

中間処理施設における小爆発事故報告書

平成 16 年 4 月

香川県 ・ (株)クボタ

はじめに

本報告書は、1月24日に発生した中間処理施設における小爆発事故の概況、事故原因の推定、再発防止対策等について、豊島廃棄物等技術委員会のご指導をいただきながら、㈱クボタの協力のもと、取りまとめたものであります。

豊島廃棄物等の処理については、専門家の英知を集め、安全と環境保全を第一に進めてきましたが、事故がおきて、改めてこの事業の難しさを感じました。

事故については、地元直島町を始め関係者の方々にご心配をおかけしたことを、申し訳なく思っております。

運転再開に当たっては、技術委員会のご指導に基づき、最善の措置をとったところであり、委員会の了承もいただいて、4月2日に再開いたしました。

また、この機会に関係者に対して、くれぐれも慎重に、安全面に万全を期して、作業を行うよう、改めて注意を喚起したところであります。

今後は、二度とこのような事故を起こさないよう、3月28日に技術委員会から移行して設置された豊島廃棄物等管理委員会のご指導をいただきながら、安全を第一に着実に処理を進めてまいります。

末尾になりましたが、熱心なご指導を賜った技術委員会委員の各位に深く謝辞を申し上げます。

平成16年4月

香川県知事 真鍋 武紀

豊島廃棄物等技術委員会の構成

委員長	永田 勝也	早稲田大学理工学部 教授
副委員長	武田 信生	京都大学大学院工学研究科 教授
委員	猪熊 明	独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ長
委員	岡市 友利	香川大学 名誉教授
委員	河原 長美	岡山大学環境理工学部 教授
委員	堺 孝司	香川大学工学部 教授
委員	坂本 宏	秋田県立大学システム科学技術学部 教授
委員	鈴木 三郎	神戸大学海事科学部 教授
委員	高月 紘	京都大学環境保全センター 教授
委員	田中 勝	岡山大学環境理工学部 教授
委員	中杉 修身	独立行政法人国立環境研究所 化学物質環境リスク研究センター長
委員	門谷 茂	北海道大学大学院水産科学研究科 教授
委員	横瀬 廣司	香川大学 名誉教授

(平成 15 年 12 月現在)

中間処理施設における小爆発事故報告書

目 次

はじめに

I 概要

1. 状況調査	1
2. 原因究明のための調査	3
3. 原因の推定	9
4. 再発防止対策	10
5. 再発防止対策確認試験	14
6. 豊島廃棄物等処理事業の安全性解析	15

II 本編

第1章 中間処理施設における小爆発事故の概況	1-1
1. 小爆発事故発生前後の運転状況	1-1
1-1. 事故発生前の運転状況	1-1
1-2. 不燃物／可燃物比率と主燃焼室圧力	1-4
1-3. まとめ	1-5
2. 小爆発事故発生の経緯	1-5
3. プラントの損傷状況	1-6
4. プラントの点検結果	1-8
5. ガス調査結果	1-8
6. 類似プラント調査	1-8
7. 周辺環境への影響	1-10
第2章 事故原因の推定	2-1
1. 原因究明のための調査・実験結果	2-1
1-1. 供給筒内可燃性ガス挙動調査実験	2-1
1-1-1. 実験装置	2-1
1-1-2. 実験条件	2-2
1-1-3. 実験手順	2-3
1-1-4. 実験結果と考察	2-3
1-1-5. まとめ	2-6
1-1-6. 結果をふまえた実機現象の推定	2-6
1-2. ヘリウムガスによる滞留性調査実験	2-8
1-2-1. 実験の概要	2-8
1-2-2. 実験方法	2-8
1-2-3. 測定方法	2-9
1-2-4. 実験条件	2-9
1-2-5. 実験結果	2-10
1-2-6. まとめ	2-12

1-2-7. 結果をふまえた実機現象の推定	2-14
1-3. 供給筒内水素ガス挙動流体解析	2-15
1-3-1. 解析方法	2-15
1-3-2. まとめ	2-27
1-3-3. 結果をふまえた実機現象の推定	2-27
1-4. 低温領域での加熱ガス発生実験	2-28
1-4-1. 実験方法	2-28
1-4-2. 実験結果及び考察	2-29
1-4-3. 供給筒内における加熱ガス発生量の推算	2-32
1-4-4. まとめ	2-32
1-4-5. 結果をふまえた実機現象の推定	2-32
1-5. 均質化後の豊島廃棄物等と溶融助剤の混合による水素ガス発生実験	2-33
1-5-1. 実験方法	2-33
1-5-2. 実験結果	2-33
1-6. 豊島廃棄物等と炭酸カルシウムの混合による水素ガス発生実験	2-36
1-6-1. 実験方法	2-36
1-6-2. 実験結果	2-36
1-7. 直島前処理工程後の水素ガス発生状況確認実験	2-37
1-7-1. 実験方法	2-37
1-7-2. 実験結果	2-37
1-8. 生石灰混入割合の確認実験	2-38
1-8-1. 実験方法	2-38
1-8-2. 実験結果	2-38
2. 考察	2-39
2-1. 豊島廃棄物等の化学反応性	2-39
2-2. 豊島廃棄物等の加熱によるガス発生	2-39
2-3. 可燃性ガスの滞留性	2-40
2-4. 引火のメカニズム	2-40
第3章 再発防止対策	3-1
1. 再発防止対策の検討	3-1
1-1. 可燃性ガスの換気	3-1
1-1-1. 3次元流体解析による爆発防止対策案の検討	3-1
1-1-2. 可燃性ガスの換気	3-10
1-2. 溶融炉供給筒の状態監視	3-12
1-2-1. 供給筒内温度測定	3-12
1-2-2. 供給筒内可燃性ガス連続モニタリング	3-12
1-2-3. 供給筒上部空間圧力の調整及び測定	3-12
1-3. 溶融炉投入コンベヤ内の状態監視	3-14
1-4. 炉内圧制御	3-15
1-5. 映像監視	3-15
1-6. 日常監視・点検と安全確認方法	3-15
2. 安全対策の検討	3-19

2-1.	廃棄物掘削・均質化工程	3-19
2-1-1.	水分低減方法の見直し	3-19
2-1-2.	攪拌による水素ガスの放散促進	3-19
2-1-3.	マニュアルの遵守	3-19
2-2.	中間保管梱包施設 廃棄物保管・梱包工程	3-19
2-2-1.	可燃性ガスの換気	3-19
2-2-2.	ホッパ上部、特殊前処理室、積込室の可燃性ガス濃度測定	3-19
2-3.	輸送工程	3-20
2-3-1.	可燃性ガスの排気	3-20
2-4.	中間処理施設 廃棄物受入・前処理工程	3-20
2-4-1.	可燃性ガスの換気	3-20
2-4-2.	廃棄物投入プラットホームの水素ガス濃度測定	3-20
第4章	再発防止対策確認試験	4-1
1.	再発防止対策確認試験	4-1
1-1.	確認試験要領	4-1
1-1-1.	確認試験項目	4-1
1-1-2.	確認試験用廃棄物	4-2
1-1-3.	確認試験期間	4-2
1-2.	確認試験結果	4-2
1-2-1.	作業確認結果	4-2
1-2-2.	動作確認結果	4-2
1-2-3.	性能確認試験結果	4-6
1-3.	性能確認試験結果のまとめと管理数値等の検討	4-15
1-3-1.	供給筒内部温度の管理値	4-16
1-3-2.	水素及び可燃性ガス濃度の管理値	4-16
1-3-3.	コンベヤ内の流れの検討	4-16
1-3-4.	炉回転自動停止の正圧時間の検討	4-25
1-4.	その他の考察	4-27
1-4-1.	炉内圧と燃料使用量との関係	4-27
1-4-2.	供給筒上部空間圧力の不定期な変動の調査	4-30
1-5.	今後の運転	4-32
1-5-1.	換気方法と換気量	4-32
1-5-2.	炉内圧	4-32
1-5-3.	供給筒内部温度	4-32
1-5-4.	可燃性ガスの警報設定値	4-32
1-5-5.	換気装置故障時の対応	4-33
第5章	安全性再評価	5-1
1.	安全性再評価の概要	5-1
1-1.	再評価対象とした3つのリスク	5-1
1-2.	リスク抽出項目	5-1
2.	安全対策確認試験	5-9
2-1.	確認試験要領	5-9

2-1-1. 確認試験項目	5-9
2-1-2. 確認試験期間	5-9
2-2. 確認試験結果	5-9
第6章 今後の運転	6-1

I 概要

平成16年1月24日11時40分頃に2号溶融炉で小爆発が起き、溶融炉上部ケーシング等が損傷した。事故当日の運転状況と事故発生の経緯、機器の損傷状況、原因究明のための実験、原因の推定、再発防止対策についてとりまとめた。

1. 状況調査

1) 事故当日の運転状況

事故当日の溶融炉運転状況は土壌比率30%の豊島廃棄物を1号溶融炉、2号溶融炉とも、約93t/日のペースで順調に処理していた。

事故が生じた2号溶融炉は、主燃焼室温度約1370℃、炉内圧約-50Paと通常の運転範囲であり、運転上特段の変化は見られなかった。

図1に状況の概要を図示し、図2に事故前後の炉内圧、排ガス温度の推移を示す。

2) 事故発生の経緯

- 11:40 ・運転員が炉室2Fにて3度の異音を聴取。
- 11:45 ・2号溶融炉天井部の上部ケーシング、溶融炉投入コンベヤのカバーや点検蓋の変形を現場確認。
 - ・現場にて溶融炉投入コンベヤを停止。
 - ・関係部門への連絡を開始。
- 11:53 ・2号溶融炉の緊急停止開始。
- 13:08 ・1号溶融炉の通常立ち下げを開始。
- 14:27 ・ロータリーキルン炉の通常立ち下げを開始。

3) 損傷状況

第3溶融炉投入コンベヤおよび第1溶融炉投入コンベヤのカバーや点検蓋が変形した。また、2号溶融炉上部ケーシングが最大で約34度もち上がり、それに伴い周辺の歩廊もち上がった。図3に損傷状況を示す。

4) 点検結果

2月7～8日にかけて、2号溶融炉内及び損傷した第1溶融炉投入コンベヤと第3溶融炉投入コンベヤを対象に、点検を実施した。

変形部以外に小爆発の影響は見られず、炉内の耐火物やコンベヤチェーンなどの損傷はなかった。

5) 類似プラントの状況

本プラントと同様に処理対象物中に可燃物を含有するプラントは2カ所あるが、過去に今回のような事故は起きていない。

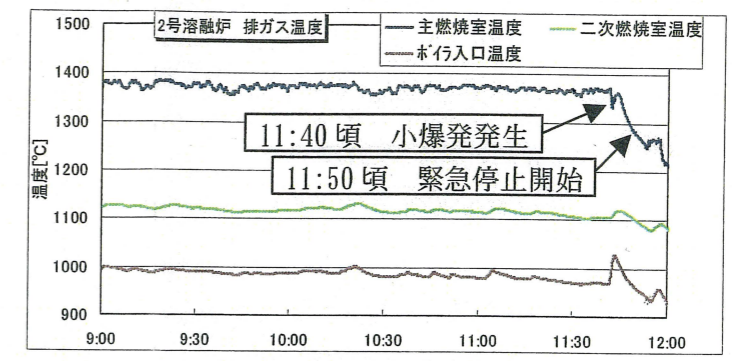
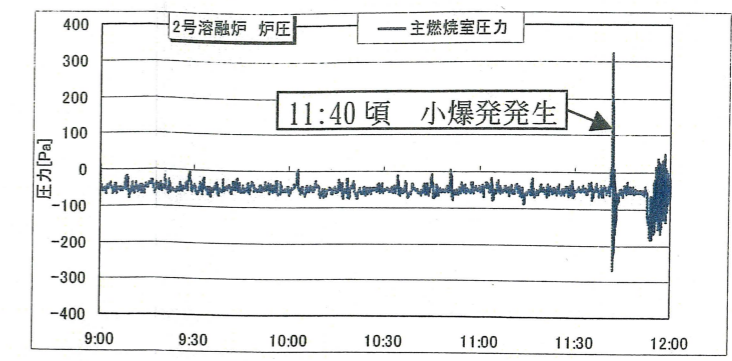
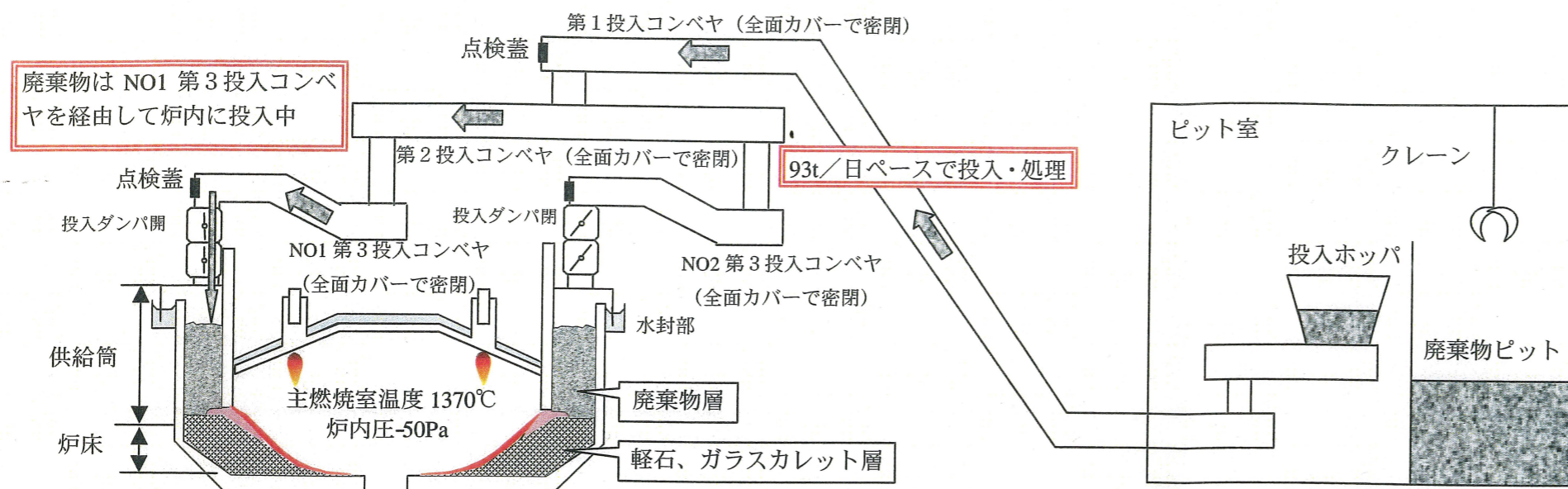


図2 事故前後の炉内圧、排ガス温度

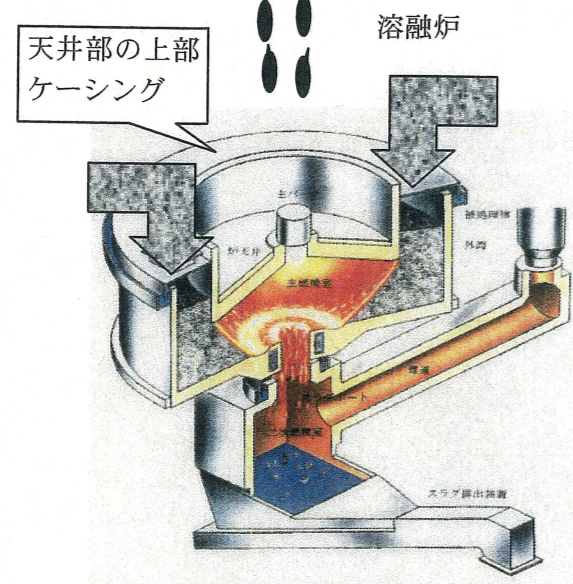


図1 事故当日の状況概要

①No.1 第3溶融炉投入コンベヤ 上部カバー

変形

②第1溶融炉投入コンベヤ 点検蓋

変形

③第1溶融炉投入コンベヤ 上部

変形

④No.2 第3溶融炉投入コンベヤ 点検蓋

変形

⑤歩廊

持ち上がり

⑥溶融炉天井部 上部ケーシング

持ち上がり

No.1 第3溶融炉投入コンベヤ

第1溶融炉投入コンベヤ

第2溶融炉投入コンベヤ

2号溶融炉蓋

No.2 第3溶融炉投入コンベヤ

溶融炉供給筒へ ↓

図3 損傷状況

2. 原因究明のための調査

今回の小爆発事故の原因物質として可能性があるのは、ガスと粉じんである。粉じんについては、豊島廃棄物等が水分を20%程度以上含んでおり、粉じんの発生しにくい状態であること等から可能性はほとんどないと考えられる。そこで、可燃性ガスに的を絞って調査・実験を行った。

1) 調査その1『廃棄物から可燃性ガスはどのくらい発生するか』

現在、豊島掘削現場で廃棄物の乾燥と性状の改善とを目的に、溶融助剤の一種である生石灰を廃棄物に混合している。溶融助剤とは、廃棄物の溶融する温度を下げる効果をもつ薬剤であり、一般に炭酸カルシウムなどの石灰系が多く用いられる。生石灰は水に反応すると発熱する性質をもっており、溶融温度を下げる効果と乾燥の効果とが得られる。一方、廃棄物に生石灰を添加すると、廃棄物に含まれる金属アルミニウムなどと化学反応を起こして水素ガスが発生する。そのため、掘削現場で一定の放散期間を設けることが作業マニュアルで定められている。今回、掘削現場で一定期間放置した廃棄物が直島側でなお水素ガスを発生するかどうか、また直島側で添加している炭酸カルシウムによってより水素ガスが発生するかどうかを調べた。

水素や一酸化炭素などの可燃性ガスが発生する要因として、供給筒下部の炉内切り出し部付近での廃棄物の低温加熱が考えられる(図4参照)。そこで、廃棄物を加熱させるとどのくらい可燃性ガスが発生するかを併せて調べた。

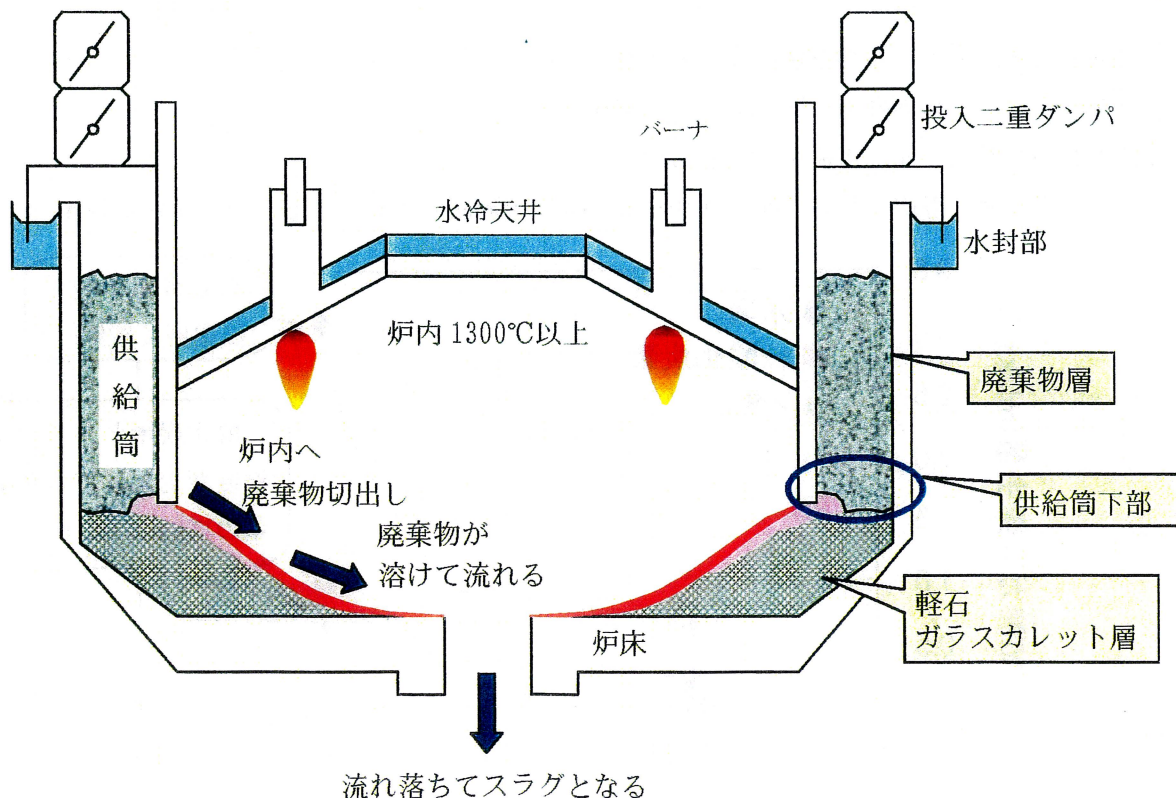


図4 供給筒下部

①実験1 実験室内で小型装置を使った実験

『豊島掘削現場で一定期間放置した廃棄物から化学反応によって水素ガスはなおどのくらい発生するか』

【結果】実験サンプル：豊島で生石灰混合してからおよそ3週間経過した廃棄物

発生量の算出：サンプル 2kg から 0~1.5h の実験時間中に発生した水素ガス量より算出

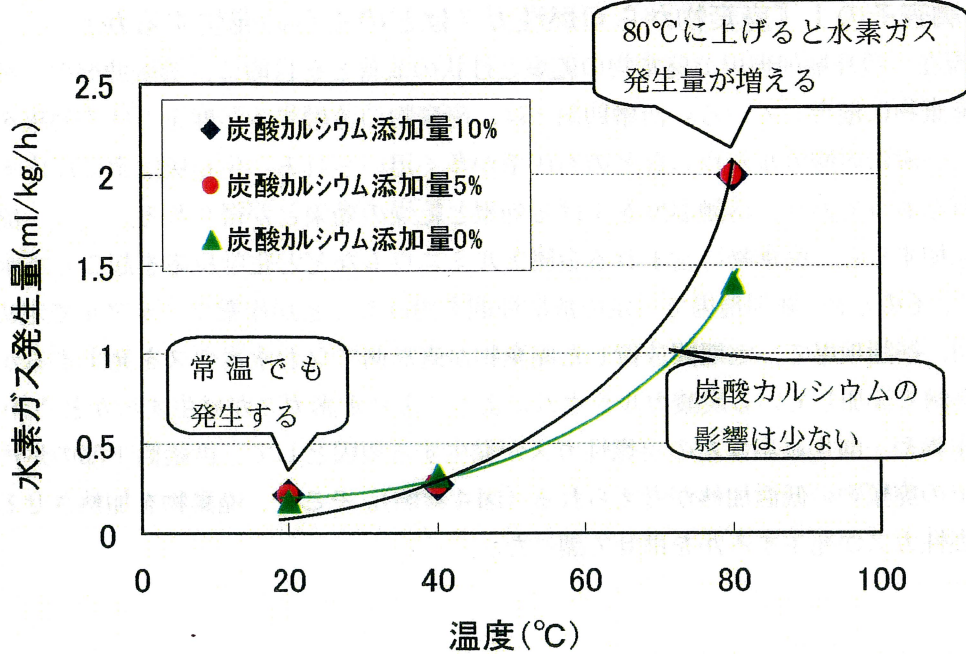


図5 水素ガス発生実験結果

②実験2 実験室内で小型装置を使った実験

『加熱によって可燃性ガスはどのくらい発生するか』

【結果】実験サンプル：実験1と同じもの

発生量の算出：サンプル 20g から 0~1h の実験時間中に発生したガス量から算出

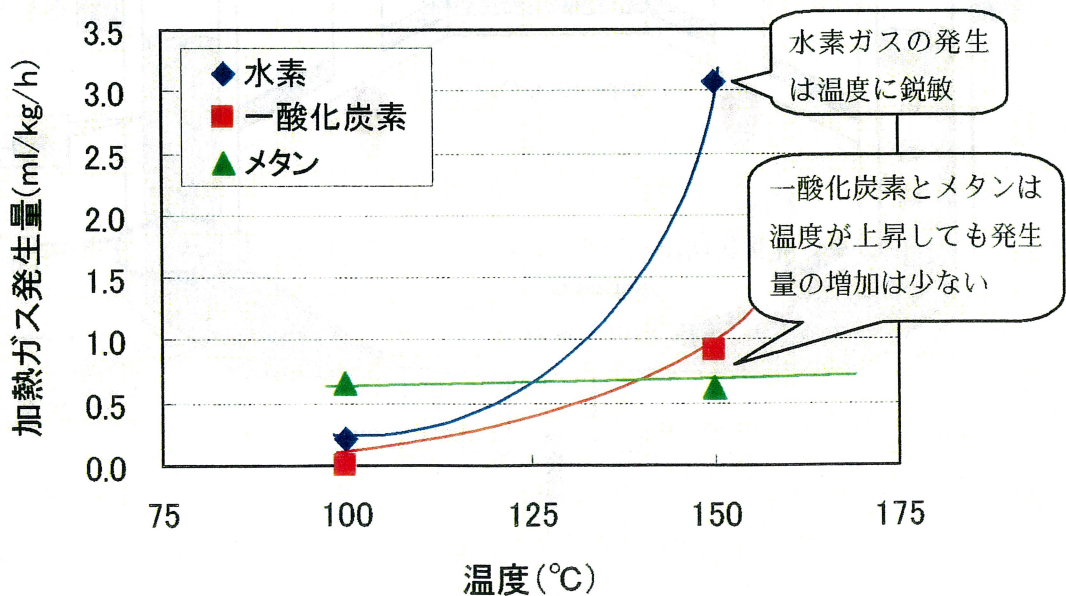


図6 加熱実験結果

③実験3 実験室内で小型装置を使った実験

『豊島廃棄物に炭酸カルシウムのみを入れると水素ガスは発生するか』

【結果】発生しない → 生石灰を入れないと水素は発生しない

④実験4 実験室内で小型装置を使った実験

『生石灰を添加した豊島廃棄物を直島の前処理設備で破碎すると水素ガス発生量は増えるか』

【結果】含まれる金属アルミが破碎されて新しい面ができると発生量が増える可能性があると思われたが、変化はなかった → 細かく砕いても水素発生量は変わらない

調査その1に関する実験結果をふまえた実機現象の推定

- ① 常温でも化学反応によって供給筒とコンベヤ上にある廃棄物から水素ガスが少しずつ発生する。
- ② 供給筒下部の温度が上がると、化学反応と加熱とによって水素などの可燃性ガスが多く発生する。水素の場合、発生量は常温時の数10倍になる。

2) 調査その2 『発生した可燃性ガスは供給筒と投入コンベヤに溜まるか』

今回の事故では、熔融炉天井部の上部ケーシングと投入コンベヤ頂部のカバーやふたが変形した。従って、上部ケーシング下の供給筒とコンベヤ頂部にそれぞれ可燃性ガスが溜まり、引火・小爆発したことが考えられる。そこで、これらの空間に可燃性ガスが溜まるかどうかを調べた。

