

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発
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

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

長井 俊樹

コマツNTC株式会社
2019年10月18日(金)

問い合わせ先
コマツNTC株式会社
E-mail:nagai.t@global.komatsu
TEL:0763-22-1356

事業概要

1. 期間 開始 : 2015年 5月
 終了(予定) : 2020年 2月

2. 最終目標 3.成果・進捗概要

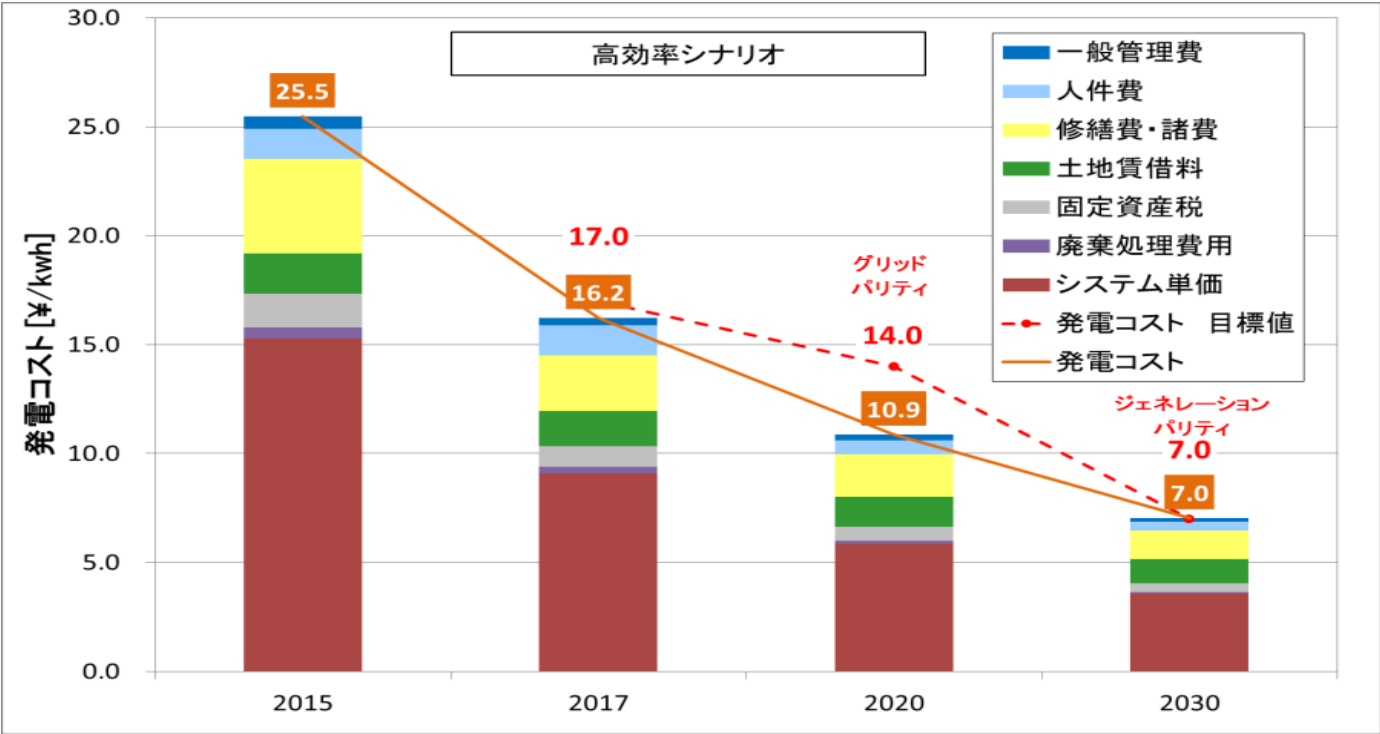
開発項目	最終目標	現在の達成状況
①結晶系太陽電池の 発電効率向上	連携大学先 試作セル25%	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率が異なる太陽電池セルを解析し、一部の発電効率悪化原因はウェーハスライスプロセスで生じる不良が起因していることを確認した。 ・ウェーハの結晶状態をラマン分光法で評価し、スライスプロセスのコントロールにより、結晶状態に明らかな違いがあることを確認した。 基板表面状態の違いによる発電効率低下や後工程のダメージ層取代への影響が懸念されることを見出した。
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 1) 基板薄板化	基板厚さ50 μ m 上記モジュール試作	<基礎技術> ・狭ピッチ溝形成技術において、最終目標値であるピッチ0.110mmが可能となる加工技術を構築した。 ・カーフロス40 μ mとなる固定砥粒ワイヤの製造が可能であることを確認した。 ・研削による代替手法にて薄型基板を作成し、厚さ70 μ m程度まで発電効率が維持出来ることを確認した。 <スライス技術> ・切断ピッチ0.150mmまでのスライス技術を構築した。 (ウェーハ厚さ90 μ m/カーフロス60 μ m) ・改善条件でのウェーハは、柔軟性が高く、かつ抗折強度を保つことを確認した。
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 2) 省カーフロス	カーフロス60 μ m (使用芯線径50 μ m) スライスコストの低減 (18円/枚)	
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 1+2) 狭切断ピッチ	切断ピッチ0.110mm	

