

**研究評価委員会**  
**「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」(事後評価) 分科会**  
**議事録及び書面による質疑応答**

日 時 : 2020年11月27日(金) 12:30~17:30

場 所 : NEDO 川崎本部 2301・2302 会議室 (オンラインあり)

**出席者(敬称略、順不同)**

<分科会委員>

分科会長 平本 昌宏 自然科学研究機構 分子科学研究所 物質分子科学研究領域  
分子機能研究部門 教授

分科会長代理 廣瀬 文彦 山形大学 大学院理工学研究科 教授(リモート参加)

委員 尾坂 格 広島大学 大学院先進理工系科学研究科 応用化学プログラム 教授  
(リモート参加)

委員 加藤 丈佳 名古屋大学 未来材料・システム研究所 システム創生部門 教授  
(リモート参加)

委員 高島 由布子 株式会社三菱総合研究所 サステナビリティ本部  
気候変動ソリューショングループリーダー 兼 海外事業本部

委員 野崎 洋介 株式会社エネット 取締役(リモート参加)

委員 野瀬 嘉太郎 京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 准教授

<推進部署>

大木 雅文 NEDO 新エネルギー部 部長

山崎 光浩(PM) NEDO 新エネルギー部 主任研究員

宮川 康陽 NEDO 新エネルギー部 専門調査員

<実施者>

山本 憲治 株式会社カネカ 太陽電池薄膜研究所 常務理事 所長

加藤 拓也 出光興産株式会社 次世代技術研究所 薄膜デバイス研究室 主任研究員

菱川 善博 産業技術総合研究所(AIST) 再生可能エネルギー研究センター  
太陽光評価・標準チーム 招聘研究員

岡田 至崇 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

高本 達也 シヤープ株式会社 ビジネスソリューション事業本部 化合物事業推進部 部長

森田 健晴 積水化学工業株式会社 R&D センター 先進技術研究所 次世代技術開発センター  
センター長 兼 創エネルギーグループ長

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長

武田 浩一 NEDO 評価部 主査

塩入 さやか NEDO 評価部 主査

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
  - 5.2 「研究開発成果」及び「事業化・実用化に向けた取り組み及び見通し」
  - 5.3 質疑

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 研究開発項目① 先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能 CIS 太陽電池の技術開発
    - (1) 結晶 Si 太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発
    - (2) CIS 太陽電池モジュール高性能化技術の研究開発
  - 6.2 研究開発項目④ 共通基盤技術の開発 (太陽光発電システムの信頼性評価技術等)
    - (1) 太陽電池性能高度評価技術の開発  
(新型太陽電池評価・屋外高精度評価技術の開発)
  - 6.3 研究開発項目② 革新的新構造太陽電池の研究開発
    - (1) 超高効率・低コストⅢ-V化合物太陽電池モジュールの研究開発
    - (2) 低コストペロブスカイト太陽電池の開発
7. プロジェクトの補足説明
8. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

### 2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1 に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)

### 3. 分科会の公開について

評価事務局より、既に資料2及び3に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。議題6.「プロジェクトの詳細説明」、議題7.「プロジェクトの補足説明」、議題8.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

### 4. 評価の実施方法

評価事務局より、既に資料4-1～4-5に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。

### 5. プロジェクトの概要説明

#### 5.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」

#### 5.2 「研究開発成果」及び「事業化・実用化に向けた取り組み及び見通し」

評価事務局より、既に資料5に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。

推進部署より補足説明があり、実施済みの事前説明と併せて、その内容について質疑応答が行われた。

**【山崎 PM】** プロジェクトの概要につきましては、事前に送付しておりますので、簡単にプロジェクトの事業の位置付けとマネジメントについて、補足説明をします。

本事業の背景と事業の目的でございますが、これは事業の立ち上げの2014年当時でございます。NEDOでは、おおよそ5年ごとに太陽光発電ロードマップを策定しております。2009年のロードマップから5年が経過して、国内では太陽光をめぐる環境が大きく変化したということです。特に2012年のFIT制度(固定価格買取制度:Feed in Tariff)の導入が大きき一つの転機となっております。2014年当時で、大量導入社会が始まりつつあり、その中でこのような三つの視点から、新しい開発戦略を策定いたしました。

背景と事業の目的でございます。事業の目的としては、2030年までに公的支援に頼らず、太陽光発電が自立して普及する普通のエネルギーにするための発電コスト目標を設定いたしました。2020年時点で、業務用電力価格の発電コスト、グリッドパリティとして14円/kWh、さらに2030年で従来型火力発電の7円/kWhを目指すという目的を立てています。目標としては低コストですけれども、発電コストの達成については、高効率・長寿命・高信頼性、さらに大量生産技術ということで、いろいろ複合的な技術があります。こういった幅広い観点で、太陽光発電の技術開発を行いました。

政策的位置付けでございます。2014年第4次エネルギー基本計画で再生可能エネルギーについては、低炭素の国産エネルギー源であるということところです。あとは、このプロジェクトの最中でございますけれども、2018年の第5次エネルギー基本計画では太陽光、風力発電については、将来の主力電源化を目指すという位置付けがなされております。

調達価格算定委員会、2016年当時でございますが、2020年に14円/kWh、2030年に7円/kWhと

いう数値が示されております。こうしたことから、本目標を設定しております。

国内外の研究開発動向です。1974年のサンシャイン計画以降、1980年、NEDOが設立されて以降、NEDOが太陽光発電の技術開発を行ってきました。2014年当時でございますが、欧州、米国、中国、さらに韓国と各地域において、シリコン、さらに次世代型太陽電池技術開発が公的資金を投じて行われております。現状においても、こちらについては変わりません。最近では、欧州ではグリーンリカバリーということで、さらに再エネに対して注力を行っているということで、引き続き、次世代型の太陽電池の技術開発の必要性というのは当時と同等、さらに増しているという認識でございます。

市場動向でございます。こちらは国内の市場動向でございますが、FIT制度が開始された2012年から太陽光発電の国内導入量は急増しております。累積導入量は、2018年には50GWになっております。直近では約55GWという形になっております。右側のシェアでございますけれども、地上シェアについては平均で見ると残念ながら、国内企業、日系企業の比率は徐々に落ちていきます。平均値で見ると、7割から5割強に落ちていきます。依然として日系企業のシェアは住宅用などで高い部分があります。こちらについては、用途を見極めた上で、高効率、低コストモジュールの開発を支援する意義があるという認識でございます。

技術戦略上の位置付けでございますが、これは先ほどのとおり1980年の設立以降、太陽光発電の技術開発を続けてきておりまして、併せてロードマップを改定してきております。

2014年当時の開発戦略の課題認識ということで、五つ、課題を挙げております。国民負担の増大、長期に安定した電源量の確保、廃棄物の発生、立地制約、グローバル競争の激化というものがあります。こうした課題の下で、主に発電コストの低減、信頼性の向上といった課題を受けて、セル、モジュールの開発を2015年から2019年の期間で5年間、プロジェクトを立ち上げました。従前でもセル、モジュール開発を行ってきておりますが、新戦略を踏まえて新設いたしました、電池種についてはシリコン、CIS、III-V、ペロブスカイトという将来的に発電コストの低減に資するとNEDOで判断した四つに絞って開発を行いました。補足でございますが、NEDOではリサイクルやシステム系の技術開発も引き続き、行っております。

こちらはコスト低減についてのロードマップです。2013年当時、発電コストはkWh当たり23円で、それを大きく下げることが必要で、2020年に業務用電力価格並、さらに2030年に基幹電源発電コスト並の7円となっております。ただし、FIT制度の導入によって大量生産が進みまして、コスト低減が当初の想定以上に進んでいるということで、途中段階で5年の前倒しを行っております。

NEDO関与の意義でございます。大きくこのように企画、体制構築、事業推進とあります。NEDOの強みとしては、これまで実施してきた技術開発の蓄積、産官学を中心としたコンソーシアムの形成、さらに一番右側にありますが、市場動向に応じた加速資金の導入、追加公募等を柔軟に実施してまいりました。

実施の効果でございます。インプット、プロジェクト費用については210億円です。費用の効果を算出するのはなかなか難しいですけれども、例えばFIT賦課金は毎年2兆円を超えているということと、次世代電池の市場規模はかなり大きいということがございます。

