

## 2021年度成果報告会

太陽光発電主力電源化推進技術開発

／太陽光発電の新市場創造技術開発

超高効率モジュール技術開発

シャープ(株)、出光興産(株)、大陽日酸(株)

(国研)産業総合技術研究所、(国)東京大学、(株)タカノ

豊田工業大学、(国)名古屋大学、明治大学、(国)宮崎大学

問い合わせ先

シャープ株式会社

E-mail: takamoto.tatsuya@sharp.co.jp

TEL: 050-5433-5018

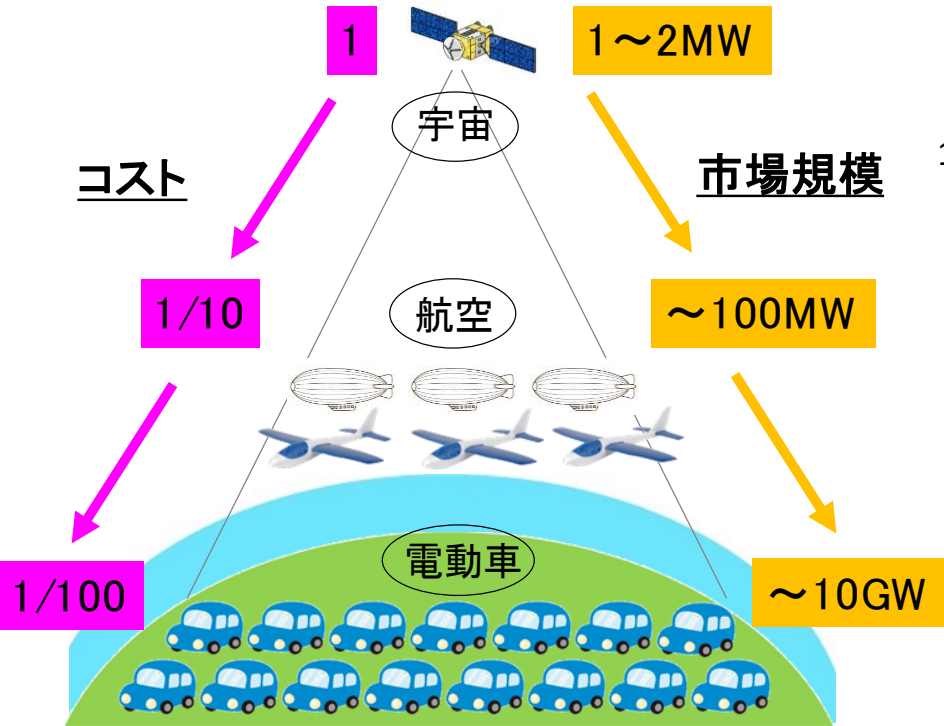
# 開発の意義と事業化シナリオ

## 開発の意義

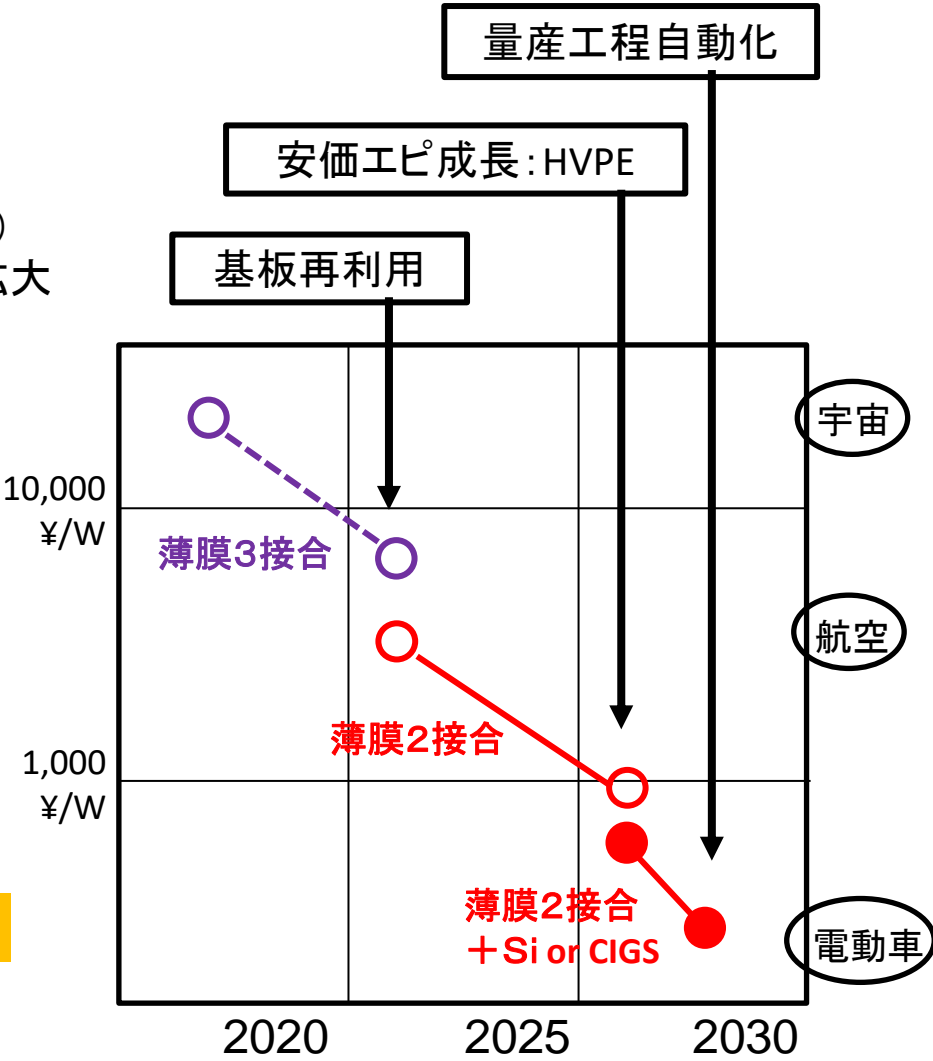
- ◆ 「高度情報化社会通信インフラ構築」  
「輸送部門カーボンニュートラル実現」に貢献

## 事業化シナリオ

- ◆ 化合物太陽電池の低コスト化による用途拡大  
用途拡大(量産効果)による更なる低コスト化
- ◆ 宇宙(衛星)→成層圏(飛行体)→地上(電動車)  
のステップで超高効率が要求されるPV市場を拡大



## <低コスト化の主要技術>



目標(2024年度末)	確認方法
モジュール変換効率35% (AM1.5G)	30cm角、平板モジュール 産総研によるIV測定(ap効率)
曲面(曲率1mを含む)設置	曲面モジュール試作・屋外評価  * 発電量評価、モデル構築に活用
製造コスト200円/W (GWレベル)	製造装置のコンセプト実証 コスト試算