① 開発の狙い

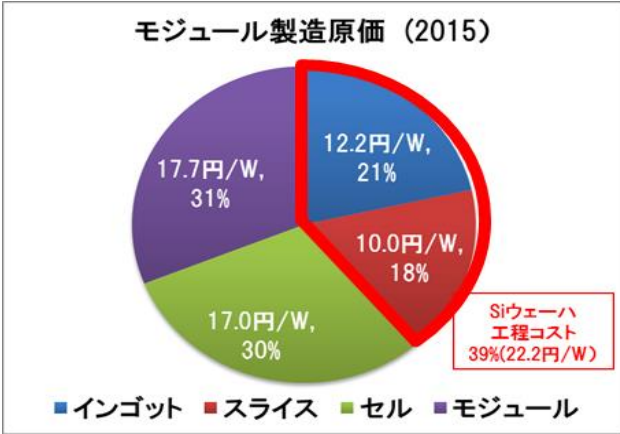
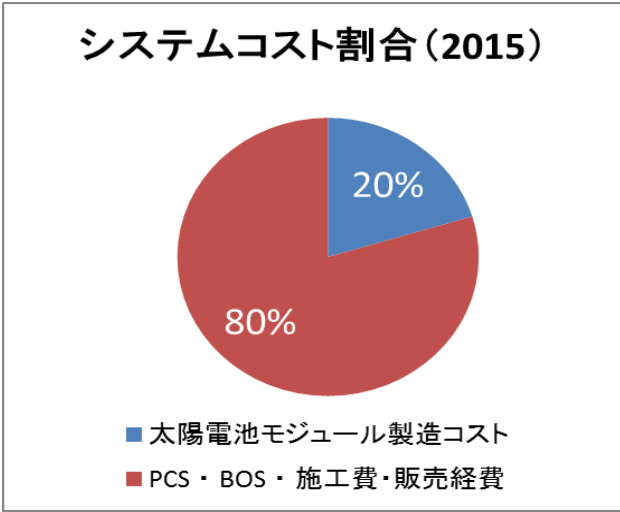
◆太陽光発電開発戦略の具現化

発電コスト低減シナリオ

連携大学と発電コスト低減のシナリオを共有
⇒高効率／長寿命／低コスト化 で 7円/kWhの達成が可能
⇒ウェーハ厚さや加工費の低減は必須課題



項目	2015年	2017年	2020年	2030年
セル効率	20.0%	23.0%	25.0%	26.5%
モジュール効率	17.7%	20.4%	22.1%	25.0%
寿命	20年	20年	25年	30年
ウェーハ厚	100μm	100μm	50μm	50μm
ウェーハ加工費	¥47.0/枚	¥22.0/枚	¥19.0/枚	¥18.0/枚



