各種住宅用断熱材の加熱昇温試験における発生ガス調査報告書

RWA環境委員会

平成25~27年度に(株) 東レリサーチセンターに委託し実施した各種住宅用断熱材の加熱昇温試験結果の概要を以下に報告します。

1. 試験目的

住宅火災時の断熱材からの発生ガスの影響を調査するため、代表的な6種類の住宅断熱材の加熱昇温分析を実施し、発生ガスの種類、及び発生量を測定した。

実測に当たり、火災時には断熱材表面は酸素がある状態だが、内部は無酸素下となることがわかっているため、分析条件として、酸素ありの擬似空気下と無酸素であるヘリウム(He)ガス下の2条件で加熱昇温分析を実施した。

2. 試験委託先

株式会社 東レリサーチセンター

3. 分析概要

3.1 試料

- ロックウール断熱材(MA)(以下、RW)
- ② グラスウール断熱材 (フェノール系 HG16-38) (以下、GW)
- ③ A種押出し法ポリスチレンフォーム保温板3種(以下、XPS)
- ④ フェノールフォーム断熱材(以下、PF)
- ⑤ 吹付け硬質ウレタンフォーム(以下、SPF)
- ⑥ セルロースファイバー断熱材(以下、CF)

3. 2 熱分解生成物(発生ガス)の分析方法

試料 (①: 20mg、②: 10.69mg、③~⑥: 0.45-0.55mg)を採取し、室温~600℃まで、10℃/minで昇温、50ml/minの気体を通風し、発生する気体を質量数ごとに分離させ、濃度変化を TPD-MS 法により追跡測定する。発生気体の成分については、TPD-MS 測定器の検出器手前で分岐捕集したガスを、熱脱着 GC/MS 法を用いて成分を同定することで、特定温度域での発生ガスの挙動を解析する。

気体としては、酸素の有無を評価するため、擬似空気(He ガス: 0_2 ガス=4:1のもの)と、He ガス単体の2種類を使用した。

4. 実験結果

4. 1 RWの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気中では、発生ガスの主成分は水、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素である。これらはロックウールに使用される有機バインダーが酸化分解し、発生したガスと考えられる。そのほか、アセトンなどの有機ガスが一部検出された。

一方、He ガス雰囲気中では、水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素のほかに、トルエン、フェノール、キシレン、クレゾール、メチルスチレン、ジメチルフェノール、トリメチルフェノール等の物質が確認された。無酸素雰囲気であったので、フェノール樹脂の熱分解が起こり、擬似空気雰囲気とは異なり、分解生成物が検出された。

RWの加熱発生ガスの発生状況を別図1に示す。

4. 2 GWの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気では、主にアンモニア、水分、ケトン化合物、二酸化炭素の発生が認められた。 一方、He ガス雰囲気では、水分、二酸化炭素のほか、シクロブチルアミン、シロキサン化合物、キシレノールの発生が認められた。

GWの加熱発生ガスの発生状況を別図2に示す。

4. 3 XPSの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気では、350℃付近で熱分解生成物と推測できる、水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素、スチレン、ベンズアルデヒド・アルキルベンゼン、アルデヒドなどの有機系気体の発生が認められた。また、500℃付近で熱(酸化)分解物と推測できる水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素の発生が認められた。

一方、He ガス雰囲気では、ポリスチレン樹脂の熱分解生成物である主にスチレン等および芳香族炭化水素の発生が認められた。

XPSの加熱発生ガスの発生状況を別図3に示す。

4. 4 PFの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気では、50~550℃付近で熱分解と熱(酸化)分解が同時に進行し、水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素、ケトン化合物の発生が認められた。

一方、He ガス雰囲気では、主に、フェノール樹脂の熱分解生成物であるクレゾール、およびキシレノールの発生が認められる他、水分、二酸化硫黄、フェノールの発生も認められた。

PFの加熱発生ガスの発生状況を別図4に示す。

4. 5 SPFの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気下では、 $110\sim600$ °C間で水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素、ケトン化合物の連続的な発生が認められ、当該温度領域で熱(酸化)分解が進行していると推察される。特に $340\sim350$ °C、 $540\sim550$ °Cでは熱(酸化)分解が急激に進行していることが示唆される。また、190°C付近アルキルクロライドの発生も確認された。

