

# 太陽電池の廃棄・リサイクルに 関する研究

アドバイザー教員 内山洋司, 岡島敬一  
2班 鬼塚英城  
金井里雨  
鎌田智之

---

# 最終発表の流れ

①研究の背景目的

②太陽電池について

③リサイクル手法別LCA分析

④太陽電池リサイクルの将来予測分析

⑤まとめ

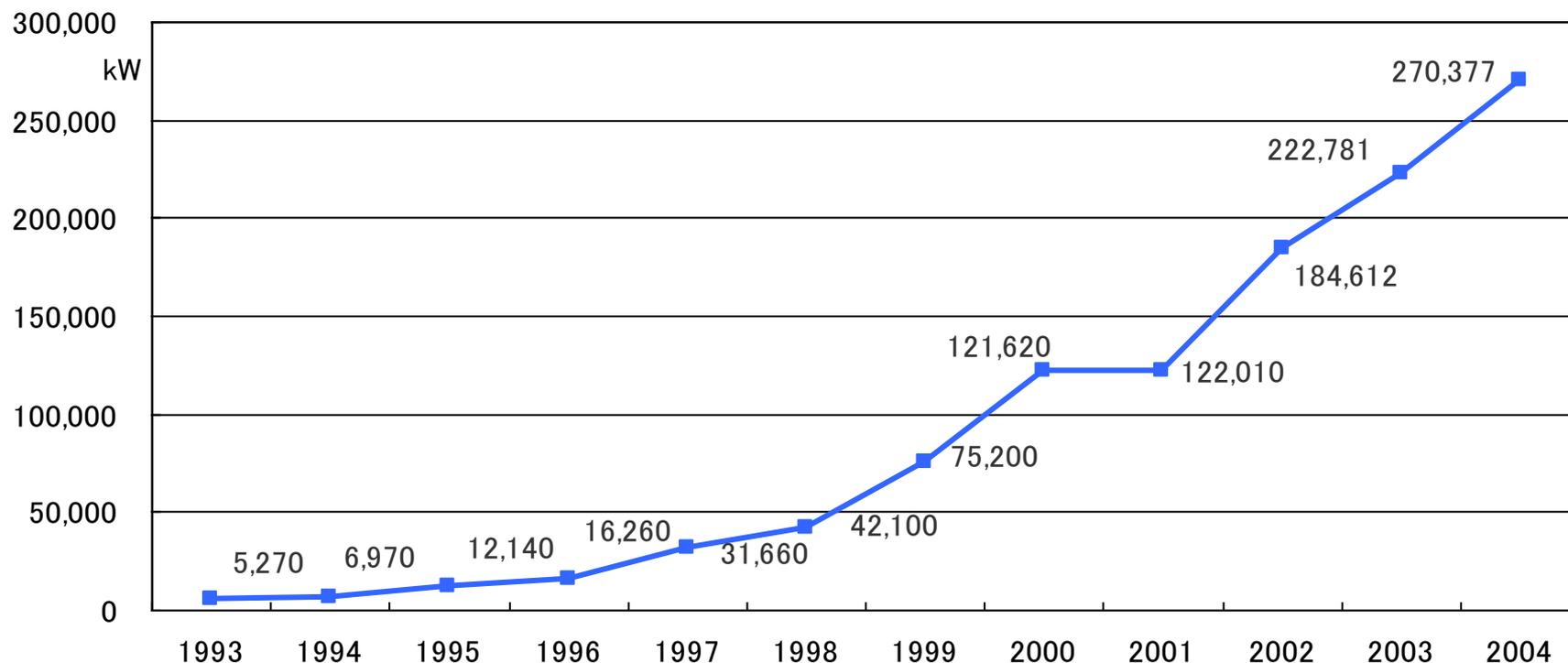
---

# 背景① 太陽光発電導入量国内推移(単年)

## 太陽光発電による国内エネルギー容量目標

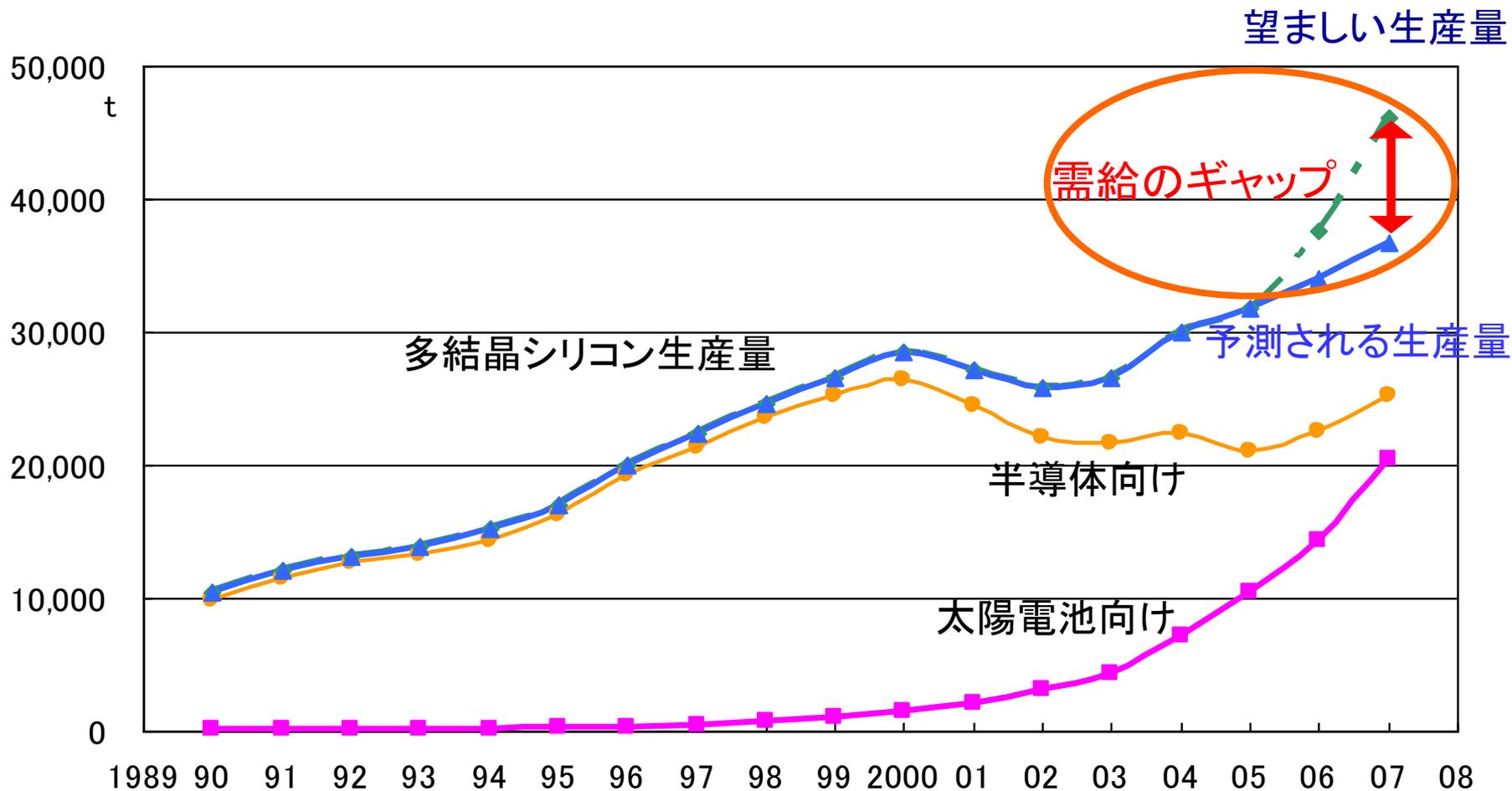
2010年時点：累積482万kW(2004年時点で累積113万kW)

