

クリーン石炭・バイオマスから 電力・液体燃料へ



James Katzer

アイオワ州立大学 化学エンジニアリング 客員教授
(元エクソン・モービル社)

目的と概要

主要目標:

- 電力: **基準排出量とCO₂排出量の削減**
- 液体燃料: **供給源の拡大と輸送部門のCO₂排出量の削減**

発表の概要:

1. クリーン石炭発電 + CO₂地下貯留
2. 石炭/バイオマス to 液体燃料 (CBTL)
3. 石炭/バイオマスからの発電と燃料生産
4. それらの機会

評価のアプローチと基準

- 商用技術の統合と評価
- Aspen Plusでプロセス全体の物質・エネルギー収支を計算
- 単一機材コストをベースに計算: IGCC実績ベース(2007年、ドル)
- N番目のプラント、Nは5から7までの小さな数
- 20年間の平均コスト評価(資本費率14.4%/年)
- GREET試算による、大気へのライフサイクル温室効果ガス(GHG)排出量
- 石炭(イリノイ No. 6炭)価格: 46ドル/トン(1.7ドル/GJ[HHV])
- バイオマス価格: 94ドル/ドライ・トン(5.0ドル/GJ[HHV])、ドライベース100万トン/年/サイト
- 一貫した比較経済学、米国メキシコ湾地域を基準に検証

※ HHV = 高位発電量換算

目的と概要

主要目標:

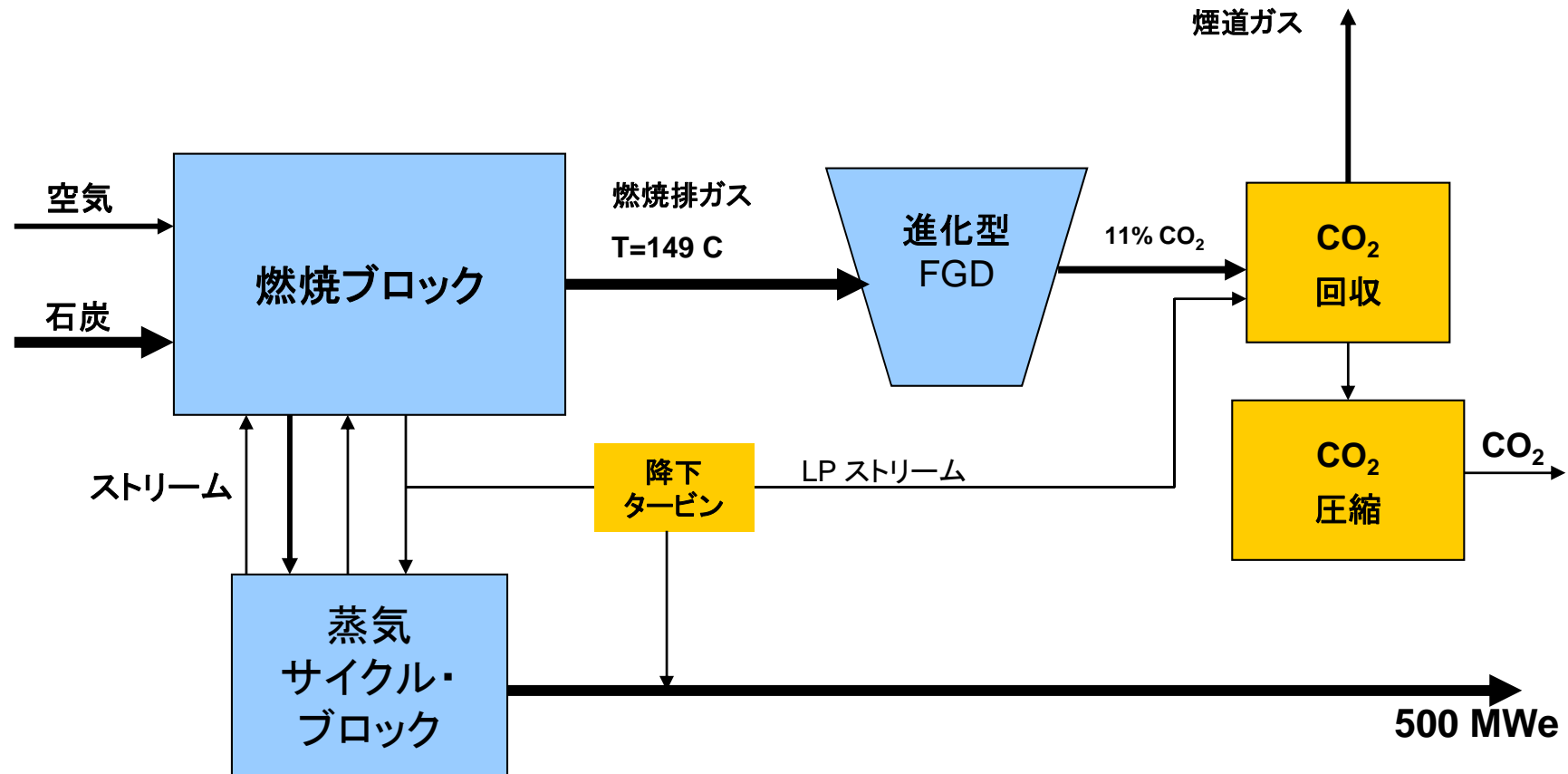
- 電力: **基準排出量とCO₂排出量の削減**

発表の概要:

1. クリーン石炭発電 + CO₂地下貯留
2. 石炭/バイオマス to 液体燃料 (CBTL)
3. 石炭/バイオマスからの発電と燃料生産
4. それらの機会

アミン系CO₂回収によるPCプラント

PC = 微粉炭

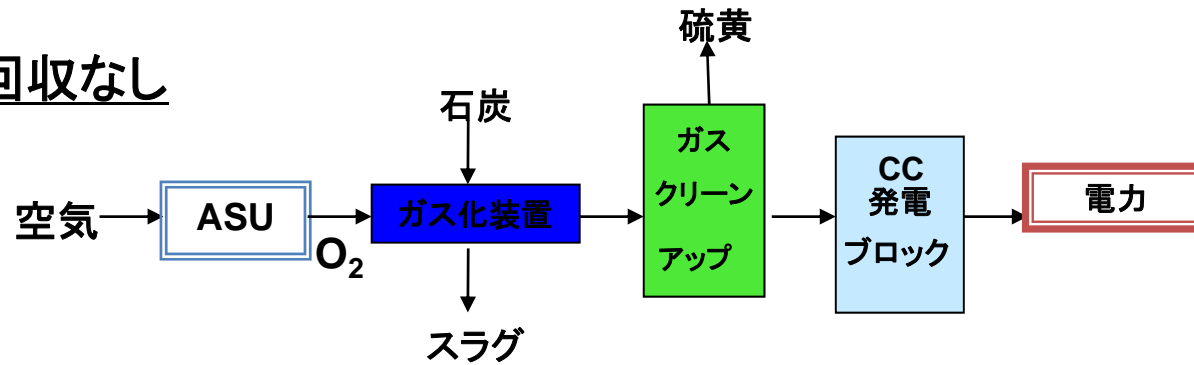


- 亜臨界圧ユニットの効率は33~36%(HHV) : 新規のCO₂回収亜臨界圧のユニットの発電効率は~25%(HHV)まで減少し、同じ効率に対して40%以上の石炭を要する。
- 超々臨界圧ユニットの効率は40~44%、しかしCO₂回収を行うと34%(HHV)まで減少する。

