

複合発電の時代へ ---天然ガス焚きと石炭IGCC 更にはトリプル複合発電へ---

東京大学 生産技術研究所

平成23年5月27日

特任教授 橋本彰

内 容

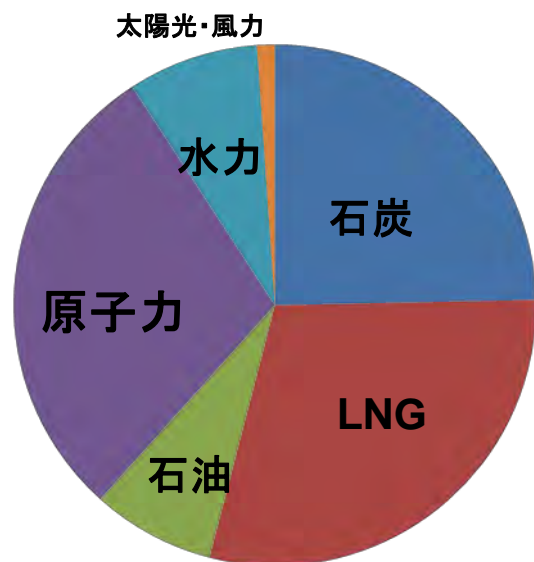
1. 火力発電の効率向上の必要性
2. ダブル複合発電システム(天然ガス焚き)
3. 石炭ガス化複合発電(IGCC)
4. トリプル複合発電システム
5. 固体酸化物形燃料電池(SOFC)
6. 海外への展開
7. まとめ

1. 火力発電の効率向上の必要性

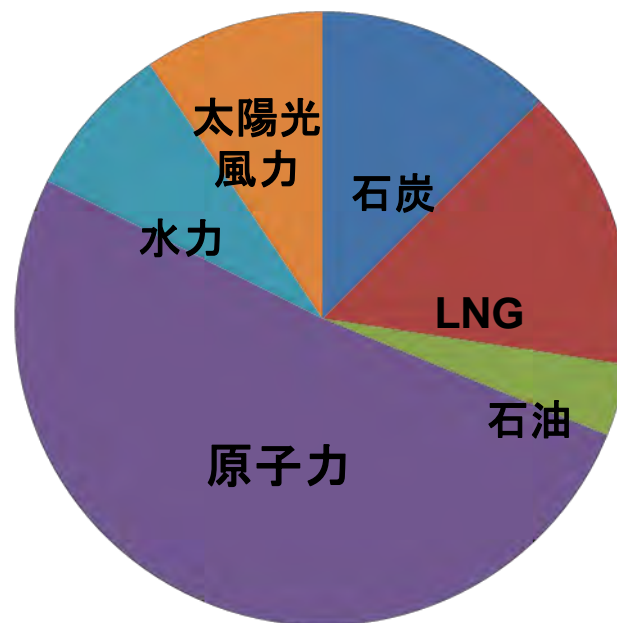
現状

2010年6月閣議決定したエネルギー基本計画より算定

発電電力量の構成(2009)



発電電力量の構成(2030)



➤2010年の計画では、原子力の比率を50%とし、火力の発生電力量を6,170億KWhから3,100億KWhに半減し、CO2発生量を半分にする計画であった。今回、原子力の比率を下げることになる、この減少分を火力と再生エネルギーでカバーしなければならない。

1-1 電力の今後の動向(2011.3.11以降)

	短期	長期
供給側	<ul style="list-style-type: none">・東電・東北電の供給力の回復・火力発電所の復旧	<ul style="list-style-type: none">・原子力発電/火力発電/再生可能エネルギーの動向・地球温暖化問題
需要側	<ul style="list-style-type: none">・節電・計画停電/計画操業	<ul style="list-style-type: none">・電力代・原子力発電の安全性の担保

1-2 電力に及ぼす短期的な影響

今後1年間程度を想定し、福島第一・第二原子力発電所の停止と、その他の大半の原子力発電所の運転継続を前提に、短期的な予測を行った。

- 計画停電は1年で終了する。
 - ・ 被災した火力発電所の復旧
 - ・ ガスタービン発電機の緊急導入
 - ・ 節電の推進
- 再生可能エネルギーへの期待が高まる。
太陽光/風力/波力/バイオマス
 - ・ 稼働率が低く発電原価が高い
 - ・ 不安定電源であり原子力・火力発電の代替にはなりえない

1-3 電力の長期的な動向

- ・ 原子力発電所の安全性の確保
- ・ 電気代が生活・産業へ及ぼす影響
- ・ 地球温暖化問題への対応



安全性/経済性/環境性
の同時解決

火力発電所の高効率化

- (1) ダブル複合発電(ガスタービン/蒸気タービンの組合せ)
 - ・ 天然ガス焼き複合発電・石炭ガス化複合発電(IGCC)
- (2) トリプル複合発電
 - ・ 燃料電池/ガスタービン/蒸気タービン
 - ・ 石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)

[注]トリプル複合発電に使用の燃料電池: 固体酸化物形燃料電池(SOFC)

