

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「低コスト電力貯蔵用電池実現に向けて石油コークス燃焼煤からバナジウムを回収する前処理用新型燃焼炉の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局

関東経済産業局

補助事業者 株式会社つくば研究支援センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標
 - 1－1－1 研究開発の背景
 - 1－1－2 研究開発の目標
 - 1－1－3 研究開発課題
- 1－2 研究体制
 - (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1－3 成果概要
- 1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 1－1 下方流燃焼炉の特徴
- 1－2 下方流燃焼炉の試作機による検討
- 1－3 クリンカ発生抑制及び燃焼の安定性対策
- 1－4 下方流燃焼炉の基本構成
- 2－1 パイロットプラントの概要
- 2－2 粉体投入方法の検討
- 2－3 炉床コンタミネーション対策
- 2－4 炉内アルカリ焙焼プロセスから炉外アルカリ抽出への変更
- 3－1 パイロットプラントの連続燃焼と自動化
- 3－2 自動化の為のデータ取得及び燃焼シミュレーション
- 3－3 熱回収システムの検討
- 3－4 連続燃焼試験
- 3－5 下方流燃焼炉実機コスト試算

最終章 全体総括

- 1－1 研究開発成果まとめ
- 1－2 研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

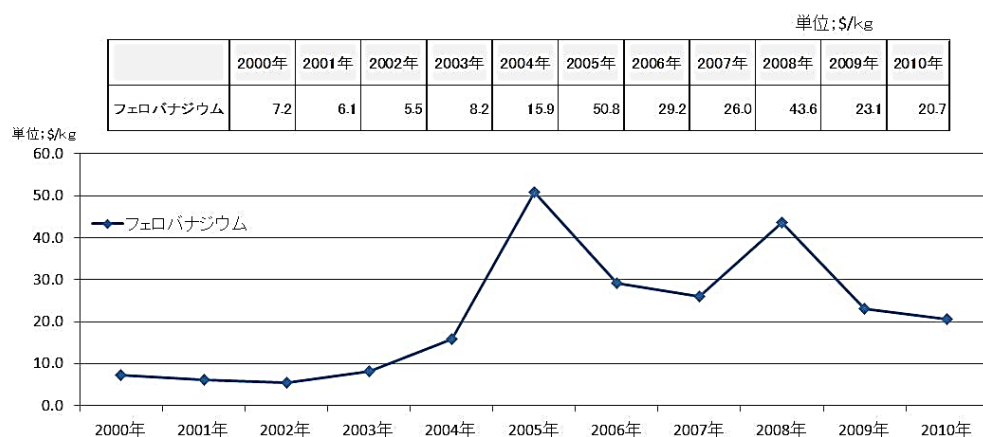
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

経済産業省は、エネルギー革新戦略(H28年4月)において再生可能エネルギーの導入水準を2030年度に全体の22%~24%にする目標を掲げているが、2017年度の再生可能エネルギー発電実績は6%に過ぎなかった。再生可能エネルギーの普及が叫ばれる中、出力変動緩和に適した大型蓄電池の技術開発は国の重要課題となっている。大型蓄電池の中でも、「安全」「長寿命」「大型化が容易」といった特徴を持つバナジウムレドックスフロー電池(以下:VRFB)は、国内外で技術開発が行われているが、電解液にバナジウムを用いるため、鉱山からの5酸化バナジウム調達の場合、常に市場が変化し、時に輸出制限が行われることから「高価」「変動要因が多い」「調達リスクが多い」という問題を抱えている。

当社はこのVRFBの有用性に着目し、事業化へ向けて開発を進めているが、電解液に用いるバナジウムの価格が電解液の価格にはねかえり、リチウムイオン電池やナトリウム硫黄電池といった競争相手に対してコストの面で押されているのが現状である。また、大型蓄電池であるため大量のバナジウムを安定的に調達する必要があり、安価で安定供給可能な電解液調達方法の確立が急務となっている。

1-1-2 研究開発の目標



グラフ 1. バナジウム価格推移

上記のグラフ 1はバナジウム価格の推移を表している。2005年頃に、南アの鉱山閉鎖、中国の需要急増により、バナジウムの価格が高騰したことで実証実験等が進んでいたバナジウムレドックスフロー電池事業撤退を決定した企業もあった。現在のバナジウム価格は、70ドル/kgと過去に例のない高騰した価格となっている。高価格のバナジウム原料から安価な電解液を製造もしくは調達することは不可能である。

このため、弊社では安定して大量に排出される石油コークス火力発電所の電気集塵煤からバナジウムを回収することに着目した。現在、国内でも年間100万トン強の石油コークスが燃焼されており含有バナジウム量は1,000トンから1,500トンに達すると想定される。

電気集塵煤は産業廃棄物であるが2%程度のバナジウムを含んでおり、ここからバナジウムが効率的に回収できれば安定的なバナジウム調達と産業廃棄物処理の双方が可能になる。

本事業では、バナジウム回収の高効率化の為に、電気集塵煤中の大部分を占める未燃カーボンを自燃させる燃焼炉の開発を目的とする。バナジウム回収プロセスの中で、下方流燃焼炉を用いた電気集塵煤80%を占める未燃カーボンを自燃させ1/5の減容化を行うことで、後工程の分離抽出工程の小規模化、高効率化が可

能となる。下方流燃焼炉は低温(600℃付近)で燃焼することから減容化した処理物中のバナジウムに熱変化を与えることなく、更に未燃カーボン自らのエネルギーで燃焼することから外部燃料を必要としない(ブローアの吸引だけ)ため、助燃材燃焼によるCO₂排出もないクリーンな自燃燃焼炉である。このような微粉末を自燃する炉技術の実用炉は他にないことから、今後の実用化に向けた改良(連続投入、燃焼速度向上(差圧抑制)、熱回収等)を踏まえた下方流燃焼炉を試作し、実用炉導入に向けたコスト試算等を実施する。

(十)材料製造プロセスに係る技術に関する事項

1 材料製造プロセスに係る技術において達成すべき高度化目標

(3)川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

エ環境・リサイクルへの対応

1-1-3 研究開発課題

1.新型燃焼炉の開発(多段式下方流燃焼炉の開発及び最適燃焼技術の開発)

石油コークス(PC)燃焼煤には 2%程度のバナジウムを含んでいること及び未燃カーボン(80%)も多く含まれていることに着目し、石油コークス(PC)燃焼煤を焼却する下方流燃焼炉の評価用試験機(燃焼量;5kg/h)を試作した。評価用試験機結果に基づき今回の新型燃焼炉の開発仕様を求めるに当たり以下の開発作業を実施する。

① 評価用試験機でのデータ取得及びデータ整理

- ・セラミック径・高さと燃焼速度の関係、セラミック温度と燃焼速度の関係、燃焼温度とバナジウム溶出率の関係、攪拌方法(回転・直線)とセラミック表面温度等の各種傾向データを取得する。
- ・バナジウム回収率、焙焼温度、燃焼速度、燃焼率等の最適条件が判断可能なデータを整理する。

② 多段式燃焼炉構造の検討及びセラミック構造の検討

- ・上記①の試験データより燃焼効率向上に最適な燃焼炉の段数決定、セラミック構造(表面積、厚さ)等燃焼炉本体の基本設計仕様を決定する。

③ 焙焼温度、燃焼速度、燃焼率等の制御が可能な制御システムを構築

2.アルカリ焙焼技術の開発

(Na 塩投入による最適溶融条件の検討及びアルカリ焙焼最適プロセスの開発)

