

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

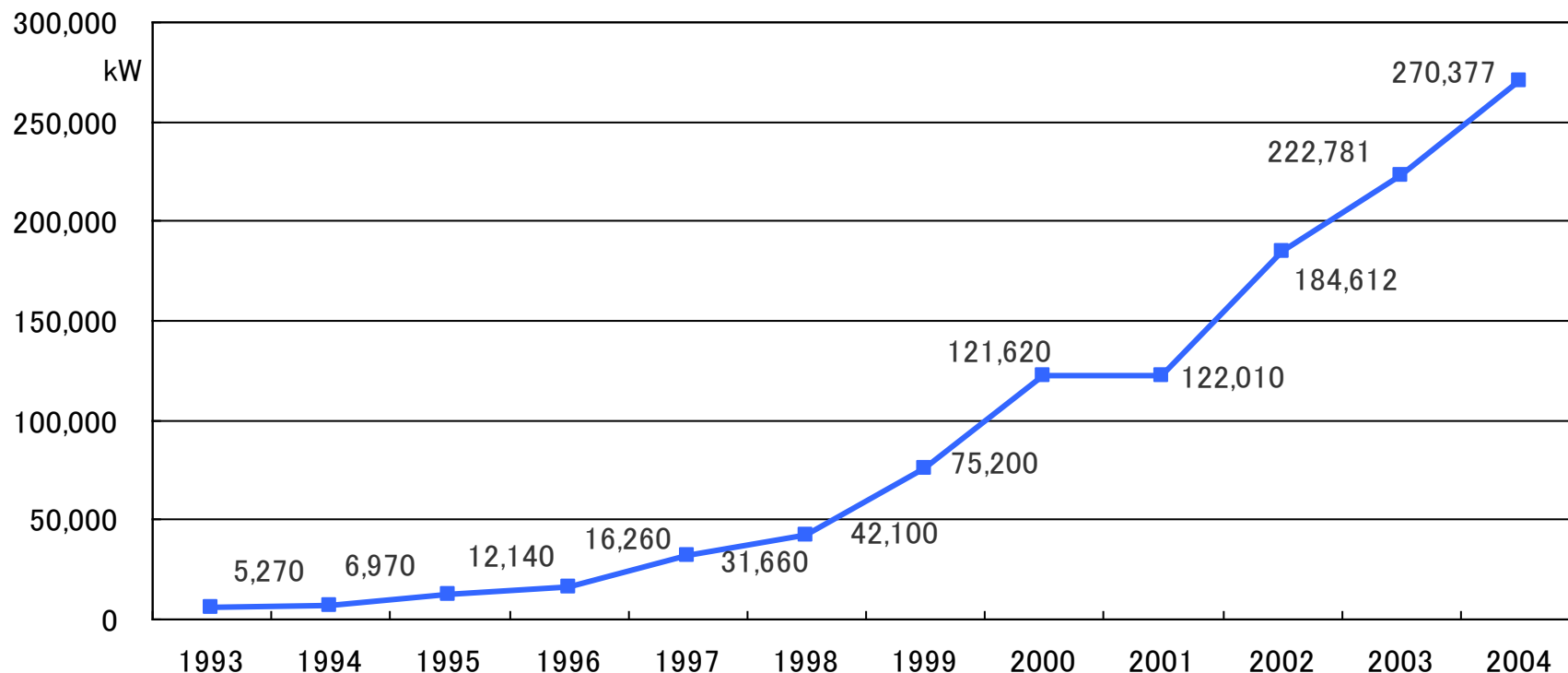
⑤まとめ

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

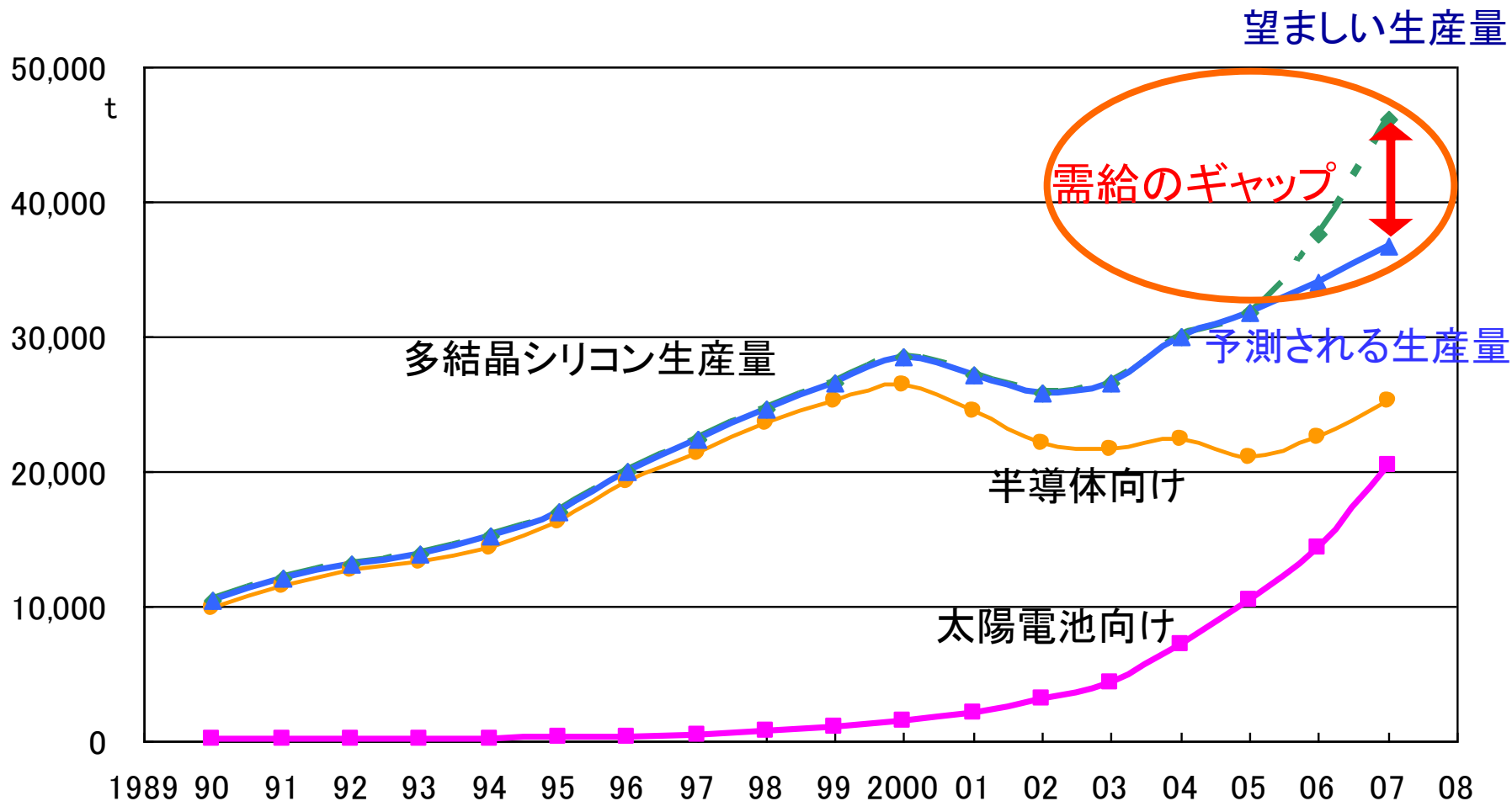
2010年時点：累積482万kW(2004年時点で累積113万kW)

