

世界に先駆けた日本の再生可能エネルギー開発
ーサンシャイン計画50年を振り返って
将来を展望するー

1. 長期展望に立ち、将来を見据えた日本のサンシャイン計画
2. 世界に貢献した日本の太陽光発電研究開発、実用化
3. 世界で太陽光などの再生可能エネルギーが拡大
4. 未来について語ろう！
再生可能エネルギーで世界のエネルギーは賅えるか？

桑野 幸徳

元三洋電機(株)代表取締役社長
大和ハウス工業株式会社 社外取締役
太陽光発電技術研究組合 名誉顧問



1-1. 1973年オイルショックの前にサンシャイン計画の立案

1) 1970年初頭、当時のエネルギー供給不安から代替エネルギー問題に対する対応が通産省で検討開始されていた。

2) 1973年(50年前)中東戦争を契機にオイルショック、石油価格の約4倍に高騰した。

3) 代替エネルギー源の開発の必要性が叫ばれた。
1974年代替エネルギー開発として「サンシャイン計画」発足
(初めての産・官・学が連携した長期的国家プロジェクト)



サンシャイン計画の実施内容

- 1) 太陽エネルギー発電システム技術(太陽光発電、太陽熱発電等)
- 2) 地熱エネルギー
- 3) 石炭エネルギー石炭の液化・ガス化技術
- 4) 水素エネルギー(水素製造技術・水素の輸送・貯蔵技術)
- 5) 風力エネルギー
- 6) 海洋温度差発電
- 7) バイオマス

1-2. 大規模エネルギー資源戦争は過去2回

1) **1973年**10月6日 (**50年前**) に第四次中東戦争が勃発。OPEC加盟産油国のうちペルシア湾岸の6カ国が、**原油公示価格を約4倍** (1バレル3.01ドルから11.65ドル) へ引き上げ。

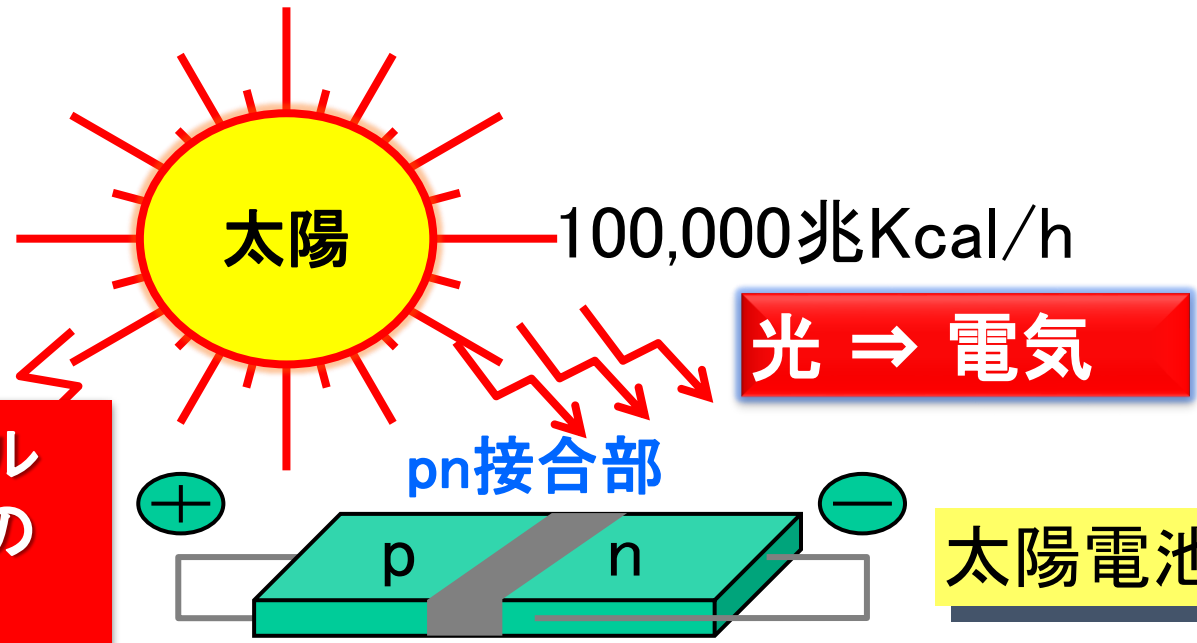
2) 2022年2月ロシアはウクライナ侵攻した。G7は制裁を科し、エネルギー資源戦争へ。



1-3. 膨大な太陽エネルギー

- ・無尽蔵
- ・クリーン
- ・地域的偏在性なし

地表に到達する1時間の太陽エネルギーで全人類の消費する1年分のエネルギーを賄える



電気を利用



水力

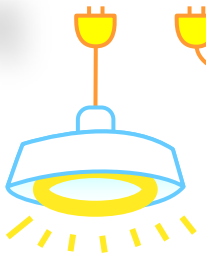


風力

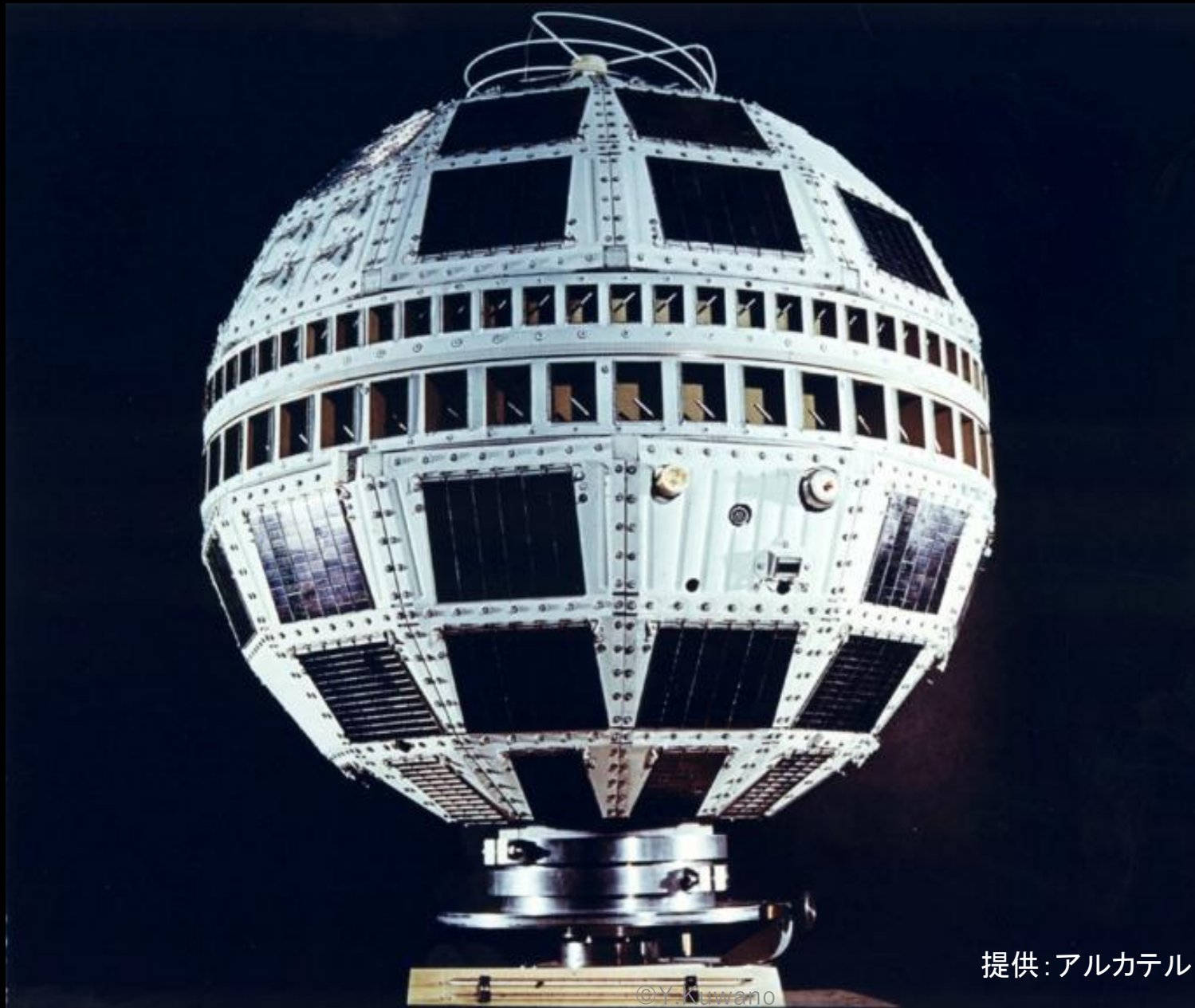


バイオマス

v



1-4. 当初は人工衛星の電源として使用される(1958年)

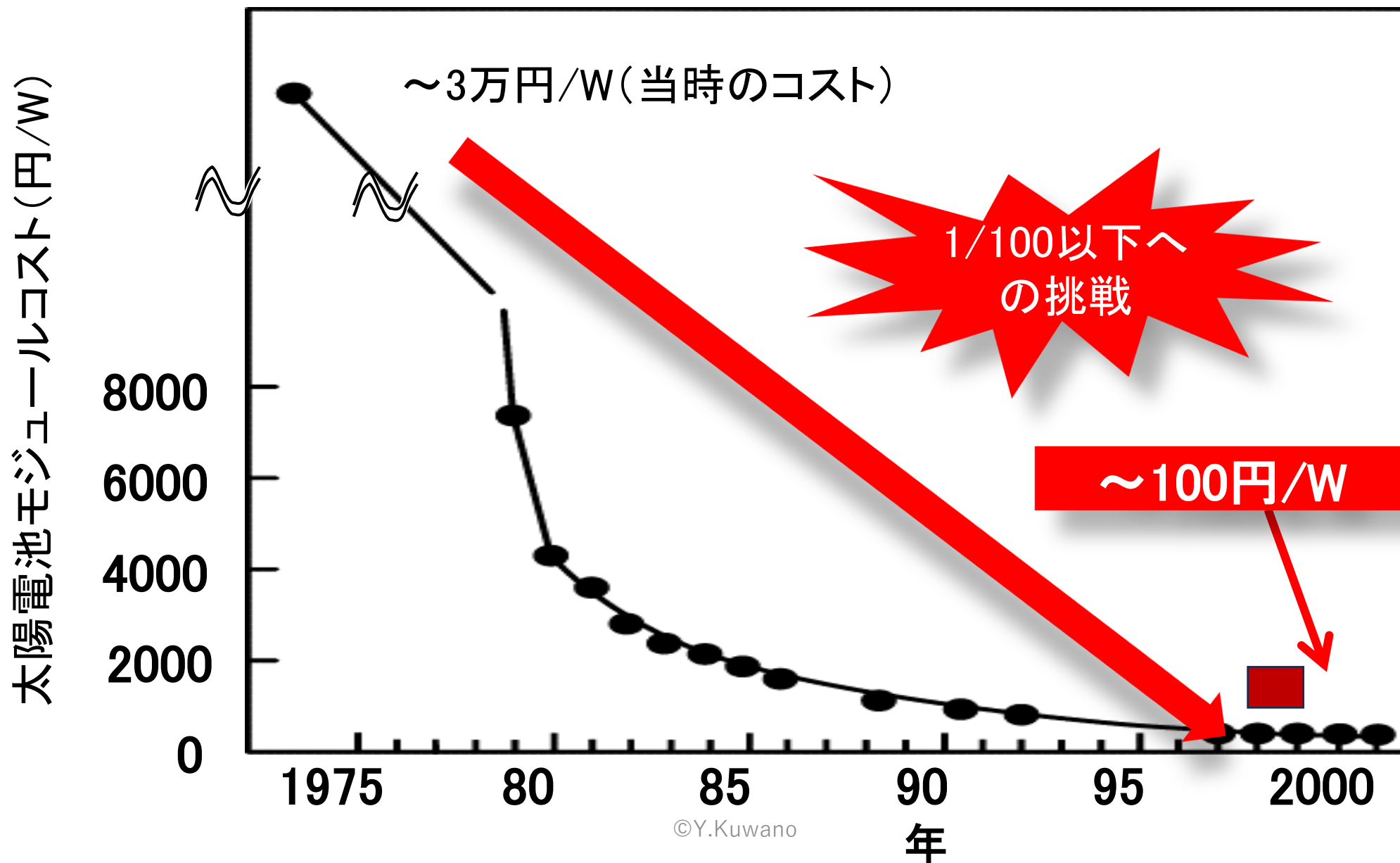


提供: アルカテル・ルーセントベル研究所

©Y. Kuwano



1-4. 1974年(約50年前)サンシャイン計画における太陽電池コストの予測



1-5. 開発された多様な太陽電池

各種太陽電池の種類

1. 結晶シリコン系(単結晶、多結晶Si)
2. 薄膜系
 - a) アモルファスSi等薄膜シリコン系
 - b) 化合物半導体系
 - c) 有機系(色素増感、有機半導体系)

