

**「我が国の量子ドット太陽電池研究開発
の在り方について(提言)」**

2012年3月

**技術研究組合 超先端電子技術開発機構
(ASET)
量子ドット型太陽電池研究会**

目次

はじめに	2
研究会メンバー名簿	3
1. 研究開発概要	
1.1 目的 及び 必要性	4
1.2 2050年に向けた展望	4
1.3 基本方針 及び 目標	6
2. 推進計画概要	
2.1 実施体制(案)	8
2.2 予算(案)	8
2.3 運営管理(案)	9
おわりに	10

【はじめに】

昨年の東日本大震災に伴う福島原発事故を受けて、今後、太陽光発電に対する期待が高まっている。太陽光発電の普及には発電コストの削減は不可欠であり、そのために太陽電池の高効率化が重要な役割を果たす。また、変換効率が、ある一定値を越えることができれば、携帯機器からオフィス機器、更には自動車にまで搭載されることが予想され、コスト競争からの脱却と革新技術に立脚した新産業市場の創成、というパラダイムシフトをもたらす可能性がある。

2011年に中間バンド型量子ドット太陽電池の理論変換効率が75%以上まで達し得ることが示され、大きな関心を呼んだ。しかし、高効率量子ドット太陽電池は、一朝一夕で実現できるものではなく、新材料の探索、新原理の実証など基礎科学技術を踏まえた革新的技術の開拓により初めて現実のものになることはいうまでもない。そのためには、長期的なビジョンのもとで、我が国の研究者の熱意と英知を結集させ、オールジャパン体制で集中的に取り組むことが要請されている。

技術研究組合 超先端電子技術開発機構(ASET)では、オールジャパンによる研究開発の推進に向けた長期的技術戦略を明らかにするために、2011年8月に量子ドット型太陽電池研究会が発足した。研究会では、大学、企業、独立法人研究機関の研究者の参加を得て、今後10年間において、我が国が取り組むべき量子ドット技術開発のあり方について、集中的に議論を行ってきた。

本提言は、研究会での議論にもとづき、量子ドット太陽電池技術の将来ビジョンと技術課題についてまとめたものである。この提言が、太陽電池産業技術のパラダイムシフトに向けて関係者が長期ビジョンを共有するとともに、量子ドット太陽電池の本格的な研究開発の開始に資することを期待する。量子ドットの提案から30年を経て、量子ドットレーザが実用化された。今後、15年から20年後には、量子ドット太陽電池が再生可能エネルギー技術の中核を担い、諸課題を解決するものと確信する。

末筆ながら、お忙しい中、量子ドット太陽電池について議論いただいた研究会の委員の方々、および取り纏めに尽力されたASET事務局関係各位に厚く御礼申し上げます。本提言が、我が国の量子ドット太陽電池の発展に貢献することができれば、望外の喜びである。

