キヤノングローバル戦略研究所　地球温暖化シンポジウム
「日本の地球温暖化抑制の2050年ビジョンとその実現」
2015年7月23日（木）　新丸ビルコンファレンススクエア

「国際的なエネルギー環境政策と途上国への技術支援」

氏田　博士
キヤノングローバル戦略研究所

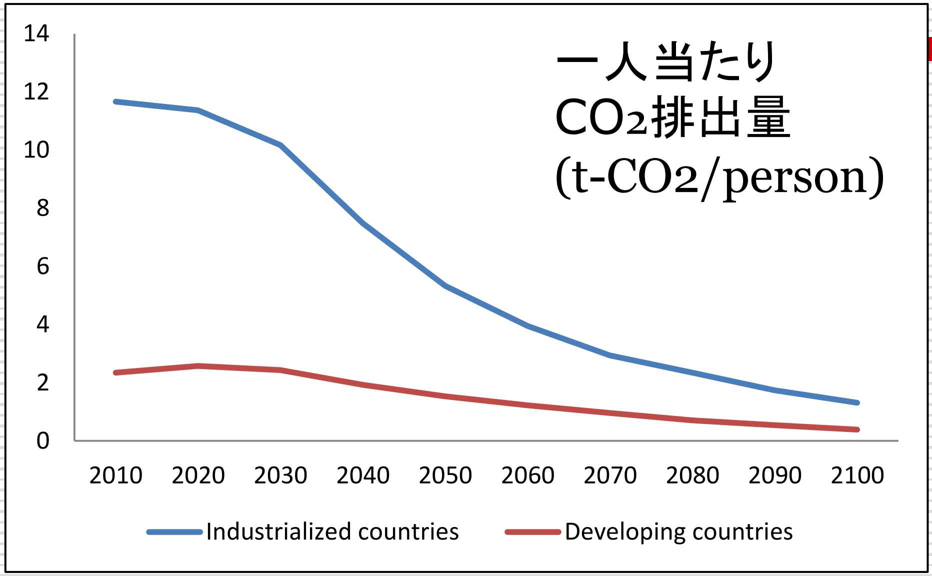
講演内容

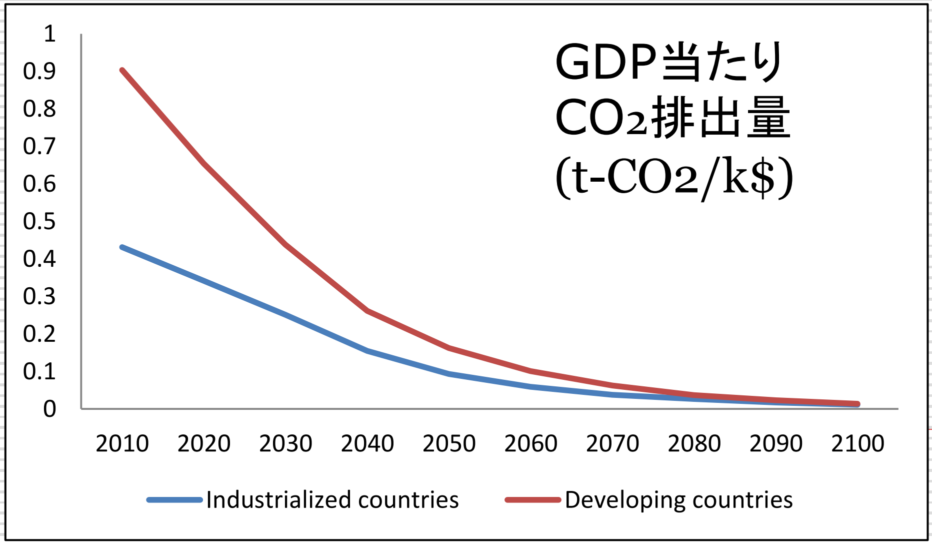
- 衡平性指標の考え方
- プレッジ＆レビュー方式への対応
  - 環境対策との連携
  - 炭素プライシング
- 途上国への技術支援
- BATリスト方式
- BATリスト方式のASEANへの適用
  - ベトナム
  - インドネシア

□ 衡平性指標の考え方1

- 責任（温暖化寄与度、大気への権利）　-発展途上国が先進国を責める構図
  - 気温上昇への歴史的貢献（排出量）
  - 一人当たり排出量　-平等論
  - 国の絶対排出量
- 能力（支払い能力）　-発展途上国と先進国の差異ある責任
  - 国内総生産：GDP、一人当たりGDP
  - 人間開発指標：HDIと一人当たりGDPの組み合わせ
- 実効性（削減ポテンシャル）　- 合理的だが、先進国間の衡平性
  - 生産原単位あたり排出量
  - GDP当たり排出量　- 発展途上国の衡平性に利用可能
  - 限界削減費用　- 最も合理的だが、先進国間の衡平性

一人当たりとGDP当たりCO_2排出量の先進国と途上国の比較





- 責任：先進国の努力
  - 低炭素化技術開発
    - 省エネルギー
    - エネルギー源変換
  - ロードマップ作成
  - セキュリティとのリンク

- 実効性：途上国の努力
  - 低炭素化技術早期移行
    - エネルギー効率向上
    - 先進国の最新技術導入
    - 技術のロックイン回避
  - 環境対策との連携
  - 経済性

CO_2排出量： Z650
GDP、人口等： 世界銀行

衡平性指標の考え方2

- トップダウンアプローチ（国別削減目標、京都プロトコル、ポスト京都プロトコル）
  - プレッジアンドレビュー方式（国別削減約束）
  - 排出権取引（2℃実現に向けて））
- ボトムアップアプローチ（セクター別削減目標、技術対策）

- 世代間衡平性
  - 地球温暖化の問題では、現世代がミニマムの成長で我慢し将来世代のために対策費用を捻出する努力（持続的発展）をしてきた実績、研究開発により新たな革新技術の芽を提供すること、が大切
  - 原子力(FBRなど)や再生可能のような長期のエネルギー源を確保すべき
  - 気温上昇への歴史的貢献（排出量）で、発展途上国が先進国を責める構図があるが、将来世代への衡平性を問えば、今後に大幅な排出が予想される国々（中印など）には大きな責任がかかることを認識すべき
  - 先進国が技術支援で途上国の排出削減に協力

プレッジ&レビュー方式の対応 -地球温暖化対策のための世界の協調の在り方

- 短期の「プレッジ・レビュー＆レビュー＋コベネフィット＋BAT(Best Available Technology)リスト＋二国間取引」方式から
- 長期的には「排出権取引＋コベネフィット＋BATリスト＋多国間取引」方式へ移行
  - 地球温暖化問題のもつグローバルな課題であるため衡平性の観点から各国の協調が得られがたいこと、温暖化影響とその対策に費用が掛かるため経済への悪影響が危惧されていることに対し、革新的技術開発で対応していく方策を見出す
  - その特徴は、技術開発のロードマップを示すことにより目標達成の道筋とその経過が明確に見えること、技術的実現性の側面に着目するため衡平性を担保できる
  - 技術開発のロードマップを作成するにあたっては、技術開発の失敗、遅れ、ロックインなどのリスク、また革新技術の実現などの効果も含め、リスクマネジメントの視点で評価する

■ 環境対策との連携（コベネフィット）

- 地球温暖化問題は地球全体の問題であること、一方の環境問題は自国の問題と認識されていること
- 途上国にとって、経済発展と環境問題は喫緊の課題

- さらに地球温暖化と環境問題は共通事項が多い（CO2とSOx・NOx）
- 効率向上（経済性）と環境問題は共通事項が多い

- 温暖化ガスの確実な削減を図るには、各国にPledge & Reviewを求めその検証を重ねるボトムアップ方式が現実的
- 世界でCO2削減を実効性あるものにするには、技術支援が有効

