



## ③小型木質バイオマス発電システムの 現状と課題

PEO技術士事務所  
代表取締役

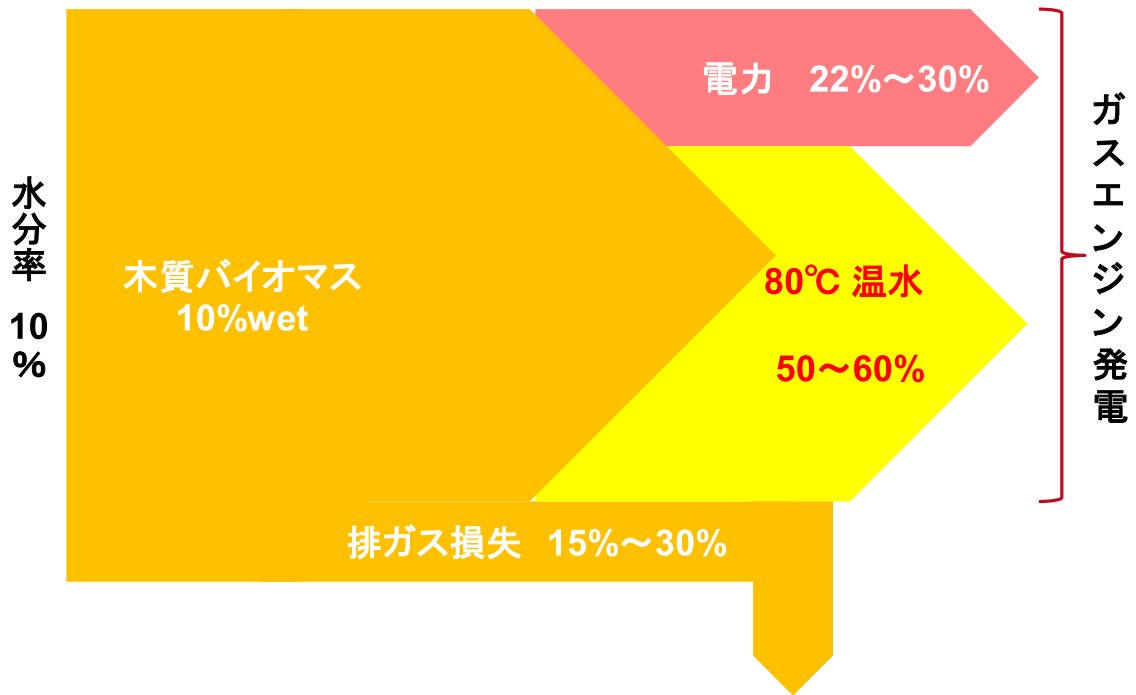
笹内謙一

技術士(総合技術監理/衛生工学部門)



## 1. ガス化大国日本の最新状況

蒸気タービン発電と遜色のない発電効率で40kW～2000kWまで  
さらに温水が得られて、総合効率が非常に高い



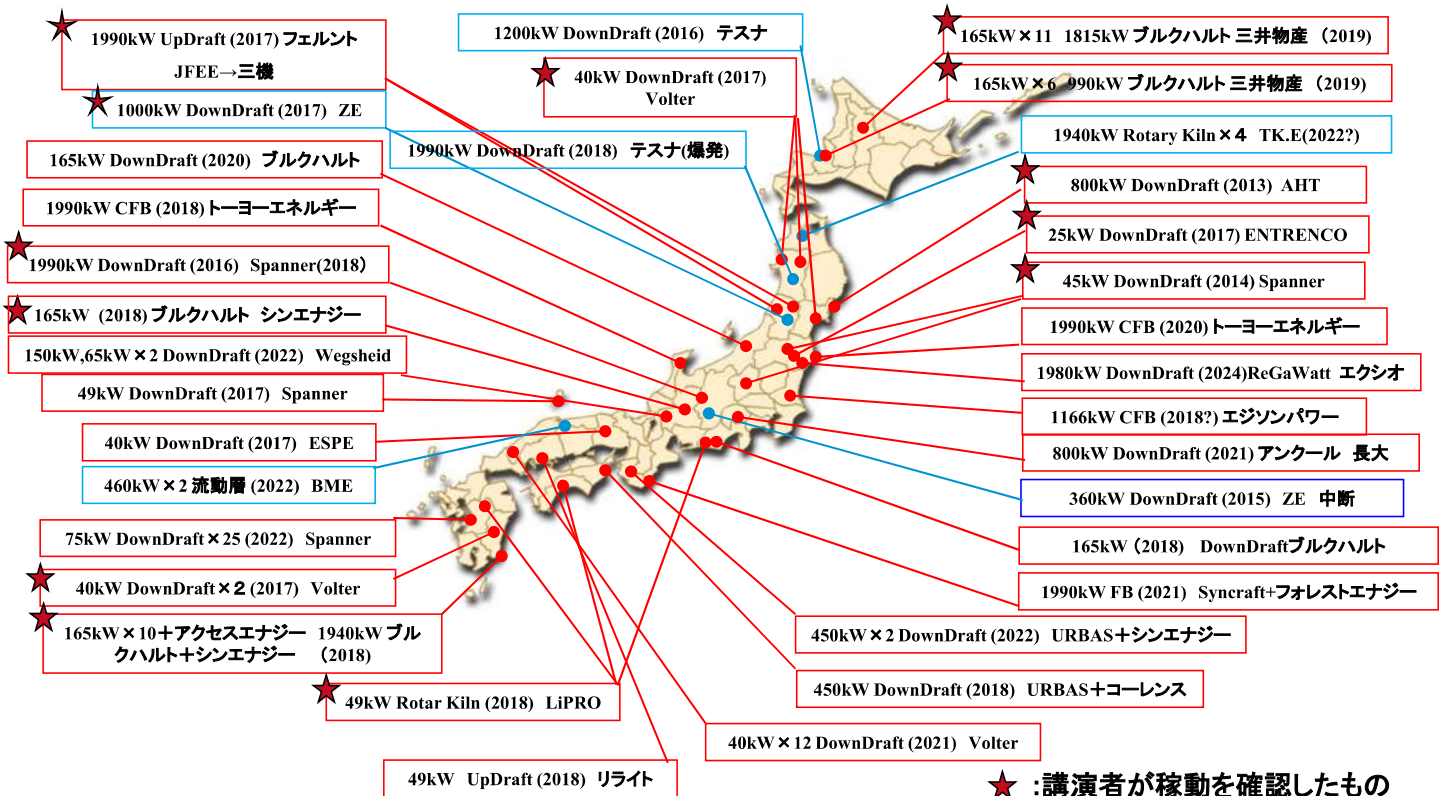
ただし、日本のバイオマスでちゃんと動いたら……

## FIT40円/kWhで海外ガス化技術の新規参入が相次ぐ



AHT(独)	400kW	宮城
Burkhardt(独)	165kW 180kW	北海道、岐阜、群馬、宮崎、静岡、他
Repotec or GRE (奥)	2000kW	石川、茨城、 <b>福島</b>
フェルト(デンマーク)	2000kW	山形
ReGaWatt	1000kW	<b>福島</b>
○Spanner(独)	45kW	隠岐島、 <b>郡山</b> 、八代、鹿児島、安曇野 他
○Volter(フィンランド)	40kW	秋田、宮城、岡山、宮崎、岐阜、島根 他
○ESPE(伊)	49kW	兵庫、山形、茨城
○Weghseid(独)	150kW	岐阜
○ENTRENCO(独)	25kW & 50kW	<b>福島</b> 、宮城、宮崎
○URBAS(奥)	225kW	徳島、和歌山
Syncraft(奥)	400kW	和歌山
○Ankur(マレーシア)	800kW	山梨 ○はダウンドラフト式ガス化炉
○CPC(米)	155kW	三重
LiPRO(伊)	49kW	熊本、高知、群馬、静岡
○Glock(奥)	18kW & 65kW	三重