ペロブスカイト太陽電池



結晶シリコン 薄膜シリコン



化合物



有機系(色素増感)



ペロブスカイト太陽電池
©Y.Kuwano

1. 長期展望に立ち、将来を見据えた日本のサンシャイン計画
2. 世界に貢献した日本の太陽光発電研究開発、実用化
3. 世界で太陽光などの再生可能エネルギーが拡大
4. 未来について語ろう！
再生可能エネルギーで世界のエネルギーは賅えるか？



2-1. 太陽光発電開発・普及の歴史

産学官一体となった研究開発、
 実用化体制の構築成る！

1973 オイルショック

1974 「サンシャイン計画」等各国の国家プロジェクト発足

1980 NEDO発足、太陽電池のエレクトロニクス製品への応用(電卓等)

1988 地球環境問題の顕在化

1992太陽光発電の余剰電力買い取り制度発足、個人住宅用逆潮あり太陽光発電システムの実現

1993 ニューサンシャイン計画開始

1994 個人住宅用補助金制度開始、公共施設等用太陽光発電フィールドテスト事業開始

1990年代後半からー2005年まで日本の太陽電池の生産量は世界一

2000 ドイツでFIT(固定買い制)制度化

2004 NEDO2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)公表

2005 太陽電池の世界の年間生産量が1GWを超える

2012 日本で固定買い取り制度発足

2015 国連の持続可能な開発目標「SDGs」採択

2015 COP21(国連の気候変動対策の会議:パリ協定)

2018 世界の太陽電池生産量110GWを超え

2021 第6次エネルギー基本計画で再生可能エネルギーを基幹エネルギーと政府決定

2024 現在 世界で1テラW超の太陽光発電が実現

太陽電池
 黎明期

第2期:電力用へスタート
 成長期

第3期世界規模での
 太陽光発電拡大期



約
 50
 年間

オイルショックを引き金に国家プロジェクトとして
再生可能エネルギーの開発が進められたが、

しかし、太陽光発電等の代替エネルギー源としては未成熟で
既存の電力に打ち勝つことは大変難しかった。
1970年後半、多くの再生可能エネルギーの海外、国内の開発
メーカーは太陽電池の開発メーカーは脱落した。

三洋、シャープなどは太陽電池をエレクトロニクス用として活用
することにした。

従来とは異なる新型の集積型アモルファスSi太陽電池
の開発を目指した

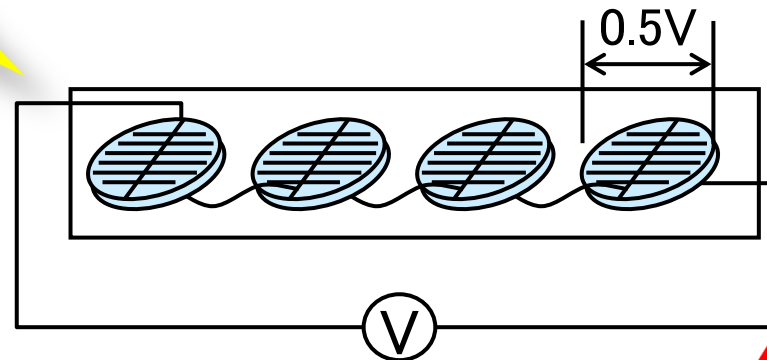
サンシャイン計画は推進された



2-3. 新型太陽電池の開発 集積型アモルファスSi太陽電池の構造

従来の結晶型太陽電池はセルをリード線で直列接合していた。

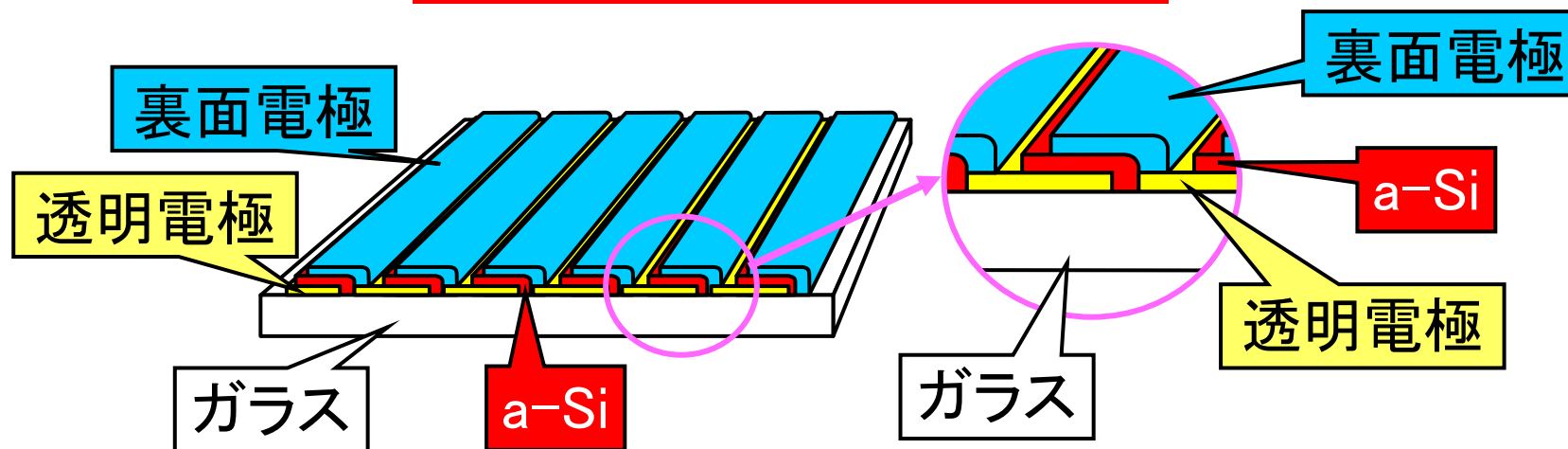
(a) 従来型太陽電池



このパターンニングで薄膜太陽電池を端面で直列接合技術は後に登場する薄膜太陽電池の基本構造となった。

(b) 新型集積型タイプ

アモルファスSi = a-Si

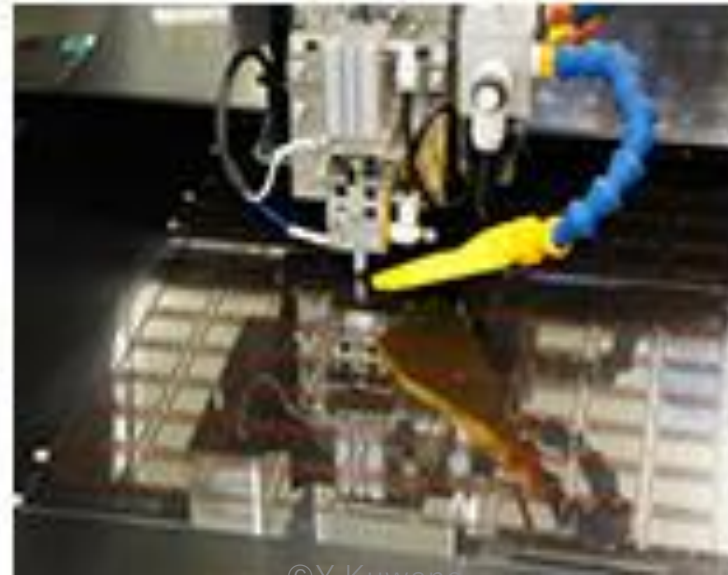


世界で最初のアモルファスSi太陽電池の工業化

**1980年
(44年前)**

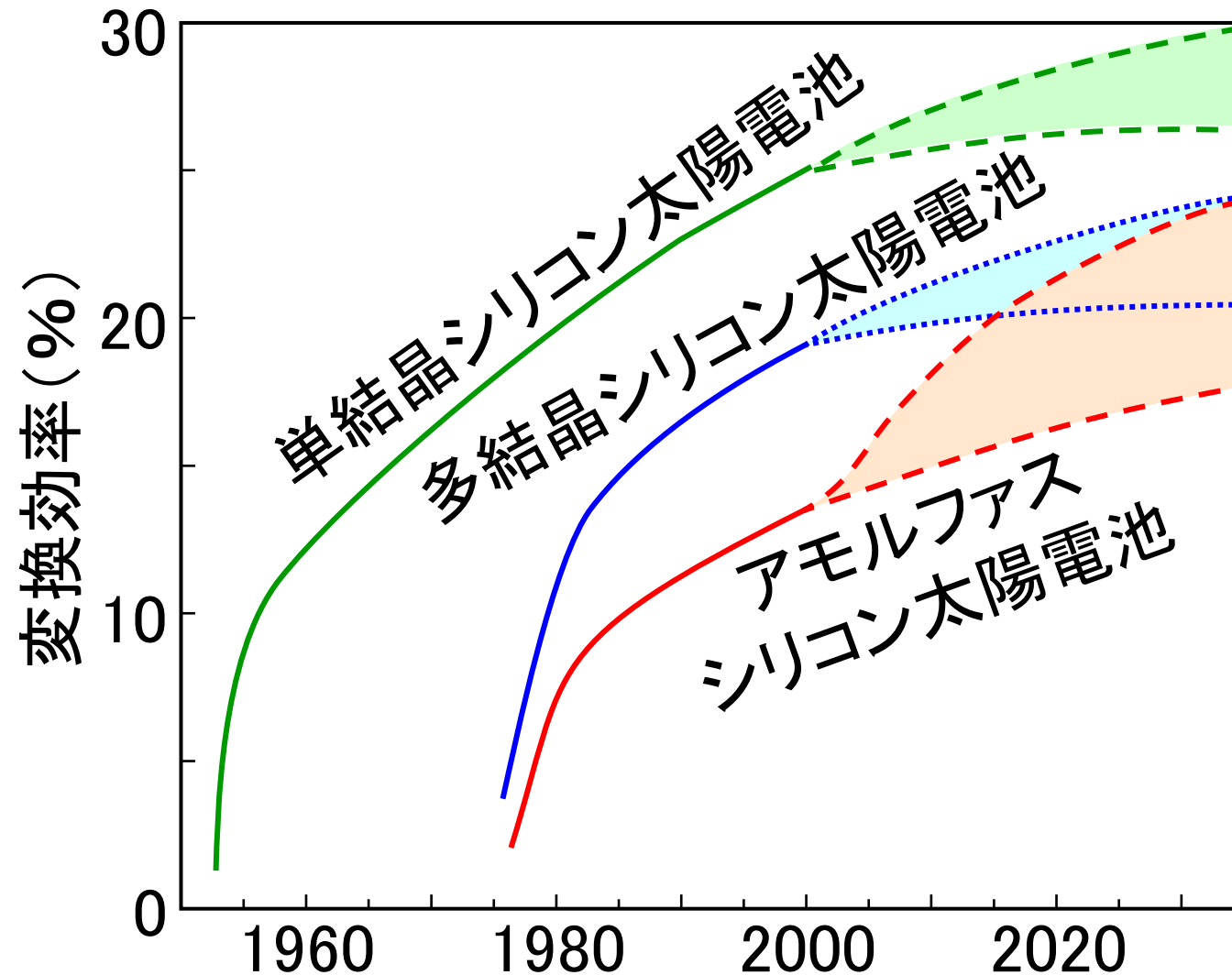


現在も日本で生産している、アモルトン株式会社 (福島県喜多方市)