一方、He ガス雰囲気では、主に、トリス(2-クロロー1-プロピル)=ホスファート、o-トルイジン、含窒素化合物、アニリン等のウレタンフォームの熱分解生成物が発生している。このうち、含

窒素化合物にシアン化水素などが含まれると推測する。

SPFの加熱発生ガスの発生状況を別図5に示す。

4.6 CFの加熱発生ガスの状況

擬似空気雰囲気では、340~350℃間に熱分解により水分、一酸化炭素/窒素、二酸化炭素、フルフラール、アルデヒドなどの有機系気体が発生し、460℃付近で熱(酸化)分解の進行により一酸化炭素/窒素、二酸化炭素が発生していることが確認された。

一方、He ガス雰囲気では、水分の発生が認められる他、二酸化炭素等、数種の有機成分が発生している。

CFの加熱発生ガスの発生状況を別図6に示す。

4. 7 加熱発生ガスのまとめ

各断熱材の擬似空気雰囲気での加熱発生ガスの種類及び発生量を表1に、He ガス雰囲気での加熱発生ガスの種類及び発生量を表2に示す。

表 1 擬似空気雰囲気での主な発生気体量 【O₂/He=20%/balance 雰囲気中、室温~600℃】

質量数 a		気体発生量(wt%) b,c						
m/z	帰属	RW	GW	XPS	PF	SPF	CF	
17	NH ₃ and etc		0.040 *	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
18	H_2O	0.78	1.7	18	17	12	14	
28	${\rm CO,N_2}$ and etc	1.25 **	n.d. ^d	61 **	82 **	87 **	38 **	
29	Organic gas (推定:Aldehyde compounds)	e	e	5.8 ***	_	_	8.0 ***	
43	Ketone compounds(推定) and etc	0.07 ***	1.3 ***	_	26 ***	42 ***	_	
44	CO ₂ and etc	3.99	14	140	600	320	300	
76	Alkyl chloride(推定) and etc	n.d.	n.d.	_	n.d.	19 ***	n.d.	
96	Furfural(推定) and etc	n.d.	_	_	n.d.	n.d.	7.5 ***	
104	Styrene(推定) and etc	n.d.	n.d.	270 ***	n.d.	n.d.	n.d.	
105	Benzaldehyde(推定) + Alkylbenzene(推定) and etc	n.d.	n.d.	500 ***	n.d.	n.d.	n.d.	

 $[{]f a}$ ${m m}$ は質量数、 ${m z}$ はイオンの価数を表す。通常、イオンの価数は ${f 1}$ なので ${m m}/{m z}$ は質量数に相当する。

なお、ここでは計算に用いたm/z値を表す。

b wt% = (発生気体の重量/試料重量) × 100

c 有効数字は2桁として計算(但し、添え字は参考値)。

d not detected

e 未計算。

 $[*]CO_2$ 基準の概算値。

^{**}N₂基準の概算値。

^{***1-}butene基準の概算値。

表 2 He ガス雰囲気での主な発生気体量 【He 雰囲気中、室温~600℃】

質量数 a	13 12	気体発生量(wt%) b,c						
m/z	帰属 -	RW	GW	XPS	PF	SPF	CF	
17	NH ₃ and etc		0.012 *		0.15 *			
18	H_2O	0.25	0.28	1.0	11	4.1	29	
28	CO,N ₂ and etc	0.18 *	0.035 **		2.0 **	1.7 **	6.8 **	
42	Cyclobutylamine and etc		0.28 ***					
44	CO_2 and etc	0.09	0.16	0.33	1.9	6.0	7.0	
63	Propylene chloride and etc					1.1 *		
64	SO_2				4.3 *			
60	Acetic acid and etc						0.7 *	
88	Dioxane and etc				1.3 ***			
92	Toluene and etc	0.02 **		9.0 ***	2.1 ***			
93	Aniline and etc					8.3 ***		
94	Phenol and etc	0.07 **			5.2 ***			
96	Furfural(推定) and etc						2.8 ***	
98	Levoglucosenone(推定)						3.7 ***	
104	Styrene(推定) and etc			120 ***				
105	Benzaldehyde(推定) + Alkylbenzene(推定) and etc			1.9 ***				
106	Xylene and etc	0.03 **			4.0 ***			
107	Methylaniline and etc					5.0 ***		
108	Cresol and etc	0.18 **	0.067 ***		11 ***			
117	Methylstyrene and etc	0.01 **						
118	α-Methylstyrene and etc			2.7 ***				
120	Trimethylbenzene and etc				2.0 ***			
122	Dimethylphenol and etc	0.23 **	0.10 ***		9.1 ***			
125	Tris(2-chloroisopropyl)phosphate and etc					7.6 ***		
126	Maltol and etc						1.9 ***	
134	Trimethylphenol and etc		0.072 ***					
136	Trimethylphenol and etc	0.09 **						
139	含N化合物(推定)					3.3 ***		
147	Dimethylphenyl isocyanate and etc		0.036 ***					
198	Methylenedianiline and etc					16 ***		
207	Siloxane compounds/ Aromatic compounds(推定)		0.16 ***	87 ***				

