

# 火力発電の現状と今後

～ 低炭素化社会の中で ～

2009年10月  
東京電力株式会社  
相澤 善吾



東京電力

# 目次

---

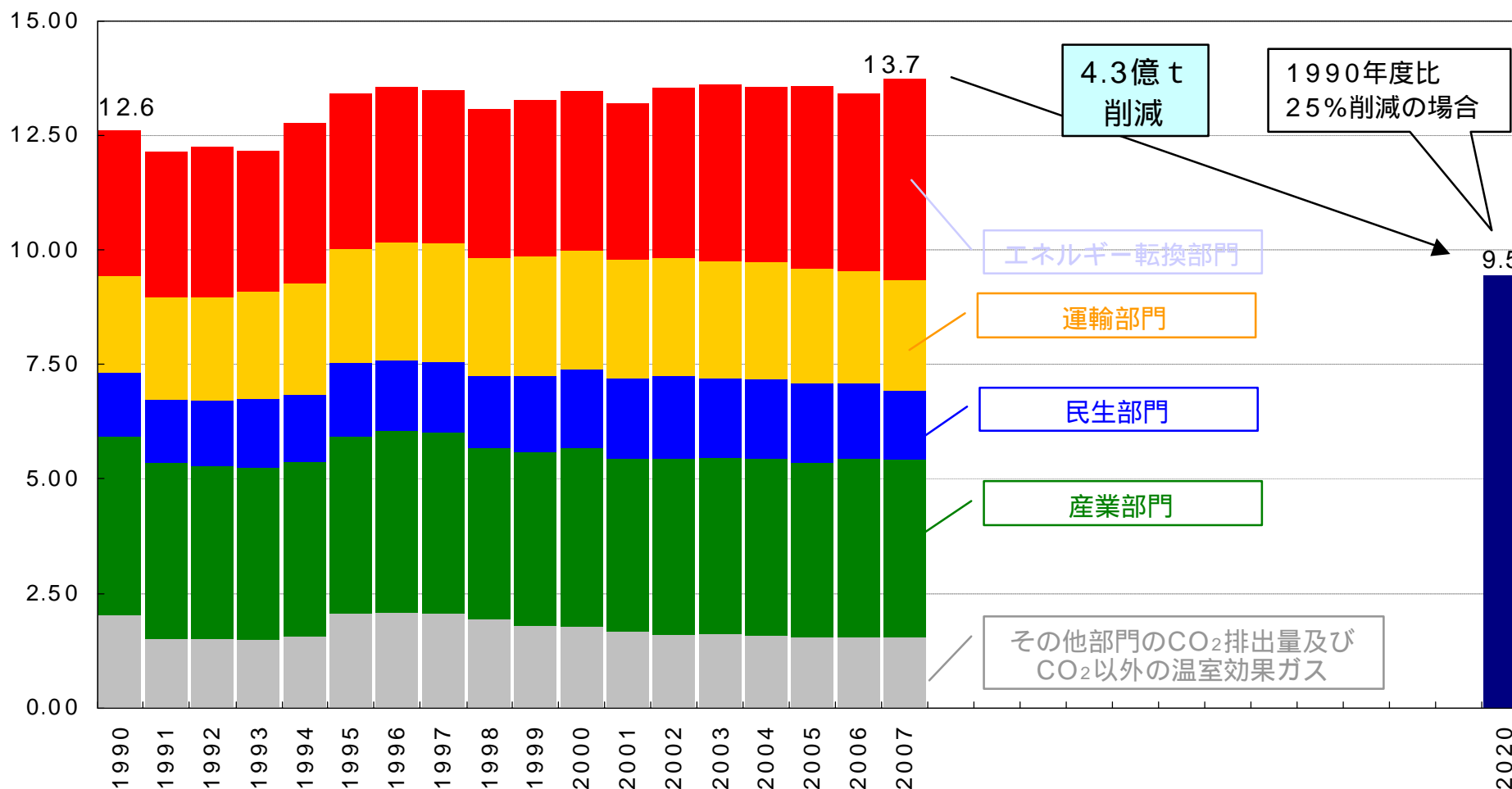
## 火力発電の現状と今後 ～ 低炭素化社会の中で ～

- 0 .CO<sub>2</sub>排出状況と低炭素化技術の現状
- 1 .火力発電の役割と実力
- 2 .高効率化への取り組み
- 3 .環境性向上への取り組み
- 4 .CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発
- 5 .低炭素社会の実現に向けて

# 0.CO<sub>2</sub>排出状況と低炭素化技術の現状

CO<sub>2</sub>排出量  
(億t-CO<sub>2</sub>)

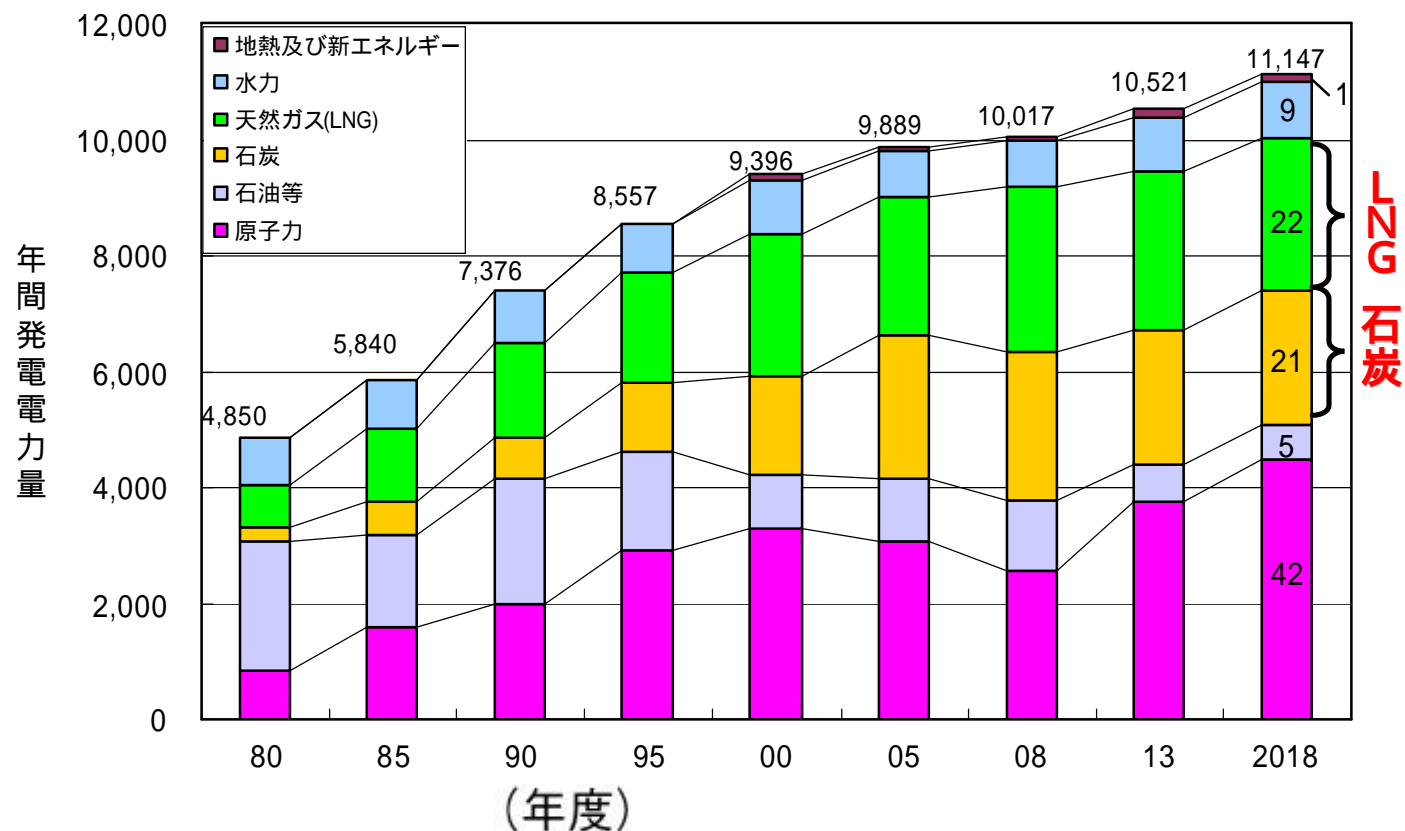
## 1990年以降の日本の温室効果ガス排出量の推移



出典：温室効果ガスインベントリオフィス

# 0.CO<sub>2</sub>排出状況と低炭素化技術の現状

## わが国の電源別発電電力量の実績と見通し



出典 :平成 21年度供給計画の概要 (平成21年 4月)

# 0.CO<sub>2</sub>排出状況と低炭素化技術の現状

電気の供給面」と電気の需要面」の両面の取り組みによって、低炭素社会の実現を目指す。

## 電気の供給面

発電の一層の  
高効率化・低炭素化

- 原子力発電の拡大・利用率向上
- 再生可能エネルギーの拡大
- 火力発電の効率向上 等

×

## 電気の需要面

高効率機器の普及・  
電化による省エネ

- 家庭・業務部門へのヒートポンプの普及・拡大
- 運輸部門への電気自動車の導入・拡大
- 産業部門の電化推進 等

# 0.CO<sub>2</sub>排出状況と低炭素化技術の現状

## CO<sub>2</sub>削減の効果 (試算)

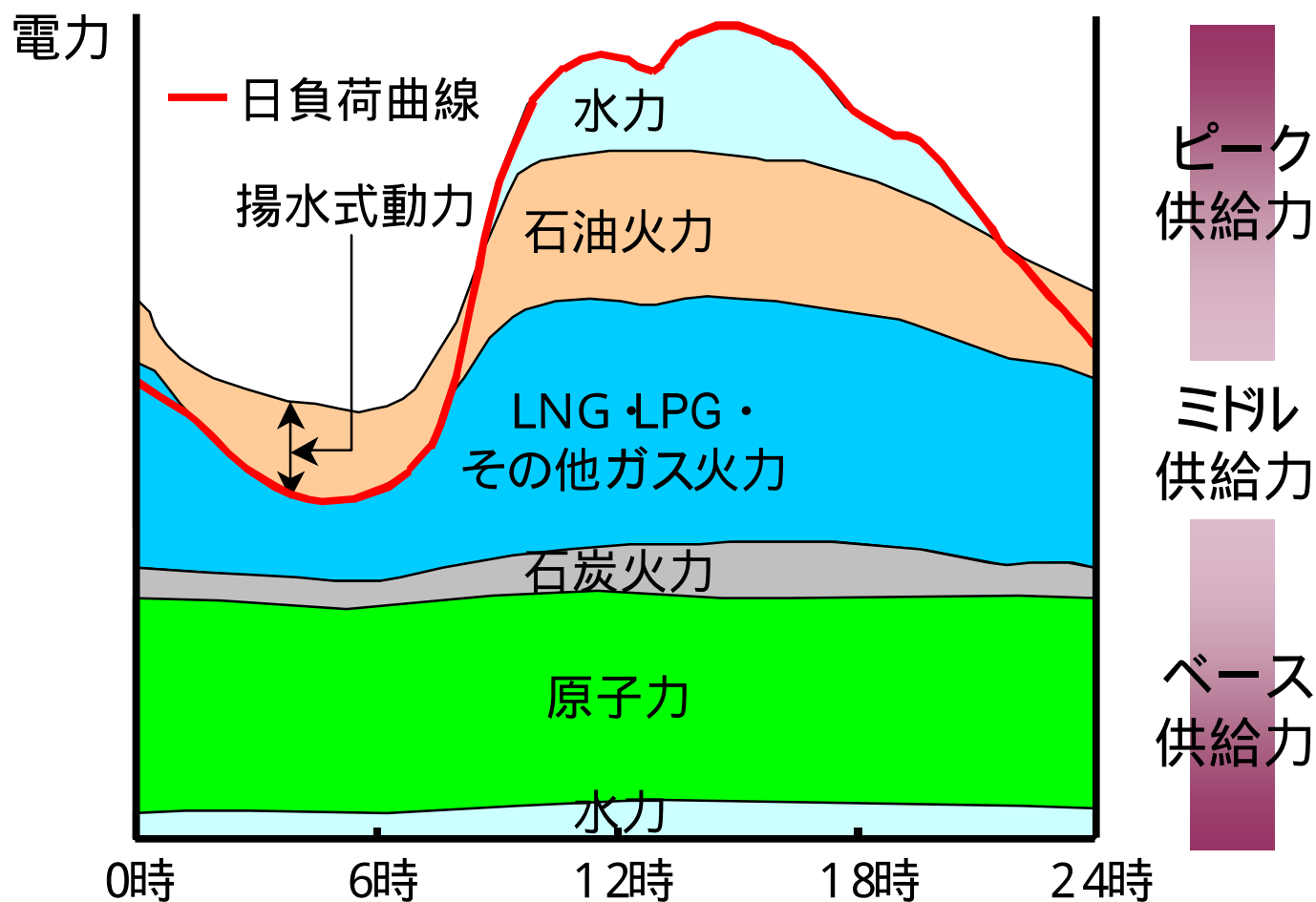
	発電電力量	CO <sub>2</sub> 削減効果
原子力 1台	100億kWh	450万t-CO <sub>2</sub> /年 <sup>1</sup>
エコキュート 1,000万台 <sup>2</sup>	-	650万t-CO <sub>2</sub> /年
電気自動車 1,000万台	-	900万t-CO <sub>2</sub> /年

1 CO<sub>2</sub>削減効果は汽力(LNG)を代替するとして算出

2 2009年2月20日電事連会長会見にて目標として公表(2020年度でストック約1,000万台普及を目指す)