多段式下方流燃焼炉により当社の川下工程で実施する高純度バナジウム回収の為の前処理技術としての、新アルカリ焙焼技術を開発する。

① アルカリ焙焼のシミュレーション手法を開発する

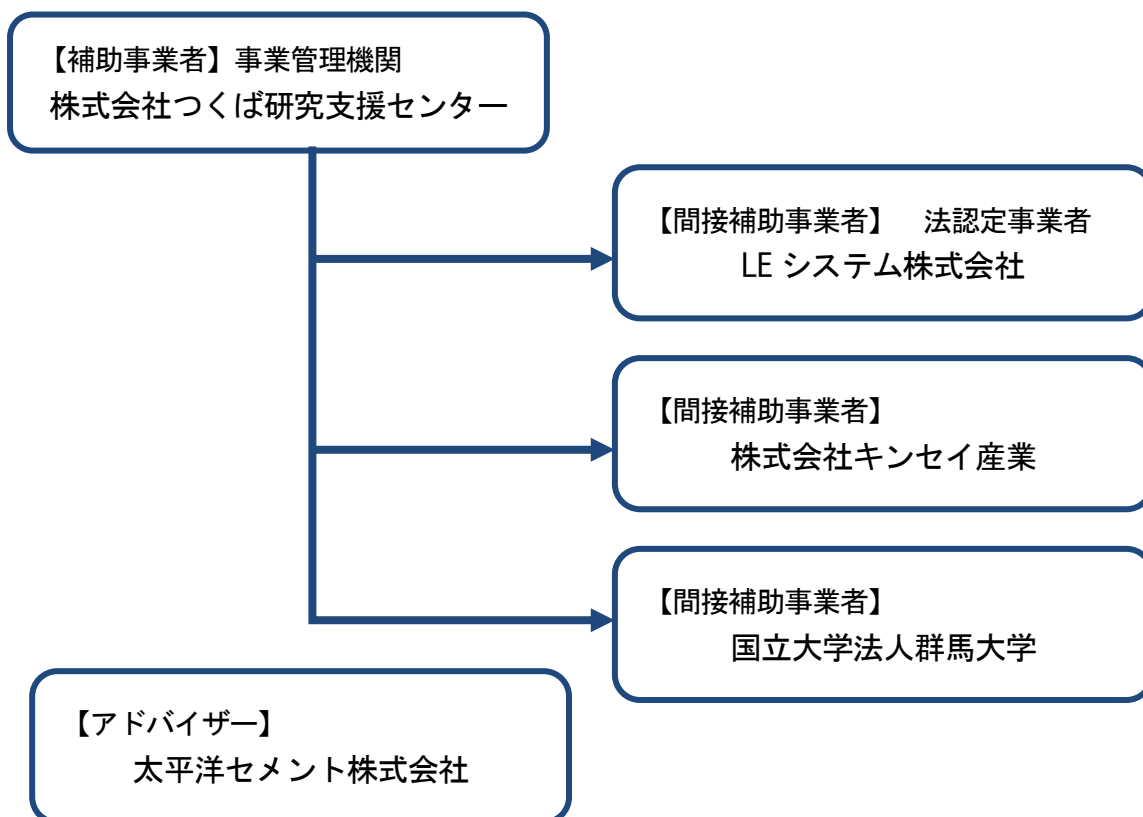
② Na 塩投入箇所及び投入間隔・投入量の検討

- ・多段式下方流燃焼炉に於ける Na 塩を投入する箇所と NaVO₃ 化合物になる最適な燃焼温度の関係を検討する。(NaVO₃ は可溶化する)

③ 不純物除去方式の検討

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制



(2) 管理員及び研究者氏名

【事業管理機関】 株式会社つくば研究支援センター

氏名	所属・役職
高田 青史	地域支援部次長
高木 潔	地域支援部

【法認定事業者 兼 研究実施機関】 LE システム株式会社

氏名	所属・役職	備考
平野 啓二	つくば研究所 副所長	P L
古川 英樹	つくば研究所 所長	S L
佐藤 完二	つくば研究所 顧問	
伊坂 久	LE システム 取締役	

【研究等実施機関】 株式会社キンセイ産業

氏名	所属・役職
金子 啓一	常務取締役 開発企画部部長
羽鳥 正春	業務部 課長
田村 浩貴	開発企画部

【研究等実施機関】 国立大学法人 群馬大学

氏名	所属・役職
宝田 恭之	大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
神成 尚克	大学院理工学府 環境創生部門 助教

1-3 成果概要

課題 1

多段式下方流燃焼炉の開発及び最適燃焼技術の開発

研究目標: バナジウム回収率 80%、焙焼温度 800℃以下、燃焼速度 100kg/h/m²

燃焼率 80% (3 年後の目標値)

成果: 新型下方流燃焼炉での粉体燃焼に関して、650℃～750℃での安定燃焼を確立。硫安含有粉体に関してのクリンカ発生も無く、燃焼率は 90%以上を達成。

課題 2

多段式下方流燃焼炉のシミュレーション手法及びパイロットプラントの設計・製作

研究目標: バナジウム回収率 80%、焙焼温度 700℃、燃焼速度 100kg/h/m²、燃焼率 80%

(3 年後の目標値)

成果: 炉内燃焼状況を推定するシミュレーション方法を策定。実燃焼炉でのフィードバック制御を可能とするシステムを構築し、実燃焼試験で目標の達成を確認した。

課題 3

Na 塩投入による最適溶条件の検討及びアルカリ焙焼最適プロセスの開発

研究目標: 下方流燃焼炉によるアルカリ焙焼技術の開発 (3 年後の目標値)

成果: 下方流燃焼炉での炉内でのアルカリ焙焼プロセスから炉外での水溶解プロセスへと変更。

下方流燃焼炉内でのアルカリ焙焼の際に、低融点塩の生成により炉内クリンカの発生を回避する事は非常に困難であるため、炉外での水溶解プロセスによるバナジウム抽出法に変更。加熱苛性ソーダ溶液中での抽出とプロセスを変更し 80%の抽出率を達成した。

課題 4

下方流燃焼炉の評価試験における自動化のためのデータ取得及び燃焼シミュレーション

研究目標: 燃焼の自動化を可能とするための各種データを取得し、シミュレーション結果に基づいたフィードバック制御を可能とする。

成果: 一定温度域での安定燃焼状態を得られるまで、燃焼試験を行い、安定燃焼に必要なデータを取得した。一定温度域での自燃焼による連続燃焼を可能とする制御方法と条件が得られた。

課題 5

下方流燃焼炉の運転の自動化

研究目標: 制御盤と監視装置の改良工事を実施し連続運転を可能とする。

成果: 制御盤と監視装置の改良工事を実施し、自燃焼の連続運転が可能となった。投入・攪拌装置の改善工事も実施することで、詰まり等トラブル対策も行い、自動化の阻害要因を取り除いた。

課題6

下方流燃焼炉の熱回収システムの検討

研究目標: 熱回収システムで、燃焼用空気を加温した場合、また回収した熱を電気集塵(EP)煤の乾燥に使用した場合を仮定し、乾燥前後のEP煤で燃焼率の変化を検証。

成果: 熱交換器による燃焼用空気の加温の有無でデータを取得し、燃焼率の変化を測定した。燃焼率には大きな変化は見られなかった。燃焼の安定性は向上した。

課題7

下方流燃焼炉の連続燃焼試験

研究目標: 制御盤の改造後、燃焼試5時間程度の連続燃焼試験を実施する。

成果: 自燃焼状態で連続5時間の一定温度域で燃焼を連続3日、計7回実施できており、補助燃料を用いない24時間の連続燃焼が可能と判断する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