# 現在の日本のガス化 CHP (40円FIT 公表ベース)

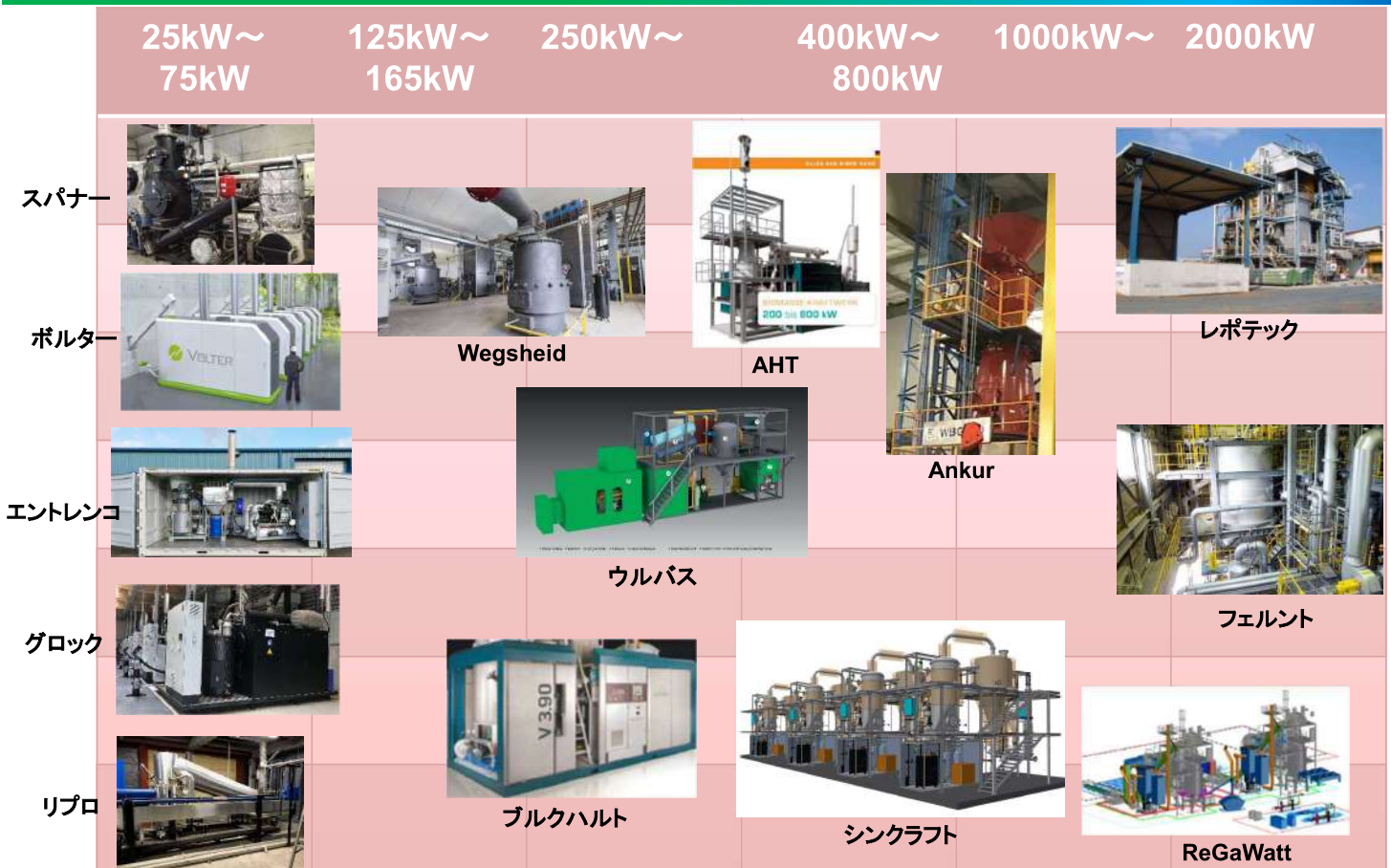


★ : 講演者が稼働を確認したもの

◆ 赤枠: 海外技術 青枠: 国内技術

半数がDown Draftタイプのガス化炉

# 日本で販売されている主な海外製のガス化設備マップ

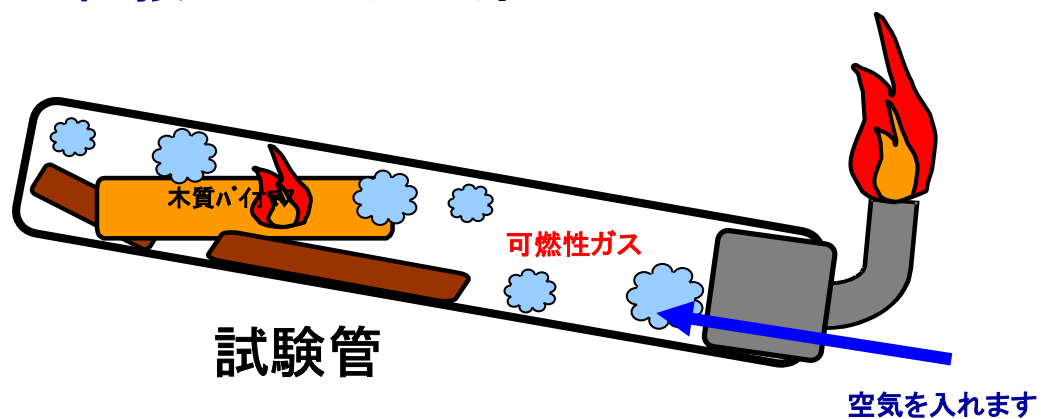


## 2. バイオマスガス化発電・CHPシステムの原理とメカニズム

# ガス化の原理 ー直接ガス化ー

## 直接式ガス化の原理

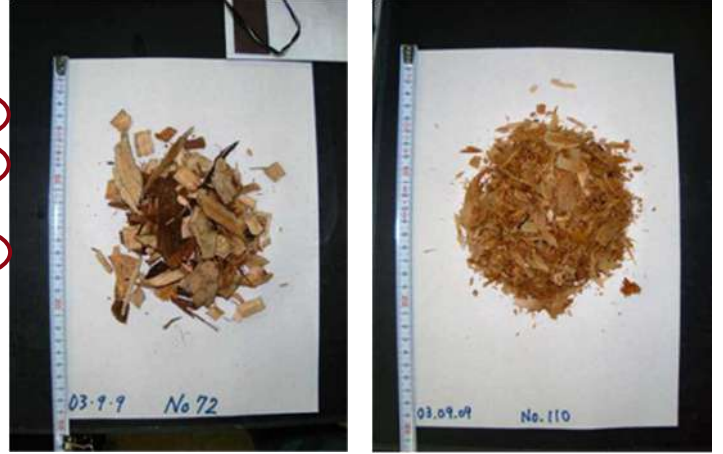
900~1200 kcal/m<sup>3</sup>



# 木チップの組成(例)

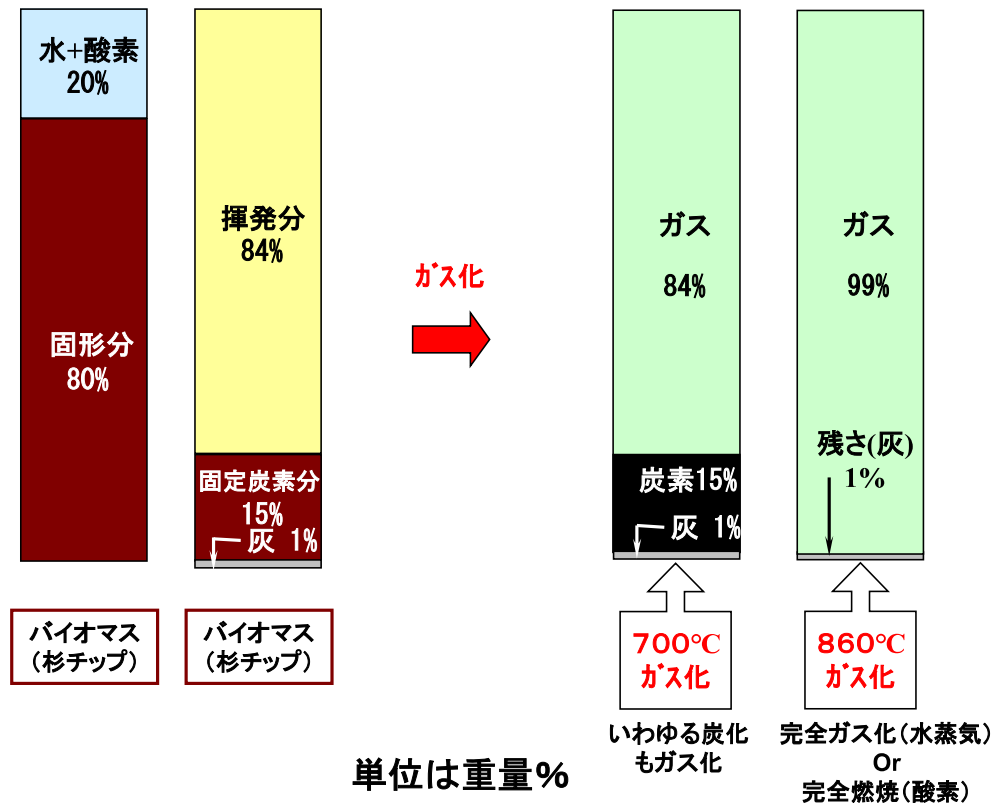
		重量分率	
熱分析	揮発分	dry%	83.5
	固定炭素	dry%	15.2
	灰分	dry%	1.3
成分	C	dry%	46
	H	dry%	6.1