1-4 発電効率向上の意義

日本の平均的な発電効率は39%、これを発電効率65%のトリプル複合発電にしたらどうなるか？

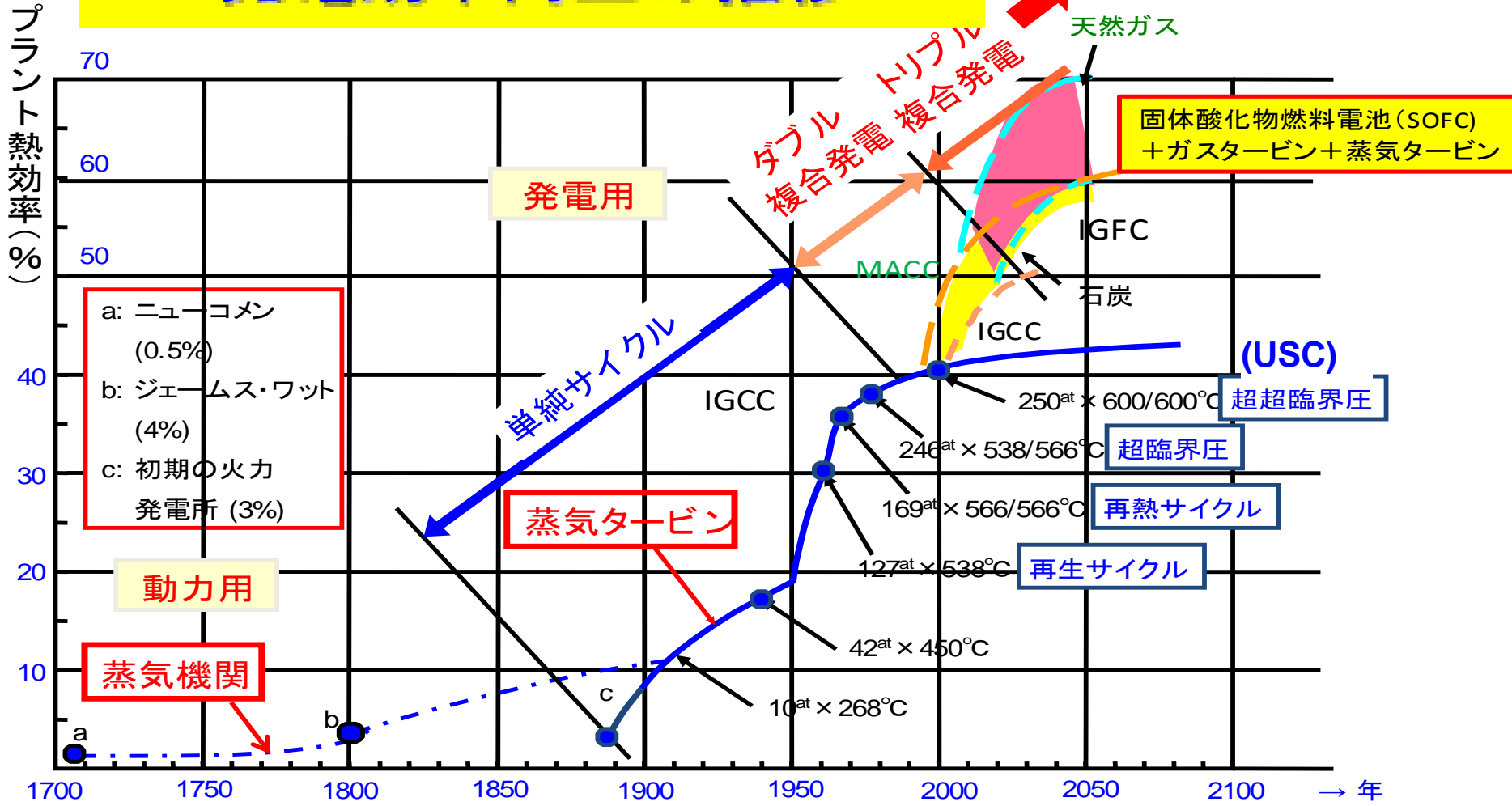


同じ発電量でありながら、燃料消費量が4割減って6割となり、CO2発生量が4割減少する。

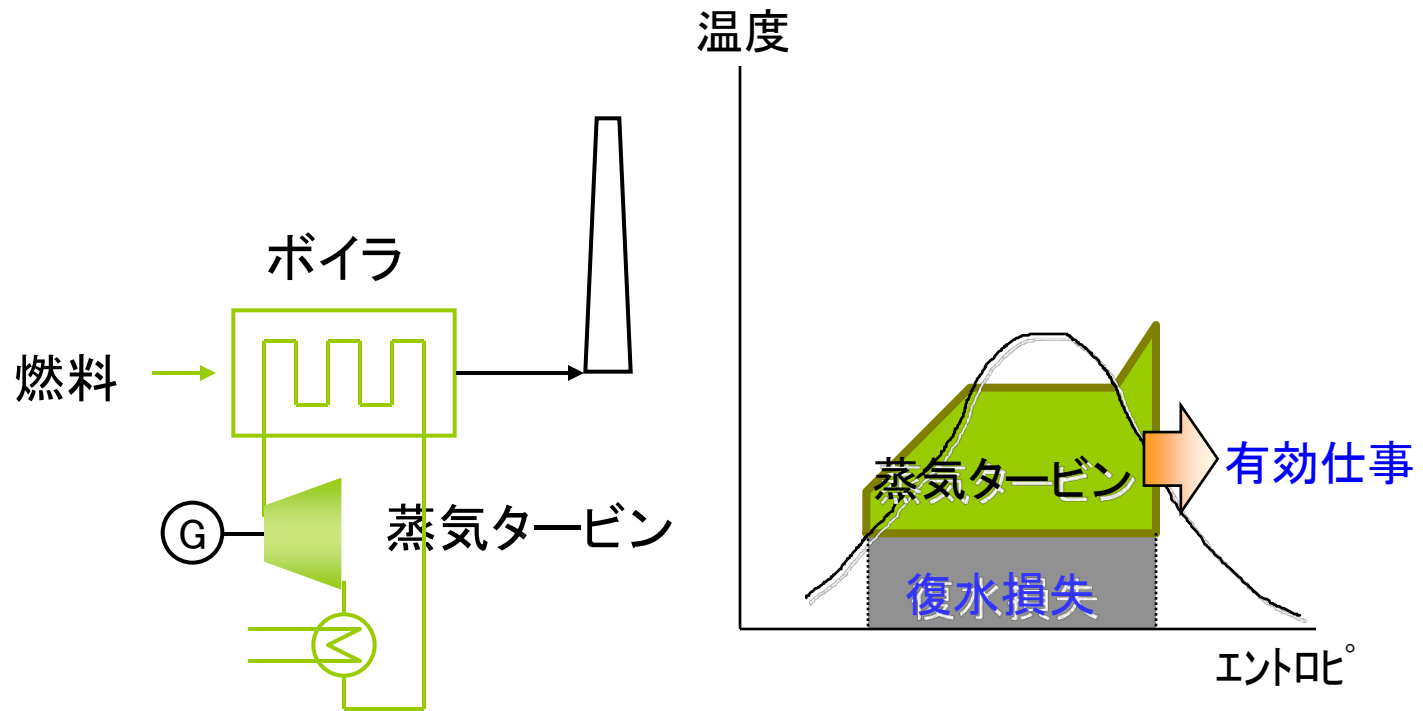
$$(39/65=0.6)$$

1-5. 火力発電の効率向上の歴史

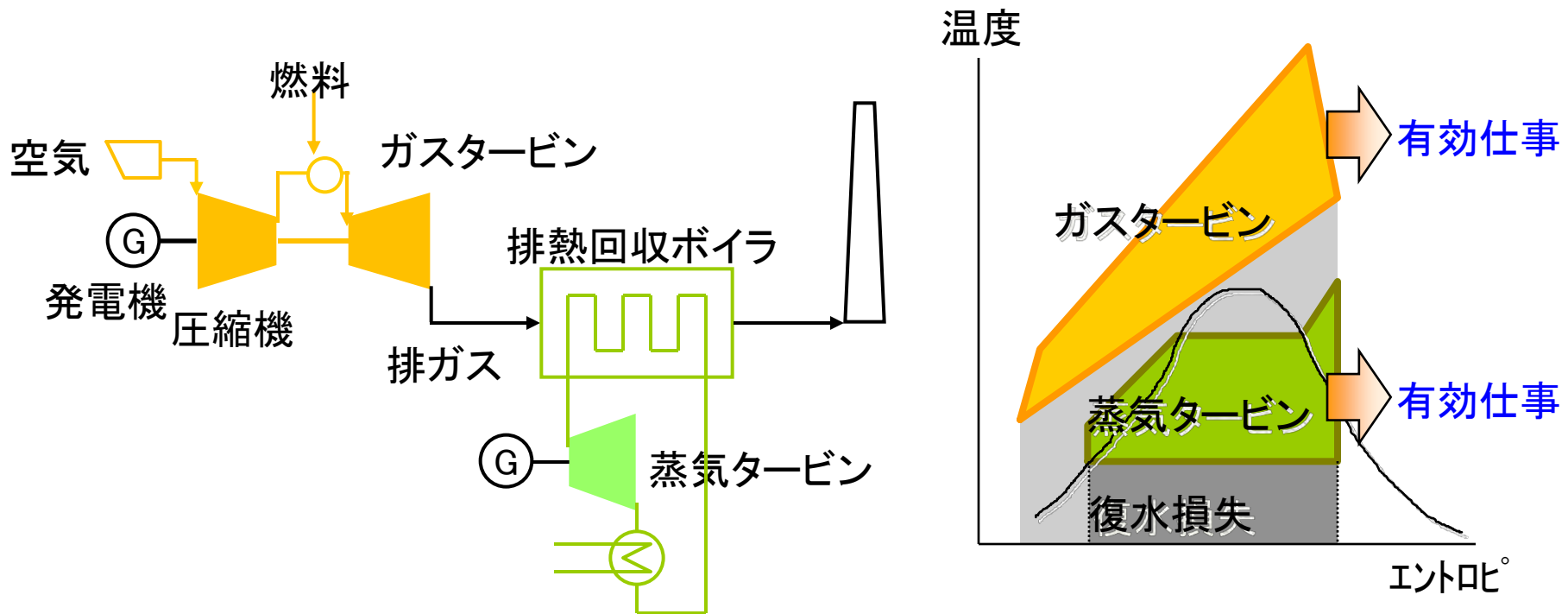
発電効率向上の推移



単純蒸気サイクル



複合発電サイクル



一粒で二度おいしい！

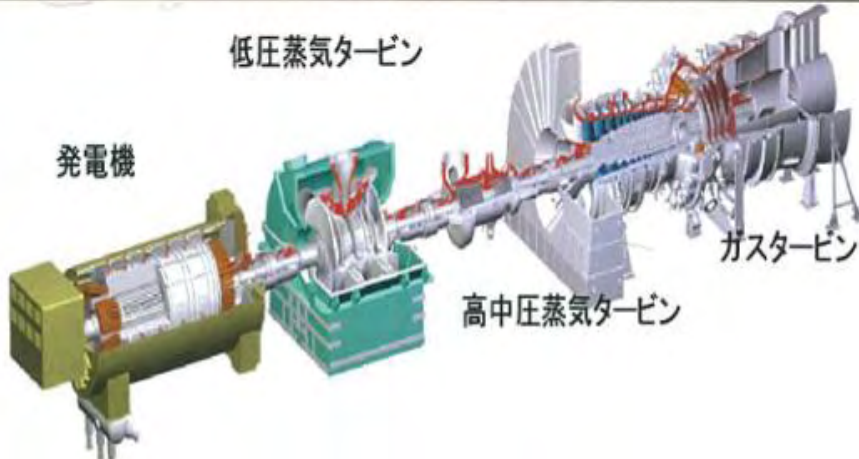
2. ダブル複合発電システム(天然ガス焚き)

- ・ **ガスタービン**(ジェットエンジンの一種)と**蒸気タービン**の組合せによる高効率発電システムで1980年代に大形火力発電所に採用された。
- ・ 震災後の緊急用として**単体のガスタービン発電機**を導入しその後、**蒸気タービン**を追設して高効率化することが可能。



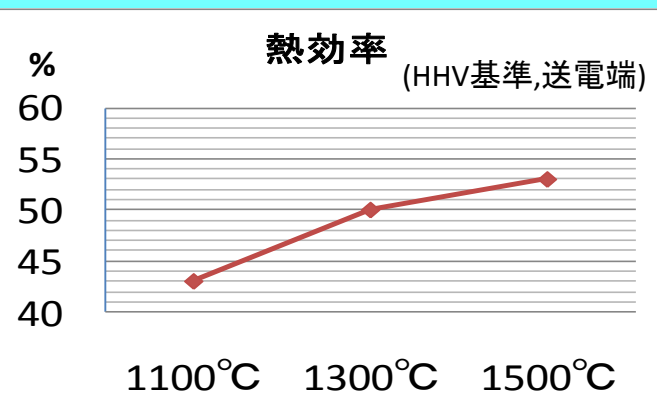
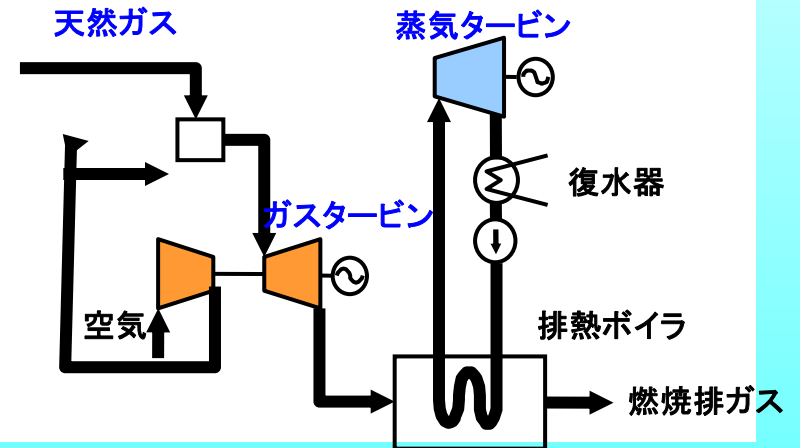
低圧蒸気タービン

