

平成26年度 木質バイオマス加工・利用システム開発事業
成果報告会

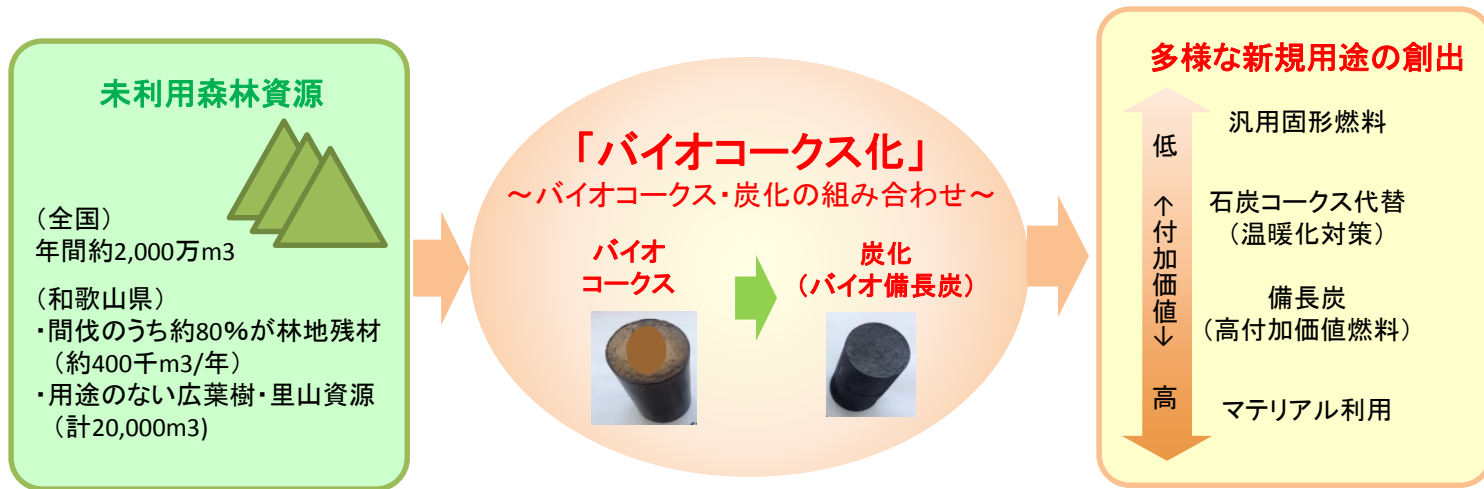
未利用森林資源のバイオコークス化・炭化 による有効利用技術の構築

株式会社石橋

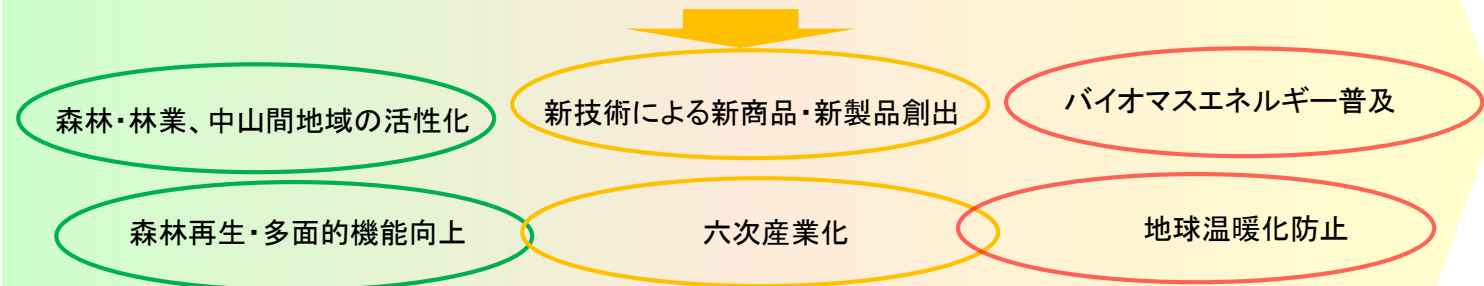
平成27年3月11日(水)

1. 事業の目的

未利用森林資源を「バイオコークス化」「炭化」技術を用いることで、高付加価値で汎用性の高い加工品へと転換する技術を開発し、未利用森林資源の利用促進と農山村における新産業と雇用の創出、中山間地域の活性化へとつなげていきます。



「バイオコークス化」による川上～川下まで一体となった森林資源利用システム構築



2. 事業の内容

【平成25年度事業】

- (1) バイオコークス製造システムを整備、試験運転開始
- (2) バイオ備長炭製造システムを整備、試験運転開始
- (3) 製品(バイオコークス、バイオ備長炭)の試作、性状把握 等

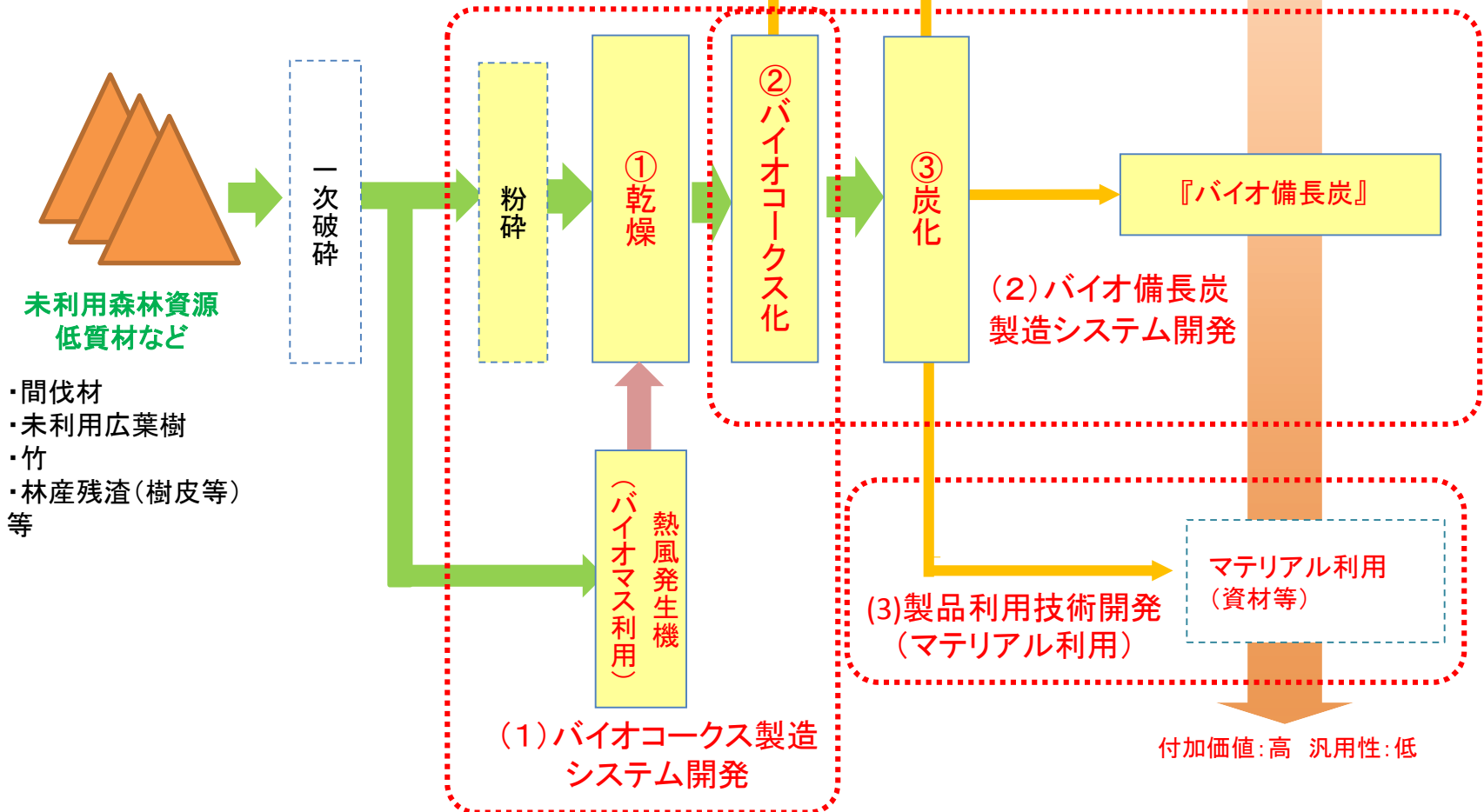
【本年度(平成26年度)の取り組み】

- (1) バイオコークス製造システム開発
 - ① 前処理(乾燥)システムの改善・改良
 - ② バイオコークス製造システム(Φ100)の改善・改良、高度化
- (2) バイオ備長炭製造システム開発
 - ① バイオコークス製造システム(Φ40)の改善・改良
 - ② バイオコークス・炭化システム(内燃)の試験・条件検討
- (3) 製品利用技術開発
 - ① コークス代替利用技術開発
 - ② マテリアル利用技術開発
 - ③ 固形燃料利用技術開発