a mは質量数、zはイオンの価数を表す。通常、イオンの価数は1なのでm/zは質量数に相当する。

5. シミュレーションモデル住宅に使用する断熱材からの加熱発生ガス量の推定

断熱材の違いが住宅火災時の加熱発生ガス量にどの程度寄与するか、シミュレーションモデル住宅を用いて、2階部が全焼した想定で試算を行う。

なお、住宅火災時に発生するガスは多数あるが、消防庁が燃焼ガスの評価を行う際に注目するのが、一酸化炭素ガス、及び二酸化炭素ガスであるので、今回の評価は、全断熱材に共通して発生している一酸化炭素ガス、二酸化炭素ガス、及び総発生ガス量で評価を行った。

なお、ここでは計算に用いたm/z値を表す。

b wt% = (発生気体の重量/試料重量) × 100

で有効数字は2桁として計算(但し、添え字は参考値)。

d not detected

e 未計算。

^{*}CO₂基準の概算値。

^{**}N₂基準の概算値。

^{***1-}butene基準の概算値。

5. 1 シミュレーションモデル住宅と断熱仕様

シミュレーション住宅を表 3 に、間取りを図 1 に、断熱仕様及び 2 階部断熱材使用量を表 4 に示す。

表3 シミュレーション住宅の仕様

構造・規模	木造軸組構活	去 2階建						
	断熱形式	充填断熱						
	延床面積	120.07 (㎡) 天井高さ 2.4m						
	建物形状	旧 IBEC『住宅事業建築主基準/暖冷房熱負荷計算						
		(2010)』の計算プランに準拠						
所在地	東京都(旧四	東京都(旧IVa, b 地域)						

