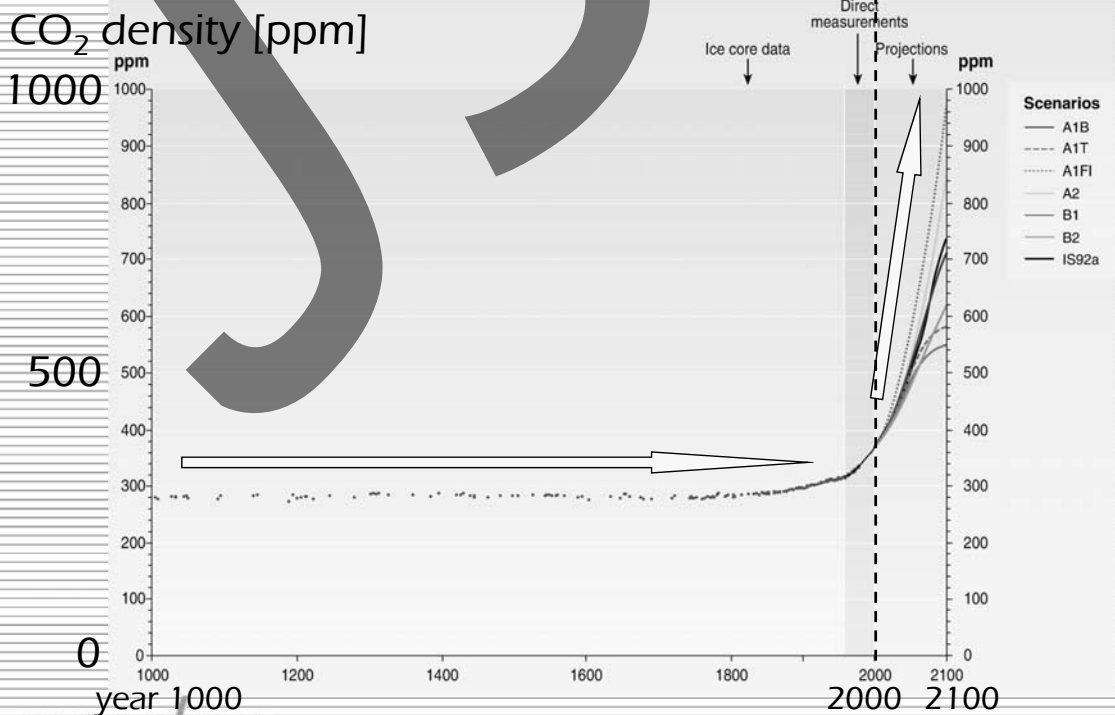


# 太陽光発電システムの ライフサイクルアセスメント

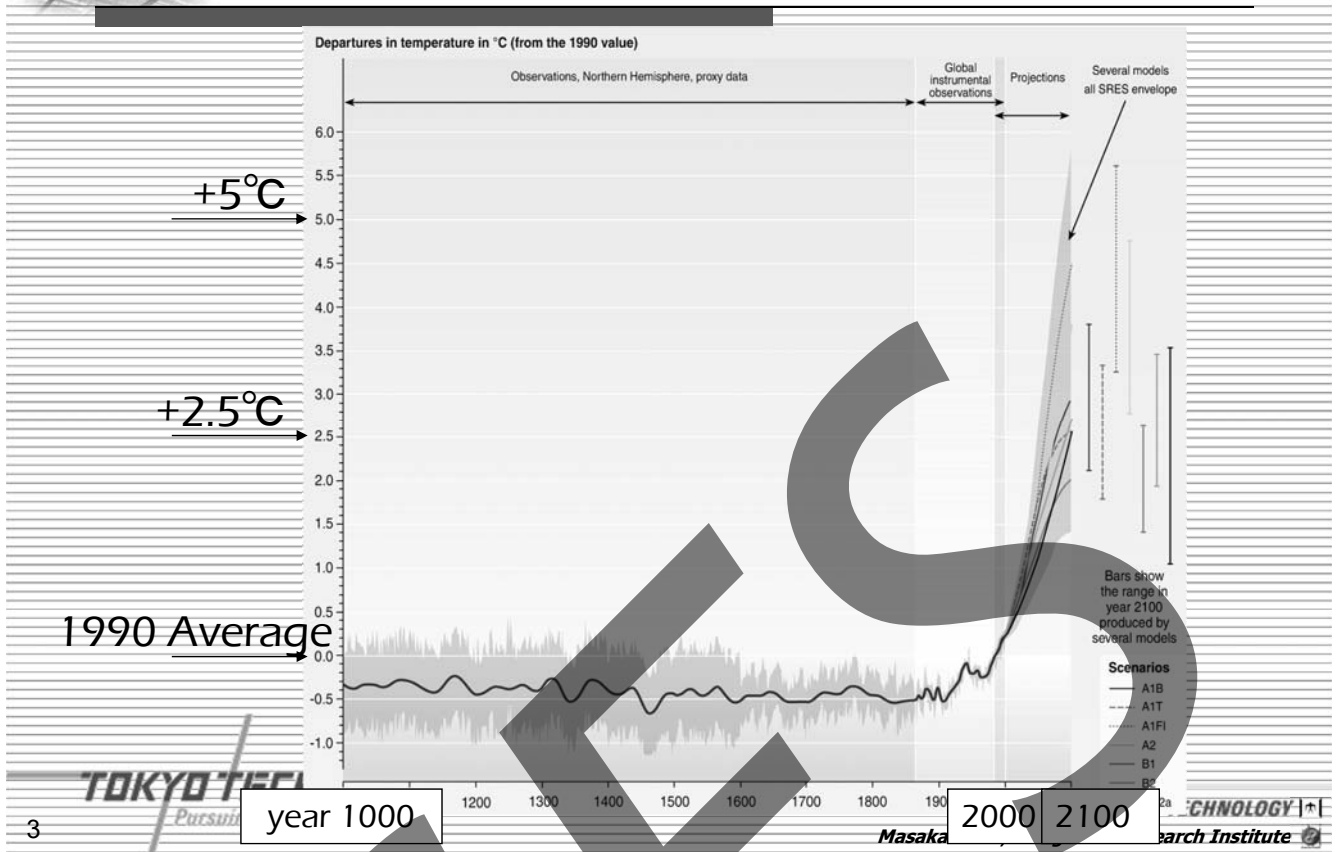
伊藤 雅一

東京工業大学 ソリューション研究機構  
先進エネルギー国際研究センター

## CO<sub>2</sub> 濃度の推移と予測(IPCC)



# 地球表面温度の上昇



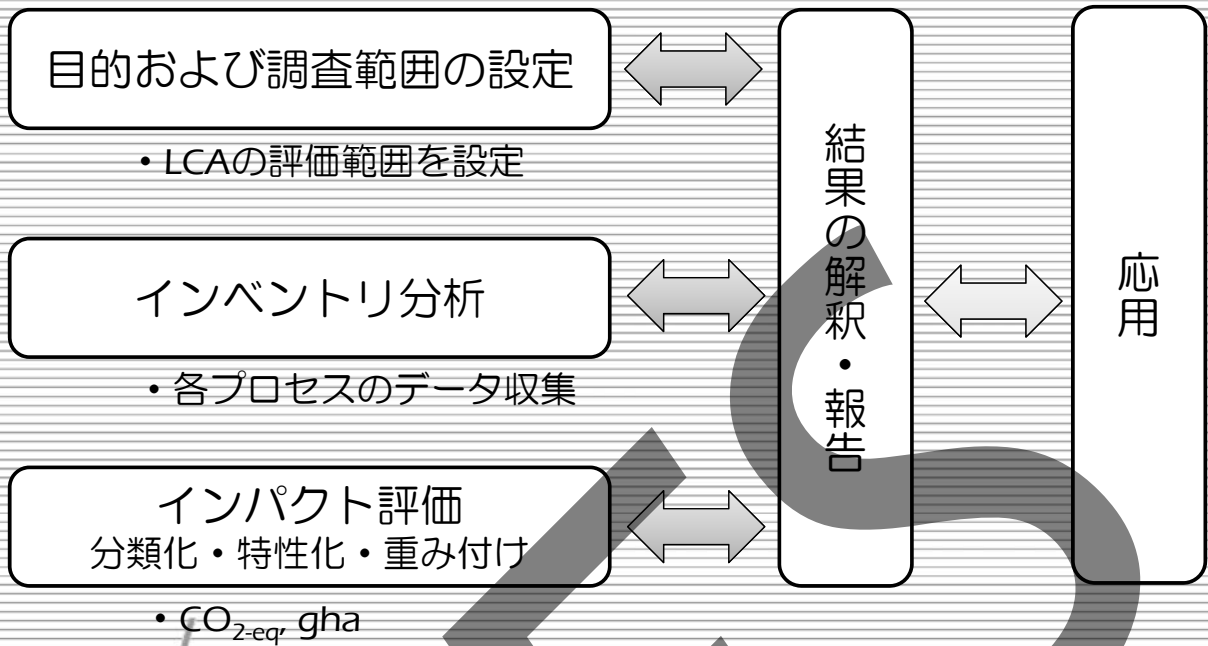
3

## 定量的な評価

- ライフサイクル評価
  - ライフサイクルアセスメント
  - ライフサイクルアナリシス
  
- カーボンフットプリント
- エコロジカルフットプリント
  
- ウォーターフットプリント

4

# ライフサイクル評価の構成



# LCAデータベース

□ecoinvent



□LCA日本フォーラム



## ソフトウェアによるLCA

- JEMAI-LCA, MiLCA  
： 社団法人産業環境管理協会



- SimaPro  
： オランダPRe Consultants



## 太陽光のLCAガイドライン

- 評価結果に大きくバラツキが出ないように。
- IEA/PVPS内で実施中
  - 国際エネルギー機関，太陽光発電システム研究協力実施協定
  - Task12：PV Environmental Health and Safety
- Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity
  - [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/rep12\\_11.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/rep12_11.pdf)

## ガイドライン概要

### □ 寿命

太陽電池	30年（成熟した技術の製品）
