

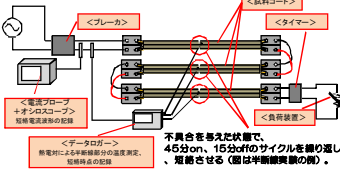
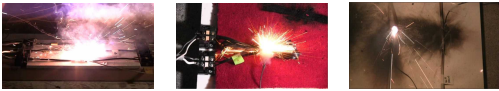
X線CTによる電源コード短絡痕に生じる気泡の三次元解析

電源コード短絡痕の一・二次痕識別については、これまでに断面組織に着目した手法を開発し、事故調査において活用してきたが、最終的な判断については「周辺情報を含む総合的な判断が必要」であり、調査の観点を増やす取組が必要である。
 各種書籍で紹介されている熔融痕の内部に生じる気泡の大きさに着目し、熔融痕内部に生じた気泡の特徴をX線CTを用いて三次元的に捉えて解析し、作製条件との関係を比較することにより、発火元特定のための解析手法としての有効性の検証を行う。

短絡痕の作製実験

(1) 実験一次痕の作製

- ① 半断線
長さ約300mmの試料コードのほぼ中央に、カッターで素線の一部を切断。
- ② 束線
長さ約2mの試料コードで直径15cmのループを作り、ループの中央をインシュロックで締める。
- ③ 手振り線
長さ約30cmの試料コードを半分の長さで切断し、先端部で線束を捻じめる。芯線同士を重ねた状態でビニルテープを巻き、絶縁する。

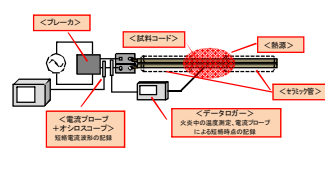


実験結果及び解析対象サンプルの概要

試料	半断線	実験サンプル		採取した溶融痕の箇所	半断線	実験サンプル		採取した溶融痕の箇所			
		VF	HVF			VF	HVF				
実験一次痕	半断線	VF	5	2~215箇所	153	211	19	19	5~213箇所	170	211
	束線	VF	10	8~924箇所	208	312	21	17	8~924箇所	150	312
	手振り線	VF	5	269~289箇所	282	312	31	18	269~289箇所	282	312
実験二次痕	バーナ火災	VF	5	403~1288箇所	187	305	24	19	403~1288箇所	187	305
	炭火輻射熱	VF	5	38~206箇所	187	312	10	8	38~206箇所	187	312
	HFV	5	248~100箇所	187	312	10	8	248~100箇所	187	312	

(2) 実験二次痕の作製

- ① バーナ火災による加熱
電圧印加状態の試料コードをファンバーナの拡散炎で加熱する。
- ② 炭火輻射熱による加熱
電圧印加状態の試料コードを炭火の輻射熱により加熱する。



実験結果及び解析対象サンプルの概要

試料	半断線	実験サンプル		採取した溶融痕の箇所	バーナ火災	実験サンプル		採取した溶融痕の箇所			
		VF	HVF			VF	HVF				
実験二次痕	バーナ火災	VF	5	31~78箇所	21	70	20	18	31~78箇所	21	70
	炭火輻射熱	VF	5	81~209箇所	187	312	10	11	81~209箇所	187	312
	HFV	5	111~209箇所	187	312	10	11	111~209箇所	187	312	

CT像の取得と気泡解析

溶融痕の切り出し

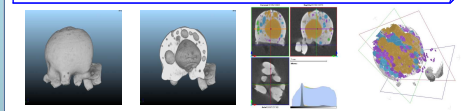
大小様々な種類の気泡の大きさを比較するため、コードから溶融痕のみを切り出す。



CTデータ取得



<溶融痕の種類及び溶融痕の体積に対する気泡の体積割合>
 気泡がないものとして溶融痕の体積を求め、抽出された気泡のうち、最大のものについて、溶融痕体積に対して占める割合(体積割合)を求めて、その傾向を観る。



解析結果概要～溶融痕の大きさと検出した気泡の数及び大きさ

試料	半断線	検出した気泡の数の割合		検出した気泡の大きさの割合		
		最小	最大	最小	最大	
実験一次痕	半断線	VF	0.581	2.448	0.005	0.004
	束線	VF	0.541	1.631	0.011	0.003
	手振り線	VF	0.526	1.521	0.013	0.002
実験二次痕	バーナ火災	VF	0.470	1.831	0.012	0.004
	炭火輻射熱	VF	0.440	1.471	0.012	0.001
	HFV	5	0.582	2.241	0.014	0.003