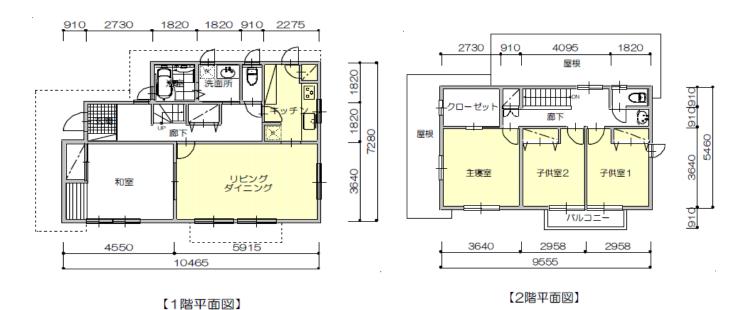


図1 シミュレーション住宅の間取り

表 4 断熱仕様及び断熱材使用量

仕様		①RW (次世代IVa,b地域)	②GW 同左	③XPS 同左	④PF 同左	⑤SPF 同左	⑥CF 同左
屋根		同 左	スレート(ア)5.2mm 合板(ア)12mm	同 左	同 左	同 左	同 左
天井(2階)		石膏ボード(ア)9mm RWマット(ア)155mm	石膏ボード(ア)9mm GW16K(ア)155mm	XPS(7)114.2mm	石膏ボード(ア)9mm PF(ア)89.7mm	PS138.6	石膏ボード(ア)9mm CF(ア)163.2mm
LI B÷	外部 ↑	サイディング(ア)15t 通気層			サイディング(ア)15t 通気層	サイディング(ア)15t 通気層	サイディング(7)15t 通気層
外壁	↓ 内部		密閉空気層 石膏ボード(ア)12mm	XPS(7)66.3mm	PF(ア)52.1mm 密閉空気層 石膏ボード(ア)12mm	PS80.5mm	CF(ア)94.7mm 密閉空気層 石膏ボード(ア)12mm
床(1階)		フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm RWボード(ア)80mm	フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm GWボード(ア)80mm	フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm XPS(ア)58.9mm	フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm PF(ア)46.3mm	フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm PS71.5mm	フローリング(ア)15t 合板(ア)12mm CF(ア)84.2mm
土間床等の 外周		【外気に接する部分】 コンクリート(ア)150t XPS(ア)50mm 【その他の部分】 コンクリート(ア)150mm XPS(ア)15mm	同 左	同 左	同 左	同 左	同左
2階部	2階天井	326.3	149.2	171.7	145.7	91.7	245.4
と階部 断熱材使用量(kg)	2階壁	164.3	75.1	86.5	73.4	51.5	222.3
関	合計	490.6	224.3	258.2	219.1	143.2	467.7

5. 2 断熱材1gあたりの加熱発生ガス量

6種類の断熱材(RW、GW、XPS、PF、SPF、CF)について、断熱材1gあたりの擬似空気雰囲気、Heガス雰囲気の一酸化炭素、二酸化炭素及び総加熱発生ガス量(ml)を算出した。その結果を表5に示す。

表5 断熱材1gあたりの加熱発生ガス量

(単位:ml/g)

		RW	GW	XPS	PF	SPF	CF
	二酸化炭素発生量	20.3	70.1	712.7	3054.5	1629.1	1527.3
擬似空気	一酸化炭素発生量	10.0	0.0	491.8	659.2	694.1	305.7
雰囲気	その他ガス発生量	10.1	27.8	1850.0	349.8	426.0	235.7
	総発生ガス量(ml/g)	40.4	97.9	3054.5	4063.5	2749.2	2068.7
	二酸化炭素発生量	0.4	0.8	1.7	9.4	30.6	35.7
He ガス	一酸化炭素発生量	1.4	0.3	0.0	16.0	13.6	54.7
雰囲気	その他ガス発生量	4.4	5.7	396.2	232.0	123.5	382.6
	総発生ガス量(ml/g)	6.2	6.8	397.9	257.4	167.7	473.0

単位重量あたりの加熱発生ガス量は、He ガス雰囲気では、CFが一番多く、擬似空気雰囲気ではPFがもっとも多かった。一方、人造鉱物繊維断熱材のRW、GWの加熱発生ガス量は、他の断熱材の 20 分の1以下であり、発生ガス量が極端に少ないことが確認された。

人体に影響が高い一酸化炭素ガスの発生量については、RW、GWはともに発生量が擬似空気雰囲気、He ガス雰囲気とも少ない一方で、有機系断熱材については、材質によって擬似空気雰囲気と He ガス雰囲気で発生量が大きく異なることがわかった。XPS、PF、SPFの3種については、擬似空気雰囲気で多く一酸化炭素を発生させているが、 He ガス雰囲気では、発生量が激減している。一方、CFは擬似空気雰囲気と He ガス雰囲気の場合が一酸化炭素発生量は同等レベルであった。

5. 3 住宅の2階部分が全焼した場合の加熱発生ガス量

「5. 1」に示したモデル住宅の2階部分が全焼した場合の加熱発生ガス量を、表4に示した断熱材 使用量と表5に示した断熱材1gあたりの加熱発生ガス量より算出した。その結果を、表6に示す。

表6 モデル住宅2階全焼時の加熱発生ガス総量

(単位:m³)

		RW	GW	XPS	PF	SPF	CF
	二酸化炭素発生量	10.0	15.7	184.0	669.1	233.3	714.4
擬似空気	一酸化炭素発生量	4.9	0.0	127.0	144.4	99.4	143.0
雰囲気	その他ガス発生量	5.0	6.2	495.4	76.6	61.1	118.4
	総発生ガス量(m³)	19.9	21.9	806.4	890.1	393.8	975.8
	二酸化炭素発生量	0.2	0.2	0.4	2.1	4.4	16.7
He ガス	一酸化炭素発生量	0.7	0.1	0.0	3.5	1.9	25.6
雰囲気	その他ガス発生量	2.1	1.3	102.3	50.8	17.7	178.9
	総発生ガス量(㎡)	3.0	1.6	102.7	56.4	24.0	221.2