PCS	小型発電所または住宅用：15年 大型の発電所：30年で、10年毎に10%のパーツを交換
架台・基礎	屋根置きまたはファサード設置：30年 地上設置（金属架台）：30～60年（感度分析が必要）
ケーブル	30年

## ガイドライン概要

### □ 日射量

- 実際の収集データがある場合は利用
- ない場合は近隣のデータを使用

### □ システム出力係数（PR）

- 適した設置方法の場合
  - 屋根置きは75%
  - 地上設置は80%
- 既にデータがあれば、それを利用

### □ 劣化

- 30年後を初期値の80%とし、線形で劣化

## 評価指標：エネルギーペイバックタイム

$$\square \text{ EPBT} = (E_{mat} + E_{manuf} + E_{trans} + E_{inst} + E_{EOL}) / ((E_{agen} / n_G) - E_{O\&M})$$

- $E_{mat}$  : Primary energy demand to produce materials comprising PV system
- $E_{manuf}$  : Primary energy demand to manufacture PV system
- $E_{trans}$  : Primary energy demand to transport materials used during the life cycle
- $E_{inst}$  : Primary energy demand to install the system
- $E_{EOL}$  : Primary energy demand for end-of-life management
- $E_{agen}$  : Annual electricity generation
- $E_{O\&M}$  : Annual primary energy demand for operation and maintenance
- $n_G$  : Grid efficiency, the average primary energy to electricity conversion efficiency at the demand side

## 評価指標：二酸化炭素排出原単位

$$g_{co2} = \frac{G_{input}}{E_{gen} \cdot L_{PV}} = \frac{G_{man} + G_{trans} + G_{inst} + G_{use} + G_{decomm}}{E_{gen} \cdot L_{PV}}$$

- $g_{co2}$  = life-cycle CO<sub>2</sub> emission intensity [g-C/kWh]
- $G_{input}$  = CO<sub>2</sub> emissions during system life-cycle [g-C]
- $G_{man}$  = CO<sub>2</sub> emissions due to manufacture of each system component [g-C]
- $G_{trans}$  = CO<sub>2</sub> emissions for transportation of the system components [g-C]
- $G_{inst}$  = CO<sub>2</sub> emissions for installation of the system components [g-C]
- $G_{use}$  = CO<sub>2</sub> emissions during system operation and maintenance [g-C]
- $G_{decomm}$  = CO<sub>2</sub> emissions during system decommissioning
- $E_{gen}$  = Annual AC power generation [kWh]
- $L_{PV}$  = lifetime of the PV system [years]