## 第1優先

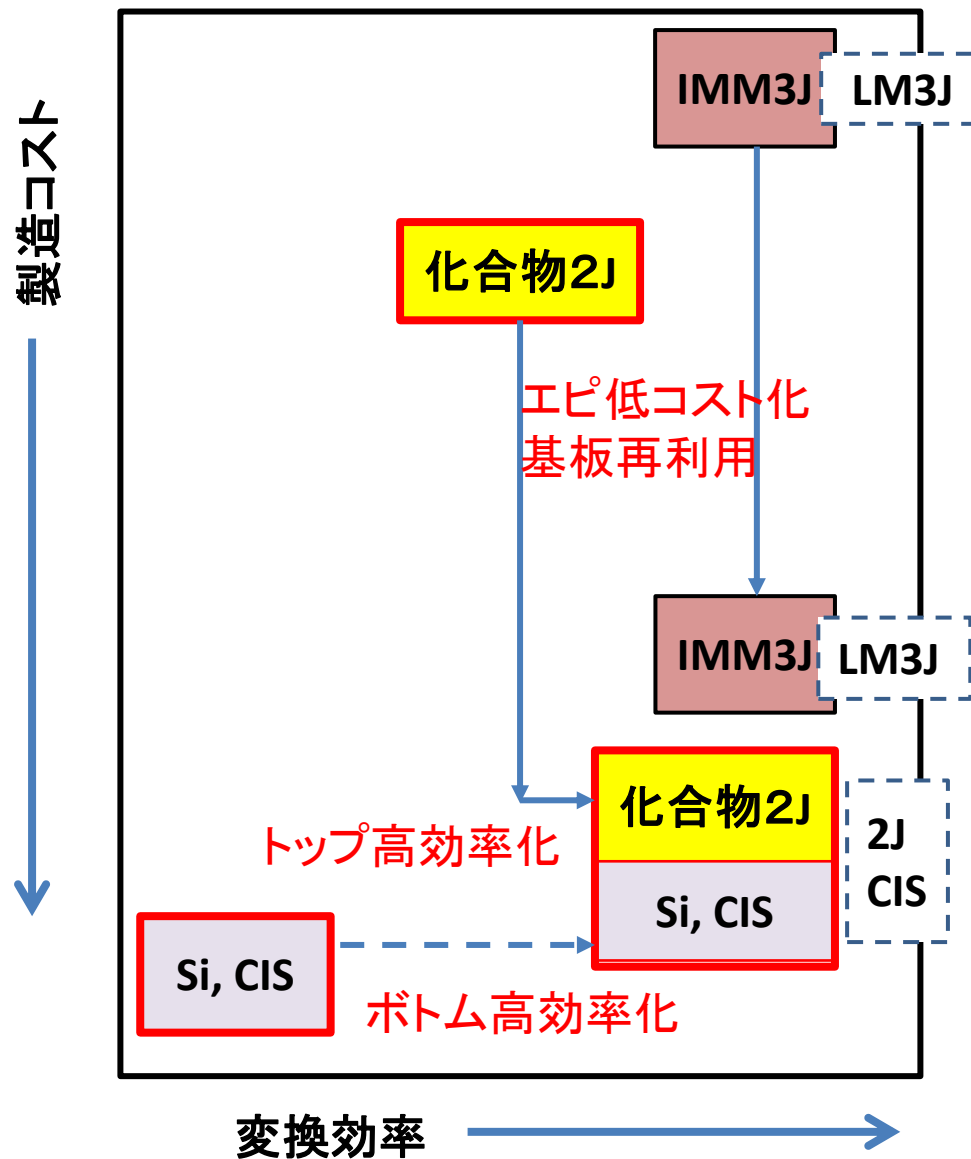
- ①化合物2J+Si or CIS  
(メカニカルスタック4端子)

## 第2優先

- ②IMM3J(2端子)

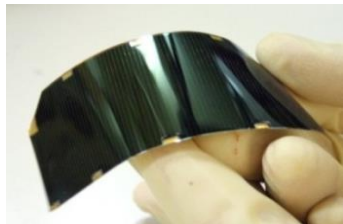
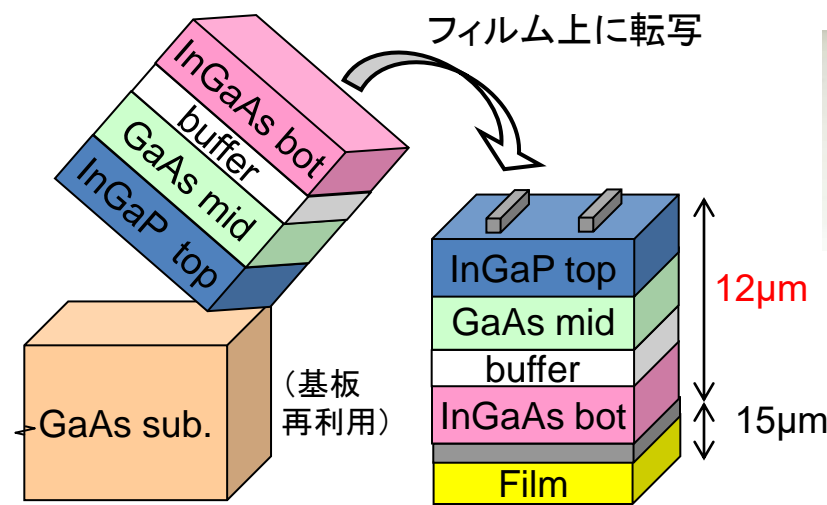
## 第3優先(①②の代替案)

- ③化合物2J+CIS  
(スマートスタック2端子)
- ④LM3J(2端子)



# 開発対象(主なセル構造)

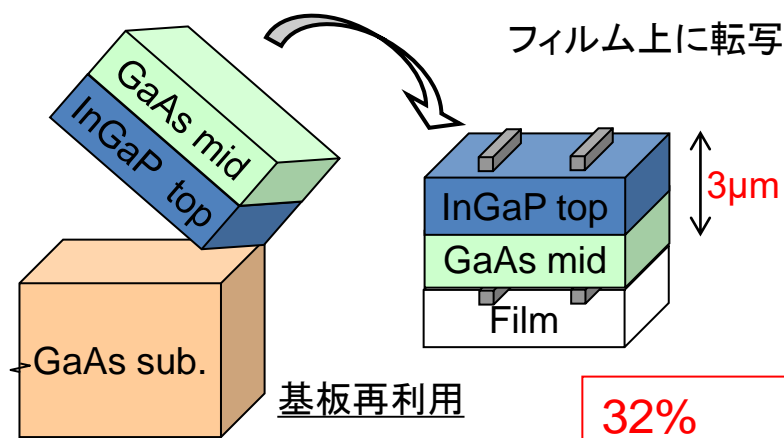
## 薄膜3接合 (IMM3J)



37%

MOCVD成長(→HVPE成長)

