

「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」  
中間評価報告書

平成23年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成23年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	8
研究評価委員会委員名簿	9
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 評点結果	1-34
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の中間評価報告書であり、第28回研究評価委員会において設置された「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」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第30回研究評価委員会（平成23年11月24日）に諮り、確定されたものである。

平成23年11月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会



「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」

中間評価分科会委員名簿

(平成23年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	ふじた しずお 藤田 静雄	京都大学 大学院工学研究科 教授
分科会長 代理	さかもと まさのり 坂本 正典	東京理科大学 大学院イノベーション研究科 教授
委員	いのうえ ようこ 井上 容子	奈良女子大学 生活環境学部 住環境学科 教授
	おかだ ひろゆき 岡田 裕之	富山大学 大学院理工学研究部 教授
	はっとり ひさし 服部 寿	分析工房株式会社 調査部 シニア・パートナー
	はら かずひこ 原 和彦	静岡大学 電子工学研究所 教授
	ひらまつ かずまさ 平松 和政	三重大学 大学院工学研究科 教授

敬称略、五十音順

## 審議経過

### ● 第1回 分科会（平成23年7月8日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

### ● 第30回研究評価委員会（平成23年11月24日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

照明光は現代の生活に必要不可欠であり、操作性に富んだ LED・有機 EL の発光効率・寿命などの光源性能の追求は経済的効果のみならず、国民生活の質的向上を図るものであり、公共性が高く、我が国の重要な課題として NEDO が取り組むべきプロジェクトである。

高い目標性能を掲げ、企業が開発当初から参画し、生産工程、製品化、マーケティングに関わっている。各研究グループは世界で最先端かつ特徴ある成果を着実にあげており、最終的に事業化を含め社会への大きな貢献が期待される。また、研究開発のスピード化、開発ターゲットの妥当性チェックの観点からも一部のテーマの中止や体制の強化を実施したことは、理にかなった運営の仕組みであり、高く評価できる。

一方、中間成果をみると現行製品の置き換え、差し替え交換、現状技術の改善の域にとどまっており、現行技術も日々進捗改善していくことも考慮すると、プロジェクト終了時に真に現行技術、製品に対し競争力のあるものが出来るか懸念も抱かざるを得ない。独善的テクノロジーにならないように国内外の技術状況・マーケットの変化に応じた高効率化、高品質化、コストの点で本プロジェクトの成果が十分に国際競争力を生む製品につながるかどうかを常に検証しておくことが望ましい。「次世代の照明とはどのようなものか」という観点で明確なコンセプトを樹立し、人間が受け入れたいくなるような照明を目指すことで、実際の普及と海外企業との差別化を期待する。

#### 2) 今後に対する提言

照明技術には、「光源開発」、「照明器具開発」、「照明システム・デザイン開発」と広い分野にわたる。将来の流れは「新しいコンセプトの照明器具」であり、より革新的な照明器具の開発につなげてほしい。また研究開発成果である「照明」に対して人間工学的な立場から評価することはできないだろうか。単純に効率が高い、演色性が良い、というだけではなく、人間的に快適であるという付加価値を成果として明確にできたら良い。その意味でアイデアコンペは意義のあることである。加えてもし法規制のために LED や有機 EL 照明が現時点で利用困難な応用があるのなら、法規制の柔軟化を訴えるべきである。

今後、LED では、現行のサファイヤ基板ベースの技術に対して本プロジェクトの GaN 基板ベースの技術の優位性が市場でどれだけの競争力を持つかの分析、

すなわちマーケティングを強化して欲しい。また、**OLED**（有機**EL**）に関しても、面光源であることは従来光源にない特徴であるが、キラーアプリを見つける、あるいは斬新デザインで従来照明にないコンセプトを提案するといった市場指向の研究が必要と考えられる。

一方で、開発チーム自らが提供する光の品質を利用者の側に立って評価しその情報を一般に広く提供するシステムの構築を行う必要がある。例えば、開発した照明器具で住居を作り生活する、さらに事務所や店舗で使う実証実験を実施し、睡眠の深さや健康に及ぼす影響、快適性、作業性、子供の学習効果や省エネ効果など多方面での生活と関連する調査も今後は必要である。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

従来光源の照明から、**LED**系照明への大転換が起こるかもしれない現在、新技術を用いる事業は大きなビジネスチャンスであり、生活の基盤である照明用光源を大きく変える本プロジェクトは、公共性が高く、省エネルギーを達成できる時流に沿った事業であると評価できる。本事業目標が達成されれば、照明用光源における役割分担が普及し、照明を取り巻く基盤技術・情報に大きな変革がもたらされる。また、マーケット規模は大きく、国際競争力の強化につながることを期待され、**NEDO**が関与するにはふさわしい事業である。これら光源となる**LED**、有機**EL**の開発に於いては、その実装、器具設計、放熱といった多様な側面での産学・異業種の連携は不可欠であり、また一つの技術に留まらない競争、言い換えれば切磋琢磨も必要である。民間レベルでは、材料メーカー、製造装置メーカー、光源メーカーと連携が難しいが、**NEDO**が関与することで企画・運営されることで、材料・部材関連企業の垂直統合を通して日本の産業強化を図ることは評価できる。窒化物半導体での基板技術、エピ技術は世界トップレベルにあり、それをさらに飛躍させ日本のイノベーションの核として支援している点は大変評価できる。一方、安価な製品が世に出ている現状で、本事業の末に生み出される製品が国際競争力を十分に発揮するブランド力を持たせるような工夫が必要である。

### 2) 研究開発マネジメントについて

現状の開発動向と近未来の改善見込みを取り入れた合理的なものと認められ、敢えて難度の高い技術開発の目標設定に関して市場動向も取り入れた研究開発マネジメントになっている。また、ステージゲートによりプロジェクトの選択・評価を行い、一部のテーマの中止や体制の強化を実施したことは高く評価できる。情勢変化に対応した戦略的目標が掲げられ、市場動向を踏まえて、コスト

の低減、実用化に向けた体制強化が図られていることは評価できる。実施体制については、本事業の実施にふさわしい大学・企業が適切に選定され、各チーム内で有機的な連携が図れるような計画が立案・実施されている。

しかしながら、実用化、事業化に向けた戦略については、参画企業を中心に意欲的な取り組みがなされているが、一部、改善の余地がある。開発目標効率、輝度、スペクトル等についての技術的評価に比べ、市場的评价が手薄である。ハイエンド品であれば価格増加が許容されるとの議論もあろうが、あくまで競合との開発競争である点を厳に戒める必要がある。また目標の数値が明確でわかりやすい一方で、照明という人間工学的なものの出口を記述しえないところがある。例えば演色性についても、単純に数値化するものではなく、人間がいかを感じるかという視点が必要である。更に視覚的効果だけでなく、新光源による光がヒトの心理生理に与える影響のチェックが必要である。

### 3) 研究開発成果について

成果は、高いレベルの独自技術により得られており、世界最高水準である。LED に関しては高品質 GaN 結晶の低コスト・量産化技術の開発に重点がおかれ、光源として性能評価が不足しているが、基盤開発技術の成果は出ている。有機 EL に関しては、寿命に関して目標以上の成果を上げている。また、中間目標は十分クリアし、最終目標もスコープに入ってきた。各チームで独自の評価法や目標を掲げて成果を上げていることは、きわめて良好な傾向である。

しかし、GaN 基板を用いた LED については、性能とコストの点で、さまざまな基板を用いた LED に対して、どのような優位性があるのかを明確にしないといけない。現在主流のサファイア基板を用いた LED の進化も早いことから、本事業の成果の市場的な価値を明確に消費者に訴えるための方策を考へておく必要がある。また、有機 EL については、コストで他の照明方式に及ばないと考えられるが、それを跳ね返す明確な応用分野の形成を戦略的に進める必要がある。知的財産権等の取得は企業を中心とした参画者の戦略に沿って適切に進められていると考えられる。

### 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に向けた課題は明確で、方策も十分に検討されており、これらを順次達成して実用化のフェーズに至ることが高い確率で期待できる。NEDO が関係方面と連携し、照明、照度の法規制を有機的に改編し、LED 系新照明が世界に広まり省エネ、省電力に寄与する事業のテイクオフを図るべく企図されていることは重く評価すべきである。LED 開発では、照明への応用にとどまらず、成果である GaN 基板が大きな波及効果をもって、電子デバイス分野をはじめとす

る他の省エネルギー分野に対しても大きな貢献をなすと期待される。また、有機ELは、これまでにない斬新な照明を実現し、広く社会に取り入れられるものと期待され、照明技術の開発は材料・情報技術の開発でもあり、関連分野は広くその波及効果は大きい。

一方で、製品とコストとを考えた場合、何を核として普及につなげるのかという明確性がほしい。キラーアプリケーションの想定計画や、上市時期における競争力評価が必要であり、特に意匠性の高い照明製品であるから、最終成果物が消費者の需要や嗜好に裏付けされているかのモニター調査なども必要である。実用化の可能性には不安はないが、事業として何処まで国際競争力が醸成され成功するかが不明瞭なので、この点についてのマネジメントが必要である。

## 研究評価委員会におけるコメント

第30回研究評価委員会（平成23年11月24日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 次世代照明の必要性については将来も含め非常に強く認識されているが、実用化、事業化についてはネックがある。コスト、省エネルギー性のような経済的な価値も評価した上で世界的シェアをとるためには、単にそれだけでなく演色性や品質、人間工学的特性等の非経済的価値でブランドを持つような戦略とシナリオのつくり方を考えないといけない。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 (オリンパス株式会社 未来創造研 究所) 副議長 (コーディネーター)
	五十嵐 哲	工学院大学 応用化学科 教授
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授 (専任)
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	佐藤 了平	大阪大学大学院 マテリアル生産科学専攻 (システムデザイン領域担当) 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学部機械学科 教授・総合技術研究所所長
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授



## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

照明光は現代の生活に必要不可欠であり、操作性に富んだ LED・有機 EL の発光効率・寿命などの光源性能の追求は経済的効果のみならず、国民生活の質的向上を図るものであり、公共性が高く、我が国の重要な課題として NEDO が取り組むべきプロジェクトである。

高い目標性能を掲げ、企業が開発当初から参画し、生産工程、製品化、マーケティングに関わっている。各研究グループは世界で最先端かつ特徴ある成果を着実にあげており、最終的に事業化を含め社会への大きな貢献が期待される。また、研究開発のスピード化、開発ターゲットの妥当性チェックの観点からも一部のテーマの中止や体制の強化を実施したことは、理にかなった運営の仕組みであり、高く評価できる。

一方、中間成果をみると現行製品の置き換え、差し替え交換、現状技術の改善の域にとどまっており、現行技術も日々進捗改善していくことも考慮すると、プロジェクト終了時に真に現行技術、製品に対し競争力のあるものが出来るか懸念も抱かざるを得ない。独善的テクノロジーにならないように国内外の技術状況・マーケットの変化に応じた高効率化、高品質化、コストの点で本プロジェクトの成果が十分に国際競争力を生む製品につながるかどうかを常に検証しておくことが望ましい。「次世代の照明とはどのようなものか」という観点で明確なコンセプトを樹立し、人間が受け入れたいくなるような照明を目指すことで、実際の普及と海外企業との差別化を期待する。

#### 〈肯定的意見〉

- 我が国の重要な課題について取り組む NEDO にふさわしいプロジェクトである。各研究グループは世界で最先端かつ特徴ある成果を着実にあげており、最終的に事業化を含め社会への大きな貢献が期待される。
- 高い目標性能を掲げ、各プロジェクトが競合的に研究開発を加速している点、メーカー企業が開発当初から参画し、生産工程、製品化、マーケティングに関わっている点、実用的な製品開発プロジェクトとして、研究開発のスピード化、開発ターゲットの妥当性チェックの観点からも理にかなった運営の仕組みといえるであろう。
- 照明光は現代の生活に必要不可欠であり、操作性に富んだ LED・EL の発光効率・寿命などの光源性能の追求は経済的効果のみならず、照明光の性能向上は国民生活の質的向上をはかるものであり、公共性の高い国家的意義のあるプロジェクトである。

- 将来の照明技術の開発は省エネ技術として最も重要な開発分野であり、強力に進めていただきたい。
- 有機EL照明が生体に及ぼす健康分野での影響の長所を明らかにする計画が進むと、従来の照明やLEDとの棲み分けがより明確になる可能性があり、是非この分野の評価も進めて欲しい。
- 実施者の高いレベルの技術と独自のアイデアに、大型設備の設置に資金が投入されており、本プロジェクトが国際競争力の強化のためのバックアップとしての機能を有効に果たしていると判断される。
- LEDを構成する窒化物半導体で、基板技術、エピ技術は世界トップレベルにある。それらの技術を戦略的に飛躍させ日本のイノベーションの核として支援している点は大変評価できる。
- GaNバルクの作製技術は着実に進歩している。LED on GaNは日本独自の固有技術として発展していくかどうかが、このNEDOプロジェクトの成否にかかっている。
- ステージゲートによりプロジェクトの選択・評価を行い、一部のプロジェクトの中止や体制の強化を実施したことは高く評価できる。
- 【LED照明】2プロジェクトとも、新たな手法でGaN基盤の開発とデバイス試作に挑んでおり、その結果として高性能デバイスが実現されている。
- 【OLED照明】一方のプロジェクトは高速成膜による一貫生産プロセス、もう一方のプロジェクトはR2R方式による生産と、技術的に高いレベルの生産製造技術を確立するとともに、デバイス自身についても高信頼性を得ており、量産化へ向けた高い技術力を確立できた点は特筆すべきである。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 本プロジェクトは「次世代照明」の基盤技術開発であるから、まず「次世代の照明とはどのようなものか」という観点で明確なコンセプトを樹立していく必要がある。残念ながら中間成果をみると現行製品の置き換え、差し替え交換、現状技術の改善の域にとどまっており、現行技術も日々進捗改善していくことも考慮するとプロジェクト終了時に真に現行技術、製品に対し競争力のあるものが出来るか些か懸念も抱かざるを得ない。独善的テクノロジーにならないように、マーケティングに一層注力し、国内外の技術状況の変化に即してターゲットの見直しもしていくことが必要であろう。
- 成果を製品化していく中でのコストパフォーマンス、市場の確保などを明確にした国際競争に負けない体制を確立するための支援（マネジメント）が必要である。

- 照明用光源としての目標値設定が必要であり、既存光源との性能比較は同等段階で行うべきである。
- 従来光源とは分光分布が異なる光源の出現であるため、快適性、安全性、健康面など人体への影響などに関する事前確認を行う必要がある。この検討は、発光体開発と平行して、即刻行う必要がある。
- 光源の研究開発ではなく照明の研究開発であるので、人間工学的な側面から成果の評価が必要である。単に発光効率と演色性を目標にかかげるにとどまらず、「人間が受け入れたいような照明」を目指すことで、実際の普及と海外企業との差別化を達成できるのではないかと思われる。
- 達成目標には「照明器具で 130 lm/W」と記されているが、LED の場合、器具効率を 65%で固定するという仮定があり、デバイスで 200 lm/W という目標の妥当性が弱い。また、中間段階で照明器具の効率は明確なデータとして出ていない。照明器具での高効率化を狙うのであれば、単に光源の高効率化のみならず、実装や放熱などが大きなファクターである。この辺りを明確化して設定する目標を再度見直すことが望ましいと思われる。
- 製造コストの目標が 0.3 円/lm・年（見直しで 0.25 円/lm・年）とされているが、器具のコストなのかデバイスのコストなのか明確でない。具体的な数値目標を示してほしい。
- **【LED 照明：三菱化学グループ】** (1)技術的レベルの高さと総合力で、他機関にひけを取らない点は認めるが、競争性の激しいなか実力が肉薄した状況であり、折角の優位性を出し切れていない。NEDO のサポートするプロジェクトとして、有為な差別化を期待したい。(2)展示の例として、高 Ra(95)より高彩度(VxRGB、80)の照明がより鮮やかに見える事例が紹介された。新しい評価法の確立や標準化は、NEDO プロジェクトの使命と考える。(3)例えば、新規赤蛍光体に拘らない試作が有っても良いのではないか。
- **【LED 照明：イノベーションセンターグループ】** (1)大学発の新技术を用い、300lm/W に迫る高効率を得られているが、反面、現状の結晶成長技術（1 インチ程度）の遅れで目標達成可能かが分からない。(2)LED の高性能化では、光取出し構造や放熱設計など、実装に関する技術の蓄積が必要となる。グループ内に豊田合成が入っているため問題は無いと考えるが、LED の初期開発時に日本の技術の後れを感じた点である。ウエハの放熱性の良さだけでクリア出来る点なのか不明である。
- **【OLED 照明：パナソニック電工】** (1)効率改善は成されているが、有機 EL 素子本体の改良ではなく、基板上での構造の工夫による光取出向上によるものである。本来の意味での、資金を注入した高速製造装置による性

能向上や、低電圧化へ向けた研究等が見られない。(2)信頼性評価について、材料系と構造が変わってきているにも係わらず、加速劣化評価で実施されている。1年程度の試作のため、今回は仕方ない所だが、最終評価では4年間の期間を掛けた評価が可能な筈であり、その証明を行って頂きたい。時間を掛けた評価による新たな劣化モードも懸念される。

- 【OLED 照明：コニカミノルタ】(1)塗布型 R2R 方式による高い技術力による試作となるが、報告を聞いていた限りでは、どの様な手法により、本来必要と考え目指している特性値が実現できるのかが全く明確と成らなかった。単なる文章による説明では納得が得られず、研究開発実績とポイントについて説明されるべきであったと感じる。
- 費用対効果については、照明器具の世界市場や電力節約金額についても合算して、効果金額として算定して欲しい。費用対効果は非常に高いと考えられる。
- 費用対効果が非常に高い分野であるので、ベンチャー企業を育てる施策も工夫していただきたい。例えば、開発した光源を利用した照明製品への応用に、試作費用や評価費用に対して補助を行うなど。
- 数値目標の一部に、再検討の余地があると思われる。
- 目標値として LED の効率 200lm/W としているが、電流が高くなると効率が低下する。照明用 LED に使用する LED チップには高出力（高電流）が要求される。目標値には、効率と同時に電流値の記載が不可欠である。
- 有機 EL で最終目標の効率を 130lm/W としているが、これはかなりチャレンジングな目標となっている。その達成のためには高効率化に向けた課題の抽出と具体的な解決手段を十分に検討すべきである。

#### 〈その他の意見〉

- ・ LED・有機 EL の国際標準化に向けた取り組み、さらには次世代照明の新用途開発に向けた取り組みが必要である。プロジェクトの中でそれらを具体的に推進し検証してほしい。
- ・ 蛍光灯との効率比較が出てくるが、対象とする蛍光灯の効率はやや古いものであるように思われる。蛍光灯の高効率化は進んでおり、また蛍光灯は相当に効率の高い照明器具であることは認識されているので、「蛍光灯の 2 倍の発光効率」という目標には違和感が強い。蛍光灯の水銀の問題、破損しやすいこと、寿命、輝線が強いという問題、など照明の質としての比較で十分ではないかと思うし、その方が現実的な目標設定になると思われる。
- ・ SSL 技術の向上は、公私、室内外を問わず生活全般において人工照明のあり方を大きく変えていき、今はまさに照明維新とも言うべき時期であり、新光

源を用いてどのような照明を提供するかが重要である。本プログラムは発光体開発が主目的であるが、その開発途上であっても SSL は確実に生活の中に浸透してきている。開発組織には、安全と快適を保証した照明手法に関する情報発信を平行して行う責務があると今回の審査をとおして強く感じた次第である。

- 半導体 LED と、有機 EL をひとつのプロジェクトで実施することの意味があまり明確になっていない。LED 系プロジェクトと OLED 系プロジェクトは競合させるシステムにはなっていないので、①現行品の存在する LED 点光源の性能改善、②OLED による革新的面光源の開発の 2 件を夫々別々にマネジメントしても良いかと思われる。
- 有機 EL 生産技術・検査技術・歩留り管理技術の製品化も検討してもいいのでは無いか。
- HP での情報の開示方法であるが、少なくとも閲覧者のメールアドレス、氏名、所属機関だけは全て記録できるように、閲覧者の登録制にしておくことが望ましい。欧州のコンソーシアムなど、登録しておけば情報が入手できるようになっているように思える。韓国、台湾、中国の開発機関や企業は日本の情報に敏感で、あまりにも簡単に情報が流れて行くことは、日本が先行するためには好ましくない。

## 2) 今後に対する提言

照明技術には、「光源開発」、「照明器具開発」、「照明システム・デザイン開発」と広い分野にわたる。将来の流れは「新しいコンセプトの照明器具」であり、より革新的な照明器具の開発につなげてほしい。また研究開発成果である「照明」に対して人間工学的な立場から評価することはできないだろうか。単純に効率が高い、演色性が良い、というだけではなく、人間的に快適であるという付加価値を成果として明確にできたら良い。その意味でアイデアコンペは意義のあることである。加えてもし法規制のために LED や有機 EL 照明が現時点で利用困難な応用があるのなら、法規制の柔軟化を訴えるべきである。

今後、LED では、現行のサファイヤ基板ベースの技術に対して本プロジェクトの GaN 基板ベースの技術の優位性が市場でどれだけの競争力を持つかの分析、すなわちマーケティングを強化して欲しい。また、OLED (有機 EL) に関しても、面光源であることは従来光源にない特徴であるが、カラーアプリを見つける、あるいは斬新デザインで従来照明にないコンセプトを提案するといった市場指向の研究が必要と考えられる。

一方で、開発チーム自らが提供する光の品質を利用者の側に立って評価しその情報を一般に広く提供するシステムの構築を行う必要がある。例えば、開発した照明器具で住居を作り生活する、さらに事務所や店舗で使う実証実験を実施し、睡眠の深さや健康に及ぼす影響、快適性、作業性、子供の学習効果や省エネ効果など多方面での生活と関連する調査も今後は必要である。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ 照明技術には、「光源開発」、「照明器具開発」、「照明システム・デザイン開発」と広い分野にわたる。本プロジェクトは、光源開発の視点が強い。光源以外の開発についてもこのプロジェクトあるいは将来のプロジェクトで進めていたいただきたい。
- ・ LED では、現行のサファイヤ基板ベースの技術に対して本プログラムの GaN 基板ベースの技術がどれだけの優位性を発揮できて、いかほどの市場競争力を持つかの分析、すなわちマーケティングを強化し、光源としてではなく意匠性の高い照明としての価値分析を明確化して欲しい。
- ・ OLED に関しても、面光源であることは従来光源にない特徴であるが、擬似面光源照明は既に工夫されているので、カラーアプリを見つける、あるいは斬新デザインで従来照明にないコンセプトを提案するといった市場指向の研究が必要と思われる。OLED 照明は実用実績がまだないので新照明住宅等を試作建築して実際の見え方、使い勝手の評価も行なって欲しい。
- ・ 研究開発成果である「照明」に対して人間工学的な立場から評価することは

できないだろうか。単純に効率が高い、演色性が良い、というだけではなく、人間的に快適であるという付加価値を成果として明確にできたらいいと思う。その意味でアイデアコンペは意義のあることと思う。

- ・ 照明の「快適さ」を表すための新しい基準を導入し、それを用いることで我が国技術の優位性を訴えることができるのではないだろうか。LED 照明器具の低価格化が進んでいることから、我が国技術の特徴を「快適さ」に求めて社会に訴えるなどの付加価値をつけないと、他国にシェアをうばわれてしまうという結果になりかねない。研究開発計画の中で標準化への試みが記されているが、その進捗が見えず、より加速が必要と思われる。
- ・ 現在の LED 照明の流れは「電球や蛍光灯の形をした照明光源」の開発により既存の照明器具の電球や蛍光灯を置き換えるという道が主で、本事業も成果物として管球が示されている。しかし将来の流れは「新しいコンセプトの照明器具」であり、すでに市販が始まっているシーリングライト等の低コスト化のように思われる。いまや TV のバックライトがほぼ LED 化されていることを考えると、面光源を用いた照明器具のコスト低下は十分に期待できると考えられるので、折角のプロジェクトであるからより革新的な照明器具の開発につなげてほしいまたその場合、現在の目標で用いられている「器具効率 65%」という考え方がそのまま通じないと思われ、最終的な「照明器具で 130 lm/W」を目指すためのデバイスの目標も少し見直す必要があると思われる。
- ・ LED を用いた信号機が当初普及に遅れた理由として、色に対する法規制の問題があったことが一因だったと記憶している。もし法規制のために LED や有機 EL 照明が現時点で利用困難な応用があるのなら、法規制の柔軟化を訴えるべきである。
- ・ LED 照明は高価であるが寿命が長いため、レンタルや中古取引が可能と思われる。そのようなシステム開発で結果としてコスト低下と消費者の購入意欲の高揚につながるのではないだろうか。社会に対する提言も考えてほしい。
- ・ これからの照明用の光はどうあるべきかを考え、これまでの評価水準にとらわれず、開発チーム自らが提供する光の品質を利用者の側に立って評価し、その情報を一般に広く提供するシステムの構築を行う必要がある。
- ・ **【LED 照明】** 実施については、研究開発された効率等のデータが優れているのみでは市場を勝ち取れない。中身がブラックボックスでも、価格、性能（消費電力、Ra では無い色彩表現力）など差別化出来るところを至急見出し、ユニット、基板+エピ、基板のみの販売など、取れる領域を明らかとしてゆくべき。
- ・ **【LED 照明】** 検討済みとは思いますが、法規制改正、標準化以前に、従来スタ



一タ付 器具への蛍光灯を、単に差替えるのみで簡略取付の方式や、新 LED ユニットによる低 LED 数、高 NTSC 比、低消費電力のバックライトユニット、高輝度車用ヘッドランプ、高輝度高収束 LED 懐中電灯など、特殊用途市場を含め、全ての照明応用分野かへの適用性を再検討すべき時期である。

- ・ 【有機 EL 照明】①暗い場所や、芸術性の高い場所での用途しかないのか？②簡単な電源ユニットは作れないのか？③量産性を確保できるラインが完成しているのであれば、数が出て行く 1 万円台の応用品を出せないか？など「見えてこない。有機 EL 照明は、見せていない。見たことがない物」の裏返しでは無いか？研究者の開発では無いシステム屋の仕上げ込みに期待したい。
- ・ 開発される技術が不当に海外に流出することを確実に防ぐための戦略を練っていただきたい。
- ・ 開発した照明器具で住居を作り生活する、さらに事務所や店舗で使う実証実験も実施を検討していただきたい。常用的な使用者のために、睡眠の深さや健康（目や肌アレ、アレルギー）に及ぼす影響、快適性、作業性、子供の学習効果や省エネ効果など多方面での生活と関連する調査してはどうか？DNA の破壊、活性酸素の増加、今後に飛来が増大すると予想される中国からの大気汚染や黄砂や花粉症などへのアレルギーを助長することが無いかなどの検証も行っていたいただきたい。放射線量が多い地域で色温度の高い LED 照明を常用的に使っても DNA の破壊の促進が起らないか、などの検討もできれば行っていたいただきたい。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 本プロジェクトに参画されていない国内企業、研究機関の技術レベルが低いわけではないので、本プロジェクトを通じてより差別化できる技術が開発されるよう関係各位には一層の努力をされることを望む。
- ・ 実質的なプロジェクト開始から 1 年ほどでの中間評価は、形式的との印象をもたれる恐れがある。もう少し柔軟に対応されても良いのではないか。
- ・ 照明は意匠性の高い技術であるので、仕向け地の嗜好を十分に活かした製品設計を考案して、世界市場を視野に入れるようにして欲しい。またその中で、快適な LED、OLED 照明として必要な規格を国際標準化させ、今回開発する技術がその実現に不可欠な技術となるように企図されたい。
- ・ 照明と健康との関連調査では、医学的な立場から科学的データを取得し、世界の安全の規定の標準化をリードできるような評価ができれば、理想である。
- ・ このプロジェクト終了後も、LED と有機 EL 照明をさらに正しく使用できるように、普及を促進するプログラムを企画していただきたい。生産技術の

確立や標準化、健康弱者の安全の確保のための試験方法の開発、照明の評価方法の標準化、長期製品使用に伴った評価、スマートグリッドとの連携を行うための標準化などまだまだ多くの今後の開発項目があり、企画段階でのそれらの調査を行ってゆくことも重要である。

- 公共機関での新規照明の導入を積極的に進めていただきたい。例えば国会議事堂内部を全部有機 EL 照明にするなどすれば、他国に対しても宣伝になるのではないか。（国会図書館ではすでに LED 照明は導入済み。）

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

従来光源の照明から、LED系照明への大転換が起こるかもしれない現在、新技術を用いる事業は大きなビジネスチャンスであり、生活の基盤である照明用光源を大きく変える本プロジェクトは、公共性が高く、省エネルギーを達成できる時流に沿った事業であると評価できる。本事業目標が達成されれば、照明用光源における役割分担が普及し、照明を取り巻く基盤技術・情報に大きな変革がもたらされる。また、マーケット規模は大きく、国際競争力の強化につながることを期待され、NEDOが関与するにはふさわしい事業である。これら光源となるLED、有機ELの開発に於いては、その実装、器具設計、放熱といった多様な側面での産学・異業種の連携は不可欠であり、また一つの技術に留まらない競争、言い換えれば切磋琢磨も必要である。民間レベルでは、材料メーカー、製造装置メーカー、光源メーカーと連携が難しいが、NEDOが関与することで企画・運営されることで、材料・部材関連企業の垂直統合を通して日本の産業強化を図ることは評価できる。窒化物半導体での基板技術、エピ技術は世界トップレベルにあり、それをさらに飛躍させ日本のイノベーションの核として支援している点は大変評価できる。一方、安価な製品が世に出ている現状で、本事業の末に生み出される製品が国際競争力を十分に発揮するブランド力を持たせるような工夫が必要である。

#### 〈肯定的意見〉

- グローバルな市場の見込まれる照明・光源において、現在CO<sub>2</sub>削減と電源体制の変革に伴い従来光源照明から、LED系照明への大転換が起こるかもしれない現在、先進工業国として新技術を用いた事業は大きなビジネスチャンスである。かかる状況下では、本プログラムはエネルギーイノベーション、ナノテク・部材イノベーションに大きく寄与していると考えられる。
- 照明の汎用性に鑑みても、公共性が高く、かつとりわけOLEDについては従来ディスプレイ業界で開発されていたものが、国内のディスプレイ産業の状況下においてやや退潮の状況下、照明応用について特にNEDOの関与によって開発加速を企図する必要性は認められよう。
- 照明が電気エネルギーの大きな部分を占めていることは多くのデータが示すところである。本事業の最終目標とされる「照明器具で130 lm/W」という数字が達成されることはそれ自体が大きなエネルギーイノベーションであり、それが普及することで現実に大きな省エネルギーが達成できる。時代の流れに沿ってふさわしい事業であると評価できる。

- 「照明器具で 130 lm/W」を達成するには、光源となるデバイスからその実装、器具設計、放熱といった多様な側面での産学・異業種の連携が不可欠である。また LED か有機 EL かといった視点や、一つの技術に留まらない競争、言い換えれば切磋琢磨が必要である。本プロジェクトは NEDO が関与することでこれらが可能となるように企画・運営されており、また公共性が高く、NEDO が関与するにふさわしい事業であると言える。
- 照明はあらゆるところで利用されている。したがってマーケット規模は大きく、その効率向上が省エネルギーにつながる効果大きい。本事業予算を考慮して、事業としても省エネルギーの程度としても十二分の効果につながるものと評価できる。
- LED にせよ有機 EL にせよ、技術的には我が国が世界をリードしている分野である。ここに本事業による研究開発を見ることで、国際競争力の大きな強化につながることを期待される。ただし一方で、品質的には不十分であるが、明るく、安価な照明器具が外国で販売されていることは事実である。これらとの差は品質であり、本事業がより付加価値の高い製品を生み出すことに貢献していると考えられる。これが国際的な貢献、国際競争力の強化につながることを大いに期待される。
- 本事業目標が達成されれば、OLED という高効率な新しい照明用光源が誕生するに留まらず、OLED と LED の照明用光源における役割分担が普及し、照明を取り巻く基盤技術・情報に大きな変革がもたらされ、各イノベーションプログラム達成に大きく寄与する。
- エネルギー問題に大きく係わり、生活の基盤である照明用光源を大きく変え、遂行に際して研究・産業における国家的競争力を問われる本プロジェクトの公共性は高く、個々の民間活動を統合したマネジメントが求められるため、NEDO が関与すべき事業である。
- 新光源の開発に於いては、各国国家的プロジェクトとして臨んでおり、民間企業・研究所を統括した競争体制が求められる、また、今日の地球環境、それに基づくエネルギー施策の目標達成を支援するものであり、国際貢献の度合いは高い。
- 光源の開発という観点からは、目的は妥当と思う。民間レベルでは、材料メーカー、製造装置メーカー、光源メーカーとの連携が難しい状況です。これは、特に有機 EL の材料メーカーが他国に流れることを警戒して、情報を出したがるためであるので、民間レベルでの共同開発には限界があるように感じる。また、効果は原発の利用に大きなブレーキがかかっている現状では、日本の産業全体の健全性を保つためにも、大きな意義のある開発であると考ええる。

- LED、有機 EL において、材料・部材関連企業の垂直統合を通して日本の産業強化を図ることは評価できる。
- 窒化物半導体で、基板技術、エピ技術は世界トップレベルにあり、それをさらに飛躍させ日本のイノベーションの核として支援している点は大変評価できる。
- 【LED 照明：三菱化学グループ】基板、エピ、チップ実装、器具開発など、各企業体の連携がバランス良く取られており NEDO ならではの、NEDO で無くでは出来ない連携が取られている。また、各企業体についても、国内トップレベルの水準で有り、予算投入と早期開発に対して大いに期待される。
- 【LED 照明：イノベーションセンターグループ】大学が生み出した基板技術と、形成されたデバイス構造、そして量産化へ向けたメーカーの連携により、世界のトップレベルとなるデータを得ている点は特筆に値する。今後、メーカーへの TT により、大口径化と量産化を期待したい。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】デバイス製造へ向けた高速一環ラインによる試作は、他機関に無い照明用 EL 作製技術として誇るべき技術であると感じた。
- 【OLED 照明：コニカミノルタ】R2R 方式による塗布型有機 EL 試作ラインが、日本国内で確立している点は素晴らしい。有機 EL 素子、照明に限らず、有機太陽電池作製など、有機エレクトロニクスデバイス全般の製造技術として、展開を期待したい。
- ここ数年はエネルギー政策の転換期とも言え、この時期において高効率・光演色の照明光源の開発は、国際競争力の強化、普及の促進の観点から NEDO の事業として妥当と判断される。
- 照明は生活に欠かせない要素であることから、その高性能化は公共性の観点から NEDO 事業として適切と考えられる。
- LED と有機 EL の両方を開発対象としている点も、照明用途の多様性が考慮されており妥当と考えられる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 全体的に光源開発に主眼が置かれており、照明器具としての最終的な効率を上げるという観点での総合的な検討が不十分と思われる。光源開発はともすれば科研費的な研究に近いものがあるため、NEDO が関与する以上は最終製品である照明器具により焦点を当てた研究計画を立てた方がよいのではないかとと思われる。

- 安価な製品が世に出ている現状で、本事業の末に生み出される製品が国際競争力を十分に発揮するブランド力を持たせるような工夫が必要である。本事業が終了し、本事業の成果が製品化される時点では、他国で生産される安価な製品に比べて価格的には勝負できない高価なものになることが予想される。もっとも時代とともに価格は低下するだろうが、「良いかもしれないけれど高い」というイメージがついて回るのではないだろうか。下手をすればそれが理由で事業の縮小になりかねないと危惧する。照明の市場は世界であるから、国際競争力を十分持つだけの仕掛けをいまから十分に仕込んでおく工夫が必要であると思う。
- 費用対効果として、プロジェクト費用 100 億円に対して照明器具販売額 3,600 億円（2020 年推定）をあげて説明があったが、器具すべてに本プロジェクトの成果物が入るわけではなく、プロジェクト費用は主としてデバイス開発に用いられているため、照明器具販売額を対象に費用対効果を議論するのはどうかと思われる。もう少し別の指針を検討した方が良いのではないかと思われる。
- 事業計画については、研究開発計画に比べて、その計画精度が低い。本プログラムの費用対効果についても、見込まれる世界市場規模と本プログラムの費用との単純比較ではなく、海外競合他社のベンチマークと上市時期予測、シェア見通しも考慮した数値を検討すべきであろう。
- 実施の効果の市場規模（2020 年推定）照明器具販売額（国内）の 3600 億円は小さくないか？この 2 倍以上あるかも知れない。
- 人体や健康への悪影響や心地よさなどを、照明器具として評価する。そのために指標や、基礎データの収集を行って欲しい。特に高齢者など健康弱者への影響調査について、調査し、その結果を踏まえて、開発目標に反映して欲しい。また、目の青い欧米人とアジア人との影響の比較の調査も必要でないか。（一般的には目が青いと、青色に光で網膜などへのダメージが大きいと想像されている。）
- 【LED 照明：三菱化学グループ】内外の技術開発動向が急激に変化するなか、引用されている文献、現状が開発開始当初のデータで、プロジェクトで開発しているデータが最新の結果では、同一ステージでの評価とは言えず、時々刻々と見直しを図る必要がある。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】本プロジェクトの目的は、プロジェクトによる量産性と信頼性の高い技術革新を行うことに加え、これまで無かった有機 EL 照明の確固たる地位の確立が目的となる。今回の報告は中間報告となるが、今後、実際の量産性についての結果が示されることを期待したい。また、信頼性について、これまで多数のデバイスの故障解析か

ら、どのようなデバイス構造で、どのような故障モードが発生するかを抑えているため、1年間程度の測定で寿命を断定しているものと思う。しかしながら、構造の差異があるため、現状から開始して、室温での実寿命データ測定は必須の課題に見えた。加えて、「予算の投入でライン開発を行った」、「有機 EL 照明は、ハイリスクだから」のニュアンスが見られる。パナソニックは装置メーカーとは思えないのだが、装置試作と改良のみが紹介の印象に残った。更には、本来の意味でのデバイス高効率化が全く成されておらず、誰もが予想可能な光取出構造上の工夫に留まっている様に見える。単に、数万円の光取出シールを貼るだけでも、50%以上の特性向上は出来る。大学からの特性向上に対するアピールポイントも無いため連携の意味合いが無い。NEDO プロジェクトとして、位置付けが分からない。

- **【OLED 照明：コニカミノルタ】** 資料を見たところ、具体的かつ独自の研究開発内容は、材料開発(10%程度の特性向上)位しか見出せなかった。光取出での特性向上は他大学報告の結果であり、透明導電膜部材についても、有機 EL 素子で致命傷となる数 nm オーダーの凹凸をどのようにクリアするかは新規提案が無い。バリア膜についても、開発されてきた材料のポイントが不明確。結局のところ、SiN や P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> などの耐水分、耐酸素バリア性の有るアトムオーダーの緻密膜しか使えないのか、明確にして欲しい。コニカミノルタは、これまでは GE と、現在 GE が撤退した後は Philips Technologies と連携して塗布型 R2R 方式の有機 EL 照明を試作すると聞いている。製造技術の開発では、比類無い先進性を示している点は理解しているが、上述の様に、日本での新規性がどこか理解できないプロジェクト開発体制と、どこへ投資しているのか、また、日本国内で量産する気が無い様な開発体制を、NEDO プロジェクトとしてどう考えているのか不明である。政治的、国際的な配慮と取られても仕方がない。

〈その他の意見〉

- ・ 照明技術には、「光源開発」、「照明器具開発」、「照明システム・デザイン開発」と広い分野にわたる。本プロジェクトは、光源開発の視点が強い。光源以外の開発についても検討に入れるべきである。
- ・ 昼間のピーク電力の低減が重要な目的になってきていますので、夜間電力をバッテリーで蓄えて、それで昼間の照明に使うようなバッテリー内蔵型照明の開発や機器・性能の標準化にも力点を置いてゆくのが、社会的なニーズに合致した方向ではないだろうか？夜間電力を使えば、電気代も節約できる。
- ・ 予算に関しては十分な効果が期待できる確証はない。また、予算執行の具体的内容については説明を受けていない。対予算効果は今後のマネジメント次

第である。

- 国内の原子力発電の見直し、停止、及び廃止の動向のなか、本プログラムの価値は向上こそすれ低下する要因はない。国際競争力の維持向上、エネルギー需給動向、環境事業動向などいずれの面でも期待されるプログラムである。



## 2) 研究開発マネジメントについて

現状の開発動向と近未来の改善見込みを取り入れた合理的なものと認められ、敢えて難度の高い技術開発の目標設定に関して市場動向も取り入れた研究開発マネジメントになっている。また、ステージゲートによりプロジェクトの選択・評価を行い、一部のテーマの中止や体制の強化を実施したことは高く評価できる。情勢変化に対応した戦略的目標が掲げられ、市場動向を踏まえて、コストの低減、実用化に向けた体制強化が図られていることは評価できる。実施体制については、本事業の実施にふさわしい大学・企業が適切に選定され、各チーム内で有機的な連携が図れるような計画が立案・実施されている。

しかしながら、実用化、事業化に向けた戦略については、参画企業を中心に意欲的な取り組みがなされているが、一部、改善の余地がある。開発目標効率、輝度、スペクトル等についての技術的評価に比べ、市場的评价が手薄である。ハイエンド品であれば価格増加が許容されるとの議論もあろうが、あくまで競合との開発競争である点を厳に戒める必要がある。また目標の数値が明確でわかりやすい一方で、照明という人間工学的なものの出口を記述しえないところがある。例えば演色性についても、単純に数値化するものではなく、人間がいかにか感じるかという視点が必要である。更に視覚的効果だけでなく、新光源による光がヒトの心理生理に与える影響のチェックが必要である。

### 〈肯定的意見〉

- 技術的研究開発目標の設定は現状の開発動向と近未来の改善見込みを取り入れた合理的なものと認められる。また **OLED** では市場競争力に鑑みて、敢えて難度の高い塗布技術も開発されているなど、技術開発目標の設定に関しては一応市場動向も取り入れた研究開発マネジメントになっていると考えられる。
- 研究開発の目標は、発光効率と演色性の両方で達成するものとして定められており、海外で安価に出されている「明るけれども質の悪い光源」に比した付加価値を与え、我が国の国際競争力の強化につながるものが設定されていると考える。またその数値も省エネルギーの効果に十二分に貢献しうるものである。現状の技術開発のレベルを考えると、本事業の実施によって達成が見込まれる適切な目標であり、明確な数値目標であるために達成の度合いを明確に知ることができる。
- 研究開発の内容は、目標を達成するために必要な要素技術を適切に含んでおり、予算の配分と用途も適切なものと考えられる。
- 研究開発に参画する大学・企業がそれぞれ所有する独自の技術を核として、各チーム内で有機的な連携が図れるような計画が立案・実施されている。

また本事業の実施にふさわしい大学・企業が適切に選定されている。さらに、各チームが競争的關係にあるという基本的な考え方は、多様な切り口や技術を必要とするこの分野の研究開発を図るうえで効果の高い考え方で、有効に機能している。

- 研究開発成果の実用化、事業化に向けた戦略、知財マネジメントについては、参画企業を中心に意欲的な取り組みがなされていると判断できる。本事業の成果の市場規模が大きいこともあり、参画企業の積極的な戦略が感じられる。アイデアコンペも有用な試みと思える。
- 研究開発を開始後まだ長い期間を経していないこともあり、現時点で当初計画から変わることなく研究開発が進行している。この分野は世界的規模の学会が頻繁に開かれており、話題も多いところであるので、参画する大学・企業を取り巻く動向を把握しやすい環境にある。したがって、情勢の変化には適切に対応できるし、また参画する大学・企業のその意欲も十分に感じられる。
- 研究開発目標に関しては、市場動向を踏まえて、0.3 円/lm・年を 0.25 円/lm・年に修正し、情勢変化に対応した戦略的目標が掲げられている。
- (マネジメント方針そのものは掌握できていないが)、事業化のための早期の権利譲渡、手薄なチームへの新たな協力者の加入など具体的対策が迅速に取られている。
- **【LED 照明：三菱化学グループ】** 各年の他機関データ更新については不明だったが、目標設定、スケジュール、適切な事業体制の確立、強力なプロジェクトリーダーの選定について、良好なマネジメントが図られている。
- **【LED 照明：イノベーションセンターグループ】** 大学学主導の研究開発が成され、全体を統括すべきリーダーの存在と活躍できる環境が備わっている。技術動向に対する反応も、データの良さに見られるように対応されているものと感じる。
- **【OLED 照明：パナソニック電工】** 研究開発の目標、妥当性が示され、強い指導力を持つプロジェクトリーダーの元に研究開発が実行され、加えて実用化へ向けたシナリオのもと明確な計画性が示されている。
- **【OLED 照明：コニカミノルタ】** R2R 方式による事業・生産体制の確立には、総合力の高さを感じる。
- 情勢変化への対応で、コストの低減、実用化に向けた体制強化が図られていることは評価できる。
- ステージゲートによりプロジェクトの選択・評価を行い、一部のプロジェクトの中止や体制の強化を実施したことは高く評価できる。
- 窒化物半導体のバルク成長、エピ成長において世界トップレベルのグルー

プが参画している。これらの優れた技術を、高性能の LED デバイスを実用化できるように、NEDO が支援していることは高く評価できる。この支援をさらに強化してほしい。

- 全体のマネジメントはほぼ妥当と思う。
- 効率と平均演色に関する数値目標は、CO<sub>2</sub> 放出抑制と普及促進の観点から妥当と考えられる。
- 初期投資として、大口径 GaN 基板の製造法の開発および有機 EL 製造プロセスの開発に向けて、これらに必須の大型の新設備に資金が計上されている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性については改善の余地があると思われる。
- 例えば、開発目標効率、輝度、スペクトル等についての技術的評価に比べ、市場的评价が手薄である。ハイエンド品であれば価格増加が許容されるとの議論もあろうが、あくまで競合との開発競争である点を厳に戒める必要がある。
- また実用化、事業化に向けたマネジメントについては、企業内部の戦略として不問に近い状況のように見える。本プログラムはいわば実用化プロジェクトなのであるから、事業詳細は企業秘密としても、方針や見通しについては明確な説明が必要ではないか。
- LED の場合には、目標の「照明器具で 130 lm/W」に対応する値として「デバイスで 200 lm/W」とされている。この根拠として「器具効率を 65%として」とあるが、その妥当性に十分な明確さがない。照明器具のデザインや実装で同じチップの明るさに対しても器具効率の向上は十分に期待されるし、その方向での研究も必要である。とくに LED デバイスを直接実装したような新たな照明器具を考えると、器具効率として一層の向上も可能と思われる。
- 目標の数値が明確でわかりやすい一方で、照明という人間工学的なものの出口を記述しえないところがある。例えば演色性についても、単純に数値化しうるものではなく、人間がいかにか感じるかという視点が必要である。将来の国際市場での本成果物の特徴は品質であると思われるので、消費者に訴えやすい指標の設定が望ましいと考えられる。単純な「演色性」という数値だけでは、安価な製品との比較に不十分で、このような数値の比較だけでは国際競争の際に不利である。また、発光効率といっても、要素部品の効率から器具効率まであり、さらに電流や電圧値（あるいは発光強度）

に依存するため、ややあやふやな点がある。もう少し具体化した数値を上げることが望ましい。発光効率に関して蛍光灯との比較も、蛍光灯のデータとして古いものを使っていることで違和感がある。蛍光灯の水銀の問題、破損の問題、寿命、等をあわせて意義を訴えてもいいのではないだろうか。