①実験5 実験装置によるガス挙動実験

『供給筒下部で発生したガスはどのような挙動をするか』

水素と一酸化炭素の混合ガスを実験装置に注入して挙動を調べた。

【実験装置】

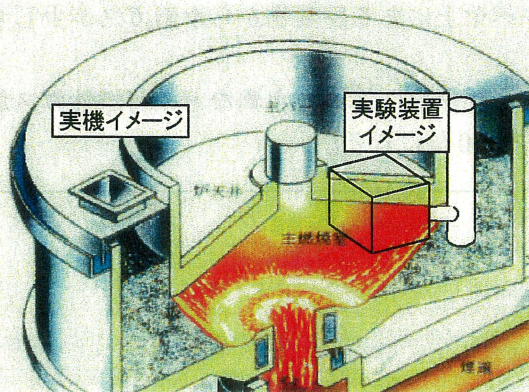


図7 実験装置と実機を想定したときのイメージ

【結果】

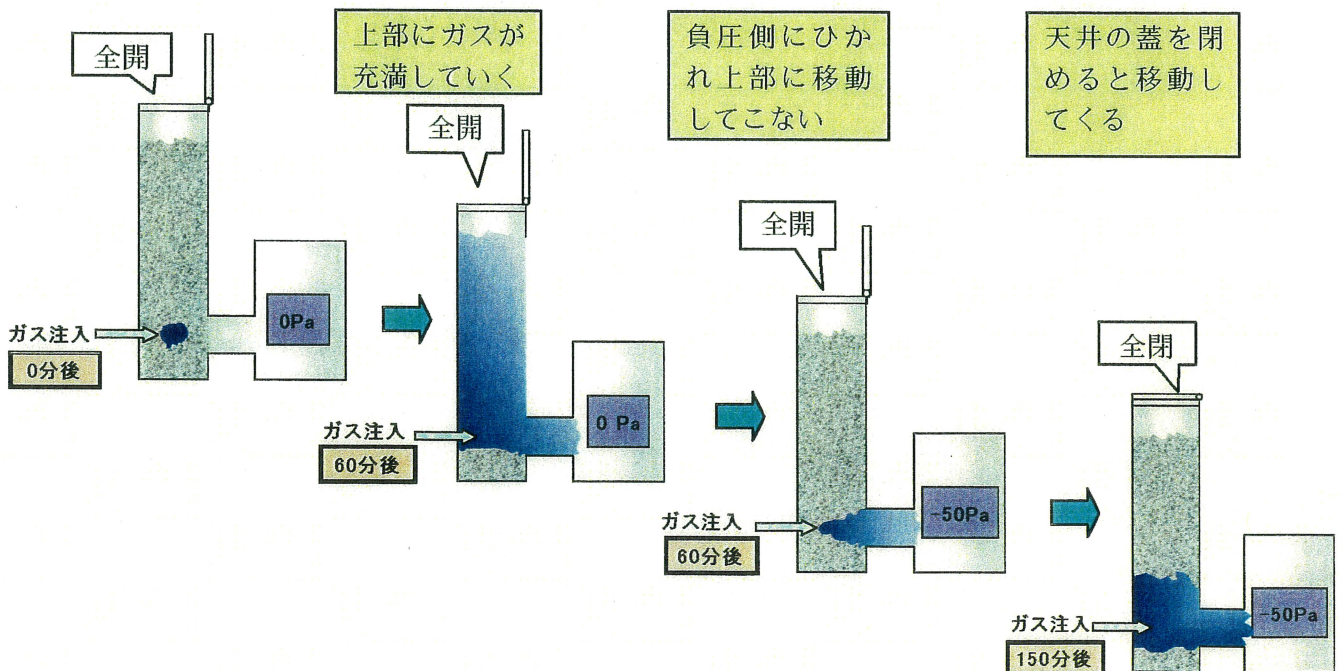


図8 小型装置を使った実験結果

実験5の結果をふまえた実機現象の推定

- ①炉内が0Paのとき、可燃性ガスが供給筒上部に充満してくる。
- ②炉内が-50Paの負圧のとき、供給筒の上が開いていると、供給筒下部で発生した可燃性ガスは炉内に引かれていき、溜まらない。
- ③炉内が-50Paの負圧でも、供給筒が密閉されていると、上部への移動が起きる。

②実験6 実機を使ってのヘリウムガス挙動実験

『供給筒下部で発生したガスはどこまで移動するか』

水素ガスの代替としてヘリウムガスを用いて供給筒下部に注入して挙動を調べた。

【結果】

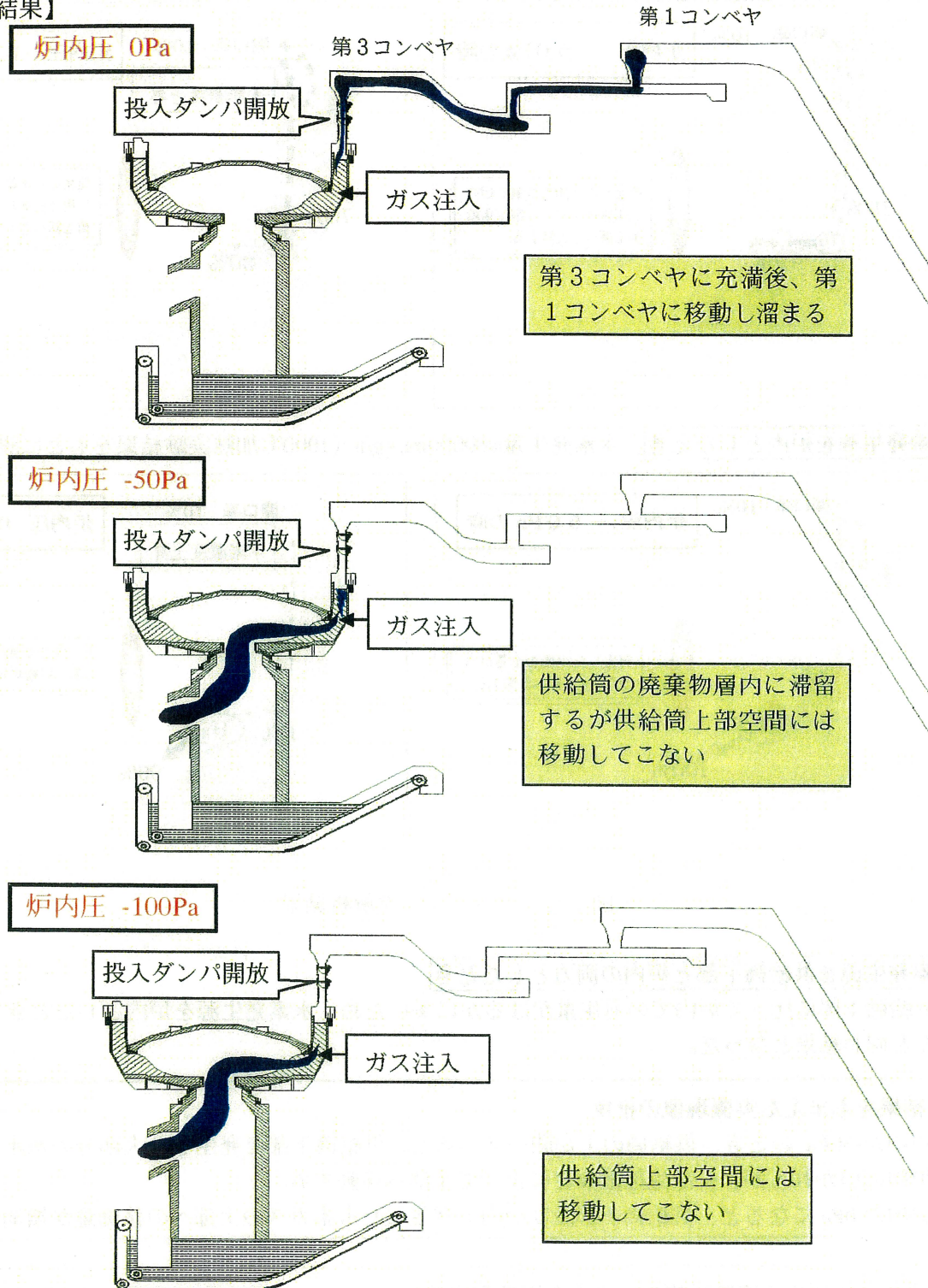


図9 実機を使った実験結果

実験6の結果をふまえた実機現象の推定

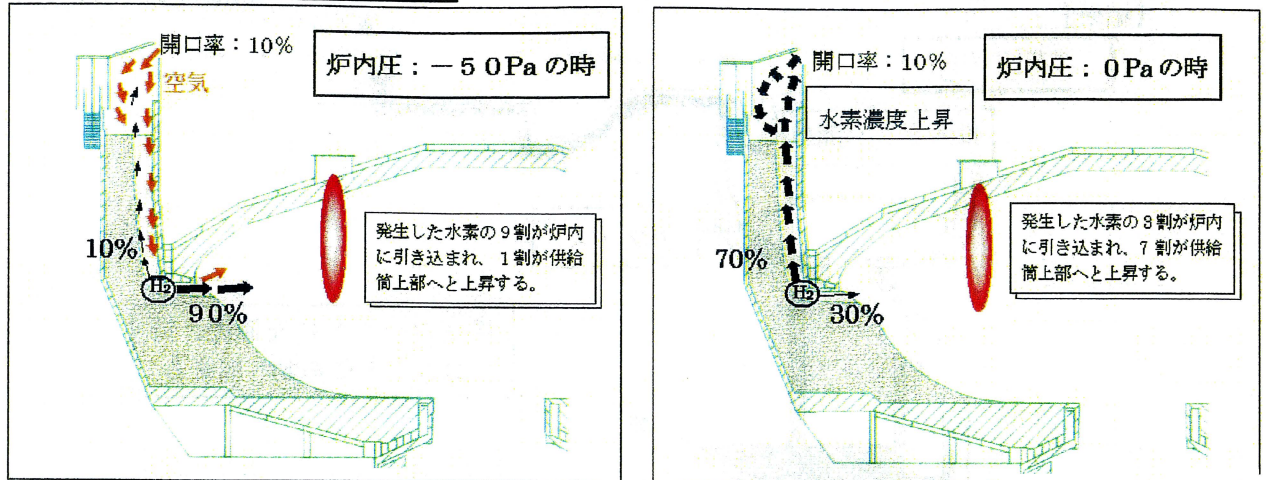
- ①炉内が0Paになると、供給筒下部から上部へ可燃性ガスが移動してくる。投入ダンパが開いて、ガスは第3コンベヤに移動し、一部は第1コンベヤに達する。
- ②炉内が-100Paの負圧のとき、供給筒の上が開いていると、上部空間には溜まらない。

③コンピュータによるガス挙動解析

『供給筒内で水素ガスはどのように流れるか』

【結果】

水素発生源を供給筒下部としたとき 水素発生量=11ml/kg/h (200°C加熱実験結果をもとに設定)



水素発生源を炉内としたとき 水素発生量=8000ml/kg/h (1000°C加熱実験結果をもとに設定)

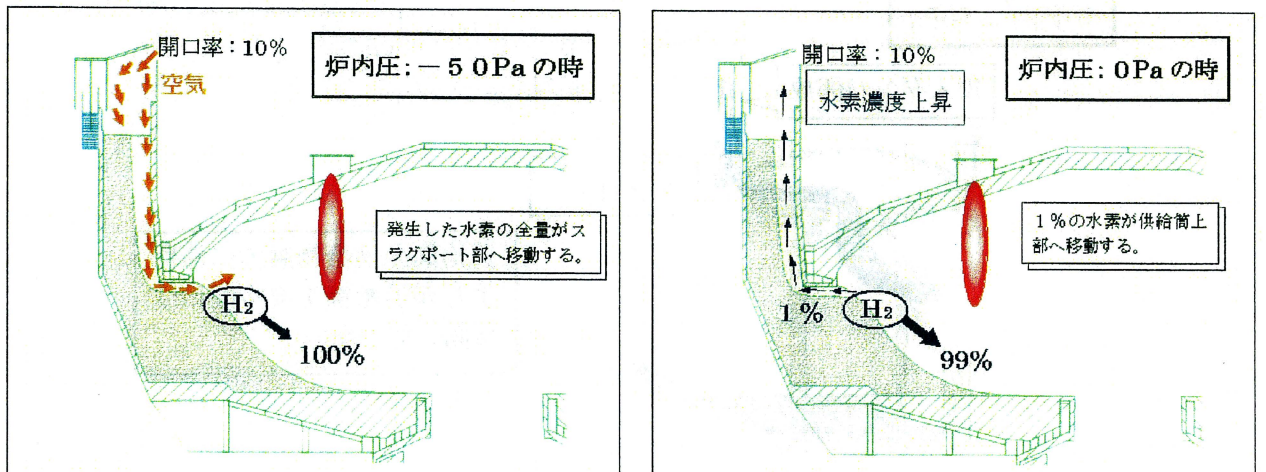


図10 コンピュータ解析結果

水素発生源を供給筒下部と炉内の両方としたとき

供給筒下部に比べて炉内での発生量のはるかに多いため、水素発生源を炉内としたときとほとんど同じ結果となった。

解析結果をふまえた実機現象の推定

- ① 炉内が-50Pa のとき、供給筒の上が開いていると、供給筒下部で発生した大部分の水素ガスは炉内に引かれるが、一部は拡散などによって上部へ移動する。
- ② 炉内が0Pa になると、供給筒下部及び炉内で発生した水素ガスの上部への移動量が増加する。

調査その2に関する実験結果をふまえた実機現象の推定

- ① 炉内が0Pa になると、供給筒下部及び炉内で発生した可燃性ガスは上部空間に移動してくる。
- ② 炉内が-50Pa の負圧では、供給筒上部が密閉されていると、供給筒下部で発生した可燃性ガスは上部に移動してくる。密閉されていなくても、水素ガスは拡散などによって一部移動してくる可能性がある。
- ③ 供給筒上部空間に溜まった水素ガスは、投入ダンパが開くと、第3コンベヤに移動し、その一部は第1コンベヤまで達する。

3. 原因の推定

調査結果をもとに、以下に小爆発事故の原因を推定する。

1) 水素を主体とした可燃性ガスの発生

『豊島掘削現場で混合した生石灰による水素ガス発生が直島側でも続いていた』

生石灰を混合した廃棄物から常温でも少しずつ水素ガスが発生する。そのため、コンベヤにのっている間と供給筒に入っている間にも発生が続く。

『供給筒下部で廃棄物が熱せられて水素ガスなどの可燃性ガスが発生した』

供給筒下部の炉内切り出し部付近が高温の炉内の影響を受けて熱せられると、生石灰混合由来の水素ガス発生がより多くなるとともに、廃棄物に多く含まれる可燃物から水素や一酸化炭素などの可燃性ガスが発生してくる。

2) 水素を主体とした可燃性ガスの滞留

『供給筒からコンベヤにかけて密閉構造になっており、そこに発生した可燃性ガスが溜まった』

密閉されたコンベヤ内では、コンベヤにのっている廃棄物から水素ガスが発生し、コンベヤを山に例えるとその頂上部に位置する第1コンベヤ頂部と第3コンベヤ頂部に水素ガスが溜まっていく。

密閉された供給筒内では、熱せられた下部で発生した可燃性ガスとその上の常温の部分から発生した水素ガスとが、炉内が-50Paの負圧でも供給筒上部空間に溜まっていく。事故当日見られた短時間の正圧状態が、供給筒下部及び炉内で発生した可燃性ガスの上部空間への移動を助長した可能性がある。溜まったガスは、投入ダンパが開く際にその上に位置する第3コンベヤにも移動し、一部は第1コンベヤに移動していく。

これらの可燃性ガスの発生・移動により、供給筒上部空間と第1コンベヤ頂部と第3コンベヤ頂部とに可燃性ガスが溜まる。模式図を図11に示す。

可燃性ガスの主体は水素ガスであり、実験時の発生量から計算して、数日から十数日で爆発限界を越えてこれらの空間に溜まる。

3) 水素を主体とした可燃性ガスへの引火

『爆発限界を越えて溜まった可燃性ガスに引火して小爆発が起きた』

爆発限界を越えて溜まった可燃性ガス、特に水素ガスはわずかなきっかけで引火・爆発的燃焼を引き起こす。今回の引火源を特定することはできないが、廃棄物の投入中に起きたこと、投入口付近の損傷が最も大きかったことから、廃棄物同士または廃棄物と機器類との摩擦による静電気の発生が有力な原因のひとつとして考えられる。今回の事故では供給筒、第3溶融炉投入コンベヤ、第1溶融炉投入コンベヤの3カ所での損傷が大きく、また、およそ1秒間隔で3回の破裂音が生じていることから、水素の火炎伝播が考えられる。

4) 平成15年8月時の事故との違い

性能試験の最後に行った緊急停止試験中に同様の事故が発生したが、その際は緊急停止とともに排ガス出口ダンパが誤作動して全閉状態になり、炉内の可燃性ガスが供給筒へ逆流したことが原因であった。従って、今回の事故とは状況が異なっており、この事故から今回の事故を想定することはできなかった。

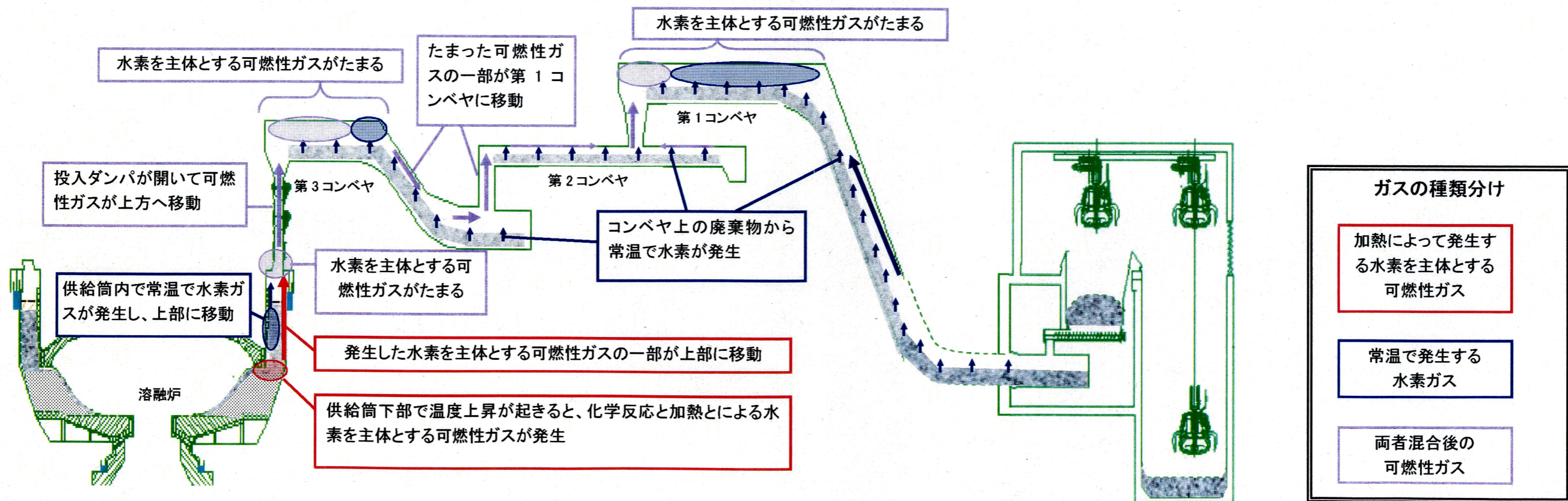




図11 可燃性ガスの発生・移動・滞留模式図

4. 再発防止対策

以上の調査結果をもとにして溶融炉と投入コンベヤの小爆発再発防止対策を施すとともに、豊島廃棄物等処理事業全体を対象に再発防止の視点から見直しを行い、可燃性ガス発生量の低減、可燃性ガスの滞留防止、監視の3つを軸に、掘削から溶融までを網羅した総合的な対策を施すこととした。掘削現場での生石灰使用量の低減など事業全体を網羅した総合的な再発防止対策を表1に示す。

表1 事業全体を網羅した再発防止対策一覧表

事業全体を網羅した再発防止対策			可燃性ガス発生量の低減	可燃性ガス滞留防止	監視
掘削現場		<p>水分低減方法を見直し、生石灰使用量を低減する</p> <p>重機攪拌によって水素ガスの放散を促進する</p>			
中間保管梱包施設				従来通りピット室を換気する	ホッパ上部、積込室等の日常ガス測定を強化する
海上輸送				従来通り、廃棄物を積み込んで陸上待機中のコンテナトラックの天蓋をわずかに開放し、水素ガスを放散させる	
中間処理施設	溶融炉と投入コンベヤ	<p>供給筒上部空間圧力と炉内圧を調整し、供給筒下部及び炉内で発生した可燃性ガスを炉内に吸い込む(供給筒上部に移動させない)</p> <p>廃棄物切り出し量を調整することによって供給筒内の温度上昇を抑え、可燃性ガスの発生を抑える</p>	<p>供給筒内に強制的に空気を送り込みながら換気する</p> <p>空気取込口を設けて新鮮空気を取り込みながら第1及び第3投入コンベヤ内を換気する</p> <p>併せてロータリーキルンコンベヤ内を換気する</p>	<p>供給筒と投入コンベヤ内の可燃性ガスをモニタリングする</p> <p>供給筒上部空間の圧力をモニタリングする</p> <p>供給筒内の温度をモニタリングする</p> <p>供給筒と投入コンベヤを映像監視・録画する</p>	
	溜まる可能性がある場所			従来通り、ホッパステージ室を換気する	<p>プラットホームの日常ガス測定を強化する</p> <p>スラグ処理室の水素ガス測定を追加する</p>

1) 可燃性ガス発生量の低減

(1) 水分低減方法の見直し (掘削現場)

現行の生石灰添加による乾燥対策から、事前に雨水浸透抑制と自然乾燥を行い、掘削物の水分低減を促進したうえで、できる限り少量の生石灰を添加することにより、水素ガス発生量を抑制しながら、廃棄物の含水率を30%以下に抑える方法に変更する。

(2) 攪拌による水素ガスの放散促進 (掘削現場)

生石灰混合後、重機によって廃棄物を十分に攪拌する。混合当日は終日混合・攪拌作業を行い、翌日から中間保管ピット運搬日までは、他の作業工程を見ながら午前と午後に1回ずつ程度の攪拌作業を行う(雨天日を除く)。

(3) 熔融炉供給筒上部空間圧力と炉内圧力の調整 (中間処理施設)

供給筒下部及び炉内で発生した可燃性ガスを供給筒上部に移動させないために、供給筒上部空間圧力を測定して以下の圧力調整を行う。供給筒上部空間圧力測定の概略を図12に示す。

- ① 大気圧 > 供給筒上部空間圧力 (= 微負圧) > 炉内圧力になるように、換気用の吸引ファンと押込ファン (図13参照) の風量を調整する。
- ② 炉内圧制御の設定値を変動範囲最大値でもマイナス圧となるように設定する(暫定設定値 -100Pa)。
- ③ 瞬間正圧状態が1時間に2回生じたら、警報を発生し炉圧の設定を下げるようガイダンスを実施する。
- ④ 正圧を30秒間維持した場合、自動的に炉回転を停止し、警報を発生しガイダンスを実施する。

(4) 熔融炉供給筒内温度の調整 (中間処理施設)

廃棄物切り出し量を調整することによって供給筒内の温度上昇を抑え、温度上昇に伴う可燃性ガス発生量の増加を抑える。供給筒内温度測定の概略を図12に示す。

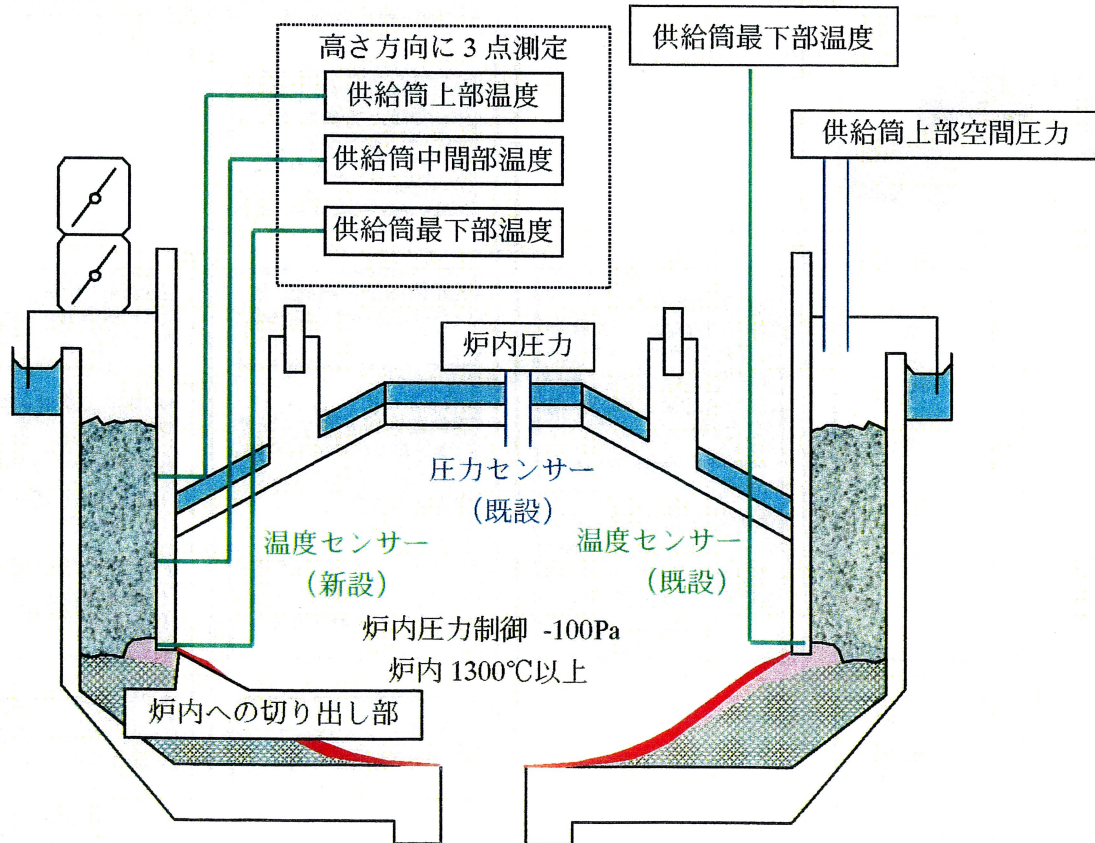


図12 供給筒の圧力・温度測定概略図

2) 可燃性ガスの滞留防止

(1) ピット室の換気 (中間保管梱包施設)

従来通り、実施する。

(2) コンテナトラックの天蓋開放 (豊島トラック待機ヤード)

従来通り、廃棄物を積み込んで豊島で陸上待機中のコンテナトラックの天蓋をわずかに開放し、水素ガスを放散させる。

(3) ホッパーステージ室の換気 (中間処理施設)

従来通り、実施する。

(4) 溶融炉と投入コンベヤの換気 (中間処理施設)

換気方法はコンピュータ解析を活用して決定した。換気の方法と解析結果による換気の流れとを図13に示す。1時間あたりの換気量は、コンベヤの場合は頂部空間容積の5倍量とし、供給筒の場合は上部空間容積の5倍量とする。供給筒内は、空気を押し込みながら筒の180度対角側から吸気し、供給筒内が炉内よりも低い負圧にならないようにする。換気ガスは後燃焼室に吹き込み、溶融排ガスと合流させる。投入コンベヤ内は、コンベヤ各所に空気取り入れ口を設けて新鮮空気を吸い込ませながら換気し、換気ガスはピット室に送り込んでそこを經由して燃焼空気として炉内に押し込む。

これらに加え、特殊前処理物処理用のロータリーキルン炉の投入コンベヤに対しても換気を行い、換気ガスは溶融炉投入コンベヤの換気ガスと合流させてピット室に送り込む。

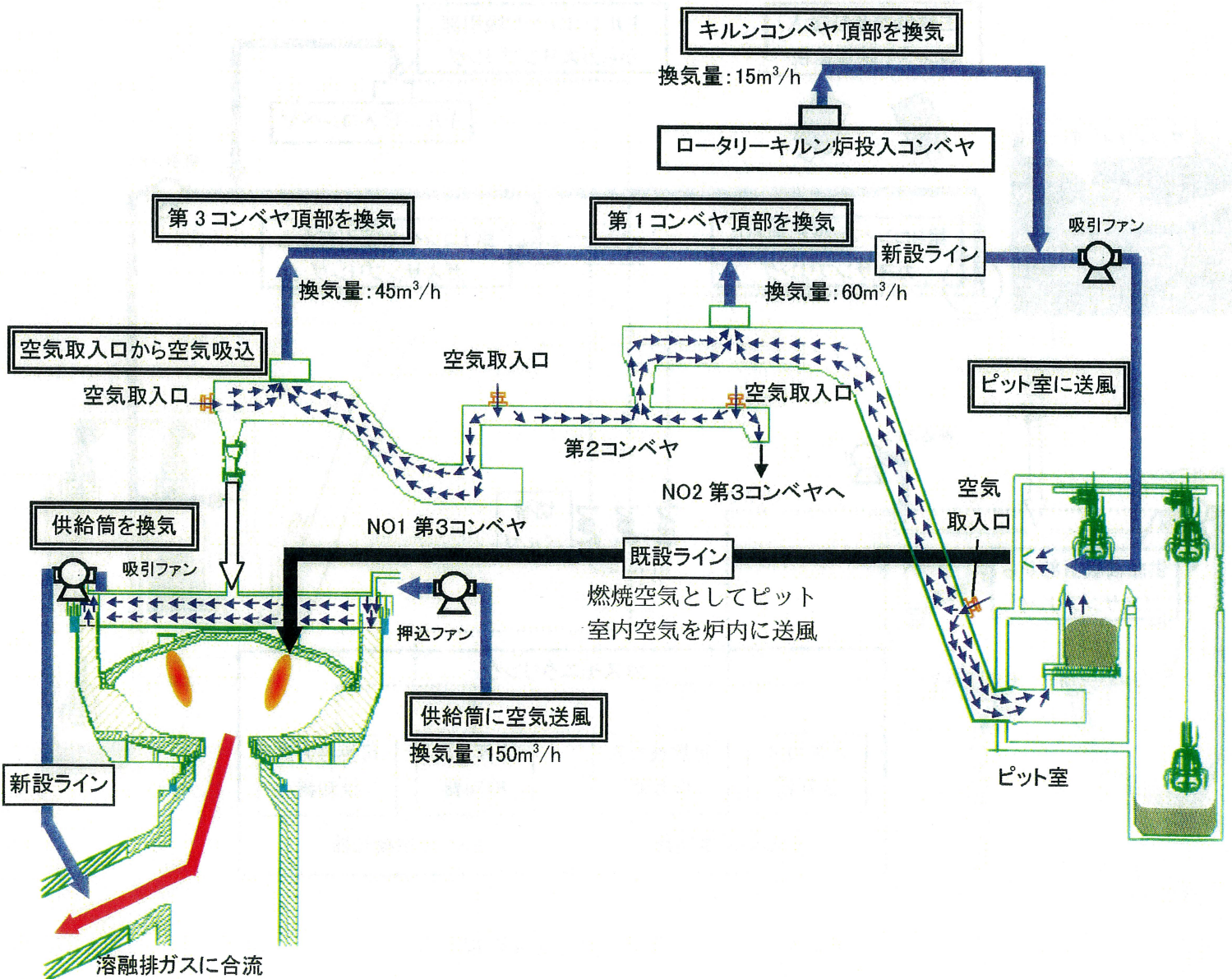


図13 換気の方法と換気の流れ

3) 監視

(1) 可燃性ガスのモニタリング (中間処理施設)