LE システム株式会社

つくば事業所: 〒300-4212 茨城県つくば市神郡 369-2

副所長 平野 啓二

TEL: 029-893-5455 FAX: 029-893-5456

E-mail: k-hirano@lesys.jp

第2章 本論

1-1 下方流燃烧炉の特徴

開発する下方流燃烧炉は、石油コークス火力発電所排出電気集塵煤(EP煤)からのバナジウム回収に着目した燃烧炉で、下方流とすることによって、微粉末状態のEP煤中に含有されるバナジウム成分を飛散させることなく回収するためである。前記の目的を主とし、同時にロータリーキルン方式に比較し、自然燃烧による省エネ、装置、付帯設備を含め装置の低コスト化も同時に達成可能な炉である。図1にEP煤の処理に利用されるロータリーキルンと新規に開発する下方流燃烧炉装置の違いを示した。

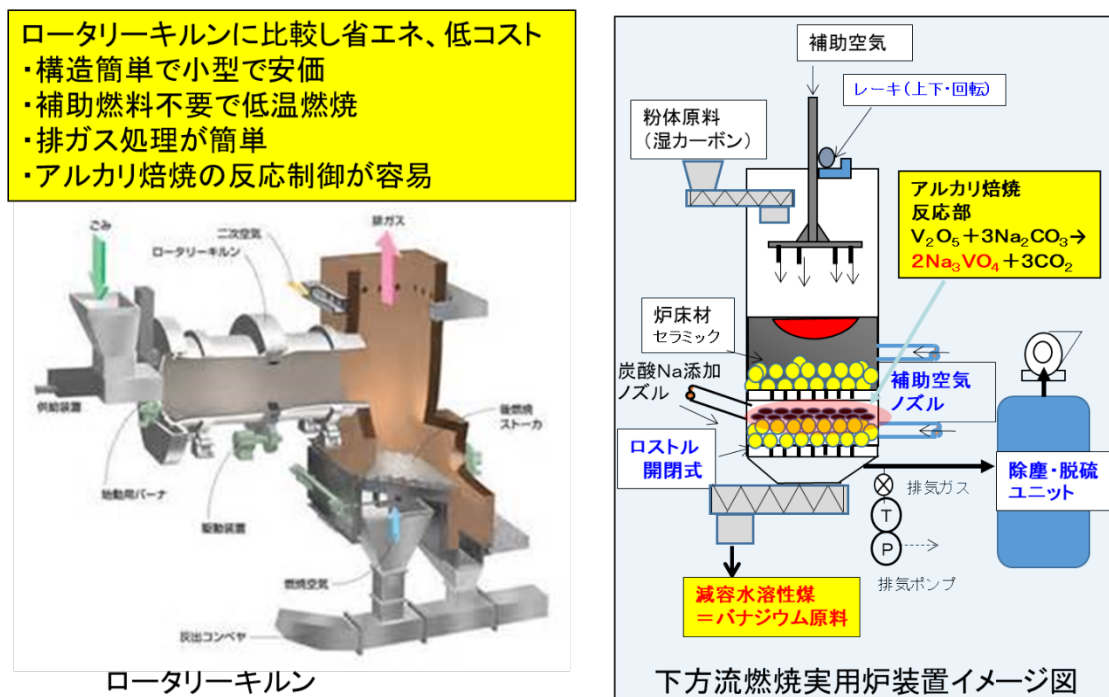


図1. ロータリーキルンと下方流燃烧炉装置の比較

1-2 下方流燃烧炉の試作機による検討

下方流燃烧炉の基本設計を進めるため図2のような小型の試験機を製作し燃烧評価を行った。主な検討項目はクリンカの発生を抑制する攪拌方法、燃烧温度、燃烧段数、セラミックボール等の径等である。これらの検討結果を表1にまとめた。

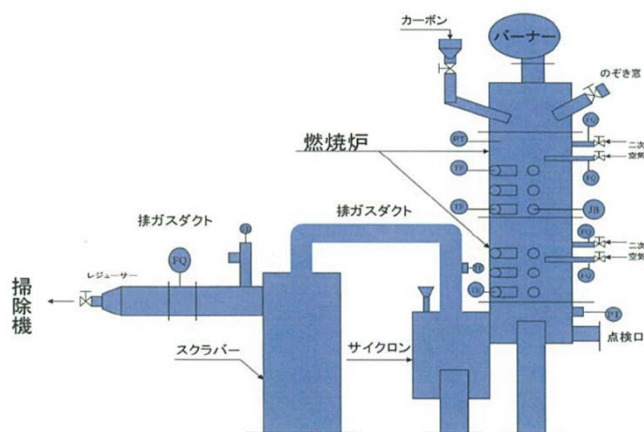


図2. 下方流燃烧炉の基本設計

表1.試験機燃焼試験結果の概要

テストNo.	実験日時	試験内容	炉床段数	炉床粒形(mm)		炉床高さ(mm)		炉床攪拌	煤投入量 (kg/h)	燃焼率(%)	燃焼能力 (kg/m ² /h)	クリンカ
				上段	下段	上段	下段					
1-1	20150409	初回燃焼試験	1	-	5	-	200	縦回転 丸棒式	1.1	41.8	16.1	有
1-2	20150410	攪拌変更によるクリンカ 防止	1	-	5	-	200	縦回転 ブレード式	1.9	53.1	22.3	有
1-3	20150417	攪拌羽根形状変更	1	-	3	-	200	縦回転 ブレード式	1.9	46.7	17.6	有
1-4	20150421	攪拌羽根形状変更	1	-	5	-	200	縦回転 ブレード式	2.9	61	35.2	有
1-5	20150428	二次空気の効果確認 (炉床上面)	1	-	3	-	200	縦回転 ブレード式	3	58.8	39.2	有
1-6	20150501	二次空気の効果確認 (炉床内)	1	-	5	-	200	縦回転 ブレード式	3	62.4	41.6	微小
1-7	20150509	ジェットブラスターによる 炉床攪拌	1	-	3	-	200	ジェット ブラスター	3	54.8	32.2	有
1-8	20150512	燃焼炉段数増の効果	2	3	3	200	200	ジェット ブラスター	3	66.8	23	無
1-9	20150514	燃焼炉段数増の効果	2	3	3	200	200	ジェット ブラスター	3	24.8	17.9	無
1-10	20150521	セラミック層厚さの影響	2	3and5 混合	3and5 混合	330	300	ジェット ブラスター	3	38.8	25.8	有
1-11	20150528	セラミック径変更	2	0.5~1	3	200	200	ジェット ブラスター	3	91	53.4	有
1-12	20150611	最適条件での再現性確 認	2	3	3	200	200	ジェット ブラスター	2.9	70	41.1	有

表1では、試験 No.1-12 は試験 No.1-9 と同条件での試験を行ったが、結果としてクリンカの有無、燃焼能力ともに異なる結果となっている。炉試験毎の再現性、安定性が得られていない。この問題点を解決するため、①クリンカの発生、②燃焼の安定性への対策が必要なことが明確となった。

1-3 クリンカ発生抑制及び燃焼の安定性対策

①原料投入方法の変更

炉内過熱および攪拌の不足によるクリンカ発生が見られる。クリンカ発生による炉床の固着は燃焼炉の機能不全に直結するため、クリンカの発生しない炉の運転条件を見いだす必要がある。まず炉内への EP 煤原料投入を、定時的定常的な(例:5 分おきに 300g 投入)投入から、炉内温度、排ガス成分 NO_x、CO 等の濃度をパラメータとした適宜投入に変更した。これにより、燃焼炉の制御性および安定性を確認するとともに、クリンカ発生温度域までの過熱を防ぐ事を目的とした。