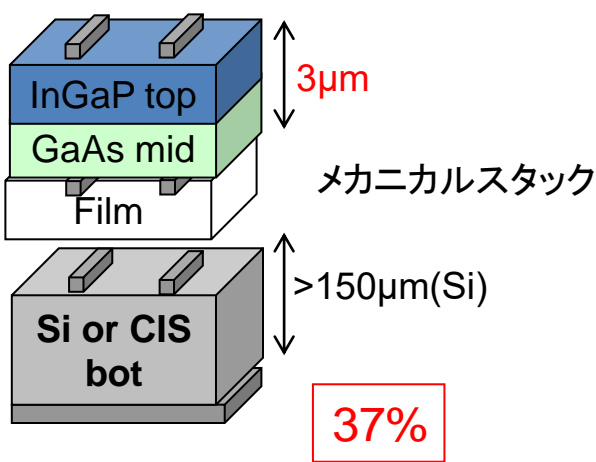
## 化合物(薄膜)2接合



MOCVD成長→HVPE成長

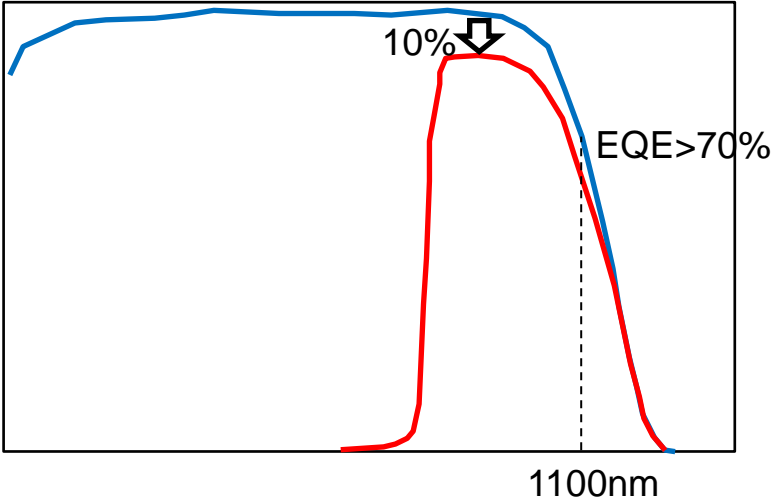
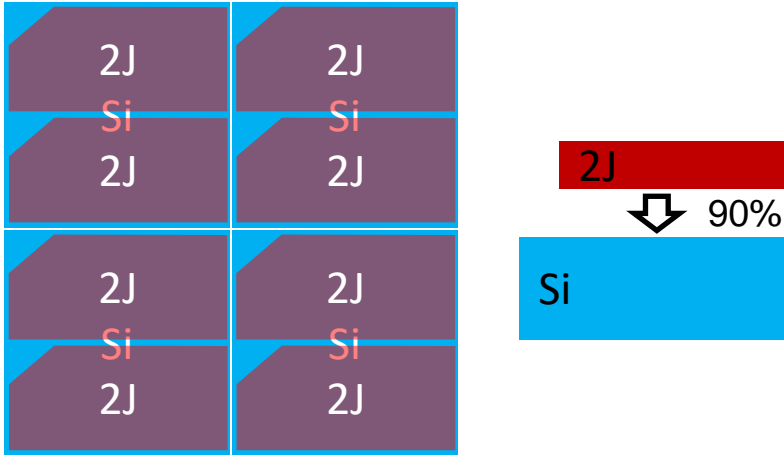
32%  
36% (両面採光)

## 化合物(薄膜)2接合 + Si or CIS



# 4端子モジュール35%達成の条件(性能目標)

## 4端子モジュールイメージ



## モジュール効率35%の達成条件

2J	2J変換効率	32.00%
	2J充填率	0.90
	モジュール内_2J効率	28.80%
Si	2J下のみ_効率	5.90%
	2J付きSi効率(Si全面)	7.85%
	Si充填率	0.98
	モジュール内_Si効率	7.69%
2J+Si	効率_モジュール損失 * なし	36.49%
	効率_モジュール損失 * : 4%	35.03%

## 2J下(平均透過率90%) Siセル5.9%の達成条件

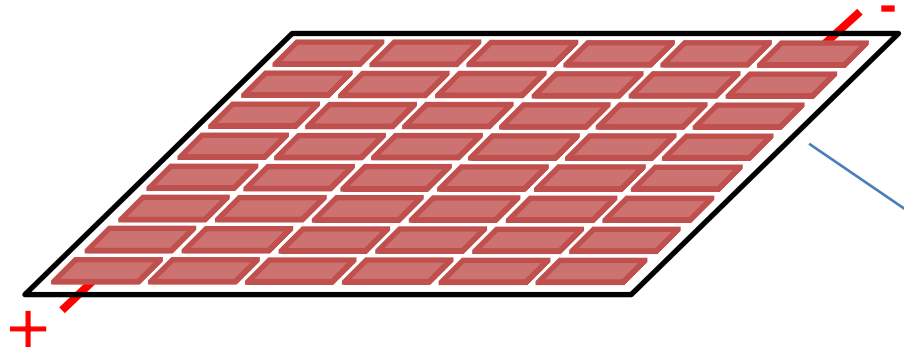
条件	Jsc (mA/cm2)	Voc (V)	FF	Eff. (%)
①	10.23	0.702	0.820	5.89
②	10.85	0.690	0.790	5.91

- ①世界最高並みのVoc(0.738V)とFF(0.849)
- ②長波長感度の向上:EQE@1100nm>70%

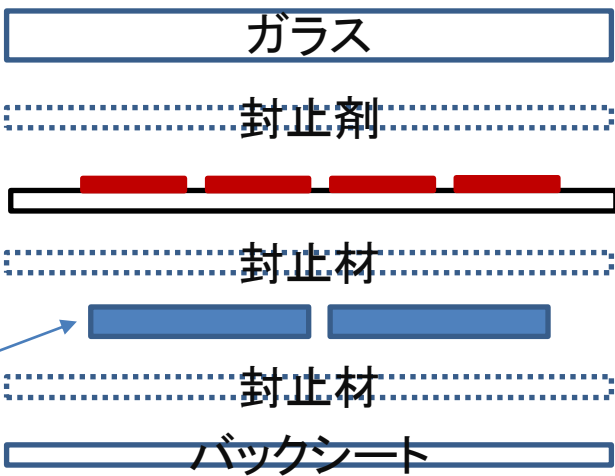
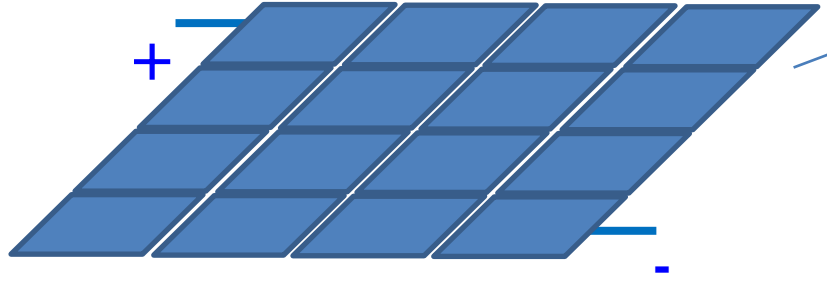
\* モジュール損失: 表面反射等光学損失、抵抗損失

# 4端子モジュールイメージ

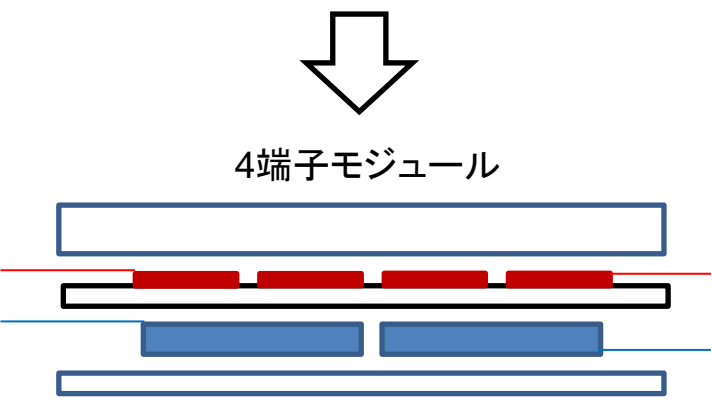
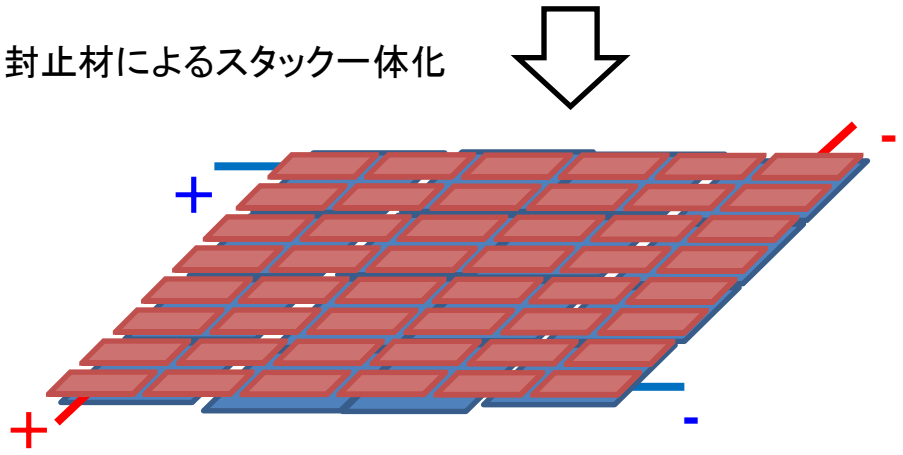
トップ化合物2J(透過型)サブモジュールの作製