発電機



ガスタービン

高中圧蒸気タービン



現在の国内の火力発電設備

石炭焚き

従来形 38基
USC 21基
流動層 3基

ガス焚き

従来形 54基
ダブル複合 28基
G/T従来形 4基

油焚き

従来形 98基

合計 62基
33,720MW

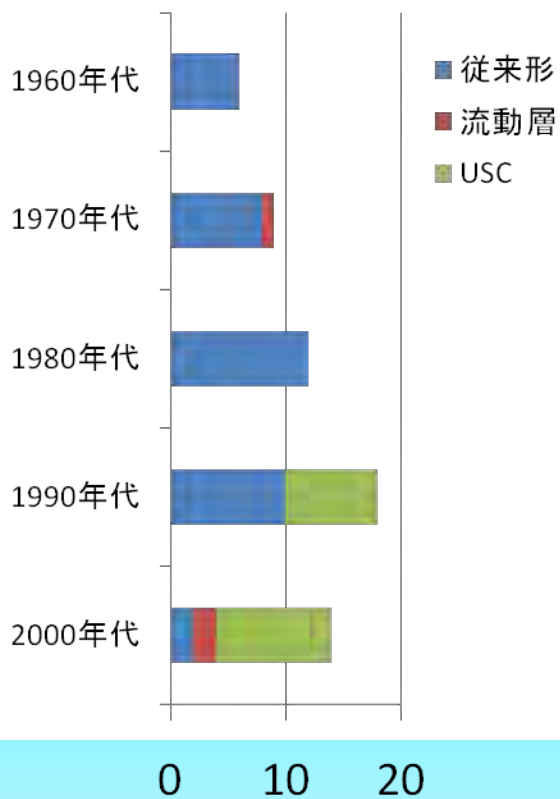
86基
59,026MW

98基
41,375MW

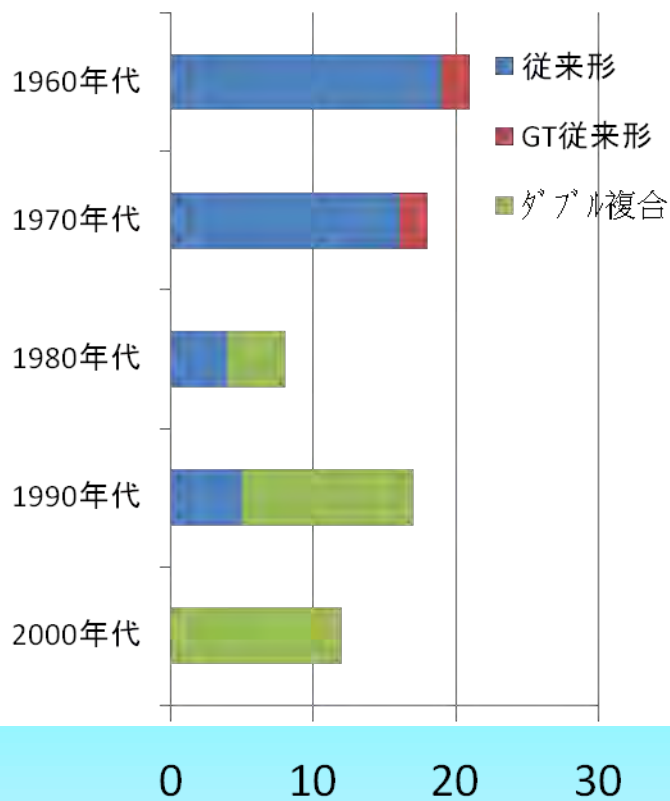
総計 246基
134,121MW

現在の火力発電設備基数

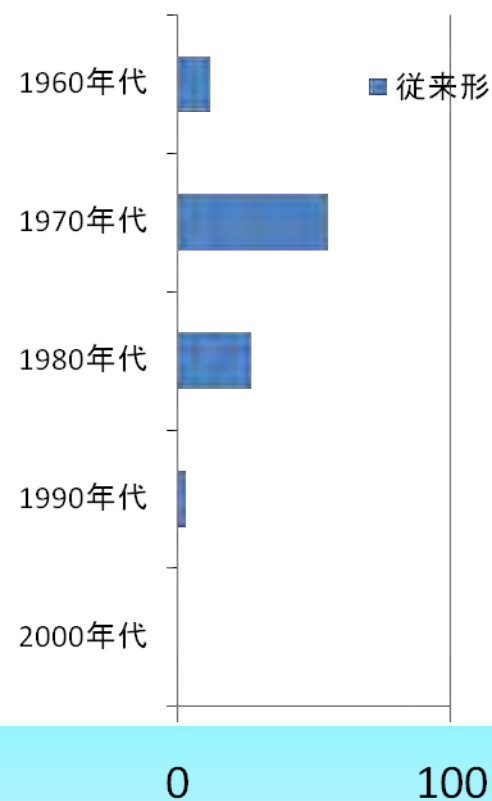
石炭焼き



ガス焼き



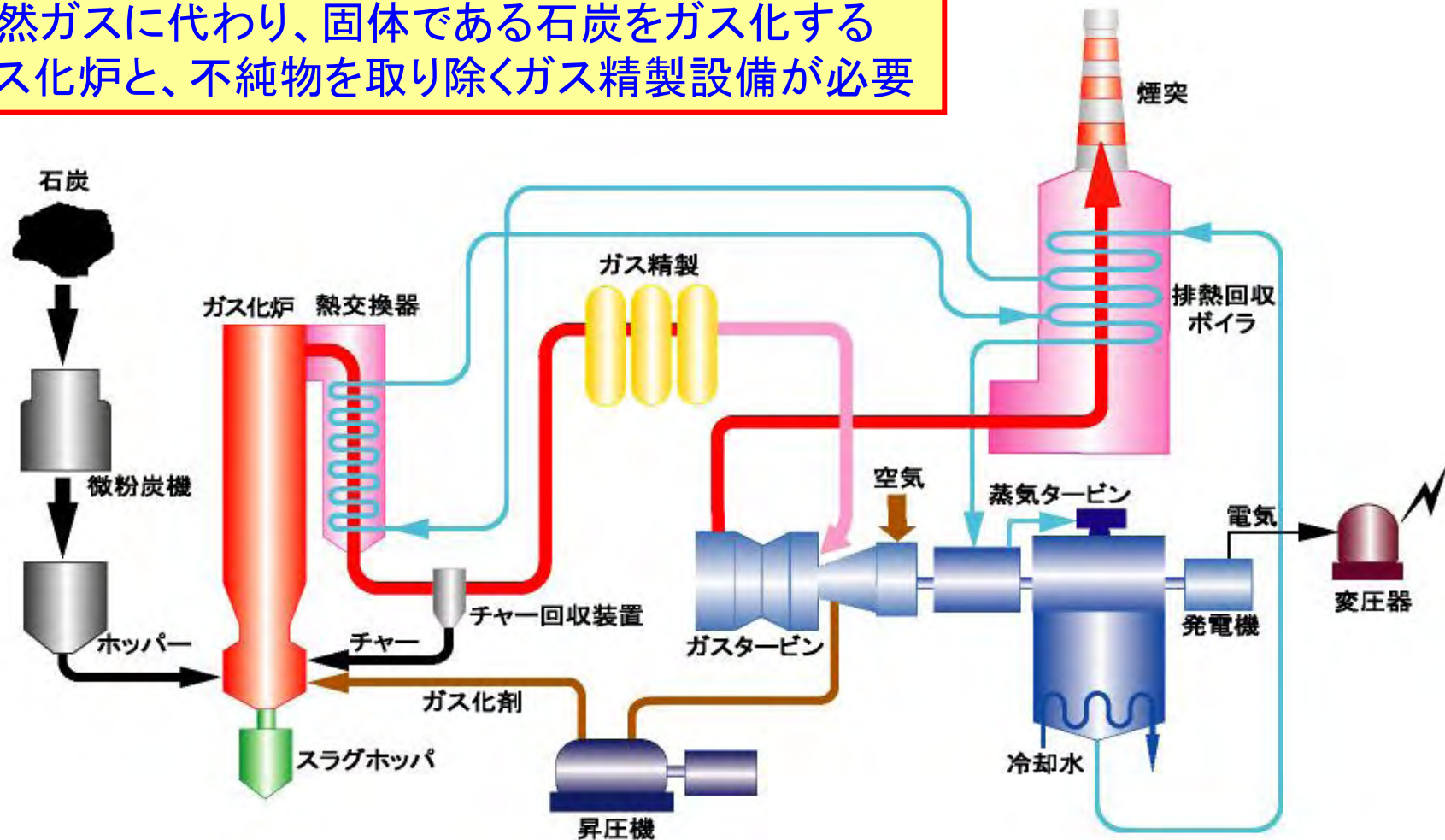
油焼き



3. 石炭ガス化複合発電 (IGCC)

● プラント効率(送電端) : 46 – 48 % (HHV) !

天然ガスに代わり、固体である石炭をガス化する
ガス化炉と、不純物を取り除くガス精製設備が必要



石炭ガス化複合発電 (IGCC)