2030年時点：同累積導入量を2024万kW

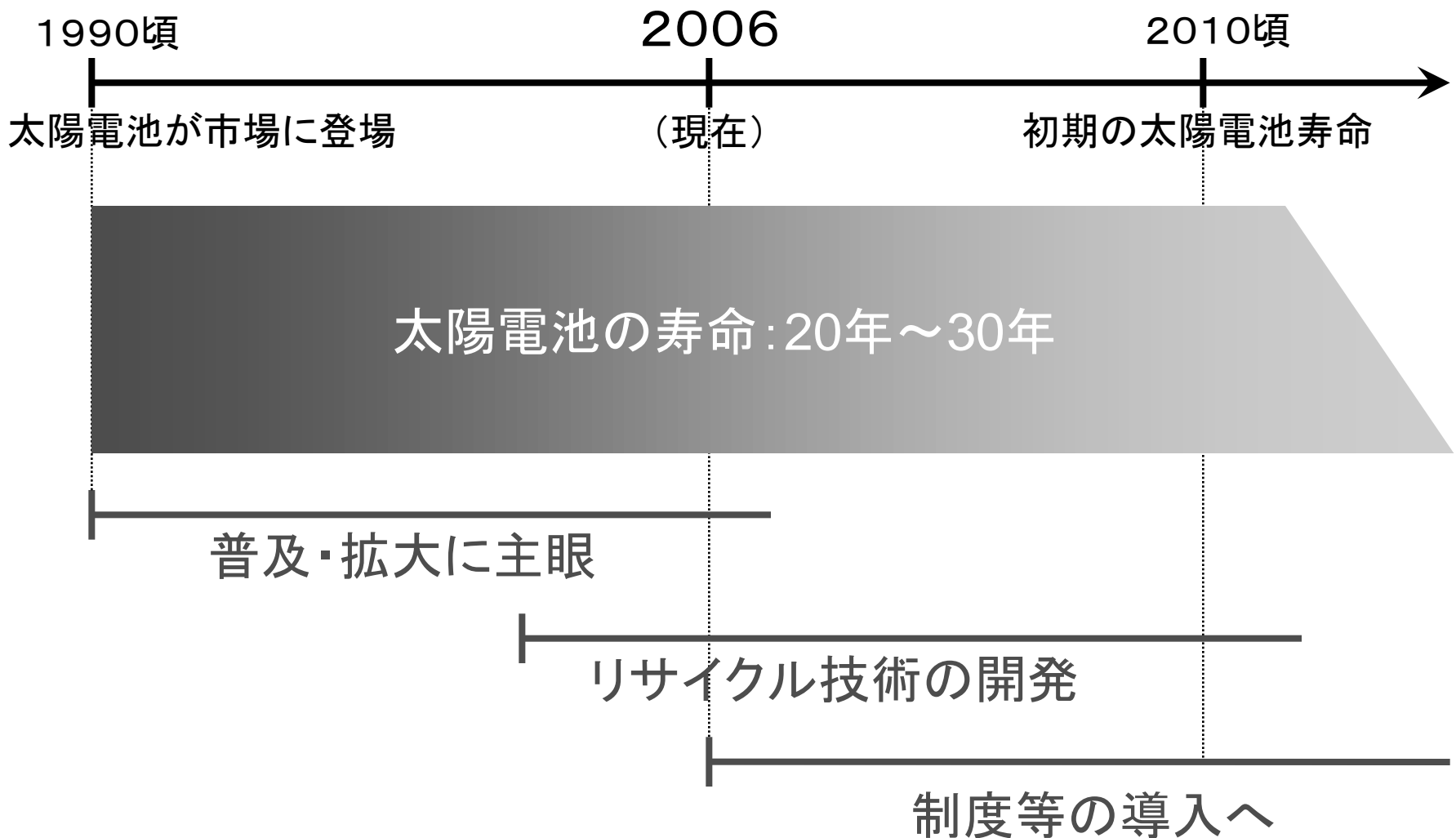


背景② 多結晶シリコン需給の現状と予測

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、CO₂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