ボトム用Siストリングの作製



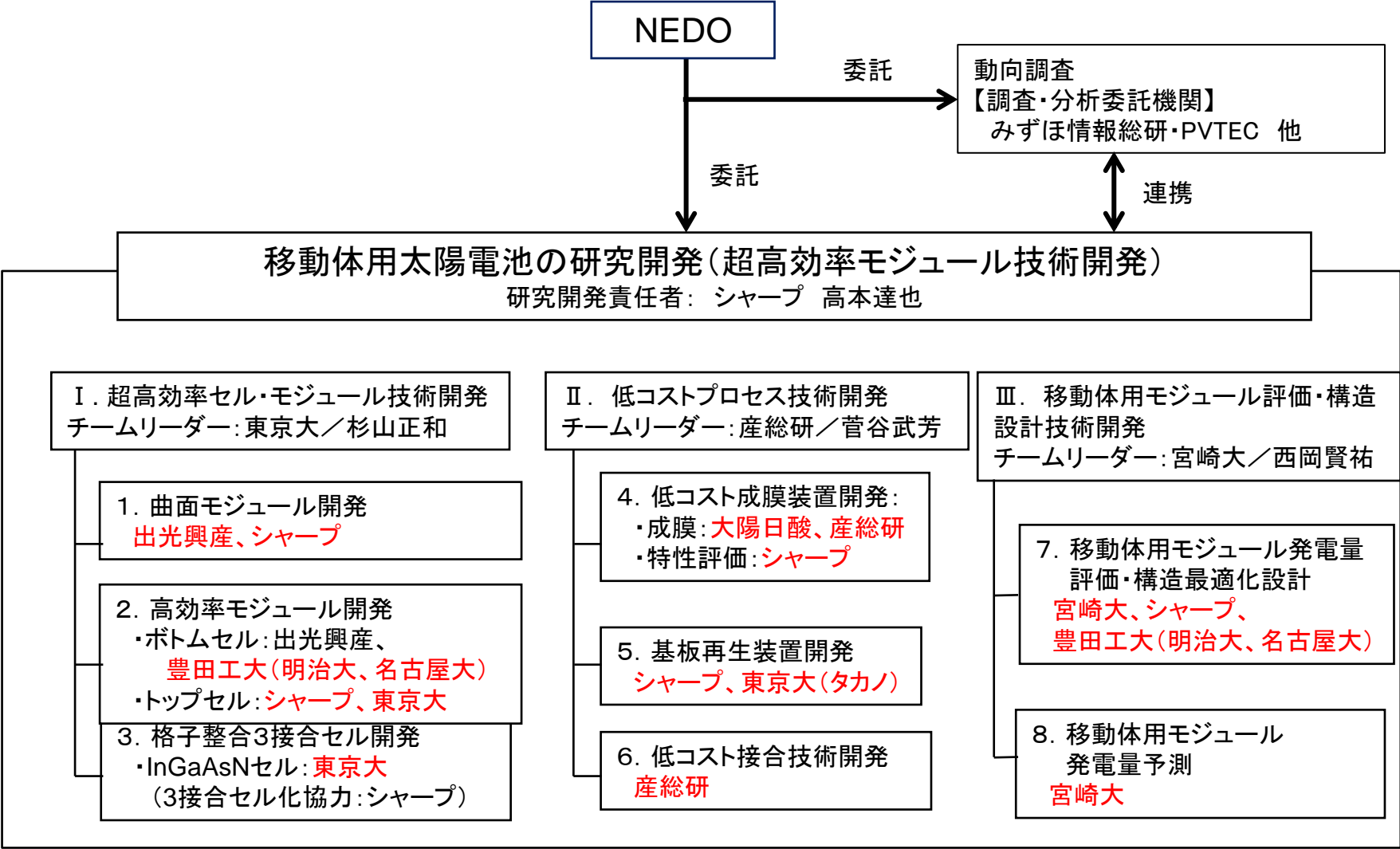
化合物2JサブモジュールとSiストリングを  
封止材によるスタック、モジュール化



# プロジェクト中間目標および最終目標

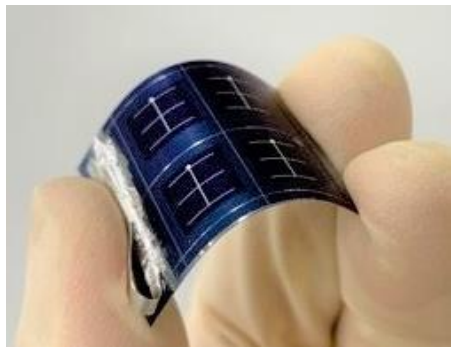
Gr	開発項目	中間目標 (2022年度末)	最終目標 (2024年度末)
I	1. 曲面モジュール	変換効率33%と同等のセルを用いた3D曲面モジュール(曲率半径1mを含む)の作製	変換効率35%と同等のセルを用いた3D曲面モジュール(曲率半径1mを含む)の作製
	2. 高効率モジュール	変換効率33%モジュール作製(30cmx30cm平板)	変換効率35%モジュール作製(30cmx30cm平板)
	3. 格子整合3接合セル	格子整合3接合動作と効率37%に資するサブセル特性の実証	格子整合3接合セル効率37%
II	4. HVPE (低コスト成膜装置)	モジュールコスト200円/Wを達成するための高速成膜装置試作および要素技術構築	モジュールコスト200円/Wを達成するための高速成膜装置の実証
	5. ELO (基板再生装置)	多数枚処理可能な装置設計のための要素技術開発完了	多数枚処理可能な装置作製、動作検証
	6. スマートスタック (低コスト接合技術)	大面積(2インチ)GaAsセルとCl(G)Sボトムセルとの接合実証	大面積(4インチ)GaAsセルとCl(G)Sボトムセルとの接合実証
III	7. 発電量評価	移動体用モジュールの屋外実環境下における評価・解析技術の確立	実証データ評価・解析結果に基づくモジュール効率35%実現のための最適化設計指針
	8. 発電量予測	実証データに基づく移動体用モジュール発電量予測のための要素技術開発	実証データに基づく移動体用モジュール発電量予測モデルの確立





## □ 金属箔上CIS太陽電池の開発

厚さ0.1 mmの可撓性金属箔上CIS太陽電池を開発

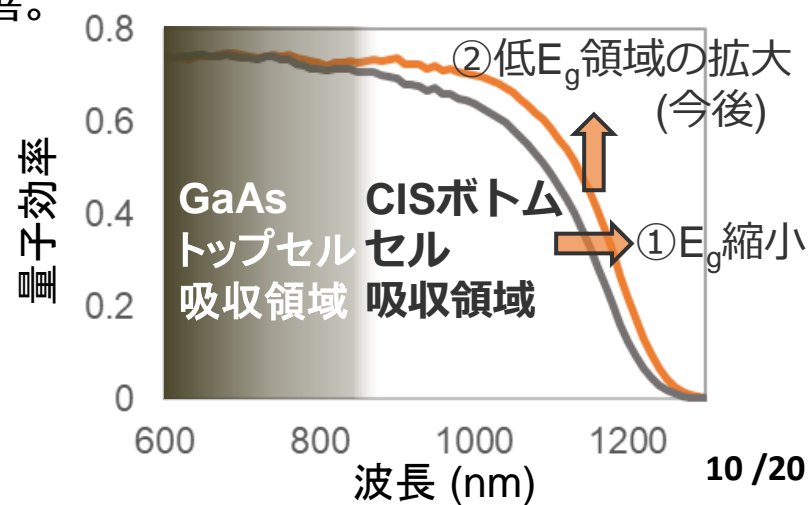
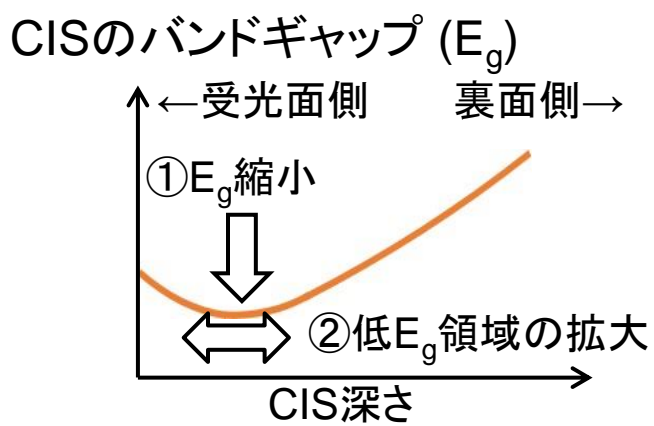


