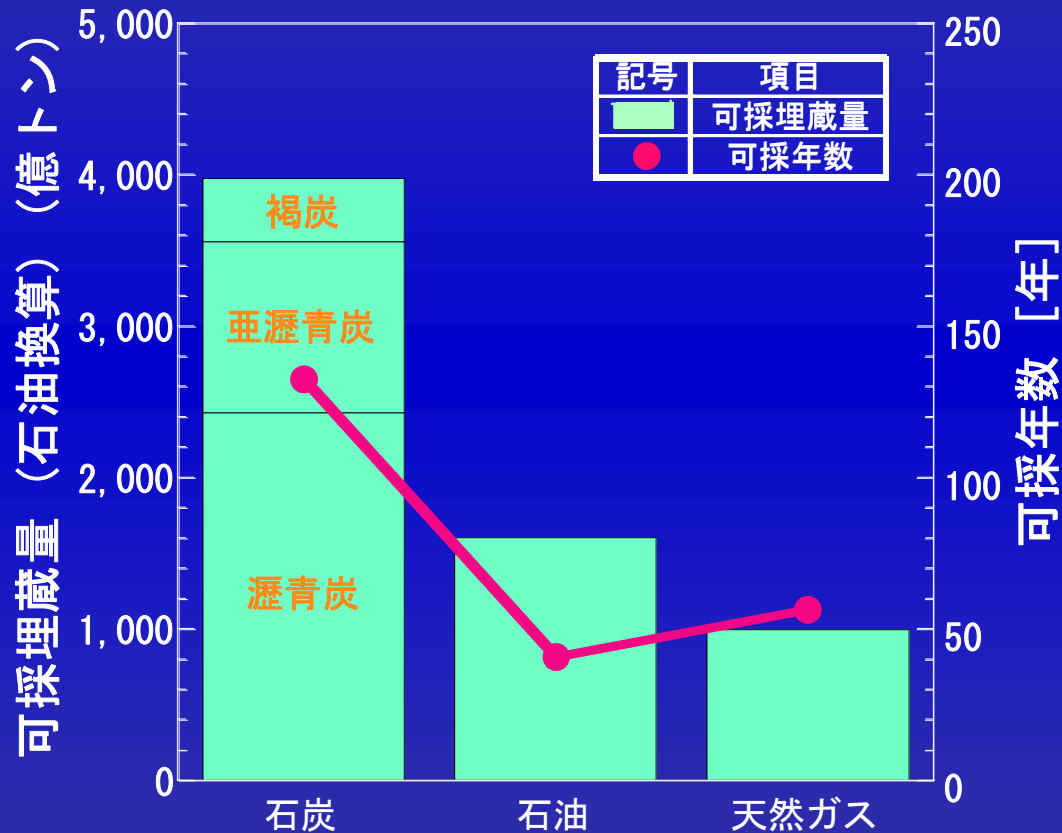


エネルギーベストミックスに向けた石 炭火力発電用燃料多様化技術の開発

(財) 電力中央研究所
エネルギー技術研究所

牧野 尚夫

世界のエネルギー資源埋蔵量



2007 Survey of Energy Resources

石炭性状

分析項目		単位	瀝青炭		亜瀝青炭	褐炭	高灰分炭	高燃料比炭
			ドレイトン	ニューランス	アタロ	ロイヤング	池島	山西
工業分析	水分 ^{*1}	%	2.6	2.5	20.4	62.0	2.7	2.7
	灰分 ^{*2}	%	14.3	15.2	1.2	0.7	36.0	14.9
	揮発分 ^{*2}	%	34.8	28.4	50.3	58.0	30.5	10.5
	固定炭素 ^{*2}	%	50.9	56.4	48.5	41.3	33.5	74.6
燃料比		—	1.46	1.99	0.96	0.71	1.10	7.10
元素分析	炭素 ^{*2}	%	70.8	71.8	70.7	70.6	51.5	77.9
	水素 ^{*2}	%	4.8	4.5	5.2	5.1	4.8	3.4
	窒素 ^{*2}	%	1.56	1.59	0.96	0.81	0.71	0.80
	酸素 ^{*2}	%	7.77	6.40	21.80	22.60	6.14	2.80
	全硫黄 ^{*2}	%	0.78	0.54	0.12	0.16	0.97	0.40
	燃烧性硫黄 ^{*2}	%	0.75	0.49	0.09	0.08	0.88	0.30
発熱量	高位発熱量 ^{*1}	MJ/kg	28.6	28.4	22.4	9.6	21.3	29.3
	低位発熱量 ^{*1}	MJ/kg	27.5	27.3	21.0	7.6	20.2	28.5