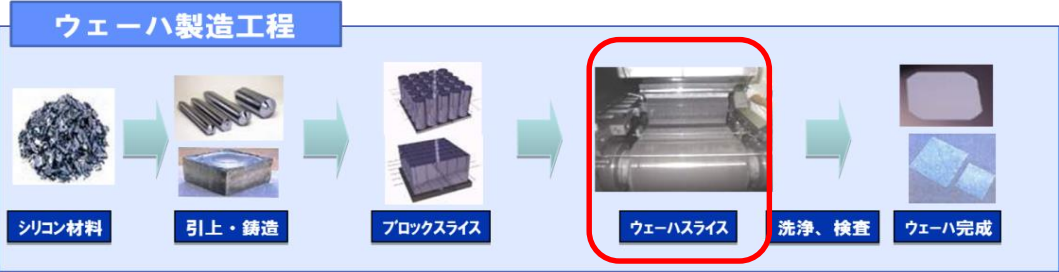
① 開発の狙い

◆ワイヤソーライス開発項目と発電コストへの影響

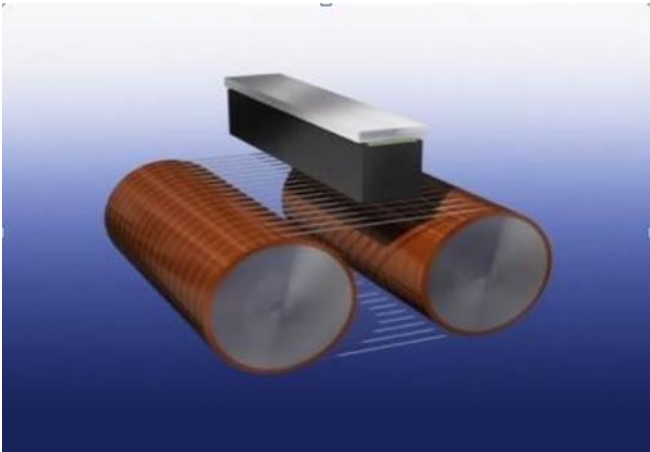
太陽電池発電コスト低減に寄与できる

- ・発電効率向上
- ・シリコン基板(ウェーハ)の薄板化
- ・カーフロス(切り代)の最小化
- ・スライス加工費削減

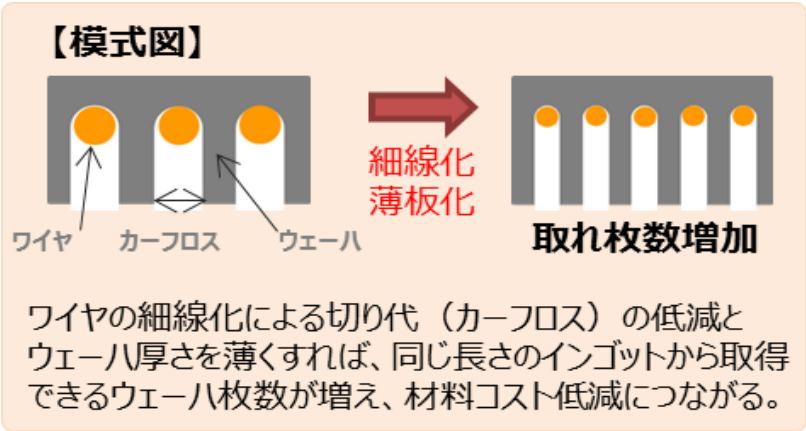
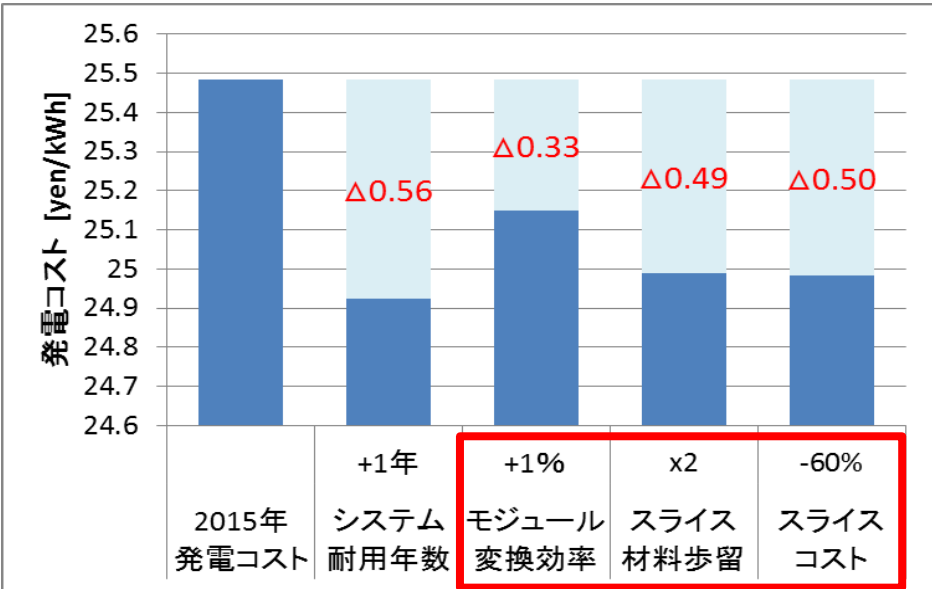
のためのスライス技術開発が必要



ウェーハスライス模式図

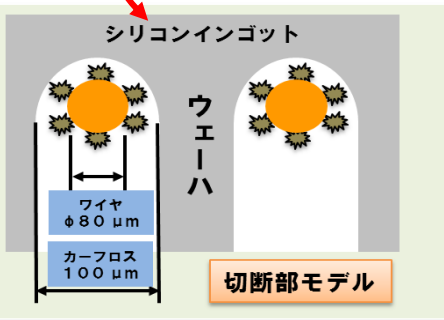
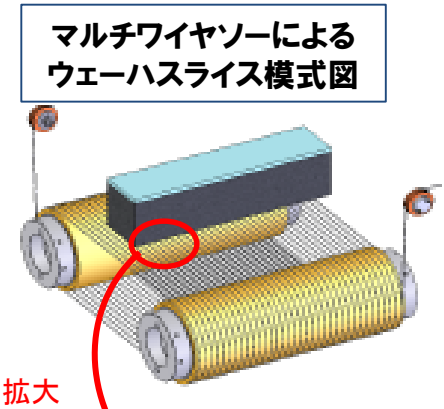