セル効率 (社内評価結果)  
AM1.5G基準光下 : > 18%  
GaAsフィルター下 : 4.2%

→ 中間目標のGaAsフィルター下 5.5%実現のため、  
CISのバンドギャップ制御に着手。

## □ 金属箔上CISのバンドギャップ制御技術の開発

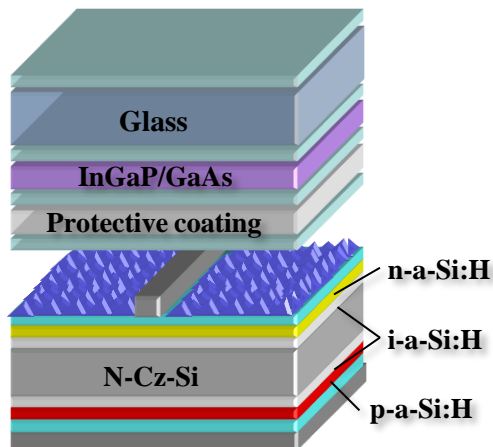
- ・ボトムセルの高効率化には①CISのバンドギャップ ( $E_g$ ) の縮小および②低 $E_g$ 領域の拡大が有効。
- ・現状、プロセス調整により①を実現し、長波長側の量子効率の改善を確認。
- ・今後の課題は②の実現による量子効率の一層の改善。



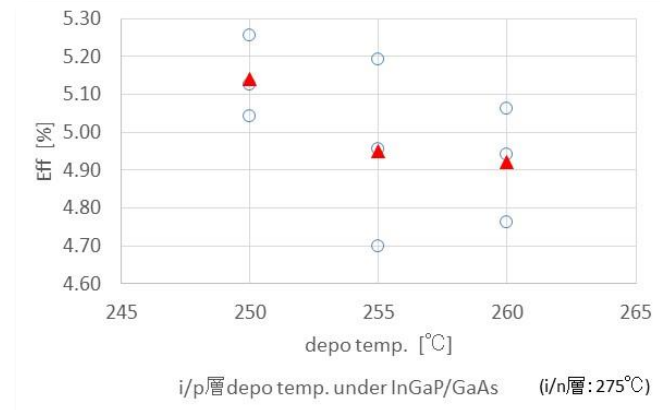
1sun効率23%セルのフィルタ下効率が**5.0%**になることを確認

第6次試作セル	Isc [A]	Jsc [mA/cm <sup>2</sup> ]	Voc [V]	FF	η [%]
1 sun	0.899	39.0	0.719	0.820	23.0
GaAs filter 下	0.215	9.32	0.678	0.798	<b>5.04</b>

さらに**ボトム**としてのセル構造・プロセス最適化検討



- Texture形状改善
- pn接合位置検討
- TCO長波長光透過率向上  
および仕事関数調整
- ARC改善による光閉じ込め  
技術の深化
- アモルファス層改善によるキ  
ャリア閉じ込め技術の深化



第7次試作セル	Isc [A]	Jsc [mA/cm <sup>2</sup> ]	Voc [V]	FF	η [%]
1 sun	0.911	39.5	0.722	0.805	23.0
GaAs filter 下	0.217	9.43	0.684	0.815	<b>5.26</b>

1sun効率同等ながら**ボトム**特性改善。フィルタ下効率**5.26%**に向上

■逆積み裏面ヘテロGaAsセル  
・BASE層厚による特性比較

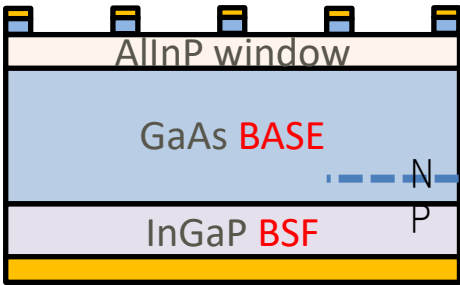


図 裏面ヘテロGaAs構造

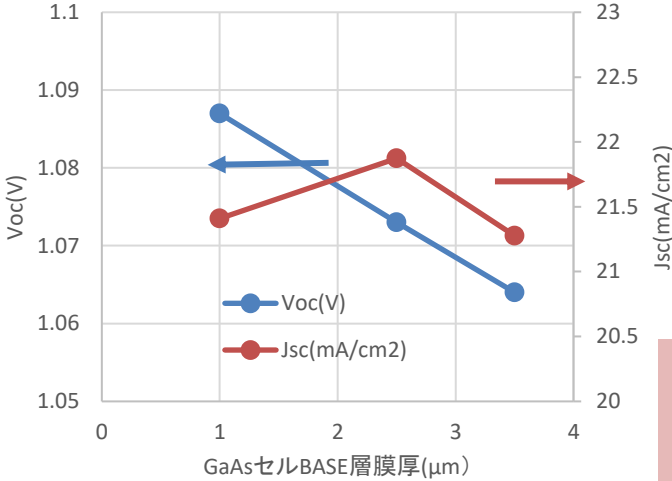
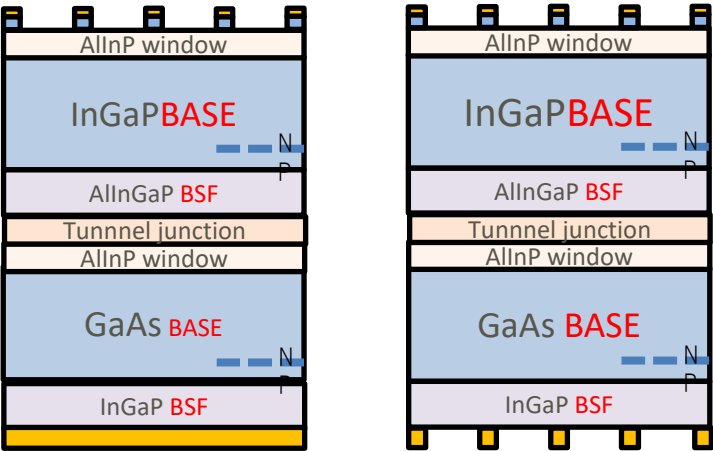


図 BASE層膜厚とVoc , Jscの関係

Jscは2.5  $\mu$ m付近が最大  
Vocは右肩下がり

引き続き検討実施  
東大でシミュレーション実施  
⇒ シャープで試作確認

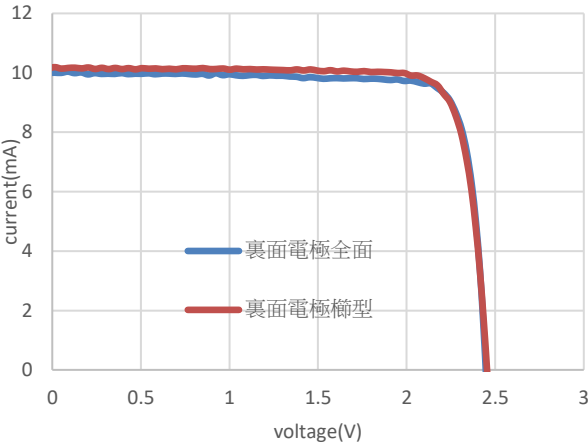
■逆積み裏面ヘテロInGaP/GaAsセル  
・透過型セルに向けた裏面構造検討