*1: 恒湿ベース

*2: 無水ベース

利用石炭種の多様化

(1) 発熱量の低い石炭の利用

高水分(亜瀝青炭、褐炭)あるいは、高灰分のため発熱量が低い石炭の利用を検討する。

(2) 燃焼性の悪い石炭の利用

無煙炭など揮発分含有量が低く(燃料比が高く)、着火や燃焼性に劣る石炭の利用を検討する。

低発熱量炭

(1) 高水分炭

① 亜瀝青炭

水分含有率	約15~40%
発熱量	18~29MJ/kg

→ 当面、微粉炭火力での燃焼利用を検討

② 褐炭

水分含有率	約40~60%
発熱量	9~18MJ/kg

→ 脱水により高品位化しての利用を検討

(2) 高灰分炭

水分含有率	約20~40%
発熱量	16~26MJ/kg

→ 脱灰により高品位化しての利用を検討

紹介内容

I. 既設微粉炭火力での燃料多様化

(1) 高水分炭の燃焼技術

① 高水分炭の専焼技術

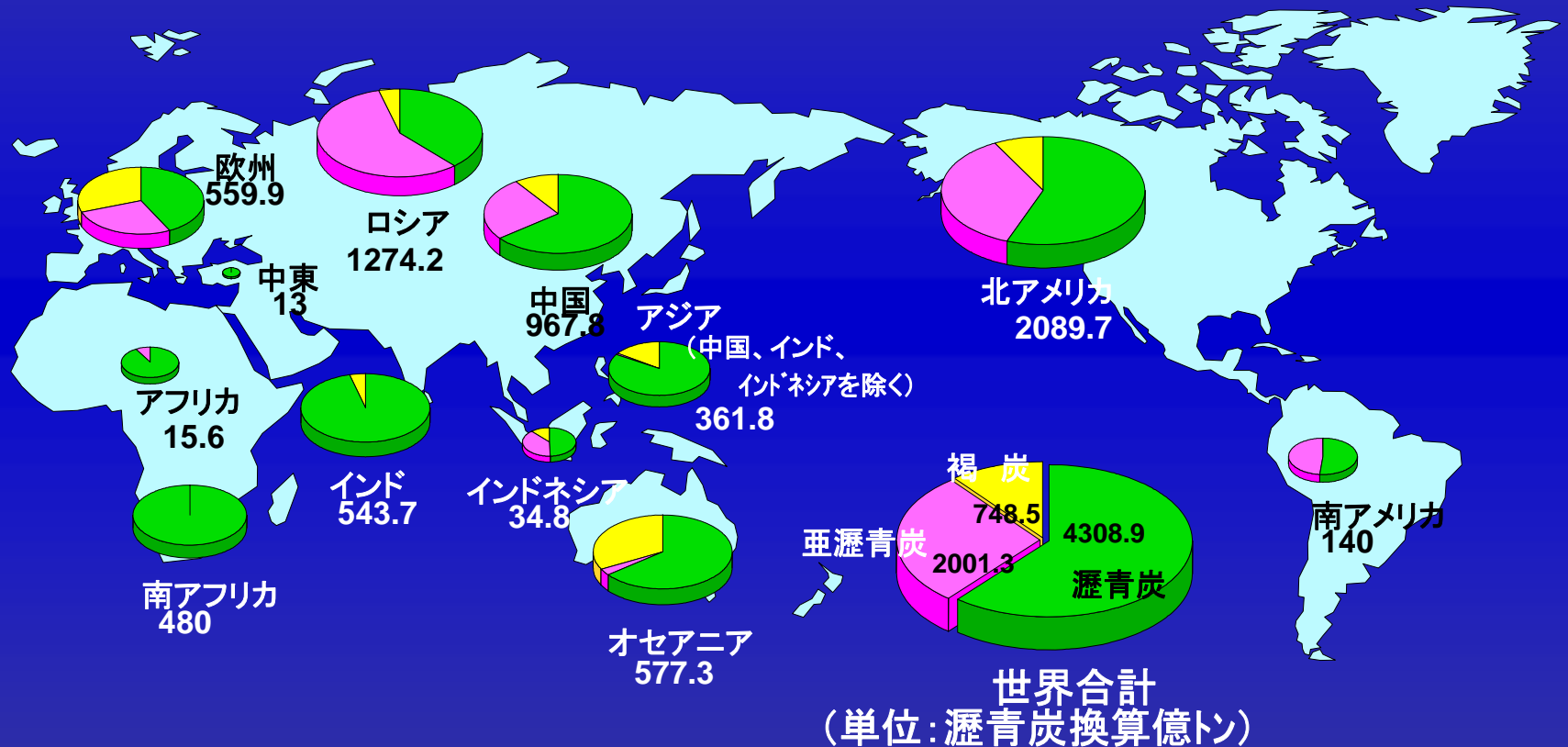
② 瀝青炭との混焼技術

(2) 高水分炭の脱水技術

(3) 高灰分炭の脱灰技術

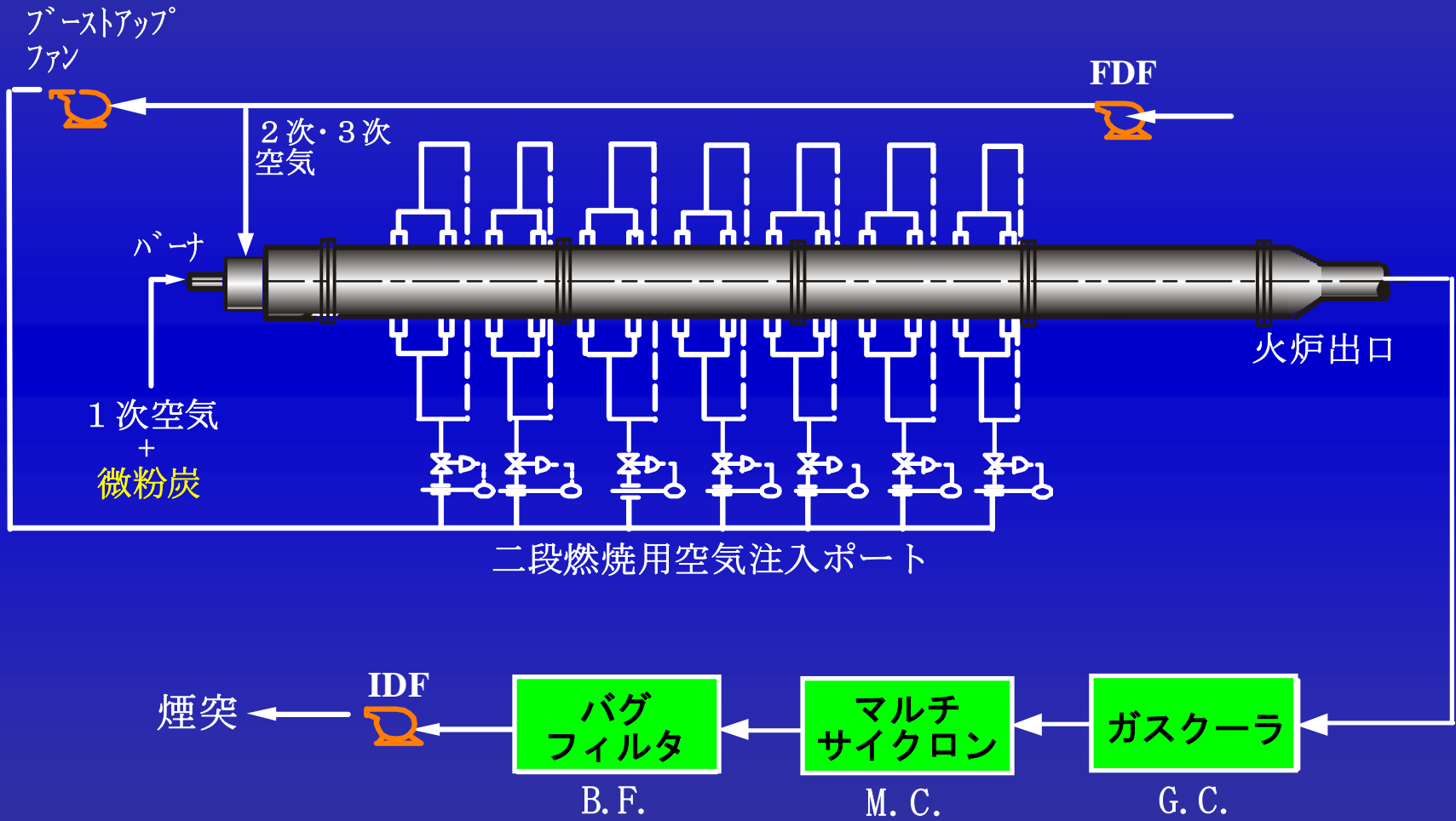
II. 新型石炭火力での燃料多様化技術

世界の石炭可採埋蔵量

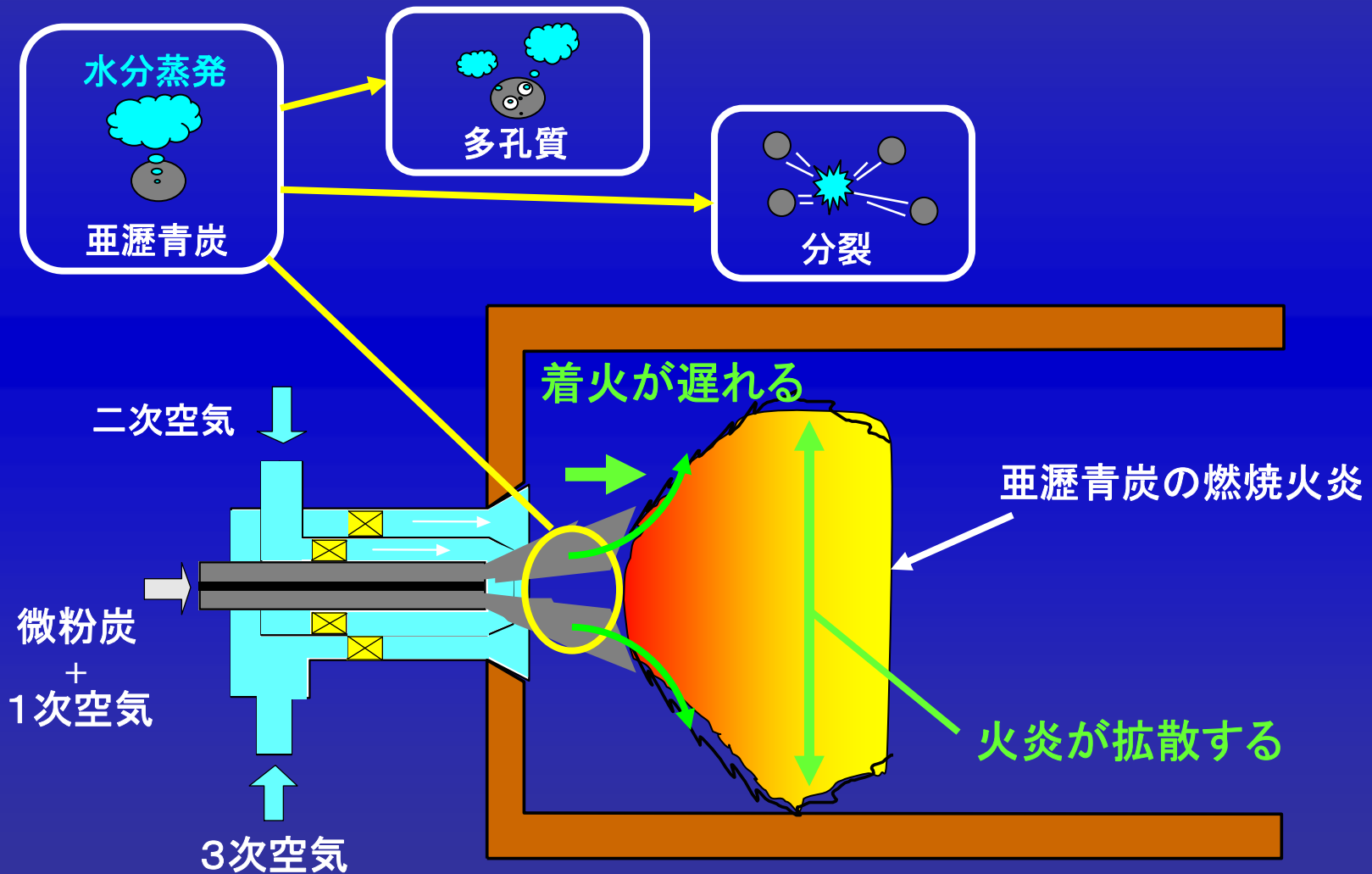


出典: 世界エネルギー会議 (2007年) 資料等

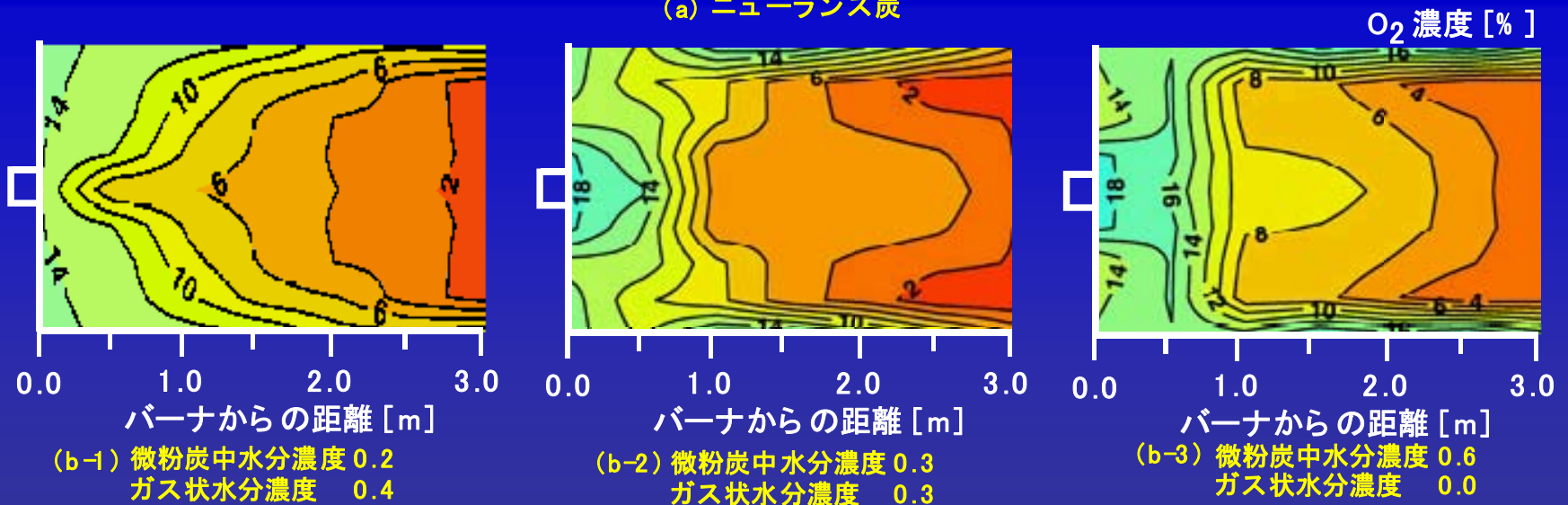
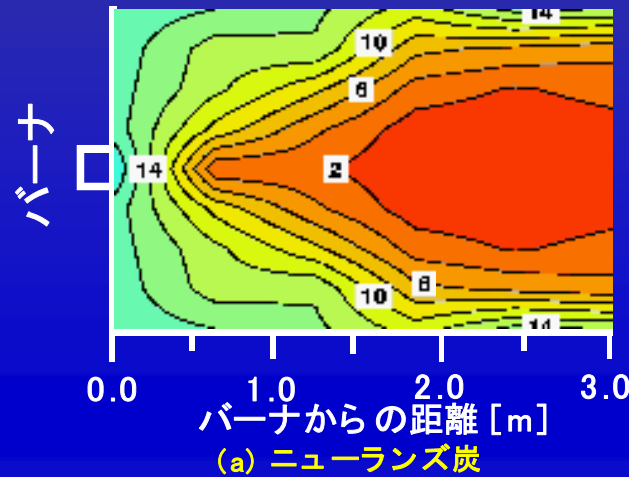
石炭燃焼試験炉



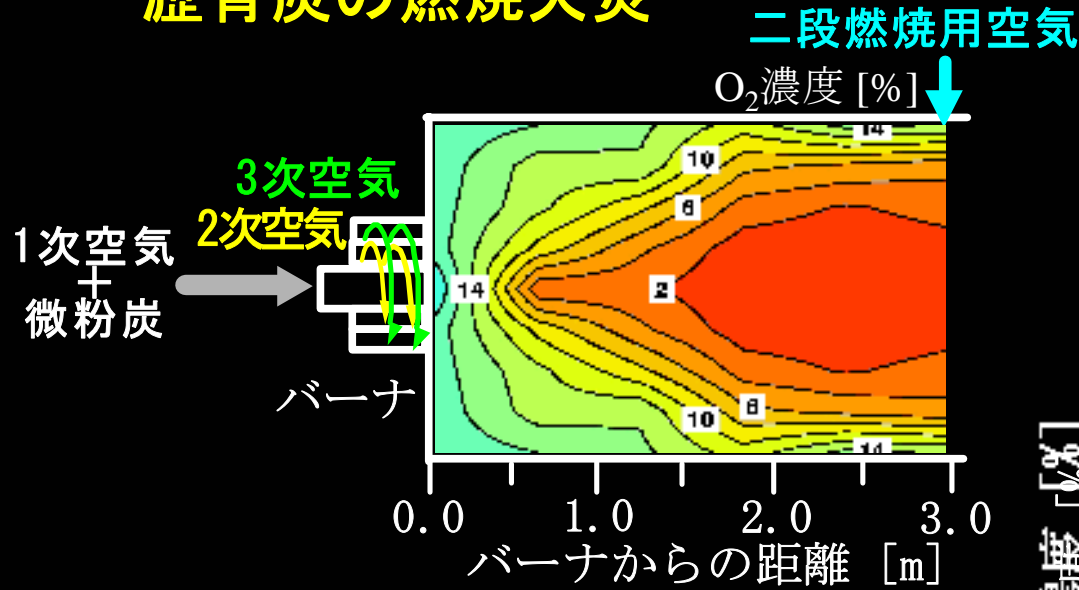
亜瀝青炭の微粉炭燃焼火炎



瀝青炭に適したバーナ操作条件時の 火炉内 O_2 濃度分布

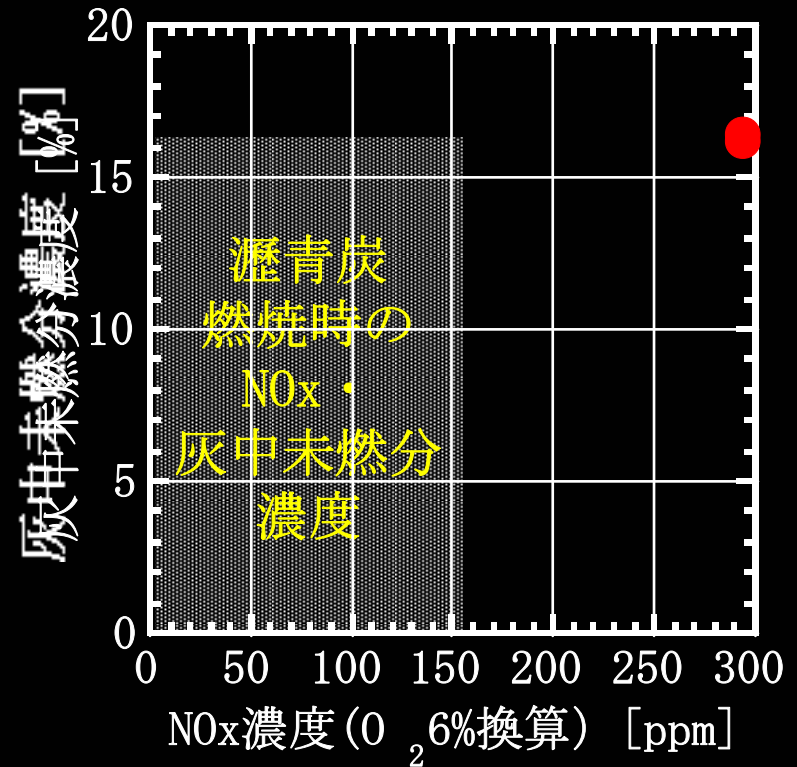
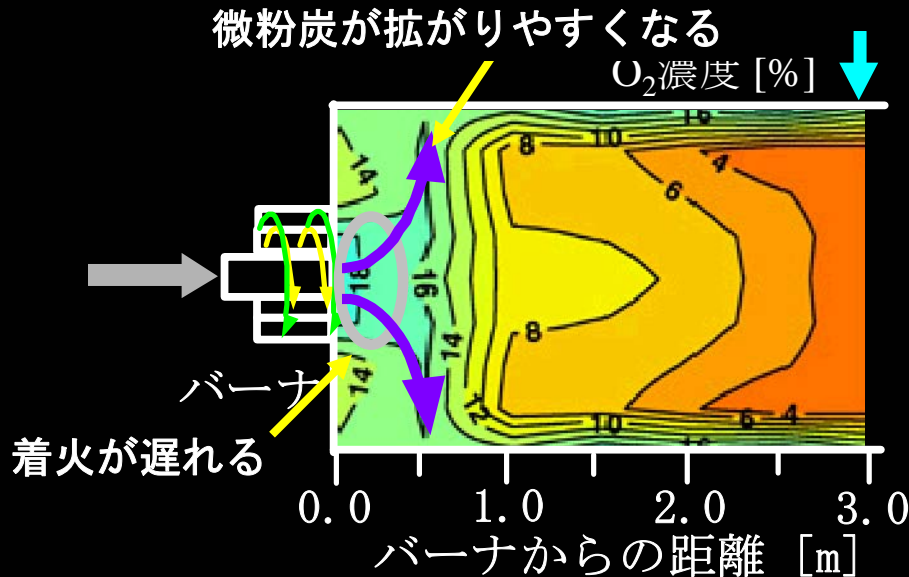