- 現実的で実効性のある対策は、温暖化対策と表裏一体である環境対策に視点を移すこと
- 世界規模での温暖化防止策の協調が困難である現状からも、各国の問題である環境問題への支援を温暖化対策に有効活用（コベネフィット）することが意味を持つ

短期の「プレッジ・レビュー＆レビュー＋コベネフィット＋BATリスト＋二国間取引」方式

- 世界でセクター別に、BATリストの指定とそのエネルギーとCO_2の原単位目標を設定
  - 先進国は提供可能なBAT施設・機器のリスト（BATリスト）を提示
  - 途上国では、新設計画のみでなく、老朽化設備の一掃を図るためリプレース計画も作成
- 途上国がBAT施設・機器を導入するため長期融資・資金援助機関を設置
- 各国でセクター別に、環境対策効果やエネルギーセキュリティ上の効果の目標を設定し、コベネフィットとしてのCO_2削減効果を評価
- 原子力や再生可能は、温暖化対策のみでなく、環境対策（SOx・NOx排出量）、エネルギーセキュリティ、などのコベネフィットがあり、導入インセンティブを与えるためにBATリストの上位にランクする

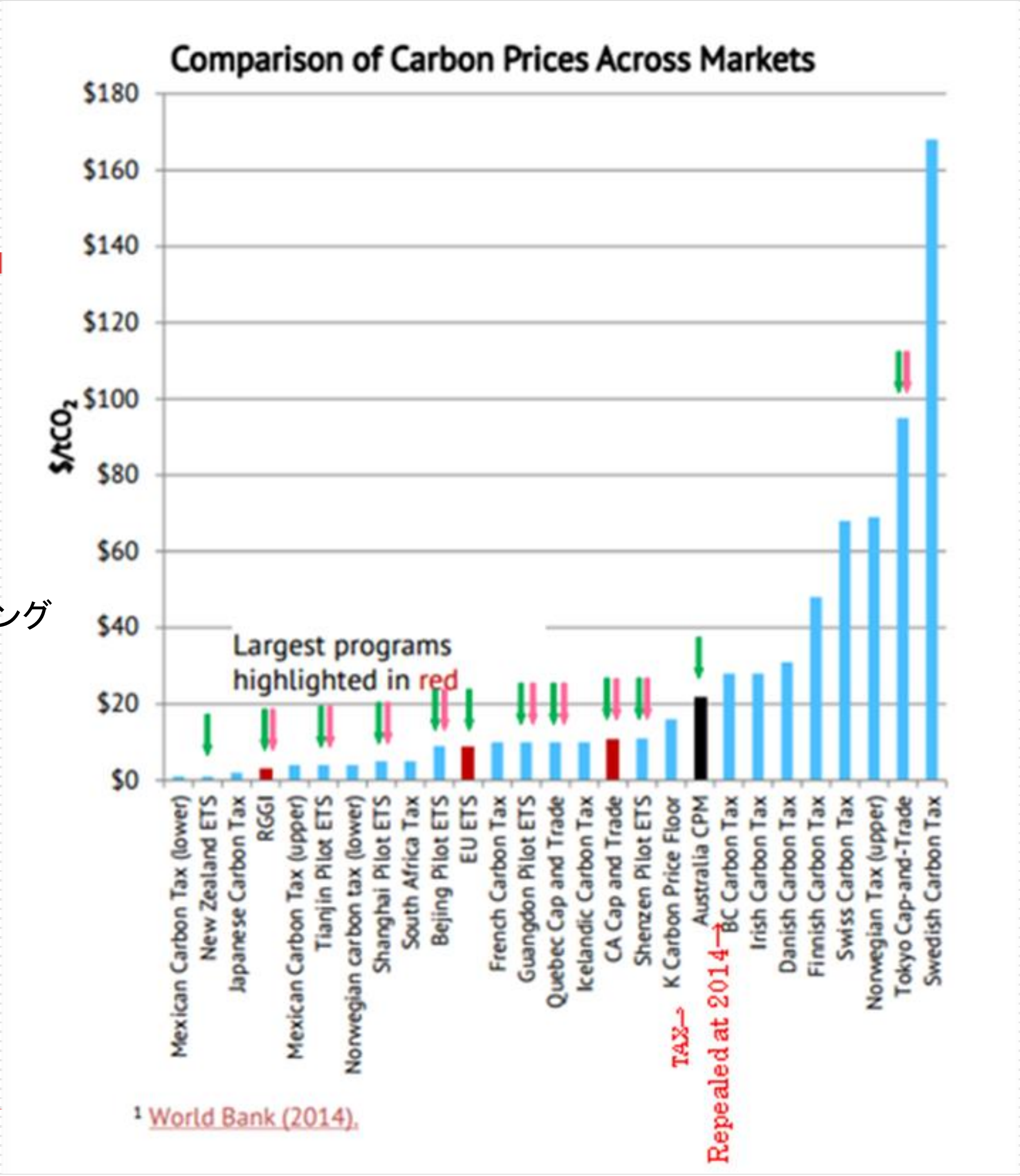
■炭素プライシング

炭素税と
排出量取引による
炭素価格設定
（世界銀行推奨）

緑の矢印：排出量取引市場
ピンクの矢印：地域単位での炭素プライシング

- ✓ 排出量取引を運用しているのは、先進的な地域（都市、州）が中心
ほぼ＄10以下
- ✓ 炭素税は、国中心、高額

US Energy Association, “Removing Carbon from the Atmosphere: What the Emergence of Carbon negative Strategies Means for Industry & Government”, Technology Series membership Briefing, Washington, DC, November 2014



長期の「排出権取引+コベネフィット+BATリスト+多国間取引」方式

- プレッジ＆レビュー方式の経験が10年程度蓄積された時点で、CO_2排出量実績の総量と2℃目標を達成するためのキャップとを比較して、その比率で各国のCO_2排出量実績から各国のキャップを設定
- 先進国と途上国の間で、二国間だけでなく多国間にも広げて、BATリストから選択したCO_2削減事業を実施
- コベネフィットについては、プレッジ＆レビュー方式を踏襲する
- 上記キャップによる排出権取引を導入するが、BATの長期融資・資金援助は継続して、技術促進のインセンティブを保つことにより、技術のロックインを防ぐ
- 排出権取引の投機性を可能な限り制約するために、参入資格を定める
- 各国の特徴に応じて、炭素税や補助金、また法規制などをセットとするポリシーミックスを追及