# 1.火力発電の役割と実力

## わが国の電力需要に合わせた電源の運用パターン



### ポイント

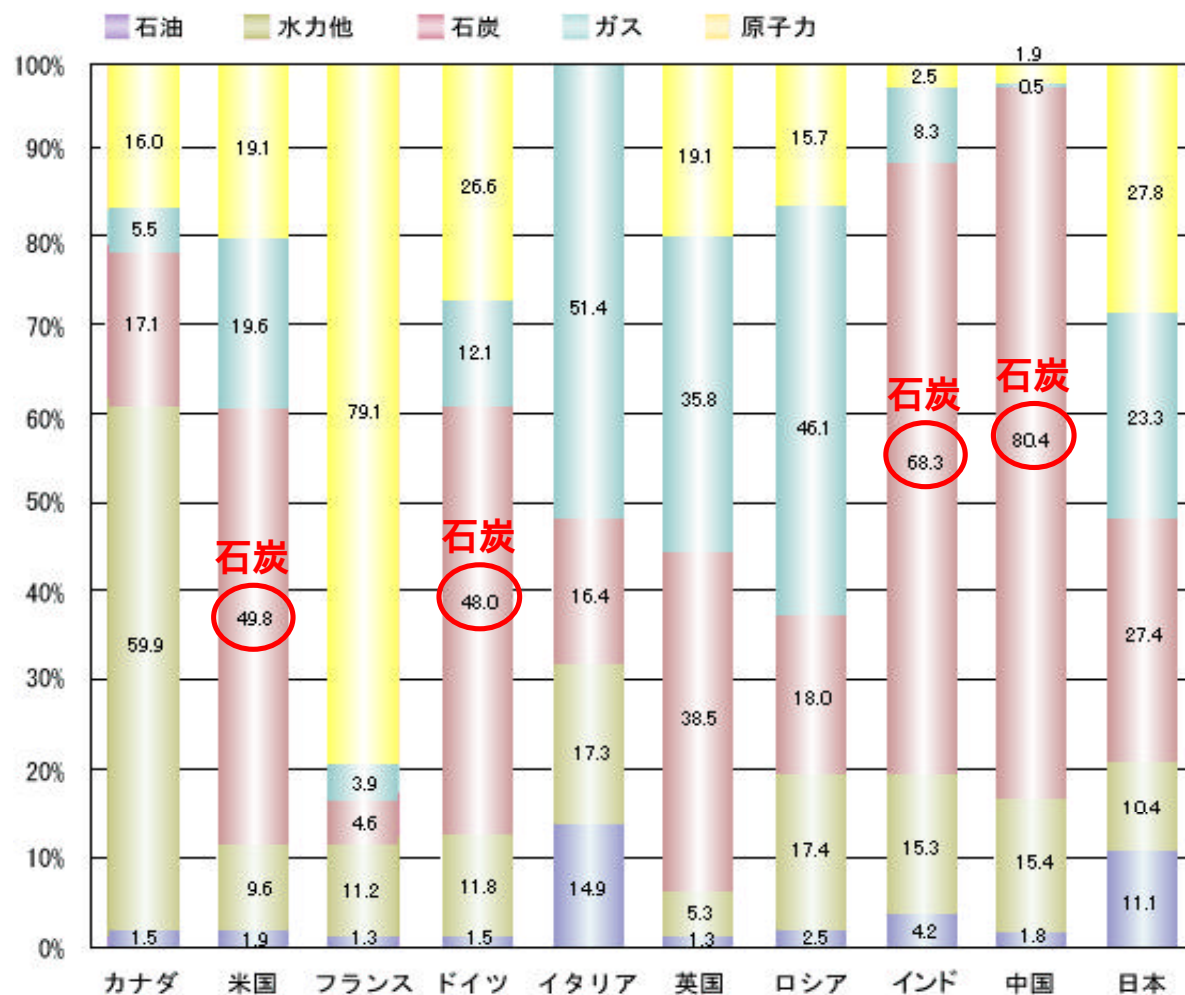
変動する需要に  
対して安定供給  
するためには

負荷調整能  
力に優れた  
火力発電が  
不可欠



# 1.火力発電の役割と実力

## 主要国の発電電力量の電源構成 (2006年)



### ポイント

#### 1.火力発電の割合

原子力比率の高いフランス (約 8割)、水力比率の高いカナダ (約 6割)を除き、**発電の5割以上を火力発電が占めている。**

#### 2.石炭火力の割合

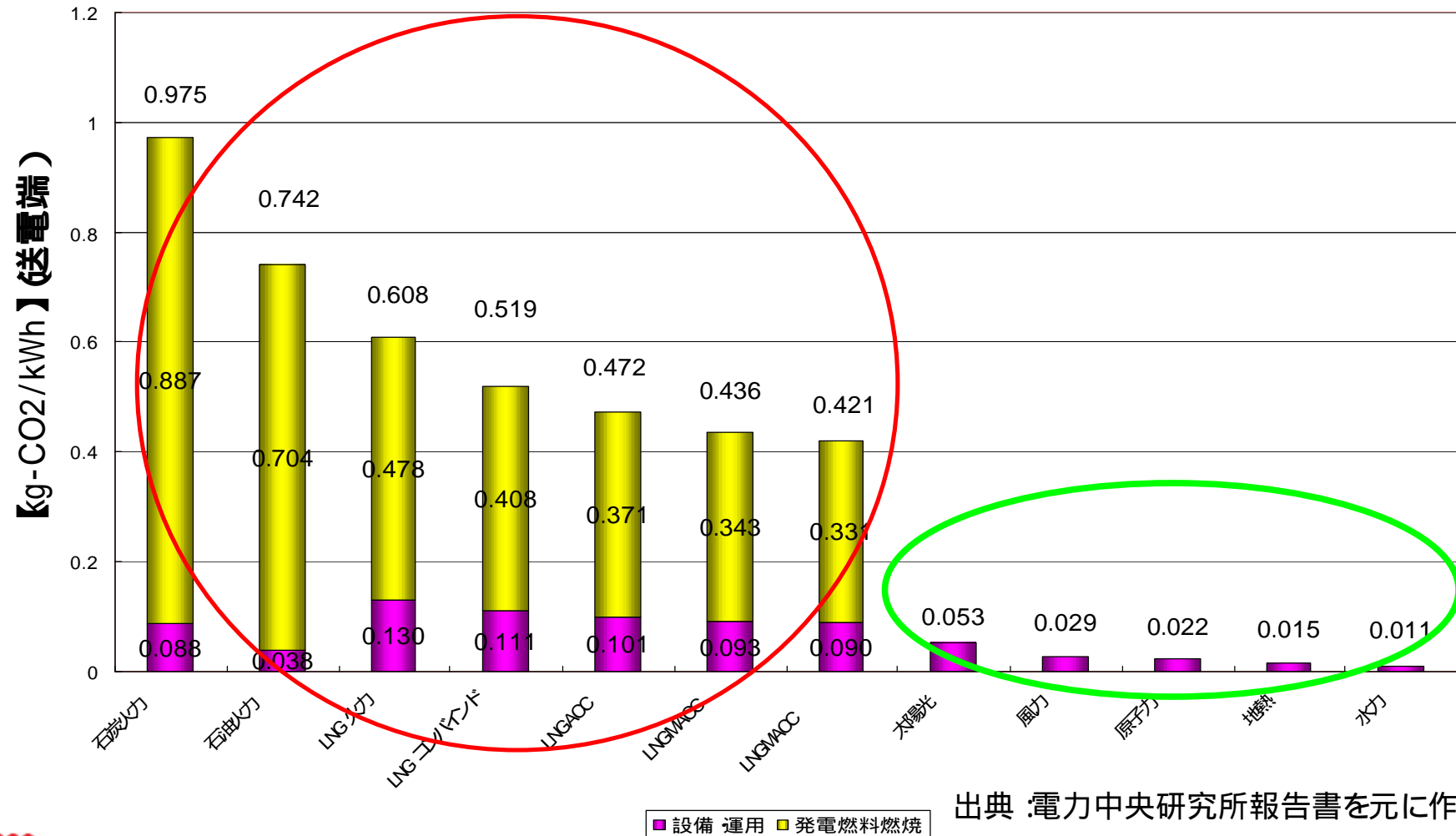
米国・ドイツ (約 5割)、中国・インド (約 7, 8割)において、**石炭火力の占める割合が非常に大きい。**

出典 :OECD/IEA 海外電力調査会資料より



# 1.火力発電の役割と実力

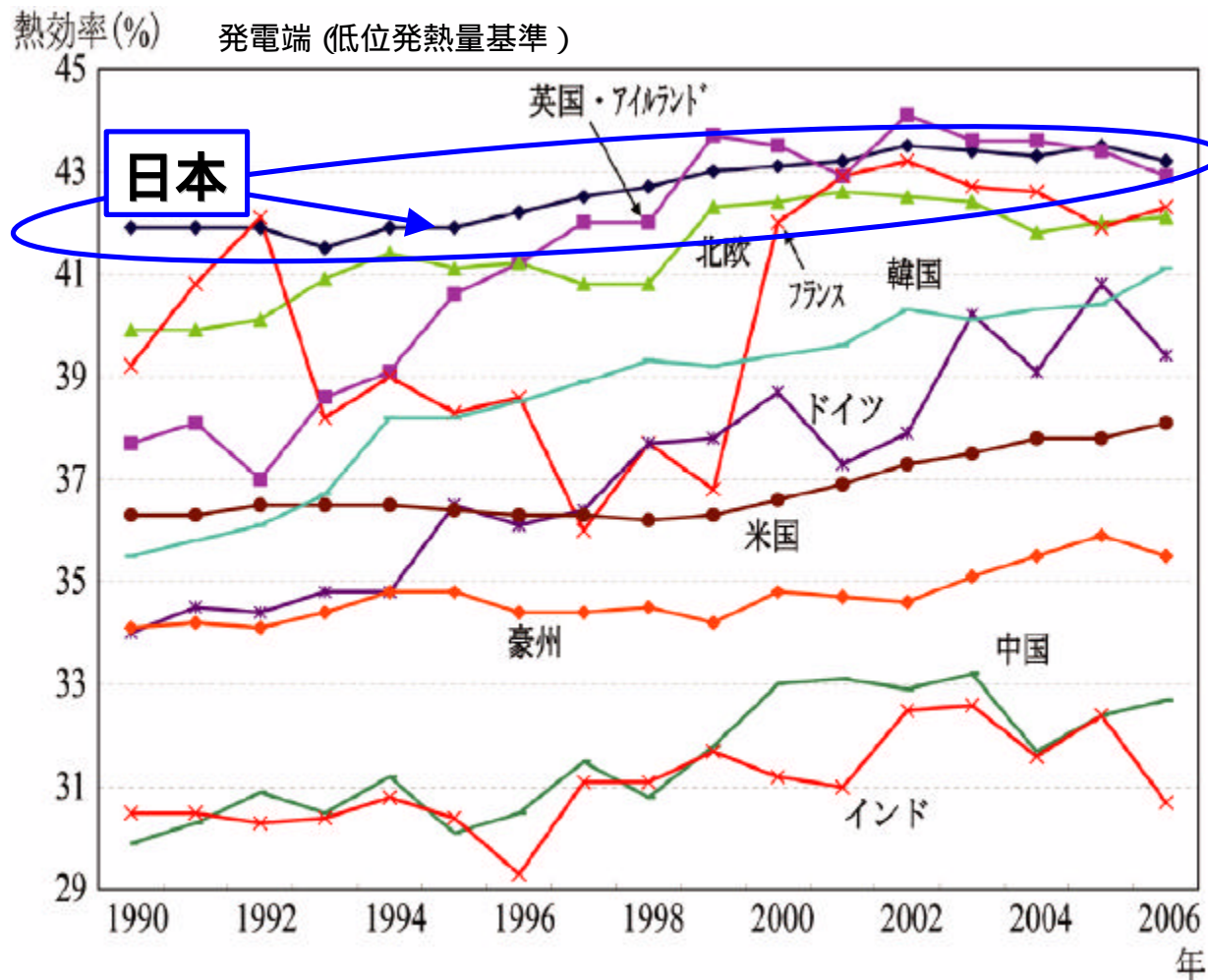
## 電源種類別のCO<sub>2</sub>排出原単位の比較



出典:電力中央研究所報告書を元に作成

# 1.火力発電の役割と実力

## 主要国の火力発電熱効率の比較



### ポイント

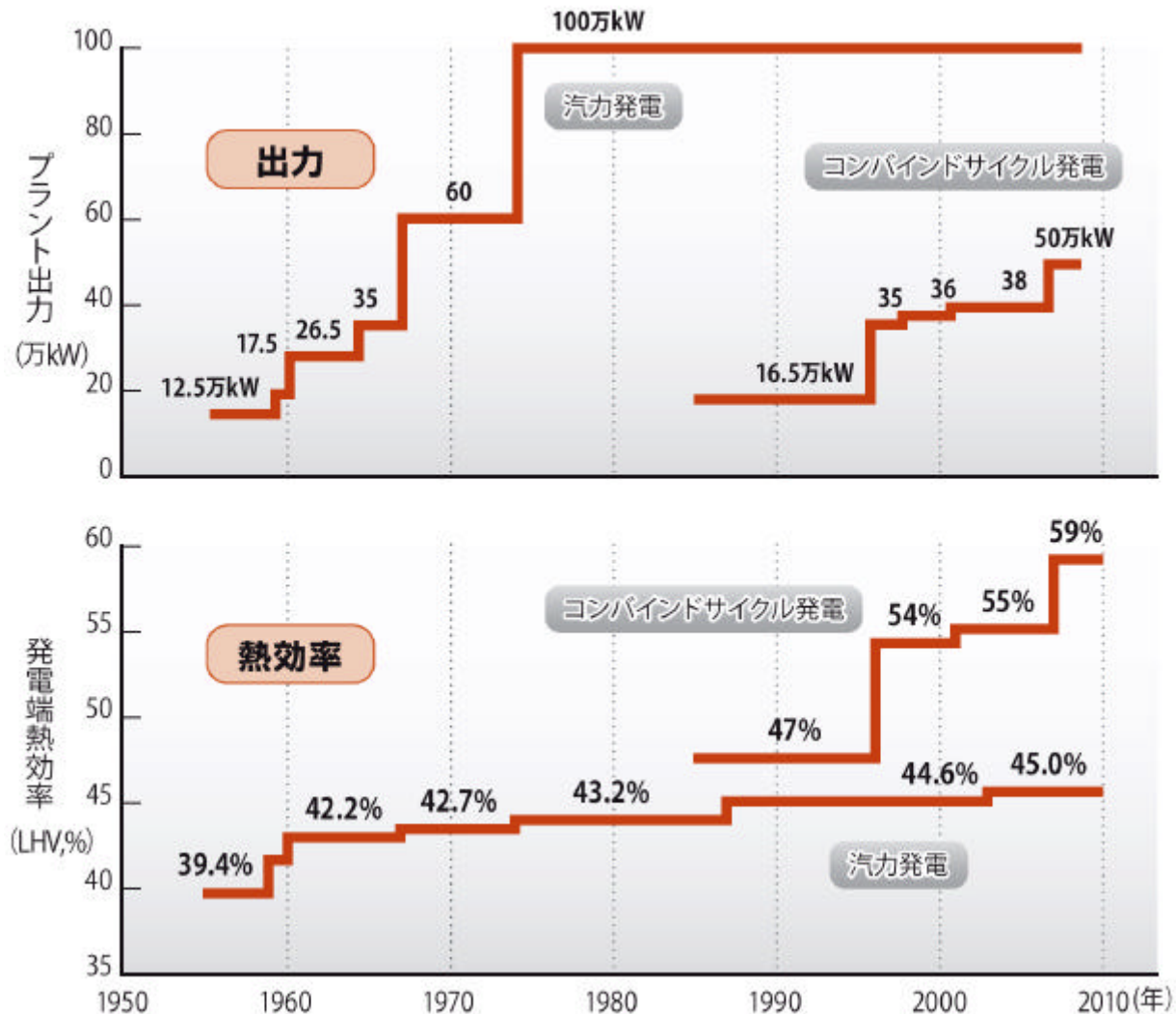
日本の熱効率

'90年来、  
世界最高水準の  
熱効率を  
維持している。

出典 :INTERNATIONAL COMPARISON OF FOSSIL POWER EFFICIENCY AND CO<sub>2</sub> INTENSITY (2009年) (ECOFYS社) 電気事業連合会資料より

