

【課題名】CO₂排出量を半減する高効率濃縮・乾燥装置VCCの開発

【代表者】鹿島建設株式会社 間宮 尚

【実施予定年度】平成27～29年度

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

産業部門のCO₂排出量の約1%を占める濃縮・乾燥工程は化石燃料起因のボイラー蒸気に依存し、被処理物から蒸発した蒸気の熱エネルギーは大気に捨てられています。これを圧縮機で昇温・昇圧してから蒸発熱として再利用する方法は高効率であることが知られていますが、まだ確立していません。その理由として、この方法に適した水蒸気圧縮技術が確立されていないこと、水蒸気圧縮機と熱交換の最適設計、運転法案の双方が確立されていないことが挙げられます。これらを解決することでCO₂排出量を半減する濃縮・乾燥技術を普及させ、温室効果ガスの排出削減を促進するとともに、我が国の技術力の展開に繋がります。

②【技術開発の内容】

A1. 【試作機による課題抽出】

製作済みのVCC試作機を最終処分場に持ち込み、実際の浸出水を用いて濃縮・乾燥の現地試験を実施し、CO₂排出量が半減可能であること、実証機で考慮すべき改善点を確認しました。(2015年度到達)

A2. 【実証機による実証試験】

改善点を修正したVCC実証機を設計・製造し、処分場性能指針を満足することを示す工場試験(60日)を実施しました。また、浸出水以外の模擬廃液を対象とした多用途試験も実施しました。(多用途対応の実用化は2020年度中に到達見込)

A3. 【圧縮機の最適化検討】

水蒸気圧縮可能な小型圧縮機として揺動式を選定し、その耐久性試験を実施しました。また、浸出水の濃縮・乾燥時に問題となった材質の腐食対策を目的として表面処理の検討を行いました。(商用機標準設計は2017年度到達)

A4. 【VCCの評価・展開検討】・・・参考資料4

B. 開発要素のシステム統合

VCCでは水蒸気圧縮機の安定稼働が重要です。その吐出圧や吐出温を一定範囲に維持しつつ、できるだけ100℃近傍(水蒸気密度が高い領域)で稼働することで処理速度を高める運転を志向しました。そこで熱交換部分の伝熱面積や全体システムの圧力損失とのバランスを取りつつ、運転状況に応じて圧縮機の周波数やボイラーからの外部蒸気供給を調整する運転ノウハウの取得を行いました。

C. その実証

実証試験(工場試験)では、揺動式圧縮機とルーツ式圧縮機の比較検証を行いました。双方について最適な伝熱面積や設計時の留意点、立上げ時の運転法案について実験データに基づいたノウハウの蓄積を行いました。VCCは被処理物中に固形物が生じても稼働できることを基本コンセプトとしているため、伝熱面が蒸発器のジャケット部に限定されますが、蒸発器の台数や外部熱交換器(固形物がない段階)の採用の効果を実験的に確認しました。

③【システム構成】

・システム環境

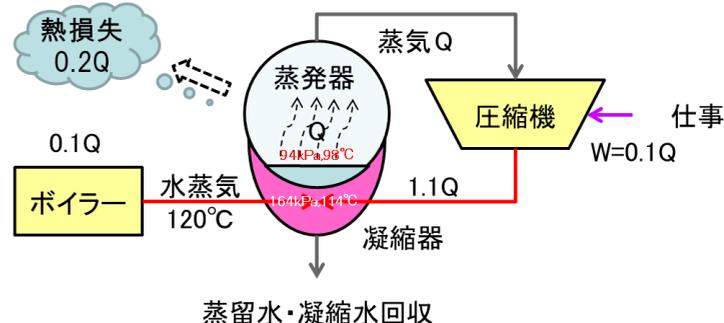
濃縮・乾燥は生産施設や廃棄物・排水処理施設が有する基本工程の一つです。例えば、クローズド型最終処分場の浸出水処理の場合、無放流のコンセプトが採用されることが多く、膜処理の後段の濃縮・乾燥工程に膨大な化石燃料が投入されています。VCCは同様の工程における化石燃料消費量を半減以下とすることを目的としています。