瀝青炭の燃焼火炎

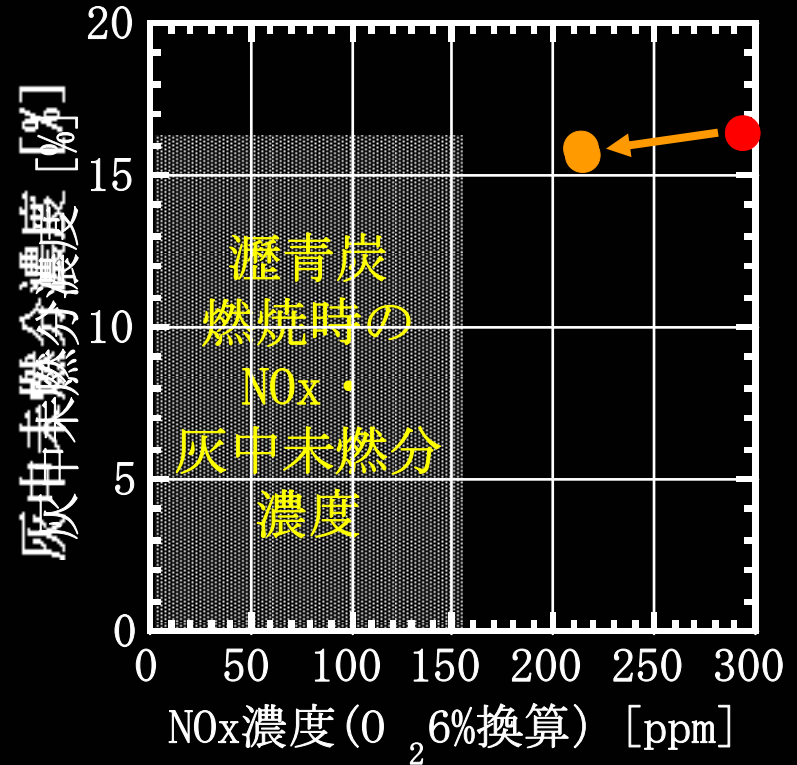
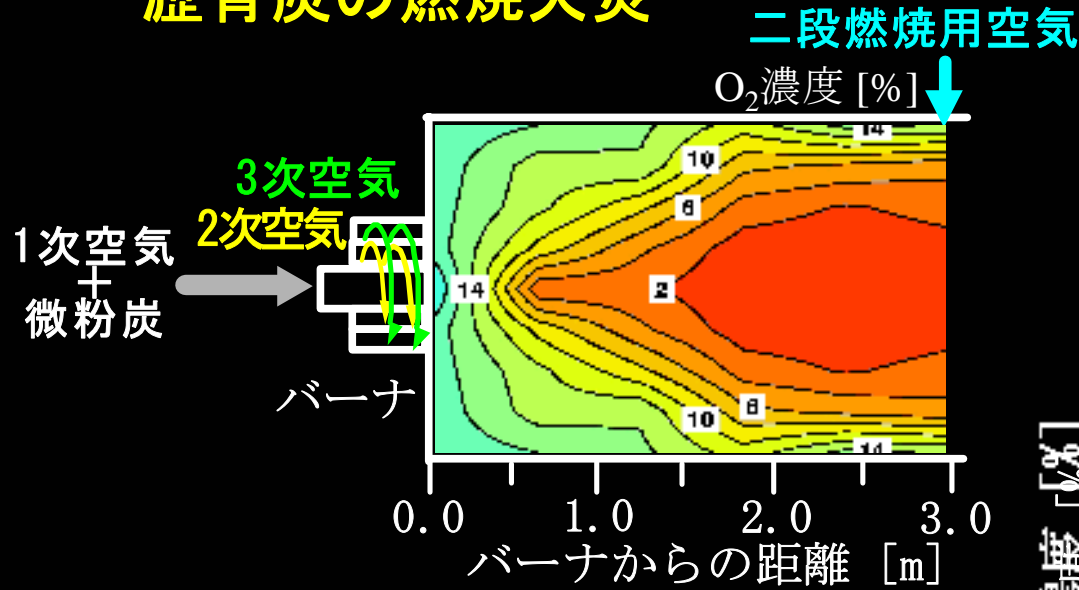


亜瀝青炭の燃焼火炎

瀝青炭と同じ燃焼条件

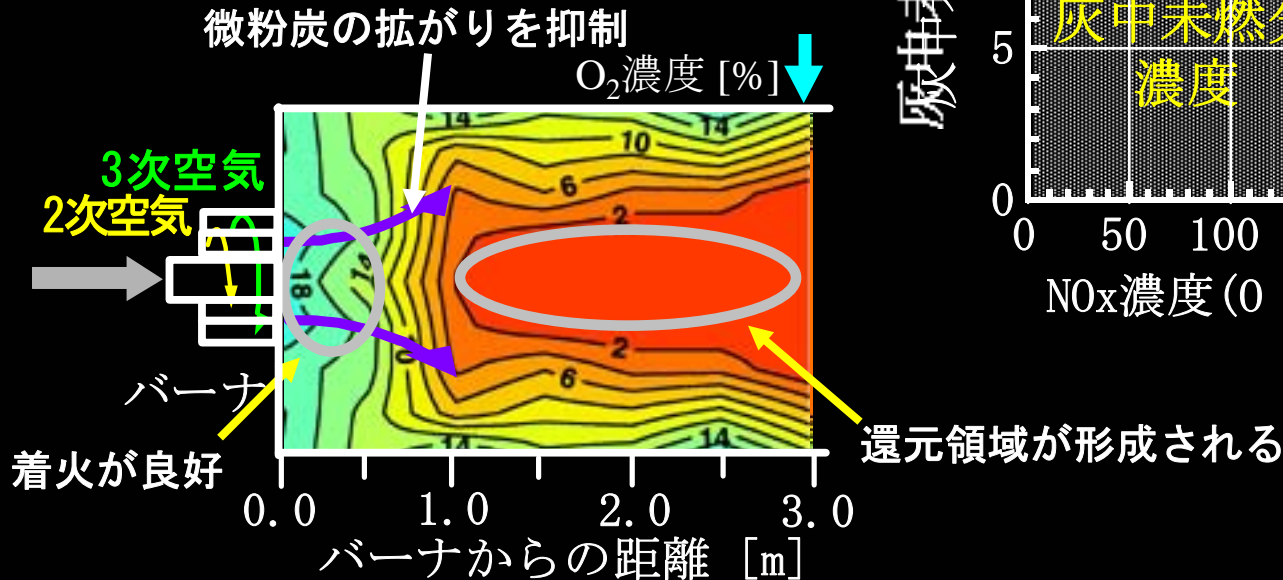


瀝青炭の燃焼火炎

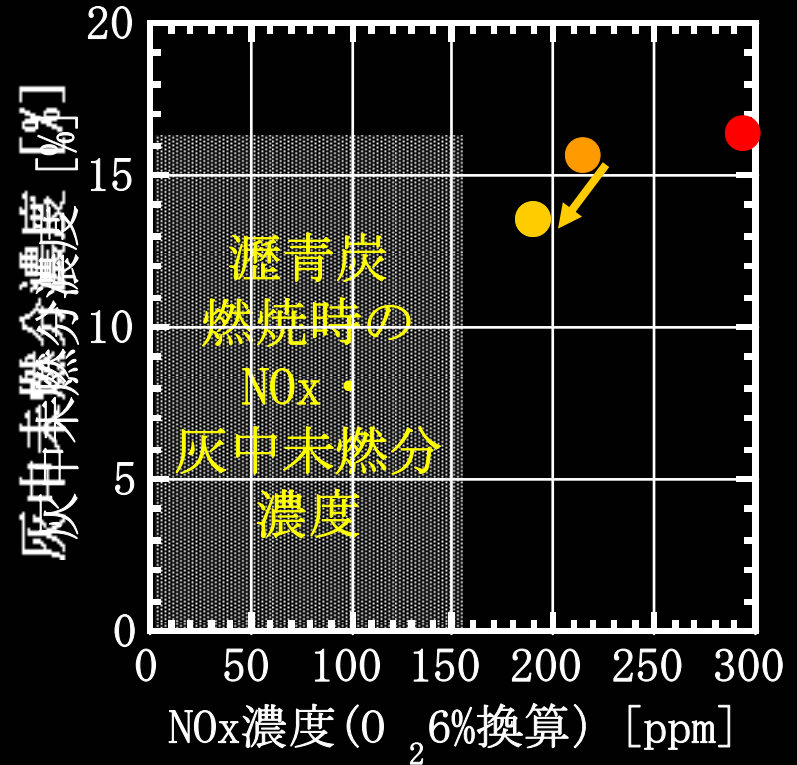
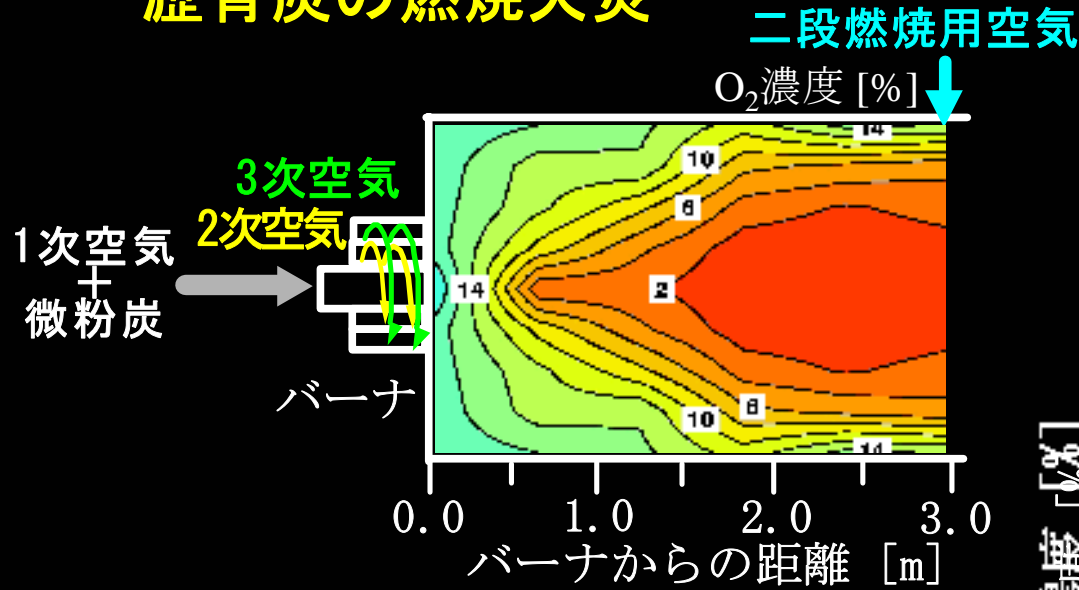


亜瀝青炭の燃焼火炎

2次空気旋回角度を調整 (弱める)