- **LED** 開発において、基板開発の重みが大きい感がある。本事業の直接の目的は基板の市販ではなく照明器具の市販であるので、**LED** の製作から照明器具にまで期間内に進展しうるように適切なマネジメントをいただきたいと思う。
- 基礎技術から応用技術までを一貫した研究開発体制がとられているが、若干出口である応用技術の開発体制が弱いと思えるチームがある。各チームが競争であるとの基本方針が有効に機能をしている一方で、各チームの技術の相互移管やチームメンバーの協力があってもいいように思える。マネジメントとしては難しいことは想像できるが、折角の優れた技術が出口商品として生きるように、必要に応じて各チームを横断するような協力体制を気づいてもいいのではないかと思われる。また、戦略的国際標準化推進事業がうたわれているが、具体的な動きと成果が見えない。
- 事業化に向けた戦略は企業については確固たるものが感じられる一方で、大学の研究に関して気になるところが感じられた。大学は高い独自技術を持っているため、**NEDO** の援助等のもとで成果が事業として結実するように戦略をもっていただくことが望ましいと思われる。
- この分野は世界的規模で研究開発競争が行われおり、たしかに実用的な **GaN** 基板という範囲で考えると本事業の参画者を含め我が国が国際的に圧倒的な強みを持っていると考えられる。しかし、発光効率と演色性でみると、**LED** の場合には本事業の目標をすでに達するような結果が他所で報告され、**GaN** 基板の効果についても意見が分かれるところである。本事業のチームは **GaN** 基板を前提としているのでそれを変えることはできないが、世界における技術開発の動向や周辺状況に応じて、高効率化、高品質化、コストの点で本事業の成果が十分に国際競争力を生む製品につながるかどうかをつねに検証しておくことが望ましいと考える。
- 研究開発目標に関して設定項目と設定値が不十分である。新しい人工の光を照明として生活空間に取り込むには、次の4つの段階を経なければならない。①高品質光デバイスの開発・生産、②それを実装したランプの設計、③そのランプを組み込んだ器具・装置の開発、④ランプ・器具を用いた照明設計、である。ヒヤリングより①の達成が、本プロジェクトの主目標であると判断される。しかし、照明用光源としての発光体の開発であるなら、照明光としての質を判断出来る目標設定であるべきで、設定値もどの程度

の質（発光効率、寿命、スペクトル分布、配光、均質性）が期待できるのかを判断出来る項目である必要がある。特に、(1)発光効率、(2)寿命、(3)スペクトル分布は②以降の段階での向上は期待できないので、根拠を明確にした目標設定が必要である。この点が、不明瞭である。(1)効率について：既存ランプ（蛍光ランプ）との比較は、「蛍光ランプ」と「開発デバイスを実装したランプの予測値」との間で行うべきであり、蛍光ランプを器具に装着後の65lm/Wとするのは不合理である。目標値設定の見直しが必要である。(2)寿命について：ランプの光束が70%を下回ると、JIS基準で定められている照度段階が一段階低下するので、70%に達する時間は照明ランプ用発光体としての重要な性能である。したがって、デバイスの開発段階であっても、ランプへの実装を想定した上で、光束が70%になる時間に基づいて半減時間は設定される必要があるが、これに関する考慮が為されていない。(3)スペクトル分布について：どのような光を目指すのかが目標Ra=80では不明。反射光だけではなく光源からの光そのものも目に触れるので、両面からの目標設定が必要。更に視覚的效果だけでなく、新光源による光がヒトの心理生理に与える影響のチェックが必要である。研究開発計画に関して、OLEDが最終目標を達成できるのかが不明瞭であり、これを判断出来る情報がない。

- 【LED 照明：三菱化学グループ】 成果の実用化と優位性については、得られている結果が着実なのにも関わらず不明確に感じた。何処までの特性を実現すれば良いか、差異は有るのだが優位性に結びつかないジレンマがある。
- 【LED 照明：イノベーションセンターグループ】 今後の開発課題となるが、技術がアピールされている分、実際に得られている基板の小ささと不透明性に見られる様な見劣り感を感じた。今後は、企業側の活躍に期待される所だが、成果の実用化へ向けた急ピッチの開発が無いと、折角の成果が有っても生き残れない。また、自社のサファイアエピ基板開発と事業化に関しての線引きを明らかとする必要が有る。サファイア+エピ基板の次世代としてGaN基板の製品を持っているのは聞こえが良いが、技術が競合している様に見え、ビジネス展開が不透明である。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】 目標、競合相手との比較、妥当性が示されているが、高速成膜の立場から見て、本当に当プロジェクトの指標が達成されたなら、他を排除して市場を独占出来るのかが不明確であり、机上の空論と成りかねない。それ以前に、照明として目指す理想を明確化し、有機EL照明としては何が不足しているかを明らかとし、また、特徴有る照明を活かす方法を示すことで、キラーアプリとなり生き残れる照明

としての位置付けを狙う必要がある。LED と競合しているようでは、いくら色表現力が良くとも、後から追い付かれるだけで勝ち抜くことが出来ない。

- 【OLED 照明：コニカミノルタ】生産技術については得意とする技術を保有していると思われるが、有機材料開発には、書類上、特徴的な優位性が見られなかった。その他、報告を聞いた限りでは、事業計画者の単なる線表、計画の資料と言う内容で、具体的な実施例が示されることが無く、投資計画についても、単なる線引きを行った様に見える。そのため、プロジェクトリーダーの牽引力や戦略も、実行意欲を含め感じられなかった。加えて、7月12日にコニカミノルタホールディングスから、「有機 EL 照明パネルの製造を、オランダ Philips Technologies 社に委託する」との報道もあり、説得力を失っている。
- 原発問題から今後の社会的なニーズの変化を予測し、戦略的に研究目標を変えてゆく仕組みが、あまり明確でなかった印象がある。
- 使用者側に立った、満足度をどう積極的に得てゆくのかなどの戦略が希薄に感じられた。例えば、スタンド照明のヘビーユーザーであるネイルサロンなど色を使って細かい作業を長時間おこなっている業種と協力して、照明の評価を行ってもらい、疲労データを取得するなどの計画があってもいいかと思う。
- ベンチャー企業や若い経営者を育成する工夫がもっとあっていいと感じる。
- 半減値を基準とする素子寿命は、照明用途としては適切ではないと思われる。
- 「チーム間で競争させる」とのことだが、どのように競争するのかが明確に示されていない（特に、有機 EL）。
- 国際標準化がどのように国際競争力を高めるのかが、理解できなかった。評価技術開発が主な戦略とご説明されていたと思うが、本プロジェクトの達成目標とどのような関係にあるのか、どのように海外市場の獲得につながるかなど、より具体的な説明が求められるところである。
- 目標値の効率が、蛍光灯の2倍を基準としている。蛍光灯の効率も進化しているので、蛍光灯の情勢変化に対応してほしい。
- LED の目標としている効率には 200lm/W をあげているが、電流値の記載が必須である。照明用 LED は高出力で使用するので、1 チップあたり 350mA などの電流値を盛りこんでほしい。
- LED、有機 EL の目標においている効率 (lm/W) が、チップ効率なのか、デバイス効率なのか、器具効率なのか誤解の無いよう明記すべきである。

- 有機 EL で最終目標の効率を 130lm/W であり、かなりチャレンジングな目標となっており、その達成のためには高効率化に向けた課題の抽出と解決に向けた取り組みが不可欠である。

〈その他の意見〉

- ・ 知的財産の状況についても開発担当企業の企業間提携、ライセンスに依存しており、この点将来のボトルネックとならないような戦略が中間段階から必要であろう。
- ・ 各チーム内では、設定された目標達成のための研究開発フローは一応明確化されているが、チーム間では独立性が高く、開発スピード促進・達成レベルアップという観点でのチーム間での要素技術相互補充システムが構築されていないように判断される。利害問題が発生するのであるが、世界的競争を制覇することのできる大局的なマネジメントを期待する。
- ・ 開発された技術が不当に海外に流出することを防ぐ取組が欠かせないと考えられる。
- ・ 最終成果に至るまでの達成度の評価を行う上で、効率と平均演色に関する数値目標だけでは、不十分と感じられる。例えば、LED の高効率化については、多くの個別の技術要素の改善の積み重ねによって達成されるものであることから、これらを含めた評価軸も必要と感じられる。有機 EL に関しては、前述の LED と同様の観点の他に、現時点での蛍光灯の最高効率が得られるのであれば、面光源やフレキシビリティなどは照明デバイスの付加価値として十分評価してもよいと思われる。
- ・ 電子・材料・ナノテクノロジー部のご説明からは、「良質な GaN 基板さえあれば LED の効率は目標値まで上がる」との印象を強く受けたが、チーム A、B の実施者のご説明は必ずしもそのようなストーリーになっていないとの印象であった。

### 3) 研究開発成果について

成果は、高いレベルの独自技術により得られており、世界最高水準である。LED に関しては高品質 GaN 結晶の低コスト・量産化技術の開発に重点がおかれ、光源として性能評価が不足しているが、基盤開発技術の成果は出ている。有機 EL に関しては、寿命に関して目標以上の成果を上げている。また、中間目標は十分クリアし、最終目標もスコープに入ってきた。各チームで独自の評価法や目標を掲げて成果を上げていることは、きわめて良好な傾向である。

しかし、GaN 基板を用いた LED については、性能とコストの点で、さまざまな基板を用いた LED に対して、どのような優位性があるのかを明確にしないといけない。現在主流のサファイア基板を用いた LED の進化も早いことから、本事業の成果の市場的な価値を明確に消費者に訴えるための方策を考えておく必要がある。また、有機 EL については、コストで他の照明方式に及ばないと考えられるが、それを跳ね返す明確な応用分野の形成を戦略的に進める必要がある。知的財産権等の取得は企業を中心とした参画者の戦略に沿って適切に進められていると考えられる。

#### 〈肯定的意見〉

- 中間目標の達成度は、いずれも目標値を達成しており、最終目標までの全体としての目標達成は 30～60%程度と推定される。懸念される、OLED の寿命も中間目標値を大きく上回っている点も評価されよう。
- 中間目標は十分クリアしており、最終目標もスコープに入ってきたという早い進捗が感じられる。また、発光効率と演色性というデフォルトの数値目標にのみとられるのではなく、より性能が高く付加価値の高い照明を目指すために、各チームで独自の評価法や目標を掲げて成果を上げていることは、きわめて良好な傾向であると認識した。今後の技術的な課題も明確で、進捗については全く問題のないレベルであると評価できる。
- 世界で最高レベルの成果につながることは間違いないと期待される。LED については、GaN 基板の開発の波及効果として、電子デバイス分野に展開して広い市場を形成することも期待される。有機 EL については、これまで実用化されていない照明応用を実用化する可能性が十分である。投入された予算が有効に利用され、その効果を満たす社会への還元が十分なされていると考えられる。
- 知的財産権等の取得は企業を中心とした参画者の戦略に沿って適切に進められていると考えられる。標準化については、次世代の照明の新しい世界標準を作ろうという意気が感じられる。
- 秘密事項が多いために、まだ一般的な普及や技術の供与に至っていない部分



が多くないが、まだ研究期間の最初に段階であるためにそれはやむをえない。しかしながら、技術の基本的な部分や公表可能な部分については、論文や国際会議のレベルで十分に情報発信されていると考えられる。

- 最終目標までの課題と道筋が明確であり、また進捗が早いことから、最終目標の達成は間違いないと予想できる。
- イノベーションセンターグループは高品質 GaN 結晶の低コスト・量産化技術の開発に重点がおかれ、光源として性能評価が不足しているが、基盤開発技術の成果は出ている。パナソニック電工グループは（照明用光源として要求される性能を想定したのか）寿命に関して目標以上の成果を上げている。他 2 グループは目標を概ね達成している。したがって、全体としての中間目標の達成度は良好である。
- 得られた成果は、目標値をクリアしている。
- 成果は、高いレベルの独自技術により得られており、世界最高水準である。
- NEDO が設定した以上の独自の目標が設定されており、より多くの要素技術の開発を取り込む形で、実施者が意欲的に本プロジェクト取り組まれていることがわかる。
- 全体として目標値をクリアしていると思う。
- 大阪大学のハイエンド向けの LED 結晶開発や、コニカミノルタの塗布方式の生産技術など、独自の画期的な技術の開発を行えていることが重要であり、大変に意義がある開発と評価できる。
- **【LED 照明：三菱化学グループ】** 新規赤蛍光体材料開発による Ra 向上を研究開発項目としたため、発光効率向上に遅れを生じている。しかしながら、これまでの実績と経験より、目標達成までの課題抽出と解決法が明確化されており、中間目標も達成されている。更には、世界最高水準と言える技術力、成果が有り、今後の発展が大いに期待できる。大学間連携による、技術力の発信も精力的に行われており、未だ 1 年程度の開発機関で不足する感はやむを得ないが、知財の確立と今後への期待も高く、事業戦略面での強みとなることが期待できる。
- **【LED 照明：イノベーションセンターグループ】** 資料としては見られなかったが、報告された数値データを見る所で、世界最高水準の結果が示されており、今後の展開が期待できる。
- **【OLED 照明：パナソニック電工】** 中間目標の達成度と世界最高水準の製造技術であり、今後の量産化へ向けた技術展開に期待したい。
- **【OLED 照明：コニカミノルタ】** 得られた成果物の水準の高さには、敬意を表したい。
- GaN バルクの作製技術は着実に進歩している。LED on GaN は日本独自

の固有技術として発展していくかどうかが、この NEDO プロジェクトにかかっている。GaN バルクの高品質化、大口径化、低コスト化の推進に一層推進していくと同時に、この技術がデバイスまで含めた技術に育ててほしい。

〈問題点・改善すべき点〉

- LED については GaN 基板を用いたデバイスに限定しているために、性能とコストの点で、さまざまな基板を用いた LED に対してどのような優位性があるのかを明確にしないといけない。サファイア基板や Si 基板を用いた LED の進化も早いことから、本事業の成果の市場的な価値を明確に消費者に訴えるための方策を考えておく必要がある。とくにコストが重要で、GaN 基板のコストが LED のコストに大きく反映されるのではないかとと思われる。将来的に GaN 基板のコストが下がるではあろうが、本事業の終了後数年のうちに他の基板を用いたデバイスに比べたコストデメリットが出ないことを希望する。GaN 基板の成果が電子デバイスへの波及効果が主たるものになるのではなく、LED の高性能化を支えるものとして当初目標が達成されることを希望・期待する。有機 EL については、コストで他の照明方式に及ばないと考えられるが、それを跳ね返す明確な応用分野の形成を戦略的に進める必要があると思われる。
- 照明の質に関する新しい国際的な指針を確立し、国際標準化を図ってゆくという意図は参画者から十分に見受けられるが、そのための具体的な方策についてはまだ不十分のように思われる。
- 照明の最終形は照明器具であるうえ、最終目標としても「照明器具で 130 lm/W」とあることから、光源の要素技術に限らず照明器具への実装や照明器具自体の設計を含む検討が必要ではないかと思われる。事業のテーマが「基盤技術開発」ではあるが、最終形を念頭に置かない限り、単なる基盤技術の開発だけでは社会的なインパクトが十分でないように思われる。LED の場合には面光源を利用した照明器具、有機 EL の場合には具体的な応用例など、照明が身近なものだけに出口のイメージをしっかりとすることが成果の普及に貢献すると思われる。
- 最終目標値までの達成シナリオが、特に基板育成、発光材料開発などのような材料系技術の成否への依存性が高くなって居る点が懸念される。材料開発においては往々にして、不測の問題点が浮上して進捗困難に陥ることもあり、コンテンツエンシープランも必ず用意しておいて欲しい。
- 調整の中で 寿命との二律背反が発生することも充分考えられ、一般の OLED の加速係数を適用するばかりでなく、改めて加速係数自体の評価

をして精度の高い寿命情報を提示すべきであろう。

- 【LED 照明：三菱化学グループ】他の競合技術に対する優位性確保に期待する。また、基板技術の高さから、業界標準となるウエハとしての展開は無いが、明確にして欲しい。単に、権利確保、利益追求型の展開では、受容性に乏しい様に思える。
- 【LED 照明：イノベーションセンターグループ】データは最高水準となるが、論文件数、対外的知財確保について紹介されていない。全グループの今後の課題となるが、権利を確保し、エピ基板のサプライにより全世界の方々にお使い頂き、安定したシェア確保が必要では無いかと考える。また、知的財産確保と有効活用を、企業の戦略と併せた形でマッチングして欲しい。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】論文発表による成果の公表と、知的財産確保について不明確である。現在、中間報告段階であり、1年間の短い期間であったことは認めるが、光取出に係るデバイス構造のみでは、新規性が乏しく、それ故に知的財産の確保が出来ない技術となつてはいないか？ 旧来の技術による単なる製造技術の開発では、短期間で追い付かれるのみであり、実際、塗布型 R2R 方式を開発するグループに対しては、コスト低減を中心に数年程度的大幅な遅れを取っていると言わざるを得ない。
- 【OLED 照明：コニカミノルタ】展示会などで発表されており、極めて高い評価を得ている点は評価されるが、知的財産を確保できる技術なのか、それとも単に GE や Philips の技術導入によるものなのかが紹介されず、全く分からなかった。最終目標は、結局、「先行するグループの後追いのため達成できる筈」と言つては、NEDO プロジェクトの意義が無い。
- LED のバルク基板技術、エピ技術において確実な進歩が見られる。LED 照明として実用化するための体制をさらに強化してほしい。特に、LPE で作製したバルクを実用化する体制をよく検討いただきたい。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 単に目標達成の成否のみならず、最終目標の達成については市場競争力の有無についても吟味されたい。その際、マーケットや消費者ニーズを充分分析し、時宜にかなった成果を達成していただきたい。
- ・ LED に関しては、高品質 GaN 基盤開発という日本独自の方針で技術展開が為され、その技術は世界最高水準であると考えるが、市場に於いて汎用基盤（サファイヤ）を凌駕出来るか否かは今後のマネジメント次第である。基礎技術普及に留まらず、日本産業として投入予算に見合った利益をあげるため

の独自の戦略を打ち出す必要がある。

- 成果の最終目標の達成可能性に関して、特に発光効率<sup>①</sup>は理論上可能な値であるが、**OLED** については課題解決の道筋が不透明であり、可能性判断が難しい。
- 多種類の調光器に対応することは困難であり、今後は国際的な協力のもとに調光器の標準化も進めてゆくことが必要と思われる。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に向けた課題は明確で、方策も十分に検討されており、これらを順次達成して実用化のフェーズに至ることが高い確率で期待できる。NEDO が関係方面と連携し、照明、照度の法規制を有機的に改編し、LED 系新照明が世界に広まり省エネ、省電力に寄与する事業のテイクオフを図るべく企図されていることは重く評価すべきである。LED 開発では、照明への応用にとどまらず、成果である GaN 基板が大きな波及効果をもって、電子デバイス分野をはじめとする他の省エネルギー分野に対しても大きな貢献をなすと期待される。また、有機 EL は、これまでにない斬新な照明を実現し、広く社会に取り入れられるものと期待され、照明技術の開発は材料・情報技術の開発でもあり、関連分野は広くその波及効果は大きい。

一方で、製品とコストとを考えた場合、何を核として普及につなげるのかという明確性がほしい。キラーアプリケーションの想定計画や、上市時期における競争力評価が必要であり、特に意匠性の高い照明製品であるから、最終成果物が消費者の需要や嗜好に裏付けされているかのモニター調査なども必要である。実用化の可能性には不安はないが、事業として何処まで国際競争力が醸成され成功するかが不明瞭なので、この点についてのマネジメントが必要である。

#### 〈肯定的意見〉

- 世界的に要望が大きく、良い製品は直ちに採用されるという分野であるから、本研究開発成果の高い先進性をもってすれば広く社会に受け入れられると思われる。実用化に向けた課題は明確で、それを克服して行く方策も十分に検討されており、これまでの研究成果からしてこれらを順次達成して実用化のフェーズに至ることは高い確率で期待される。
- 質の高い照明は社会が強く望むことであり、そのニーズを反映した成果が得られると期待される。今後最も予想される海外メーカーとの競合については、照明の質に付加価値を付けるという観点で参画企業が戦略を練り、知財化を進めていると感じられるので、本成果の導入普及には十分な可能性がある。
- LED については、照明への応用にとどまらず、成果である GaN 基板が大きな波及効果をもって、電子デバイス分野をはじめとする他の省エネルギー分野に対して大きな貢献をなすと期待される。有機 EL については、これまでにない斬新な照明を実現し、広く社会に取り入れられるものと期待される。いずれもこのような期待を十分かなえるに足る研究開発成果が得られている。

- 無機 LED と OLED と LED 系の新照明の事業分野開拓には、オフィス環境の法規制とリンクさせることにより、特定技術の市場化を促進するチャンスでもある。
- NEDO が関係方面と連携し、照明、照度の法規制を有機的に改編し、LED 系新照明が世界に広まり省エネ、省電力に寄与する事業のテイクオフを図るべく企図されていることは重く評価すべきであろう。
- ステージ 1 の目標達成状況が良好なことから、成果の実用化の可能性は十分にある。また、照明技術の開発は材料・情報技術の開発でもあり、関連分野は広くその波及効果は大きいと期待できる。
- 【LED 照明：三菱化学グループ】実用化へ向けての課題が明らかとされており、各グループの指針も明らかとされている。また、大口径基板技術や、新規赤蛍光体技術など、要素技術を中心とした技術開発が成されており、当該分野への波及効果が期待できる。
- 【LED 照明：イノベーションセンターグループ】本研究開発が、大学主導の技術を中心として進展を見せており、成果の独自性と性能の高さより、大きな優位性を示すものと期待される。また、名古屋大学内での赤崎先生の成果は、全国でも大きな成果であり、大学内の学生のモチベーション向上のみならず他大学の手本として誇るべき内容となる。それに続く本プロジェクトが、当該研究分野と人材育成に及ぼす波及効果は大きく、国家プロジェクトの成功例となることを期待したい。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】成果の指標を目的に、様々な製造技術を磨き上げ、達成しており、当初の中間目標を満足している。
- 【OLED 照明：コニカミノルタ】塗布型有機 EL の R2R 方式による試作ラインを完成させた技術力の高さは、大きく評価できる。
- 実用化の見通しは高いと思えた。
- 本プロジェクトのテーマについては、実用化に向けての課題は比較的自明であり、現状で問題はない。
- 現時点での中間成果の実用化も期待される。
- 有機 EL では、着実かつ綿密な目標・計画が策定されており、また企業間の連携が密になっており、実用化へのポテンシャルは高い。

〈問題点・改善すべき点〉

- LED の実用化は間違いないと思われるが、有機 EL の実用化へのシナリオがやや不明確のように思える。当初考えられる製品とコストとを考えた場合、何を核として普及につなげるのかという明確性がほしい。
- 蛍光灯の最近の進化を考えると、「照明器具で 130 lm/W」という目標では

電気代にして蛍光灯とそれほど大きな差はないと思われる(電気代が 30% 減といった記述を見たことがある)。また白熱電球の置き換えと異なり、蛍光灯の置き換えは単純ではない。有機 EL の場合は置き換えではなく、新規の導入になる。ここにコストが絡んだ時に、消費者がどのようなモチベーションを描くかが疑問で、それを上書きして普及を図るシナリオが描けているのだろうか。一つの可能性は面発光による新しい照明器具の商品化で、その魅力が蛍光灯や電球の照明に比較した心地よさと斬新さを生むことではないかと思われる。その観点でみると、有機 EL はもともと面発光のためにその方向に沿っているものの、LED についてはまだ管球の置き換えがメインターゲットのようで、もっと消費者の心をくすぐる魅力的な面発光照明器具の開発を進めていただくのがいいかと思われる。

- GaN を基板に用いた LED の場合、サファイア等を基板に用いた LED と比較して、たしかに発光効率では上回ると期待されるが、圧倒的に違うことは考えにくい。演色性は主に蛍光体の特性で決まるため、GaN 基板を用いた場合の優位性は出しにくいと思われる。一方コストが(少なくとも本事業終了時には)大きく異なることが予想される。そうすると、サファイア等を基板に用いた LED と同じような応用形態では、消費電力のわずかな違いとコストが相殺しうるかどうか疑問である。GaN が導電性であり放熱性が優れていることを用いて、実装の方法や放熱の点でサファイア等を基板に用いた LED に対してコストメリットを出すことはできないだろうか。例えば管球に応用するのではなく、LED 専用の照明器具に応用した場合にメリットになる応用方法はないだろうか。本事業終了時においてどのようなコストになり、それがサファイア基板等を用いた LED に対してどの程度高いのか、それがどうすれば相殺しうるか、というシナリオがよく見えない。
- 有機 EL の場合、少なくとも本事業終了時には他の照明に比べてコストが高いであろう。それを相殺するものとしてインテリア性の高い照明などが考えられるが、それが消費者が必要なものとして受け入れるかという問題がある。技術開発と並行して、積極的に新しい用途を作り出す努力がどの程度なされているかが疑問である。
- 最終製品の企画が十分に練られていないように見受けられる。企業の事業計画といえども、公的資金を投入されている以上はキラアプケーションの想定計画や、開発完了製品の上市次期における競争力評価が必要であろう。また特に意匠性の高い照明製品であるから、最終成果物が消費者の需要や嗜好に裏付けされているかのモニター調査なども必要ではないかと思量する。

- 開発技術の中には重要なプロセス技術もありその権利確保にはあらゆる法規を援用して万全を計るべきである。よく知られているように不用意な特許出願がプロセスや材料情報漏洩になることある。
- 実用化の可能性には不安はないが、事業として何処まで国際競争力が醸成され成功するかが不明瞭なので、この点についてのマネジメントが必要である。
- 【LED 照明：三菱化学グループ】 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているが、他機関での成長幅とコストダウンの状況が大きい。NEDO プロジェクトとして、高度な技術を達成すべく技術開発を進めており、大きく進展している点は認められるが、Ra 値の向上に取り組んできたことによって、市場が第 1 に求める輝度向上が疎かになり、市場への波及の遅れに繋がっていないか。高演色性が好まれる日本での普及を考え、世界市場で真に要求されている仕様との間に乖離が無いかを調査してゆくべきである。
- 【LED 照明：イノベーションセンターグループ】 今後の結晶成長技術の量産化が必須であり、プロジェクト終了時に 6～8 インチクラスのウエハ製造技術確立に期待したい。
- 【OLED 照明：パナソニック電工】 製造技術で、当初から数百万パネルに相当するラインを目標としているが、高価で販売が伸びない時点では無意味。現状の販売を、低コスト化技術で伸ばすべきであり、電源の初期投資が不要となった時点まで到着するべき。例えば、方向性としては高リスクで陳腐だが、インフラの電源部を格安とし、その後パネルが初期投資無しにパネル代の負担のみで購入出来るビジネスプランや、国際規格の設定は無いか。また、プロジェクト自体への大学の役割が見えない。年間数十件の論文を書き、国際会議や講演を行い、知財を確保しつつ、プロジェクトのリーダー的存在であり、世界の有機 EL 照明業界を牽引するべきである。当初は、県のサポートが有り、遅ればせながら、有機エレクトロニクスに関する研究センターが出来たなか、しかしながら、研究者離れを引き起こしている状況とも見える。優秀な技術開発と人材育成が有ってこそ、将来の産業がついて行くと思われるが、研究の成果が見えない。
- 【OLED 照明：コニカミノルタ】 欧米機関との連携は、高度かつ新たな技術を生み原動力となるかも知れない。しかしながら、NEDO プロジェクトとして、日本国内での研究開発プロジェクトの促進とそれによる人材育成が目的であるとするならば、本グループでのプロジェクト推進での波及効果は極めて小さいと推察される。
- 有機 EL 照明は応用面で企業の知財戦略もあって、用途が不明確であった。



軽いと言う特徴を生かして、例えば廊下の天井を人の動きに合わせて走行する照明など、既存の照明とは全く異なる、もっと斬新なアイデアを提案して欲しい。

- 有機 EL 目標、寿命と明るさの見直し。1000cd/m<sup>2</sup>の輝度が適切かの検討をして欲しい。輝度の目標値は少し上げる方が、照明機器の実体にあっているように思える。
- 国際的な標準化との関わり方に関しては、不明確な印象であった。
- コストの目標値が上方に修正されていたが、その達成のため計画が盛り込まれていないように思われる。
- 国際標準化の効果についての見通しが十分ではないと感じられる。
- 世界の趨勢は、サファイア基板上の LED が中心である。SiC、Si 基板などもある。GaN 基板がサファイアなどの基板と差別化できるか高いハードルがある。このハードルを乗り越えるのが実用化のポイントとなる。
- 有機 EL のコスト低減は実用化に向けて重要な課題である。コスト低減に向けた課題の抽出し、課題解決に向けた取り組みが必要である。

#### 〈その他の意見〉

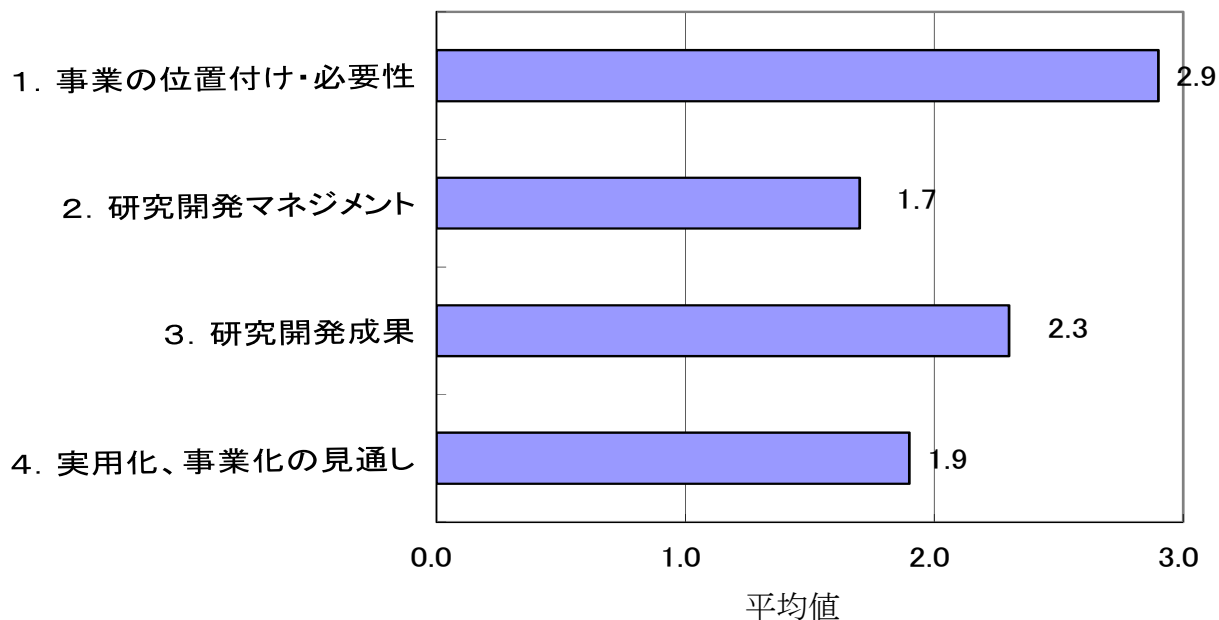
- ・ LED にせよ有機 EL にせよ、少なくとも本事業終了時には既存の LED や照明器具に比べてコストが高いと思われる。もちろんコストは年とともに下がることは予想されるが、コストが下がる前に普及せずに日の目を見なくなることも考えられる。折角の高い技術であるので、ぜひとも現実の器具として将来の社会で確実に普及が進むような事業計画を立てて進んでいただきたい。
- ・ 従来照明技術は充分成熟し枯れており、人材の更新が必要にあると考えられる。本プログラムを通じ、新照明技術の人材育成に寄与されることを期待したい。
- ・ 成果の実用化に向けての課題は明確であるが、解決方針・方法についての詳細が不明瞭である。
- ・ また、何処までを今回プロジェクトとの目標とし、開発を行い事業化するのかが曖昧である。
- ・ 人材育成の実態・成果に関しては不明であるが、当然多くのスタッフが係わり様々な成果を上げていく中で、自ずと人材が育成されているものと推測する。技術の継承・発展を念頭に置いた積極的な人材育成を期待する。
- ・ 家庭内照明が一般的な家、オール LED の家、オール有機 EL の家で生活し、データを取得して、一般のユーザーの関心を得て、正しく照明を選択していただく施策も検討していただきたい。米国の DOE での実行されているプロ

グラムは参考になるし、それ以上のアイデアと実行で世界をリードして欲しい。

- **LED・有機 EL** の国際標準化に向けた努力、次世代照明の新用途開発に向けた努力を **NEDO** としては進めているが、プロジェクトの中でそれらを具体的に推進し検証してほしい。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	1.7	B	B	B	C	B	C	C	B
3. 研究開発成果について	2.3	A	B	B	A	B	B	B	B
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	A	B	B	B	C	B	C	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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 .....	iii
I. 事業の位置づけ・必要性について .....	I-1
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 .....	I-1
1.1 NEDO が関与することの意義 .....	I-1
1.2 実施の効果（費用対効果） .....	I-8
2. 事業の背景・目的・位置づけ .....	I-14
2.1 事業の背景 .....	I-14
2.2 事業の目的 .....	I-14
2.3 事業の位置づけ .....	I-14
II. 研究開発マネジメントについて .....	II-1
1. 事業の目標 .....	II-1
2. 事業の計画内容 .....	II-1
2.1 研究開発の内容 .....	II-1
2.2 研究開発スケジュール .....	II-6
2.3 研究開発予算 .....	II-7
2.4 研究開発体制 .....	II-8
2.5 研究開発の運営管理 .....	II-8
2.6 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性 .....	II-13
3. 情勢変化への対応 .....	II-19
III. 研究開発成果について .....	III-1
1. 事業全体の成果 .....	III-1
2. 事業の成果詳細 .....	III-4
2.1 研究開発項目①(a)LED 照明：窒化物等結晶成長法の高度化 .....	III-4
2.2 研究開発項目①(b)LED 照明：基板の応用 .....	III-18
2.3 研究開発項目①(2)有機 EL 照明：高効率・高品質化の研究 .....	III-24
IV. 実用化、事業化の見通しについて .....	IV-1
1. LED 照明の実用化、事業化の見通し .....	IV-1
2. 有機 EL 照明の実用化、事業化の見通し .....	IV-1
3.波及効果 .....	IV-3
添付資料 .....	添付資料-5
プロジェクト基本計画 .....	添付資料-5
技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ） .....	添付資料-23
事前評価関連資料 .....	添付資料-27

# 概要

最終更新日 平成 23 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 23 年 6 月現在)						
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。これを実現するために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。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がターゲットとなる。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の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	まだ開発リスクが高いながら今後の日本を代表する基盤技術として有望な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の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 (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、当該照明の早期実用化を図る。						
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)	(450)			1,610
	(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)	(350)			2,148
	(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)		(1,445)	(300)			1,745
	(2) 有機 EL 照明 高効率・高品質化-2		(802)	(300)			1,102
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)	—	—	1,400	—	—	1,400
	加速予算 (成果普及費を含)	—	305				305



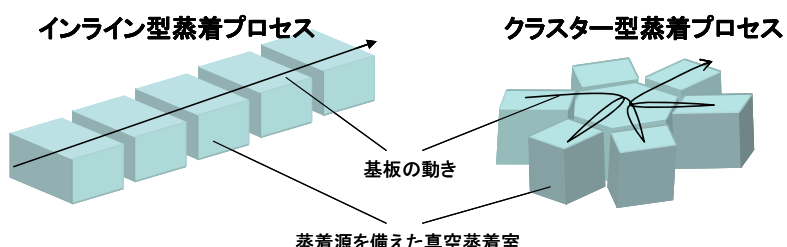
	総予算額（実績）	5,712	1,400			7,112
開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局情報通信機器課				
	委託先*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載）	三菱化学（株）、シチズン電子（株）、NECライティング（株）（株）イノベーション・センター、大阪大学、名古屋大学 エルシード（株）、名城大学 パナソニック電工（株）、出光興産（株）、タツモ（株）、長州産業（株）、山形大学、青山学院大学 コニカミノルタ・テクノロジーセンター（株）				
情勢変化への対応	以下の情勢変化の対応を行った。 ●有機EL照明の低コスト化実現に向けた効率化・確実化のために、平成22年4月、製造プロセス術を保有するパナソニック電工、長州産業株式会社に対して、実用化普及加速に向けて、加速資金を投入して目標の高度化見直しを行った。 ●LED照明の本研究開発後の速やかな実用化・事業化のため、平成23年5月、事業家のリコー（株）に再委託先としてプロジェクト参画した。					
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
Ⅲ. 研究開発成果について	研究開発項目①（1）「LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」 （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、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以上の性能が達成できることを検証した。 （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。					
	研究開発項目②(2)「有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発」 発光面積100cm <sup>2</sup> 以上で発光効率130 lm/W以上、平均演色評価数80以上、輝度1,000cd/m <sup>2</sup> 以上、輝度半減寿命4万時間以上の有機EL照明実現に当たり、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た。発光面積25cm <sup>2</sup> 以上の有機ELパネルのプロトタイプ試作を行い、効率50 lm/W以上、平均演色評価数80以上、輝度1,000cd/m <sup>2</sup> 以上、輝度半減寿命1万時間以上の性能が達成できることを検証した。加えて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製造プロセス技術開発に着手して、製造プロセスに要求される条件を明確にした。					
	投稿論文	「査読付き」15件				
	特許	「出願済」46件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願2件）				
	その他の外部発表（プレス発表等）	フランクフルトLight+Building2010展示会出展（平成22年4月）など87件				
Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて	計画終了後は本技術開発の成果に基づき、LED光源、有機EL光源を装飾照明等の新規市場のみならず一般照明（白熱電球、蛍光灯）市場に向けて平成26年度から実用化・製品化を予定。2020年度までにフローベースで蛍光灯を代替する予定。					
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	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）				

## プロジェクト用語集

用語	説明
有機 EL 素子	<p>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。</p> <p>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、</p> <p>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。</p>
発光ユニット	<p>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。</p> <p>（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。）</p>
マルチユニット素子	<p>陽極と陰極との間に、複数の発光ユニットを備える素子。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p>他に、タンデム素子、マルチフォトン素子 とも称される。</p>
中間層	<p>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。</p> <p>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。</p>
輝度	<p>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<sup>2</sup>)。</p>
平均演色評価数 (Ra)	<p>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</p>

	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、 $10^{-4}$ Ωcm 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、 $10^{-4}$ ~ $10^{-3}$ Ωcm 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	固形分が溶解および／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－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。
モルフォロジー	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	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul>
	 <p style="text-align: center;">インライン型蒸着プロセス                      クラスタ型蒸着プロセス</p> <p style="text-align: center;">基板の動き</p> <p style="text-align: center;">蒸着源を備えた真空蒸着室</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	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

(high brightness Organic Light emitting diodes for ICT & Lighting Applications)	プロジェクト名称。 第6次フレームワーク (EU の最大の研究開発支援制度: 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フレームワーク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 <sup>2</sup> 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 <sub>3</sub> 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～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～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。
フリップフロップ実装	チップ表面上に突起電極(バンプ)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が分る
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。LED、有機 EL 照明が含まれる。

# I. 事業の位置づけ・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.1 NEDO が関与することの意義

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、推進4分野のひとつに位置づけられ、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エネルギー消費量の約21%、家庭の全エネルギー消費量の約16%、これをCO<sub>2</sub>排出量に換算すると照明用途にて国内全体に占めるCO<sub>2</sub>排出量の約20%を占める(図I.1.1.1参照)。省エネルギー、CO<sub>2</sub>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。

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の見通しが打ち出された。

また経済産業省は2010年6月、総合資源エネルギー調査会の総合部会及び基本計画委員会合同会合において「資源エネルギー政策の見直しの基本方針」を示し、大幅な省エネ性能の向上が見込まれる次世代照明については、既存照明(白熱電球、蛍光灯)を置き換えて、2020年までに流通ベースで100%、2030年までにストックベースで100%とすべく、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)。

具体的には、次世代照明の研究開発の加速、導入支援策、省エネ基準の強化等を通じて、経済産業省研究開発プログラム「ITイノベーションプログラム」及び「ナノテク・部材・イノベーションプログラム」にて次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発を行い2013年度までに従来型照明の2倍の総合効率を実現する次世代照明の基盤技術の確立と標準化の推進を行い、その後はトップランナー制度、エコポイントなどの施策によって次世代照明の普及を後押しすることが計画化された。

### 国内照明のCO<sub>2</sub>排出量

【内電力由来のCO<sub>2</sub>排出量】  
(2008年)

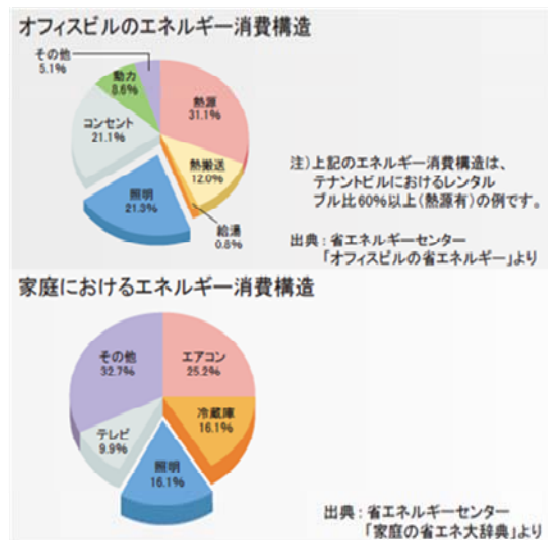
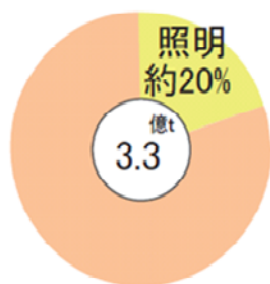
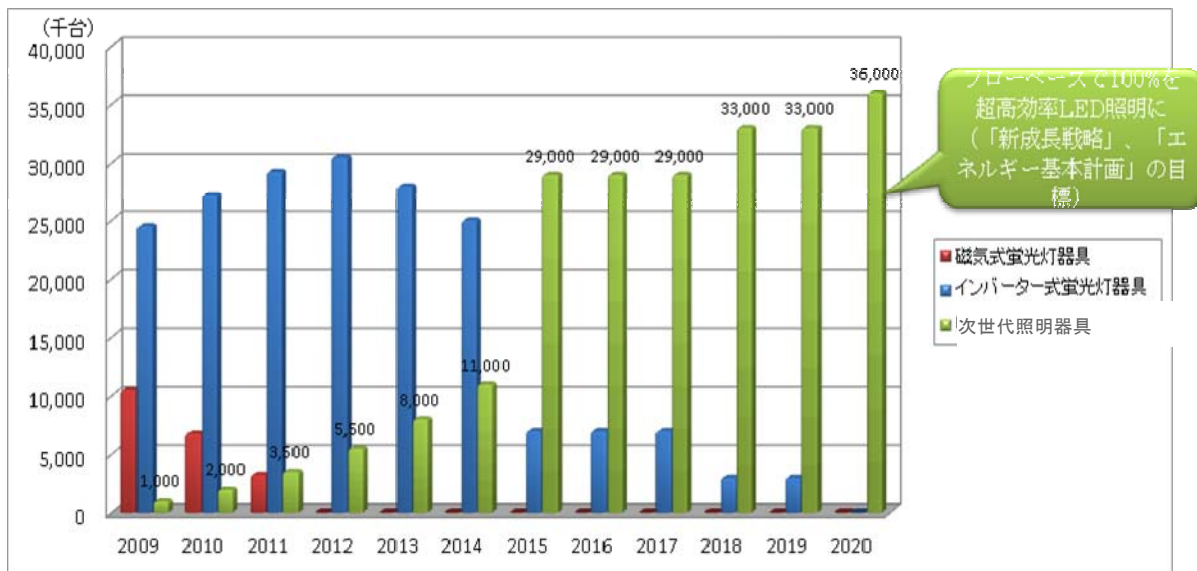


図 I.1.1.1 国内照明の電力消費量グラフ





項目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	代替対象 「蛍光灯」の スペック	
政策	研究開発					量産化 準備	導入支援策			トップランナー基準				
消費電力 (lm/W)	67.5							-130					150	67.5
単価 (円/㎡・年)	1.3							0.4				-0.3		0.3
生産量 (千台)	80,000	48,900	39,900	32,500	28,500	21,800	18,000	14,700	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000 12,000	

研究開発目標：130lm/W以上の照明器具を実現

研究開発目標：0.3円/㎡・年以下で量産

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))

日本は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停止により、抜本的な国内省電力化が強く望まれる状況にある。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。

さらにNEDOでは中期目標のひとつに、「高度な情報通信社会の実現」を掲げ、高機能化、省エネルギー化、生産性の向上といった共通課題に取り組むこととしている。本研究開発は、これらの国の産業技術政策、及びそれを受けたNEDOの中期目標に基づき、高度な情報通信社会を実現するための中核技術であるユーザビリティ分野に該当する照明技術の高効率化・高性能化に資することを目的とするものである。

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。(表I.1.1)

LEDは点光源として、有機ELは面発光光源としての特質を有しており(図I.1.1.3)、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。

図I.1.1.4に、NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部の電子・情報技術に関する取り組みをま

とめて示す。ここで示す5つの技術分野（半導体技術、ストレージ・メモリ技術、コンピュータ技術、ネットワーク技術、ユーザビリティ技術）は、経済産業省の「技術戦略マップ」における情報通信分野の区分、及びNEDOの「技術ロードマップ」の区分に対応するものである。NEDOでは、本プロジェクトを、ユーザビリティ分野に位置づけ、省エネルギー化、CO<sub>2</sub>削減、低消費電力化の促進に取り組む。

表 I.1.1 各国の次世代照明の普及シナリオ

種類	ターゲット	光源	今後の予測
拡散光源 (シーリング ライトなど)	先進国	有機 EL	2015年頃から、LED平面光源を効率およびコストの面で上回り、その後は一般照明は全て有機ELに置き換えられる。
	途上国	蛍光灯	イニシャルコストが高額のため、引き続き蛍光灯が大部分を占める。ただし、途上国においても、新たに照明器具が導入されるエリアは、最初からLED or 有機ELが普及する可能性がある。
指向性光源 (スポットラ イトなど)	ワールドワイド	LED	2015年頃から効率、寿命、コストの面で、現行のハロゲン光源などを上回り、全てがLEDに置き換えられる。
その他光源	ワールドワイド	LED	ディスプレイのバックライト、車のライトなど、小型で高い輝度を必要とする領域は、全てLEDに置き換えられている。
新規用途光源	先進国	LED 有機EL	LED、有機ELともに、白熱電球や蛍光灯には無い、新しい価値（高効率、長寿命、薄い、軽い等々）を活かした新たな用途展開を期待（建材との融合、医療・農業・漁業用途の利用等）。