2030年時点：同累積導入量を2024万kW

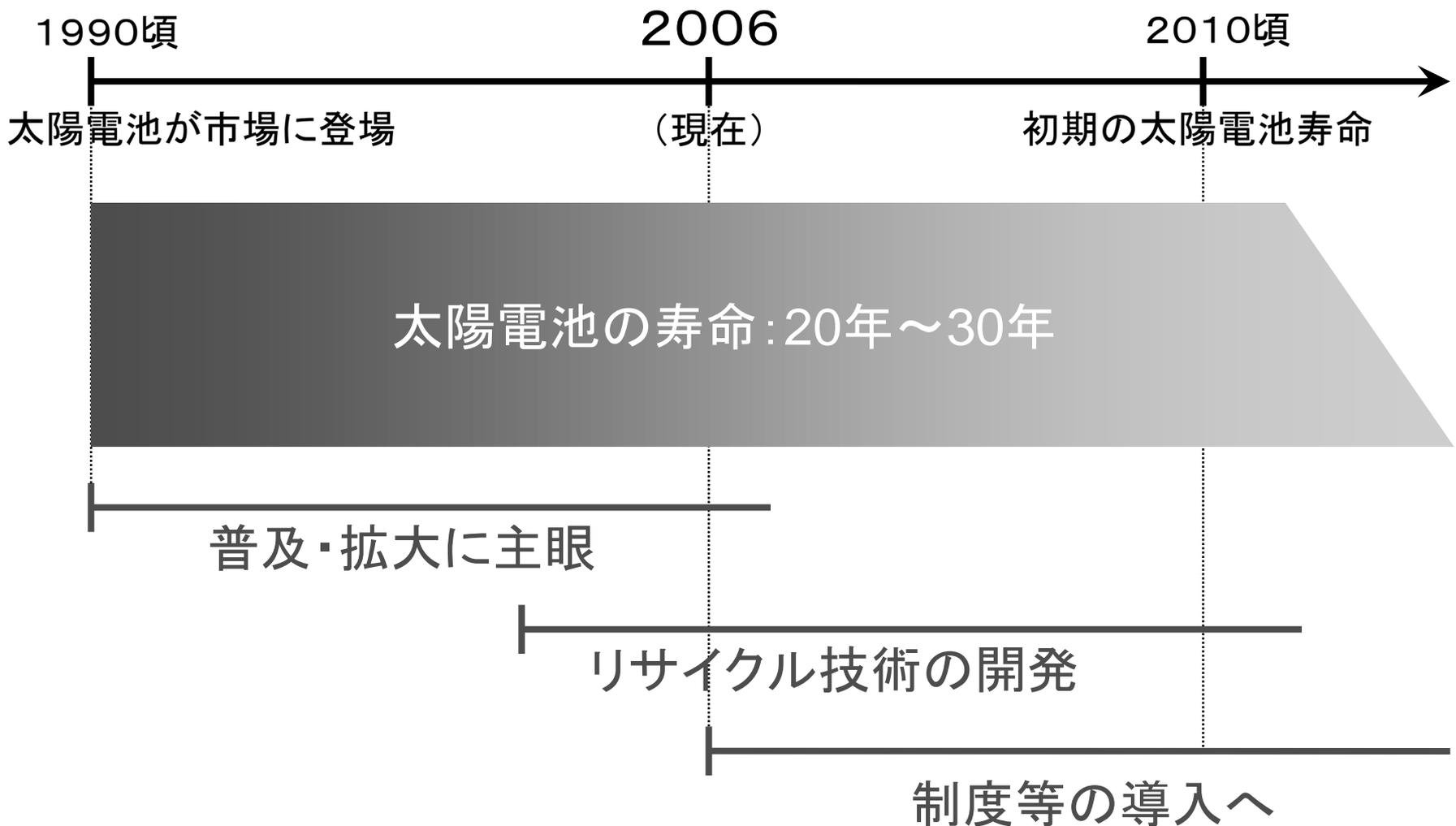


## 背景② 多結晶シリコン需給の現状と予測

2010年には1万t以上の多結晶シリコンが不足する



# 背景③ 太陽電池のリサイクルに関する現状



# 研究の目的

## 背景

太陽電池のリサイクルの必要性



## 目的

リサイクル技術の効果について定量的に分析評価し、今後の太陽電池のリサイクルのあり方について考察をし、指針を示す

# 研究の方針

- 太陽電池をリサイクルする場合、リサイクルしない場合に分けて分析
- 各種リサイクル技術についてエネルギー、CO<sub>2</sub>排出量、経済効果を指標としたライフサイクル評価(LCA)の分析
- 生産量・廃棄量、リサイクルプラントの導入時期を考慮し、将来の太陽電池リサイクルについて将来予測を行う

ライフサイクル評価(Life Cycle Assessment)とは、  
原料採掘→輸送→製造→使用→廃棄・リサイクル  
というすべての段階の環境負荷を総合した評価手法をいう

---

# 最終発表の流れ

①研究の背景目的

②太陽電池について

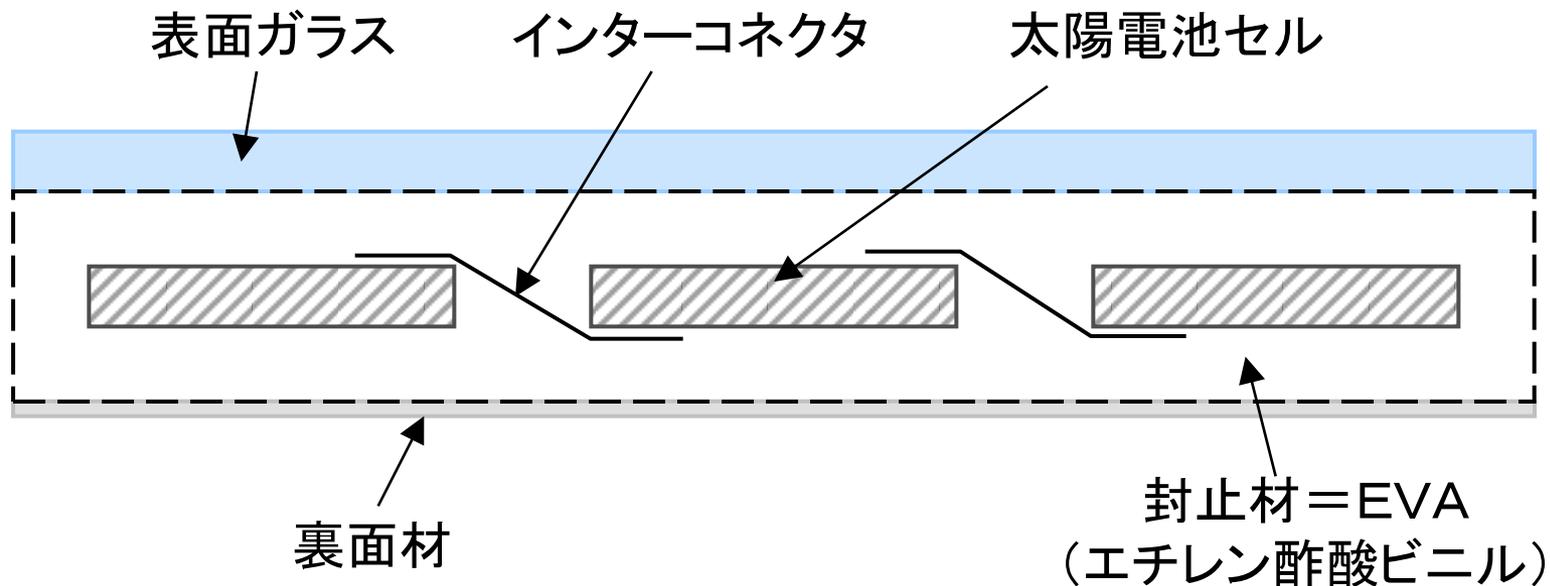
③リサイクル手法別LCA分析

④太陽電池リサイクルの将来予測分析

⑤まとめ

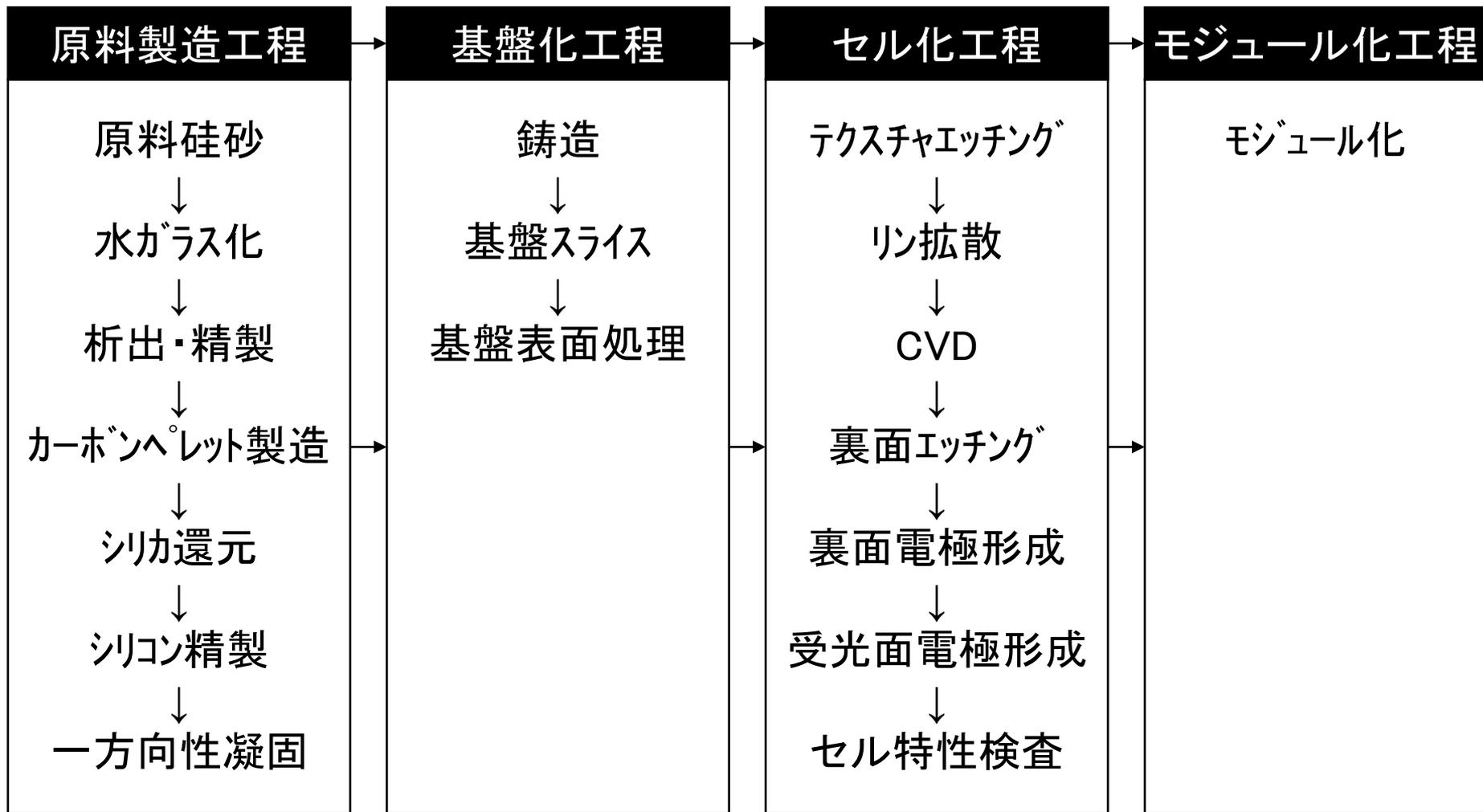
---

# 太陽電池の構成と種類



材料	変換効率	コスト	特徴
単結晶シリコン	15～19%	高	豊富な使用実績
多結晶シリコン	12～17%		大量生産に適す
アモルファス	10～12%	低	蛍光灯下で比較的よく作動