そうしたことから、事業の目標についてはこのように設定をさせていただいております。低コストが主軸となっておりますが、それを達成するための幅広い技術開発を行っております。この辺は割愛をさせていただきます。

研究開発項目は1番から6番になります。6番は中間目標以降に追加をいたしました。

プロジェクトの費用については、211億円ということでございます。

進捗管理については、技術推進委員会を行いまして、特に中間評価以降、回数を増やしました。特に出口や新規用途、横の連携といった指摘をいただきました。

動向・情勢の把握と対応ということで、発電コスト低減に応じて、新規テーマを追加、新規分野への対応、導入可能性の検討を中心に途中段階で対応の変更を行いました。こちらについては、加速資金の投入実績ということで、割愛させていただきます。

最後に補足ですけれども、25 ページ目のプロジェクトの達成状況、成果の意義については、少し修正をさせていただきました。この表については、あくまで効率という観点での評価になっておりますが、NEDO で行ってきたのは効率だけの技術開発ではありません。効率を達成するとともに、低コスト化につながる量産技術、信頼性の向上も幅広く実施しております。こちらについては、後ほど非公開のセッションの中で、代表的な事業者から発表させていただく予定でございます。また、現時点での世界最高かどうかについても言及をさせていただいております。このスライドだけ修正をさせていただきました。

【平本分科会長】 どうもありがとうございました。全部覚えておられるか分かりませんが、事前により取りをした質疑分を踏まえて、ご意見、ご質問等をお願いします。オンラインで参加の方は、質問、発言の際はミュートを解除してから、お名前とご所属、質疑の対象とする資料番号やページ数を特定してから、質問をお願いいたします。

3 ページと 10 ページに 14 円/kWh、2030 年の 7 円/kWh と書いてあります。それは、どういう原理によって決められていますか。

【山崎 PM】 こちらのロードマップについては、2014 年当時のヒアリング等を踏まえて、業務用電力価格、当時としての基幹電源コストをまずはターゲットにしました。そのためには寿命がどの程度なのか、システム化コストがどの程度なのかといった観点から、大きな目標を策定いたしました。皆さんがおっしゃるとおり、次世代型の太陽電池は大きくフェーズが異なっておりますので、この目標については主にシリコンと CIS を対象としたものという認識でございます。世の中の状況としても、コストが現実でも下がってきているという状況でございます。

【平本分科会長】 12 ページで、私はきちんと分かっていないかもしれませんが、FIT の賦課金が毎年 2 兆円を超えているというのは、国庫から支出されているということよろしいですか。

【山崎 PM】 賦課金については、国民の電力料金から負担するという形です。

【平本分科会長】 電力料金に上乗せされているということですか。

【山崎 PM】 そうです。今、手元に資料はありませんけれども、家の電力料金に平均すると毎月 700 円前後が再エネ賦課金として加算されています。そういった形で FIT 賦課金が少しずつ上がってきている状態なので、国民負担を抑えていかなければいけないということも背景になります。

【平本分科会長】 賦課金を 0 にするためには、何円/kWh になればいいでしょうか。

【山崎 PM】 これは非常に難しいです。賦課金については、FIT 価格と連動して決まっていきます。太陽光発電の買い取り価格が 2012 年、2013 年は 40 円/kWh など、非常に高かったため、賦課金が高くなりました。太陽光発電の買い取り価格が非常に安くなっても、FIT の買い取りについては 2012 年から 20 年間続くので、賦課金の増加をいかに抑制していくかということが、非常に大きな観点です。

【平本分科会長】 買い取り価格で最初は 40 何円/kWh、最近では 23 円/kWh などといった感じですか。もっと低くなっているのでしょうか。それとの関係はどのようになっていますか。

【山崎 PM】 手元に資料はありませんけれども、買い取り価格は 2012 年当初は 40 円/kWh 程度です。直近では 13~14 円/kWh 程度だと思います。買い取り価格は大きく下がってきています。太陽光のモジュールの大量生産に伴って、価格も下がってきているという点も含めて、そのようなになっています。

【平本分科会長】 買い取り価格が下がってきているのに、賦課金がまだ 2 兆円あるということについて、本当はよく理解できていません。

【山崎 PM】 FIT の買い取りについては 20 年続くため、最初に 40 円/kWh、価格低下が進む前の 2012 年

当時に設定した買い取り価格はそのまま 20 年間続きます。

【平本分科会長】 以前のものがまだ残っているから、高くなっているということですか。

【山崎 PM】 そういうことです。

【野崎委員】 事前質問で、7 円/kWh の目標に関する質問をさせていただきました。技術的な開発によらない、例えばメガソーラーを作るときの用地の確保や電力系統の対応等の価格が高くなっていることもあって、事業を行う上での発電コストが本当に 7 円/kWh になっているのかどうかというご質問をさせていただきました。ご回答としては、系統影響等の費用は含まれていない状況ですので、それは今後の課題といたしますといったご回答がありました。かつ次のプロジェクトでも、そういうものを扱っていくというご回答をいただいております。もう少し具体的に、今後、技術によらない部分の費用を考えていくのか、もしくは新たなプロジェクトで考えていくのかをお答えいただければと思います。

【山崎 PM】 事前の質疑応答でやり取りさせていただいたように、まさにおっしゃられた観点のとおりです。試算において、目標設定値にも一定のシステム価格は設定しております。ただし、当時は FIT での買い取りはメガソーラーや住宅屋根がメインでしたので、そちらの前提で系統影響という観点はございませんでした。今後、コスト的な観点では、そういった点も考慮していかなければなりません。蓄電池のコストをどうするのかということは、なかなか難しい問題かと思っております。本年度から立ち上がったプロジェクトについては、後ほど補足をさせていただきますけれども、より次世代電池の開発ということで、新規分野として建物の壁面や車載といった新しい用途への展開を考えております。そこに導入される価格の検討を行っております。おっしゃるとおり、系統影響でのコストは蓄電池も含めてですけれども、なかなか難しい問題でもありますので、今後の課題とさせていただきたいと思っております。

【加藤委員】 私も同じ質問をさせていただきました。その意味では、今回のものは 10 円/kWh、7 円/kWh と円で書いてあるので、日本でのターゲットではないかと認識しています。この程度の価格設定で、いろいろなバランスコストを差し引いたときに、海外に新しい市場を打っていきけるだけの目標になっているのかという疑問をもちました。どういうふうにご設定したのか、今になってきたときに設定が妥当だったか、どう考えていますか。それから、新しい市場が 12 ページの資料でも書かれていますが、なかなかイメージがわかりません。大きなシステムに大きな市場があるというふうに思ってしまう。現時点で、どのようにお考えになっていますか。よろしくお願ひします。

【山崎 PM】 事前の質問で回答させていただいたとおり、現在例えば中東では、非常に安いメガソーラー設備ができております。それは本当に大規模な設備で、最新のデータでは 2 円/kWh 程度のプロジェクトもあるということです。これは年間日射量と大規模なシステムということからです。発電コストについては、日本の日照条件を含めて、各国の状況を踏まえて検討すべきではないかと思っております。われわれの認識としては、買い取り価格の現状価格、国内での非住宅と住宅の発電コストの状況から、この目標については妥当だったと考えております。例えば、地上のメガソーラーについては、今、14 円/kWh を若干切るぐらいの所もありますが、正確な数字ではありませんけれども、住宅向けでは 16 ~18 円/kWh となっています。したがって、用途に応じて、高性能の発電モジュールを市場として提供していくということがポイントかと思ひます。海外の大きなメガソーラーに対抗して海外市場を求めるとはなくて、より高信頼性が必要な住宅の屋根、建物の用途といったところに市場を求めていくべきではないかとわれわれは考えております。この辺については、各モジュールメーカーとも議論した結果でございます。

【高島委員】 資料 5 の 13 ページです。今、加藤委員からのご質問とほぼ同じことを質問したかったので、その点は解決しました。さらに確認ですが、今のご説明は、「日本で 7 円/kWh なら日射が良い中東に