	N	dry%	0.2
	O	dry%	46
	T-S	dry%	0.22
	T-Cl	dry%	0.39
	Na	mg/kg-dry	360
	K	mg/kg-dry	1500
高位発熱量		J/g	19200

バイオマスは基本的にCとHとOからなる



杉間伐材チップ

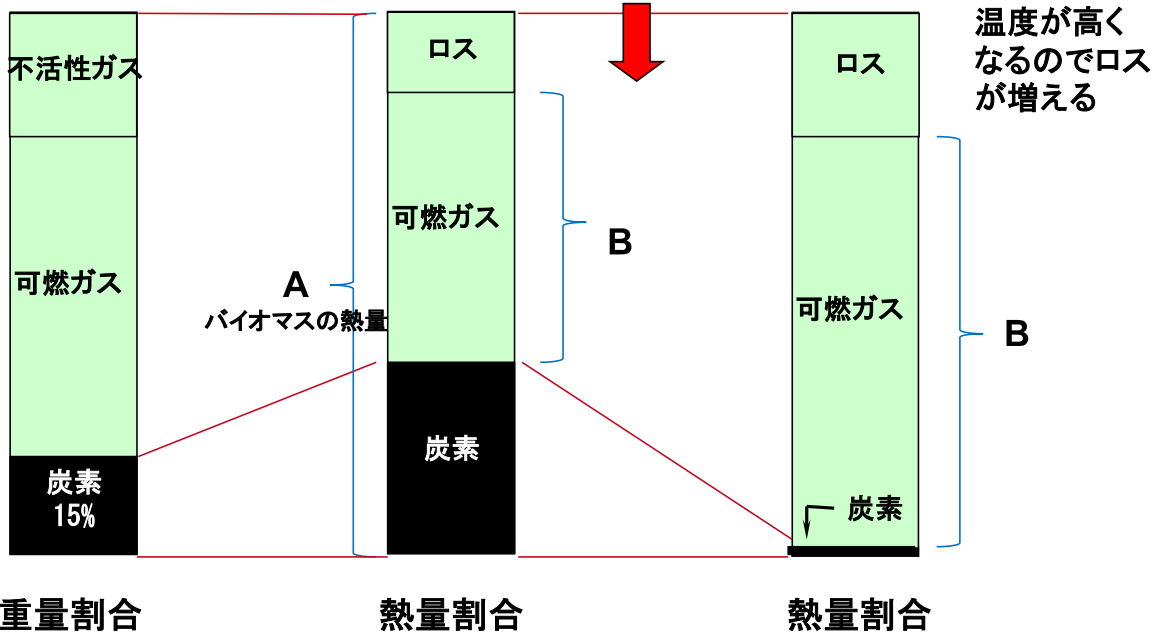
## ガス化とは 揮発分と固形分をガスに変えること



# 冷ガス効率(ガス化効率)とは？



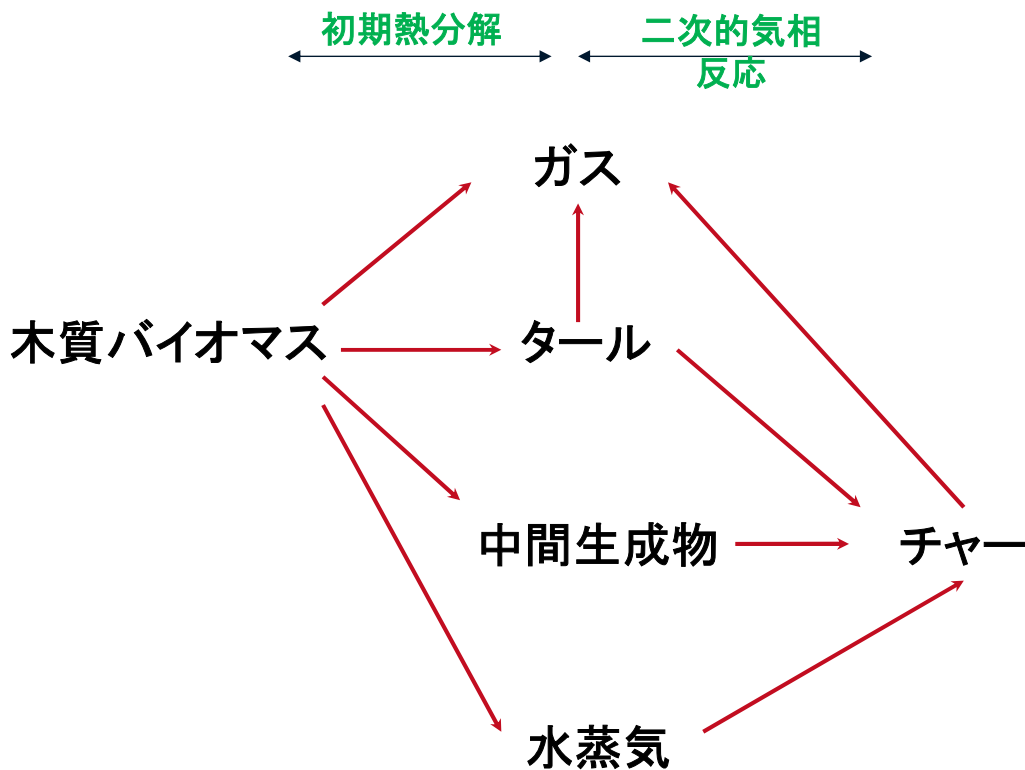
ガス化剤(水蒸気など)  
熱がプラスされている場合があるので要注意！

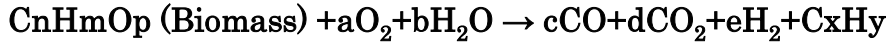


冷ガス効率 =  $B/A$  (高位発熱量基準)  
 =  $(A - \text{炭素熱量}) / A$   
 =  $(19200\text{J} - 5086\text{J}) / 19200\text{J}$   
 = 73.5% が理論上の最大(ロスなしの場合)

