第4回　東大エネルギー・環境シンポジウム

# 日本のエネルギーの今後と産業復興

2012年11月2日

東京大学生産技術研究所
特任教授　　金子 祥三


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 目　次

1. 今後のエネルギーの動向
2. 火力発電の増加と燃料費の急増
3. 高効率発電技術の歴史と今後
4. 産業の復興を図るための課題と打ち手


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 1. 今後の日本のエネルギーの動向

1. 原子力①0%　②15%　③20～25%の3案で検討がなされた

2. いずれにしても火力発電が大幅に増加

3. 分散型（コジェネ）15%が一つのポイント

4. ここ5年間の最大の問題
   原子力の稼働停止→輸入燃料費の大幅増加

**→電力料金大幅値上げ→産業競争力の喪失**

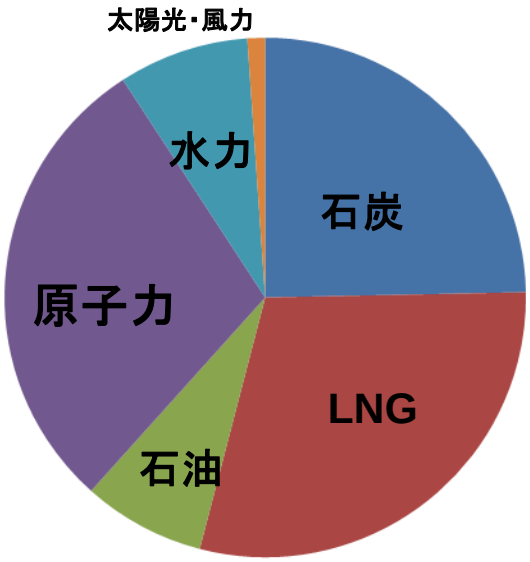
→製造業の海外移転
→国内の雇用喪失・貿易収支赤字・税収減の3重苦に
→“負のスパイラル”に陥る危機


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# エネルギー基本計画

2011.3.11以前

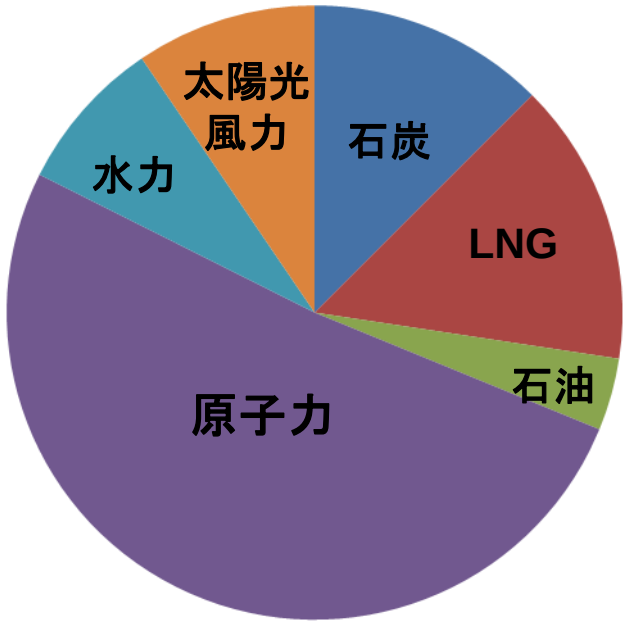
発電電力量の構成（2009）




出典：平成22年度 数表で見る東京電力

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（2030）




➢2010年の計画では、2030年には原子力の比率を50%とし、火力の発電電力量を6,170億KWhから3,100億KWhに半減し、$CO_2$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と、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。

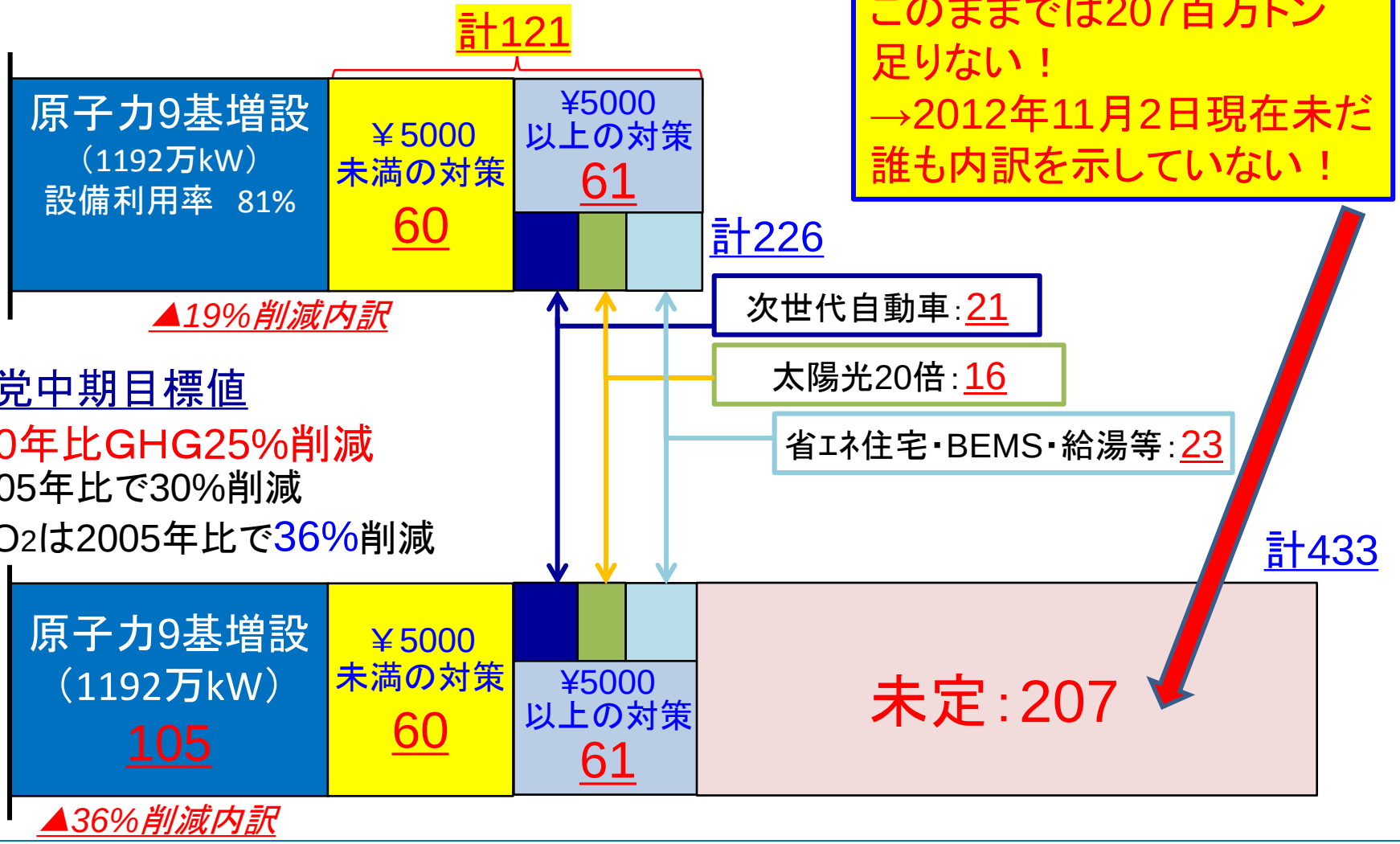

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 鳩山内閣　25%CO2削減案---根拠の無い空虚な目標

※【単位：百万t-$CO_2$】

## 自民党中期目標値：旧政府案（2009/6/10）

2005年比GHG15%削減 →$CO_2$は19%削減




このままでは207百万トン
足りない！
→2012年11月2日現在未だ
誰も内訳を示していない！

## 民主党中期目標値

1990年比GHG25%削減
→2005年比で30%削減
→ $CO_2$は2005年比で36%削減


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 原子力の比率の高い電力で再稼働がないとどうなる？

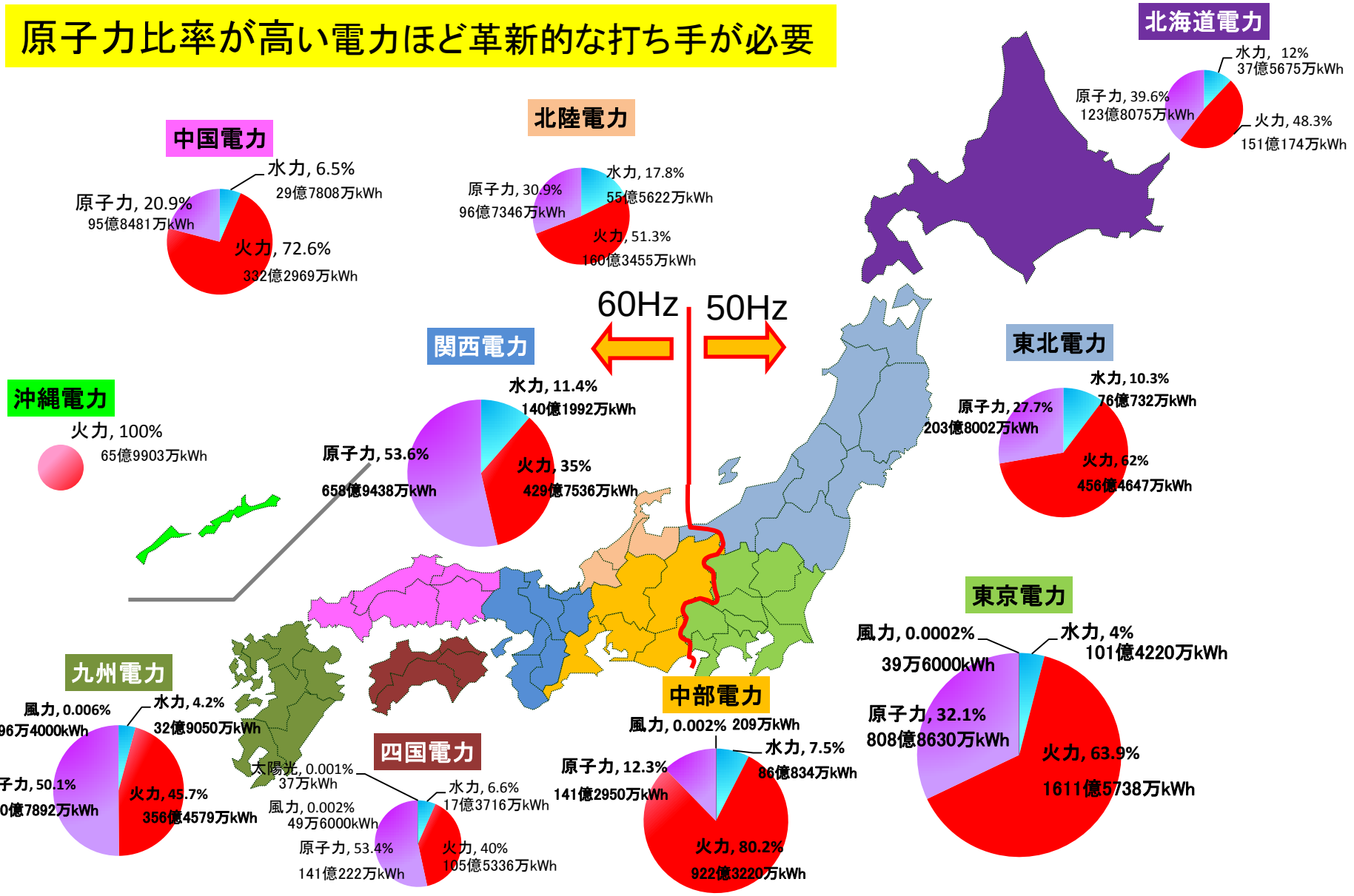
1. 供給力不足
2. 火力発電比率の急増→燃料購入費の大幅増加

**➢原子力の再稼働無し→電力料金値上げに直結**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本の電力会社別電源構成

原子力比率が高い電力ほど革新的な打ち手が必要





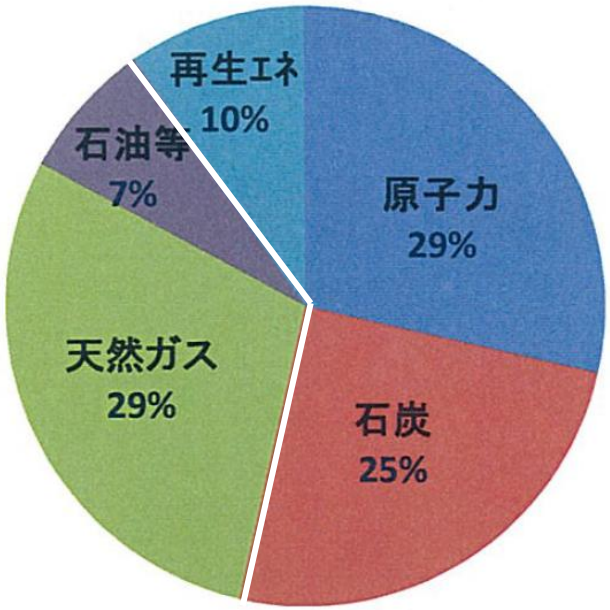
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 原発事故で高まる化石エネルギーの役割

**化石燃料発電の比率は2010年度の6割から2011年度は8割に上昇**

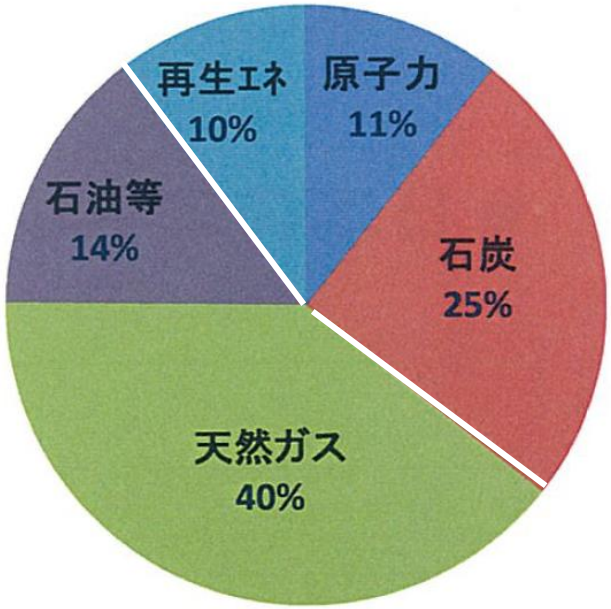
## 発電量構成

### 2010年度
(10,064億kWh)




化石電源比率:61%

### 2011年度
(9,550億kWh)




同:79%

(出所) 電事連資料より作成

4

114

国内温暖化ワークショップ(2012年7月24日) 東大 小宮山助教 資料より


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 2.　火力発電の増加と燃料費の急増

- 年3兆円増加とすると
- 30,000億円/1.2億人＝2.5万円/年
- 30,000億円/0.5億所帯＝6万円/年

原子力を停止すると必ず料金値上げとなる


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 電力会社の部門別最終損益（2012年3月期）

電力会社合計で1兆5千億円の赤字！

（単位：億円、▲は赤字）

| | 規制部門 | 自由化部門 | その他部門 | 合計 |
|---|---|---|---|---|
| 北海道 | ▲118 | ▲58 | ▲567 | ▲743 |
| 東北 | ▲410 | ▲820 | ▲871 | ▲2,101 |
| 東京 | ▲249 | ▲3491 | ▲3843 | ▲7,583 |
| 中部 | ▲15 | ▲498 | ▲432 | ▲945 |
| 北陸 | ▲1 | ▲58 | ▲6 | ▲65 |
| 関西 | ▲691 | ▲1261 | ▲622 | ▲2,574 |
| 中国 | 172 | 68 | ▲254 | ▲14 |
| 四国 | ▲6 | ▲39 | ▲70 | ▲115 |
| 九州 | ▲532 | ▲884 | ▲332 | ▲1,748 |
| 沖縄 | 57 | 8 | ▲15 | 50 |
| 合計 | ▲1,796 | ▲7,036 | ▲7,018 | ▲15,850 |

日本経済新聞2012年8月2日より作成


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

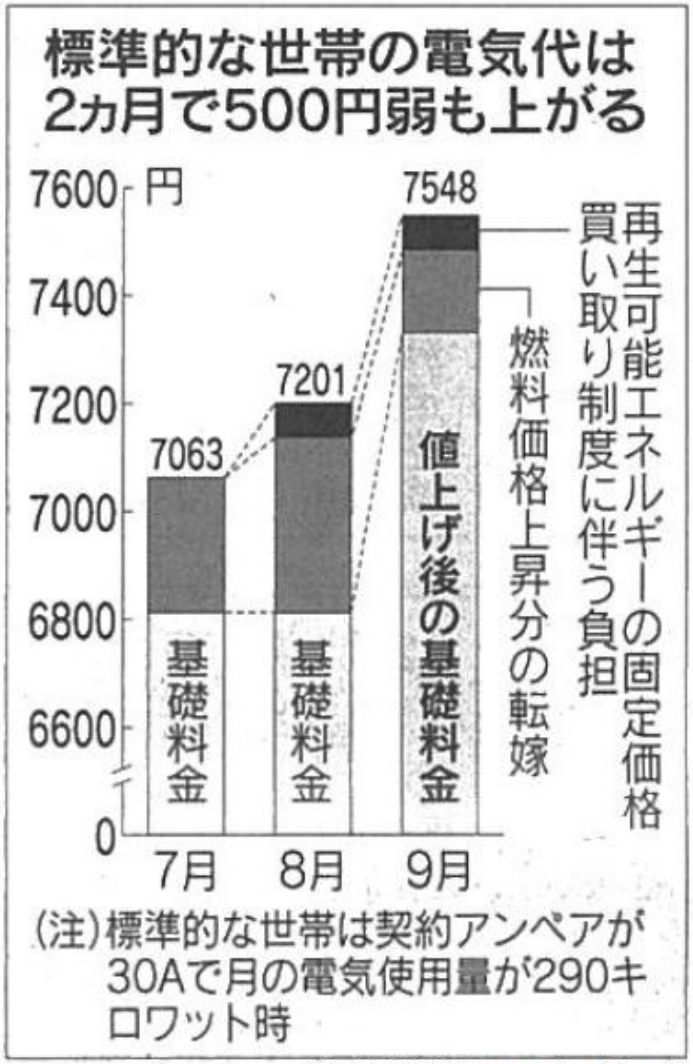
燃料費急増にともなう赤字で
電力会社の財務は急速に悪化
している

電力３社の任意積立金

（単位：億円）

| | 2012年3月期末 | 11年3月期末 | 差額 |
|---|---|---|---|
| 関西電 | 4,200 | 7,270 | 3,070 |
| 九州電 | 3,570 | 5,563 | 1,993 |
| 北海道電 | 585 | 1,485 | 900 |

日本経済新聞2012年7月26日

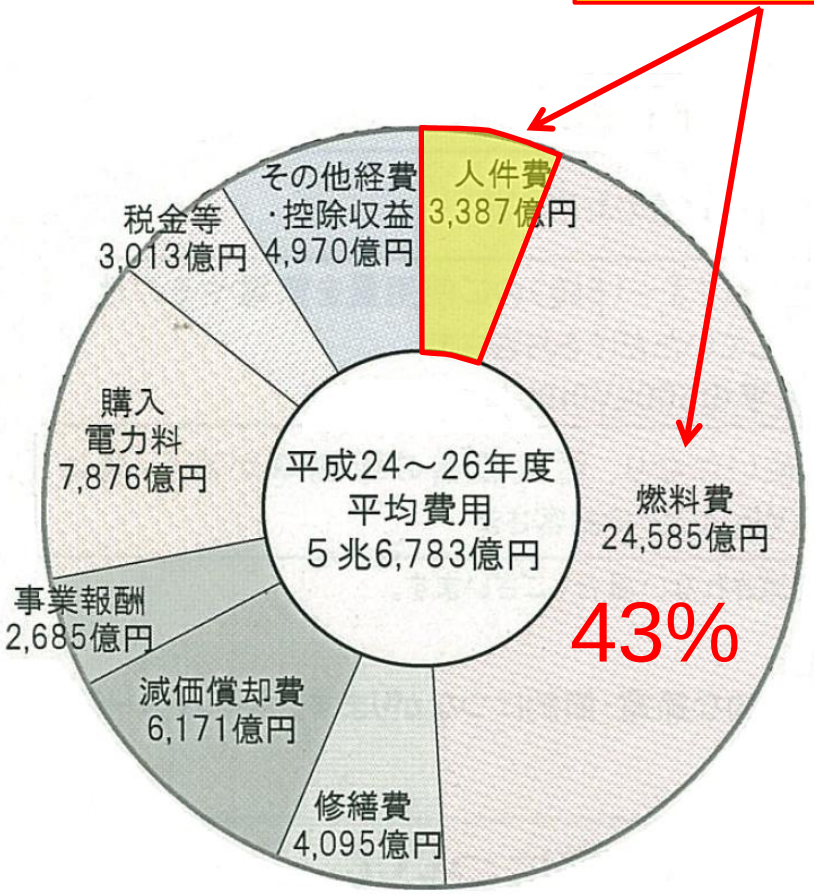



日本経済新聞2012年7月26日


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 東京電力の費用内訳

燃料費が15%上がれば人件費は吹き飛ぶ！




（億円）

| 費用 | | 新原価(A) | 申請時(B) | 差引(A-B) |
|---|---|---|---|---|
| 営業費等 | 人件費 | 3,387 | 3,488 | ▲ 101 |
| | 燃料費 | 24,585 | 24,704 | ▲ 118 |
| | 修繕費 | 4,095 | 4,205 | ▲ 110 |
| | 減価償却費 | 6,171 | 6,281 | ▲ 110 |
| | 事業報酬 | 2,685 | 2,815 | ▲ 130 |
| | 購入電力料 | 7,876 | 7,943 | ▲ 67 |
| | 税金等 | 3,013 | 3,048 | ▲ 35 |
| | その他経費 | 7,098 | 7,237 | ▲ 139 |
| | 小計 | 58,911 | 59,721 | ▲ 810 |
| 控除収益 | | ▲ 2,128 | ▲ 2,097 | ▲ 31 |
| 総原価 | | 56,783 | 57,624 | ▲ 841 |

費用の43%は燃料費である！

2012年8月　東京電力発表資料より作成


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 関電、32年ぶり中間無配

## 12年度中間業績見通し 最終赤字は1250億円

八木　社長

関西電力は20日、2012年度の連結中間業績見通しを公表した。原子力発電所の長期停止に伴い火力燃料費負担が膨らみ、最終損益は1250億円の赤字を見込んだ。中間配当見送りも同日の取締役会で決定。無配は第2次オイルショックにより石油価格が高騰した1980年度以来32年ぶり。通期業績、期末配当予想は依然「未定」としているが、大飯発電所3、4号機（PWR、各118万キロワット）以外の原子炉が再稼働できなければ大幅な赤字を余儀なくされる見通しだ。

業績見通しによると、販売電力量が前年同期の739億キロワット時より減少し710億キロワット時となるものの、燃料費調整により販売価格が上昇することなどから売上高は1兆4千億円を予想した。しかし燃料費の膨張が収益を圧迫。中間期としては過去最大の赤字額となった。単独業績見通しも経常損益は2千億円、最終損益は1370億円の赤字を計上する。

八木誠社長は同日の会見で、無配を決定したことについて「厳しい収支状況が今後も続く見通しの中での決定だ。株主の皆さまには長年実施してきた中間配当を実施できず、深くおわびする」と陳謝した。