クローズドシステム最終処分場(無放流)

・システム構成

VCCは大きく分けて蒸発器、凝縮器、圧縮機から構成され、蒸発器で蒸発した蒸気を圧縮機で昇温・昇圧し、これを蒸発器と接した凝縮器で熱交換することをコンセプトとし、これに処々の改善を加えてボイラー起因の水蒸気量を大幅に低減するものです。



④【技術開発の目標・リスク】

- 想定ユーザ・利用価値: 濃縮・乾燥工程を有する事業者。300L/hのVCCの場合、当該工程からのCO₂排出量を半減し、ESGに資する価値を投資回収2年程度で獲得できます。
- 目標となる仕様及び性能: 濃縮・乾燥工程でのCO₂排出量を従来型比で1/2に低減することが目標です。その際の機器仕様は150L/hと、750L/h、耐用年数は被処理物に依存、圧縮機COPは10以上、化石燃料消費量を1/5以下、システムCOPは5以上、現在、単独で販売可能な製品とすることを目標としています。
- 開発工程のリスク・対応策: VCCの新規性は水蒸気圧縮機の選定と利用法にあります。水蒸気圧縮機の維持管理が課題であり、ハードの改善・ソフト対応を今後も継続します。

(2)実施計画等

①【実施体制】

鹿島建設は1990年代の後半からVCCの開発を開始し、知見を集積してきました。VCCは適用対象が広いため、鹿島建設のニーズに近い最終処分場の浸出水処理に対象を集約して最適化を目指してきました。鹿島環境エンジニアリングは処分場維持管理の実績を有し、VCCの開発によって浸出水処理施設の維持管理の上流、すなわち計画・建設段階からの関与を目指してきました。

今後はVCCの営業を両社で行い、顧客ニーズに合致した設計、必要なR&Dを鹿島建設が、製造管理、販売元請を鹿島環境エンジニアリングが実施して行く予定です。



A1. 試作機による課題抽出

試作機を浸出水処理施設にて稼働し、実証機設計で考慮すべき知見の確認を実施

A2. 実証機による実証試験

実証機の設計・製造・試運転後に、処分場性能指針を遵守できることを確認

A3. 圧縮機の最適化検討

揺動式圧縮機に関して長期水蒸気圧縮による耐久性確認と耐久性向上を検討

A4. VCCの評価・展開検討

統一した条件下でVCCのCO₂排出削減効果を定量評価

②【実施スケジュール】

	H27年度	H28年度	H29年度
A1. 試作機による課題抽出	→		
	19,094千円		
A2. 実証機による実証試験		→	
	3,780千円	67,142千円	69,400千円
A3. 圧縮機の最適化検討			→
	18,840千円	41,178千円	12,440千円
A4. VCCの評価・展開検討			→
		机上検討	
その他経費	7,242千円	26,680千円	19,160千円
合計	49,000千円	135,000千円	101,000千円

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	鹿島環境エンジニアリング株式会社
--------------	------------------

- ・2018年までに、商品受注・製造・販売開始(営業・設計・製造体制の構築)
- ・2019年までに、標準設計を終了、関連企業、代理店と協力して拡販開始
- ・2022年までに、圧縮機の最適化を含めた維持管理体制の再構築を実施

○事業展開における普及の見込み

製造委託メーカーの倒産により、現在、製造体制の立て直しを図っています。2018年度は濃縮・乾燥機7台、2019年度以降に濃縮・乾燥機12台を製造可能な体制とし、その中でVCCへの置き換えを図っていきます。

- ・導入コスト目標(300L/h) : 9,000万円(従来品の価格:6,000万円)
- ・運用コスト目標(300L/h) : 740万円/年(従来品の価格:2,200万円/年)
※光熱費以外は除く
- ・製品単純回収年数: 2年程度