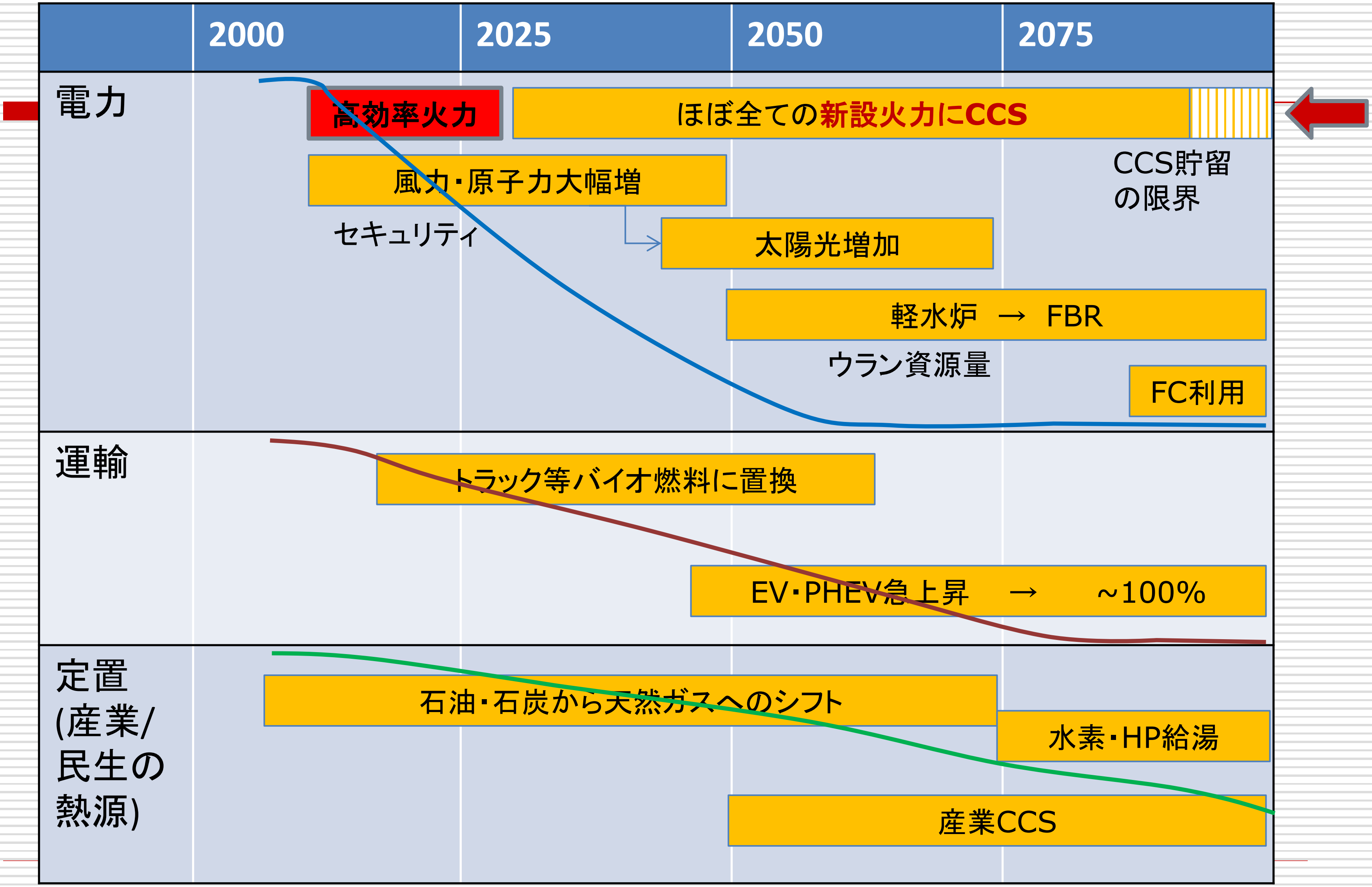
□ 途上国への技術支援

- すでにあるODAの経験と実績を温暖化対策支援に利用することは、被支援国側にとっても受け入れやすい

- 温暖化ガス削減技術の能力を具体的な数字で相手国に提示する（BATリスト方式）ことも、より高い技術を導入するモチベーションとなる
- BATリスト技術が長期的に見て経済性が良いことを示すことが重要
- BATリスト技術に資金支援やキャパシティビルディングなどを含めて必要な支援をあらかじめパッケージとしてリストアップしたBATリストを作成する方法が有効である
- 高い技術に裏打ちされた信頼関係は次世代技術の導入へとつながり、次世代でのロックイン（古い環境特性の悪い機器で固定化される事態）を防止可能

- 日本の途上国支援にはODAの他に、「JCM、Joint Crediting Mechanism、二国間クレジット制度）」や「攻めの地球温暖化外交戦略」（ACE 、Actions for Cool Earth）、環境省がJICA及びアジア開発銀行と行う「”一足飛び”型発展の実現に向けた資金支援」など、現在多くのプロジェクトがある

Z650によるエネルギー技術ロードマップ



図中の曲線はCO_2削減率（Z650の排出量/BAUの排出量）

BATリスト方式の例：火力発電編 途上国vs.日本

- 途上国で建設中の石炭火力発電所は、第1世代の亜臨界圧炉(Sub-C)あるいは超臨界圧炉(SC)が中心であると考えられる
- 日本が2国間クレジットJCM で、ベトナムでフィージビリティスタディを実施しているのは最新型である超々臨界圧炉(USC)
- 第1世代のプラント熱効率は40%程度と思われる(従来型で37%、超臨界圧炉で42%)
- 日本では、第2世代のガスタービンと蒸気タービンを併用するコンバインドサイクルCCが実用化されており、プラント熱効率は50%程度までに達している
- この方式は比較的早期に導入でき、かつ効率向上と環境汚染低減が実現できるのでメリットが大きい

BATリスト方式の例：火力発電編
新型火力の導入

- 実現方式としては2種類考えられる
- 一つは、天然ガスNG燃料のNGCCがある
- もう一つは石炭を燃料とした場合で、固体の石炭をガス化して石炭ガスとするIGCCがある
- プラント熱効率はNGCCでは53%、IGCCでも49%に達する
- （さらに、CO_2排出がなく燃料費が安価な原子力へのリプレースもあり得る）
- CO_2排出原単位は、従来型では0.95(kg-CO_2/kWh)であるが、NGCCでは0.36(kg-CO_2/kWh)、IGCCでも0.71(kg-CO_2/kWh)に低減する
- （さらに、原子力へリプレースするとCO_2排出が無くなる）

