

既設の自家発用石炭火力を専焼転換する為の トレファイドペレット導入可能性の検討

2023年9月26日

NEED（日本環境エネルギー開発株式会社）

澤 一 誠

プロフィール

1980年 三菱商事(株)入社(機械グループ)

2000年以降 バイオマスエネルギー関連の事業開発業務に従事

2016年7月 日本環境エネルギー開発株式会社(NEED)を起業し代表に就任

バイオマスエネルギー専門のコンサルタントとして企業・団体の顧問として活動
経産省、農水省、文科省、NEDO、JBIC等政府機関、大学、研究機関、民間企業・団体主催のセミナー、インドネシア、タイ等政府主催海外シンポジウムにて講演を行なう。

- ・産業技術総合研究所(経産省)の「自動車 新燃料研究センター」及び「バイオマスリファイナリー研究センター」の外部評価委員(2007-2014年)
- ・経産省「**バイオ燃料の持続可能性基準**」検討会委員(2008-2010年)
- ・NEDO「2010年バイオマスエネルギー導入ガイドブック」検討委員
- ・7府省庁「バイオマス事業化戦略検討チーム」委員(2012年2-6月)
- ・経産省「第2世代バイオ燃料戦略検討会」委員(2013年2-7月)等を歴任
- ・NPO法人農都会議 バイオマス・ワーキンググループ 座長(2016-18年)
- ・バイオマス発電事業者協会(BPA)を設立。副代表理事(2016-18年)
- ・早稲田大学 環境総合研究センター 招聘研究員(2016年～現在)
- ・2019年4月「東久邇宮国際文化褒賞」受賞
- ・2020年3月 シードプランニング「2020年版 地球温暖化と石炭火力発電の現状と方向性」を監修
- ・2022年3月 幻冬舎「漫画でわかるバイオエタノール」(アメリカ穀物協会にて監修)
- ・2022年5月 技術評論社「図解でわかるカーボンニュートラル燃料」を共同執筆

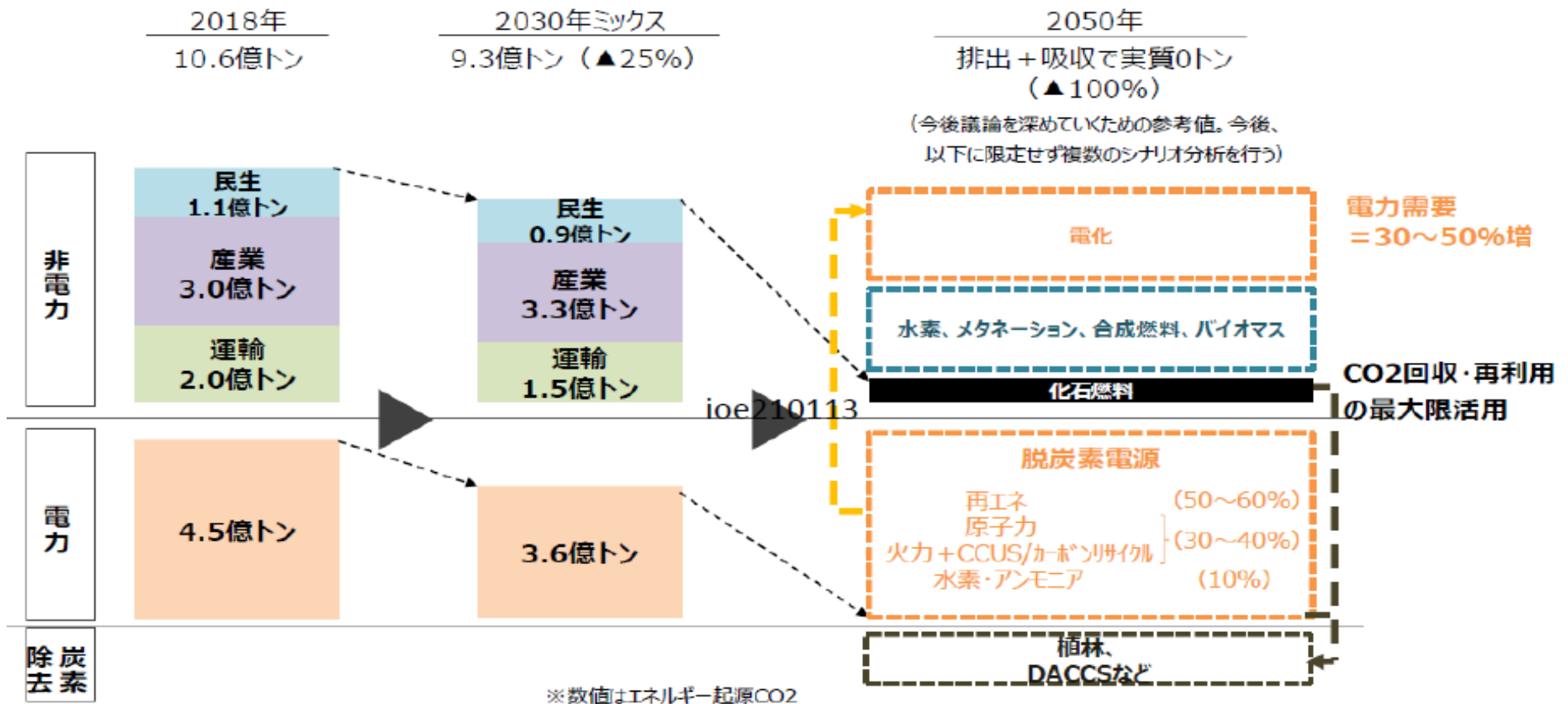


2010年以降の日本のエネルギー政策の変遷

2010年 6月	「第3次エネルギー基本計画」 (原発・再エネで70%)
2011年 3月	東日本大震災 (福島原発事故)
2012年 7月	FIT法 (再エネ固定価格買取制度) 施行
2014年 4月	「第4次エネルギー基本計画」 (再エネ、高効率石炭火力)
2015年 7月	「2030年度エネルギーミックス」 発表
2015年12月	COP21 (パリ協定)
2018年 7月	「第5次エネルギー基本計画」 (2050年度CO2 80%削減)
2019年 1月	ダボス会議での安倍元首相発表 (CO2の資源利用)
2019年 6月	カーボンリサイクル・ロードマップ策定
2020年 1月	「革新的環境イノベーション戦略」 発表
2020年 7月	梶山経産大臣「非効率石炭火力フェードアウト方針」 表明
2020年10月	菅首相「2050年カーボンニュートラル (ネットゼロ)」 宣言
2020年12月	経産省「グリーン成長戦略」 発表
2021年 10月	「第6次エネルギー基本計画」 (2030年度CO2 46%削減)
2021年 11月	COP26 @ 英国 (グラスゴー)
2022年 2 月	ロシアによるウクライナ侵攻 これ以降、「エネルギー安定供給」の観点から「火力発電と原発も一定程度は電力ポートフォリオの中に組み込むべきという議論が台頭」。 当面の対策よりも、水素・アンモニアの混焼・専焼やCCS導入という 技術開発を伴う長期的な対策に政策が重点を置く傾向が鮮明となった。

2050年カーボンニュートラルの実現のイメージ

2030年度CO2削減目標：2013年度比 ▲ 46%



【出典】経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2020年12月）

2030年度のエネルギーミックス(電源構成別発電目標)

2030年度のエネルギーミックス(2021年10月策定)

		(2019年度) (7%)
・ 石油	2%	
・ 石炭	19%	(32%)
・ LNG	20%	(37%)
・ 原子力	20～22%	(6%)
・ 再エネ	36～38%	(18%)
・ 水素・アンモニア	1%	(0%)
<hr/>		
合計	100%	(100%)

再エネの内訳：

・ 太陽光	14～16%	(6.7 %)
・ 風力	5%	(0.7 %)
・ 地熱	1%	(0.3 %)
・ 水力	11%	(7.8 %)
・ バイオマス	5%	(2.6 %)

合計	36～38%	(18%)
----	--------	-------

バイオマスの導入目標は **8GW**

エネルギーの評価軸 S + 3 E + 2 E

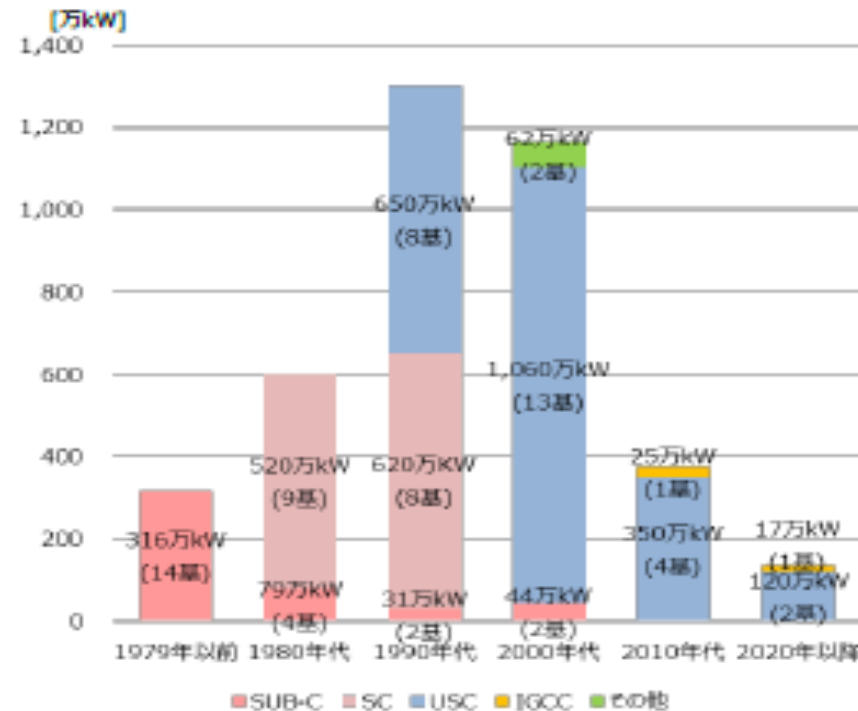
- **S**afety (安全性)
- **E**nergy Security (供給安定性)
- **E**nvironment (環境適合性)
- **E**conomical Efficiency (経済効率性)
- **E**arnings (収益性/事業性)
- **E**mployment (雇用創出)

石炭火力発電事業者の内訳と運転開始時期

大手電力

(70基 約3,900万kW)

- 2000年以降、基本的に高効率石炭火力（USC以上）のみを建設。
- 地理的要因等により非効率石炭火力を建設している沖縄等への安定供給上の配慮が必要。



※2020年7月時点の集計データ

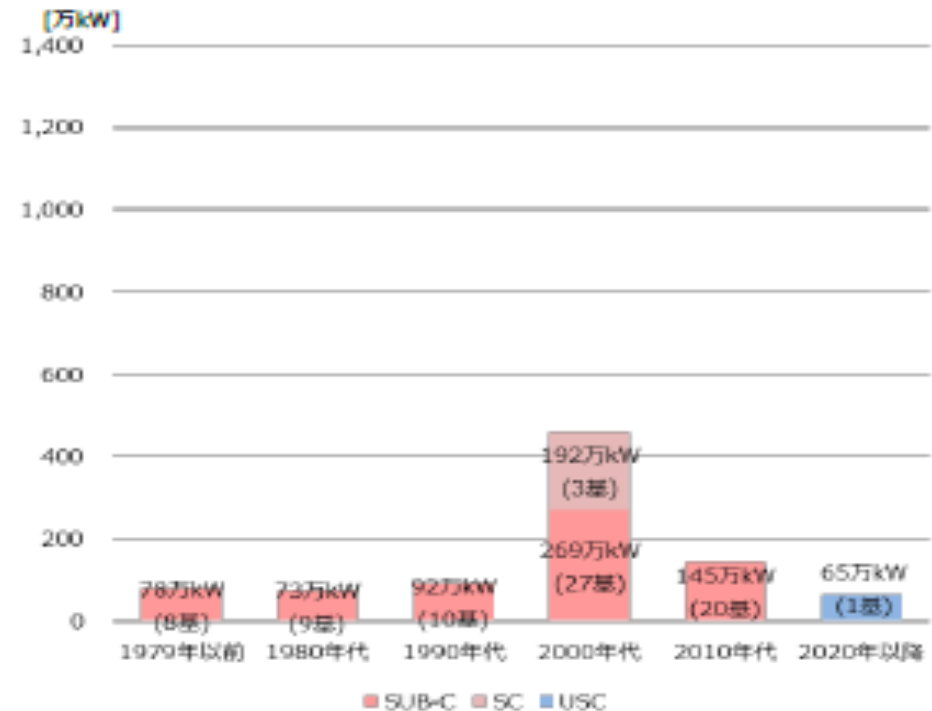
※大手電力：旧一般電気事業者、電源開発、旧一般電気事業者や電源開発が共同出資する共同火力

※その他事業者：売電のみを行う大手電力以外の事業者、自社工場での使用など売電以外も行う大手電力以外の事業者（例：製鉄業（製鉄、化学、製紙、セメント））

その他事業者

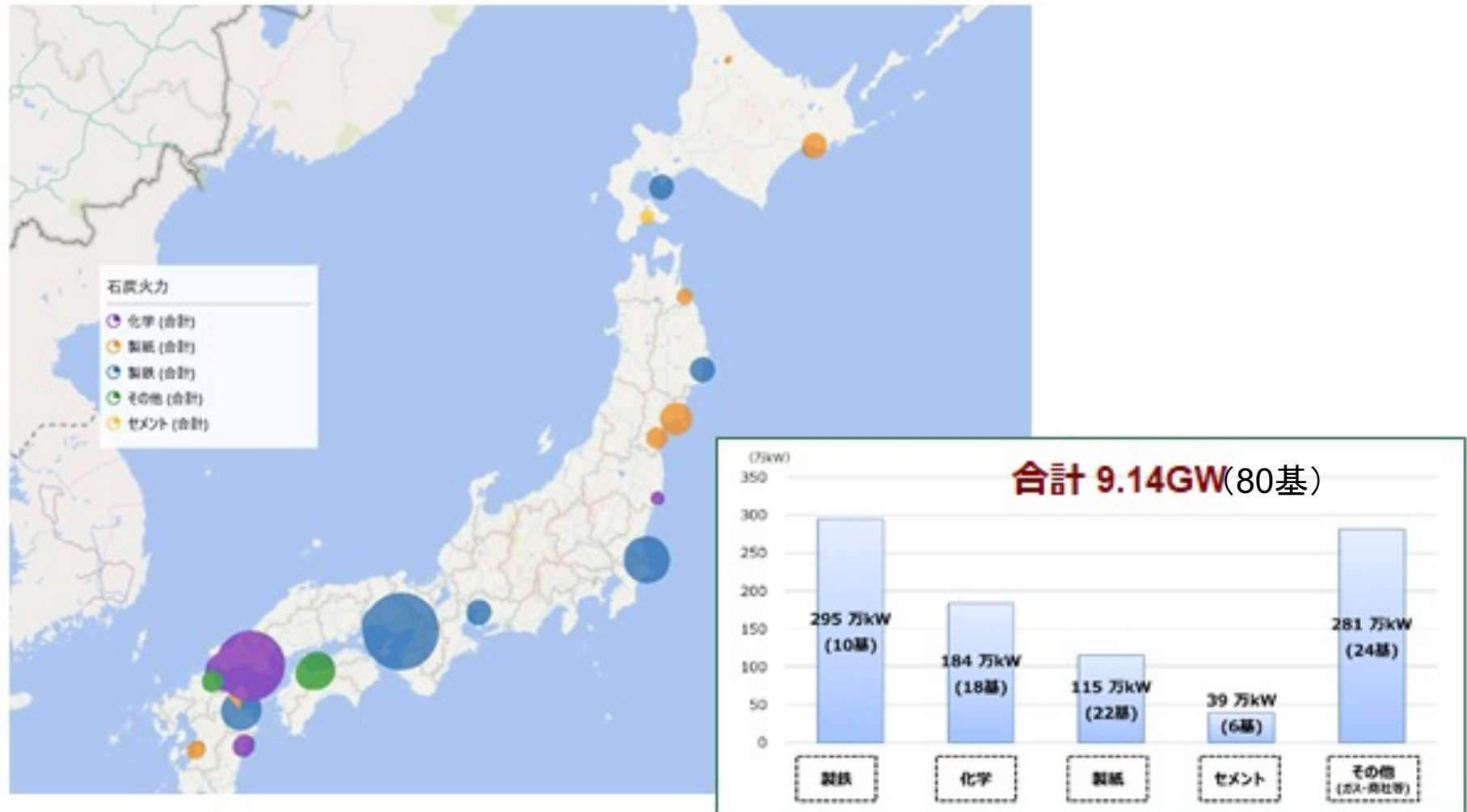
(80基 約900万kW)