持っていけば2円/kWhの世界で戦える」という意味でしょうか。それとも、そもそもそういう所で戦う前提ではないということでしょうか。どちらのイメージでしょうか。

【山崎PM】 正直なところ、なかなか難しい問題です。NEDOというよりは、各モジュールメーカーがどう判断していくかという部分だと思っています。どちらの市場を目指すかというのは、なかなか難しいですけれども、今までモジュールメーカーなどに話を聞いている限りでは、全面的に海外の大規模なメガソーラーにというよりは、住宅向けのほうが多いと感じております。この辺について、詳細はもう少し非公開の部分でも議論させていただければと思います。

【高島委員】 当初、2030年7円/kWhだったのを2025年に前倒ししたということは、途中に見直しを行っていると思います。この期間に、何回程度、見直しを行っていますか。毎年行っていますか。

【山崎PM】 大きな見直しについては1回でございます。プロジェクトは5年間ありまして、3年目に中間評価を行いまして、それを踏まえた形です。世の中の状況を見て、FITの買い取り価格がわれわれの想定以上に下がってきたので、前倒しをさせていただきました。ただし、個別の事業者の目標については、毎年、見直しを必要に応じて行っております。

【野瀬委員】 資料5の9ページ辺りについてです。高性能ということに関しては、発電効率を上げてコスト低減に寄与するという事だと思えます。高信頼性ということに関しては、どの辺りに着目すればよろしいですか。

【山崎PM】 主に長寿命化です。モジュール構造、セル構造を含めて、より耐久性を持たせるということです。将来的に7円/kWhを目指すには、現在のメーカー保証がモジュールの寿命を20年に設定しておりますが、30年にしていけないということがあります。長寿命化の観点での高信頼性、さらに補足として劣化抑制といったことも含めてテーマを実施いたしました。

【野瀬委員】 資料5の8ページです。今回の課題もこの五つの課題に基づいて、テーマ設定等を行っていると思います。課題に対するコントリビューションや達成度はどこかにまとめられていますか。例えば、テーマがどの課題にコントリビューションしていて、現在、どの段階にあるのかといった部分です。

【山崎PM】 基本的には発電コストの低減と信頼性の向上という二つの課題について、対応いたしました。ただ、国民負担増大と発電量の確保ですけれども、副次的にはグローバル競争の激化のような点で日本のシェア回復という部分もあります。新しい分野への展開というところは、立地制約の顕在化もあり、なかなか複合的にいろいろな要素が混ざっていて、定量的な分析は難しいです。FIT賦課金との関係についても、技術開発だけで何%という寄与は難しいものという方針でございます。

【野瀬委員】 例えば、途中で新たなテーマを設定されていると思います。それがどの辺りに寄与するのかといった図のようなもの、あるいはコスト低減技術開発以外にリサイクルのテーマがあるので、それも含めて、NEDOとしてこの課題に対して、どのような取組を行っているかということをもう少し示していただくと太陽光発電の研究全体として少し分かりやすくなって、広く周知できるのではないかなという気がしています。

【山崎PM】 いただいた意見については、今後の課題検討で対応させていただきたいと思います。新規市場については、例えば立地制約の顕在化、さらにそれを海外に展開する場合はグローバル競争の激化ですけれども、野瀬委員がおっしゃるとおり、分かりやすく俯瞰することの訴求が重要だと思います。いただいた意見については、ぜひ今後、検討させていただきます。

【廣瀬分科会長代理】 目標として発電コストを掲げられています。ただ、このケースで市場規模との相関がよく分かりませんでした。間違いなく、多くの市場が出てくるのではないかと思います。市場の拡大イメージでいうと、半導体の歴史を見ても市場が拡大すると、強い市場からの要求があつて、開発あるいは研究がポジティブに帰還がかかって加速するということが見えてくると思います。国主導の

開発からプロモートしていく体制から、市場が主導して引っ張るのはどの辺なのかということを知りたいです。

【山崎 PM】 12 ページの下半分にあるように、将来の市場規模というのは、なかなか難しい問題です。シリコン太陽電池、CIS 太陽電池（銅（Cu）、インジウム（In）、セレン（Se）の 3 つの元素を主原料とする化合物半導体系太陽電池）については、市場規模は現状も含めて、ある程度、出されています。ペロブスカイトやヒ化ガリウムのような次世代型電池について、まだ事業化されておりません。この市場規模が将来、シリコンや CIS といった既存の太陽電池で導入できないような部分に展開して、棲み分けていく場合に、どの程度の市場規模になるかは、NEDO で非公開ですが、ある程度の導入効果については試算を行っております。こちらについては、非公開セッションで紹介をさせていただきたいと思います。ただ、一律でこの程度というのは、なかなか難しい分野でございます。参考までに、IEA が出している統計を質疑応答の回答に記載をさせていただきました。IEA（国際エネルギー機関：International Energy Agency）の World Energy Outlook 2020 だと、世界全体で 2040 年に 5800GW、5.8TW の太陽光が導入されているということが、最も持続可能なシナリオとして存在しています。IEA のこういった予測の中でも、太陽光はかなり大きなウエイトを占めていくということは、こういった国際機関の中でも予測されています。市場については、拡大はしていきますが、それが日本でどの程度なのか、新型電池でどの程度なのかということは、なかなか難しい課題です。

【加藤委員】 今のお話に関連して、国内市場は昨年からは住宅用 FIT 切れが始まって、あと 10 年すると事業用も FIT 切れが始まります。その時点で、いろいろと動きがあるのではないかと思います。今回の開発は、そこに間に合うのか、どのようにお考えでしょうか。

【山崎 PM】 FIP 制度（市場連動型の売電制度：Feed-in Premium）が始まるのは来年、再来年とすぐということになります。このプロジェクトの成果については、モジュールメーカーで例えばシリコンや CIS については事業化を展開されていくとわれわれは認識しております。例えばペロブスカイト、III-V 属といった次世代電池については、現在、技術開発の段階です。どういう用途に展開していくのか、シリコンと CIS とどう棲み分けていくのか、といった観点が重要です。今年から始まっているプロジェクトの中でも、企業から事業化の時期や方向性については、資料もいただいてディスカッションさせていただいております。ただ、全体的な太陽光を取り巻く状況というのは、いろいろと変革しております。事業者とよく議論をした上で、どのように技術開発を行っていくかというのは引き続きの課題になっております。シリコン、CIS 系と次世代型と、大きく分かれるということです。既存市場と新規市場、この資料にもありますけれども、建物の壁など、そういった軸があるかと思います。もちろん、FIT が切れる 2032 年、大量導入のシリコンの例えばリプレイス時期に新型太陽電池をわれわれとしても出していきたいという思いで、技術開発を行っています。それをさらに前倒ししていきたいということで、技術開発を続けております。

【平本分科会長】 それでは、時間になりましたので、他に意見があるかもしれませんが、次の議題に行きたいと思います。

（非公開セッション）

#### 6. プロジェクトの詳細説明

省略

#### 7. プロジェクトの補足説明疑

省略

#### 8. 全体を通しての質疑



## 省略

(公開セッション)

### 9. まとめ・講評

【平本分科会長】 議題9です。まとめ・講評です。野瀬委員から始めて、逆に行ってください。講評は2分程度です。すぐいけそうですか。少し時間があつたほうがよいですか。皆さん、急に言われてもということかもしれません。1、2分、時間をとらせていただきます。

【野瀬委員】 この5年間のプロジェクトで、各テーマにおける達成度は非常に素晴らしいものがあると思っています。そのテーマを最終的にどういった目的に対して、どのようにコントリビューションしたかということのを少し明確にさせていただけるのではないかと思います。先ほどのお話にもありましたけれども、NEDOとしてどういった太陽電池を目的にして、そこに対するコントリビューションがどうなっているかを報告書に書いていただくと非常に良いのではないかと思います。特に直近で言うと、日本市場への日本企業のモジュール出荷率比率が落ちていることが問題なのか、その辺を解決するためにどうコントリビューションしたかを明確にいただければと思います。

【野崎委員】 太陽光に関する開発は、NEDO発足以来、ずっとNEDOがリードして開発を進めてきました。当初はセルや材料、モジュールの性能を上げる手段として開発が行われていました。今回の結果を見ると、シーズ的な研究開発から新しい付加価値、もしくはニーズに基づく研究開発に変わってきています。その分野で、日本が今も世界トップレベルになっているのは、NEDOのこの理論のおかげではないかと思っています。

