

# ケーブル・塗料・保温材の可燃性ガス発生量評価試験結果

2022年2月28日



東京電力ホールディングス株式会社

# 可燃性有機ガス発生量評価

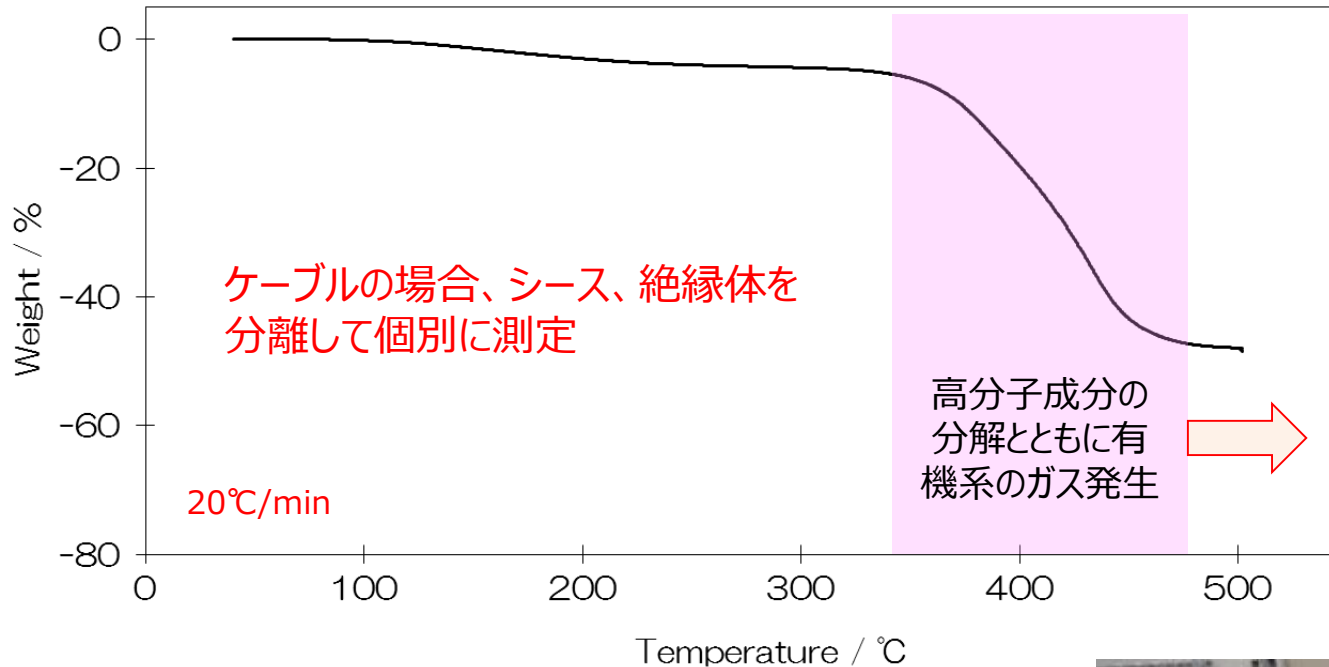
- 2021年10月19日の「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(第23回)」で報告した予備試験と本試験の実施状況について報告する。
- ケーブル、塗料及び保温材の予備試験を実施し、ガス発生温度域を確認した。
- ケーブル、塗料及び保温材の本試験を実施し、ガスの種類と発生量を確認中。

## 試験進捗状況

No.	種類	評価対象	用途	予備試験進捗	本試験進捗 (1000℃昇温試験)
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	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中
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：特殊クロロブレンゴム	・制御・計装ケーブルに使用 ・RPV下部に設置	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	3月実施予定
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	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中
4	塗料	エポキシ系塗料	・D/W、S/C壁面 上塗り	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中
5	塗料	無機ジンクリッチ塗料	・D/W、S/C壁面 下塗り	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	2022年度実施予定
6	保温材	ウレタン保温材	・配管保温	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中
7	保温材	ポリイミド保温材	・配管保温	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中