裏面電極全面

裏面電極楕型

図 裏面ヘテロ InGaP/GaAs構造


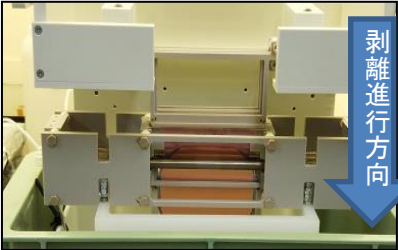
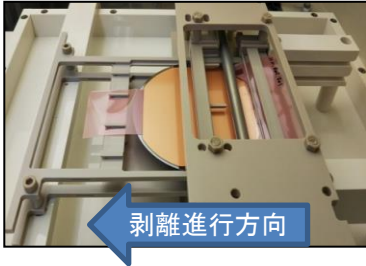
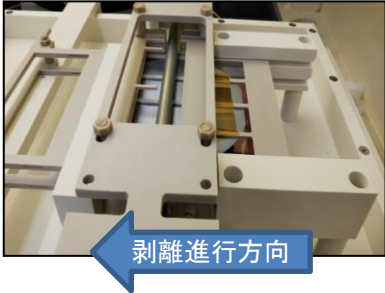


・Vocが単セルの和よりも  
やや低い  
・裏面電極による特性の  
違い無

・設計、仕上りの齟齬  
確認。  
・Jsc向上への取組開始

裏面電極形状	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF (%)	Eff (%)
全面	10.00	2.447	84.2	20.63
楕型	10.18	2.454	83.5	20.85

・剥離方向の異なる4方式の量産適正を評価  
⇒鉛直上方向を選択

	鉛直上方向	鉛直下方向	水平方向 ウエハ表面上	水平方向 ウエハ表面下
装置 外観				
剥離 品質	均一に全面剥離可	エッチングが進行しない 箇所あり	均一に全面剥離可	観察できないため均一 性不明 全面剥離は可
剥離 速度	13mm/H	全面剥離不可	13.5mm/H	観察できないため不明
PH サイズ	127 $\mu$ m	—	175 $\mu$ m	215 $\mu$ m
量産装置化 適正※	○	○	△	×

※ 自動化を考慮し、装置サイズの大小、部品点数の多少、設計容易性で評価

■多数枚処理の検討

- ・多数枚同時剥離ジグを導入
- ・多数枚処理での剥離品質を評価中

剥離方向鉛直上向方式で最大7枚同時処理可能な治具を製作した  
現状の課題はサンプル位置によって剥離品質が異なること → 条件出し等で解決を目指す

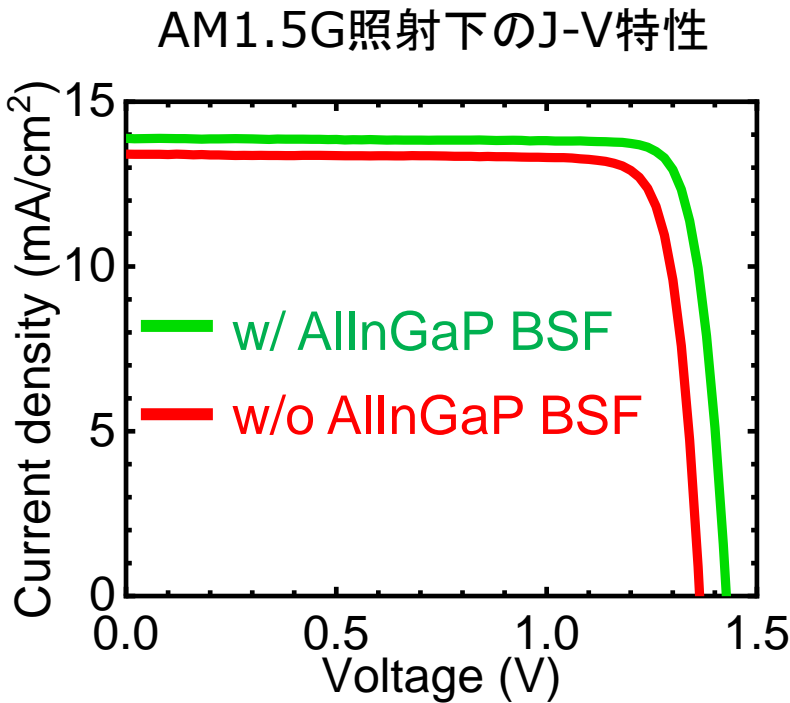
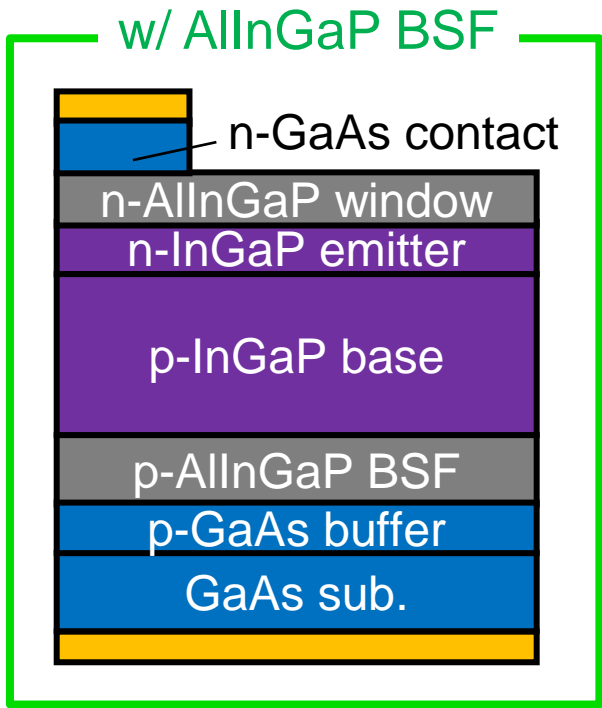