- 2000年代以降に建設された非効率石炭火力（SC以下）が多い。
- 他者への販売目的でなく、自社内での使用を目的とすることが一般的。



我が国の製造業等における石炭火力自家発の分布

出典：資源エネルギー庁，石炭火力発電所一覧（2020）のデータより作成



【参考】国内石炭火力発電所リスト（製造業等）

住所	運営会社	設備容量（MW）
北海道釧路市	日本製紙	57
北海道釧路市	日本製紙	88
北海道室蘭市	日本製鉄	145
北海道名寄市	王子マテリア	4
北海道名寄市	王子マテリア	9
岩手県釜石市	日本製鉄	149
宮城県岩沼市	日本製紙	48
宮城県岩沼市	日本製紙	66
宮城県石巻市	日本製紙	98
宮城県石巻市	日本製紙石巻エネルギーセンター	149
宮城県仙台市	仙台パワーステーション	112
福島県いわき市	サミット小名浜エスパワー	6
福島県いわき市	サミット小名浜エスパワー	50
福島県相馬市	相馬エネルギーパーク	112
茨城県鹿嶋市	日本製鉄	522
茨城県鹿嶋市	鹿島パワー	645
茨城県神栖市	かみすパワー	112
埼玉県日高市	太平洋セメント	50
新潟県糸魚川市	糸魚川発電	149
福井県あわら市	レンゴー	3
福井県あわら市	レンゴー	38
愛知県知多市	名南共同エネルギー	31
愛知県武豊町	中山名古屋共同発電	110
愛知県武豊町	中山名古屋共同発電	149
愛知県豊橋市	明海発電	147
兵庫県神戸市	コベルコパワー神戸	700
兵庫県神戸市	コベルコパワー神戸	700
兵庫県赤穂市	住友大阪セメント	103
兵庫県姫路市	日本製鉄	149
岡山県倉敷市	水島エネルギーセンター	112
広島県広島市	MCMエネルギーサービス	25
広島県大竹市	ダイセル	39
広島県大竹市	ダイセル	50

住所	運営会社	設備容量（MW）
広島県大竹市	三菱ケミカル	147
山口県宇部市	宇部興産	145
山口県宇部市	宇部興産	216
山口県岩国市	日本製紙	35
山口県光市	日鉄ステンレス	53
山口県光市	日鉄ステンレス	53
山口県周南市	トクヤマ	35
山口県周南市	トクヤマ	78
山口県周南市	トクヤマ	145
山口県周南市	トクヤマ	145
山口県周南市	トクヤマ	149
山口県防府市	エア・ウォーター & エネルギー・パワー山口	112
山口県防府市	防府エネルギーサービス	16
山口県防府市	防府エネルギーサービス	27
山口県防府市	防府エネルギーサービス	36
山口県防府市	MCMエネルギーサービス	25
愛媛県四国中央市	丸住製紙	13
愛媛県四国中央市	丸住製紙	30
愛媛県四国中央市	大王製紙	30
愛媛県四国中央市	丸住製紙	44
愛媛県四国中央市	大王製紙	73
愛媛県四国中央市	大王製紙	73
愛媛県四国中央市	大王製紙	89
愛媛県四国中央市	大王製紙	91
愛媛県新居浜市	住友共同電力	3
愛媛県新居浜市	住友共同電力	27
愛媛県新居浜市	住友共同電力	75
愛媛県新居浜市	住友共同電力	75
愛媛県新居浜市	住友共同電力	150
愛媛県西条市	住友共同電力	250
高知県高知市	土佐発電	167
高知県須崎市	住友大阪セメント	61

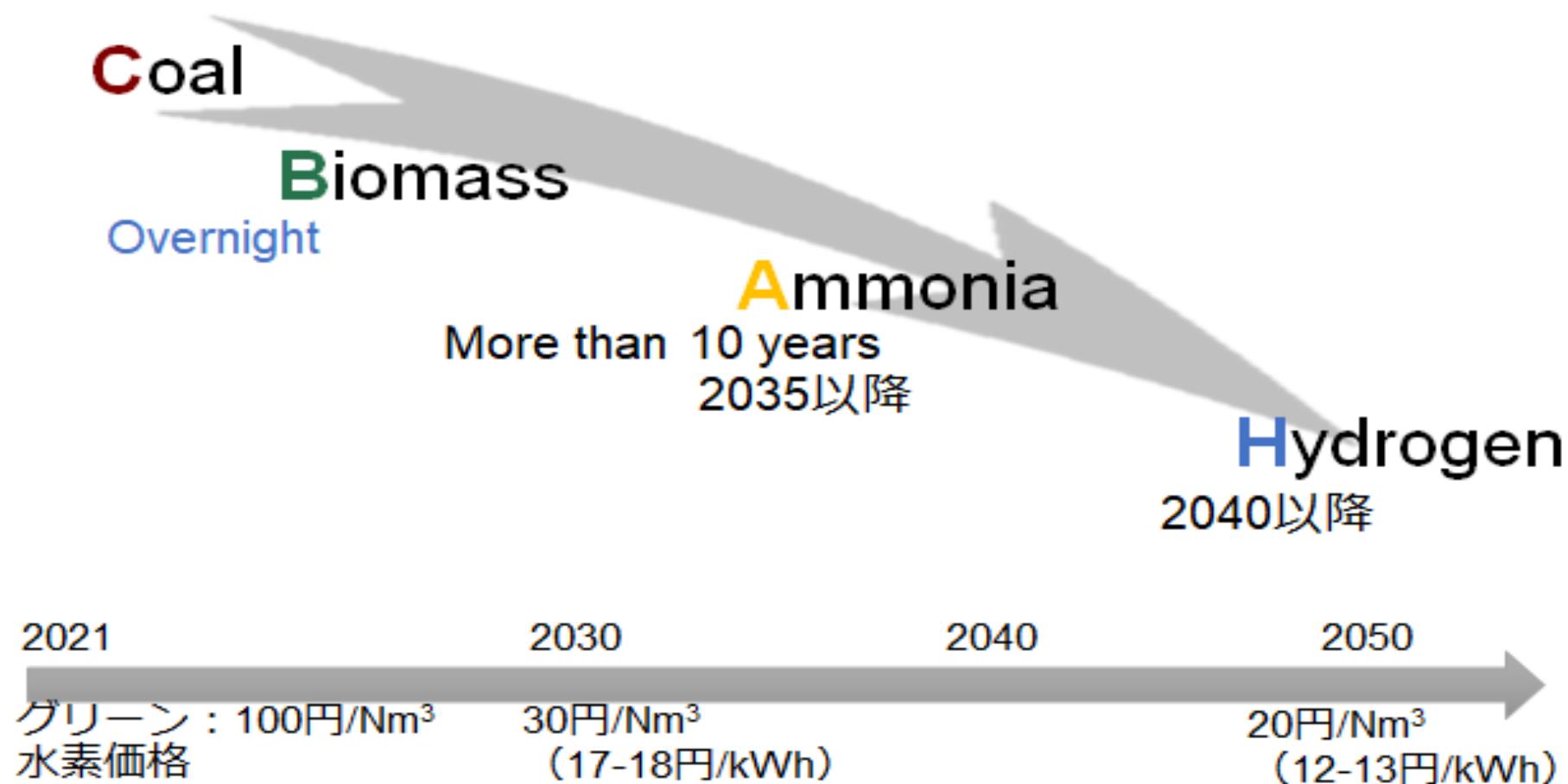
【参考】国内石炭火力発電所リスト（製造業等）

住所	運営会社	設備容量（MW）
高知県須崎市	住友大阪セメント	62
福岡県荳田町	三菱マテリアル	40
福岡県荳田町	三菱マテリアル	75
福岡県大牟田市	三池火力発電所	175
福岡県北九州市	戸畑共同火力	110
福岡県北九州市	響灘エネルギーパーク	112
福岡県北九州市	響灘火力発電所	112
福岡県北九州市	戸畑共同火力	149
福岡県北九州市	戸畑共同火力	156
熊本県八代市	日本製紙	75
大分県大分市	王子マテリア	18
大分県大分市	王子マテリア	25
大分県大分市	日本製鉄	330
宮崎県延岡市	旭化成エヌエスエネルギー	50
宮崎県延岡市	旭化成エヌエスエネルギー	60

「既設の石炭火力の3R」の検討

- ・ **R**educe : 非効率な老朽石炭火力の段階的な削減
 - ・ **R**euse : 既設の石炭火力を有効活用したバイオマス発電（混焼又は専焼）の推進
 - ・ **R**ecycle: カーボンリサイクル（CCUS）
- ➡ 今後のバイオマス専焼転換推進の方向性：
1. 再エネ電源を拡大する為の最も安価で確実な手段
 2. 地域分散型電源のネットワークへの組み入れ
（VREの調整電源並びにバイオマス再エネ電源として地域分散電源を構成する要素に活用する）
 3. 推進支援制度（インセンティブ、プレミアム）の導入
-

C → B → A ... → H



バイオマス発電のメリットと課題

メリット:

1. 石炭火力発電の代替としてベースロード電源の一翼を担い得る。
⇒ VRE (太陽光、風力発電)のバックアップ電源にもなり得る。
Carbon Free Regulator (ゼロエミ調整電源)としての役割
2. 設備利用率の高い安定電源である。
(バイオマス: 80%、太陽光: 13%、風力: 20%)
3. 太陽光や風力と違い、熱電併給 (電源だけでなく蒸気発生源としての利用) が可能である。

課題:

バイオマスの国内調達には限りがあり、長期安定調達が容易ではない。
⇒国内材の補完として海外材を導入することが不可欠。

新規にバイオマス発電事業を推進する為の要件

新規バイオマス発電事業の推進には以下の**要件**を整える必要がある。

1. 適切な事業用地（工業用水、周辺環境、許認可等）
2. 電力系統連系接続
3. 持続可能な燃料の長期安定調達（品質、数量、価格）
4. 燃料の輸送・貯蔵等のロジスティック
5. 発電所建設を担う信頼に足るEPCコントラクター
6. プロジェクトファイナンス等による資金調達

⇒ 新たな立地の確保は難しく、既設の石炭火力をバイオマス専焼転換することが現実的

FIT認定・導入状況(2022年9月末時点・2023年2月公表)

【バイオマス発電】

1. FIT認定量 (2022.9) : 8.30 GW
2. FIT認定導入量 : 3.92 GW
(1. 認定量の47%)
3. 2030年目標導入量 : 8 GW
4. FIT前導入量 : 2.31GW
(内1.38GWがFIT認定に移行)
5. 2030年FIT導入目標 : 5.69 GW
6. FIT導入容量達成率 : 69 %