(技術開発の概念図)

【主要設備】

	項目	主仕様
①	乾燥機・熱源機	約200kg/h(乾燥前原料ベース) (バイオマス熱源(灯油併用))
②	バイオコークス製造設備	φ100mmシリンダ φ40mmシリンダ
③	炭化設備	内熱式(約2m3) 外熱式(約0.6m3)



3. 本年度事業の成果

(1) バイオコークス製造システム開発

① 前処理(乾燥)システムの改善・改良

- ・バイオマス利用率向上(灯油消費減)
- ・乾燥後水分率の安定化
- ・省力化、安全性向上

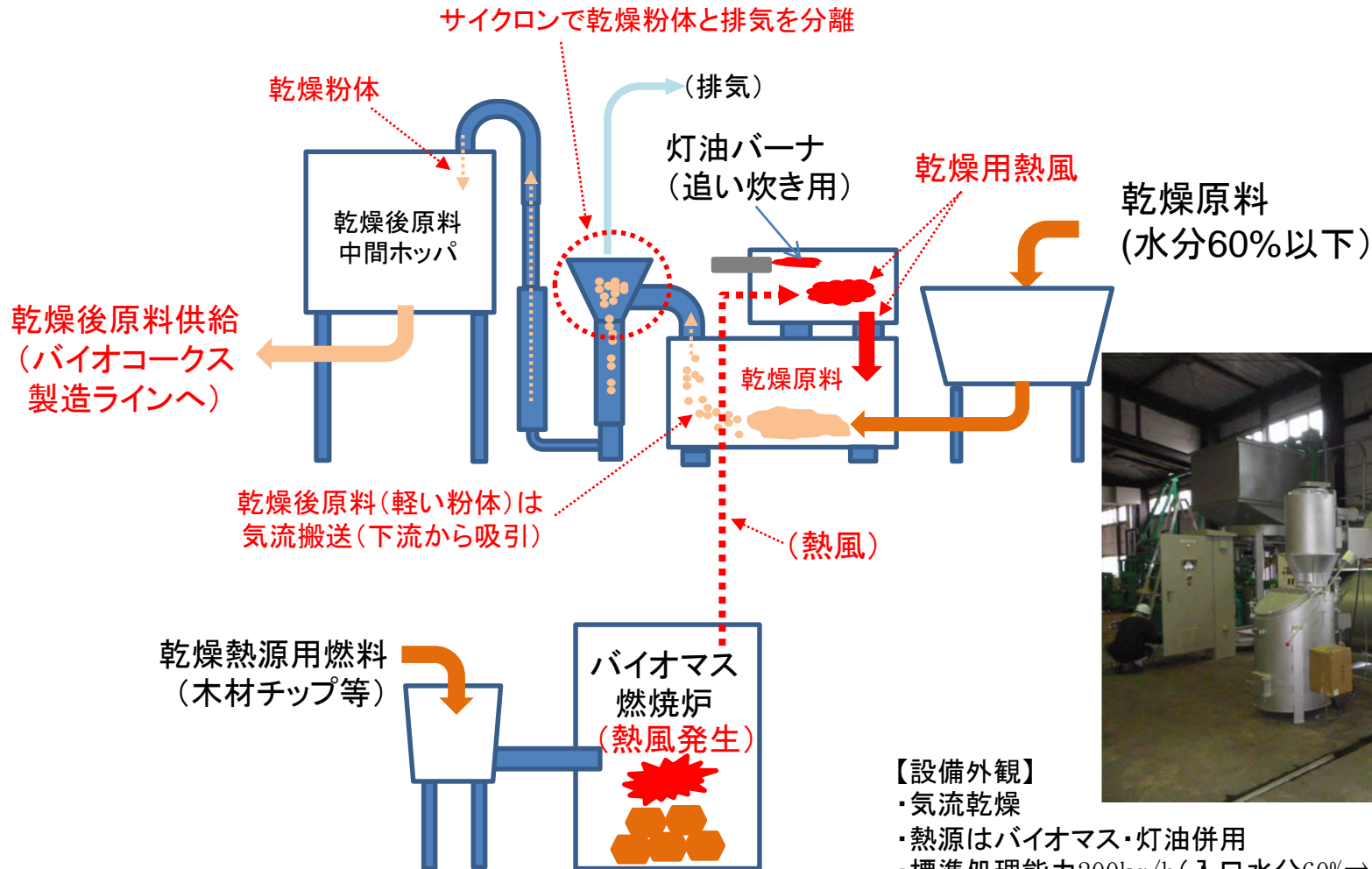
② バイオコークス製造システム(Φ100)の改善・改良、高度化

- ・よりコンパクトな改良仕様開発(ライン追加で製造能力増強も)
- ・無人運転監視機能等で夜間無人運転、長時間連続運転達成
- ・製品排出部形状改良等により製品品位・歩留り向上
- ・反応器耐久性確認
- ・各種原料での製造条件・条件決定方法の把握

①前処理(乾燥)システムの改善・改良

【前処理(乾燥)システムの機構概要と改善・改良のポイント】

- ・乾燥用熱風の熱源として**バイオマス**を優先的に使えるようにする(灯油消費量・コスト削減)
- ・**出口水分の安定化**(原料水分によらずバイオコークス化に適した水分(約10~15%)に保つ)
- ・**連続運転対応**(夜間は中間ホッパ貯留原料で運転)や**安全対策**(レベルセンサー、スプリンクラー等)の実施



【設備外観】

- ・気流乾燥
- ・熱源はバイオマス・灯油併用
- ・標準処理能力200kg/h(入口水分60%⇒出口水分15%以下)

1) バイオマス利用率向上対策

- ・補助バーナー(灯油)の作動温度を上げることでバイオマスバーナーの稼働率が向上
- ・外気取入れを自動化し温度・風量調整の精度向上、燃烧空気吹き込み口追加による燃烧効率向上

