波長をもった光を放射して再結合するかの割合を示す。したがって、この値は、結晶中の欠陥の濃度や発光機構などの材料の物性によって決まり、100%が理想的な値となる。実用レベルでのLEDでは、10%以上の内部量子効率が要求される。
ナノワイヤ	太さ数 nm～数十 nm の単結晶半導体ワイヤを特にナノワイヤと呼ぶ。基板にマスクパターンを施し、一部に大きき数 nm～数十 nm の穴をあけて成長させる方法や、自然に形成される結晶成長核を利用して成長させる方法、大きき数 nm 程度の金属などの微粒子触媒を用いて成長させる方法などがある。
ワイヤボンド実装	半導体チップの電極部とリードフレーム及び基板上の導体などを細いワイヤを用いて接続実装する方法。
フリップチップ実装	チップ表面上に突起電極(パンプ)を形成して、直接配線基板上の端子電極と接合するフェイスダウン方式の実装であり、ワイヤーボンド方式に比べ小型化できる特徴がある。

XRD 法	X 線回折法 (X-Ray Diffraction) 。単一波長の X 線を結晶に照射し、結晶格子で回折を起こす現象を利用して結晶構造を調べる方法。結晶内部の原子配列や、格子面間隔等を精密に調べることができ、照射 X 線の平行性を上げると共に、照射面積を狭小化することによって、微小部での結晶格子の歪分布などを調査する。
エッチピット法	化学薬品等の腐食・溶解作用により物質表面をエッチングする技術を利用して、結晶転位（結晶欠陥）の位置を調べる方法。結晶表面に存在する結晶転位の部位では、転位の無い部位に比べて結晶格子の歪みや電氣的不均一性によりエッチング速度が異なり、結果として窪みのような形状が形成され、この窪みをピットと称している。
TEM 観察	透過電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope) : 電子を高電圧で加速させて薄片化した試料に照射し、試料を透過した電子や散乱された電子を結像させて結晶構造や組成を観察する方法。試料に結晶転位などの格子欠陥が存在すると、結晶格子に歪み場が生じ、転位の無い部位と透過電子の回折の仕方が異なる。この電子回折の差による回折コントラストを利用して転位の構造を調べることが出来る。
SSL	Solid State Lightng の略。半導体照明。LED、有機 EL 照明が含まれる。
CIE	国際照明委員会の略称。光源の視力に与える影響や物理的測定方法等の研究及び国際標準化を推進する組織。
TC	Technical Meeting の略。国際標準化を議論する CIE 内に設置される技術委員会。

I. 事業の位置づけ・必要性について

1. NEDOの事業としての妥当性

1.1 社会的背景

エネルギー分野は、第3期科学技術基本計画(2006年3月閣議決定)において、総合エネルギー効率の向上に資する技術はエネルギー基本計画(2007年3月閣議決定)において重点課題として位置づけられている。我が国において照明用途でのエネルギー消費量は国内ではオフィスの全電力消費量の約24%、家庭の全電力消費量の約14%、これをCO₂排出量に換算すると照明用途にて国内全体に占めるCO₂排出量の約20%を占める(図I.1.1.1参照)。省エネルギー、CO₂排出量削減という地球規模の課題に影響を与える照明の高効率化を目指した研究開発は、高い公益性を持つものと考えられる。

また日本の国際競争力の低下が指摘される昨今において照明市場のグローバル化に対応した国際産業の復興・新規市場開拓は急務である。

1.2 政策的な位置づけ

政府からは2007年12月、温暖化対策の一環として、発光効率が悪い白熱電球の国内製造・販売を数年以内に中止する方針が打ち出された。本対策と合わせて経済産業省では「新成長戦略」、「エネルギー基本計画」において大幅な省エネ性能の向上が見込まれる高効率なLEDや有機EL照明等の次世代照明によって既存照明(白熱電球、蛍光灯等)を2020年までに流通ベースで100%置き換える目標が設定された。また本目標を達成するのに必要な研究開発の加速、導入支援策、省エネ基準の強化等を通じて、普及拡大を図るという方針が発表された(図I.1.1.2)。本目標に対して、NEDOでは高効率なLED照明及び有機EL照明を実現するのに重要な次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発の推進を行い、次世代照明の普及を後押しすることを計画化した。

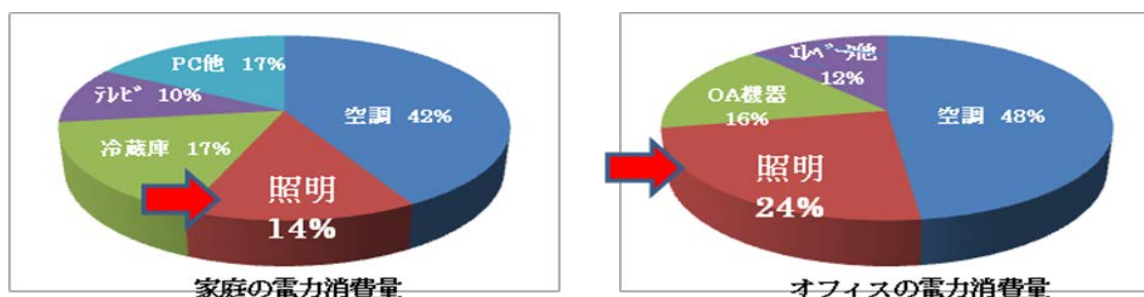
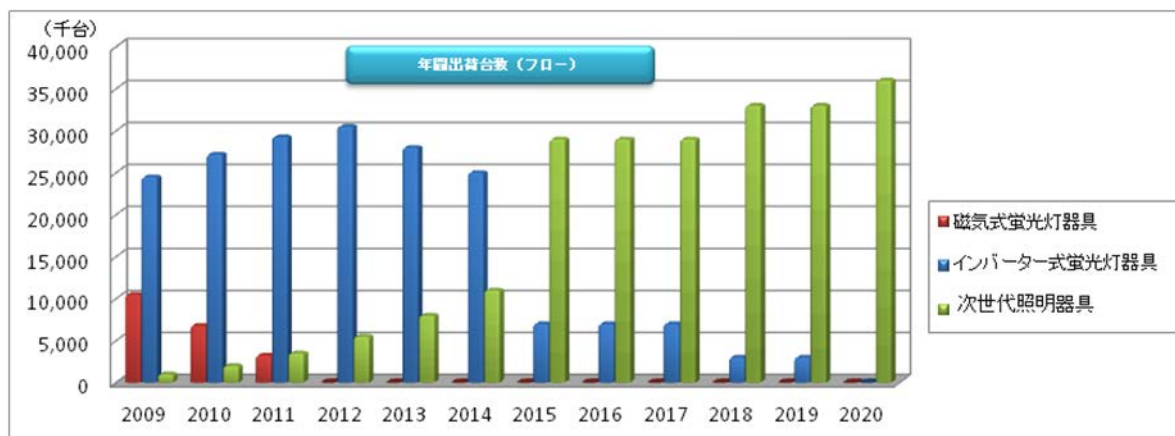


図 I.1.1.1 国内照明の電力消費量グラフ



(2010 経済産業省予測資料より)

図 I.1.1.2 次世代照明の普及シナリオ (2010 経済産業省予測資料より)

1.3 実施の効果（費用対効果）

もし低コストで省エネルギー化を図ることが出来る高性能高品質の次世代照明が実現できれば、その普及が加速することが将来、期待できる。2014年現在の白熱電球、蛍光灯等を含む照明器具市場規模は、国内で6,600億円、海外市場は8兆円と推測されており（『2014 LED関連市場総覧調査（上巻）』（株）富士キメラ総研より引用¹⁾）、もし本基盤研究開発により次世代照明の付加価値化を実現して既存照明の置き換えが加速できれば、日本産業の活性化に貢献できる。さらに次世代照明は薄膜、軽量等の特性を生かした新規市場創出による経済効果の期待もある。

2020年の照明器具市場の規模は、国内で6,800億円（出荷台数：68百万台/年）と言われているが、世界市場では9.5兆円（出荷台数：2,182百万台/年）の規模と予測される（同『2014 LED関連市場総覧調査（上巻）』（株）富士キメラ総研より引用）。また既存照明の置換え以外の新市場でも60億ドル（100円/\$換算で6,000億円）の売り上げ規模も予測されている。（米DisplaySearch社予測（2009.3）より引用）加えて、昨今の国内節電対策の需要への対応も大いに期待が高まっている。

エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
高効率照明 高効率蛍光灯	発光効率、寿命 50～100 lm/W 1万時間			高効率性能を前倒し で達成	
	高効率蛍光材料 高効率無水銀蛍光灯 熱損失低減技術				
高効率照明 高効率LED照明	発光効率、寿命 65lm/W 4万時間	100 lm/W	200 lm/W 6万時間		
	高効率LED素子 白色LED用蛍光材料（高効率近紫外励起蛍光材料） 低コスト化				
高効率照明 有機EL照明			発光効率 100 lm/W 寿命	135 lm/W 4万時間	200 lm/W 6万時間
	高輝度白色EL 高効率化 長寿命化 大面積化				

図 I.1.3.1 経済産業省 技術戦略ロードマップ 2008（エネルギー分野）より

省エネルギー化の観点では、当初、2020年達成が見込まれていたLED照明の発光効率（LEDデバイスで200lm/W）及び2023年～2025年達成が見込まれていた有機EL照明の発光効率（有機ELデバイスで130lm/W）の技術開発目標を、本研究開発にて7年～10年前倒しして2013年に達成すると想定した場合の効果について試算する（図I.1.3.1参照）。

このような高効率化の実現を前倒しに実施することより、2020年には本プロジェクト成果として、51億kWh（注1）の省エネルギー化が予測される。これは原油換算で、120万k1、CO₂換算で282万トンに相当する省エネルギー効果である。加えて、本プロジェクト成果による次世代照明の性能向上（2009年当時の既存照明の2倍程度の発光効率の向上を想定）により、既存照明の置き換え需要自体が大幅に加速される効果も十分期待できる。

加えて、エコロジーの観点では、LED 照明は無機物、有機 EL 照明は有機物であるため、蛍光灯と異なり、水銀レスで照明を実現できる利点がある。蛍光灯の代替が今後実現すれば、国際的なエコロジー化にも貢献可能である。

(注1) 算出根拠

現在の普及状況より白熱電球、蛍光灯から省エネ効果のある白色 LED 照明、有機 EL 照明への置き換えが、2009 年より立ち上がり、2015 年より年本格化して 2020 年までに既存照明をフローベースで置き換えると想定。(図 I.1.1.2 経済産業省予測より)

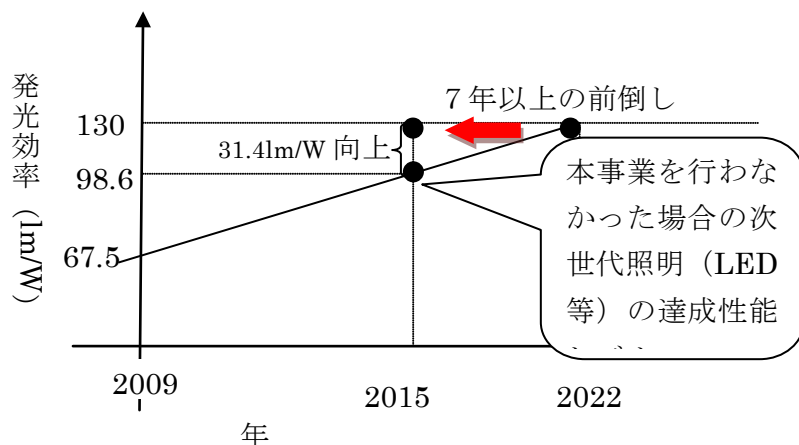
一方、性能面では本研究開発を行わなかった場合、当初 LED 光源 200lm/W (器具効率が 65%として LED 照明器具の発光効率 130lm/W) が研究開発レベルで達成されるのは、2020 年、有機 EL 照明器具 130lm/W が達成されるのは、2000 年～2025 年と予測され (図 I.1.3.1 経済産業省 技術戦略ロードマップ 2008 (エネルギー分野))、その事業化・普及は 2 年後の 2022 年以降と仮定。

本研究開発により次世代照明の発光効率 130 lm/W を 7 年以上前倒しして、2013 年に研究開発レベルで達成して 2015 年より事業化・普及することを仮定。当初の 2015 年の事業レベルの白色次世代照明の発光効率を、比例配賦により 98.6 lm/W と仮定。(図 I.1.3.1 及び下図のとおり)

2015 年より 29,000 千台、以降 2020 年まで随時次世代照明が普及して、2020 年の次世代照明の出荷台数を 189,000 千台と仮定。

照明利用の前提として、1 日 10 時間で一般的光束 2320lm にて利用するものと仮定。

(『省エネルギー技術戦略に関する調査「次世代省エネデバイス技術」(平成 20 年 3 月 10 日)』(財) 光産業技術振興協会発行より)



以上から、

本技術開発の省エネルギー効果としては、

$$(a) (2320 \text{ lm} / (130\text{lm/W} - 98.6 \text{ lm/W})) * 10\text{HR} * 365 \text{ 日} * 189,000 \text{ 千台} = 5,097 \text{ 百万 kWh}$$

$$(b) \text{ 原油換算すると、} (a) * 2.36\text{E-}4 = 120 \text{ 万 kl}$$

$$(c) \text{ CO}_2 \text{換算すると、} (a) * 0.000555 = 282 \text{ 万トン}$$

1.4 NEDO が関与する意義

日本は2009年の国連気候変動サミットにて、2020年までに1990年比で25%の温室効果ガスを削減するという国際公約を発表したが、本公約を実現することは容易なことではなく、国がリーダーシップをとって省エネルギー問題の抜本的解決に取り組まなければ目標達成は困難な状況にある。加えて東日本大震災の影響により、原子力発電による電力供給抑止等により、抜本的な国内省電力化が強く望まれる状況である。その実現のために経済・社会活動を支えるあらゆる分野で省エネルギー化を図る画期的な技術革新や、技術の導入・普及の促進活動が必要である。

一般照明として普及している白熱電球、蛍光灯を置き換える次世代の高効率照明として世界的にもLEDと有機ELに対する期待が大きい。LEDは点光源として、有機ELは面光源としての特質を有しており（図I.1.4.1）、担う役割が異なる。既存の一般照明の省エネルギー化を図るためには、次世代照明として高効率なLEDと有機ELによる置き換えが必要であり、両照明が既存照明を凌駕する性能、コスト、品質が確保できれば相互補完しながら白熱電球と蛍光灯の迅速な代替普及を進めることが可能である。NEDOでは、照明市場での省エネルギー化、CO₂削減、低消費電力化の促進のために本プロジェクトに取り組む。



図 I.1.4.1 LED と有機EL 照明の棲み分け

本プロジェクトは、次の観点から NEDO が関与する必要性・意義がある。

(1) 公益性

省エネルギー化、CO₂削減、節電対策は国家として取り組まなければならない課題である。照明の効果的な省エネルギー化、CO₂削減、さらに水銀レスによるエコロジー化促進を達成するためには次世代照明の高効率化加速と実用化普及加速を行う抜本的技術開発が望まれる状況にあった。

(2) 国内産業の競争力強化

LED 照明は、2009 年当初は実用化導入段階にあった。当時の白色 LED 照明の発光効率 は白熱電球を上回っていたが、緑色 LED 等の一部の LED を除いては目覚ましい発光効率向上は困難な

状況であった。2009年以降、白色LED照明はサファイア基板ベースで普及が進んだが、サファイア基板ベースの白色LEDの発光効率向上は原理上、白色LEDの発光効率限界がある。その発光効率限界は130～150lm/W（2009年当時の白色LEDの実現効率：60lm/W程度）と想定されるのに対して、特性上、GaN基板による白色LEDの発光効率限界は200lm/W以上（平均演色評価数80前提）が可能であり、サファイア基板の発光効率を超える発光効率が期待できる（注）。GaN基板は加えて高い放熱性、高い発光均一性等の特性を保有しており品質面でもサファイア基板に比べて優位である。高発光効率が期待されるGaN基板ではあるものの、サファイア基板と比較してコスト面では大きく劣る。GaN基盤ベースのLEDはコストが阻害要因となり普及は困難と考えられた。GaN基板の生産効率が向上して、GaN基板製造コストを低減することができれば、サファイア基板LEDデバイスを凌ぐ低コストLEDデバイスの実現が将来可能と期待される。もしGaN基板のコストの課題が高品質大口径結晶成長技術開発等により解消することができれば、高効率・低コストなLED照明の急速な普及を図ることができ、さらにLED競争で激化する国際的照明市場での普及、産業力育成強化、省エネルギー化の促進に大きく貢献することが可能である。

それに加えて、日本の産業力強化、新市場創出効果も期待される。新しい産業としても、材料、デバイス、照明器具、製造装置等の上流～下流までのレイアに分かれた新たな産業構造創出が考えられる。各産業レイアにて新たな事業化が期待でき、国際的な企業競争が発生することが予想される。

（注）点光源LEDデバイス（LED基板と電極と蛍光体を組み合わせ封止材でパッケージ化した状態のデバイス）を、LED照明器具に加工する際には、面発光させるために光拡散をさせる必要があり、その際に光分散損が発生する。本分散損を65%と仮定した場合、LED照明器具レベルの発光効率は130lm/Wと想定できる。

（3）民間企業ではリスクのある研究開発内容

白色LED照明は実用化が始まったものの、2009年当時、効率化の点では高効率蛍光灯や高効率電球と大きな差がなかった。またLEDの製造コストが全面的普及の阻害要因となっていた。LED照明の効率化向上のためには、現在利用されているサファイア基板ではなく高効率なGaN基板を適用する必要があるが、まだGaN基板の生成方式自体がまだ確立しておらず、革新的な技術開発が求められた。高効率かつ低コストなLED照明の提供のためには、結晶成長炉等の大規模投資をしてGaN基板のバルク結晶成長方式を確立する必要があるがあった。

一方、面発光光源のため拡散損がほとんどない有機EL照明の発光効率性の高さは周知の事実であるが、まだ研究段階の技術であり有機EL照明の実用化には時間を要した。有機EL照明の発光効率等の性能を大幅に引き上げるためには光取り出し方式、有機発光材料、白色光生成方式、製造プロセスなどの技術的難易度が高い課題を解決する研究開発が必要であり、企業が取り組むには技術的ハードルが高く、国が主導的に低消費電力化技術の開発支援が必要な分野である。

またLED及び有機EL照明の技術開発は日本の企業、大学に散在しており、これらの技術開発を効果的に実施するためには産学官が連携した対応が必要とされた。

本研究開発によって世界に先駆けて高性能の次世代照明を実現することは、省エネルギー化及びCO₂削減に貢献するとともに、新たな高付加価値製品の創出によって、我が国の照明関連産業の活性化、国際競争力強化に貢献することが期待できる。

さらに今後、開発するべき課題の技術的難易度が高く、基盤的要素技術の革新的ブレークスルーが必要であることから照明産業・材料産業・装置産業といった産業間の連携、加えて大学の英知を結集して産学官が連携した共同研究体制で取り組む必要があり、国家プロジェクトとし

て NEDO が関与すべきものと考えられる。

表 I.1.4.1 に海外の LED 技術開発プロジェクトとの比較、表 I.1.4.2 に、海外の有機 EL 技術開発プロジェクトとの比較を示す。性能では国際的にトップの水準にある（図 I.1.4.2、図 I.1.4.3）が、投資額では海外との差があり、目標に対する投資効果が高いことを示している。