これ以上効率を上げるには  
炭素をガス化する必要がある  
でも800°C以上の高温と  
ガス化剤が必要

# 木質バイオマスの熱分解モデル

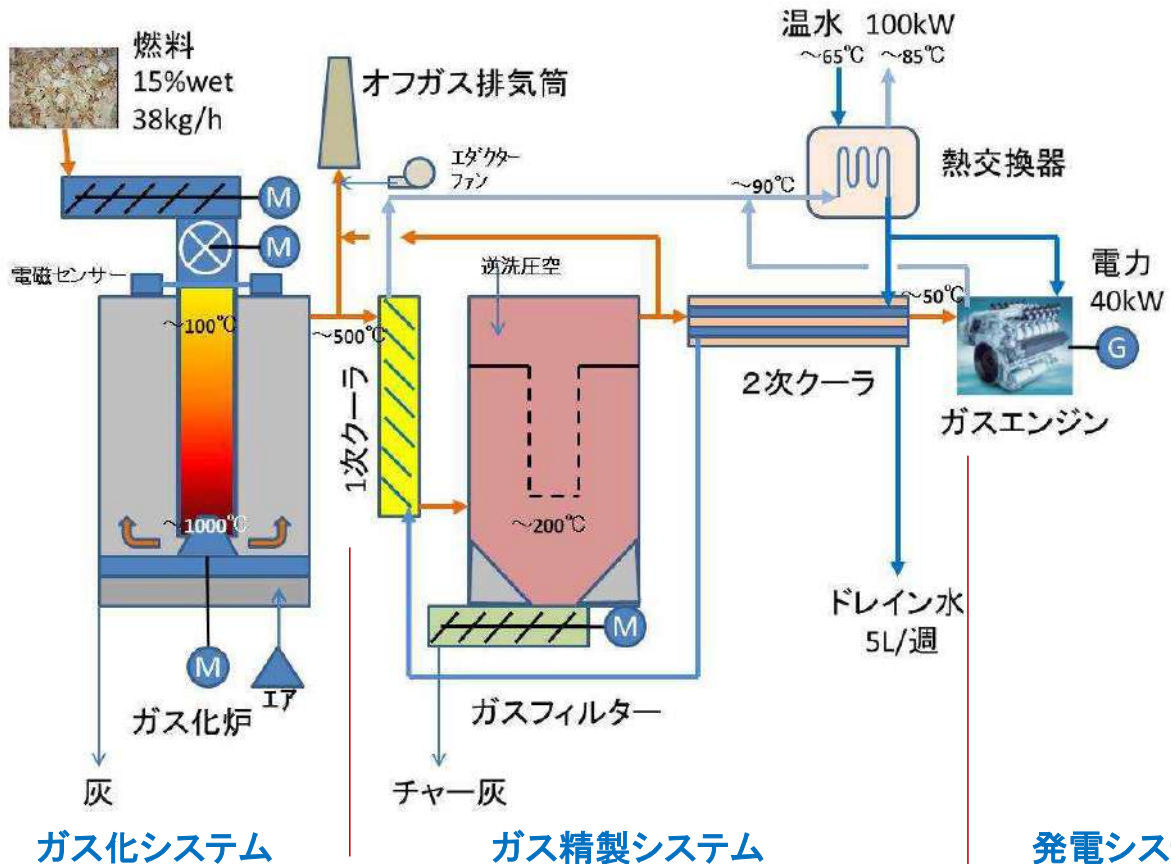




No.	反応式	反応熱 [kcal/mol]	反応速度
①	$C + O_2 \rightleftharpoons CO_2$	97.5	急速, 1000°C以上では瞬時的
②	$C + 1/2O_2 \rightleftharpoons CO$	29.39	急速
3	$C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$	-38.22	1, 2と比べると低速, 1000°C以上でおこる。900°C以下で逆反応
④	$CO + 1/2O_2 \rightleftharpoons CO_2$	67.91	10の1/2.8
5	$C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$	-28.36	3の1/2 800°C以下ではおこらない
6	$C + 2H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	-18.5	3の1/2 900°C以下ではおこらない
7	$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	9.85	6より速く 400°C以上でおこる。900°Cで6と同速, 1480°C以上で急速
8	$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O$	48.98	低速
9	$CO + 4H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O$	39.13	低速
⑩	$H_2 + 1/2O_2 \rightleftharpoons H_2O(g)$	57.75	急速

発熱反応の熱で、吸熱反応の熱を補いガス化する  
水素を得たければ800°C以上の高温が必要

## ガス化プロセス構築上の留意点



ガス化炉ばかりに注目するが、上の3つの要素のバランスが大切である



### 3. ガス化発電・コージェネレーションにおける 効率と設計の考え方

## 発電効率とは



### 熱分解ガス化発電の発電効率

冷ガス効率 (50~75%)

$$\begin{aligned} &\times \text{ガスエンジンの発電効率 (30~40\%)} \\ &= 15\% \sim 30\% \end{aligned}$$

※冷ガス効率はガス化炉によって違う

※ガスエンジンは一般に大型ほど効率は高いと  
言われているが最近例外がある





# ガス化発電における効率と 設計の考え方 その1

ガス化発電における効率  
冷ガス効率×エンジン発電効率＝発電端効率  
発電端効率－所内動力率＝送電端効率

冷ガス効率とはバイオマスの熱量をどれだけ可燃ガスとして回収できるかという値

例) 冷ガス効率 50～75%

エンジン発電効率 25～40%

発電端効率＝12.5～30%

発電効率が高いと熱回収率は落ちる  
エンジン発電効率は大型のエンジンほど高い  
混焼エンジン(ディーゼル)は効率も高いが、化石燃料を用いるので注意が必要



# ガス化発電における効率と 設計の考え方 その2

冷ガス効率を上げるには  
高温でガス化する(ガス化のための熱量も増える)  
過熱蒸気でガス化する(過熱蒸気を作るための熱源が必要)

所内動力を下げるには  
ハンドリングが容易な原料を使用する(ペレットなど)  
乾いた原料を使用する→乾燥機がいない  
蒸気熱利用とする→温水ポンプがいない

見掛の発電効率や所内動力だけで評価しては駄目



バイオマスガス用エンジンはないので主として天然ガス用ガスエンジンを流用。エンジン単体で発電効率30~36% 最近は40%も  
エンジンメーカーは天然ガス同等の無タールを要求

欧: GEイエンバツハ MAN MTU TEDOM BONI AGCO

日: ヤンマー(外販しない)、三菱重工(パッケージ化は欧州)

パッケージャー: 2Gエナジーテック、セキュリティジャパン

タールは過給器トラブルをきたすため、過給器なしが望ましい  
ただし効率は5ポイント程度低下する。



MAN ガスエンジン

熱分解バイオマスガス用エンジンについては日本エネルギー学会  
誌2009年9月号に詳細な特集記事あり。

## 結論!



冷ガス効率は様々なロスを加味すると80%程度が実質限界  
それ以上は何かあると疑ってかかるべき(現実には75%以下が妥当)

例えば

1. 加熱水蒸気を別の熱源で作っている(その分も原料の供給量に加味して評価する)

2. 電気ヒーターでガス化炉を加熱している

この場合、放熱、吸熱、バイオマスの加熱ロスなどは電気で供給されているので加味する必要あり

いずれにしろ、物熱収支表をガス化炉メーカーに出させてチェックすることは最低限の必要条件

#### 4. メーカーの仕様から読み解くガス化発電装置の留意点

### 最低限以下の事項は盛り込まれていること



原料投入熱量	190 kW (100%)
発電能力(非同期式)	50 kW (26%)(*1)
自己使用電力	3 kW
熱出力	110 kW (58%)
発電・熱合計	160 kW (84%)
稼働時間	8,000 時間/年
総発電量 (*1&2)	400,000 kWh
総熱出力量(*1&2)	880,000 kWh
原料サイズ	10~60 mm
微細サイズ比 (≦10mm)	≦5%
原料水分	10%未満