一般社団法人バイオマス発電事業者協会

BPA 一般社団法人
バイオマス発電事業者協会

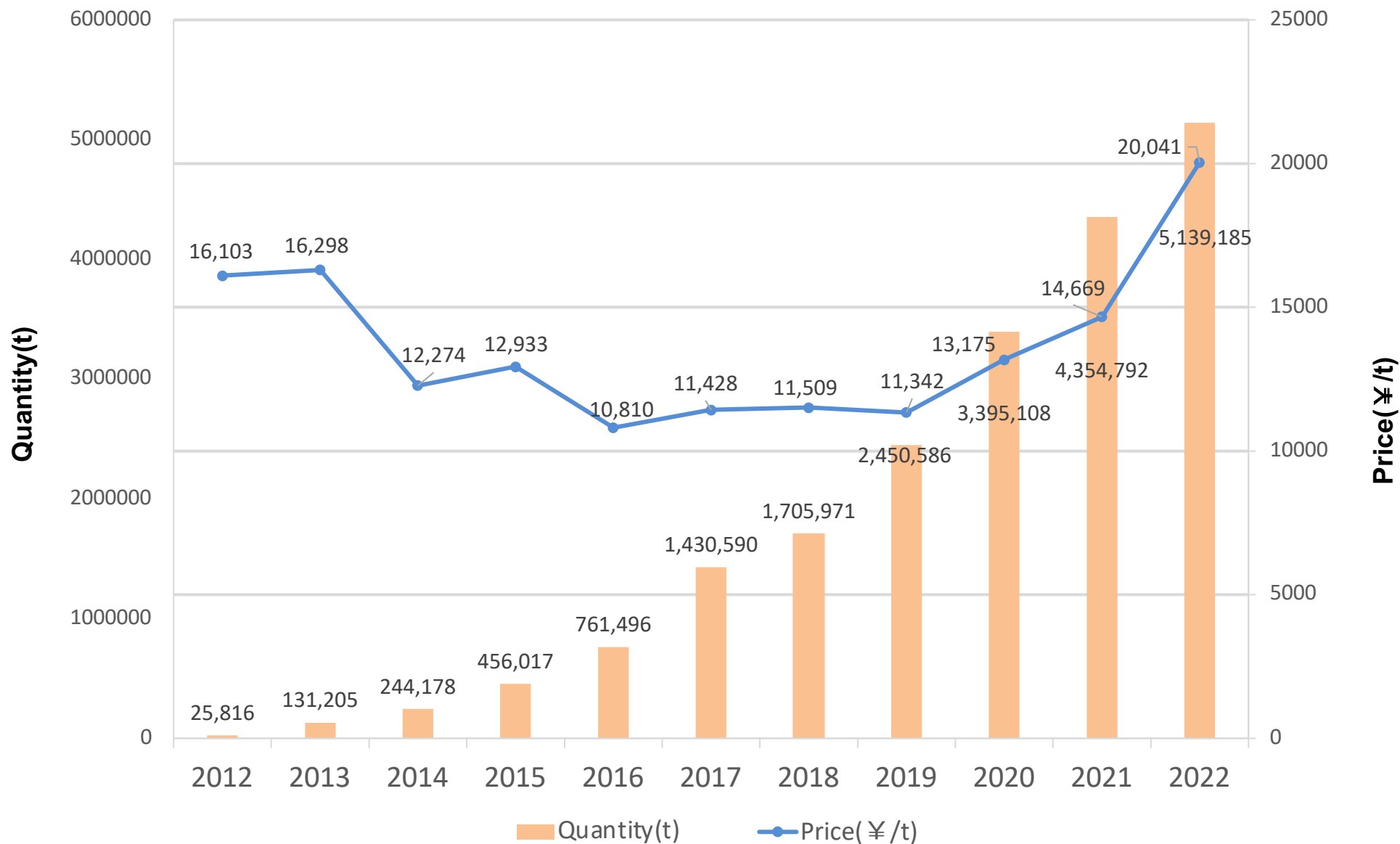
設立：2016年11月22日（2023年5月現在：会員数 115）

目的：バイオマス発電事業の促進とバイオマス産業の健全な発展を図り、持続可能な循環型社会の構築と地球環境保全の推進に寄与すること

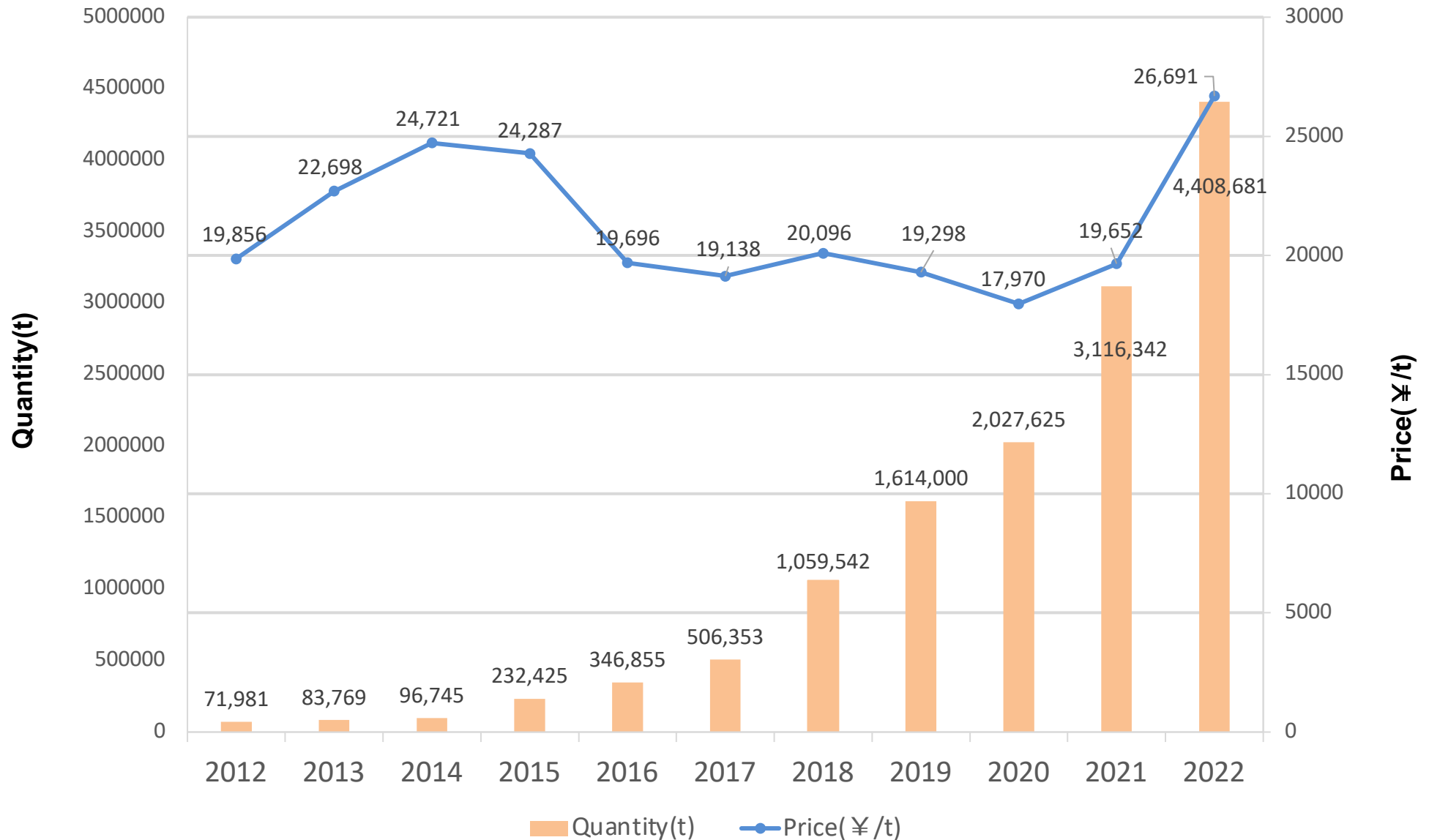
会 員



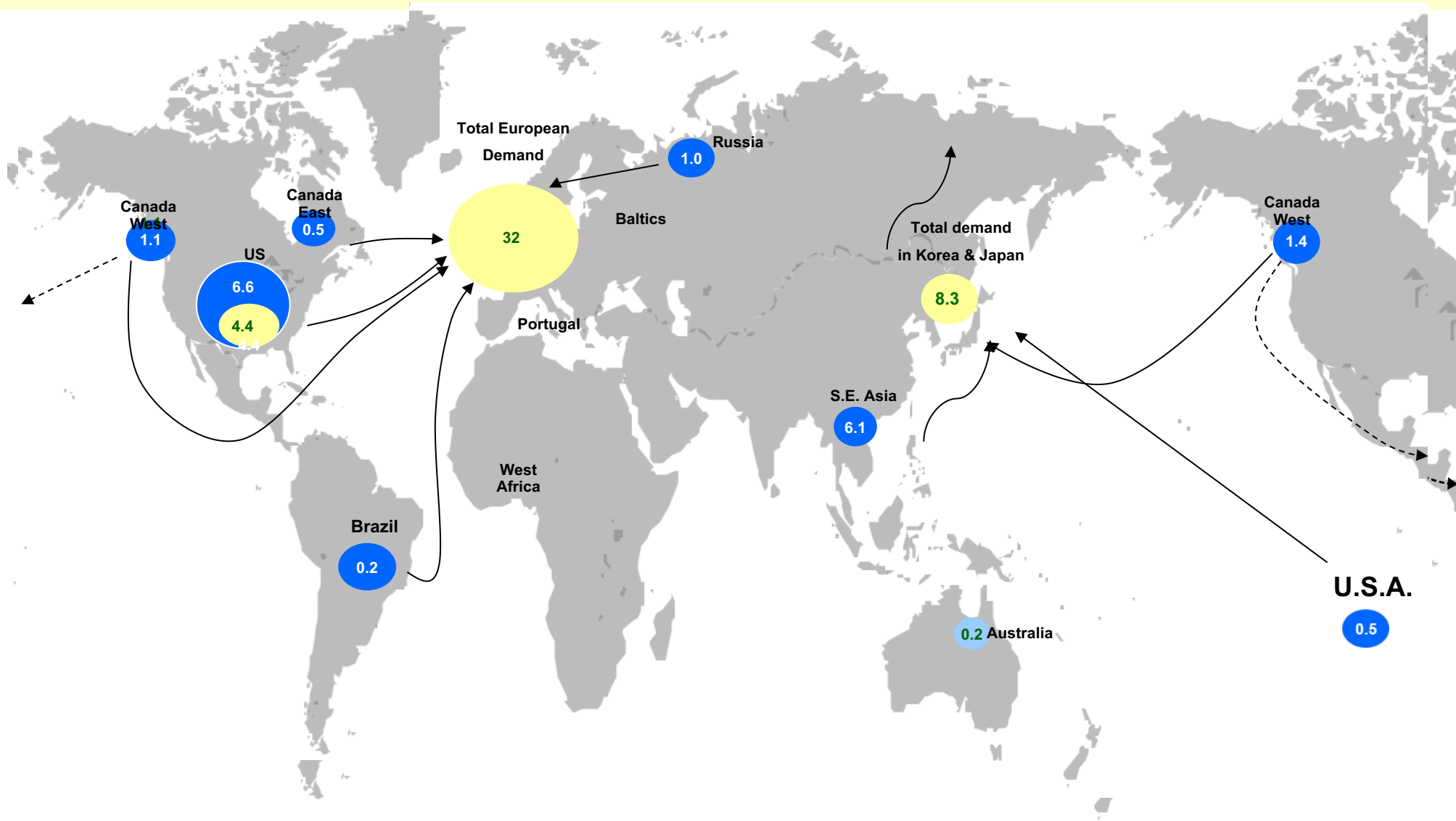
日本のPKS輸入量・価格の推移



日本の木質ペレット輸入量・価格の推移



2022年の世界の木質ペレット貿易量

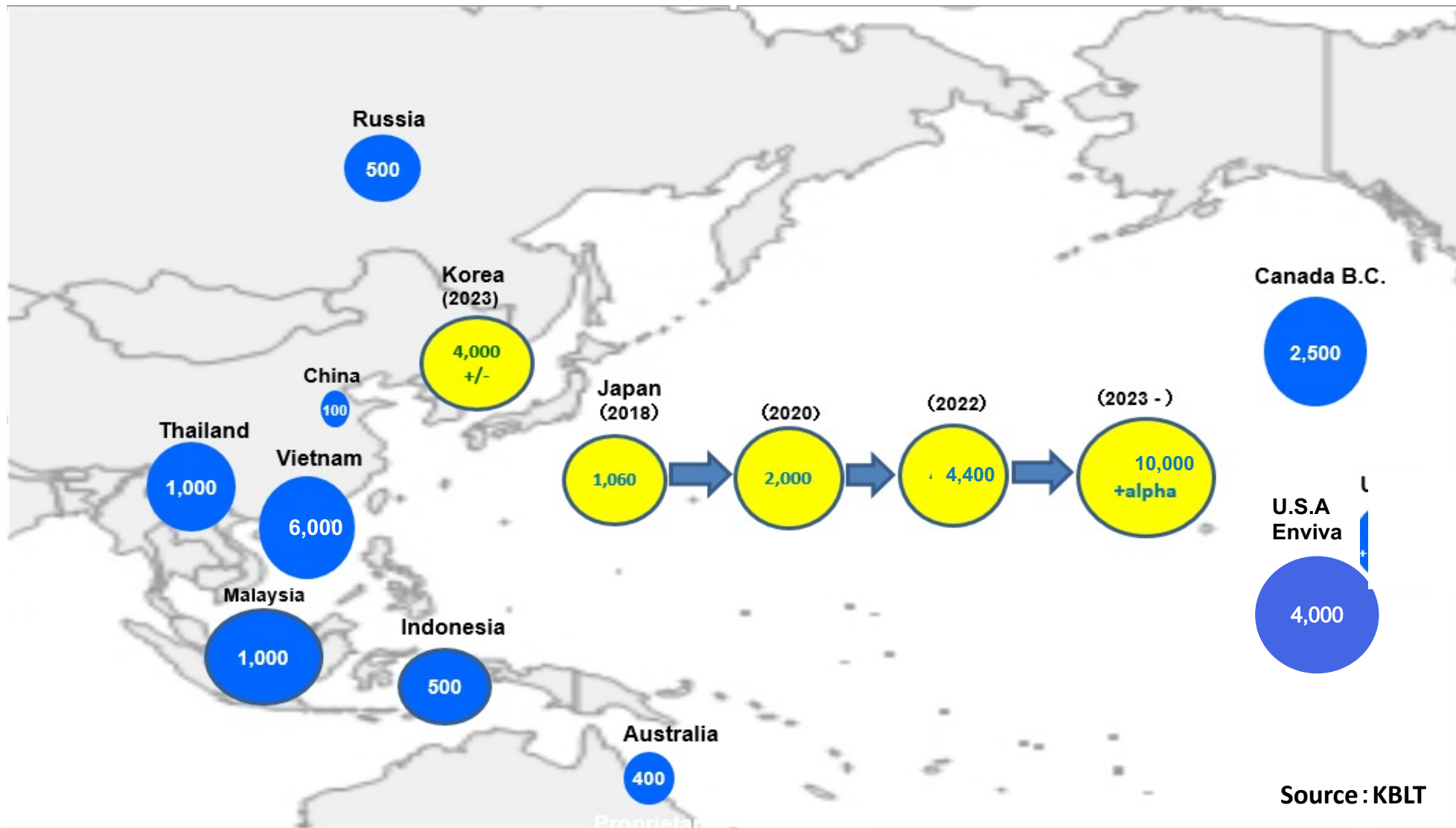


世界の貿易量: **41百万トン/年 (2022)**

Source: KBLT

2024年の日本・韓国向け木質ペレット貿易量予測

【Unit : thousand MT】



将来のBECCSへの布石としてのバイオマス発電

BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)

* 2014年3月IPCC第5次評価報告書で紹介されたコンセプト。バイオマスはカーボン・ニュートラルなので、バイオマスの燃焼によって排出されたCO₂はゼロカウントとなるが、これを捕捉して貯蔵することで排出しなければ、その分は更にCO₂を削減したと見做され**カーボン・ネガティブ**（**マイナス**）となる。2050年以降のIPCCネガティブエミッションシナリオの切り札と位置付けられている。

即ち、バイオマスの混焼を行なっている石炭火力発電所に将来**CCS**を設置すれば、石炭分のCO₂排出がゼロになるばかりか**バイオマス分は更にマイナス**になるという効果が期待出来る。

石炭火力のバイオマス専焼転換の意義

1. 石炭火力でのCO2削減：

石炭は最も安価で調達余力のある資源だがCO2排出量が最大 (LNGの1.6倍)。CO2削減策としてアンモニアや水素の混焼があり、将来はCCSやCCUSの可能性もあるが、何れもコスト的負担が極めて大きい。
現時点ではバイオマス専焼転換が最も確実に合理的な対策。

2. 石炭火力発電所の有効活用と石炭フェードアウト：

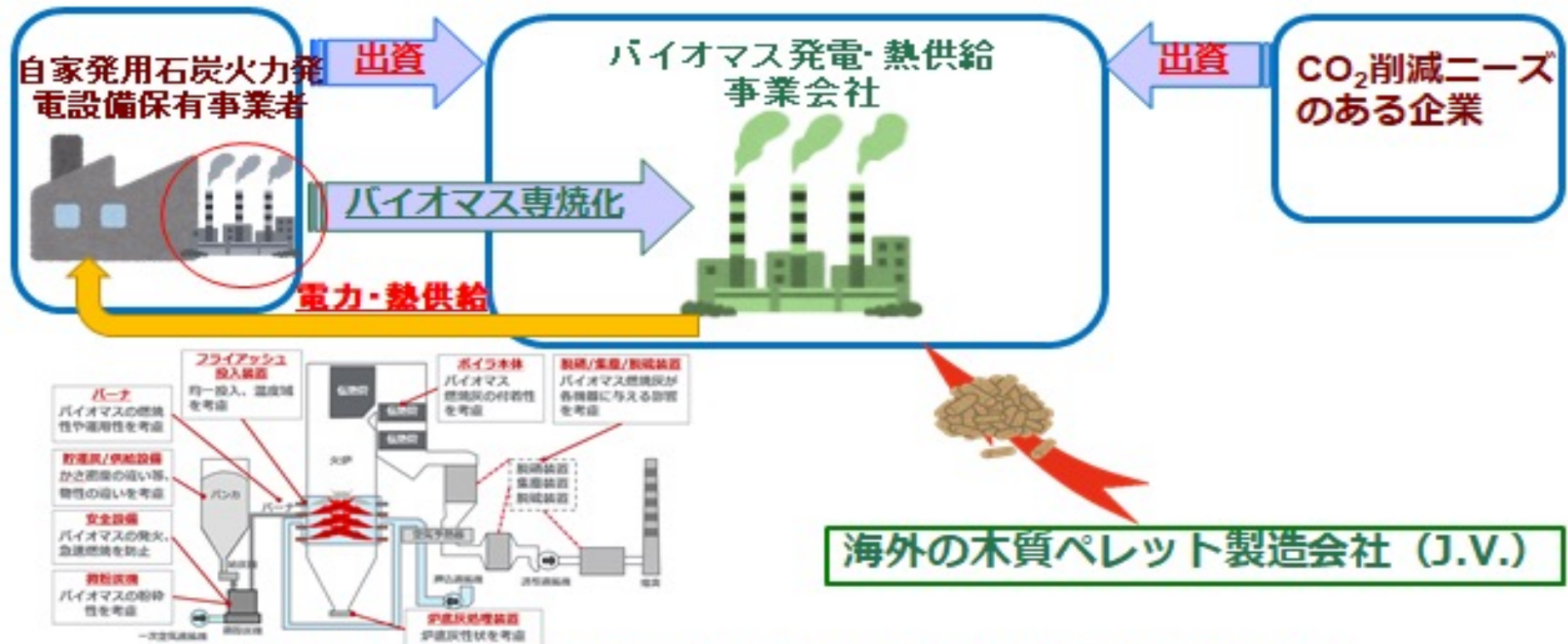
既設の石炭火力発電所を「座礁資産化」させない為の現実的な選択肢としては、石炭をバイオマスで代替 (燃料転換) することにより石炭からのフェードアウトを図ることが有効である。

3. 再エネ電力の効率的な導入拡大：

再エネ電力の導入をコストミニマムで達成する手段として、既設の石炭火力発電をバイオマス専焼に転換することが最も有効。既存設備を活用するので新規設備投資は不要だがゼロエミッション電源導入と同じ効果になるので、再エネ発電の効率的導入拡大に繋がる。