2-4. 国家プロジェクトは継続され

1990年代後半に太陽電池の変換効率が向上してきた



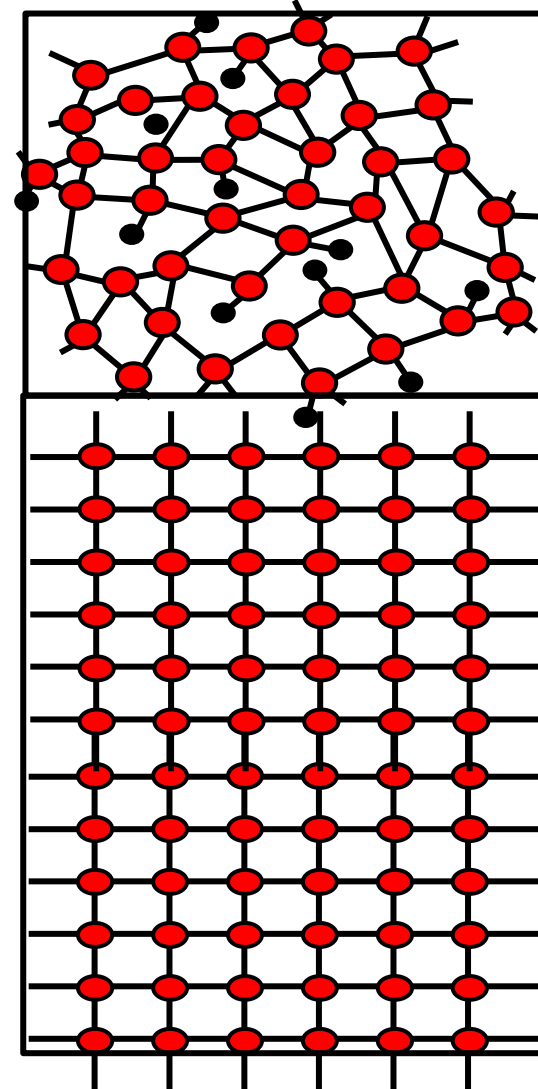
**世界最高の変換効率HIT太陽電池の開発
それは非常識な発想の中で生まれた！**

1. なかなか向上しない変換効率
2. もうだめか！
3. 逆転の発想 HIT構造を考え出す！
4. 想像もしない高い変換効率実現
5. まだまだ続く変換効率の向上

1989年頃にアモルファスSiと結晶Siの良さを組み合わせた
新型のヘテロ接合太陽電池(HIT: Hetero-junction with Intrinsic
Thin-layer)を開発。

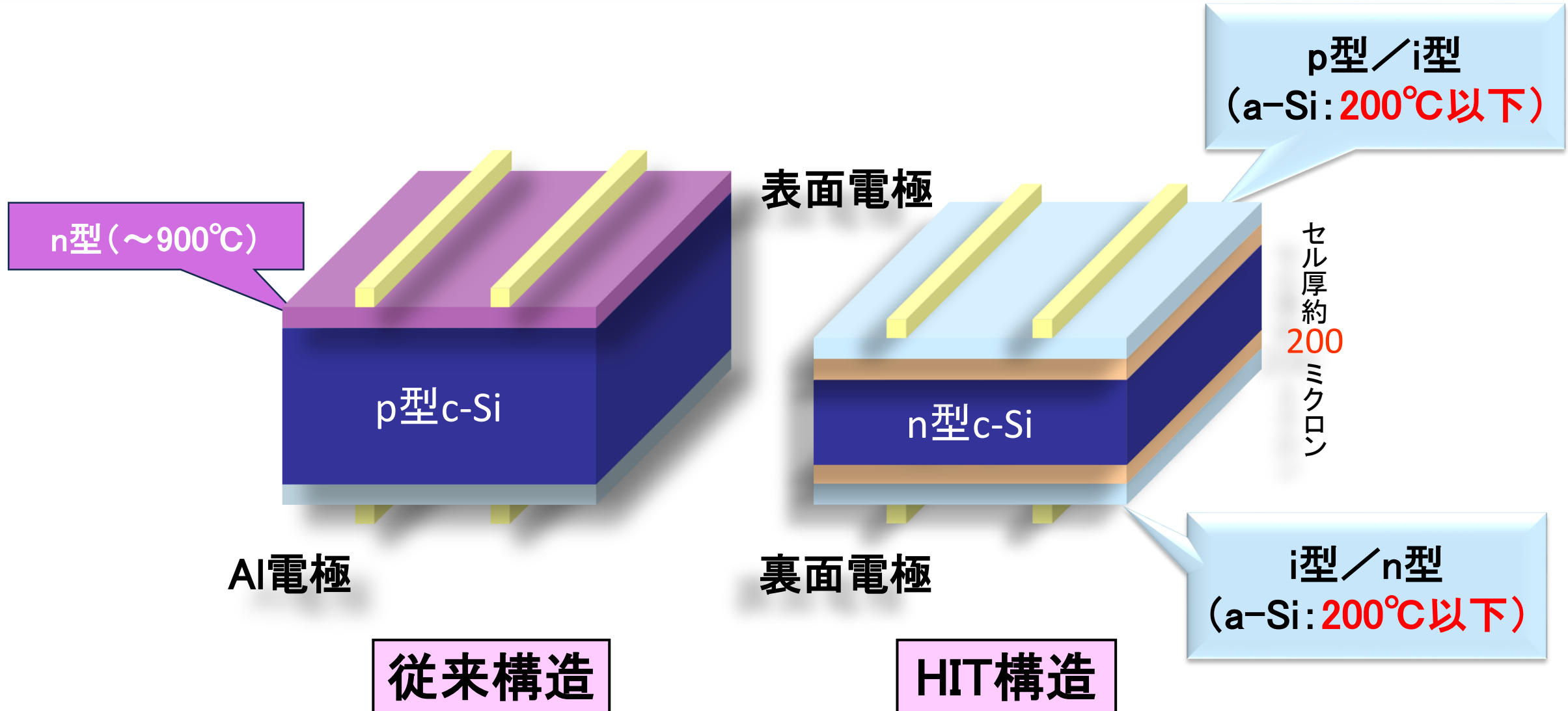
HIT構造は結晶SiにアモルファスSiを積層

(木に竹を接ぐ)

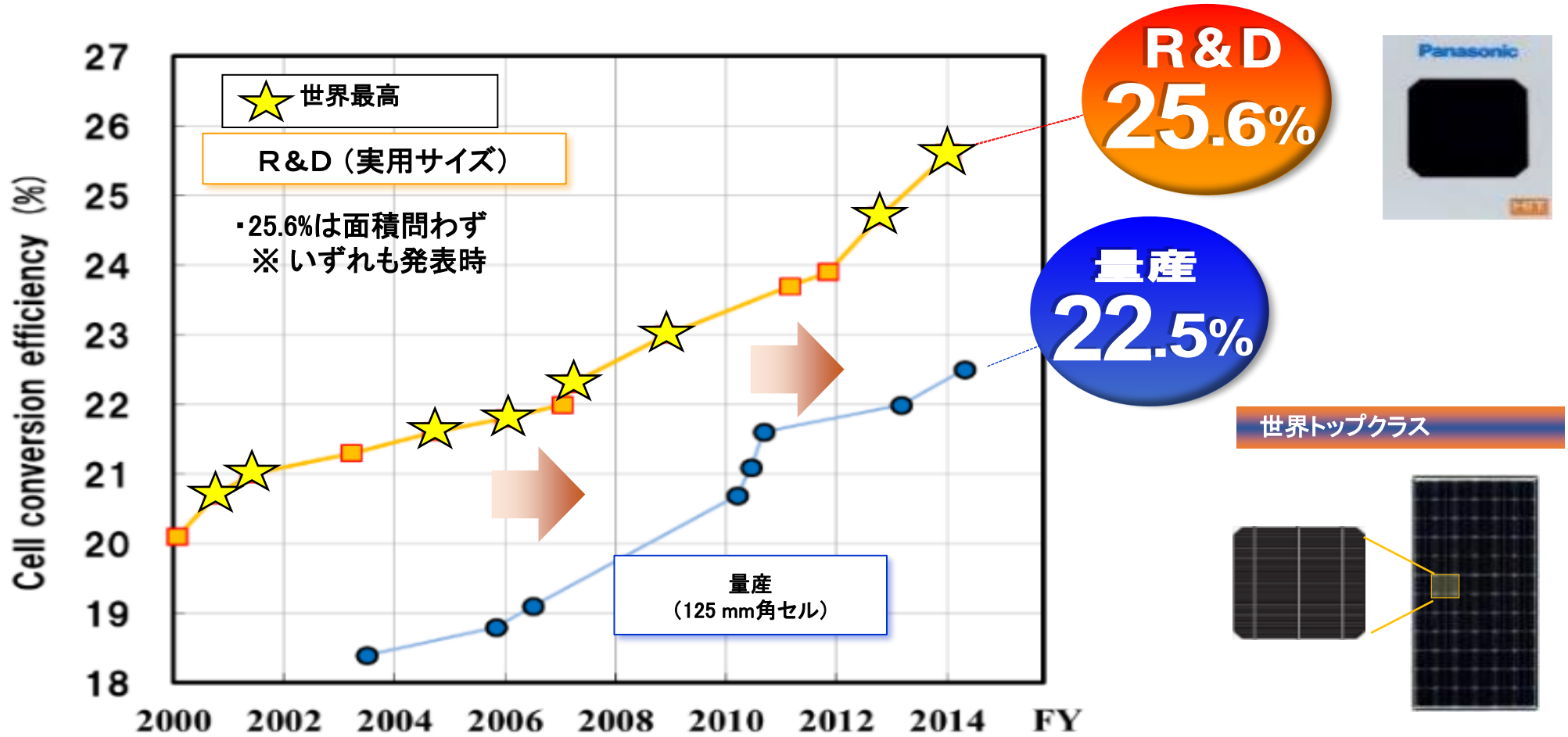


高効率新型太陽電池HIT[®]太陽電池の構造

(HIT: Heterojunction with Intrinsic Thin-layer Solar Cell)



