

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会（第37回）
資料2 - 2

ケーブルなどから発生する可燃性ガス発生量評価 及び 可燃性有機ガス燃焼試験進捗状況

1. 概要	p1
2. 可燃性ガス分析試験内容	p2-9
3. 可燃性ガス分析結果	p10-39
4. 可燃性ガス評価まとめ	p40
5. 可燃性有機ガス燃焼試験	p41-49
6. 可燃性有機ガス試験結果と事象考察	p50

東京電力ホールディングス株式会社

2023年4月24日

1. 概要

<概要>

- 「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ」にて、1F3号機の水素爆発時の火炎及び噴煙の状態から、**水素爆発時に水素以外に可燃性有機ガスの寄与が報告**された
- 分析のため、次のステップで評価を進めている状況
- ① **可燃性有機ガス発生量評価（可燃性有機ガスの発生量を把握）**
 - 2021年度：一部実施済み
 - 2022年度：評価対象追加、JAEA殿と条件調整の上実施予定 → **今回報告**
- ② **燃焼試験（火炎、黒煙の発生条件を把握）**
 - 2022年度：可燃性有機ガス発生量を参考に実施予定 → **今回報告**

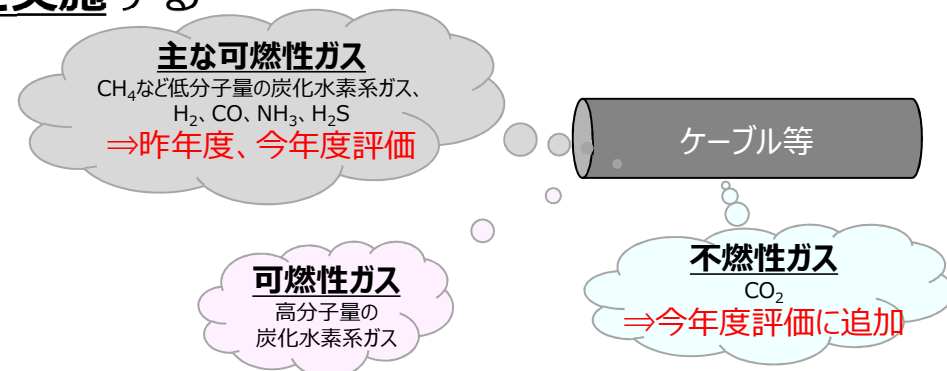
<2021年度成果>

- ① **可燃性有機ガス発生量評価**
 - 格納容器内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生が考えられるケーブル、塗料、保温材について、水素ガス、水蒸気環境下での1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生する可燃性有機ガスの同定及び定量分析を実施
 - 水素環境下よりも**水蒸気環境下の方が可燃性ガスが多く発生する傾向**を確認
 - 200℃24時間環境下では、可燃性ガスはほぼ発生しない**ことを確認

2-1. 可燃性有機ガス分析試験計画 (方針)

<2022年度ガス分析方針>

- 水素環境より水蒸気環境の方がガス発生量が多い傾向が確認されたことから、**水蒸気環境を優先**する
- 200℃24h試験はガス発生量がほぼないことが確認されたことから、**1000℃昇温試験を優先**する
- 酸素ガス影響を考慮して、**4%酸素環境試験を実施**する
 - 酸素以外の雰囲気条件（窒素又は水蒸気）は、代表試料（ウレタン保温材）について2パターン評価し、他試料の雰囲気条件を決定
 - 水蒸気100%環境試験と類似の結果が得られると想定されることから、**代表試料の試験を実施**
- **2022年度評価試料は、試験体の種類毎に1機種以上確保し、以下の通りとする**
 - **無機ジンクリッチ塗料、KGBケーブル、潤滑油**（初めての評価対象）
 - **PNケーブル**（格納容器下部ドライウエルの物量が多くガス発生量多い）
 - **ウレタン保温材**（物量が多くガス発生量多い）
- 可燃性ガス以外としてCO₂の発生量が多いと想定されるため、**CO₂分析のため代表試料の水蒸気環境での再試験を実施**する
- 高分子量揮発成分を把握するため、**タール分の重量測定を実施**する
- 2022年度に初めてガス分析を実施する試料は、予備試験も実施する



2-2. 可燃性有機ガス分析試験計画（概要）

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会（第31回）
資料4-2 資料引用・青字追加

今回報告範囲

No.	種類	評価対象	用途	本試験 水蒸気97%+ 窒素3%	本試験 水素100%	本試験 酸素4%+窒素 or水蒸気96%
1	ケーブル	CVケーブル 絶縁体：架橋ポリエチレン シース：難燃性特殊耐熱ビニル	・ 高圧動力用ケーブルに使用	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※2
2	ケーブル	PNケーブル 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム シース：特殊クロロプレンゴム	・ 制御・計装ケーブルに使用 ・ RPV下部に設置	完了 (1000℃/200℃) 2022年度再試験 (1000℃)	完了 (1000℃)	2022年度試験 (1000℃) ※2
3	ケーブル	同軸ケーブル 絶縁体：ETFE/架橋ポリエチレン シース：難燃性架橋ポリエチレン	・ SRNM/LPRMケーブルに使用 ・ RPV下部に設置	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※2
4	塗料	エポキシ系塗料	・ D/W上塗り	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※2
5	塗料	無機ジンクリッチ塗料	・ D/W 下塗り	2022年度試験 (1000℃)	-	2022年度試験 (1000℃) ※2
6	保温材	ウレタン保温材	・ 配管保温	完了 (1000℃/200℃) 2022年度再試験 (1000℃)	完了 (1000℃)	2022年度試験 (1000℃) ※2
7	保温材	ポリイミド保温材	・ 配管保温	完了 (1000℃)	完了 (1000℃/200℃)	※2
8	ケーブル	KGBケーブル 絶縁体：シリコンゴム+ガラス編組 シース：シリコンゴム	・ PIPケーブルに使用 ・ RPV下部に設置	2022年度試験 (1000℃) ※1	-	2022年度試験 (1000℃) ※2
9	潤滑油	電動機用潤滑油	・ PLR電動機	2022年度試験 (1000℃/200℃) ※1	-	2022年度試験 (1000℃) ※2

・ 有機ジンクリッチ塗料は使用範囲が限定的であるため、優先度を下げ試験対象外とした

1000℃：1000℃昇温試験、200℃：200℃24h試験
※1：予備試験も実施
※2：代表機種にて試験実施

2-3. ケーブル試料について

重量割合はケーブル全体に対する割合

試料		仕様	写真	断面写真
CVケーブル	絶縁体	架橋ポリエチレン (重量割合：14%)		
	シース	難燃性特殊耐熱ビニル (重量割合：18%)		
PNケーブル	絶縁体	難燃性エチレンプロピレンゴム (重量割合：18%)		
	シース	特殊クロロプレンゴム (重量割合：54%)		
同軸ケーブル	第一絶縁体	ETFE (重量割合：3%)		
	第二絶縁体	架橋ポリエチレン (重量割合：14%)		
	シース	難燃性架橋ポリエチレン (重量割合：27%)		
KGBケーブル	絶縁体	シリコンゴム+ガラス編組 (重量割合：16%)		
	シース	シリコンゴム (重量割合：8%)		

2-4. 可燃性有機ガス分析試験計画 (概要)

<予備試験>

- ガス発生温度域及び有機系化合物が1000℃昇温で揮発するか確認するため、窒素環境下での昇温中の重量変化測定 (TG*1)
- 昇温試験前後の材質評価 (FT-IR*2、SEM-EDX*3)

*1:熱重量測定

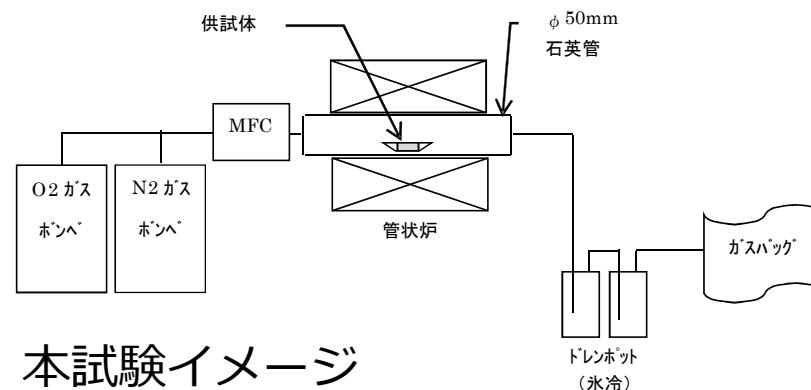
*2:フーリエ変換赤外分光法

*3:走査型電子顕微鏡-

エネルギー分散型X線分光分析

<本試験>

- 水蒸気環境下、酸素4%+窒素又は水蒸気環境下での昇温試験
- **ウレタン保温材の酸素ガス環境下試験条件をJAEA殿条件と整合**
- 発生ガス中の可燃性ガスの同定及び定量分析(ガスクロマトグラフィーなど)
 - 200℃~1000℃間 (ガス発生温度域からガスサンプリング条件を決定)
 - 1000℃ (試験装置の限界温度。RPV下部での溶融炉心との接触を想定)
- 昇温試験前後の材質評価 (FT-IR*2、SEM-EDX*3) ※潤滑油は液体のため、SEM-EDX測定実施せず



本試験イメージ

2-4. ウレタン保温材の可燃性有機ガス分析試験計画

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会(第31回)
資料4-2 資料引用・赤字修正

・ 酸素ガス濃度、試験中の発生ガス条件（試料単位重量当たりのガス接触時間）を整合

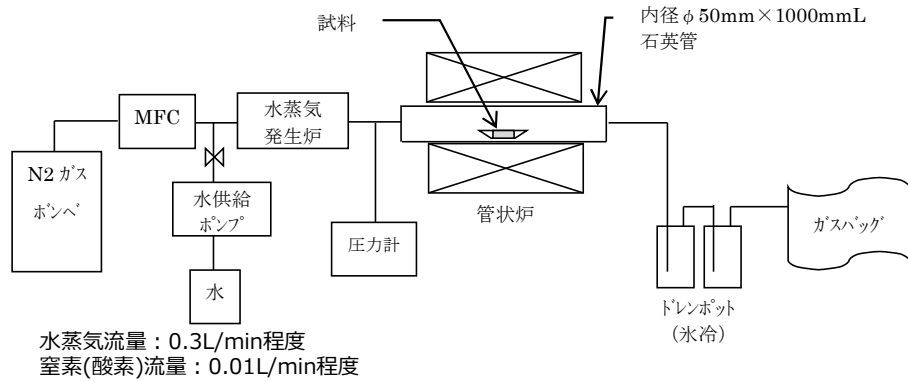
No.	試験設定項目	JAEA（現状案）	東京電力HD	備考
昇温試験条件				
1	雰囲気ガス濃度（酸素）	4.0%	4.0%	1F保安規定より
2	雰囲気ガス濃度（酸素以外）	窒素96%	①窒素96% ②水蒸気96%	可燃性ガス発生量の多い条件を他試料へ適用予定
3	昇温速度	10℃/min	10℃/min	2021年度と同条件
試料単位重量当たりのガス接触時間(約9min/g*に一致)※				
<small>*:[試験系体積(mL)]÷[ガス流量(mL/min)] ÷ [試料重量(g)]</small>				
4	試験系実効体積	約140mL	約1570mL	2021年度と同条件
5	雰囲気ガス流量	100mL/min	300mL/min	2021年度と同条件
6	試料重量（ウレタン保温材）	約0.15g	約0.6g	試験中の発生ガス条件を合わせるため調整
ガス分析方法				
7	対象：水素、一酸化炭素、二酸化炭素	ガスクロマトグラフ法（熱伝導度検出器(TCD)）	ガスクロマトグラフ法（熱伝導度検出器(TCD)）	2021年度と同条件 二酸化炭素の検出を追加
8	対象：炭化水素	ガスクロマトグラフ法（水素炎イオン化検出器(FID)）	ガスクロマトグラフ法（水素炎イオン化検出器(FID)）	2021年度と同条件
9	対象：アンモニア	分析予定なし	ガス検知管法	2021年度と同条件
10	対象：硫化水素	分析予定なし	ガスクロマトグラフ法（炎光光度検出器(FPD)）	2021年度と同条件

※：No.5/6条件が変更となる場合は、試料単位重量当たりのガス接触時間を整合させる

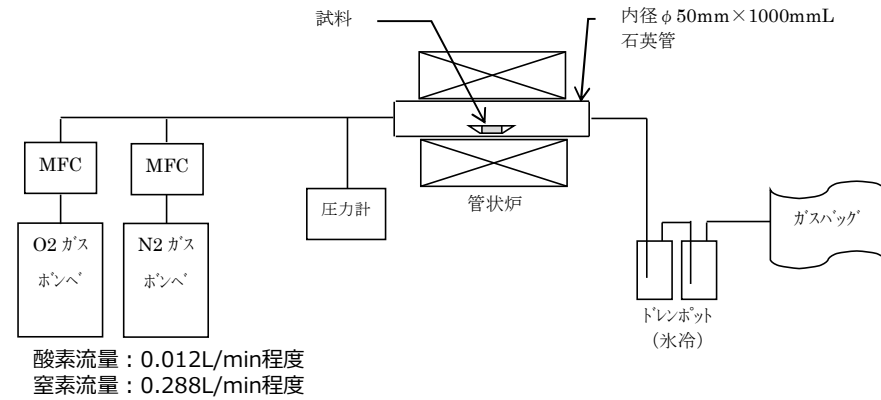
2-5. 可燃性有機ガス分析試験計画（本試験）

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会（第31回）
資料4-2 資料引用・一部修正

■ 水蒸気 + 窒素（酸素）環境下



■ 酸素 + 窒素環境下



管状炉



マスフローコントローラ

石英管



ガスバッグ

2-5. 可燃性有機ガス分析方法

■ ガス種に対する分析方法

対象ガス	分析方法	検出器	定量下限値
水素 一酸化炭素 二酸化炭素	ガスクロマトグラフ法	熱伝導度検出器(TCD)	0.1vol%
炭化水素	ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器(FID)	1volppm
アンモニア	ガス検知管法		0.5volppm
硫化水素	ガスクロマトグラフ法	炎光光度検出器(FPD)	0.1volppm