➡ 灯油消費量 対策前例 9.4リットル/h ⇒ 対策後 5.7リットル/h(約40%減)
過乾燥を防止、乾燥調製の精度が高まった

2) 乾燥後水分率の安定化対策

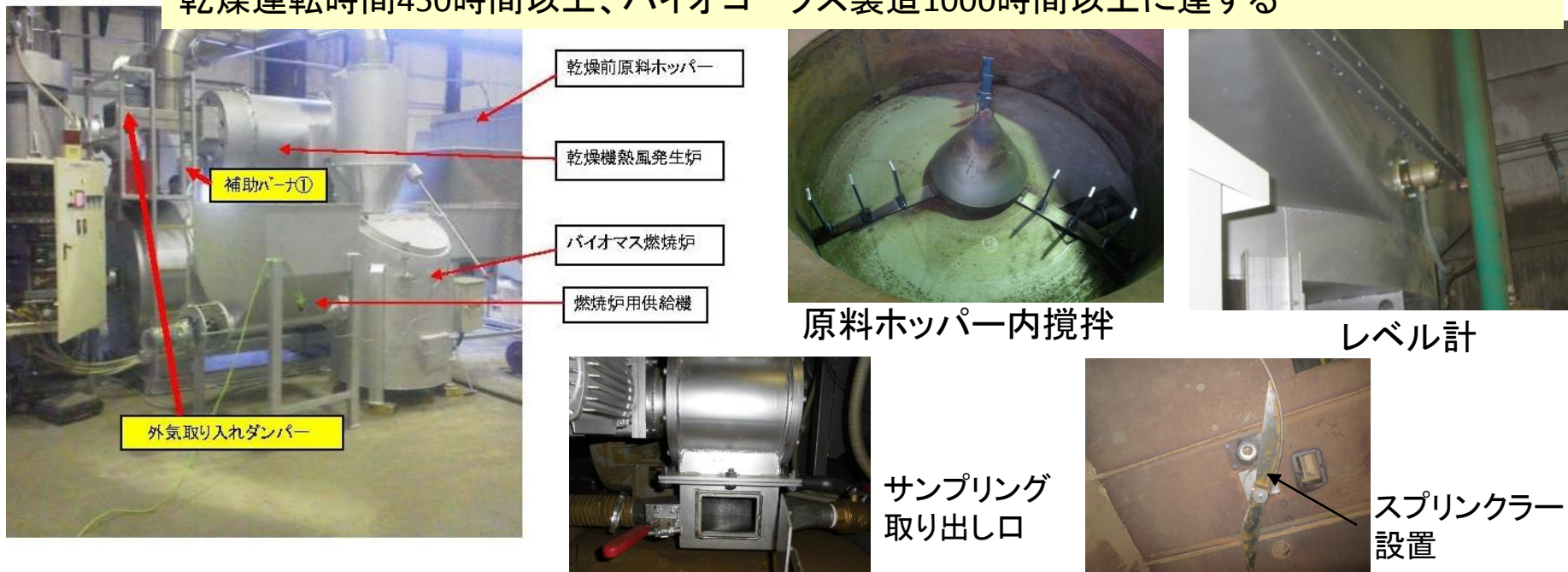
- ・原料投入ホッパー・中間ホッパー内で攪拌、予備乾燥・原料水分の均一化を図る
- ・中間ホッパーにサンプリング口を設け、貯留原料の水分が確認できるようにする

➡ バイオコークス製造に適した水分率で安定供給できている
(原料の水分率変動に伴う成型時の閉塞等の発生がほとんどなくなった)

3) 省力化・安全性向上対策

- ・中間ホッパー(乾燥原料貯留)内にレベル計(空検知)、プリンクラー(非常時散水対応)設置

➡ 昼間に乾燥・中間ホッパー貯留⇒バイオコークス製造24時間連続運転の運用が可能に
乾燥運転時間450時間以上、バイオコークス製造1000時間以上に達する

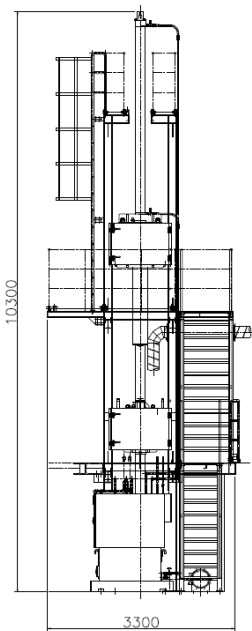


②バイオコークス製造システム(Φ100)の改善・改良、高度化

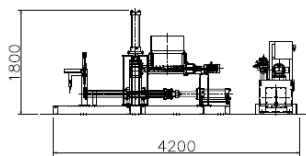
- ・製造型式は横型・連続型(製造能力向上・低コスト化が見込める)
- ・加熱は電気加熱
- ・100mmシリンダ(コークス代替・固形燃料用)・40mmシリンダ(バイオ備長炭用)を並列



ユニット3系列設置時の外観 (株)石橋・切目資源工場



縦型バッチ式(従来型)
生産量150kg/日例



横型連続式(新型)
生産量300kg/日例

- ・コンパクト化
- ・処理能力向上



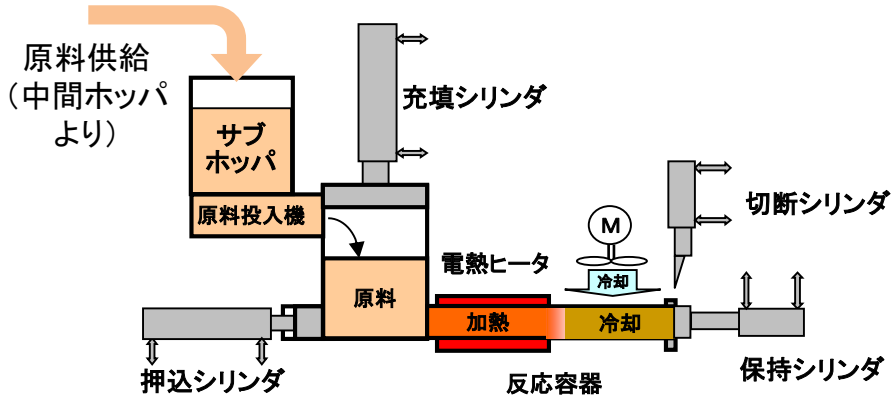
設備概要

【バイオコクス製造設(横型連続式)の機構概要とポイント】

- ・24時間無人・連続運転(乾燥工程との連携運転・非常時警報等の対策)
- ・製品品質向上(バイオコクスの形状等の安定化、ロスへの減少)
- ・製造条件(原料種類・水分等)と安定稼働条件(閉塞等のトラブルなく安定製造)の関連や設備の耐久性把握

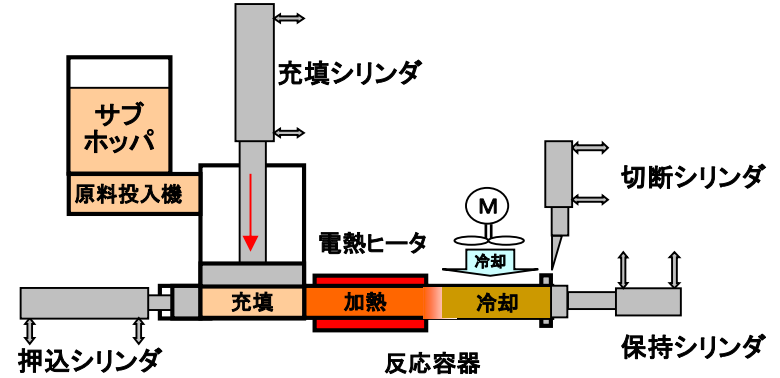
①原料供給

サブホッパから原料を投入



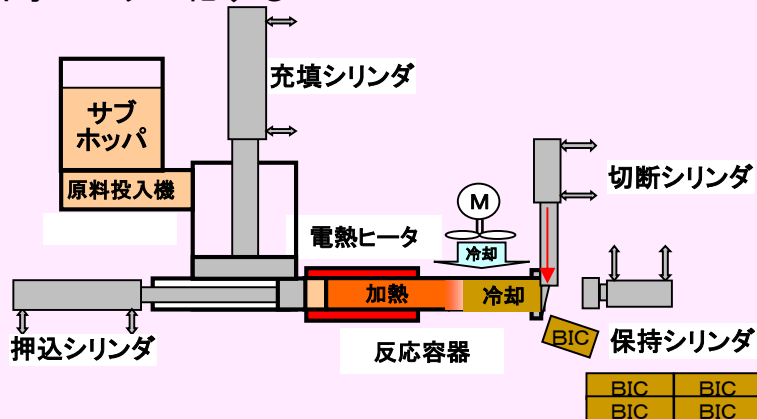
②縦圧縮(反応器前の配管内に原料充填)

縦の圧縮シリンダで充填配管に原料を押し込む



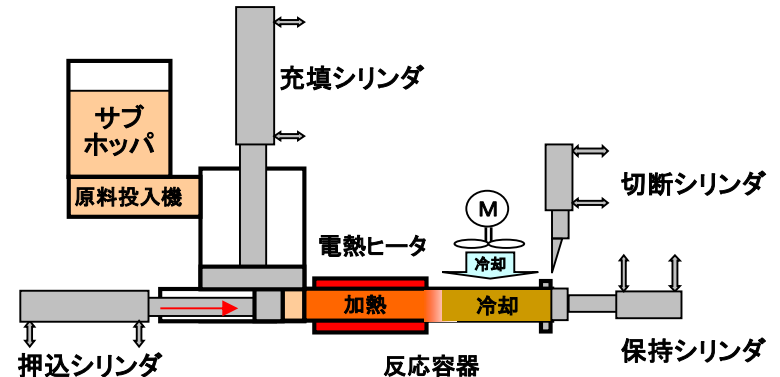
④製造(排出・切断)