中間配当見送りの経営責任を明確にするため、賞与を含めた年間役員報酬の減額も決定。会長・社長は30%、社内取締役は役職に応じ20～30%減額するとした。また、経営効率化の余地を検討した結果、今年度は昨年度の年間1600億円を上回る年間1800億円のコストダウンを実施する方針も明らかにした。内訳は設備投資の厳選・新工法の適用で500億円程度、研究開発の優先順位見直しで300億円程度――などが柱。

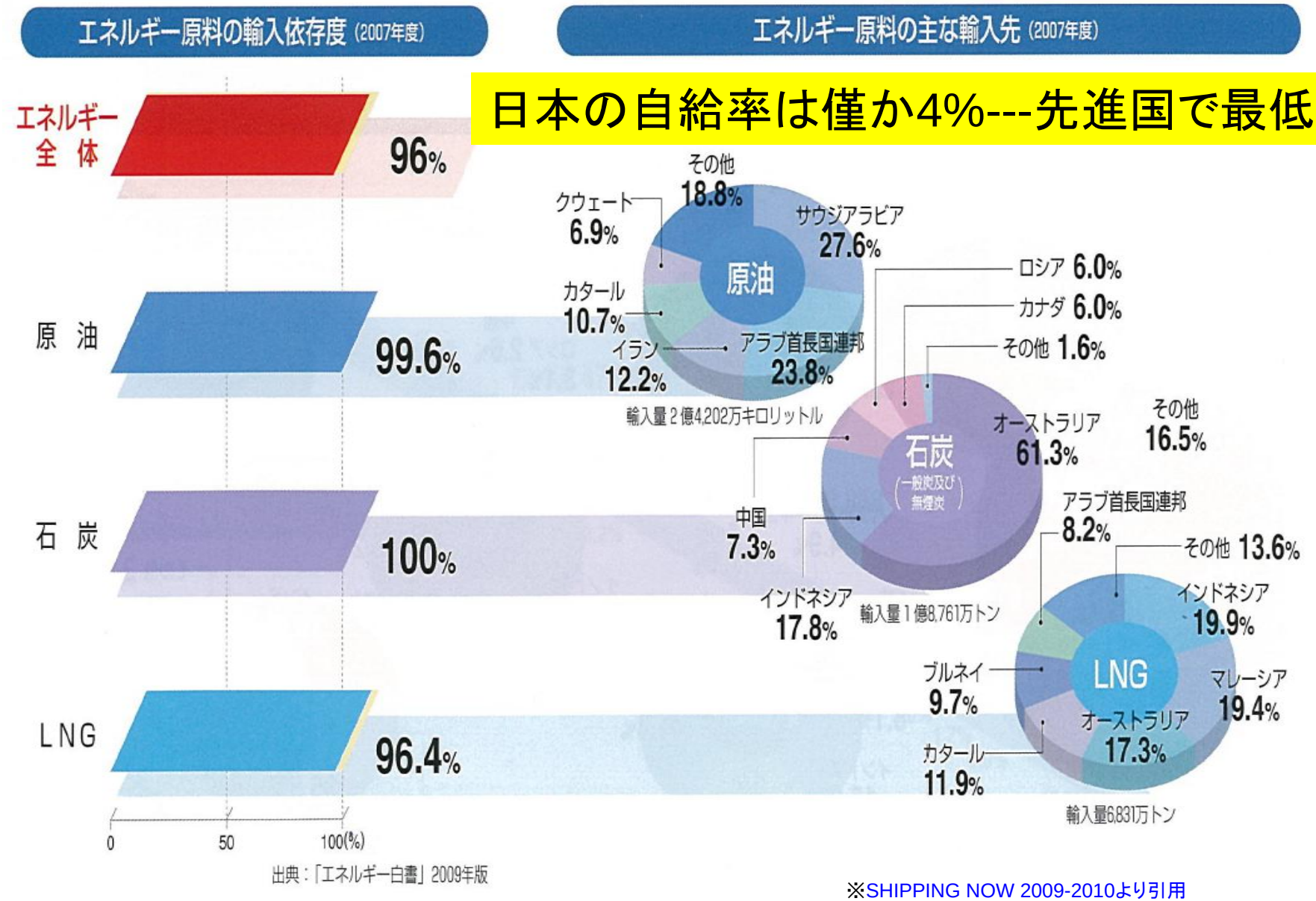
電気料金値上げについて八木社長は「大飯3、4号機以外の再稼働が見通せない中、燃料費負担が増加しているのは事実だが、現時点では内部留保を取り崩すことで吸収したい」としつつ、「この状況が長期化すれば安定供給にも支障が出る。あらゆる選択肢を検討せざるを得ない」と述べた。

（3面に関連記事）

電気新聞2012年9月21日


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

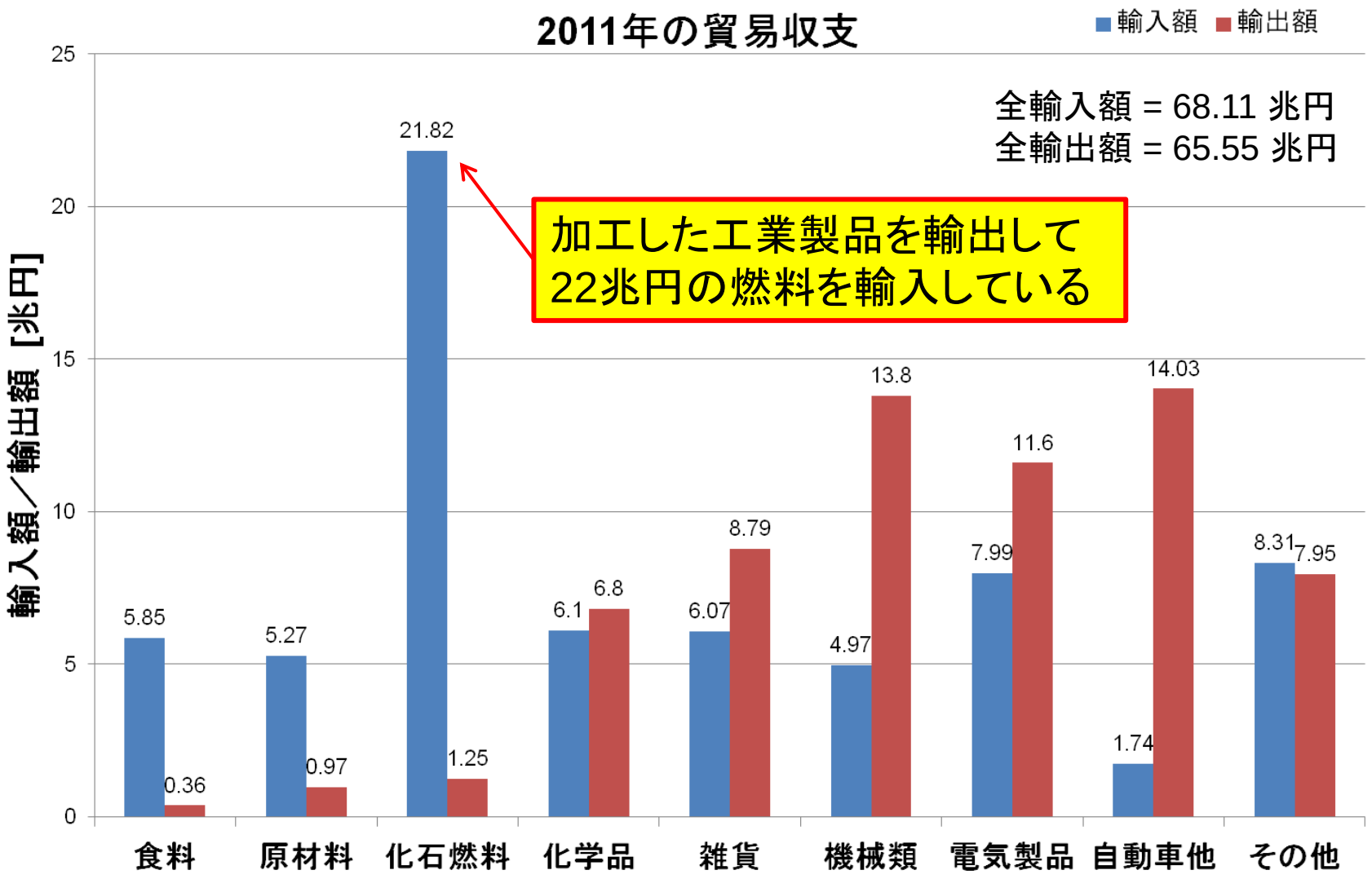
# 日本のエネルギーの海外依存度(2007年度)




※SHIPPING NOW 2009-2010より引用


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

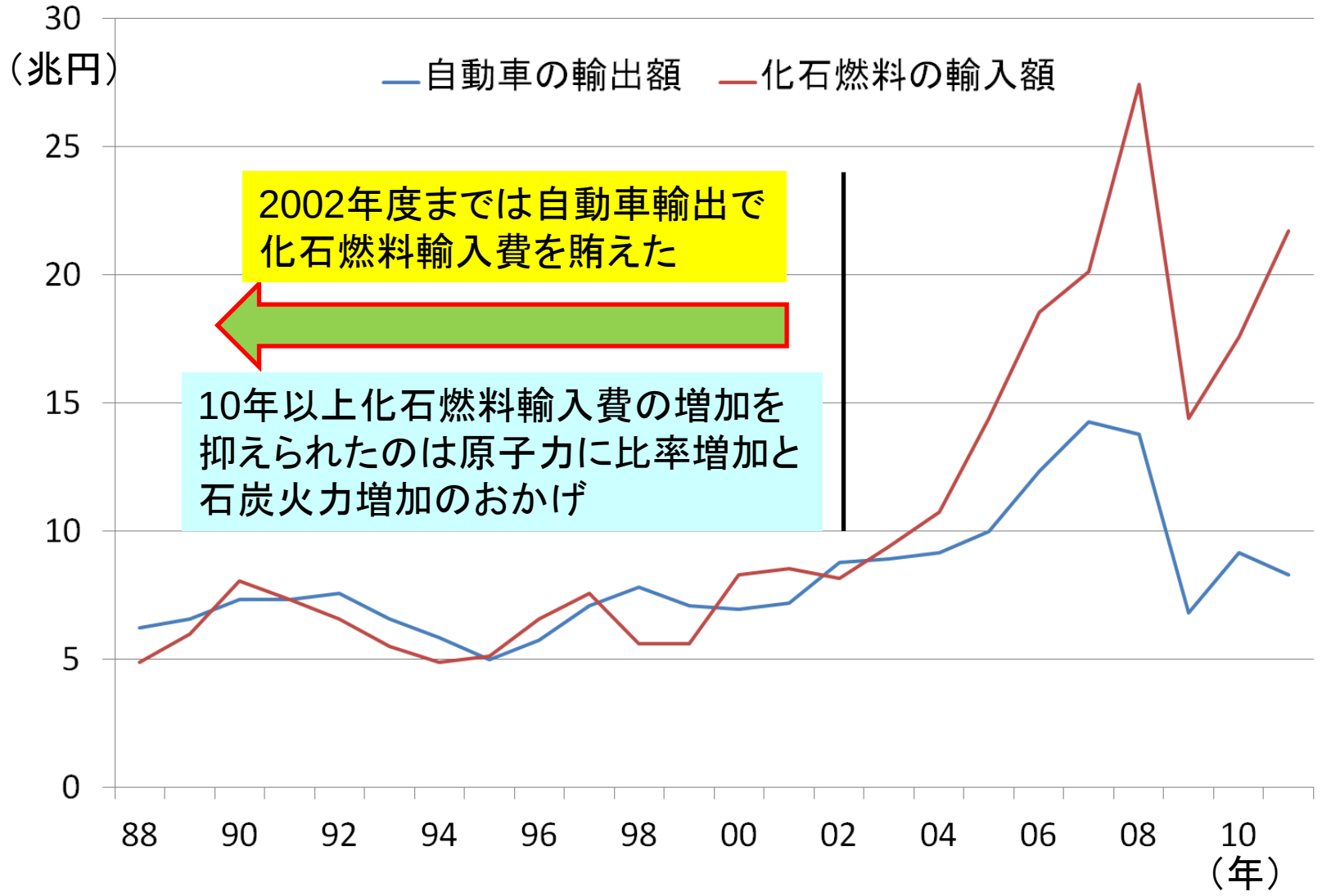
# 日本の貿易収支(2011年)




悲しいかな日本国内で付加価値を高め輸出している工業製品がなければ燃料を買えない！


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 化石燃料の輸入額と自動車の輸出額（年額）




資料：財務省 貿易統計

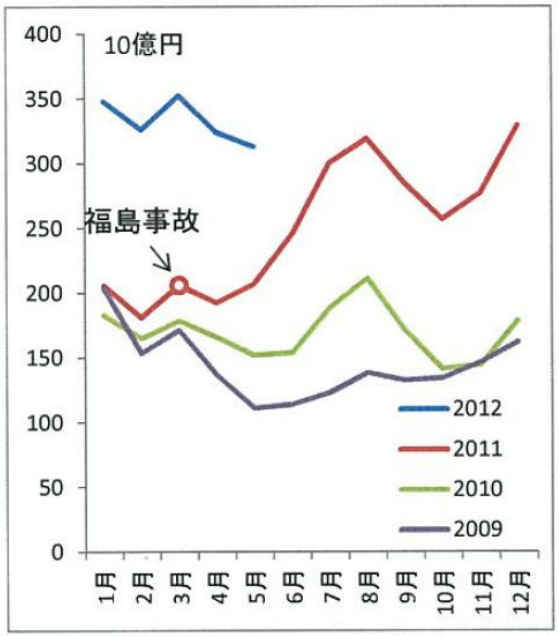

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 原発停止で急増する火力発電の燃料費

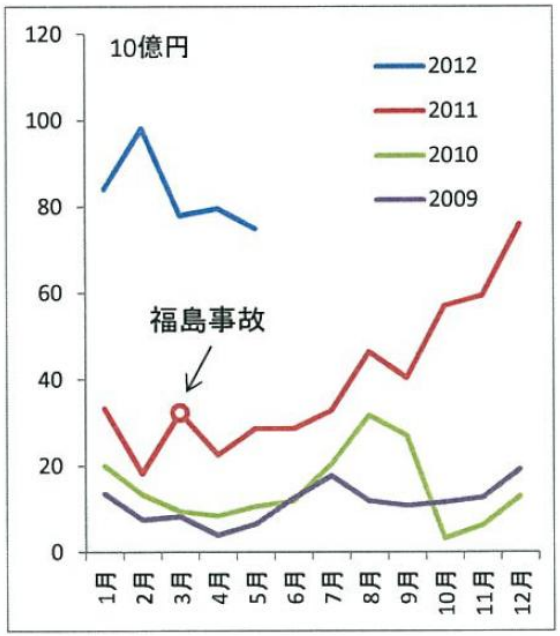
- 原発稼働停止で急増する火力発電の燃料費
- 燃料費増加で国富流出、国民負担の増加
  - 2011年度:2.3兆円増 (1.8万円/人)、電力1kWhあたり2.4円増
  - 2012年度(見込み):3.1 兆円増 (2.5万円/人)

## 発電用燃料費(10電力会社計)

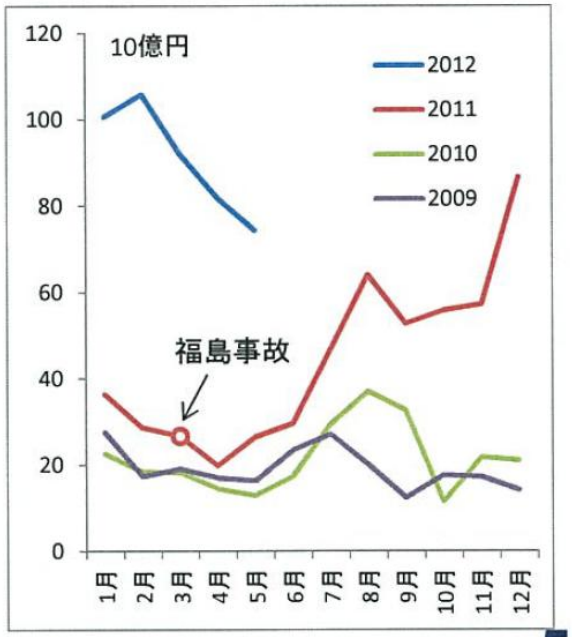
### 天然ガス(LNG)




### 原油




### C重油



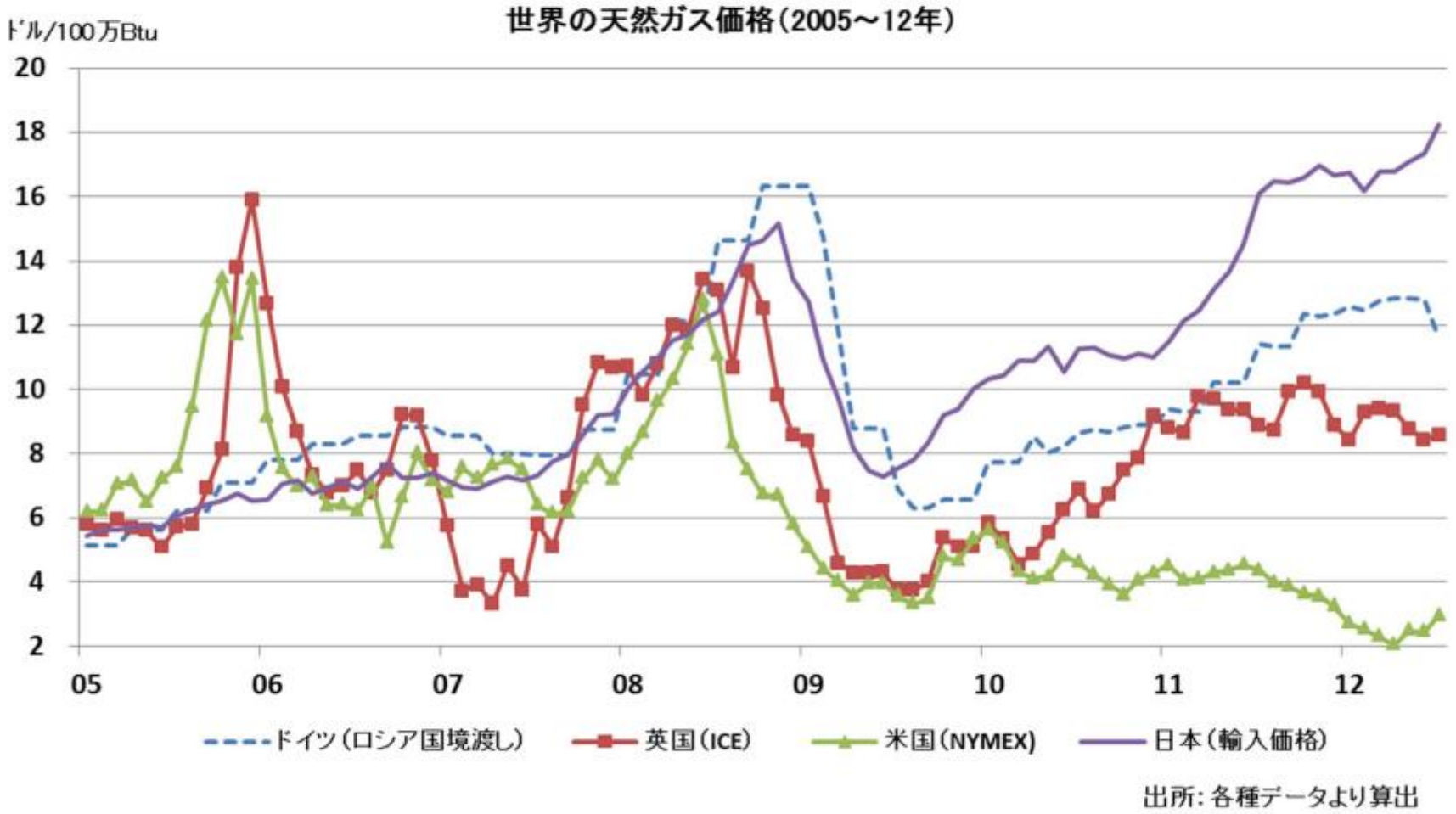

出所) 経済産業省「電力調査統計月報」、財務省編「日本貿易月報表」、経済産業省編「資源・エネルギー統計月報」より作成

5

国内温暖化ワークショップ(2012年7月24日) 東大 小宮山助教 資料より


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 各国の天然ガス価格

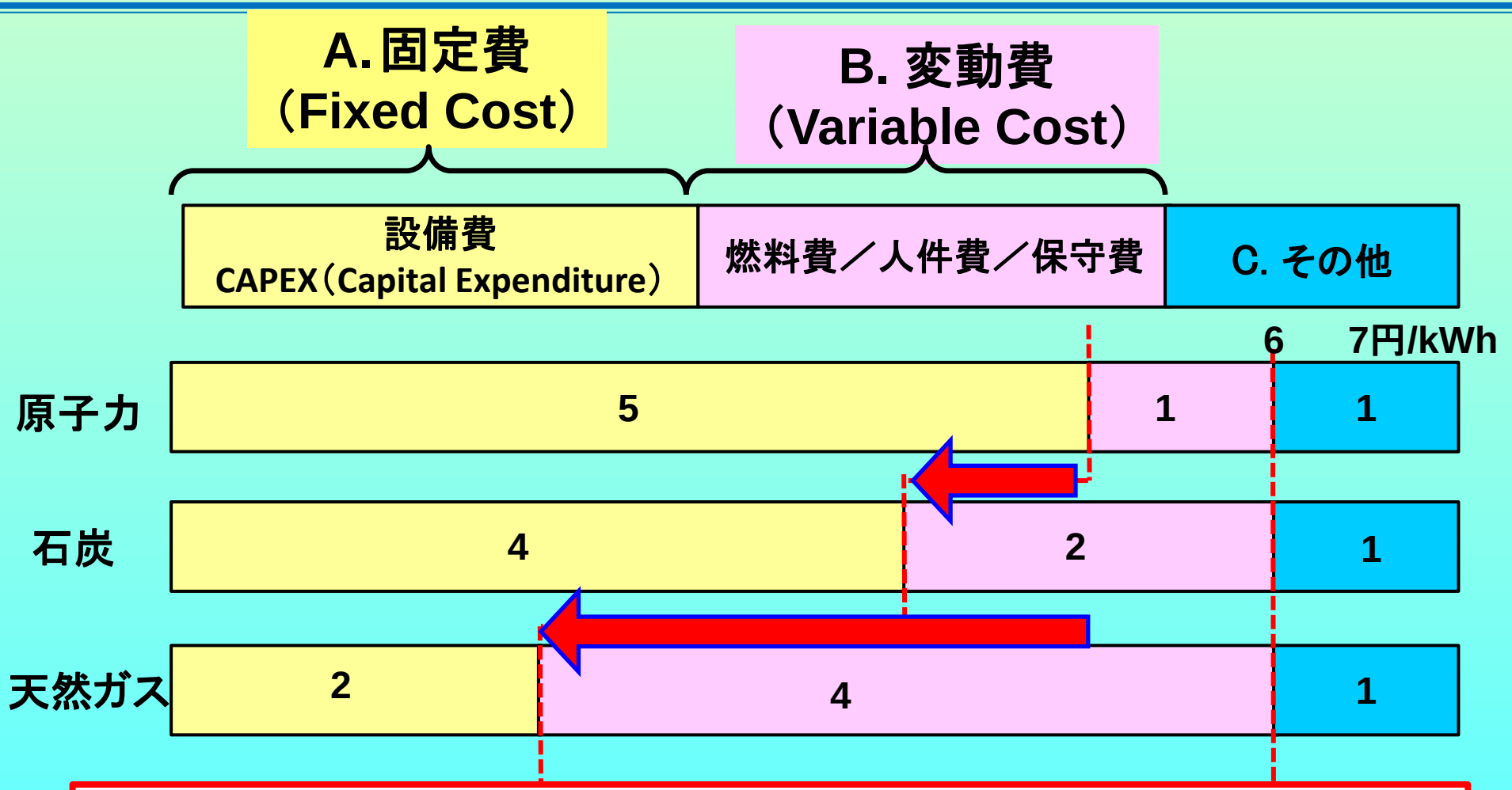



第15回CEEシンポジウム「天然ガスシフト―その期待と課題―」
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構　野神　隆之氏講演資料より