日本国内でのバイオマス発電事業

事業目的：既設の石炭火力発電設備をバイオマス専焼に転換し、カーボンニュートラル化する



バイオマス専焼化技術（三菱重工業は英国 Drax の 660MW x 4基 をバイオマス専焼に転換した実績がある）

事業内容：工場に設置されている自家発用の石炭火力をスピンオフして『バイオマス発電・熱供給事業会社』を新たに設立し、当該工場に対して電力及び熱を供給する。

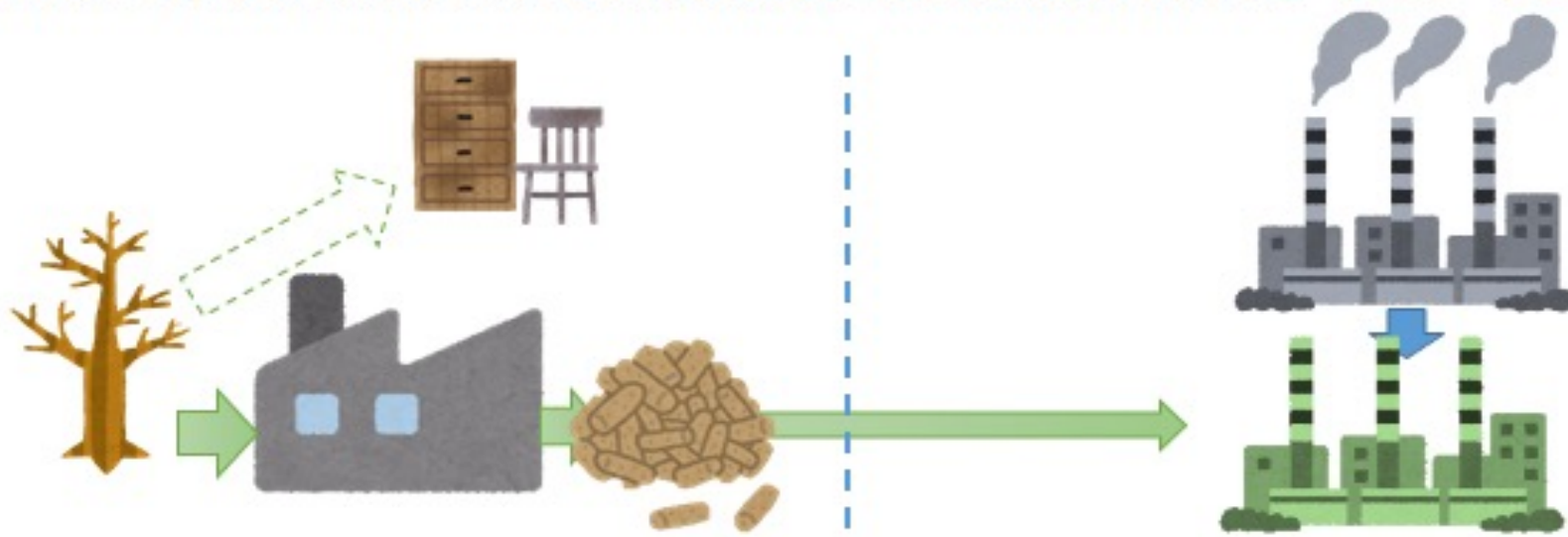
木質バイオマス発電の形態・規模別分析

	規模・形態	原料収集	関連する技術・システム等				
			熱電併給	ガス化	流動床	微粉炭	Torrefaction
専焼	1,000kW未満	森林組合単位	◎	◎			△
	1,000～2,000kW	森林組合単位	○	◎			△
	2,000～1万kW	広域収集		△	△		△
	1万～2万kW	広域＋輸入			○		○
	2万kW～ (平均5万kW)	広域＋輸入			◎		○
混焼 又は 専焼 転換	工場自家発用 ～ 11.25万kW	広域＋輸入			○	◎	◎
	IPP	広域＋輸入			○	◎	◎
大手 電力	大型石炭火力混焼	広域＋輸入				◎	◎

事業コンセプト

案件名 : エネルギー多消費産業における石炭火力のカーボンニュートラル化

事業目的 : CO₂削減が求められる自家発用石炭火力をバイオマス専焼に転換することでカーボンニュートラル化を図る



【アジア等海外】

木質ペレット製造事業

アジアの豊富なバイオマス資源（アカシア、ユーカリ、ゴムの木等）を利用して、木質ペレットの製造事業を行なう

【日本国内】

バイオマス発電事業

既存の石炭火力発電設備をバイオマス混焼・専焼に転換してカーボンニュートラル化を図る

CO₂削減効果とコスト試算の前提条件

- 日本全体のCO₂排出量は**11.38億トン**（2018年度）。その内産業部門は1/4。
- 日本の**製造業**等電力会社以外の石炭火力設備容量は **9.14GW**
- 石炭火力発電の **CO₂ 排出原単位**は約 **0.8kg-CO₂/kWh**と大きく、この9.14GWの石炭火力から排出される**CO₂**は約**5,300万t-CO₂**。
- 石炭代替に必要な**木質ペレット**は **3,460万トン/年**。価格は **19,500円/t** にて試算。
(数量は英Draxが石炭火力660MWx4基をバイオマス専焼に転換した時の実績に基づき試算)
- 石炭火力の設備利用率を**92%**とすれば、上記9.14GWの発電電力量は **73,661GWh**
- 一般炭輸入価格は現在価格が高騰している。2021年8月の**約15,000円/t** にて試算。
- **112MW**の石炭火力発電のバイオマス専焼化に伴う**改造費**を**約100億円**にて試算。
(これは**初期設備導入費用約340億円**の**30%相当**)



既設の石炭火力発電をバイオマス専焼設備に転換すれば**再生可能エネルギー発電**となる為、約**5,300万t-CO₂**（日本全体の**4.5%**に相当）の**削減効果**となる。
将来的にはCCSを装着することで**BECCS**を行ない**カーボンネガティブ**に繋げることも可能

木質ペレット専焼追加コスト

(改造費 100億円、ペレット価格 19,500円/t の場合)

基本条件

既設自家発電炭火力	0.0952 GW	①
設備費利用率	92%	②
発電量	765 GWh	③ = ① × 24 × 365 × ②
所内率	10.71 %	④
送電量	683 GWh	⑤ = ③ × (100 - ④) ÷ 100
CO2排出原単位	0.8 kg-CO2/kWh	⑥
年間CO2排出量	546,746 t-CO2	⑦ = ⑤ × ⑥

イニシャルコスト

設備費	340 億円	⑧
改造費	100 億円	⑨

赤枠部分の数字は聞き取り調査により、p.25 の数字から修正

ランニングコスト

一般炭価格	15,000 円/t※1	⑩
一般炭発熱量	25.4 MJ/kg※2	⑪
	0.590 円/MJ	⑫ = ⑩ ÷ ⑪
ペレット価格	19,500 円/t※3	⑬
ペレット発熱量	15.6 MJ/kg※4	⑭
	1.250 円/MJ	⑮ = ⑬ ÷ ⑭
原料価格比	2.120 倍	⑯ = ⑮ ÷ ⑫
石炭火力発電コスト	12.3 円/kWh※5	⑰
内原料費	5.5 円/kWh※5	⑱
バイオマス化	11.66 円/kWh	⑲ = ⑱ × ⑯
コスト増加分	6.16 円/kWh	⑳ = ⑲ - ⑱
	42 億円/年	㉑ = ㉒ × ⑤

年間の追加費用

追加費用	47 億円/年	㉒ = ㉑ × ⑤ + ⑨ ÷ 20
------	---------	--------------------

CO2削減コスト

追加費用から計算	8,614 円/t-CO2	㉔ = ㉒ ÷ ⑦
----------	---------------	-----------

約8,600円/t-CO₂の補填で成立

発電量あたり追加費用

追加費用から計算	6.89 円/kWh	㉖ = ㉒ ÷ ⑤
----------	------------	-----------

- ※1 ※2 資源エネルギー庁, エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018年度改訂) の解説、発熱量
 ※3 FTカーボン, 輸入バイオマス燃料の状況 (2021)
 ※4 NEED澤, Torrefaction (半炭化) 技術について
 ※5 資源エネルギー庁, コスト等検証委員会 (2015)

木質ペレット専焼追加コスト

(改造費 100億円、ペレット価格 \$180/t の場合)

基本条件

既設自家発石炭火力	0.0952 GW	①
設備費利用率	92%	②
発電量	765 GWh	③ = ① × 24 × 365 × ②
所内率	10.71 %	④
送電量	683 GWh	⑤ = ③ × (100 - ④) ÷ 100
CO2排出原単位	0.8 kg-CO2/kWh	⑥
年間CO2排出量	546,746 t-CO2	⑦ = ⑤ × ⑥

イニシャルコスト

設備費	340 億円	⑧
改造費	100 億円	⑨

赤枠部分の数字は聞き取り調査により、p.12の数字から修正

ランニングコスト

一般炭価格	15,000 円/t※1	⑩
一般炭発熱量	25.4 MJ/kg※2	⑪
	0.590 円/MJ	⑫ = ⑩ ÷ ⑪
ペレット価格	26,460 円/t※3	⑬
ペレット発熱量	15.6 MJ/kg※4	⑭
	1.696 円/MJ	⑮ = ⑬ ÷ ⑭
原料価格比	2.877 倍	⑯ = ⑮ ÷ ⑫
石炭火力発電コスト	12.3 円/kWh※5	⑰
内原料費	5.5 円/kWh※5	⑱
バイオマス化	15.82 円/kWh	⑲ = ⑱ × ⑯
コスト増加分	10.32 円/kWh	⑳ = ⑲ - ⑱
	71 億円/年	㉑ = ㉓ × ⑤

年間の追加費用

追加費用	76 億円/年	㉒ = ㉓ × ⑤ + ⑨ ÷ 20
------	---------	--------------------

追加費用から計算	13,816 円/t-CO2	㉔ = ㉒ ÷ ⑦
----------	----------------	-----------

約**14,000**円/t-CO₂の補填で成立

発電量あたり追加費用

追加費用から計算	11.05 円/kWh	㉖ = ㉔ ÷ ⑤
----------	-------------	-----------

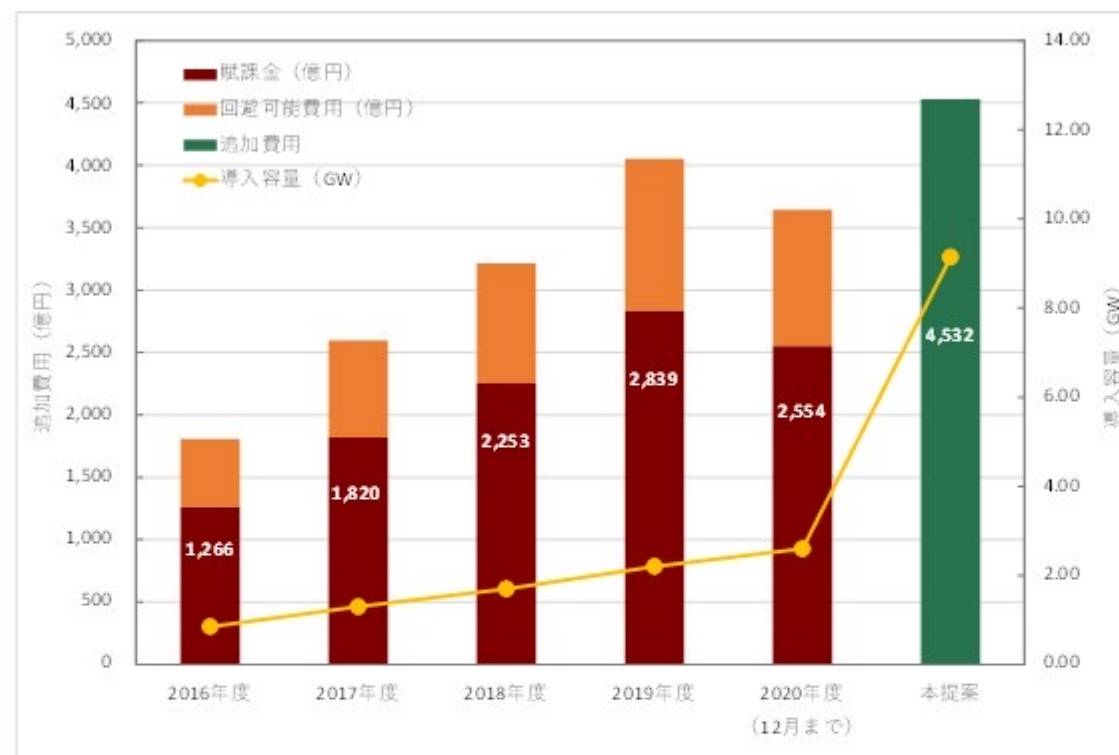
※1 ※2 資源エネルギー庁, エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018年度改訂) の解説、発熱量

※3 今年の価格 \$180/t (@¥147/\$) で計算

※4 NEED澤, Torrefaction(半炭化)技術について

※5 資源エネルギー庁, コスト等検証委員会(2015)

FITによる政策効果との比較



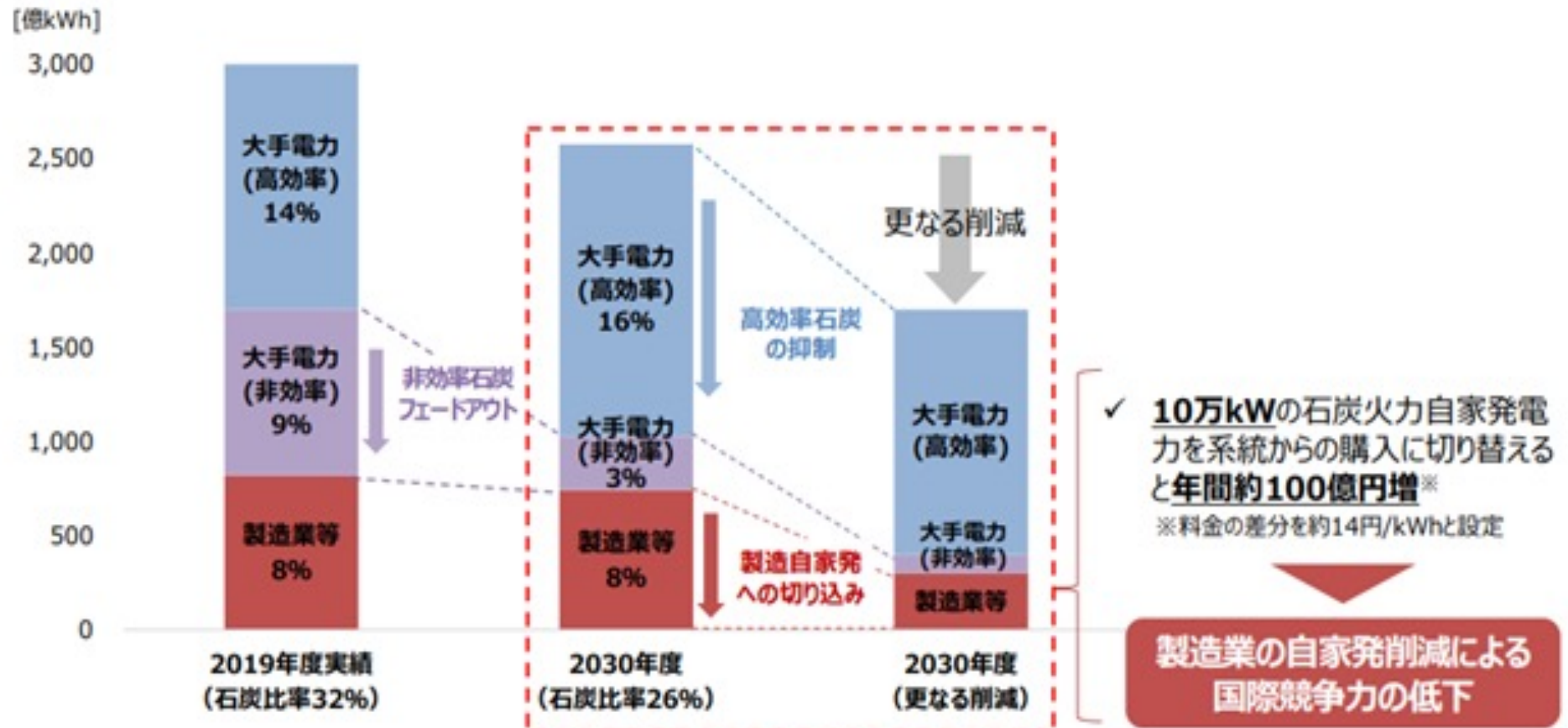
FITによる2019年度導入設備容量は2.2GW。この買取総額は約4,000億円で、その内の約2,800億円が賦課金(※)であった。前頁のシミュレーション結果から、本提案では約4,500億円の追加費用で、9GWのバイオマス発電が導入できる計算。

この提案を実行した場合には、1GWの再エネ導入あたり496億円かかる計算だが、FITバイオマス発電では1,290億円かかったので、費用対効果としては、**2.6倍の効果の上がる政策**と考えられる。