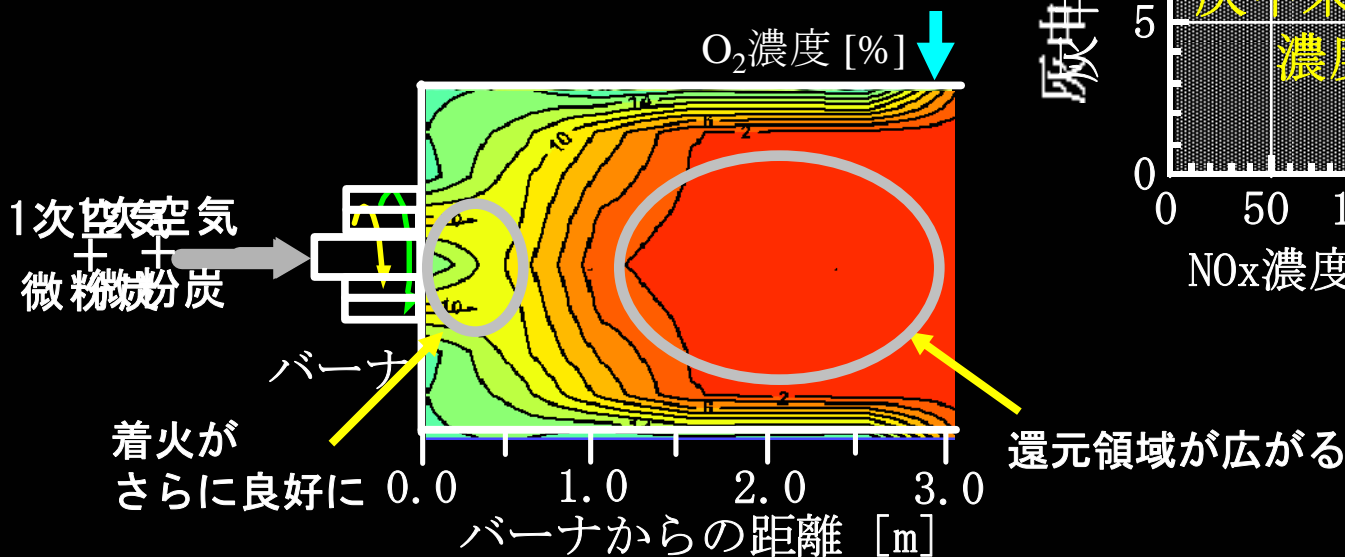


瀝青炭の燃焼火炎

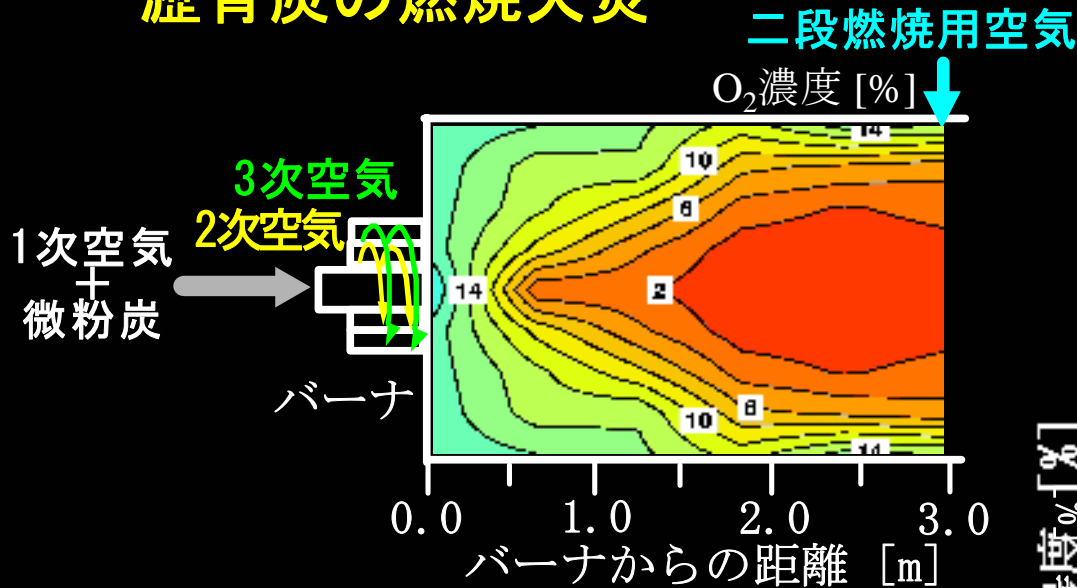


亜瀝青炭の燃焼火炎

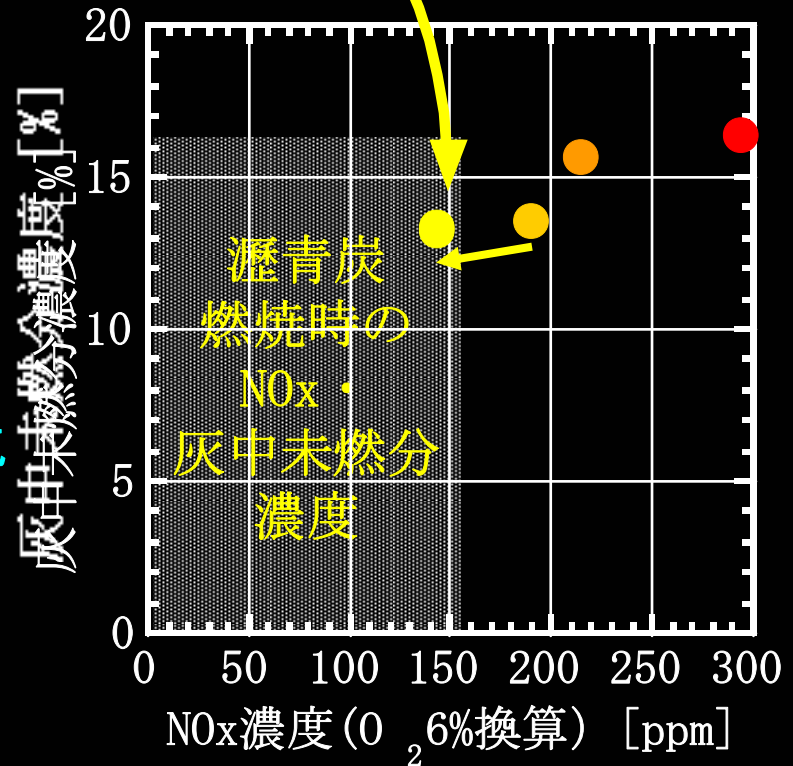
1次空気の供給量を減少



瀝青炭の燃焼火炎

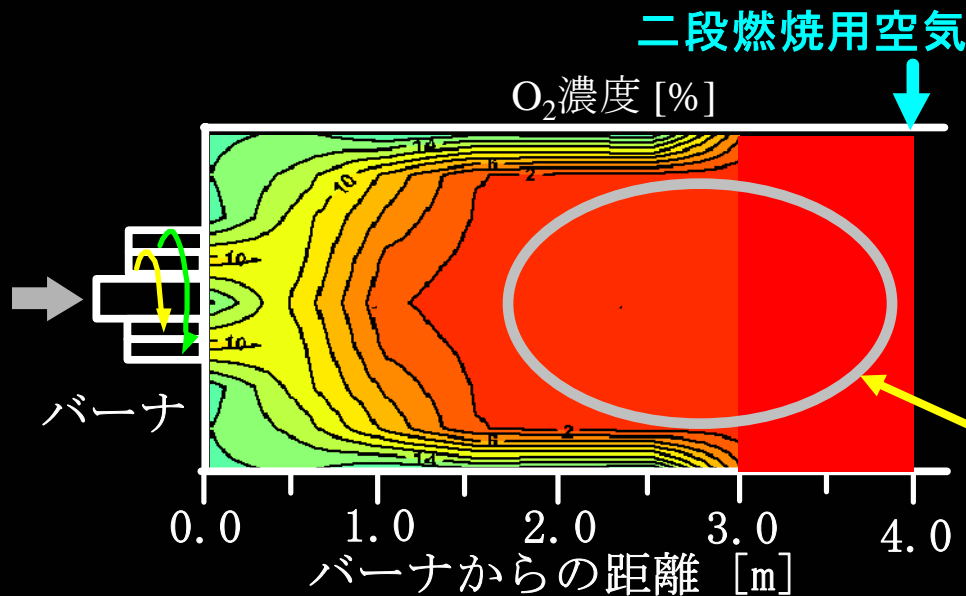


瀝青炭燃焼時と
ほぼ同等の
水準まで低減



亜瀝青炭の燃焼火炎

二段燃焼用空気注入条件を最適化



還元領域がさらに広がる

紹介内容

I. 既設微粉炭火力での燃料多様化

(1) 高水分炭の燃焼技術

① 高水分炭の専焼技術

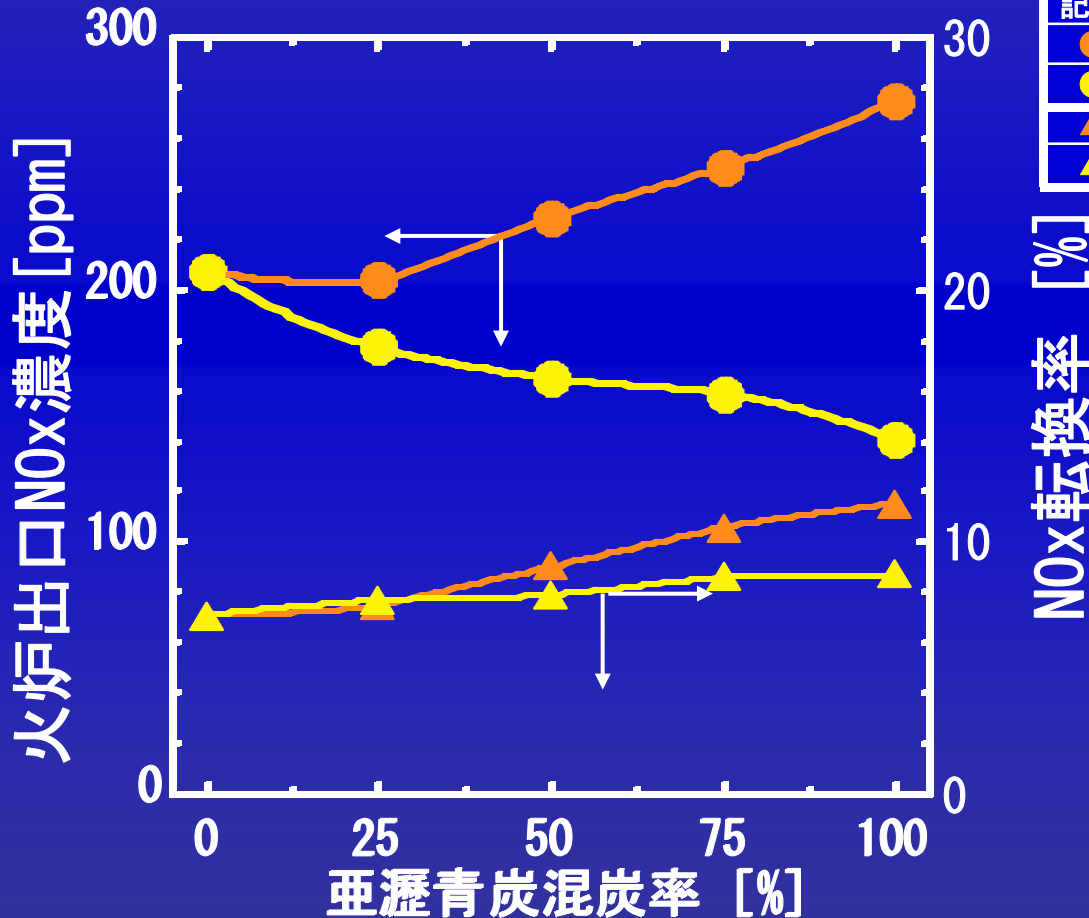
② 瀝青炭との混焼技術

(2) 高水分炭の脱水技術

(3) 高灰分炭の脱灰技術

II. 新型石炭火力での燃料多様化技術

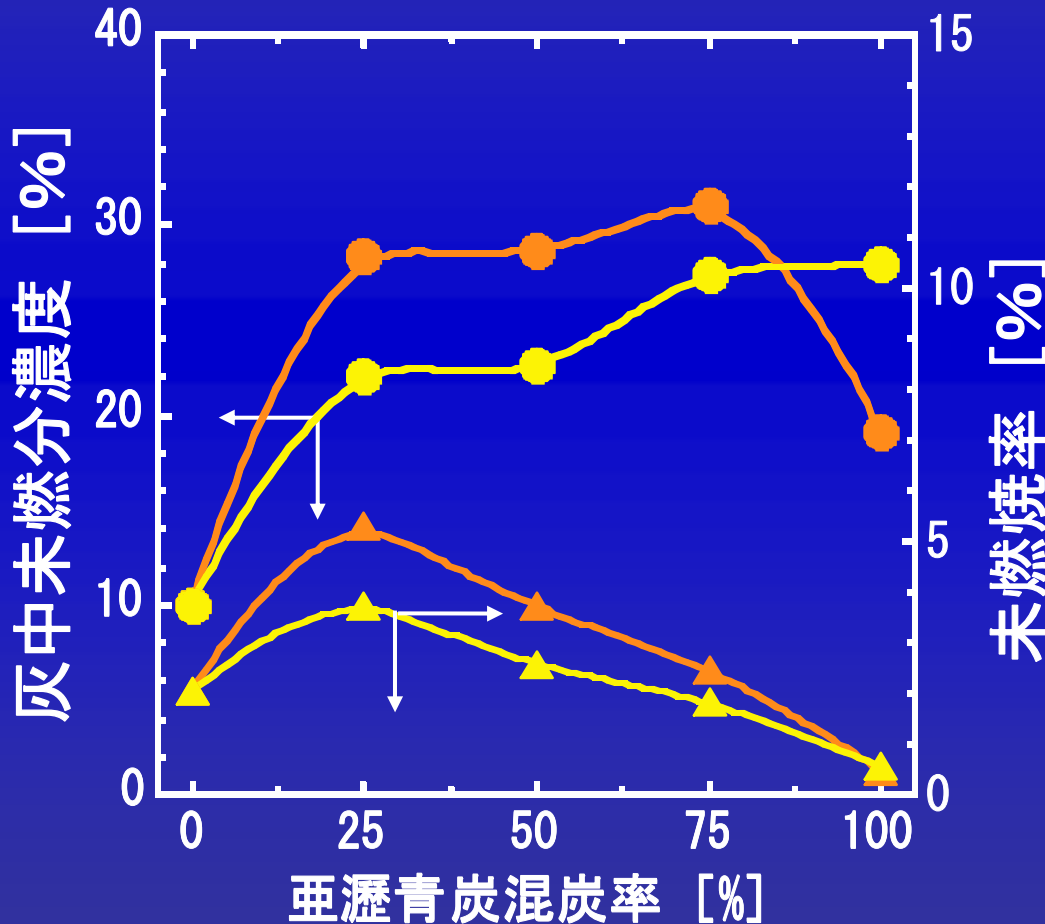
亜瀝青炭混炭燃焼時の 火炉出口NOx濃度とNOx転換率の関係



記号	項目	瀝青炭	亜瀝青炭
●	NOx濃度	ニューランス炭	ワラ炭
●	NOx濃度	ニューランス炭	アダロ炭
▲	NOx転換率	ニューランス炭	ワラ炭
▲	NOx転換率	ニューランス炭	アダロ炭

石炭	窒素分含有率 [%]
ニューランス	1.60
アダロ	0.96
ワラ	1.13

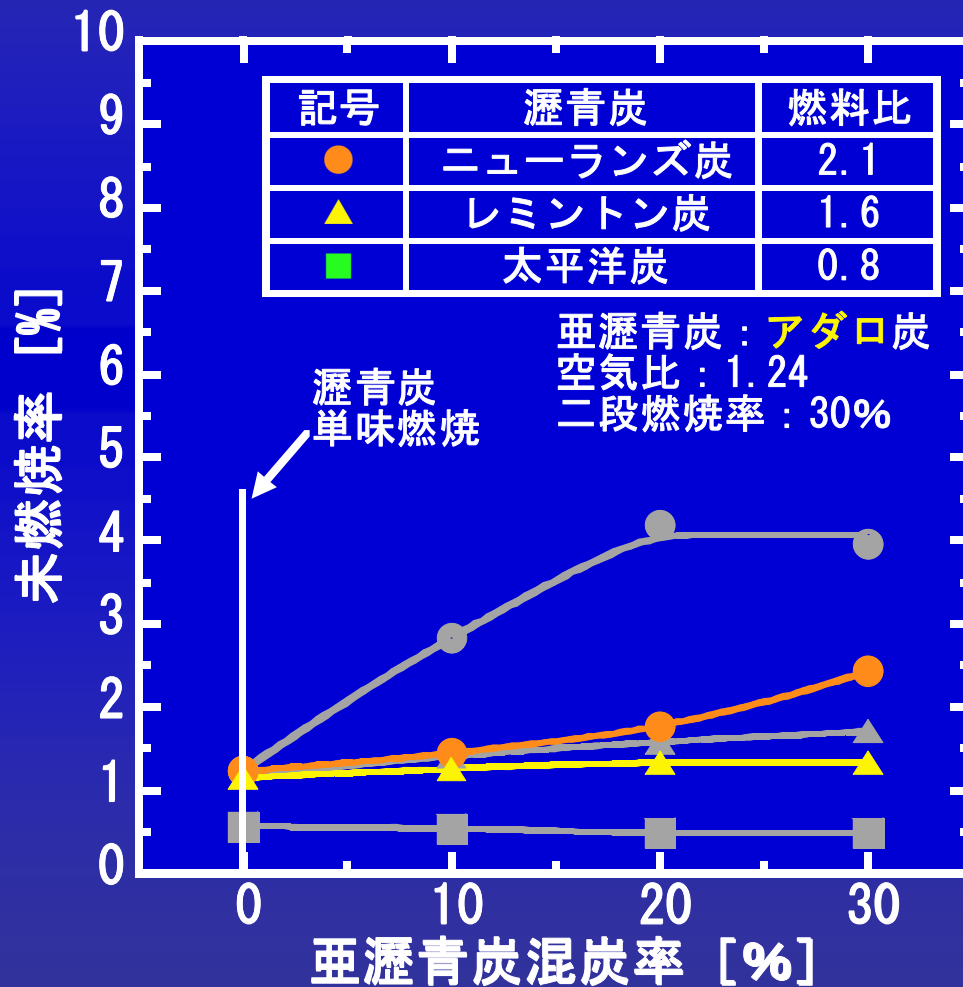
亜瀝青炭混炭燃焼時の 灰中未燃分濃度と未燃焼率の関係



記号	項目	瀝青炭	亜瀝青炭
●	灰中未燃分濃度	ニューランス炭	ワラ炭
●	灰中未燃分濃度	ニューランス炭	アダロ炭
▲	未燃焼率	ニューランス炭	ワラ炭
▲	未燃焼率	ニューランス炭	アダロ炭