②炉床攪拌方法の変更

試験用燃焼炉では炉床攪拌をエアーブラスター(炉床内のノズルから圧搾空気を噴出させ炉床を動揺させる)で行ったが炉床の均一攪拌が難しく、炉床燃焼層の動揺が少ないため燃焼層上部にEP煤が滞留しやすい攪拌方法であったことから、クリンカ被膜の生成に繋がると考えられた。このため、攪拌羽による物理的攪拌に変更した。また攪拌羽の形状を平板状の攪拌羽から螺旋状の攪拌羽とすることで、炉床が全体的に流動動揺しやすくなった。

下方流燃焼炉の試作機に対策を施して、再度燃焼試験をおこなった。表2にその結果を示す。燃焼方法・試作機の改良によって、上段燃焼層表面への滞留が減少し、燃焼層内部への粉体移動が促進されている。攪拌構造の改良により炉床の流動性がよくなったことから、クリンカの発生が大きく抑制された。

表2. 改良後の試験機燃焼試験結果

テストNo.	実験日時	試験内容	炉床段数	炉床粒径 (mm)		炉床高さ (mm)		炉床攪拌	投入速度 (kg/h)	総投入量 (kg)	燃焼回収物 (kg)					減量率	クリン力重量 (kg)
				上段	下段	上段	下段				上段炉床表面	上段炉床内部	下段炉床部	炉外回収物	回収物総量		
下方流燃焼炉の試作機2-1	20150929	消石灰混合1	2	3	3	200	200	ジェット プラスター	0.8	1.6	0.18	0.20	0.03	0.05	0.46	0.29	0.00
2-2	20151001	消石灰混合2	2	3	3	200	200	ジェット プラスター	0.9	1.8	0.16	0.27	0.01	0.02	0.45	0.25	0.43
2-3	20151009	消石灰混合3	2	3	3	200	200	ジェット プラスター	1.0	2.4	0.25	0.27	0.02	0.01	0.55	0.23	0.17
2-4	20151014	消石灰混合4	2	3	3	200	200	ジェット プラスター	0.7	1.3	0.25	0.21	0.01	0.02	0.49	0.38	0.00
2-5	20151016	消石灰混合5	2	3	3	200	200	ジェット プラスター	1.0	2.1	0.23	0.23	0.01	0.00	0.47	0.22	0.41
2-6	20151022	攪拌機構追加	2	3	3	200	200	攪拌羽 攪拌5分毎	1.1	2.2	0.07	0.64	0.16	0.01	0.88	0.40	0.00
2-7	20151026	消石灰未添加での比較試験	2	3	3	200	200	攪拌羽 攪拌5分毎	1.15	2.3	0.03	0.41	0.04	0.01	0.49	0.21	0.03
2-8	20151028	攪拌頻度変更	2	3	3	200	200	攪拌羽 攪拌2分毎	1.45	2.9	0.03	0.86	0.17	0.02	1.08	0.37	0.00
2-9	20151102	攪拌羽構造変更	2	3	3	200	200	攪拌羽 攪拌2分毎	1.05	1.3	0.03	0.34	0.05	0.00	0.42	0.32	0.00
2-10	20151105	攪拌羽構造変更	2	3	3	200	200	攪拌羽 攪拌2分毎	1.45	2.9	0.01	1.28	0.08	0.00	1.37	0.47	0.04

1-4 下方流燃焼炉の基本構成

燃焼プロセスおよび、攪拌構造の改良と試験評価結果をベースにパイロットプラント新型燃焼炉の基本構成を以下のように決定した（図3参照）。またパイロットプラントのEP煤の処理量は25kg/hとなるように設計した。

- ①原料投入方法:原料投入はスクリーフィーダー等の自動供給装置を用いた連続供給とし、供給速度は炉内温度および排気成分監視による手動フィードバック(将来的には自動制御を目指す)により投入量を制御し、安定燃焼と炉内過熱を防止する。
- ②炉床攪拌:炉床の攪拌を螺旋形攪拌羽とすることで効率的な攪拌を可能とし、燃焼粉体の効率的な下方移動とクリンカ抑制を図る。
- ③炉床段数:上段炉床での安定燃焼が得られたため、炉床段数は2段とし、下部炉床へNa塩投入し、アルカリ焙焼を行う構造とする。
- ④廃熱回収用に温水ボイラーと一酸化炭素ガス対策に2次燃焼炉を設置する。