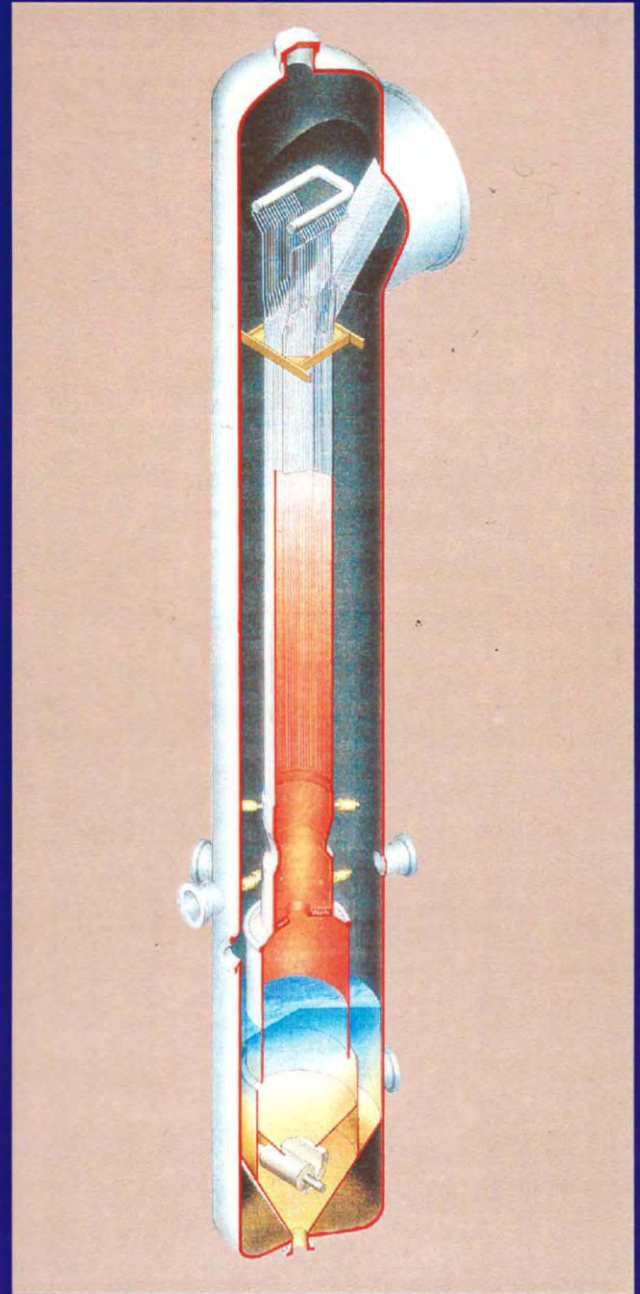
石炭ガス化炉



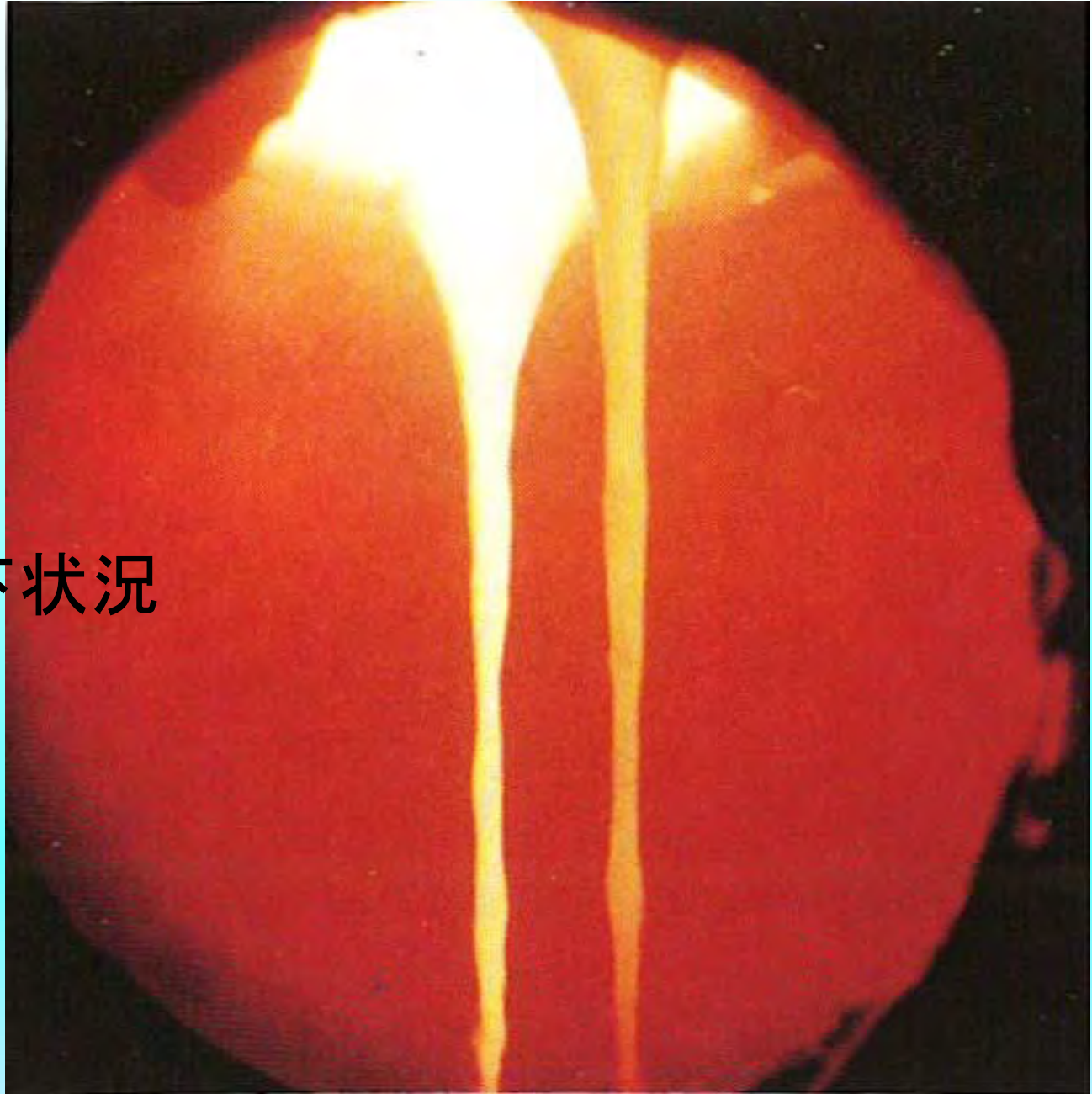
株式会社クリーンコールパワー研究所
石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証機 : 25万KW

石炭ガス化炉の構造

- Pressurized
- Air Blown
- Two Stage
- Entrained Flow



熔融スラグ流下状況

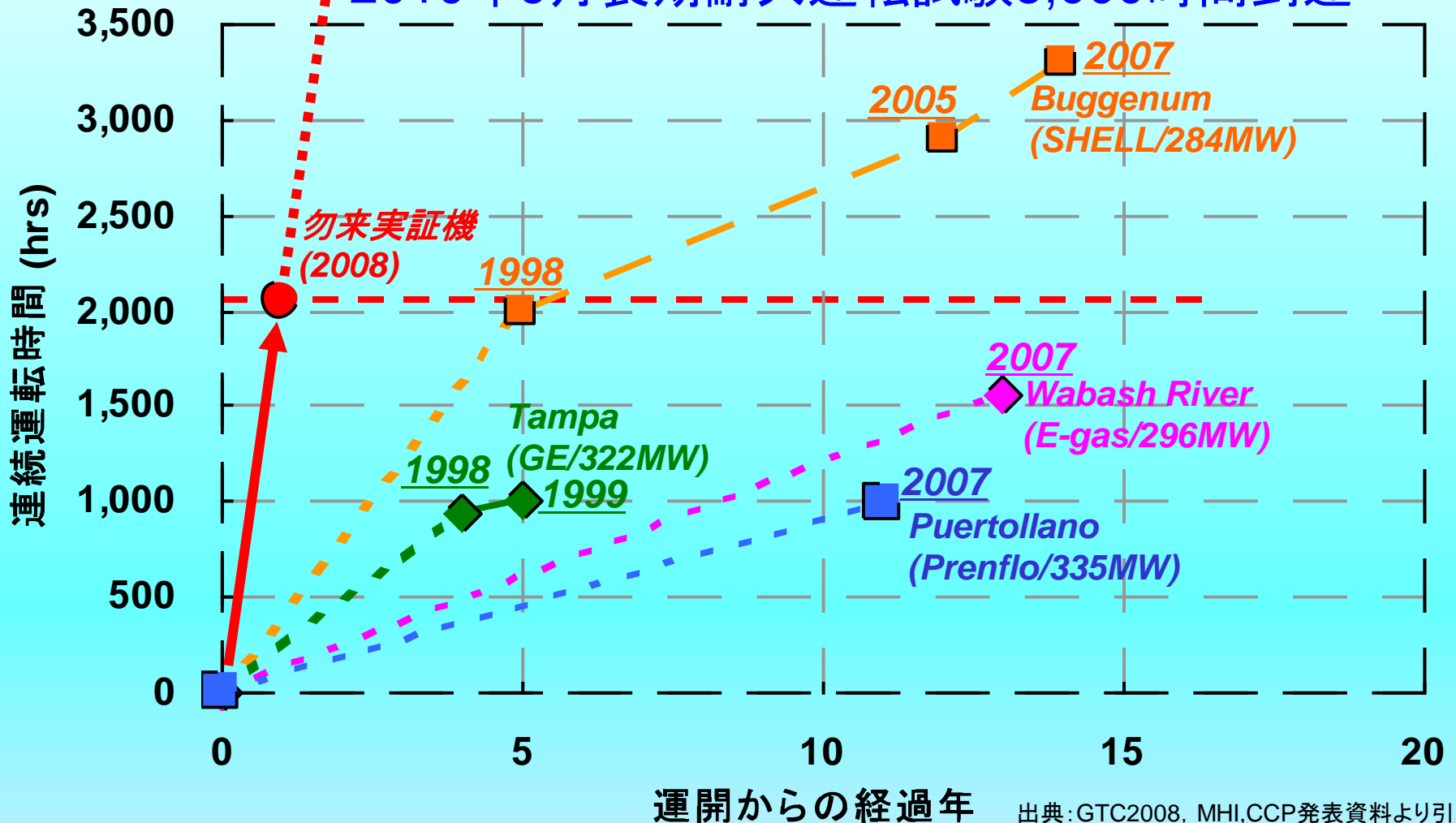


実証機の運転実績



世界最速で2000時間連続運転達成！

2010年6月長期耐久運転試験5,000時間到達

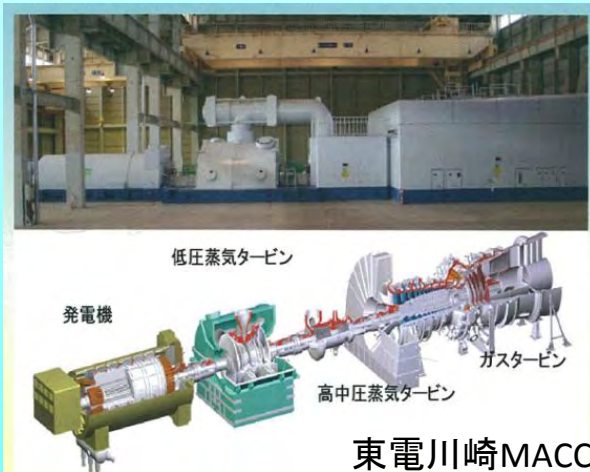


出典：GTC2008, MHI,CCP発表資料より引用

4. トリプル複合発電システム (究極の高効率発電)

ダブル複合発電システム

ガスタービンと蒸気タービンの組合せ

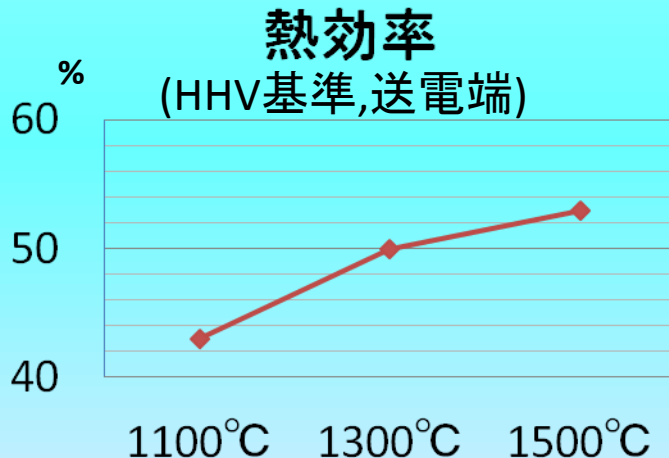


トリプル複合発電システム

固体電解質形燃料電池とガスタービンと蒸気タービンの組み合わせ



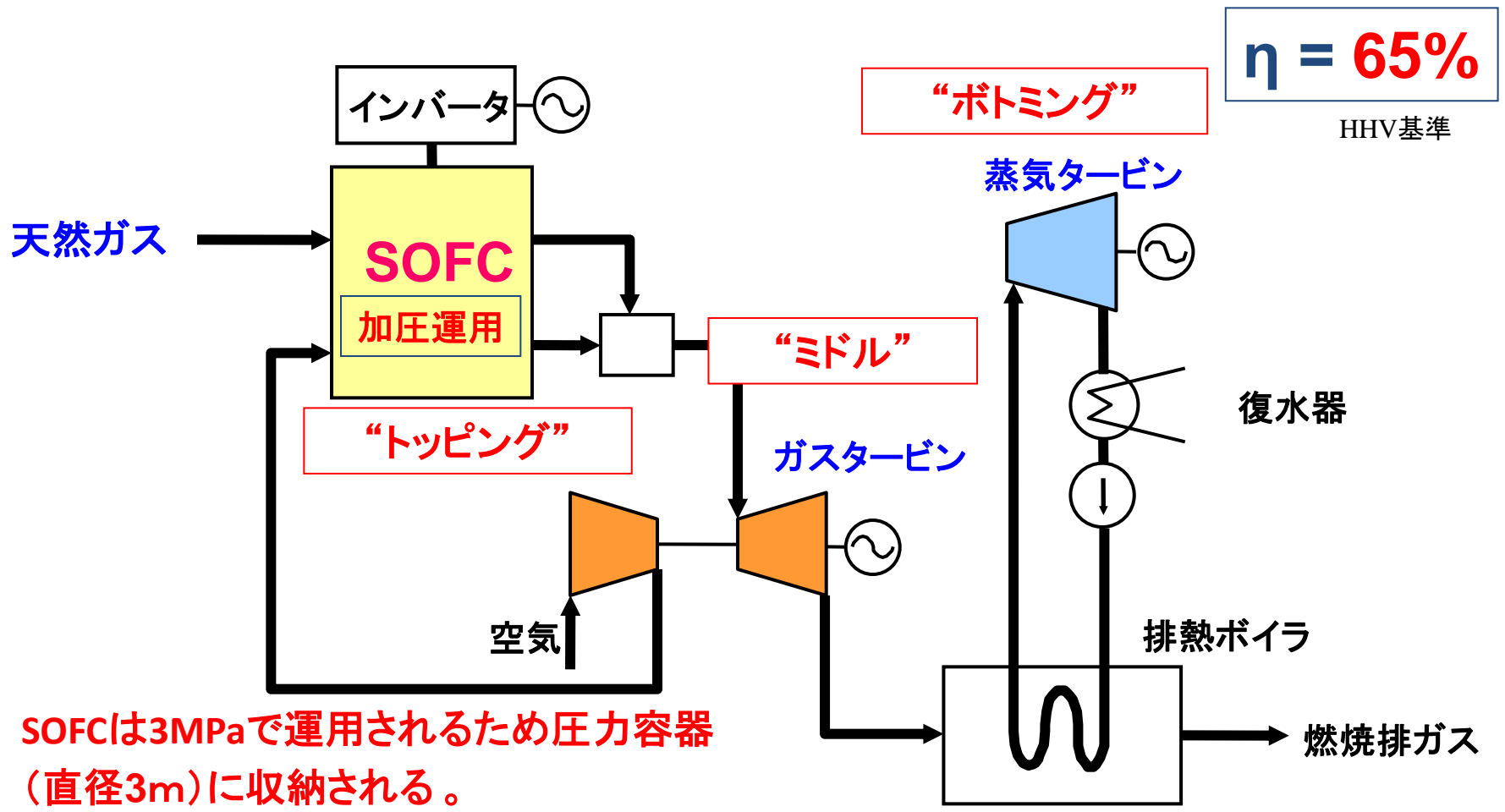
三菱重工技報VOL. 44, NO. 1,2007より



LNG燃料 : 65%
石炭燃料 : 55%
(HHV基準,送電端)