# 太陽電池の製造過程



# 太陽電池のリサイクル技術

## ①硝酸法

- ・60°C程度で25時間処理
- ・再生率75%

## ②熱分解法(空気雰囲気)

- ・500°Cで3時間処理
- ・再生率50~85%

今回の研究で取り上げる  
リサイクル技術

## ③その他

- ・熱分解法(窒素雰囲気、流動床)
- ・有機溶媒法, リモネン法

---

# 最終発表の流れ

①研究の背景目的

②太陽電池について

**③リサイクル手法別LCA分析**

④太陽電池リサイクルの将来予測分析

⑤まとめ

---

# 評価範囲の決定

- 多結晶シリコン太陽電池について、
  - リサイクルなし
  - 硝酸法
  - 熱分解法（空気雰囲気）

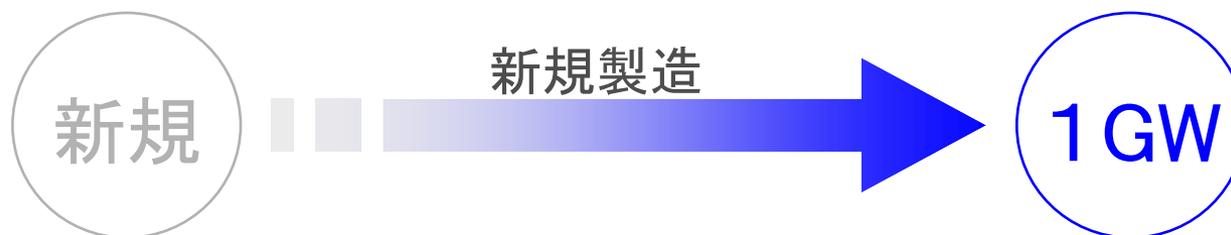
にてリサイクルを行った際のエネルギー・CO<sub>2</sub>排出効果および、経済効果について評価を行う

# 使用するデータおよび前提条件

『太陽光発電技術の評価Ⅱ』  
のデータを利用

前提条件	
年間生産規模	1 GW
年間発電電力量	864,000,000 kWh/y
生産面積	7,120,000 m <sup>2</sup>
モジュール面積	0.82 m <sup>2</sup>

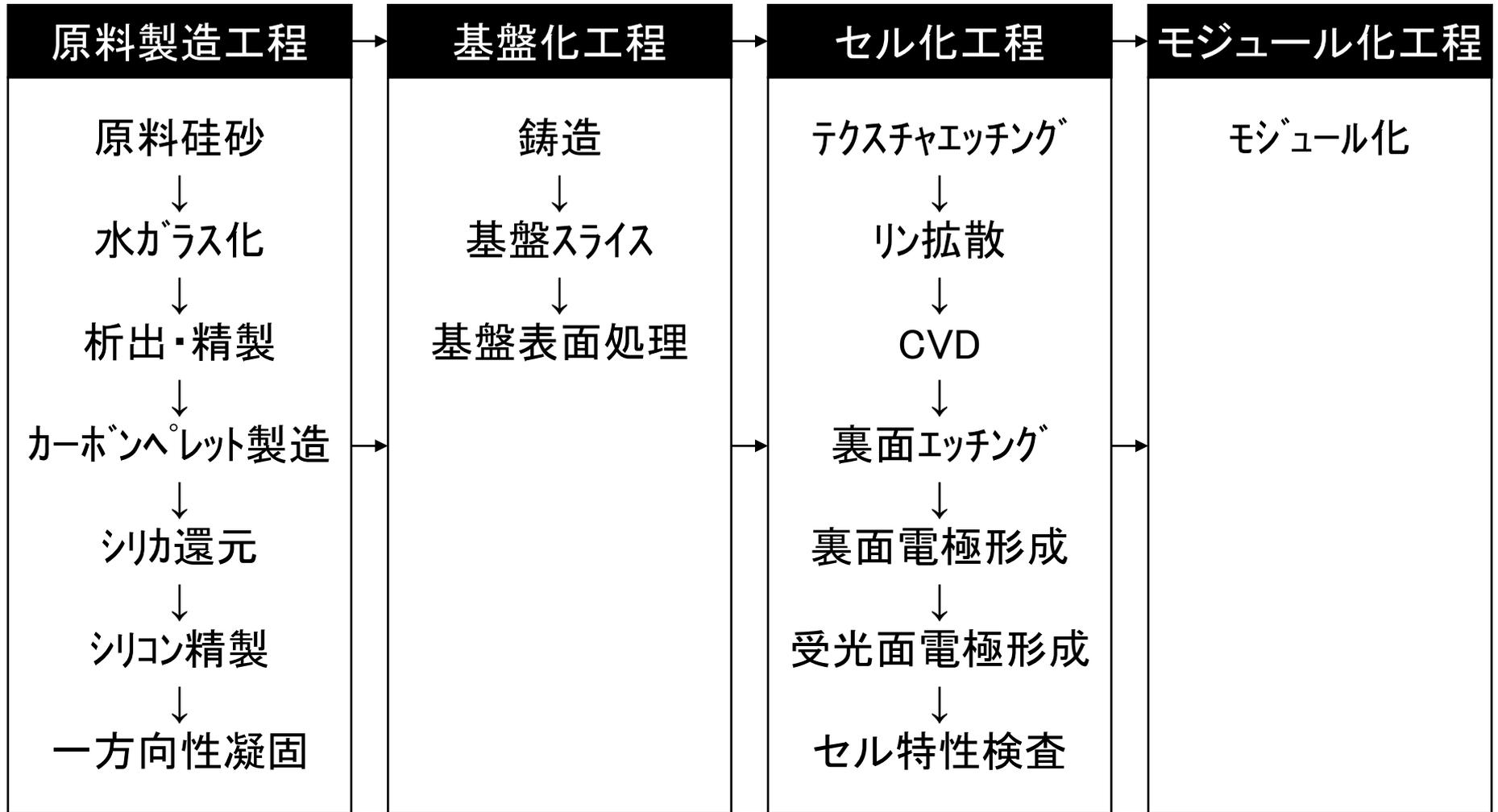
リサイクルしない場合(通常工程)



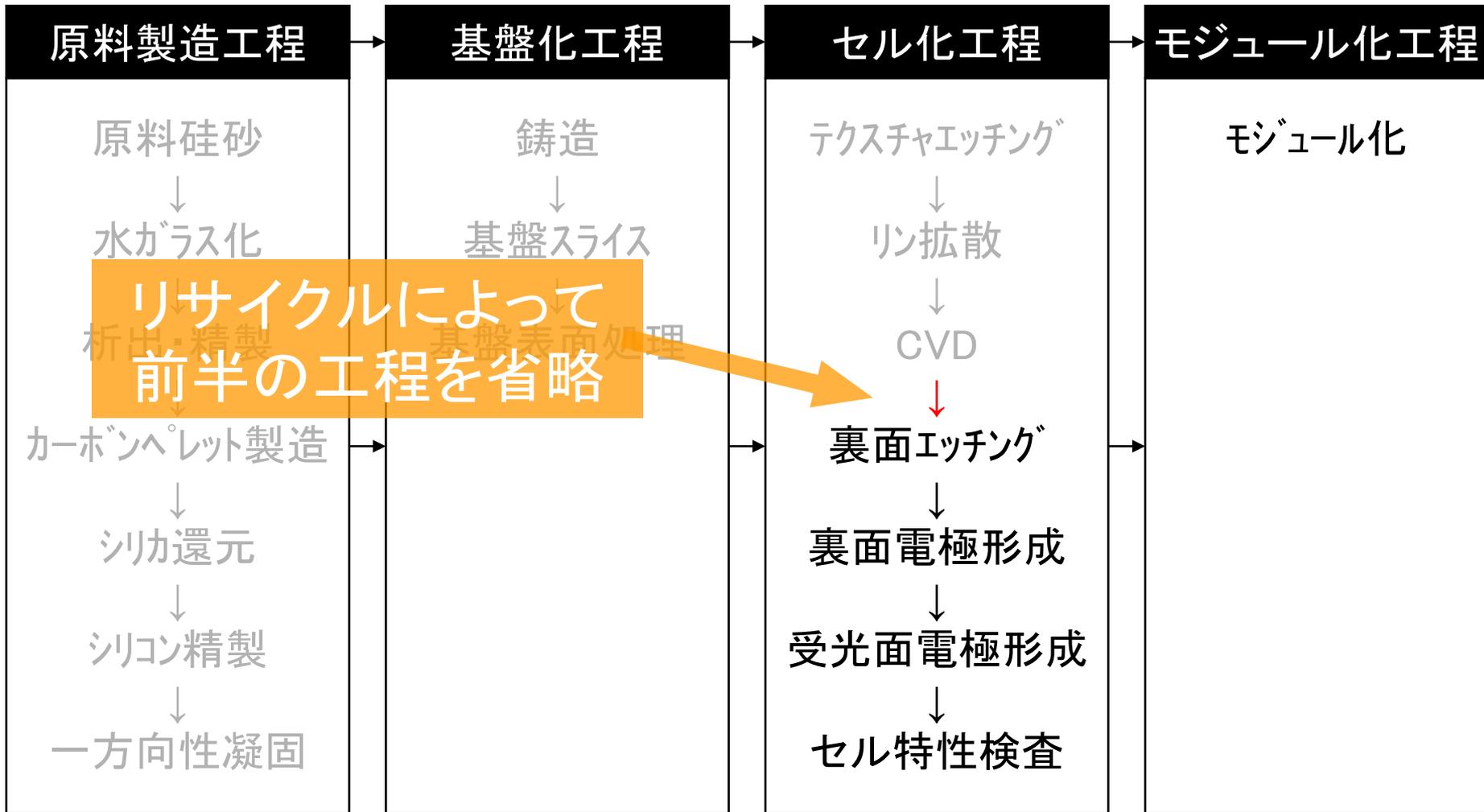
リサイクルする場合(硝酸法、熱分解法)