BATリスト方式の例：火力発電編

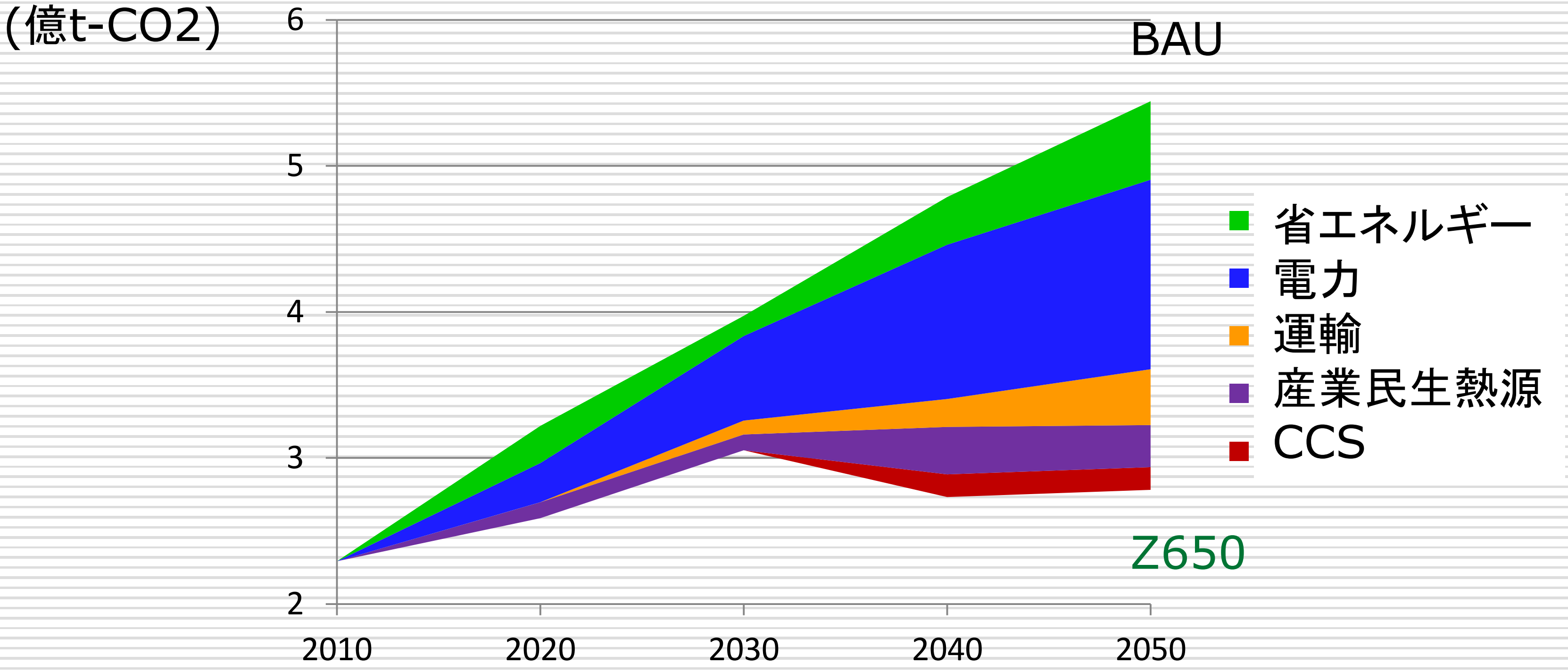
火力発電（1GWプラント、稼働率80%(年間7,446h)、50年寿命）-試算

	建設費 (M$)	50年間 燃料費 (M$)	50年間 炭素税 (M$)	50年間 総コスト (M$)	50年間 CO2排出量 （Mt-CO2)
天然ガス火力 a	450	3,990	705	5,145	105
コンバインドサイクル(NGCC) b	540	2,860	479	3,879 b-a (-1,266)	51 (-54)
亜臨界石炭 （Sub-C）	1,050	1,510	1,195	3,755	119.5
超臨界圧炉 (SC) c	1,150	1,430	1,120	3,700	112
超超臨界圧炉 （USC）	1,400	1,295	1,035	3,730	103.5
ガス化コンバインドサイクル (IGCC) d	1,680	1,110	895	3,685 d-c (-15)	89.5 (-22.5)

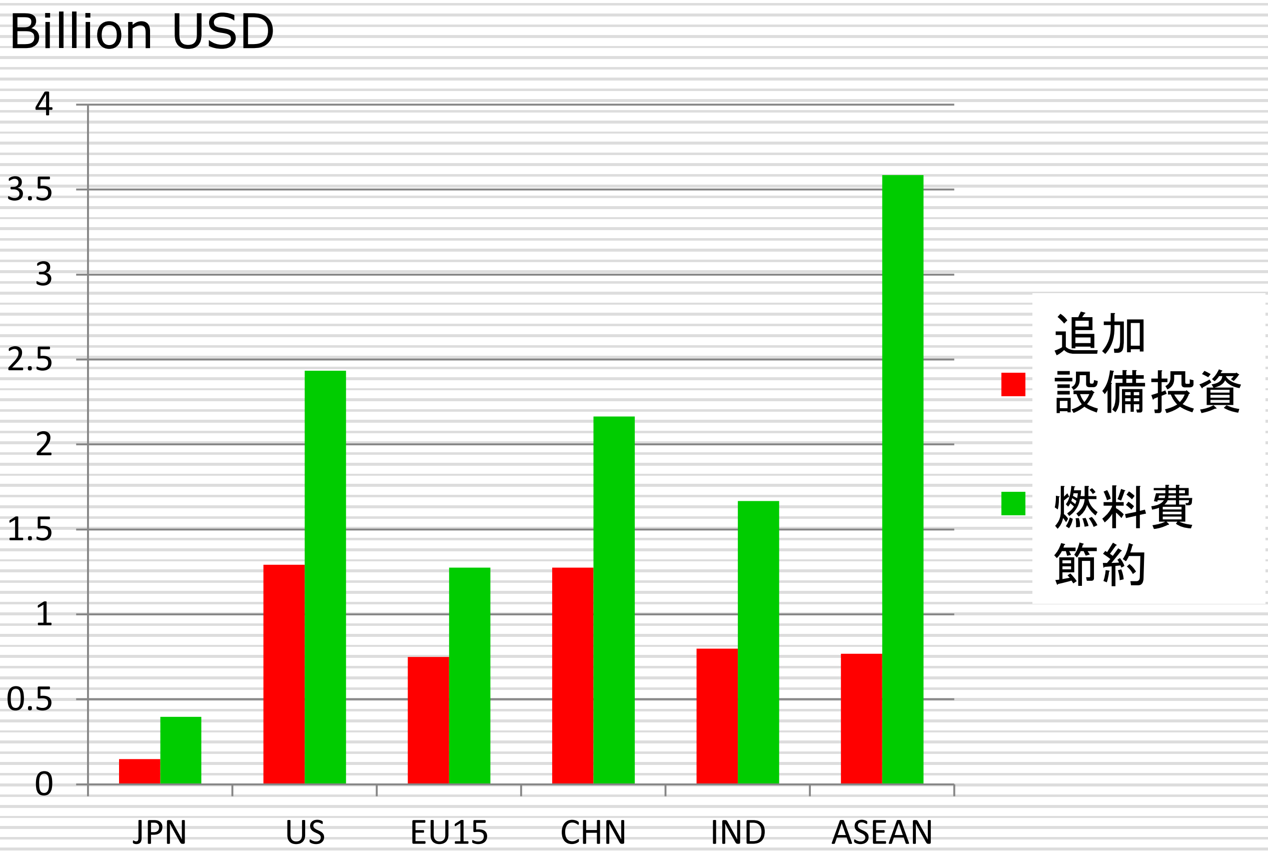
日本排出量（2013年）：1220（Mt-CO2)
原子力の排出量：0（Mt-CO2)

□ BATリスト方式のASEANへの適用

セクター別CO2排出量の予測（2010～2050年）



電力部門のコストベネフィットの比較
（BAUとZ650のエネルギーシステムコストの差分、2010～2050年累計）



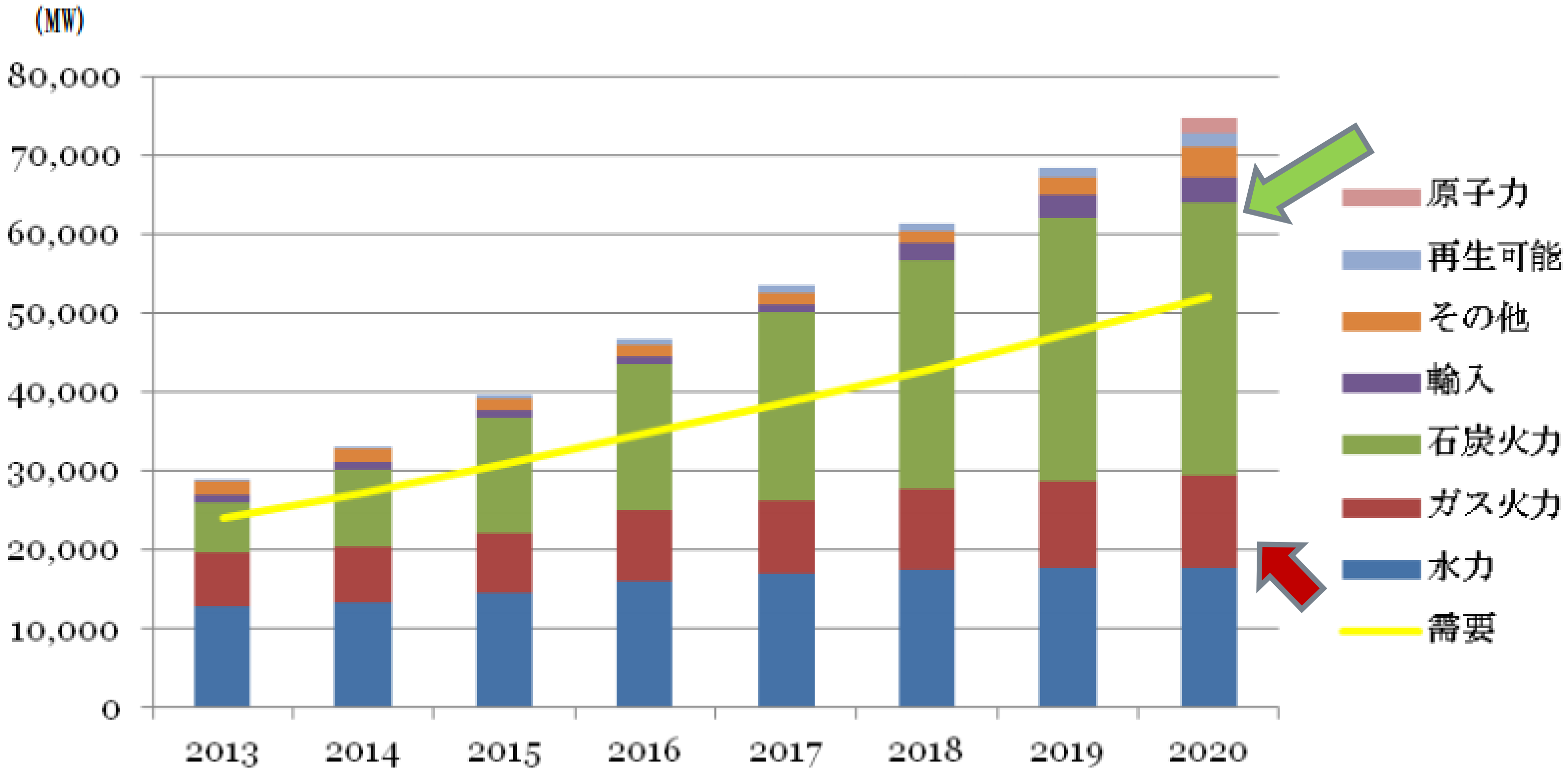
ASEAN各国のGDP, CO_2排出量等の比較(2011年)