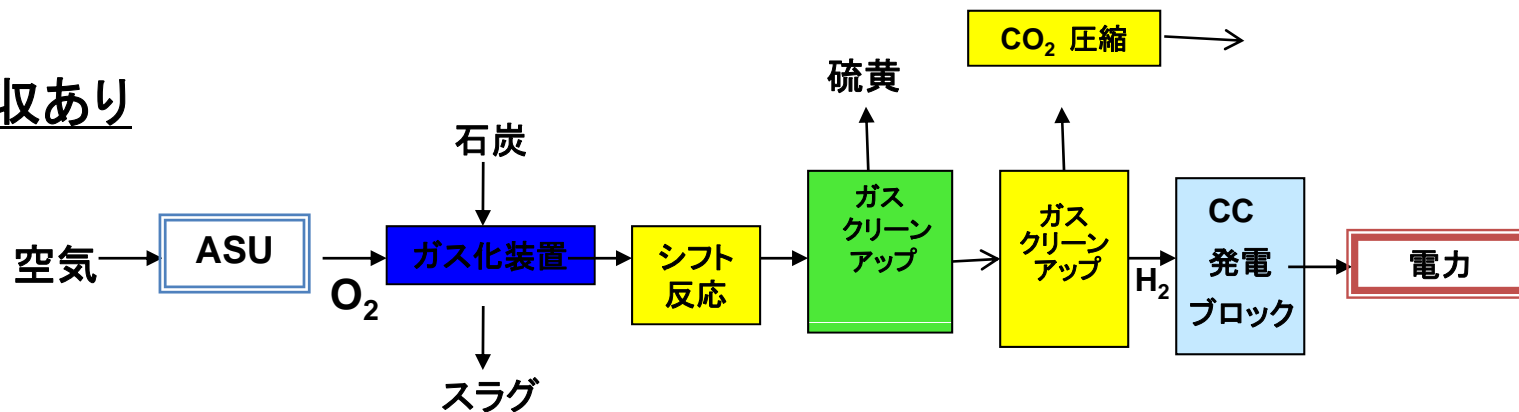
CO₂回収なし/ありのIGCC



CO₂回収なし



CO₂回収あり



COはシフト反応でCO₂と水素に変換され、さらにCO₂は貯留のために除去され、圧縮される。

石炭発電：発電コストとCO₂排出量

	電気料金 \$/MW _e h	CO _{2eq} 排出量 kg / MW _e h			
PC-CO ₂ 排出	58	831			
PC- CCS	106	170			
				CO _{2eq} 抑制コスト	73ドル/トン
IGCC-CO ₂ 排出	65	833			
IGCC-CCS	89	138			
				CO _{2eq} 抑制コスト	35ドル/トン

- IGCC-CCSは、最も低い価格で石炭から脱炭素電力を提供可能
- IGCCは、最も低いCO₂抑制コストを実現
- さらにIGCCはスラグを生成するが、FGDスラッジは生成しない。
水の消費量を大幅に削減でき、大気への排出量も極めて少ない。

石炭発電：排出量実績

技術	事例	ばいじん lb/MM Btu	SO ₂ lb/MM Btu	NO _x lb/MM Btu	水銀 除去率
PC プラント	米国代表事例	0.04	0.8	0.3	
	商用ベスト事例	0.015 (99.5%)	0.04 (99+%)	0.03 (90+%)	90%
IGCC プラント	商用ベスト事例	0.001	0.015 (99.8%)	0.01	95%

- IGCCの排出量は極めて低く、NGCCと同等である。
- IGCCは排出量が最も少なく、CCSを付加した場合はさらに少ない。
- ガス化(IGCC)は今後主要技術となるが、電力業界ではまだ完全に支持されていない。

目的と概要

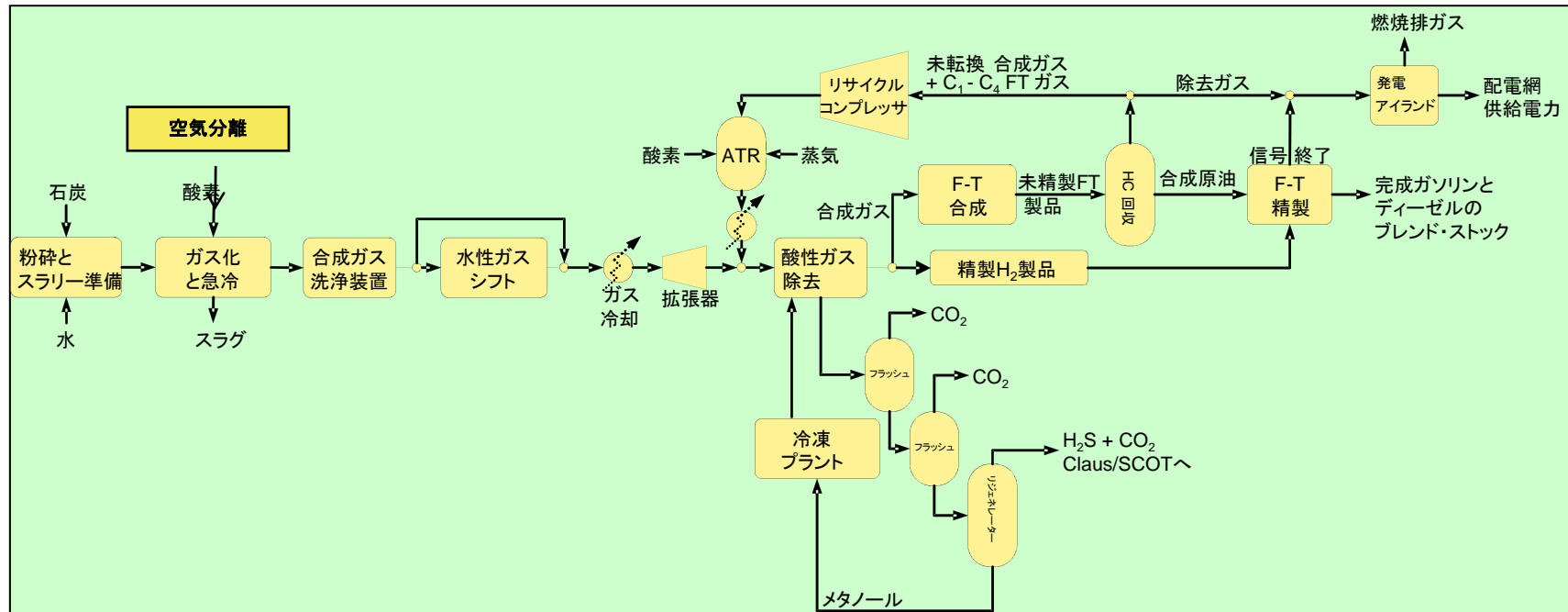
主要目標:

- 液体燃料: **供給源**の拡大と輸送部門の**CO₂排出量削減**

発表の概要:

1. クリーン石炭発電 + CO₂地下貯留
2. 石炭/バイオマス to 液体燃料 (CBTL)
3. 石炭/バイオマスからの発電と燃料生産
4. それらの機会

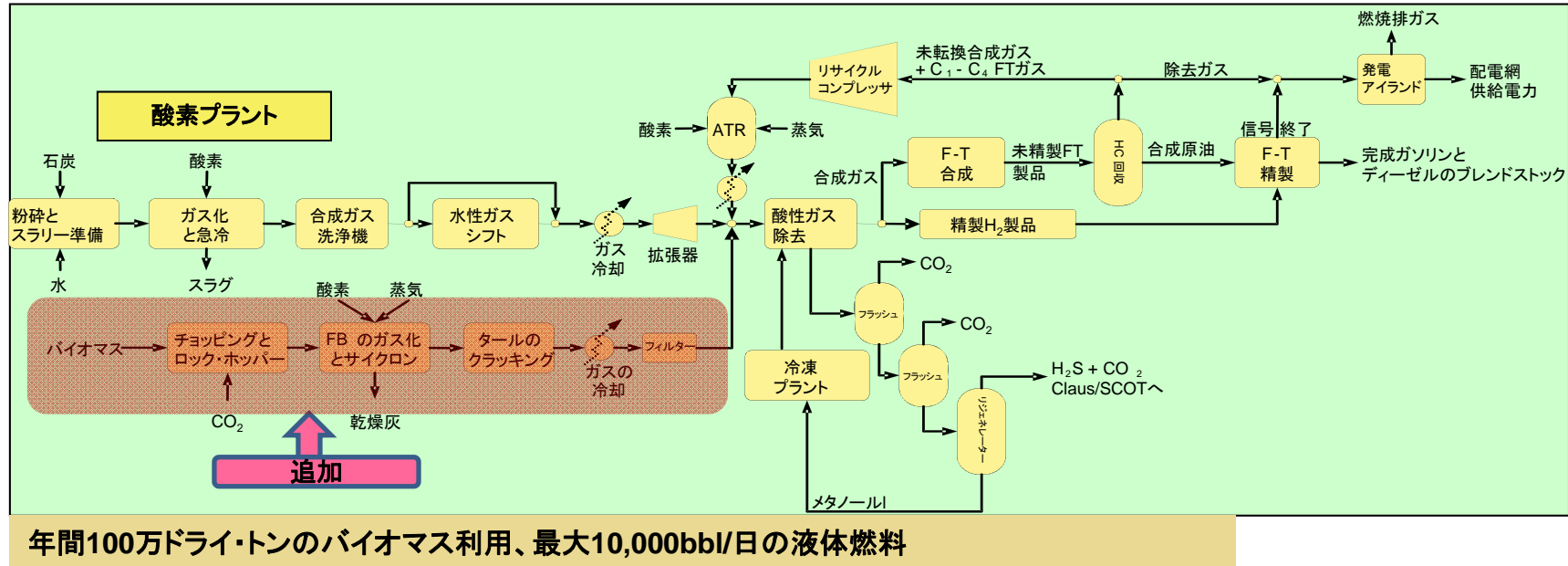
CO₂貯留なしで、石炭から液体燃料へ[CTL-RC-V]



フィッシャー・トロプシュ変換技術の使用、メタノールからガソリンへの適用も可能、50,000bpd

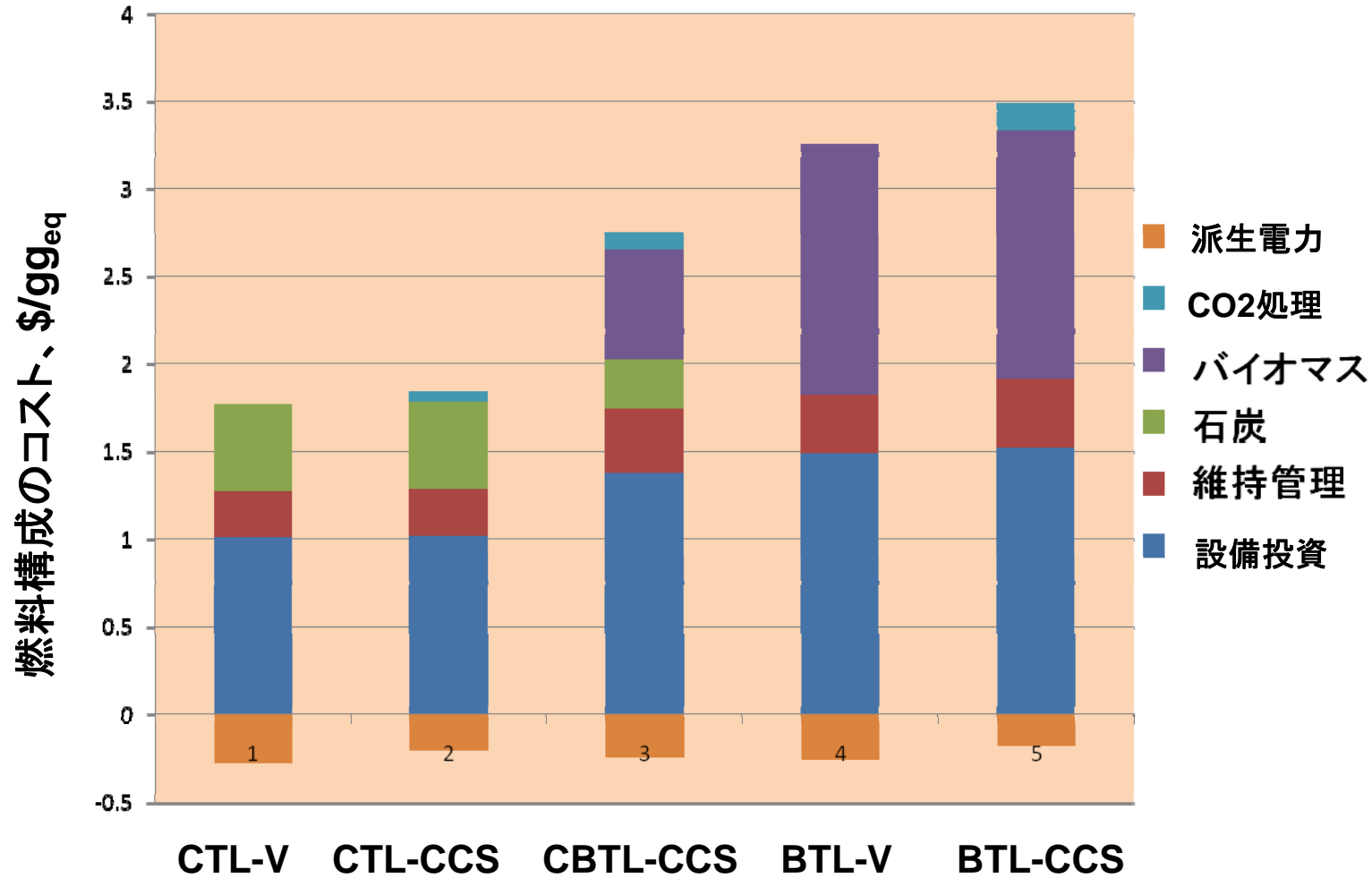
- 液体輸送燃料の生産は、原油価格60ドル/bblで経済的に実行可能
- ライフサイクルCO₂排出量は、原油ベースの燃料のほぼ 2倍
- 液体合成過程の一部としてCO₂の分離が必要
- 配電網への電力はエネルギー・ベースでの売却製品の約12%

石炭/バイオマス to 液体燃料[CBTL]