世界トップの変換効率



2-6. 住宅用太陽光発電の系統連系への挑戦

1980代後半－1990年代初め

太陽電池のモジュール効率が10%を超える

1) 当時は、太陽光発電システムの

電力線への接続は認められていなかった。

2) 当時の通産省、電力会社に働きかけ

太陽電池業界は電力会社に太陽光発電システムの電力線への系統連系と太陽光発電からの余剰電力の買い取りを働きかけた。

3) 1992年電力業界が系統連系を認める、
太陽電池で発電した余剰電力を電力会社が
買電する制度ができる。



最初の実生活逆潮流有り太陽光発電所の建設



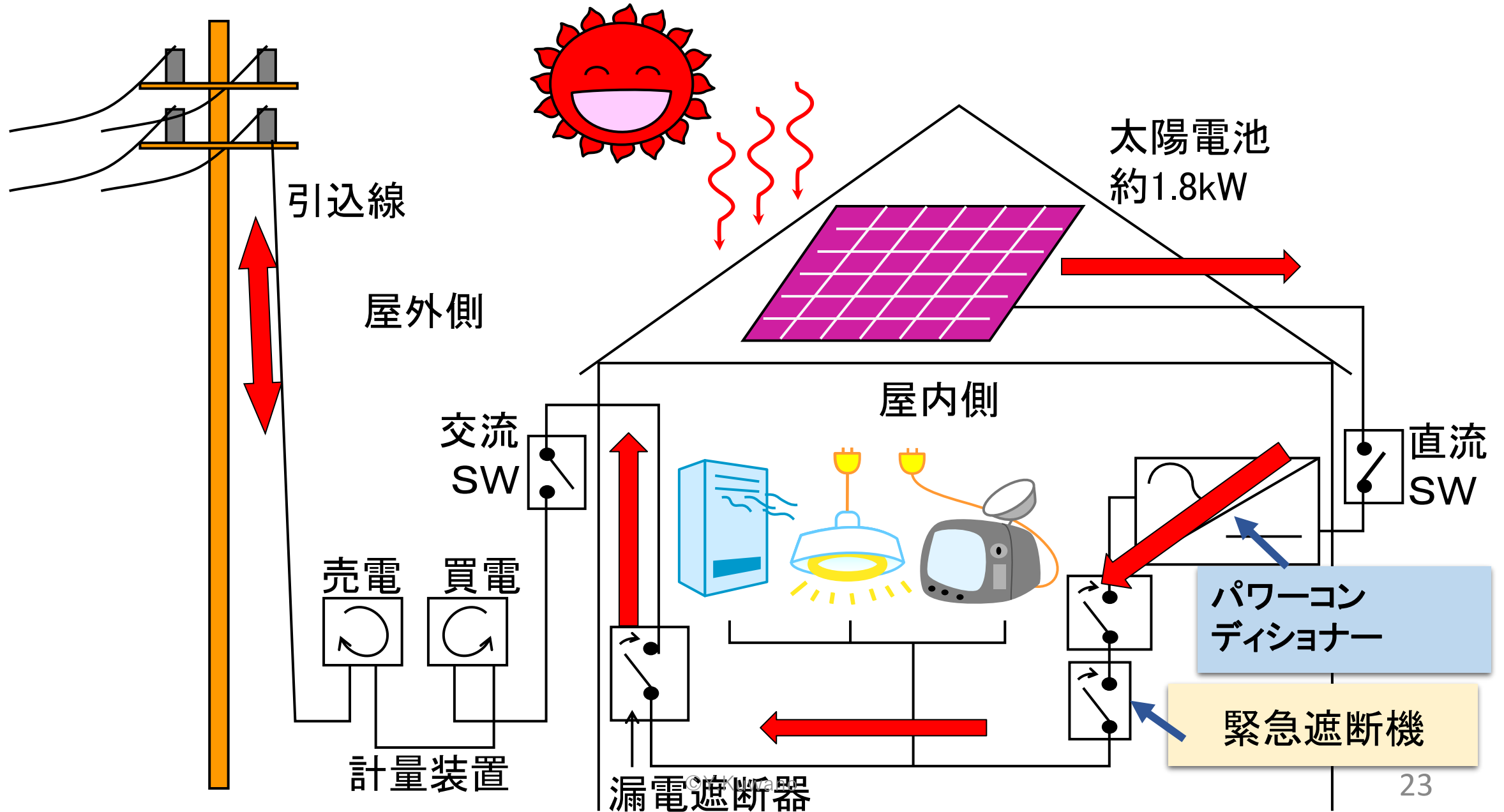
最初の実生活逆潮流有り太陽光発電システム

(1992年 大阪府交野市)



[紹介ビデオ](#)

家庭で発電した電気の流れ

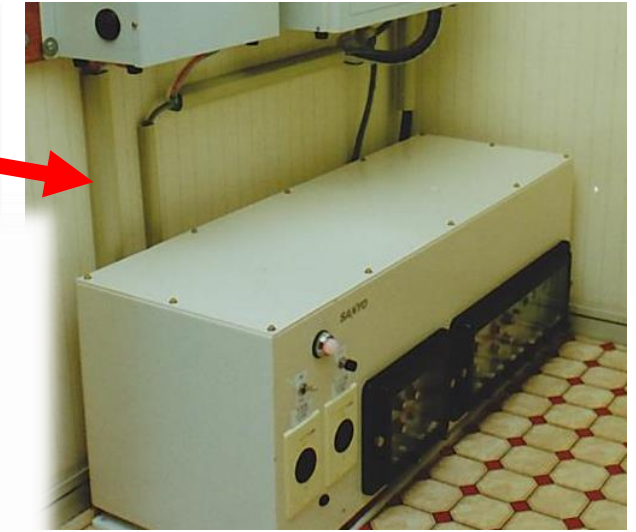


2-7. 住宅用太陽光発電システムの規制緩和

第1号家庭用太陽光発電所の設置には特別の許可が必要で電力会社が発電所を建設するのと同じくらいの手続きと保護手段が必要であった。

- ① 発電所なので許可申請を個別にする必要。
- ② 不測の事態への対応として、系統から遮断する特別な大型の非常時遮断装置が必要。
- ③ 常時監視のための電気主任技術者の専任が必要

これでは一般家庭へ太陽光発電は普及しないと考え、業界をあげて制度の変更を再度、国に働きかけた。その結果以下のように改善された。



これらの新基準が
世界に広がって行った

- ①の個別申請は通常の電気製品と同じように、型式認可でよいことになった(つまり、個別の申請でなく、一般の電気製品と同様、型式認可での認可で個別の申請が不要になった)。
- ②の大型の電力遮断装置も小型化しパワーコンディショナーへの内蔵でよいことになった。
- ③の電気主任技術者の専任も安全性は確認され不要になった。



2012年20周年記念(無故障で安定的に発電)



桑野太陽光発電所20周年記念式典



祝20周年記念
パーティー





桑野太陽光発電所開設
25,30周年記念パーティー



30周年を迎えた桑野太陽光発電所



30年間の発電実績

太陽光発電が30年間安定的
に発電することが確認された。

kWh/月

250

1993.3~

0.4kW 増設

総発電量 44.77MWh

- 1) 1992年~2012年の20年間の年平均劣化率 0.44%/年
- 2) 2015年~2021年の年平均劣化率は5.96%

200

150

100

50

0

積算発電量 (MWh)

40

30

20

10

0

92 93 94 95 96 97 98 99 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

30年経過した38枚の太陽電池モジュールの効率変化



30年経過

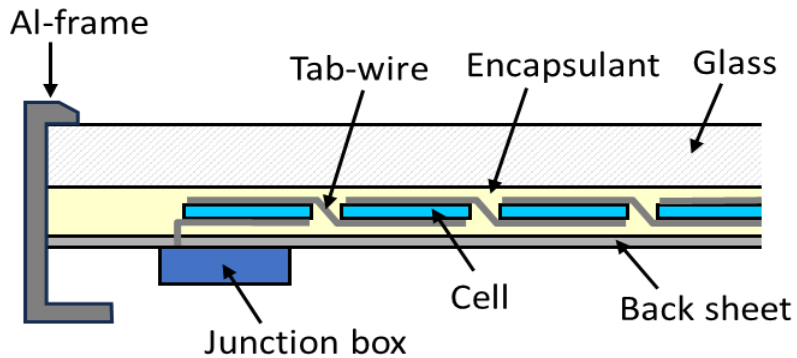
初期

1) a-Si太陽電池モジュールの劣化は初期効率が低かったこともあり小さく、**維持率は約80%であった**

2) 多結晶Si太陽電池モジュールは

- ① **維持率は最大93%の出力を確保出来ているものがあった。**
- ② **仕様値の80%以上の出力を維持できているものが24枚中8枚**
- ③ **平均値としては68%程度ではあった。**

詳しくは太陽エネ学会誌参照 : https://doi.org/10.24632/jses.50.2_75



モジュール断面図

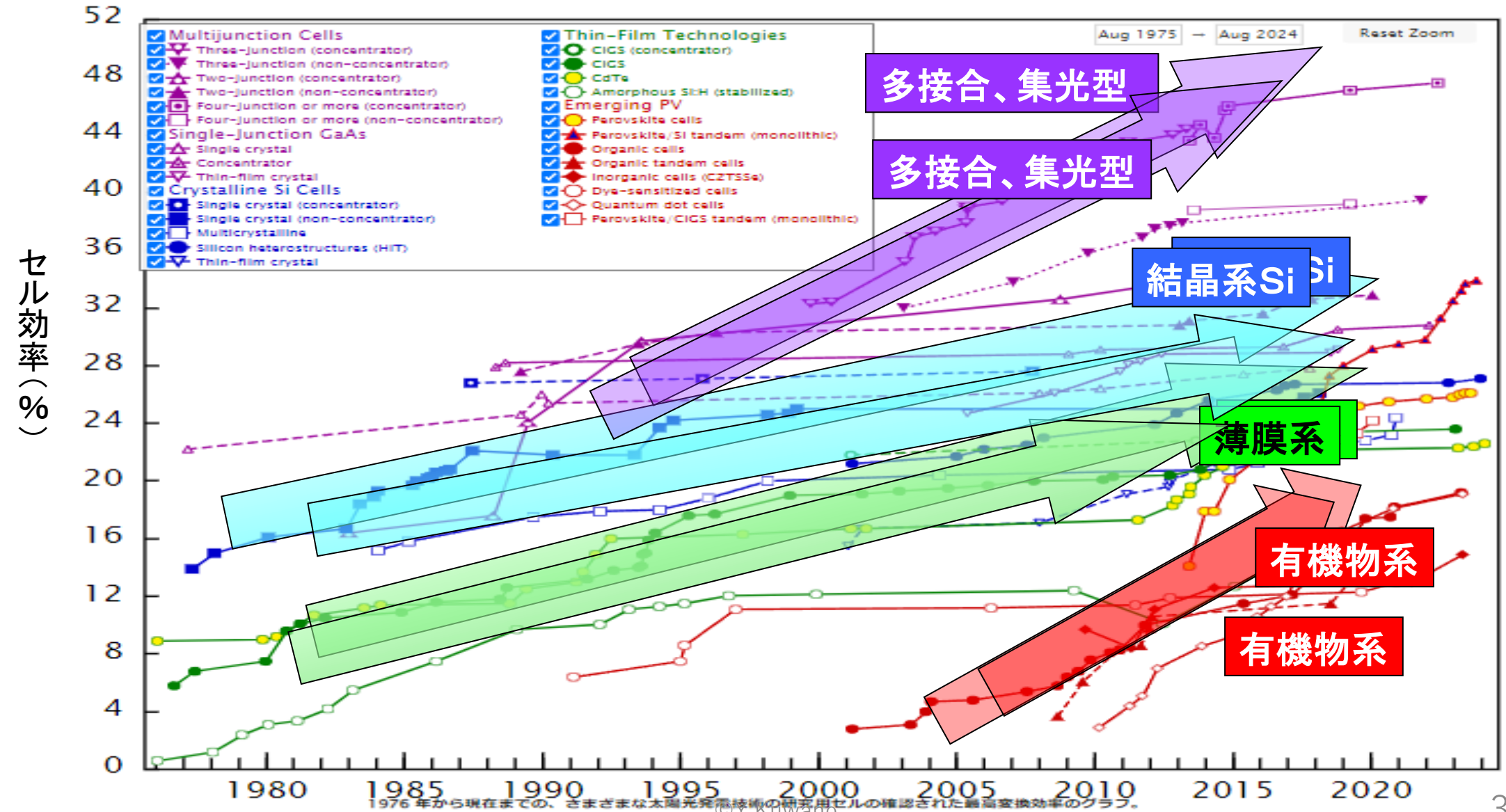
	Min.↵	Ave.↵	Max.↵
AMP-06S2·(a-Si)·7 枚↵	74.7%↵	80.3%↵	87.7%↵
CSP-4516·(AR::ITO)·12 枚↵	39.4%↵	51.3%↵	65.3%↵
CSP-4516M·(AR::SiN)·24 枚↵	1.5%↵	67.9%↵	93.0%↵
CSP-4533M·(AR::ITO)·6 枚↵	62.0%↵	70.0%↵	77.9%↵