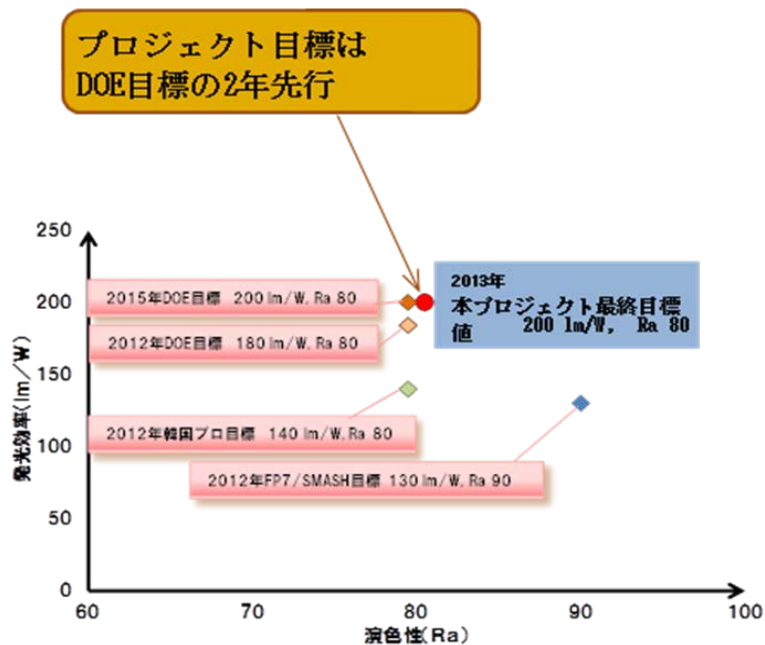
表 I.1.4.1 日米欧の次世代照明（LED 照明）技術開発の公的支援

地域	プロジェクト	期間	国家投資額	目標性能		備考
				Lm/W	Ra	
欧州	FP7/SMASH	2009～2012	FP7 25.0 百万ユーロ [約 20.5 億円] EPSRC 7.5 百万 £ [約 10.7 億円]	130 (SMASH)	90 (SMASH)	FP7：欧州の研究助成資金、半導体照明 (SSL; Solid State Lighting) の LED 照明向けに複数プロジェクトが並走。 EPSRC: 英国の民間企業向け助成 (高品質 GaN 成長、LED 照明システムの効率化等)。
	FP7/SSL4EU	2010～2013				
	FP7/HI-LED	2013～2016				
	FP7/NWS4LIGHT	2012～2015				
	FP7/LASSIE-FP7	2014～2016				
	EPSRC	2009～2015				
米国	DOE	2008～2014	DOE 247.2 百万ドル [約 202.7 億円] ARRA 37.8 百万ドル [約 31 億円]	200 (DOE, 2015 年)	80 (DOE, 2015 年)	DOE：半導体照明 (SSL; Solid State Lighting) 向け研究助成 (約 3 割は実施側の負担, DOE 負担額を表記), LED, OLED (有機 EL) 各予算配分のうちの LED 分, 2010 年をピークに予算額は減少傾向。 ARRA：投資費用は 2010 年度の予算。固体照明の基礎・応用研究 (主として大学向け)、プロトタイプ作成による試験・改良 (民間企業)、低コスト化・高品質化を目指す製造技術開発 (民間企業) の 3 つのプログラムから構成されている。大学, GE Lumination, Cree Inc, Phosphortech Corp., OSRAM, Philips 等が参加。
	ARRA	2009～2019				
中国	半導体照明プロジェクト (第三期)	2011～2015	10 億元 [約 160 億円]	-	-	民間企業向け支援。LED チップ、パッケージに資源を集中。第二期五年計画 (2005～2010 年) に引き続き継続、2015 年までに白色 LED の発光効率を世界先進レベルとし、半導体照明の普及率 30% および総生産額 4500 億元としている。
韓国	LED 照明 15 / 30 プロジェクト	2006～	750 億ウォン [約 67 億円] (2010 年までの概算)	140 (2012 年)	80 (2012 年)	LED のチップ、パッケージ、照明器具に関する基礎研究への政府投資金額。これに自治体からの追加予算や民間企業の持ち出しが追加される。2012 年までに、発光効率 140lm/W、民間投資規模 4 兆ウォン、雇用 3 万人等を目指す。
日本	本プロジェクト (LED 分のみ)	2009～2013	55 億円	200	80	三菱化学、シチズン電子、NEC ライティング、東北大学、三菱樹脂、名古屋大学、大阪大学、イノベーション・センター、エルシード、名城大学、リンシヨビン大学、ブリヂストン、スタンレー、ウシオライティング

表 I.1.4.2 日米欧の次世代照明（有機 EL 照明）技術開発の公的支援

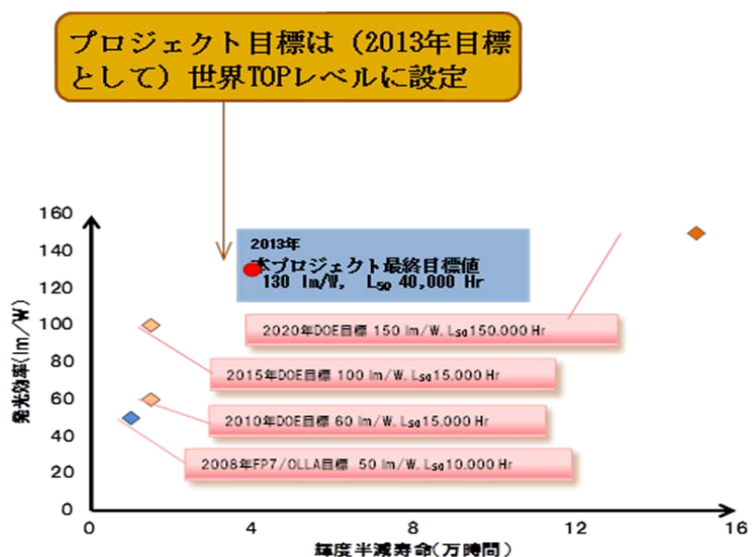
地域	プロジェクト	期間	投資費用	目標性能		備考
				Lm/W	L ₅₀ Hour	
欧州	FP6/ OLLA	2004～2008	1,200 万 Euro [約 14 億円]	50	1 万	FP6（欧州研究助成資金）による半導体照明（SSL；Solid State Lighting）の OLED（有機 EL）照明向けプロジェクト、Philips, Osram, 他計 23 団体／企業
	FP7/ OLED100	2008～2011	1,250 万 Euro [約 15 億円]	100*	10 万*	OLLA の後継プロジェクト Philips, Osram 他計 15 団体／企業
	FP7/ FLEX-0-FAB	2012～2015	710 万 Euro [約 5 億円]	-	-	フレキシブル有機 EL 照明に関するプロジェクト Philips Technologies, Philips Electronics, 他計 12 団体／企業
	FP7/ TREASORES	2012～2015	909 万 Euro [約 11 億円]	-	-	大面積有機 EL 照明の低コスト製造（roll-to-roll）に関するプロジェクト Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Siemens, EIGHT19, 他計 10 団体／企業
	BMBF/ OPAL	2006～2010	6,000 万 Euro [約 70 億円]	-	-	BMBF（ドイツ連邦教育研究省）による研究助成 BASF, AIXTRON, Schott, Philips, Merck, Novaled, 他計 33 団体／企業
	合計（欧州）		10,069 万 Euro [約 115 億円]			
米国	DOE	2008～2010	92.6 百万ドル [約 76 億円]	60	1.5 万	半導体照明（SSL；Solid State Lighting）向け研究助成（約 3 割は実施側の負担、DOE 負担額を表記）、LED, OLED（有機 EL）各予算配分のうちの OLED 分 Universal Display Corp., GE Global Research 他計 8 団体
		2011～2014	65.2 百万ドル [約 53 億円]	150 (2020 年)	15 万 (2020 年)	上記に同じ、2010 年をピークに予算額は減少傾向 Universal Display Corp., GE, Dupont Displays, Inc. 他計 8 団体
	合計（米国）		157.8 百万ドル [約 130 億円]			
日本	照明用高効率有機 EL 技術研究開発と先導調査研究	2004～2006	8 億円	-	-	山形大、有機エレクトロニクス研究所
	有機発光機構を用いた照明技術の開発	2007～2009	16 億円	35	4 万	パナソニック（株）、出光興産（株）、タツモ（株）

本プロジェクト (有機EL分のみ)	2009～2013	45億円	130	5万	パナソニック(株)、出光興産(株)、タツモ(株)、 長州産業(株)、コニカミノルタ(株)、山形大学、青山 学院大学
合計(日本)		69億円			



LED照明(LEDデバイス)の発光効率vs演色性

図 I . 1 . 4 . 2 LED 照明の海外国家プロジェクト設定技術目標マップ



有機EL照明の発光効率vs寿命

*) 輝度半減寿命=70%輝度寿命*3にて換算想定(70%輝度寿命のみ公表の場合)

図 I . 1 . 4 . 3 有機EL照明の海外国家プロジェクト設定技術目標マップ

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

日本の家庭で消費されるエネルギーのうち、照明用途で約 14%を占め、世界的に見ても、広く使用されている白熱電球や蛍光灯などを置き換える高効率照明光源技術の開発が、エネルギー消費量削減のための重要かつ緊急の課題である。

本プロジェクトでは、新成長戦略、エネルギー基本計画の一環として、生活照明を代替できる次世代照明を早急に実用化するため、2009 年度～2013 年度に、高効率であるとともに低コスト化を踏まえた次世代照明の基盤技術を確立する研究開発を行う。これにより高効率照明の早期実用化を図り、省エネルギー化促進に寄与することを目標とする。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発目標

蛍光灯並みの製造コストで 2009 年当時の一般的な蛍光灯の 2 倍以上の効率を実現する高性能・高品質照明光源として次世代照明を実用化して省エネルギー化に貢献するために、「研究開発項目① LED 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」と、「研究開発項目②有機 EL 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」の 2 項目の技術開発を並行して総合的に取り組む。各 2 項目の詳細研究項目及び目標設定の根拠は以下の通りである。

研究開発項目 ①LED 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

高効率（LED デバイスレベルで 200 lm/W以上）かつ高品質（平均演色評価数 80 以上）LED 照明の低コスト化を実現するため、窒化物等の照明用基板の生産性向上を目的とした結晶成長技術の開発や LED 素子構造の最適化等デバイスの高度化についての技術開発を行う。

(a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発

バルク結晶方式、板状結晶方式等の手法を用いて、低歪・低転位窒化物等結晶成長技術を高度化するための開発を実施する。

具体的には、結晶核から大口径の低歪・低転位種結晶作製のための成長方位制御や大口径種結晶基板上に窒化物等結晶を高速・長時間成長を目指すバルク結晶方式、異種基板上での大口径窒化物等結晶低歪化技術及び大口径窒化物等結晶の高速・長時間成長技術を目指す板状結晶方式等、結晶成長手法の高度化を可能とするための技術を開発する。

あわせて、発光効率 200 lm/W以上かつ平均演色評価数 80 以上を達成する LED デバイスを実現するための技術開発を行う。

(b) 基板の応用によるデバイス技術の開発

基板の特殊ドーピングや LED デバイス構造の最適化等、窒化物等結晶成長技術の高度化以外のアプローチにより、発光効率 200 lm/W以上かつ平均演色評価数 80 以上の LED 照明を低コスト化するための技術開発を行う。

研究開発項目②有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

高効率（発光効率 130 lm/W以上）高品質（平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m²以上、輝度半減寿命 4 万時間以上）を実現する有機EL照明デバイス技術開発を行う。具体的には、光学干渉の影響を抑制して効率を向上させる光取り出し技術、気密性を高めて品質を向上させる封止技術、製造工程の高速化を図るプロセス制御技術、材料の利用効率向上を図る薄膜層形成技術等の技術開発を行う。加えて有機ELを構成する基板・透明電極・有機層等について高効率・高品質化且つ低コスト化に向けた材料開発を行う。

各研究開発項目における具体的な目標を以下に列記する。

なお、本研究開発は、5 年間の開発期間を平成 21～22 年度末のステージ I と平成 23 年度～25 年度のステージ II の 2 段階に分け、各ステージでの目標を定める。

ステージ II では蛍光灯の 2 倍以上の発光効率と蛍光灯並みの低コストを達成するために必要な最終目標設定を定め、ステージ I では、現在の技術レベルを見極めた上で、ステージ II の最終目標を達成する過程で平成 21 年度末から平成 22 年度の期間の約一年間で達成すべき中間目標を定めた。

研究開発項目①LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

<ステージ I 達成目標（平成 22 年度末）>

5～10mm角サイズの結晶の作成および LED デバイスとしての評価を行い、発光効率 175 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上の達成可否を検証する。

<ステージ II 達成目標（平成 25 年度末）>

バルク結晶成長方式で、結晶欠陥 10⁴ cm⁻²以下、LED発光波長領域において光吸収が極めて少なく、かつ研磨後の基板サイズが 4 インチ以上となる結晶成長技術を、板状結晶成長方式で、結晶欠陥が 10⁶ cm⁻²以下、LED発光波長領域において光吸収が極めて少なく、かつ研磨後の基板サイズが 6 インチ以上となる結晶成長技術を、それ以外の手法においては、上記基板サイズの大型化に相当する生産性を実現する技術をそれぞれ確立する。

いずれの手法においても、LED デバイスとして発光効率 200 lm/W以上かつ平均演色評価数 80 以上を達成する。また LED デバイスにした場合のコストを評価するための試算を行う。

研究開発項目②有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

<ステージ I 達成目標（平成 22 年度末）>

発光面積 100 cm²以上で発光効率 130 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m²以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機EL照明実現の技術課題を明確にして、具体化する実行計画を策定する。理論解析・光学シミュレーション等により実現方式の光学設計を行い、プロトタイプ試作により発光面積 25 cm²以上で発光効率 50 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m²以上、輝度半減寿命 1 万時間以上の有機EL照明光源を実現する。

また高効率な製造プロセス実現に必要とされる要件を明確にして設計・製作及び基本データの収集を行い、要件を充足していることを検証する。

<ステージ II 達成目標（平成 25 年度末）>

発光面積 100 cm²以上で発光効率 130 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m²以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機EL照明光源を実現すると同時に、コス

トを評価するための試算を行う。

以下に、各目標値の設定理由について示す。

研究開発項目①LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発の目標設定理由

(i) 平均演色評価数 (Ra)

照明とは単に照らすだけの光源ではなく、生活空間を創造するために必須の光源である。生活照明への適用に際しては、発光効率だけでなく自然光と同等に見えることが望ましく、その性質を演色性と呼ぶ。一般照明に適用する場合、照明には高い演色性が要求される。演色性の評価指数は、自然光との比較係数である平均演色評価数 (Ra値) で表わし、自然光と同一の光スペクトルは、Ra=100である。100に近ければ近いほど、自然光に近く演色性は高い。次世代照明として蛍光灯を代替していくためには、一般的な蛍光灯の演色性 (Ra=60~80) を達成する目標として平均演色評価数Ra=80を設定した。Ra=80レベルの高演色性の光源が実現できれば、自然な色に囲まれた、極めて快適な生活空間が実現可能である。

(ii) 発光効率

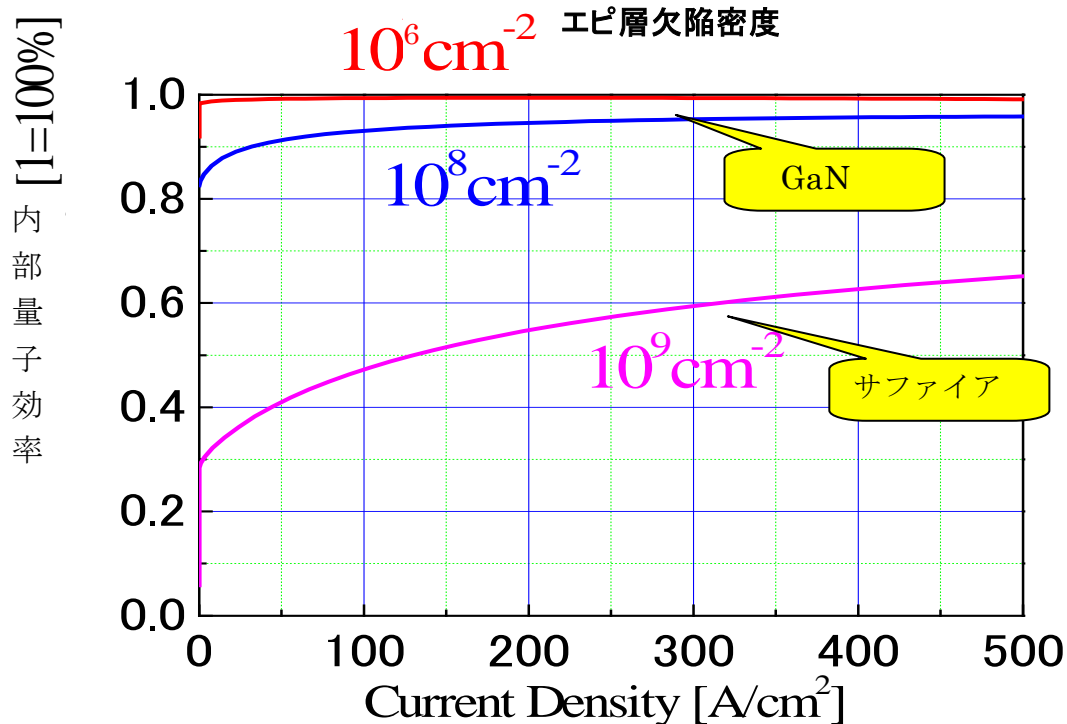
省エネルギー化対策は緊急に取り組まなければならない世界的課題である。特に東日本大震災の影響により今後、従来通り原子力発電に全面的に依存した電力供給は期待できない状況にある。その中で、国内電力消費量において家庭内では14%、オフィスでは24%を占めている照明の省エネルギー化は国が取り組むべき重要な課題である。電力消費量の大幅な削減を実現する社会的なインパクトと事業難易度のバランスを勘案して本プロジェクトでは次世代照明で蛍光灯の発光効率の2倍以上の目標を設定する。2009年当時の一般的な蛍光灯の発光効率を65lm/W、LED照明に実装した場合の器具効率 (LEDデバイスを照明器具にセットして用いるときに、反射板での反射、白色カバーによる散乱や吸収等によってロスとなる光量を考慮して算出した光の有効利用率) を65%と想定して、LEDデバイスの発光効率の最終目標を、200lm/W (LED照明の発光器具効率を200lm/W*65%=130lm/W) に設定した。またステージゲート評価に向けた中間目標として、175lm/Wに設定した。

(iii) 結晶欠陥

結晶欠陥は少ないほど内部量子効率が高くなり、その結果、発光効率が向上する。現在主流のサファイア基板と比較して、GaN基板は、欠陥密度を小さくし、その結果高い内部量子効率を実現できる。

なお、GaN基板では、図II.2.1.1のように、 10^6cm^{-2} でほぼ内部量子効率はピーク (100%) を達成可能であることから、本プロジェクトでのGaN基板の結晶欠陥密度は、 10^6cm^{-2} に設定した。

なおバルク結晶成長方式では種結晶としての利用も考慮して 10^4cm^{-2} 以下に設定。



図II.2.1.1 サファイアとGaNの内部量子効率と欠陥密度の関係

(iv) 基板サイズ

現在、GaN 結晶は1～2インチレベルのサイズであるために基板価格が高価であるが、結晶成長方式を開発してバルク結晶を生成することにより、複数基板を効率的に作成することが可能である。現在可能性があり且つ適正なコストが期待できる基板サイズとして、企業ヒアリングの結果から基板サイズを板状結晶成長方式に関しては6インチ、バルク結晶成長方式に関しては4インチに設定した。