図 I.1.3 LED と有機 EL 照明の棲み分け

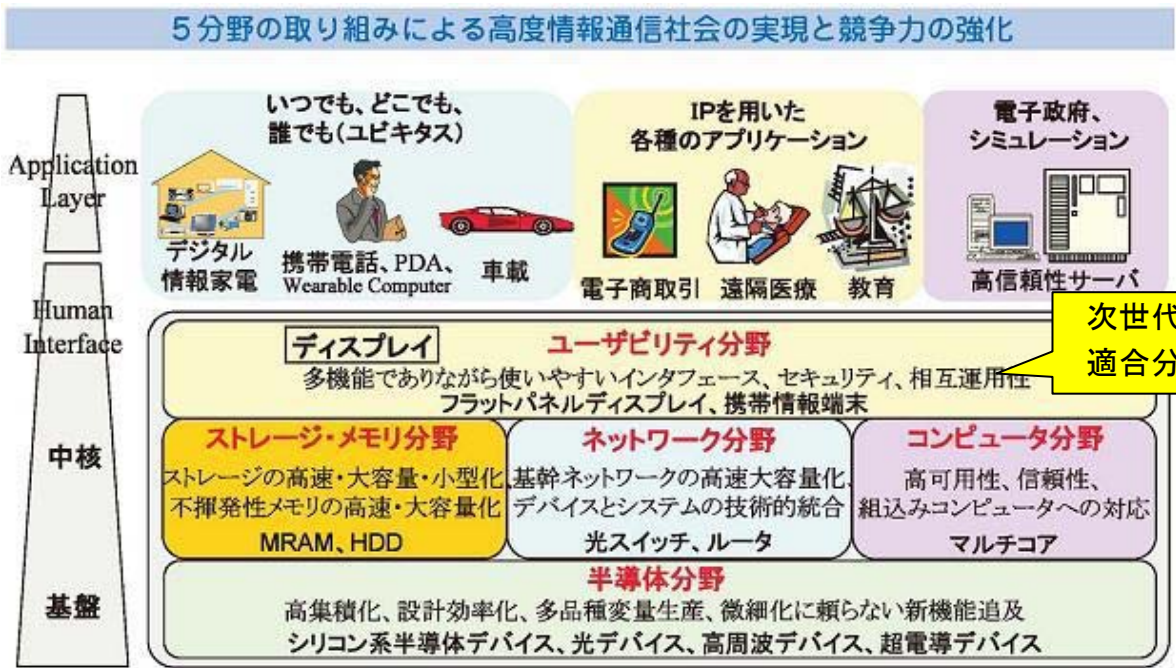


図 I.1.1.4 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部の取り組む技術分野

本プロジェクトは、次の視点から 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、CO<sub>2</sub>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。前述したように、照明によるエネルギー消費量は、家庭用エネルギー消費量の約 16%を占めており、これは年間電力消費量換算して、1,355 億 kWh/年 (CO<sub>2</sub>換算量で、約 5,285 万 t 相当) に達する。効果的な省エネルギー化、CO<sub>2</sub>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る。

## (2) 産業力強化

LED 照明は、現在は実用化導入段階にある。エコポイント制度等の後押しもあり普及が進んでいる。白色 LED 照明の発光効率は白熱電球を上回っているが現在のサファイア基板ベースでの白色 LED の発光効率向上は鈍化傾向にあり緑色 LED 等の一部の LED については高発光効率を実現しているものは存在するものの、白色 LED 照明としては目覚ましい進展は困難な状況にある。サファイア基板による白色 LED の発光効率限界は 130~150lm/W(平均演色評価数 80 前提)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)であり、図 I.1.1.5 に示す通り、サファイア基板の約 2 倍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 基板ではあるが、現在はサファイア基板と比較してコスト面では大きく劣る。(図 I.1.1.6)

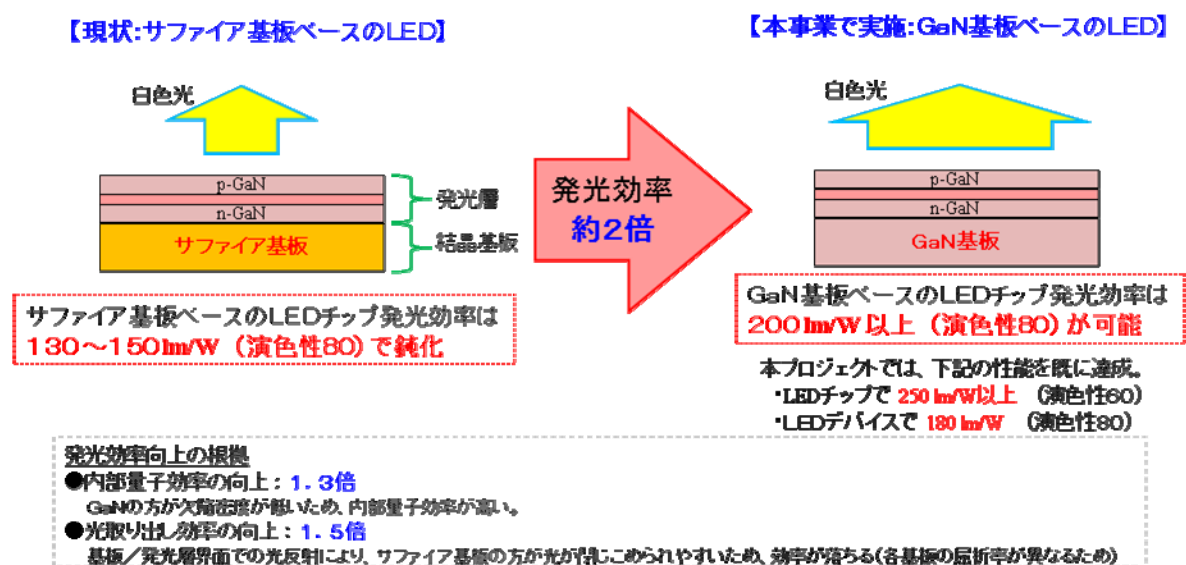


図 I.1.1.5 GaN 基板とサファイア基板の比較

図 I.1.1.6 に示すように、LED デバイス全体に占める GaN 基板コストは 50%以上を占める。GaN 基板 LED デバイスについて剥離コストはサファイア基板 LED デバイスより優れているものの、GaN 基板コストが非常に高価(2 インチ相当でサファイア基板 \$17、GaN 基板 \$1,500)であるために、GaN 基板 LED の全体コストが現在高くなり、一般照明の置き換え普及の際には大きな阻害要因となることが予想される。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 デバイスの実現が可能である。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。



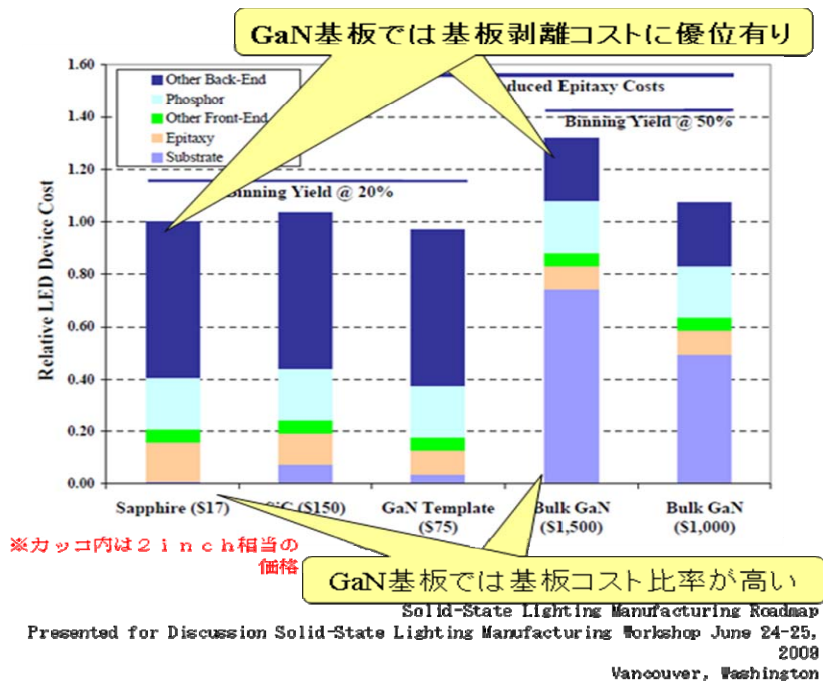


図 I.1.1.6 LED 製造コスト RoadMap

(注) GaN 基板とサファイア基板の発光効率比較：発光効率は、内部量子効率\*光取り出し効率に比例する。

GaN 基板はサファイア基板と比較して GaN の方が欠陥密度が低いので内部量子効率で 1.3 倍以上、基板/発光層界面での光反射により、サファイア基板の方が光が閉じこめられやすいため光取り出し効率で 1.5 倍以上の効率差があり、将来、 $1.3 * 1.5 = 1.95$  倍以上の発光効率の比較差が生じる。

一方、有機 EL 照明技術は、日本から発祥して、現在もなお世界をリードする日本有数の最先端技術である。有機 EL 照明は今後世界的にも蛍光灯を代替する次世代照明として期待されている点、薄膜、軽量、フレキシビリティ等の特性から新規用途の市場開拓の期待されている点から将来の事業化の期待は大きく技術開発による進展は日本の国際競争力に寄与する。

最近では、世界の 3 大照明企業と言われるオスラム（欧州）、フィリップス（欧州）、GE（米国）を含み複数の照明企業が次世代照明の研究開発に力を入れつつある。オスラム、フィリップスは日本に追いつくため、OLLA や OLED100 等の国家プロジェクトにて欧州各国から資金を得て、高発光効率かつ長寿命の有機 EL 照明の技術開発に注力している。GE は、米商務省国立標準技術研究所 (NIST) との共同研究開発成果を活用し有機 EL 照明の基盤技術の強化と実用化をめざしている。このように、欧米の企業は、将来の有機 EL 照明の事業化を見据えて、国家資金を得て、日本を追い越すべく急加速な技術開発を進めている。（表 I.1.2.1）

日本においても国家プロジェクトにより有機 EL 照明技術開発を支援して国際競争力を維持・強化していくことが国内産業育成に必要である。特に日本の総力を結集して材料メーカ、装置メーカ、器具メーカ等の複数の事業レイヤの企業群と、基礎研究を推進する大学等の研究機関が協力した産学連携体制を築くことが国際競争力を強化につながる。

新しい世代照明産業としても、表 I.1.2 に示すように、材料、デバイス、照明器具、製造装置等の上流～下流までのレイヤに分かれた新たな産業構造創出が考えられる。各産業レイヤ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。

表 I.1.2 次世代照明の事業レイアと対応する実施者プレイヤー

【LED 照明】

【有機 EL 照明】

産業レイヤー	プレイヤー	産業レイヤー	プレイヤー
材料 (GaN 基板、蛍光体等)	三菱化学、リコー、豊田合成、日本ガイシ、ブリヂストン、エルシード、三菱樹脂等	材料 (有機材料等)	出光興産、コニカミノルタ等
LED デバイス (エピ、実装等)	シチズン電子、豊田合成、スタンレー、エルシード等	有機 EL 照明デバイス	パナソニック電工、コニカミノルタ等
LED 照明器具	三菱化学、NEC ライティング、ウシオライティング等	製造装置 (蒸着、塗布)	タツモ、長州産業、コニカミノルタ、日立造船等

(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、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い。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る。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 基板のバルク結晶を生成方式がまだ確立していない。高効率かつ低コストな LED 照明の提供のためには、GaN 基板のバルク結晶成長方式を確立する必要がある。

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する。有機 EL 照明の発光効率等の性能を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開発リスクが高く、将来を見据えて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。もし有機 EL 照明にて蛍光灯を凌駕する発光効率、高性能、蛍光灯並みの低コストを同時に実現できれば、有機 EL 照明の蛍光灯の代替が進むことが期待できる。

以上のように、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 CO<sub>2</sub> 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。一方で、LED は本研究開発のためには結晶成長炉等の設備の構築・改造も必要である。また有機 EL も真空蒸着設備や塗布設備導入や新規開発する高価な有機材原料が必要であり、投資負担が非常に大きい。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。

## 1.2 実施の効果（費用対効果）

経済性の観点では、省エネルギー、低コストで省資源化を図る高性能高品質の次世代照明の普及加速が将来期待できる。現在の白熱電球、蛍光灯等の照明市場規模は、国内で8,000億円、世界市場は8兆円と推測されており（日経ビジネス 2008.2）、本基盤研究開発により次世代照明の付加価値化が実現して既存照明の置き換え加速が図られれば、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大きい。

2020年には発光デバイスの市場（国際）は1.45兆円、関連部材販売額（国際）は4.950億円、照明器具の市場規模（国内）は3,600億円（前提：36百万台/年、10,000円/台）、と予測される（LED関連市場総調査2010（富士キメラ総研）より引用）。また既存照明の置き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			<b>高効率性能を前倒し で達成</b>	
	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（高効率近紫外誘起蛍光材料） 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.1.2.1 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）を、本研究開発にて7年～10年前倒しして2013年に達成する（図I.1.2.1参照）。さらに2年後の2015年には本高効率照明による事業化が見込まれる。本前倒しにより、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kl、CO<sub>2</sub>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（既存照明と同程度の価格且つ2倍の発光効率）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。なお、2020年に全既存照明（白熱電球、蛍光灯）を本プロジェクト成果の高効率な本次

世代照明に置き替えた場合には、577 億 kWh/年の省エネルギー効果が見込まれる。

(注 2) これは全国内の全 CO<sub>2</sub> 排出量の約 10%に相当する。

さらに本プロジェクト成果による次世代照明の性能向上（既存照明と同程度の価格且つ 2 倍の発光効率）により、既存照明の置き換え自体が大幅に加速される効果も期待できる。

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。

また LED 照明により開発される GaN バルク結晶成長技術は、今後の高周波高耐圧パワーエレクトロニクスデバイス分野への応用が可能であり、国内産業力育成強化の波及効果が期待できる。

(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)

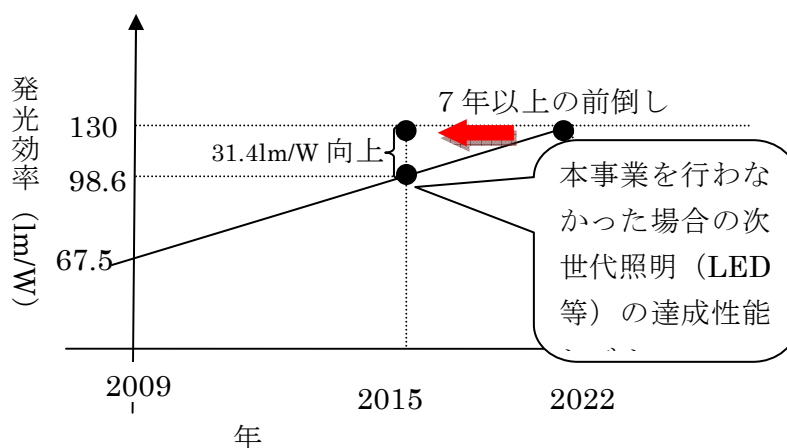
一方、性能面では本研究開発を行わなかった場合、当初 LED 光源 200lm/W (器具効率が 65%として LED 照明器具の発光効率 130lm/W) が研究開発レベルで達成されるのは、2020 年、有機 EL 照明器具 130lm/W が達成されるのは、2000 年～2025 年と予測され (図 I.1.2.1 経済産業省 技術戦略ロードマップ 2008 (エネルギー分野))、その事業化・普及は 2 年後の 2022 年以降と仮定。

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.1.2.1 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、

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

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

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



(注2)算出根拠

白熱電球（効率 15 lm/W）と蛍光灯（効率 65 lm/W）を継続使用した場合の年間 CO2 排出量（3,820 万トン）から、LED・有機 EL（効率 130 lm/W）で置き換えた場合の年間 CO2 排出量（618 万トン）の差分を CO2 削減量として計算。計算式詳細は以下を参照。

(a)（蛍光灯の全消費電力量）

$$= (\text{個数 } 340,487 \text{ 千個}) * (\text{消費電力 } 0.03 \text{ kW}) * (\text{年間使用時間 } 10 \text{ 時間} * 365 \text{ 日})$$

$$= 37,283 \text{ 百万 kWh}$$

(b)（白熱電球の全消費電力量）

$$= (\text{個数 } 144,059 \text{ 千個}) * (\text{消費電力 } 0.06 \text{ kW}) * (\text{年間使用時間 } 10 \text{ 時間} * 365 \text{ 日})$$

$$= 31,549 \text{ 百万 kWh}$$

(c)（LED・有機 EL にて蛍光灯を置き換えた LED/有機 EL の全消費電力量）

$$= (\text{蛍光灯効率 } 65 \text{ lm/W}) * (\text{器具効率 } 0.5) * (\text{a}) / (\text{次世代照明効率 } 130 \text{ lm/W})$$

$$= 9,320 \text{ 百万 kWh}$$

(d)（LED・有機 EL にて白熱電球を置き換えた LED/有機 EL の全消費電力量）

$$= (\text{白熱電球効率 } 15 \text{ lm/W}) * (\text{器具効率 } 0.5) * (\text{b}) / (\text{次世代照明効率 } 130 \text{ lm/W})$$

$$= 1,820 \text{ 百万 kWh}$$

(e)（蛍光灯と白熱電球を継続使用した場合の年間 CO2 排出量換算）

$$= [(\text{a}) + (\text{b})] * 0.000555 = 3,820 \text{ 万トン}$$

$$(\text{a}) + (\text{b}) = 68,832 \text{ 百万 kWh}$$

(f)（LED・有機 EL にて全て置き換えた場合の年間 CO2 排出量換算）

$$= [(\text{c}) + (\text{d})] * 0.000555 = 618 \text{ 万トン}$$

$$(\text{c}) + (\text{d}) = 11,140 \text{ 百万 kWh}$$

(g)（LED・有機 EL の置き換えによる CO2 削減効果）

$$= (\text{e}) - (\text{f}) = 3,202 \text{ 万トン}$$

$$(\text{電力換算} : 68,832 \text{ 百万 kWh} - 11,140 \text{ 百万 kWh} = 57,692 \text{ 百万 kWh})$$

表 I.1.2.1 に海外の LED 技術開発プロジェクトとの比較、表 I.1.2.2 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.1.2.3、図 I.1.2.4、図 I.1.2.5）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.1.2.1 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 下段括弧（）内は、その事業 規模全体	備考
欧州	EPSRC（英）		数百万 £ [約数億円] (注)（現在実施中）	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）
米国	ARRA 資金による SSL 研究開発	2009～2019	37.8 百万ドル [約 31 億円] (注) (66.3 百万ドル)	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。
中国	半導体照明プロジェクト（第二期）	2006～2010	3.5 億元 [約 50 億円] (注) (10.5 億元)	民間企業向け支援。LED チップ、パッケージに資源を集中。2010 年までに白色 LED チップの発光効率を国際水準（130lm/W）にする。科学技術部：地方政府：参加企業の費用負担は 1：1：1。
台湾	推動六大振興産業 （うち、グリーンエネルギー）	2009～2012	373 億元 [約 1,044 億円] (注)	テーマは、発光効率や演色性の向上を目指す基礎研究、国際展開をする上で障害となるパテントの分析、街路灯や信号の LED 化推進等。
韓国	LED 照明 15 / 30 プロジェクト	2006～	750 億ウォン [約 67 億円] (注) (2010 年迄の概算)	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)	2009～2010	35 億円	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、リンシヨピン大学、ブリヂストン、スタンレー、ウシオライティング

(注) 1£=142.49 円 1€=119.28 円 1米ドル=82.99 円 1元=14.2 円 1台湾元=2.8 円 100ウォン=8.92 円

1ユーロ=116.42 円 (2011.6.21MTUG 販売レートより)

表 I.1.2.2 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	メンバー
欧州	OLLA	2004～2008 (完了)	1,200 万 Euro [約 14 億円] (注)	Philips Technologie, Philips Lighting, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Philips Research Lab., Siemens, Merck, Aixtron, Novalled, 他計 23 団体/企業
	OLED100	2008/09～ 2011/08 (36 ヶ月)	1,250 万 Euro [約 15 億円] (注)	Philips Research, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Novalled, Siemens, 他計 15 団体/企業
	OPAL	2006～2010	6,000 万 Euro [約 70 億円] (注)	BASF, AIXTRON, Schott, Philips, Merck, Novalled, 他計 33 団体/企業
	合計 (欧州)		<b>8,450 万 Euro</b> <b>[約 99 億円]</b>	
米国	DoE プロジェクト	2004～2009	50.0 百万ドル [約 41 億円] (注)	Universal Display Corp., , Santa Barbara, GE Global Research 他計 37 団体
		2008～2010	17.8 百万ドル [約 15 億円] (注)	Universal Display Corp., GE Global Research 他計 8 団体
	合計 (米国)		<b>67.8 百万ドル</b> <b>[約 56 億円]</b>	
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	パナソニック電高効率工 (株)、出光興産 (株)、タツモ (株)
	本プロジェクト	2009～2010	22 億円	パナソニック電工 (株)、出光興産 (株)、タツモ (株)、長州産業 (株)、コニカミノルタテクノロジーセンター (株)、山形大学、青山学院大学
	合計 (日本)		<b>46 億円</b>	

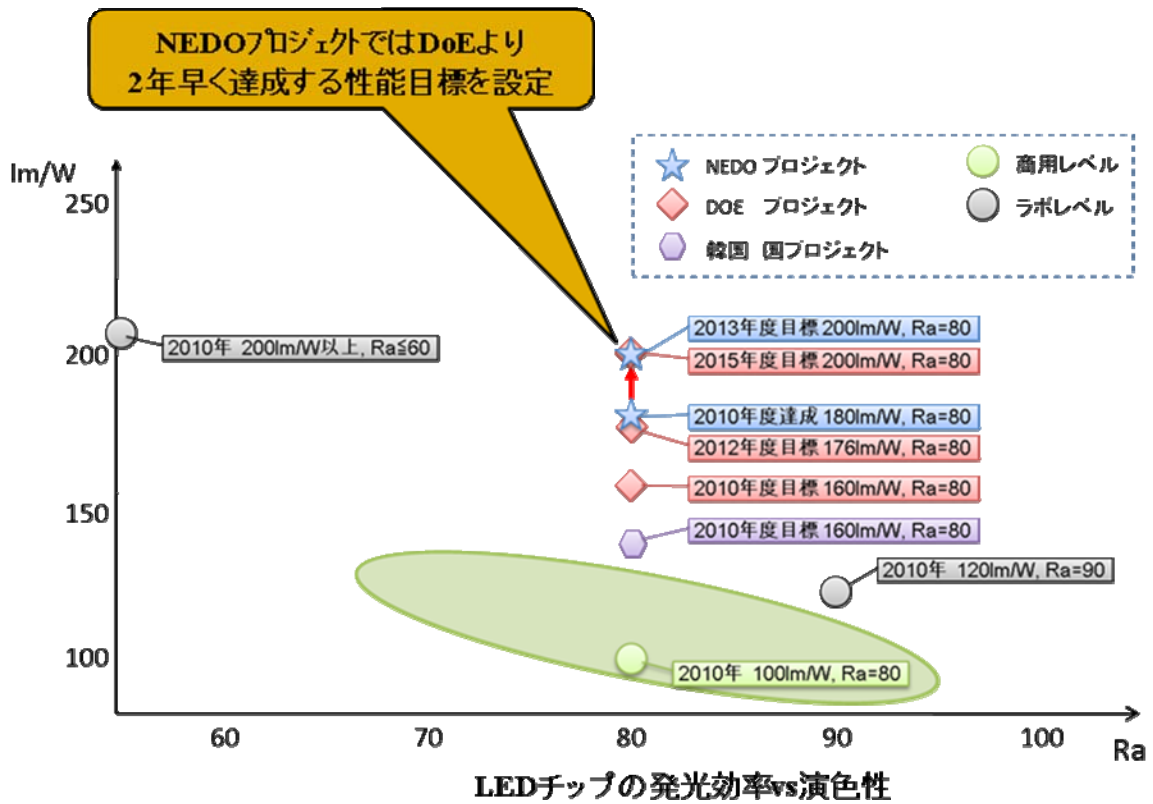


図 I.1.2.3 LED光源に関する目標の国際的な位置づけを示す技術マップ(発光効率-演色性)

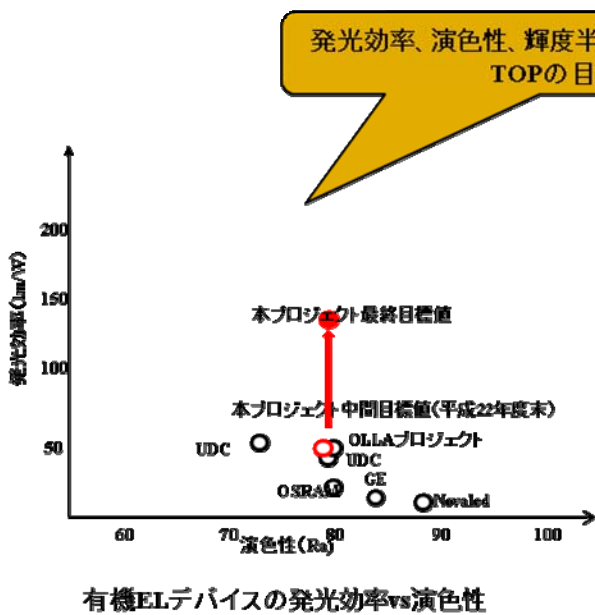


図 I.1.2.4. 有機EL光源に関する目標の国際的な位置づけを示す技術マップ(発光効率-演色性)

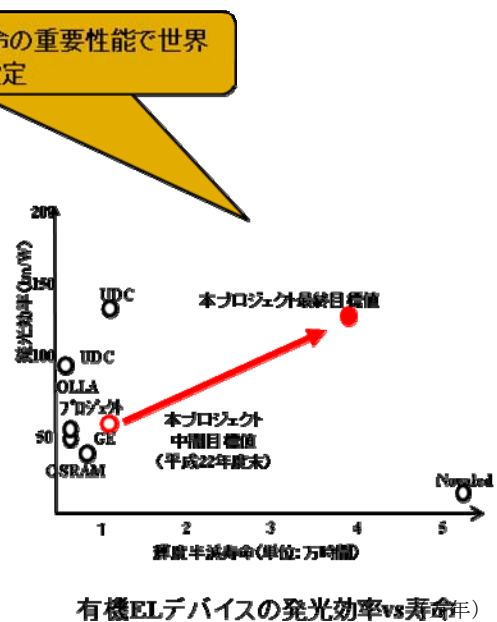


図 I.1.2.5. 有機EL光源に関する成果の国際的な位置づけを示す技術マップ(発光効率-輝度半減寿命)

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

### 2.1 事業の背景

#### 2.1.1 社会的背景

前述のとおり、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、推進4分野のひとつに位置づけられ、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。またNEDOでは中期目標のひとつに、「高度な情報通信社会の実現」を掲げ、高機能化、省エネルギー化、生産性の向上といった共通課題に取り組むこととしている。家庭の消費電力中、約15%を占める照明に対して、地球温暖化抑制のため、白熱電球、蛍光灯を代替する省エネルギー効果の高い有機EL照明の早期の実用化が求められている。

蛍光灯は先進的な環境保全施策である欧州特定有害物質使用規制(RoHS)にて特定有害物質として使用を制限される水銀を含有し、適切な代替手段がないことからRoHSの適用免除となっているものの、早期に代替手段の確立が望まれている。

#### 2.1.2 技術的背景

次世代照明であるLEDは指向性光源のため、スポットライト、ダウンライト等に適しており、①高指向性、②長寿命、③高効率の特性がありスポットライト、ダウンライト等の用途の他、サイン表示やディスプレイのバックライト等の多目的光源としての置換需要が高い。一方、有機EL照明は、面発光光源として蛍光灯光源の理論限界を超える高効率を実現できる可能性があり、家庭用メイン照明を置き換える高効率次世代照明として期待される。さらに①面発光性、②高演色性、③折り曲げが可能で凹凸のある壁面にも実装可能な柔軟性、④水銀を使用しないエコロジー性、⑤紙以上に薄く製造できる超薄膜性、⑥超軽量等、優れた特性を有していることから、これまでにない新しい分野への利用により新事業の創出及び新市場への拡大も大いに期待されている。このように次世代照明としてLEDと有機EL照明への期待は高く、今後は次世代照明の高効率性と低コスト化が実現できれば図I.1.3に示したLED照明と有機EL照明に適した利用分野において白熱電球、蛍光灯の代替が急速に進むことが予想される。

白色LED照明は実用化が開始され、国際的にも普及し始めたが、現在のサファイア基板ベースでは発光効率の向上に限界があり、高効率化を目指す研究開発に未だ十分な成果が上がっていない。

有機EL照明は新しい利用分野、事業分野を切り開く起爆剤として期待されていたものの、まだ実用化に至っていない。今後、国際的な技術競争が加速化することが予想される状況下、白色有機EL照明を最初に実現してこれまで研究開発成果を積み上げてきた日本に、まだ技術的アドバンテージがある状況にある。

### 2.2 事業の目的

本プロジェクトでは、次世代高性能照明となるLED照明と有機EL照明の迅速な普及促進のため、高性能照明光源の開発、及び低コスト化を実現する製造技術の開発に取り組む。

### 2.3 事業の位置づけ

本事業は、ITイノベーションプログラムの一環で、次世代照明であるLED照明、有機EL照

明の迅速な普及促進を狙いとして事業終了後、2年以内に高効率な次世代照明白色LEDと有機EL照明の市場導入を行うための技術開発と位置づける。将来的には白熱電球、蛍光灯の代替普及だけでなく、装飾照明や壁照明などの多目的照明に向けた新市場の創出、及び国際的事業の拡大を狙いとして基盤技術を確立する。

次に本研究開発の国際的位置づけについて述べる。次世代照明の実用化に必要な性能としては発光効率だけでなく長寿命化、高演色性が重要な焦点となっている。これらの性能は相互にトレードオフの関係にあり、他の性能項目を犠牲にして一部の性能向上を行うことは可能であるが、実用化のためには3つの性能項目全てをバランス良く向上させる必要がある。各国で研究開発が進んでいるが、本プロジェクトの基盤技術開発により、高性能・高品質次世代照明デバイスとして効率、寿命、演色性の性能面で世界トップの成果をあげており、今後の日本の照明事業において優位な立場にある。図I.1.2.3～図I.1.2.5の次世代照明の本プロジェクト成果と海外企業の実績比較を表す技術マップにより本事業の国際的な位置づけを示す。

本事業原簿の対象である「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」が含まれるNEDO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」の構成を下図に示す。本プログラムには、「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」の他に、次世代照明の標準活動である「戦略的国際標準化推進事業（LED、有機EL）」及びパワーデバイス向け研究開発である「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」が含まれるが、本事業原簿の対象外である。

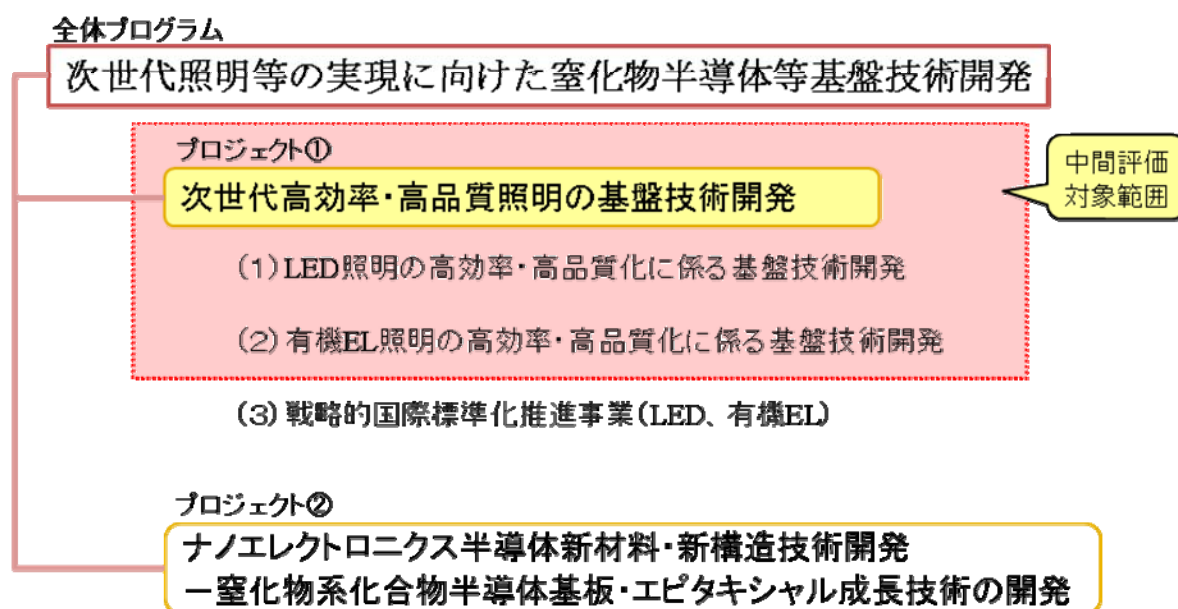


図 I . 2 . 2 . 1 次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発の位置づけ

## 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 16%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。

生活照明への適用に際しては、発光効率だけでなく高演色性照明が要求される。例えば、家庭用途に広く消費される環形蛍光灯のうち 90%以上を高演色性の照明が占める。また、オフィスや店舗で多用される直管形蛍光灯でも約半数が高演色性の照明である。そのため蛍光灯照明の代替を促進する上で、高演色性が必要とされる。さらに生活用の照明として一般家庭に受け入れられるためには、高品質発光（均一発光・長寿命など）、発光体の形状（点光源及び面光源）、さらに低コスト（現状の照明器具に代替できる程度の低価格化）などの要求を満たしていくことが望まれる。

本プロジェクトでは、IT イノベーション／ナノテク・部材イノベーションプログラムの一環として、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、2013 年度までに、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 研究開発の内容

蛍光灯並みの製造コストで蛍光灯の 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 項目の研究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は以下の通りである。

#### 研究項目① (1)LED 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。

**研究項目①（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/m<sup>2</sup> 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 2 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。

**研究項目①（１）LED 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  $10^4 \text{ cm}^{-2}$  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  $10^6 \text{ cm}^{-2}$  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。



## 研究項目①（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  $100 \text{ cm}^2$  以上で発光効率  $130 \text{ lm/W}$  以上、平均演色評価数 80 以上、輝度  $1,000 \text{ cd/m}^2$  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  $25 \text{ cm}^2$  以上で発光効率  $50 \text{ lm/W}$  以上、平均演色評価数 80 以上、輝度  $1,000 \text{ cd/m}^2$  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  $100 \text{ cm}^2$  以上で発光効率  $130 \text{ lm/W}$  以上、平均演色評価数 80 以上、輝度  $1,000 \text{ cd/m}^2$  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。

### 研究項目①（１）LED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 ( $Ra=60\sim 80$ ) 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。

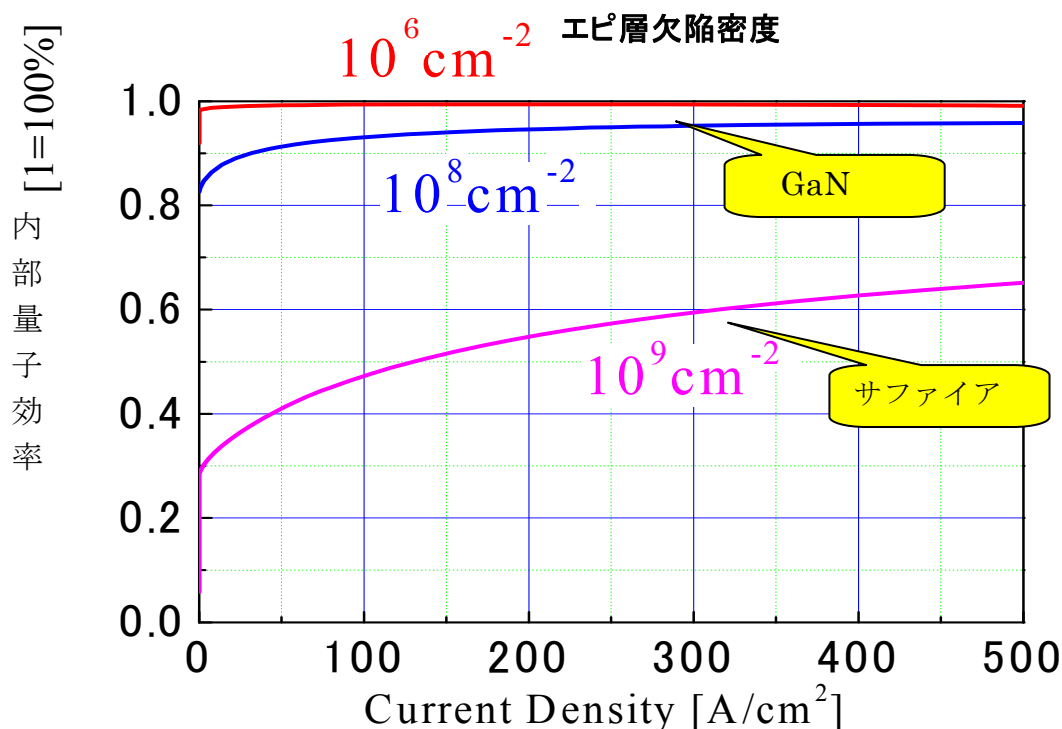
#### （ii）発光効率

国際公約により、2020年の $\text{CO}_2$  25%削減を実現するためには抜本的対策が必要である。特に震災の影響により、今後、原子力発電の拡大普及による $\text{CO}_2$ 削減は今後期待することは困難な状況にある。その中で、国内総エネルギー消費の16%を占めている照明の省エネルギー化は重要な位置づけにある。次世代照明で蛍光灯の発光効率の2倍に向上させることができれば、蛍光灯、白熱電球を $\text{CO}_2$ 削減量を1/5以下にすることが可能である。本プロジェクトでは、一般的な蛍光灯の発光効率を $65 \text{ lm/W}$ 、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され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、 $200 \text{ lm/W}$  (LED照明の発光器具効率を $200 \text{ lm/W} * 65\% = 130 \text{ lm/W}$ ) 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、 $175 \text{ lm/W}$  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、 $10^6\text{cm}^{-2}$ 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、 $10^6\text{cm}^{-2}$ に設定した。



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① (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、50lm/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/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>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100cm<sup>2</sup>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25 cm<sup>2</sup>以上のプロトタイプ試作を設定した。

## 2.2 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールは以下の通り。

技術開発基盤の  
研究設備に重点投資

研究開発項目	21~22年度	23年度	24年度	25年度	21~23年度合計
〔1〕LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (イノベーション・センターチーム)	重点化 大型Naフลักス炉の導入	NaP炉改造(機枠、Ga連続供給) MO装置高圧化改造	NaP炉改造(上下移動、Na連続供給) InGaNナノワイヤ配置法最適化		補正: 1,798 本予算: 350 合計: 2,148
〔1〕LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (三菱化学チーム)	重点化 新型HVPE炉大型化、各種結晶分析装置導入	新型HVPE炉4inch化対応改造、多数枚炉製造	多数枚炉製造連続(4inch対応)	多数枚炉製造連続(6inch対応)	補正: 1,160 本予算: 450 合計: 1,610
〔1〕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)	重点化 蛍光SiC基板品質向上のための評価分析装置導入				補正: 507
〔2〕有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発 (ハナソニック電工チーム)	重点化 高効率デバイス構造設計 蒸着プロセス装置設計・導入	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	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		補正: 1,140 加算: 305 本予算: 300 合計: 1,745
〔2〕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)	重点化 RtoRプロセス装置設計・導入	RtoRプロセス装置試作・評価/ 通用高効率材料合成・開発	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		補正: 802 本予算: 300 合計: 1,102
合計	5,712	1,400	1,500	1,500	7,112 10,112

図 II. 2. 2. 1 研究開発スケジュール

## 2.3 研究開発予算

開発項目別の研究予算は以下の通り。

表Ⅱ.2.3.1 開発項目別予算表

(単位：百万円)

NO	実施者	再委託先 ・共同実施者	研究概要	費用 (単位：百万円)	
				平成 21-22 年度	平成 23 年度
1	〈三菱化学チーム〉 三菱化学 シズン電子 NEC ライティング	三菱樹脂 東北大学	研究開発項目① (1) (a) HVPE 改良法による GaN バルク結晶 成長方式を開発する。材料メー カ、デバイスメーカ、照明メーカ による垂直統合関係を構築。	1,160	450
2	〈イノベーション・センターチー ム〉 大阪大学 名古屋大学 イノベーションセンター	なし	研究開発項目① (1) (a) Na フラックス法により GaN バルク 結晶成長方式を開発する。また外 部量子効率 100%に近い構造を作 成して高演色白色 LED を実現。	1,798	350
3	〈エルシードチー ム〉 エルシード 名城大学	リソビオン大学 ブリジストン スタンレー電気 のライティング	研究開発項目① (1) (b) 蛍光 SiC 結晶及び窒化物半導体を 独自の結晶成長技術により高演 色性、低コスト、長寿命の照明用 白色 LED を実現。	507	委託事 業終了
4	〈パナソニック電工チー ム〉 山形大学 青山学院大学 パナソニック電工 出光興産 タモ 長州産業	なし	研究開発項目① (2) 基材・電極の屈折率マッチングに よる高光取り出し基板、高効率・ 長寿命を兼備する燐光素子用有 機材料、長期耐久性を実現する高 放熱狭幅封止技術、高効率有機 EL 素子と封止との複合構造方式を 開発して高性能有機 EL 光源を実 現。	1,445 (うち加 速：305)	300
5	〈コニカミノルタ チーム〉 コニカミノルタテ クノロジーセンタ ー	日立造船 東北大学 北陸先端大 学 大阪府立大 学	研究開発項目① (2) 量産可能な次世代照明の実現を 目指し塗布型ロールツーロール プロセス技術を開発する。	802	300)
合計				5,712	1,400

## 2.4 研究開発体制

### (1) 研究開発の実施体制

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。

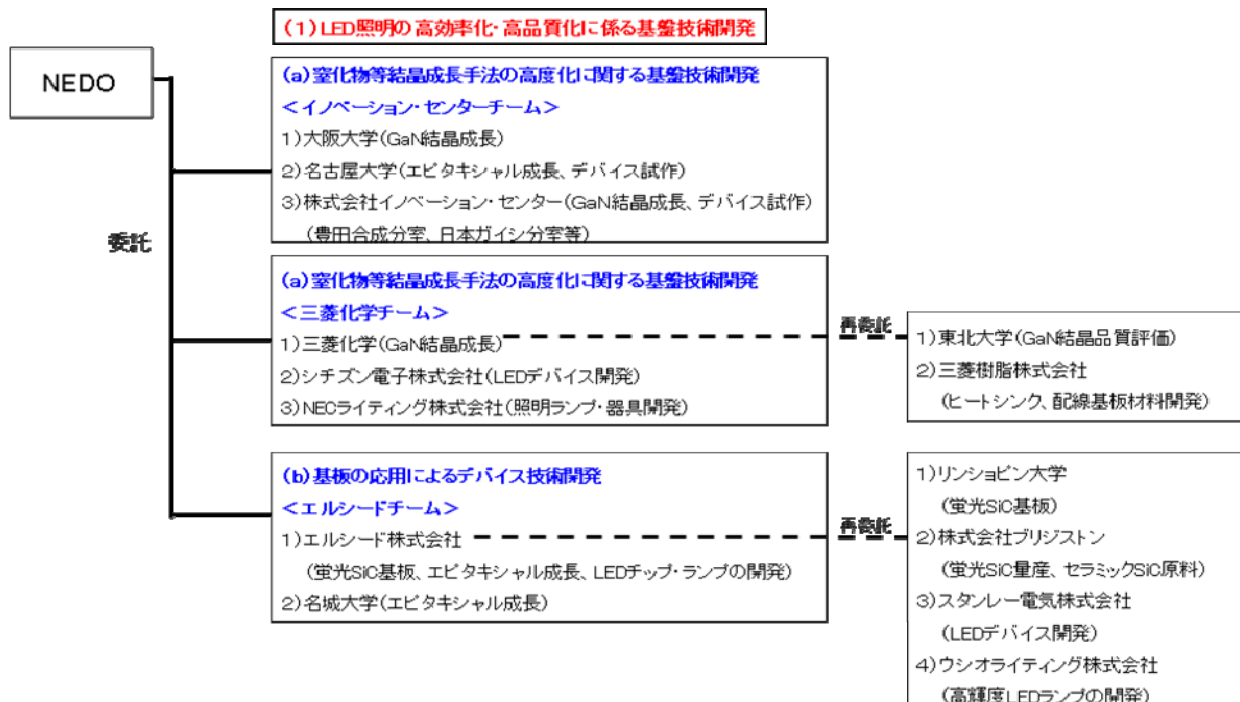


図 II. 2. 4. 1 LED 照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 体制図

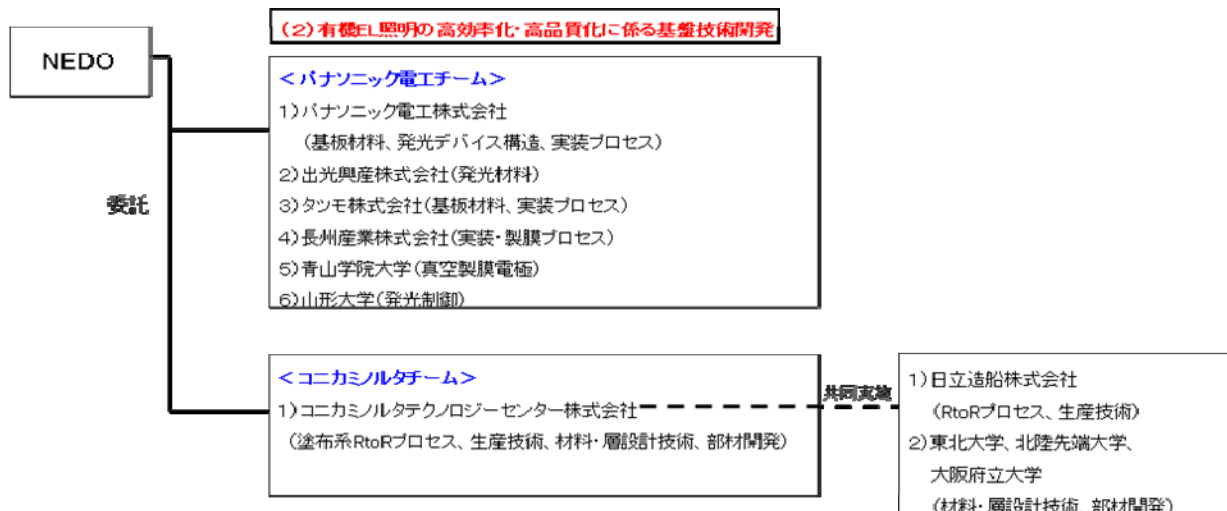


図 II. 2. 4. 2 有機 EL 照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 体制図

## 2.5 研究開発の運営管理

### 2.5.1 プロジェクトマネジメント方針

実現の難易度は高いものの、達成しなければならないゴール（技術的達成要件）を実現するための技術的アプローチを公募により募集し、その中から 有望な提案を複数採択する方針を採

った。

採択されたチームは、研究開発完了後に速やかに実用化、事業化が可能となるように研究開発結果を事業に結びつける可能性の高い企業連携チーム、例えば、LED 基板結晶から LED 照明器具までを製造できる企業グループを形成するチームや製造の上流から下流までを連携する企業グループを形成するチームが主に、複数採択された。

採択されたチーム同士は相互補完関係ではなく、競争・競合関係にある。選択と集中及び成果に基づく投資の効率性を図るために、各チームを対象にステージゲート評価方式を採用した。プロジェクトの中間段階で研究成果と今後の計画のフィージビリティ等の評価を行い、目標達成の目途があり継続して研究開発すべきチームの絞り込みを中間段階で行った。このようなステージゲート評価によりチーム間の研究開発競争状況を創出して、より高い成果をあげ、研究開発のスピードアップを図るようプロジェクト運営を図った。