# ケーブル等の可燃性有機ガス発生量評価計画

## ■ 予備試験：昇温中の重量変化測定(TG)によるガス採取温度域の決定

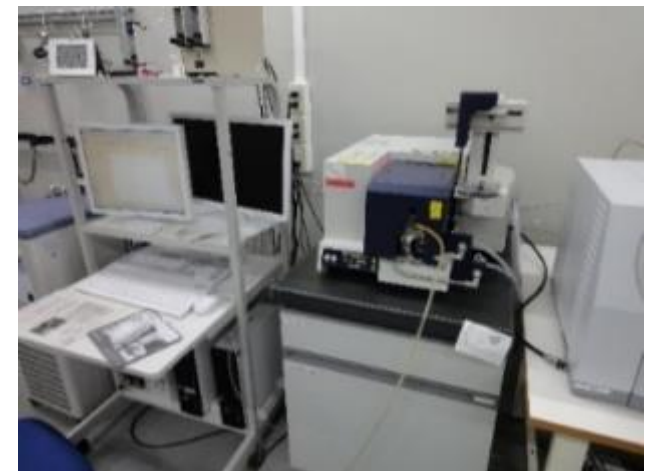
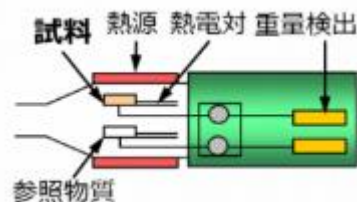