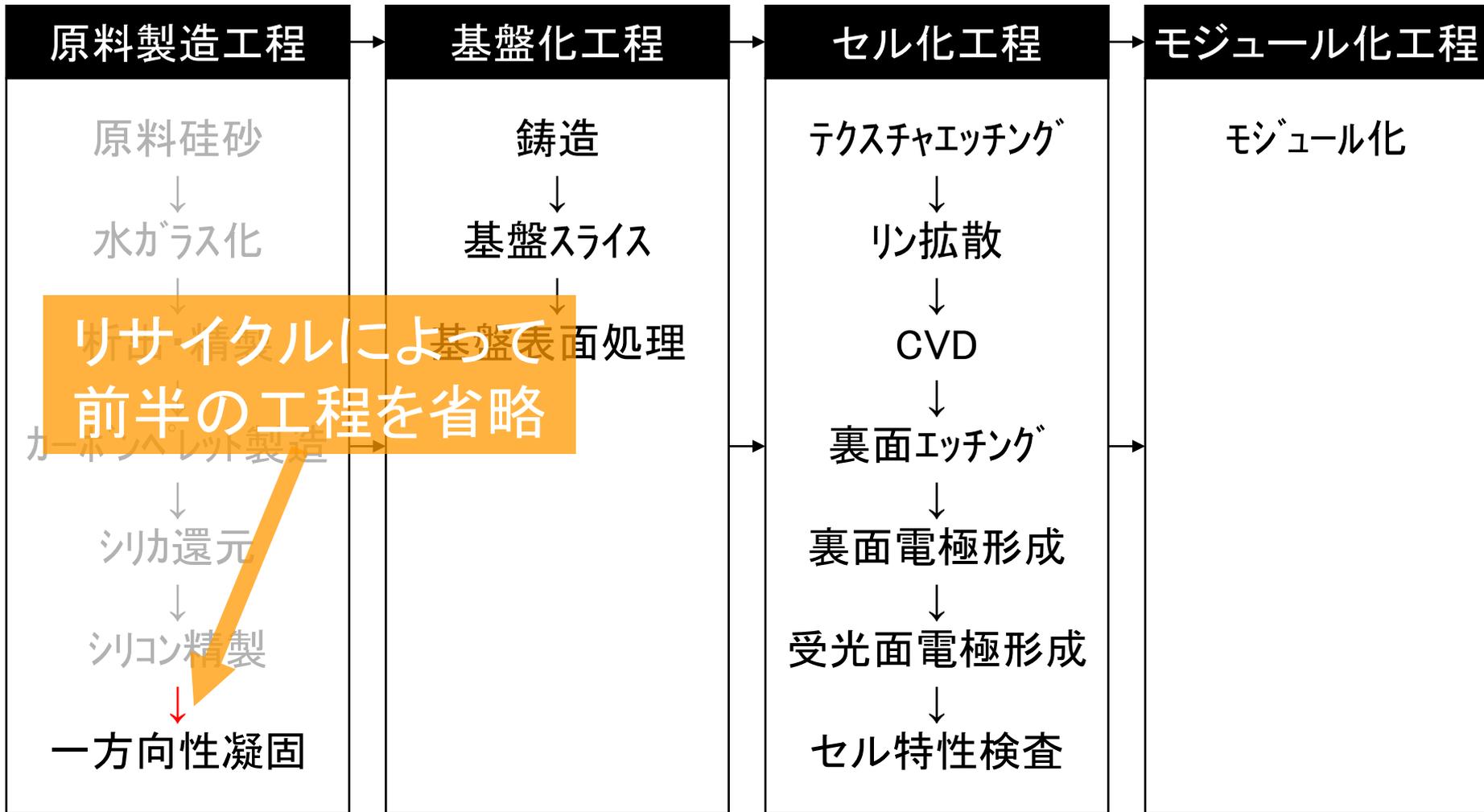
# 通常工程（リサイクルなし）



# 硝酸法リサイクル



# 熱分解法リサイクル



# 投入エネルギー 通常工程(リサイクルなし)

572,000,000kWh

## 原料製造工程

原料硅砂  
↓  
水ガラス化  
↓  
析出・精製  
↓  
カーボンペレット製造  
↓  
シリカ還元  
↓  
シリコン精製  
↓  
一方向性凝固

245,000,000kWh

## 基盤化工程

鋳造  
↓  
基盤スライス  
↓  
基盤表面処理

3,140,000kWh

## セル化工程

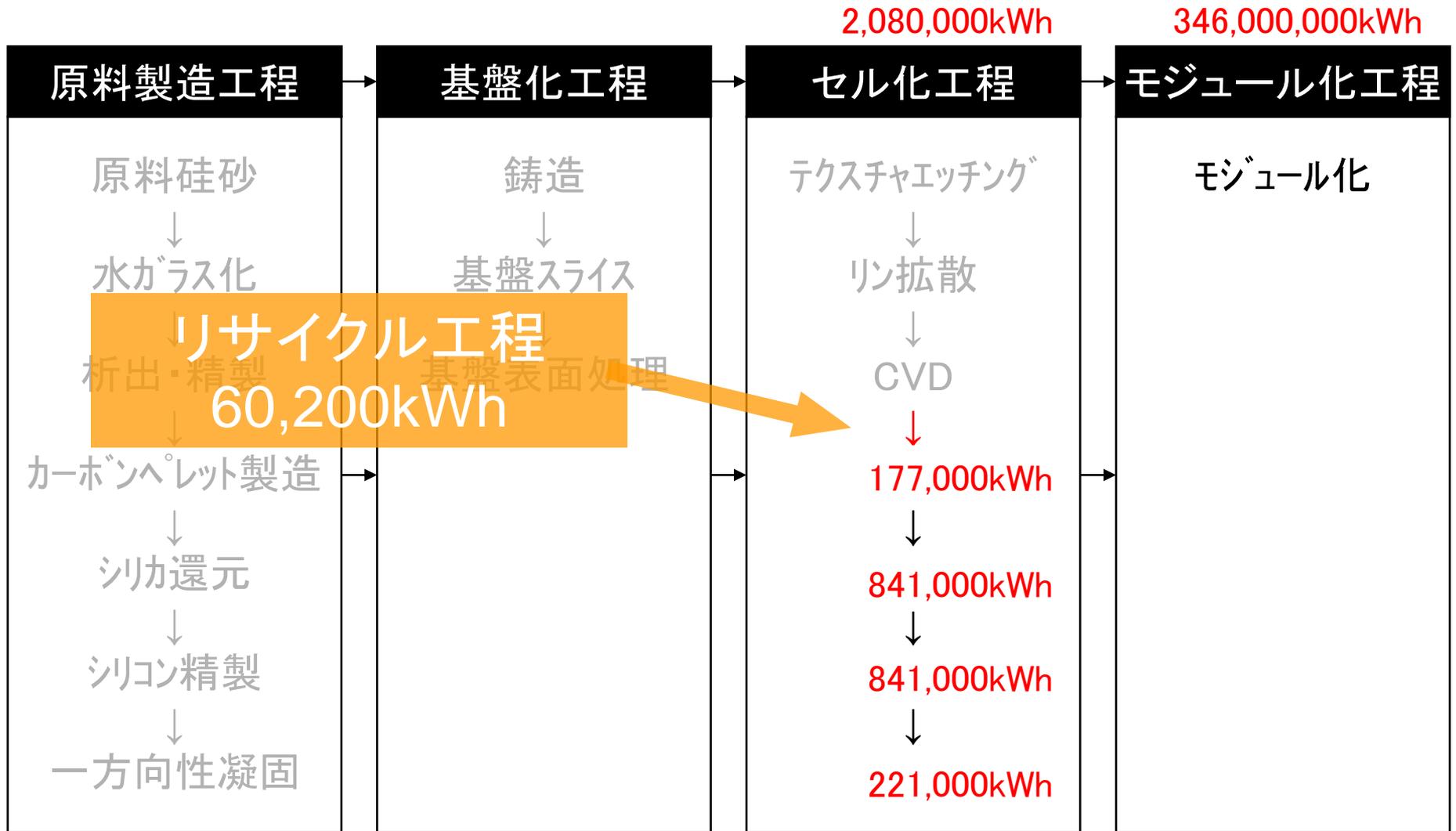
テクスチャエッチング  
↓  
リン拡散  
↓  
CVD  
↓  
裏面エッチング  
↓  
裏面電極形成  
↓  
受光面電極形成  
↓  
セル特性検査