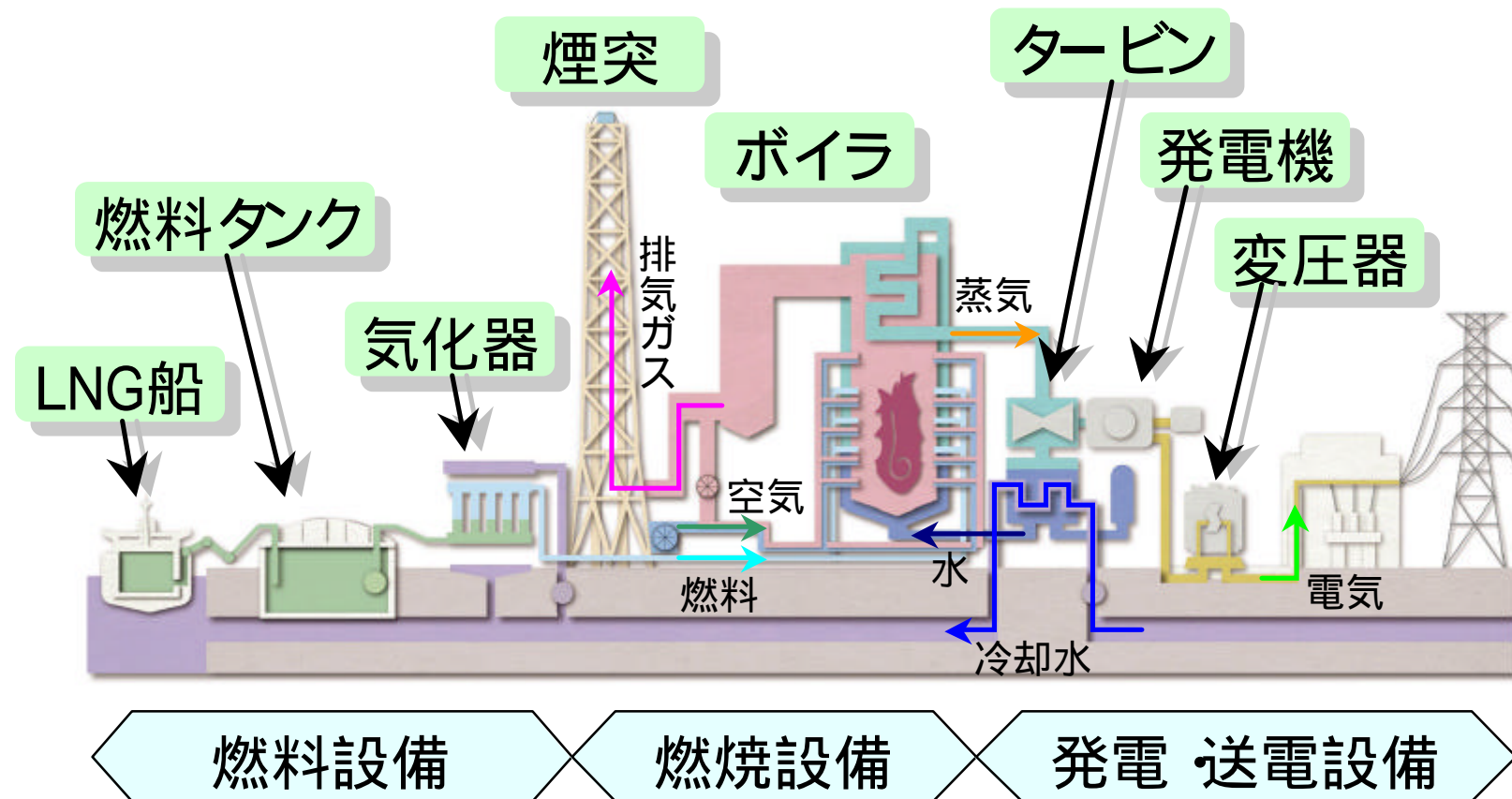
## 2. 高効率化への取り組み

### 火力発電の大容量化と熱効率向上の変遷 (東京電力の場合)



## 2. 高効率化への取り組み

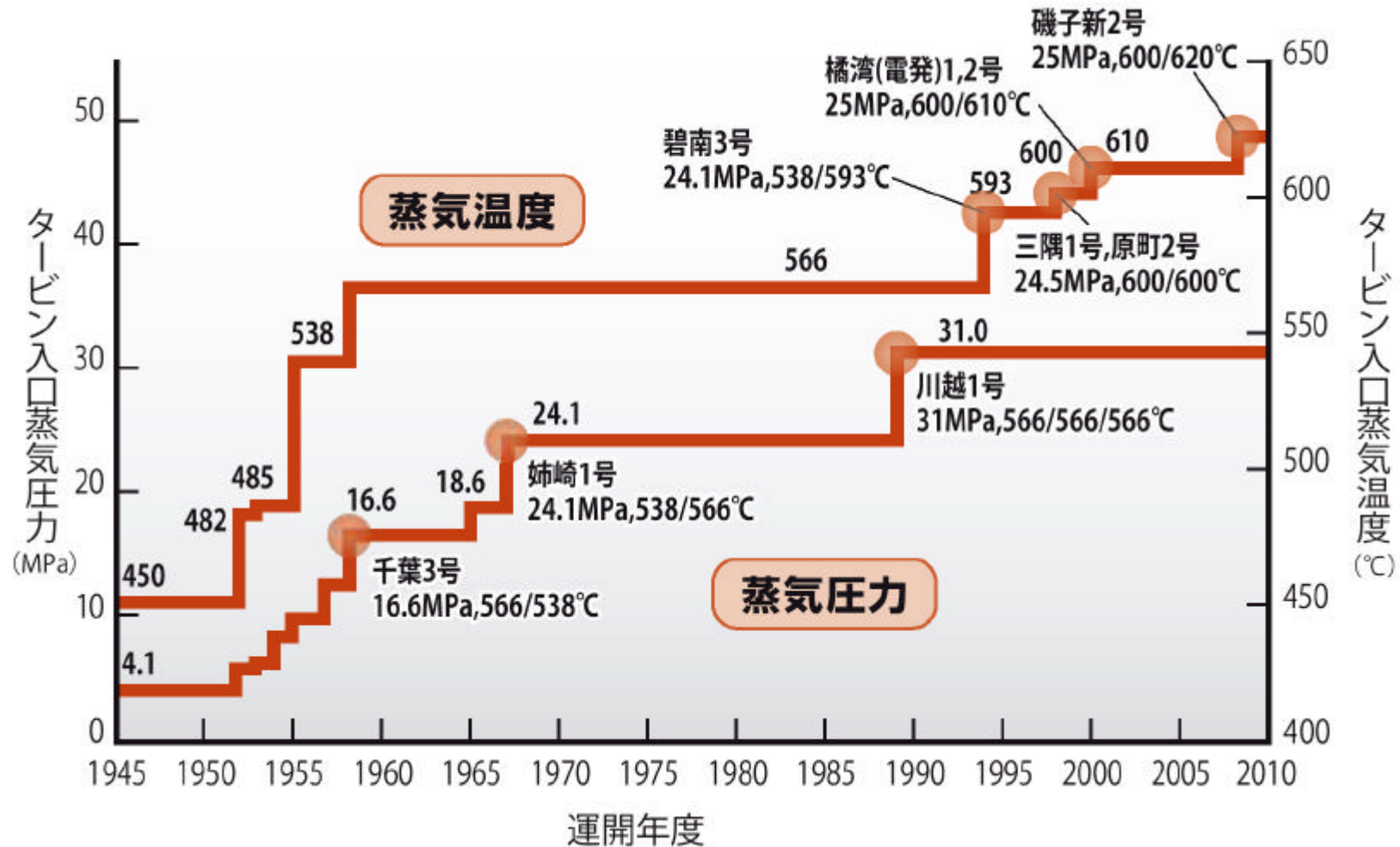
### 汽力発電のしくみ



ボイラで発生した蒸気により蒸気タービンを駆動し発電を行う。

## 2. 高効率化への取り組み

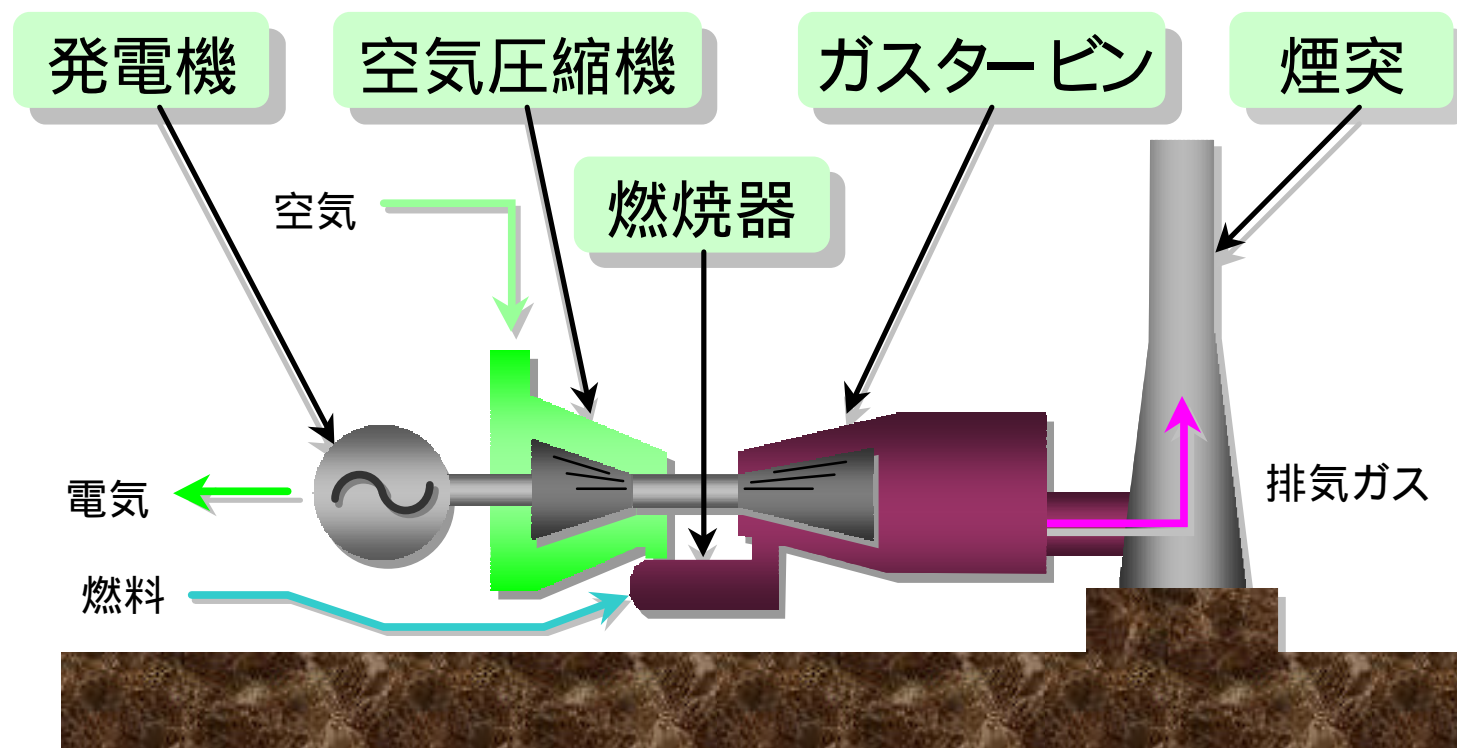
### 汽力発電の蒸気条件の向上





## 2. 高効率化への取り組み

### ガスタービン発電 (ブレイトンサイクル) のしくみ

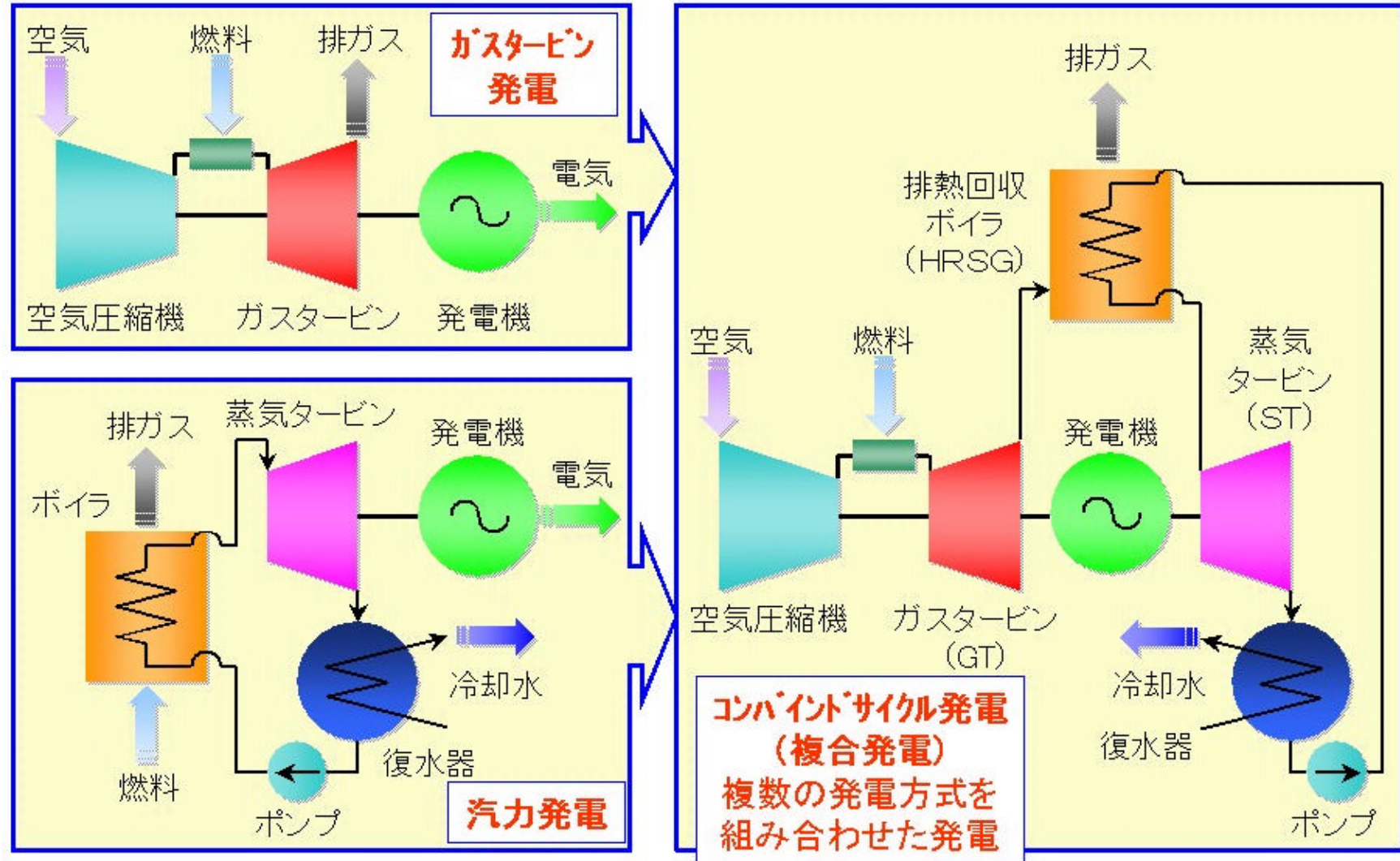


燃焼器にて発生した高温高圧の燃焼ガスで直接タービンを駆動し、発電を行う



## 2. 高効率化への取り組み

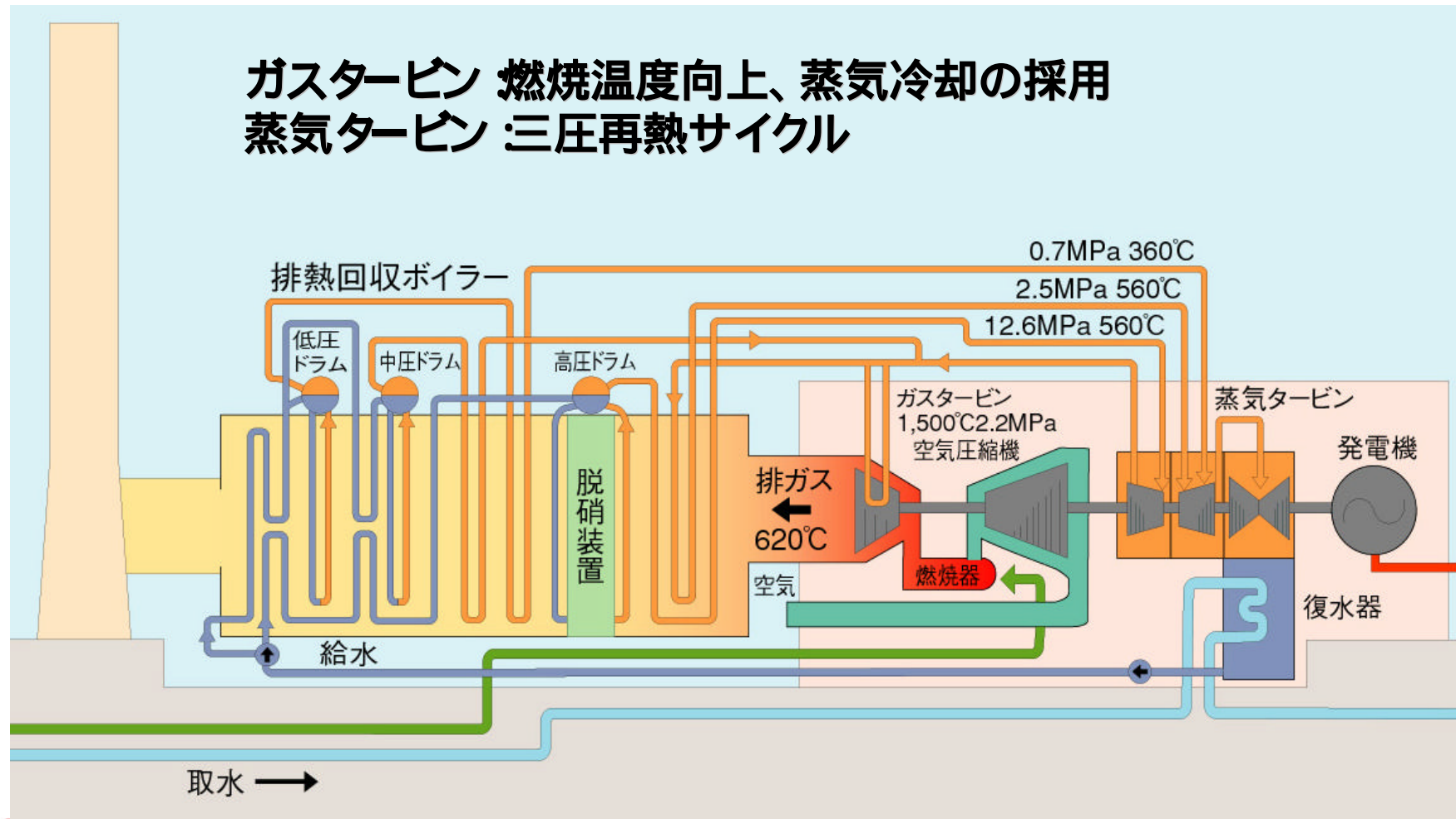
### コンバインドサイクル発電のしくみ



## 2. 高効率化への取り組み

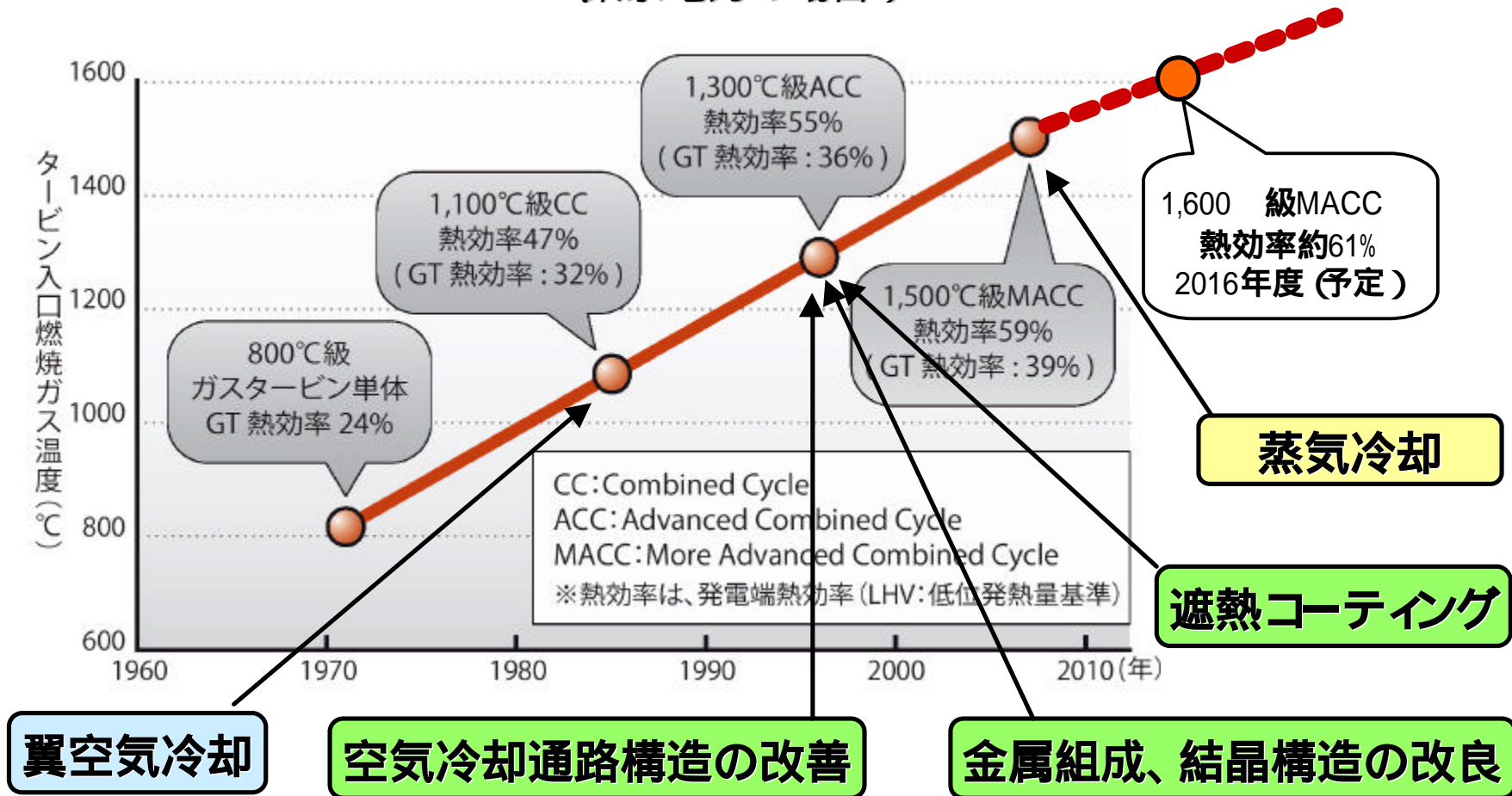
### コンバインドサイクル発電のしくみ

1,500 級MACC発電の系統図



## 2. 高効率化への取り組み

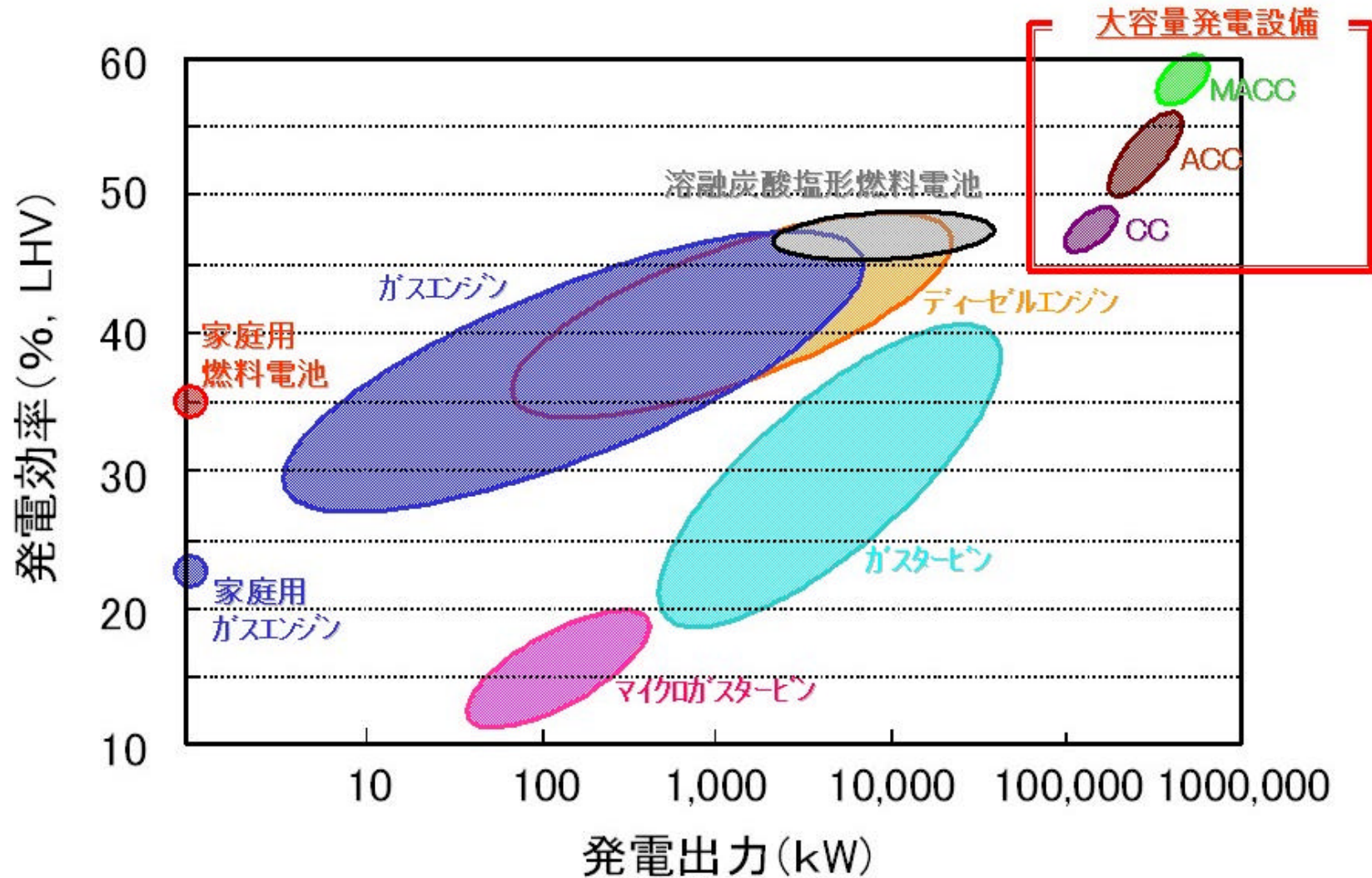
ガスタービンの主な新技術および  
タービン入口燃焼ガス温度と熱効率の向上  
(東京電力の場合)





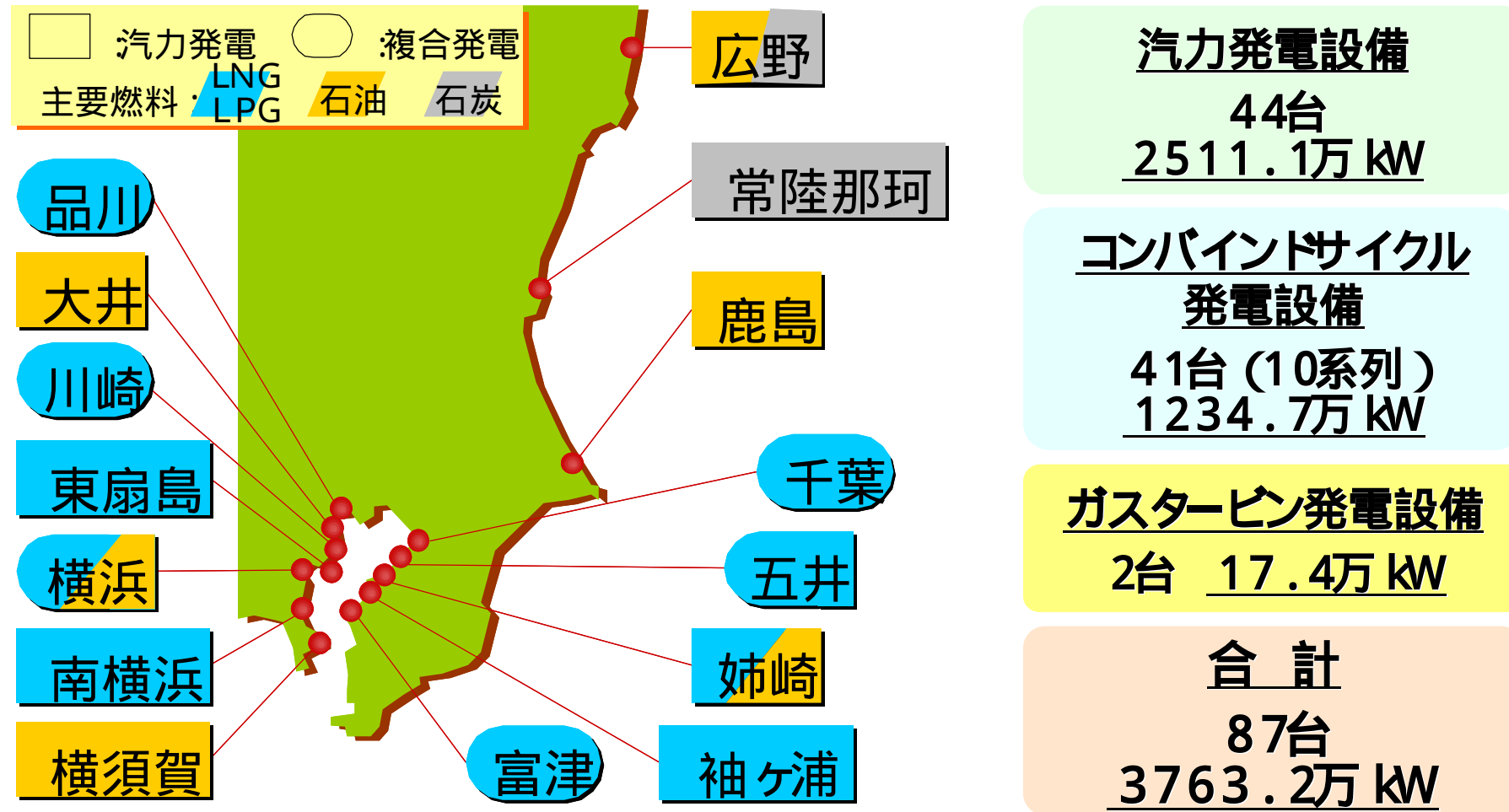
## 2. 高効率化への取り組み

### 発電出力と発電効率の関係



## 2. 高効率化への取り組み

### 東京電力の火力発電所



品川は都市ガス、横浜、五井は汽力及び複合発電

2009年10月現在

## 2. 高効率化への取り組み

### 川崎火力 1号系列 1,500 級MACC発電

- 出力 : 150万kW  
(50万kW × 3軸)
- 熱効率 : 59% (LHV)
- 燃料 : LNG (液化天然ガス)
- 着工 : 1999年10月
- 運転開始 : 1-3軸 2007年6月  
1-2軸 2008年6月  
1-1軸 2009年2月

#### 1,500 級ガスタービン

- 三菱重工業製  
M701G2型ガスタービン
- 燃焼器 蒸気冷却
- 1,2段動翼 : 一方向凝固材 (DS材)  
1,500 級50H初号機。  
60H機は国内外に数十台の実績。



パワーライン (GT+ST+Gen)