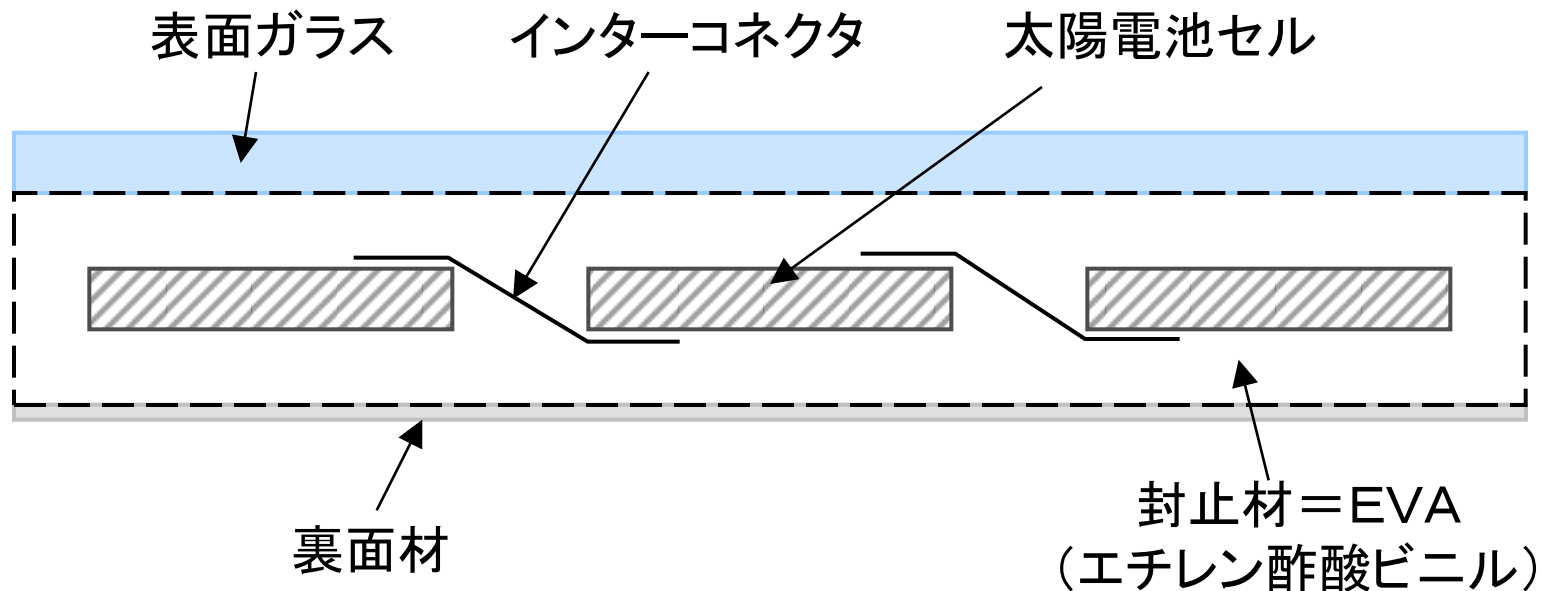
②太陽電池について

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

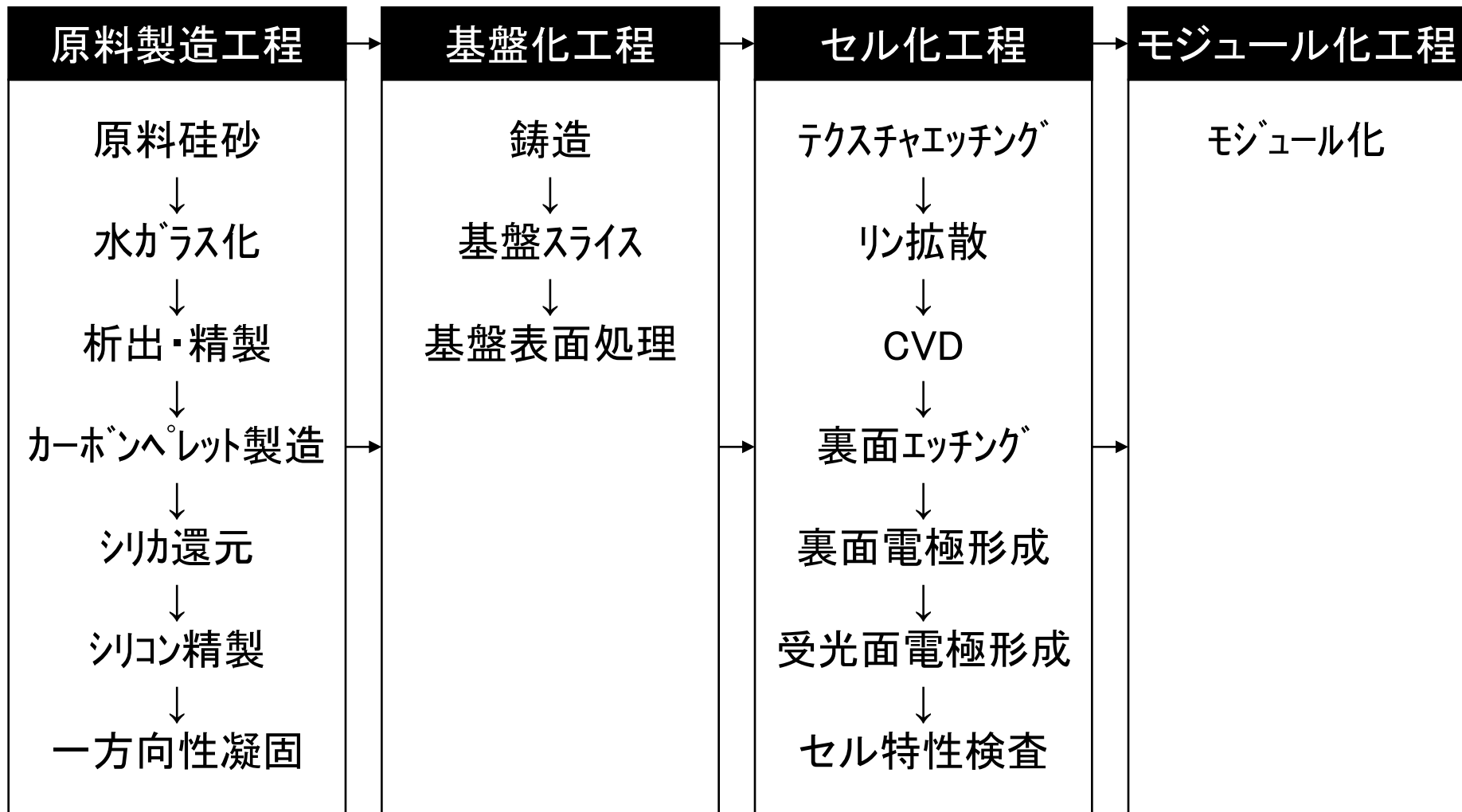
⑤まとめ

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）

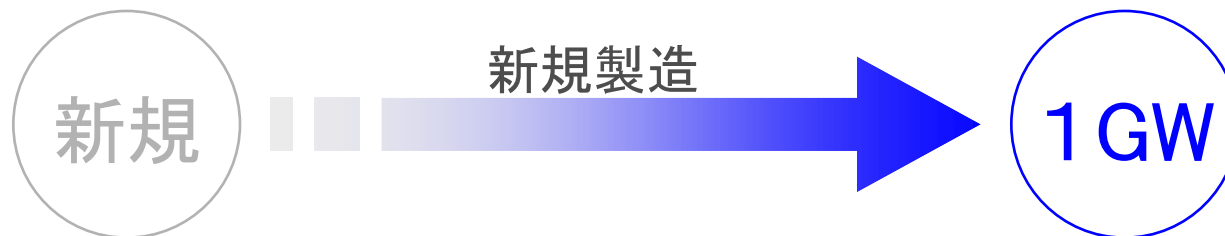
にてリサイクルを行った際のエネルギー・CO2排出効果および、経済効果について評価を行う

使用するデータおよび前提条件

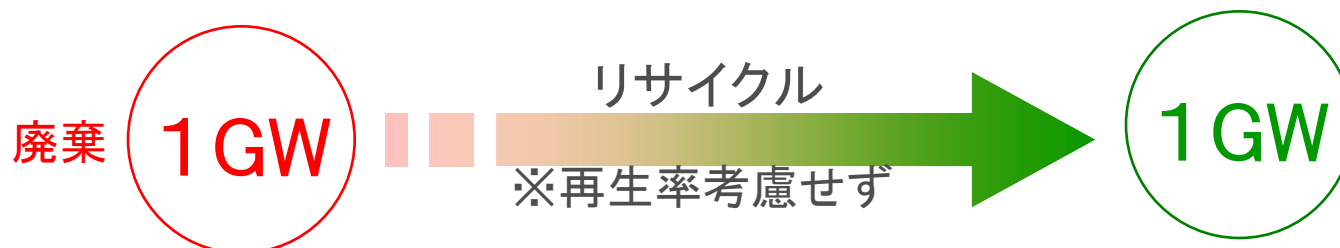
『太陽光発電技術の評価Ⅱ』
のデータを利用

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 ²
モジュール面積	0.82 m ²

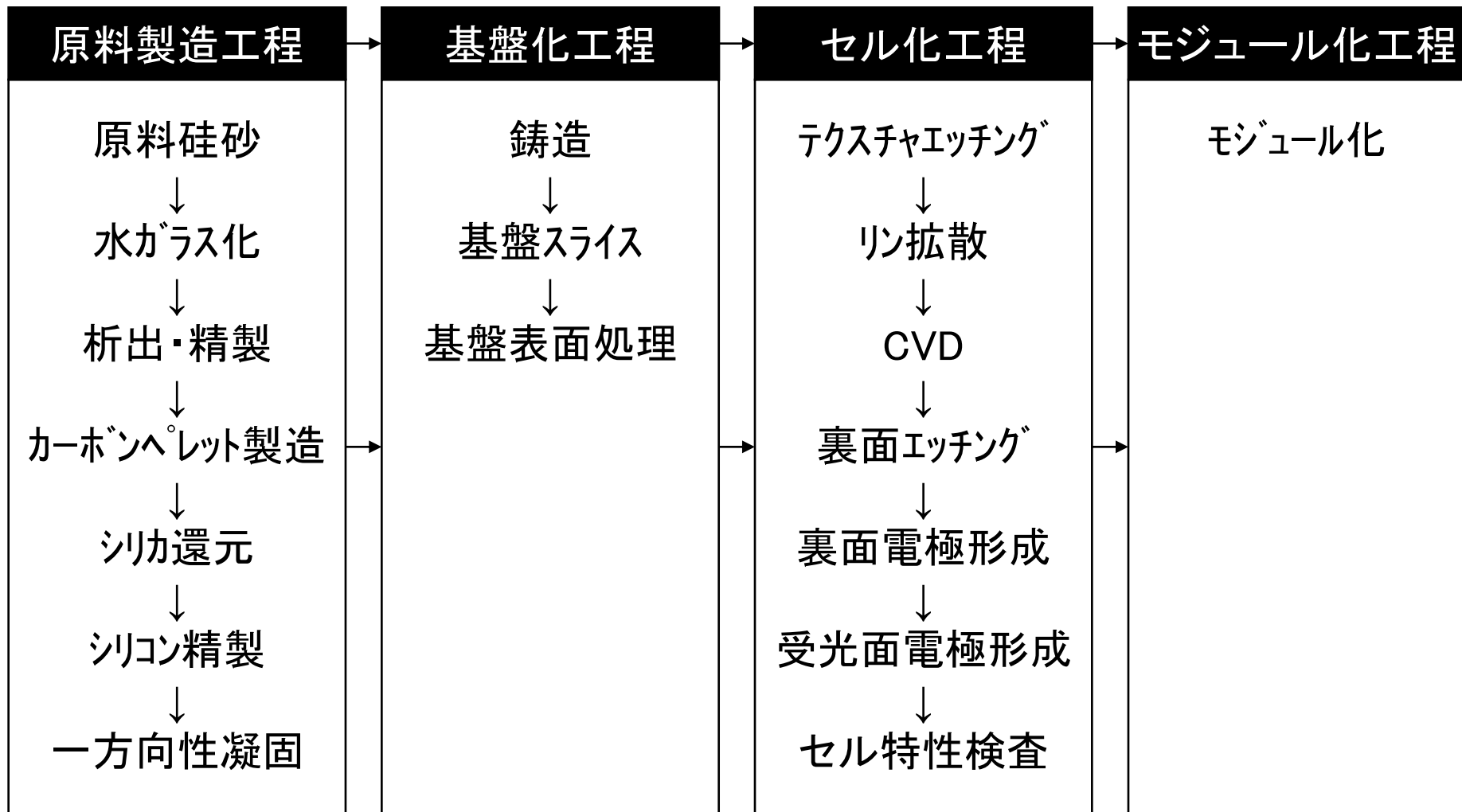
リサイクルしない場合(通常工程)