346,000,000kWh

## モジュール化工程

モジュール化

# 投入エネルギー 硝酸法リサイクル



# 投入エネルギー 硝酸法リサイクル

37,100,000kWh

## 原料製造工程

原料硅砂

↓  
水ガラス化

リサイクル工程  
析出精製  
15,900,000kWh

↓  
シリカ還元

↓  
シリコン精製

↓  
37,100,000kWh

245,000,000kWh

## 基盤化工程

鋳造

↓  
基盤スライス

↓  
基盤表面処理

3,140,000kWh

## セル化工程

テクスチャエッチング

↓  
リン拡散

↓  
CVD

↓  
裏面エッチング

↓  
裏面電極形成

↓  
受光面電極形成

↓  
セル特性検査

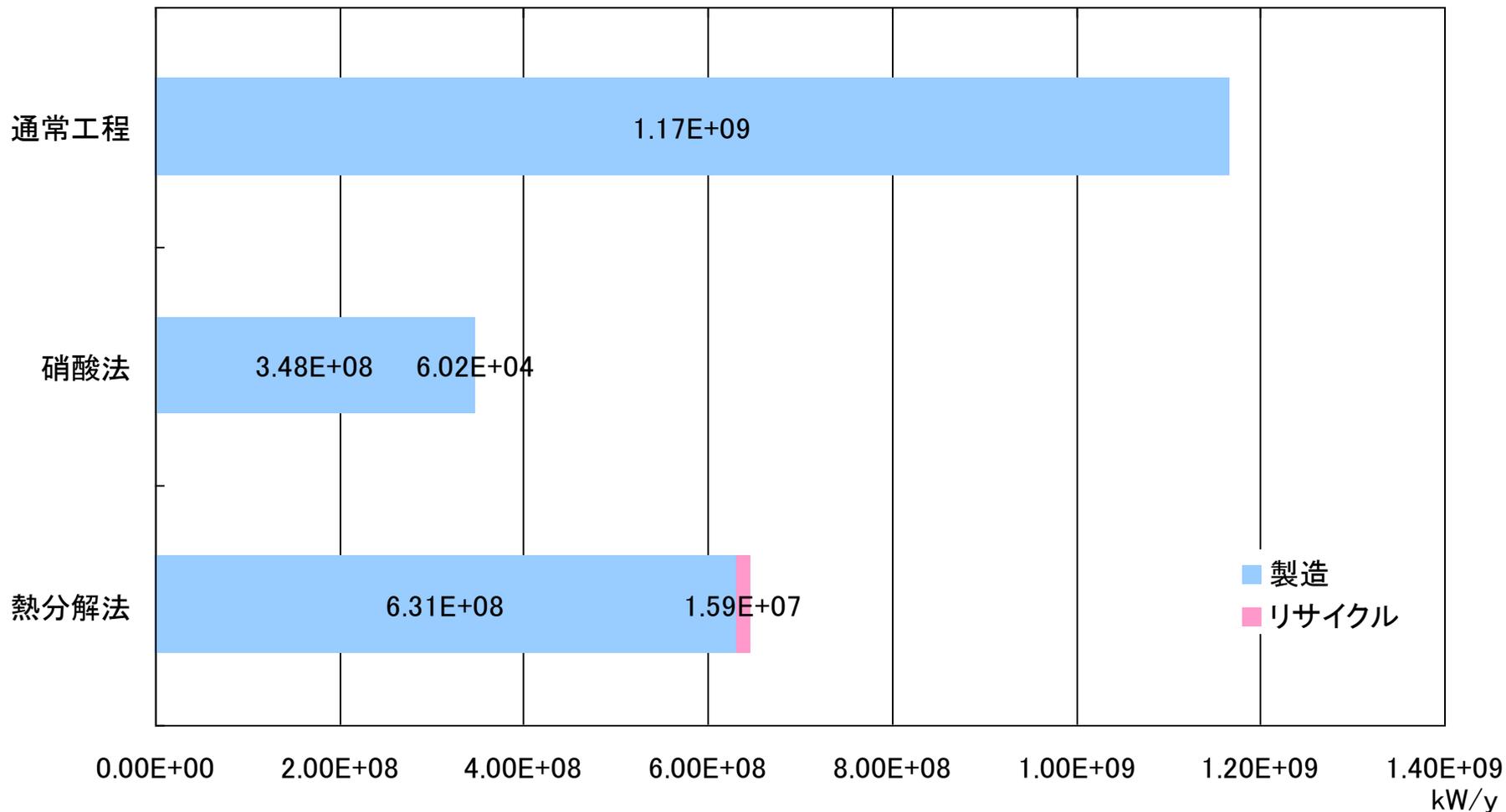
346,000,000kWh

## モジュール化工程

モジュール化

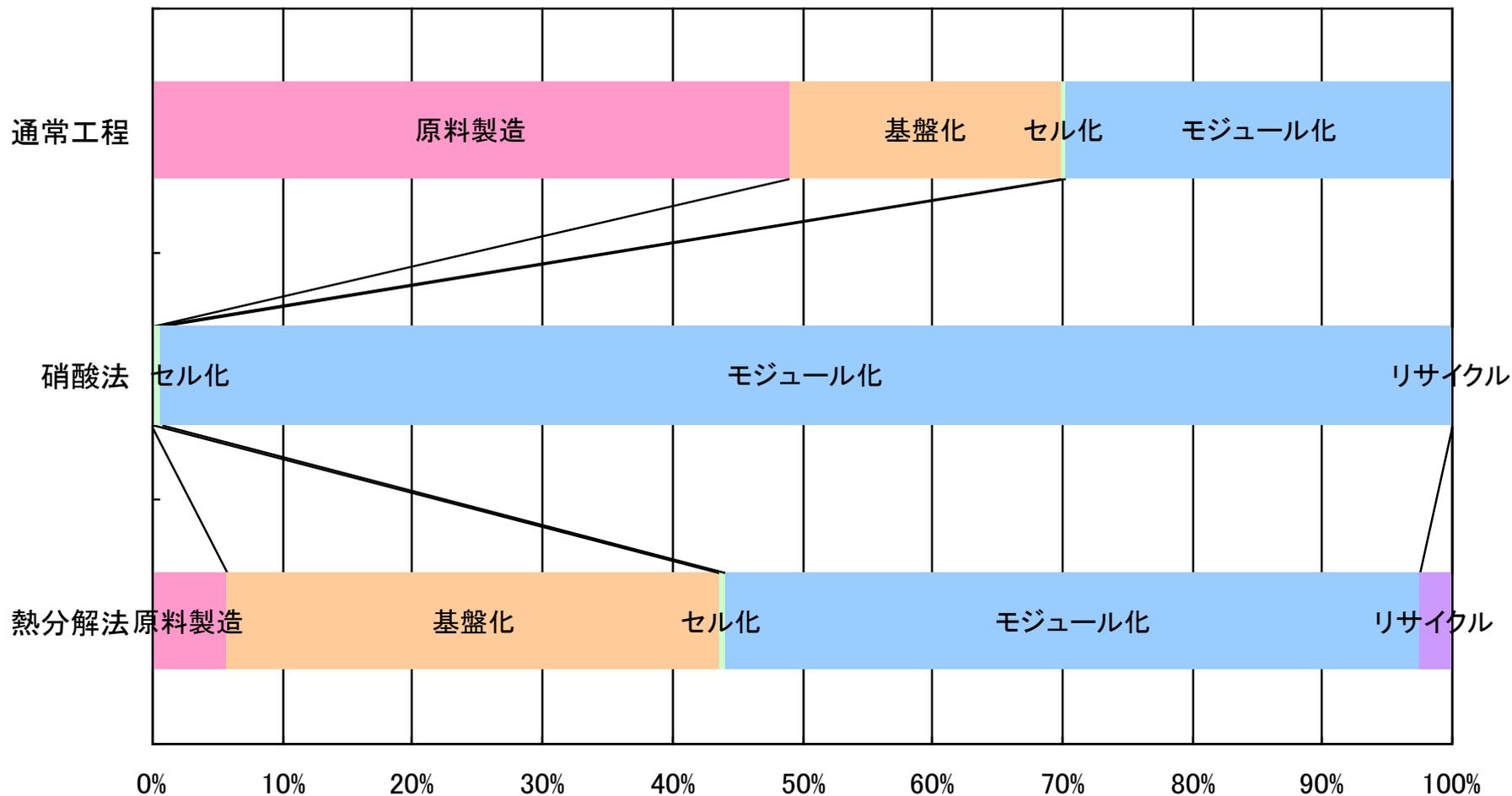
# リサイクル手法別エネルギー比較

硝酸法: 71%削減      熱分解法: 45%削減



# リサイクル手法別エネルギー構成比

通常工程では、原料製造、基板化の工程で全エネルギーの約70%を占めている



# エネルギー収支比

$$\text{エネルギー収支比} = \frac{\text{発電プラントが生産するエネルギー}}{\text{プラントに直接間接に投入したエネルギー}}$$

	エネルギー収支比
通常工程	53.3
熱分解法	96.1
硝酸法	178.7

リサイクルによって  
エネルギーの効率は高くなる

# 各リサイクル工程に必要なコストの算定

## ■ 硝酸法リサイクル工程におけるコスト

- 必要な濃硝酸50,196t、価格を32.6円/kgとすると、

⇒ **0.0016円/W**

- 裏面エッチング以降の製造コストを加算

## ■ 熱分解法リサイクル工程におけるコスト

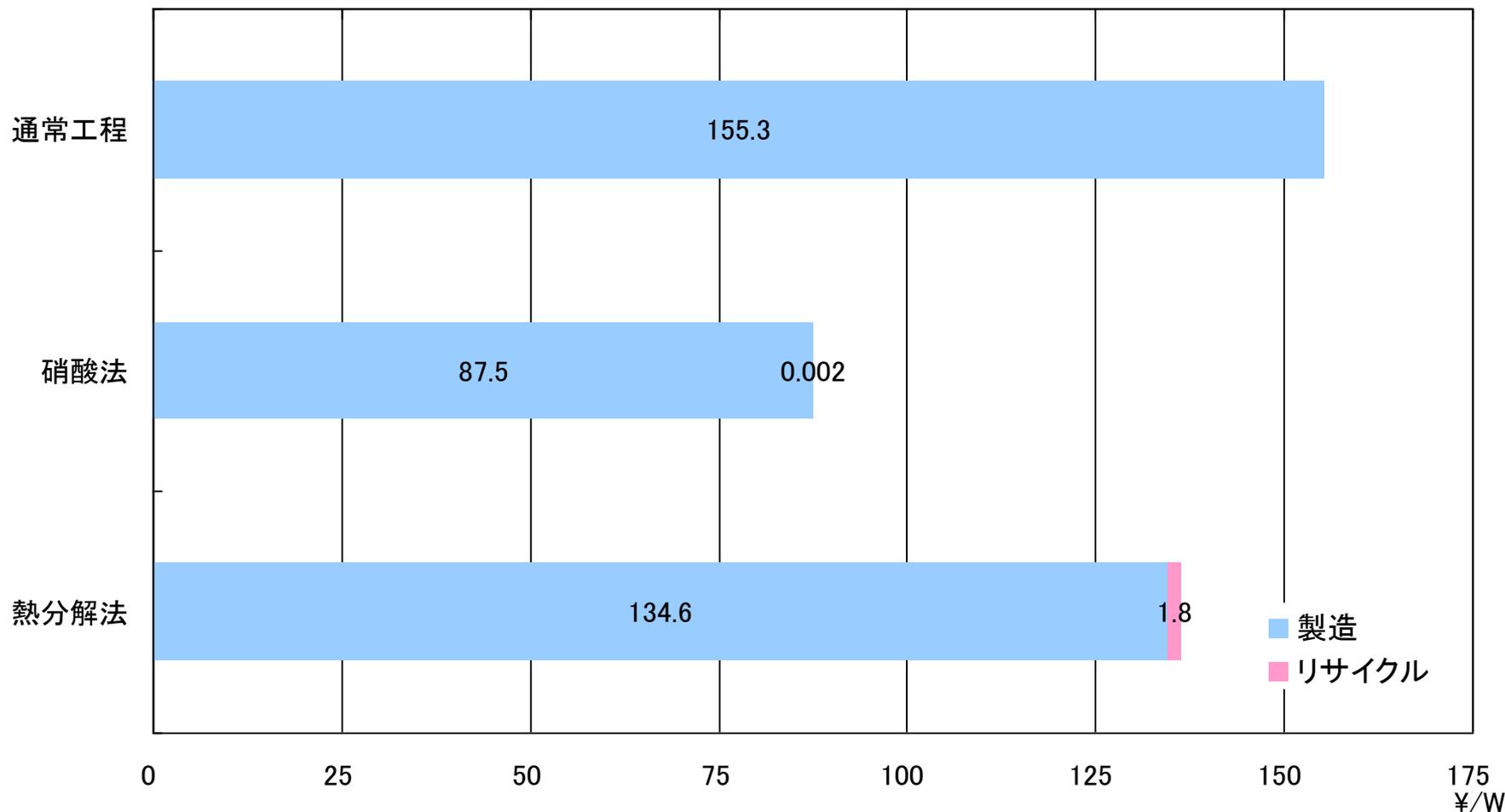
- 必要な電力エネルギー15,918,540kWh/y、電気の価格を8円/kWhとすると、