ここからはお願いになります。これは中間評価のときにも少し申し上げたことですが、対外発表の件数に対して特許の件数が、これで足りているのかどうかという点が少し不安です。これから付加価値分野の中で勝負をしていく中でも、先ほどから中国など外国に対する競争優位性の確保の話が出ていました。最終的にそういう部分を守るのが、知的財産権の確保になると思います。引き続き、そちらにも留意しながら、研究開発をリードしていただければと思います。

【高島委員】 3点、申し上げたいと思います。

1点目は、革新的新構造太陽電池についてです。III-Vとペロブスカイトにつきましては、後発で入ってくるものになりますので、どういう道筋で入っていくかという事業戦略をNEDOも一緒に考えていただく姿勢が必要なのではないかと思いました。既に行っていたいただいていますけれども、アプリケーションの部分とマッチング等も期待しています。だいたい事業化が先の分野になりますので、ぜひ事業者の皆さんをエンカレッジするように導いていただく必要があるのではないかと思います。

2点目は、シリコンとCISについての話になるかもしれません。私どもの業界でも菅首相による「2050年に実質ゼロ」宣言以降、非常に問い合わせが増えております。80%なら、残りは20%とカウントされると思っていた人たちの逃げ場がなくなって、すぐ何かしなければという意識がとても高くなっております。こうした社会背景の中、あまりハイパーな品質でなくても、今あるものでよいので、すぐに市場に投入してほしいというニーズもあるのではないかと考えております。その辺も意識していただけるとよいと思いました。

3点目は、共通基盤技術についてです。今日、ご説明いただいたような測定や評価については、どうしても学術機関の皆さま主体になっており、社会実装の担い手ではありません。成果発表後、社会実装が本当に進んでいるかというフォローをしていただく必要があるのではないかと考えました。

【加藤委員】 今回、いろいろな技術を横並びで目標を立てて、開発されたということです。そういう意味では、課題がより明確になったと思います。そういった意味では、非常に良い目標になっていると思

っています。どこまで太陽光に頼るかということが、最後のほうの議論でありました。太陽光を検討したときに、300GW といった数字を置きながら検討しています。そこまでして太陽光に頼らなければいけないのかという気がしなくもありません。太陽光自身にも、発電することだけではなくて、出力調整という機能を持たさなければいけないでしょう。そうしたときに、大きなものでどこまでやるのかということがあります。新市場で、どこまでそれをもたせるのかということは先ほども見ましたけれども、もっと上のところから議論しなければいけないと思います。そういった点からも、どのように太陽光を増やしていけばいいかということを NEDO で、さらにご検討いただければと思っています。

**【尾坂委員】** 今日、成果を拝聴いたしまして、どの企業やグループも目標に対して、研究開発が非常に進んでいて、素晴らしいと思いました。特に、新しい技術の部分において、私も有機薄膜太陽電池に取り組んでいる立場の人間として、このペロブスカイト太陽電池の進展は素晴らしいと思っています。耐久性もかなり良いものできているということで、非常に将来性が見えてきたのではないかと思います。ですので、このような新しい太陽電池に対する支援を、国としても継続して行っていただけたらよいのではないかと思います。

今、日本として新しい高付加価値の太陽電池に勝負をかけるということかもしれません。他国も恐らく同じような考えを持っているはずですので、他国の状況も比較しながら、うまく戦略を立てて NEDO が先導していければよいとも思いました。

私は個人的には太陽電池は性能も重要ですが、先ほども申し上げましたようにデザイン性は非常に重要だと思っています。景観を損ねないような、導入したくなるような形の製品が必要だと思います。そういった観点からも、研究開発を進めていけるような戦略を立てていただければよいのではないかと思います。

**【廣瀬分科会長代理】** 本日、技術を見せていただきまして、各プロジェクトが非常に高い目標を立てているながら、緻密に実行したということで、非常に高く評価しております。私も太陽電池の研究分野にありますけれども、どうしても効率のほうに進みがちで、コストはなおざりになりがちな面があります。初めから、コストと効率の両方の目標を立てて、しっかりと開発に取り組んだという部分に、今回のプロジェクトの素晴らしさがあるのではないかと思います。

あとは私からのお願いになります。このように素晴らしい成果を出された各プロジェクトに対して、それぞれが国際的なベンチマークとして、どの位置にいるかという評価をしていただけると一般的には分かりやすいのではないかと思います。それから、太陽電池の市場だけではなくて、この技術が作られたことによって、産業に新しい分野がどう芽生えるかという可能性についても考察いただくとありがたいと思います。私個人としては、この技術がどう雇用の醸成につながるのかということも興味を持っています。参考にいただければと思います。

**【平本分科会長】** 最初のシリコンを見ると、効率は理論限界に達しています。世界トップレベルに達しているということで、非常に感銘を受けました。それから、CIS もかなりそれを追って、良いところまでいっていると感じました。III-V とペロブスカイトはまだ基礎的ではありますが、こちらも大事なので、きちんと伸ばしていってほしいという印象をもちました。

菅首相の話が出ましたが、施政方針演説で、再生可能エネルギーを基幹エネルギーにするとやっているのは、太陽光発電にもかなり風が吹いているということです。今はチャンスだと思います。基幹エネルギーとして進めると言われたので、全体のシステムとしてどのように進めていくか、先ほど言った蓄電の問題などが入ってきて、いろいろな問題が考え方としては出てくると思います。トータルシステムとして、日本にどのように基幹電力として入れていくかということを将来的に考えていただきたいと思っています。

また、国際競争力について、何人もの方が指摘されました。NEDOの説明を受けたときにも、それについてディスカッションを行いました。会社がここまでコストが下げられるという試算までは進みますが、そこから先は会社の経営の問題が関係してきます。会社が投資できなければ、大量に作れずに中国に負けるなどしています。その辺はNEDOの仕事ではないかもしれませんが、菅さんが言われたのなら国策として取り組んでもよいのではないかと考えています。

今お話しした2点が大きいことかと思いました。非常に感銘を受けました。中間報告も聞いていましたけれども、そのときに比べて、かなり目標が明確化して、きちんと成果を出されたということが正直な感想です。結果をレポートにまとめなさいということが出てきます。各論を書きなさいなど、いろいろ書いてあると思います。今日の全体的な感じを見て、ある程度、評価点を高く付けてあげてもよいのではないかと考えております。

ここまでできたということで、次のプロジェクトとしてどう走らせるかを考えたほうが良いと思います。フィードバックをかけて、次にNEDOとして何を行っていくかということです。太陽電池だけの問題ではなくなってくるような気がします。風力、蓄電、電送、車も蓄電池になるわけです。その辺も全部関わってきますけれども、システムとしてきちんと実施できると示すようなことも必要ではないかと感じました。それから付け加えると、原理的にはタンデム化すると、かなり効率は上がるのではないかと思います。どこまで行えるのかということがあります。熱力学的な問題がありますが、50%を超えるようなことは、原理的にどうでしょうか。アメリカでそういうことを行っていると感じます。もっと高効率をねらう、原理的なブレークスルーのようなことを考えてもよいのではないかと思いました。

**【大木部長】** 本日は本当にありがとうございます。私の部は、皆さんにご審議いただきました太陽光に加えて、風力やバイオマス、地熱など、いろいろと取り組んでおります。今日、私は全く発言しませんでした。非常に意義のあるお話をたくさんいただきました。正直なところ、非常に感銘を受けたというのは今回が初めてだと思います。私も部長として、いろいろとこの事業の進捗について報告を受けられますけれども、各委員の質問が非常に上手で、本日初めて、そういうことになっているのかという話もたくさんありました。非常にポイントについて、噛み合った議論が進んでいたと思えました。また、非常に良い指摘を受けました。今回、事務局から、新市場の新しい事業の話もさせていただいております。皆さん、ご案内のとおり、メーカーのほうシェアを落としている中で、一つずつ、こういう実績を積み上げて、自信をもってきている段階で、次の展開となります。今日のお話、質問、コメントや意見は今後十分に生かされるものをいただきました。今日は評価を受けるということももちろんですけれども、今後の事業に有効活用させていただきます。コメントは最後の総括にあった社会システムの話ですか、まさに議論が始まっているものでもあり、本当に意味のあるコメントをいただけたと思っております。細かい話をすると長くなってしまいますけれども、全体のシステムにおいて、この規模の導入量、今後、EV（電気自動車）も入ってきますし、最適化という意味のマネジメントでAI（人工知能）も入ってくるかもしれません。上から下への流れが違って行く中で、どこにどういう機能を持たせると全体最適になるかということがあります。今、われわれは部分最適の話をしているかもしれませんが、グリッドオペレーターといえいいのか、法律上の契約関係の義務になるのか、いろいろな方法があると思います。今後、そういった議論が本格的になると思います。そのときに、今日お話いただいた太陽光が現場のフィールドの中で、非常にうまく使われているような形になっていくことに期待したいとあらためて思いました。繰り返しになりますけれども、今日はありがとうございました。本当に良い評価をいただけたと思っております。繰り返しになりますけれども、ありがとうございました。今後ともよろしく願いいたします。