石炭	灰分含有率 [%]
ニューランス	15.4
アダロ	1.2
ワラ	2.0

瀝青炭と亜瀝青炭の混炭燃焼時の 混炭率と未燃焼率の関係

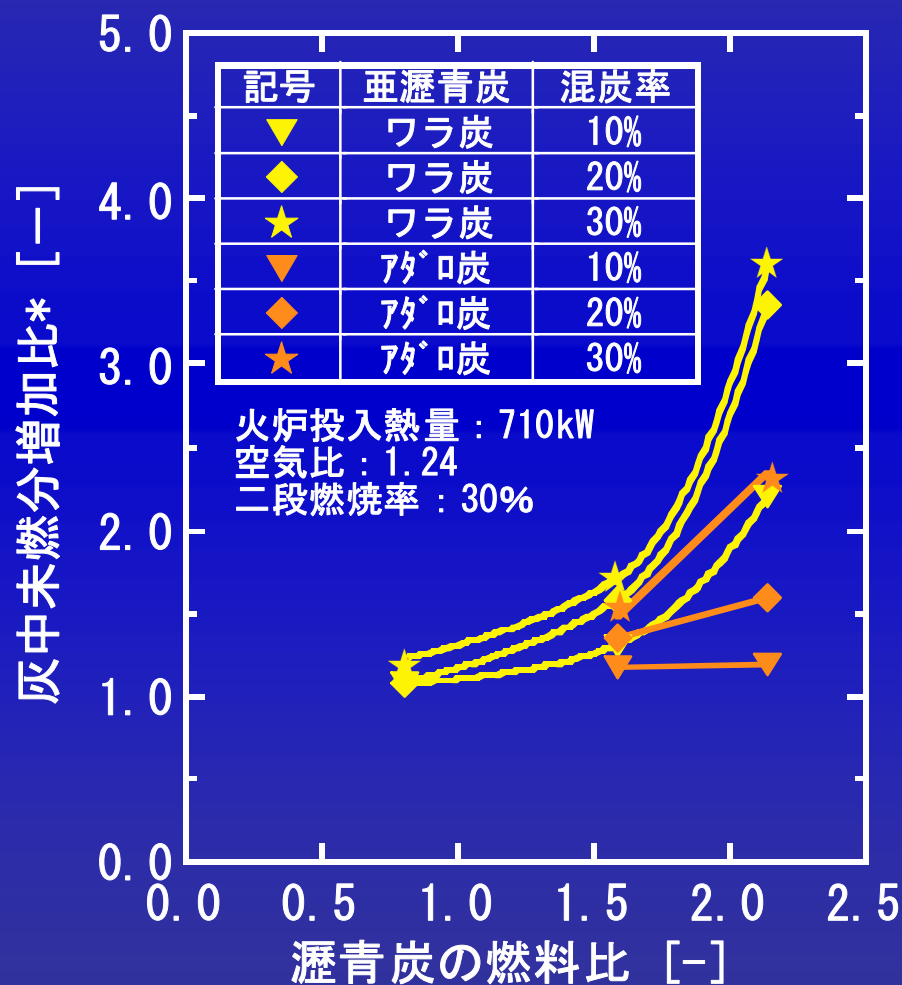


瀝青炭の燃料比と灰中未燃分増加比の関係

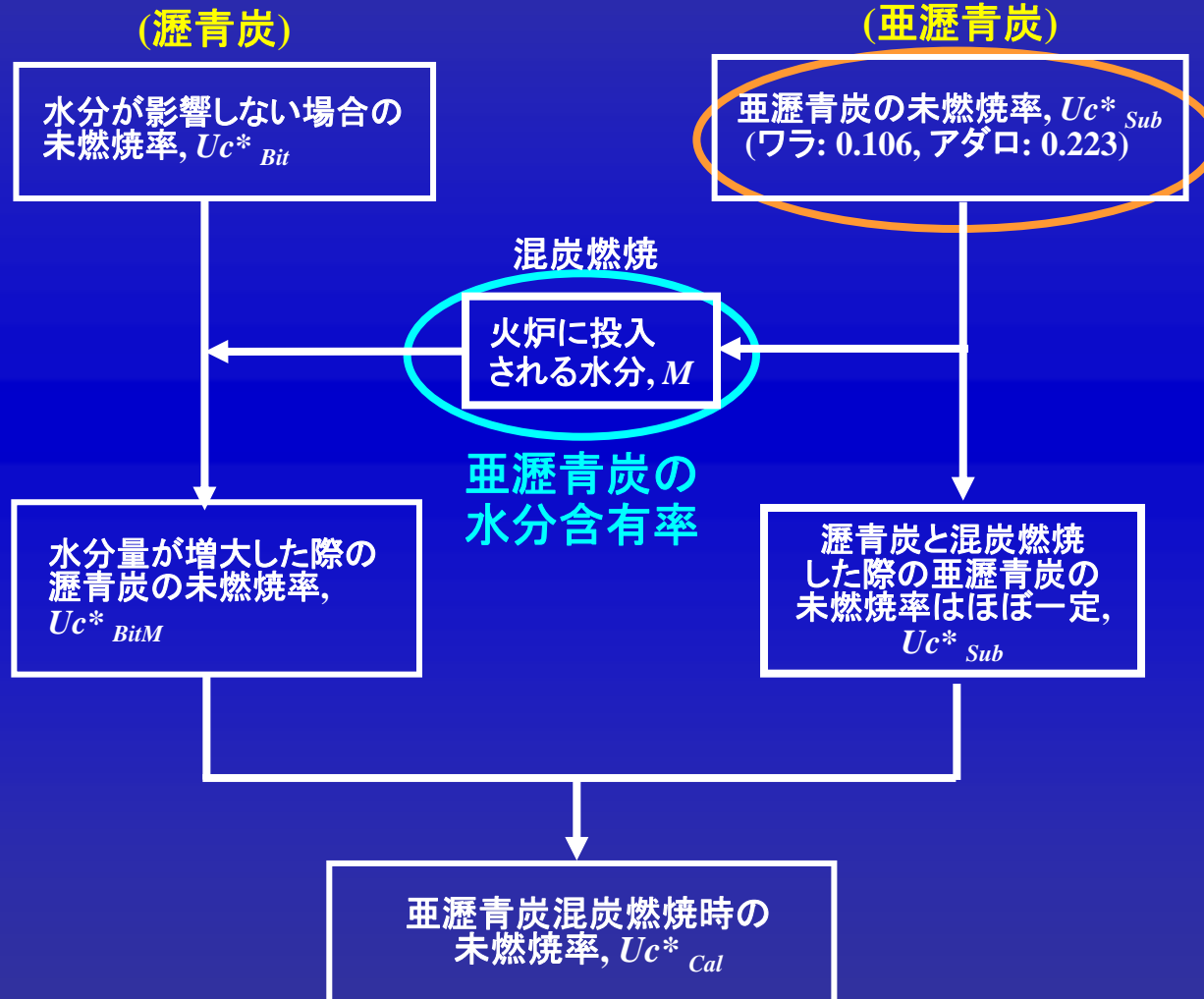
灰中未燃分増加比 =

混炭 燃焼時の灰中未燃分濃度 [%]

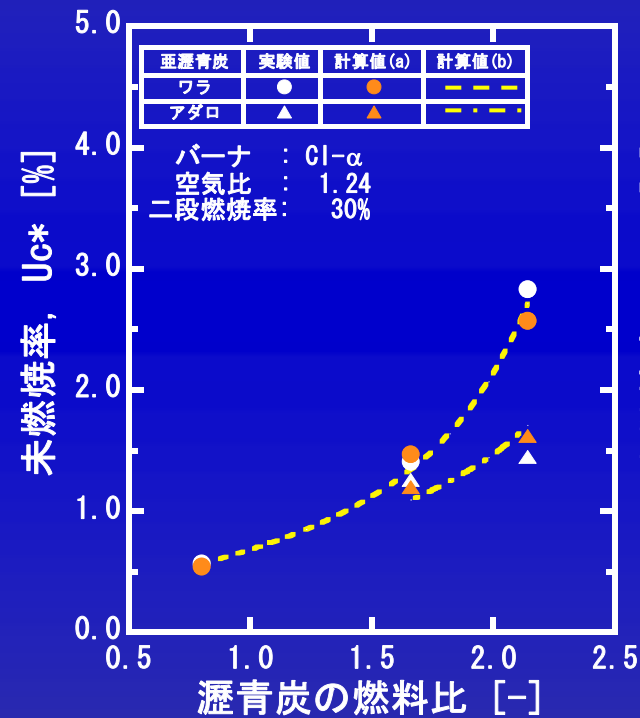
単味 燃焼時の灰中未燃分濃度 [%]