RW、GWの人造鉱物繊維断熱材からの加熱発生ガス量は、模擬住宅一軒あたりの断熱材使用量を 考慮しても、有機系断熱材に比べて10分の1以下の非常に少ない量であることが確認された。

一方、有機質断熱材では、擬似空気下ではPFの加熱発生ガス量が多かったが、同一断熱仕様の場合には、CFの断熱材使用量が多いため、擬似空気雰囲気、He ガス雰囲気ともCFの加熱発生ガス総量がもっとも多かった。

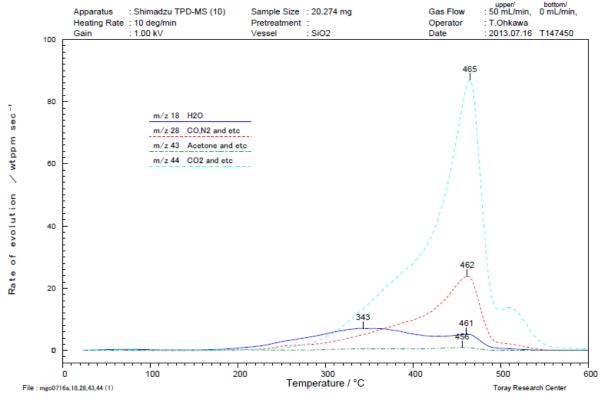
特に、火災時にヒトの行動に影響すると考えられる一酸化炭素の発生量は、擬似空気雰囲気、He ガス雰囲気とも、RW、GWの人造鉱物繊維断熱材は少ないことが確認された。

6. まとめ

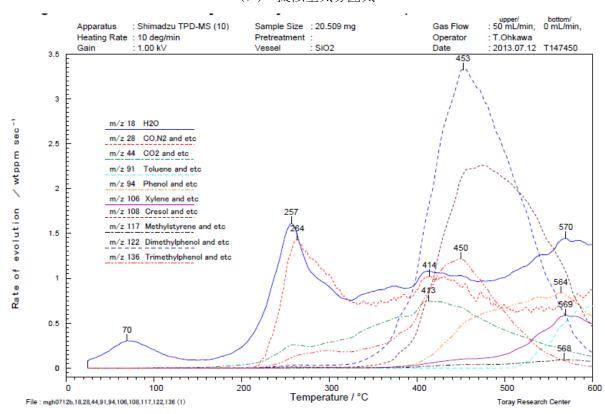
6種類の住宅用断熱材の擬似空気・He ガス雰囲気下で常温から 600℃までの加熱昇温実験を行い、モデル住宅に使用し、住宅火災があった場合のガス発生量を推定した。その結果、人造鉱物繊維断熱材であるRW、GWからの加熱発生ガス量は有機系断熱材と比較して 10 分の 1 以下程度であることが確認された。また、一般にヒトの行動に影響が強いとされる一酸化炭素の発生量については、有機系断熱材と比較して 20 分の 1 程度であることが確認された。