発電コスト低減への寄与度



② 開発内容・開発体制

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（コマツNTC株式会社）



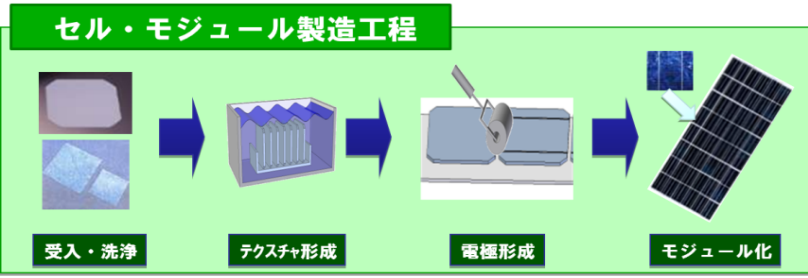
①発電効率向上 低ダメージ・高発電効率表面品位 スライス技術の構築

課題	現状	最終目標
発電効率	21%	25%以上
欠陥・汚染	不明	影響明確化

②製造コスト低減＝切断ピッチ狭小化 ②－1)極薄太陽電池ウェーハ ②－2)極細固定砥粒ワイヤ スライス技術の構築

課題	2015先端 技術	最終目標
1)ウェーハ厚さ	100μm	(70)～ 50μm
2)カーフロス	100μm	60～ (40)μm
1+2)切断ピッチ	200μm	110μm

連携先



連携①

①連携先：
豊田工大・明治大・九州大

- ・スライスプロセスが及ぼす、太陽電池セル性能に与える影響の明確化と改善
- ・低コストシリコン結晶への適応性確認

連携②

②－1. 連携先：
産業技術総合研究所

- ・極薄ウェーハによるセル／モジュール製作における課題の明確化と改善

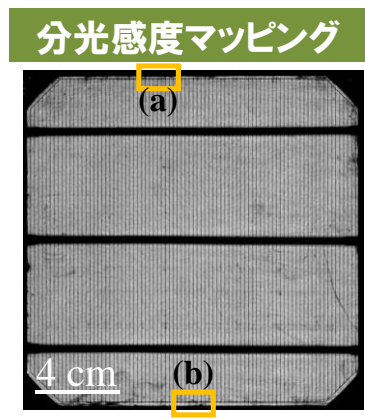
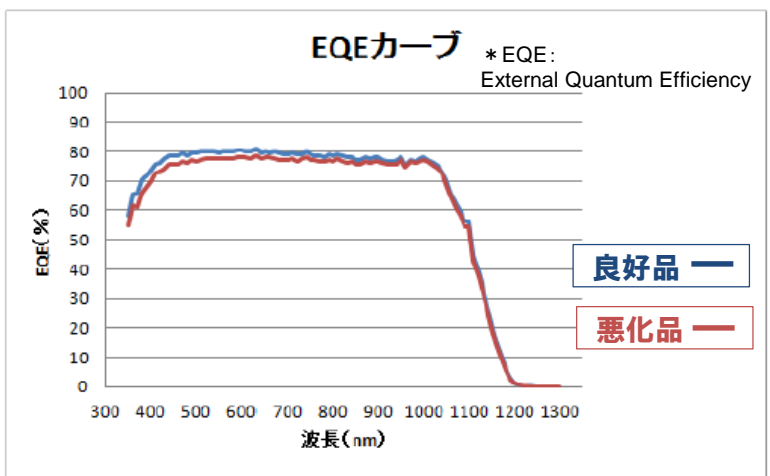
③ 開発スケジュール

項目	2015年度				2016年度				2017年度				2018年度				2019年度			
	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
①結晶系太陽電池の 発電効率向上	表面性状・汚染基礎評価／改善技術構築																			
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減	ウェーハ厚さ100 μ m後工程歩留り向上技術構築																			
1) 基板薄板化	ウェーハ厚さ75 μ m加工技術構築																			
	ウェーハ厚さ50 μ m加工技術構築																			
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減	カーフロス75 μ m加工技術構築																			
2) 省カーフロス	カーフロス60 μ m加工技術構築																			
	カーフロス50 μ m以下加工技術構築																			
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減	ピッチ150 μ m加工技術構築																			
3) 狭切断ピッチ	ピッチ130 μ m加工技術構築																			
	ピッチ110 μ m加工技術構築																			