量子ドット型太陽電池研究会 委員長
東京大学 教授 荒川 泰彦

量子ドット型太陽電池研究会(2011/8/12～2012/3/12)メンバー名簿

2012年3月19日時点

所属	氏名	部署/役職	役割	参加期間
東京大学	荒川 泰彦	ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長 生産技術研究所教授	委員長	～3/12
東京工業大学	山田 明	電子物理工学専攻 教授	委員	～3/12
京都大学	太野垣 健	化学研究所 元素科学国際研究センター 准教授	委員	～3/12
産業技術総合研究所	松原 浩司	太陽光発電工学研究センター 革新デバイスチーム長	委員	～1/12
産業技術総合研究所	菅谷 武芳	太陽光発電工学研究センター 革新デバイスチーム 主任研究員	委員	
物質・材料研究機構	韓 礼元	太陽光発電材料ユニット ユニット長	委員	～3/12
物質・材料研究機構	野田 武司	超高効率太陽電池グループ 主幹研究員	委員	
シャープ(株)	高橋 明	研究開発本部副部長 基盤技術研究所長	委員	～3/12
シャープ(株)	山口 孝好	研究開発本部 産学共同開発センター 協業推進室 技師長	委員	
シャープ(株)	中西 健司	東京支社 渉外部 副参事	委員	
大陽日酸(株)	石原 良夫	電子機材事業本部 事業戦略推進部 部長	委員	～2/21
大陽日酸(株)	多田 益太	電子機材事業本部 事業戦略推進部 先端技術開発部 部長	委員	
大陽日酸(株)	山脇 正也	電子機材事業本部 事業戦略推進部 先端技術開発部	委員	
東京エレクトロン(株)	康 松潤	コーポレート開発本部 技術開発センター	委員	～1/12
東京エレクトロン(株)	杉浦 守	コーポレート開発本部 開発企画室 副参事	委員	
三菱化学(株)	水野 正明	経営戦略部門 RD戦略室	委員	～3/12
三菱化学(株)	小林 俊裕	科学技術研究センター 太陽電池プロジェクト	委員	
三菱化学(株)	荒牧 晋司	科学技術研究センター 太陽電池プロジェクト	委員	
三菱化学(株)	下山 謙司	オプトエレクトロニクス技術開発センター	委員	
経済産業省	福島 洋	産業技術環境局 研究開発課長	オブザーバ	～3/12
経済産業省	師田 晃彦	商務情報政策局 デバイス産業戦略室長	オブザーバ	
経済産業省	菊地 克弥	商務情報政策局 情報通信機器課 課長補佐	オブザーバ	
経済産業省	武良 佑介	産業技術環境局 研究開発課 エネルギー担当	オブザーバ	
ASET	稲垣 謙三	専務理事	事務局	～3/12
(株)マイタム	宮田 宗一	代表取締役社長	事務局	
ASET	森戸 辰臣	理事・事務局長	事務局	
ASET	河村 喜雄	研究企画部長	事務局	

1. 研究開発概要

1.1 目的 及び 必要性

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に、原子力発電を根幹に据えて推進して来た我が国のエネルギー基本計画が抜本的に見直されることとなった。

電力エネルギー供給構成比率で約 30%を占める現在の原子力発電に代わり、同比率で 10%に満たない再生可能エネルギーを従来にも増して利活用することへの期待が高まり、依存度を大幅に引き上げるため様々な新たな技術・研究開発の加速、進展が予想される。

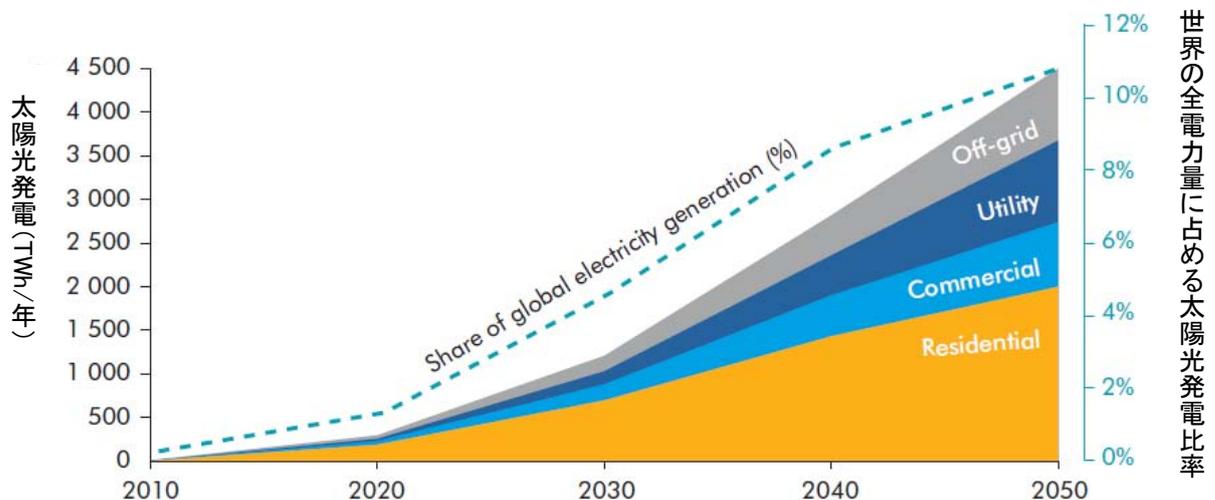
そこで今後 2030 年に向けて、エネルギー変換効率を飛躍的に向上させるとともに、現在取り組まれている研究開発の延長線上にはない、夢のある「未来開拓技術」の研究開発に着手することが急務である。