○年度別販売見込み(300L/hとして記入、ライセンス供与分は含まず)

年度	2020	2025	2030
目標販売台数(台)	5	10	20
目標累積販売台数(台)	8	48	128
目標販売価格(円/台)	9,000万円	8,000万円	6,000万円

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・CO₂排出低減に対するインセンティブが政策に盛り込まれることが必要
- ・初期コスト増加への懸念が大きいことからリースでも交付金が使えることが望ましい
- ・圧縮機の耐久性向上、メンテフリーによる維持管理の簡素化、低コスト化が進むこと

④【エネルギー起源CO₂削減効果】

開発品(300L/h)1台当たりのCO ₂ 削減量(t-CO ₂ /台・年)	400
--	-----

VCCのラインアップは150L/hから750L/hまで考えています。需要平均は200L/hですが、実際には50~100L/hと250~300L/hが多いと考えており、ここでは全てが300L/hの機種であるとしてCO₂排出削減効果を示します。

年度	2020	2025	2030
CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	0.32	1.92	5.12
累積CO ₂ 削減量(万t-CO ₂)	0.48	6.48	24.88
CO ₂ 削減コスト(円/t-CO ₂)(2020年度は不要)		4,400	1,145

≒環境省から受ける補助総額(円)÷当該年度までの累積CO₂削減量(t-CO₂)

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- ・VCC試作機を最終処分場に持ち込み、実際の浸出水の濃縮・乾燥を行い、VCCの適用可能性、課題の抽出、CO₂排出量半減の可能性を確認しました。
- ・VCC実証機(揺動式圧縮機、ルーツ式圧縮機の両方を適用)を設計、製造し、多様なモードの運転法案の作成を行いました。さらに、この実証機を用いて処分場性能指針に従って模擬廃水を用いて1m³/日以上、60日以上稼働を行い、処分場での適用を可能としました。
- ・揺動式(150L/h)、ルーツ式(750L/h)でCO₂排出量半減の可能性を確認しました。
- ・揺動式圧縮機に対して1,000時間の水蒸気圧縮を行わせ、耐久性を確認しました。
- ・揺動式圧縮機の吐出弁、吸入弁のフッ素樹脂による耐食方法を構築しました。
- ・塩水を濃縮・乾燥するシステム(150L/h、750L/h)は完成しました。
- ・塩水以外の廃液でも揮発成分以外を高効率で分離可能であることを確認しました。

②【CO₂削減効果】 計算根拠は参考資料4

○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン A-a, II-ii)

- ・国内潜在市場規模:2.5万台(既設の従来システムのストック台数推定値)
(経済産業省生産動態統計年報に基づき推計、平均処理能力を3m³/日と設定)
- ・2020年度に期待される最大普及量:8台
(生産能力増強計画に基づく最大生産台数5台。従来機の販売台数は年間7台)
- ・VCC商用機(300L/h)1台当たりのCO₂削減量:200t/年(従来機:600t/年)
- ・年間CO₂削減量:0.32万t-CO₂

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン A-a, II-ii)

- ・国内潜在市場規模:2.5万台(既設の従来システムのストック台数推定値)
(経済産業省生産動態統計年報に基づき推計、平均処理能力を3m³/日と設定)
- ・2030年度に期待される最大普及量:128台
(生産能力増強計画に基づく最大生産台数20台。従来機の販売台数は年間24台)
- ・VCC商用機(300L/h)1台当たりのCO₂削減量:200t/年(従来機:600t/年)
- ・年間CO₂削減量:5.12万t-CO₂