1. 長期展望に立ち、将来を見据えた日本のサンシャイン計画
2. 世界に貢献した日本の太陽光発電研究開発、実用化
3. 世界が太陽光など再生可能エネルギー拡大へ
4. 未来について語ろう！
再生可能エネルギーで世界のエネルギーは賄えるか？



3-1.各種太陽電池の50年間の効率向上

実用化の中心である結晶Si太陽電池では10%程度の変換効率が25%超に改善された。

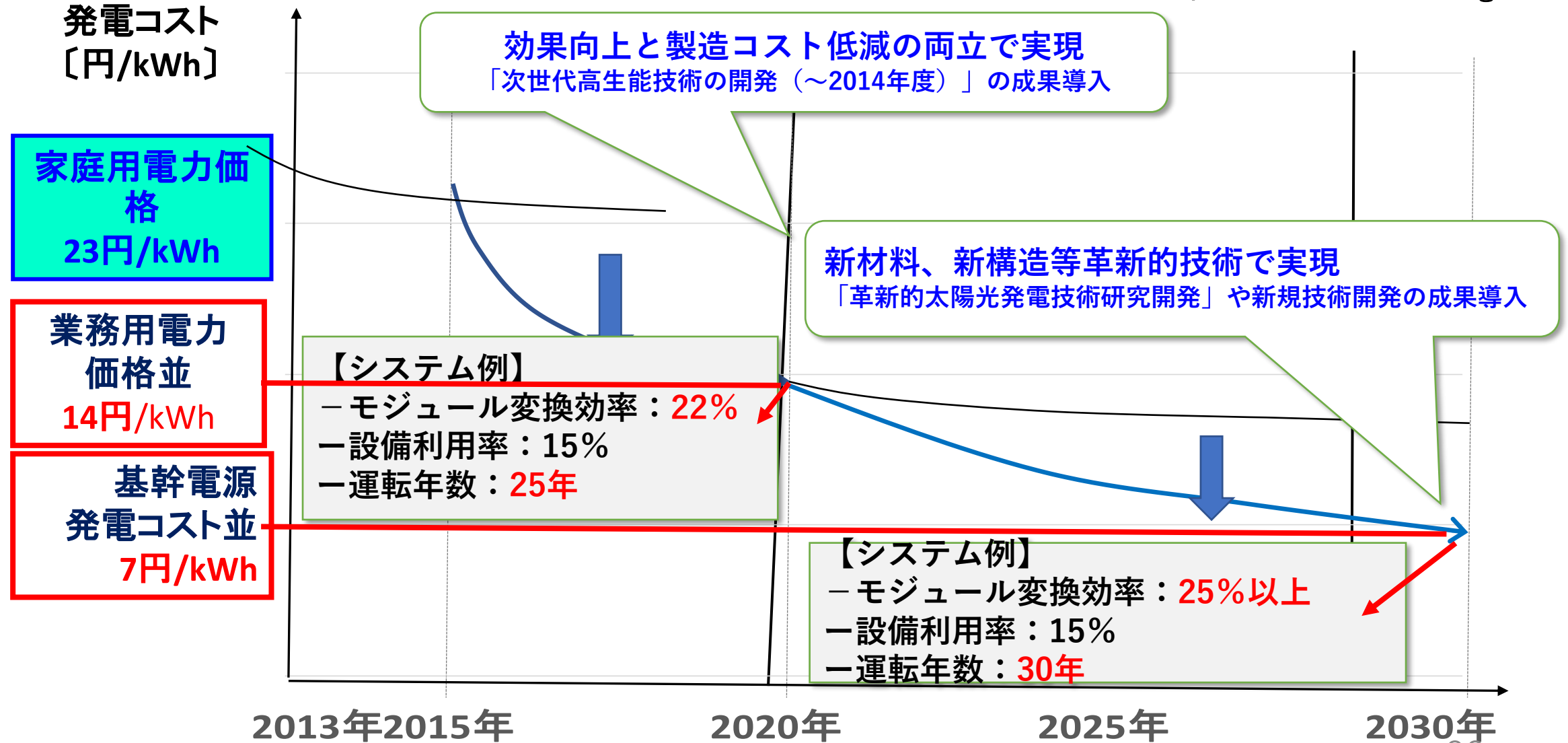


このグラフには、結晶シリコン電池、単接合ガリウムヒ素電池、多接合電池、薄膜、および新興太陽光発電という5つの主要技術の研究用電池効率の記録が表示されます。過去50年間の技術進歩と効率向上の歴史を、このグラフを通じて振り返ることができます。

3-2. -NEDO PV Challenges-

更なる低コスト太陽電池の開発へ新たなる出発

2014年NEDO PV Challenges



3-3. 国による太陽光発電の普及支援

- 1) 1993年に初めて住宅用太陽光発電助成制度が導入された(370万円/1kW)。
- 2) 1994年から補助金制度もスタートし2005年終了、
- 3) 2009年には余剰電力買取制度が施行され、補助金も復活し、太陽光発電はさらに広まった。



戸建て住宅群に於ける太陽光発電の例
合計 2,130kW、553戸 (1戸平均3.85kW) (群馬県太田市)
提供: 太田市土地開発公社



山梨県北杜市のメガソーラー (NEDO実証実験)



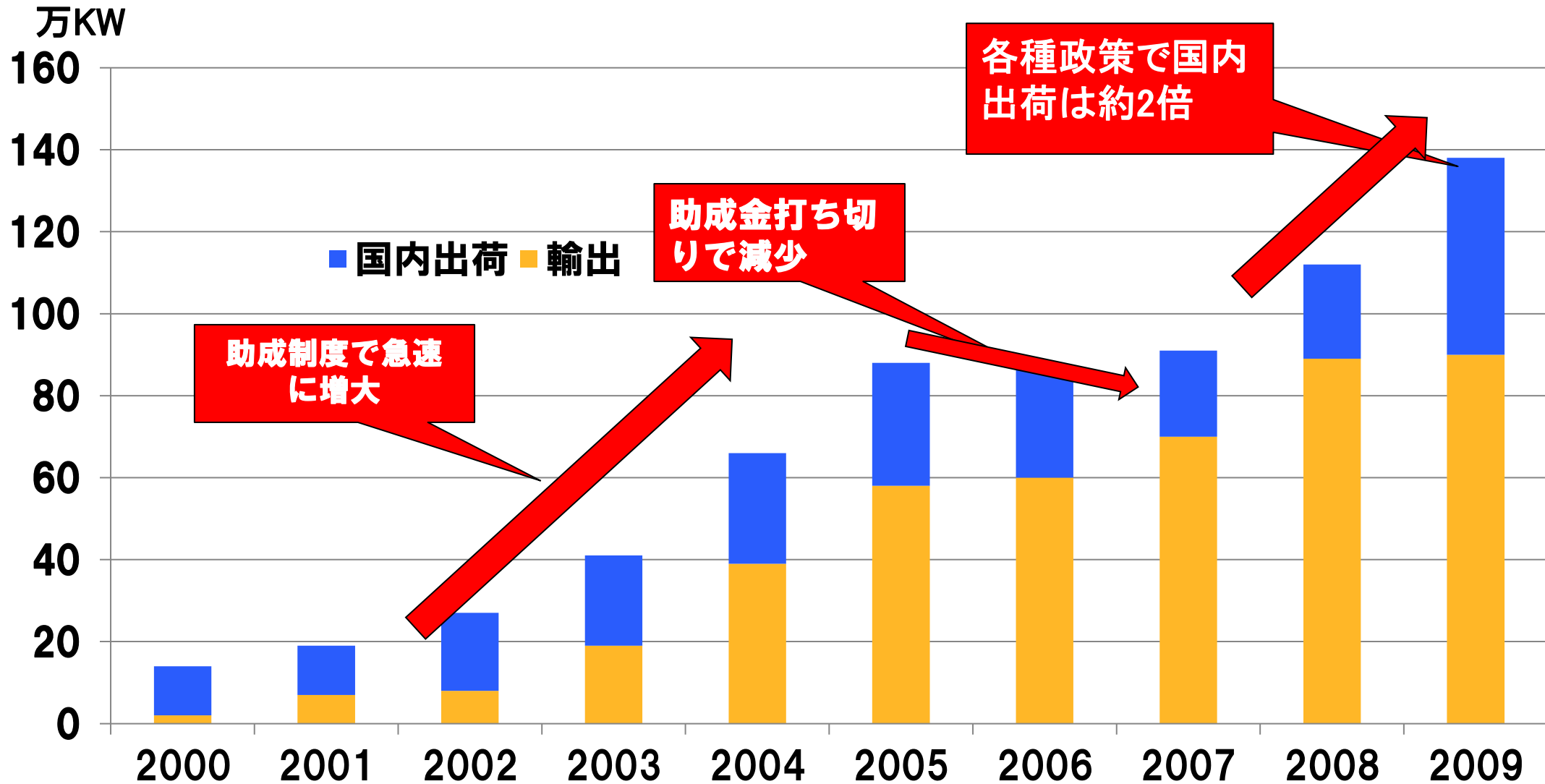
Salamanca - Spain

©Y.Kuwano

提供:京セラ

3-4. 日本が世界一の太陽電池生産国へ

1990年後半から—2005年まで日本の太陽電池の生産量は世界一であった。



3-5. 2000年にドイツで新法：再生エネルギー法が制定

1)ドイツは地球温暖化対策のため再生エネルギー法を制定、太陽発電からの電力を通常の価格の約3倍で買取制度：フィード・イン・タリフ(FIT)を制定。

2)これは国家からの補助ではなく国民全体が電気料金を高くして、再エネの普及を図る制度。

この制度が全世界に広がる！



グジャラートソーラーパーク(1,600MW) インド



1,600MW

2005年太陽電池の世界の年間生産量が1GWを超え拡大し続ける

世界最大規模の1ギガワットの中国寧夏発電所
地平線までどこまでも太陽光パネルが広がる光景は、まさに圧巻



3-6. 2011年東日本大震災発生



大震災を受けて、
2012年7月から再生可能エネルギーから発電した電力を高く買い取る制度
新制度「再生可能エネルギー固定買取制度」(日本版FIT)が創設され日本
での普及が急拡大