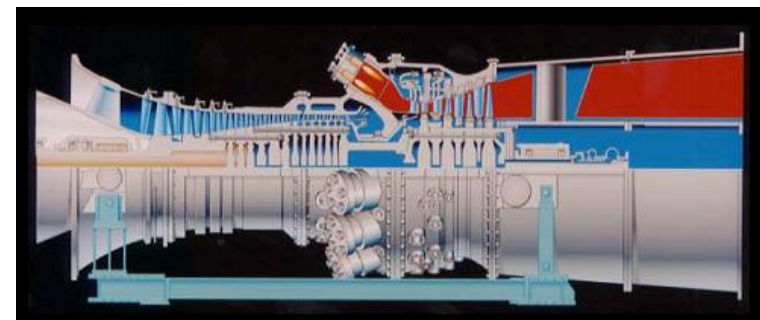
## 2. 高効率化への取り組み

### 富津火力 4号系列 1,500 級MACC発電

- 出力 : 152万kW  
(50.7万kW × 3軸)
- 熱効率 : 59% (LHV)
- 燃料 : LNG (液化天然ガス)
- 着工 : 2004年9月
- 運転開始 : 4-1軸 2008年7月  
4-2軸 2009年12月予定  
4-3軸 2010年10月予定

#### 1,500 級ガスタービン

- GE製 9H型ガスタービン
- 1,2段動静翼 蒸気冷却
- 1段動静翼 : 単結晶 (SC)材
- 翼先端部クリアランスコントロール :  
タービン第1,2段、空気圧縮機高压段  
英国バグランベイ発電所に次ぐ第2号機



ガスタービン断面図

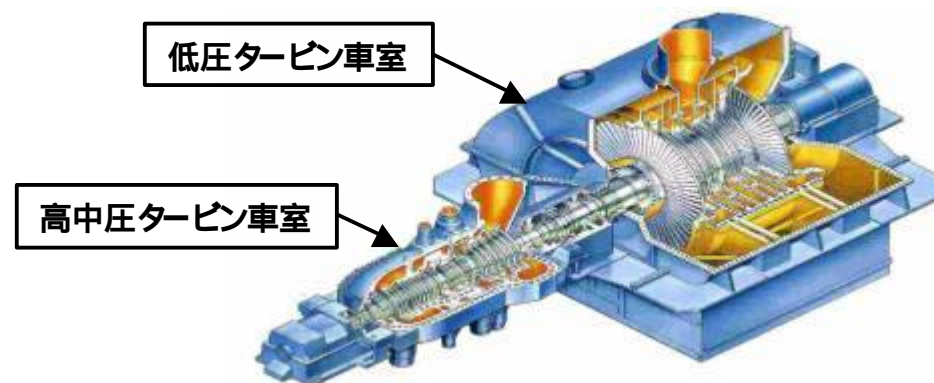
## 2. 高効率化への取り組み

### 石炭火力 超々臨界圧 (USC) 汽力発電

- 熱効率 :45% (LHV)
- 燃料 :石炭
- 蒸気条件 :24.5MPa
- 600 / 600

- 常陸那珂火力 1・2号機
- 出力 :100万kW × 2ユニット
- 1号機 2003年12月営業運転開始
- 2号機 :建設中  
(2013年12月運転開始予定)

- 広野火力 5・6号機
- 出力 :60万kW × 2ユニット
- 5号機 2004年7月営業運転開始
- 6号機 :建設中  
(2013年12月運転開始予定)



広野火力 5号機 蒸気タービン

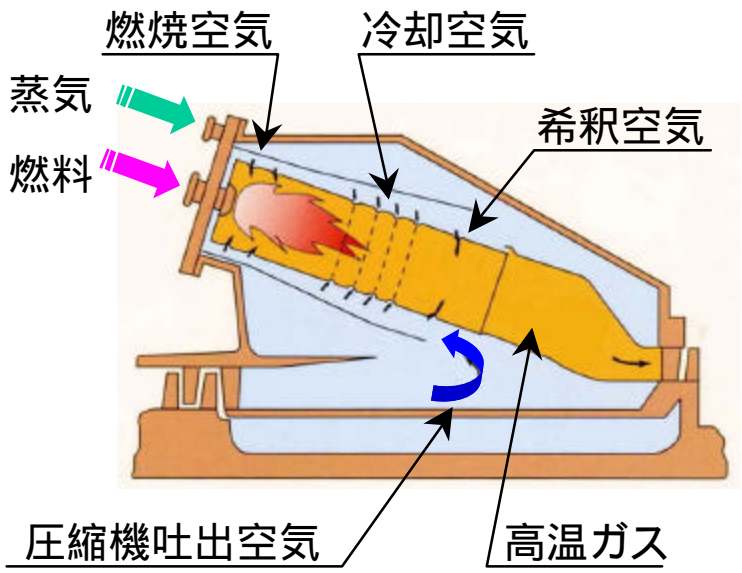
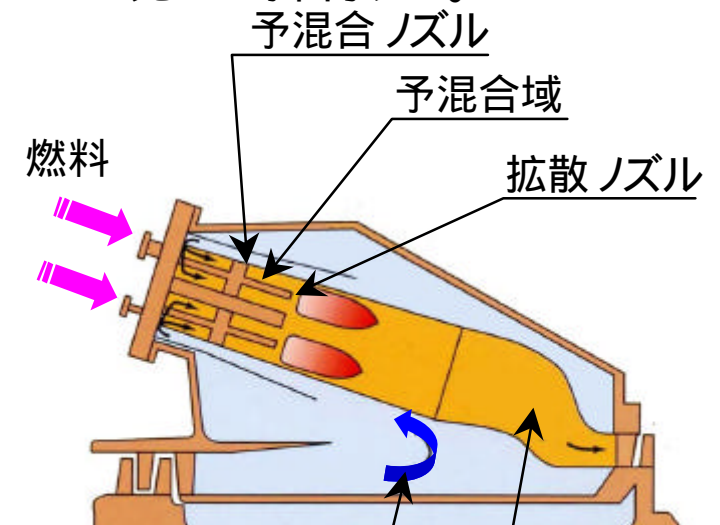
### 3.環境性向上への取り組み

#### 大気汚染防止対策の概要 (SOx NOx ばいじん)

燃料対策	良質燃料使用 LNG / 低硫黄原油 / 低硫黄重油 / 良質炭
設備対策	NOx対策 燃焼方法の改善 (抑制) 排煙脱硝装置の設置 (除去)
	SOx対策 排煙脱硫装置の設置
	ばいじん対策 電気式集じん装置の設置
運用対策	徹底した燃焼管理 発生源の監視など

# 3. 環境性向上への取り組み

## ガスタービン乾式低NOx燃焼器の開発

1100 級 建設時	1300 級 ~
<p><b>蒸気噴射型拡散燃焼器</b></p> <p>蒸気にて火炎温度を下げ、サーマルNOxの発生を抑制する。</p> 	<p><b>乾式予混合型低NOx燃焼器</b></p> <p>燃料と燃焼用空気を予め混合して燃焼させることにより、火炎温度を均一にし、NOxの発生を抑制する。</p> 
<p>富津1, 2号系列も予混合燃焼方式に変更済み。</p>	