以上

別図1 RW 加熱発生ガスの状況

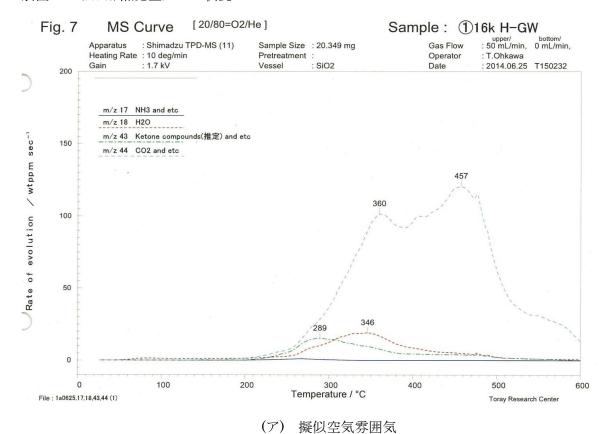


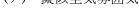
(ア) 擬似空気雰囲気

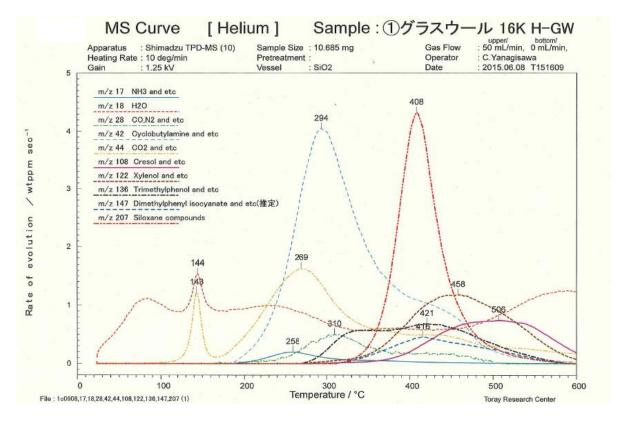


(イ) He ガス雰囲気

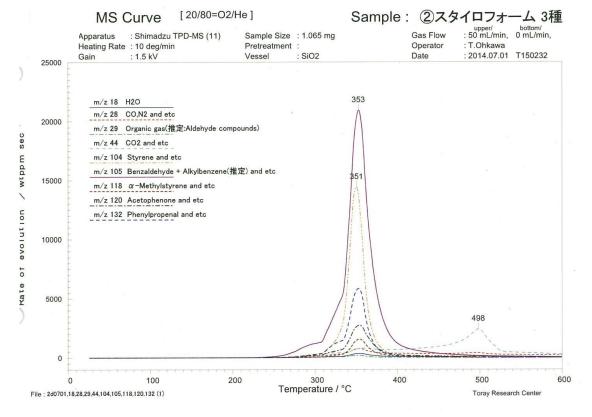
別図2 GW 加熱発生ガスの状況



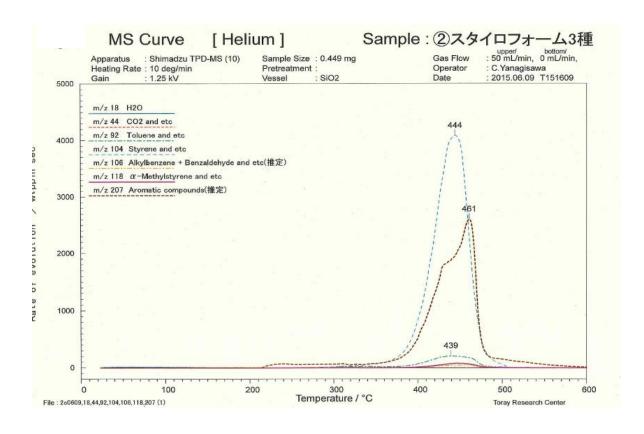




別図3 XPS 加熱発生ガスの状況

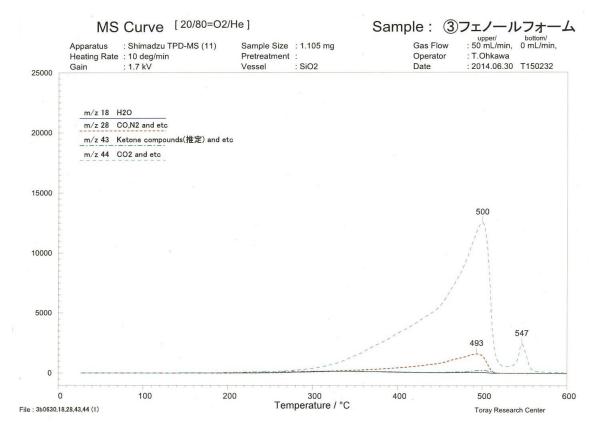


(ア) 擬似空気雰囲気