前のサイクルでの製造物を押出しながら
反応器内で高温高压(約200°C、20MPa)下で反応、
バイオコクス化する



③横圧縮(反応器内に原料押し込み)

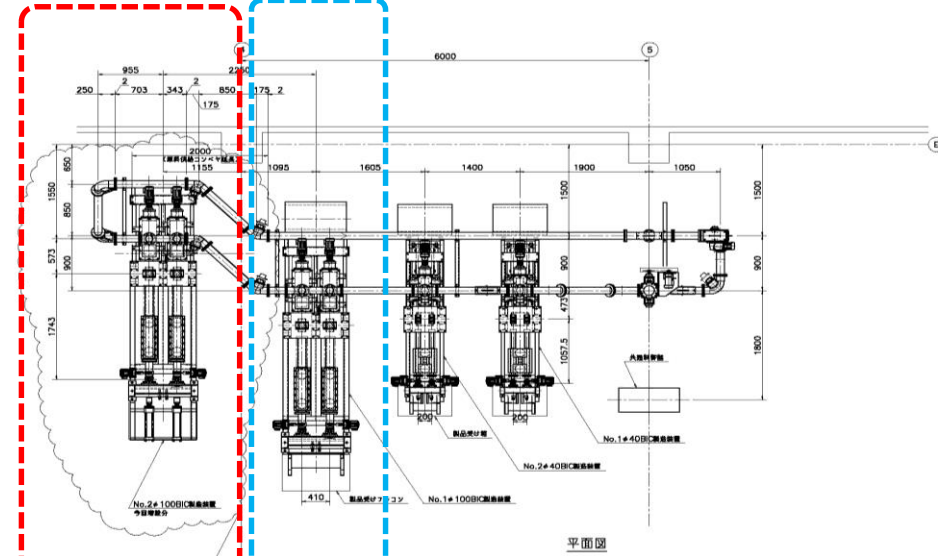
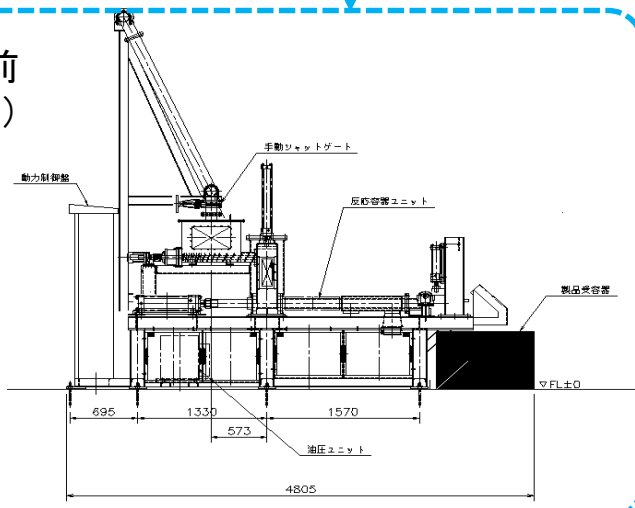
配管内原料を横圧縮シリンダで反応器内に押し込む



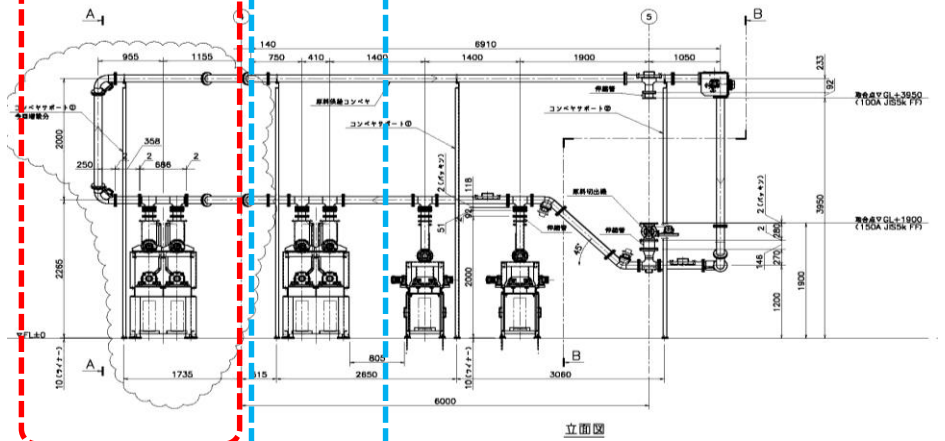
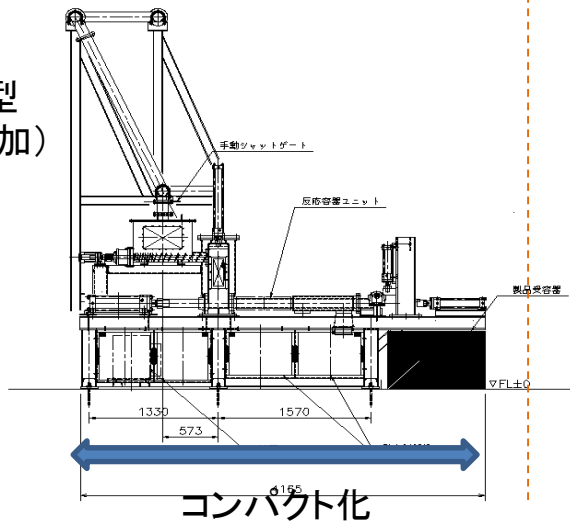
1) 改善・改良仕様の構築

- ・ユニット内配置変更(動力制御盤を本体架台下部に配置)、装置をコンパクト化
- ・ライン追加による製造能力増強

改良前
(既存)



改良型
(ライン追加)



ライン追加により逐次スケールアップが可能

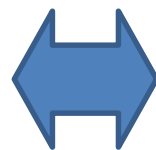
2) 夜間無人・長時間連続運転対応

- ・夜間運転監視機能を追加(警報をインターネットで携帯電話に送信)

遠隔で運転状況を把握できるようになり、
夜間無人運転・バイオコクス製造24時間連続運転を安定的に実施可能に
(バイオコクス製造のべ1,000時間以上に達する)



管理モニター(工場内)



携帯電話画面(運転担当者)

3) 製品品位・歩留り向上対策(製品排出部改良等により製品性状向上)

