

契約件名 再生可能エネルギー熱利用技術開発/
その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に
資する革新的技術開発/食品廃棄物の超臨界水ガス化
による再生可能熱の創生

発表者: 松村幸彦(広島大学)
国立大学法人 広島大学
株式会社 東洋高圧
(再委託先: 復建調査設計株式会社)
中国電力株式会社 エネルギー総合研究所

2019年10月17日

問い合わせ先
株式会社東洋高圧
E-mail: noguchi@toyokoatsu.co.jp
TEL: 082-237-6255

事業概要

1. 期間

開始: 2014年 7月

終了: 2019年 2月

2. 最終目標

- ① ラボスケールでのノータールガス化の最適条件を決定、タール生成量を1%以下にする。
- ② ラボスケールでのバイオマスのガス化反応速度式を決定、その適用によりパイロットプラントのタール生成率予測誤差を10%以下とする。
- ③ 実用化装置の低コスト技術を確立し、システム設置コストを既存技術から10%程度低減する。
- ④ 実証装置で焼酎残渣による1ヶ月のノータールガス化実証運転を行う。また耐久性とメンテナンス性を評価し、実用化の見通しを得る。
- ⑤ 実証運転によるプロセス評価と低コスト設計技術の確立により、ユーザーメリットと事業採算性を明確にする。

3. 成果・進捗概要

実現可能性調査: 全国の焼酎工場343件(推定)の中で焼酎残渣発生量等が把握できた73工場のうち、16工場(補助率1/2の場合は28工場)において、10年以内に超臨界水ガス化装置の投資回収ができる結果となった。また、焼酎工場以外の食品工場等について適用範囲拡大の可能性を調査した結果、ヒアリング調査の協力が得られた1工場について、10年程度で投資回収できる可能性が確認できた。

基礎試験: 600℃までの平均昇温速度が20K/s程度でタール抑制に有効と確認された。

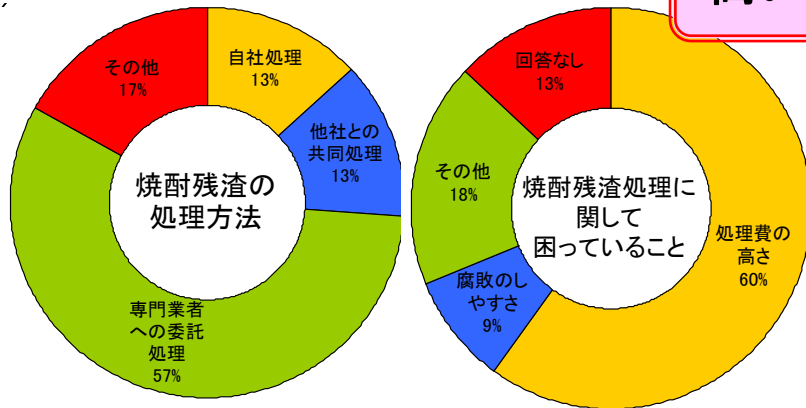
パイロット試験: ラジカル捕捉剤添加焼酎残渣の反応速度定数(前指数項311 /s・活性化エネルギー 72.6 kJ/mol)を決定, ラジカル捕捉剤添加や原料供給速度向上によるタール閉塞抑制を確認。