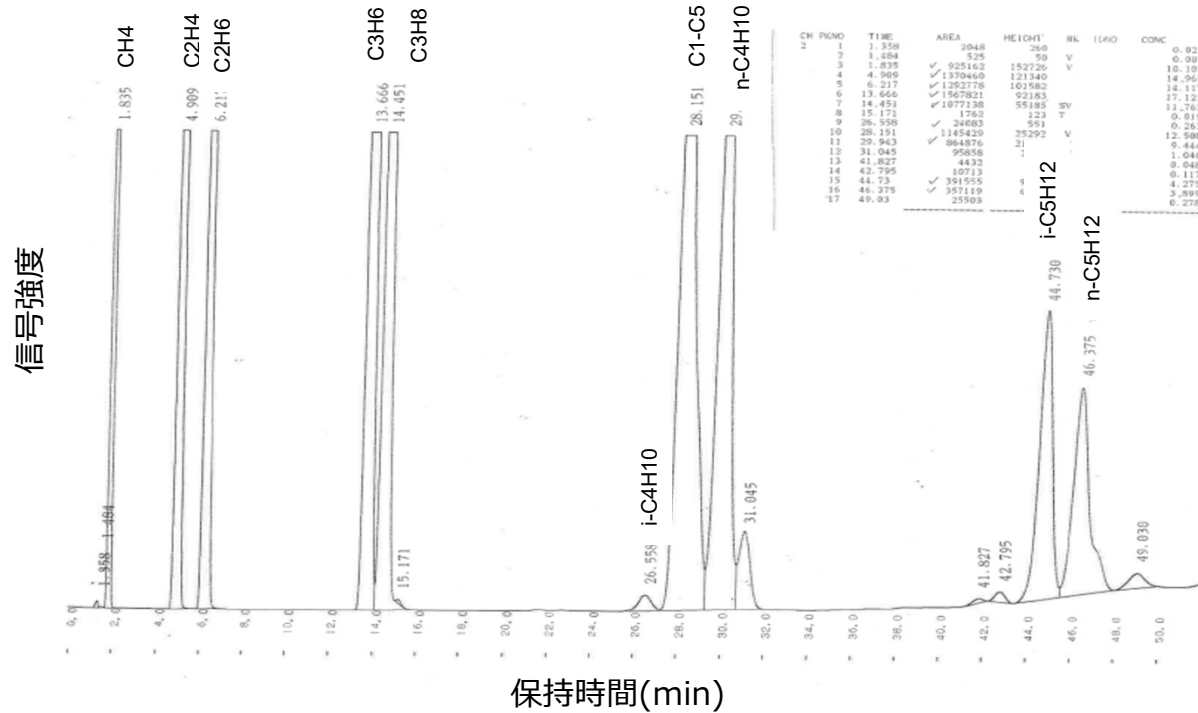
■ そのほかの分析方法

対象物	分析方法
ガス発生量	排ガス全量をガスバッグに採取し、積算流量計で計測した値から供給ガス量を差し引いて算出（水蒸気環境下の場合、水はドレンポットに回収され、排ガスには含まれない）
タール発生量	石英管やドレンポットに付着・回収されたタールを秤量
水蒸気発生量	ドレンポットに回収した水蒸気量から供給した水蒸気量を差し引いて算出

2-5. 可燃性有機ガス分析方法

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会(第29回)
資料1-2 資料引用

■ CVケーブル水蒸気環境下350-500°Cガスクロマトグラム(C1-C5)



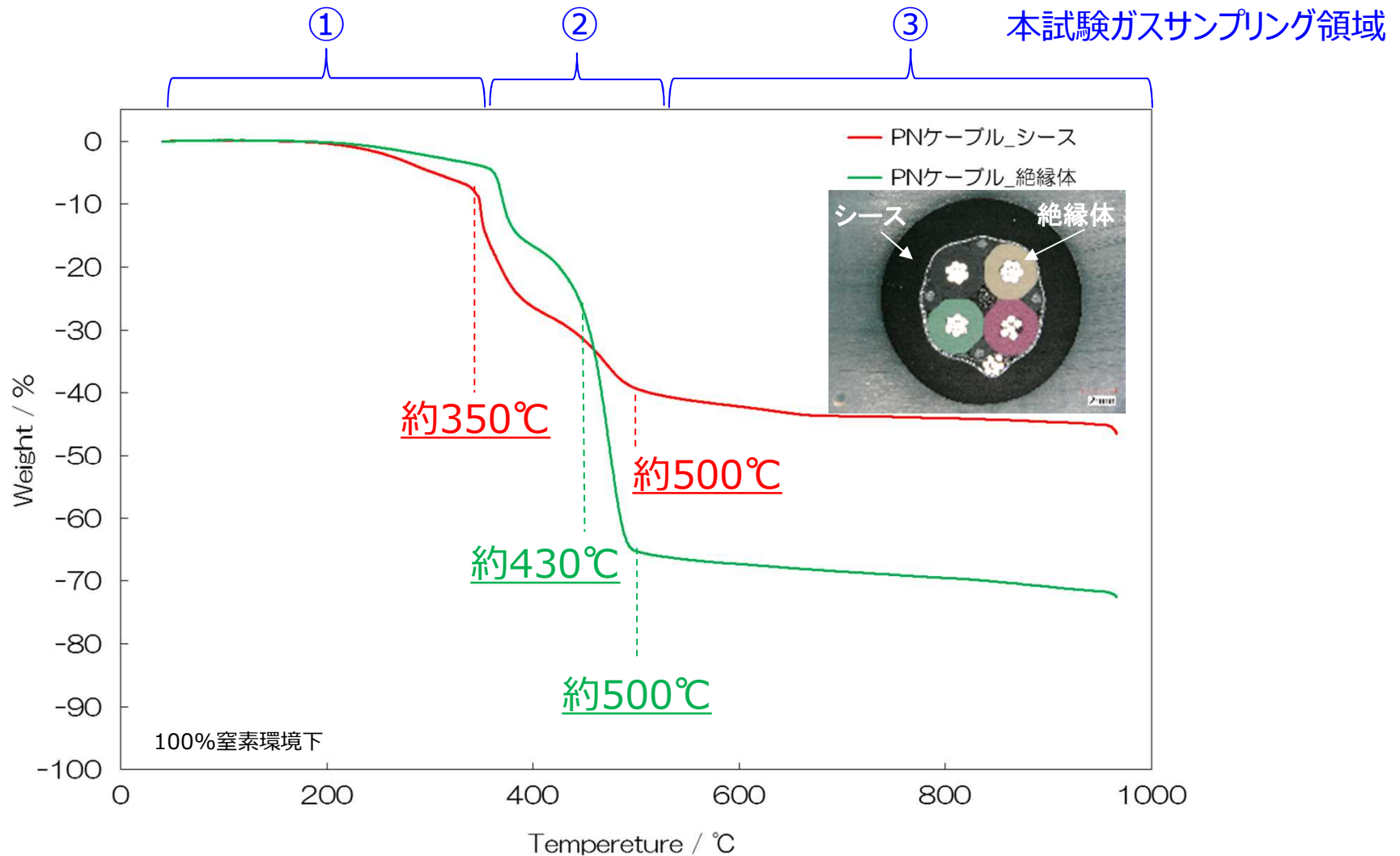
標準ガスを基準とし、各ピークの同定と面積からガス濃度を算出

	CH4	volppm	2000
	C2H4	volppm	1500
	C2H6	volppm	1400
炭化	C3H6	volppm	1300
	C3H8	volppm	850
水素	i-C4H10	volppm	14
	n-C4H10	volppm	540
	i-C5H12	volppm	190
	n-C5H12	volppm	180

3-1. PNケーブル予備試験結果

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会(第29回)
資料1-2 資料引用

■PNケーブルのTG曲線



3-1. PNケーブル本試験結果

■ PNケーブル昇温前後の状態



試験前



試験後

(1000℃水蒸気97%+3%窒素環境下)

試料		PNケーブル					
		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%		
環境	°C	RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000
温度	°C						
ガス発生量	L	2.3	0.4	13.2	2.2	0.4	9.3
	(合計)	15.9			11.9		
ケーブル長さ	mm	80.0			80.0		
試験前試料重量	g	17.13			17.37		
試験後試料重量	g	7.85			8.32		
増減	g	-9.28			-9.05		
	%	-54.2			-52.1		
タール発生量	g	5.16			4.17		
供給水蒸気量	g	68.45			70.31		
回収水蒸気量	g	62.26			67.77		
水蒸気発生量	g	-6.19			-2.54		



試験後

(1000℃酸素4%+水蒸気96%環境下)

3-1. PNケーブル本試験結果

■ PNケーブル1000℃昇温時に発生したガス分析結果 (ケーブル単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料		PNケーブル						
環境		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			
温度(℃)		RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000	
H2	wt%	-	2.87E-03	3.22E+00	-	2.06E-03	2.06E+00	
CO	wt%	-	1.46E-02	2.22E+01	-	2.88E-02	1.78E+01	
CO2	wt%	-	1.03E-01	1.47E+01	-	1.07E-01	1.90E+01	
炭化水素	CH4	wt%	4.32E-03	1.61E-02	1.74E+00	2.35E-04	1.99E-02	1.40E+00
	C2H4	wt%	2.96E-04	2.66E-02	9.57E-01	3.17E-05	2.81E-02	7.92E-01
	C2H6	wt%	9.15E-04	1.09E-02	4.43E-01	-	1.35E-02	5.34E-01
	C3H6	wt%	-	5.47E-03	5.22E-01	-	8.10E-03	6.17E-01
	C3H8	wt%	1.03E-04	4.87E-03	1.88E-01	-	6.22E-03	2.36E-01
	i-C4H10	wt%	-	2.34E-04	9.68E-03	-	2.46E-04	1.31E-02
	n-C4H10	wt%	-	2.72E-03	1.37E-01	-	2.46E-03	1.59E-01
	i-C5H12	wt%	-	1.97E-04	6.99E-02	-	1.76E-04	8.35E-02
	n-C5H12	wt%	-	2.44E-04	1.37E-01	-	1.48E-04	1.45E-01
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	wt%	2.25E-04	8.55E-03	4.35E-01	-	7.20E-03	4.98E-01
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	
H2S	wt%	4.78E-05	1.95E-02	1.20E-02	1.92E-04	2.53E-02	1.83E-02	

3-1. PNケーブル本試験結果

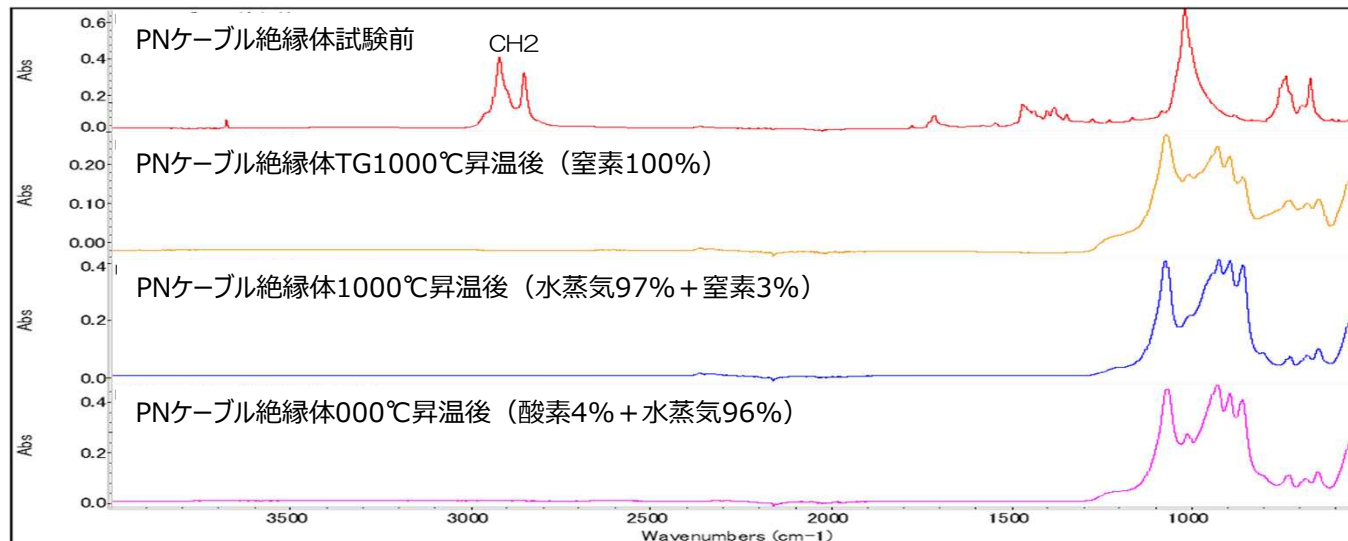
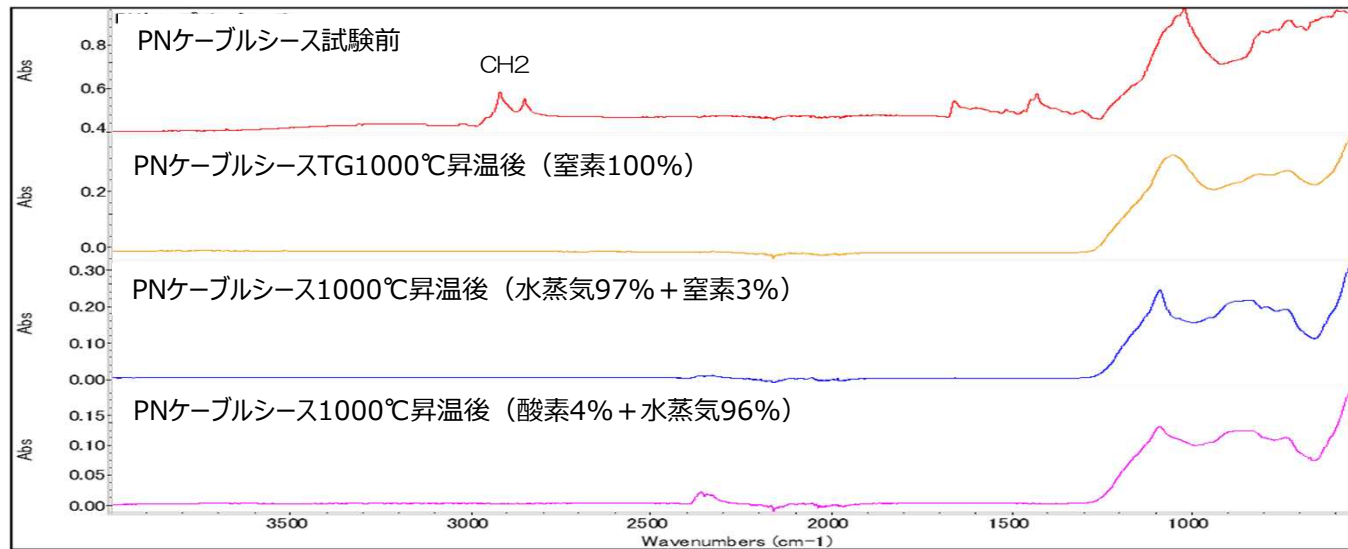
■ PNケーブル1000℃昇温時に発生したガス分析結果

(ケーブル中のシースと絶縁体単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料		PNケーブル						
環境		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			
温度(℃)		RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000	
H2	wt%	-	3.94E-03	4.43E+00	-	2.83E-03	2.84E+00	
CO	wt%	-	2.01E-02	3.05E+01	-	3.96E-02	2.45E+01	
CO2	wt%	-	1.42E-01	2.02E+01	-	1.48E-01	2.62E+01	
炭化水素	CH4	wt%	5.94E-03	2.21E-02	2.39E+00	3.24E-04	2.74E-02	1.93E+00
	C2H4	wt%	4.07E-04	3.66E-02	1.32E+00	4.36E-05	3.86E-02	1.09E+00
	C2H6	wt%	1.26E-03	1.51E-02	6.09E-01	-	1.86E-02	7.35E-01
	C3H6	wt%	-	7.53E-03	7.18E-01	-	1.11E-02	8.49E-01
	C3H8	wt%	1.42E-04	6.70E-03	2.59E-01	-	8.56E-03	3.25E-01
	i-C4H10	wt%	-	3.22E-04	1.33E-02	-	3.38E-04	1.80E-02
	n-C4H10	wt%	-	3.74E-03	1.89E-01	-	3.38E-03	2.19E-01
	i-C5H12	wt%	-	2.71E-04	9.61E-02	-	2.42E-04	1.15E-01
	n-C5H12	wt%	-	3.36E-04	1.88E-01	-	2.04E-04	1.99E-01
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	wt%	3.10E-04	1.18E-02	5.98E-01	-	9.90E-03	6.84E-01
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	
H2S	wt%	6.58E-05	2.68E-02	1.65E-02	2.64E-04	3.49E-02	2.51E-02	