本試験ではこの温度域で  
ガス採取・分析

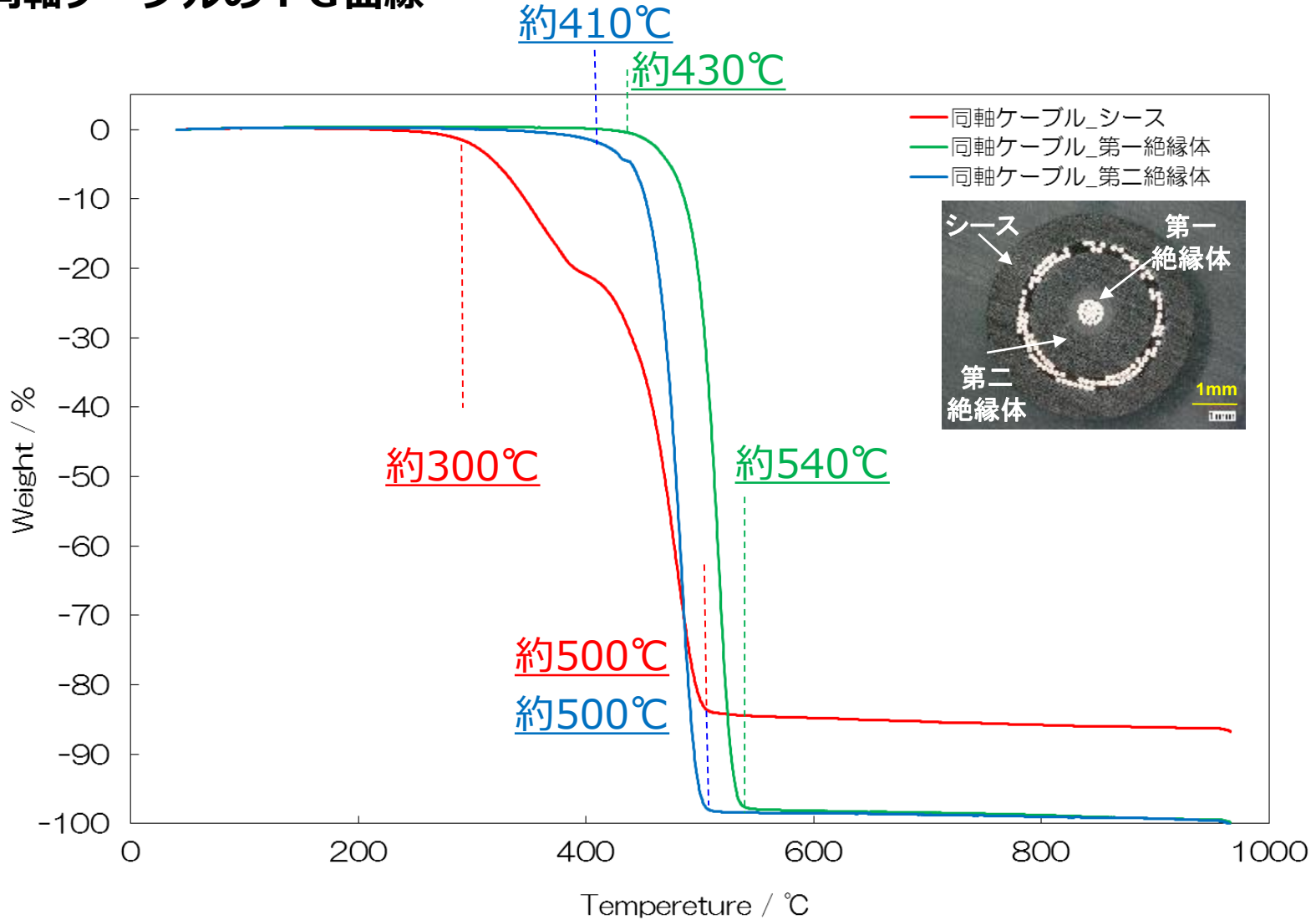
### TG (熱重量) について

試料の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、その試料の質量を温度の関数として測定する方法。

試料の熱分解や脱水等の減少など、劣化事象を定量的に測定。

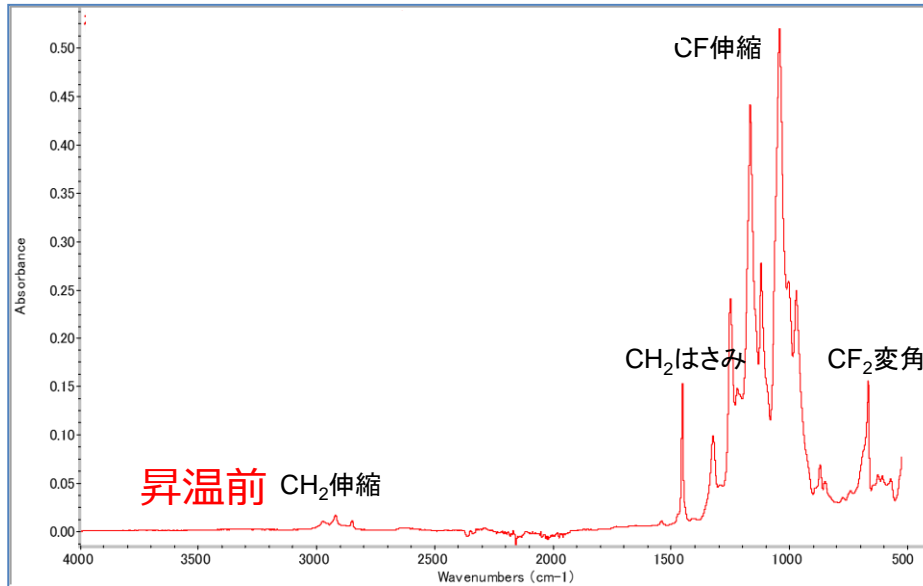


## ■ 同軸ケーブルのTG曲線

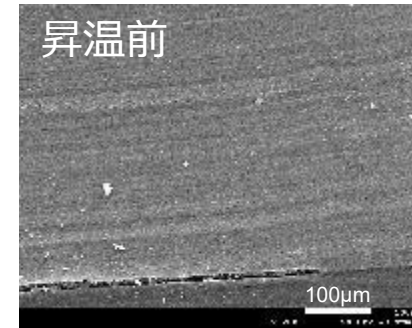


## ■ 同軸ケーブル第1絶縁体（ETFE）のFT-IR、SEM-EDX

FT-IRスペクトル



SEM写真



昇温後試料はなし

EDX

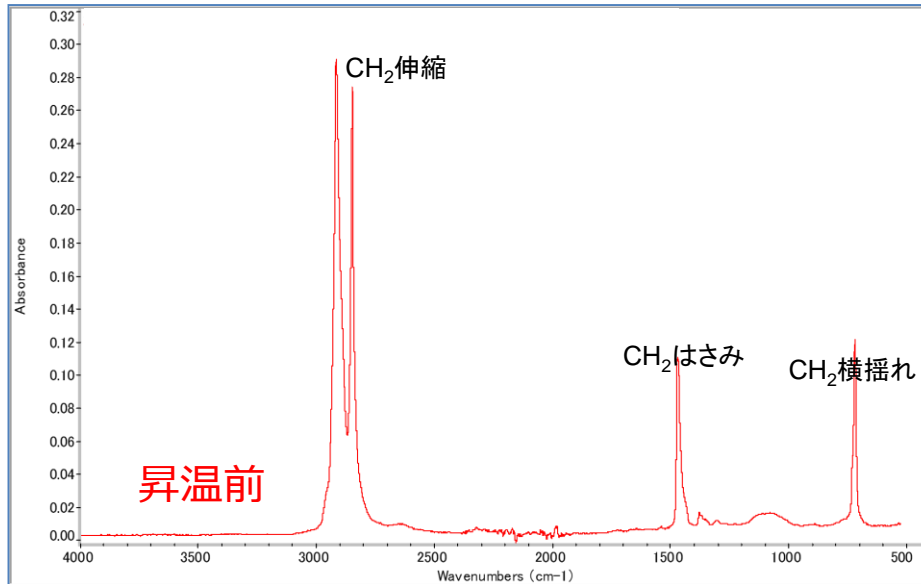
単位：wt%

	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Sb	Pb	合計
昇温前	46.94	0.96	51.59	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	0.19	-	-	-	-	0.22	-	-	-	100