実用化装置: 設計図案制作済。実験結果に基づく実用化装置・実証装置詳細設計準備が完了。

(1) 研究背景

○食品廃棄物有効利用の問題

高い処理費



焼酎メーカーの例

○メタン発酵

- ・広い設置スペース
- ・低エネルギー変換率
- ・大きい廃水処理負荷
- ・高コスト

○乾燥飼料化

- ・化石燃料の価格上昇で高コスト

○食品廃棄物の超臨界水ガス化

タール生成

機器に堆積し、閉塞

実用化
困難

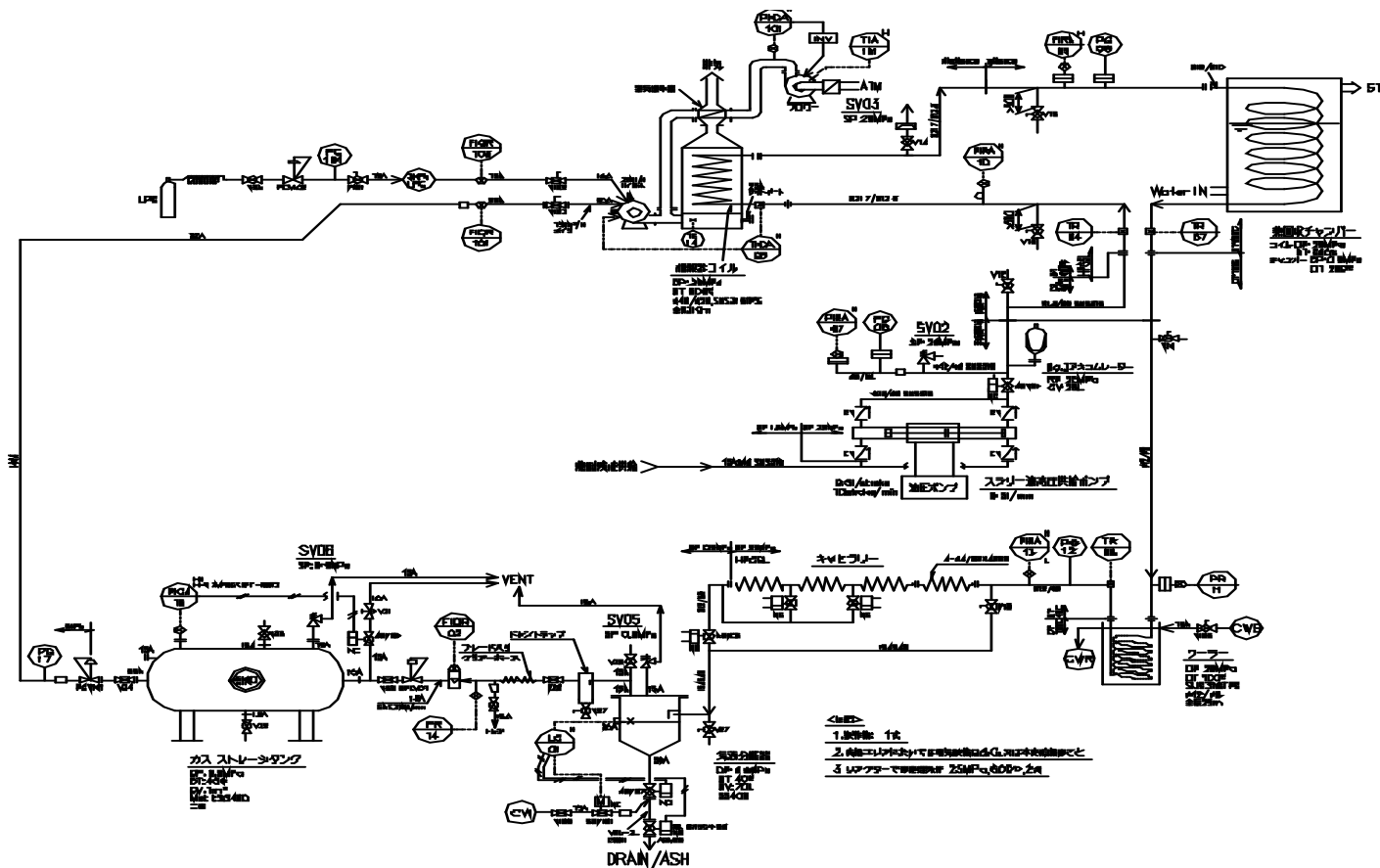
タール生成機構の確認

亜臨界域: イオン反応
超臨界域: ラジカル反応

ノータールガス化が可能な
新規超臨界水ガス化プロセス

産廃処理に代わる小規模で
安価な処理技術

提案プロセス



焼酎残渣を原料とし、酒造メーカー所有の既設ボイラで製造する蒸気(蒸留工程で使用)をより安価に供給する。

本事業の目的：

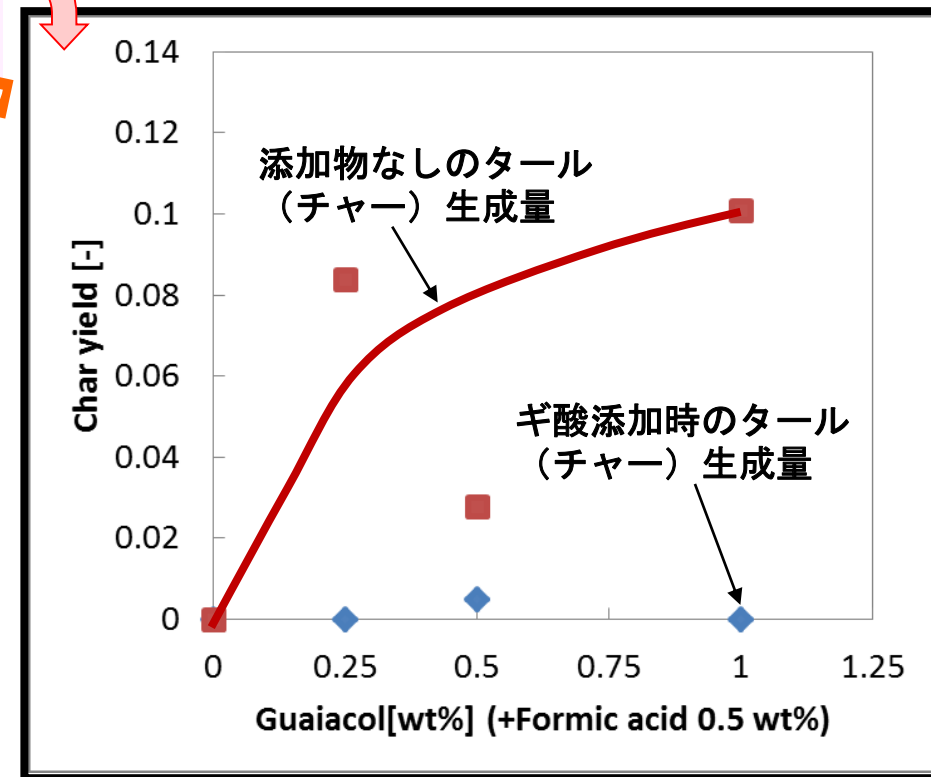
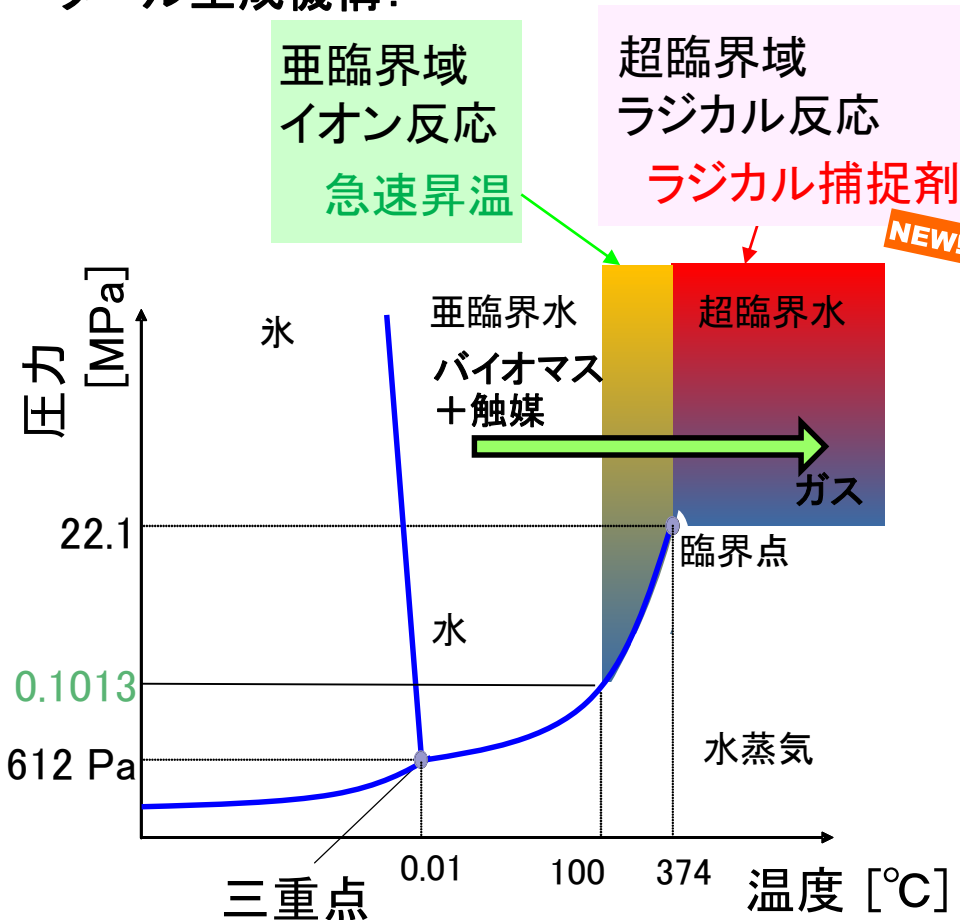
再生可能エネルギー熱利用の技術開発でコストダウンを促し、熱利用の普及拡大に貢献すること
研究開発の内容⑤：