④ 開発成果 <発電効率向上>

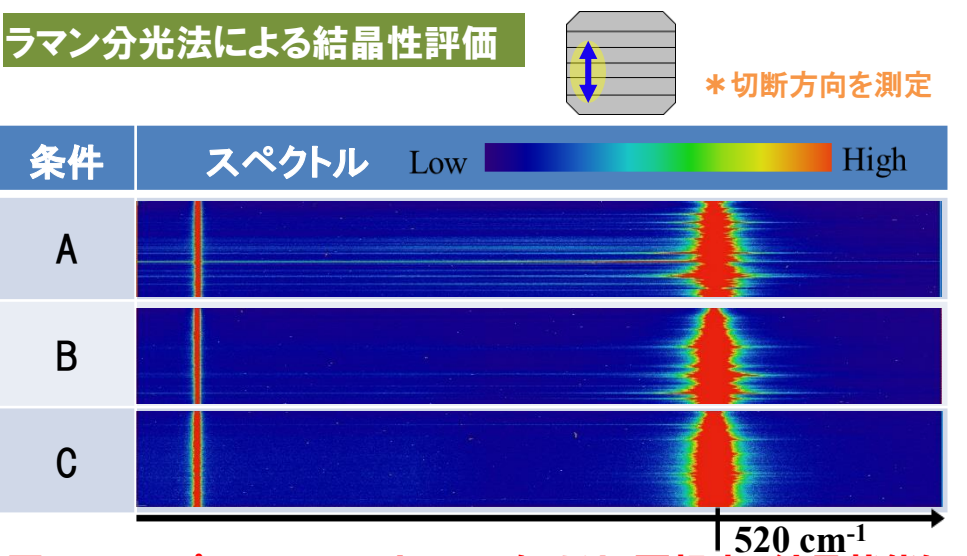
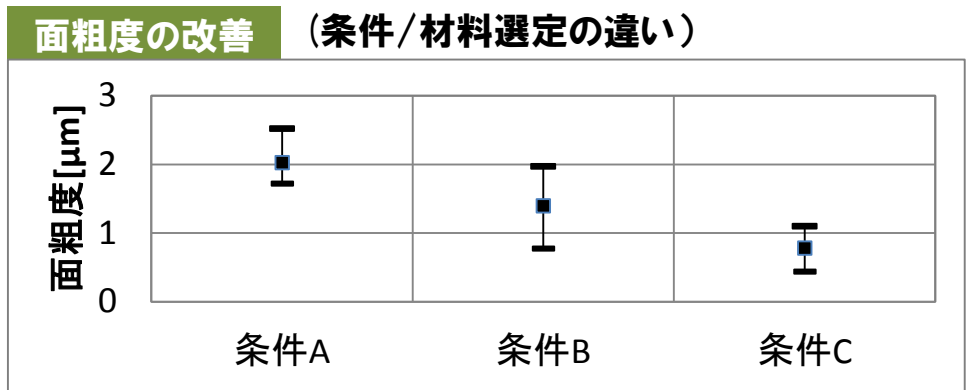
◆発電効率悪化品の調査 連携先: 豊田工大・明治大

同一セルプロセスで製作した太陽電池で、発電効率およびEQEに差が生じたウェーハを解析した



◆表面品位コントロール評価 連携先: 明治大

同一育成インゴットを用い、スライスによる表面品位の影響を確認した



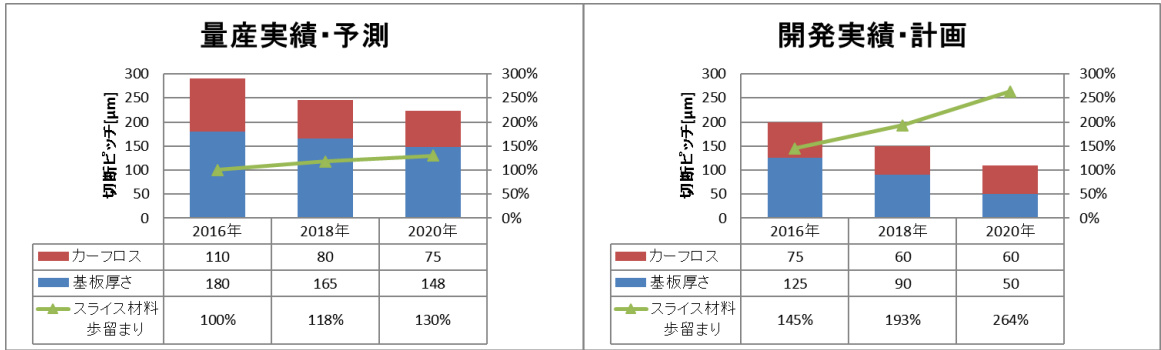
□ウェーハスライスプロセスで生じるミクロ／マクロの問題を把握
□一部の不良はスライスプロセス前後工程での問題でもある

□スライスプロセスのコントロールにより、面粗度、結晶状態に
明らかな違いがある

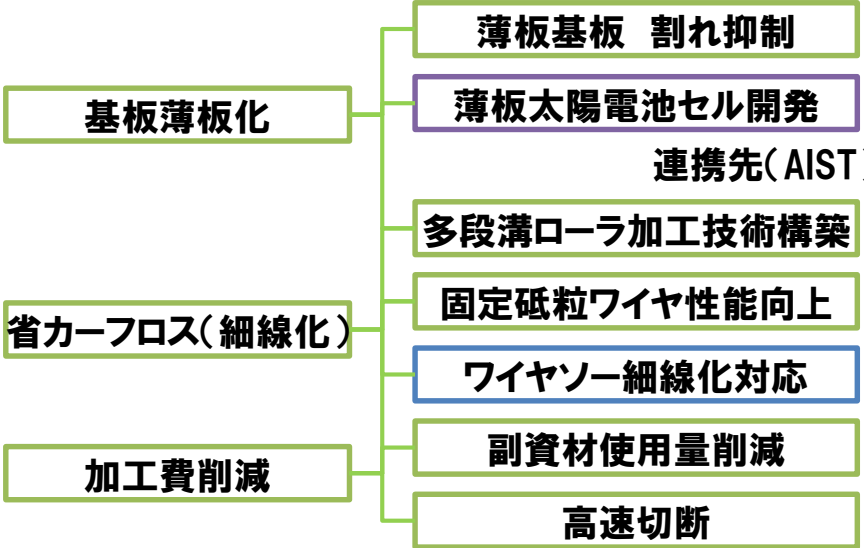
④ 開発成果 <製造コスト低減>

◆製造コスト低減(基板薄板化・省カーフロス)の課題

基板薄板化、省カーフロス達成には多くの課題が存在する
(特に基板薄板化は量産実績と大きく乖離あり)