**【平本分科会長】** どうもありがとうございました。

10. 今後の予定、その他

11. 閉会

## 配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における研究評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクト／事業の概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクト／事業の詳細説明資料（非公開）
- 資料 7-1 事業原簿（公開） 第一分冊
- 資料 7-2 事業原簿（公開） 第二分冊
- 資料 8 評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」(事後評価) プロジェクト評価分科会

ご質問への回答 (公開分)

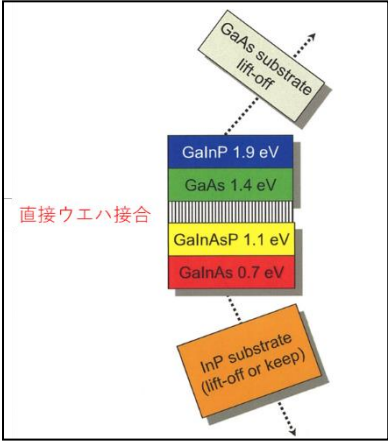
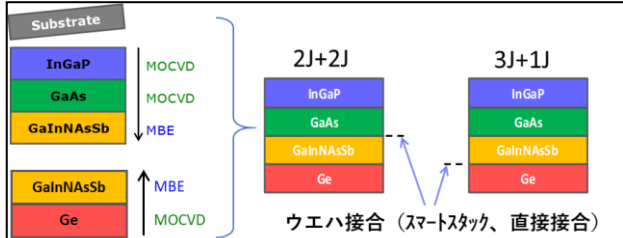
資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	回答	委員名 (敬称略)
資料5・ p. 12-13	<p>・2020年までに14円/kWh, 2025年までに7円/kWhの開発目標は、国際市場を考えたときに妥当か？各国の日射条件, モジュール以外のコストを考慮して競争力のある価格目標になっているか？</p> <p>・国内市場のみを考えれば妥当と言えるが、その場合にはプロジェクトの費用対効果の妥当性はあるか？</p> <p>・7円/kWhが実現するような状況では非常に大量の導入が期待される一方で、余剰電力の増加, 必要な調整力の増加などが懸念されるため、各種系統対策コスト(バランスコスト, グリッドコスト, プロファイルコスト)を考慮した場合に7円/kWhの発電コストで十分か？</p> <p>発電コストの構成要素(モジュール, BOS, 工事費など)について、それぞれの目標値をどのように</p>	<p>・現在、中東では2円/kWh程度のプロジェクトも出てきておりますが、これは年間日射量や大規模な発電所であるためです。このため、発電コストは各国の状況を踏まえて検討すべきと思います。</p> <p>・まずは国内市場を対象にした場合、買い取り価格算定委員会での価格下落を踏まえると目標値は妥当と考えています。また、14円/kWh, 7円/kWhはあくまで地上設置を前提とした目標であり、これより高コストの住宅屋根向けではさらに競争力を持てるという認識です。</p> <p>・ご指摘の通り、システムコストの低減も課題です。システムに組み込んだ時のコストで試算をしていますが、系統対策コストは含めていません。システムコスト側も低コストを目指さないといけないかもかもしれませんが、システムコストについては2014～2018年でシステムコストの低減を目指すプロジェクトを実施しました。引き続き、システム全体での対応は検討していきたいと思います。</p>	加藤委員

	設定したか？（モジュールの性能向上によるコスト削減分をどのように想定しかたか？）	また、今年度からの事業で太陽光発電の調整力の開発等の取り組みを始めております。	
資料5・ p. 15	<p>・「圧倒的な特性の違い」とは？どのような新市場を想定しているか？</p> <p>・一般的に言われるカーポート等への適用については、CIS、III-V族とも競合するが、どのようなすみ分けを想定しているか？</p>	<p>・圧倒的な特性の違いに関しては、資料5 p. 14 を参照願います。III-V属は高効率、ペロブスカイトは低コストが差別化の指標です。新たな市場として、III-V属は資料5 p. 35 に示す電動車、ペロブスカイトは重量制限のある屋根やフィルム基板の利点を活かしたフレキシブルな曲面への導入を想定しています。</p> <p>・ご指摘の通り、カーポート等への適用についてはペロブスカイトと CIS・III-V族とは競合するところがあります。上記の通り、フレキシブルな曲面への導入、意匠性（例えば、インクジェットを用いることによりオン・デマンドでパターン形成が可能）によるすみ分けを想定しています。</p>	加藤委員
資料5・ p. 16 研究開発項目④	<p>・記載の a)-c)のうち、a)については資料6-3 で事業化・実用化状況を確認、b)はNEDO ウェブサイト掲載予定の旨確認できたが、c)の事業化・実用化状況は如何か？</p>	<p>・研究開発成果のサマリとして資料5 p. 40 を参照願います。</p> <p>・資料7-2 III-2-(ホ)-B[17]に記載の通り、太陽電池モジュールの劣化要因 (PID 現象等) の究明を通して、PIDをほぼ完全に抑止可能な手法を考案し、その有効性を実証しました。また、劣化抑止の指導原理を提示し、複数の選択肢を示すことにより、太陽電池メーカー個々の事情に応じて複数の解決策から最適解を選択し、指導原理に基づいた劣化抑止法をメーカー自らが個々の製品に最適化して開発することを可能としました。</p> <p>・資料7-2 III-2-(ホ)-B[17]に記載の通り、確立された加速試験法はSEMI PV79-0817 として標準化が成立しており、既にメーカーでの太陽電池用電極開発に適用さ</p>	高島委員

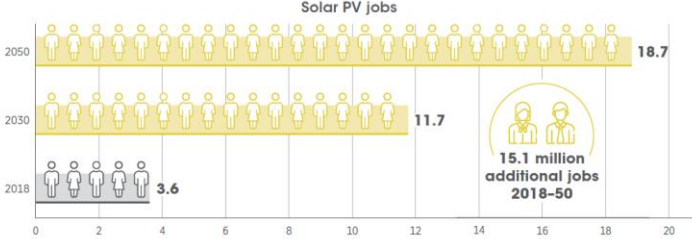
		<p>れています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・資料 7-2 III-2-(ホ)-D[10]に記載の通り、研究開発成果は開口部設置用シースルー太陽電池モジュールの開発へ適用されており、建材と同等の寿命をもつ ZEB 適用型高信頼性太陽電池製品を出来る限り速やかに上市していくことに寄与していくと考えています。事業化の見通しとして、2020 年度中には本事業で得られた評価技術を適用して開発した太陽電池モジュールが実建築案件に設置されます。202 年度には新製品の量産化ならびに保証年数の拡張を判断し、他に先駆けて ZEB 市場をターゲットとした競争力のある製品の提供を実施していく計画です。</li> </ul>	
資料 5・ p. 33	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機金属基板とは何でしょうか？</li> <li>・Pd ナノ粒子を用いた場合のコスト高は将来的に問題にならないでしょうか？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正しくは GaAs 基板です。お詫びし訂正させていただきます。</li> <li>・量が少ないので用途（要求価格）に応じては適用可能です。更なる低コスト化のために Cu を検討し、現状、同様にスタックできることを確認しています。</li> </ul>	野瀬委員
資料 5・ p. 34	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率は目標達成、価格は未達との理解でよいか？</li> <li>・そうであれば主な要因は何か？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率に関して、高効率セルを実現することが目標であったため未達と考えます。それぞれの要素技術により見込みは得られておりますが、実証に至っておりません。価格に関して、目標コストの見込みを得ることが目標であったため、ほぼ達成と考えています。要素技術の組み合わせで、目標を達成するシナリオ（課題を含む）が描けました。（価格の達成には量産が不可欠であるため、今後、量産技術の開発に移行していく予定です）</li> </ul>	加藤委員
資料 5・	<ul style="list-style-type: none"> <li>・何を解決することで車載の実証試験ができたの</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトでは、EV に対する太陽電池搭載の価</li> </ul>	加藤委員