なお最先端の技術開発についてはチーム同士は競合関係にあるが、事業化に向けた標準化活動においては相互が協力し合うオール Japan 体制を奨励する運営を図っている。

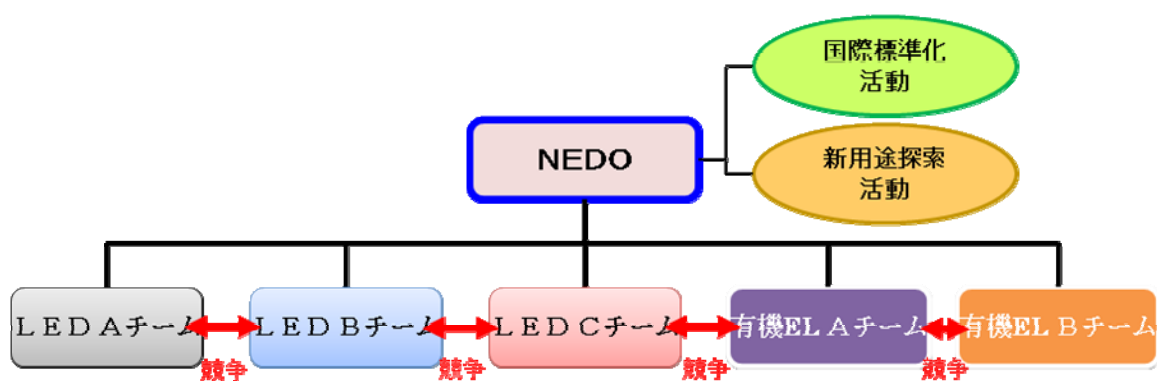


図 II.2.5.2 NEDO のプロジェクトマネジメント方針

## 2.5.2 研究開発の運営管理

2.2 に示した実施体制に基づいて、研究開発の運営管理は以下のように行った。

NEDO と委託先間、委託先内の情報交換としての会議や打ち合わせを以下に示す。NEDO では、本プロジェクト委託先と秋に定例ヒアリングを開催して、研究開発内容の進捗状況確認を行うとともに、課題の共有や開発計画の見直し、加速資金の必要性などを議論する場を設けた。委託先間では、効率的な進捗管理運営のため、プロジェクト運営会議を定期的に行った。実施者の各会議にはオブザーバとして NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部も適宜参加して、速やかな課題把握と対策に努めた。

運営管理としては、研究開発項目毎に企業情報共有が可能な 5 つのチーム単位で、ヒアリング及びプロジェクト運営会議を開催した。

### ●秋ヒアリング (NEDO 主催)

- －主催者：NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部
- －出席者：NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部、委託先、経済産業省
- －開催頻度：年 1 回 (秋)
- －議事内容：研究開発内容の進捗状況報告

●プロジェクト運営会議（実施者主催）

- －主催者：各チーム代表委託先
- －出席者：各チーム参画委託先、再委託先
- －開催頻度：必要に応じて年数回
- －議事内容：研究開発成果・状況報告

以下に秋ヒアリング及び本プロジェクト運営会議を列記する。このほかにも、共同研究者間の技術的打ち合わせ、その他のミーティングは必要の都度、実施した。

(1) 秋ヒアリング

表Ⅱ.2.5.1 秋ヒアリング実績

日時	場所	メンバ	内容
2010/10/25	NEDO 川崎オフィス	ユニカテクノロジーセンター、NEDO、経済産業省	進捗状況報告、課題対策
2010/11/29	NEDO 川崎オフィス	エルシード、名城大、NEDO、経済産業省	進捗状況報告、課題対策
2010/11/29	NEDO 川崎オフィス	大阪大、名古屋大、NEDO、経済産業省	進捗状況報告、課題対策
2010/12/6	NEDO 川崎オフィス	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO、経済産業省	進捗状況報告、課題対策
2010/12/8	NEDO 川崎オフィス	パナソニック電工、出光興産、タツモ、長州産業、山形大、青山学院大、NEDO、経済産業省	進捗状況報告、課題対策

(2) プロジェクト運営会議

(i) 研究開発項目①(a)LED 照明：窒化物等結晶成長法の高度化

表Ⅱ.2.5.2 プロジェクト運営会議実績 HVPE 改良方式採用（三菱化学チーム）

NO	開催日	会議名	場所	メンバ	内容
1	2010/5/11	キックオフ会議	三菱化学(本社)	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	実施概要確認、実施計画確認、研究方針の検討実
2	2010/6/10	第2回 NEDONEDO プロジェクト運営会議(第1回)	シチズン電子(東京事業所)	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ
3	2010/7/8	第3回 NEDONEDO プロジェクト運営会議(第2回)	NECライティング(滋賀工場)	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ
4	2010/8/24	第4回 NEDONEDO プロジェクト運営会議(第3回)	三菱樹脂(本社)	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ
5	2010/9/28	第5回 NEDONEDO プロ	三菱化学(本	三菱化学、シチズン電子、NEC	進捗状況報告、今後の計



		プロジェクト運営会議（第4回）	社）	ライティング、三菱樹脂、NEDO	画すり合わせ
6	2010/11/2	第6回 NEDONEDO プロジェクト運営会議（第5回）	シチズン電子（東京事業所）	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ
7	2011/1/28	第7回 NEDONEDO プロジェクト運営会議（第6回）	三菱化学（本社）	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ
8	2011/3/1	第8回 NEDONEDO プロジェクト運営会議（第7回）	シチズン電子（東京事業所）	三菱化学、シチズン電子、NECライティング、三菱樹脂、NEDO	進捗状況報告、今後の計画すり合わせ

(ii) 研究開発項目①(a)LED 照明：窒化物等結晶成長法の高度化

表Ⅱ.2.5.3 プロジェクト運営会議実績 Na フラックス方式採用（イノベーション・センターチーム）

NO	開催日	会議名	場所	メンバ	内容
1	2010/5/25	キックオフ会議兼プロジェクト運営会議（第1回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター、NEDO	実施概要確認、実施計画確認、研究方針の検討
2	2010/6/22	プロジェクト運営会議（第2回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター、NEDO	進捗確認、課題と対策、設備関係の内容検討
3	2010/8/18	プロジェクト運営会議（第3回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター、NEDO	進捗確認、研究方針の検討
4	2010/10/27	プロジェクト運営会議（第4回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター、NEDO	進捗確認、研究スケジュール検討
5	2010/7/21	リーダー会議（第1回）	大阪大学	名大、阪大、イノベーション・センター	進捗確認、研究内容の検討
6	2010/9/28	リーダー会議（第2回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター	進捗確認、研究内容の検討
7	2010/11/29	リーダー会議（第3回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター	進捗確認、研究内容の検討
8	2010/12/17	リーダー会議（第4回）	JRCM（港区西新橋）	名大、阪大、イノベーション・センター	進捗確認、発注予定確認、事業化検討
9	2011/2/9	リーダー会議（第5回）	スカイコー ト川崎	名大、阪大、イノベーション・センター	進捗・入荷状況確認、研究内容検討
10	2011/3/7	リーダー会議（第6回）	名古屋大学	名大、阪大、イノベーション・センター	研究実績報告、今後の課題検討

(iii) 研究開発項目①(b)LED 照明：基板の応用

表Ⅱ.2.5.4 プロジェクト運営会議実績 SiC 蛍光方式採用 (エルシードチーム)

NO	開催日	会議名	場所	メンバ	内容
1	2010/5/20	キックオフ会議	名古屋大学 及び名城大 学	エルシード、名城大、NEDO	実施概要確認、研究方針 の検討
2	2010/9/30	プロジェクト運営会 議 (第2回)	名古屋大学	エルシード、名城大、NEDO	進捗確認、設備関係の内 容検討

(iv) 研究開発項目②有機 EL 照明：高効率・高品質化の研究

表Ⅱ.2.5.5 プロジェクト運営会議実績 蒸着方式採用 (パナソニック電工チーム)

NO	開催日	会議名	場所	メンバ	内容
1	2010/6/7	2010年度キック オフ兼プロジェ クト運営会議 (第1回)	パナソニック電 工 大阪本社	出光興産、タツモ、長州産業、パ ナソニック電工、NEDO	実施概要確認、実施計画 確認、研究方針の検討
2	2010/9/14	2010年度プロジ ェクト運営会議 (第2回)	パナソニック電 工 大阪本社	出光興産、タツモ、長州産業、パ ナソニック電工、NEDO	2010年度の研究開発状況 報告
3	2010/11/15	2010年度プロジ ェクト進捗会議 (第1回)	パナソニック電 工 東京本 社	出光興産、タツモ、長州産業、パ ナソニック電工、NEDO	研究進捗状況報告と、研 究開発内容に関するディ スカッション
4	2010/11/26	2010年度プロジ ェクト運営会議 (第3回)	パナソニック電 工 大阪本社	出光興産、タツモ、長州産業、パ ナソニック電工、NEDO	2010年度の研究開発状況 報告と目標達成見込み
5	2011/1/14	2010年度プロジ ェクト進捗会議 (第2回)	パナソニック電 工 東京本社	出光興産、タツモ、長州産業、パ ナソニック電工、NEDO	研究進捗状況報告と、研 究開発内容に関するディ スカッション

(v) 研究開発項目②有機 EL 照明：高効率・高品質化の研究

表Ⅱ.2.5.6 プロジェクト運営会議実績・塗布方式採用 (エコミナルテクノロジーセンターチーム)

NO	開催日	会議名	場所	メンバ	内容
1	2010/5/25	2010年度キック オフ会議	エコミナルテクノロジー センター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株)、NEDO	実施概要確認、実施計画 確認、研究開発状況報告
2	2010/6/7	プロジェクト運 営会議 (第1回)	エコミナルテクノロジー センター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及び ディスカッション
3	2010/7/27	プロジェクト運 営会議 (第2回)	エコミナルテクノロジー センター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及び ディスカッション

4	2010/8/20	プロジェクト運営会議（第3回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
5	2010/10/26	プロジェクト運営会議（第4回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
6	2010/11/18	プロジェクト運営会議（第5回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
7	2010/11/22	共同実施先技術会議（第1回）	東北大学	東北大学：大井秀一、佐藤徹雄 コニカミノルタ：北弘志、石毛修	中間進捗確認と今後について検討
8	2010/11/25	共同実施先技術会議（第2回）	大阪府立大学	大阪府立大学：内藤裕義 コニカミノルタ：若松秀明、鍋田博之	中間進捗確認と今後について検討
9	2010/11/30	プロジェクト運営会議（第6回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
10	2010/12/8	プロジェクト運営会議（第7回）	日立造船(株) 事業・製品開発本部	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
11	2010/10/13	共同実施先技術会議（第3回）	北陸先端大学院大学	北陸先端大：村田英幸 コニカミノルタ：中山知是	共同実施進捗討議
12	2010/12/21	プロジェクト運営会議（第8回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
13	2011/1/14	プロジェクト運営会議（第9回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
14	2011/2/4	プロジェクト運営会議（第10回）	日立造船(株) 事業・製品開発本部	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション
15	2011/2/22	プロジェクト運営会議（第11回）	エコミナルテクノロジーセンター(株) 本社	エコミナルテクノロジーセンター(株) 日立造船(株)	共同開発の進捗報告及びディスカッション

## 2.6 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

### (1) 総合的研究開発マネジメント

本プロジェクトの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、次世代照明の技術開発を段階的・継続的に進める戦略的アプローチを採用している。図Ⅱ.2.6.1に示すように、「技術開発」のみでなく、「標準化」、「市場拡大」を含む3つの活動を密接に連携した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んでいる。以下に技術開発戦略、標準化戦略、市場拡大戦略を連動した研究開発マネジメントについて説明する。

## 次世代照明研究開発マネジメントの全体像



図Ⅱ.2.6.1 次世代照明戦略

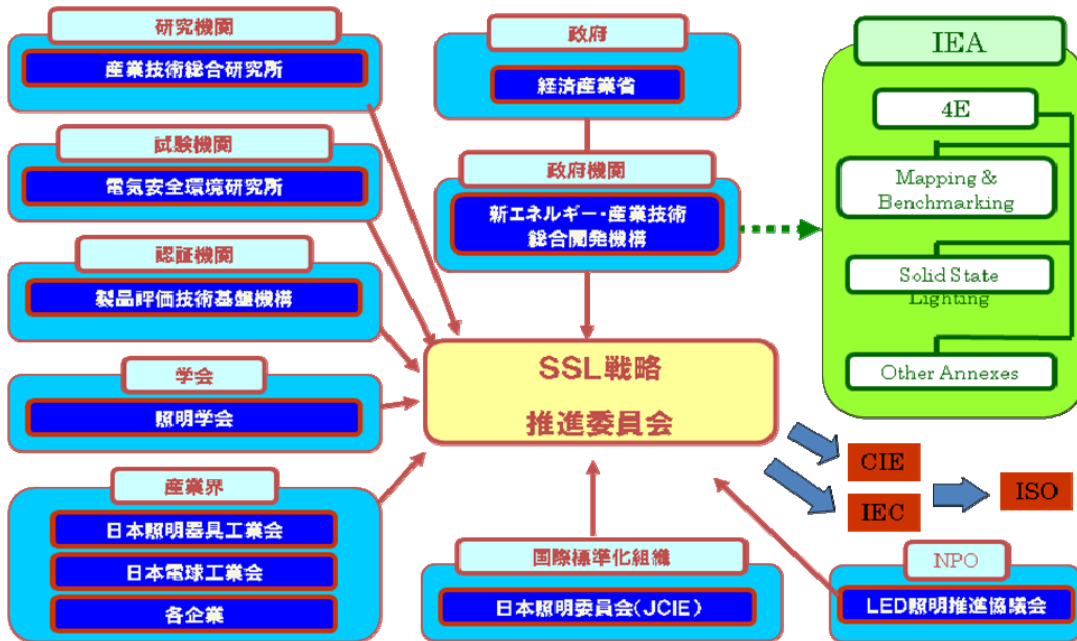
最初の「技術開発」活動は本事業原簿の主題である本「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」プロジェクトが対応する。

「標準化」活動は本事業原簿（中間評価）の対象外であるが、「技術開発」と密接に関係しているため、簡単に以下に述べる。次世代照明はまだ標準化については十分な整備が行われていない。例えばLED照明は実用化されたものの、従来の蛍光灯と異なる特色があるために標準化の整備が急務である。有機EL照明については製品化が国際的にも未だ進んでいないが、研究開発完了後、1～2年後には量産化が進み市場が立ち上がる状況にあることを考慮すると、標準不統一による不良品の流通阻止や国際的事業の展開を踏まえて標準規格化が望まれる状況にある。そのため、「標準化」活動のため、「戦略的国際標準事業」プロジェクトにて技術開発の成果が有効に事業化に結び付けられるようにLED照明と有機EL照明の国際標準化活動に取り組んでいる。参考として、LED照明の標準化活動の体制を図Ⅱ.2.6.2に、有機EL照明の標準化活動の体制図を図Ⅱ.2.6.3に示す。標準化体制として経済産業省、工業会、（独）産業技術総合研究所等をメンバーに含むオール Japan 体制を構築して関係機関と連携しつつ標準化を進める。LEDについてはIEA-4E SSL Annexを足がかりに、LED照明の色再現性能評価技術、グレア評価技術及び配光測定技術、有機EL照明は測光・測色評価技術に取り組み標準規格を策定する際の裏付ける研究に注力する。

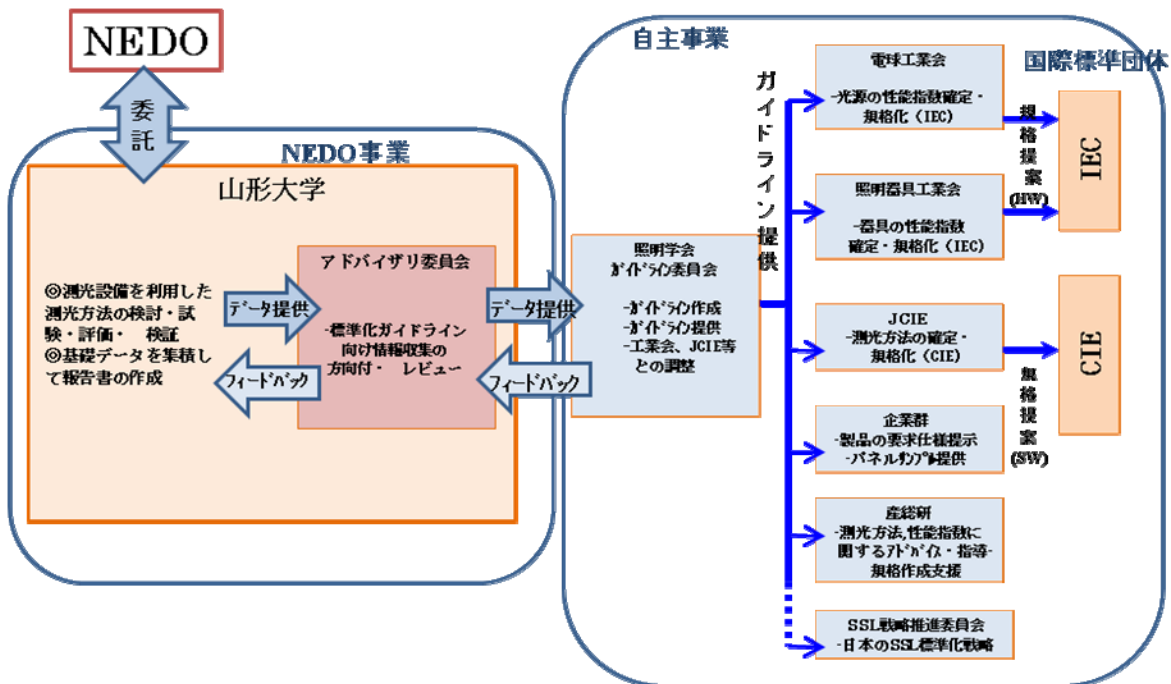
最後に「市場拡大」活動も、本事業原簿（中間評価）の対象外であるが「技術開発」と密接に関係しているため、同様に以下に簡単に紹介する。次世代照明は、既存照明を置き換える高効率照明として期待されるだけでなく、既存照明の用途を超えた新規利用分野を創出する照明として期待されている。例えば、LED照明は自動車照明、ディスプレイのバックライトや植物速成照明として利用されるだけでなく、今後は産業用途での使用が期待されている。有機EL照明は壁や窓ガラスが全面に光る新建築材等、今後多くの新規用途への応用が期待される。このよ

うな新しい利用用途のアイデア発掘のため、次世代新用途探索アイデアのコンペにも取り組んでいる。

このように、「技術開発」を「標準化」、「市場拡大」を連携させて3つの施策を連動して次世代照明の研究開発マネジメントを行うことにより、国際的な省エネルギー化に貢献するとともに本分野での日本の産業力強化を図ることを狙いとしている。



(ご参考) 図 II.2.6.2 LED 照明標準化体制 (中間評価対象外)



(参考) 図 II.2.6.3 有機 EL 照明標準化体制 (中間評価対象外)

(2) 段階的研究開発マネジメント

NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部では先導研究、基盤研究、実用化開発等のように段階的に「技術開発」の課題に取り組んでいる。前段の研究開発の成果を生かしながら次の段階に有機的に結び付けていくことにより効率的に研究開発を進めることを狙いとしている。例として有機 EL 照明技術の研究開発の従来からの研究開発の系譜を図 II.2.6.4 に示す。基礎調査を含む先導研究を経て、2007 年～2009 年に一般照明への可能性を追求する技術開発を行った結果、一般照明への目途が立った。さらに本成果を基盤として本格的に蛍光灯の 2 倍の効率を実現して、蛍光灯等の一般照明を有機 EL 照明を含む次世代照明で置き換える上で必要な基盤技術開発を行う本プロジェクトを 2009 年度末より始動した。

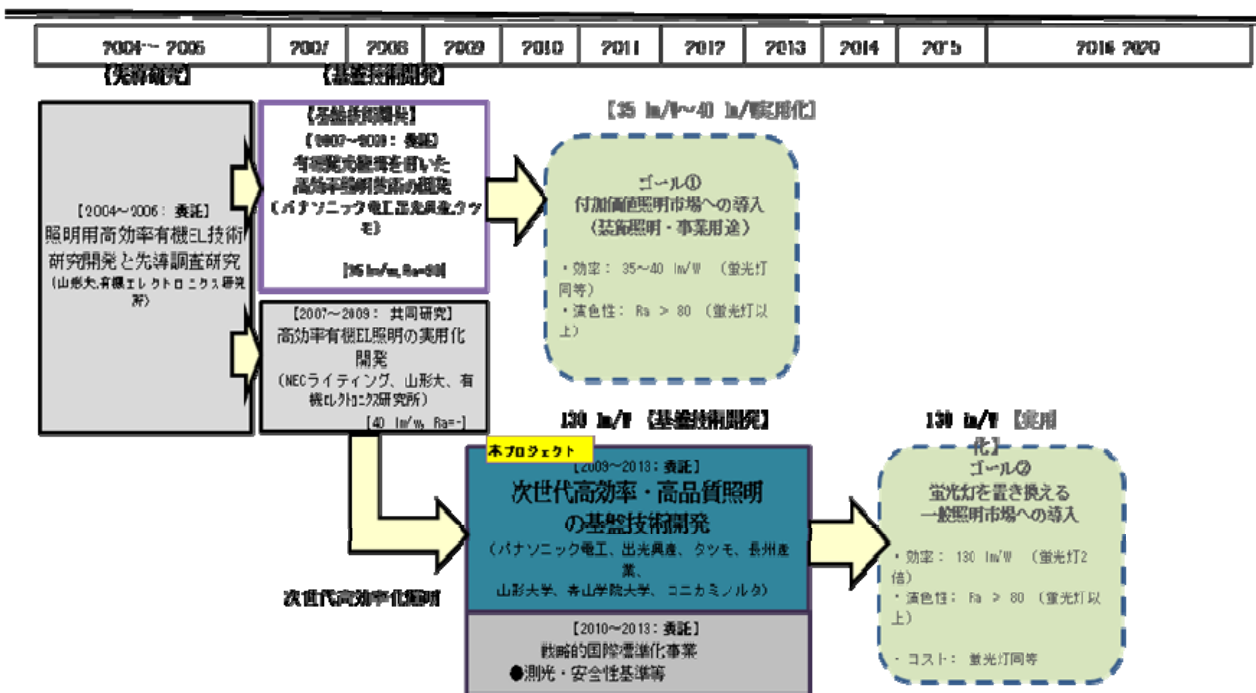


図 II.2.6.4 有機 EL 照明開発プロジェクトの連携

なお、LED 照明については、1998 年～2002 年に実施した「高効率電光変換化合物半導体開発 (21 世紀あかり計画)」以降、実用化・事業化段階に進展したため、これまで継続的な研究開発は行っていないが、省エネルギー化と国内産業力強化の観点から、国家戦略として LED 照明基盤技術開発として今回合わせて取り組んでいる。

(3) ステージゲート評価方式の採用

本プロジェクトでは前述したようにハードルの高い目標設定をしているために実現性のリスクが高い。プロジェクト開始時には異なる研究開発アプローチで目標を達成する可能性の高い複数のチームを採択した後、中間時点 (前半 2 年のステージ I、後半 3 年のステージ II の間) にそれまでの研究成果と今後の見通しを評価して、引き続き目標を実現して研究開発を継続すべき有力な実施者を絞り込むステージゲート評価を行う方針を採り、平成 23 年 2 月に

ステージゲート評価委員会を開催した。ステージゲート評価の概要は以下のとおり。

#### ーステージゲート評価経緯

- ・2011/1/12：各実施者からのステージゲート評価資料の提出  
(ステージⅠ成果とステージⅡ実施計画の提出)
- ・2011/1/14～2/04：ステージゲート評価委員（本技術分野の有識者）による書面評価
- ・2011/2/09：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

ステージゲート評価要領としては、

本事業に参画する実施者チーム単位（研究項目① LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発：3チーム、研究開発項目②有機EL照明：高効率・高品質化の研究：2チームの計5チーム）を評価対象として、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点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、基本的には合格とするが、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で判断された場合には不合格と判断した。

#### ーステージゲート評価結果

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）、イノベーション・センターチーム（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電工チーム（参加委託先：パナソニック電工、出光興産、タツモ、長州産業、山形大学、青山学院大学）、コニカミノルタテクノロジーセンター チーム（参加委託先：コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社）の計4チームに決定した。なおステージゲート評価後も、中間評価、技術委員会等を毎年開催して適宜、進捗確認、情勢の変化に対する計画の見直しをタイムリに行う予定である。

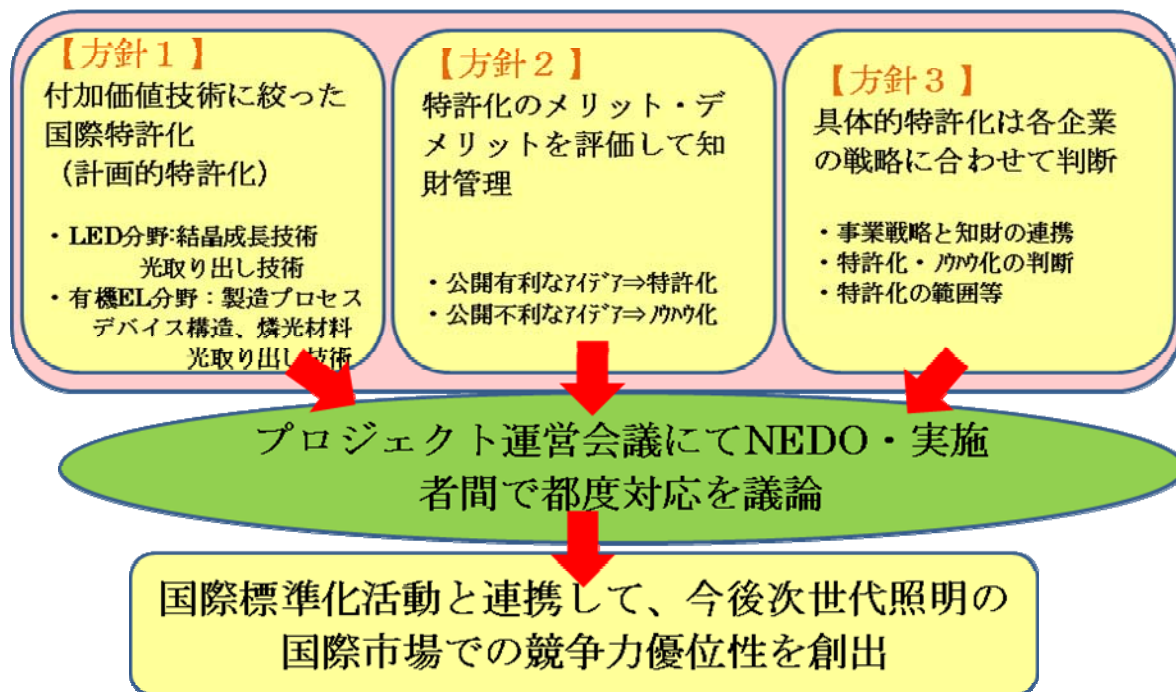
#### (4) 知財マネジメント

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近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技術開発内容に関して、出願すべき内容の議論を都度抽行った。

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。



図Ⅱ.2.6.5 知財マネジメント



### 3. 情勢変化への対応

#### (1) これまでの情勢変化への対応

本プロジェクト推進に当たり、随時発生する事象について、適宜対策を講じて、目標達成を図った。

主要な対策は以下の通り。

表Ⅱ.3.1.1 情勢変化への対応推移

時期	情勢の変化	対策	投入加速資金 (単位：百万円)
2010年5月	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、当初想定していた最終目標の0.3円/1m年以下のコストダウンが望ましいと判断された。	生産性を向上させる製造プロセス技術として、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追加するため、 <b>加速資金を投入(305百万円)</b> 。 2013年度の製造コストに係る目標を、 <b>0.3円/1m年 → 0.25円/1m年</b> に上方修正した。	305
2011年4月	ステージゲート評価の結果、イノベーション・センターチームにおける将来の研究開発成果を実用化する社が明確になるよう、体制強化を求められた。	Naフラックス法を推進するイノベーション・センターチームに、高品質な種結晶を開発するリコー(株)を再委託先として参画させる体制を構築した。 リコー(株)参画により、プロジェクト完了後に本技術を適用する事業家参画により速やかに事業化を行い、次世代照明普及速やかな立ち上げが実現できる体制を確立した。	50
2011年6月	有機EL照明技術開発の実施者において、ステージIの研究成果を活用した事業化のため、研究の目的を達成した研究資産の早期有償取得を急遽要望された。	NEDOにて研究開発成果を活用した早期事業化は有効と判断して、 <b>当該成果の事業化に合わせて早期に有償譲渡処理を行った。</b>	-
合計			355

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

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取り組んだ。

研究項目①（１） LED 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イノベーション・センターチーム（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）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①（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電気チーム（パナソニック電気、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テクノロジーセンターチーム（コニカミノルタテクノロジーセンター）の2チームが、研究開発開発に取り組んだ。

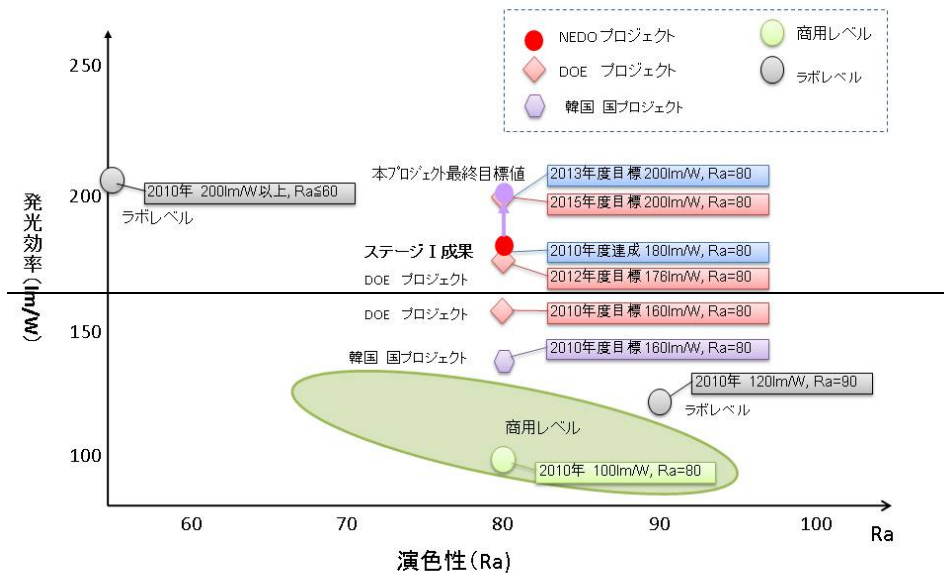
LED 照明技術及び有機 EL 照明技術については各々、中間目標及び最終目標を設定している。下記にステージ I（平成21年度～平成22年度）に設定した中間目標に対する達成度を示す。下表のとおり、設定した中間目標を全て達成することができた。

表Ⅲ. 1. 1. 1 中間目標の達成度

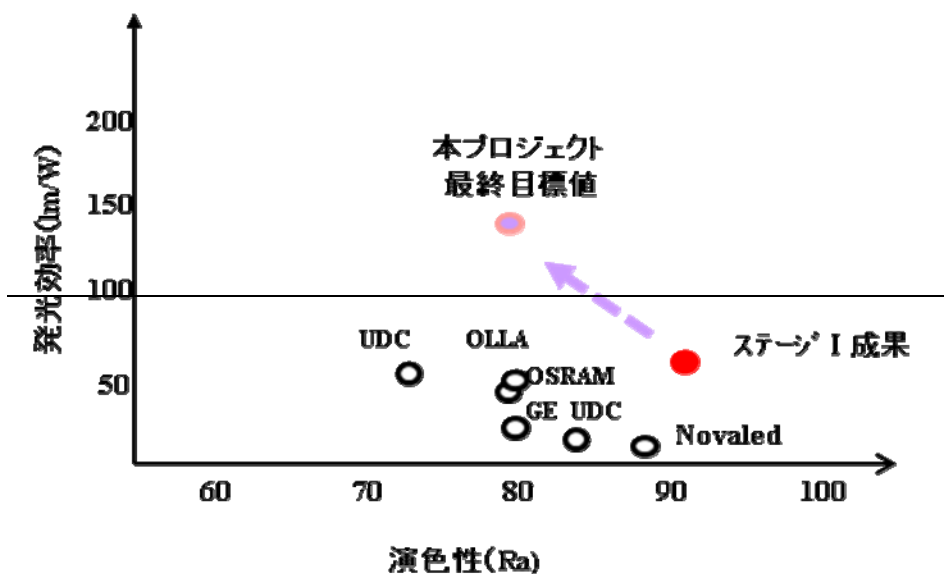
研究開発項目①（１）LED 照明の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
ステージ I 目標（平成22年度末目標）	進捗状況（平成22年度末）	目標達成度
5～10mm 角サイズ以上結晶で 効率：175 lm/W 以上	直径 89mm で 180 lm/W を実現	◎（達成）
上記条件で 平均演色評価数：80 以上	80 を達成	◎（達成）
研究開発項目①（２）有機 EL 照明の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
ステージ I 目標（平成22年度末目標）	進捗状況（平成22年度末）	ステージ I 達成度
発光面積 25cm <sup>2</sup> 以上で 効率：50 lm/W 以上	56 lm/W を実現。	◎（達成）
上記条件で 半減寿命：1 万時間以上（輝度：1,000 cd/m <sup>2</sup> ）	15 万時間を達成	◎（達成）
上記条件で 平均演色評価数：80 以上	91 を達成	◎（達成）
製造プロセス実現の要件の明確化	製造プロセス技術の要件を 検討して実現方式を提案	◎（達成）

上記実績によりに加えて、平成 21～22 年度の期間に、ステージⅡ（平成 23～25 年度）にて最終目標を実現する方式とシナリオを検討して、LED 照明及び有機 EL 照明各々の高効率高品質化に関わる基盤技術開発について実現性の高い実施計画が策定された。

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（建築材分野、自動車分野、エンタテインメント分野等）への期待が可能な状況といえる。本成果は今後の国際競争力強化、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 LED 光源に関する成果の国際的な位置づけ



図Ⅲ. 1. 2 有機 EL 光源に関する成果の国際的な位置づけ

上記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。その結果は以下のとおり。

表Ⅲ. 1. 1. 2 研究発表、論文、特許等の成果

実施者 項目	三菱化学・ シチズン 電子・ NECラ イティン グ	イノベーション・ センター・ 大阪大学・ 名古屋大学	エルード・ 名城大学	パナソニック 電工・ 出光興産・ タツモ・ 長州産業・ 山形大学・ 青山学院大学	エコミナルテクノ ロジーセンター	合計
研究発表・講演 件数	21	41	8	14	3	87
論文 件数 (査読有)	3	6	3	3	0	15
特許出願件数 (うち海外出 願)	5	0	0	16(2)	25	46(2)
その他(プレス 発表) 件数	0	0	0	0	3	3

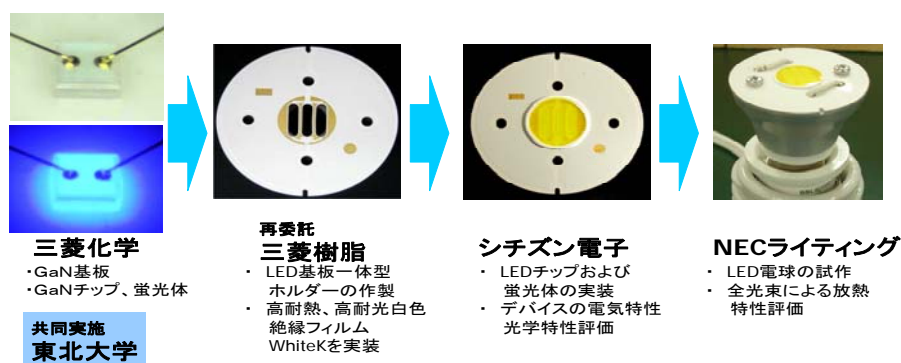
## 2. 事業の成果詳細

以下に、各研究開発項目毎の成果詳細を説明する。

### 2.1 研究開発項目①(a)LED照明：窒化物等結晶成長法の高度化

#### 2.1.1 HPVE改良法によるGa<sub>N</sub>結晶成長手法の高度化に関する基盤技術開発

本方式については、三菱化学（再委託先：三菱樹脂、共同実施先：東北大学）、シチズン電子、NECライティングにて、下図の役割分担にて実施する。



図Ⅲ. 2. 1. 1. 1 LEDデバイス応用展開例

#### 【本研究全体の成果】

以下に、本プロジェクトの成果をサブテーマごとに記載する。

#### (1) 大型HVPE装置の開発

GaN基板の製造コストを大幅に削減することを目的として、次世代の大型HVPE装置の開発を取り進めている。製造コスト削減策として、a) Ga<sub>N</sub>結晶径の大型化、b) Ga<sub>N</sub>結晶の厚膜化、c) 原料利用効率の向上、d) 結晶成長速度の向上等が効果的である。H22年度は大型HVPE装置設計の観点から、c) 原料効率の向上、d) 結晶成長速度の向上について検討を実施した。

HVPE法でのGa<sub>N</sub>基板の製造には、原料としてGaCl(GaとHClの反応により生成)とNH<sub>3</sub>が使用される。このうち、原料コストの大部分を占めるGaの利用効率は、従来の成長条件では5%程度と低かった。このGa利用効率を向上させることで、Ga<sub>N</sub>基板製造プロセスの変動費を大幅に削減することが可能となる。一方、成長速度の向上は1炉あたりの生産能力を向上させ、固定費の削減につながる。低コスト製造プロセスの実現には、現状100μm/hr程度である結晶成長速度の向上が必須である。

まず反応・流体シミュレーションを利用して、高Ga利用効率、高成長速度となる成長条件の探索を行った。汎用流体解析ソフトウェア「FLUENT」を用い、リアクタ内のガス流動と拡散、温度分布、結晶表面でのGa<sub>N</sub>成長反応等について考慮したシミュレーションを実施した。シミュレーション結果より、結晶成長速度、結晶面内の成長速度分布等の予測が可能となる。さらに、上記のシミュレーションを汎用最適化支援ツール「modeFRONTIER」と組み合わせ、成長条件の最適化を行った。最適化検討の結果、Ga利用効率及び成長速度が最大となる、最適な成長

条件を見出すことができた。

そこで、シミュレーション検討より得た最適成長条件について、従来型の成長装置での検証実験を実施した。結果を、表Ⅲ. 2. 1. 1. 2 に示す。検討の結果、N<sub>2</sub>分圧増加、V/Ⅲ比(フィードガス中のNH<sub>3</sub>とGaClの比)増加、及び温度低下が、Ga利用効率向上に効果があることを確認した。さらに、これらの条件を組み合わせた最適条件で結晶成長を行った結果、Ga利用効率は従来条件の5.2%より10.5%まで向上し、目標値であるGa利用効率10%を達成することができた。結晶成長速度も、234μm/hrと大きく向上した。最適化条件で成長した結晶は鏡面かつ透明であり、結晶品質についても従来条件で得た結晶と同等であることを確認した。

表Ⅲ. 2. 1. 1. 2 成長速度とGa利用効率

装置配置	成長条件	結果	
		成長速度 (μm/hr)	Ga利用効率
従来配置	従来条件	159	5.2%
	N <sub>2</sub> 分圧増加	181	5.4%
	V/Ⅲ比増加	199	8.9%
	温度低下	184	5.8%
	成長条件最適化	234	10.5%
新型配置	初期検討条件	232	13.2%

本検討により、Ga利用効率向上を達成できたとともに、Ga利用効率の更なる向上のための指針を得た。現状のHVPE成長プロセスでGa利用効率が依然として低い原因のひとつとして、装置配置に問題があることが明らかとなった。そこで、基板配置位置、ガス導入方式等についての改善策を提案し、プロトタイプの新機リアクタを試作した。本装置で結晶成長実験を実施した結果を表1-1に追記する。装置配置の改良を行った結果、結晶2枚合計でのGa利用効率は初期検討条件においても13.2%と高い値となり、予想通り、従来の装置配置よりもGa利用効率が向上することを実証することができた。また、新型装置配置についてのシミュレーション検討を実施した結果、装置配置の更なる改善により、Ga利用効率を20%程度まで向上できる可能性があることも明らかになった。成長した結晶は鏡面かつ透明であり、結晶品質についても従来型の装置配置で得た結晶と同等であることを確認した。

以上の検討の結果、成長条件の最適化、及び装置配置の最適化により、Ga利用効率の大幅向上を達成することが出来た。NEDOステージⅡ検討では、今回の検討で得た知見をベースとした、次世代の大型HVPE装置の開発を行う予定である。

## (2) バルク成長技術の開発

気相成長法による大型バルク結晶実現を実証することを目的として、ステージⅠの開発目標としてはφ76.2mm×L10mmバルク結晶の実現を掲げ検討を実施した。

現有2インチ用HVPE装置の改造を実施した。これは大口径化に伴う単なるウエハを保持するサセプターの改造にとどまらず、長時間成長に対応した排気管の改造、寄生成長を抑制するためのリアクタ内部構造の改造を含むものである。従来長時間のバルク成長においては、リアクタ壁やウエハを保持するサセプター等への多結晶体の付着(寄生成長)が大きな問題となっ

いた。内部形状、材質、ガス導入方法の最適化及び改造を実施し、寄生成長を抑制することに成功した。

結晶を大口径化することにより、結晶成長中のクラック発生や、成長後の結晶の反り増大が懸念されていた。今回再成長界面に微細加工を施すことにより成長中の応力をコントロールを実現した。具体的にはシード基板の上に微細な溝加工を施し再成長を実施したところ、成長初期に発生するクラックを防止することができた。本成果を応用することにより成長中のクラック抑制や結晶のそり低減ができ、品質向上が期待できる。

成長条件の最適化においては、結晶品質のみならず低コストでの成長を実現すべく、結晶成長速度  $200 \text{ um/h}$ 、Ga 利用率  $10\%$  を目標に掲げ条件検討を実施した。成長温度、ガス流量、ノズル形状等を最適化することにより結晶成長速度  $216 \text{ um/h}$  を達成した。しかしながら Ga 利用率は  $8.7\%$  と目標未達である。これは4インチ下地上の成長では膜厚分布が悪いことに起因している。膜厚分布の改善はステージ II で実現する。

上記のような要素技術検討の成果を融合させ、 $\phi 89 \text{ mm}$  (実効径  $76.2 \text{ mm}$  以上)、成長厚  $13 \text{ mm}$  (中心) という、目標値を超える大型バルク GaN 結晶を実現した。

高品質な大口径バルク GaN 結晶を得るためには現在、サファイアを始めとする異種基板の上に成長させるヘテロエピタキシャル成長、もしくはそのようなヘテロエピタキシャル成長により得られた GaN 基板上へのホモエピタキシャル成長を利用している。どちらの場合も、ヘテロエピタキシャル成長に起因する結晶の不完全性を評価・把握・制御する必要がある。そのために、

- ① ラマン分光法によるバルク結晶残留応力分布解析技術の確立
- ② XRD 法による精密格子定数測定技術の確立
- ③ エッチピット法等による転位分布解析技術の確立
- ④ 熱処理結晶品質改善検討
- ⑤ ①～③の手法及びその他分析・解析手法による検討結晶の評価・解析を進めた。

以下、それぞれの取り組み成果を記載する。

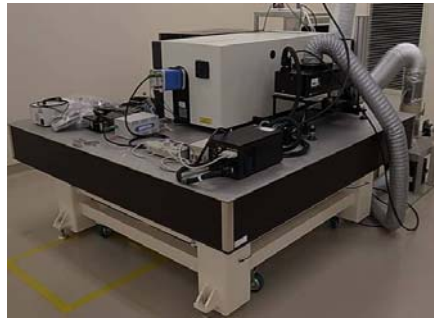
#### ① ラマン分光法によるバルク結晶残留応力分布解析技術の確立

4インチ  $\phi 30 \text{ mm}$  厚みの大口径バルク GaN 結晶の残留応力分布を高精度で測定するために、

- ・ xy 方向  $100 \text{ mm}$ , z 方向  $30 \text{ mm}$  の電動自動ステージ
- ・  $30 \text{ mm}$  厚結晶を想定して結晶内部の残留応力測定のための超長作動対物レンズ
- ・ 数 MPa レベルの残留応力評価を実現するための高分解能分光システム
- ・ 高い波数再現性を得るための標準光源同時機構
- ・ 蛍光顕微鏡像を測定場所モニタできるオプション

を装備した応力測定用高性能ラマン分光装置を設計・導入した。装置外観図を図 III. 2. 1. 1. 2 に示す。本装置を用いて HVPE 成長後のアズグロン GaN バルク結晶の評価を行い、結晶内部も含めて非破壊で残留応力評価できることを確認した。

導入後は、高品質な大口径バルク GaN 結晶を得るために成長実験及び加工、熱処理した各種 GaN 結晶の残留応力評価手法として活用し、残留応力の少ない高品質な結晶の開発に活用した。

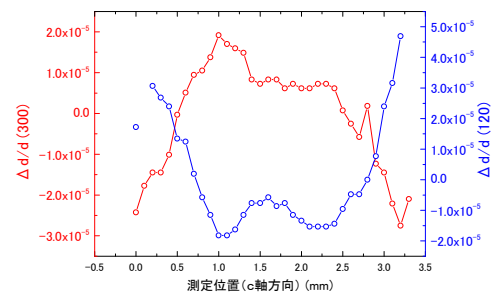


図Ⅲ. 2. 1. 1. 2 導入したラマン分光装置

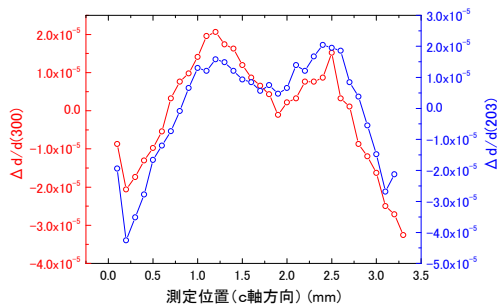
### ② XRD 法による精密格子定数測定技術の確立

GaN バルク結晶の微小領域 X 線回折測定により格子面間隔の局所的な変化を精密に調べた。

図Ⅲ. 2. 1. 1. 3 (a) は c 面成長バルク結晶の m 断面の格子面間隔を c 軸方向に沿って連続測定した結果である。ビーム径は 100x200um と 100um 間隔で測定を行った。(300)面と(203)面の格子面間隔の増減の変化の方向はほぼ一致しており、これ周方向の m 面格子面間隔と c 軸長の増減の変化が一っていることがわかる。これに対して図Ⅲ. 2. 1. 3 (b) のように径方向の a 軸長情報を含む(120)格子面間隔の増減の変化の方向はこれらと逆の傾向を示す。これから c 面内で異方性を有する特異な歪みが生じることがわかった。