14


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 燃料費の急増の理由----発電原価の構成




- 発電原価が同じでも固定費の高い電源は稼働しないと一遍で赤字に転落
- 変動費(特に燃料費）は年度単位---これが急増し、年度予算が大赤字に
- 各電力とも2年後には電気料金値上げは必至


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 原子力発電所再稼働停止の比喩

原子力
発電所

稼働停止

・火力発電の増加
・燃料費の急増

火力発電所運転

電力料金
値上げ

出来なければ
倒産！

建設資金
手当

銀行からの借入金
社債発行

減価償却費

利息支払

電力会社
大幅赤字

高級
マンション

マンション退出

・ホテルに宿泊
・ホテル代急増

給料増必要

出来なければ
破産！

購入資金
手当

住宅ローン
銀行ローン

元本・利子分割払

家計
大幅赤字


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# “再稼働反対”ということは “電力料金値上げ賛成”と同じこと

東京の原発再稼働反対デモ

写真：産経新聞

再稼働反対！

||

同義語

電力料金値上げ賛成！


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本人の欠点
# “定量的検討をせず雰囲気で決める

1. 事実を直視せず雰囲気で物事を決める。
2. 特に“定量的検討”とそれに基づく判断が欠如。
3. 太平洋戦争でも露呈:
   - 国力の差を無視(鉄鋼生産量、エネルギー量、など)
   - 兵站(Logistics)無視: 多くの亡くなった日本軍兵士は戦死ではなく餓えによる衰弱死(ガダルカナル、ニューギニア、インパール、…)
4. $CO_2$ 25%削減案はその典型:
   --- 定量的根拠なし---
5. **現在の原子力再稼働問題と電力料金の関係が不可分の関係にあることが周知されていない。**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

- しっかりした安全基準を確立して
- 合格した原子力の一日も早い再開を！

再稼働が1日遅れると日本経済はそれだけ疲弊


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツの意思決定の経緯

2011.3.11　東日本大震災
福島第一被災

安全なエネルギー供給に関する倫理委員会

原発は廃止すべし

2011.6.9

メルケル首相演説

・原発を2022年までにゼロに
・少なくとも1000万KWの火力発電所を建設
・再生可能エネルギーを35%に増加（負担増加額は3.5cent/KWh以下）
・800kmの送電網建設
・電力消費を10%削減

2011.3.14

メルケル首相決断

・1980年以前に稼働した8基を即時停止

2011.3.27
ドイツ・バーデン・ヴュルテンベルク州選挙与党敗北。
「緑の党」が首相に。

原子炉安全委員会（RSK）

ドイツの原発は日本と異なり安全

9基の原発を運転継続する根拠となっている

2011.6.30
連邦議会・下院通過
2011.7.8
参議院通過

2011.11
ドイツ3大電力
ドイツ政府を提訴
1兆5千億円の損害賠償


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツメルケル首相の発言要旨（2011年6月9日）

●ドイツは2022年までにすべての原子力を停止。ただし供給不安を無くすために2020年までに少なくとも1000万KWの火力発電所を建設（出来れば2000万KWが望ましい）。あれもいや、これもいやという甘えは許されない。
●再生可能エネルギーを2020年までに35%に増加
●しかしその負担増加額は3.5cent/KWh以下であること（ドイツにおけるエネルギー多消費産業に従事する100万人の雇用を守るため）
●また変動電力の増加に伴う不安定化防止のために800kmの送電網建設（現状100km未満）
●2020年までに電力消費を10%削減

［山本正晴氏訳より］


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツの現状 (1)

- ドイツ　メルケル首相（2012.3.17)：
  - 1980年以前に運転開始した8基を即時停止。
  - 福島第一の事故を受けて2022年までにすべての原発を停止。

- 2011年11月E.ON社、2012年2月RWE社が連邦政府を憲法裁判所に提訴。“政府の方針に従ってやってきたのに突然の方針変更で健全な電力会社の経営ができなくなった”と主張。
- 電力3社の損害賠償請求額は150億€（1兆5千億円）と予想される

[注]ドイツは日本のように再稼働中止などやっていない。残りの9基はブンブン廻っている


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツの現状(2)

## メルケルの訴えにも拘らず、対策は遅々として進まず

●ドイツは2022年までにすべての原子力を停止。ただし供給不安を無くすために2020年までに少なくとも1000万KWの火力発電所を建設（出来れば2000万KWが望ましい）。あれもいや、これもいやという甘えは許されない。

→これらの火力は再生エネルギーのバックアップのためであり、年間稼働率が2000時間以下→投資回収ができないため誰も建設しない（ドイツでは発送電分離がなされたため、発電会社には供給義務無し）

●再生可能エネルギーを2020年までに35%に増加

→短時間停電が増え電気の質が急激に低下→工業製品の質低下

●しかしその負担増加額は3.5cent/KWh以下であること（ドイツにおけるエネルギー多消費産業に従事する100万人の雇用を守るため）

→今必死になってFITの補助額をこまめに切り下げている

●また変動電力の増加に伴う不安定化防止のために800kmの送電網建設（現状100km未満）

→送電線建設は住民の反対で遅々として進まず

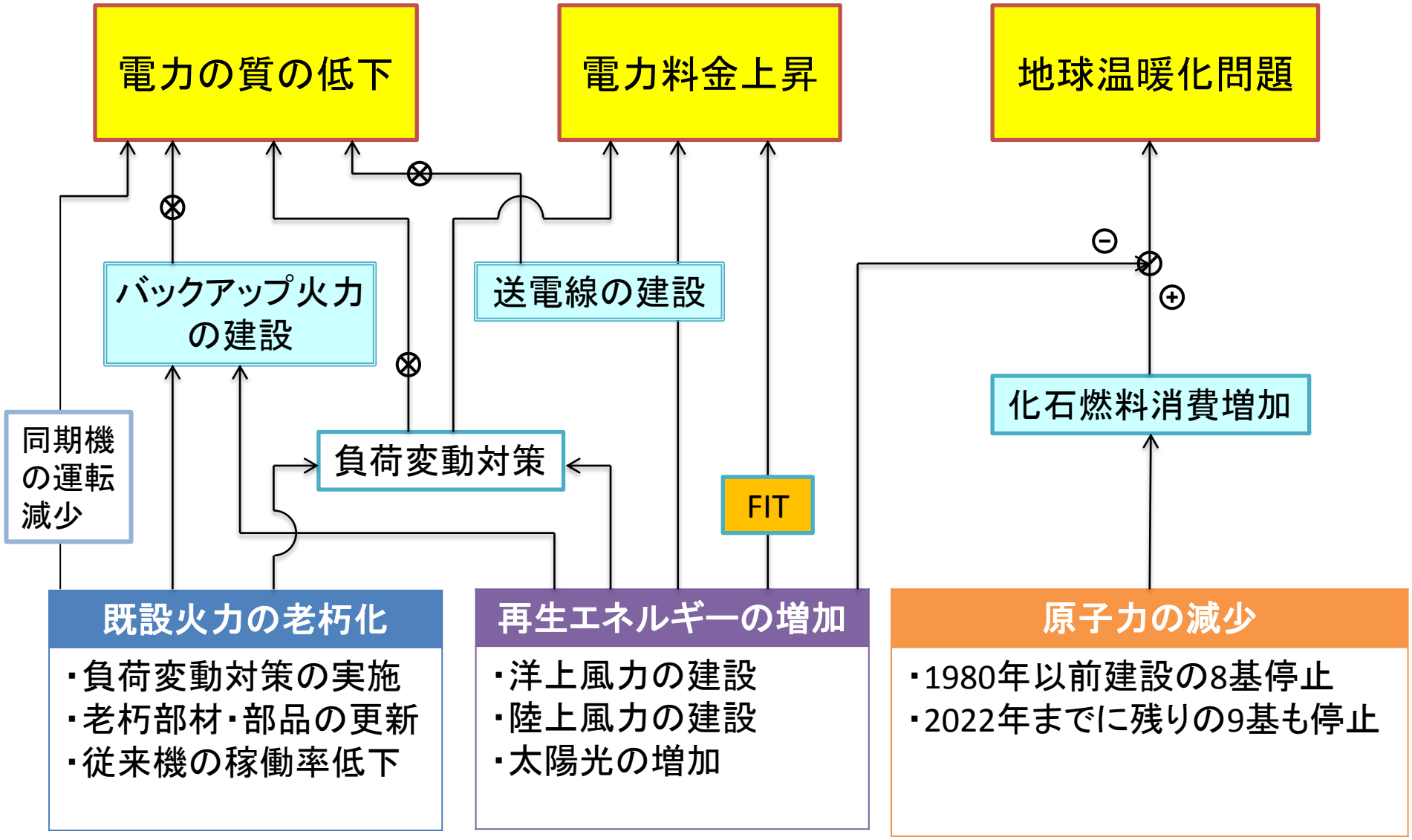
●2020年までに電力消費を10%削減

供給不安に対し責任を取る人がいない

［最大の問題点］2年前のUnbundling（発送電分離）により電力会社に供給義務無し


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツ電力の問題点





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ドイツ電力の危機

1. 再生エネルギー電力（洋上風力・陸上風力・太陽光）の大幅増加
2. バックアップ電力の建設不足
3. 送電線の建設不足
4. 送電コントロール（ENTSO-E）の法整備・ルールづくりの遅れ

(ENTSO-E : European Network of Transmission System Operators for Electricity)

電力料金の高騰と電力の質の低下が必至の状態

⇩

最大の原因は2年前のUnbundling ⇨ 誰が安定供給に責任を持つのか？

⇩

発電・送電・配電がそれぞれの利益を追求し、無責任体制に!!


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 質の良い電気---日本の貴重な財産

- 日本全国至る所で0.2Hzの超高品質の電気が自由に好きなだけ使える→日本の産業競争力の源泉
- 部品産業・中小企業・個人も等しくこの恩恵を受けられる→日本は至福の国である！
- 発展途上国における向上運営の苦労→必要な良質の電気が得られない！→工場建設は自家発電設備の建設から
- 停電や不安定電源の苦労をした人でないとこの有難味はわからない


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本のものつくりを支える基幹技術

高品質のネジは高品質の電気がないと作れない


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 燃料費の削減はどうしたらよいか？

①使用量を減らす→発電効率向上
②燃料を安く買う→交渉力ーOPTIONを持つ
③再生エネルギー増加


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 火力発電の急増でも問題解決の方法は無いのか？

1. 燃料消費量の削減による費用増加防止
2. 同時に$CO_2$発生量を削減し地球温暖化防止

**➢火力発電の効率向上が唯一の解決策**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

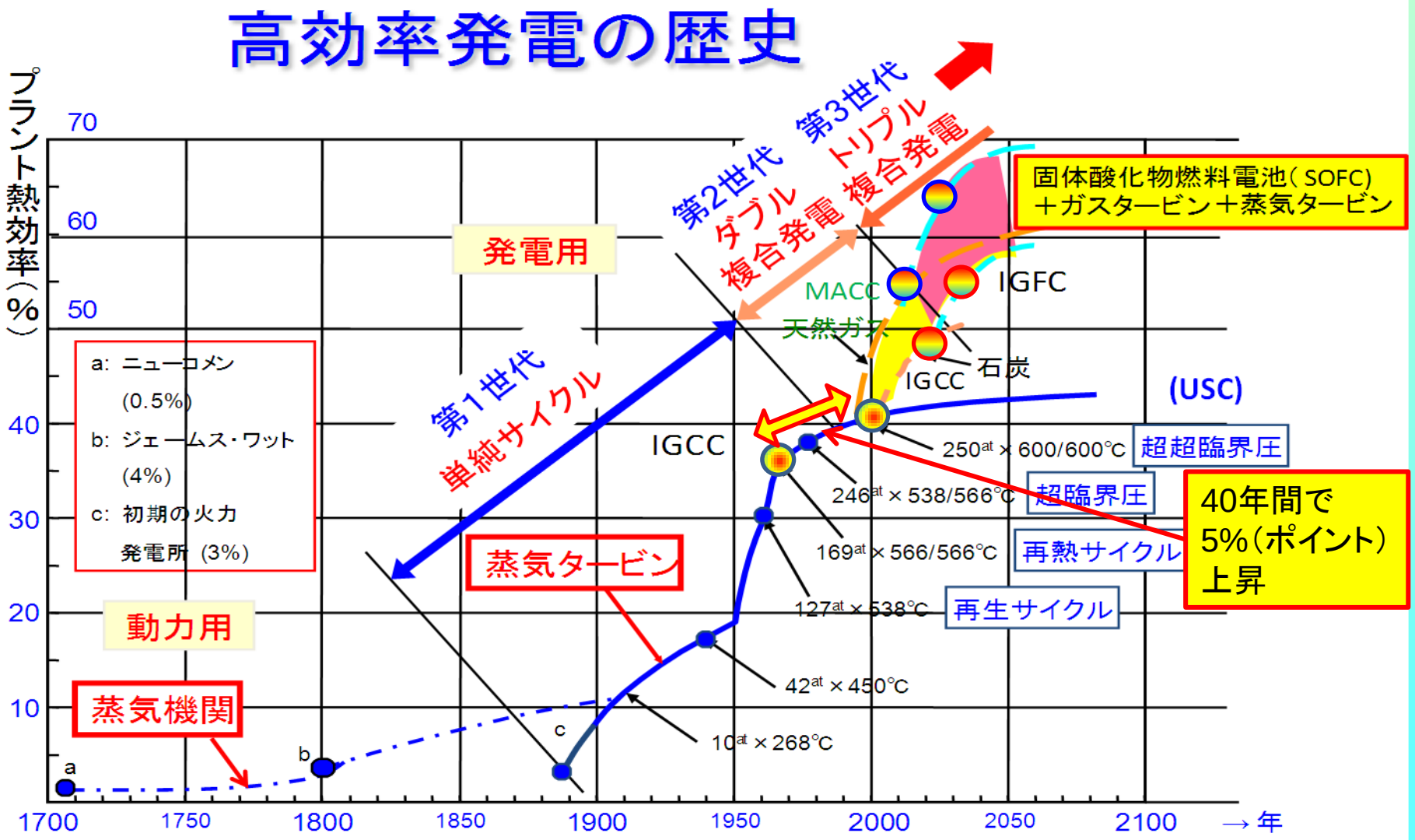
# 3. 高効率発電技術の歴史と今後

◆ 発電技術は次の3世代に分類される。
①第1世代：従来型（ボイラータービン）： USC
②第2世代：複合発電（IGCC）
③第3世代：トリプル複合発電（IGFC）

◆ 第1世代の蒸気タービンの時代は100年以上続いた。
◆ しかし今、限界にきており、次の世代に移っている。
---現在は歴史的な変革の時代である
---福島第一の事故と偶然の符合か？


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 火力発電の高効率化の動向

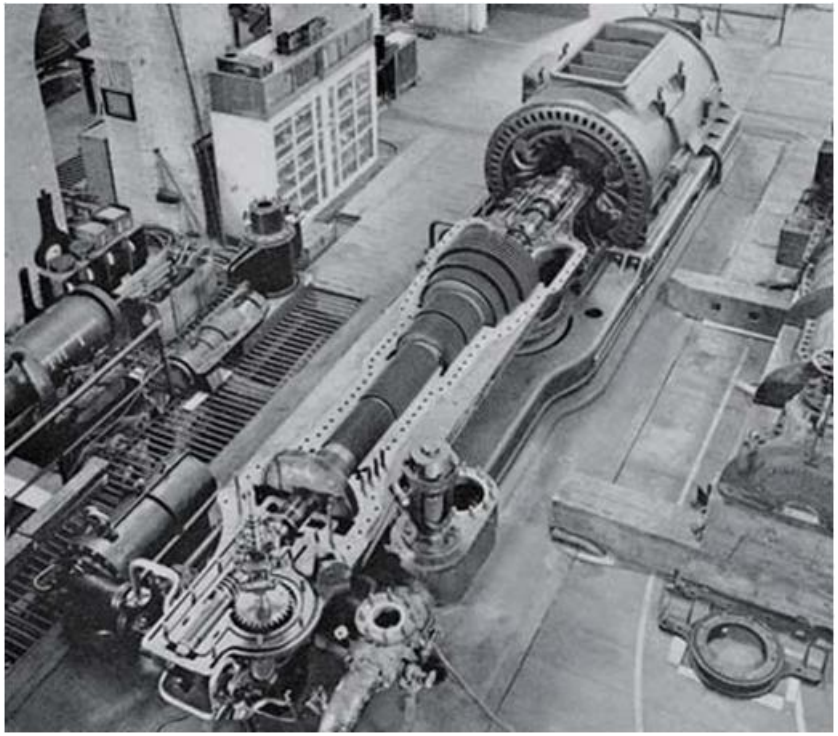




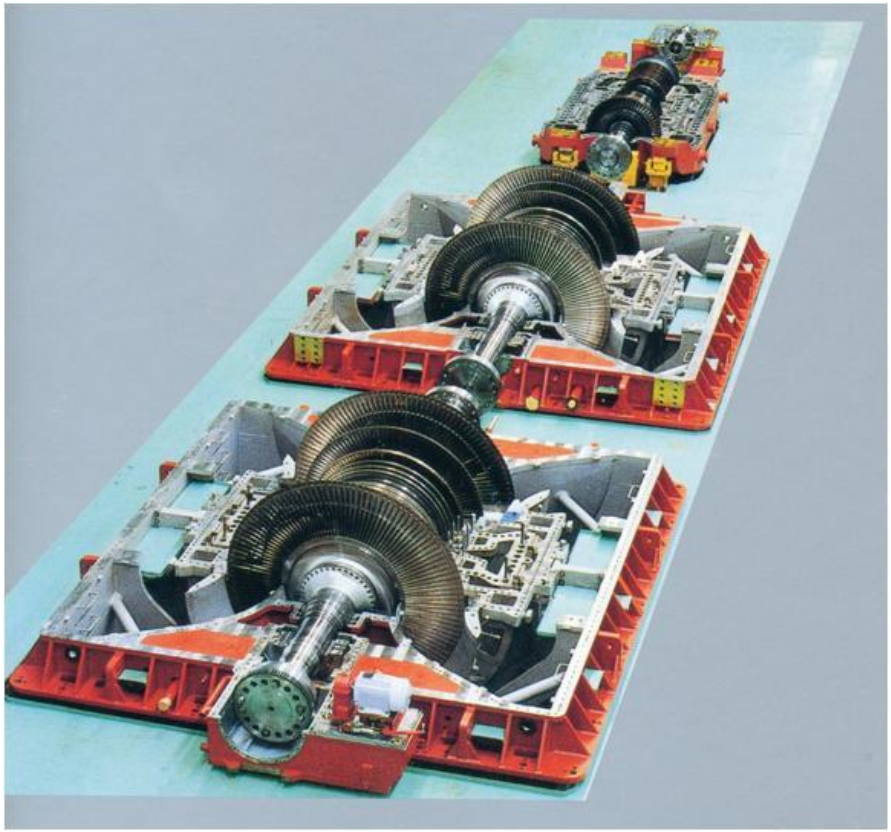
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 第1世代：蒸気タービンの時代

- ボイラで蒸気を発生し、蒸気タービンを回す。終戦後、最新技術を米国から技術導入。
- 約100年以上にわたり火力発電を支えたが、蒸気温度が600℃を超えるUSCとなり、ほぼ技術的限界。またすでに中国はUSCの量産体制に入っており、国際競争力喪失は時間の問題