研究項目②有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

(i) 平均演色評価数 (Ra)

研究開発項目①と同様に次世代照明としては、蛍光灯を代替していくためには、一般的な蛍光灯の演色性 (Ra=60～80)を達成する目標として平均演色評価数Ra=80を設定した。

(ii) 発光効率

LED 照明と同様に、本プロジェクトの目標として、一般的な蛍光灯の発光効率を 65 lm/W と想定して、有機EL デバイスの照明器具に実装時の器具効率はほぼ100%と想定して、LED と同様の2倍の発光効率として 130lm/W を設定した。またステージゲート評価に向けた中間目標として、平成21年度の有機EL光源の研究開発レベルと最終目標を鑑みて、50 lm/W に設定した。

(iii) 輝度半減寿命

現行の主たる照明光源である蛍光灯の寿命が1万時間～1.5万時間、器具は4万時間（1日10時間使

用するとした場合に10年間の利用)を想定して、輝度半減寿命目標(輝度1,000 cd/m²を4万時間に設定した。なおステージゲート評価に向けた中間目標として、1万時間に設定した。

(iv) 輝度

照明用途への展開が可能となる最低限必要輝度として、一般照明を参考に1,000 cd/m²を設定した。

(v) 発光面積

面状光源である有機ELは、それを複数並置することによって光束を増大させることが容易に可能である。また、大面積化によって歩留まりの急激な低下が起こり得ること、今後の輝度向上に伴い、より高い信頼性が必要とされることを考慮してサイズを決定すべきである。

これらの観点から、有機EL照明を構成する歩留まり・信頼性の高い発光ユニットとして使用する時に適したサイズ目標として「発光面積100cm²以上」を設定した。なおステージゲート評価に向けた中間目標とし発光面積25cm²以上のプロトタイプ試作を設定した。

研究開発項目③戦略的国際標準化推進事業

(i) LED光源並びにLED器具の性能評価方法の国際標準化に係る研究開発

研究開発項目①②と並行して、LEDと有機EL照明の国際普及のために国際標準化を推進するために必要な研究開発も本プロジェクトにて、2010年度～2013年度に実施した。

国際標準化の重点課題としては、研究開発項目①②で開発することにより実現可能となる国際的に優れたLED照明と有機EL照明の性能を、国際的に測定評価できる共通の測定方法の研究開発を国際標準化推進事業の対象とした。

光源の測定方法としては、既に白熱電球や蛍光灯等の方法が国際標準化されているが、LED照明と有機EL照明各々が保有している、既存照明にない特質の測定方法は未確立のため、これらの特質を測定する方法を国際標準化に提案するために必要な研究開発・検討を対象とした。研究開発の進め方は課題に依る、基本的には光源の測定方法の開発、測定上の課題の明確化、開発した測定方法の客観的有効性を示すための評価・実証を行うこととした。

具体的にはLEDについては、以下を研究開発の対象とする。

① LEDの色再現性の評価方法

従来では光の品質を評価する指標として、平均演色評価数が存在するが、LED照明や有機EL照明等の新光源は従来と異なる光スペクトルを発光することから、光の品質を測定する新しい評価方法と指標が必要と国際的にも認識され検討が進められていることから本方式を研究開発の対象とする。

② グレア評価方法

LED特有のグレア(不快なまぶしさ)についても国際的な議論が行われており、共通の評価方法を確立して、LEDの低いグレア性はLED照明の付加価値性の創出に結びつくことから、グレアの評価方法について研究開発の対象とする。

③ LEDの配光測定方法

基本的なLED光源の配光測定方法も確立していないため、評価方法を研究開発の対象とする。

④ LED の視作業効率に係わる測定方式の検討

LED の効果として視作業効率に影響することを明確とすることで、LED 照明の付加価値性につながることから、本測定方法を研究開発の対象とする。

(ii) 有機 EL 照明に関する標準化に向けた研究開発

従来の光源とは異なる有機 EL 照明の特質に基づく測定方法の研究開発を検討する。従来の光源は点光源や線光源であったが、有機 EL 照明は面光源であるために、面内のばらつきに対する光束維持率測定や配光測定及び寿命測定等、従来の光源の測光規格では対応できない特質についての測定方法の標準化の検討が必要であり、これらの測定方法について検討する。

(iii) 次世代照明を用いた評価検証

LED 照明及び有機 EL 照明の人間工学的観点での優れた特質(視作業効率性等)が期待される。これらの特質は、上記の(i) (ii)にて国際標準化に向けた測定方法の研究開発を行うが、本研究開発に当って、人間工学的な実証手段・データ蓄積を行うことは、LED 照明及び有機 EL 照明についての日本の測定方法の有効性を証明する裏付けとなり、国際的な賛同を得られることから次世代照明を適用した照明空間を用いた評価実証を、戦略的国際標準化推進事業に含める。

2.2 研究開発マネジメント戦略

本プロジェクトの基盤技術開発の成果により、世界トップの次世代照明の性能を実現する技術開発に取り組む。本技術により世界トップの性能を実現できたとしても、その性能を国際的に公正に評価されるためには世界共通に性能を測定する国際標準規格が必要である。従来光源の白熱電球や蛍光灯については既に輝度、寿命、配光等の性能を測定する方法は国際標準が存在するが、LED 照明や有機 EL 照明のように新しい特質については未だ測定方法が確立していない。プロジェクト終了後、研究開発の成果を迅速且つ効果的に実用化、事業化に展開するために、図 II.2.2.1 に示すように、「基盤技術開発」のみでなく「測定方法の国際標準化」の活動を並行して連携させて活動させるマネジメントを行い国際的競争力のある研究開発マネジメントに効果的に取り組む方針である。



(1) LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発
(2) 有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

(3) 戦略的国際標準化推進事業(LED照明、有機EL照明)

図 II.2.2.1 次世代照明戦略

LED 照明及び有機 EL 照明の特質について、国際標準化を行うことにより付加価値化が図れる性能に絞って国際標準化に必要な研究開発に取り組んだ。次世代照明の測定方法の国際標準を

日本から提案を推進するために必要な研究開発活動としては測定方法の客観的・技術的妥当性の証明と、その裏付けの実績データが必要であることから照明の測定方法の開発に絞って実施した。本事業の取り組み方針としては既存照明の測定方法では対応できない次世代照明の特性に対する測定方法に注力することとなった。また、例えば新しい演色評価方法について実証実験を行う等、人間工学的観点での評価測定も実施することとした。

2.3 研究開発計画

研究開発スケジュールは下記のとおり。

研究開発項目	2009～2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	合計
	ステージ1評価 (2011年2月)	中間評価 (2011年11月)			
(1)-(i)LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (名大・阪大チーム)	大型Naフラックス炉の導入 21FY補正:1,798	MO装置高圧化改造 本予算:345	Naフラックス炉改造(上下移動、Na供給供給等) 本予算:354 加速:140	本予算:295	補正:1,798 本予算:994 加速:140 合計:2,932
(1)-(ii)LEDの高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (三菱化学チーム)	新型HVPE炉大型化、各種結晶分析装置導入 21FY補正:1,160	新型HVPE炉4inch化対応改造、多数枚炉製造 本予算:447(1/2)	多数枚炉製造継続(4inch対応) 本予算:272(1/2)	多数枚炉製造継続(6inch対応) 本予算:240(1/2)	補正:1,160 本予算:959 合計:2,119
(1)-(iii)LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (エルシードチーム)	蛍光SiC基板設計・評価分析装置導入 21FY補正:507	ステージ1評価の結果 22年度で事業終了	-	-	補正:507
(2)-(i)有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発 (パナソニックチーム)	高効率デバイス構造設計 蒸着プロセス装置設計・導入 21FY補正:1,140 加速:305	新高効率材料合成・開発(青色蛍光材料) 蒸着プロセス装置試作・評価 本予算:297	デバイス試作・評価検証・大面積化 一貫製造プロセス装置改造・最適化 本予算:395 加速:104	本予算:313	補正:1,140 本予算:1,005 加速:409 合計:2,554
(2)-(ii)有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発 (コニカミノルタチーム)	RtoRプロセス装置設計・導入 21FY補正:802	RtoRプロセス装置試作・評価/ 通用高効率材料合成・開発 本予算:310(1/2)	RtoR製造プロセス装置改造・最適化・高速化/ 通用高効率材料合成・開発 本予算:510(1/2)	本予算:275(1/2)	補正:802 本予算:1,095 合計:1,897
小計(1)+(2)	5,712 (内加速:305)	1,399	本予算:1,775 (内加速:244)	1,123	10,009 (内加速:549)*

*加速の内容については「Ⅱ.研究開発マネジメント(5)情勢変化等への対応(加速資金)」の頁を参照ください。

(予算単位:百万円)

研究開発項目	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	合計
(3)-(i)LED照明に関する国際標準化支援 (東芝・パナソニックチーム)	LED機器配光測定方式の検討・測定機器の試作評価				本予算:229 合計:229
	視作業効率測定地域の設計・試作・評価				
	新演色評価方式の開発・評価・改良		新評価方式の検証		
	グレア評価方式の開発・評価・改良		グレア評価方式の検証		
	本予算:69	本予算:50	本予算:60	本予算:50	
(3)-(ii)有機EL照明に関する国際標準化支援 (山形大学チーム)	有機EL照明の測定方式の検討・評価のバリエーション	有機EL照明の均一性評価方式等の検討・評価	有機EL光束維持率(寿命)測定方式の検討・測定実績評価・改良	本予算:10	本予算:90 合計:90
	本予算:40	本予算:20	本予算:20	本予算:10	
	小計(3)	109	70	80	

プロジェクト全体(1)(2)(3)

測定の研究開発設備に重点投資

(予算単位:百万円)

研究開発項目	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	PJ合計
(1)LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発	3,465	792	766	535	5,558
(2)有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発	2,247	607	1,009	588	4,451
(3)戦略的国際標準化推進事業	109	70	80	60	319
合計(1)+(2)+(3)	5,821	1,469	1,855	1,183	10,328 (内加速:549)

図Ⅱ.2.3.1 研究開発スケジュール

2.4 研究開発実施の事業体制

先進性、効率性且つ早期実用化を重視して機器メーカー、材料メーカー、製造装置メーカー等の異なる事業レイヤの企業群と、基礎研究を推進する大学研究機関が協力した産学連携体制を目指して実施体制は以下の通りとした。

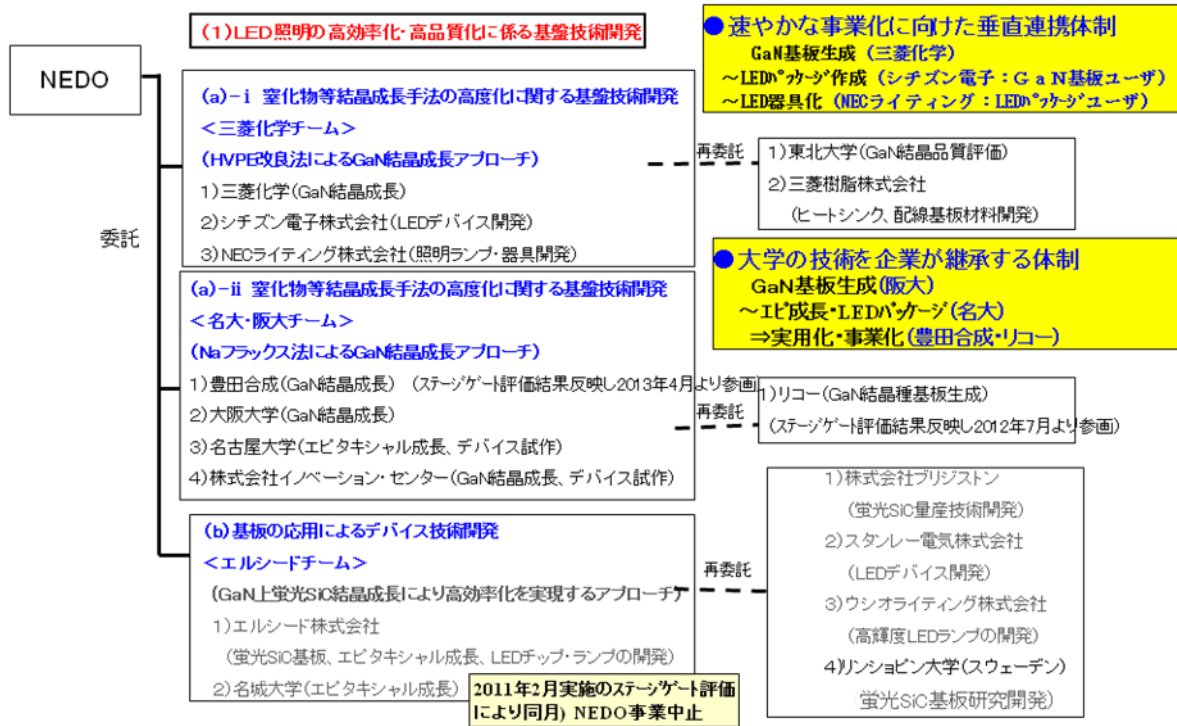


図 II. 2. 4. 1 LED 照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 体制図

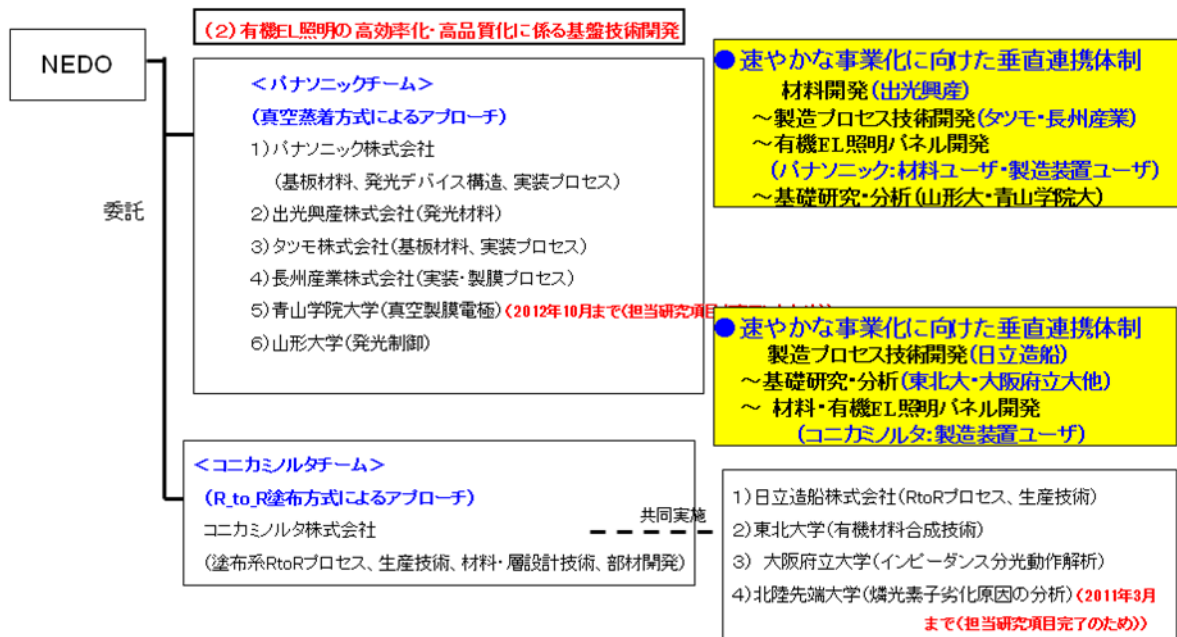


図 II. 2. 4. 2 有機 EL 照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 体制図

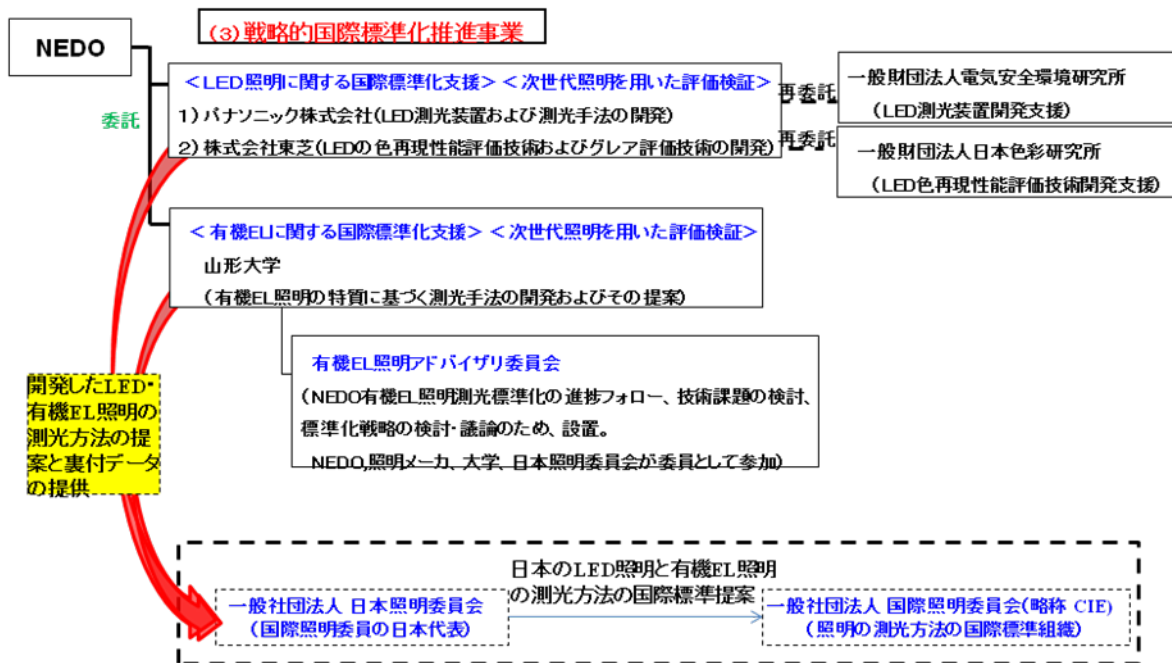


図 II. 2. 4. 3 戦略的国際標準化推進事業 体制図

2.5 実用化・事業化に向けたマネジメント

上記体制に基づき、NEDO が実施した実用化・事業化マネジメントについて述べる。

(1) 基盤技術開発のマネジメント

LED 照明と有機 EL 照明の基盤技術開発のマネジメントと、戦略的国際標準化推進事業のマネジメントは異なるので各々以下に記述する。

(i) 競争制の導入

LED 照明と有機 EL 照明の基盤技術開発については、各々の技術目標を達成する提案を公募により広く一般に募集して、その中から優れた異なるアプローチを採用する複数のチームを採択した。具体的には、LED 照明の基盤技術開発については GaN 結晶成長方式として HVPE 改良法を採用する三菱化学チーム、同じく GaN 結晶成長方式として Na フラックス法を採用する名大・阪大チーム、異なるアプローチであるが GaN 上に蛍光 SiC を成長させることにより高効率化を実現する方式を採用するエルシードチームの 3 チームを採択した。また有機 EL 照明については真空蒸着製造方式を基幹とするパナソニックチーム、塗布ロール・ツー・ロール製造方式を基幹とするコニカミノルタチームの 2 チームを採択した。