※2021年度賦課金単価計算根拠(METI)より30%の回避可能費用を適用

国内石炭火力発電量の削減見通し

出典：資源エネルギー庁，2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）（2021）



トレファイドペレット専焼追加コスト

(通常ペレットと熱量比等価の場合)

基本条件

既設自家発石炭火力	0.0952 GW	①
設備費利用率	92%	②
発電量	765 GWh	③ = ① × 24 × 365 × ②
所内率	10.71 %	④
送電量	683 GWh	⑤ = ③ × (100 - ④) ÷ 100
CO2排出原単位	0.8 kg-CO2/kWh	⑥
年間CO2排出量	546,746 t-CO2	⑦ = ⑤ × ⑥

イニシャルコスト

設備費	340 億円	⑧
改造費	0 億円	⑨

改造費は0とする

ランニングコスト

一般炭価格	15,000 円/t※1	⑩
一般炭発熱量	25.4 MJ/kg※2	⑪
	0.590 円/MJ	⑫ = ⑩ ÷ ⑪
ペレット価格	24,875 円/t※3	⑬
ペレット発熱量	19.9 MJ/kg※4	⑭
	1.250 円/MJ	⑮ = ⑬ ÷ ⑭
原料価格比	2.120 倍	⑯ = ⑮ ÷ ⑫
石炭火力発電コスト	12.3 円/kWh※5	⑰
内原料費	5.5 円/kWh※5	⑱
バイオマス化	11.66 円/kWh	⑲ = ⑱ × ⑯
コスト増加分	6.16 円/kWh	⑳ = ⑲ - ⑱
	42 億円/年	㉑ = ㉓ × ⑤

トレファイドペレット価格は発熱量比で推定した 19,500 円/t × 19.9MJ/kg ÷ 15.6MJ/kg = 24,875円/t

年間の追加費用

追加費用	42 億円/年	㉒ = ㉓ × ⑤ + ⑨ ÷ 20
------	---------	--------------------

CO2削減コスト

追加費用から計算	7,700 円/t-CO2	㉔ = ㉒ ÷ ⑦
----------	---------------	-----------

7,700円/t-CO₂の補填で成立

発電量あたり追加費用

追加費用から計算	6.16 円/kWh	㉖ = ㉒ ÷ ⑤
----------	------------	-----------

※1 ※2 資源エネルギー庁, エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018年度改訂) の解説、発熱量

※3 推算値

※4 NEED澤, Torrefaction(半炭化)技術について

※5 資源エネルギー庁, コスト等検証委員会(2015)

トレファイドペレット専焼追加コスト

(CO₂削減コストが通常ペレットと等価の場合)

基本条件

既設自家発石炭火力	0.0952 GW	①
設備費利用率	92%	②
発電量	765 GWh	③ = ① × 24 × 365 × ②
所内率	10.71 %	④
送電量	683 GWh	⑤ = ③ × (100 - ④) ÷ 100
CO ₂ 排出原単位	0.8 kg-CO ₂ /kWh	⑥
年間CO ₂ 排出量	546,746 t-CO ₂	⑦ = ⑤ × ⑥

イニシャルコスト

設備費	340 億円	⑧
改造費	0 億円	⑨

改造費は0とする

ランニングコスト

一般炭価格	15,000 円/t※1	⑩
一般炭発熱量	25.4 MJ/kg※2	⑪
	0.590 円/MJ	⑫ = ⑩ ÷ ⑪
ペレット価格	26.436 円/t※3	⑬
ペレット発熱量	19.9 MJ/kg※4	⑭
	1.328 円/MJ	⑮ = ⑬ ÷ ⑭
原料価格比	2.253 倍	⑯ = ⑮ ÷ ⑫
石炭火力発電コスト	12.3 円/kWh※5	⑰
内原料費	5.5 円/kWh※5	⑱
バイオマス化	12.39 円/kWh	⑲ = ⑱ × ⑯
コスト増加分	6.89 円/kWh	⑳ = ⑲ - ⑱
	47 億円/年	㉑ = ㉐ × ⑤

年間の追加費用

追加費用	47 億円/年	㉒ = ㉑ × ⑤ + ⑨ ÷ 20
------	---------	--------------------

CO₂削減コスト

追加費用から計算	8,614 円/t-CO ₂	㉔ = ㉒ ÷ ⑦
----------	---------------------------	-----------

約8,600円/t-CO₂の補填で成立

発電量あたり追加費用

追加費用から計算	6.89 円/kWh	㉖ = ㉔ ÷ ⑤
----------	------------	-----------

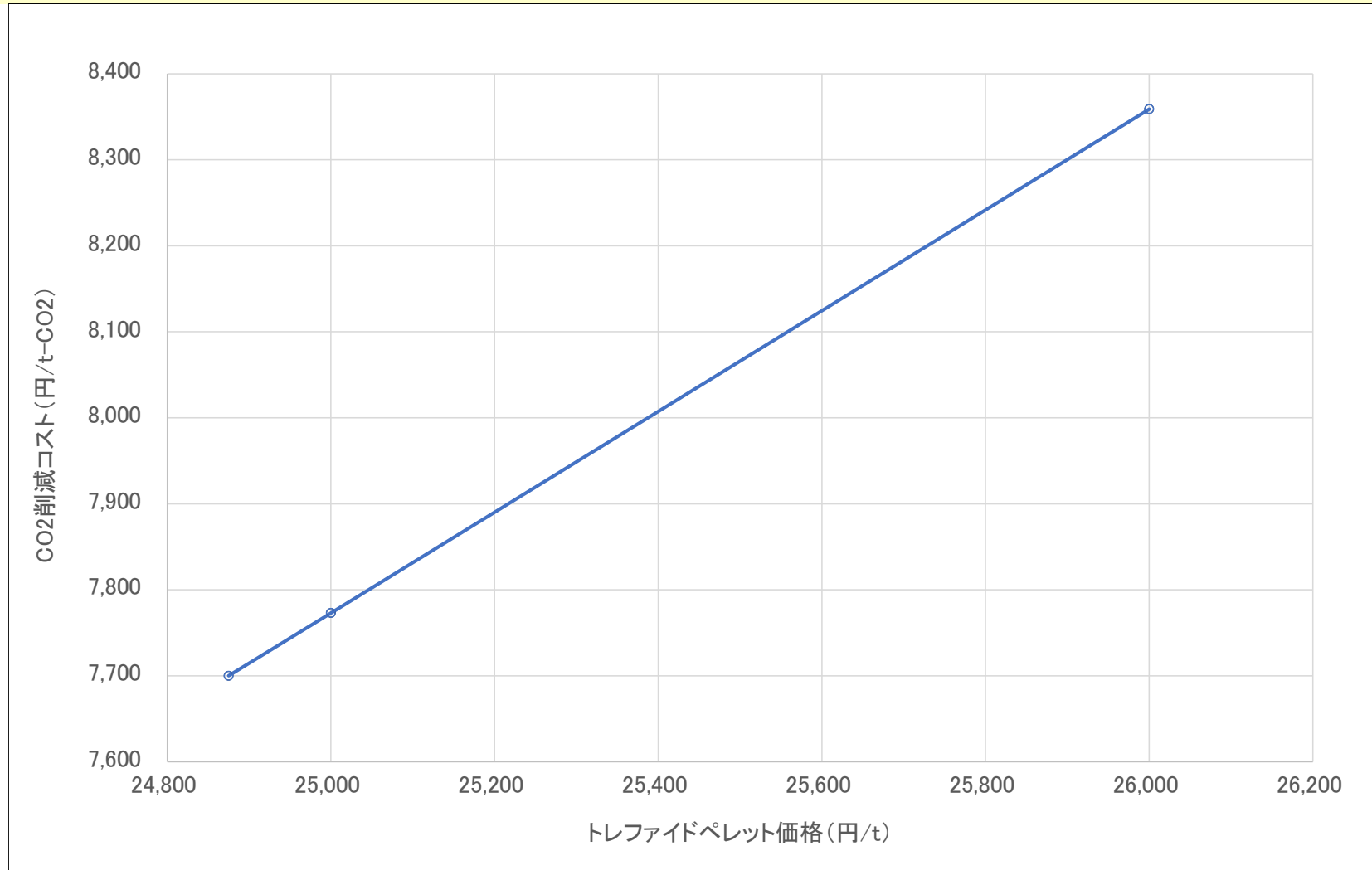
※1 ※2 資源エネルギー庁, エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018年度改訂) の解説、発熱量

※3 推算値

※4 NEED澤, Torrefaction(半炭化)技術について

※5 資源エネルギー庁, コスト等検証委員会(2015)

トレファイドペレット価格とCO₂削減コストの関係



トレファイドペレット専焼追加コスト

(価格が \$350/ t の場合)

基本条件

既設自家発石炭火力	0.0952 GW	①
設備費利用率	92%	②
発電量	765 GWh	③ = ① × 24 × 365 × ②
所内率	10.71 %	④
送電量	683 GWh	⑤ = ③ × (100 - ④) ÷ 100
CO2排出原単位	0.8 kg-CO2/kWh	⑥
年間CO2排出量	546,746 t-CO2	⑦ = ⑤ × ⑥

イニシャルコスト

設備費	340 億円	⑧
改造費	0 億円	⑨

改造費は0とする

ランニングコスト

一般炭価格	15,000 円/t※1	⑩
一般炭発熱量	25.4 MJ/kg※2	⑪
	0.590 円/MJ	⑫ = ⑩ ÷ ⑪
ペレット価格	51,450 円/t※3	⑬
ペレット発熱量	19.9 MJ/kg※4	⑭
	2.585 円/MJ	⑮ = ⑬ ÷ ⑭
原料価格比	4.385 倍	⑯ = ⑮ ÷ ⑫
石炭火力発電コスト	12.3 円/kWh※5	⑰
内原料費	5.5 円/kWh※5	⑱
バイオマス化	24.12 円/kWh	⑲ = ⑱ × ⑯
コスト増加分	18.62 円/kWh	⑳ = ⑲ - ⑱
	127 億円/年	㉑ = ㉒ × ⑤

年間の追加費用

追加費用	127 億円/年	㉒ = ㉑ × ⑤ + ⑨ ÷ 20
------	----------	--------------------

追加費用から計算	23,270 円/t-CO2	㉔ = ㉒ ÷ ⑦
----------	----------------	-----------

約23,000円/t-CO₂の補填で成立

発電量あたり追加費用

追加費用から計算	18.62 円/kWh	㉖ = ㉔ ÷ ⑤
----------	-------------	-----------

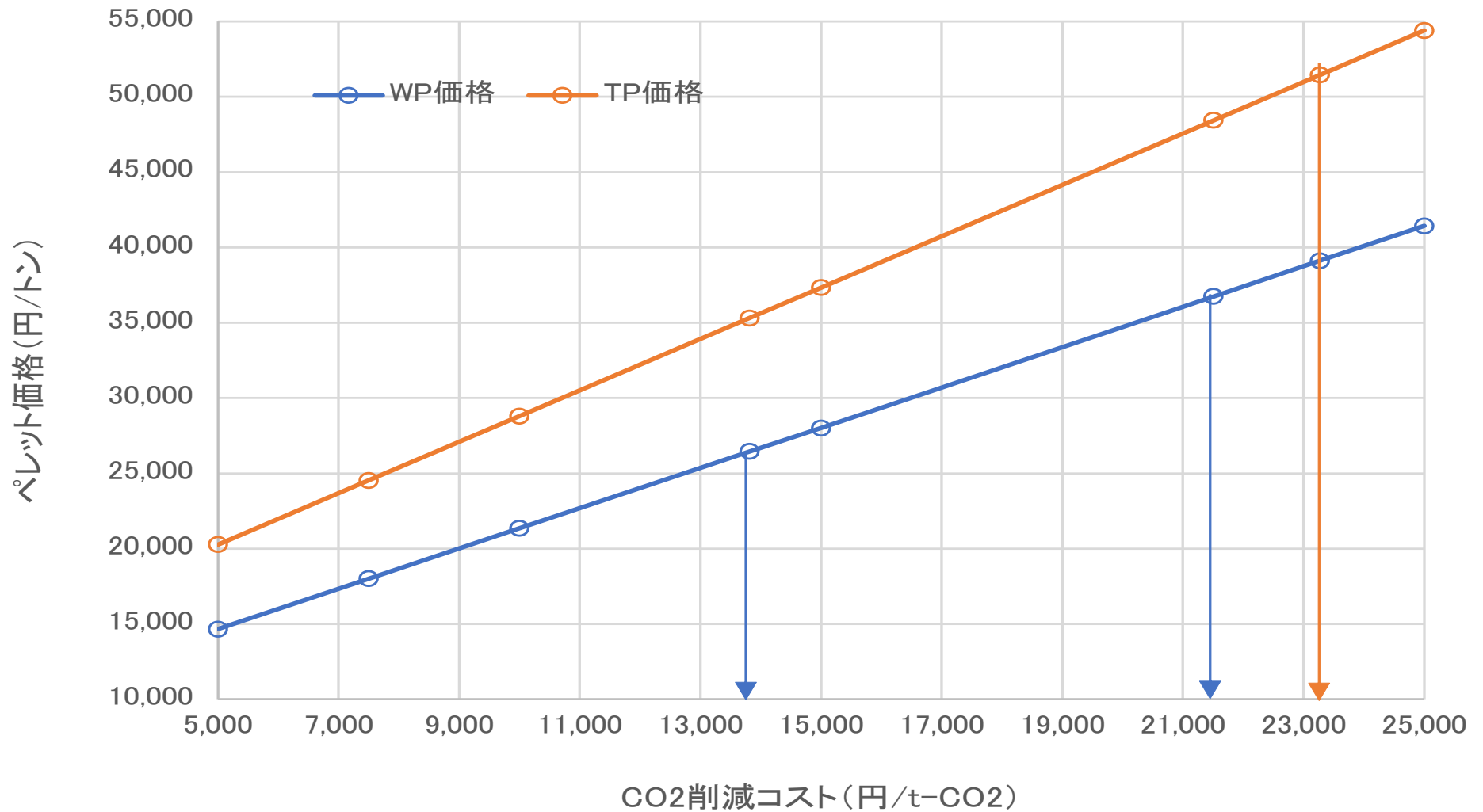
※1 ※2 資源エネルギー庁, エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018年度改訂) の解説、発熱量

※3 \$350/t (@¥147/\$) で計算

※4 NEED澤, Torrefaction (半炭化) 技術について

※5 資源エネルギー庁, コスト等検証委員会 (2015)

ペレット価格とCO₂削減コストの関係



容量市場について

- 容量市場は、発電事業者の投資回収の予見性を高め、再生可能エネルギーの主力電源化を実現するために必要な調整力の確保や、中長期的な供給力不足に対処することを目的として創設された。

□ 容量市場を創設：kWベース＝固定費（維持費等）

- ✓ 4年後に確実に発電できる電源（kW）に対価を支払うための仕組み
- ✓ 発電事業者の投資回収の予見性を確保

➡ 安定供給上必要な電源の休廃止を防止し、国全体で必要な電源投資を確保

※先行して自由化を進めた米英等において既に導入済。

2020年7月に第1回オークションを開催

- ✓ 実施者：電力広域機関
- ✓ 調達期間：4年後の1年間（第1回では2024年度）
- ✓ 原資：小売事業者から、年間最大需要時の販売電力量シェアで回収

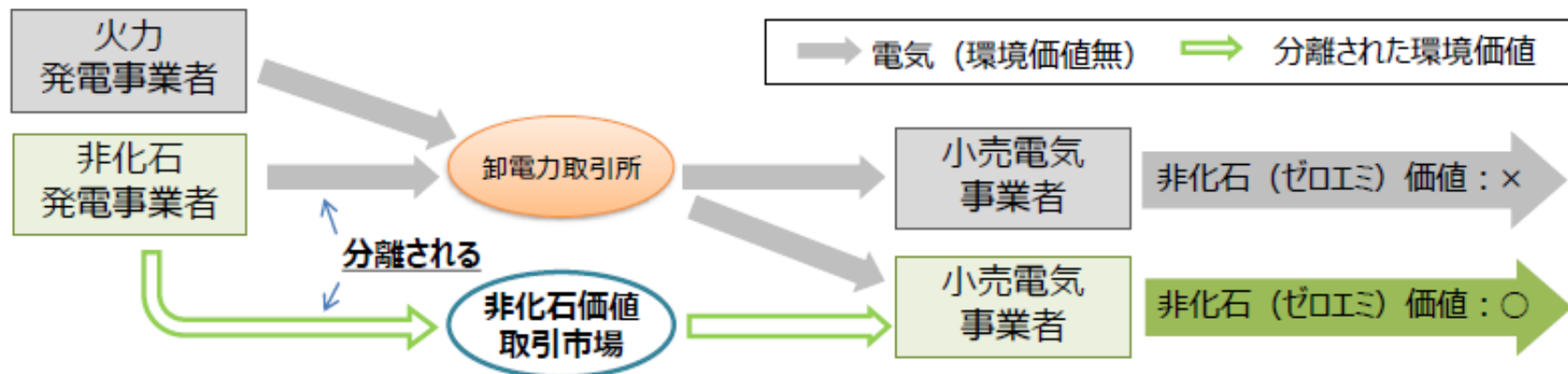
非化石価値取引市場について

- 小売電気事業者による高度化法※¹の目標達成(2030年度 非化石電源比率44%)を促すため、非化石電源（再エネ、原子力等）に由来する電気の非化石価値を証書化し取引する非化石価値取引市場を創設。
- 市場創設により、非化石電源からの調達機会が限られていた新規参入者にとっても、非化石証書を購入することで目標達成が可能となる※²。
- 2018年5月よりFIT電源に由来する非化石証書の取引が実施されており、2020年4月より、FIT以外の非化石電源（大型水力、原子力等）も含め、全非化石電源に由来する非化石価値が証書化されている※³。