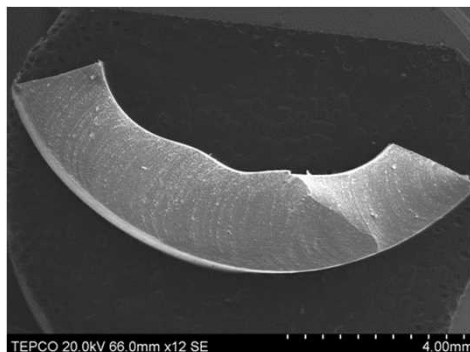
3-1. PNケーブル本試験結果

■ PNケーブル1000℃昇温前後でのFT-IRスペクトル

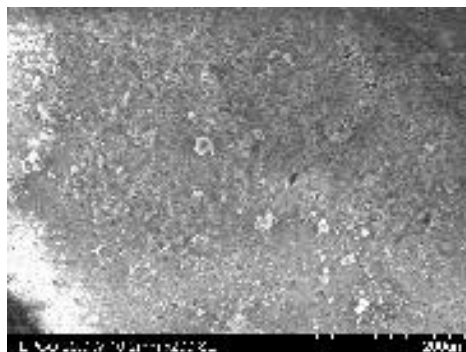


3-1. PNケーブルルシース本試験結果

■PNケーブルルシース1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析結果



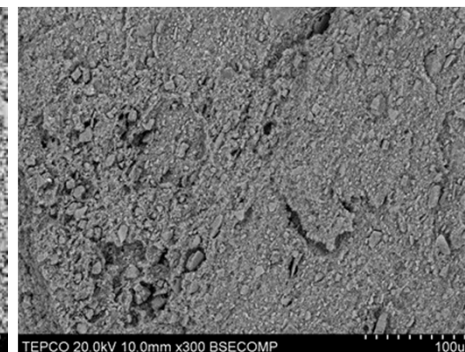
試験前



TG1000℃昇温後
窒素100%



1000℃昇温後
水蒸気97%+窒素3%



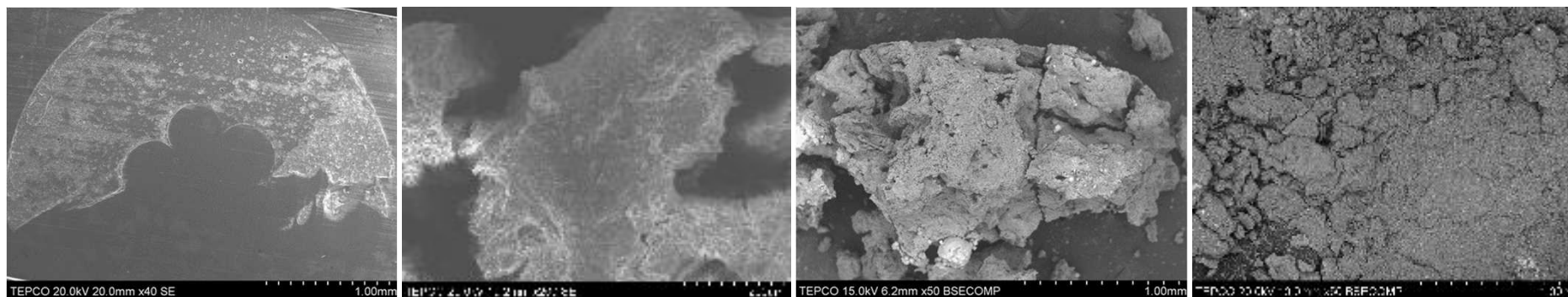
1000℃昇温後
酸素4%+水蒸気96%

単位：wt%

	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn	Sb	Pb	合計
試験前	62.48	14.86	0.03	0.05	3.37	3.08	0.84	8.71	0.06	0.00	0.15	0.05	0.03	0.01	0.01	0.87	5.41	100
TG1000℃ 窒素100%	10.64	41.07	0.06	0.14	15.78	15.17	-	0.01	0.30	0.03	1.11	0.60	0.14	0.14	-	0.11	14.71	100
1000℃ 水蒸気97% +窒素3%	11.68	46.91	0.12	0.23	15.60	14.22	0.15	0.04	0.24	0.01	0.78	0.29	0.18	0.11	0.13	0.24	9.08	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	13.02	44.04	0.18	0.23	14.74	13.18	0.21	0.05	0.22	0.00	0.77	0.25	0.18	0.10	0.62	0.36	11.86	100

3-1. PNケーブル絶縁体本試験結果

■ PNケーブル絶縁体1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析結果



試験前

TG1000℃昇温後
窒素100%

1000℃昇温後
水蒸気97%+窒素3%

1000℃昇温後
酸素4%+水蒸気96%

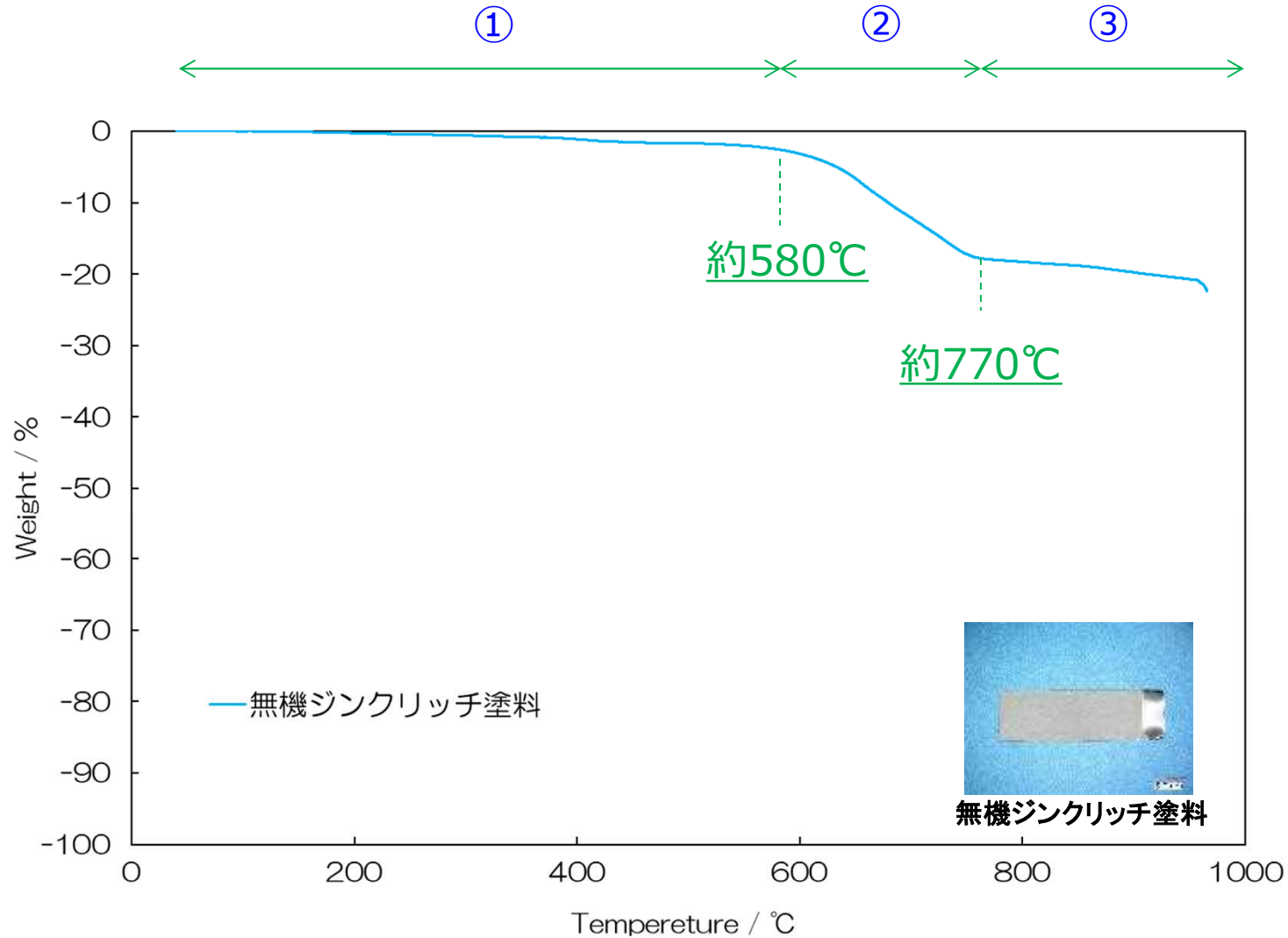
単位：wt%

	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Br	Sb	Pb	合計
試験前	70.36	11.24	0.13	2.15	0.96	3.35	0.93	0.17	0.09	0.02	1.54	4.24	4.73	0.08	100
TG1000℃ 窒素100%	10.97	32.29	0.73	8.87	0.15	13.97	0.03	0.17	0.49	0.30	7.17	0.18	24.26	0.41	100
1000℃ 水蒸気97% +窒素3%	12.62	46.71	0.10	12.22	0.85	17.02	0.15	2.81	0.55	1.11	0.44	0.00	1.84	3.57	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	9.74	47.22	0.23	13.93	0.55	20.46	0.06	0.18	0.56	0.66	1.78	0.00	1.86	2.76	100

3-2. 無機ジンクリッチ塗料予備試験結果

■ 無機ジンクリッチ塗料のTG曲線

本試験ガスサンプリング領域



3-1. 無機ジンクリッチ塗料本試験結果

無機ジンクリッチ塗料昇温前後の状態



試験前



試験後

(1000°C水蒸気97%+3%酸素環境下)

試料		無機ジンクリッチ塗料					
		水蒸気97%+酸素3%			酸素4%+水蒸気96%		
環境	°C	RT~580	580~770	770~1000	RT~580	580~770	770~1000
ガス発生量	L	2.7	0.5	2.4	2.9	<0.1	<0.1
	(合計) L	5.6			2.9		
試験前試料重量	g	3.40			3.56		
試験後試料重量	g	4.31			4.53		
増減	g	0.91			0.97		
	%	26.8			27.2		
タール発生量	g	0.01			0.08		
供給水蒸気量	g	73.37			71.62		
回収水蒸気量	g	69.97			71.85		
水蒸気発生量	g	-3.40			0.23		



試験後

(1000°C酸素4%+水蒸気96%環境下)

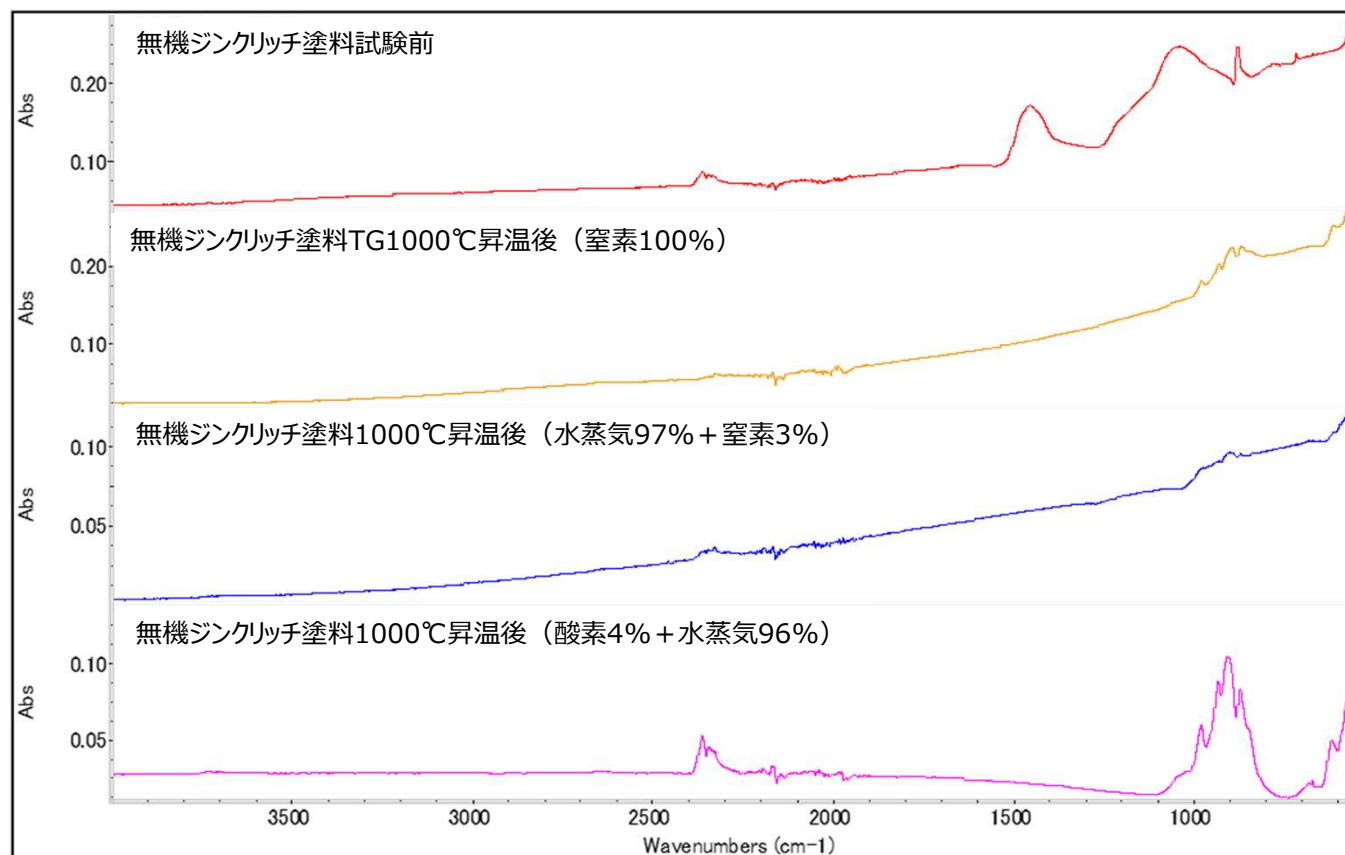
3-2. 無機ジンクリッチ塗料本試験結果

■ 無機ジンクリッチ塗料1000℃昇温時に発生したガス分析結果 (塗料単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料		無機ジンクリッチ塗料						
環境		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			
温度(℃)		RT~580	580~770	770~1000	RT~580	580~770	770~1000	
H2	wt%	-	1.16E-01	3.64E+00	-	-	6.50E-02	
CO	wt%	-	-	5.65E-01	-	8.01E-03	3.03E-01	
CO2	wt%	-	1.99E-01	3.11E+00	-	3.77E-02	3.62E+00	
炭化水素	CH4	wt%	4.05E-03	2.90E-02	3.95E+00	3.80E-03	4.30E-04	3.81E-02
	C2H4	wt%	5.59E-04	3.81E-03	8.89E-02	3.23E-03	3.76E-04	2.55E-02
	C2H6	wt%	1.60E-03	1.60E-03	8.02E-03	4.32E-04	3.43E-05	1.11E-03
	C3H6	wt%	5.59E-04	3.42E-03	1.08E-02	9.08E-04	3.72E-04	7.64E-03
	C3H8	wt%	2.93E-04	6.38E-04	1.33E-03	-	2.52E-05	3.81E-04
	i-C4H10	wt%	-	-	-	-	6.63E-05	1.03E-02
	n-C4H10	wt%	-	-	-	-	-	-
	i-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-
	n-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	wt%	1.38E-02	6.38E-03	1.05E-01	-	9.61E-05	3.16E-03
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	
H2S	wt%	2.26E-05	1.54E-05	3.09E-04	7.35E-05	7.78E-06	7.37E-05	