多数枚同時剥離ジグ

		
2/7枚目位置	3/7枚目位置	4/7枚目位置
クラック発生 (進行不均一起因)	クラック発生 (進行不均一起因)	問題なし

多数枚同時剥離時の剥離後薄膜

InGaPセルの高効率化：AlInGaP BSFの導入



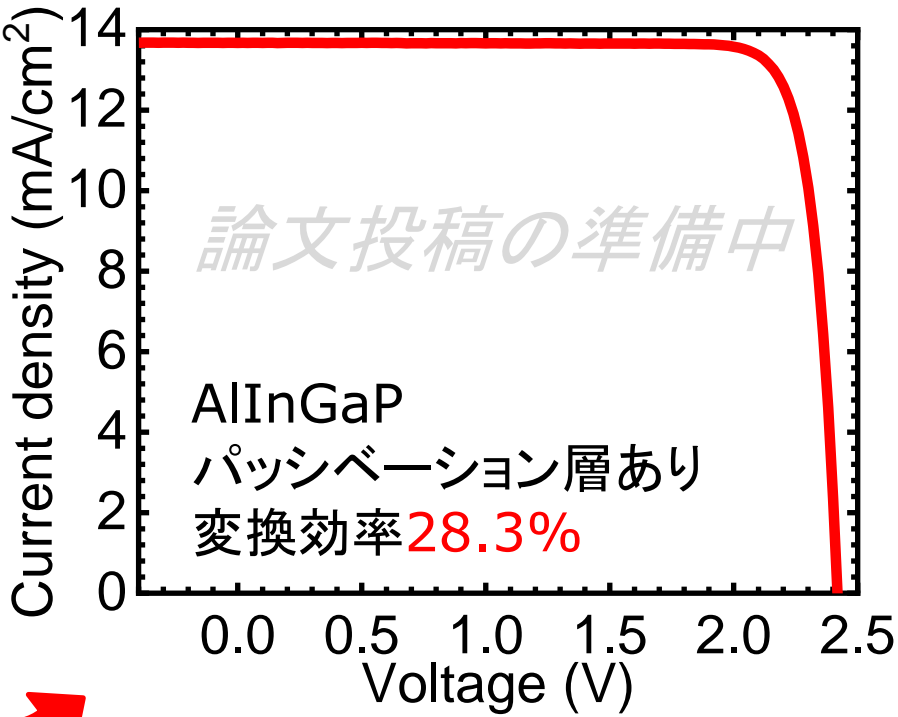
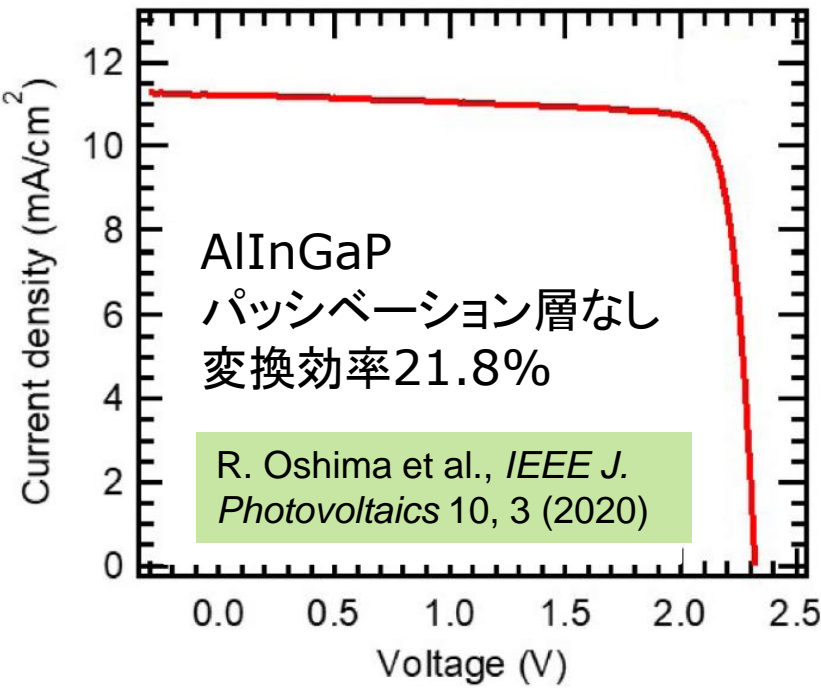
Sample	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	FF (-)	Efficiency (%)
w/ AlInGaP BSF	13.91	1.427	0.859	17.1
w/o AlInGaP BSF	13.41	1.364	0.849	15.5

AllInGaP BSF層の導入に成功し、InGaPセルVocを向上



InGaP/GaAs 2Jセルの高効率化: AlInGaP BSFの導入

電流電圧特性



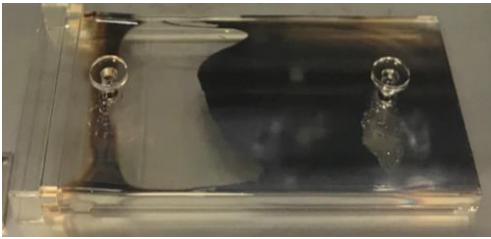
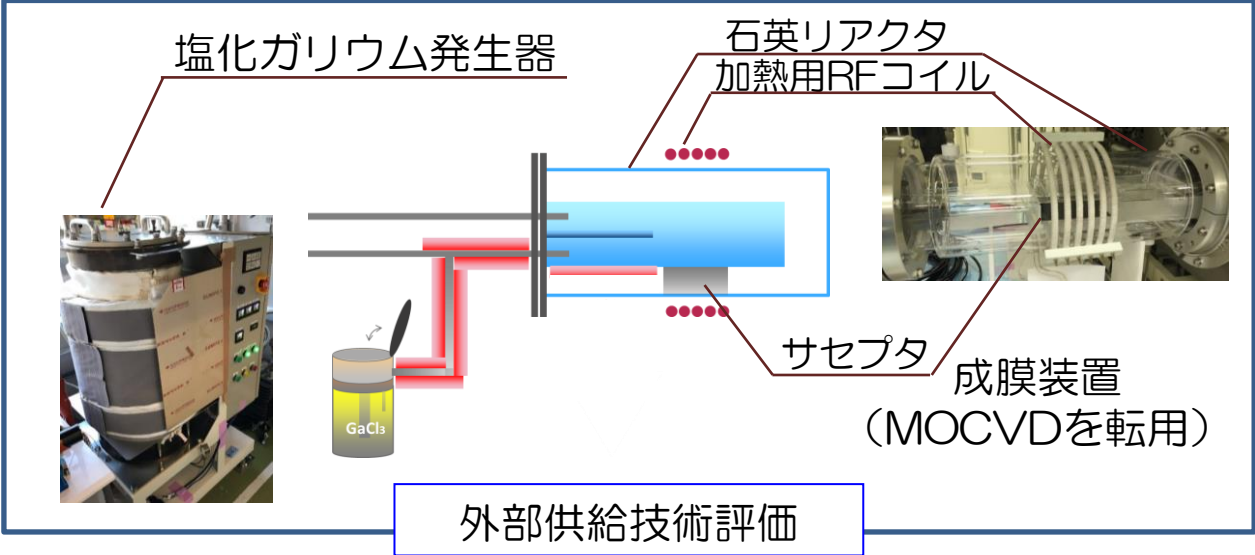
改善

HVPE法で作製の太陽電池として世界最高効率(28.3%)を達成



	III原料ガス供給方式		Ga系/In系成長領域		量産性課題	
	外部	内部（高温）	同一	分離	材料利用率	量産機構
MOCVD方式	●		●		低	簡便
HVPE新方式(案1)	●		●		高	↑
HVPE新方式(案2)		●	●		高	
HVPE現行方式		●		●	高	複雑

HVPE量産機(案1)コンセプト検証のための外部供給方式の評価



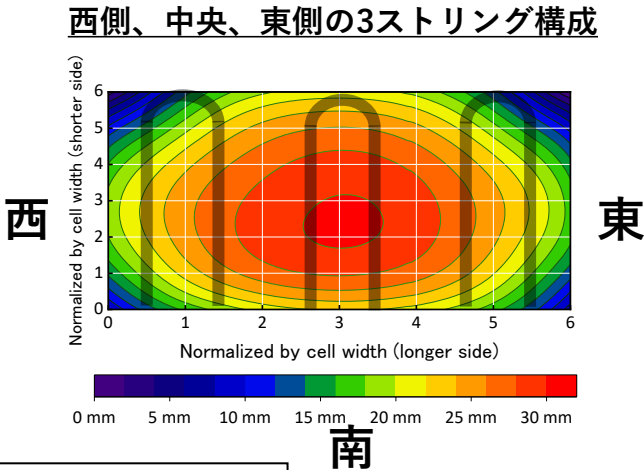
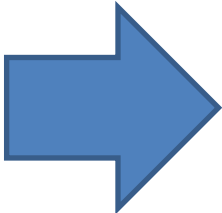
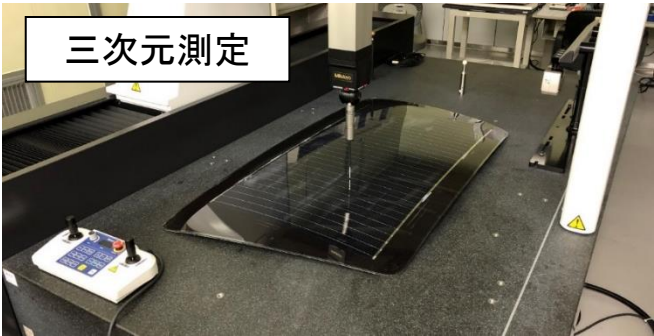
良好な成長は得られず