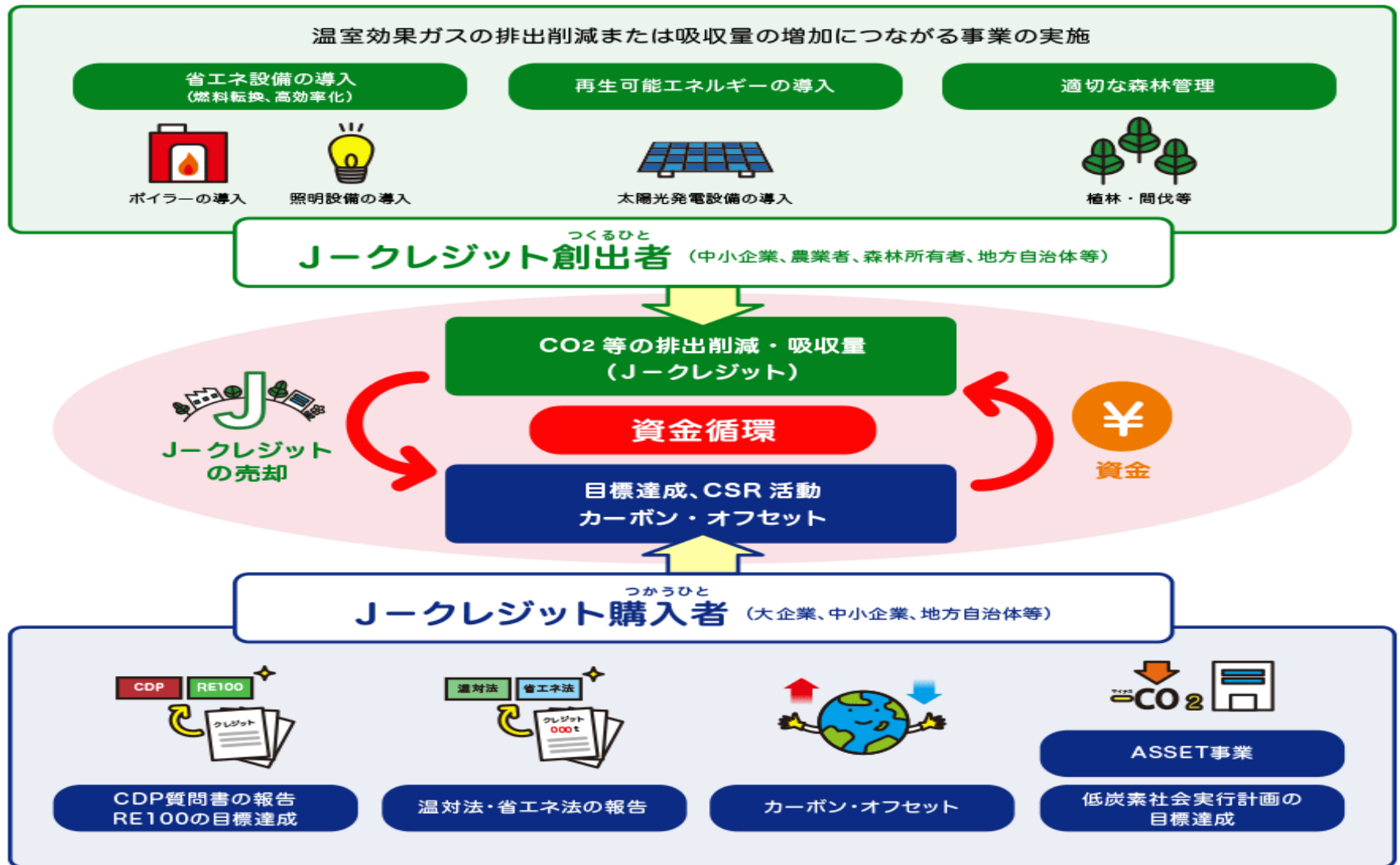
※¹ エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律

※² 非化石証書の導入は、再エネ等の非化石電源への投資等の促進や、環境負荷の低い電気の使用を希望する需要家の選択肢拡大（例：RE100）にも資する。

※³ FIT以外(非FIT非化石証書)の初回オークションの取引期間2020年11月5日より開始予定。



J-クレジットについて



【参考】欧州のエネルギー多消費産業へのインセンティブ

スウェーデン

- 1991年に炭素税を導入、2018年の税率は約1万5,000円/tCO₂と世界で最も高い。加えて、欧州レベルの排出量取引制度であるEU-ETSに参加しているほか、エネルギー税も導入されている。
- 1990年代には、税率は現在の5分の1程度であり、産業部門に対しては軽減税率を適用していた。2000年代から他国でカーボンプライシングの導入が拡大するにつれ、標準税率を大きく引き上げるとともに、産業用の軽減税率の軽減幅を縮小し、2018年1月には軽減税率を撤廃した。一方で、EU-ETS対象産業は炭素税が免税となり、エネルギー税も70%減税となっている。

フランス

- 2014年に炭素税を導入、2018年の税率は約5,700円/tCO₂である。

スウェーデン同様EU-ETSに参加している。

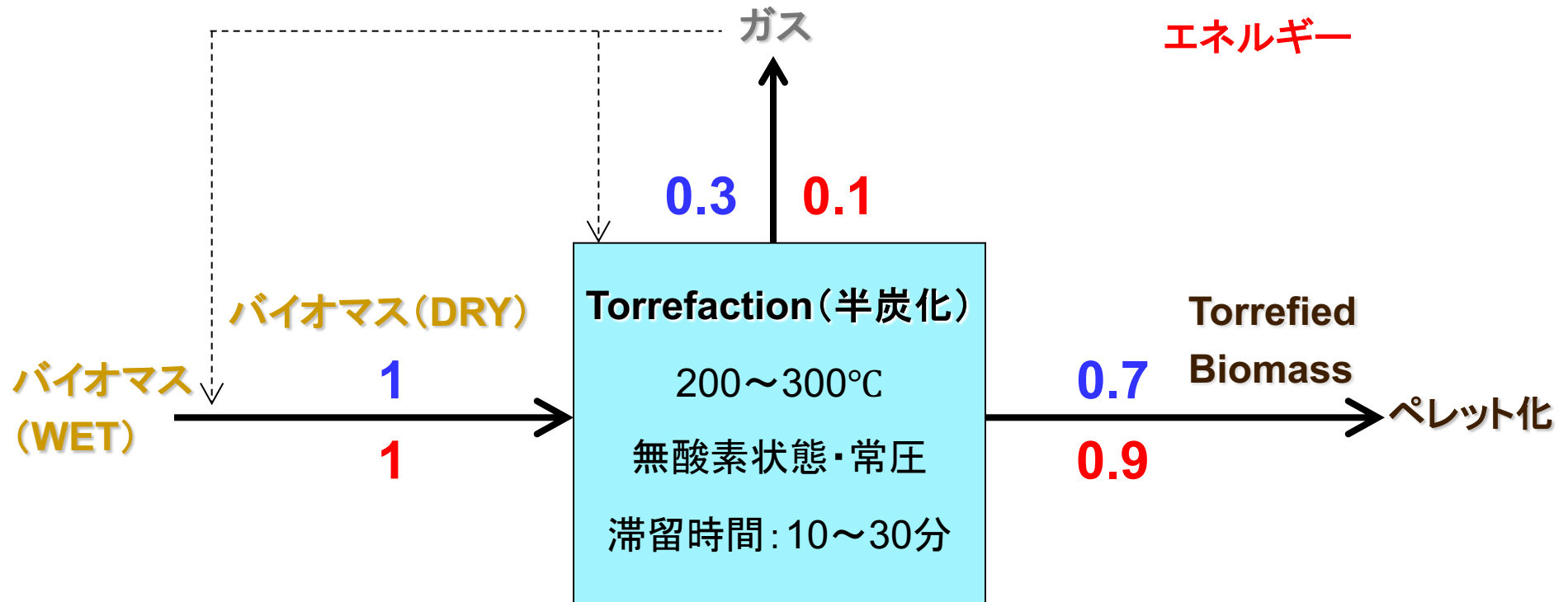
- CO₂多排出産業はEU-ETSの対象となり炭素税は免税となる。EU-ETSでは、鉄鋼業などの国際競争にさらされる産業に対しては排出枠が無償で割り当てられており、実質的な負担は少ない。しかし、無償で付与される排出枠の量は今後減少する見込みであり、排出削減のインセンティブが強化されていく予定。

【参考】 EUの排出権価格



Torrefaction (半炭化)とは？

—中低温領域*でのバイオマス熱分解—



エネルギー密度 (MJ/kg) (重量当たり) $1 \frac{0.9}{0.7} = 1.3$

Torrefied Pelletとは？

1. Torrefied Pellets製造工程



2. Torrefied Pelletsの耐水性



出典:ECN

Torrefied Pelletの組成(木質チップ、木質ペレットとの比較)

項目(単位)	木質チップ	木質ペレット	Torrefied Pellet
含水率(%)	35%	10%	3%
重量当たりのエネルギー密度 LHV (MJ/kg)	10.5 (67%)	15.6 (100%)	19.9 (128%)
かさ比重(kg/m ³)	475	650	750
体積当たりのエネルギー かさ密度 (GJ/m ³)	5.0	10.1	14.9
輸送効率(比率%)	△ (50%)	○ (100%)	◎ (150%)
貯蔵・ハンドリング性	○	△	◎
粉碎性	△	○	◎

Torrefied Pellet のメリット

1. 良好な粉砕性 → 石炭への混焼率大幅UP (3% ⇒ 30%以上)
2. 高エネルギー密度 → 輸送・貯蔵効率の向上
(発熱量: ペレットの1.3倍) (チップの3倍、ペレットの1.5倍の効率)
3. 疎水性、非発酵性 → 耐水性、自然発火防止
⇒ 石炭に準ずるハンドリング性
(新たな貯蔵設備への投資は原則不要)
4. 原料の多様化 → 林業残渣、農業残渣等未利用資源
混合バイオマス原料の使用
⇒ 生産量の拡大によるコストダウン

IBTC(国際トレファクション協議会)について

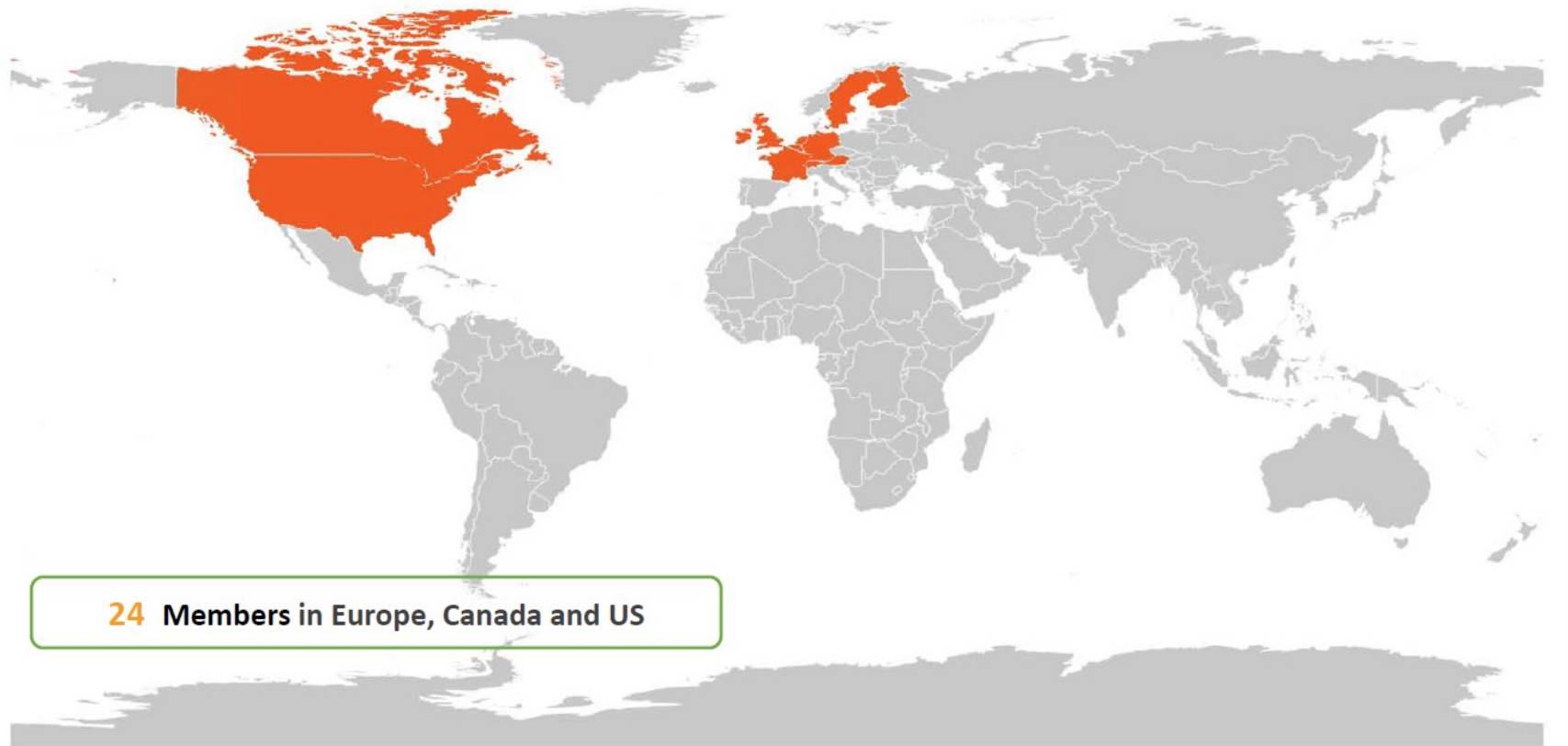
IBTC network

Combining efforts where advantageous



INTERNATIONAL BIOMASS
TORREFACTION COUNCIL

A NETWORK OF
BIOENERGY EUROPE



www.ibtc.bioenergyeurope.org

IBTC メンバー企業 20社

IBTC Full Members



IBTC Developing and Associated Members



欧米のトレファクション開発企業の状況(1)