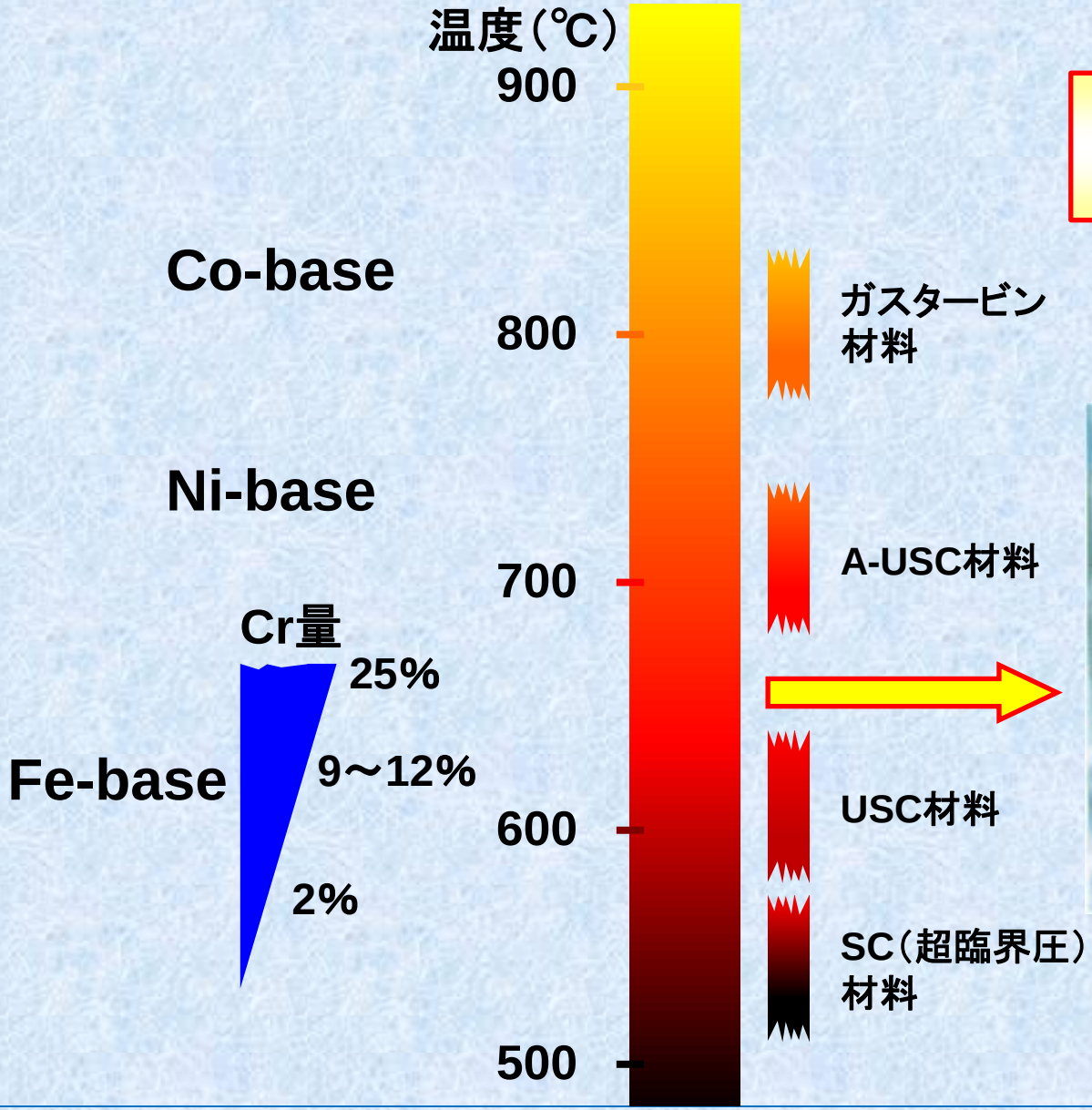
最初の発電用蒸気タービン：500KW（1905年）



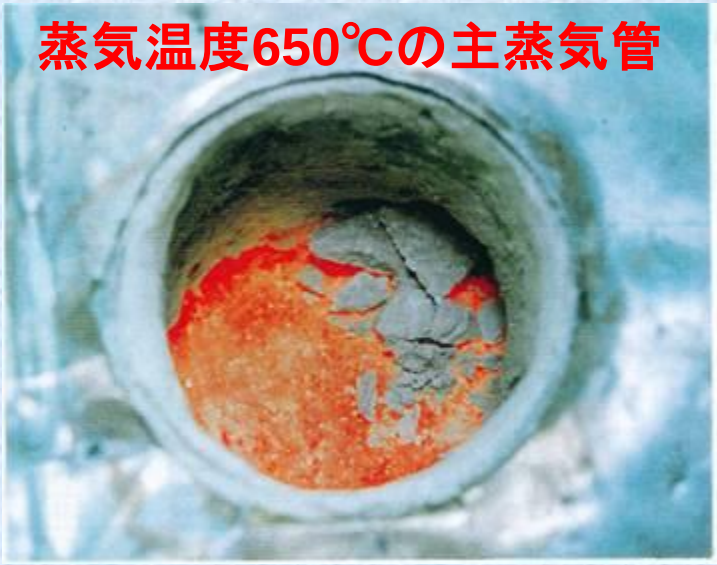
最近の発電用蒸気タービン：700,000KW (1995年）


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 耐熱高温材料




許容応力のベースは
10万時間クリープ強度





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 第2世代：ダブル複合発電：ガスタービン+蒸気タービン

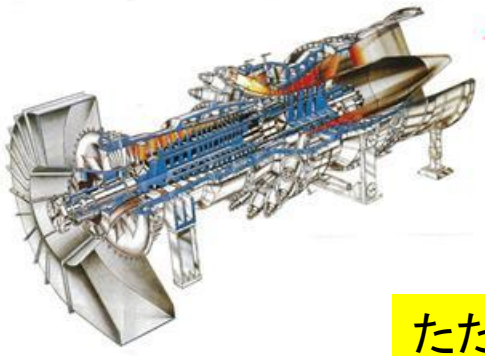
- 1984年ころ日本が世界に先駆けて100万KW級のダブル複合発電を実用化
- ただしGE（米国）、Siemens(ドイツ）の2大ガスタービンメーカが世界を席巻

・蒸気タービン

**複合サイクル**
[ガスタービン＋排ガスボイラ
＋蒸気タービン＋発電機]

複合発電

・航空用ジェットエンジン



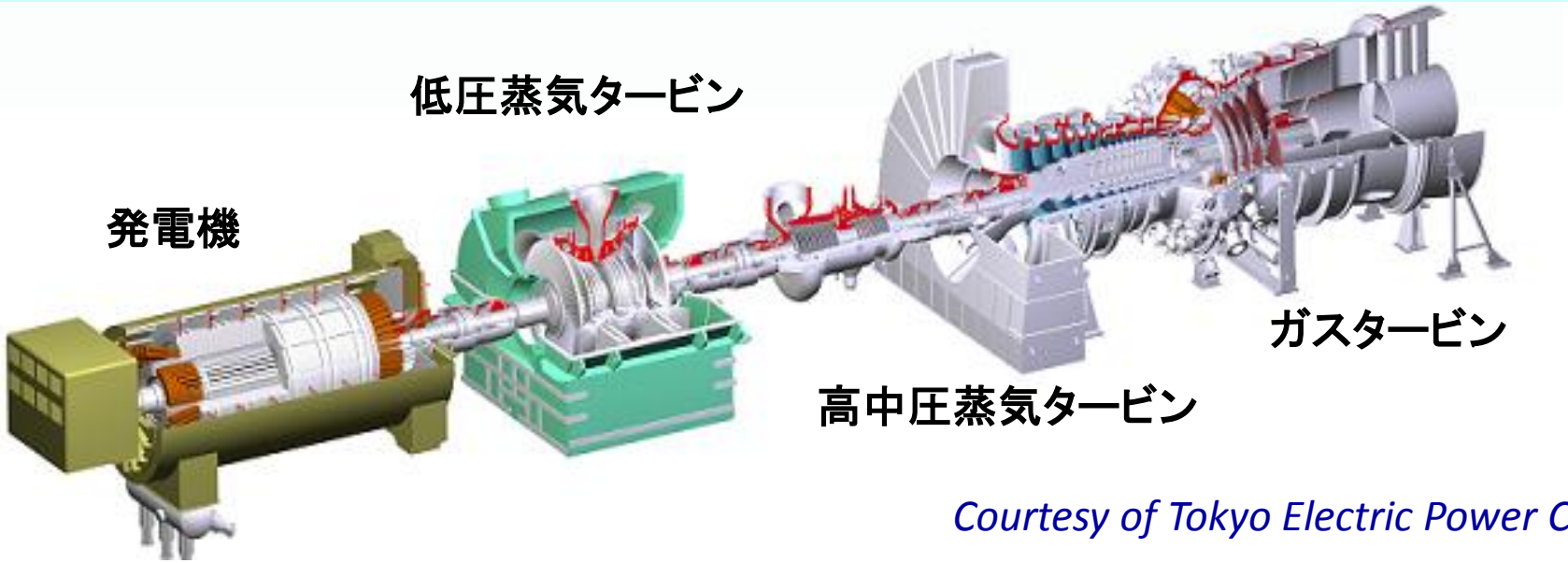
・発電用ガスタービン

ただし日本も世界で初めて1600℃のガスタービンを実用化し、世界をリードしつつある


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 第2世代：天然ガス焚き1,500℃級GTコンバインドサイクル

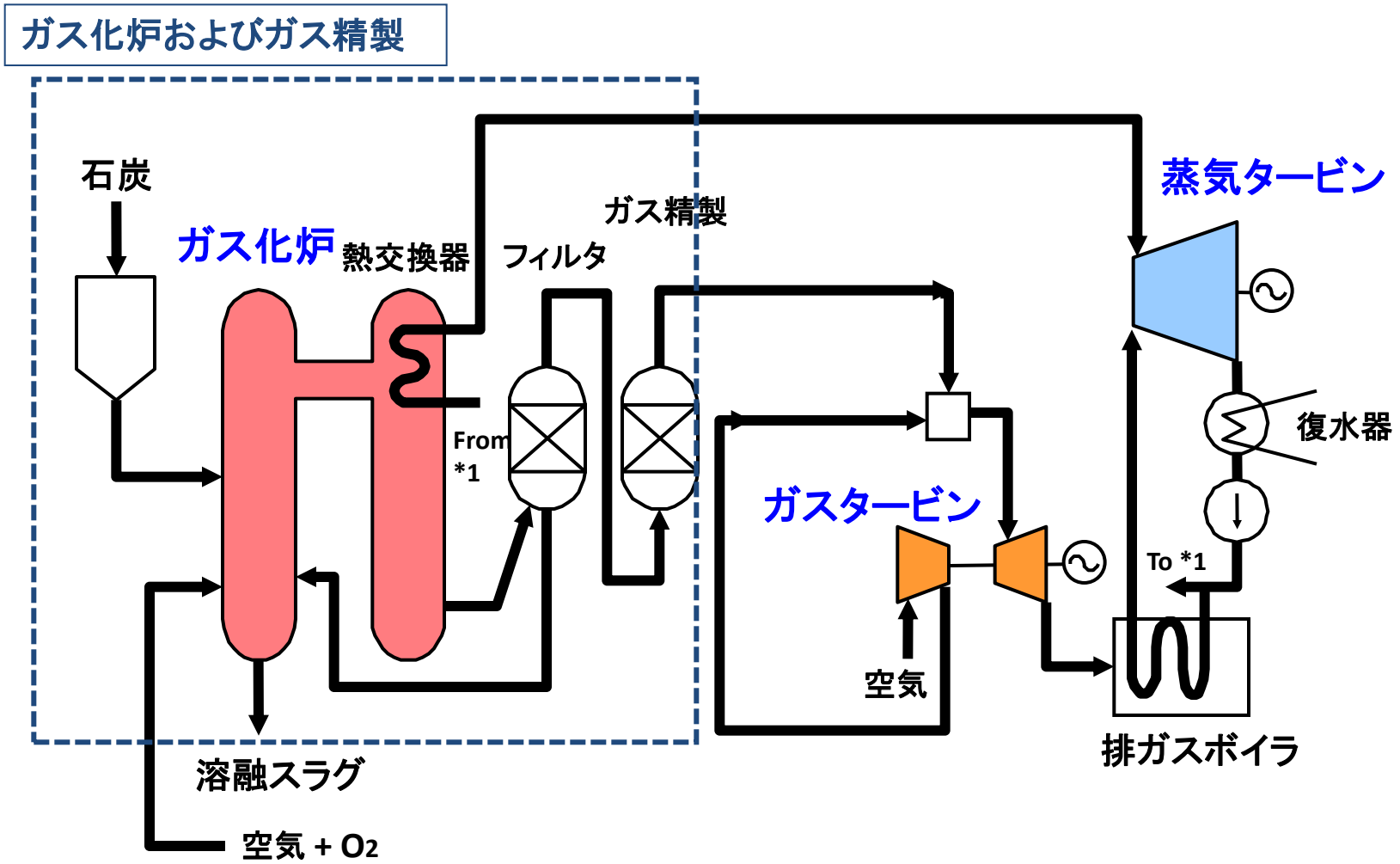
東京電力川崎1-1系列：出力50万KW：発電効率　53%（高位発熱量基準、送電端）




*Courtesy of Tokyo Electric Power Co.*


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 第2世代：石炭ガス化複合発電（IGCC）




**IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

- 日本の最高の技術力を結集したIGCC
  クリーンコールパワー研究所（CCP）
  勿来 25万KW IGCC

- ガス化炉：1700 Ton/日、NOx、SOx、ばいじんが一桁の数値
- 2000時間連続運転達成（2008年）
- 5000 時間耐久運転達成（2010年）
- 2011.3.11の大震災後、4か月で復旧、8月11日以降3カ月連続運転（2238時間以上）
- 48%（送電端、HHV）の高効率が1600℃GTで実現可能

# 勿来の実績を基にIGCCはいつでも商用機が建設できる状況である

①信頼性は世界でも抜群の実績

②コスト競争力も大きく前進

③日本が商用機建設をもたつくとライバル国に追い抜かれる懸念がある

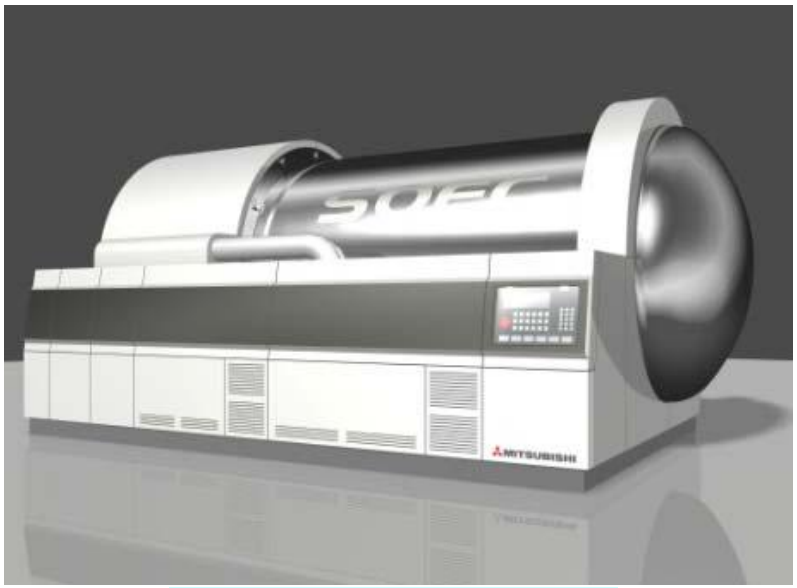

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 火力発電の今後

第3世代

## ダブル複合発電からトリプル発電へ！

高温型燃料電池(SOFC)＋ガスタービン＋蒸気タービン




分散型：250kW機

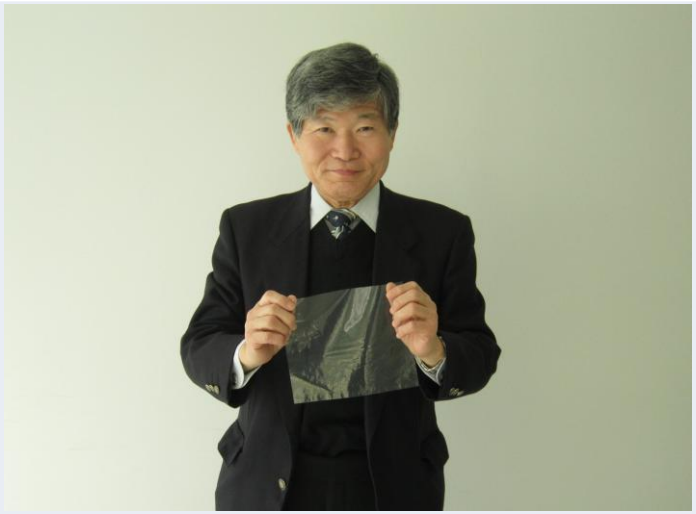
事業用：90MW機

- 2012年からAll Japan体制で事業用トリプル複合発電の国家プロジェクトが始まり、日本が世界を断然リードしている！


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# SOFC: 固体酸化物型 第3世代の火力発電 の切り札!

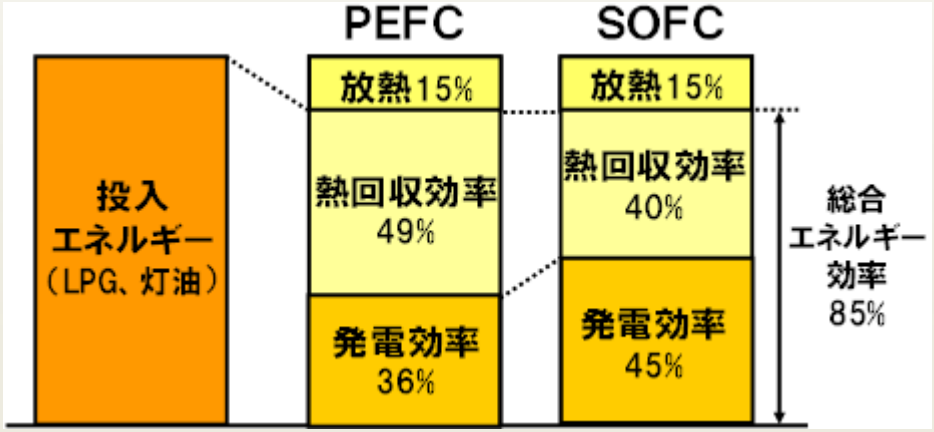
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

| 種類 | 固体高分子型燃料電池（PEFC） | 固体酸化物型燃料電池（SOFC） |
|---|---|---|
| 燃料 | $H_2$のみ | $H_2$，CO |
| 作動温度 | ～80℃ | ～1,000℃ |
| 特徴 | ●低温のため複合発電不可<br>●低温のため活性化にPtが必要<br>●電解質は高分子膜（ポリマー） | ●高温のため複合発電可能<br>●燃料がメタン$CH_4$などの場合エクセルギー再生により効率2割UP<br>$CH_4+H_2O \rightarrow CO+3H_2-205kJ/mol$ |
| |  | |
| 用途 | ●燃料電池自動車 | ●大型火力発電所<br>●エネファームもSOFCに |


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 家庭用燃料電池エネファームの変遷

## SOFCとPEFCのエネルギー効率比較



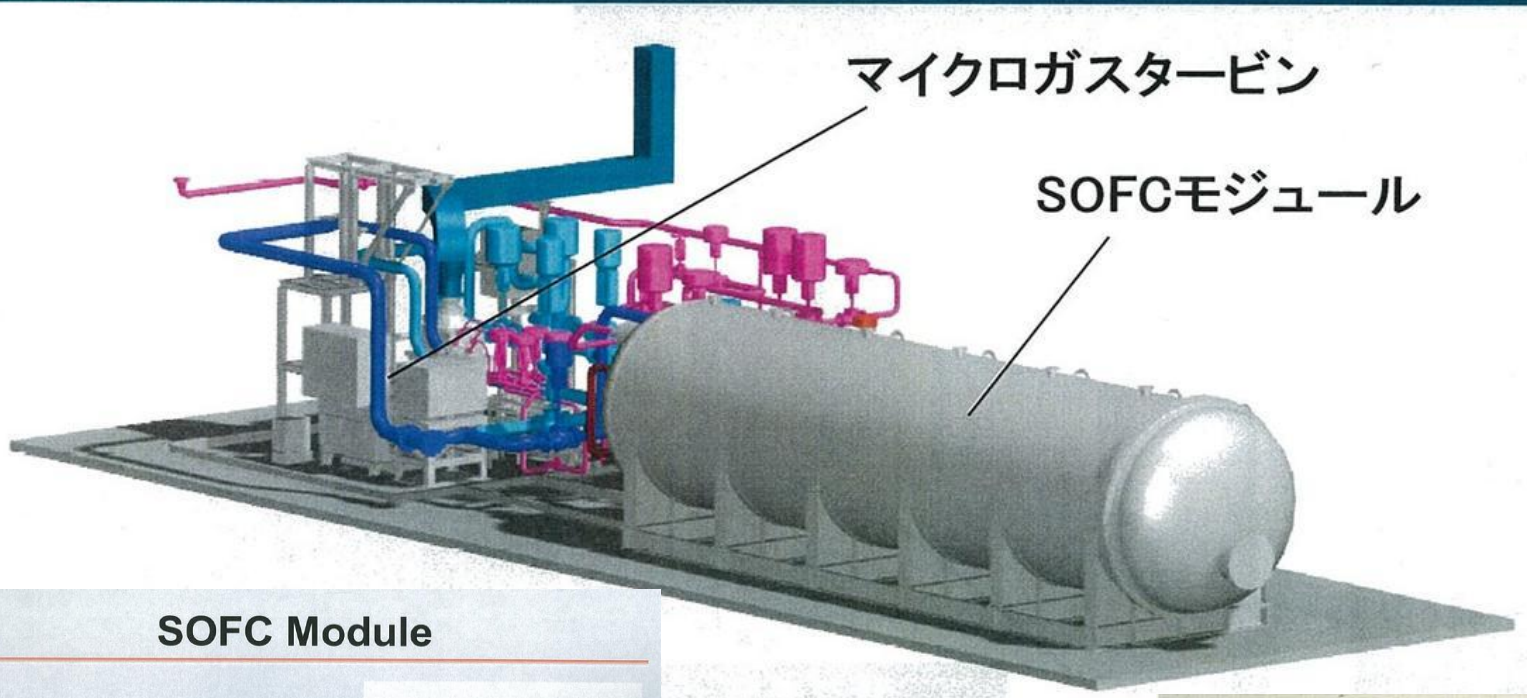

## SOFC型とPEFC型の仕様比較

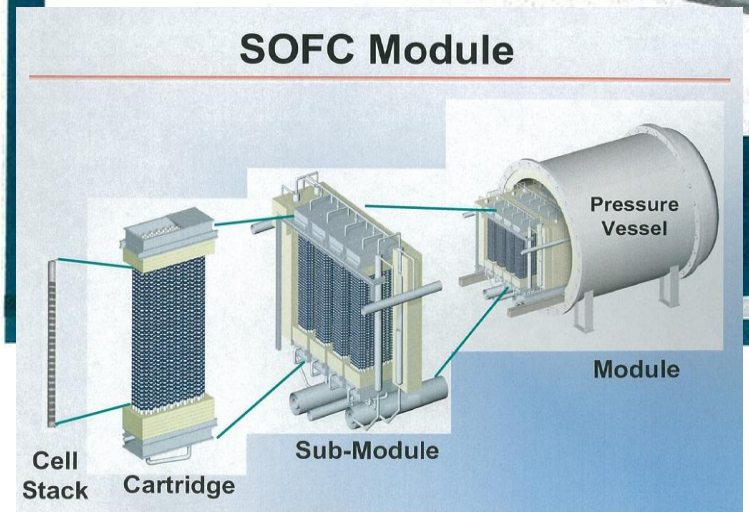
| | | SOFC型エネファーム | 参考：PEFC型エネファーム | |
|---|---|---|---|---|
| | | LPガス、都市ガス仕様共通 | LPガス仕様 | 都市ガス仕様 |
| 定格出力 | | 700W | 700W | |
| 定格発電効率 | | **45%**（LHV） | 37%（LHV） | 35%（LHV） |
| 定格熱回収効率 | | 42%（LHV） | 50%（LHV） | 50%（LHV） |
| 寸法 | 発電ユニット | H900mm×W563mm×D302mm<br>（容積：PEFC型比**▲46%**） | H900mm×W900mm×D350mm | |
| | 貯湯ユニット<br>[貯湯量] | H900mm×W563mm×D302mm<br>（容積：PEFC型比**▲36%**） | H1900mm×W750mm×D440mm | |
| | | [90L] | [200L] | |

※出典：JX日鉱日石エネルギーHPより

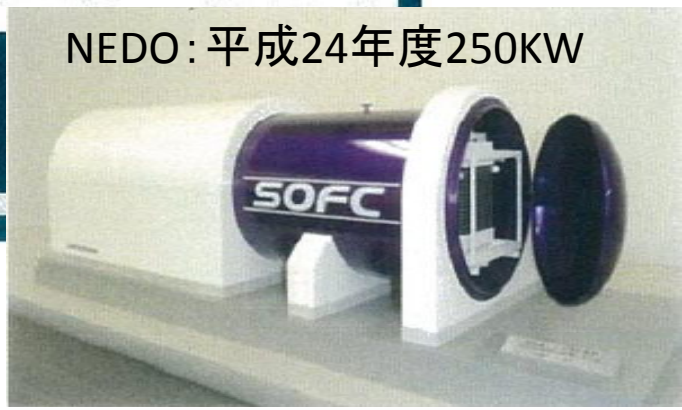

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 200kW級SOFC-MGTコンバインドサイクルシステム