p. 35	<p>か？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・10年、10万kmの使用を想定した時、車載における技術的な課題は何か？</li> <li>・屋根荷重の増加は自動車の動力性能への影響が大きいと考えられるが、1kW程度であれば問題ないレベルか？</li> </ul>	<p>値を見出すことを目標としました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ご指摘の内容（技術課題や信頼性等）は今後の課題であり、自動車メーカーと協力し、実証車のデータ取りと検証、車載モジュールの開発を継続して実施する予定です。</li> </ul>	
資料5・ p. 38	<p>屋外における「高精度」な性能評価の意義は？発電事業者の収益に対してどのように貢献することが期待されるか？</p> <p>リユース市場における性能保証等に活用できるか？</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置時のオンサイト測定、O&amp;M等で経年劣化等による性能低下の有無を正確に行い、パネル交換等の判断を迅速正確に行うことが可能になることで収益に貢献すると考えております。リユース市場等のオンサイト測定に非常に有効な技術と考えております。性能保証等に広く普及させるためのステップとして、開発技術の標準化にも取り組みました（進行中）。開発技術のJET(電気安全環境研究所)のO&amp;M認証への展開も、普及にむけた取り組みの一環です。</li> </ul>	加藤委員
資料5・ p. 77	<ul style="list-style-type: none"> <li>・125円/W達成のシナリオでは、6インチのGaAs基板、HVPEを使って（セルではなく）モジュール効率30%が必要、という理解でよろしいでしょうか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・これらの条件（モジュール効率30%）で達成可能なシナリオが描けている、ということで、より大面積の基板、より高いモジュール効率は、目標の達成には有利な方向です。</li> </ul>	野瀬委員
資料5・ p. 80～82, 84	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3つのグループでそれぞれリフトオフ技術の開発が行われていますが、比較した場合にそれぞれ優位な点、不利な点を明確にすることで今後の開発と考えますが、いかがでしょうか？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶の品質（特性）に大きな影響が懸念される点で、豊田工大方式（GaAs、およびSi基板上に層状化合物GaSe/In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>をバッファ層で挿入してGaAs層をエピ成長し、GaAsエピ層を基板から高速リフトオフする）は断念することとしました。</li> <li>・シャープ・東大方式は、比較的大面積のリフトオフに実績があるため、今後は量産技術・装置開発をメインに進めこととしました。産総研方式は、スマートスタックを含む一連のプロセスに低コスト化の可能性があ</li> </ul>	野瀬委員

		<p>るため、リフトオフの面積化をテーマとして開発を継続する予定です。</p>	
<p>資料5・ p. 91～96</p>	<p>超高効率セル開発においては、4 接合、集光下で効率 50%という目標に対して、現状、少し遠い状況かと思えます。主な要因としては何があげられますでしょうか？</p>	<p>・ 1) ウエハ接合による 4 接合セル：フラウンホーファー研のアプローチ(左図：46.0% (580 倍集光)を報告)を参考に、4 接合セルの構造及びウエハ接合条件の最適化を行いました。</p>  <p>シャープが高效率のトップ 2 接合 GaInP/GaAs セルを製作し、東大はボトム 2 接合 GaInAsP/GaInAs セルの開発、及びウエハ接合を担当しました。ボトム 2 接合セルの <math>V_{oc}</math> 向上の目標が未達であり(更なる結晶成長条件の追い込みが必要)、またウエハ接合技術の最適化(表面の平坦化、接合界面抵抗の最小化の改善)が当初計画より遅れ、本事業期間中に高效率 4 接合セルを実証するまでに至りませんでした。</p> <p>2) 希釈窒化物による多接合セル：</p> 	<p>野瀬委員</p>

		<p>東大では、「逆積み」格子整合 GaInP/GaAs/GaInNAs:Sb 3 接合セル (ILM-3J: 上図左) で、効率 30.3% (非集光) を達成しました。また、GaInP/GaAs/GaInNAs:Sb/Ge 4 接合セルを試作したところ、シャープとの「順積み」ウェハシャトル (MBE で GaInNAs:Sb/Ge ボトム 2 接合セル作製後→MOCVD で GaInP/GaAs トップ 2 接合セルを作製) において、GaInNAs セルへの水素混入がセル特性を劣化させることが明らかになりました。熱処理により GaInNAs 膜中の水素を脱離させることで GaInNAs 単セルの特性は回復しましたが、一方で 4 接合セルでは Ge セル特性を劣化させてしまうことが分かりました。そのため開発の優先度を ILM3J+Ge 構造の「ウエハ接合」セルにシフトし、国内初となる GaInP/GaAs/GaInNAs:Sb//Ge 4 接合セルの開発に成功しました。</p>	
資料 7-1・viii	<p>・2025 年に前倒しをした 7 円 /kWh の目標に関し、用地確保や系統連系対応の開発費用や工事費用等本プロジェクトの内容に直接関係しない要因で実現を危ぶむ報道等もなされているが、目標設定の再修正等に関する議論があればご回答願います。</p>	<p>・発電コスト 7 円/kWh には、算出が困難であるため系統連系対応の費用は含めておりません (システム価格は一定の仮定の上で試算しています)。本プロジェクトはモジュールのコスト低減に注力したのですが、ご指摘の点は今後の課題とさせていただきます。</p> <p>(ご参考として、2020 年度からのプロジェクトでは従来の地上設置ではなく、新規用途を目指しております)</p>	野崎委員
資料 7-1・II-1[4]	<p>・アウトカム目標について、現時点の太陽光発電を取り巻く状況において、本ページ記載の貢献以外に新たな貢献項目が想定されればご回答願います。</p>	<p>・資料 5 には記載しましたが、資料 7-1 に記載されていない内容として、建物壁面、車載等の新市場への展開可能性が挙げられます。</p> <p>・また、定量的な算出は難しいものの、導入量拡大による CO<sub>2</sub> 削減効果、太陽光発電産業の雇用 (IRENA の予</p>	野崎委員

		<p>測は以下の通り) 等の波及効果も期待できると考えております。</p> <p style="text-align: center;"><b>世界における太陽光発電産業における将来の雇用人数</b></p>  <p style="text-align: center;">出典：IRENA: Future of Solar Photovoltaic (2019年11月)</p> <p>・太陽光の将来の導入規模としては、IEA World Energy Outlook 2020 のシナリオの一つでは、2040年の世界全体の導入容量は太陽光5,891GW(太陽光の年間平均追加容量は、2030年に280GW、2040年に320GWに達する)になると予測されています。このように市場が大きく拡大する中で日本企業がシェアを獲得できれば、産業競争力の強化に繋がると考えております。</p>	
資料7-1・III-1[1]	・建材一体型として14円/kWhを実現することは当初からの前提か?建材一体型でなければ目標達成できないという理解でよいか?	・発電コストの目標は建材一体型を前提としたものではありません。当該の事業会社の主力製品である建材一体型で2020年発電コスト14円/kWhの見通しを得た、とご理解ください。なお、建材一体型に注力したのは中間評価以降になります。建材一体を指向したのは実施企業の方針によります。	加藤委員
資料7-1・III-1[1]	・「14円/kWh実現の見通しを得た」ことと、「14円/kWh実現のためのプロセス開発を完了した」こ	・大量生産時の試算として14円/kWhを達成できる技術開発を行ったと認識しております。	加藤委員