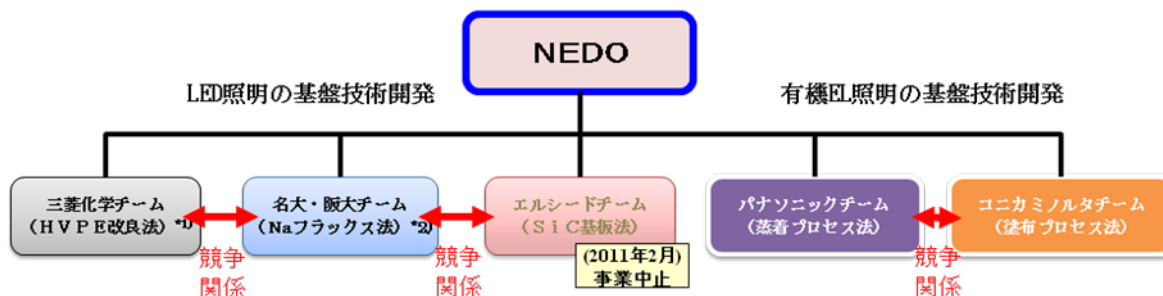
図 II. 2. 5. 1 のとおり、本 5 チームは LED 照明、有機 EL 照明各々の目標に対して各チームは、相互補完するのではなく、異なるアプローチで、より高い研究成果を競って技術開発に取り組むよう、体制マネジメントを実施した。

(ii) ステージゲート評価による選択と集中

プロジェクト中間段階 (2011 年 2 月) に、異なるアプローチの選択と集中を図り、チーム単位での技術開発継続の可否を判断することを目的としてステージゲート評価を 2011 年 2 月に実施した。ステージゲート評価に当っては立上げ時に設定した中間目標に基づいて各チームの達成度について、外部有識者 (8 名) による評価委員会により研究開発成果、実用化・事業化の見

通しの2つの異なる観点に基づいて評価を実施した。

その結果、表Ⅱ.2.5.1のとおり5チーム中、3チームが技術開発を継続、1チームは体制強化する等の条件付き合格、1チームはNEDO 基盤技術開発事業を中止することを決定した。(詳細は(注1) ステージゲート詳細参照)



図Ⅱ.2.5.1 基盤技術開発の体制マネジメントの考え方

表Ⅱ.2.5.1 ステージゲート評価結果

研究項目	実施者	主なコメント
(1) LED照明の基盤技術開発	三菱化学チーム	・中間目標を達成 ・LED拡大に必要な低コスト化をよく検討している ・LEDの最終製品、GaN基板等で国際競争力を有する期待大 ⇒ 継続
	名大・阪大チーム	・中間目標未達成ながら達成の目処あり ・世界に誇れる技術を生み出している ・事業化のシナリオが明確と言えない ⇒ 条件付き継続 (条件: 事業化する企業を明確とする体制見直し)
	エルシードチーム	・中間目標が未達成で達成の見通しが無い ・事業化の見通しが立っていない ⇒ 事業中止 [*]
(2) 有機EL照明の基盤技術開発	コニカミノルタチーム	・中間目標を達成 ・有機ELの塗布型RtoRプロセスは、技術的なハードルが高くチャレンジングだが国際的な競争力の確保の期待大 ・技術開発力、事業化への高いポテンシャル有 ⇒ 継続
	パナソニックチーム	・中間目標を達成 ・今後の着実な計画が策定されており事業化への実現性大 ・連携体制が綿密であり成果拡大の期待が大きい ⇒ 継続

*)エルシードに関しては、プロジェクトで取得した資産が名城大学のLED研究拠点にて有効活用されるよう、事後のフォローを実施。

(注1) ステージゲートの概要

- ・2011/1/14~2/4 : ステージゲート評価委員 (本技術分野の有識者) により、各チームから提出された成果資料 (ステージ I 成果とステージ II 実施計画) の書面評価
- ・2011/2/9 : LED 照明技術に対するステージゲート評価委員会開催 (実施者ヒアリング含)
- ・2011/2/14 : 有機 EL 照明技術に対するステージゲート評価委員会開催 (実施者ヒアリング含)
- ・2011/2/28 : ステージゲート評価結果確定 及び実施者への通知

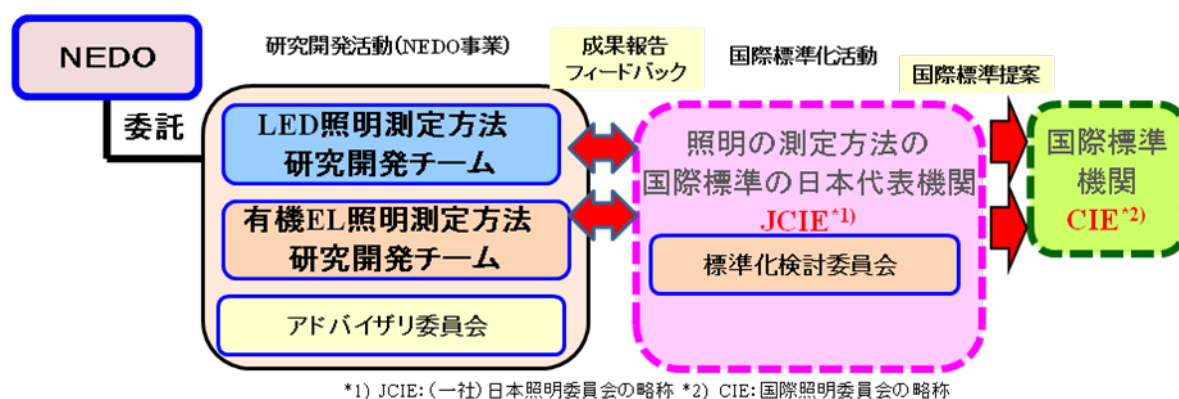
評価項目としてステージ I の中間目標達成度、ステージ II の実施計画の最終目標充足度、技術的新規性・競争優位性、ステージ II の実現性、研究実施遂行能力、プロジェクト終了後の事業化の見込み、社会への波及効果の7項目について評価項目毎に5段階評価 (A、B+、B、B-、C) にて評価した。加えて定性評価意見も募った。評価の結果、総合評価点 (全項目の平均点) が、合格基準 (評価点 B) 以上の場合(*)には、基本的には技術開発継続とするが、上記の場合でも半数を超える評価委員が評価点に C の評価を行った評価項目が全評価項目中 1 項目でもある場合等、今後の継続研究にて目標達成が困難と評価委員会が判断された場合には NEDO 事業中止と判断した。

ステージゲート評価結果としてはステージゲート委員会での評価結果を踏まえて、ステージⅡに進む実施者チームはLED照明技術に取り組む三菱化学チーム（参加委託先：三菱化学、シチズン電子、NECライティング）、名大・阪大チーム（参加委託先：イノベーション・センター、大阪大学、名古屋大学）、有機EL照明技術に取り組むパナソニックチーム（参加委託先：パナソニック、出光興産、タツモ、長州産業、山形大学、青山学院大学）、コニカミノルタチーム（参加委託先：コニカミノルタ株式会社）の計4チームに決定した。

（２）国際標準化のマネジメント

戦略的国際標準化推進事業の体制マネジメントとしては図Ⅱ.2.5.2のとおり国際標準化の支援活動として次世代照明の測光方法の開発・評価を行う研究開発に取り組む体制とした。

光源の測定方法の国際標準組織であるCIE（国際照明委員会の略称）には、JCIE（一般社団法人日本照明委員会の略称）が日本代表として本国際標準化活動についての日本の意見を反映している。NEDOプロジェクトでは、JCIEより、LED照明及び有機EL照明各々の事業にとって重要と考えられる測定方法について日本提案できるよう、国内で測定方法の研究開発を行う取り組みを行った。本研究開発成果は、日本国内で情報共有し、JCIEに引き継ぎ日本からの提案を実施できる体制となるよう考慮した。また、プロジェクト終了後も引き続き国際標準化活動が必要となることを予め想定して、国内の照明の国際標準代表団体にてNEDOの測光方法の研究開発成果を引き継ぎオールJapanで国際標準提案できるスキームで体制を構築した。



図Ⅱ.2.5.2 戦略的国際標準化推進事業の体制マネジメントの考え方

（３）中間評価の対応

ステージゲート評価後にプロジェクトの必要な改善・見直しを図ることを目的として中間評価を2011年11月に実施した。中間評価では外部有識者（7名）により、事業の位置づけ、研究開発マネジメント、研究開発成果、実用化・事業化の見通しについて評価を実施した。プロジェクト改善に役立つ指摘事項を受け、プロジェクト運営に反映するマネジメントを実施し、その結果改善すべき指摘を受けた。主として、GaN基板LED照明も、有機EL照明も、市場導入時にはコストが既に流通しているサファイア基板LEDと比較すると一般照明分野ではコスト競争力がないので、プロジェクト終了後の具体的な実用化事業化を実現するためには技術開発した特質を生かした市場性を明確にするべきとの指摘を受けた。

本中間評価結果を踏まえて、GaN基板LEDについては、サファイア基板LEDと比較すれば、電流密度（面積当たりの輝度）発光効率に優れているために基板面積当たりのコストはサファイア基板には劣るものの、光束（輝度）当たりのコストに換算すれば、優れているという分析

結果となったため、GaN 基板 LED はプロジェクト終了時の初期導入市場として特殊照明分野（高輝度コンパクト照明分野）に絞ることとして実用化・事業化を図ることとした。

また有機 EL 照明はプロジェクト終了時の初期導入市場としてはフレキシビリティ、軽量性を生かして新規市場（車載、建材市場）を目指すこととした。

表 II. 2. 5. 2 中間評価結果

中間評価の主な指摘事項	マネジメント対処
<p>三菱化学チーム、名大・阪大チームについては LED 照明において現在主流のサファイア基板 LED に比較して GaN 基板を用いた LED の性能とコスト面での優位性を明確にして成果の市場的な価値を明確にしておく必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・中間評価の指摘を受けて GaN 基板 LED の優位性を明確とした結果、G a N 基板 LED の、P J 終了後のエントリ市場として高輝度省エネ照明市場分野に具体的にターゲットを絞って技術開発を加速。 ・さらに基本計画目標に電流値：350mA 以上の条件を追加。
<p>コニカミノルタチーム、パナソニックチームについては有機 EL 照明がコストで他照明方法に及ばないと考えられるため、それを跳ね返す明確な応用分野を明確にする必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・中間評価の指摘を受けて有機 EL 照明の特質であるフレキシビリティと高品質化を生かしたエントリ市場として、車載照明、建材照明等の新市場分野に具体的にターゲットを絞ってコスト低減に向けた製造プロセス技術開発への加速資金投入など技術開発を加速。

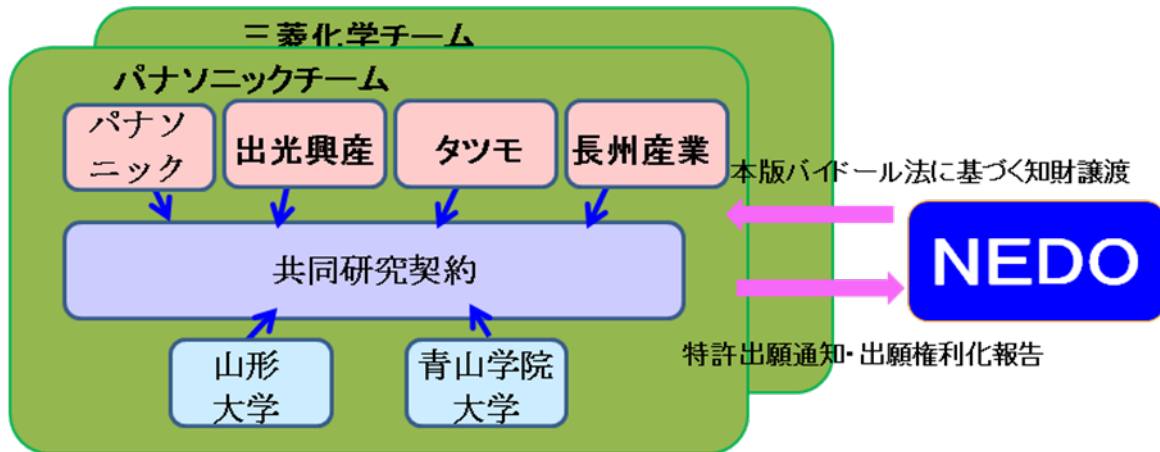
（４）知財マネジメント

本プロジェクトは国内事業だけでなく、国際的事業展開への適用も可能な基盤技術開発に取り組んでいる。そのためには実用化を見据えた知財マネジメントとして国際特許化活動を推進する必要があるが、研究開発で得られたアイデア全てを海外出願して出願件数を海外企業と争うのではなく、追従できない付加価値技術アイデアに絞り込み特許化を進める方針で知財マネジメントに取り組んだ。詳細は各企業戦略に準じるが、基本的な方向としては LED については結晶成長技術、光取り出し技術、有機 EL 照明についてはデバイス構造、光取り出し技術、製造プロセス技術、有機材料に重点を置き積極的に特許化していくことを薦める知的財産権管理を行った。また材料の包括的合成手法は特許で防御するが、材料構成等で包括化が困難なアイデアは特許化することにより周辺の類推発案が可能で、特許化で却って不利になる場合にはノウハウ管理する場合もあり特許化のメリット、デメリットを評価した上で知財管理する柔軟な判断を行った。

知財マネジメントのやり方としては運営会議などで、NEDO および各社で重要と思われる具体的な知財戦略と事業戦略の連携、国際標準化活動との連携、本戦略に基づく特許とノウハウの峻別、具体的特許作成方針は、各社の事業戦略と知財戦略に従う。

知的財産権の取り扱い管理としては、日本版バイドール法により知的財産権は NEDO より実施者に譲渡される運用とした。本運用に従って特許出願後の状況の変更の都度、実施者より NEDO に通知報告する方式とした。また実施者間については円滑な研究開発を進めるために基本的には実施者の判断によるがチーム内で共同研究契約書を締結することとした。NEDO は各チームのプロジェクト運営会議等で NEDO 及び実施者間で重要と思われる技術開発内容に関して、出願す

べき内容の議論を都度行った。その結果、本議論により、新技術についての多数の特許申請と特許の有効利用を促進した。(特許出願件数：782 件 (内海外出願件数：210 件))

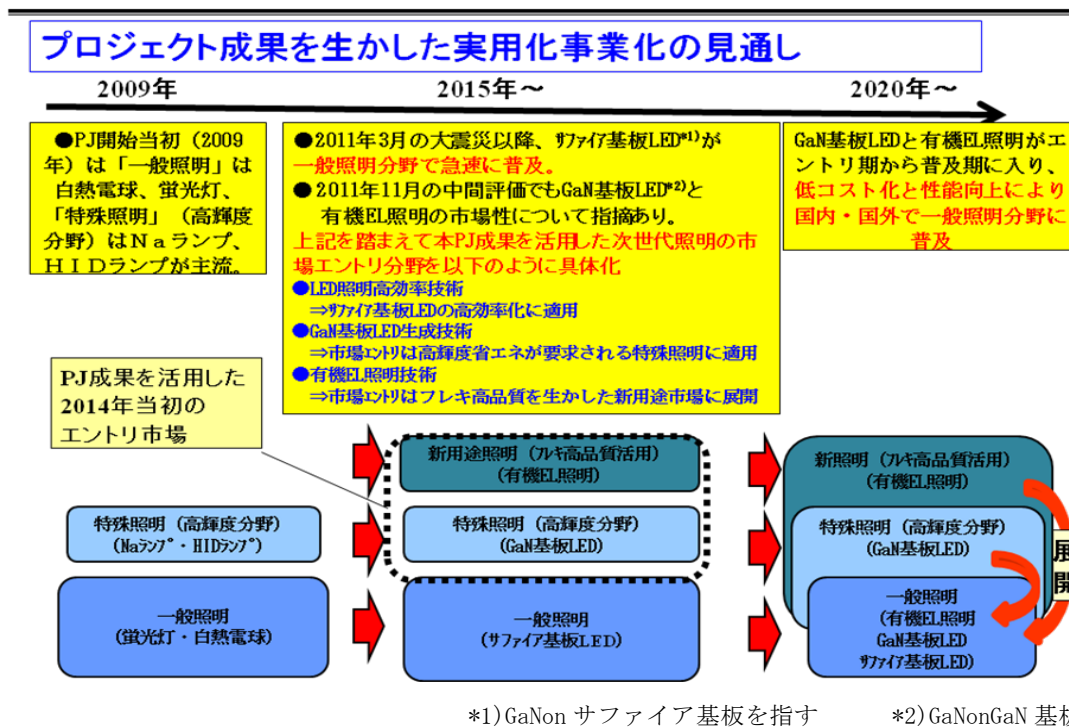


図Ⅱ.2.5.3 知財マネジメント

2.6 情勢変化等への対応

(1) 状況に応じた実用化・事業化の出口の明確化

中間評価の指摘を受け、また 2011 年 3 月の東日本大震災以降のサファイア基板 LED の急速な普及を考慮して、プロジェクト終了後の 2015 年以降のエントリ市場は GaN 基板 LED については高輝度分野、有機 EL 照明については新照明分野（フレキシブル高品質市場分野）に具体化して実用化・事業化を加速した。市場エントリ後、2020 年には GaN 基板 LED 照明及び有機 EL 照明も低コスト化が進み、サファイア基板 LED が普及する一般照明市場にも徐々に浸透していくことが期待される。



*1) GaNOn サファイア基板を指す

*2) GaNOnGaN 基板を指す

図Ⅱ.2.6.1 PJ 成果を生かした実用化事業化の見通し

(2) 情勢変化への対応概要

情勢変化の対応として上記の他、さらに以下の4つの対策を実施した。

表Ⅱ.2.6.1 情勢変化の対応概要

情勢	時期	対応
①加速による研究成果の向上 (対象：(1)有機 EL 照明の基盤技術開発 (2)LED 照明の基盤技術開発)	2010年6月 (305百万円) 2012年7月 (140百万円) 2012年11月 (104百万円)	<ul style="list-style-type: none"> ●LEDの基盤技術開発及び有機EL照明の基盤技術開発について研究の進展が著しい研究活動3件について加速資金を投入。 ●研究成果の高度化を図った。(加速資金3件合計:549百万円。詳細は次頁を参照ください)
②状況に応じた体制強化 (対象：(2)LED照明の基盤技術開発)	2011年6月 (株)リコー参画 2013年7月 豊田合成(株)参画	<ul style="list-style-type: none"> ●ステージゲート評価の指摘に対応して、研究成果を活用しGa_N基板事業及びLEDパッケージ事業化のためLEDの基盤技術開発を担当する名大・阪大チームの体制を見直し豊田合成(株)を委託先に、リコー(株)を再委託先に追加参画する体制に変更。 ●プロジェクト終了後の速やかな実用化事業化を実現。
③プロジェクト終了後の国際標準化フォローアップ (対象：(3)戦略的国際標準化推進事業)	2014年3月～	<ul style="list-style-type: none"> ●プロジェクト終了後、成果を引き継いで国内照明企業、大学、(一社)日本照明委員会等で連携協力して日本からCIE(国際照明委員会)へ測定の国際標準提案活動をする国内体制を構築。標準化活動を継続できる環境を整えた。
④継続研究の実施 (対象：(1)LED照明の基盤技術開発)	2014年3月～2015年2月	<ul style="list-style-type: none"> ●LEDの基盤技術開発を担当する名大・阪大チームの豊田合成(株)が取り組むNaフラックス法の研究開発で低コストGa_N結晶成長方式による実用化の見込みが高くなったため1年間の継続研究*を実施。 ●Naフラックス法によるGa_N基板事業化の促進を図った。

(3) 加速資金による対応

LED照明の基盤技術開発1件、有機EL照明の基盤技術開発2件、各々に対して研究成果が著しい研究成果の上になっている研究課題に対して加速資金を投入して、実用化・事業化の普及の課題である低コスト化に向けた製造プロセス技術の高度化等を図り、効果をあげた。