その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する革新的技術開発

(2) 新規性

亜臨界域での急速昇温と、超臨界域でのラジカル捕捉剤利用によるノータールガス化が可能な超臨界水ガス化を提案

タール生成機構:



ギ酸の添加によるタール(チャー)生成量の比較

(3) 実施計画

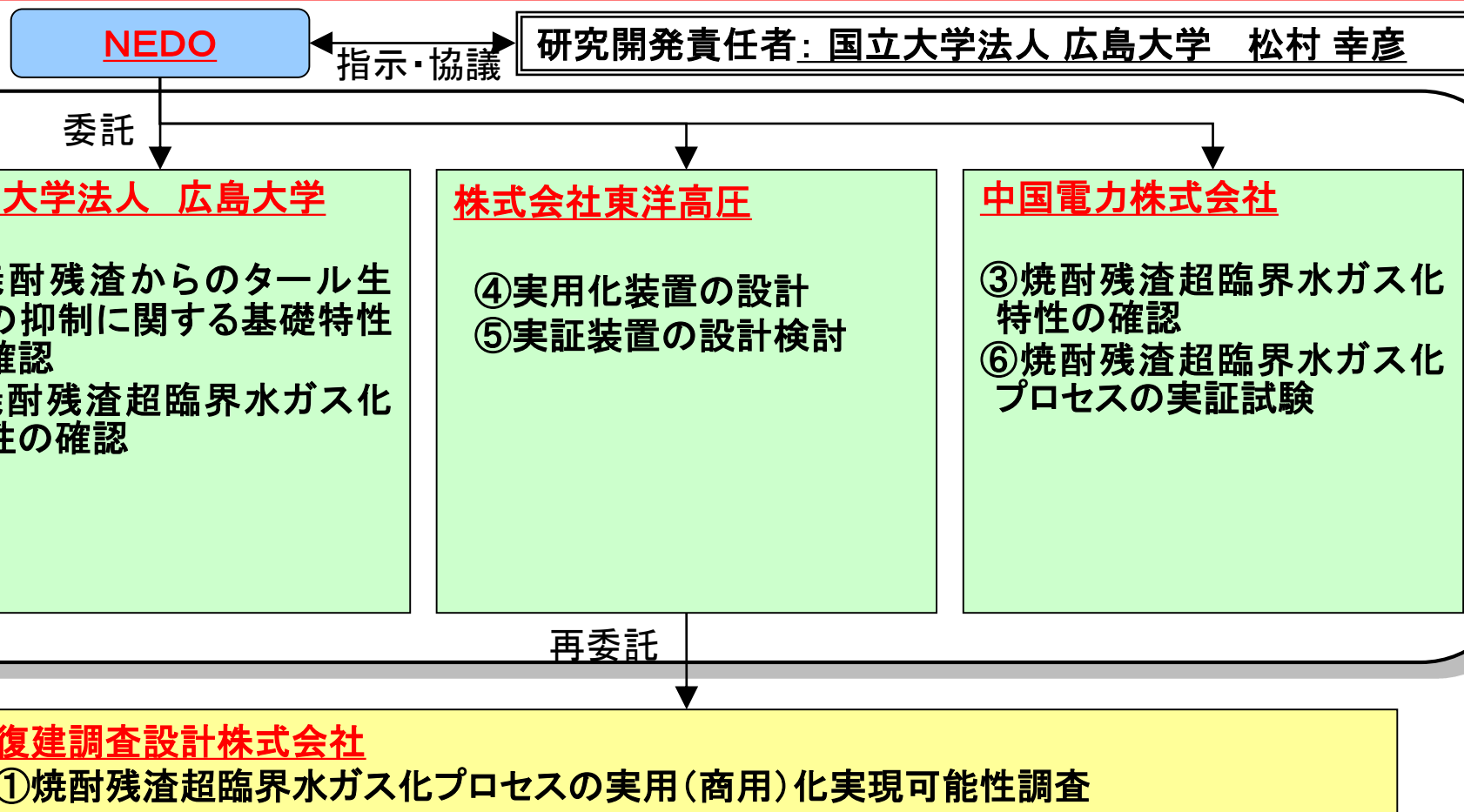
研究開発項目	2014年度	2015年度	2016年度	2018年度	2019年度
①焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実用(商用)化実現可能性調査(復建調査設計)	▼焼酎メーカーヒアリング ▼焼酎飼料販売先ヒアリング 経済性評価	▼食品工場へのヒアリング 経済性評価	経済性評価	経済性評価	経済性評価
②焼酎残渣からのタール生成の抑制に関する基礎特性の確認(広島大学)	▼昇温速度・ラジカル捕捉剤とタール生成量相関式			▼ノータールガス化の最適条件	
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認(広島大学)	▼ラボでのガス化反応速度式(焼酎残渣)の決定				
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認(中国電力)	▼パイロットでの反応速度式の検証		設計諸元		
④実用化装置の設計(東洋高压)					
⑤実証装置の設計検討(東洋高压)					実証装置の物質収支 実証試験データ
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験(中国電力)				▼改造検討	▼連続運転