# 3.環境性向上への取り組み

## 火力発電における大気汚染物質の除去設備

- NO<sub>x</sub>を除去する排煙脱硝装置
- SO<sub>x</sub>を除去する排煙脱硫装置
- ばいじんを除去する電気式集じん装置



排煙脱硝装置

排煙脱硫装置

電気集じん装置

ボイラ

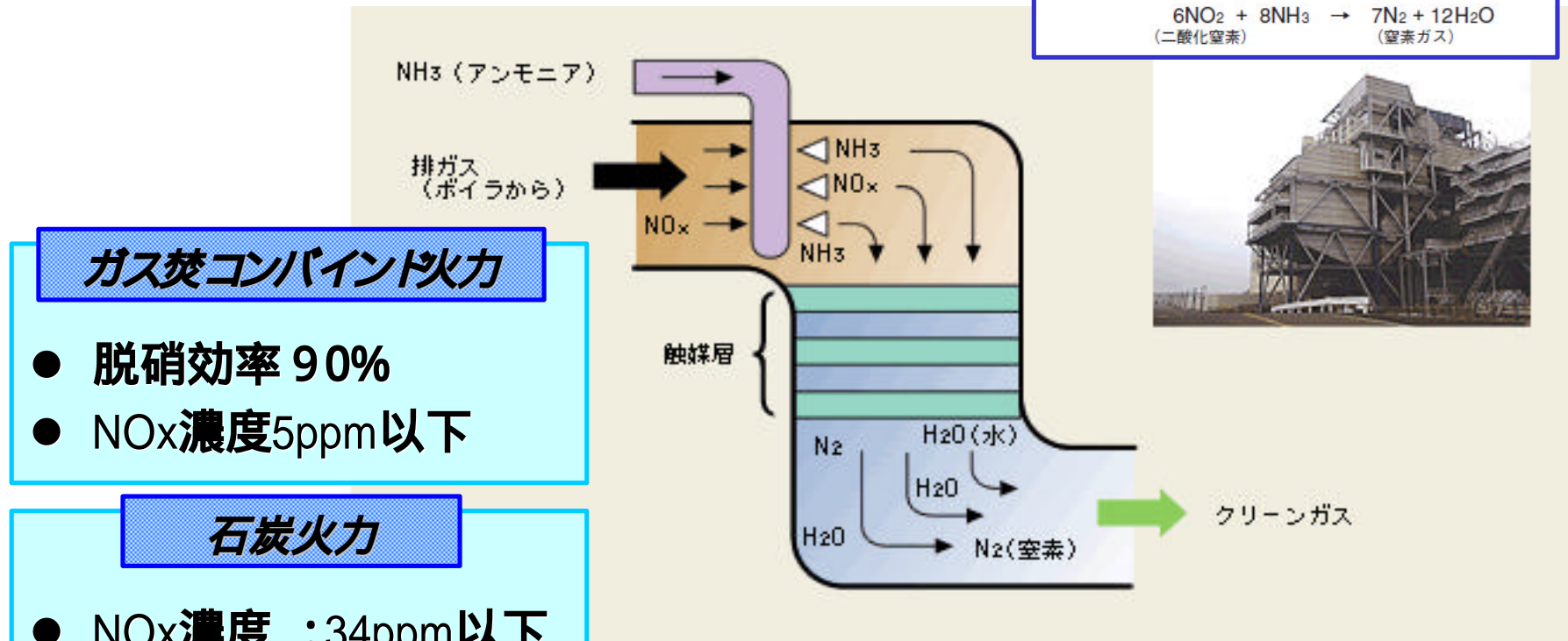
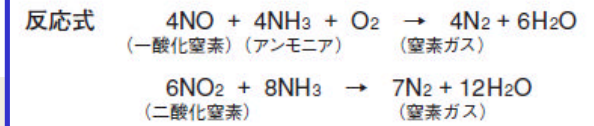
タービン

東京電力 常陸那珂火力発電所 (石炭焼き 出力100万kW)

# 3. 環境性向上への取り組み

## 排煙脱硝装置 (NOxの除去)

- NOxを含んだ排ガス中にアンモニアを注入し、触媒の作用により化学反応を促進させ、NOxを還元して無害な窒素 (N<sub>2</sub>) と水 (H<sub>2</sub>O) に分解する。

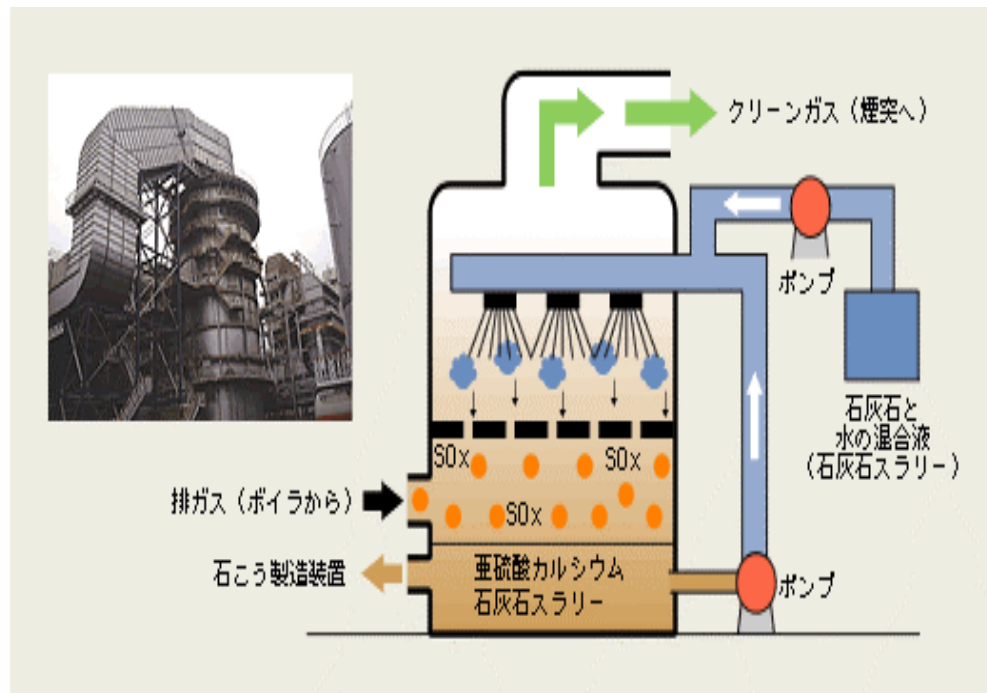




# 3. 環境性向上への取り組み

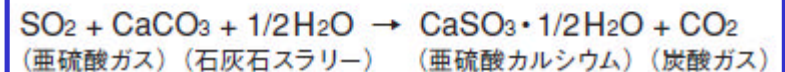
## 排煙脱硫装置 (SOxの除去)

- 排ガス中のSOxを石灰と反応させて除去
- 石灰石を粉状にして水との混合液とし、これを排ガスに噴霧すると、排ガス中の硫黄酸化物が石灰と反応して亜硫酸カルシウムとなる。
- この亜硫酸カルシウムを酸素と反応させて石膏として取り出す。
- 重 原油、石炭などを使う火力発電に設置する。

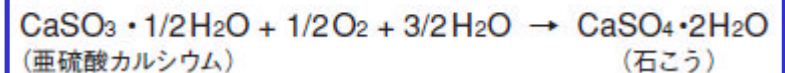


反応式

【吸収工程】



【酸化工程】



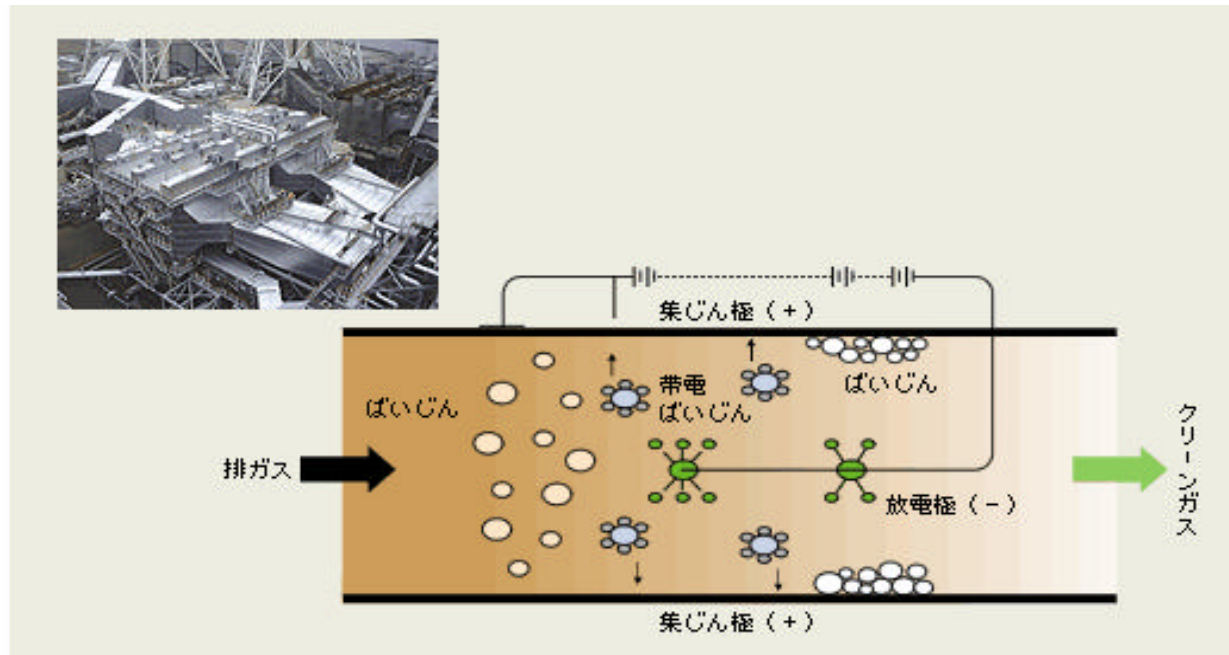
常陸那珂火力 (石炭100万kW)

- SOx濃度 : 39ppm以下

# 3.環境性向上への取り組み

## 電気集じん装置 (ばいじんの除去)

- マイナス極 (放電極) とプラス極 (集じん電極) の間に数万Vの高電圧をかけ、この間に排ガスを通してばいじんをマイナスに帯電させ、プラス極に付着させる。
- 重・原油、石炭の灰や未燃分等に対して設置する。



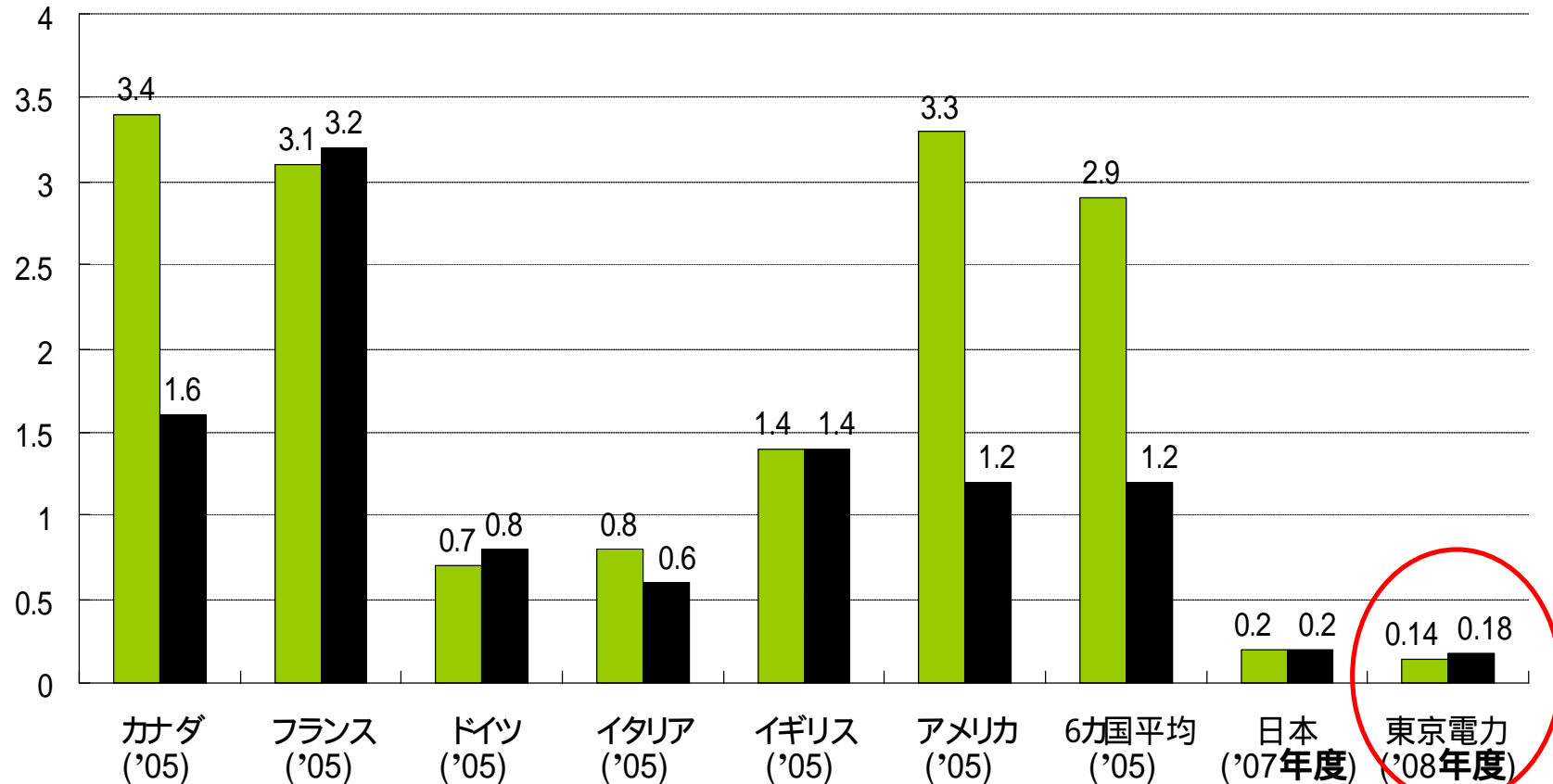
常陸那珂火力  
(石炭100万kW)

- ばいじん濃度 :  
0.008 g/m<sup>3</sup>N以下

# 3.環境性向上への取り組み

## SOx NOx排出原単位の国際比較 (火力発電所の平均)

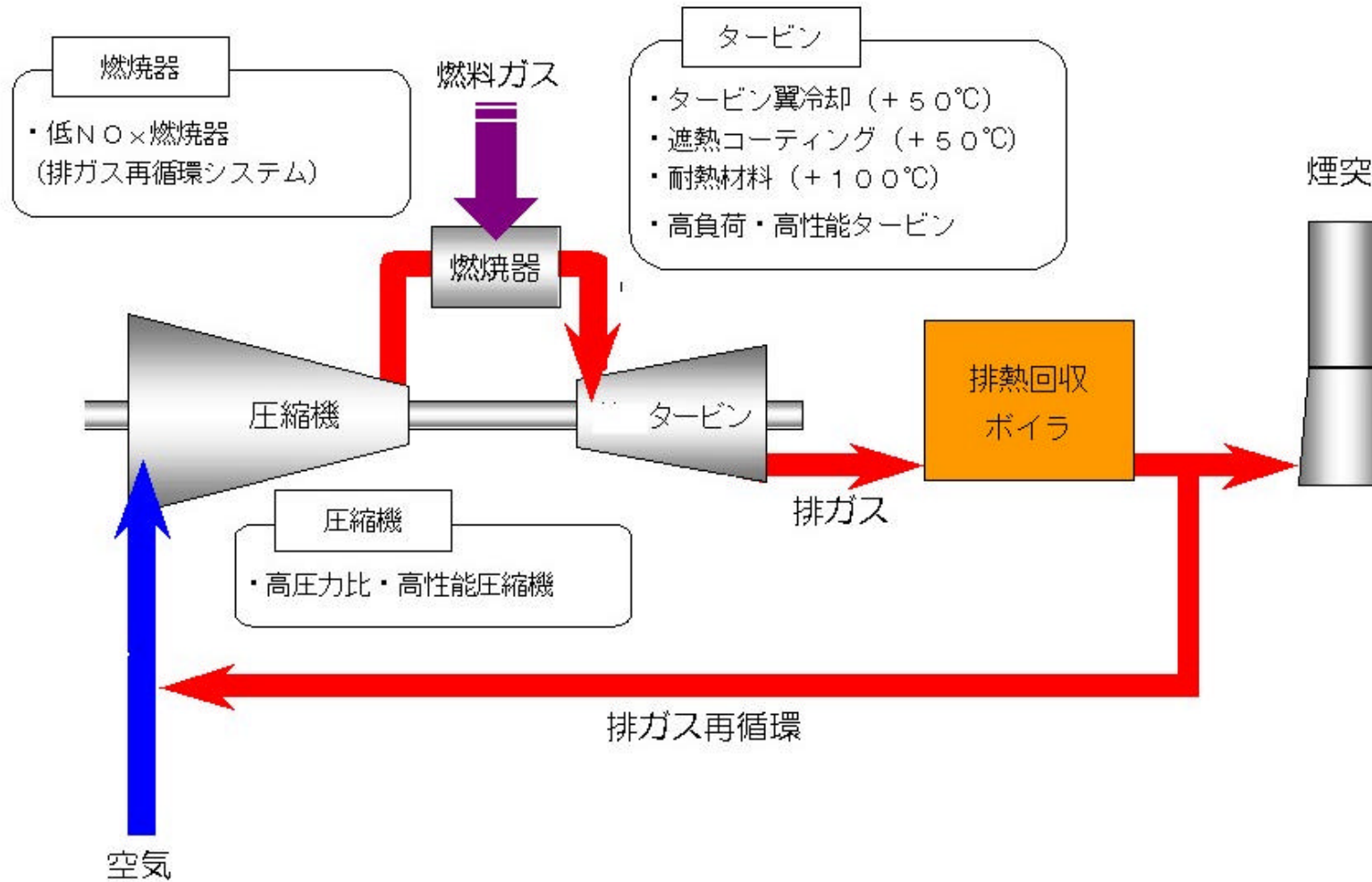
[g/kwh] ■ SOx排出原単位 ■ NOx排出原単位



(注) 東京電力は2008年度データ、日本は2007年度データ電気事業連合会調べ、その他6カ国は2005年データ。  
出典 : OECD 「Environmental Data Compendium 2006/2007」及び IEA 「Energy Balances of OECD Countries 2008 Edition」より試算。  
東京電力サステナビリティレポート2009をもとに作成。

# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## 1,700°C級ガスタービンの技術開発

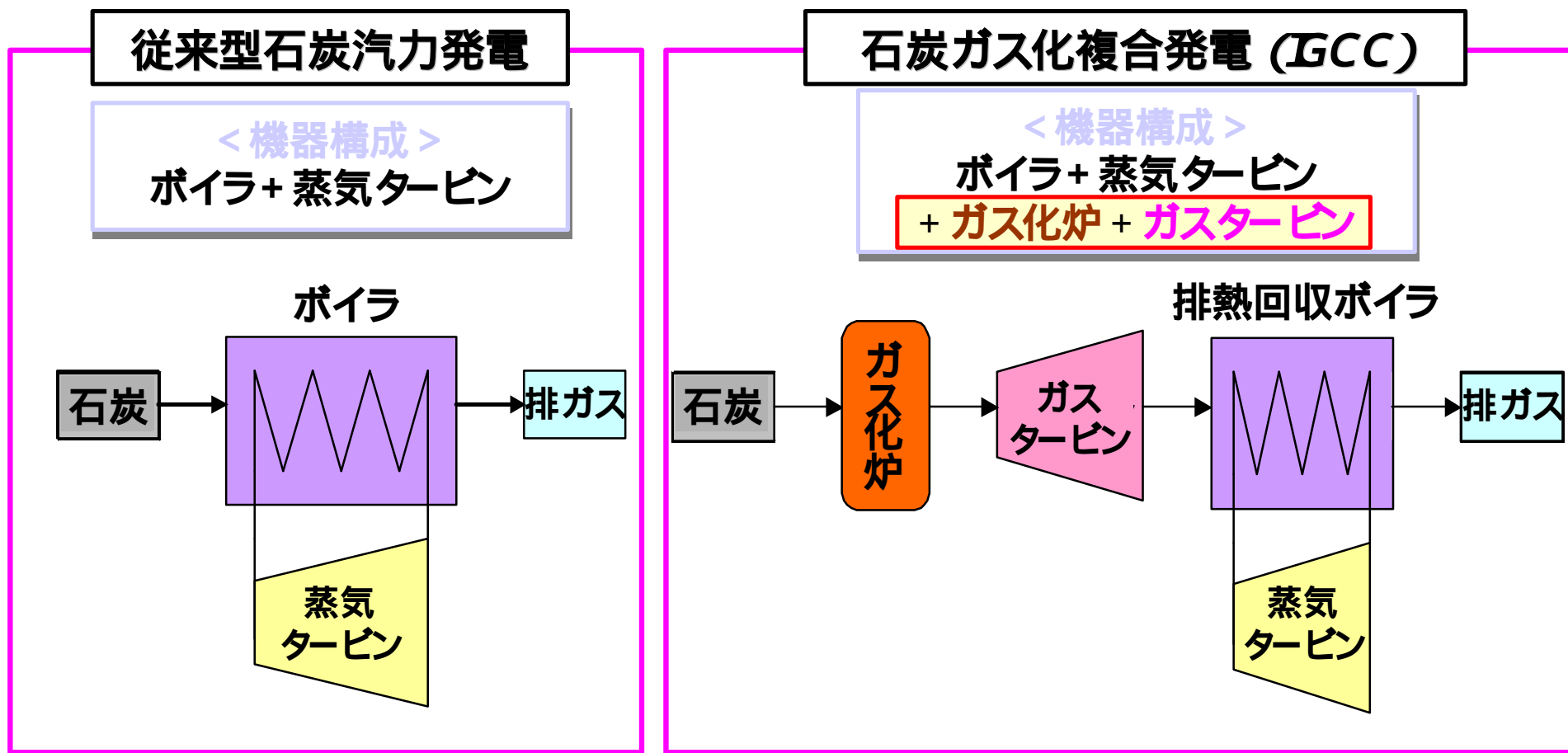




# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## 石炭ガス化複合発電 (GCC) のしくみ

石炭をガス化し、コンバインドサイクル発電と組み合わせることにより、従来型石炭火力発電よりも高効率とすることを目指した発電システム



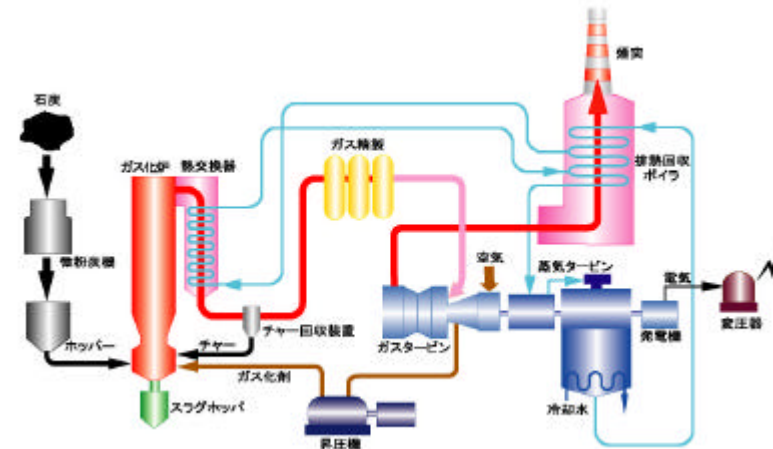
# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## IGCC実証試験プラントの概要

出力 : 25万kW  
目標熱効率 : 発電端 48% (LHV)  
: 送電端 42% (LHV)  
着工 : 2004年8月  
実証試験開始 : 2007年9月  
設置場所 : 福島県いわき市  
(株)クリーンコールパワー (CCP) 研究所  
(常磐共同火力 勿来発電所構内)

### < 設備仕様 >

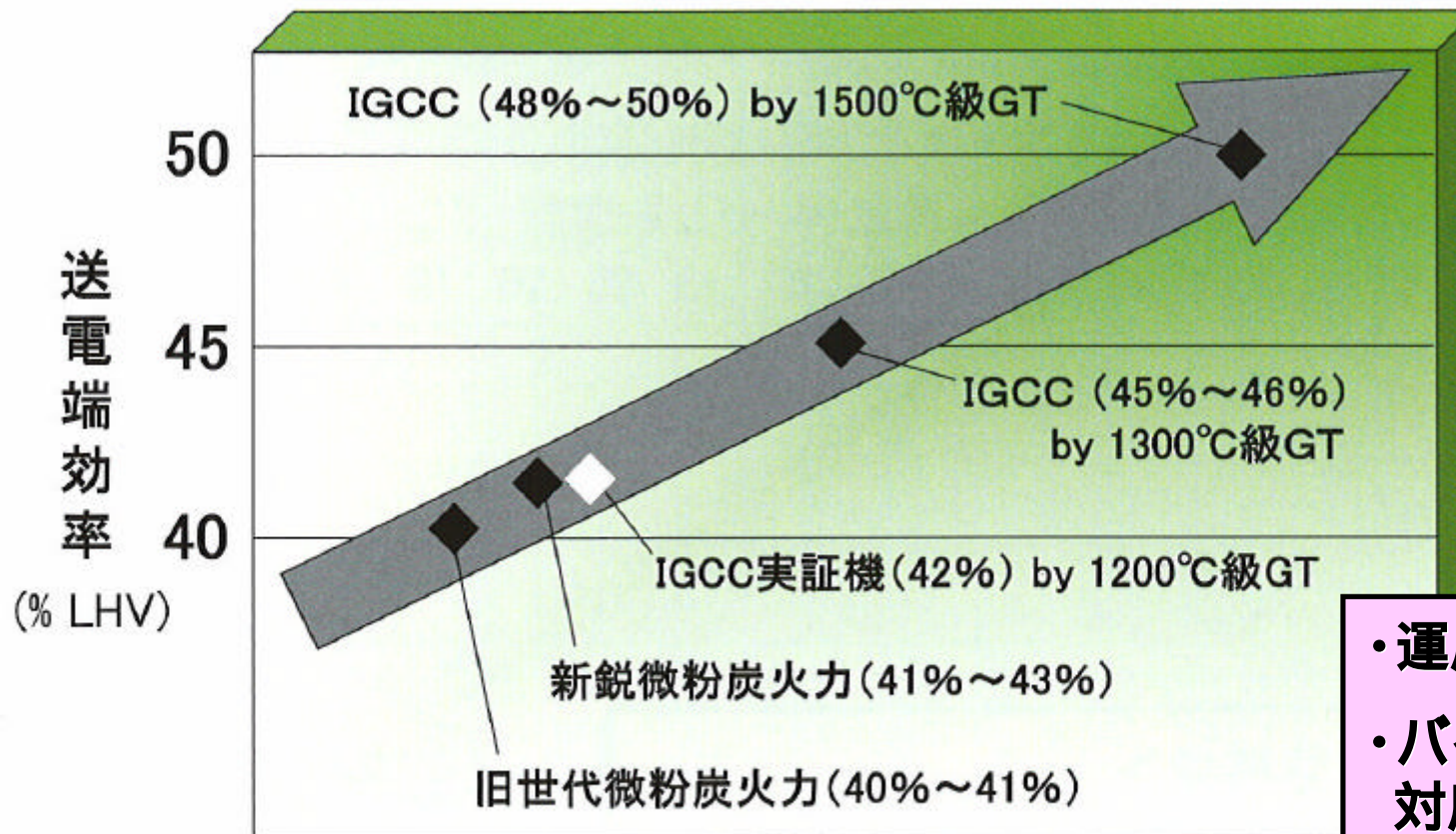
ガス化炉 : 空気吹きドライフィードガス化  
ガス精製 : 湿式ガス精製 + 石膏回収  
ガスタービン : 1200 級



出典 (株)クリーンコールパワー研究所資料より

## 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

### 石炭ガス化複合発電 (IGCC)による熱効率の向上



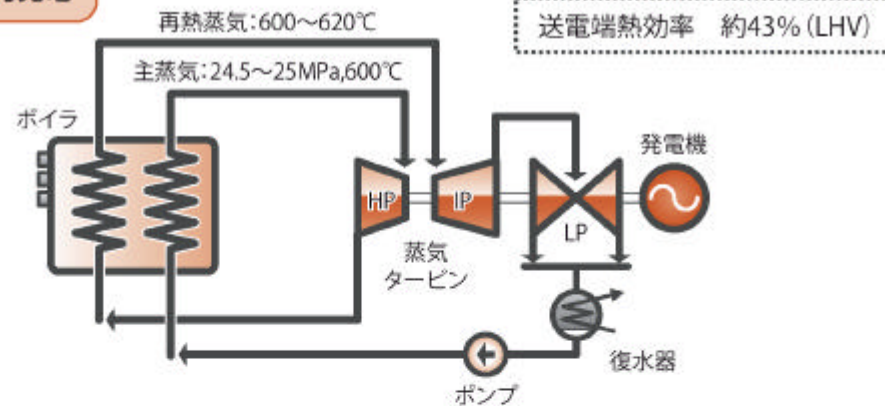
\*発電効率は、燃料の低位発熱量(LHV)基準を示す。

- ・運用性の向上
  - ・バイオマスを含む対応炭種拡大
- が今後の課題**

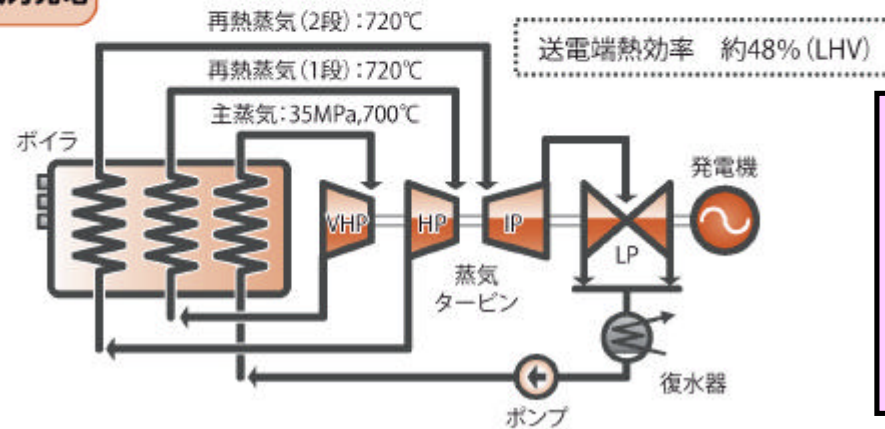
# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## 先進超々臨界圧 (A-USC) 汽力発電の技術開発

USC汽力発電



A-USC汽力発電



高温・高圧に耐え  
製造・補修が容易な  
材料の開発  
が課題

VHP: 超高压タービン / HP: 高压タービン  
IP: 中压タービン / LP: 低压タービン

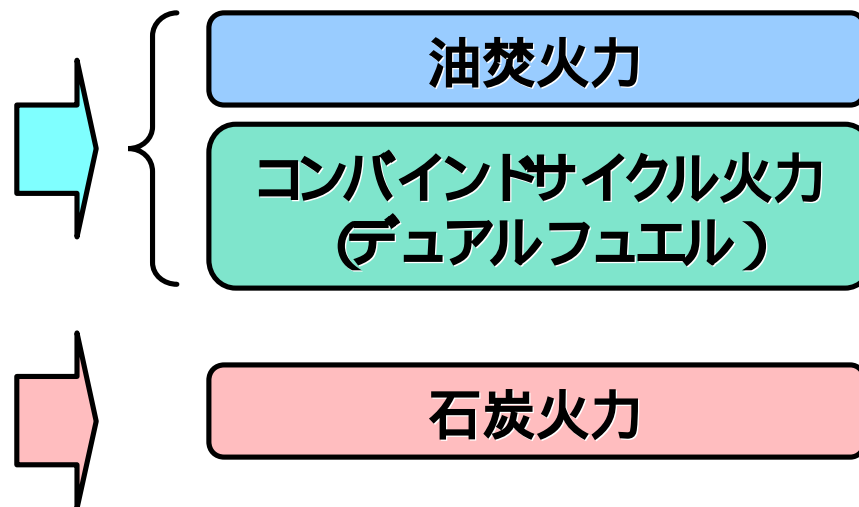


# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

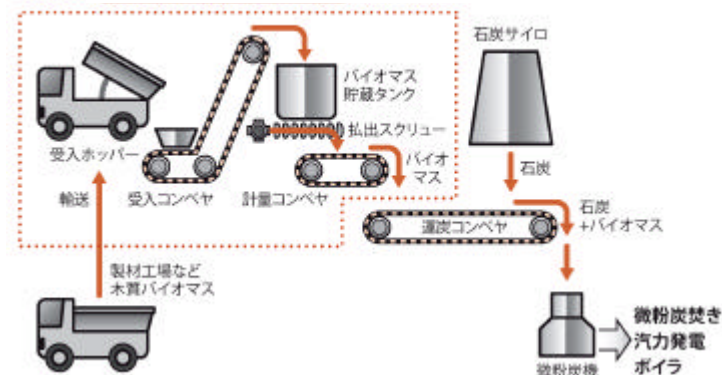
## 火力発電へのバイオマス燃料の導入

### 代表的なバイオマス燃料一覧

液体	• バイオエタノール
固体	• 木質ペレット • 木くず • 下水汚泥ソリッド



木質バイオマス燃料の投入方法例



# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS .Carbon Dioxide Capture and Storage )

## CO<sub>2</sub>回収技術

(**汽力発電**への適用)

- 「**燃焼後回収**」方式
- 「**酸素燃焼**」方式

(**IGCC**への適用)

- 「**燃焼前回収**」方式

## CO<sub>2</sub>貯留技術

(**地中貯留**)

- **帯水層貯留**
- **石油・ガス増進回収 (EOR、EGR)**
- **枯渇油・ガス層貯留**

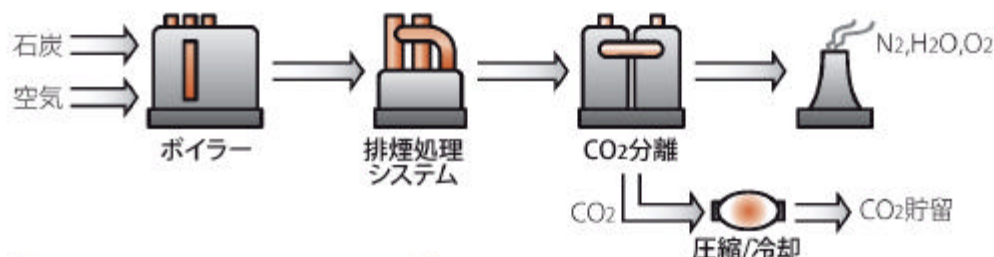
(**海洋隔離**)