原料消費量 (*1&2)	約50kg/時 含水率10%
年間原料消費量	約400 t 含水率10%
原料消費量 (*1&2)	約87.5 kg/時 含水率50%
年間原料消費量	約700 t 含水率50%

サイズ (幅 × 奥行き × 高さ) ・重量

ガス化装置	5800 x 1,800 x 2,300 mm, 約2,000 kg
エンジン発電機 (CHP付)	2,400 x 1370 x 1,910mm, 約1,500 kg
制御盤	1,200 x 400 x 2,000 mm, 約350 kg

\*1) グロス発電量 = 55 kW (最大)

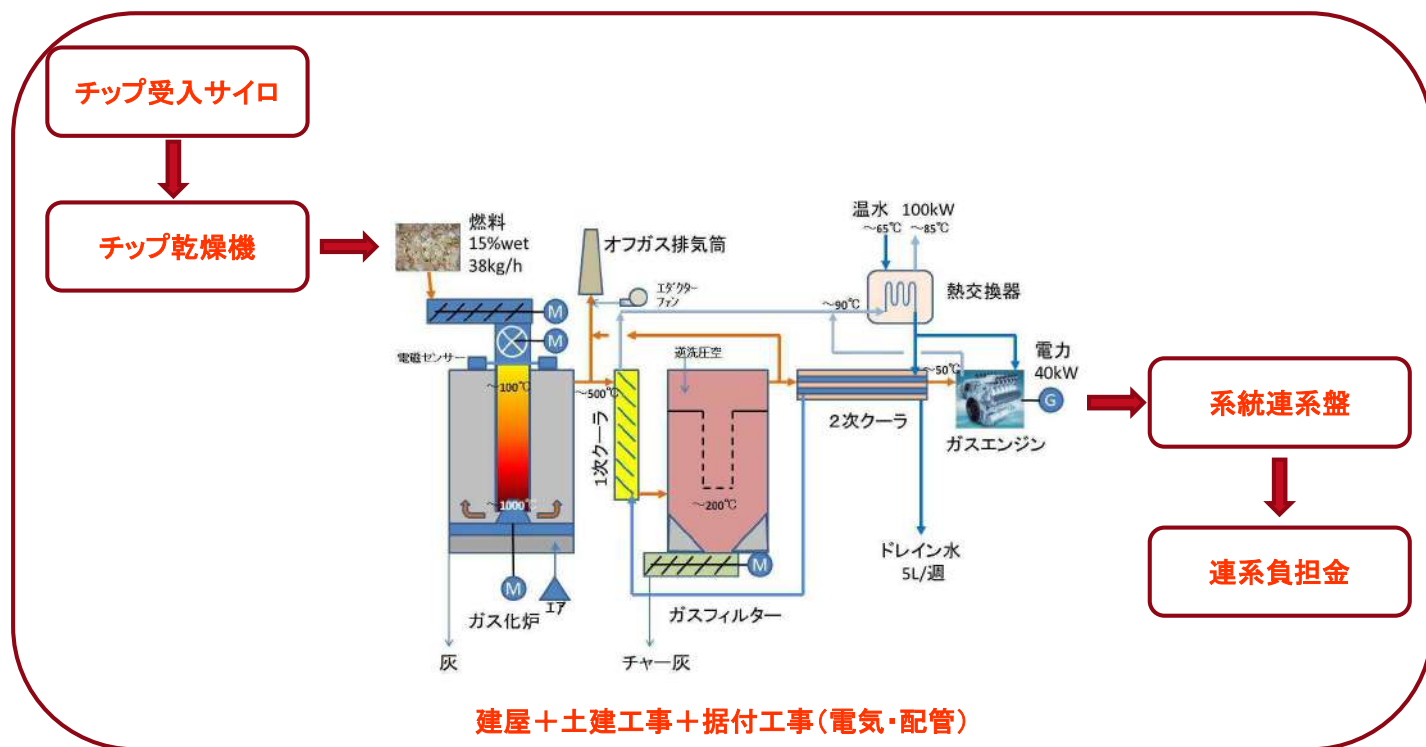
\*2) 原料熱量 = @3.675 kcal/kg

$3675 \div 90\% + 600 \times 10\% = 4143 \text{ kcal/kg}$  (バイオマスの絶乾低位発熱量)  
 $3675 \times 50 \text{ kg} / 860 \text{ kcal/kW} = 213 \text{ kW}$

(出典)LiPRO(サナース)のカタログ

## 5. ガス化発電システムの構成機器の価格構成

### 本体以外に必要な機器



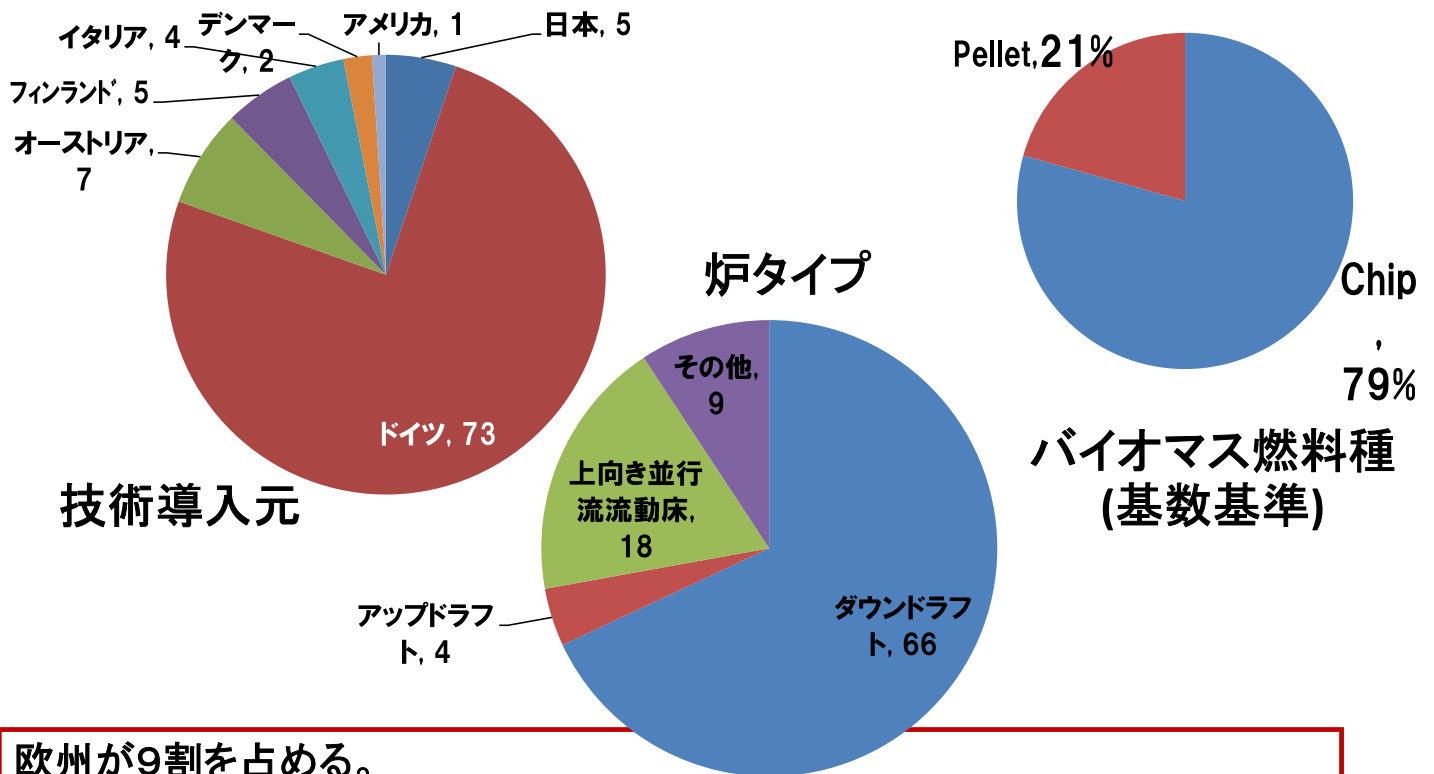
赤字が追加で必要な費用 50kWの例で機器本体×1.5~2倍程度の総事業費となる