⇒ **1.82円/W**

- 一方向性凝固以降の製造コストを加算

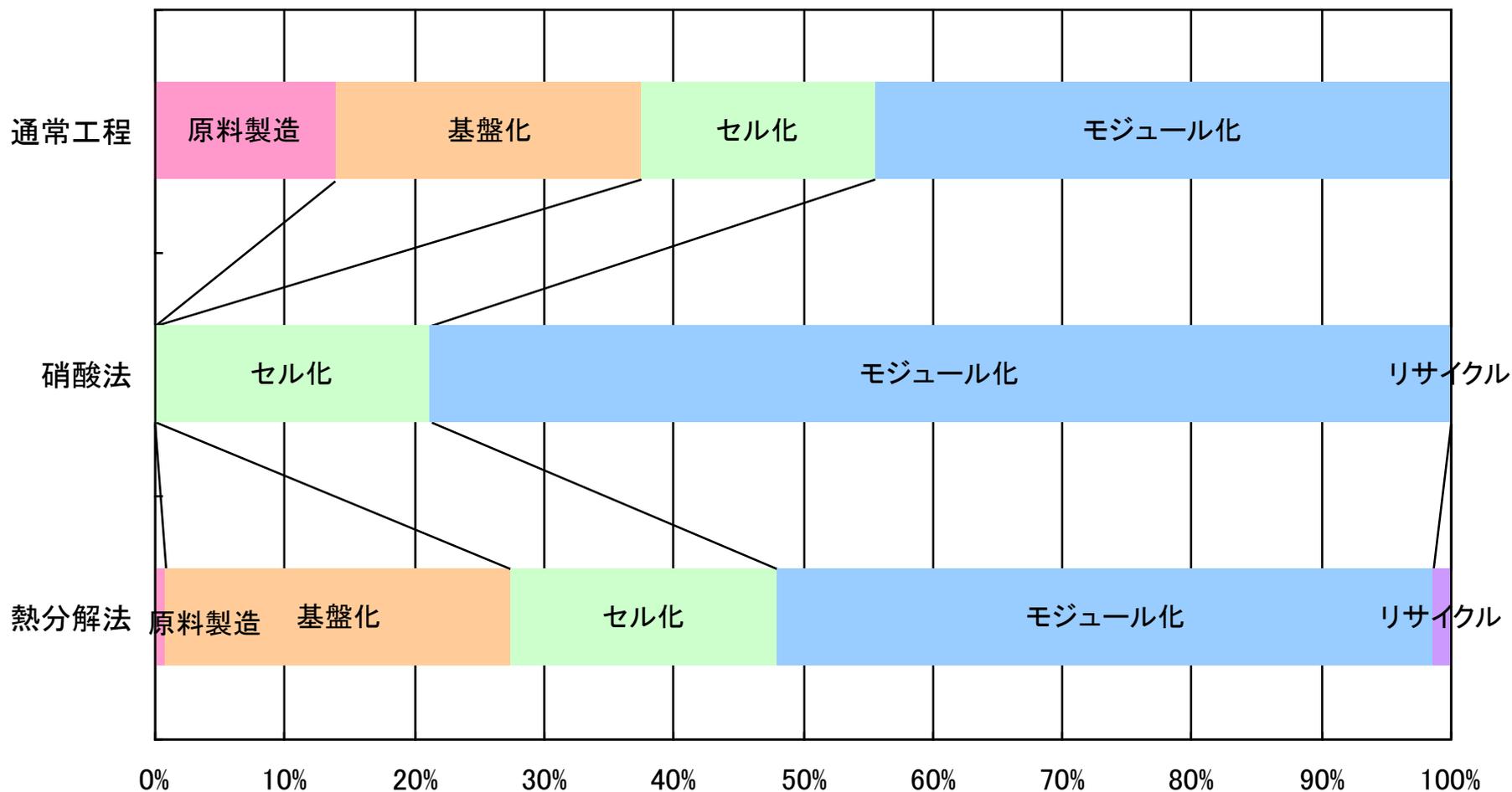
# リサイクル手法別コスト比較

通常工程に比べて硝酸法・熱分解法にてリサイクルを行った方がコストがかからない



# リサイクル手法別コスト構成比

熱分解法リサイクルでは、原料製造に占める割合が通常工程よりも小さくなる



---

# 最終発表の流れ

①研究の背景目的

②太陽電池について

③リサイクル手法別LCA分析

**④太陽電池リサイクルの将来予測分析**

⑤まとめ

---

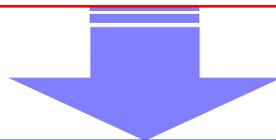
# 太陽電池リサイクルの将来予測

これまで通常工程、硝酸法、熱分解法という3パターンのLCA分析を行った



しかし、実際には…

- ・生産量・廃棄量を考慮した分析の必要性
- ・リサイクルプラントの導入時期・規模の問題
- ・リサイクルを行った場合の経済性の問題



そこで、生産量の推移やリサイクルプラントの導入規模、太陽電池コストの推移についての将来予測を行うことで、今後の太陽電池のリサイクルについて考察する

# 太陽電池リサイクルの将来予測の過程

過去の生産量データを基にした将来の  
生産量の予測

ロジスティック曲線



リサイクルプラントの導入時期と容量の  
考察

廃棄量



製造プラント、リサイクルプラントの太陽  
電池製造コストの算出

スケール効果



太陽電池製造コストの推移の分析

再生率