供給筒と投入コンベヤそれぞれに対して、水素ガス測定装置と可燃性ガス測定装置（水素、一酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、ブタンの6種のガスを測定）を設置し、供給筒内と投入コンベヤ内のガス濃度を常時モニタリングする。図14参照。

(2) 溶融炉供給筒の圧力・温度のモニタリング (中間処理施設)

供給筒上部空間圧力を常時測定して、大気圧 > 上部空間圧力 > 炉内圧であることを監視する。供給筒内の温度を常時測定して、設定温度以下であることを監視する。図12参照。

(3) 映像監視 (中間処理施設)

溶融炉主燃焼室上部及び溶融炉投入コンベヤを常時録画更新できる撮影システムで撮影し記録に残す。図14参照。

(4) 日常ガス測定の強化 (中間保管梱包施設)

現在、ホッパ上部、特殊前処理室及び積込室の水素ガス濃度を毎朝1回測定している。今後は一酸化炭素と炭化水素（メタン）を追加し、測定回数も試験的に増やし最適な回数と時間帯を決める。

(5) 日常ガス測定の強化 (中間処理施設)

現状、廃棄物投入プラットホームの水素ガス測定に一酸化炭素と炭化水素（メタン）を追加し、測定回数も試験的に増やし最適な回数と時間帯を決める。また、スラグ処理室の水素ガス測定を新たに行う。

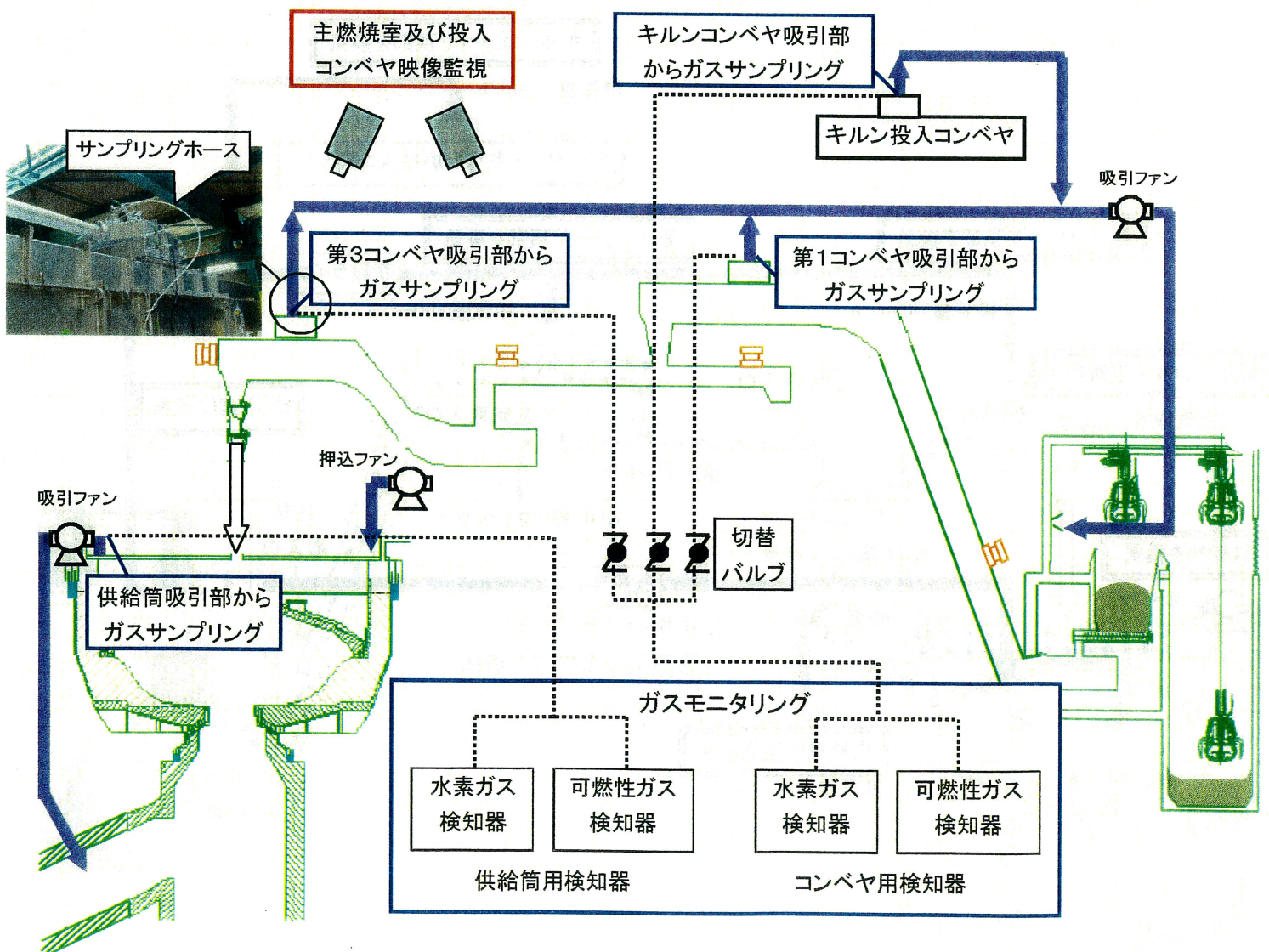


図14 ガスモニタリングと映像監視

5. 再発防止対策確認試験

再発防止対策について、対策工事終了後に確認試験を実施し、計画通りに機能することを確認した。結果を図15に示す。確認された項目及び数値を赤枠で示す。

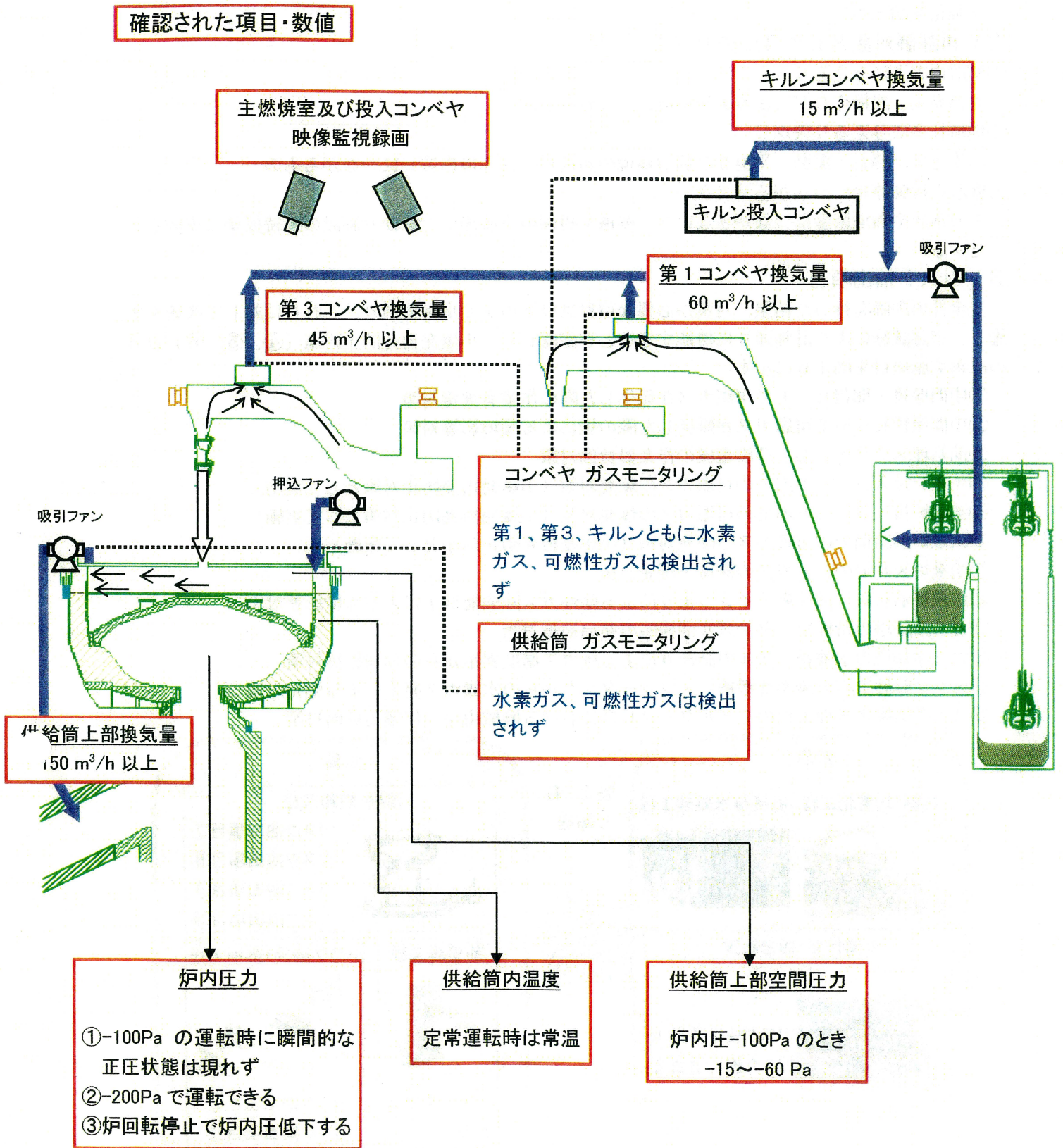


図15 再発防止対策 確認試験結果

6. 豊島廃棄物等処理事業の安全性解析

1) 目的と概要

今回の小爆発事故を契機として、その再発防止に万全を期すだけでなく、豊島廃棄物等処理事業全体の安全を見直すことを目的として、事業全体のさまざまなリスクを洗い出して再評価を行った。そして、再評価の結果、改善が必要であるとされた項目に対して、安全対策を施し、事業全体の安全強化を図った。

2) 再評価対象とした3つのリスク

①施設内の人々へのリスク

異常発生、誤操作などにより人身事故につながるもの

②地域社会へのリスク

汚染発生、騒音・振動、異臭など周辺環境の負荷増大（環境影響）につながるもの

③施設の稼働停止につながるリスク

人身事故や環境影響につながらないが、機械や設備の重故障につながり施設の連続操業に支障をきたすもの

3) リスク抽出項目

安全性再評価を行った結果、対策が必要な項目は以下の12項目であり、これらに対して改善を実施し、確認試験により計画通りに機能することを確認した。小爆発再発防止対策（④、⑤、⑥）以外の改善実施項目を図16に示す。

- ①中間保管・梱包ピットで可燃ガスが発生した際の作業員被毒対策
- ②中間保管ピットで可燃ガスが爆発した際の煙による環境影響対策
- ③前処理スクリーンおよび磁選機の作業員負傷対策
- ④キルン投入コンベヤ内での可燃ガスの爆発対策（小爆発再発防止対策として実施）
- ⑤溶融炉投入コンベヤ内での可燃ガスの爆発対策（小爆発再発防止対策として実施）
- ⑥溶融炉供給筒での可燃ガスの爆発対策（小爆発再発防止対策として実施）
- ⑦溶融炉天井でのLPガスの滞留・爆発対策
- ⑧溶融炉消石灰・活性炭ラインつまりによる酸性ガス除去能低下による環境影響対策
- ⑨ガス冷却塔の苛性ソーダノズル清掃時の薬品被毒対策
- ⑩ガス冷却塔の水噴霧ノズルの詰まりによる排ガス温度異常からの環境影響対策
- ⑪スラグ製砂工程の凝集沈殿槽、スラリータンクからの水素ガス発生による爆発対策
- ⑫スラグ給排水処理工程のフィルタープレスにおける機械由来の作業員負傷対策

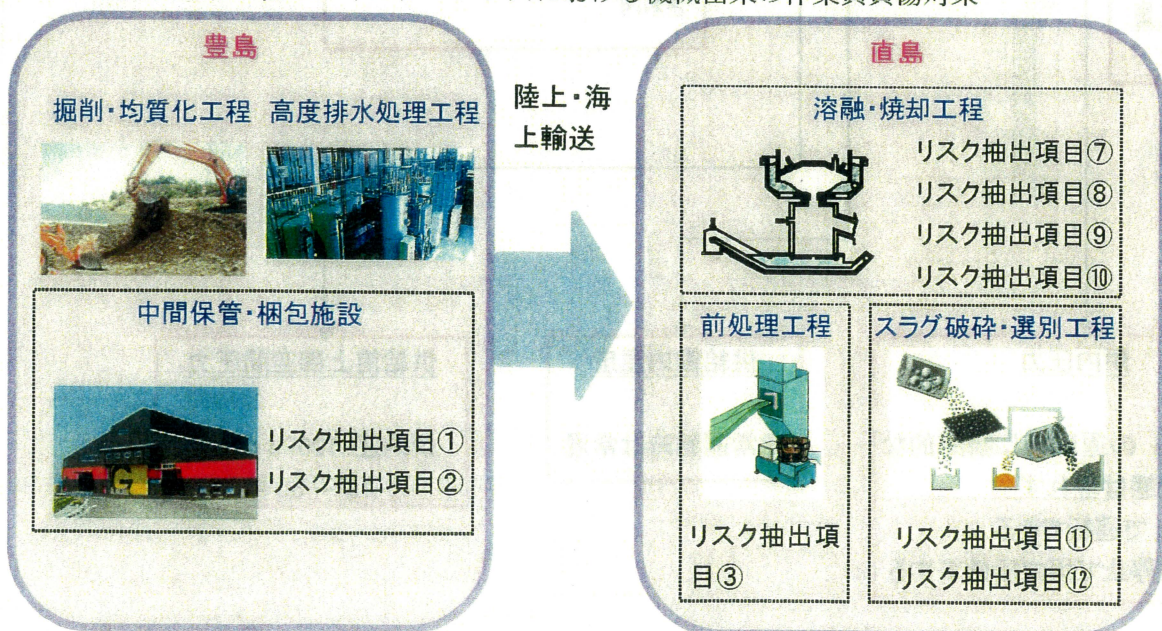


図16 安全性再評価による対策実施項目（小爆発再発防止対策以外）

4) 各抽出項目の概要

1. 中間保管ピットで可燃ガスが発生した際の作業員被毒
毎朝、作業前に可燃ガス等（①酸素濃度②メタンガス③一酸化炭素④硫化水素⑤水素）の測定を実施するように改善する。この測定の際に所定の濃度以上であれば、ピット内への立ち入りは禁止するとともに、換気による可燃ガス濃度が所定値以下になるまで掘削物の搬入を中断する。
2. 中間保管ピットで可燃ガスが爆発した際の煙による環境影響対策
万一、中間保管ピットで可燃ガスが爆発を起こした際の安全対策として、場内に充満した煙を速やかにバグフィルタおよび活性炭脱臭装置で無害化して場外に排出するように、制御系の改造を行う。
3. 前処理スクリーンおよび磁選機の作業員負傷対策
前処理工程の No.1、No.2 前処理スクリーン（トロンメル）、各磁選機における作業員の巻き込まれ等の損傷時の安全対策として、各機器の付近に非常停止スイッチを設置する。
4. キルン投入コンベヤ内での可燃ガスの爆発対策
キルン投入コンベヤ内に可燃ガスが滞留して、キルン炉由来の熱等で爆発が起こる危険を回避するために、キルン投入コンベヤ内を吸引し換気する。
5. 溶融炉投入コンベヤ内での可燃ガスの爆発対策
各溶融炉投入コンベヤ内に可燃ガスが滞留して、溶融炉由来の熱等で爆発や発火が起こる危険を回避するために、各溶融炉投入コンベヤ内を吸引し換気する。
6. 溶融炉供給筒での可燃ガスの爆発対策
溶融炉供給筒に可燃ガスが滞留して、溶融炉由来の熱等で爆発や発火が起こる危険を回避するために、供給筒内を吸引し換気する。
7. 溶融炉天井でのLPガスの滞留・爆発
溶融炉バーナの点火用燃料として使用しているLPガスが溶融炉天井部分で漏れた場合には構造上炉天井内に滞留する可能性が高い。（他のバーナは構造上滞留する可能性は低く、また溶融炉室は17.5回/時間換気している。）
LPガスボンベ内のLPガスが全量および大部分が溶融炉天井内に滞留すると、爆発濃度に達するため、溶融炉天井内にLPガス警報機を設置して、中央制御室に警報が出るようにする。
8. 溶融炉消石灰・活性炭ラインつまりによる酸性ガス除去能低下による環境影響対策
溶融炉バグフィルタ前に噴霧している消石灰・活性炭の噴霧ラインで閉塞が発生する可能性があるが、その場合は酸性ガスの除去能が低下して環境影響を及ぼす可能性がある。消石灰・活性炭ラインをより閉塞しにくいように変更するか、消石灰種類を変更して流動性の良いものに変更する。
9. ガス冷却塔の苛性ソーダノズル清掃時の薬品被毒対策
ガス冷却塔のノズルの清掃時に作業員が苛性ソーダ水溶液を浴びると被毒する可能性があり、ノズル点検時に配管をはずさなくても行えるように配管を改造する。
10. ガス冷却塔の水噴霧ノズルの詰まりによる排ガス温度異常からの環境影響対策
ガス冷却塔の水噴霧用のノズルに詰まりが発生した場合、排ガス温度異常による環境影響を与える可能性がある。ノズルは複数本化されるなどプリベンションは取られているが、フェイルセーフとして迅速なメンテナンス対策が必要である。ノズル点検時に配管をはずさなくても行えるように配管を改造する。
11. スラグ製砂工程の凝集沈殿槽、スラリータンクからの水素ガス発生による爆発対策
スラグ製砂工程において、集沈殿槽、スラリータンクからの水素ガス発生した場合、換気などの防護策は取られているが、安全対策として定期的な水素ガス濃度の測定が必要である。
12. スラグ給排水処理工程のフィルタープレスにおける機械由来の作業員負傷対策
フィルタープレスは稼働中でも稼働であることがわかりにくく、プレスの動作時に作業員が付近で作業していると負傷の可能性が高い。プレス動作時の警告としてパトライトを設置する。

II 本編

第1章 中間処理施設における小爆発事故の概況

平成16年1月24日11時40分頃に2号溶融炉で小爆発が起き、溶融炉上部ケーシング等が損傷した。ここでは、事故当日の運転状況と事故発生の経緯、機器の損傷状況等についてとりまとめた。

1. 小爆発事故発生前後の運転状況

1-1. 事故発生前の運転状況

事故当日の溶融炉運転状況は豊島廃棄物等を土壌比率30%、塩基度0.45に調整し、1号溶融炉、2号溶融炉とも、約93t/日のペースで順調に処理していた。

小爆発事故発生の約12時間前から10秒毎に採取したプロセスデータを図1-1に、事故発生の3日前から1分毎に採取したプロセスデータを図1-2に示す。事故が生じた2号溶融炉は、主燃焼室温度約1370℃、炉内圧約-50Paと通常の運転範囲であり、各部温度、重油量、排ガス性状など主要なプロセスデータについては、熱電対交換時の温度変化や天井高さ変更時に必要な炉回転の一時的な低減のほかは大きな変動は見られなかった。

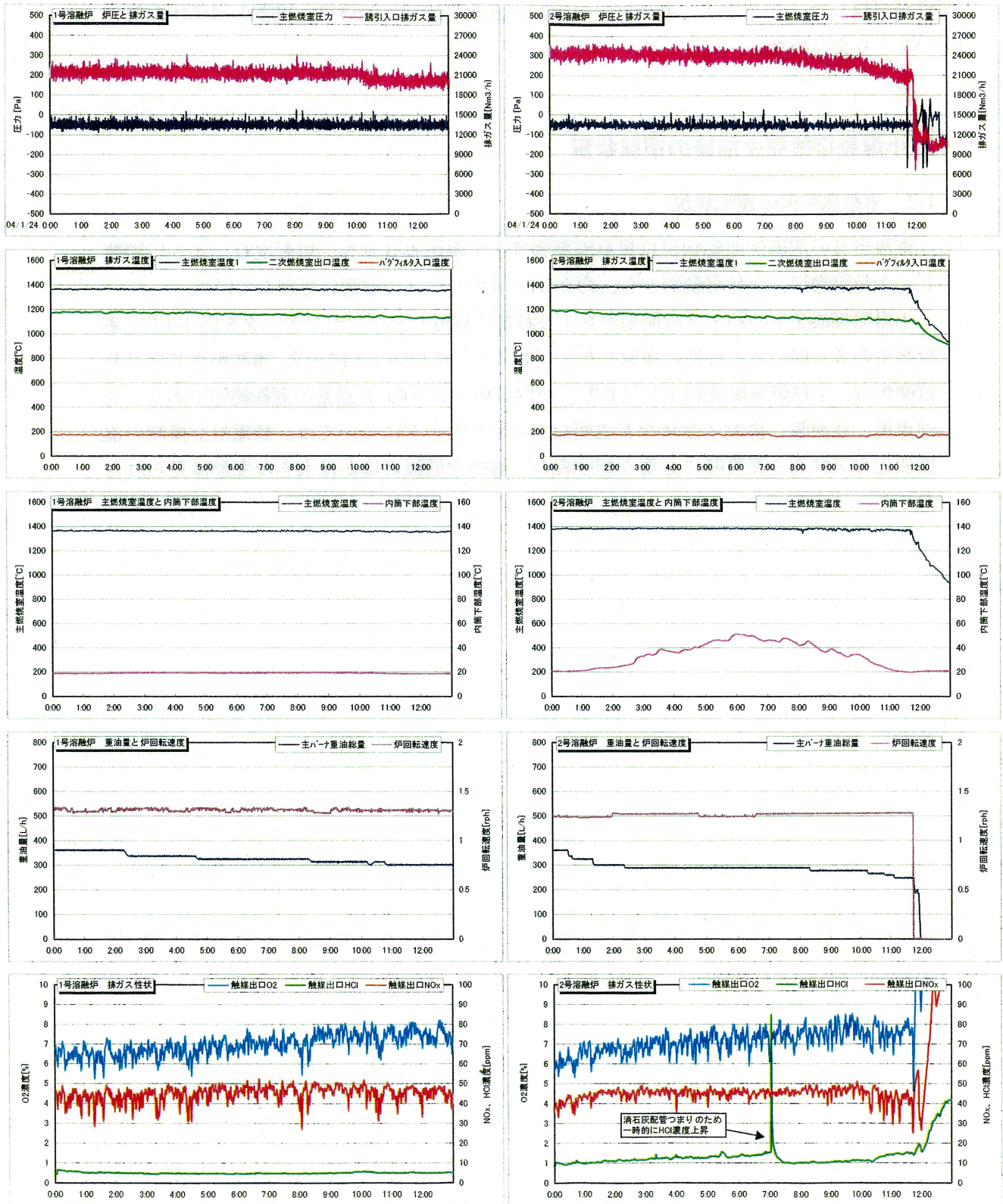


図 1-1 プロセスデータ (小爆発事故発生約 12 時間前～、10 秒毎)

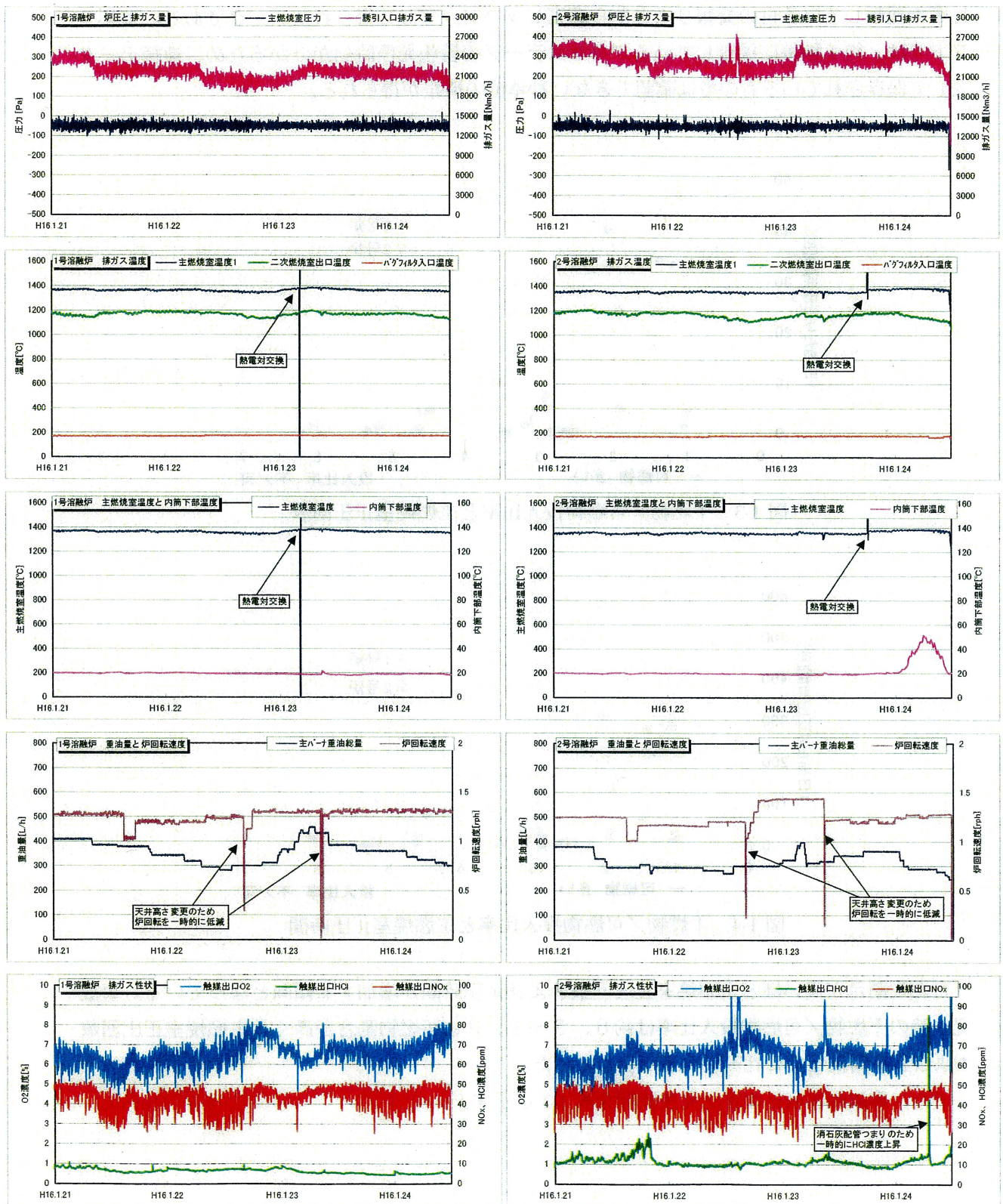


図 1-2 プロセスデータ (小爆発事故発生 3 日前～、1 分毎)

1-2. 不燃物／可燃物比率と主燃焼室圧力

不燃物／可燃物投入量比率と主燃焼室圧力正圧回数、正圧時間をそれぞれ図 1-3、1-4 に示す。いずれのグラフも性能試験開始から事故発生までの期間における代表的な不燃物／可燃物投入比率で運転している日の警報リストから適宜ピックアップして得られたデータである。警報リストでは、約 1 秒毎に採取しているプロセスデータの警報発停時刻が分かるため、連続データとして保存されているものでは確認できない秒単位の情報が得られる。