③【成果発表状況】

- ・2017年7月6日 鹿島建設株式会社よりプレスリリース「燃料費を大幅に削減できる高速濃縮・乾燥システム「V-Cycle」を開発」
建設工業新聞、建設通信新聞、建設産業新聞、化学工業日報、日経産業新聞、日刊工業新聞で掲載。
- ・土木学会年次講演会(2016年9月7日～9日)「浸出水処理の高度化による温暖化対策」(発表者:間宮尚)
- ・エネルギー資源学会研究発表会(2017年6月)「CO₂排出量を半減する濃縮・乾燥システムの開発と検証」(発表者:間宮尚)
- ・土木学会年次講演会(2017年9月11日～13日)「浸出水処理における濃縮・乾燥工程の低炭素・低コスト化技術」(発表者:間宮尚)
- ・土木学会環境システム研究発表会(2017年10月21日～22日)「CO₂排出量を半減する濃縮・乾燥システムの実用化」(発表者:間宮尚)
- ・エネルギー資源学会コンファレンス(2018年1月25日～26日)「浸出水処理における濃縮・乾燥工程の低炭素・低コスト化技術」(発表者:北島洋二)

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

- ・製造体制の建て直しを行い、2019年までは7台/年、それ以後は12台/年の濃縮・乾燥装置を鹿島グループ主導で納品できるようにします。
- ・上記の内のVCCを比率を高めるために、圧縮機試験兼デモができる装置を作成し、R&Dの継続とVCCの営業を2018年内に開始します。
- ・鹿島グループの総合力を利用し、リースによる顧客への提供を検討します。これにより、初期コストの増加リスクを顧客から排除する営業を開始します。
- ・揺動式圧縮機のコストダウン、維持管理の簡素化を継続的に実施します。
- ・圧縮機のコストダウン、維持管理の簡素化の一環として、2018年以降、ターボ式圧縮機の検討に着手します。
- ・2018年度にL2-Tech認証を目指します。
- ・2025年を目処として、ライセンスによる製造・販売台数の増加を検討開始します。

○事業拡大シナリオ

年度	2018	2019	2020	2025 (最終目標)
当社グループ製造予定計画	1台	2台 (延3台)	5台 (延8台)	10台 (延48台)
製造体制再構築	7台	7～12台	12台	24台
圧縮機試験兼デモ装置	製造	試験	顧客試料の試験	
揺動式圧縮機の 維持管理簡素化・コストダウン	耐食弁 長期試験	胴体の コストダウン		
メンテフリーターボ圧縮機の検討	机上検討	詳細設計	デモ装置で検証	
代理店強化 ライセンス付与による拡販			5 (5)	10 (45)

※ 2020年代前半までに圧縮機の改善を含めて商品の完成させます。2025年以降、ライセンス等の付与により拡販を進め、パリ協定の国際協定遵守に寄与します。

○シナリオ実現上の課題

- ・生産体制の構築が計画通りに進むこと。
- ・CO₂排出低減に対するインセンティブが政策に盛り込まれ、顧客がCO₂排出量の少ない機器を選ぶ環境が創出され、市場が形成されること。
- ・顧客が初期コスト増加を懸念する傾向が強いことから、リースでも交付金を使える体制が認められること。
- ・圧縮機の耐久性向上とコストダウンが進み、維持管理の負荷が低減されること。
- ・ターボ圧縮機の詳細設計、試作、試験に関して補助金等が取得でき、工程通りに開発が進み、維持管理の簡素化が達成されること。

○参考資料1

A1.【試作機による課題抽出】

- ・VCC試作機を最終処分場に持ち込み、実際の浸出水を濃縮・乾燥させてVCCの性能を定量的に把握しました。
- ・浸出水処理工程の4カ所から試料水を採取して濃縮・乾燥を行い、浸出水の濃度に関係なく、VCCで濃縮・乾燥可能であることを確認しました。
- ・また、電力消費量、ボイラー蒸気使用量から、VCC試作機のCO2排出量が従来機と比較して1/3程度であることを確認しました。
- ・なお、VCC試作機は蒸発器と凝縮器の界面だけでは伝熱面積が足りないことから、蒸発器内部に管状の熱交換部位を付与していましたが、乾燥工程で乾燥塩がこの管に固着して回収できない状況が確認されました。
- ・このことから、塩水を対象とする際には伝熱面積の増強を蒸発器内の管に求めることができないという知見を得ました。
- ・以上の結果をVCC実証機的设计に活かすこととし、具体的には蒸発器と凝縮器の界面の面積で必要面積を得る方法と、塩が析出するまでは被処理物を循環して外部の熱交換器を利用し、乾燥は従来型とする方法の双方を検討できるようにしました。