特に、近年、東京大学 荒川泰彦教授とシャープ(株)のグループが明らかにしたように、エネルギー変換効率の理論的上限值が75%に達し、且つ実際に18.7%のセル変換効率(非集光時)を達成した量子ドット太陽電池は極めて有望である。しかし、この量子ドット太陽電池は、第3世代太陽電池に位置付けられ実用化には30年以上かかると言われている。そこで、この量子ドット太陽電池の実用化時期を10年以上前倒して2020年代後半に事業化を図る為、アカデミアによる新しい材料を用いたナノ量子構造デバイスに関する基礎物性の確立、新たな事業パラダイムの展開に強い意欲をもつ企業を加えてのエンジニアリングの確立等、中長期的観点から正攻法で取り組むことが必須である。

また、高いハードルに立ち向かうチャレンジ精神を共有し、挑戦的課題に取り組む際の極めて大きなリスクを最小化する為、長期的観点に立ち産学官の英知を結集したオールジャパンでの取組みが肝要である。

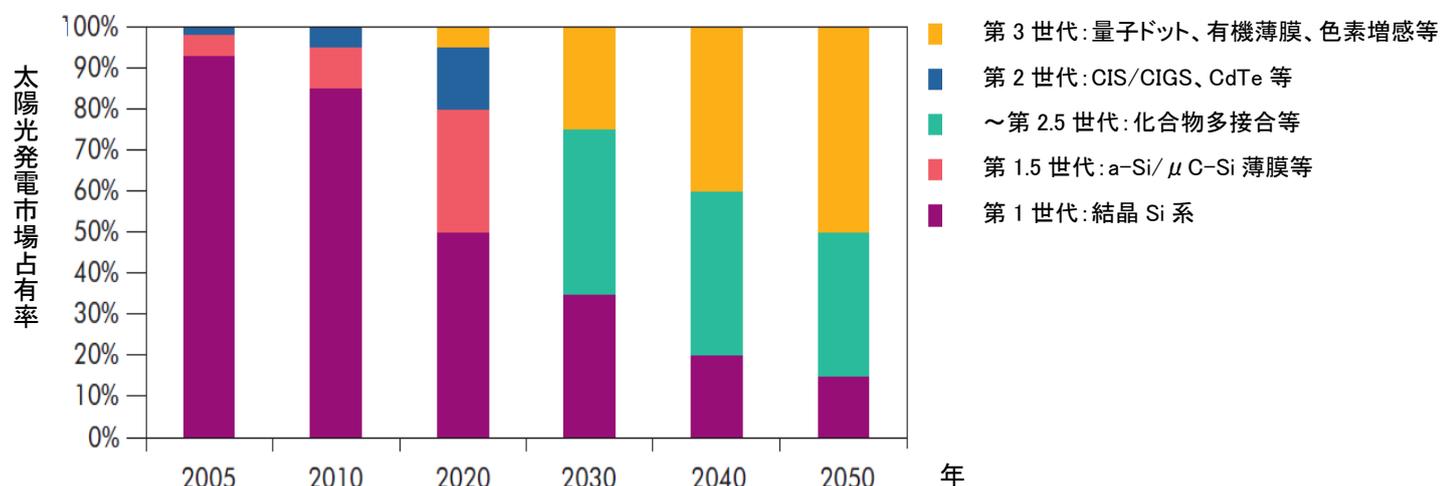
1.2 2050年に向けた展望

太陽光発電の世界の全電力量に占める比率を【図1】に示す。この IEA の予測によると、太陽光発電は 2050 年には 11%超の 4.5PWh/年に達する見込みである。用途別には、現状殆どが住宅用であるが、2020 年以降住宅用の伸び以上に産業用が普及拡大し、2040 年以降は自律分散型の太陽光発電システムが本格的に普及すると見込まれる。