表Ⅱ.2.6.2 情勢変化の対応（加速資金による対応）

情勢	時期	対応
<p>LED照明の基盤技術開発: 既に製品化されているLED等照明の市場でコストダウンが進展しており、名大・阪大チームで取り組むLED技術開発(Naフラックス法)でGaN結晶の高品質化が望まれる状況と判断された。</p>	<p>2012年7月 (140百万円)</p>	<p>針状種結晶太径化によるGaN結晶成長技術開発が進み、結晶の高品質化と同時に生産性を向上した結晶成長技術の開発・検証するため、加速資金を投入。 最終の品質目標である 結晶欠陥: 10^4cm^{-2}以下 の達成を2013年度中の実現性を高めながら 結晶成長の一回当たりの歩留まりを2倍以上 に改善した。</p>
<p>有機EL照明の基盤技術開発: 既に製品化されているLED等照明の市場でコストダウンが進展しており、パナソニックチームにて、製造プロセス工程^{*1)}について当初想定最終目標の0.3円/lm年以下のコストダウンが望まれる状況と判断された。</p>	<p>2010年6月 (305百万円)</p>	<p>パナソニックチームで生産性を向上させる製造プロセス技術として、製造プロセス工程中(下図^{*1)})、有機成膜プロセス工程^{*2)}について複数の蒸着製膜を連続して実施できる一貫製造プロセスの技術開発を実現するため、加速資金を投入。 製造コストに係る最終目標を、 0.3円/lm年 → 0.25円/lm年 に修正した。</p>
<p>有機EL照明の基盤技術開発: パナソニックチームの有機ELパネルの製造プロセス^{*1)}中の電極生成の塗布+パターンエッチングプロセス工程^{*3)}に対しても、当初実現が困難であったエッチングレス塗布プロセス技術を確立できる見通しが2012年に立った。加えて将来、塗布プロセス技術の蒸着プロセスへの応用によりコスト低減化への期待もされた。</p>	<p>2012年11月 (104百万円)</p>	<p>パナソニックチームにて製造プロセス工程^{*1)}中の電極生成プロセス工程にてパターンエッチングを省略するエッチングレス塗布製造プロセス技術を開発するため、加速資金を投入。 製造コストに係る最終目標を、さらに 0.25円/lm年 → 0.24円/lm年 に修正した。</p> <div data-bbox="1102 875 1369 1066" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>有機EL照明パネルの製造プロセス工程^{*1)}の構成 【有機成膜】</p> <p>【電極生成】 蒸着プロセス^{*2)} 工程 塗布+パターンエッチング^{*3)} プロセス工程</p> </div>

(4) 状況に応じた体制強化

LEDの基盤技術開発に従事した名大・阪大チームは、大学主導でめざましい研究開発成果を達成していたが、その研究開発成果を引き継いで実用化・事業化を行う企業が明確ではなかった。

プロジェクト終了後に速やかに実用化・事業化できるよう、豊田合成(株)を委託先として、(株)リコーを再委託先として体制上に事業実施企業が明確となるよう体制変更強化を行った。

表Ⅱ.2.6.3 情勢変化の対応（状況に応じた体制強化）

情勢	時期	対応
LED照明の基盤技術開発 ステージゲート評価 （2011年2月）の結果、 名大・阪大チームにおける 将来の研究開発成果を 実用化・事業化する企業を 明確とする体制強化の課題 が明らかになった。	2011年6月	Naフラックス法を推進する名大・阪大チームに、高品質な種結晶を開発するリコー（株）を再委託先として追加参画する体制に変更して新課題のGaN結晶成長の高品質化の研究課題を担当することとした。 本変更により、プロジェクト完了後に速やかに研究成果を活用してGaN基板の実用化・事業化を拡大可能とする体制とした。
	2013年7月	名大・阪大チームのGaNのNaフラックス法によるGaN結晶成長技術の開発も順調に進んだ結果、実施者（株）イノベーション・センター出向企業の豊田合成（株）を委託先として追加参画する体制に変更し新課題のGaN結晶成長の効率化の研究課題を担当することとした。 本変更によりプロジェクト終了後に速やかに研究成果を活用してGaN基板の実用化・事業化を実現できる体制とした。

（5）プロジェクト終了後のフォローアップ

LED照明及び有機EL照明の国際標準化活動は、プロジェクト終了後も継続して取り組む必要があるため、その後の国内の継続実施体制を構築してプロジェクト成果を引き継ぐ対応を実施した。

（6）継続研究の実施

プロジェクト終了後に、GaN基板事業に取り組む企業に対して継続研究（NEDO事業終了後、一定期間研究を継続できるようNEDOから資産を継続無償貸与して研究成果の向上・実用化を支援する制度）を適用することにより、実用化・事業化が期待できる成果を上げた企業に対しては1年間の継続研究を実施した。

（7）照明コンペ開催

本プロジェクトと並行して次世代照明の特質を生かした新市場の創出のため、支援活動にも取り組んだ。そのひとつとして、次世代照明の新用途アイデアコンペとして、広く国内の一般の照明ユーザや若手を含む照明デザイナー等を対象に、次世代照明の新用途アイデア、新用途デザインを募集する次世代照明アイデアコンペを開催した。（2010年11月にNPO法人Light Bridge Association主催、NEDO共催で開催）本活動により次世代照明を使った新用途、新市場の探索を行った。

(8) 高輝度 LED 照明の海外実証事業支援

今後高輝度LED照明の海外市場へ普及展開促進のため、NEDO海外実証事業支援（現在、基礎調査段階）を実施している。（インドネシア、ブルネイ向け高輝度LED実証に向けた基礎調査事業を実施中（2014年4月～2015年1月予定））

(9) 次世代照明コンソシアムの開催

次世代照明の新市場開拓を積極的に推進・加速化するためにプロジェクト終了後に NEDO にて照明関係事業者を招集して、次世代照明を適用した新アプリケーション、システム、サービス等を検討・議論する照明コンソシアム（仮称）を今後立ち上げる予定。（調査を踏まえて 2014 年度設立を予定）

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 目標の達成度と成果の意義

本研究開発に当たっては研究開発項目毎に複数の実施者が体制を組んで異なるアプローチで最終目標達成に取り組んだ。

研究開発項目①LED 照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発に関しては、さらに

- (a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発と、それ以外のアプローチとして
- (b) 基板の応用によるデバイス技術の開発 の2つの研究開発小項目に分かれる。

前者の (a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発については、HVPE 改良方式でアプローチする三菱化学チーム（参加委託先：三菱化学、シチズン電子、NEC ライティング）と、Na フラックス法でアプローチする名大・阪大チーム（参加委託先：イノベーション・センター、大阪大学、名古屋大学、豊田合成）の2チームが研究開発に取り組んだ。

(b) 基板の応用によるデバイス技術の開発については、SiC 蛍光体を用いてデバイス開発を行うエルシードチーム（エルシード、名城大学）の1チームが研究開発に取り組んだ。

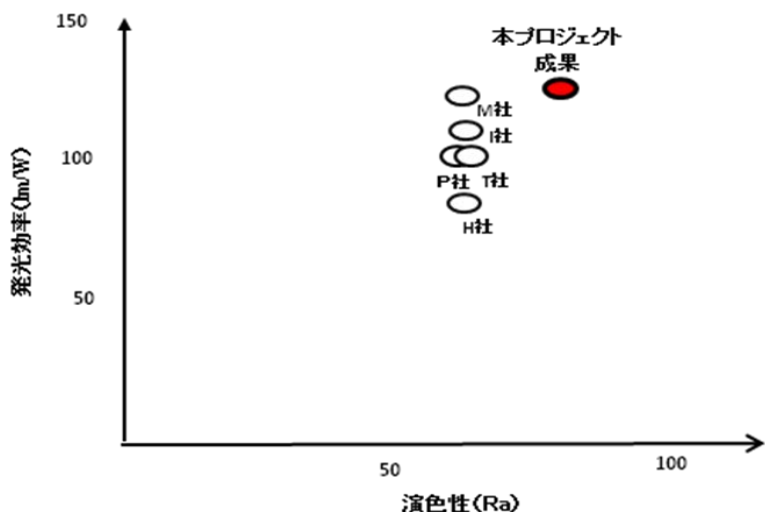
一方、研究開発項目②有機 EL 照明：高効率・高品質化の研究 に関しては、主に真空蒸着方式でアプローチするパナソニックチーム（パナソニック、出光興産、タツモ、長州産業、山形大学、青山学院大学）と、ロール・ツー・ロールを指向する塗布方式でアプローチするコニカミノルタチーム（コニカミノルタ）の2チームが、研究開発開発に取り組んだ。

LED 照明技術及び有機 EL 照明の基盤技術開発については各々、最終目標を設定しているので、表Ⅲ. 1. 1 に最終目標に対する達成度を示す。

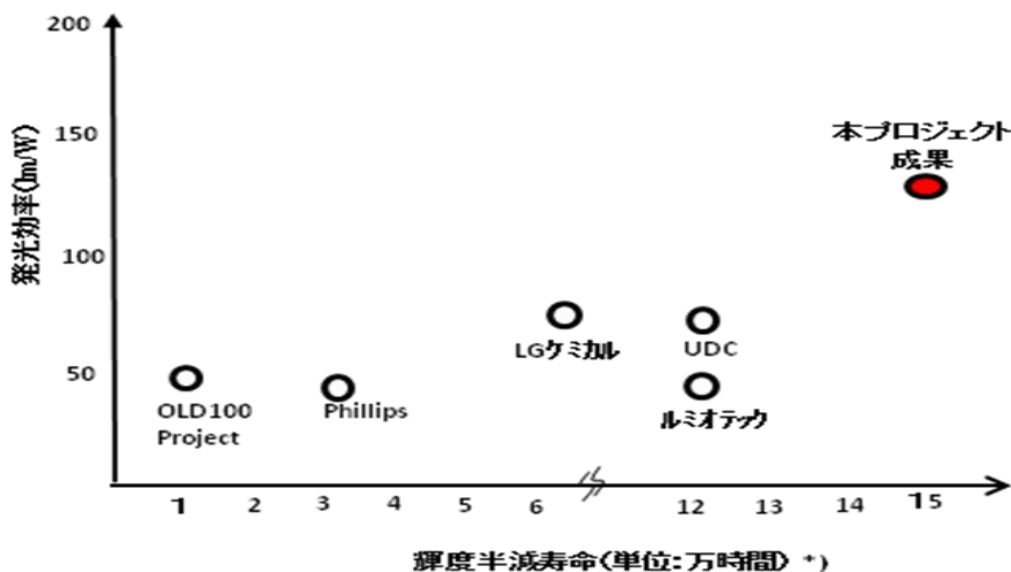
表Ⅲ. 1. 1 基盤技術開発の最終目標の達成状況

(1) LED の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
最終目標	最終成果	目標達成度
板状GaN結晶の場合、6インチ以上、転位密度 10^6cm^{-2} 以下 バルク結晶の場合、4インチ以上のGaN結晶で転位密度 10^4cm^{-2} 以下	6インチ GaN 結晶で 転位密度 10^2cm^{-2}	○（達成）
LED デバイス発光効率：200 lm/W 以上 LED 器具効率：130lm/W 以上	LED デバイス効率 203 lm/W LED 器具効率 133.8lm/W を実現	○（達成）
350mA 以上の高電流値で下記効率達成	20mA の電流値の条件で達成。350mA の実現については高電流駆動時においての高効率な非極性面 GaN 実現により 2016 年中に達成できる見通し	×（未達）
上記条件で平均演色評価数：80 以上	81	○（達成）
(2) 有機 EL 照明の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
最終目標	最終成果	目標達成度
発光面積 100cm^2 以上で 効率：130 lm/W 以上	発光面積 100cm^2 で 133 lm/W	○（達成）
半減寿命：4 万時間以上（輝度： $1,000\text{cd/m}^2$ ）	15 万時間	◎（達成）
平均演色評価数：80 以上	84	○（達成）

これらの結果から、本中間成果段階では図Ⅲ. 1. 1、図Ⅲ. 1. 2 のように世界TOPレベルの性能水準を達成できている。また市販製品と比較しても、それをはるかに超える性能達成により、これらを切り口として今後、新市場開拓（建材分野、車載分野、装飾照明分野等）への期待が可能な状況といえる。今後、本成果を活用した実用化事業化を実施した場合に国際競争力強化、CO₂削減、省エネルギー化、節電への貢献が今後期待できる。



図Ⅲ. 1. 1 高輝度 LED 照明器具に関する成果の国際的な位置づけ



*) 輝度半減寿命=70%輝度寿命*3にて換算想定(70%輝度寿命のみ公表の場合)

図Ⅲ. 1. 2 有機 EL 照明に関する成果の国際的な位置づけ

次に研究項目③戦略的国際標準化推進事業についての目標達成度は表Ⅲ. 1. 2 のとおり。

(a) LED 光源並びに LED 照明器具の性能評価方法の国際標準化に係る研究開発については、LED 照明の色再現性に関する演色性評価方法の検討、LED 照明のグレア評価に関する技術開発の方向性と現状の問題点の整理については東芝ライテック（株）が担当し、LED 照明の配光・全光束一括測定技術の開発の確立・検討及び LED 照明環境（薄暮～夜間）における測光装置試作及び

測光方法の確立 についてはパナソニック（株）が担当し（b）有機 EL 照明に関する国際標準化については山形大学が担当した。（c）次世代照明を用いた評価検証の研究開発項目については、東芝ライテック（株）、パナソニック（株）、山形大学が（a）、（b）各々の国際標準化に向けた測定方式の研究開発の中で人間工学的観点での評価を実施活用して成果を上げ、各々目標を達成した。

表Ⅲ. 1. 2 国際標準化推進事業の最終目標の達成状況

LED に関する国際標準化		
最終目標	最終成果	目標達成度
LED照明の色再現性に関する演色性評価方法の検討	色再現性に関する演色評価方法を開発（成果は CIE*1）TC1-91 にて提案	○（達成）
LED 照明のグレア評価に関する技術開発の方向性と現状の問題点の整理	LED 照明のグレア評価方法の技術開発により評価方法と現状の問題点を整理（成果は CIE/新 TC(2014 年設 4 月設立承認）にて提案）	△（達成。新 TC 設立次第提案予定）
LED 照明の配光・全光束一括測定 of 技術開発の確立・検討	LED 照明の配光・全光束の測定装置を製作して評価検討実施（成果は CIDE/TC2-71、TC2-78 にて提案）	○（達成）
LED 照明環境（薄暮～夜間）における測光装置試作及び測光方法の確立	LED 照明環境における視作業効率測定方法を開発し測光装置の試作評価（成果は CIE *1）TC2-65 にて提案）	○（達成）
有機 EL 照明に関する国際標準化		
最終目標	最終成果	目標達成度
有機 EL 照明の測光方法の検討・評価 及び標準化ガイドラインへの反映	有機 EL 照明の測光方法を開発・評価実施。標準化ガイドライン（照明学会作成）への反映完了。（成果は CIE/TC2-68 にて提案）	○（達成）
次世代照明を用いた評価検証		
最終目標	最終成果	目標達成度
LED、有機 EL 照明の照明空間を設営して評価検証を実施	上記の標準化技術開発（LED 照明の演色性評価、有機 EL 照明の測光に関する主観評価）にて評価検証を実施して標準化提案に反映した。	○（達成）

各研究成果は国際標準化活動に当り、実施する国内推進体制も明確であり、且つ国際標準化を提案する対象の技術委員会も決定しており、既に提案活動に入っているために、本プロジェクト成果を活用した国際標準化の確立の期待が高い。

2. 知財権等の取得状況

本プロジェクトの研究開発結果については適宜、各実施者により研究発表、論文、特許申請を行った。その結果は表Ⅲ. 2. 1 のとおり。

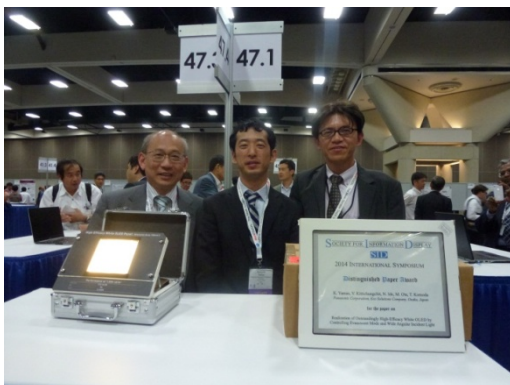
研究発表のみならず特許出願による権利化も積極的に推進した。また実用化事業については海外への事業展開も見据えて海外特許も積極的に出願した。

表Ⅲ. 2. 1 プロジェクト知財成果表

項目	2009 年度～ 2010 年度 (平成 21～ 22 年度)	2011 年度 (平成 23 年度)	2012 年度 (平成 24 年度)	2013 年度 (平成 25 年度)	合計
特許出願	47	191	273	271	782
内海外特許	0	25	80	105	210
研究発表・ 講演	64	139	197	162	562
論文	10	24	23	65	122
その他 (プレス発 表)	0	8	14	23	45

3. 成果の普及

プロジェクト成果は積極的に外部へのアピールを行った。具体的には NEDO では CEATEC2011～2013、nanotech2012 への NEDO ブースへの展示及び技術セミナー、LED NEXT STAGE2013 での次世代照明の事業成果の講演を実施した。本活動により、LED 及び有機 EL 照明の付加価値性及び本プロジェクト成果について次世代照明ユーザ、事業パートナーへの理解の浸透とともに次世代照明事業拡大に活用した。



図Ⅲ. 3. 1 SID2014 (2014 年 6 月)
Distinguished Paper Award を受賞
(パナソニック(株) 菰田氏、山江氏、太田氏)



図Ⅲ. 3. 2 LED_NEXT_STAGE2014 (2014 年 3 月)
LED+有機 EL ステージ講演 (PJ 成果発表講演)
(NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 高井主査)

CEATEC2013 Japan展示 (NEDOブース) 展示
(2013年10月)

次世代照明プロジェクトの最新技術成果を展示。
同時に次世代照明の理解を深めるために技術セミナーを開催



GaN基板LED展示
(NECライティング)



有機EL照明の展示
(パナソニック・コニカミノルタ)



次世代照明の技術セミナー
(東芝 瀧田氏)

図Ⅲ. 3. 3 CEATEC2013 Japan NEDO ブースでの次世代照明展示及び技術セミナー

IV. 実用化・事業化にむけての見通し及び取り組みについて

1. 成果の実用化・事業化の見通し

プロジェクト成果を活用してプロジェクト終了後、各企業では各々の事業分野において速やかに実用化・事業化を推進する予定である。各企業の事業分野は図IV. 1. 1のとおり。基盤技術開発の成熟度と市場の立ち上がりにより、本格的な事業化時期は企業毎に異なるが、1年以内から数年以内に実用化・事業化の見込みである。

三菱化学チーム：	三菱化学（株） シチズン電子（株） NECライティング（株）	⇒ GaN基板事業 ⇒LEDパッケージ事業 ⇒LED照明器具事業
名大・阪大チーム：	豊田合成（株）（株）リコー	⇒ GaN基板事業
コニカミノルタチーム：	コニカミノルタ（株）	⇒有機ELパネル事業
パナソニックチーム：	パナソニック（株） 出光興産（株） タツモ（株）、長州産業（株）	⇒有機EL照明事業 ⇒有機EL材料事業 ⇒有機EL製造装置事業
●測光方法の研究開発成果を活用して1-3年以内に国際標準化を実施		
LED照明チーム：	東芝（株） パナソニック（株）	⇒新演色評価方法（CIE/TC2-90・91）* ⇒LEDランプ器具の配光測定（CIE/TC2-78） ⇒薄明視の測定（CIE/TC2-65） ⇒グレア（不快なまぶさ）測定（CIE/TC新案予定）
有機EL照明チーム：山形大学	⇒色度・光束維持率等測定（CIE/TC2-68）	