- **溶解希釈 (固定式、移動式)**
- **深海底貯留隔離**

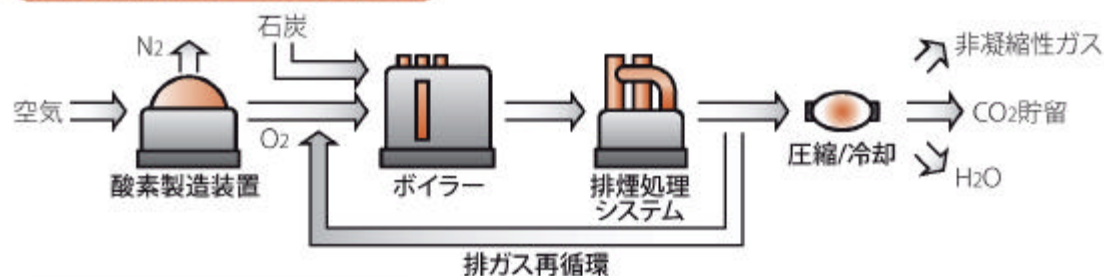
# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS)におけるCO<sub>2</sub>回収技術

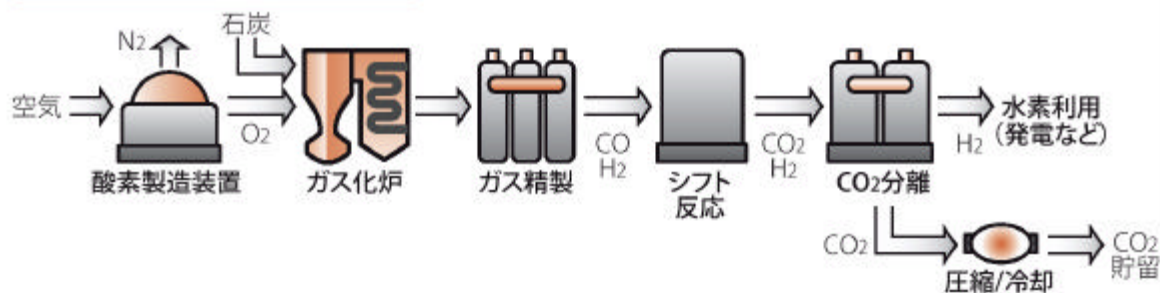
### 「燃焼後回収」方式 (汽力発電)



### 「酸素燃焼」方式 (汽力発電)



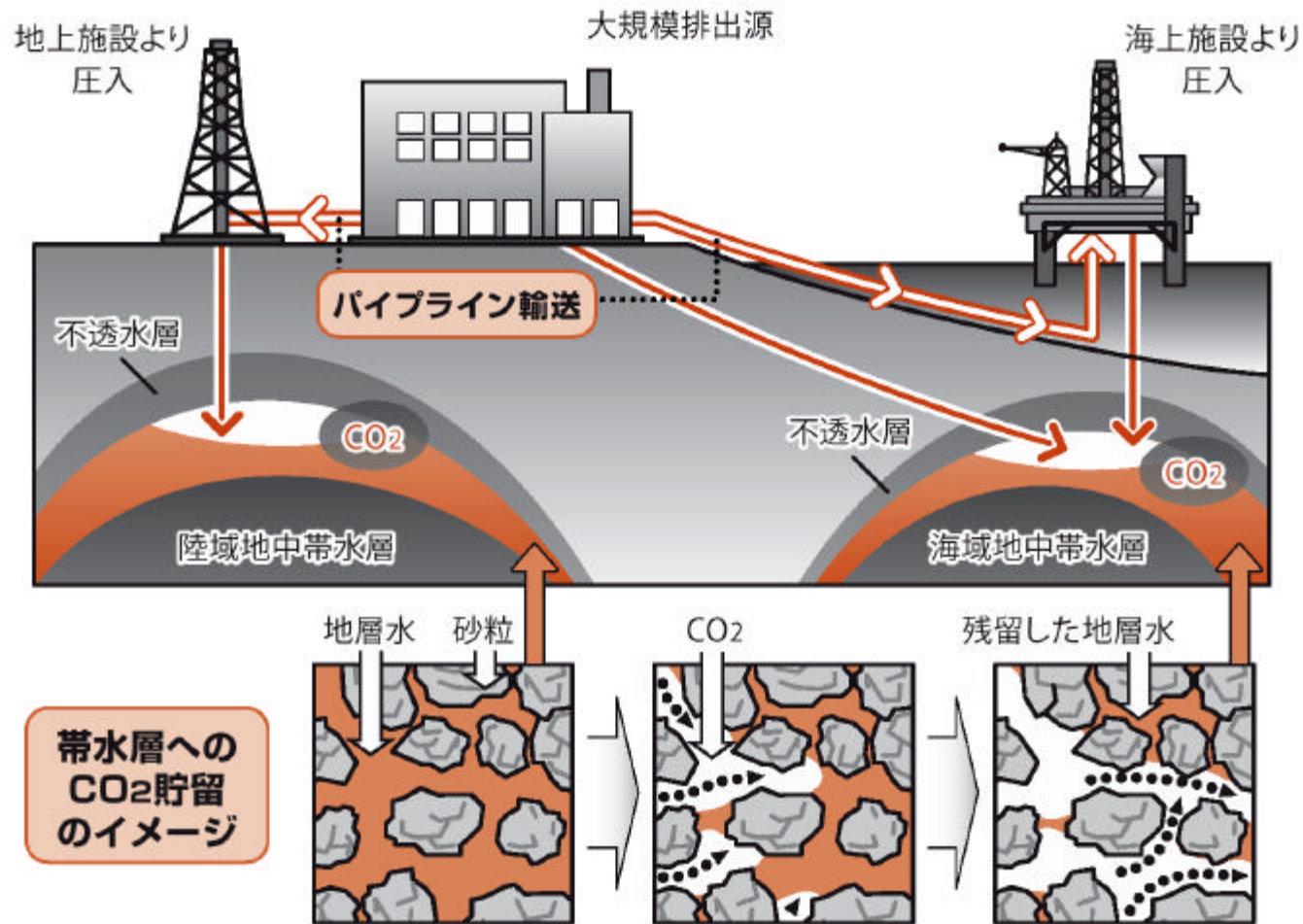
### 「燃焼前回収」方式 (IGCC)





# 4. CO<sub>2</sub>削減に向けた技術開発

## 地中帯水層へのCO<sub>2</sub>貯留技術





## 5. 低炭素社会の実現に向けて

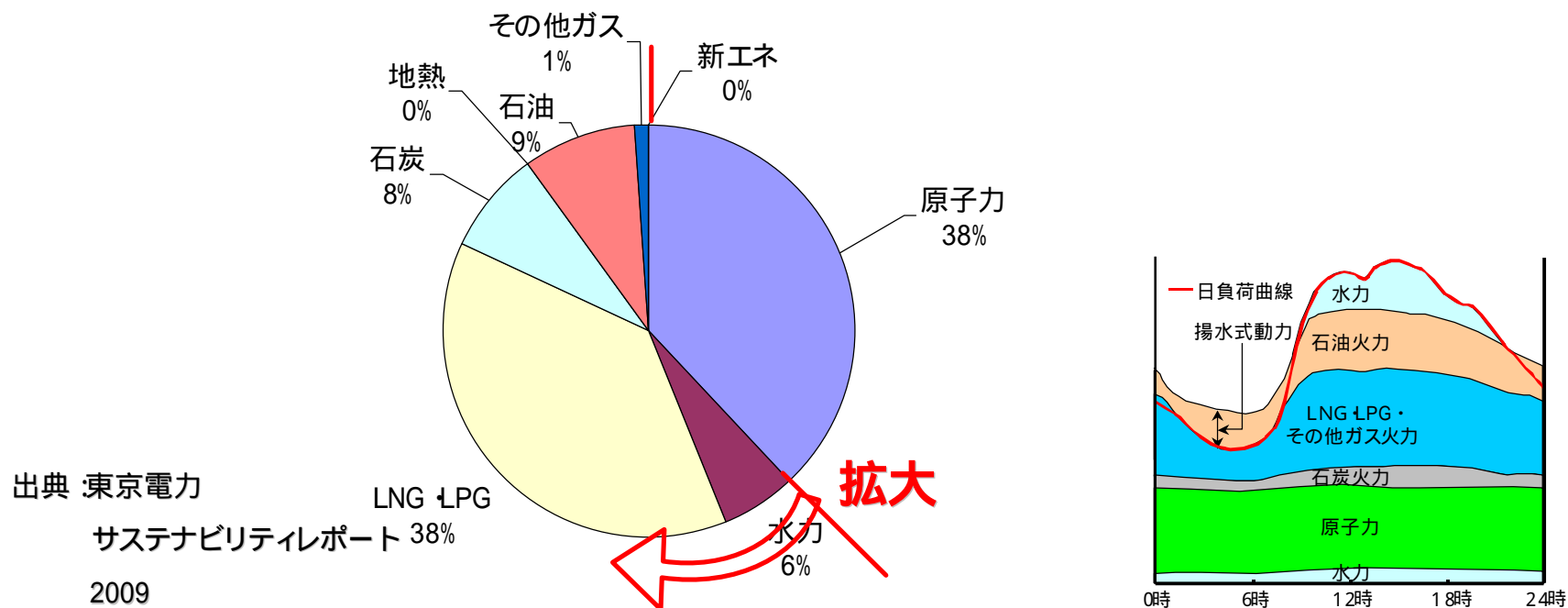
---

### 今後の火力発電における3つのポイント

1. 火力発電の役割と必要性
2. 熱効率向上に向けた技術開発
3. わが国の火力発電技術の海外への展開

# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## 原子力発電の導入拡大は不可欠



ただし

- ・原子力発電の開発には長期間を要する
- ・需要変動に対応した安定供給の確保が必要であるため、拡大幅に限界がある。

## 5. 低炭素社会の実現に向けて

### 太陽光・風力発電の課題

**「お天気任せ」「風任せ」で発電電力が不安定**

安定供給を確保しつつ、太陽光・風力発電の  
導入を進めていくためには

**火力発電などによるバックアップ電源の強化**

**安定電圧確保の為に電力・配電システムの強化**

**が必要**

# 5. 低炭素社会の実現に向けて

電気の供給面」における2020年度までの目標

原子力エネルギーの活用」

+

再生可能エネルギーの拡大」



2020年度までに、非化石エネルギーの比率 **50%** を目指す。

||

発電電力量の残り **50%** は依然として、火力発電によるということ。

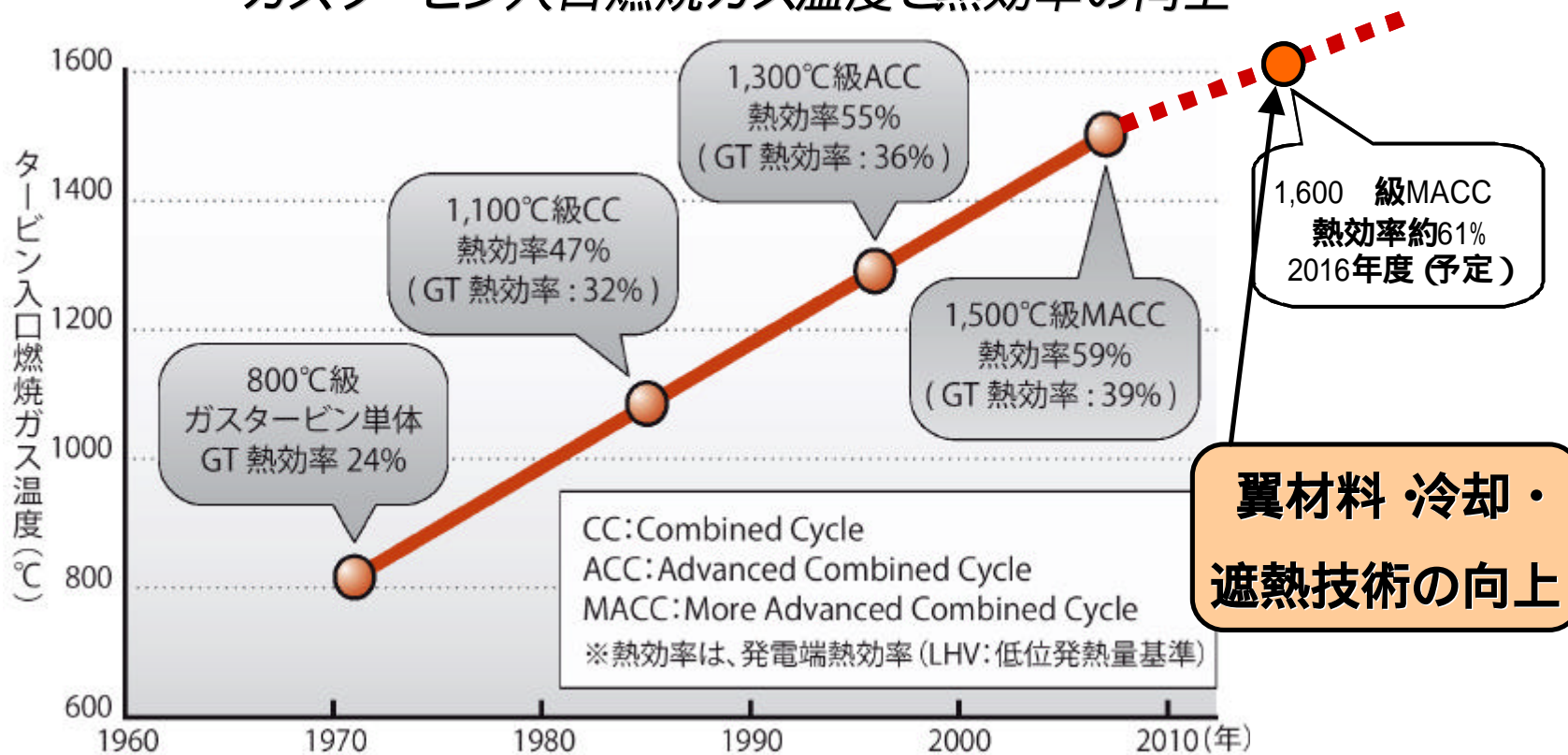
火力発電の役割と実力」は重要であり  
さらなる熱効率向上が必要



# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## 熱効率向上に向けた技術開発

ガスタービン入口燃焼ガス温度と熱効率の向上

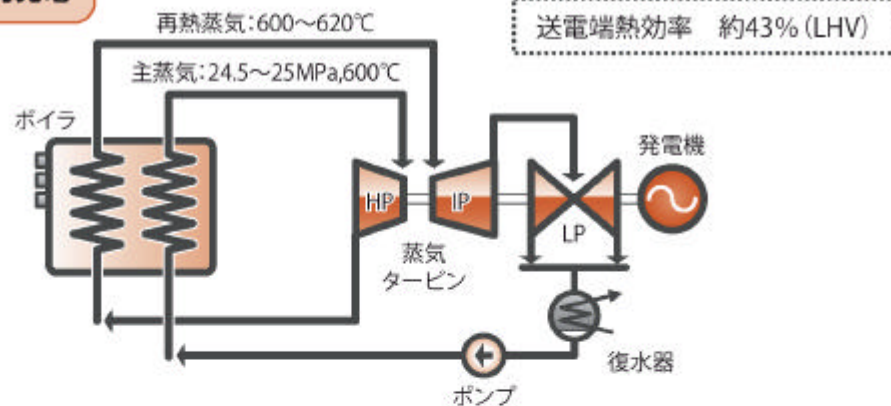


ガスタービン高効率化をGCCにも展開

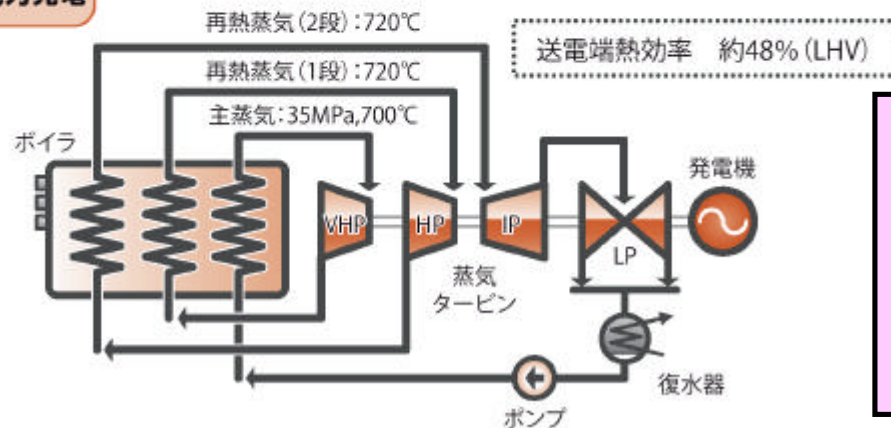
# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## 先進超々臨界圧 (A-USC) 汽力発電の技術開発