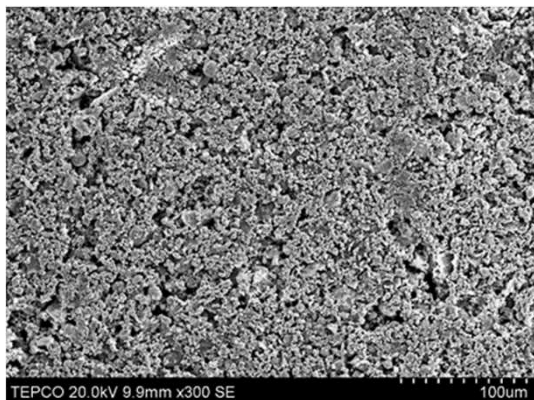
3-2. 無機ジンクリッチ塗料本試験結果

■ 無機ジンクリッチ塗料1000℃昇温前後でのFT-IRスペクトル

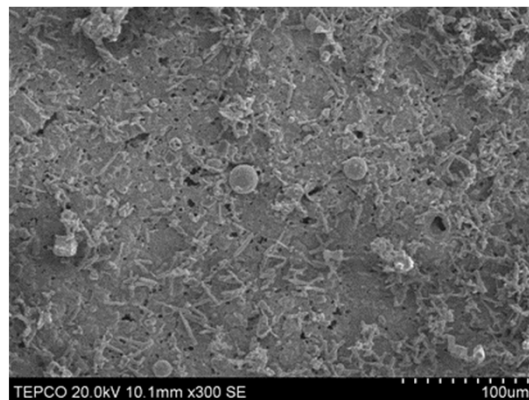


3-2. 無機ジンクリッチ塗料本試験結果

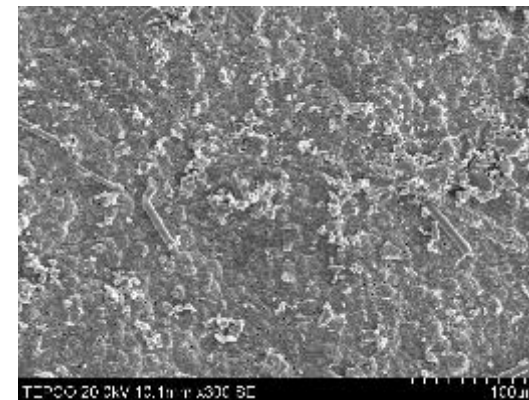
■ 無機ジンクリッチ塗料1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析



試験前



1000℃昇温後
水蒸気97%+窒素3%



1000℃昇温後
酸素4%+水蒸気96%

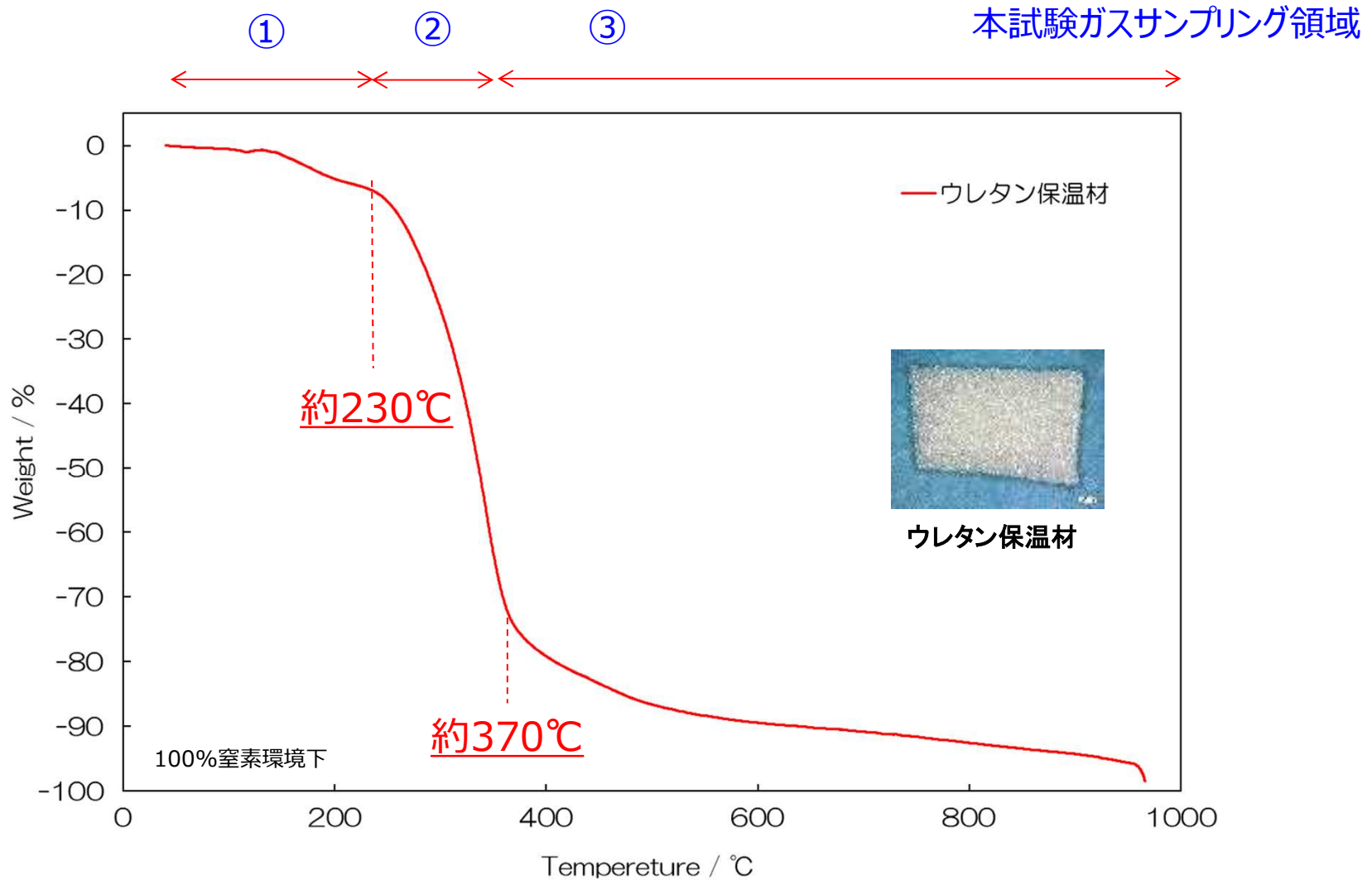
単位：wt%

	C	O	Na	Al	Si	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Zn	合計
試験前	16.90	18.12	0.00	0.95	5.65	0.24	2.87	0.01	0.01	0.08	55.17	100
TG1000℃ 窒素100%	8.27	12.19	7.42	0.03	0.13	0.01	0.15	-	-	0.30	71.50	100
1000℃ 水蒸気97% +窒素3%	8.21	20.41	1.17	0.31	2.73	0.03	0.72	0.01	0.04	0.12	66.26	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	10.46	22.19	0.70	0.28	0.49	0.01	0.34	0.29	0.10	0.19	64.94	100

3-3. ウレタン保温材予備試験結果

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会(第29回)
資料1-2 資料引用・一部修正

■ウレタン保温材のTG曲線



3-3. ウレタン保温材本試験結果

■ウレタン保温材昇温前後の状態



試験前

試験後
(1000°C水蒸気97%
+
3%窒素環境下)

試験後
(1000°C酸素4%
+
窒素96%環境下)

試験後
(1000°C酸素4%
+
水蒸気96%環境下)

試料		ウレタン保温材								
		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			酸素4%+窒素96%		
環境	°C	RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000
ガス発生量	L	1.9	0.1	0.8	1.5	0.2	0.2	1.0	0.1	1.5
(合計)	L	2.8			2.6			1.9		
試験前試料重量	g	0.60			0.60			0.60		
試験後試料重量	g	0.00			0.00			0.00		
増減	g	-0.60			-0.60			-0.60		
	%	-100.0			-100.0			-100.0		
タール発生量	g	0.31			0.33			0.20		
供給水蒸気量	g	70.80			69.76			-		
回収水蒸気量	g	69.40			69.18			0.06		

3-3. ウレタン保温材本試験結果 (JAEA殿との比較)



■ウレタン保温材1000℃昇温時に発生したガス分析結果 (保温材単位重量当たりのガス発生重量分率)

青字：定量下限値未満も含む生値

試料		TEPCO					JAEA殿				
環境		酸素4%+窒素96%					酸素4%+窒素96%				
温度	℃	RT~230	230~370	370~1000	合計	分析法	RT~250	250~420	420~680	合計	分析法
重量減少	wt%	1.00E+02			1.00E+02		8.65E+01			8.65E+01	
水	wt%	1.00E+01			1.00E+01	回収後の重量	1.00E+00	2.40E+01	1.40E+01	3.90E+01	TG-DTA-MS
H2	wt%	-	-	-	-	GC-TCD	1.00E-03	1.00E-03	2.50E-02	2.70E-02	GC-TCD
CO	wt%	-	-	1.01E+01	1.01E+01		<1	2.00E-01	2.80E+01	2.82E+01	
CO2	wt%	7.77E-02	3.83E+00	1.45E+02	1.48E+02		<1	1.40E+01	4.40E+01	5.80E+01	
炭化水素	CH4	wt%	8.21E-04	4.64E-03	6.24E-01	6.30E-01	<0.1	<0.1	1.00E-01	1.00E-01	GC-FID
	C2H4	wt%	-	1.63E-03	3.68E-01	3.70E-01	<0.1	<0.1	1.00E-01	1.00E-01	
	C2H6	wt%	-	8.71E-04	1.73E-01	1.73E-01	<0.1	6.00E-01	<0.1	6.00E-01	
	C3H6	wt%	-	5.00E-02	1.14E+00	1.19E+00	<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00	
	C3H8	wt%	-	1.28E-03	1.81E-01	1.82E-01	<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00	
	i-C4H10	wt%	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00	
	n-C4H10	wt%	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	
	i-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	
	n-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	wt%	6.65E-02	3.67E-01	2.83E-01	7.16E-01	<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00	
C6系化合物	wt%					<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00	GC-MS	
C7系化合物	wt%					<0.1	<0.1	<0.1	0.00E+00		
NH3	wt%	-	-	2.09E-03	2.09E-03	検知管					
H2S	wt%	-	-	-	-	GC-FPD					
①上記の合計	wt%				1.72E+02					1.26E+02	
②雰囲気中酸素とした場合の合計	wt%				4.69E+01					3.30E+01	
生成タール	wt%	3.33E+01			3.33E+01						
③生成タール分も入れた合計	wt%				8.02E+01						

成分ガス発生量(g) = ガスバッグ中の濃度(vol%) × キャリアガス流量(L)

試料単位質量あたりのガス発生重量分率 (wt%) = 成分ガス発生量(g) / 初期試料重量(g) × 100

①：水や検出したガス類の合計値

②：①のうち、水、CO、CO2中の酸素の全量について、雰囲気中の酸素由来と仮定した場合の合計値

③：②にタールの重量も入れた場合の合計値

3-3. ウレタン保温材本試験結果

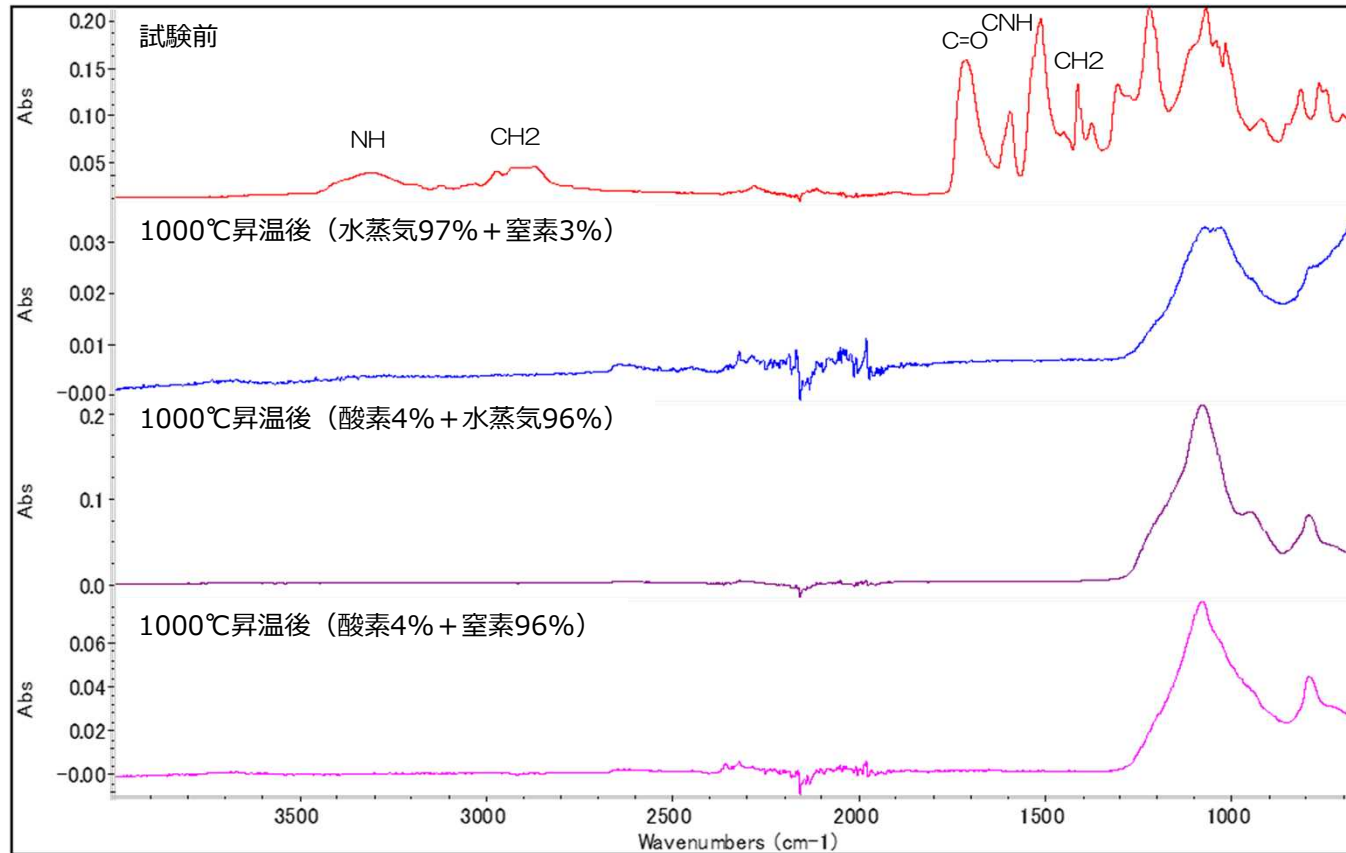
■ウレタン保温材1000℃昇温時に発生したガス分析結果 (保温材単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料 環境		ウレタン保温材									
		水蒸気97%+窒素3%			水蒸気96%+酸素4%			窒素96%+酸素4%			
温度(°C)		RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000	
H2	wt%	-	-	2.62E+00	-	-	-	-	-	-	
CO	wt%	-	-	1.48E+01	-	-	4.47E+00	-	-	1.04E+01	
CO2	wt%	-	1.44E-01	3.19E+01	-	2.25E-01	8.20E+01	8.89E-02	3.93E+00	1.49E+02	
炭化水素	CH4	wt%	9.40E-04	2.88E-04	3.44E+00	2.84E-03	5.32E-04	2.21E-01	9.40E-04	4.76E-03	6.41E-01
	C2H4	wt%	-	-	9.86E-01	-	-	1.44E-01	-	1.67E-03	3.78E-01
	C2H6	wt%	-	-	2.23E-01	-	-	9.58E-02	-	8.93E-04	1.77E-01
	C3H6	wt%	-	-	1.23E+00	-	-	7.08E-01	-	5.13E-02	1.17E+00
	C3H8	wt%	-	-	1.03E-01	-	-	5.15E-02	-	1.31E-03	1.86E-01
	i-C4H10	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	n-C4H10	wt%	-	-	-	-	-	5.14E-03	-	-	-
	i-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	n-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
上記以外のC1~C5(CH4換算値)		wt%	4.14E-02	1.41E-02	2.47E-01	5.67E-02	2.13E-02	1.31E-01	7.62E-02	3.76E-01	2.90E-01
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	0.00E+00	7.89E-02	
H2S	wt%	5.70E-03	1.50E-03	2.73E-02	6.03E-04	1.48E-04	1.03E-03	-	-	-	