*CIE：国際照明委員会 TC2-XX：測光方法の個別の課題毎に国際標準化を議論するCIE内の技術委員会

図IV. 1. 1 プロジェクト成果を活用した各企業の目指す事業

2. 波及効果

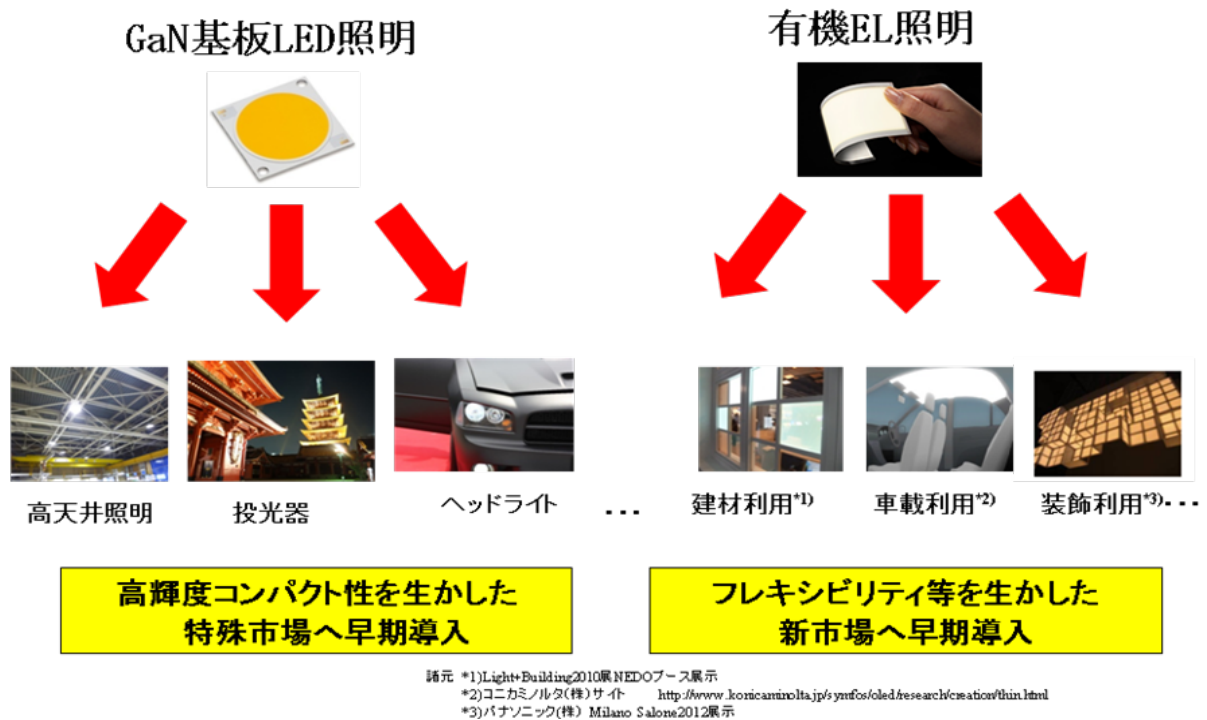
本事業で開発した次世代照明技術は、日本の産業力強化により、照明事業の活性化にとどまらず、次世代照明固有の特徴を生かした新規市場の創出効果が期待できる。また発光効率向上による省エネルギー化、CO₂削減の他にも様々な波及効果が期待できる。（図IV. 2. 1）

GaN 基板 LED 照明は、高天井照明、投光器、自動車のヘッドライトなどの市場への適用が今後、期待できる。また有機 EL 照明は建材、車載、装飾照明等の市場への適用が今後期待できる。

さらに本技術は照明以外への市場拡大の波及効果も期待できる。例えば GaN 結晶成長技術により、GaN バルク結晶を生成する技術は LED のみならず、パワーデバイス分野、特に小型高出力電子デバイスへの適用が可能である。本デバイスは、自動車や高周波出力が必要な次世代携帯端末、小型省エネルギー化が今後要求される家電製品への需要に対応することが可能である。

また有機 EL 照明で開発した有機 EL 製造プロセス技術は、有機素子の応用分野として期待される、有機 EL ディスプレイ、太陽電池、電子ペーパー・タッチパネル用などの、各種電子薄膜の有機 EL エレクトロニクスデバイスの製造プロセスにも展開して、低コスト化、生産性向上、材料利用効率の向上が期待できるため、本基板技術開発による波及効果は高い。

● 基盤技術開発の成果を活用して数年内に実用化事業化を実施



図IV.2.1 次世代照明技術の他分野への展開

その他、NEDOの次世代照明の特質を生かした新市場の創出に向けた支援活動として『次世代照明新用途アイデアコンペ』を実施した。

次世代照明新用途アイデアコンペとは、広く国内の照明ユーザ、照明デザイナー等を対象に次世代照明の新用途アイデア、デザインを募集する次世代照明アイデアコンペであり、次世代照明の新市場、新用途を探索することを目的として開催した。(NPO 法人 Light Bridge Association 主催、NEDO 共催で2010年11月に開催)

また、日本の高輝度LED照明の海外普及促進・支援のため、高輝度LED照明の海外実証事業も実施中であり、現在は、2014年1月までの予定で東南アジア市場として、インドネシア・ブルネイを対象とした基礎調査を実施している段階である。

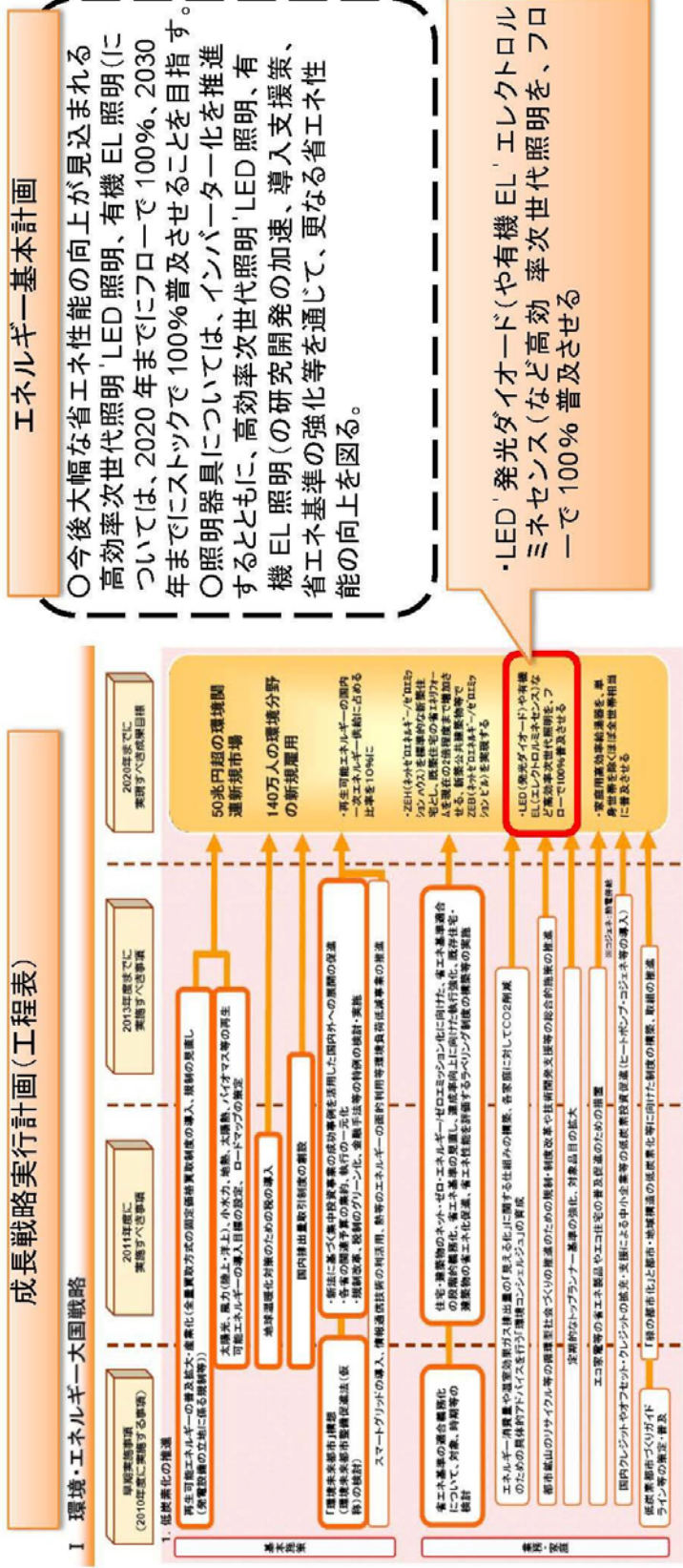
さらに今後実施することを検討している活動として『次世代照明コンソシアム(仮称)』も開催検討している。『次世代照明コンソシアム』とは、NEDO主催で関係企業等を招集して次世代照明の特質を生かしたアプリケーション、システム、サービス等を検討するコンソシアムである。

(2014年度末頃設立予定) 次世代照明の新市場についても調査を実施。出口戦略ロードマップの策定を目指している。

新成長戦略とエネルギー基本計画

○「新成長戦略」基本方針（平成21年12月30日閣議決定）で、2020年までのLEDや有機ELなどの次世代照明の100%化の実現の方針が示される。

○「新成長戦略」平成22年6月18日閣議決定、「エネルギー基本計画」平成22年6月18日閣議決定（で、グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略の柱の一つとして、高効率次世代照明「LED照明、有機EL照明」を2020年までにフローで100%、2030年までにストックで100%普及させる目標を掲げる。



エネルギー基本計画（2010年6月）（抜粋）

前文：

資源やエネルギーは国民生活や経済活動の根幹を支える財である。その大部分を海外に依存する我が国にとって、資源・エネルギーの安定供給は必要不可欠である。また近年、エネルギー利用に伴う環境問題、特に地球温暖化問題への強力な対応が世界的に求められている。さらに、エネルギーの価格は、国民生活や産業の競争力に大きな影響を及ぼすため、市場が適切に機能した効率的なエネルギー供給を実現することが重要である。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（以下省略）

P44：

（5）省エネ家電、省エネIT 機器等の普及（家庭・業務部門対策）

①目指すべき姿

民生部門では、家電の増加やオフィスのIT 化の進展等により、エネルギー消費量が増加してきているため、家電やIT 機器等の省エネを進めることが重要である。革新的な省エネ性能を持つ省エネIT 機器（ルータ、ストレージ、サーバ等）については、2015 年までに実用化し、2020 年までに100%普及させることを目指す。（現状：0%）

また、今後大幅な省エネ性能の向上が見込まれる高効率次世代照明（LED 照明、有機EL 照明）については、2020 年までにフローで100%、2030 年までにストックで100%普及させることを目指す。（現状：1%未満）

②具体的取組

トップランナー基準の策定や基準の強化を進めることにより、家庭・業務部門における家電・設備等の省エネ性能の向上を図る。省エネ家電については、省エネ基準の強化のみならず、消費者のライフスタイルに応じた省エネの進捗状況のフォローアップを実施する。

また、省エネ設備については、高効率冷凍冷蔵機器等の導入を促進し、民生部門における省エネを促進する。省エネIT 機器については、研究開発の加速化やトップランナー基準の強化等により、さらなる普及拡大を図る。

照明器具については、インバーター化を推進するとともに、高効率次世代照明（LED 照明、有機EL 照明）の研究開発の加速、導入支援策、省エネ基準の強化等43を通じて、更なる省エネ性能の向上を図る。

（6）モーダルシフト等グリーン物流の推進（運輸部門対策）

①目指すべき姿

運輸部門における物流分野のエネルギー使用量を削減するため、モーダルシフト等の物流効率化による環境負荷の少ない物流体系の実現を目指す。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（以下省略）

基本計画

P09024

P07030

(エネルギーイノベーションプログラム・ITイノベーションプログラム・ナノテク・部材イノベーションプログラム)

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発」基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境との調和を実現することが求められており、情報、環境、安全・安心、エネルギー等、経済・社会活動を支えるあらゆる分野で省エネルギー化を図る画期的な技術革新が求められている。

これを実現するためには、従来のデバイスと比較して、機能・特性の向上や新機能の発現により、更なる省エネルギー化が期待できる化合物半導体や有機物半導体などの新材料を用いたデバイスに関する基盤技術を推進する必要がある。

新材料デバイスの適用領域としては、白熱電球や蛍光灯といった従来照明をLEDや有機ELへ置き換えることにより省エネルギー化や高機能化が期待できる照明分野や、情報通信機器のみならず自動車や医療機器など広範な分野の製品の省エネルギー化、高機能化が期待される窒化物半導体を用いたワイドバンドギャップ半導体の分野がターゲットとなる。

しかし、照明に関しては、寿命・発光効率・演色性の観点で高効率・高品質な性能に加えて、材料、並びに製造プロセスのコストを低減させる必要があり、そのためには既存技術の改良にとどまらない基盤的な研究開発が不可欠である。また、LEDや有機ELといった次世代照明の普及促進のためには、国際標準化フォローアップ活動や次世代照明の用途探索活動など、研究開発以外の側面支援も必要である。

また、窒化物半導体に関しては、高周波演算素子やパワーデバイス等の高性能デバイスを実現する上で十分な品質の結晶作製が実現しておらず、既存のバルク半導体単結晶成長技術やエピタキシャル成長技術を超える基盤技術の確立が不可欠である。

本プロジェクトでは、これら課題を解決するための基盤技術開発ならびに国際標準化等の研究開発支援を行うことにより、我が国のエネルギー消費量削減に貢献するとともに、地球温暖化抑制につなげることを目的として実施する。

(2) 研究開発の目標

蛍光灯と比較して消費電力を半分にする発光効率(130 lm/W以上)の高さと自然光に限りなく近い演色性(平均演色評価数80以上)を両立しつつ、蛍光灯並みのコスト(寿命年数及び光束当たりのコスト0.3円/lm・年以下)で量産可能な次世代照明の実現を

目指すための基盤技術開発を行い、当該照明の早期実用化を図る。併せて、今後我が国が次世代照明を健全に普及させるとともに、海外市場を開拓して産業を発展させていくために、性能評価等の国際規格策定に関する活動を行い、次世代照明の国際標準を確立するための側面支援を行う。

また、ハイパワー・超高効率の電力素子、超高速電子素子などの作成に必要な窒化物半導体結晶成長技術を目指して、4インチ有極性単結晶基板及び3～4インチ無極性単結晶基板の開発、並びに無欠陥ヘテロ接合構造実現のための低欠陥高品質GaN及び混晶エピ層を実現するエピタキシャル成長法をそれぞれ開発するとともに、窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価として、有極性、無極性それぞれの単結晶基板で作成したFETの特性の差違、利害得失の明確化や、広い混晶範囲における耐圧と結晶欠陥の相関の明確化を行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

研究開発項目① 次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発

- (1) LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発
[委託][共同研究(NEDO負担率: 1/2)]
- (2) 有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発
[委託][共同研究(NEDO負担率: 1/2)]
- (3) 戦略的国際標準化推進事業[委託]

研究開発項目② ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発

- －窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発
- (1) 高品質大口径単結晶基板の開発[委託]
- (2) 大口径基板上の高品質エピタキシャル結晶成長技術[委託]
- (3) 窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価[委託]

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が、単独ないし複数の原則本邦の企業等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定し、委託して実施する。

また、研究開発項目②については、研究開発に参加する各グループの研究開発ポテンシャルを最大限活用することにより効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委嘱す

る研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として、国立大学法人福井大学 葛原 正明氏を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回以上、プロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

３．研究開発の実施期間

研究開発は、平成 19～25 年度に実施する。

研究開発項目①次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発の（１）、（２）は、ステージ I として 2 年間（平成 21～22 年度）、ステージ II として 3 年間（平成 23～25 年度）それぞれ実施する。（３）については、平成 22～25 年度の 4 年間実施する。

研究開発項目②ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板は、6 年間（平成 19～24 年度）実施する。

４．評価に関する事項

NEDO は、技術的および政策的観点から見た技術開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を行い、必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。研究開発項目①次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発のうち、（１）（２）については平成 23 年度、研究開発項目②ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板については平成 21 年度に中間評価を実施する。

また、事後評価については、研究開発項目①次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発については平成 26 年度に、研究開発項目②ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板については平成 25 年度に実施する。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況などに応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、研究開発項目①次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発の（１）、（２）については「ステージゲート制度」を導入する。具体的には、プロジェクト実施期間を前半 2 年間の「ステージ I」（平成 21～22 年度）と後半 3 年間の「ステージ II」（平成 23～25 年度）に分割し、「ステージ I」の最終段階（平成 22 年度）にステージゲート評価を実施する。ステージゲート評価では、「ステージ I」の研究目標に対する達成度、「ステージ II」の研究目標に対する実現性を中心に、定性的・定量的に評価を行い、「ステージ II」における研究開発主体の選定を行う。「ステージ II」へ移行するにあたり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、ミッション及び実施体制を見直すこととする。また、本プロジェクト終了後に事後評価を実施し、最終的なミッションの達成度を定性的・定量的に評価する。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取り扱い

①成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO および実施者が協力して普及に努めるものとする。

そのために、次世代照明の健全普及と海外市場の開拓により産業を発展させていくために、性能評価等の国際規格策定に関する活動を行い、次世代照明の国際標準を確立していくための側面支援を行う。

②知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 26 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

なお、国際展開を見据えた次世代照明技術に係る知財管理を適切に行うこととする。

(2) 基本計画の変更

NEDO は、基本計画の内容の妥当性を確保するために、社会・経済的状況、内外の技術開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 1 号二に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成 23 年 3 月 「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」と「ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」及び「戦略的国際標準化推進事業」（LED 及び有機 EL に関する標準化）の基本計画の統合

(2) 平成 24 年 3 月 次の項目を修正

①「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」に中間評価結果を反映

- ・ 「(1) LED 照明の高効率・高品質照明の基盤技術開発」に目標を追加
- ・ 「(3) 戦略的国際標準化推進事業」に「(c)次世代照明を用いた評価実証」を追加

②「ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」の目標追加及び期間延長

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目① 次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発

(1) LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

1. 研究開発の必要性

LED照明を高効率かつ高品質にするには、現在一般的にLED照明用基板の材料として使われているサファイアを窒化物材料等にするなど、基板部分を高性能な材料にすることが有効であるが、サファイア以外の基板については、基板の価格が非常に高額であるため、バルク化や大口径化等、基板の低コスト化に繋がる手法の確立が求められている。同時に、照明用LEDとして高効率な性能を実現するために、基板の結晶欠陥を極力減少させることも求められている。

これらの問題を解決し、高効率かつ高品質LED照明の作製を低コスト化することを目的として、LED照明用窒化物等基板の製造等に関する研究開発を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

高効率（LEDデバイスレベルで200 lm/W以上）かつ高品質（平均演色評価数80以上）LED照明の低コスト化を実現するため、窒化物等の照明用基板の生産性向上を目的とした結晶成長技術の開発やLED素子構成構造の最適化等デバイスの高度化についての技術開発を行う。