2ケ国排出量540M(45%)
ASEAN総量1.2G

Indicator	Unit	Philippines	Indonesia	Singapore	Thailand	Vietnam
GDP (Current Price)	Billion USD	**224.8**	846.2	265.6	345.7	122.7
Population	Million	**94.2**	241.0	5.3	64.1	89.3
GDP/Capita	USD/Person	**2,386**	3,511	50,004	5,395	1,374
Total Primary Energy Supply (TPES)	Million TOE	**40.5**	209.0	33.4	119.1	61.2
Energy self-sufficiency (total energy)	%	**59.0**	189.0	0.0	60.1	111.2
Electricity consumption	TWh	**61.5**	165.7	43.6	154.2	94.3
Power generation capacity	GW	**17.0**	33.3	10.5	32.8	26.8
CO2 Emission (energy origin)	Million ton-CO2	**134.6**	410.9	62.9	248.5	130.5
Per capita TPES	TOE/Person	**0.4**	0.9	6.3	1.9	0.7
Energy intensity per GDP	TOE/1,000 USD	**0.2**	0.2	0.1	0.3	0.5
Per capita Electricity Consumption	kWh/person	**652.9**	687.6	8,226.4	2,405.6	1,056
Electrification rate [2011]	%	**79.0**	75.6	100	99.8	98.0
Electricity Intensity per GDP	kWh/1,000 USD	**623**	571	259	877	1,563
Per capita CO2 Emissions (energy origin)	Ton-CO2/person	**1.5**	1.729	12.390	3.692	1.501

Comparison of ASEAN countries - focused on power sector -August, 2013, The Institute of Energy Economics, Japan

■ ベトナムの発電計画と提案
-2013年以降の電源開発推移



出所：PDP7, EVN等より

発電電力量、CO_2排出量の試算(2050年)

	発電電力量 (TWh)	CO_2排出量 ($Mt\text{-}CO_2$)
天然ガス火力	166	88
NGCC(換算)	-	60
差分	-	-28
超臨界圧炉	802	710
IGCC(換算)	-	569
差分	-	-141
差分合計 (日本排出量との比)	-	-169 (14%)
日本排出量(2013年)	-	1,220

＊2030年までの計画を線形に2050年まで延長

ベトナム 電力調査 2013, 2013年3月, ジェトロ・ハノイ事務所

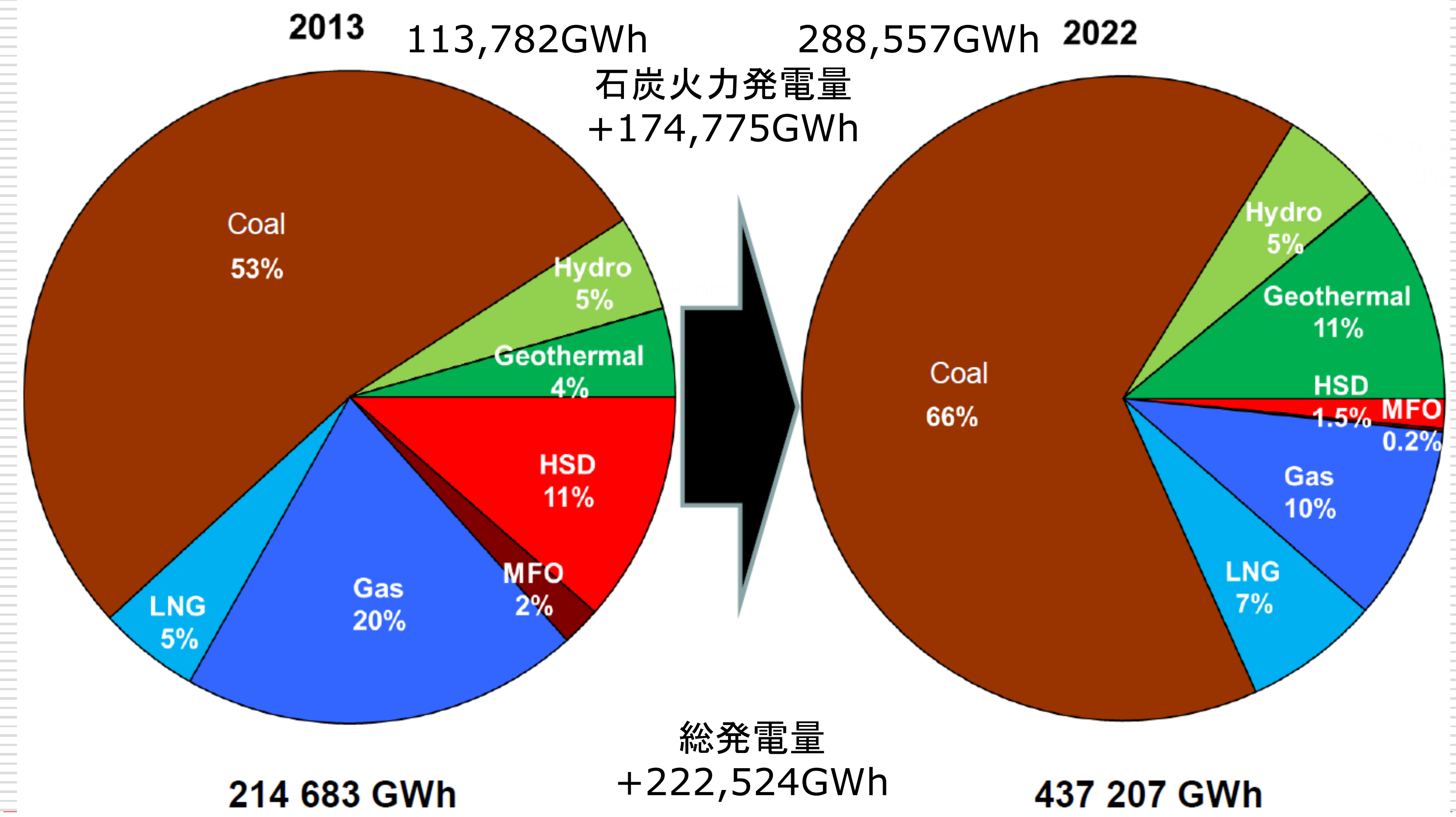
コストの試算（2050年、50年寿命）

＊2030年までの計画を線形に2050年まで延長

	建設費（設備投資）(B$)	燃料費(B$)	炭素税(B$)	総コスト(合計) (B$)
天然ガス火力	9.7	188	12.6	210.3
NGCC	11.6	134	8.6	154.2
差分	1.9	-54	-4.0	-56.1
超臨界圧炉	172.5	467	131.7	771.2
IGCC	252.5	362	105.1	719.6
差分	80.0	-105	-26.6	-51.6