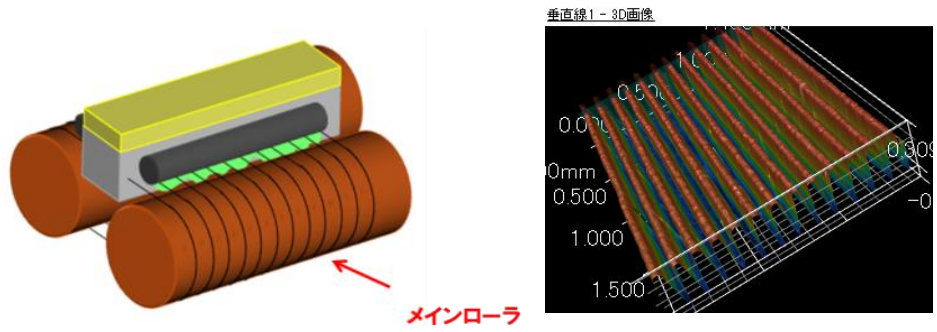
* スライス材料歩留まりは2016年の実績を100%として算出。ITRPV 10th Editionを基にNTC作成。



◆狭切断ピッチ基礎技術

- ①薄板加工時に必要となるメインローラの溝ピッチ狭小化
- ②ウェーハ厚さ確保のための省カーフロス固定砥粒ワイヤ が必要

ピッチ0.110mm溝形状(レプリカ3D解析)



省カーフロス(極細線ワイヤ) 実績

カーフロス (芯線径)	破断張力	実カーフ (外径)
従来 60 μ m (ϕ 50 μ m)	10.4N	57 μ m
50 μ m (ϕ 40 μ m)	6.1N	46 μ m
40 μ m (ϕ 30 μ m)	3.8N	39 μ m

□切断ピッチ0.11mmとなる狭小溝加工技術を構築済み

□カーフ50 μ m以下となる固定砥粒ワイヤ製造可能を確認

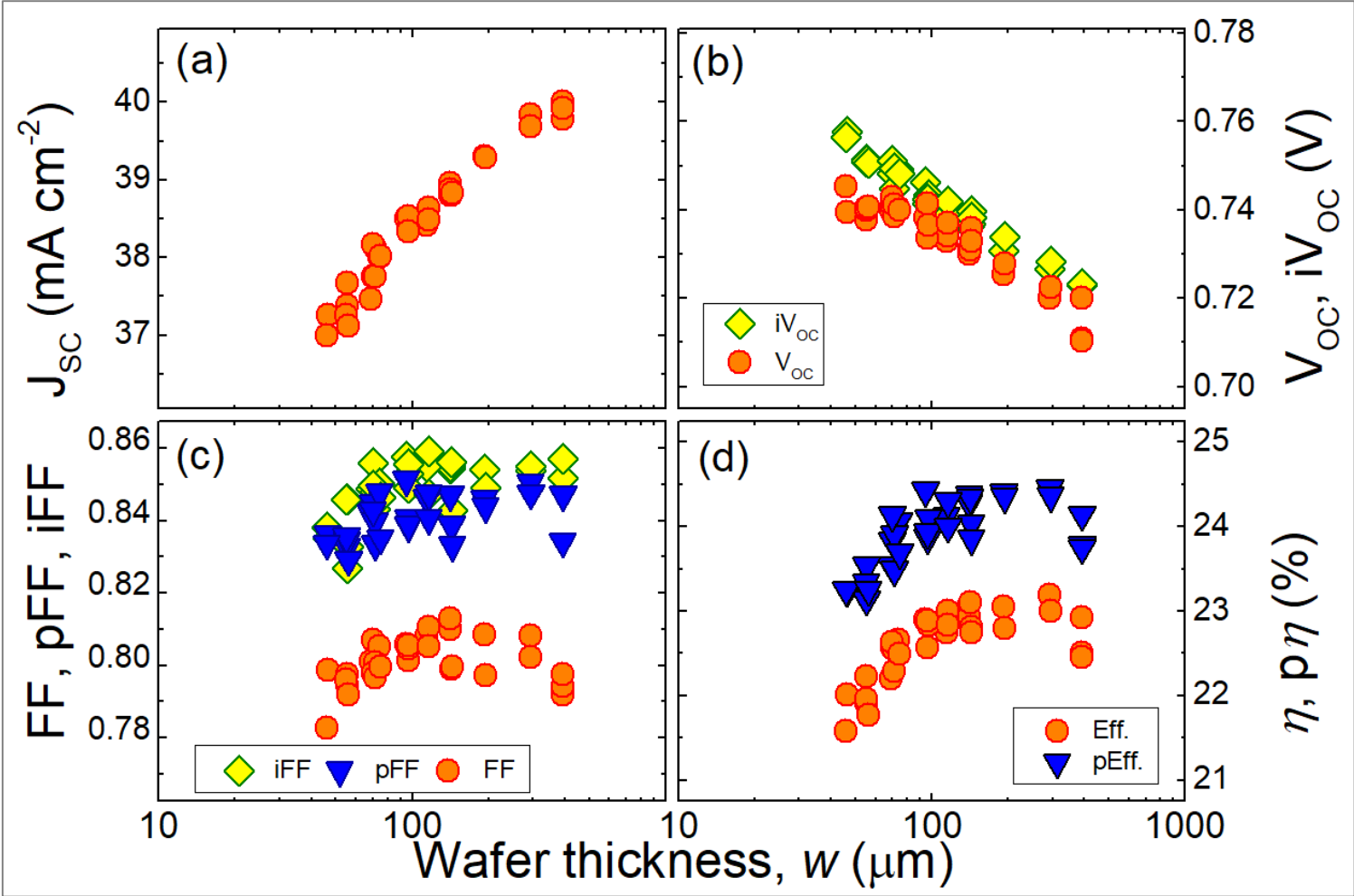
結晶の材料歩留まり向上に繋がる、狭切断ピッチのスライスに必要な基礎技術を確認した