【図1】全発電量に占める太陽光発電の比率 (出典)IEA Energy Technology Perspectives 2010

また、2050年に向けた太陽光発電技術別市場占有率の推移を【図2】に示す。2020年頃から市場拡大が本格化すると見込まれる色素増感型、有機薄膜系等の第3世代は、2020年代半ばから後半にかけて市場開拓が進む量子ドット太陽電池等を加えて、2040年代後半以降第2.5世代薄膜系とクロスオーバーし、2050年にはついに市場シェアの50%を占めるものと予想されている。



【図2】太陽光発電技術別市場占有率の推移 (出典)IEA Energy Technology Perspectives 2008

2030年以降の太陽光発電市場に大きな変化をもたらす技術の一つに量子ドット太陽電池が挙げられる。即ち、量子ドット太陽電池の高いエネルギー変換効率に加えて、設置面形状、サイズ等の制約を回避しフレキシブルに対応できる特長を生かして、住宅、車載、オフィス・家庭・携帯用機器分野における新たな用途展開が始まり、太陽電池市場のパラダイムシフトが起こると期待される。

(1)住宅用では、電気エネルギーの自給自足に向けて、以下のような形態が考えられる。

- ① 家庭用蓄電池の併用により2日間強の電力が自給自足できるソーラー住宅
- ② ソーラー住宅地域/コミュニティにおける電力需給を最適に調整する地域/コミュニティレベルの大規模ソーラー発電を含む自律分散型(Off-grid)電力システム

(2)車載用では、新エコ社会に不可欠なインフラストラクチャー構築に資するものとして、以下のような形態が考えられる。

- ① 晴天日にはソーラー発電のみで60Km/日走行し、ソーラー発電の併用により蓄電池一充電で500Km走行できる電気自動車(ソーラーEV)
- ② 非常用/補助電源としてのソーラーEV

(3)オフィス・家庭・携帯用では、各製品の省電力化とLED照明等室内照明の高品位化が進むと見込まれ、現在有効活用されていない製品上面、前面、側面へフレキシブル量子ドット太陽電池を貼り付け、2次電池を併用した電源不要のソーラー製品が期待できる。

- ① 充電器不要のソーラー携帯電話、ソーラーモバイルPC等
- ② 筐体上面でのソーラー発電により、電源不要のカラープリンター(ソーラープリンタ)
- ③ 液晶パネル額縁部でのソーラー発電により、電源不要の液晶テレビ(ソーラーテレビ)
- ④ フロントドア一部でのソーラー発電により、電源不要の冷蔵庫(ソーラー冷蔵庫)

このように量子ドット太陽電池は、新たな市場創出を伴いモジュール出荷量が増加することにより、最終的なシステム価格として 2030 年代後半の市場本格拡大期には、標準的な Si 結晶系太陽電池の現状システム価格と同程度に落ち着くと見込まれる。

1.3 基本方針 及び 目標

量子ドット太陽電池研究開発の基本的考え方は以下の通りである。

- 量子ドット太陽電池用ナノ技術は、新材料の探索、新原理の実証等 科学的アプローチを踏まえた上で実用化に向けたエンジニアリングを確立する必要があり、既に実用化されている量子ドットレーザー用ナノ技術に比べて遥かに困難さが増す為、非連続な技術の発展を生み出す技術の革新(革新的技術の創生)に取り組む。
- 量子ドット太陽電池実用化のキーである良質な量子ドット創製技術を確立する為、研究開発中期までは、材料選択とその基礎物性理解に立脚した物性制御技術の確立及びデバイス要素技術の確立に重点的に取り組む。
- 経験豊かな上級研究者と若い研究者の熱意と英知を結集し、量子ドットデバイス技術の革新化を図る為、長期的課題として集中的に取り組む。