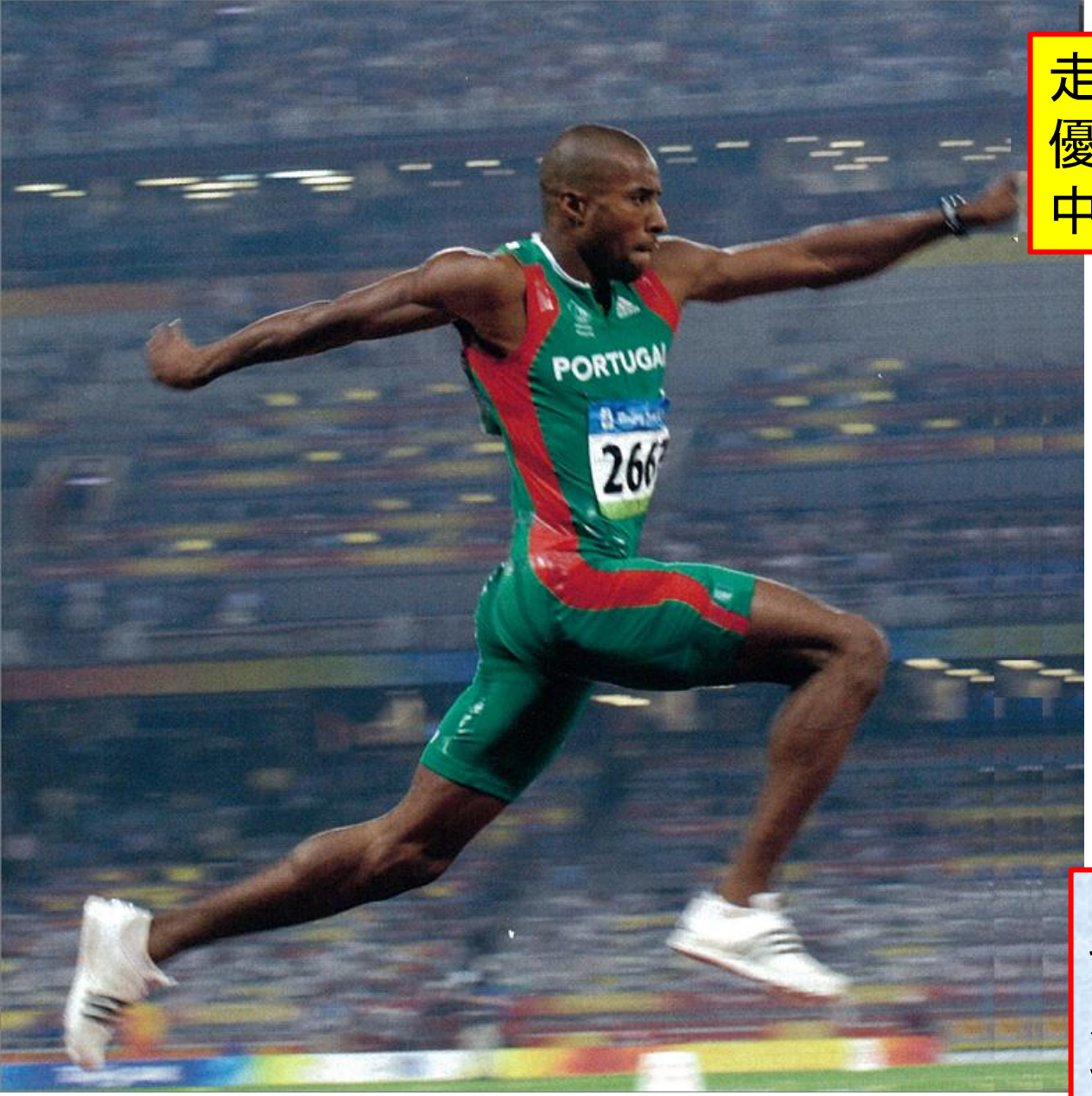




NEDO：平成24年度250KW





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo



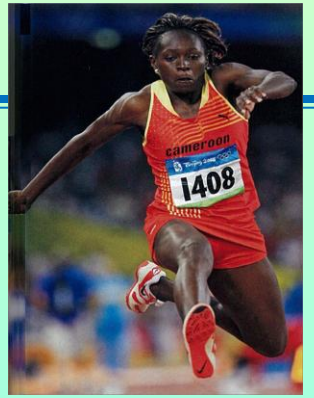

走り幅跳びのオリンピック優勝者でも、三段跳びの中学生に勝てない！

トリプル発電の凄さ！

日本全国の火力発電をすべてトリプル発電に置換えれば、理論的には原子力ゼロをカバーできる


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# トリプル発電は三段跳び




トリプル発電：18m

天然ガス　65%：石炭　55%

3段跳び

ダブル発電：13m

天然ガス　55%：石炭　48%

2段跳び

シングル発電：8m

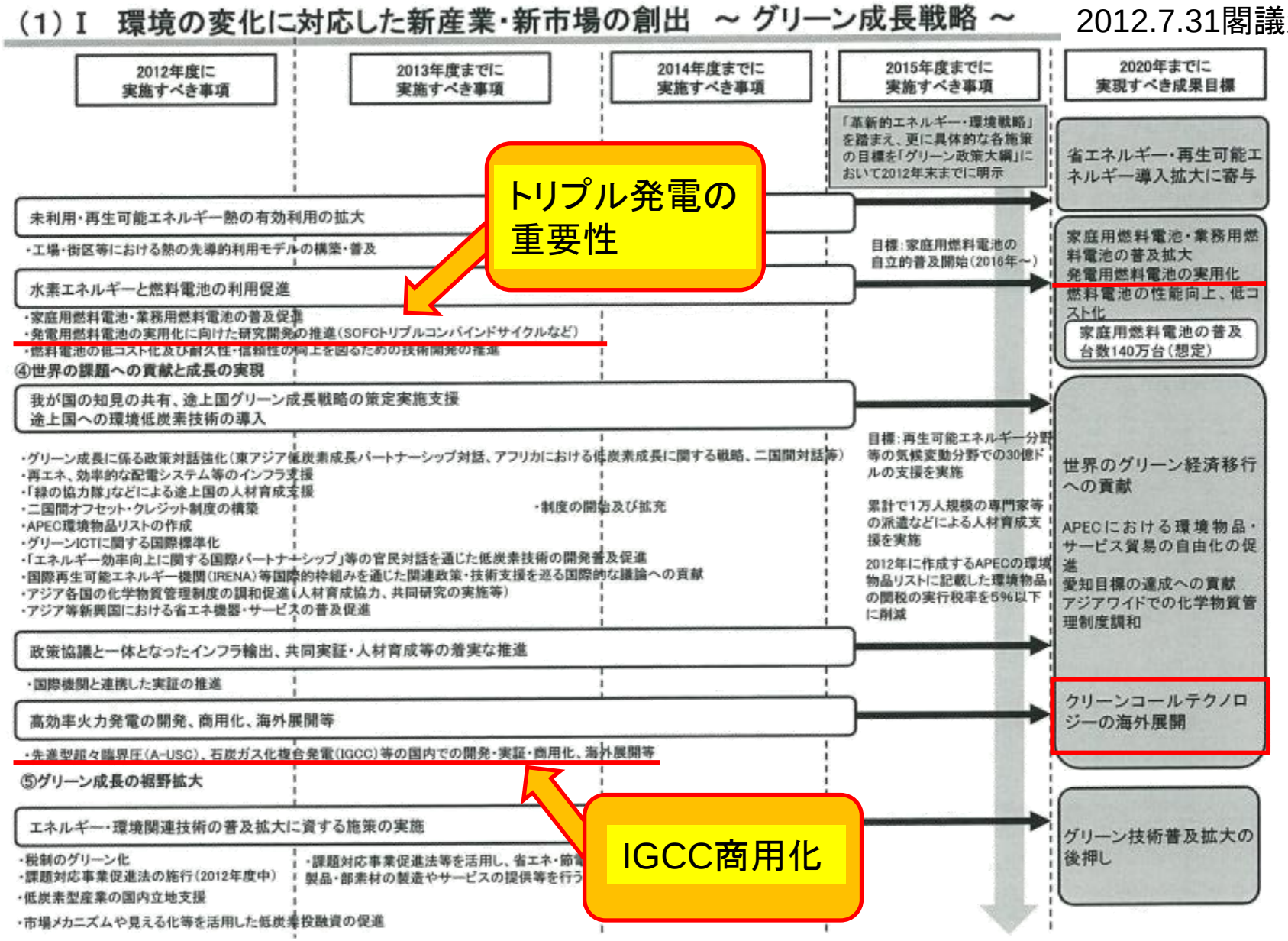
天然ガス　41%：石炭　42%

1段跳び
(走幅跳び)

[注]発電効率はいずれも高位発熱量基準、送電端


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本再生戦略：日本再生に向けた改革工程表




Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
東京大学生産技術研究所
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ② 燃料を安く買うためには どうしたらよいのか？

## お願いすればLNG価格は下がるか？

電気新聞2012年9月24日

9月19日LNG調達価格の低下に向けた議論の場として経産省が開いた「LNG産消会議」

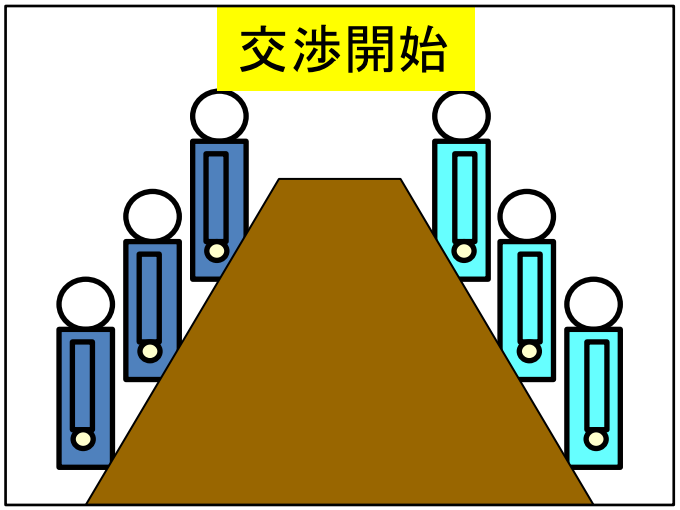
**国際交渉の場では哀願・懇願は児戯に等しい！**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# LNG購入価格は安くできるか？

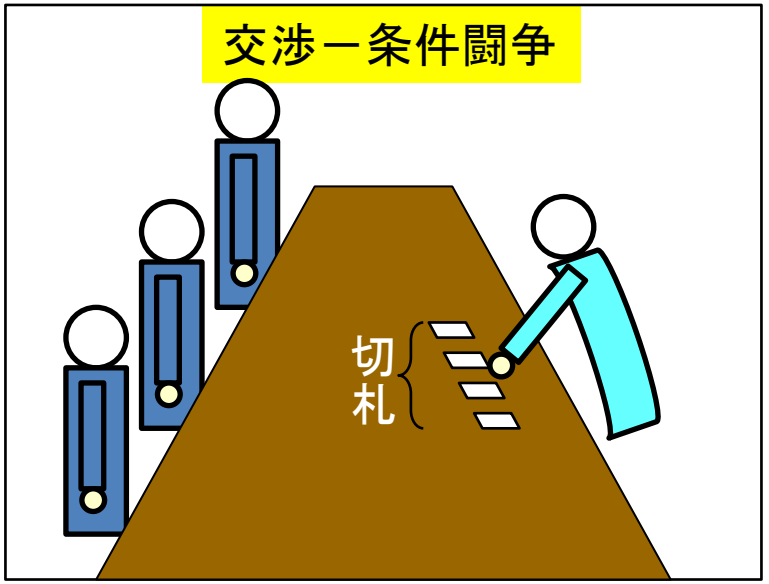
## 国際交渉の現実

Optionを持たなければ
交渉はできない！

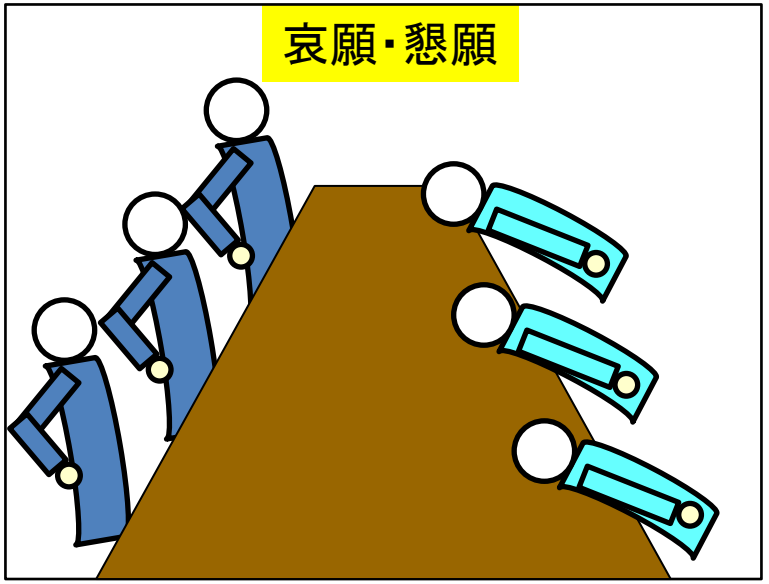



切札あり
オプションあり

Negotiation




Plea - Petition -




切札無し
オプション無し

土下座外交

➢ negotiateの語源は“Noということを楽しむ”こと

Latin : *negotiatus* pp. of *negotiari*
--- *to carry on business*
from *negotium*
--- *business*
from *neg-* *not*
*otium* *leisure*

(from Merriam Webster’s Collegiate Dictionary)


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 一つのバスケットに卵を全部入れてはいけない

- リスクヘッジ
- 危険分散
- 交渉力オプション

● 手を拱いていては、まともなLNGの価格交渉もできない！

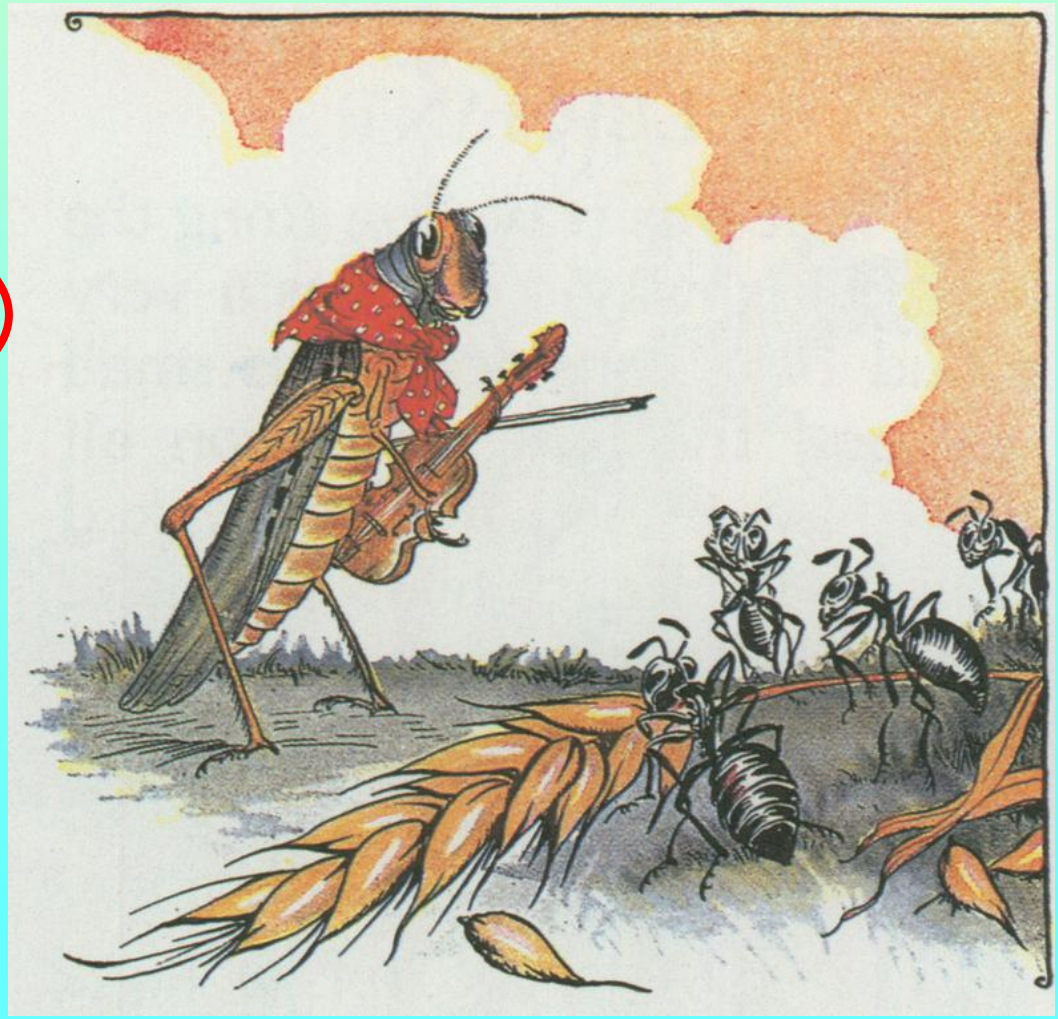
● 今、大事なのは世界最高効率の石炭火力を国内にしっかりと建設すること！


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# アリとキリギリス

エネルギーセキュリティは国家の最優先事項

キリギリス
- 天然ガス?



アリ
- 石炭?

過去の大戦はいずれもエネルギー資源争奪戦が根本原因


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# なぜデンマークはアフガニスタンに派兵しているのか?

人口わずか550万人のデンマークがなぜ？

## デンマーク

・NATO設立時（1949年）からの原加盟国
・ISAF（International Security Assistance Force）へ約700名派遣

## アフガニスタンのNATO軍

アフガニスタンの治安維持のため国連安保理決議により設立された国際治安支援部隊ISAFを統括。

**デンマーク軍犠牲者数：42名**

http://web.econ.keio.ac.jp/staff/nobu/iraq/casualty_A.htm

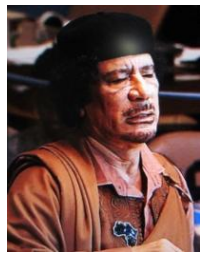
## NATO軍の構成

加盟国　　：28カ国
設立年　　：1949年（原加盟国12カ国）
NATO本部：ブリュッセル（ベルギー）
事務総長：アナス・フォー・ラスムセン
（2009年～、元デンマーク首相）

ラスムセン事務総長
外務省HP資料より

● **相手にいうことを聞かせる為には（ルールを守らせるには）強制力（軍事力）が必要！**

***言うことを聞かなければカダフィのようになるぞ！***




All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 4. 産業の復興を図るための課題と打ち手

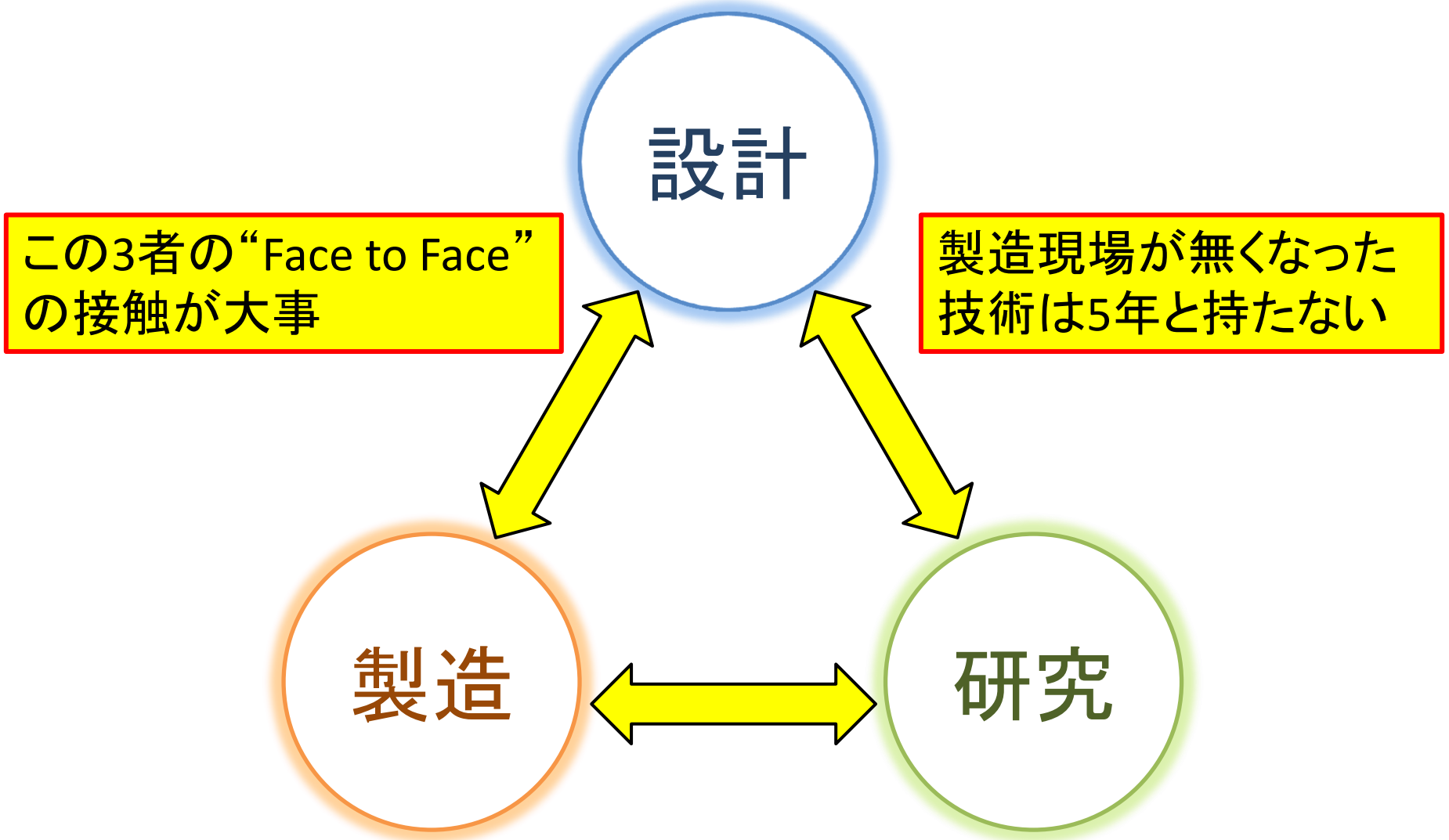

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 今後のあるべきエネルギー政策

1. エネルギー源はバランスよく混合するのが望ましい
   ①石炭 ②天然ガス ③原子力 ④再生エネルギー
2. 火力発電では高効率化、原子力では安全性の向上、再生エネルギーでは経済性の向上が最大の課題である。
3. 高効率発電技術では第2世代IGCCの商用化と、第3世代の研究開発の加速が重要なポイントである。
4. 輸入燃料費の急増は①国際貿易収支の悪化 ②電力料金値上げにつながり、国内産業とくに製造業に致命的な影響を与える危険性がある。
5. 既設原子力の稼働停止は直ちに輸入燃料費増となって現れ、電力料金値上げに直結していることを国民に知ってもらう必要がある。
6. 産業振興のための国のあるべき支援策
   ①太陽光など再生エネルギーにとどまらず、世界最新鋭の高効率火力発電にも準FITを実施
   ②コジェネ15%目標実現のために小型火力にも積極的な支援を
   ③環境税（2400億円）の活用


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# “設計 - 製造 - 研究”の三位一体で初めて画期的な製品が生まれる