## 6. ガス化炉の種類と普及状況

## ガス化炉の種類

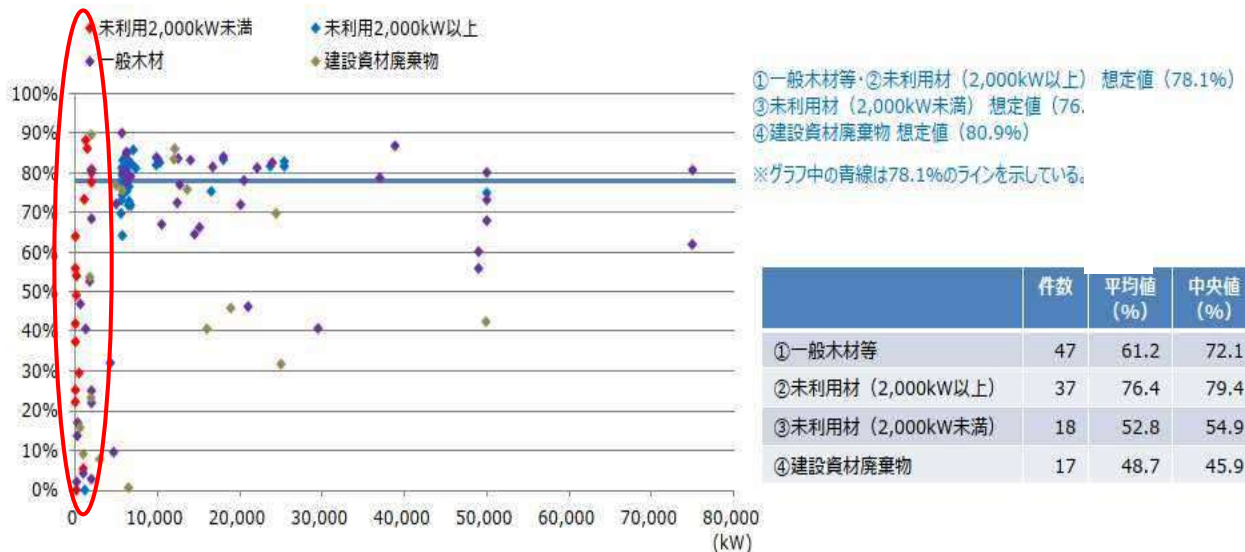


ガス化方式	直接式			間接式		
	アップドラフト	ダウンドラフト	加圧循環流動層	噴流層	ロータリーキルン	循環流動層
原料	湿チップ定形	乾チップ定形	乾チップ定形	粉体(乾)	乾~湿チップ定形~不定形	乾チップ定形
異物	大きなものは不可			不可	50mmまでOK	大きなものは不可
ガス(kcal/m <sup>3</sup> N)	CO主体 1000~1200			<b>H<sub>2</sub>主体</b> <b>2000~2500</b>		
発電規模(kW)	30~2500	30~350	150~	50~250	50~1000	35~
設備構成	単純	単純	複雑	複雑	複雑	複雑
タール除去方式	湿式除じん機 触媒改質(西島)	炉内で改質+ スクラバー	無関係	炉内で水蒸気改質+ スクラバー	炉外で酸素改質+ スクラバー	炉内で水蒸気改質
排出物	チャーアッシュ・ 廃水(多)	チャーアッシュ・ 廃水(小)	灰	灰・廃水(多)	灰	灰 廃水?
メーカー	デンマーク フェルント社 (三機工業)  独ReGaWatt (エクシオ)	独ブルクハルト 独SHNELL 独Spanner Volter 奥Glock など多数	川重(撤退)	BME	中外炉(撤退) ユア・エネルギー 開発 TK.E マイクロエナジー	奥GRE(エジソン) 奥Repotec(ト ヨーエネルギー)



欧州が9割を占める。  
炉形式では、固体-ガス並流移動層方式が84%、固体-ガス向流移動層方式(アップドラフト)が4%と、移動層方式がほとんどを占める。

## しかし小規模バイオマス発電は実績の稼働率が低い



2021年1月第50回調達価格算定委員会資料より

ほとんどの理由が日本のバイオマス燃料質に起因するものであり、この対策が急がれる



# 何故か？



日本と欧州ではチップの比重が  
違う、大きさも日本は小さい



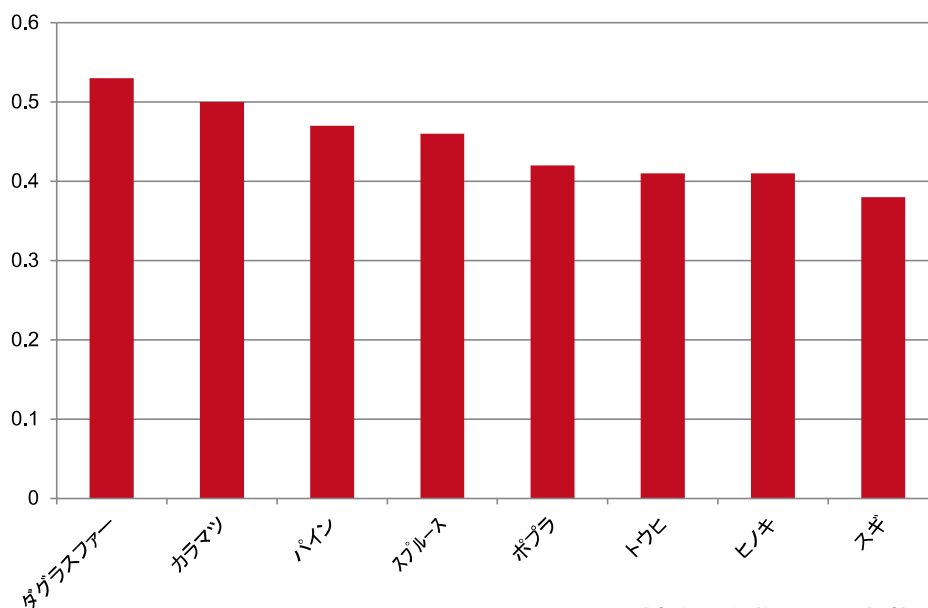
メーカー	① Volter Finland	② ESPE Italy	③ Holzenergie German	④ URBAS Austria
発電出力	40 kWe	49 kWe	125 kWe	125 kWe
熱出力	100 kWt	110 kWt	230 kWt	265 kWt
燃料木チップ水分率	15%以下	10%以下	10%以下	15%以下
チップサイズ	EN P63 3.15mm以下 1%以下 3.15~8mm 10%以下 8~30mm 80%以上 30~50mm 10%以下 50mm以上 1%以下	EN P50 1mm以下 5%以下 3.15~50mm 80%以上 50mm以上 1%以下	EN 記載規格なし 30~70mm システム内で自動篩分け	EN 記載規格なし 20mm以下 5%以下 20~60mm 20%以下 60~110mm 60~100% 110~150mm 40%以下 150mm以上 不可
絶乾かさ比重	170 kg/m <sup>3</sup>	記載なし	150 kg/m <sup>3</sup>	記載なし
灰分	記載なし	5%以下	記載なし	記載なし

各社カタログより抜粋

各社が求めていること

1. 乾いていること
2. 粒度が一定の範囲に入っていること 特に細かいものは駄目
3. 記載されているチップのかさ比重は日本のスギよりも重い
4. 灰分はさほど気にしていない