Gaの炉内デポ ×

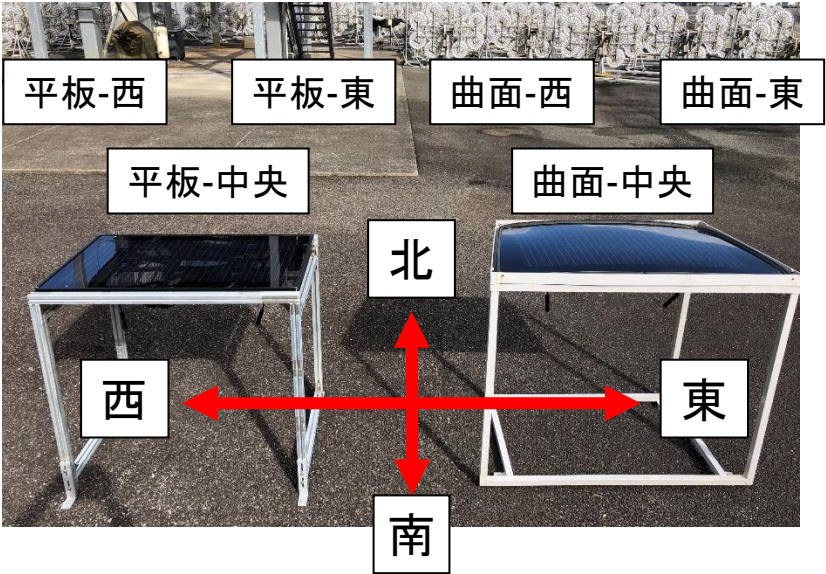
成長速度減 ×

案1を断念し、案2の設計・シミュレーション・製作を予定

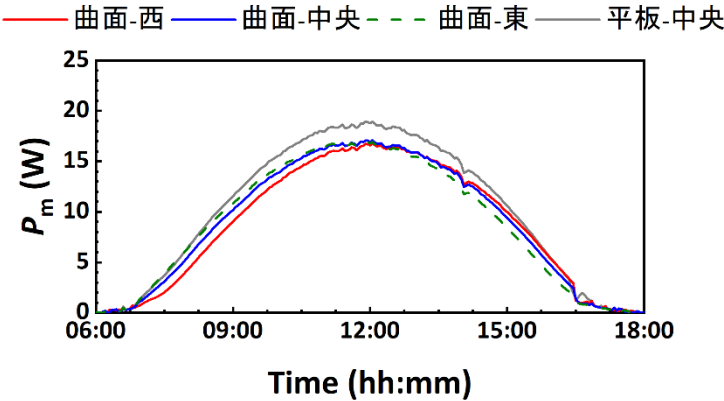
曲面モジュール発電評価



3次元測定からモジュールの幾何学モデルを決定



屋外設置状況



	1日積算発電量 (平板モジュールとの比)
平板-中央	120.5 Wh
曲面-西	104.3 Wh (0.87)
曲面-中央	107.5 Wh (0.89)
曲面-東	106.6 Wh (0.88)

移動体PVへの影の影響と天空カメラを用いた日射量予測

太陽の円盤をどれだけ遮蔽物が遮ったか

	日射量	発電量	PR	動的部分日影確率
開放区間	37 Wh/m <sup>2</sup>	5 Wh	1.02	11.1%
ビル街区間	56 Wh/m <sup>2</sup>	8 Wh	1.03	5.7%
住宅街区間	50 Wh/m <sup>2</sup>	6 Wh	0.88	57.7%

影が大きく部分日影が生じにくい

影が細かく部分日影が生じやすい

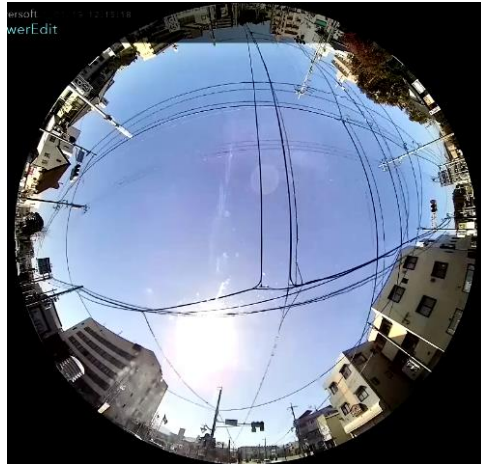
開放区間



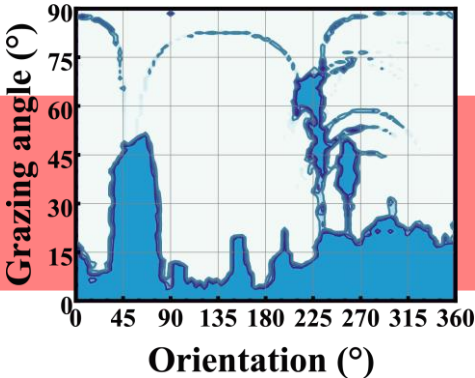
ビル街区間



住宅街区間



魚眼レンズによる天空の撮影



建物高さと方位・角度の抽出

周辺遮蔽物を考慮した  
日射量推定

分布をもとに日射量を計算

まとめ

Gr	開発項目	これまでの成果	今後の課題
I	1. 曲面モジュール	<ul style="list-style-type: none"><li>・Siモジュール試作 (R=3m)</li><li>・CISセル(ガラス薄型、金属箔上)試作</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・2J+Siの試作、R=1m</li><li>・CISモジュール設計、曲面对応</li></ul>
	2. 高効率モジュール	<ul style="list-style-type: none"><li>・Siセル(&gt;23%) : GaAsフィルター下で5.26%</li><li>・CISセル(18%) : GaAsフィルター下で4.2%</li><li>・InGaPセル、GaAsセルのVoc向上</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ボトムセル長波長感度の向上</li><li>・InGaP/GaAs2Jセル高効率化確認</li></ul>
	3. 格子整合3接合セル	<ul style="list-style-type: none"><li>・MQW-GaInGaAsN(1eV)のエピ層試作</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・MQW-GaInGaAsN(1eV)セル特性評価</li></ul>
II	4. HVPE	<ul style="list-style-type: none"><li>・AlInGaP窓層・BSF層導入で2J効率28.3%</li><li>・Ga原料の外部供給検討→外部供給NG</li><li>・量産機的设计</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・AlInP窓層の導入検討(目標30%)</li><li>・Ga内部供給によるエピ成長装置設計</li><li>・量産機の製作</li></ul>
	5. ELO	<ul style="list-style-type: none"><li>・高速ELO(50mm/h)の実施</li><li>・量産向け2方式(コンセプト)の絞込み</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・高速ELOの確認、コンセプト検証、導入</li><li>・量産コンセプト機の試作</li></ul>
	6. スマートスタック	<ul style="list-style-type: none"><li>・粘着剤併用による平坦性要求の緩和</li><li>28.06%スタックセルの実証</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・大面積化課題抽出、ELOプロセス改善</li><li>・汎用CIGSセルへのスタック性向上</li></ul>
III	7. 発電量評価	<ul style="list-style-type: none"><li>・移動体PV評価、計測の準備を完了</li><li>・車載PV有効性の試算、評価</li><li>・Si曲面モジュールの屋外測定開始</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・走行時発電データの取得・解析</li><li>・走行条件下、解析モデル精度向上</li></ul>
	8. 発電量予測	<ul style="list-style-type: none"><li>・移動体搭載実証データの蓄積および解析開始</li><li>・移動体搭載カメラによる日射遮蔽の定量化開始</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・発電量に影響する各要素の定量評価</li><li>・発電量モデルの精度の向上</li></ul>