し  
子面  
から  
致し  
1.  
面の  
を示  
存在



図Ⅲ. 2. 1. 1. 3 (a) 微小領域 XRD 測定結果 1

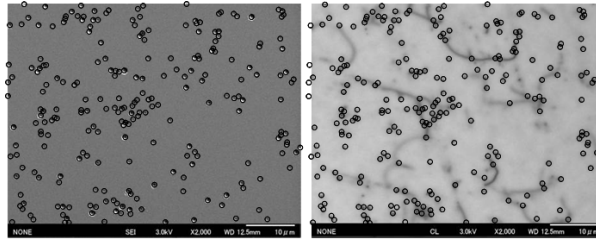
図Ⅲ. 2. 1. 1. 3 (b) 微小領域 XRD 測定結果

### ③ エッチピット法等による転位分布解析技術の確立

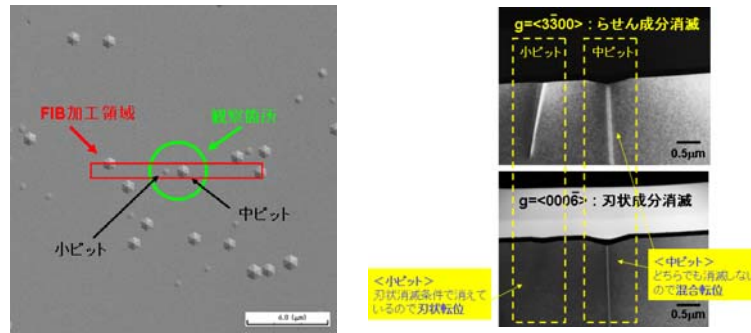
GaN 基板の転位分布及び種別の解析のため、液相エッチング法を検討した。酸系のエッチャントを用いて最適化した条件で形成したエッチピットを転位分布 (CL 像) に 100% 対応させることに成功した。(図Ⅲ. 2. 1. 1. 4)

また異なるサイズのエッチピットに対して断面 TEM 観察を行い、刃状、螺旋、混合転位種がエッチピットサイズにそれぞれ対応していることも判り、液相エッチングが転位種の判別に可能なことが分った。(図Ⅲ. 2. 1. 1. 5)





図Ⅲ. 2. 1. 1. 4 5 エッチピット分布 (○で囲っている部位) と CL 像の対比 (左 : SE 像 右 : CL 像)



図Ⅲ. 2. 1. 1. 5 異なるサイズのエッチピット部位での断面 TEM 観察.  
中ピットは混合転位、小ピットは刃状転位

#### ④ 熱処理結晶品質改善検討

大口径バルク結晶の高品質化を目的として、熱処理検討 (温度・時間、雰囲気ガス等) を実施した。一連の条件検討において最適化された条件での熱処理により、格子欠陥再配列と、格子定数変化ならびに残留応力の低減を確認した。本成果は、GaN 結晶の効果的な熱処理条件を初めて見いだすことに成功したものであり、その成果の一部は 2011 年 7 月の ICNS (International Conference on Nitride Semiconductor) にて対外的に発表する予定である。

#### ⑤. ①～③の手法及びその他分析・解析手法による検討結晶の評価・解析

検討結晶の評価は、上記①～③に確立した手法に加えて、一般・汎用的評価方法、最先端評価方法を活用して以下の通り実施した。

##### 【アズグロン結晶】

残留応力分布 (Raman)、曲率 (XRD)、形状反り、結晶品質 (XRC)

##### 【研磨基板】

残留応力分布 (Raman)、曲率 (XRD)、形状反り、結晶品質 (XRC)  
貫通転位分布 (SEM-CL、エッチピット)、キャリア濃度

##### 【詳細検討試料】

上記に加えて、不純物 (SIMS)、横方向転位 (断面 SEM-CL)、  
精密格子定数 (XRD)、格子像・欠陥 (TEM)、吸光度、熱伝導率  
微小部格子定数 (マイクロビーム XRD@SPring-8)、エピ評価  
更に、特に注目した試料については以下の評価・解析も実施した。  
基礎的評価 (OM、AFM、XRD)  
点欠陥 (陽電子消滅)  
光学特性、輻射・非輻射再結合ダイナミクス解析  
PL 測定、TRPL 測定、時空間分解 CL 測定

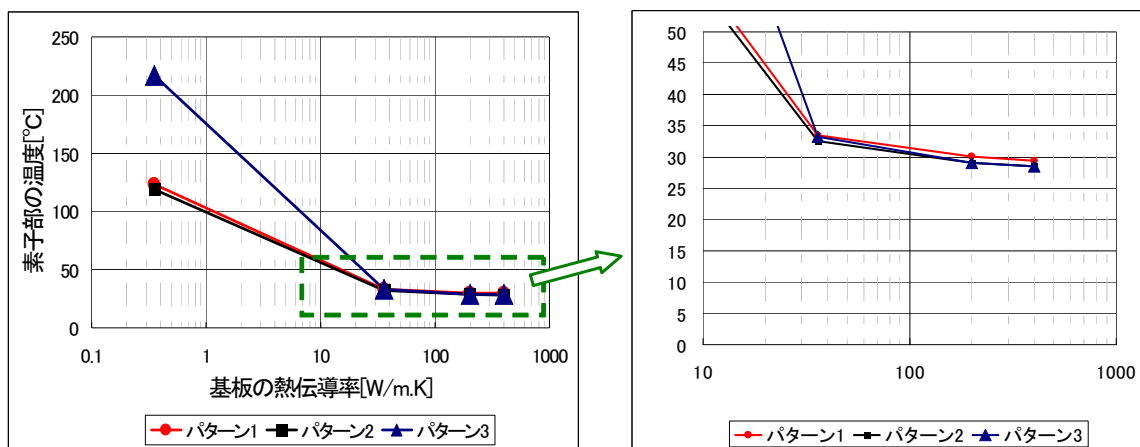
### (3) デバイス基板技術

GaN基板チップを実装する基板に関する検討を行った。チップ実装デバイスの発光効率を向上させるためには、高反射率かつ高熱伝導率を有する基板を用いる必要がある。

まず、高反射アルミ基板と配線基板部材として三菱樹脂（株）製“WhiteK™”を用いて評価を行った。“WhiteK™”は耐熱性、耐光性に優れ基板コスト低減に効果がある配線基板部材である。ワイヤボンダ実装においては既存メタル基板と同等の性能で試作可能なことを確認した。次ステップとしてGaN基板チップに必須なフリップチップ実装が可能な配線基板部材の構造検討を行った。なお、本開発においては高反射基板として高反射銀メッキ基板を用いている。

次にチップ実装電極パターン、基板材料の熱伝導率の違いによる伝熱特性を熱シミュレーション解析により検討した。熱伝導率は樹脂、アルミナ、窒化アルミなどを想定。電極パターンは3種類（パターン1：n電極/p電極を交互に配置、パターン2：p電極大、パターン3：p電極小）で検討を行った。

図Ⅲ．2．1．1．6に基板電極パターンと基材熱伝導率の違いによる伝熱特性シミュレーション結果を示す。基材の熱伝導率に関してはある値（30～40W/mK）以上であれば、素子温度に大きな変化は生じない結果となった。また、基板電極パターンに関しては、特に基材の熱伝導率が低い場合に差異がみられ、GaN基板チップのp電極を実装する電極パターン面積を広くすることで素子温度が低下した。今回の解析結果よりチップ実装デバイスに最適な基板電極パターン形状、熱伝導率を把握し、デバイス設計へフィードバックし、デバイス作製を行った。



図Ⅲ．2．1．1．6 伝熱特性シミュレーション結果

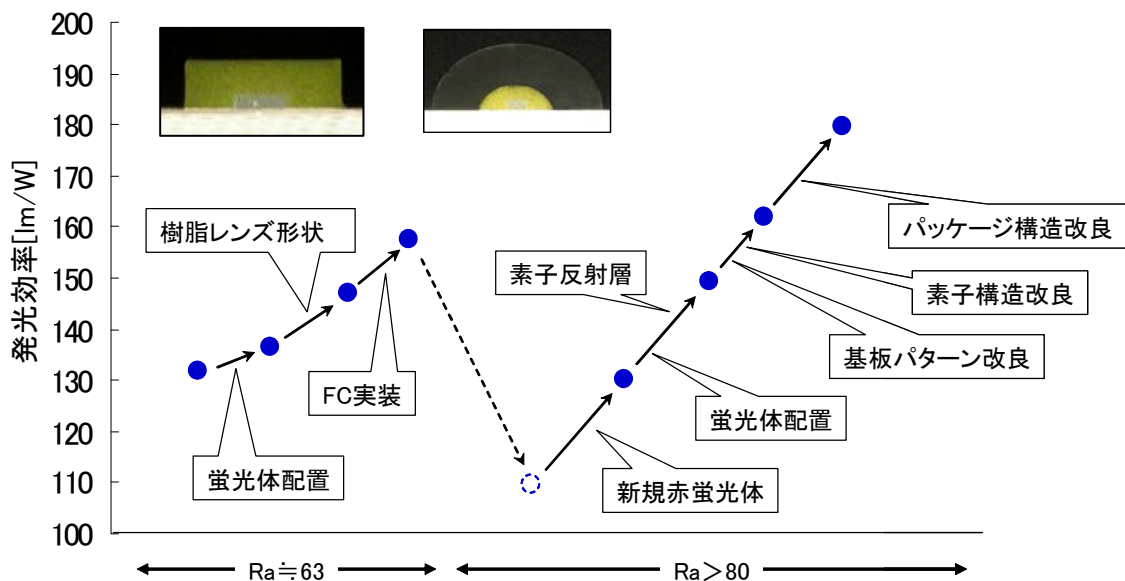
### (4) 蛍光体配置・パッケージ構造

チップ実装デバイスの発光効率を向上させる手段として、前述の①実装形態（フリップチップ実装）、②GaN基板チップのGaN基板上面の表面加工（光取り出し面処理）、③蛍光体形成（新規赤蛍光体を含む3種類の蛍光体とその配合）、④基板パターン（基板材料と基板電極パターン）の他に、GaN基板チップに対する蛍光体の配置と封止樹脂・パッケージ構造の最適化検討とチップ実装デバイス作製を行った。

蛍光体の配置に関しては、封止樹脂内に蛍光体を均一に分散させる方法（蛍光体分散法）や、封止樹脂内で蛍光体を沈降させる方法（蛍光体沈降法）などが知られている。今回、封止樹脂形状との組み合わせも含めて発光効率が向上する蛍光体配置方法をシミュレーションとチップ実装デバイスの作製・評価により検討した。蛍光体沈降法は蛍光体分散法より発光効率がわず

かに向上する結果が得られた。GaN基板チップ周辺に蛍光体を配置する方法（蛍光体素子周り配置法）を用いると、より点発光に近い形となり、かつ封止樹脂形状をレンズ形状とすることで、封止樹脂と空気層との界面における反射を低減でき、光取り出し効率、発光効率が向上することが確認された。なお、封止樹脂のレンズ形状に関しては、光学シミュレーションと実際のデバイス試作・評価により、曲率・形状に関して最適なものを求めたが、半球の形状が最適であった。さらに、封止樹脂をボール形状とすることで、封止樹脂から空気層への光取り出し面積を増やし、かつ、基板における反射を少なくすることで発光効率が向上し、前述の蛍光体組み合わせと併用することで発光効率180lm/W、Ra>80のチップ実装デバイスを実現した。

以上の本開発の経過と結果をまとめると図Ⅲ. 2. 1. 1. 7になる。図Ⅲ. 2. 1. 2-4はチップ実装デバイスの発光効率を向上させる手段と発光効率の関係をあらわしている。Ra≒63の領域は青色発光LED素子と黄色蛍光体の組み合わせでの結果であり、①蛍光体配置（蛍光体均一分散法から蛍光体沈降法へ）、②封止樹脂レンズ形状、③実装形態（ワイヤボンダ実装からフリップチップ実装へ）により発光効率は向上した。Ra>80の領域は青色発光LED素子と演色性を高めるため新規赤蛍光体を含む3種類の蛍光体の組み合わせでの結果であり、⑤蛍光体配置（蛍光体素子周り配置）、⑥基板パターン改良（基板電極パターン）、⑥パッケージ構造改良（封止樹脂ボール形状）およびGaN基板チップの改良（素子反射層、素子構造改良）により発光効率180lm/Wを実現した。



図Ⅲ. 2. 1. 1. 7 チップ実装デバイス構造と発光効率

## (5) LED 照明ランプ・器具の開発

各種点灯回路方式の検討を実施し、40W 形ハロゲン電球・ミニクリプトン電球代替 LED 照明を実現するための新規制御回路を採用し、その効果を確認した。

始めに、ベンチマークとして、LED 電球の市場調査にて、最も一般的に使用されていた「電流ピーク検出降圧回路」を用い、電流検出部位をスイッチング FET のソース電流として試作を実施した。

この際の試作品は図Ⅲ． 2． 1． 1． 8 の通りで、LED に供給する電力を点灯回路に入力する電力で割った電源効率は 82% となった。

本回路構成は、LED の順方向電流を検出するのではなく、その代用特性として FET のソース電流を検出して、出力を安定化させている。さらに、電流波形のピーク値のみを検出しているため、周囲温度や入力電圧の変動に弱い傾向がある。

今回、LED 電球に組み込んだ際の安定度向上を目指して、複数種類の回路を試作・検討し、出力安定化のための電流検出部位を LED の順方向電流とする新規制御回路を採用するに至った。

この際の試作品はミニクリプトン電球代替 LED 電球が写真 2、およびハロゲン電球代替 LED 電球用が写真 3 の通りで、電源効率はミニクリプトン電球代替で 84.8%、ハロゲン電球代替で 88.6% となった。



図Ⅲ． 2． 1． 1． 8 LED 器具試作

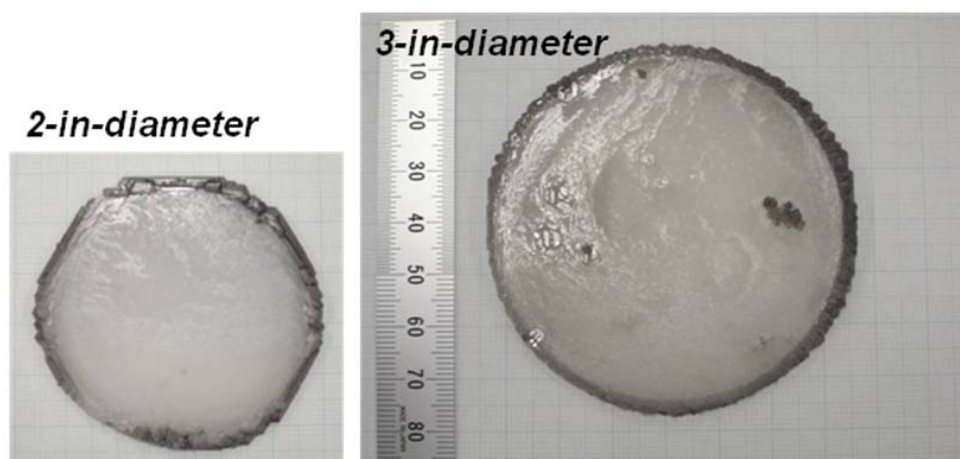
## 2.1.2 Na フラックス法による GaN 結晶手法の高度化に関する基盤技術の研究開発

Na フラックス法による GaN 結晶成長技術、及び高演色性・高効率 LED デバイス作製技術開発について、イノベーション・センター、大阪大学、名古屋大学の3者連携により取り組む。

高品質 GaN 結晶の低コスト・量産化技術の開発成果について以下に記述する。

### (1) バルク GaN 結晶育成に向けた基盤技術の研究開発

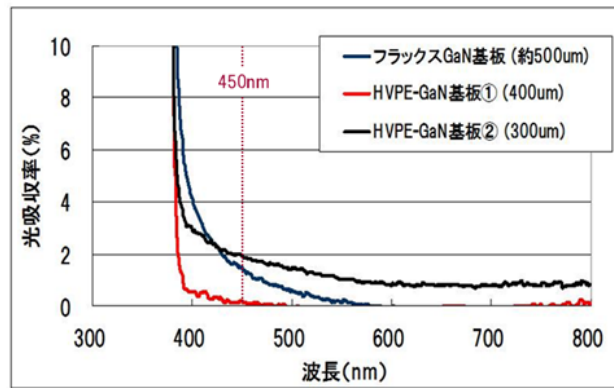
板状種結晶上への LPE 成長では、種基板を大口径化することで LPE 結晶の大口径化が容易である。しかし、種基板と LPE 結晶の熱膨張係数の違いや、種基板に残存する歪が原因で、しばしば LPE 結晶にクラックが発生する問題がある。大阪大学では、種基板として HVPE 法で作製された低反り自立 GaN 基板を用い、Na フラックス法で LPE 成長を行うことで、これまでで最も高品質かつ大口径の 3 インチクラックフリー GaN 結晶の作製に成功している(図Ⅲ. 2. 2. 1)。これらの平板状 GaN 結晶は、長尺化によるバルク状 GaN 結晶育成のための種結晶となる。さらに、本プロジェクトでは、この技術を用いて LED 作製用種結晶を作製・供給している。



図Ⅲ. 2. 2. 1 自立 GaN 基板(HVPE 法)上に成長させたクラックフリー2 インチ GaN、及び3 インチ高品質 GaN 基板

GaN 基板を用いた LED 構造において高い光取り出し効率を実現するため、透過率の高い(光吸収率の低い)基板の作製が重要である。図Ⅲ. 2. 2. 2 は Na フラックス法で作製された c-GaN 基板と市販 HVPE 製 c-GaN 基板の光吸収率比較である。LED の発光波長である 450 nm 付近における各種基板の光吸収率は、HVPE-GaN 基板の 0.15 ~ 1.92 % に対し、フラックス GaN 基板は 1.40 % (吸収係数の概算値: 0.27/cm) で、市販品 HVPE と同程度の光吸収率であり、高効率 LED 作製用基板として現状でも問題無く活用できることが分かった。また、この光吸収率は、育成溶液中の窒素溶解度を向上させることでさらに向上できることがこれまでの実験結果から示唆されている。参考までに、アモナーサル法で育成された GaN 結晶の吸収係数は改善されても 8/cm 程度であることが報告されている。この着色は、アモナーサル法で育成した GaN 結晶に含まれる  $10^{19}/\text{cm}^3$  以上の酸素不純物に起因していると考えられているが、一方、Na フラックス法では GaN 結晶中の酸素不純物濃度が  $10^{16}/\text{cm}^3$  台と低濃度である。





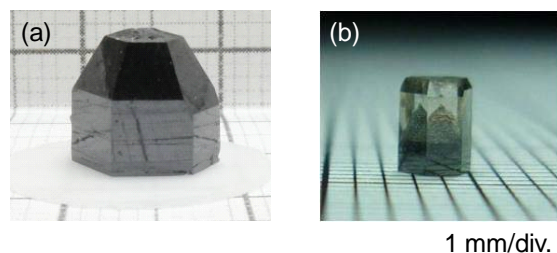
図Ⅲ. 2. 2. 2 各種 GaN 基板の光吸収率の波長依存性

種結晶、及び LED 作製用ウエハ表面においては、原子レベルで平坦であり、機械的ダメージが存在しないことが重要である。本プロジェクトでは、中性溶液中で、GaN 表面を紫外光で酸化させながら固体酸触媒と接触させることで、Ga 酸化膜凸部より選択的に溶解させる触媒表面基準エッチング法を開発した。Na フラックス法で作製された GaN 結晶(10×14 mm<sup>2</sup>)表面において、原子レベルでの平坦化に成功した。フォトルミネッセンス測定の結果、CARE 加工によりバンド端発光強度が飛躍的に上昇したことから、平坦性と高品質化を同時に実現できることが示されたと言える。

#### (2) 板状種結晶長尺化によるバルク GaN 結晶育成技術の研究開発

板状種結晶からのバルク GaN 結晶成長には、成長方位制御技術が重要となる。溶液組成制御により、成長速度、及び Habit 制御が可能であることが明らかになったが、低 Ga 組成においても(10-11)が残存する。そこで、Ga/Na 溶液に微量元素を添加し、Habit の制御を試みた。図Ⅲ. 2. 2. 3 (a)～(b)は、それぞれ Ba 0.05 mol%、Ca 0.05 mol% + Li 0.13 mol% 添加した系で得られた GaN 単結晶である。いずれの系においても(10-11)の発達は抑制され、主に(0002)、(10-10)からなる六角柱状の Habit を示すことが分かった。Ba 添加系で得られた図Ⅲ. 2. 2. 3 (a)の結晶は、直径 1 mm 以下の微小種結晶上に 192 時間の成長で得られたものであり、高さ 7.5mm、幅 9mm の結晶が得られている(c 軸成長速度：38 μm/h)。また、(10-10)の X 線ロックングカーブ半値幅は 20~50 arcsec であり、高い結晶性を有することが分かった。Ba 添加系では、Ba は結晶中に取り込まれないことが分かっている。これらの結晶育成では小型マッフル装置を使用しているため、まだ溶液攪拌を行っていないが、今後、溶液攪拌技術の適用により、一層の高速成長が可能となる。

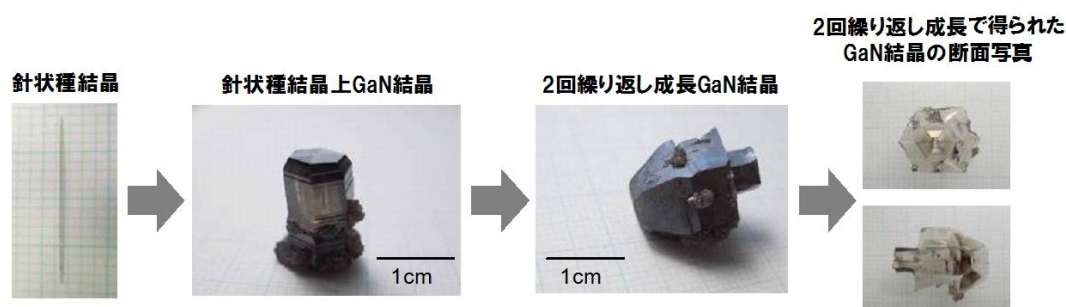
Ca-Li 添加系で得られた図Ⅲ. 2. 2. 3 (b)の結晶は、Ca 添加系に特有の六角柱状の Habit を示し、かつ透明性が向上した。Li 添加による効果は、過去、大阪大学より報告されており、Ga/Na 溶液中への窒素溶解度の増加が透明性を向上させると考えられている。Ca-Li 添加系の結果は、Na フラックス法において複数元素の共添加により、複数効果が同時発現する可能性を示唆するものである。



図Ⅲ. 2. 2. 3 (a)Ba、(b)Ca-Li 添加系で得られた結晶写真

### (3) 針状種結晶太径化によるバルク GaN 結晶育成技術の研究開発

針状種結晶の太径化は、長尺種を用いることにより、微小種結晶を用いる場合よりも、より短時間で容易に長尺バルク単結晶の作製が可能となる。図Ⅲ. 2. 2. 4は 15 mm 長さの針状種結晶を繰り返し太径化させた GaN 単結晶写真である。2 回成長により、15 mm 径の GaN 単結晶成長にも成功している。スライス後のウェハ写真からも分かる通り、針状種結晶上では、大部分で透明性の良い GaN 結晶が得られることが明らかになっている。これは、微小種結晶から(10-11)方向に成長した表面よりも、(10-10)方向などの横方向成長した場合の方が窒素欠陥は発生しにくいということを示唆している。最近では横方向の成長速度が一方方向で  $40 \mu\text{m/h}$  という結果も得られていることから、高温高压下で高速の溶液流れを誘起することで、高速太径化結晶育成が可能となると考えている。

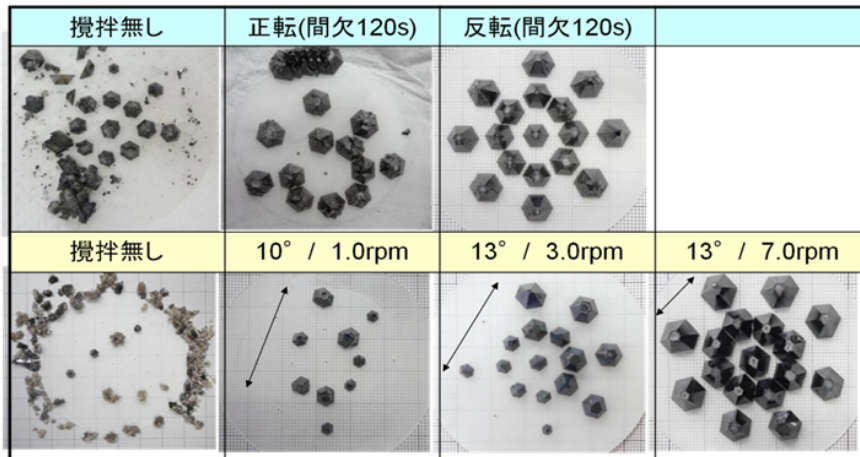


図Ⅲ. 2. 2. 4 針状種結晶上に成長した GaN 結晶、及びスライス後のウェハ写真

### (4) 溶液攪拌、及び高温高压育成効果と新型装置開発

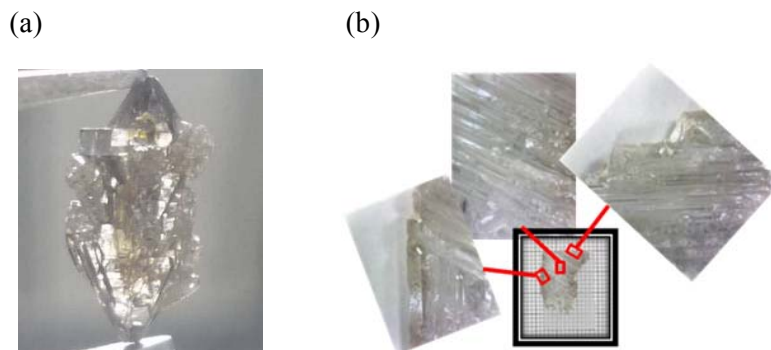
低コスト高品質化技術の確立に向けて、攪拌による成長速度の増加と、複数種の同時成長方法を検討した。攪拌手法として、1 軸揺動機構および回転攪拌機を採用し、各攪拌手法において、攪拌速度と成長速度の関係を調査した。種結晶は点状 GaN 結晶を用い、2 インチ径内で 17 個の種結晶を同心円状に配置した。

各攪拌パターンにおける結晶成長の結果を図Ⅲ. 2. 2. 5に示す。溶液攪拌を行わない条件では種結晶上成長量が少なく、坩堝壁上に大量の多結晶が晶出した。加えて、種結晶上に成長した結晶のほとんどは結晶表面に大きな凸凹ができる骸晶化が観測された。溶液攪拌の速度を増やすにつれ、種基板上以外での多結晶発生は抑制されることが分かった。また、溶液攪拌速度が増すにつれて結晶成長速度、及び結晶品質ともに向上した。育成条件は最適化されていない場合においても、c 軸方向の成長速度は  $40 \mu\text{m/h}$  以上となった。



図Ⅲ. 2. 2. 5 各攪拌手法・攪拌条件における結晶成長結果

LED 構造において高い光取り出し効率を実現するためには、基板として用いられる GaN 結晶に高い透過率が求められる。Na フラックス法を用いた GaN 結晶成長の場合、c 面 GaN LPE 結晶は十分高い透過率を有するものの、種結晶から (10-11) 方向に成長した表面は黒色に着色する問題がある。黒色化の原因は、窒素欠陥の発生であると考えられる。そこで、育成温度を従来の 860 °C から、窒素溶解度の高い 900 °C とし、ロッド状 GaN 結晶、及び GaN テンプレート上への結晶育成を行った。その結果、育成温度の高温化により、透明度が著しく向上することが明らかになった(図Ⅲ. 2. 2. 6 (a)、(b))。一方、高温条件では、溶液中の GaN 自身の溶解度も上昇するため成長速度が低下する問題がある。この問題は、原理的には育成窒素圧力を増加させることで解決される。



図Ⅲ. 2. 2. 6 (a)ロッド種結晶上、及び(b)GaN テンプレート上に成長した透明 GaN 結晶写真

以上の結果から、高品質大型バルク GaN 結晶育成のためには、従来よりも若干高温高压条件下において溶液を攪拌しながら育成することが良いことが明らかとなった。そこで、平成 22 年度では、プロペラ攪拌等、高速溶液流れを実現できる溶液攪拌技術を開発し、新しく高温高压結晶育成装置(最高温度 1000°C、最高圧力 100 気圧)を作製した。平成 23 年度では、これらの新規装置により透明大型 GaN 結晶の高速育成技術の開発を目指す。

#### (5) 究極効率 LED 構造実現に向けた微細構造成長技術開発

微細構造成長技術として水酸化カリウム(KOH)水溶液による低コスト光取り出し構造形成について検討した。

最初塩素により高速円柱エッチングを行い、次にアルゴンで等方的エッチングを行う 2 段エッチングによる加工を行った。図Ⅲ. 2. 2. 7にその結果を示す。次に安価で且つ化学的に安定な(1-10-1)面形成によるア



スペクト比 1 以上の円錐形成が可能と考えられる KOH による加工を試みた。比較的低濃度、低温では図 III. 2. 2. 8 に示す様に円柱形状であったが、高温、高濃度 KOH により図 III. 2. 2. 9 に示す様に、ほぼ理想的な円錐形状(詳細には六角錐形状)の形成が可能であることが分かった。

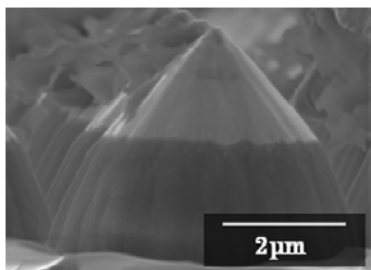


図 III. 2. 2. 7 2 段 ICP による光取り出し加工後の N 面 GaN

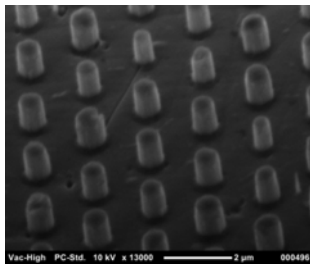


図 III. 2. 2. 8 KOH による光取り出し加工後の N 面 GaN(40°C、25 wt%)

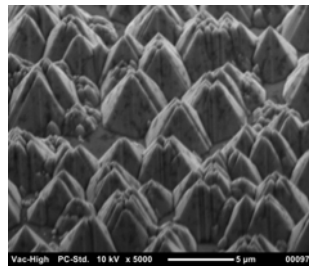


図 III. 2. 2. 9 KOH による光取り出し加工後の N 面 GaN(100°C、40 wt%)

図 III. 2. 2. 10 に、第 1 回目の試作 LED (効率 25lm/W) と第 2 回目の試作 LED における Moth-eye 加工の有無による光出力の比較を示す。Moth-eye 加工により、光出力は 4.3 倍に向上した。また、第 1 回目の試作 LED と比較すると、11.7 倍もの向上により、演色性 60 において換算効率 250 lm/W 以上を確認した。

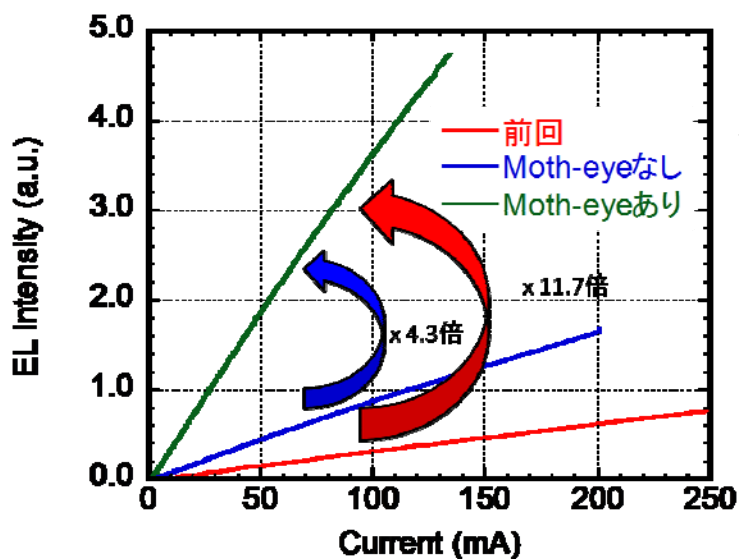


図 III. 2. 2. 10 第 1 回の試作 LED(25lm/W)と第 2 回目の試作 LED の Moth eye 加工前後の光出力の比較

### (6) Na フラックス GaN 基板上青色 LED の内部量子効率

Na フラックス法で作製された貫通転位密度  $10^5 \text{ cm}^{-2}$  以下の高品質 GaN 基板上に、MOVPE 法を用いて青色 LED を試作し、IQE 及び光出力評価を行った。第 1 回目の試作 LED の写真及び結果である。図 III. 2. 2. 11 に動作時の光取り出し面からの写真、図 III. 2. 2. 12 には注入キャリア密度  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  時の IQE の基板の貫通転位密度依存性を示す。p 電極の面積は 1 mm 角である。第 1 回目の試作 LED では、裏面に光取り出し構造を施していないので、発光パターンが明確に観測できる。金属は Ag 系の反射電極を用いたが、プロセス上の問題で密着性が悪く、中心部と端部では強度が異なる。極めて単純な pn 電極横並び構

造であり、n 電極が下側に薄く見えるが、厚い導電性 GaN 基板を用いているために、大型チップにもかかわらず、電流拡がりにはサファイア上の薄膜 LED と比較して極めて良好である。Na フラックス基板上に試作した青色 LED の IQE は何れも 85~90% であり、世界最高水準の IQE である。サファイア基板上と比較して、更に 1.5 倍程度の出力・効率向上を見込むことができることがわかる。図 III. 2. 2. 12 中実線は、内部圧電電界の効果を考慮せずにシミュレーションした結果であり、サファイア基板上では比較的良い一致を示しているが、Na フラックス基板上では若干のずれが観測される。何れも c 面であるが、このずれの原因は今のところ不明である。本素子試作の目的は Na フラックス法 GaN 基板の優位性の確認であった。サファイア基板上の同一構造素子と比較して、1.25 倍程度の向上が確認され、基板の高品質化、即ち TDD の減少による IQE の向上の効果が示された。一方で、光取り出し向上のための構造を全く施していないことのほかに、直列抵抗が 6[Ω]と大きい問題が明らかとなった。

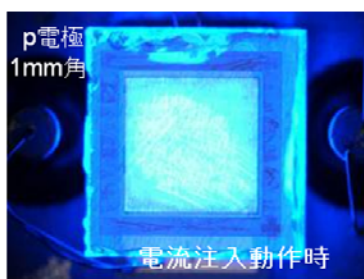


図 III. 2. 2. 11 Na フラックス GaN 基板上の青色 LED。N 面からの写真。

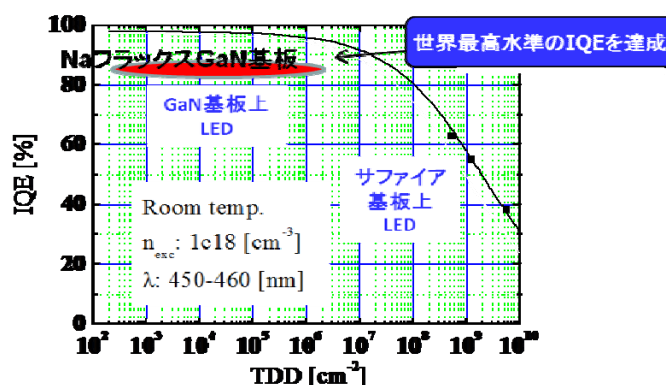


図 III. 2. 2. 12 注入キャリア密度  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  時のサファイア基板上及び Na フラックス GaN 基板上青色 LED の IQE の貫通転位密度 (TDD) 依存性。

表 III. 2. 2. 1 図 III. 2. 2. 12 の第 1 回試作 LED の評価結果

内部量子効率~90%
光取り出し効率~15% ⇒ 外部量子効率:13.6%
発光効率 25 lm/W@350mA (サファイア上では 20 lm/W)
演色評価数 60
ピーク波長 461 nm, $\Delta \lambda : 23\text{nm}$
直列抵抗:6Ω (※直列抵抗が高いため駆動 電圧が高い。)

## 2.2 研究開発項目①(b)LED照明：基板の応用

### 2.2.1 基板の応用によるデバイス技術の開発

基板の応用により、高効率 LED 光源を実現する技術開発を、名城大学、エルシード（株）の連携体制にて実現する。本研究開発成果は参考情報として以下に示す。

#### 【本研究全体の成果】

##### （1）不純物添加 SiC 原料の開発

サブテーマ（1）のセラミック SiC 原料開発においては、試作はブリヂストンが保有するノウハウを用いたため、委託研究期間からは形状、不純物濃度などの要求仕様を提出することで、その使用通りの原料基板の提供をしてもらった。なお、開発当初は 30mmf のサイズからスタートしたが、8 月以降は 2 インチサイズへとサイズアップし、合計 60 枚の原料基板を提供してもらった。密度としては 2 種類、また B 濃度を  $1 \times 10^{18}$ 、 $2 \times 10^{18}$ 、 $4 \times 10^{18}$ 、 $6 \times 10^{18}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の 5 種類の試作を行った。作製方法はブリヂストン社ノウハウのため、非開示である。

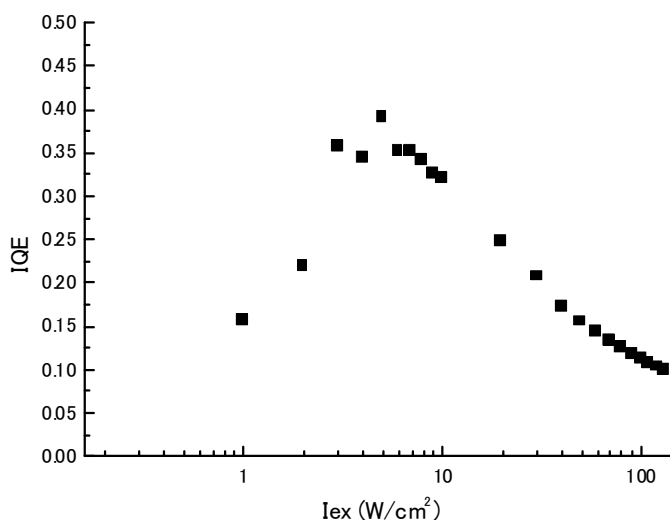
##### （2）蛍光 SiC の開発

第 1 ステージでは、N, B ドープ蛍光 SiC による高品質化、高効率化と、Al の付加による高演色性発光の確認を行った。スウェーデン、リンショピン大学の FSGP 法をエルシードに移転することから着手した。9 月には国内での FSGP 法結晶成長がスタートした。なお、それ以前には従来の近接昇華法を使用して、ブリヂストン製原料の B が、単結晶中に移動する転送率を実験により導出した。平均で 70% の転送率があることがわかった。N ドーピング濃度制御は、成長温度が近接昇華法と FSGP 法では大きく異なるため、FSGP 法への移行が完了してから、実験に着手した。その結果、X 線回折幅から見た結晶性は大きく向上させることができた。しかしながら DAP 発光の量子効率としては、FSGP 法による結晶においても改善が見られなかった。これまでに最も高い内部量子効率 (IQE) が得られたサンプルの内部量子効率の励起パワー依存性を図 2. 2. 1 に示す。このサンプルにおける不純物濃度は、B が  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、N が  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である。励起パワーが  $4 \text{ W/cm}^2$  付近で IQE は最大値の約 40% を示している。強励起時には、励起光強度とともに IQE が減少するのは、DAP 準位が飽和し、キャリアが欠陥準位に捕獲される割合が増えるためと考えられる。不純物濃度を高める必要がある。なお、LED としての動作時には、 $10 \text{ W/cm}^2$  程度の励起状態となることから、この励起レベルまで IQE が低下しないほどのドーピング濃度が必要となる。

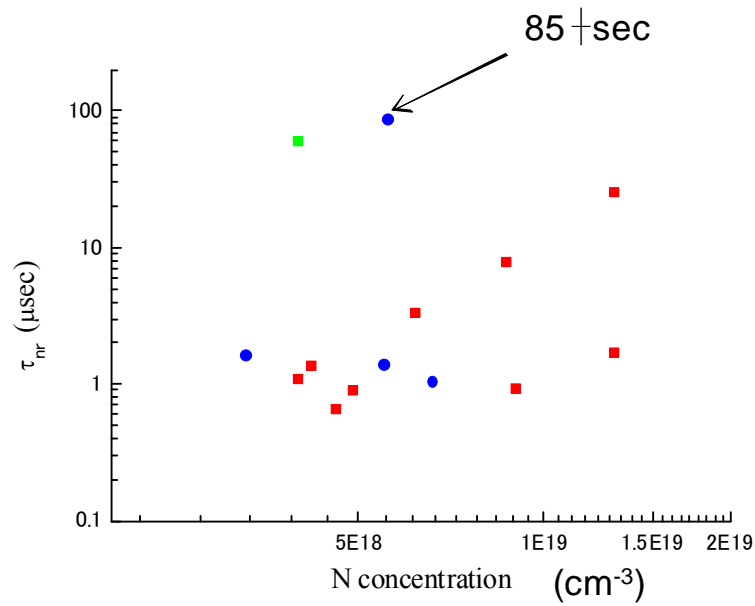
FSGP 法によるマクロな結晶品質の向上のみでは高効率化に直接結びつかないことがわかった。IQE とキャリア寿命の両方を測定することで、非発光再結合寿命を求めた。非発光再結合寿命は、ミクロな結晶品質に相当する。特に N 濃度の増加による非発光再結合寿命の変化が懸念されるため、図 III. 2. 2. 2 に示すような N 濃度の非発光再結合寿命依存性をプロットした。非発光再結合寿命は N 濃度に依存しないか、むしろ高い N 濃度時に長くなる蛍光が見られる。しかしサンプルの多くは数・sec 付近に分布している。3 サンプルで  $10 \cdot \text{sec}$  を大きく超える非発光再結合寿命が得られているが、これはこれまで SiC で観測された最高値  $13 \cdot \text{sec}$  よりも長い。すなわち、成長条件の制御性を高めることで、極めて高いポテンシャルを持っていると言える。IQE が最高値を記録したサンプルでは非発光再結合寿命が  $55 \cdot \text{sec}$  であり、これとドーピング濃度が比較的良好な条件であったために高い効率が得られたと推

察される。また、FSGP 法で作製したサンプルにおいて最高 85・sec の非発光再結合寿命が観測されている。なお、非発光再結合の原因となる欠陥は、C 空孔に関連する欠陥だということが SiC 研究者の共通認識であり、我々の結果も同様と考えることができる。したがって、C サイトに置換する N をある程度添加すると、キャリア寿命が長くなる場合がある。今後の研究開発に多大なるヒントを与えている。

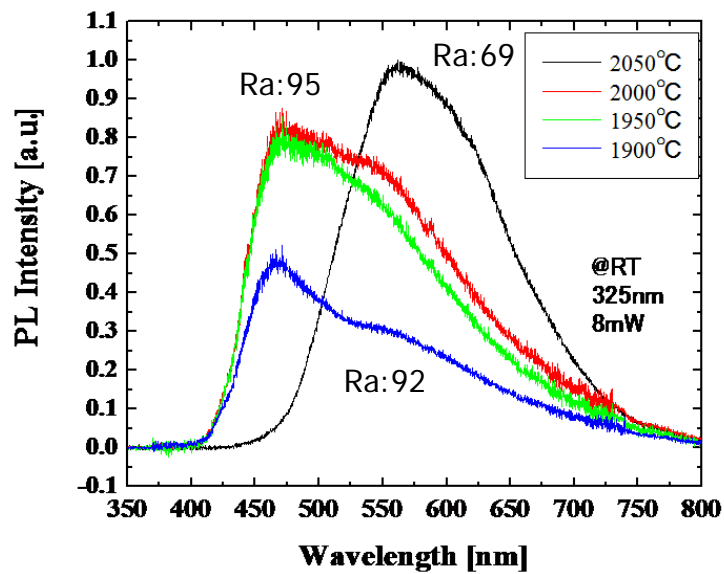
なお、ベストサンプル同様に非発光再結合寿命として 55msec が安定的に得られると仮定し、不純物濃度が増加した場合に推定される IQE の励起パワー依存性を実験で得られた発光再結合寿命を用いて掲載した結果を図Ⅲ. 2. 3. 5 に示す。B 濃度が  $9 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  (N 濃度は B 濃度  $+2 \times 10^{18}$  に固定) とした場合には励起パワー  $10 \text{W/cm}^2$  まで低下することなく 100%近い値を維持できることがわかる。非発光再結合寿命がさらに延びれば、より低濃度の不純物濃度でもこの状態を維持できる。極めて有望な結果を考えられる。図Ⅲ. 2. 2. 3 には、この蛍光 SiC にさらに Al を付加した場合の蛍光スペクトルを示す。Al 濃度は測定していないが、成長温度とともに Al 濃度は増加し、推定  $10^{17} \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$  の範囲であると思われる。なお、B 濃度はより大きく増加するため、 $2050^\circ\text{C}$  のみは N-Al の DAP 発光が消失し、N-B のみの発光となっている。平均演色評価数は、N-Al の発光が付加されれば 90 以上の値を示し、最高で 95 が観測された。高演色性のポテンシャルを十分に持っていると言える。また、ポーラス化した蛍光 SiC では Al を付加することなく同様の演色性が得られることもわかった。



図Ⅲ. 2. 2. 1 蛍光 SiC の内部量子効率 (IQE) の励起パワー依存性



図Ⅲ. 2. 2. 2 非発光再結合寿命・ $\tau_{nr}$ のN濃度依存性



図Ⅲ. 2. 2. 3 Al を付加した蛍光 SiC の蛍光スペクトル

### (3) 窒化物半導体エピタキシャル成長技術の開発

蛍光 SiC 基板上に高効率近紫外 LED を形成するための、エピタキシャル成長条件によりデバイス構造の最適化を行った。蛍光 SiC の吸収特性を考慮して発光ピーク波長として 385nm に定め、目標とする内部量子効率 80%の実現を目指した。まず、テンプレート層となる n-GaN 層の低転位化に取り組んだが、最終的にはナノコラム技術を導入し、転位密度  $5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$  が

目標となる。しかし第 1 ステージではナノコラム技術は要素技術開発に留め、通常のエピ成長での成長条件等の最適化を優先し、 $1 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$  に近付けることとした。

AlN バッファ層の成長温度、膜厚を最適化し、その上の GaN 成長時に SiN ナノマスクを導入する方法にて最高  $2 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$  までの転位密度を得ることができた。ただし自己形成 SiN ナノマスク形成には不安定性が存在し、安定して得られる転位密度は  $5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$  であった。一方、積層構造の最適化も並行して進め、MQE 活性層中の AlGaIn バリア層の導入、p-AlGaIn 電子ブロック層成長時の Mg ドーピングプロファイルの最適化などを行った。図 III. 2. 2. 4 に近紫外 LED の改善アプローチと内部量子効率の推移を示す。後半では内部量子効率は 60% 付近で飽和する傾向となった。これは転位密度による非発光再結合が内部量子効率を支配しているためと考えられる。サファイア基板上での内部量子効率の転位密度依存性を実験により求め、図 2. 2. 5 の実線に示すシミュレーション結果と比較すると、よい一致が見られる。すなわち 385nm では、転位密度  $5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$  の場合に転位によって決まる内部量子効率は 60~70% の範囲となっている。これ以上の高効率化のためには、転位密度のさらなる低減が必須であることがわかる。

一方、第 2 ステージで本格的に導入する予定の GaN ナノコラム結晶の検討も並行して進めた。ナノインプリント技術によるパターン形成、その後の選択成長条件の検討により、現状ナノコラムが形成できるようになった。未だ均一性が低い、ナノコラム内への転位の伝搬はなく、無転位結晶が形成できることがわかった。均一性を高めることが課題として残されるが、それを解決した後、LED テンプレート層への導入を行い、内部量子効率向上を進める。