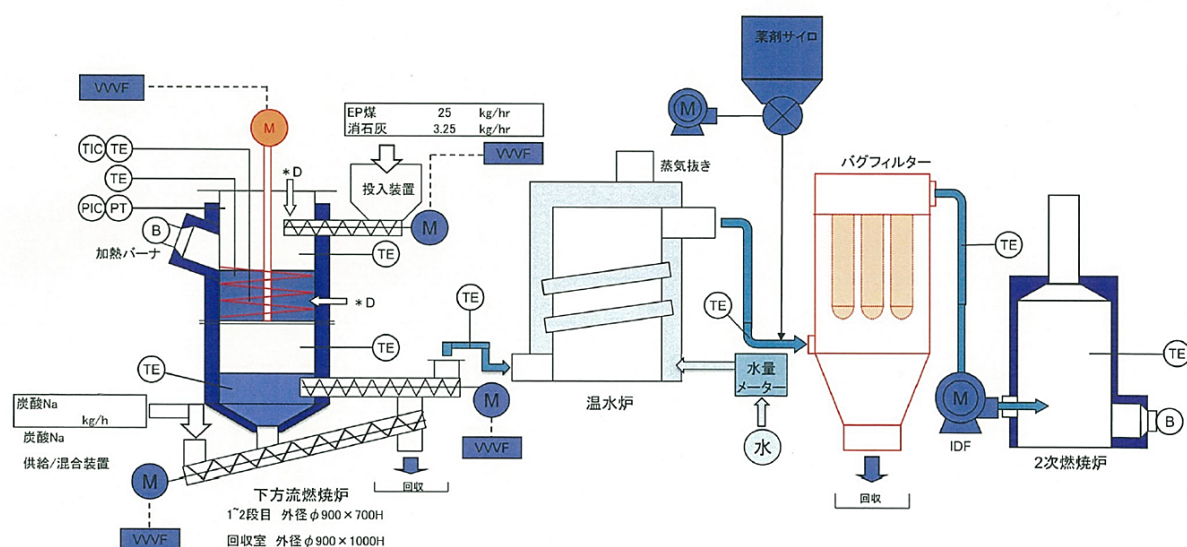


図3. 多段下方流燃焼炉フローシート

2-1 パイロットプラントの概要

試験機での評価結果をベースに図4のパイロットプラントを群馬県高崎市の株式会社キンセイ産業の事業所内に設置して運転評価を行った。

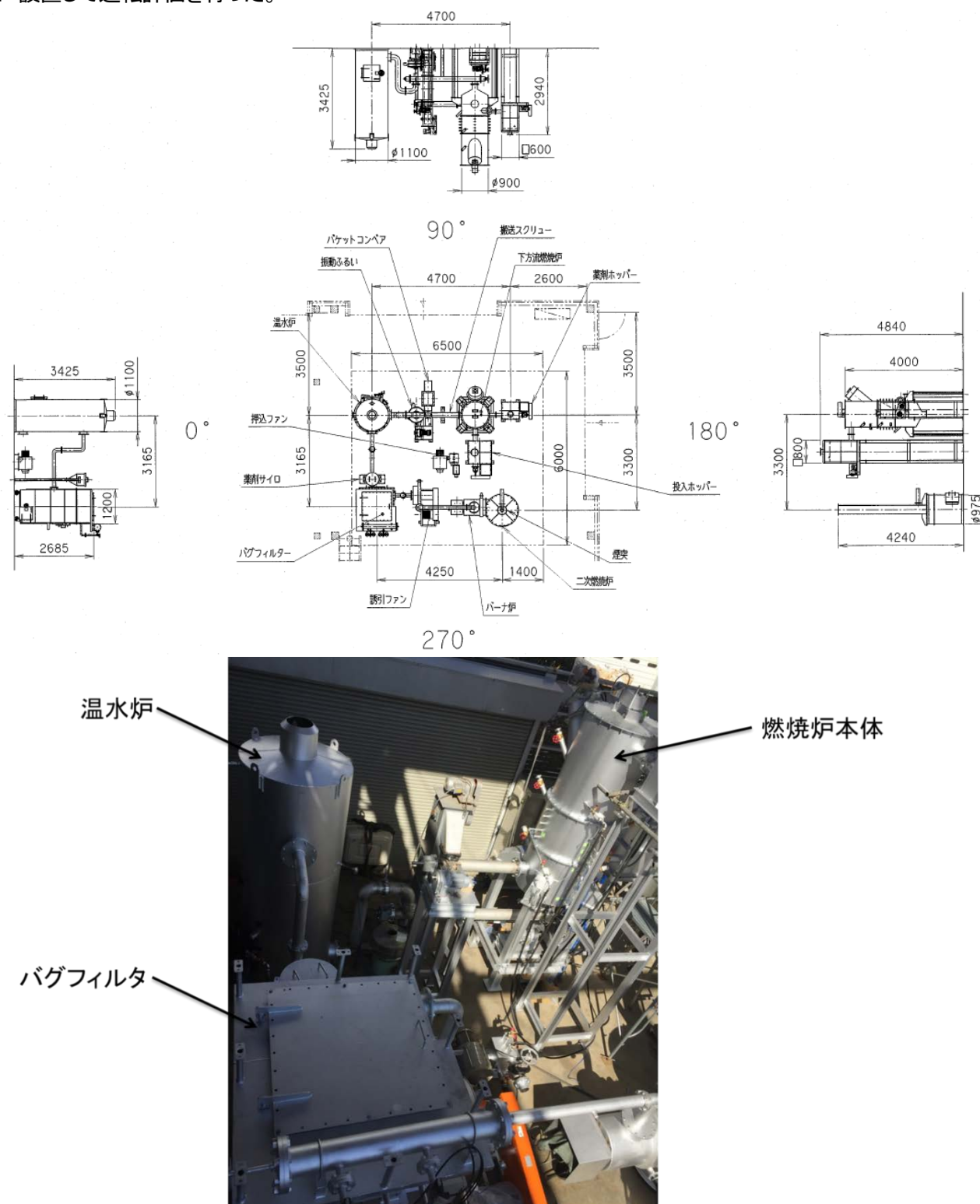


図4. パイロットプラント

2-2 粉体投入方法の検討

下方流燃焼炉の燃焼安定性および燃焼後残渣からのバナジウム回収を効率よく行うための各種試験を実施した。具体的には、下記の通り。

- ・燃焼安定性: V 回収率 80%、燃焼温度 800℃以下、燃焼速度 100kg/h/m²、燃焼率 80%を目標とした運転試験を行い、温度制御等で重要と判断された粉体投入方法の検討を行った。スクリーフィーダーを用いた炉内への連続投入方法をフィーダー投入前のEP煤乾燥により、安定的な自動投入と燃料乾燥と振動機構の導入により、ホッパー内でブリッジを発生しない安定的な自動投入方法を実現した。

2-3 炉床コンタミネーション対策

炉の運転初期には SiO₂ 主体のセラミックボールを使用していたが、炉床セラミックボールの摩耗・破碎による燃焼残渣への混入と混入シリカ成分バナジウム電解液製造工程での除去にプロセス変更を必要とする事が判り、炉床材質を SiO₂ 主体の素焼き球から、高純度アルミナボールへと変更した。炉床材質の変更により、炉床材からのコンタミネーションが大きく改善され、燃焼残渣の分析結果からアルミの異常上昇は見られず、燃焼残渣へのコンタミネーションコントロールに成功した。

2-4 炉内アルカリ焙焼プロセスから炉外アルカリ抽出への変更

炉内でのアルカリ焙焼試験として、投入する EP 煤に Na₂CO₃ を事前混合して燃焼試験を実施した。その結果、燃焼のみを行った場合と比較し、図5に示す炉床のパンチングメタルの目詰まりや図6に示す事例の様に炉内のクリンカ発生が増大する結果となった。原因は、アルカリ焙焼による生成物であるバナジン酸ソーダ NaVO₃ であった。 $V_2O_5 + Na_2CO_3 \rightarrow NaVO_3$ の融点が低い事から炉内で熔融し、それが冷却固着する事で起こっていると考えられる。このため、炉内での安定的なアルカリ焙焼反応は困難であると判断するに至った。対策として本事業での燃焼炉を未燃カーボンの燃焼炉に特化し、燃焼残渣からのバナジウムの回収方法として炉外でのアルカリ抽出法への変更を検討した。実際にビーカー試験レベルであるが、燃焼残渣からのバナジウムが高い抽出率で可能であると確認されたため、炉外アルカリ抽出に変更した。この結果に伴い、下方流燃焼炉のアルカリ焙焼構造を燃焼中に適宜燃焼残渣を回収できる構造とし、多段式を1段での燃焼方式に変更した。



図5.炉床のパンチングメタル目詰まり



図6.攪拌羽に付着した炉内クリンカ

3-1 パイロットプラントの連続燃焼と自動化

パイロットプラントの運転評価結果を基に、問題点を洗い出し、対策を実施することで運転の目処が付いたため、プラントでのコスト削減の大きな要因である連続運転の自動化のための改修を行った。図7に PC(パソコン)で遠隔操作する装置の運転工程を示し、図8に運転時の操作の様子とPCで操作するプラント装置を示した。

自動化改修 目的

PC(パソコン)による装置の遠隔操作と遠隔監視

自動化改修 内容

1. 制御盤の温調計を廃止し、すべての操作をPC(パソコン)上で可能にする。(遠隔操作・監視)
2. PC(パソコン)画面のフローシート上に計測値を表示する。(装置状態の可視化)
3. 装置の立ち上げと、立ち下げのシーケンス設定。(自動運転)
4. 計測値のトレンドグラフ表示。(運転記録の可視化)
5. 電動機の累積稼働時間と警報履歴のロギング。(トラブル歴の蓄積)