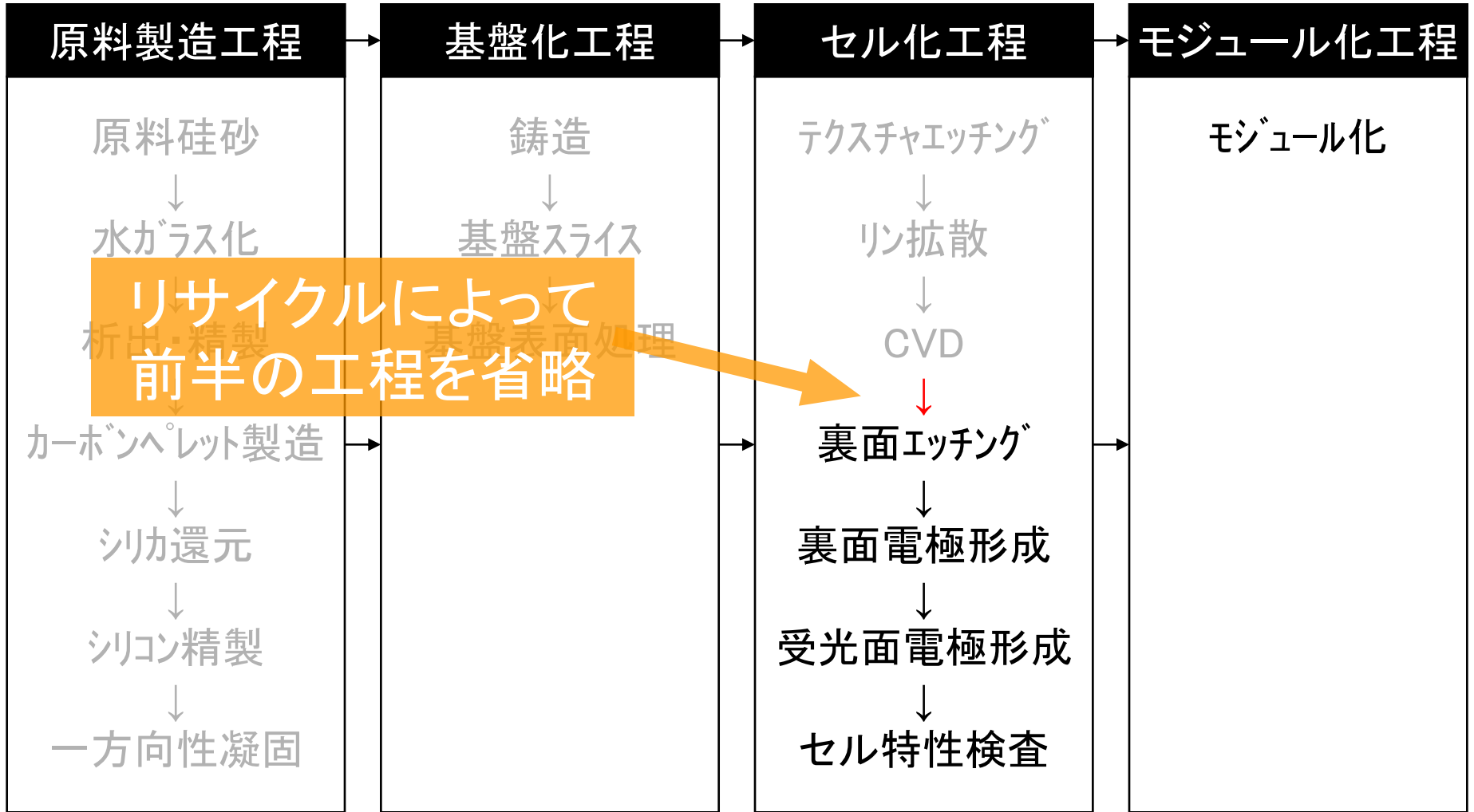
リサイクルする場合(硝酸法、熱分解法)