10年間に亘る研究開発の基本目標は、第Ⅰ期～第Ⅲ期までの3期間に分け、以下のように進める。

■ 第Ⅰ期:初年度～第3年度 3年間

- ・太陽電池用量子ドットデバイス技術の革新化に向けた立ち上げ
 - * 物性評価に基づく材料探索及び最適材料の選定
 - * 量子ドットの可制御性確認
 - * 物性評価に基づく太陽電池用量子ドットの最適化確認、デバイスの動作原理検証

■ 第Ⅱ期:第4年度～第7年度 4年間

- ・太陽電池用量子ドットデバイス技術の革新化実証
- ・量子ドット太陽電池セルの試作・評価によるエネルギー変換効率(以下、 η と略記)30%超が見通せることの実証(以下、見通し可能実証と略記)
- ・光吸収波長の異なる量子ドットを組合せたタンデム多接合型太陽電池セルの試作・評価による η :50%超の見通し可能実証

■ 第Ⅲ期:第8年度～最終第10年度 3年間

- ・生産技術を見据えた太陽電池用量子ドットデバイス技術の確立
- ・量子ドット太陽電池セルの試作・評価による η :30%超の実証、及び η :50%超の見通し可能実証
- ・光吸収波長の異なる量子ドットを組合せたタンデム多接合型太陽電池セル試作・評価による η :50%超の実証、及び η :60%超(挑戦目標70%)の見通し可能実証

10年間に及ぶ長期研究開発に伴うリスク低減の為、第Ⅱ期中間時点で η :30%超の見通し可能実証に係る進捗状況を次ステップへの見極め、以降の取組見直しの材料とする。

見通し可能実証における目標値 η はかなり挑戦的な数値を揚げているため、第Ⅱ期中間時点の見極めにおいて、数値上課題を残す場合でも以降の目標達成に繋がる量子ドットに適した新たな材料選択、量子ドットデバイスの設計、材料加工のプロセス等研究開発の根幹に関わる確実な指針が得られると期待できる。

第Ⅲ期を含め、最終目標とする量子ドット太陽電池の実用化に向け一定の目途をつけることに加え、中間成果として、量子ドット光センサー、発光素子(緑色LED)等別用途への技術展開も期待される。

太陽電池市場のパラダイムシフトに伴う2030年以降の量子ドット太陽電池の本格的市場拡大期に見合うセル基板数量を賄う為、量子ドット太陽電池セルの母材候補であるGa₂N等化合物半導体について、高効率で廉価な基板量産化技術の確立も重要である。

現状においてナノテクノロジー、量子ドット関連国際学会は既に幾つか存在するが、本分野におけるリソース(人材、資金等)は限られている。このため本研究開発の基本的考え方、目標に沿う学会を設立すべく、量子ドット太陽電池に関連する幅広い分野でのグローバルな研究開発者の活発な議論の展開、及び新たな知見の蓄積を図る為、本研究開発初期段階から量子ドット太陽電池に特化したワークショップ、国際会議等を立上げ、定期的を開催することが期待される。

2. 推進計画概要

2.1 実施体制(案)

本研究開発を遂行するための機関として、新たに技術研究組合「量子ドット太陽電池研究開発機構(仮称)」を設立し、産学官連携の下オールジャパンとしての研究開発を実施する。尚、研究・技術開発分野の専門性から、以下の3グループで実施することが望ましい。

● 物性研究グループ(Gr)

～母材から、単一量子ドット、単一量子ドット層、量子ドット積層デバイスまでの一貫した物性に関する理論的検討・考察に基づく実験的検証～

- ・量子効果発現の実験的及び理論的検証
- ・キャリアダイナミクス/キャリア緩和過程の実験的及び理論的検証等

● 材料/プロセス開発 Gr

～均質で良質な量子ドットデバイスの創製に必要な要素技術の確立、及びそれらのインテグレーション技術の確立～

- ・最適母材の選定、ドーピング制御技術の確立
- ・均質で良質な量子ドット成長条件の最適化制御技術の確立
- ・量子ドット密度、配置、配列の最適化制御技術の確立
- ・量子ドットの多層積層化技術の確立等