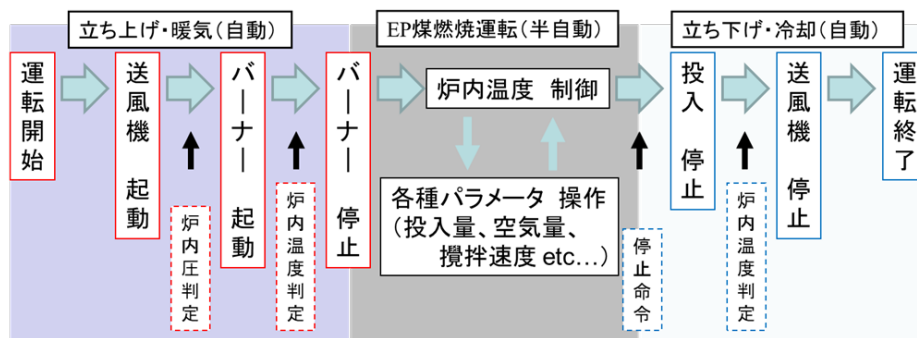


図7.装置運転工程

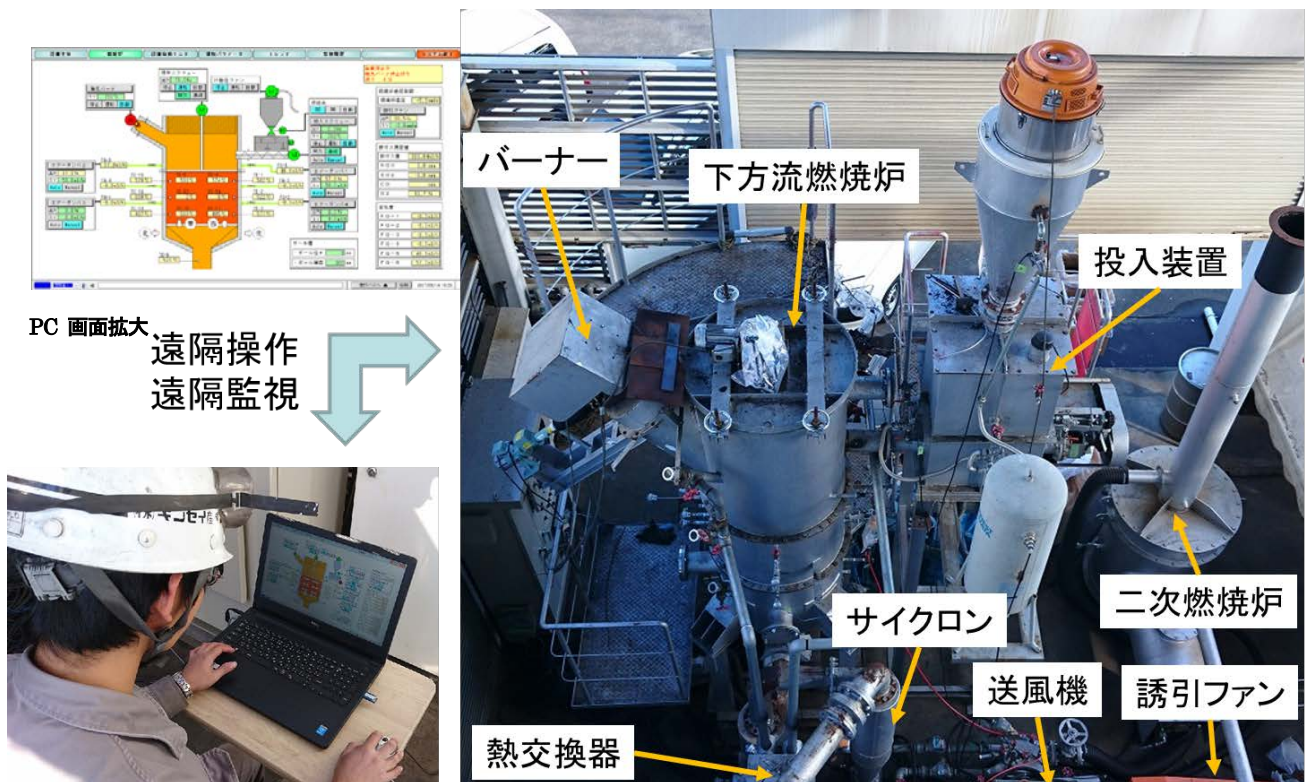


図8. 下方流燃焼炉装置運転実施写真

運転実施の結果を図9.に示した。暖気を中止し、EP煤の自燃のみに切り替えて5時間後までの運転で燃烧炉チャートを見ると、炉床の上部の温度は300℃付近でほぼ横ばいとなっており、最も重要な炉床の中部と下部の温度が600℃～700℃の温度域に収束し、ほぼ安定してきていることから、クリンカを形成しない温度域での自燃による燃烧が継続できていることが判った。

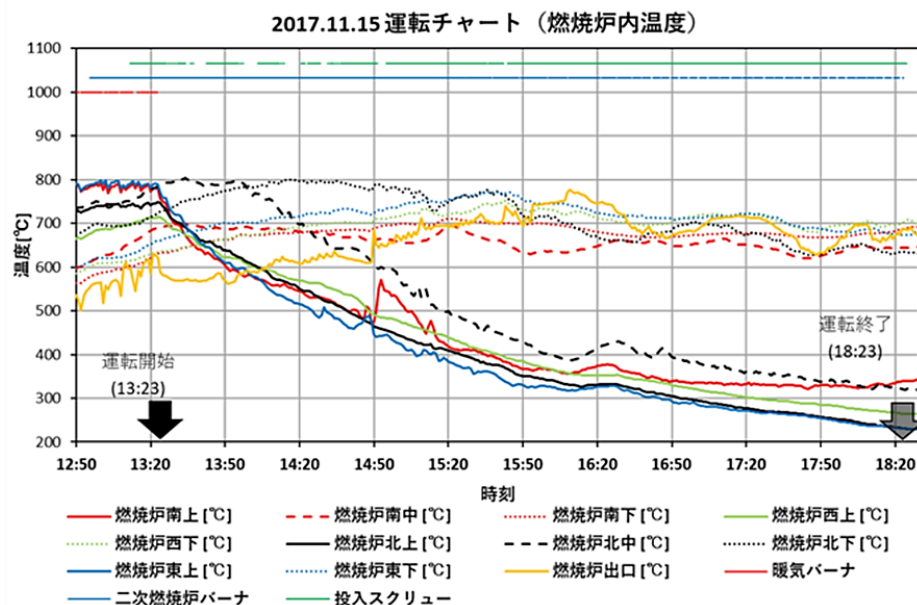


図9. 下方流燃烧炉運転チャート

3-2 自動化の為のデータ取得及び燃烧シミュレーション

温度制御に関わると考えられる因子は、EP 煤の投入速度、燃烧用空気量、アルミナボール層の攪拌速度、アルミナボールの径、アルミナボールの層高、燃烧用空気の温度、EP 煤の水分率と推測し、これらの因子を適正化し、一定温度での助燃油無使用の燃烧運転を検討した。

運転条件検討により、パイロットスケールでの運転条件と、EP 煤投入速度以外のパラメーターは、一定値で固定し、ボール層温度により、投入速度の Hi/Lo 操作を行った。上記の条件により、ボール層の温度は EP 煤投入速度の操作で制御可能となった。

また炉内温度 700℃制御のためのEP煤の投入量と含水率の関係をシミュレーション（図10参照）し、連続運転での温度コントロールデータとして使用した。

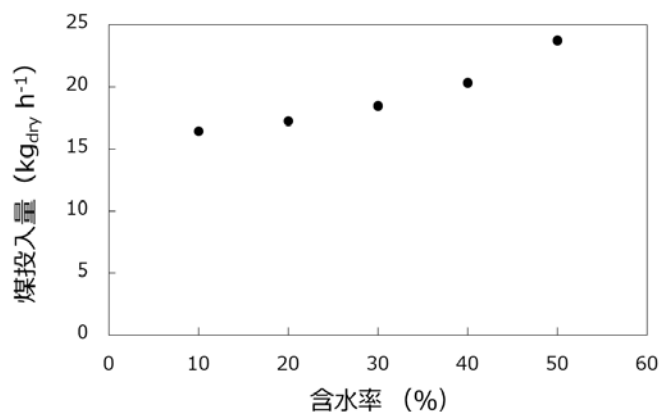


図10. 炉内温度 700℃制御のためのEP煤含水率と投入量の関係

3-3 熱回収システムの検討

サイクロンと温水炉の間に熱交換器を追加（図1-1参照）し、燃焼用空気の予熱を可能にした。燃焼ガスの排熱を熱交換することで、燃焼用空気を30℃→88℃に加温した。（獲得熱量 585 kcal/h※空気量：35 Nm³/h）