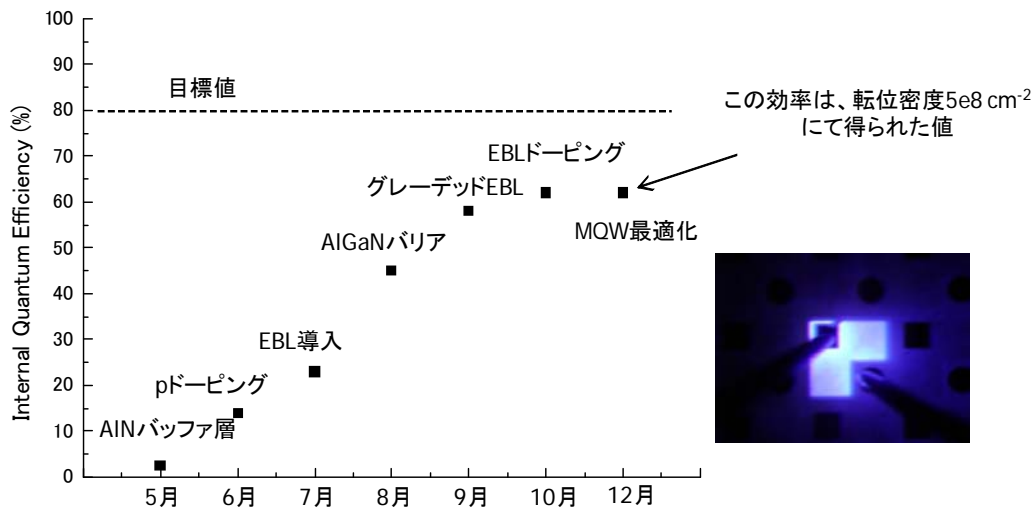
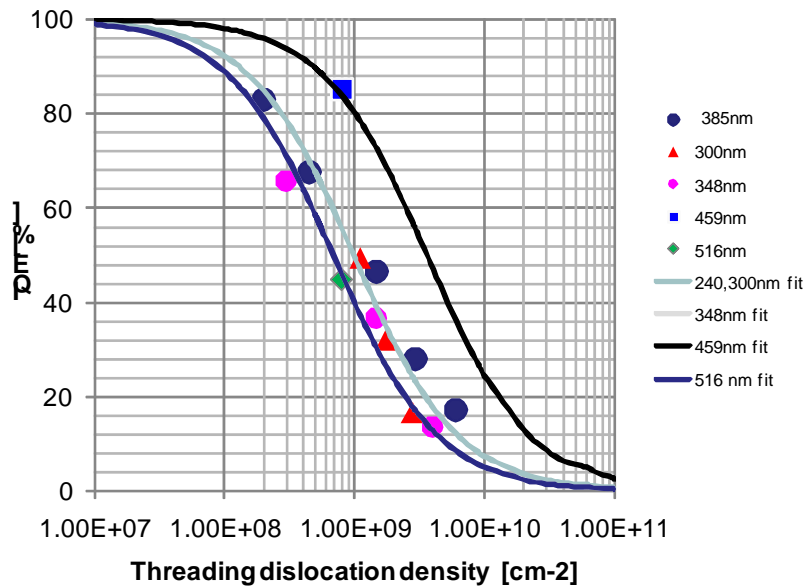


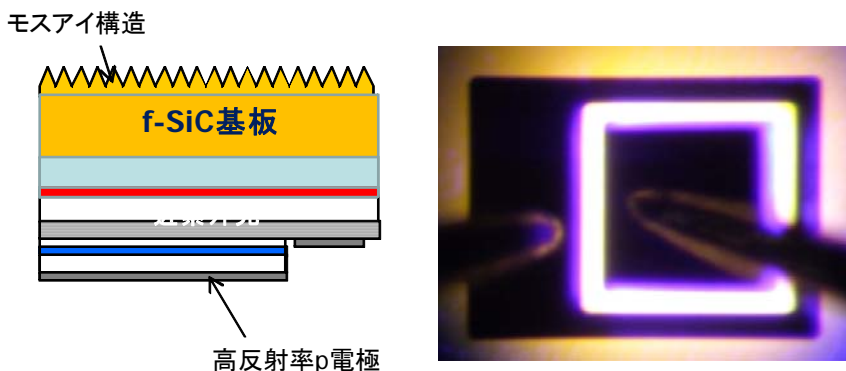
図 III. 2. 2. 4 窒化物系近紫外 LED の内部量子効率の推移



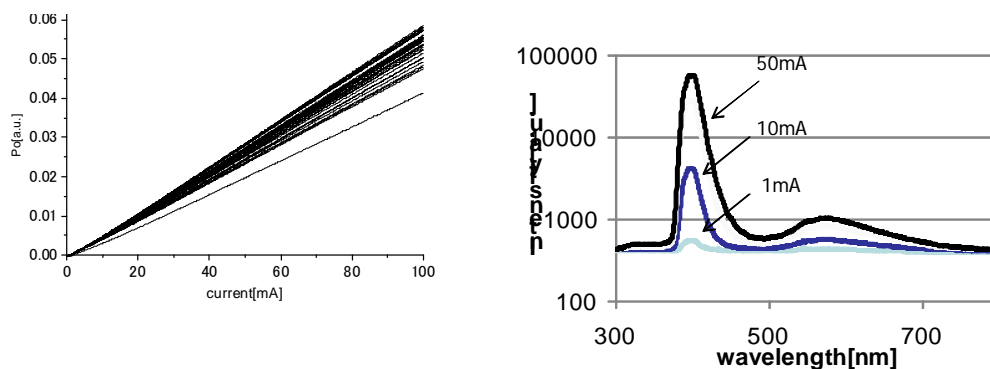
図Ⅲ. 2. 2. 5 近紫外 LED の内部量子効率 (IQE) の転位密度依存性

(4) 白色 LED の特性

蛍光 SiC の高効率化を安定的には達成できなかったが、原理確認のため、白色 LED の試作を行った。素子構造およびプローブによる電流注入時の動作写真を図Ⅲ. 2. 3. 7 に示す。作製に使用した蛍光 SiC 基板の弱励起時の内部量子効率は 5% である。LED 素子のサイズは  $500 \cdot \mu\text{m} \times 300 \cdot \mu\text{m}$  で発光面積は  $200 \cdot \mu\text{m}$  角である。図Ⅲ. 2. 2. 6 にて基板からの発光による暖白色が確認できる。また、実装した LED の電流-光出力特性および発光スペクトルを図Ⅲ. 2. 2. 7 に示す。光出力の絶対値は低いため、測定していない。スペクトルから蛍光 SiC からの 580nm 付近にピークを持つ発光が確認されたが、近紫外 LED の透過光よりも強度が低い。今後の改善が必要である。



図Ⅲ. 2. 2. 6 白色 LED の構造と、プローブによる動作時の写真



図Ⅲ. 2. 2. 7 白色 LED の電流－光出力特性と発光スペクトル

目的に照らした達成状況（共同研究、再委託研究による成果を含む。）

目標値である発光効率、175lm/W、平均演色評価数 80 以上に対して、平均演色評価数は達成できたが発光効率の実績は大きく下回った。ほぼ 1 年という限られたステージ I の開発期間において、蛍光 SiC の発光メカニズムを解明し、結晶成長条件による制御を行うことが困難であったためと思われる。しかしながら、効率を支配する非発光再結合速度として、世界トップの値を得ることができ、また不純物濃度を高めることで効率の目標値を達成できる見通しを得たことで、開発の早期成功を確信できるに至った。

この LED は、従来のアプローチと大きくことなり、蛍光 SiC 基板が全ての可視光を生む出しことや、実装前の LED チップの状態ですでに白色光を放出すること、高注入・高出力時においても効率の低下がない近紫外 LED を励起ソースに使用することなどから、単位 1m 当たりの大幅なコストダウンができること、また演色性を高めても効率がトレードオフの関係を持たず、両者を両立できることなど、依然照明用途に対しての大きなアドバンテージを持っている。



## 2.3 研究開発項目①(2)有機 EL 照明：高効率・高品質化の研究

### 2.3.1 真空蒸着方式による有機 EL 照明の高度化の研究

有機 EL 照明技術として蛍光灯代替高性能照明光源の開発及び高性能照明光源の高生産性製造技術の開発に、パナソニック電工（株）、出光興産（株）、タツモ（株）、長州産業（株）、山形大学、青山学院大学の体制で取り組む。

#### 【本研究全体の成果】

Stage II の最終目標の達成には、青色リン光材料技術の確立と、これを組みこんだ青・緑・赤オールリン光白色素子の実現が不可欠であるが、青色リン光の技術開発の難易度が非常に高いため、開発に時間を要することを考慮し、Stage I では、

①蛍光リン光ハイブリッドマルチユニット素子と高光取り出し基材、複合実装構造の活用による

Stage I 目標達成のための開発

②Stage II で用いる、オールリン光系および各種要素技術の開発の 2 つの開発を実施した。すなわち、Stage I では、青色蛍光発光ユニットと赤・緑色リン光発光ユニットを組み合わせたハイブリッドマルチユニット構成での目標達成と、Stage II 目標達成に必要な要素技術の開発（青色リン光の開発など）、技術課題の抽出、および開発方針の策定を行った。加えて、低コスト化のためのプロセス技術およびパネル構造に関する検討を行った(③)。

①に対しては、下記の特性を有する白色発光素子を開発・実現し、基本計画に記載の Stage I 目標をすべて達成した。

発光面積：25 cm<sup>2</sup>

発光効率：56 lm/W

平均演色評価数：91

輝度：1,000 cd/m<sup>2</sup>

輝度半減寿命：推定 15 万時間以上

パネル厚み：約 5 mm

色度：(0.43, 0.40) ※下記、固体照明に関する規格の指定色度範囲内

基本計画に記載の Stage I 目標：  
発光面積 25 cm<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 以上、輝度半減寿命 1 万時間以上

本素子の特性は、独自に設定した下記目標値もすべて達成したものである。

独自提案の目標：  
発光効率 55 lm/W 以上、輝度半減寿命 10 万時間以上、パネル厚み 8 mm 以下、  
発光色度：“ENERGY STAR® Program Requirements for Solid State Lighting  
Luminaires, Eligibility Criteria”（固体照明に関する規格）の  
色度範囲内

②に関しては、青色リン光材料、塗布型電極材料／プロセス技術、一貫成膜プロセス技術の開発を行った。各テーマの成果については、後に述べる。

また③に関しては、本事業における各 Stage の白色発光素子性能を設定したマーケティング活動を併行して実施し、当該特性の有機 EL が実現された際の有機 EL 照明市場規模を推定した。当該規模の有機 EL 照明を製造する際のコストを、開発を行った白色発光素子の構造およびプロセスを前提として、プロセスの進化、生産量増大による部材/プロセスコストの低下などを想定して検討した結果、将来的なコスト可能性として¥1.9 / 1m・年を試算することができた。なお、前記①②の目的と各サブテーマとの関係は、以下の通り（主たる関係を記載）。

- A-1 高光取り出し基材の開発
  - A-3 高効率・長寿命・低電圧駆動材料の開発
  - A-4 高性能発光デバイスの開発
  - A-5 複合実装構造の開発
  - B-4 複合実装構造形成プロセスの開発
  
- A-2 低抵抗・高透過率電極材料の開発
  - B-1 塗布型電極形成プロセスの開発
  - B-2 高品質基板プロセスの開発
  - B-3 一貫成膜プロセス技術の開発

以下、各サブテーマの開発内容および成果を以下に記す。

（1）蛍光灯代替高性能照明光源の開発

A-1 高光取り出し基材の開発（パナソニック 電工株式会社）

基材と電極界面の屈折率段差に由来する全反射を抑制することを意図し、前記界面に挿入する屈折率段差低減層を検討した。具体的には、電極および有機層と同等の屈折率を有する高屈折率成分を選定し、発光素子内部の光の挙動を踏まえた光学的構造の解析および実験的検討によって、界面の光透過率を向上可能な構造を設計した。また、陰極近傍の反射率調整を行い、素子内部での多重反射に由来する光のロスが少ないデバイス構造を設定した。当該構造を有する高光取り出し基材を微細構造形成技術によって実際に形成し、A-4 で開発した高性能発光デバイスとの組み合わせ評価に供したところ、約 40% の高い光取り出し効率を確認できた（※通常のガラス基板を用いた場合の光取り出し効率を 20%と仮定して推定算出）。

A-2 低抵抗・高透過率電極材料の開発（パナソニック 電工株式会社）

低い抵抗値と優れた光学特性との両立を意図した、塗布型インジウムレス電極材料の開発を実施した。導電性を確保するための材料として金属ナノ材料を選定し、導電性と光透過性の両立、導電性の面内均一性確保、平坦性制御を行うための補助材料との複合化検討を行った。特に有機 EL 素子の駆動時信頼性向上に必要な平坦性確保のため、電極表面への平坦化層形成検討を併行して実施し、抵抗、透過率、表面平滑性を同時に満足する塗布型材料およびその形成基本プロセスを構築した。また本電極を用いた小面積の有機 EL 素子を試作し、駆動特性に大きな問題がないことを確認した。

A-3 高効率・長寿命・低電圧駆動材料の開発（出光興産株式会社）

（i）青色発光材料の開発

第 1 次標準材料として選定した青色発光材料に関する高純度・高収率合成法を確立し、得られた高純度材料をパナソニック 電工に提供した。また別途、複数系統の錯体の合成・評価を実施し、得られた材料に対して、電気化学測定による耐久性評価を行った。その結果、検討した中で第 1 次標準材料の系統が最も有望であることがわかった。

(ii) 青色リン光用ホスト材料の開発

出光興産が保有するホスト材料から、第1次標準材料として、長寿命を示す化合物を抽出し、パナソニック電工に提供した。また、出光興産が保有するホスト材料から、低電圧を示す化合物を抽出するのに加えて、新たに創案した10種の基本構造の物性を、量子化学計算を用いて予測した。良好な物性の発現が示唆された約20の化合物に対して合成・評価を行い、低電圧化に有望な4系統を選別し、これらの系統の誘導体に関する検討を展開した。Stage IIに向けて、青色リン光ホスト材料向けの有望分子骨格を複数見出した。

(iii) 電荷輸送材料の開発

駆動電圧の膜厚依存性から素子内の電圧分布を解析し、発光層および電子輸送層の低電圧化が白色素子の特性向上に極めて有効であることを見いだした。(2)で検討したホスト材料の中から低電圧が期待できる骨格をベースに、さらに電子輸送性向上の検討を行い、低電圧化に寄与する電子輸送材料を見出した。また、本材料の誘導体の分子設計と合成を実施した。本材料を用いた素子のインピーダンス測定により電荷注入過程を詳細に解析した。

以上の材料を用いて、青色リン光発光素子の評価を行った。ホスト材料、電子輸送材料の組み合わせを含む種々検討の結果、電圧・半減寿命のそれぞれでStage Iの目標を達成する構成を見いだした(駆動電圧3.0V(100 cd/m<sup>2</sup>時) / 推定輝度半減寿命0.4万時間(初期輝度1,000 cd/m<sup>2</sup>時), および3.8V / 0.5万時間(同条件))。Stage IIでは、Stage Iの知見をもとに低電圧と長寿命を両立する材料骨格の選定と、その誘導体の展開による材料開発を実施する。

#### A-4 高性能発光デバイスの開発

(i) 発光デバイスの開発 (パナソニック電工株式会社)

H19~H21年度に実施した「有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発」事業で構築してきた蛍光リン光ハイブリッドマルチ素子を基本構造として、一部の材料の見直し、キャリアバランスの再調整、構造の再最適化などを行うことによって、更なる高効率化、長寿命化を達成した。さらにA-1で開発した高光取り出し基材との光学的マッチングを行うとともに、基板内での光学挙動の変化に対応した光学設計を適用することによって、好適な光取り出し特性を有する白色発光デバイスを実現した。

一方オールリン光系素子については、A-3で開発された各種の材料を用いた白色素子検討を行った。今回用いた白色素子構造は、前記ハイブリッドマルチ素子におけるリン光ユニットの構造を展開した暫定的なものである。A-1の高光取り出し基材との併用によって、60~80 lm/W、初期輝度1,000 cd/m<sup>2</sup>時の推定半減寿命として最大6万時間程度、平均演色評価数80以上の白色発光素子を実現した。

(ii) 多色発光制御技術の開発 (国立大学法人山形大学・パナソニック電工株式会社)

蛍光発光材料とリン光発光材料を含む発光層において、高い発光効率、長寿命を実現するために、両材料間のエネルギー移動に関する解析を行った。青色蛍光発光材料の三重項準位を、適切な補助材料との混合・分散等によって精度高く評価する方法を見だし、正確に評価した。また発光層内の発光領域および発光挙動を、分光配光および量子効率の解析によって特定した。これらの結果を用いて、発光層のキャリア輸送性設計を行い、発光領域および励起エネルギー移動の制御によって、発光色の電流密度依存性低減のための方策を見いだした。本法は発光色の安定化に貢献するものであり、Stage IIで検討するオールリン光白色素子への展開を図る。

(iii) 高性能電極の開発（青山学院大学・パナソニック電気株式会社）

有機膜上に形成することを踏まえたインジウムレス電極材料として、Al ドープ Zn 酸化物（AZO）を選定し、その電氣的・光学的特性と成膜方式に関する検討を行った。まず dc スパッタ法による成膜条件の検討を行い、屈折率の制御因子であるキャリア密度や膜厚方向の膜質分布に関する情報を得た。また基板温度依存性に関する検討を進め、有機膜上に適用できる低温領域（具体的には 100℃台前半）では、抵抗値に改善の必要があることを確認した。このため、成膜法として青山学院独自開発の制御システムを搭載した反応性スパッタ法を新たに選定して検討を進めた結果、成膜電圧の急激な変化のない安定成膜と、100℃台前半の低温成膜でも  $1 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$  に到達する低抵抗を実現した。一方反射電極としては、高反射率金属材料の合金化による膜質安定性の向上可能性について、スパッタ法での検討を行った。合金化によって、表面平滑性、膜密度、比抵抗を純粋な金属膜に対して改善することができた。またこの種の合金膜を電極に用いた有機 EL 素子は、純粋な金属からなる電極を用いたものに対して同等以上の初期特性、寿命特性を示すことを確認した。

A-5 複合実装構造の開発（パナソニック電気株式会社）

A-1 で開発した高光取り出し基材および A-4 の発光デバイスに適した、有機 EL パネル構造の開発を行った。光取り出し構造と電極構造との複合実装化に関する検討を行い、発光面 25 cm<sup>2</sup> の有機 EL 素子に於いて、高効率・長寿命・均一発光を同時に実現可能な構造を開発した。また光取り出し基材に由来する寿命への影響についての検討を行い、有機 EL 素子成膜前の処理を適切に行うことによって寿命への悪影響を排除でき、一般的なガラス基板を用いた場合と同等以上の寿命特性を確保できることを見いだした。なお本 25 cm<sup>2</sup> 素子の光取り出し特性は A-1 で確認した約 40%と同等であり、電氣的構造との複合化によるトレードオフがないことを確認した。

(2) 高性能照明光源の高生産性製造技術の開発

B-1 塗布型電極形成プロセスの開発（タツモ株式会社）

塗布型電極材料の高速・均一成膜プロセスの実現を目指し、塗布材料の液特性および塗布・乾燥プロセス全体を詳細に解析した結果、特に乾燥プロセスが最終的に得られる膜の均一性を支配することを見いだした。これらの結果に基づき塗布・乾燥プロセス条件を最適化し、同時に B-2 で開発した塗布対象物の表面エネルギー調整プロセスを併用することによって、150 mm/s $\pm$ 5%以下の精度を有する塗布型電極形成プロセスを実現した。また得られた電極を部分的に除去してパターンニングされた膜を得るための処理プロセスも併行して検討を行い、導通のないレベルにまで電極材料を高精度に除去することが可能な要素技術を見いだした。

B-2 高品質基板プロセスの開発（タツモ株式会社）

B-1 の塗布型電極材料塗布に先立ち、基材表面を適切なエネルギー状態にする処理方法について検討を行い、基材表面に形態的ダメージを与えることなく表面状態を改質し、塗布型電極インクの濡れ性を向上させるとともに、塗布型電極の密着性を向上させることが可能な方法を見いだした。また、塗布型電極上にホール注入層を積層成膜するプロセスを、各種塗布パラメータ制御によって構築し、均一なホール注入層を形成する条件・方法を見いだした。

B-3 一貫成膜プロセス技術の開発

(i) 高速搬送対応マスク機構の開発（長州産業株式会社）

インライン成膜プロセスの成膜時間に悪影響を与えるマスク交換時間（成膜待機時間）

を排除するための機構の開発を実施した。具体的には、異物発生の抑制を指向した高速基板搬送機構、高精度搬送制御機構、高速アラインメント付きマスク交換機構などの各要素技術を開発し、インライン蒸着装置への組み込みを行った。本装置を用いて、有機ELの成膜面へのコンタミネーション、傷などを生じない一連のプロセスとしての実証検討を行った結果、成膜待機時間を要さず、連続的なマスク交換が可能であることを確認した。

(ii) 特性支配因子の解明 (パナソニック 電工株式会社)

インライン蒸着プロセスにおける高生産性を意図し、基板の高速搬送および高速蒸着条件下における、デバイス特性に影響する支配因子の解析を行った。有機EL素子を構成する種々の材料に関し、分子流密度や材料温度、蒸着源温度などの成膜雰囲気、またこれらの設定値と関連する基板温度などをパラメータとした膜質および素子特性の依存性評価・解析を実施し、特性支配因子のマッピングを完成させた。

(iii) 高精度雰囲気制御技術の開発 (長州産業株式会社・パナソニック 電工株式会社)

低温揮発材料成膜室など、異なる管理を要する各成膜室の雰囲気管理を独立に行い、インラインプロセスの成膜室間のゲートバルブを不要とするための技術開発を行った。圧力および雰囲気確保のための気体分子補足機構、補足機構の大面积・均一化、およびこれらの機構を有効活用するための排気システム、基板搬送システムなどの開発、検討を行い、成膜室毎の雰囲気確保が可能であることを実証した。

B-4 複合実装構造形成プロセスの開発 (パナソニック 電工株式会社)

A-5で開発した複合実装構造を形成する、光取り出し基材の有機EL成膜前処理プロセス、光取り出し構造と電極構造との位置精度確保方式および複合実装化プロセスなど、各種のプロセス要素技術を開発した。A-5に示した25 cm<sup>2</sup>の有機EL素子は、これらの要素技術の活用によって、A-1の高光取り出し基材、A-4の高性能発光デバイスを融合したものである。またこれらの要素技術を盛り込んだ実装プロトタイプラインを構築し、開発した要素技術の拡張性、信頼性に関する検討を開始した。

### 2.3.2 塗布型ロール・ツー・ロール製造プロセスの研究開発

有機 EL 照明光源の塗布型ロール・ツー・ロール製造プロセスの研究開発にはでコニカミノルタテクノロジーセンターチームが担当する。

#### 【本研究全体の成果】

発光面積 100cm<sup>2</sup> 以上、高効率（発光効率 130lm/W 以上）、高品質（平均演色評価指数 80 以上、輝度 1,000cd/m<sup>2</sup> 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上）を実現する有機照明デバイス技術開発を行う（Stage II）。委託開発事業において、上記有機 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し遂行した。

平成 22 年度の目標を 発光面積 25cm<sup>2</sup> 以上、発光効率 50lm/W 以上、平均演色評価指数 80 以上、輝度 1,000cd/m<sup>2</sup> 以上、輝度半減寿命 10,000 時間以上（Stage I）とした。

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、青色燐光材料開発に着手し、本燐光材料を適用して、上記目標を引き出す層設計技術・光取出し技術を開発する事により、発光面積 25cm<sup>2</sup> 以上、発光効率 61lm/W、平均演色評価指数 83、輝度 1,000cd/m<sup>2</sup>、輝度半減寿命 20,000 時間のサンプルを作製し、Stage I 目標が達成できる事を実証した。

一方、ラボ条件のスケールアップを含め塗布型ロール・ツー・ロール製造プロセスに必要な生産技術を導入したパイロットラインを平成 22 年晩秋に稼働させた。このパイロットラインを用いて、塗布型デバイスの試作検証を行い、ロール・ツー・ロール製造プロセスの量産化に向けた生産技術開発課題が、(1) 高速製膜積層化技術、(2) 高速電極形成技術、(3) 高速洗浄技術、(4) 高速封止技術、(5) 高速搬送技術、(6) 高速ベーク技術、及び(7) 高速品証技術にある事を確認し、それらの達成技術開発にも着手した。

Stage II に向けた要素技術開発にも着手した。材料・層設計技術開発の材料技術においては、独自の分子計算法を開発し、発光性予測が可能となり、ドーパント及びホストの組み合わせに着目した分子設計が可能となった。層設計技術においては、燐光素子劣化主要因を絞込み対策指針を策定した。光取出し技術においては、燐光素子光学特性解析を完了し、性能向上指針を策定した。評価・解析法技術において、燐光有機 EL 素子劣化機構についてはモデル素子を用いて、通電キャリアによる劣化の基本解析法を確立したり、発光層が主因である事も明らかとした。

(1) 材料・層設計技術

開発項目	Stage I の目標	研究開発成果	達成度
材料・層設計技術開発	プロトタイプ試作 発光面積 $\geq 25\text{cm}^2$ 発光効率 $\geq 50\text{lm/W}$ 平均演色指数 $\geq 80$ 輝度 $\geq 1,000\text{cd/m}^2$ 半減寿命 $\geq 10,000\text{hrs}$	発光面積 $25\text{cm}^2$ 発光効率 $61\text{lm/W}$ 平均演色指数 $83$ 輝度 $1,000\text{cd/m}^2$ 半減寿命 $20,000\text{hrs}$	達成
(1) 材料技術	Stage I 用プロトタイプ 検討素材の選択	検討用素材の選択を終了、スケールアップ処方完了。	達成
(2) 層設計技術	Stage I 用層構成の開発	Stage I 用層構成を選択、発光ドーパント最適化により平均演色評価指数を改良し、蒸着 $5\text{cm}^2$ 発光面積のプロトモデルにて Stage I 目標を達成。	達成
(3) 光取出し技術	Stage I 用光取出しシート の選定	Stage I 用光取出しシートの選択を完了。材料、層設計と合わせ Stage I 目標を達成。	達成

(2) 生産技術(パイロットライン立上げ)

開発項目	Stage I の目標	研究開発成果	達成度
パイロットライン立上げ (1) RtoR プロセス検証	パイロットライン立上げ(動作確認・プロセス機能確認)	各単体設備の課題対応を実施した。重要課題は、100%対応終了。	達成
		全ライン(設備)のプロセス動作・機能確認し、重要課題は、100%対応終了。	達成
	パイロットラインを用いた RtoR デバイス試作/評価によりラボ条件の性能及びスケールアップ確認と課題抽出	デバイス試作の為に各プロセスの条件及び処方条件を設定し、試作を繰り返し、確認済み。	達成

本プロジェクトの位置付けを改めて考えてみる。生活照明を代替できる高性能照明となる有機 EL 照明は、有害物質を含有する蛍光灯の代替に加えて、有機 EL の特徴である面発光、軽量化及び省エネ等により、歴史上考えられなかったマーケットを創出する可能性を秘めている。又、現在日本が抱えている東日本大震災による福島第一原子力発電所事故による東日本電力供給不足問題に対しても、日本における家庭用電力の約 17% を占めると言われている照明用において省エネの観点では、LED 照明と共に、日本ばかりでなく世界中の必要電力を削減し、電力供給のための今後の発電所の考え方に対しても色々な可能性を拓けるもので

ある。

又、上記状況下で、日本でいち早く次世代照明を開発し、新たな照明市場を切り開く事も本プロジェクトの目標の一つである。

世界中の照明を念頭に置くと、白色照明に於いては、ヨーロッパ、アメリカ大陸及びアジア大陸で好まれる色温度が異なり、それぞれの市場にマッチした照明が要求される。この要求に対し、本プロジェクトは、R/G/B の材料配合比率変更にて対応可能であり、生産工程の大幅な変更が不要なため、世界中の照明を代替できる。

本プロジェクトは、Stage I の目標を十分に達成したと判断できるが、今後 Stage II 目標に向け開発技術を進化・高度化し、又、有機 EL 照明の実現に必要な他の技術を開発するための活動を継続して行う事が、Stage I の成果を活用し、Stage II の目標を達成するために必要である。

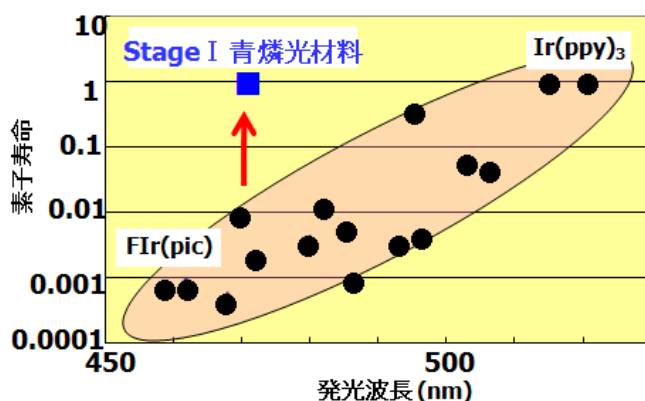
## 【研究開発項目毎の成果】

### (1) 材料・層設計技術

Stage I に向けて開発した主要技術は、5 技術である。(a) 素子寿命の向上のために耐久性に優れた高堅牢性青発光材料を開発した。(b) 駆動電圧の低減のために高移動度電子輸送層を設計した。(c) 発光効率、素子寿命の向上のために開発材料に適した発光層の設計を行った。(d) 駆動電圧の低減、素子寿命の向上のためにキャリア注入障壁を低減した層設計を施した。(e) 演色性向上のために発光ドーパント選択を最適化した。

#### (a) 高堅牢性青発光材料

従来の配位子骨格を変えずに置換基だけで短波化しようとする、短波化=高 T1 エネルギー化=ワイドバンドギャップ化= $\pi$  共役系の縮小または切断によって分子が不安定になると言う図式になり、結果として短波化と寿命は好ましくない相関になってしまう。そこで、新たな配位子を探しトレードオフとならない独自の配位子を見出した。この Stage I 用青色燐光材料は、従来のトレンドから逸脱した長寿命化を達成した。



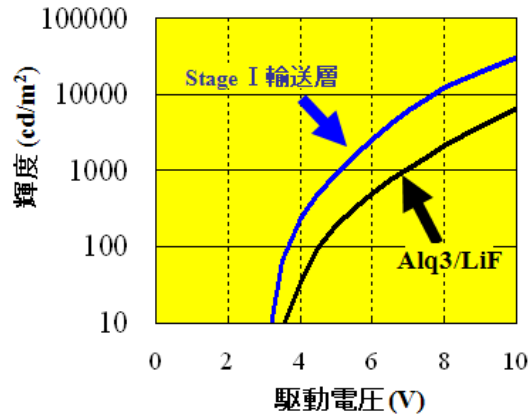
燐光素子寿命の発光波長依存性

Stage I で使用する青燐光材料は、  
従来トレンドを打破する長寿命を達成



(b) 高移動度電子輸送層設計

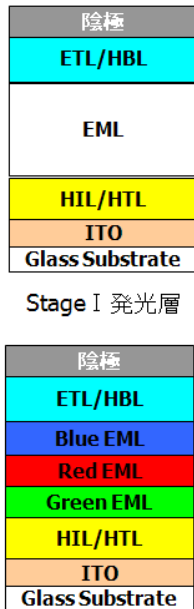
電子輸送材料として最適化された材料、その電子輸送材料とのマッチングの良いホスト材料、及び添加剤等の開発により、電子移動度が高まり低電圧化を達成できた。



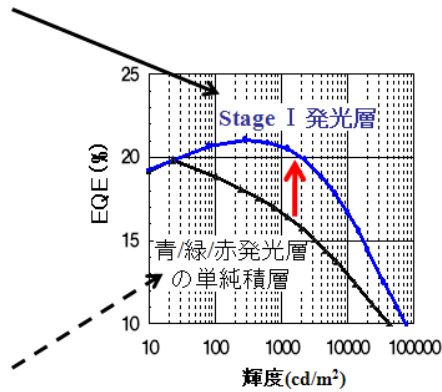
有機EL素子の輝度-電圧特性

青線がStage I 開発の輸送層を使用した素子。輸送層の電子移動度を高めたことにより、従来標準輸送層(黒線)に比し顕著に低電圧化。

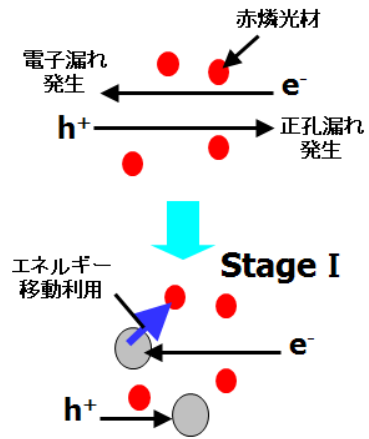
(c) 発光層設計



青緑赤発光層単純積層



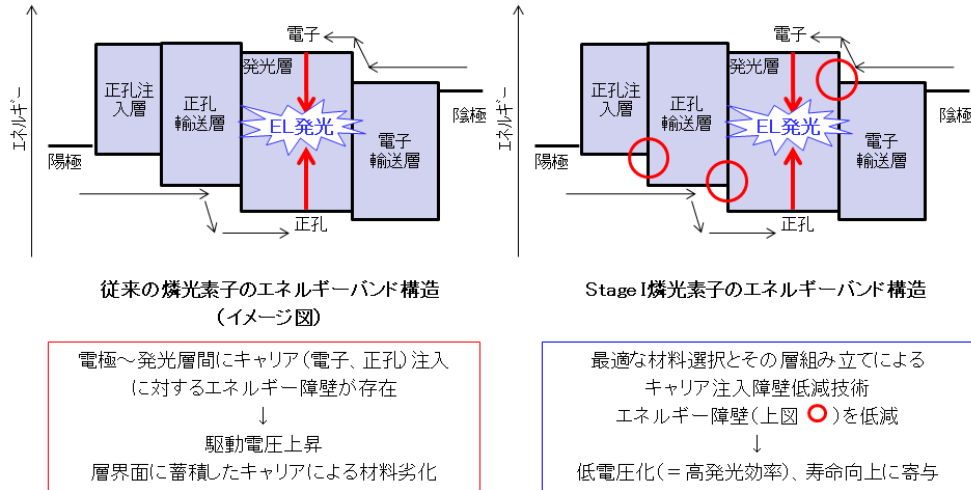
有機EL素子の発光効率(EQE)-輝度特性



Stage I 発光層の効率向上効果の作用の概念図

発光層からの電子、正孔の漏れ(損失)を防止し、発光効率を向上させる効果。

(d) 発光層へのキャリア注入障壁低減層設計



・ 5cm<sup>2</sup>発光素子性能

<輝度 1,000cd/m<sup>2</sup>における素子性能>

特性項目		Stage I 目標	Sample
発光効率	lm/W	50以上	61
半減寿命	hrs	10,000	20,000
EQE	%	—	31
駆動電圧	V	—	3.5
色度 (CIE1931)	—	—	0.469, 0.440
色温度	K	—	2,800
平均演色指数(Ra)	—	80以上	83

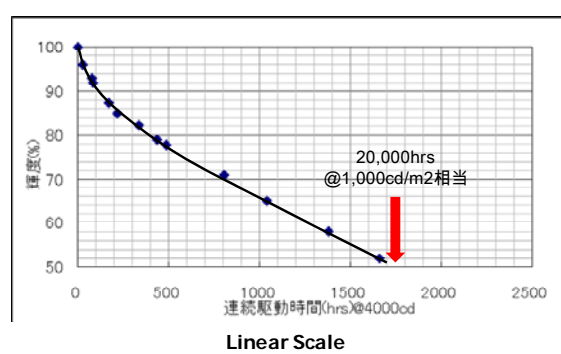
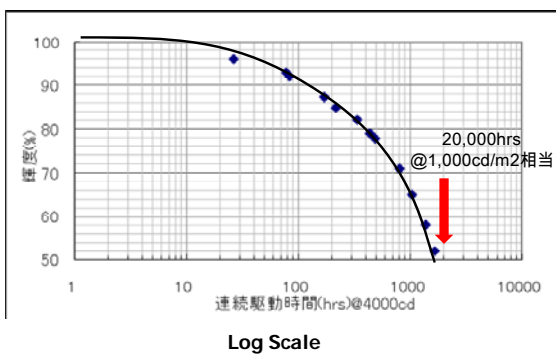
Stage I の性能課題の平均演色指数(Ra)改良に対し、新規ドーパントによる発光スペクトル最適化で改良。目標の Ra $\geq$ 80 が得られた。

・ 発光効率及び駆動電圧が輝度特性に及ぼす影響

初期輝度 1,000 cd/m<sup>2</sup>における発光効率は 61lm/W。

・ 連続駆動が輝度特性に及ぼす影響

(初期輝度 4,000cd/m<sup>2</sup>測定。1,750hrs が初期輝度 1,000cd/m<sup>2</sup>で 20,000hrs に相当)



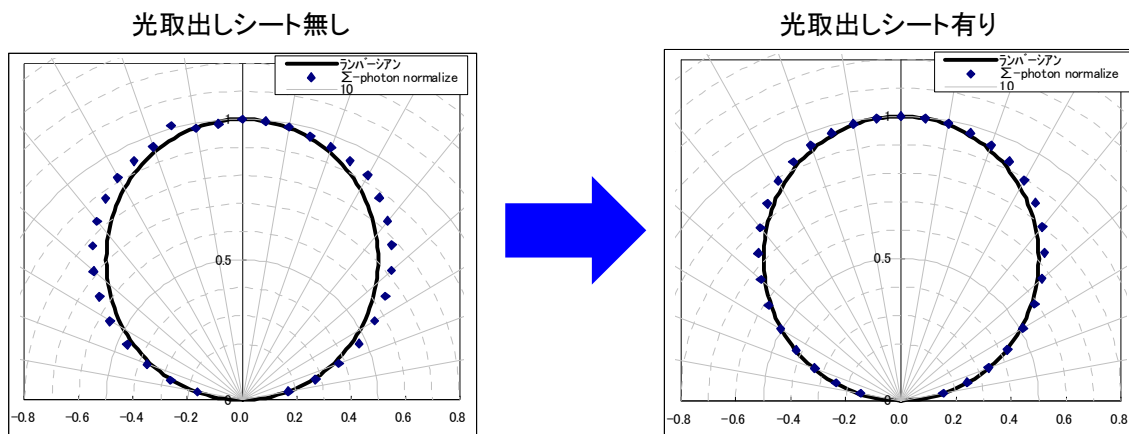
初期輝度 1,000 cd/m<sup>2</sup> で 20,000 時間に到達。

・光取出しシートを選択

種類	構造	光取出し効率 相対値	配光特性	備考
A	散乱型	92%	○	
B	散乱型	101%	△	
C	散乱型	100%	○	Stage I に採用
D	散乱型	95%	○	
E	プリズム型	99%	△	

光取出し効率と配光特性の観点から総合的に優れた光取出しシートを選定  
( \* 配光特性はランバーシアン配光を目標とした。)

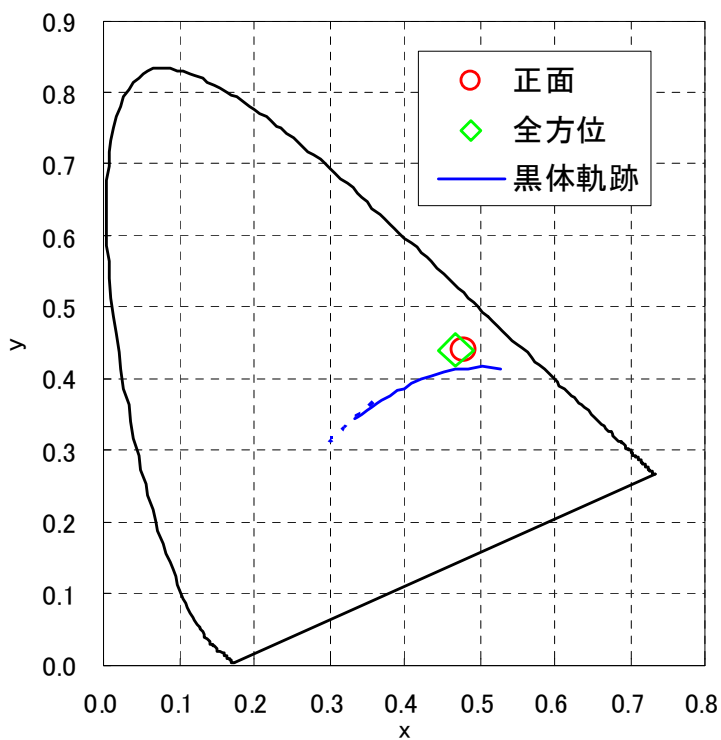
・ EL 発光の配光特性



光取出しシートの最適化により、ランバーシアン分布の配光特性を達成。

・ EL 発光の色度座標

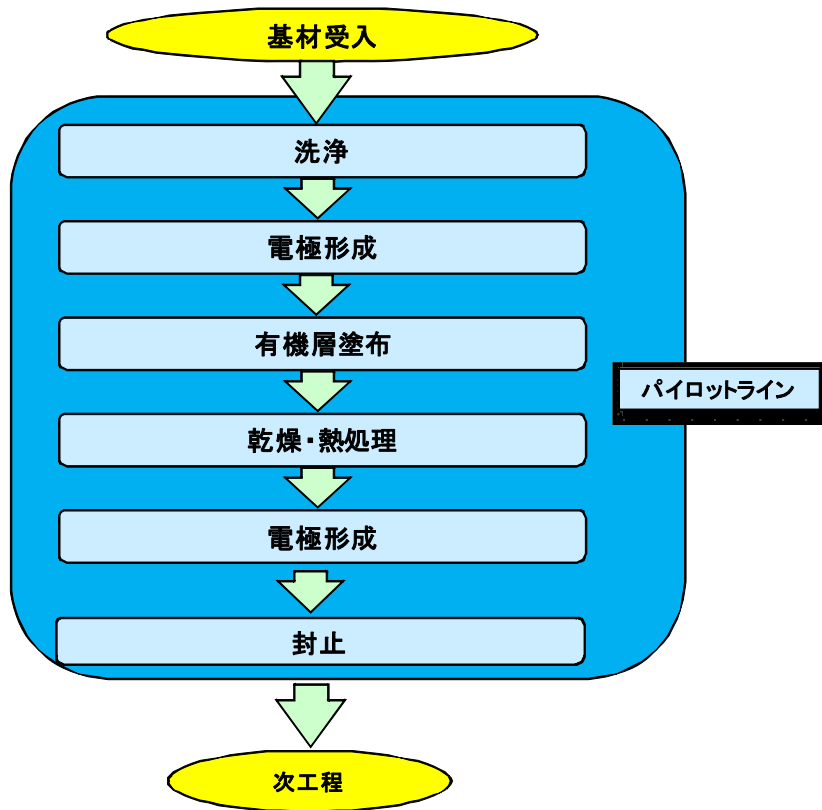
色度座標は黒体軌跡に近似レベル



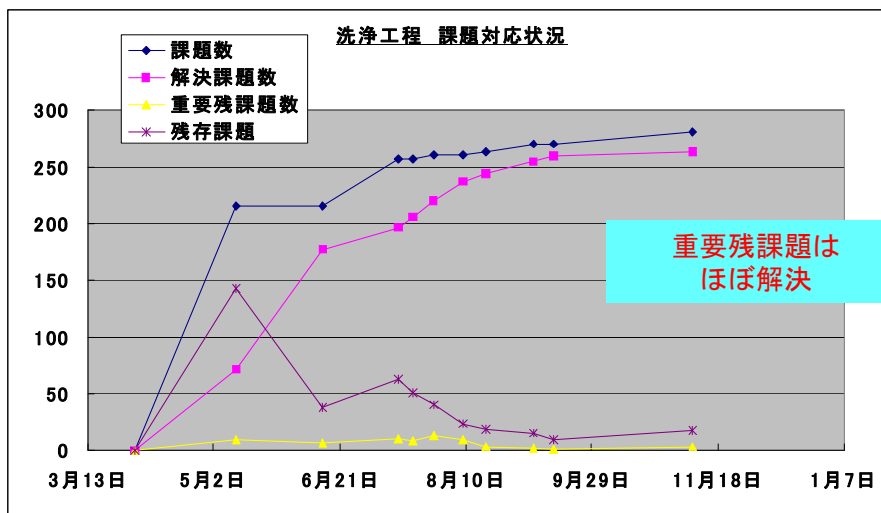
(2) 生産技術

・パイロットラインフロー

基材を受入れてからパイロットラインは、洗浄工程、電極形成工程、有機層塗布工程、乾燥・熱処理工程、電極形成工程及び封止工程がある。



パイロットライン(洗浄工程)では、立上げまでの間に発生した課題をさらに重要課題と分け、その発生件数と課題解決件数を下記のような、経時による管理図を作成し、明視化し、管理する事で、目標日程に間に合わせる管理を行い、重要課題解決に向け集中的に工数をかけ解決してきた。

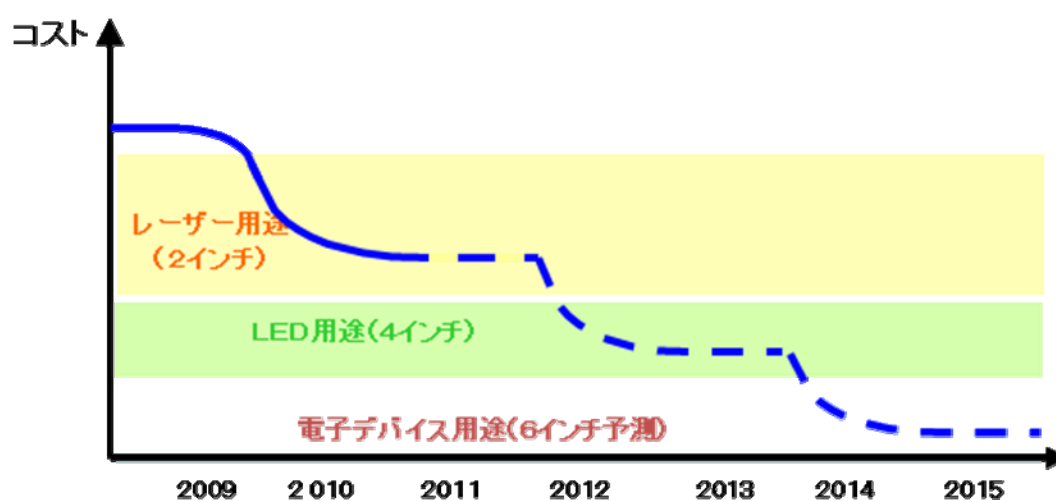


## IV. 実用化、事業化の見通しについて

### 1. LED 照明の実用化、事業化の見通し

現在、既に LED 照明は実用化されているものの、効率、価格の面で必ずしも蛍光灯を代替する次世代照明としては不十分な点がある。LED 照明市場としても、2008 年は約 800 億円規模であるが 2015 年には一兆円を超えるものと予測される。

本プロジェクトの成果により、高性能・高品質と同時に図IV.1.1のように世界に先駆けて大口径化（2インチ→4インチ→6インチ）による低コスト化を実現できれば国際的省エネルギー化のリーダーシップを採り国際市場での事業拡大が可能である。