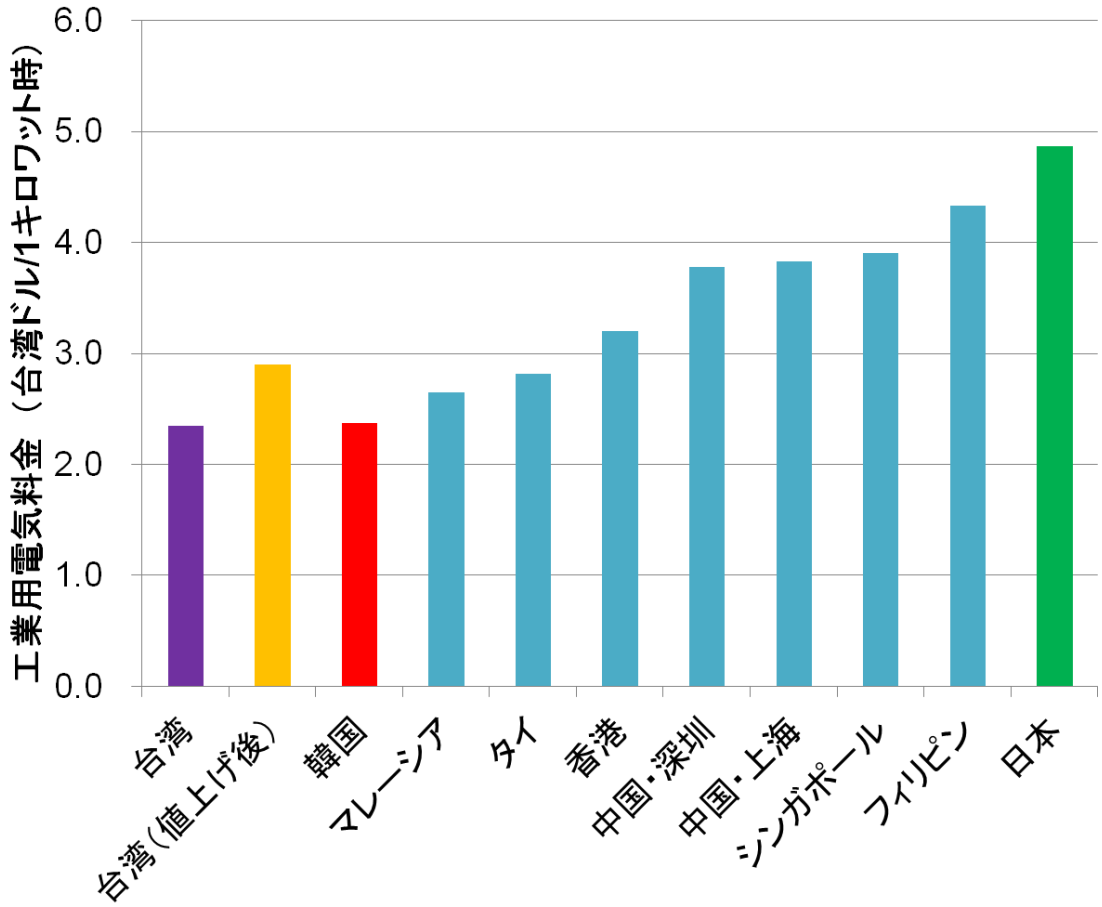




All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 各国の電力料金比較

**日本の製造業はこのハンディの中で必死に頑張っている**




| 国・地域 | 平均単価（台湾ﾄﾞﾙ/1kW時） | 比率（日本=1.00） |
|---|---|---|
| 台湾 | 2.35 | 0.48 |
| 台湾（値上げ後） | 2.90 | 0.60 |
| 韓国 | 2.37 | 0.49 |
| マレーシア | 2.65 | 0.54 |
| タイ | 2.82 | 0.58 |
| 香港 | 3.20 | 0.66 |
| 中国・深圳 | 3.78 | 0.78 |
| 中国・上海 | 3.83 | 0.79 |
| シンガポール | 3.90 | 0.80 |
| フィリピン | 4.33 | 0.89 |
| 日本 | 4.87 | 1.00 |

日本経済新聞2012年6月12日記事より作成


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# ➢ 日本がかっての栄光に浸っているうちに没落した産業の例----造船業

## 世界の造船会社の竣工量

1. 中国最大手（CSSC）・韓国最大手(Hyundai）の竣工量はそれぞれ800万総トン。
1. 以下Samsung、Daewooの韓国勢が各600万総トン。
2. 日本最大手の三菱重工、三井造船は各200万総トン以下。
3. 日本が負けているのは竣工量だけではない。
   LNG船も新技術・新製品で完全に韓国の後塵を拝している。

①270,000$m^3$のQ-max，220,000$m^3$のQ-flexは韓国メーカーが独占。

②洋上LNG液化基地も韓国メーカーが独占。


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# LNGに関する韓国の国家戦略

・世界第3位の天然ガス資源国カタールに注目。超大型LNG船を売り込む。
・資源の確保のためにも、超大型LNG船を開発、韓国造船業の独占体制を作る

## 韓国の国家戦略

● カタールの天然ガスをEUや米国に売り込むには長距離輸送コストを半減する必要がある
→超大型LNG船でこの問題を一挙に解決
→今船は韓国メーカーが独占的に建造

従来の日本のLNG船の容量
130,000 ～ 160,000 $m^3$

韓国の超大型LNG船
Q-Max： 270,000 $m^3$
Q-Flex： 220,000 $m^3$


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

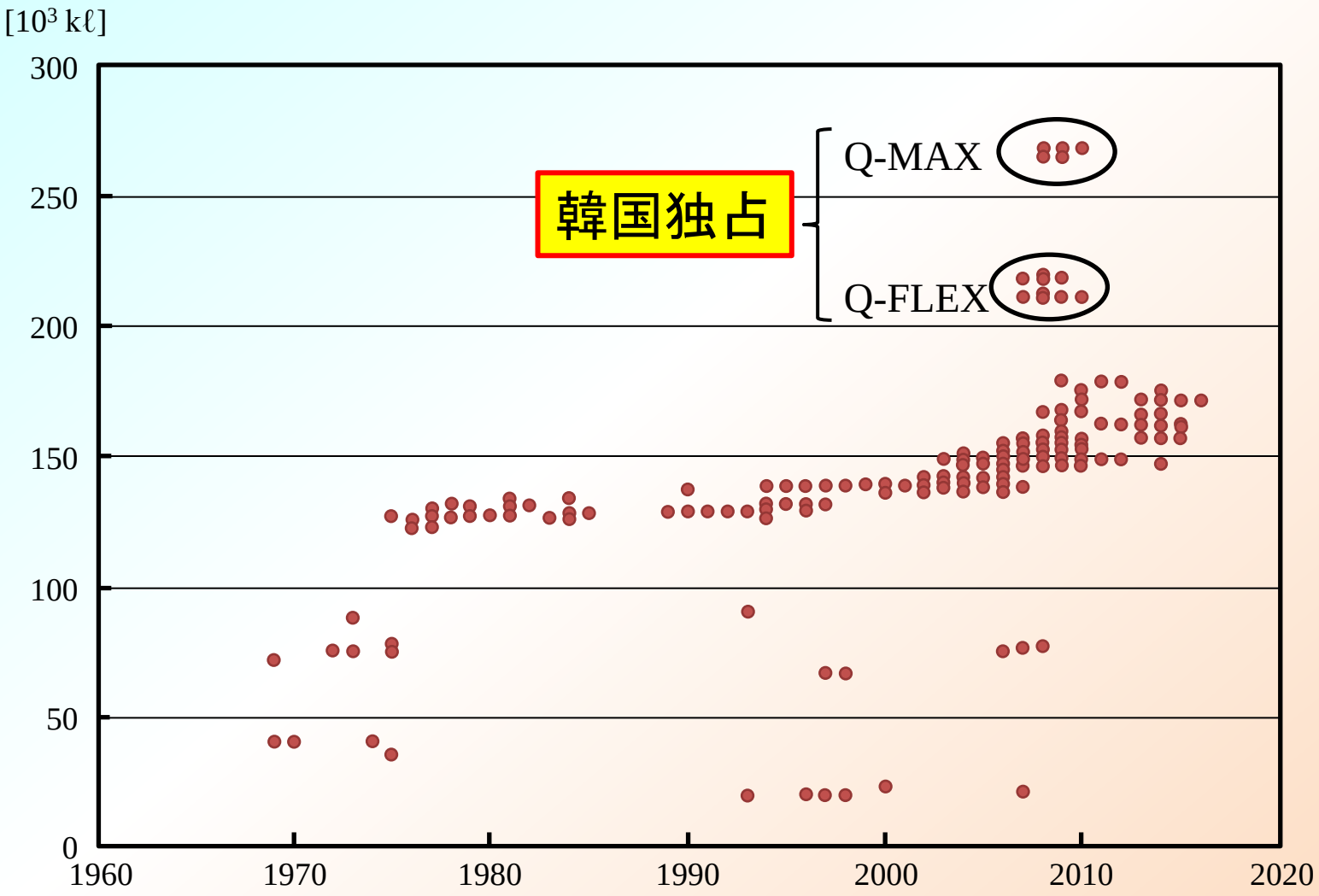
# 日本が15万m³の球形タンクLNG船を細々と造っている間に……

新技術・新製品で市場は一気に変わる！

サムスン重工業　26万m³の世界最大のLNG船を4隻同時建造


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# LNG船　船型の大型化




出典：Wood Mackenzie LNG Shipping Fleet


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 原発の停止で日本に続々とLNG船が入港……

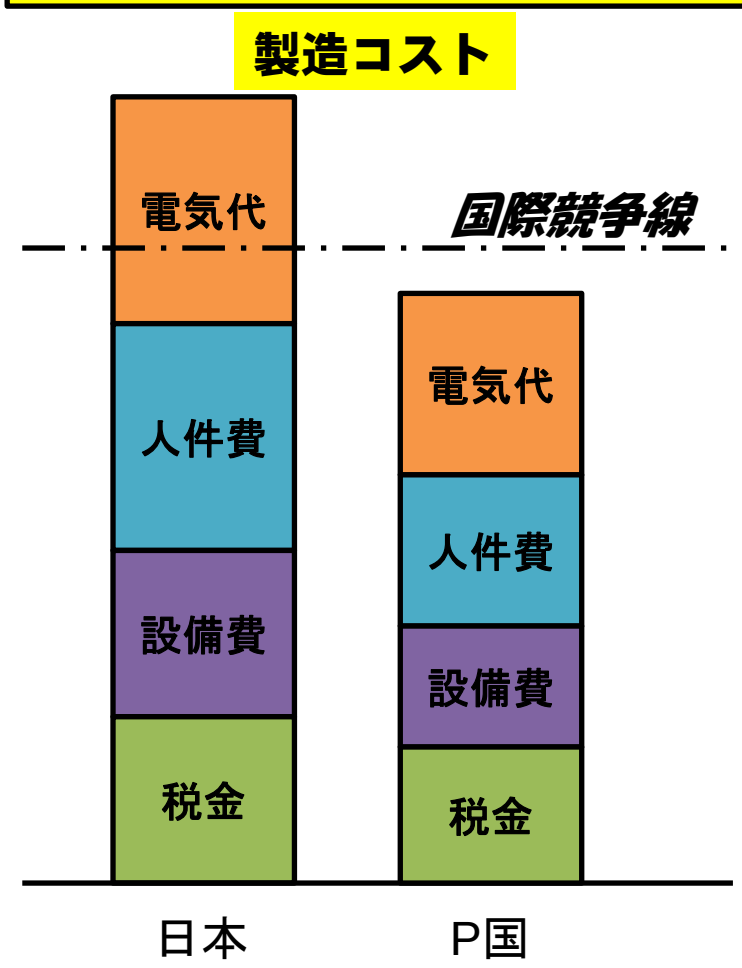
電気新聞2012年10月17日

残念ながらこの輸送船は韓国製！
----　日本造船業のジリ貧は続く


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

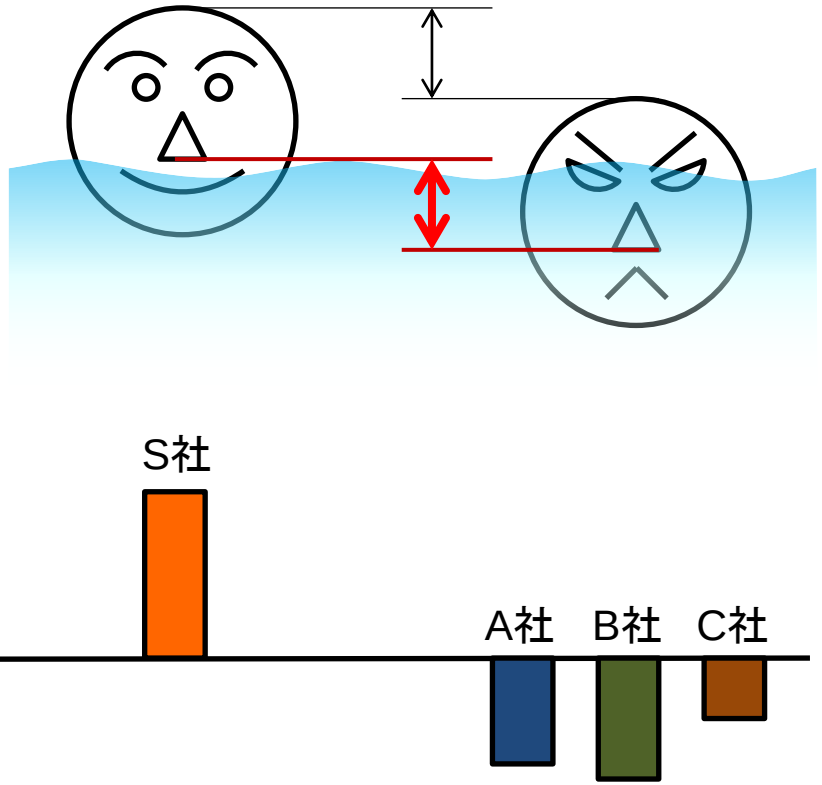
# ますます厳しくなる国際競争：今、熾烈な生き残り競争

**安値競争の行き着く先**




**勝者がすべてを取る**
***Winners takes all!***

**勝者と敗者の差は僅か！**




Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
東京大学生産技術研究所
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 高度成長時代の終焉と新たな競争相手の追撃！

敵は目前に迫っている！

それでもまだゴルフを続けるか?


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本連合で世界市場での復活を果たすべし

## 官民一体となって世界に進出

**Japan, Incorporated** ⇒ **Japan, Dispersed** ⇒ **Japan, Reunited**

⇕

米国との貿易摩擦

国際市場での日本の凋落
（世界シェアの低下）

国内製造業を維持しつつ、
官民一体で世界に進出

⇓

[背景]

- ➢米国製造業の衰退
- ➢アジアで急成長の工業国は日本のみ

韓国、中国の急成長

- □特に韓国は業種毎にメーカを絞り込み、完全な官民一体体制 (Korea, Incorporated)
- □日本は国際市場で韓国に敗退

- •輸出比率50%以上の業種には独禁法緩和
- •同一業種2社以内
- •官民一体となった強力な施策

競争相手は世界であり、日本国内ではない
---国内勢の無用の競争は共倒れになる！

# 敵は海外勢である。一日も早くオールジャパン体制を！

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 福島の再生と復興の道筋

1. 福島第一原発の事故対応と並行して積極的な産業復興の打ち手が必要
2. 大型火力発電所の建設は復興の大きな核となりうる
3. しかもそれは世界最高効率で世界で最も環境にやさしい最新鋭の石炭火力---IGCCである
4. 完成の暁には世界中から訪問客が訪れ、福島復興のシンボルとなる


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 福島県に世界最新鋭の石炭火力IGCCの建設を!

1. 世界最新鋭で最も環境にやさしい石炭火力500万kWを福島県に建設する
2. 1000MW(500MW×2基)IGCC---日本初の商用機
3. 効率45%(送電端;高位発熱量基準);NOx、SOx、煤塵は1桁と世界最高水準(CO2排出量従来石炭火力より20%減)
4. IGCCに非常に適し、かつ価格の安い米国PRB炭などとセットで国際的展望に基づく真に競争力のある火力を建設
5. 既設福島第一用500万kW容量の送電線の有効活用
6. 数々の優遇措置(米国のエネルギー政策法支援と基本的に同じ)
   ①設備費加速償却
   ②低金利長期融資
   ③必要に応じて民間から資本参加
   ④準FITの適用(2円/kWh×2年) [財源は環境税]
   (これは現行太陽光FIT:42円/kWh×20年の僅か1/200)
7. 安かろう悪かろうの風潮の中で、真に日本が世界に誇れる火力の建設を


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 福島県の産業復興への提案

**500万kWのIGCCを建設!**

世界最高効率で世界で最も環境にやさしい石炭火力発電所を！

成美堂出版：地図で読む東日本大震災より

相馬共同火力：現設備能力　200万kW

★200万kW IGCCを建設！

東北電力原町火力：現設備能力　200万kW

★100万kW IGCCを建設！

東京電力広野火力：現設備能力　280万kW

★100万kW IGCCを建設！

★100万kW IGCCを建設！

常磐共同火力：現設備能力　162.5万kW
CCP　　：IGCC実証機　25万kW

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 浜通りクリーンコールハイウエー構想

## 福島県での立地を最大のメリットに！

- 世界最新鋭の環境にやさしい石炭火力を福島から発信！

**しかもこれが現行太陽光支援FITの1/200の金額で可能！**

**災いを転じて福となせ！**


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 福島県にIGCC　500万kWを建設 ー 浜通りクリーンコールハイウェー構想

## 地元への貢献

1. 電力によって被った被害を、電力によって明るい未来に変えることができる。
2. 建設時には、1地点4,000人の人が働く。5か所で20,000人の人が働く。
3. 建設終了後も保守・点検で年間を通して仕事が生まれる。(4次の協力企業)
4. プロジェクトの決定により、必要な人、設備等の具体的な内容が決まり、復興計画も具体的に動き出す---地元に戻りたくても働く場所がなければ戻れなかった。

## 福島県への貢献

1. 総額1兆円(2000億円×5)のプロジェクトが福島県で実施されることによる経済効果。
2. プロジェクトの実施によって被災地域の復興計画の具体化が可能となり、アクションを起せる。
3. 世界で最も効率が高く、クリーンな石炭火力発電所という誇りと世界へ発信していく希望。
4. 世界中から見学者が殺到し、“福島復興のシンボル”になりうる。

## 日本への貢献

1. 商用機の実現により国産IGCC技術が完成し、強力な輸出製品として確立することが出来る。
2. IGCCはコンパクトでパッケージ化が可能なため国産化率が高く、国内工場で製造される比率が極めて高く、国内雇用増加、経済効果が大きい。

## 世界への貢献

1. 世界の発電の40%は石炭火力発電であり、世界の$CO_2$の27%は石炭火力発電からでている。IGCCは石炭火力からの$CO_2$を大幅に低減させ、地球温暖化防止に大きく貢献する。

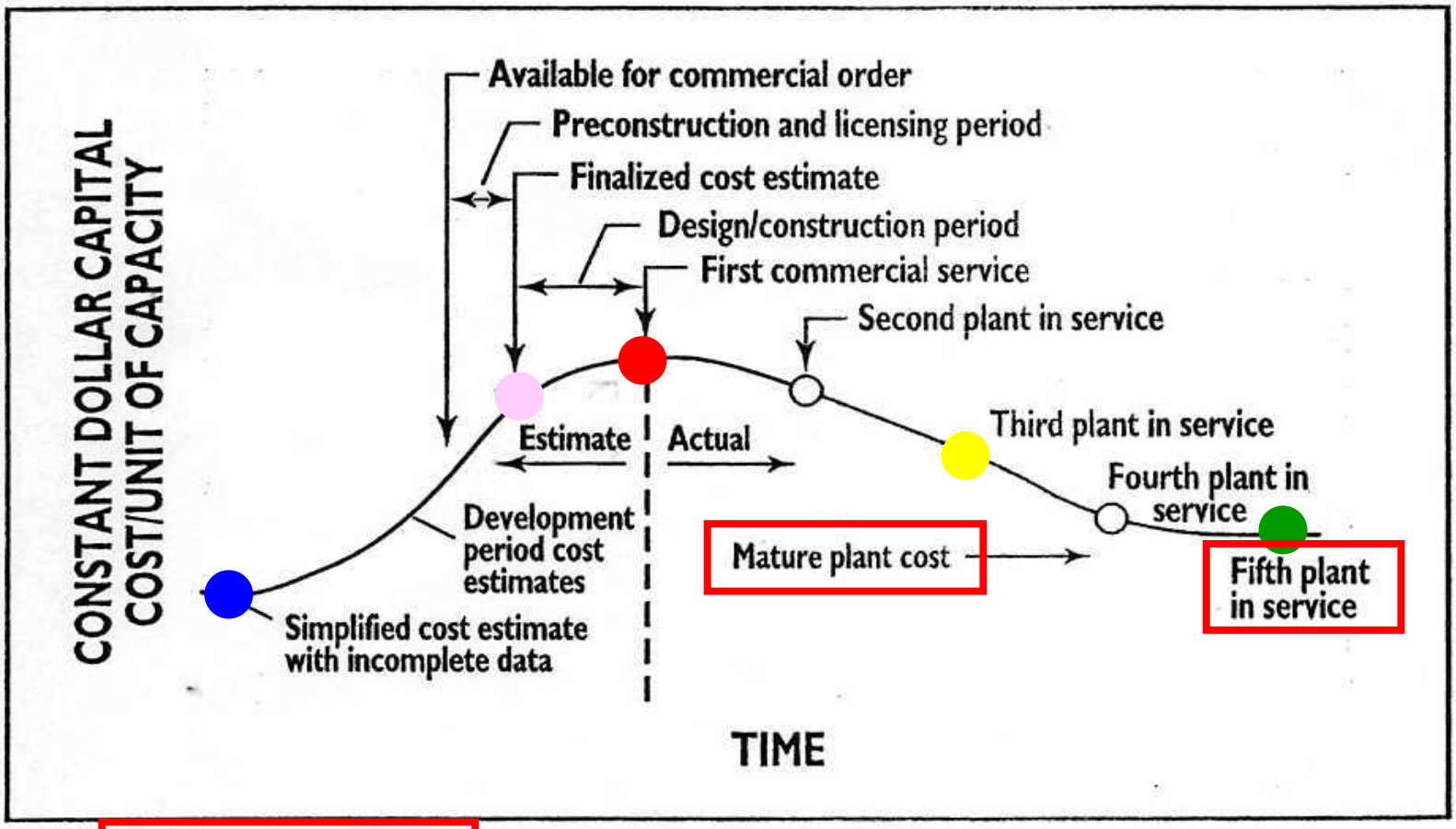
   IGCCにより$CO_2$を15%削減
   IGFCにより$CO_2$を30%削減