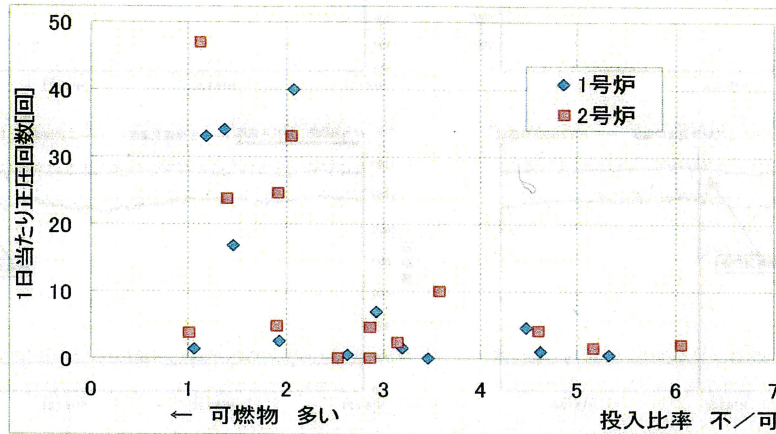


図 1-3 不燃物／可燃物投入比率と主燃焼室正圧回数

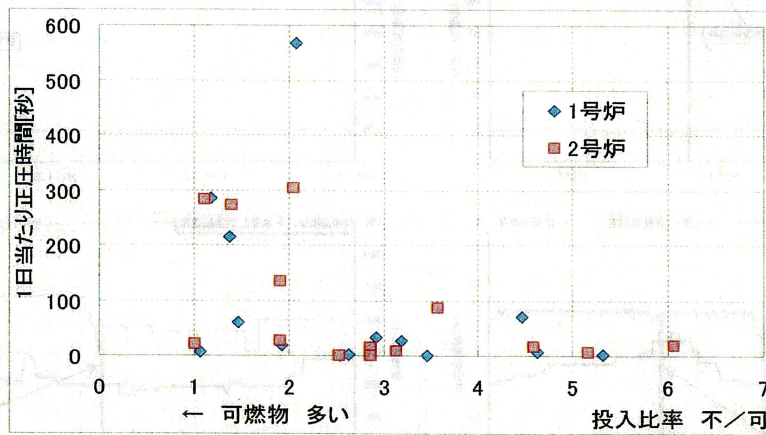


図 1-4 不燃物／可燃物投入比率と主燃焼室正圧時間

可燃物割合が高いほど主燃焼室正圧回数および正圧時間が増加する傾向となっている。事故発生時の不燃物／可燃物投入比率は約 0.9～1.3 と可燃物割合が高く、主燃焼室正圧回数および正圧時間ともに比較的大きな値であった。

また、事故発生当日の正圧発生時間を表 1-1 に示す。

表 1-1 事故発生当日の正圧状況

	正圧時刻	正圧時間 [sec]	備考
1号 溶融炉	1:05:23 ~ 1:05:30	7	
	4:26:37 ~ 4:26:44	7	4時台：正圧回数2回/h
	4:47:40 ~ 4:47:43	3	
	5:58:04 ~ 5:58:09	5	
	6:23:30 ~ 6:23:34	4	
	8:03:32 ~ 8:03:42	10	8時台：正圧回数2回/h
	8:15:17 ~ 8:15:27	10	
	10:10:04 ~ 10:10:11	7	10時台：正圧回数4回/h
	10:28:21 ~ 10:28:29	8	
	10:32:58 ~ 10:33:04	6	
	10:36:50 ~ 10:36:57	7	
11:00:44 ~ 11:00:49	5		
2号 溶融炉	0:37:40 ~ 0:37:45	5	
	3:58:51 ~ 3:59:04	13	
	4:42:03 ~ 4:42:10	7	4時台：正圧回数2回/h
	4:58:54 ~ 4:59:00	6	
	5:38:00 ~ 5:38:07	7	
	6:18:24 ~ 6:18:38	14	6時台：正圧回数3回/h
	6:56:49 ~ 6:56:53	4	
	6:58:03 ~ 6:58:19	16	
	8:09:06 ~ 8:09:19	13	8時台：正圧回数2回/h
	8:59:37 ~ 8:59:55	18	
	10:02:24 ~ 10:02:31	7	10時台：正圧回数2回/h
	10:50:45 ~ 10:50:51	6	
	11:41:29 ~ 11:41:51	22	

注) 事故発生までのデータを記載

1-3. まとめ

- ①事故発生前の主燃焼室圧力、各部温度、重油量、排ガス性状など主要なプロセスデータに大きな変動は見られない。
- ②1, 2号溶融炉を比較すると2号炉内筒下部温度が1月24日1時より一時的に30℃程度上昇しているが、有意な変化であるかは現在のところ判定がつかない。
- ③可燃物割合が高いほど主燃焼室正圧回数および正圧時間が増加する傾向が見られ、事故発生時の可燃物投入割合は高く、主燃焼室正圧回数および正圧時間ともに比較的大きな値であった。

2. 小爆発事故発生の経緯

- 11:40 ・運転員が炉室2Fにて3度の異音を聴取。
- 11:45 ・2号溶融炉天井部の上部ケーシング、溶融炉投入コンベヤのカバーや点検蓋の変形を現場確認。
- ・現場にて溶融炉投入コンベヤを停止。
 - ・関係部門への連絡を開始。
- 11:53 ・2号溶融炉の緊急停止開始。

13:08 ・1号溶融炉の通常立ち下げを開始。

14:27 ・ロータリーキルン炉の通常立ち下げを開始。

3. プラントの損傷状況

2号溶融炉上部ケーシングが最大で約34°変形し、それに伴い周辺の歩廊も変形した。また、2号溶融炉に付属する第3溶融炉投入コンベヤおよび第1溶融炉投入コンベヤのカバーや点検蓋が変形した。

損傷状況の概要を図1-5に示す。

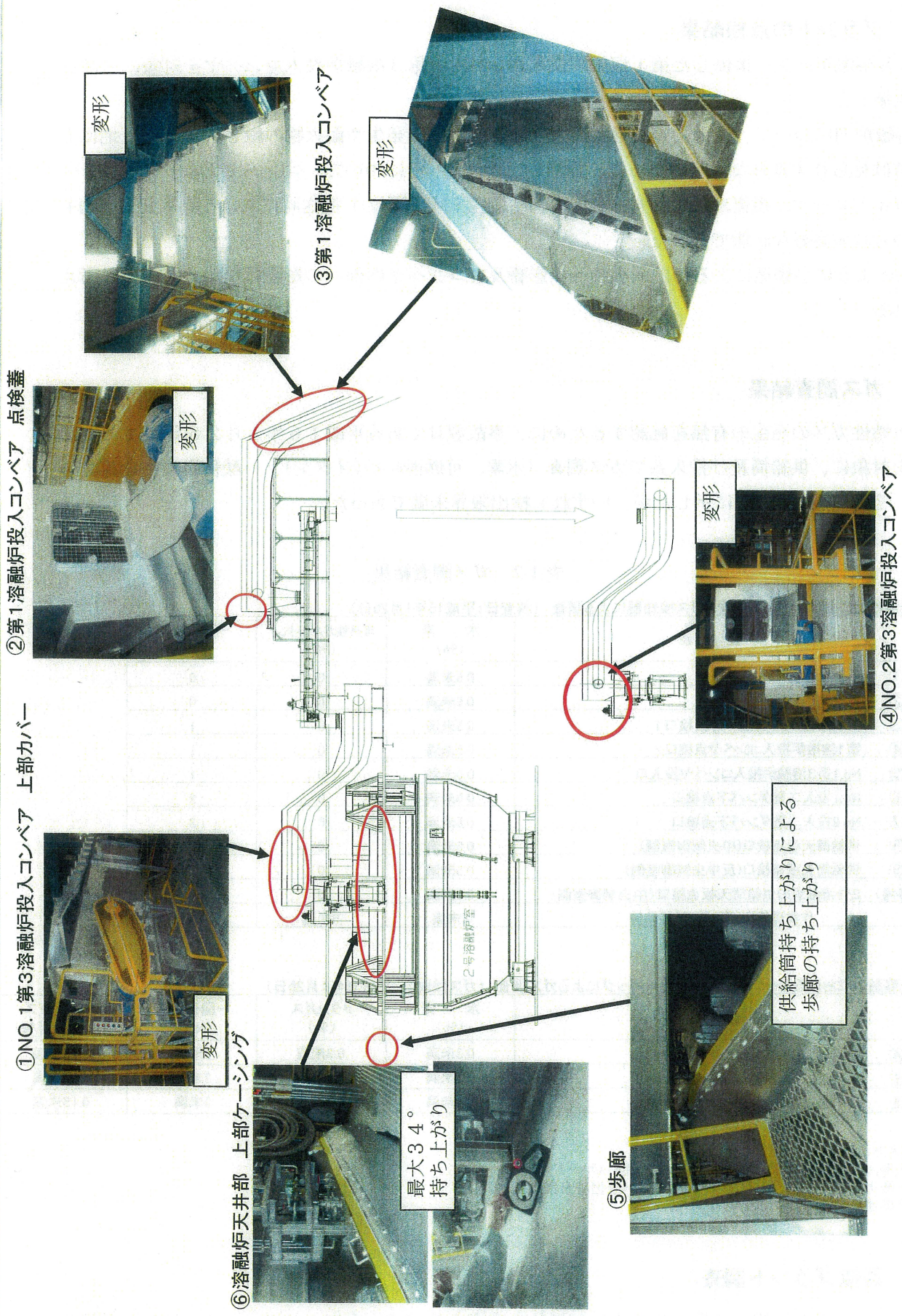


図 1-5 プラントの損傷状況

4. プラントの点検結果

2号溶融炉内及び損傷した第1溶融炉投入コンベヤと第3溶融炉投入コンベヤを対象に、点検を実施した。

溶融炉内について、耐火物の脱落及び大きなクラックの発生や耐火物の継ぎ目である目地にも異常は見られず良好な状態であった。溶融炉投入コンベヤについて、コンベヤチェーン及びローラガイドレールに損傷は見られず、また、(事故発生時残留物の)搬送時における異常音・振動も認められず良好な状態であった。

このように小爆発による炉内耐火物への影響及びコンベヤ内部への影響はなかったものと考えられる。

5. ガス調査結果

可燃性ガスの発生の有無を確認するために、事故翌日である平成16年1月25日に1号溶融炉を対象に、供給筒及び投入系でガス調査(水素、可燃性ガス(メタン)、一酸化炭素)を実施した。その結果を表1-2に示したが、いずれも検出限界未満であった。

表 1-2 ガス調査結果

1号溶融炉におけるガス検知管とガス検知器による調査(調査日:平成16年1月25日)

調査地点	水素 (%)	可燃性ガス(メタン) (%)	一酸化炭素 (ppm)
① 不燃物ピット	0.5未満	0	0
② 可燃物ピット	0.5未満	0	0
③ 第1溶融炉投入コンベヤ点検口1	0.5未満	0	1
④ 第1溶融炉投入コンベヤ点検口2	0.5未満	0	1
⑤ No.1第3溶融炉投入コンベヤ投入口	0.5未満	0	1
⑥ No.1投入二重ダンパ下点検口	0.5未満	0	2
⑦ No.2投入二重ダンパ下点検口	0.5未満	0	3
⑧ 供給筒天板点検口(中央制御室側)	0.5未満	0	2
⑨ 供給筒天板点検口(反中央制御室側)	0.5未満	0	3
(参考) 2号溶融炉の供給筒天板点検口(中央制御室側)	0.5未満	0	0
作業環境測定に基づく基準値	4未満	5未満	50未満

1号溶融炉におけるキャニスターとテドラーバッグによるガス調査(ガス採取日:平成16年1月25日)

調査地点	水素 (%)	メタンガス (%)	一酸化炭素 (ppm)	可燃性ガス (メタン換算%)
④ 第1溶融炉投入コンベヤ点検口2	0.3未満	0.3未満	3未満	0.15未満
⑤ No.1第3溶融炉投入コンベヤ投入口	0.3未満	0.3未満	3未満	0.15未満
⑧ 供給筒天板点検口(中央制御室側)	0.3未満	0.3未満	3未満	0.15未満

(測定方法)

水素,メタンガス TCD(熱伝導度検出器)付カラムクロマトグラフ
 一酸化炭素 CGT7000赤外線吸収式一酸化炭素濃度測定器
 可燃性ガス XP-302マルチ型ガス検知器

6. 類似プラント調査

本プラントと同様に処理対象物中に可燃物を含有するプラントについて、比較・検討した結果を表1-3に示した。

調査したプラントのうち、西村山プラントは処理物のカロリーが本プラントと同程度に高いものの、炉内圧設定値が低く常に炉内に負圧に保たれ、可燃性ガスの供給筒上部への拡散は少ないと考えられる。諫早プラントは炉内が正圧になることがあるものの、処理物のカロリーが低いいため可燃性ガスの発生量が少ないと考えられる。そのため、両プラントとも供給筒内への熱分解ガス拡散は非常に低いレベルと予想される。

表 1-3 直島と西村山、諫早との比較

プラント概要	フロー	直島		西村山			諫早			
		溶融炉 ↓ 後燃焼室 ↓ ボイラ ↓ ガス冷却塔 ↓ BF ↓ 脱硝塔 ↓ 煙突		溶融炉 ↓ 後燃焼室 ↓ 空気予熱器 ↓ ガス冷却塔 ↓ BF ↓ 煙突			溶融炉 ↓ 後燃焼室 ↓ 空気予熱器 ↓ ガス冷却塔 ↓ EP ↓ BF ↓ 煙突			
処理能力		100t/day × 2		14t/day × 1			24t/day × 1			
種類		不法投棄廃棄物 (汚染土壌含む) 直島一般ごみ		主灰(乾灰) 飛灰 プラスチック系ごみ ガラスカレット			主灰(乾灰) 飛灰 埋立物 し尿乾燥汚泥			
処理対象物	主要物の組成(概略値)	可燃物	不燃物		主灰	飛灰	プラ	主灰	飛灰	埋立物
	水分(%)	20	18		0	0	2	1	1	23
	灰分(%)	43	64		95	87	6	91	88	64
	可燃分(%)	37	18		5	13	92	8	11	13
	高位発熱量(kJ/kg-dry)	13000	5000				35000			
	低位発熱量(kJ/kg-wet)	10000	4000							1100
	pH	11	9							8
	Al及びその化合物(%)	3	4		15	6		10	8	6
Zn及びその化合物(%)	0.5	0.5		0.3	0.2		0.5	0.2	0.4	
運転状況	実績処理量	豊島廃棄物		主灰	414.10t/year (42.8%)	主灰	1,845t/year (34.2%)			
	直島:平成14年10月 西村山:平成14年度 諫早:平成14年度	3826t/月	113t/月	飛灰	231.04t/year (26.7%)	飛灰	1,119t/year (20.8%)			
運転方法	炉内圧設定	50Pa		-100Pa			50Pa			
	炉内圧変動	可燃物割合により異なり 可燃物が多いほど 正圧になる頻度が高い		ほとんど変動無し 正圧にはならない			-20~-80Paで変動 つらら落下により 正圧になることあり			
	炉内温度	1300~1370℃		1300~1350℃			1260~1300℃			
	供給筒点検口の開閉	2回/day		ほとんど開けない			ほとんど開けない			
	二重ダンパの開閉	処理物の供給に連動		処理物の供給に連動			処理物の供給に連動			
	コンベヤのシール性	ダストが場内に 飛散しない程度 強制換気無し		乾灰がもれない程度 強制換気無し			乾灰がもれない程度 強制換気無し			
	石灰添加	有		無			無			
	爆発現象	有		無			無			
	供給筒内温度測定	有		有			無			

7. 周辺環境への影響

排出口（触媒塔出口）における排ガス測定データは表 1-4 のとおりである。表には通常運転時要監視レベルでの排出量に対する実排出量の割合を併記した。

2 号溶融炉は事故直後緊急立下げを行っているが、事故以降の通常運転時要監視レベルでの排出量に対する実排出量の割合は、窒素酸化物、塩化水素、一酸化炭素とも最大で 10%を下回っており、ばいじん、二酸化硫黄については 0%であった。

1 号溶融炉は 2 号溶融炉の事故後に通常立下げを行っているが、立下げ以降の通常運転時要監視レベルでの排出量に対する実排出量の割合は、窒素酸化物で最大 35%、塩化水素で最大 10%と通常運転時よりも低く、一酸化炭素が最大で 39%、ばいじん、二酸化硫黄はいずれも 0%であった。

また、直島町役場において常時監視している環境測定データは表 1-5 のとおりであり、通常と特段の差異はなかった。

これらのことから周辺環境に特段の影響はなかったものと考えられる。

表 1-5 事故前後の直島町役場における環境測定データ

時間	直島町役場								備考
	SO ₂ ppb	NO ppb	NO ₂ ppb	NO _x ppb	O _x ppb	SPM μg/m ³	風向	風速 m/s	
1	6	2	7	9	※	12	NNW	0.9	
2	12	2	10	12	24	5	ENE	1.5	
3	18	5	28	33	8	12	NNE	1.8	
4	13	3	18	21	13	22	WNW	0.9	
5	14	4	25	29	10	20	WNW	1.1	
6	21	7	32	39	6	28	NW	1.5	
7	12	5	25	30	11	24	NNW	1.6	
8	10	9	24	33	10	28	NW	0.2	
9	15	24	30	54	9	45	NW	1.8	
10	16	20	29	49	13	30	NNW	3.7	
11	15	10	19	29	22	29	NNW	4.6	11:53 2号炉緊急立下げ開始
12	9	5	11	16	29	35	NNW	4.1	
13	8	5	10	15	31	31	NNW	3.8	13:08 1号炉通常立下げ開始
14	7	2	5	7	35	13	NW	3.8	
15	9	2	5	7	37	25	NE	2.6	
16	12	2	7	9	34	44	N	3.2	
17	22	4	13	17	27	33	NE	3.0	
18	24	3	9	12	31	21	N	2.4	
19	22	2	8	10	31	32	NNE	3.2	
20	11	1	7	8	34	29	NNE	2.5	
21	11	1	9	10	28	29	NNE	3.7	
22	15	2	11	13	28	36	NNE	3.2	
23	16	2	10	12	28	33	N	2.9	
24	11	2	8	10	29	15	N	3.6	
環境基準	1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下であること。	—	1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。	—	1時間値が0.06ppm以下であること。	1時間値の1日平均値が0.10mg/m ³ 以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m ³ 以下であること。	—	—	

注) ※は欠測である。

第2章 事故原因の推定

1. 原因究明のための調査・実験結果

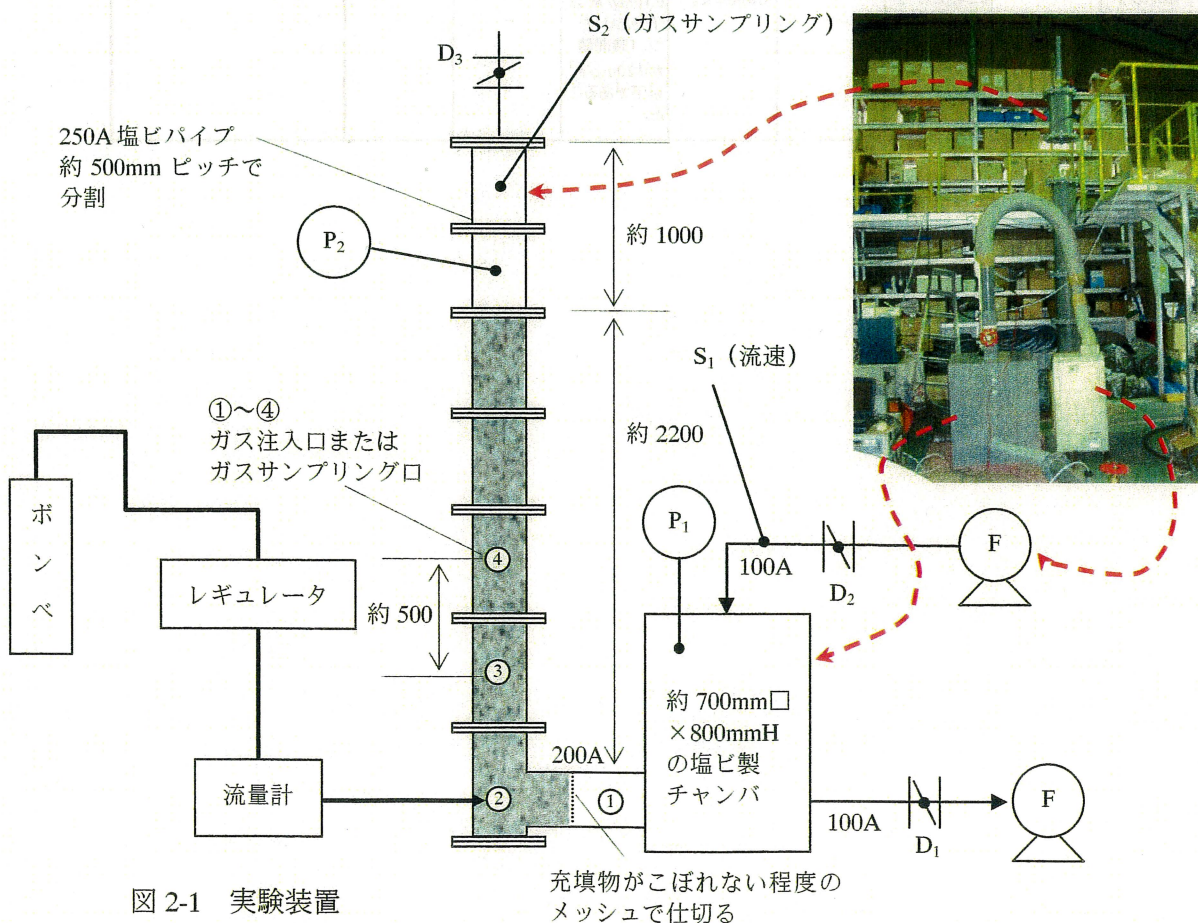
今回の小爆発事故の原因物質として可能性があるのは、ガスと粉じんである。粉じんについては、豊島廃棄物等が水分を20%程度以上含んでおり、粉じんの発生しにくい状態であること等から可能性はほとんどないと考えられる。そこで、可燃性ガスに的を絞って調査・実験を行った。

1-1. 供給筒内可燃性ガス挙動調査実験

投入物中に可燃物が含まれる場合、供給筒内廃棄物層下部で熱分解ガスが発生していることが予想される。しかし廃棄物層下部で発生した熱分解ガスが供給筒上部で滞留するかどうかについては明らかにはなっていない。そこで、廃棄物層下部で発生した可燃性ガスが供給筒上部空間に滞留する可能性があるかどうかを調査するために、供給筒を模擬した模型を用いてラボ実験を実施した。

1-1-1. 実験装置

熔融炉供給筒および主燃焼室を模擬した実験装置を図2-1に、実験装置モデル化のイメージを図2-2に示す。供給筒は廃棄物の移動層を考慮して250Aのパイプを用い、高さは実機と同じ規模とした。また、筒上部にはダンパを設けて供給筒内の密閉程度を変化できるようにした。主燃焼室は塩ビ製の角型チャンバとし、押し込みファン、誘引ファン、ダンパを設置してチャンバ内圧力を調整できるようにした。



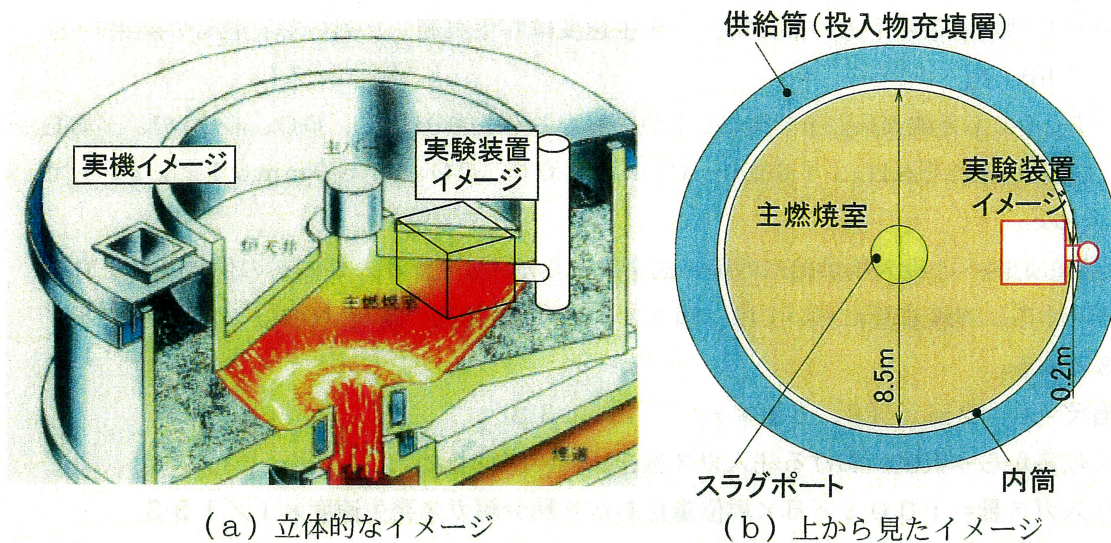


図 2-2 実験装置のモデル化 (イメージ図)

1-1-2. 実験条件

実験条件を表 2-1 に示す。

表 2-1 実験条件

RUN No.	P_1	D_3	ガス注入口	注入ガス	押込み空気量	充填物 可燃物/不燃物
	Pa					
1	20	全開	②	H ₂ :300 + CO:450	200	1
2	0					
3-1	-50					
3-2						
3-3						
4	20	微開	③			
5						
6	-100	微開	②			
7	-50			全開	①	

注) 微開は P_1 が-50Paのとき P_2 が-10Paとなる開度で調整した

供給筒内充填物は小爆発事故発生時の処理物である可燃物と不燃物を約 1 : 1 で混合したものをを用いた。可燃物、不燃物ともに豊島掘削現場で添加した生石灰及び炭酸カルシウムが含まれている。

筒上部バルブは全開、微開、全閉の 3 条件とし、微開はチャンバ内圧力が - 5 0 P a のときに筒上部圧力が - 1 0 P a となるよう調整した (ヘリウムガスによる滞留性調査実験時の 2 重ダンバ開条件と同じ)。開口率 (次式) は全開時で 4 %、微開時 (5 0 A ゲートバルブ全閉時よりハンドルを 1 2 0 ° 開) では開空間が極めて小さかったため算出できなかった。

$$\text{開口率 (\%)} = \text{開口面積} / \text{筒断面積} \times 100$$

注入ガス量は以下の仮定に基づいて算出した。

- ・ 1 0 0 0 ° C 無酸素条件下で発生する熱分解ガスが供給筒廃棄物層下部より発生する。

(ガス挙動の傾向を見極めるため実際よりも多いと考えられる発生ガス量とした。)

- ・ 1000℃無酸素条件下での熱分解ガス発生速度は昨年実施した熱分解実験時の結果^{※1}を用いる。

※1：1000℃無酸素条件下で発生した熱分解ガスの主成分はH₂、CO、CO₂で、平均発生速度はそれぞれH₂：1600、CO：2300、CO₂：750mmol/kg/hであった。

- ・ 供給筒から炉内への投入物供給は内筒下部全周から均一に行われ、炉内への供給量は100t/日とする。実験装置においては、図2-2(b)の供給部の縮尺(次式)から実機の1/133とする。

$$\text{縮尺} = 0.2\text{m} / (8.5\text{m} \times \pi) \div 1 / 133$$

これらの仮定から本実験における注入ガス量を次式で決定した。

$$\text{注入ガス量} = 100\text{t/日} \times \text{単位重量あたり熱分解ガス発生速度} \times 1 / 133$$

1-1-3. 実験手順

以下の手順でチャンバ内圧力、供給筒上部密閉程度、可燃性ガス注入位置を変化させた実験を実施し、注入したガスの挙動を調査した。

- ①所定の実験条件となるように各ダンパ(D₁～D₃)を調整する。
- ②所定の位置より可燃性ガスを注入する。
- ③都市ガスや水素などの可燃性ガスが検知できるガス検知器(新コスモス電機製XP-702S、添付資料参照)を用いて可燃性ガスの存在を断続的にモニタリングしながら、適宜ガスを真空ビンで捕集してガスクロマトグラフで分析する。
- ④各RUN終了後、供給筒上部ダンパ全開、押し込みダンパ全閉とし、供給筒内を十分置換する。置換終了の判断はガス検知器を用いて行った。

ただし、RUN3-1、3-2、3-3は置換せずに続けて実験を行った。

1-1-4. 実験結果と考察

実験結果を表2-2に示す。

1-1-4-1. チャンバ内圧力の影響

供給筒上部を開放した状態では、チャンバ内圧力が0Pa以上となるとH₂が供給筒上部で検出され(RUN1、2)、-50Pa以下とすると筒上部では検出されなかった(RUN3-1、6)。チャンバ内圧力は高いほど筒上部へ移動しやすくなるが、検出されるレベルになるまでには30分以上の時間を要した(RUN1)。

COについては、H₂よりも検出される時間は遅いが時間の経過とともにH₂よりも高濃度になる傾向が見られ、H₂が検出されない条件ではいずれも定量下限を下回った。ただし、分析装置上の都合で定量下限が500ppmであったため傾向が現れにくい結果であった。