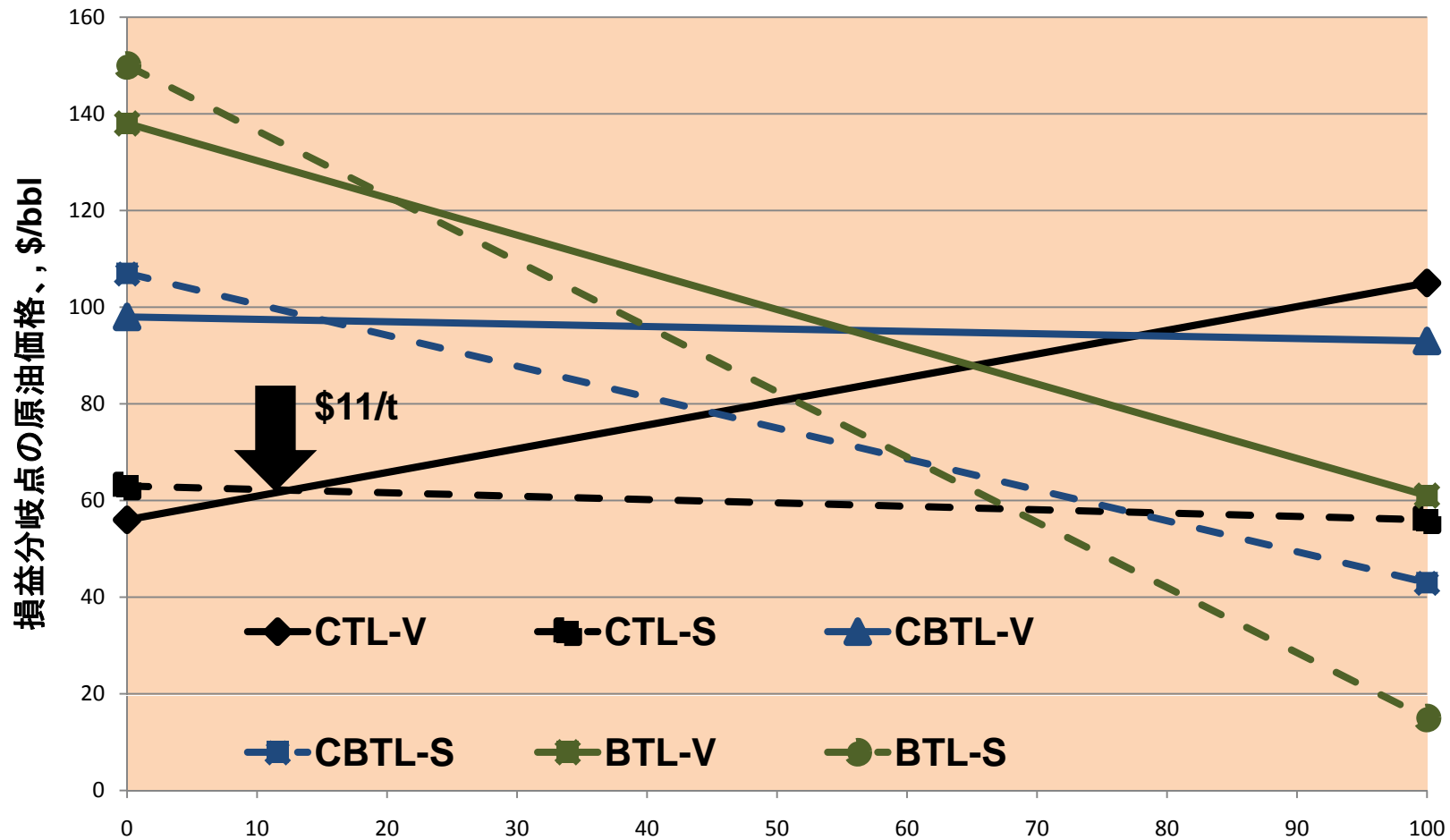


- 液体再利用ガス化装置を、バイオマス単独、または石炭との組み合わせで使用
- バイオマスは有限資源：石炭との組み合わせで経済性の規模を取得
- バイオマスに対する石炭の投入比率(エネルギー・ベース)は重要なパラメーター

燃料コストに対する石炭/バイオマス比



原油コストと液体製品の損益分岐点に対する ライフサイクルのGHG価格の影響



S = CCS

ライフサイクルのGHG価格、ドル/トンCO_{2eq}

Katzer: 2010クリーン・コール・デー石炭利用国際会議

温室効果ガスの排出指数 (GHGI) で見た ライフサイクル温室効果ガス (GHG) 実績

$$GHGI \equiv \frac{\text{(エネルギー生産/消費による総GHG排出量)}}{\text{(化石エネルギーによる総GHG排出量)}}$$

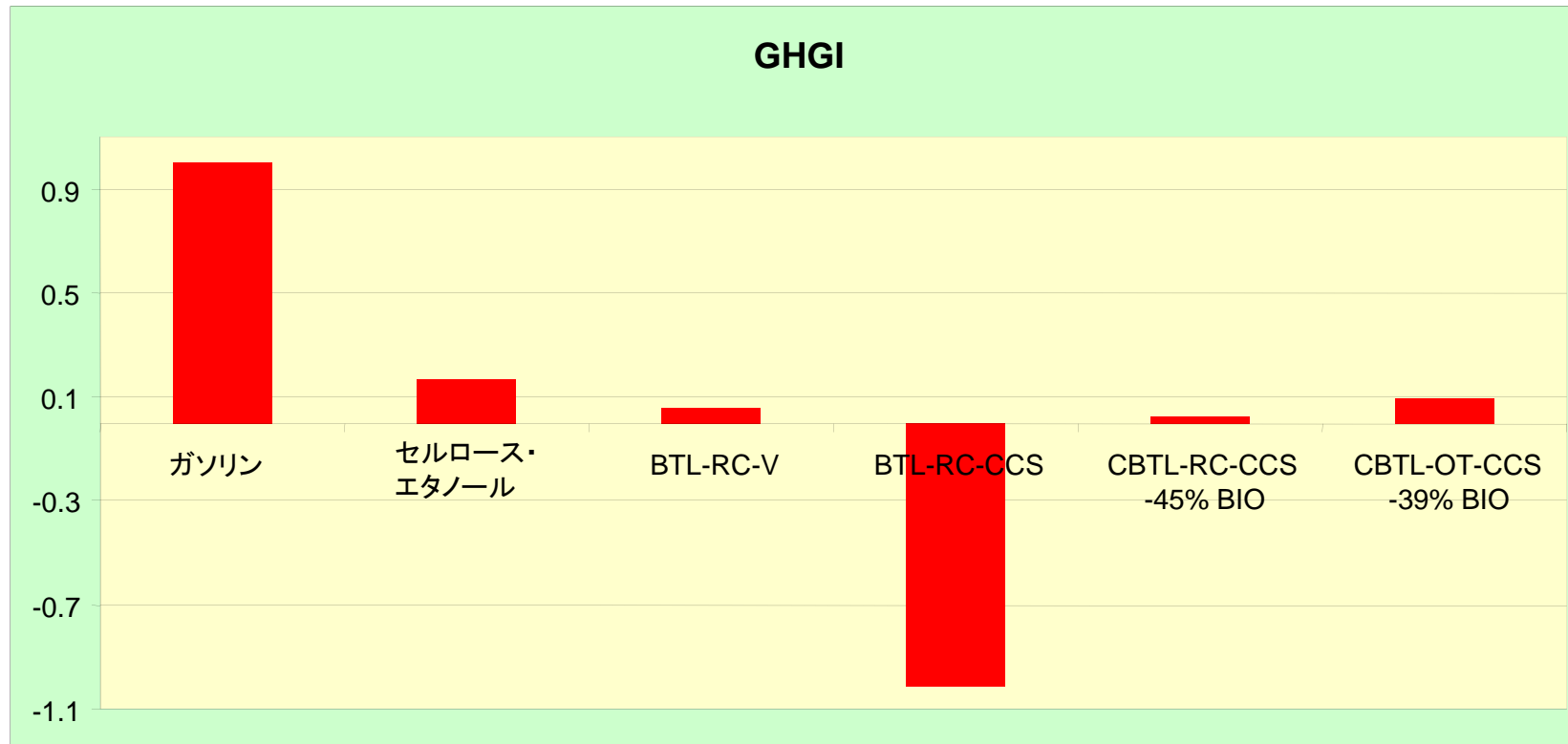
仮定:

ここでいう「化石エネルギー」とは:

(等価原油製品) +

(CO₂ を排出する超臨界圧の微粉炭火力発電所からの電力)

バイオマスを含む燃料オプションに対する ライフサイクルGHGI値



ライフサイクルのGHG排出量ゼロ化は、
石炭の燃料投入量に占める比率が1/2以上で達成可能

目的と概要

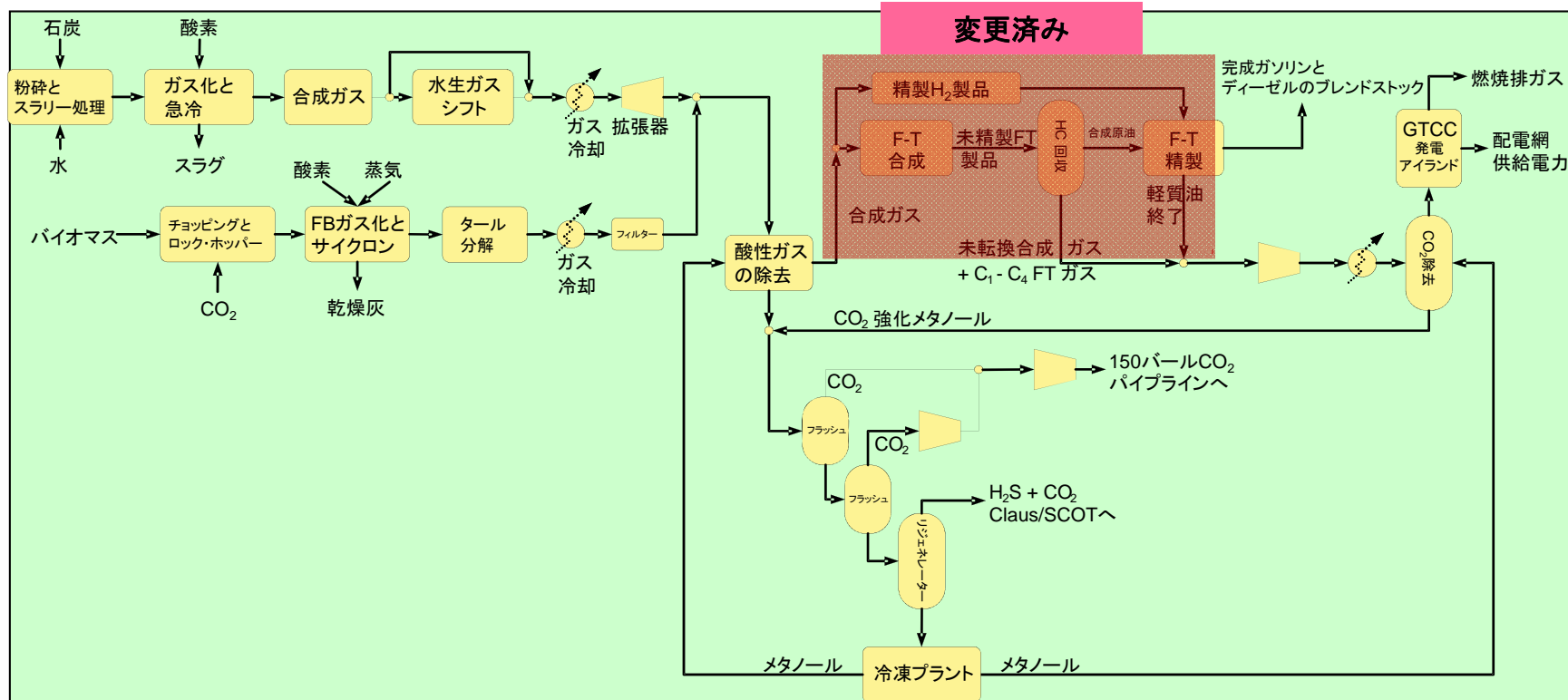
主要目標:

- 電力: **基準排出量とCO₂排出供給量の削減**
- 液体燃料: **供給源の拡大と輸送部門のCO₂排出量削減**

発表の概要:

1. クリーン石炭発電 + CO₂地下貯留
2. 石炭/バイオマス to 液体燃料 (CBTL)
3. 石炭/バイオマスからの発電と燃料生産
4. それらの機会

液体燃料生産と電力増産のためのOT方式 [CBTL-OT]