	<p>とは、「14 円/kWh の実現が可能であることを確認した」と比較して、どのように解釈すればよいか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「基盤技術開発による先端複合技術セルのための低再結合電極の研究開発」, 「赤外線 FZ 法による高品質低コストシリコン単結晶の開発」, 「高発電効率・低コスト太陽電池スライスプロセスの加工技術構築」, 「太陽電池用原料品質の最適化及び結晶欠陥の評価技術の開発・制御」は, それぞれ 14 円/kWh の達成に対してどのように寄与するか？ 14 円/kWh の実現はこれらの成果が考慮された値か？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本 PJ で 2020 年発電コスト 14 円/kWh の目標を設定した時点 (2015 年度) では, ご指定の研究開発成果は考慮されていません。また, 本 PJ 終了時点で, 太陽電池事業会社の発電コストの低減に貢献する項目として, ご指定の研究開発成果は挙げられておりません。今後, 一層の発電コスト低減に向け各要素技術の導入を検討する計画について, 太陽電池事業会社から聴取を行う計画です。</li> </ul>	
<p>資料 7-1、7-2 全般</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・登録済み特許がある場合には当該特許の実施もしくは他者への実施許諾の状況。</li> <li>・外国出願の考え方。</li> <li>・研究発表・講演の件数に比較して特許出願件数が極端に少ない場合はその理由。</li> <li>・併せて研究発表・講演を実施する場合に当該発表・講演の内容における出願すべき知的財産の有無を確認し、技術の公開前に特許出願を促す仕組みの有無等を差し支えない範囲でご回答願います。 (プロジェクト全体としてのご回答でも結構です)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・知的財産権に関しては、NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に則ってマネジメントを行っております。 URL:<a href="https://www.nedo.go.jp/jyouthoukoukai/other_CA_00002.html">https://www.nedo.go.jp/jyouthoukoukai/other_CA_00002.html</a></li> <li>以下、マネジメントの骨子を記します。</li> <li>・NEDO は、フォアグラウンド I P (プロジェクト参加者が、プロジェクトの実施により得た知的財産権) について、研究開発の受託者が産業技術力強化法第 17 条第 1 項各号に定める事項を遵守することを条件として、受託者から譲り受けない (日本版バイ・ドール規定) ものとしております。</li> <li>・成果の有効利用を図るため、NEDO は受託者に対して、知的財産権の利用状況調査 (バイ・ドール調査) を実施し、知的財産権の利用実態を把握しております。</li> <li>・知的財産マネジメントを適切に実施するため、知財</li> </ul>	<p>野崎委員</p>

		<p>運営委員会を設置しております。知財運営委員会は、研究開発の成果についての権利化、秘匿化、公表等の方針決定、実施許諾に関する調整等を行います。知財運営委員会は、プロジェクトリーダー、個別のテーマリーダー、プロジェクト参加者の代表者、知的財産の専門家等から構成します。知財運営委員会の審議内容、議決方法、構成員その他知財運営委員会の運営に関する事項を定めるため、知財運営委員会運営規則を作成します。</p>	
<p>資料7-1・ Ⅲ -2-(ロ)-B[29]~[37] (産業技術総合研究所、他)</p>	<p>・詳細な熱力学計算をされていますが、具体的にどのように装置設計などに生かされていますでしょうか？</p>	<p>・熱力学解析により、結晶成長の駆動力および析出組成と成長条件の関係を明らかにしています。また、アルミ系に置きましては、上記に加えて石英と塩化アルミニウムとの反応を考察した計算により安全な成長条件を明らかにしています。</p> <p>具体的な装置設計への寄与ですが、</p> <p>(A) 熱力学解析で算出された必要な原料濃度から、原料ポート容量などを決定した。</p> <p>(B) 期待する成長速度および成長組成から算出される成長条件(原料濃度および原料供給流量)を熱力学計算から算出し、気相成長装置の重要な部分である流量を制御する「マスフローコントローラ」の選定を行った。</p> <p>(C) 各Ⅲ族原料、具体的には Ga, In, Al の最適な原料部温度を熱力学解析により算出し、それに対応可能な電気炉の設計を行った。特に、アルミニウム原料ガスの場合には、原料部の温度範囲が装置安全上重要であり、そのような温度範囲に設定可能になるように設</p>	野瀬委員

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少し細かいですが、第一原理計算を用いて有限温度のギブズエネルギーを計算されている、という理解でよろしいでしょうか？</li> <li>・また、結晶ではなくガラスの石英のエネルギーを計算されているのでしょうか？</li> </ul>	<p>計された。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・その通りです。実際には、第一原理計算+統計力学を用いています。</li> <li>・熱力学解析に用いています SiO<sub>2</sub> のエネルギーは石英ガラスの値です。</li> </ul>	
資料7-1・III -2-(ロ)-B[44]~[45] (産業技術総合研究所、他)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MOCVD と HVPE の2つの製膜技術が検討されましたが、今後はどちらかに絞るべきだと考えます。私見では、本プロジェクトで成果のあった HVPE を中心とした展開が望ましいと考えますが、いかがでしょうか？</li> <li>・6 インチへの大型化における問題点と技術確立までの期間についてはいかがでしょうか？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・頂いたご意見の通り、2020 年度開始のプロジェクトでは、HVPE を中心に6 インチへの大型化、量産技術の確立を目指します。</li> <li>・大型化の課題としては、金属原料外部供給技術の開発や6 インチの広範囲で高い反応効率を得られるガス供給ノズルの開発などがあります。</li> </ul>	野瀬委員
資料7-1・III -2-(ロ)-C[12] (宮崎大学、他)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全国の800を超える地点で作業を行い、発電量予測マップを作成されたのは素晴らしいと思います。一方で、昨今のデータ科学手法を使えば、数十点のデータから全国が発電量が予測できそうな気もするのですが、いかがでしょうか。もしそうであれば、世界のいくつかの地点のデータから全世界での予測を行うことも可能になりますか？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日射量に関しては、衛星画像による全世界の予測ができつつあります。</li> <li>いくつかの地上観測データを用いると、その精度を大幅に向上させることが可能になります。</li> <li>上記のためにはデータ科学手法が必須であり、全世界の高精度発電量予測マップの実現を可能にすると考えます。</li> <li>さらに、発電量予測にはスペクトルが重要ですが、スペクトルに関しても、地球温暖化対策のための観測網から得られた大気パラメータ（スペクトルに影響するエアロゾルや水分）の観測値を用いることにより、地球レベルの高精度予測が可能になると考えております。</li> </ul>	野瀬委員

資料7-1・III  
-2-(ロ)-D[40]  
(東京大学、他)

・低電流・高電圧型のセルに関して、現状 32.1%まで効率が向上していますが、さらなる向上のシナリオとして、反射防止膜の最適化だけで目標である 45%を達成できるということでしょうか？

・量子ドット等を利用した中間バンド型太陽電池の場合、効率を最大化させるために、中間バンド→伝導帯への光励起レートを増大させる必要があります。その光生成レートは、中間バンドのキャリア占有率とセル内のフォトン密度に関係し、短絡電流、開放電圧とも中間バンド(IB)のキャリア密度 (QD の密度に比例) と集光倍率に大きく依存します。

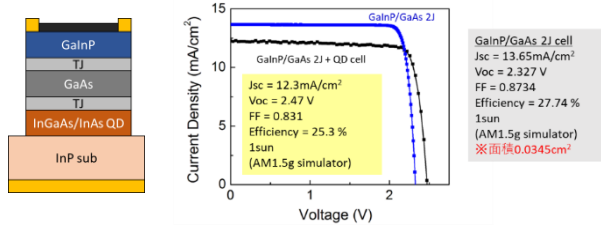
$$G_{CI} = \int_{E_{CI}}^{E_{IV}} \alpha_{CI} f_I(x) F_0(E) \exp(-\alpha_{CI} x_{CI}) dE$$

IB → CB  
光キャリア生成
 $\alpha_{CI}$ 
 $f_I(x)$ 
 $F_0(E)$ 
 $\exp(-\alpha_{CI} x_{CI})$ 
 $dE$

IB 占有率
フォトン密度

中間バンド→伝導帯への光吸収を高めるために、1) 十分な数の QD 埋込と光閉じ込め技術 (フォトン密度の増大)、2) 中間バンド内のキャリアの長寿命化、が不可欠な開発要素になります。したがって、集光は photo-filling 効果により上記1) の条件を実質的に満たすと捉えることができ、本事業で効率 45%を実証するために集光動作が有効かつ必要であると考えました (特に低電流・高電圧型の場合)。