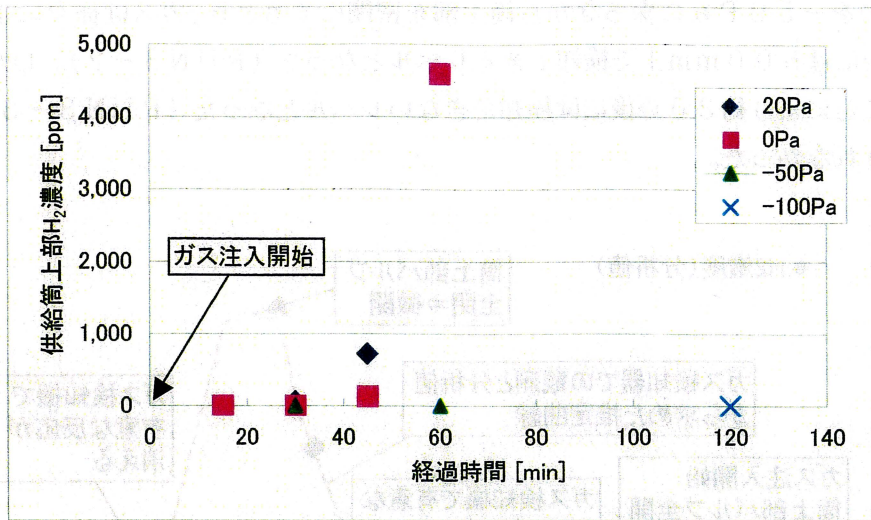


図 2-3 チャンバ内圧力と供給筒上部H₂濃度
(ただし、検出下限以下は0としてプロット)

表 2-2 実験結果

RUN No.	実験条件			実験結果					備考
	P ₁ Pa	D ₃ —	ガス注入口 —	P ₂ Pa	サンプリング位置 —	サンプリング時間 min	H ₂ 濃度 ppm	CO濃度 ppm	
1	20	全開	②	1~2	S ₂	15	<50	<500	35分でガス検知反応
						30	59	<500	
						45	720	850	
2	0	全開	②	0	S ₂	15	<50	<500	45分でガス検知反応
						30	<50	<500	
						45	130	<500	
						60	4,600	<500	
3-1	-50	全開	②	0	③	30	<50	<500	
						60	<50	<500	
3-2	-50	全開	②	-50	③	68	280	<500	60分でガス検知反応
						S ₂	68	<50	
3-3	-50	微開	②	-10	③	38	<50	<500	30分でガス検知反応消える
						S ₂	38	<50	
4	-50	微開	③	-10	④	30	<50	<500	
						60	<50	<500	
						S ₂	60	<50	
5	20	微開	②	2~3	③	5	790	<500	45分でガス検知反応
						10	15,000	41,000	
						60	99,000	280,000	
					S ₂	47	86	<500	
6	-100	微開	②	-29 ~ -30	③	30	<50	<500	
						60	<50	<500	
						120	<50	<500	
					S ₂	120	<50	<500	
7	-50	全開	①	0	②	30	<50	<500	
						60	<50	<500	
						90	<50	<500	
						120	<50	<500	
					S ₂	120	<50	<500	

注) サンプリング時間は各RUN開始からの経過時間を示す

1-1-4-2. チャンバ内負圧時の筒上部密閉性の影響

チャンバ内圧力を -50 Pa に保ちながら筒上部を密閉にすると H_2 ガスは徐々に上昇をはじめ、約60分後には 500 mm 上で検知できるレベルとなった(RUN3-2)。しかし、筒上部を開放することにより約30分後には検知できないレベルとなった(RUN3-3)。COについては検出されなかった。

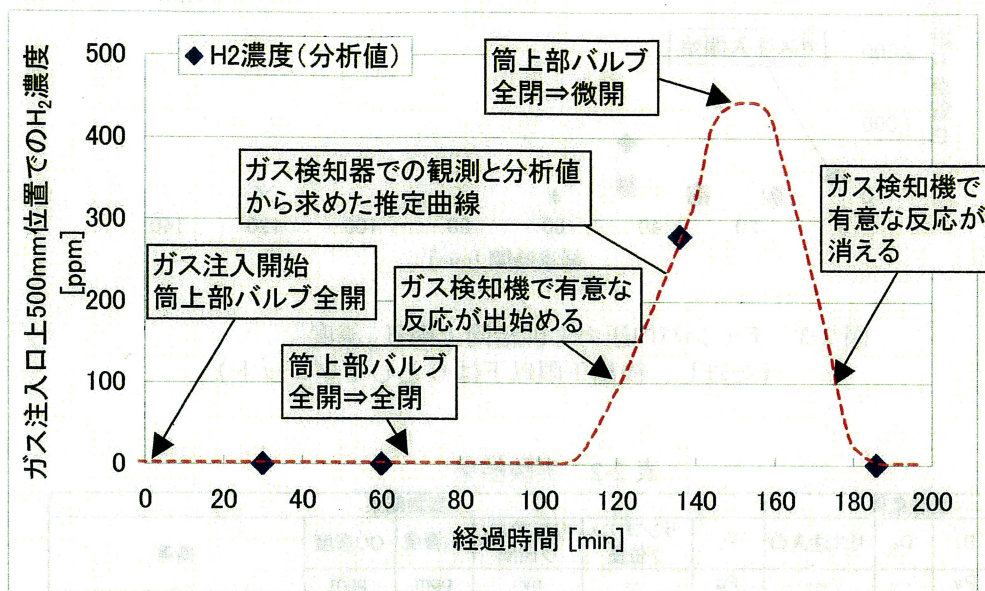


図 2-4 チャンバ内 -50 Pa 時の供給筒上部密閉性と H_2 濃度
(ただし、検出下限以下は0としてプロット)

1-1-4-3. ガス注入位置との関係

チャンバ内圧力を -50 Pa と負圧に保ち、供給筒上部を開放している条件においては、炉内への供給部付近(②)および炉内側(①)で注入したガスは筒上部では検出されなかった(RUN3-1、7)。

また、上記条件では炉内への供給部から約 500 mm 上の位置(③)でガスを注入しても筒上部への移動は検出されなかった(RUN4)。

1-1-4-4. チャンバ内正圧時の供給筒上部密閉性の影響

チャンバ内圧力が 20 Pa の正圧条件では、供給筒上部密閉性が低いほど筒上部空間で H_2 ガスが検出されるまでの時間が早く、上部に移動しやすい傾向であった。COについても同様の傾向が得られた。

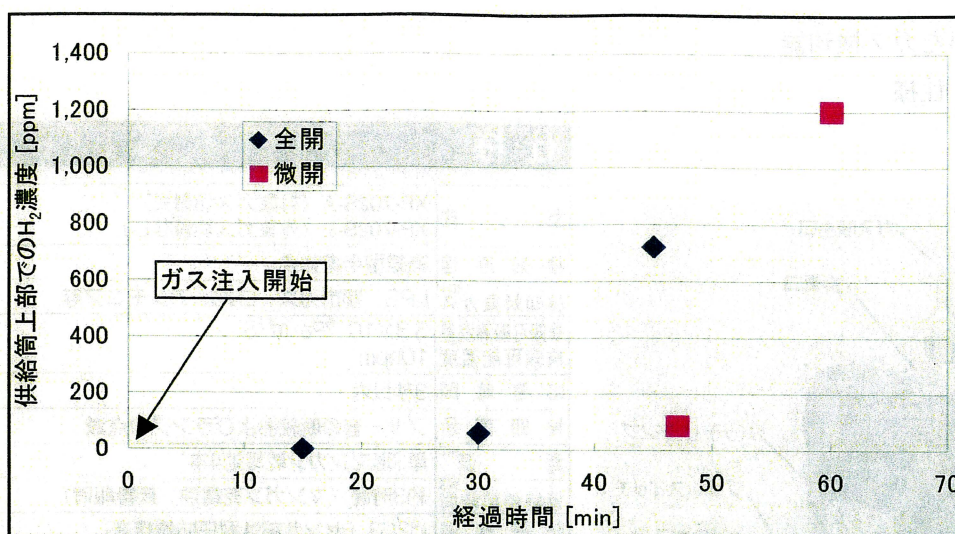


図 2-5 チャンバ内 20 Pa 時の供給筒上部密閉性と供給筒上部 H₂ 濃度 (ただし、検出下限以下は 0 としてプロット)

1-1-5. まとめ

炉内への供給部付近で発生する熱分解ガスの供給筒での挙動を調査することを目的として、供給筒を模擬した模型によるラボ実験を実施し、以下の結果が得られた。

- ①チャンバ (炉) 内圧が高いほど早い時間で H₂ ガスが供給筒上部で検出される。
- ②チャンバ (炉) 内圧が負圧であっても供給筒上部が密閉されていれば H₂ ガスが筒上部で検出される。
- ③供給筒内に滞留した H₂ ガスは、筒上部を開放してチャンバ (炉) 内圧を -50 Pa とすることで検出できないレベルとなる。
- ④注入ガス (熱分解ガス発生) 位置が供給部付近上 500 mm 位置であっても、供給筒上部開放でチャンバ (炉) 内圧 -50 Pa であれば H₂ ガスの上昇は検知できなかった。
- ⑤チャンバ (炉) 内圧が正圧であれば、供給筒上部の密閉性が低いほど筒上部で H₂ ガスが検知される時間が早い。
- ⑥CO については、H₂ よりも検出される時間は遅いが時間の経過とともに H₂ よりも高濃度になる傾向が見られ、H₂ が検出されない条件ではいずれも定量下限を下回った。ただし、分析装置上の都合で定量下限が 500 ppm であったため傾向が現れにくい結果であった。

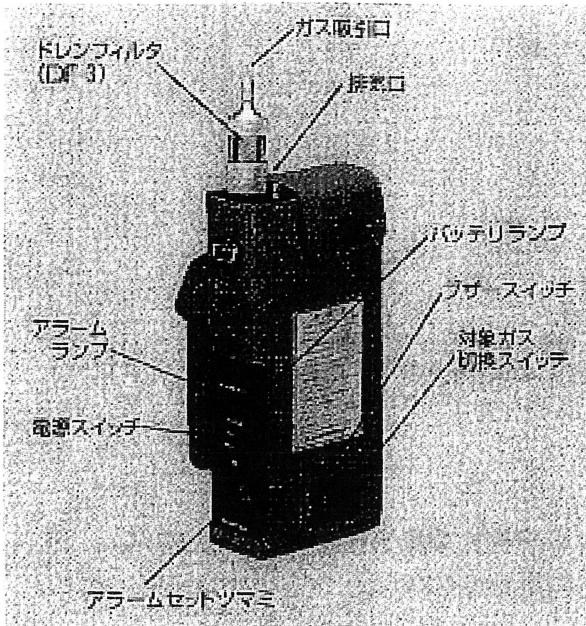
1-1-6. 結果をふまえた実機現象の推定

模型を用いた冷間かつ有限時間内での実験結果であることから、実機熔融運転時における挙動の推定にはそれを考慮する必要がある。それを踏まえて、以下に推定する。

- ①供給筒から投入コンベヤにかけて、それらの密閉性がいいと、炉内圧が -50 Pa の負圧でも供給筒下部で発生したガスはそれらの空間に移動してくる。
- ②一方、それらの密閉性がよくないと、炉内圧が -50 Pa の負圧のときは上部に移動してこない。ただし、0 Pa まで炉内圧が上昇すると、密閉性がわるくても上部に移動してくる。

本実験に用いたガス検知器

(1) 外観、仕様



仕様

型 式	XP-702S-A (対象ガス切替式) XP-702S-B (対象ガス切替なし)
検 知 原 理	熱線型半導体式
検知対象ガス	LPG、都市ガス、LNG、アンモニア等
検知可能漏洩量	$3.3 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
検知可能濃度	10ppm
応 答 時 間	3秒以内
検 知 表 示	ブザー音の断続およびランプの点滅
電 源	単3形マンガン乾電池4本
連続使用時間	約3時間 (マンガン乾電池、無警報時)
防 爆 構 造	id2G3 (センサ部は耐圧防爆構造)
使用温度範囲	-20℃～50℃
外 形 寸 法	W68×H155×D32 (mm)
重 量	約400g
付 属 品	XP-702S-A: レザーケース、点検ガス、アタッチメント(AT-2)、ドレンフィルタ、フィルタエレメント、単3形マンガン乾電池 XP-702S-B: レザーケース、点検ガス、ガス検知器セット(AT-2, AT-3, AT-6)、ばし器、ドレンフィルタ、フィルタエレメント、単3形マンガン乾電池
特 別 付 属 品 (別売)	路面用アタッチメント(AT-7A)、伸縮式ガス導入管(RP-4)、Ni-Cd蓄電池(KR-AA)専用充電器、イヤホン

※1 対象ガスについては、ご相談ください。
 ※2 アルカリ乾電池、充電式Ni-Cd蓄電池も使用可能
 ※3 環境条件、使用条件、保存期間、電池メーカーなどにより異なる場合があります。

(2) 検知原理

検知原理<熱線型半導体式 (固体熱伝導式)>

金属酸化物半導体表面でのガス吸着による熱伝導度変化および電気伝導度変化を白金線コイルの両端よりみた抵抗値変化として測定するガスセンサです。

白金線コイル上に金属酸化物半導体 (SnO₂) を塗布し焼結したものです。白金線コイルは一定の高温 (300～450℃) に保つヒーターとしての役割と信号検出電極としての機能も兼ねています。(PAT)

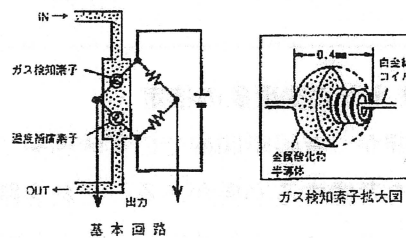
1. 熱伝導の効果 (固体熱伝導式)

白金線コイルに流れる電流によって約 300～450℃に保たれた金属酸化物半導体 (SnO₂) が可燃性ガスのような電子供与性ガスを吸着すると、その電子濃度が増し、半導体の熱伝導度がよくなります。その結果、放熱がよくなり、半導体の温度が下がり、白金線の抵抗が低下します。

この場合、白金線コイルは接触燃焼式センサの場合と同様に温度計として機能していません。

2. 電気伝導の効果 (熱線型半導体式)

検知部の構造を電気的にみると、コイルの抵抗 (R_h) と、半導体の抵抗 (R_s) が並列回路を構成しているとみなされます。半導体へのガス吸着によって半導体の抵抗値 (R_s) が減少し、合成抵抗 (R) が減少します。熱伝導、電気伝導によるRの変化をブリッジ回路の偏差電圧としてとり出します。



1-2. ヘリウムガスによる滞留性調査実験

水素等軽い可燃性ガスが、投入コンベヤ頂部の閉空間に滞留する可能性があるかどうかを調査するために、実機を用いてヘリウムガスの挙動実験を行った。

1-2-1. 実験の概要

損傷していない1号炉において、供給筒下部の炉内切り出し部付近からヘリウムガス（可燃性軽ガスの代替ガス）を注入してコンベヤ頂部空間の空気を採取し、ヘリウム濃度を測定した。異なる炉内圧条件で行い、炉内圧によるヘリウム濃度の変化を調べた。また、第1投入コンベヤ下部からヘリウムガスを注入して第1投入コンベヤ頂部空間のヘリウム濃度を測定し、このコンベヤでのヘリウムガスの挙動を調べた。

1-2-2. 実験方法

1-2-2-1. ヘリウムガスの注入

(1) 炉内切り出し部付近

ヘリウムボンベに減圧弁、流量計及び注入ノズルを取り付け、投入口付近から廃棄物層へ差し込み、切り出し部付近の深さから注入した。概要図を図2-6に、注入点を図2-7に示す。

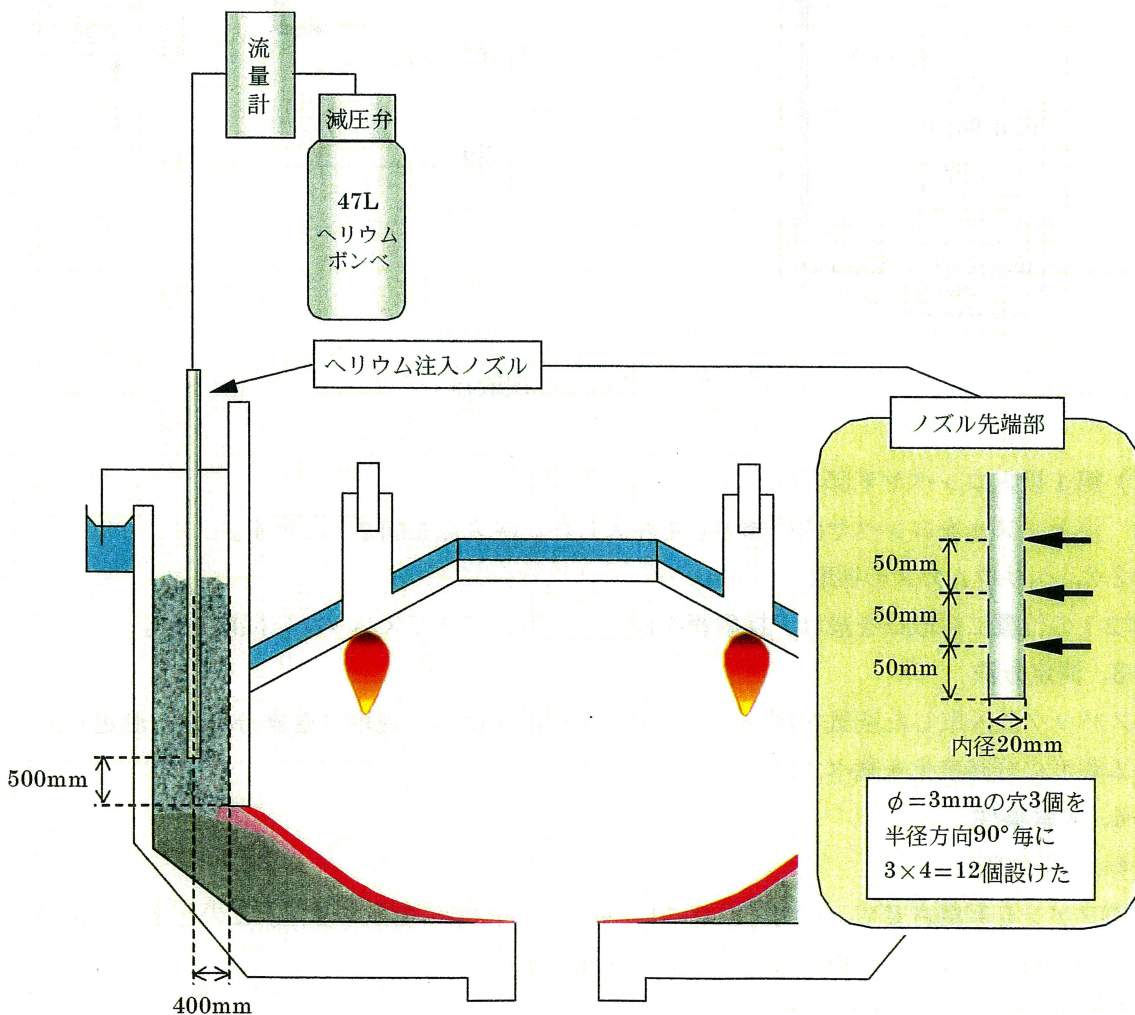


図 2-6 切り出し部付近でのヘリウムガス注入方法

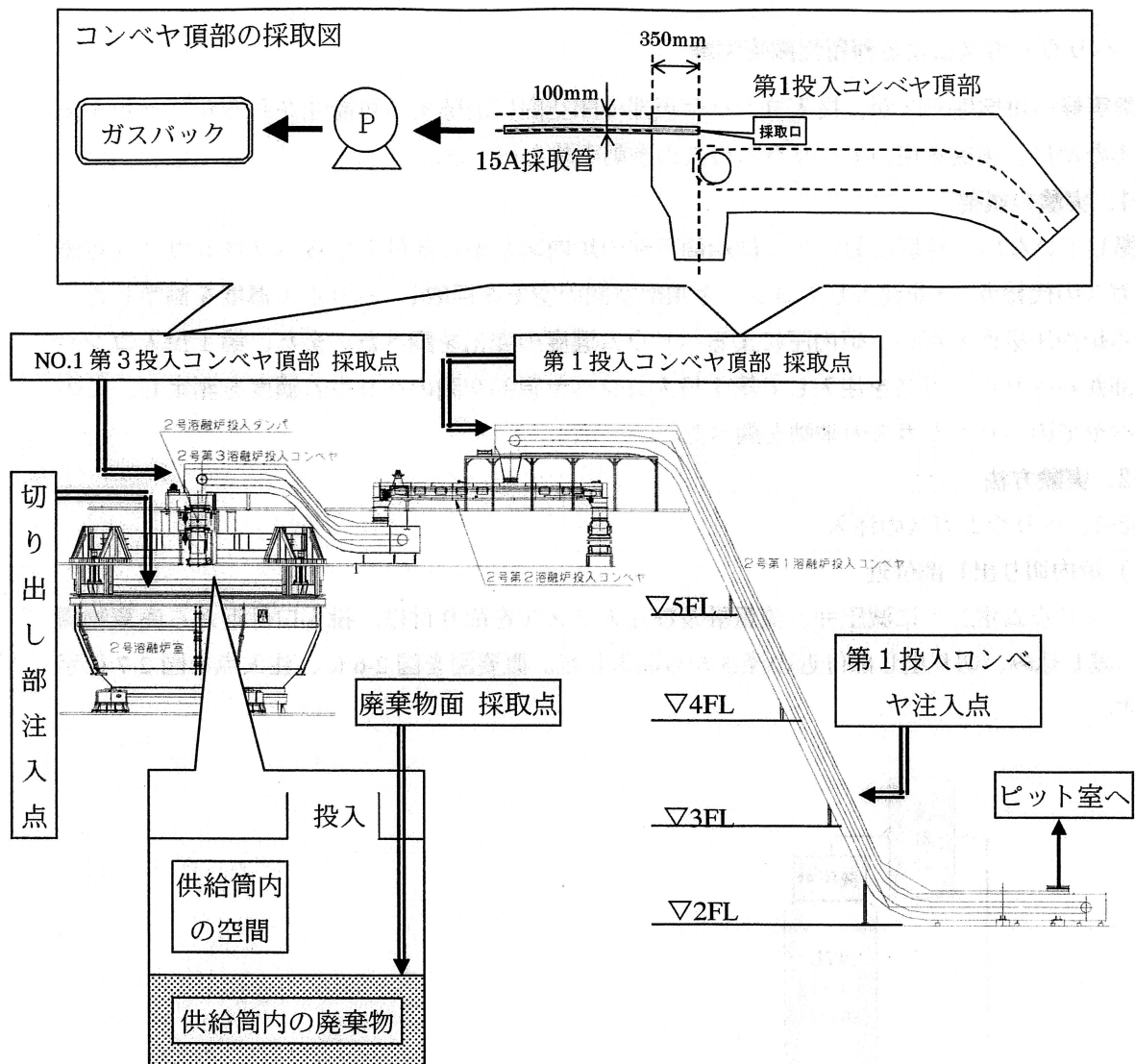


図 2-7 注入点及び採取点

(2) 第1投入コンベヤ下部

注入ノズルをコンベヤ内に挿入して注入した。注入点を図 2-7 に示す。

1-2-2-2. ヘリウムガスの採取

図 2-7 の位置に採取口を設け、採取管を挿入してポンプでガスバックに採取した。

1-2-3. 測定方法

ガスバックに採取した空気をポータブルガスクロ計を使って現地（直島分析室）測定し、ヘリウム濃度の経時変化を調べた。

1-2-4. 実験条件

1-2-4-1. 炉内圧

誘引ファンを起動させて、炉内圧を 0,-50,-100Pa の3段階に変化させた。このとき、供給筒上部空間のゲージ圧及び投入口での上下方向の流速を測った。

1-2-4-2. ヘリウムガス注入流量

事前に供給筒内を模擬した廃棄物層を作り、そこへ注入ノズルを差し込んで廃棄物を吹き飛

ばさないガス流量を調べた。ガス挙動の傾向を見極めるには極力流量を多くすることが望ましいため、吹き飛ばさない最大流量を注入量として設定した。その結果、15L/minとした。

1-2-4-3. 密閉及び開放

供給筒及び投入系の点検口すべてを密閉し、わかる限りで隙間を目張りした。図 2-8 のとおり、ヘリウム注入側の投入口の二重ダンパを全開し、他方の投入口の二重ダンパを全閉した。コンベヤ等機器類はすべて停止状態とした。

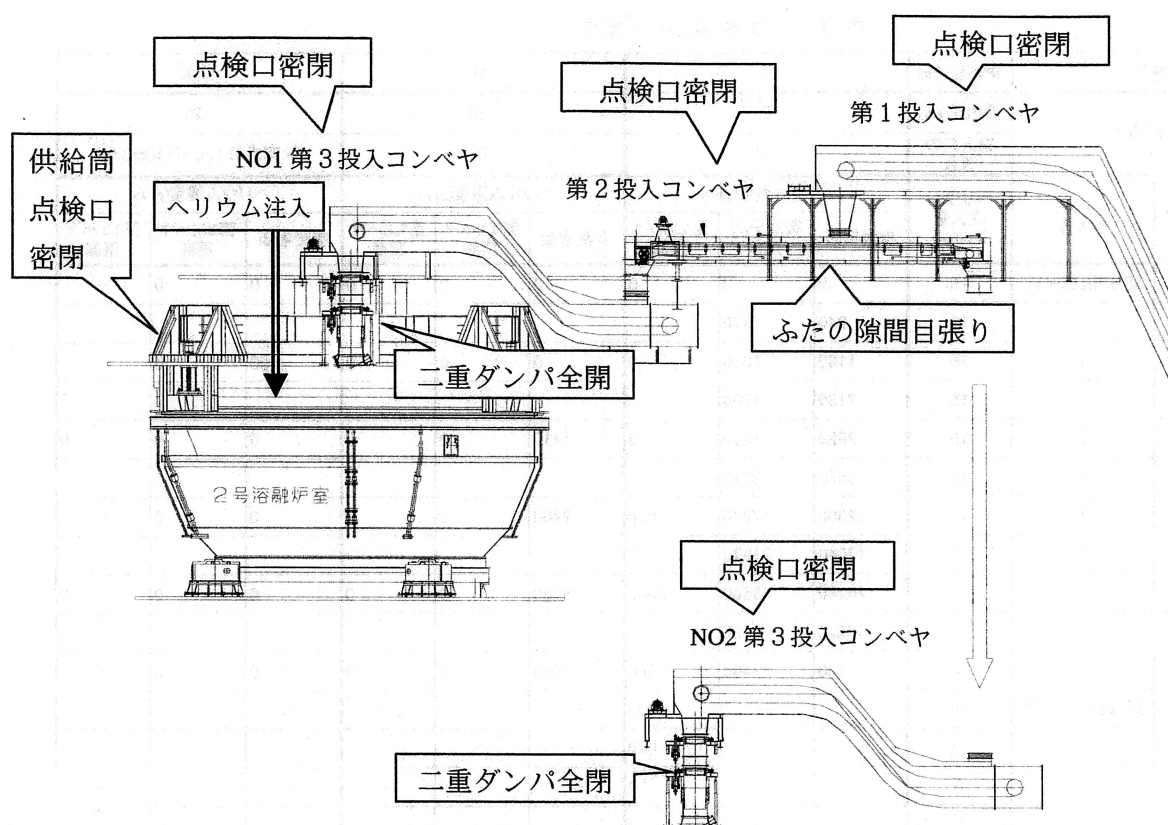


図 2-8 実験系の状態図

1-2-5. 実験結果

1-2-5-1. 炉内圧 0Pa 条件

結果を表 2-3 及び図 2-9 に示す。第 3 コンベヤ頂部でのガス滞留が認められた。第 3 コンベヤ頂部の濃度が高まった 3 時間経過時からは、第 1 コンベヤ頂部でガス滞留が認められた。

4 時間経過時点で注入を停止し、1 時間放置した。その結果、第 3 及び第 1 コンベヤでガス濃度が低下していった。

本条件に引き続いて、注入点を供給筒内切り出し部付近から第 1 コンベヤ下部に移し替えて、第 1 コンベヤでのヘリウムガスの挙動を調べた。第 1 コンベヤ頂部の残留濃度が 1200ppm の状態で開始したが、2 時間経過時には 0ppm となった。注入にもかかわらず増加しなかった原因は、第 1 コンベヤの出発点のピット室が換気のために負圧となっていることが考えられる。コンベヤ内の流速を測定した結果、注入点 (3F レベル：図 2-7 参照) での流速はピット室に向かって 0.12m/s(560m³/h)であった。0ppm になった原因としては、リークが考えられる。コンベヤ上部の流速は 0m/s であったため、換気の影響はほとんどないと考えられる。