## 4.3.4 LCA calculations from example papers

<b>Paper title</b>	<b>Emissions from photovoltaic life cycles</b>
<b>Author(s)</b>	Fthenakis, V.M. Kim, H.C. and Alsema, E.
<b>Journal</b>	Environmental Science & Technology 2008; 42 (6): 2,168 – 2,174
<b>Irradiation</b>	1,700 kWh/m <sup>2</sup> /year, 1,800 kWh/m <sup>2</sup> /year
<b>PV type</b>	ribbon-Si, multi-Si, mono-Si, CdTe
<b>System configuration</b>	0.75 – 0.8 performance ratio, rooftop- and ground-mounted
<b>Lifetime</b>	30 years
<b>Results</b>	20 – 55 g CO <sub>2</sub> eq/kWh, 40 – 190 mg NO <sub>x</sub> /kWh, 60 – 380 mg SO <sub>x</sub> /kWh (reading from figure)
<b>Year</b>	2006

PV type	Assumption	GHG emissions	EPT
Si modules	Rooftop-mounted, 0.75 PR, 1,700 kWh/m <sup>2</sup> /yr	30 – 45 g CO <sub>2</sub> eq/kWh	1.7 – 2.7 years
CdTe	Ground-mounted, 0.8 PR, 1,800 kWh/m <sup>2</sup> /yr 30-year lifetime	24 g CO <sub>2</sub> eq/kWh	1.1 years

▣ Fthenakis VM, Kim HC, Alsema E. (2008). Emissions from photovoltaic life cycles. Environmental Science & Technology; 42 (6): 2,168 – 2,174

### Atmospheric Cd emissions

PV type and fuel type	Atmospheric Cd emissions
Ribbon-Si	0.8 g/GWh
mc-Si	0.9 g/GWh
Mono-Si	0.9 g/GWh
CdTe	0.3 g/GWh
Hard coal	3.1 g/GWh
Lignite	6.2 g/GWh
Natural gas	0.2 g/GWh
Oil	43.3 g/GWh
Nuclear	0.5 g/GWh
Hydro	0.03 g/GWh
UCTE average	4.1 g/GWh

# LCA study on BOS in a 3.5 MW PV system (USA)

## □ LCA study on BOS in a 3.5 MW PV system (USA)

Paper title	Energy payback and life-cycle CO <sub>2</sub> emissions of the BOS in an optimized 3.5 MW PV installation
Author(s)	Mason, J. E. Fthenakis, V. M. Hansen, T. and Kim, H.C.
Journal	Progress in Photovoltaics, 2006. 14 (2): 179 – 190
Location/country	Springerville, AZ/USA
Irradiation	1,725 kWh/kW (actual performance data used for LCA), approx. 2,100 kWh/m <sup>2</sup> /yr (average)
PV capacity/PV type	3.5 MW/mc-Si
System configuration	Ground-mounted fixed flat-plate system
Lifetime	PV metal support structure: 60 years; inverters and transformers: 30 years (parts: 10 years)
Results	BOS: 542 MJ/m <sup>2</sup> , 29 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> , 0.21 years of EPT, \$940 US/kW
Year	2006



<sup>†††</sup> Mason JE, Fthenakis VM, Hansen T, Kim HC. (2006). Energy payback and life-cycle CO<sub>2</sub> emissions of the BOS in an optimized 3.5 MW PV installation. *Progress in Photovoltaics*; 14 (2): 179 – 190