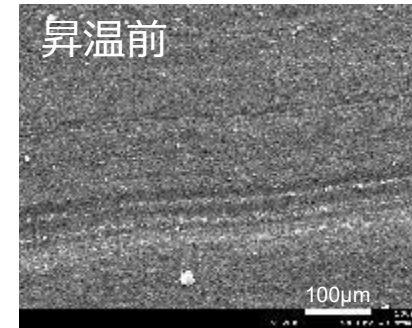
⇒ TG測定の結果から、同軸ケーブル第1絶縁体は約1000℃まで昇温すると完全に揮発しており、1000℃以上における可燃性ガスの発生は無いものと考えられる。

## ■ 同軸ケーブル第2絶縁体（架橋ポリエチレン）のFT-IR、SEM-EDX

FT-IRスペクトル



SEM写真



昇温後試料はなし

EDX

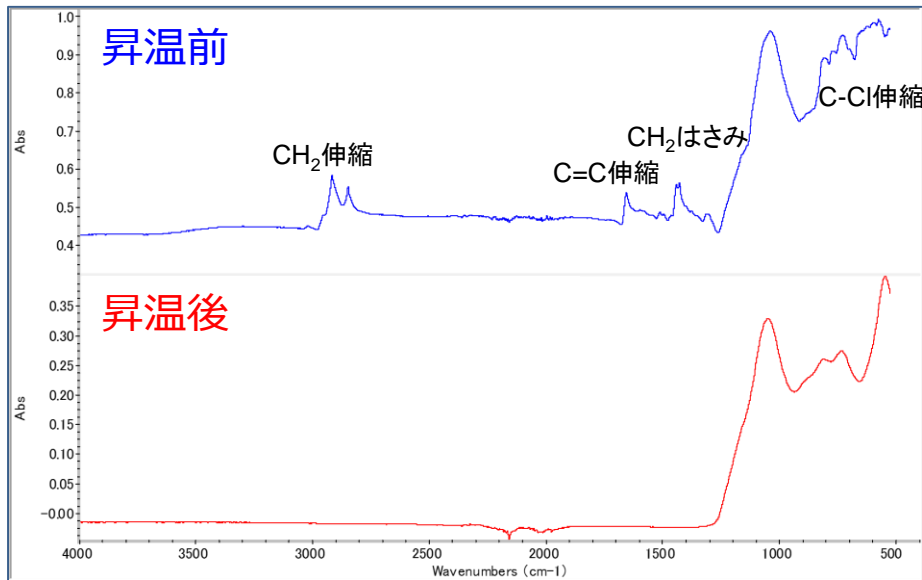
単位：wt%

	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Sb	Pb	合計	
昇温前	96.75	2.95	-	-	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100

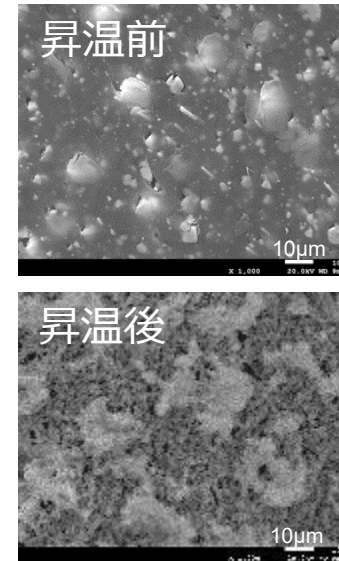
⇒ TG測定の結果から、同軸ケーブル第2絶縁体は約1000℃まで昇温すると完全に揮発しており、1000℃以上における可燃性ガスの発生は無いものと考えられる。