ベトナム 電力調査 2013, 2013年3月, ジェトロ・ハノイ事務所

■ インドネシアの発電計画と提案
-発電電力量の計画(～2022年)

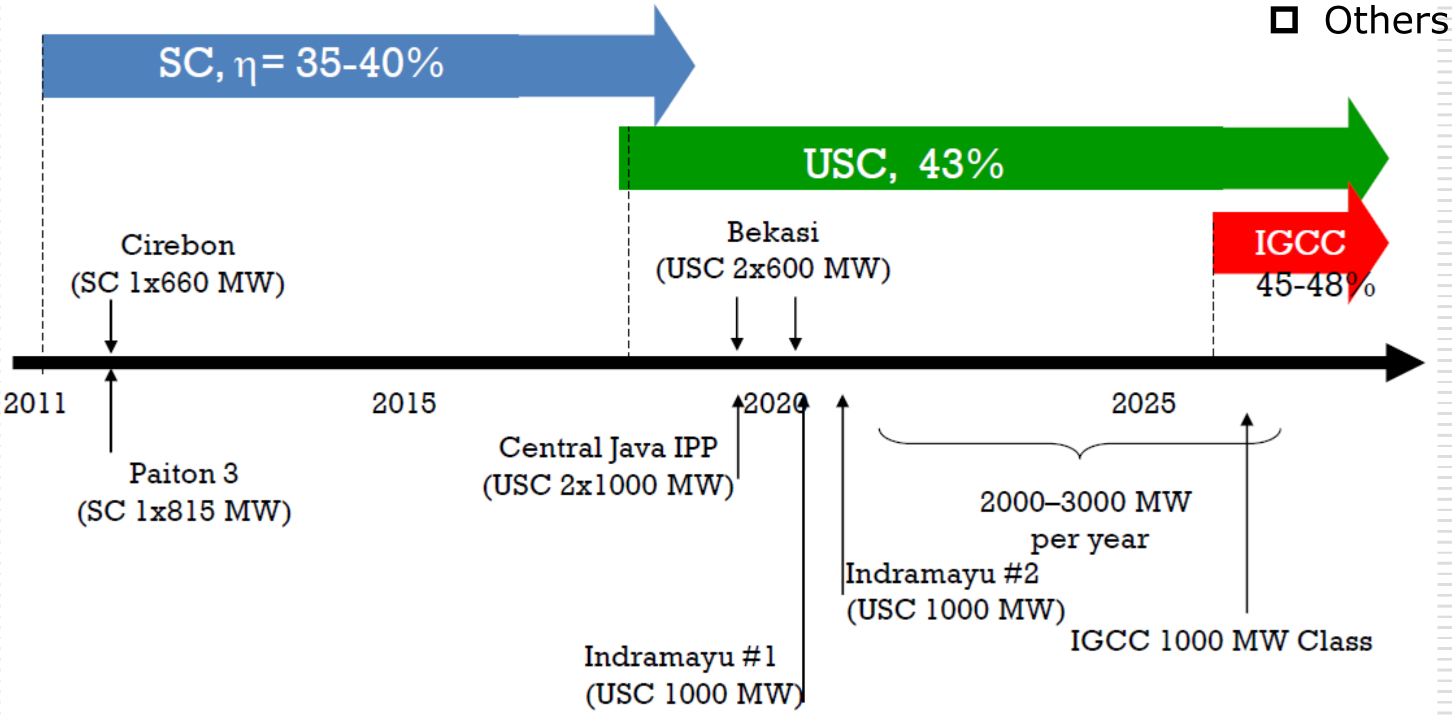


Moch. Sofyan, INDONESIA ELECTRICITY INFRASTRUCTURE, Today & Tomorrow, JICA Senior Officer Program, PLN Long Term Electricity Plan (2013-2022) , Tokyo, March 2014.

CCT（Clean Coal Technology）のロードマップ

Total additional capacity until 2022 is around 59,5 GW

- CFPP: 37,7 GW
- GeoPP: 6,2 GW
- CCGT: 4,8 GW
- GT/Gas Engine: 3,6 GW
- Hidro/Mini Hidro: 6,9 GW
- Others :0,2 GW



The Project for Promotion of Clean Coal Technology (CCT) in Indonesia, Interim Report, October 2011, Jakarta, JICA Study Team, with modification.

発電電力量、CO2排出量、コストの試算（2050年）

＊2022年までの計画を線形に2050年まで延長

	発電電力量 (TWh)	CO2排出量 (Mt-CO2)
超臨界圧炉	778	692
IGCC（換算）	-	552
差分（日本排出量との日）	-	-140（11%）
日本排出量（2013年）	-	1,220

	建設費（設備投資）(B$)	燃料費(B$)	炭素税(B$)	総コスト(合計）（B$)
超臨界圧炉	159.8	398	112.3	670.1
IGCC	240.7	309	89.6	639.3
差分	80.9	-89	-22.7	-30.8

Moch. Sofyan, INDONESIA ELECTRICITY INFRASTRUCTURE, Today & Tomorrow, JICA Senior Officer Program, PLN Long Term Electricity Plan (2013-2022) , Tokyo, March 2014.

まとめ

- プレッジ＆レビュー方式への対応
  - 短期の「プレッジ・レビュー＆レビュー+コベネフィット+BAT(Best Available Technology)リスト+二国間取引」方式から
  - 長期的には「排出権取引+コベネフィット+BATリスト+多国間取引」方式へ移行
    - 炭素プライシング
    - 環境対策との連携
- 途上国の課題
  - 途上国の温暖化対策には、画期的な削減技術の導入が必要
  - 早急に抜本対策しなければ、技術のロックインが発生する可能性
  - 環境対策、経済発展とのコベネフィットの議論が必要
- 途上国への技術支援
  - BATリスト方式の提案（火力発電で例示）
    - 環境対策、経済発展とのコベネフィットの有効性を提示
    - BATリスト方式のASEAN（ベトナム、インドネシア）への適用

ご参考

短期の「プレッジ・レビュー＆レビュー＋コベネフィット＋BATリスト＋二国間取引」方式

- **先進国と途上国の間で、様々な制度を利用して削減を図る**
  - **日本政府が提唱している「二国間オフセット・クレジット制度」方式などにより、BATリストリストから選択したCO_2削減事業を実施**
  - **NAMA：Nationally Appropriate Mitigation Actions（途上国でやれることはやる、それを先進国が支援するアプローチ）の実施**
  - **G8やG20や二国間交渉で、セクター別の技術対策による削減目標を協定**