排出口改良前

割れ・欠け等が目立つ



長さがまちまち



排出口改良後

形状が安定

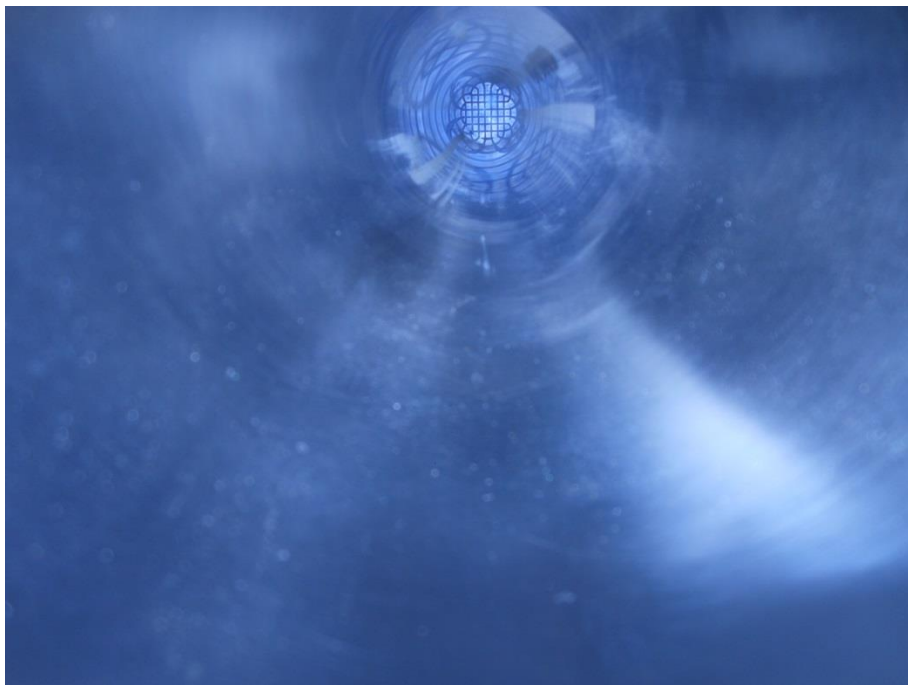


長さが一定

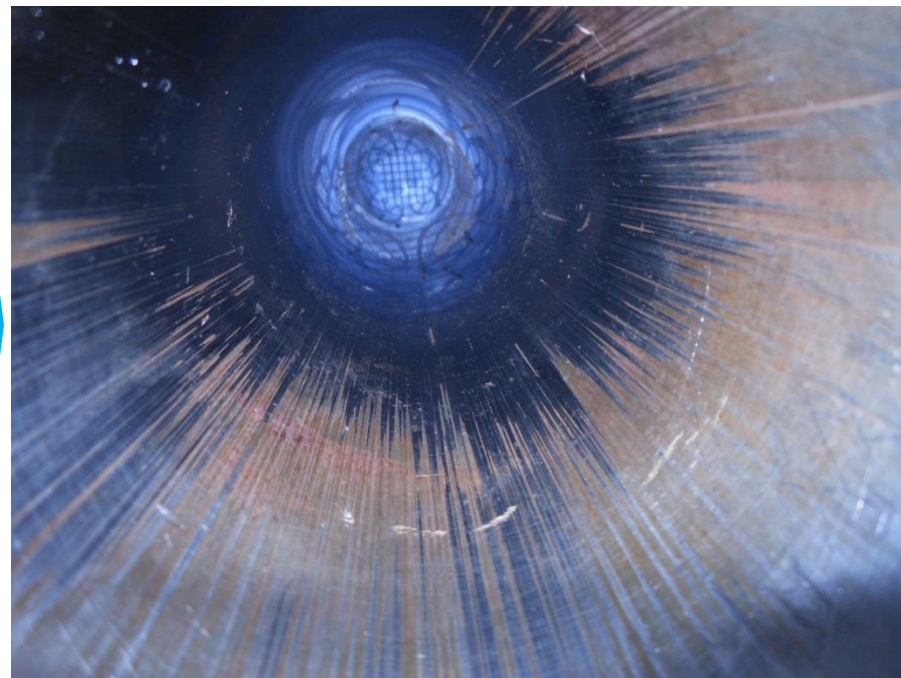


4) 反応器耐久性確認

- ・のべ1,000時間以上の運転を経て、閉塞が発生しやすくなっていた。
- ・内部を点検したところ、入口に多くの筋状の傷が発生していた
- ・使用によるもののほか、原料中異物の影響等も考えられ引き続き確認が必要



使用前反応器(入口側から)



点検時(入口側から)

5) 各種原料での製造条件・条件決定方法把握

- ・各種原料を用いてBICの製造試験を行い製造条件を検討
- ・各原料で概ね比重1.2のBICを製造でき、
反応条件・製造方法決定の作業ルーティンを構築
- ・製造条件検討に要する時間の短縮、運転調整時のトラブルの減少などの製造効率向上が見込める。

試料名		含水率(%)	温度(°C)	密度
杉オガコ	針葉樹	9.1	190	1.12
杉樹皮	針葉樹	9.8	165	1.13
シイ	広葉樹	9.3	190	1.13
竹		9.4	190	1.20



3. 事業の成果

(2) バイオ備長炭製造システム開発

① バイオコークス製造システム(Φ40)の改善・改良

・反応器形状や製品排出部の改良等により**閉塞等の発生軽減、製品強度向上**

② バイオコークス・炭化システム(内燃)の試験・条件検討

・送風量、温度スケジュール等の検討により**高品位化条件把握**

バイオコークス化(Φ40)

・横型・連続式



炭化(内燃・バッチ式)

・Φ40径のバイオコークスを炭化

(炭焼き窯のように炭化・錬らしのスケジュールを想定)

・炉内径は2m×1m、バイオコークスを1m³バケットに格納処理



①バイオコークス製造システム(Φ40)の改善・改良

反応器形状・排出機構の改良

- ・閉塞が発生しやすいため反応器形状を調整
- ・原料投入時の継ぎ目で製品が割れやすい → 加熱ヒータをずらすことで接着力向上

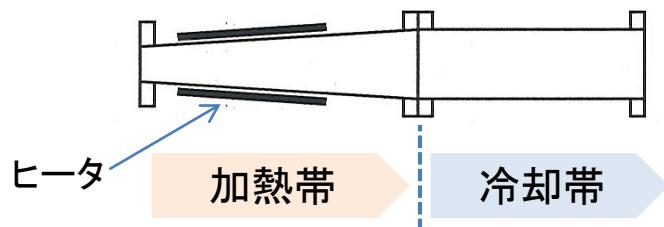


図 反応器形状

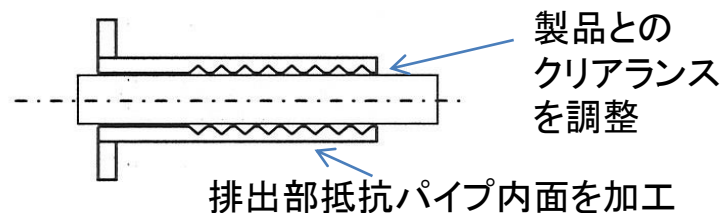


図 製品排出部

押し込み圧力・摩擦力の関連検討による改良

- ・Φ40では、Φ100に比べて断面積当たりの壁面の抵抗力が大きくなるので、閉塞トラブルが発生しやすかった。反応器形状に係る物理的特性の再検討を行った。

(ヤンセンの式)

$$P_v = \frac{\gamma D}{4 \mu_w K} \left[1 - e^{(-4 \mu_w K \cdot L/D)} \right]$$

Pv:粉体圧、γ:かさ密度、D:ホッパー径、L:ホッパー高さ
 Mw:壁摩擦係数、K:水平方向と鉛直方向の圧力比

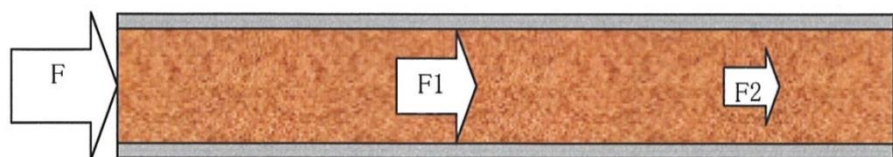
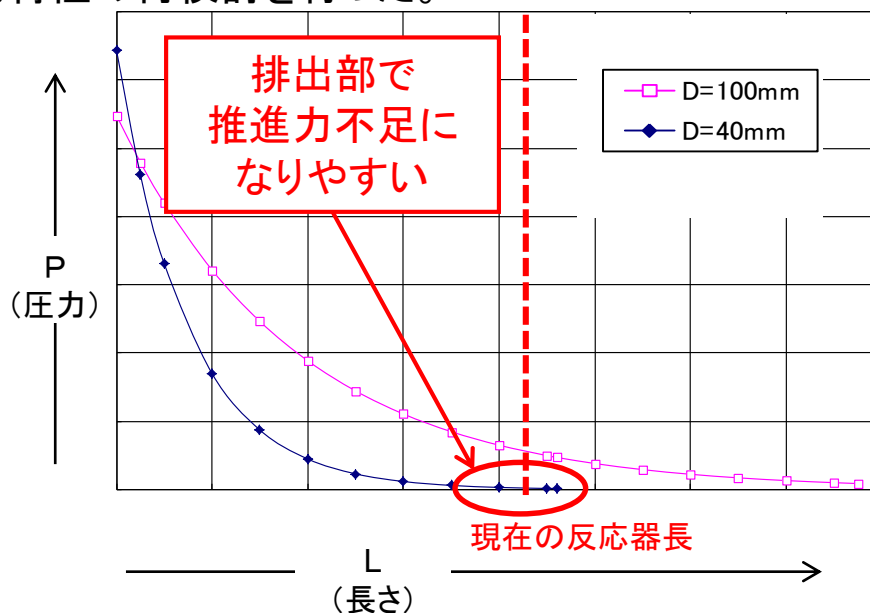