2. 日本の技術力が世界で高く評価され、単に輸出という経済効果のみならず、国際協力をベースにした化石燃料の確保などのエネルギーセキュリティにも貢献する。


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# コスト習熟曲線：どんな新技術でも最初は割高

但し5基目で定常値となる



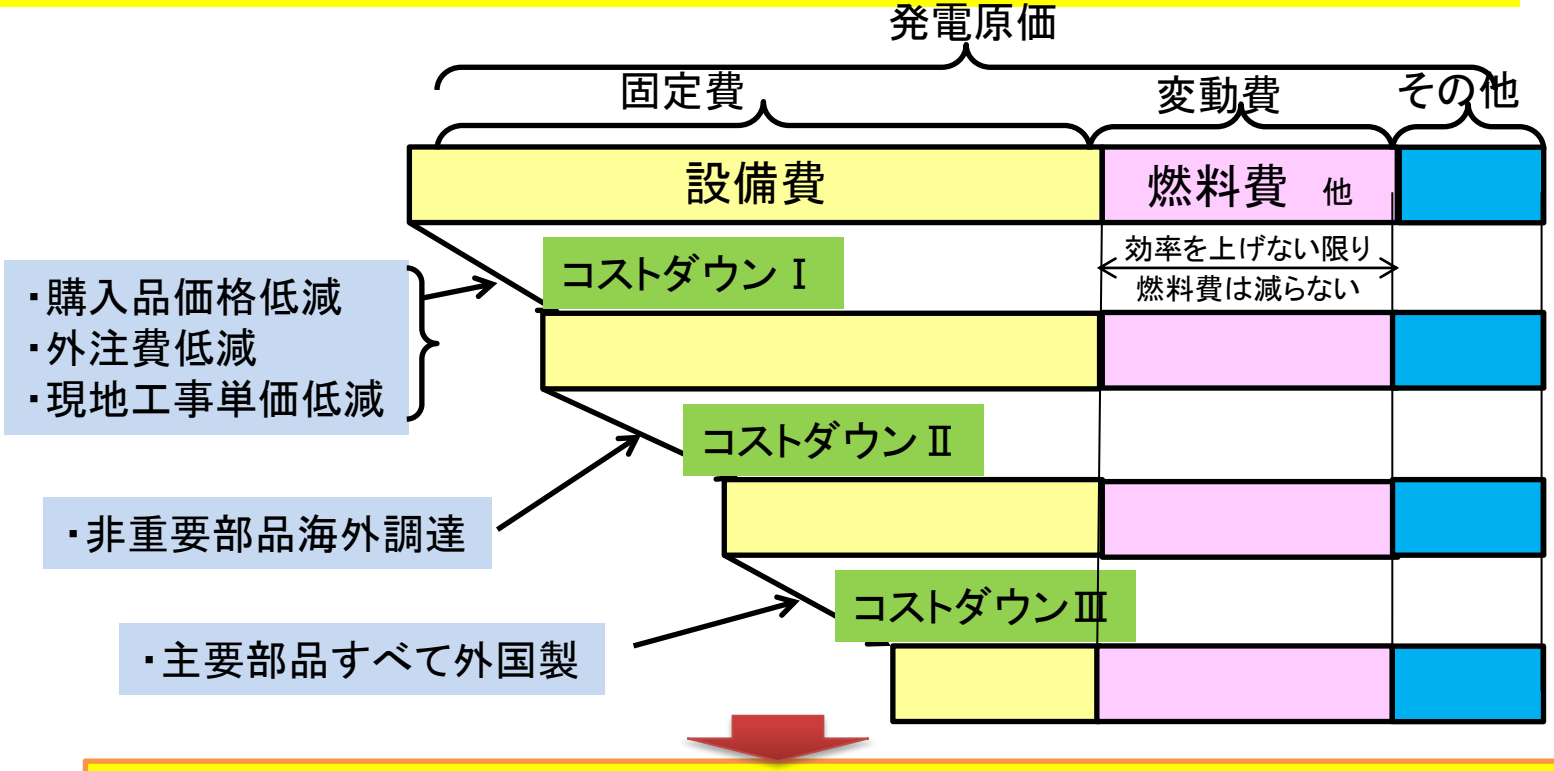

*6. The "mountain of death" generic capital cost trend for early commercial units of a new power plant technology, based on the Technical Assessment Guide of the Electric Power Research Institute (VI)*

出典：TAPPI JOURNAL, December 1997, p. 54


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# IPP入札の問題点

- コスト至上主義-----円/kWhがすべて
- 血のにじむような努力で技術開発をして高効率化実現し燃料節減するより、海外調達で安い部品を使った方が勝つケースが多い




発電所をつくっても・・・

1. 部品はすべて外国製
   →国内製造業の衰退
2. 性能向上無し
   →輸入燃料費は増大したまま


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

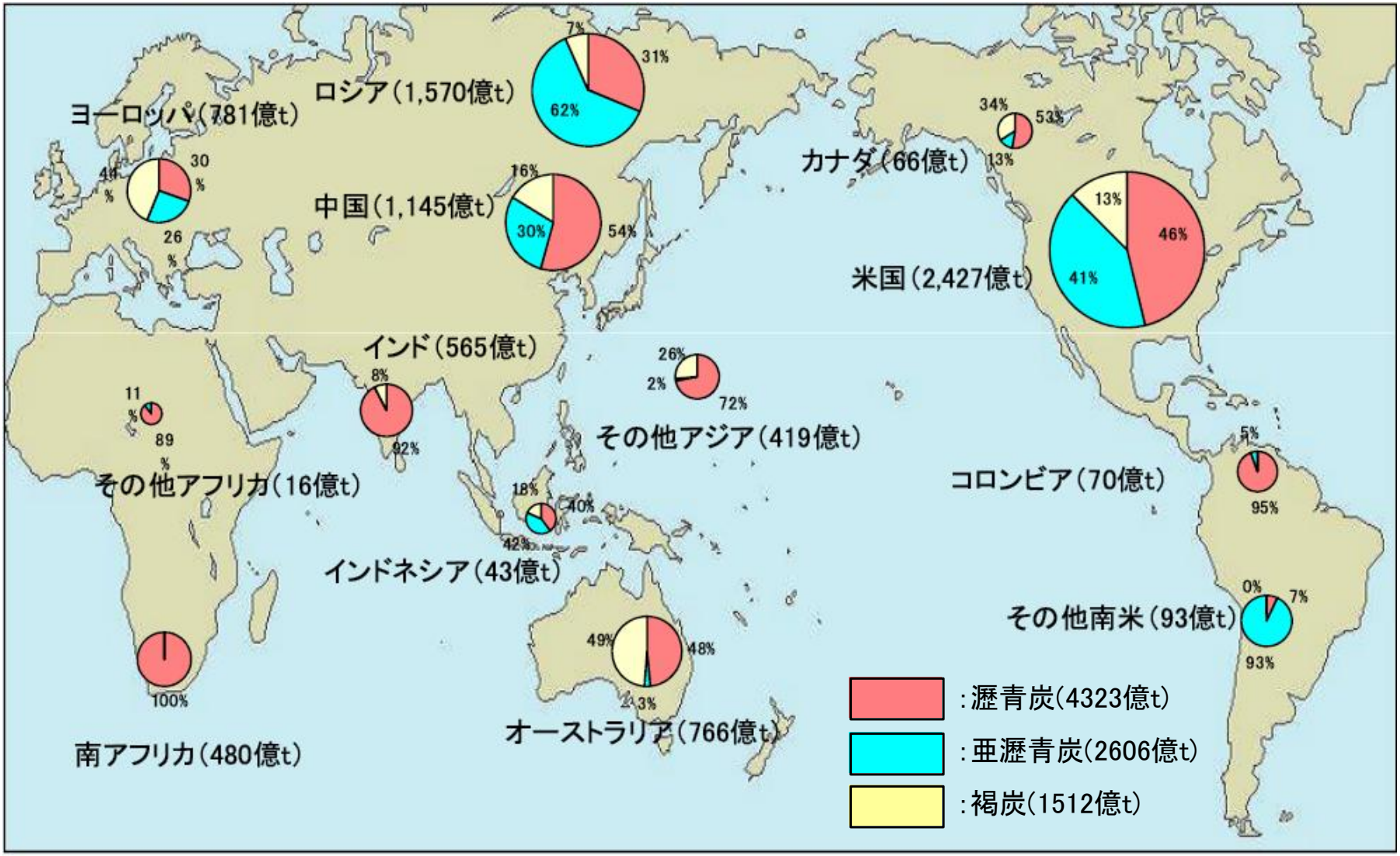
# 新しい炭種の拡大

# 石炭とセットにしてIGCCのメリットを！

●もちろんインドネシア炭などの低品位炭の利用も
考えられるが、今一番の注目は米国PRB炭である
→WIN-WINの関係構築が可能


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

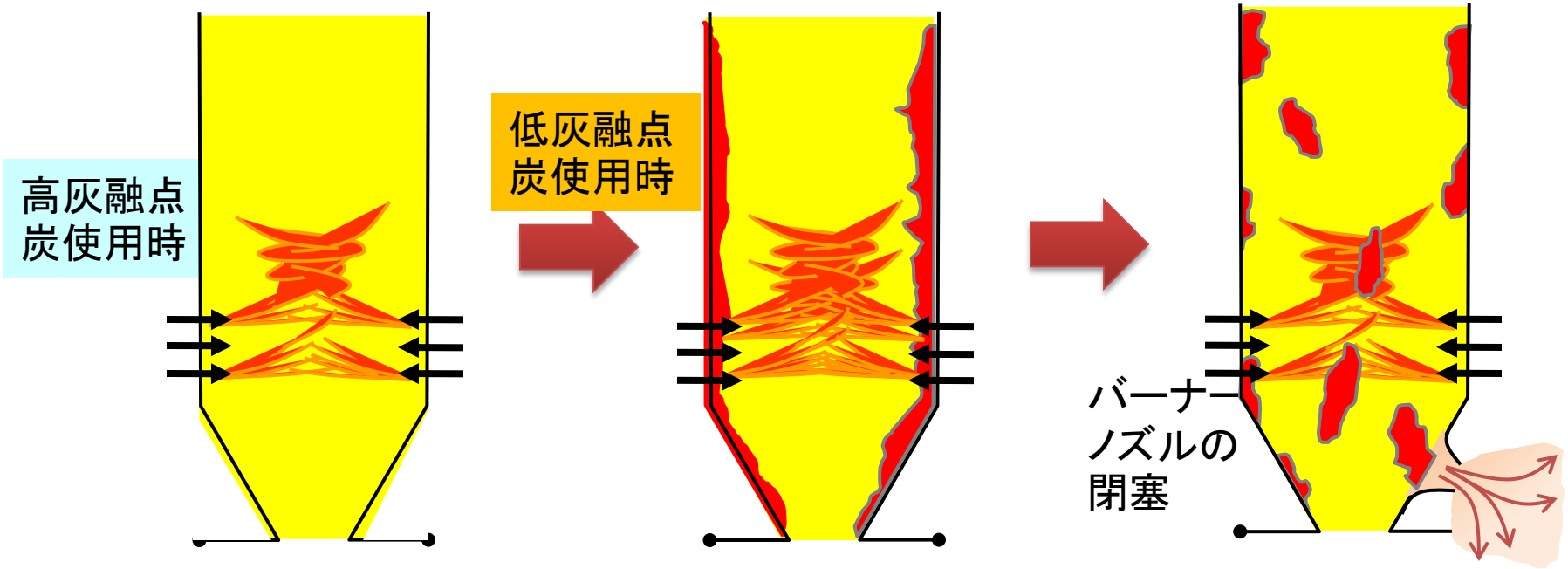
# 世界の褐炭・亜瀝青炭資源




出所：WEC Survey of Energy Resources 2008、BP統計2008


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 石炭焚きボイラの火炉のスラッギング問題




正常な火炉

スラグの堆積

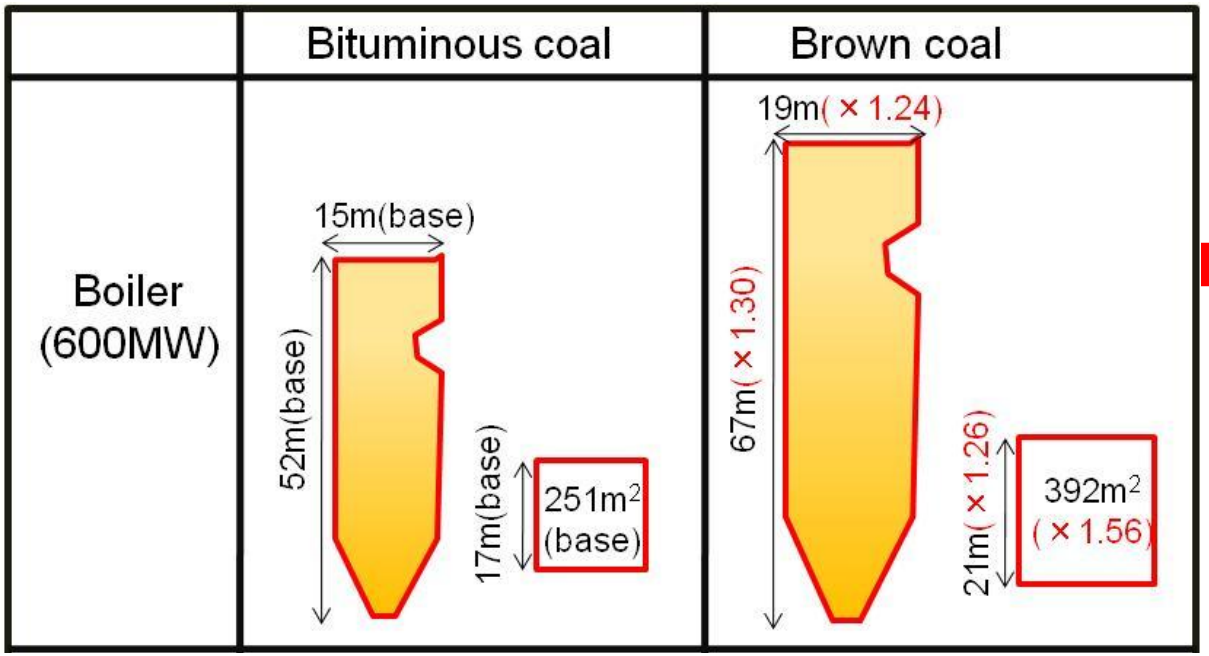
- 火炉の出力低下
- 運転の不安定化

巨大スラグの崩落

- 落下巨大スラグによる炉底部の破壊と高温ガス噴出


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 褐炭焚きボイラは巨大な火炉が必要!