(a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発

バルク結晶方式、板状結晶方式等の手法を用いて、低歪・低転位窒化物等結晶成長技術を高度化するための開発を実施する。

具体的には、結晶核から大口径の低歪・低転位種結晶作製のための成長方位制御や大口径種結晶基板上に窒化物等結晶を高速・長時間成長を目指すバルク結晶方式、異種基板上での大口径窒化物等結晶低歪化技術及び大口径窒化物等結晶の高速・長時間成長技術を目指す板状結晶方式等、結晶成長手法の高度化を可能とするための技術を開発する。

あわせて、発光効率200 lm/W以上かつ平均演色評価数80以上を達成するLEDデバイスを実現するための技術開発を行う。

(b) 基板の応用によるデバイス技術の開発

基板の特殊ドーピングやLEDデバイス構造の最適化等、窒化物等結晶成長技術の高度化以外のアプローチにより、発光効率200 lm/W以上かつ平均演色評価数80以上のLED照明を低コスト化するための技術開発を行う。

3. 達成目標

それぞれの方式について、以下の目標を達成する。

(a) 窒化物等結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発

<ステージI 達成目標（平成22年度末）>

5～10mm角サイズの結晶の作成およびLEDデバイスとしての評価を行い、発光効率175 lm/W以上、平均演色評価数80以上の達成可否を検証する。

<ステージ II 達成目標（平成 25 年度末）>

バルク結晶成長方式で、結晶欠陥 10^4 cm^{-2} 以下、LED 発光波長領域において光吸収が極めて少なく、かつ研磨後の基板サイズが 4 インチ以上となる結晶成長技術を、板状結晶成長方式で、結晶欠陥が 10^6 cm^{-2} 以下、LED 発光波長領域において光吸収が極めて少なく、かつ研磨後の基板サイズが 6 インチ以上となる結晶成長技術を、それ以外の手法においては、上記基板サイズの大型化に相当する生産性を実現する技術をそれぞれ確立する。

いずれの手法においても、LED デバイスとして電流値 350mA 以上で発光効率 200 lm/W 以上かつ平均演色評価数 80 以上を達成する。また LED デバイスにした場合のコストを評価するための試算を行う。

(b) 基板の応用によるデバイス技術の開発

<ステージ I 達成目標（平成 22 年度末）>

5~10mm 角サイズの結晶の作成および LED デバイスとしての評価を行い、発光効率 175 lm/W 以上、平均演色評価数 80 以上の達成可否を検証する。

<ステージ II 達成目標（平成 25 年度末）>

LED デバイスとして発光効率 200 lm/W 以上、平均演色評価数 80 以上を達成する。また LED デバイスにした場合のコストを評価するための試算を行う。

(注) ステージゲート評価の結果、本研究テーマについては平成 22 年度末をもって終了した。

(2) 有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

1. 研究開発の必要性

有機EL照明は、均一発光が可能な効率的な面発光光源であるため、今後の省エネルギー化を促進する照明として期待されている。

現在の有機EL照明技術は、課題とされていた演色性、寿命等において蛍光灯と同等以上の性能を実現できるレベルにある。今後、有機EL照明が蛍光灯を代替するためには、演色性、寿命のみならず、さらに効率性においても蛍光灯を大幅に凌ぐ性能向上が要求される。さらに普及の観点からは蛍光灯と同等以上の低コスト化も望まれる。

有機EL照明の効率性を大幅に向上させると同時に低コスト化を図ることができれば、蛍光灯の代替普及が急速に進み、省エネルギー化に貢献できる。そのために、高効率・高品質及び低コスト化を同時に実現する革新的な技術開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高効率・高品質有機EL照明デバイス技術開発

高効率（発光効率 130 lm/W以上）高品質（平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m² 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上）を実現する有機EL照明デバイス技術開発を行う。具体的には、光学干渉の影響を抑制して効率を向上させる光取り出し技術、気密性を高めて品質を向上させる封止技術、製造工程の高速化を図るプロセス制御技術、材料の利用効率向上を図る薄膜層形成技術等の技術開発を行う。加えて有機ELを構成する基板・透明電極・有機層等について高効率・高品質化且つ低コスト化に向けた材料開発を行う。

3. 達成目標

(1) 高効率・高品質有機EL照明デバイス技術開発

<ステージ I 達成目標（平成 22 年度末）>

発光面積 100 cm²以上で発光効率 130 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m² 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機EL照明実現の技術課題を明確にして、具体化する実行計画を策定する。理論解析・光学シミュレーション等により実現方式の光学設計を行い、プロトタイプ試作により発光面積 25 cm²以上で発光効率 50 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m² 以上、輝度半減寿命 1 万時間以上の有機EL照明光源を実現する。

また高効率な製造プロセス実現に必要なとされる要件を明確にして設計・製作及び基本データの収集を行い、要件を充足していることを検証する。

<ステージ II 達成目標（平成 25 年度末）>

発光面積 100 cm²以上で発光効率 130 lm/W以上、平均演色評価数 80 以上、輝度 1,000 cd/m² 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機EL照明光源を実現すると同時に、コストを評価するための試算を行う。

(3) 戦略的国際標準化推進事業

(a) LED光源並びにLED照明器具の性能評価方法の国際標準化に係る研究開発

1. 研究開発の必要性

近年、白熱電球や蛍光灯に代わる省エネルギー光源として、LED光源およびLED照明器具（以下、LED照明）は国内外で広く普及しつつある。性能の向上は著しく、また今後も、現在主に用いられている蛍光灯やHIDランプ（高輝度放電ランプ）の性能を超えるような著しい性能向上が期待されることから、二酸化炭素の大幅な排出削減が見込まれる次世代の照明として、LED照明の世界市場が急速に拡大していくことが予想される。

しかし、LED照明は半導体の固体発光素子に基づく全く新しい光源であり、従来の白熱電球や蛍光灯とは発光形態が大きく異なるため、白熱電球や蛍光灯で定められた国際規格および国内規格による定義、測定方法、照明方法などは、多くの場合、そのまま適用できない。すなわち現在、LED照明の性能を評価する基準の多くには、国際的な統一基準が存在していないため、消費者がLED照明器具を同じ基準で比較検討し適切に選択することができず、LED照明の世界的な普及の阻害要因となっている。

今後我が国のLED照明等の次世代照明を健全に普及させるとともに、海外市場を開拓して産業を発展させていくためには、LED照明の性能が正しく評価される世界共通の「ものさし」をつくることが重要であるとともに、性能評価の国際標準化の分野において主導的役割を果たせるようにすることが必要である。

そのため、本事業は、LED照明の性能評価方法に関する基盤技術を開発し、国際標準化に向けた活動に繋げることを目的とする。

2. 研究開発の具体的内容

本事業は、我が国の研究開発による成果を国際市場に普及してくために、国際標準化に向けた研究開発等を実施することで、研究開発成果を早期に上市し、国際市場の獲得に結びつけるための環境作りに寄与することを目標とし、事業を実施する。

具体的には、国際標準化獲得に向けた戦略を十分に検討した上で、光の強さ、色、寿命等、LED照明の性能を正しく試験評価するために必要な課題を設定し、これを克服するための研究開発を実施するとともに標準化に向けた活動を行う。

3. 達成目標

LED照明の評価技術に関して、それぞれ以下の課題を達成することを目標とする。

(i) LED照明利用技術に関わる評価技術開発

(ア) LED照明の色再現性能評価技術開発

現在CIEで検討が行われている現行の演色性評価方法の改訂を踏まえて、LED照明の特徴を踏まえた新しい演色性評価方法の確立に向けて、試験色の選定、視感評価を行うと共に、LED用の演色性評価方式についての検討を行う。

(イ) LED照明のグレア評価技術開発

LED照明は高輝度発光体の集合体で構成されていることから、現行のCIEによるグレア評価方法では正確に評価出来ず、照明設計の実際面において大きな支障になっています。そのような課題を踏まえ、LED照明に特徴に対応した新しい評価手法の確立を検討する。具体的には、評価用の照明器具を試作すると共にLED照明のグレアの評価実験を行い、現行法の課題を整理する。併せて、CIE等の動向も踏まえつつLED用計測システムの検討を行い、技術開発の方向性や現状の問題点の明確化を行う。

(ii) LED照明の測光技術開発

(ア) LED照明の配光測定技術開発

現状測定が不可能とされているLED照明の全光束、配光、器具効率の測定を実現するため、多受光方式配光測定装置による配光・全光束一括測定技術の検討および手法の確立を行う。併せて、より汎用的な測光技術の確立についても検討を行う。

(イ) LED照明環境における視作業効率測光技術

現在CIEにおいて検討されている屋外照明の明るさ効率評価方法に対する規格変更に対応するため、薄暮から夜間における視作業効率に関する測光方法の確立を目指す。視作業効率測光装置を設計・試作するとともに、現在当該分野で主導的な位置付けにあるNIST等とも意見交換を行いつつ、本装置の評価を行う。

(b) 有機EL照明に関する標準化

1. 研究開発の必要性

有機EL照明は、一般照明である蛍光灯を将来代替する高効率の次世代照明として急速に進化しつつある。現在は研究開発段階であるが、一部のパネルメーカーからはサンプル出荷が始まっており、数年以内には次世代照明として製品化されて国際的な競争が始まろうとしている。

有機EL照明は日本が世界に先駆けて開発し、現在も研究開発の最先端を走っている技術分野である。今後、製品化段階で日本の有機EL照明技術が生かされるためには、製品を規定する国際標準が本技術レベルを踏まえて決定されなければならない。照明の国際標準規定には通常は3～4年を要することを考慮すると、現段階から標準化活動を開始することが必須である。

また有機EL照明の標準化は、照明業界にとっては世界に先駆けて日本から初めて発信する先取り標準化活動であり、照明業界での日本の国際的な地位向上にもつながる。

2. 研究開発の具体的内容

従来の照明器具の標準を土台に、有機EL照明の課題に絞り標準化を進める。標準化の課題として光源／器具の測光方法、光源／器具の性能に取り組む。

3. 達成目標

標準推進団体にて標準規格化を行う際に必要な光源／器具測光方法・測色方法の研究として、測光設備を利用した測光方法の検討・試験・評価・検証を行い、標準化を提案に必要な裏付けデータを集積して報告する。本活動結果は、照明学会ガイドライン委員会にて平成23年度末に作成される標準化ガイドラインに反映され、国際照明委員会での日本規格提案の根拠として活用される予定である。さらに国際照明委員会での情報収集、提案支援を行い国際標準化活動に貢献する。

(c)次世代照明を用いた評価検証

1. 研究開発の必要性

LED照明と有機EL照明は、発光原理が既存照明と異なる新しい照明であることから、人体に与える生体的影響については十分把握されていない。今後、これら新しい照明の普及がますます加速していくと予想されることから、本照明が生体に与える影響を調査分析し、その特質を明確にすることは、LED照明と有機EL照明の健全な普及促進に重要である。

2. 研究開発の具体的内容

LED照明または有機EL照明が人体に与える影響について、医学的工学的観点から調査分析することを目的とした評価検証等を行い、次世代照明の基盤技術開発、国際標準化事業のプロジェクト推進方針変更や規格整備等に活用する。

3. 達成目標

LED照明、有機EL照明を適用した照明空間を設営の上で評価検証を実施し、これらの照明が人体に与える影響について客観的に評価することが可能な検証結果を示すとともに、国際規格化等を検討する。

研究開発項目② ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板

1. 研究開発の必要性

(1) 低損失で高出力の電子デバイスとして期待される窒化物半導体ウェハは、現在GaN系ヘテロ構造がSiやSiC等の異種基板上に作製されている。このため電子デバイス構造としては横型に限定される上に大きな格子不整合によりデバイス内部に多数の欠陥が発生し、耐圧、オン抵抗等のデバイス特性についても物性値から期待されるような十分な特性は得られていない。また電源などで重要なノーマリオフ動作についても実用的な高出力デバイスとしては実現されていない。

このような問題を解決するためには、本質的に結晶構造が等価で格子整合する高品質窒化物単結晶の有極性、或いは無極性基板上にデバイス構造を成長・作製することが必要不可欠である。また、横型デバイス用の高抵抗ウェハ、縦型デバイス用の低抵抗ウェハ実現に向けて、単結晶基板の伝導度制御技術の確立が重要となる。

窒化物単結晶基板を成長するにはHVPE法やNa系フラックス溶液成長法、昇華法等が知られているが、現状電子デバイス用の高品位な結晶性を持つ大口径単結晶基板の育成は実現されていない。そこで本研究開発では、窒化物半導体電子デバイス作製に必要なとされる4インチ級の究極的高品質有極性バルク単結晶、及び無極性バルク単結晶を育成する技術を開発し、Siデバイスと同等、或いはそれ以上の安定性を有する高出力デバイスの実用化に資する。

(2) 化合物半導体エピ材料の特徴としては、ヘテロ接合を用いたデバイスを作製できることにあり、中でも窒化物は高速化、高出力化、高耐圧化、省エネ化などに優れた性能を発揮できる物性を有している。このような特性を実現するためには、これらデバイス構造中のチャンネル層やドリフト層を形成する薄膜成長技術、即ち結晶欠陥や残留キャリアの低減、ヘテロ接合界面でのキャリアの散乱を抑制するための界面組成急峻性や広い範囲での平坦性、多層構造はもちろんのこと、極めて薄いチャンネル層を作製するための組成や不純物濃度を原子層レベルで制御できる薄膜成長技術が必須である。加えてGaN-AlN-InN系窒化物は、AlGaNやInGaNでも格子不整合が大きく、分極電界や転位、欠陥、クラックなどの問題が生じている。

自動車用インバータなどでは例えば、オン抵抗 $<1.5\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 、耐圧 $>2\text{KV}$ で高gm、かつノーマリオフ型等の省電力タイプの電子デバイスの実現が望まれている。しかしSiCやSi基板上でのエピ成長ではヘテロエピタキシーの制約のため、デバイス特性からの要求品質或いは物性値から期待される特性を十分に満足する段階には未だ達しておらず、高機能の横型、及び縦型窒化物半導体電子デバイス実現のためには、今後窒化物単結晶基板上でAlN-GaN-InNの高範囲に渡る高品質大口径エピタキシャル混晶成長技術が必要である。

また、これら混晶成長に関して、高In組成領域では線欠陥、原料の気相反応に基づく反応物による点欠陥、成長中の熱分解が大きな問題であり、高Al組成領域では、酸素および炭素などの不純物の混入を抑制すると共に、効率の良いドーピング技術の開発によるキャリア濃度の向上が必須である。

更に、実用的な電子デバイス用エピタキシャルウェハとしては、厚みやキャリア濃度等のウェハ特性に関して、4インチ級の口径にわたる均一性が要求される。

(3) 現在窒化物電子デバイスは、端緒についたばかりであり、実用化したデバイスはSiCなどの基板上に形成したGaNチャネルを用いたFET構造のみである。その応用は2-5GHzの携帯電話基地局用の200-400W増幅器と30GHz帯の小型20W級増幅器に限定されている。窒化物系半導体が元来有する物性を考慮すると、今後はAlN-GaN-InN系材料を広範囲に自由に組み合わせたヘテロ接合トランジスタの実現が望まれ、その応用は高周波高出力ばかりでなく、高温動作デバイス、高耐圧デバイス、超高速デバイスなど、広い応用範囲が実現可能である。

例えば2-5GHzでは1kW以上の増幅器が実現可能となり、基地局ばかりでなく、固体デバイスを用いた超小型マイクロ波加熱（電子レンジ、半導体プロセス装置）、マイクロ波送電などに応用可能である。

またパワーエレクトロニクスにおいても、高電圧動作と高周波動作が同時に実現できるため、例えば数kW級のインバータ回路は、従来は周波数が低いためコイルやコンデンサが大型化し、モノリシック集積化が不可能であった。窒化物半導体を用いれば高電圧のまま高周波に対応可能であるためパワーエレクトロニクス機器の小型化を推進でき、エアコンなどの家電製品、情報家電、自動車におけるインバータの画期的な性能向上などその応用範囲は極めて広い。

このような電子デバイスを実現するためには、高品質窒化物半導体基板の開発、及び理論的可能で現在までに検討されなかった新しいエピタキシャル成長技術・不純物ドーピング技術の開発をベースに、可能な限り広い範囲の組成のヘテロ接合構造や面方位の組み合わせによるデバイス構造を従来の異種基板上ウェハや各種窒化物半導体ウェハ上に実際にデバイスレベルで試作して、高耐圧性、低損失性、高速性などの諸特性を比較・検証するとともに、その結果を課題①、②の基板・エピ開発にフィードバックすることが必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高品質大口径単結晶基板の開発

(a) 窒化物単結晶成長における基礎技術の検討

窒化物半導体バルク成長法における、成長初期過程制御技術、核発生制御技術等を最適化し、必要な有極性、及び無極性窒化物単結晶育成要素プロセスの開発を行う。

転位等の欠陥挙動を解明し、転位低減化、高品質化を図る。さらに2～4インチ級への大口径化、長尺化を検討し、大型単結晶育成に必要な要素技術を明らかにする。

(b) 大口径種結晶の開発

結晶成長に必要な種結晶として、格子整合が良く、4インチ級の大口径が得られる有極性、及び無極性面成長と剥離に適した下地基板の選択を行い、大口径の数百 μm 厚結晶自立基板を作製する。V/III比、成長温度などの成長条件の最適化、横方向成長等の結晶欠陥低減手法の導入、また成長の障害となる不純物の低減など、表面性や結晶欠陥制御を検討して2～4インチ種結晶の実現を図る。

(c) 高導電性窒化物単結晶基板の開発

結晶の高品質化、大口径化を行うと同時に、固体、有機珪素化合物、ガスなどを用いて結晶への不純物添加を検討して、効率的なドーピング技術による導電性制御を行い、縦型デバイス動作に必要な低抵抗率の基板を実現する。

(d) 高抵抗窒化物単結晶基板の開発

結晶の高品質化、大口径化を行うと同時に、炉環境の清浄化や原料高純度化などにより結晶への不純物混入を極力低減して、単結晶の高純度化を図り、不純物キャリア濃度の低減による高抵抗化を目指す。また高純度化に加えて欠陥の低減、アクセプター性不純物の効果的ドーピングを検討し、添加元素の種類、添加量、添加条件などを最適化することにより直流から高周波迄の用途に適する均一で安定した高抵抗単結晶の基板を実現する。

(2) 大口径基板上の高品質エピタキシャル結晶成長技術

課題（1）で開発された大口径高品質窒化物単結晶基板等を用い、4インチ級の有極性、及び無極性窒化物半導体大口径基板上でのエピタキシャル成長に関して、転位等の結晶欠陥や残留キャリアを低減し、原子層レベルでの膜厚、平坦性、不純物を均一に制御する技術を開発するとともに、AlInN/InGaNやAlGaIn/InGaNなどのヘテロ接合を実現する成長技術を開発する

(a) 高In組成窒化物層成長技術

有極性、及び無極性窒化物半導体基板上への高均一、高In組成InGaN層を用いた高品質電子デバイス用大口径ウエハの成長技術、および当該InGaN層への不純物高濃度ドーピング技術を開発する。

(b) 高Al組成窒化物層成長技術

有極性、及び無極性窒化物半導体基板上への高均一高Al組成AlGaN層を用いた高品質電子デバイス用大口径ウエハの成長技術、および当該AlGaN層への不純物高濃度ドーピング技術を開発する

(c) 高Al組成窒化物層成長技術

有極性、及び無極性窒化物半導体基板上への高均一高Al組成AlGaN層を用いた高品質電子デバイス用大口径ウエハの成長技術、および当該AlGaN層への不純物高濃度ドーピング技術を開発する

(d) 結晶成長その場観察評価技術

基板上での原料のマイグレーションを促進して成長面をナノレベルで平坦化するため、成長速度、歪、組成等をその場観察して、原子層レベルの成長制御を最適化し、気相反応を抑制する技術を開発する。