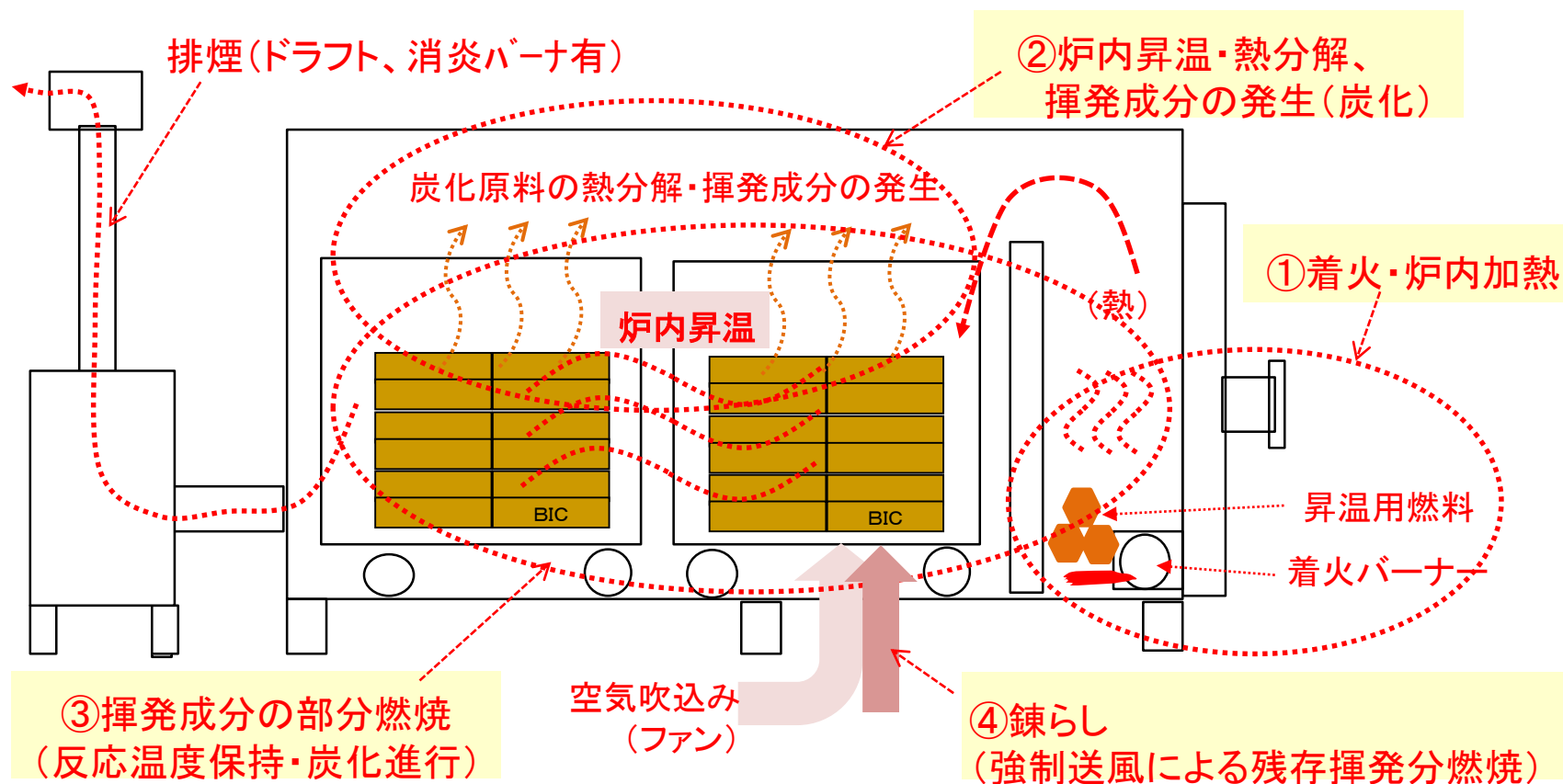
図 押し込み力減衰の概念図



② バイオコークス・炭化システム(内燃)の試験・条件検討

【炭化設備(内燃式)の機構概要とポイント】

- ①着火・炉内加温により、②熱分解・揮発成分生成が起こる。
- ③燃焼空気(部分燃焼)吹き込みにより揮発分を部分燃焼させ炉内温度を保ちつつ炭化を進行させる。炭化終了(揮発分の発生減少)ののちに④強制送風等による錬らしを行う。
- 投入原料量、空気量、温度・時間等の条件と炭化状況の関連を把握、炭化運転技術確立を図る
(バイオコークスは、水分・形状が一定。運転パラメーター設定により再現性の高い高品位炭化が可能と見込む)

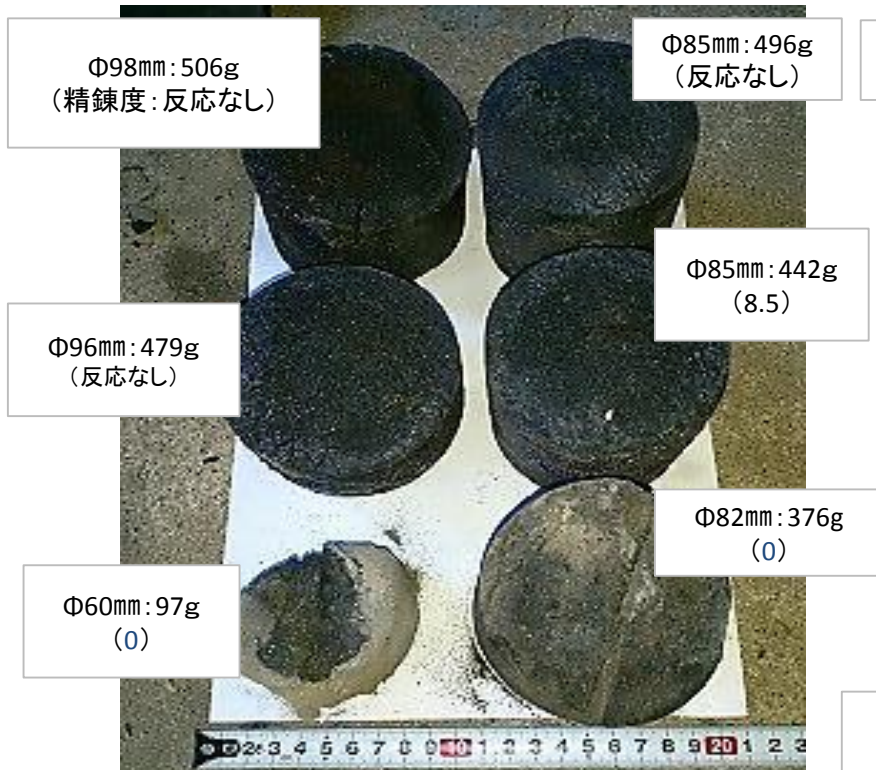


バイオコークス・炭化システム(内燃)の試験・条件検討

本炭化システム(内燃炉)の場合、場所により焼きムラが生じるなどの課題があるが、**炉内温度を均一に保つ昇温スケジュール、排煙側のコントロール等により炭化条件の制御・高品位化は可能と考えられる。**引き続き試験・検討を行っていく。