研究開発項目の目標

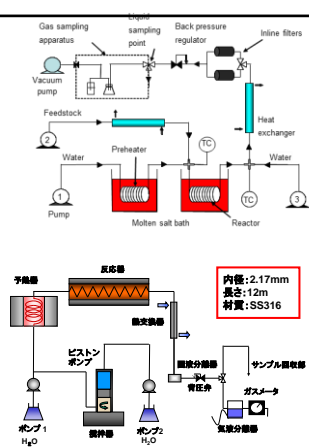

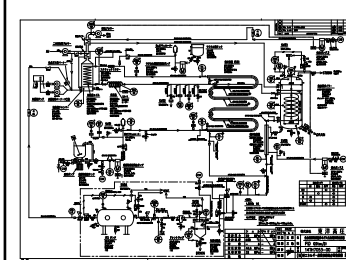
研究開発項目	中間目標(H28年度末)	最終目標(H30年度末)
①焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの経済性評価と普及促進計画の検討(東洋高圧から復建調査設計に再委託)	最適な実用化システムと実証装置規模およびその前提条件、運用条件を明確にする。 システムの目標コスト、技術課題を整理し、実用システムとして採算が取れる価格の見通しを得る。	実用システムの導入と運用でのユーザーメリットと事業採算性を明確にする。
②焼酎残渣からのタール生成の抑制に関する基礎特性の確認(広島大学)	設計に用いることのできる相関式の提供ならびにタール生成量を2%以下とする。	タール生成量を1%以下とする。
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認(広島大学・中国電力)	焼酎残渣のガス化反応速度式を、酢酸を添加した場合と添加しない場合について決定する。他	改造パイロットプラントのタール生成率が10%以下の誤差で予測する。
④実用化装置の設計(東洋高圧)	プロセス全体としてのエネルギー効率を60%とする。	システム設置コストを、既存技術から10%程度低減する。
⑤実証装置の設計検討(東洋高圧)	実フィールドに設置することを前提に実証装置を詳細設計(設計・製図)する。	改造パイロットプラントで得た耐久性とメンテナンス性を評価し、実用化の見通しを得る。
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験(中国電力)	焼酎残渣をノータールガス化する実証運転を行う。タール生成量を2%以下とする。	実際の焼酎残渣による1ヶ月のノータールガス化実証運転試験を行う。

(4) 研究開発の実施体制

申請者らは、中国地域SCWG研究会を結成、補助金を受けて研究を進め、実用化の一手前まで開発を進めてきた。このような状況の中で、ラボ試験装置を用いた各種のバイオマスモデル化合物のガス化を通して、タール生成機構が確認でき、これに基づいたタール生成抑制の目途が得られたことから、本事業に提案することとなった。



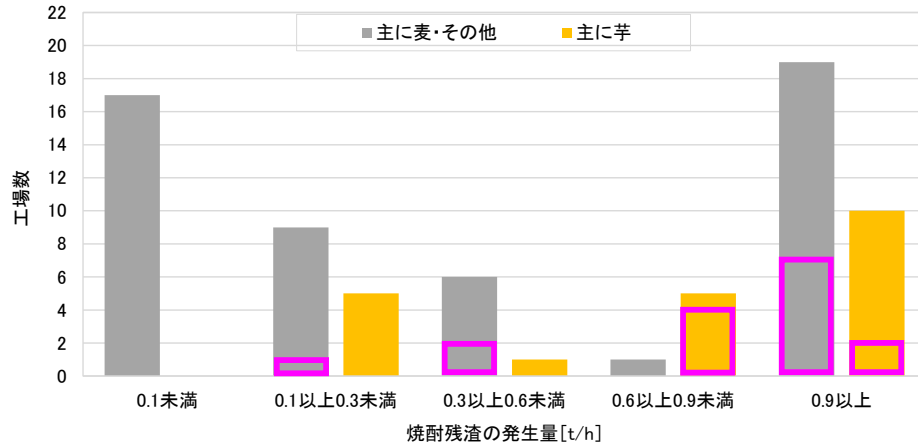
超臨界水ガス化装置の規模一覧

規模	研究室規模 laboratory scale	パイロット規模 pilot scale	実証規模 demonstration scale	実用規模 commercial scale
図面			<p>作成中止</p>	
t/d	0.003 t/d-cont (2 mL/min) 現有(広島大学)	1 t/d-cont	7.2 t/d-cont 設置提案→× (中国醸造)	21.6 t/d-cont
使用	事業項目2、3で使用、 主として基礎特性	事業項目3で使用、 運転特性確認	事業項目5で設計、 事業項目6で使用、 当初案ではH26年度 から設置、実証運転 の予定だった。	事業項目1で評価 事業項目4で設計 本事業終了後に展開