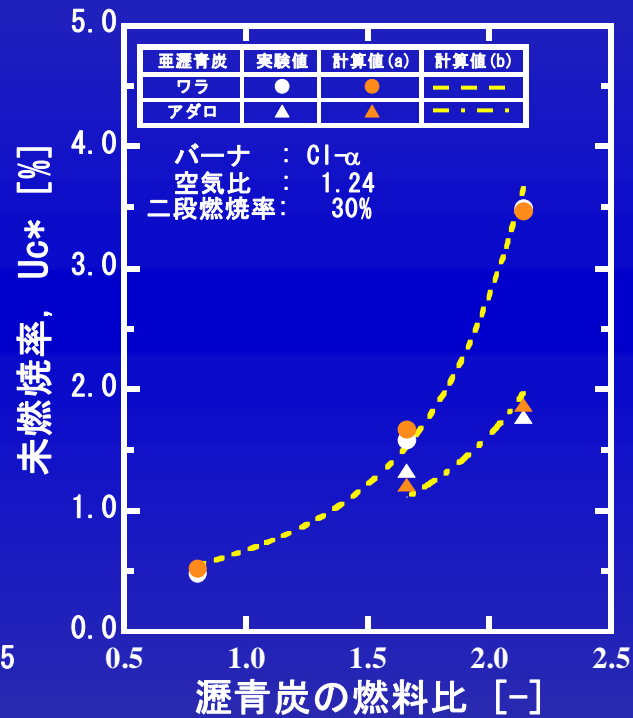
亜瀝青炭低混炭燃焼時の未燃焼率予測手法



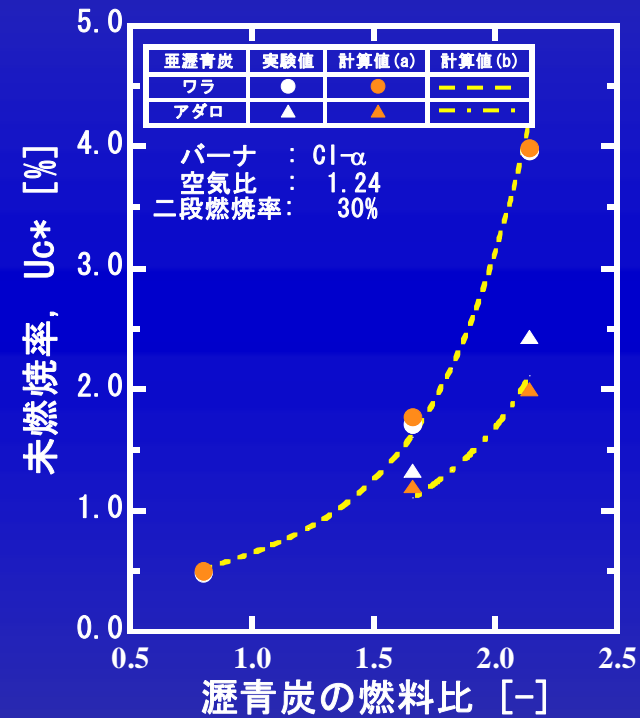
亜瀝青炭混炭燃焼時における 未燃焼率予測式による計算値と実験値の比較



(a) 亜瀝青炭混炭率 10%

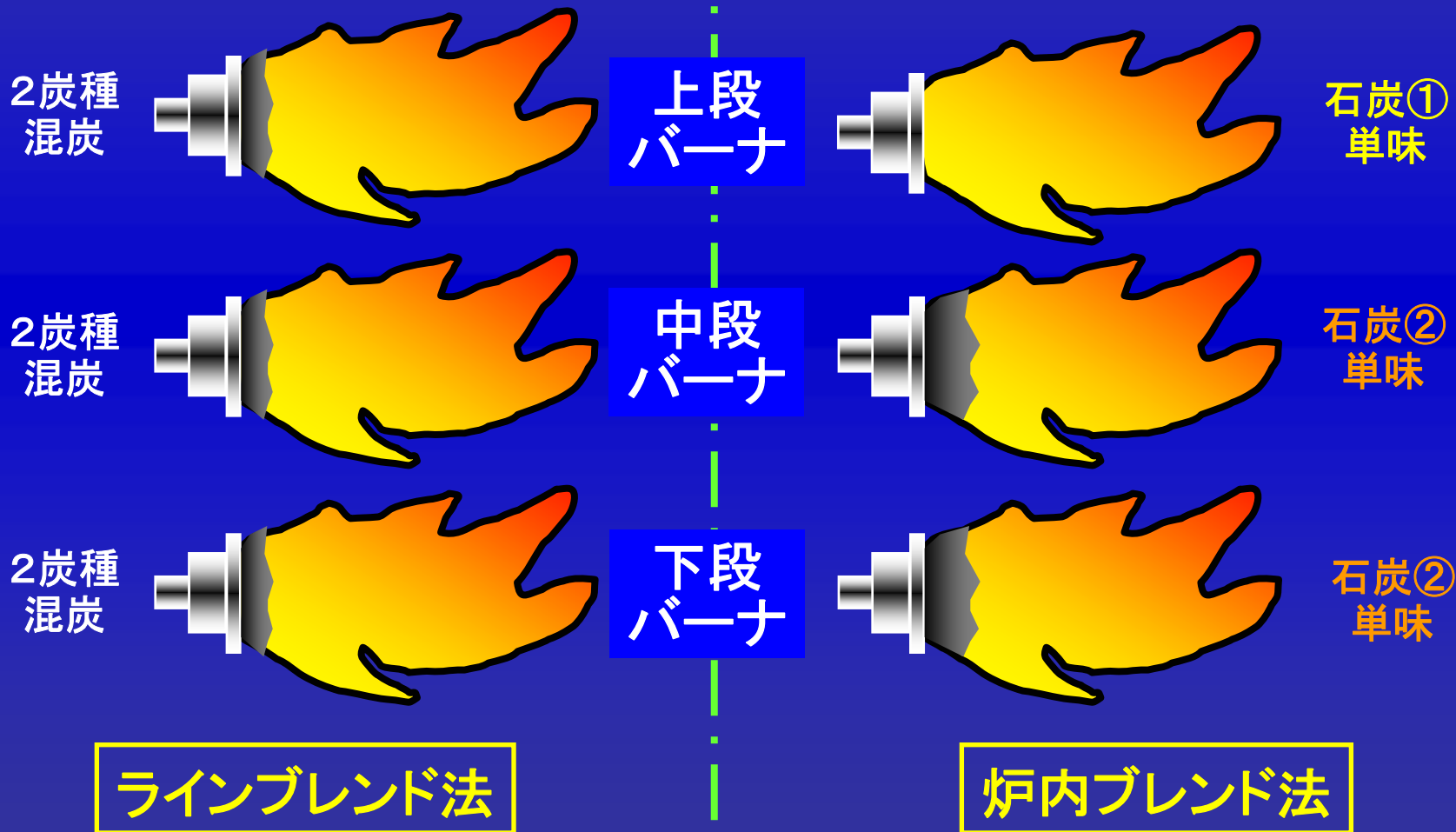


(b) 亜瀝青炭混炭率 20%

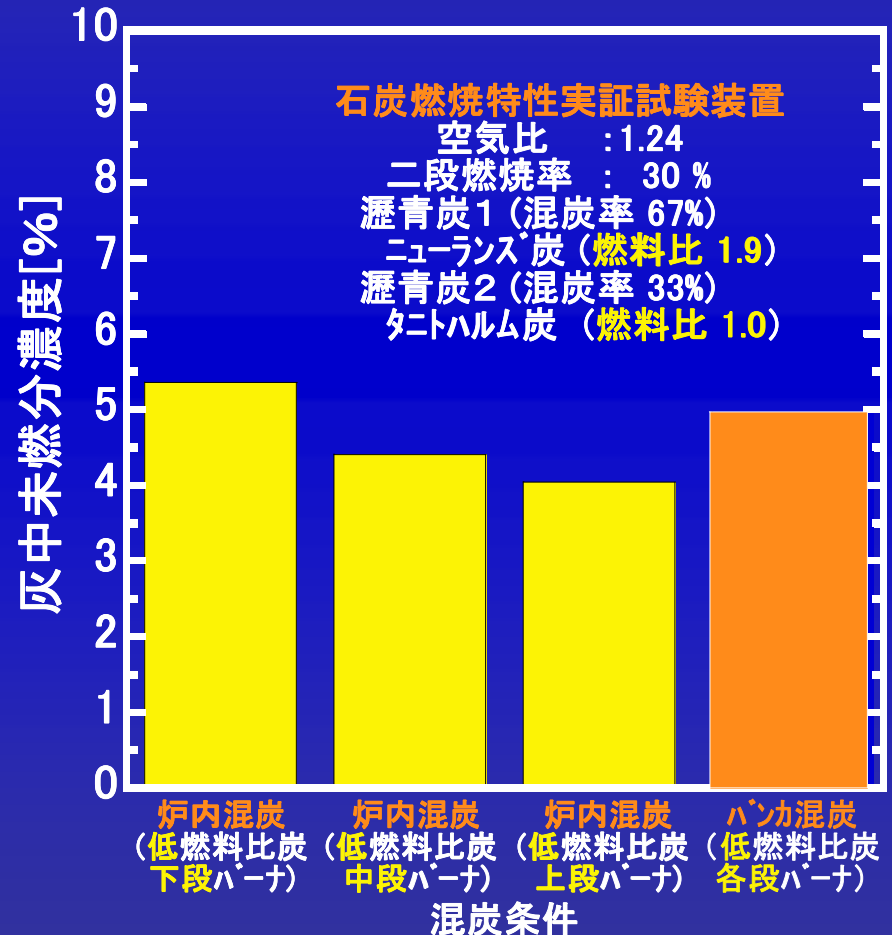
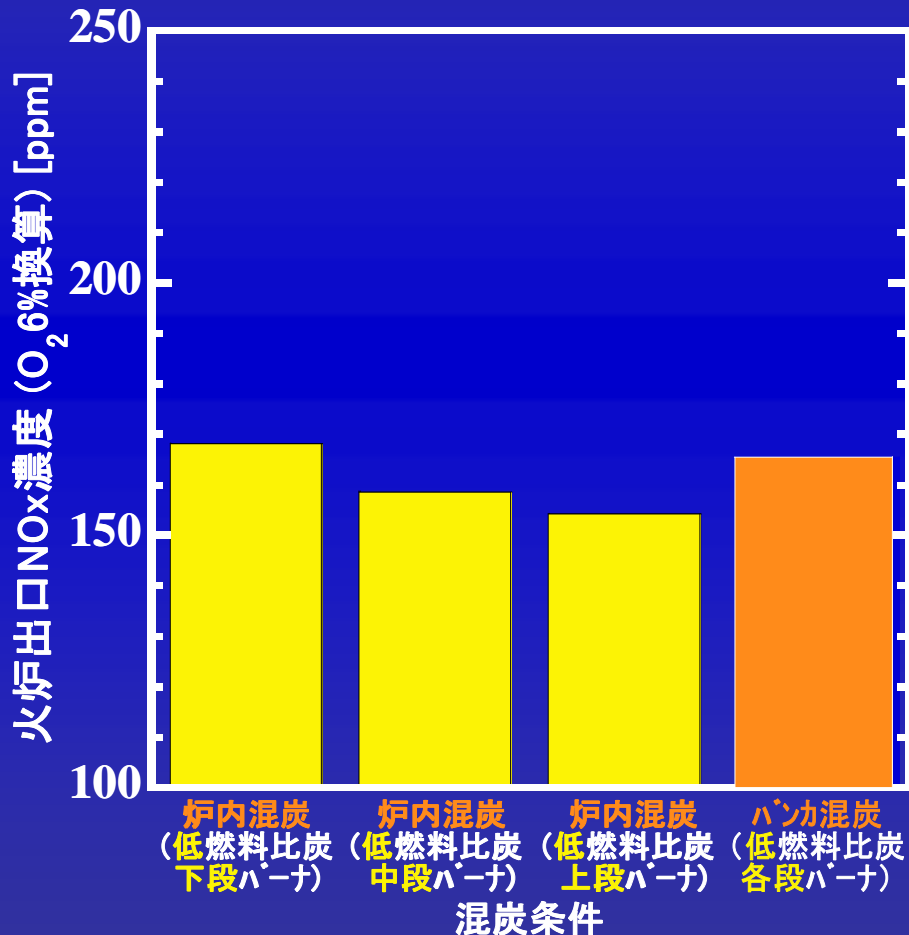


(c) 亜瀝青炭混炭率 30%

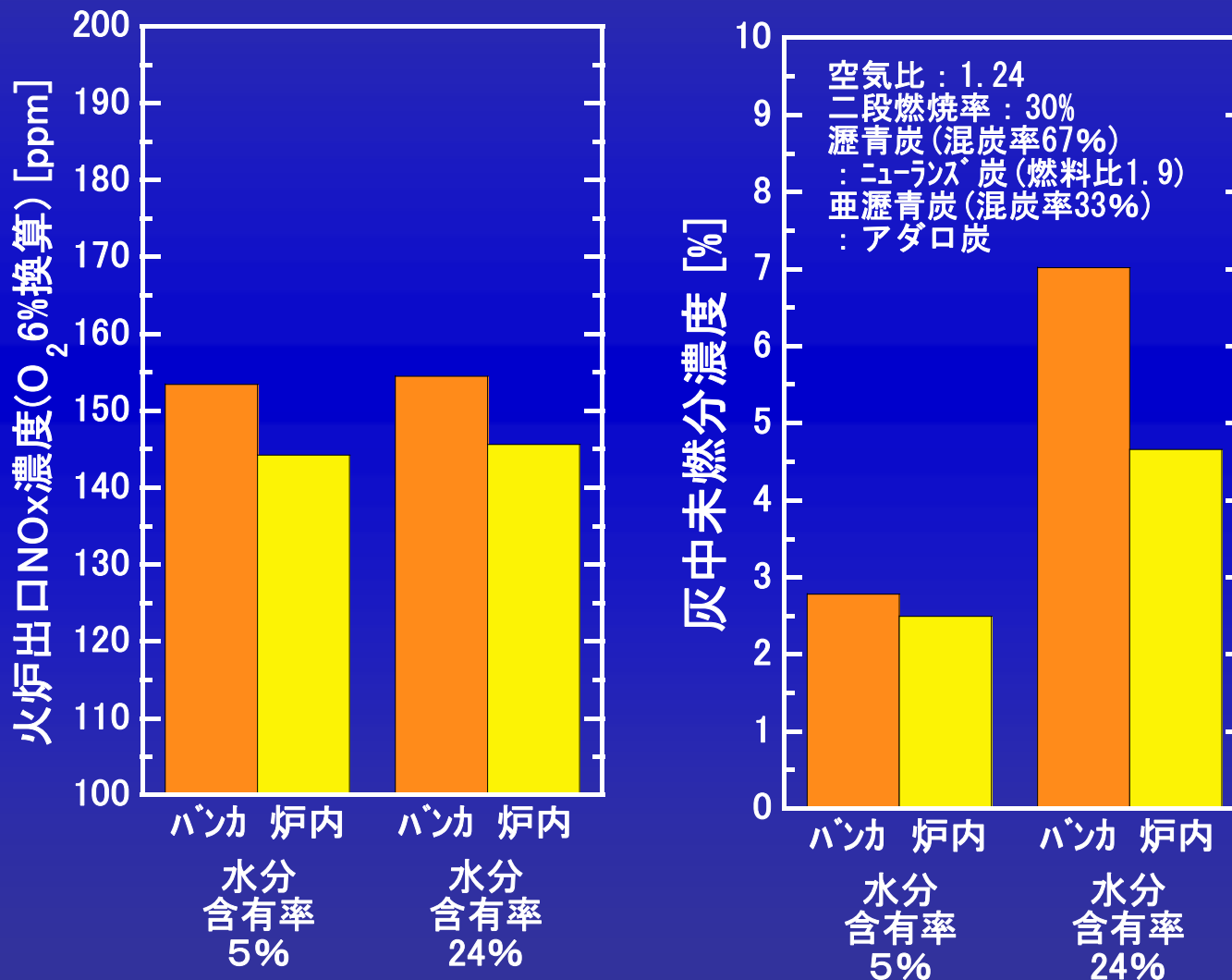
ラインブレンド法と炉内ブレンド法



混炭条件が火炉出口NOx濃度と 灰中未燃分濃度に及ぼす影響



亜瀝青炭の炉内ブレンド法による NOx・灰中未燃分の低減効果



紹介内容

I. 既設微粉炭火力での燃料多様化

(1) 高水分炭の燃焼技術

① 高水分炭の専焼技術

② 瀝青炭との混焼技術

(2) 高水分炭の脱水技術

(3) 高灰分炭の脱灰技術

II. 新型石炭火力での燃料多様化技術

高水分炭利用に向けた脱水技術

従来の脱水技術の問題点

油中改質
熱水乾燥など → 100°C以上に加熱
熱を大量に消費 → 常温で脱水できれば
省エネルギー化の可能性



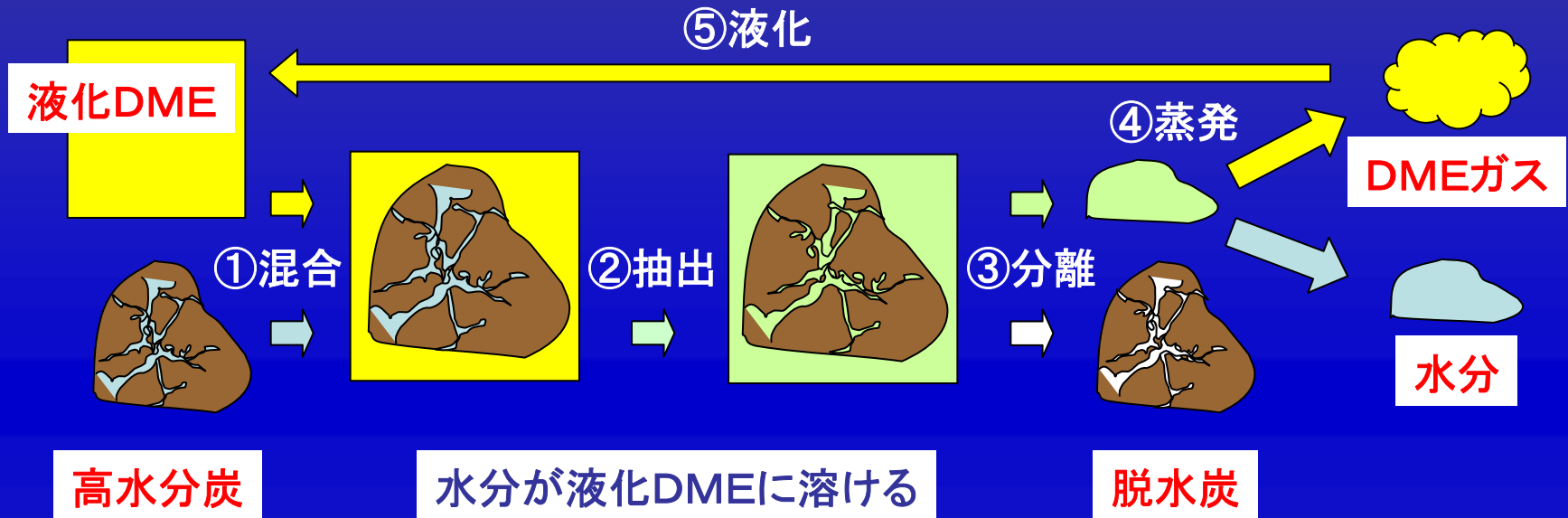
液化DMEを用いた石炭常温脱水プロセスを考案 基礎研究段階(H13~H15)