# LCA study on the 2 MW Hokuto mega-solar plant (Japan)

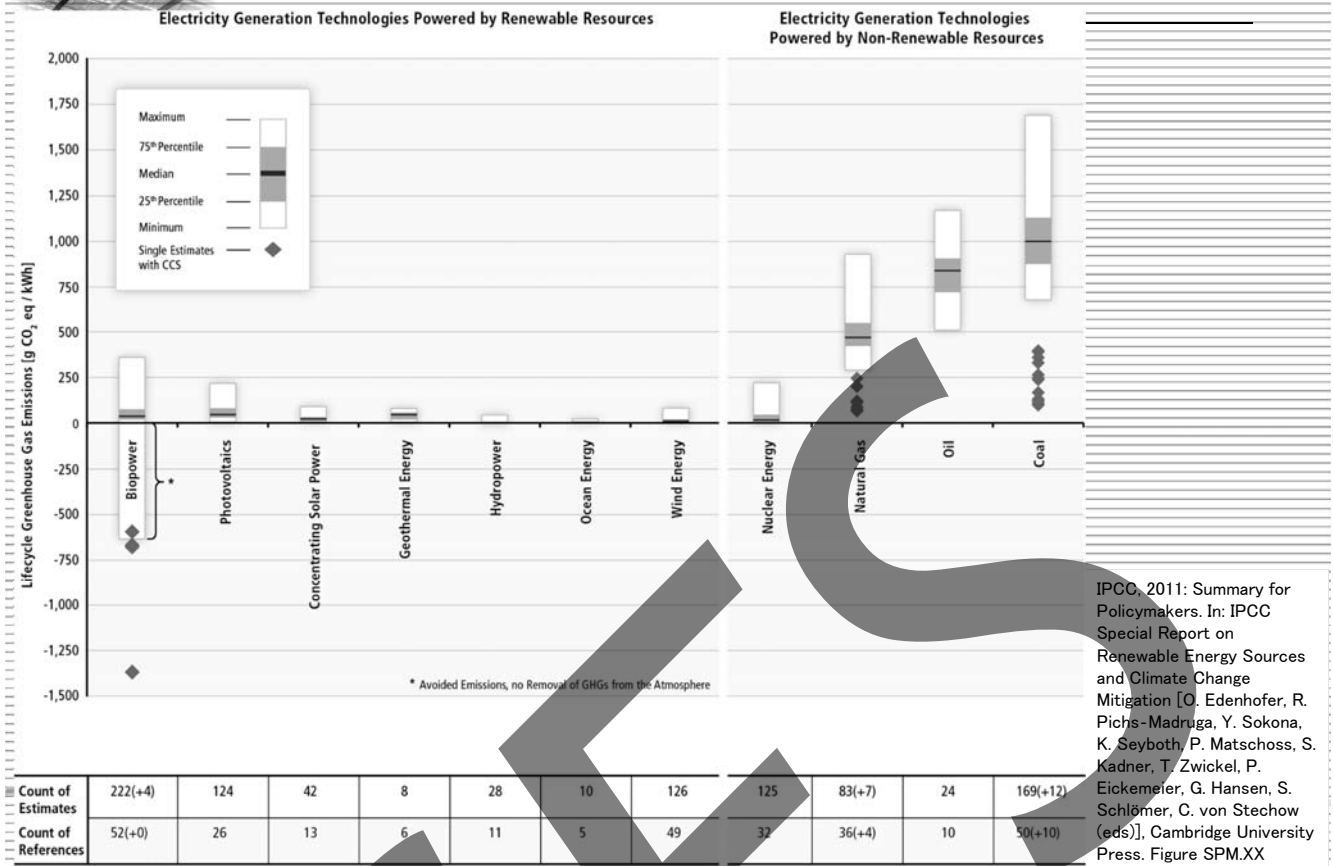
Paper title	A comparative study on life cycle analysis of 20 different PV modules installed at the Hokuto mega-solar plant
Author(s)	Ito, M. Kudo, M. Nagura, M. and Kurokawa, K.
Journal	Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Volume 19, Issue 3
Location/country	Hokuto City, Japan
Irradiation	1,725 kWh/m <sup>2</sup> /year at a 30-degree tilt angle
PV capacity/PV type	600 kW/mc-Si, sc-Si, a-Si/sc-Si, thin-film Si, CIS, μc-Si/a-Si
System configuration	Ground-mounted fixed flat-plate system
Lifetime	30 years; inverters: 15 years
Year	2011



<sup>†††</sup> Ito, M. Kudo, M. Nagura, M. and Kurokawa, K. (May 2011). A comparative study on life cycle analysis of 20 different PV modules installed at the Hokuto mega-solar plant, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Volume 19, Issue 3



# IPCC/SRRENによる二酸化炭素排出原単位のまとめ



## 太陽光発電リサイクル関連

### □ PV Cycle

- 太陽電池関連メーカー210社+26の協力メンバー
- 2010年6月に収集開始
- 約1500トン回収（2011年現在）

### □ First Solar社

- 会社の経営とは別にリサイクル用基金を準備

### □ リサイクルプラント

- Sunicon社によるパイロットプラント（2MW/年）
  - 自動化されたプラントを建設中
- NEDO技術開発機構/北九州産業学術推進機構FAIS
  - 結晶系，薄膜系両方に対応，年20MW時に10円/W，年200MW時に5円/Wを目標