1-2-5-2. 炉内圧-50Pa 条件

コンベヤでのガス滞留が見られなかった。供給筒内が負圧(-10Pa)であったことが原因として考えられる。

1-2-5-3. 炉内圧-100Pa 条件

いずれの採取点も滞留しなかった。このときの供給筒内圧は-20Pa、投入口での上下方向の流速は下向き(供給筒方向)0.1 m/s(110m³/h)であった。

表 2-3 実験結果一覧表

実験条件			炉内圧(Pa)	0	-50	-100						
供給筒内の状態			筒内圧(Pa)	0	-10	-20						
			投入口の 流れ	0	0	下向き 0.1m/s(110m ³ /h)						
経過時間 (hr)	ヘリウム 注入	ヘリウム 注入点	ヘリウム 注入量 (L/min)	ヘリウム濃度(ppm)			ヘリウム濃度(ppm)			ヘリウム濃度(ppm)		
				廃棄物面	第3コンベヤ 頂部	第1コンベヤ 頂部	廃棄物面	第3コンベヤ 頂部	第1コンベヤ 頂部	廃棄物面	第3コンベヤ 頂部	第1コンベヤ 頂部
0	開始	切り出し部付近	15	0	0	0	0	0	0	0	0	—
0.5		↓	15	240	310							
1		↓	15	1160	1010	0	0	0	0	300	0	—
1.5		↓	15	2180	1200							
2		↓	15	2820	1580	0	1410	0	0	0	0	0
2.5		↓	15	3580	2370							
3		↓	15	12680	17280	660	2400	0	0	0	0	—
3.5		↓	15	17040	21920							
4	停止	↓	0	25240	26560	2600	16160	0	0	0	0	0
4.5	↓		0	15620	24720							
5	↓		0	780	22400	2560	630	0	0	0	0	—
5.5	開始	第1投入コンベヤ	15	—	—	1200	—	—	—	—	—	—
6.5		↓	15	—	—	660	—	—	—	—	—	—
7.5	停止	↓	0	—	—	0	—	—	—	—	—	—
8.5	↓		0	—	—	0	—	—	—	—	—	—

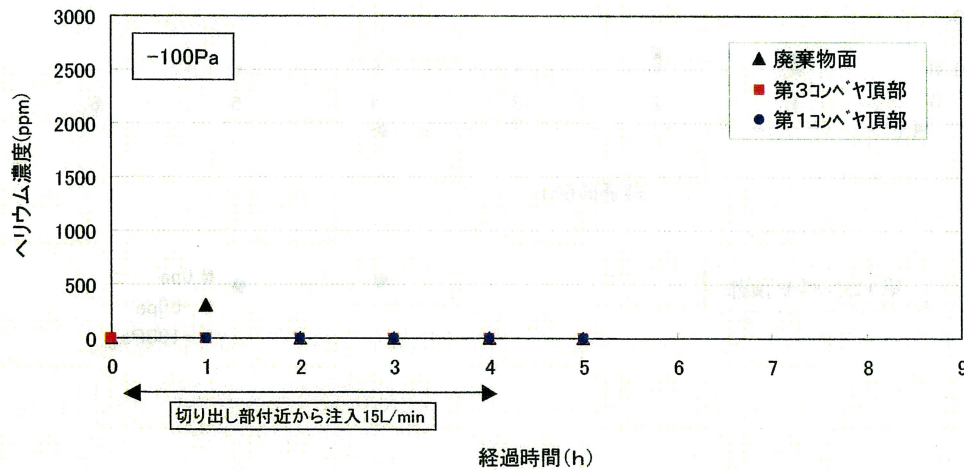
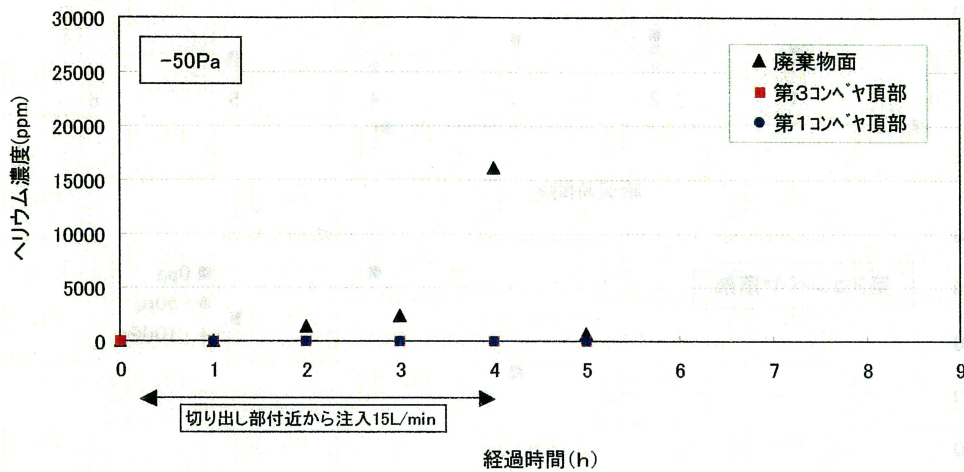
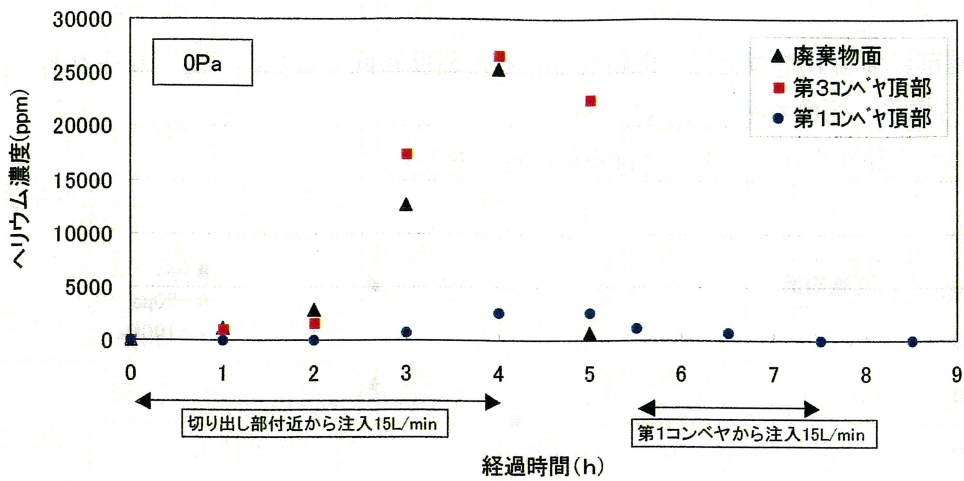


図 2-9 実験結果

1-2-6. まとめ

ヘリウムガス注入量を 15L/min に設定して行った今回の実験において、確認されたガス挙動を以下にまとめる。

- ①0~-100Paにおいて、炉内圧が高いほど供給筒下部から上部空間へガスが移行しやすくなった (図 2-10 参照)。
- ②0Paにおいて、ガスが廃棄物面上及び第3コンベヤ頂部に滞留した。
- ③0Paにおいて、第3コンベヤ頂部のガス濃度が高まると、第1コンベヤにガス滞留が見られた。

- ④コンベヤ頂部に滞留したガスは、供給をとめると濃度が低下していった。リークと考えられる。(2号炉系も同様であったかは不明)
- ⑤第1コンベヤ下部から注入したガスは頂部に達しなかった。

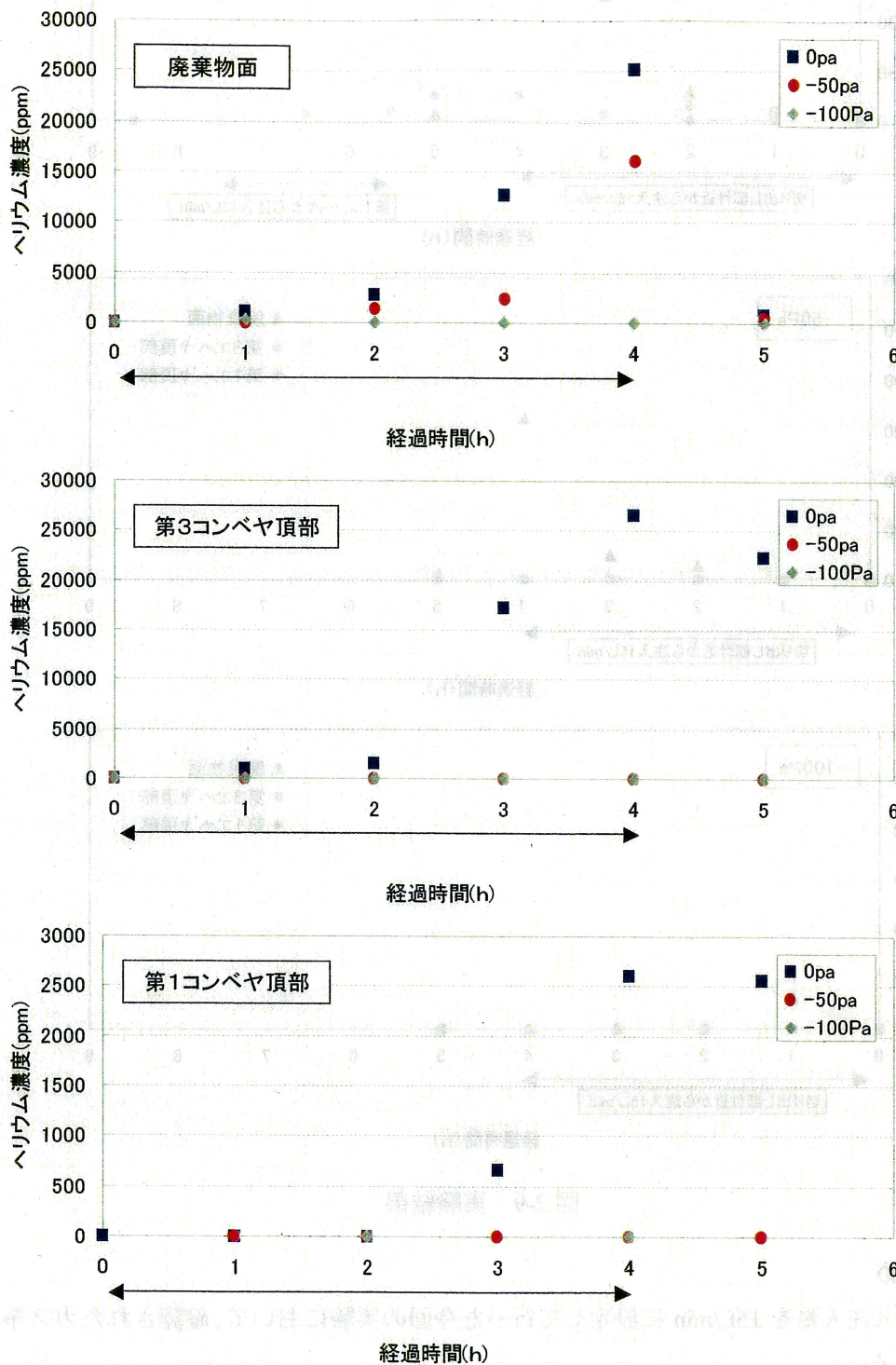


図 2-10 炉内圧とヘリウムガス挙動との関係

1-2-7. 結果をふまえた実機現象の推定

本実験は1号系で行ったものであり、事故の起きた2号系ではない。本考察では、まとめの④に記述したリークについて、2号系では少ないものと仮定してガス挙動を推定する。

- ① 炉内圧が0Paのとき、ガスが上部空間に移動してくる。第3コンベヤにも移動してくる。
- ② ガスの移動量が増えてくると、第3コンベヤに充満したガスが第1コンベヤに達し、第1コンベヤ頂部に滞留する。
- ③ -50Pa以下ではコンベヤに移動してこない。

1-3. 供給筒内水素ガス挙動流体解析

爆発危険性の高い水素ガスの供給筒内での挙動を調査するため、流体解析を行った。

1-3-1. 解析方法

熱分解ガス成分の中でも爆発危険性の高い水素ガスに着目し、その挙動を検討した。

(実際の溶融炉の形状を2次元に投影したモデルを作成して定常流体解析(無限時間経過後の定常状態を予測)を実施した。)

①仕様ソフト

形状作成：GAMBIT ver. 2.0.4

流体解析：Fluent ver. 6.0.20

②解析条件

評価項目：供給筒上部の平均水素濃度、水素発生源から供給筒上部に流れる水素の割合

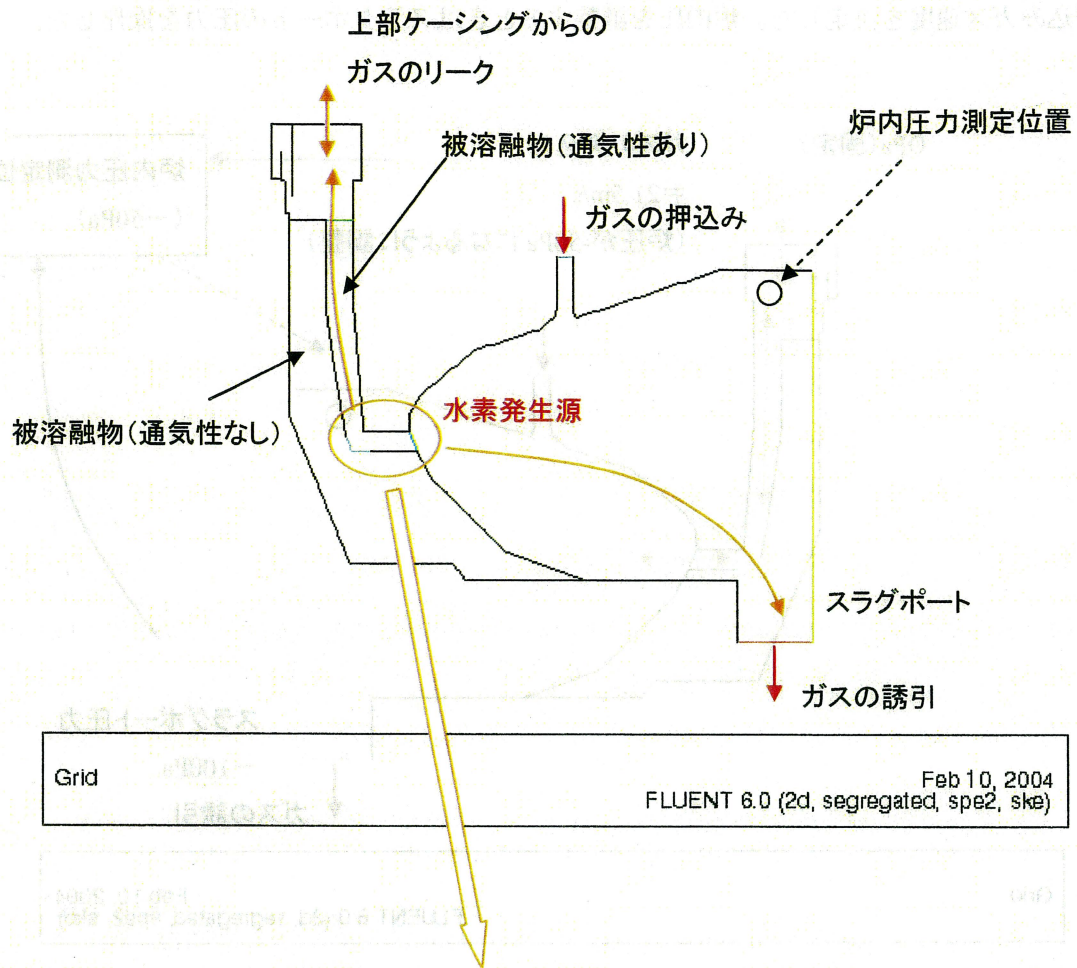
以下に示す各変数の評価項目に対する影響を検討した。

変数	項目
水素発生源	被溶融物内部, 炉内(切り出し直後)
主燃焼室の圧力	-50Pa, ±0Pa, +50Pa
上部ケーシング開口率(上部からのリーク率)	0%, 10%, 100%
被溶融物空隙率(通気性の指標)	10%, 40%

(で表記したものが基準条件)

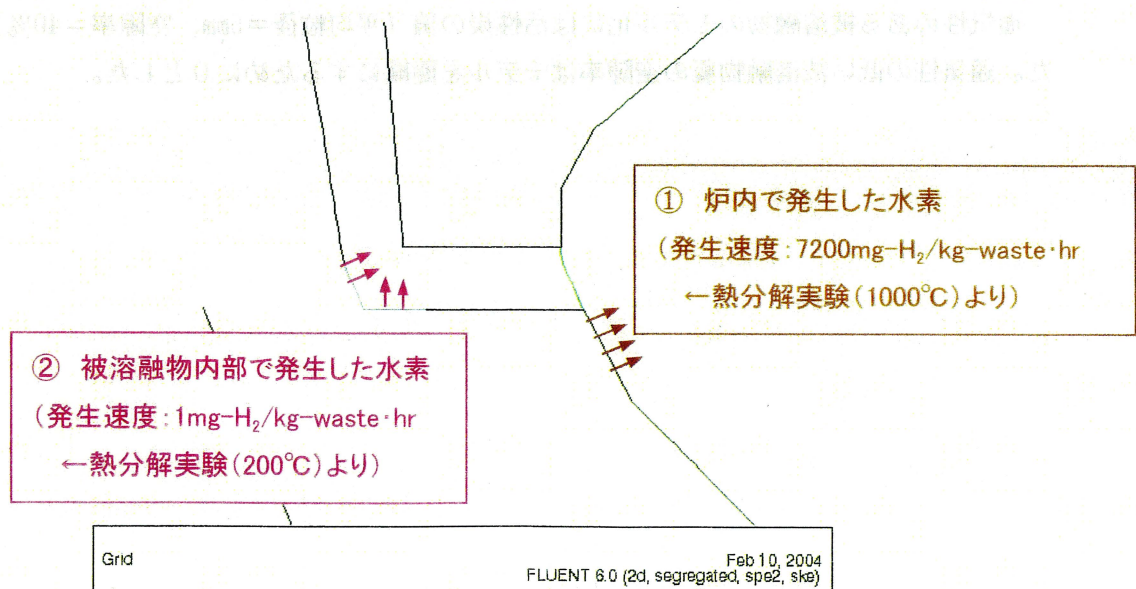
③モデル化手法

a) 溶融炉形状のモデル化



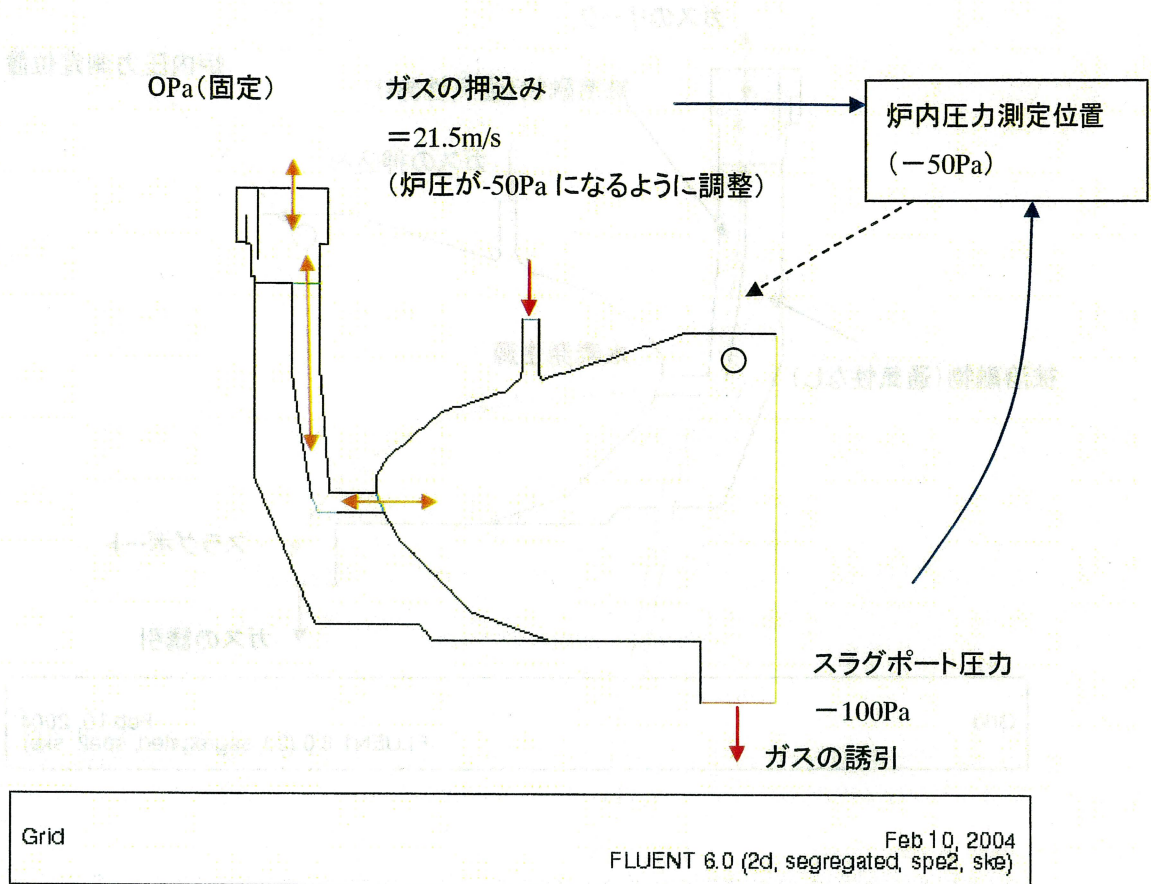
b) 水素発生源のモデル化

拡大図



c) 主燃焼室圧力分布のモデル化

以下のようにスラグポート圧 -100Pa のとき炉内圧測定位置での圧力が -50Pa になるように押込みガス速度を決定した。炉内圧を調整するときはスラグポートの圧力を操作した。



d) 被溶融物のモデル化

通気性のある被溶融物のモデル化には活性炭の値（平均粒径 $=5\text{mm}$ 、空隙率 $=40\%$ ）を用いた。通気性の低い被溶融物層の空隙率はモデルを簡略にするために 0 とした。

e) 各物理的性質のモデル化

物理的性質のモデル化で特に留意したのが“水素の浮力・分子拡散力”を表現できるモデルの組み合わせにすることである。

以下各物理モデルの設定手法について説明する。

【組成】

2次元解析（原因追求）、3次元解析（対策案検討）ともに流体は“水素”と“空気”の混合物として表現され、メッシュごとにその混合率を決める。この混合率に従い各種物理係数を計算しそのメッシュの値とする。なお水素と空気の物理係数はFluentの持つデータベースを利用した。

【密度】

メッシュごとに非圧縮性理想気体の法則・組成比から密度を下に示す式よりもとめ、水素の多い空間（＝軽い空間）と水素の少ない空間（＝重い空間）をつくり浮力を表現できるようにした。なお、重力加速度は9.8m/s²とし、重力の影響を考慮した。

$$\rho = \frac{p}{RT \sum_{i'} \frac{m_{i'}}{M_{i'}}$$

R : 気体定数、 $m_{i'}$: 化学種 i' の質量分率、 $M_{i'}$: 化学種 i' の分子量

【粘度】

メッシュごとに水素と空気のモル分率から混合物の粘度を計算した。

【拡散】

運動力学的理論により拡散係数を定義した。以下の式から拡散係数をもとめた。なお水素と空気のレナード・ジョーンズ・パラメータにはFluentデータベースの値を用いた。

$$D_{i'j'} = 0.0188 \frac{\left[T^3 \left(\frac{1}{M_{i'}} + \frac{1}{M_{j'}} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}{p \sigma_{i'j'}^2 \Omega_D}$$

$$(\varepsilon/k)_{i'j'} = \sqrt{(\varepsilon/k)_{i'}(\varepsilon/k)_{j'}}$$

$$\sigma_{i'j'} = \frac{1}{2}(\sigma_{i'} + \sigma_{j'})$$

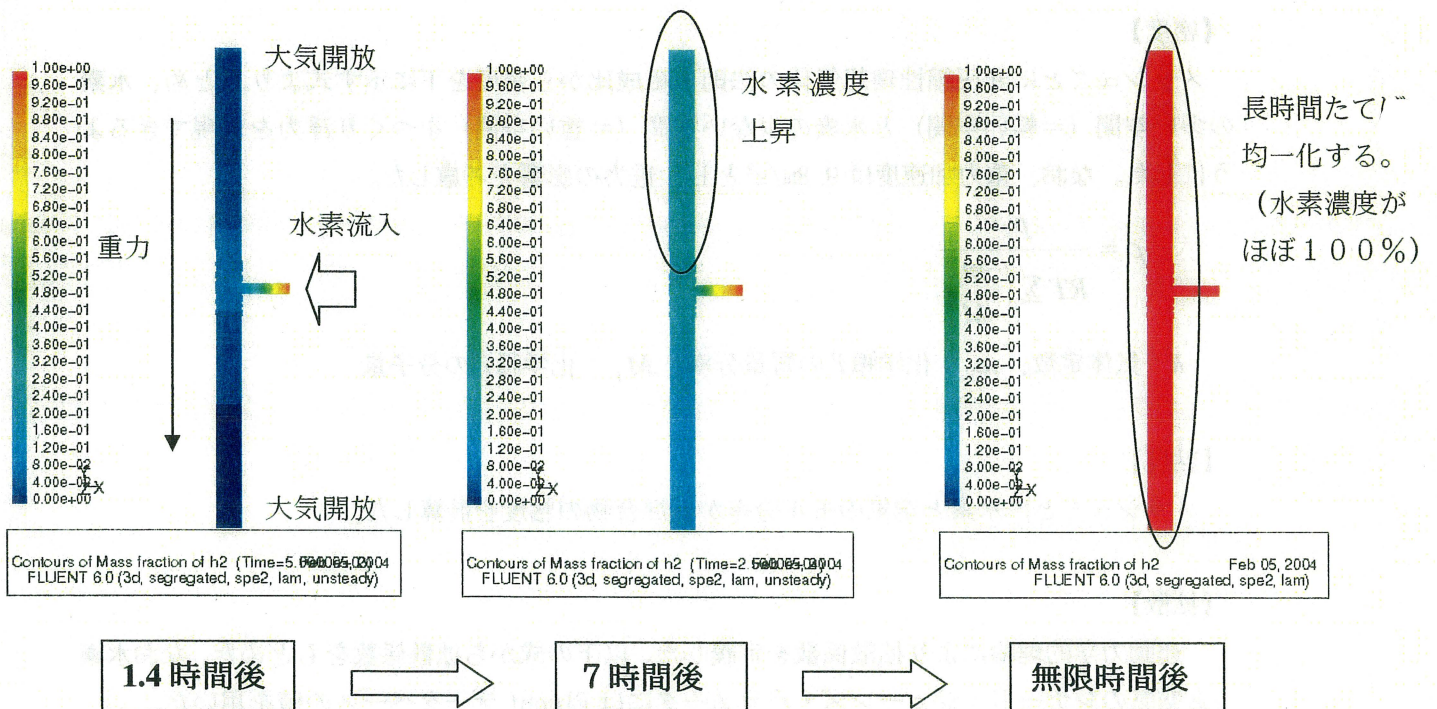
f)水素の浮力・分子拡散のモデル化の検討

e)で示したモデルの検証解析を行った。

地面に垂直に置いた円管（両端は大気開放）の中央から水素（濃度 100%）を流入させた場合の水素濃度変化を解析した。水素の発生量は 2 次元解析と同じとし、また管は全長：4.5m、直径：0.23mとした。（計算負荷を下げるために簡単なモデルとした。）

非定常解析（時間を考慮）、定常解析（無限時間後の定常状態を計算）の両方を行った。

以下 1.4 時間後、7 時間後、無限時間後の水素濃度分布を示す。（なお、0 時間の状態では円管内部全体が空気で満たされている。）



このように発生した水素は確かに上部に向けて流れていくことがわかる。また同時に水素の分子拡散は他の分子と比べて非常に大きいので下方へも移動していることがわかる。その結果無限時間後では発生源周り全体が水素濃度 100%近くまで上がるという結果になった。

より正確なモデルにするためには、実験データによるモデルの修正が必要であるが、上記の結果をもって、ある程度の精度をもって実現象を再現するモデルであると判断した。

g) 補足説明（解析条件詳細）

・数値計算手法

Fluent には質量保存則と運動量に関する方程式を解く際“分離型計算手法”もしくは“連成型計算手法”を用いるが今回は“分離型計算手法”を用いて計算を行った。この手法では支配方程式を逐次的に解く。支配方程式は非線形であるため、収束解を得るためには繰り返し反復計算を行う必要がある。

・線形化

実際に計算を行うためには離散型非線形支配方程式を線形化し、各計算セルにおける従属変数の連立方程式を得る必要がある。そのための手法として陰的手法、陽的手法があるが今回の解析では陰的手法、すなわちすべてのセルを同時に考慮して順次解いていく手法をとった。

（分離型計算手法では、各離散型支配方程式は、その方程式に含まれる従属変数について陰的に線形化されるため、陽的な手法は選択できない）

・離散化

通常は“1次精度風上差分法”を用いて隣接するセルを考慮しつつ各種定数を計算していく。今回の解析では被溶融物からの水素発生速度が非常に小さいため、“1次精度風上差分法”では水素の物質収支が合わなくなる問題が発生した。今回の解析では計算時間はかかるがより精度の良い“2次精度風上差分法”を採用することにより問題を解決した。