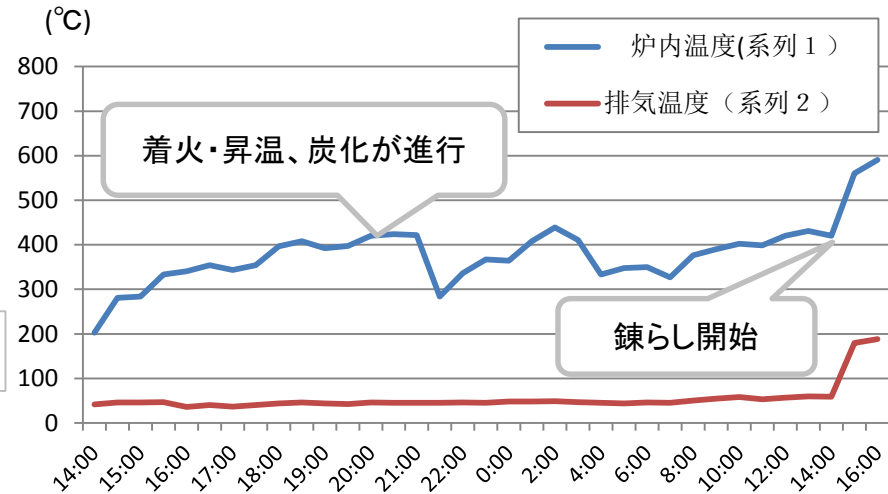
木炭精錬度 基準

黒炭	2~8
白炭	0~3
備長炭	0~2
オガ炭(黒)	2~8
オガ炭(白)	0~3



釜内
後方

釜内
前方



試験的に、備長炭窯でも炭化したところ
すべて0~0.5内(精錬度)

3. 事業の成果

(3) 製品利用技術開発

① コークス代替利用技術開発

- ・バイオコークスの炭化物複合・コークス代替利用を検討

② マテリアル利用技術開発

- ・バイオコークスの外熱式炭化による資材化を検討

③ 固形燃料利用技術開発

- ・バイオコークス・炭化物の小規模燃焼器等での利用を検討



①コークス代替利用技術開発

1) バイオコークスの炭化物複合検討

- ・炭化物複合により、発熱量向上が見込め、炭化時のロスをも有効利用できる
- ・炭化物30%まで成形可能で比重はいずれも1.0以上となった
- ・炭化物30%の複合では押込み圧力が高くなり、製品側面に光沢がなく運転条件が厳しいが20%程度までの複合は可能と見込まれた。



杉BIC
(比重1.1)



炭化物10%混合
(比重1.09)



炭化物20%混合
(比重1.18)



炭化物30%混合
(比重1.01)

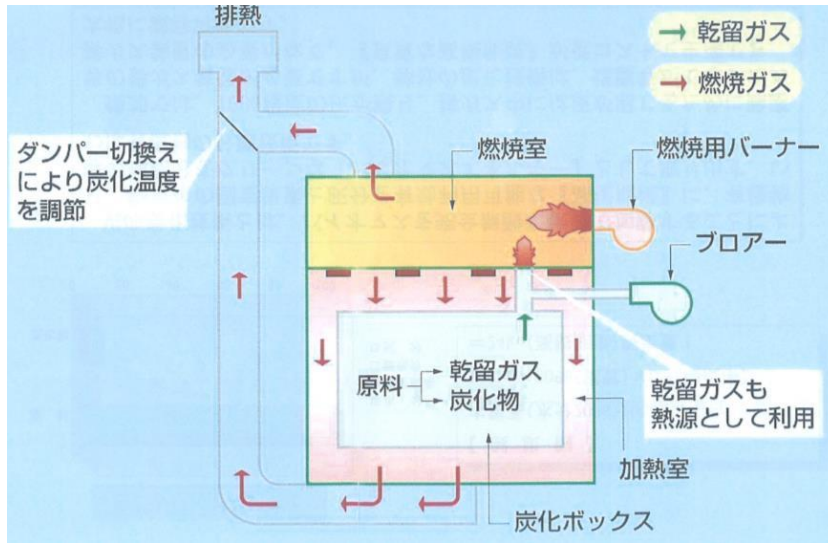
2) コークス代替利用検討

- ・ゴミ熔融炉やキュポラ炉でのコークス代替利用が可能と考えられる。
- ・具体的な利用に向けてヒアリング・協議を行っている。
- ・発熱量ベースで約20%程度の代替利用は可能と思われるが、価格については評価に差がある。
(石炭の熱量単価相当の場合や、環境価値を含めて評価される場合など)
引き続き検討を行っていく。

② マテリアル利用技術開発(バイオコークスの外熱式炭化による資材化)

【炭化設備(外熱)】

- ・外熱・バッチ式(乾留ガスを熱源として利用)
- ・処理容量約0.6m³



	内熱式	外熱式
加熱源	炉内から(原料そのものの部分燃焼から) △炭化収率は下がる ○外部燃料は少なくてすむ	炉外から(外部熱源や乾留ガス燃焼から) ○炭化収率は上がる △外部燃料は多くなる
制御性	炉内で燃焼、熱分解が同時並行的に進行 △反応が複雑で高精度な制御が難しい	炉内は熱分解条件(無酸素) ○制御が用意、高度な調整が可能
炭化温度	高温炭化(1,000°C以上)が可能	基本的に中温帯(約600°C)
用途	白炭化(備長炭代替炭の製造)	用途に応じた調整炭化で資材用等に展開

1) バイオコークスの外熱式炭化による資材化検討

- ・バイオコークスを外熱式炭化することで、**高炭化度(精錬度0)**でも収率は約30%に達する
- ・比表面積は、原料種や径(小径で高くなる傾向)で異なる傾向があり、引き続き検討する。