- 液化DMEを用いた常温脱水プロセスの性能試算
- 脱水性能を実験的に把握 (8g/バッチ)

基礎研究段階(H16~)

- 脱水プロセスの基本特性の確認
- 温度・圧力条件や、排水性状などの把握 (10L/バッチ)

新たに考案した脱水技術



- ① 液化ジメチルエーテル(DME)と高水分炭を混合(常温・5気圧)
- ② 液化DMEで石炭の水分を抽出(飽和溶解度:8wt%)
- ③ 脱水炭と、水分を含んだ液化DMEを分離
- ④ 減圧してDMEを選択的に蒸発(水分は蒸発しない)
- ⑤ 蒸発したDMEガスを再び液化して再利用

脱水剤に求められる条件 (DMEを用いる理由)

金属・窒素・硫黄
・ハロゲン等の
環境負荷物質を含まない

水と混ざる

毒性がない

有機化合物
(燃焼可能)

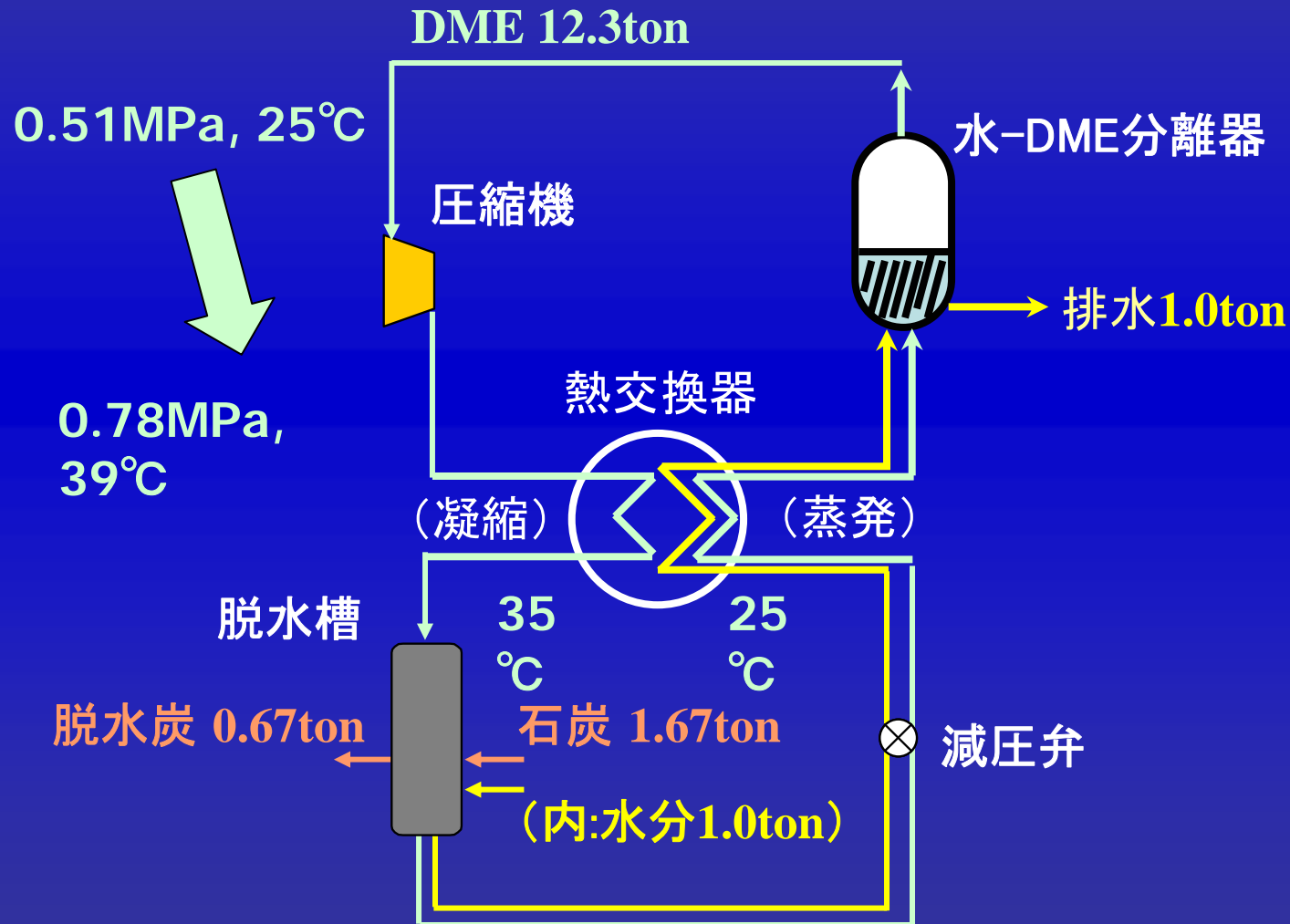
表面張力・粘度が小さい
(浸透し易い)

物性が既知

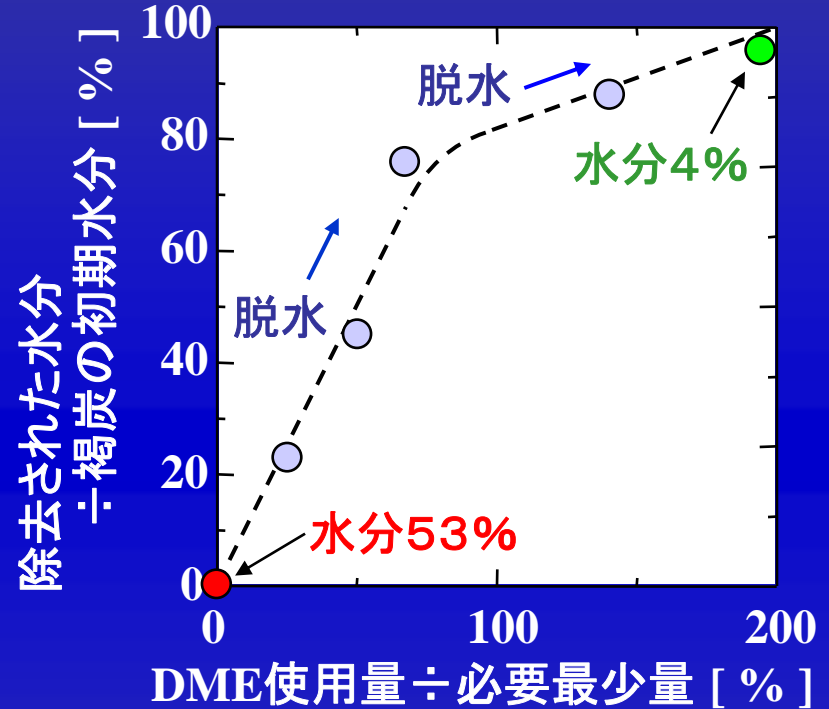
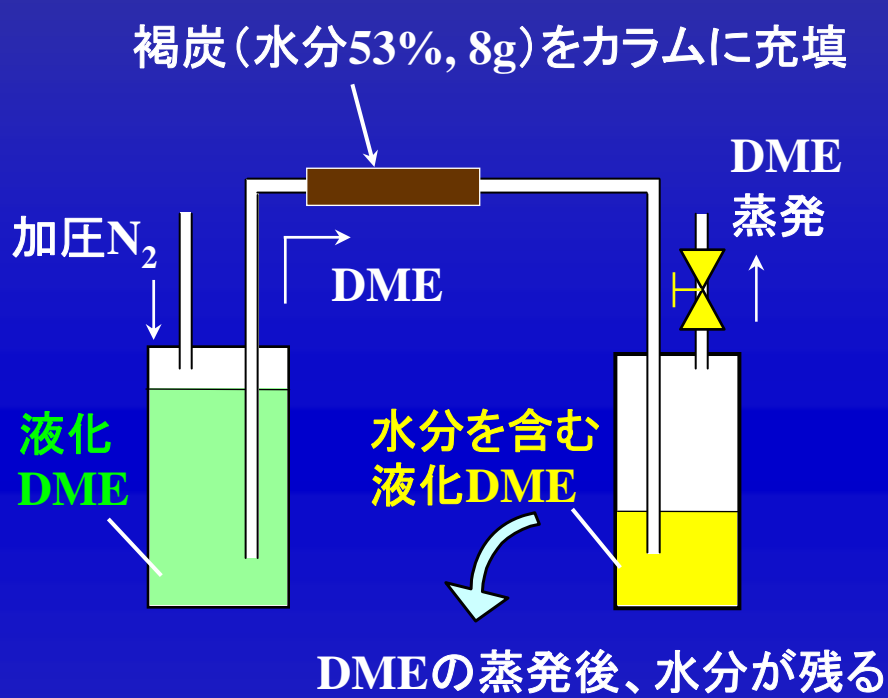
沸点が適度に低い

石炭から大量に
製造可能

液化DME循環利用型石炭脱水プロセス



基礎研究段階 (H13~H15) NEDO受託



常温で約10分間液化DMEを流通

↓ (液化DMEの量で、脱水量を調節可能)

褐炭の水分: 53% → 4%

紹介内容

I. 既設微粉炭火力での燃料多様化

(1) 高水分炭の燃焼技術

① 高水分炭の専焼技術

② 瀝青炭との混焼技術

(2) 高水分炭の脱水技術

(3) 高灰分炭の脱灰技術

II. 新型石炭火力での燃料多様化技術

高灰分炭の賦存地

高灰分炭 = 低品質炭 灰分:20~40wt%

賦存地:

中国, インド, ブラジル, タイ, アメリカ,
南アフリカ, スペイン, ロシアなど

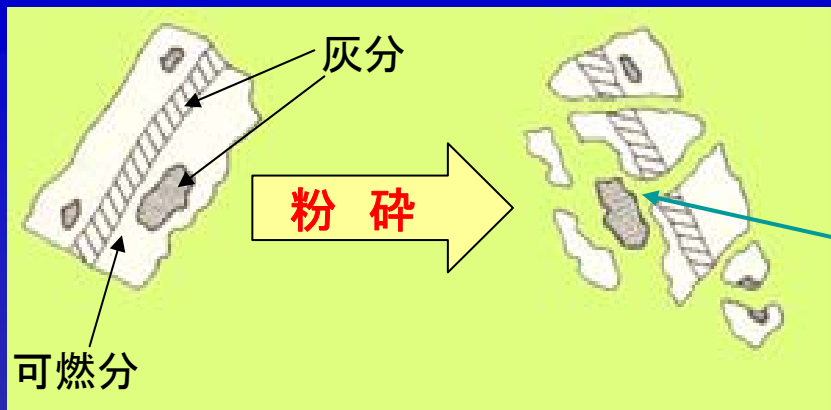
代表的な賦存地の現状:

中国 : 平均灰分15~25wt%

インド : 平均灰分40wt%

脱灰技術開発の概念

脱灰プロセス = 粉碎による 単体分離 + 分級等による可燃分回収 (あるいは, 灰分除去)



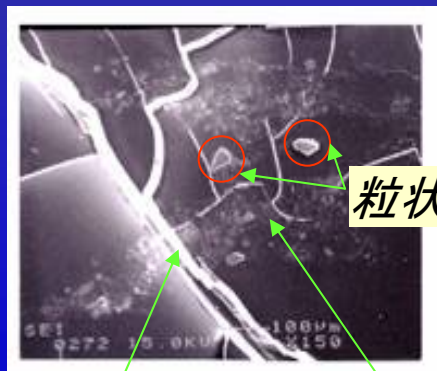
「石炭技術総覧」(財)エネルギー総合工学研究所編

脱灰性向上のために

↓
灰分と可燃分の界面で効率的に分離(=単体分離)する必要がある。

↓
石炭中の灰分分布状態に着目

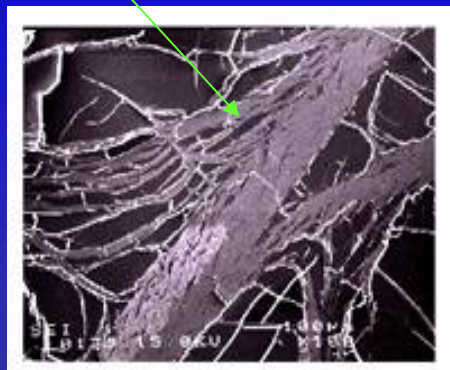
＜高灰分炭＞



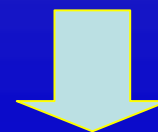
粒状灰分

微細な粘土鉱物が
高濃度に分散

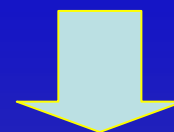
筋状灰分



単体分離性を灰分の分布状態を用いて、詳細評価



単体分離しやすい灰分の特徴
大きな灰分，粒状の灰分



灰分分布状態の評価法を提案

ロールミル粗粉碎器による 高灰分炭粗粒子の単体分離特性 — ロールミル粉碎条件の影響 —

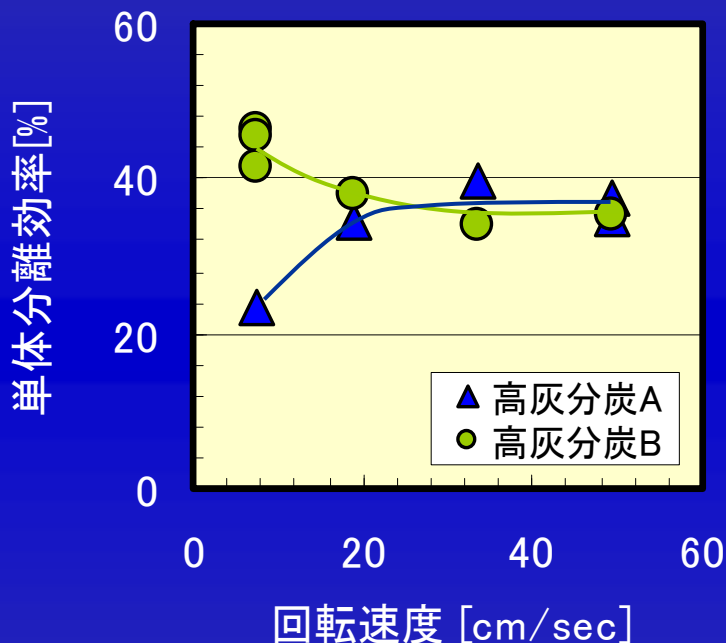


図 ロール回転速度の影響

ロール間隔: 1mm 圧縮荷重: 4kN
 粉碎粒径: 高灰分炭A 1.1~1.7mm
 : 高灰分炭B 1.1~1.2mm

高灰分炭A: 灰分41wt%

灰分中の5割が硬い石英

高速回転

(短時間の剪断・圧縮が有効)