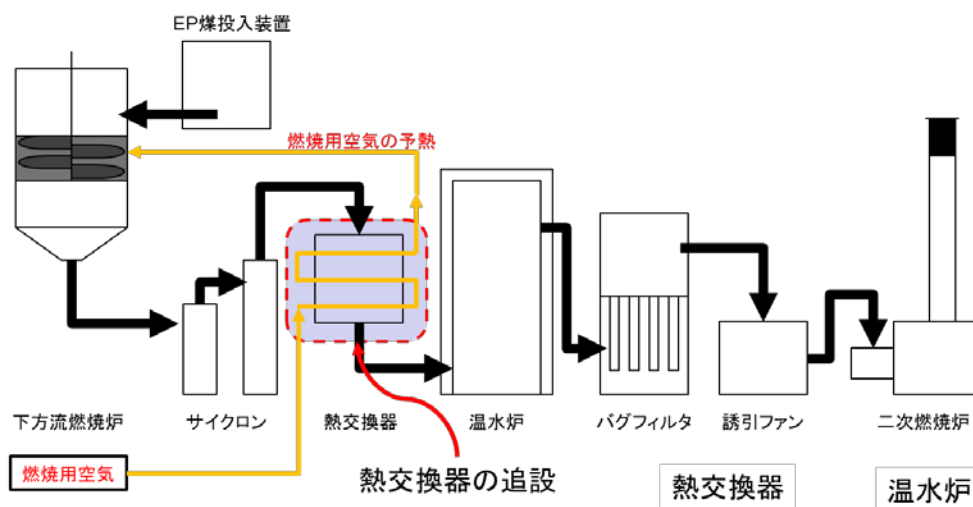


図1-1. 熱交換器追加フロー

熱交換による燃焼用空気の加温により、燃焼温度の安定性が向上することを確認したが、熱交換なしでも制御技術の向上により連続燃焼可能である結果が得られたことで、燃焼用空気の加温は燃焼率には大きな影響ないことが判った。

3-4 連続燃焼試験

自動化改造を行ったパイロットプラントで連続燃焼試験を実施した。24時間の連続試験が本来であるが、炉の設置場所と費用の関係から暖気バーナを使わず、EP 煤の供給のみで燃焼炉温度の維持(5 時間)を達成を連続することで24時間連続運転と同等と評価した。

連続試験を前乾燥済み EP 煤(水分率 15-30wt%)を用いて5時間以上の自燃焼を 11 月中旬までに、7 回達成した。その試験結果を表3にまとめた。この 7 回の燃焼試験うち、3 回はメンテナンスフリーでの連続3日間の運転を達成したことで、メンテの実施等の課題はあるが、24時間での運転も可能なことが確認できた。

表3. 5 H連続自燃焼達成時の試験結果

テスト日	ボール径 / ボール層高	EP煤の 総投入量	燃焼炉内 回収量 [kg] 燃焼率 [%]	炉下ダクト 回収量 [kg] 燃焼率 [%]	サイクロン 回収量 [kg] 燃焼率 [%]	温水炉 回収量 [kg] 燃焼率 [%]	合計回収量 (※温水炉を除く)
10/27	φ 6 mm / 300 mm	110.2 kg	4.24 kg 91.0 %	0.62 kg 55.0 %	0.12 kg 95.7 %	0.83 kg 17.8 %	4.98 kg
11/2	φ 6 mm / 300 mm	130.4 kg	3.14 kg ---	0.65 kg 80.0 %	2.92 kg 80.5 %	2.33 kg 22.6 %	6.71 kg
11/7	φ 6 mm / 300 mm	88.1 kg	0.37 kg ---	1.93 kg 84.7 %	1.20 kg 73.0 %	1.30 kg 23.9 %	3.50 kg
11/10	φ 10 + φ 6 / 300 mm	76.7 kg	5.75 kg 93.1 %	1.87 kg 91.8 %	2.12 kg 82.2 %	0.14 kg 23.5 %	9.74 kg
11/14	φ 10 mm / 300 mm	63.0 kg		2.43 kg 74.2 %	8.50 kg 69.2 %	1.88 kg 35.6 %	10.93 kg
11/15	φ 10 mm / 300 mm	88.9 kg		1.20 kg 73.7 %	5.50 kg 85.7 %	3.96 kg 20.5 %	6.70 kg
11/16	φ 10 mm / 300 mm	78.5 kg	1.04 kg ---	1.20 kg 86.6 %	1.22 kg 69.9 %	1.97 kg 21.4 %	3.46 kg

3-5 下方流燃焼炉実機コスト試算

パイロットプラントの自動化と連続運転の改修評価結果の実績を元に実機のコスト試算を行った。図12に実機のフロー、図13に実機装置の外観図を示した。

装置寿命を一般的な燃焼炉の10年とした場合、5年以内で実機コストの費用が回収できる試算が得られた。

コスト

装置価格 : 400,000 千円
ランニングコスト : 9,879.6 千円/年 (330 日稼働/年)
メンテナンスコスト: 20,000 千円/年 (装置価格の 5%)
採算性 : 400,000 千円 ÷ [-(9,879.6 千円 + 20,000 千円 + 15,000 千円) + (118,800 千円 + 10,395 千円)]
= 4.74 年 < 5 年 = (装置価格 ÷ [-(ランニングコスト + メンテナンスコスト + 人件費) + (EP 煤処理費 + 燃焼残渣売価)])

※算出根拠

電気: 15 円/kWh、A 重油: 60 円/L、水: 30 円/m³、人件費: 5,000 千円/(人・年)、EP 煤処理費: 30 千円/ton
燃焼残渣評価額: 25 千円/ton、稼働日数: 年間 330 日 (90%稼働率)、メンテナンス: 年間2回、スタートアップ: 年間2日、ユーティリティ(電気容量: 75 kVA、重油: 0 L/h (スタートアップ時のみ 最大 160 L/h)、水: 4 ton/h)

装置仕様

設置面積 : 15 m × 15 m × 高さ 15 m
装置重量 : 80 ~ 100 ton
EP 煤処理量 : 500 kg/h (12 ton/day) ※水分率 40wt%を想定
ガス量 : 5,000 Nm³/h ※EP 煤の自己燃焼運転中
燃焼灰量 : 52.5 kg/h (1.26 ton/day) ※灰分 17.5wt% (dry) を想定

装置構成

定量供給装置 : 貯蔵容量 2.3 m³
下方流燃焼炉 : 下方流燃焼炉 炉床面積 4.24 m² (直径 3 m)
スタートアップバーナー 400,000 kcal/h × 4 機
: アルミナボール層 φ3000 mm × 600 mm (≒ 12 ton)
集塵装置 : 高温対応バグフィルタ 自動灰出し機構付き
送風機 : 高温対応誘引ファン 最大風量 15,000 Nm³/h
: 押込ファン 最大風量 5,500 Nm³/h
熱交換器 : 燃焼空気予熱 または EP 煤の予備乾燥のため
排ガス処理装置 : なし ※排ガスを火力発電所のガス処理装置へ導入するため
※EP 煤と燃焼灰の貯留装置および搬送装置は含まない