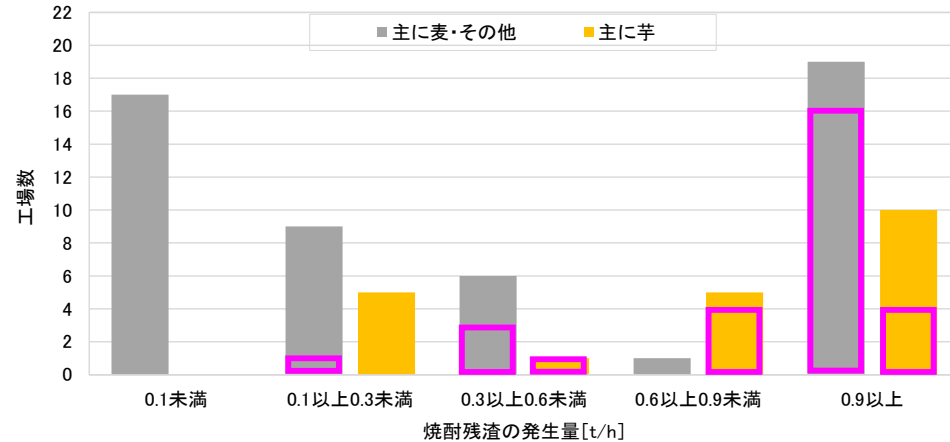
事業採算性評価

【焼酎工場に関するキャッシュフロー分析のとりまとめ結果】

《補助率0の場合》



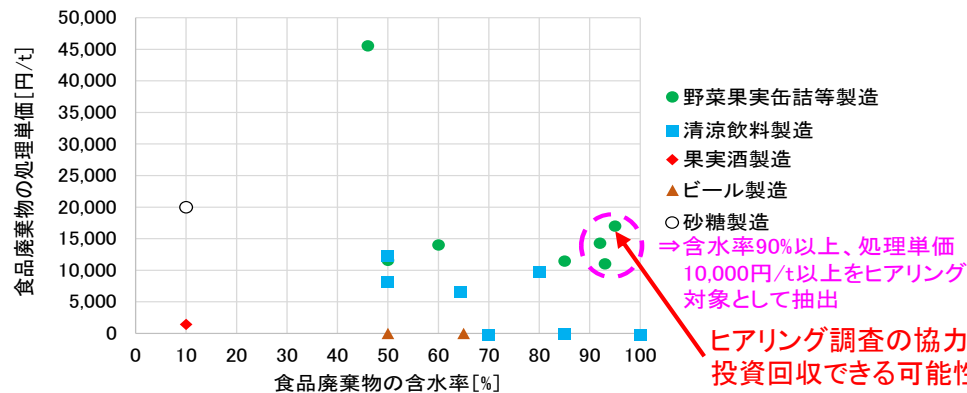
《補助率1/2の場合》



□: 10年以内に投資回収できる工場

全国の焼酎工場343件(推定)の中で焼酎残渣発生量等が把握できた73工場のうち、16工場(補助率1/2の場合は28工場)において、10年以内に超臨界水ガス化装置の投資回収ができる結果となった。

【食品工場等に関するアンケート結果等】



焼酎工場以外の食品工場等について適用範囲拡大の可能性を調査した結果、ヒアリング調査の協力が得られた1工場について、10年程度で投資回収できる可能性が確認できた。

ヒアリング調査の協力が得られ、10年程度で投資回収できる可能性が確認できた工場

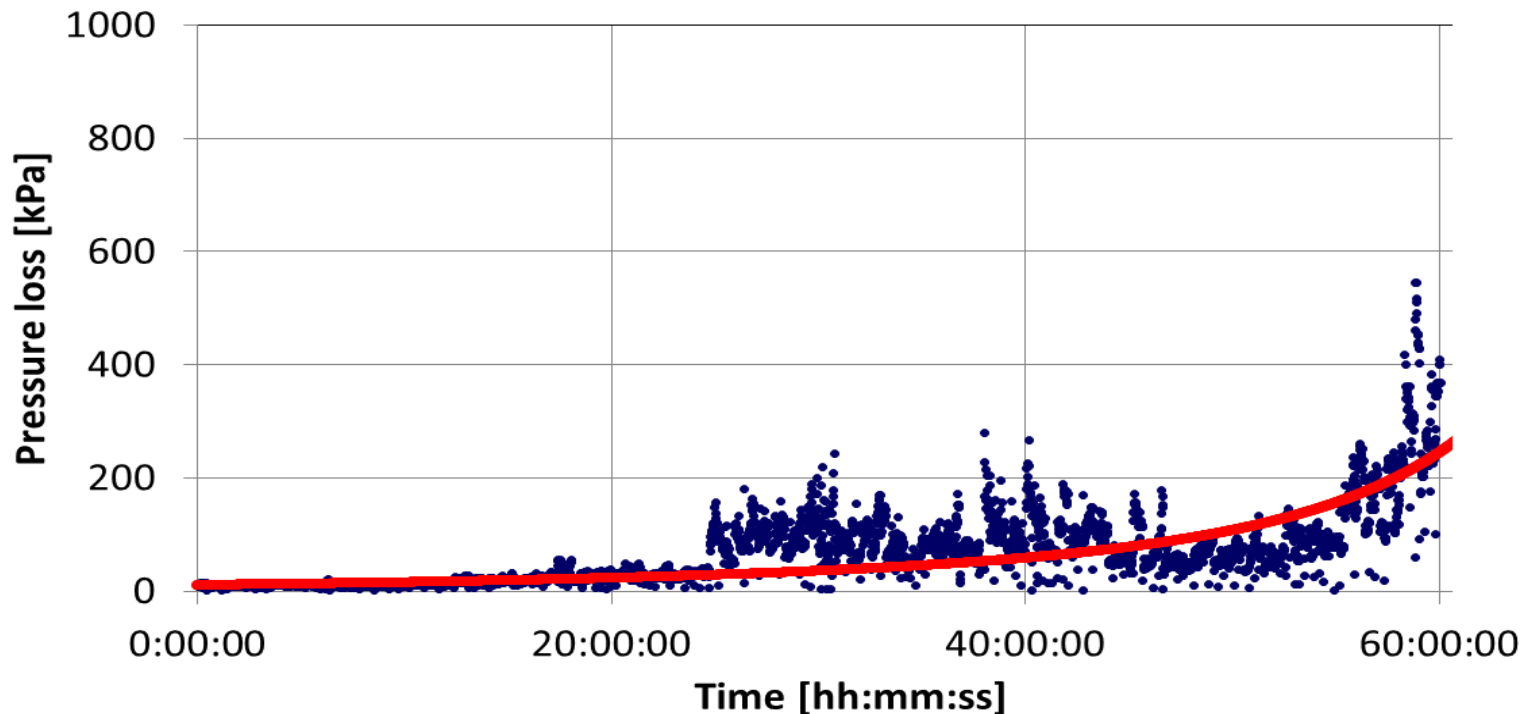
タール生成の基本特性



- ✓ グアヤコール濃度の増加とともに廃液の色が濃くなっていく。
- ✓ ガラス容器の壁に少量の油状付着物が確認された。
- ✓ 濃度を高めると液相有機物収率が減少する。これはタール収率の増加を示唆する。