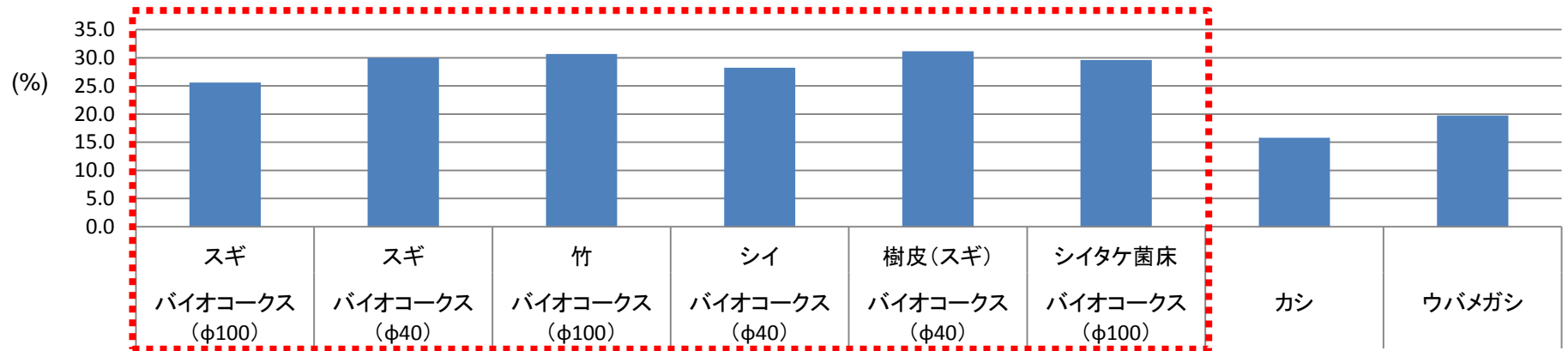






図 各原料別炭化収率

竹



精錬度0
比表面積95m²/g

杉



精錬度0
比表面積138m²/g

シイ



精錬度0~5
比表面積136m²/g

樹皮

精錬度0
比表面積118m²/g

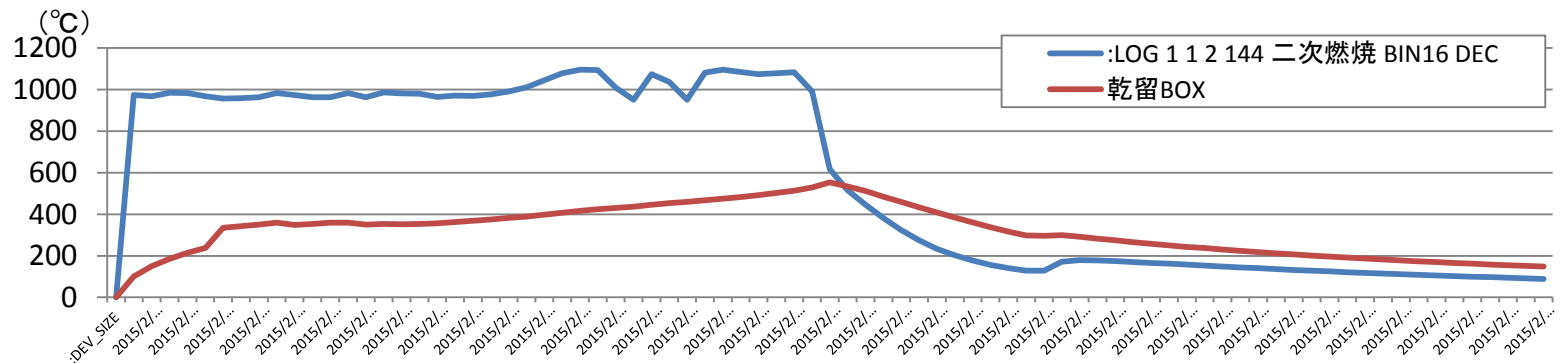
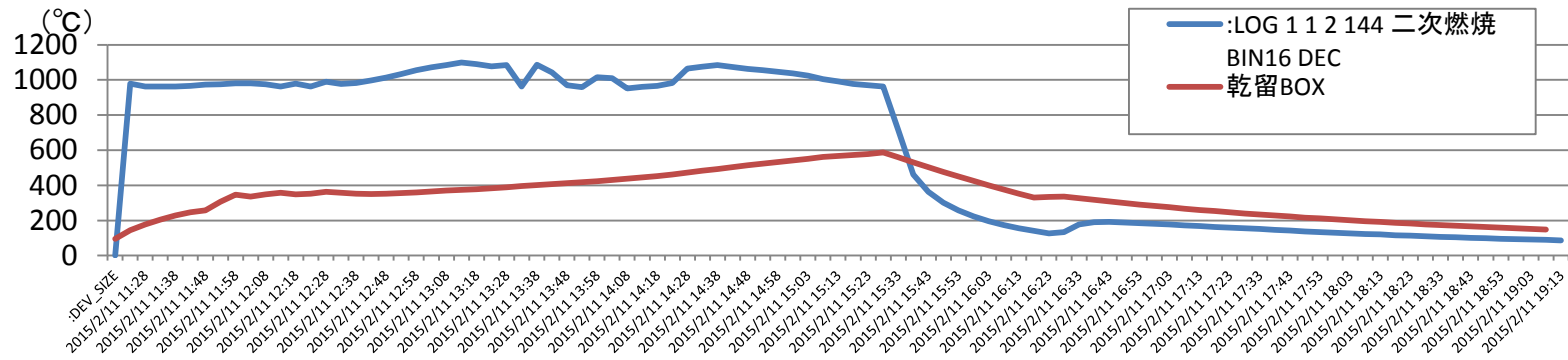
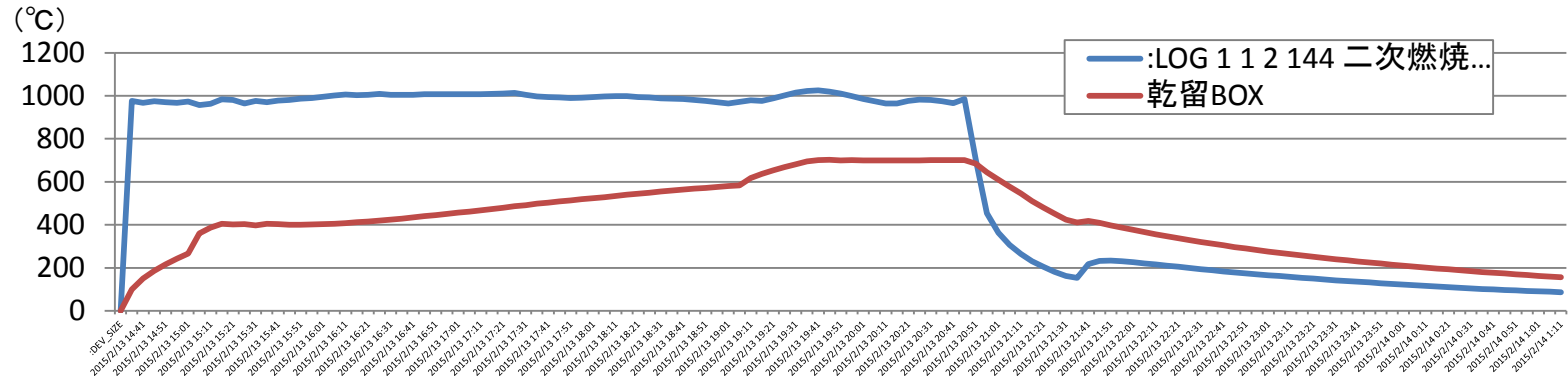
シイタケ菌床

精錬度0~5
比表面積4m²/g

2) 制御炭化・半炭化の検討

- ・炭化温度と時間を変えた試験を通じ、炭化性状・用途・収率等の関連把握
 (下図は、上段が通常条件、中段が400-600°C帯、下段が300-500°C帯)
- ・製品強度を残したコークス代替化や揮発分を残した燃焼性のよい燃料化を検討



③固形燃料利用技術開発

・バイオコークス・炭化物の小規模燃焼器等での利用を検討

- ・バイオコークスは、**高密度で燃焼が安定的に長時間継続**する傾向がある。
ハウス暖房など、通常の薪等の燃料では明け方に燃え尽きてしまう場合でも**バイオコークスであれば一晩中加温できる**などの特徴がある
- ・バイオコークスは、形状・性状が安定しており、炭化物の性状制御(炭化度の調整等)ができる。揮発分を残すことで、着火性のよい燃料炭を得るなどのことが考えられる。

(株)石橋・きくらげ生産工場

バイオコークスを用いた加温により夜間でも安定的に熱利用



	着火時間(秒)	燃焼時間(分)
高度炭化	80	10分後消炎
備長炭釜	着火不能(着火後消炎)	
調整炭化①	15	90
調整炭化②	20	120



炭化度高

備長炭釜

調整炭化
(400~600°C帯)

温湯・
熱利用中

4. 主な成果、今後の取り組み・展望

【主な成果】

(1) バイオコークス製造システム開発

① 前処理(乾燥)システムを改善・改良

- ・バイオマス熱利用割合の増加(約40%削減)
- ・連続運転対応・安全対策(昼間乾燥・BIC製造24時間連続運転を可能に)

② バイオコークス製造システム(Φ100)を改善・改良、高度化

- ・夜間無人運転、24時間連続運転達成、製品品位向上(製品強度・歩留り改善)
- ・改良仕様構築、既存ラインへの追加によりスケールアップ
- ・耐久特性、各種原料対応の確認

(2) バイオ備長炭製造システム開発

① バイオコークス製造システム(Φ40)を改善・改良(製品強度向上、閉塞トラブル減少)

② バイオコークス・炭化システム(内燃)で高品位化(白炭化)法把握

(3) 利用技術開発

① コークス代替利用(コークス代替利用の具体化の目途)

② マテリアル利用技術開発(外熱炭化による資材化)

③ 固形燃料利用技術開発(自社のきくらげ生産工場で熱利用実証)

【今後の取り組み・展望】

本年度の成果により以下の取り組み・展開が可能に、鋭意推進を図る。

(1) バイオコークス連続生産(Φ100)、コークス代替・固形燃料利用の推進

(2) バイオ備長炭の安定生産(Φ40の連続安定生産と高品位炭化)

(3) バイオコークス化・外熱式炭化による用途展開(マテリアル利用、汎用燃料)

5. まとめ～バイオコークス化・炭化による事業展開へ

【「ホップ」～昨年度事業】

- ・技術開発設備を整備、試験運転や分析等を通じ、**バイオコークスと炭化技術の組み合わせによる未利用森林資源活用技術開発の基盤を構築**

【「ステップ」～本年度の成果・次年度の取り組み】

- ・**横型バイオコークス製造システムによる連続安定生産・品質向上達成**
- ・**炭化調製により備長炭代替や石炭コークス代替、資材用等の用途展開**
- ・**バイオコークスの固形燃料としての利用**（ボイラー燃料等）の展開
- ・次年度以降も整備設備の継続的な運用、改善・改良等に取り組み、**バイオコークス化・炭化による未利用森林資源の有効利用技術の確立に努め商用の目処を得る。**

【「ジャンプ」～本事業後の展開 実用化・事業化】

**和歌山県の未利用木質バイオマス資源を用いた
新商品・新ビジネスの創出へ！**