## ■ 同軸ケーブルシース（難燃性架橋ポリエチレン）のFT-IR、SEM-EDX

FT-IRスペクトル



SEM写真



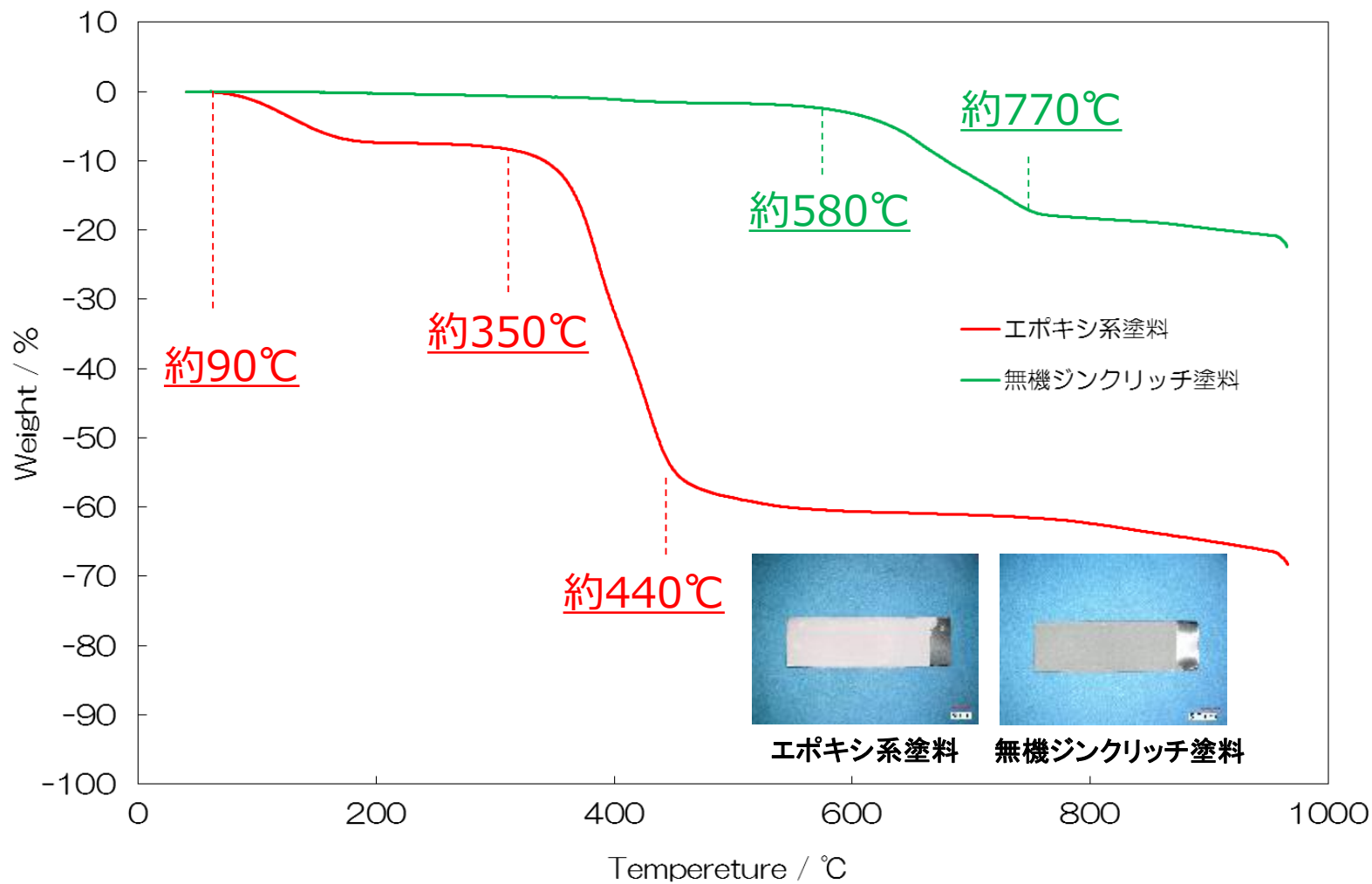
## EDX

単位：wt%

	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Sb	Pb	合計
昇温前	81.51	3.58	-	-	-	0.27	0.11	-	-	3.44	-	-	-	-	-	-	-	-	4.01	7.09	-	100
昇温後	51.11	33.60	-	0.11	-	0.02	5.05	-	-	-	-	-	-	0.13	0.60	-	-	-	0.03	9.35	-	100