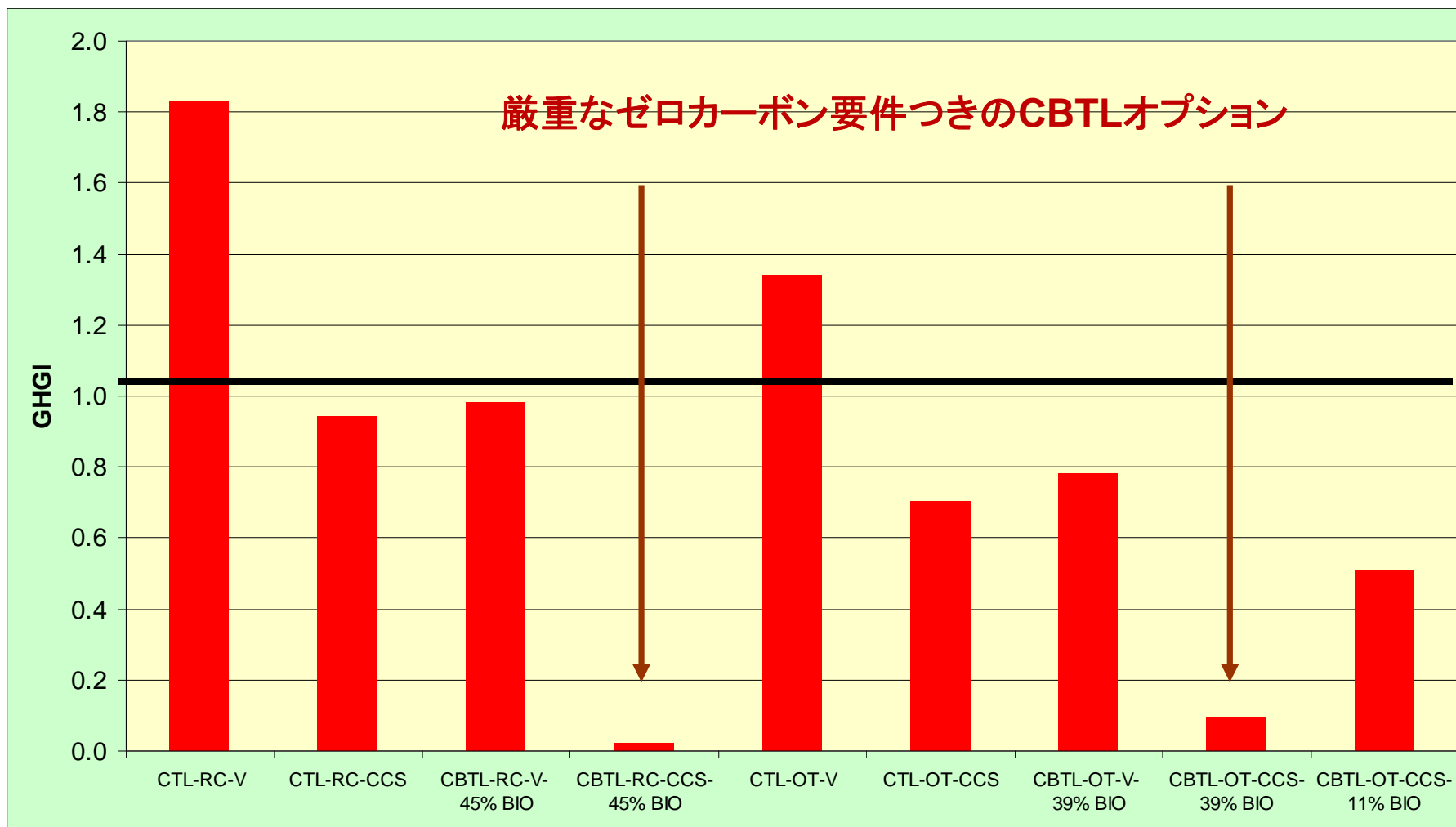


100万ドライトン/年のバイオマス、最大10,000bpdの液体燃料、最大電力275MWe

- リサイクルとそのコストは除外: 未転換ガスは直接発電アイランドへ
- 電力生産量はエネルギー・ベースで全体出力の約40%
- CO_{2eq}抑制コストは20ドル/トン
- 固定電力経費では、燃料費はOT発電所の場合7~10% 低い。

OT = Once-Through、
リサイクルしない方式

一部CTL/CBTLオプションのライフサイクルGHGI



- CCS付きのCBTLは、ゼロ・カーボン発電とゼロ・カーボンの液体燃料生産が同時に可能

目的と概要

主要目標:

- 電力: **基準排出量とCO₂排出量の削減**
- 液体燃料: **供給源の拡大と輸送部門のCO₂排出量削減**

発表の概要:

1. クリーン石炭発電、地質学的CO₂貯留
2. 石炭/バイオマス to 液体燃料 (CBTL)
3. 石炭/バイオマスからの発電と燃料生産
4. 機会: 亜臨界圧PCユニットからのCO₂を削減

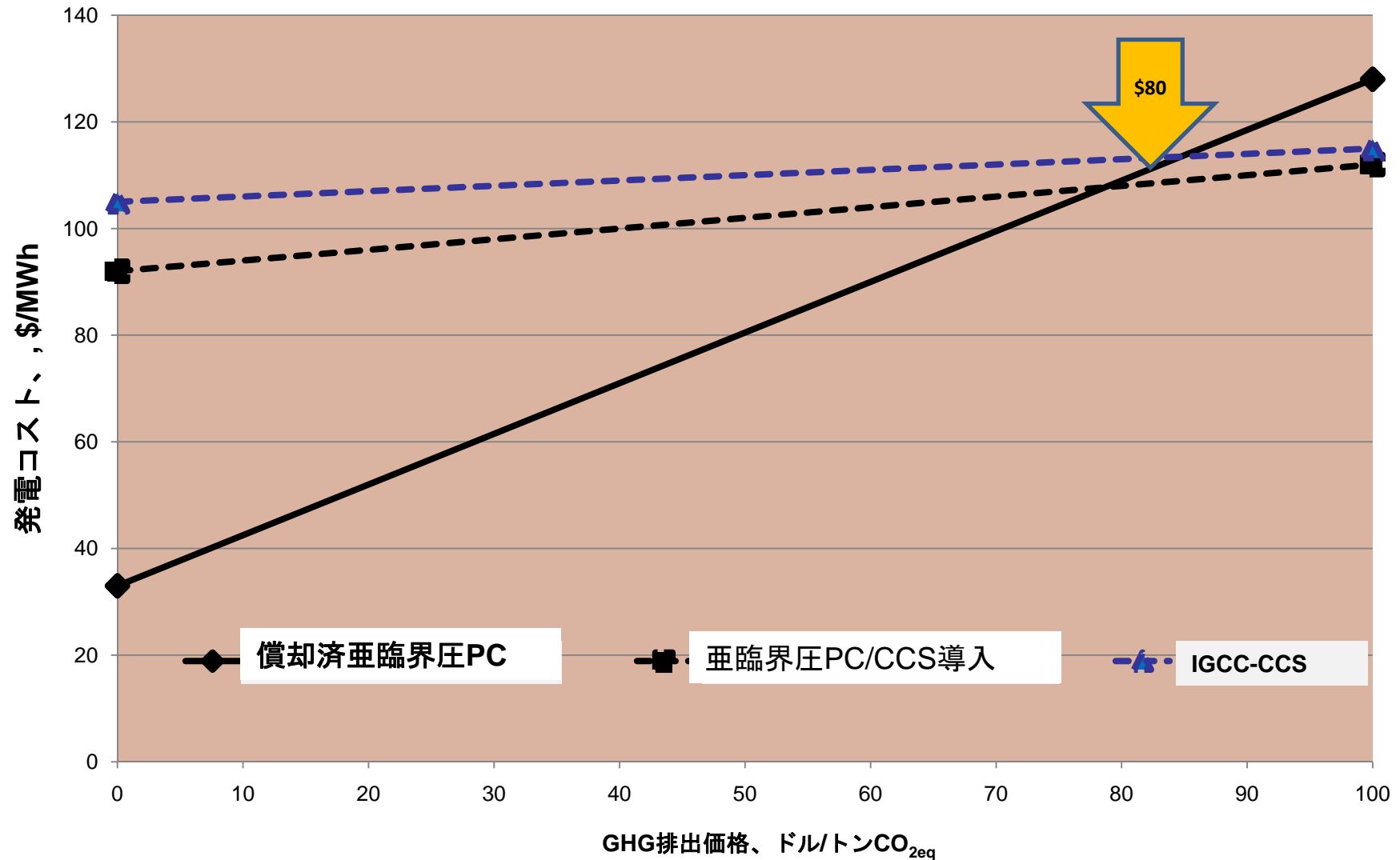
既存の亜臨界圧PCユニットからのCO₂削減

米国は最大314GWのPC発電容量を保有、殆どが亜臨界圧ユニット
日本は11GWの亜臨界圧ユニットを保有、うち6GWが発電所ベース

- オプション:
 - 燃焼排ガス系統にアミン系回収装置を設置
 - CCS付きIGCCの追加導入
 - CCS付き超臨界圧または超々臨界圧PCの追加導入
 - 電力と輸送燃料の同時生産施設(CBTL)の追加導入
 - 閉鎖
- 成功事例におけるCOEは、最大33ドル/Mw_eh
- アミン系回収装置のCOEは、最大90ドル/Mw_eh、最もコストが低い追加導入
- IGCC-CCSのCOEは、最大105ドル/Mw_eh、最もコストが低いリパワリングオプション