3-7. 世界の太陽光発電所累積設置量が2022年に1TW(1,000GW)を超える

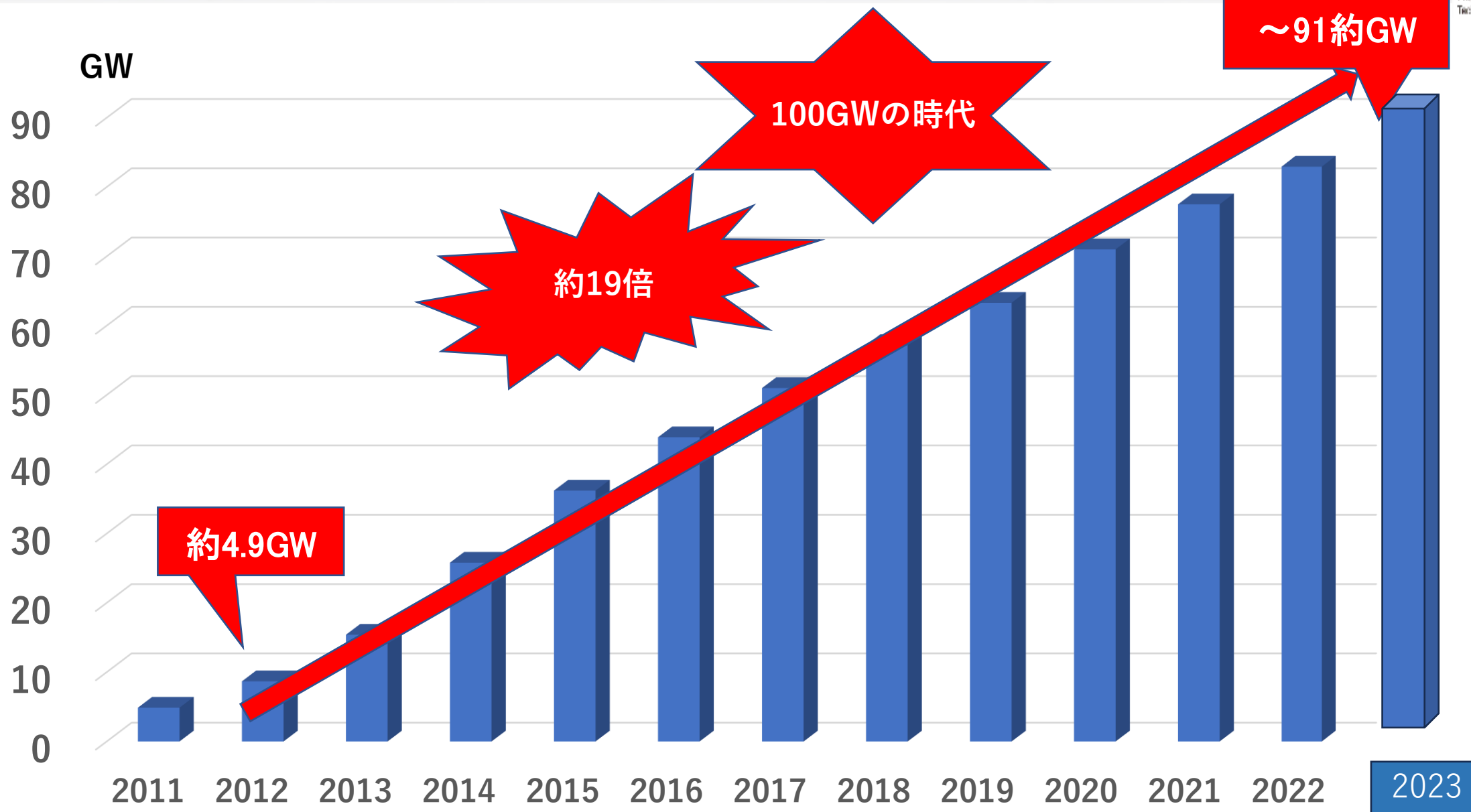


2023年
1.6TW

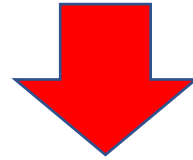


© T. Kuwano

3-8. 日本に於ける太陽光発電システム累積設置量の推移



太陽光発電80GWの普及の効果



1. その出力は

1) ピーク電力は $80\text{GW} \times 0.8 =$ 約6400万kW出てくる

2) 80GWからの電力量は = 約85億kWh

太陽光発電のピーク電力(2022年)は日本のピーク電力の38%に相当

2. 日本の電力の現状は(2022年)

1) ピーク電力は1.億66億kW¹⁾

2) 国内総電力需要: 約1兆kWh²⁾

総電力需要の約9.9%に相当³⁾

1) 電力広域運営推進機関2022年データ

2) 経産省データ (2022年データ)

3) <https://www.isep.or.jp/archives/library/14364>:2022年データ

100GWの太陽光発電による輸入原油の削減は？！

太陽光導入量	100GW(1,200億kWh)
削減原油量	3000万KL
削減効果金額	約0.7兆円



太陽光発電の燃料費はタダで、20年間以上稼働できるとすると
 $0.7兆円 \times 20年 = \underline{\text{約14兆円}}$ の原油輸入費の削減に相当する

出典：JPEAデータ

3-9. 日本の今後の取り組み

1) 2015年9月に国連の持続可能な開発目標「SDGs (Sustainable Development Goalsの略称)」が採択された。

世界全体で持続可能な社会を実現するための健康や福祉、エネルギー、気候変動、平和社会など、17の達成目標と169のターゲットが設定され、2016年～2030年の15年間で達成する。



2) COP26 (2021年英国開催) での決定

- ①世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して1.5度未満に抑える。
- ②世界全体で今世紀後半には、人間活動による温室効果ガス排出量を実質的にゼロ (カーボンニュートラル) 決定。

*日本の目標：2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、さらに、50%の高みに向けて挑戦。
2050年カーボンニュートラル実現 (EX)。

菅総理が2020年10月の臨時国会で「2050年カーボンニュートラル宣言」

1)カーボンニュートラル宣言

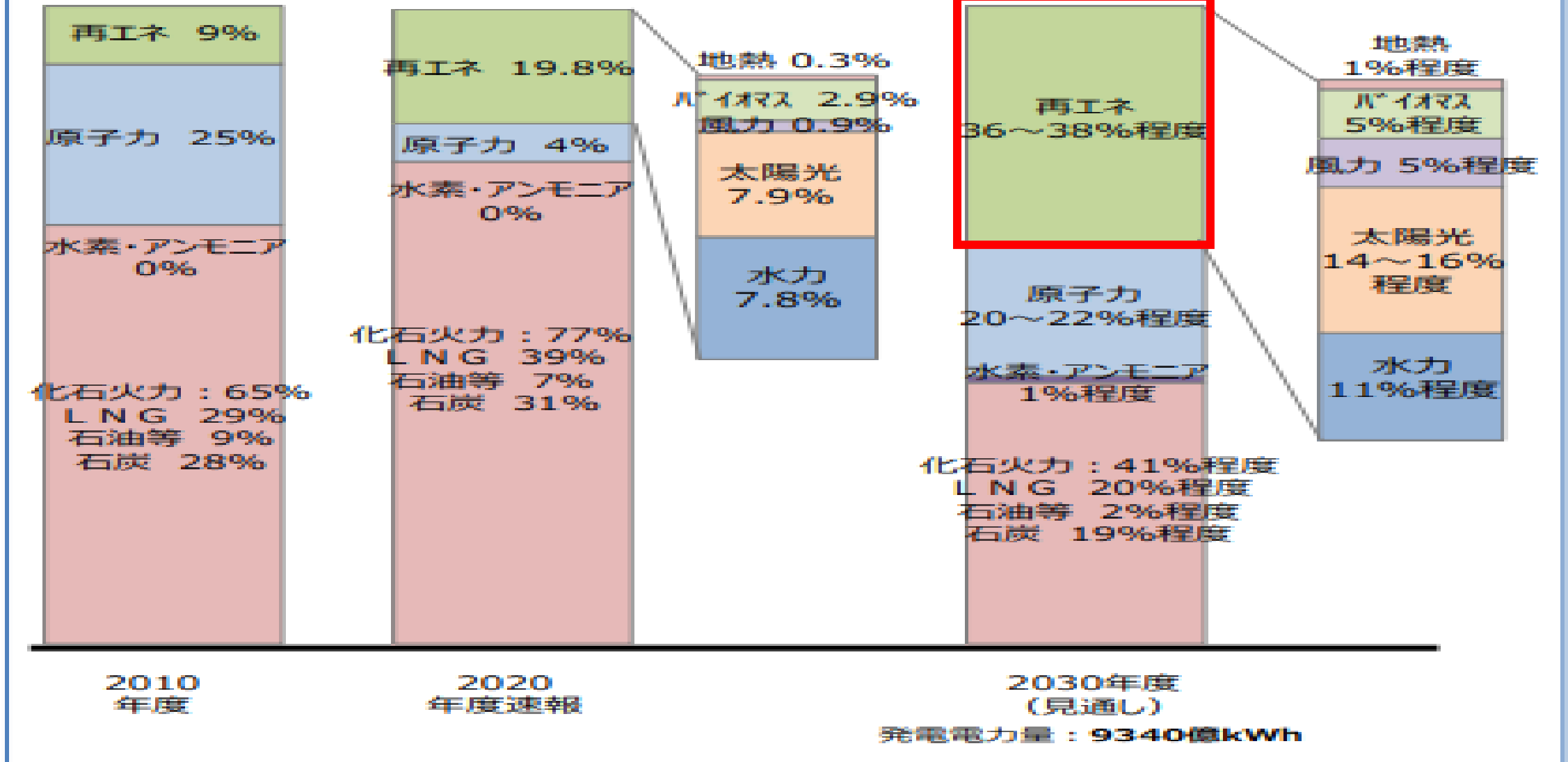
2020年10月、菅総理の所信表明演説で「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。