- **各国は毎年目標達成状況を報告し、国際機関でレビューする**

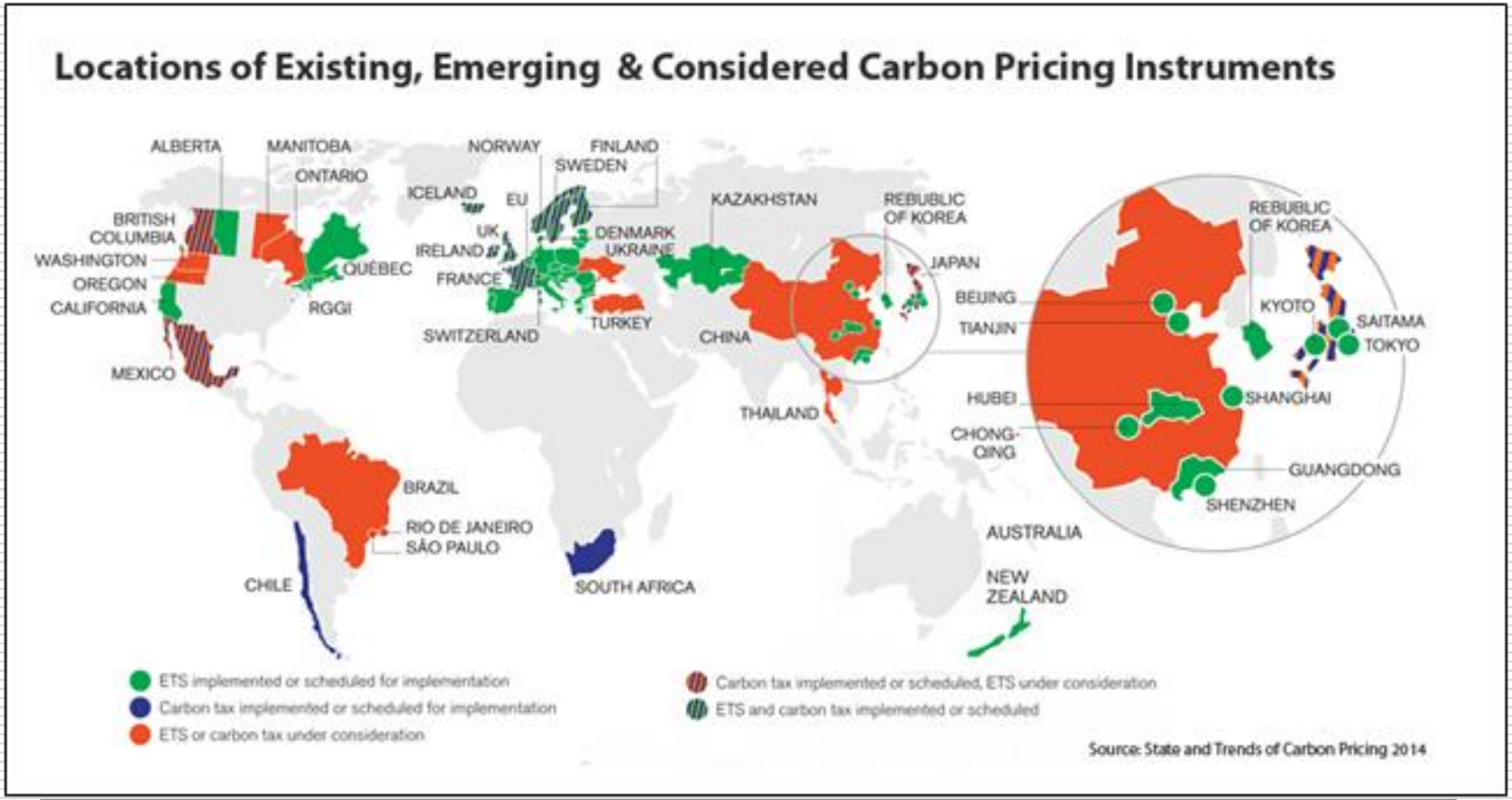
- ボトムアップアプローチの中でも特に、技術的にできるところからやるセクター別、技術志向のトリプティクアプローチ(TT)が推奨される
  - エネルギー多消費産業では、エネルギー効率
  - 電力生成では、GHG放出強度
  - 国内では、パーキャピタ放出量

- 炭素回収隔離（CCS）は、温暖化対策のみでかつコスト高であるので、この導入のインセンティブには、資金援助が必要

長期の「排出権取引+コベネフィット+BATリスト+多国間取引」方式

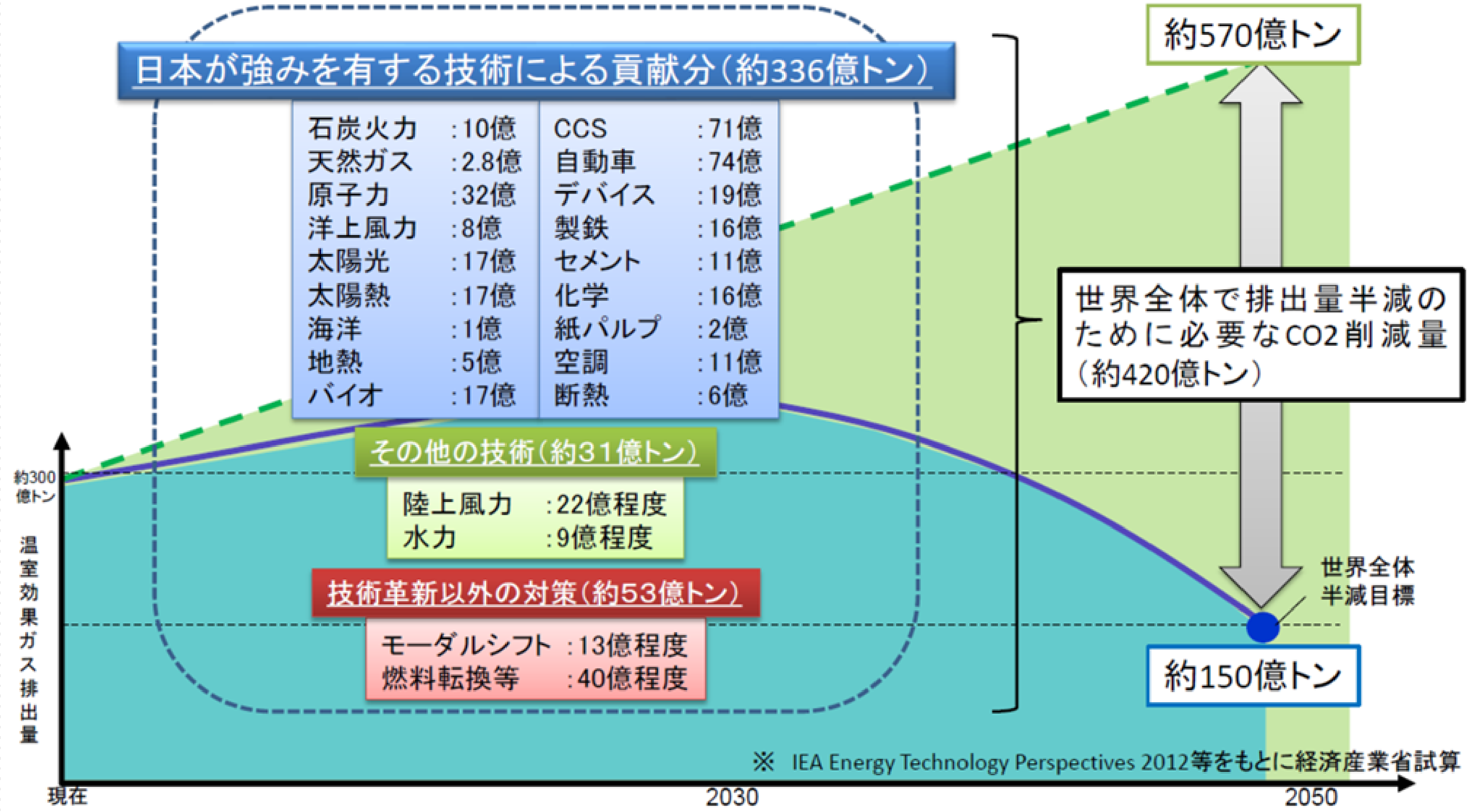
- プレッジ＆レビュー方式の経験が10年程度蓄積された時点で、CO_2排出量実績の総量と2℃目標を達成するためのキャップとを比較して、限界削減費用均一のコスト最適化シミュレーション結果も参照しつつ、その比率で各国のCO_2排出量実績から各国のキャップを設定
- 各年の削減目標に応じ、数年おきにキャップの修正を実施
- CO_2排出量実績の総量とキャップの比率に基づき、BATリストのエネルギーとCO_2の原単位目標の基準をレベルアップする。これにより技術革新のインセンティブを与えることができる
- レベルアップした原単位目標の基準を達成するべく先進国は努力し、途上国は最新のBATリスト施設・機器を導入
- 先進国と途上国の間で、二国間だけでなく多国間にも広げて、BATリストリストから選択したCO_2削減事業を実施
- コベネフィットについては、プレッジ＆レビュー方式を踏襲する
- 上記キャップによる排出権取引を導入するが、BATリストの長期融資・資金援助は継続して、技術促進のインセンティブを保つことにより、技術のロックインを防ぐ
- 排出権取引の投機性を可能な限り制約するために、参入資格を定める
- 各国の特徴に応じて、炭素税や補助金、また法規制などをセットとするポリシーミックスを追及