Location	Status	Commissioning	Name plate capacity	Intended NCV	Product form factor
Austria	Project in Operation	Since 2013	8.000 tonnes/year	22-23 MJ/kg	Briquette 70mm diameter
Belgium	Project in Operation	Pelletizing industrial on scale expected in 2022	powder 30.000 tons/year pellets 150 kg /hour	powder 22-28 MJ/kg pellets 21 MJ/kg	Powder (full production) Pellets (only for test purposes)
Croatia	Project in permitting phase	2020	4.500 tonnes/year 1.000 kW electricity	C _{st} 90-98%	Charcoal 150mm
Estonia	Project Under construction	Q4 2020	157.000 tonnes/year	21 GJ NCV Dry	Pellet
Finland	Project in final negotiation	2023	60.000 tonnes/year	22-23 MJ/kg	Briquette 70mm diameter
Germany	Project in Operation	Since 2016	3.000 tonnes/year	C _{st} 90-98%	Charcoal 150mm
Ireland	Project in Operation		10.500 tonnes/year	n.a.	n.a.
Portugal	Project in Operation (not yet at full capacity)	Q4 2020	120.000 tonnes Black Pellets 80.000 tonnes White Pellets	18-22 MJ/kg	Pellet
Portugal	Project Under construction	2020	100.000 tonnes	22 GJ	Woodchips Pellet
UK	Project in Operation		30.000 tonnes/year	21 GJ NCV Dry	Pellet
Russia	Project in permitting phase	Q4 2021	2 x 40.000 metric tonnes/year	21-25 MJ/kg	Pellet

欧米のトレファクション開発企業の状況(2)

Location	Status	Commissioning	Name plate capacity	Intended NCV	Product form factor
Canada (BC)	Project in permitting phase	Q1 2021	100.000 tonnes	21 MJ/kg	Pellet
Canada (Qc)	Project in Operation	2016	15.000 tonnes	21 MJ/kg	Pellet
US	Project in Operation	2012	75.000 tonnes/year	25-50 GJ/MT	Pellet
US	Project in permitting phase	2022	400.000 tonnes/year	25 - 30 GJ/MT	Pellet
US (Louisiana)	Project in Operation	2017	16.000 tonnes/year	19 MJ/kg	Pellet, briquette
US (Oregon)	Project in Operation	2019	90.000 tonnes/year	21-22,5 MJ/kg	Pellet, briquette
US	Project Under construction	Q3 2021	125.000 tonnes/year	30 MJ/kg	Pellet, briquette
US (Oregon)	Project Under construction	n.a.	100.000 tonnes/year	n.a.	Softwood TorrB [®] torrefied biomass briquette
Indonesia	Project in final negotiation	Q1 2021	80.000 tonnes	21 MJ/kg	Pellet, briquette
Thailand	Project in developments	Q3 2020	15.000 tonnes	20 GJ	Pellet
Ethiopia	Project in final negotiation	2023	60.000 tonnes/year	22-23 MJ/kg	Briquette 70mm diameter

宇部興産株式会社のトレファクションへの取組み

1. トレファイドペレットとは？

- (1) 木質バイオマスを低酸素濃度雰囲気において比較的低温で焙煎して得られる固体燃料
- (2) 耐水性や石炭との混合粉碎性を大幅に改善している
- (3) 一般的な木質バイオマスを石炭と混焼するには専用のハンドリング設備が不可欠だったがトレファイドペレットは石炭同等のハンドリング特性を有しているため、混焼が容易で専用のハンドリング設備は不要となる

2. 設備の概要

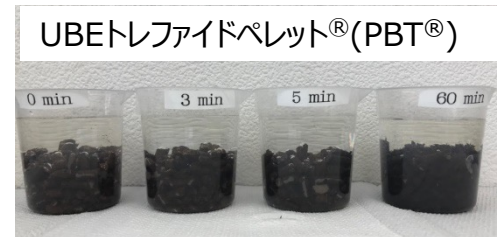
- (1) 実証目的：事業化に向けた実証（生産、石炭との混合保管、輸送、粉碎、混焼等）
- (2) 立地場所：山口県宇部市沖の山コールセンター隣接エリア
- (3) 生産能力：6万トン/年
- (4) 運開時期：2019年12月
- (5) 原料：輸入木質ペレット(カナダ産)



UBEトレファイドペレット®



一般木質ペレット(WP)



UBEトレファイドペレット®(PBT®)

3. 原料輸入から発電所までの流れ



日本製紙株式会社のトレファクションへの取組み

同社は、2016年、同社のタイ国パートナーのSCGパッケージング社フィブラス事業部門会社と共同研究開発契約を締結し、タイにおいてトレファクション技術を用いた新規木質バイオマス燃料の開発を開始。

実証テストを通じて、トレファイドペレットの設備設計、製造技術、微粉炭ボイラーでの操業条件を確立。



トレファイドペレットの実証設備（タイ）



トレファイドペレット

出光興産株式会社のトレファクションへの取組み (1)

タイでのBlack Pellet 製造事業



生産者：地元企業とのジョイントベンチャー（設立予定）

場所：スラータニー

使用木材：ゴムの木

生産：デモプラントによるサンプル製造を開始

需要家によるサンプルペレットの評価後、商業プラントへの投資判断を行う



- 地元パートナーと原料の安定調達の仕組みを構築
- 安定収入をもたらすことにより現地経済成長に貢献



出光興産株式会社のトレファクションへの取組み (2)

オーストラリアでのBlack Pellet 製造事業



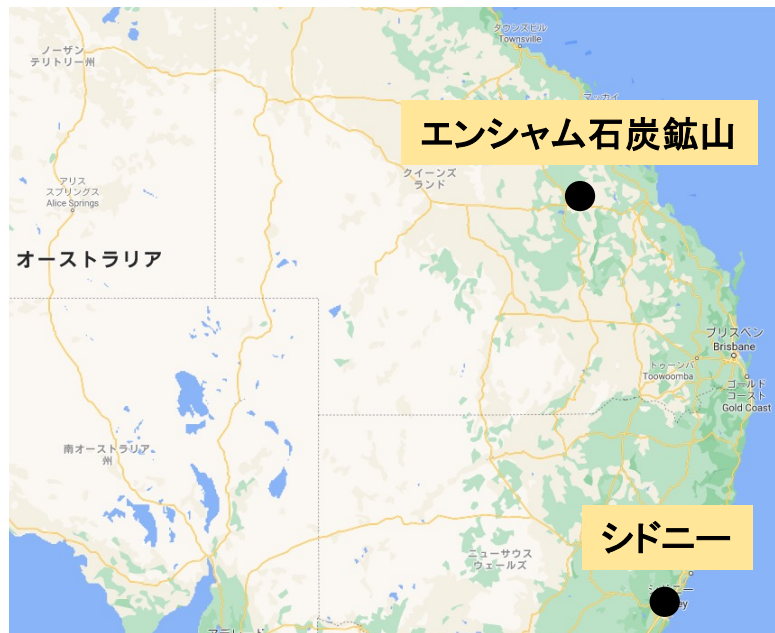
生産者：出光オーストラリアリソース（本社：ブリスベン）

場所：エンシャム石炭鉱山（場所：クイーンズランド州、権益85%）

使用木材：ソルガム

生産：ソルガムの植生試験及び木質ペレット化試験を開始

2020年後半には木質ペレットのブラックペレット化試験を予定



- クイーンズランド州政府から補助金として2万豪ドルを受託
- エネルギー源の多様化とベストミックスの構築により、日本のエネルギーセキュリティへの貢献と再生可能エネルギー普及を推進



出光興産株式会社のトレファクションへの取組み (3)

ベトナムでのBlack Pellet（グリーンエネルギーペレット）製造事業



生産者： Idemitsu Green Energy Vietnam Ltd., Co.

場所： ベトナム・ビンディン省

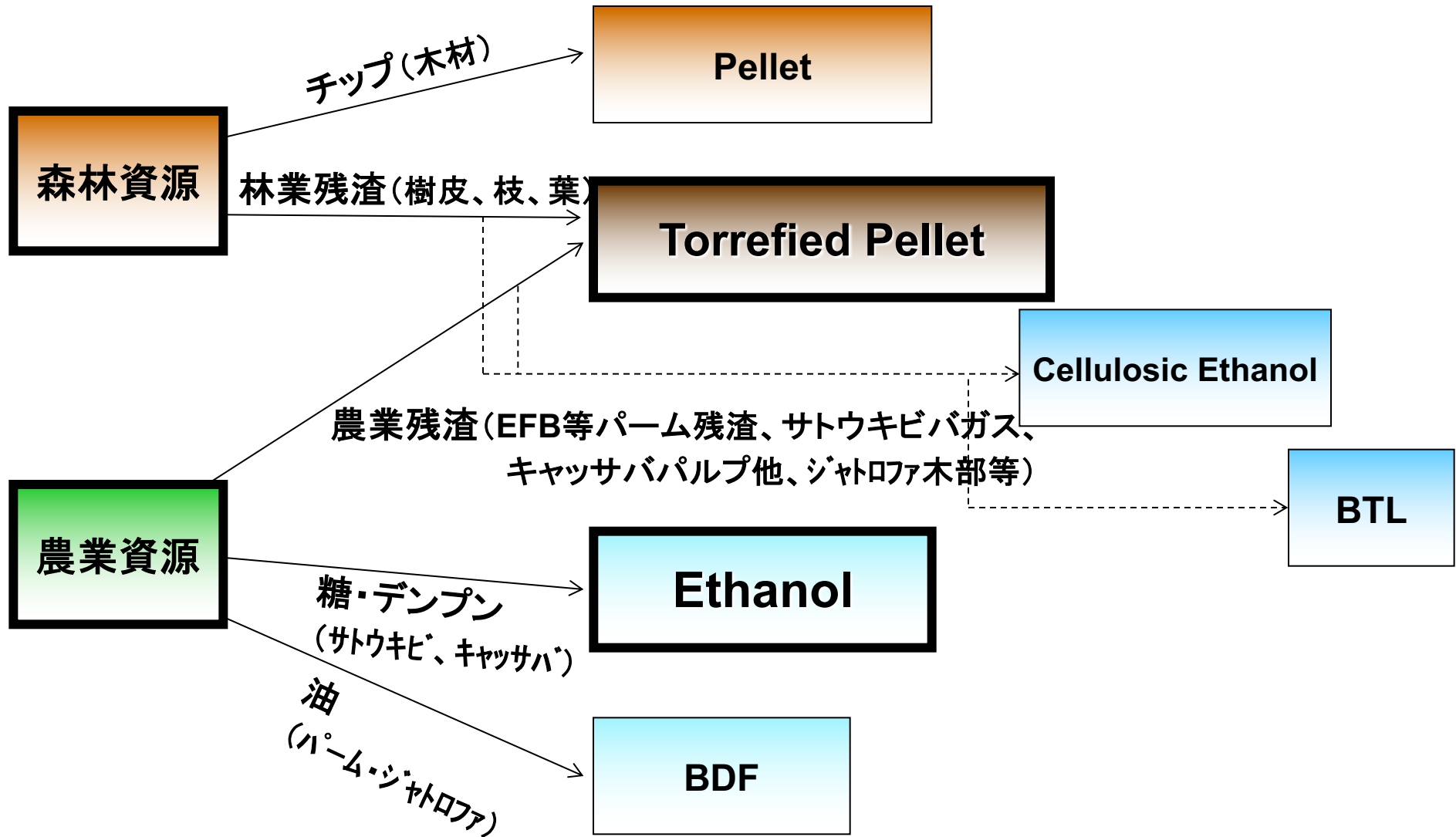
使用木材： アカシア

生産： 年産12万トン（2030年までに年産 200万トンを目指す）



出光興産がタイ企業とともにベトナムに建設したブラックペレットのサンプル製造用小型プラント＝出光興産提供

Torrefied Pellet による複合プロジェクトの展開



アジアと連携したバイオマス発電事業のコンセプト

”Asia Biomass Community”の形成

官民連携によるパートナーシップの強化

■政府レベル:

- ◆ 政府間スキームの適用 (**JCM**、**JBIC**、**ODA**)
- ◆ 木質バイオマス証明(合法性、トレーサビリティ)

■民間レベル:

現地企業との合併による事業展開

相手国との連携による
共同プロジェクトの展開
開発輸入型 ⇒ 地産地消型
(Phase-1) (Phase-2)

木質原料

木質ペレット
製造事業

バイオマス
発電事業

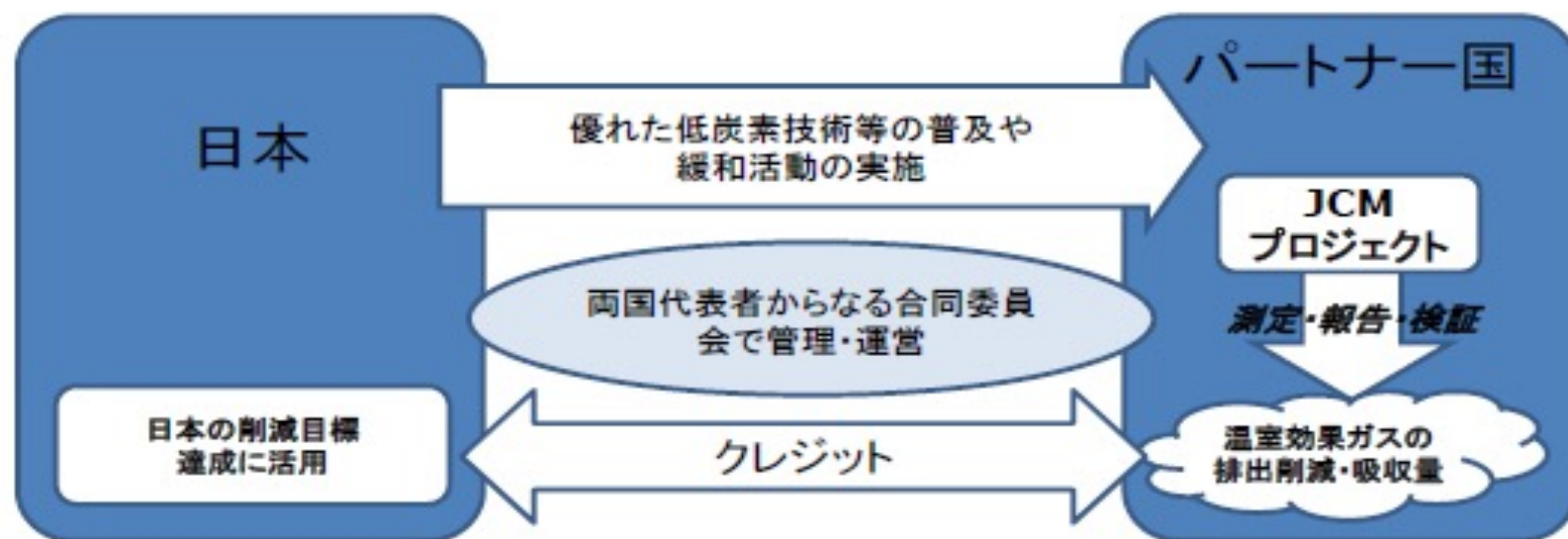
資 金

技 術

バイオマス
発電事業

JCMの概要

- 優れた低炭素技術・製品・システム・サービス・インフラの普及や緩和活動の実施を加速し、途上国の持続可能な開発に貢献。
- 温室効果ガス排出削減・吸収への我が国の貢献を定量的に評価するとともに、我が国の削減目標の達成に活用。
- 地球規模での温室効果ガス排出削減・吸収行動を促進することにより、国連気候変動枠組条約の究極的な目的の達成に貢献。



JCMのパートナー国

日本は、2011年から開発途上国とJCMに関する協議を行ってきており、モンゴル、パングラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナム、ラオス、インドネシア、コスタリカ、パラオ、カンボジア、メキシコ、サウジアラビア、チリ、ミャンマー、タイ、フィリピンとJCMを構築。



【モンゴル】
2013年1月8日
(ウランバートル)



【パングラデシュ】
2013年3月19日
(ダッカ)



【エチオピア】
2013年5月27日
(アジスアベバ)



【ケニア】
2013年6月12日
(ナイロビ)



【モルディブ】
2013年6月29日
(沖縄)



【ベトナム】
2013年7月2日
(ハノイ)



【ラオス】
2013年8月7日
(ピエンチャン)



【インドネシア】
2013年8月26日
(ジャカルタ)



【コスタリカ】
2013年12月9日
(東京)



【パラオ】
2014年1月13日
(ゲルムド)



【カンボジア】
2014年4月11日
(プノンペン)



【メキシコ】
2014年7月25日
(メキシコシティ)



【サウジアラビア】
2015年5月13日



【チリ】
2015年5月26日
(サンティアゴ)



【ミャンマー】
2015年9月16日
(ネピドー)



【タイ】
2015年11月19日
(東京)



【フィリピン】
2017年1月12日
(マニラ)

アジアと連携したバイオマス発電事業展開Phase-1(開発輸入型)

アジアでの
木質ペレット製造事業
(現地企業とのJV)