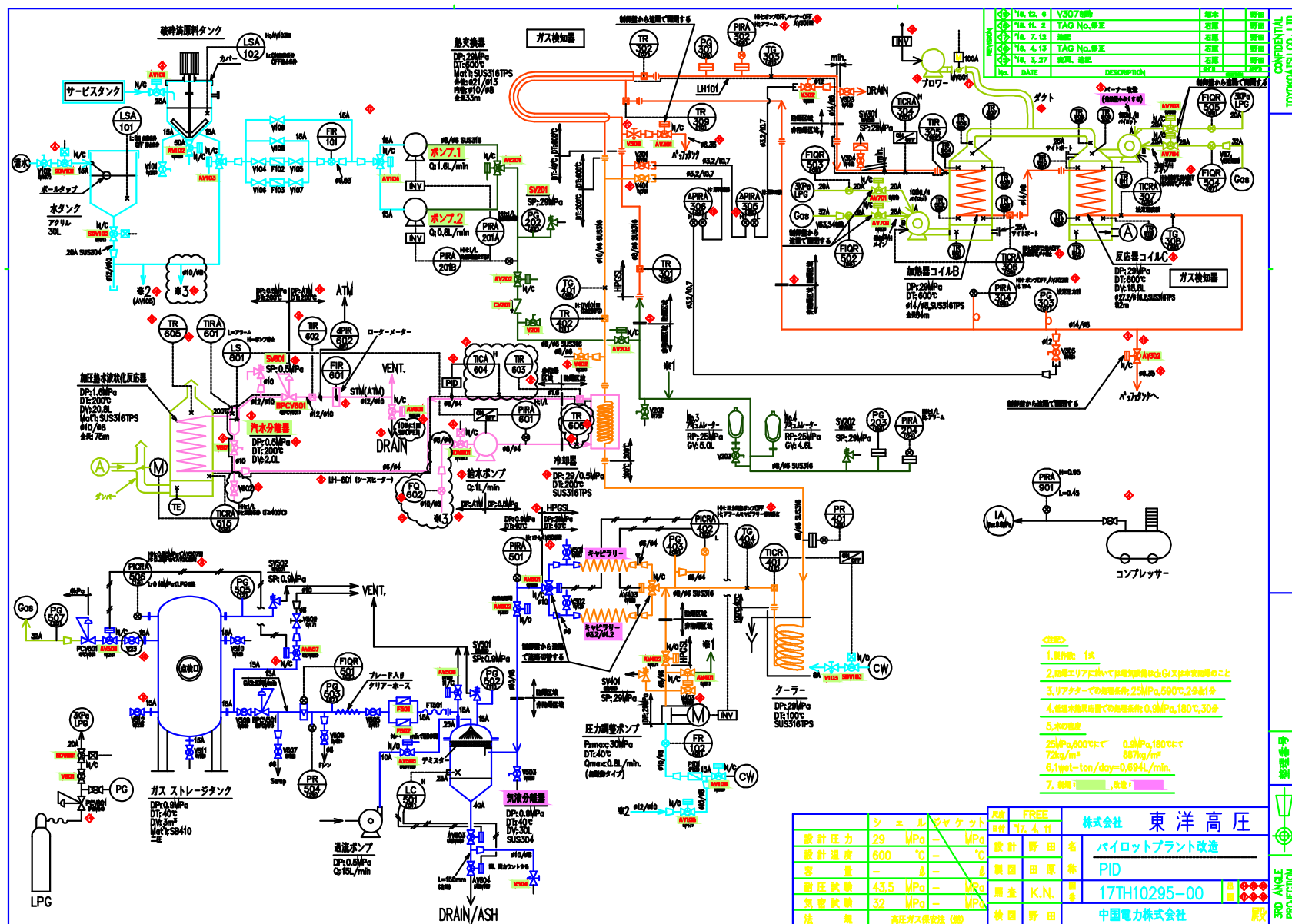
60時間運転時の熱交換器圧力損失

熱交換器の内管側の圧力損失は、タールの生成を示す。1000 kPa を越えると閉塞のおそれがある。
60時間の運転で圧力増加は 200 kPa にとどまった。



DSS 60 hr 連続運転試験 熱交換器チューブ圧力損失

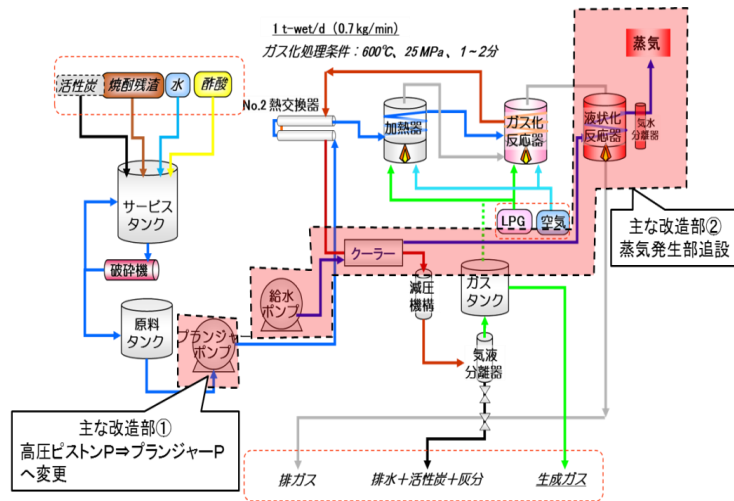
既設パイロットプラントの改造PID



既設パイロットプラントの改造内容

パイロットプラントの改造として、従来の高圧ピストンポンプからプランジャーポンプへの取替を実施するとともに、発生熱エネルギー回収の確認のために既設の液状化反応器を活用し、蒸気発生部を追設した。

各機器運転制御については、ロジックにより自動で起動停止が出来る操作盤の改造を行うとともに、運転操作要領書を作成した。



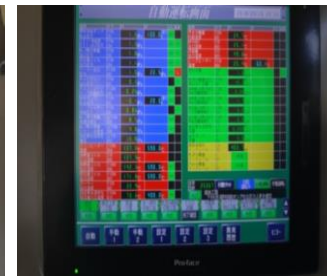
取替え



プランジャーポンプ



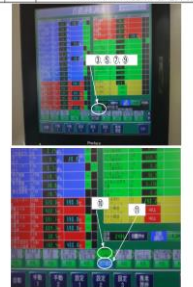
パイロットプラント制御盤



SDWGパイロット試験装置 運転操作マニュアル (5/8)

5. 水一原料処理工程 水素化反応装置工程 水素化試験

工程	機器	内容	備考
水一原料 処理工程	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
水素化反応 装置工程	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
ガス化試験 装置工程	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	
	原料	原料(活性炭・水素化剤)の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。10分(10分間隔)で、水素化剤の投入(活性炭は10kg/10分、水素化剤は10kg/10分)に注意する。	