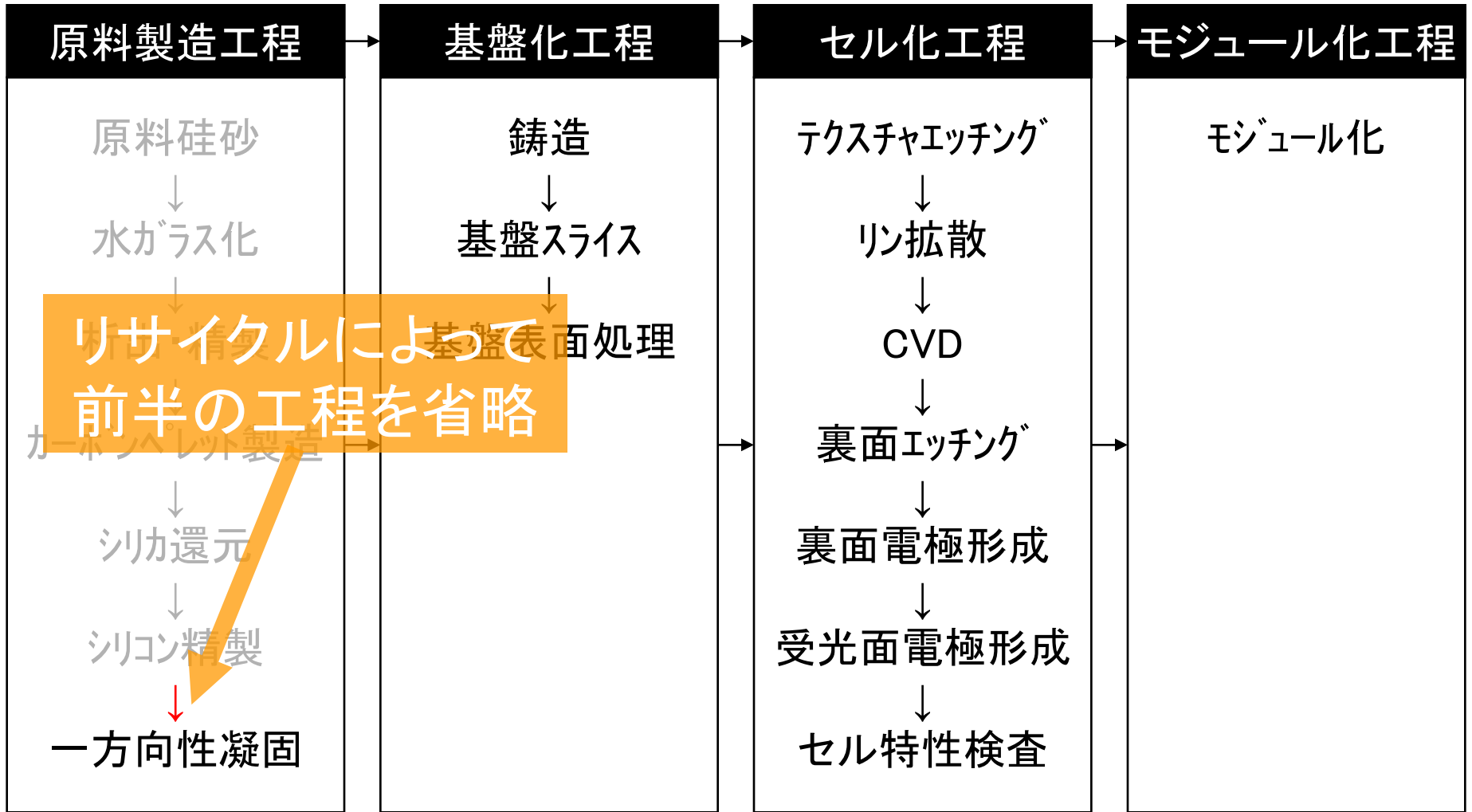
通常工程（リサイクルなし）



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

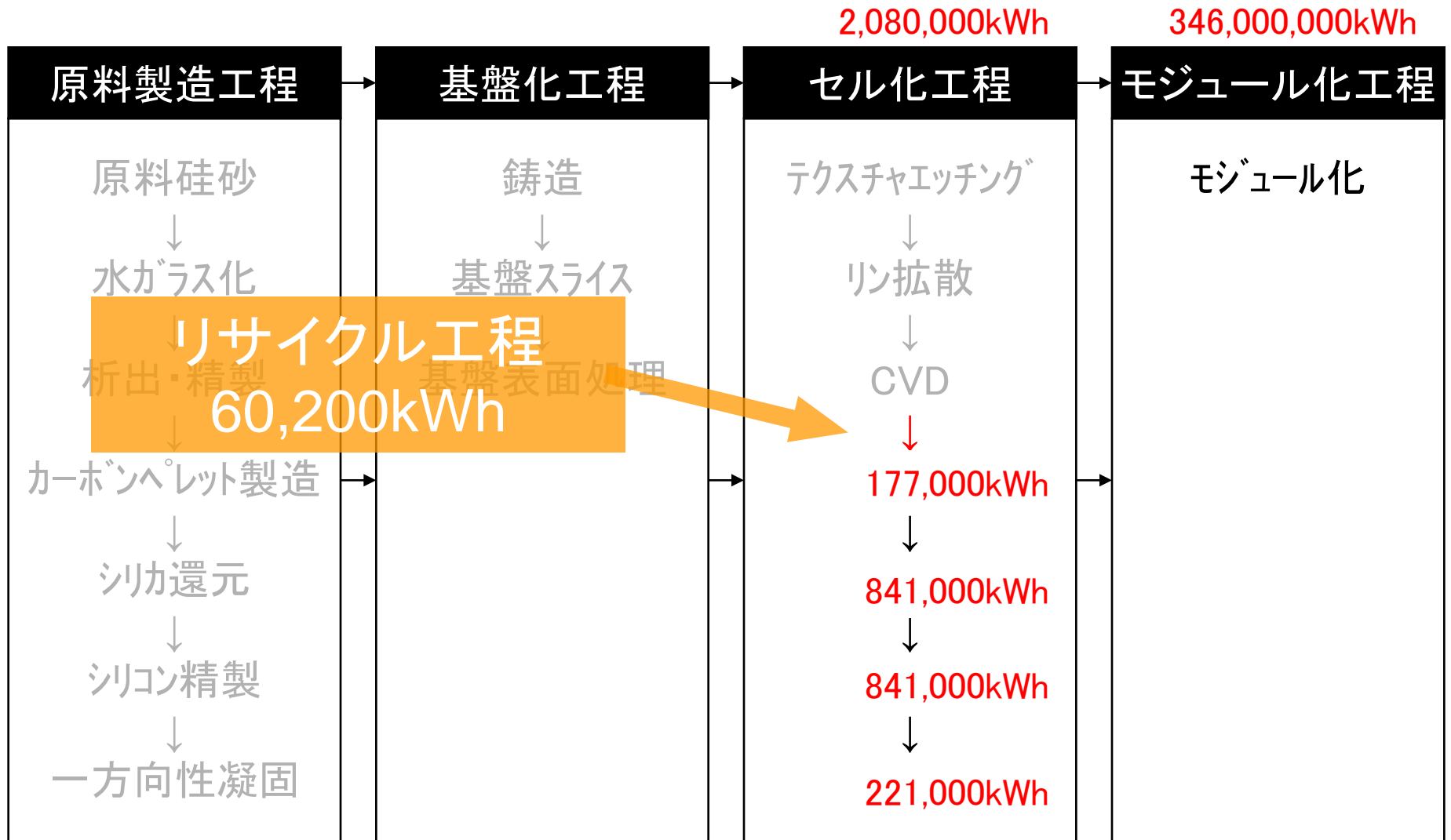
テクスチャエッチング
↓
リン拡散
↓
CVD
↓
裏面エッチング
↓
裏面電極形成
↓
受光面電極形成
↓
セル特性検査