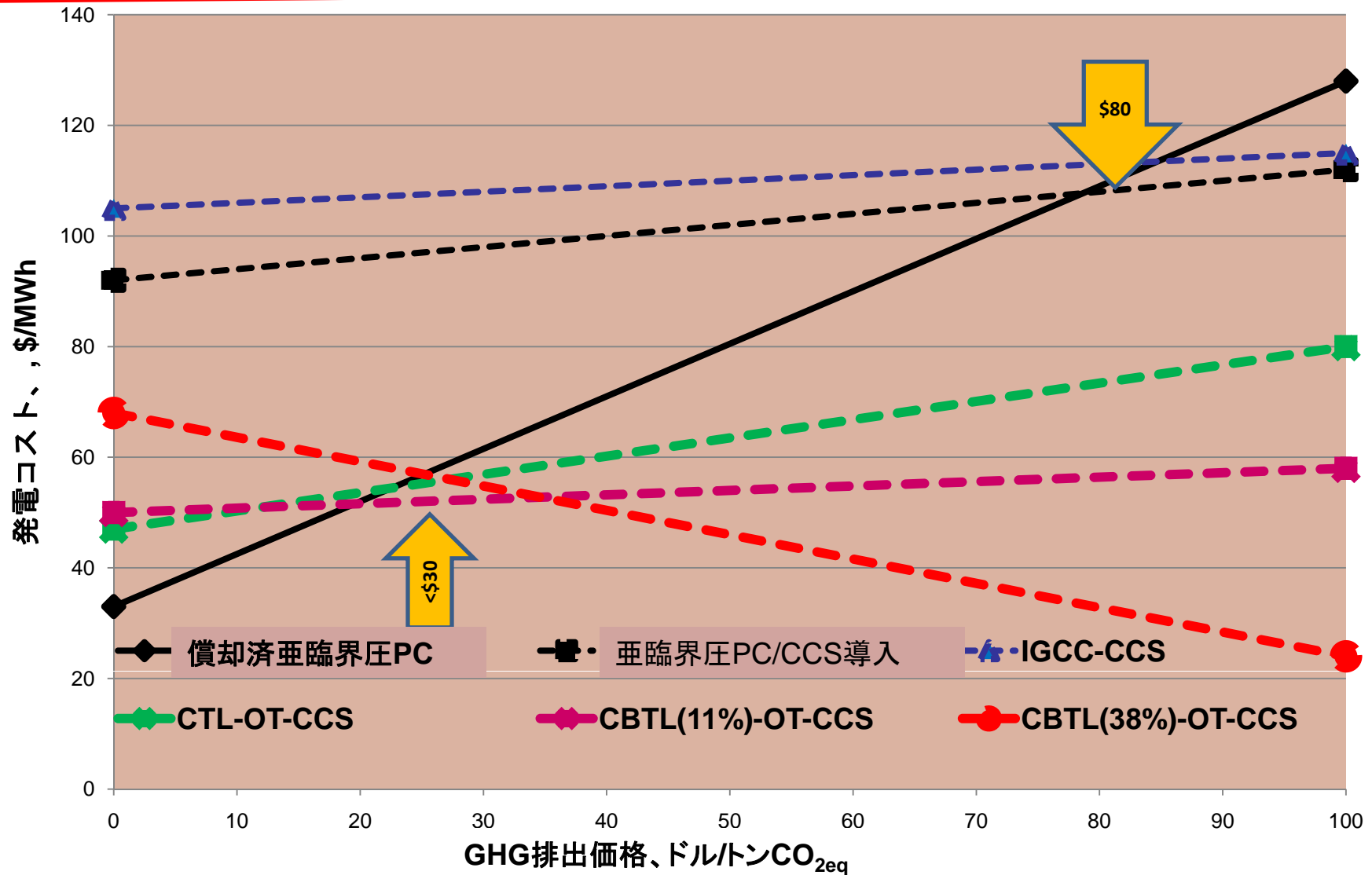
2009年のMIT PC 再供給会議における、Dale Simbeck氏の見積もり

電力コスト: CO₂価格の影響



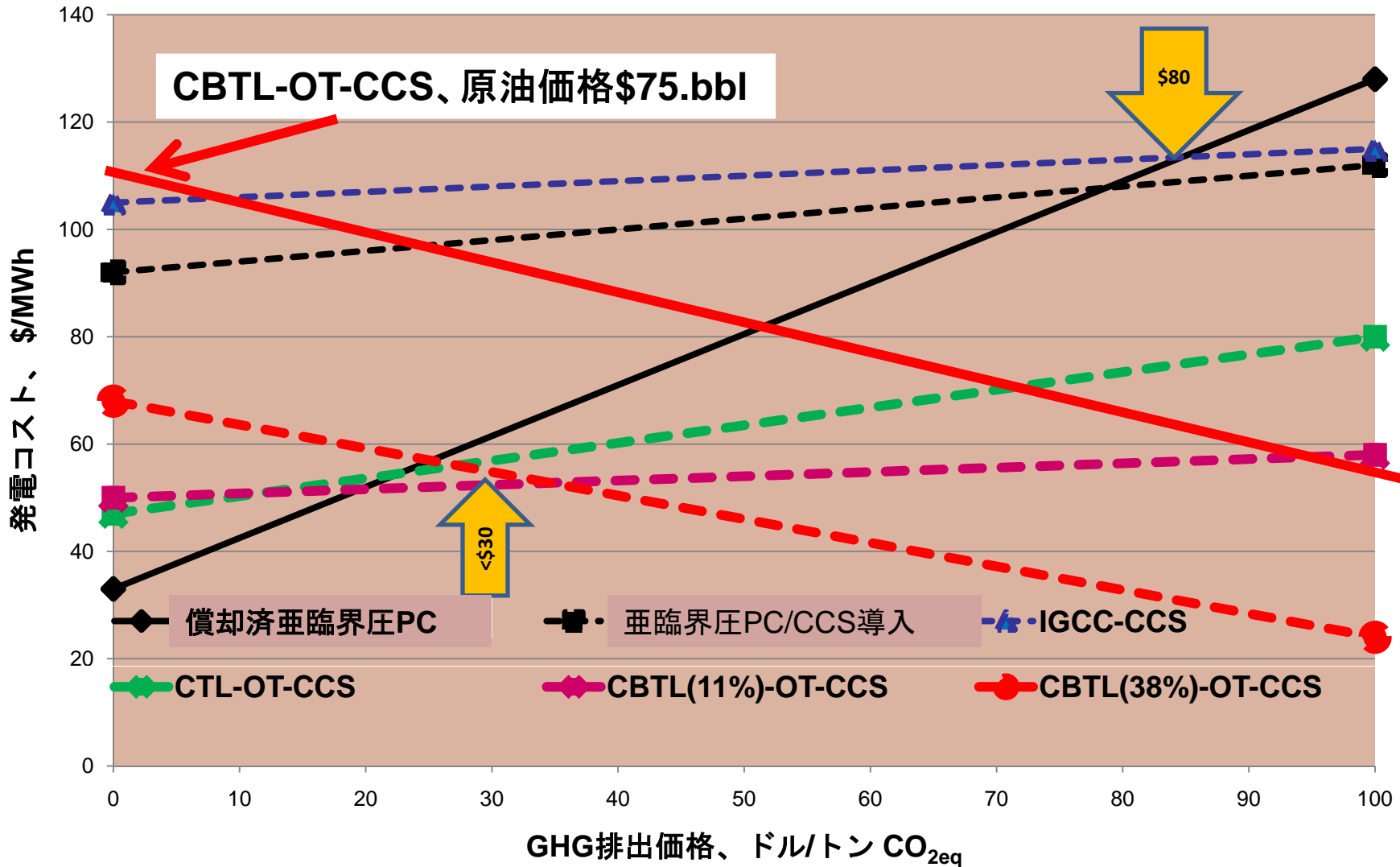
石炭価格46ドル/トン、バイオマス価格94ドル/ドライ・トン、輸送燃料価格は原油価格100ドル/bblに比例する²²