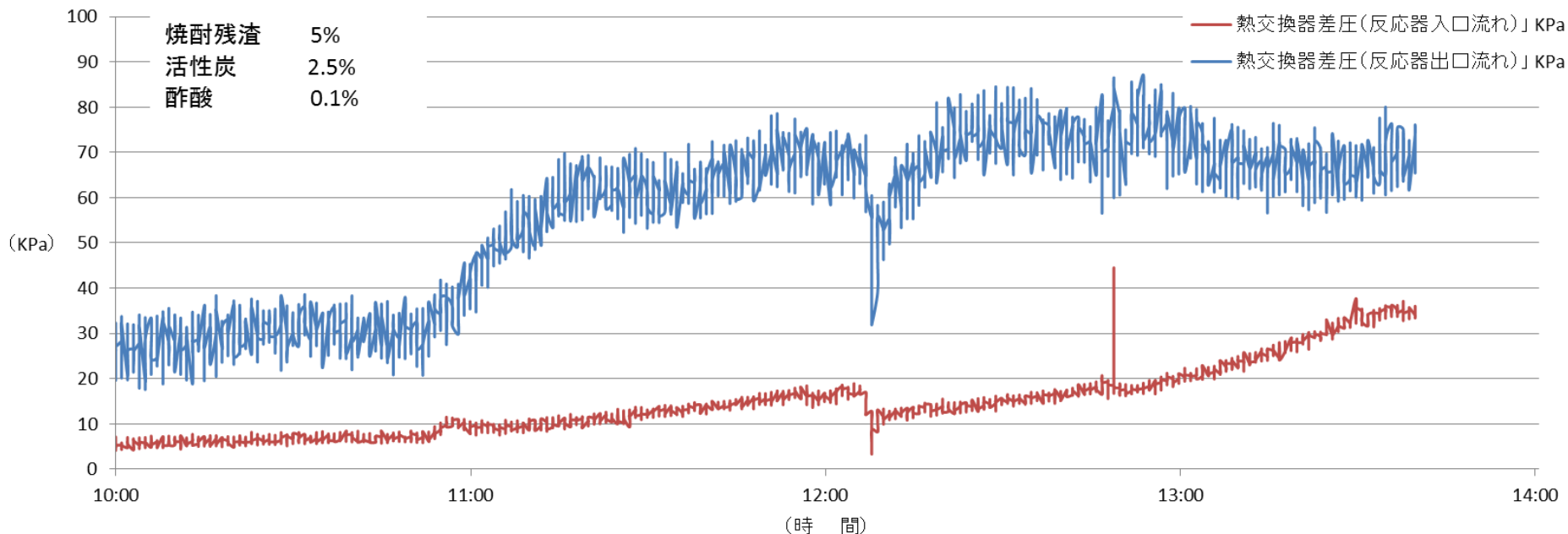


運転操作要領書

高圧ピストンポンプ

1カ月ノータルガス化実証運転時の熱交換器圧力損失

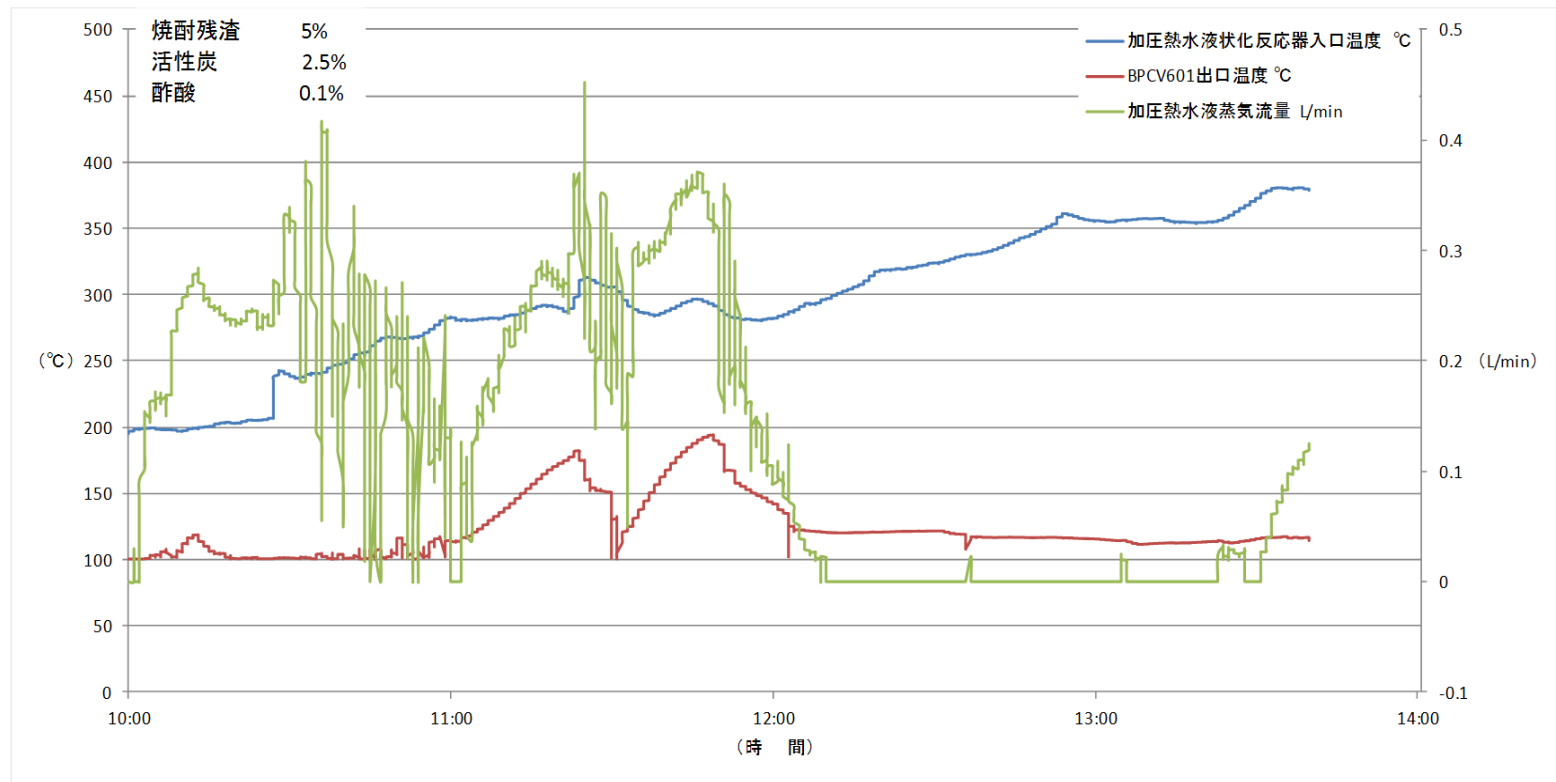
平成30年7月に原料(二条麦焼酎残渣)を受入、原料調整を行った後、酷暑期である8月を避け、9月上旬からガス化試験を開始し、平成30年度を通じて、延べ33日間・ガス化時間147時間30分を達成した。