USC汽力発電



A-USC汽力発電

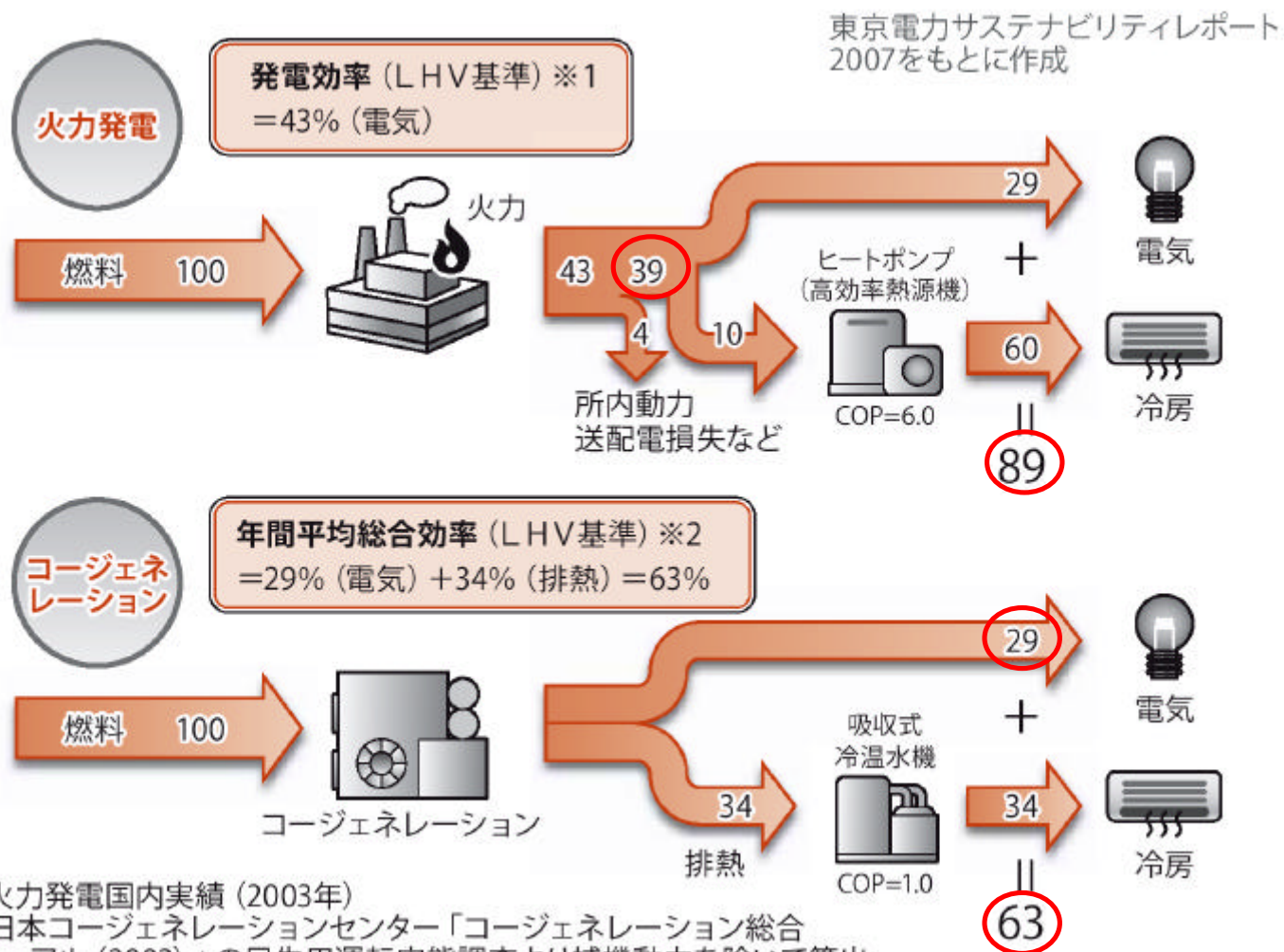


高温・高圧に耐え  
製造・補修が容易な  
材料の開発  
が課題

VHP: 超高压タービン / HP: 高压タービン  
IP: 中压タービン / LP: 低压タービン

# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## 火力発電とコージェネレーション (CGS) の比較



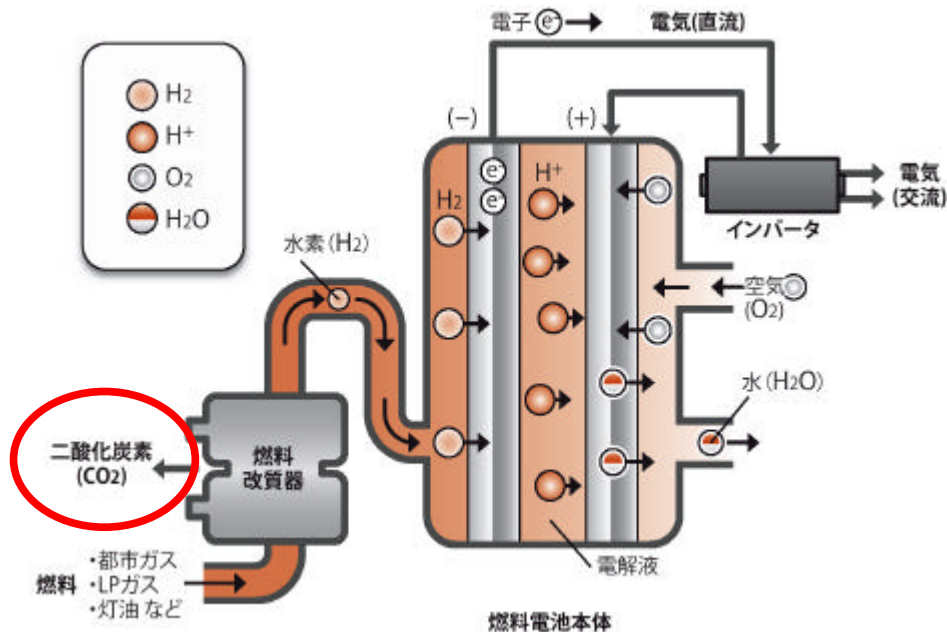
※1:火力発電国内実績 (2003年)

※2:日本コージェネレーションセンター「コージェネレーション総合マニュアル (2003)」の民生用運転実態調査より補機動力を除いて算出。



# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## 燃料電池概念図



## CGS (燃料電池含む) の課題

### 1. 発電効率

- 1,500 級MACC 59%
- 固体酸化物形 (SOFC) 45%
- 固体高分子形 (PEFC) 35%
- ガスエンジン 29%

### 2. 燃料の燃焼や改質の過程で

**CO<sub>2</sub>が発生**

### 3. 耐久性とコスト

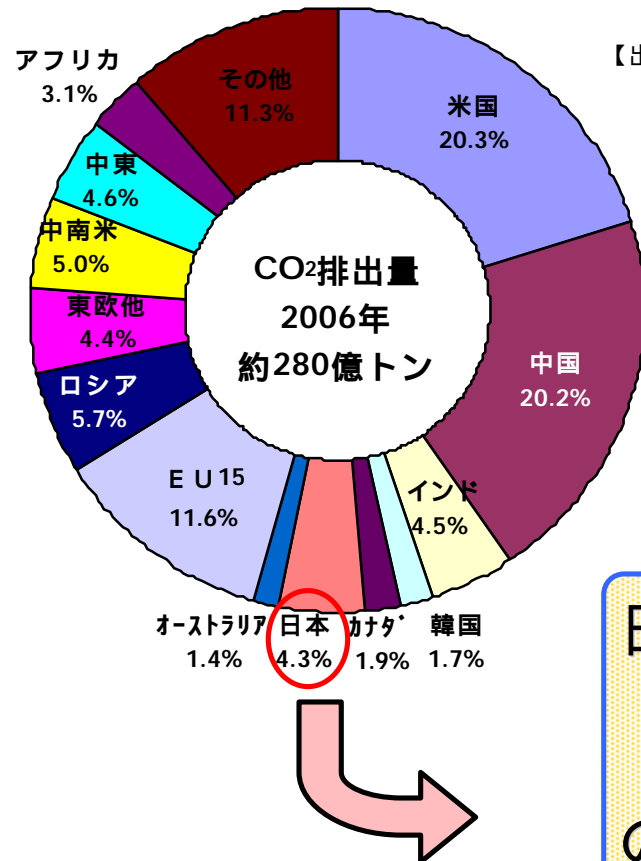
### 4. CGSは **電気の出る給湯器**」

**電力系統 (火力) のバックアップ  
が必要**



# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## わが国の火力発電技術の海外への展開



日本の  
熱効率は世界最高水準  
だが  
世界での  
排出量割合は小さい

日本の電力会社が持つ  
・ 高効率火力**プラント**建設技術  
・ 高い熱効率を維持する**運用保守技術**  
の**海外展開が必要**

## 5. 低炭素社会の実現に向けて

わが国の火力発電技術の海外への展開

クリーン開発と気候に関する

アジア太平洋パートナーシップ (APP) とは...

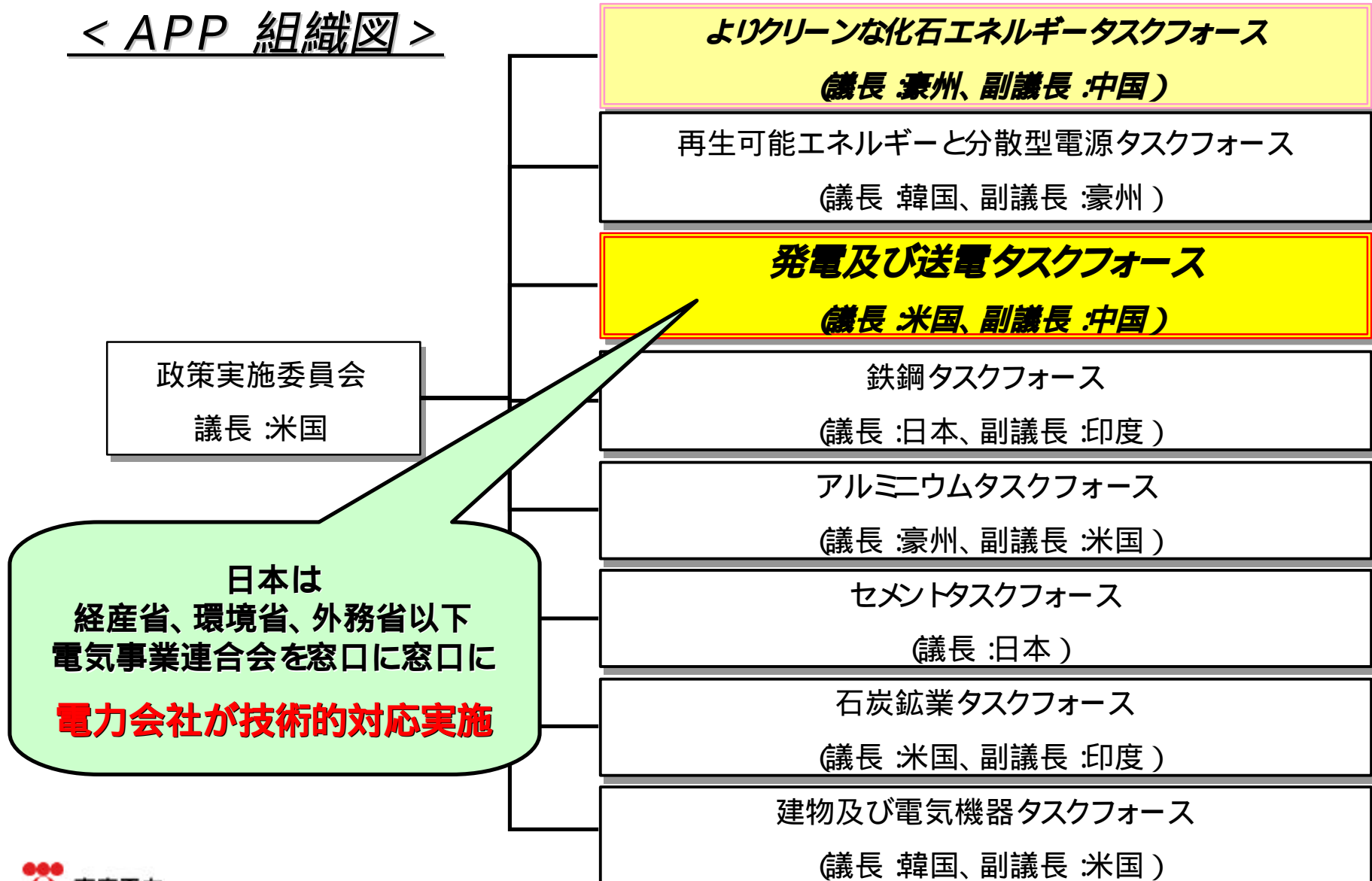
**【参加国】**

**日本 , 豪州 , カナダ , 中国 , インド , 韓国 , 米国**

➤2005年7月に、エネルギー安全保障、環境汚染、気候変動問題に対処するため、クリーンで効率的な技術の開発、普及、移転に係る国際協力を推進することを目的に発足。

# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## < APP 組織図 >



# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## わが国の火力発電技術の海外への展開

▶ 京都議定書におけるCO<sub>2</sub>排出削減の義務量は世界全体のCO<sub>2</sub>排出量の3割程度の国が対象

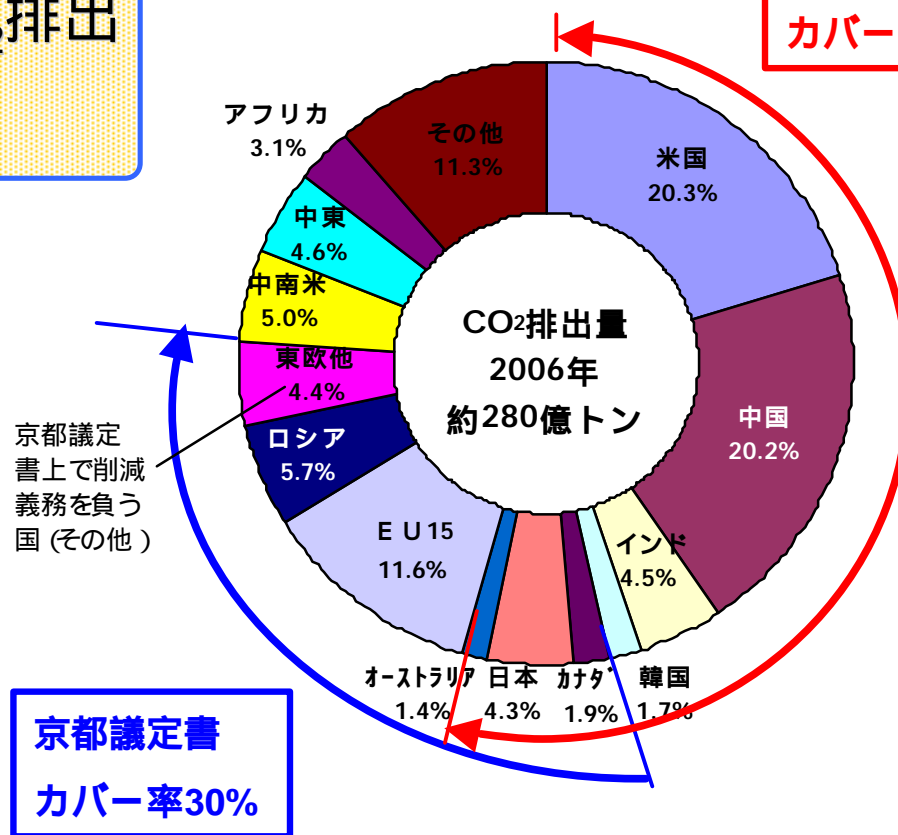


▶ APP参加国によるCO<sub>2</sub>排出量は世界全体の5割強

**APPの実効性に期待**

京都議定書  
カバー率30%

APP  
カバー率54%



【出典】CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION 2008 EDITION, IEA



# 5. 低炭素社会の実現に向けて

## < APP ピアレビュー開催状況 >

米国 (2006年10月:プレ)  
< 約50名 >

日本 (2007年4月:第1回)  
< 約50名 >

インド (2008年2月:第2回)  
< 約80名 >

豪州 (2008年4月)  
(今後の活動を議論)

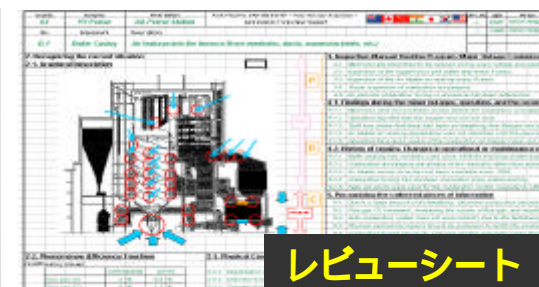
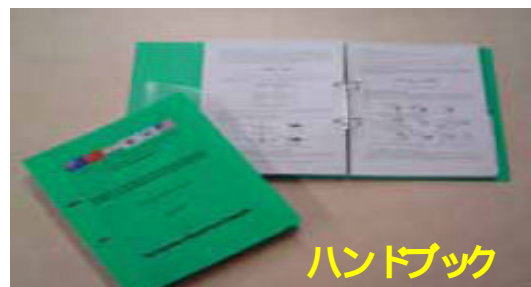
米国 (2008年4~5月:第3回)  
< 約80名 >

豪州 (2008年6月:第4回)  
< 約50名 >

韓国 (2009年7月:第5回)  
< 約100名 >

次回 :中国 (予定)

## 日本の貢献によるピアレビューの具体的な成果



各国の熱効率向上の可能性や

CO2削減のポテンシャルを計るツールとして活用

## < 効率向上とCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの確認 >

米国 : エッジウォーター、コロンビア火力発電所ピアレビュー

豪州 : ロイヤン火力発電所ピアレビュー

韓国 : ヨンファン火力発電所ピアレビュー

# 5. 低炭素社会の実現に向けて

電気の供給面」と電気の需要面」の両面の取り組みによって、低炭素社会の実現を目指す。

## 電気の供給面

発電の一層の  
高効率化 低炭素化

- 原子力発電の拡大 利用率向上
- 再生可能エネルギーの拡大
- 火力発電の効率向上 等

×

## 電気の需要面

高効率機器の普及・  
電化による省エネ

- 家庭 業務部門へのヒートポンプの普及 拡大
- 運輸部門への電気自動車の導入 拡大
- 産業部門の電化推進 等