現地試験テント内の様子



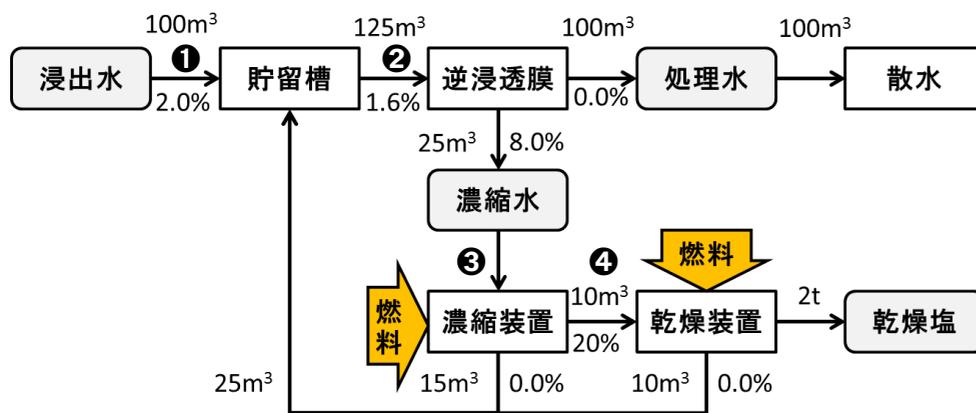
蒸発器内の沸騰状況(析出開始後)



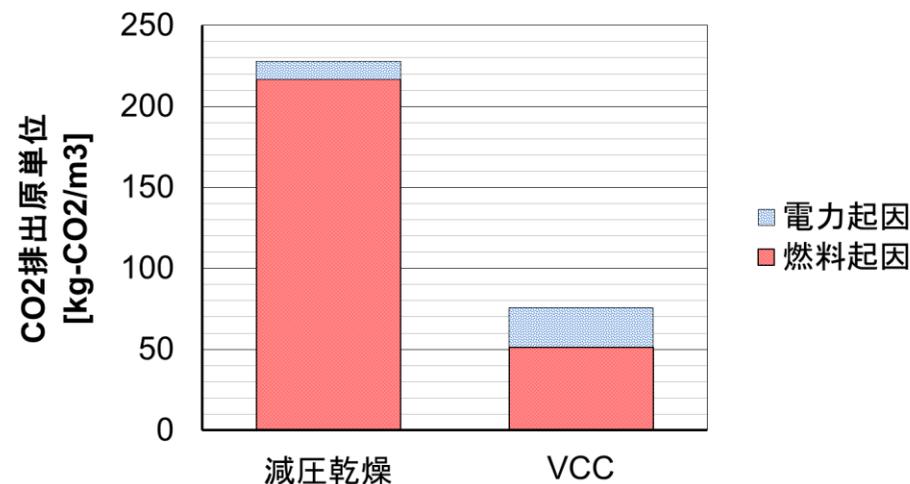
現地試験テント内の様子



蒸発器内の乾燥塩の状況



浸出水処理工程(試料採取箇所①~④)