2)2021年度「第6次エネルギー基本計画」及び「地球温暖化対策計画」に基づき、再生エネルギーの割合を2030年まで36%～38%にすることが目標になった。



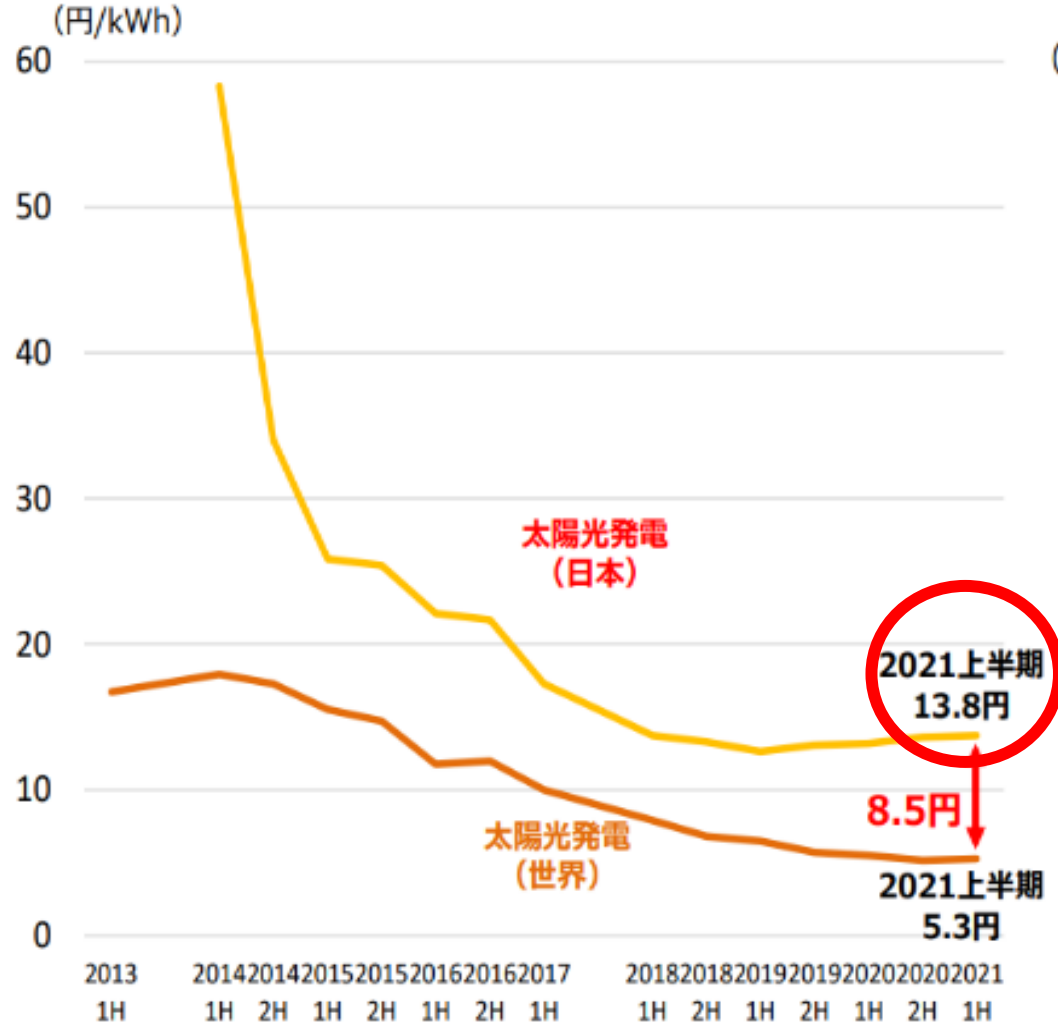
第6次エネルギー基本法の目指す目標

<電源構成>



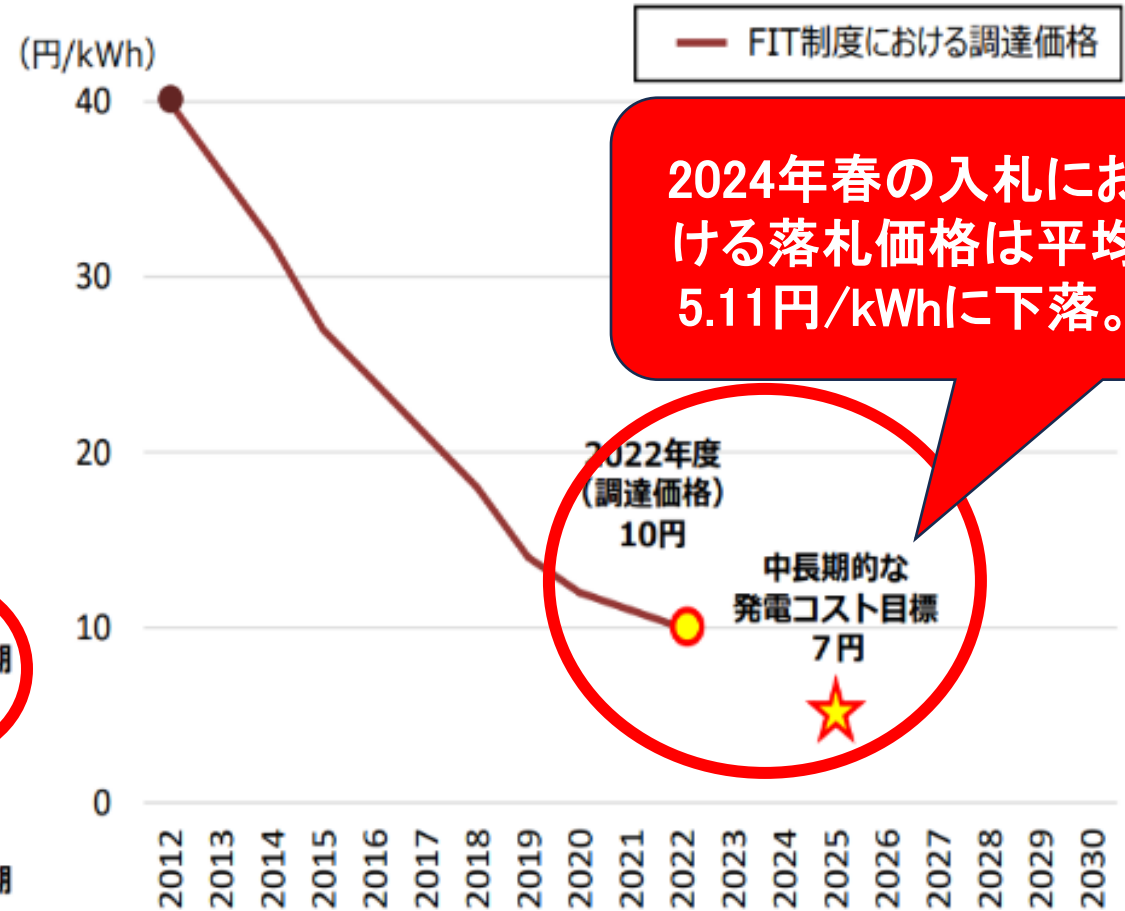
日本でも太陽光発電のコストは商用電源より安くなった。

＜世界と日本の太陽光発電のコスト推移＞



※BloombergNEFデータより資源エネルギー庁作成。1\$=110円換算で計算。

＜事業用太陽光の価格目標のイメージ＞



2024年春の入札における落札価格は平均5.11円/kWhに下落。

※折れ線は、毎年度、調達価格等算定委員会の意見を聞いて経済産業大臣が決定している調達価格を指す。
 なお、2022年度については、上記のうち50kW以上の調達価格。
 ※「中長期的な発電コスト目標」とは、2025年に運転開始する案件の平均的な発電コストで7円/kWhとされているものであり、資金調達コストのみを念頭に置いた割引率（3%）を付加したものである。
 ※調達価格に換算（内部収益率IRR5%）すると、8.5円/kWhに相当する。

サンシャイン計画を振り返って国家プロジェクトの意義を考える

1) 50年前計画されたサンシャイン計画は、目標を達成して、大きな成果をもたらした。このプロジェクトは我が国初めての、産官学（産業界、官の研究機関、大学）と統合した国家プロジェクトであった。

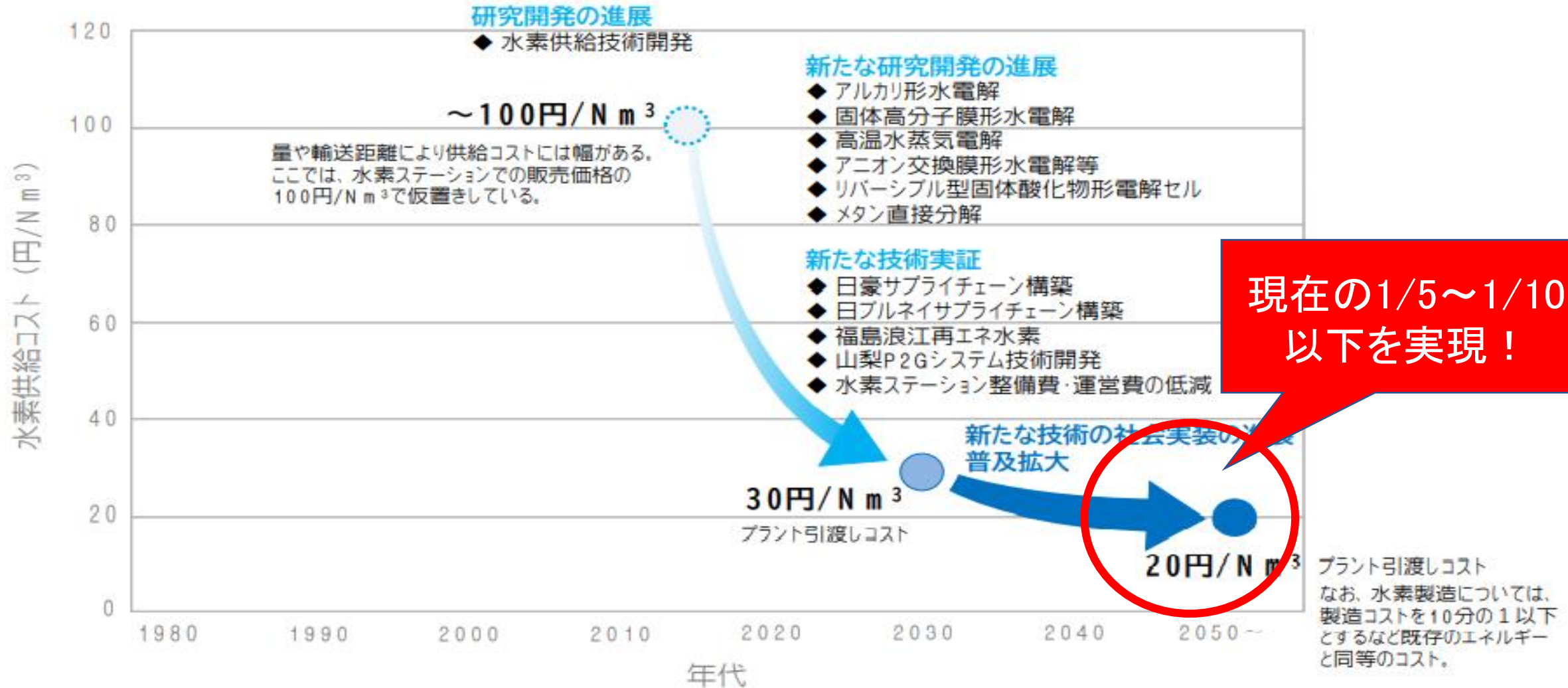
太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの開発と実用化を実現した。これにより、化石燃料高騰への対応、地球温暖化防止のため前進が図れた。

2) この成果は各国の開発成果と共に全世界に展開され、地球規模でカーボンニュートラルへ大きく寄与している。

3) カーボンニュートラル時代に向けて、新たな国家目標が掲げられてさらなる研究開発・実用化への前進が始まった。

イノベーションにより1/5の水素コスト実現を目指すサプライチェーン

革新的な技術により、2050年までに水素のコストを既存のエネルギーと同等にすることを目指しさらにアンモニア燃料への展開。



1) 順調な社会実装によりスケールメリットが出てくることや、再エネ価格の大幅な低下・需給バランス市場の創出が前提。

2) 融合技術のコスト変動に留意する必要がある。

1. 長期展望に立ち、将来を見据えた日本のサンシャイン計画
2. 世界に貢献した日本の太陽光発電研究開発、実用化
3. 世界で太陽光などの再生可能エネルギーが拡大
4. 未来について語ろう！
再生可能エネルギーで世界のエネルギーは賅えるか？