解析結果概要～溶融痕の大きさと検出した気泡の数及び大きさ

試料	バーナ火災 <th colspan="2">検出した気泡の数の割合</th> <th colspan="2">検出した気泡の大きさの割合</th>	検出した気泡の数の割合		検出した気泡の大きさの割合		
		最小	最大	最小	最大	
実験二次痕	バーナ火災	VF	0.771	1.927	0.016	0.004
	炭火輻射熱	VF	0.701	1.400	0.012	0.000
	HFV	5	0.470	1.486	0.012	0.001

半断線サンプルのCT像(例)

<半断線VF>
実験時間:約10分
短絡時の温度:170℃

手振り線サンプルのCT像(例)

<手振りVF>
実験時間:約10分
短絡時の温度:173℃

束線サンプルのCT像(例)

<束線VF>
実験時間:約10分
短絡時の温度:171℃

バーナ火災による溶融痕サンプルのCT像(例)

<VF>
短絡までの加熱時間:5秒
短絡時の温度:710℃

炭火輻射熱による短絡痕サンプルのCT像(例)

<VF>
短絡までの加熱時間:約6分
短絡時の温度:313℃

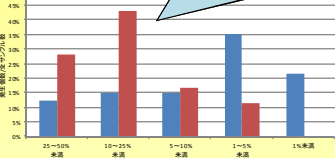
解析結果

最大気泡の体積率による解析

表3 最大気泡の体積割合から見た発生率

サンプル	項目	10~25%	25~50%	50~75%	75~100%
実験一次痕(100個)	発生率	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%
	割合	17	28	10	7
実験二次痕(100個)	発生率	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%
	割合	17	28	10	7

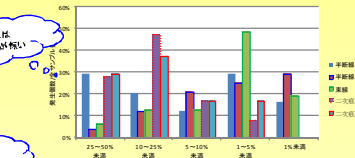
一次痕の最大気泡にも大きなものもあるが、小さい割合が多い。
 二次痕の最大気泡には大きなものが多いが、5%未満のものも少なく、1%未満のものもなかった。



実験一次痕でも、電圧印加では体積割合で25%以上の気泡が、二次痕と同程度の割合でみられた。負荷側では最大気泡が大きいものの割合が少なく、5%未満の小さいものの割合が多い。

表4 最大気泡の体積割合別サンプル数(電圧印加時と炭火輻射熱時との)

サンプル	項目	電圧印加時					炭火輻射熱時				
		発生率	割合	10~25%	25~50%	50~75%	発生率	割合	10~25%	25~50%	50~75%
実験一次痕	半断線	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%
	束線	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%
実験二次痕	バーナ火災	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%
	炭火輻射熱	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%



一つの短絡痕サンプルから採取した複数の溶融痕でみる溶融痕に生じた最大気泡の大きさ

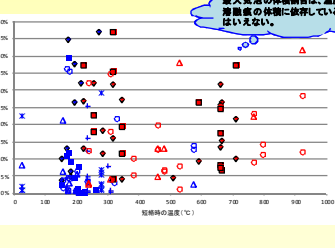
<比較的バラツキの小さいもの>
 <比較的バラツキの大きいもの>

サンプル	項目	比較的バラツキの小さいもの				比較的バラツキの大きいもの			
		発生率	割合	最大気泡の体積割合	体積割合	発生率	割合	最大気泡の体積割合	体積割合
実験一次痕	半断線	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%
	束線	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%	12.3%	13.2%	13.2%	5.8%
実験二次痕	バーナ火災	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%
	炭火輻射熱	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%	11.3%	13.2%	13.2%	5.8%

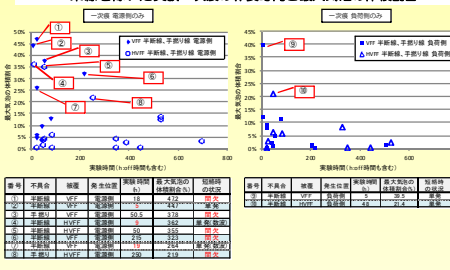


最大気泡の体積率に差が生じる要因について

① 短絡時の温度と最大気泡の体積割合



束線を除いた実験一次痕の作製時間と最大気泡の体積割合



最大気泡の体積率に差が生じる要因について

② 負荷側と一次痕の体積割合

負荷側で生じた溶融痕で比較した場合、一次痕では小さな気泡を生じたものが多く、二次痕では大きな気泡の生じたものが多かった。
 ・一次痕の負荷側でも、実験時間の短いものには、大きな気泡が生じていた。

気泡の大きさに差が生じるメカニズムは明らかにならなかったが、
 ・X線CTにおいても短絡痕及びその内部に生じた気泡の解析は概ね可能。
 ・負荷側の溶融痕に大きな気泡が生じていない場合は、一次痕の可能性が考えられる。
 ・「気泡が大きい」ことのみで二次痕との断定はできない。
 ・束線状態で短絡し、複数箇所溶解したようなものについては、適用できない。