④ 開発成果 <製造コスト低減 ウェーハ薄板化>

◆ 超薄型太陽電池の先行評価

連携先:産総研

研削による代替手法にて薄型シリコン基板を作成し、超薄型太陽電池の性能を評価中

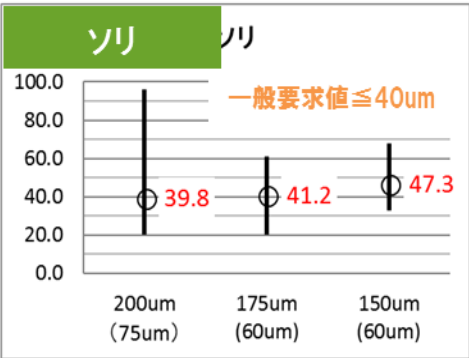
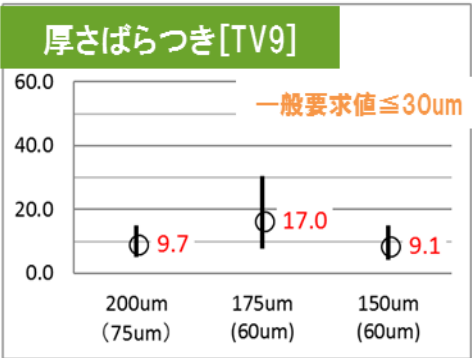
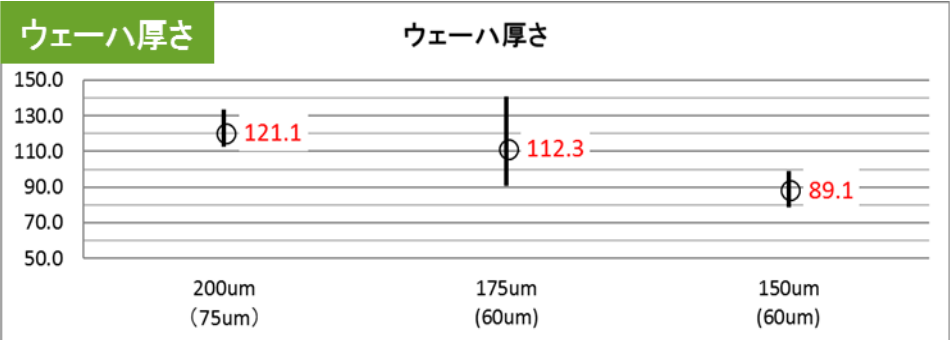


□ 厚さ70 μm程度までは発電効率を維持
⇒ ただし、60 μm以下での発電効率が低下しており、原因追及と改善が必要
(薄板化限界の可能性も示唆)