現地試験に基づくVCC試作機のCO2排出特性

○参考資料2

A2.【実証機による実証試験】

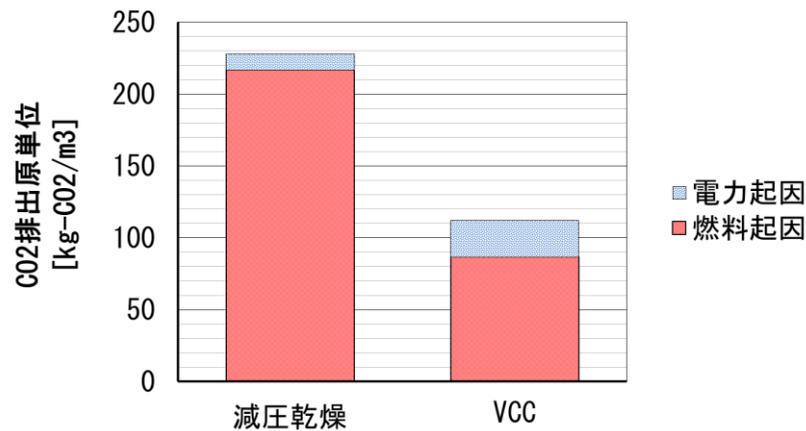
- ・VCC実証機はVCC試作機4基に相当する蒸発釜(蒸発器・凝縮器)と揺動式圧縮機ユニット、ルーツ式圧縮機ユニットから構成され、多様な実験が可能となっています。
- ・2016年度は上期に設計・製造を行い、下期に多様な運転方法の調整を実施しました。
- ・2017年度は処分場性能指針の要件をVCCが満たすべく試験を行い、VCC単独で浸出水処理を行うことを可能としました。
- ・また、VCCは適用先が多く考えられることから、濃縮・乾燥の用途を調査を行い、模擬切削廃液に対する試験を行いました。その結果、清澄な凝縮水が回収されました。
- ・しかし、蒸発温度が100℃近傍と高く(減圧乾燥の70℃と比較して)、揮発性成分の移行が見られました。
- ・顧客仕様により、蒸留水中の有機酸やアンモニアの濃度に制限がある場合には、低圧での運転が必要となるため、それは今後のR&D課題と考えています。



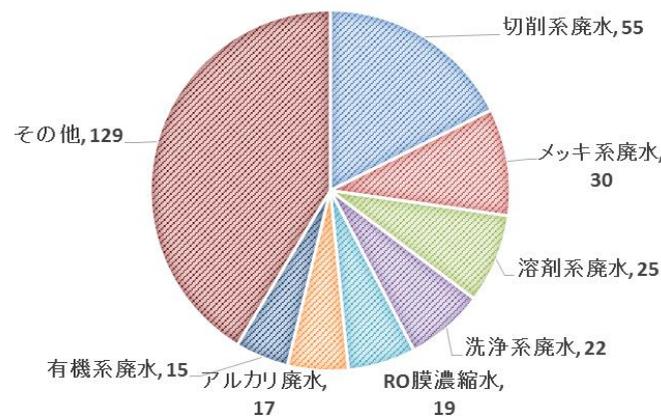
VCC実証機の外観

工場長期試験の実施結果

運転日数	66日
(うち蒸発量1 m ³ /日以上)	(62日)
平均処理量	約1.33 m ³ /日
総処理量	約82,000 L/期間内



工場試験に基づくVCC実証機のCO2排出特性



従来型減圧濃縮・乾燥の用途



模擬切削廃液試験資料
(左から原液、乳化液、凝縮水、蒸留水)

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 7.1点（10点満点中）
- 評価コメント

[技術開発として優れている点]

- CO₂の発生を50%抑制するとともに、実際に製品化して社会実装が進んでおり、確実な成果が得られていることは評価できる。

[今後の課題]

- 実際の使用状況を踏まえたメンテナンス方法の検討に努めること。
- 小型から中型機を含めた新しい圧縮機の開発・改良を進め、早期の普及に努めること。
- より経済性の高いシステムの製品化に向けて技術開発を進めることを望む。

[その他]

- ニーズにあった、幅広い用途に対応できるような展開を期待する。