全LNG・石炭火力に適用すると**216百万**
トンのCO2が削減される。

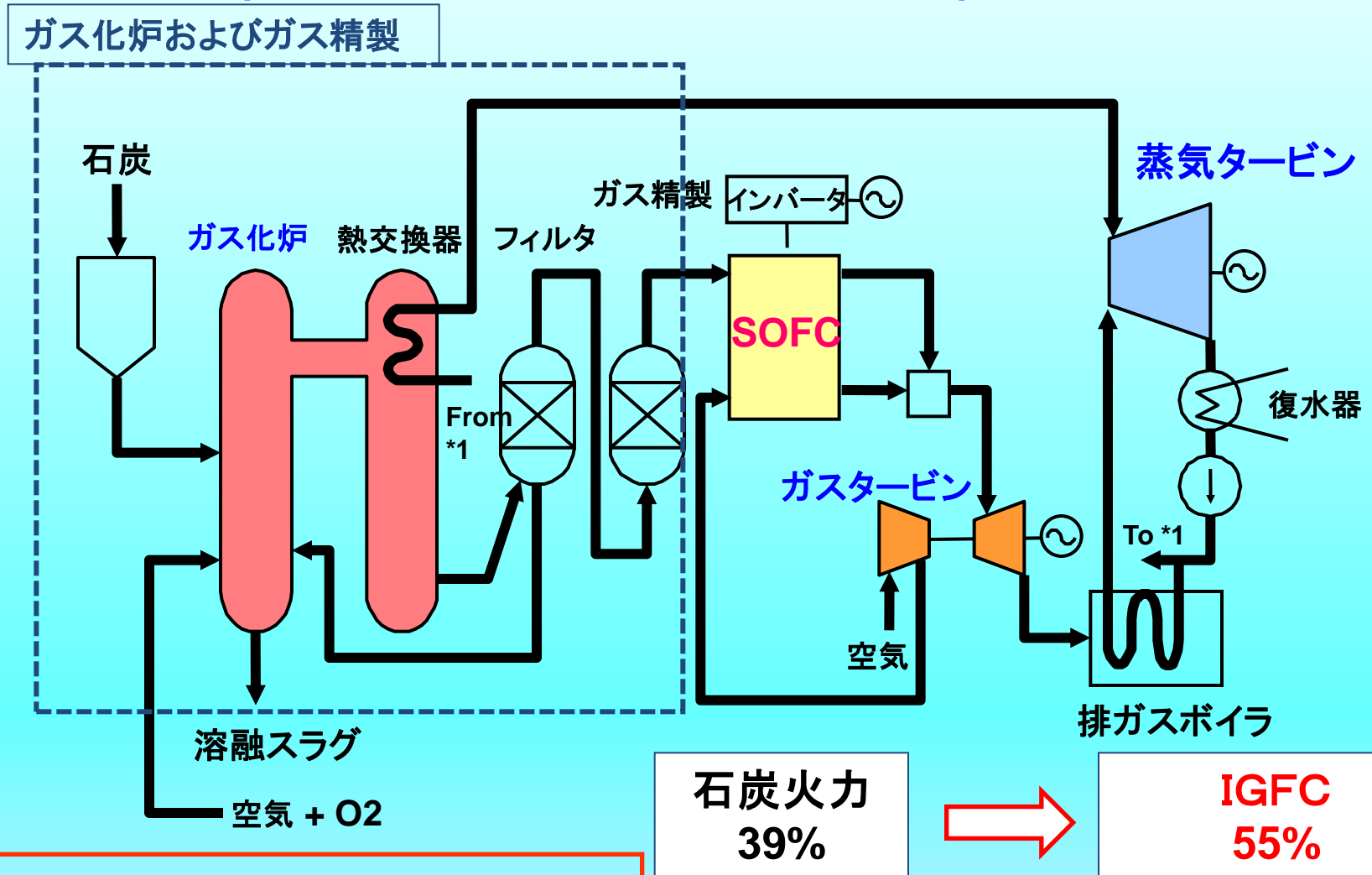
4-1 トリプル複合発電システム(燃料:LNG)



SOFC: Solid Oxide Fuel Cell (固体酸化物形燃料電池)

4-2 石炭ガス化トリプル複合発電 (IGFC)

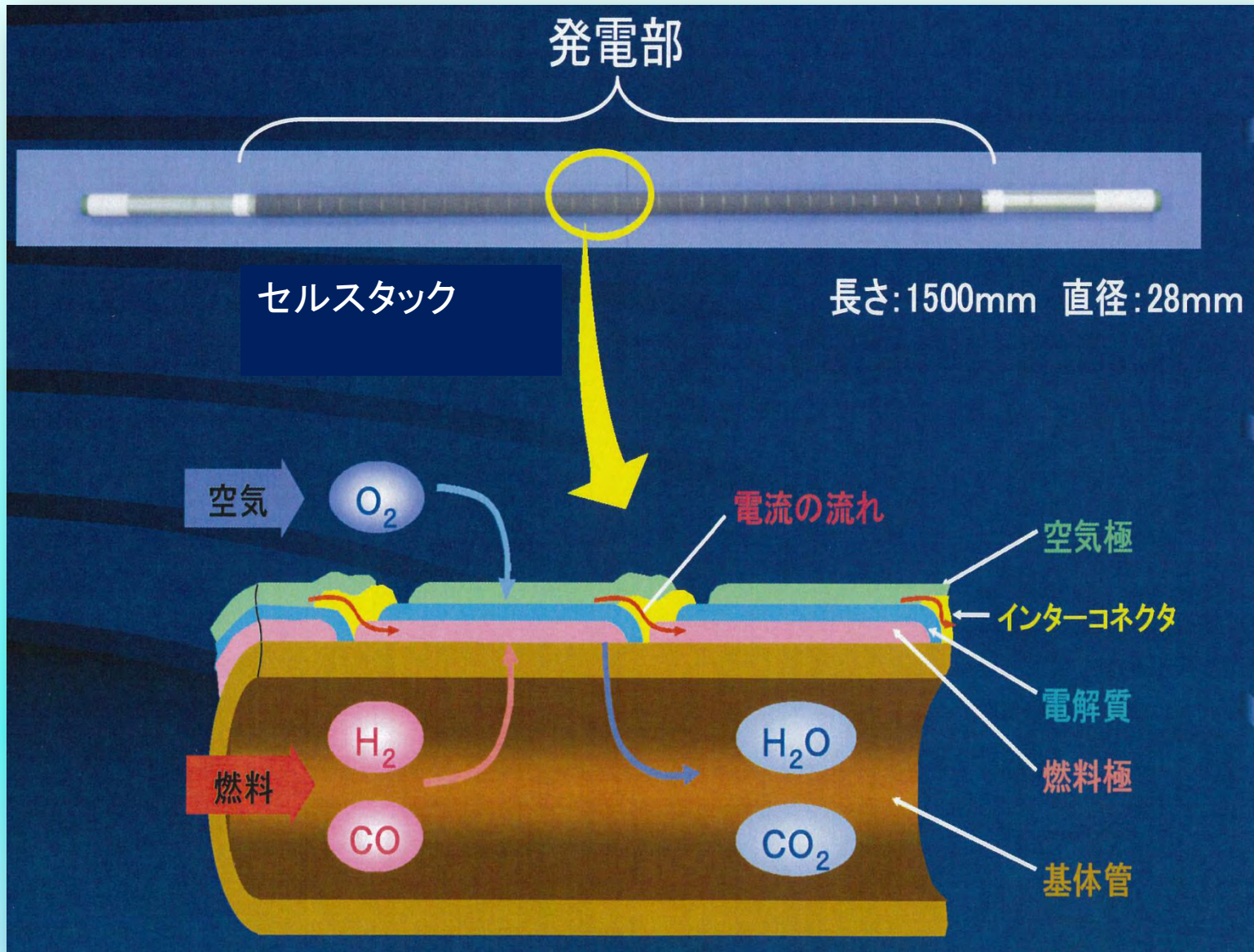
(石炭 ガス化とSOFCの組合せ)