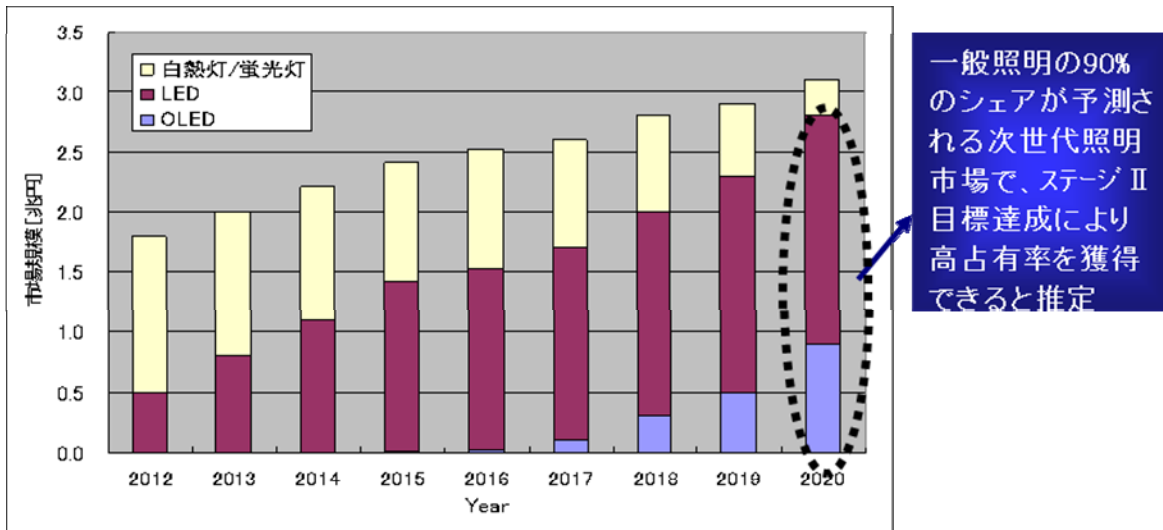
図IV.1.1 LED デバイスのコスト推移予測

### 2. 有機 EL 照明の実用化、事業化の見通し

有機 EL 照明は現在まだ研究段階であり、サンプル出荷はされているが本格的な事業段階にはない。

しかし 2018 年には新規市場を含め国際市場にて 2,000 億円、2020 年には、1 兆円近くまで成長すると推定される。(図IV.2.1) 日本が先端的な技術開発をリードして本プロジェクト目標が達成できれば、本市場でのシェア 20%~50% (2 千億円~5 千億円) の事業拡大が期待できる。

なお LED を含めた次世代照明としても、2020 年には全照明市場の 90%を占め、約 3 兆円の市場規模が予想される。



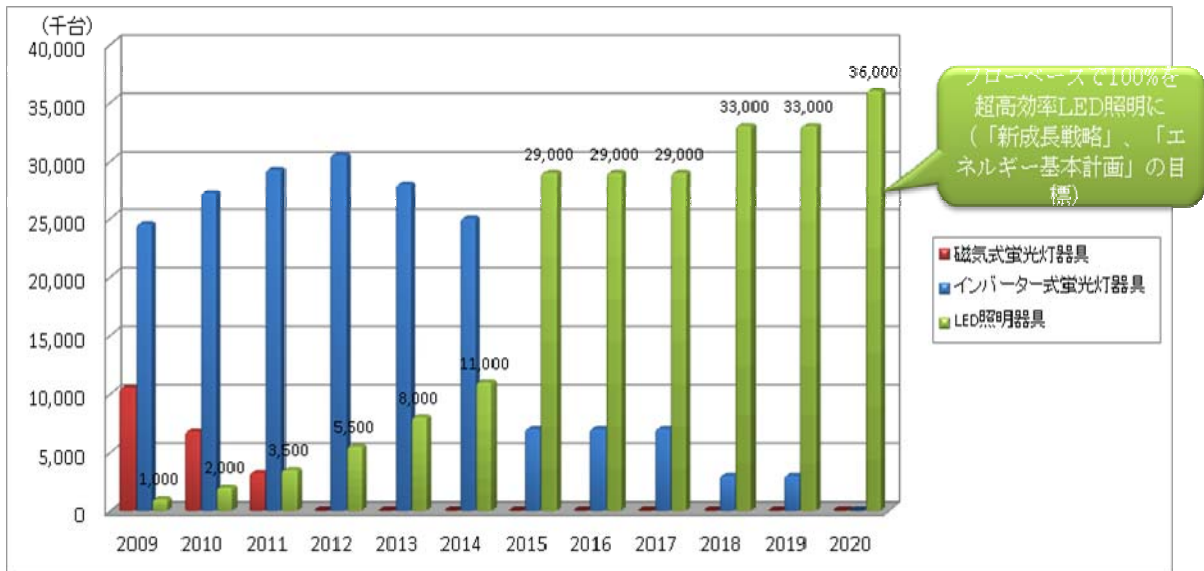
図IV. 2.1 次世代照明の市場予測

本事業の開発成果を活用した、有機EL照明デバイスの商品ロードマップの一例を図IV. 2.2に示す。2011年から、高演色性光源の特徴を活用した放送用照明器具、美術館照明などで照明市場にエントリーして2012年には、上記分野での市場展開を加速すると共に、新たな高付加価値エントリ市場の開発を実施可能である。2013年度からは、高性能化素子を市場投入することで、店舗照明、サイン照明、車載を中心用途開発を進める。2016年度からは、効率が100lm/Wを超える効率と低コストを実現することで、住宅、店舗、オフィス等の主照明で蛍光灯の置換えを進める。

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>特徴</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機ELのネームバリュー</li> <li>薄型面光源</li> <li>調光容易</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>長寿命</li> <li>大面積</li> <li>透明・調色</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率&amp;高輝度&amp;長寿命</li> <li>フレキシブル</li> <li>低コスト</li> </ul>			
<b>商品イメージ</b>	照明モジュール	美術館照明	誘導灯	ハンダント照明	車載照明	フラッドライト	フィルムライト	ベースライト	光る天井材、壁材	

図IV. 2.2 商品ロードマップ

なお経済産業省が発表している本高効率照明技術開発に基づく次世代照明普及予測を以下に示す。



項目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	代替対象 「蛍光灯」の スペック
政策	研究開発					量産化 準備	導入支援策			トップランナー基準			
消費電力 (lm/W)	67.5							-130				150	67.5
単価 (円/m・年)	1.3							0.4				-0.3	0.3
生産台数 (千台)	80,000	48,900	39,900	32,500	28,500	21,600	18,000	14,700	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000 12,000

研究開発目標：130lm/W以上の照明器具を実現

研究開発目標：0.3円/m・年以下で量産

図IV. 2. 3 次世代照明の普及シナリオ (2010 経済産業省予測資料より)

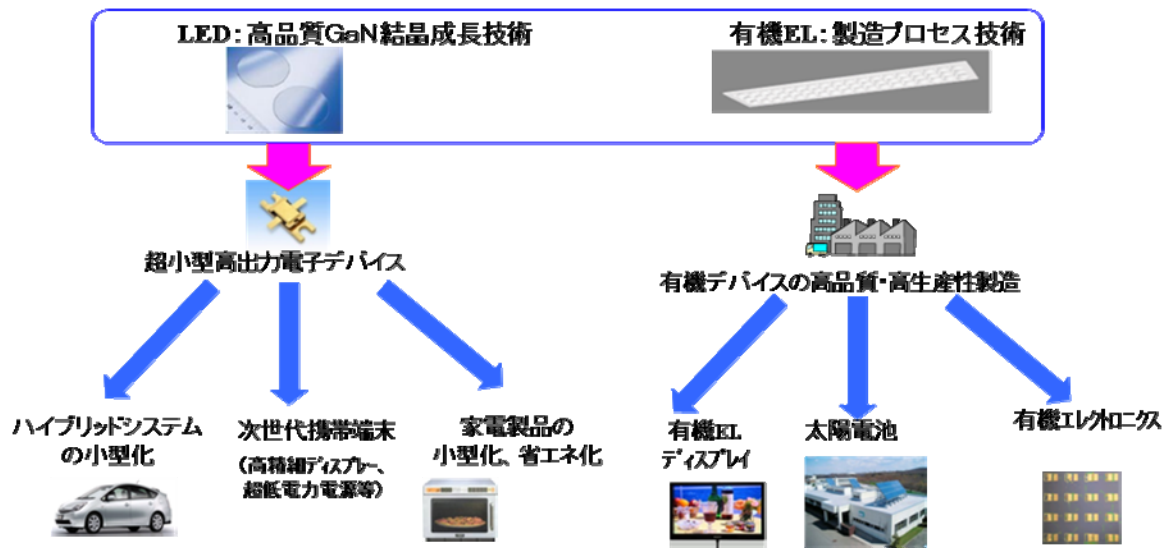
### 3.波及効果

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、CO<sub>2</sub>削減の他にも様々な波及効果が期待できる。(図IV. 2. 3)

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事業的効果は高い。





図IV. 2. 4 次世代照明技術の他分野への展開

## 添付資料

### プロジェクト基本計画

プロジェクト基本計画は、NEDO のプロジェクトを効率的かつ効果的に実施するために、次に掲げるプロジェクトの基本事項を定めるものである。

- ① プロジェクトの目的・目標・内容
- ② プロジェクトの実施方式
- ③ 研究開発の実施期間
- ④ 評価に関する事項
- ⑤ その他の重要事項

基本計画は、原則として全研究期間に渡り、有効であるが、技術評価の結果や内外の研究開発動向、政策動向、研究開発予算の状況などの外部状況変化、あるいは研究体制、当該研究開発の進捗状況などの内部変化に対して適宜、その内容を適正に変更する。

本プロジェクト「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」は、研究開発項目①の位置づけで「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」基本計画に平成23年3月統合したので本基本計画を次頁に示す。

(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。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(NEDONEDO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(NEDONEDO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

#### 一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、「NEDONEDO」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。

なお、研究開発項目②に、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 が委託先決定後に指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）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～平成 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、5 年間（平成 19～平成 23 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24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。

#### 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25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。

### (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 2 号に基づき実施する。

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

(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  $200 \text{ lm/W}$ 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  $200 \text{ lm/W}$ 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  $200 \text{ lm/W}$ 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  $10^4 \text{ cm}^{-2}$ 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  $10^6 \text{ cm}^{-2}$ 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。

#### (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。

## (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/m<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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  $100 \text{ cm}^2$  以上で発光効率  $130 \text{ lm/W}$  以上、平均演色評価数 80 以上、輝度  $1,000 \text{ cd/m}^2$  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 C I E 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 C I E 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、C I E 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 C I E 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 N I S T 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。

## 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とされる4インチ級の究極の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 $\text{gm}$ 、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 インチ級の大口徑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ーや各種窒化物半導体ウェハー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。

## 1. 研究開発の具体的内容

### (1) 高品質大口徑単結晶基板の開発

#### (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 $\mu\text{m}$ 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、また成長の阻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) 高抵抗化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) 大口径基板上的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的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AlGaN/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A1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A1組成AlGaIn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AlGaIn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。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の特性の評価を行う。

(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A1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。

## 2. 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し、前者では転位密度 $<5 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ 、後者では転位密度 $<10^5 \text{ cm}^{-2}$ 、積層欠陥密度 $<10^3 \text{ cm}^{-1}$ の特性を得る。また、それらの伝導度制御として、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) 大口径基板上的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、口径4インチの有極性、及び口径3～4インチの無極性窒化物半導体バルク基板上において、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 $>10^{17} \text{ cm}^{-3}$

面内均一度：厚み $\pm 5\%$ 、組成： $\pm 5\%$ 、ドーピング不純物濃度 $\pm 10\%$

また、GaNホモ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 $<10^5 \text{ cm}^{-2}$

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。また、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。

### 技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

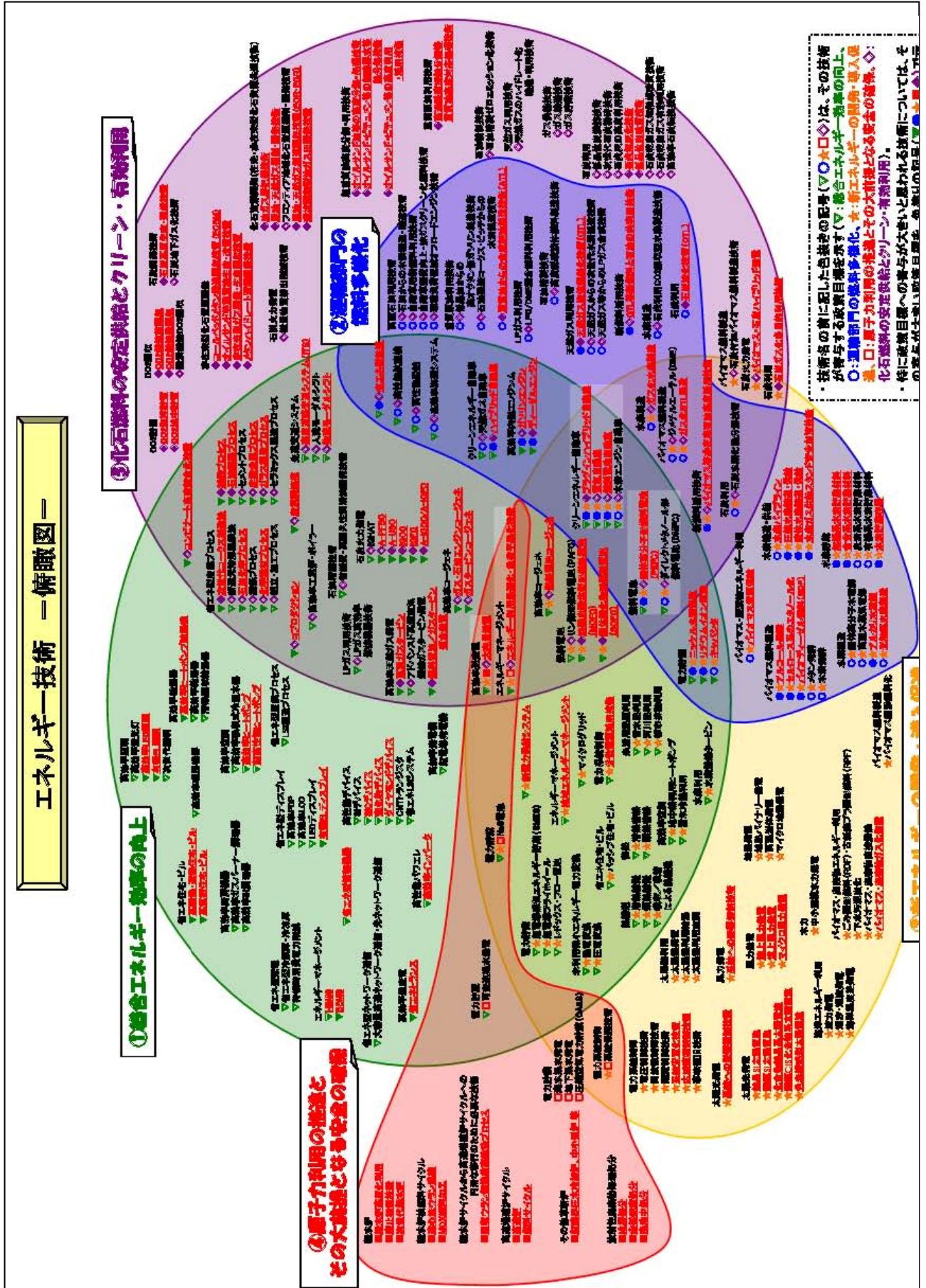
技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術項目や製品・サービス・コンテンツの需要を創造するための方策を示したものであり、経済産業省および NEDO が、産学官の専門家の英知を結集してとりまとめたものである。

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。

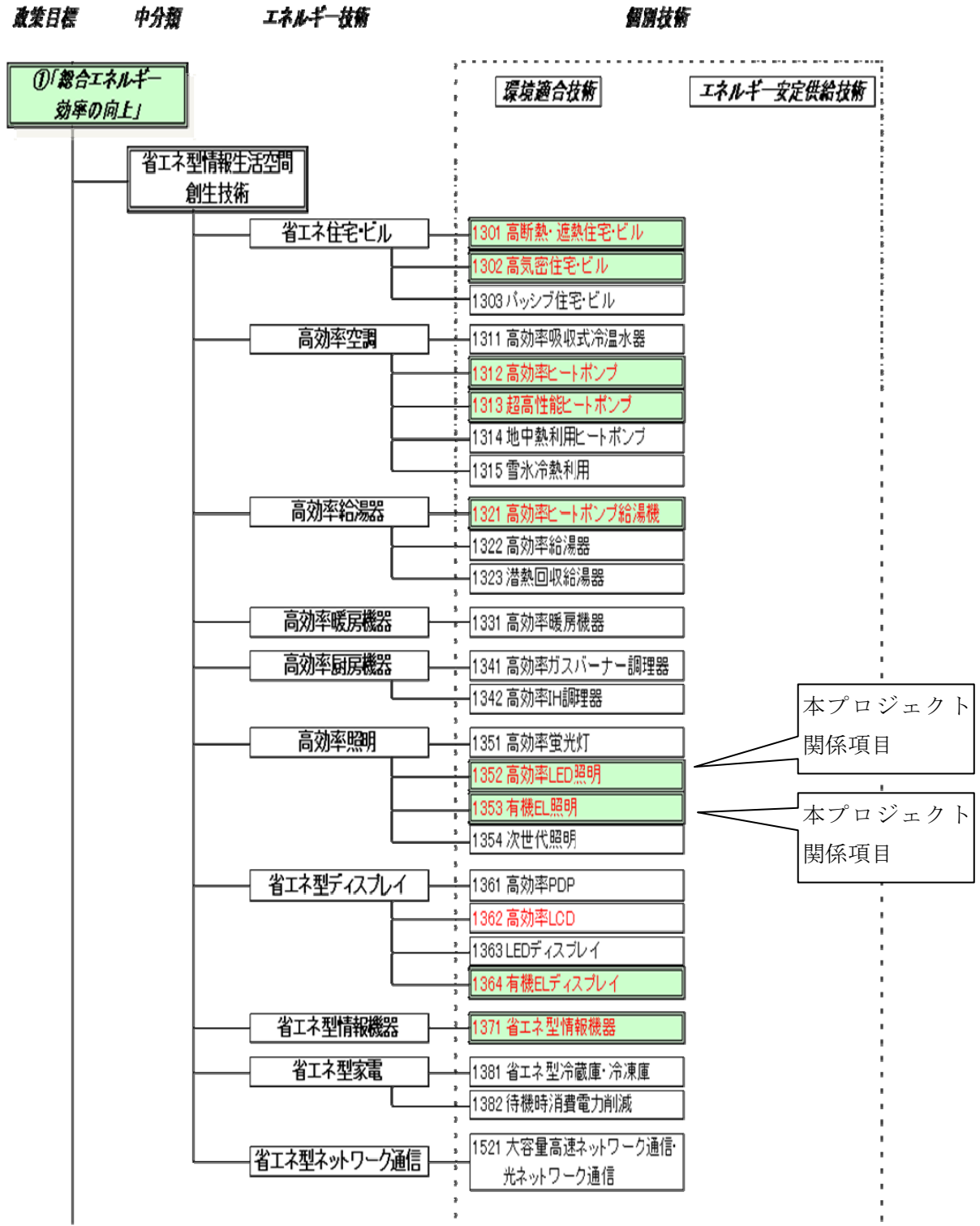
エネルギー技術戦略マップ (2008年度版 抜粋)

(1) エネルギー技術俯瞰図







## (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)

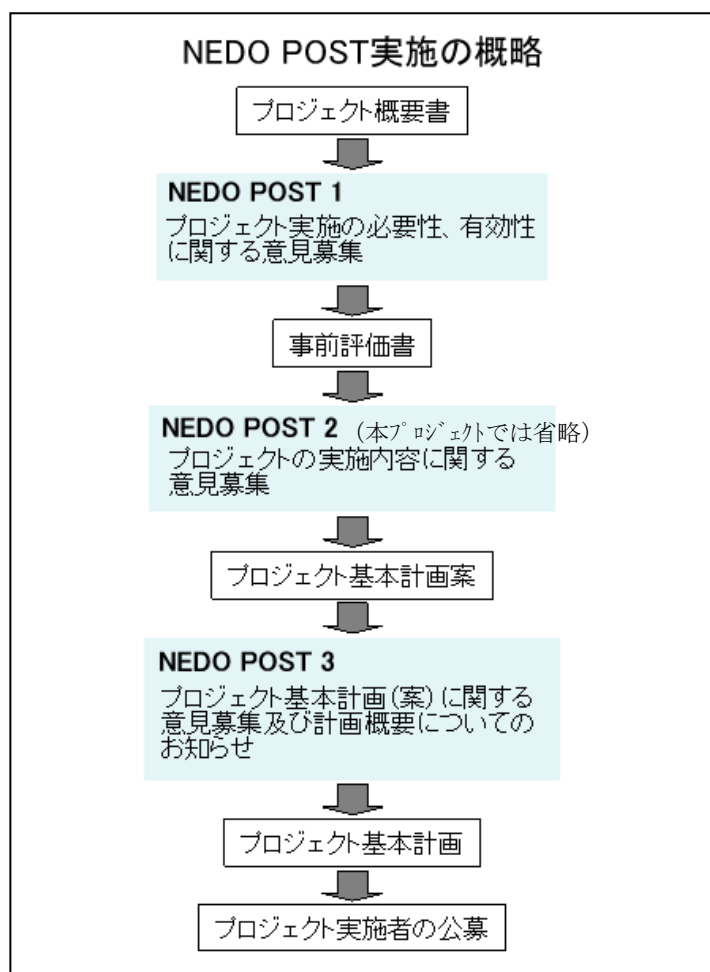
エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
高効率照明	発光効率、寿命 50～100 lm/W 1万時間				
高効率蛍光灯	 <p>高効率蛍光材料      高効率無水銀蛍光灯</p> <p>熱損失低減技術</p>				
高効率照明	発光効率、寿命 65lm/W      100 lm/W      200 lm/W 4万時間      6万時間				
高効率 LED 照明	 <p>高効率 LED 素子 白色 LED 用蛍光材料 (高効率近紫外励起蛍光材料) 光センサー／人感センサーとの組み合わせ 低コスト化</p>				
高効率照明	発光効率 100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

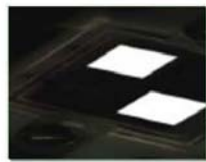
**技術戦略マップ上の位置付け**

- 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	(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。 (2) 事業規模：平成21年度事業費(国費分)54.7億円(委託) (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)	
4. 評価の検討状況	(1) 事業の位置付け・必要性 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。	

## (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/m<sup>2</sup>）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。

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

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」(中間評価)

(2009年度～2013年度 5年間)

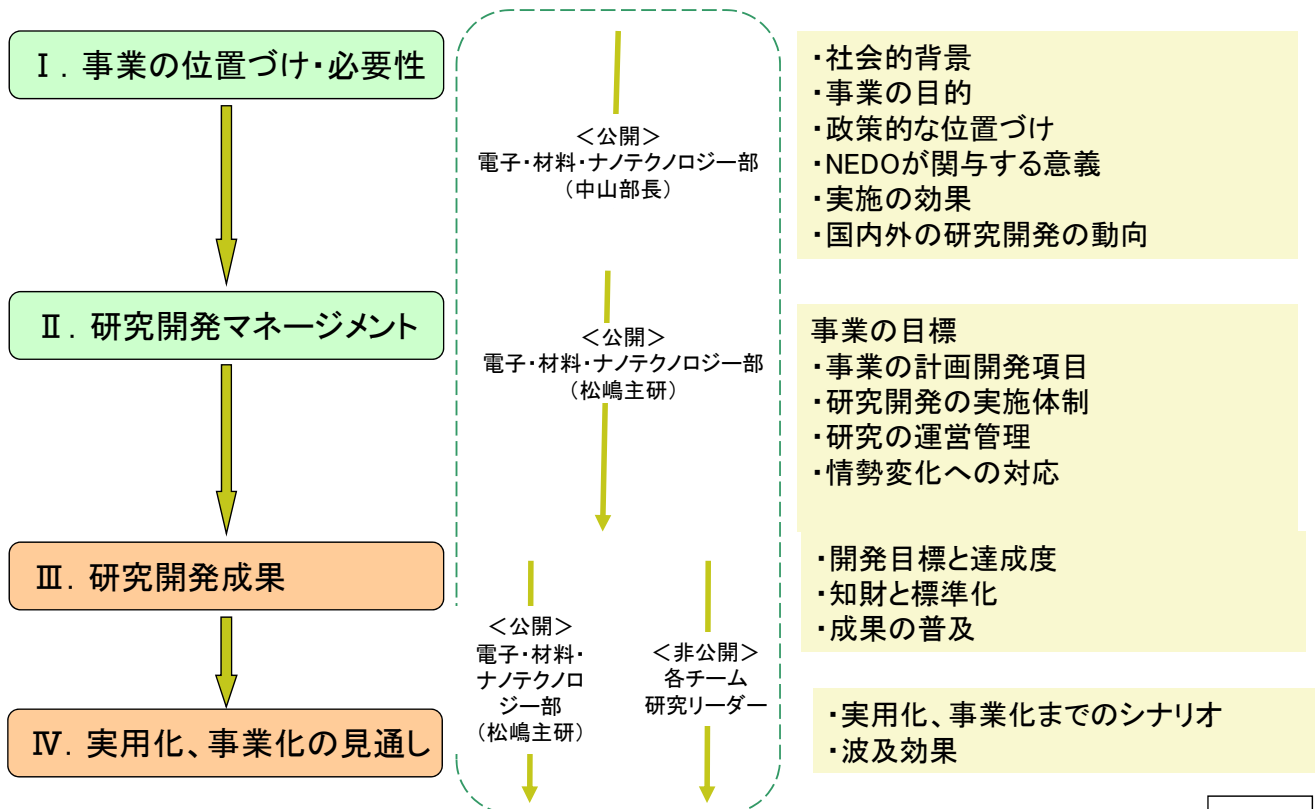
## プロジェクトの概要 (公開)

NEDO  
電子・材料・ナノテクノロジー部  
2011年 7月 8日

1 / 40

発表内容

公開

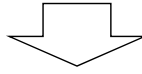


2 / 40

## 社会的背景

### 地球温暖化対策は喫緊の世界的、国家的課題

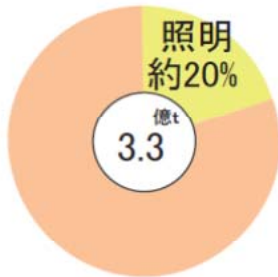
(総合エネルギー効率の向上に資する技術はエネルギー基本計画における重要課題)



### 抜本的CO<sub>2</sub>排出抑制、省エネ技術の必要性

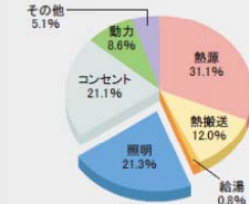
#### 国内照明のCO<sub>2</sub>排出量

【内電力由来のCO<sub>2</sub>排出量】  
(2008年)



事業原簿 I-1

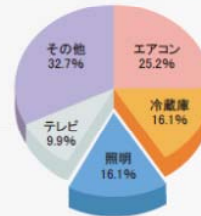
#### オフィスビルのエネルギー消費構造



注)上記のエネルギー消費構造は、テナントビルにおけるレンタルビル比60%以上(熱源有)の例です。

出典:省エネルギーセンター「オフィスビルの省エネルギー」より

#### 家庭におけるエネルギー消費構造



出典:省エネルギーセンター「家庭の省エネ大辞典」より

(出典)照明器具業界の新成長戦略(照明器具工業会)

3 / 40

## 事業の目的

LED、有機ELの発光効率を蛍光灯の2倍にし、かつ製造コストを低減することで、照明のエネルギー消費量を劇的に削減。



LEDおよび有機ELの高効率化、低コスト化のため、材料技術の高度化や新規デバイス構造の開発を実施。

社会的インパクト(消費エネルギー削減量の大きさ)と事業難易度とのバランスを勘案し、達成目標を「蛍光灯の2倍の発光効率」=「照明器具で130 lm/W」とNEDOが設定。

#### GaN基板による高効率LEDの実現

p電極1mm角



IQE 向上

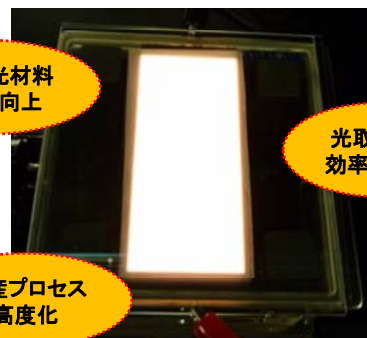
貫通転位 低減

電流注入動作時

高品質GaN結晶 量産技術

#### オール燐光による

#### 高効率有機ELデバイスの実現



青色燐光材料の特性向上

光取り出し 効率の向上

生産プロセス 高度化

事業原簿 I-1

4 / 40



1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

LEDと有機EL双方を研究開発支援する意義

- 現状、効率面はLEDが先行しているが、将来は用途により、最適な光源が異なると予測。2020年頃には、**LEDと有機ELが用途により棲み分け進行**。
- 家庭、オフィス等の主照明は、効率、コスト、施工性の観点で、将来は有機ELに置き換え。(LEDを面照明器具として使用した場合の効率低下、コスト増を考慮)
- LEDは、照明用途は、指向性光源に限定。照明以外の用途としては、ディスプレイ用バックライトや車のライトの他、医療や農業などの特殊光源に展開。

種類	ターゲット	光源	今後の予測
拡散光源 (シーリングライトなど)	先進国	有機EL	2015年頃から、LED平面光源を効率およびコストの面で上回り、その後は一般照明は全て有機ELに置き換えられる。
	途上国	蛍光灯	イニシャルコストが高額のため、引き続き蛍光灯が大部分を占める。ただし、途上国においても、新たに照明器具が導入されるエリアは、最初からLED or 有機ELが普及する可能性がある。
指向性光源 (スポットライトなど)	World Wide	LED	2015年頃から効率、寿命、コストの面で、現行のハロゲン光源などを上回り、全てがLEDに置き換えられる。
その他光源	World Wide	LED	ディスプレイのバックライト、車のライトなど、小型で高い輝度を必要とする領域は、全てLEDに置き換えられている。
新規用途光源	先進国	LED 有機EL	LED、有機ELともに、白熱電球や蛍光灯には無い、新しい価値(高効率、長寿命、薄い、軽い等々)を活かした新たな用途展開を期待(建材との融合、医療・農業・漁業用途の利用等)。

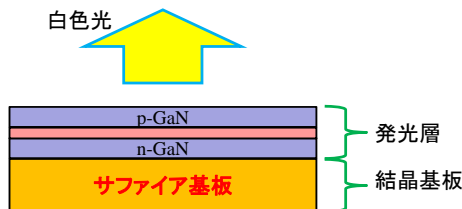


1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

普及が進むLEDの研究開発を実施する意義

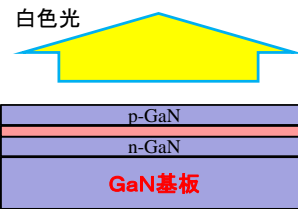
- 現在市販されている白色LEDは、**サファイア基板ベース**
- 発光効率化、低コスト化はサファイア基板ベースでは**鈍化傾向**
- GaN基板は特性上、発光効率、信頼性、放熱性等(コスト除く)で**サファイア基板より優位**

【現状:サファイア基板ベースのLED】



サファイア基板ベースのLEDチップ発光効率は **130 ~ 150 lm/W (演色性80) で鈍化**

【本事業で実施:GaN基板ベースのLED】



GaN基板ベースのLEDチップ発光効率は **200 lm/W 以上 (演色性80) が可能**

- 本プロジェクトでは、下記の性能を既に達成。
- ・LEDチップで **250 lm/W以上** (演色性60)
  - ・LEDデバイスで **180 lm/W** (演色性80)

発光効率向上の根拠

- 内部量子効率の向上: **1.3倍**  
GaNの方が欠陥密度が低いため、内部量子効率が高い。
- 光取り出し効率の向上: **1.5倍**  
基板/発光層界面での光反射により、サファイア基板の方が光が閉じこめられやすいため、効率が落ちる(各基板の屈折率が異なるため)



1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

普及が進むLEDの研究開発を実施する意義

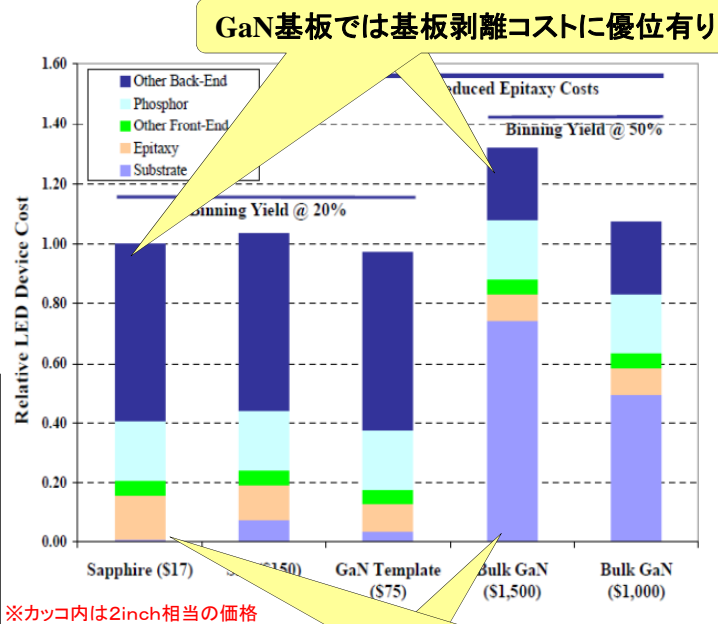
低コスト化: GaN基板LEDを実現するために克服が必要な課題

GaN基板LEDデバイスコスト全体の50%以上は基板コスト

GaN基板の生産効率が向上すればサファイア基板LEDデバイスを凌ぐ低コスト化が可能!

GaN結晶の高品質大口径化により生産性向上を実現

- ・2009年は、1inchあたり約25万円。
- ・サファイア並みのコストにするには、1inchあたり約5万円。
- ・GaN基板の大口径化が実現できれば、1インチあたり約3万円が達成可能。

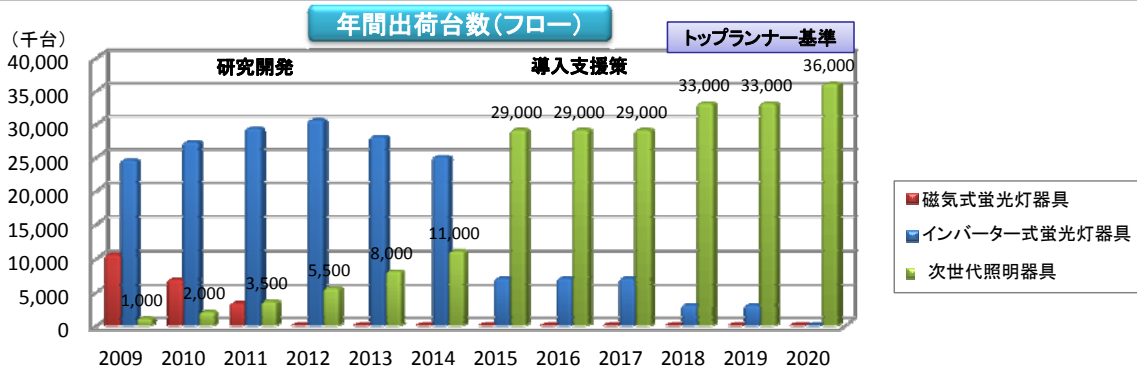


GaN基板では基板コスト比率は50%以上

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

政策的な位置付け

●「新成長戦略」、「エネルギー基本計画」における目標値(蛍光灯の2倍の発光効率を有する高効率照明を2020年までにフローベースで100%置き換え)という政策目標を実現するため、NEDOとしては、2013年度までにこれを実現する研究開発の完了を目指す。



年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	代替対象 (蛍光灯)の スペック
政策	研究開発					量産化準備	導入支援策			トッランナー基準			
器具効率(lm/W)	67.5						≥130					150	67.5
光束単価(円/lm・年)	1.3						0.4			≤0.3			0.3
平均器具価格(円)	60,000	48,900	39,900	32,500	26,500	21,600	18,000	14,700	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000~12,000

研究開発目標:130lm/W以上の照明器具を実現

研究開発目標:0.3円/lm・年以下で量産

(2010 経済産業省予測資料より)

NEDOが関与する意義

次世代高効率LED、有機EL照明技術の開発は、

- 社会的必要性: 大、電力量削減、CO<sub>2</sub>削減は国家的課題
- 省エネの追い風を受け、照明産業だけでなく、材料や装置産業の競争力強化にも貢献

<LED>

産業レイヤー	プレイヤー
材料 (GaN基板、蛍光体等)	三菱化学、リコー、豊田合成、日本ガイシ、ブリヂストン、エルシード、三菱樹脂等
LEDデバイス (エピ、実装等)	日亜化学、シチズン電子、豊田合成、スタンレー、エルシード等
LED照明器具	三菱化学、NECライティング、ウシオライティング等

<有機EL>

産業レイヤー	プレイヤー
材料 (有機材料等)	出光興産、コニカミノルタ等
有機EL照明デバイス	パナソニック電工、コニカミノルタ等
製造装置 (蒸着、塗布)	タツモ、長州産業、コニカミノルタ、日立造船等

● 研究開発の難易度: 高、投資規模: 大 = 開発リスク: 大

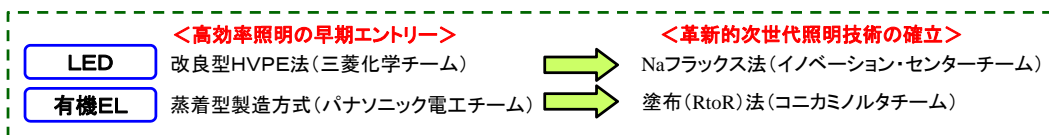
- LEDで本プロジェクトの目標を実現するには、材料レベルからの研究開発が必要。高品質GaN結晶を低コスト製造(バルク化)することは、未だ達成されていないイノベティブな研究テーマであり、結晶成長炉の製造・改造も必要なため、投資規模も大きい。
- 有機ELで本プロジェクトの目標を実現するには、有機材料、デバイス構造、製造方法について、革新的なブレークスルーが必要。

NEDOが関与する意義

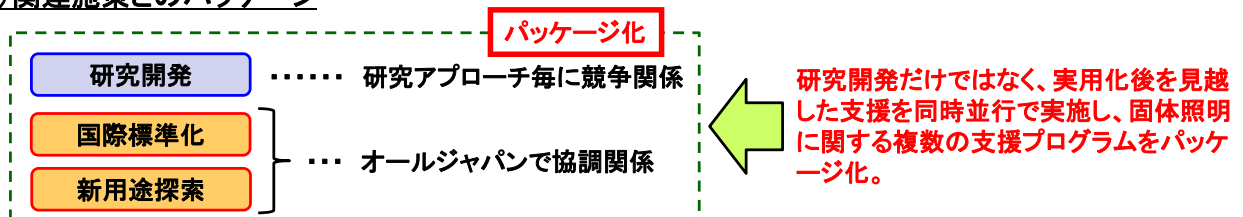
- 高度な専門知識により、研究開発を効果的に実施するための具体的なプロジェクトを構築・運用することができる。

1) プロジェクト内容の具体化

「照明の高効率化による低消費電力化」を実現するために、LED・有機ELそれぞれについて、「高効率照明の早期実用化を期待するチーム」と「革新的な手法により次世代の技術を確認するチーム」という、時間軸の異なる二つのアプローチを採用。それぞれのアプローチに取り組むプレイヤーに関しても、NEDOにおいて最適な研究実施体を吟味し、採用した。



2) 関連施策とのパッケージ



3) 予算の柔軟な執行

研究の進捗状況に応じて、テーマの加速・中止を柔軟に実施することができるため、研究開発の進展がスピーディーな当該テーマにおいても、適切なプロジェクト管理を実施することが可能。(ステージゲート評価の実施、加速財源による研究前倒し等)

実施の効果 (費用対効果)

●プロジェクト費用の総額 **100億円**

●市場の規模(2020年推定)

照明器具販売額(国内) **3,600億円**<sup>1)</sup>

エネルギー技術	2010	2015	2020	2025	2030~
高効率照明	蛍光灯等、寿命 50~100 万時間				高効率性能を前倒しで達成
高効率蛍光灯		高効率蛍光材料 高効率無水銀蛍光灯			
高効率照明	蛍光灯等、寿命 65 万時間	100 lm/W	200 lm/W		
高効率LED照明		高効率LED素子			
高効率照明		白色LED用蛍光材料 (高効率近紫外蛍光材料) 低コスト化			
有機EL照明		高輝度白色EL			
		高効率化			
		長寿命化			
		大面積化			

●省エネルギー効果<sup>2)</sup>(2020年推定)

【照明の高効率性能を前倒して実現した効果】 【参考:全各熱電球・蛍光灯を次世代照明で置換した効果】

電力削減量

**51億kWh**

**577億kWh**

(原油換算)

**120万kl**

**1,361万kl**

(CO2換算)

**282万トン**

**3,202万トン**

(全CO<sub>2</sub>に対して約10%の削減効果)

(出典) 1) 経済産業省試算

2) 「経済産業省 平成20年機会統計確定値」、『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)を参考にNEDO試算。

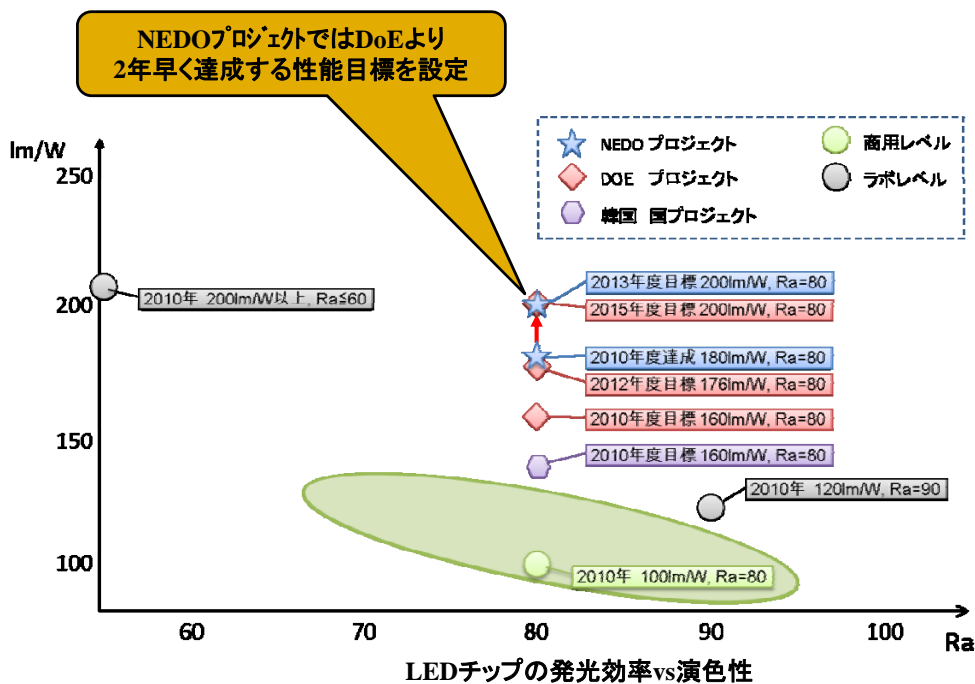
国内外の研究開発の動向(LED)

地域	プロジェクト	期間	国家投資額 下段括弧()内は、その事業規模全体	備考
欧州	EPSRC(英)		数百万ポンド(現在実施中) [約数億円]	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)
米国	ARRA資金によるSSL研究開発	2009~2019	37.8百万ドル [約31億円] (66.3百万ドル)	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。
中国	半導体照明プロジェクト(第二期)	2006~2010	3.5億元 [約50億円] (10.5億元)	民間企業向け支援。LEDチップ、パッケージに資源を集中。2010年までに白色LEDチップの発光効率を国際水準(130lm/W)にする。科学技術部:地方政府:参加企業の費用負担は1:1:1。
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)	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)	2009~2010	35億円	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、リンシヨピン大学、ブリヂストン、スタンレー、ウシオライティング

国内外の研究開発の動向(有機EL)

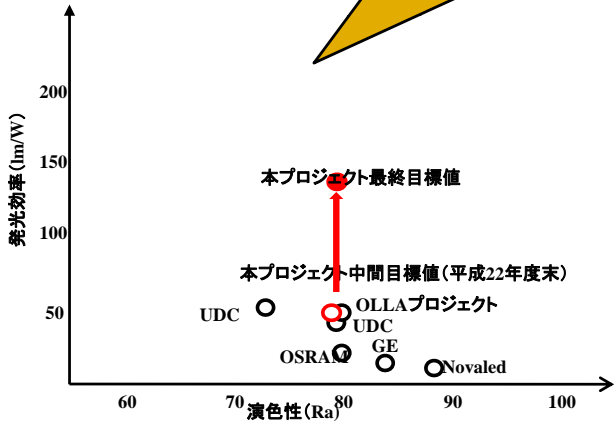
地域	プロジェクト	期間	投資費用	メンバー
欧州	OLLA	2004~2008 (完了)	1,200万Euro [約14億円]	Philips Technologie, Philips Lighting, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Philips Research Lab., Siemens, Merck, Aixtron, Novaled, 他計23団体/企業
	OLED100	2008/09~2011/08 (36ヶ月)	1,250万Euro [約15億円]	Philips Research, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Novaled, Siemens, 他計15団体/企業
	OPAL	2006~2010	6,000万Euro [70億円]	BASF, AIXTRON, Schott, Philips, Merck, Novaled, 他計33団体/企業
	合計(欧州)		<b>62,450万Euro</b> [約99億円]	
米国	DoEプロジェクト	2004~2009	50.0百万ドル [約41億円]	Universal Display Corp., , Santa Barbara, GE Global Research 他計37団体
		2008~2010	17.8百万ドル [約15億円]	Universal Display Corp., GE Global Research 他計8団体
	合計(米国)		<b>67.8百万ドル</b> [約56億円]	
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	パナソニック電高効率工(株)、出光興産(株)、タツモ(株)
	本プロジェクト	2009~2010	22億円	パナソニック電工(株)、出光興産(株)、タツモ(株)、長州産業(株)、コニカミノルタテクノロジーセンター(株)、山形大学、青山学院大学
	合計(日本)		<b>46億円</b>	