・次元

原因調査に関しては、より計算負荷が小さく短時間で様々な条件で計算を行える2次元を採用した。対応策検討に関しては、より定量的精度の高い3次元解析を行った。

・時間の概念

定常解析すなわち無限時間後の定常状態を調べるための解析を行った。また、3次元解析の一部（断続換気に関する解析）では非定常解析を行い一定時間経過後の水素濃度を計算した。

・乱流モデル

ページ用ガス流入口、排出口（供給筒上部）で乱流、水素発生面では層流となる今回の系を正しくモデル化するために通常用いている標準 $k-\epsilon$ モデルではなく、このような系での計算に実績のある RNG $k-\epsilon$ モデルを用いた。

④解析結果

a)流速分布

図 2-11 に炉内圧 -50Pa 時の流れを示す。

炉内の流れに伴い、被溶融物内にも流れが生じていることがわかる。

(この条件下では供給筒上部のガスは炉内へ引き込まれている。)

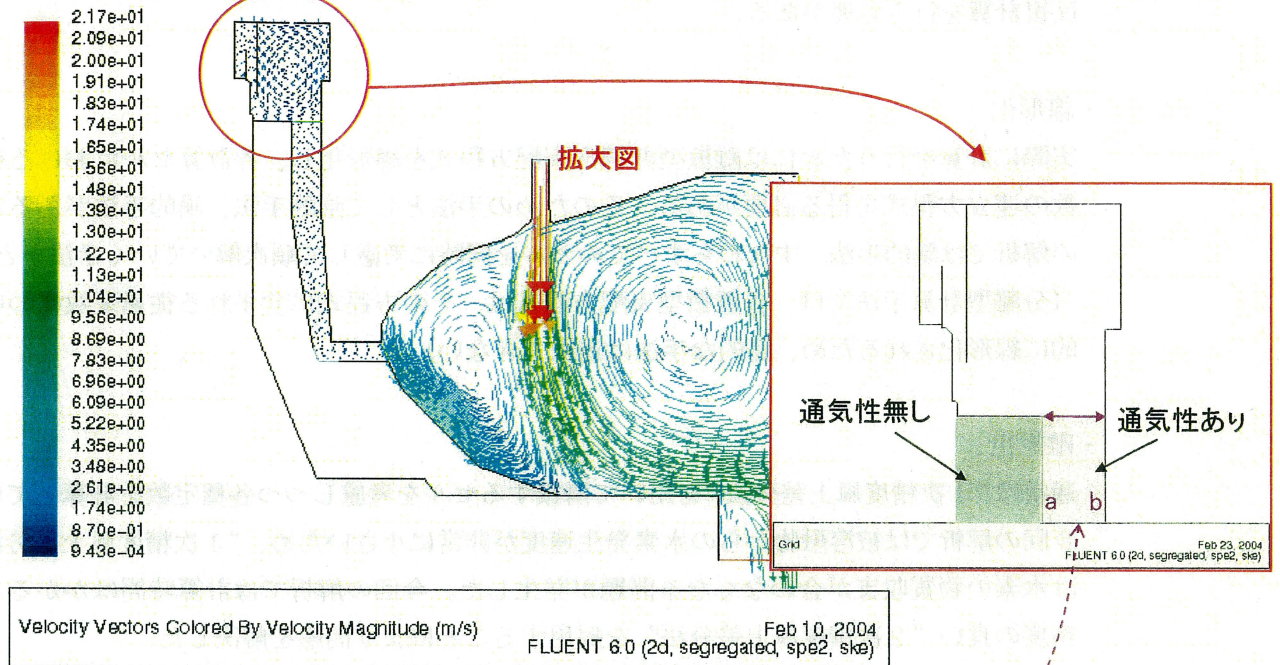


図 2-11 炉内圧 -50Pa 時の流れ

次に通気性のある被溶融物上部 (a-b) の速度分布を示す。

図 2-12 が炉内圧 -50Pa 時の速度分布で、外筒側で上昇流が起こり一部の水素が抜け出している。

図 2-13 は炉内圧 ± 0 Pa 時の速度分布で、通気性のある被溶融物全体から水素が抜け出している。

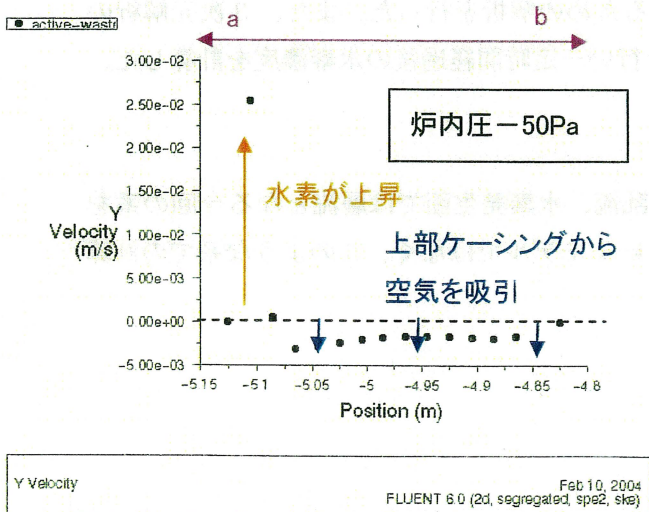


図 2-12 炉内圧 -50Pa 時の速度分布

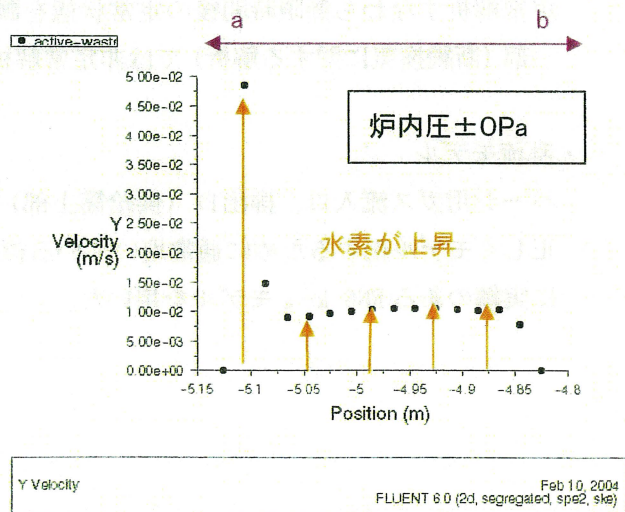


図 2-13 炉内圧 ± 0Pa 時の速度分布

b) 圧力分布

図 2-14、図 2-15 に炉内圧 -50 Pa 、 $\pm 0\text{ Pa}$ 時の圧力分布を示す。

このように炉内圧測定箇所で負圧であっても、被溶融物切り出し直後の位置において正圧になりうる。

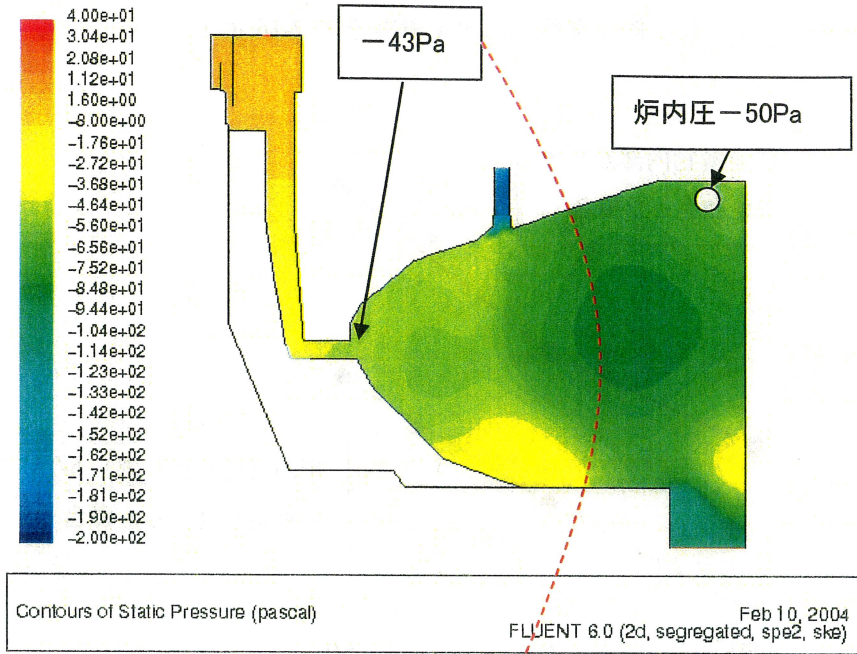


図 2-14 炉内圧 -50 Pa 時の炉内圧

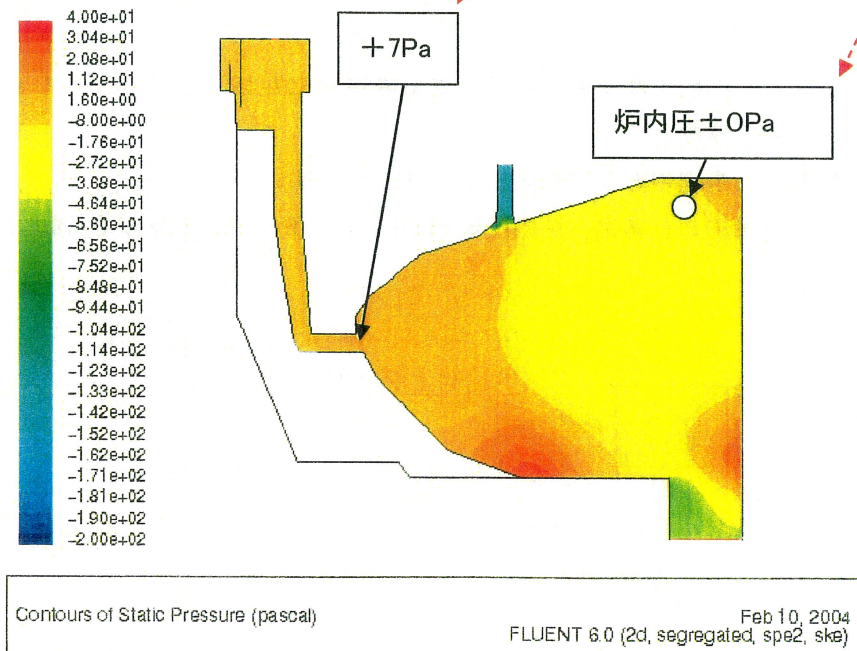


図 2-15 炉内圧 $\pm 0\text{ Pa}$ 時の炉内圧

⑤各変数の影響の検討

a) 炉内圧の影響

被熔融物内部もしくは炉内（切り出し部）から水素が発生した場合の炉内圧の影響を検討した。（炉内圧：-50 Pa, ±0 Pa, +50 Pa, および水素濃度が0.5%以下になるまで炉内圧を下げる）

それぞれの条件における供給筒上部空間の水素濃度を図 2-16 示す。

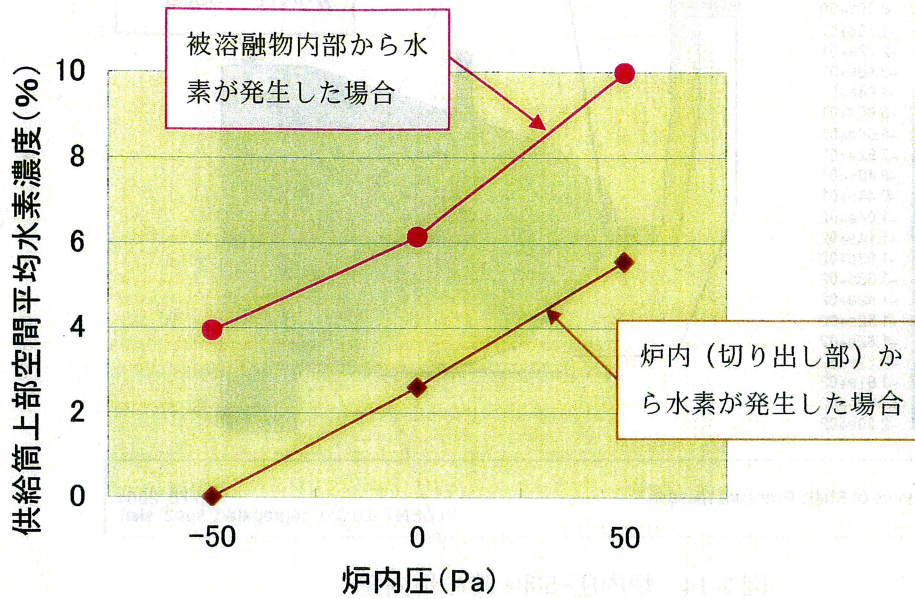


図 2-16 供給筒上部空間の水素濃度

この解析より

- ・ 炉内圧が上がるほど供給筒上部空間における水素濃度が上昇し、0 Pa 以上になると炉内（切り出し部）からも水素が移動してくる
- ・ 被熔融物から発生した水素の方が供給筒上部に溜まりやすい
- ・ 被熔融物から水素が発生した場合、炉内圧を-340 Pa まで下げると水素が0.5%まで下がることがわかった。

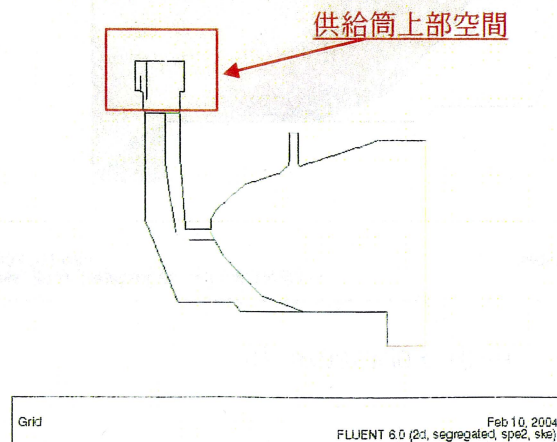


図 2-17 に水素が発生源から被溶融物層を通過して供給筒上部に移動する割合を示す。

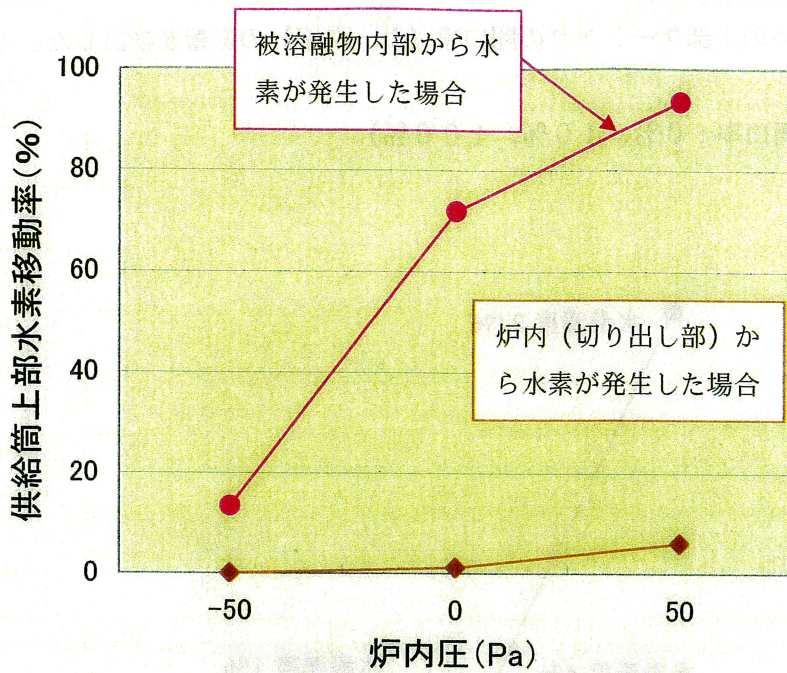
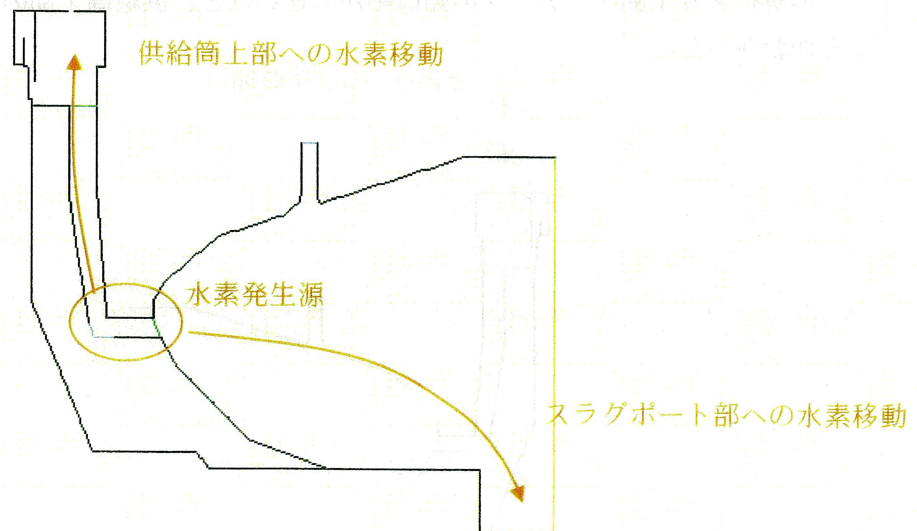


図 2-17 供給筒上部への水素移動率

このように、炉内圧が上がるほど被溶融物層を通過して供給筒上部に達する水素の量が多くなるのがわかる。



Grid Feb 10, 2004
FLUENT 6.0 (2d, segregated, spe2, ske)

b) 上部ケーシング開口率の影響

炉内圧 -50Pa 時の上部ケーシングの開口率（リーク率）の影響を検討した。その結果を図 2-18 に示す。

（上部ケーシング開口率：0%，10%，100%）

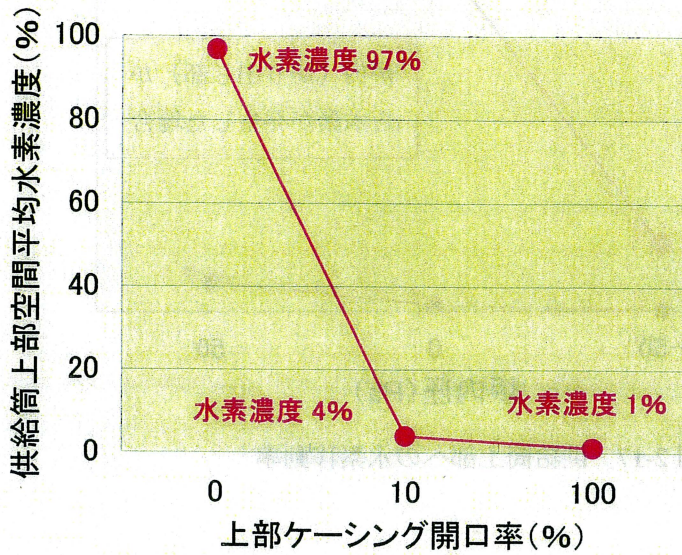
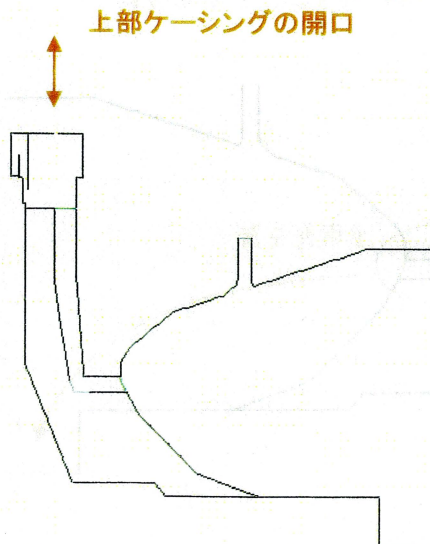


図 2-18 上部ケーシング開口率による供給筒上部への水素移動率

この解析より上部ケーシングの開口率が大きいほど、供給筒上部の水素濃度が上がりにくいことがわかった。



c) 被溶融物空隙率（通気性）の影響

被溶融物空隙率（通気性）の影響を検討した。その結果を図 2-19 に示す。

（被溶融物空隙率：10%，40%，炉内圧：+50Pa）

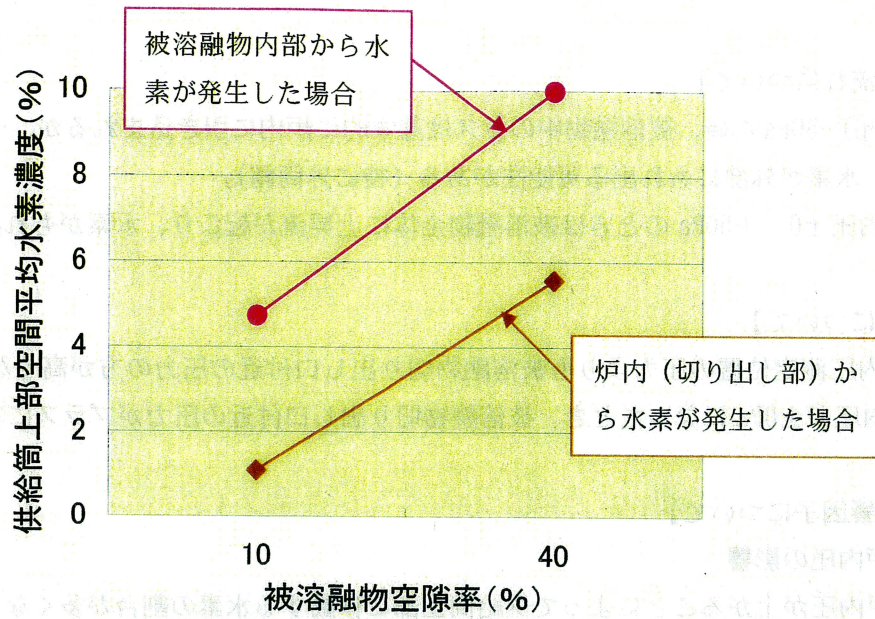
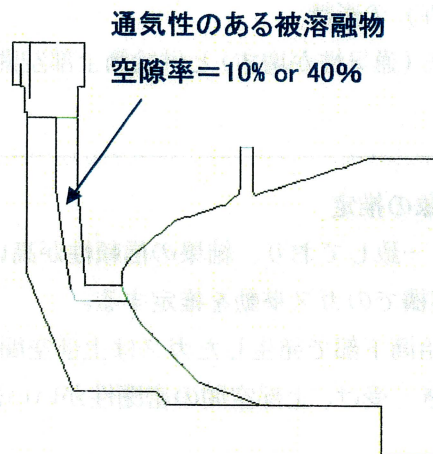


図 2-19 被溶融物空隙率による供給筒上部への水素移動率

この解析より被溶融物の空隙率が上がる（通気性が増す）と供給筒上部の水素濃度が上がりやすいことがわかった。



Grid Feb 10, 2004
FLUENT 6.0 (2d, segregated, spe2, ske)

1-3-2. まとめ

爆発危険性の高い水素を対象として、溶融炉主燃焼室、被溶融物、供給筒のモデル化（2次元）を行った。その結果以下のことがわかった。

【ガス流れについて】

- ・ 炉内圧-50Pa の時、被溶融物中のガスは基本的に炉内に引き込まれるが、一部上昇流が起こり、水素が外部にもれ出る可能性がある（特に外筒側）。
- ・ 炉内圧±0、+50Pa のときは被溶融物全体に上昇流が起こり、水素がもれ出る。

【圧力について】

- ・ 炉内圧測定位置の圧力よりも被溶融物切り出し口付近の圧力の方が高くなる傾向がある。炉内圧が±0Pa になったとき、被溶融物切り出し口付近の圧力がプラスになった。

【各影響因子について】

① 炉内圧の影響

炉内圧が上がることによって供給筒上部に移動する水素の割合が多くなり、水素濃度が上昇する。水素発生源が被溶融物内部の場合、-50Pa のとき全体の 13%が上部に移動し、0Pa のときは 72%、50Pa のときは 94%が移動する。水素発生源が（切り出し部）の場合、-50Pa のとき 0%、0Pa のときは 1%、50Pa のときは 6%であり、0Pa 以上になると炉内（切り出し部）からも水素が供給筒上部に移動してくる。

② 上部ケーシング開口率（リーク率）の影響

上部ケーシングからのリークが多いほど、供給筒上部空間の水素濃度が上がりにくい。

③ 被溶融物の空隙率（通気性）の影響

被溶融物の空隙率が上がる（通気性が増す）と供給筒上部空間の水素濃度が上がりやすい。

1-3-3. 結果をふまえた実機現象の推定

実験結果と解析結果とはよく一致しており、結果の信頼性が高いことが確認された。

そこで、解析結果をもとに実機でのガス挙動を推定する。

- ① 炉内圧が高くなるほど供給筒下部で発生したガスは上部空間に移動しやすくなるが、上部空間の密閉性の影響を大きく受け、上部空間の密閉性が高いほどガスの移動が多くなりガス濃度が高くなる。
- ② 密閉性がよくなくても、炉内ガス流れの影響を受けて供給筒内に発生する上昇流が、下部発生ガスを上部空間に移動させる。炉内圧が-50Paの負圧でも一部上部へ移動し、上部空間のガス濃度が高まる。
- ③ 可燃物の比率が高くなると空隙率が高くなり、ガスの上部空間への移動が多くなる。

1-4. 低温領域での加熱ガス発生実験

投入物中に可燃物が含まれる本プラントにおいては、供給筒下部で加熱ガスが発生していることが予想される。加熱ガスの発生挙動については、500℃以上の高温領域については熱分解に関する知見が豊富にあるが、低温領域については明らかになっていない。そこで、本実験では20℃～300℃における無酸素条件下での流通式加熱実験を実施し、各温度での加熱ガス発生挙動について調査した。

1-4-1. 実験方法

1-4-1-1. 供試試料

- ①可燃物：可燃物ピット内の貯留物（1月27日採取）、粗大物は概ね10 mm以下に切断して使用
- ②不燃物：不燃物ピット内の貯留物（1月27日採取）、前処理せずに使用
- ③炭酸カルシウム：溶融助剤貯留槽内の貯留物（1月27日採取）、前処理せずに使用

可燃物、不燃物とも豊島掘削現場で添加した生石灰、炭酸カルシウムが含まれており、水分濃度を分析したところ、それぞれ21.4%、16.7%であった。

1-4-1-2. 実験条件

実験条件を表2-4に示す。RUN1～7では、加熱ガスの発生最低温度について調査した。併せて、融点降下剤として直島で添加する炭酸カルシウムの影響についても調査した。RUN8では、300℃における加熱ガス発生速度の経時変化について調査した。

表 2-4 実験条件

No.	雰囲気温度 (℃)	炭カル添加率 (%)	加熱時間 (h)
1	20	0、5	1
2	40	0、5	1
3	60	0、5	1
4	80	0、5	1
5	100	0、5	1
6	150	0、5	1
7	200	0、5	1
8	300	5	1、2、4

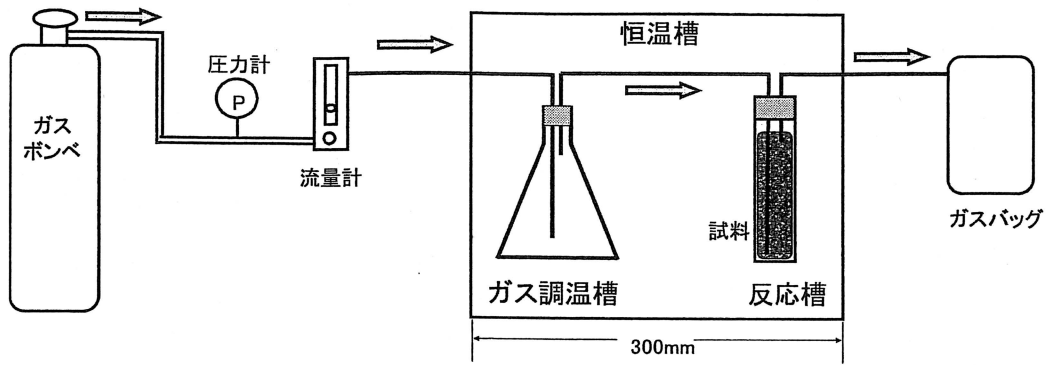
<共通条件>

- ・ 試料量： 20 g（可燃物：不燃物=1：1）、炭カル添加条件においては上乗せで1 g 添加
- ・ キャリアガス組成： N₂ 100%
- ・ キャリアガス量： 100 ml/min

1-4-1-3. 実験装置

実験装置図を図2-20に示す。温度条件150℃以下の実験については、電气管状炉による温度制御が困難であることから、GCのカラム槽を用いて実施した。どちらの装置も廃棄物を窒素雰囲気中で加熱させ、発生した加熱ガスを後段に設置したガスバックで捕集する構造となっている。