(3) 窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価

(a) 横型電子デバイスの評価

横型のパワー高周波素子、パワースイッチング素子を想定して、評価デバイスパターンを標準化し、エピ材料・構造・品質とデバイス特性との相関関係を、プロセス要因を極力排除した評価を通して検討する。

課題（2）で開発された大口径高品質窒化物エピタキシャルウエハー等を用い、簡素なソース/ゲート/ドレイン電極構造による評価トランジスタパターンにおいて、キャリア濃度特性、I-V特性、C-V特性などの基本特性評価を行う。また、ゲート長を短くした実用デバイスに近いFET構造において、耐圧、オン抵抗、リーク電流、高周波特性などより実際的な特性の評価を行う。

(b) 縦型電子デバイスの評価

縦型のパワー高周波素子、パワースイッチング素子を想定して、評価デバイスパターンを標準化

し、エピ材料・構造・品質とデバイス特性との相関関係を、プロセス要因を極力排除した評価を通して検討する。

課題（２）で開発された大口径高品質窒化物エピタキシャルウェハー等を用い、簡素なソース/ゲート/ドレイン電極構造による評価トランジスタパターンにおいて、キャリア濃度特性、I-V特性、C-V特性などの基本特性評価を行う。

(c) 窒化物単結晶基板上デバイスの優位性確認

窒化物単結晶基板上に成長したエピタキシャルウェハーをもとに、その上の各種デバイス特性を従来のサファイア、SiC等の基板上デバイスの特性と比較検討し、その優位性を確認する。

(d) 有極性、及び無極性デバイス構造の比較

有極性、及び無極性面方位をもつ高品質窒化物基板上に成長したエピタキシャルウェハーをもとに、その上の各種デバイス特性の比較検討を行う。電圧未印加時に電流の流れないエンハンスメント型の動作、電流コラプスを抑制した低オン抵抗化、高In系チャネル導入による高速化、高Alバリア導入による高耐圧化など、将来の家電・通信・交通システムへの応用を目指したデバイス構造を試作・評価して、有極性面上と無極性面上での長所、短所を明確化し、それらのデバイス可能性を検討する。

3. 達成目標

(1) 高品質大口径単結晶基板の開発

4インチ有極性単結晶基板、及び3～4インチ無極性単結晶基板を実現する。有極性単結晶基板では転位密度 $<5 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ 、無極性単結晶基板では転位密度 $<10^5 \text{ cm}^{-2}$ 、積層欠陥密度 $<10^3 \text{ cm}^{-1}$ の特性を得る。また、伝導度制御として、導電性基板では比抵抗 $<10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 、高抵抗基板では比抵抗 $>10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ の特性を得る。

(2) 大口径基板上の高品質エピタキシャル結晶成長技術

無欠陥ヘテロ接合構造を実現するために、高品質、高導電性制御されたエピタキシャル成長法を開発し、以下の低欠陥高品質GaN及び混晶エピ層を実現する。

AlGaN及びInGaN混晶エピ成長層において、Al又はIn組成 $1 \geq x \geq 0.5$ で
転位密度 $<10^6 \text{ cm}^{-2}$

ドーピング不純物濃度 N型 $>10^{18} \text{ cm}^{-3}$ P型 $>10^{17} \text{ cm}^{-3}$

口径4インチ基板状にて、面内均一度：厚み $\pm 10\%$ 、組成： $\pm 10\%$ 、ドーピング不純物濃度 $\pm 20\%$

また、GaNエピ成長層において

残留ドナー濃度 $<10^{15} / \text{cm}^3$

転位密度：有極性基板上で $<5 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ 、無極性基板上で $<10^5 \text{ cm}^{-2}$

口径4インチ基板状にて、面内均一度：厚み $\pm 5\%$ 、ドーピング不純物濃度 $\pm 10\%$ 、
ドーピング精度 $\pm 20\%$

また、上記エピ層からなる窒化物半導体ヘテロ構造において

2次元電子ガス移動度 $>2,500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

(3) 窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価

有極性単結晶基板上FETと無極性単結晶基板上FETの特性の差違、及びその利害得失の明確化を実施する。広い混晶組成範囲における耐圧と結晶欠陥の相関の明確化と課題①、

②へのフィードバックを実施する。

また、GaN基板を用いて、耐圧 $>1,200\text{V}$ 級の縦型および横型トランジスタを試作・評価し、SiやSiC等多種基板との比較においてGaNが有利または不利な点を明らかにする。

技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

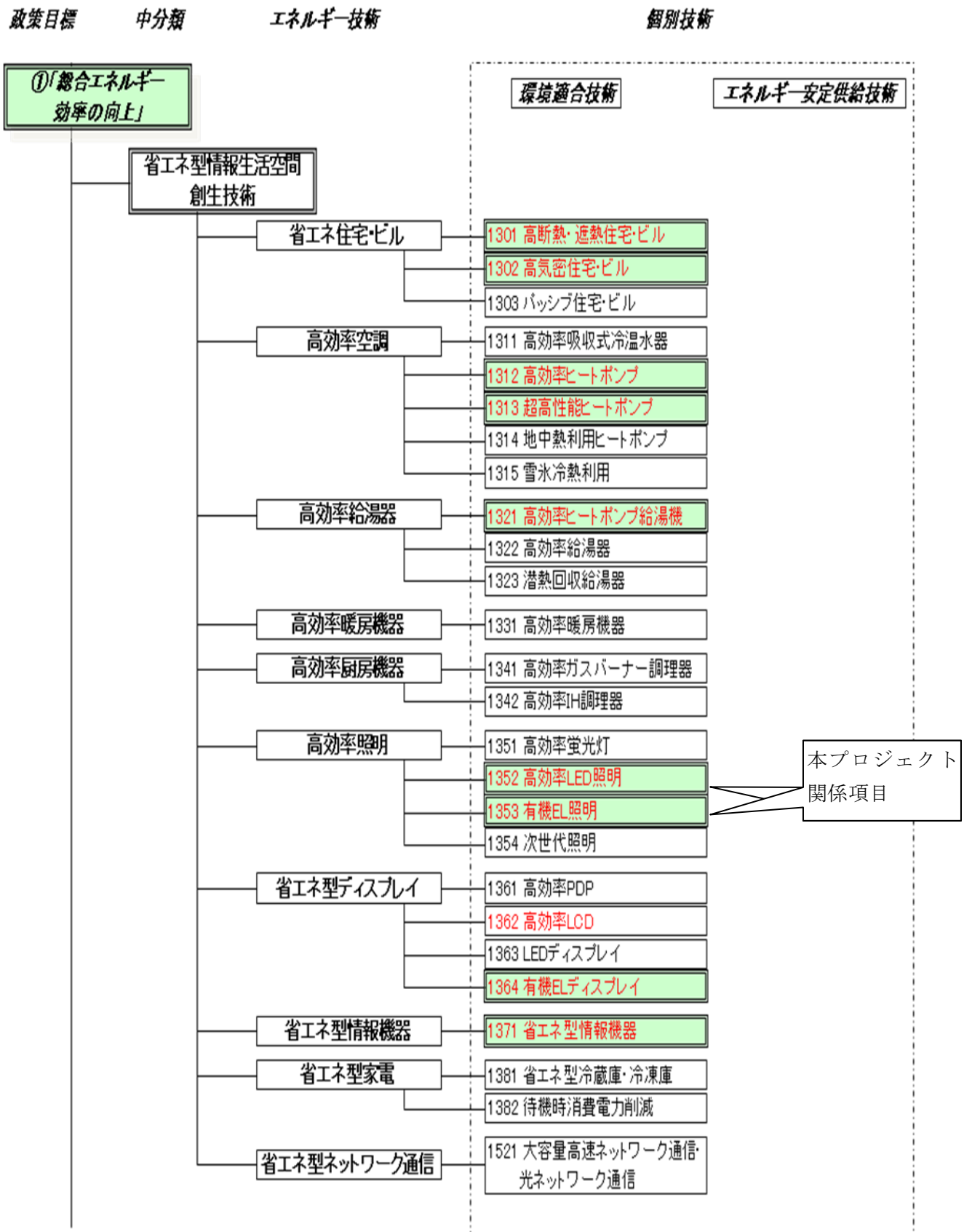
技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術項目や製品・サービス・コンテンツの需要を創造するための方策を示したものであり、経済産業省およびNEDOが、産学官の専門家の英知を結集してとりまとめたものである。

照明技術については、従来は白熱電球、蛍光灯などが主流であったが、次世代照明技術が創造され、新世代へ向かって2020年には蛍光灯並み、2030年には蛍光灯の2倍以上の発光効率の実現が予想されていた。本プロジェクトにより、2030年に実現される蛍光灯の2倍以上の発光効率を前倒しして2013年末に実現することが期待される。




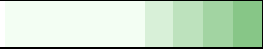
照明に関するロードマップを以下に示す。

(2) エネルギー技術マップ

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



(3) エネルギー分野におけるロードマップ (抜粋)

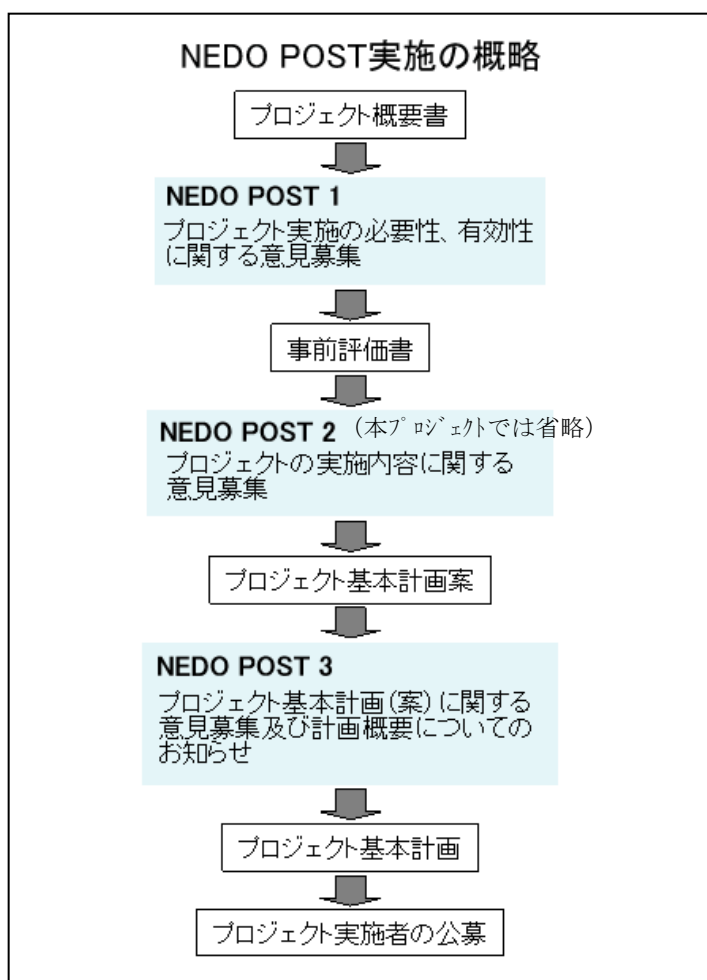
エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
高効率照明	発光効率、寿命 50～100 lm/W 1万時間				
高効率蛍光灯	 <p>高効率蛍光材料 高効率無水銀蛍光灯</p> <p>熱損失低減技術</p>				
高効率照明	発光効率、寿命 65lm/W 100 lm/W 200 lm/W 4万時間 6万時間				
高効率LED照明	 <p>高効率LED素子</p> <p>白色LED用蛍光材料（高効率近紫外励起蛍光材料）</p> <p>光センサー／人感センサーとの組み合わせ</p> <p>低コスト化</p>				
高効率照明	発光効率 100 lm/W 200 lm/W 寿命 6万時間				
有機EL照明	 <p>高輝度白色EL</p> <p>高効率化</p> <p>長寿命化</p> <p>大面積化</p>				
高効率照明	次世代照明				
	 <p>高効率高演色白色光源</p> <p>マイクロキャビティ</p> <p>クラスター発光</p> <p>蓄光技術、燐光材料</p> <p>光伝送技術</p>				

事前評価関連資料

事前評価資料として、NEDOPOST および事前評価書を示す。

NEDOPOST とは、NEDO が新規に研究開発プロジェクトを開始するのに当たって、プロジェクト案の概要を示し、ウェブを活用して広くパブリック・コメントを集める手段であり、その結果をプロジェクト検討に役立てることによって、より社会のニーズに適合したプロジェクトを効率的に実施するためのコミュニケーションツールである。図のようにフェイズ毎に意見収集を行い、プロジェクト基本計画策定などに利用している。これによって事業目的、目標設定根拠の明確化、実施内容の重複排除等を行い、事業の効率的かつ効果的な実施を行っている。

事前評価書は NEDOPOST 等を通して取得した情報を元にして作成した本プロジェクト立ち上げに関する評価報告書である。本プロジェクト立ち上げに当たって公開された NEDOPOST および事前評価書を次頁に示す。





研究テーマ名 次世代高効率・高品質照明の低コストに向けた基板技術の研究開発

研究目的

○背景、目的、必要性(政策的位置付け、市場ニーズ、技術ニーズ)

- ①背景 我が国で費やされているエネルギー源の40%以上が電力であり、そのうち家庭では16%以上の電力を照明で消費している。このような状況で、従来の白色電球や蛍光灯を、エネルギー効率の高いLEDや有機ELを用いた次世代照明に置き換えることにより省エネルギー化が進むことが期待されている。その省エネ効果は620億kWh/年と予想される。
- ②市場ニーズ(目的) 蛍光灯並みのコストで、蛍光灯を凌ぐ高効率の次世代照明が実用化されれば普及が加速されることが予想される。
- ③技術ニーズ 次世代照明に対して、高品質(高演色、高輝度、長寿命)を提供しながら、高効率と低コストを実現するための基盤技術開発が求められている。

研究内容概略

○研究開発課題(目的達成のための技術課題)

- ①高効率・高品質LED照明用基板の低コスト化に係る基盤技術開発(窒化物等の照明用基板の生産性向上を目的とした結晶成長技術やLED素子構成構造の最適化等デバイスの高度化に向けた技術の開発)
- ②有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発(有機EL照明の高効率・高品質化及び低コスト化を同時に実現するデバイス技術開発)

○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ(課題を解決するためのポイントおよびその現状)

- ①LED照明の高効率・高品質化と低コスト化の両立に向けた結晶成長技術や基板作製技術が必要である。
- ②有機EL照明の高効率化に向けた光取り出し技術や新規材料生成、高品質化に向けた封止技術、低コスト化に向けたプロセス制御技術や薄膜形成技術が必要である。

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間(目安として)

- ①平成21年度事業費54.7億円(未定)
- ②研究期間:「ステージⅠ」2年(平成21~22年度)
「ステージⅡ」3年(平成23~25年度)

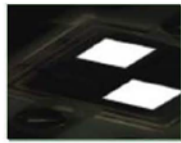
技術戦略マップ上の位置付け

- ①「総合エネルギー効率の向上に寄与する技術のロードマップ」の高効率照明技術に重要技術として位置づけられている。
- ②ITイノベーションプログラム、ナノテク・部材イノベーションプログラムとして、取り組むプロジェクトである。

その他関連図表



LED高品質GaN基盤



有機EL高効率パネル

実用化・普及



オフィス



住宅



店舗

2009年12月 現在

事前評価書

(注) 事業名称「次世代高効率・高品質照明の低コストに向けた基盤技術開発」は「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」の事前評価段階での事業名称である。

	作成日	平成21年12月22日
1. 事業名称 (コード番号)	次世代高効率・高品質照明の低コストに向けた基盤技術開発	
2. 推進部署名	電子・情報技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要：省エネルギー効果の高い LED、有機 EL を用いた次世代照明の普及を大きく加速させるために、高効率・高品質と低コストを両立させるための基盤技術開発を行う。</p> <p>(2) 事業規模：平成21年度事業費(国費分)54.7億円(委託)</p> <p>(3) 事業期間：ステージⅠ 2年間(平成21～22年度) ステージⅡ 3年間(平成23～25年度)</p>	
4. 評価の検討状況		
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>地球温暖化対策は世界的に早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動を支えるあらゆる分野で省エネルギー化を図る画期的な技術革新が必要である。我が国で消費されるエネルギー源の40%以上が電力であり、家庭用電力では約16%を照明用途が占めており、その効率化が必要である。そこで、一般的な照明光源である白熱電球、蛍光灯をエネルギー効率の高い LED、有機 EL を用いた次世代照明に置き換えることでの省エネルギー化が期待されている。この次世代照明の普及を大きく加速させるために、高効率・高品質と低コストを両立させるための基盤技術開発の必要性は高い。</p>		

(2) 研究開発目標の妥当性

電力当たりの発光効率については、基本的には蛍光灯代替による省エネルギー効果を狙いとして、蛍光灯の効率（想定 65 lm/W）の約 2 倍を目標としている。具体的には LED については、照明器具に組み込む際の均一面発光拡散による約 65% の効率低下を考慮して次世代照明ロードマップ上 2020 年に達成目標としていた 200 lm/W 以上を、前倒して目標を設定した。有機 EL については面発光拡散が不要なため、次世代照明ロードマップ上、2020 年～2030 年に達成目標としていた 130 lm/W 以上を前倒しして目標を設定した。

演色性の尺度である平均演色評価数 Ra については、国際照明委員会にて蛍光灯の高演色性領域として定義されている Ra80 以上を LED と有機 EL 共通の目標として設定した。

有機 EL については、輝度半減寿命と製造コストの目標を設定した。寿命については、次世代照明ロードマップから 2010 年～2030 年に達成目標の 4 万時間（輝度 1,000cd/m²）を設定した。製造コストについては、蛍光灯の単位光束・半減寿命当たりのコストとほぼ同等の 0.3 円/lm・年以下を目標として設定した。

なお達成目標の設定値については、研究開発実施にあたっての必須の目標値のみを基本計画に設定することで、委託先公募において広く提案を収集し、優れた提案を採択する。したがって、提案者が技術の優位性を示したい場合には、達成目標等を適時追加または改訂することによって対応できるものとする。またこれら目標設定については今後も委員会ならびに有識者ヒアリングなどで聴取した意見を適切に反映させる。

(3) 研究開発マネジメント

公募を通じて、高い技術を有する民間企業、大学、公的研究機関等による最適な実施体制を構築する。必要に応じて、外部有識者の意見を求め、その結果を踏まえて事業全体の予算配分や計画について見直しを行い、適切な運営管理に努める。さらに別途定められた技術評価に係る指針、および技術評価実施要領に基づき、技術的、および産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。また、研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速することを目的として、「ステージゲート制度」を導入する。

(4) 研究開発成果

LED、有機 EL を用いた次世代照明に関する基板、発光層等の材料、並びに製造技術などに係る基盤技術を確立し、高効率・高品質、かつ低コストの次世代照明を実現する。

(5) 実用化・事業化の見通し

LED、有機 EL による照明用デバイスは、世界的に注目される技術であり、一般照明においても市場が立ち上がり始めたところである。本プロジェクトは、次世代照明の普及をさらに加速させるものであり、省エネルギー化に貢献すると共に、関連産業の発展を支援すると考えられる。

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

本プロジェクトは、高効率・高品質と低コストを兼ね備えた次世代照明を前倒しして実現するために、材料や製造プロセスに関して、基板、発光層、封止等、多岐にわたる基盤的技術開発を行う必要があり、リスクを伴う挑戦的な技術開発である。民間企業単独で開発を実施することは極めて困難であるので、NEDO が実施する事業として適切であると判断する。