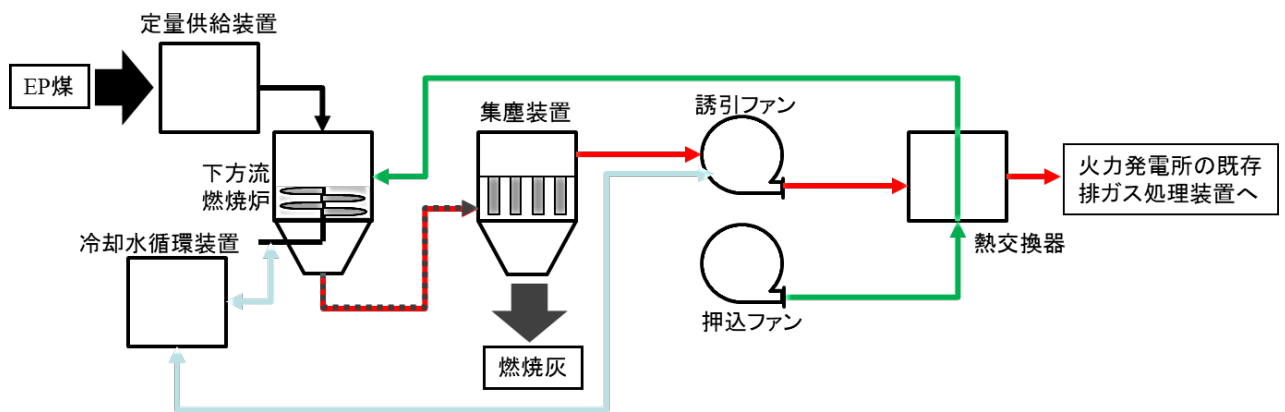


図12. 実機フロー

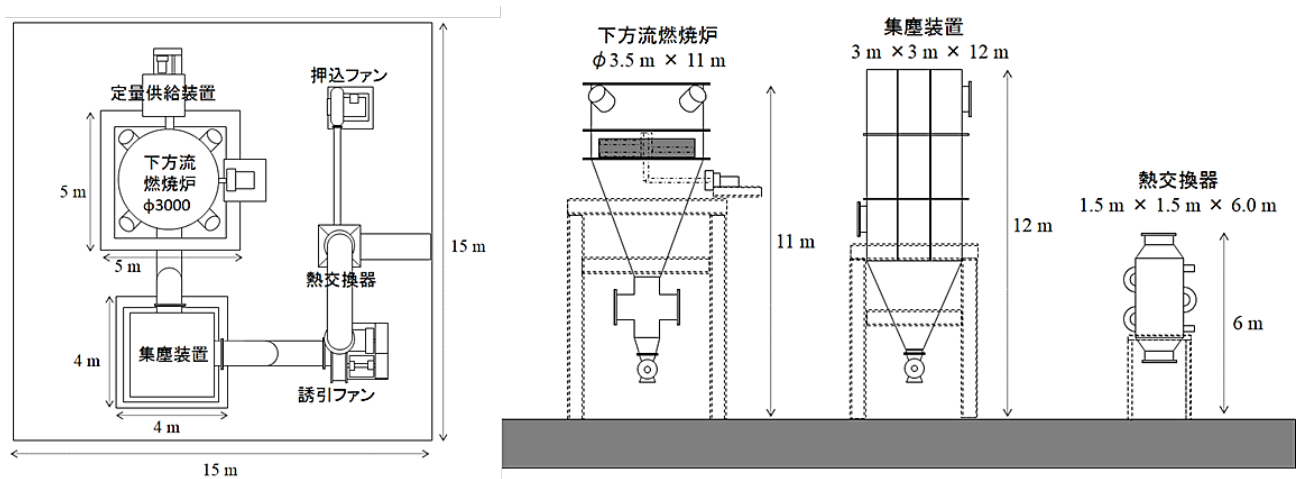


図13. 実機装置外形図

最終章 全体総括

1-1 研究開発成果まとめ

石油コークス火力発電所排出電気集塵煤(EP煤)に含有されるバナジウムの回収を目的とした新型燃焼炉を開発を行った。微粉体であるEP煤を飛散させずに、含有されるカーボンのみを補助燃料を使用することなく、自然に連続して燃焼することが可能な下方流燃焼炉のパイロットプラントを設計・設置し、運転試験評価を行った。

パイロットプラントの運転試験結果をもとに自動化・連続燃焼を容易にする改良工事(制御盤、遠隔操作、粉体詰まり起こさない粉体投入装置等)を行い、パイロットプラントで下方流燃焼炉の連続燃焼を実証した。

パイロットプラントの実証により、火力発電所等で排出されるEP煤を処理する下方流燃焼炉の実機の設計製造が可能となった。また実機の装置コスト、ランニングコストから、EP煤からのバナジウム回収にかかるコストを試算し、下方流燃焼炉設置し、EP煤からのバナジウム回収に採算性が有ることを示した。

1-2 研究開発後の課題・事業化展開

本事業では、下方流燃焼炉実機のパイロットプラントでの連続燃焼処理が可能であることを実証した。火力発電所に下方流燃焼炉を設置し、排出 EP 煤を減容濃縮する事で、火力発電所は廃棄物費用の削減、キンセイ産業は下方流燃焼炉の製造納品、LE システムは安価な V 原料の入手という各社それぞれに応じた利益が得られ、三方 Win のスキームが考えられる(図 14)。しかし、火力発電所等に設置する実機と比較すれば更に10倍以上の処理量を必要とし、装置価格も数億の炉となる。これまで下方流燃焼炉の実機の製造・運転の実績がなく、稼働の安定性が特に重要である火力発電所等での、実績の無い実機の導入は難しい。このため、本燃焼炉はそのランニングコストの安さから火力発電所オンサイトのみならず、廃棄物処理施設などへの、オンサイトでの運用試験を交渉したい。また、サポイン事業で製造したパイロットプラントを福島県に建設予定であるバナジウム電解液製造工場に移設し、デモ機として活用しながら、稼働実績を積み上げ、実機導入に繋げたい。さらに一般にセメントメーカーでは、セメント原料としてEP煤を受け入れており、今後セメントメーカーと協力し、下方流燃焼炉の導入を含めEP煤から安価にバナジウムを回収する事業を推進したい。

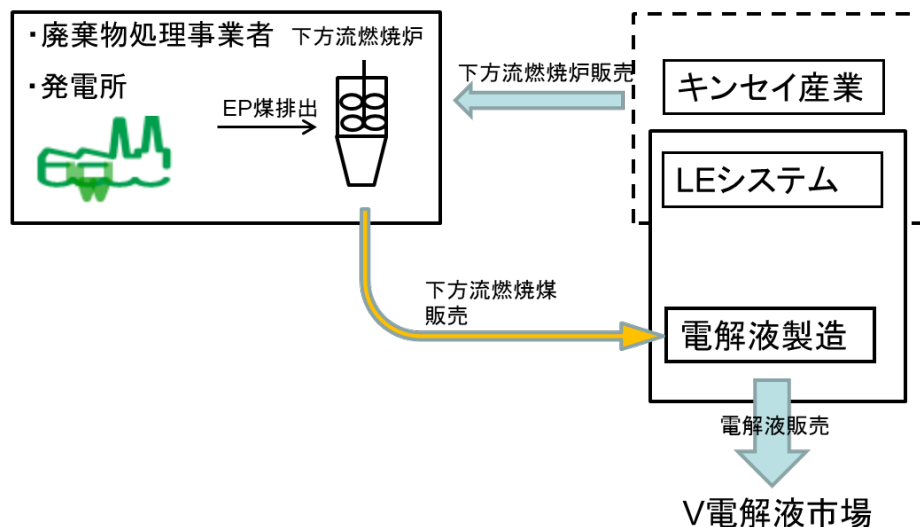


図14. 事業化スキーム