⇒ FT-IRの結果から、同軸ケーブルシースは約1000℃まで昇温すると炭化しており、1000℃以上における可燃性ガスの発生は無いものと考えられる。

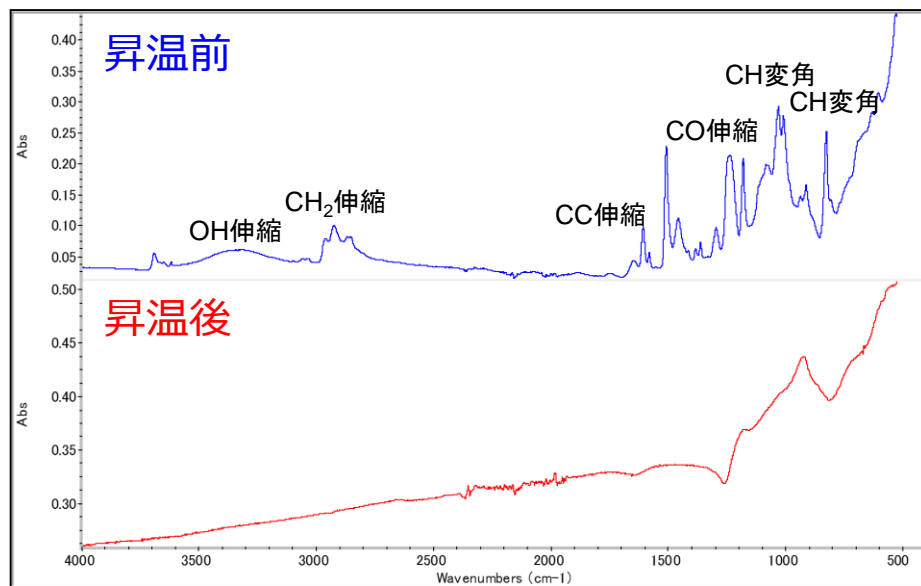
## ■ 塗料のTG曲線



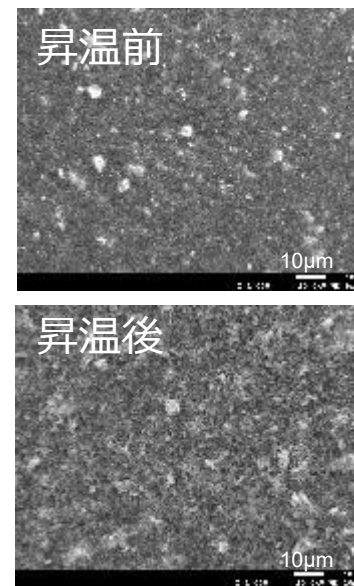


## ■ エポキシ系塗料のFT-IR、SEM-EDX

FT-IRスペクトル



SEM写真



## EDX

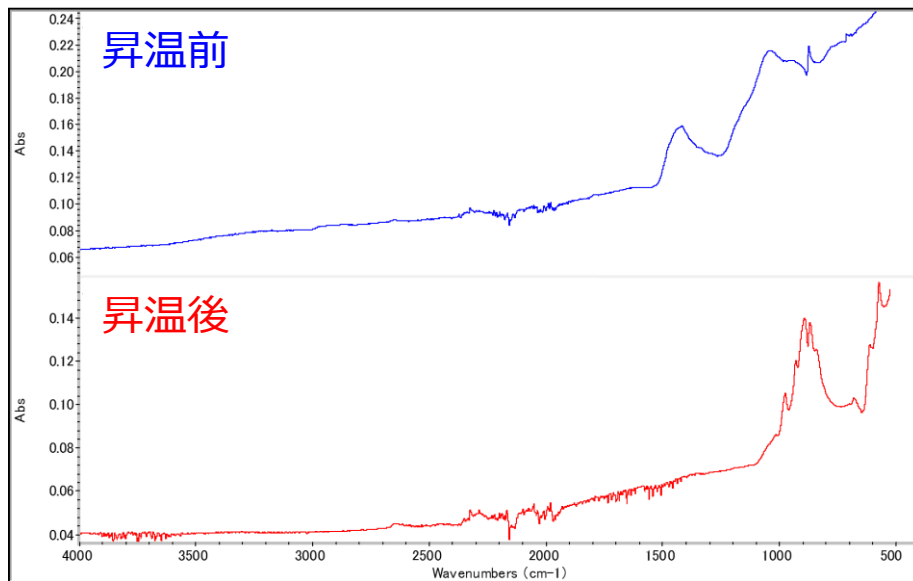
単位：wt%

	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Mo	Sb	Ba	W	Pb	合計
昇温前	65.33	15.11	-	-	-	1.90	2.23	-	1.15	0.09	-	-	8.34	-	0.22	-	-	-	-	-	-	5.61	-	-	100
昇温後	5.59	38.53	-	0.05	-	6.01	6.45	-	2.24	-	-	-	22.19	-	0.19	-	-	-	-	-	-	18.63	0.01	-	100