成分ガス発生量(g) = ガスバッグ中の濃度(vol%) × (キャリアガス流量 + 試料から発生したガス発生量) (L)
 試料単位質量当たりのガス発生重量分率 (wt%) = 成分ガス発生量(g) / 初期試料重量(g) * 100

3-3. ウレタン保温材本試験結果

■ウレタン保温材1000℃昇温前後でのFT-IRスペクトル

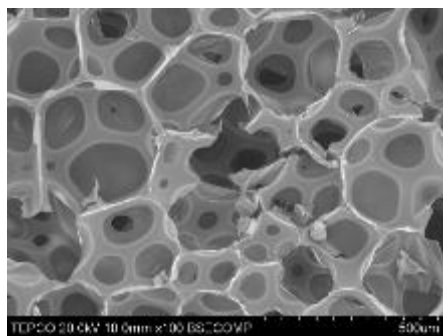


TG昇温後試料揮発のため、データなし

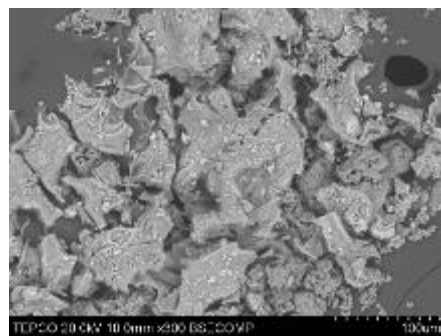
3-3. ウレタン保温材本試験結果

■ウレタン保温材1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析結果

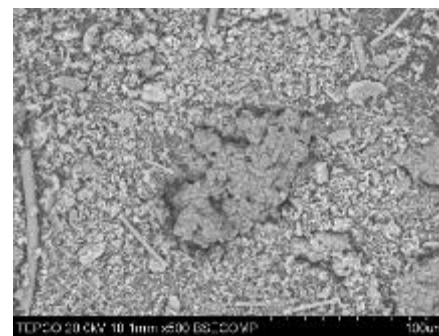
TG1000℃昇温後は試料揮発のため、測定なし



試験前



1000℃昇温後
水蒸気97% + 窒素3%



1000℃昇温後
酸素4% + 水蒸気96%



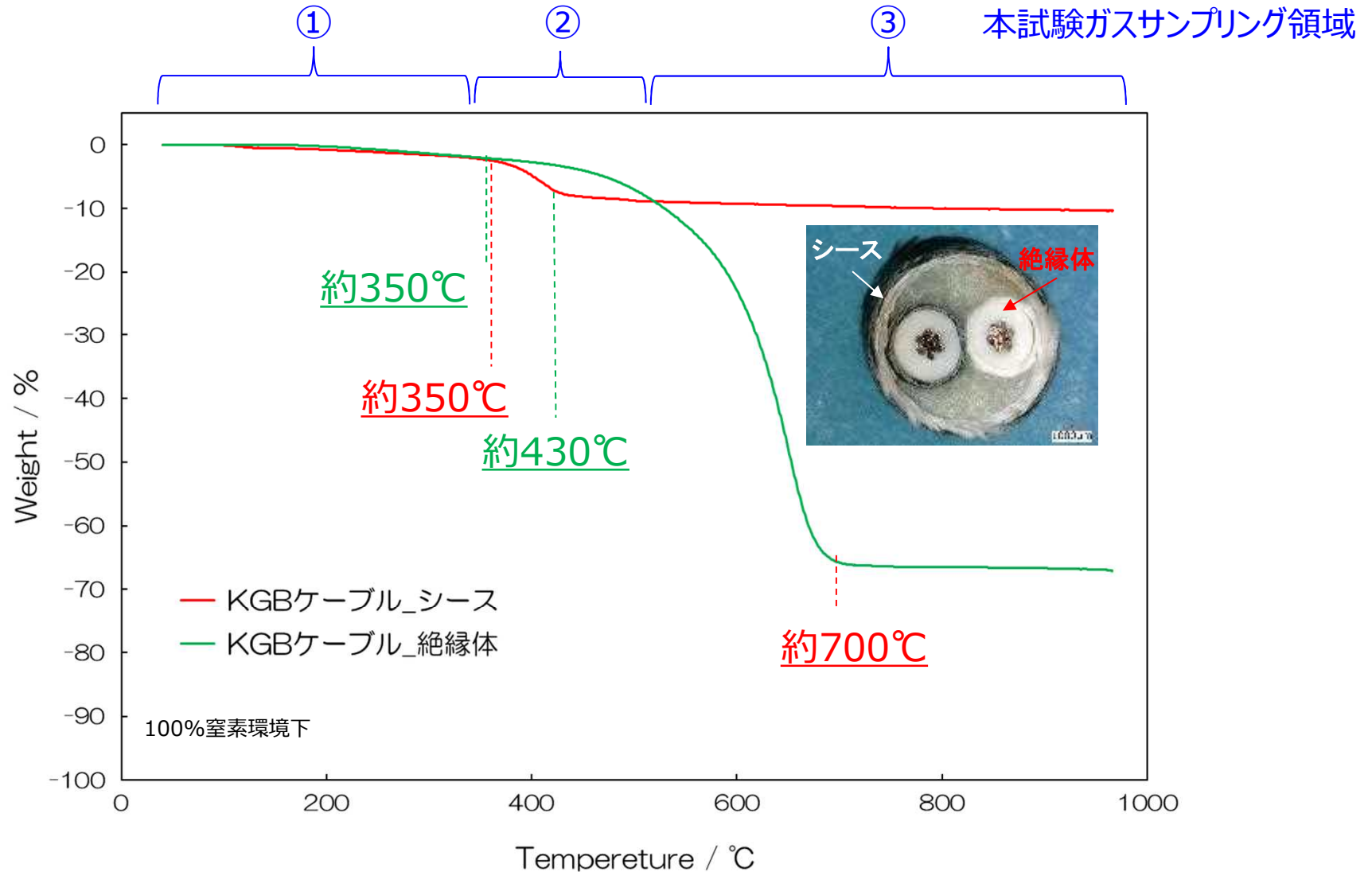
1000℃昇温後
酸素4% + 窒素96%

単位：wt%

	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	合計
試験前	67.12	9.66	21.64	0.01	0.00	0.02	0.06	0.24	1.16	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	100
1000℃ 水蒸気97% + 窒素3%	24.33	1.79	47.42	0.39	0.14	6.59	13.38	1.36	0.01	0.13	2.17	1.26	0.06	0.03	0.48	0.05	0.20	0.21	100
1000℃ 酸素4%+ 窒素96%	17.76	2.17	53.42	0.05	0.05	0.93	22.33	0.49	0.02	0.01	0.39	1.47	0.02	0.01	0.57	0.03	0.26	0.04	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	42.00	1.32	39.35	0.23	0.10	4.91	8.65	0.75	0.00	0.07	1.18	0.79	0.03	0.01	0.29	0.04	0.13	0.15	100

3-4. KGBケーブル予備試験結果

■ KGBケーブルのTG曲線



3-4. KGBケーブル本試験結果

■ KGBケーブル昇温前後の状態



試験前



試験後

(1000°C水蒸気97%+3%窒素環境下)

試料		KGBケーブル					
		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%		
環境		RT~450	450~700	700~1000	RT~450	450~700	700~1000
温度	°C						
ガス発生量	L	2.2	0.2	0.9	2.2	0.2	0.4
	(合計)	3.3			2.8		
ケーブル長さ	mm	80.0			80.0		
試験前試料重量	g	12.24			12.34		
試験後試料重量	g	10.47			10.69		
増減	g	-1.77			-1.65		
	%	-14.5			-13.4		
タール発生量	g	0.38			1.04		
供給水蒸気量	g	71.50			71.34		
回収水蒸気量	g	71.36			70.89		
水蒸気発生量	g	-0.14			-0.45		



試験後

(1000°C酸素4%+水蒸気96%環境下)

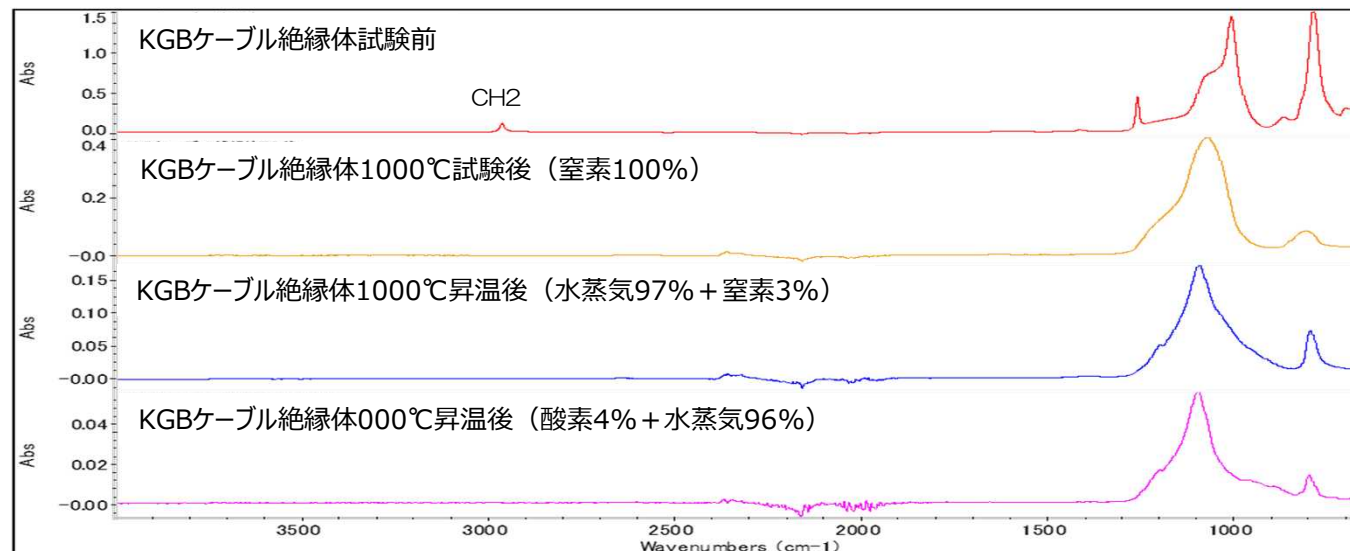
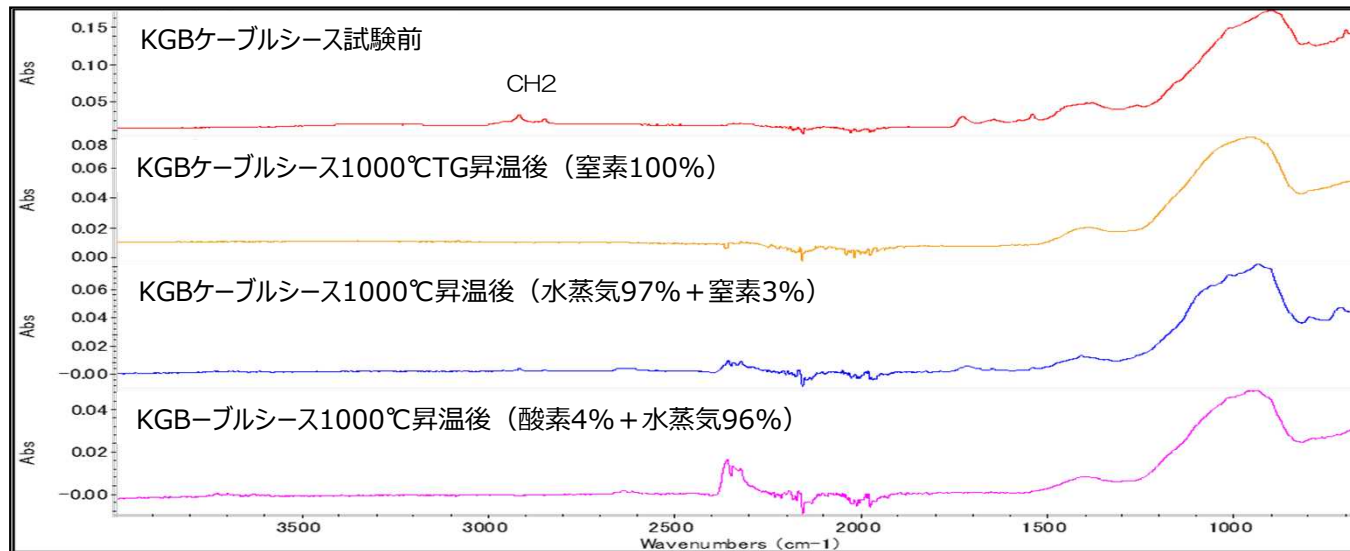
3-4. KGBケーブル本試験結果