炭素プライシング
炭素税と排出量取引による炭素価格設定



緑は炭素市場が運用されているまたは実施が計画されている地域であり、主として先進国と中国の一人当たりGDPが1万ドルを超えている都市
緑の斜線で示されている炭素税と炭素市場の両方が実施されているか計画中である地域は、ヨーロッパ諸国に多い

日本が強みを有する技術により今後世界全体で削減できる温室効果ガスの排出量



「地球温暖化問題をめぐる状況」経済産業省産業技術環境局　平成26年7月

ベトナムの発電計画と提言
-2013年以降の電源開発

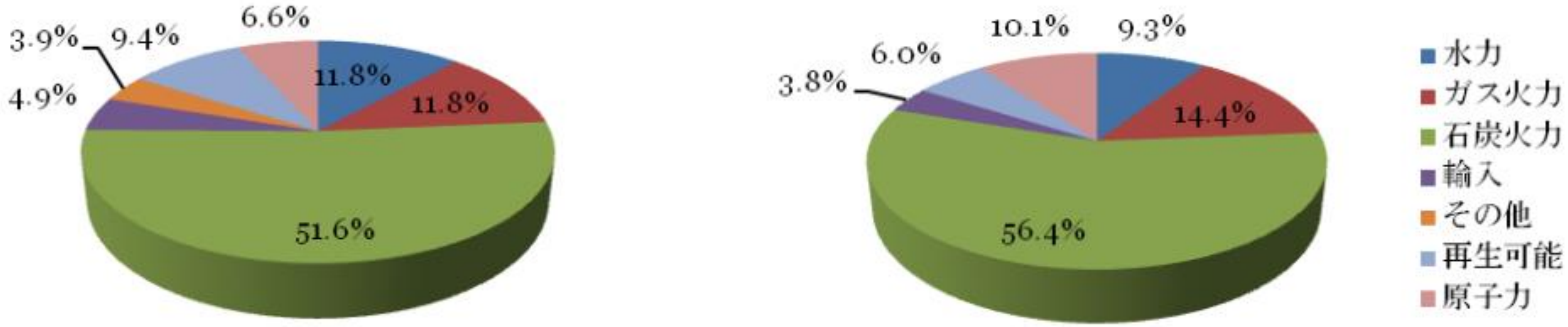


図14. 2030年末発電設備容量 146, 800MW

図15. 2030年発電実績 695, 000GWh

出所：PDP7より

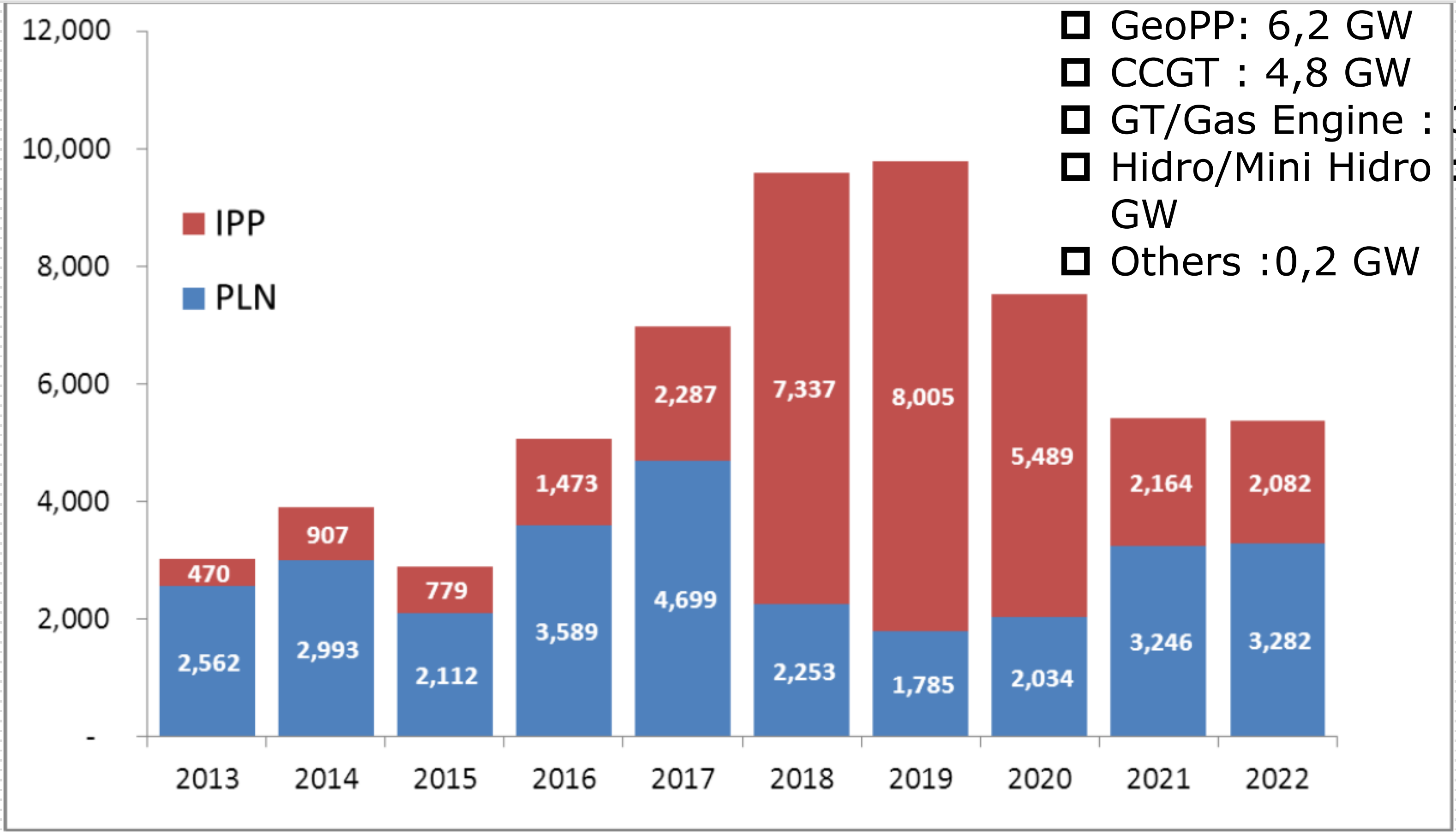
PDP7
発電設備容量:2020年には75,000MW、2030年には146,800MWにする予定
2012年末の発電設備容量26,836MWに対し、
2020年は約2.8倍、　2030年には約5.4倍

ベトナム 電力調査 2013, 2013年3月, ジェトロ・ハノイ事務所

インドネシアNew Power Plant Capacity Addition (Incl. IPP)

Total additional capacity until 2022 is around 59,5 GW

- CFPP: 37,7 GW
- GeoPP: 6,2 GW
- CCGT : 4,8 GW
- GT/Gas Engine : 3,6 GW
- Hidro/Mini Hidro : 6,9 GW
- Others :0,2 GW



Moch. Sofyan, INDONESIA ELECTRICITY INFRASTRUCTURE, Today & Tomorrow, JICA Senior Officer Program, PLN Long Term Electricity Plan (2013-2022) , Tokyo, March 2014.