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
↓
カーボンペレット製造

↓
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

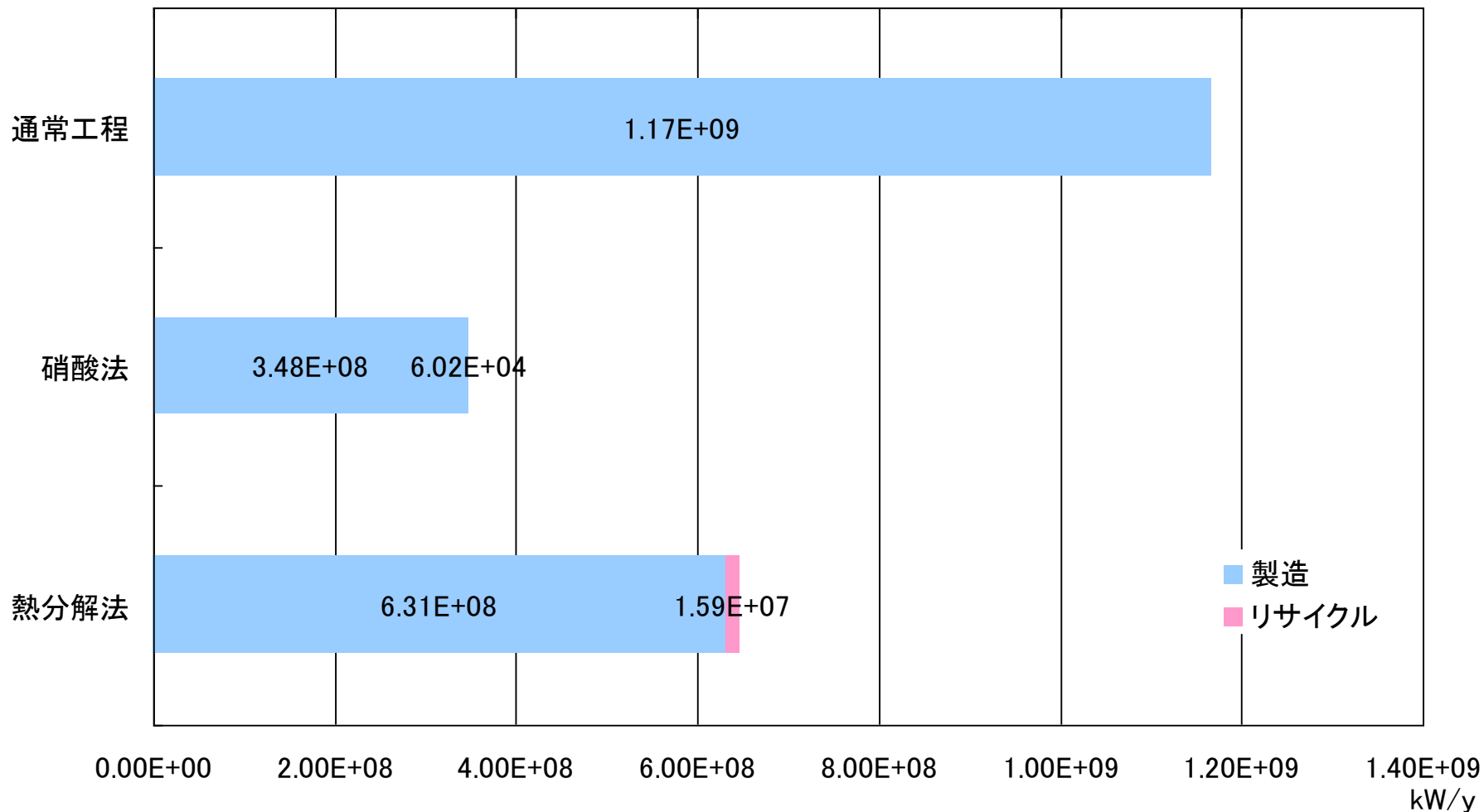
346,000,000kWh

モジュール化工程

モジュール化

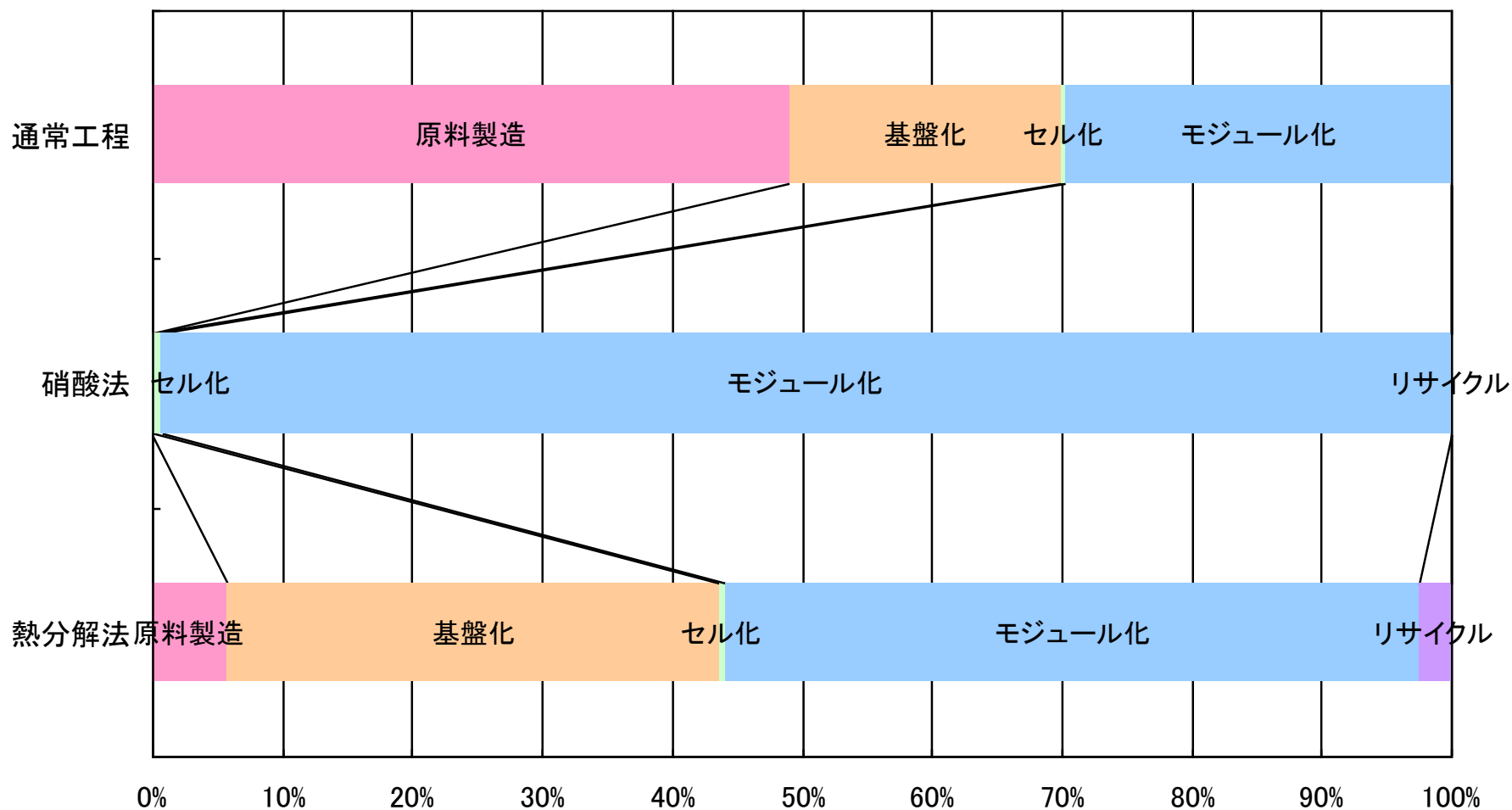
リサイクル手法別エネルギー比較

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

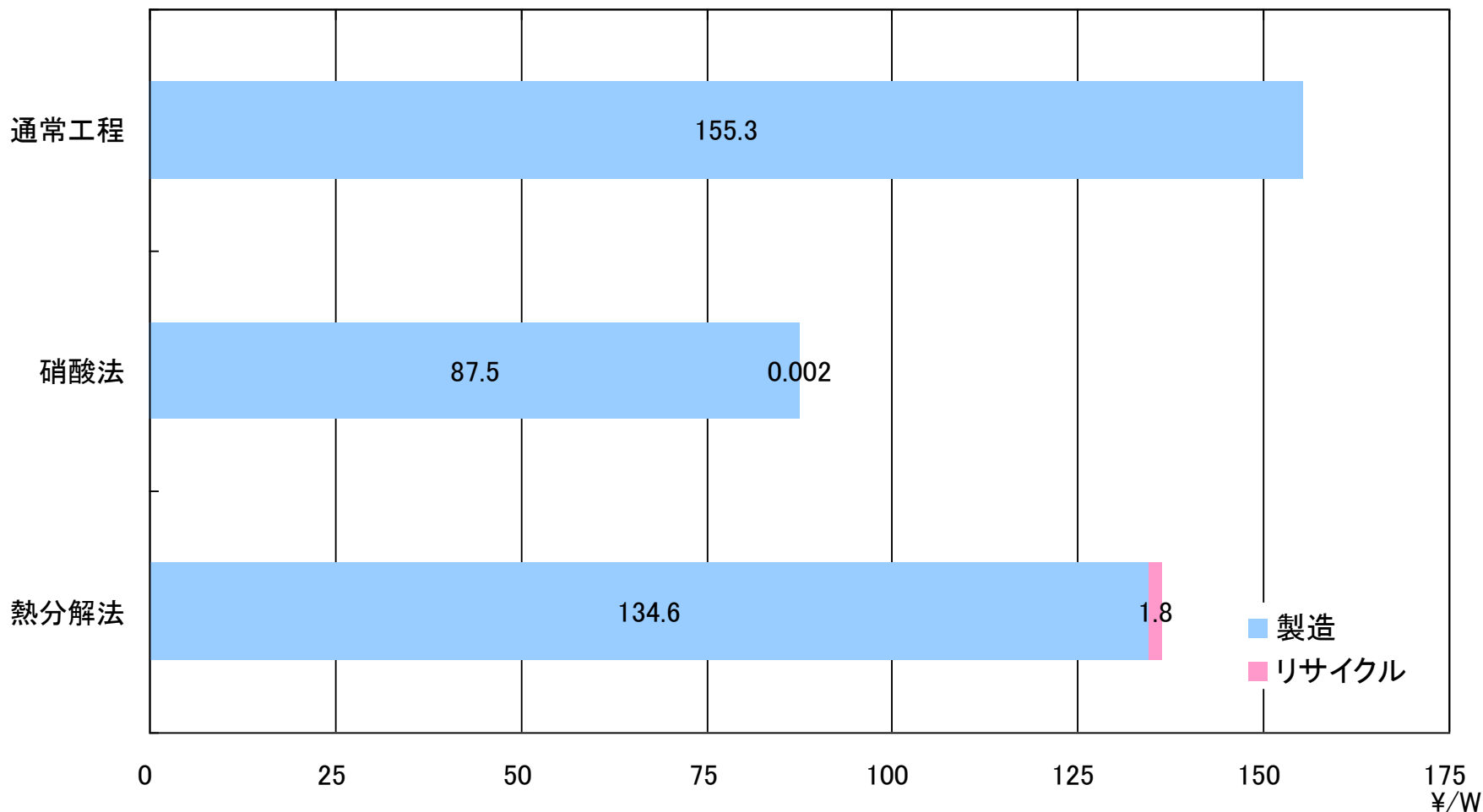
- 必要な電力エネルギー15,918,540kWh/y、電気の価格を8円/kWhとすると、