■ KGBケーブル1000℃昇温時に発生したガス分析結果 (ケーブル単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料		KGBケーブル											
		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%								
環境		RT~450			450~700			700~1000					
温度(℃)		RT~450		450~700		700~1000		RT~450		450~700		700~1000	
H2	wt%	-	-	-	-	-	-	7.06E-04	3.02E-02	-	-	-	-
CO	wt%	-	-	1.47E-01	-	-	-	8.90E-02	1.38E+00	-	-	-	-
CO2	wt%	-	2.12E-02	6.55E-01	-	-	-	5.44E-02	2.10E+00	-	-	-	-
炭化水素	CH4	wt%	1.04E-04	2.57E-03	3.36E-01	1.42E-04	9.04E-03	1.66E-01	-	-	-	-	-
	C2H4	wt%	4.10E-04	8.09E-03	1.05E-01	3.48E-04	8.90E-03	7.80E-02	-	-	-	-	-
	C2H6	wt%	9.76E-05	3.03E-04	4.99E-03	5.33E-05	1.01E-03	1.43E-02	-	-	-	-	-
	C3H6	wt%	6.83E-05	3.17E-04	9.56E-03	-	6.97E-04	1.10E-02	-	-	-	-	-
	C3H8	wt%	-	2.82E-05	8.09E-04	-	7.77E-05	1.51E-03	-	-	-	-	-
	i-C4H10	wt%	9.43E-05	1.02E-04	3.71E-03	1.24E-03	4.30E-04	3.19E-03	-	-	-	-	-
	n-C4H10	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	i-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	n-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
上記以外のC1~C5(CH4換算値)		wt%	3.12E-04	1.46E-04	6.86E-03	2.27E-04	1.16E-04	3.44E-03	-	-	-	-	-
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H2S	wt%	5.53E-06	1.64E-06	2.98E-05	2.42E-05	3.60E-06	1.08E-05	-	-	-	-	-	-

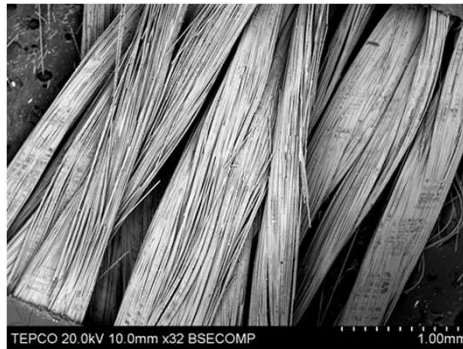
3-4. KGBケーブル本試験結果

■ KGBケーブル1000℃昇温前後でのFT-IRスペクトル

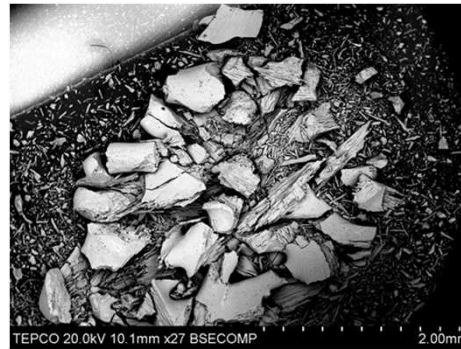


3-4. KGBケーブルシース本試験結果

■ KGBケーブルシース1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析結果



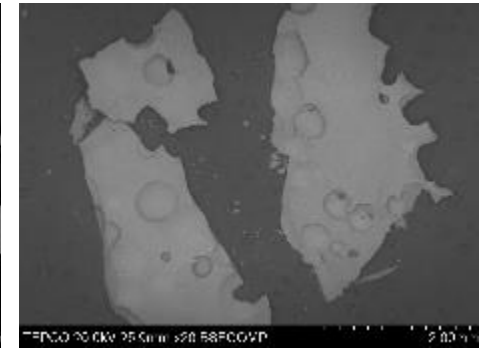
試験前



1000℃TG試験後
窒素100%



1000℃昇温後
水蒸気97%+窒素3%



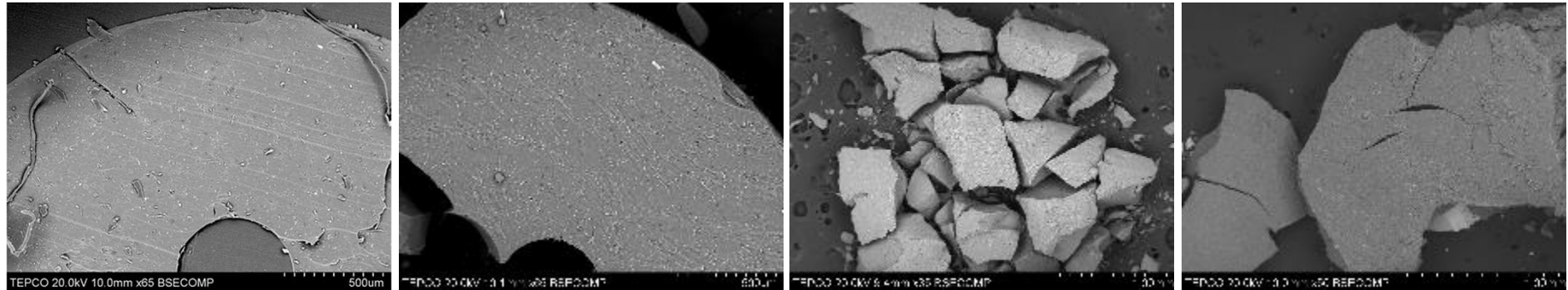
1000℃昇温後
酸素4%+水蒸気96%

単位：wt%

	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	合計
試験前	36.61	35.28	0.11	0.09	4.00	13.38	0.09	0.10	9.84	0.09	0.04	0.24	0.02	0.07	0.04	100
TG1000℃ 窒素100%	10.80	49.86	0.18	0.19	6.52	19.68	0.01	0.13	12.19	0.11	0.01	0.18	0.00	0.10	0.03	100
1000℃ 水蒸気97% +窒素3%	9.88	49.71	0.25	0.11	5.21	21.52	0.01	0.07	12.85	0.07	0.00	0.11	0.00	0.03	0.17	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	9.74	46.42	0.20	0.19	6.62	21.38	0.00	0.17	14.80	0.19	0.02	0.20	0.02	0.04	0.01	100

3-4. KGBケーブル絶縁体本試験結果

■ KGBケーブル絶縁体1000℃昇温前後でのSEM-EDX分析結果



試験前

1000℃TG試験後
窒素100%

1000℃昇温後
水蒸気97%+窒素3%

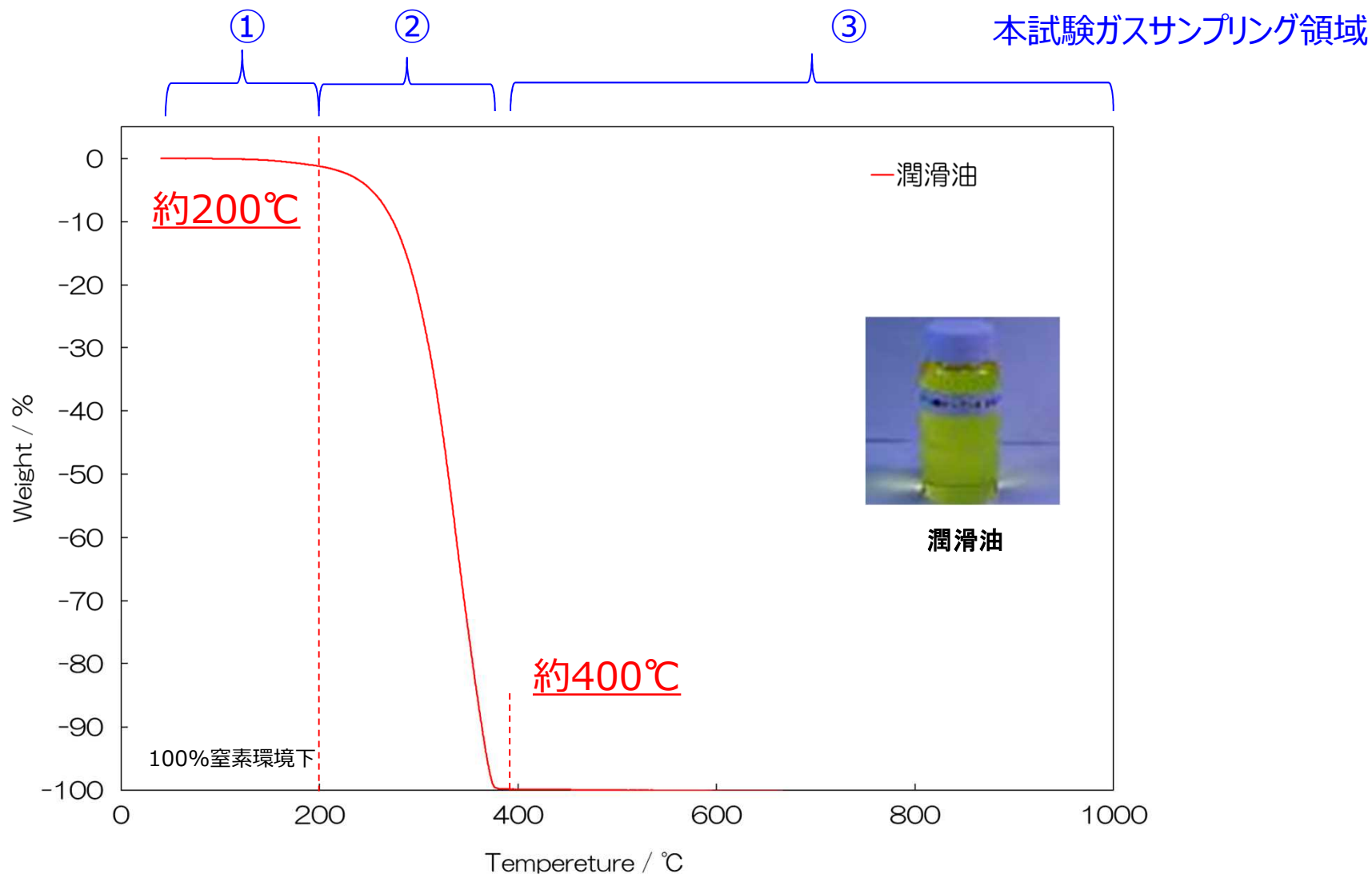
1000℃昇温後
酸素4%+水蒸気96%

単位：wt%

	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn	合計
試験前	40.90	28.84	0.04	0.01	0.11	29.71	0.12	0.03	0.06	0.10	0.06	0.01	0.01	100
TG昇温後 窒素100%	13.01	51.61	0.08	0.06	0.14	34.60	0.01	0.02	0.03	0.27	0.06	0.11	0.00	100
1000℃ 水蒸気97% + 窒素3%	15.28	53.81	0.07	0.01	0.15	30.24	0.01	0.01	0.02	0.25	0.05	0.10	0.01	100
1000℃ 酸素4%+ 水蒸気96%	13.11	50.64	0.07	1.27	0.23	33.14	0.01	0.01	0.11	0.28	0.17	0.96	0.01	100

3 - 5. 潤滑油予備試験結果

■ 潤滑油のTG曲線



3-5. 潤滑油本試験結果

■ 潤滑油昇温前後の状態



試験前



試験後

(1000°C水蒸気97%+窒素3%環境下) (1000°C酸素4%+水蒸気96%環境下)



試験後

試料		潤滑油						
		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			水蒸気97%+窒素3%
環境	°C	RT~200	200~400	400~1000	RT~200	200~400	400~1000	
ガス発生量	L	2.1	0.1	8.5	2.2	0.1	7.3	1.5
(合計)	L	10.7			9.6			
試験前試料重量	g	10.02			10.04			10.01
試験後試料重量	g	0.06			0.00			9.27
増減	g	-9.96			-10.04			-0.74
	%	-99.4			-100.0			-7.4
タール発生量	g	4.01			2.28			0.62
供給水蒸気量	g	70.27			71.15			301.36
回収水蒸気量	g	68.05			71.20			299.71



試験後

(200°C水蒸気97%+窒素3%環境下)

3 - 5. 潤滑油本試験結果

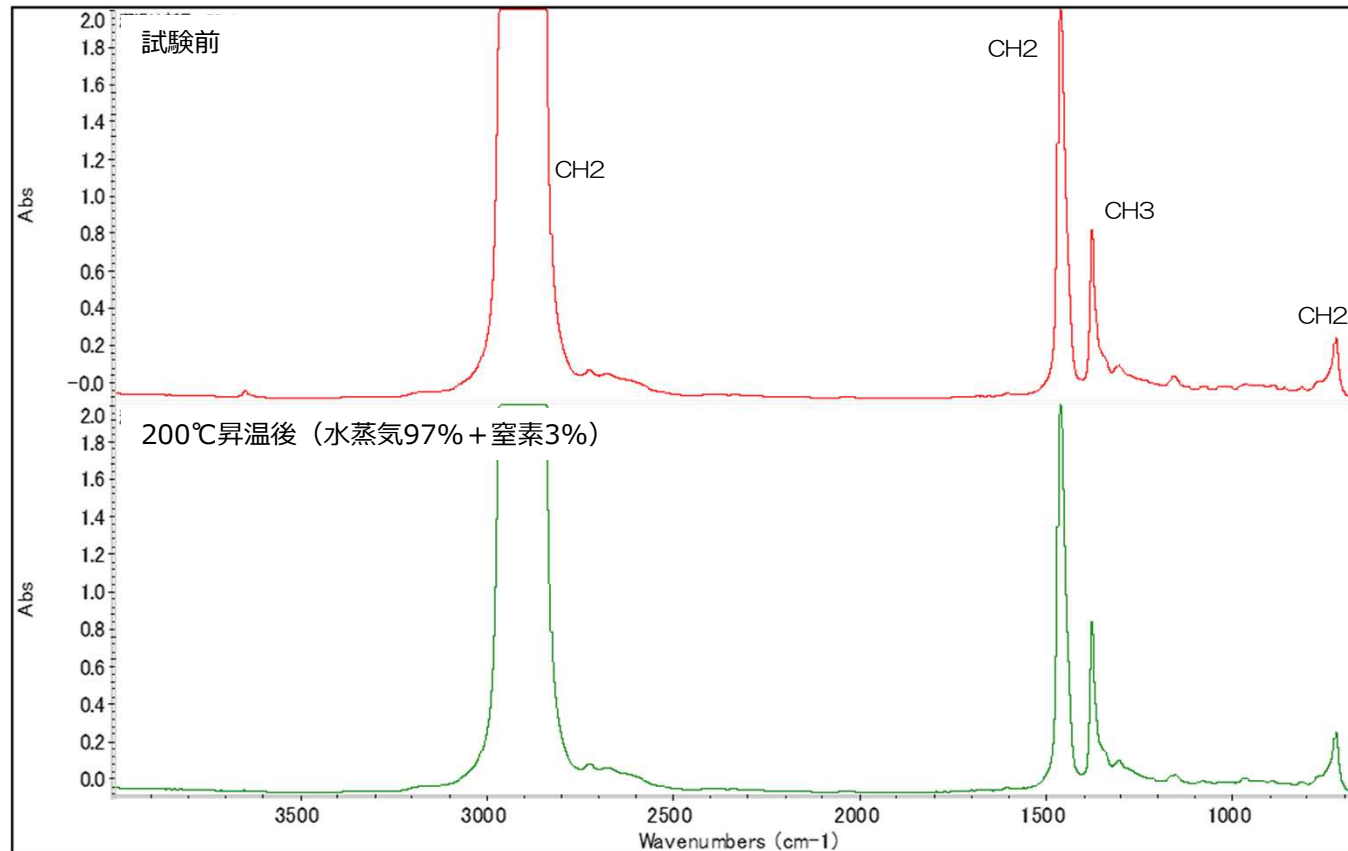
■ 潤滑油1000℃、200℃昇温時に発生したガス分析結果 (潤滑油単位重量当たりのガス発生重量分率)