● デバイス/システム開発 Gr

～量子ドット太陽電池の設計、試作、評価、検証、及び発光デバイス、光センサー等への応用検討～

- ・量子ドット太陽電池セル技術の確立
- ・電極構造最適化等 電力取出し技術の確立
- ・量子ドット太陽電池モジュール技術の確立
- ・研究開発進捗度、中間成果に応じた応用デバイスの検討、試作、評価、検証等

2.2 予算(案)

10年間の研究開発予算の規模としては、概ね以下のように見積られる。

年度	初年度	2年度	3年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	合計
国(億円)	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	270
民間(億円)	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	30
合計(億円)	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	300

2.3 運営管理(案)

量子ドット太陽電池の本格的実用化には、10年間に亘る研究開発のマイルストーン毎に当初目標を達成した場合であっても、更に数年程度を要すると見込まれる。従って、研究開発に係る情報管理、研究開発成果の取扱い等について、新設する技術研究組合に情報、知的財産権(以下、知財権と略記)等の管理部門を設置し、情報管理規程、知財権取扱規程等を制定することにより、研究開発成果に基づく我が国の太陽電池関連技術及び事業における国際競争力の維持、向上に加えて、知財権の戦略的且つ有効な活用が、プロジェクト終了後速やかに図れるよう取り組むことが期待される。

例えば、知財権については、プロジェクト終了後、基本・有用特許等を戦略的に有効活用出来るよう、パテントプール[註1]等の設置について、プロジェクト第I期の早い段階から検討に着手することが必要である。この為、新たに設立する技術研究組合において、早い段階から情報管理、知財権等の管理・取扱部門を設け、実用化時に真に競争力が発揮できるようグローバル知財戦略等の策定を図ることとする。

[註1] パテントプール

商品、デバイス、或いは一定範囲の技術分野における複数の特許権保有者が、保有する特許等を第三者評価による査定に基づいて、パテントプールに登録する仕組み。パテントプール内では、参加者各自の登録パテント数の多寡、有用性・有効性等に基づいて参加者の重み付け等がなされる場合もある。パテントプール非参加者の実施権許諾にあたり、関係する特許の保有者及び保有者以外のパテントプールメンバーにはルールに従い、ライセンス料が配分される仕組み。

【おわりに】

これまで太陽電池は、住宅用から事業者用メガソーラー等固定・据え置き発電において、再生可能エネルギーの一つとして重要な役割を果たしてきたが、高いエネルギー変換効率が期待される量子ドット太陽電池は、将来の家庭、オフィス、地域・コミュニティにおける電気エネルギーの自給自足に向けてより一層大きな貢献が期待される。加えて、軽量・フレキシブル性の特長を生かして、携帯機器からオフィス機器、更には自動車にまで搭載されることが予想され、太陽電池市場に大きなパラダイムシフトを起こすと期待される。

量子ドット太陽電池の研究開発は、デバイス基礎物性の解明、新しい動作原理の実証等根源的研究課題を解明しつつ、並行して実用化に向けたエンジニアリングの確立に取り組む必要がある。又、研究開発課題に対する実験的及び理論的検証への幅広い且つ奥深い取り組みが必要であり、国が主導して産学官の密接な連携の下、リソースを最大限に生かしたオールジャパンとして早期に研究に着手することが望まれる。

その結果、日本の得意とするナノテクノロジーを駆使して日本独自の量子ドット太陽電池を創生し、新たな太陽電池市場を創出するとともに、サプライチェーンを通じて我が国の雇用を創出しつつ、太陽電池産業において再びグローバルトップに立つことが大いに期待されている。

最後になりましたが、荒川先生始め大変お忙しい委員の方々にお集まりいただき、短期間の間にこのような立派な提言を纏めていただき、大変感謝しております。

この提言を契機として、我が国において量子ドット太陽電池の研究開発が大いに加速することを切に期待する次第です。

技術研究組合 超先端電子技術開発機構
(ASET)
専務理事 稲垣 謙三