電力コスト: 原油価格100ドル/bblに対するCO₂価格の影響



石炭価格46ドル/トン、バイオマス価格94ドル/ドライ・トン、輸送燃料価格は原油価格100ドル/bblに比例する

電力コスト：原油価格75ドル/bblに対するCO₂価格の影響



石炭価格46ドル/トン、バイオマス価格94ドル/ドライ・トン、輸送燃料価格は原油価格100ドル/bblに比例する

所見：概要

- CO₂地下貯留(CCS)が極めて重要
- 超「クリーン」な石炭発電は可能、IGCCがその牽引役となる
- ガス化はクリーンな発電と液体燃料生産の重要な基礎技術、近い将来の導入も可能
- 1トン当たりのCO_{2eq}抑制コストは、主要な技術順位付け指標
- CCS付きの石炭・バイオマス同時燃焼・液化技術により、複数のエネルギー問題を解消可能
 - 気候変動
 - 供給の確保
 - 供給源の多様化
 - 大気汚染

所見：石炭＋バイオマス

- バイオマスは再生可能であるが、有限である
- CBTL-CCSは、ゼロ・カーボン燃料生産とゼロ・カーボン発電が同時に可能
- 同時生産システムのCO_{2eq}抑制コストは20ドル/トン以下、独立型電力システムより低い
- CBTLの生産コストは今日では魅力的で、カーボン抑制の世界では経済的競争力がある
- CCS付きのOT式CBTLは、旧式の亜臨界圧PCユニットを取り換える、あるいは脱炭素電力・燃料生産新規プロジェクトを考える際に、有力なオプションとなる
- 2つの極めて性質の異なる生成物（電力と液体燃料）の取り扱いが大きな課題となる

米国への影響見積：燃料と電力の同時生産

- 米国(※下記)は2030年までに年間約5億ドライ・トンのバイオマスの生産が可能
 - バイオマス消費量は、2030年までに年間2.5億ドライ・トンに達する見込み
 - BTL-RC-Vは110万bbl／日の燃料と8.5GWの電力を生産可能
 - CBTL-OT-CCSは190万bbl／日の燃料と65GWの電力を生産可能
低コストとカーボン・フリーである点が魅力である
 - 石炭とバイオマスの組み合わせで、持続可能性を実現
 - ガス化技術によりGHGの排出量を大幅に削減
 - バイオマスの利用を増加(液体燃料／トンのバイオマス増産)
 - 今ある石炭の利用可能期間(寿命)を延ばす
 - 電力・燃料の生産コストを削減
- ※ 米国は約1,200万bbl／日の輸送燃料を消費

有難うございました

特に、協力をいただいたPEIのRobert Williams氏と氏のグループに感謝を申し上げます。

さらなる詳細情報については下記をご参照ください。

<http://www.princeton.edu/pei/energy/publications/texts/#2008>

(2008年の第25回国際ピッツバーグ石炭国際会議におけるプリンストン環境研究所(Thomas Kreutz、Eric Larson、Guangjian Liu、及び Robert Williams)の寄稿記事)

及び

「CO2回収・貯留を伴う石炭・バイオマスからの脱炭素合成燃料と電力の同時生産：イリノイ州の事例」エネルギーと環境の科学(近日発行)

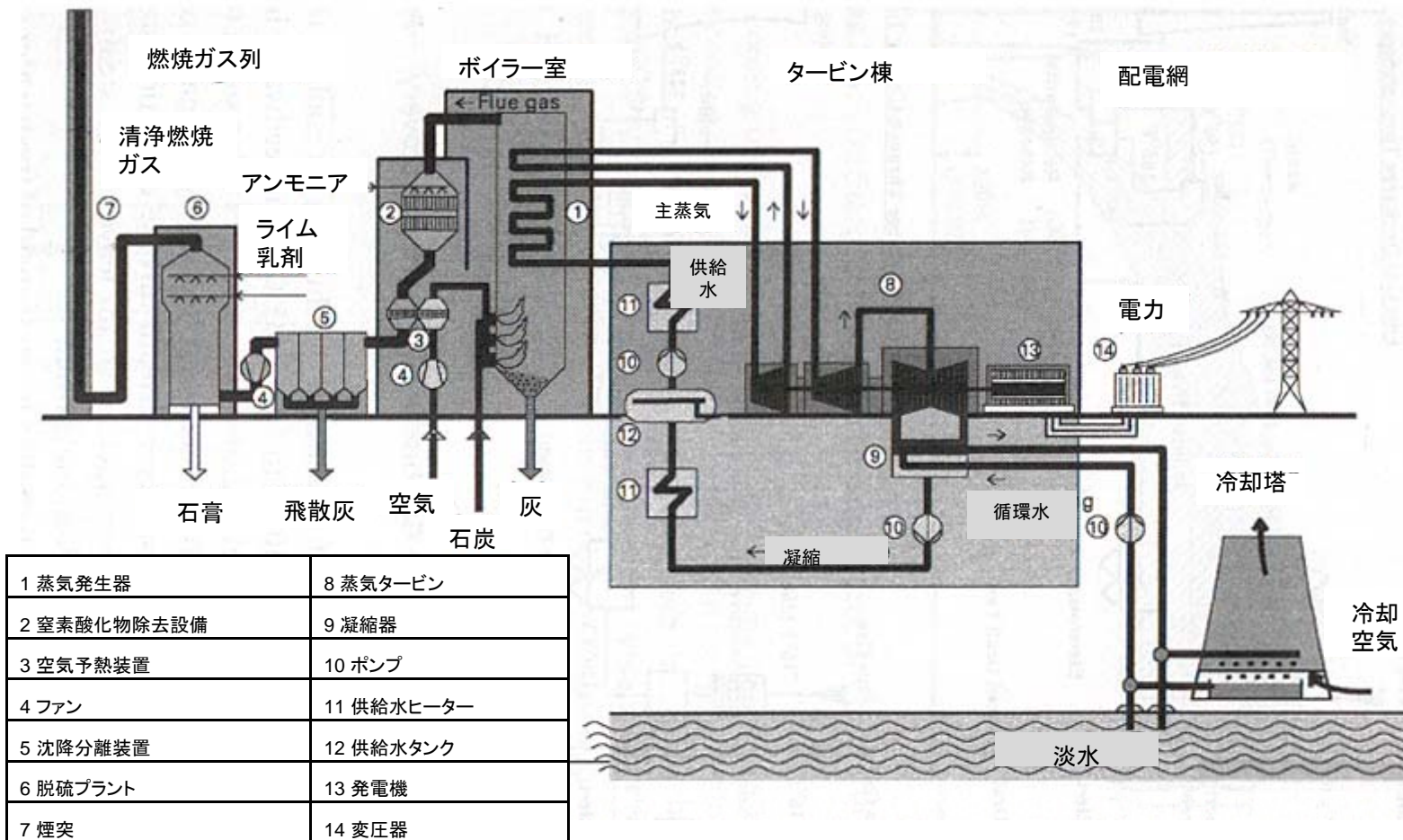
(E. Larson、G. Fiorese、G. Liu、R. Williams、T. Kreutz、及び S. Consonni、2009年)

J. Katzer(編集責任者)「石炭の今後(The Future of Coal)」 <http://web.mit.edu/coal/>

マサチューセッツ工科大学 2007年

NRC報告「石炭・バイオマス由来の液体輸送燃料」2009年

先進的PC発電所



Katzer: 2010クリーン・コール・デー石炭利用国際会議