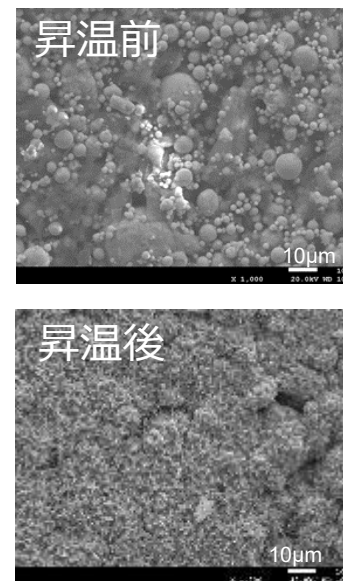
⇒ FT-IRの結果から、エポキシ系塗料は約1000℃環境下で完全に炭化しており、1000℃以上における可燃性ガスの発生は無いものと考えられる。

## ■ 無機ジンクリッチ塗料のFT-IR、SEM-EDX

FT-IRスペクトル



SEM写真



EDX

単位：wt%

	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Mo	Sb	Ba	W	Pb	合計
昇温前	18.30	21.33	-	1.85	-	0.66	6.62	-	-	-	0.19	2.55	-	-	-	-	-	48.48	-	-	-	-	-	-	100
昇温後	8.23	12.20	-	7.43	-	-	0.13	-	0.07	-	-	0.20	-	-	0.18	-	-	71.55	-	-	-	-	-	-	100

⇒ FT-IRの結果から、無機ジンクリッチ塗料は主成分は有機物ではなく、可燃性ガスの発生はほとんど無いものと考えられる。

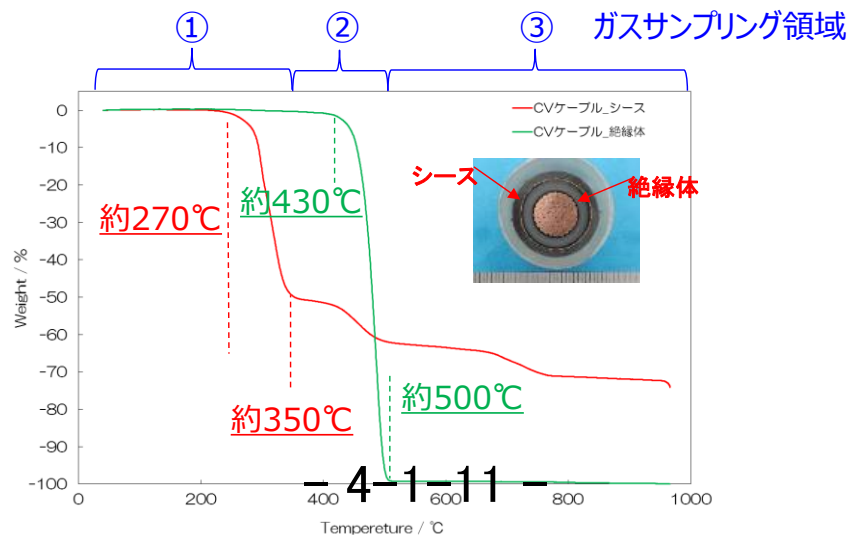
## ■ 本試験条件設定

- 水蒸気、水素ガス環境下における1000℃までの連続昇温試験（昇温速度10℃/min）  
予備試験（TG測定）で得られた結果から、ガス発生タイミングにて  
3つのガスサンプリング領域を設定
- 水蒸気か水素ガス環境下のいずれかにおいて、200℃24時間保持試験
- ケーブルはシース、絶縁体、導体含む一体もので試験実施

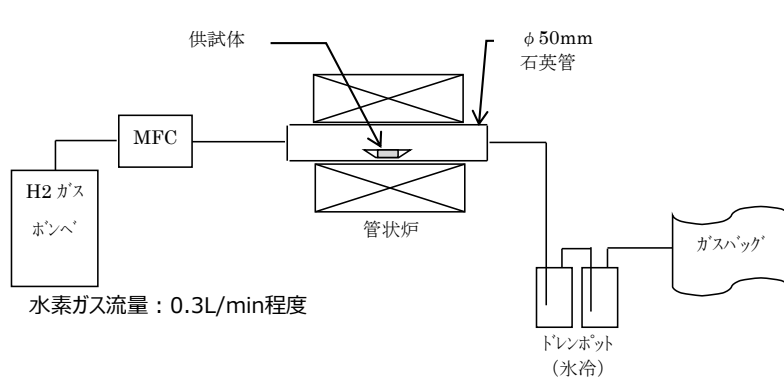
## ■ 本試験分析方法

- 200℃、ガス発生温度域、1000℃で採取したガスをガスクロマトグラフィーより分析
- 昇温前後でのケーブル等の高分子成分の変化をFT-IRより測定
- 昇温前後でのケーブル等中に含まれる各元素の相対変化をSEM-EDXより測定