⇒ **1.82円/W**

- 一方向性凝固以降の製造コストを加算

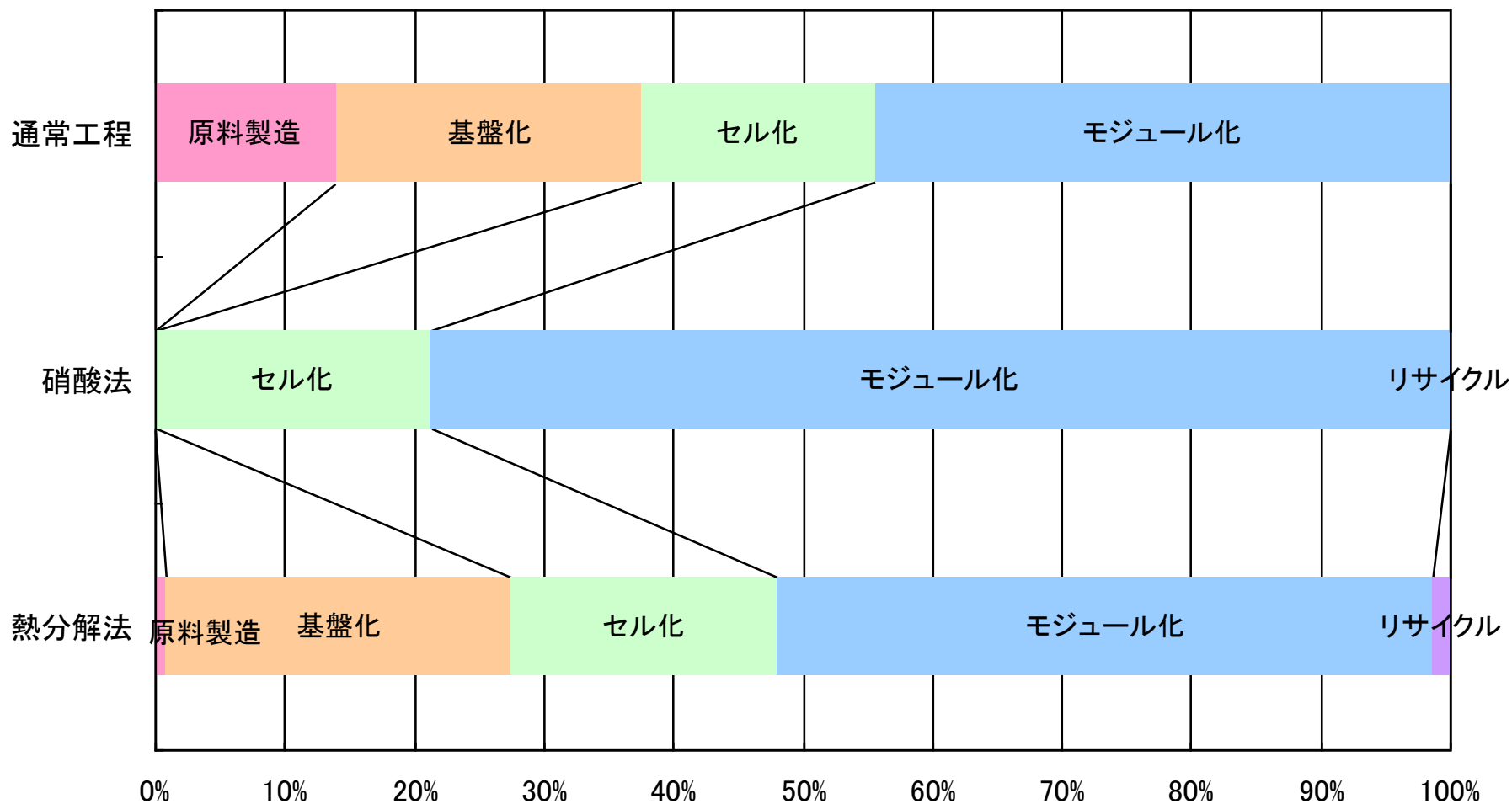
リサイクル手法別コスト比較

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

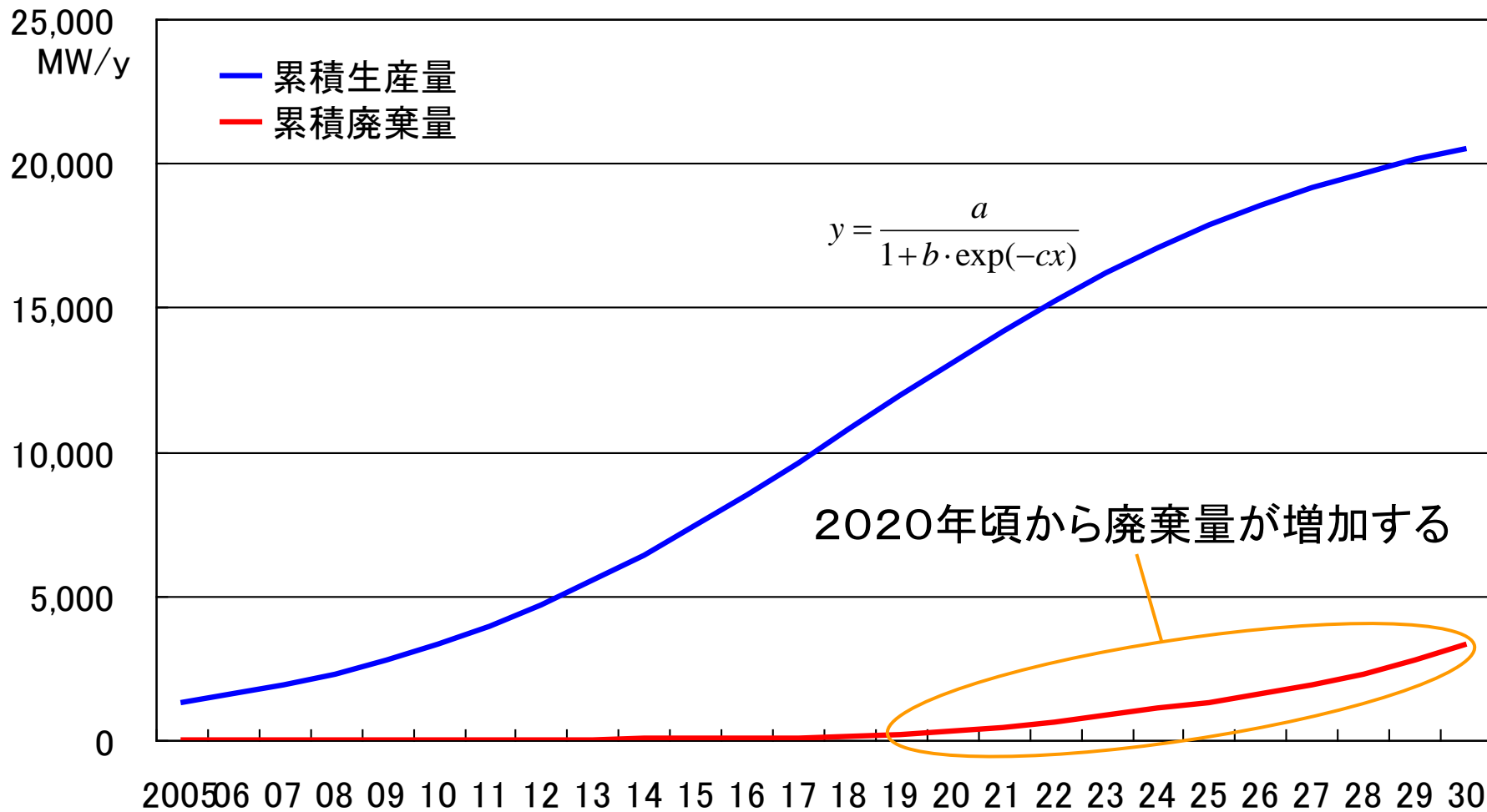


太陽電池製造コストの推移の分析

再生率

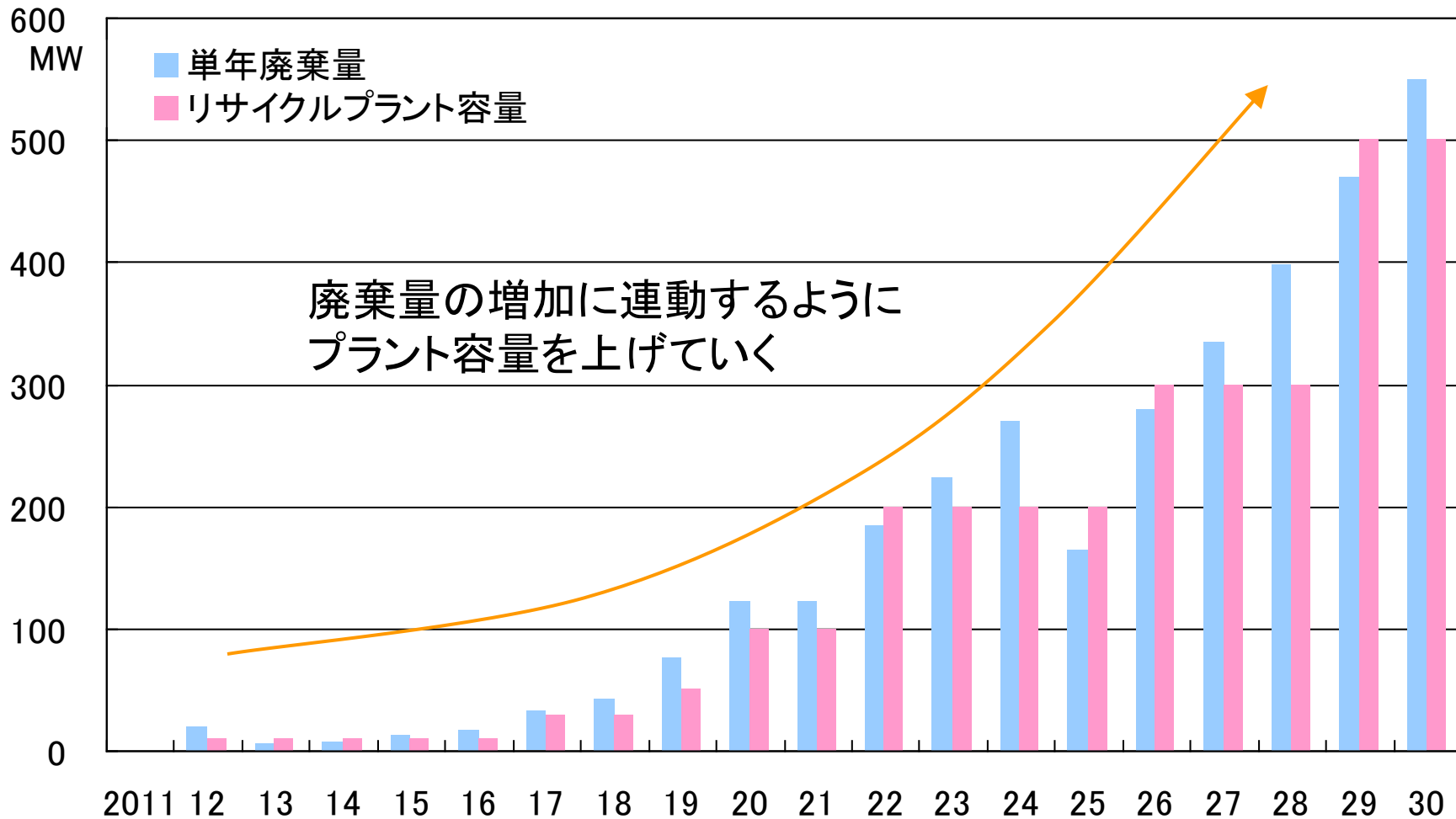
将来の太陽電池生産量の予測

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