ガス化炉とSOFCは3MPaで運用されるため
圧力容器(直径3~6m)に収納される

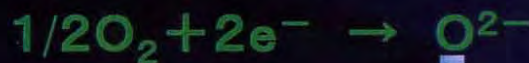
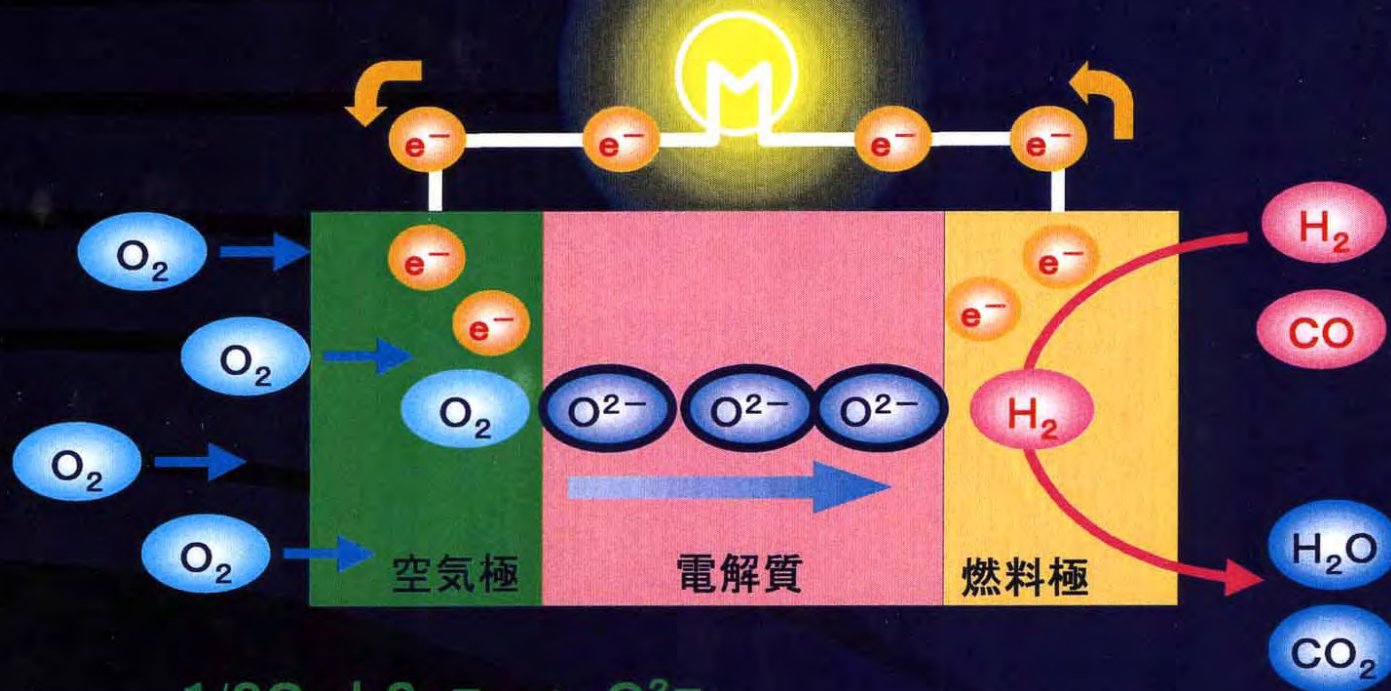
石炭火力 39%	→	IGFC 55%
	→	CO ₂ 30%減
	→	30%バイオマス混焼によりCO ₂ 50%減

5. 固体酸化物形燃料電池 : SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)