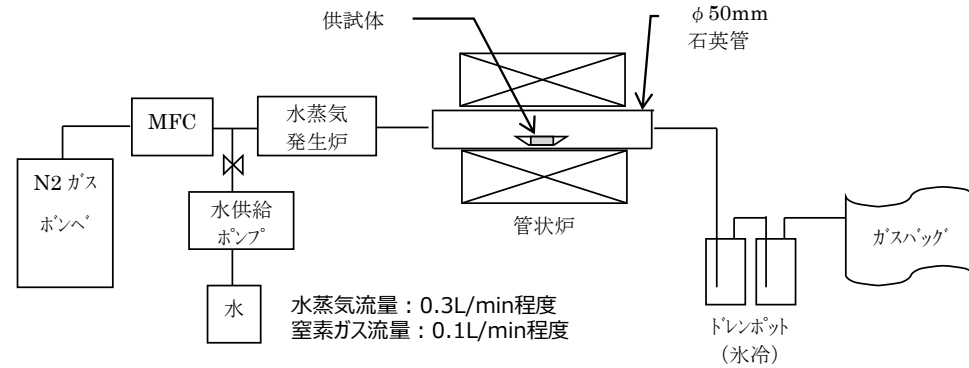
## ■ ガスサンプリング領域（CVケーブルの例）



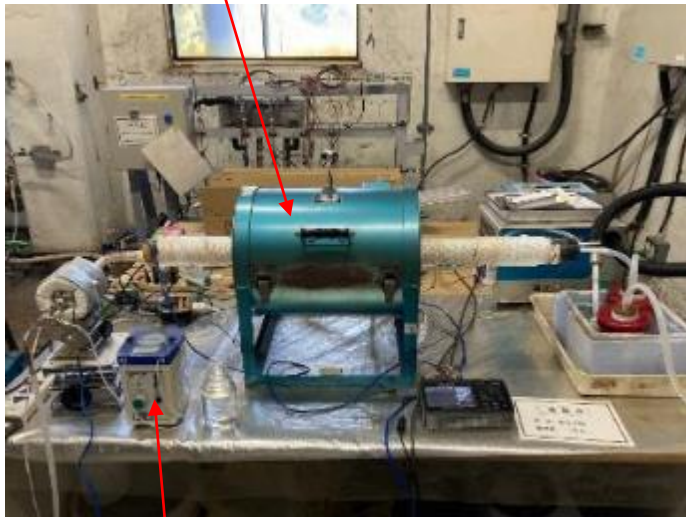
## ■ 水素ガス環境下



## ■ 水蒸気環境下



管状炉



マスフローコントローラ

石英管



ガスバッグ

## ■ CVケーブル1000℃昇温後のガス分析結果（フォーマット）

試料		CVケーブルガス発生量(m <sup>3</sup> /t)					
		水素			水蒸気		
環境		RT~350	350~500	500~1000	RT~350	350~500	500~1000
温度(°C)		RT~350	350~500	500~1000	RT~350	350~500	500~1000
H <sub>2</sub>		-	-	-			
CO							
炭 化 水 素	CH <sub>4</sub>						
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>						
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>						
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>						
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>						
	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>						
	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>						
	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>						
	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>						
	上記以外のC <sub>1</sub> ~C <sub>5</sub> (CH <sub>4</sub> 換算値)						
CH <sub>4</sub> 換算合計値							
NH <sub>3</sub>							
H <sub>2</sub> S							

- ケーブル、エポキシ系塗料、保温材については、水素ガス、水蒸気環境下での1000℃昇温試験を実施し、データ整理を実施予定。
- 水素ガスまたは水蒸気環境下での200℃24時間でのガス発生試験を実施予定（1000℃昇温試験でより多くガスが発生する雰囲気条件にて実施予定）。
- 無機ジンクリッチ塗料については、予備試験において他試料と挙動が異なるため、材料の特徴とデータの妥当性を検討し、2022年度本試験実施予定。

No.	種類	評価対象	予備試験進捗	本試験進捗 (1000℃昇温試験)	本試験進捗 (200℃24h試験)
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	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中	3月実施予定
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：特殊クロロプレナム	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	3月実施予定	3月実施予定
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	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中	3月実施予定
4	塗料	エポキシ系塗料	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中	3月実施予定
5	塗料	無機ジンクリッチ塗料	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	2022年度実施予定	2022年度実施予定
6	保温材	ウレタン保温材	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中	3月実施予定
7	保温材	ポリイミド保温材	熱重量測定 (TG) 実施 FT-IR、SEM-EDX実施	データまとめ中	3月実施予定