4. 未来について語ろう！

再生可能エネルギーで世界のエネルギーは賄えるか？



©Y.Kuwano



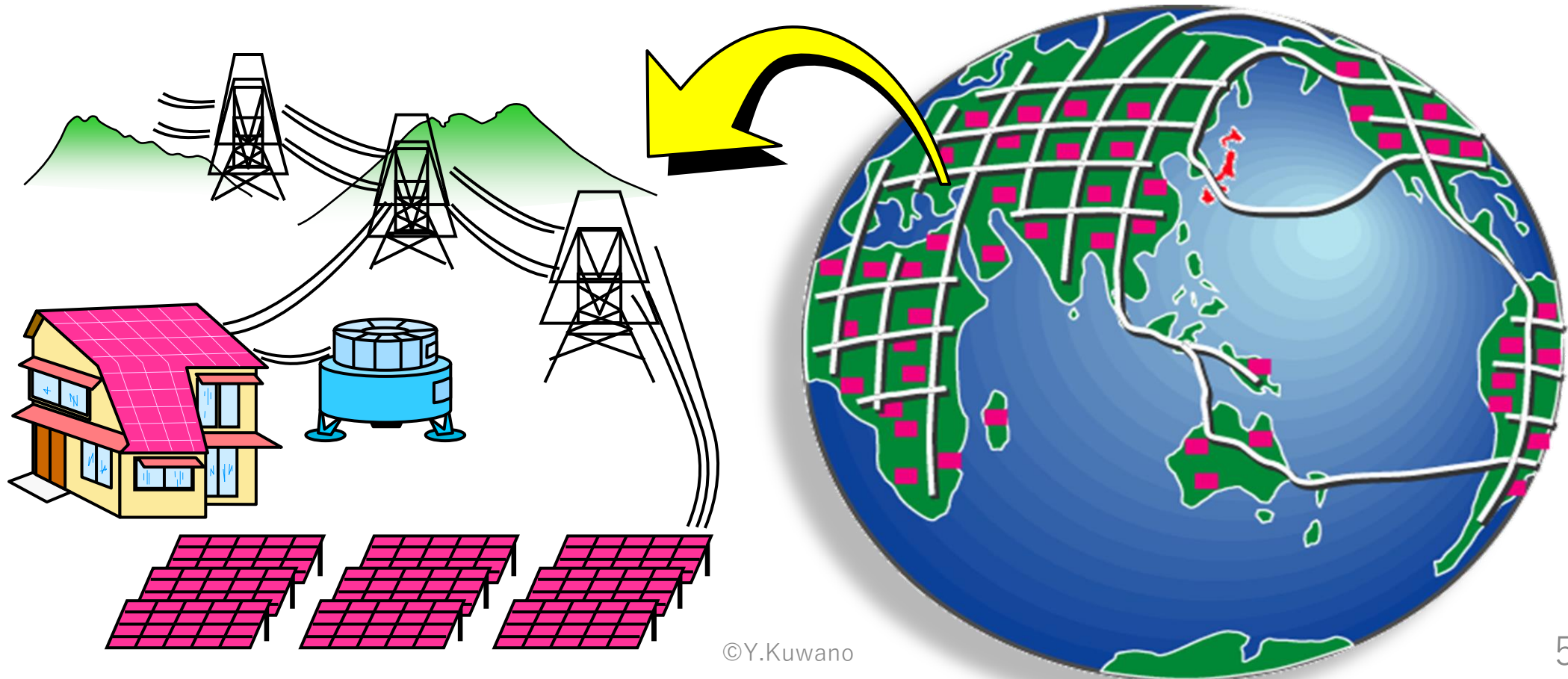
4-1. 全世界のエネルギーを太陽光発電で賄う太陽電池と超電導ケーブルによる「世界的太陽光発電システム」

35年前

1989年発表

GENESIS

(Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids)



4-2. 世界のエネルギー消費予測と太陽電池システムエリア換算

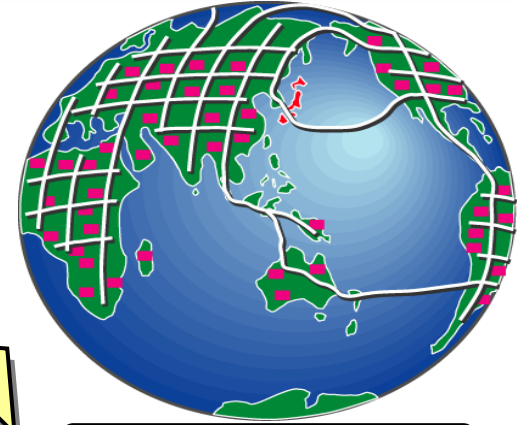
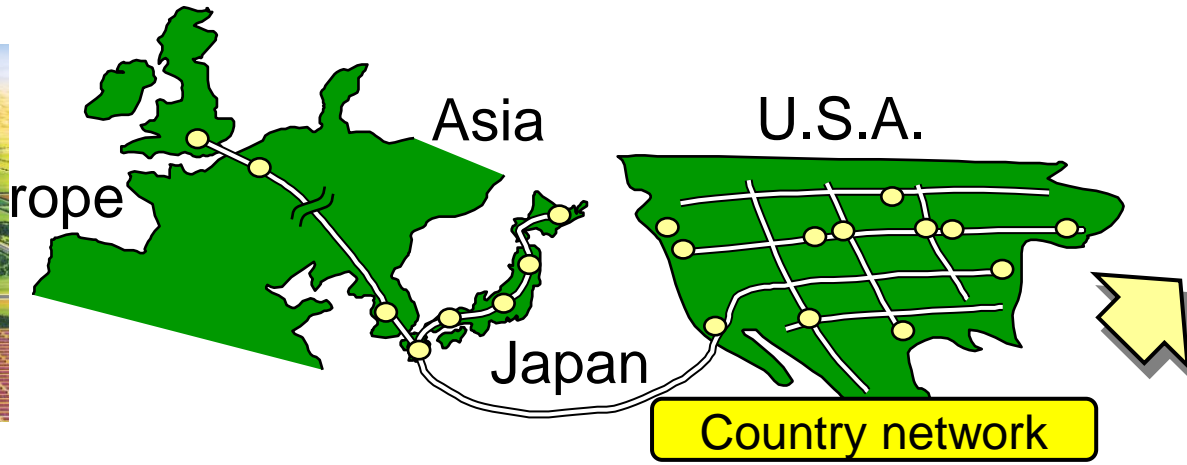
世界の砂漠の‘僅か4%’に太陽電池を敷き詰めれば、
全人類が必要とするエネルギーの全てを賄うことが出来る

	2000	2010	2050	2100
全世界の エネルギー 消費予測量 (原油換算×億kl/年)	110			1,110
太陽電池システム 変換効率(%)	10	10	15	15
太陽電池 システムエリア (広さkm ²)	729	802 (全砂漠 面積の4%)	1,030	1,850

**地球の砂漠の
面積の4%！**

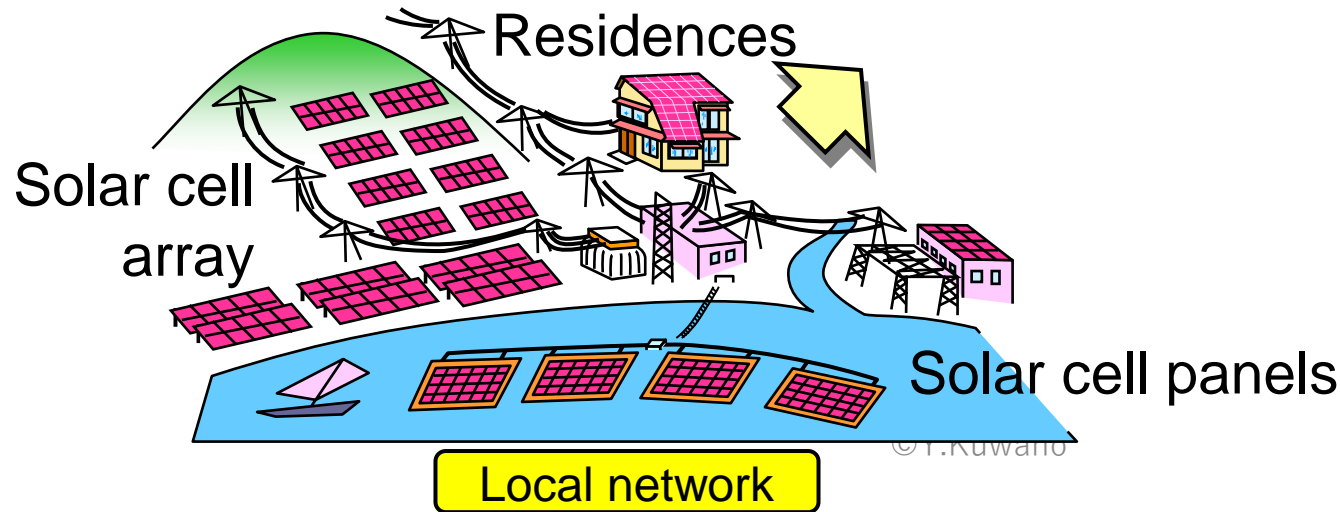
4-3. Step in the GENESIS Project

‘ジェネシス計画’は、家庭の屋根、ビルの屋上、工場の屋根に、次々と太陽光発電を設置し、最終的には世界の砂漠の‘僅か4%’に太陽電池を敷き詰めれば、全人類が必要とするエネルギーの全てを賄うことができるという計画である。



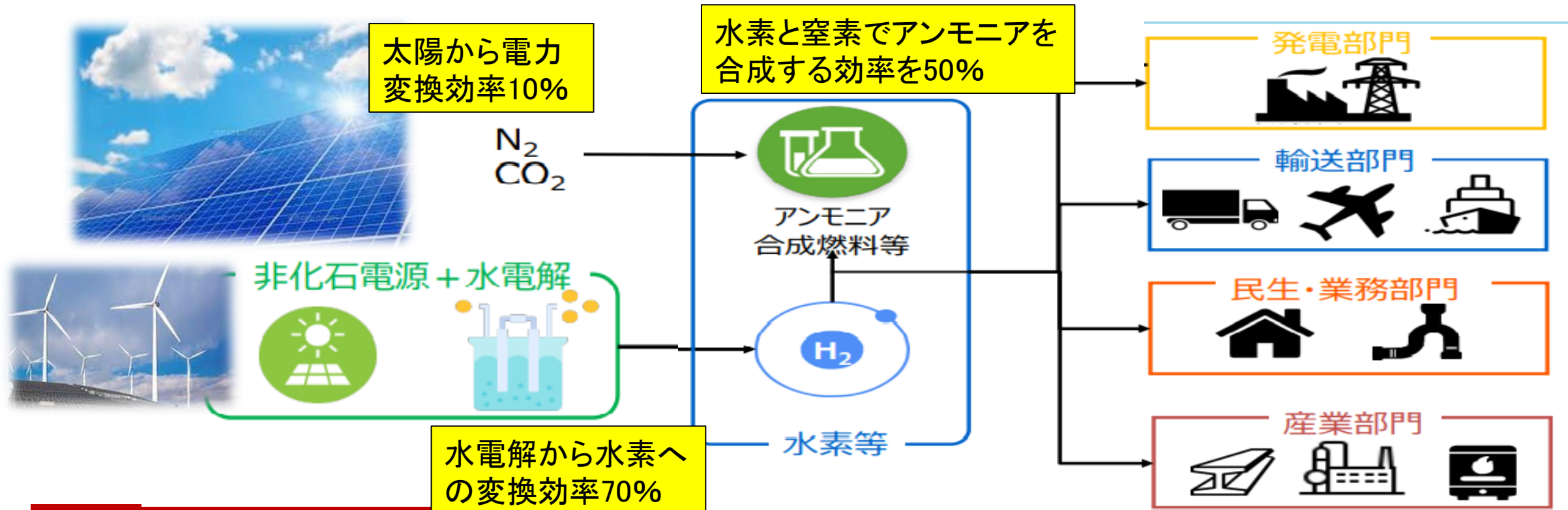
Global network

GENESIS



4-4. 究極の人類のエネルギーは(ジェネシス計画からの推定)

- 1) 太陽光発電など再生エネルギーで発生させた電力で、水を電気分解して、水素を発生させ、その水素と空気中の窒素を反応させアンモニア(NH₃)を製造し、液体燃料として使う。
- 2) ジェネシス計画で計算を基に、予測すると太陽光からの電力変換効率は約10%、その電力で水から水素を発生する変換効率約70%、この水素と窒素を反応させて、アンモニアを合成する効率を50%とすると、



全人類のエネルギーの全てを賄う、新しい燃料、アンモニアを製造するために必要なエネルギーを作り出すための太陽光発電の面積は全世界の砂漠の約12%の面積になり、これは実現可能である。

GENESIS

The background of the slide features a stylized Earth in shades of blue and green, positioned on the left side. From the right side of the Earth, several bright purple rays of light radiate outwards, creating a sense of energy and technology. The overall background is dark, making the Earth and the purple rays stand out.

Global
Energy
Network
Equipped with
Solar Cells and
International
Superconductor Grids