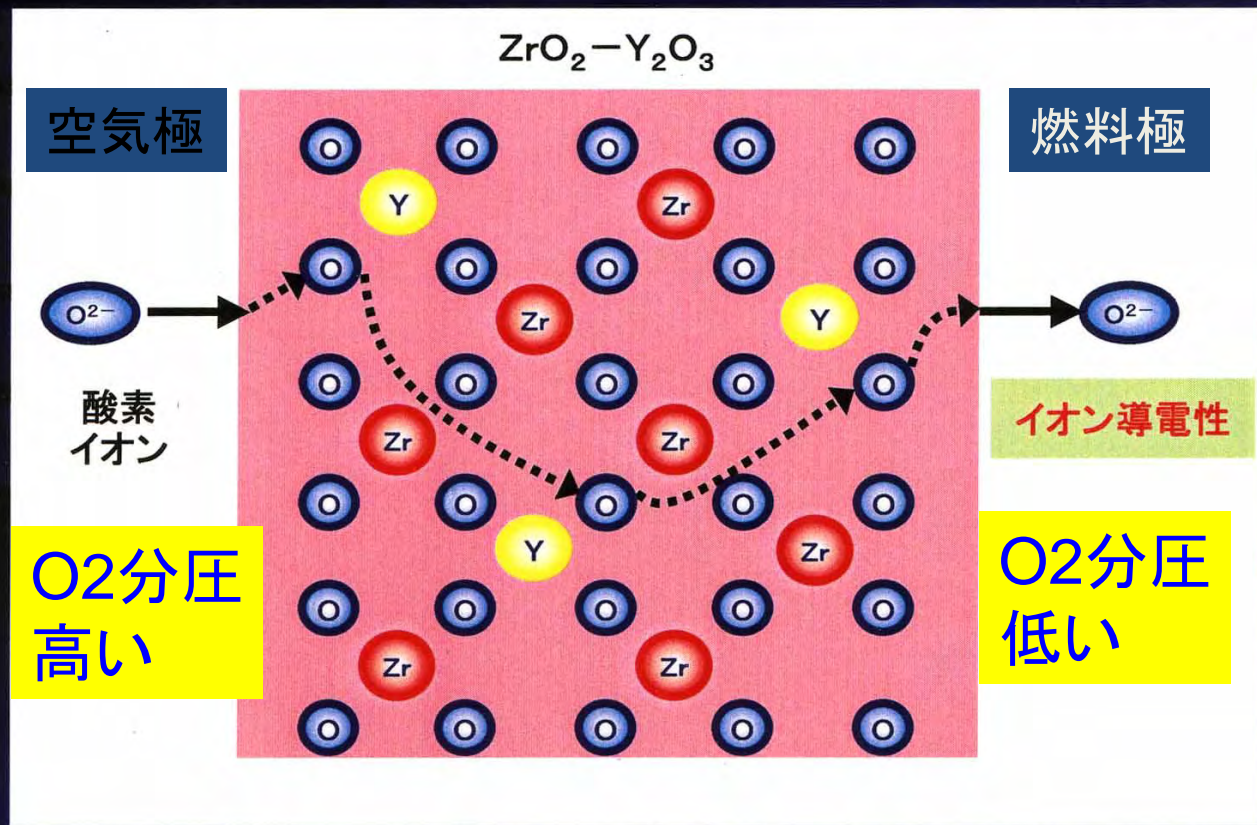
SOFCはH₂もCOも同様に燃料となる！

SOFCの原理



固体酸化物燃料電池(SOFC)の原理

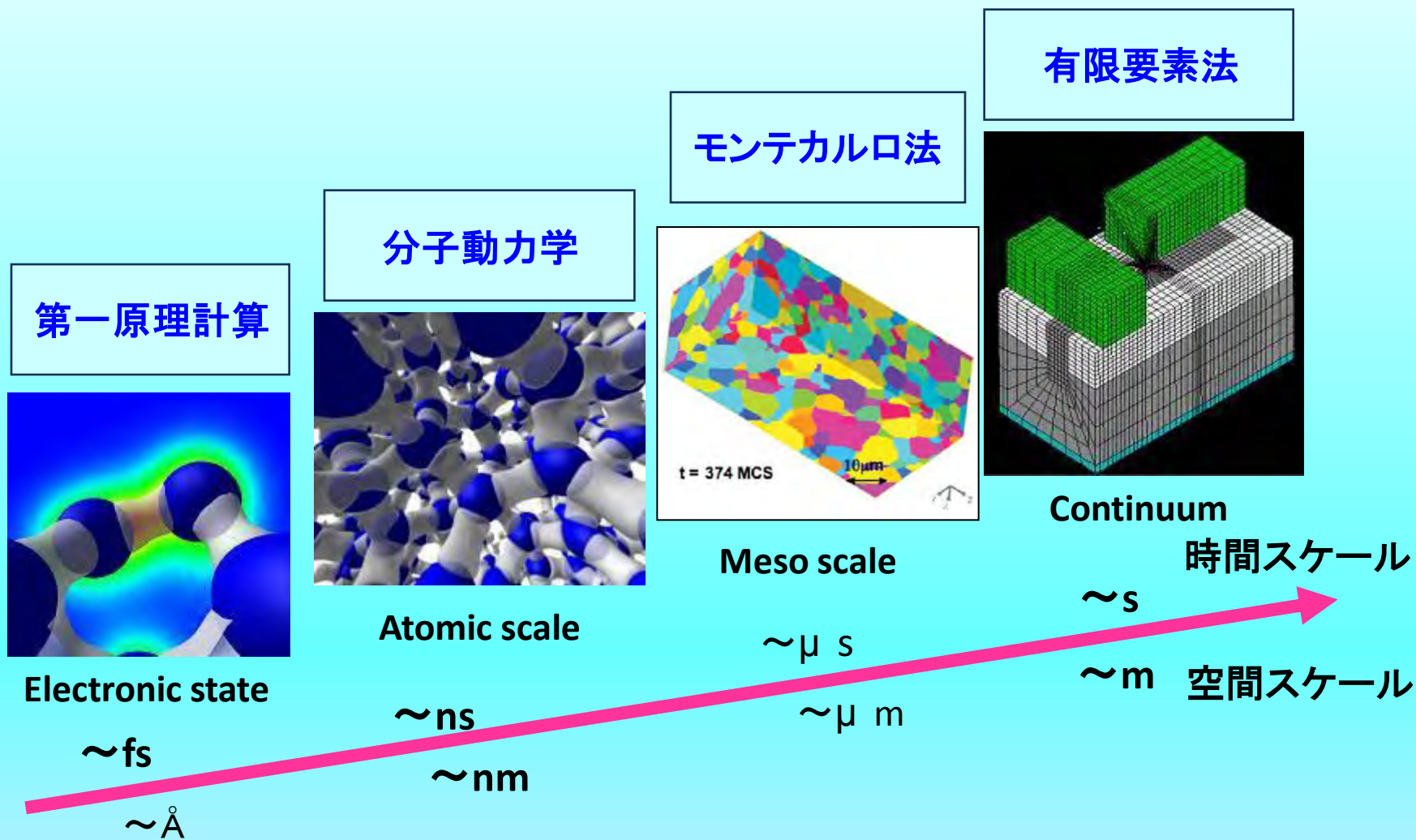
SOFC電解質の特徴



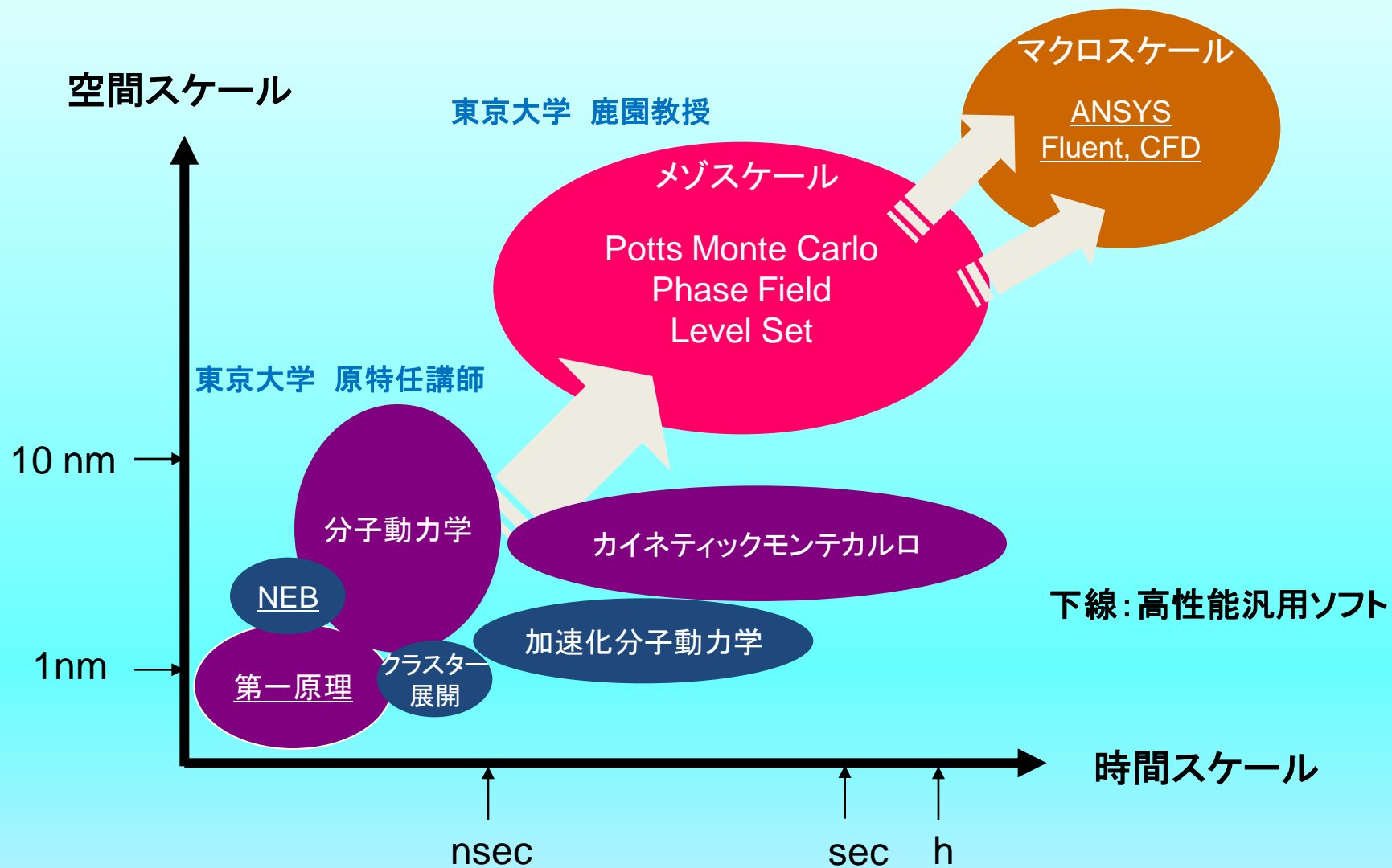
燃料ガス
はCO, H₂
いずれでも可

SOFC: Solid Oxide Fuel Cell

マルチスケール解析



原子シミュレーションの位置づけ



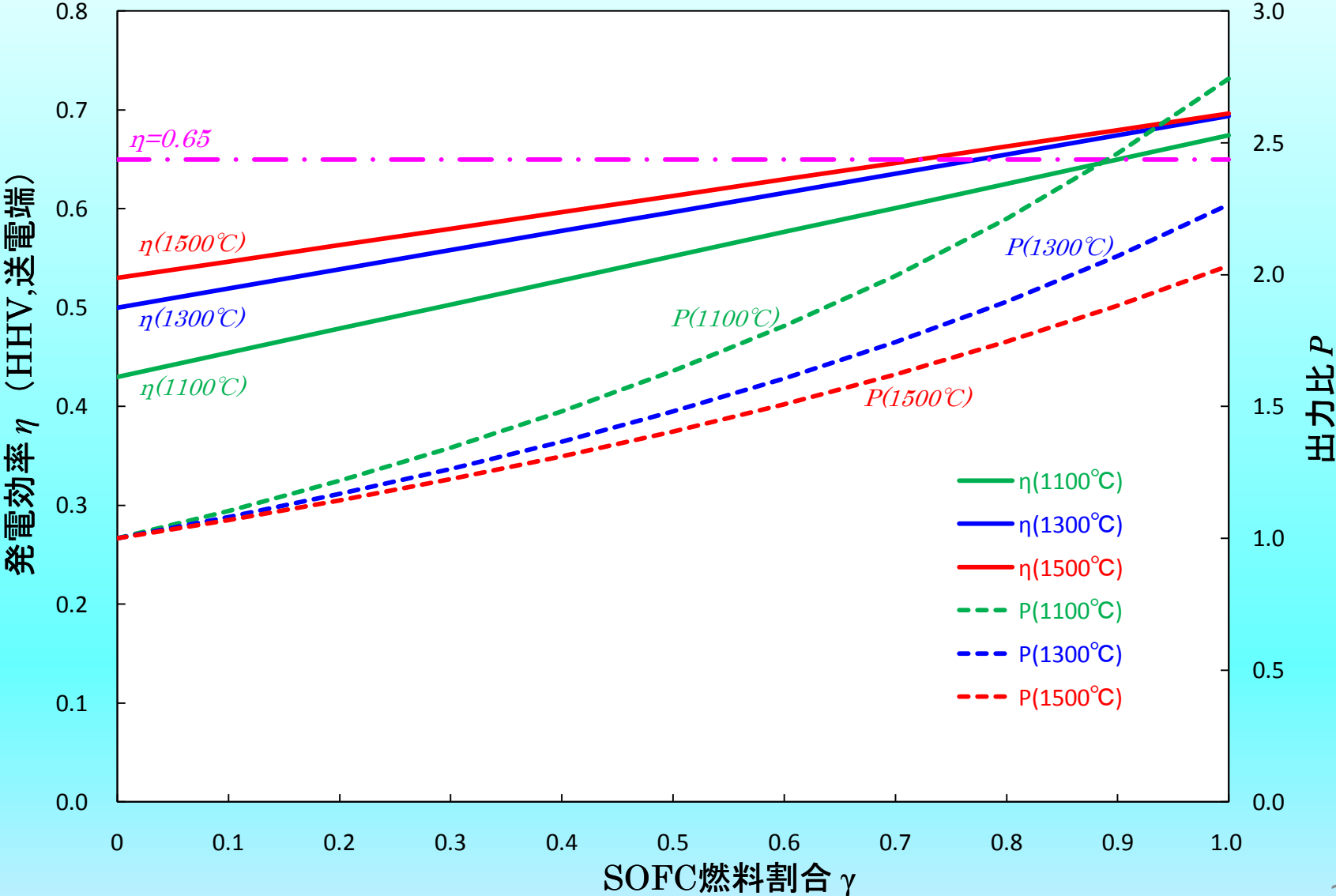
加圧形SOFC



三菱重工(株) 長崎造船所 に設置
(NEDO委託研究 MHI報告書より)

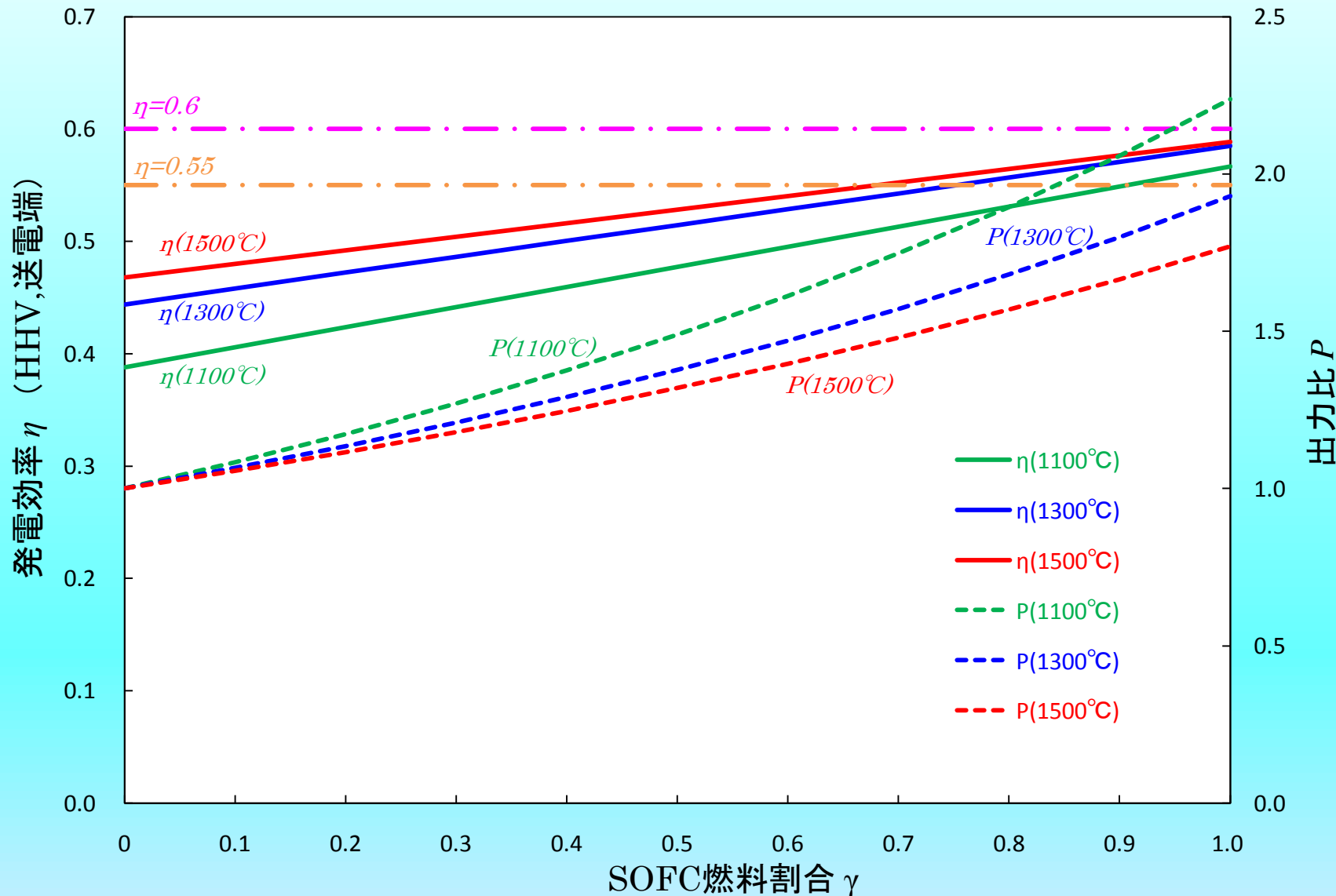
発電効率と出力比

トリプル複合発電（燃料：LNG）



発電効率と出力比(石炭ガス化+SOFC) 将来適用

石炭ガス化との組合せ

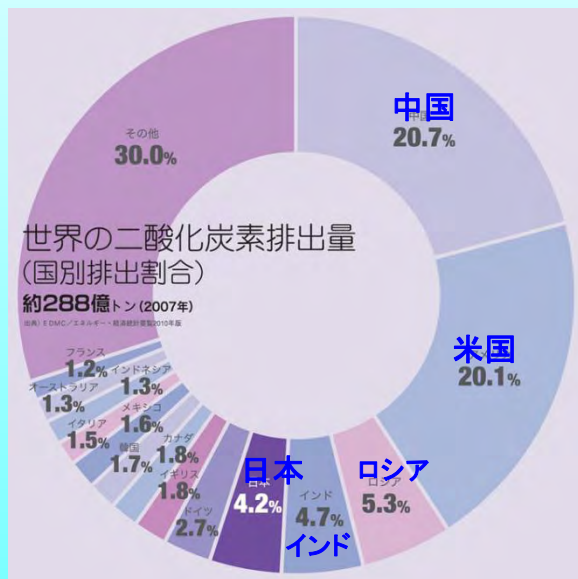


燃料電池の方式の比較

	SOFC 固体酸化物形	PEFC 固体高分子形
電解質材料	安定化ジルコニア	イオン交換膜
移動イオン	O^{2-}	H^+
触媒	不要	白金系
運転温度 °C	800~1,000	80~100
燃料	水素、一酸化炭素	水素
発電効率 %	50~70	30~40
想定発電出力	数kW~数十MW	数W~数十kW
想定用途	家庭電源、定置発電	家庭電源、携帯端末、 自動車
開発状況	実証試験中	長期実証試験中で一部 は商品として実用化