高灰分炭B: 灰分38wt%

灰分中の6割が柔らかい
粘土鉱物

低速回転

(ゆっくりの剪断・圧縮粉碎が有効)

紹介内容

I. 既設微粉炭火力での燃料多様化

(1) 高水分炭の燃焼技術

① 高水分炭の専焼技術

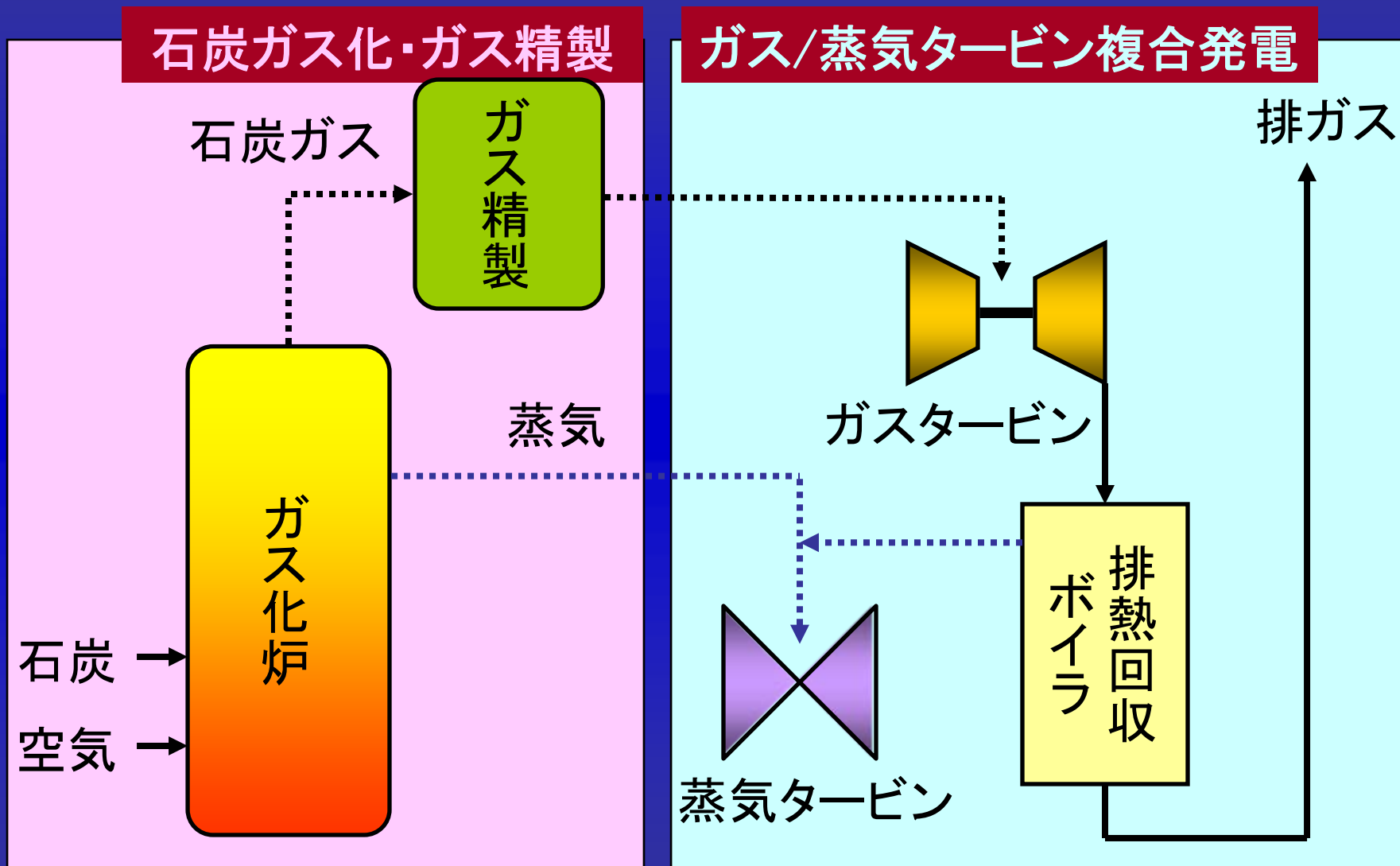
② 瀝青炭との混焼技術

(2) 高水分炭の脱水技術

(3) 高灰分炭の脱灰技術

II. 新型石炭火力での燃料多様化技術

石炭ガス化複合発電 (IGCC) の構成



石炭をガス燃料に転換し、複合発電による格段の高効率化

石炭ガス化複合発電 (IGCC) の特徴

1. 高い熱効率

- ・ 微粉炭火力 : 発電端43%、送電端41% (最新USC 250atg、600/600°C)
- ・ IGCC : 発電端51%、送電端46% (湿式ガス精製、1500°C級GT)
- : 発電端53%、送電端48% (乾式ガス精製、1500°C級GT)

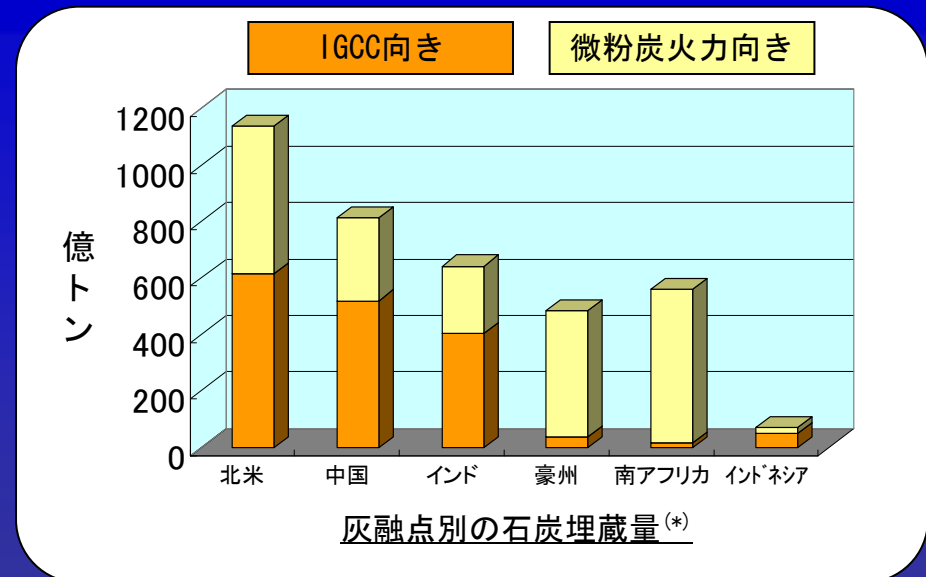
2. 灰処理が容易

- ・ 灰容積 : 微粉炭火力の約5割 (ガラス状固化スラグ、熱効率の向上)
- ・ 微量物質 : 溶出なし

3. 利用炭種の拡大

- ・ 微粉炭火力 : 高灰融点炭向き
- ・ IGCC : 低灰融点炭向き

IGCC向きの低灰融点炭は、北米、中国、インド、インドネシア等に広く分布



(*)長井, 石炭ガス化複合発電(IGCC)実証プラントの開発, 日本ガスタービン学会誌 Vol. 37 No. 2, 2009

IGCC実証プラントにおける炭種拡大

◎石炭資源の約50%は、亜瀝青炭や褐炭等の低品位炭

◎実証プラントでは、瀝青炭に加え亜瀝青炭の試験も実施

IGCC実証プラントの石炭性状⁽¹⁾

		ベース	炭種拡大	
		中国炭 (瀝青炭)	米国炭 (亜瀝青炭)	インドネシア炭 (亜瀝青炭)
水分	wt%	16.3	29.3	25.3
工業分析 (Dry)				
固定炭素	wt%	56.2	51.2	49.1
揮発分	wt%	34.3	42.5	47.0
灰分	wt%	9.5	6.3	3.9
全硫黄	wt%	0.3	0.4	0.2
高位発熱量 (Dry)	MJ/kg	29.3	28.6	28.8
灰融点	°C	<1300	<1200	<1200

(1)Y. Ishibashi, Second Year Operation Results of CCP's Nakoso 250MW Air-blown IGCC Demonstration Plant, Gasification Technologies Conference 2009

IGCCにおける今後の研究課題

①燃料種拡大

瀝青炭から亜瀝青炭や
褐炭への炭種拡大

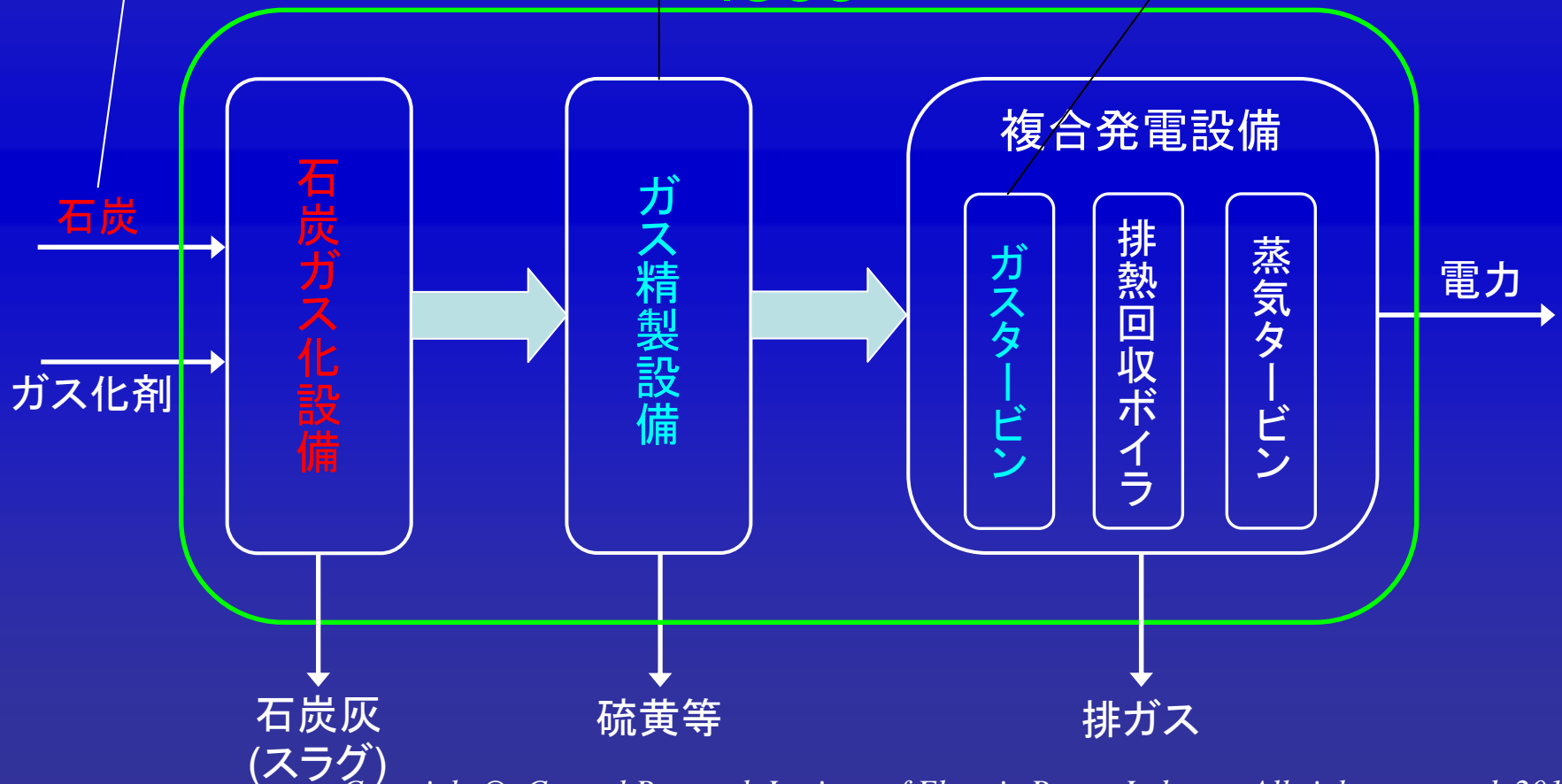
②高効率化

乾式ガス精製技術の開発

②高効率化

ガスタービンの高温化

IGCC



おわりに

石炭は可採埋蔵量は多いものの、その性状が多岐にわたり、石炭に期待される供給安定性を充たすためには、様々な石炭を利用できる技術を開発する必要がある。

既設の微粉炭火力においては、燃焼調整などにより、従来使用した石炭と性状の異なる石炭も同様に利用できる技術の開発が重要であると共に、石炭を改質して利用しやすくする前処理技術が重要である。

一方、至近年の商用化が期待される石炭ガス化複合発電では、低品位炭の利用に適した部分もあり、その一方で、高灰融点炭の利用が課題となる。今後は本技術においても、一層の利用炭種拡大技術が重要となる。