熱交換器 内・外管差圧の推移(平成30年11月5日)

1カ月ノータールガス化実証運転時の発生蒸気エネルギー回収

発生蒸気エネルギー回収について確認を行ったところ、蒸気流量は0.2～0.3 L/min程度、プロセス効率は24.7 %にとどまったが、装置が大型化すれば、更なる熱回収が見込まれる。



蒸気発生量の推移(平成30年11月5日)

研究成果と達成状況

1. 実証試験によるプロセス評価と低コスト設計技術評価

○焼酎残渣について事業採算性があることを確認するとともに、食品廃棄物について固形分濃度が高いことへの対策として配管径を大きくする等のシステムの改造が必要だが事業採算性があることを確認した。

2. 各種含水性バイオマスについて、ラボスケールでのノータールガス化最適条件の決定

○フィルタにおいて確認されるタールは1 %以下であることを確認した。

3. ラボスケール装置を用いた、各種含水性バイオマスのガス化反応速度式の決定

○試験の結果、出口流れの有機炭素濃度に基づいてガス化率を決定した結果は、ラボスケール試験データによって得られた反応速度式で計算した結果と10 %以内の誤差で一致した。

4. 実用化装置の低コスト設計技術の急速加熱、ラジカル捕捉剤添加、高圧ポンプシステム簡素化、反応炉最適化、制御システム最適化、熱回収設備最適化による確立

○試算では14 %の削減を確認した。


5. 試験を通じた実証装置の耐久性とメンテナンス性評価

○運用方法の改善により長時間運転の見通しを得られた。

6. 添加剤に酢酸を用いた、焼酎残渣による1ヶ月のノータールガス化実証試験

○試験条件(原料濃度、ラジカル捕捉剤濃度)を変えて行い、延べ33日間・ガス化時間147時間30分を達成した。また、廃熱回収ボイラによる蒸気の発生(0.2~0.3 L/min)の確認ができた。

実用化の見通し

現状	実用化の見通しと根拠
<p>焼酎残渣は、一部の工場においてメタン発酵等による自社処理、共同処理が行われている以外、ほとんどが産廃処理されている。</p> <p>上記の要因として、メタン発酵等による自社処理・共同処理で経済性を成り立たせるためには、生産量や施設の設置スペースが十分であること、他工場と近接していること等が前提条件となることが挙げられる。</p>	<p>超臨界水ガス化装置は、処理能力0.9 t/h(現状想定 of 最大規模)以下であればメタン発酵よりも経済性を確保しやすいことを確認した。</p> <p>さらに、同装置はメタン発酵に比べコンパクトであることから、左記の普及課題の一つである設置スペースの確保を解決できる。</p>  <p>事業採算性が確保できると推定された約38%の焼酎製造工場のうち、3割が同装置を導入すると想定すると、同装置のシェアは約11%となる。</p>

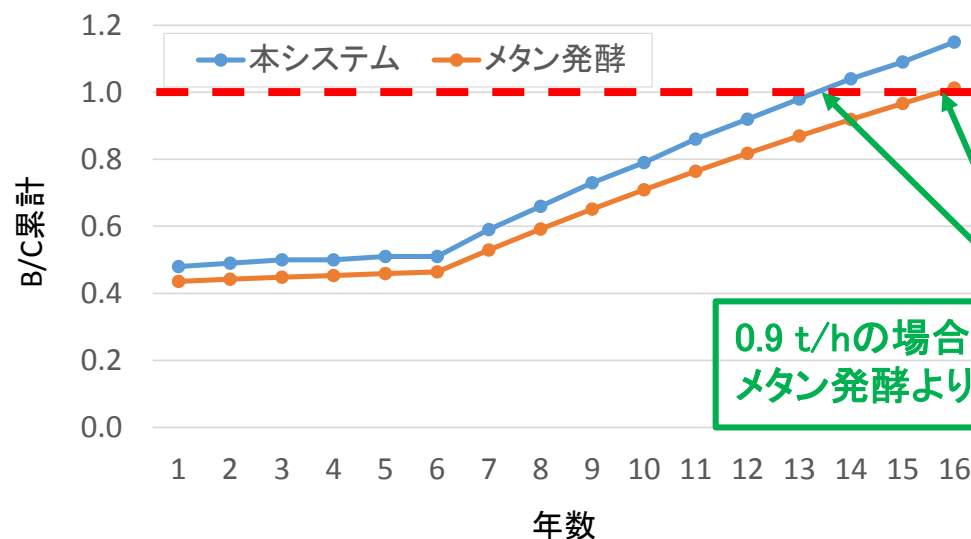
(参考データ) 本システムとメタン発酵の比較

【本システムにおいて14年程度で投資回収できる条件として以下のとおり設定】

原料: 麦・その他の焼酎残渣
焼酎製造時間: 8時間/日
焼酎製造日数: 279日/年
処理規模: 0.9t/h (7.2t/日、2,009t/年)
建設費: 2.42億円

【上記と同じ条件でのメタン発酵の建設費】

2.10億円



メタン発酵については、バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第3版、2010年1月、NEDO)を参考に整理
メタン発酵の発電量は乳牛ふん尿(固形分濃度約10%)の場合とし、売電収入は15円/kWh(場内利用)とし算出