樹種(針葉樹)による気乾比重の違い



※木材博物館の気乾比重より抜粋

日本の代表的な樹種であるスギは欧州の代表的な樹種であるパイン、スプルースより2割以上比重が軽い





装置の基準

38kg/h @15%

$\rho_b = 156\text{kg/m}^3$   
0.24m<sup>3</sup>/h  
180kW



gas  
137kW

日本のスギの場合

38kg/h @15%

$\rho_b = 133\text{kg/m}^3$   
0.29m<sup>3</sup>/h  
180kW



gas  
137kW

仕様より乾燥させて  
投入容積を減らした

34kg/h @7%

$\rho_b = 129\text{kg/m}^3$   
0.26m<sup>3</sup>/h  
180kW



gas  
137kW

チップは比重が違うが、ペレット  
ならそんなことはない！



# ところが.....

## スギペレットにおけるクリンカの発生による不均一化

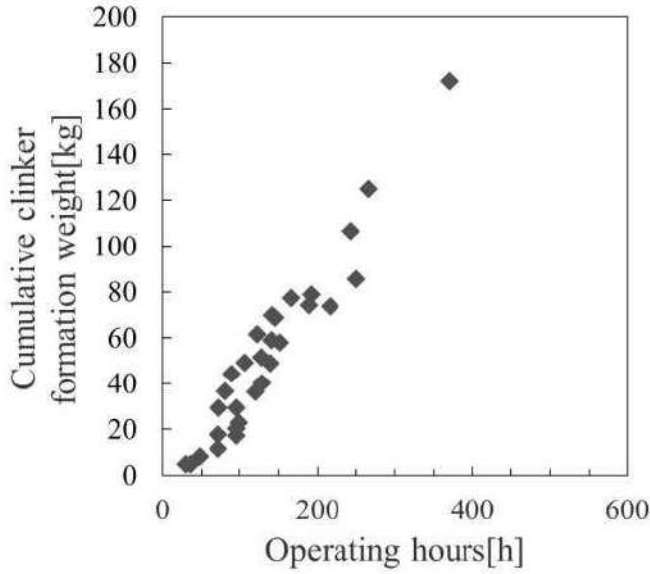


2週間運転後の炉内写真



炉内クリンカを砕いて、並べたもの

林野庁地域内エコシステム成果報告書  
<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-ecosystem-kaihatsu/2019/>

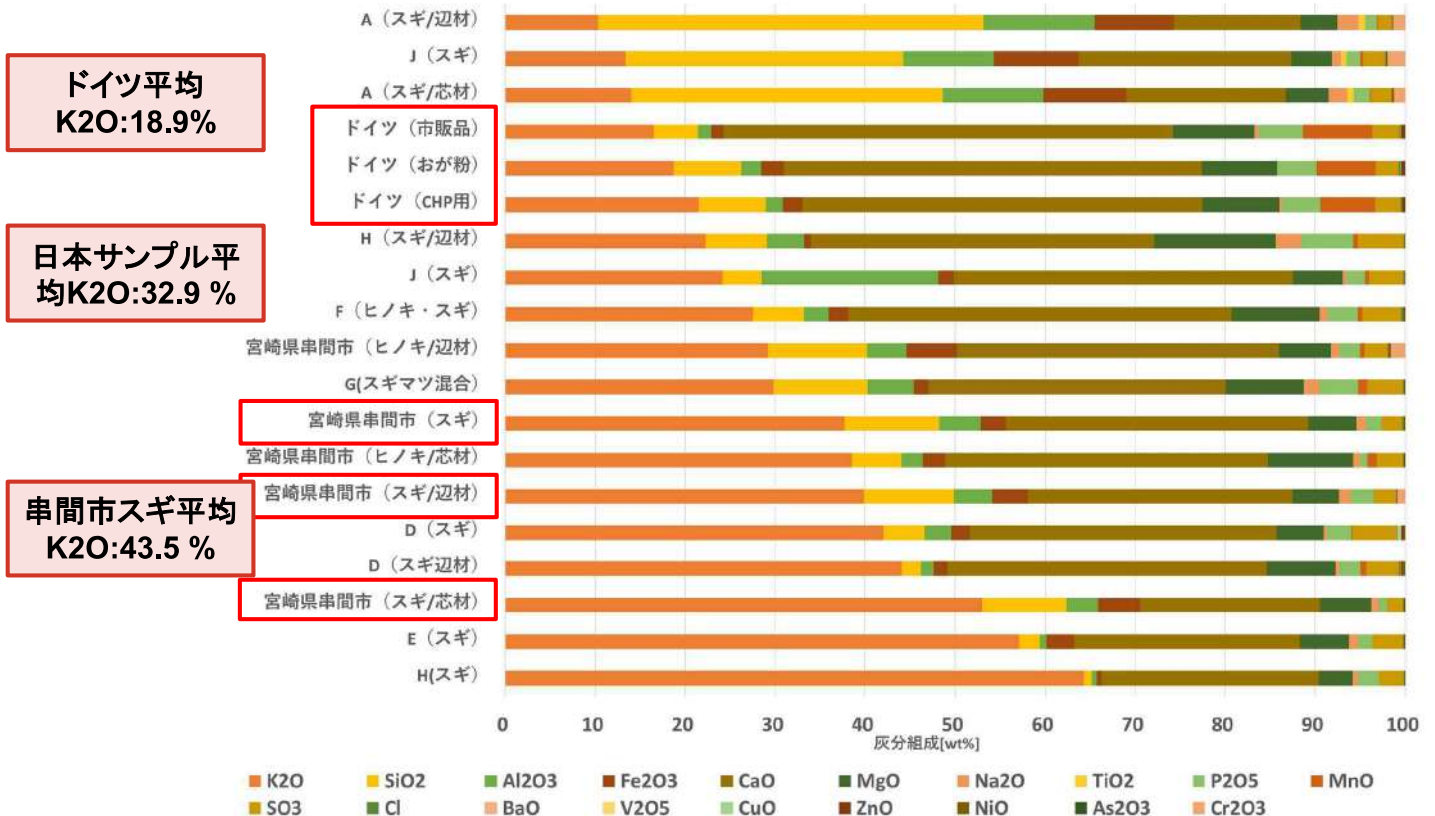


クリンカ生成速度は0.35kg/h

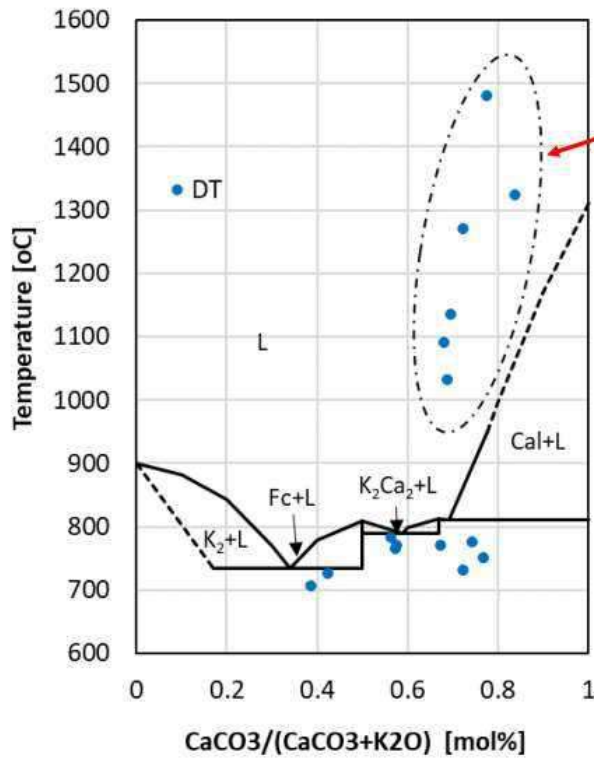
供給した原料バイオマス中の約50%の無機物がクリンカとして堆積

出典: 中部大学 二宮善彦 化学工学会秋季大会(2021年9月)