研究開発の世界比較

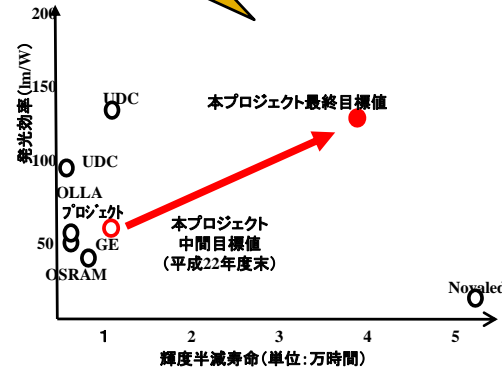


研究開発の世界比較

発光効率、演色性、輝度半減寿命の重要性能で世界TOPの目標を設定

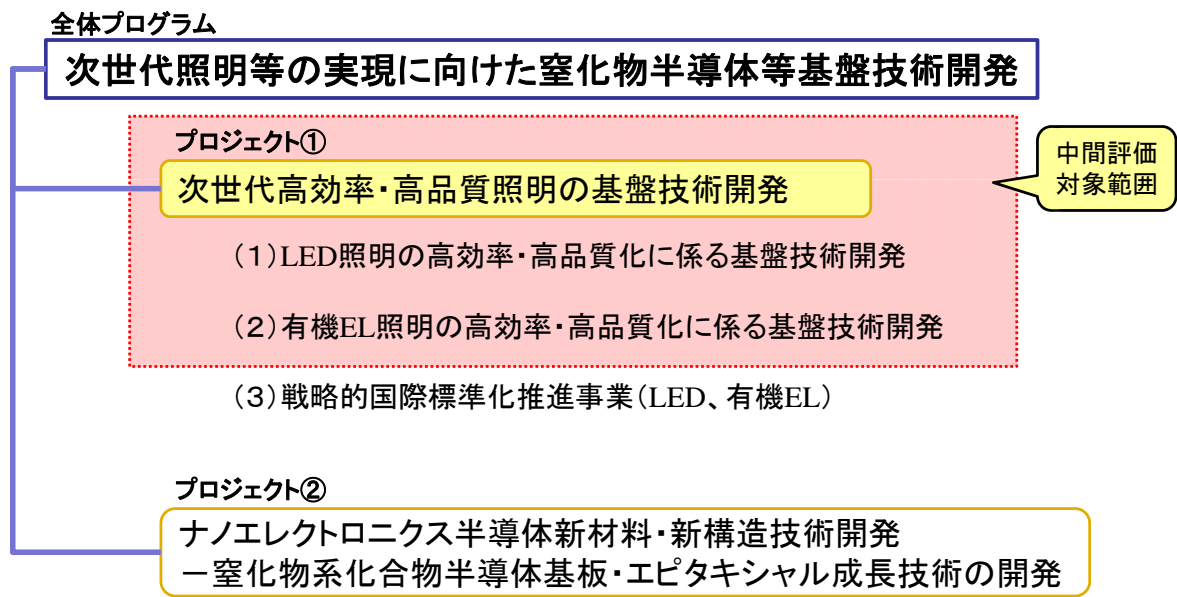


有機ELデバイスの発光効率vs演色性



有機ELデバイスの発光効率vs寿命

プロジェクトの全体像



## 事業の目標

照明のエネルギー消費量を劇的に削減することを目的として、LED、有機ELの発光効率を蛍光灯の2倍まで向上し、かつ製造コストを低減(0.3円/lm・年)させるために、下記の基盤技術を開発する。

## (1) LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術

- <中間目標> 発光効率175 lm/W、Ra 80以上のLEDデバイスを実現する。
- <最終目標> 発光効率200 lm/W、Ra 80以上のLEDデバイスを実現する。

## (2) 有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術

- <中間目標> 最終目標の達成可否を検証する。  
併せて、発光面積25cm<sup>2</sup>以上で発光効率50 lm/W以上、Ra 80以上、輝度 1,000cd/m<sup>2</sup>以上、輝度半減寿命1万時間以上を実現する。
- <最終目標> 発光面積100cm<sup>2</sup>以上で発光効率 130 lm/W、Ra 80以上、輝度 1,000cd/m<sup>2</sup>以上、輝度半減寿命4万時間以上を実現する。  
併せて、最終的なコスト試算も行う。

## 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

## (1)LED照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

目標値	研究開発目標	根拠
(i) 平均演色評価数(Ra)	最終、中間ともに Ra=80	自然な色に囲まれた、極めて快適な生活空間が実現可能な一般的蛍光灯の演色性(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。
(ii) 発光効率	LEDデバイスとして、 最終: 200 lm/W 中間: 175 lm/W	震災の影響により、今後、原子力発電の拡大普及によるCO <sub>2</sub> 削減を期待することは困難な状況の中、国内総エネルギー消費の15%を占めている照明の省エネルギー化は重要な位置づけ。 2020年の蛍光灯、白熱電球をCO <sub>2</sub> 削減量を1/5以下にするためには、当時の一般的蛍光灯の発光効率を2倍(130 lm/W)に向上させる必要あり。 LED照明に実装した場合の器具効率を65%と想定し、LEDデバイスの発光効率の最終目標を200 lm/W(LED照明器具効率=200lm/W*65%=130lm/W)に設定した。ステージゲート評価に向けた中間目標は、175lm/Wに設定した。
(iii) 結晶欠陥	最終目標 10 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup> 以下	なお、GaN基板では、10 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup> でほぼ内部量子効率ピーク(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 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup> に設定。
(iv) 基板サイズ	最終目標 板状: 6インチ バルク状: 4インチ	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。



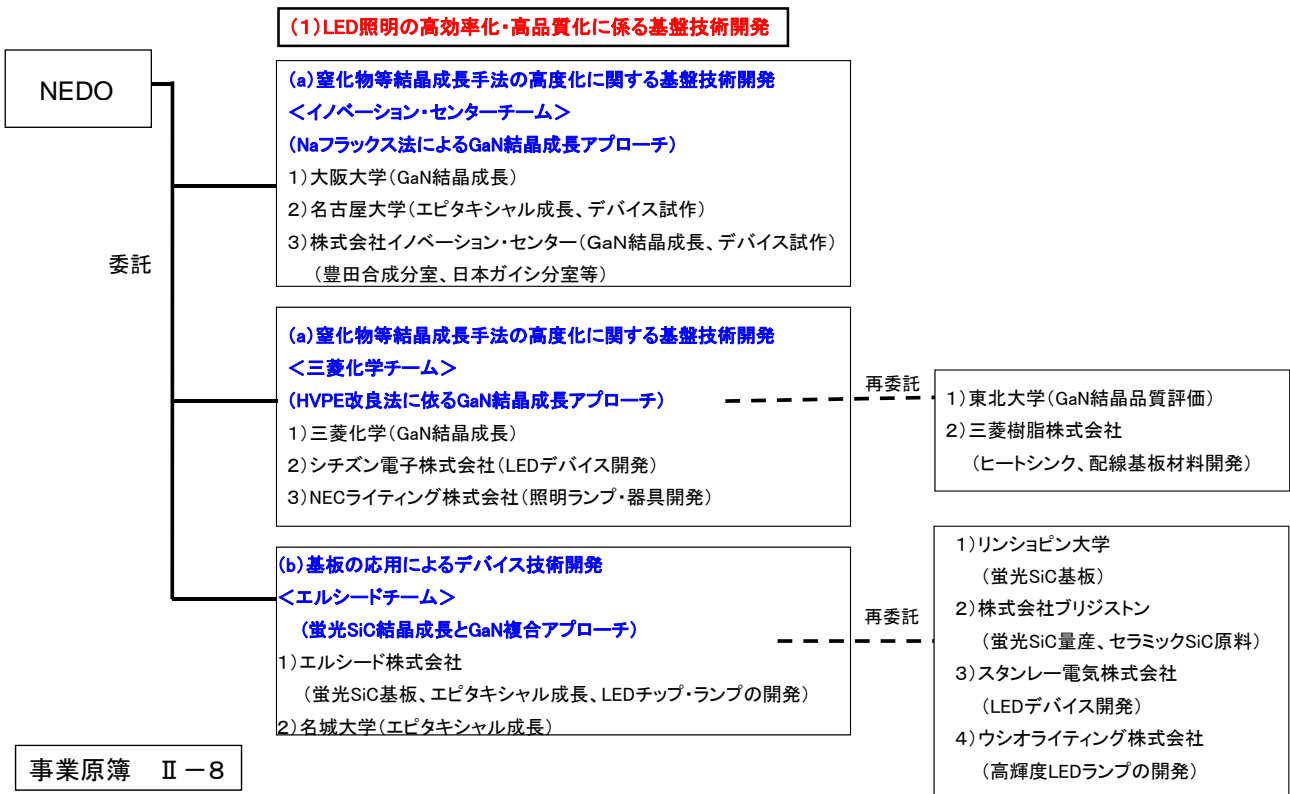
2. 研究開発マネジメントについて (1)研究開発目標の妥当性

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  
(2)有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発

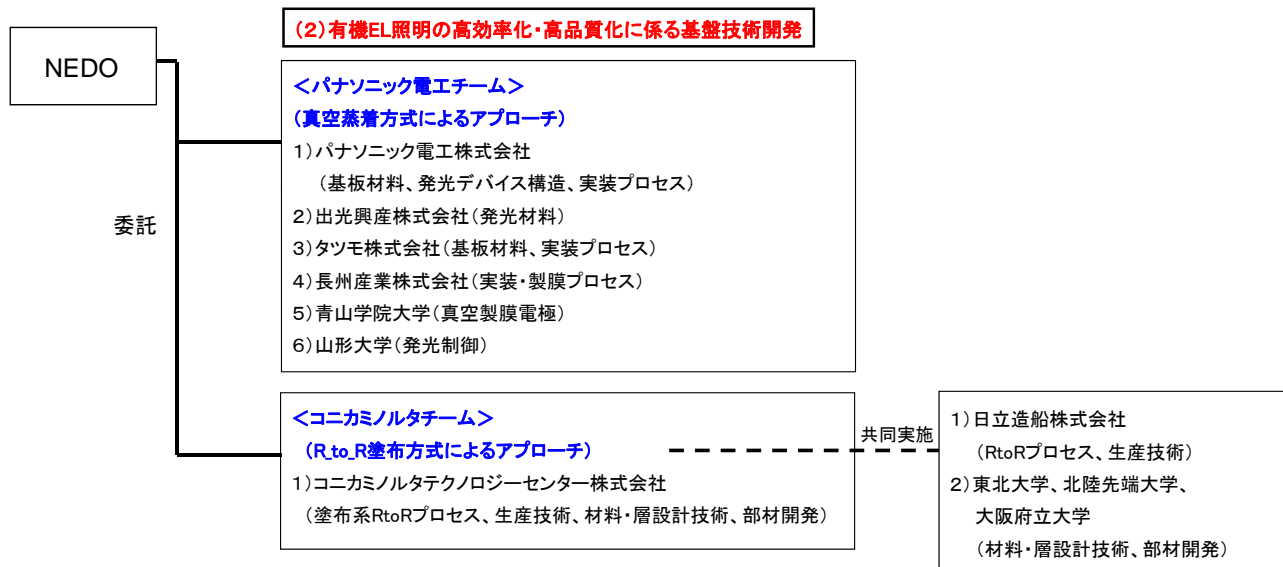
目標値	研究開発目標	根拠
(i) 平均演色評価数(Ra)	最終、中間ともに Ra=80	LEDと同様の根拠により、設定。
(ii) 発光効率	有機ELデバイスとして、 最終: 130 lm/W 中間: 50 lm/W	LED照明と同様に、一般的な蛍光灯の2倍の発光効率(130lm/W)を目標値として設定した。なおLEDと異なり、有機ELデバイスから照明器具に実装する場合にはほとんど効率が低下しないと仮定した。なおステージゲート評価に向けた中間目標は、50lm/Wに設定。
(iii) 輝度半減寿命	最終: 4万時間 中間: 1万時間	器具は4万時間(1日10時間使用するとした場合に10年間の利用)を想定して、輝度半減寿命目標(輝度1,000 cd/m <sup>2</sup> )を4万時間に設定。ステージゲート評価に向けた中間目標は、一万時間に設定。
(iv) 輝度	最終、中間ともに 1,000 cd/m <sup>2</sup>	照明用途で使用する上で必要な輝度として、1,000 cd/m <sup>2</sup> を設定。
(v) 発光面積	最終: 100cm <sup>2</sup> 以上 中間: 25cm <sup>2</sup> 以上	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ときに適したサイズ目標として「発光面積100cm <sup>2</sup> 以上」を設定。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25cm <sup>2</sup> 以上のプロトタイプ試作を設定。

2. 研究開発マネジメントについて (2)研究開発実施の事業体制の妥当性

研究開発の実施体制(LED)

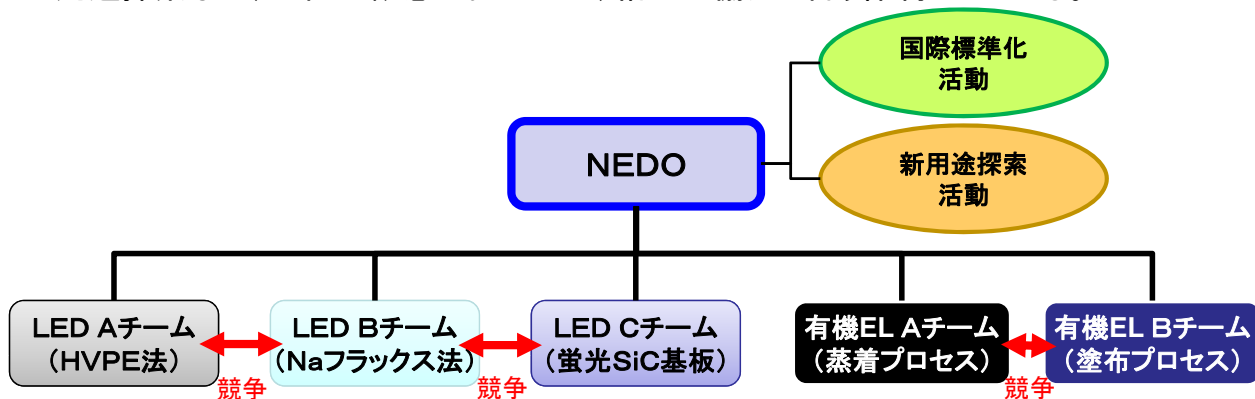


研究開発の実施体制(有機EL)



プロジェクトのコンセプト

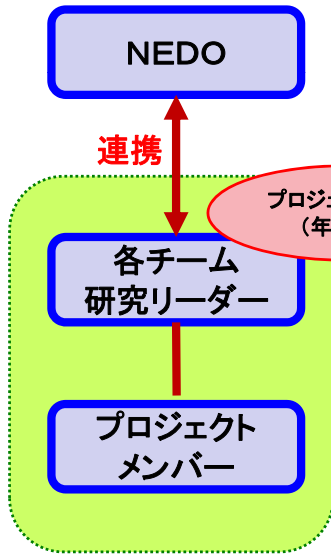
- 照明の消費電力を半減するという社会イメージを踏まえ、実現しなければならないゴール(技術開発課題)を設定。
- ゴールを設定した上で、これを解決するアプローチを公募により募集して、その中から優れた提案を選択
- プロジェクト途中段階において、選択と集中を図るために、ステージゲート評価を実施。
- プロジェクトに参加している各チームは、それぞれが異なるアプローチで研究に取り組んでおり、相互に補完する関係ではなく、競争関係。
- ただし、要素技術に関しては競争関係だが、標準化活動や次世代照明ならではの新用途探索など、上位の概念においては、相互が協力し合う体制としている。





研究開発実施の事業体制

NEDOと各チームおよびチームリーダーが連携してプロジェクトを実施。  
実施者主催のプロジェクト会議に適宜参加し、技術開発状況をタイムリーに把握・管理。



◎LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発

- イノベーション・センターチーム
  - NEDOプロジェクト運営会議 計8回  
(目的:進捗状況の確認、今後の計画のすり合わせ等)
- 三菱化学チーム
  - プロジェクト運営会議 計4回  
(目的:進捗状況の確認、研究方針検討、導入設備の検討等)
  - リーダー会議 計6回  
(目的:進捗状況の確認、研究スケジュールの検討)
- エルシードチーム
  - プロジェクト運営会議 計2回  
(目的:進捗状況の確認、導入設備の検討等)

◎有機EL照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発

- パナソニック電気チーム
  - プロジェクト運営会議 計3回、プロジェクト進捗会議 計2回  
(目的:進捗状況の確認、今後の計画のすり合わせ、研究内容に関するディスカッション等)
- コニカミノルタチーム
  - プロジェクト運営会議 計3回  
(目的:進捗状況の確認、研究内容に関するディスカッション等)
  - 共同実施先技術会議 計6回  
(目的:共同実施者との技術的な打ち合わせ、進捗確認等)

研究開発のスケジュール、開発予算

研究開発項目	21~22年度	23年度	24年度	25年度	21~23年度合計
(1)LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発 (イノベーション・センターチーム)	大型Naフラックス炉の導入 21FY補正:1,798	NaF炉改造(攪拌、Ga連続供給) MO装置高圧化改造 本予算:350	NaF炉改造(上下移動、Na連続供給)	InGaNaNワイヤ配置法最適化	補正:1,798 本予算:350 合計:2,148
(1)LED照明の高効率化・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:450(1/2)	多数枚炉製造継続(4inch対応)	多数枚炉製造継続(6inch対応)	補正:1,160 本予算:450 合計:1,610
(1)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基板品質向上のための評価分析装置導入 21FY補正:507	SG評価の結果、22年度で事業終了	-	-	補正:507
(2)有機EL照明の高効率・高品質化に係る基盤技術開発 (パナソニック電気チーム)	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:300	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	-	補正:1,140 加速:305 本予算:300 合計:1,745
(2)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/適用高効率材料合成・開発 本予算:300(1/2)	RtoR製造プロセス装置改造・最適化・高速化/適用高効率材料合成・開発	-	補正:802 本予算:300 合計:1,102
合計	5,712	1,400	1,500	1,500	10,112 7,112

技術開発基盤の研究設備に重点投資

## 次世代照明研究開発マネジメントの全体像

2010～2013

### 次世代照明 新用途探索アイデアコンペ

次世代照明光源の特長を生かした新しい照明用途の探索。デザイナー等に様々なアイデアを募集。



透明有機ELパネル+薄膜太陽電池を組合せた屋根材をバスの待合スペースに適用した場合のイメージ。有機EL照明の発光色を部分的に変えることで、運行システムと連動した光のサインも組み込める。

©2008 Fuminori maemi / Night pergola (The 2010 NEDO Prize)



2010～2013

### 戦略的国際標準化推進事業

- ①LEDの国際標準化支援
  - ・測光方法に関する基礎研究、実証
  - ・測色測定、グレア評価に関する基礎研究、実証
- ②有機ELの国際標準化支援
  - ・測光方法に関する基礎研究、実証
  - ・技術用語等の統一
- ③SSL Annex活動支援

(注)標準化活動詳細は添付の参考資料参照ください

事業原簿 II-14

2009～2013

### 次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発

- ①LEDの高効率化、高品質化
  - ・GaN基板の研究、GaN LEDデバイス構造最適化
- ②有機ELの高効率化、高品質化
  - ・青色燐光材料開発
  - ・生産装置の高度化



展示会等でプロジェクト成果を発信。  
Light+Building 2010 @ Frankfurt

25 / 40

## 知財マネジメント方針

### 【方針1】

付加価値技術に絞った  
国際特許化  
(計画的特許化)

- ・LED分野:結晶成長技術  
光取り出し技術
- ・有機EL分野:製造プロセス  
デバイス構造、燐光材料  
光取り出し技術

### 【方針2】

特許化のメリット・デメリットを評価して知財管理

- ・公開有利なアイデア⇒特許化
- ・公開不利なアイデア⇒ノウハウ化

### 【方針3】

具体的特許化は各企業の  
戦略に合わせて判断

- ・事業戦略と知財の連携
- ・特許化・ノウハウ化の判断
- ・特許化の範囲等

プロジェクト運営会議にてNEDO・実施者間で  
都度対応を議論

国際標準化活動と連携して、今後次世代照明の  
国際市場での競争力優位性を創出

・NEDO主催による「**進捗ヒアリング会議(年2回)**」開催。

目的: 研究開発進捗と情勢変化を把握して適切な加速対応、研究目標の課題に対する対策施策のマネジメントを行う。

・NEDO主催による「**ステージゲート評価委員会**」開催。

**外部有識者の意見を運営管理に反映。**

(評価委員長)

愛媛大学 橋 邦英 教授

(LED評価ご担当)

東京理科大学 大川 和宏 教授、東京農工大学 瀬瀬 明伯 教授、

立命館大学 名西 愷之 教授

(OLED評価)

千葉大学 教授 工藤 一浩、産業技術総合研究所 八瀬 清志 部門長

(事業化評価)

技術コンサルタント 當摩 照夫 氏、矢野研究所 日栄 彰二 上級研究員

反映内容 (1)ステージII以降の研究テーマ絞り込み

(2)ステージII以降の研究体制強化

## 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	三菱化学 シチズン電子 NECライティング	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本計画目標を達成</li> <li>LED照明拡大に必要な低コスト化をよく検討している</li> <li>LED照明の最終製品、GaN基板等で国際競争力を有する期待大</li> </ul>
(1) LED	大阪大学 名城大学 イノベーション・センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>世界に誇れる技術を生み出している</li> <li>事業化へのシナリオが明確と言えない ⇒ <b>体制見直し</b></li> </ul>
(1) LED	エルシード 名城大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的な新規性が高い</li> <li><b>基本計画目標が未達成</b> ⇒ <b>事業中止</b></li> <li><b>事業化に不安あり</b> ⇒ <b>事業中止</b></li> </ul>
(2) 有機EL	コニカミノルタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本計画目標を達成</li> <li>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</li> <li>技術開発力、事業化への高いポテンシャル有</li> </ul>
(2) 有機EL	パナソニック電工 出光興産 タツモ 長州産業 山形大学 青山学院大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本計画目標を達成</li> <li>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</li> <li>連携体制が綿密であり成果拡大の期待が大きい</li> </ul>

※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。

情勢変化等への対応

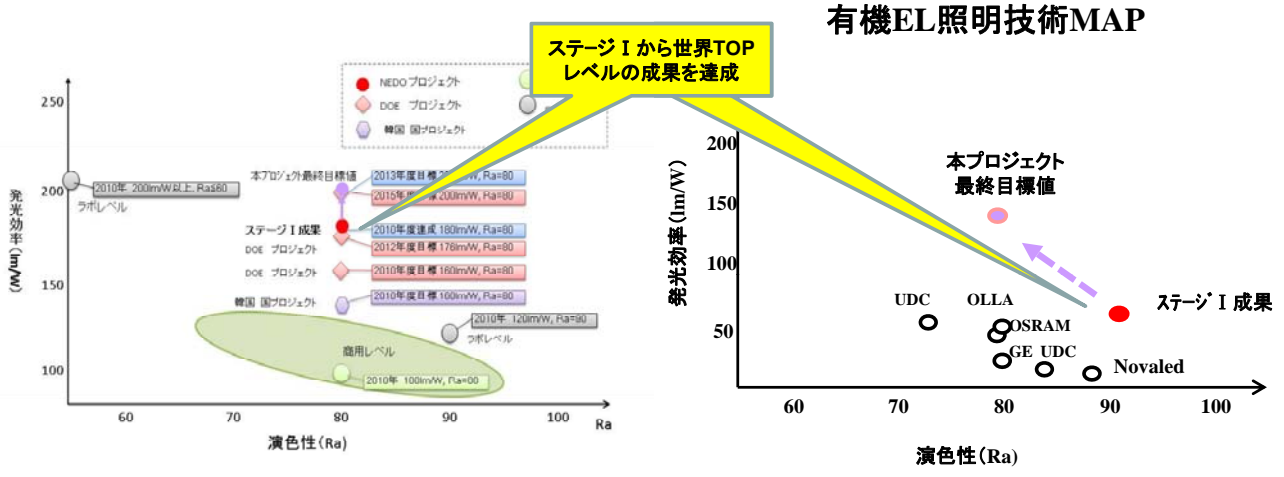
情勢	対応
既に製品化されているLED等照明の市場でコストダウンが進展しており、当初想定していた最終目標の0.3円/lm年以下のコストダウンが望ましいと判断された。	生産性を向上させる製造プロセス技術として、複数の蒸着製膜を連続して実施できる一貫製造プロセスの技術開発を追加するため、 <b>加速資金を投入(305百万円)</b> 。  2013年度の製造コストに係る目標を、 <b>0.3円/lm年 → 0.25円/lm年</b> に上方修正した。
ステージゲート評価の結果、イノベーション・センターチームにおける将来の研究開発成果を実用化する社が明確になるよう、体制強化を求められた。	Naフラックス法を推進するイノベーション・センターチームに、高品質な種結晶を開発する <b>リコー(株)を再委託先として参画</b> させる体制を構築した。  リコー(株)参画により、プロジェクト完了後に本技術を適用する事業家参画により速やかに事業化を行い、次世代照明普及速やかな立ち上げが実現できる体制を確立した。
有機EL照明技術開発の実施者において、ステージ I の研究成果を活用した事業化のため、研究の目的を達成した研究資産の早期有償取得を急遽要望された。	NEDOにて研究開発成果を活用した早期事業化は有効と判断して、 <b>当該成果の事業化に合わせて早期に有償譲渡処理を行った。</b>

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況

最終目標に向けて22年度(約1年間)で達成すべき中間目標を設定

LED照明の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
ステージ I 目標 (平成22年度末目標)	進捗状況 (平成22年度末)	目標達成度
5~10mm角サイズ以上結晶で 効率:175 lm/W 以上	直径89mmで 180 lm/W を実現	◎(達成)
上記条件で 平均演色評価数:80 以上	80を達成	◎(達成)
有機EL照明の高効率高品質に関わる基盤技術開発		
ステージ I 目標 (平成22年度末目標)	進捗状況(平成22年度末)	ステージ I 達成度
発光面積25cm <sup>2</sup> 以上で 効率:50 lm/W 以上	56 lm/W を実現。	◎(達成)
上記条件で 半減寿命:1万時間以上(輝度:1,000 cd/m <sup>2</sup> )	15万時間を達成	◎(達成)
上記条件で 平均演色評価数:80 以上	91を達成	◎(達成)
製造プロセス実現の要件の明確化	製造プロセス実現の要件を明確にして実現方式を提案	◎(達成)

最終目標に向けた中間目標を全てクリア！！



◎世界TOPの性能水準！  
 ◎市販製品をはるかに超える性能により新市場開拓（建築分野 等）の期待大！  
 ◎日本の国際的産業競争力強化、CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー化・節電に貢献

(3) 知的財産権、成果の普及

項目	合計
研究発表・講演	87
論文(査読有)	15
特許出願(うち海外)	46(2)
その他(プレス発表)	3



平成22年6月9日～12日「広州国際照明展覧会」(広州, 中国)

2010年5月 SID2010 66.4 発表  
(Society Information Display2010)



平成22年5月12日～14日「Light Fair International 2010」(Las Vegas, USA)



### LED照明市場

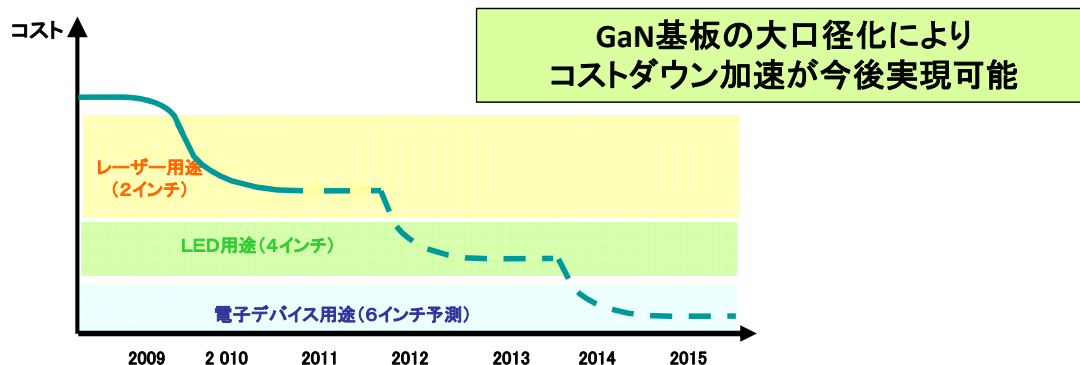
#### 【LED照明市場】

LED照明は既に事業化され、国際的競争状況にある

- 2008年:約800億円
- 2015年:約1.4兆円(予測)

#### 【今後】

高性能・高品質・低コスト化を同時に実現する技術を開発できれば  
国際的省エネルギー化のリーダーシップを採り国際市場での事業拡大が可能



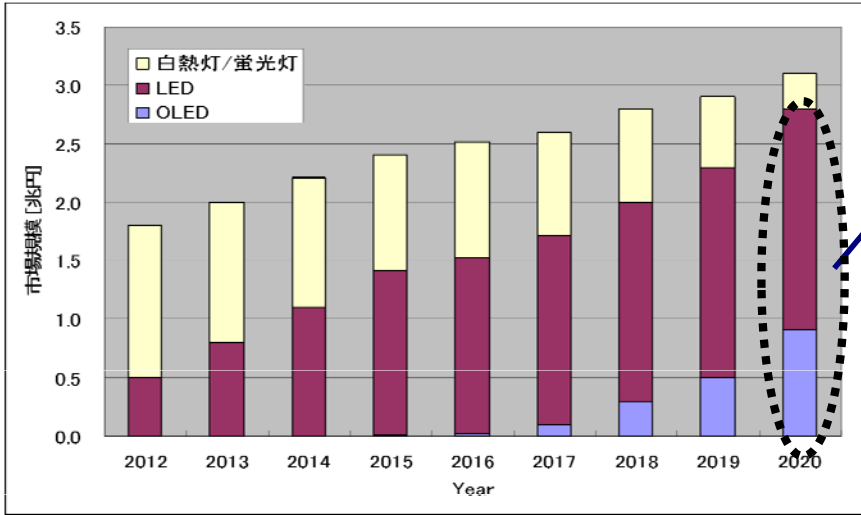
3. 研究開発成果について (4) 成果の普及

有機EL照明市場

【有機EL照明市場】

現在は有機EL照明は研究段階。

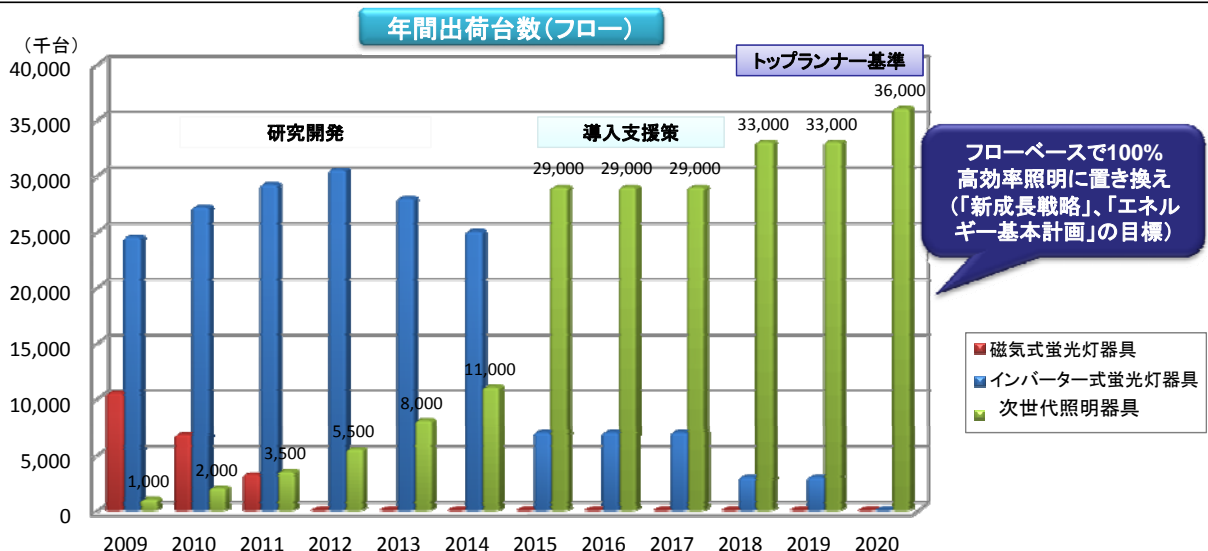
しかし2020年には、有機EL照明市場規模は国際市場で1兆円近くまで成長すると推定。(国内市場においてはLED/有機EL照明へのほとんどの置き換えが期待される)



一般照明の90%のシェアが予測される次世代照明市場で、ステージII目標達成により高占有率を獲得できると推定(有機ELで20%~30%)

事業原簿 IV-2 ⇒国内でも有機ELパネル事業参入の傾向(例:2011年7月;パナソニック電気・出光興産合併企業)

4. 実用化の見通し (1) 成果の実用化の可能性



フローベースで100%高効率照明に置き換え(「新成長戦略」、「エネルギー基本計画」の目標)

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	代替対象(蛍光灯)のスペック
政策	研究開発					量産化準備	導入支援策			トップランナー基準			
器具効率(lm/W)	67.5						≥130					150	67.5
光束単価(円/lm・年)	1.3						0.4			≤0.3			0.3
平均器具価格(円)	60,000	48,900	39,900	32,500	26,500	21,600	18,000	14,700	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000~12,000

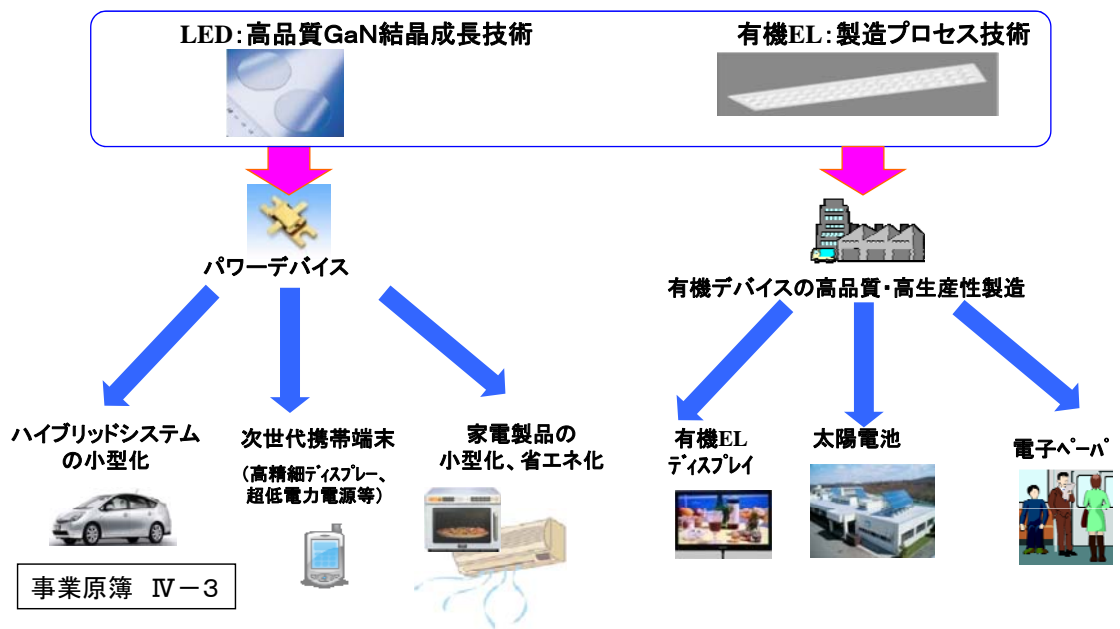
事業原簿 IV-1 研究開発目標:130lm/W以上の照明器具を実現 研究開発目標:0.3円/lm・年以下で量産

(2010 経済産業省予測資料より)

◎LED: GaN結晶成長技術 ⇒ 超小型出力電子パワーデバイスへ応用可能

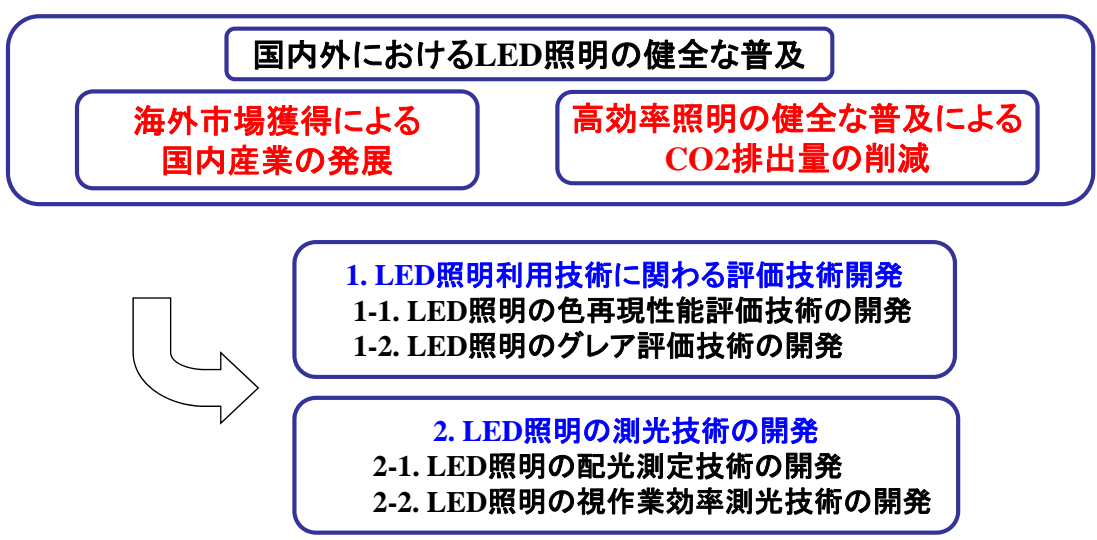
◎有機EL: 製造プロセス技術 ⇒ 有機ELディスプレイ、太陽電池、電子ペーパー等へ応用可能

等への波及効果あり



参考資料 国際標準化活動の体制(LED)

次世代照明の研究開発と並行して、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を実施。

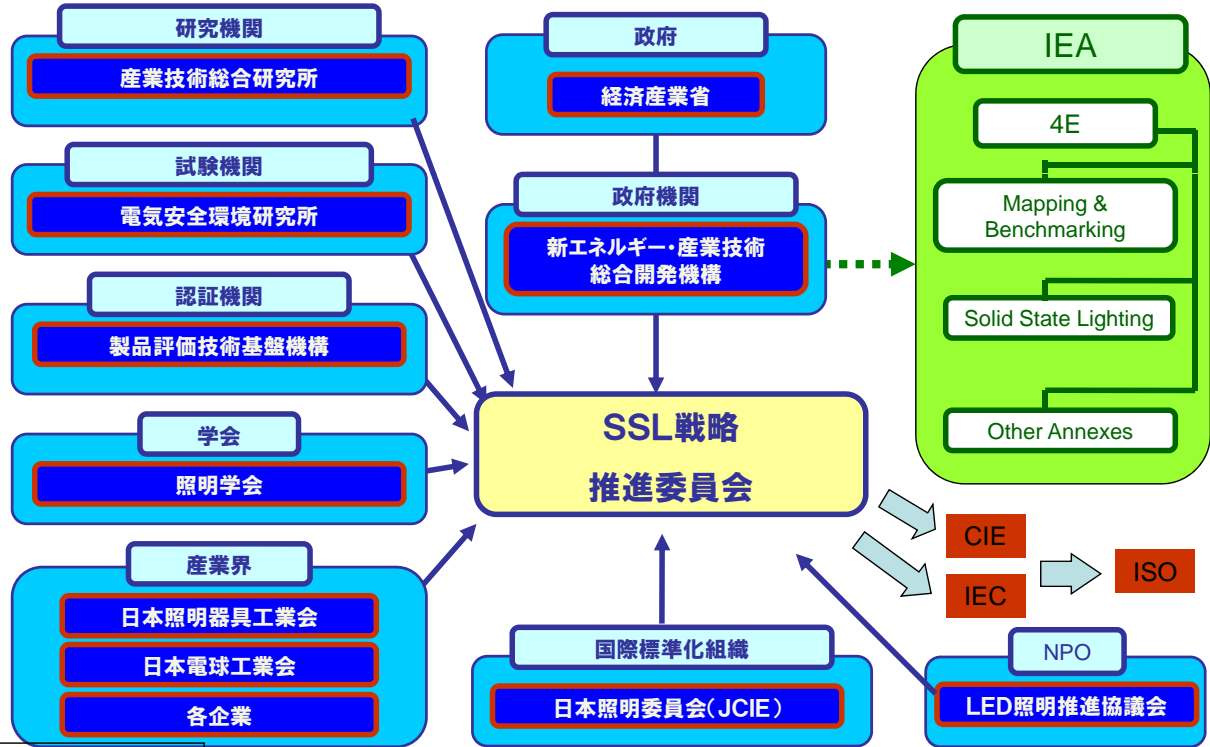




参考資料

### 国際標準化活動の体制(LED)

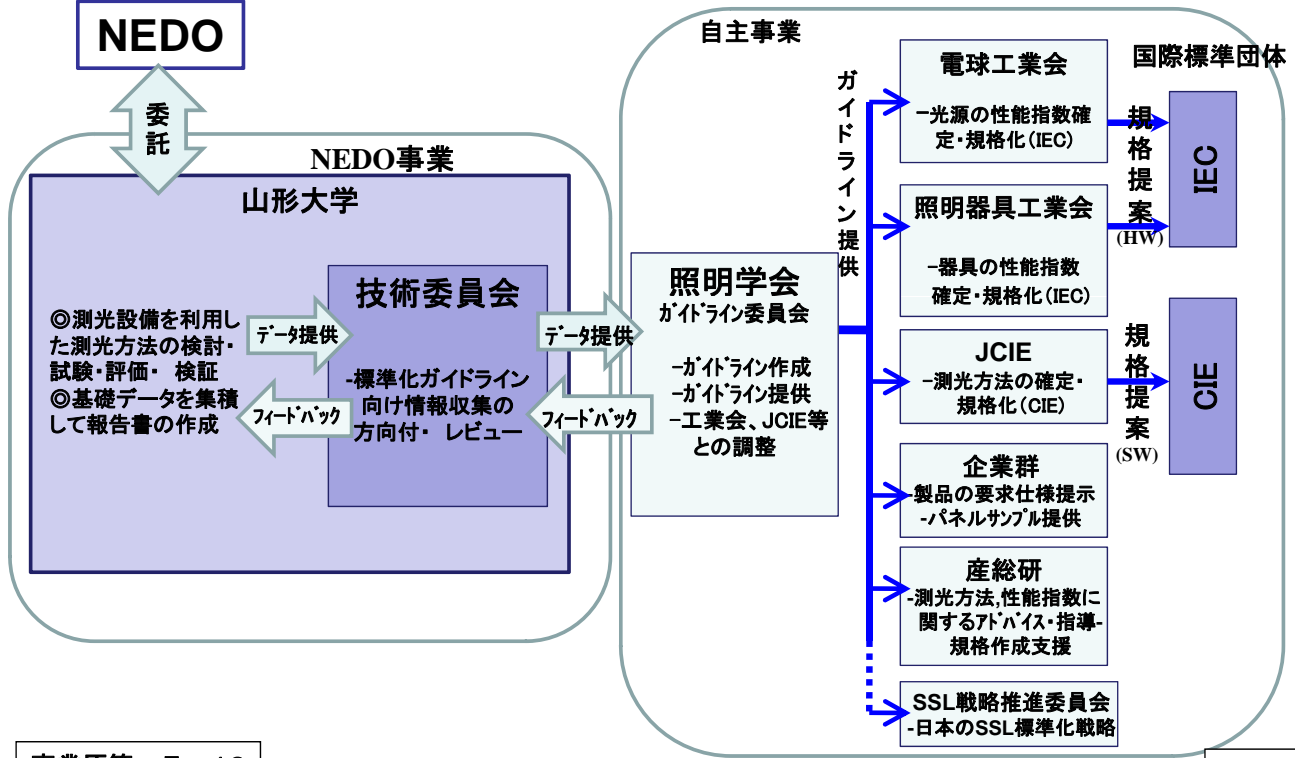
経済産業省、工業会、AIST、NITE等をメンバーに含むオールJAPANの体制(SSL戦略推進委員会)にて、関係機関と連携しつつ、IEA 4EのSSL Annexを足がかりに、LED測光手法の国際標準取得に向けた活動を推進。



参考資料

### 国際標準化活動の体制(有機EL)

有機ELの測光手法の標準化や用語統一等のガイドライン整備を目的として、関係組織と連携しつつ活動を実施。産業界との連携が図れるよう、照明学会を通じた産業界とのパイプづくりをNEDOが橋渡し。

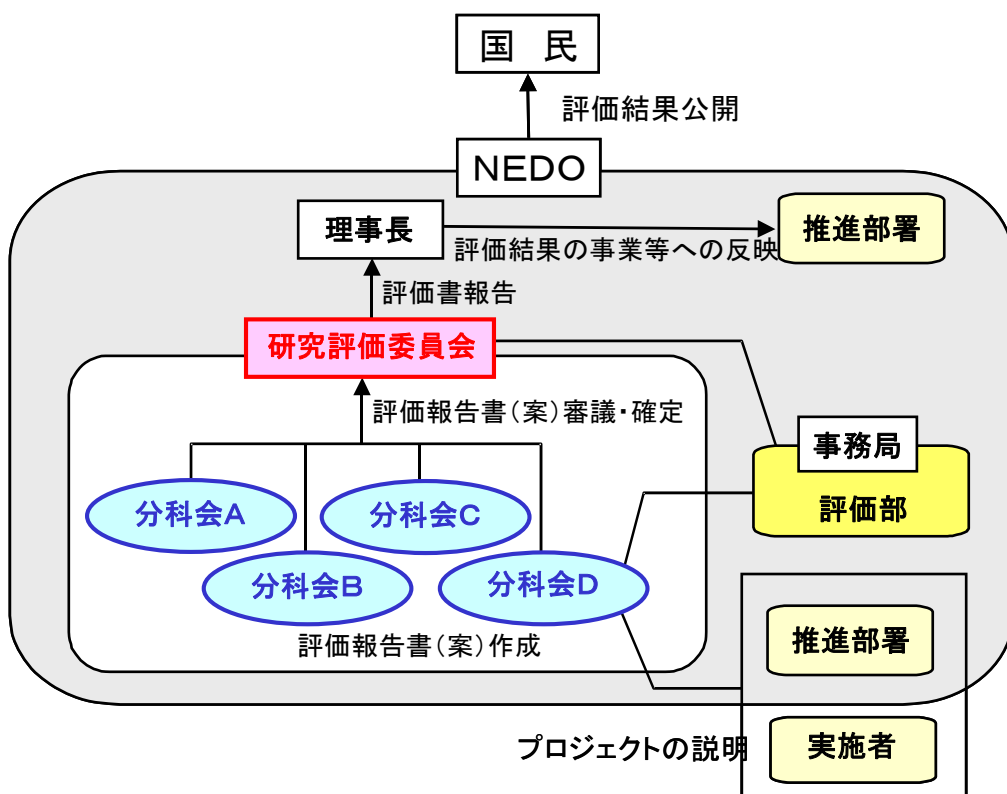


## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的  
ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成21年度に開始された「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(中間)」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

## 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

## 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-7 頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 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の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

- (4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
  - ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
  - ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

- (1) 中間目標の達成度
- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
  - ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
  - ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。
- (2) 成果の意義
- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながるものが期待できるか。
  - ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
  - ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
  - ・ 成果は汎用性があるか。
  - ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
  - ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- (3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組
- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
  - ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。
- (4) 成果の普及
- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
  - ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
  - ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。
- (5) 成果の最終目標の達成可能性
- ・ 最終目標を達成できる見込みか。

- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### 4. 実用化、事業化の見通しについて

##### (1) 成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2) 事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

##### (3) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。



## 標準的評価項目・評価基準（中間評価）

2010. 3. 26

### 【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法を經由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化、事業化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

#### (2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

#### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法を經由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

### (5)情勢変化への対応等

- ・進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

#### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

## (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。



本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成23年11月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 上田 尚郎

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162