6. 海外への展開

CO2発生量の現状



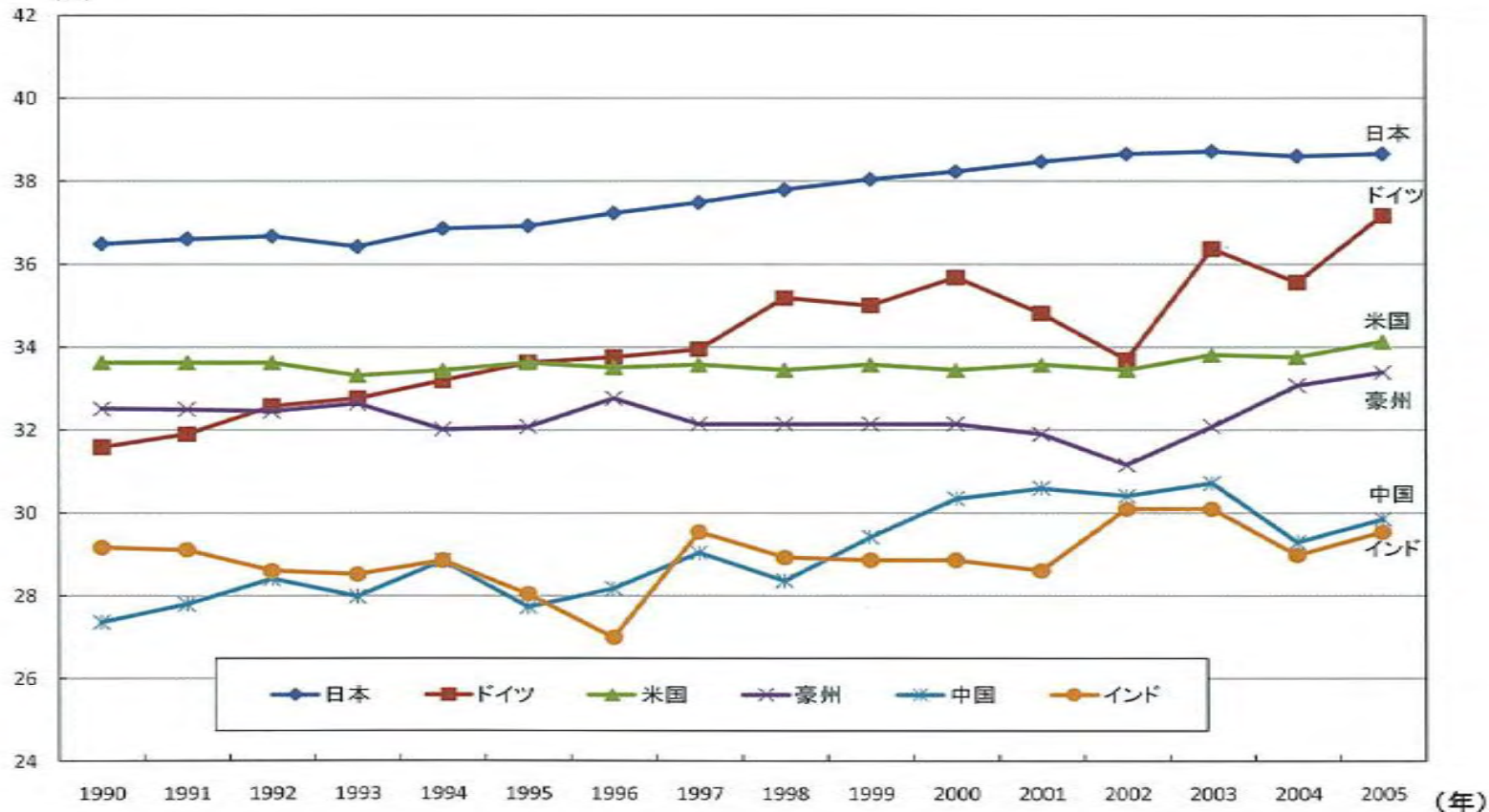
	CO2発生量 億トン	人口 億人	CO2発生量 トン/人	留意点
中国	60	13.5	4.4	経済発展 人口増加
米国	58	3.1	18.7	1人当たりの 発生量過大
ロシア	15	1.4	10.7	
インド	14	12.0	1.2	経済発展 人口増加
日本	13	1.3	10.0	高効率発電 技術保有
全世界	288	68.3	4.2	2007年 データ

出典) 全国地球温暖化活動推進センターHPより

- ・日本だけがCO2発生量を減らしても低炭素社会に移行できない。
- ・日本の高効率発電技術を海外に展開し、地球規模でCO2濃度を下げることが重要。

各国の石炭火力発電の効率の推移

熱効率(送電端、HHV)
(%)



金子祥三氏:先端エネルギー変換工学寄付研究部門 第3回技術フォーラムより

現状の発電効率

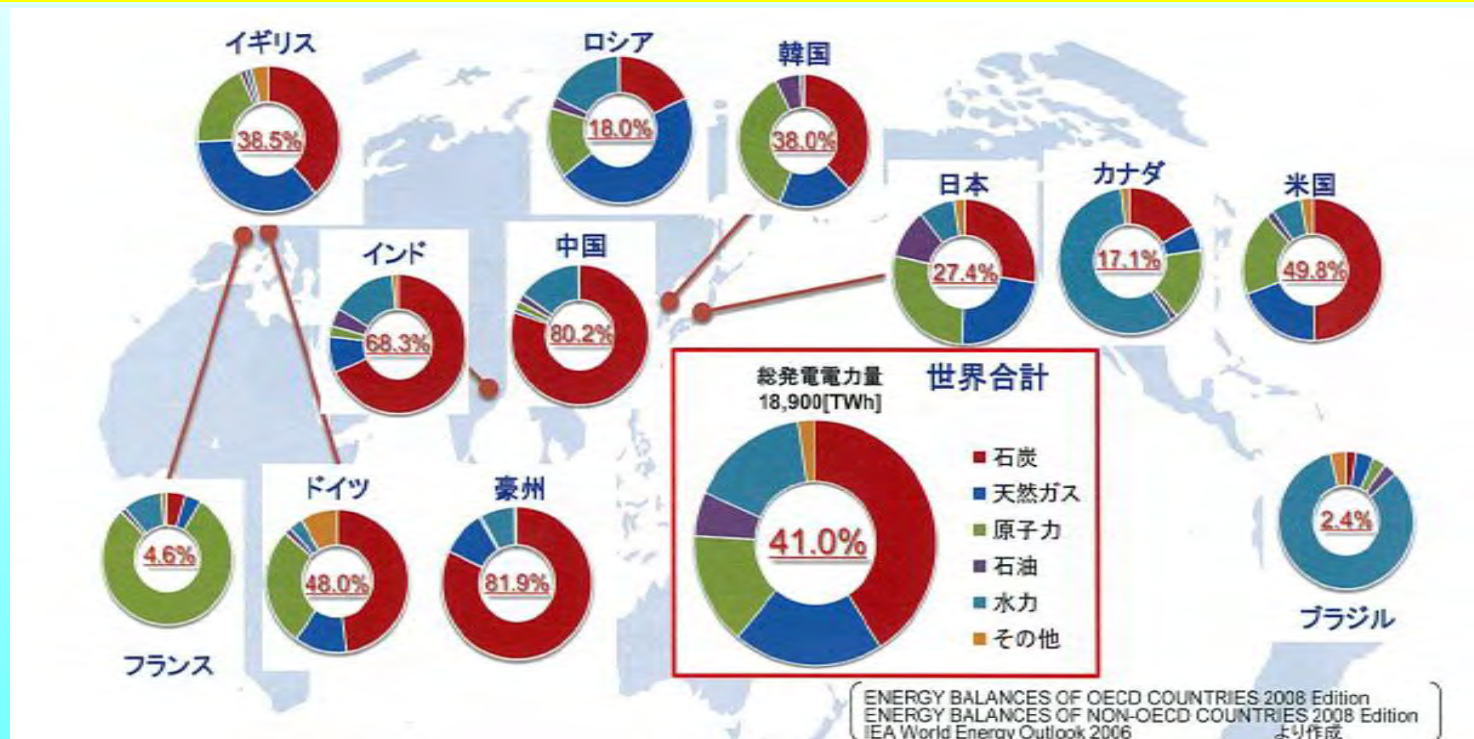
日本は39%、米国は34%、中国・インドは30%

安定したエネルギーの供給

	燃料	産出国	評価
原子力	ウラン	カナダ、豪州他	安定
火力	石炭	全世界	安定
	天然ガス	東南アジア、豪州、 中東、ロシア、米国他	日本が最大の輸入国 世界の需要急増中
	石油	中東他	不安定
再生可能エネルギー	水力	国内	日単位では安定
	風力		不安定
	太陽光		
	海洋エネルギー		
	バイオマス	国内＋海外	安定した量の確保が課題

安定したエネルギーの供給には石炭の有効活用が重要

世界の主要国の電源構成



金子祥三氏:先端エネルギー変換工学寄付研究部門 第3回技術フォーラムより

- 世界の電源構成に占める石炭火力の割合は40%
- 日本は27%が石炭による発電
- 米国、豪州、中国、インドでは大半が石炭による発電

7. まとめ

1. 今回の東日本大震災において津波は原子力発電所・火力発電所に甚大な被害を及ぼしたが、短期的には火力発電所の早期復旧、緊急発電設備及び節電の推進により、停電の危機は回避できる。長期的には火力発電の効率向上対策(トリプル複合発電・石炭ガス化複合発電)、バイオマスの活用、海外への展開(二国間交渉)等で必要電力量を確保しながら原子力発電をサポートし、地球温暖化防止に貢献する事が出来る。
2. 世界的には石炭が火力発電の主な燃料であり、高効率の石炭ガス化複合発電(IGCC)は地球温暖化対策として極めて有効である。
3. また固体である石炭をガス化することにより合成天然ガスや液体燃料製造など多様な利用形態が可能となる。
4. 究極の高効率発電としては固体酸化物型燃料電池(SOFC)を用いたトリプル複合発電があり、天然ガス焚き、石炭焚きともこの形に収斂するものと考えられる。