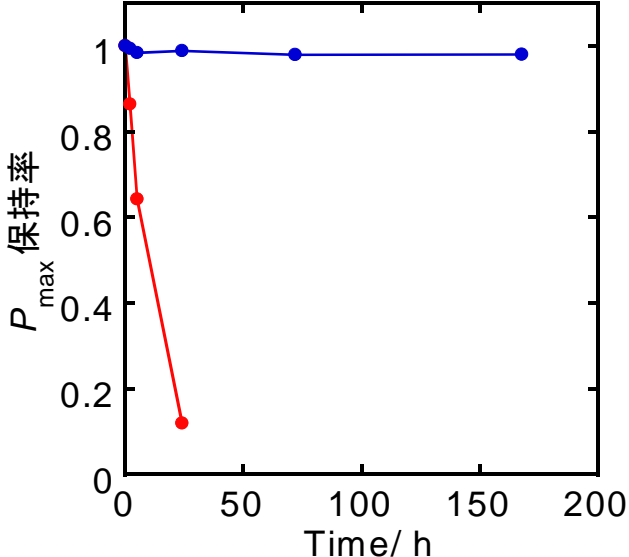
一方、開発した低電流・高電圧型セルでは、225 倍集光で 32.1%の高効率を達成できましたが、I-V 特性から (下図: 非集光で測定)、QD セルの光吸収、電流が十分でなく、ワイドギャップトップセルとの電流整合が取れていないことが分かりました。





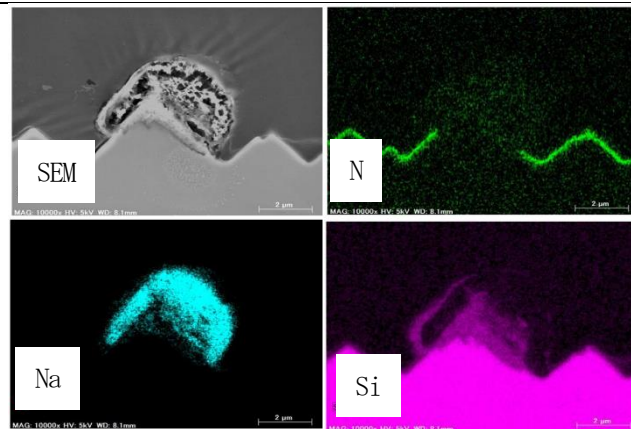
		<p>効率 45%を達成するために、ご指摘の反射防止膜を最適化することに加え、上記 1) の(1)現状よりさらに QD の数を増大する (面内高密度化×多層積層成長)、(2)裏面側に光閉じ込め構造を作りつけ QD 層における近赤外光の吸収を増やす、(3)500 倍以上で集光する、ことで高効率化が見込めると考えています。</p> <p>もう一つのアプローチとして、電流整合条件から解放される 4 端子タンデムセルを検討しました。GaAs をベースとしたボトム QD セルで 12%以上が達成可能で、現状のシャープの 2 接合セル(上図：測定結果 27.7%)を合わせると、非集光でも 40%前後が狙えることを示しました。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="1120 782 1344 1077"> </div> <div data-bbox="1377 790 1758 1093"> </div> </div>	
<p>資料 7-2・ Ⅲ -2-(ハ)-A[6 ] (パナソニック)</p>	<p>・ミックスカチオン (最大 4 つ?) のペロブスカイト層をインクジェット法で作製した際の再現性、歩留まりについてはいかがでしょうか?</p>	<p>・同一条件で作製した 17 枚の 30cm 角モジュール (変換効率 17.93%を達成) で効率分布がほぼ±10%内に収まることを確認しました。 (ホール輸送層はスピコートで形成)</p> <p>・インクジェットでホール輸送層を塗布することで、さらに歩留まり向上の可能性ありと考えております。</p>	<p>野瀬委員</p>

<p>資料7-2・ Ⅲ -2- (ホ)-B[1]</p>	<p>・PIDの抑止は、発電コストの目標（14円/kWh、7円/kWh）に対してどの程度貢献するか？</p>	<p>・今回のNEDO事業の基本計画には、発電コスト14円/kWhを実現するためにはモジュールの出力劣化が25年で20%相当であると定められています。p型結晶シリコン太陽電池においては、PIDにより数年で出力が半減以下になることも報告されていますが、今回のNEDO事業を実施することにより、PIDを完全抑止できる技術を開発できたため、少なくともPIDによる出力低下は起きなくなり、発電コスト目標の達成に大きく貢献します。n型に関しても、リアエミッター型、フロントエミッター型、シリコンヘテロ接合型、裏面電極型の主要な4種のSiセル構造において、30年間の出力劣化を20%以下に抑止可能な条件を見出しており、少なくとも14円/kWh以下の発電コスト目標達成に貢献します。</p>	<p>加藤委員</p>
<p>資料7-2・ Ⅲ -2-(ホ)-B[1], [2], [11] (産業技術総合研究所、他)</p>	<p>・PID現象の遅延メカニズムについて、教えてください。紫外光照射によって、Kセンターの起源であるシリコンのダングリングボンドが減ることにより、伝導度が上がる。→電界が緩和。これと、Naイオンの還元とはどのように考えればよろしいですか？ (Ⅲ-2-(イ)-C[5]ページの図Ⅲ-2-(イ)-C-11では、反射防止膜内を拡散してきたNaが還元されることによってセル内に注入されるように見えます)  ・カバーガラスにも電界がかかることによってNaイオンは拡散してくると考えるのでしょうか？い</p>	<p>・紫外光照射によるPID現象（PID-2）の遅延は、反射防止膜として使用されているSiNx膜のバンドギャップ以上のエネルギーを持つ光を照射した場合しか観測されません。従いまして、光照射によるキャリア励起にともないSiNx膜の導電率が向上することで、SiNx膜に印加される電界が緩和されるためと考えています。なお、Kセンターは電荷蓄積型のPID現象（PID-1）の起源であり、本件とは関係ございません。また、「Naイオンの還元」は、「Naイオンによる透明導電膜の還元」のことかと存じますが、これはヘテロ接合型結晶シリコン太陽電池に固有の現象であり、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1に示す通常型の結晶シリコン太陽電池のPID現象とは異なるものです。  ・カバーガラスに電界が印加されることにより、Naイオンが移動し、封止材を介してセル表面に到達すると</p>	<p>野瀬委員</p>

	<p>わゆる、エレクトロマイグレーション??</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・反射防止膜にかかる電界を遮蔽するセル構造でPID を完全に抑制できることを示すエビデンスを示すことは可能でしょうか?</li> </ul>	<p>考えています。Na イオンの移動は拡散ではなく、ドリフトに起因すると考えています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エビデンスとしては、今回の NEDO 事業の研究成果で取得した特許:公開特許公報 2020-123637 の図 11 の(2)に示すデータが挙げられます。グラフを以下に示します。</li> </ul>  <p style="text-align: center;">PID 試験条件 -2000 V・85°C・2%以下</p>	
<p>資料 7-2・ Ⅲ -2- (ホ)-B[11] (産業技術 総合研究所、 他)</p>	<p>・PID-3 におけるドーム状構造とは、どのようなものがどこにできるでしょうか?</p>	<p>・Na とエミッタ層の Si が反応することにより、SiNx 反射防止膜の一部が破断し、その部分に Si と Na の化合物から成るドーム状構造が形成されます。以下の図を参照願います。</p> <p>また、研究成果を論文として発表しております。資料 7-2 Ⅲ-2-(ホ)-B [25] No. 37 を参照ください。</p>	<p>野瀬委員</p>

・  $\text{In}_2\text{O}_3$  の還元はヘテロ接合型の場合のみに見られるのでしょうか？またその場合、還元剤は非晶質の Si でしょうか？

・ ヘテロ接合型の場合、劣化の進行が遅いのは、非晶質の Si が Na の拡散を抑制しているからでしょうか？



(480 h, -1000 V, 85 °C)

・ 一番目の回答とも関連しますが、 $\text{In}_2\text{O}_3$  の還元はヘテロ接合型の場合のみを観測されます（他の結晶シリコン系太陽電池では  $\text{In}_2\text{O}_3$  透明導電膜を使用していないため、このような現象は観測されません）。還元剤は Na と考えています。

・ 透明導電膜に電界が印加されないため、Na のセル中へのドリフトが抑制されるためではないかと考えています。