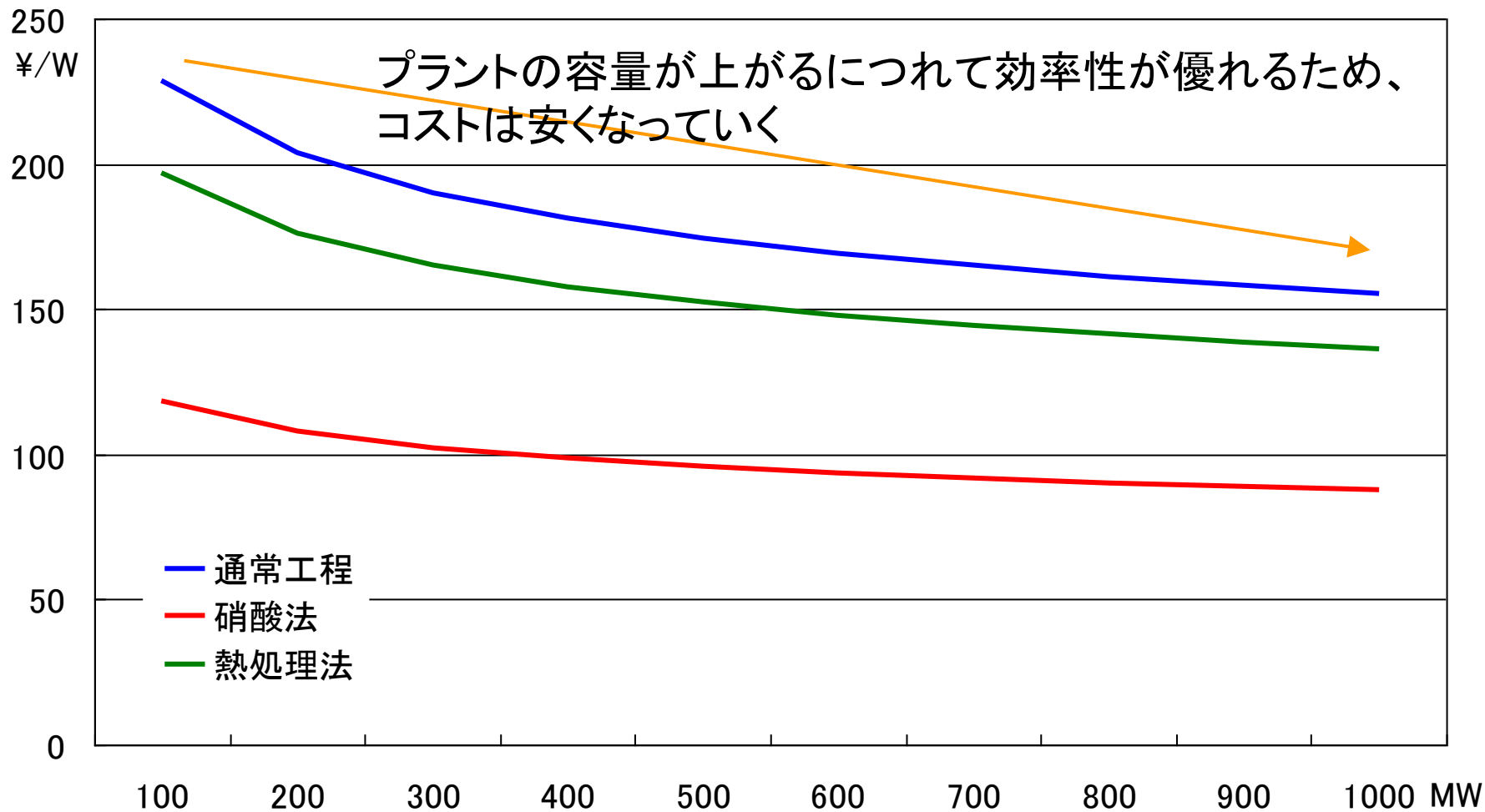
リサイクルプラントの導入時期

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



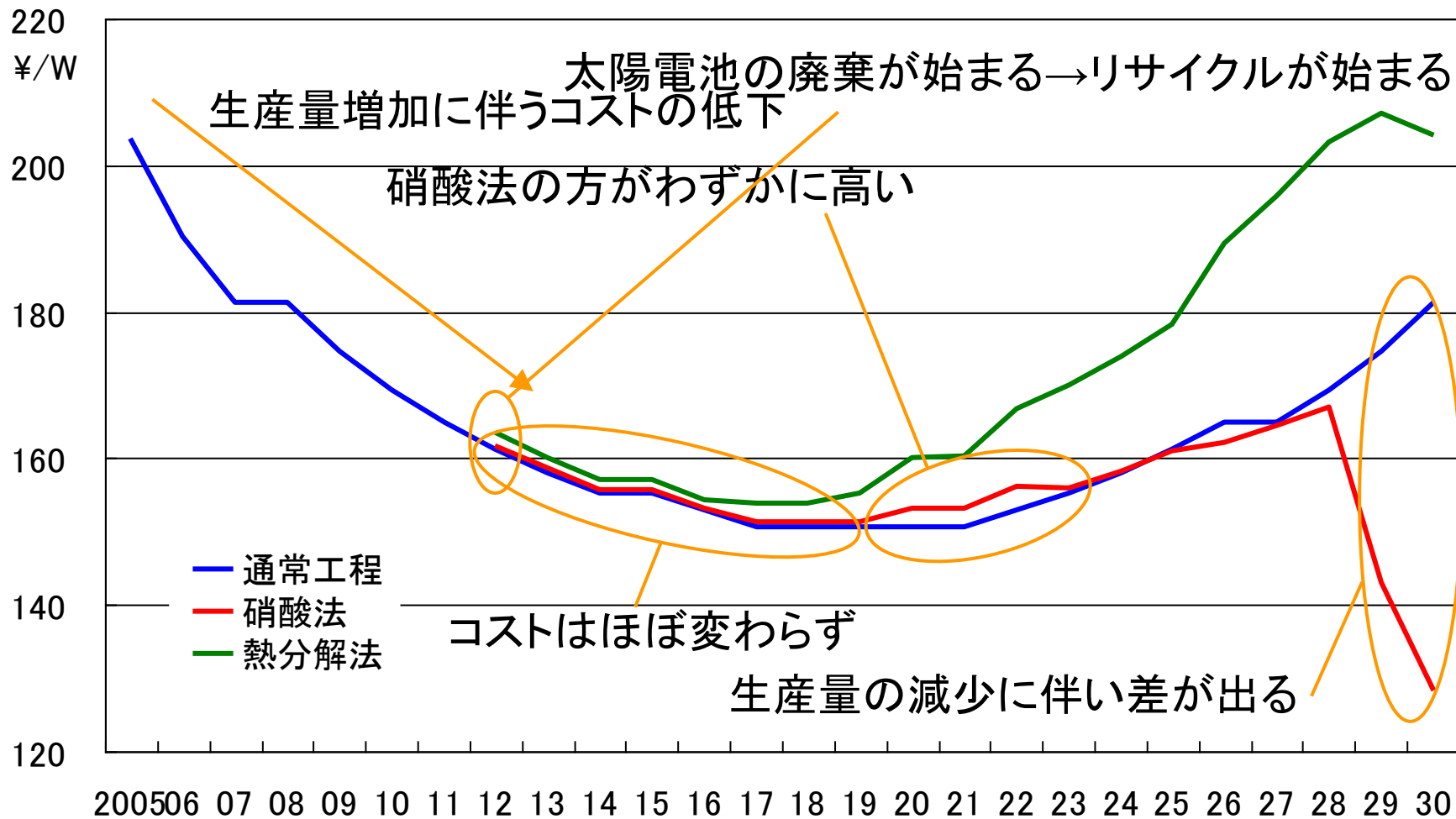
各プラント容量の太陽電池製造コスト

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
- ・CO₂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・CO₂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