④ 開発成果 <製造コスト低減>

◆狭切断ピッチスライス技術

ワイヤ切断軌跡の真直性を保つためワイヤ仕様やスライス条件の最適化を図った

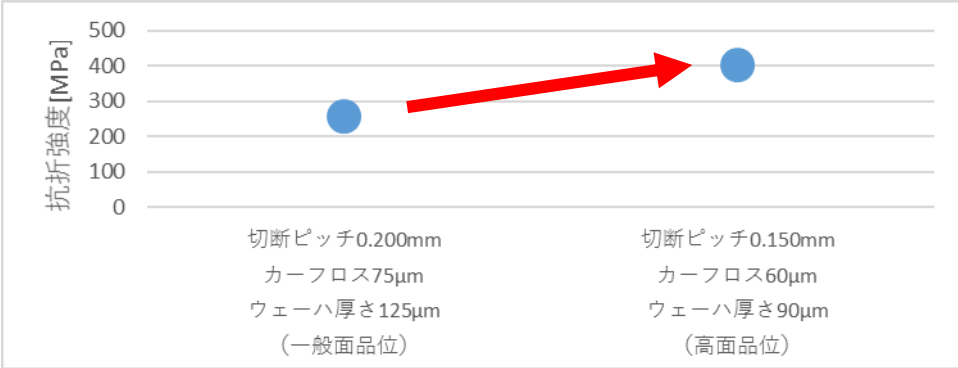


□切断ピッチ0.150mmまでの加工技術を構築
(但しソリは要求値を若干超過)

◆薄板ウェーハの抗折強度評価

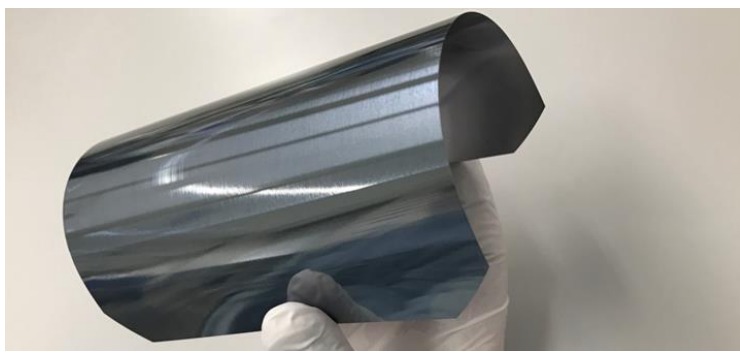
連携先:産総研

薄板ウェーハの抗折強度(平均値)



□スライス条件の最適化を図り、薄板でも高い抗折強度を維持

薄板ウェーハの柔軟性(ウェーハ厚さ90 μm)



□柔軟性の高いウェーハであった
⇒割れによる歩留まり向上が期待出来る

発電効率を維持出来る限界厚さを決定し、発電コストが最も安価となる
スライスプロセスの仕様を明確にする。

⑤ 今後の課題

開発項目	解決すべき課題	アクション
①結晶系太陽電池の 発電効率向上	<ul style="list-style-type: none">・発電効率へ影響しない（向上する） スライス方法の確立・光閉じ込めに最適な ウェーハ表面性状の構築	<ul style="list-style-type: none">・スライスダメージを定量評価し高発電効率となるスライス技術を構築する
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 1) 基板薄板化	<ul style="list-style-type: none">・薄板基板における発電 効率への影響明確化	<ul style="list-style-type: none">・薄板基板での高効率太陽電池 製造技術を確認する（連携先）
	<ul style="list-style-type: none">・薄板基板スライス技術	<ul style="list-style-type: none">・狭切断ピッチのスライス検証
	<ul style="list-style-type: none">・セル工程での割れ	<ul style="list-style-type: none">・高抗折強度となるスライス及びセル製造技術 を構築する
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 2) 省カーフロス	<ul style="list-style-type: none">・固定砥粒ワイヤの更なる 細線化	<ul style="list-style-type: none">・カーフロス50 μm以下ワイヤの加工技術を 構築する
②結晶系太陽電池の 製造コスト低減 1+2) 狭切断ピッチ	<ul style="list-style-type: none">・狭ピッチでの切断不良	<ul style="list-style-type: none">・更なるワイヤ仕様や加工条件、副資材の 最適化を行う

⑥ まとめ

①発電効率向上

<成果>

- ・シリコンウェーハの表面品位をコントロールし、面粗度及びラマン分光法によるウェーハの結晶状態を評価した。スライスプロセスのコントロールにより、結晶状態に明らかな違いがあることを確認した。

<今後の計画>

- ・スライスプロセスで発生するダメージ層を定量評価し、後工程のエッチング量削減やTEX条件を最適化し、高発電効率となるスライス技術を構築する。

②製造コスト低減

<成果>

- ・切断ピッチ0.150mmまでのスライス技術を構築した。(ウェーハ厚さ90 μm /カーフロス60 μm)
- ・薄板ウェーハの抗折強度を評価し、高い抗折強度を維持出来ることと、薄板ウェーハの柔軟性を確認した。
- ・超薄型太陽電池の性能を評価し、厚さ70 μm 程度までは発電効率が維持出来ることを確認した。
ただし、60 μm 以下での発電効率が低下した。

<今後の計画>

- ・最終目標値達成に向け、発電効率が維持出来る限界厚さを決定する。
- ・更なる省カーフロスと狭ピッチスライスを検証し、製造コスト削減による発電コスト低減を図る。

切断ピッチ狭小化と、発電コストが最も安価となるスライスプロセスの仕様を決定する。