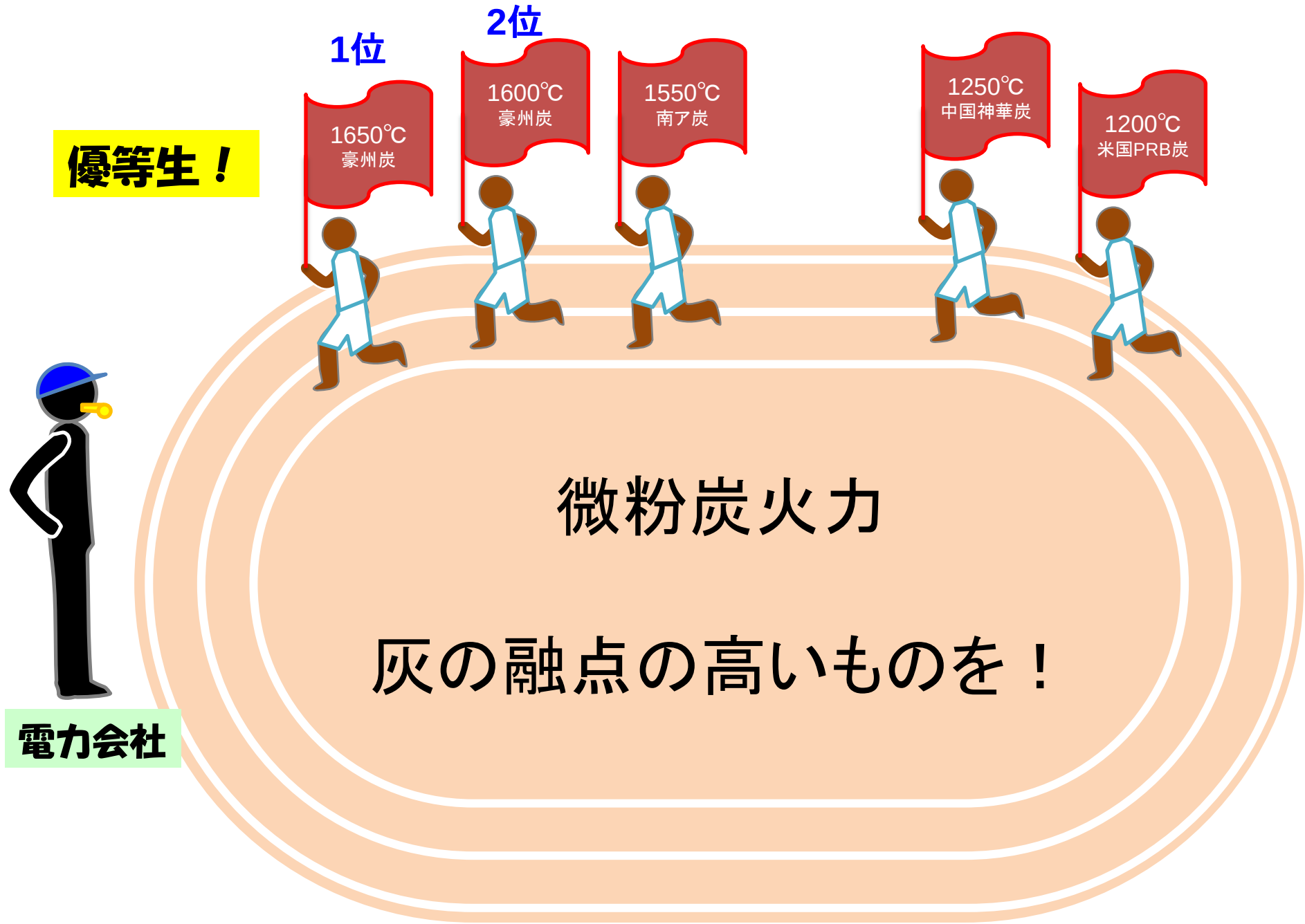



2.5 倍の体積が必要！

褐炭
- 高水分
- 低い灰融点t

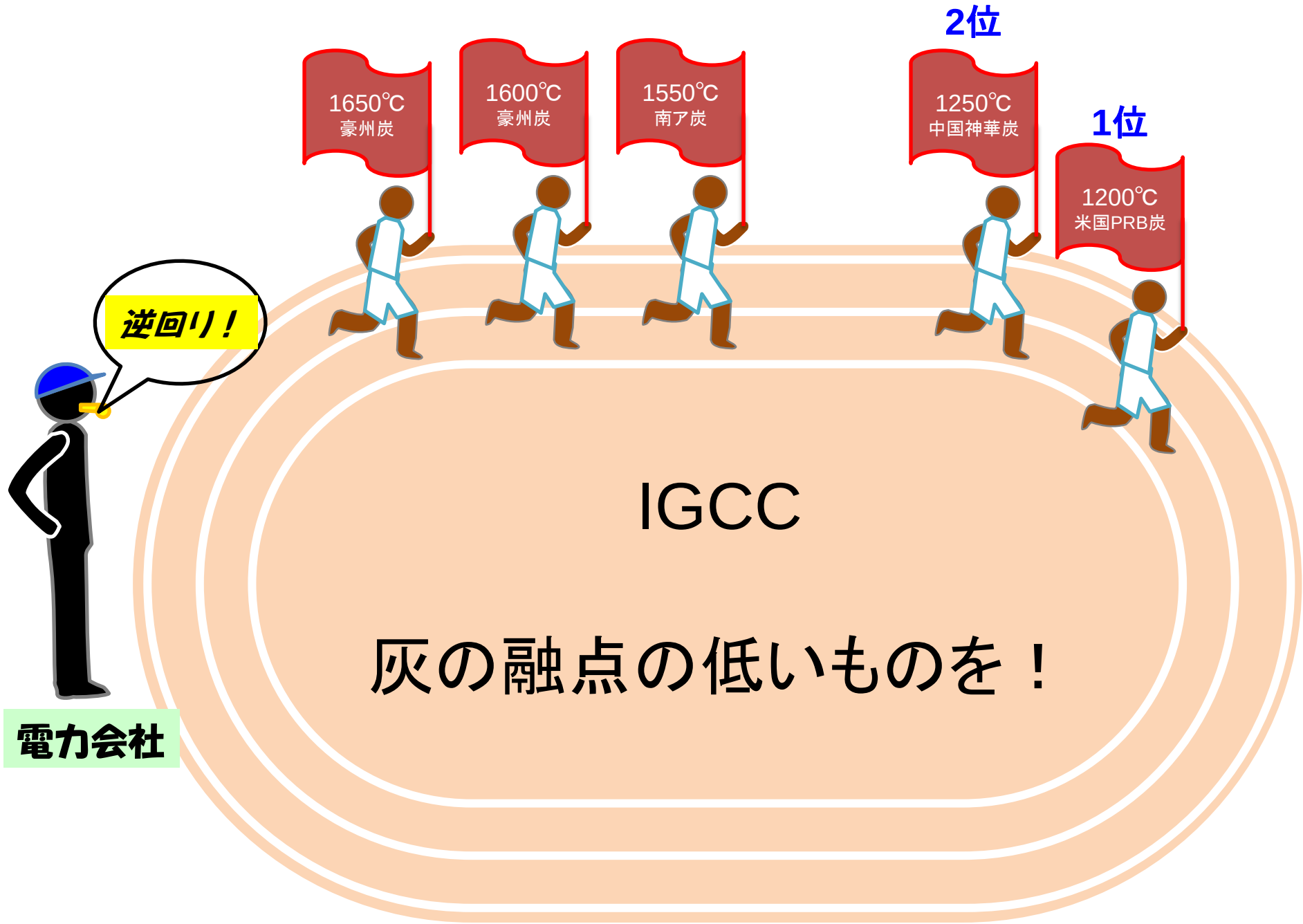
大きな火炉の必要性


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

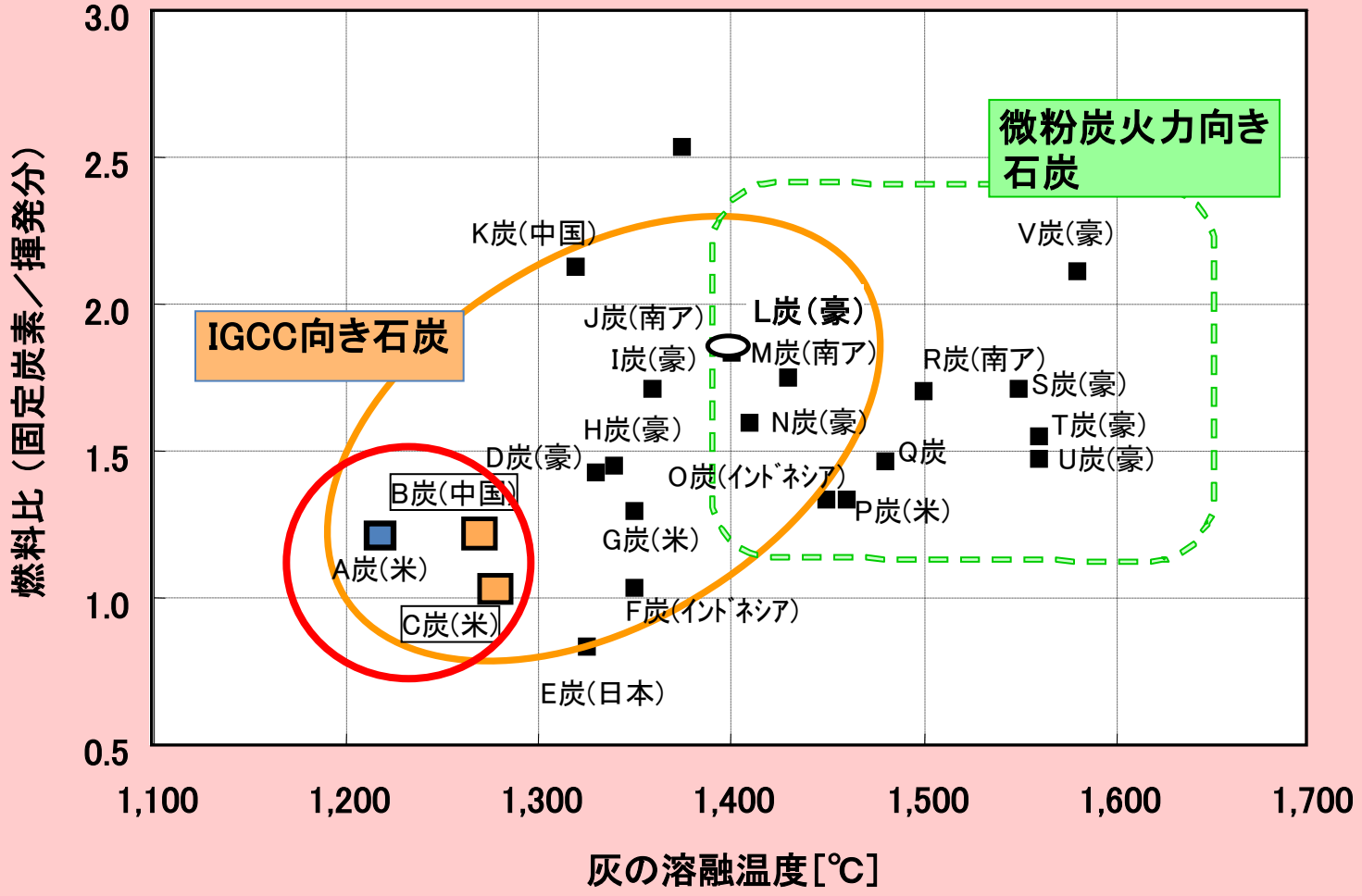




All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# IGCC向きの石炭と微粉炭火力向きの石炭

灰の融点が低いと溶融したスラグが流れ易い





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# PRBとセットでIGCCを推進

① 安いシェールガスの大量使用に伴い東部のPRB炭使用が大幅減 （米国の石炭火力比率：49%→32%に）

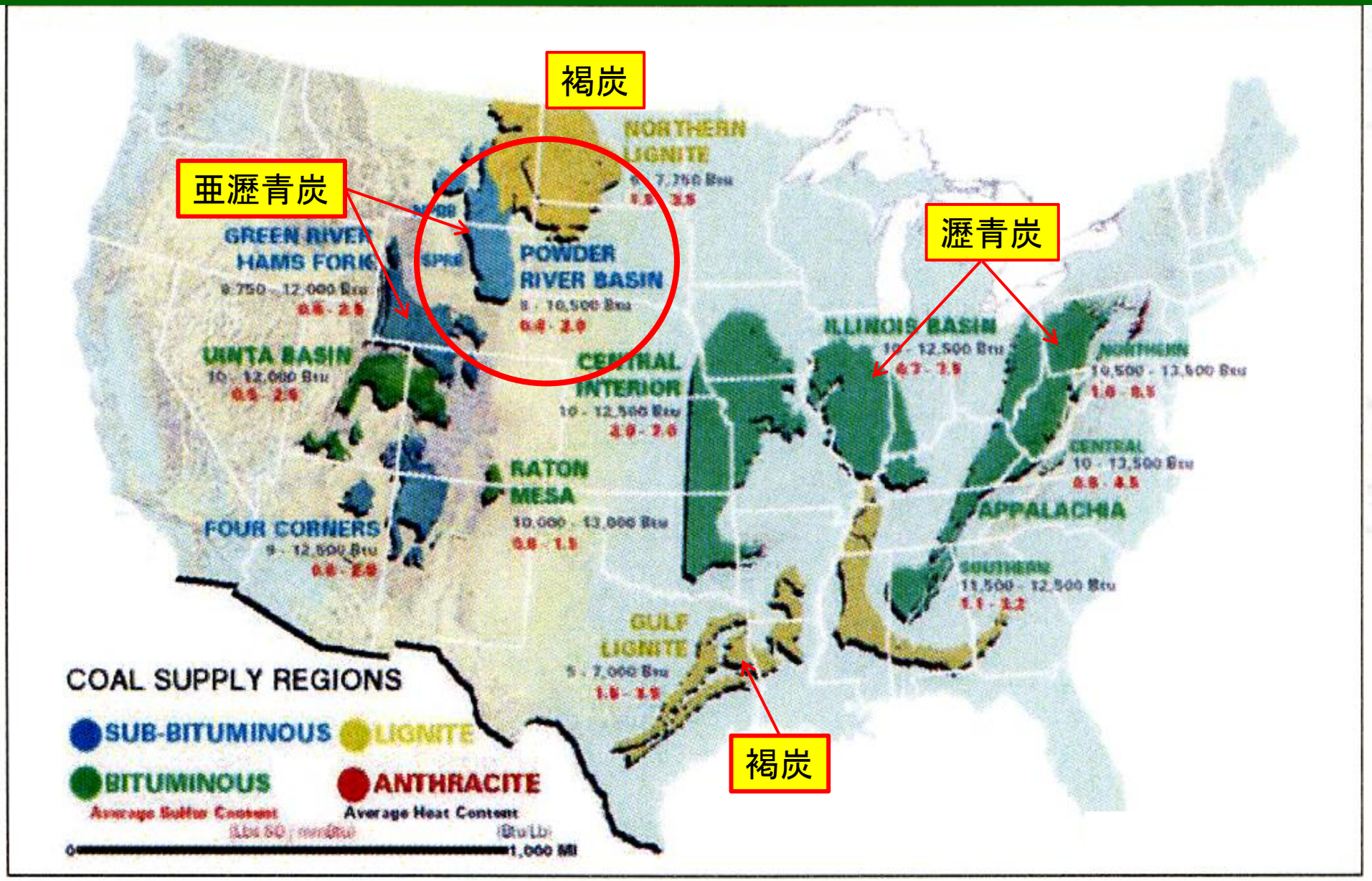
② したがってやる気のあるPRB炭鉱ほどアジアへの輸出を真剣に考えている

③ 西海岸への鉄道輸送・港の港湾設備整備など政治とのかかわりも大きい

④ こういう状況下で日本が国策としてもPRBの輸入に積極的になることを期待

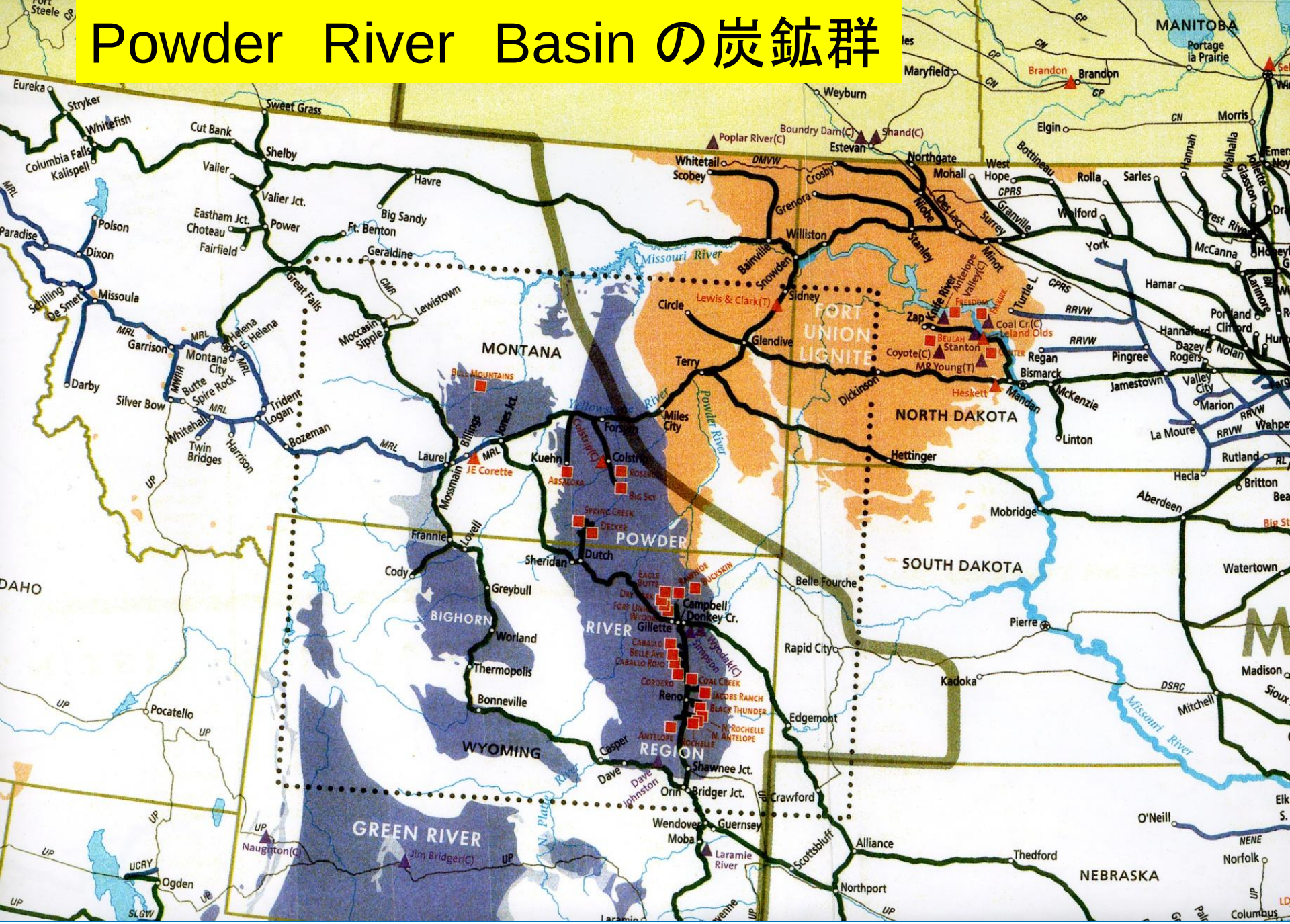

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 米国の石炭資源




Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
東京大学生産技術研究所
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# Powder River Basin の炭鉱群





All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 露天掘りの状況

炭坑の大半は連邦政府の所有地→許可容易

カスター将軍のおかげでインディアンから取り上げた


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

250ton積みダンプトラック


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

超大型シャベル


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

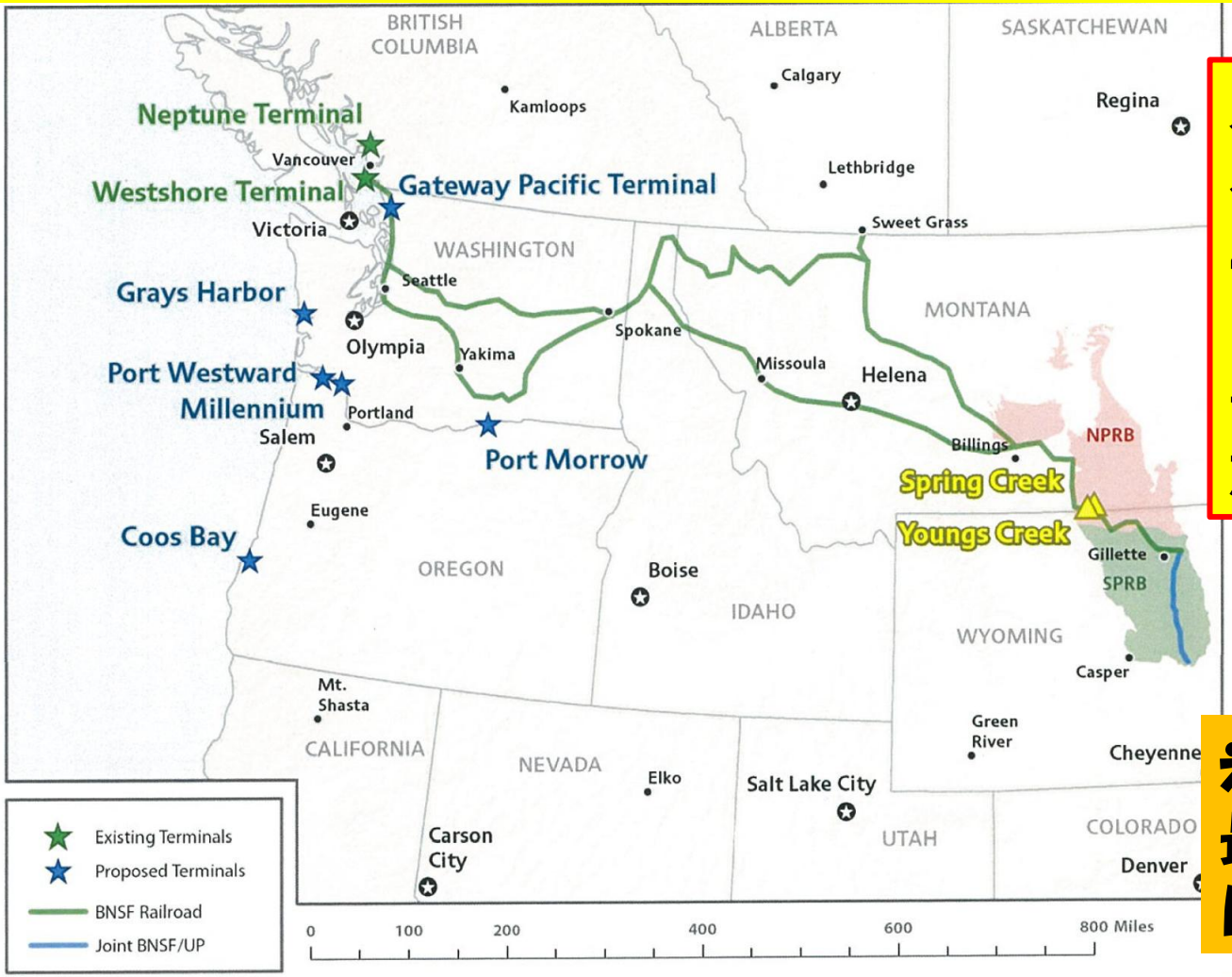
# 石炭輸送列車(BNSF)

All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

石炭輸送貨車（100ton積×125両）


All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 今、PRB炭鉱は日本への輸出を真剣に考えている
# -----シェールガスブームで東部の発電所での使用激減




**米国の発電電力量石炭比率の急減**
**49%→32% (2012. 4)**

**→アジアへの輸出意欲大**

**米国西海岸から最短距離で福島県に運べる！**



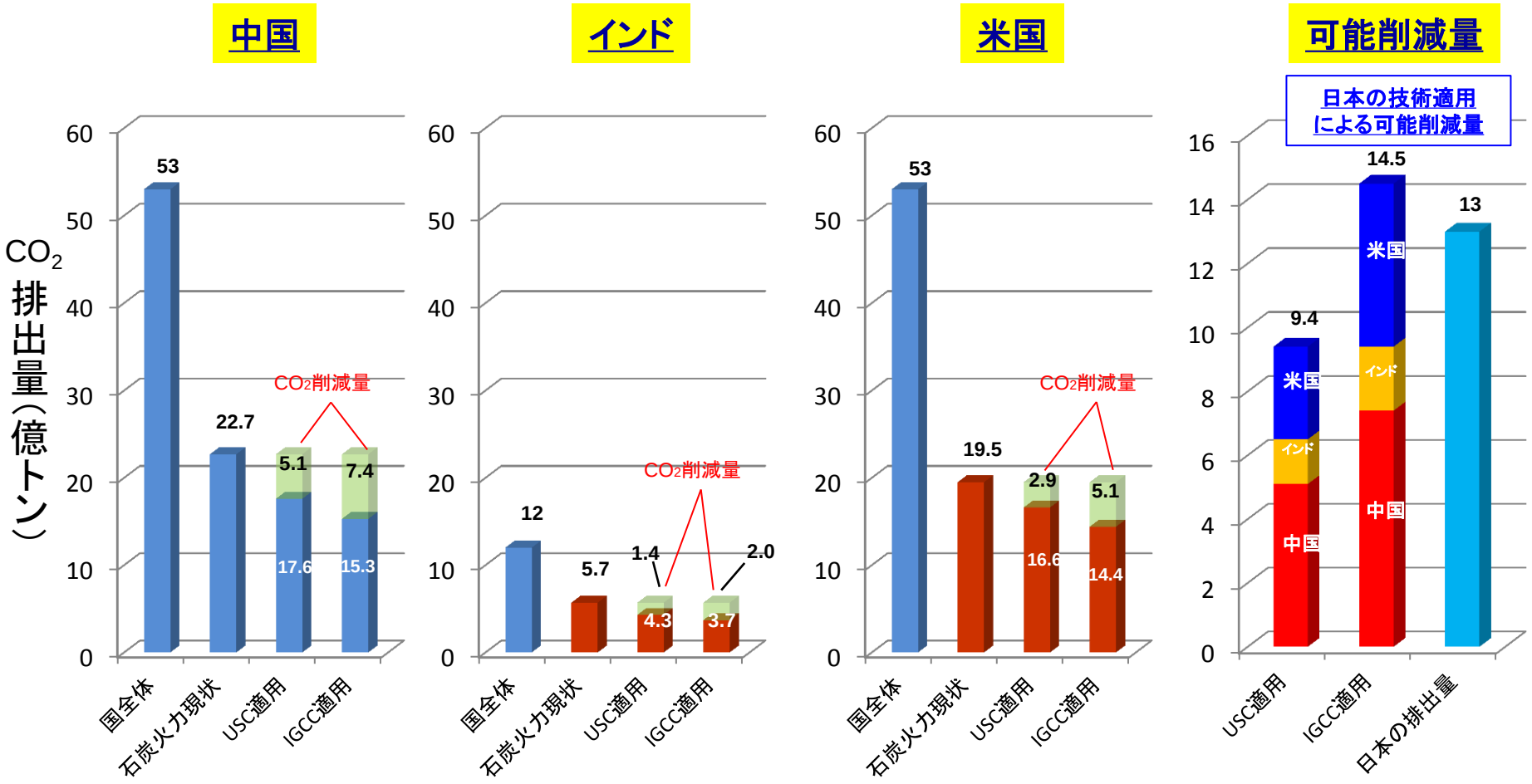
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
東京大学生産技術研究所
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 米国西海岸は近い！豪州と変わらない！

All Right Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 日本の石炭技術による$CO_2$削減の可能性

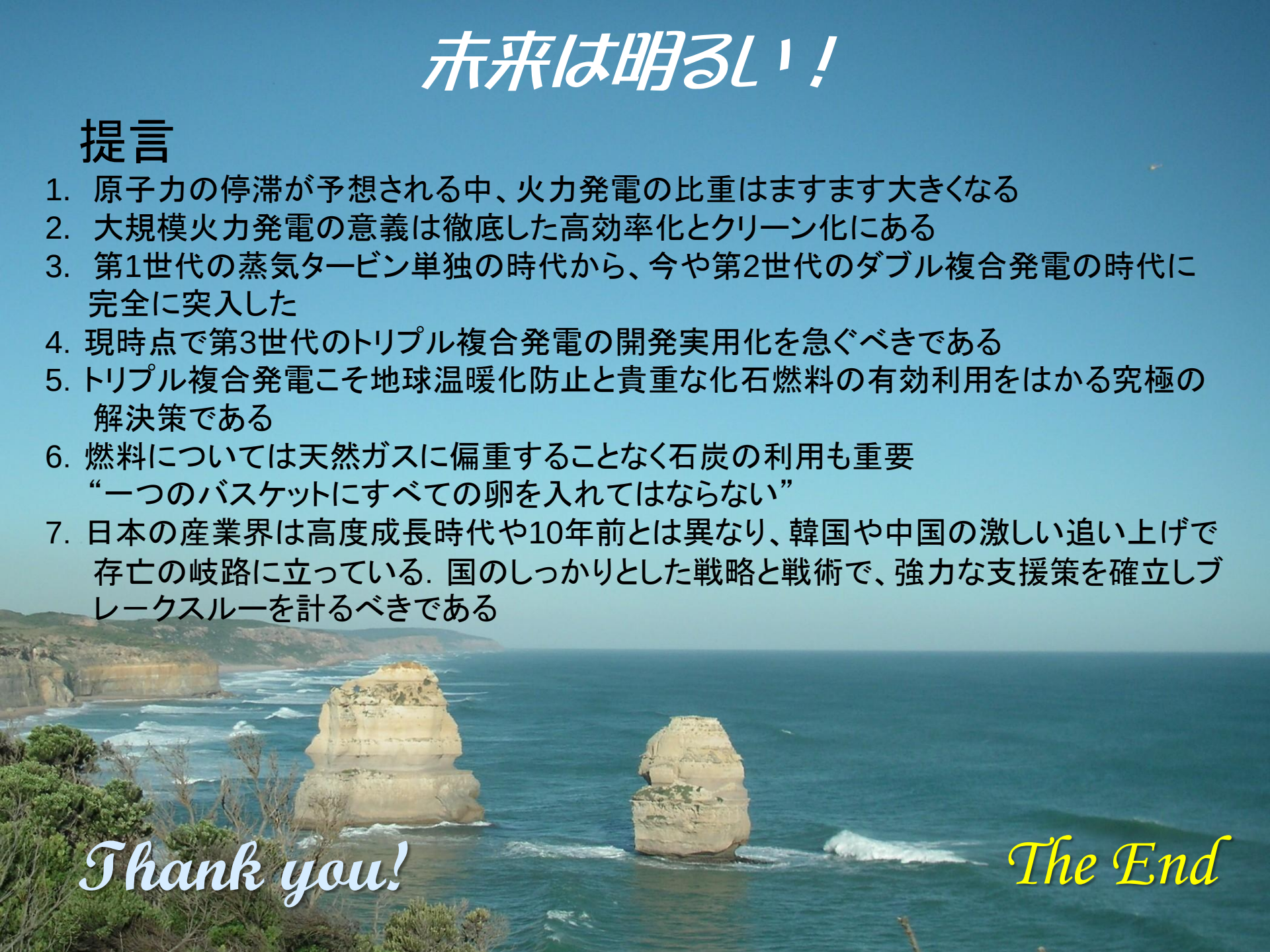
**石炭高効率化の国際技術協力はIGCCさらにはIGFCが中心になる**




**IGCCは高効率・低灰融点炭の多い中国・米国・豪州・インドネシアなどとの協力に有効！**

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
東京大学生産技術研究所
All Rights Reserved. © Prof. Kaneko Laboratory, IIS, University of Tokyo

# 未来は明るい！

## 提言

1. 原子力の停滞が予想される中、火力発電の比重はますます大きくなる
2. 大規模火力発電の意義は徹底した高効率化とクリーン化にある
3. 第1世代の蒸気タービン単独の時代から、今や第2世代のダブル複合発電の時代に完全に突入した
4. 現時点で第3世代のトリプル複合発電の開発実用化を急ぐべきである
5. トリプル複合発電こそ地球温暖化防止と貴重な化石燃料の有効利用をはかる究極の解決策である
6. 燃料については天然ガスに偏重することなく石炭の利用も重要
   “一つのバスケットにすべての卵を入れてはならない”
7. 日本の産業界は高度成長時代や10年前とは異なり、韓国や中国の激しい追い上げで存亡の岐路に立っている．国のしっかりとした戦略と戦術で、強力な支援策を確立しブレークスルーを計るべきである