試料		潤滑油							
環境		水蒸気97%+窒素3%			酸素4%+水蒸気96%			水蒸気97%+窒素3%	
温度(℃)		RT~200	200~400	400~1000	RT~200	200~400	400~1000	200(24h)	
H2	wt%	-	-	2.71E+00	-	-	2.25E+00	-	
CO	wt%	-	-	7.45E+00	-	-	1.68E+01	-	
CO2	wt%	-	-	9.68E+00	-	-	1.85E+01	-	
炭化水素	CH4	wt%	5.75E-05	1.63E-05	1.10E+01	4.24E-04	3.75E-05	1.01E+01	4.54E-04
	C2H4	wt%	-	4.74E-06	7.83E+00	4.00E-04	1.87E-05	6.81E+00	1.99E-04
	C2H6	wt%	-	-	8.11E-01	1.22E-04	1.00E-05	8.94E-01	-
	C3H6	wt%	-	-	2.12E+00	3.43E-04	3.51E-05	2.47E+00	-
	C3H8	wt%	-	-	1.90E-01	8.98E-05	1.47E-05	2.22E-01	-
	i-C4H10	wt%	-	-	9.31E-03	-	1.94E-05	1.05E-02	-
	n-C4H10	wt%	-	-	2.05E-01	-	-	2.29E-01	-
	i-C5H12	wt%	-	-	-	-	-	3.93E-01	-
	n-C5H12	wt%	-	-	3.96E-01	-	-	4.53E-01	-
上記以外のC1~C5(CH4換算値)		wt%	4.31E-03	2.49E-04	1.83E+00	6.85E-03	3.48E-04	1.75E+00	1.82E-03
NH3	wt%	-	-	-	-	-	-	-	
H2S	wt%	1.22E-05	5.76E-06	1.45E-02	1.39E-05	5.68E-06	4.14E-04	1.45E-04	

3 - 5. 潤滑油本試験結果

■ 潤滑油200℃昇温前後でのFT-IRスペクトル

1000℃昇温後は試料なし



3-6. 1F3号機発生ガス総量

■ケーブル4種、塗料2種、保温材2種、潤滑油1種から発生するガス濃度 (1F3D/W、水蒸気97%+窒素3%環境下)

1F3の格納容器内ケーブル、塗料、保温材、潤滑油の想定物量総量と
ドライウェル空間容積より発生ガス総量 (vol%) を算出

*：一部未測定

試料		発生ガス総量 (vol%)		ガス物性
環境		水蒸気+窒素		燃焼(爆発)範囲 (vol%)
温度(°C)	°C	RT~1000		
H2		vol%	2.46E+01	4~75.6
CO		vol%	4.73E+00	12.5~74
CO2		vol%	2.12E+00*	-
炭化 水素	CH4	vol%	4.85E+00	5.0~15
	C2H4	vol%	2.05E+00	2.7~36
	C2H6	vol%	3.16E-01	3.0~12.5
	C3H6	vol%	4.45E-01	2.0~11
	C3H8	vol%	7.09E-02	2.1~9.5
	i-C4H10	vol%	1.47E-03	1.8~8.4
	n-C4H10	vol%	4.15E-02	1.6~8.5
	i-C5H12	vol%	2.76E-02	1.3~7.6
	n-C5H12	vol%	3.29E-02	1.5~12.5
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)		vol%	8.39E-01
NH3		vol%	7.03E-06	15.0~28
H2S		vol%	1.92E-02	4.0~44

3-6. 1F3号機物量根拠

D/W空間体積	線種／材質	総量	根拠
3,770m ³	CVケーブル	約3t	・1F3物量不明のため、他プラントの使用実績を適用
	PNケーブル	約0.1t	・ペDESTAL部に施工されているケーブル総量
	同軸ケーブル	約0.32t	
	KGBケーブル	約0.73t	
	エポキシ塗料	約0.442t	・格納容器（D/W側）内壁表面積約1600m ² 、上塗り／中塗り膜厚それぞれ100μmで試算
	無機ジンクリッチ塗料	約0.432t	・格納容器（D/W側）内壁表面積約1600m ² 、下塗り膜厚100μmで試算
	ウレタン保温材	約0.28t	・1F3使用量約8m ³ より試算
	ポリイミド保温材	約0.006t	・1F3使用量約1m ³ より試算
	潤滑油	約0.34t	・PLRポンプモータ潤滑油使用量

4. 可燃性有機ガス分析試験まとめ

水素爆発時の可燃性有機ガスによる影響を調査するため、2021-2022年度に、格納容器内に存在する有機物質からの可燃性ガス発生量の評価を実施（計画した試験・評価を全て完了）。

その結果、昇温時のガス発生量は水や水素、一酸化炭素、二酸化炭素、タール成分が大半を占め、可燃性有機ガスは少ないことを確認。

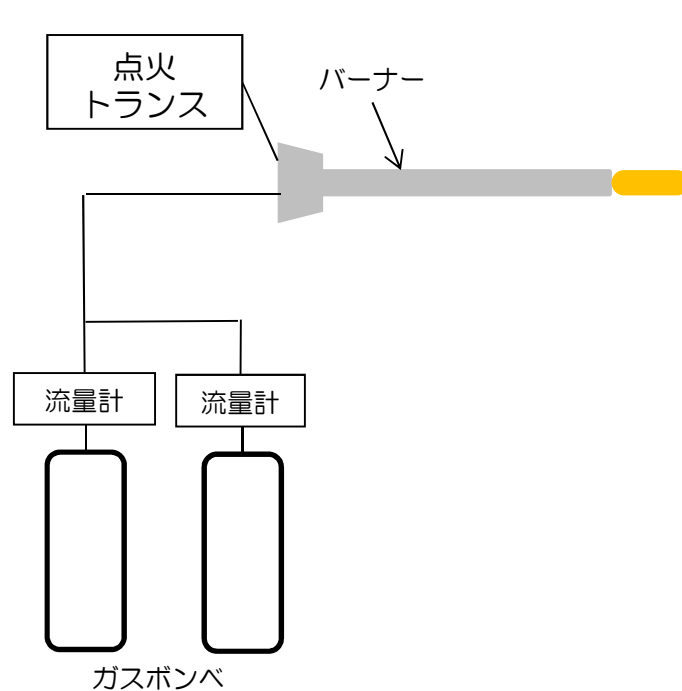
詳細は下記の通り。

- 格納容器内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生が考えられるケーブル、塗料、保温材、潤滑油について、水素、酸素、水蒸気環境下での1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生する可燃性ガスの同定及び定量分析を実施
- 室温～1000℃まで上げると、**高温域で最もガスが発生**
- 200℃24時間環境下では、可燃性ガスの発生量は少ないことを確認
- 水素、酸素環境下よりも**水蒸気環境下の方が可燃性ガスが多く発生する傾向**を確認
 - ✓ 水蒸気97% + 窒素3% > 水素100% > 酸素4% + 窒素96% > 酸素4% + 水蒸気96%
- 単位重量当たりの可燃性ガスは以下の順に発生量が多い傾向にあることを確認
 - ✓ ポリイミド保温材 > ウレタン保温材 = PNケーブル > 潤滑油 > 無機ジンクリッチ塗料 > エポキシ塗料 > CVケーブル = 同軸ケーブル > > KGBケーブル

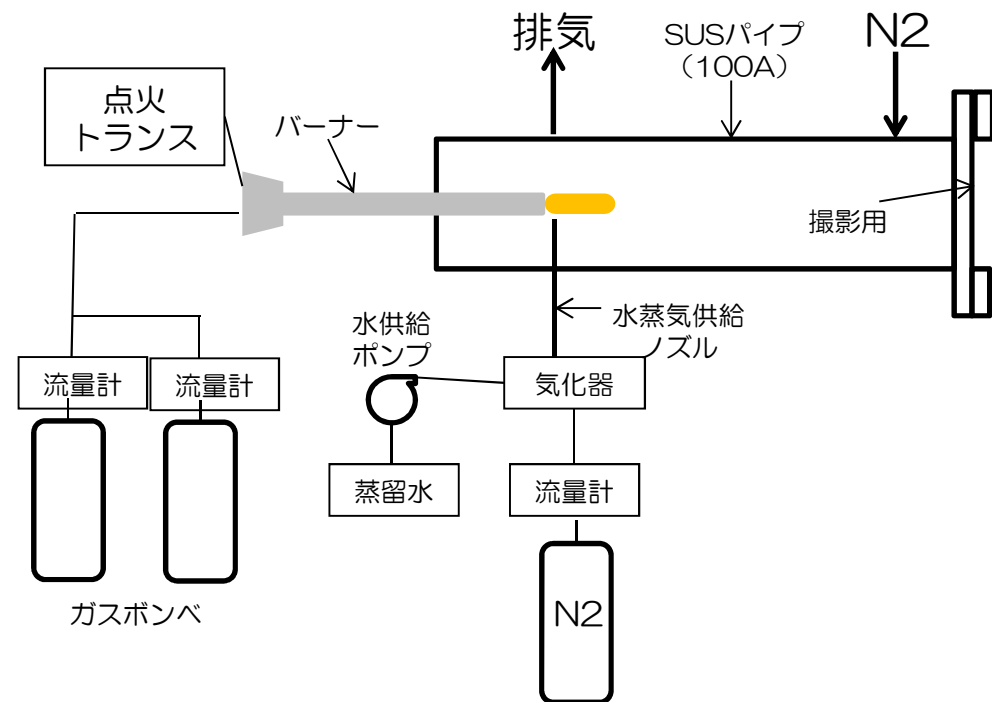
5-1. 可燃性有機ガス燃焼試験概要

<試験概要>

- 所定流量の酸素（空気）、プロパン（可燃性有機ガス）をバーナーに供給、着火
- コンクリート片、珪砂、乾燥土などの粉末を追加
 - ✓ コンクリート片はモルタルと砂利と水を混ぜたものを各粒形サイズに粉砕したもの
- 窒素、空気、水蒸気パージしたSUS管内に設置
- 炎と煙の色を観察（ビデオ撮影、写真撮影）

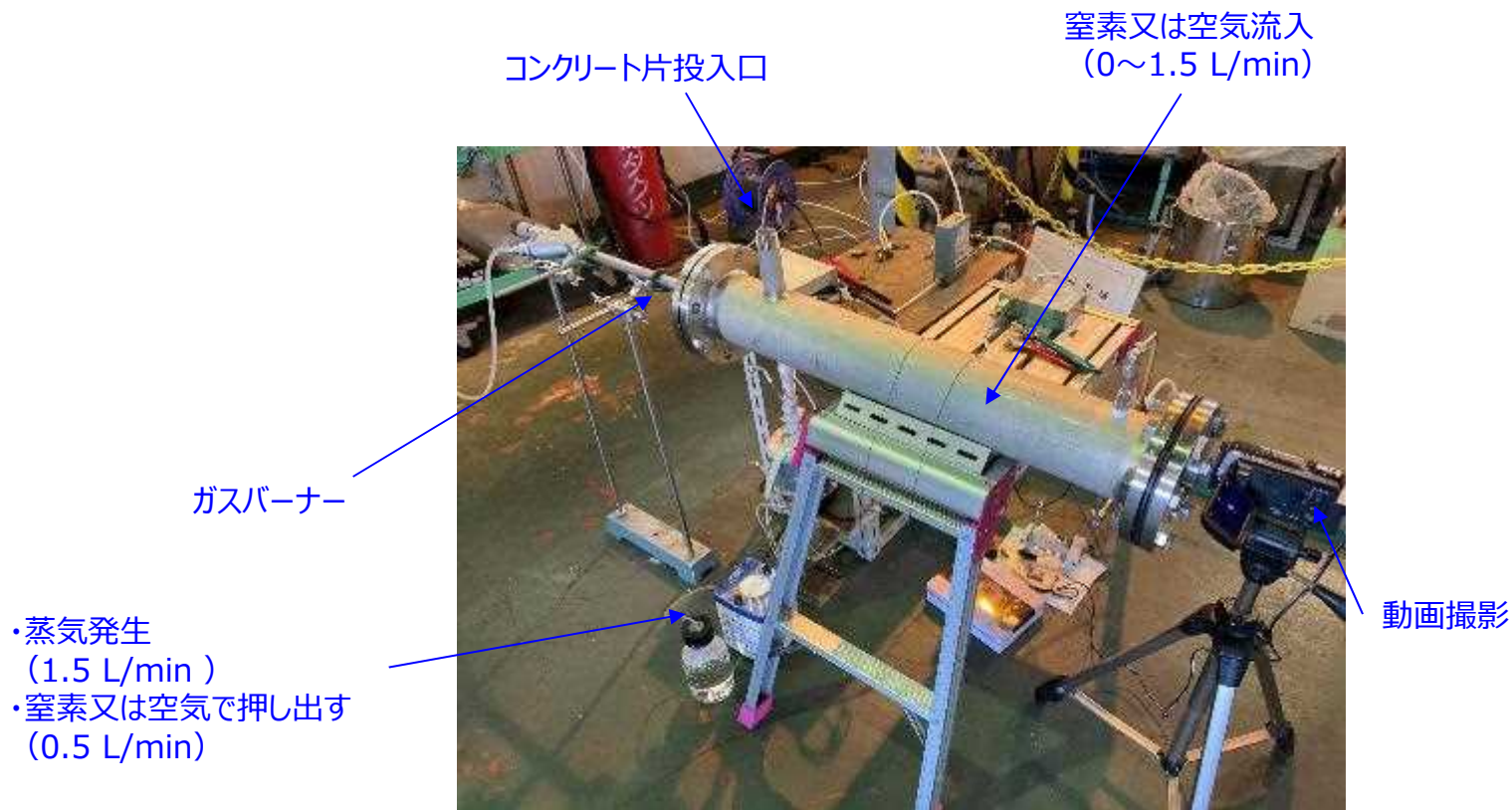


ガスバーナー試験



SUS管内試験

5 - 1. 可燃性有機ガス燃焼試験計画



SUS管内試験

5-2. ガスバーナー試験結果

蒸気、コンクリート片、潤滑油による影響

ベース



蒸気



コンクリート片 425~500 μ m + 水分 (霧吹き4回)



<ガスバーナー条件>
 ・プロパン：1 L/min
 ・空気：15 L/min

・炎なし

コンクリート片 106~180 μ m



・オレンジ色の発光あり
 ・コンクリート片：106~500 μ mで有意な差なし

コンクリート片 180~300 μ m



コンクリート片 300~425 μ m



コンクリート片 425~500 μ m



コンクリート片炙り ・炎なし



潤滑油炙り



・炙り続けるとオレンジの炎、白い煙
 ・バーナー撤去後もしばらく炎と煙あり

潤滑油 + コンクリート片炙り



・オレンジの炎、白や黒い煙
 ・バーナー撤去後もしばらく炎と煙あり

5 - 3. SUS管内試験結果

<ガスバーナー条件>
 ・プロパン : 1 L/min
 ・空気 : 15 L/min※

※ガスバーナー条件の空気を
 15 L/min → 10 L/minの場合、
 全ての条件で炎が消える

<SUS管内雰囲気条件> 窒素又は空気 : 水蒸気

		1 : 0 (1.5 L/min : 0 L/min)	1 : 1 (1.5 L/min : 1.5 L/min)	1 : 1.5 (1 L/min : 1.5 L/min)	1 : 3 (0.5 L/min : 1.5 L/min)
窒素	ベース	・青い炎 	・青い炎 ・一時オレンジの炎 	・青い炎 ・一時オレンジの炎 	・青い炎 ・一時オレンジの炎
	コンクリート片 (106 μm)	・オレンジの炎 	・オレンジの炎 	・オレンジの炎 	・オレンジの炎
空気	ベース	・青い炎 	・青い炎 	・青い炎 	・青い炎
	コンクリート片 (106 μm)	・オレンジの炎 ・振りかけ後も一時炎残る 	・オレンジの炎 ・振りかけ後も一時炎残る 	・オレンジの炎 ・振りかけ後も一時炎残る 	・オレンジの炎 ・振りかけ後も一時炎残る