木質ペレット



将来は **Torrefaction** (半炭化) へ

東南アジアのJCM署名国
● ベトナム、ラオス、**インドネシア**、カンボ
ジア、メキシコ、ミャンマー、**タイ**
フィリピン



日本での
木質バイオマス発電所事業
(専焼、混焼)



アジアと連携したバイオマス発電事業展開Phase-2(アジア地産地消型)

アジアでの
木質ペレット製造事業
(現地企業とのJV)



木質ペレット

JCMを活用したアジアでの
木質バイオマス発電事業(現地
企業とのJV)



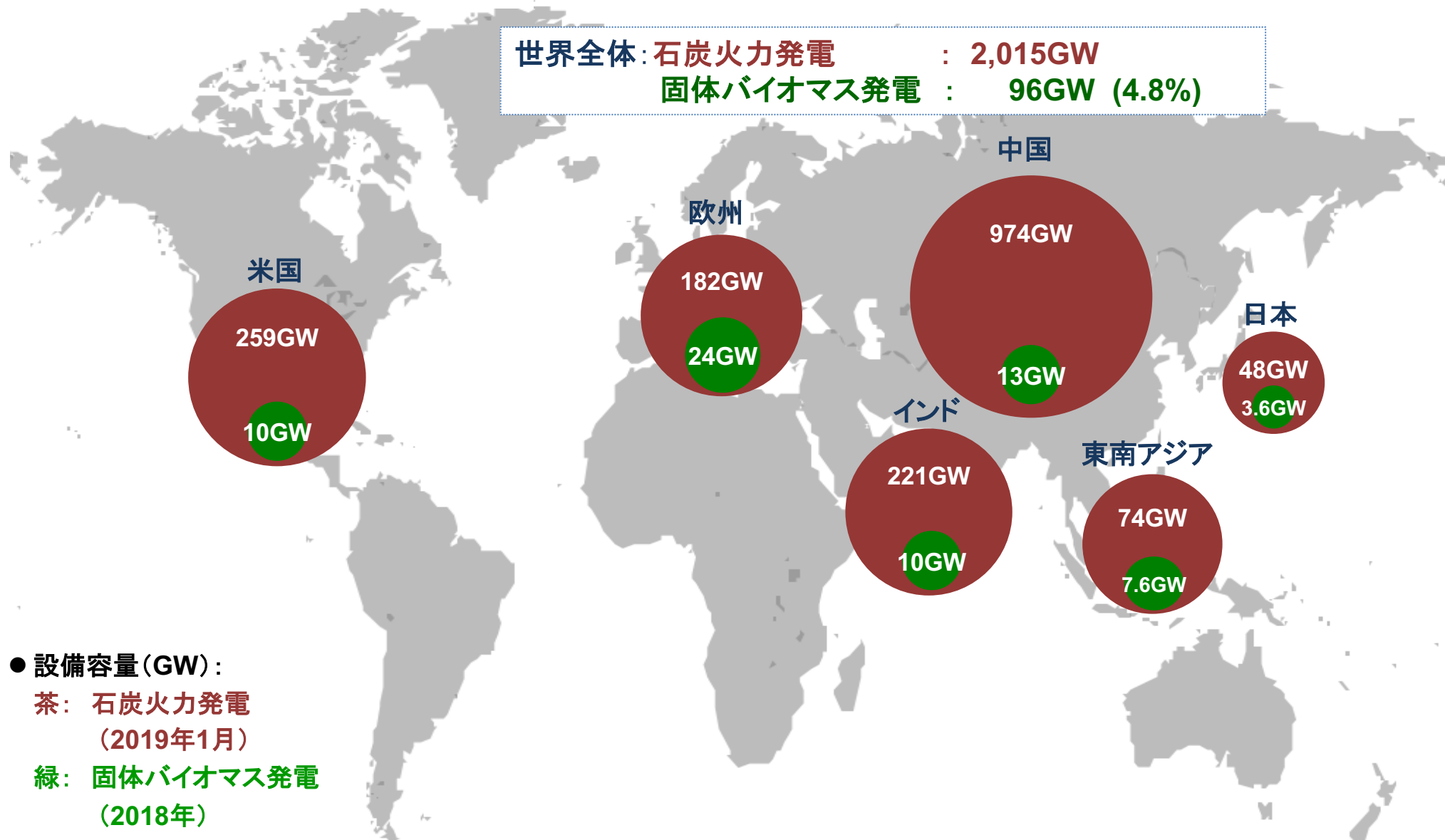
東南アジアのJCM署名国
● ベトナム、ラオス、インドネシ
ア、カンボジア、メキシコ、ミ
ャンマー、タイ、フィリピン



➡ 将来は **Torrefaction** (半炭化) へ

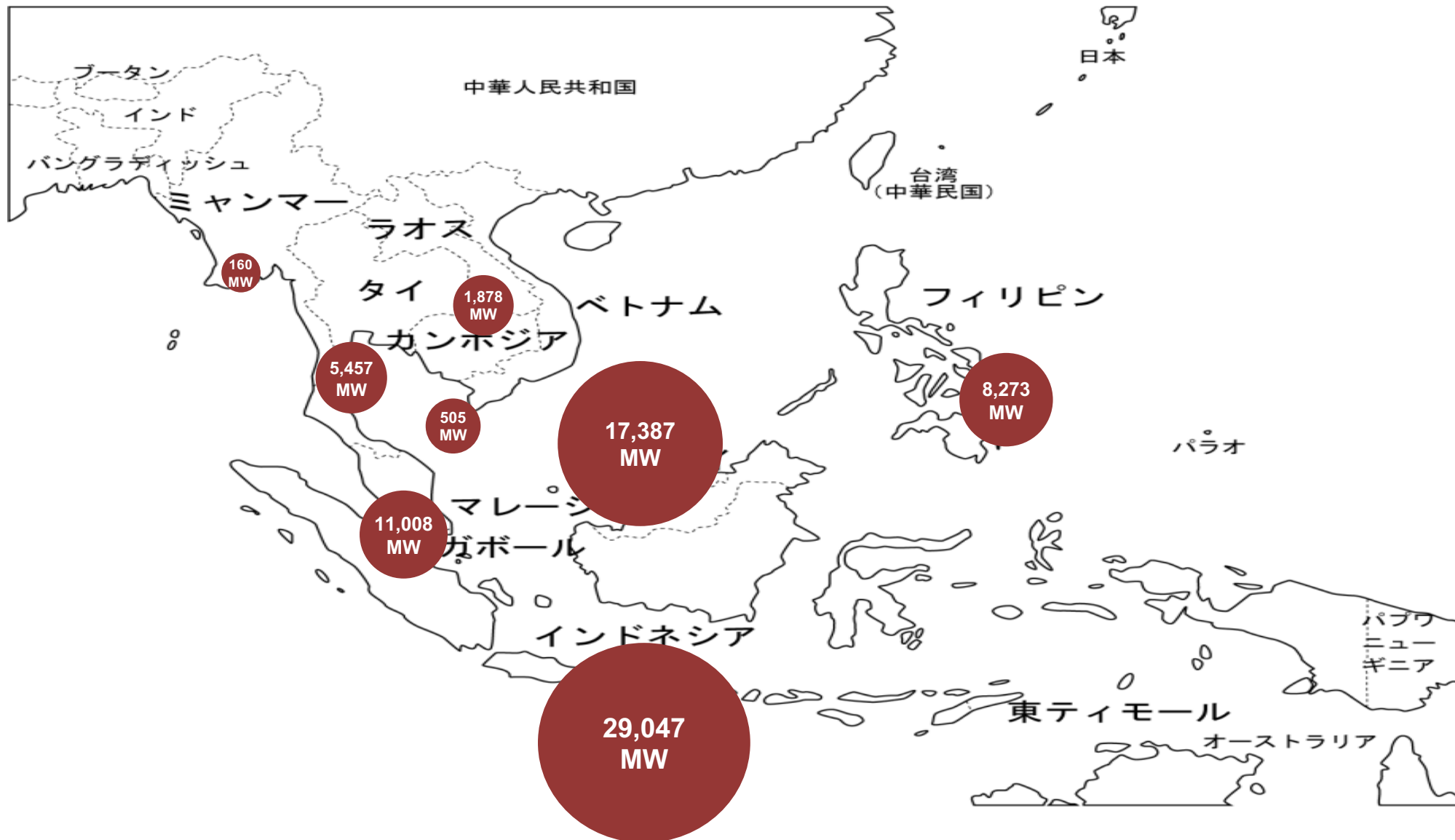
世界の石炭火力発電とバイオマス発電設備容量

世界全体: 石炭火力発電 : 2,015GW
固体バイオマス発電 : 96GW (4.8%)



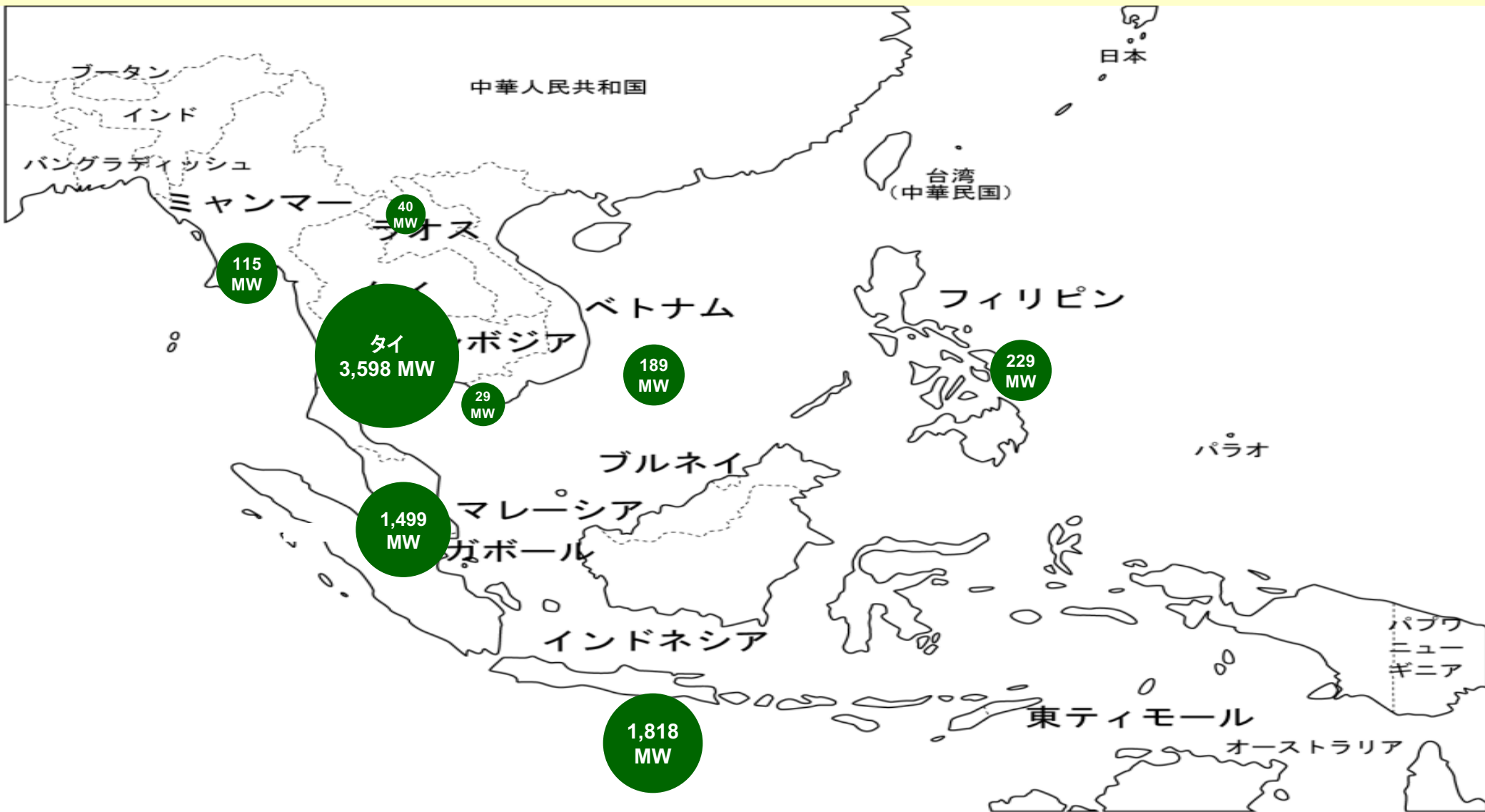
- 設備容量 (GW):
 - 茶: 石炭火力発電 (2019年1月)
 - 緑: 固体バイオマス発電 (2018年)

東南アジアの石炭火力発電



総設備容量： 74GW

東南アジアのバイオマス専焼発電(直接燃焼)



総設備容量: **7.6GW** (石炭火力の10.3%)

東南アジアの石炭・バイオマス混焼発電のポテンシャル

(単位: MW)

地域	国	石炭火力：現状	3%混焼	10%混焼	20%混焼
東南アジア	インドネシア	29,047	871	2,905	5,809
	ベトナム	17,387	522	1,739	3,477
	マレーシア	11,008	330	1,101	2,202
	フィリピン	8,273	248	827	1,655
	タイ	5,457	164	546	1,091
	ラオス	1,878	56	188	376
	カンボジア	505	15	51	101
	ミャンマー	160	5	16	32
	合 計	73,715	2,211	7,372	14,743

石炭火力の設備容量は **74GW**。一方、**バイオマス専焼**発電の設備容量は**7.6GW**。

従い、既設の石炭火力で**10%混焼**すればバイオマス発電設備容量は**2倍**に、**20%混焼**で**3倍**になる計算。

持続可能なバイオマスインダストリー(アジアモデル)の構築

バイオマスプランテーション



新規需要に対応した次世代農・林業

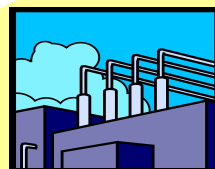
1. ODA等を活用した農業資源の増産

- 農地開発・灌漑設備
- 品種改良(収率の向上)
- 機械化(栽培、集荷)
- 施肥管理技術
- 輸送インフラの整備
- 農業開発FUND(農民への資金提供)

2. 現地企業による契約栽培スキーム

原料の安定確保・カスケード利用

バイオマスリファイナリー

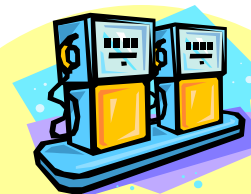


バイオマス複合産業の展開

- バイオエタノール(⇒セルロース)
- バイオペレット(⇒Torrefaction)
- バイオジェット燃料
(既存リファイナリー併設)
- BDF (⇒高品質化)
- バイオマス発電
- バイオケミカル、マテリアル
- 飼料、肥料等の製造

Co-Location・Co-Production

マーケット



産業規模の安定消費市場の創出

- 日本への輸出(開発輸入)
- 現地市場での消費(地産地消)
- 第三国への輸出

前提条件

- 安定販売数量(長期契約等)
- 安定販売価格(原料リンク等)

安定的な製品販売先の確保

Risk と Return が見合うSustainableなサプライチェーンの構築

2020年版 地球温暖化と石炭火力発電の現状と方向性

～バイオマス混焼による再生可能エネルギーの導入拡大～

<シード・プランニングの専門マーケティング資料>

2020 年版

地球温暖化と石炭火力発電の
現状と方向性

～バイオマス混焼による再生可能エネルギーの導入拡大～



以下の項目に対する有識者・業界関係者からのヒアリング調査に基づく現状分析と今後の方向性の提言：

1. 脱石炭火力に関する国内外の動向
2. 日本の石炭火力の動向
3. 日本の石炭火力に対するCO2削減技術
4. 日本のバイオマス発電の動向
5. 石炭火力発電におけるバイオマス混焼
6. カーボンリサイクルへのロードマップ
7. 日本が今後進むべき方向性

発刊日 2020年3月23日 ページ数 A4 214ページ

監修 日本環境エネルギー開発株式会社 澤 一誠

価格 書籍版:198,000円(税込)、PDF (CD-ROM) 版:198,000円(税込)、
書籍+PDF セット版:231,000円(税込)

購入お申し込み→ <http://store.seedplanning.co.jp/item/10640.html>

ご清聴頂き有難う御座いました。

NEED (日本環境エネルギー開発株式会社)

HP: <http://need.co.jp>