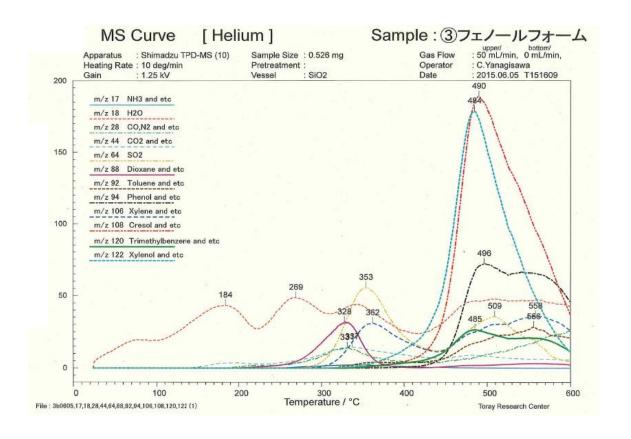


(イ)He ガス雰囲気

別図4 PF 加熱発生ガスの状況

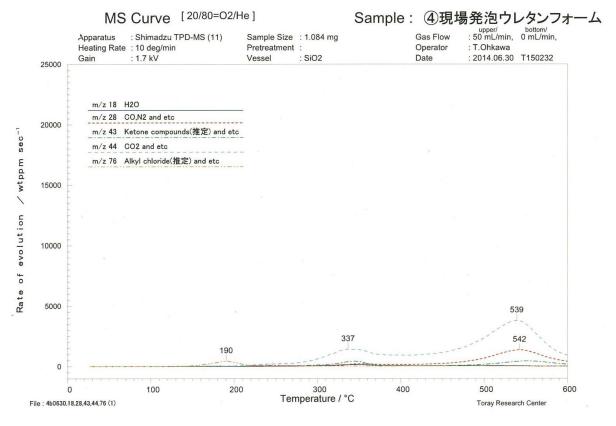


(ア) 擬似空気雰囲気

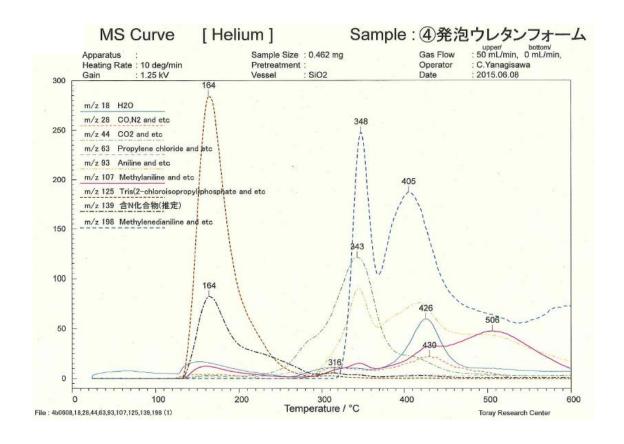


(イ) He ガス雰囲気

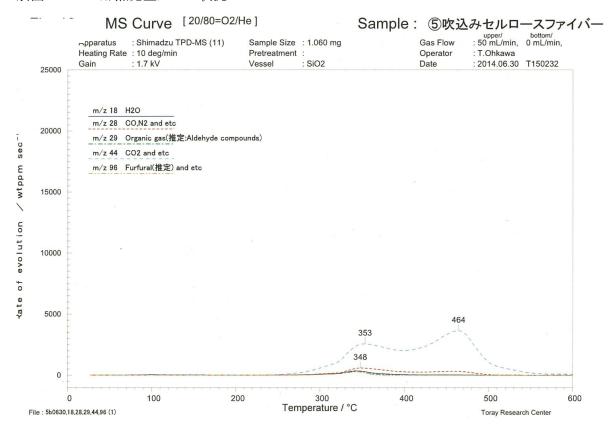
別図5 SPF 加熱発生ガスの状況



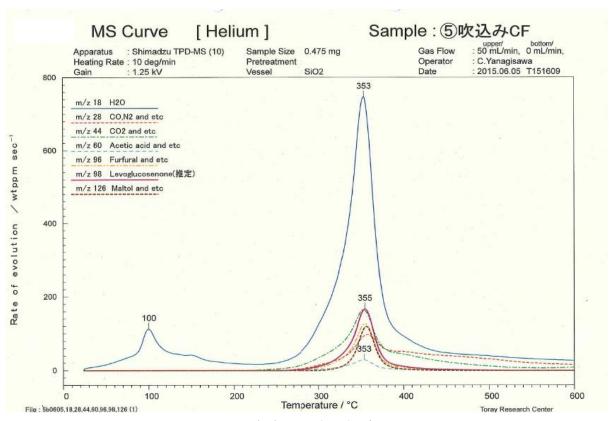
(ア) 擬似空気雰囲気



別図6 CF加熱発生ガスの状況



(ア) 擬似空気雰囲気



(イ) He ガス雰囲気