5-3. SUS管内試験結果

＜ガスバーナー条件＞
・プロパン：1 L/min
・空気：15 L/min

＜SUS管内雰囲気＞ 粉末を追加、水蒸気雰囲気

ブランク



コンクリート片
(425~500 μ m)



乾燥土
(試験場付近で採取)



珪砂
(106 μ mより細かい)



水蒸気雰囲気
(1.5L/min)



コンクリート片
(425~500 μ m)



乾燥土
(試験場付近で採取)



珪砂
(106 μ mより細かい)



- ・粉であれば何でもよい
- ・蒸気による影響はあまり確認されず

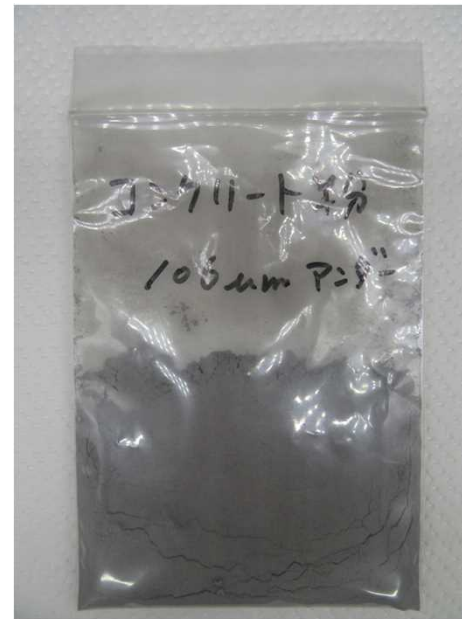
5-4. コンクリート片試料分析

◆ 試料

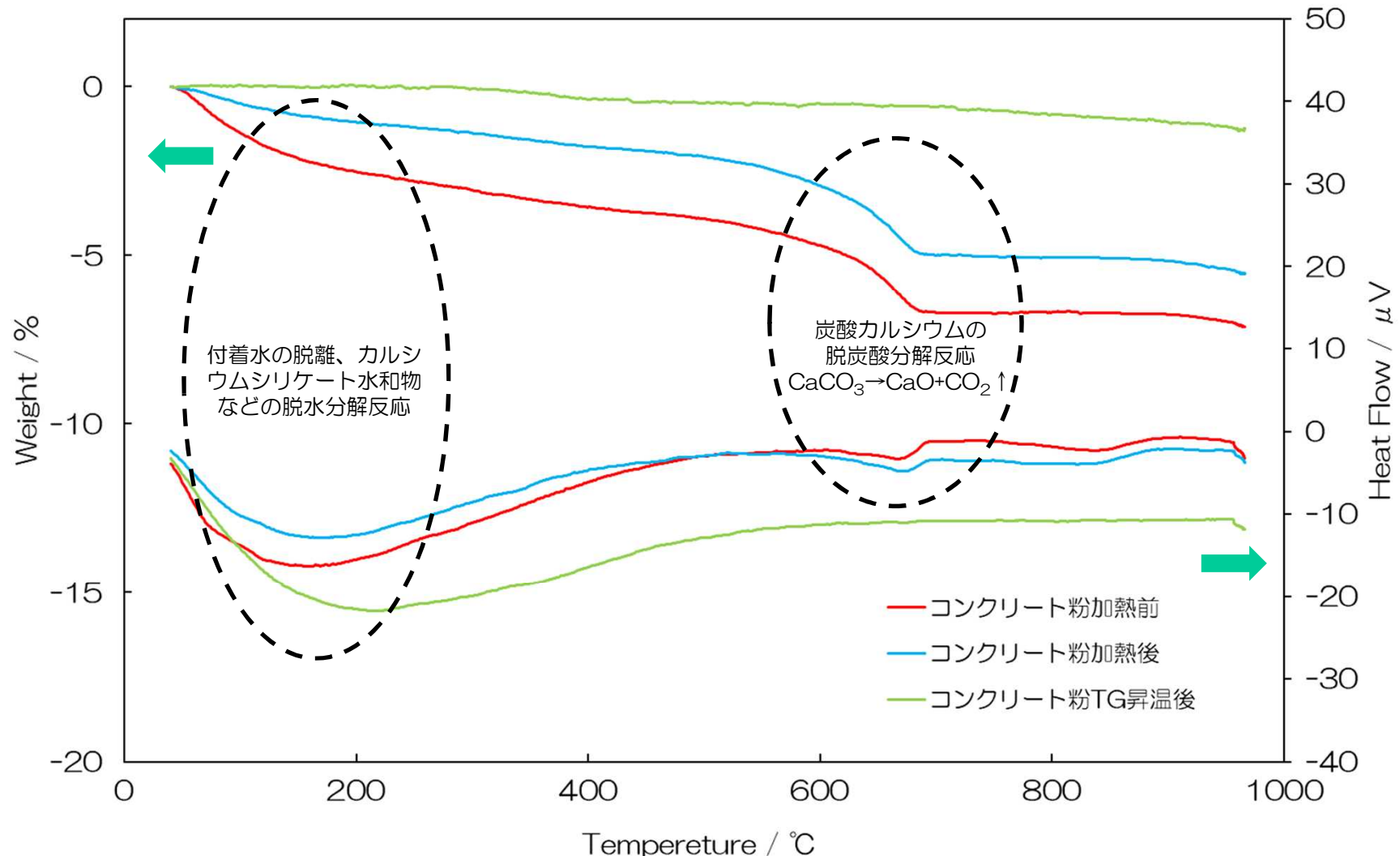
- ✓ コンクリート粉106 μ m以下加熱前
- ✓ コンクリート粉106 μ m以下加熱後
- ✓ コンクリート粉106 μ m以下TG昇温後
コンクリート粉加熱前をTG装置にて1000 $^{\circ}$ Cまで昇温

◆ 測定内容

- ✓ TG-DTA測定
熱分析によるガス燃焼試験時の
化学反応確認
- ✓ SEM-EDX分析
元素分析

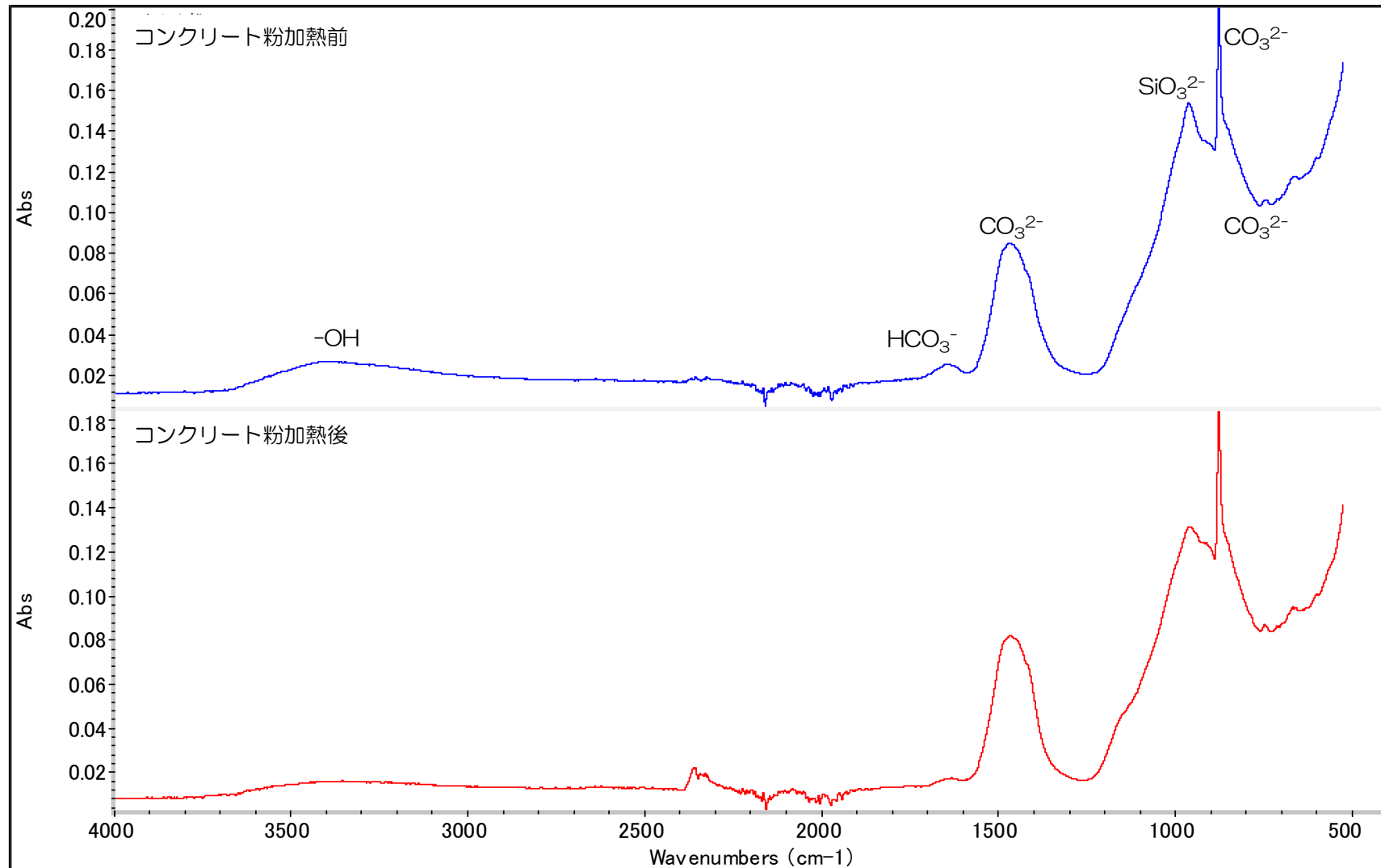


5-4. コンクリート片試料分析 (TG-DTA曲線)



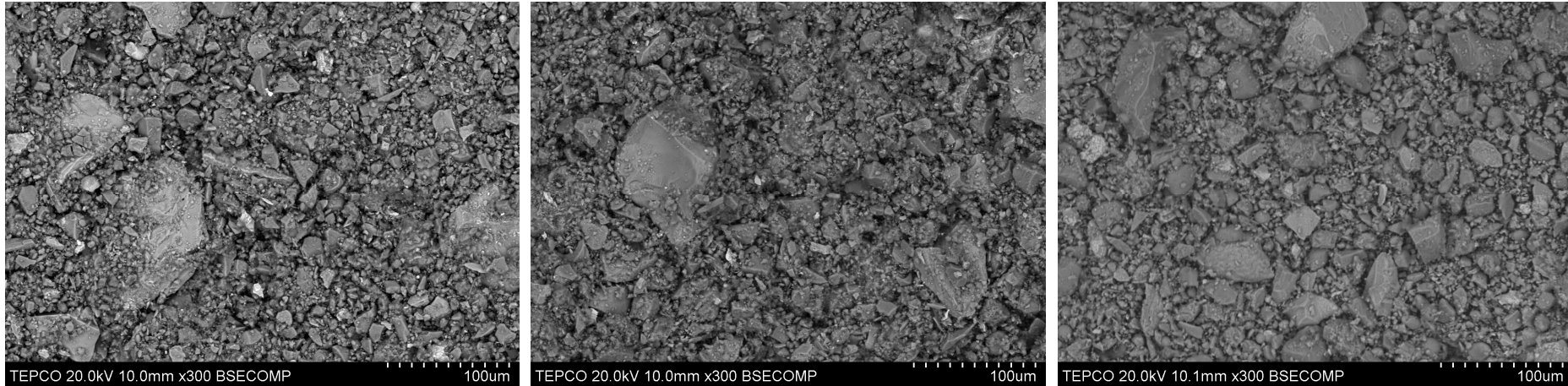
- コンクリートを加熱しても加熱前とほぼ変化なし。つまり、加熱による化学反応はなし
- コンクリートをTGで1000 $^{\circ}\text{C}$ まで昇温すると炭酸カルシウムの脱炭酸反応がなくなった。つまり、TGで1000 $^{\circ}\text{C}$ まで加熱することにより炭酸カルシウムは消費
 ⇒ コンクリート加熱後は加熱されていない

5-4. コンクリート片試料分析 (FT-IRスペクトル)



- コンクリートを加熱しても加熱前とほぼ変化なし
⇒ 加熱による化学反応はなし

5-4. コンクリート片試料分析 (SEM-EDX)



加熱前

加熱後

TG昇温後

	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Mn	Fe	合計
加熱前	9.66	46.00	2.27	3.68	9.20	0.21	0.91	21.31	0.37	0.79	5.59	100
加熱後	9.87	42.72	2.28	3.80	9.55	0.23	0.94	23.07	0.42	0.88	6.23	100
TG昇温後	11.44	45.83	2.42	3.30	8.74	0.20	0.37	19.63	0.37	0.91	6.79	100

- 酸素、カルシウム、ケイ素、鉄、アルミニウム、マグネシウムなどが検出された。
⇒ 炭酸カルシウム、アルミナシリケートなど
- 加熱前後で顕著な変化はなし

6. 可燃性有機ガス燃焼試験結果

水素爆発時の状態を調べるため、有機ガスの存在による炎や煙の状況を確認する試験を実施（計画した試験を全て完了）。その結果、コンクリート片などの粉末をプロパンガスを含む炎に振りかけると、オレンジ色の発光を確認。

詳細は下記の通り。

- **コンクリート片（粒子径100 μ m～500 μ m程度）、珪砂、乾燥土をプロパンガスを含むガスバーナーの炎に振りかけると、オレンジ色の発光を確認**
 - （推定）コンクリート片等が舞っている条件下では、体積当たりの表面積が大きくなるため、ガスバーナーから発光に必要なエネルギーを短時間で受け取ることができ、発光に至ったものと推定
- ガスバーナーの炎に振りかける前後のコンクリート片成分はほぼ変化しないことを確認
 - （推定）発光は化学反応によるものではなく、高温になることによる熱放射が支配的と推定
- トレイに接触させた状態では発光せず
 - （推定）コンクリート片等をトレイに接触させた状態でガスバーナーで炙っても発光しないため、温度が外部に逃げる条件下では、発光に必要なエネルギーに至らないものと推定
- 乾燥したコンクリート片等であれば、蒸気環境下においてもオレンジ色の発光を確認
 - （推定）コンクリート片等に水分が浸透していない状態であれば、コンクリート片等から直接熱を奪うことは無いため、発光に至ったものと推定（一方で、コンクリート片等を霧吹きにより湿らせた状態では発光しない）
- 潤滑油などの有機物は爆発のような一瞬の条件では燃え切らないため、最終的にススとなって火炎から放出
- SUS管内試験にて、雰囲気条件（窒素又は空気：水蒸気）を変更させても有意な変化は見られず