# 太陽電池リサイクルの将来予測の過程

過去の生産量データを基にした将来の  
生産量の予測

ロジスティック曲線



リサイクルプラントの導入時期と容量の  
考察

廃棄量



製造プラント、リサイクルプラントの太陽  
電池製造コストの算出

スケール効果



太陽電池製造コストの推移の分析

再生率

# 太陽電池リサイクルの将来予測の過程

過去の生産量データを基にした将来の  
生産量の予測

ロジスティック曲線



リサイクルプラントの導入時期と容量の  
考察

廃棄量



製造プラント、リサイクルプラントの太陽  
電池製造コストの算出

スケール効果



太陽電池製造コストの推移の分析

再生率

# 太陽電池リサイクルの将来予測の過程

過去の生産量データを基にした将来の  
生産量の予測

ロジスティック曲線



リサイクルプラントの導入時期と容量の  
考察

廃棄量



製造プラント、リサイクルプラントの太陽  
電池製造コストの算出

スケール効果

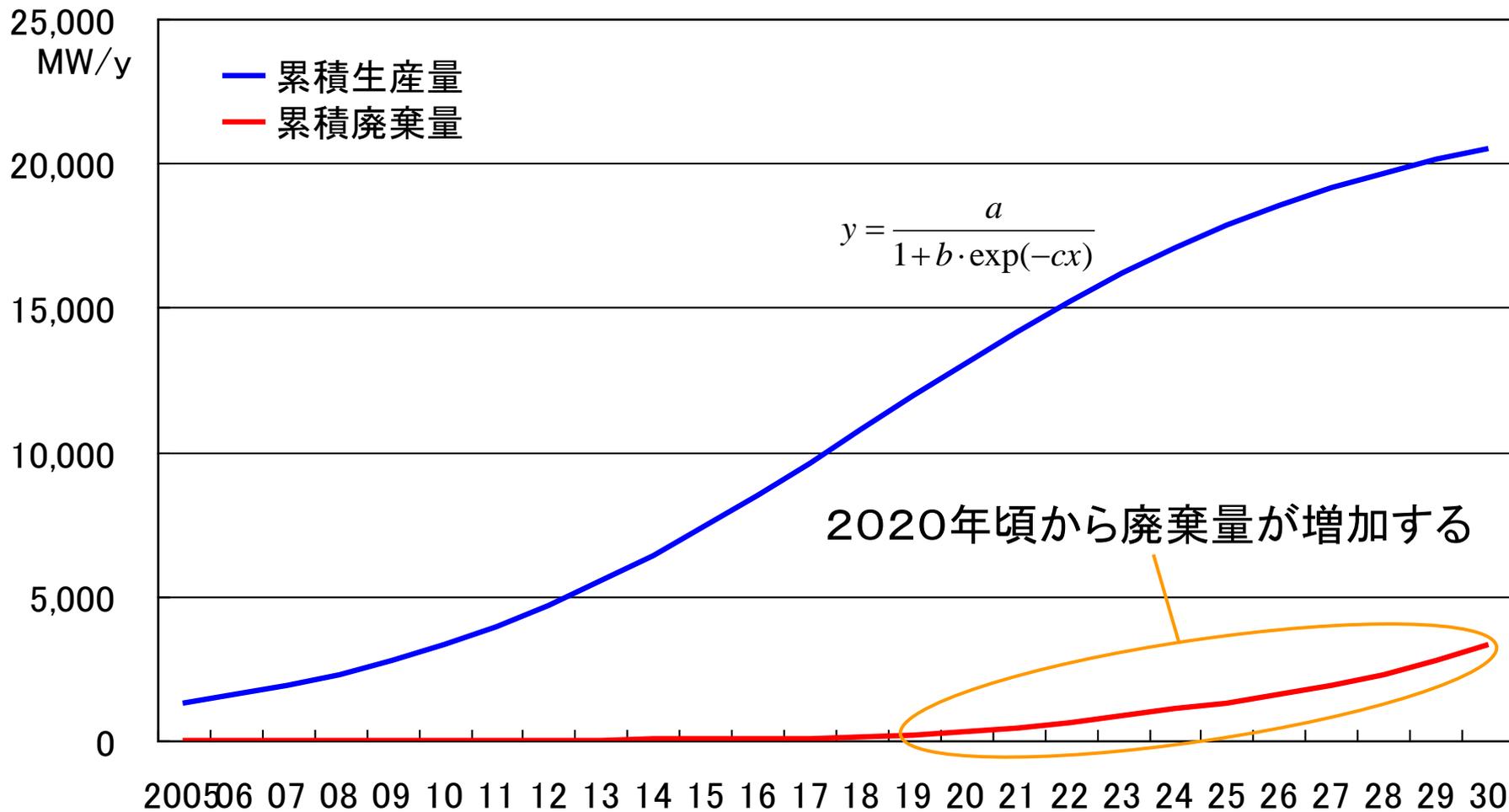


太陽電池製造コストの推移の分析

再生率

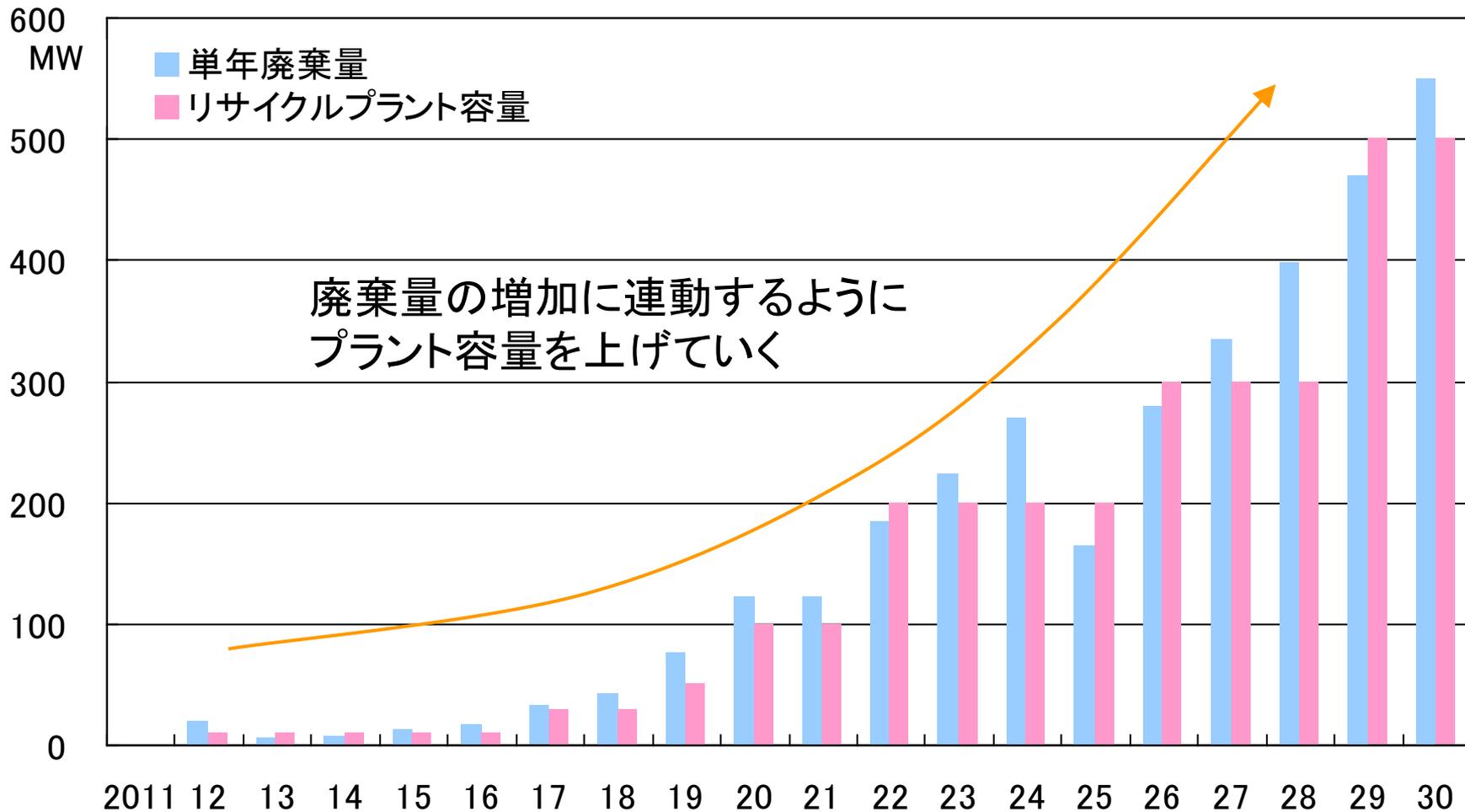
# 将来の太陽電池生産量の予測

2001年～2004年までの累積生産量データ及び2010年・2030年の目標累積生産量データを利用



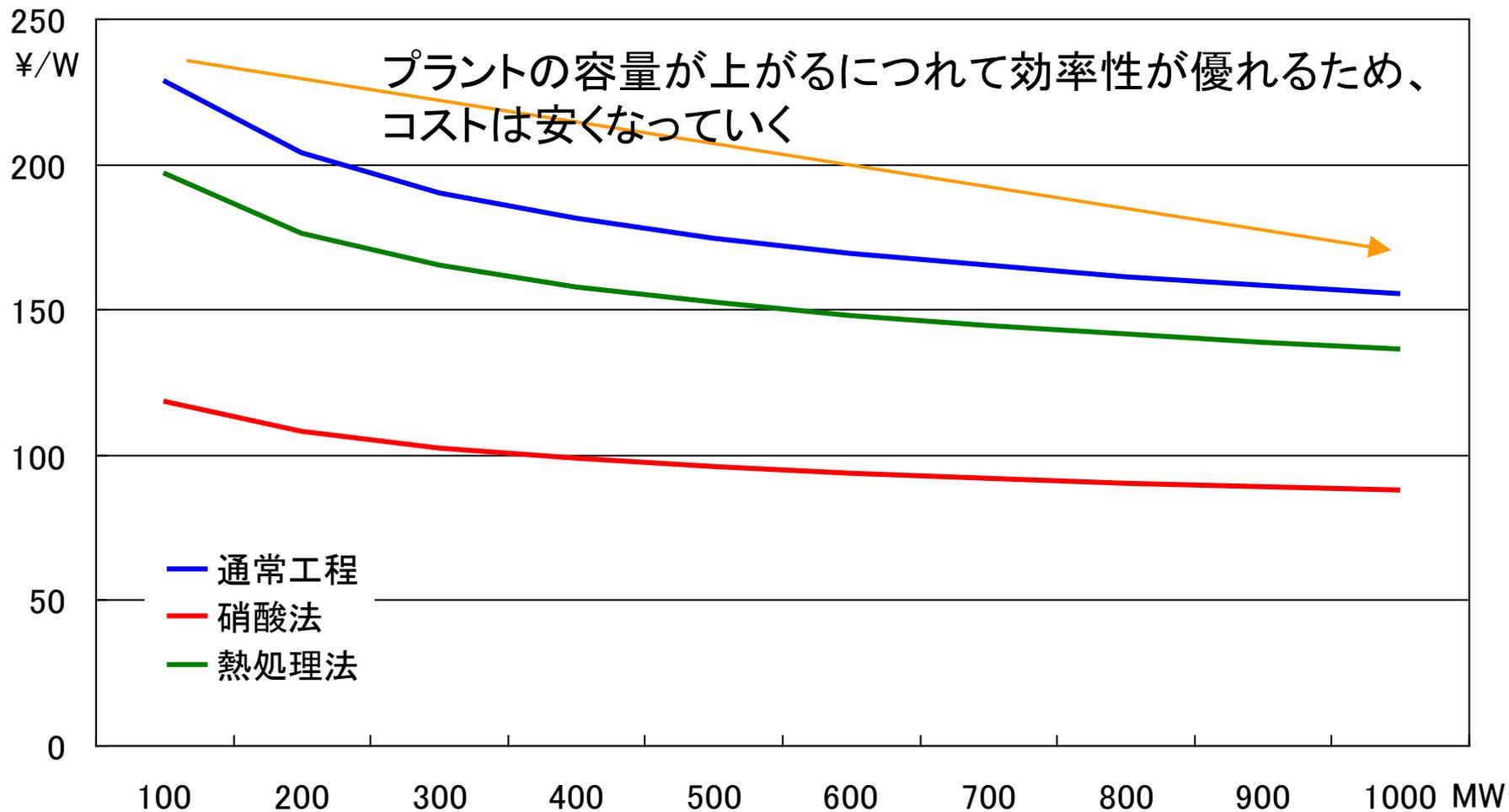
# リサイクルプラントの導入時期

太陽電池が最初に廃棄される2012年に、容量10MWのリサイクルプラントを新規導入する