<20℃、40℃、60℃、80℃、100℃、150℃条件>



<200℃、300℃条件>

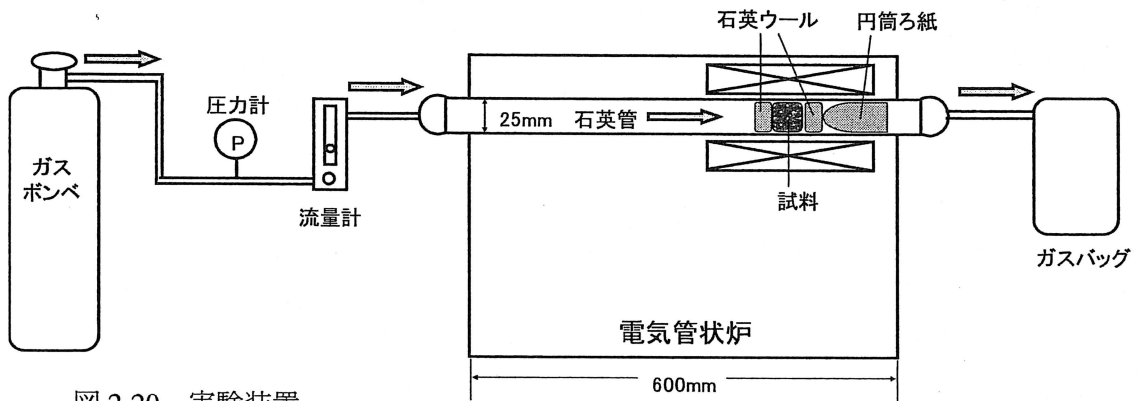


図 2-20 実験装置

1-4-1-4. 実験手順

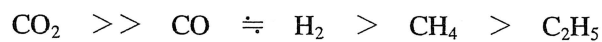
- ① 実験直前に試料を所定比で混合、挿入する。
- ② 系内を N_2 ガスで置換する。
- ③ 電气管状炉もしくは恒温槽を所定温度に 10 分で昇温し、保持する。
- ④ 実験終了と同時にガスバッグを取外し、GC 分析を実施する。

1-4-1-5. 定量分析

昨年度の実験から、加熱ガスの主成分と予想される水素 H_2 、一酸化炭素 CO 、二酸化炭素 CO_2 、メタン CH_4 、エタン C_2H_5 について、ガスバッグ中濃度を GC により定量分析した (榊島津テクノリサーチに委託)。ガスバッグへの吸着を極少化するため、分析は実験後、速やかに実施した。

1-4-2. 実験結果及び考察

20℃～200℃における試料単位重量当りの加熱ガス各成分の平均発生速度を図 2-21 に示す。20℃～80℃については、どの成分も検出されなかった。100℃以上については H_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 の発生が検出され、温度増加に伴い発生速度が増加する結果となった。 C_2H_5 は検出されなかった。各成分の発生序列は、以下のとおりであった。



また、炭カル添加の有無による発生速度の明確な差異は見られず、炭カル添加が加熱に与える影響は小さいことが分かった。

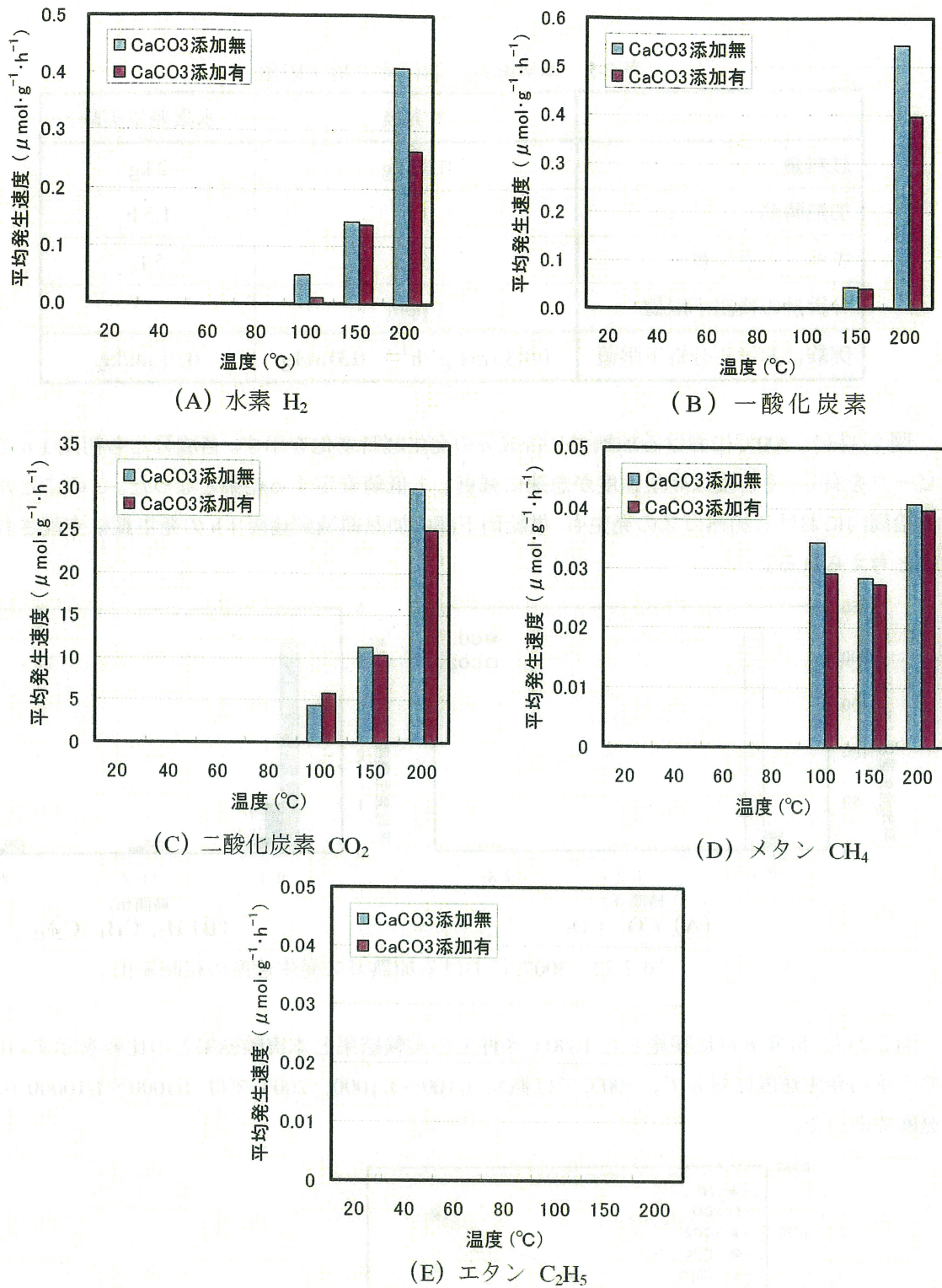


図 2-21 低温領域における加熱ガス各成分の平均発生速度

本実験系における H₂、CO、CO₂ の分析下限値を表 2-7 に示す。別途実施した水素発生実験と比較すると、試料量が少ないことから分析下限値が高く、30 倍となっている。しかし、水素発生実験では 80°C 以下の低温領域においても本実験分析下限値以上の H₂ が発生しており、両実験の結果は相違する。この原因については現段階では特定できないが、両実験に用いた試料ロット中の両性金属含有率の差異、雰囲気ガス組成（酸素分圧）の差異、試料充填形状の違いに起因する発熱・放熱バランスの差異などが考えられる。

表 2-5 本実験系における分析下限値

	本実験	水素発生実験
試料量	0.02 kg	2 kg
加熱時間	1 h	1.5 h
キャリアガス量	6 L	5 L
分析計の検出下限値	1 ppm	
実験における分析下限値	$0.013 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \Rightarrow 0.30 \text{ ml/kg}$	0.01 ml/kg

図 2-22 に、300°Cにおける加熱ガス各成分の発生経時変化を示す。各成分とも初期 1 h で発生ピークを有し、その後は発生速度が急速に減衰して低値安定する結果となった。このことから、供給筒内における加熱ガスの発生も、供給筒下部の加熱領域到達後 1 h の発生量に支配されていると考えられる。

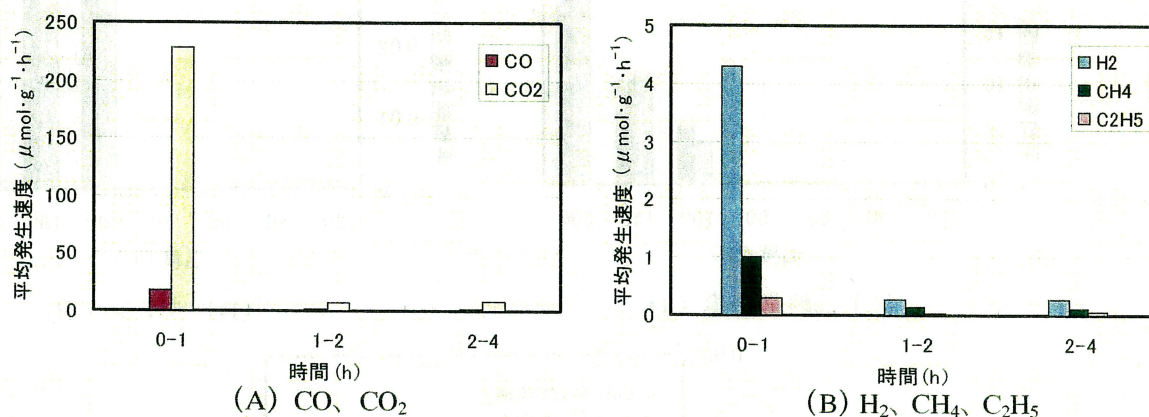


図 2-22 300°Cにおける加熱ガス発生速度の経時変化

図 2-23 に、昨年 8 月に実施した 1000°C条件での実験結果と本実験結果との比較を示す。1000°Cでの平均発生速度に対して、300°Cでは概ね 1/100~1/1000、200°Cでは 1/1000~1/10000 の発生速度であった。

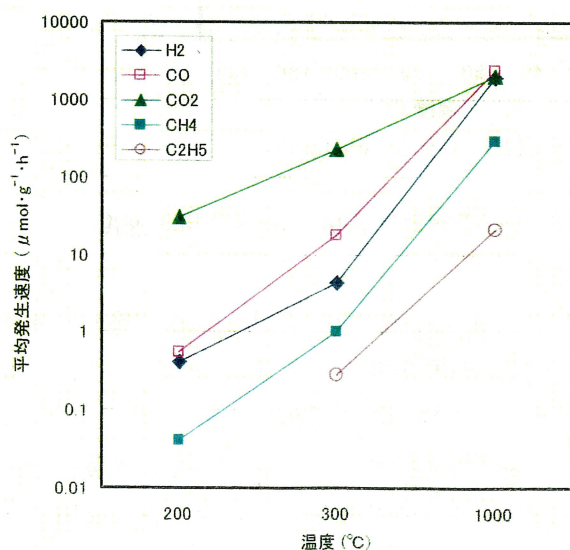


図 2-23
200°C、300°C、1000°Cでの加熱ガス発生速度の比較

1-4-3. 供給筒内における加熱ガス発生量の推算

本実験結果を用い、溶融炉の供給筒下部における加熱ガス発生量を推算した。溶融炉に投入される 100 t/day の廃棄物全てが加熱領域を通過することとした。また、加熱ガスの発生は初期 1 h が支配的であることから、加熱時間 1 h の本実験における発生量を全発生量と仮定した。

計算結果を表 2-6 に示す。100°Cにおける H₂ 発生量は 15 ml/min となったが、廃棄物を常に炉内に供給する定常運転条件下においては、供給筒下部の温度が概ね 80°C以下であることから、実際の H₂ 発生量は 15 ml/min 未満であると考えられる。CO 発生量については、100°Cにおける分析結果が検出限界値未満であったことから定量的判断は困難であるが、150°Cでの推算値を考慮すると多くとも数 ml/min 程度であると考えられる。

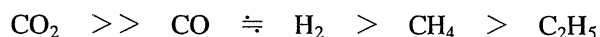
表 2-6 供給筒下部における加熱ガス発生量の推算値

温度(°C)	供給筒内での発生量(ml/min)				
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₅
100	15	0	9054	45	0
150	213	64	15974	43	0
200	411	617	39069	62	0

1-4-4. まとめ

低温領域における加熱ガスの発生挙動を把握することを目的とし、20°C~300°Cにおける無酸素条件下での流通式加熱実験を実施し、以下の結果が得られた。

- ① 100°C以上において加熱ガスの発生が検出された。各成分の発生序列は以下の通りであった。
炭カル添加が加熱に与える影響は小さかった。



- ② 各成分とも初期 1 h で発生ピークを有し、その後は発生速度が急速に減衰して低値安定した。
③ 1000°Cでの平均発生速度に対して、300°Cでは概ね 1/100~1/1000、200°Cでは 1/1000~1/10000 の発生速度であった。
④ 供給筒内における 100°Cでの H₂ 発生量は 15 ml/min と推算された。定常運転条件下においては、供給筒下部の温度が概ね 80°C以下であることから、実際の H₂ 発生量は 15 ml/min 未満であると考えられる。

1-4-5. 結果をふまえた実機現象の推定

本実験結果より、供給筒下部切り出し部付近での加熱ガス挙動を考察する。

- ・廃棄物から、水素、一酸化炭素、メタンが発生してくるが、100°Cでの発生量は少ない（水素 15ml/min）。但し、内筒下部の温度測定点は炉内側から450mmの地点であるため炉内と温度測定点との間の温度は内筒下部測定温度より高いことが予想され、この地点間の可燃性ガスの発生量は温度に比例して増加するものと考えられる。
- ・後述の溶融助剤との混合による水素発生実験における80°C条件下での石灰による水素発生量は700ml/min(10mg/kgから算出)であり本実験と比較するとオーダー的に200°Cの加熱による発生量程度となる。

1-5. 均質化後の豊島廃棄物等と溶融助剤の混合による水素ガス発生実験

豊島廃棄物等（豊島掘削現場で均質化処理を行い、生石灰と炭酸カルシウムを添加したもの）と直島で添加する溶融助剤(炭酸カルシウム)との混合による水素発生によって、中間処理施設の投入コンベア及び溶融炉供給筒にある閉空間にどの程度滞留する可能性があるかを把握するため、次の室内実験等を実施した。

1-5-1. 実験方法

1-5-1-1. 実験用試料

中間処理施設の不燃物ピット及び可燃物ピットに貯留されている廃棄物を重量比率 1:1 及び 1:3 に混合した試料で、溶融助剤は、中間処理施設の貯留サイロの粉末状炭酸カルシウムである。

1-5-1-2. 実験装置

概略は図 2-24 のとおりで、廃棄物試料 2 kg と所定の比率の炭酸カルシウムを混合し 3 L 円筒型フラスコに入れて密閉し、1.5 時間経過後(投入コンベア滞留時間 1.5 時間を想定)及び 1.5 時間経過後から 7.5 時間経過後(供給筒滞留時間 6 時間を想定)に毎分 200ml の速度で 5 L のガスを採取し、水素ガス濃度を測定し廃棄物 1kg 当りの水素の発生量を算出した。

1-5-1-3. 実験条件

不燃物:可燃物比率 1:1 及び 1:3 の 2 通り、炭酸カルシウムの混合比率 5%及び 10%と無添加の 3 通り、温度 20°C,40°C及び 80°Cの 3 通り、廃棄物の含水率未調整の 18 ケースと、不燃物:可燃物比率 1:1,炭酸カルシウムの混合比率 5%,温度 40°Cで廃棄物の含水率を 30%、40%に調整した 2 ケース計 20 ケースについて行った。

水素ガス濃度の測定は、TCD 付ガスクロマトグラフで行った。また、pH は廃棄物に 10 倍量のイオン交換水を入れ、1 時間振とう後遠心分離し上澄水を pH 計で測定した。酸素ガス濃度は XP-302 マルチ型ガス検知器を用いた。

1-5-2. 実験結果

表 2-7 のとおり。

- (1) 温度による水素の発生量に差が大きく、20°Cと 40°Cでは 1 割～2 倍程度の増加であるが、80°Cになると 20°Cの 5 倍～10 倍程度水素発生量が増加する。
- (2) 炭酸カルシウムの混合比率の違いによる水素発生量の差は小さい。炭酸カルシウムを添加しない場合でも、添加した場合と同等量の水素が発生した。
- (3) 廃棄物等の混合割合の違いによる水素発生量の差は小さい。
- (4) 含水率未調整(20%程度)と含水率 30%の含水率の差による水素発生量の差は小さく、含水率 40%では水素の発生量が少ない結果となった。

(実験装置)

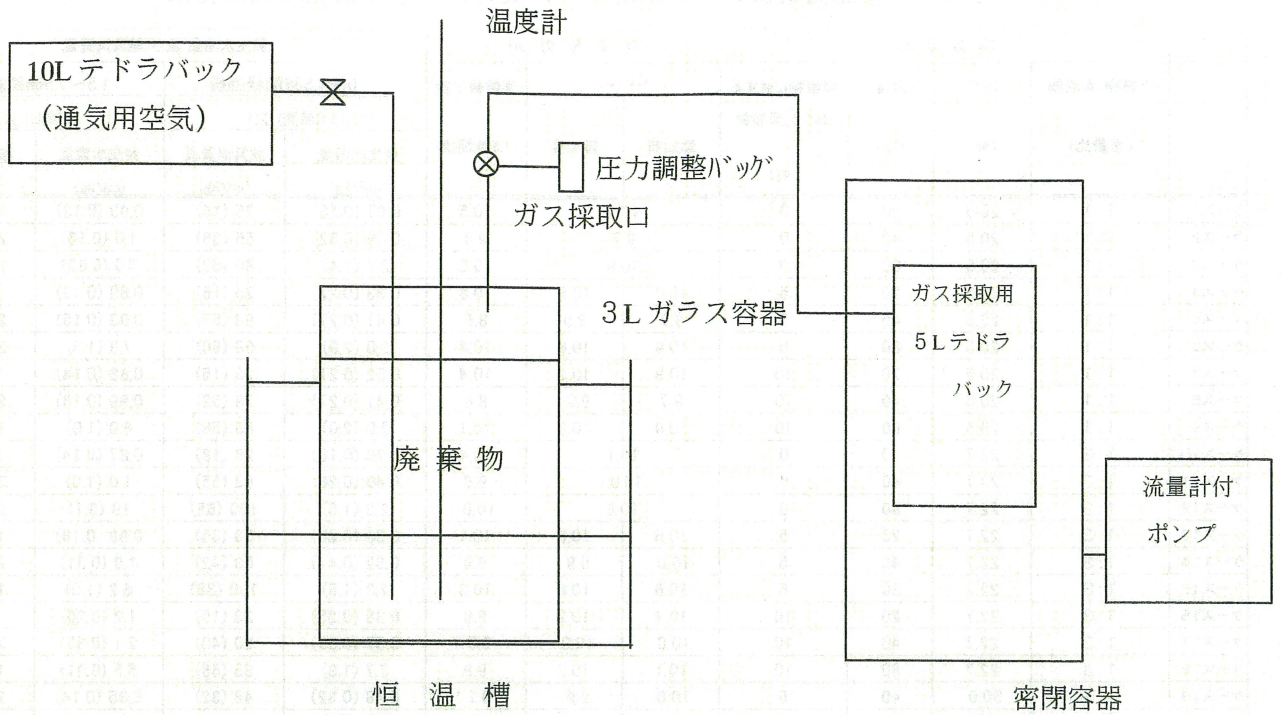


図 2-24 室内実験用の小型チャンバー装置の概略図



実験装置の写真

表 2-7 豊島廃棄物等と溶融助剤との混合による水素発生実験結果

	実験条件				廃棄物の pH			発生水素量及び酸素消費量			
	不燃物:可燃物 (重量比)	水分 (%)	温度 (°C)	廃棄物に対する CaCO ₃ 添加量 (%)	CaCO ₃		実験終了後 (7.5時間後)	0~1.5時間経過後		1.5~7.5時間経過後	
					添加前	添加後		(1.5時間) ※1		(6時間) ※2	
								発生水素量 (ml/kg)	酸素消費量 (ml/kg)	発生水素量 (ml/kg)	酸素消費量 (ml/kg)
ケース1	1:1	20.5	20	0	10.9		10.5	0.27 (0.18)	25 (16)	0.83 (0.13)	88 (14)
ケース2	1:1	20.5	40	0	9.7		9.3	0.49 (0.32)	55 (36)	1.0 (0.16)	260 (43)
ケース3	1:1	20.5	80	0	10.9		10.5	2.2 (1.4)	80 (53)	5.0 (0.83)	210 (35)
ケース4	1:1	20.5	20	5	10.9	10.6	10.5	0.33 (0.22)	25 (16)	0.80 (0.13)	93 (15)
ケース5	1:1	20.5	40	5	9.7	8.9	8.6	0.41 (0.27)	83 (55)	0.93 (0.15)	250 (41)
ケース6	1:1	20.5	80	5	10.9	10.6	10.4	3.0 (2.0)	90 (60)	7.8 (1.3)	230 (38)
ケース7	1:1	20.5	20	10	10.9	10.3	10.4	0.32 (0.21)	23 (15)	0.88 (0.14)	78 (13)
ケース8	1:1	20.5	40	10	9.7	9.0	8.6	0.41 (0.27)	78 (52)	0.99 (0.16)	220 (36)
ケース9	1:1	20.5	80	10	10.9	10.3	10.1	3.0 (2.0)	88 (58)	6.0 (1.0)	180 (30)
ケース10	1:3	22.7	20	0	10.1		10.4	0.28 (0.18)	28 (18)	0.87 (0.14)	65 (10)
ケース11	1:3	22.7	40	0	10.0		9.6	0.40 (0.26)	83 (55)	1.0 (1.0)	200 (33)
ケース12	1:3	22.7	80	0	10.6		10.0	2.3 (1.5)	100 (66)	19 (3.1)	200 (33)
ケース13	1:3	22.7	20	5	10.6	10.6	10.1	0.38 (0.25)	53 (35)	0.99 (0.16)	100 (16)
ケース14	1:3	22.7	40	5	10.0	9.9	9.4	0.62 (0.41)	63 (42)	1.9 (0.31)	200 (33)
ケース15	1:3	22.7	80	5	10.6	10.6	10.3	2.3 (1.5)	130 (86)	6.2 (1.0)	190 (31)
ケース16	1:3	22.7	20	10	10.1	10.2	9.9	0.38 (0.25)	23 (15)	1.2 (0.20)	73 (12)
ケース17	1:3	22.7	40	10	10.0	10.0	9.5	0.57 (0.38)	60 (40)	2.1 (0.35)	200 (33)
ケース18	1:3	22.7	80	10	10.1	10.2	9.9	2.7 (1.8)	85 (56)	5.5 (0.91)	190 (31)
ケース19	1:1	30.0	40	5	10.0	9.9	9.1	0.48 (0.32)	48 (32)	0.85 (0.14)	250 (41)
ケース20	1:1	40.0	40	5	10.4	10.3	10.4	0.01未満	13 (8.6)	0.29 (0.048)	20 (3.3)

注) 実験に使用した豊島廃棄物等は、次のAロット、Bロットの混合物である。

	豊島 廃棄物等 (t)	豊島における石灰添加量			廃棄物と石灰 の 混合作業日
		CaO (t)	CaCO ₃ (t)	石灰添加率 (%)	
Aロット	977.9	15	60	7.1	1月10日
Bロット	735.5	15	60	9.3	1月15日

() 書きは時間当たり発生量、消費量を示す

※1: 投入コンベア滞留時間を1.5時間と想定

※2: 供給筒滞留時間を6時間と想定

1-6. 豊島廃棄物等と炭酸カルシウムの混合による水素ガス発生実験

豊島で均質化処理を行っていない（生石灰と炭酸カルシウムを添加していない）土壌主体物とシュレッダー主体物にそれぞれ炭酸カルシウムを混合した場合と、それらを混合したものに炭酸カルシウムを混合した場合に、水素が発生するかどうかを確認するため、次の実験を実施した。

1-6-1. 実験方法

実験用試料は、豊島掘削現場で採取した土壌主体物及びシュレッダー主体物であり、これを用いて下記の3試料を作成して実験した。溶融助剤は、豊島掘削現場で添加している顆粒状の炭酸カルシウムであり、混合比率は20%である。温度は40℃で行った。

実験装置は1-5の実験と同じであり、毎日ガスを採取して水素濃度を測定し、7日間行った。

- ・土壌主体物
- ・シュレッダー主体物
- ・土壌主体物とシュレッダー主体物を重量比率で1:4.5(小爆発発生時に処理していた廃棄物の設定)に混合した試料

水素ガス、pHの測定方法は1-5の実験と同じである。

1-6-2. 実験結果

測定結果は表2-8のとおりであり、水素の発生はいずれの試料からも確認されなかった。

表2-8 豊島廃棄物等と炭酸カルシウムの混合による水素ガス発生実験結果
(炭酸カルシウムを添加した場合の水素発生量及び酸素消費量)

試料の種類	含水率 (%)	廃棄物等のpH			開始日時	(ml/Kg)								
		実験前		実験後(163時間後)		0~14時間	14~21時間	21~44時間	44~67時間	67~91時間	91~115時間	115~139時間	139~163時間	
		添加前	添加後			(14時間)	(7時間)	(23時間)	(23時間)	(24時間)	(24時間)	(24時間)	(24時間)	
S D	19.4	8.2	8.4	8.1	2/2 19:05	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	
土 壌	14.4	8.1	8.4	8.3	2/2 19:35	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	
混 合	-	8.2	8.4	8.1	2/2 20:05	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	

注) ①試料は、何も添加していないシュレッダー(以下、SDと言う。)主体廃棄物、土壌主体廃棄物、SDと土壌廃棄物(SD:土壌=4.5:1)で混合した3種類の各2Kgに対して顆粒状CaCO₃を20%添加し、攪拌混合したものを用いた。

②恒温槽温度40℃

参考 酸素消費量 (ml/Kg)

	139~163時間 (24時間)
S D	240 (10)
土 壌	190 (7.9)
混 合	240 (10)

()書きは時間当たりの消費量を示す

1-7. 直島前処理工程後の水素ガス発生状況確認実験

豊島掘削現場で添加した顆粒状の生石灰や廃棄物中の金属が、直島の前処理工程の破碎により、表面が削られて活性化し、水素ガス発生量の増加現象が見られるかどうかを確認するため次の実験を実施した。

1-7-1. 実験方法

実験用試料は、中間処理施設の豊島廃棄物等受入れピット内の廃棄物（豊島掘削現場で均質化処理を行い、生石灰と炭酸カルシウムを添加したもの）である。

実験装置は1-5.の実験とほぼ同様(恒温水槽のみ無し)であり、2日間1日毎に水素ガスを測定した後、測定に使用した廃棄物をはさみで30mm以下に切断し、ジルコウム乳鉢で磨り潰し、速やかに同じ実験装置に入れ、3日間1日毎に水素ガスを測定した。温度は室温であり18℃程度であった。水素ガス及びpHの測定方法は1-5.の実験と同じである。

1-7-2. 実験結果

実験結果は表2-9のとおりであり、

- (1)廃棄物の切断磨り潰しを行う前にも、水素が発生している。発生量は1-5.の実験の20℃と同程度か、やや少ない量であった。2日間では減少傾向は見られなかった。
- (2)切断磨り潰し後の水素発生量は、切断磨り潰し前と同程度であり、発生量の増加は見られなかった。

表 2-9 直島の前処理工程後の水素ガス発生状況の確認試験結果

試料の種類	含水率(%)		開始日時	発生量 (ml/kg)			試料破碎後実験開始日時	含水率(%)		0~24時間 (24時間)	24~48時間 (24時間)	48~72時間 (24時間)			
	実験前	実験後		0~8時間 (8時間)	8~32時間 (24時間)	32~52時間 (20時間)		破碎前	破碎後						
				水素発生量	水素発生量	水素発生量							水素発生量	水素発生量	水素発生量
前処理前 廃棄物	15.3	12.0	2/4 8:40	0.88 (0.11ml/kg·hr)	3.2 (0.13ml/kg·hr)	2.8 (0.14ml/kg·hr)	2/6 15:00	16.7	11.8	3.3 (0.14ml/kg·hr)	2.7 (0.11ml/kg·hr)	2.7 (0.11ml/kg·hr)			

()書きは時間当たりの消費量を示す

1-8. 生石灰混入割合の確認実験

不燃物、可燃物のどちらに豊島掘削現場で添加した生石灰が多く入っているかを把握するため次の実験を実施した。

1-8-1. 実験方法

中間処理施設の不燃物ピットと可燃物ピットの廃棄物を採取し、pH、カルシウム含有量を測定した。

(1) サンプル

中間処理施設の不燃物ピットと可燃物ピットの廃棄物

(2) 測定方法

pH測定 …………… 廃棄物：水＝1：10で抽出後、pHメーターでpH測定する。

カルシウム含有量 …… 蛍光X線分析装置でCaOの測定をする。

1-8-2. 実験結果

結果は表 2-10 のとおり。

表 2-10 廃棄物の pH 及びカルシウム含有量

	pH	カルシウム含有量※
不燃物ピット内廃棄物	11.0	9.3 %
可燃物ピット内廃棄物	9.8	7.3 %

※カルシウム含有量は Total-CaO として測定した。