## スギ・ヒノキサンプルの灰分組成分析結果



<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-ecosystem-kaihatsu/2019/>



カリウムの少ない木材

クリンカ発生の影響でガス化過程でタールが発生

詳細は日本エネルギー学会誌 11月号に掲載

出典: 中部大学 二宮善彦 化学工学会秋季大会(2021年9月)

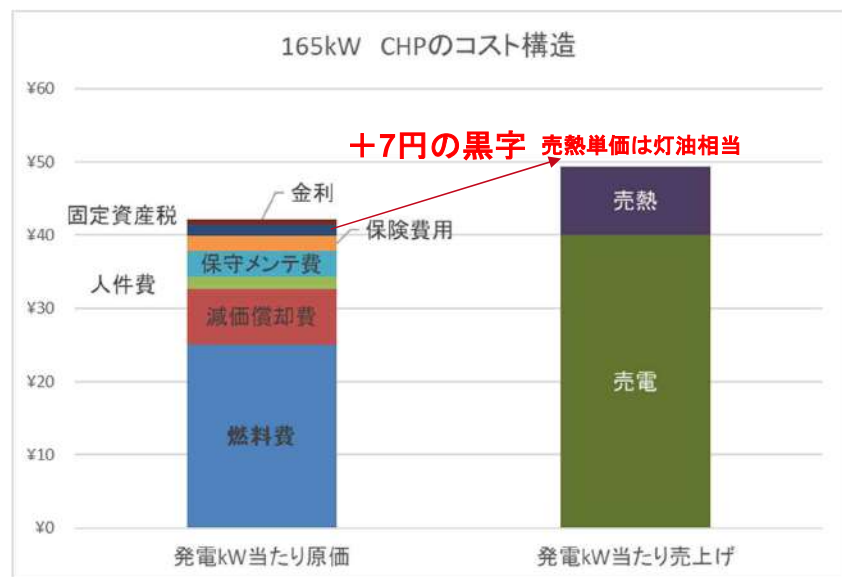
## FIT 165kW ガス化CHPの経済性



前提条件

原料ペレット	35	円/kg
原料含水率	8	%
原料灰分率	1	%
発電設備価格	146	万円/kW
発電量	165	kW
発電端効率	31.4	%
熱効率	45.6	%
所内動力率	7.4	%
運転人員	0.5	人

売熱単価は灯油相当  
売熱率は54%



20年間の内部収益率 IRR=2.3%(熱が全量売れれば6.3%)  
高山しぶきの湯で聞き取り調査



## 前提条件

原料ペレット	35	円/kg
原料含水率	8	%
原料灰分率	1	%
発電設備価格	146	万円/kW
発電量	165	kW
発電端効率	31.4	%
熱効率	45.6	%
所内動力率	7.4	%
運転人員	0.5	人

**売熱単価は灯油相当  
売熱率は54%**



**売熱があるためポストFITでも生き残れる**

# さらに熱が全量売れれば.....



## 前提条件

原料ペレット	35	円/kg
原料含水率	8	%
原料灰分率	1	%
発電設備価格	146	万円/kW
発電量	165	kW
発電端効率	31.4	%
熱効率	45.6	%
所内動力率	7.4	%
運転人員	0.5	人

**売熱単価は灯油相当  
売熱率は54%**



**年間2250万円の収益**

## ポストFITに小規模バイオマスCHP装置が生き残るためには

1. 未利用バイオマスという垣根を外し、製材残材など安価な一般材を使用する

製材残材燃料チップの規格化やサプライチェーンの構築  
一般材利用の大規模ペレット工場による一定品質で安価なペレット量産など

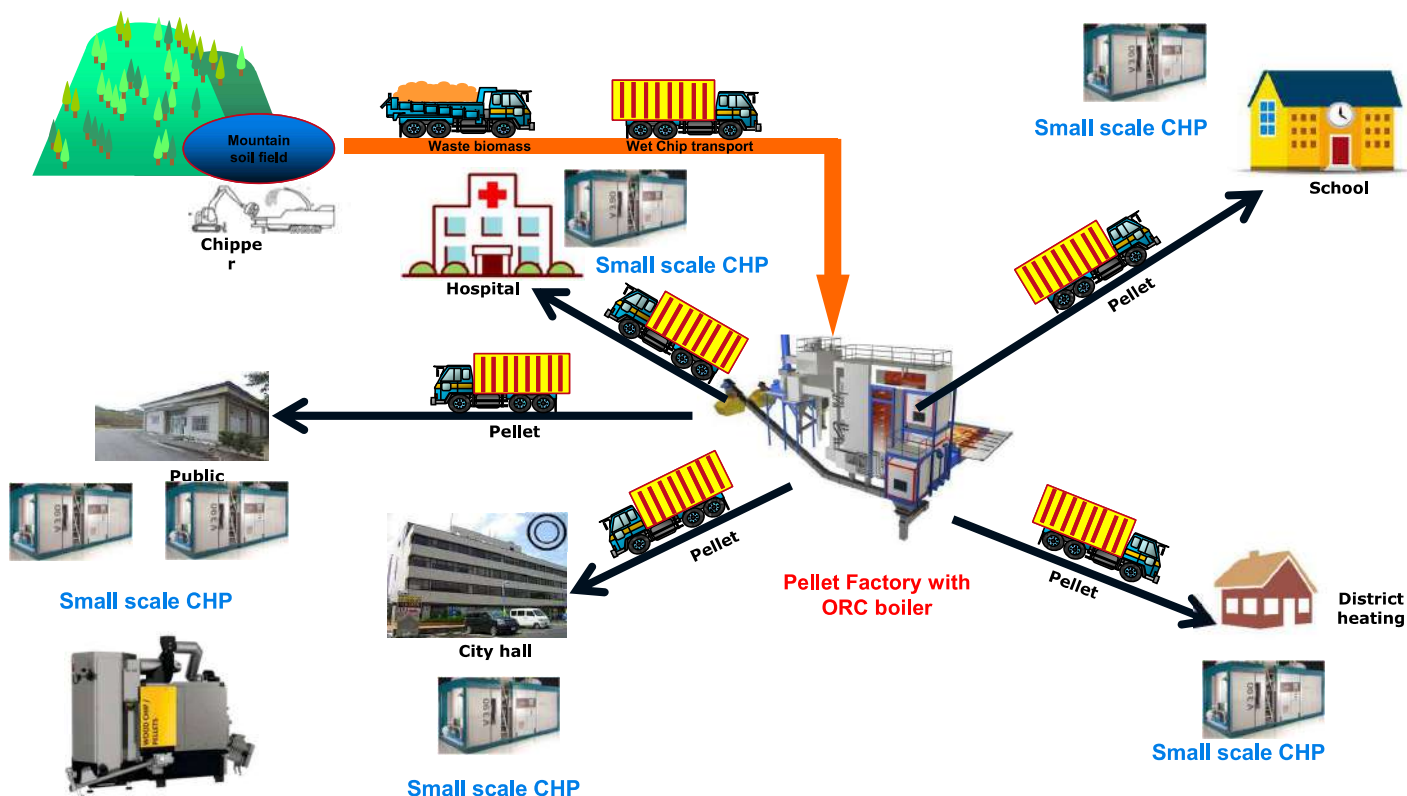
2. 100%熱を利用できるシステムの構築

工業熱利用の場合、温水ではなく蒸気による熱供給の可能性

**小規模熱電併給装置は発電装置ではなく発電機が付属した熱供給装置という発想の転換が必要！**

## 燃料バイオマスサプライチェーンの構築

### ドイツWunsiedelの小規模分散型エネルギーモデル



**ご清聴 ありがとうございます**

**連絡先**

**E-mail: [sasauchi@peo-bio.jp](mailto:sasauchi@peo-bio.jp)**



オンライン名刺