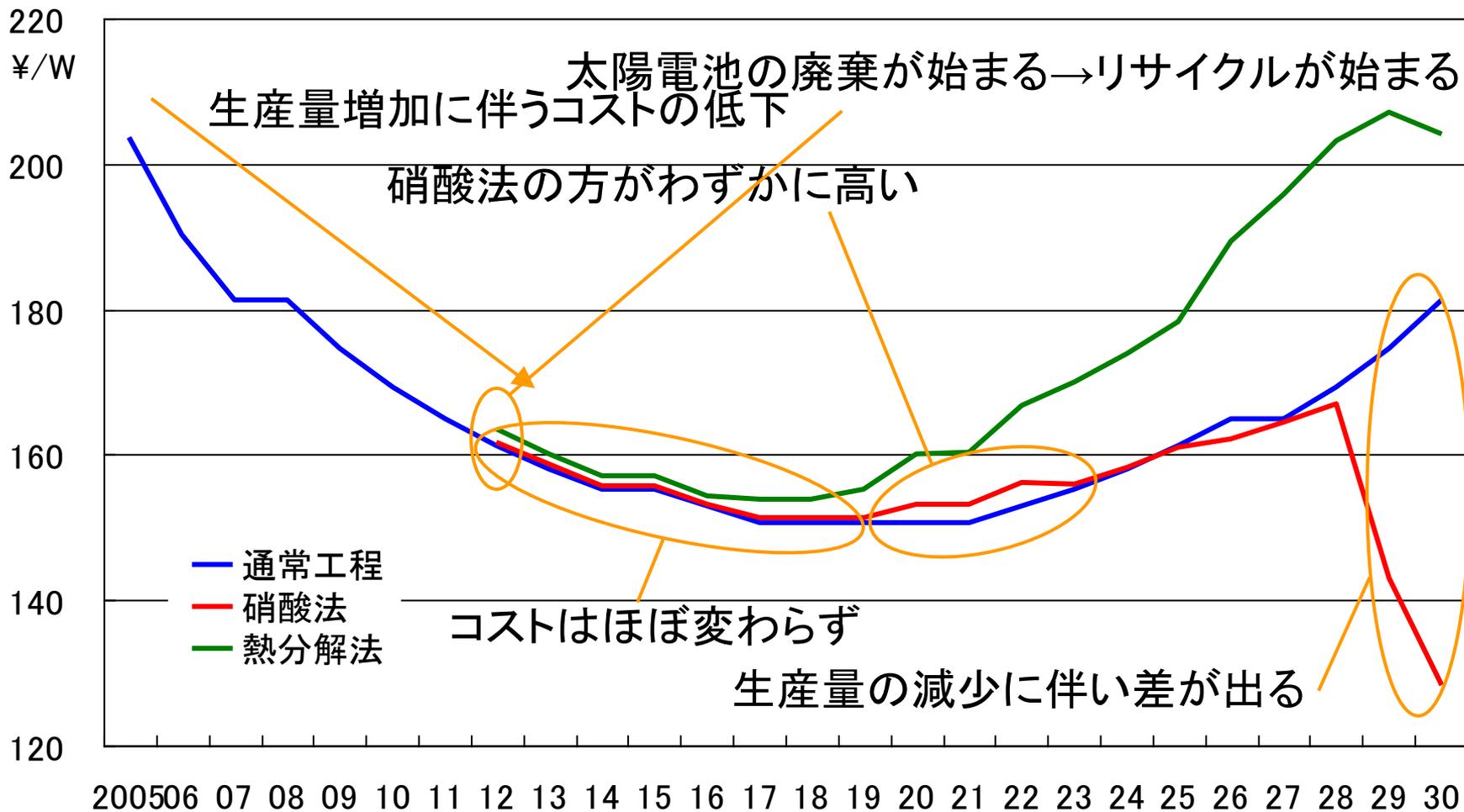
# 各プラント容量の太陽電池製造コスト

スケール効果について計算し、各プラント容量での太陽電池コストを算出する



# 太陽電池製造コストの推移

硝酸法・熱分解法ともに再生率を75%と設定し、2030年までの太陽電池コストを算出した



# 最終発表の流れ

①研究の背景目的

②太陽電池について

③リサイクル手法別LCA分析

④太陽電池リサイクルの将来予測分析

⑤まとめ

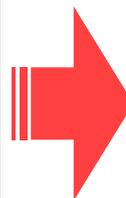
# 本研究のまとめ(リサイクル手法別LCA)

## 分析方法

リサイクル工程を含めた  
太陽電池製造の

- ・エネルギー分析
- ・CO<sub>2</sub>排出量分析
- ・コスト分析

を行い、太陽電池のリサイ  
クル効果を算出



## エネルギー・CO<sub>2</sub>排出量

硝酸法: 71%削減

熱分解法: 45%削減

## コスト

硝酸法: 35%削減

熱分解法: 13%削減

※ 廃棄+新規製造との比較

# 本研究のまとめ(生産量・コスト予測分析)

## 分析方法

2030年までの  
生産量の予測

+

リサイクルプラントの導入  
時期・規模の考察

↓

太陽電池コストの  
推移の分析



## コスト

硝酸法を用いた場合、  
2025年以降に太陽電池  
コスト削減効果が認められる

↓

リサイクル方法として、  
実用性が高い